令和元年台風 19 号豪雨災害 調査団報告書

2020年9月

公益社団法人 土木学会

水工学委員会

目次

序文・護	射辞	1
調査団椲	構成員・執筆担当	2
第I編	東北地区調査団	
第1章	気象概況	7
1.1	台風の概況	7
1.2	降雨等の状況	8
第2章	岩手県	12
2.1	全体概要	12
2.2	岩手県沿岸部北部域	16
2.3	岩手県沿岸部南部域	30
2.4	岩手県の避難行動,複合災害関連・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	45
** 0 **		50
第3章		59
3.1	全体概要	59
3.2	北上川水系下流域	61
3.3	鳴瀬川水系	66
3.4	阿武隈川水系下流域	82
3.5	砂押川水系	96
午 / 辛	行自旧	00
		90
4.1	ᆂᄵᄦᇴ ᇚᆃᄜᄔᅶᅎᄂᅔᅝᅶᅶᅋ	90
4. Z		109
4.3	阿武陵川水糸上流域南部	115
4.4		124
4. 5	補足と考察	138
箪∏編	関東地区調査団	
第1章 第1章		141
1 1		141
1.1	15 0 0 1 C C C C C C C C C C C C C C C C C	147
1. 4		171
第2章	利根川水系の各河川における被災状況およびその分析	151
2. 1	利根川上流域の流況とダムの効果	151

2.2	利根川水系の中小河川に見られる被災状況(栃木県)	160
2.3	利根川水系の中小河川に見られる被災状況(群馬県)	179
第3章	久慈川の被災状況およびその分析	201
3.1	降雨量と流量について	201
3. 2	本川に沿う直轄区間付近における氾濫流の挙動と被害	·201
3.3	浸水範囲と微地形の関係	207
3.4	氾濫流の挙動に関する考察	208
3.5	浸水被害の要因と堤防整備、歴史的治水システムとの関係	211
3.6	連続堤防の整備及び堤内地の治水構造物が氾濫形態に及ぼす影響	213
3.7	まとめ	217
第4章	埼玉県内の各河川における被災状況及びその分析(荒川水系を中心として)	218
4.1	荒川水系全体の氾濫状況とその分析	218
4.2	荒川水系越辺川流域における破堤と氾濫	230
4.3	都幾川,新江川での越流地点における堤防天端形状と侵食との関係	258
第5章	関東地方の被災状況を踏まえた今後の提言	268
第6章	おわり	270
第Ⅲ編	中部・北陸地区調査団	
第1章	千曲川流域と今次災害の概要	272
1.1	令和元年台風 19 号豪雨災害の被害概況	272
1.2	千曲川流域における過去の主な洪水	276
第2章	千曲川流域の気象・水文・氾濫	279
2.1	気象・水文学的特徴	279
2. 2	氾濫痕跡調査による越水・溢水氾濫域	287
2.3	合成開口レーダーによる氾濫推定	291
第3章	洪水流下特性および河道内地形変動	299
3.1	洪水流下特性	299
3.2	河道特性	305
3.3	流路変動解析	311
3.4	河道の被災ポテンシャルの簡易推定	322
3.5	堤防破壊危険性	328

第4章	長野市穂保地先堤防決壊による氾濫
4. 1	土地利用の変遷
4. 2	浸水範囲・浸水位
4.3	堆積土砂の現地調査
4.4	氾濫シミュレーションの高度化
4.5	流体力による家屋被害
第5章	河川構造物等の損壊状況と河川管理403
5.1	はじめに403
5.2	千曲川下流404
5.3	千曲川中流410
5.4	千曲川上流
第6章	公共施設・住宅に関する被災・復旧の実態432
6.1	下水処理場
6.2	電気・ガスなど供給系ライフライン436
6.3	住宅
第7章	避難行動と情報
7.1	はじめに458
7.2	調査票の設計と調査の実施
7.3	調査協力者の特徴
7.4	「避難」と「非避難」を分ける要素に関する分析460
7.5	まとめ469
第8章	課題と提言470
付録	
A. 信	「濃川水系河川整備方針および計画の概要
B. 長	長野市洪水ハザードマップ(古里・柳原・浅川・朝陽・若槻・長沼・豊野地区周辺)… 479
C. 浸	退水域の詳細図 480
<u> </u>	
第Ⅳ編	
第1章	
1.1	台風 19 号災害が示唆する地球温暖化影響と適応へのメッセージ495
1.2	2019 年台風 19 号による千曲川・利根川上流域における降雨特性と台風経路の影響 …499
1.3	栃木県の中小河川と阿武隈川上流域の堤防および氾濫調査
1.4	令和元年台風 19 号を対象とする降水の確率評価

519	し 流出解析 ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	そ対象とする広域分布型	令和元年台風 19 号	1.5
526	<系数の将来変化分析	による洪水流量と氾濫水	令和元年台風 19 号	1.6
533			河川災害	第2章
533		おける河床変動数値解析	千曲川上田地区にお	2.1
539		河川の被災分析	千曲川上流部中小河	2. 2
544		F曲川の氾濫解析	SAR 画像を用いた千	2.3
549	機構	ける阿武隈川支川の破堤樹	宮城県丸森町におけ	2.4
555		調査と解析 …	久慈川の浸水氾濫調	2.5
		る河川氾濫の調査と解析	那珂川流域における	2.6
574		まえた水害リスクの評価	氾濫流の挙動を踏ま	2.7
585	影響	付近の流れに対する植生影	河川合流点や破堤の	2.8
591		周辺地盤の浸透現象	複層を有する堤防暦	2.9
-分布の特徴596	流れと乱れエネルギー	における洪水時の三次元流	河岸侵食発生個所に	2. 10
602	ヽ氾濫プロセスの検討]川災害状況の把握と洪水	台風 19 号による河	2.11
609		L濫状況 ···	台風 21 号の洪水氾	2.12
総害の比較研究621	80年7月西日本豪雨災	による豪雨災害と平成 30	令和元年台風 19 号	2.13
	の浸透被害を中心に~	析~阿武隈川,千曲川の	河川堤防の被害分析	2.14
632			土砂・流木災害	第3章
632	の流動特性	町子安で発生した土石流の	宮城県伊具郡丸森町	3.1
639	生要因分析	ける土砂・流木災害の発生	宮城県丸森町におけ	3. 2

3.3 宮城県伊具郡丸森町の土砂洪水氾濫被害:地盤履歴と災害伝承の融合 ……………645

序文

令和元年(2019年)台風19号(Hagibis)は、大型で強い勢力を持ちながら10月12日 19時頃伊豆半島に上陸し、その後、関東地方を通過、北上した.これにより、静岡県、新 潟県、関東甲信・東北地方での1都12県(静岡県、神奈川県、東京都、埼玉県、群馬県、 山梨県、長野県、茨城県、栃木県、新潟県、福島県、宮城県、岩手県)の広範囲において 大雨特別警報の発令をもたらす記録的な豪雨となった.そして、多くの河川において越水・ 氾濫が発生して、破堤に至ったものは71河川、142箇所にもなり、これに土砂災害を合わ せるときわめて甚大な被害が発生した.

この災害に対して, 土木学会水工学委員会では災害調査団を結成し, 台風 19 号による豪 雨災害の被害状況, 災害発生のメカニズムを明らかにするとともに, 今後の防災・減災力向 上のために不可欠な学術, 政策, 社会的な課題を提示し, 災害の教訓を発信することをねら った. このため, 被災地区を中心に, 東北, 関東, 中部・北陸の3つ地区調査団を設けて災 害の詳細な調査・検討を進め, さらに幅広い専門分野からの知見を得るため, 地区以外の研 究者も参画することで, 調査研究の充実を図ることとした.

本年 7 月には九州で豪雨災害が生じ,なかでも球磨川の水害は甚大であった.被災地の 災禍は毎年かならず他の地域でも生じており,頻発する豪雨災害に対し,被害防止・軽減に 貢献すべく活動した各研究者の熱い思いが本報告書に込められている.

> 令和 2 年 8 月 31 日 令和元年台風 19 号豪雨災害調査団総団長 清水義彦

謝辞

被災の現場調査および資料,情報の提供にあたり,国土交通省東北地方整備局,関東地方 整備局,北陸地方整備局,被災地関係市町村および住民の方々にご協力を頂きました.また, 公益社団法人・河川財団からの河川基金助成を受けました.ここに,感謝の意を表します.

令和元年台風 19 号豪雨災害調査団 および 執筆担当

(1) 宋祖邦的人的官臣的	(1)) 東北地区調査団
---------------	-----	-----------

	氏名	所属・職位	執筆担当:第 I 編 東
			北地区
地区団長	田中 仁	東北大学大学院 教授	3.4.1~5
地区副団長	風間 聡	東北大学大学院 教授	1. 1, 1. 2, 2. 4. 4, 3. 1,
			3.2, 4.1
地区幹事	川越清樹	福島大学 教授	3. 4. 6, 4. 1, 4. 3, 4. 4. 2
			$\sim 10, 4.5$
団員	梅田 信	東北大学大学院 准教授	3.3.1~3
団員	小森 大輔	東北大学大学院 准教授	2.3
団員	峠 嘉哉	東北大学大学院 助教	1.1, 1.2, 2.4.4
団員	NGUYENXUAN Tinh	東北大学大学院 助教	
団員	橋本 雅和	東北大学 助教	3. 3. 4
団員	三戸部 佑太	東北学院大学 准教授	3. 5
団員	横尾 善之	福島大学 准教授	4.2, 4.4.1
団員	渡辺 一也	秋田大学大学院 准教授	2.2
団員	松林 由里子	岩手大学 助教	2.1, 2.2, 2.4.3
団員	熊谷 誠	岩手大学 特任助教	2.4.1, 2.4.2
団員	叶 正興	㈱建設環境研究所	
団員	牧野 健太郎	㈱建設環境研究所	

(2) 関東地区調査団

	氏名	所属・職位	執筆担当:第Ⅱ編 関
			東地区
地区団長	田中 規夫	埼玉大学 教授	1.1, 2.1, 4.1, 4.2.2
地区副団長	浅沼 順	筑波大学 教授	3, 5, 6
幹事	知花 武佳	東京大学 准教授	
団員	鼎信次郎	東京工業大学 教授	
団員	渡部 哲史	東京大学 特任講師	
団員	池田裕一	宇都宮大学 教授	2.2.2c, 2.2.3, 2.2.
			4
団員	飯村 耕介	宇都宮大学 助教	2.2.2c, 2.2.3
団員	宮本 仁志	芝浦工業大学 教授	

団員	芳村 圭	東京大学 教授	
団員	永野 博之	群馬工業高等専門学校 准教授	2. 3. 9
団員	白川 直樹	筑波大学 准教授	
団員	清水 義彦	群馬大学 教授	2.1, 2.2.2a, 2.2.2b,
			3
団員	鵜崎 賢一	群馬大学 准教授	2.3.1~8
団員	松本 健作	群馬大学 助教	2. 2. 1
団員	八木澤 順治	埼玉大学 准教授	4.3
団員	小林健一郎	神戸大学 准教授	4.1.2
団員	二瓶 泰雄	東京理科大学 教授	
団員	片岡 智哉	東京理科大学 助教	
団員	小野村 史穂	東京理科大学 助教	
団員	森脇 亮	愛媛大学 教授	
団員	藤森 祥文	愛媛大学 助教	
団員	中村 晋一郎	名古屋大学 准教授	1.2
団員	旭 一岳	株式会社 RiverLink	
団員	赤松 良久	山口大学 教授	
団員	武若 聡	筑波大学 教授	
団員	庄司 学	筑波大学 教授	
団員	平田 真二	株式会社エコー	
団員	重村 一馬	株式会社建設環境研究所	
団員	富田 邦裕	株式会社建設環境研究所	4.2.2
団員	野田 敦夫	株式会社パスコ	
団員	阿部 紫織	三井共同建設コンサルタント(株)	2.1
団員	横木 裕宗	茨城大学 教授	
団員	上米良 秀行	防災科学技術研究所	
団員	新保 裕美	鹿島建設株式会社	
団員	鈴木 一輝	鹿島建設株式会社	
団員	岩前 伸幸	鹿島建設株式会社	
団員	大楽 浩司	防災科学技術研究所	
団員	厳島 怜	東京工業大学 助教	3
団員	篠崎 由依	(株)建設技研インターナショナル	
団員	大槻順朗	土木研究所自然共生研究センター	3
団員	佐藤 辰郎	九州大学大学院 特任准教授	3

(3) 中部	ζ.	北陸地区調査団
--------	----	---------

	氏名	所属・職位	執筆担当:第Ⅲ編 中
			部·北陸地区
団長	吉谷 純一	信州大学 教授	1.1, 1.2, 2.2, 付録
副団長	戸田 祐嗣	名古屋大学 教授	3.1, 3.5
幹事	豊田 政史	信州大学 准教授	1. 1, 1. 2, 2. 2, 4. 3. 3,
			4.4.1, 4.4.2, 付録
アドバイザー	松岡 保正	長野高専 名誉教授	
団員	赤堀 良介	愛知工業大学 准教授	4.4.3
団員	朝位 孝二	山口大学 教授	2.3
団員	新井 章珣	三井共同建設コンサルタント(株)	2.1
団員	岩崎 理樹	北海道大学 准教授	3. 3
団員	小野村 史穂	東京理科大学 助教	4.2.1
団員	片岡 智哉	東京理科大学 助教	4.2.1
団員	川池健司	京都大学 准教授	4.3.3, 4.4.1, 4.4.2
団員	呉 修一	富山県立大学 准教授	4.5
団員	小山 毅	東京大学 助教	6.3
団員	酒井 美月	長野高専 准教授	4. 3. 1
団員	白水 元	山口大学 助教	2.3
団員	武田 誠	中部大学 教授	4.3.3, 4.4.1, 4.4.2
団員	田代 喬	名古屋大学 特任教授	6.2
団員	田端 幸輔	中央大学 准教授	3.1, 3.5
団員	土屋 十圀	中央大学 研究員	4.3.2, 5
団員	手計 太一	富山県立大学 准教授	2.1
団員	轟 直希	長野高専 准教授	4. 3. 1
団員	冨永 晃宏	名古屋工業大学 教授	3.1, 3.5
団員	中村 晋一郎	名古屋大学 准教授	4.1, 4.2.2
団員	西嶋 一欽	京都大学 准教授	6.3
団員	二瓶 泰雄	東京理科大学 教授	4.2.1
団員	畑山 満則	京都大学 教授	7
団員	林義晃	福岡大学 助手	2.1
団員	藤本 郷史	宇都宮大学 准教授	6. 3
団員	松下 英次	長野高専 教授	4. 3. 1
団員	松本 明人	信州大学 准教授	6.1
団員	溝口 敦子	名城大学 教授	3.2, 3.3

団員	安田	浩保	新潟大学	准教授	3.4
団員	山田	真史	京都大学	特定研究員	6. 3

(4) 全体調査団

	氏名	所属・職位	執筆担当:第Ⅳ編 全
			体
総団長	清水 義彦	群馬大学 教授	2.7
副団長	田中 茂信	京都大学 教授	1.4
副団長	二瓶 泰雄	東京理科大学 教授	2.12
幹事長	赤松 良久	山口大学 教授	2.6
アドバイザー	中北 英一	京都大学 教授	1.1
特別団員	泉典洋	北海道大学 教授	2.9
特別団員	山田 朋人	北海道大学 准教授	1.2
特別団員	岩崎 理樹	北海道大学 准教授	2.1
特別団員	立川 康人	京都大学 教授	1.6
特別団員	竹林 洋史	京都大学 准教授	3. 1
特別団員	佐山 敬洋	京都大学 准教授	1.3, 1.5
特別団員	前野 詩朗	岡山大学 教授	2.13
特別団員	内田 龍彦	広島大学 准教授	2.10
特別団員	森脇 亮	愛媛大学 教授	2.5
特別団員	矢野 真一郎	九州大学 教授	3. 2
特別団員	重枝 未玲	九州工業大学	2.11
特別団員	前田 健一	名古屋工業大学	2.9, 2.14
特別団員	鈴木 素之	山口大学 教授	3. 3
特別団員	田中 賢治	京都大学 准教授	
特別団員	神谷 大介	琉球大学 准教授	

第 I 編 東北地区調査団

第1章 気象概況

1.1 台風の概況

令和元年台風 19 号 (Hagibis) は 10 月 6 日に発生し,7 日にかけて勢力を急激に 強めた.その後,勢力を維持したまま北上 し 10 月 12 日 19 時前に伊豆半島周辺に上 陸した.上陸時の中心付近の最大風速は 40m/s,中心気圧は 955hPa,強風域の半径 は 600km であり,「強い・大型」の台風に 分類される.12 日から 13 日にかけて関東 から東北地方を北東方向に通過し,それ に伴って広い範囲で記録的な大雨をもた らした後,13 日 12 時に東北地方の東側で 温帯低気圧に変わった³⁾.図 1.1.1 にそ の台風経路と各日 15 時における中心気 圧,図1.1.2 に各日 9 時における天気図 を示す⁵⁾.

この台風は経路や勢力において特徴が ある.気象庁によると,通常10月の台風 は偏西風の影響を受けて東側に逸れる場 合が多いが,台風19号が接近した際には 偏西風の軸が平年より北側に偏っていた ため,本州や東北地方を通る進路をとっ たと考えられている.また,上陸直前まで

「非常に強い」勢力を維持したが、台風経路上の海面水温が高かったことと乾燥大気の流入などの台風の勢力を弱める要因が少なかったことが要因と考えられている⁴. 図1.1.3 には10月11日における海面水温の分布とその平年差を示している⁶. 台風は海面水温が27℃以上の際に勢力を維持すると言われているが、日本近海まで海面水温が高い状態であり、平年より1~2℃程高い状態であったことが分かる.



図 1.1.1 台風 19 号の経路と中心気圧 (経路:気象庁¹⁾,中心気圧:日本気象協会²⁾)





a) 10 月 12 日 9 時 図 1. 1. 2 天気図の変化(気象庁⁵⁾)



(c) 海面水温
 (c) 海面水温++z
 図 1.1.3 10 月 11 日の海面水温分布
 (気象庁⁶)

1.2 降雨等の状況

まず,図1.2.1 にレーダー・アメダス解析雨量を用いた3時間ごとの降雨強度分布,図 1.2.2 に10月11日12時から10月13日12時までの累積雨量の分布図を示す.図1.2.1よ り,台風が関東地方に上陸した12日18時頃には既に東北地方南部で強い豪雨が見られ, 台風の北上に伴って東北地方の太平洋側を中心に50mm/hを超える非常に激しい雨が,13



日3時頃まで発生したことが分かる.特 に降水量が多かった地域は福島県・宮城 県・岩手県の東部であり,累積雨量が300 ~500mmを超える領域が太平洋沿いを南 北に広がっている.

東北地域で雨量が多かった領域内で, 特徴的な AMeDAS 観測所の降水量時系 列を示したものが図 1.2.3 である⁷⁾.東 北地方で最も総雨量が多かったのは宮城 県丸森町の筆甫観測所の 607.5mm で,当 該地点の平均年降水量の 47%にあたる.3 時間から 72 時間までの時間降水量におい て観測史上最大を記録した.東北地域内 には,他に累積降水量が 500mm を超えた AMeDAS 観測所はない.



岩手県東部の沿岸域に位置する普代観測所では,総雨量が平均年降水量の34%にあたる467.0mm に達し,そのほとんどが台風通過前後の4~5時間程度の短い時間に集中したことが分かる.1時間から72時間までの全ての時間降水量において観測史上最大を記録した.特に,一時間降水量95.0mm と三時間降水量236.5mm は,この台風19号事例を通して全国のAMeDAS 観測所の中で最も高い値である.同じ岩手県沿岸域に位置する小本観測所や宮古観測所でも全国的に高い一時間降水量と三時間降水量を記録している.





図 1.2.4 各時間降水量と観測記録を更新した観測所の分布³⁾

宮城県北部の鳴瀬川水系吉田川流域内に位置する大衡観測所では,6時間から72時間の時間降水量の全てで観測史上最大を記録した.累積雨量は343.0mm であり,平均年降水量の26%にあたる.福島県の浜通り地区の内陸部に位置する川内観測所では,福島県内で最大の累積雨量453mm を記録し,平均年降水量の31%にあたる.3時間から72時間までの時間降水量が観測史上最大を記録した.

図 1.2.4 に日本全国の AMeDAS 観測所における 6,12,24 時間雨量の分布と, 観測記録を 更新した地点の分布を示す³⁾.また,図1.2.4(d)に観測記録を更新した AMeDAS 観測所の 数を東北地方の各県ごとに示す.岩手県は普代観測所と同様に,東部沿岸域で短い時間に集 中的な豪雨が生じた傾向がみられたため,他地域と比べて 6 時間降水量までの観測記録を 更新した例が多い.図 1.2.4(a)を見ても,観測記録を更新した観測所が岩手県東部の沿岸 域で南北に広がっていることが分かる.一方で福島県東部や宮城県では,筆甫観測所や川内 観測所のようにまとまった降雨が生じて累積雨量が高い傾向がみられた.福島県では 12 時 間降雨の観測記録を更新した地点が最も多かった.

以上に示した広域に渡る特徴的な豪雨が生じた要因については、気象庁による数値解析 が行われている.その解析結果によると、大陸から張り出した比較的低温の高気圧と台風周 辺の湿潤な空気との間で、台風北側に前線が形成されていたことが分かり、加えて地形の影 響があったことが分かった.前線と地形の各影響の有無や大きさは地域によって異なるが、 阿武隈川流域や岩手県沿岸部では、双方の影響があったことが示されている⁸⁾. 風速については,降水量と比べて観測記録を更新した例は少ない.東北地方での最大風速 は宮城県女川町の江ノ島観測所で最大風速 24.1m/s を記録し,近隣の石巻観測所で最大風速 23.9m/s を記録している. 岩手県花巻観測所と福島県猪苗代観測所では観測史上を更新する 最大風速 19.3m/s と 21.1m/s を記録し,花巻観測所では最大瞬間風速 27.8m/s も観測史上最 大となった.

参考文献

- 気象庁予報部予報課,過去の台風資料
 http://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon/index.html
- 日本気象協会:過去天気 http://www.tenki.jp/past/
- 3) 気象庁:台風第19号による大雨、暴風等(令和元年10月10日~10月13日), https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191010-1013.pdf
- 4) 気象庁:令和元年台風第19号とそれに伴う大雨などの特徴・要因について(速報) https://www.jma.go.jp/jma/press/1910/24a/20191024_mechanism.pdf
- 5) 気象庁:日々の天気図 https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/hibiten/index.html
- 6) 気象庁, 日別海面水温 http://www.data.jma.go.jp/kaiyou/data/db/kaikyo/daily/sst_HQ.html
- 気象庁:過去の気象データ検索 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/
- 気象庁:令和元年台風第19 号に伴う大雨の要因について https://www.jma.go.jp/jma/kishou/know/yohokaisetu/T1919/mechanism.pdf

(以上 文責 東北大学 峠嘉哉, 風間聡)

第2章 岩手県

2.1 全体概要

2.1.1 気象について

令和元年 10 月 3 日 21 時にマーシャル諸島付近で発生した台風第 19 号は 12 日 19 時前に,大型で強い勢力で静岡県伊豆半島に上陸した¹⁾.上陸直前の中心気圧は 955hPa, 最大風速は 40m/s²⁾であった.そのご関東地方,福島県を縦断し,三陸沖東部北緯 41 度, 東経 147 度³⁾で温帯低気圧に変わった.

10月11日から前線の影響で雨が降り出し,沿岸地域を中心に,12日夜から13日未 明にかけて大雨となり,13日0:40に,宮古地域,釜石地域,大船渡地域と内陸の一関 市に,1:55には久慈地域にも大雨特別警報が発表された.夜間に降雨が強まり,沿岸 地域で大雨が降り,特に沿岸北部では短時間降雨量が大きいことが挙げられる.

台風 19 号の岩手県沖の通過に伴い, 岩手県内では全国的に見ても短時間に強い雨が降り, 1 時間降水量は, 岩手県下閉伊郡普代村で観測された 95.0mm が全国 1 位の値となり, 岩泉町小本で 93.5mm, 宮古で 84.5mm, 山田で 77.5mm, 久慈で 71.0mm であった⁴. 岩手県内の久慈, 普代, 小本, 宮古, 山田町の山田の観測点で, 1 時間降水量が観測史上1 位を更新し, 過去に無い雨量によって, はん濫や土砂災害による被害が発生した.

2.1.2 人的・物的被害の状況

岩手県においては,死者3名,行方不明者0名,重傷者4名,軽傷3名であり,物 的被害については,全壊41名,半壊741棟,一部損壊1543棟,公共建物19棟,その 他1317棟,床上浸水46棟,床下浸水115棟であった⁵⁾.

死者3名のうち2名は,道路走行中に陥没した道路に落下して亡くなった.重傷者 と軽症者の1名ずつが,死亡した男性と同じ道路陥没箇所で事故にあっている.

大雨による土砂災害によって, 釜石市, 宮古市などで孤立集落が発生した. 岩手県対 策本部の会議資料では, 13 日以降, 孤立箇所と世帯数が刻々と変化し, 孤立の把握まで に時間がかかった様子が見られる. 13 日 15 時の資料では, 釜石市尾崎白浜地区 108 世 帯 260 名など, 6 カ所 133 世帯超の孤立が報告され, その中には, 隣接する住所に 2 件 の障がい者支援施設が含まれている. 10 月 14 日 14 時の資料では, 釜石市尾崎白浜地 区の孤立は解消され, 宮古市重茂の 4 地区 56 世帯 170 名の孤立が追加され, 8 カ所 84 世帯超の孤立が報告されている. 15 日 14 時の資料では, 各地域で徒歩での通行が可能 になり, 交通アクセス等不十分地域が 6 カ所 69 世帯超であることが報告された.¹⁰

家屋被害について,全壊家屋が多かったのは宮古市の20棟で,重茂半島で大規模な 土石流が発生している.また,排水不良による緑地公園背後の湛水が発生した山田町で は、全壊家屋が15世帯の被害となっている.

県内各地で発生した通行止めを含む道路被害の他,鉄道の被害も発生しており,三陸 鉄道は,盛~釜石間が10月14日から運転再開,釜石~久慈間では,路盤の流出,法面 の崩壊や土砂の流入があり,運転再開は,2020年3月11日となった.JR 八戸線階上~ 久慈駅間は,複数個所で路盤の流出,土砂の流入などにより運転を見合わせたが,2019 年12月1日から運転を再開した.

2.1.3 岩手県内の避難情報と避難人数

2019 年台風第 19 号の接近に伴い,岩手県内では,全 33 市町村で,警戒レベル 3 以上の 避難情報が発令された.警戒レベル 3 以上の避難情報と,警戒レベル 3 以上の気象情報が 最初に発表された時間を図 2.1.1 に示す.太平洋に面した市町村と,海に面していない市町 村を,それぞれ役場所在地の北緯によって南から番号を振って C1~C12, I1~I21 とした. 避難準備・高齢者等避難開始と避難勧告は,発令した各市町村内で一部地域を対象に発令さ れたものを含む.

気象庁 HP で示す通り,気象庁が発表する気象情報は,市町村の避難情報発令基準である 警戒レベルと関連付けられている.台風や低気圧の接近,大雨災害によって起きる気象条件 の各警戒レベルとの対応は以下の通りである.

警戒レベル3相当:大雨警報(土砂災害),洪水警報,危険度分布「警戒」(赤),氾濫警 戒情報,高潮注意報

警戒レベル4:土砂災害警戒情報,危険度分布「非常に危険」(うす紫),はん濫危険情報, 高潮特別警報,高潮警報

警戒レベル5:大雨特別警報,氾濫発生情報



図 2.1.1 岩手県内の市町村の避難情報と、気象庁による気象情報の時系列の比較

赤丸で示した警戒レベル3,避難準備・高齢者等避難開始が発令されたのは、赤十字と赤 横線で示した警戒レベル3 相当の洪水警報と大雨警報が発表されるよりも前の時間帯で、 各市町村が、気象情報よりも数時間以上早く警戒レベル3 になっている.早い自治体では、 警戒レベル3 相当の情報が発表される約 10 時間前に避難勧告を発令しており、多くの自治 体が、気象情報の警戒レベル3、4 相当の情報が発表される前に、避難勧告と避難指示(緊 急)を発令している.一方、複数の自治体で、警戒レベル4 相当の土砂災害警戒情報発表後 に警戒レベル4、避難指示(緊急)が発令されている.図2.1.1 に示すように、避難勧告は 明るい時間帯に発令され、避難指示(緊急)を発令した市町村では、すべてが夜間の発令と なっている.夜間の避難行動は危険をともなうため、このような場合、避難指示(緊急)に 自宅などを離れて避難することは望ましくない.住民の避難した時間を見てみると、図 2.1.2 に示すように、岩手県が取りまとめた避難所での避難者数が増加したのは 12 日 17 時 以降、13 日 6 時までの間で、夜間の住民避難が行われたことがわかる.

このような避難の遅れを受けて、今後の避難行動を改善するために岩手県では 2020 年 3 月に、県の地域防災計画に反映させることになった.



図 2.1.2 岩手県内の各市町村の避難者数

(第1回災害対策本部会議資料(岩手県),第2回災害対策本部会議資料(岩手県),台風1 9号の接近に伴う対応について(第2報)(宮古市)より引用)

(以上 文責 岩手大学 松林由里子)

2.2 岩手県沿岸部北部域

2.2.1 河川の被害状況

岩手県では,内陸,沿岸とも に内水氾濫や法面損壊などが起 こった. ここでは, 主に岩手県 沿岸の河川被害について述べ る. 久慈川水系では, 久慈川で 内水氾濫,小屋畑川・鳥谷川で 溢水が起こり、床上浸水が 262 戸,床下浸水が224 戸であった. 山田町の関口川、折笠川水系の 折笠川,馬指野川で溢水が起こ り,床下浸水が2戸であった. 野田村の宇部川水系の宇部川で 溢水・内水氾濫が起こり,秋田 川・明内川で内水氾濫が起こり, 床上浸水が13戸,床下浸水が82 戸であった の. 調査範囲につい ては図 2.2.1 に示す.



図 2.2.1 岩手県の河川(岩手県 河川の整備)

2.2.2 有家川における被害

a) 有家川の概要

有家川は, 岩手県九戸郡洋野町を流れる二級河川 である. 有家川洋野町北側から流れ, 河口から 13.2km 地点で南側から大野川の流入があり太平洋 に流れ出す. 指定延長は 16.8km で, 流域面積は 102.9km²である⁷⁾. 河口には有家漁港があり, さけ・ ます孵化場がある.



図 2.2.2 有家川の被害状況 (川の名前を調べる地図に 加筆)

b) 被害状況

洋野町大野では、台風 19 号の影響で、10 月 11 日午後 3 時から 13 日午前 11 時までの総 雨量が 308.5mm となり、観測史上最大を大幅に更新する雨量であった⁸⁾. この大雨で流域 の樹木が流木となり、土砂と同時に流出した(図2.2.2).

流れ出した流木は、一度太平洋に流れ出した後、台風が通り過ぎた時期がちょうど満潮 の時期であったため、また有家漁港のある河口に戻された可能性があると言うこと、有家川 から流出した流木だけではなく、有家川の南側約 2.4km にある高下川から流出した流木が 有家川河口に流された.可能性があること、この雨は鮭の遡上時期とも重なっていたため、 鮭の産卵にも影響が出ている可能性があることが漁業関係者への聞き取りで分かった.





(a) 有家川河口(Google Earth 画像に追加) (b) 有家駅北の線路盛土被害



(澤尻幸男氏提供)

(c) 10月13日6時のふ化場の様子 (d) 10月13日10時51分のふ化場の様子 (澤尻幸男氏提供)

図 2.2.3 有家川被害状況写真

有家川河口左岸側に建設されたシロザケのふ化場は(図 2.2.3(a))は,12 日深夜から13 日 早朝にかけて有家川左岸堤防の越流によって浸水した.図2.2.3(c)(d)は、有家川ふ化場場 長の澤尻幸男氏提供の写真で、親魚の畜養や稚魚の育成に使われる水槽が濁流に沈んでい る様子である.場内の作業小屋などの建物も床上浸水被害を受けた.水位が下がった後,ふ 化場には大量の土砂が残され、採卵のため畜養していた海産親魚は流出した.

また,有家漁港から北側約 350m の崖では土砂崩れが起こり,東日本旅客鉄道八戸線の 有家駅~陸中中野駅の一部区間の線路の復旧作業が行われている(図2.2.3 (b)).有家駅 の南側と北側の複数個所で,JR 八戸線の線路が被害を受け,東北エモーションなどで全国 から観光客を集める本路線は,12月1日に復旧した.

2.2.3 高家川における被害

a) 高家川の概要

高家川は, 岩手県九 戸郡洋野町を流れる二 級河川である. 指定延 長は 22.1km で, 流域面 積は 65.5km² である⁷⁾. 高家川河口より北側約 250m には高家漁港があ る.

b) 被害状況

2.2.2 でも述べた通
 り,洋野町では観測史
 上最大雨量を更新する
 大雨を記録した.



図 2.2.4 高家川の被害状況 (川の名前を調べる地図に加筆)

この雨により,流域から大量の土砂や流木が流れ出した.高家川河口には漁港などが無いため,施設への被害はなかった.しかし,河口には大量の土砂や流木が堆積していた(図 2.2.4(a),(b)).

2.2.4 小屋畑川における被害

a) 小屋畑川の概要

小屋畑川は, 岩手県久慈市を 流れる二級河川久慈川水系の 二次支川である.(図2.2.5)ま ず, 久慈川の一次支川である長 内川に流入した後に本川であ る久慈川に合流する.小屋畑川 の指定延長は5.5kmで, 流域面 積は8.2kmである^つ.また, 流 路のすぐそばには住宅や道路 が存在している.



図 2.2.5 久慈川水系河川の位置 国土地理院基盤地図情報の標高データ,国土交通省河川 データを使用



図 2.2.6 雨量と,長内橋(長内川)と長内小橋(小屋畑川,危機管理型水位計)の水位 (岩手県県北広域振興局土木部河川港湾課提供水位と気象庁 HP の雨量データ(久慈)を用いて作図

b) 被害状況

久慈市では,台風 19 号の影響で1時間雨量が 71mm,24時間雨量が 337.5mmを観測した.図 2.2.6に示すように,短時 間降雨がもっとも多い 時間帯は深夜で,深夜を 越えた時間帯に水位が もっとも高くなり,小屋 畑川の危機管理型水位 計では,長内小橋で氾濫 開始水位に迫る高さと なった.



図 2.2.7 小屋畑川における被害状況 1 (川の名前を調べる地図に加筆)

小屋畑川では,主に大量の土砂の流入と増水による道路,河岸等の破損の被害が多く生 じていた.

小屋畑川上流から土砂が流れ出し、河岸付近に砂が堆積していることが複数箇所確認された(図 2.2.7 (a) (b)).また、長内川合流地点より約 1.8km 上流の右岸側の民家裏の山

から土石流が流れ込んできた形跡が確認された(図2.2.7 (c)). 形跡が確認された場所から下流は粒径の大きな礫が転がっていたが,この場所から上流は均一な砂礫が確認された(図2.2.4 (d)).

河岸の破損については,上流から長内川との合流点まで多数確認された(図 2.2.8 (a)). 長内川との合流点から約 2.7km の地点では,この雨によって生じた洪水により破壊された と考えられるコンクリートブロックが転がっていた(図 2.2.8 (b)).この他に,この地点 では破壊された法面や崩落した崖もあった(図 2.2.8 (c)).

河道端の樹木の根本付近には、枝や枯れ草などが堆積していることが確認された(図 2.2.8 (d)). さらに河道の一部が浸食された痕跡が確認された(図2.2.8 (e)). また、左 岸側のアスファルトに土砂の堆積は見られなかったが、右岸側の道路や住宅には堆積が確 認できた.



図 2.2.8 小屋畑川における被害状況 2 (川の名前を調べる地図に加筆)

久慈川水系では、ほかに、久慈川河口直前で合流する夏井川の支川である鳥谷川周辺で、 河川からの越流による家屋の浸水被害、田畑の冠水被害が発生した. また、久慈川に合流 する澤川は、久慈市市街地を流れ、一部が道路の下に暗渠化されており、澤川周辺で内水氾 濫が発生し、家屋の床上浸水被害が発生した.

2.2.5 普代村における被害

a) 普代村の概要

岩手県北部に位置し、太平洋に面している.村内には普代川と茂市川が流れていて、村 を横断した後普代浜で太平洋に流れ出す.普代浜の600m上流には普代水門がある.

b) 被害状況

普代川河口から約 2.4km の左岸側の山から土石流が生じた跡が確認できた(図 2.2.9
(a)). 土砂は(図 2.2.9 (a))に示された林道の奥川から流出したと考えられる.この土石流の影響で,住宅にも被害が出ている.この土石流は,住宅と道路を流下した後に普代川に流入している(図 2.2.9 (b)).また,普代川では,流木が海に流出し,普代浜には回収された流木が積み重なっていた(図 2.2.6 (c)).



図 2.2.9 普代村における土石流の被害状況(川の名前を調べる地図に加筆)



図 2.2.10 普代村太田名部集落の沢沿いの被害の違い

普代村太田名部地区には、二本の沢に沿って道路と集落があるが、北側の道路沿いには 複数の砂防施設が建設されており、台風 19 号による土砂の流出などの被害はなかった. 一方、南側の沢沿いでは、図2.2.10の下の写真のように、複数の沢から土砂が流出し て、田畑の流出などの被害が発生している.また、図2.2.10の地図には載っていない が、南側の沢の上流や、大沢川沿いの普代ダムまでの区間にも、土石流の発生した痕跡が 見られた.

2.2.6 明戸川における被害

a) 明戸川の概要

明戸川は岩手県下閉伊郡田野畑村を流れる二級河川である.途中,右岸側から川平川の 流入があり,さらに左岸側からの流入がある.周辺に住宅地はなく,緩やかな平地部を流れ て太平洋に流れ出る.

b) 被害状況

河口から約 800m の地点において, 左岸側からの流入があるが, この地点の橋梁付近に 流木の堆積が見られ, 欄干にも流木が堆積していた(図 2.2.11 (a)). また, 橋梁の接地部 には地面の抉れた痕跡が見られた. 河口から約 900m 地点の左岸側ではアスファルトが陥没 している部分が見られた(図 2.2.11 (b)). アスファルトは道路側から河川側へ大きく移動 しており, 道路上には流木が残っていた. 河口から約 1.6km の地点の左岸側の民家付近では 土砂の堆積が見られた(図2.2.11 (c)). 土砂は民家とビニールハウス,畑に広く堆積していた.民家の裏には山と,奥に続く林道があるため,土砂はこの林道から流出したと考えられる.河口から約3.1kmの地点において,右岸の法面が破壊されていることが確認された(図2.2.11 (d)).地盤も大きく抉られていた.河口から約3.3km地点の左岸側の畑には新しく堆積したと考えられる粒径の小さい土砂が見られた(図2.2.11 (e)).土砂の堆積は畑の中にまで広がっており,広く浸水し,土砂が流れ込んだと考えられる.



図 2.2.11 明戸川における被害状況(川の名前を調べる地図に加筆)

2.2.7 机浜における被害

a) 机浜の概要

机浜には山間部から太平洋に流れ出す小河川が接続している.この地域にある,机浜番 屋群は建物群であり,「未来に残したい漁業漁村の歴史文化財産百選」に選定されている.

b) 被害状況

机浜では土石流の跡が未だに多く残っており、被害の大きさが確認できた.河口から約 250mの道路やガードレールには流木が残っていた.越流した痕跡があり、下流側のガード レールは押し流され、地盤は破壊されていた(図2.2.12 (a)).河口から約530mの道路下 の河道には大量の流木が道路上に届くほど積み重なっていた(図2.2.12 (b)).10m以上の 長い流木もあり、これらは直ぐ近くから流出したものと考えられる.この堆積場所の近くで は、流木や粒径の大きな礫が転がっており、さらに水が流れた痕跡があることから(図 2.2.12 (c))、河道を越えて水が溢れ出し下流側に流れ出したと考えられる.河口から約 730m地点の砂防ダムでは、両側の崖が崩れて土砂が流出した痕跡があった(図2.2.12 (d)). この砂防ダムに至るまでの崖にも同じように崩れた場所がいくつか見つかり、短い区間で 大量の土砂が流出したと考えられる.砂防ダム付近の上流の樹木は土砂によって根元が見 えない程の堆積があった(図2.2.12 (e)).砂防ダムは、頭頂部まで土砂が堆積していた. この砂防ダムは平成28年に完成したものであり、3年程でダム頭頂部まで土砂が堆積し、 なおかつ砂防ダム付近の樹木の根が埋まるほどの土砂が上流から流出していた.



図 2.2.12 机浜と河川における被害状況(川の名前を調べる地図に加筆)

2.2.8 白池海岸の河川における台風の被害

a) 白池海岸の概要

白池海岸は田野畑村の南部に位置する海岸である.海岸には沢からの水が流入しており,今年の台風 19号で土砂災害が起こった.

b) 被害状況

河口から約 750m 付近の右岸側の斜面で土石流が発生した痕跡を確認した(図 2.2.13 (a)). 土石流が通ったと考えられる場所には粒径の大きな礫や岩,流木などが転がっていた. 土石流が起こった沢の下流には粒径の大きい礫や岩,流木が河道や周辺の林に広く散乱し ており(図 2.2.13 (b), (c), (d)),斜面から一気に沢流入して広がったと考えられる.し かし,これより下流では流木や礫,岩の痕跡は無かったため,土石流が起こった付近の林で のみ被害は収まったと考えられる.



図 2.2.13 白池海岸と河川における土石流の状況(川の名前を調べる地図に加筆)

2.2.9 田野畑村浜岩泉における道路陥没

a) 浜岩泉の概要

田野畑村中心地は,海岸段丘上の平坦な場所にあり,西の北上山地から東へと流れる複数の河川による V 字谷が形成される.被害のあった浜岩泉の村道は,松前川の河谷の右岸側面を通る道路で,陥没箇所は,沢上を道路が通る場所である.

b) 被害の概要

田野畑村浜岩泉の村道で道路が陥没し,13日未明に岩泉町から田野畑村に向かって自 動車で走行中の男性が落下して死亡した.¹⁰⁾ 陥没した道路は,東北向きの沢を横断してい る.(図2.2.14)2020年2月に確認した際は,道路は仮復旧されており,道路南側(沢の上 流)で堆積土砂が崩れた跡と,下流側の陥没跡が残されていた.陥没箇所の西側側方斜面 には沢水を排水する横断管が残され,沢の中心線上ではなく,側方に排水されていたと考 えられる.陥没が発生した沢の東側にも沢があり,沢水を排水する横断管が設置されてい るが,沢の堆積物上には植生が見られ,1年以内の土砂の流出によって地形が変化した様 子は見られない.



図 2.2.14 田野畑村の道路陥没箇所(国土地理院地図に写真とコメントを追加)

2.2.10 島の沢集落の浸水被害

(a) 島の沢集落の概要

田野畑村の島の沢川の河口から約100m内陸にある主楽で、河口に水門が整備されている. 集落上流は、河谷地形の狭窄部で、ボックスカルバートと橋が整備されている. 集落は、幅150m程度の河谷地形の谷あいに形成され、多くの家屋が川の左岸側の平地に建てられており、川から地盤までの標高差が10m以内の住宅が多い.

(b) 被害の概要

島の沢集落で床上浸水被害が発生した.村役場に聞き取り調査を行った際,上流から流入する水が,左右岸の山地と水門に阻まれて排水不良になりやすい地形であることが指摘された.狭窄部より上流で,三陸鉄道の鉄道橋が島の沢川を越えているが,台風19号後には,スギなどの流木と土砂が河道に堆積して流れをせき止めており,川の右岸に沿って鉄道橋の下を通る作業道路のアンダーパスを河川水が流れていた(図2.2.15).周辺には流木が点在しており,島の沢川上流部で河岸侵食などによる流木発生があったと考えられる.



図 2.2.15 島の沢集落の被害と、鉄道橋周辺の流木堆積

謝辞

本報告書を作成するにあたって秋田大学理工学研究科システムデザイン工学専攻土木環 境工学コースの谷口隼也氏にご協力頂いた.ここに記し謝意を表す.

参考文献

- 国土交通省:令和元年台風 19 号による被害状況等について(10 月 26 日 9:00 現在), (2019 年 12 月 2 日アクセス)
- 2) 気象庁:令和元年度台風第 19 号とそれに伴う大雨などの特徴・要因について(速報), (2019年12月2日アクセス)
- 3) 気象庁:令和元年度台風第19号に関する情報第99号, (2019年12月2日アクセス)
- 4) 国土交通省:令和元年度台風第 19 号による被害状況について(10 月 14 日 9:00 現在), (2019 年 12 月 2 日アクセス)
- 5) 内閣府令和元年度台風第 19 号等に係わる被害状況等について(11 月 25 日 9:00 現在), (2019 年 12 月 2 日アクセス)
- 6) 国土交通省:令和元年度台風第19号による被害状況等について(第27報),(2019年12月2日アクセス)
- 7) 岩手県:岩手県久慈地域水調査書, 1994年3月, (2019年12月2日アクセス)
- 8) 盛岡地方気象台:岩手県災害時気象資料,2019年10月17日,(2019年12月2日アクセス)

- 9) JR 東日本盛岡支社「八戸線運転再開日について」 <u>https://www.jr-morioka.com/cgi-bin/pdf/press/pdf_1574397890_1.pdf</u>
- 10) 岩手県,いわて防災情報ポータル令和元年10月12日台風第19号接近に伴う対応状況, https://iwate.secure.force.com/PUB_VF_Detail_Docs_New, 2020年3月30日確認

(以上 文責 岩手大学 松林由里子, 秋田大学 渡辺一也)

2.3 岩手県沿岸部南部域

2.3.1 概要

令和元年台風第 19 号は、2019 年 10 月 6 日 3 時にマリアナ諸島の東海上で発生し、12 日 に日本に上陸した.関東甲信地方,静岡県,新潟県,東北地方にて、3 時間,6 時間,12 時 間,24 時間の降水量が観測史上1 位を更新するなど,記録的な大雨をもたらし¹⁾,気象庁は 半日で 13 都県での大雨特別警報を発表した.これは、3 日で 11 府県に発表された平成 30 年7月豪雨を超え、特別警報の運用を開始して以来最多の発表数となった.この記録的大雨 は、関東甲信地方,静岡県,新潟県,東北地方にて甚大な被害をもたらした.日本政府はこ の台風の被害に対し,激甚災害,特定非常災害(台風としては初)²⁾,大規模災害復興法の 非常災害(2 例目)³⁾の適用を行った.また、災害救助法適用自治体は 2019 年 11 月 1 日現 在で 14 都県の 390 市区町村であり、東日本大震災(東北地方太平洋沖地震)を超えて過去 最大の適用となった⁴⁾.100 箇所以上に上る堤防決壊や、土砂災害、および高潮災害が発生 し、北陸・関東・東北地方を中心に、死者・行方不明者 107 人,住宅被害約 10 万棟など(令 和 2 年 4 月 10 日時点)⁵⁾,極めて甚大な被害がもたらされた.岩手県では沿岸域にて大き な被害が発生し、高い短時間降水量による局所災害(流木を伴う土石流や内水氾濫)が多く の地点でみられ、特に暗渠や鉄道などの人工的な狭窄箇所が弱点となっていた.

近年日本では、地球温暖化に伴う大雨の激化が顕在化しており。、大規模な土石流の発 生に伴う流木流出や、内水氾濫が災害を拡大していることが注目される。例えば、2013年7 月山形豪雨、2014年広島土砂災害、2016年北海道・東北豪雨災害、2017年九州豪雨災害、 2018年西日本豪雨災害にて甚大な流木災害が発生したことは記憶に新しい。一般に大規模 な出水イベントでは、流れの及ぶ範囲と強度がともに大きいため、巻き込まれる流木量も必 然的に多くなる。今後、災害外力の増大によって、洪水や土石流等の大規模化が想定される ことが「ダム貯水池の流木対策等に関する検討会」(国土交通省)でも指摘されている⁷⁾. また、2018年7月西日本豪雨災害では、内水氾濫による浸水被害が西日本を中心に19都県 88市区町村で発生し、全国の浸水戸数(約2.9万戸)の内6割以上が内水被害(約1.9万戸) であった⁸⁾. 今次災害では、内水氾濫による浸水被害が東日本を中心に15都県140市区町 村で発生し、全国の浸水戸数(約4.7万戸)の内6割以上が内水被害(約3.0万戸)であっ た⁹⁾. IPCCの評価報告書¹⁰においても都市域における内水氾濫リスクは将来的に増加する とされている.

過去の水害において防災施設社会基盤は水害被害の防止や軽減に大きく貢献してきたも のの、今後の気候変動による影響などを考慮すると、これまで通りの防災施設社会基盤のま までは不十分であることが危惧されている.しかしその防災施設社会基盤の一律拡充には 膨大な費用がかかるので、農山村の森林管理と連携や、雨水管理総合計画等へ反映など、効 果的な流域総合治水が喫緊の課題である.そのためには、今次水害の実態をしっかりと把握 し、被害の原因を探ることが重要である.そこで本稿では、甚大な被害を受けた岩手県沿岸 南部域の水害の状況を報告し,発生メカニズムを考察する.

2.3.2 降雨の特徴

気象状況の詳細は2章を参照いただ くこととして,本稿では岩手県沿岸南部 域における降雨の特徴のみをまとめる. 図 2.3.1 に令和元年台風第 19 号の最大 1時間降水量,最大3時間降水量および 72時間総降水量を示す.72時間降水量 に関して,関東甲信地方,静岡県の地点 が顕著であり、これらの地点では、長く 雨が降ったことによる大量の降水が脆 弱地帯に集水し,破堤などを伴う大規模 氾濫 (外水氾濫)を引き起こしたことが 推察される.一方で東北地方は,72時間 降水量は他の地点に比べて少ないが、短 時間降水量が顕著であった.特に岩手県 沿岸域は,短時間降水量が顕著であった 地点が多くあり, 流木を伴う土石流や内 表 2.3.1 令和元年 台風第19号による土 砂災害発生件数¹¹⁾. 赤枠は東北地方を示 す.

都道	都道府県別発生件数								
宮城県	294件	東京都	23件						
福島県	138件	茨城県	15件						
岩手県	97件	山梨県	11件						
神奈川県	94件	山形県	3件						
群馬県	67件	千葉県	2件						
長野県	60件	青森県	1件						
新潟県	45件	秋田県	1件						
静岡県	44件	石川県	1件						
栃木県	36件	三重県	1件						
埼玉県	28件	和歌山県	1件						





や内 図2.3.2 Cバンドレーダに基づく累積雨量図.

水氾濫などの局所災害が多発したことが推察される.なお、宮城県丸森町は、短時間降水量 および 72 時間降水量ともに顕著であり、局所災害と大規模氾濫が発災し、甚大な被害をも

42N

ji	頁位	都道府県	市町村	1時間 隆水量(mm)	順位	都道府県	市町村	3時間 隆水量(mm)	順位	都道府県	市町村	降水量(mm)
	1	岩手県	下閉伊郡普代村	<u>95</u>	1	岩手県	下閉伊郡普代村	236.5	1	神奈川県	足柄下郡箱根町	1001.5
	2	岩手県	下閉伊郡岩泉町	93.5	2	岩手県	下閉伊郡岩泉町	224	2	静岡県	伊豆市	760
	3	神奈川県	足柄下郡箱根町	85	3	岩手県	宮古市	211.5	3	埼玉県	秩父市	687
	4	岩手県	宮古市	84.5	3	宮城県	伊具郡丸森町	211.5	4	東京都	西多摩郡檜原村	649
	5	神奈川県	足柄上郡山北町	81.5	3	神奈川県	足柄下郡箱根町	211.5	5	静岡県	静岡市葵区	631.5
	6	宮城県	伊具郡丸森町	80.5	6	岩手県	下閉伊郡山田町	186.5	6	神奈川県	相模原市緑区	631
	7	岩手県	下閉伊郡山田町	77.5	7	神奈川県	足柄上郡山北町	176	7	東京都	西多摩郡奥多摩町	610.5
	8	静岡県	静岡市葵区	75	8	静岡県	静岡市葵区	172	8	宮城県	伊具郡丸森町	607.5
	9	岩手県	久慈市	71	9	宮城県	仙台市宮城野区	170	9	埼玉県	比企郡ときがわ町	604.5
	10	栃木県	日光市	70.5	10	岩手県	久慈市	165	10	埼玉県	秩父市	593.5
	11	神奈川県	相模原市緑区	68.5	11	茨城県	北茨城市	164	11	静岡県	伊豆市	590.5
	12	宮城県	仙台市宮城野区	63.5	12	福島県	双葉郡川内村	161.5	12	静岡県	御殿場市	577
	12	東京都	西多摩郡檜原村	63.5	13	埼玉県	秩父市	154	13	山梨県	南巨摩郡南部町	562
	14	埼玉県	大里郡寄居町	62	14	栃木県	塩谷郡塩谷町	153.5	14	埼玉県	秩父市	545.5
	15	福島県	双葉郡川内村	60.5	14	神奈川県	相模原市緑区	153.5	15	神奈川県	足柄上郡山北町	542
	16	岩手県	釜石市	60	16	宮城県	伊具郡丸森町	152.5	16	栃木県	日光市	512.5
	16	宮城県	伊具郡丸森町	60	17	岩手県	釜石市	147.5	17	山梨県	上野原市	504
	16	茨城県	北茨城市	60	18	栃木県	日光市	146.5	18	群馬県	甘楽郡下仁田町	496.5
	19	宮城県	牡鹿郡女川町	59	19	宮城県	岩沼市	144.5	19	埼玉県	大里郡寄居町	488
	19	埼玉県	秩父市	59	20	栃木県	佐野市	142.5	20	茨城県	北茨城市	479

図 2.3.1 令和元年台風 19 号の各最大降水量¹⁾.影付きは東北地方を示す.

(右:1時間降水量,中:3時間降水量,左:72時間総降水量)
たらしたことが推察される.表 2.3.1 に令和元年台風第 19 号による土砂災害発生件数を示 す.東北地方は特に顕著で,局所災害が多く発災したことが確認された.

図 2.3.2 に C バンドレーダに基づく累積雨量図を示す. 岩手県沿岸域においては, 累積 雨量は 200-350 mm で他の地域と同じくらいであるが, 岩手県沿岸域の降水は 10 月 12 日夜 から 10 月 13 日朝という短い期間に台風が通過したことより, 短時間豪雨による災害が多 発したことが推察される.

2.3.3 岩手県普代村

(1) 調査地点および被害概要

図2.3.3に調査地点,図2.3.4に調査地の 被害状況を示す.歴代最大1時間降水量を記 録し,多くの家屋が土石流と内水氾濫の被害 を受け,外水氾濫が発生した箇所もあった.



図 2.3.3 調査地点および水位観測の場所



図 2.3.4 調査地の被害状況. 緑箇所は浸水領域, 赤矢印は確認された土石流または鉄 砲水の流下方向を示す. 丸数字は図-3.1.5の丸数字と同じ箇所を示す.

(2) 水位・降雨状況

図2.3.5に普代川の水位(観測場 所:図2.3.3)と雨量を示す.10月12 日の夜から降り始めた雨は,深夜に かけて強さを増し,13日の1時に最 大1時間降雨量91.5mmの雨を記録し た.また48時間累加雨量は467mmで あった.

水位に関しては,雨に伴い12日の 22時頃から急激に上昇し,13日2時 には堤防高の2.78mまで上昇した. 河川水位が高く内水の排水に問題 が生じたことが推察される.

(3) 調査結果

図 2.3.6 に普代村の推定浸水域を 示す.浸水した地域において,床下浸 水の始まった時刻は 10 月 12 日午後 11:00 頃であり,午前 0:00 頃に腰のあ たり,10 月 13 日午前 2:00 頃に一気 に水深が上昇した.側溝から水が河 川から逆流したという証言もあっ た.この地区で浸水があったのは過 去 40 年間で4 回であった.

浸水域の上流部は,今次台風で崩 壊した斜面と堆積した流木が複数箇





図 2.3.6 普代川の推定浸水域



確認された危険箇所. 丸数字は図 2.3.4 の丸数字と同じ箇所を示す. 左図:①上流部の様子.

所で散見された. 土石流は, 土砂災害危険箇所と指定されていた箇所¹³⁾で多く発生していた. 流木は沢など狭窄部や砂防堰堤で捕捉されていた.

2.3.4 岩手県岩泉町

(1) 調査地点および被害概要

図2.3.8に調査地点を示す.小本地区 の被害として,住宅約20棟が床上・床下 浸水の被害を受けたと報告されている ¹⁵⁾.本調査では土石流が観測された中 野地区および中島地区を調査した.

(2) 水位・降雨状況

図2.3.9に小本川の水位(観測場所: 図2.3.8)と雨量(岩泉地区)¹²⁾を示す. 雨量に関して,小本川上流の岩泉地区 では累積雨量は200mmであったが,下 流の小本地区では累積雨量は450mm, 最大1時間降雨量は約4.5倍の91mm/hで



図2.3.8 調査地点および水位観測所の場所



写真2.3.1 小本地区の浸水被害状況¹⁴⁾

あった.これにより、小本地区に斜面崩壊や土石流、内水氾濫の被害が集中したと考えられる.





図2.3.9 小本川の水位(袰野赤鹿)・雨量 (岩泉)¹²⁾



累積雨量15)

(3) 調査結果

① 中野地区

中野地区では土石流の発生を 確認した.住民の話によると, 13日1時頃に土石流が沢を流下 したという.土石流の石礫が民 家前にある勾配の緩やかな場所 で堆積していることが確認され た.また土石流の一部は下流の 道路まで流下していた.この土 石流による人的な被害は生じて いない.



図2.3.11 中野地区の被害状況図

2 中島地区

中島地区では、土石流と小水路からの氾濫を確認した.土石流は沢を流下し、下流の小水路に流入していた.土石流の一部は、沢に建設された砂防堰堤で捕捉されていた.住民の話によると、この砂防堰堤が昭和50年に築堤されてから、土石流による被害は減少したという.

沢下流の道路や田んぼでは、石礫、泥や流木の堆積を確認した.したがって、大量の水や 土砂が山地から流出し、沢下流に位置する小水路から氾濫が発生したと考えられる.



図2.3.12 中島地区の被害状況図



図2.3.13 中島地区の推定浸水域

2.3.5 岩手県宮古市津軽石地区

(1) 調査地点および被害概要

岩手県宮古市津軽石川周辺(図2.3.14)にお いて台風19号による被害の調査を行った.三陸 鉄道リアス線の津軽石駅周辺では、広い範囲にお いて冠水し、多くの住宅が浸水の被害を受けた.

(2) 水位・降雨状況

図2.3.15の上図に豊間根における時間雨量と 累加雨量,下図に新町における水位を示す. 台 風 19 号の影響により 10 月 12 日の日中から降り 始めた雨は,深夜にかけて強さを増し,13 日の1 時に 40mm の雨を記録した.また累加雨量は 260mm であった.

水位に関しては,雨に伴い 12 日の 23 時頃か ら急激に上昇し,13 日 3 時には最高水位である 5m まで上昇した.しかしこの水位は堤防高より も低く,水位の観測データからは河川からの外水 の氾濫は無かったことが分かる.



図 2.3.14 調査地点および水位観測所の場所



図 2.3.15 津軽石川における降雨量及び水位 12)

(3) 調査結果

浸水した地域において、津軽石川に流入する沢を幾つか確認した(写真 2.3.2).また、 浸水範囲の下流側には内水の排水機場(写真 2.3.3)があった.住民への聞き取りにより、 今回の降雨時も13日の1時頃から稼動していた事が分かった.今次は、このポンプの能力 を超える内水が流れ込んだために浸水が広がったと考えられる.



写真 2.3.2 津軽石川に注ぐ沢



写真 2.3.3 大森川救急内水排水機場



写真 2.3.4 護岸の決壊箇所



写真2.3.6 三陸鉄道の鉄道橋



写真2.3.5 道路の洗掘の様子



写真2.3.7 上流部の土石流の様子

また,排水機場から離れた地域においては,津軽石川へ流入する沢が溢れたことによる と考えられる.実際に沢の護岸が決壊した箇所も確認した(写真 2.3.4).住民からの聞き 取りにより,この沢は13日の0時頃に溢れたことが分かっている.周囲の家屋においても 浸水が発生し,13日の3時頃に浸水深が最も深くなった.この沢の上流部では,土石流に よる道路の洗掘も確認でき(写真 2.3.5),流量が多かったことが分かる.

また,他の沢においても氾濫が発生した.**写真 2.3.6** に線路がボトルネックとなって流 木が堆積したと推測できる写真を示す.この沢においても堆積した流木により流路がつま り,氾濫が発生した.

このように、この地域は水門が閉鎖した後にポンプの処理能力以上の内水が流れ込んだ 事による内水氾濫と地区内の沢において狭窄部で堰きあがり発生した外水氾濫の 2 つの事 象が重なったことにより被害が大きくなったと考えられる.一方、沢の上流部において水田 に多くの土石流が堆積した場所を確認した(写真 2.3.7).この様な場所が土石流を補足す ることにより、下流域の被害を軽減しているものと考えられる.

2.3.6 岩手県山田町

(1) 調査地点および被害概要

図2.3.16 に調査地点を示す.大浦地 区および田の浜地区では、山地から土 石流が発生し、河川の暗渠箇所が土砂・ 流木によって閉塞され、流水や土石流 が道路部に溢れた.さらに、その洪水氾 濫が低地に集約して内水氾濫が生じ た.また、三陸鉄道リアス線の岩手船越 ~浪板海岸の間で鉄道盛土が崩壊し た.

(2) 降雨状況

図2.3.17に山田町における1時間降 水量と累積雨量を示す.最大1時間降 雨量77.0 mm/hの短時間豪雨を記録し ており,斜面崩壊や流木を伴う土石流 が発生し,浸水被害が発生したと考え られる.







図 2.3.17 山田町の1時間降雨量と累積降雨量¹⁵⁾

(3) 調査結果

① 山田町大浦地区

浸水被害と土石流によ る被害を確認した.沢は 住宅集合地より暗渠にな っており,暗渠の上には 道路が建設されている. 暗渠入口に土砂や流木が 詰まったことで水が溢れ て,浸水被害が発生した と考えられる.この地区 に80年住んでいる住民に よると,津波を除いて浸 水被害が発生したのは初



図 2.3.18 大浦地区での被害状況図

めてだという.また住民への聞 き取り調査から,床上80 cmの 浸水が生じたことがわかった. この暗渠は約30年前に建設さ れたと聞き取った.さらに暗渠 の上に建設された道路上を土石 流が流下したことで道路が破壊 されていた.最下流部では津波 堤防と暗渠内に堆積した土砂に よって堰き止められた水が溢れ 出ており,浸水深が深くなった.

図 2.3.19 大浦地区での推定浸水域

② 山田町田の浜地区

山地から土石流が発生し,沢の暗 渠箇所が土砂・流木によって閉塞さ れ,流水や土石流が道路部に溢れた. さらに,その洪水氾濫が低地に集約 して内水氾濫が生じた.また,内水氾 濫が津波堤防にて堰止まり,浸水深 が深くなった.

山田町役場にて,街を流れていた 沢(女川)が暗渠化され,10年確率 降雨強度で設計されていることを聞 き取った.また,住民や復旧工事をし ていた作業員の聞き取りでは,下流 の街に巨石はほとんど来なかったと のことであった.河川上流部には砂 防堰堤はなかったが,流木天然ダム が形成されており(図2.3.21),流 木や土石流を塞き止めたことが推察 された.







図 2.3.21 女川上流の状況

2.3.7 岩手県釜石市

(1) 調査地点および被害概要

図 3.2.22 に調査地点を示す. 調査は浸水被 害,土砂災害が発生した地点(大町地区,尾崎 白浜地区,佐須地区)において実施した.

釜石市の市街地である大町地区にて浸水被 害が発生した原因として,排水機場につながる 水路に土砂や流木が流れ込み大量の水が排水 機場に運ばれなかったことが挙げられる.近隣 住民の話によると,浸水深は30cm程度であり, 10月13日早朝4:00~7:00の時間帯で浸水して いたという.

尾崎白浜地区, 佐須地区においては, 大雨 により斜面崩壊や土石流が発生し, 両地区に向 かうための道路が寸断された.これによって2 集落計133世帯, 348人は孤立状態であった. また2地区ともに全戸断水であり, 自衛隊によ る給水支援が行われた.大雨により, 大量の水 が沢から流出し浸水被害が発生した^{17,18)}.

(2) 降雨状況

釜石市では累積降雨量 334mm,最大1時間
 降雨量 55.5mm/h を観測した.累積降
 雨量が少なかったため,1級河川およ
 び2級河川の氾濫はなかったが,短時
 間豪雨により,斜面崩壊,土石流等の
 土砂災害,沢から大量の水が下流に流
 出して浸水被害が発生したと考えら

(3) 調査結果

れる.

① 大町地区

排水機場に繋がる水路で土砂・流木詰まり浸水被害が発生した大町地区で調査を行った.



図 2.3.22 調査地点



写真2.3.8 大町地区の浸水被害状況¹⁶⁾







排水機場の周辺の水路を見る と、上流の沢から流出した土砂が 堆積していることが確認された. さらに、道路脇に土砂を排除した 跡が見られたことから、水路に土 砂が詰まり、沢から流出した水を 排水機場に流せずに排出できな かったため、浸水被害が発生した と考えられる.また暗渠内を土石 流が通過し、暗渠の蓋が破壊され ていることが確認された.

また,市街地周辺を流れる甲子 川(2級河川)の台風通過時のピ ーク水位は堤防高を超えていな かったため,甲子川からの氾濫は なかったことが分かった.

2 尾崎白浜地区

道路が寸断され孤立状態であ った尾崎白浜地区において調査 を行った.この地区を流れる沢の 最下流部に暗渠があり,暗渠の入 口と出口には大量の土砂が溜ま っていることを確認した. さらに 暗渠入口の上流に大量の土砂が 堆積していた. したがって, この 箇所で土砂が沢からの流水を塞 き止めて水が溢れて浸水被害が 発生したと考えられる.この地区 での痕跡水深は 2.3m であった. 泥水の圧力によって窓ガラスが 破壊されていた.またこの沢の上 流では土石流によって, 道路が破 壊されていることを確認した.こ の道路の下部に暗渠が設置され ていたが,この暗渠が破壊され,



図 2.3.24 大町地区での被害状況図



図 2.3.26 甲子川の水位・水位¹²⁾

上部の道路も破壊されたと推察される.

③ 佐須地区

道路が寸断され孤立状態であった佐須地区において調査を行った.この場所でも沢の上 流に暗渠があり、この入口で土砂・流木が詰まったことで浸水被害が発生したと考えられる. またこの暗渠の下流部では道路・家屋の損壊や洗堀の被害が見られたことから, 暗渠入口で 塞き止められて流れなくなった大量の水と土砂が道路を流下したと推察される.最下流部 では土石流が広がって堆積をしており,植樹帯の一部が土砂に覆われていた.





図 2.3.28 尾崎白浜地区での推定浸水域



流れなくなった

流水や土砂が道路を流下し. 多くの箇所で洗堀が見られた

3000 【引用】地理院地図

A

図 2.3.30 佐須地区の推定浸水域

2.3.8 まとめ

岩手県沿岸南部域を対象に, 普代村, 岩泉町小本地区, 宮古市津軽石地区, 山田町船越地 区, 山田町大浦地区, 山田町田の浜地区, 釜石市大町, 釜石市尾崎白浜地区, 釜石市佐須地 区にて水害実態調査を実施した. 以下に, 共通した発災メカニズムをまとめる.

- 近年の局所災害と同じく、特に暗渠箇所や道路・鉄道などの人工的狭窄箇所に流木や土 石流が堰止まり洪水を生じた.それら洪水が低地に集約して内水氾濫が生じた.防潮堤 でも同様な現象が見られた.
- 2) 降水規模は、気候変動の影響などにより、暗渠箇所の設計時の降水規模より大きいこと が想定される、今後どの街でも同じメカニズムの災害が起こりうる可能性が示唆される.
- 3) なお、人工的狭窄箇所は今次災害では土石流や流木が堰き止めたことより減災効果があったものの、本来の役割ではないことより、砂防堰堤や流木止工など、そうした機能をもつ防災減災施設の導入が必要である。

共通するメカニズムは、一般的な発災メカニズムと考えられることより、今後研究を進めることが重要であると考える.

謝辞

本調査は、土木学会水工学委員会水害対策小委員会、河川財団(2019-5112-002)、ネクス コ・エンジニアリング東北との共同研究の支援により実施された.また、現地調査では、東 北大学大学院環境科学研究科 市塲昭裕、東北大学大学院工学研究科 山田慶太郎、中央大 学大学院理工学研究科 合田明弘に支援を受けた.ここに謝意を表する.

参考文献

1) 気象庁:台風19号による大雨,暴風2019.

https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html

- 内閣府:特定非常災害の被害者の権利利益の保全等を図るための特別措置に関する法律, 2019. http://www.bousai.go.jp/taisaku/hourei/tokubetsu_houritsu.html
- 3) 内閣府:大規模災害からの復興に関する法律,2019. http://www.bousai.go.jp/taisaku/minaoshi/housei_minaoshi.html
- 4) 内閣府:令和元年台風第 19 号に伴う災害にかかる災害救助法の適用について【第 13 報】
 (訂正版),2019. http://www.bousai.go.jp/pdf/t19tekiyou_13.pdf
- 5) 内閣府:令和元年台風第19号に係る被害状況等について(令和2年4月10日9時現在版),
 2020. http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_45.pdf

- 6) 気象庁:気候変動監視レポート,2008.
- 7) 国土交通省:ダム貯水池流木対策の手引き(案),2017.
 https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/dam7/pdf/damtyosuichiryubokutaisakutebikiH30.pdf
- 8) 国土交通省:平成 30 年 7 月豪雨を踏まえた都市浸水対策の推進について(提言), 2018. https://www.mlit.go.jp/common/001264661.pdf
- 9) 国土交通省:気候変動を踏まえた都市浸水対策に関する検討会, 2019. http://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000659.html
- IPCC-Intergovernmental Panel on Climate Change, Climate Change, the Fifth Assessment Report (AR5) WG2-Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability, 2014.
- 国土交通省:令和元年台風 19 号による土砂災害概要(令和元年 11 月 29 日時点), 2019. http://www.mlit.go.jp/river/sabo//jirei/r1dosha/r1typhoon19_gaiyou191129r.pdf
- 12) 岩手県河川情報システム http://kasen.pref.iwate.jp/iwate/servlet/Gamen30Servlet
- 13) 岩手県土砂災害危険箇所図

https://www.pref.iwate.jp/kendozukuri/kasensabou/sabou/1009990.html

- 14) NHK NEWS WEB「岩手 3年前に台風被害の岩泉町 住宅で浸水被害」
- 15) 気象庁アメダス https://www.jma.go.jp/jp/amedas/
- 16) NHK NEWS WEB: NHK NEWS WEB「新型排水ポンプ場整備も水路に土砂や流木 浸水拡大 岩手釜石」 https://www3.nhk.or.jp/news/html/20191018/k10012138941000.html
- 17) FNN PRIME:「孤立状態続く岩手・釜石佐須地区 台風19号の大きな被害 断水も続く」 https://www.fnn.jp/posts/2019101400000003MIT/201910141818_MIT_MIT
- 18) 岩手日報「孤立集落,泥覆う ルポ・釜石の尾崎白浜地区」 <u>https://www.iwate-np.co.jp/article/2019/10/15/66298</u>

(以上 文責 東北大学 小森 大輔)

2.4 岩手県の避難行動, 複合災害関連

2.4.1 岩手県釜石市唐丹町本郷地区における避難行動について

(1) 釜石市の台風到達時の気象概況および被害と住民の避難状況

岩手県釜石市では、11日21時~13日5時にかけて最大降雨量331mm(アメダス釜石観 測局)、13日0時~1時にかけて1時間最大雨量56mm、4時40分に最大瞬間風速、28.6m/sを観測した.

主な市内の被害は重軽傷者4名,住家・店舗・物置きを含む建物において床上浸水101件, 床下浸水161件の被害が生じた.その他の被害として市道・県道の被害,河川の土砂堆積や 護岸損壊,農林水産施設の浸水・土砂被害,断水,学校校舎への雨水流入などの被害がみら れた.

住民の避難は10月12日13:00の市内12か所への避難所開設時から始まり,徐々に避難 者数が増えていった.市の記録では10月13日6:00の避難者数がピークとなっており,臨 時開設された避難所1か所を加えた13か所の避難所に528世帯合計1,110人の避難者が生 じた.また,福祉避難所も3か所で設置された.

(2) 釜石唐丹町本郷地区の概要

釜石市唐丹町本郷地区は市の沿岸南部,尾崎半島の南側,唐丹湾奥に位置している.過去, 明治,昭和三陸津波,東日本大震災の津波により大きな被害を被ってきた地域である.昭和 三陸津波後には集落全体を高台に移転している.東日本大震災の際には、ほとんどの住民が 率先した高台への避難をしており、一名を除いて地区内での犠牲者を出さなかった。台風当 時、10月時点では本郷地区には121世帯が生活していた。



図 2.4.1 釜石市唐丹町本郷の位置(国土地理院地理院地図に加筆)

(3) 避難の状況

図 2.4.2 は本郷地区で避難行動を取った世帯へのヒアリングをもとに避難した時間帯を 整理したものである.「1・14 時~(避難所開設後)」は、釜石市から 13 時に「避難準備・ 高齢者等避難開始(警戒レベル 3)」が発表され、避難所も開設された後の時間帯に避難を 開始したグループで全体の 48%を占めた.「2・15 時~(レベル 3→4)」は、14:30 に「避難 勧告(警戒レベル 4)」が発表され後に避難を開始したグループで4%が該当した.「3・17 時~(日没)」は、日没後の暗くなってからの時間帯に避難行動を取ったグループで 9%で あった.「4・22 時過ぎ(強雨下)」は時間降水量も 20mm を超えた段階で避難を開始したグ ループで 39%が該当した.



図 2.4.2 避難行動をとった時間帯

避難のタイミングを尋ねる際に,併せて避難を始めた理由やきっかけについても質問し たところ,表2.4.1のような回答が得られた.これを見ると,「1・14 時~(避難所開設後)」 ~「3・17 時~(日没)」までのタイミングでは,「町内会のよびかけ」や「警報レベルが上 がったから」などの防災情報に基づく判断と「小さい子供や妊娠中の家族がいたので早めに 避難した」,「年齢が高齢なので迷惑かけたくない」など,避難者の属性を考慮した事前避難 が行われていたことがわかる.一方,「4・22 時過ぎ(強雨下)」のタイミングでは「家の近 くの川があふれそうになっていたから」,「外から石が動く「ゴロゴロ」という音が聞こえて きたから」,「(災害発生のため)消防団が避難の誘導に来たから」などの理由が挙げられて おり,災害の前兆現象が起きている,あるいはすでに災害の発生を認識して避難を開始して いた.

<u>1.14時~(避難所開設後)に避難</u>
・台風の規模を考慮して(いままでにないような警報だから避難した)
・体が不自由な家族がいるから早めに避難した
・小さい子どもや妊娠中の家族がいたので早めに避難した
・暗くなる前に避難したかった、 ・避難の呼びかけ(放送があったから)
・避難所まで車で連れて行ってもらった
<u>2.15時~(レベル 3→4)</u> <u>3.17時~(日没)</u>
・町内会の避難の呼びかけ、・年齢が高齢なので迷惑かけたくない
・警報レベルが上がったから ・家族が帰ってくるのを待ってから避難した,
<u>4.22時~(強雨下)</u>
・家の近くの川があふれそうになっていたから
・外から石が動く「ゴロゴロ」という音が聞こえてきたから
・消防団が避難の誘導に来たから

表 2.4.1 避難を始めたきっかけ・理由

(4) 避難先と災害発生の状況

本郷地区では、水害・土砂災害に対応した避難所が地区内になく、隣接する小白浜地区に ある唐丹小中学校に指定されている。今回、唐丹小中学校には13日6時時点で本郷地区以 外からの避難者も含め80名が避難していたが、12日の最終の避難者数は22時時点の50名 であったことから、22時以降の強雨下においても30名の住民が避難していたことがわか る。しかしながら、12日の22時以降は13日の1時をピークに時間雨量が急激に増える時 間帯であり、浸水や土砂災害等、災害の発生が懸念される状況であった(図2.4.3).



図 2.4.3 台風 19の降水量と防災・避難行動

図2.4.4は、今回の台風で被害を生じた箇所の一部を示したものである. 22 時以降の雨量 が増加してから本郷地区での土砂災害や道路冠水、主要な道路である国道45 号線での土砂 流出、避難所である唐丹小中学校前の道路の浸水などの災害が発生している. そのため、図 2.4.5 に示す通り、22 時以降に本郷地区から小白浜地区の唐丹小中学校へ避難しようとし た避難者の一部は、道路の浸水や土砂流出などに阻まれて避難所へ辿り着くことができな かった.また、本郷地区の低地の一部でも道路の冠水が始まっており、これら一度避難をし ようとした住民は、地区内にも戻ることができない状況で、比較的安全と思われる標高の高 い国道45 号線寄りの県道上に集まって車中避難を余儀なくされていた.この時、本郷地区 の消防団も消防屯所で浸水のおそれが生じたため上記の県道上で車中待機しており、その 際にみられた車中避難の車両台数は少なく見積もっても十数台に上っていたということで ある.

唐丹町本郷地区では、雨の強くなる前の段階から避難所の開設と住民の避難が行われて いたものの、一部では、雨が強くなってから、さらには深夜の災害が発生した状況での避難 行動も発生しており、一部の避難者は浸水等に阻まれて避難所にたどりつけないケースが みられた.今回、このように多少なりとも被災の危険性を含む避難行動が生じたことを振り 返り、次回以降の風水害時に適切な避難行動を促す方策の検討が必要であると考える.



図 2.4.4 本郷地区の被害発生状況(国土地理院航空写真に加筆)



図 2.4.5 本郷地区の避難状況(国土地理院航空写真に加筆)

謝辞:本報告にかかる資料収集やヒアリングにおいて,唐丹町内会役員および釜石市唐丹地 区生活改善センターのスタッフの方々,本郷地区住民の皆さんにご協力頂きました.ここに 記して,謝意を表します.

参考資料

釜石市: 令和元年台風 19 号にともなう災害に係る被害状況等について(令和元年 12 月 6 日 記者会見資料)

釜石市: 令和元年台風第19号被害状況などをお知らせします(令和元年11月号広報かまいし)

2.4.2 宮古市田老における防災対応について

岩手県宮古市では,24時間最大降雨量 393mm,13 日1時に時間最大雨量 84.5mm を観測 し、いずれも観測史上最大を記録した.

主な市内の被害は土砂崩れによる死亡1名,住家・非住家を含む建物においては全壊から 床下浸水までを含めると2,000棟を超える被害が生じた.また,国道・県道の被害,停電, 断水,鉄道路線の被害が生じた.こうした被害を受け,宮古市内では重茂半島など沿岸部を 中心に4か所の孤立地域が発生した.住民の避難では市内51か所に避難所が開設され,13 日1時に市内全体の避難者数が最大の1,516名となった.

(1) 宮古市田老地区の概要

宮古市田老地区は、市の北部に位置する旧田老町の中心部にあたる.前項の釜石市唐丹町 本郷地区と同様、明治、昭和三陸津波、東日本大震災の津波により大きな被害を被ってきた 地域である.東日本大震災後には、地区全体と道路の嵩上げ、防潮堤の再整備、復興公営住 宅および高台への新たな住宅地の整備等を組合わせた復興事業が進められた.地区内の河 川状況としては北側から長内川、荒谷(ありや)川(下流部は赤沼川)、田ノ沢川、神田川 と神田川を支川とする田代川が流れ込んでおり、神田川と田代川は2級河川となっている. 台風当時の令和元年10月時点で田老全体では1,317世帯が居住していた.

(2) 災害の発生状況と消防団の対応

田老地区では,12日の日中から消防団により田老町漁協や道の駅裏の鮭の番屋,田老駐 在所に土嚢積みの水防対応が行われた.宮古市は降雨が激しくなる前の12日15時に避難 準備・高齢者等避難開始(警戒レベル3)を市内全域に発表しており,田老地区でも避難所 が開設された.避難の呼びかけは防災行政無線の放送によって行われた.21時過ぎから降 水量が10mmを超えはじめる中,消防団は分団ごとに屯所または自宅での待機状況となって いた.

降雨は翌13日1時にピークを迎えるまで強くなり続け,22時過ぎには田老地区の南側の 小林で住宅敷地内の浸水が生じた.これには消防団があらかじめ過去の経験から配置して いた消防ポンプ車による排水を開始したが、0時過ぎに排水活動を断念している.23時過ぎ からは、図2.4.6および表2.4.1に示す通り、地区内各所や周辺で冠水や氾濫、土砂災害が 相次いで発生している.13日0時以降には田老総合支所周辺など地区中心部を管轄する第 28分団では分団屯所に浸水のおそれが生じたため、急遽車両の避難を行うとともに団員待 機所を田老総合事務所に変更するなどの対応を行った.また田老地区では、13日3時過ぎ に中心部で国道45号線の冠水により地区内でも南北に行き来することができなくなったほ か、宮古方面(田老第3トンネル、松月付近)と岩泉方面(水沢、新田、摂待付近)をつな ぐ国道45号線でも土砂の流出や道路地盤の崩落等で通行規制が生じており一時、孤立に近 い状況となっていた.

日・時	気象情報・避難情報	災害発生状況および消防団対応
12日	警戒レベル3 避難準	日中の段階で田老町漁協、鮭の番屋前、田老駐在
15:00	備·高齢者等避難開始	所に土嚢を設置
17:00	警戒レベル4	
10.46		20.00- 十五数却改主に上り逃吐国昌往桃 (八回ご
19:46	入时警報	20:00~人雨警報免表により消防団員待機(分団ことに屯所もしくは自宅)
21:20	土砂災害警戒情報	
21:26	洪水警報 (気象庁)	
22:00		浸 水:小林付近の浸水箇所で排水活動①①
23:15		通行止:田老道の駅裏側、鮭の番屋前道路①
		冠 水:小林付近で排水作業継続①
		氾 濫:赤沼川氾濫情報
23:00 頃		河川情報:神田川・田代川は氾濫等なし
		田ノ沢川危険な状態
		要請: 常備消防より田ノ沢の住氏避難補助要
12 🗖		前, (28分団 6名で対応) (12)
13 日		川川情報:亦沿川 厄陝な状態
: 0:00		心 水 : 追り駅(日販機則) 心水帷部②
		地 班 : 28 万凹电別11辺も皮小りわてれいめ 加 東西な11 時後 国島住地部大級人
		リ、甲門を返衄後、凹貝付機別を総合 車致正に本軍の
0.20 頃		一上砂災室・小林付近の住宅車山で土砂溢出の
0.20 -		2. ※ ・ 蓋谷川・赤沼川氾濫
0:30	記録的短時間	河川情報:長内川氾濫注意の情報(残り 50cm で
	大雨情報	冠水のおそれ,3時頃に大潮の潮位
		に.)→救命胴衣着用のうえ複数人活
0:40	大雨特別警報	動の旨, 団員に指示③
1:00	警戒レベル5	避難行動:災害公営住宅1階住民に上階への避難
		誘導(垂直避難)④
3:50		冠水:国道 45 号線道の駅から野球場付近まで
		冠水のため移動困難(②の範囲が拡
		大)
5:00		冠水の解消を確認

表 2.4.2 田老地区における災害発生状況および消防団の対応

※対応欄の番号は,図 2.4.6 中の番号に対応



図 2.4.6 田老地区の災害発生と防災対応状況(国土地理院 地理院地図に加筆)

(3) 田老地区の住民避難状況

田老地区でも表2.4.2 に示す①~③の3 か所(旧田老町では全部で4 か所)の避難所が開設 され、夕方から住民が避難を開始している.なかでも③の三王地区自治会研修センターには国道 45 号線を挟んで西側に位置する荒谷・ケラス周辺の住民が避難しており、13日0時過ぎに荒谷川 の氾濫で生じた浸水被害をまぬがれている.避難対応では、消防団が田老小学校周辺の田ノ沢 で自力での避難が困難な世帯からの要請を受け避難補助を行ったほか、荒谷でも土砂が住家に 流入した世帯からの救助要請があり、消防隊員による救助活動が行われた.また、降雨がピークを 迎え警戒レベル5となった13日1時の時点で、災害公営住宅1階住民を対象に上階への避難 誘導を行っている.避難者数の推移については表2.4.3をみると13日1時から6時の間にも避 難者数が増加していることから、強雨下でも住民の避難行動が続いていたと推察される.最終的に、 田老全体の避難者推移は表2.4.3に示すとおり13日6時点で最大の148人となっており、そ の後14日早朝までには全員が帰宅している.

	12 日 16:00	18:00	20:00	22:00	13 日 1:00	6:00
①総合事務所	0	1	8	8		
②宮古北高校	5	15	19	21		
③三王自治会	0	15	15	14	114	148
グリンピア三陸宮古	3	40	60	66		
合計	8	71	102	109		

表 2.4.3 田老における避難住民数の推移

(4) 一時的な孤立状況の解消

田老地区で一時的な孤立状況の原因となった中心部の冠水等は,13日5時の時点で解消 が確認され,その後,消防団や各世帯で片付け,復旧作業が進められることとなった.また, 田老地区と宮古,岩泉方面をつなぐ国道45号線の規制については北側の水沢地内の規制箇 所は16日に,南側の崎山地内の第3トンネルの規制箇所は21日にそれぞれ解除された.

田老地区では、一時的、限定的ではあるが地区中心部の冠水による地区の分断・孤立と、 他地区との主要道路の被害による孤立が二重で生じていた.幸い、住民の避難行動や消防団 による防災対応がある程度、先行して行われていたため犠牲者は生じなかったが、一部では 自力での避難困難者や土砂により被災した世帯からの避難補助(救助)の要請案件も生じて いる.仮に、今後もこのような冠水等による地区内の分断、避難の見送りによる孤立、さら には土砂災害の発生・救助案件が重なる場合には、救助対応の困難さだけでなく、常備消防 および消防団員の活動危険性も増すと考えられる.今回、このような地区内の分断・孤立や 土砂災害による救助案件が生じたことを振り返り、次回以降の風水害時に適時に適切な住 民の避難行動を促すための検討が必要であると考える.

謝辞:本報告に係る資料収集,現地調査にあたり宮古市消防団本団付分団長 田中和七氏に ご協力をいただいた.ここに記して謝意を表す.

参考資料:

宮古市:令和元年東日本台風の接近にともう対応について(第1・9・13・49報)

(以上 文責 岩手大学 熊谷誠)

2.4.3 田野畑村の避難対応について

田野畑村では、2019年台風第19号(Hagibis)の接近にともない、10月11日から13日 にかけて、海沿いの地域で大雨が降った.田野畑村で管理する雨量計6箇所のうち、海が近 い4箇所で、総雨量400mmを越え、特に西和野局では450mmを越える雨量を観測している. 大雨に伴い、島の沢の集落の浸水被害、浜岩泉の村道の道路陥没、明戸の土砂災害、などの 被害が出ている.道路陥没部では、夜間に走行中に車ごと落下して岩泉町内に住んでいた男 性が死亡している.

田野畑村では 10 月 12 日に,避難場所までの移動が困難な住民のために避難バスを運行 し,住民の早めの避難を促した. 岩手県内で行われた避難誘導の一例として,住民の避難誘 導について,田野畑村役場の総務課に聞き取り調査を行った結果を報告する.

田野畑村では,アズビィ楽習センター(図 2.4.7(a))と体育館など主な避難所と防災施 設を村の中心地に集約している. 特に, 田野畑高校跡地には, 防災センター (図 2.4.7(b)), 宮古消防署田野畑分署,備蓄倉庫(図2.4.7(c)), ヘリポート(図2.4.7(d))を併設してお り、田野畑村の防災の拠点となっている. ヘリポートは、自衛隊や海上保安庁のヘリコプタ ーも発着できる. 将来的には, 現在建設中の道の駅たのはたの施設とともに, 近隣の防災体 積の拠点として役立てる予定である.海上保安庁のジェット燃料(図 2.4.7(e))も保管し ており, 田野畑村での燃料補給が可能になったことで, 岩手県北から八戸周辺での活動時間 が延びた.海上保安庁のヘリコプターの基地がある気仙沼から田野畑村までは、片道1時 間,燃料補給が無ければ活動時間は 30 分である.田野畑村から県の防災ヘリの基地である 花巻空港までは 30 分で、今までは、燃料補給のために花巻空港に行くこともあった、備蓄 倉庫には, 村中から集まった避難者が数日間生活するための寝具や食料, 日用品などを準備 している.寝具は、以前、中学校の寄宿舎があったときのもので、2011年の東日本大震災の 時には、最大約600人の避難者が生活した.水と食料は5日分を目安に備蓄しており、毎年 補充している.このように、田野畑村では、避難所や防災施設を集約することで、設備を充 実させることができる一方で, 避難所から遠い集落の住民が避難するためには, 自家用車な どの交通手段が必要となる.避難所周辺には、自家用車を駐車する十分な広さがある.

台風 19 号の大雨の際,避難所までの交通手段のない住民の避難誘導のために,田野畑村 では,バスの配車を行った.災害時の避難誘導にバスを使ったのは初めてだったが,毎年, 津波と土砂災害の避難訓練を行う際にバスを使用している.避難行動とバスの運行につい ては,避難訓練を通じて住民になじみのある行動だったと考えられる.バス(図2.4.7(f)) は,普段は村民バスとスクールバスとして6地区の児童生徒を学校や学童に運んでおり,東 日本交通株式会社が管理している.訓練では,津波と土砂災害の危険があるという設定で, 住民に高台など安全な一時避難場所に避難してもらう.避難場所に集合した住民を,村の中 心地で行う全体訓練の会場まで,バスで運んでいる.2019年の避難訓練は,9月29日に行 われ,700人~800人の住民が参加した.各地区の避難場所に集まった住民を,バスで避難 訓練の主会場であるアズビィホールに運んだ.バスのコースは,いち早く危険な場所を離れ て内陸の道路を通るコースを設定している.

11日から13日にかけての、気象情報と田野畑村の対応について、表2.4.4に示す.台風 第19号が近づいてきたとき、事前の気象情報により、12日夜から13日未明に大雨による 災害の警戒レベルが4から5の状態になることが予測された.住民の安全を守るためには、 明るい時間帯に避難を完了する必要があるため、村では、11日17時の全職員対策会議で、 翌日以降の避難対応が必要なことなどを伝え、バス8台を手配した.バス会社からは、夕方 18時以降は危険な状況が予測されるため、運転は避けたいと言う意見が出された.

12日の、11:10、11:40、14:00 に避難バスの配車について防災無線で連絡をした.それに先立って各地区の区長には、避難誘導と集合場所となる公民館の開錠を依頼した.これを受けて、区長、民生委員などが、住民への避難の呼び掛けを行った.バスは、12日の13時と15時の二回、村内6地区から住民を避難所に運んだ.

気象情報と田野畑村の警戒レベルを見くらべると、気象の状況よりも早めに村の警戒レベルが上がっていて、田野畑村役場が住民の早めの避難を促そうとしたことがわかる.一方で、実際には避難者数は暗くなってからも増え続け、13日1:15に最大となり、51世帯79 名であった.雨が強くなり、暗くなってからの避難が行われており、早めの避難行動をとってもらうための対策が必要である.

謝辞

田野畑村の避難対応について、総務課に協力いただいた. ここに記し謝意を表す.

日	時間	気象庁発表の気象情報	田野畑村の対応(避難関係)
11 日			12日の日中に住民を避難させるための準備を行う
			(バス会社,福祉避難所への予告,運航手配・調整など)
12 日	11:10		遊離話道バスの運行信報な防災無約で知られる
	11:40		
	12.00		避難準備・高齢者等避難開始の発令(警戒レベル3)
	12:00		アズビィ楽習センター避難所と福祉避難所2箇所を開設
	13:00		第一便のバスが各地区を出発
	14:00		避難誘導バスの運行情報を防災無線で知らせる
	15:00		第二便のバスが各地区を出発
	15:30		避難勧告の発令(警戒レベル4)
	19:46	大雨警報発表	
		(警戒レベル3相当)	
	21:20	土砂災害警戒情報発表	避難指示(緊急)の発令(警戒レベル4)
		(警戒レベル4相当)	
13 日	0:40	大雨特別警報発表	
		(警戒レベル5相当)	
	0:43		大雨特別警報を受け,命を守るための最善の行動を呼びかけ
	2:58		被害発生を受け,不要不急の外出を控えて安全な場所への避
			難を呼びかけ

表 2.4.4 台風第 19 号接近時の田野畑村の避難に関する対応について



(a) アズビィ楽習センター



(b) 田野畑村中央防災センター



(c) 備蓄倉庫



(d) ヘリポート



(e)ジェット燃料



(f)避難に使われたバス(定員 29 人) 図 2.4.7 田野畑村の防災関連施設

(以上 文責 岩手大学 松林由里子)

2.4.4 2017 年釜石火災跡地における豪雨による被害

釜石市平田では,2017 年 5 月に焼損面 積が413haに達する大規模な林野火災が生 じた.元々大規模な林野火災が多い岩手県 であるが,平成以降最大の林野火災事例と なった¹⁾. 図 2.4.8 は釜石火災の焼損域で ある.リアス式海岸の複雑な地形を有し,最 低標高は 0m,最高標高は鷹巣山の 342m である.

火災跡地では 2017 年より釜石地方森林 組合が中心となって復旧事業が進められ た.復旧事業は主に針葉樹林域を対象とし た伐採と植林であり、それに伴う作業道の開 設、地拵えやシカ防護網の設置等が進めら れ、計画では 2020 年度を最終年度として事 業完了となる予定であった.図 2.4.9 は 2018 年 3 月における伐採後の焼損域であ り、鷹巣山東部から小松浜にかけての沢流 域である.当該領域は最も焼損度が高かっ たことから、優先的に伐採が進められた.

令和元年台風 19 号について, 図 2.4.10 に AMeDAS 釜石観測所における降水量変 化を示す.12 日 0 時から 13 日 24 時までの 累積雨量は 317.5mm であり, そのほとんど が 12 日 20 時から 13 日 4 時までの約 8 時 間の間に集中的に生じた結果,3 時間降水 量 147.5mm と6 時間降水量 230.0mm は観 測史上最大を記録した³⁾. このように短時間 に集中的な豪雨が生じるのは台風 19 号事 例における岩手県沿岸域に共通した特徴 で, 普代観測所や小本観測所でも同様の傾 向がみられた. 尾崎白浜 佐須 佐須 の 200 600 900 1200 1500

図 2.4.8 釜石火災焼損域







「凶Z.4.10」AMEDAS 金石観測所における降水す

この台風 19 号に伴う豪雨により林野火災

後の復旧作業に深刻な被害があった. 焼損域はリアス式海岸で複雑な地形をしており, 領域内の 様々な場所で土砂崩れが生じていた. また, 図 2.4.11 に示すように伐採後の木々が流木となり沢 に集積された箇所が領域内で多く見られた. これらの土砂崩れや流木によって, 特に被害を受け たのは作業道とシカ防護網であり,図 2.4.11 に示した沢でも作業道とシカ防護網が流さ れている.図 2.4.12 は作業道が崩れた箇 所であり,豪雨によって生じた表流水が作業 道に集積したことにより崩れたものと考えら れ,作業道の崩壊や上部の斜面崩壊によっ てシカ防護網も崩れていた.別の箇所で は,集積した表流水によって浸食が生じて いる作業道も見られた.豪雨前は焼損領域 内を広域に作業道が整備されていたが,多 くの経路で崩壊が生じたため,現在は限ら れた経路のみが利用可能な状態となってい る.

釜石地方森林組合への聞取りによると, 釜石市内の他の森林と比較しても被害が特 に大きく,豪雨前では 200ha 程の植林が完 了していたが,その 3 割程が影響を受けた ため,復旧事業も当初予定の 2020 年度から の延長が決まったとのことだった.



図 2.4.11 伐採地における流木被害



図 2.4.12 崩落した作業道

謝辞:本稿の作成にあたり,釜石地方森林組合にご協力頂いた.ここに記して謝意を表す.

引用文献

- iii 峠嘉哉, Grace Puyang Emang,風間聡,高橋幸男,佐々木健介: 2017 年東北山林火災における岩手県釜石市・宮城県栗原市の被害概要,自然災害科学, 36(4), 361-370, 2018.
- 2) 気象庁:過去の気象データ検索

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/

 3) 気象庁:台風第 19 号による大雨、暴風等(令和元年 10 月 10 日~10 月 13 日), https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/jyun_sokuji20191010-1013.pdf

(以上 文責 東北大学 峠嘉哉·風間聡)

第3章 宮城県

3.1 全体概要

令和元年台風第 19 号は日本各地に被害を出し,宮城県では国管理河川1か所,県管理河 川 18 河川 36 か所において破堤した. 図 3.1.1 に破堤した河川と地点を示す. 県全体では 死者 19 人と行方不明者 2 名,住宅として全壊 170 棟,床上浸水 3,031 棟が被害を受けた. 犠牲者と建物被害は南部の阿武隈川流域に集中しており,洪水,土石流,斜面崩壊による. 降雨は丸森町筆甫において累積雨量 594mm,大内で 612mm と丸森町南部山岳域において 約 600mm を記録した.国交省の水位観測では阿武隈川丸森地点と名取川名取橋地点で観 測史上最高の水位を記録した.阿武隈川岩沼地点は同 6 位,名取川広瀬橋地点では 3 位で ある.宮城県の洪水は丸森町に代表される山地河川洪水と,北部に見られる平地河川洪水に 分けることができる.

宮城県南部では、観測史上最大の降雨によって丸森町を中心に土石流を含む甚大な被害 が生じた.丸森町中心部は内水によって長期間浸水し、役場が機能せず、大きくマスコミで 取り上げられた.町内の内川、新川、五福谷川の18地点で破堤し、これは宮城県破堤の約 半分を占めた.土石流による河道埋没や流木による閉塞によって上流で越流、溢流した洪水 水が、内水水位を上昇させた後、堤内地側から破堤する現象が多く見られた.

一方,北部の洪水氾濫の様相は南部とは異なる.記録的な豪雨であったが,河道が土砂で 埋没するような現象は生じていない.吉田川や渋井川は河道掘削や堤防強化の計画中であ ったが,強化以前に破堤が生じた.吉田川破堤地点の粕川地区では避難が理想的に実施され, 犠牲者をゼロにしたことは特筆すべきである.他の破堤地点の多くは水田域に氾濫してお り,家屋被害は多くない.一方,鹿島台地区や伊豆沼周辺の低地では,長期間の浸水が生じ た.ポンプ場の排水能力を大きく超えた冠水量のため,排水に大きな時間がかかった.

図3.1.2 に比較のため、平成27 年台風第18 号の破堤地点を示す. 渋井川が破堤し、古 川市街が広く浸水した. 県内では県管理区間11 河川23 か所が破堤し、床上浸水は138 棟 であった. 迫川水系において2 名が自動車運転中に亡くなっている. この年の洪水は関東 と同様に線状降雨帯が本川に沿って豪雨をもたらし、北部に破堤地点が集中した. 植生によ る流積不足の河川において多く破堤した. 令和元年台風第19 号では、河道内の問題は顕著 でなく、浸透や越流によって破堤した. 渋井川、名蓋川、見洗川、小西川は平成27 年と令 和元年ともに破堤している. 渋井川については平成27 年に左岸3 地点、令和元年に右岸1 地点が破堤した. 名蓋川は、別の位置であるが、ともに3 地点破堤しており、脆弱な堤防で あるといえる. 破堤した河川において速やかな全区間の堤防整備が望まれるが、今後の治水 については3.6 について考察する.



図 3.1.1 令和元年台風第 19 号の破堤地点と主な被害



図 3.1.2 平成 27 年台風第 28 号の破堤地点と主な被害

3.2 北上川水系下流域

ここでは北上川下流の破堤として,熊谷川,荒川,照越川,瀬峰川,石貝川の破堤の状況 を説明する.その後に共通する問題について考察を行う.

3.2.1 熊谷川 (くまやがわ)

北上川水系落堀川支流であり,昭和 34 年から 37 年に改修が行われた.延長 5.85km で あり,東北新幹線くりこま高原駅近くを流れる(図 3.2.1).水源は築館丘陵地で勾配が緩 く,流域面積は小さい.用排水が多く,流域変更が多い.氾濫水は水田に拡散されており, 家屋浸水は特にみられない(写真 3.2.1).堤防高さは 0.5m ほどで用水路のようである(写 真 3.2.2, 3.2.3).破堤箇所は支川との合流後の曲線部かつ狭窄部である.遠心力による越 流が生じ,破堤したものと考えられる.破堤地点から上流下流の両岸からの越流跡がみられ, 長い時間の越水が想像できる.破堤部に落堀が形成されている.橋梁はおおよそ無事であり, 極端な流速,浸食の発生はなかったと考えられる.翌日にはおおよそ排水されており,本氾 濫域が遊水地の機能を示した.





図 3.2.1 熊谷川の破堤地点の周辺地図

写真 3.2.1 熊谷川破堤地点空中写真



写真 3.2.2 熊谷川破堤地点



写真3.2.3 熊谷川破堤地点から上流

3.2.2 荒川

北上川水系迫川支流であり,指定区間延長 16 km,流域面積 105km²を持つ.下流に伊豆 沼がある.熊谷川同様,丘陵地帯から流出しており,勾配は緩い.一方,いくつかの支川が 合流している.地盤が軟弱なため,県単河川局部改良事業が行われている最中であった.右 岸の兼用堤区間のかさ上げ対策がされている.破堤上下流では,大きな圧力による道路表面 のうねりが見られ,護岸が欠落している.左岸側は上流から下流にかけて越流跡がみられる. 破堤箇所は排水樋門地点である(図 3.2.2).上流に水位観測地点が破堤地点から 7km 弱の ところの澤田橋にある. 築館の雨量は累加で 187mm であった.水位上昇速度は 3m/4h ほ



図 3.2.2 荒川周辺地図と築館雨量図と澤田橋と沼口の水位図



写真 3.2.4 荒川破堤地点と空中写真

どである.氾濫水は全て伊豆沼干拓地域の水田に流入しており,破堤による家屋浸水はない (写真 3.2.4).下流の沼口の水位計によると,2m/12hの水位上昇側で穏やかに上昇してお り,旧伊豆沼湖畔を含めた伊豆沼周辺地域が下流の緩衝地域となっていることがわかる.

3.2.3 照越川

荒川の支川であり,指定区間延長 5.0km を持つ. 令和 2 年まで河道掘削・築堤等の事業 (L=2.8km)が実施されている. 昭和 61 年,平成 21 年と 25 年にも破堤している. 荒川同 様,築館丘陵を水源としており,勾配は緩い(図 3.2.3). 掘り込み河道の様相を持ち,堤高 は 0.5m ほどである. 両岸に越流痕がある. 河道内に一部植生があるが,特にひどい繁茂で なく,よく整備されている. 左岸側から広く越流し,畦を壊している. 破堤地点は山付きの 蛇行部かつ狭窄の様相である(写真 3.2.5). 左岸 2 か所の破堤が生じており,氾濫流は水 田に拡散している. 住宅の浸水は周辺では見られていない. 畦を壊している様子から,相当 の流速がうかがえる.





図 3.2.3 照越川破堤破堤地点

写真3.2.5 照越川 空中写真



図 3.2.4 左: 瀬峰川破堤周辺図 上: 破堤地点写真 右: 空中写真

3.2.4 瀬峰川

指定区間延長 9.0km を持ち,水田の中を流れる用水路のようである.上流側の流路長は あるが,流域は狭く,大きくない.勾配は緩い.河床から天端まで 2m ほどであるが,水田 からは 0.3m ほどの畦のような堤防である.瀬峰川は水位周知河川であるが,この氾濫域の 浸水想定図は作成されていない.破堤は曲線部を抜けた地点であり,下流側に堰がある.上 流側は断続的に越水した跡が認められる.氾濫は全て広い水田地帯に拡散しており,家屋浸 水はない (図 3.2.4).

3.2.5 石貝川

北上川水系南沢川支流で延長 1.8km である.高津森(418m)が水源と思われ,急流とい える.大沢,持田沢,杉の下沢が合流する.破堤地点は屈曲地点であり,樋門があった箇所 にみえる(図 3.2.5).直上流側の河道は連続して直角で曲がっており,上下流両岸で連続 的に越水がみられる.掘込河道の様相であり,津山中学校前の橋梁では流木などによる閉塞 がみられている.国道 45 号線橋脚部による堰上げ生じたと考えられる.すぐ下流で合流す る南沢川の洪水浸水想定区域図は作成されているが,その支川では作成されていない.氾濫 水は水田域に広がり,破堤による家屋浸水は認められない.



図 3.2.5 石貝川破堤周辺図と横山地点水位図、柳津雨量図

(以上 文責 東北大学 風間聡)

3.2.6 宮城県北部中小河川管理の問題

平成27年関東・東北豪雨時には、破堤した中小河川のいくつか(芋埣川,名蓋川,渋井 川など)は河川整備の遅れが原因とされたが、吉田川を除く今次洪水における破堤河川は、 護岸もあり、堤防本体、天端も大きな問題はなかった.破堤による氾濫水は家屋浸水を伴っ ておらず、渋井川や丸森地区の洪水氾濫などとは趣を異にする.水田は収穫後であり、生産 被害も大きくはない.一方、野菜や果樹など商品作物の被害が一部認められている.県の治 水予算は限られており、土地利用規制(災害危険区域や河川保全区域、地役権など)によっ て氾濫水を上流で引き受ける方策も必要である.特に北部河川は広い耕作地を持つととも に、傾斜が緩いため、田んぼダムやため池などの利水施設の積極的な活用が望まれる.流域 全体でみた治水の在り方を論じることが望まれる.圃場整備に従い、ポンプ場に頼った排水 が見られるが、極端な冠水量の場合には自然流下の排水が有効である.樋門樋管の統廃合も 含めて、中小河川ならびに排水路の計画を立てるべきである.一方、南部のような山岳河川 では、今後も極端な降雨が危惧され、砂防や移転も含めた総合治水のような観点が必要であ る.

高齢化,少子化,人口減に対応した治水を考える時期にきている.下流の都市住民による 上流の耕作域(または耕作放棄地)や森林管理の支援や,堤防・河道管理の簡素化,道路や 公園などの機能を持つ共用堤,民間への堤防使用許可などを総合的に考える時期である.地 方の中小河川には,国直轄河川の発想とは異なる視点の治水が今後望まれる.

(以上 文責 東北大学 風間聡)

3.3.1 吉田川

(1) 概要

吉田川は一級水系鳴瀬川(幹川流路延長 89km, 流域面積 1,130km²)の最大の支川で, 幹川延長 53km, 流域面積 350km²を持つ。

今次洪水では、吉田川の中流域を中心として大きな浸水と被災が生じた。吉田川の浸水面積は、国土交 通省によると約 5,700ha であった。その大きな要因としては、吉田川左岸 20.9km 地点(大郷町粕川)に おける堤防の決壊が挙げられるが、それ以外にも複数の箇所で堤防の越水などが発生していた。以下に は、この堤防決壊地点から下流側における浸水状況の調査結果について示す。

(2) 現地の状況

対象としたのは、宮城県の中程を流れる鳴瀬川水系の吉田川の中流部左岸と、高城川水系鶴田川の右岸 に挟まれる地域である。吉田川は、一級河川鳴瀬川の支川で 53km の幹線延長を持つ。最下流部では本川 の鳴瀬川と背割堤を挟んで並行して流れている。鶴田川は、吉田川が鳴瀬川と近接する直前付近にある 旧品井沼の区域を流れた後、サイフォンにより吉田川の下を潜る河川である。

図3.3.1は、上記の旧品井沼近辺を含む、本報の対象地域よりやや広域に範囲を取って、この地域付近 での標高分布で地形を示したものである。本報での対象域は、この図のうち左側のおよそ 1/3 程度の範囲 のである。品井沼は、江戸時代から干拓の計画及び工事が行われてきたところである。最終的に干拓が完 了したのは、昭和の後期である。また大正の後期から昭和の初期には、品井沼の流域を鳴瀬川・吉田川の 流域から分離して治水上の問題を軽減するための事業が実施された。これが幡谷(吉田川)サイフォンの 建設である。またこの頃に並行して、鳴瀬川と吉田川の下流部の背割堤も建設された。

図 3.3.1 に示した地形的な特徴として,この領域は河口から 10km 以上離れているにも関わらず,標高 が 0m から数 m ほどしか無い低平地であるということが挙げられる。これは,上述のように品井沼の干 拓地であることの結果といえるものである。今時洪水では,図のようにこの低平地区域の最上流となる 地点で決壊し,河川からの洪水流が堤内地に流入したことになる。



(3) 調査方法

現地踏査は 2019 年 10 月 14 日, 16 日および 23, 24 日に実施した。踏査は,堤防決壊が生じた粕川地区 周辺および吉田川および鶴田川に沿った浸水区域において実施した。図 3.3.1 中に丸印で吉田川の堤防決 壊地点を示した。この破堤部から多くの洪水が流出し,堤内地での浸水をもたらした。

(4) 調査結果

写真 3.3.1 に踏査時の決壊部の状況を示す。国土交通省がすでに応急復旧を開始していたが,破堤部 についてはまだ開放されていた状態であった。写真 3.3.2 は 10 月 16 日に観察した堤防の決壊部の状況 である。この地点付近は弱い蛇行がある河道であるため,川面側には堤防法面に護岸が施されていた。そ の内側には浸水を防ぐための遮水シートも施されていた(写真 3.3.2 左)。また写真 3.3.2 の右に見ら れるように,過去の堤防の施工段階にしたがって生じたと思われる層状の構造が見られたが,いずれも 材料としては十分なものであったと考えられる。

国土交通省が設置していた河川監視カメラ(破堤地点の直下流に設置されていた)によると,10月13日の午前6時には越水していたということが判明している(越水開始時刻は不明)。また,当該地点の堤防高が11.18mであったのに対して,水位は最大11.58mまで上昇していたと推定されている。なお,この決壊部の約600m下流に水位観測所(粕川地点)があり,その地点での計画高水位が8.32mであるのに対し,今次洪水での最高水位は9.92mと既往最高の水位を記録した。この地点だけではなく,鳴瀬川流域にある17観測所のうち,9観測所で観測史上一位の水位を記録していた。また吉田川ではほぼ全地点で計画高水位を超過していた。



写真 3.3.1 堤防決壊地点(10月14日)の状況



写真3.3.2 損壊した堤防の状況(左:護岸したの遮水シート,右:層状の土質状況)
写真 3.3.3 は、破堤地点を含む地区での状況を撮影したものである。写真にあるような洪水発生時に どのような対応を住民が取っているのかを示した旗が使われていた。吉田川は水害が多発してきた流域 であるため、治水に対する意識、関心が非常に高いことが、踏査時に伺った方々の話からもよく分かる。 特に昭和 61 (1986) 年 8 月の洪水後には、吉田川の中流部を中心とした地域で、「水害に強いまちづく り事業」が行われてきていた。これは全国的に見ても先進的な取り組みであり、注目を集めてきた事業で ある。そのような経緯も含め、住民の水害に対する「リテラシー」が高かったため、今次洪水でも死者が 出なかったという結果につながっていると評価される。



写真3.3.3 中粕川地区における水害の際の対応例

決壊地点よりも下流側における浸水状況について、以下に述べる。図 2 の吉田川左岸に黒四角印の地 点には、この地域で生じた過去の大水害の一つである、昭和 61 年 8 月の洪水浸水水位の標識が、国土交 通省により設置されている。この浸水深は道路地盤から約 2m であった。これに対して、今時洪水の浸水 深は、踏査時の痕跡から 1.5m 乃至 1.7m であった。決壊地点が、両洪水では異なるので単純な比較をす るわけにはいかないが、今時洪水の方が、この付近では浸水位が低かったようである。また、踏査時に近 隣住民から聞き込みを行ったところ、昭和 61 年洪水の際には、住居内に泥が大量に流れ込んだことが洪 水後の処理として大変であったという話があった。これに対して今時洪水では、洪水の流れが北寄りの 区域を流れていたため、この付近での浸水は主に内水によるもので、住居への泥の流入は少なかったと いう話を得た。この状況は、以下に述べる本踏査結果からも推測されたことと整合する。

図 3.3.2 の赤四角で示した前川排水機場とこの周囲において,洪水後の踏査状況から特徴があったので 加えて記す。吉田川と鶴田川(2級河川高城川水系)が最も接近している場所付近に,前川排水機場があ り,内水の排除を行っている。決壊地点から流出した吉田川の河川水は,地形の勾配に概ね従って,鶴田 川の新堀川との合流点直上流の右岸側の際まで流下したと考えられる。これについては現場での柵など の倒伏状況から推測されうる。その水が,排水機場に向かう水路沿いに流れた様子が,踏査から見られ た。しかし,この洪水の流量は,排水容量を超過したものであったため,排水機場から溢水し,下流側の 地区へと流下していったのではないかと推定される。排水機場におけるこの状況は,写真 3.3.5 において 柵の倒壊方向から考慮することができる。写真 3.3.5 左では柵が中央奥よりに撮影されており,倒伏角度 が小さいためやや判別しにくいが,写真 3.3.5 右と同様,柵で囲まれた内側(排水機場側)から外側へ倒 伏している。これらのことから,図 3.3.2 中の赤矢印で示したような水の流れで,ここよりさらに下流側 へと浸水が広がっていったと考えられる。

なお、これ以外にこの地域では吉田川の北側を概ね平行に流れている鶴田川でも、堤防の越水も生じている。図 3.3.2 の範囲では、赤い星印の箇所が、本調査で見られた堤防の越水痕跡の箇所である。この範囲では、吉田川には越水箇所はなかったようだが、鶴田川には複数存在していた。鶴田川が新堀川と合流した直下流の湾曲部でも、越水したと思われる様子が観察された。ここからも、この下流の志田谷地地区に流入したと考えられる。しかし、流量としては、決壊部からの越流水の方がはるかに多いと考えられるため、浸水に対する影響は大きいものだとは考えにくい。

志田谷地地区は、旧品井沼の干拓地にあたり、地図上より分かるように相対的に標高が低い事に加え、 吉田川および鶴田川に囲まれる地形となっているため、浸水した際には水が非常に抜けにくい。図 3.3.2 に示したように、浸水深の痕跡も 3m に達していた。昭和 61 年の洪水後にもこの地区の排水に日数を要 していたが、今回についても類似した状況となっていた。国土交通省では、その対応として、写真 3.3.6 に示したように吉田川の堤防へポンプ車を配置し排水を行った。また堤防に設けられている側帯を避難 場所として活用された。このような整備は、昭和 61 年洪水を契機に開始した「水害に強いまちづくり事 業」の中で行われてきたものであり、「新たな水害に強いまちづくりプロジェクト」として本水害を受け て改めて実施される動きがなされている。



図 3.3.2 粕川, 志田谷地地区における踏査範囲での洪水・浸水状況 (青文字は浸水深,赤星印は本調査で確認した堤防越水地点,赤矢印は想定される洪水流の方向)



写真 3.3.4 粕川地区内の昭和 61 年洪水位(浸水深約 2.0m)と今次洪水の浸水痕跡(浸水深約 1.7m)



写真3.3.5 前川排水機場の周囲



写真 3.3.6 吉田川堤防上からのポンプによる志田谷地地区の排水作業(左) 写真 3.3.7 吉田川堤防の側帯上に設けられた農機具なども含めた避難所(右) 3.3.2 渋井川

(1) 概要

渋井川は一級水系鳴瀬川の二次支川で,河川延長 15.6km,流域面積 18.55km²を持つ。鳴瀬川の一次支 川である多田川の左岸 3.5km に合流をしている。渋井川では平成 27 (2015)年の洪水のときにも堤防の 決壊が生じた。このときには多田川との合流点から 1.5km 以下の範囲の左岸において 3 箇所の決壊が発 生した。今次洪水では,合流点から約 650m 上流の右岸で決壊した。

(2) 調査方法

現地踏査は 2019 年 10 月 14 日,および 11 月 2 日に実施した。踏査は,堤防決壊地点およびその周辺 で行った。図 3.3.3 中に四角印で堤防決壊地点,三角印で越水地点を示す。



図 3.3.3 決壊部周辺の多田川および渋井川の地図

(3) 調査結果

写真3.3.8は、10月14日の破堤部の状況である。写真の右手側が堤内地、左手側が渋井川である。植生の倒伏する方向が堤外をむいているのが特徴的と思われるが、これは河川の水位が低下した後、堤内で湛水していた水が堤外へ流出した痕跡であると推測される。写真3.3.9は、破堤部の断面(上流側)を撮影したものである。堤防高としては約1.8mであった。写真3.3.10は、決壊地点より数百m上流の左岸で生じた越水部である。越水ではあったが、天端が数十 cm 洗掘されており、この地点における決壊の可能性もあったことが示唆される。

図3.3.4に,決壊地点周辺の浸水深の測定結果を示す。決壊地点周辺は農地が多いため,痕跡から測定 ができたのは集落内であった。概ね1m強の浸水深であった。また写真3.3.10は、図3.3.4 で浸水深1.7m と標記がある南側の民家の様子であるが、小型船舶が備えられていた。常時からの備えであるのかなど については聞き取りを行えなかったが、洪水の多発地域であることに対しての構えがされていることが 示唆されるものと受け取れるものである。

図3.3.5は、水が完全に引いた後の11月2日に、決壊部周辺で踏査を実施した結果を示した。決壊幅は、応急復旧された状況から、約50mであると推定した。堤防に隣接している農道の顕著な洗掘は、約20mの幅で生じていた。そのさらに内側の農地では、作物の倒伏あるいは土砂の洗掘や堆積状況から決壊時に大きな水流が見られた範囲を概略的に痕跡から示した。



写真3.3.8(左) 破堤部を上流側堤体上から眺める(10月14日正午過ぎ)

写真3.3.9(右) 破堤部の断面



写真 3.3.10(左) 越流部における応急復旧(10月14日) 写真 3.3.11(右) 破堤部上流の右岸側民家に備えられた小型船舶



図 3.3.4 痕跡から測定した浸水深



図 3.3.5 決壊部周辺の堤内地における水流等の痕跡



写真 3.3.12(左) 決壊地点の堤内側農地の状況(堤防上より。11月2日) 写真 3.3.13(右) 決壊地点の堤内側農地の状況(農地より。11月2日)

3.3.3 名蓋川

(1) 概要

名蓋川は、一級水系鳴瀬川水系の河川である。大崎市古川矢目地先の多田川右岸 3.0km 付近に合流す る流域面積 24.9km²、河川延長 6.65km の一級河川である。流域の大部分は水田である。河川整備計画に おける計画高水流量としては 90m³/s が設定されている。

台風 19 号では、10 月 13 日未明から水位が上昇し、明け方にピークとなった。名蓋川の最下流部付近 での 2 箇所の破堤地点を本調査の対象とした。これ以外にも上流域での破堤情報もあるが、本調査では 対象としなかった。図 3.3.6 に名蓋川下流域の地図情報を示す。図 3.3.7 は、名蓋川における洪水中の 水位である。



図 3.3.6 名蓋川下流域



(2) 調査内容

本調査は,10月20日に実施した。図3.3.6に示した2箇所の破堤地点の周辺を踏査し,被災状況の 把握を行った。

(3) 調査内容

a) 破堤地点1(古川矢目川橋地区, 左岸)

本調査時には、写真 3.3.14 に示すようにすでに堤防の応急復旧がなされていた。写真 3.3.14 に示すように、破堤箇所の直上流に水の噴出跡とみられる穴があった。このことから、本地点における破堤の原因としては、浸透であろうと推測される。破堤部の幅は、復旧箇所の状態から推定して約 15m であった。堤外の護岸から天端までの高さは約 2.5m であった。破堤部に隣接する農地への土砂の流出状況を確認したところ、天端上からの直線距離で約 60m の距離まで土砂が広がっていた。(写真 3.3.16 参照)



写真 3.3.14 名蓋川の破堤地点1における 10月 20日時点の状況(左:堤防上から,右:対岸の右岸側 から)



写真3.3.15 破堤地点直上流部に見られた噴出跡と考えられる箇所



写真3.3.16 破堤箇所から堤内農地への土砂の拡がり

本地点では、左岸での破堤に加えて、右岸部での越水も生じた痕跡があった。その状況を**写真3.3.17** に示す。名蓋川に隣接する農地へ顕著な藁の流出があり、水流が生じた範囲が明瞭であったと言える。 また、農地と民家の間にあった樹木は倒れ、民家にもたれかかった状態となっていた。

したがって、この地点は両岸とも被災していることになる。写真 3.3.17 の民家のすぐ裏手側に水路 が流れている(写真 3.3.18)。名蓋川とこの水路は、当該地点の 100m 弱下流で合流している(図 3.3.6 参照)。そのことで何らかの影響を持った可能性はあるが明確ではない。なお、名蓋川から越水して流 出した洪水は、水路脇の道路との高低差のため、水路へは流入せず、脇の道路から農地へと流出したと 推測される(写真 3.3.19)。



写真3.3.17 破堤地点の左岸への越水痕跡の状況



写真 3.3.18 左岸側民家の裏を流れる水路



写真 3.3.19 名蓋川から水路を見たところ

b) 破堤地点2(古川矢目大町地区, 右岸)

本地点についても,本調査地点では写真3.3.20に示すようにすでに堤防の応急復旧がなされていた。 写真3.3.21(左)に示すように,破堤箇所の数m上流側で越水した痕跡(草の倒伏)が見られたことから,この地点については,越水により破堤に至ったのではないかと推測される。破堤幅は,復旧状況からの推測であるが,地点1と同程度で約15mであった。この地点の堤内側は,畑地となっており栽培中であった枝豆の被災が見られた(写真3.3.22)。

当該地点は、多田川との合流から約 600m であり、やや距離があると言える。一方、観測者の目視で は、破堤箇所の直下流と比較すると、天端高さがやや低くなっているように見えた。そのため、この地 点で越水が生じたのではないかと推測される。

なお、多田川との合流直上流の左岸(矢ノ目揚排水機場近く)の堤防において、堤防上の植生の倒伏 状態から、幅約 100m に渡って越水が生じていたのではないかと思われる状態が見られた(写真 3.3.23)。 その一方で、写真 3.3.23 の奥側にみられるように、この植生倒伏部の下流側半分とそのさらに下流の 堤内地で、藁の流出痕跡があった。これについては、藁の流達状況から、名蓋川の越水によるものでは ないと考えられる。



写真 3.3.20 名蓋川の破堤地点1における 10月 20日時点の状況



写真3.3.21 破堤部の上流側での越水痕跡(左:直上流,右:破堤の数十m上流)



写真 3.3.22(左) 破堤地点 2 の堤内側農地で栽培されていた枝豆の被災 写真 3.3.23(右) 多田川との合流直上流,左岸の地点(堤防上から下流を見る)

(以上 文責 東北大学 梅田信)

3.3.4 小西川

(1) 概要

本調査は令和元年台風 19 号によって引き起こされた鳴瀬川水系小西川の洪水氾濫の実態を明らかに することを目的としている.本報は宮城県内に 36 ある決壊箇所の 1 箇所ついての報告になるが,調査 動機は他の決壊地点から得られる知見と併せて,宮城県管理河川の決壊状況を包括的に理解することで ある.

小西川は一級河川鳴瀬川水系吉田川の支川であり,黒川郡大和町を流れる河川である(図 3.3.8). 当該 河川は平成 27 年 9 月関東東北豪雨の際にも氾濫している¹⁾.本報では 2019 年 10 月 22 日に決壊地点周 辺で行った調査結果について記載する.



図 3.3.8 鳴瀬川水系吉田川流域(右上枠内は宮城県内の主要河川を示す).

(2) 決壊地点の状況

決壊地点は西川との合流点から約 500m 上流に位置しており、湾曲した右岸側で決壊した.決壊地点



図 3.3.9 小西川決壊地点の様子(左:西川合流点と決壊地点の位置関係, 赤枠:護岸と決壊地点の位置関係,右上:決壊地点の様子).



図 3.3.10 決壊地点の対岸からの様子.

周辺にパイピングの痕跡は見られず,越水による破堤と推測される(図 3.3.9, 3.3.10). 当該地では上流 側で乗用車が氾濫流に巻き込まれたことによる人的被害が発生した.川沿いには随所に不連続な護岸が 見られ,過去の災害で部分的に補強されてきた経緯が窺える.決壊付近には水田が広がっており,氾濫 流による家屋等への直接的な被害は見られなかった.河道内の植生はさほど繁茂しておらず,植生の抵 抗は小さかったと考えられる.

(3) 縦断形状

図 3.3.11 は小西川の縦断形状を表す(始点は西川との合流点).小西川の定期横断測量のデータが得られなかったため、基盤地図情報数値標高モデル(5m 空間解像度)を用いて作成した²⁾.小西川は西川合流地点から 5km 程上流まで、両岸側に水田が広がる.今次災害の決壊ポイントは前述の通り合流地点の上流 500m 付近に位置しており、河床勾配は約 1/5,000 の領域であった.決壊ポイントに特異な緩急勾配は見られず、蛇行区間の水衝部であったことが決壊の主な原因と考えられる.



(4) 降雨

西川流域の明石観測所(図 3.3.8)の降雨状況を示す(図 3.3.12). 当該地域では 10 月 11 日(金)にも降雨 があり、その降雨イベントが一旦収束した後、10 月 12 日(土)の降雨イベントが同日未明から始まった. 降雨が 本格的に強まっていたのは 12 日 18:00 からであり、日没後に急激に災害リスクが高まっていったことがわかる.



図 3.3.12 明石観測点の降雨量時系列(時間別, 累積)

(5) 結果

本報では、鳴瀬川水系小西川の決壊地点周辺の調査について報告した.決壊の原因については、蛇行 区間の水衝部であったことが主な原因と考えられる.決壊地点直上に比較的新しい護岸が整備されてい たため、元々被害を受けやすかった場所で再度被害が出た形となっている.現地調査から河道内の植生 の影響は小さく、河床勾配の影響も小さかったと言える.降雨の特徴としては日没後に急激に洪水リス クが高まっている様子が、観測雨量から見ることができた.

今後は宮城県内の決壊地点の特徴を整理しつつ、包括的に決壊の状況を理解することが課題である.

参考文献

1) 土木学会:平成27年9月関東·東北豪雨東北水害調査報告書,2016.

2) 国土地理院: 地理院地図(電子国土 web), URL: <u>https://maps.gsi.go.jp/(2020/4/20</u> 閲覧).

(以上 文責 東北大学 橋本雅和)

3.4 阿武隈川水系下流域

3.4.1 はじめに

近年,我が国の各地において大規模な豪雨災害が立て続けに発生している.たとえば,平成27年9月9日から11日にかけて関東地方及び東北地方で発生した関東・東北豪雨災害,平成29年7月5日から6日にかけて福岡県と大分県を中心とする九州北部で発生した九州北部豪雨,平成30年6月28日から7月8日にかけて,西日本を中心に北海道や中部地方を含む全国的に広い範囲で発生した平成30年7月豪雨災害などが挙げられる.

令和元年は台風19号が関東地方から東北地方にかけて大きな災害をもたらした.このうち,阿武隈川 流域においては流路方向に一致する台風の進路であったため,大きな被害につながった.このうち,宮 城県丸森町筆甫では,降り始めからの雨量が600mmを超え,阿武隈川支川の内川,新川,五福谷川にお いて多くの場所で堤防決壊が生じた.

そこで、本研究では特に丸森町で発生した堤防決壊に着目し、洪水翌日に現地調査を行った.これに より、破堤のパターンを外水によるもの、内水によるものに分類した.その後、数値モデルを用いてシ ミュレーションを行ない、今回の洪水の流動を再現し、特に堤内地からの越流による破堤現象について、 そのメカニズムに関して詳細な検討を行った.

なお、調査結果の概要については関係学協会により開催された速報会1)において報告されている.

3.4.2 研究対象および研究手法

(1) 丸森町の概要

本研究では、図3.4.1に示す宮城県丸森町を研究対象とした.丸森町には一級河川阿武隈川および阿 武隈川水系の内川,五福谷川,新川が流れている.阿武隈川は流域面積5,390km²,流路長239kmであり, 東北地方では北上川に次ぐ長さの大河川である.

今回大きな被災を受けた支川の規模は、内川の流域面積 105.8km², 流路長 18.2km, 五福谷川の流域 面積 23.8km², 流路長 2.7km, 新川の流域面積 16.9km², 流路長 2.1km である.内川及び五福谷川で は、下流側で昭和 26 年度から中小河川改修事業を開始している²⁰.内川の内川橋上流の 3.2km 区間で 総合流域防災事業により重点的に整備を進めていたが、平成 23 年度から事業を休止している²⁰.新川 については、昭和 26 年度からの中小河川改修事業により概成済みである²⁰.



図3.4.1 丸森町の位置と流域の概要

図3.4.2 筆甫での降雨量

(2) 台風19号の概要と丸森町における被災の特徴

令和元年台風第19号は2019年10月6日に発生,12日に日本に上陸し,激甚災害,特定非常災害に指定 された非常に大型の台風である.台風は,北よりの偏西風や太平洋高気圧が発達していた影響で,関東 に上陸後西寄りの経路で進行した.また,一般に台風が発達するとされている27°C以上の海面水温域 が日本近海まで分布していたことや,海面のみならず水深が深い所まで水温が高かったことも要因とな り,台風は強い勢力を保ったまま日本に上陸した.

図3.4.1に示す丸森町は阿武隈川の支流をはじめ多数の川を有し、盆地という地形もあって過去に何

度も水害に遭ってきた³⁾.例として,1986年8月5日の台風第10号による豪雨洪水が挙げられる.この際の台風第10号による連続雨量は400mmを超え,町内各地で河川の氾濫や土砂災害,浸水被害が発生し, 幹線道路も寸断されるなど非常に大きな被害を受けた^{4),5),6)}.

今次の台風第19号の際,町内にある筆甫雨量時観測所で例年の総降水量のうち40%に値する雨量が観 測された.図3.4.2に筆甫における降雨量の変化を示す.筆甫雨量観測所の時間最大雨量は74.5mmで24 時間雨量は587.5mmに達した.この時の筆甫雨量観測所の降水確率は1/500以上である.

丸森町内の被害は令和2年1月7日時点で死者10名,行方不明者1名,ケガ2名である.被害総額は400億 円以上になり,町の各所で浸水被害や土砂災害が発生し,1000件以上の住宅が被害を受け,道路も寸断 された⁷⁾.

(3) 数値計算手法

本研究の数値シミュレーションにはEFDC(Environmental Fluid Dynamics Code)モデル⁸⁾を使用 した. EFDCモデルでは鉛直方向の計算格子にo座標グリッドを採用しているが、ここでは単層として計 算を行った. 図3.4.3にメッシュ構成を示す.



図3.4.3 数値計算に用いたメッシュ

地形データには国土地理院の5m解像度データを用い、河道部には宮城県による測量データを使用し、 河道内、堤内地のマニングの粗度係数を、それぞれ0.03および0.05として与えた.

本研究の再現計算においては、堤防決壊の現象を次のように仮定した.まず、堤防決壊地点について は、既往研究^{9,10,11)}を参考にして各地点越流が発生してから3時間後に堤防を全壊させた.なお、部分 的な侵食のみで決壊に到らない箇所については、堤防の高さを変えていない.また、後述する内川・新 川における越流水深・越流時間を計算する際には、これより上流部の破堤点を上記と同様に扱い、越流 水深を計算する箇所については決壊をさせずに、最大の越流水深、越流流速を求めた.

(4) 数値計算条件

雨量データは宮城県河川流域情報システムの筆甫雨量観測所のデータ¹²⁾を使用した.内川水位観測所 では氾濫による計器の水没により,2019年10月12日21:30以降に欠測となっている(図3.4.2).内川流 域内の雨量観測所である筆甫雨量観測所の雨量と内川水位観測所の水位は概ね同じ時刻にピークが発 生している(図3.4.2).

阿武隈川本川水位には、図3.4.2に示した丸森水位観測所における観測地を与えた.なお、阿武隈川と 内川のピークの時差は約8時間あり、内川の水位が最大になった時の阿武隈川水位は低いことから、阿 武隈川からのバックウォーターは影響していないことが分かる.

数値計算における境界条件としての河川流量は、2D降雨-流出-氾濫モデル(Rainfall-Ranoff-Inundation model, RRIモデル)¹³⁾ により算定した.同モデルにより決定した流量を図3.4.4に示し、流 量を入力した地点を図3.4.1に示した.



図3.4.4 境界条件として用いた各支川でのハイドログラフ

3.4.3 堤防決壊に関する現地調査結果

(1) 町内の氾濫被害に関する現地調査結果

台風翌日の町内の様子を図3.4.5に示す.町役場を含む町の中心地が湛水している.被災直後には「阿 武隈川の氾濫により...」との報道もなされたが,調査の結果,中心地を囲む阿武隈川本川堤防,新川左 岸堤防のいずれにも破堤・越流による外水氾濫は無かった.その結果,丸森町役場周辺の湛水は内水氾 濫によることが判明した.



図3.4.5 町内の湛水状況(2019年10月13日)



(a) 1947年1月13日(国土地理院)(年号は町役場の所在時期を表す.)



(b) 2019年2月13日 (Google Earth) 図3.4.6 丸森町の空中写真と町役場移転の歴史

図3.4.6には今回被災を受けた町役場位置の変遷を1947年の空中写真に示し、最新のGoogle Earth画像と比較している.図3.4.6(a)によれば、現在の町役場の位置は田畑であり、集落は山地沿いの標高の高い箇所に限定されていることが分かる.このような丸森町の形成の歴史については川内14により詳細な調査が実施されている.これによれば、19世紀初頭の丸森町の「町場替」により、町人居住地は微高地に所在、また足軽町移転先は丘陵上もしくは山沿いの地域に所在することとなり、これにより過去の水害に対応した空間編成によって町場が形成され、現在の丸森町の「原型」が作られた.

また、図3.4.6(a)においては、当時の内川は蛇行が顕著である.その後、図3.4.6(b)に見られるよう に内川の直線化がなされ、堤防の整備が進み、町役場、病院、住宅などが低平地へ進出した.また、町 役場においては1mに及ぶ地盤沈下があったとの報告¹⁵⁾があり、今回のような超過洪水に対しては脆弱 な箇所であったことが窺われる.

(2) 堤防被害に関する現地調査結果

堤防の決壊箇所は、内川に10か所、新川に4か所、五福谷川に4か所の計18か所である²⁾. このうち、 新川および内川下流部について発災翌日の2019年10月13日に詳細な現地調査を実施した. 破堤の調査 地点を図3.4.7に示している. おもに、図中に示す内川および新川に沿って調査を実施した.

図3.4.8は2019年10月13日に撮影された新川右岸の決壊した箇所(図3.4.7のPt.1)での写真である.

新川・内川合流点の直上流に位置している. ほぼ48mの区間にわたって堤防が決壊している. 調査時点 ではまだ水が引いておらず,堤内地から河川への流れが認められた. ただし,この場所では堤防が完全 に決壊しており,堤防を破壊した越流の方向が堤外から堤内なのか,あるいは逆なのかが判然としない. 次に,図3.4.7のPt.2を撮影したものを図3.4.9に示す.図3.4.8右端の排水樋管が,図3.4.9左端に見られ る.これを見ると,約220mの距離の中に,決壊には到らないものの川表側の法面が部分的に侵食されている箇 所が多く見られる.これより,越流は堤内地から川表に向かう方向であることが分かる.堤防天端に残る植生の

倒伏方向からも、堤内地からの流れが支配的であったことが確認された.



図3.4.7 破堤箇所



図3.4.8 堤防決壊箇所(新川, Pt.1, 2019年10月13日)



図3.4.9 堤内地からの流れによる法面洗掘箇所(新川, Pt.2, 2019年10月13日)



図3.4.10 堤防決壊箇所 (新川, Pt.3, 2019年10月13日) 図3.4.11 堤防決壊箇所 (新川, Pt.4, 2019年10月13日)



図3.4.12 堤防決壊箇所(内川, Pt.5, Pt.6, 2019年10月13日)



図3.4.13 堤防決壊箇所(内川, Pt.7, 2019年10月13日)

新川に沿って図3.4.8,図3.4.9よりさらに上流に行った箇所の状況を図3.4.10に示している.堤防が 完全に決壊している.また,これより上流の川表法尻付近に舌状の土砂堆積が見られる.この箇所でも 堤防結果が生じていた.

図3.4.10の幾分下流側を撮影したものが図3.4.11であり、図3.4.9と同様に川表法面の部分的な侵食が生じている.

次に、図3.4.7に示された内川・新川合流点から、内川上流方向に向かう箇所での被災状況を示す.図 3.4.12を見ると、手前側の左岸、向かい側の右岸ともに堤防が決壊している.特に、右岸の破堤状況を 拡大したものが図3.4.13である.堤防天端まで決壊した箇所と、新川でも見られた川表法面の部分的な 侵食とが混在していることが認められる.

以上の様に、丸森町における今次洪水による堤防被災の特徴の一つは堤内地からの越流による堤防決 壊であるが、次に明らかにすべき点は越流水の起源である.上記の調査の時点では広域の湛水のために、 さらに上流での調査を行うことは出来なかった.そこで、以下には国土地理院の空中写真を使用して考 察を行う.

図3.4.14は2019年10月13日の内川・五福谷川合流部近くの状況を示している.合流点付近に幾つかの 決壊箇所を見て取ることが出来る.このうち,図中のBr-1の決壊部から流れた外水は,図3.4.8,図3.4.9, 図3.4.12に示した内川・新川合流部決壊地点に到るものと推測され,図中Br-2の決壊部からの外水はの 図3.4.13に示す内川右岸に到達するものと推測される.この点については以下の数値シミュレーション において詳細を検討することとする.



図3.4.14 内川・五福谷川合流部での破堤 Br-1, Br-2 (2019年10月13日13:40)

このように上流の破堤部から溢れた外水が、下流部で堤内地側から河川に戻ることにより破堤に到った事例は、台風19号洪水の際に他所においても観察されている.川越¹⁶ によれば、福島県において発生した50箇所の堤防決壊(国管理河川:1箇所、県管理河川:49箇所)のうち、同様な機構による決壊が6件見られたとの報告がなされている.

このうち,福島県須賀川市の阿武隈川左岸に位置する浜尾遊水池直下流での破堤もやはり同種のメカ ニズムによる.すなわち,遊水池上流の二箇所から越流した外水がその下流の狭隘な低平部に集中し, 本川に戻る際に破堤に到ったものと推定されている17).

また、今次台風以外に目を向けると、同様な機構による堤防被害として、首藤¹⁸、首藤⁵¹のにより 1986年台風10号洪水の際に吉田川・鶴田川流域で発生しているとの報告がなされている.この際、吉田 川の破堤箇所から氾濫した外水が堤内地を流れ、鶴田川の堤防を越えて河川に戻った.報告書¹⁸によれ ば、「下流三地点は殆ど時を同じくして破堤した.(中略)この氾濫水は0.5km~1.5km離れた鶴田川の 右岸堤に衝突して跳ね上がったと言われる.かなりの速度を持っていたと考えて良かろう.」と記述さ れている.宮城県鹿島台町の報告²⁰には、この際に鶴田川の堤防を堤内地から越流する様子が写真で残 されている.ただし、今次の丸森町においては出水が深夜であったために目撃情報は得られていないが、 同様な現象が生じたものと推測される.このため、数値シミュレーションに基づいて、詳細な洪水の流 れを明らかにすることが求められる.

なお、このような現象は超過洪水発生時には一般的に見られるものと推測される.この際には想定されていない川裏からの流れにさらされて破堤に到る危険性がある.このような視点に基づいて破堤の危険性について検討を行うことが求められる.

次節では、上流部での決壊による外水氾濫とのつながりを検討するために、詳細な数値シミュレーションを実施した.

3.4.4 氾濫に関する数値シミュレーション結果

(1) 数値モデルの検証

数値モデルの検証には、図3.4.2に示した内川水位観測所地点での水位の時系列変化、および丸森町市 街地エリアにおける実測された浸水深データを用いた.精度の検証には次式で定義される二乗平均誤差 RMSE値及びナッシュサトクリフ指標(Ceff)を用いた.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (o_i - p_i)^2}{N}}$$
(3.4.1)
$$Ceff = \frac{\sum_{i=1}^{N} (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^{N} (o_i - \overline{o_i})^2}$$
(3.4.2)

ここで、 o_i :測定された水位または浸水深、 p_i :モデルで計算された水位または浸水深、 \bar{o}_i :測定データの平均値、N:データ個数である.

図3.4.15にモデルによる計算結果と測定水位データの比較を示す.計算においては水位の立ち上がり が過大評価されているものの、両者は比較的良好な一致を示している.差違の要因として、シミュレー ションにおいて瞬間的な破堤を仮定していることなどが考えられる. RMSE値は0.682 m でナッシュサ トクリフ値が0.955との結果を得た.この2つの値より、モデルと測定データは良く一致していると言え る.

次に,丸森町の市街地の浸水深の比較を図3.4.16に示す.縦軸はモデルの出力結果hcalで,横軸は現地 で実際に測定した浸水跡の高さhmeasである.現地実測は2019年10月19日に行っている. RMSE値は 0.12m で,ナッシュサトクリフ値は0.595となった. こちらも良好に一致しているといえる.

以上の検証結果を踏まえ、以下では本モデルの結果を用いて堤防の決壊現象との関係に関する検討を 行う.



図3.4.15 水位の比較(内川水位観測所地点)



図3.4.16 水位の比較



(a) 10月12日 17:30



(c) 10月12日 19:30



(e) 10月12日 21:00



(g) 10月12日 23:00



(b) 10月12日 18:30



(d) 10月12日 20:10



(f)10月12日 21:20



(h) 10月13日 3:00



(2) 氾濫の様子

図3.4.17には数値シミュレーションで得られた氾濫の状況を示した.図3.4.17(a)の時点ではすでに降雨が始まっているが,流れは河道の中に収まっている.図3.4.17(b)においては,内川の上流部右岸において氾濫が見られる.その後,図3.4.17(c)では内川上流右岸の氾濫域が拡大している.図3.4.17(d)では内川・五福谷川合流点より上流の広範囲において3mほどの浸水深が認められる.その後,図3.4.17(e),図3.4.17(f)においては,内川・五福谷川合流点付近より堤内地への氾濫が見られ,図3.4.17(g),図3.4.17(h)において堤内地の水深の増加が見られる.上述の,堤内地からの氾濫水による破堤の生じた箇所は,いずれも鋭角隅角部に位置していることが分かる.まず,図3.4.18,図3.4.19,図3.4.12に被災状況を示した図3.4.17(g)のAの箇所は内川・新川合流部において形成された鋭角隅角部である.一方,図3.4.10,図3.4.11に写真を示した図3.4.17(g)のBの箇所は,橋梁取り付け道路の盛り土部が新川右岸堤防が山付き堤であることから,丘陵部と堤防の間に鋭角隅角部を形成している.

以上の様に、堤内地からの越流により破堤が生じた箇所は共通の地形的特性を有していることが分かった.

(3) 破堤の有無を支配する水理条件

堤防決壊の条件を調べるために、堤内地からの越流による堤防の破壊レベルを、

a. 破堤した場所, b.部分的な法面侵食があった場所, c.侵食がなかった場所

の3つに分類した.ここでは,侵食された断面において,天端部が完全に流失したか否かを a と b の境 界とした.

それぞれのレベルについて,最大越流水深 ho と氾濫継続時間 to との関係を調べた.図3.4.18 に結 果を示す.なお,数値シミュレーションにおいて図3.4.18 にプロットした地点の最大越流水深,氾濫継 続時間を求める際には,当該地点より上流側の破堤地点については上記計算法で破堤を考慮するが,当 該地点については決壊を起こさないものとしてシミュレーションを実施した.

図 3.4.18 によれば、決壊が発生した場所は越流水深、氾濫継続時間ともに大きい傾向があることが わかる.浸食の痕跡がなかった場所や、法面の一部侵食があった場所は最大越流水深が 0.4m, 氾濫継続 時間が 200 分以内の中にほとんどの地点が収まっている.また、破堤が起きた場所では氾濫継続時間が 200 分を超えている場所が多い.このことから、本研究では、堤防決壊は越流が生じてから 3 時間後に 起きたと仮定したが、これにより概ね現実の現象を表すことができていると推測できる.なお、図実線 は須賀ら 100が破堤限界の目安をして与えた次式を示している.

$$h_0 = \frac{110}{t_0} \qquad (\text{m-min } \nexists \texttt{\textbf{(m-min)}})$$

(m-min 単位)

(3.4.3)

本研究の結果はこれよりも幾分低めであり、破堤限界はおおよそ次式で与えられる.

$$h_0 = \frac{70}{t_0}$$

(3.4.4)



図3.4.18 破堤状況と越流水深・越流継続時間との関係

(4) 堤内地からの越流による決壊地点の水位特性

堤内地から河川に向かう越流が発生していた場所について、その水理特性をより詳しく調べるため、 最大越流水深を新川および内川について下流から上流に向かう方向で調べ、その特徴を検討した.図 3.4.19に対象箇所を示す.図中星印の点を座標原点として、新川、内川沿いにそれぞれ x1, x2座標を 設定した.この線上で最大越流水深を調べた.

図 3.4.20 に新川左岸における結果を示しており,図 3.4.17(g)のA点より上流の状況を示している. xn=90mにおける水位がもっとも上昇した箇所は決壊(×)と良好に対応している.また、これより上流の110m \leq xn \leq 300mでは水位が低下し、堤防の被害も法面侵食(Δ)である.xn=410mには新川に架かる橋梁の取り付け道路盛り土があり、ここにも鋭角隅角部が形成されている(図 3.4.17(g)のB点).ここでも、決壊位置と水位の上昇が対応している.

次に,内川の左岸について,図3.4.21に結果を示す.破堤と水位について,図3.4.20に見られたものと同様な対応関係が見られる.

図 3.4.22 は内川の右岸の結果であり,図 3.4.17(g)の C 点より上流について示したものである.最大 越流水深は約 0.4m となっているが,破堤レベルとの対応は明確ではない.図 3.4.19 に見られるよう に,内川右岸堤防の山付き付近の隅角部には樹木の密生が見られる.本研究ではこの様な植生の分布の 相違の影響を考慮しておらず,粗度を一定にして計算していることなどが,図 3.4.22 において明瞭な 傾向が見られない要因として考えられる.







図3.4.21 破堤箇所の越流水深(内川左岸)

図3.4.22 破堤箇所の越流水深(内川右岸)

3.4.5 阿武隈川水系下流域に関する結論

本研究では, EFDCモデルを用いて令和元年台風第19号時の宮城県丸森町内の河川の流動を再現した. 新川右岸や五福谷川右岸では,川表側に侵食の痕跡があったことから堤内地から川に向かう方向への越 水の影響で堤防が決壊した事がわかった.内川橋での水位の時系列変化と市街地での浸水深の比較でモ デルの検証を行った.検証の結果から,比較的再現性の高いシミュレーションを行なうことができたと いえる.

モデルを用いて決壊が起きた地点の最大越流水深及び氾濫継続時間を調べた.決壊が起きた場所では, 最大越流水深,氾濫継続時間ともに大きい値であることがわかった.さらに,最大越流水深を河川沿い に調べ,その特徴を検討した.この結果から,内川の合流部分と橋梁取り付け道路の上流部分で越流水 深が高くなっている.これらはいずれも鋭角隅角部を形成し,氾濫水の集中をもたらし,破堤に至った と推測される.これ以外に,新川との合流点に近い内川右岸の山付部においても同様な地形特性による 流れの集中が認められ,堤内地からの越流破堤が生じている.

謝辞:本研究で使用した河床データは宮城県河川課から提供を受けた.ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) 土木学会東北支部・地盤工学会東北支部・地すべり学会東北支部・東北大学災害科学国際研究所: 2019 年台風 19 号災害に関する東北学術合同調査団調査結果に関する速報会, 44p, 2019.
- 2) 宮城県土木部河川課:第1回令和元年度台風 19号により被災した河川管理施設等の設計検討会 資料-3,2019.
- 3) 丸森町史編さん委員会 編: 丸森町史, 国立国会図書館, 1316p, 1984.
- 4) 建設省仙台工事事務所: 8·5豪雨(台風 10号)災害=直轄河川·道路被災記録=, 74p, 1986.
- 5) 宮城県: 災害の記録 みやぎ災害記録集, https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kasen/miyagisuigaikirokusyuu.html
 6) 松田磐余: 1986 年台風 10 号による被害の特徴と出水への対応,総合都市研究,第 30 号, pp.51-
- 6) 松田磐宗·1986 平台風 10 芳による被害の特徴と田水への対応,総合都印研先,第 30 芳, pp.51 74, 1987.
- 7) 丸森町: 台風 19 号, 丸森町からのお知らせ(災害関連情報まとめ) http://www.town.marumori.miyagi.jp/soumuka/bousaiinfo/emergency/taifu19_saigaiosirase.html
- 8) Hamrick, J.M.: A Three-Dimensional Environmental Fluid Dynamics Computer Code, Marine science and ocean engineering, 317, pp.5-1992, 1992
- 吉野文雄, 土屋昭彦, 須賀堯三: 越流水による堤防法面の破壊特性, 第 24 回水理講演会論文集, pp.351-356, 1980.
- 10) 須賀堯三, 石川忠晴, 葛西敏彦: 越流水による堤防の破堤特性その 3, 第 25 回水理講演会論文集, pp.355-360, 1981.
- 11) 與田敏昭:河川堤防の越流侵食のメカニズムに関する研究,京都大学学位論文, pp.1-146, 2014.
- 12) 宮城県: 河川流域情報システム, https://www.dobokusougou.pref.miyagi.jp/miyagi/servlet/Gamen1Servlet
- 13) Sayama, T., Fukami, K. Tanaka, S. and Takeuchi, K.: Rainfall-runoff-inundation analysis for flood risk assessment at the regional scale, *Proceedings of the Fifth Conference of Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW)*, pp.568-576, 2010.
- 14) 川内淳史: 19世紀初頭丸森町の「町場替」と 歴史的空間の変遷, 2019.

http://irides.tohoku.ac.jp/media/files/disaster/typhoon/marumori_machiba_19thcentury.pdf

- 15) NHK News web: 役場が水没し孤立 原因は 1m もの地盤沈下 宮城 丸森町, 2019 年 11 月 5 日, 2019.
- 16) 川越清樹: 令和元年台風第 19 号 福島県の被害と考察, 令和元年度土木学会東北支部技術研究発 表会概要集, 2020.
- 17) 国土交通省東北地方整備局: 第2回阿武隈川上流堤防調査委員会 資料, 2019.
- 18) 首藤伸夫:第12章 吉田川の氾濫, 1986年台風 10 号による関東・東北地方の災害に関する調査研 究,昭和61年度文部省研究費自然災害研究報告書, pp.112-120, 1987.
- 19) 首藤伸夫, 佐々木幹夫, 柳沢栄司:第14章 福島県・宮城県・青森県における堤防破壊, 1986年台 風 10 号による関東・東北地方の災害に関する調査研究, 昭和61年度文部省研究費自然災害研究報 告書, pp.128-135, 1987.

20) 宮城県鹿島台町:吉田川洪水の記録―昭和 61 年台風 10 号大雨・洪水―, 188p, 1987.

21) 宮城県土木部河川課:第2回令和元年度台風 19号により被災した河川管理施設等の設計検討会 資料-4, 2019.

(以上 文責 東北大学 田中 仁)

3.4.6 その他の阿武隈川下流域の災害

東北地方で最も累積雨量の 多かった宮城県丸森町(筆甫 観測所:607.5mm)では,洪水 の他、土砂災害に関わる甚大 な被害が認められている. 多 数の土砂災害を引き起こした 丸森町の地質は、大局的に花 崗岩,花崗閃緑岩を基岩にし て、その上部を被覆するよう な形で氾濫原, 崖錐堆積物が 分布している. 概ね, 斜面傾 斜度で 15~35°の山岳地域が 特に丸森町南部に広がるが、 令和元年台風第19号では、こ の山岳地の東向き斜面にて多 量の斜面崩壊が認められてい る. 特に斜面崩壊の集中して いるのは五福谷川流域であ る. 土砂災害の死者・行方不 明者は6名であり、 廻倉地区 は4人が集中している(図 3.4.23).



なお, 廻倉地区に関しては, 2002 年 3 月 17 日の山火事に伴う樹林植生の動向が着目され ている. 2002 年山火事発生に伴い根本の年輪は約 15 年になる.山火事により樹林が消失, 枯死したために根茎が腐食し,新たに杉を植林しているが,発達が不十分であったため根系 の緊縛力が周辺の山腹斜面より弱まっていた可能性も指摘されており,今後総合的に検討 することも提言されている¹⁾. 全般的に丸森町は,崩壊面積も多く,斜面崩壊が集結して土

石流として流出している被害も多発している. また、この土石流は岩塊だけでなく、流木も多 く含み(図3.4.24)、特に橋梁部では河道の閉塞 を促進させている結果も得られている.地形地 質による漸弱性と並行して、植林と崩壊の関係 も注視して検討することが望まれる.

参考文献

井良沢道也他:2019年10月台風19号による東北地方における土砂災害,砂防学会誌,Vol.72,No.6, pp.42-53, 2020.

(文責 福島大学 川越清樹)



図 3.4.24 五福谷川の流木状況

3.5 砂押川水系

3.5.1 調査概要

宮城県利府町から多賀城市へと流れる砂押川では、今次台風により1箇所で破堤が生じた(図3.5.1). 惣の関観測所においては10月12日23時から24時の間に最大となる時間雨量(60mm程度)が観測され、累積雨量は約300mmであった.砂押川の砂押鴻池橋および支川の勿来川の勿来遊水地吐口では10月12日18時から大きく水位が上昇した(図3.5.2).破堤箇所およびその周辺状況の調査を目的に10月19日に現地調査を行った.



3.5.2 破堤箇所の状況

破堤地点およびその周辺の写真を図 3.5.3 に示す.破堤箇所は川の曲がりの外側に位置 していた.また,破堤箇所の上流側と下流側の双方に橋があり,両側の橋に向かって堤防の 天端が徐々に高くなっていた.外力の作用しやすい湾曲部の外側であり,その中で堤防の天 端が比較的低いことが本地点で破堤が生じた要因と考えられる.また破堤地点周辺に民家 は確認されたが,堤防天端より高い位置にあり,破堤による被害は確認されなかった.

(1) 砂押川遊水地周辺の浸水状況

砂押川と勿来川の合流地点の上流側にはそれぞれ砂押川遊水地と勿来川遊水地が設置されているが,砂押川遊水地周辺~JR陸前山王駅付近の広範囲にわたって浸水の痕跡が確認された(図3.5.4).フェンスの地面から数十 cm~1 m 程度の高さに浸水時に付着したと考えられる草が見られた.遊水地の堤防には越流の痕跡が見られず,また,上述の破堤箇所と離れていることから,遊水地脇を流れる水路から水があふれ広範囲に浸水したものと推察される.



図 3.5.3 破堤位置 (a) および調査時の写真 (b) (c)



図 3.5.4 砂押川遊水地~JR 陸前山王駅付近の浸水痕跡

(以上 文責 東北学院大学 三戸部佑太)

第4章 福島県

4.1 全体概要

4.1.1 被害の概況

令和元年10月6日に南鳥島近海で発生した令和元年台風第19号(Hagibis)は、西進しなが ら急速に発達し、12日19時前に強い勢力で伊豆諸島へ上陸した.上陸後も強い勢力を維持 しながら日本列島の北東側へ縦断し、13日12時に北海道・東特地方三陸沿岸の東海上に至 るまでに日本列島北東部側の各地に甚大な降雨をもたらした.静岡県、関東・甲信越地方、

東北地方では,記録的降雨量が 認められ,甚大な降雨に伴う多 くの水・土砂の被害が生じた. 福島県では,死者 32名,全壊住 宅1,489棟・半壊住宅12,560棟 (令和2年4月10日速報値¹⁾), 堤防決壊個所数50ヶ所,がけ崩 れ発生件数125ヵ所の全国都道 府県の最大値を記録した被害が 認められた(表4.1.1 参照).福 島県における水害被害の特徴は 以下の①~③に整理できる.

 令和元年台風第19号により、 全国規模で最多となる死者 が認められた。 表 4.1.1 令和元年台風 19 号の被害概況速報値 ¹⁾

		福島県	東北地方	全国
死者・行方不明者 [災害関連者除く] (人)		32	56	107
全均	裏住宅(棟)	1,489	1,833	3,038
**	裏住宅(棟)	12,560	16,532	30,024
一部破損住宅(棟)		6,977	10,667	37,320
床上浸水(棟)		1,161	2,991	8,129
堤防決壊		国: 1	国: 2	国:14
	(箇所)	県:49	県:85	県:128
土砂	土石流	19	239	407
災害	地すべり	0	0	44
(件)	がけ崩れ	125	260	501

- ② 甚大な被害を及ぼした災害 項目として、堤防決壊等の河川被災に伴う水害、がけ崩れに関わる土砂災害が挙げられる。
- ③ 被害判読困難な水害に起因した被災が多いため,水害の及ぼす社会へのインパクトは甚大だ った.

本報告では、福島県の災害特徴に示された被害について、現地を調査、分析した結果を報 告するともに、被害に対する考察をまとめた.

4.1.2 令和台風第19号時の福島県降雨概況と災害履歴の比較

(1) 降雨概況

災害を誘発した降雨状況,および過去に福島県に甚大な被害を与えた台風による災害履 歴の比較検討の結果を整理した.降雨に関するデータセットとして総計 171 ヶ所の気象庁 管轄,国土交通省管轄(但し阿武隈川流域のみ),福島県管轄の降水量観測所の観測データ, およびレーダーアメダス解析雨量デ ータ(編集:気象庁,発行:気象業務支 援センター)を用いた.

1時間最大降雨量に関すれば,福島 県浜通り地方で約30~40mm,中通り 地方で約30mm,会津地方で約20mm を記録した観測所が広く分布する.1 時間最大降雨量の最大値を記録した 降水量観測所は南相馬市に分布する 高の倉ダム(新田川水系水無川)の上 流側に位置した助常観測所であり,降 雨量74mm(10月12日17~18時)を記 録した.

24 時間最大降雨に関すれば,福島 県浜通り地方,中通り地方,会津地方 南部の広い範囲で,200mm以上の24 時間最大降雨量を記録した観測所が 認められた.なお,阿武隈高地東麓で は,概ねが24時間最大降雨量400mm 以上の領域となる.24時間最大降雨 量の最大値を記録した降水量観測所 は,1時間最大降雨量と同様に助常観 測所であり,611mm(10月12日16時 ~10月13日4:00)を記録した.

48 時間最大降雨に関すれば, 概ね 24 時間最大降雨量と分布, 降雨量と 一致した結果となった.

降雨量は,県内の広い範囲で強雨, 多雨が認められたが,特に,阿武隈高 地東麓で相対的に降雨量が多い傾向 を示す結果を得た.また,おおよそ24 時間前後で生じた降雨となることも 明らかにされた.時間傾向と降雨量の 特徴を把握するために,図4.1.1の(1) ~(4)に継続降雨時間と降雨量の関係 を整理した.

図 4.1.1(1)は降雨継続時間の分布 図である.県内全域の概ねが 15~20 時間の降雨継続時間となり,会津北部 山間部,浜通り地方,中通り地方の北 部の一部には,20~30時間の降雨継 続時間の領域が存在する結果を得た.



図 4.1.1(2)は最大時間降雨量発生時刻の分布図である.10 月 12 日 16 時~13 日 0 時の範囲 で県内に強雨が発生した結果を得た. なお, 空間的な特徴として, 浜通り地方の北部側は21 ~23 時,南部側は 21~22 時に最大強雨を発生した観測所も点在するが,総じて 17~20 時 の時刻に最大強雨の発生した領域が広く認められた.中通り地方では,北部,中央部,南部 で強雨発生時刻の傾向が分類されている. 北部は 20~22 時, 中央部は 21~23 時, 南部は 16~22 時に最大強雨発生時刻を示した. 会津地方では, 北東部に 12 日 20 時~13 日, 南部 に 21~22 時の強雨時刻領域が存在するが, 概ね 20~21 時に最大強雨が認められた.以上 より、県内の各地方、各領域で概ね時間的な特徴が分類できる結果を得た.図4.1.1(3)は、 図 4.1.1(2)より得られた結果を参考に、10月 12日 16時~13日 4時の計 12時間の継続時 間のグリッドセル情報(データ : レーダーアメダス解析雨量, 空間解像度 1km×1km), および 各気象観測所の継続時間降雨量の結果を統合した結果である.観測所の結果は 24 時間最大 降雨量の結果と概ね一致する. なお, グリッドセル情報では, 阿武隈高地の分水嶺付近の広 い範囲が降雨量 600mm 以上に達する結果を示した.図 4.1.1(4)は、観測所の降雨継続時間と 継続時間の総降雨量の関係図である.図よりおおよその時間当たりに換算する降雨量を推 察でき,1時間最大降雨量に列挙した助常等の特に強雨の生じた阿武隈高地東麓の観測所は, 時間に差異はあるものの、時間平均約 30mm に換算される降雨が認められた. その他の県 内各観測所は、約15~25mmの時間平均降雨となる結果を得た.

これらの結果より,台風第19号に伴い県内広い範囲では,10月12日16時を起点として 15~20時間の継続で時間換算平均15~25mm/hの降雨量を記録していた.ただし,地域に 応じて時間,量の差異の傾向も示され,強雨発生の特徴が区分できる結果も得られた.また, 阿武隈高地東麓では特に強雨かつ多雨を記録していたが,レーダーアメダス解析雨量より, 高地の分水嶺の広い範囲で強雨,多雨になっていた結果を得た.

(2) 台風による既往豪雨災害との比較検討

「伊豆半島から台風上陸した場合には,福島県で甚大な異常出水による被害が生じる」と いう経験的な知見が行政関係者間で伝えられている.この理由として,福島県の人口,社会 機能の集中する阿武隈川流域の北流と台風進路方向の一致が挙げられる.台風時には,阿武 隈川で上流から流下方向に向けて絶えず供給,河川流出が繰り返される.また,河道の随所 に狭窄部を含む地形的な特徴も有している.これら条件の重複より,多大な降雨に敏感な反 応して水位上昇が生じ,人的,かつ資産的被害まで及ぶことに由来する.なお,阿武隈川の みが特筆される要因として,静岡県以東の日本列島太平洋側の大河川で唯一,北流する河川 であることが挙げられる.

福島県の災害履歴^{2,3,4)}を調査すると、以下①~⑤の台風イベントによる甚大な災害が記

録されている.

- 昭和 22 年 カスリーン台 風 (9月15日)
- ② 昭和 33 年 狩野川台風 (9月21~27日)
- ③ 昭和 61 年 8 月豪雨(台風 10 号) (8 月 4~5 日)
- ④ 平成10年8月豪雨(台風4・5号) (8月26~31日)
- ⑤ 平成 23 年 台風 15 号 (9 月 20~22 日)

これらの台風,および令和 元年台風第19号の福島県の災 害概況をまとめたものが表 4.1.2 である.いずれとも被害 の量的な大小は認められる が,総じて甚大な被害が認め られている. また, 近年は, お およそ10年に1度の周期で台 風襲来に伴うインパクトの強 い被害が認められている.数 的被害は不明瞭だが, いずれ も阿武隈川水系内で堤防決壊 が生じており, 福島県の被害 に対する阿武隈川の影響度の 大きさが示されている. なお, 令和元年台風第19号に関して は,カスリーン台風,狩野川台 風に匹敵する人的被害に及ん だことも把握できる. 狩野川 台風以降, 高度経済成長とと もに水害防止に対するインフ ラ整備が進み,飛躍的に人的 被害,かつ資産の量的な被害 は減少傾向を示した.ただし, 令和元年台風第19号では、イ

表 4.1.2 過去の台風との福島県災害状況概要表

	カスリーン 台風	狩野川 台風	昭和 61 年 8月豪雨	平成 10 年 8 月豪雨	平成 23 年 台風 第 15 号	令和元年 台風 第 19 号 (速報値)
死者・ 行方不明 者 (人)	38	68	3	11	0	32
全壊住宅 (棟)	209	707	14	48	17	1,489
半壊住宅 (棟)	_	_	33	74	1,217	12,560
床上浸水 (棟)	33,470 床下含	9,549	5,501	1,106	234	1,161
堤防決壊 (箇所)	荒川他	荒川, 松 川, 大 川, 湯川	谷田川, 逢 瀬川他	杉田川,谷 津川,堀 川,黒川他	阿武隈川 (県管理)他	国:1 県:49



表 4.1.3 甚大な被害を与えた台風群経路との類似事例

Typhoon		発生期日	日本列島被害	福島県被害
T10	T-No.8610	1986.8.4		
T05	T-No.9805	1998.8.26-31		
T15	T-No.1115	2011.9.20-22		
T19	T-No.1919	2019.10.12-13		
1	T-No.1204	2012.6.19-20	静岡・神奈川で被害	一部損壊·床下浸水
2	T-No.1419	2014.10.13-14	列島広域で被害	床下浸水
3	T-No.1506	2015.5.12	鹿児島で被害	なし
4	T-No.1607	2016.8.17-18	関東~北海道で被害	床上下浸水
5	T-No.1609	2016.8.22-23	関東・北海道で被害	一部損壊·床下浸水
6	T-No.1721	2017.10.22-23	宮崎で被害	一部損壊·床上下浸水
7	T-No.1813	2018.8.8-10	関東で被害	なし
8	T-No.1824	2018.9.30-10.1	関東以南で暴風被害	一部損壊
9	T-No.1906	2019.7.26-29	奈良で被害	床下浸水
10	T-No.1915	2019.9.7-9	千葉で甚大な被害	半壊·床上下浸水

ンフラ整備より補填された防災レベルを超過し、被害が生じたといえる.

図4.1.2は、デジタル台風データベース⁵⁾を基に、令和元年台風第19号、福島県に甚大 な被害を与えた①~⑤の台風群、およびこれらの台風群経路の範囲内(但し福島県内)に生じ た平成 23 年台風第 15 号から令和元年台風第 19 号までの期間の台風経路を示した総括空間 分布である.令和元年台風第 19 号と福島県に甚大な被害を与えた台風群経路の上陸範囲は 概ね愛知県から千葉県であり,河川管理上の経験的な知見より広い範囲になることが示さ れた.ただし,いずれの台風群とも,阿武隈川の流下方向と概ね一致する経路を辿っており, 多大な降雨に反応して敏感に水位上昇したイベントといえる.また,近年の平成 23 年台風 第 15 号から令和元年台風第 19 号の期間内では,222 ケースの台風が発生している.この 内,福島県に甚大な被害を与えた台風群経路の範囲内に 11 ケースの台風が認められた.こ れら類似した 11 ケースの台風経路の災害の概況を示したものが表 4.1.3 である.例外も存 在するものの,概ね福島県内に床下浸水以上の被害を生じさせている.

4.1.3 死者の分析

令和元年台風第19号 の人的被害に関して, 福島県では,全国都道 府県最多の32人の死者 となる災害特徴が認め られている.図4.3は死 者被害を市町村毎にま とめた¹⁾分布図である. 32人の内,斜面崩壊に 関わる土砂災害による 死者が3人(二本松市2 人, 白河市1人)で,そ



の他が浸水等に関わる溺死,浸水中の土砂吸引等の水災害に関与した死者となる.死者の認められた地域は10ヶ所と県内で点在するが,死者の集中した場所は,郡山市(6人),本宮市(7人),いわき市(8人)である.郡山市に関しては,阿武隈川水系谷田川流域内での死者が4人と多いが,谷田川流域内の死者は特定領域に集中したものではない.一方で,本宮市では,阿武隈川と支川の安達太良川合流部の特定領域に7人の死者が集中する.また,いわき市では、夏井川流域の死者7人となり,その内の4人が平下平窪に集中する.本宮市といわき市平下平窪の特定領域はいずれも堤防決壊に近接した位置関係をなし,これら地域の死者は地域居住の住民となる.なお,死者の32人の年齢構成は,20歳未満2人,20歳以上30歳未満1人,30歳以上40歳未満2人,40歳以上50歳未満1人,60歳以上70歳未満12人, 70歳以上80歳未満8人,80歳以上6名となる.60歳以上の高齢層の死者は,合計26人であり,死者に占める約80%の高い占拠率を示した.特定地域に死者の集中した本宮市の死者7人の内の6人,いわき市平下平窪4人全員が60歳以上となり,ほとんどが高齢層となる.その他,車両運転中による死者が9人となることも把握された.この人的被害の60歳以上は5人となり,全体,特定地域で集中する死者の高齢者割合よりも低くなる結果を得た. これらの死者の傾向を整理すると以下の①~④にまとめられる.

- ① 都道府県の最多となる死者 32 人の内 29 人が浸水等に関わる溺死等の水害に関った.
- ② 死者の認められた市町村は県内 10 ヶ所と点在するが、堤防決壊した本宮市、いわき市の特 定領域に死者が集中した.
- ③ 死者 32 人の内の高齢層(60 歳以上)の占拠率が約 80%となる結果が示され、堤防決壊した本 宮市、いわき市の特定領域の死者は概ねが高齢層だった.
- ④ 車両運転中による死者は9人となるが、相対的に死者の高齢者割合よりも低くなり、年齢層 に偏りがない.

全国規模で最多となる死者となっ た福島県の災害特徴のうち,特に死 者が高齢層に偏る結果は,特に留意 しなければならないポイントであ る.なお,堤防決壊に近接した位置に 集中した本宮市といわき市平下平窪 の死者の概ねは高齢層だが,これら 地域の避難情報の時間履歴 ^のは**表**

A. I. I. 70					
	本宮市本宮 2・3 区	いわき市平			
避難準備・高齢者等 避難開始	2019/10/12 14:00	2019/10/12 10:00			
避難勧告	2019/10/12 20:00	(2019/10/12 19:10)			
避難指示(緊急)	2019/10/12 22:15	2019/10/12 21:40			
災害発生	2019/10/13 1:05	—			

表 4.1.4 死者集中地域の避難情報発信時間

4.1.4 に示すとおりとなる.また,該当市のハザードマップを参考にすれば,双方の領域と も浸水深 2.0m以上の範囲に含まれている.先に示した豪雨発生時刻やのちに説明する河川 水位上昇時刻を踏まえて,情報どおりに高齢者等の避難の機能がなされれば安全性を担保 できた可能性が示唆される.一方,安全を確実に確保するには適切な情報を提供するだけで はなく,万人を情報に順応させる行政,および地域全体の避難サポート体制を整備すること や,リスクの高まる地域に居住する高齢層の避難対象者各自の危険事象への対応認知の向 上と避難行動を円滑にさせる取り組みの強化が必要になることを示している.

4.1.4 堤防被害の概況

(1) 河川水位ピーク発生時刻

堤防決壊への主な原因と関連付けられる河川水位の変動情報を整理した.河川水位に関 するデータセットとして国土交通省管轄(但し阿武隈川流域のみ)⁷,福島県管轄の河川水位 観測所の観測データ⁸を用いた.

図 4.1.4 の(1), (2)は,各水位観測所の観測データに基づいたピーク水位の発生時刻を整理したものである.図4.1.4(1)より,10月12日22:30~13日1:30の間にピーク水位を多くの観測所で観測されており,特に,ピーク水位を記録した観測所の多かった時間帯が12


(2) ビーク水位発生時刻空間分布 図 4.1.4 ピーク水位発生時刻と水位観測所の 関係図

日 23:00~23:30 となる. 急遽の迅速 な避難を行った場合には危険性の高 まる深夜帯のピーク水位の記録であ ることが示されている.

ピーク時間の地域性を求めるため, ピーク水位発生時刻の空間分布を示 したものが図4.1.4(2)である.ピー ク水位を記録した観測所の多かった 12日23:00~23:30の地域特性は,県 内の広い範囲で10月12日16時を 起点に15~20時間の継続で時間換 算平均15~25mm/hの降雨が認めら れたこともあり,明瞭に特定するこ とができない.この時間に記録され たピーク水位の観測所は,浜通り地 域から会津地域までの広い範囲に点 在する.時間に応じた地域性が認め られるのは,ピーク水位を多くの観 測した10月12日22:30~13日1:30





の時間帯の終盤からである.0:30より阿武隈川本川上流域の白河,滑津の観測所がピーク水 位を記録する.以降,ピーク水位を記録したものは阿武隈川本川の水位観測所へ遍在する. 10月12日22:30~13日1:30は強雨,多雨に敏感に反応して県内各地でピーク水位流量が認 められるものの,13日0:30以降は中通り地域を貫通する阿武隈川への水系支川の集水がな され,本川でピーク水位が認められている.なお,阿武隈川本川で最も遅い時刻にピーク水 位を記録した観測所は中流部に位置する二本松であり,福島~二本松の区間に存在する狭 窄部の影響による流出水の集積が示されている.なお,本川の河川水位の水位状況は図 4.1.5に示すとおりであり,二本松付近の水位が長時間にわたり高水位にあることが理解で きる.

図4.1.6は,福島県内 の水位観測所における 氾濫危険水位超過時間 を空間情報で整理した ものである. 氾濫危険水 位超過時間の長い部類 に区分される 16 時間以 上に該当する水位観測 所は二本松,須賀川,阿 久津,本宮であり,いず れも阿武隈川本川の中 流部に位置する. なお, 最長時間は二本松であ り 18 時間と記録されて いる. ピーク水位発生時 刻の結果の通り、福島~



二本松の区間に存在する狭窄部の影響により、長期間にわたり本川で円滑な流下のできない状態が継続し、高水位が記録されていたことを示している.なお、高水位状態が長期化した阿武隈川本川沿岸の二本松市安達地区では、土地利用一体型防災事業が平成21~27年に進められおり、輪中堤整備や家屋嵩上げの整備がなされている.また、これらの地域は、二本松市条例により平成22年度から災害危険区域に指定されている.浸水被害の常襲の災害履歴より、これらの整備や指定がなされているが、この地区では、令和元年台風第19号による甚大な被害が報告されていない.河川水位上昇と長時間化しうる水害リスクの高まる地域に対する予め浸水を想定した減災も含めた効用に関しては、今後の水防災上での有効なケーススタディになりうる. 緻密なデータも収集して改めて精査する意向である.中通り地域に関しては、阿武隈川本川中流部である二本松~須賀川の区間で特に氾濫危険水位超過時間が記録された.なお、中通り地区の阿武隈川支川は、一部の地域を除き、氾濫危険水位超過時間4~6時間を記録した水位観測所が多く存在した.浜通り地域では、いわき市の梅本(新川)、

南相馬市の原町(新田川)に示される平地に位置する市街地の水位観測所で 10 時間以上, い わき市の小川(夏井川), 松原(鮫川), 相馬市の中村(宇多川)に示される比較的に流域面積の大 きな河川の水位観測所で6時間以上の氾濫危険水位超過時間を記録する傾向が認められた. その他の河川では、氾濫危険水位超過時間4~6時間を記録した水位観測所が多く存在した. 会津地域では, 高田(宮川)にて氾濫危険水位を1時間超過した結果が得られた. その他の水 位観測所では、氾濫危険水位超過が認められていない.

氾濫危険水位超過は、中通り地域、浜通り地域で多く認められており、概ね4時間以上の 超過時間を記録した. 氾濫危険水位と厳密に堤防越水に達した水位高と異なるが, 建設省土 木研究所による越水堤防調査の越水事例(1967~1976年,90事例)に基づく ⁹と,越水深 60cm で3時間の越水を決壊の目安としている.その後の末次による追跡分析 ¹⁰により不陸,堤 防の天幅,裏のり勾配,川表・裏の護岸により抑制効果は大きく異なることも報告されてい るものの、従前の目安を考慮すれば越水による堤防決壊が頻発しうる水位状況であったこ とが示される.

福島県の堤防決壊分布と要因 (2)

図 4.1.7 は福島県 内の堤防決壊個所分 布である.福島県内の 堤防決壊個所数は国 管轄1ヶ所,県管轄の 49ヶ所の計50ヶ所と なる. 中通り地域 31 ヶ所,浜通り地域 18 ヶ所,会津地域1ヶ所 で区分される.特に, 被災の集中した市町 村、および河川領域 は,いわき市の夏井川 (5 ヶ所), 玉川村, 鏡 石町, 矢吹町の区間を 流下する阿武隈川上 流域(6 ヶ所), 白河



市,棚倉町,浅川町,石川町の区間を流下する社川(10ヵ所)である.いずれも地形的な共通 条件として,緩やかな河川勾配を呈する蛇行した河川形状を呈した領域となることが挙げ られる. その他, 全般の地形的特徴の傾向として, 本川と支川の合流部付近の支川側, 扇状 地付近での扇頂付近の決壊事例が多く認められた. なお, 本川と支川の合流部付近の支川側 の堤防決壊に関しては、背水現象を示唆する痕跡が多く認められている。流域全域での強雨、 多雨の影響に伴う本川側の水位上昇により合流部付近での堤防決壊が生じた可能性が高い. また,扇状地付近での扇頂付近に関しては,夏井川等を除く浜通り地域の小規模河積の河 川にて多く認められた.

地形的な特徴より,概 ねの決壊分布の傾向が 示されるものの,調査結 果に基づき各堤防決壊 の直接的な原因を整理 している.図4.1.7とと もに,図4.1.8に堤防決 壊の直接原因を整理し た.堤防決壊の概ねが地 形的な特徴に示された



図 4.1.8 福島県の堤防決壊の直接原因

河川蛇行部,本川と支川の合流部,扇状地の扇頂部や,構造物などにより河積制限された 領域部で生じた外水越流を直接的な原因とする.その一方で,少数ではあるが,現地調査 より内水越流,外水越流と漏水の重複した2パターンの被災原因を示す結果が得られた. 戻し流れによる内水越流に関しては,基大な出水に伴う上流側の洪水流が河川に戻し流 れによるものであり,堤外側に越流に伴う洗堀跡が示されたものである.流域全体への極 大降雨の出現に伴い生じたものであり,今後の気候変動の影響により増加しうる原因と 位置付けられるものである.外水越流と漏水の重複に関しては,外水の痕跡の他に堤防法 尻に湧水,噴砂痕跡を残すものである.越水も原因としているが,堤防整備領域の条件性 により決壊現象を促進させた可能性も示唆する.持続的で強靭な堤防整備を進める上で 漏水の要因究明と対応の検討が不可欠といえるものである.以下,4.2~4.4に中通りを貫 流する阿武隈川上流北部と南部の各河川,および各地区の堤防決壊状況の調査結果を記 載する.また,4.5にはその他の堤防決壊,および洪水氾濫に伴う被害の特記事項も報告 する.

参考文献:

 内閣府:令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について(第 45 報), http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_45.pdf, Site viewed:2020/05/25.

2) 国土交通省東北地方整備局: 阿武隈川水系河川整備計画, pp.172, 2012.

3) 建設省福島工事事務所(現国土交通省福島河川国道事務所): 阿武隈川洪水記録写真集, pp.213, 2000.

4) 福島県消防防災課:福島県災害誌, pp.579, 1972.

5) 北本朝展: デジタル台風: 台風画像と台風情報, http://agora.ex.nii.ac.jp/digital-typhoon/, Site viewed:2020/05/25.

6) 福島県災害対策課:令和元年台風第19号等による被害状況即報 (第93報), https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/382550.pdf, Site viewed:2020/05/25.
7) 国土交通省:水文水質データベース, http://www1.river.go.jp/, Site viewed:2020/05/25. 8) 福島県:河川流域総合情報システム, http://kaseninf.pref.fukushima.jp/gis/, Site viewed:2020/05/25.

9) 須賀堯三・橋本宏・石川忠晴他:越水堤防調査最終報告書―解説編―, 土木研究所 資料, No.2074, 1984.

10) 末次忠司:河川堤防の耐越水性向上について,水利科学, No.317, 43-50, 2011.

(以上 文責:福島大学 川越清樹)

4.2 阿武隈川水系上流域北部

4.2.1 調査概要

阿武隈川水系上流域の北部では,伊達市から本宮市までの区間の調査を 10 月 15日に行った.調査地点は図4.2.1の通りである.以下に調査地点の被害状況について報告する.

4.2.2 伊達市梁川町五十沢地区

伊達市柳川町五十沢付近では,阿武隈 川の堤防の堤内地側が大きく損傷してお り,破堤寸前であった(写真4.2.1).こ の地点は阿武隈川左岸の連続堤防が直下 の狭窄部左岸丘陵地に接続する山付堤に なっている場所である.破堤地点は堤防 の天端が周辺部に比べて 50 cm ほど低 い.破堤地点付近の流水痕は,堤外地か ら堤内地に向かって河川水が越流したこ とを示唆していた.堤内地側は湛水した 痕跡が確認できた.

以上より,梁川町五十沢の堤防損傷は, 阿武隈川本川の水位上昇により,天端高 が低い山付堤部を阿武隈川の河川水が越 水し,堤内地側法面を洗屈したもの推測 される.

五十沢地区で損傷した阿武隈川左岸堤防の堤内地側は標高が周辺よりも低い農地になっている.付近の痕跡から,ここでの湛水深は約1.9mと推測される(写真4.2.2).狭窄部の直上に位置するため,洪水時の氾濫水は標高の低い農地で受け,農地より一段高い道路と同じかそ



図 4.2.1 調査対象地点



写真 4.2.1 梁川町五十沢の堤防損傷 (撮影点: N37.885135, E140.625857)



写真 4.2.2 損傷した山付堤背後の湛水痕 (撮影点: N37.885187, E140.625892)

れ以上の標高に住居が配置されており, 被害を抑制できている.高低差を利用し て氾濫水を低地の農地で受ける計画的な 土地利用が機能した好例と言える.

五十沢の破堤地点背後の道路下には, 堤内地から堤外地に接続する暗渠があ る.暗渠の上流側の堤内地では幅1m程 の開水路になっている.道路下の暗渠お よびその上流側の開水路で構成される 20m弱の区間において,道路の崩落,開 水路両岸の護岸崩落,隣接住居からの自 動車2台の落下を確認した(写真4.2.3).

阿武隈川の水位上昇に伴ってこの水路 の水位が一定時間上昇し,湛水した水が 開水路両岸の背後や道路下の土砂を洗掘 したものと推測される.

4.2.3 伊達市梁川町塩野川橋付近

伊達市柳川町五十沢付近では,阿武隈 川の堤防の堤

伊達市梁川町の塩野川に架かる塩野橋の 上流側では外湾水衝部の護岸浸食や越水 の氾濫が確認できた.堤防は低く,川沿 いの住居には浸水していた(写真 4.2.4).

橋梁直上の水衝部の護岸が損傷してい ることから、上流からの出水と塩野橋に よる通水阻害が直接の原因ではないかと 考えられる.

4.2.4 国見町西大枝原前道下付近

国見町西大枝原前道下の欠下橋の上流 20m付近の場所では,滝川の右岸が50m



写真4.2.3 五十沢地区の道路陥没 (撮影点: N37.796270, E140.923415)



写真 4.2.4 梁川町塩野川橋付近の被害 (撮影点: N37.806123, E140.943556)



写真 4.2.5 国見町の欠下橋の被害 (撮影点: N37.806123, E140.943556)

弱の区間にわたって破堤した(**写真 4.2.5**). 右岸側の堤内地の標高は低く, 農地として利 用されていた. 右岸堤防の堤内地側には堤防に沿った用水路が設置されている点が特徴的 である. この右岸堤防の堤内地側の農地には広く湛水したことを示す流水痕がある. 滝川の右岸の破堤地点の堤防天端付近 には流水痕があったため,天端付近まで 河川水が達していたものと推測される. 越水が発生したかどうかは不明である が,天端付近までの水位上昇が破堤の原 因になったと考えられる.

4.2.5 国見町県北浄化センター付近

滝川の右岸堤防の護岸直上部の破堤に より,県北浄化センターがある右岸側堤 内地に河川水が広く氾濫した痕跡を確認 した.県北浄化センターは地盤面から約 4 m高さまで浸水し,センター内の電気 設備が故障して機能停止した.

この堤内地よりも一段高い道路の流水 痕(写真 4.2.6)から、この道路上の湛水 深は 40 cm 程度と推測される.県北浄化 センター付近は低平地になっているた め、この辺り一帯が周辺の農地を含めて 全て浸水被害を受けたものと考えられ る.

4.2.6 桑折町大字伊達崎字松ノロ付近

桑折町大字伊達崎字松ノロ付近の佐久 間川に架かる橋の直上で両岸が破堤した

(写真 4.2.7, 4.2.8). 両岸とも破堤点は 橋から続く護岸直上部で発生した. 周辺 の土地や道路には流水痕が確認できた.

現地の状況から,橋梁による通水阻害 が発生し,橋の上流側にある護岸最上流 端部の強度が不連続に低下する地点でせ き上げられた水が堤防を越水して堤内地 に広がったと考えられる.さらに越水し た水が堤防を浸食して破堤したと考えられる.



写真 4.2.6 県北浄化センター付近の痕跡 (撮影点: N37.866000, E140.568303)



写真 4.2.7 佐久間川左岸の破堤 (撮影点: N37.857888, E140.553830)



写真 4.2.8 佐久間川右岸の破堤 (撮影点: N37.857888, E140.553830)

4.2.7 福島市鳥谷野交差点付近

福島市鳥谷野の濁川最下流部では,濁 川橋直下の左岸堤防が破堤した.この破 堤点は,濁川橋直下の護岸が切れ,堤防 の高さが1m程下がった場所であった. また,濁川橋の直上左岸の排水樋門の正 面の右岸堤防が陥没した.決壊した濁川 橋西側の日東紡福島工場北門入口の標識 の痕跡から,この地点の浸水深は2.35m 程度と推定される(写真4.2.9).この浸 水被害は,宝来町,郷野目東地区のほぼ 全域に加えて金込町の一部に広がってい た.

この地域は阿武隈川に近接しているため,阿武隈川の水位上昇によって支流である濁川の水位がせき上がり,濁川の堤防のうち構造的に弱く,天端の低い場所で越水・破堤して被災したものと考えられる.

4.2.8 本宮市市街地

本宮市の中心市街地は,阿武隈川の左 岸の堤防が周辺部よりも低い約 750 m の区間からの越水によって浸水したこと が流水痕から確認した(写真 4.2.10). 浸水範囲は市街地のほぼ全域にわたる が,微妙な高低差によって被害を免れた 地域もあった.この周辺よりも低い堤防 を嵩上げする工事を進めていたが,この 区間はまだ嵩上げが完了していなかっ た.この区間の嵩上げをすると景観は損 なわれるが,安全度は向上するものと考 えられる.



写真 4.2.9 福島市鳥谷野の浸水被害 (撮影点: N37.738393, E140.463883)



写真 4.2.10 阿武隈川左岸の越流部 (撮影点: N37.516047, E140.404590)



写真 4.2.11 本宮第1樋管 (撮影点: N37.510425, E140.400940)

阿武隈川左岸堤防のうち高さが低い区間の直上には本宮第1樋管があり,その堤防は2m ほどの嵩上げが完了していた.阿武隈川左岸の嵩上げ工事が完了していれば,阿武隈川本流 からの浸水は避けられた可能性がある.本宮第1樋管は2015年3月に設置されたものであ る. 堤内地側にある水門の電源は地盤面 よりも 2.5 m 程度高い水門上部に設置さ れており,浸水は免れている. なお,こ の水門付近の湛水深は約 1.15 m 程度で あったことが痕跡から分かる. 本宮第 1 樋管からの漏水があったのかどうかは判 然としなかった.

本宮市本宮字下町の浸水痕から、この 地点の浸水深は 1.45 m 程度であったこ とが分かった.浸水被害を受けた家財道 具などが市街地では積み上がっていた.

阿武隈川の左岸と安達太良川右岸に挟 まれた本宮市街地の浸水被害は,阿武隈 川本流の越水が原因と考えられる.

4.2.9 安達太良川左岸破堤地点

安達太良川に架かる東北本線第二中川 橋梁の直上の安達太良川左岸堤防が破堤 し,左岸側の堤内地が浸水した.破堤点 付近の左岸堤防の天端には流水痕があっ た.第二中川橋梁の橋桁下部には出水時 に流れた草などが引っかかっていた.安 達太良川左岸の住宅街は1階の天井付近 の高さまで浸水した.

安達太良川左岸の浸水被害はこの破堤 点からの浸水が広がったことが原因と考 えられる.

4.2.10 阿武隈川水系上流域北部の総括

伊達市梁川町から本宮市に至る区間の 阿武隈川および支流の被害状況を調査し た結果,伊達市梁川町周辺地域は土地利 用の誘導が成功して被害を最小限にした 一方で,福島市や本宮市などの河川堤防



写真 4.2.12 本宮第1 樋管の水門 (撮影点: N37.510413, E140.400532)



写真 4.2.13 市街地の浸水痕 (撮影点: N37.515665, E140.402815)



写真 4.2.14 第二中川橋梁直上の破堤 (撮影点: N37.517562, E140.399178)

のすぐ側まで住宅地が迫る地域では被害が大きくなっていた.

破堤地点の配置を見ると、山付堤の接続部、橋梁前後の法面護岸が終わる点、橋梁と河川 堤防の接続部などの連続堤の構造に変化が生じて、周辺部に比べて強度が低下する可能性 がある地点に集中している点に特徴があると考えられる. 住民の生活への影響が大きかった本宮市は,阿武隈川に左岸から山が迫っている市街地 の治水安全度の早期の向上が必要と考えられる.また,それに伴って安達太良川の堤防の高 さと強度,出水時の避難誘導など,再検討を要する事項が多いと考えられる.

(以上 文責:福島大学 横尾善之)

4.3 阿武隈川水系上流域南部

4.3.1 藤田川

藤田川は,阿武隈川左支川であり, 奥羽山脈の額取山を水源にして,郡 山市熱海町,逢瀬町,喜久田町,日 和田町を東流し,日和田町で阿武隈 川本川に合流する河川である.

藤田川では,阿武隈川本川合流部 より約200~300m上流側で道路を挟 んだ左岸側の2か所の堤防で決壊が 認められた(公式の報告では道路を 挟んだ1カ所で統合されている.図 4.3.1 参照). 上流側の堤防決壊(決壊 区間約 20m)は,藤田川と郡山市内の ため池を水源とする河川(右支川)の 合流部付近であり(図 4.3.1 参照), 豪雨に伴う両河川の異常流出により 越流が生じて洗堀が進み堤防決壊ま で及んだと推測される. なお. 合流 部付近は山地,平地の境界部に位置 し, 直上の河床勾配も急であったこ と,藤田川では急勾配の河床を安定 化させるための落差工も施工されて いることから(図 4.3.1),水勢は顕著 だったと察することができる.なお, 下流側の堤防決壊(決壊区間約 30m. 写真4.3.1)は上流側決壊と道路を挟 むが,上流域現象の余波が影響して いる.また、総じてこの周辺は、右 岸側を高標高とするため右岸側から の表流水の影響も加えられていると



図 4.3.1 決壊個所位置図



写真 4.3.1 下流側堤防決壊



写真4.3.2 氾濫による被害状況

推測され、上流からの異常出水に加えて、右岸からの表流水の影響も負荷されている可能性 が高い.なお、右岸側のやや標高の高い領域には郡山クリーンセンター(処理施設)が分布す るが、50~100cm程度の浸水痕跡が認められている.こうした、痕跡からも右岸からの表流 水の影響も示唆される.また、河川の屈曲部にも位置しており下流側への流出が滞る個所で あることも越水を加速させていると推測される.上流部の出水の他、地形的な複合要素から 堤防決壊が生じたものと推測される.

なお、上流部の堤防決壊個所に近接して しいたけ工場が存在するが、氾濫による被災が 認められている(写真 4.3.2). 下流部の堤防決壊に近接するのは水田であり、洗堀に伴う浸 食痕跡が存在する. 総じて,当該決壊個所である藤田川左岸側は地形的に堤防決壊リスクの高い領域であ る.復旧のみを考慮した整備の場合,同等の低頻度異常出水が生じた時に同様の決壊が生 じる可能性が高いと推測される.高頻度出水の外水氾濫防止と低頻度出水の洗堀防止効果 を備えた堤防の強靭化を図るか,もしくは,承諾可能であれば被害軽減を図るための移転 等の土地規制も視野に入れた対応が望まれる.

4.3.2 谷田川

谷田川は,阿武隈 川右支川となる大滝 根川支流であり,阿 武隈山系一盃山を水 源にする.郡山市田 村町を流下し,水門 町付近で大滝根川と 合流して,約200m下 流で阿武隈川に合流



図 4.3.2 決壊個所位置図

する河川である.谷田川では,阿武隈川合流より約 1.5~2.0km 上流付近の田村町上行合の 左岸,右岸の2カ所で堤防決壊が認められた(図 4.3.2 参照).

上流部の堤防決壊は,左岸側で生じ ており,決壊堤防の周辺では越水に伴 う川裏のり面の洗堀痕跡が多く認め られている(写真 4.3.3). なお,決壊 個所の堤内には,約 189ha の敷地面積 を有する郡山中央工業団地が存在し ている.郡山工業団地は,北流する阿 武隈川と谷田川に挟在しており,1986 年の 8・5 水害でも 1m 以上の浸水被



写真 4.3.3 上流側堤防決壊状況

害を経験している.金属製防水ゲー トの設置や,敷地嵩上げなどの自社 対策を施した会社が存在していたも のの,決壊により8・5水害を上回る 2m前後の浸水が,同団地全体の大部 分で記録している.決壊地点の河道 形状は,緩勾配を呈する屈曲した上 流部より直線に変化する通水阻害の 生じうるポイントであり,出水の停 滞により越水が生じ洗堀したことが 痕跡より示されている.

下流側の堤防決壊は、右岸側で生 じており、越流浸食の痕跡にあわせ て、被災直後には堤防川裏側法尻付 近より湧水が認められていた(写真 4.3.4).これらの現象から越水と漏水 の重複現象により決壊に至ったこと が示唆される.なお、湧水は、例えば、 河川水位上昇に伴い一時的に発生し たものではなく、決壊後に 6 ヵ月経



写真4.3.4 下流側決壊と漏水状況



写真4.3.5 6ヶ月後の漏水

過した時点でも途切れていないことが確認されている(写真 4.3.5). そのため,当該堤防決 壊個所は,豪雨イベント誘発だけでなく,固有の脆弱性を含んでいると考えられる.この検 証のため,治水地形分類図¹⁾,および空中写真による過去の河川遍歴の調査を実施した.図

4.3.3は,比較検証 図である.

治水地形分類図 より谷田川右岸の 堤防決壊は,旧河 道に側近する位置 関係を示す.また, この堤側は広い範 囲で微高的関係 より 決壊場防上流側



写真 4.3.6 谷田川大善寺橋損傷状況

の低標高領域を基準に微高地を定義

したものと考えられる.この幅広い微高地はおおよそ自然堤防と類似した位置付けと解釈 できる.幅広な形状から,谷田川自身よりも規模の大きい阿武隈川の氾濫で形成された微高 地と推測される.空中写真より,河川形状は,かつては左右に分岐する形状を直線化した形 跡が認められ,昭和62年から平成4年の間に河川形状が変化している.もともとは幅広の 河川断面が変化したことで,異常出水より負荷が生じている可能性も示唆される.こうした 形跡から上流部からの伏流水の影響が湧水減少として認められていることも推測される. この原因究明を進めるためには,地形上の判読だけでなく,地質,地下水追跡の補足調査が 必要である.

決壊個所である谷田川上流部左岸側は、郡山市産業の中核を担う工業地帯が堤内に存在 する保全重要性も踏まえて、異常出水に対する堤防強化を図り、低頻度出水に対する洪水防 止、および高頻度異常出水に対する洪水被害軽減の対策を講じるべき領域である.また、こ れらの河川整備と同時に、高頻度異常出水による被害軽減を踏まえた嵩上げ等の自社浸水 対策を施すことも必要と考えられる.ただし、自社浸水防止を講じるためには、相応の経費 もかかるため助成が不可欠となる.決壊個所である谷田川下流部右岸側は、堤防側近が畑地 であるものの、外水氾濫による被害が堤防より 500m 離れた住宅地まで及んでいたことを確 認している. 微高地であるものの河道も複数変化していることが地形分類図からも読み取 れ、高頻度出水の外水氾濫防止のための堤防強化、もしくは、承諾可能であれば被害軽減を 図るための移転等の土地規制も視野に入れた対応が望まれる.また、これに加えて、谷田川 下流部右岸側堤防決壊に示される豪雨イベント誘発だけでなく、固有の脆弱性を含み被災 事例は、潜在的な決壊リスクを導出するための貴重なサンプルになりうる.そのため、追跡 調査を進め原因究明を進めることが望まれる.原因究明調査の結果を基にリスク評価モデ ルを構築させるなどの取り組みは、今後の異常出水に対して必要性が高いと考えられる.

なお,谷田川上流域に関しては,死者,交通網傷害(**写真 4.3.6**)などの被害が生じている ため,適宜の対策補強,および防災計画を検討することが必要である.

4.3.3 阿武隈川 浜尾遊水地

阿武隈川本川の国管轄区間では,須賀川市浜尾地区の浜尾遊水地(阿武隈川左岸側)の浜尾 第2樋門付近にて堤防が決壊した.なお,浜尾第2樋門は,遊水地内周辺堤沿いに整備され た地内水路と連結している(図4.3.4,写真4.3.7).堤内地側からの越水痕跡や周辺樹林の 傾倒(写真4.3.8)の現地状況から,堤内地からの越水を示唆する結果が得られている.また, 近隣住民の決壊写真に基づく情報を時系列で整理した以下の報告がなされている²⁾.

- 10月13日1:19
 時点で外水位・
 内水位が堤防
 天端まで上昇
 し,以降,5:41
 分まで内水外
 水が均衡して
 いる.
- ② 6~7時にかけて内水位の上昇が認められ、浜尾遊水地堤内地側から阿武隈川への越水が生じた.
- ③本川への越水 開始後から11 時頃にかけて 川表側にかけて り、堤防の崩壊 が始まり、14 までに決壊が 進行した。

これら証拠写像 情報より,内水の戻 し流れによる越水 を原因に決壊が進 んだことが同定できる.

なお,図4.3.5 は堤防決壊地点の 約500m 下流で計測されている須賀 川水位観測所の台風第19号時水位状 況,および過去の異常出水時水位を 示したものである.図より台風第19 号既往最大降雨であると同時に,越 流時間7時間,氾濫危険水位17時間 を経過したことが見てとれる.また, 台風第19号の出水では,平成16年



図 4.3.4 決壊個所位置図



写真4.3.7 浜尾遊水地 浜尾第2樋門付近の堤防決壊



写真4.3.8 堤防決壊脇の樹林の傾倒

11 月に概成した浜尾遊水地で2度目の貯留を記録した(1度目:平成23年9月). 先に示した越水堤防調査の越水事例(1967~1976年,90事例)に基づく³⁾と,越水深60cmで3時間の

越水を決壊時間の 目安は, 大幅に超過 していることが示 している.

浜尾遊水地から の出水には,上流域 での右岸側からの 洪水も影響してい ること(写真 4.3.9) が,上流側に設置さ れた危機管理水位 計の水位上昇から



図 4.3.5 須賀川水位観測所の水位状況

示されている.異常出水時時,および旧地 形の名残からも堤防決壊付近には流出の 負荷がかかることが示されているため,堤 防自体を補強する対応が望まれる.あわせ て,堤防決壊個所の被害に関わらず,堤防 決壊に寄与した上流の氾濫域には多くの 住宅域が含まれていることにも考慮しな ければならない.そのため,さらに上流側 にも洪水調節機能をもつ整備が必要にな ることも示唆される.

4.3.4 阿武隈川・鈴川 玉川村・鏡石町・ 矢吹町区間



写真4.3.9 堤防決壊上流域の状況

阿武隈川本川の玉川村・鏡石町・矢吹町の区間,およびこの地点で合流する阿武隈川左支 川の鈴川では,阿武隈川で6ヶ所(矢吹町3ヶ所,鏡石町2ヶ所,玉川村1ヶ所),鈴川2ヶ 所で堤防決壊が認められた.

当該区間は、河道蛇行した平坦面であり、異常出水に伴い外水氾濫が生じやすい地形特徴 を有している(図 4.3.6). こうした地形背景より、過去にも異常出水時には、堤防越水、浸 食による護岸損傷、堤防決壊が多く認められていた履歴を持ち、側近の異常出水である平成 23 年台風 19 号時も堤防決壊が集中した.

概ねが越水に伴う堤防決壊の痕跡が示されているが、当該地の下流側は、上流より越水した内水の戻し流れによる越水を原因に決壊したものに偏り、下流側に位置する鈴川の決壊は阿武隈川の越水の影響を受けたものである(写真 4.3.10). いずれも決壊周辺の植生は鈴川の流向と異なり、阿武隈川の流下方向へ傾倒する.

狭い川幅や蛇行の曲度の大きい個所で決壊が集中しているが,決壊した場所,決壊しない 場所が明瞭に分別され,従前の災害事象で決壊復旧された堤防(写真4.3.11)の対岸は堤防決 壊する傾向を示している(写真4.3.12). こ うした傾向は,決壊場所のみの補強で蛇 行部の河川を整備することへの限界と抜 本的な河道計画を講じなければならない 必要性を示唆している.また,特徴的な現 象として,川裏側に樹木が存在した場合, 越水の浸食抑制効果が機能して決壊が防 止された形跡も残されている(写真 4.3.13).

なお,多くの堤防決壊の集中が認めら れているものの,当該地域は水田地帯で あるため,人的な被害は認められてはい ない.平坦,蛇行という地形的な特徴を背 景に,異常出水によるリスクが高いこと に加えて,局所的な堤防復旧を講じたと しても,区間内に決壊リスクを波及させ ることにもつながる.そのため,抜本的な



河道計画を講じるべき必要が高い区間である.上下流との社会要素を考慮した河川計画が 望まれる.



写真 4.3.10 鈴川堤防決壊(川裏洗堀)



写真 4.3.12 復旧堤防対岸の決壊

写真 4.3.11 平成 23 年災害時の復旧堤防



写真 4.3.13 川裏側の樹木の決壊抑制

4.3.5 社川 白河市・棚倉町・浅川町・石川町区間

社川は, 阿武隈川右支川であ り, 白河関跡よりも約 1.5km 東側 の標高約 500m の領域を水源とし た河川延長約 121km の河川であ る. 白河市, 棚倉町, 浅川町, 石 川町を流下して,石川町・中島村 の境界で阿武隈川に合流する(図 4.3.7). 当該地域では, 12 ヵ所の 堤防決壊(白河市5ヶ所,棚倉町3 ヶ所,浅川町3ヶ所,石川町1ヶ 所)が認められているが、堤防決 壊の領域は、大きく分けて4つの 領域に分類される(図中 (1)~ (4)). なお, 全て外水の越水に伴う 洗堀を原因とした堤防決壊であ る.

特に堤防決壊の集中した領域 は, 白河関跡付近の白河市表郷地 区(図中①(1))付近である. 当該地 区は,上流域でありながら平坦面 を呈する河川勾配の緩やかな河 川地形を呈している. 河積が小さ く, 蛇行した河川形状を成し, 異 常出水の場合は越水が生じやす い条件を有している. これら越水 の生じやすい地形条件に加えて, 至るポイントで落差工による床 固も講じられており、この整備ポ イントでの越水による堤防決壊 が認められている(写真4.3.14). また,当該地区は農作業用の架橋 が多く存在しているが, 至る所で 落橋している.

白河市と棚倉町境界付近も多 くの堤防決壊の他,護岸損傷も多



図 4.3.7 堤防決壊位置図

く認められている(図中①(2), 写真 4.3.15). 白河市表郷地区と比較して緩やかな曲度を示 すものの,蛇行した河川形状を成している.なお,当該地は,堤防決壊だけを要因せずとも, かんがい用水の一睡に伴い一面が浸水していた形跡が認められており,浸水した水田内に 取り残された車両より死者も認められている.なお,河川の蛇行形状は,棚倉町から浅川町 (図中①(3))の領域まで連続するが,比較的に曲度の大きな個所を辿るように堤防決壊,およ び河積制限される構造物付近で堤防決壊が認められている(写真4.3.16).

社川は浅川町市街地から流向を急変させ、東流から北流になる. 北流からは河川状況が変わり、上流よりも狭い川幅、河床も比較的に急勾配を成している. そのため、堤防による被害は相対的に少ないものの護岸、落橋などの被害が多く認められている(**写真 4.3.17**). また、 死傷者は少ないものの、谷底平野に存在する家屋では浸水被害が多く認められている.

東流する社川の領域は、平坦、蛇行という地形的な特徴を背景に、異常出水によるリスク が高いことに加えて、局所的な堤防復旧を講じたとしても、区間内に決壊リスクを波及させ ることにもつながる.そのため、抜本的な河道計画を講じるべき必要が高い区間である.上 下流との社会要素を考慮した河川計画が望まれる.概ねが水田地帯となることから、補償も 考慮することが重要と考えられる.北流する領域に関しては、特に河川に比較的に接する谷 底平野に存在する家屋も多く存在することから、宅地嵩上げ等の居住環境対策も視野に入 れた対策が必要と考えられる.





写真 4.3.16 橋梁側近の決壊





写真4.3.17 浅川町・石川町境界付近の落橋

(以上 文責:福島大学 川越清樹)

4.4 福島県沿岸域

4.4.1 宇多川

堤防決壊が発生した宇多川流域の調査 を 10 月 14 日に行った. 調査地点は図 4.4.1の通りである.以下に調査地点の被 害状況について報告する.

(1) 宇多川左岸の河岸浸食

宇多川左岸の中村水位観測所の直上の 河岸堤防は、約250mにわたって河岸が 浸食されていた. この地点は, 山間部を抜 けて北流している宇多川が東北東に向き を変える水衝部である.また、この水衝部 の直上は山付堤になっており、低内地か らの小さい排水路が暗渠で接続してい る. 河岸上は対向 2 車線の道路はほぼ流 出しており、歩道部だけが残った.この地 点から下流の堤外地には護岸ブロック, アスファルト片,埋設管などが散乱し,土 砂が堆積していた.

堤防法面に残る流水痕から、この地点 では堤防からの越水はなく、最高水位は 堤防の天端まで約 1m 程度の位置と推測 される. 護岸浸食の原因は, 流水による護 岸底部の浸食と考えられる.

(2) 中橋の橋脚損傷

宇多川に架かる中橋は,出水時に橋脚 が横断方向に傾倒し, 上部の橋桁が沈下 していた. 橋脚部には直径 40 cm 程度の 流木が引っ掛かっていた. 周辺部には越 水した痕跡はない.

堤防法面の流水痕から、最高水位は堤



図 4.4.1 宇多川調査位置図



写真 4.4.1 宇多川左岸の河岸浸食 (撮影点: N40.000000. E140.000000))



写真4.4.2 中橋の沈下 (撮影点: N40.00000, E140.00000))

防の天端から 1m 程度の余裕があったことが痕跡から推定される. 流木による橋脚への荷

重増が橋脚の傾倒に影響した可能性があ るが,原因の特定は難しい.

(3) 宇多川橋

中橋から約 650 m 下流の宇多川橋付 近では堤防周辺に越水した痕跡があっ た.橋脚上端に流水痕があった.堤防法 面の天端付近や天端道路上にも流水痕が 確認された.

以上より,この地点から比較的少量の 越水があったと推測される.

(4) 相馬東大橋下流破堤地点

相馬東大橋東側の宇多川下流部では, 少なくとも右岸にて2箇所の破堤と2箇 所の堤防損傷を確認した(**写真 4. 4. 2**).

破堤点①は,幅数 10 メートルにわた って破堤していた.天端に流水痕はなか った.宇多川と小泉川に挟まれた低内地 の農地には地盤から 1.5 m 程度の高さに 流水痕があり,多くの場所が湛水してい るか,ぬかるんでいた.小泉川の堤防は 宇多川の堤防に比べて低かった.

破堤部②は,幅数 10 m にわたって堤 防が流出していた.破堤点では,宇多川 の堤外地から低内地に向かって周辺の草 が傾倒していたが,越水の痕跡は確認で きず,堤防天端から1m程度下に流水痕 があった.

相馬東大橋と百間橋の中間の相馬市和 田大谷地付近の小泉川に架かる橋の右岸 には直径 50 cm を超える流木が留まって いた.



写真 4.4.3 宇多川橋 (撮影点: N40.000000, E140.000000)



写真 4.4.4 相馬東大橋下流の堤防損傷 (撮影点: N40.000000, E140.000000)



写真 4.4.5 破堤部① (撮影点: N40.000000, E140.000000)

(5) 宇多川の総評

宇多川流域の河川構造物の調査の結果,破堤2ヵ所,堤防損傷3ヵ所,橋脚損傷1ヵ所 が確認された.それ以外に,宇多川橋より下流の地域において,越水による被害を受けてい た.周辺の住宅地の短水深は地盤面から40 cm 程度,宇多川と小泉川にはさまれた低内地 は地盤面から1.5 m 程度の湛水があった. 宇多川のように、流域人口が少ない、 あるいは減少している地方の二級河川 の流域の被害を最小化するにはどうす るのがよいか.宇多川流域内では、降水 量と中村水位観測所で水位が常時モニ タリングされているだけである.流量観 測点を新設することはできないだろう. 限られた情報と予算の中で、最善の策を 模索する必要がある.おそらく、河川か ら水を決まった場所で溢れさせてコン トロールする必要がある.それには、土 地の特性をよく知り、住民の理解と協力 を得ながら河川流域を管理する必要が あり、非常にチャレンジングに思える.

(以上 文責:福島大学 横尾善之)



写真 4.4.6 破堤部② (撮影点: N40.000000, E140.000000)



写真 4.4.7 小泉川右岸の流木 (撮影点: N40.000000, E140.000000)

4.4.2 小泉川

小泉川は,福島県と宮城県 の県境に位置する天明山の 北東部を水源とする河川延 長 13.4kmの河川であり,相 馬市街地を東流して松川浦 を河口にする.当該河川で は,隣接する宇多川と並流す る相馬市和田地区にて左岸 側で決壊が認められている (図 4.4.2).



図 4.4.2 堤防決壊位置図

小泉川の堤防決壊(写真4.4.8)は,右岸側 に位置する宇多川決壊地点からの流線,お よび植生などの氾濫の痕跡と一致(写真 4.4.9)しており,宇多川からの越水が寄与 していることが示唆される.上流側からの 洪水氾濫による内水の戻し流れが堤防決壊 の原因と考えられる.なお,宇多川に隣接 する小泉川右岸側でなく,左岸側が決壊し た理由としては,流線上に存在する橋梁が 影響していると推測される.

並流する小泉川よりも河川規模の大きな 宇多川の存在により,低頻度異常出時には, 宇多川の影響を免れきれない.そのため, 双方の河川整備計画を連動した対策を講じ ることが必要と考えられる.





写真4.4.9 宇多川決壊個所からの遠景

4.4.3 三滝川

三滝川は,福島県相馬郡新 地町を流下する河川であり, 河口付近で北部を流下する 埒川と合流して太平洋に注 ぐ.

三滝川の決壊地点は,国道 6号線より約200m下流側の 左岸側の堤防である(**写真**



4.4.10). 全般的に緩い河川勾配のほぼ直線形状を成しているが,堤防決壊直上下流はやや 蛇行しており(写真 4.4.11),出水時には流出が滞るポイントである.また,当該地区は,護 岸個所との境界部であり負荷を受けやすく,河積も小さい個所であり,越水しやすい条件を 含んでいる.堤外に洗堀による痕跡も認められ,流下能力不足に伴う越水が堤防決壊と考え られる.

異常出水に伴う越水による被害が生じやすい条件が揃っており,決壊防止を行うために は、補強と蛇行部のみでも河積を広げるなどの対応が必要である.



写真 4.4.10 三滝川の決壊個所



写真 4.4.11 国道 6 号線との位置関係

4.4.4 真野川水系上真野川

南相馬市を流下する真野 川(河川延長 40.5km, 流域面 積 170km²)の上流の上真野川 の左岸で堤防決壊が認めら れた(図 4. 4. 4).

当該地は,山間部に存在す る幅の狭い平地に位置して

おり、山地裾に接して河川流下されており、 緩やかな河川蛇行度を呈する領域である.な お、決壊地点は、山裾に接しているため右岸 は無堤である.当該地点で河積を超える流量 となり、越水が生じている.堤内側の洗堀も 明瞭であり、外水の越水に伴う決壊(写真 4.4.12)であることが示唆される.なお、当該 地下流でも、越水痕跡が多く残る.

被害は,堤防に接する水田のみであり人的



図 4.4.4 堤防決壊位置図



写真 4.4.12 上真野川の決壊個所

被害は認められていない.当該地の河積は小さく,異常出水時には外水氾濫のリスクを伴う.

水田への保障も視野に入れた対応が必要と考えられる.また,山地の樹林が高水位状態で水 没する痕跡が認められており,異常出水時には流木発生の要因になりうる.下流域の被害増

幅に繋がり、今回の被災でも下 流側で流木も認められていた. 適地適材を検討して伐採の措 置も図る必要があると考えら れる.



4.4.5 新田川水系水無川

水無川は,南相馬市を流下す

る新田川(河川延長 63km, 流域面積, A=255km²)の右支川である.

水無川の上流域,高の倉ダム(農業用利水ダム)下流域の高倉地区で砂防堰堤の裾部付近の

堤防で決壊が認められた(写真 4.4.13). 越水に よる堤防決壊である痕跡が残されている. な お,当該ダムは台風第 19 号と 10 月 25 日豪雨 時にダム満水の危険性のため,県の規定に従い 2 度の緊急放流が実施されている.

高倉地区で砂防堰堤の裾部の堤防決壊部は もとより,下流側では著しい護岸被災が認めら れている.流木などの漂流物も多く(写真 4.4.14),居住地域では 10世帯が浸水被害(写 真 4.4.15)に遭っている.

特に,平成30年西日本豪雨以降,利水ダム に関して洪水調節機能普及に関する取り組み が進められている.河川法上のダムの操作規則 は,河川管理者と利水者のダム建設時の費用負 担により予備放流を実施できると定められて いるが,事前放流の場合,建設費用の負担と別 に利水容量の水を放出することとなる.したが って,利水,調節の運用に対する合意が必要に なるが,このネックの事項が,降雨,流出予測



写真 4.4.14 堤防決壊地点付近の流木

と異なる場合,利水容量に影響する可能性である.合意に向けて,先進の科学技術を駆使して,このネックを解消できるように取り組むことが重要であり,様々な研究が進められている状況となる.一方,洪水調節をコントロールするダム,および利水権所有者の他に,ダム

下流の居住地域の避難,居住環境に対す る理解の促進も図らなければならない. 調査ヒアリング時に,壮大な規模のダム スケールより,住民の概ねは,出水すべて をコントロールできる意識が強い印象を 受けた.洪水を遅らせる効果や非常時の リスクの高まりについて改めて教育する ことが必要である.また,これらに対して 補強すべく放流情報,居住環境整備のフ オローも重要と思われる.また,高倉ダム



写真 4.4.15 堤防決壊付近の護岸損壊と 浸水被害

の場合,市に運用が移管されていた経緯もあったため,移管するケースも想定したマニュア ル作り,およびその更新などもフォローアップしていくことも肝要と思われる.

4.4.6 太田川

太田川は,阿武隈高地を水 源にして,南相馬市を東流す る河川(河川延長 L=22.5km, 流域面積 A=87.5km²)である (図 4.4.6). この上流域で堤 防決壊が発生した(写真 4.4.14).

当該地は,比較的に緩い河川勾配を呈 し,河道の蛇行度も少ない領域ではある. ただし,河道内の土砂堆積,樹林による凹 凸は著しく,これらに規制された流向に応 じた方向で堤防決壊が生じた形跡も認め られている.この流向に対する越水と洗堀 により決壊に至ったことを示唆している. 堤防復旧に併せて,河道内の整備を進めて 河積を確保することが望ましい.



図 4.4.6 堤防決壊位置図



写真 4.4.16 堤防決壊付近の河損状況

4.4.7 小高川

小高川は、八丈石山を水源にして、南相馬市を東流する河川(河川延長 L=21km, 流域面積 A=64km²)である(図 4.4.7). 小高川では、2ヶ所(小屋木地区、金谷地区)の決壊が認められて いる. 概ね、上流域での屈曲部、狭窄部で決壊が生じている. 小屋木地区に関しては、相応の 川幅があるものの河川が屈曲する 部分で決壊が発生している(写真 4.4.17).小屋木地区の決壊部上流 は床固工で河川全体に対すれば、 平坦面の中で、やや勾配が急にな る区間である.また、越水に伴う決 壊を示唆する堤外地の洗堀痕跡が 認められている.勾配と河川の湾曲により、 河川流量増加に伴い越水は生じやすかった

何川流重増加に伴い越水は生しやりかろた と推測される.なお,堤防天端よりも高い位 置に浸水痕跡が認められている.

金谷地区に関しては,川幅が極端に狭い部 分での決壊である(写真4.4.18).河道の右岸 側で無堤地点でも多くの渓岸の崩壊が認め られる.金谷地区の決壊部上流は三面張りの 川幅狭い河川状況である.河積不足により越 水破損したと推測され,堤内地には越水の痕 跡が認められる.なお,標高の低い右岸側は 稼動の浸食が顕著である.なお,決壊堤防直 下流は除染土の仮置場であり,ゲートも渓岸 崩壊により破損している.早急の対応が必要 である.

総じて,河積も不足しており,堤防復旧に 併せて,河道内の整備を進めて河積を確保す ることが望ましい.







写真4.4.18 金谷地区の決壊個所

4.4.8 小高川水系川房川

川房川は,小高川の右支川であ り,太田川決壊地点より上流側に 位置する.小高川本川合流との上 流約 1km の地点で堤防決壊が認 められた(図 4.4.8,写真 4.4.19). 浜通り地域では,大局的に扇状地 の扇頂部に位置する個所での決



壊が多い傾向を示すが、当該地区は特に典型的な事例である.河川蛇行も顕著で異常出水に

より越水現象は生じやすいものと推測される.

なお,特徴として,氾濫域には流木の他,径の大きな(φ30cm)花崗閃緑岩の亜円形の岩塊が 分布している(写真4.4.20). こうした,山地からの異常出水が緩やかな河川勾配に到達して 広がる現象を示唆するものである.

総じて,当該区間は河積も小さいため,異常出水時には越水しやすい条件を有している. そのため河川整備を行ない強靭な堤防構造,河積増大化が望ましい一方で,土地規制なども 踏まえて氾濫許容に対応できる河川計画を行う方法も検討しなければならない.



写真 4.4.19 川房川の決壊個所

写真 4.4.20 氾濫した花崗岩塊

4.4.9 鮫川

鮫川(河川延長 L=65km, 流域面積 A=601km²)は, 福島県東白川郡鮫川村松曾根山を水源として, いわき市南部を東流する河川である. 鮫川では, 高柴ダムバックサイトより上流約1kmの右岸側で堤防決壊が発生した(図 4.4.9,

写真 4.4.21).決壊部の堤内地側で氾濫の痕跡 が認められており、上流部からの越流が堤内を 流下して堤防部で内水が河川へ越流することで 洗堀された形跡も認められている(写真 4.4.22).以上より、内水の戻し流れによる越水 により堤防決壊に至ったことを示唆している.

総じて,当該区間は河積も小さいため,異常 出水時には越水しやすい条件を有している.そ のため河川整備を行ない強靭な堤防構造,河積 増大化が望ましい一方で,土地規制なども踏ま えて氾濫許容に対応できる河川計画を行う方法 も検討しなければならない.





写真 4.4.21 鮫川の決壊個所



写真4.4.22 堤内側氾濫の状況

4.4.10 夏井川·夏井川水系好間川

夏井川は、阿武隈高地に位置する大滝根山を水源に、大局的に東流していわき市を通過し 太平洋に注ぐ河川延長 L=67.1km, 流域面積 A=748.6km²の河川である.水源に発する小川地 区までの山岳地は約 1/200~1/400 の比較的に急な河川勾配を呈するが、以降は 1/400 から 1/1600 までの緩やかな河川勾配に遷移する.夏井川流域としては、計6ヶ所の堤防決壊(平 鯨岡1ヶ所、平下平窪2ヶ所、平中平窪1ヶ所、小川町関場1ヶ所、好間町今新田(好間川)1 ヶ所)が認められている(図4.4.10). このうち平下平窪2ヶ所、平中平窪1ヶ所は、4人の死 者が集中した地域と近接した位置関係である.また、この決壊個所以外にも概ね決壊と類似 できる損傷の堤防が、特に小川地区に分布する(写真4.4.23).以下の(1)~(4)に決壊調査の 結果を記載する.



図 4.4.10 夏井川流域堤防決壊位置図

(1) 小川町関場

小川町関場の堤防決壊の位置(写真4.4.24)は夏井川右支川小玉川合流部よりやや下流側 の左岸であり、河川形状は大きく屈曲している.凸型に形成された堤防の堤内には、浸食 に伴う川筋が明瞭に残され(写真4.4.25)、川筋に沿うように堤防の護岸破損物、漂流物(写 真4.4.26)が多く認められている.なお、決壊部の堤内側は、水田であり、当該地区に関 しては人家などの施設まで決壊より出水した外水は到達していない.小玉川との合流部で あり、異常出水時には越水しやすい条件を有している.そのため河川整備を行ない強靭な 堤防構造、河積増大化が望ましい一方で、補償なども加味して土地規制なども踏まえて氾 濫許容に対応できる河川計画を行う方法も検討しなければならないと考えられる.



写真 4.4.25 堤内の川筋

写真 4.4.26 漂流物

(2) 平下, 中平窪

平下,中平窪は堤防被害の集中した領域である.ただし,いずれの決壊ともに外水による 越水を要因とした決壊であるものの決壊までのプロセスはやや異なる.

最上流の決壊は、河道域に多くの樹林の繁茂する領域(写真 4.4.27)の中の間欠した樋門近 くで生じている(写真 4.4.28). また、堤防決壊やや下流には愛谷堰が存在する. 越水の痕跡



写真 4.4.27 河道の樹林状況

写真 4.4.28 堤防決壊部

が残されており,洗堀に伴う決壊を示唆する.河川形状は当該地区の全般的に屈曲している が,決壊場所は,凸型に張り出した平窪地区の流入口となる.周辺が樹木により水衝緩和さ れたものが集中した可能性を示唆する.

中間の決壊は、全般的に屈曲した流出口で、愛谷堰より下流側に位置する(写真 4.4.29). 堤内側側近の土地被覆が道路舗装のため洗堀が不明瞭だが、河道に間欠的に存在する植生 の傾倒より越水の痕跡が残されている(写真 4.4.30).決壊は、堤防下部にかけてすり鉢状に 破壊されている特徴を示す(写真 4.4.31).また、この他、川表法尻でパイピング現象の痕跡







写真 4.4.31 すり鉢状の決壊形状



写真 4.4.30 堤外側の樹林傾倒



写真 4.4.32 パイピング痕跡

が認められていた(写真 4.4.32). 外水による越水を原因とする一方で,堤防の浸透破壊も並行している可能性もあり,破壊のメカニズムとしては重複している可能性が示唆される.

下流の決壊(写真4.4.33)は,河道屈曲から約300m離れた個所で河川形状は直線状である. ただし,河動内には植生が間欠的に繁茂しており,稼動内の植生分布状況と水位上昇により 流線に偏らないことが推測される.当該決壊もこの流線に沿って発生している.河道内に越 流を示唆する痕跡が明瞭に残されている(写真4.4.34).



写真 4.4.33 堤防決壊全景

写真 4.4.34 河道内植生と痕跡

当該地区では,河道内の樹林の関連した堤防決壊が多く認められている.樹林有無に関係 なく豪雨に伴う水位上昇が堤防天端を超過した可能性も高い.しかし,当該河川は河道内の 樹林が著しく多く,伐採により大幅に河積を確保できる.近隣には住宅も多く保全対象重要 度も高いことから,早急の対応が必要と考えられる.また,中間部に位置した漏水を示唆す る現象に対する現象も追跡する必要があり,当該地区の地盤状況,および地下水状況の把握 とともに,高頻度出水に対しての堤内の防護を強化するとともに,低頻度異常出水に対して の異常出水低減に向けた強靭化を図る必要もある.

(3) 鯨岡

鯨岡地区の夏井川左岸側の決壊は、堤内の植生系統状況や上流側の浸水家屋の状況より、 上流側の越水による戻り流れにより生じたものと推測される(写真 4.4.35). なお、流入先は 直上流の橋梁付近と推測される(写真 4.4.36). 堤防側近には人家も多いため、上下流の関係、 および同様に人家の多い右岸側の状況を把握したのちに、流入から決壊までの領域に対す る嵩上げ等の補強検討も必要と考えられる. また, 住宅の嵩上げなどの土地規制も検討する 必要がある.



写真 4.4.35 堤防決壊全景



写真 4.4.36 直上の橋梁部付近

(4) 好間

本地区は夏井川右支川の好間川の決壊であり、直上には鉄道高架橋が分布する(写真 4.4.37). 河川形状は蛇行しており,河積制限と相まって滞水されて,越水が生じたと考え られる. なお, 決壊した流線の約 100m 下方には保育所が分布する(写真 4.4.38). 復旧補強 もの対応と同時に、堤防強靭化したとしても今回台風並みの異常出水時には氾濫の可能性 が危惧される.移転もしくは高床の対応が必要とされる.



写真 4. 4. 37 堤防決壊全景

写真 4.4.38 決壊下方の保育所

4.5 補足と考察

(1) 藤川(会津美里町)

会津地域唯一の堤防決壊地点である (図4.4.11).藤川は会津美里町を流下す る小規模の河川であり,宮川に合流し たのちに阿賀川本川に至る.宮川合流 の上流側約1km,只見線の鉄橋付近の右 岸側にて堤防決壊が認められた(写真



4.4.39). また,当該地区は河川屈曲部に位置しており(写真 4.4.40),堤防からの越流の生じやすい場所である.復旧と同時に補償などの土地利用も含めた対応が必要とされる.



写真 4.4.39 堤防決壊位置図



写真4.4.40 河川の屈曲状況

(2) 除染土

福島県では、放射線汚染に伴い除去された汚 染土を各自治体の仮置き場から中間貯蔵施設 に輸送する中途段階にある.急遽対応、かつ承 諾の困難な仮置き場の設定により、大雨に伴い 流出の危惧される領域に置き場を余儀なくさ れている課題が挙げられている.平成27年関 東東北豪雨でも汚染土の流出が生じたが、台風 第19号でも同様な流出が認められている.ま



写真 4.4.41 仮置き場の応急復旧

た,河川浸食により流出の危険な地域も明らかにされている(写真 4.4.41). 流出発生と同時 に回収,調査が進められて,フェンス防護,輸出計画の見直しなどの対応が進められている.

(3) 考察

福島県の災害の特徴としては、以下に示すとおりである.

①令和元年台風第19号により、全国規模で最多となる死者が認められた.

②甚大な被害を及ぼした災害項目として,堤防決壊等の河川被災に伴う水害,がけ崩れに 関わる土砂災害が挙げられる.

③被害判読困難な水害に起因した被災が多いため、水害の及ぼす社会へのインパクトは 甚大だった.

特徴①に関しては,特に高齢者の被害が顕著な傾向を示している.大規模災害事象の事前, 事後の災害時要援護者,高齢者への行動の誘導,支援は不可欠であり,行政だけでなく住民 も把握できる情報デザイン,タイムラインの地域密着化と災害時要援護者への避難支援の ケアは積極的に取り組まなければならない.こうした取り組みを進める上で,必ず市町村に 負担がかかることにも注意しなければならない.市町村と地域住民が相互で連携をすすめ て,一方に負担の掛からない能動的な取り組みをよく議論し,地域にとって最適な方法論を 構築させていくことが肝要である.また,最適な方法論を求めるためには,流域圏で広く情 報共有し,良い面悪い面を改善することも必要である.

特徴②,③に関連して,低頻度異常出水時堤防の維持(3h)保全効果を確保するための強靭 化は図らないといけない.今後,起こりうる気候変動により完全なる防御は難しいものの, 強靭化することで避難時間の確保,被害の軽減は確保することができる.構造強化・周辺土 地利用・しっかりとした調査結果(地質+地下水)とデータ,簡素な方法でも高度に管理でき る技術革新と既存のストック利用も考慮することが必要である.あわせて,現況の設計基準 も超過しうる低頻度異常出水時にも対応できる生活中の各自の防災アイディア,土地利用 の補償の制度も検討していく必要がある.河道だけではない流域一体の総合治水に視点を 当てて,自立的かつ持続的に活動できる適応策の検討が必要である.

(以上 文責 福島大学 川越清樹)
第Ⅱ編 関東地区調査団

第1章 令和元年東日本台風による豪雨災害の概要

1.1 はじめに

1.1.1 治水施設の効果と顕在化した弱点箇所

令和元年10月の台風第19号(令和元年東日本台風)は10月7日には中心気圧915hPaの 猛烈な勢力に発達し、12日の19時ごろに伊豆半島に上陸した。台風進路は1958年の狩野 川台風に類似していたが、関東地方を含む広域に豪雨災害をもたらした明治43年の台風、 昭和22年のカスリーン台風と同様に山地部に豪雨をもたらし、広範囲の災害を発生させた。 明治43年や昭和22年の時は前線性降雨などの前期降雨の影響をうけたのちの巨大台風で あったが、台風19号自体が北側に巨大な雨域を伴っていた。そのため、10/12の台風上陸



図 1.1.1 関東を中心とした東日本に被害をもたらした台風の経路^{1),2)}



図 1.1.2 明治 43 年,昭和 22 年災害をもたらした降雨分布³⁾

前から関東地方を中心に豪雨をもたらし,15:30 には関東を中心とした7都県に特別警報が 発表された.関東平野の山地・山脈にとって豪雨となりやすいコースであったが,関東だけ ではなく三重県から岩手県にかけての広範囲な地域において,12時間雨量で観測史上一位 (気象庁)が120地点で記録された.

この豪雨で広範囲の河川において越水・破堤による氾濫が多発し,国管理では7河川14 か所,県管理河川では67河川128か所が堤防決壊となった⁴⁾.関東でも荒川水系入間川流 域・市野川流域,那珂川水系,久慈川水系の国土交通省管理区間とその上流の県管理区間に おいて越水ならびに破堤による被害が発生した.また,内水被害も多くの地点で発生した. 台風に伴う土砂災害の発生件数は,962件で,東北地方,とくに宮城県,福島県,岩手県で 多く発生したが,関東地方でも神奈川93件,群馬63件(11/8時点国土交通省)が発生し た.表1.1.1に関東地方の被害を抜粋して示す(令和2年2月12日現在,消防庁調べ).

	人的被害				住宅被害				非住宅被害			
都道府県	死者	死者(うち災害関連死)	行 方 不明者	負傷者 重傷)	負傷者 (軽傷)	全壊	半壊	一部 破損	床上 浸水	床下 浸水	公共 建物	その他
	人	人	人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	棟	棟
茨城県	2		1		20	146	1,601	1,501	27	523		946
栃木県	4			4	19	84	5,205	8,314	2	408	14	1,098
群馬県	4			1	8	22	296	568	22	112	3	76
埼玉県	4	1		1	32	134	541	699	2,370	3,388		105
千葉県	12			2	28	65	1,909	6,182	469	884		23
東京都	1				10	36	658	976	318	532	25	32
神奈川県	9			3	35	48	680	2,059	715	468	21	172
関東地方 合計	27	1	1	8	117	487	10,210	18,240	3,208	5,847	42	2,280
全国合計	99	2	3	40	341	3,280	29,638	35,067	7,837	23,092	187	13,550

表 1.1.1 被害状況(人的・建物被害)(文献 ⁵⁾から一部を抜粋)

令和2年2月12日現在 消防庁資料から抜粋

関東でも多くの人的・建物被害が発生した.

表1.1.2 に今回の台風に対し、ダムや遊水地の貯水量、排水機場の排水量と荒川の氾濫量 を比較して示す. 荒川水系における入間川流域, 市野川流域の氾濫は貯留型であったため, 氾濫量を算定しやすいが, 那珂川・久慈川は拡散型と貯留型が混在し, かつ氾濫流が堤防決 壊によって河川に戻るなどの現象があったため, 表で比較をしていない. 利根川においては, 利根川上流のダム群と渡良瀬遊水地が機能し, 国交省管理区間においては堤防からの越水 決壊を防いだことがわかる. しかし, 利根川本川では上流のダム群が八斗島の水位を約 1m

(国土交通省)下げたものの, 栗橋地点では S22 の既往最高水位 21m にあと 0.3m にせまる 20.7m を記録し, ぎりぎりの状態であった.なお,利根川の国交省管理区間においても,河 ロ付近の無堤区間における浸水は生じている.また,八ッ場ダムの場合は,本来であれば利 水容量分も使用しての上流域の降雨を全量カットした効果であるため,今後も同様ではな いことに注意が必要である.中川・綾瀬川流域においても江戸川への排水効果により被害軽減に貢献したが,降雨波形によっては江戸川の水位による制限がかかる場合もある.そのため,今回の豪雨は継続時間の点で台風南側の雨域がなかったのが幸いしたといえる.

	周海河川	貯水量・排水量:	
		概算値(万m3)	
渡良瀬遊水地	利根川	16000	
菅生、稲戸井、田中調節池	利根川	9000	
利根川上流ダム群(利根川本川流			
域::矢木沢、奈良俣、藤原、相	利根川	3900	
俣、薗原ダム)			
利根川上流ダム群(烏・神流川流	利相川	2100	
域:下久保ダム)	不可有这个日	5100	
利根川上流ダム群(試験湛水中の	利相川	7500	
八ッ場ダム)	不可有这个目	7500	
荒川上流ダム群(二瀬、浦山、滝	茶田	5270	
沢、合角ダム)	元川	5570	
荒川第一調節池	荒川	3500	
朝霞調節池	新河岸川・荒川	50	
新芝川排水機場	新芝川・荒川	735	
綾瀬排水機場	綾瀬川・荒川	980	
(会考)抗辺川・邦雄川の氾濫号	荒川(入間川支川群、市	2000	
(多考)感辺川・郁茂川の心温里	野川支川・新江川)	2000	
庄和排水機場(首都圏外郭放水路)	中川・綾瀬川・江戸川	1151	
三郷排水機場(三郷放水路)	中川・綾瀬川・江戸川	3274	
伝右川、八潮、松戸、古ヶ崎、根本	山川・続海川・江古川	1010	
排水機場(合計)	中川・阪瀬川・江戸川	1019	
宮ケ瀬ダム	相模川	4300	
城山ダム	相模川	2900	
鶴見川多目的遊水地	鶴見川	94	

表 1.1.2 貯水量, 排水量, 氾濫量の比較(文献⁶⁾をもとに作成)

荒川本川流域も上流のダム群と荒川第一調節池で大量の貯水を行っており, 荒川上流の ダム群と荒川第一調節池が河川水位を低下し, 荒川下流部の岩淵水門(上)観測所では S22 のカスリーン台風の最高水位(A.P.8.60m)を下回る A.P.7.17m となった(出水速報第3報). しかし, 氾濫の生じた荒川支川の入間川流域や市野川には流域に占める関東山地の豪雨域 が多く, 流域内に大きなダムや遊水地はなかった. 那珂川・久慈川も同様であった.

災害の発生した 3 流域は下流に発展している都市が存在する河川中流域であり,かつて は多くの霞堤群が存在し,河川事業における下流原則(下流の安全度が上がってから治水対 策を行う)によって,少しずつ無堤部の解消や,逆流を防止する水門・樋門の建設などの対 策を行ってきた地域でもある.現存する霞堤の一部は本洪水においても持てる範囲の機能 を発揮したと考えられ,本報告書でもその機能を評価することになるが,霞堤そのもののか らの越流決壊・欠損も生じる事態でもあり,霞堤が効果的に機能する洪水規模を上回るもの であった.

本報告では、雨域の分布とも関連づけて、その効果を詳細に検証していく.

1.1.2 河川合流部のリスクの顕在化

表1.1.2 に示したように、中川・綾瀬川流域においては放水路と排水機場により江戸川等 への排水、芝川・綾瀬川流域においては荒川への排水が大きく機能し被害を軽減したと考え られる一方で、台風19号においては合流点付近の氾濫現象が各地(特に中流域)で頻発し た. 荒川の直轄区間において破堤した3か所のうち越辺川右岸0.0kは入間川、小畔川、越 辺川の三川合流部、都幾川右岸0.4kは越辺川と都幾川の合流部にあたり、それぞれそこに 内水河川である大谷川、九十九川が流れ込む低平地である.つまり実際には、それぞれ



図 1.1.3 平成 11 年の浸水と入間川・越辺川等緊急対策事業 7)

四川合流, 三川合流に近い状態にある. その中で最も小規模な大谷川流域, 九十九川流域で は, S22 のカスリーン台風時においてもバックウォーターによる水位上昇, 逆流浸水, 破 堤はん濫が生じた箇所で,過去において水害常襲地帯であった.入間川,小畔川,越辺川の 三川合流部は背割堤の整備により被害は減少したが,平成11年にも浸水があったことから, 水門による合流点処理が行われた地域である. すなわち, 平成 11 年の出水と同規模の洪水 を安全に流下させるための緊急対策事業として、洪水の逆流を防止する水門等を整備して きた.しかし、計画を超える降雨によって、相対的に堤防高の低い箇所、 すなわち潜在的弱 点から越水し, 破堤災害が生じた. 九十九川は合流点に逆流防止水門を設け, 越辺川の水位 上昇に応じ閉鎖されたが,現時点においては自己流堤で排水機場は存在しない.そのため, 九十九川では水門閉鎖後に堤防から越水し破堤した. 葛川も水門閉鎖後に浸水した. なお、 将来排水機場が整備された場合でも今回のような HWL を超える洪水では運転調整が必要 なため、浸水する可能性のある地域となる. 大谷川の排水区域でも同様である. すなわち、 入間川支川群地域のリスク軽減には、同地域の堤防高を計画規模まで上げることだけでは なく, 河川水位を下げるための対策 (浚渫や樹木伐採), 合流点の上流域側で計画的に遊水, 貯留させるような治水対策も必要である. 本報告ではそうした際に知見を得るため, 合流点 の樹木影響も取り扱った.

合流点について,入間川の支川群を中心に説明したが,「水門閉鎖に伴って逆流を食い止めたものの,自己流が多かったことによる浸水」は各地で発生した(思川支川の豊穂川など). 排水機場の燃料切れ(小山市の排水機場)は備蓄体制やアクセス路の確保という課題を提示し,荒川支川鴨川の支川油面川では排水機の制御盤の水没など,全国の機場でも維持管理体制や点検の必要性を示唆した事例もある.

1.1.3 水防林と堤防沿い偏流,氾濫流戻しの変化(文献⁸⁾をもとに修正)

荒川水系の入間川支川群(越辺川・都幾川),那珂川,久慈川の氾濫では,結果的に堤防が相対的に低い箇所から越水し破堤に至ったが,水防林や河道内樹林が局所的な水位上昇や偏流に影響したと推定される個所も存在した.特に,樹林帯の上流側で大量に流木・流枝(荒川熊谷砂州ではハリエンジュやヤナギ,久慈川では竹など)をトラップし流れに対して壁のようになっている箇所や,久慈川においては植生パッチ状の切れ目が偏流に関連したのではと推測される個所が存在した.水防林自体は河岸沿いの流速を低減し,洪水時に澪筋を変動させづらくすることに貢献しており,また破堤した場合にも破堤ボリュームを減らしている可能性もある.しかし,特に久慈川の水防林(主に竹林)は河積の多くを占めていることから,適切な水防林の幅や位置に関して,今後の検討が必要と考えられた.これらの河川では歴史的に霞堤を閉めてきており,氾濫流の戻り方も変化していると考えられる.すなわち,昔は霞堤開口部から戻っていたと推定されるが,開口部をふさいだ箇所では旧霞堤を越水破堤し下流の茨城県管理河川・浅川右岸の堤防を決壊し浅川に流入した.浅川に戻ったこと自体は氾濫を増長させてはいないが,もし浅川左岸側の堤防を決壊させた場合には

更なる被害につながる.同地点だけの話ではないが, 霞堤を閉める場合には危機管理として 氾濫した場合の氾濫水の挙動, 河川への戻り方などの変化も, 今後研究していく必要がある.

1.1.4 ソフト対策

東日本台風の接近に伴い,10月12日に内閣総理大臣から関係省庁に対し,①国民に対す る適時適切な情報提供,②地方自治体との連携による避難支援等の事前対策,③被害が発生 した際の被害状況の迅速な把握など,人命第一で取り組むよう指示が出されたことから,多 くの市町村において避難指示(緊急)及び避難勧告等が発令され,ピーク時における避難所 への避難者数は23万7,000人超に達した⁹. 近年,タイムラインの整備など情報伝達面で の訓練が行われていることから,混乱は少なかったが,①自治体を超えての広域避難,②避 難途上での災難(車中死)などの課題は残った.特に広域避難では,茨城県境町の事例では 茨城,栃木,群馬,埼玉4県の5つの市町と利根川上流河川事務所で「広域避難協議会」を 作り,体制を整えてきた結果,避難者 3300人の2200人が町外に避難するという初めての 試みを成功させている⁹. その一方で,東京東部の荒川流域の5区(江戸川区,江東区,足 立区,葛飾区,墨田区)では,今回の台風で広域避難を検討したが計画運休もあり,見送る こととなった.判断のタイミングや避難所の確保という問題があらためて浮き彫りとなっ た⁹.都市部においては,避難所の確保,家屋倒壊危険ゾーンの周知徹底,水平垂直避難の 判断能力を高める取り組みなど,様々な降雨シナリオに関してマイタイムラインの設定と 試行が必要である.

(田中規夫)

参考文献

1)須賀尭三監修,利根川研究会編,利根川の洪水,山海堂,1995.

2) 荒川 自然: 荒川総合調査報告書1, 埼玉県, 1987.

3) 気象庁, 台風経路図, 2019. (<u>https://www.data.jma.go.jp/fcd/yoho/typhoon /route_map/bstv201</u>9.html)

4)国土交通省, 令和元年台風第 19 号による被害状況等について:堤防決壊箇所一覧(令和 2 年 4 月 10 日時点), 2020. (https://www.mlit.go.jp/common/001313204.pdf)

- 5)消防庁防災課,応急対策室,広域応援室,地域防災室,「令和元年東日本台風等」における消防機関の対応,消防の動き '20 年 3 月号, pp.14-18, 2020.
- 6)国土交通省関東地方整備局,令和元年東日本台風(台風第19号) 出水速報(第4報), 2020. (<u>https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/content/000773445.pdf</u>)

7) 荒川上流河川事務所,入間川・越辺川等緊急対策事業,2019.

(https://www.ktr.mlit.go.jp/arajo/arajo00584.html)

8)清水 義彦,田中仁,田中 規夫,吉谷 純一,二瓶 泰雄,2019 年台風 19 号による豪雨 災害状況,土木学会誌 3 月号,2020.

9)松本浩司,台風19号問われた『広域避難』(時論公論),2019.

1.2 過去の風水害との比較にみる本台風の規模

1.2.1 令和元年台風 19 号の被害数

2020年2月12日時点で,令和元年台風19号による被害は,全国で死者99名,行方不明者3名,住家被害が75,822棟となっている¹⁾. その被害は,長野から関東,東北太平洋側を

中心として東日本全域にわたった(図 1.2.1).本節では,過去の風水害イベントと の比較を通して,台風19号での被害の特徴 について報告する.

図 1.2.2 は消防庁の報告をもとに被害報 告が開始されて以降の建物被害数(棟)の報 告数の推移を示している.現時点で最新の消 防庁による報告は 2020 年 2 月 12 日時点の ものとなっている.参考として平成 30 年 7 月豪雨での推移を示す.いずれの水害でも発 災直後より報告被害数が増加し,報告開始日 から 30 日前後でその増加率が減少する傾向 が見られる. 台風 19 号の報告被害数は 120 日を経過した 2 月 12 日時点でも増加の傾向 が見られるものの,今後も大きな数字の変動 はないとみられるため,本節では 2020 年 2 月 12 日時点のデータを用いて分析を実施し た.

1.2.2 過去の風水害イベントと台風 19 号との被害の比較

図1.2.3は1976年以降の年度ごとの建物 被害数の推移を示している(ただし,2019年 の被害数は台風19号のみ).全体の傾向とし ては、1976年以降,建物被害数は減少傾向 にあるものの、ここ数年は2017年7月九州 北部豪雨、2018年7月豪雨、そして今回の 台風19号といった大規模な水害が続いてお り、建物被害数は年々増加している.



図 1.2.1 令和元年台風 19 号による被害の分布 (2020 年 2 月 12 日時点)¹⁾



図 1.2.2 令和元年台風 19 号及び平成 30 年 7 月 豪雨における建物被害の報告数の推移²⁾³⁾



図 1. 2.3 1976 年以降の年度ごとの建物被害数の推移(2019 年の被害数は台風 19 号のみ)^{1) 4)}

次に,風水害イベントごとの被害規模を比較するために,水害統計等において特定が可能 であった 1976年以降の主要な風水害イベントを抽出した⁵⁾.抽出された水害は全90イベン トである.図1.2.4に,抽出された風水害イベントのうち,死者・行方不明者数と建物被害 数が大きい上位 50イベントを示す.令和元年台風 19号は死者・行方不明者数で全体の6 位,建物被害数でと5位といずれも上位にランクインした.令和元年台風 19号より上位に 位置している風水害イベントは,死者・行方不明者数で第2位に入った平成30年7月豪雨 を除くと,1970年代から80年代に発生した水害であり,今回の台風19号による被害規模 の大きさを示している.

死者・行方不明者数と建物被害数の関係を比較するために図 1.2.5 に両者の散布図を示 す. 今回の台風 19 号よりも死者・行方不明者数,建物被害数ともに大きい風水害イベント



は昭和 51 年台風第 17 号と昭和 57 年長崎豪雨の 2 イベントのみである.昭和 51 年 9 月に 発生した台風 17 号では,前線の影響も相まって岐阜県を中心に記録的な豪雨となり,岐阜 県安八郡安八町大森地先において長良川が決壊する所謂「安八水害/9.12 水害」が発生した ⁶⁾.この台風での被害は岐阜県に限らず,周辺各県,そして東京でも被害が記録されている ⁷⁾.そして昭和 57 年長崎豪雨は,梅雨前線の影響により降り始めからの総雨量は 572mm(7 月 23 日 14 時~24 日 19 時)に達し,特に長与町役場では我が国観測史上最大の 1 時間で 187mm を記録した.この大雨で長崎市を中心に死者・行方不明 299 名の人的被害を含む甚 大な災害が発生し,都市化がその被害を助長したことから都市型災害の始まりとも言われ た⁸⁾.この水害を契機に「記録的短時間大雨情報」が設定されたり,長崎防災都市構想が策 定されたりするなど,その後のソフト対策の先駆けとなった⁹¹⁰.

今回の台風 19 号での被害は昭和 51 年台風第 17 号と昭和 57 年長崎豪雨といった歴史的 水害に次ぐ規模であったことが分かった. 今回の被害を受けて,被災した各河川では緊急治 水対策事業が開始され,河道掘削,遊水地,堤防整備等のハード整備のほか,霞堤の活用や 浸水リスクを考慮した立地適正化計画の作成といったソフト対策を組み合わせた総合的な 治水対策が進められている¹¹⁾. 人口減少や気候変動といった大きな変化が予想されている 現在,今回の水害を契機に新たな治水・防災の確立に向けた取り組みが一層加速することが 期待される.



図 1.2.5 1976年以降に発生した風水害イベントの人的被害と建物の関係 (中村 晋一郎)

149

参考文献

1)消防庁:令和元年10月12日 令和元年台風第19号及び前線による大雨による被害及び消防 機関等の対応状況(第65報 R2.2.12更新),

<u>https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/taihuu19gou65.pdf</u> (閲覧日:2020年5月20日)

- 2)消防庁:令和元年10月12日 令和元年台風第19号及び前線による大雨による被害及び消防 機関等の対応状況(第1報~65報),<u>https://www.fdma.go.jp/tags/893.html</u>(閲覧日:2020 年5月20日)
- 3) 内閣府:平成30年7月豪雨による被害状況等について, http://www.bousai.go.jp/updates/h30typhoon7/index.html(閲覧日:2020年5月20日)
- 4)国土交通省:水害統計調查(1976年度~2019年度)
- 5)東京大学総括プロジェクト機構「水の知」(サントリー)総括寄付講座編 : 水の日本地図 水が映す人と自然,朝日新聞出版, 2012.
- 6) 中部災害アーカイブス: 9.12豪雨災害(安八豪雨), <u>http://www.cck-</u> <u>chubusaigai.jp/kinnen_saigai/19760912.html</u>(閲覧日: 2020年5月20日)
- 7)東京都:昭和51年水害概要, <u>https://www.kensetsu.metro.tokyo.lg.jp/suigai_kiroku/s51/s51gaiyou.htm</u>(閲覧日:2020年5月 20日)
- 8)国土交通省 九州地方整備局:主な災害の概要 [06] 長崎大水害, http://www.qsr.mlit.go.jp/bousai/index_c06.html (閲覧日: 2020 年 5 月 20 日)
- 9)気象庁:昭和57年7月豪雨(長崎大水害),<u>https://www.jma-net.go.jp/nagasaki-</u> c/gyomu/nagasakisuigai/nagasaki.html(閲覧日:2020年5月20日)
- 10)高橋和雄: 1982長崎豪雨災害から30年, 自然災害科学, 31-3, 2012.
- 11)国土交通省:台風第19号で甚大な被害が発生した7水系において『緊急治水対策プロジェクト』に着手します、<u>https://www.mlit.go.jp/report/press/mizukokudo05_hh_000102.html</u>(閲覧日:2020年5月20日)

第2章 利根川水系の各河川における被災状況およびその分析

2.1 利根川上流域の流況とダムの効果

2.1.1 降雨量について

台風 19 号は強い勢力をもって 10 月 12 日 19 時前に伊豆半島に上陸し(図 2.1.1),静岡 県や新潟県,関東甲信地方,東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨をもたらして 13 都 県に大雨特別警報を発表する事態となった.とくに,10 月 10 日から 10 月 13 日までの総降 雨量について,関東地方での記録的なものとして,神奈川県箱根で 1001.5mm,静岡県湯ヶ 島で 760mm,埼玉県浦山で 687mm,東京都小沢で 649mm の豪雨となる¹⁾.

本節では、台風 19 号による出水の降雨規 模を算定するため、関東地方とくに利根川流 域にもたらした降雨量について、10 月 11 日 0 時~14 日 0 時の 3 日間の気象庁解析雨量か ら検討した. 図 2.1.2 に関東地方における累 積雨量分布を示す. 同図には利根川流域(八 斗島上流域、渡良瀬川流域を含む栗橋上流 域、鬼怒川流域)、荒川流域、那珂川流域、久 慈川流域の流域界も入れてある. これより、 荒川の上流域、利根川水系では烏川(404mm)、 神流川(448mm)に当たる流域、吾妻川上流域 (322mm)、渡良瀬川流域(365mm)、鬼怒川上流 域(369mm)で累積雨量の多いことが分かる.



図2.1.1 台風19号の進路と勢力¹⁾

次に、利根川上流域に注目して検討した、八斗島地点の上流域(5,150km²)における累積降 雨分布図を図2.1.3に示す.これにより、流域の北側の奥利根流域では降雨量が小さく、南 側に位置する烏川・神流川流域に降雨が集中していたことが見て取れる.流域平均雨量のハ イエトグラフを図2.1.4に示す.八斗島上流域におけるピーク降雨量は23.6mm、3日間の 累積降雨量は310.42mmであった.利根川水系利根川・江戸川河川整備計画²⁾によると、八 斗島上流域における既往最大の洪水は1947年(昭和22年)9月のカスリーン台風によるもの で、その八斗島上流域平均3日雨量は308.6mmである.すなわち、カスリーン台風におけ る降雨の空間分布とは異なるものの、降雨規模で見ればほぼ同等であったことが示された.



図2.1.2 関東地方における累積雨量分布



図2.1.3 利根川上流域・八斗島地点における累積雨量分布

2.1.2 モデルの概要

a) RRI モデルの構成

本検討において,洪水流量の推定には降雨流出氾濫モデル(RRIモデル)³⁾を用いた. RRIモデルは、国立研究開発法人土木研究所 ICHARM で開発された、山地・平地を問わず流域を グリッドセルに分割し、降雨流出から洪水氾濫まで流域スケールで一体的に解析すること のできる分布型モデルである. RRIモデルでは、流域全体を二次元拡散波近似で解析を行う ことで、低平地の降雨流出過程や氾濫原における浸水の状況を再現可能である.本研究での 解析には、最新バージョンの Ver.1.4.2.3 に、近者ほか⁴⁾によって開発されたダムモジュール を組み込んだ RRIモデルを用いた.

検討対象流域は,群馬県を水源とし,埼玉県,茨城県,千葉県を流れる一級河川利根川と した.利根川の流域面積は16,840km²,幹川流路延長は322kmである.利根川は上流ダム群 として7つのダムを有しており,加えて,今次洪水では試験湛水中であった八ッ場ダムでも 洪水貯留が実施された. RRIモデルは,利根川流域全域を対象として構築した.計算負荷を 考慮して空間解像度は28秒(約700m×850m)メッシュを採用し,総計算メッシュ数は26,169 メッシュである.

地形情報のモデル化には山崎ら⁵の日本域表面流向マップ⁶を用いて,1秒メッシュから 28 秒メッシュにスケールアップした.土地利用データは国土数値情報土地利用細分メッシ ュを使用し,28 秒メッシュ内において支配的な分類カテゴリから,水田・畑地・山地・都 市・水域の5分類を設定した.河道モデルは地点上流の流域面積に応じたレジューム則から 矩形河道としてモデル化した.八ッ場ダムは貯留量の推定を行うために簡易的にモデル化 し,期間内の放流量を 0m³/s として設定した.実際の放流量は約4m³/s であった⁷.水位-貯 留量の関係は貯水池容量配分図⁸より線形で作成し,記者発表資料⁷より初期水位を 518.8m として設定した.八ッ場ダム以外のダムは,国土交通省水文水質データベースより収集した 実績放流量を境界条件として入力した.

b) RRI モデルパラメータの同定

構築した RRI モデルパラメータを同定するために、実洪水における河道流量の再現性に ついて検証を行った.検証対象洪水は近年で最も大きな降雨であった平成 27 年関東・東北 豪雨(2015 年 9 月 9 日~9 月 11 日)とし、計算期間は初期値による影響を極力小さくするた め、助走計算期間を含めた 2015 年 7 月 1 日~10 月 1 日とした.ここで、入力する降雨デー タには気象庁解析雨量を用いた.気象庁解析雨量はアメダスや国土交通省水文水質データ ベースの雨量観測値とは異なり、空間分布を持つため、雨量データに起因する誤差を極力排 除し、より現実的な降雨を与えることが可能であると考えられる.本研究で対象とする八斗 島水位観測所地点及びそれより上流にある利根川上流ダム群の流入量について検証を実施 した.





図2.1.5 関東・東北豪雨の八斗島水位観測所流量 ハイドログラフ

9/10

9/11



表2.1.1関東・東北豪雨のNash係数一覧

観測地点	Nash係数
八斗島	0.84
矢木沢ダム	0.79
奈良侯ダム	0.39
藤原ダム	0.21
相俣ダム	0.21
薗原ダム	0.82
草木ダム	0.90
下久保ダム	0.49

計算結果の例として,八斗島水位観 測所及び薗原ダムにおける観測値と 計算値の流量ハイドログラフを図 2.1.5, 図 2.1.6 に示す. 更に, 各地 点における Nash-Sutcliff 係数(以下, Nash 係数)を算出した. Nash 係数は一 般的に0.7以上でモデルの妥当性が高 いとされている. 検証対象における Nash 係数を表 2.1.1 に示す. 各地点 の観測流量は水文水質データベース より入手したが、ダム地点における 流入量は執筆時現在では暫定値であ る. この結果, 八斗島水位観測所及び 比較的流入量の大きかった薗原,草 木ダムにおいて Nash 係数が 0.7 以上 となった.以上より,流域全体として 高水に対するおおよその再現性があ るとして,パラメータを決定した.

2.1.3 令和元年台風 19 号による八斗島地点の洪水流量の推定

a) ダム地点の再現性検証

2015年 9/9



図2.1.7 台風19号再現計算の下久保ダム流入量 ハイドログラフ



図2.1.8 台風19号再現計算の薗原ダム流入量ハ イドログラフ



図2.1.9 台風19号再現計算のハッ場ダム流入量 と貯水位

表2.1.2 令和元年台風19号再現 計算のNash係数一覧

観測地点	Nash係数
矢木沢ダム	0.84
奈良侯ダム	0.46
藤原ダム	0.67
相俣ダム	0.80
薗原ダム	0.83
草木ダム	0.91
下久保ダム	0.91

令和元年台風 19 号における八斗島地 点の洪水流量を見積もるため,前項で 構築した RRI モデルを用いて,利根川 流域における河道流量の再現計算を実 施した.ここで,計算期間はパラメータ 同定時と同様,助走計算期間を含めた 2019 年 9 月 1 日~11 月 1 日とし,雨量 データには気象庁解析雨量を用いた.

利根川上流域ダム群の放流量は水文 水質データベースより入手した実績 放流量を強制流量としてダム地点下 流の河道に与えた.八斗島上流域にお ける降雨規模の算定には気象庁解析 雨量より,10月11日0時~14日0時 の3日間のデータを用いた(図2.1.4).

以上の計算条件により、利根川上流 ダム群における流入量を観測値と計 算値で比較することにより本洪水に おけるRRIモデルの再現性の検証を行 った.計算結果の例として、下久保ダ

ムおよび薗原ダムにおける流入量ハイドログラフを図 2.1.7, 図 2.1.8 に示す.また,表 2.1.2 にそれぞれのダム流入量の Nash 係数を示す.降雨規模の小さい奥利根流域にある奈 良俣ダムおよび藤原ダム以外の地点で 0.7 以上となっており,モデルの精度として良好と言 えるため,本解析の妥当性が示された.また,試験湛水中であった八ッ場ダムについても, 国土交通省関東地方整備局の公表資料 %にもとづきダム流入量を比較すると, Nash 係数は 0.97 となり, その 再現性は高いことが示された(図 2.1.9). 推定ピーク流入量は 2,385m³/s, 実績ピーク流入量は 2,550m³/s である.



b) 八斗島地点における流量の推定

以上によりモデルの妥当性が示さ れたため,このモデルの計算結果に

よる八斗島地点における河道流量の算定を実施した.なお、八斗島水位観測所における本出 水期間の観測流量は執筆時時点では公表されていない.計算流量のハイドログラフを図 2.1.10 に示す.本解析における八斗島地点の推定ピーク流量は 13,925m³/s となり、その発 生時刻は 10 月 12 日 22 時 50 分、実績によるピーク水位の発生時刻が同日 23 時¹⁰であり、 その差異は小さい.

利根川水系利根川・江戸川河川整備計画⁸に示された八斗島地点における目標流量は 17,000m³/s(年超過確率1/70程度)であり、そのうちの14,000m³/sを河道で安全に流下させる ことを目標としている.これにより、本出水は河川整備計画における河道での目標流量とほ ぼ同等であったことが推定される.

次に、八斗島地点の洪水流量を構成する各河川からの寄与分を推定した.すなわち八斗島 地点上流にある利根川本川の上福島水位観測所,烏川に合流する神流川の若泉水位観測所, 神流川合流点上流にある烏川の岩鼻水位観測所地点においてそれぞれの流量ハイドログラ フを求め、これを図2.1.11に示す.これを見ると、八斗島地点のピーク流量13,925m³/s に 対し、利根川本川から5,601m³/s,神流川から1,140m³/s,烏川からが6,278m³/s であり、単純 な合算で一致するものではないが、烏川流域からの寄与が大きいことがわかる.神流川上流 には下久保ダムがあり、本出水時には最大で1,045m³/s の洪水調節が行われていた¹¹⁾が、一 方で烏川には河川整備計画に調節池整備が位置づけられているものの、現時点においては 未整備であり、貯留施設がないことは今次出水が利根川の治水に投げかけた課題だと言え る.さらに、同じモデルを用いてダム及び氾濫がなかったと仮定した条件でも、本出水にお ける八斗島地点の流量を試算した.この結果、八斗島地点における計算流量は18,279m³/s と なり、その推定値は整備計画目標流量(洪水調節施設無しの流量)を超える規模となった.

<u>c) 八斗島地点における八ッ場ダムの効果</u>

今次出水における八ッ場ダムの効 果を見るために,八ッ場ダムがなか った場合を仮定して八斗島地点にお ける流量ハイドログラフを推定した (図 2.1.11).今次出水における本解 析での八斗島の推定ピーク流量は 13,925m³/sであり,八ッ場ダムがない と仮定した場合の推定ピーク流量は 16,867m³/sであった.これにより,八 斗島地点において2,942m³/sの洪水調 節効果があったことが示された.す



なわち、八斗島地点において八ッ場ダムは約17%の洪水調節を行ったことになる.

2.1.4 八斗島下流における利根川本川の治水課題

利根川は、八斗島下流区間からの右岸堤防が決壊すると首都圏氾濫の危機が高まり、また 左岸堤防の決壊では閉鎖型氾濫貯留による湛水深の増大から甚大な被害をもたらす.この 区間の整備計画の河道目標流量は図2.1.12に示すように現況流下能力にほぼ等しい 14,000m³/sとしている.しかしながら、川俣水位観測所において、本出水では計画高水位 7.46mのところ、ピーク水位は8.00mを記録しており、計画高水位を0.54m上回る洪水とな った.川俣地点までには、広瀬川、早川、小山川、石田川の支川洪水流量が加算される.そ こでこれらの支川合流流量もRRIモデルから検討したが、広瀬川を除いて計算ピーク流量 と実積ピーク水位の発生時刻に大きな差が生じ(計算ピーク流量発生時間が実績ピーク水位 発生時間に比べて早い)、本川への支川合流の評価に課題があるものと判断した.これは空



図2.1.12 HWLと実績ピーク水位の差と現況流下能力(利根川・江戸川河川整備計画に加筆)

間解像度の問題の他,八斗島地点下流からのセグメント2相当の沖積平野での流出過程,と くに支川,本川の不定流効果の取り込みに関する課題と考えている.

以上により,本出水における川俣地点の推定流量が河道目標流量(14,000m³/s)を上回ること が理解され,危機的な状況であったことが分かる.したがって,本区間の河道で計画高水位 以下に流下させるための河道目標流量を達成させるための洪水調節施設,本川下流区間の 流下能力向上のための河川改修(河道掘削)が必要であることが示唆された.

2.1.5 まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す.

1)気象庁解析雨量より、八斗島上流域における3日間の累積平均雨量は310mmとなり、 1947年のカスリーン台風による降雨規模(308.6mm)と同程度であることを示した.

2)利根川上流ダム群および八ッ場ダムにおける計算流入量を実績流入量と比較し、その良 好な対応から本解析の妥当性を提示した.

3) 八斗島における推定流量は 13,925m³/s であり、これは利根川水系整備計画における河道 目標流量と同等の規模であることを示した.また、ダム・氾濫なしでの流量は 18,279m³/s と 推定され、特に烏川水系からの洪水寄与分が大きいことを提示した.

4) 八斗島における推定実績流量 13,925m³/s に下流支川合流を考慮すると整備計画河道目標 流量を上回る.実績として川俣での痕跡水位が HWL を 0.54m 上回ることからも判断する と,推定流量は現況流下能力を超過する流量規模であることを提示した.

5) 今次出水において試験湛水中であった八ッ場ダムは八斗島水位観測所における洪水流量 の約17%の流量低減に寄与したことが推定された.

6)本出水における推定流量は現況の流下能力を上回る流量規模であったことが推察され、 危機的な状況であった.今次出水から、八斗島下流区間の河道目標流量を達成させるための 洪水調節施設、流下能力向上が必要であることが示唆された.

(阿部紫織,清水義彦,浅沼順,佐山敬洋)

参考文献

1)内閣府防災: 台風 19 号等の概要, 令和元年台風 19 号等による災害からの避難の関するワ ーキンググループ(第1回)資料, 令和元年 12 月 18 日

2)国土交通省関東地方整備局,利根川水系利根川・江戸川河川整備計画(令和2年3月), https://www.ktr.mlit.go.jp/river/shihon/river_shihon00000411.html

3)Takahiro Sayama, Go Ozawa, Takahiro Kawakami, Seishi Nabesaka, Kazuhiko Fukami: Rainfall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, Hydrological Sciences Journal, 57(2), pp. 298-312, 2012.2.

4)近者敦彦,中村要介,阿部紫織,佐山敬洋,若月泰孝:平成27年9月関東・東北豪雨に

おける鬼怒川上流ダムによる洪水調節効果の分析,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I_1507-I_1512, 2018.

- 5)山崎大, 冨樫冴佳, 竹島滉, 佐山敬洋: 日本全域高解像度の表面流向データ整備, 土木学 会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.5, pp.I 163-I 168, 2018.
- 6)日本域表面流向マップ, http://hydro.iis.u-tokyo.ac.jp/~yamadai/JapanDir/, 2019/5/31 現在.
- 7)国土交通省関東地方整備局,記者発表資料 令和元年台風 19 号における八ッ場ダムの試験湛水状況について(令和元年 10 月 13 日発表),

https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr content/content/000757984.pdf

- 8) 国 土 交 通 省 関 東 地 方 整 備 局 八 ッ 場 ダ ム 工 事 事 務 所 , 貯 水 容 量 配 分 図 , https://www.ktr.mlit.go.jp/yanba/yanba index013.html
- 9)国土交通省関東地方整備局,台風 19 号における利根川上流ダム群の治水効果(速報)(令和元年11月), https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/000763056.pdf
- 10)国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所,令和元年東日本台風による出水速報 (第2報),令和2年3月16日,https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr content/000770371.pdf
- 11)独立行政法人水資源機構下久保ダム管理所,下久保ダム記者発表資料(2019年10月13日 発表) https://www.water.go.jp/kanto/simokubo/news/press/pdf/R1T19kisyahappyou.pdf

2.2 利根川水系の中小河川に見られる被災状況(栃木県)

2.2.1 利根川水系渡良瀬川支川秋山川における被災状況調査

令和元年東日本台風が 2019 年 10 月 11 日から 13 日にかけて東日本の広域に激甚な水害 をもたらした.利根川水系渡良瀬川の支川である秋山川(本川全流域面積 87.9km²,本川延長 39.8km)においても県管理区間の 2 箇所で破堤し,破堤部周辺市街地である栃木県佐野市お よびその下流域において激甚な被災をもたらした.

秋山川および破堤箇所の位置図を図2.2.1 に,2箇所の破堤箇所およびその周辺域の拡大 図を図2.2.2 に,また同エリアの洪水時航空斜め写真を図2.2.3 にそれぞれ示す.



図 2.2.1 秋山川および破堤箇所位置図



図 2.2.2 秋山川破堤箇所周辺市街地の拡大図



図 2.2.3 秋山川の洪水時航空斜め写真 (渡良瀬川河川事務所撮影)

秋山川は,ほぼ北から南(図 2.2.3 では上から下)方向へ佐野市内を流下し渡良瀬川左岸に 合流する.各図中に示した2箇所の破堤部のうち,以下では上流側を大橋破堤部,下流側を 赤坂破堤部と,それぞれ称することとする.両破堤共に,秋山川にかかる橋梁の上流側袂で 発生した.大橋破堤部では大橋の,赤坂破堤部では海陸橋のそれぞれ右岸堤防が決壊し,内・ 外水氾濫の複合的要因により,床上浸水1,411 戸,床下浸水636 戸,全壊家屋5 戸,半壊家 屋 641 戸および田畑等浸水899ha(いずれも国土交通省資料¹⁾より引用)という被災となった.

秋山川周辺域における水害の発生要因となった近隣の降雨概況を以下に示す. 図 2.2.4 に, 葛生, 佐野, 足利および栃木の計 4 地点の AMeDAS 観測地点における時間降水量を,また 図 2.2.5 にその累積降水量をそれぞれ示す. 各 AMeDAS 観測地点の位置は図 2.2.1 中に示 した.



図 2.2.4 AMeDAS 時間降水量(葛生, 佐野, 足利, 栃木)

いずれの観測地点においても、10月12日の8時から降水量が増大し、同日15時から22時にかけての計7時間に亘り約30mm/hの降水が断続的に発生していたことがわかる.特に、秋山川の上流部に位置する葛生においては、同日19時の時点で47.5mm/hの時間降水量が観測されており、4時間に亘って40mm/hの降水が継続した結果、秋山川およびその支川である小曽戸川からの越水によって、床上浸水27戸、床下浸水70戸、全壊家屋1戸、半壊家屋26戸(いずれも国土交通省資料¹⁾より引用)という被災が発生している.

降水が終息傾向を示す同日 23 時までの累積降水量を図 2.2.5 で確認すると, 葛生で

416.5mm, 栃木で 305.0mm, 佐野で 266.5mm および足利で 256.9mm となっており, 24 時間 降水量としての葛生(410mm), 佐野(261.5mm)および足利(253mm)は, 統計開始以来の極値更 新となっている.



図 2.2.5 AMeDAS 累積降水量(葛生, 佐野, 足利, 栃木)

当該出水による河川水位の経時変化について以下に示す. 図2.2.6 に,秋山川の各水位観 測所において観測された河川水位の経時変化を示す.上流から順に,葛生,大橋,大古屋橋 および伊保内新橋であり,大橋は上流側破堤部,大古屋橋は直轄区間との境界に位置する県 管理区間の下流端,伊保内新橋は大古屋橋の更に下流域における直轄区間に位置している. 各水位観測所位置は図2.2.2 に示す.大橋の水位が10月12日の19時の時点で途切れてお り,これは水位計設置高に河川水位が到達したため水位計が損壊したためと考えられ,当該 破堤部における越流発生のおよその時刻を推定する情報となる.赤坂破堤部より更に下流 側に位置する大古屋橋および伊保内新橋における水位上昇に注目すると,図2.2.6 中に付 記したように,大古屋橋においては20時,伊保内新橋においては19時からそれぞれ1時 間程度の期間,水位上昇速度が低下している.これらは越流および赤坂破堤部における破堤 によって河道内流量の上昇速度が一時的に低下したことを示唆しているものと考えられる.

最高水位に着目すると、大古屋橋および伊保内新橋共に10月13日の1時から2時にかけて発生しており、伊保内新橋では、10月13日の1時50分に、氾濫危険水位7.90mを超



え, 8.87m という, 計画高水位である 9.00m まであと 13cm という事態に及んでいたことが 後日の洪水痕跡から確認されている.

破堤メカニズムの考察を以下に示す. 図 2.2.7 は,大橋破堤部周辺域の航空斜め写真である.橋梁直上流側右岸袂部において約 20m の堤防が流失した.橋梁の左右袂部に大量の流 木等が堆積しており,橋梁による堰上げが左右袂部からの越流を引き起こし,右岸堤防が破 堤した.また,大橋の 1.2km 下流位置の中橋は落橋している.

図 2.2.8 に,赤坂破堤部周辺域の航空斜め写真を示す.海陸橋の直上流側の右岸袂部で堤防が約 50m に亘って流失した.大橋破堤部同様,橋梁による堰上げにより越流が生じたものと考えられる.

図 2.2.9 に、秋山川の両破堤部を含む約 4km 区間を対象とした河幅を示す. 比較的広い 河幅が確保されている 6.0km 付近から約 1km の間に、河幅が約 60m 減少しており、本検討 対象区間内の河幅最小区間である 5.2km 付近が大橋破堤部である. その後、下流に向けて河 幅が一時的に増大し、再度河幅が急減する 3.7km 付近が赤坂破堤部であり、ここでは 200m 流下する間に 60m 程河幅が減少している. これらより、今次出水による秋山川の 2 箇所の 破堤要因に河幅減少による流下能力の局所的な低下が一因となっていることが示唆される.



図 2.2.7 大橋破堤部航空斜め写真(渡良瀬川河川事務種提供)



図 2.2.8 大橋破堤部航空斜め写真(渡良瀬川河川事務所提供)

図2.2.9の下部に,痕跡調査によって,天端上に顕著な越流痕跡が確認された区間を左右 岸別に両矢印で示した.両矢印の長さが越流痕跡確認区間であり,図2.2.9の横軸と対応さ せて示してある.前述した,6kmから5kmへの河幅急縮区間において,ほぼ左右岸同様の 越流区間となっているのに対し,赤坂破堤部上流域の急縮区間では,顕著な越流痕跡は右岸 のみで確認されている.



図 2.2.9 秋山川河幅 (2.1km~6.1km)と破堤部および越流痕跡

図 2.2.10 に、赤坂破堤部近傍を拡大した航空垂直写真を示す.前述のとおり、赤坂破堤 部では、海陸橋の上流側右岸袂部において破堤したが、図 2.2.9 中において両矢印で示し た、赤坂破堤部に該当する顕著な越流痕跡確認区間は、右岸堤が河道中心側に寄るように河 幅減少する区間と完全に一致している.一方の左岸はその上流からの堤防縦断方向と大き く変化していないため、当該区間は河幅減少区間であり、且つ右岸側が河道湾曲の外岸側と なるため越流リスクが高くなっている.加えて、海陸橋の河川流下方向に対する橋桁設置角 度が、橋桁による堰上げ水を橋梁上流側右岸袂部へ流量集中させる位置関係となっている. これらのことから、赤坂破堤部は、河幅減少、河道湾曲の外岸および橋桁の河川流下方向に 対する設置角という3 重の破堤リスクを内包していたものと考えられる.



図 2. 2. 10 赤坂破堤部近傍の航空垂直写真

(松本健作)

2.2.2 栃木県内の中小河川(秋山川, 永野川)の氾濫について

台風 19 号による中小河川の被害状況を見ると越水が多数目立ち,中小河川にとっては河 道流下能力を大きく越える外力規模であったことが推測される.関東地方ではとくに大き な被害となったのが栃木県で,住家被害では,全壊・半壊・一部破損で11,238棟,床上浸水 1,452棟,床下浸水 1,058棟(令和元年 12月 12日現在)にも及んだ.なかでも渡良瀬川流 域にあって佐野市を貫流する秋山川,栃木市を貫流する永野川の氾濫による浸水被害は甚 大で,ともに栃木県管理河川区間で数か所の決壊が生じた.ここではこの被災をもたらした 河川の氾濫過程について検討する.

<u>a) 秋山川について</u>

秋山川ではとくに佐野市内での2か所の破堤が大きな被害をもたらした.それらは佐野市大橋町(大橋上流右岸)と佐野市赤坂町(海陸橋上流右岸)であり,後者は秋山川の下流 側に位置する.この海陸橋上流右岸の決壊は10月12日21時過ぎに起こり(氾濫危険水位は 2.8mであり,12日19時40分頃に3.43mを記録),その地点の様子を図2.2.11に示す.決 壊地点は緩い湾曲部の外岸側であり,同図より右岸堤防天端には多くの流下物の堆積が目 立つ.一方,その対岸(内岸)には越水した痕跡は認められない.堤防裏法面には侵食跡が 目立ち,典型的な越水による裏法面侵食であることが確認された.



図 2.2.11 海陸橋上流右岸の決壊の状況(天端に残る流下物と裏法面の侵食が目立つ)

氾濫水が市街地や農地を襲い, 佐 野市を横断する国道 50 号線やJR 両 毛線等の主要交通網も浸水被害を 受けた. 図 2.2.12 の衛星画像(10 月 13 日 10 時 28 分観測, 赤坂町右岸破 堤点は×で示された位置)から見え る氾濫湛水がどのような挙動で流 下してきたかを知るために, 氾濫流 解析から考察した.

氾濫解析に用いた地形データは 国土地理院・基盤地図データ(5mメ ッシュ)を用いた.執筆時点では破 堤流量の情報はなく,ここでは氾濫 流量が図 2.2.12 の氾濫域全体を再 現できるように試行的に決めた.そ の結果,赤坂町右岸破堤のみを考慮 して氾濫流量 150 m³/s としてこれを 一 定時間与えた.参考までに秋山

川の河川整備計画²⁾によれば計画流



図 2.2.12 氾濫域の衛星画像(10 月 13 日 10 時 28 分観測, 赤坂町右岸破堤点は×で示す位置)

量は 430 m³/s (計画規模 1/30) で現状の流下能力は概ね 200 m³/s である. 氾濫解析には, iRIC Nays2D flood を用い, マニング粗度係数は 0.035 とした. その結果, 図 2.2.12 の湛水域を 再現するには計算時間を 6 時間以上にする必要があり, 佐野市公式 SNS アカウントの情報 によれば少なくとも 10 時間以上は破堤箇所からの越水が続いていたことも考慮して計算時 間を検討した.

図 2.2.13 は決壊後 1 時間 17 分の氾濫域の浸水深コンター図である. この時点において 国道 50 号線の周囲より高い地形(盛土)によって上流側に一時湛水する. 国土交通省宇都 宮国道事務所によると 12 日 22 時 16 分頃から冠水による国道 50 号線の全面通行止めが実 施されている. NHK 報道や佐野市 SNS によれば堤防決壊は 21 時 20 分頃であり, 50 号線 通行止めまでの所要時間は約 1 時間となり,解析結果と概ね一致する. その後,氾濫流は国 道 50 号線を越えて,図 2.2.14 (7 時間 35 分後の浸水深コンター図)の点線(赤色)方向に 流下して渡良瀬川・秋山川合流点に向かい,湛水した.

氾濫域を治水地形分類図と比較したものが図2.2.15 である. 破堤点付近では居住地区を 浸水するが,その下流での氾濫域のほとんどは水田等の農地で,その中で住居や学校等の公 共施設が微高地(自然堤防)の地形上に集中しており被害の軽減につながっている. 湛水によ る農地被害があるが,ここに貯留したことで下流河川への洪水流量負荷を低減させること を評価することが重要である.



図 2.2.13 決壊後1時間 17 分の氾濫域の浸水深コンター図



図 2.2.14 決壊後 7 時間 35 分の氾濫域の浸水深コンター図



図 2.2.15 治水地形分図と決壊後 7 時間 35 分の氾濫域浸水深コンターの比較

<u>b) 永野川について</u>

宇都宮地方気象台から 10 月 13 日午前 2 時 に河川はん濫発生情報が発表され,栃木市に よれば永野川の決壊は 6 か所となった.

ここでは大平町川連地点(JR両毛線・鉄道 橋梁上下)での決壊による氾濫過程を検討す る.この大平地域では,栃木市によれば住家被 害で,全壊2,大規模半壊44,半壊487,一部 破損1124であり,非住家被害では,大規模半 壊3,半壊54,一部半壊142,床上浸水117が 発生した³⁾.

図 2.2.16 は JR 両毛線鉄道橋梁直上流側右 岸の決壊地点での緊急復旧の状況である.湾 曲部外岸にあたり,被災前から護岸の設置が なされていることから水衝部であることが分 かる.



図 2.2.16 大平町川連地点の右岸決壊



図 2.2.17 大平町川連地点決壊からの氾濫流の流れ

図2.2.17 には現地調査,報道等から 求めた氾濫流の流れを示したもので ある.興味深いことは,氾濫流は永野 川からの川筋を離れて流下していく ことで県道11号をしばらく流れた後 (図2.2.18),県道から離れ,水田地 帯に流れていく.この間,多くの住居, 商業施設を浸水させた(JR 大平下駅 付近の県道での調査から浸水深さは 1.0m から1.5m 程度が目立った).

そこで,このような氾濫流の挙動を 把握するため,氾濫流解析を行った. 後述する氾濫原全体(図2.2.10)を再 現できるよう試行的に決めた結果 氾濫流量200 m³/s としてこれを10 時間与えた.参考までに秋山川の河川整 備計画によれば計画流量は430 m³/s (計 画規模1/30)である.氾濫解析には,iRIC Nays2D flood を用い,10m 格子の地形デ ータ(国土地理院)でマニング粗度係数 は0.04 とした.

図 2.2.19 に浸水深コンター図を示 す.氾濫流は破堤点から線状に広範に広 がり、2 手に分かれた後、国道 50 号線を 横断し、約 10 km流下して最終的に渡良 瀬川遊水地第3調節池に到達した.

図 2.2.20 は、衛星画像(SPOT7, 10 月 13 日 10 時 28 分観測, PASCO 提供)およ び該当するエリアの治水地形分類図を 示した.これより、台地に拘束された氾 濫平野と旧河道および他川の現河道が つながった形で氾濫流が流下して行く ことが読み取れる.

実は図 2.2.17 の背景にある浸水想定 区域図(計画規模)にも同様な浸水想定 区域が示されている.したがって,ハザ







図 2.2.19 浸水深コンター図



図 2.2.20 衛星画像 (SPOT7, 10 月 13 日 10 時 28 分観測, PASCO 提供) および該当 するエリアの治水地形分類図

ードマップも同様に記載されている.しかし,これらの図を見ても浸水域を生む氾濫流の正 体がまず分からない. 危機管理として氾濫の流下過程を知っておくことの大切さとともに, 氾濫流の流下過程から湛水する水田等の低平地を特定し, 微高地の居住地と言う住まい方 の工夫が被害軽減ための流域管理(氾濫原管理)として重要なことをこれらの事例は示して いる.

(清水義彦)

c) 永野川 大砂橋周辺における堤内地からの逆越流を含む破堤過程

台風 19 号により,関東地方では特に栃木県大きな被害が発生した.決壊や越水からの氾 濫により,住家被害では,全壊・半壊・一部破損で11,238棟,床上浸水 1,452棟,床下浸水 1,058棟(2019年12月12日現在)にも及んだ.また決壊地点は13河川・27箇所,越水・ 溢水地点は32河川・40箇所(2020年2月現在)に達し,今後の河川整備に多大な影響を及 ぼすことが推察される.なかでも永野川(渡良瀬川水系)では6箇所もの決壊が発生してお り,特に大砂橋下流においては,決壊時の状況を詳細に検討すべき事案がみられたため,こ こに報告するものである.

対象地点は栃木市岩出町大砂橋下流で,図2.2.21の赤い破線で示す範囲である.図2.2.22 は今回の調査で写真撮影した位置と方向を示しており,赤い×が破堤地点である.図2.2.23 は、図2.2.22の①~⑥の地点で撮影した写真(矢印が撮影方向)である.

ゴミの付着状況や食性の倒伏方向などの洪水痕跡を調査した結果、破堤時の状況は以下 のようであったと推察される.まず、大砂橋の上流(地点①)で右岸側に越流が発生してい る.これは河道が左方向にカーブしている外岸で水位が高くなったものと考えられる. 越流 して反乱した流れは、その下流で合流する水路を越えて(地点2)流下を続け、堤内地を巡 る水路に達する(③).また大砂橋直下流右岸側でも越流が見られた(地点④).これは河道 内左岸側の植生の影響が大きいと見られる.この氾濫水もまた,堤内地下流の水路(③)に 合流する.この水路はちょうど,西南西から東北東に向けて形成された尾根地形の裾に沿っ て流れており、この尾根地形より北側の堤内地の氾濫流が集中して大きな流量となり、永野 川右岸堤防に設置された水門施設に達する. これが堤内地から河道内への逆越流となり(地 点⑤),破堤に至ったと考えられる.さらにこの逆越流地点よりも下流側で堤防の川面側の



図 2.2.21 大砂橋

図 2.2.22 写真撮影位置



①右岸側堤内地への溢水

④堤内地側への
4)
④堤内地側への
4)

永野川

堤内地側へ越流







⑥下流側は侵食

侵食が見られたが(地点⑥),これが河道内の流れによるものか堤内地からの逆越流による ものかは不明である.

以上のように,越流した浅い氾濫流が堤内地を流れるうちに収束的地形により集中し,一 般にそこには地形的に有利なため水路が巡っており,それに沿って本線に強い流れが誘導 されて逆越流に至ったものと言える.あくまで推察の範囲だが,氾濫流だけでなく堤内地へ の降水による内水氾濫も大きく寄与している可能性も見られた.

(池田裕一・飯村耕介)
2.2.3 思川 鹿沼市口粟野での決壊状況

思川は渡良瀬川水系の一級河川で,近接する3箇所で破堤が見られたので,その状況について報告する.破綻地点は鹿沼市ロ粟野(くちあわの)・久野(くの)地先で,天満橋直下 流地点,天満橋下流地点,および柳橋直上流地点である.

天満橋直下流地点は、やや幅の狭い河道が左方向に屈曲しており、そのために堤防を越流 しやすくなっていたと考えられる.氾濫流は道路(鹿沼足尾線)に阻まれて大きく広がるこ となく、周辺地域の浸水被害を広げていった.

天満橋下流地点は、河道幅が狭くなりながら左方向に湾曲した水衝部で越流して破綻し たものと考えられる.破綻して氾濫した流れは河道をショートカットする形で柳橋直上流 地点で再び思川に合流した.その際に堤内地から可動側へと逆越流して破堤に至ったもの と推察される.このような事例は最近良く見られるようになったが、破綻した氾濫流がさほ ど広がらずに合流したことが逆越流を招いたものと考えられるが、その理由は未だ不明で あり、堤内地の地形および旧河道の分析や氾濫龍羽解析などにより詳細を検討する必要が ある.



図 2.2.24 思川 鹿沼市口粟野破堤地点¹⁾



(a) 天満橋下 破綻地点 図 2. 2. 25 思川 鹿沼市口粟野破堤状況⁴⁾

2.2.4 利根川水系栃木県内中小河川の破堤状況

利根川水系の栃木県内の中小河川の破堤・越水・溢水の状況を表2.2.1に示す.

河川名	左右岸	被災箇所	被災区分
田川	右岸	宇都宮市大通4丁目	溢水
荒井川	左岸	鹿沼市野尻	決壊
思川	右岸	鹿沼市久野 (天満橋下)	決壊
思川	右岸	鹿沼市久野 (天満橋下流)	決壊
思川	右岸	鹿沼市久野 (柳橋下)	決壊
永野川	左右岸	栃木市片瀬5丁目(二杉橋下)	決壊
永野川	左岸	栃木市星野町(新栗生橋上下)	決壊
永野川	左岸	栃木市薗部町(牛落橋上下)	決壊
永野川	左右岸	栃木市大平町川連(JR 鉄道橋上下)	決壊
永野川	左岸	栃木市梅沢町(大久保橋下)	溢水
永野川	左岸	栃木市岩出町 (大砂橋下)	決壊
黒川	左岸	壬生町福和田(地蔵橋上1号)	決壊
黒川	左岸	壬生町福和田(地蔵橋上2号)	決壊
黒川	右岸	壬生町上稲葉(北関東下)	決壊
田川	右岸	下野市成田	越水
新川	右岸	下野市上古山 (平成橋上)	決壊
柏倉川	左岸	栃木市柏倉(関村橋下)	越水
三杉川	左岸	栃木市岩舟町古江 (樋の口橋上下)	決壊
秋山川	右岸	佐野市赤坂町(海陸橋上流)	決壊
秋山川	右岸	佐野市大橋町 (大橋上流)	決壊
名草川	左岸	足利市名草中町(高橋上)	越水
名草川	左岸	足利市名草上町(三ノ輪橋)	溢水
小俣川	左岸	足利市小俣町(鳴石橋下)	溢水
松田川	右岸	足利市松田町 (川田大橋下)	溢水
松田川	右岸	足利市松田町 (中通橋下)	溢水
彦間川	右岸	佐野市飛駒町 (新要谷橋下流)	溢水
出流川	右岸	足利市奥戸町(出流川水門下)	決壊

表 2.2.1 栃木県管理の利根川水系河川の破綻等状況 5)

(池田裕一)

参考文献

- 1)国土交通省: 令和元年台風第19号による被害状況等について, 第53報(2020年2月12日現在), http://www.mlit.go.jp/saigai/saigai 191211.html
- 2)栃木県:一級河川 利根川水系渡良瀬川上流圏域 河川整備計画(第 2 回変更), 平成 25 年10月
- 3)栃木市: 台風 19 号による市内の被害情報, <u>https://www.city.tochigi.lg.jp/soshiki/12/20496.html</u> 4)栃木県: 台風19号による被害状況と対応, 2020.
- 5)栃木県:県管理河川の破綻等箇所一覧, 2020.

2.3 利根川水系の中小河川に見られる被災状況(群馬県)

2.3.1 群馬県内の被害

2019年10月12~13日に、日本列島に台風19号が来襲し、関東・北陸・東北地方を中心 として死者96名、住宅被害9万棟、国管理7河川12か所、県管理128ヵ所で堤防結果と いった甚大な被害がもたらされた. 図2.3.1 に台風上陸直前の日本近海の海水温の平年力 の差を示す.中心気圧950hPaの上陸時点で、相模灘付近の海水温が平年から約2℃高い状 況であったことがわかり、このことが、台風が強い勢力をたもったまま上陸した原因のひと つとなったことがわかる.今台風による主な河川氾濫としては、長野県の千曲川、栃木県の 秋山川、埼玉県の越辺川・都幾川等が挙げられるが、その陰で、利根川本川も非常に危険な 状況であった. 図2.3.2 に、利根川上流域の降雨強度の時間変化を示す.水上では最大約25 mm/h 程度であったが、草津で最大約32 mm/h、西野牧では最大約40 mm/h となり、群馬県 利根川上流域では西部で強い降雨があったことがわかる.その為、利根川本川と鳥川・神流 川合流点にある国土交通省関東地方整備局利根川上流河川事務所の八斗島水位観測所では hQ式から約12,500 m³/s、2.1 の見積もりから約14,000 m³/s の出水があった.図2.3.3 に、 利根川上流の計画高水流量図を示す.八斗島水位観測所では、昭和22年のカスリーン台風 による出水22,000 m³/s を基準に計画高水流量16,500 m³/s を設定しており、今回の出水はそ れに匹敵する規模であったことがわかっている.



図 2.3.1 台風 19 号上陸時の日本近海の海水温偏差(気象庁 HP より引用)



図 2.3.2 台風 19 号による群馬県内の降雨強度変化



図 2.3.3 利根川上流域における計画高水流量(国土交通省「利根川水系河川整備基本方 針」¹⁾より引用)

群馬県内の被害状況としては、人的被害4名、公共施設被害970ヵ所であったが、基本的 に土砂災害による被害であった。河川災害としては、後述するように、高崎市内井野川にお いて護岸崩落、富岡市鏑川において若干の越水が報告されているが、大規模な堤防決壊等は 確認されていない.しかしながら、群馬大学の水害調査の結果、前述したように利根川本川 も非常に危機的状況であった.図2.3.4(a)-(c)に、利根川本川上福島水位観測所、八斗島 水位観測所,桐生川上久方水位観測所におけるハイドログラフを示す.図に示すように,13 日0時付近にピーク流量を示していることがわかる.特徴としては,比較的急速に流量が増加,また減少していることがわかる.図2.3.5に,利根川上流河川事務所発表²⁾の利根川 水系の出水状況を示す.利根川上流河川事務所管内では,川俣・乙女水位観測所において計 画高水位,栗橋水位観測所において氾濫危険水位を10時間超過する洪水となった.渡良瀬 川・思川・巴波川と利根川の合流点にある渡良瀬遊水地やその下流の菅生・稲戸井・田中調 節池では約2.5億m³(東京ドーム約200杯分)の貯水を行ったことが発表されている.



(a) 利根川本川上福島水位観測所(佐波郡玉村町)



(b) 八斗島水位観測所(伊勢崎市)





本資料の数値は速報値であるため、 今後の調査で変わる可能性があります。				国土交通省 関東地方整備局 利根川上流河川事務所										
	出水状況(観測所の水位状況) (※水位は速報値)													
1 7	川俣水位観測所及び乙女水位観測所で計画高水位を超過しました。栗橋水位観測所においては最高水位9.61mを観測し、氾濫危険水位(8.90m)を10時間近く超過する大規模な洪水が生じました。													
	河川名	観測所名	最高水位		水防団待機 水位 (指定水位)	氾濫注意 水位 (警戒水位)	避難判断 水位	氾濫危険 水位 (危険水位)	計画高水位					
			月日時	水位(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)					
	利根川	上福島	10/12 23時	8. 33	2. 50	1	-	I	8.88					
		八斗島	10/12 23時	4. 07	0. 80	1.90	3. 90	4. 80	5.28					
		古戸	10/13 1時	7. 53	1.50	3.50	-	2-1	7.68					
		川俣	10/13 2時	8.00	1.60	3. 20	-	-	7.46					
		栗橋	10/13 3時	9, 61	2. 70	5.00	8. 10	8. 90	9.90					
		芽吹橋	10/13 10時	7.88	2. 00	5.00	7. 10	7. 70	7.94					
	渡良瀬川	藤岡	10/13 6時	7. 55	2. 60	4. 10	-	-	7.84					
		古 河	10/13 9時	8. 99	2. 70	4. 70	8. 90	9. 70	9. 72					
	思川	乙女	10/13 1時	9, 81	3. 00	5. 50	7. 70	8. 70	8. 74					
	巴波川	中里	10/13 2時	5. 27	2.00	2. 70	5. 10	5.50	5.51					

図 2.3.5 利根川水系の出水状況

2.3.2 痕跡高調査の概要

図2.3.6に痕跡高調査点を示す.調査点は、図中のマークにおいて八ッ場ダム・下久保ダムを除く9か所であった.図2.3.7に痕跡高調査の様子を、図2.3.8に利根川八斗島周辺における出水痕跡を示す.痕跡高調査では、図に示す出水痕跡の高さと天端高、水面高について、①レベルとスタッフ、②RTK-GPSを用い、水準点から測量を行なった.



図 2.3.6 痕跡高調査点



(a) レベルとスタッフによる測量

(b) RTK-GPS による測量

図 2.3.7 痕跡高調査の様子



図 2.3.8 出水痕跡(八斗島水位観測所付近利根川右岸)

2.3.3 利根川本川・川俣水位観測所における出水状況

利根川上流河川事務所管内では,前述したように川俣・乙女において計画高水位,栗橋 において氾濫危険水位を超えたことが確認されている. 図2.3.9(a) に川俣水位観測所の 水位標付近の出水痕跡を,図2.3.9(b) に近傍の昭和橋の橋桁の痕跡の様子を示す.水位 標から,痕跡高は8.2 m付近,また橋桁上部まで痕跡が及んでいることがわかる. 図 2.3.10 に,RTK-GPS による左岸堤防横断面の測量結果を示す. 図から,川俣水位観測所 においては,痕跡高は天端下1.88 m であることがわかった. 図2.3.11 に,堤防における 痕跡高の遠景を示す. 図から,出水時には,天端下のかなりの高さまで水位が上がってい たことがわかる. 図2.3.12 に,水文水質データベースの過去の出水データから得られた 川俣水位観測所における hQ グラフを示す. 図から,水位標 8.2 m の値は流量約 12,500 m³/s となり,2.1 等の他の試算による流量値とほぼ一致することがわかる.



(a) 川俣水位観測所水位標(明和町)



(b)昭和橋付近の出水痕跡図 2.3.9 川俣水位観測所(明和町)付近の出水痕跡



図 2.3.10 川俣水位観測所の痕跡高測量結果(RTK-GPS)



図 2.3.11 川俣水位観測付近の出水痕跡遠景



図 2.3.12 川俣水位観測所における hQ 式

2.3.4 利根川本川・八斗島水位観測所ならびに五料橋における出水状況

<u>a) 現地概況</u>

八斗島水位観測所は利根川 182.5 kp 付近にあり, 183.0 kp 付近の利根川本川と烏川・神流 川の合流点直下流左岸に位置し, 川幅 1,040 m の広い河道を有する. 五料橋は合流点よりや や上流の利根川本川にあり, 平水時の水路幅は 100 m 程度の狭い蛇行区間であり, 左岸に 砂州が形成されている. 図2.3.13 に, 合流部の空撮図を示す. 図の下部が八斗島水位観測 所上流側の坂東大橋, 図の上部左岸側が利根川本川であり, 矢印で示した場所が五料橋, 図 の上部右岸側が烏川である.



図 2.3.13 利根川本川·烏川合流点

b) 八斗島水位観測所における出水状況

図 2.3.14 に,坂東大橋から上流方向の出水時(10/13 午後)の状況を示す.平水時と大き く異なり中州も左岸樹林帯もほぼ確認できない.図 2.3.15(a),(b)に,右岸痕跡を示す. 利根川上流河川事務所の報告によると最高水位は 10/12 23 時の 4.07 m(氾濫危険水位: 4.80 m)であった.



図 2.3.14 利根川の出水状況(坂東大橋から上流方向へ, 10/13 午後)



(a) 八斗島水位観測所付近の利根川右岸の出水痕跡



(b) 八斗島水位観測所付近の利根川右岸の出水痕跡 図 2.3.15 八斗島水位観測所付近の利根川右岸の出水痕跡



図 2.3.16 五料橋周辺の空撮図 (Google Map より引用)

c) 五料橋における出水状況

図2.3.16に、五料橋周辺の空撮図を示す. 五料橋は蛇行区間にあり、右岸に水衝部、左 岸砂州に樹林帯が形成されていた.図2.3.17(a)に、2019年夏季以前の五料橋の様子を、図 2.3.17(b)、(c)に出水後の痕跡高調査時の様子を、右岸から左岸樹林帯に向けて撮影した図 を示す.2019年夏季に、洪水対策の為に左岸樹林帯をすべて伐採した.その為に、今回の 出水による痕跡高は天端下 2.73m に収まったと考えられる.図2.3.18(a)に右岸痕跡、図 2.3.18(b)に左岸痕跡高調査の様子を示す.左岸樹林帯の伐採がなければ、今回の出水によ ってさらに水位が上昇していたことが考えられる.



(a) 2019 年夏以前の五料橋(右岸から左岸方向へ)



(b) 出水後の五料橋(右岸から左岸方向へ)図 2.3.17 出水前後の五料橋の様子(2019年夏の樹林帯伐採効果)



(a) 五料橋下流側右岸出水痕跡



(b) 五料橋上流側左岸出水痕跡と痕跡高測量の状況 図 2.3.18 五料橋における出水痕跡と痕跡高測量の状況

2.3.5 八斗島水位観測所におけるダムの効果

前述したように、八斗島水位観測所は、利根川本川と烏川・神流川の合流点やや下流に位 置することから, 今回の出水では, ①吾妻川上流の八ツ場ダムが試験湛水中で非常に水位の 低い状態から満水位まで貯水できたこと、②神流川上流の下久保ダムが緊急放流を中止し たことが、その水位変化に大きな影響を及ぼしたことが示唆される.図2.3.19にハツ場ダ ム工事事務所から提供頂いた貯水実績 ³⁾ を示す. 図 2.3.20 に、中央大学河川・水文研究室 からご提供頂いた八斗島水位観測所における既往観測結果に基づいた hO グラフを示す. 今 回の出水による最高水位 4.1m は流量約 12,000 m³/s であり, 八ツ場ダムにおける最大流入量 2,500 m³/s を単純に加算すると流量約 14,500 m³/s,水位 4.75 m となり,氾濫危険水位 4.8 m に近づくことがわかる. 2.1 では、RRI モデルの計算結果として、八斗島において流量約 14,000 m³/s, 八ッ場ダムの洪水調整効果 2,942 m³/s としており, 今節における見積もりとほ ぼ近い値となっている. また, 神流川上流の下久保ダムも緊急放流を中止しており, そのこ とも八斗島下流の川俣や栗橋水位観測所における水位上昇には大きな影響があったと推察 できる. 八斗島水位観測所周辺は川幅が 1.040 m と非常に広いため, ダムによる水位低減効 果が小さく見積もられる.八斗島で 16,500 m³/s,烏川が 8,800 m³/s の計画高水流量であるこ とから、利根川本川上福島水位観測所では 7.700m³/s となる. 台風 19 号による出水は八斗 島水位観測所で 12,000~12,500 m³/s と算定され,計画高水流量比から算定すると合流点上 流の利根川本川では約5,800 m³/s となり, それに対して八ッ場ダムの2,500 m³/s のピーク流 量低減効果は八斗島で単純合計流量 14,500m³/s の約 17%, 合流前の利根川本川では約 30% とかなり大きいものであったと言わざるを得ない.ちなみに,関東地方整備局河川部の記者 発表資料 5)では、利根川上流ダム群(矢木沢・奈良俣・藤原・相俣・蘭原・下久保・八ツ場 ダム)による八斗島地点での水位低減効果は1.0mとなっている.



図 2.3.19 台風 19 号水害におけるハッ場ダムの貯水実績



図 2.3.20 八斗島水位観測所における既往観測結果による hQ グラフ(中央大学データ)

2.3.6 鏑川・鏑川橋(高崎市)および学園通り付近(富岡市)出水状況

図 2.3.21 (a), (b) に, 利根川支川鏑川の鏑川橋右岸 (高崎市)の状況と出水痕跡, 図 2.3.22 に RTK-GPS による痕跡高測量の結果を示す. 鏑川橋の鏑川右岸では, 天端下 2.73 m の痕跡 高であり, 痕跡高測量結果から判断する限り, 平水面から約 3.5 m 程水位上昇していたこと がわかる.



(a) 利根川支川鏑川の鏑川橋右岸(高崎市)の状況



(b) 出水痕跡 図 2.3.21 利根川支川鏑川の鏑川橋右岸(高崎市)の状況と出水痕跡



図 2.3.22 RTK-GPS による痕跡高測量の結果

図 2.3.23 に、学園通り付近の鏑川左岸(富岡市)の出水痕跡と、図 2.3.24 に、痕跡高の 測量結果を示す.この場所では約 6.0 m の護岸になっているが、明瞭な堤防がない.痕跡高 はほぼ護岸高になっている.図 2.3.25 に上毛新聞ニュースにおける映像を引用するが、こ の場所において、実は小規模ながら越水が確認されている.



図 2.3.23 学園通り付近の鏑川左岸(富岡市)の出水痕跡



図 2.3.24 痕跡高の測量結果



図 2.3.25 鏑川(富岡市)における越水状況(上毛新聞ニュース HP より引用)

2.3.7 井野川・高崎市における出水状況

図2.3.26(a)-(c)に、高崎市下大類町の井野川における出水痕跡を示す.井野川右岸で は天端下0.856mに痕跡があり、ほぼ天端一杯まで水位が上昇していたことがわかる.こ れにより、図2.3.26(a)に示すように井野川右岸で護岸が崩落した.図2.3.26(a)は緩や かな蛇行区間にあり、崩落個所は丁度水衝部にあたる.それ以外でも調査時には多くの復 旧作業が行われていた.



(a) 井野川右岸の護岸崩落(高崎市下大類町)



(b) 井野川左岸



(c) 井野川右岸図 2.3.26 高崎市下大類町の井野川における出水痕跡

2.3.8 総括

台風 19 号水害においては、千曲川、秋山川、越辺川・都幾川といった氾濫被害が大きく 報道される陰で、実は群馬県内の利根川も非常に危険な状況であったこと、それが幾つか の要因で越水を免れた可能性が高いことがわかった。利根川本川と烏川・神流川合流点に ある八斗島水位観測所では約 12,500 m³/s, 2.1 における試算では約 14,000 m³/s の出水があ った.ここでは、昭和 22 年のカスリーン台風による出水を基準に計画高水流量 16,500 m³/s を設定しており、今回の出水はそれに匹敵する規模であった。また、川俣・乙女水位 観測所において計画高水位、栗橋水位観測所において氾濫危険水位を 10 時間超過する洪 水となった。

利根川支川の鏑川(富岡市)においては、一部で越水も確認された.今回の出水に対しては、①八ッ場ダムが試験湛水中で、ピーク時に 2,500 m³/s の貯水効果をあげた、②下久保ダムが緊急放流を中止した、③出水直前の 2019 年夏季に、八斗島上流の利根川本川五料橋に

おいて,左岸砂州の広大な樹林帯を伐採したこと等が氾濫抑制に功奏した可能性が高い.今年度,台風19号と同程度,それ以上の勢力の台風が上陸する可能性はあり,八ッ場ダムも既に満水近い状態であるため,利根川の出水対策は急務の課題であると言える.

(鵜崎 賢一)

2.3.9 雄川 (鏑川右支川) の状況

雄川は、甘楽郡甘楽町を北に流れ富岡市 田篠で鏑川に合流する、鏑川の右支川であ る.本調査では、甘楽町大字小幡にあ る国指定名勝楽山園付近(鏑川合流点 より約4km)までの区間について調査した. 調査区間内では、橋梁地点の橋脚に草や流 木が引っ掛かっている状況が確認された. 雄川における調査箇所の位置図を図2.3.27 に、調査写真を図2.3.28 に示す.調査箇所 位置図中の丸数字は写真の撮影地点を示し ている.

撮影地点①(裏門橋)において,災害前 の空中写真(地理院タイル,全国最新写真 (シームレス))と現地状況を比較したと ころ,堰堤から裏門橋間に設けられていた 護床ブロックが下流側に流されていること が確認された.また,裏門橋では複数の橋 脚にまたがって横断方向に横たわるように 流木が捕捉されており,捕捉された流木に せき止められるように流出した護床ブロッ クの一部や土砂が堆積していた.中央の橋 脚の頭部には折れた流木の欠片が乗ってお り,洪水時には橋桁まで水位上昇していた 可能性がある.

撮影地点①より下流では,調査箇所位置 図中に点線で示した区間で,側岸の竹や樹 木に上流からの草や流木が引っ掛かってい る状況が目立ったものの,撮影地点②の位 置までは,河道外へ氾濫した痕跡は確認さ れなかった.



(背景:地理院タイル標準地図に加筆,

https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html) 図 2.3.27 調査箇所位置図 撮影地点②(天王橋)では,流木ダルマのような形態で中央の橋脚に流木が引っ掛かっていた.裏門橋地点でも明瞭な氾濫の痕跡は確認されなかった.

撮影地点③では、河道沿いの道路に土砂氾濫の痕跡があり、河道内では右岸側の建物の 塀に洪水痕跡(草の付着)が確認された.この区間より下流では河川沿いの道路での土砂 氾濫が目立つとともに、明瞭な洪水痕跡(河道内の樹木への草の付着等)が確認された.

撮影地点④は、鏑川との合流点直上流の左岸側の道路である. 左岸側は右岸側よりも低 く、撮影地点④直上の橋梁地点から下流側における道路上の土砂堆積の痕跡は約40cm で あり、道路に面した樹木には約80cmの高さで線上に泥が付着しており、明瞭な洪水痕跡 が確認された. また、合流点直上流における鏑川右岸の工場敷地では土砂氾濫と河岸の侵 食が著しい状況であった.

雄川では、流域下流のうち特に合流点付近での被害が顕著であり、局所的な被害であった と考えられる.しかしながら、流木捕捉状況が変わった場合には被害形態も異なった可能性 が考えられる.裏門橋での流木の捕捉状況と比較すると、天王橋では橋脚が1本であったこ とから、流木による河積阻害が限定的であったと考えられるが、本数などの橋脚の条件が変 われば、裏門橋のような流木捕捉形態をとり、橋梁地点で氾濫が生じることも考えられる. 今後、流木の捕捉形態を考慮した氾濫発生条件について検討と対策が必要と考えられる.



撮影地点①(裏門橋)より上流側を撮影



撮影地点①(裏門橋)上流左岸側より撮影



撮影地点②(天王橋)上流左岸側より撮影



撮影地点③の左岸側より洪水痕跡を撮影



撮影地点④道路より上流を撮影

鏑川右岸より雄川との合流点を撮影

図 2.3.28 調査箇所位置図

(永野 博之)

参考文献

- 1) 国土交通省:「利根川水系河川整備基本方針」, Vol.1, p.22, 2006.
- 2) 国土交通省関東地方整備局:利根川上流河川事務所記者発表資料, 2020.
- 3) 国土交通省関東地方整備局: ハッ場ダム工事事務所記者発表資料, 2020.
- 4) 国土交通省関東地方整備局:「八ッ場ダム建設事業の検証に係る検討報告書」, 2011.
- 5) 国土交通省関東地方整備局:河川部記者発表資料, 2020.

第3章 久慈川の被災状況およびその分析

3.1 降雨量と流量について

久慈川流域(図 3.1.1)においても 10 月 11 日未 明より雨が降り出し、12日午後から本格的な降 雨となって夜遅くにピークを迎え、13日明け方 まで降り続いた. その結果, 久慈川基準点・山方 地点上流域の2日間流域平均雨量は255 mmとな り、戦後最大洪水をもたらした昭和 61 年 8 月 洪水の2日間流域平均雨量214 mmを上回る降雨 規模となった.この昭和 61 年洪水規模を平成 30年策定の整備計画目標としており、久慈川基 準地点山方(38.3km)で整備計画目標流量 3.000m³/s になる. 国土交通省関東地方整備局の 見積もりによれば今次出水での山方で洪水流量 は約3700 m³/s(氾濫なしとした計算流量)とさ れ、これは平成20年に策定した久慈川水系河川 整備基本方針での、基準地点山方における基本 高水(ピーク流量)4,000m³/sに匹敵する規模と なる. この洪水により, 久慈川流域の国管理 区間で5か所の堤防が決壊したほか、茨城県 管理区間でも堤防が決壊して浸水被害が発生



図 3.1.1 久慈川流域と山方基準点

した. 久慈川流域全体では家屋一部損壊 340 棟, 家屋半壊 932 棟, 家屋全壊 76 棟の被害が 生じた¹⁾.

3.2 本川に沿う直轄区間付近における氾濫流の挙動と被害

国管理区間上流端 31km(辰ノロ頭首工上流)から浅川合流点 12km 付近までの区間の久 慈川本川において最も広域な氾濫が生じている.図3.2.1に洪水発生後(2019/10/13 10 時 6 分撮影)の衛星写真(パスコ提供)に堤防破堤地点を示した.それらは、久慈川本川堤防の 決壊が4箇所(①~④)、左岸側の旧堤を残した二線堤の決壊(⑤)、および久慈川の左岸堤内 地を流れる浅川右岸側の堤防2箇所(⑥・⑦)での決壊となる.

以下では、久慈川の上流から下流にかけて、a) 辰野口橋~富岡橋、b) 富岡橋~二線 堤、c) 二線堤~浅川合流部の3エリアに分けて、氾濫流の挙動について考察する.

a)辰ノロ橋~富岡橋

この範囲では図 3.2.2 に示すように 4 箇所で堤防決壊が生じた. 現地調査より右岸側の

地点①では堤防が久慈川本川から堤内地に向かって破堤している.右岸側の氾濫エリアの ほとんどは水田や畑地で,治水地形分類図で見れば氾濫平野に相当する.その中の微高地に は集落が形成しており,これは自然堤防にあたる(図 3.2.2).また,この微高地の集落の 下流側で越水箇所(もしくは溢水)が見られている(図 3.2.3).ここから発生した氾濫流 は微高地を流下しながら流下し,富岡橋上流部に湛水した.地点③では堤防が堤内地側から 堤外地に向かって越水破堤したことが現地調査より確認された(図 3.2.4).一方,左岸側 では地点②で堤防が堤内地に向かって破堤しており,この付近の堤防は,これから改修を行 う堤防で幅や高さが不足している,いわゆる暫定堤防である(図 3.2.5).また,その下流 では完成堤防となっているが,さらにその下流には無堤区間があり,ここは霞堤となってい る(現在,連続堤の施工区間).この無堤部からの溢水もあって,ここから発生した氾濫流 は台地と河道に挟まれた堤内地(氾濫原)を流下した.さらに,地点④についても堤内地に 向かって破堤している(図 3.2.6).



図 3.2.1 久慈川の氾濫流の挙動



図3.2.2 辰ノロ橋~富岡橋の氾濫状況と対応するエリアの治水地形分類図



図 3.2.3 久慈川右岸側堤内地の氾濫原(ドローンにより撮影)



図 3.2.4 決壊地点③(堤防緊急復旧後にドローンにより撮影)



図 3.2.5 堤防決壊箇所②の堤防緊急復旧 (下流側の堤防高の違いから完成堤と暫定堤の違いを見ることができる)



図 3.2.6 久慈川 左岸側堤内地の氾濫原 (ドローンにより撮影)

b) 富岡橋~二線堤

この区間の右岸側堤内地の比高は高く久慈川による氾濫,浸水は生じていない.しかし左 岸側堤内地においては,上流(辰ノロ橋〜富岡橋堤エリア)からの氾濫流が久慈川に沿って 流下している(図 3.2.7).この堤内地は台地と河道に挟まれ,栄橋下流では台地の張り出 しによって堤内地幅(氾濫原幅)が著しく狭くなっており,図3.2.8に示す治水地形分類図 (旧版)から,旧河道が多く見られ,河道変遷が著しいことが分かる.また,⑤の地点は霞 堤となっているが,その後閉められて連続堤となった.ただし,旧堤は二線堤の役割を残し ている.



図3.2.7 富岡橋~二線堤の氾濫状況と二線堤周辺の治水地形分類図(旧版)



図 3.2.8 富岡橋~二線堤の治水地形分類図

この二線堤は図 3.2.9 に示すように、上流から流下した氾濫流により越水破堤した(図 3.2.9⑤の地点).二線堤の上流側では氾濫流が一時的に貯留されるが、本堤を越水した痕跡

や堤防の欠損,洗掘等の被害は見当たらない.なお,台地際に国道 293 号線があるため,二線堤には一部,陸閘として開口している(図 3.2.9)



図 3.2.9 二線堤の決壊

(左図は国土地理院による航空写真に加筆右図は二線堤の決壊後をドローンにより撮影)



図 3.2.10 二線堤~浅川合流部

<u>c) 二線堤~浅川合流部</u>

二線堤を決壊させた氾濫流はこの区間に上流から流下する(図3.2.10). 堤内地には自然 堤防などの微高地上に集落の形成が見られる. 氾濫流は久慈川・浅川合流部で行き場を失い 一時貯留するが,⑥,⑦地点でその堤内地側から浅川堤防を決壊させ,浅川に流れ込んでい る.図3.2.11 は浅川決壊地点⑦での氾濫後状況を示す.決壊地点の堤内地には田んぼの侵 食が生じており(段落ち流れによるヘッドカット),その浅川決壊口対岸の堤防表法面にあ る流下物の痕跡ラインからは,浅川の越水が生じていないことを示している.また,久慈川 左岸堤防は完成堤で越水等の痕跡は現地調査では確認されなかった.



図 3.2.11 浅川決壊地点⑦での氾濫後状況

3.3 浸水範囲と微地形の関係

図3.3.1 に令和元年台風第19号による久慈川の浸水範囲(国土地理院段彩図,2019)と 治水地形分類図の重ね合わせを示す.浸水深は最大で4.7mであり,台地と久慈川ではさま れた氾濫平野(右岸10-12k)や浅川合流点付近(左岸17-20k)で浸水深が大きかった.ま た,浸水範囲の64%が氾濫平野,32%が旧河道であった一方,相対的に標高の高い,台地及 び自然堤防での浸水範囲の割合は低く,浸水範囲は微地形と良く対応していた.



図 3.3.1 令和元年台風 19 号の浸水範囲と自然微地形

3.4 氾濫流の挙動に関する考察

現地調査から推測された氾濫流の挙動を数値シミュレーションから検討する. 氾濫流に は iRIC Nays2D Flood を,地形データについては国土地理院が提供している「基盤地図情報 ダウンロードサービス」上の DEM データ(5mメッシュ)を用いた.上流境界における流 入流量について,久慈川基準地点山方(38.3km)で今次出水での山方で洪水流量は約 3700 m³/s (氾濫なしとした計算流量)であり,これは計画流量洪水規模である.本検討では今次出水 における詳細な氾濫過程を再現することは目的とはせず,堤防や氾濫原の地形特性によっ て支配される氾濫流挙動の概略を知ることを目的とした.図3.4.1 に示す氾濫域全体を再 現できるように試行計算を行った結果,破堤は考慮しない条件で(越水,溢水のみ,)洪水 流量規模を大きめの計画流量洪水 4000m³/s (図3.4.1)として与え,マニング粗度係数は一 律に 0.035 (久慈川の特徴である水害防備林の抵抗等は考慮していない)とした条件を選定 した (図3.4.2).なお,計算では 2000m³/s (1.5 時間)を与えたのち 4000m³/s (4 時間) に 増やした.

図 3.4.3 に辰ノロ橋~富岡橋における浸水深コンターと流速ベクトル図を示す. 6390sec の時点では流量は 2000m³/s 程度であり, ②では破堤を考慮していないため堤内地への浸水 は認められない.また, ②の上下流での堤防によって氾濫を防止している.一方, ①及び白

丸で囲んだ付近は無堤区間なので浸水が始まっている.7110sec では4000m³/s 程度の洪水流 量時で、①からの氾濫水域の拡大とその下流からも越水も認められる.また、②の上下流で の堤防からも越水して氾濫域が拡大する.ただし、この無堤区間から下流は堤防整備がなさ れていることもあって氾濫を抑制していることが分かる.図3.4.4は、二線堤~浅川合流部 における浸水深コンターと流速ベクトル図で、久慈川左岸からの越水が認められず、時間経 過から分かるように二線堤を越水した氾濫流の流下により浅川合流点まで到達することで このエリアの浸水被害が生じていることが認められた.



久慈川計画高水流量図 単位:m³/s





図 3.4.2 氾濫計算(iRIC Nays2D Flood)による最大浸水深コンター図



図3.4.3 辰ノロ橋~富岡橋における氾濫計算による浸水深コンターと流速ベクトル図



図3.4.4 二線堤~浅川合流部における氾濫計算による浸水深コンターと流速ベクトル図



図 3.4.5 対象とした氾濫域全体の浸水深コンターと流速ベクトル図

3.5 浸水被害の要因と堤防整備, 歴史的治水システムとの関係

次に,氾濫流の流向及び痕跡水位から想定される浸水プロセスと微地形及び過去の治水 システムの関係について,特徴的な3地区をとりあげ説明する.

図3.5.1に、浅川合流点付近(左岸17-20k)の浸水プロセスと堤防整備及び過去の治水シ ステムの関係を示す.当該地域では、上流から流入した氾濫流が浅川右岸堤防によって下流 への流下が阻害され、貯留することで浸水深が増大したと考えられる.合流点の直上流に樋 管が設置されているが(①)、その能力を大幅に上回る規模の氾濫流が集中したと考えられ る.氾濫流の一部は浅川左岸堤防を乗越え、浅川左岸の一部地域に浸水を生じさせた.当該 地区に氾濫流が集中した理由として、上流の不連続堤防の締切りが影響していると考えら れる.浅川合流点直上流では、1950年代後半から築堤工事が実施され(②)、1999年には上 流部の開口部を締切っている(③).さらに、浅川合流点も1979年までは開口部であり、氾 濫貯留の空間となっていたが、1979年に締切られている.上流側及び浅川合流点付近で不 連続堤防を締切ったことで、久慈川本川に氾濫流を戻すことができず、浸水深の増大を招い たと考えられる.加えて、当該地点には連続堤防整備以前は霞堤として機能していた盛土構 造物が残されている(④).しかし、道路盛土との交差により氾濫流の流下を阻害しており、
居住地側へ氾濫流を導水した可能性が高い.過去の治水システムだけでなく,現在の盛土構造物の配置を踏まえた,堤内地の氾濫流の導流が重要である.一方,自然堤防上に沿う,内子集落を囲う水害防備林は機能しており,氾濫流が運搬した塵芥が捕捉され,集落への流入が回避されている様子が伺える(⑤).

図 3.5.2 に、左岸 22k 付近の浸水プロセスと堤防整備及び過去の治水システムの関係を 示す.当該地域は久慈川左岸において本川と台地が最も近接する箇所である.連続堤防の整 備及び開口部の締切りによって堤内地の治水システムが消失し、2 次元氾濫流計算の結果、 下流への氾濫流の増大や開口部付近の浸水深の増大が認められた地域である.今回の災害 では、1999 年に締切りを行った堤防を上流からの氾濫流が越流することで破堤し、下流側 へ氾濫流が流下している(①).1916 年の地形図では、久慈川左岸に連続堤防は確認されて おらず(②)、左岸台地と久慈川本川が最も近接する箇所で上流からの氾濫流を戻す構造と なっていたことが推測される.また、下流側に存在する控堤は、氾濫戻し及び本川からの氾 濫流から下流を防御する機能があったと考えられる(③).締切り堤防による開口部の閉塞 は1999 年であり、現在の河道となっている.一方、不動下集落の直上流にある大規模な水 害防備林(④)では、氾濫流が運搬した塵芥が捕捉され、集落への流入が回避されている.

図3.5.3 に, 左岸 26-30k 付近の氾濫流の流下過程と痕跡水位の関係を示す. 当該地域は 現在も連続堤防が存在せず,不連続堤防及び水害防備林が多くみられる地域である. 自然堤 防の両端に旧河道が存在し,古くから氾濫流が流下していた地域と考えられる. 自然堤防の 川表側に比較的延長の長い不連続堤防(堤防③)が設けられており,集落を防御すると同時 に氾濫流を導流する機能を有しているものと考えられる. 今次水害では,連続堤の下流端に あたる左岸 29k 付近から溢水が発生し,浸水被害が生じている.



図 3.5.1 浅川合流点付近(左岸 17-20k)の浸水プロセスと過去の治水



図 3.5.2 左岸 22k 付近の浸水プロセスと堤防整備及び過去の治水システム



図 3.5.3 左岸 26-30k 付近の氾濫流の流下過程と痕跡水位の関係

しかし、下流地区とは異なり、浸水深は最大でも 1m 程度(2019,国土地理院段彩図)で あった.当該地区における洪水痕跡水位の横断図を示したものが図3.5.3 である.断面①及 び②ともに久慈川と久慈川に最も近い不連続堤防の間で水位が高く不連続堤防の堤内地側 で低くなっている.2 次元氾濫流計算の結果からも流速も最大で 1m/s 程度であることが示 されている.久慈川と不連続堤防の間の農地を氾濫流の流下空間として活用することで流 速,水深を低減させ、氾濫時の被害を軽減していると考えられる.

3.6 連続堤防の整備及び堤内地の治水構造物が氾濫形態に及ぼす影響

現地調査の結果,不連続堤防が多く残る氾濫域上流と連続堤防が整備され,堤内地の治水 構造物が消失した氾濫域下流部では,氾濫時の水深や流速が異なることが示唆された.従っ て,過去から現在の河川改修の進捗や堤内地の治水構造物の消失が氾濫形態に及ぼす影響 を把握することは,今後の治水対策を立案するうえで重要と考えられるため,二次元氾濫流 計算を用いた定量的な評価行った.計算対象とした地形条件は,近代治水による堤防整備が 実施されていない,1918年,1948年,1960年,1975年及び2019年の5ケースである.計 算に用いる地形は,2019年については,数値地図5mメッシュ及び2009年定期横断測量デ ータから作成した.次に、1948年、1960年及び1975年の3ケースについては、各年代の航空写真及び国土交通省の築堤履歴から堤防の有無を判定し、地形を作成した.1918年は航空写真が存在しないため、大日本帝国陸地測量部刊行の2万5千分の1の地形図を用い、当時の河道及び堤防を再現した.計算格子の解像度は、河道部と堤内地でそれぞれ、流下方向に約30m、横断方向約10m、堤内地は流下方向に約30m、横断方向約30mとし、一般座標系構造格子とした.総格子数は60,621である.本報告では、河川整備計画規模と同程度の流量規模が観測された1999年7月14日出水(富岡観測所で2,500m³/s)のピーク流量を一定で与えた場合の計算結果について示す.

二次元氾濫流計算結果について,各年代の最大浸水範囲及び対応する縮尺の治水地形分 類図を図3.6.1に示す.1918年以降,河川改修の進捗にともなって,右岸14-20k付近及び 左岸山田川合流点を中心に浸水範囲が縮小していることがわかる.年代別の比較を行うと, 1918年と1948年では,浸水範囲の大きな変化はみられない.これは,久慈川本川の連続堤 防の建設が始まるのが1940年代以降であるため,築堤状況に大きな差異がないためと考え られる.しかし,後述する下流端での水位や流速は1918年と1948年の間に大きな差異が みられており,堤防整備以外の蛇行整斉等の河川改修が影響しているものと考えられる. 1948年と1960年を比較すると,山田川合流点より上流付近(12-16k)の浸水が大きく軽減 されている.1950年代に左岸 6-25kの区間に連続堤防の建設が進んだことや,山田合流点 の合流改善が行われたことによるものと考えられる.しかし,左岸18k付近の浅川合流点に 開口部があるため,上流側の浸水範囲に大きな変化はみられない.1960年と1975年を比較 すると,右岸18k付近及び22k付近の浸水範囲が軽減されている.右岸側では1960年代に 玉川上流点より上流の連続堤防を建設したため,浸水範囲が縮小したものと考えられる.



図 3.6.1 二次元氾濫流計算による各年代の浸水深の分布



図 3.6.2 計算下流端(12k 付近)における水深及び流速の時間変化

1970年代以降,上流の一部区間を除き,堤防の新設はみられないが,浅川,玉川をはじめとする合流点付近の連続堤防化や霞堤開口部を締切る工事が実施された.その結果,浸水範囲に大きな差はみられないが,22k付近の浸水深が増大する等の影響がみられる.

図3.6.2は、計算対象区域の下流端(12k付近)の水深及び流速の時間変化を示したもの である.1918年とそれ以降では、流速及び水深の挙動が大きく異なり、他のケースが計算 開始から2時間程度で洪水が到達するのに対し、1918年では1時間程度の遅れが生じてい る.また、河道内の流速も最大で3.0m/s程度である。1918年は、大規模な堤防整備以前で あり、氾濫域が広く、河道内の流量が他の年代と大きく異なることや、12k付近の捷水路の 工事以前であり大きな蛇行部が残されていること、支川の合流点処理がされておらず、合流 点付近で氾濫が著しいことなどが要因として考えられる。また、1948年代以降では、水位 の増加量及びその速度が年代毎に異なり、堤防の整備が進むと河道外への氾濫量が減るた め、時代の経過とともに水深の増加量が大きい傾向にある。流速の変化も同様の傾向がみら れるが、水位に比べて差異は小さい。

次に,堤内地の氾濫流の挙動について,塩原,小倉,富岡,不動下,新地町及び松栄町の 6つの地先を対象に最大水深,最大流速,最大水深増加率を算出した結果を図3.6.3に示す. 不連続堤防が現存し,今次水害でも堤内地の氾濫流制御施設が機能していた塩原や小倉で は、これらの指標について経年変化はみられず,最大水深及び流速が小さい傾向にある.し かし,連続堤防が整備され,久慈川と台地が最も接近する地点の上流に位置する不動下では, 連続堤防の整備以降,最大水深及びその増加率が大きく増加している.また,今回の水害で 氾濫流が集中し浸水深が増大した浅川合流点付近に位置する松栄町でも同様の傾向がみら れた.

【抽出地点】	最大水深 (m) 最大流速 (m/sec) 最大水深增加率 (m/hr)	1948	1960	1975	202
	塩原	0.28 0.11 0.50	0.28 0.11 0.64	0.32 0.17 0.64	0.32 0.17 0.64
●小倉 ● 富岡	小倉	0.33 0.54 0.32	0.33 0.54 0.33	0.34 0.55 0.25	0.40 0.59 0.30
o 不動下 Depthyp) O 新地町	富岡	1.13 1.10 0.48	1.13 1.10 0.50	1.22 1.07 0.48	1.01 0.93 0.31
201 201 201 201 201 201 201 201 201 201	不動下	1.30 0.72 1.21	1.60 1.41 1.29	3.16 0.83 2.35	2.97 0.77 3.58
3.03 2.04 1.04 0.0500	新地町	0.32 0.65 0.19	0.35 0.65 0.18	0.14 0.47 0.14	0.32 0.69 0.24
	松栄町	1.06 0.37 0.50	1.19 0.40 0.60	1.31 0.26 0.49	2.74 0.27 3.19

図 3.6.3 堤内地における水深及び流速の経年変化

3.7 まとめ

本調査によって得られた知見及び提案の概要は以下の通りである.

- ・久慈川の氾濫流の挙動は本川に沿う流下型である.堤防決壊を考慮しない計算からは、堤防未整備箇所や一部の低い箇所からの氾濫流が堤内地に侵入したこと、および完成堤防の区間からは氾濫が認められず、堤防整備の一定の効果が確認された.ただし、いわゆる治水の順序によって下流側の堤防から整備していく中で、整備の遅れる上流側からの氾濫流の流下が今回の被害をもたらしたことが認められた.
- ・不連続堤防を締切ることで、破堤氾濫が生じた際に、氾濫流を河道へ戻すことが困難となっており、大規模水害時における下流のリスクが増大している可能性がある。氾濫流の挙動を踏まえ、流下を制御して河道に戻すことが必要である。氾濫戻しの霞堤機能など 今後の氾濫原管理にとって有用な工夫を見出すことが不可欠である。
- ・連続堤防の整備, 捷水路の建設, 合流点の改修等の河川改修によって 1918 年以降浸水範囲は大きく軽減しているが, 局所的に氾濫流が集中し, 浸水深が増大している地域も存在する.
- ・連続堤防を建設し、開口部を締切った地点では、堤内地の控堤が消失し、上流が氾濫した際に、下流へ流下する氾濫流の増大、浸水深の増加がみられた.
- ・連続堤防が整備されておらず、不連続堤防が存在する地域では、浸水範囲は広いものの、
 不連続堤防によって氾濫流が旧河道や氾濫平野に導流され、流速や水深の増加が抑えられていた。
- ・堤内地に残っている歴史的な治水構造物や既存の道路盛土が氾濫流の流下にどのような 影響を及ぼすかを検証し,堤内地での治水対策に活用することが重要である.
- ・これまで、河道沿いの水害防備林の機能は着目されてきたが、集落を囲うような局所的な 水害防備林の機能評価、必要に応じた保全、維持管理が重要である.

本検討を進めるにあたり,群馬大学4年生・藤井裕己君(現・東京都庁)および瀧野広幸 君(現・JR 東日本)の協力を得た.記して謝意を表します.

参考文献

 1)国土交通省 関東地方整備局: 久慈川水系河川整備計画の点検について, 第1回久慈川河川 整備計画有識者会議(令和元年12月8日)資料, 2019.

(清水(群馬大学), 厳島(東京工業大学), 大槻(山梨大学), 佐藤(九州大学), 浅沼(筑 波大学)) 第4章 埼玉県内の各河川における被災状況及びその分析(荒川水系を中心として)

4.1 荒川水系全体の氾濫状況とその分析

4.1.1 埼玉県全体の流況・被害と洪水調節施設の効果

<u>a) 降雨状況</u>

令和元年東日本台風は,関東甲信地方,東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨をもた らしたが,ここでは埼玉県関連の降雨情報を取りまとめる. 荒川の洪水浸水想定区域図(計 画規模 1/200)の72時間雨量は516mm,入間川,越辺川,都幾川の洪水浸水想定区域図(計 画規模 1/100)の72時間雨量は462mmである.これに対し,荒川上流域のアメダス観測所 の日雨量は,関東山地側で,ときがわ(572mm),浦山(635mm),下流側平野・台地部で飯 能(387mm),鳩山(312mm)を記録した.上流側の雨量観測所の日雨量が72時間の1/100 の雨を超えている.台地部においても72時間想定を下回るが,日雨量で6-7割を超えるも のであった.表4.1.1に埼玉県内のアメダス観測所における10/12の日積算降水量,図4.1.1 に荒川上流の4 ダムに関係した流域における降雨状況を示す.4ダム上流においても, 400mm-700mmの累加雨量を観測していることがわかる.

埼玉県のアメタス実況 (2019年10月12日)					2019年10月12日
地点名	日最高 気温(℃)	日最低 気温(℃)	日積算 降水量(mm)	日最大 風速(m/s)	日積算 日照時間(時)
さいたま	25.3 (16:00)	19.7 (22:10)	288.0	17.9 (22:00)	0
越谷	25.4 (16:40)	19.6 (22:40)	222.0	8.1 (21:20)	0
鴻巣			190.5		
久喜	25.0 (16:20)	19.3 (22:30)	226.5	10.6 (23:00)	0
所沢	23.9 (12:30)	20.6 (00:10)	342.0	15.4 (21:40)	0
飯能			387.0		
鳩山	24.9 (13:00)	19.7 (21:50)	312.0	13.6 (21:50)	0
熊谷	24.7 (16:50)	18.9 (22:00)	250.0	12.6 (22:20)	0
ときがわ			572.0		
浦山			635.0		
秩父	24.5 (15:50)	19.5 (00:20)	511.0	8.0 (20:30)	0
寄居	24.2 (16:50)	19.4 (21:30)	471.0	12.3 (21:30)	0

表 4.1.1 埼玉県のアメダス観測所の日雨量 ¹⁾



図 4.1.1 4 ダム上流域の降雨量

<u>b) 被害概況</u>

令和元年東日本台風は,全体では死者 99 名,行方不明者 3 名,住家全壊 3,280 棟,住家 半壊 29,638 棟,住家一部損壊 35,067 棟,床上浸水 7,837 棟,床下浸水 23,092 棟(消防庁: 2020.2.12 時点)の被害をもたらし,そのうち埼玉県内で死者 4 人(災害関連死 1 人含む), 負傷者 33 人,住家被害 7100 棟以上(全壊 134 棟,半壊 541 棟,一部損壊 699 棟,床上浸水 2,370 棟,床下浸水 3,388 棟)という甚大な被害をもたらした²⁾.埼玉県内で大きな割合を占 めるのが,1)入間川の支川群(越辺川,都幾川,九十九川)と市野川支川新江川による氾濫 (都幾川の氾濫水が新江川流域に入っているのでここでは合わせて記載),2)新河岸川流域 の浸水,3)油面川から鴨川(荒川支川)への排水に関係する配電盤や制御盤に起因するさい たま市桜区の浸水(床上浸水 731 棟,床下浸水 237 棟:2019/11/4 読売新聞³⁾)である.

上記の 1)では破堤氾濫により家屋の全壊・半壊を伴う被害が発生したものであり、その 現地調査結果と解析結果は 4.2 節に詳述する.本節では、埼玉県内の河川の氾濫状況 4を取 りまとめる.特に、1)に関連した埼玉県管理河川は荒川中流右岸ブロック 46 河川があり、 横塚川、安藤川、越辺川、小畔川、都幾川、槻川、兜川、市野川、和田吉野川の 9 河川で計 画高水流量を上回る流出があった.また、計画流量を上回らなかったものの、新江川、飯盛 川、九十九川、葛川、大谷木川、毛呂川など 6 河川で溢水、越水が生じた.このうち、新江 川は市野川との合流点、九十九川は越辺川との合流点の水門上流側で決壊が生じている.飯 盛川は越辺川・小畔川・入間川の三川合流点の破堤点の上流側に位置する越辺川支川であり, 同地区氾濫は内水浸水である. 越辺川破堤のあった越辺川支川の大谷川流域は外水氾濫と 内水氾濫が混在したが,飯盛川流域と大谷川流域の境界にある旧堤防(現状では控堤の役割) により,破堤した氾濫流は飯盛川流域には侵入せずに食い止められた. これらの中には国土 地理院の浸水推定段彩図では浸水域として表現されていないものもあるので注意を要する. 例えば,河川から長い区間にわたって溢水・越水した槻川(越辺川上流の埼玉県管理区間に 合流する支川)や,越辺川と高麗川の合流点に合流する葛川は浸水状況が表現されていない. 葛川では葛川水門という合流点処理はされていたが排水機場がなかったため,水門閉鎖後 に約90万m³の浸水があったことが推定されている⁵.

c) 上流ダム群による洪水調節

図 4.1.2 に 4 ダムの洪水調節状況を示す. 三峰雨量観測所(気象庁)の日降水量 549 mm (10 月 12 日)は過去最大を記録し,二瀬ダム(国土交通省)としては過去最大となる約 1,735 万 m³の水量をダムで貯留した. ダムへの最大流入量は約 1032m³/s で,最大流入時の 放流量は約 736m³/s,すなわち最大流入時のピークカット量は約 296m³/s であった. 令和元 年台風第 19 号では,国土交通省所管ダムのうち,6 ダムで異常洪水時防災操作を実施し, 二瀬ダムでも洪水調節容量を使い切る見込みであったが,異常洪水時防災操作への移行は 回避された. 合角ダム(埼玉県)は自然調節方式のダム放流であり,ダムへの最大流入量は 約 203m³/s であったが,ほぼ全量をため込み,流入ピーク後において最大放流量は 120m³/s,



図 4.1.2 4 ダムの洪水調節図

貯水量は 644 万 m³ であった. 水資源機構の保有する浦山ダム, 滝沢ダムも, それぞれ, 1398 万 m³, 2222 万 m³ を貯留した.

<u>d)</u> 荒川第一調節池, 首都圏外郭放水路による洪水調節^{6),7),8),9),10)</sub>}

荒川第一調節池では,越流堤からの越流が始まったのが 10/12 の 23:30 頃であり,その後 約 3500 万 m³ の洪水調節を行っている. これは同貯水池の貯留能力 3900 万 m³ にあと 400 万 m³ にせまるぎりぎりの調節であった. 図 4.1.3 に 10/13 の 11 時に羽根倉橋から撮影した 越流堤部分と調節池内部の写真を示す. なお,荒川第一調節池の上流側の低い横堤 (大久保 浄水場付近:地元では塚本の土手と呼ぶ)では,洪水時に横堤を越流する流れが観測された. しかし,こうした横堤群の多くは洪水時の最大水位よりも高い堤防高となっており,河道内 貯留に洪水をゆっくりと流したと考えられる. 同地点とその上流付近には,洪水調節機能を 高めるため,荒川第二・第三調節池が計画されている.

中川流域から江戸川への放水も大量に行われた.今回の降雨は,最大48時間流域平均降水量は216.4mmとS57年台風18号の1.1倍であったが,中川・綾瀬川流域では浸水戸数が29457戸(S57)から2737戸(R1)と被害を大きく軽減している.三郷放水路(三郷排水機場:約59時間運転)で約3274万m³,首都圏外郭放水路(庄和排水機場:約68時間運転)



図 4.1.3 荒川第一調節池の状況(10/13 11 時撮影)



図 4.1.4 4 ダムと荒川第一調節池の貯水量の比較

で約1151万m³の排水が大きな効果を発揮した.吉川水位観測所では氾濫危険水位を0.12m 上回ったものの,両排水機場の域外排水の結果,約0.3m分の水位を低下させた(江戸川河 川事務所出水概要).

e) 熊谷扇状地における河道内樹林群が可能内貯留に与えた影響

荒川本川において熊谷扇状地(特に熊谷大橋,荒川大橋周辺)は樹林化が進んでいる箇所 である.熊谷大橋地点の砂州では,砂州の外周端で複数の樹木が樹林帯として流木をトラッ プすることでダムのようになっていることが確認された(図4.1.5).この砂州外周の樹林 帯でトラップされた内側では,流木ダムのフィルターによって,根や枝を主体としたトラッ プが多く見られた.出水後に撮影された図4.1.6では偏流によって砂州が侵食され,砂州外 周となっているのが分かる.同地点は川幅が広く堤防までの距離が離れているため問題と はならなかったが,樹林帯スケールで偏流が生じることは,今後の樹木管理における偏流対 策として留意すべき点と考えられる.また,トラップされた幅は樹木の直径の10倍のオー ダーであるため,洪水時の抵抗が非常に大きくなっていると考えられる.地先においては氾 濫リスクが高まる一方で,下流にとっては河道内貯留効果として機能する.こうした洪水中 の破壊に伴う抵抗の変化と,河道内貯留特性の変化についても今後明らかにしていく必要 がある.



図 4.1.5 熊谷大橋上流の砂州における流木捕捉状況



図 4.1.6 流木を捕捉した樹林帯周辺の局所洗掘

<u>f) 氾濫状況と洪水調節効果の比較</u>

高塚ら 10は, 荒川中流域での氾濫状況を示す一つの指標として, 国土地理院の推定段彩 図や現地調査で得られた痕跡水深をもとに、レベル湛水法を用いて氾濫ボリュームを算出 している. 地盤高は各対象領域すべてにおいて 5m メッシュの LP データを用いて, 氾濫ボ リュームをより精度高く算出するために、同一氾濫域内であっても急こう配の地形や、道路、 鉄道の連続盛土により分断されている箇所は氾濫域を分割して算出している.図4.1.7 に 都幾川 5.5~6.6km 区間, 図 4.1.8 に都幾川 0.0~3.2km(越辺川との合流部)の湛水深と、 現地観測調査より得られた痕跡水深[m],算出された湛水深[m]を示す.各氾濫域のレベル湛 水法より算出した氾濫ボリュームは、入間川氾濫域で 1767 万 m3, 市野川氾濫域で 272 万 m³, 合せて 2039 万 m³であり(図 4.1.9), ダムの貯留量の約1 つ分, 荒川第一調節地の5 割 程度のボリュームであった.また,荒川流域の主要な治水施設の貯留量合計が 5370 万 m³で あり、氾濫ボリュームは治水施設の合計貯留量の約38%に相当する. 荒川第一調節池の貯 留量が 3,500 万 m³であり,洪水調節容量(3900 万 m³)のおよそ 89%であった.これは,洪 水調節容量に対して僅か400万m³を残すのみであった. 荒川第一調節池で洪水調節をしき れない場合は, 荒川下流域のリスクを大きく増大させるので, 同地域上流に氾濫ボリューム 相当分を計画的に遊水させる施設を作るか、入間川支川群、特に勾配変化点付近で河川合流 が一気に起きる同地域において遊水機能を損なわないような流域治水施策(霞堤を閉鎖す るのではなく機能を強化する改良など)の展開が必要である.



図 4.1.7 都幾川 5.5~6.6km区間の湛水



図 4.1.8 都幾川 0.0~3.2km区間の湛水深



氾濫ボリューム合計 <u>2039万m³</u>

図 4.1.9 4 ダムと荒川第一調節池の貯水量と氾濫量の比較(高塚ら¹¹⁾に田中⁵⁾の 浸水域を同一手法で算定したものを追記し,貯留量は最新データに修正)

(埼玉大学 田中規夫)

4.1.2 荒川流域流出氾濫モデルおよび浸水モデルの構築

荒川流域の降雨流出及び浸水過程を再現するために分布型降雨流出氾濫モデルと浸水モ デルを構築した.令和元年10月台風19号(10日0時~13日24時対象)により荒川流域 で洪水現象が発生したが,流域での特徴的な現象として,国土交通省速報(国土交通省, 2019^{12),13})を参考にすると,

- (1)荒川水系越辺川右岸 0.0km 付近(埼玉県川越市平塚新田地先)で約70mの堤防決壊,越辺川左岸 7.6km 付近(埼玉県東松山市正代地先)で約20mの堤防決壊,都幾川右岸 0.4km 付近(埼玉県東松山市早俣地先)で約100mの堤防決壊が発生した(図1,図4).
- (2) 荒川流域全体では、荒川上流ダム群で約4500万m³ 貯留, 荒川第一調節地で約3500万m³の洪水流が貯留された.
- (3) 令和元年 10 月 12 日(土) 20:50 に岩淵水門(上) 水位観測所水位が A. P. +4.00m に達したため,閉門操作を開始し 21:17 に全閉し,荒川の洪水が隅田川に流入することを防いでいる.
- (4) 降雨量としては 10 月 10 日 0 時~10 日 13 日 24 時で埼玉県秩父市の浦山では 687mm,埼 玉県比企郡ときがわ町のときがわで 604.5mm, 埼玉県秩父市三峰では 593.5mm の降雨が 記録された(速報値).

本報告では、(1)の現象を分析するための予備検討を実施した.具体的には荒川流域分布 型降雨流出・洪水氾濫モデル(250m 解像度)の構築,特に荒川上流部(都幾川,越辺川, 高麗川,小畔川,入間川)に注目した流量再現を実施した.本稿の流出氾濫モデルでは表面 流は2次元浅水流方程式,河道流は常射流を再現可能なFDS法による1次元不定流方程式, 森林山地については簡易型鉛直積分型2次元不飽和浸透流でシミュレーションを実施する.



図 4.1.10 荒川流域標高, モデル化された河道網, および観測所位置



(上:入西・越辺川,中:野本・都幾川,下:天神橋・越辺川)

モデルの詳細は別報に譲る. 図 4.1.10 にモデル領域の標高,河道網,観測所位置を示す. また図 4.1.11 には特に図 4.1.10 の 3 水文観測地点(入西・越辺川,野本・都幾川,天神橋・越辺川)の観測・計算流量ハイドログラフを示す.天神橋については観測流量が途中で 欠損している.水文観測地点の入西,野本は,越辺川左岸 7.6km 付近(埼玉県東松山市正代 地先)で約 20mの堤防決壊,都幾川右岸 0.4km 付近(埼玉県東松山市早俣地先)で約 100m の堤防決壊による越流の影響を受けていないが,天神橋はこの影響を受けている.したがっ て,破堤を考慮してない今回の計算流量では天神橋については現実を厳密には再現してい ない.なお,本稿では示さないが,菅間水文観測所(入間川)においても同様な流量計算を 実施した(ただし,破堤後の流量しかないのでキャリブレーションが今後の課題).菅間水 文観測所は越辺川右岸 0.0km 付近(埼玉県川越市平塚新田地先,約 70mの堤防決壊)より もさらに下流であり(図 4.1.10),3 か所の破堤の影響をすべて受けている水文観測地点と 考えられる.菅間の計算流量と観測流量の差が破堤 3 か所の合計氾濫流量を近似している と考え,これを図 4.1.10 の破堤点で与えた浸水計算を実施した.浸水計算は流出氾濫モ デルと同様の浅水流方程式を用いて実施した.この結果を図 4.1.12 左に示す.図 4.1.12 右 には国土交通省速報¹²⁾から抜粋した国土地理院¹⁴⁾による浸水推定段彩図を示した.これらの比較,また高塚ら¹⁵⁾により報告された観測浸水深,推定氾濫ボリュームと比較すると,今回の計算浸水深(および氾濫ボリューム)は過大であることが推測された.菅間地点での計算・観測流量両者に誤差が含まれていることなども一因であると考えられる.今後はこうした点を精査し,改善を図る.



図 4.1.12 計算浸水深 (左),浸水推定段彩図 (国土地理院³⁾)を国土交通省¹⁾が修正 (右)

(神戸大学 小林健一郎, 埼玉大学 田中規夫)

参考文献

1)日本気象協会(tenki.jp)

- 2)消防庁防災課,応急対策室,広域応援室,地域防災室,令和元年東日本台風等」における 消防機関の対応,消防の動き '20 年 3 月号, pp.14-18, 2020.
- 3) 読売新聞 埼玉版(11/12)
- 4)埼玉県, 第8回埼玉県河川整備計画策定専門会議資料, 2020
- 5)田中圭, 台風 19 号 (2019 年 10 月 12~13 日) による荒川水系支流の内水氾濫 (速報),日本地理学会災害対応委員会 (<u>http://ajg-disaster.blogspot.com/</u>), 2019.
- 6)国土交通省関東地方整備局,令和元年東日本台風(台風第19号)』出水速報(第4報), 2020.(https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/000773445.pdf)
- 7)国土交通省, 令和元年台風第19号におけるダムの状況 (https://www.mlit.go.jp/river/shinn gikai_blog/damchousetsu_kentoukai/dai01kai/2-3_R1T19_dam_taiou.pdf)

8)二瀬ダム (https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr content/content/000764297.pdf)

9) 荒川上流河川事務所,令和元年10月11日からの台風第19号による出水状況等について(https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr content/000773562.pdf)

- 10)江戸川河川事務所,令和元年10月 台風第19号 (令和元年東日本台風) 出水概要 江 戸川・中川・綾瀬川 (https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr content/content/000771915.pdf)
- 11)高塚智之,伏見健吾,海野瀬綾乃,田中規夫,荒川流域におけるレベル湛水法を用いた 台風 19 号時の氾濫ボリュームの推定,第 47 回土木学会関東支部技術研究発図会講演概 要集,II-74(CD-ROM), 2020.

12)国土交通省 関東地方整備局 荒川上流河川事務所: 令和元年10月11日からの台風第19 号による出水状況等について,令和元年10月20日11:00現在 第2報, https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr content/000759255.pdf

13)国土交通省 関東地方整備局 荒川上流河川事務所: 『令和元年 10 月台風 19 号』 出水 速報(第3報)令和元年 11 月6日, <u>https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/000760776.pdf</u>
14)国土地理院: 令和元年台風 19 号に伴う大雨による浸水推定段彩図(都幾川1) https://www1.gsi.go.jp/geowww/201910/shinsui/09 shinsui toki 1.pdf

15)高塚智之・伏見健吾・海野瀬綾乃・田中規夫:荒川流域におけるレベル湛水法を用いた 台風 19 号時の氾濫ボリュームの推定,第47回土木学会関東支部技術研究発表会

4.2 荒川水系越辺川流域における破堤と氾濫

4.2.1 荒川水系越辺川・都幾川・新江川における破堤・氾濫状況の解析

a) 災害現地調査

・越辺川 国管理区間(0.0k-8.0k)

図 4.2.1 に越辺川国管理区間(0k-8k)までの縦断図を示す.第3回荒川水系越辺川都幾川 堤防調査委員会の資料¹)によると,越水範囲は越辺川右岸 0.0k-0.2k, 0.0k 地点での越水深は 約 40cm と推定されている.同資料では,越辺川落合橋水位観測所の水位ハイドログラフを スライドし,越辺川右岸 0.0k 位置の水位ハイドロを設定している.その想定で堤防越水が 生じていたのは 10/12 の 21 時ごろから 10/13 の午前 2 時ごろまでの約5 時間程度である. 第2回荒川水系越辺川都幾川堤防調査委員会²)によると,決壊幅は約70 m である.

埼玉大学が 2019 年 8 月から越辺川の 1.4k, 3.2k, 3.8k に設置していた水位計の観測結果 ³⁾ および,天神橋水位観測所(4.8k)と越辺川落合橋水位観測所(-0.4k)の水位ハイドログラフを 図 4.2.1 に合わせて示す.これより,上流側から水位が立ち上がりはじめているが,水位は 縦断的にほとんど一律で上昇している.これは,越辺川の当該区間では川幅の変化や蛇行度, 河床勾配が小さいためだと考えられる.また,10月12日12時の水位縦断を見ると,2.4k より下流は 2.6k より上流と比べて水面勾配が緩やかであり,増水期は,水位を観測した1.4k 地点まで背水影響が及んでいたことが分かる.天神橋水位観測所では12日の19時40分で 痕跡高付近の水位を記録し,その後欠測となった.1.4k,3.2k,3.8k 地点では,10月13日の 0:40,0:10,0:30 に最大水位となった.

30



図 4.2.1 越辺川国管理区間(0.0k - 8.0k)の縦断図,堤防越水位置および水位ハイドログラフ (荒川上流河川事務所提供データ,観測水位ハイドログラフ³⁾に,災害調査結果を加えて作成)

・越辺川 国管理区間 0.0k-0.2k の堤防越水による堤内地の氾濫状況

図4.2.2に越辺川国管理区間0.0k-0.2kの堤防越水と堤防決壊に伴う堤内地の氾濫状況と 痕跡水位を示す.痕跡水位はT.P.+15mからT.P.+15.8m程度である.図4.2.2に示す飯盛川 より南側において,T.P.+15.5mのレベル湛水を仮定した浸水深コンター図も合わせて示す. 本想定による当該地域の氾濫量は約800万m³である.飯盛川より北側では,飯盛川の内水 氾濫により浸水している.国土地理院の空中写真の浸水域と合うように,T.P.+16.7mのレベ ル湛水を仮定し,想定氾濫量は約130万m³である.



図 4.2.2 入間川・越辺川・小畔川合流点の越辺川右岸堤防決壊による堤内地の氾濫状況お よび痕跡水位(T.P.m)

・都幾川 国管理区間(0k-7k)

図 4.2.3 に都幾川国管理区間(0k – 7k)における痕跡高,河床高,堤防高の縦断図を示す. また,図 4.2.4 に痕跡高の取得位置とその様子を示す.1.0k-2.5k 地点では,左右岸共に,最 大水位が堤防高まで余裕があったことが分かる.2.6k-3.6k の右岸堤防高が低くなっている が,これは川幅が広がっている地域である(図 4.2.4).また,3.2k の右岸は堤防高よりも 痕跡高が高いが,この地域は堤内地が高台となっている.3.6k-4.1k の右岸は霞堤の開口部 となっており,その上流側の 4.5k 地点付近の堤内地では T.P.+24.9m の高さに痕跡が見られ た.この地点の堤外地の痕跡高は T.P.+26.13m であり,堤防天端まで 46 cm の高さであった.

埼玉大学が 2019 年 8 月から都幾川の 2.2k, 2.6k, 3.4k, 4.4k に設置していた水位計の観測結 果の一部 ³および,唐子橋水位観測所(5.5k)と越辺川落合橋水位観測所(1.6k)の水位ハイドロ グラフを図 4.2.3 に合わせて示す.都幾川は縦断的な川幅の変化が大きく,上流部では河道 内樹木が多く,下流部では樹木が少ないという特徴がある.図 4.2.3 より,10 月 12 日 10 時から 12 時にかけて水位が急激に上昇している.これは,河道内の低木の樹冠まで水位が 達し,抗力が大きくなったため,水位が急上昇したと考えられる.また,12 日の 12 時から 15 時にかけては,3.4k 地点では水位の変化が小さいが,2.6k から野本(1.6k)で水位が大きく 上昇している.これは,この時点から越辺川・都幾川合流点の背水影響が都幾川 2.6k 地点 まで達したことを意味する.その後,18 時半には唐子橋(5.5k)で最大水位となり,4.4k から 野本(1.6k)ではその後,20 時頃に最大水位付近となった.



図 4.2.3 都幾川国管理区間 (0k-6.6k)の縦断図と観測水位ハイドログラフ (荒川上流河川 事務所提供データ, 観測水位³⁾に,災害調査結果を加えて作成)



図 4.2.4 都幾川国管理区間 (2.0k-5.5k)の痕跡水位

・越辺川, 都幾川, 九十九川合流部付近

図 4.2.5 に越辺川,都幾川,九十九川合流部付近の痕跡等を示す.堤内地の痕跡水位は T.P.+ 21.2 mから T.P.+ 21.7mであり,ほとんどレベル湛水であることから,図4.2.5 には, レベル湛水を仮定した浸水深コンター図を示している.



図4.2.5 越辺川・都幾川・九十九川合流点の決壊による堤内地の氾濫域および痕跡高

第3回荒川水系越辺川都幾川堤防調査委員会の資料¹⁾によると,都幾川と越辺川の合流点 付近の越水範囲は,都幾川右岸 0.2k-0.6k(国管理区間)であり,0.4k地点での越水深は少な くとも 20cm 以上としている.埼玉大学の現地調査では,図4.2.5に示すように,0.7k地点 付近でも越水の痕跡が見られた.この地点では,堤防天端上のアスファルト舗装に砂が堆積 しており,越水した様子が観察された.また,第2回荒川水系越辺川都幾川堤防調査委員会 の資料²⁾より,決壊幅は約90mである.現地調査より,決壊幅90mの間に,堤体の一部が 2箇所残存している様子が観察された(図4.2.5).

図4.2.6に、荒川上流河川事務所から提供いただいた都幾川右岸の現況堤防高、右岸痕跡 高および、埼玉大学計測の堤防高を示す.なお、埼玉大学による堤防高の計測ではRTK-GNSS を用いており、計測位置が距離標と対応するように x 軸を調整した.距離標 0.5k-0.53k で堤 防高が急に低下している地点があるが、この地点より下流側ではアスファルト舗装がされ ていなかった.そのため、越流痕跡はアスファルト舗装上の砂の堆積ではなく、天端上の浮 遊物(草本等)の堆積から判断した.

図 4.2.6 より,堤防高が急に低くなっている地点より下流では連続的に堤防越水していた痕跡が見られたが,それより上流では堤防越水の痕跡が不連続であった.これは,僅かな堤防高の差が影響したことも考えられるが,右岸堤防高(埼大計測)を見ると越流痕跡が見られた範囲で,必ずしも堤防高が低いわけではない.そのため,堤外地の河床高や植生により,局所的に堤外地の水位が上昇した地点で越水が生じたと考えられる.0.7k 地点は,図4.2.5 に示したように,天端から高水敷に降りるスロープがあり,その影響も考えられる.また,低水路沿いのパッチ状の樹林帯が偏流を引き起こし,局所的な水位上昇を招いた可能性もある.



図 4.2.6 都幾川国管理区間(0.4k-0.8k)の縦断図および越流痕跡範囲(※越水痕跡は図 4.2.5(c)で示した堤防天端上の痕跡を指す)(荒川上流河川事務所提供データ, 観測水位ハイドログラフ³⁾に,災害調査結果を加えて作成)

・都幾川 埼玉県管理区間(0k-2.8k)

図4.2.7 に埼玉県計測の現況堤防高と痕跡水位⁴⁾を示す.また,図4.2.8 に当該地域の痕跡水位の災害調査の様子と痕跡水位を示す.令和元年台風19 号洪水による堤防決壊調査報

告書(埼玉県河川砂防課)⁴⁾によると,越水確認区間は右岸 0.0k-0.5k, 0.7k-0.9k, 1.1k-1.7k, 2.4k-2.8k(いずれも埼玉県管理区間)である. 右岸 1.4k 地点で幅約 28.4m の堤防決壊が生じ,ほか 5 箇所で堤防破損が確認されている.決壊箇所右岸 1.4k 地点では,現況堤防高より約 50cm 高い,痕跡水位 T.P.+33.956 m であった.

都幾川埼玉県管理区間 0.5k より上流の右岸における堤内地の浸水は, 霞堤開口部からの 浸水と, 霞堤開口部より上流の堤防からの越水, 堤防決壊による浸水である. この堤内地で はT.P.+31.7mの痕跡(農業用の水門のフェンスにトラップされた草)が見られた(図4.2.8). 0.5k より下流の右岸でも霞堤開口部からの浸水と堤防越水により, T.P.+29.9m (ガードレー ルにトラップされた草) から T.P.+30.5m (樹木に堆積した泥) で痕跡が確認された.





図 4.2.8 都幾川唐子橋より上流の決壊箇所付近の痕跡水位

九十九川(埼玉県管理河川)

図4.2.9に九十九川の現況堤防高と痕跡高の縦断図を示す.また,図4.2.9に九十九川左 岸決壊および右岸越水箇所付近の痕跡水位を示す.第3回越辺川都幾川堤防調査委員会資 料¹⁾によると,九十九川左岸(越辺川左岸国管理7.6k地点)で堤防決壊が発生した.越水区 間は越辺川左岸(国管理距離標)7.6k-7.8k,越水深は少なくとも40cm以上であったと推定 されている.また,第2回越辺川都幾川堤防調査委員会資料⁹より,決壊幅は約40mであ る.図4.2.10に示すように,決壊箇所からの氾濫流は,九十九川(越辺川)左岸側に湛水 した.

越辺川の逆流防止のため、九十九川との合流点に設置されている九十九水門は、10月12 日14時20分から閉操作が開始され、14時35分に完了している.また、開操作は13日3 時頃開始で、13日5時頃完了している.国土交通省関東地方整備局荒川上流河川事務所の 出水速報のによると、九十九川左岸の堤防決壊は13日の午前6時00分ごろ確認されてい る.図4.2.10に示すように、水門の隅角部に水が集中したことが九十九川左岸堤防の越水・ 決壊に繋がったと考えられる.そのため、九十九水門の閉操作が九十九川左岸の越水に影響 したと考えると、13日の午前6時より早い時間に決壊した可能性もある.



図 4.2.9 九十九川 痕跡縦断図(第3回越辺川都幾川堤防調査委員会資料¹⁾)



図 4.2.10 九十九川左岸決壊および右岸越水箇所付近の痕跡

・新江川(0k-2.5k)(埼玉県管理河川)

図4.2.11 に新江川の現況堤防高と痕跡高の縦断図を示す.また,図4.2.12 に新江川右岸の越水および決壊による堤内地浸水域の痕跡水位を示す. 令和元年台風 19 号洪水による堤防決壊調査報告書(埼玉県河川砂防課) 5によると,越水確認区間は右岸 0.0k-1.3k,越水推定区間は右岸 1.3k-1.8k, 2.2k-2.4k (いずれも埼玉県管理区間)であり,決壊箇所は右岸 0.15k地点である. 越水直後の越流水深は一時的に 37cm, その後約 6 時間は 15cm 程度の越流水

深が継続したと推測されている.痕跡水位は道路盛土の法面の砂の堆積や,長楽堤に堆積した藁から判断した.新江川と市野川の合流部付近では,裏法面にガリー侵食がみられた.国道 254線より下流では,川裏法尻部に深さ 2.4mの洗堀が確認された.また,それより上流の右岸では裏法面の崩れが確認された.

新江川と市野川の合流部には、市野川から新江川への逆流を防ぐために、山王樋門がある. 埼玉県河川砂防課 ⁵によると、山王樋門は 10 月 12 日 21:58 にゲートが閉鎖されている.また、その約6時間後に水位が低下しているが、これが新江川の決壊によるものと想定している.



図 4.2.11 新江川 痕跡縦断図(埼玉県河川砂防課⁵⁾)





<u>b) 氾濫状況の解析</u>

・解析の概要

本節では、入間川流域の氾濫状況をより詳細に把握するため、堤防越流が生じなかった場合と堤防越流が生じた場合を比較する.本解析では、荒川本川は植松橋から東京湾までを支川群を含み 50m メッシュで解析しつつ、入間川流域の都幾川・越辺川の合流点より上流ではより詳細に10m メッシュで解析が可能な2wayネスティングモデル³⁾を用いた(図4.2.13).流れの基礎方程式は、樹木の抗力項を除き、田中ら⁷と同様とした.ただし、境界条件の位置と与え方は少し変更した.



図 4.2.13 モデルの構造図

・上流端及び下流端に与えた流量ハイドロと水位ハイドロ

上流端の境界条件には、台風 19 号の実測データから、時々刻々の流量と水深を与えた. 実測データがない場合や欠測がある場合は、貯留関数法および、各河道の H-Q 式を用いて 流量、水深を求めた.

・大領域および詳細領域における河道内植生のモデル化

大領域では、河道内植生の抵抗を粗度係数として与えた.詳細領域では、高木、低木、竹林、ササについては粗度係数ではなく、鉛直構造や空隙率を考慮した抗力項としてその抵抗 を与えた.植生の種類ごとのパラメータを下の**表 4.2.1**に示す.

植生の種類	高さ (m)	直径 (m)	密度 (本/m²)
高木	樹高: 9.0	0.2	0.03
	枝下高: 3.0		
低木	樹高: 3.0	0.1	0.03
	枝下高: 1.5		
竹林	9.0	0.038	3.43
ササ	3.0	0.015	25

表 4.2.1 植生の種類と各々のパラメータ

·解析結果

【堤防越流ケースの解析における氾濫と台風 19 号の比較】

図 4.2.14 に、堤防越流あり(決壊なし)のケースにおける氾濫状況を示す.これより、 10/12 の 10 時には都幾川上流の霞堤の開口部から浸水が始まっていることが分かる.同日 の 12 時には九十九川の上流で浸水が始まっている.この区間は堤防高が 50 cm 程度である ため浸水開始が早いが、この時点では浸水深は 50 cm 以下である.上述したように、九十九 水門の閉操作は 10/12 14 時 20 分開始、14 時 35 分完了であるが、本解析では 14 時 35 分に 九十九水門の位置に阻害線(壁)をたてて流れないように設定している.ただし、解析結果 では 10/12 の 14 時には九十九川水門より上流の右岸側で越流が生じている.これは、合流 後の越辺川の水位が上昇し九十九川に逆流が生じ始めたためであり、実際よりも河道内植 生の抵抗をわずかに過大評価している可能性がある.

同日の16時には、都幾川の左岸で堤防越流が生じた.ここは、台風19号時にも越流が生 じ、堤防が欠損し、また広範囲で越流の痕跡(裏法面の浸食)が見られた地点である.同日 の19時には、氾濫流が新江川を流れ、川島町の長楽堤付近まで氾濫流が広がっている.そ れとは別に、同時刻において新江川と市野川の合流部付近からの越流が確認され、また都幾 川と越辺川の合流部付近でも越流が生じた.いずれの地点も台風19号時に堤防越流が生じ た地点であり、堤防の欠損や決壊が生じている.10/13の午前4時には、都幾川と越辺川の 合流点からの氾濫流が、台風19号時の浸水範囲と同程度まで広がっている.



図 4.2.14 堤防越流あり(決壊無し)ケースの解析による浸水深の変化

【堤防越流有無による入間川菅間地点での流量ハイドログラフの変化】

図4.2.15に、堤防越流なしのケース、堤防越流あり(決壊なし)のケースにおける入間 川の菅間地点での流量ハイドログラフをそれぞれ示す.堤防越流なし、堤防越流あり(決壊 なし)のケースでは、ピーク流量はそれぞれ約3900m³/s、約3700m³/sであった.本解析で は九十九水門の閉操作完了時刻の10月13日の5時から、九十九水門位置の阻害線をなく し、流れるように設定している.そのため、それ以降では、九十九川右岸の氾濫水が河川に 戻されており、10月13日の5時から11時頃まで、堤防越流なしのケースの方が、堤防越 流なしの場合よりも入間川菅間での流量が大きくなっている.

この,堤防越流有無の流量ハイドログラフの差を積分し,入間川菅間より上流での氾濫ボ

リュームの時間変化を図4.1.4に追記し、図4.2.16として再掲する.また、レベル湛水を 仮定して推定した氾濫流量総和も比較のために合わせて示す.本解析の堤防越流なしのケ ースについては、堤防高を実際よりも高く設定し、越流が生じないようにしているが、都幾 川上流における霞堤の開口部は実際と同様に無堤区間としている.そのため、堤防越流有無 の解析結果の差には、都幾川上流の氾濫量は含まれない.また、台風19号では図4.2.12に まとめたように、新江川からも氾濫が生じたが、新江川は市野川の支川であるため、堤防越 流有無の解析結果の差から算出した氾濫量には含まれない.また、本解析では葛川はモデル 化していないため、以上の、葛川と新江川、都幾川上流の氾濫量を除いた氾濫量も図4.2.16 に併せて示した.これより、解析では菅間より上流での氾濫量は約500万m³であるが、痕 跡調査から推定した氾濫量は約1,537万m³である.これは、本解析では堤防の決壊をモデ ル化していないことが大きな要因である.そのため、越辺川・都幾川合流部の堤内地の想定 氾濫量は約324万m³であるのに対し、本解析では図4.2.17に示すように、約90万m³で あった.堤防決壊時刻がハイドロのピーク付近に関連あいていたかどうかで、菅間地点のピ ーク流量や本川に与えたインパクトは大きく変化する.決壊地点が複数あるため、1つ1つ の破堤点について、根拠をもって精査していくことが必要である.



図 4.2.15 堤防越流有無の流量ハイドログラフ(入間川菅間観測所地点)



図 4.2.16 四ダム, 荒川第一調節池と菅間より上流域の氾濫ボリュームの比較(決壊を入れていないので計算氾濫量の最大値は航空写真推定値より約1050万m³少ない.入間川支 川群からの氾濫戻しが生じている時間帯と, 荒川第一調節池の洪水調節をしている時間帯



は概ね重なっている)

図 4.2.17 堤防越流あり(決壊無し)の解析結果(最大浸水深コンター図): 貯水量は 90 万 m³(九十九川左岸決壊と都幾川決壊が起きた実際の状況では 324 万 m³と推定)

(埼玉大学 田中規夫, 五十嵐善哉, 海野瀬綾乃)

4.2.2 都幾川, 越辺川合流点における令和元年東日本台風の洪水再現性の検討

令和元年東日本台風により,埼玉県に位置する荒川水系都幾川では,越辺川との合流点で 河川堤防が破堤した.破堤箇所では越辺川と都幾川の合流と樹木繁茂による複雑な流れが 発生したものと考えられる.破堤箇所の様子を図4.2.18に,都幾川と越辺川合流点におけ る樹木が繁茂している様子を図4.2.19に,それぞれ示す.

本報は、都幾川と越辺川の同等規模河川の合流の流れと河道内樹木の影響を評価し、令和 元年東日本台風の実績洪水の再現性を確認することを目的として、航空レーザ測量等を用 いて構築した平面二次元流況解析モデルを構築し、洪水時の水位を再現した.また、再現し たモデルを用いて、当時の洪水流況について考察を行った.



図 4.2.18 都幾川 0.4k 右岸破堤箇所 (堤内より撮影)



図 4.2.19 都幾川と越辺川合流点におけ る樹木繁茂の状況

a)樹木のモデル化と平面二次元流況解析モデル

最新の航空レーザ測量を用いて平面二次元流況解析モデルを構築するとともに、樹木の 繁茂状況及び粗密度をモデル化し、令和元年東日本台風の洪水時の水位を再現する.洪水時 水位は越辺川及び都幾川の洪水痕跡により確認を行った.

樹木モデルは航空レーザ測量より,樹高データ及び樹木疎密度データを作成した.作成方法は,国土地理院が公開している「航空レーザ測量データを用いた樹高等のデータ作成」方法⁸⁾の考え方を基にした.樹木モデル作成の概念図を図4.2.20に示す.



出典:国土地理院「航空レーザ測量データを用いた樹高等のデータ作成」

図 4.2.20 樹木モデル作成の概念図

図 4.2.20 より、オリジナルデータから DSM(Digital Surface Model)を作成し、地上標高値 (グラウンドデータ) との引き算によって DCM(Digital Canopy Model)を作成する. DSM は 航空レーザ測量の数値表層モデル(地物表面) であり、DTM は航空レーザ測量の数値地形 モデル(地表面) である.作成したデータより、都幾川と越辺川合流点の樹木データ(DCM データ)の図を図 4.2.21 に、同合流点の樹木高(DSM データ)の図を図 4.2.22 に、同合 流点(越辺川 6k2)の定期横断データに DSM と DTM を重ねた図を図 4.2.23 に、同合流点 の樹木疎密度を表した図を図 4.2.24 にそれぞれ示す.



図 4.2.21 都幾川と越辺川合流点の樹高データ(DCM データ)

注)合流点の垂直写真は令和元年東日本台風後に撮影



図 4.2.22 越辺川と都幾川合流点の樹木高(DSM データ)



図 4.2.23 越辺川と都幾川合流点(越辺川 6k2)の定期横断データに DSM と DTM を重ねた図


図 4.2.24 越辺川と都幾川合流点の樹木疎密度データ

作成方法出典:航空レーザ測量データを用いた樹高等のデータ作成

なお,図4.2.21~図4.2.24中の背景にある航空写真は,令和元年東日本台風後に撮影した.

本報で用いる平面二次元流況解析は, iRIC version3.0.18.6321の Nays2DH²⁾を使用して計算 を実施した.河道モデルは令和元年 10月前に作成された最新の航空レーザ測量を使用した.

平面二次元流況解析モデルは, 越辺川 0.0k から 9.0k と, 越辺川と都幾川の合流点 0.0k (越辺川 6.2+100k) から 2.6k の合計 11.6km で構築した.河道幅は約 300m であり, 合流点の複雑流れと樹木の影響を緻密に評価するため, 概ね 5m 格子で河道内地形を作成した.これにより格子数は縦断方向に 1,805, 横断方向 62, 全体で 111,910 メッシュとなった.このモデルに, 樹高データや樹木疎密度データを加えた.なお,樹木疎密度は, iRIC モデル内では植生密生度として,その疎密度の値をそのまま密生度の値に利用した.また,再現計算では,都幾川の破堤箇所付近より都幾川上流右岸 (0.4k~2.6k) と越辺川の上流左岸 (6.8k~9.0k)までの区間に,再現水位が堤防高を越えないように, 30m の壁を立てた.構築したモデルの概観図を図 4.2.25 に示す.



(上図:全体図,下図:破堤箇所付近の拡大図)

<u>b)</u> 令和元年東日本台風の再現計算

河道部の粗度係数は、当該河川を所管する荒川上流河川事務所より提供いただいた粗度 係数(高水敷(左岸と右岸)と低水路)を入力した. 粗度係数は, 0.2k ピッチで記録されて いる. このため、0.2k 地点毎の粗度係数を前後距離 0.1k ずつ幅を持たせて使用することと した. 具体的には、0.0k の粗度係数は 0.0k~0.1k まで、0.2k は 0.1k~0.3k まで、0.4k は 0.3k ~0.5k までというように粗度係数を入力した.

上流端の実績流量は,越辺川では高坂水位観測所(約9.3k)とし,都幾川では野本水位観 測所(約1.58k)を用いた.下流端水位は,越辺川落合橋の実績水位(約0.0k)¹⁰⁾を用いた.

越辺川落合橋の水位に欠測がある場合には,小畔川落合橋の水位と比較して,越辺川落合橋の水位を補完した.補完方法は,両河川落合橋の2019年10月13日0時から14時までの水位について,相関関係を取り,回帰式を作成(決定関係:0.995)し,越辺川落合橋の水位とした.流量と水位は,2019年10月12日8時40分から10月13日11時30分までの10分間隔(97,200秒)とした.なお,下流端水位については,1時間毎に計測された値をその時間内にそのまま値として使用した.流量と水位ハイドログラフを図4.2.26に示す.



図 4.2.26 都幾川と越辺川の流量と水位ハイドログラフ (2019 年 10 月 12 日 8 時 40 分から 10 月 13 日 11 時 30 分まで)

なお,令和元年東日本台風の再現計算の検証対象は河道内の最高水位とし,洪水痕跡が最 高水位を表すものと考え,計算水位との比較を行うこととした.

再現計算のフローは、①樹木無し(粗度係数のみ)、②樹木有り(粗度係数+樹木モデル)の順番で計算を実施した.再現計算のフローを図4.2.27に示す.



図 4.2.27 再現計算のフロー図

c)樹木無しとした場合(粗度係数のみ)の令和元年東日本台風洪水痕跡との比較

樹木無しとした条件で,低水路と高水敷の粗度係数のみを条件として平面二次元流況解 析を行った.計算結果を図4.2.28に示す.

図 4.2.28 より, 越辺川 1.2k より上流側の水位が, 痕跡高の水位と比較して, 1m 程度低い状態となった. これより, 今回の洪水痕跡高を再現するためには, 粗度係数だけではなく, 樹木をモデルに組み込む必要があることが確認された.





図 4.2.28 樹木無し(粗度係数のみ)とした越辺川の再現計算結果と 実績洪水痕跡との比較(上図:越辺川右岸,下図:越辺川左岸)

d) 樹木有りとした場合(粗度係数+樹木モデル)の令和元年東日本台風洪水痕跡との比較

図4.2.24の樹木疎密度データは、5m以上の樹木を対象としており、都幾川と越辺川の 河道内には、5m未満の樹木も存在することから、5m未満の樹木もモデル上で考慮した.

樹木のモデル化は、樹木高(図4.2.21)と樹木密生度データ(図4.2.24)を考慮し、 平面二次元流況解析モデルに現況樹木状況を樹木モデルとして組み込んだ.都幾川と越辺 川に樹木をモデルに入れた様子を図4.2.29に示す.



図 4.2.29 都幾川と越辺川に樹木をモデルに入れた様子 (上図:全体図,下図:合流点の破堤箇所付近の拡大図) 樹木は,密生度により,色が分かれている. 樹木疎密は,黄緑,緑,薄青,青の順に下がる.

本報では、樹木疎密度のパラメータを変化させて、痕跡高と再現計算の水位を検証した.図4.2.29に示した通り、都幾川と越辺川全体に5m未満の低木の範囲を増やした.植 生密生度(樹木疎密度)のパラメータは、図4.2.24に対して、越辺川では0.0k~1.8kで は2倍、2.0k~9.0kでは0.5倍を入れて計算した.樹木の抵抗係数は、iRIC Nays2DHの初 期値である0.7を使用した.計算した結果を図4.2.28に示す.

図 4.2.30 より, 概ね痕跡高と再現した水位は一致している. 越辺川 4.4k~9.0kの区間 では, 水位が 10cm 程度高くなる. 今回は, 都幾川 0.4k 地点及び越辺川 7.6k 地点の破堤を 考慮していないために, 水位が高くなっているものと推察される.





図 4.2.30 樹木有り(粗度係数+樹木モデル)とした再現計算結果と 実績洪水痕跡との比較(上図:越辺川右岸,下図:越辺川左岸)

e) 樹木無しと樹木有りの破堤箇所付近での流速と水位のコンターと流速ベクトルの比較

樹木無しと樹木有りでの破堤箇所付近での流速コンターと流速ベクトルを図 4.2.31 に示 す.図4.2.31 より、樹木無しの方が流心部で、流速が速くなっている.特に、合流後の越 辺川 5.6k より下流側では、顕著に流速が速くなる(図中、赤丸の箇所).



図 4.2.31 樹木の有無による破堤箇所付近での流速コンターと流速ベクトルの図 (上図:樹木無し,下図:樹木有り)

樹木無しと樹木有り(樹木考慮モデル)の破堤箇所付近での水位コンターと流速ベクト ルを図 4.2.32 に示す.図 4.2.32 より,樹木無し条件では越辺川 5.6k~6.6k まで水位がほ ぼ一定であるのに対して,樹木有り条件では越辺川 5.6k~6.6k まで水位が 70cm 程度上昇し ている.



図 4.2.32 樹木の有無による破堤箇所付近での水位コンターと流速ベクトルの図 (上図:樹木無し,下図:樹木有り)

この時の越辺川 6.8k と都幾川 0.4k における横断面での計算水位を図 4.2.33 に示す. 図 4.2.33 より,樹木無し条件での計算結果では,現況堤防を水位が越えることはなかった.樹木有りでの計算結果では,都幾川破堤箇所(越辺川 6.8k では左岸,都幾川 0.4k では右岸)で,堤防の高さを水位が越える結果となった.



図 4.2.33 横断面における樹木無しと樹木有り(樹木考慮)での計算水位 (上図:越辺川 6.8k,下図:都幾川 0.4k)

<u>f) まとめと今後の課題</u>

令和元年東日本台風時の都幾川と越辺川との合流点での破堤した時の水位を,洪水痕跡 を用いて再現を行うため,都幾川と越辺川との合流点を含む平面二次元流況解析モデルを 構築した.

先に、樹木無し(粗度係数のみ)モデルを用いて水位を計算した結果、洪水痕跡よりも 計算した水位は1m程度低くなることを確認した.次に、航空レーザ測量より作成した樹 高及び樹木疎密度データを、平面二次元流況解析モデルに加えた樹木有りモデルを構築 し、水位を計算した結果、洪水痕跡と再現水位はほぼ一致することを確認した.

流速の平面コンター図では、樹木無しの方が流心部で流速が速くなり、特に合流後の越辺川 5.6k より下流側では、顕著に流速が速くなった.また、水位の平面コンター図では、 樹木無しモデルの越辺川 5.6k~6.6k 区間の水面勾配が緩いのに対し、樹木有りモデルは越 辺川 5.6k~6.6k までの水位が 70cm 程度上昇するなど水面勾配が急となった. このことから,合流点や合流点下流側の現況樹木繁茂を反映した樹木有りの条件では,合流部の水位が高くなり,越辺川及び都幾川上流の水位を押し上げる効果が生じた可能性があることが確認した.

本報では、破堤による河川流量の低減を見込んでいないため、今後は氾濫した流量を含 めた河川流量を用い、更に洪水検証の精度を高める予定である.また、河道水位の上昇の 原因と確認された河道内の樹木を伐採する範囲について、本報で構築したモデルを用いて 検討を行う予定である.樹木管理の一環として、樹木を伐採する順番を考慮し、上流から 下流へ、破堤箇所付近、下流から上流などの組み合わせについても検討を行いたいと考え ている.

(富田邦裕,松本敬之,三崎貴弘,小田洋平,田中克幸,田中規夫)

参考文献

- 1)関東地方整備局:第3回荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会,2020.12.02 (<u>https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/000762806.pdf</u>)
- 2)関東地方整備局:第2回荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会,2020.11.17 (<u>https://www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/000761669.pdf</u>)
- 3)五十嵐善哉,田中規夫,末永博,又吉健太:荒川中流域の支川群の河道内植生が洪水流に 与える影響と生態的機能の評価,河川技術論文集,第26巻,2020年6月.(採択済み)
- 4) 埼玉県河川砂防課: 令和元年台風19号洪水による堤防決壊調査報告書 一級河川荒川水 系都幾川, 2020.03.27 (<u>https://www.pref.saitama.lg.jp/a1007/documents/teiboutokigawa.pdf</u>)
- 5)埼玉県河川砂防課:令和元年台風19号洪水による堤防決壊調査報告書 一級河川荒川水 系新江川, 2020.03.27 (<u>https://www.pref.saitama.lg.jp/a1007/documents/teiboutokigawa.pdf</u>)
- 6)国土交通省関東地方整備局荒川上流河川事務所:令和元年10月11日からの台風第19
 号による出水状況等について 令和元年10月20日 11:00 現在 第2報, (<u>https:</u>//www.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/000759255.pdf)
- 7)田中規夫,五十嵐善哉,伏見健吾:荒川中流域の潜在的氾濫リスクと現存する江戸時代の旧堤防群が果たす減災効果,土木学会論文集B1(水工学),Vol.74, No.4, pp.I_1393-I_1398, 2018.
- 8)国土地理院:航空レーザ測量データを用いた樹高等のデータ作成,最終更新日:2015年2月 1日.URL: <u>https://www.gsi.go.jp/chirijoho/chirijoho40069.htmlh</u> (2020年2月26日アクセス).
- 9) 一般社団法人 iRIC-UC: iRICソフトウェア version3.0.18.6321, Nays2DH. URL: https://iric.org/ (2020年4月1日アクセル)
- 10)国土交通省:水文水質データベース, URL: http://www1.river.go.jp/ (2020年4月27日アク セス)

4.3 都幾川,新江川での越流地点における堤防天端形状と侵食との関係

4.3.1 はじめに

2019 年 10 月の台風 19 号時には、主に関東・東北地方の多くの河川で越水、破堤が生じ た. 荒川流域においても越辺川, 都幾川をはじめとした支川群の複数箇所で破堤が生じてい る. こうした破堤点付近では, 破堤には至らなかったものの図4.3.1 に示すように裏法面に 周期的なガリー侵食が確認されている.こうした周期的な侵食痕は2015年関東・東北豪雨 時においても,複数の地点で確認されている ¹⁾. 越流により生じる裏法面のガリー侵食は, 特に越流初期の裏法面の地形を決めるとともに、侵食箇所へ流れが集中することで、その後 の堤体侵食過程や破堤までの時間、すなわち堤防の粘り強さにも影響を与えると考えられ る.泉ら²は、一様斜面上に形成されるガリー侵食を実験的・理論的に検討しており、水深 の1000倍程度の周期でガリー侵食が生じることを明らかにしている.しかし、上記の検討 では、主に降雨によって生じる表面流を想定した水深が非常に浅い場合を対象としており、 本研究で対象とする堤防越流のように,数 cm-10 数 cm の大きな越流水深に対して生じるガ リー侵食の特性に関しては不明な点が多い.また,実際の堤防天端では不等沈下等によって, 堤防の縦断方向に周期的な凹凸が形成されることが報告されており³⁾,縦断的に異なる越流 水深となる. このような状況下で, 天端凹凸が裏法面の侵食規模にどのような影響を与える かを把握することは、堤防の維持管理の観点から極めて重要である.飯塚・八木澤 4はこの 点に着目し, 室内模型実験において, 凹凸波長と裏法面に形成されるガリー侵食との関係を 調べている. その結果, 天端凹凸波長が大きくなると, ガリー侵食の侵食深が大きくなるだ けでなく、隣り合うガリー同士の間隔が狭くなることを明らかにしている.しかし、この実 験は一定の越流水深(無次元越流水深が h/EH=0.03 程度 (h,EHはそれぞれ越流水深(m),堤防 高(m))で実施されている.実現象においては、場所に応じて様々な越流規模が想定されるた め,異なる越流水深条件におけるガリー侵食の発生周期,侵食規模(侵食深,幅等)を把握す る必要がある. そこで本研究では, 越流水深の変化がガリー侵食に及ぼす影響を水理模型実



図 4.3.1 台風 19 号時に裏法面で確認された侵食痕

験により明らかにするとともに、台風 19 号時に実河川堤防においてガリー侵食が生じた複数地点を対象にした侵食調査結果と比較検討することを目的とする.

4.3.2 現地調査方法

本研究では,越流と裏法面の侵食が確認された都幾川 6.6km 付近左岸,8.0km 付近右岸お よび新江川 0.4km 付近右岸の合計 3 地点(図 4.3.2)を対象にして,①天端凹凸の状況,②洪 水痕跡調査による越流水深規模,③裏法面の侵食状況,を調査した.

①天端凹凸波長 λ,振幅 a の把握:各調査地点の天端凹凸波長 λ,振幅 a を把握するため, ネットワーク型 RTK-GPS(R-10:Trimble 社)を用いて,図4.3.2 に示す侵食痕調査地点の前後 50m を含む 120 – 190 m 程度の範囲を対象に天端上を縦断方向に 1m ピッチで標高を測定し た.得られた天端標高の移動平均値を基準とし,天端凹凸波長 λ および振幅 a を把握した. ②各調査地点における越流水深の推定:各調査地点における越流水深を把握するため,図 4.3.2 に示す白丸地点で洪水痕跡調査を実施した.具体には,堤外側の堤防近傍に繁茂した 樹木群に捕捉された流下物の地面からの高さを計測するとともに,当該地点の地盤標高を 前述した RTK-GPS で計測した.これらから得られる痕跡水位から,①で把握した堤防天端 標高を差し引くことで越流水深 h を推定した.

③裏法面のガリー侵食深 S_d,ガリー間隔 l の把握:ガリー侵食深 S_d,ガリー間隔 l を把握 するため,裏法面の侵食深の平面分布を得る必要がある.そこで,越流後の地表標高は UAV(Mavic 2 Pro: DJI 社)によって空撮画像を取得し,画像解析ソフト(Photo scan: Agisoft 社) を用いて,位置と高さの情報を持った点群データを生成した.得られた点群データを 20cm



図 4.3.2 越流による堤体侵食が確認された調査地点 (a) 都幾川 6.6km 付近,(b) 都幾川 8.0km 付近,(c) 新江川 0.4km 付近 (図中の白丸は痕跡水位データ取得箇所を示す)

四方のグリッドで平均化することで越流後の標高分布を取得した.なお,画像解像度は今回 設定したグリッドサイズで十分平均化されるよう, 2.3cm/pixel とした. また, 越流前の地表 標高は 2014 年に取得された LP データを元に,同様のグリッドサイズで平均化を施した. これらより、各調査地点の侵食深分布を取得した.

4.3.3 越流侵食実験方法

長さ 18m, 幅 2.7m, 高さ 0.9m の水路に図 4.3.3 に示すようなスケールの堤防モデルを設 置した移動床実験を実施した.実験では,まず,長さ 3.1m,厚さ 0.2m で基盤層を作成し, その上に,同様の材料で表,裏勾配 1/2,長さ 2.12m,高さ 0.5m の堤防モデルを粘土(荒木 田土)で締固め度約90%になるように設置した.その後,裏法面および裏法尻以降に細粒分 質礫質砂を敷き, ハンドタンパーを用いて 10cm 層厚ごとに転圧し, 締固め度約 70%として 一様な厚さ(20cm)で設置した. 今回使用した細粒分礫質砂は, 礫分 21%, 砂分 52%, シルト・ 粘土分で構成される細粒分が 26.2%であり、平均粒径、最大粒径がそれぞれ 0.65mm、19mm の材料である.なお、締固めが不均質となると土壌材料の移動限界が変化するふため、全ケ ースにおいて、締固め後に裏法面上の水路中央で流下方向に3点と、裏法尻(水路横断方向 中央)の1点,計4点でコアサンプリングし,締固め度を計測した.全サンプリングで多少 ばらつきはあるものの, 65.9 – 71.4%であったことから, 場所による締固め度の差は小さい ものとした.また、粘土・シルトといった細粒分を含む土質材料の場合、含水比も侵食限界 に影響を与えるの. 全サンプリングで 28.4 - 31.3%であったことから, 含水比の影響も小さ いものと判断した. 上記事前準備を経て, 細粒分礫質砂の部分で越流による侵食を発生させ た.

図 4.3.3 に示す天端モデル設置箇所には、異なる波長を有するサインカーブ状の凹凸モ デルを設置した. 凹凸モデルは3D プリンター(X-MAX: QIDI 社)により再現し, 材料には ABS 樹脂を用いた. 凹凸の波長は,表4.3.1 に示すように 20cm, 40cm, 80cm の3 ケース に、水平なケースも加えた 4 ケース(Case1-4)を実施し、振幅は 1.0cm と一定値とした.ま た, 越流水深は水平ケースで 2.5cm となるよう流量を調整し, 他のケースにおいても同一流 量で実施した.また,より大きなんを対象とするため,Case4のん以外のパラメータを 1/2 スケールで縮小したケース(Case5-6)も合わせて実施した. 越流時間は, Case4 を対象とした 予備実験により、侵食深が設置した細粒分質礫質砂内で収まる時間を把握したうえで、全て の実験において2分間とし、通水を止めたあと地盤高を測定した.測定区間は裏法尻より上



表 4.3.1 実験ケース一覧

(cm)

2.5

2.5

2.5

2.5

0.8

1.25

流方向 50cm, 下流方向 20cm の計 70cm 区間とし, 横断方向に関しては, 左右岸側壁から 35cm を除いた中心 2.0m の範囲の地盤高を測定した. 測定には 2D レーザ変位計(LJ-V700: KEYENCE 社)を用い, 横断方向 0.4mm, 流下方向 5cm 間隔で計測した. 得られた地盤高は 横断方向に 3cm で平均化し, 横断方向に 3cm, 流下方向に 5cm のグリッドを生成し, 地盤 高分布を取得した. なお, 実験前に上記と同様の方法であらかじめ取得した初期地盤高から, 実験後の地盤高を差し引くことで, 侵食深分布を把握した. また, 本研究では法尻から発達 し, 地表流の顕著な集中が確認できる 1cm 以上の侵食深が見られたものをガリーと判断し, 各ケースで生じたガリー侵食の深さ(*S*_d), 各ガリーの形成間隔(*I*)を計測した.

4.3.4 現地調査結果

図 4.3.4 に各調査地点で得られた侵食深分布を,表4.3.2 に各調査地点の凹凸特性とガ リー侵食特性を示す.ここでは,明瞭に周期的なガリー侵食が確認できた3 地点の結果を示 す.図の赤点線は天端位置を,縦軸の堤防横断方向距離(裏法面に沿う方向)が0 は裏法尻で ある.また,*S*_dが正の値が侵食を意味している.示した3 地点の中で最も侵食を受けた地点 は,都幾川 6.6km 上流地点であった.表4.3.2 に示すように,この地点は他の地点に比べ若 干越流水深が高いことが原因だと考えられる.また,ガリー侵食痕の間隔を見ると,図 4.3.4(c)の新江川地点で他の2 地点と比較して細かい周期で侵食痕が形成していることが わかる.表4.3.2 をみると,この地点は凹凸波長が比較的短い傾向にある.こうした凹凸波 長や越流水深の違いが,ガリー侵食深やガリー間隔の変化を説明可能かどうか,4.3.5 にお いて,室内模型実験で得られる結果と比較する.



(a) 都幾川 6.6km 中流地点,(b) 都幾川 6.6km 上流地点,(c) 新江川 0.4km 地点 (図中の赤点線は天端を,堤防横断方向距離 0m が法尻を示す)

No.	堤防高 <i>E</i> _H (m)	凹凸波長 λ (m)	凹凸振幅 <i>a</i> (m)	越流水深 <i>h</i> (m)	平均ガリー 侵食深 <i>ds</i> (m)	平均ガリー 間隔 <i>1</i> (m)	無次元ガリー 侵食深 <i>ds / E_H</i> (-)	無次元ガリー 間隔 <i>1/λ</i> (-)
Site 1 (都幾川6.6km上流)	2.8	8.3	0.018	0.190	0.67	4.17	0.24	0.50
Site 2 (都幾川6.6km中流)	2.8	8.0	0.027	0.147	0.33	3.75	0.12	0.47
Site 3 (都幾川6.6km下流)	2.8	7.7	0.017	0.154	0.59	2.69	0.21	0.35
Site 4 (都幾川8.0km)	2.0	5.4	0.024	0.131	0.34	1.66	0.17	0.31
Site 5 (新江川0.4km)	3.0	5.6	0.039	0.179	0.59	2.41	0.20	0.43

表 4.3.2 各現地調査地点の凹凸特性およびガリー侵食特性

4.3.5. 実験結果

図 4.3.5 に各ケースの越流後における裏法面の侵食状況と,計測範囲の侵食深分布を示 す. 侵食深は越流前の地盤高と越流後の地盤高の差分を表したものであり,負の値が侵食し ていることを意味する.まず,ガリー侵食の形成状況を確認すると,Casel(水平), Case2(λ =20cm),Case3(λ =40cm)では5-6 個の侵食痕が確認でき,凹凸波長で形成状況は大き く変化していないことがわかる.その一方で,Case4(λ =80cm)では,3 個の大きな侵食痕が確 認でき,他のケースよりガリー侵食痕が少ないことがわかる.また,各ケースの侵食深コン ターについて注目すると,天端凹凸がない水平のケース(Case1)が最も低く,凹凸波長の増加 に伴って,侵食深が大きくなっていることがわかる.

この侵食深コンターから,各ケースの平均ガリー侵食深 *S*_d,ガリー間隔 *l* を求めた結果を 図 4.3.6 に示す.なお,本研究では,横断方向 3cm 毎に侵食深が最も大きい値を求め,そ れを個々のガリー侵食ごとに平均化し,さらにその値を各ケースで平均した値を平均ガリ ー侵食深 *S*_d としている.平均ガリー間隔 *l* についても同様に平均化して求めた.また,各ケ ースの標準偏差をエラーバーで示す.

図 4.3.6(a) の λ と S_d の関係についてみると、凹凸波長が大きくなるにつれて、S_d も大き くなっていることがわかる.同図には著者らの既往研究 4の結果も合わせて示しているが、 越流水深が本研究のほうが大きいため S_d の値自体は大きいものの、凹凸波長の増加ととも に、S_dが大きくなるという同様の傾向が確認された.この原因として、凹凸波長が大きい程、 凹凸の最下部(谷)の部分に流れが集中しやすくなるためと考えられる.

図4.3.6(b)のλとガリー間隔1についてみると,越流水深が小さなケース4では,波長が 増加するにつれて,緩やかではあるが,ガリー間隔も減少している.一方,越流水深が大き な本研究のケースでは,波長が増加するにつれ,特にλ=40cmより大きくなると,1が大き くなることが確認できる.その原因として,天端凹凸の頂部とガリー侵食の位置関係が関連 していると考えられる.特に1が大きくなった Case3(λ=40cm)や Case4(λ=80cm)では,本研究 のように相対水深(h/E_H)を増加させることで,天端凹凸の粗度としての効果が弱まり,凹部 の最下点(谷)付近にガリー侵食箇所が集中したと考えられる.以上のことから,凹凸波長が 大きな条件下で相対水深が増大した場合,侵食量の観点からは堤体欠損は大きくなるもの の,ガリー同士の間隔は広がることから,ガリー同士が結合することでより大規模な侵食を 誘発する可能性は低くなると考えられる.



図 4.3.5 異なる天端凹凸波長 λ における裏法面でのガリー形成状況および侵食深分布 (a) Case1(水平ケース), (b) Case2(λ=20 cm), (c) Case3(λ=40 cm), (d) Case4(λ=80 cm)

(各写真中の赤点線はガリー侵食の形成位置,図中の黒実線は天端凹凸の峰・谷の位置, 黒点線は裏法尻位置を表す)



4.3.6 現地と実験との類似性

室内模型実験より把握した天端凹凸波長がガリー侵食に及ぼす影響が,実現象でも同様の傾向となるかを確認する.両者の比較のため,無次元波長 λ/E_Hと無次元侵食深 S_d/H(S_d は 侵食深),無次元ガリー間隔 I/A を用い,図4.3.7 にそれらの関係を整理した図を示す.なお,本図には,縮尺を小さくすることで長波長を表現した Case 5 および Case 6 の実験結果 (λ/E_H=3.3 の 2 つのプロット)も追加している.まず,図4.3.7 (a) について室内模型実験の結果から得られる傾向を見ると,無次元ガリー侵食深 S_d/E_Hは,無次元凹凸波長 λ/E_Hの増加とともに上昇し, λ/E_H=1.6 付近でピークを迎え,それ以降は減少していることがわかる.無次元越流水深 h/E_H で値は変化するものの,どちらも同じ傾向が確認できる.また,天端が水 平(λ/E_H=0)の時の S_d/E_H とピーク時の値を比較すると,無次元越流水深 h/E_Hが 0.05, 0.032 の 場合それぞれ 2.6 倍,3.3 倍となっている.これらのことより,越流規模が同等でも堤防天端の凹凸波長によっては,侵食が進行しやすい危険な条件があることが示唆される.また,実際に現地で把握した各地点のデータ(表4.3.2)をプロットしてみると,都幾川 6.6km 上流地点でやや大きな S_d/E_Hを示すなど,やや室内模型実験から得られた傾向から外れている点も見受けられるものの,概ね同様な範囲にプロットされていることがわかる.

一方,図4.3.7(b)について室内模型実験の結果から得られる傾向を見ると,無次元ガリ ー間隔 *l*A は,無次元凹凸波長 *λ/E_H*の増加とともに減少し,*λ/E_H*=1.6 付近でピークを迎え, それ以降は再び増加していることがわかる.ガリー間隔に関しても無次元越流水深 *h/E_H* で 値は変化するものの,どちらも同じ傾向が確認できる.また,同図より,凹凸波長よりも短 い間隔でガリー侵食が生じる条件(*l*/λ<1)は,*λ/E_Hが概ね*0.8 以上であり,本実験条件の範囲 では,*λ/E_H*が1.6 のとき,*l*A が最小で0.3 程度となることがわかる.このことから,ガリー 間隔の観点からも,ガリー同士が結合しやすく,大きな侵食を伴う危険な状態となる凹凸波 長の条件があることがわかる.また,実際に現地で把握した各地点のデータ(表 4.2.2)をプ ロットすると,新江川地点以外は室内模型実験結果と比較してやや小さな *l*A を示している ものの,概ね同様な範囲にプロットされていることが確認できた.



4.3.7 おわりに

本研究では、堤防天端の縦断的な凹凸が裏法面での侵食現象に与える影響を、水理模型実 験により検討するとともに、令和元年台風 19 号で越流侵食が生じた荒川支川の複数地点を 対象に現地調査を実施した.得られた結論を以下に示す.

①実験より、無次元ガリー侵食深(S_d / E_H)については、同じ無次元越流水深(h/E_H)の条件下において、無次元波長(λ/E_H)の変化に対して上に凸の傾向がみられ、λ/E_Hが1.6 程度でS_d / E_Hが最大となることが分かった.一方、無次元ガリー間隔(l / λ)は、λ/E_Hの変化に対して、下に凸の傾向がみられ、λ/E_Hが1.6 程度でl/λが最小となることが分かった.これらのことから、越流規模が同程度でも、裏法面での侵食傾向が強まる(侵食量が大きく、ガリー同士の間隔も狭い)天端凹凸波長が存在することが明らかとなった.

②台風 19 号でガリー侵食が確認された複数地点で得られた越流水深,天端凹凸波長,侵食 規模のデータより,室内模型実験と類似した現象の有無が確認できるか検討した.その 結果, λ/E_Hが小さい領域(λ/E_Hが 1.6 以下)については実堤防の侵食に関するデータが得ら れず比較ができなかったものの, λ/E_Hが 1.6-3.3 の範囲については,概ね実験と同様の傾向 となることを確認できた.

本検討では、天端凹凸の振幅の影響、ガリー侵食の特性を整理する力学的な無次元指標に ついては室内模型実験データの不足により議論することができなかった.数値解析の実施 により詳細な検討が必要であり、今後の課題である.

(八木澤 順治)

参考文献

- 1)八木澤順治,田中規夫:2015年9月関東・東北豪雨において生じた堤防法面上のガリー侵 食量と越流規模との関係,土木学会年次学術講演会講演概要,Vol.71, II-048, 2016.
- 2)泉典洋, Gary Parker:斜面下流端から発生する水路群について,土木学会論文集 No. 521/II-32, 79-91, 1995.
- 3)末永博, 八木澤順治:河川堤防における不等沈下の発生状況調査, 第45回土木学会関東 支部技術研究発表会, Vol.44, 2018.
- 4)飯塚大和,八木澤順治:堤防天端の縦断的な波長が裏法面のガリー侵食に与える影響,第 45回土木学会関東支部技術研究発表会,Vol.44,2018.
- 5)Hanson, G.J., Hunt, S.L.: Lessons learned using laboratory JET method to measure soil erodibility of compacted soils, *Applied Engineering in Agriculture* 23(3), 305-312, 2007.
- 6)Knapen, A., Poesen, J., Govers, G. Gyssels, Nachtergaele, J. : Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review, *Earth-Science Reviews*, 80, 75-109, 2007.

第5章 関東地方の被災状況を踏まえた今後の提言

~「河川は氾濫するもの」として捉える流域治水~

(氾濫リスクの認知度向上)

氾濫した河川の報道に隠れて,利根川本川をはじめいくつかの越水寸前だった河川が注 目されていない.しかし,これらはいつ大規模な被害発生に転じてもおかしくない河道状況 であった.その状況を明示し,地域住民にも発信しておく必要がある.その上でもしも護岸 損壊等が生じた後も洪水が継続していた場合,どのような被害が生じていたのかを予測・公 表し,河川周辺の市街地が有している大規模水害のリスクを認知させることが肝要となる.

(流域全体での水の貯留)

完全に河道内に流水を押し込めるのは困難であり、上下流バランスも考えた上で、遊水 させる区域を考えておくべきである。そのためにも、霞堤、二線堤の効果的な保全、再生、 強化、及び堤内地の水害防備林の機能と保全については今一度検討しておかなければなら ない.水門・排水機場などの合流点処理がされている箇所においても、本川側で高い水位 が継続した場合に本川への運転調整などが適切に行えるよう、調整中の流出量を貯留可能 な遊水地を合流点に整備するなど、より高度化した貯留対策が望まれる。また、内水氾濫 流が1カ所に集中しないように流域全体で貯留できるような堤内地の対策も必要である。

(中小支川の整備とその影響緩和)

地方都市などの重要拠点を防御するためには、下流側からの河川改修の完了を待たずに 当該箇所の流下能力の増大を図るとともに、その下流側に遊水地等を配置して下流側への 負担を軽減する等の工夫が有効である。そのためには、河川改修の進捗が氾濫形態に及ぼ す影響と浸水リスクの変化について解析しておく必要がある。なお、無数にある地方中小 河川において、植生が繁茂し土砂堆積が進行している場所も多く、これらの機能評価に基 づく管理方策の検討に加え、中小河川の維持管理の優先度の策定も求められる。

(都市計画との整合性)

流域治水を考える上で,河川計画,水防計画,下水道計画と都市計画の連携は不可欠である.特に,氾濫水の貯留が想定される場所に関しては,その土地の所有者や営農者との事前の合意形成が必要となる.また,道路は氾濫水の誘導・抑止に大きな影響を及ぼすため,こうした道路計画との整合性についても確認しておく必要がある.

(橋梁のリスク評価とその対策)

橋梁は流水,流木を阻害し,近隣の氾濫リスクを増加させる.そのため,既存橋梁の設置 状況に加え,今後の橋梁設置計画,および橋梁周辺の土地利用計画に基づく潜在的な橋梁設 置可能性を踏まえ、そのリスクを検討しておく必要がある.その上で、土地利用計画へのフィードバックができるシステムが求められる.なお橋梁部における流木の捕捉のされ方の 違いは、河積阻害状況の違いにつながり、その地点で氾濫が生じるか否かに関わる.このため、流木の捕捉形態についてもさらなる検討が必要である.

(堤防整備においてさらに求められると思われる視点)

特に越流の危険性が高い箇所においては、堤防上に形成される凹凸特性が重要であり、この把握が必要である.また、堤外地からのみならず、堤内地からの越流に対しても強い堤防 についても検討すべき場所がある.これらを把握し、より効果的な対応が求められる.さら に、越流の危険性に加え、浸透破壊のリスクが高い箇所を特定し強化する対策も検討しなけ ればならない.

第6章 おわりに

本報告は、令和元年東日本台風(台風19号)に際して結成された、土木学会水工学委員 会「令和元年台風19号豪雨災害調査団」のうち、関東地区での調査の報告書として、氾濫 状況、被災状況を速報的にまとめたものである.当該台風においては、関東地方のみに留ま らず、東北地方及び中部・北陸地方においても、信濃川や阿武隈川をはじめとする主要河川 において破堤氾濫が発生し、甚大な被害がもたらされている.その災害調査結果については、 それぞれ中部地区、東北地区調査団の報告としてまとめられているので、本報告と併せてご 参照いただきたい.

東日本台風で大きな被害を受けた7つの水系において,緊急治水対策プロジェクトが開始されており,今般の水害の被災地の治水安全度が向上することが期待される.加えて,本 災害の直後に政府内で策定された「既存ダムの洪水調節機能の強化に向けた基本方針」に基 づき,事前放流による利水容量の洪水調節への活用によって,治水安全度の向上が進むこと も,今後の期待としたい.

本報告をまとめるにあたって,国土交通省関東地方整備局及び各事務所(荒川上流河川事 務所,常陸河川国道事務所),及び茨城県,栃木県,埼玉県の担当部局より,データ・情報 を提供いただきました.また,群馬大学4年生・藤井裕己君(現・東京都庁)および瀧野広 幸君(現・JR東日本)をはじめとする,多くの方々のご協力を得ました.ここに記して,謝 意を表します.

(浅沼順)

第 田 編 中部・北陸地区調査団

第1章 千曲川流域と今次災害の概要

1.1 令和元年台風 19 号豪雨災害の被害概況

台風 19 号の接近にともない,2019(令和元)年10月10日から13日にかけて東日本を 中心に大雨となった.図1.1.1に台風 19号の進路を示す.10月6日3時に南鳥島の南海 上で発生し,西に進んだ後,東経140度線付近で北に進路を変えた.その後は北北西から 北北東に比較的遅い速度で進み12日には本州の南岸に到達した.本州の南海上で北北東 に進路を変え,12日19時前に伊豆半島に上陸した.その後,関東地方の平野部を縦断し て13日未明には福島県沖の太平洋上に抜け,宮城県〜岩手県の沖を北東に進んだ後,13 日12時には温帯低気圧に変わった¹⁾.この大雨による被害は,日本全国で死者104名,全 壊家屋 3308棟であった²⁾.

中部・北陸地区では、千曲川沿いを中心に大きな被害を受けた.特に、千曲川上流部での降雨が激しく、降り始めからの24時間雨量は北相木村で411.5mm、軽井沢町で332.5mmを記録³⁾し、長野県内では12日20時45分、42市町村に対して大雨特別警報が発令された.千曲川流域では12日20時35分から13日3時25分にかけて氾濫情報(警戒レベル5相当)が8回発表され⁴⁾、長野市穂保地先で千曲川本川堤防が決壊したほか、飯山市皿川や佐久市滑津川などの支川でも堤防決壊が発生するなど、東北信地域に甚大な被害をもたらした.本川堤防決壊地点の約5km下流にある立ヶ花水位・流量観測所の最高水位は、1950(昭和25)年の観測開始以降で最大であった1983(昭和58)年洪水時の11.13m(参考:計画高水位は10.75m.)を大きく上回る12.44mを記録した⁵⁾.

表1.1.1に、長野県内における市町村別の人的被害を示す.長野県内では、橋の陥没や 氾濫に巻き込まれたことによる死者が5名(長野市:2名,佐久市:2名,東御市:1名), 重軽傷者は150名であった⁹.表1.1.2に、長野県内における市町村別の住家被害を示す. 全壊920棟の9割以上にあたる872棟は、長野市で発生した⁹.表1.1.3は、2019年度末 時点での長野県内の被害想定額である.総額は275,916百万円であり、そのうち商工業関 係が81,744百万円と最も大きく、次いで土砂堆積や浸水被害を受けた農業関係が66,928百 万円、河川や道路など公共土木施設が66,754百万円となっている⁷⁾.交通の被害も大きく、 路面冠水や路肩崩壊などにより県管理道路103路線148区間や国道18号線1区間、上信 越自動車道2区間で通行止めとなった⁸⁾.鉄道では、長野新幹線車両センターが水没し、 北陸新幹線が一部区間で約2週間運休となったほか、橋梁崩落や冠水などにより、上田電 鉄、しなの鉄道、JR 各線など在来線でも不通となった.電気・水道・ガスなどのライフラ インについては、長野県内で一時的に寸断される事態となり、市民生活に多大なる影響を 与えた.ライフライン被害に関しては、6.2で詳しく述べる.



図 1.1.1 台風 19 号の進路¹⁾

表Ⅰ.Ⅰ.Ⅰ 長野県内の人的被害(死傷右致)	0)
------------------------	---	---

+===++	저는	伝ナプ明		重傷		軽傷							
小山口	96 L	1] 万个明	計	直接	関連	計	直接	関連					
長野市	2	0	8	3	5	92	17	75					
上田市	0	0	1		1	5	1	4					
須坂市	0	0	0			7		7					
中野市	0	0	1		1	0							
飯山市	0	0	1	1		4		4					
佐久市	2	0	0			18	18						
千曲市	0	0	0			5		5					
東御市	1	0	0			1	1						
川上村	0	0	1		1	0							
佐久穂町	0	0	0			2	1	1					
軽井沢町	0	0	0			1	1						
箕輪町	0	0	0			1		1					
坂城町	0	0	2	2		0							
合計	5	0	14	6	8	136	39	97					

		\prec	11124	41	1076	10	866	402	1622	2475	3968	47	27	12	11	11	18	328	27	2	86	2	55	118	36	1	3	10	10	127	190	-	5	107	26	8	11	22863
111	垣	世帯	4380	25	462	4	336	131	622	1028	1677	33	14	5	ю	9	10	142	6	1	37	1	26	41	13	1	1	3	4	50	57	1	1	27	12	4	4	9171
		棟	4070	8	432	4	289	125	566	994	1347	6	14	5	ю	9	10	141	6	1	37	1	26	41	13	1	1	3	4	50	57	1	1	27	12	4	4	8316
		${\leftarrow}$		27				59		1766	1399	2		8	9	6		172				2	55					10	10			1		107				3633
ゴリア	ト「凌水	世帯		20				18		740	771	2		4	2	5		72				1	26					3	4			-		27				1696
	4	棟		3				17		717	523	2		4	2	5		72				1	26					3	4			-		27				1407
		\prec									17																											17
日間	木上浸水	世帯									10																											10
	14	棟									5																											S
		\prec	4341	14	1052	10	284	128	1187	321	1595	45	20	4	5		8	12	21	2	78			111	36	1	3			124	75		5		24	8	5	9519
毕 日十 4 4	一前俱璣	世帯	1641	5	450	4	107	38	454	124	551	31	10	1	1		5	5	7	1	34			39	13	1	1			49	24		1		11	4	2	3614
	-	棟	1684	5	421	4	98	37	393	124	497	7	10	1	1		5	5	7	1	34			39	13	1	1			49	24		1		11	4	2	3479
		\prec	4176		18		579	199	435	339	956		7			2	9	127	9		8			7						3	92				2		9	6968
2117 1714	十璣	世帯	1705		10		228	67	168	146	344		4			1	3	53	2		ю			2						1	28				1		2	2768
		棟	1514		6		190	63	173	136	321		4			1	3	52	2		3			2						1	28				1		2	2505
		\prec	2607		6		3	16		49	1						4	17													23							2726
上下	〔張	世帯	1034		2		1	8		18	1						2	12													5							1083
		棟	872		2		1	8		17	1						2	12													5							920
	市町村	7	長野市	松本市	上田市	岡谷市	須坂市	中野市	飯山市	佐久市	千曲市	東御市	小海町	川上村	南牧村	南相木村	北相木村	佐久穂町	軽井沢町	御代田町	立科町	青木村	長和町	辰野町	箕輪町	飯島町	南箕輪村	麻績村	筑北村	坂城町	小布施町	高山村	木島平村	野沢温泉村	信濃町	飯網町	栄村	合計

表1.1.2 長野県内の住家被害⁶⁾

表 1.1.3 長野県内の被害額 ⁷⁾

Ŕ	疲害の別	発生数	単位	被害額(百万円)				
	<u>⇒</u> ↓			66,928				
	農作物・樹体被害	2,062	ha	1,925				
農業関係	生産施設等	1,219	箇所	8,575				
	農地・農業用施設	10,365	箇所	56,168				
	農業集落排水施設等	12	箇所	260				
		1,818	箇所	4,685				
林業関係	治山	88	箇所	2,310				
	林道	1,730	箇所	2,375				
		1,266	箇所	66,754				
<u> </u>	河川	806	箇所	51,477				
公共工不旭設	砂防	44	箇所	2,082				
	道路	416	箇所	13,225				
	al-	75		40,433				
都市施設	下水道	55	箇所	38,138				
	公園	20	20 箇所					
萨	工業関係	925	件	81,744				
4	学校施設	171	校	4,388				
学校以外	へ の 教育施設等	83	施設	2,245				
社会	会福祉施設	133	施設	5,327				
	医療施設	18	施設	1,421				
	自然公園	23	箇所	42				
	上水道	9	事業体	545				
浄化槽((市町村設置型)	5	基	2				
廃棄	物処理施設	8	箇所	80				
	公営住宅	1,027	戸	1,264				
警察施	設等県有施設	41	箇所	149				
	波害総額			275,916				

(吉谷純一,豊田政史)

1.2 千曲川流域における過去の主な洪水

千曲川流域における過去の主な洪水を表1.2.1 に示す^{9,10}.

歴史上特記すべき洪水として、「戌の満水」と呼ばれる 1742(寛保 2)年の洪水が挙げら れる.千曲川流域での死者は 2800人前後であり、田畑の被害も大きく、松代藩の財政は困 窮し、その影響は明治まで続いたと言われている.これは、千曲川史上記録に残る最大洪 水として知られている.1847(弘化 4)年の善光寺地震にともなう洪水は、地震による土 砂崩れで犀川がせき止められて発生した天然ダムが、地震の 19日後に崩壊した.高さ 20m にも達する段波となり、下流の善光寺平のほぼ全域に氾濫し¹¹⁾、甚大な被害をもたらした. 地震直後より高台への避難が行われていたので浸水区域の大きさの割に被害は小さく、松 代藩預かり領で、水死者 23人、流失などの家屋 195 戸であった.

戦後の主な洪水としては、台風が長野県内を縦断し日本海側へ抜けた1959(昭和34)年 8月洪水,台風が千曲川流域の東側から東北・北海道地方へと北上した1982(昭和57)年 9 月洪水, 秋雨前線の影響に加えて日本列島の南側を通過する典型的な雨台風によって発 生した 1983 (昭和 58) 年 9 月洪水が挙げられる 12). 昭和 34 年 8 月洪水では、千曲川上流 域で 227.4mm, 犀川上流域で 160.8mm の総雨量による大きな出水のピークが重なり合流 し、大流量となった. ほとんどの箇所で当時の計画高水位を超過し、死者 65人, 全壊家屋 1.391 戸をはじめとする甚大な被害であった.昭和 57 年 9 月洪水では、長野県下全域に大 雨が降った.千曲川上流では大きな出水となったが、犀川では総雨量は比較的大きいもの の、フラットな洪水波形でピーク流量は小さいケースであった。本川堤防決壊には至らな かったが、飯山市にある支川樽川が堤防決壊した.死者2人、全壊家屋3戸をはじめとす る被害であった.昭和58年9月洪水では、雨量が、犀川上流域で250mm、千曲川上流域 で 200mm を超えた. 出水ピークが犀川と千曲川でほぼ重なったことにより, 合流後の飯 山市で本川堤防が3か所で決壊した.死者9人、全壊家屋53戸をはじめとする被害であ った. 平成に入ってからは、立ヶ花水位観測所で高い水位を記録した 2004 (平成 16) 年 10 月洪水(今次洪水を除いて,観測史上5位)と2006(平成18)年7月洪水(今次洪水を除 いて、観測史上2位)が発生したが、死者なし、被災家屋数も上述した昭和の3つの洪水 と比べるとかなり少なかった.

表 1. 2.1 千曲川流域における過去の主な洪水^{9),10)}

年	洪水名	被害概要
1742	戌の満水 (寛保2年洪水)	被害の状況から,台風が大阪付近に上陸,北上し中部関東を通り, 三陸沖から太平洋に抜けたといわれている.このときに秋雨前線の 活動に刺激を与えたという説がある.千曲川流域で死者2,800人前 後.千曲川史上最大の洪水.
1847	善光寺地震洪水 (弘化4年洪水)	戌の満水と並んで、江戸時代におけるもう1つの大水害. 地震による土砂崩れで犀川がせき止められ、その19日後に崩壊し、 善光寺平に甚大な被害をもたらした. 松代藩預かり領で死者23人, 流失家屋195戸.
1959	昭和34年8月洪水	台風7号の進行方向右側(危険半円)にあたった千曲川流域では, ほとんどの箇所で計画高水位を超過し,最大瞬間風速が35m/s以上 に達し,大雨による災害に加え暴風による被害も大きかった.長野 県内で,死者65人,全壊家屋1,391戸,半壊家屋4,091戸,床上浸水 家屋4,238戸,床下浸水家屋10,959戸.
1982	昭和57年8月洪水	梅雨前線の停滞に加えて、台風10号の接近にともない、前線が活発化し、豪雨となった、長野県内で、死者4人、全壊流失家屋23戸、半壊家屋44戸、床上浸水家屋80戸、床下浸水家屋1,384戸.
1982	昭和57年9月洪水	列島を縦断した台風18号によって、支川樽川における破堤氾濫、各 支川における内水氾濫、護岸、根固の流失等大きな被害をもたらし た.長野県内で、死者2人、全壊家屋3戸、半壊家屋13戸、床上浸水 家屋2,022戸、床下浸水家屋3,214戸.
1983	昭和58年9月洪水	秋雨前線および台風10号にともなう出水で、立ヶ花観測所で既往最 高水位(11.13m)を記録する大出水となり、飯山市柏尾橋上流の両岸 堤防が3か所で決壊.長野県内で,死者9人,全壊家屋53戸,半壊家 屋92戸,床上浸水家屋3,906戸,床下浸水家屋6,975戸.
2004	平成16年10月洪水	秋雨前線および関西地方に甚大な被害をもたらした台風23号により,立ヶ花観測所では観測史上5番目となる水位(10.32m)を記録した.長野県内で,全壊家屋1戸,半壊家屋2戸,床上浸水家屋40戸,床下浸水家屋630戸.
2006	平成18年7月洪水	梅雨前線の停滞にともない、立ヶ花観測所では、計画高水位に匹敵 する観測史上第2番目となる水位(10.68m)を記録した.長野県内 で、床上浸水家屋4戸、床下浸水家屋50戸.

(吉谷純一,豊田政史)

参考文献

気象庁ホームページ:令和元年台風第19 号とそれに伴う大雨などの特徴・要因について(速報),

https://www.jma.go.jp/jma/press/1910/24a/20191024 mechanism.html (2020.05.15 確認)

- 内閣府ホームページ:令和元年台風第19号に係る被害状況等について(令和2年4月 10日9:00現在),
 - http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_45.pdf (2020.04.12 確認)
- 毎日新聞:台風19号 長野で千曲川決壊, https://mainichi.jp/articles/20191014/ddl/k20/040/011000c(2020.04.11確認)
- 4) 長野県ホームページ: 令和元年東日本台風(台風第 19 号)への対応について ~災害 対策本部員会議資料 第5回(1)~,
 https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/dai5-1.pdf(2020.04.11 確認)
- 5) 国土交通省北陸地方整備局:千曲川堤防調査委員会第2回資料, https://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-02.pdf(2020.05.17確認)
- 6) 長野県ホームページ:令和元年東日本台風(台風第19号)への対応について ~人的 被害・住宅被害等の状況~(2020.03.23 現在), https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/200323zintekizyuukahigai.pdf(2020.04.11 確 認)
- 7) 長野県ホームページ: 令和元年東日本台風(台風第19号)への対応について ~令和元年東日本台風(台風第19号)に関する被害額について~(2020.03.23 現在), https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/200323hjgaigaku.pdf(2020.04.11 確認)
- 8) 長野県ホームページ: 令和元年東日本台風(台風第 19 号)への対応について ~災害 対策本部員会議資料 第5回(3)~,
 https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/dai5-3.pdf(2020.04.11 確認)
- 9) 国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所ホームページ:洪水の歴史, http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/shiru/kouzui/kiou/index.html (2020.04.11 確認)
- 10) 建設省北陸地方整備局千曲川工事事務所:千曲川・犀川 洪水の歴史, 125p, 1990.
- 11) いさぼうネット:歴史的大規模土砂災害地点を歩く〜コラム 21:善光寺地震(1847) による犀川の岩倉山天然ダム〜,

https://isabou.net/knowhow/colum-rekishi/colum21.asp (2020.04.12 確認)

12) 国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所:千曲川・犀川の気象, 37p, 2002.

第2章 千曲川流域の気象・水文・氾濫

2.1 **気象**·水文学的特徵

令和元年東日本台風(令和元年台風第19号(ハギビス))は2019年(令和元)年10月6 日に発生,10月12日に日本に上陸し,関東地方や甲信地方,東北地方などで大規模な水 災害をもたらした台風である.1977年(昭和52)年9月の沖永良部台風以来,42年ぶり に気象庁が命名したことからも,被害の甚大さがうかがえる.本稿では,千曲川流域にお ける気象学的特徴について報告する.

本稿では、次の3つの降水量データを利用した.1)気象庁、国土交通省、長野県(10月 12日と13日のみ)の地上雨量データ、2)XRAINデータ(XバンドMPレーダ雨量計デー タ&CバンドMPレーダ雨量計[250mメッシュ,配信間隔1分])、3)全国合成レーダGPV (気象庁Cバンドレーダ[1kmメッシュ,配信間隔10分]).それぞれ特徴が異なるため、 本稿では全て併記することとした.なお、千曲川流域周辺に位置する岐阜県、富山県、新 潟県、群馬県、埼玉県、山梨県内の気象庁の地上雨量データも加え、Kriging法を用いて内 挿補完した.

図 2.1.1 は中部から関東にかけての 2019 年 10 月 11~14 日の XRAIN の積算雨量である.静岡県沿岸から北東方向に帯状に降水量が多かった地域が続いている.また,伊豆半島山間部から箱根の山間部で降水量が極めて多かったことがわかる.この強雨の帯状の一部が,千曲川流域の上流部にかかっていた.

図 2.1.2 は 10 月 11~13 日における地上 3 日間雨量データを上述のように解析した分布 である。特に千曲川本川上流域と中流域の山側で 401~650mm の極めて強い降雨となって いた.

図2.1.3は期間中最も強雨であった10月12日の流域雨量について上述した3つの降雨 量データを比較した.降水レーダデータには、国土地理院の50mメッシュ標高データを背 景とした.3つの降雨分布は似ているものの、流域東側の山沿いの降雨量は、地上雨量計 と気象庁 C バンドレーダは同じ程度に対して、XRAIN は両者と比較すると少ない傾向に ある.いずれにしても、上流域の東側で強雨が観測された.一方、XRAIN では流域西側に 局所的に1500~1600mmの降水量が観測されている.

図 2.1.4 は 2019 年 10 月 11~13 日の 3 つの降水量データによる流域時間雨量の時間変 化である.同図には立ヶ花における計画降雨量 186mm/2 日(付録 A 参照)を示している (参考までに,想定最大降雨量は 396mm/2 日(付録 B 参照)である).3 つの降水量デー タによる 2 日間流域雨量を比較すると,大きい値から地上雨量計 194.1mm,気象庁 C バン ドレーダ 184.5mm, XRAIN170.7mm であった.また,10 月 12 日 14 時~17 時にかけての 降水量のピーク時では,明らかに XRAIN の値が他データより小さい.

3 つの降水量データのいずれも概ね計画降雨量に相当する降雨量であった. さらに, 図

からわかるように、2日間の計画降雨量相当が10月12日の1日で降った.

10年以上の統計期間を持つ気象官署とアメダスにおいて,統計開始以来の極値を更新したのは,日降水量14地点,1時間降水量1地点であった(表2.1.1).特に,これまでの観測史上1位の値から100mm以上更新したのは,大きい順に北相木137.5mm,立科127mm, 鹿教湯125mm, 菅平124mmの4地点である.

一般化極値分布を利用して, 観測開始から 2018 年までのデータで確率分布を求め,本水 害時の降水量の超過確率年を推定した.図2.1.5 は日降水量,2日間降水量,3日間の超過 確率年の地理分布を示す.図中に示す聖高原,菅平,立科,鹿教湯,佐久では日降水量, 2日間降水量ともに超過確率年上位5番目であった.千曲川本川沿いのほとんどの地点で 50年に1度以上の規模であったと推定された.

12日の日降水量において、母数が40年以上ある地点の中で、推定した超過確率年が非常に大きい上位5地点は、聖高原(43,470年)、菅平(6,905年)、立科(4,702年)、鹿教湯(1,010年)、佐久(197年)である.さらに、2日間降水量(11~12日と12~13日)では、

菅平(1,511年と2,001年),聖高原(1,097年と935年),立科(444年と373年),鹿教湯(362年と343年),佐久(144年と129年)であった.このように、2日間で計画された降雨量相当が1日で降ったことが、大規模な水害を引き起こしたことの要因の一つであると考えられる.

図2.1.6 は立ヶ花における年最大2日間流域平均降水量と確率降水量である.ここでは, 一般化極値分布を利用して,統計開始から2019年までのデータで確率分布を求め,本水害 時の降水量の超過確率を推定した.本調査対象洪水の196.8mm は超過確率年68.9年と推 定された.

本稿で示したように現在では少なくとも3種類の降水量データが入手することができる が、手法や観測限界などがあるためいずれか1つに決めずに併記することが望まれる.林 ら²⁾による2017(平成29)年7月九州北部豪雨の解析結果においても、降水レーダ特性に 応じて慎重に利用すべきであることが示されており、本稿における千曲川水害でも同様の 結果が得られた.本対象流域においても、地上雨量計による空間内挿推算値とXRAINで は約20mm/2日の相違があった(2日間の計画降雨量相当が10月12日の1日で降ったこ とを考えると、実質的には約20mm/日に相当).

(手計太一,新井章珣,林義晃)



図 2.1.1 中部から関東にかけての 2019 年 10 月 11~14 日の XRAIN の積算雨量 (黄緑色部分が千曲川流域)



図 2.1.2 2019 年 10 月 11~13 日における地上雨量データによる降雨分布



図 2.1.3 2019 年 10 月 12 日の千曲川流域の降雨分布 (左:地上雨量計,中:XRAIN,右:気象庁 C バンドレーダ)




要素	地点	値	生起日	これまでの		統計開始
				観測	则史上1位	年月
	長野	132.0	10/12	124.5	2004/10/20	1889/1
	野沢温泉	173.5	10/12	140.0	2017/7/1	1976/1
	信濃町	164.5	10/12	148.0	1982/9/12	1976/4
	笠岳	285.0	10/12	232.0	1986/9/3	1979/7
	信州新町	163.5	10/12	153.0	2004/10/20	1976/3
	菅平	270.0	10/12	146.0	1983/9/28	1976/1
口阪水旱	聖高原	242.0	10/12	169.0	2004/10/20	1979/7
口降水重	東御	148.5	10/12	135.0	1983/9/28	1976/3
	鹿教湯	320.0	10/12	195.0	1982/9/12	1976/1
	立科	264.0	10/12	137.0	1999/8/14	1978/11
	佐久	303.5	10/12	205.0	1999/8/14	1976/4
	白樺湖	228.5	10/12	152.0	2006/7/18	2004/9
	北相木	395.5	10/12	258.0	2007/9/6	2004/9
	高遠	200.0	10/12	133.0	2006/7/18	2004/9
1時間降水量	北相木	37.5	10/12	37.5	2010/8/24	2004/9

表 2.1.1 気象官署とアメダスにおいて統計開始以来の極値を更新した地点 1)

※降水量の最小単位は 2008 年 3 月 26 日から 1mmから 0.5mmであるが,本稿では小数点 1 桁に統一して表記した.



図 2.1.5 日降水量,2日間降水量,3日間の超過確率年の地理分布



図 2.1.6 立ヶ花における年最大 2 日間流域平均降水量と確率降水量

2.2 氾濫痕跡調査による越水・溢水氾濫域

図 2.2.1 に浸水範囲,表 2.2.1 に範囲ごとの面積を示す.浸水は 25 か所,面積は計約 27km²であった.浸水は,本川堤防の決壊,本川からの越水・溢水,支川の氾濫,内水のいずれか,または,これらの組合せにより発生したと考えられる.ここに示す浸水箇所は,災害直後に国土交通省が行った大臣管理区間沿いの氾濫痕跡調査対象であり,県管理区間沿いなどの浸水箇所は含まれない.また,浸水面積は,国土交通省調査による浸水域と非浸水域の境界情報を地形図と照らし合わせながら算出した.そのため,本調査団による痕跡浸水位計測を用いた浸水面積と完全には一致しない.

浸水面積は大きい順に、本川破堤氾濫域の長野市穂保地区(⑭:9.66 km²)、本川越水・ 内水氾濫が大きいと推測される長野市篠ノ井地区(⑳:4.44 km²)、飯山市常郷・照里地区 (②,③:2.65 km²)、本川堤防決壊地点対岸の小布施町大島地区および須坂市相之島地区 (⑮,⑯:2.13 km²)である.さらに、霞堤が存在する千曲市新田・杭瀬下地区(㉒,㉒: 1.94 km²)、旧流路が存在する中野市上今井地区(⑪:0.92 km²)や長野市松代地区(⑲: 1.47 km²)が続く.それぞれの浸水域の拡大図を、付録 C に示す.

長野市穂保地区(④)における排水作業を,表2.2.2 (国土交通省資料³⁾),表2.2.3 (長 野県資料⁴⁾)にまとめる.10月12日19:46に浅川樋門を閉鎖し,浅川排水機場のポンプ排 水を始めたが,千曲川水位の上昇にともなって,10月13日0:08にポンプ排水を停止した. 0:55に千曲川堤防からの越水が確認され,6:30に堤防欠損が確認された.9:03に浅川排水 機場のポンプ排水を再開したが,内水位の上昇を受けて,操作員の安全確保のため,9:45 にポンプ排水を停止した.10:23に千曲川から浅川への逆流状態が解消されたため,浅川樋 門を開放した.氾濫域の排水に関しては,12:00には浅川樋門でポンプ車6台による排水 が行われ,17:00ごろより全国各地から派遣されたTEC-FORCE(緊急災害対策派遣隊)が 排水ポンプ車を増備することで排水作業を本格化し,浅川樋門でポンプ車23台による排 水を行い,10月14日18:30には稼働を終了している.また,クリーンピア千曲(下水処理 場)においては,10月15日夕刻からポンプ車による排水が開始され,その作業は少なく とも25日までは継続された.なお,長野市穂保地区(④)(本川破堤氾濫域)の状況につ いては4章で,下水処理場の被害・復旧状況については6.1で,詳しく述べる.

(吉谷純一,豊田政史)



(信州大学大学院 ERNESTO ORLANDO RODRIGUEZ ALAS 作成)

表 2.2.1 浸水範囲ごとの面積

(国土交通省提供資料をもとに,

信州大学大学院 ERNESTO ORLANDO RODRIGUEZ ALAS が算定)

番号	浸水面積(km ²)	番号	浸水面積(km ²)
1	0.1037	13	0.7413
2	0.0561	14	9.6554
3	2.5953	15	0.6267
4	0.1242	16	1.5056
5	0.3432	17	0.1648
6	0.0339	18	0.5834
\bigcirc	0.1653	19	1.4739
8	0.3706	20	4.4351
9	0.0179	21)	0.0004
10	0.4000	22	0.2299
(11)	0.9217	2324	1.9433
(12)	0.4809	25	0.1000
		合計	27.073

表 2.2.2 堤防決壊状況・排水作業の概要(国土交通省資料³⁾をもとに作成)

日付	時刻	内容
10月13日	0:55	越水確認
	5:30	堤防決壊の模様
	6:30	堤防欠損確認
	7:10	協定業者による、堤防決壊箇所の欠口止(ブロック投入)
	12:00	浅川樋門 ポンプ車6台稼働中
	17:00ごろより	全国のTEC-FORCE(緊急災害対策派遣隊)隊員の力を結集 し,排水ポンプ車を増備することで,排水作業本格化.
10月14日	12:00	浅川樋門 ポンプ車23台稼働中
	18:30	浅川樋門 ポンプ車23台稼働終了
10月15日	10:00	国道18号の浸水解消
	15:15	穂保地区 (図2.2.1 ⑭)以外の浸水はすべて解消
	18:00	クリーンピア千曲 ポンプ車6台稼働中 (ポンプ車稼働は, 10月25日まで継続)
10月16日		TEC-FORCEによる浸水地区の路面清掃開始
10月17日		穂保地先堤防決壊場所の仮堤防完成

備考						浅川第一, 第二排水機場 運転再開できず	浅川内水位が上昇し、浅川第三 排水機場浸水の恐れのため		
ポンプ 排水量 (m ³ /s)	0	0	0→51	0	0	14	0	0	0
ゲート 開閉	題→題	围	围	閉	围	围	围	開→開	围
内容	浅川樋門閉鎖開始	浅川樋門閉鎖完了	浅川第一排水機場~浅川第三排水機場 順次運転開始	浅川第一排水機場~浅川第三排水機場 運転停止	浅川樋門(ポンプ排水用)開放開始	浅川樋門(ポンプ排水用)開放完了, 浅川第三排水機場運転開始	浅川第三排水機場運転停止, 操作員退避	千曲川から浅川への逆流状態が解消, 浅川樋門開放開始	浅川樋門開放完了
時刻	19:18	19:46	$\begin{array}{c} 19.46 \\ 21.05 \end{array}$	0:08	8:00	9:03	9:45	10:23	10:45
日付	10月 12日			10月13日					

表 2. 2. 3 浅川関連排水作業の概要(長野県資料 4)をもとに作成)

2.3 合成開口レーダーによる氾濫推定

2.3.1 はじめに

災後短時間で被災地の画像を取得し被災状況の把握や二次災害の危険察知を目的とし て、Lバンド合成開口レーダー「PALSAR-2」を搭載した陸域観測技術衛星2号「だいち2 号」(ALOS-2)が運用されている.合成開口レーダー(SAR)は人工衛星から電磁波を放 出し、地面におけるマイクロ波の後方散乱の強度を計測するもので、気象衛星に代表され る光学画像と異なり夜間や曇天時にも観測が可能である.加えて、PALSAR-2 に搭載され る上バンド帯は長波長で透過性が高く、降雨や雲による減衰に強いため豪雨による河川氾 濫や浸水などの気象災害に対して有力な観測手段である.この節では、だいち2号を運用 する JAXA から提供された PALSAR-2 によるレーダー画像もとに千曲川流域の浸水等の状 況の解析結果を報告する.

2.3.2 PALSAR-2 による発災直後の観測

千曲川流域を対象とした発災直後の PALSAR-2 による観測は,10月13日11時56分開始,および,15日12時37分開始の高分解能モード1(単偏波,観測幅50km,分解能3m)のものがある.これらの観測範囲について図2.3.1に示す.また,表2.3.1に観測条件の概要を示す.衛星進行方向は衛星の南北の移動方向を示し,ディセンディングは南下しながらの観測であることを示す.北上中の観測の場合はアセンディングと表現される.また,観測方向は進行方向を正面として左側にセンサーを振った観測か右側に振った観測かを示す.



図 2.3.1 発災直後の千曲川流域を対象とした高分解能モード1 での観測

シーン ID	観測日時 (JST)	衛星進行 方向	観測方向	オフ ナディア角	偏波
ALOS2290982870-	2019/10/13	ディヤンディング	右側緝測	25.6	нн
191013	11:56	71627129	们以此此识	25.0	1111
ALOS2290982880-	2019/10/13	ディセンデ ハノガ	<i>十</i> ∶/Ⅲ///////////////////////////////////	25.6	υц
191013	11:56	71677179	有則說例	25.0	1111
ALOS2291282830-	2019/10/15	ゴットンゴッング	十月日第日第月	40.7	TTTT
191015	12:37	アイビンアインク	左 []] 睨 阅	42.7	пп
ALOS2291282840-	2019/10/15	ゴットンゴッング	十四年二月	40.7	TTTT
191015	12:37	アイビンアインク	左 []] 睨 阅	42.7	пп

表 2.3.1 発災直後の千曲川流域を対象とした高分解能モード1 での観測

表 2.3.2 解析に利用した発災前に行われた観測

シーン ID	観測日時 (JST)	衛星進行 方向	観測方向	オフ ナディア角	偏波
ALOS2238710760- 181024	2018/10/24 23:01	アセンディング	左側観測	32.4	HH



図 2.3.2 発災前後の千曲市埴生・屋代地区のレーダー画像比較

オフナディア角は衛星の直下と衛星から観測対象中心を覗いた線とがなす角である.本節 ではこの観測のうち,浸水状況をよく反映した13日観測のシーン ALOS2290982870-191013を 対象に解析を行った.当該シーンのレーダー画像プロダクトは処理レベル 2.1 で,解析時 にはスペックルノイズ低減のために Lee filter 処理を付加している.

2.3.3 PALSAR-2 が捉えた千曲川流域の氾濫域

本項では、上記の千曲川流域と対象とした発災後の観測の結果を、表2.3.2 に示す昨年の同シーズンの観測を発災前として比較しながら確認する.この観測は、観測軌道の条件が解析対象の発災後の観測とは異なる.図2.3.2 は霞提からの堤内地への流入があった千曲市埴生・屋代地区の発災前後の状況を示す.図は後方散乱係数(dB値)を示したもので

青色が濃くなるほど散乱係数が小さいことを表す.水面では鏡面反射を起こすため,衛星 に戻ってくる後方散乱成分が少なくなる.つまり散乱が小さい領域は河川,湖沼,圃場な どの水域であるか,内水や外水による浸水域であることも疑われる.発災後のレーダー画 像前後ともに建物が密集していることから散乱係数は全体的に高くなっている.ただし, 画像中央の新田用水・尾米川・伊勢宮川の集中する埴生中学校付近では発災後画像は浸水 によるものと思われる低散乱の箇所が所々みられる.図2.3.3 および図2.3.4 は,それぞ



左: 2018/10/24 の観測

右: 2019/10/13 の観測

図 2.3.3 発災前後の長野市北部地区のレーダー画像比較



図 2.3.4 発災前後の飯山市周辺のレーダー画像比較

れ大規模な浸水となった長野市穂保地区および飯山市周辺の発災前後のレーダー画像比較 を示す.発災後は長野市穂保・赤沼・豊野地区の浸水,飯山市常盤地区での浸水,飯山市 木島地区と隣の木島平村樽川沿いの浸水,中野市蓮地区の浸水と対応した散乱係数の低下 が確認できる.

2.3.4 上田市付近での千曲川の流路変化

本項では、千曲川の砂州地形の応答の一旦として現れた流路変化について、上田市中心 街付近を例にとり解析結果を確認する.発災直後となる13日の観測結果は水位が高く、河 川の堆砂状況等は判読が困難だったが、その次の観測が行われた15日には水位も低下し ていたことから、15日の画像では発災前後での砂州地形の移動・形成および流路の変化が 認められた.明瞭に変化が確認できる上田市中心街付近で行った解析結果について、図 2.3.5 に示す.発災前後で観測諸元が異なり、全体的なレーダーへの後方散乱の状況は異 なるものの、流水部に関しては発災の前後共に低散乱となるため、低散乱部が暗色となる よう強調表示した.発災前は蛇行した流路が観察できる.常田新橋直下では流路は右岸寄 りに存在し、上田駅までの間で凸部の堆砂に沿って蛇行し、上田橋の直下では再び右岸側 に寄っていることが確認できる.一方で発災後は常田新橋直下には中州が発生し、それを 挟んで両側に流路が存在する.発災前に右岸側から見て凸状の流路があった箇所では、左 岸側に土砂が堆積し、流路は両岸のほぼ中央に位置する.落橋の発生した別所線の鉄道橋 直下では流路は左岸側に寄ったことが確認できる.



図 2.3.5 発災前後の上田市中心街のレーダー画像比較

2.3.5 長野市穂保地区の浸水深推定

本項では、レーダー画像の前後比較により浸水範囲を求め、地盤高の情報と照合し浸水 深を推定した結果を示す.図2.3.6 は発災前後画像の加色混合処理を行い、浸水域を判読 した結果を示す.加色混合処理は、それぞれ単バンド画像である発災前後のレーダー画像 をカラー画像の赤色のバンド、および青・緑のバンドに割り当てたものである.発災前後 の画像間で変化のなかった箇所は白色になり、水域化した箇所は散乱係数が非常に低いた め青・緑バンドの値は低く、赤色が卓越する.GIS(地理情報システム)上で穂保地区の長 沼体育館近くの堤防決壊箇所周辺から、水域化した箇所の判読を開始し、千曲川支流の浅 川や鳥居川が流れる豊野地区周辺まで包含した水域を囲ったポリゴンを作成した.その後、 この浸水域ポリゴン辺縁の地盤高データ(DEM)を参照した.



図 2.3.6 浸水域判読

これらはつまり,浸水域境界の地盤高であり,それらの平均値を浸水域ポリゴン内の仮想水面高とした.この仮想水面高と地盤高の差を推定浸水深として求めた.その分布を図 2.3.7 に示す.ここで,図中の〇は当調査団による浸水痕跡調査および山口大学山本晴彦 教授らの浸水痕跡調査の結果を,浸水深分布と同様の浸水深階級で表示したものである.



図 2.3.7 推定浸水深分布



図 2.3.8 実測浸水深と推定浸水深の対応

千曲川から西側に向かうほど地盤高は低くなるため、浸水深が大きくなることが分かる. 実測値も概ねその傾向を表している.特に長野新幹線車両センターのある箇所では浸水深 は4~5m程度であったことが分かる.



図 2.3.9 仮想水面高と実測浸水位の差分

衛星画像から推定した浸水深の定量的な評価を行うために,実測値との比較を行った. 図2.3.8に衛星実測浸水深と推定浸水深の適合性を示す.横軸は衛星画像による推定浸水 深で,縦軸は実測浸水深である.この図面に傾き1:1の二等分線が描かれている.この線 上にデータがプロットされれば両者の数値は一致していることになり精度が良好であるこ とを意味する.この図よりデータは概ね二等分線上に集まってはいるものの,散らばりも 見受けられる.実測値と推定値の平均の相対誤差は24%であり,また平均の誤差値(絶対 値)は40cm程度であった.これは二等分線から離れたところにあるデータが平均の誤差 値を大きくしているものと考えられる.

図2.3.9に実測浸水位から仮想水面高を引いた差を示す.浸水深が2mより大きい箇所 では本解析による推定はよく実測に対応している.浸水が浅い箇所では推定値が実測値に 対して低く見積もられている.これは,図2.3.9から確認できるように,浸水範囲の上流 側や,下流側でも支流浅川の左岸側の一部で仮想水面高が低く見積もられていることが影 響している.これらの誤差の原因として水面の勾配を水平と仮定していることや,場所に より最大痕跡を残した時刻が異なることが挙げられる.

(朝位孝二,白水元)

参考文献

- 1) 気象庁長野管区気象台:https://www.jma-net.go.jp/nagano/(2020.05.17 確認)
- 2) 林義晃,手計太一,橋本彰博,永島健:平成29年7月九州北部豪雨の被災流域における各種レーダデータの面積雨量に関する比較検討,第26回地球環境シンポジウム講演集,pp.15-19,2018.
- 3) 国土交通省ホームページ: 令和元年東日本台風(台風 19 号)による対応 記者発表資料,

http://www.hrr.mlit.go.jp/bosai/index.html (2020.05.17 確認)

 4) 長野県浅川改良事務所資料:令和元年(2019年)10月12日(土)~13日(日) 台風 19号に伴う浅川第三排水機場の洪水警戒堆積及びポンプ稼働の実績.

第3章 洪水流下特性および河道内地形変動

3.1 洪水流下特性

3.1.1 千曲川の河道特性

図3.1.1と図3.1.2に千曲川の平面図と河幅縦断分布を示す. 犀川合流点より上流の河幅は400m~500m程度であるが, 犀川合流点下流部では1,000mを超える. そして, 立ヶ花狭窄部で河幅は120~450m程度にまで減少する. その下流の飯山盆地では再び河幅が拡がり,約950mに達した後, 戸狩狭窄部で150~300m程度に減少する. このように, 千曲川は盆地と狭窄部を交互に流れるため, 河幅の縦断変化が大きい.









3.1.2 観測水位データに基づいた今次洪水の流下特性の実態把握

観測降雨,観測水位に基づいて,洪水の実態把握を行った.なお,以下に示すデータは いずれも暫定値であるため,今後見直される可能性があることに注意されたい.

a) 観測水位ハイドログラフ

図 3.1.3 に千曲川上流に位置する塩名田観測所と生田観測所の降雨ハイエトグラフを, 図 3.1.4 に各水位観測所における水位ハイドログラフを示す. 千曲川の今次洪水では,各 観測所で HWL 程度または HWL を超える高さまで水位が上昇している.洪水継続時間は, 上流の生田観測所と杭瀬下観測所では概ね1日程度であるが,立ヶ花観測所,柏尾橋観測 所では半日程度長くなっており,洪水流下に伴う水位波形の変形が明確に現れている. ま た,生田観測所の降雨ピークと,各観測所の水位ピークとのタイムラグは,生田観測所(108k) で約2時間,杭瀬下観測所(82.4k)で約4時間,立ヶ花観測所(51.5k)で約10時間,柏 尾橋観測所(25.3k)で約13時間であった.



b) 水位縦断分布

図3.1.5に、洪水痕跡水位と堤防高の縦断分布を示す.この図から、今次洪水はほぼ堤防満杯で流下したことが明らかである.痕跡水位を見ると、60~80k では水面勾配は概ね 1/1,000 程度である.一方、立ヶ花狭窄部より上流側の長野盆地部 52~55k では、水面勾配はほぼ水平となっている.これは、立ヶ花狭窄部による背水によるものと推察され、その影響は 58k 付近まで及んでいる.

図 3.1.6 に、立ヶ花狭窄部上流の観測水位、洪水痕跡水位、堤防高の縦断分布を示す. この区間では、左右岸あわせて4箇所で堤防からの越水が生じ、左岸 57.5k 付近では堤防 が決壊した.53.5k と 56.9k には危機管理型水位計が設置されており、ピーク付近の水位が 観測されている.危機管理型水位計による観測水位は、立ヶ花観測所と同様、洪水痕跡水 位と概ね同じ高さを示している.今後精査が必要であるが、危機管理型水位計は、洪水水 面形の時間変化や、流量規模を把握する上でも有益な情報を与えると考えられる.





縦幣距離(k)





<u>c) 千曲川の洪水流下特性を踏まえた今後の避難行動への活用について</u>

洪水は、河川に流入した降雨が下流に向かって伝搬する現象である.このため、通常、 流域に降った雨のピークと、上流と下流の河川水位のピークとの間にはタイムラグが生じ、 流域や河道のスケールが大きくなればその差は大きくなる.a)で示したように、千曲川の 今次洪水では、この傾向が顕著に現れており、降雨が小康状態となってしばらく経った後 に、水位がピークを迎えたこと、また、同じ河川でも洪水流下に伴って水位ピークに数時 間のタイムラグがあったことが確認された.

これらを踏まえると、千曲川沿川地域では、降雨情報に基づいて避難がなされた後、そ のまま避難を継続すべきかどうかの判断等には、多点での水位観測情報が活用されるべき である.これには、従来の水位観測所での水位情報に加えて、2018(平成30)年以降に新 設された危機管理型水位計による観測水位情報が、重要な役割を果たすことが期待される. ただし、計測精度の確保には細心の注意が払われるべきである.また、たとえ密な間隔で なくても、縦断方向に網羅的な計測が出来るように設置間隔を見直し、必要に応じて移設 或いは新設することが望ましい.引き続き信頼できる水位データを縦断的に取得し、地域 の避難行動の判断に活用していくことが重要である.

(田端幸輔, 戸田祐嗣, 冨永晃宏)

3.2 河道特性

3.2.1 千曲川の地形的特徴と砂州基本条件

千曲川は,急峻な山地から多数支川が流れ込む形で山地に囲まれた盆地を流れている. 上田盆地から長野市へ抜ける本川と松本盆地からの犀川が合流し長野盆地を流れ狭窄部を 経由し信濃川となる.図3.2.1は、3~72時間降雨量を更新した地点を示し、棒グラフで おおよその雨量規模を記している.この図に示すように、今回の雨は、松本盆地ではなく 上田盆地側の山地部で多く降り、多くの雨量観測地点で12時間、24時間降雨量を更新し た.このため、支川の犀川の流域より本川側の上野盆地等で多くの被災が確認されている. なお、千曲川は災害経験が多く、今も多数の痕跡が残されている.

図3.2.2に国土交通省北陸地方整備局から提供された資料から河床縦断方向の平均河床 高,堤防高等と確認された被災状況,場所を示す.この図を見ると,勾配によって災害状 況が大きく変化しているのが分かる.特に,急こう配の区間は,護岸の被災が多く起こっ ている一方で、勾配が緩やかな 80km 付近から下流域では護岸の被災ではなく溢水が多く 発生している.参考に,下流部の長野市の破堤現場,中流部の上田市諏訪形地先堤防欠損 地点(以下,堤防欠損地点),上流部の佐久市中込地区の破堤現場を例として,(株)Pascoお よび名城大学准教授藤井幸泰氏から提供を受けた空中写真を図 3.2.3~5 に示す. これら を見ると、勾配が急な上流域と緩やかな下流域では、破堤口とその周辺の状況が大きく異 なっているのが分かる.穂保地区の堤防は高さ 5m 程度であり,破堤口の幅は 70m であっ た.この区間は河道も堤内地も勾配が緩いため大量の水が破堤口から流出し、広域が水没 している. 一方, 佐久市の滑津川の破堤現場は河道も堤内地も勾配が急であり, わずか 10m 弱の川幅であったが,破堤幅は 200m 近く広がり,周辺の堤内地には河川から巨礫の氾濫 が確認された.活発な土砂移動が起こった痕跡はあったが、穂保地区に比べ水深は深くは ない. つまり, 上流域, 下流域では河道内の流れ, 破堤口から出た氾濫流ともに, 水深, 土砂の流れ、流速等の特徴が異なっていたことが容易に予測される.なお、これらのデー タは,名城大学自然災害リスクセンター(NDRR,代表者:名城大学教授 小高猛司氏)の 活動の一環として小高猛司氏,藤井幸泰氏らと共に行った現地踏査時に取得したものであ る.

こうした氾濫が発生した地点の中間にある上田市の堤防欠損地点は、出水流量のピーク 時間帯に河道全体で土砂が活発に動き、川幅全体で砂州が形成されたことにより、流量低 減の際に流れが川岸に集中したことが被災の要因と考えられる現象であった.

ここで、長野市穂保地区周辺と上田市の堤防欠損地点周辺の河道条件について、航空写 真、過去の粒径データ、図3.2.2 などからおおよその値を読み取った概算値を表3.2.1 に 示す.この値を用いて、千曲川の穂保地区および上田市の堤防欠損地点、それぞれの基本 高水流量と整備流量、および今回の出水ピークに近い流量などで砂州の発生状況を確認す ると、図3.2.6 のようになる.この図より、大きな流量であれば上田地区の河道では交互

305

砂州の形成条件に入ることが分かる. なお, 既往の研究によって実験と現地の状況は中規 模河床形態の発生領域区分図¹⁾から説明ができることがわかっている. また, 池田らの経 験式²⁾を用いて各流量で形成される砂州波高を求めると, 図3.2.7となり, 流量がある程 度多くなると, 大きな波高の砂州が形成することがわかる. ただし, 砂州の発達にはある 程度の時間がかかるため, 出水時に各流量に応じた河床形態の変化が起こるわけではなく, これまでの変化の履歴として残っている形状に依存し, 流量にみあった河床形態への変化 が起こると考えらえる.



図 3.2.1 千曲川流域と降雨記録更新地点(気象庁データから整理)



図 3.2.2 千曲川の河床,堤防高等縦断変化と護岸,溢水位置





図 3.2.4 千曲川上田市堤防欠損地点の様子((株) Pasco 提供)



図 3.2.5 千曲川佐久市破堤地点付近の様子(名城大学藤井幸泰(NDRR)提供)

勾配 I代表粒径
d_m(mm)低水路幅B
d
m)穂保地区1/10000.0006500上田地区1/2000.065200

表 3.2.1 各地点河道条件概算值



図 3.2.6 中規模河床形態領域区分図¹⁾と 千曲川の穂保地区および上田地区における発生状況



3.2.2 千曲川上田地区堤防欠損地点周辺のこれまでの変化

2019(令和元)年の台風 19号で堤防欠損し落橋が発生した上田地区では,被災前は樹木 が繁茂し高水敷化した砂州があり,低水路内に小さな砂州が形成された状態であった.し かし,今回の大出水を受け,低水路内の小さな砂州ではなく,高水敷化していた砂州を基 盤とした河床変動が起き,再び動き出したと考えられる.

前項で示した河道条件も踏まえ,高水敷化した砂州の変遷,および周辺のこれまでの動きについて調べるため,国土地理院の航空写真,WEB上のEO-Browserで公開されているSentinel-2の衛星写真,Pasco社から提供された航空写真を整理し,図3.2.8に示す.これによると,1965(昭和40)年に川幅全体で大きな砂州ができており,その砂州の上には植生域が確認される.1975(昭和50),1978(昭和53)年にはそれが拡大し密集した状況であるが,1986(昭和61)年には河道中央にあった砂州上の植生域はほとんど消えたことが確認される.このときの状況が,今回の出水後の堤防欠損地点上流部に類似している.なお,1986年の写真上は一部河岸付近に植生が残っており,それが徐々に拡大し,2001(平成13)年に帯状や大きな塊となっていること,その後の2015(平成27)年は砂州がほとんど植生域で覆われ高水敷化していることが分かる.この際,河床変動している領域は樹林化していない部分に限定されていると考えられ,その領域にあたる低水路部分には小さな砂州が存在し,徐々に動いているのが2015年以降の写真で確認できる.

ただし、このような状況は 2019 年台風 19 号の大出水を受け一変し、少なくとも流路幅 が狭い区間は低水路幅全体が動き再び大きな砂州が存在している.

このような出水時の変化は,河道条件による砂州形成のポテンシャルや過去の履歴で残っている高低差が現象を支配する可能性があり,その点を踏まえ,次節の河床変動解析で検討する.

(溝口敦子)



図 3.2.8a 上田地区堤防欠損地点周辺における砂州の変遷



図 3.2.8b 上田地区堤防欠損地点周辺における砂州の変遷

3.3 流路変動解析

3.3.1 上田市堤防欠損地点における流路変動の状況

台風 19 号に起因する豪雨により、千曲川では大規模出水となり、河道内では流路が大き く変動した.特に、上田市においては、流路変動によって堤防が侵食を受け、上田電鉄鉄 道橋(KP104付近)が落橋するに至った.ここで、図3.3.1に Sentinel2 衛星³⁾から得られ る上田市近傍における洪水前後の正規化差植生指数 NDVI 画像を示す.3.2 でも示したよ うに、千曲川上流は、長年の土砂採取等の影響により澪筋が固定化し、高水敷と低水路の 比高差が大きくなる、いわゆる二極化状態にあり、図3.3.1aに示すように固定化された砂 州上には河畔林が密生した状態にあった⁴⁾.一方、3.2 に記した過去の状態や河道条件を もとに中規模河床形態の発生状況を確認すると、本洪水により、交互砂州に起因した流路 が大きく変動し、高水敷の植生が流出するなど、河道内の状態が大きく変化したことが予 測される.

堤防欠損地点は、出水前は蛇行している低水路の内岸に当たる植生域側に位置し、その 対岸側が水衝部であった.しかし、出水時に起きた砂州や流路の変動によって水衝部の位 置が変化し,堤防を侵食したと考えられる.堤防欠損は 10 月 13 日朝 7 時 35 分ごろに発 生したことが国土交通省北陸地方整備局のライブカメラ映像から分かっている. 図 3.3.2 に示す水位変化にその時間を当てはめて見ると、ピークが過ぎたころに洗堀が発生し、図 3.3.3~4 に示す写真から出水後に現象は徐々に進んでいたことが確認できる.また,10月 23 日の踏査時の写真を確認すると線路付近に残っていた堤防天端の道路部分が消滅して いるため,14 日以降も側方侵食が上流側に進んだ可能性が高い.落橋が水位のピーク後に おきたこと、その際、植生域が消失し新たな砂州が確認されたこと、さらに3.2.2の河道 条件時の領域区分を踏まえると、植生におおわれ陸化していた領域が出水で水位が上がる とともに河床変動領域に取り込まれ、植生繁茂前に明確な砂州域であった河道幅全体での 凹凸、つまり河道幅全体で形成、発達していた砂州形状が基盤となる変化が起きたと考え られる. そのプロセスで, 河岸侵食や流路変動が急速に進行し, 左岸側に深掘れ部が発生 したと推察できる.特に、着目すべきなのは、流量ピーク時にできた大きな砂州を基盤と して流量低減時に形成された流路が、側方侵食を助長し、流量低減してからも徐々に現象 を進めていることである。このように長年固定化、樹林化し固定していた砂州が、出水時 に進行, 拡大, もしくは侵食され, 災害の原因となることは河川管理上大きな問題であり, 河道変化と堤防侵食への影響について分析する必要がある.そこで、本節において、本洪 水イベントに誘発された河床・河道変化を数値計算モデルにより再現し、出水時の流路変 動特性について明らかにすることを試みる.



図 3.3.1 千曲川上田市付近の出水前後の正規化差植生指数. a) 出水前(2019 年 10月10日),およびb) 出水後(2019年10月28日)



図 3.3.2 千曲川各水位観測所における出水時の水位変化



図 3.3.3 10 月 13 日の様子(㈱Pasco 提供)



図 3.3.4 10 月 14 日の様子(北陸地整提供資料より)



図 3.3.5 堤防欠損地点を左岸から望む(10月26日の様子)

3.3.2 数値計算モデルと計算条件

流路変動解析には、河川解析ソフトウェア iRIC に同封されている Nays2DH⁵を用いた. 本モデルは、本研究で対象としているような砂州と流路変動、側岸侵食への適用例が多く、 適切な計算条件、パラメータの設定の下、出水時に見られる流路変動を合理的に表現でき る⁹. 計算モデルの詳細は、文献等^{5,6}を参照いただくこととし、以下に概略を示す.本モ デルでは、流れは一般座標変換された二次元非定常浅水流方程式により計算される.抵抗 則については、マニング則により与え、植生の影響については、別途植生密生度を与えて、 植生抵抗を考慮する.なお、計算上の密生度の具体値は後述する.また、ここでは掃流砂 による河床変動を扱い、浮遊砂の影響は無視する.掃流砂は、全流砂量を芦田・道上式に より求め、横断方向流砂量については、渡邊の式を用いる.二次流の算定については、二 次流強度の発達と減衰を考慮したモデルを用いている.また、河岸侵食を考慮するために、 斜面崩壊角度を設定し、計算上ではこれを超えた角度を持つ斜面を崩落させるものとして いる.なお、ここで対象としている現象では、植生の流失を考慮する必要がある.ここで は簡単のため、初期河床よりも、0.3m河床低下した場合に植生が流出するものとした.

計算範囲は、KP102.5-107.5(およそ図3.3.1に示す区間)としている.初期地形については、砂州等の地上部を2013(平成25)年測量のLPデータより与え、LPデータで欠測している水面下については、2017(平成29)年測量の横断測量データにより与えている.上流端に与える流量については、本計算領域よりも下流に位置する杭瀬下地点における水位観測データを水位-流量曲線により変換した暫定ハイドログラフ(ピーク値5869 m³/s)を用いた.粗度係数については、計画粗度を参考に0.034を計算領域全体に与えている.これは、河床・河道変動により低水路・高水敷の様相が計算中に大きく変化するためである



図 3.3.6 ピーク水位時における計算水位と痕跡水位の比較.水路中心での比較とす るために、痕跡水位は左右岸の観測値を平均したものを用いている.

が,設定値により図3.3.6のように痕跡水位を概ね再現できることを確認している.河床 材料は均一粒径とし,対象区間の50%粒径である64mmを与えた.なお,KP106付近に見 られる露岩部,並びに航空写真から判断できる護岸部については,固定床として扱ってい る.植生密生度については,データがないため,ここでは航空写真から判断される領域に ついて密生度0.01m⁻¹を試行的に与えた.

3.3.3 数値計算結果と考察

図3.3.7に計算された河床・河道変動の時間変化を示す. 図中の計算結果は,流量ハイ ドログラフに示す時間における河床変動量を意味しており,図3.3.7aはピーク時,また図 3.3.7cは落橋したおよその時刻における計算結果である. また,図3.3.8に計算終了時点 における河床形状の陰影図と水域部を示す. この図より,計算結果は,図3.3.1bに示す砂 州の形状変化や水衝部の変化を定性的に表現できていることがわかる.

次に計算結果について砂州と流れの時間変化から堤防欠損との関連を考察する.図 3.3.8に示すように、従来交互に形成されていた砂州が、洪水流と土砂移動によってピー ク流量時点で下流側に移動をしていく様子がわかる.この砂州の移動と流路変動、並びに 河岸侵食の関係についてより詳細に検討するために、図3.3.9に流れの変化と横断面にお ける最深河床位置の変化を示す.図3.3.9aに示すようにピーク流量時点においては、流 れは流路幅全体にわたって直線的に流れており、最深河床位置も洪水前に形成されている



図 3.3.7 計算された河床変動過程



図 3.3.8 計算終了時における河床の陰影図と水域.図中の白実線は、対象とした区間の千曲川に係る橋の位置を示している.

澪筋に沿っている.この時点では、堤防欠損地点から見ると主流路は河川の中央部に位置 している.一方、流量の低下に伴い流線は大きく蛇行しはじめ、最深河床位置が下流に移 動しつつ、堤防に近づいていく様子がわかる(図3.3.9b, c).この時、図3.3.10に示す ような川幅全体にわたる大規模な砂州が発達しており、これが流れの蛇行と集中を誘発 し、河岸を侵食したと考えられる.また、流量低下に伴い流れの直進性はさらに低下し、 砂州により形成された深掘れ部に流れが集中しやすくなり、侵食力の強い流れを長期間生 じさせることで、結果として大規模な側岸侵食を誘発する^{6.7}.この点について明確に示 すために、図3.3.11に図3.3.7と同じ時系列における流線と無次元掃流力を示す.図か



図 3.3.9 流れと横断面内における最深河床位置の時間変化. 流れ場は, 水深コンターと流線により可視化している. また, a-1), b-1), c-1)における〇は横断面内における最深河床の位置を表しており, a-2), b-2), c-2)はその縦断図を示している.



図 3.3.10 流量減衰時に発達する砂州と流れの様子.川幅スケールの砂州が発達し, それにより強い蛇行流が形成されている.

らわかるように、流量の減少とともに流線の蛇行が顕著となり、流線が集中する箇所で無 次元掃流力が大きくなっていくことがわかる.このような砂州による蛇行流の発達と無次 元掃流力の増加は主流部において比較的大きな掃流力が長時間継続することとなり、堤防 欠損地点に固定化されていた左岸側の砂州を侵食し、落橋が確認された図 3.3.7c の時刻 においては、新たな水衝部へと変化していることがわかる.

3.3.4 減衰期の流量低減状況の重要性

上述のように、流量減衰時には流路変動が特に進行しやすいことは以前から指摘され ている⁸⁾.この点について詳しく考察するために、図3.3.12に示すように本洪水のハイ ドログラフを基準として異なる流量減衰過程となる三つのハイドログラフに用いて計算を 行った.すなわち、ハイドログラフとして1)本洪水における実績ハイドログラフ、2)減衰 時間が短いケースとして2013年における千曲川洪水(ピーク流量3073m³/s)のハイドロ グラフをピーク値が合うように引き延ばしたもの、および3)減衰時間が長いケースとし て、本出水における流量減衰時間を1.5倍に引き延ばしたもの、を用いた.これらのハイ ドログラフを通水後に得られた河床変動計算結果を図3.3.13に示す.図より、減衰時間 が長いほど落橋が見られた地点の侵食幅が大きくなっており、減衰時間が大きな影響を持 つことがわかる.



図 3.3.11 計算における流線と無次元せん断力の時間変化. 図に示す時刻は, 図 3.3.7と同様である.



図 3.3.12 流量減衰時間を変化させた計算におけるハイドログラフ


図 3.3.13 流量減衰時間を変化させた場合の流路変動の応答

一方,減衰時間が短い場合は,侵食幅は実績ハイドログラブの場合と比較してかなり小さいため,本出水における減衰過程の長さが,侵食被害を大きくした可能性がある.

このような洪水流の変化に伴う砂州の変化,及びそれに誘発される固定化されていた比 高差の大きい砂州の侵食によって,流路が大規模に変動し,堤防侵食と落橋につながった と考えられる.

3.3.5 まとめ

本節では、2019(令和元)年出水時に千曲川上田市付近においてみられた流路変動について二次元数値計算モデルによってその再現を行い、本洪水に起因する堤防欠損、落橋との関連性について考察した.計算結果より、洪水流によって形成されていた砂州が発達、前進し、それにより水衝部が大きく変化することで、従来砂州の堆積側であった堤防が侵食を受け、落橋につながったと推測された.千曲川における砂州は、長年固定化され、植生が密生していたものも多く、河道はいわゆる二極化状態にあった.しかし、ひとたび大規模出水が発生すれば、急流河川特有の激しい侵食力により砂州や流路が大きく変動し、堤防侵食や落橋といったリスクを引き起こすことが本検討で改めて示された.

数値計算結果は、定性的には現象を再現している一方、砂州の移動や流路の切り替わり を過小評価している傾向にある.これはデータ不足によるかもしれないが、現象の再現に 決定的である河岸侵食モデルの精度による可能性もある.河岸侵食モデルの精度は、固定 化された比高の高い砂州からの土砂供給量の推定精度にも影響する.河岸からの土砂供給 はその下流における流路変動にも大きな影響をもつことから⁹,これらの視点を踏まえて 流路変動機構についてさらに検討する必要がある.

(岩崎理樹, 溝口敦子)

3.4 河道の被災ポテンシャルの簡易推定

確実な災害対策の実施にあたっては、どのような河道のどこが注意すべき場所なのかを 適切かつ簡便に推定できることが望ましい.本節では、まず、常用される川幅水深比を用 いた河道の被災ポテンシャルの評価の可能性について調べ、次に、3.3 で実施した計算負 荷が大きな河床変動解析の代わりに、比較的簡易な水理解析のみから河道の被災ポテンシ ャルを簡便に予測できないかについて検討した.

3.4.1 川幅水深比に基づく被災ポテンシャルの推定

特徴的な災害が発生した穂保地区,上田地区を含む千曲川直轄区間の 51.5 km から 109.5km までの約 60 km の区間における砂州の発生,発達に関する水理量を連続的に把握 することを目的とした解析を実施した.水理量の把握にあたり,定期横断測量の断面形状 をそのまま水理解析に反映できる一般断面の一次元不等流計算を

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{Q}{A} \right) + gA \frac{\partial H}{\partial x} = -\frac{gnQ^2}{R^{4/3}A}$$
(3.4.1)

と記述される方程式¹⁰⁾を用いて実施した.ここで,*Q*は流量,*H*は水位,*A*は流積,*R*は径 深,*n*は粗度係数である.この不等流計算には2017(平成29)年度に測量された横断面形 状を用いた.不等流計算の流下方向の断面間隔は,定期横断測量の実施間隔と同じ500 m 間隔とし,河床材料は51.5kmから80.0 km までは20 mm, 80.0 km から109.5 kmの区間は 20 mmから70 mmへ1次関数で変化させた.これらの条件の下で,2000 m³/s,4000 m³/s,8000 m³/s のそれぞれにおける水理量の推定を行なった.

図 3.4.1,図 3.4.2 にそれぞれ 3 つの流量における水面幅 *B*,一般断面における平均水 深である径深 *R*,フルード数 *F*,水面勾配*i*_w,無次元掃流力τ_{*},川幅水深比を示した.水面幅 *B* については,下流端から 65 km 地点までは 800 m 程度,それより上流の区間においてはいずれの流量においても 500 m の水面幅となることがわかる.104 km の堤防欠損地点付近での水面幅 *B* はその前後の区間と比べると 2 倍程度の水面幅となることが分かった. 径深 *R* については,平常時と比べると,8000 m³/s においては 6 から 7 m ほども水深が増加することが分かった.また,104 kmの前後については,径深 *R*の増加率は他よりも小さいことが分かった.*F*,については,不等流計算を実施した区間の中で相対的に水面幅 *B* が大きな 65 km よりも上流区間となるほど増加する傾向にあり,流量の規模に依らずおおむね0.4 から 0.8 程度の範囲となることが分かった.水面勾配*i*_wについては,65 km よりも上流区間となるほど増加する傾向にあり,流量の規模にならすおおむね

図3.4.1の下段に3つの流量における上記の不等流計算から得られる水理量を用いて算定した川幅水深比を示した.同図中の川幅水深比は黒木・岸¹⁾が提案している*BI*^{0.2}/*h*₀を用い,河床勾配*I*₀については水面勾配*i*_w,水深*h*₀については一般断面の平均水深を表す径深



図 3.4.1 流量ごとの河道の幾何学的形状などの縦断分布(上段:不等流計算による水位, 中段1:水面幅 *B*, 中段2:径深 *R*, 下段:黒木・岸の川幅水深比)

を用いた *Biw^{0.2}/R* としたものを用いた.まず,流量が 2000 m³/s の時の*Bi^{0.2}/R*については, 解析した全区間を通して 40 程度となり,流量が 8000 m³/s の時の*Bi^{0.2}/R*は 20 から 30 程度 まで低下することが分かった.このうち,越流破堤が発生した長野市穂保の 57 km 地点の *Bi^{0.2}/R*は, 2000 m³/s の時に 70 強, 8000 m³/s の時には 30 程度に減少することが分かった. また,大規模な河岸侵食が発生した上田市諏訪形の 104km 地点は,流量の規模に依る *Bi^{0.2}/R*の変化の規模は小さく,2000 m³/s と 8000 m³/s のいずれにおいても 30 から 40 程度 となることが分かった.

河道の特性のうち,砂州などの中規模河床形態についてはしばしば川幅水深比を用いて 評価される.前述の通り,越流破堤が生じた 57 kmの前後の区間と 104km の前後の区間 における算定されたBi^{0,2}/Rは、どちらも 8000 m³/s の時は 40 程度と同規模である.しかし、 2019(令和元)年の出水時における両区間での砂州の挙動は全く異なった. BI^{0,2}/h₀は平坦 床からの砂州の発生・非発生の判断指標として提案されたものであり、砂州の変形や移動 の有無の判断にBI^{0,2}/h₀は適さないことが示唆される.



図 3.4.2 流量ごとの各種水理量の縦断分布 (上段: *F*,数,中段:水面勾配*i*_w,下段:無次元掃流カτ_{*})

3.4.2 河床形状の移動速度に基づく被災ポテンシャルの推定

本節では、河床位に関する双曲型方程式における河床形状の移動速度を用いた被災ポテンシャルの推定を試みる.

本節では、河床形状についての双曲型の偏微分方程式における移流速度を用い、3.4.1 で 不等流計算を実施した 51.5 km から 109.5 km の区間における河床形状の移動速度の推定を 行なった.この推定に用いた河床形状の双曲型の偏微分方程式は、河床形状の流下や変形 を水面波などの同様の波動現象と見做し、一般的に用いられる河床の土砂の連続の方程式 を数学的に等価となるように、

$$\frac{\partial z}{\partial t} + M \frac{\partial z}{\partial x} = -i_e M \tag{3.4.2}$$

と記述される双曲型の偏微分方程式へ変形したものである.この方程式の移流速度 Mは,

$$M = \frac{4(\tau_* - \tau_{*c})^{\frac{1}{2}}\sqrt{sgd^3}}{sd(1-\lambda)\left(1 - \frac{4}{9}F_r^2\right)}i_e$$
(3.4.3)

と記述され,無次元掃流力 au_* ,フルード数 F_r ,エネルギー勾配 i_e の3つが支配変数となる. ここで,zは河床高,Mは河床形状を波動と見做した場合における移動速度, i_e はエネルギ 一勾配である.

本検討では、同式中の M を用いた河床形状の移動速度の規模の空間分布と、移動速度 M





に対して支配的な影響を及ぼす水理量について調べた. なお,河床形状の双曲型の方程式 は,平面2次元の方程式についても導出している¹¹⁾が,流下方向とその法線方向とではエ ネルギーの規模が1オーダーほど小さく無視しても差し支えがないことを確認している. このため,本検討では1次元の方程式を用いることとした.また,土砂の連続の方程式と 双曲型の方程式のそれぞれを用い,交互砂州の発生と発達についての模型実験の再現計算 を実施し,双曲型の方程式を用いても一般的な土砂の連続の方程式と同等の精度解析を得 られることについても確認している.

図3.4.3の上段に3つの流量における河床形状の移動速度 M を示した.まず,2000 m³/s, 4000 m³/s,8000 m³/sのそれぞれの流量における移動速度 M は、51.5 km から 80 km あたり までの区間では 0.002 m/s 程度と非常に緩慢であることが推定された.特に、51.5 km から 60 km 付近の区間における移動速度 M は極めて緩慢な値となることが示された.このこと は、越流破堤に至った 57 km の地点の前後では、大規模な河岸侵食が発生した 104 km 前 後の区間と比べ、出水後の砂州の変形はわずかだったことと一致する.一方で、80 km よ りも上流の区間での移動速度 M は 0.02 m/s 前後となり、それよりも下流区間よりも 1 オー ダー大きな値であることが示された.移動速度 M は上流に向かうほど増加する傾向となる ことが示され、流量の規模が大きくなるほど移動速度 M の値は無次元掃流力 τ_* と水面勾配 i_w の増加に応じて増大することが推定された.ただし、104 km 付近の移動速度 M に着目 すると、その前後の区間と比べて 50%以上も移動速度 M の値が小さく、流量の規模に依ら ず 0.01 m/s 程度に留まることが示された.このことは、20 年ほどにわたりこの付近の左岸 側の砂州の変形や移動は僅少だったとの報告と一致する.104 km 付近における移動速度 Mが小さくなった理由としては、この付近の水面幅は前後の区間より広く、このために径深 R は流量の規模に依らず小さく、これらの結果として水面勾配 i_w が前後の区間より小さく



図 3.4.4 台風 19 号の前後での澪筋位置、台風 19 号による澪筋の移動距離、移動速度



図 3.4.5 式 (3.4.3) で推定した河床形状の移動速度(図 3.4.3 上段の拡大図)

なるためと推測される.また,104km付近の下流側と上流側における河床形状の移動速度 は相対的に大きく,104km付近の大規模な河岸侵食の要因は,その下流側と上流側の両区 間において河床変動が前駆的に開始したことが要因の一つとして推測される.

図3.4.4には、航空写真から判読した、台風19号の前後での102 kmから105 kmにおける澪筋位置、台風19号による澪筋の移動距離、移動速度を示した.同図内の澪筋の移動 速度は、下流から0.014 m/s、0.010 m/s、0.014 m/s、0.008 m/s、0.010 m/s である.これらの 移動速度は、台風19号の流量ハイドログラフを参考にして活発な土砂輸送が15時間程度 持続したと仮定して求めた.これらの移動速度と式(3.4.3)で推定した河床形状の移動速 度の比較を図3.4.5に示した.同図のとおり、実測値と推定値の値は非常によく一致する ことが分かった.式(3.4.3)を用いることで実河川の河床形状の移動速度を良好に推定で きることが示唆される.

移動速度 M のオーダーは, 概ね河床勾配の規模となる¹²⁾ようである. このことを解析区 間の全体で把握するため, 図 3.4.3 の下段に 3 つの流量における水面勾配i_wと径深Rの積 を式 (3.4.2) の河床形状の移動速度 M で除した(4i²_wR)/sdMを示した. 分子側の係数に 4 を含めたのは移動速度 M の理論式の係数である 4 を踏襲したためである. 同図から分かる ように, いずれの流量における(4i²_wR)/sdMは,本解析の下流側に位置する狭窄区間がもた らす堰上げの影響が緩和したと考えられる 55 km よりも上流区間では,流量の規模に依ら ず 1 前後になることが分かった. 少なくとも千曲川の直轄区間の河床形状の移動速度 M の 概算値は, (4i²_wR)/sdから得られるものと考えて良いようである.

3.4.3 河道の被災ポテンシャルのまとめ

本節では、河道の被災ポテンシャルについて比較的簡便な水理解析を用いて推定できるかについて調べた.

砂州の発生と非発生の指標としてしばしば用いられる川幅水深比を直轄の全区間で算定したところ,越流破堤した 57 km の前後の区間と 104 km の付近はその前後の区間では、どちらの区間も 8000 m³/s の時は 40 前後の同程度の値となった.しかし、本出水時における両区間での砂州の挙動は全く異なるものであった. $BI_0^{0.2}/h_0$ は平坦床からの砂州の発生・非発生の判断指標として提案されたものであり、砂州の変形や移動の有無の判断に $BI_0^{0.2}/h_0$ は適さないことが示唆される.

河床形状の移動速度式を用い,河床形状の移動速度を直轄の全区間で推定した.このうち,越流破堤した57kmの前後の区間における河床形状は計画高水規模の流量においてさえも変形や移動は僅少となることが示された.このことは,出水後の砂州の変形はごく僅かだったことと一致する.また,104kmの付近の河床形状の移動速度*M*は下流区間よりも少なくとも10倍以上大きな値となることがわかった.このうち,104kmの近傍の移動速度*M*はその前後に比べて河床形状の移動速度*M*が50%ほど小さいことが示された.このことは,20年ほどにわたりこの付近の左岸側の砂州の変形や移動は僅少だったとの報告と一致する.さらに,航空写真から判読した洪水前後での河床形状の移動速度の実測値と,理論式から推定された移動速度の対比をしたところ,良好に推定できることが分かった.

移動速度 M の一連の成果を踏まえると、河床形状の移動速度 M を用いることで、河岸 侵食の発生可能性が高い区間の推定などの河道状態の把握が期待できる.また、砂州の形 成に伴う局所的な土砂堆積の洗掘にあたっては、移動速度 M を客観的指標として用いるこ とで、局所的な土砂堆積の前後の区間における影響を推定した上での計画的な浚渫ができ る可能性がある.また、大規模な河道改修により、現在の河道における水面勾配iwと径深 Rの組み合わせが現時点の値から大きく変化すれば、洪水時の河道の変形の挙動は現時点 とは異なる可能性が示唆される.

現時点では,移動速度 M の妥当性の確認は,模型実験の結果を用いたものに限定される. 今後,移動速度 M の実河川における適用事例を増やすことで,移動速度 M を用いた河岸 侵食をはじめとする河道の被災ポテンシャルの把握や,計画的な河道管理の手法への発展 が期待できる.

(安田浩保)

3.5 堤防破壊危険性

3.5.1 今次洪水による堤防決壊,堤防欠損以外の堤防被害

表3.5.1 に決壊, 欠損以外の堤防被害一覧を示す.第3回堤防調査委員会による資料¹³⁾ によると, 左岸 57.5k 付近の堤防決壊, 左岸 104.0k 付近の堤防欠損の他にも,6箇所で川 裏法崩れが,2箇所で堤体からの漏水が確認されている.その一例を写真3.5.1 に示す. 川裏法崩れの発生要因は不明であるが,発生箇所はいずれも越水箇所と一致している.

表 3.5.1 堤防決壊,堤防欠損以外の堤防被害一覧(参考資料¹³⁾を基に作成)

堤防被害	場所				
川裏法崩れ	右岸 48.5k 付近,右岸 56.5k 付近,				
	左岸 57.3~57.75k 付近, 右岸 77.75k 付近,				
	左岸 78.25k 付近,左岸 79.5k 付近				
堤防漏水	左岸 78.25k 付近, 左岸 82.0k 付近				



(a) 右岸 56.5k 付近(裏法崩れ)



§法崩れ) (b)左岸 78. 25k 付近(堤防からの漏水) 写真 3. 5. 1 堤防被災の状況 [™]

3.5.2 浸透による堤防破壊の危険性検討と堤防強化・河道整備の必要性

今次洪水における堤防の決壊(左岸 57.5k 付近),欠損(左岸 104.0k 付近)は、それぞ れ越水,侵食が主要因である可能性が高いと推定されている¹³⁾.しかし、もう少し洪水継 続時間が長ければ、堤体内浸潤線が更に発達し、裏法先を泥濘化させ、裏法滑りや堤防決 壊といった深刻な被害が発生していたかもしれない.また、川裏法崩れは、河川からの越 流水が堤防裏法を流れ落ちる際の高流速の発生によって崩れた可能性があるが、越水する 前の堤体浸透によって発生していた可能性もある.よって、川裏法崩れや漏水が生じた箇 所、狭窄部による背水が及び高水位が継続する区間では、堤体および基盤の土質・構造を 把握し、洪水時における堤体内浸透流の挙動を調べ、浸透による堤防破壊危険性を検討す ることも重要である.

また,堤体浸透が進んだ状態で更に洪水位が高まり,天端からの越水が生じると,決壊の危険性が著しく高まることが予想される.このため,流下能力不足区間で,堤防からの

越水が発生する危険性のある箇所では,耐越水性も考慮した堤防強化対策が必要であると ともに,河道掘削や樹木群管理等により水位を低減し,氾濫被害を軽減するための対策も 積極的に進めていく必要がある.

(田端幸輔, 戸田祐嗣, 冨永晃宏)

参考文献

- 1)黒木幹男,岸力:中規模河床形態の領域区分に関する理論的研究,土木学会論文報告集, Vol.342, pp.87-96, 1984.
- 2)池田駿介:単列砂州の波長と波高,水理講演会論文集,Vol.27, pp. 689-695, 1983.
- 3) https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2
- 4) 西嶋貴彦,前田諭,阿部充,五十嵐武,竹内洋子:千曲川中流域の試験的河道掘削に関する研究,リバーフロント研究所報告, Vol. 25, pp. 3-12, 2014.
- 5) https://i-ric.org/
- 6) Iwasaki, T., Shimizu, Y. and Kimura, I.: Numerical simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River, Advances in Water Resources, Vol. 93, pp. 118-134, 2016.
- 7) 寺本敦子, 辻本哲郎:砂州を伴う河道の低水路河岸侵食に関する数値解析による研究, 水工学論文集, Vol. 47, pp. 649-654, 2003.
- 8) 岡部和憲,久加朋子,清水康行,長谷川和義,新庄興,山口里実:流量ハイドログラフ 形状に対する蛇行流路の移動特性~+勝川水系音更川を事例として~,土木学会論文 集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 5, pp. I_1009-I_1014, 2018.
- 9) 山口里実, 久加朋子, 清水康行, 泉典洋, 渡邊康玄, 岩崎理樹: 河道内の土砂動態と流 路変動の関係, 土木学会論文集 B1 (水工学), Vol. 74, No. 4, pp. I_1153-I_1158, 2018.
- Yasuda, H. A One-Dimensional Study on Propagation of Tsunami Wave in River Channels, *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 136, No. 2, pp. 93-105, 2010.
- 11) 石原道秀,安田浩保:交互砂州の発生・発達過程における底面位の伝播速度式の適用 性,第23回応用力学シンポジウム概要集,2020.

12) Seminara G: Fluvial Sedimentary Patterns, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, Vol.42, pp. 43-66, 2010.

13) 国土交通省北陸地方整備局: 第3回千曲川堤防調查委員会資料, 2019.

第4章 長野市穂保地先堤防決壊による氾濫

4.1 土地利用の変遷

今回の千曲川の堤防決壊にともなう浸水被害の地域は長野市中心部から北東に位置し (図4.1.1),長沼地区,豊野地区,古里地区,柳原地区にまたがる(図4.1.2).長沼地区 が浸水域の大部分を占め,次いで豊野地区,そして古里地区と柳原地区も一部が浸水した. 今回の浸水地域の大部分は,長沼地区を中心に,市街化調整区域に位置している.各地区 全体の人口及び世帯数の推移(図4.1.3)を見ると,市街化区域を含む古里地区,柳原地 区は1970年代以降に急劇な人口増加が見られ,同じく市街化区域を含む豊野地区も漸次 的な増加傾向が見られる.しかし,その全域が市街化調整区域に指定されている長沼地区 では人口,世帯数とも横ばいである.しかし,近年では,いずれの地域も人口減少の傾向 が見られる.

長沼地区(以下,長沼)は善光寺平の北東部に位し,千曲川の西岸に発達した聚落群で, 村の中に一つの丘陵も,坂もない平坦な村であり,古くは長沼城の城下町として栄えたが, 長沼藩解体(1688)後は北国脇街道の宿場町として集落が発達した.そのため古い集落は 県道 368 号村山豊野停車場線(旧北国脇街道)沿いに集中している.長沼は千曲川と浅川 に囲まれ,地形的には千曲川沿いの自然堤防帯とそれ以外の地域の後背湿地帯に二分され る.土地利用としても,後背湿地では水田とされたが浅川の排水が非常に悪く生産力が低 かったため,自然堤防上の畑地では古くから商品作物の栽培が行われた.明治期には養蚕 が盛んで桑畑が広がっていたが,水害被害の少なさなどから大正・昭和初期より次第にり んご畑へと転換され,1966(昭和41)年には国道 18 号(アップルライン)が開通して観 光園化が進んだ.1971(昭和46),1972(昭和47)年から赤沼ニュータウン・大町大栄地 域での宅地造成が開始されたため,戸数の増加はみられるが,人口は長期的に停滞してい る(図4.1.3)¹⁾²⁾.

豊野地区(以下,豊野)は北西側の丘陵部と浅川,鳥居川沿いの平坦部とに二分され, 人口は平坦部に多い.鉄道開通以前人家は僅かであったが,豊野駅の開業(1888(明治21) 年)以後は駅周辺を中心に発展した.戦後のリンゴ景気では駅がその拠点となり活気を呈 したが,飯山線の長野駅発着や国道18号線の開通により駅前の賑わいは次第に失われて いき,現在は通勤通学客の輸送を担う郊外駅となっている.長野市のベッドタウンとして 積極的に公営住宅の建設や公社による宅地造成が行われた結果世帯数は増加し(図4.1.3), また並行して行われた工場誘致により,豊野駅北東部には,工業団地が整備されている³⁾

古里地区(以下,古里)は地区を二部するように浅川が流れ,この浅川とその支流の新 田川・駒沢川・田子川により形成された扇状地の扇端と氾濫原との境界付近に集落が作ら れた.これらの河川は浸食作用が強く,天井川となりやすいため氾濫危険性が高いうえに 夏にはしばしば水が枯渇し、人々は用水の確保に苦労した.明治以降は長沼同様に養蚕業、 そしてリンゴ栽培が盛んであったが、宅地化が進むにつれ農村的性格は失われていった. 地区内に信越線の駅(三才駅)が1966(昭和41)年に設置され、信越線と長野電鉄線どち らを利用しても市の中心部まで10~15分という便利さが買われ、団地や個人住宅の建設 が進められた.1970年ごろから戸口が急速に膨張しており、近年人口は停滞的になってい るものの、戸数は依然増加傾向にある(図4.1.3)²⁾.

古来より当地域は度々水害に見舞われてきており,津野の妙笑寺の洪水水位標や赤沼の 善光寺平洪水水位標はこれをよく示している.長沼では,1983(昭和58)年の水害を受け て,毎年6月に長沼地区防災訓練を実施している.また,地区防災計画を作成し,2014(平 成26)年には地区防災計画モデル地区に指定されている⁶.



図 4.1.1 長野市全域の都市計画区域区分 及び浸水域

BR BR BR BR

図 4.1.2 対象地域の地区構成(白枠は 令和元年台風 19 号での浸水域)

(中村晋一郎)



4.2 浸水範囲·浸水位

4.2.1 浸水位観測

a)はじめに

2019(令和元)年10月6日に発生した台風19号(通称ハギビス)は同月12日の19時に 非常に強い勢力で日本に上陸し,関東甲信地方・東北地方の1都12県に大雨特別警報が 発表された.その結果,東日本の広い範囲に甚大な洪水氾濫・土砂災害が発生した.その 中で,千曲川では,11か所の越水・溢水,1か所(長野県長野市穂保地先,57.5k左岸)の 堤防決壊が発生し,長野新幹線車両センターを含む甚大な浸水被害が発生した⁸⁾.また, 千曲川周辺では,25箇所の浸水が発生した⁹⁾.本節では,長野市における破堤氾濫の状況 とその氾濫流の挙動を明らかにするため,現地観測と氾濫シミュレーションを実施した.

b)千曲川流域及び対象サイトの概要

調査対象である千曲川を図4.2.1に示す.千曲川は,長野・山梨・埼玉県境に位置する 標高2475mの甲武信ヶ岳を水源とし、山間部や盆地(佐久,上田,長野,飯山盆地)を流 れ、新潟県境からは信濃川に名称が変わり、日本海に注ぐ一級河川である.信濃川の流路 延長367km,流域面積11,900km²のうち、千曲川は流路延長214km,流域面積7,163km²を 占める.千曲川の縦断図(図4.2.2)より、千曲川は上流部ではおよそ1/50と急勾配であ るのに対し、長野盆地や飯山盆地では1/1000~1/1500と緩勾配になる.また、最大の特徴 として、千曲川は盆地と山あいの狭窄区間が交互に流れるため、川幅が大きく変化してい る.具体的には、長野盆地の下流には立ヶ花狭窄部(40~52kp)、飯山盆地の下流には戸狩 狭窄部が位置している.川幅は立ヶ花狭窄部の120-450mであるが、長野盆地では400-1160mと大きく異なり、この狭窄部が昔より治水上の課題となっている.



図 4.2.1 観測サイト





本対象サイトである決壊地点

(57.5km,河口より210km)は, 犀川合流点よりも下流で,かつ, 立ヶ花狭窄部の約5km上流に位 置している.この地点は,狭窄部 上流側で河床勾配が相対的に緩い 地点に位置しており,水害常襲地 帯である.決壊地点のそばには, 図4.2.1.1に示すように,千曲川 支川の浅川(流路延長17km,流域 面積73km²)が流れている.この エリアの標高データを図4.2.3に



図 4.2.3 決壊地点周辺の標高マップ

示す.これは,国土地理院・ 基盤地図情報よりダウン ロードした 5mメッシュ の DEM である. これを見 ると, 左岸側の堤内地に は,低地が広範に広がって おり,特に浅川周辺で特に 低くなっている.また,千 曲川の左岸・右岸堤防 (図 中白色点線)が堤内地より も数m高いことがDEMか らも明確に分かる.また, このエリアには、周辺の 山々で囲まれた盆地地形 である.このように,千曲 川左岸 57k 付近の破堤氾 濫域では,千曲川の堤防と 山に挟まれた低地が形成 されていることが分かる. なお、浅川支川の三念沢の 左岸でも堤防決壊が発生 している.



<u>c)降雨・河川水位状況</u>

今次災害における千曲 川流域の気象・洪水状況を 把握するために,雨量と水 位の時間変化を図 4.2.4 に示す.ここで,雨量デー タは,流域内の北相木・長

野・松本アメダス観測所における時間雨量と10/11からの累積雨量を示す. 観測所位置は, 北相木は千曲川上流,松本は支川・犀川流域,長野は千曲川中流に位置する.水位は,杭 瀬下観測所(83kp),立ヶ花観測所(52.5kp),柏尾橋観測所(25kp)の10分間隔のデータ である.また,各水位観測所の計画高水位(H.W.L.)も表示し,H.W.L.を上回る水位デー タにはオレンジ色のマークを重ねている.まず,降雨量を見ると,10/11には時間雨量は 3mm 以下,累積雨量は最大14mmとほとんど雨は降っていない.12日に入り,雨が降り

335

始め、14-18時に雨量ピークを迎え、13日0時には雨はほぼ止だ.ということは3地点に て共通している.時間雨量のピーク値としては、北相木:37mm(12日15時)、長野:14mm (同17時)、松本:13.5mm(同17時)であった.3日間総雨量(10/11-13)としては、北 相木:411.5mm、長野:149.5mm、松本:136mm であった.なお、千曲川流域内では、千 曲川本川右岸側の上流部に降雨量が集中しており、同左岸側や犀川流域における総雨量は 相対的に雨量が小さかった.

河川水位に関しては、3 地点ともに 12 日 12 時前後から水位上昇が始まり、ピーク時刻 は杭瀬下: 12 日 21:50、立ヶ花: 13 日 3:30、柏尾橋: 13 日 7:10 となっており、降雨のピー クよりも遅れて水位ピークが現れていることが分かる.また、水位ピーク値と H.W.L.を比 べると、杭瀬下観測所では、水位ピーク値が T.P.362.35m と H.W.L.(= T.P.361.37m)よりも 1.0m 高く、H.W.L.を超えていた時間は 12 日 18:30~13 日 1:50 の約 7 時間であった. 同様 に、立ヶ花観測所では、水位ピーク値が T.P.336.715m と H.W.L.(= T.P.335.005m)を 1.6m 上回り、H.W.L.を超えていた時間は 13 日 0:30~7:00 の 6 時間半であった.一方、柏尾橋で は、水位ピーク値(= T.P.315.53m)は H.W.L.(= T.P.315.58m)にぎりぎり到達しなかった. 生田観測所(107kp)の水位ピーク値も H.W.L.と同程度であったことから(図面省略)、杭 瀬下・立ヶ花観測所の水位上昇が顕著であったことが分かる.

d)氾濫域における現地調査の概要

千曲川流域における洪水氾濫状況を把握するために,主に氾濫域の洪水痕跡調査を行った.調査日は2019年10月13日,10月22-23日,11月19-20日の計5日間である.まず,発災直後の10/13の10-11時頃には,ヘリコプターによる上空からの視察を行った.また,残りの4日間では,破堤氾濫域とその上流域における洪水痕跡を調査した.ここでは,千曲川の氾濫域における建物等に付着した洪水痕跡から浸水深と浸水位を計測する.ここで指す痕跡とは,建物等に付着した泥や引っかかった植生のことである.計測には RTK-GNSS(Trimble 社製, R10・R6・R4)を使用する.この機器は水平座標と標高(精度 cm)の点データを取得することができ,多くは,痕跡のある場所の地面高を計測し,スタッフで地面から痕跡までの高さを測ることで浸水深と痕跡水位を求めている.また,地面付近に痕跡がある場合は,直接痕跡水位(浸水位)を計測する.この点データを蓄積し,どこまで氾濫域が広がっているのかを把握する.破堤氾濫域における計測地点数は約130地点である.

また,千曲川河道内の洪水痕跡調査として,河道内痕跡と堤防天端上の痕跡を測ること により,越流水深を計測した.

e)破堤氾濫域における現地調査結果

(1) 洪水氾濫の様子



図 4.2.5 10/13 10 時頃の洪水氾濫状況 (ヘリコプターから二瓶が撮影)

今次洪水による千曲川流域における氾濫状況を把握するために,発災当日の 10/13 10 時頃に上空のヘリコプターより撮影された氾濫状況を図4.2.5 に示す.ここでは,主に堤 防決壊地点とその周囲の氾濫状況を対象とする.千曲川左岸 57.5kpの決壊地点の真上から 見ると(同図(a)),堤防決壊地点から河川水が堤内地側に氾濫しており,堤防決壊幅は 70m に達した.また,堤防の裏のり面側が決壊地点上下流の広範囲にわたり侵食されており, 越水の発生が伺える.千曲川右岸上空から決壊地点周辺を見ると(同図(b)),左岸側では あたり一面浸水しており,浸水範囲は非常に広いことが分かる.堤防決壊時刻は13日3時 から5 時半の間と推定されており,決壊から5~7時間でこれだけの広範囲に氾濫水が広 がったことが分かる.この氾濫域内には,北陸新幹線の線路や車両基地が含まれており, 新幹線車両が水没している様子が確認された(同図(c)).決壊地点は狭窄部の上流側に位 置しているが,同図(d)より,狭窄部では河道の周囲が高いため堤内地の浸水範囲は限定的 であるが,狭窄部上流側では氾濫域が左右岸に広域に広がっている様子が分かる.

(2) 浸水深・浸水位マップ

破堤氾濫域内の浸水状況と洪水痕跡調査により得られた浸水深マップをそれぞれ図 4.2.6 と図 4.2.7 に示す.写真①~④の撮影位置は図 4.2.1.7 に表示している.また,浸 水深は一点一点計測した結果の「点」データである.これより,決壊地点の極近傍では浸水深の最大値(=4.5m)が確認されたが(図4.2.6①),その周辺では浸水深は概ね1m~2m 台となっている.決壊地点より離れた浅川周辺や長野新幹線車両センター周囲の浸水深が 大きく,4mを超える地点も確認されていた.この浸水深が大きい領域は,標高の低い部分 (図4.2.1.3)と対応している.決壊地点周辺ではいくつかの家屋が流失するなどの甚大 な被害が発生したが(図4.2.6②),そのエリアは決壊地点周辺のみに限定されている.ま た,浸水被害は氾濫域内に広がる農地でも発生しており(図4.2.6③),リンゴ畑で大量の 泥の堆積が見られた.また,北陸新幹線線路脇の長野新幹線車両センターでは,2mの嵩上 げが行われていたが,1.5~2mの浸水深となった((図4.2.6④).



図 4.2.6 破堤氾濫域の氾濫状況(撮影日は 10/22, 23, 撮影位置は図 4.2.1.7 に示す)



図 4.2.7 点浸水深マップ(破堤氾濫域)

現地調査により得られた「点」浸水位を見ると、概ね T.P.334[m]台であった.そこで、浸 水深・浸水位の面コンターを得るために、Nihei et al.¹¹⁾ と同じ手順を用いる.まず、「点」 浸水位データを ArcGIS (ESRI 社) により内挿を行うことで浸水位の面コンターを作製す る. ここでは, Natural Neighbor 内挿法を用いた. この手法は密なサンプルデータに対し有 効であり,各ポイントからポリゴンを作製しそのポリゴンの重複の割合から加重平均を算 出している. また, Natural Neighbor 内挿法では外挿できないので, 計測範囲外の浸水位は 近傍の点から浸水位を推測して外挿した. 次に, この浸水位の面コンターから DEM によ る地盤高データ(解像度:5m)を引くことにより,浸水深の面コンター図を作製した.こ のようにして得られた浸水位・浸水深の面コンターを図4.2.8に示す. このうち浸水位コ ンターを見ると,決壊地点付近のみ局所的に浸水位は高いが,それ以外は概ね T.P.334[m] となっている.また,浅川上流側では T.P.332-333[m]とやや低い.また,洪水氾濫は浅川左 岸域にも及んでおり、浅川下流側では T.P.334 台[m]であることが分かる.次に、浸水深コ ンターを見ると,浅川や新幹線線路周辺において 4m 以上の浸水深が広く分布している. 浅川下流(千曲川への合流点)近傍でも浸水深 4m 以上となっている.これらは,図.4.2.1.3 に示すように、相対的に低地部分である.また、全般的には 2-3m の浸水深となっており、 一階部分全体が水没する氾濫が広範囲に発生したことが分かる.



図4.2.8 破堤氾濫域の浸水位(上)・浸水深(下)コンター

また,得られた浸水深コンターより得られた氾濫面積は8.4km²,氾濫水量は1796万m³で あった.氾濫範囲は,概ね国土地理院による推定段彩図と似ていることは確認している.

次に、今次洪水災害と過去の水害の浸水状況を比べるために、決壊地点そば(妙笑寺) の過去の水域が記録された水位標と今次洪水時の洪水痕跡を比較したものを図4.2.9に示 す.ここでは、過去最大といわれる「1742(寛保2)年に発生した戌の満水」と1896(明 治29)年と1847(弘化4)年の結果も図示している.これより、今次洪水災害では、この 地点の浸水位が2.4m(基準面:地面)となり、戌の満水よりも1m下であるが、1896年や 1847年の洪水時の値は上回っていることが分かる.このように、今次洪水が如何に大きな 洪水であったかが伺える.



図4.2.9 今次洪水と過去の洪水との浸水位の比較(決壊地点そばの妙笑寺)

<u>f) 破堤氾濫域以外の氾濫状況</u>

今回の台風 19 号による千曲川の洪水氾濫は,破堤氾濫域以外でも広い範囲で発生した. ここでは,国土地理院による推定浸水段彩図で示された浸水範囲を調査対象として,破堤 氾濫域と同様な洪水痕跡調査を実施した結果を図 4.2.10 に示す.ここでは 56kp 付近から 84kp までにおける氾濫域における浸水深コンターを図示している.また,図中には,氾濫 原因となる越水・溢水発生地点及び内水発生地点をそれぞれ分けて表示している.この際, 越水・溢水箇所は文献 9),内水発生箇所は文献 8),それぞれに基づいており,各々の発生 箇所は各文献記載の地図より読み取っているため,大よその位置であることに留意された い.なお,一つの地図で表示すると小さくなるため,右上の地図に示す (a) ~ (d)の4つ のエリアをそれぞれクローズアップし,スケールを統一して図示している.上流から見て いくと,同図(a)では,84kp右岸側 (a1),78kp右岸側 (a2),75-79kp左岸側 (a3) にて浸 水が確認され, al, a2 では浸水深は概ね 1m以下であった.また, a3 では3 か所の越水に 伴い広範囲の浸水が発生し,浸水深も最大で 2m 台となった.氾濫要因としては, a2, a3 は越水が確認されているが, al では霞堤からの氾濫が指摘されている.同図(b)の71kp 右 岸では,越水による浸水が発生し,浸水面積は狭いながらも 2m を超える浸水深が記録さ れた.同図(c)の犀川合流点付近の66kp 右岸側(c1)や63kp 右岸側(c2)でも内水氾濫が 確認され,浸水深は 1m 以下であった.同図(d)の決壊地点対岸の56-57kp 右岸側では 2 か 所の越水により浸水が発生し,1m 台の浸水深も広範囲に見られ,局所的に 3m を超えてい た.このように,破堤氾濫域以外でも,複数のエリアで浸水が発生し,広範囲にわたる洪 水氾濫が生じたことが分かる.



図 4.2.10 破堤氾濫域以外における千曲川周辺の洪水氾濫状況

千曲川流域における氾濫面積 A と氾濫水量 Vを取りまとめた結果を表 4.2.1 に示す.こ こでは、破堤氾濫域とそれ以外の各エリアにおける浸水深の面コンター(5m メッシュ)を 用い、浸水しているメッシュ数と面積(=25m²)の積を氾濫面積 A とし、各メッシュの浸 水深と面積(=25m²)の積の総和を氾濫水量 V とした.また、表中には各エリアの人的被 害(死者)の数も表示している.これより、破堤氾濫域は氾濫面積で全体の 45%、氾濫水 量で全体の 73%となっており、破堤氾濫域の洪水では、氾濫面積も大きいが、それ以上に 氾濫水量が顕著であることが分かる.これは,破堤氾濫域では堤防決壊により大量の河川 水が氾濫したが,その他の地区では決壊せずに越水・溢水か内水氾濫に留まったため,氾 濫水量は大きくならなかったものと考えられる.また,氾濫状況と人的被害の関係を見る と,人的被害は破堤氾濫域のみで発生し(2名),氾濫水量Vと氾濫面積Aの比VAが大き いことと関係しているものと考えられる.V/A は平均水深と見なせるため,破堤氾濫域の み平均水深が2mを超え,垂直避難も含めた避難行動が困難になったものと考えられる. 今回の浸水が夜間から発生したこともその一因になったものと考えられる.

エリア	氾濫面	氾濫水量	平均水深	割合[%]		人的被
	積 A [km ²]	V[百万m ³]	<i>V/A</i> [m]	Α	V	害[人]
破堤氾濫域	8.4	17.96	2.14	45.4	73.4	2
a1	1.3	0.71	0.55	7.0	2.9	0
a2	1.4	0.81	0.58	7.6	3.3	0
a3	3.0	1.84	0.61	16.2	7.5	0
b	1.0	0.81	0.81	5.4	3.3	0
c1	0.5	0.32	0.64	2.7	1.3	0
c2	0.6	0.19	0.32	3.2	0.8	0
d	2.3	1.83	0.80	12.4	7.5	0
合計	18.5	24.47	1.32	100.0	100.0	2
(破堤氾濫 域以外)	10.1	6.51	0.64	54.6	26.6	0

表 4.2.1 各エリアの氾濫面積・水量

g)破堤氾濫域の氾濫シミュレーション

(1)計算条件

上述した現地調査より浸水範囲を把握することはできたが、氾濫プロセスの時間的推移 は不明である.そのため、平面二次元モデルを用いた氾濫シミュレーションを実施した. 本シミュレーションでは、iRIC Softwareの平面二次元流モデルである Nays2DFlood¹²⁾を使 用した.解析対象領域は破堤氾濫域を囲む7km×2kmの範囲で、計算格子は10mメッシュ とした.計算時間は2019年10月13日1:00~12:00である.千曲川57.5kp地点で越水開始 が確認されたのが13日0:55頃⁸⁾であったので、計算開始時間を1時にセットした.解析 領域における標高データは5mメッシュのDEMデータより与えた.

本シミュレーションの最大の課題は,決壊地点における氾濫水量の時間変化をどのよう に与えるかであり,そのキーは決壊時刻の推定である.決壊時刻は13日3時から5時半



図 4.2.11 氾濫シミュレーションによる浸水深マップの時間的推移

の間であり、5:30時点で決壊幅は70mに達したと報告されている.そこで、氾濫域内にある防犯カメラ映像からその地点の浸水位の時間変化を特定し、それらの結果と一致する決壊時間条件を試行錯誤した.その結果、決壊時刻を4時とした時が最も再現性が高いこと

が確認されたので、ここでは決壊時刻を4時と設定した.そのため、1-4時は越水、4時以降は決壊した状態とし、本間の越流公式から氾濫水量の時間変化を与えた.なお、実際の決壊時刻が4時かどうかは不明確な部分が残されており、より詳細な検討には多くの浸水位データを用いた検証を行う必要がある.また、浅川からの流入や千曲川合流点における排水は考慮しない.

(2)計算結果

本シミュレーションに基づく浸水深マップの時間変化を図4.2.11 に示す.これより,越 水段階の計算開始1時間後(2時,4時)では,浸水深も小さく,越水地点周辺のみに浸水 が確認される.一方,堤防決壊後の6時では,浸水範囲が急激に広がり,浅川左岸側にま で氾濫水が到達している.また,浸水深は大幅に増加し,4m以上となっている場所も見ら れる.また,北陸新幹線線路の一部や長野新幹線車両センターも浸水しており,浸水開始 は5時前後であった.8時では,浸水範囲がより下流側(北東側)に広がり,最終的な浸 水範囲に概ね氾濫水が到達している.また,6時時点よりも浸水深は増加している.10, 12時では,徐々に浸水深が増加している様子が分かる.このように破堤氾濫域は中央部に 低地がある一種のお椀型の地形をしているため,氾濫水の逃げ場がなく,この地域は短時 間(概ね2-3時間)で広がり,その後,浸水深が増加する,という貯留型氾濫の典型的な パターンとなっている.

本計算結果の妥当性を確認するために,浸水深の現地調査結果と本シミュレーションに よる解析結果の相関図を図4.2.12に示す.これより,両者は概ね正の相関関係を有してお り,両者の差の RMS 値は 0.70m となった.これより,本解析の一定の妥当性が検証され た.



図 4.2.12 氾濫シミュレーションの精度検証(浸水位の実測値と解析値の比較)

h)浸水位観測のまとめ

本項では,破堤氾濫域とその他の地区における洪水氾濫状況に関する現地観測を行うと 共に,破堤氾濫域の氾濫シミュレーションを行い,以下の結論が得られた.

(1) 破堤氾濫域の浸水状況としては,浅川や新幹線線路周辺において 4m 以上の浸水深が 広く分布し,全般的には 2-3m の浸水深となっており,一階部分全体が水没する氾濫が広 範囲に発生したことが分かる.

(2)本研究対象範囲の千曲川流域では,破堤氾濫域は氾濫面積も大きいが,それ以上に氾濫 水量が顕著であることが分かる.これは,破堤氾濫域では堤防決壊により大量の河川水が 氾濫したが,その他の地区では決壊せずに越水・溢水か内水氾濫に留まったである.

(3)氾濫シミューション結果より,破堤氾濫域では,氾濫水は短時間(概ね 2-3 時間)で全体に広がり,その後,浸水深が増加する,という貯留型氾濫の典型的なパターンが確認された.

(二瓶泰雄,小野村史穂,片岡智哉)

4.2.2 家屋浸水の推定

a) はじめに

令和元年台風 19 号では、一級河川・千曲川の決壊にともない、長野市北部を中心に甚大 な浸水被害が発生した。今回の水害による長野市での被害は、死者 2 名、全壊 869 棟、半 壊 1498 棟、一部損壊 1654 棟にも及んだ(1月 27 日時点)¹³⁾. これらの被害は、堤防決壊 にともなう大規模氾濫(ハザード)に合わせて、この地域の土地利用や建物立地(暴露・ 脆弱性)によって規定される.本節では、本水害による被害を、建物ポイントデータをは じめとする空間・社会データを用いて、建物立地の視点から検証・考察する.

b)手法

浸水深は吉田ら¹⁴, 伊藤ら¹⁵⁾を参考に,国土地理院が公表した「浸水推定段彩図の浸水 範囲の輪郭線」¹⁶及び数値標高モデル¹⁷⁾を用いて算出した.尚,データ作成及び分析は ESRI 社 ArcGIS を用いた.基準とする浸水深は,浸水範囲の輪郭線から等間隔で 50 地点抽出し, 浸水域を静水面として仮定したうえで,それらの平均標高を浸水深 0m と設定した.この 基準浸水深と浸水域内の数値標高モデル(5m メッシュ)を用いて,標高値の差分をとるこ とで各メッシュの浸水深を算出した.本手法での推定値と,4.2.1 で二瓶らが現地で観測 した浸水深(130 地点)との相関係数は 0.67 であり,全体的に若干の過小評価となってい る(図 4.2.13).

以上で推計された浸水深と建物ポイントデータの属性を結合することで、地域内の各建物の推定浸水深を推計した.建物ポイントデータには、株式会社ゼンリンが毎年作成・販売している「ゼンリン建物ポイントデータ」(2018(平成30)年度版)を使用した.本建物ポイントデータには、建物ごとの位置情報(緯度経度)のほかに、建物用途、延床面積などのデータが格納されている.

以上で作成された浸水深の属性 を有した建物ポイントデータを用 いて,対象地域内の建物被害の特 徴について分析を行った.

<u>c) 結果及び考察</u>

本手法を用いて推計された対象 地域全体での建物数は 2209 棟と なり,長野市が報告している被害 建物数 4,021 棟(長野市全域)の 約半分となった.この理由として



は、使用したゼンリン建物ポイン 図 4.2.13 推定浸水深と二瓶らの現地浸水深との関係

トデータが住家のみを対象としており,非住家(納屋や車庫など)は含まれていないこと が考えられる.図4.2.14に推計された浸水深及び浸水域内の建物(住家及び事業所)の分 布を示す.まず全体として,浸水域西側や北側に位置する浸水深の深い地域を避けるよう に建物が立地していることが分かる.浸水深ごとの建物数を割合(図4.2.16)でみると, 0m-0.5mが27%,0.5m-1.0mが10%、1.0m-2.0mが38%,2.0-3.0mが23%,3.0m以上が2% であり,全体として比較的,浸水深の浅い地域に建物が立地している傾向が見られる.ま た,浸水域内の建物の約8割が住家であり,残り2割が事業所及び「その他」である(図 4.2.17).住家は,長沼地区周辺では分散的であるが,豊野及び古里地区内の一部で集中し ていることが分かる(図4.2.14).一方で事業所は国道18号線沿い及び浸水域の南部に集 中している(図4.2.14).

次に地区ごとに見ると、豊野の被害家屋数は932棟と推計され、その約4割の建物が浸水深 2m以上の場所に立地しており(図4.2.16)、極めて深刻な被害が発生していたとみられる.特に、豊野駅の南東側は市街化地域に指定されており、多くの建物の密集している(図4.2.14).この地域は、治水地形分類図において「氾濫平野」もしくは「旧河道」に分類されている地域であり、これらの立地特性が豊野地区の被害を深刻化したと考えられる(図4.2.15).

浸水域の大部分を占める長沼地区の被害建物数は、対象 4 地区のうちで最大の 1075 棟 と推計された.しかし、2m以上の浸水深に位置する被害建物数は全体の 1 割程度であり、 その割合は豊野より小さい(図 4.2.16).長沼地区の建物の多くが「自然堤防」上に位置 していることが理由と考えられる(図 4.2.15).しかし、長沼地区内でも、決壊地点に近 接している穂保や赤沼といった地域では、現地で家屋の倒壊などの深刻な被害が確認され ている.今後、流速や土砂を考慮した詳細な分析が必要である.一方で、長沼の被害建物 数の約 2 割を占める事業所の多くは(図 4.2.17)、国道 18 号線を中心とした「氾濫平野」 や「盛土・埋立地」の上に立地しており(図 4.2.15)、これらの多くは国道 18 号線開通後 (1966(昭和 41)年以降)に進出したものとみられる.長沼地区全体としてみれば、その 全域が市街化調整区域に指定され市街化を免れており、土地利用規制が被害拡大の抑制に 大きく寄与したと考えられる.

柳原及び古里地区は浸水域の南端に位置しており,被害建物数は合わせて 202 棟と,豊 野や長沼と比べるとその数は小さい.今回の浸水域の南端は,長野市の市街化区域と市街 化調整区域のほぼ境に位置しており(図4.1.1 及び図4.1.2),柳原及び古里地区内の一部 は市街化区域に含まれ,市街化が進んでいる.仮に氾濫地点がより上流側であったり,よ り氾濫規模が大きかったりした場合は,今回以上の深刻な被害が発生したと想像される.

348



図 4.2.14 推定浸水深及び建物位置

図 4.2.15 治水地形分類及び建物位置

2500

2000

1500

1000

500

0

全体



図 4.2.16 推定浸水深ごとの浸水建物数



柳原

古里

長沼

<u>d)家屋浸水推定のまとめ</u>

本項では、本水害による被害を、建物ポイントデータをはじめとする空間・社会データ を用いて,建物立地の視点から検証・考察を行った.今回は,浸水深の推計方法,推計さ れた建物被害の検証といった課題が残るものの、対象地域内の建物被害の全体像を捉える ことができたと考える.近年では,被災直後に浸水域が公表さるようになり,且つ数値地 理情報の整備も進んできている.今回行った分析方法は,これらの発災直後から入手可能 なデータを用いており,より精度を向上することで,発災直後に被災地の建物被害の状況 や特徴を把握できるようになり,迅速かつ効果的な復旧・復興計画の立案を可能にすると 考えられる.

また,今回の結果から,市街化調整区域では被害が比較的最小化されているのに対して, 市街化区域や市街化調整区域であっても新規に開発された地域では被害が大きくなってい ることが分かった.この結果より,水害被害の軽減に向けた氾濫原内の土地利用や建物立 地の規制・誘導の有効性が改めて示唆されたと考える.一方で,今回被害の大きかった豊 野は,立地適正化計画における居住誘導地域にも指定されており,その指定にめぐっても より水害ハザードへの配慮が徹底されるべきである.今回の水害以降,水害防御や軽減に 向けた河川分野と都市計画や土地利用計画分野との連携,それにもとづく具体的な氾濫原 管理手法の検討が加速しつつある.今回の報告が,今後の氾濫原管理の在り方を見据える 一つの成果になれば幸いである.

(中村晋一郎)

4.3 堆積土砂の現地調査

4.3.1 農地堆積土砂

a) 調査の背景

今回の出水において浸水した千曲川の堤外地は普段,長野市更埴地域から中野市,須坂市,小布施町の地域にかけて多くのエリアで農用地として利用されている.特産品として 長芋,リンゴ,栗などの栽培が古くからおこなわれていたが¹⁸⁾¹⁹,そのエリアの多くが浸水し,また大規模流により地点により表層土壌の流失(耕土流出),下流部では果樹地域に 土砂の堆積が起きた.長沼,保穂の破堤地点周辺および下流方向の地帯も同様に,土地改 良事業,農業水利改良事業などが行われた結果,排水路や排水機施設が整備され,住宅地 とともにおもに果樹,稲作で構成される多くの農耕地を有している地域であった²⁰⁾.

農用地において災害が発生した場合には,被災状況調査が市町村,県を主体として速や かに行われ,その結果に基づき,被災状況や被害額が農林水産省に報告され,現地の測量, 設計により復旧の工法が決められることにより災害査定が行われ,復旧工事が実施される. 今回のような大規模出水とそれに伴う土壌の流出,堆積などでは広域の調査が早急に必要 となるとともに,発生した土砂の移動手段,場所の確保,その性質の把握など多くの作業 が必要となる.また,農用地においては,特に果樹など樹木園では生産作物の保護のため に早急な対応が必要となるにも関わらず,被災地域においては生活や優先されるため,ボ ランティアなどの援助の順番が遅くなる事情がある.しかしながら生活の糧となる農用地 の被災は,同地域にて居住地も被災している状況において被災者にとっては切実な問題で ある.

ここでは長野県内の,千曲川下流域の更埴地域から中野地域の堤外地および破堤点から 浸水が発生した長沼地域の堤内地のとくに農耕地を対象に,表土流出,土砂堆積の実態の 広域調査の結果とともに,堆積土の土質調査の結果を整理し報告する.

b)調査内容

・土砂堆積状況の調査

長野県内の被災地においては災害直後から県下の各地点で市町村からの依頼を受け、市 町村とともに、長野県地域振興局の各支局による調査が行われている.先に述べた出水の あった長野市更埴地域から中野市に至る長野エリアは、長野県地域振興局内にある長野地 域振興局の管轄である.本報告書での検討は、長野市農林部森林農地整備課と長野地域振 興局農地整備課が合同で調査を行った、長野市に属する農地を対象とした.これらは上記 の災害査定のため必要な作業であったが、総数は堤外地235地点、堤内地214地点(以下、 市県調査とよぶ)におよんだ.本報告ではそれに加え、破堤地点の堤内地の追加49地点の 調査を行い堆積土壌厚の分布を整理し、GIS (Arc GIS Pro, Ver 2.4.0, Esri 社)により可視 化した. 市調査においては図 4.3.1 の堤外地 19 地域,堤内地 3 地域に分けて調査が行われている. 総調査地域が河川延長で 30km 以上にわたるため,結果は調査点の集中している地域を中心に,全体を堤外地 3 地域(地域 A: 14~16,地域 B: 7~13,地域 C: -1~3),堤内地 1 地域(堤内 1~3)の 4 地域に分けて図化した.



図 4.3.1 市県調査における調査区区分堤外地 19 地域,堤内地 3 地域 (長野市農林部森林農地整備課および長野県長野地域振興局農政課より提供)

対象地域内の堆積土壌の土質調査

長野市域では堤外地に多くの農耕地があり、そのほぼ全域で河川水位の上昇があったた め、それに伴い土壌の移動(流失、堆積)が発生した。その面積は、長野市管理の区域に おいて, 土砂の排土作業が必要とされる 5cm 以上の堆積があったと確認される農耕地のみ でも堤外地で 337.8ha,堤内地の水田で 55.32ha,畑地で 127.69ha に及んだ(市県調査より 算出). この試算は排土作業に基づき行われているため, 耕土流出の発生した農耕地を合わ せるとより広範囲に影響があったと予想される.とくに堆積の場合には復旧事業として堆 積土砂等の撤去が必要となるが、土量が膨大となるため、市県調査では排土に際し土質を 調査し,作業,あるいは活用(路体盛土やため池提体盛土等)が可能であるかを数地点の 試料より検討することとなっていた.その際,堤外地における堆積土砂の土質と,破堤か らの流出土砂の土質および、破堤地点からの距離や越水の湛水時間に応じて、距離および 地点により堆積した土砂の土質が異なると考えられた.そこで,市県調査の堤外地を対象 とした土質調査に加え、堤内地の破堤点からの距離に応じた土質調査を行った、堤内地に おいて破堤点近傍(地点 0:緯度 36°41'11", 経度 138°16'33")から一定の距離をとり, 西方向の A 地点 (緯度 36°41'10" 経度 138°16'58"), 北西方向の B 地点 (緯度 36°41'26", 経度 138°16'07"),北方向の C 地点(緯度 経度緯度 36°41'31",経度 138°16'32")に向け た測線上で,農耕地を対象に直径 75mm の柱状試料を地点に応じ採取し,実験室に持ち帰 ったのち堆積土壌の深度までを性状確認し今回の水害による堆積分のみを実験に供した. 採取した柱状試料の画像の例を図 4.3.1.2 に示す. 画像において, スケールの 10cm を表 層とし配置しているが、表層から 3.5cm 程度の地点で土壌の色および質感が変化し、堆積 土と従来の耕作土との境界がこの点にあることが確認される.また別地点での柱状試料で あるが,乾燥後(図4.3.2,右図)においても土性の違いが目視で確認できる状況であっ た. 採取地点は各測線上で, 100から 400m までの 100m 間隔の4地点および, 500m, 700m と1000mの3地点(測線Bは500および1000m,測線Cは700mのみ)の,計18地





図4.3.2 長野市長沼地区 堤内地において採取した堆積土壌の柱状試料例

点である.距離は採取時の参考値であり、地点情報は、他情報と重ね合わせての GIS 表示が可能となるよう緯度、経度で把握した.すべての試料について、土粒子の密度試験 (JIS A 1202) および土の粒度試験(JIS A 1204) を行った.

c)調査結果

・堤外地における土壌堆積状況結果

まず市県調査における堤外地,堤内地での土砂堆積,流亡状況調査の際に撮影された堆 積,流亡状況の例を画像で示す(図4.3.3). それぞれの地点における堆積土厚,および表 土流亡の状況が画像から確認される.堤外地にも広域に農耕地があり,農道も利用されて いるため,画像に示したようにまず農道の堆積土砂を排除し,農用地の状況調査および復 旧が行われている.





図 4.3.3 市県調査における土砂堆積・流亡状況の調査画像 左上:堤内地 水田における堆積 +24cm 左中:堤内地 畑における堆積 +28cm 左下:農耕地における農道の排土作業 右上:堤外地 畑地における耕土流失 -188cm 右中:堤外地 畑における耕土流失 -84cm 堤外地における土砂移動状況を図4.3.4、図4.3.5、図4.3.6に地域A(屋代から更埴地域)地域B(犀川合流地点付近,地域C(長沼から中野地域,破堤点近傍)として区分し それぞれ示す.堆積にかかわるコンターの範囲(凡例表示)はすべての図に共通し,グリ ッドの赤線は2kmである.全域で-188cm から+77cmまでの範囲で土砂の流出あるいは 堆積が発生していた.上流域では河川低水路の蛇行が大きく,短い範囲で表土流出,ある いは堆積が繰り返し起きていることが確認された.地域A(図4.3.4)における土砂移動 は-100cmから+77cmの範囲で確認され,大規模な耕土流失および堆積が起きていた. -100cmの耕土流失は,客土が行われた耕作地での発生が確認されている.地域B(図4.3.5)



図 4.3.4 堤外 地域 A 屋代から更埴地域 土砂厚変化分布図



図 4.3.5 堤外 地域 B 犀川合流点付近 土砂厚変化分布図
では-188cm から+55cm の範囲で土砂の移動があり,とくに耕土流失が著しいエリアが 多く確認された.当該地域では特産品として長芋が栽培されており,2mほどの厚さに砂を 耕作地に敷き詰めて行われる.この表土がほぼ流れによる浸食により流亡したものと考え られる.他方,同地域においても果樹園などでは堆積が起きていた.

穂保の破堤点近傍においては、堤外地でも耕土流失は確認されずすべての調査点で土砂 堆積が起きていた(図4.3.6).地域Cの右岸堤外地は、行政界により須坂市、小布施町と なっており、本報告で使用した調査データには値として含まれていない.しかしながら、 堤外地は果樹、栗などの特産品の耕作地として使用されており、その被害は須坂市で堆積 厚40cm程度、総面積121ha、小布施市で堆積厚50cm程度、総面積143haの土砂堆積があ ったことが報告されている²¹⁾.また、図には含まれないが、立ヶ花狭窄部エリアには中野 市の無堤地に多くの耕作地があり、こちらでも堆積厚50cm程度、総面積102haの排土が 必要な箇所が報告されている²¹⁾.

以上から,対象地域においては,犀川合流前の上流部にあたる屋代,松代地域において は耕土流出および土砂堆積の双方が発生し,下流部の立ヶ花狭窄部による貯留効果で高い 水位が継続しやすい長野盆地のエリアにおいては,広域に土砂堆積が起こっていることが 確認された.



図 4.3.6 堤外地域 C 長沼から中野付近

図 4.3.7 堤内地の堆積土厚分布 (農耕地調査)

・堤内地における土壌堆積状況結果

堤内地における土砂堆積状況を図4.3.7 に示す.今回破堤点近傍には果樹園があったが, 最も堆積していた地点では100cmの泥厚が確認されている.堆積厚は破堤点を中心として ほぼ同心円状に広がりながら浅くなっていることが確認された.他方,国道18号を挟み西 側の水田地域にも30cmを超える堆積が確認された地点が数多くあり,南北に走る農業用 排水路を超えた先にも10cmを超える堆積の確認地点が複数ある.新幹線線路より山側で はすべての点で2cm以下となっていたが,影響は破堤点からが広範囲に及んだことが確認 できた.



・堤内地における堆積土壌の土質調査結果

堤内地における試料の採取地点を,泥厚調査により得られた推定堆積厚と標高のデータ とあわせ図4.3.8に示し,地点ごとの粒径加積曲線を例示した.破堤点は図の白丸である. A方向について例示した粒径加積曲線より,距離が遠くなることにより粒径組成が細粒分 を多く含む形状となっている.各方向の500m以遠の図ではC方向など傾向の異なる地点 も確認されたが,A方向,B方向ともに1000,地点では細粒分の多い構成となっていた. それぞれの結果を堆積泥厚と比べると20cm以上のような堆積の地点では粗粒分も確認さ れるが,堆積の少ない場所では粒径の小さいもので堆積土の大半が構成されている傾向を 確認できた.農用地における堆積では,公道や住宅地道路などの表面に堆積した土砂に比 ベ,もともとの農耕土壌,あるいは10月の災害という,時期的に耕作を終えた田畑に残る 作物残渣を含む形での再堆積が起こっている可能性もあるため,傾向が異なることも考え られる.土の粒度試験の結果として,ほぼすべての試料で細粒分(75µm以下)が50%以 上含まれる細粒度であったため,現在の地盤工学会基準によれば塑性図による分類を行う ところである.今回把握したいのは土壌としての分類ではなく,堆積土砂の地点による組 成の変化であるため,三角座標による分類を行った.加えて現在の基準において礫分,砂 分,細粒分により分類を行うと,礫分がほぼ含まれないという試料の特性から図上での確 認が困難であるため,古い基準となるが日本統一土質分類によるG(礫分),S(砂分),F

(細粒分 粘土・シルト)の三角座標による比較とした.結果を図4.3.1.9に示す.破堤 点近傍およびB,C方向の数地点(B400,C100,C300)などが一部砂質あるいは砂礫質と なったが,大半の試料が細粒土(F)に区分され,通常の農耕地の土性とは異なると考えら れる性状を示した.また色分けに示す通り,破堤点近傍からの方向により性状に若干の変 化が見られ,とくにA方向の堆積土はほとんどがシルトおよび粘土で構成されていること が分かった.C方向は図4.3.8に示した通り堤防沿いのエリアとなるが,観測された性状 が距離によらずばらつきがみられた.またC300の点では目視の観測によっても,有機分 が確認されており当該地において多く見られた土塀の剥離などの建材が,農用地にも土砂 とともに堆積している可能性が示唆された.

本調査の対象地域において,農耕地に流入した土砂の排土作業状況は,長野市災害対策本部会議資料として,対応部局である農林部より経過が随時報告されており²²⁾,2020(令和2)年3月18日時点の報告において,堤内地では全体の183haのうち1月末までに申請のあった対象地の94%で処理が完了している.畑の進捗率として99%,水田の進捗率とし



図 4.3.9 三角座標により堆積土の分類(日本統一土質分類法による)

て 77%となっている.耕作地に土砂が大量に堆積した場合には排土の対象となるが,5cm 以下であればそのまま耕作を継続することも可能であるとされているため,堆積土の耕作 土壌としての性質,すなわち可給態窒素量や可給態リン,交換制石灰,交換制苦土などの 含有量は堆積前の作土と堆積土のそれぞれの分析を県の対応機関が行っており,作物別に 施肥の状況や圃場に影響を与えない程度の流入量などの目安を生産者に提示している²³⁾. 例えば,排土作業が必要ではないと判断された程度の堆積土厚がある地域で,土砂から窒 素供給が見込める場合には施肥を減肥する対策をとる,他方,砂を多く含む堆積があった 場合には追肥が必要,などである.

前述したように,市県調査では排土に際し土質を調査し他工事への活用が可能であるか を検討するなどしている.長野市が対象とする排土量は45万m³ほどとされ,破堤した堤 内地のエリアでは土壌の農業環境基準を調査し、クリアしていることを確認したうえで市 内および周辺市町への4か所に搬入している.実際に耕作土としての受け入れをしている 地点も存在する. 今回対象となる堆積土の移動は浚渫土撤去に当たるため, 土壌環境基準 の適応がされず、測定の必要がないことが確認されているが、受け入れ側の市町村からは 災害廃棄物とも受け取れる土砂受け入れに不安の声が出ることも想定されることであり、 住民説明会では長野市もこれに答え、環境基本法上の基準を満たしているか土壌調査を実 施し、土砂に有害物質が含まれないことを調査するとの回答をしている。市では今後実際 に処理を行った堆積土量,および搬出先への定量的な数値を整理して行くとのことであり, 大規模水害発生時の農用地被害とその処理に係るデータとして重要かつ有用なものとなる と考えられる.河川堤防の破堤に際し、大量の土砂が堤内に流入・堆積した場合には、農 耕地にかかわらずその処理が問題となることは,今後気象水害の甚大化に伴い十分に考え られる危機である.これまで水害に関しては浸水区域図を用いたハザードマップのような 形で、水位に関する情報が提供されることが常であった。技術的に可能な土砂の堆積に関 する同様な情報が提供されることがあれば、住宅地、農耕地にかかわらず有用な資料とな ることが示唆される.今後そのような検討を今回のデータをもとに行っていく必要がある と考える.

最後に、河川高水敷における耕作は今回の水害の地域だけでなく多くの場所で行われて いる営みであり、今後今回のような水害と同様な出水がある場合には多くの耕作地に影響 があることが想像に難くない、今回の災害で対象となった地域には名産品や古来より栽培 されてきた歴史のある生産物も多くあったが、今後そのような耕作地へのたびたびの影響 も考えられる、農作物には栽培適地があるため、簡単なことではないが、栽培地の変更も 含めた農耕地の防災、減災に関する検討が必要であると考える.

(酒井美月, 轟直希, 松下英次)

4.3.2 高水敷堆積土砂·果樹木

千曲川下流の河道は地形・地質的に河川形態のセグメント区分では2 あるいは Bc 区間 であり長野盆地を流れている.河川勾配は 1/1,000~1/1,500 で緩勾配である.下流部には 立ケ花狭窄部があり,地形的にも滞留しやすい河道構造となっている.したがって,千曲 川河川事務所の 1995(平成7)年~2005(平成17)年の河床変動調査でも狭窄部上流は 若干堆積傾向にあることが把握されている²⁴⁾.このため河床掘削による河床低下を図る ことが指摘されている.

今回の台風 19 号がもたらした洪水による流出土砂量は膨大な堆積量が推測される.また,河川幅約 1,000m になる河川敷には地割慣行制度と呼ばれ共有地として果樹栽培などが伝統的に行われている²⁵⁾.更に,河畔周辺には自然林が繁茂している.これらの果樹を含む樹林は高水敷に面的にも広範囲に存在している.これは河道の疎通能力に対して流れを阻害する要因になることは明らかである.このため河道の高水敷内の樹林・果樹・土砂堆積量を把握し,今後の河川維持管理にかかわる資料とすることを目標に実施した.

a) 堆積土砂および果樹園・樹木調査

・調査日時と区間

第一回,2019(令和元)年11月7 日,小布施橋下54.5k~村山橋60.0k の区間5箇所,第二回,2020年1月 17日小布施橋下52.5k~屋島橋 62.0kの区間5箇所

・調査方法及び結果

調査箇所は図 4.3.10 に示した黒 枠印の箇所である.河川敷は右岸側 5 箇所,左岸側 5 箇所の計 10 ケ所で 実施した.河川敷の利用形態はリン ゴ果樹園 4 ケ所,栗果樹園 2 ケ所, 桃果樹園 1 ケ所,裸地 2 ケ所,サッ カー場 1 ケ所となっている.樹木調 査は樹高,目通し高の樹幹直径の測 定を実施し,メジャー,距離計,ス タッフを使用した.調査結果の一覧 を表4.3.1,表4.3.2 に示した. 土砂堆積深の調査では平均堆 積深の最大値は左岸 55.5k 付近の リンゴ果樹園 38.05cm(計測箇所



図 4.3.10 河川敷土砂堆積・樹木及び越水箇 所調査黒色口印:土砂堆積調査箇所,千曲川

数 20 ケ所),最小値は右岸 57.0k 付近の北相之島のリンゴ果樹園で 11cm(計測箇所数 4 ケ 所)となっている.いずれも地質は上層がシルト,下層が粘土で構成されている.全調査地 点の 10 か所の平均値 23.18cm,左岸側の平均値 31.53cm,右岸側の平均値は 13.16cm であ る.

これらの計測・目視から推定すると堆積深の上層がシルト,下層が粘土または下層細砂 となっている.上流および左岸ほど上層シルト・下層細砂が多くなっている.これは洪水 により砂など比重の大きなものが最初に掃流力で運ばれて沈殿し,その後,水位が上昇し 滞留が始まる.更に,流速が減衰する箇所から徐々に浮遊しているシルトが沈降している 現象となっていると考えられる.また,河川敷の左岸は右岸の2倍以上堆積しやすいこと も分かった.小布施橋上流55.5k付近から57.0k付近の左岸ではシルトの堆積が顕著であ った.右岸56.0k付近の栗樹木では支流松川の流入の影響でシルト・細砂で堆積深は 13.5cmと比較的少ない.左岸59k付近の河川敷のリンゴ果樹園の4mポール先端まで葉面 に洪水トレーサーとしてシルトが付着している(写真4.3.1).

NO	測定地点	河	Ⅲ敷	利用形態	平均堆積深(cm)	計測箇所数	土質(上層·下層)	周辺環境
1	62.0k屋島橋下流付近(1.17)	左岸		サッカー場	21.78	8	シルト・細砂	川沿い樹林
2	58.2k 村山橋下流岸寄り(1.17)	左岸		裸地1区画	34.06	8	シルト・細砂	巨木
3	59.0k下流 (11.7)	左岸		リンゴ果樹園	26.3cm,32cm	5	細砂・リップル	低水路32cm
4	56.5k低水路側(11.7)	左岸		栗樹木	37	2	シルト・細砂	
5	55.5付近(1.17)	左岸		リンゴ果樹園	38.05	20	シルト・粘土	
6	54.5付近小布施橋下(1.17)		右岸	裸地	13.17	6	シルト・粘土	
7	56.0k付近(1.17)		右岸	栗樹木	13.5	6	シルト・細砂	松川流入
8	57.0k付近上(11.7)北相之島		右岸	リンゴ果樹園	11	2	シルト・粘土	
9	57.0k付近横(11.7)北相之島		右岸	リンゴ果樹園	11	2	シルト・粘土	
10	58.5k付近(1.17)相之島		右岸	桃果樹園	17.14	7	シルト・微細砂	

表 4.3.1 河川敷土砂堆積調査結果

表4.3.2 河川敷果樹園・樹木調査結果

NO	測定地点	河川	Ⅱ敷	利用形態	樹木本数	面積(m2)	樹木密度(本/m2)	平均樹高(m)	平均直径(cm)
1	62.0k屋島橋下流付近(1.17)	左岸		サッカー場	生垣	約1,500			
2	58.2k 村山橋下流岸寄り(1.17)	左岸		裸地1区画				8m¢34.06cm)	
3	59.0k下流 (11.7)	左岸		リンゴ果樹園	16	440	0.036	2.52m	15.1
4	56.5k低水路側(11.7)	左岸		栗樹木	17	1,488	0.011	6-7m	41.8
5	55.5付近(1.17)	左岸		リンゴ果樹園	53	4,250	0.0125	2.5m	17
6	54.5付近小布施橋下(1.17)		右岸	裸地	なし	400	なし	なし	なし
7	56.0k付近(1.17)		右岸	栗樹木	14	400	0.035	6-7m	約40
8	57.0k付近上(11.7)北相之島		右岸	リンゴ果樹園	10	312	0.032	2.23m	16.2
9	57.0k付近横(11.7)北相之島		右岸	リンゴ果樹園	14	448	0.031	2.23m	18.3
10	58.5k付近(1.17)相之島		右岸	桃果樹園	21	625	0.034	約3m	約16-18

次に,樹木調査では左岸 58.2k 村山橋下 流の河川敷にはケヤキの樹高 35.05m,直径 φ5.3m,樹高約 25mの巨木がある.神社鳥居 があり浸水高 2.8m,直径 φ34.06cmの柱があ り象徴的な場所として高水敷にある.また, 樹高約 10~20mの河畔林が右岸左岸とも繁 茂しており,高水敷の河畔に縦断方向に繁 茂している状況は写真でも明らかである(写真 4.3.2).

また,伐採され堤防に約 100m にわた り積み上げられた樹木(直径 20~40cm)か らも大量な樹林であることが分かる(写 真 4.3.3).

一方,高水敷のリンゴ果樹の樹高は
2.23m~2.52m,栗樹木の樹高約 6m~7m,
桃は約 3m となっている.果樹の幹直径は
夫々リンゴ果樹 15.1~18.3cm,栗樹木 40~
42cm,桃 16~18cm である.

樹木密度は夫々リンゴ果樹 0.0125~ 0.036本/m², 栗樹木 0.011~0.035本/m², 桃 0.034本/m²となっている.

これらの果樹木の水没状況を電子国 土の河川横断図から読み取り推定した. 越水した堤防天端高から高水敷高との差 を水没深さとした.

その結果,水没深さは決壊地点の左岸 57.5k 付近は 4.65~5.51m,左岸 59.0k は 3.11~3.28m,下流の左岸 55.5k は 5.31~ 5.50m である.右岸 57.0k は 4.68~5.18m, 右岸 58.5k は 4.36~5.73m,下流の右岸 54.5k は 5.41~5.70m である.

栗樹木を除いて左岸 59.0k・左岸 55.5k ・右岸 57.0kのリンゴはすべて水没して いる.



写真 4.3.1 左岸 59k 付近の河川敷のリンゴ 果樹.ポール先端の葉面にシルト



写真 4.3.2 右岸 57k 付近の河川敷に繁茂す る樹林帯,その向こうが低水路



写真 4.3.3 伐採し堤防に積み上げられた河川 敷樹木 (左岸 55k 付近 2020.1.17)

次に, **表**4.3.2 河川敷果樹園・樹木調査結果から,河道の高水敷における植樹の基準で 果樹木の密度の評価を行った.河川における樹木管理の手引き²⁶⁾で示されている植樹の条 件と許容植樹密度(上限)によると河床勾配 1/2500 以下の場合,高水敷の水深(0.5m~6.0m) と低水路幅/高水敷幅比(0.2~6.0)の関係が 1ha 当たりの樹木本数が示されている.

調査箇所のリンゴ果樹の平均密度 0.024 本/m², 栗樹木の平均密度 0.023 本/m² は 1ha 当 たりにすると其々240 本/ha, 230 本/ha となる. この個所の高水敷の水深は 3m~5m, 低水 路幅/高水敷幅比 0.32 であるから基準によると高水敷の水深 4m の場合 0.5 本/ha となって いる. これはリンゴ果樹 480 倍, 栗樹木 460 倍になる. 現在の果樹木は超過密した高水敷 になっている.

・土砂堆積に関する考察

写真 4.3.4~5 は左岸 59.0kのリンゴ果 樹園の土砂堆積状態を示している.写真 4.3.4 は右側の上流から左側下流に土砂 堆積が畝の山波を形成していることが分 かる.リンゴ樹木の間を縦断方向に堆積 している.正面奥が低水路河道となって いる.堆積した形状は山型となり峯の高 さは 45cm,峯と峯の間は 4m 間隔で,谷 では堆積深さ 10cm と小さい.堆積したの は細砂がほとんどあり,シルトは僅かに 地表面とリンゴの葉面,果実表面に分布 している.ここで見られた水理現象は砂







写真 4.3.5 リンゴ果樹園の土砂堆 積深計測

Sand ripple(砂漣,砂堆)4m間隔で堆積し, 深さ10~45cm



写真 4.3.6 リンゴ果樹園の土砂堆積の状 況左岸 55.5k 付近

漣,砂堆が発生していたことを示している.

洪水時,高水敷を流れる流体の挙動を推測することができる.砂漣は砂粒子が静止状態から流速が増加する過程で河床の乱れによって最初に現れる現象である.周辺のリンゴ 樹木は流体力による倒伏や変形は認められず,かつ周辺畑地は洗堀や深掘れが発生してい ない.また,リンゴ果樹園内の流れは反砂堆ができる射流(Fr>1)とは考えにくい.したが って,流向は低水路から河道の横断方向に流れ込み,初めは流速が小さく,細砂が沈降し ,さらに増水後,滞留した浮遊性のシルトが時間をかけて沈着したことが推察できる.

▪ 土砂堆積状況

小布施橋上流の左岸 55.5k 付近のリンゴ果 樹園は堤防から河川敷に坂路を使って入る ことができる.そこは堤防から見ていた光景 とは全く異なる.リンゴ果樹園内にはアスフ アルト舗装された通路が張りめぐらされて いる.河畔林が生い茂る場所まで調査するこ とができた.幅 3.5m 程度の通路の両側には 堆積した土砂の壁がつづいている(写真 4.3.6).

堆積深の計測は区画されたリンゴ園の まとまった一区画の二辺を 5m 間隔に測 定するようにした(**写真 4.3.7**).

作業農家の方のヒアリングにより過去 の堆積した地層を教えていただき計測を進めるこ とができた.過去に堆積した地層の境界は雑草など が枯死していることから見分けることができる.ま た,シルトは透水性が悪いため新しい堆積層は水分 を含み黒色になっていることかもわかる.

耕作がされていない裸地も 2 箇所の調査を行った.また,深さ約 2m以上の試掘箇所では今回の 19 号による洪水土砂の痕跡を確認することができた.ここの堆積深は約 60cmの深さである.また,過去の堆積土砂は掘削除去されていないことも分かった.リンゴの樹木は幹の枝分かれの腰や肩まで土砂に埋没している(写真 4.3.8).



写真 4.3.7 リンゴ果樹園の土砂堆積深の 計測 一区画の二辺を 5m 間隔で計測,左岸 55.5k 付近



写真 4.3.8 リンゴ果樹園の土砂堆 積深さの最大値は 60cm の箇所

・土砂堆積量の推定

土砂堆積の深さは全調査地点の10か所の平均値23.18cm,左岸側5か所の平均値 31.53cm,右岸側の5か所の平均値は13.16cmである.この数字は堤防からの越水がシビ アーな議論となる中では、決して無視できる数字ではないと考えられる。土砂の除去をし なければ、この深さの分だけ河川水位を上昇させることにつながる.

台風 19 号の洪水では、小布施橋~村山橋間のうち約 2km 区間の河道の高水敷の堆積量 を推算すると平均堆積深さ 23.2cm では推定約 300,185(m³/2km)となる. これはダンプ 4t 車 75,000 台に相当することになる.

b)広い高水敷を持つ複断面構造の水理

・河川の流れと河道横断面

立ケ花狭窄部から 60k 村山橋の区間 は広い高水敷を持ち複断面構造となっ ている.このような区間においては通 常の開水路の矩形断面とは異なり洪水 時の流れは複雑な不安定流れを有する ことが知られている.上記の堆積土砂 の調査では洪水痕跡としての土砂の挙 動では興味深い砂漣の形成が見られた .そこで,既往の水理関係の論文から立 ケ花狭窄部から村山橋間の堤防決壊前 の流れを考察することにした.

写真4.3.2.9は57.5k付近の決壊箇 所を下流方向に見た鳥瞰である.こ の地点は河幅950m,低水路幅230m である.高水敷は横断図から左岸側 約300m,右岸側約420mである(図4.3.11).河川勾配は1/1,100で ある.写真4.3.9では堤防決壊後か ら洪水が低減している状況下にある. 左岸高水敷の流れは決壊箇所に向かう 流れが上流,下流からも形成されている.



写真 4.3.9 千曲川左岸堤防決壊と洪水流 (時事通信社)



図 4.3.11 千曲川左岸 57.5k 堤防決壊付近の 河川断面

一方,右岸側の流れは高水敷に滞留し,停滞した状況がみられる.これは高水敷に繁茂 する樹林や果樹園の樹木によって高水敷の流れは滞留されていることが推察される.また ,低水路の流れは両側の高水敷と異なり,流心の水面に白濁した気泡を含む流れとなり高 水敷より早い流れであることが水面に浮かぶ気泡列の筋からも推察することができる. この流れの違いを仕切っているのは両河岸の河畔林によるものと考えられる.これら は洪水時,高水敷と低水路の流れの交換を低減させていると考えられている.河畔林の帯 は欧州ドイツ圏域では高水敷の樹木群と低水路とのインターフェースプレーンで rough wall と呼ばれている²⁷⁾.これは複断面構造が本来,流速差によって発生する渦流を出現 させない役割を果たしているからである.千曲川河畔の樹林管理にかかわる課題である. また,今回の洪水では高水敷は決壊するまでの水位上昇期は下流から上流に向かって水位 が上昇し,流れが貯留地化し,停滞から次第に背水面が上昇していたものと推察すること ができる.

・広い複断面形状の水理実験例

上記の千曲川の河道に近似した複断面 形状をもつ開水路の水理現象を実験によ って水平渦を三次元乱流構造として明ら かにした池田らの研究²⁸⁾がある.

この研究は複断面開水路流れで発生す る水平渦は、高水敷と低水路の横断方向 の流速差に起因する変曲点不安定性と 2 列渦列の安定性という 2 つの要因の影響 をうける複雑な現象であるとしている. 複断面開水路に発生する水平渦の 3 次元 乱流構造をレーザー流速計によって計測 し、三次元の流速ベクトルを詳細に明ら かにしている²⁸⁾.

図 4.3.12 は境界面に 2 列の非対称渦列 を 2 次元で示している²⁸⁾.

実験は左右に高水敷を両側対称に持ち, 河川幅 B,低水路幅 b の比を変化させてい る²⁷⁾ (図 4.3.13).水路長 14m、水路幅 40cm であり、水路勾配は 1/1.000 である.

この実験では高水敷の樹木相当の粗度係数 は設定されてない.スケール規模を縮尺で みると小規模であるが,極めて興味深い示 唆を与えている.

複断面境界部に発生する水平渦に伴う流体の挙動は、高水敷上では強い2次元性が、 低水路側では渦中心の上昇流をともなった



図 4.3.12 境界部における流速 uj で動く移動座 標系から見た X-y 面 (z=0.3cm)での流速ベク トル図.(a)(b)(c)(d)の各横断図は省略



図4.3.13 複断面水路の横断図及び記号の説明(n_m, n_f)はそ れぞれ低水路,高水敷のマニングの粗度係数



図 4.3.14 水平渦に伴う低水路・高水敷間の 流れの概念図²⁸⁾

3次元性が卓越している.

このような水平渦に伴う低水路と高水敷間の流れの様子を概念的にも示している(図 4.3.14).

今回の洪水では同様な水理現象は確認されていないが,池田らの研究²⁸は長野市穂保 57.5k付近の堤防決壊前の洪水流の挙動を理解するためのヒントを与えている.即ち,洪水 時の河川敷の流れは,河川敷の堆積土砂分布への影響,果樹木・樹林による粗度係数の課 題,さらに堤外地の坂路への流れの影響に関して理解を深め,粗度係数の評価に繋がる課 題と考えられる.

<u>c) 高水敷堆積土砂・果樹木調査のまとめ</u>

・調査区間はセグメントでは2 あるいは Bc 区分にあり,河川勾配 1/1100 の緩勾配にある・下流の立ヶ花狭窄部から上流の村山橋付近までは,河川敷の樹林・果樹園などの影響もあり,洪水時に流れは貯留池化している.

- ・河道の高水敷における植樹の基準で果樹木の密度の評価を行った. 調査箇所のリンゴ 果樹の平均密度 0.024 本/m², 栗樹木の平均密度 0.023 本/m²は 1ha 当たりにすると其 々240 本/ha, 230 本/ha となる. 現在の果樹木は超過密した高水敷になっている.
- ・洪水時,高水敷の堆積土砂は膨大な堆積量となり堤防管理においても無視できないものと考えられる.低水路だけでなく,高水敷も計画的な調査と浚渫が必要である.
- ・距離標 55.3k-57.3k の区間は河道掘削が令和元年 8 月の河川整備計画でも指摘されていた.また,今後,計画的で持続的な浚渫が必要となる.
- ・樹林,樹木の計画的伐採,私的所有である果樹園の適切な河川占用管理が求められる .これらを粗度係数として評価し,河川管理に反映する必要がある.そのためにも河 道の複断面構造のもつ洪水時流れの水理現象を3次元的にも把握する必要がある.
- ・河川敷の果樹木、樹林の適切な管理、浚渫などがなければ、今後も計画規模を超える
 洪水では長い河道区間の脆弱な何処かの箇所で越水につながるものと推察される。

(土屋十圀)

4.3.3 破堤点近傍の氾濫域堆積土砂

a)はじめに

本調査では、長野市長沼地区などで生じた千 曲川破堤氾濫による浸水の被害状況を整理し、 氾濫で生じた堆積土砂の粒度分布試験を行い、 その結果を用いて土砂堆積の状況およびシル トや粘土といった微細な粒径が主であった土 砂堆積状況のメカニズムについて考察する.



図 4.3.15 被災の様子

b) 堆積厚調査および土砂採採取と粒度調査の概要

信州大学豊田研究室により 10 月 18 日, 20 日に千曲川破堤による土砂の堆積厚と土砂採 取が行われた.堆積厚調査にはポールとメジャーを用い,氾濫前の地盤と思われる場所ま でポールを突き刺し,その長さを計測した.また,土砂採取は,道路上,橋の上など,堆 積した土砂と思われる資料を採取した.土砂堆積厚の状況を図4.3.16 に示す.本図から, 破堤箇所近傍では,20cm 近くの堆積がみられるが,500m 程遠方では 10cm 以下の堆積厚 となっている.これらの結果から,土砂堆積厚は破堤箇所近傍で大きいものの,氾濫域全 域としてみれば,広く薄く広がっているといえる.また,後述するように,拡がった土砂

の粒径は非常に小さく,その排 除,清掃が大きな問題となり, また,果樹園などの農業被害も 大きな問題となった.

採取された資料のうち,図 4.3.15 に示す地点の資料に対 して土質試験を行った.なお, 中部大学チームも 10 月 27 日 に現地調査を実施しており,そ のときに採取した試料(4か 所,1,2,7,15)も合わせて整理し ている.現在まで,中部大学チ ームの採取地点の4か所,信州 大学チームの多数ある採取地 点のうち8か所の,合計12 か 所の試料が分析された.

「土質試験基本と手引き第 二回改訂版」²⁹⁾を基に,自然含



図 4.3.16 土砂堆積厚の分布 (元信州大学大学院 山下拓朗作成)

水比試験,液性限界・塑性限界試験, 密度試験,粒度試験を行った.本試 験は,採取した土砂の物性値を把握 することを目的とし、中部大学工学 部都市建設工学科の余川弘至講師, 渡邊翔氏(現3年生)の多大な支援 を得て実施された.ここでは紙面の 都合上,液性限界・塑性限界試験お よび粒度試験を示す.

226 234 117 0 300 (m) 15 108 ★ 破堤点 7 2 1 102 ★ 破堤点 105 2 1 102 ★ 破堤点 3 面査地点番号

<u>c) 試験結果</u>

図 4.3.3.4 に液性限界・塑 性限界試験の結果を記載した 塑性図を示す.なお,見た目で 105 の資料が他と異質であっ たので,図4.3.18 には記載し ていない.本図から,採取され た土砂は粘土分とシルト分が 混在していることが分かる.

図4.3.19に粒度試験による 粒径加積曲線を示す.また,表 4.3.3にD₂₀と透水係数および 土質分類の関係を示す.粒度 分布から求めたD₂₀の値と表4.3.3より,地 点15,226,234が細粒粘土,地点1,2,7, 102,108,115,117,219が粗粒粘土,地点 105が細粒シルトと分類できる.

なお,得られた結果をみると,ほとんどシ ルトおよび粘土の土砂であった.図4.3.19 の粒度分布をみても,105のみがズレて現れ

図 4.3.17 調査地点情報



表 4.3.3 D₂₀ 粒径と透水係数の関係表 ³⁰⁾

D_{20} (mm)	k(cm/sec)	土質分類
0.0010	1.50E-07	細粒粘土
0.0028	1.00E-06	岩 希尔卡 十
0.005	3.00E-06	7日7旦7日二
0.010	1.05E-05	細粒シルト
0.020	4.00E-05	
0.030	8.50E-05	和希望シンリント
0.040	1.75E-04	
0.050	2.80E-04	

ている.現地調査において、「非常に細かい土砂が堆積している」というコメントは多数聞 かれた.一方、破堤箇所の上流側(105 地点)に限定すれば、大きな粒径の土砂が堆積して いた.これは、破堤時において破堤箇所近傍で大きな渦が発生し、堤防を構成していた土 砂が集積したという考察もできるが、まだ不明である.本調査により、氾濫水と共に流入 した土砂は非常に粒径の細かいものであったことが示された.



d) 粒度分布に関する考察

図4.3.19から,地点15は 他の資料の結果とズレてお り,粒径分布が細かいこと が示されている.これは採 取場所が畑だったことか ら,畑の土も混在している 可能性がある.また,地点 105の結果は他の資料の結 果と大きくズレている.こ の違いは見た目でもわかる 程度であり,c)で述べたよ うに,千曲川破堤による流 入土砂というよりも,堤防



破堤による土砂が堆積したものとも考えられる.したがって,ここでは,地点 15,105の 資料を除外して考察する.

図4.3.19 の地点 219, 226, 234 の粒度分布を図4.3.3.6 に示す.本図から3つの試料の 粒度分布が一致していることが分かる.このことから地点 219, 226, 234 は同じ成分の土 と推測される.この3点は破堤点から離れた距離にある点であり、粒径の細かな土砂が堆 積している. 図 4.3.21 には,地 点 1,102,108,117の グラフを示す.グラフ から 50%粒径を超え る辺りから各数値に 変化が見られた.この 変化を破堤点との距 離と比較すると,距離 が一番近い地点108か ら地点102,地点117, 地点1の順でだんだん と粒径が細かくなっ ている.すなわち,流 速などの影響により,



破堤箇所から遠くになると、50%粒径や80%粒径などが小さくなる様子がみられる.この 傾向を明らかにするために、それぞれの粒度分布から20%粒径、50%粒径、80%粒径を算 出し、破堤点からの距離との関係を示したものが、図4.3.22である.本図から、破堤点か らの距離と20%粒径について、関係はあまり見られないが、50%粒径と80%粒径では、破 堤点から遠い箇所ほど値が小さくなる様子が分かる.すなわち、小さな粒径の粒度の割合

はあまり変化していないが、遠距離で は比較的大きな粒径の土砂の割合は小 さくなっていることが示された.これ は沈降を考えた場合には当然の結果で あるが、その様子が定量的に求められ た.

50%粒径:(mm)

1000

1500

破堤点からの距離(m)

粒径

(mm)

0.03

0.025

0.02

0.015

0.01

0.005

0

500



破堤点からの距離(m)



371

e)粘土・シルトの土砂が拡がる要因に関する考察

c)および d)の検討から,千曲川破堤氾濫の状況では,粘土・シルトといった細かい土砂 が流入し,拡がり,堆積していたことが示された.現地調査でも同様のコメントが得られ ており,流入した土砂が細かい粒径を持つものであったと考えられる.ここで,流入した 土砂が細かい粒径を持つメカニズムについて考察する.

千曲川は広域な高水敷を有する河川である.河川水位が低水路より低い場合,水・土砂 は低水路を流れ,掃流土砂の粒径は流れの強さに応じて構成され,上流から下流へ移動す る.水位が低水路より高い場合,低水路部は水・土砂が流れ,高水敷も同様であるが,流 れは低水路より緩やかになる.そのため流れる土砂の粒径は小さい.低水路から流入する 土砂もあるが,岸近くでは浮遊土砂の中の粒径の大きいものは沈降していることが考えら れる.さらに,下流の狭窄部に起因する流下能力不足に伴う水位上昇が生じると,主流の 流速も低下するが,特に高水敷の流速が低下する.そのため,高水敷では細かい粒径を持 つ濁水となり,沈降する土砂も細かい粒径のものとなる.

図4.3.23 に、破堤箇所近く(地点108)と、破堤箇所から20km程度上流の千曲川の高 水敷と低水路の堆積土砂の粒径加積曲線を示す.本図から、低水路と高水敷では、粒径分 布も大きく異なり、高水敷の堆積土砂が低水路よりも細かい粒径で構成されていることが 分かる.このことは、

前述した高水敷と低 水路の堆積土砂の粒 径の特徴と合致す る.

破堤が生じた場 合,破堤箇所近くの 浮遊している土砂と 堆積している細かい 粒度の土砂が巻き上 がり,堤内地へ流入 する.破堤が長く続 いても,高水敷にあ る細かい粒径を持つ 土砂が堤内地に入り 拡がったと考えられ る.



図 4.3.23 粒径加積曲線(地点 108 と破堤箇所から 1km 程上流 の千曲川高水敷と低水路)

f) 破堤点近傍の氾濫域堆積土砂のまとめ

本研究で得られた成果と課題を以下に示す.

- (1) 調査した土砂は、粘土分とシルト分が混在している粒径の細かい土砂である.
- (2) 破堤箇所の堆積土砂の 80%粒径や 50%粒径をみると,破堤点付近を始点として距離が 遠い地点ほど粒径は小さくなる傾向であった.
- (3) 狭窄部のある複断面水路で破堤が生じた場合、シルト・粘土などの細かい粒径を持つ 濁水が堤内地に拡がる可能性がある.

(武田誠,豊田政史,川池健司)

4.4 氾濫シミュレーションの高度化

4.4.1 排水過程を考慮した氾濫シミュレーション

<u>a) はじめに</u>

本調査では、より精度の高い氾濫解析を行うための情報収集を行い、その情報をもとに した計算結果と観測結果を比較し解析の精度検証を行った.さらに、浸水の様子を考察し、 当時の課題を抽出する.浸水災害の対策を検討するためには、被害がどのように発生した のかを評価するとともに、その防御策を検討することが重要であり、そのためには、最大 浸水深やそのときの流体力のみではなく、浸水・排水過程を評価する必要がある.本調査 では、その全体像を示すことを目的に検討を進めた. 氾濫の経緯¹:

気象庁によると,長野県では 12 日 14 時から 18 時に降雨のピークを迎えた.千曲川で は大雨により流量が増加し,20 時以降に堤防からの越水が相次いだ.堤防が決壊した左岸 58.0k 地点では,13 日 2:15 にライブカメラ(57.5km)により堤防からの越水が確認された. カメラは越水を確認した直後倒壊し映像が途切れたため,堤防が決壊した正確な時刻は不 明となっている.13 日 5:30 に国土交通省により堤防の決壊が確認された.なお,破堤箇所 近くの住民からは4時過ぎに大きな音を聞いたという証言があった.

支川の浅川では、本川の千曲川の流量が増したことでバックウォーター(背水)が発生 した. 12日 19:18 に国土交通省がバックウォーターを確認し、水門を閉じた.水門を閉じ た後はポンプによる排水が行われたが、13日 0:08 に千曲川の水位が高くなり基準を超え たためポンプによる排水は中止された.その後、0:30 に浅川で堤防越水が確認された.そ して、58km 地点の破堤が生じ、広域に甚大な浸水が拡がった.浸水深は最大 4.3m に達し た.

b) 流入状況および排水状況の推定

氾濫解析では流入条件の設定が 必要となる.本調査では,危機管 理型水位計の情報を基礎に,ライ ブカメラによる映像データ,各報 道機関により発表された情報,ヒ アリング調査をもとに流入時間を 推定した.図4.4.1に示した千曲 川左岸 57.5k 危機管理型水位計で は,13日4時以降では水位が計測 できていない.この水位計は決壊





範囲付近に設置されており,破堤箇所近くの住民の証言から,本計算では13日4:00 に破 堤が生じたと仮定した.したがって,計算では,破堤箇所の堤防天端において,13日 0:30 から越水開始,2:00 に越流水深0.8mとし、その間は直線的に変化するとし,越流水 深0.8m が4:00 まで継続するとした.破堤時間4:00 からは,破堤箇所の近くの低内地に 破堤箇所の水深を与えた.破堤箇所の水深として,4:00 に越流水深0.8m に堤防天端高 5m を加えた5.8m を与えた.破堤箇所下流の水位計(立ケ花)の様子から,千曲川本川 が5.8m 低下する時間を想定し16:00 まで破堤箇所からの流入が続くと仮定し,その間の 水深は直線的に減少するとした.

また, 排水については, 13 日 9:00 頃に浅川第三排水機場が稼働し 9:45 に停止したこと, 9:30 に浅川樋門において排水ポンプ車が稼働し排水を行っていたこと, 10:23 に千曲川と 浅川の合流部にある水門が開かれたことが確認されている.現地ヒアリング調査において 浅川付近に住む住民より 13 日 10:30 頃,下流から上流に向かい流れていた氾濫流が上流向 きから下流向きの流れに変わったという証言を得ている.浅川樋門は計5 台あり,一つの 大きさは幅 5.8m,高さ 6.1m である.ゲート排水は次のように仮定した.ゲートの開放時 間は 10:30 とし,開放は瞬時に行われるものと仮定した.流量算定には千曲川の水位を考 慮せず,樋門箇所の浸水深が樋門の高さを超える場合はオリフィスの式で,超えない場合 は越流公式を用いた.排水において本川の千曲川の影響を考慮していないので,排水量が 多大となっていることが懸念さえることから,今後検討が必要である.また,ここでは, 排水量 14m³/s のポンプが 9:00 から稼働し続けたとして,ポンプ排水を仮定した.

<u>c) 数值解析法</u>

数値解析には直交座標系の平面2次元不定流解析を使用し, 10m 格子で領域分割した.

国土地理院の数値情報を用いて地盤高を設定 し,鉄道のアンダーパス,小河川などを考慮し た.境界条件には,b)で示した破堤箇所に水深 (越流水深または破堤後の水深)を設定し,排 水過程として,排水(ゲート排水およびポンプ 排水)を考慮,ポンプ排水のみを考慮,排水を 考慮せず,の3条件を考慮した計算機間は13 日 0:00~23:00 とした.

<u>d) 解析結果の妥当性評価</u>

図 4.4.2 に計算で求められた最大浸水深の 分布を示す.また,図4.4.3 には二瓶らによる 調査結果(最大浸水深)³⁾との比較を示す.解 析結果は,概ね45 度線(図4.4.3 のオレンジ



図 4.4.2 最大浸水深の分布



図4.4.3 観測値と最大浸水深(計算値)の比較

色の線)に近い値で分布している.散布図の中 で白抜きの値は破堤箇所近くのもの,橋の上か ら測定したものなど誤差の理由が明確なもので ある.本検討では,堤内地の地盤高の変化は考 慮していない.しかし,実際には,破堤および氾 濫水の作用により侵食作用が生じており,堤内



図 4.4.4 破堤点と差の分布

地の地盤高が変化している.したがって,破堤点近傍では地盤の侵食の分だけ計算値は観 測値よりも小さく現れている可能性がある.これらを除けば,計算値と観測値の差のRMS 値は 0.46m であった.

図4.4.4に破堤点と図4.4.3で得られた誤差(解析値-観測値)の分布を示す.この図 では図4.4.3において誤差が大きく原因が判明した箇所(白抜きの値)は省略している. 赤色・オレンジ色の場所は解析値が観測値より大きいことを意味し,青色・緑色の場所は 解析値が観測値より小さいことを意味する.図4.4.4より,浅川の左岸側では解析値が観 測値より大きくなる箇所が,浅川右岸側の千曲川・浅川に挟まれた地域では解析値が観測 値より小さくなる箇所が多く見られた.破堤箇所の境界条件があいまいな点があり,さら に,計算には破堤前の浅川における内水氾濫と千曲川からの越水が考慮されていない.こ れらの不明な点はあるが,図4.4.3で得られた精度でもって計算が行えていることは確認 できた.

e)浸水状況に関する考察

つぎに、氾濫現象を考察するために、浸水の時間変化を図4.4.5 に示す.また、排水を 考慮しない浸水深の時間分布を図4.4.6 に、ポンプ排水のみを考慮した浸水深の時間分布 を図4.4.7 に示す.図4.4.5 から、越水により浸水が拡がる様子が示されており、本計算 の場合、4 時に破堤が生じたとしているため、破堤により一気に氾濫水が拡がっている様 子が示されている.また、排水により浸水深が低下している様子も分かる.これは排水を





図 4.4.6 浸水の時間変化(排水を非考慮)



図4.4.7 浸水の時間変化 (ポンプ排水のみを考慮)



図 4.4.8 浸水域の時間変化(国土交通省北陸地方整備局資料⁴⁾)

考慮しない図 4.4.6 との比較からも明らかである. さらに, ポンプ排水のみを考慮した図 4.4.7 と図 4.4.5 を比較すれば, 明らかに図 4.4.5 の方が浸水深の低下が現れていること が分かる. このことから, 排水においてはゲート操作が重要であることが改めて示された.

国土交通省北陸地方整備局による浸水域図を図4.4.8に示す.図4.4.8の10月13日10時の浸水域は、本調査の同時刻の計算結果と非常によく一致している.排水を考慮した図4.4.5の最終計算時間23時の結果(浸水深が大きい地域)は、図4.4.8の14日11時の範囲と比較的類似している.したがって、排水過程を考慮した計算結果のある程度の妥当性は示されたと考える.ここでは、計算時間を延長させて、図4.4.8の結果との定量的な比較は実施していない.本計算では、10m幅の計算格子を用いており、格子幅では表現できない排水路などが考慮できていない.排水終了までの時間および状況を課題とするならば、都市が有する排水過程を考慮に入れた解析が必要になると考える.

現地の情報から、13日5時に浅川右岸から浅川へ流入する様子が得られていた.本計算 では、5時には千曲川破堤の氾濫水が浅川へ到着しておらず、実際と異なる結果となって いる.本調査において、破堤箇所以外の千曲川からの越水や破堤前の浅川からの越水など が考慮されておらず、その点からすれば実際と異なる.しかし、d)でも記したように最大 浸水深は概ね一致していることから、本災害において、千曲川破堤による水量が支配的だ ったともいえる.さらに、図4.4.2に示した黒丸の箇所でヒアリングにおいて、「10時30 分頃に流れの向きが変わった.ボートを使って逃げようとしたが難しかった」という証言 を得た.計算においても、排水を考慮したときに、大きな流れの変化が表現されていた. このことから、排水時において、流速が早くなるなどの危険個所を把握し、そのような場 所には排水時の注意喚起を行うなど、安全に配慮する必要がある.

f) 排水過程を考慮した氾濫シミュレーションのまとめ

本調査では 2019(令和元)年台風 19 号により発生した千曲川の破堤氾濫に関する情報 収集ならびに浸水の再現計算を行った.また、二瓶らによる浸水実績との比較から、解析 の精度を検証し、精度よく計算できていることを確かめた.さらに、排水のモデル化を行 い、氾濫水に与える影響を考察した.検討を進める中で、排水における千曲川本川の影響 の考慮や、排水機能を考慮した氾濫解析の重要性が示された.

(武田誠,川池健司,豊田政史)

4.4.2 氾濫域の土砂堆積シミュレーション

a)はじめに

堤防の決壊や越水によって河川の洪水流が氾濫した場合,洪水流に伴って大量の土砂が 流入し堆積する. 住宅や道路や側溝などに堆積した土砂は除去する必要があり,その作業 が復旧の妨げとなる. 今回の穂保地区の被災地においても,粒径の細かい粘着性の重い土 砂が家屋内に堆積し,多くの復旧ボランティアを困らせた. また,農地に堆積した土砂は 生育中の作物に被害を与えるだけでなく,土壌が被災して将来の作物の生育にも影響を及 ぼすことがあり,多くのリンゴ果樹園が被害を受けた. ここでは,破堤氾濫によって洪水 流とともに流入した土砂の挙動を数値解析によって再現し,土砂の堆積の様子を考察する.

b)解析モデル

数値解析は平面2次元の氾濫流を対象とし、非構造格子による有限体積法を用いて解析 した.氾濫流に伴って土砂が伝播、堆積する現象は、浮遊砂と掃流砂を考慮した高橋、中 川³⁵⁾のモデルを非構造格子に適合できるように改変して解析した.

<u>c) 解析条件</u>

解析の対象としたのは堤防決壊の氾濫によって浸水した地域であり,三角形非構造格子 に分割する際には,千曲川の左岸堤防,浅川とその堤防,国道 18 号線の平面形状を考慮し た.解析格子の大きさは,浅川とその堤防と国道 18 号線では約 10m,その他は約 50m と したが,境界形状によってはさらに細かく分割した箇所もある.国土地理院の 5m 解像度 の DEM を用いて,各解析格子の地盤高を決定した.ただし,浅川の河床高は国土地理院 の標高データには反映されていないため,ここでは長野県の浅川の横断測量データに基づ いて,隣接する堤防高から一律に 5m 低い値を与えた.

解析は 10 月 13 日午前 0 時から 14 日午前 0 時までの 24 時間とし,氾濫の条件は千曲川 57.5k 地点の堤防決壊地点からの流入のみを考えた.4.4.1 と同様に危機管理型水位計の値 を用い,この水位を決壊地点の格子の水深に置き換えて境界条件とする.危機管理型水位 計が欠測になった 13 日午前 3 時過ぎ以降は,ピークを合わせる形で立ヶ花の水位波形を 平行移動させて仮定した.越水が 3 時間半ほど続いた後,13 日午前 4 時に決壊が起こった と仮定した.決壊については,決壊地点に該当する格子の地盤高を瞬時に堤内地盤高まで 5m 低下させ,国土交通省の堤防決壊モデル³⁶に基づいて決壊幅は 35m から 70m まで 60 分かけて拡幅するとした.決壊幅と格子辺長の比に応じて,決壊地点からの流量フラック スの値を調整することで,流入流量を決定した³⁷⁾.その他の千曲川からの越水,ならびに 浅川からの排水,浅川排水機場からの排水は考慮しなかった.

土砂は,千曲川の洪水に含まれているとし,氾濫流とともに流入させた.千曲川の洪水 流にどの程度の土砂が含まれているかはデータがないため,いくつかの一様な体積土砂濃 度を仮定して解析を実行した.土砂の粒径は,4.3.3の結果をもとに 0.01mm の一様粒径 として,解析する.浮遊砂に関しては,初期地盤高よりも堆積した土砂についてのみ侵食 されて巻き上げられる過程を考慮した.

d) 解析結果と考察

千曲川の体積土砂濃度を 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1 と変化させたときの, 計算最終時刻における土砂堆積厚を図 4.4.9 に示す.土砂濃度が 0.01 以下の場合にはほとんど堆積が起こらず結果にほとんど差が見られないが,0.05 の場合には決壊地点付近に堆積が生じ, 濃度が大きくなるとともにその堆積厚が大きくなる.土砂濃度が 0.1 の場合,決壊地点付近の土砂堆積厚は最大で 0.6m 程度に達し,そこから遠く離れた地域であっても 0.1~0.2m 程度の堆積域が西側に広く分布している.信州大学豊田研究室が現地で計測した土砂堆積 厚(図 4.3.16)と比較すると,土砂濃度は 0.05 と 0.1 の中間程度と推定される.

っぎに、土砂濃度が 0.1 の場合の土砂堆積厚の時間変化を図 4.4.10 に示す.越水が起こ っている時間帯は薄く土砂が堆積し、堤防が決壊すると速い流速を伴った氾濫流により、 一旦堆積した土砂は巻き上げられ、決壊地点の近傍は侵食されて初期地盤高よりも標高が 低下する.しかし、決壊地点からの流入が落ち着き、氾濫水が貯留された状態になり流速 が低下するとともに、決壊地点の周辺に土砂が沈降して堆積していく.図4.4.10 の結果よ り、湛水が長引けば長引くほど土砂が堆積していく様子が見られることから、土砂の堆積 を抑えるためには氾濫水の早期排水が重要であることが示唆される.

e) 氾濫域の土砂堆積シミュレーションのまとめ

本調査において、土砂の挙動を含めた洪水氾濫の再現計算を行ったが、土砂堆積に関す る再現精度はまだ十分ではない. 今後、粒径分布を考慮したり、土砂濃度を仮定して与え ている土砂の流入条件を改良したりするなどして、精度を上げていく余地があると考えら れる.

各地先の浸水によるリスクは洪水ハザードマップ等の形で示されているものの,土砂堆 積によるリスクはほとんど定量化されていない.しかし,住宅や農地の復興を考えるとき, また何らかの用途に土地を新たに利用しようとするとき,浸水に伴う土砂堆積のリスクは 重要な情報になり得ると考えられる.各河川洪水が流送する土砂の粒径や濃度については 不確定な要素が多く含まれるものの,本研究で用いた手法によって土砂堆積のリスクを定 量的に推測してマップの形で示すことは,今後検討に値すると考える.

(川池健司,豊田政史,武田誠)



(e) 土砂濃度 0.1図 4.4.9 計算終了時刻における土砂堆積厚



(a) 13 日 02:00



(c) 13 日 05:00



(d) 13 日 07:00(e) 13 日 10:00(f) 13 日 15:00図 4. 4. 10堆積土砂厚の時間変化

4.4.3 破堤箇所近傍の流木シミュレーション

<u>a) はじめに</u>

千曲川の穂保地区破堤箇所(千曲川左岸 57.5k 決壊地点)周辺における土砂および流木 等の動態に関して,局所的な流れの計算結果に基づく検討を行った.これまでの資料から 見た現地の状況,解析の前提条件および結果に対する考察に関し,以下に詳細を述べる. なお,ここでは流木等の集積が氾濫の被害状況に及ぼす影響までは考察の範囲を広げず, 現地の水理学的な状況から推測される流送機構の検討に留める.なお,本項では数値解析 により算出された局所的な掃流力について空間的な分布のみを提示するが,次節「4.5 流 体力による家屋被害」(呉)には現地該当箇所における実際の家屋被害状況が詳述されてい る.本項の結果と比較の上で参照されたい.

b) 現地における堆積物の状況

流木等の堆積状況として、出水直後の UAV による撮影画像およびそこから作成された



図 4.4.11 左図: 穂保地区破堤箇所周辺のオルソ画像(点線の円は a~c の UAV および地上 画像に対応, 白い矢印は撮影方向を示す), a: 元となった UAV 撮影画像の例(共に 2019 年 10 月 17 日撮影,名古屋大学減災連携研究センター田代喬氏提供), b および c: 筆者によ る撮影画像(2020 年 2 月 13 日)

オルソ画像(2019 年 10 月 17 日撮影,共に名古屋大学減災連携研究センター田代喬氏提 供)と,筆者が踏査中に撮影した 2020 (令和 2)年 2月 13日の現地状況から,氾濫流によ る堆積物の状況について検討した.図4.4.11に10月17日オルソ画像を拡大したものと, 地上及び UAV 撮影画像の例を示す.ここで点線の円は後述の写真の撮影位置を示す.図 4.4.11 左図のオルソ画像および元となった複数の UAV 画像を詳細に検討する限りでは, 浮遊物が広範囲に満遍なく堆積した状況は見られず、建築物や構造物周辺に局所的に堆積 していた状況が推測される(例:図4.4.11のa点, b点およびc点等). なお, 2020年2 月13日時点では、道路上の集積物などは撤去されていたが、一部、民家の周辺の集積物な どは残存している状況であった(例:図4.4.11 中 b 点および c 点). 集積していた樹木は 河畔林から流出したと生木と思われ,環境省自然環境局提供の1/25,000植生図³⁸⁾によれば、 右岸高水敷のニセアカシア(ハリエンジュ)群落もしくはヤナギ群落からの流出であると |推測される. また, こういた流木の集積箇所については礫質の土砂の堆積箇所と重複して おり,流木の堆積の上流側に,礫によるマウンド状の堆積が見られる場合があった.現地 での聞き取りからは,桜づつみからの流出と思われる流木も漂着していたとのことである. なお特徴的な土砂の堆積状況を示すものとして,図4.4.11のc点北側の領域に礫の堆積 が広範囲に見られた.この礫の堆積については該当箇所の地形や水理的な状況を示すもの として、計算結果とともに後述する.

<u>c) 現地地形とその出水前後での変化量</u>

該当箇所における地形のデータとして、国土交通省北陸地方整備局提供の R01 千曲川左 岸 57.5k 決壊地点 LP データ(出水後, 2019 年 10 月 18 日取得), 2013(平成 25)年千曲川 L56k~59kのLPデータ(出水前)および基盤地図情報¹⁷⁾で提供される5mメッシュ数値標 高モデル(出水前)を用いた. 2013 年の LP データについては測定範囲が河道周辺に限ら れるため、基盤地図情報の 5m メッシュデータと合成させた地形を出水前の地形として用 いた. また R01 の出水後 LP データについては, 取得間隔は密な部分で 0.5m から 1.0m 程 度, 2013年の出水前 LP データについては密な部分で 20cm 程度のランダムなポイントデ ータで表現されているため、地理情報システム(GIS)(ESRI, ArcGIS Pro)を用いて Triangulated Irregular Networks (TIN) による補間を行った後に, Inverse Distance Weighted (IDW)処理によるラスターデータ化を実施し、1mメッシュの格子データとして統一して 検討した.上記の処理を実施した標高値を示すラスターデータについて,出水前の標高コ ンター図,および両者の差分値のコンター図として図4.4.3.2に示す.なお図4.4.3.2に 示した建築物のポリゴンは、基盤地図情報に基づくデータを破堤箇所周辺のみ抽出したも のである.図4.4.12のi)図の出水前の地形では、左岸堤防付近で周辺よりも地盤高が低 い領域が存在しており、概ね長沼城跡の曲輪群の位置に相当していると考えられる.左岸 の堤防はこの長沼城跡を縦断する形で形成されていたことが見受けられる. 図4.4.3.2の ii) 図の標高差から,先に示した局所的な堆積箇所が領域内に点在していることが確認さ

れるほか, 礫の堆積した c 点北側の領域については, そのさらに北側の a 点との間の領域 に, 洗堀の大きい領域が見られる.

<u>d)</u> 流れの数値解析の条件設定について

上記の現地観測に基づいた結果について,以降では数値解析を用いた検討を実施する. まず計算条件を記述する.

地形情報としては、先に記載した 2013 年の LP データと基盤地図情報 5m メッシュデー タを合成したものを用いた.このうち越流時の地形では上記を 2m メッシュの格子データ に変換したものを用いた.また破堤後の地形としては、上記に対して堤防破堤箇所の 70m 程度の長さにおよぶ区間のみ天端を切り下げた地形を作成したのち、同様に 2m メッシュ の格子データに変換したものを用いた.切り下げの高さに関しては、第3回千曲川堤防調 査委員会資料 ³²⁾を基に、まず天端高の標高を約 338m と置いた上で、後述の台形堰の完全 越流の公式 ³⁹⁾からの推測に基づき 2m 切り下げた状態を仮定した.格子の形状については、 流下方向および横断方向共に 2m 幅の矩形とした.また基盤地図情報の建築物のポリゴン を破堤箇所周辺のみ抽出し、これについて計算格子のマスキングを行うことで障害物とし て設定した.



図 4.4.12 i) 穂保地区破堤箇所周辺の 2013 年 LP データ(国土交通省北陸地方整備局提 供)に基づく標高コンター図(2019 年台風 19 号による出水前)および ii) 同標高情報と 2019 年 10 月 18 日取得の LP データ(国土交通省北陸地方整備局提供) との標高差を示し たコンター図(点線および破線は図 4.4.3.1 と同様)

流入の境界条件の設定に関しては、越流時と破堤後の2ケースを設定し、流入部分の形状 および流量を変更した.このうち,越流時の状況については,第3回千曲川堤防調査委員 会資料 ³²⁾に基づき越流時の水位を 338.3m と仮定したほか,裏法面の洗堀状況から越流幅 を 590m と仮定した. この仮定に基づき,堤防高さを 5m,越流水深を 30cm として台形堰 の完全越流の式から越流時の流量を 140m³/s 程度と推測した.また,破堤後の流量に関し ては下記の手順で推測した.まず二瓶ら40による先行研究の速報値から,周辺領域での氾 濫量の合計を 1700 万 m³, 越流時間を 10 月 13 日 1:00 から 4:00 まで 3 時間, 破堤後の流出 を13日4:00から15:00まで11時間とした.この前提の上で,越流時流量の合計(140m³/s を3時間分)を上記の氾濫量(約1700万m³)から差し引いた.この値を破堤後の流出時 間(11時間)で割ることで、約 400m³/s との推測を得た.この際,流量 400m³/s を前提と して破堤幅を 70m とすると、台形堰の完全越流の公式から流入部分では越流水深約 2m、 堤防高さ約3mであったことが推測される.この場合,元の堤防高さ5m(標高で338m) から 2m の切り下げ(標高で 336m)となり,先の地形の設定における破堤箇所の切り下げ 高さに該当する.流入部分の形状については、越流箇所もしくは破堤箇所からの流入のみ とし,堤防沿いに設定した計算格子のマスキングを除外することで設定した.計算上では, 堤外(千曲川)から堤内(長沼地区)に向かって、上記のマスキングが除外された幅を通 して流入する.この際、堤外から越流あるいは破堤箇所に向けて導流するルートについて もマスキングにより試行的に作成しているため、後述の計算結果においては堤外側の結果 は考慮しないことを留意されたい. 流入幅については, 前述の通り, 越流時で 590m, 破堤 時で 70m とした. また計算では助走計算部分から徐々に流量を上昇させ、想定した流量 に達した後に3時間経過した時刻の値を用いた.このため、計算結果は実時間に応じたハ イドログラフに基づく再現を目指したものではなく、越流時あるいは破堤後の時間帯のス ナップショット的な値を示すものと考えられる.

流出に関しては、それぞれ計算領域の下流側で自由流出条件とした.このため、実際の 浸水領域全体でみた場合の下流側での湛水の状況が考慮されておらず、本計算結果の示す 水深については実測の最大水深とは一致しない.当時の時系列に基づく流量を仮定した武 田ら⁴¹⁾による計算の結果との比較では、本計算の破堤後の堤内地の水理的な状況に関して は、破堤後1時間程度の時刻における水深に相当すると推測された.

計算のモデルとしては、汎用の解析ソフトウェアである iRIC2.1¹²⁾のプラットフォーム上で、平面 2 次元の流れの計算ソルバーである Nays2D⁴²⁾にバイナリデータの出力機能を設けた修正版を用いた.なお、河床変動計算は実施しておらず、固定床とて設定した上で水深や流速といった計算値から無次元掃流力の検討を行った.計算格子サイズは前述の通り2mとし、格子数は流下方向に 572、横断方向に 426 である.計算領域は概ね図 4.4.3.2 に示した領域と一致する.また計算時間刻みは 0.05s とした.

<u>e) 流木挙動の数値解析の条件設定について</u>

流木の挙動を計算するにあたり、既往の拘束条件型の流木モデル43)を使用した.これは 清水ら44の粒子型の流木モデルに基づいており、1つの流木を複数の粒子で代表させ、そ れぞれの運動方程式を解いて次時刻の移動を算出した後、改めて元の流木構成粒子に粒子 全体での移動と回転の平均的な情報を与えることで、形状を拘束しながら挙動を解くモデ ルとなっている.なお本研究で用いたモデル43)は、清水ら44)の粒子型モデルから、さらに 粒子同士の接触判定を無視して簡略化したモデルとなっている.計算に用いる流れ場の情 報は前述の Nays2D ソルバーによる流れの数値解析の結果を使用し、破堤箇所の付近から 60 本を 2500 ステップごとランダムに投入した.計算時間刻みは流れの計算と同様に 0.05s であり,流木を構成する粒子数は5個とした.流木の樹種に関しては,環境省自然環境局 提供の 1/25,000 植生図 ³⁸からヤナギおよびニセアカシア (ハリエンジュ) が主な流木であ ったことが想定された.計算においては、ヤナギについては長さ4m,直径4.3cm,生材の 比重を 0.7 とし、ニセアカシアについては長さ 15m、直径 40cm、生材の比重を 0.95 とし た. なお, ヤナギおよびニセアカシアの気乾比重については, それぞれ 0.4 程度 45 および 0.7 程度 40とされている.一般的な木材の気乾比重と生材比重の比率 47から,生材比重と した場合に、ヤナギについては前述の 0.7 程度であるのに対し、ニセアカシアについては 1.0を超えることが推測されるが、流失直後に生材が沈水してしまう状況は想定せず、1に 近い比重ということで 0.95 と仮定した.

<u>f)</u>流れに関する数値解析結果

計算領域のうち越流及び破堤箇所の周辺を拡大し,設定流量に達してから3時間経過し た結果を図 4.4.13 に示す. 結果は上から i), ii) 流速の絶対値のコンター図, iii), iv) 流速ベクトル,v),vi) 粒径 1mm(粗砂程度)を想定した場合の無次元掃流力τ*,vii). viii) 粒径 20mm(中礫程度)を想定した場合の無次元掃流力 τ*を示し,それぞれ,左側 が越流時,右側が破堤後を示している.また右側図の a,から c の円は図 4.4.11 および図 4.4.12の同位置に対応し、vii)、viii) 図では顕著に礫が堆積していた領域を実線で示し た. i) から iv) までの流速に関する結果からは, 越流時と破堤後で流れの状況が大きく 異なる様子が示されており,対象領域で特徴的であると観察された ⁴⁰⁾堤内に向かう二股の 流れに関しては、破堤後の結果において顕著であった.また本計算では河床変動解析を実 施しておらず,地形として用いたデータも出水前の状態を参考としたものであることから, 元の地形の勾配と建築物による遮蔽に応じて、破堤箇所から一部は長沼体育館の正面を通 るルートに、もう一部は長沼城跡周辺のやや低い領域に向かうルートに分岐していたこと が推測される.v)および vi) の粗砂を想定した無次元掃流力に関しての結果からは,建 築物による遮蔽部分を除いて概ね 0.05 の値を超えており(彩色されていない部分は 0.05 以 下), 越流時および破堤時どちらの状態においても十分に輸送され得る状況であったこと が分かる. ただし, 現地での堆積土砂サンプルの調査 4りでは, 表層に堆積した成分に関



図 4.4.13 数値解析結果の i), ii) 流速コンター, iii), iv) 同流速ベクトル, v), vi) 無次元掃流力(粒径 1mm), vii), viii) 無次元掃流力(粒径 20mm), すべて左:越流時, 右:破堤後

してはさらに細かい粒子が主体であったことが示されている.計算条件に示した通り,本 調査では狭い領域の下流端を自由流出としており,下流側で湛水時が進行した際の流速の 低下は考慮していない.このことから,実際には越流後の水位のピーク時には,多くの領 域で細粒分が堆積できる程度まで掃流力が低下していたと推測される.vii)および viii) の中礫を想定した無次元掃流力の分布からは,越流後の掃流力の分布が,十分な掃流力を 有していた部分(彩色された箇所)が現地の礫の堆積状況とよく一致していることがわか る.一方で越流時の無次元掃流力の分布は,実際の礫の堆積状況とあまり関連しておらず, 粒径の大きい土砂に関しては主に越流後の水理条件にその輸送を依存していたと考えられ る.また,viii)に示された流木の堆積箇所である a~c の円について,越流時の無次元掃 流力が低下した部分のフロントに相当する箇所に位置していることが分かる.これについ て,流木の挙動に関する数値解析の結果と合わせて後述する.

なお、上記の結果は無次元掃流力として流れの状況を示したものであるが、次節「4.5 流体力による家屋被害」(呉)には現地該当箇所における実際の家屋被害状況が詳述されて いる.被害状況の空間的な分布と、上記の計算の結果と比較の上で参照されたい.

g) 流木挙動に関する数値解析結果

流木挙動の計算については、本来 PIV もしくは PTV 解析を実施するための汎用のソフ



図 4.4.14 流木(ヤナギを想定,長さ 4m,生材比重 0.7) 挙動の数値解析結果を出水前後の標高差コンタ 一図に重ねたもの,流木の挙動は計算開始から 350s 後までの軌跡をすべて重ねてハイライト表示

トウェア(カトウ光研, Flow Expert 1.2)の画像処理機能を用いて,流木モデルの軌跡を輝 度情報として積分したものを図4.4.14に示す.ニセアカシアを想定(長さ15m,生材比重 0.95 を便宜的に仮定)した流木挙動の計算結果については、ヤナギを想定(長さ 4m, 生材 比重 0.7) したものと比較して一部の領域で到達距離がやや短い傾向が見られたが、概ね軌 跡のパターンは類似していたため、ここでは後者の結果のみ示した.また軌跡を追跡した 時間は計算開始から 350s 後までとし,得られた軌跡は出水前後の標高差を示すコンター図 に重ねた. 流木は破堤箇所付近で散布されたのち,図4.4.13の iv) に示された流速ベク トルの大きいルートに沿って移動し、場所によってその軌跡を分岐させながら領域内を移 動した.現地の踏査,あるいは UAV 画像から特徴的に流木の集積が見られた a~c の箇所 においては、丁度そういった分岐の根元部分に相当しており、本モデルによる流木の移動 経路と、現地での実際の経路が、比較的同様の傾向にあることが推測された.また、図 4.4.13 の viii) から, 掃流力の低下する位置を相対的に知ることが可能であるが, 概ね a~cの位置が、礫の移動が可能である掃流力の分布の先端に位置していることが分かる. これらの結果を踏まえると、堤内での氾濫流において流木が集積しやすい傾向のある場所 としては、流木移動が集中した流路の分岐点で、かつ掃流力が急激に低下する場所といっ た特徴が挙げられた.

(赤堀良介)
4.5 流体力による家屋被害

4.5.1 はじめに

日本の各地で毎年のように洪水氾濫等の水害が発生している.2015(平成27)年9月の 関東・東北豪雨では,鬼怒川の堤防決壊に伴う家屋の流失や大規模損壊が多くみられた. 洪水氾濫から人命を守るためには事前避難が重要であるが,河川氾濫などは避難場所に向 かう際に被害が生じた事例も多数あるため,自宅に留まり2階などへの垂直避難が有効な 場合もある.このような水平避難と垂直避難の判断を正確に行うためには洪水氾濫が生じ た事例で,家屋の被害状況の空間分布を十分に調査し,水深,流速,流体力,家屋の種類・ 築年数等に応じて比較検討することが重要となる.

海岸工学の分野では従来から,津波被害関数を用いて津波の外力と家屋被害の分類を整 理することが進められており,2011(平成23)年の東北地方太平洋沖地震での津波被害を 契機に多くのデータがまとめられている.しかしながら,洪水氾濫では,まだまだデータ の蓄積が少ないのが現状である.このような状況をふまえ,土木学会水工学委員会水害調 査ワーキンググループ(WG)では水害調査のガイドラインの取りまとめを進めており⁴⁸⁾, 執筆者は,家屋被害調査の章を担当している⁴⁹⁾.このようなガイドラインの策定,被害分 類の公表により,洪水被害関数の蓄積が可能となり,水平・垂直避難の判断に資する情報 を提供することが可能になると考えられる.実際に,国土交通省が公表している洪水浸水 想定区域図では,家屋倒壊等氾濫想定区域が明示されているが,これら区域をより正確に 表現し,事前の水平避難へとつなげる事が重要となってくる.

本節では、台風 19 号での長野県千曲川の洪水氾濫を対象とし、長野市穂保地先の堤防決 壊付近の家屋被害の空間分布を調査した結果を報告する⁵⁰⁾. なお、建築などの観点からの 住宅の詳細な被災状況は、6.3 住宅を参照されたい.

4.5.2 家屋被害調査マニュアルの概要

水害調査 WG が取りまとめた家屋被害の分類は,①流失(基礎無し),②流失(基礎有り), ③損壊大,④損壊小,⑤浸水のみの5分類となっている.この分類は,調査後に実施する 洪水氾濫計算および流体力の評価の際に検証用に利用することを想定しており,地盤の洗 掘状況も判別項目に含む.損壊大以上が命を守るためには水平避難が必要だったという判 断基準であり,損壊小以下は垂直避難でも対応可能なものであったと判断する.上記の分 類を実際の水害調査時に,外壁の損傷程度で分類できるように整理されている.これは, 水害調査現場で床上浸水深等を詳細に調べるのは時間的制約や被災者のプライバシー保護 の観点から困難な場合が多いためである.表4.5.1に,この家屋被害分類の概要を示す. 本ガイドラインには,家屋被害調査票に加え,各被害分類の家屋写真の例とその解説が多 く示されており,家屋被害分類に精通していない方でも,上記の5分類の判断が外観のみ からできる情報を提供している.

表 4.5.1 家屋被害分類の概要^{48),49)}

参考写真	損害状況	損害の程度	浸水深の目安
	建物および基礎が流失 家屋周辺地盤の激しい洗掘	①流失 (基礎無し)	1階天井以上の浸水
	建物は流失するが基礎は残存	②流失 (基礎有り)	1階天井以上の浸水
	建物の傾斜 主要構造の破損 修繕なしに再居住不可 流失・全壊の恐れあり 家屋周辺地盤に洗掘あり 外観に穴等の大きな損壊あり	③損壊大	1階天井まで浸水
	床上浸水しているが流失・全壊の 恐れ無し 家屋周辺地盤に洗掘なし 外観にへこみや亀裂程度の小さ な損壊 修繕なしで再居住可	④損壊小	床上浸水
	浸水のみ 外観に損傷なし	⑤浸水のみ	床下浸水

4.5.3 現地調査の概要と調査結果

2019(令和元)年10月11日~13日の台風19号による千曲川での洪水氾濫発生後,10月17日,18日および11月2日,3日にわたり穂保地区を対象とし,洪水氾濫による家屋被 害状況の調査を上記ガイドラインに基づき行った.

図4.5.1 に示すよう,浸水被害の生じた家屋に対して,居住者の許可を得たうえ,浸水 深・床上浸水深の計測,侵食状況の判定などを実施し,家屋被害の分類を判断した.また,

家屋被害状況の写真を、こちらも許可が得られれば、個人情報(表札や写真など)が写ら ないよう注意しつつ撮影した.被害状況を、ガイドラインの表4.5.1に示す家屋被害分類 に基づき分類し、③の損壊大以上で水平避難が命を守るためには必要不可欠であった状況 とする.

調査の過程で,被害の大きかった公共施設の写真を一例として図 4.5.2 に示す.また, 流失,損壊大と判断された家屋の状況の一例を図 4.5.3 に示す.このような被害写真から も当時の氾濫流の強さが見受けられる.



図 4.5.1 浸水深の調査の様子⁵⁰⁾



図4.5.2 公共施設の被害状況の一例(左:体育館,右:公民館)⁵⁰⁾







図4.5.3 流失(基礎あり),損壊大の家屋の一例

長沼地区の80棟を対象とした調査より明らかとなった家屋の被害状況の分布を図4.5.4 に示す.図4.5.4に示されるよう,堤防決壊地点から350m程度離れた地点でも損壊大の 被害がある点は特筆すべきである.従来から河川堤防から300mまでの範囲に避難勧告を 出す市町村が存在したが,河川の規模に応じて見直しが必要となる.図に示すよう,氾濫 流により200m程度流出した家屋も存在するなど,今回の千曲川の破堤氾濫流の強さが感 じ取れる.なお,国土交通省は想定最大規模の出水を対象として家屋倒壊等氾濫想定区域 (氾濫流)を公表しているが,図4.5.4に示される範囲は家屋倒壊等氾濫想定区域に指定 されており,事前にこのような想定区域を確認することの重要性が再認識される.

重要な点として,図4.5.4に示されるよう顕著な家屋被害は2方向に沿って生じている ことがわかる.これは氾濫流が地形や家屋・植物群などの影響で,2方向に顕著な流れを 示したためである.この流れはマスコミの多くの空撮動画や本報告書の他の章・節の記述・ 写真などでも確認されている.



図 4.5.4 長沼地区における家屋被害の空間分布⁵⁰⁾

図4.5.4に示される被害分類の図中で「損壊中」で示される家屋は、現地調査時は「損 壊小」と分類されていた。しかしながら、実際の感覚と相違が生じるため著者らの文献⁵⁰⁾ に示すよう損壊中と定義・名称を変更して記載している。ちなみに長野市の罹災証明用の 家屋被害調査では、一括判定が導入され対象地区の全てが全壊と判定されている。多くの 家屋では高い床上浸水深を記録していたが、1 階天井までの浸水は確認されず外観の被害 なども大きくないため、表 4.5.1 に示される損壊大には、今回の調査では判定されなかっ た.これは今回使用した調査票の目的が簡易かつ現場で床上浸水深などの測定を不要とす ることであったためである.

しかしながら、例えば堤防決壊位置が異なるなど、氾濫流況に差異が生じた場合は、今回の損壊小でも、流失・全壊の恐れがあった可能性は十分高いと考えられる.よって、もし床上浸水深などの計測が可能であった場合、表4.5.1の分類に今回のように「④損壊中」を含め詳細な被害分布を算出し示すことも可能となる.これらの詳細は執筆者の文献⁵⁰⁾を確認されたい.また、今後もデータの蓄積と精査を通じ、水害調査ガイドラインの改善が必要となる点は注意されたい.特に床上浸水しながら「損壊小」という定義・名称は、住民の被災感情などを考慮すると今後見直しが必要不可欠であると考えている.

4.5.4 洪水氾濫解析の概要と速報結果

上記の調査結果に加え,氾濫解析などを実施することで,家屋被害と流体力の関係を定 量的に評価した家屋被害関数を作成する必要がある.また,氾濫解析を通じて,上記した この2方向の顕著な流れを表現可能かの検討も行う必要がある.この2方向の流れを表現 するためには,詳細な地形データの使用,地表面粗度係数の設定および家屋の抗力の評価 など,細かいデータの使用と条件の設定が必要であろう.また,河川本流の解析も多くの 氾濫解析で実施されているような1次元の解析ではなく2次元で解析する必要の有無など も今後検証していく予定である.

第一段階として,河川の流れを1次元不定流で計算を実施し,氾濫域の氾濫流を2次元 不定流で計算した結果を速報として以下に示す.実測の浸水深での検証や粗度係数,破堤 条件の検証などは実施していない速報である点は注意されたい.詳細な氾濫計算結果に関 しては本章の他の方の計算結果を参照されたい.

図 4.5.5 に,計算より得られた最大浸水深および最大流速の結果を示す.またこれらを 長沼地区に着目し拡大したものを,**図 4.5.6** に示す.



図 4.5.5 洪水氾濫解析より得られた最大浸水深, 流速の空間分布



図 4.5.6 洪水氾濫解析より得られた最大浸水深, 流速の空間分布(長沼地区周辺)

本計算では地形データとして 30 m の DEM を使用している.よって空間解像度が十分で ない点は注意されたい.長沼地区の堤防決壊地点周辺では,最大深水深が 2.0~3.0 m 程度, 最大流速が 1.5~2.5 m/s 程度となっている.上記の家屋被害調査で明らかとなったような 2 方向への流れは当然ながら全く表現されていない.よって,このような状況では詳細な 洪水被害関数の構築などは行えない状況である.

今後は、高解像度での計算や地表面粗度、家屋の抗力の空間分布の考慮などに取り組ん でいく予定である.また、河川内の流れを1次元で解析したが河川内の流れも2次元で解 析することで、より詳細な流況と氾濫流の再現にも取り組んでいく予定である.これらの 計算は現在逐次実施しており、土木学会の水工学講演会(11月富山市開催予定)などで報告する予定である.また、既に本章の4.4.3で愛知工業大学の赤堀良介先生が詳細な計算を実施されており、2方向への流れの分流などの計算過程・結果はこちらを参照されたい.

4.5.5 流体力による家屋被害のまとめ

千曲川の洪水で氾濫被害の生じた長野市穂保地区を対象に実施した現地調査結果より, 流体力による家屋被害,特に破堤点付近の家屋被害の空間分布を報告した.このような調 査結果を蓄積することで,洪水氾濫被害関数を構築し人々の水平避難の要不要の判断に資 する情報を提供することが必要である.また,堤防決壊付近の氾濫流の挙動を詳細に表現 するためには,どの程度の高解像度・次元の計算が必要であるかなど,これらも整理して いく必要がある.更に人的被害や事前避難状況と家屋被害状況の関係を明らかにすること で,事前避難により人的被害の拡大をいかに抑制することが出来たかなどを定量的に評価 することも重要となってくる.

(呉修一)

参考文献

(2020.03.26確認)

- 1) 長沼村史編集委員会:長沼村史,長沼村史編纂部, 1975.
- 2) 長野市誌編纂委員会:長野市誌 第八巻 旧市町村史編,長野市, 1997.
- 3) 豊野町誌刊行委員会:豊野町の自然,豊野町誌刊行委員会, 1997.
- 4) 豊野町誌刊行委員会:豊野町の民俗と地区誌,豊野町誌刊行委員会, 1998.
- 5) 豊野町誌刊行委員会:豊野町の歴史,豊野町誌刊行委員会,2000.
- 内閣府:みんなでつくる地区防災計画 平成26年度モデル地区の取組 長沼地区(長野市), http://www.bousai.go.jp/kyoiku/chikubousai/pdf/h26model_chiku_summary/gaiyo06.pdf
- 7) 長野市:長野市町別人口及び世帯数, https://www.city.nagano.nagano.jp/site/kikaku-toukei/58653.html (2020.03.26確認)
- 8) 国土交通省北陸地方整備局:第2回千曲川堤防調查委員会資料,2019.
- 9) 国土交通省北陸地方整備局:令和元年台風第19 号による千曲川流域の浸水状況・対応 について(10月15日), 2019.
- 10) 国土交通省北陸地方整備局:信濃川水系河川整備基本方針 信濃川水系流域及び河川の概要,

https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/shinanogawa_index.html , pp.10-1~10-3, 2019.

- Y. Nihei, A. Shinohara, K. Ohta, S. Maeno, R. Akoh, Y. Akamatsu, T. Komuro, T. Kataoka, S. Onomura, and R. Kaneko: Flooding Along Oda River Due to the Western Japan Heavy Rain in 2018, *J. Disaster Res.*, Vol.14, No.6, pp. 874-885, 2019.
- 12) iRIC Software : https://i-ric.org/ja/.
- 13) 長野県災害対策本部:第39回災害対策本部員会議(令和2年1月29日11:00~), https://www.pref.nagano.lg.jp/bosai/documents/dai39.pdf(2020.03.26確認)
- 14) 吉田一希:平成30年7月豪雨に伴う高梁川流域と肱川流域の浸水範囲と浸水深分布の 推定,日本リモートセンシング学会誌,Vol.38, No.5, pp.422-425, 2018.
- 15) 伊藤悠一郎,中村晋一郎,芳村圭,渡部哲史,平林由希子,鼎信次郎:建物立地とその変化過程に着目した平成30年7月豪雨による浸水被害の分析,土木学会論文集B1, Vol.75, No.1, pp.299-307, 2019.
- 16) 国土地理院:令和元年台風19号に伴う大雨による浸水推定段彩図(速報), https://www1.gsi.go.jp/geowww/201910/shinsui/01_shinsui_chikuma_3.pdf(2020.04.03確認)
- 17) 国土地理院:基盤地図情報, https://www.gsi.go.jp/kiban/(2020.04.03確認)
- 18) 吉田和義:千曲川沿岸における地割慣行地の地理学的研究-長野県小布施町山王島集 落の事例-,新地理,日本地理教育学会,Vol.35,No.1, pp. 1-13, 1987.

- 19) 内山幸久:果樹生産地域における土地利用の変遷-土地利用図にみる長野県小布施町 の例-,地図,日本地図学会, Vol.32, No. 3, pp. 1-11, 1994.
- 20) 村上成一:長野県の土地改良事業について,農業土木学会誌, Vol.35, No. 11, pp. 652-656, 1968.
- 21) 第 39 回長野県災害対策本部会議,第 3 回暮らし・生業再建本部会議資料,農政部報告:畑・果樹園の土砂撤去について.
- 22) 長野市ホームページ 農林部 長野市災害対策本部会議資料(令和2年3月26日) 被災農地の排土進捗状況:
 https://www.city.nagano.nagano.jp/uploaded/attachment/341070.pdf
- 23) 台風第 19 号により流入した堆積土の分析結果と今後の肥培管理について,災害等に 係る技術対策について,長野県農業技術課,R2.1.27 版
- 24) 国土交通省北陸地方整備局千曲川河川事務所ホームページ: http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/,
- 25) 内藤武美:千曲川洪水と土地割地(地割)慣行制度,長野県不動産鑑定協会.
- 26) 財団法人リバーフロント整備センター:河川における樹木管理の手引き,山海堂, pp.183-193, 1999.
- 27) Prof. Dr.-Ing. Eckhard Ritterbach: Computer Alded Methods for River Restoration, RWTH Aachen University, pp.8-12 http://www.rwth-aachen.de/
- 28) 池田駿介,村山宣義,空閑健: 複断面開水路水平渦の安定性とその3次元構造,土木 学会論文集 No.509/II-30, pp.131-142, 1995.
- 29) 公益社団法人地盤工学会:土質試験基本と手引き第二回改訂版,丸善, p.251,

```
2016.
```

- 30) 土質工学会:土質工学ハンドブック, p.70, 1982.
- 31) 気象庁:台風第19号による大雨,暴風等,
 http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/ jyunsoku ji20191010-1013.pdf(2020.05.06 確認)
- 32) 国土交通省北陸地方整備局:第3回千曲川堤防調査委員会資料,
 http://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/chikuma-03.pdf (2020.05.06 確認)
- 33) 二瓶泰雄ら:千曲川穂保地区痕跡水深データ 191031, 令和元年台風 19 号豪雨災害調 査団中部地区資料, 2019.
- 34) 国土交通省北陸地方整備局:千曲川の堤防決壊箇所の浸水の解消状況について、令和 元年 10 月 16 日. http://www.hrr.mlit.go.jp/saigai/r011012/191016press2.pdf. (2020.05.06 確認)
- 35) 高橋保,中川一:堤防決壊による土砂堆積のシミュレーション,京都大学防災研究所 年報,Vol.32, B-2, pp.733-756, 1989.

- 36) 建設省土木研究所 河川部都市河川研究室:氾濫シミュレーション・マニュアル(案) ーシミュレーションの手引き及び新モデルの検証-,1996.
- 37) 川池健司,橋本雅和,中川一:水田地帯における氾濫水の伝播特性と土砂堆積に着目した鬼怒川洪水氾濫の再現計算,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.73, No.4, pp.I_1441-I 1446, 2017.
- 38) 環境省自然環境生物多様性センター:自然環境調査 Web-GIS, http://gis.biodic.go.jp/webgis/index.html (2020.03.19確認)
- 39) 土木学会水理委員会水理公式集改訂委員会:水理公式集-昭和60年版-,土木学会,1985.
- 40) 二瓶泰雄,小野村史穂,片岡智哉:台風19号による千曲川の洪水氾濫状況,中部・北陸地区調査団打合せ(2020/1/16) 資料,2020.
- 41) 武田誠, 余川弘至, 渡邊翔, 安間匡志, 日比佑成, 棚橋啓二, 佐藤大介, 村山美月, 豊田政史, 川池健司:千曲川破堤による浸水と堆積土砂に関する検討, 中部・北陸地 区調査団打合せ(2020/1/16) 資料, 2020.
- 42) 清水康行, 井上卓也, 濱木道大, 岩崎理樹: iRIC Software Nays2D Solver Manual, https://i-ric.org/download/nays2d-solver-manual/(2020.03.19確認)
- 43) 初田直彦,赤堀良介,清水康行:蛇行流路の流体場と流木の挙動に関する実験と数値 解析,応用力学論文集, Vol.15, pp. I.415-I.422, 2012.
- 44) 清水義彦,長田健吾:流木形状を考慮した個別要素法による橋脚周辺の流木集積過程 に関する数値実験,水工学論文集, Vol.51, pp.829-834, 2007.
- 45) 道産木材データベース:
 http://www.fpri.hro.or.jp/gijutsujoho/doumoku-db/doumoku/doumoku-index.htm (2020.03.19 確認)
- 46) 阿部房子:森林バイオマスの熱化学的研究,林業試験場研究報告, No. 352, pp.1-95, 1988.
- 47) 森林総合研究所: 改定4版 木材工業ハンドブック, 丸善株式会社, 2004.
- 48) 土木学会水工学委員会水害対策小委員会水害調査法 WG:水害調査ガイドライン, http://www.rs.noda.tus.ac.jp/hydrolab/guideline/ (2020.04.02 確認)
- 49) 呉修一,大槻順朗,八木澤順治,永野博之,二瓶泰雄,水害時における調査方法の標準化および共通データベース構築に向けたガイドラインの提案,河川技術論文集, Vol.23, pp. 67-72, 2017.
- 50) 八木隆聖, 呉修一, 石川彰真, 2019 年長野県千曲川洪水氾濫を対象とした家屋被害の調査報告と水害調査ガイドライン(案)の改善の提案, 河川技術論文集, Vol.26, 投稿中, 2020.

第5章 河川構造物等の損壊状況と河川管理

5.1 はじめに

2019(令和元)年10月11日~12日,台風19号の豪雨は千曲川流域の本川,支川の堤防や護岸の決壊・氾濫,土砂災害を引き起こし,住民の生命・財産,農業,交通,観光など日常生活から生産活動まで甚大な被害をもたらした.被災した地域と損壊した河川施設等の現地調査を行い,その結果を報告する.調査日時,調査箇所は以下の通りである.

2019年10月21日,千曲川上流・佐久市内の千曲川本川,支川の滑津川,田子川,佐久 穂町内の千曲川本川,支川の抜井川,余地川を調査し,長野県佐久建設事務所にて情報収 集を行った.

2019年11月6日~7日,千曲川中下流の上田市,長野市,須坂市,中野市,小布施町に て,千曲川堤防決壊,氾濫,河道の調査を実施した.この調査では,塩野敏昭氏((株) 北信ボーリング,工博)および中山俊雄氏(東京都庁)から地質・地盤分野の所見を得た.

2019年11月18日,2020(令和2)年1月6日,佐久市(旧臼田町田口)の雨川,(旧 臼田町入澤の)谷川,佐久穂町の余地川上流,抜井川上流の河川施設の損壊状況及びダム 地点の調査を実施した.

2020年1月17日,千曲川下流の長野市,須坂市,小布施町の河道調査を実施した.

2020年3月1日, 佐久市内の滑津川, 志賀川, 香坂川, 田子川, 吉沢川, 谷川で住民の協力を受けてヒアリングを含む現地調査を実施した.

調査は国土交通省千曲川河川事務所および長野県管内の建設事務所を訪問し,協力を戴き,ウェブサイトなどからも資料収集を行っている.河川管理者の河川整備目標を参考に 取りまとめている.また,前者においては千曲川・犀川の堤防整備状況下(2018(平成30) 年3月時点)にあることを踏まえ,水防上重要な工作物一覧¹⁾を参考に考察を行っている. 後者の長野県においては千曲川流域の圏域ごとの整備計画による河川工作物の警戒判定に よる資料²⁾を参考に考察している.

なお,千曲川流域の調査区間は直轄管理の区間が下流の中野市立ヶ花地点から上流は東 御市大屋橋までの区間である.また,長野県管理は大屋橋より最上流の南佐久郡川上村ま でである.長野県管理区間の調査は圏域単位であり,長野,上小,北佐久,南佐久の各圏 域に区分されている地域の被害が大きい支流を対象としている.

また,河川管理の調査は河川法,河川管理施設等構造令,長野県の重要水防区域による 堤防・護岸の警戒度評価と水防工法による資料を参考に考察している.

調査結果を取りまとめるに当たり千曲川の河川形態とセグメント区分の上から3つに区分している.即ち,(1)千曲川下流直轄管理区間,(2)千曲川中流・直轄および県管理区間,(3)千曲川上流長野県管理区間として整理している.

・千曲川の河川形態とセグメント区分

千曲川は長野県内の河川名であるが,信濃川水系全体では上流部に位置する.しかし, 河床勾配,砂礫の粒径など河川の地形・地質・生態の要素からみると3つの区分に分けら れる³⁾.最上流から佐久盆地まではセグメント区分はAa(侵食),ここから中流の上田(塩 田)盆地から千曲市杭瀬下まではセグメント区分Bb(運搬),および下流の長野・飯山盆 地ではセグメント区分Bc(堆積)を示す形態となり信濃川水系の上流部だけですべのセグ

メントを有している(図 5.1.1).こ の区分は山本のセグメントの定義⁴⁾ に順じれば Aa はセグメント M, Bb はセグメント 1, Bc はセグメント 2 に,ほぼ対応する.更に,千曲川は地 質・地形学的にも長野圏域から佐久 圏域において千曲川の河道がフォッ サマグナの地溝帯に位置している.

信濃川の河川延長 367km のうち千 曲川 214km(58%), 信濃川流域面積 12,050km²のうち千曲川流域面積は 支流犀川流域を含めて 7,163 km² (59%)である. このように千曲川は 日本列島の屋根といわれる山岳地帯 を流れ, 国内河川の中でもすべての 河川形態(セグメント区分)を有する典 型的な最長大河である.



図 5.1.1 信濃川・千曲川の縦断図 (国土交通省北陸地方整備局資料に加筆)

5.2 千曲川下流

5.2.1 堤防 長野市·須坂市·小布施町

長野県内の直轄,県管理の堤防決壊,越水・溢水,内水氾濫および河川管理施設の被害 件数は下記の表 5.2.1 のとおりである.

表 5.2.1	長野県内0	D被害件数	(国土交通省	省北陸地方整備	局)
10.2.1	KT WE I				/HJ

長野県			被害状況 10月29日時点	
	堤防決壊	越水・溢水	内水被害	河川管理施設被害
国管理河川	1水系1河川1箇所	1水系1河川1箇所	1水系2河川18箇所	1水系1河川34箇所
県管理河川	1水系5河川6箇所	1水系17河川21箇所	1水系3河川3箇所	2水系135河川973箇所

<u>a) 長野市穂保地先の堤防決壊</u>

千曲川左岸 57.50k 付近の堤防は長さ約 70m にわたり決壊した.堤防決壊の状況は, 第3回千曲川堤防調査委員会資料によると 堤防決壊地点付近に設置されている危機管 理型水位計の記録による河川水位は,2019年 10月13日0:30頃から堤防天端に達し,2 時間程度で最高水位に達している.その後, 水位観測は不能となった.また,決壊地点上 流の桜づつみに植樹されている桜の幹で 洪水痕跡を計測した結果が示されている (図5.2.1).写真5.2.1は左岸58.0k越 水状況を示す.

洪水痕跡は図 5.2.1 平面図の①57.5 k 地 点で約 0.5m, ②地点及び③地点で約 0.3m であった.水位記録は,13 日 0:30 頃に堤 防天端 338.2m に達し,その後,2 時間程 度で最高水位に達している.その間に越流 が発生している.さらに,越流は13 日 2:40 にピーク水位 339.0m となり,最大 越流水深 0.8m であった(図 5.2.2,図 5.2.3).以降,桜づつみ堤防裏のり面が 洗堀され未明頃に決壊したと推測されてい る.



写真 5.2.1 堤防の越水状況、監視カメラ 58.0k から上流左岸の越流状況(千曲川河川事務所)



図 5.2.1 千曲川堤防調査委員会資料か ら引用

b) 桜づつみ堤防の側帯について



側帯に関して、河川管理の視点から考察する.堤防決壊箇所の河川構造は一般的な盛

り土堤防と異なり, 桜づつみ事業 ⁵と呼ばれ, 河川管理施設等構造令 ⁶⁷, 第 24 条の二 項, 第二種側帯を有する構造になっている⁸ (図 5.2.3).

この側帯の機能は堤防の安定を図るため非常用の土砂等を備蓄し、若しくは環境を保 全するため堤防の裏側の脚部に側帯を必要な箇所に設けた堤防となっている.決壊箇所の 近傍には堤防裏のり尻に非常用土嚢などを準備する施設がある.

現地の調査からわかったことは桜を植栽した堤防箇所(側帯)で縦断的に垂直に崩落して いる.構造図からもこの個所は吸出し防止シートを境に縦断方向に垂直に崩れていること



写真 5.2.2 堤防·側带 崩落地点(千曲 川河川事務所)

が分かる(写真 5.2.2, 写真 5.2.3). したがって、側帯である裏のり側は本体堤防ではないため植樹を可能とし実施してい

る. この側帯は堤防天端とほぼ面一に施工 されて雨水等を浸透・排水させることが前 提になっていた構造である. 吸出し防止シ ートは本来,本体堤防への水の浸潤による 土砂の吸出し防止を目的にしたものであ る. しかし,この吸出し防止シートは上 面・側面に覆土されている桜づつみの土砂

と提体を分離する素材となり,ここに浸透 した雨水,あるいは越水・浸透した水が直 接排水され滑りやすい境界面を作ってしま



写真 5.2.3 桜づつみ盛り土(側帯)越水崩 落地点



写真 5.2.4 左岸 55.5k+133~213m 越水に より堤防(側帯)裏のり侵食箇所から崩落し た砂利

った可能性が推察される.写真 5.2.4 は左岸 55.5k 付近の越水または浸透により堤防(側帯)裏のりの侵食により崩落し,露出した砂利である.上記のように堤防決壊箇所も側帯の裏法侵食に始まり崩落から決壊に繋がった可能性が推定される. 桜づつみ堤防の決壊箇所を含む約 1.5km にわたって越水していたことが分かっている.

また、この堤防・側帯は「桜づつみ」と呼ばれ、長沼地区の過去の水害との戦いの歴史 を伝承し、記憶するために地元の小学生の歌詞をここに立て桜を植栽し、百年堤防として 地元の声を反映して完成させた. 桜づつみは 12 年間を要して 2016 (平成 28) 年に完成し、 側帯部分の天端幅 14m が拡幅された. しかし、市民の感覚では本来の堤防としてしか見え ず、広げられた堤防構造の側帯の詳細を理解していなかったものと推察することができる. 堤防の越水により市民の想いとは相反する堤防決壊という悲劇を生んでしまったと考えら れる.

c)坂路

坂路について考察するにあたり堤防河川敷の利用方法に関する資料^の及び河川構造設置 基準等^のをもとにその機能と位置づけを理解し構造に関して考察する.

堤防決壊箇所の河道区間は川幅約 1,000m あり,現在,河川敷は果樹や野菜の栽培が広 く行われ,過去には堤外民地が存在していた.大正期に現在の内務省堤防ができることで 河川敷となったが,それ以前は,堆砂などによる自然堤防は水はけがよいため果樹栽培が 行われていた.地域により長芋,蔬菜が作られる地割慣行制度⁹¹⁰と呼ばれる共有地であ った.

この制度は現在も引き継がれ、土地共有者が河川の氾濫による被害または利益を公平 に分担するための制度である.共有者は毎年、耕作地を割り替えたり、年期を決めてくじ 引きにより割り替えて農業を行っている.この共有地の権利を保全することは地区住民の 義務であり全期間を通じて築堤、植林、水防の活動が行われていた.近年はリンゴ、栗な どの固定した栽培となっているが、行政区の違いもあり作物の種類も混在したものが作ら れている.

以上のような,社会的,歴史的な背景を持つ河川敷でもあり,堤防は堤内地からのア クセスを高めるため坂路が左岸・右岸とも多く設置されている(写真5.2.5). 穂保地先 の決壊箇所にも坂路があり堤外地側に3箇所,堤内地側に2箇所ある.工作物設置許可基 準⁰⁷⁷などでは坂路の設置が不適当な箇所として水衝部(川表部)となっている.この基準 では詳細は設定されていないが,決壊箇所の57.5kは小さい曲率であるが湾曲し水衝部と なっている.

坂路は水防,河道の維持管理などを目的と して,表・裏のり面に設置する幅3~4mの 道路であり,アスファルト舗装などがなされ 4トン車の走行も可能である.逆坂路がない 場合でも洪水時に坂路のある湾曲面で流れに 偏流を発生させている可能性も懸念される. 今後,川表部の坂路は洪水時にどのような流 れを発生させているか検証する必要がある.



写真5.2.5 坂路·左岸58.5k·幅員2.5m

<u>d) 堤脚・管理用通路・裏のり排水路^{6),7)}</u>

領坂市北相之島地区の右岸 57.0k~57.5k 付 近はでポンプ排水機施設から相之島の市営住 宅にかけて浸水している(写真 5.2.6, 5.2.7).堤防からの越水のほか堤内地の内水 氾濫も加わり広範囲に浸水していたと考えら れる.その浸水痕跡は堤防裏のりから法尻, 堤脚部にかけて流水の痕跡はフェンスなどに 捕捉されたゴミなどによって認められる.ま た,坂路あるいは管理用通路がある箇所は堤 脚部又は犬走に相当するのか不明なほどの り面と形状が保全されていないことが分か



写真 5.2.6 右岸 57.5k 堤防裏のりから 越水,内水と合流.須坂市相之島の住宅 浸水.フェンスに洪水痕跡

る(写真 5.2.8). これは越水によるものより通常の維持管理に起因しているものと推察 される.



写真 5.2.7 須坂市北相之島地区の住 宅が浸水被害手前から高速,住宅,堤 防,河川敷,河道と続く.千曲川右岸東 側からの鳥瞰.10 月 13 日 13 時頃ヘリ コプターより(長野県)



写真 5.2.8 右岸 57.0k 付近,越水・内水 痕跡堤防裏のり尻,堤脚付近

e) 千曲川下流直轄管理区間(セグメント区分 Bc)の課題とまとめ

- ・長野市が広域の中核都市として拡大するなか,特に穂保地先の堤防決壊による洪水災害により二名の犠牲者をはじめその後の避難,復旧・復興に向けて日常生活,農業,産業, 交通,観光などの被害の大きさとその影響が深刻であることが浮き彫りになっている.
- ・決壊した堤防・側帯の桜づつみは、従来の堤防に 14m 拡幅して 2016 年に完成している. これは河川管理施設等構造令の第 24 条に準じて築造された側帯の構造である.この側

帯は堤防天端とほぼ面一に施工されて雨水等を浸透・排水させることが前提になっていた構造である.なお,堤防・側帯は「桜づつみモデル事業」^{5,8)}の一つであり,桜の植樹により良好な水辺空間の形成を図り,堤防の強化及び土砂の備蓄等の水防活動に必要な機能整備のために側帯として位置づけられている.今次洪水において,側帯を有する堤防が決壊したことから,このような構造をもつ堤防の決壊メカニズムを実験などで検証することが望ましい.

- ・坂路は広い高水敷の果樹園等の堤外地と堤内地の利用を図るために各所に設置されている.穂保地先の決壊箇所にも坂路があり堤外地側に3箇所,堤内地側に2箇所ある. 河川構造設置基準では坂路の設置が不適当な箇所として水衝部(川表部)となっている. この基準では詳細は設定されていないが,決壊箇所の57.5k付近は小さい曲率であるが 湾曲し水衝部となっている.また,工作物設置許可基準では坂路は計画堤防内に設置 しないことを基本とするとしている.坂路の河川施設管理構造令に即し,課題の検証 が必要となる.
- ・兼用工作物である管理用通路あるいは坂路がある箇所は、小段、堤脚部又は犬走に相当 するのか不明なほどのり面とその形状が保全されていない箇所が散見される.

(土屋十圀)

5.3 千曲川中流

5.3.1 堤防 上田市城下地区諏訪形

千曲川中流はセグメント区分(Bb)に相当し、 河川勾配 1/200, 粒径の大きな礫も運搬される. 104k 付近の上田市諏訪形地先の左岸側堤防が約 300m にわたり洗堀され欠損した(写真 5.3.1).また,上田電鉄の鉄橋一径間が落橋し、 不通となった.国土交通省千曲川河川事務所の 資料,読売新聞ネット情報などから落橋に至る までの状況が分かる.2019(令和元)年10月 13 日午前7時10分頃は堤防欠損がみられた が、鉄橋は残っている.しかし、その90分後の10月13日午前8時40分にはマスコミのへ リコプターから落橋したことが伝えられている (写真 5.3.2).

国土交通省千曲川河川事務所は飯山から上田 までの河川管理の施設点検を行い管理区間32箇 所は「警戒度合 A, B」としてリストアップして いる¹⁾. 諏訪形地先の堤防欠損箇所は警戒の度合 Bとなっている.予想される危険として「桁下余 裕高不足」であるとしている.103.8k 千曲川橋 梁(上田交通)桁下余裕高不足が指摘されてい た.

この個所から約4.7km上流には生田水位観測 所があり、台風 19 号の洪水では河川水位ピーク 5.87m(T.P.469.47m)が記録されている.また、同箇所 は計画堤防高(T.P.470.2m)であり、既往最大水位 3.98mを1.9m超えている.したがって、推算する と計画高水の勾配は1/200であるから上田電鉄橋梁 付近の洪水ピーク水位はT.P.446.70mとなり、計画 高水位を超えていたことになる.また、現地調査で は、堤防洪水痕跡からも推定することができる.

桁下余裕高不足によるため橋座などが水没して いたことが推測される.



写真 5.3.1 上田市諏訪形の堤防左岸約 300m が洗堀欠損(国土交通省)



写真 5.3.2 上田電鉄の落橋(2019 年 10 月 13 日午前 8 時 40 分:読売新聞)



写真 5.3.3 上田電鉄, 上田橋の左右 堤防の前後のり面覆工の違い (Google earthより作成)



図-2 2019.10.14撮影

写真 5.3.4 洪水後の上田電鉄,上田橋の前後 の河床変動は左岸側の砂州が一掃されている (国土交通省)

更に、上田電鉄は堤防左右岸の橋台前後の堤 防のり面が芝張となっており、下流の上田橋の 堤防のり面と比較する明確な違いを確認する ことができる.上田橋(道路橋)堤防のり面は路 面幅以上にコンクリートブロックで覆工され ている(写真5.3.3).上田電鉄橋梁は橋座が水 没し、のり面も洗堀されていたのではないかと 推定される.また、河川法24、26条の占用許 可、工作物の許可では、設置位置の選定基準と して不適当な箇所の事例として「河床の変動 が大きい箇所」が挙げられている⁷⁾.また、「本 基準に準拠して審査を行う」としている.この 河床の変動が大きい箇所は全国いたる箇所に ある.



図-1 台風第19号出水前の状況 写真 5.3.5 洪水前の河床状況。左岸側に 大きな砂州がみられる.





写真 5.3.6 根固めエ・木工沈床が洗掘 と沈下を受け損壊。遠方の橋脚も傾斜 している

しかし、上田市城下地区の諏訪形周辺の河道・河床の変動は 1947(昭和 22)年9月, 1989(平成元)年11月,2004(平成 16)年11月と過去3回の上空写真の資料(国土交通 省)があり、砂州形成の変化は激しいことが明らかである。台風19号による洪水後の上田 電鉄・上田橋の前後の河床変動は左岸側の砂州が一掃されている(写真 5.3.4),洪水出 水前後の砂州の変動も交互砂州の特有の動態を示している(写真 5.3.5).交互砂州の形成 は1蛇行区間に瀬と淵が一対に形成され,河床は必ず移動する.

この個所は「河床の変動が大きい箇所」として認識されているであろうか.上田電鉄は 1912(大正元)年開通であり、当時は1896(明治29)年の河川法の下に許可されたものと 推察できるが、一旦許可されれば、公共性の高い鉄道は本基準に準拠して審査は行なわれ るだろうが,既設の古い施設は更新した新しい基準に即して慎重に見直していく必要がある.

また、上田電鉄橋梁の上流の諏訪形には根固め工、木工沈床が洗掘と沈下を受けた激流の痕跡を確認することができる(写真 5.3.6). 伝統工法の更なる検証が求められる.

なお、同箇所は上田市の防災情報として 10 月 12 日 19 時 00 分、警戒レベル4、避難指示 (緊急)の発令がなされ、千曲川の水位が氾濫危険水位を突破し、堤防の高さを超えるお それがあるため浸水想定区域に居住されている方に対し、午後 7 時、警戒レベル4、避難 指示(緊急)を発令している.避難勧告から避難指示(緊急)に変わり、人的被害の発生 する可能性が非常に高い状況が伝えられた.上田市城下地区の諏訪形も対象となっている. 10 月 13 日、上田橋と上田電鉄別所線鉄橋の間の左岸で千曲川の堤防が崩れ始めているこ とが上田市から発信され「指定緊急避難場所は上田創造館が混雑し始めているため、お近 くでは次の指定緊急避難場所も開設しています.大至急避難してください.上田地区城下 地区諏訪形も対象となっている.」と防災情報が発信された箇所である.

5.3.2 護岸 上田市大屋地区

直轄管理最上流 110k は上田市大屋橋である.これより上流は長野県管理区間である.写 真5.3.7 は大屋橋右岸直上にある6基の出し水制群と護岸である.ここ海野宿下の出し水 制は旧建設省富山工事所長で戦前,戦後からの水制工の大家であった橋本規明氏が開発し, ピストル水制と呼ばれた.今日のコンクリート三角中空ブロックなどの原点になっている. この個所は右岸の水衝部であり写真5.3.7,写真5.3.8 にも示すように台風 19 号の洪水時 には損壊を免れた事例として取り上げた. 伝統工法が洪水流に耐えた箇所,損壊を受けた 箇所の適用方法とその構造をもう一度検証し,研究する必要がある.



写真 5.3.7 写真左は大屋橋,ここより 上流長野県管理の右岸 6 基の出し水制群 (ピストル水制) Google earthより作成



写真 5.3.8 6 基のピストル水制と石張り 護岸のセットは損壊はない

5.3.3 護岸 東御市海野地区

海野地区は旧北国街道の 江戸時代の宿場町であっ た.現在も通りの両側に約 100棟の家が連なる歴史的 な町並みを形成しており,

「日本の道 100 選」,「重要 伝統的建造物群保存地区 に選定されている. これを 契機に 1989 (平成元) 年か ら海野宿内の道路環境整備 事業を実施し,観光の拠点 の一つになっている.現在 は国道18号からしなの鉄道 をオーバーパスし,海野バ イパス道路が千曲川右岸沿 いに走っている.この道路 の橋梁と隣接した千曲川河 岸が約 250m にわたり洗堀 し損壊した.しなの鉄道に 架かる道路橋の崩落と橋梁 に供架しているガス管が爆 発,水道断水も引き起こし, 鉄道は不通になった.写真



写真 5.3.9 千曲川右岸の護岸・道路・橋梁基礎が約 250m に わたり崩壊(2019.10.19 近隣住民の提供による)



写真 5.3.10 台風 19 号の洪水前の同一箇所.6基の水制工 と石張護岸ののり面の上部に崩落している箇所がある (Google earthより作成)

5.3.9 は千曲川右岸の護岸および橋台基礎 工などの下部の河岸水衝部が崩落してい る.

一方,写真 5.3.10 は台風 19 号の洪水前 の同一箇所である.護岸は下部に 6 基の水 制群とその間に石張りののり面が確認でき る.しかし,護岸工の上部は道路の取り付 けによる盛り土となっている.この盛り土 と護岸の一部に既に崩落している箇所が多 数確認することができる.写真 5.3.11 は護 岸が崩落する前の 2019 年 10 月 12 日午後 4



写真 5.3.11 崩壊前の右岸から 見た上流の洪水流 (2019.10.12pm4:30 住民提供)

時30分に右岸上流の洪水流を映した映像である.

5.3.4 護岸·橋梁 東御市田中地区

千曲川に架かる県道 81 号の「田中橋」の右岸の橋台・護岸が崩壊し,橋桁が落橋している.通行の車1台が下流に流され,一時3人行方不明となった.奇跡的にも自動車のから 救助された.田中橋の左岸下流の河岸も侵食を受けている.この橋から下流の河川横断面 が拡大していることから,狭い上流から洪水流が散乱放射し,両岸の浸食をもたらしたと 考えられる.橋台の基礎の地盤は,固結した浅間山噴石物である.



写真 5.3.12 田中橋右岸の橋桁 崩落から浸食した左岸を望む



写真 5.3.13 田中橋左岸下流 の河岸も侵食を受ける



写真 5.3.14 田中橋右岸の侵食 を受けた橋台と住居



写真 5.3.15 田中橋右岸の侵 食された河床の基盤.固結した 浅間山噴石物

5.3.5 護岸·橋梁 東御市滋野地区

東御市市道の布下橋は 1966(昭和 41)年 完成の2径間のワーレントラス橋である.残 った橋の左岸には吊り橋の木橋があったが, 盛り土もすべて流された(写真5.3.16).東 御市の報告によると千曲川支川の鹿曲川で は切久保橋ほか7カ所の橋が崩落・流失した.

5.3.6 霞堤 千曲市

河川構造物のうち霞堤のある千曲市杭瀬 下周辺の市内の冠水によって市長側から霞 堤の閉鎖が提起されている¹²⁾.市街化が進む



写真 5.3.16 東御市市道の布下橋.左岸 にあった吊り橋の木橋と盛り土が流失 (豊田政史撮影)

中で発生した浸水と考えられる.当該区間は河床勾配が変曲点にあり,セグメント区分が 下流で緩勾配に変化し,重要な治水施設である.地域の都市政策と治水政策が一体となっ た流域治水の視点から検討が望まれる.

5.3.7 千曲川中流直轄および長野県管理区間(セグメント区分 Bb)の課題とまとめ

- ・千曲川中流域の直轄区間および長野県管理の上小圏域(上田・東御市)の公共土木施設の 被害の状況は河岸と一体になった道路,橋梁,堤防の損壊が大きい.いずれも生活道路, 鉄道,農業,交通・流通,観光に大きな影響を与えた.
- ・特に、上田電鉄の鉄橋の左岸堤防、橋台の洗堀崩壊、一径間の落橋である. 同箇所は国 土交通省千曲川河川事務所の河川管理の施設点検管理区間 32 箇所の「警戒度合 A, B」 としてリストアップしていた. 諏訪形の堤防欠損箇所は警戒度合 B となっている. 予想 される危険として「桁下余裕高不足」である. この課題とともに、各地の橋梁で流木等 による二次被害が発生していることからも、早急な鉄橋の架け替え工事が期待される.
- ・直轄管理から県管理区間であるが、河川勾配 1/200~1/50 の急こう配である. 護岸の崩壊 した河道は交互砂州が形成される区間にあり、砂礫の移動が長期にわたる自励的現象で ある瀬と淵の形成は避けられない. このような河道において基礎工は被災前の計画河床 高より最深河床を重視し、基礎天端高を設定することが大切である¹¹⁾. その上で、瀬と 淵の変動を考慮した侵食・洗堀対策のために根固め工、鋼矢板などを検討する必要があ る.
- ・東御市の旧宿場海野町に入る右岸護岸,道路は隣接の道路橋の落橋が大規模な損壊となった.さらに、田中橋の右岸橋台,道路橋の損壊・落橋があり、上流では滋野地区布下橋の損壊・落橋で甚大な被害となっている.この区間は湾曲部で水衝部に当たる箇所が多い.護岸と道路・橋梁の各自立した隣接構造物と兼用構造物の関係,許可構造物の河川管理施設等構造令に基づく老朽化点検および諸基準との整合,洗堀防止対策,伝統工法の評価が課題となる.

(土屋十圀)

5.4 千曲川上流

5.4.1 北佐久·南佐久圏域の自然

長野県が管理する千曲川上流の北佐久・南佐久圏域は千曲川源流の甲武信岳に発し,西 に八ヶ岳連峰,蓼科山,北東に浅間山,荒船山の連山から流れる支川が多い圏域である. 千曲川本川は北部フォッサマグナの地溝帯の佐久盆地,上田盆地,長野盆地へと北流する 源流域である.地層は千曲川を境に流域の奥から南東に関東山地の秩父帯の中生層,古生 層,西側の山地に猿丸累層(鮮新世)と呼ばれる新第三紀層,北東に最も新しい第四紀層 の安山岩からなっている^{13),14)}.降水量は低平地で 600mm 前後,高地で 1,000mm 程度と少 なく中央高原型の気候である¹⁵⁾.

5.4.2 被害調査

県が管理する河川は水防上,特に警 戒を要する箇所を選定基準により重 要水防区域箇所として選定している. 予想される危険な状況とそれに対応 する水防工法を選定している.重要水 防区域箇所は佐久市,小諸市,軽井沢 町,御代田町,立科町で河川延長 49,980m,156箇所が挙げられている. 選定基準²⁾は工作物と工作物以外に分 けて3ランクに区分している.赤のマ ークが「警戒度合 A」,橙色「警戒度 合 B」,黄色が「要注意」となってい る.この選定基準には予想される河川



図 5.4.1 佐久市西部の警戒ランクの箇所と被 害発生箇所(赤色枠),佐久建設事務所資料に加筆

水位と予想される危険,水防工法が選定されている.調査ではこれらの基礎的な情報を参考に,堤防,護岸などの被害状況を調査し,考察を加えた.図5.4.1 は佐久市西部の警戒 ランクの箇所と被害発生箇所(赤色枠)で示した.なお,佐久地域の現地調査では,佐久市, 佐久市市民活動サポートセンターおよび被災地区の地区長の皆様の協力を得た.

a) <u>堤防・護岸 佐久市</u>

中込・権現堂・杉の木地区

佐久市内の一級河川滑津川は流域面積 106.5km²と比較的大きい河川である.千曲川に合流する直前の佐久市権現堂地区の堤防が 350m にわたって決壊している(写真 5.4.1).この決壊による氾濫面積は約 35ha であり,洪水は水田,果樹園から幹線道路を超えて下流の



写真 5.4.1 滑津川左岸堤防の決壊地点 ,堤防のり面が石張り

杉の木地区の住宅を浸水させた.被害は避難 中の死者1名,床上浸水15棟,床下浸水6棟 である(写真5.4.2).さらに近接している 下水道処理場も浸水し,機能が停止した.

この地区は 2015 (平成 27) 年に千曲川右 岸の中込地区を含む,想定降雨量 212mm/2 日,確率 1/100 で浸水想定区域が示されてい る.決壊した箇所は警戒度合 B ランクで, 場所名は権現堂とあり,予想される危険は 「水位 1.3m,延長 200m 堤防決壊」である.破 堤前の湾曲した滑津川堤防の同左岸は 1949 (昭和 24)年のキティー台風で決壊している が,その時,改修工事をしている.重要水防区 域一覧は水防工法が「蛇篭布せ」とあるが,災 害履歴からも滑津川は河川整備計画を立て抜 本的な治水対策が求められる.

一方,滑津川と合流直前の千曲川の左岸堤 防は延長 1,400m が警戒 A ランクだが大きな 被害はなかった.この個所は 2 本の霞堤があ る.この桜井地区の堤防は過去に水害が多発 していた.今回一部のり面の崩落があったが, 大きな損壊を受けなかったことを検証する意 義もある.



写真 5.4.2 杉の木地区の浸水家屋 21 棟 黄色のラインは床上浸水家屋



写真 5.4.3 滑津川左岸堤防 350m 決壊地点 実りの水田が砂礫の海となった



写真 5.4.4 決壊箇所より約 200m 上流に JR 小海線の鉄橋がある.10 月 12 日 15:23 の洪 水状況(信濃毎日・緊急報道特集).なお,こ の後,撮影箇所の堤防は橋台から 10m 堤防の り面とも崩落している

当該地点の洪水流量を**写真** 5.4.4 および踏 査による洪水痕跡,長野県資料を参考に,電子国土から河川横断面を作成し,暫定の洪水 時の流量をマニング式と連続の式から算定を試みた.断面は台形断面(河川幅 62m,河床幅 32m,水深 2.7m), 粗度係数 n=0.035 である.

その結果, ピーク流量は約 450m³/s 程度であったと推定できる.また,支流志賀川上流 の香坂川ダムの洪水調節は志賀川合流地点において基本洪水 252m³/s であり,61m³/s(24%) をカットし,191m³/s にする計画である.しかし,この洪水では流入ピーク流量 82.06m³/s (10/12,21:18),放流ピーク流量 80.16m³/s (同日,21:28)であり,余水吐流量を加えると ピーク 109.98m³/s であった.流入・放流量ともほぼ同時刻でかつその差 1.9m³/s であった. ダム調節機能の向上のためシステム改善が求められる.

以上の調査の結果,滑津川は防災の河川水 位観測もされていない.また,河川整備計画 も策定されていないため基礎的な資料の収集 が難しかった.現在,滑津川は志賀川流域に 牧場,工場,香坂川,霞川があり,この小流 域は高速道路,スキー場などが開発されてい る.滑津川流域は上流にはゴルフ場,運動ス タジアムもあり,市役所を中心に市街化も進 んでいる.また,支川の田子川,吉沢川の山 間部も大きな被害となっている.

② 千曲川本川·佐久市原地区

原地区では河川幅は約 170m あり左岸側 は旧野沢町,右岸側は旧中込町であり,毎年, 夏には下流の野沢橋と佐久大橋の間で千曲川 河畔納涼花火大会が行われている.佐久市の旧 中心市街地を形成している.佐久市西部の警戒 箇所のランクでは対岸の中込地区を含めて「警 戒 B ランク」であり,堤防高不足,越水が予測 されていた(図 5.4.1).それに対して積土嚢の 対策工法が検討されている.しかし,左岸側は 一覧表には明示されていないが,堤防の洗堀に より 2 棟が洪水に流された(写真 5.4.5).ま た,右岸側の上流近傍の水上地区は,洪水が堤 防天端の近くまで迫り,越水の危険性があっ た(写真 5.4.5 左下).もし越水氾濫すれば洪水 は市街地に侵入していた.



写真 5.4.5 千曲川左岸堤防の洗堀により 人家2棟が流失した.右岸上流は越水の危険 性があった.佐久市資料に加筆



図 5.4.2 佐久市東部の警戒度合のランク を示した箇所と被害地域(赤色の囲み)



写真 5.4.6 田子川・常和地区の土砂流出 (長野県佐久建設事務所)

③ 田子川·常和地区

当該地区は約 180 戸の家屋がある。その 50 戸が損壊,浸水を受けている. 図 5.4.2 に示 した長野県の資料によると警戒度合 A ラン クにあたり,赤色枠のラインで示されてい る.重要水防区域の一覧表には左右 700m に わたり記載されている.予想される危険は越 水と断面不足が挙げられている.予想される 水位は 1.2m とある.水防工法の対策は積土 嚢である.

この小河川は集落の入り口の伝々橋から



写真 5.4.7 台風 19 号前の田子川・常和 地区,土砂流出の写真 5.4.6 と同地点 (Google Earth により作成)



写真 5.4.8 家屋の敷地や部屋にまで土 砂が流入し, 被災した民家

上流が砂防指定地である.途中から2本の支流となり,北沢に2基(遊砂池),南沢に3基 の砂防堰堤がある.隣接する滑津川との分水界まで広域に保安林の指定がされている.写 真5.4.6と写真5.4.7は台風前後の常和地区の状況である.河道は砂礫で埋め尽くされ, 道路面まで溢れている.県の予想通りの被害であるが,河川断面不足の解消が喫緊の課題 となる.その際,上流の砂防施設の土砂捕捉機能の役割が果たされているか,砂防堰堤, 遊砂池の堆砂状況を検証する必要がある.また,上流は河床勾配が大きくなるが,落差工 のステップが小さいことが分かる.写真5.4.8に示すように,田子川は河岸沿いの家屋が 越水と土砂被害を受けている.道路沿いの家屋は浸水を受けているところが多い.生活道 路であるため河川断面不足は道路の拡幅をセットで検討する必要がある.

④ 吉沢川・清川地区

当該地区は約 110 戸の家屋がある.最大で約 40 戸が損壊,浸水を受けている.清川地区の吉沢川は 図 5.4.2 の警戒度合のランクに明示されていない が,重要水防区域の一覧表には警戒度 B とあり, 延長は堰堤下 50m,予想される「水位 1.5m」が記 載されている.予想される危険は「護岸等の弱体と 決壊」が指摘されている.吉沢川は市道の三分中込 線の宮前橋が架かる前後が急傾斜地崩壊危険区域 に設定されている.集落は道路沿いと吉沢川に沿 った急傾斜の土地に立地しており,道路幅,水路幅 も狭小である(写真 5.4.9).護岸が崩落したり損 壊を受けている箇所が数か所みられる.地区の 上流には農業用のため池があり灌漑に利用され ている.下流では写真 5.4.10, 5.4.11 に示すよ



写真 5.4.9 損壊を受けた護岸と 狭小の吉沢川と生活道路

うに,洪水時は吉沢川から越水し,河川と道路が区別つかない危険な状態である.住民の ヒアリングによると河道は土砂で埋め尽くされ,路面を洪水が流れたことが分かった.過 去にも小規模の豪雨でも危険な土砂流出があり懸案課題となっていた.この地域は急傾斜 地崩壊危険区域であると同時に河川からの土砂流出対策が課題となる.下流の水田地帯で は土砂による被害もあり,砂防施設も同時に検討する必要が考えられる.また,上流の山 林管理がなされていないこともわかった.







写真 5.4.11 吉沢川から越水し道路を流れた洪 水により損壊した家屋(長野県佐久建設事務所)

⑤ 志賀川・下宿地区

下宿地区は約215 戸の家屋がある. 床上浸 水 17 戸, 床下浸水 50 戸, 計 67 戸が浸水被 害を受けている. また, 志賀川から氾濫した 膨大な土砂の流出によって水田, 畑地が土砂 による被害を受けた. 地区上流には志賀川右 支川の瀬早川に3 基の砂防堰堤があり, 群馬 県境まで保安林の指定がされている.

また、上流は急峻な地形となり、駒込、八 重久保地区が急傾斜地崩壊危険区域に設定 されており、2 基の砂防堰堤が設置されてい る.更に、山地部は群馬県境の内山牧場、物 見山まで保安林の指定がされている.

写真 5.4.12, 5.4.13 は土砂災害および堤防決壊の状況を河川の上流から順に示している.写真 5.4.12 はほぼ直線の河道は両側に低い堤防があり,砂礫が左岸の堤防を乗り越えて畑地,水田地帯を埋め尽くしている. 粒径 20cm~1m ほどの中礫,大礫である.図 5.4.2 の佐久市東部の警戒度合のランクは B であり,予想される危険は「左右200m が堤防高不足,越水」が予測され「水位1.3m」となっている.対策工法は積土嚢となっている.

しかし,上流の砂防施設の本水害の効果 を検証し,堤防高の嵩上げ,捕捉土砂量の大 きい砂防ダム,遊砂池の設置など根本的な 対策が必要と考えられる.また,砂防指定地 の拡大も同時に検討する必要があると考え られる.

写真5.4.13 は水衝部の右岸堤防が約70m 決壊し,堤内地の会社の倉庫が損壊してい る.写真5.4.14 は下宿地区の下流に位置す る五十貫地区の湾曲する左岸堤防の決壊に よる氾濫で水田地帯に浸水している.この 個所は警戒度合のランクには示されてない



写真 5.4.12 下宿地区土砂災害,右岸下流 から上流を望む



写真 5.4.13 水衝部の右岸堤防の決壊約 70m 河床は中小の礫の堆積が見られる



写真 5.4.14 五十貫地区・左岸に湾曲する 堤防の決壊 (長野県佐久建設事務所)

箇所であった.

⑥ 谷川・入沢地区

図 5.4.3 の谷川流域入沢地 区は佐久市内の中で最も被害 が大きく,家屋 260 戸のうち全 壊5戸,半壊10戸,床上浸水 10戸,床下浸水70戸,計75戸 の被害であった.

流域の現状は,入沢口に小規 模の急傾斜地崩壊危険区域に 設定された箇所がある.流路 は比較的短く,上流には 1966

(昭和 41)年に入沢砂防ダム(高さ 8.0m 延長 74.2m)が完成し,更に青沼砂防堰堤,赤谷砂 防堰堤が設置されている.保安林の指定はさ れていない.県の重要水防区域の一覧表の予 想される危険は,左右護岸夫々500m,800mに わたり「護岸等の弱体,決壊」とあり,さら に予想される「水位 1.5m」が予測されていた. 水防工法は「木流し」となっている.

被害の状況は踏査と住民及び自主消防団 のヒアリングを実施した.写真 5.4.15,写真 5.4.17 に示すように約 1,000m にわたり河岸 護岸が決壊し,道路が基盤まで洗堀崩壊してい る.同時に道路の埋設されている下水道,水道 施設が損壊している.水道施設は復旧のため夜 間の徹夜作業となった.写真 5.4.16 は洪水前 の入沢地区の平時の様子である.河川護岸が兼 用工作物として道路と共用されている.

また, ヒアリングでは道路と対岸の住家のために橋が設置され23橋中13橋が流木・ゴミなどを捕捉して流失している.このとき越水氾濫も伴っている箇所も見られた(写真5.4.18).この橋は生活道路の一部であり本来,左岸側にも生活道路が必要であったと考



図 5.4.3 佐久市(旧臼田町)の警戒度合のランクを示した 箇所と被災箇所(赤色の囲み)



写真 5.4.15 河岸護岸が決壊し道路が基盤 まで洗堀崩壊 (長野県佐久建設事務所)



写真 5.4.16 写真 5.4.15 と同地点の洪水 前の入沢地区の景観 (Google Earth によ り作成)

えられる.したがって、河道改修は拡幅とともに生活道路と橋の設置をセットで行うこと が地区の復旧・復興につながるものと考えられる.





写真 5.4.17 谷川上流湾曲部の河岸護岸が 写真 5.4.18 生活道路に掛けられた橋に流 決壊し道路基盤まで洗堀崩壊(自主消防団 木が捕捉.越水氾濫による浸水(住民提供) 提供)

⑦ 雨川・旧臼田・田口地区

図 5.4.3 雨川流域の田口地区は、河川施設に被害がみられた.都市計画区域の境界でも ある新宮代橋下に大きくカーブする湾曲部がある.この右岸護岸が約 150m にわたり洗堀 し崩落している(写真 5.4.19).また、丸山地区の上流、田の上橋付近の右岸側の沢から の土砂流出により河岸の崩壊がみられた(写真 5.4.20).重要水防区域の一覧表には予想 される危険は、右護岸 110m「護岸等の弱体、決壊」とあり、予想される「水位 1.5m」、水 防工法は「木流し」となっている.なお、雨川は他に 3 箇所の予想される危険が示されて いたが被害は見られなかった.

この河川流域は千曲川流域分水界の田口峠までに一か所雨川砂防堰堤がある.積雪のため調査は断念したが,峠より下は利根川流域となる.この流域は保安林に設定されている.



写真 5.4.19 新宮代橋下の右岸護岸約 150m にわたり洗堀し崩落



写真 5.4.20 田の上橋付近の右岸の沢か らの土砂流出と護岸損壊

b) 堤防・護岸・土砂災害 佐久穂町

①宿岩地区

国道 141 号線に沿って上流側に向かい千曲川 本川が並行している、上流に堰堤が見える、水衝 部とは言えないが、左岸のり面が約 30m 洗堀に よる損壊を受けている(写真 5.4.21). 重要水 防区域の一覧には危険は予想されていない. 道 路と河川護岸の兼用工作物の被害が多い.

2 高野町地区

佐久穂町の南佐久大橋下には堰堤があり,



写真 5.4.21 佐久穂町宿岩地区の兼用 護岸損壊 (長野県佐久建設事務所)

右岸から灌漑用水路が接続している、堰堤左岸から直下の護岸が大規模に洗堀崩壊を受け ている.現地の河道の状況は道路橋付近から堰堤下流の河幅が広がっている.写真 5.4.22 は広がった洪水が左岸の護岸を円弧状に洗堀していることが分かる. 堤内地で下 流に約 150m 侵食している.写真 5.4.23 は台風 19 号による洪水前の南佐久大橋から下流 を遠望している.橋梁前後は河川幅が狭小化している.通常の流れは堰堤により滞留し流 速は小さくなり貯留される.このため土砂の堆積が進むものと考えられる.その結果,左 右の河岸に植生が繁茂し、さらに河川幅を減少させている.河川法第26条に工作物設置 基準がある。堰の設置基準に、「設置にあたって対策が必要な箇所」として「河川に設け られた他の工作物(橋・伏せ腰)に近接した箇所」が挙げられている. 「川幅以上,又は 200m 以上必要」となっている.河川維持管理の検証が必要である.





弧状に洗堀している (南佐久大橋から撮影)

写真 5.4.22 洪水により左岸の護岸を円 写真5.4.23 洪水前の南佐久大橋から千 曲川下流を望む同一箇所 (Google Earth) により作成)

3 抜井川・余地川の概要と水害

抜井川は群馬県境の十石峠(1,356m)に源を 発して西に流下し,下流部の川久保地区で右 支川の余地川が合流し,佐久穂町の中心部で 千曲川に合流する流域面積 73.2km²,流路延長 17.0km の一級河川である.余地川流域は流域 面積 11.8km²,流路延長 8.6km である.抜井川 流域は過去に 1949(昭和 24)年キティ台風, 1959(昭和 34)年には 7 号台風,伊勢湾台風 による記録的な大洪水を受けている.また,内 陸性気候であり年間 1,000 ミリ程度の降水量 のため深刻な水不足に陥ったこともある.

このため長野県は抜井川の治水を目的に洪 水調節および灌漑用水(不特定揚水補給)を目 的に古谷ダムを計画し,1969(昭和44)年か ら着手して,1982(昭和57)年に完成してい る.



図 5.4.4 佐久穂町を流れる抜井川, 余地 川流域の概要(長野県佐久建設事務所)

一方,余地川の余地ダムは古谷ダムと同様の目的と水道用水を目的に,2000(平成12) 年から着手し,2004(平成16)年に完成させている.

古谷ダムは重力式ダムで堤高 48.5m, 堤長 162.0m, 総貯水容量 2,200,000m³, 有効貯水容 量 1,800,000m³, 計画高水流量 160m³/s, 調節容量 100m³/s, 計画放流量 60m³/s となってい る. また,余地ダムは重力式ダムで堤高 42m, 堤長 147.0m,総貯水容量 523,000m³, 有効 貯水容量 397,000m³,計画高水流量 20m³/s,調節容量 8m³/s,計画放流量 12m³/s である。

河川管理では重要水防区域の一覧表には, 警 戒度合の予想される危険のランクは抜井川 15 箇所(A:14, B:1), 延長 2,860m である.余地川 は 3 箇所, 延長 580m(A:3, B:0)となっている.

・抜井川・余地川の護岸決壊と氾濫

写真 5.4.24 は余地川の梅田橋直下で抜井川 に合流する直前の箇所である. 洪水は右岸側の 護岸,家屋を損壊・流失させ,右遠方の左岸 側の家屋,梅田橋前後の護岸も損壊してい る. 警戒度ランク A で「梅田橋上流から海 瀬郵便局まで堤防高不足」,「予想水位 1.5m」 が指摘されていた.



写真 5.4.24 抜井川合流部近くの余地川.右岸 から上流を望む.損壊・流失した家屋. 川久保地 区 (長野県佐久建設事務所)





写真 5.4.25 左岸の護岸,家屋の損壊.梅田 橋橋台とマンホールの損壊・流失

写真 5.4.26 台風 19号の洪水前の梅田橋か ら余地川の下流を望む.写真 5.4.25 と同一 箇所(Google Earth より)



写真 5.4.27 余地川合流後の抜井川 丸印は上流から流失した2スパンの橋桁床 板. 左岸も越水し洗堀・流亡している水田.

写真5.4.28 抜井川が越水し,右岸の護岸 崩壊.水田に流れ込んだ大量の土砂.右岸 から上流を望む.

写真 5.4.25 は梅田橋取り付け直下の左岸と家屋の損壊である.梅田橋左岸の橋台が侵 食を受け,洗堀崩壊,梅田橋道路の下水道マンホールは地中から飛び出し流失した.また, 対岸の護岸・家屋の損壊が著しい.写真 5.4.27 は抜井川上流の梨の木橋(道路橋)の床板が 2 スパン損壊し,下流に運ばれている.洪水流の激しさが想像される.更に,写真 5.4.28 は下流の抜井川が越水し,右岸の護岸の崩壊が激しく,コンクリートブロックのり覆工が はぎとられている.大量の土砂が水田に流れ込んでいる.

写真 5.4.29 は抜井川上流の大日向地区である.越水氾濫し,河川護岸と道路の側壁が 損壊している.兼用工作物の損壊がここでも発生している.予想される危険ランク A で あり,アバットが設置されているが,堤防高不足あるいは路床の沈下であると考えられ る. **写真 5.4.30** は大日向・古谷地区.右岸側山腹からの土石流により全壊1戸,半壊1戸 である.この損壊した家屋は道路を挟んで抜井川まで到達している.

写真 5.4.31 は余地地区の河川護岸と道路が激しく損壊している. 仮設の橋によるごみ, 流木の捕捉よる越水が引き金になり氾濫したものと考えられる. **写真 5.4.32** は河道の湾 曲部でもあるが,河道護岸の兼用工作物の損壊がここでも発生している.



写真 5.4.29 大日向地区.河川護岸と道路 の側壁が損壊,兼用工作物の損壊 (長野県佐久建設事務所)



写真 5.4.30 土石流,大日向古谷地区. 全壊1戸半壊1戸



写真 5.4.31 余地地区 左岸護岸と道路 が損壊,兼用工作物の損壊(長野県佐久建設 事務所)



写真 5.4.32 余地地区 河川左岸の護岸と 道路が損壊,兼用工作物損壊

・古谷ダム、余地ダムの効果

台風 19 号の豪雨による古谷ダム, 余地ダムの治水効果は水位記録から暫定的な検討を 試みた. 図 5.4.5, 図 5.4.6 は古谷ダム, 余地ダムの流入量と流出量のハイドロ・ハイエ トグラフである. 24 時間降雨は, 古谷ダム流域の上石堂, ダムサイトの平均値 531mm で あり, 余地ダムはダムサイトの降雨量 469mm である. 図は古谷ダムの流入量(青)と流出量 (赤)の変化である. 流入量ピーク(116.4m³/s)は 10 月 12 日 21:00, 流出量ピーク(58.68m³/s) は同日 23:00 である. ピーク時刻は 2 時間遅れで洪水ピークは低減し, カットしている.
一方,余地ダムにおいては同日 21:00 の同時刻に流入量ピーク(29.06m³/s),流出量ピーク(28.64m³/s)でありピークが重なり,かつほぼ同量の水量である.余地ダムは治水効果を示していないと考えられる.今後のダム操作規則など管理の在り方の検討が望まれる.



なお、ダム効果を含む抜井川流域の降雨・流出解析の検討では抜井川、余地川の合流 後の洪水ピーク流量は約720 m³/s であり、ダムによる効果はピーク流量で約90 m³/s をカ ットしたと考えられる.この解析では吉見・山田による集中型モデル¹⁰を使用してい る.なお、この検討では、小山直紀氏(中央大学大学院博士後期課程)の協力を得た.

c) 堤防·護岸 小海町, 川上村



写真 5.4.33 小海町千代里地区 落差工 直下の千曲川右岸護岸の損壊 (長野県佐久建設事務所)



写真 5.4.34 川上村御所平地区の男橋 がくの字型に陥没 (長野県佐久建設事 務所)

小海町千代里地区においても落差工の右岸

下で決壊している(写真 5.4.33). 佐久穂町南佐久大橋直下の堰堤下と同様に円弧状に

洗堀崩壊している.従来と同様な復旧では同じことが繰り返される可能性がある.このため護岸根入れと落差工,床固工の新たな視点で技術的改良が必要となる.

写真 5.4.34 は川上村県道の男橋の橋脚陥没である.この陥没は上流の砂防施設との関係を注視する必要がある.川上村御所平は千曲川最上流の地域であるが,比較的平坦な地形である.本来河床は堆積傾向にある.しかし,上流には居倉砂防堰堤,秋山ダムはじめ計 19 箇所の砂防施設がある.これらの施設で土砂が捕捉され満砂になれば下流への土砂供給は減少する.したがって,御所平では河床低下が発生しているものと考えられる.この傾向は全国的にみられ 19 号台風では多摩川などでも発生し,日野橋の橋脚が陥没し不通となっている.

d)災害復旧工事における管内統一事項

長野県佐久建設事務所は 2019(令和元)年 11 月に下記のような河川構造物の基礎構造物に対する指針を提示している⁴⁾. 基礎工の土台の根入れに関して下記のように示している.

Q2:土台工の必要根入り及び土台工の規格は、どのように決定するのか?									
A2: 土台工の選定は、以下の表から決定してください。									
			必要担えた	土台規格	備考				
		ノリャ曲	必要根入れ	(高さ)					
	十月描词山	30m 以上	1.5m	1. Om					
	入規快河川	15m 以上 30m 未満	1. Om	0. 7m					
	中規模河川	5m以上15m未満	1. Om	0. 3m					
	小規模河川	5m未満	0. 5m~1. Om	0. 3m					
l	急流河川		1.0~1.5m	0. 3m					
			,						

※管内の河川別の仕様は、別紙2のとおりです。

長野県佐久建設事務所

基礎工の根入れに関しては、川幅は重要な指標である.しかし、実際の河道は川幅だ けではなく複雑な変動を常に受ける.更に、堰堤、水門、道路、橋梁などと隣接する河川 構造物は多い.水害調査では、特に、湾曲部、水衝部は損壊の著しい箇所が多く見られ た.

河床勾配が大きい千曲川上流の場合,水衝部,彎曲などでは激しい侵食・洗堀を受ける.そのため深掘れを想定した根入れの深さは大変重要である.基礎工は被災前の計画河 床高より最深河床を重視し,基礎天端高を設定することが大切である¹¹⁾.その上で,洗 堀対策のために根固め工,鋼矢板などを検討する必要がある.ここで提示している根入れ 深さの数字は最深河床が検討されていないと考えられる.また,今回の洪水災害では道路 などの場合,兼用工作物は損壊箇所が多い.兼用工作物は道路部門との交通量やトラック などの積載荷重に対応した技術的情報の共有と研究開発が必要と考えられる.

5.4.3 千曲川上流長野県管理区間(セグメント Aa)の課題とまとめ

- ・千曲川本川の長野県管理区間は上田市大屋橋より上流である.これより上流の東御市, 小諸市,佐久市,佐久穂町,小海町など最上流の川上村まで約80kmの区間である.長 野県管理において災害復旧工事は直轄代行による復旧工事が行われている.
- ・千曲川合流点に近い佐久市中込・杉ノ木・権現堂地区の滑津川堤防左岸が350m決壊している.家屋31棟が床上・床下浸水を受けた.また、水田、果樹園、下水処理場、幹線道路など約35haが浸水を受けた.ここは避難途中で1名が水死している.滑津川は危機管理水位計の設置、監視カメラなどの水防監視システムが課題となる.また、流域の市街化も進んでいる現在、河川整備計画を作成し、バードな治水対策が重要となる.
- ・滑津川支川の田子川は砂防指定区間を含む河道は、予測された危険が警戒ランクAの とおり土砂流出と越水による家屋の損壊・浸水、河岸決壊が多発した.そのため砂防 施設の捕捉量の検証を行うことが必要と考えられる.復旧に当たり河道の拡幅、道路 の拡幅をセットにした整備が必要と考えられる.
- ・ 清津川支川の志賀川も危険が警戒ランク B であるが、上流の砂防施設の効果を検証 し、堤防高の嵩上げ、捕捉土砂量の大きい砂防ダム、遊砂池の設置など根本的な対策 が必要と考えられる.また、砂防指定地の拡大も同時に検討する必要がある.
- ・吉沢川は集落の入り口が急傾斜地崩壊危険区域であると同時に狭小の河川からの土砂流 出対策が課題となる.砂防区域の指定も検討し、復旧は河道の拡幅と生活道路の拡幅 などセットにした整備が必要と考えられる.
- ・千曲川支川谷川の入沢地区は洪水によって河岸・道路が約1kmにわたり洗堀崩壊した.同地区では1名が流され千曲川本川で数週間後に発見された.砂防施設の捕捉量の検証を行うとともに、復旧に当たり河道の拡幅、生活道路の拡幅などセットにした地区の整備が必要と考えられる.また、千曲川本川の水位情報をはじめ危機管理水位計の設置、監視カメラなどの水防監視システムが課題となる。
- ・千曲川本川の河岸崩壊と浸水は十数か所にわたり発生し、佐久市野沢・臼田地区、佐久 穂町、小海町、川上村などで発生している.今回予測された危険度 A、B ランクで被害 がなかった箇所の検証、盆地で比較的平坦地形では計画的な土砂浚渫などの維持管理 が望まれる.
- ・長野県管理の区間では、河川整備計画が未策定の圏域もあり、支川の山間部の集落、山 裾の集落は洪水と土砂流出による被害を受けている.上流にダムや砂防施設もある が、県の「重要水防区域箇所」以外でも被害が発生している.今後の河川整備計画の 策定、砂防指定の再評価が必要と考えられる.河川構造物は道路などと兼用工作物の

損壊が多くみられている. 道路との技術的情報の共有を図り, 革新的な技術開発が求 められる

・今後も抜井川流域では台風19号による洪水の2つのダムの治水効果に関して詳細な解 析検討を行い、評価する必要がある。今後のダム管理に生かすことが求められる。暫 定的な流出解析では洪水ピーク流量約720m³/sであったが、ダムの洪水調節機能のシ ステムの向上を図る必要がある。

謝辞

なお、この調査の一部は京都大学防災研究所・自然災害研究協議会「2019 年台風 19 号 に関する初動調査(科学研究費)」の助成による.

(土屋十圀)

参考文献

- 1) 国土交通省千曲川河川事務所:http://www.hrr.mlit.go.jp/chikuma/bousai/suibou/index.html.
- 2) 長野県佐久建設事務所: https://www.pref.nagano.lg.jp/sakuken/jigyo/suibokuiki.html,.
- 3) 沖野外輝夫:河川生態学,共立出版社, pp.7-12, 2003.
- 4) 山本晃一:構造沖積河川学--その構造特性と動態、山海堂、p.12、2004.
- 5) 国土交通省: 桜づつみモデル事業, https://www.mlit.go.jp/river/press_blog/
- 6) 国土交通省:工作物設置許可基準,平成6年9月22日,建河治発第72号,最終改正 平成14年7月12日,国河治第71号.
- 7) 国土交通省:河川管理施設等構造令,平成25年7月5日改正.
- 8) 国土交通省北陸地方整備局:www.hrr.mlit.go.jp/gijyutu/kaitei/sek.../003_kasen.pdf, 河川編, pp.18-19.
- 9) 内藤武美:千曲川洪水と土地割地(地割)慣行制度,長野県不動産鑑定協会会誌, pp37-47.
- 10) 吉田和義:千曲川沿岸における地割慣行地の地理学的研究-長野県小布施町山王集落 の事例-,新地理, Vol35, No.1, pp.1-13, 1987.
- 11) 財団法人国土技術研究センター:護岸の力学設計法,山海堂, pp.96-98, 2007 年 11 月 改訂版.
- 12) 信濃毎日新聞特集:台風 19 号長野県内豪雨災害, 2019年10月30日.
- 由井修二,小坂共栄:関東山地西縁部に分布する第三系北相木層の地質,FAC, SCI, SHINSHU UNIVERSITY, Vol.26, No.1, pp.41-61, 1991.
- 14) 斎藤真, 下司信夫, 渡辺真人:日本の地形・地質, 文一総合出版, pp.276-285, 2013.
- 15) 社団法人北陸建設弘済会:千曲川の今昔,監修・国土交通省北陸地方整備局千曲川工 事事務所,社会福祉法人長野若槻園コロニー印刷, pp.2-5, 2001.
- 16) 吉見和紘,山田正:鉛直浸透機構を考慮した斜面内流出計算手法の提案,土木学会論 文集G(環境), Vol.69, No.5, pp. I-145- I-150, 2013.

第6章 公共施設・住宅に関する被災・復旧の実態

6.1 下水処理場

6.1.1 下水処理場における浸水被害の概要

2019(令和元)年東日本台風により破堤した長野市穂保地区の約3km下流に位置する千 曲川流域下水道下流処理区終末処理場(以下,クリーンピア千曲と略記)では,大量の雨 水および千曲川の氾濫により浸水し,処理場の機能が停止するという被害を受けた.その 結果,流域関連市町村(長野市,須坂市,小布施町,高山村 処理面積:4,459ha,汚水処 理人口:143,000人)に対し,下水道の使用制限を呼びかける事態となり,現在も施設の復 旧作業が続いている.

そこで土木学会水工学委員会として令和元年 11 月 27 日にクリーンピア千曲にて聞き取 り調査と現地視察をおこない,さらに長野県環境部生活排水課からの情報提供とホームペ ージ^{1),2)},そして新聞記事の情報³⁾をもとに,クリーンピア千曲における浸水被害の発生状 況および被災後の復旧状況について取りまとめた.

6.1.2 下水処理場における浸水被害の発生と復旧状況

<u>a) 被災の経過</u>

12 日 16 時 10 分から台風に備え,最初沈殿+塩素処理をおこなう簡易処理を開始する.

13 日未明(1 時頃), 下水処理水の放流先の千曲川が放流ポンプ強制停止の水位基準(9.8m) を超えたため, 放流停止する.同時に長野市, 須坂市, 小布施町, 高山村からの約 14 万 3 千人の下水受け入れを中止し, 揚水および沈殿・塩素消毒を停止する. その後, 千曲川が 決壊(参考:13 日 0 時 55 分に穂保付近で越流確認, 2 時過ぎに決壊地点付近の映像切れ る)し, 5 時 50 分頃に敷地西側, 5 時 55 分頃に敷地南側から浸水が観察された. 10 時頃, 浸水は本館一階でピーク(1.95m 敷地基準では 2.6m)に達したと考えられる. 浸水によ



写真 6.1.1 場内南側 13 日 5 時 56 分 (クリーンピア千曲提供)

写真 6.1.2 場内南側 13 日 5 時 57 分 (クリーンピア千曲提供)

の送風機やモーターなど電気系統機械,地下 20m にある汚水汲み上げポンプ 5 台が水没し,反応タンク内の活性汚泥は流出した. (写真 6.1.1~6.1.8)



写真 6.1.3 場内南側 13日7時51分 (クリーンピア千曲提供)



写真 6.1.4 場内南側 13 日 10 時 00 分 (クリーンピア千曲提供)



写真 6.1.5 場内南側 13日 13時 11分 (クリーンピア千曲提供)



写真 6.1.6 場内南側 14 日 07 時 49 分 (クリーンピア千曲提供)



写真 6.1.7 クリーンピア千曲航空写真 (長野県環境部生活排水課提供)



写真 6.1.8 管理本館1階 13日 08時 30分 (クリーンピア千曲提供)

b) 復旧作業の経過

13 日 22 時から長野市がクリーンピア千曲に向かう下水管を長野市東部浄化センターの 下水管につなぐ工事に着手した(現在も,長野市からの汚水の一部は東部浄化センターで の処理を継続中).

15日3時から放流ゲート修繕,午前中から国土交通省の電源車によるポンプ設置準備を おこなう. 昼ごろには場内の浸水状況が改善され,車が入場可能になったため,本格的な 復旧工事を開始した.すなわち流入人孔を中心に水中ポンプによる揚水を実施し,一部は 最初沈殿池へ,残りは放流バイパスへ放流した.なおポンプの稼働にあわせて固形塩素を 投入した.さらに処理場の自家発電設備も水没したため,小型の発電設備を15日夕方にリ ースで導入し,管理棟の電源とした.

17日 ポンプ車や仮設ポンプによる排水とあわせ,吸引車によるマンホールからの排水 を引き続き実施した.(写真 6.1.9)

19日 塩素消毒のみによる簡易処理(目標水質 BOD 200mg/L)の処理量は一日5万m³ まで回復するが,流入の多い時間帯(午前や夕方)の豊野地区マンホールからの溢水は解 消されず,引き続き節水の呼びかけを継続した.

24日 下水処理場に設置されていた放流ポンプを移設し(写真 6.1.10),午後より仮設 ポンプとして流入下水の排水を開始(沈砂池の手前でくみ上げ)する.この結果,豊野地 区でのマンホールからの溢水がなくなる.沈殿処理と塩素処理による簡易処理(目標水質 BOD 120mg/L)をおこなう.

25日 24日に設置したポンプ(排水能力 35t/min)の本格稼働を開始する.

11 月 5 日 消毒は固形塩素から液体塩素に変更(大腸菌群数対策),処理場からの放流 水中の大腸菌群数は10月31日に67,000個/cm³あったものが13日には0個/cm³になる.

11月29日 5 つある水処理系列のうち、1 系列で簡易的な生物処理(目標水質 BOD 60mg/L)を開始する.

12月16日 簡易的な生物処理を合計2系列で実施する.



写真 6.1.9 ポンプ車による排水 (長野県環境部生活排水課提供)



写真 6.1.10 放流ポンプ移設 (長野県環境部生活排水課提供)

<u>c) 今後の復旧スケジュール</u>

2021(令和3)年3月までに5つある水処理系列すべてで生物処理を順次復旧し,令和3年4月より水処理の本稼働(目標水質 BOD15mg/L)をおこなう予定になっている.そして2022(令和4)年4月から汚泥処理系統を含む処理施設全体の本稼働をおこなう計画である.さらに施設の復旧に併せ,「100年に一度」の洪水を想定した長野市洪水ハザードマップに対応する浸水に耐えられるよう防水扉の設置や屋外から地下につながる開口部の閉鎖,電気設備を建物二階に設置することなどが検討されている.

なお今回の被災による処理施設全体の復旧工事費はおよそ 170 億円が見込まれている.

6.1.3 下水処理場の課題

11月に実施した調査において、下水道終末処理場の大規模な浸水被害は、東日本大震災 で津波により被災した下水処理場や熊本地震の被災した処理場を除くと、今回の令和元年 東日本台風でクリーンピア千曲と同様、大きな被害を受けた福島県の下水処理場しか類例 がないと伺った.一方、今回の台風による下水処理場の浸水被害は長野県内だけでも本処 理場を含め5箇所に及んでいる⁴⁾.

従来、下水道施設の災害対策は地震対策が中心であったが、国土交通省でも「下水道 BCP (Business continuity planning,事業継続計画)策定マニュアル」に関し、既存の「地震・津 波編」に加え、「水害編」を新たに追加し、公表に向け準備をしているさなかの浸水被害で あった.今回の浸水被害の経験を今後の下水道施設の災害対策において、生かすことが重 要である.たとえば被災直後に住民に対しておこなわれた下水道への流入量を減らすため の節水の呼びかけでは、報道機関も含め、下水道利用者への情報提供を通じた危機感の共 有が必要であり、また周辺自治体との連携が肝要と考えられる.

(松本明人)

6.2 電気・ガスなど供給系ライフライン

6.2.1 はじめに

2019 (令和元) 年台風 19 号 (東日本台風)の接近・襲来に伴って,多くの地域では電気, 水道,ガスなどの供給系ライフライン・システムが一時的に寸断される事態となった.全 国的には,停電が最大約 52 万戸,断水が最大約 17 万戸,ガスの供給停止が最大約 1,600 戸(うち都市ガスは約 1,300 戸)であったのに対し,長野県内では千曲川周辺地域を中心 に,それぞれ約 6.5 万戸,約 5 千戸,約 1,200 戸(うち都市ガスは約 900 戸)に影響が及ん だ^{5), 6)}. ここでは,当地において特に被害の大きかった電気事業(中部電力株式会社)と, 影響戸数自体は多くないが全国有数の被災地となったガス事業(長野都市ガス株式会社, 国際石油開発帝石株式会社など)を中心に,台風 19 号による供給システムへの影響・復旧 過程を報告する.なお,本稿は,内閣府,経済産業省,国土交通省や各事業者からの web 報告記事を参照,再編し,現地の状況を確認しながら分析・考察を試みたものである.調 査の際には,長野都市ガス株式会社,東邦ガス株式会社に便宜を図っていただいた.ここ に記して関係各位に謝意を表する.

6.2.2 電気供給システムの被害と復旧

電気供給システムは近年,風水害による被害をしばしば受けている.図6.2.1には,最近2ヵ年の風水害で生じた国内における大規模停電時の復旧戸数の推移を表す[¬]).これによると,強風が吹いた2018(平成30)年の台風21・24号,令和元年台風15号(房総半島台風)の方が,多くの雨を降らせた「西日本豪雨」(平成30年7月豪雨)や「東日本台風」(令和元年台風19号)より大きな被害をもたらした.なお,台風15号の停電は復旧に長時間を要しているが,記録的な暴風(最大風速約40 m/s,最大瞬間風速約60 m/s)により樹木や電柱が多数倒壊することにより,利用者に供給する過程でネットワーク状に張り巡らされた送配電施設の同時多発的損壊と,被災施設への交通支障が重なったことが原因と目されている⁸⁾.図6.2.2には発電,送電,配電,および,電気を使用するための受電施設からなる電気工作物の一覧を示すが,梶谷ら⁹⁾や田代¹⁰⁾が指摘した発電施設被災については,台風15号襲来時には比較的軽微であったと考えられる.



図 6.2.1 最近の風水害によって生じた停電戸数の推移(出典:経済産業省⁷⁾)



図 6.2.2 電気工作物の区分(出典:経済産業省¹¹⁾)

台風 19 号による停電被害については、東京電力管内が最大約 44 万戸と最も多く⁸)、東 北電力管内が最大約 5.8 万戸であり¹²)、長野県を中心とした中部電力管内では、最大約 6.5 万戸が影響を受けた¹³⁾. 中部電力株式会社¹³⁾の整理を転用し、図 6.2.3 には台風 19 号の 襲来に伴って長野県内で生じた停電時の復旧戸数の推移を、図 6.2.4 には、浸水した豊野 変電所について、浸水前の Google Earth 画像、千曲川の氾濫による推定浸水図¹⁴⁾と併せて 示す. 千曲川の堤防に設置された CCTV カメラの映像によると、長野市穂保地先(千曲川 左岸 57.5km 地点)からの越水開始が 10 月 13 日 0:55 であることから、それから 1 時間程 度で(CCTV カメラが流出し)堤防が決壊し氾濫したと推定されている^{15),16)}. 図 6.2.3 に おいて最大停電戸数を記録した時間もほぼ同じタイミングであることから、停電の主な原 因は破堤氾濫による地盤変状や浸水が原因であったと考えられる. 内閣府¹⁷⁾、多田ら¹⁸⁾は、 住宅の地上からの床高さやコンセントの配置から、浸水深が 70 cm 以上になると戸建て住 宅では電気の使用ができなくなるとしており、図 6.2.4 に示す浸水域の広い範囲で停電が 生じたものと推察される.



図 6.2.3 令和元年台風 19 号により長野県で生じた停電戸数の推移 (出典:中部電力株式会社¹³⁾)



図 6.2.4 千曲川の洪水氾濫による豊野変電所の浸水状況 (中部電力株式会社¹³⁾を改変)

長野県内では、配電設備の延べ 297 回線が停止し、242 本の電柱が折損・傾斜し、変電 設備 2 箇所が浸水により保安停止したほか、浸水や土砂の堆積により 11 箇所の水力発電 所(合計出力 16,130 kW)が停止した¹³⁾.既往研究では水深が 1 m以上になると供給側設 備(この場合は変電所)も損傷しうるとされ^{17),18)},豊野変電所周辺では浸水深がおよそ 2 m以上に達したと推定されていることから(図 6.2.4),機能停止に至ったものと考えられ る.中部電力株式会社¹³⁾は 10 月 12 日 12 時以降,被害状況を確認しながら順次復旧を進 めていたが、豊野変電所に関しては 16 日 5:08 以降に移動式変電所を配備することで仮復 旧している(この時点で停電世帯の 90%が復旧,図 6.2.4).ただし、著者が現地に赴いた 2 月 18 日現在もこの状況に変わりはなく、本復旧にはさらなる時間が必要と推察される.

台風 19 号による停電被害に際しては,台風 15 号での停電復旧作業の長期化やそれに関 する情報周知が不十分であったことを踏まえ,10 月 13 日には経済産業大臣から電力会社 に対し,早期復旧に努めるとともに復旧の見通しを精度高く示すことなど指示が行われ⁷, その後の電力会社^{12),13}などの対応を見るに,迅速かつ適切に復旧が進められたものと考 えられる.こうした災害対応の中でまとめられた知見は,建築物の電気設備などのハード 対応を含め¹⁹,国家を挙げて検討してきた対応として取り纏められていることから²⁰,今 後の電気供給システムについては,風水害に被災しにくく,また,被災した場合にも速や かに復旧ができるような体制を構築するような改善が期待される.

6.2.3 ガス供給システムの被害と復旧

ガス供給は、都市ガス事業、旧簡易ガス事業とLPG(液化プロパンガス)事業により賄 われている.都市ガス事業の供給区域は国土の6%強(約75%の世帯が居住)に過ぎず、 区域内でも全世帯が都市ガスを利用しているわけでないこともあって、可住区域を網羅す る電気事業に比べてその供給網は限定的である(図6.2.5)²¹⁾.しかも、ガス導管はそのほ とんどが地中に埋設されていて気密構造であり、供給に際しては電気など他のライフライ ンを必要としないことから、一般に浸水の影響を受けにくいとされる^{17),18)}.近年の風水 害に対しても、平成30年7月豪雨の際にLPガス容器約3,900本が流出したものの、都市 ガスの供給支障は290戸に限られたほか、大規模停電が生じた平成30年台風21・24号、 令和元年台風15号の際には影響を受けなかった⁶⁾.令和元年台風19号により最大1,600 戸への供給が停止されたとはいえ、他のライフラインに比べるとその被害は軽微であった ⁶.

都市ガスの供給は、製造所、貯蔵所(ホルダー)、各種圧力を呈する導管網とその過程で ガスの圧力を調整する整圧器(ガバナー)によって担われている(図6.2.6).各種製造業 (工場など)に対しては需要(管内圧力)に応じて、中圧A(0.3~1.0 Mpa 未満)、中圧B (0.1~0.3 MPa)、低圧(0.1 MPa 未満)状態で供給されるのに対し、一般家庭への供給は 低圧に限定され、各利用者には事業者によってガスメーター(マイコンメーター,計量器) が配備されている.このうち、整圧器は電気事業での変圧器に相当し、これを格納する建 屋(施設)が整圧所であり、電気事業での変電所に相当する.このため、一般に都市ガス 供給に関わる地上施設・設備としては、貯蔵所、整圧所、建物ごとの計量器のほか、河川 を跨ぐ橋梁などに添架される導管に限定される.したがって、導管路が埋設された地盤が 変状したり、氾濫流などによって侵食されたりする場合を除き、風水害による影響はこれ ら地上施設・設備に及ぶことになる.



図 6.2.5 日本のガス導管分布図(出典:経済産業省資源エネルギー庁²²⁾)



図 6.2.6 都市ガスの供給システム(出典:一般社団法人日本ガス協会²³⁾)

台風19号の接近・襲来に伴う被害(供給停止戸数,施設損傷)としては,都市ガス事業 全体で1200戸以上に上り,長野県・福島県では橋の崩落に伴って高・中圧添架管が損傷す る被害が生じた²⁴⁾.経済産業省産業保安グループガス安全室のによると,都市ガス事業で は,東京ガスで最大206戸(整圧器水没),仙台市ガス局で5戸(擁壁崩壊に伴う供給管損 傷),長野都市ガスで最大900戸(整圧器水没),常盤共同ガスで最大131戸(浸水),石巻 ガスで最大8戸(浸水),旧簡易ガス事業では,ながの農業協同組合(312戸,旧簡易ガス 事業の供給団地冠水),橋本産業(17戸,製造所水没)などが挙げられ,橋梁添架管の損傷 としては,福島県いわき市(東部ガス),長野県東御市(国際石油開発帝石)の2箇所で報 告されている.ガス事業を通じて最大の被害は,千曲川の洪水・氾濫によるものであり, 主に長野都市ガス(長野市豊野),ながの農業協同組合(須坂市相之島),国際石油開発帝 石(東御市本海野)の被害に代表される.ここでは,長野都市ガスと国際石油開発帝石の 被災事例を対象とし,以下のa),b)でそれぞれ記述する.

<u>a) 浸水による都市ガスの供給支障:長野市豊野地区整圧所の浸水</u>

長野都市ガス株式会社²⁵は,前身の県営事業から引き継いで2005(平成17)年4月に 事業開始し,2020(令和2)年4月現在,長野県内北中部の8市3町に対して都市ガスを 供給している.長野市周辺では市街地を中心に供給地域が散在するが,千曲川の左岸堤防 決壊(長野市穂保地先)に伴う浸水により長野市豊野地区が被害を受けた.図6.2.7には, 豊野地区における都市ガス供給システムの被災状況について,長野都市ガス株式会社^{26),} ²⁷⁾による供給停止区域と現地調査により得た整圧所の分布と痕跡浸水深などの状況をまと め,国土交通省国土地理院¹⁴⁾による推定浸水図と併せて示す.ここでは,豊野地区に位置 する3カ所の整圧所が示されているが,このうち整圧器が浸水により被災したのは豊野地 区整圧所に限定される(長野都市ガス株式会社への聞き取り調査から).11月4日に豊野 地区周辺を踏査したところ,同地区の豊野地区整圧所に関しては,痕跡浸水深は地上2.95 mほどの高さに達しており,1階建ての建屋が完全に水没し,整圧器が損傷した様子が窺 われた.既往研究では,浸水深が 2.0 m 程度に達すると,導管内のガス圧を制御するため に大気圧把握のための検圧孔が浸水してガス圧の制御が不能になるとされており^{17),18),28),} ²⁹⁾,現状の施設配置と浸水痕跡を見るに,今回の洪水氾濫に伴う浸水による当該整圧所の 被災は避けられなかったものを考えられる.また,1.0 m 以上の浸水域にあっては,屋外に 設置された各戸の計量器が損傷するほか^{17),18),28),29)},屋内のガスコンロが 10 cm 以上浸水 した場合には配管内への浸水が生じて復旧作業を困難にする¹⁸⁾.今回の千曲川の洪水氾濫

(10月13日未明に破堤)では、都市ガス供給区域で浸水深の大きな地域が広がったこと が直接的な要因であることは自明であるが、供給再開までの復旧時間にも触れておきたい. 最大900戸あった供給停止区域のうち、浸水しなかったしなの鉄道北しなの線以北の「北 ブロック」(485戸)については、翌14日から開栓され始めて15日には復旧した一方、同 以南の「南ブロック」(415戸)では、被害の度合いに応じて順次作業が進められたものの ^{26)、27)、30)}、各戸単位の開栓作業には立会いを要することから、(浸水被害が大きくガス機器 を使用できない住居を除き、)避難して一時不在となった住居に住人が戻るまでの時間も 合わせ、開栓完了までに約9日間を要した⁶⁾.

一般に、都市ガス事業は、可燃性ガスを商品として扱うことから保安意識が高く、地震 動や液状化による地盤変状などに備えた対策を進めてきたことに加え、近年は供給区域を 遮断弁などで区切ったブロック化を進め,遠隔操作を含めて部分的に導管を閉止可能な体 制を整えつつある ²³⁾. したがって, 1 カ所の整圧所が浸水しても, 被災した整圧器に連な る導管を直ちに遮断することができれば、供給停止には繋がらない. 今回の約 900 戸から なる供給停止区域については、北半分のエリアは浸水しなかったにも関わらず、上流側整 圧器の損傷によりそれに連なる導管内のガス圧が制御不能となり導管内の圧力が異常上昇 したため、二次被害を防ぐ目的で供給停止されるに至った(長野都市ガス株式会社からの 聞き取り調査). このような被害過程をより厳格に見れば, 整圧所の浸水といった素因に加 え、影響を最小限に留める導管閉止などの初動対応がとれなかった誘因の存在が浮かび上 がってくる.浸水による被害を減らすには,可能な限り,整圧所などの重要施設を浸水想 定区域内に設置しないのが望ましく,当該区域に重要施設を節せざるを得ない場合には, 発災時の適切な初動対応のため、施設周辺への水位計や監視カメラの設置などによる監視 体制の構築などが理想的に思われる.ただし,発災の頻度や被害を踏まえ,施設や導管網 を配置し直したり、監視体制を新たに構築したりする費用とその効果を考えると一筋縄に はいかない.実際には,浸水想定区域内に現存する整圧所など重要施設の嵩上げ,その区 域への供給を遮断可能なブロック化などの対策が効果的であるため(東邦ガス株式会社か らの聞き取り調査),まずはハザードマップを含む防災地理情報を照合することにより,被 災するリスクの高い区域と施設を認識して対応することが求められる.



図 6.2.7 千曲川の洪水氾濫による都市ガス供給システムの被災状況 (供給停止区域は長野都市ガス株式会社^{26),27)}の情報を元に Google Earth にて作成)

b) 橋梁被害によるガス導管損傷:東御市本海野地区の海野宿橋落橋に伴う導管の破断

東御市は、南北を小諸市と上田市に挟まれた千曲川の中流域に位置する.日本海側と太 平洋側を繋ぐガス導管は限られるが(図 6.2.5)、東御市には、新潟県内で生産された天然 ガスを首都圏に輸送する経路を含む複数のパイプラインが通っている(図 6.2.8)³¹⁾.こう したパイプラインは、海外から輸入する液化天然ガス(LNG: liquefied natural gas)ととと もに国産天然ガスを、効率的、かつ、持続的に沿線の都市ガス事業者に供給すべく、国際 石油開発帝石株式会社により整備されてきた³²⁾.

台風 19 号に伴う洪水によって,東御市では千曲川とその支川の周辺に架かる橋梁 7 箇 所が被災したが³³⁾,このうち東御市本海野地区周辺では,千曲川右河岸が 300m にわたっ て侵食されて市道白鳥神社線が被災し,国道 18 号線に接続する海野宿橋が落橋した^{33),34)}. 図 6.2.9 には,11 月 4 日に現地で撮影した写真に加筆した図を示すが,添架されていた

「東京ライン」は落橋により破断させられ、河岸・堤防の侵食に伴ってその裏側にあった 市道が被災し道路に埋設されていた「松本ライン」が露出した様子が窺える.なお、この 松本ラインは露出のみで破断にまでは至らなかったが、損傷の可能性を踏まえて閉止され ³⁵⁾、撮影時点では東京ラインとともに一部を残して撤去されていた.海野宿橋の落橋は、 蛇行部外岸の侵食に伴う橋台の崩落によるものとされる^{34),36)}.図6.2.10 には、被災後の 11月4日にUAV (DJI Mavic Air) により撮影した写真から, AgiSoft Metashape Professional 1.6 を利用して作成したオルソ写真を用いて, Google Earth により編集した被災前後の様子 を示す. 2015 (平成 27)年当時の状況と対比すると, 被災後の河道に見られる中州は施工 のための瀬替えによるものと考えられるが, 広範囲にわたって河岸が変状しており, 特に, 蛇行の曲率が最大となる地点から洪水流が堤内地に侵入して地盤が侵食された様子が窺え る. 落橋した海野宿橋の橋台は, この洪水流の軌跡に位置していたために被災したものと 考えられる.







図 6.2.9 洪水流で侵食された市道と露出・破断したパイプライン(11 月 4 日撮影)



図 6.2.10 海野宿橋周辺の被災前後の状況(画像出典は Google Earth. ただし, 被 災後の画像は著者が撮影・加工してオルソ化したもの)

被災当時の状況として,信濃毎日新聞(10月24日付記事)は現場付近の住民への取材 から,10月13日午前2時半ころに「ドカーン」という大きな音がした後,「ヒュー」とい うガスが漏れるような音が1時間近く続いた様子を取材して報じている¹⁶⁾.国際石油開発 帝石株式会社は,同日の記者発表により海野宿橋に添架されていた東京ラインを閉止した ものの³⁵⁾,その時刻までは公表していない.そのため,大きな音がした午前2時半頃の落 橋により破断した導管から,高圧で輸送中の(臭気の無い)天然ガスが数時間にわたって 相当量漏れ出したものと推察され,周辺に人気が無い未明の事象で重大な事故を引き起こ さなかったことが不幸中の幸いであったと考えられる.その後の復旧工事については,11 月1日に台風19号による災害を「大規模災害からの復興に関する法律」における「非常災 害」に指定する政令が公布・施行されたことを受け,国土交通省関東地方整備局長野国道 事務所の直轄権限代行により行われ11月14日には応急対策工事が完了している³⁰.な お,信濃毎日新聞(11月15日付記事)は,本海野地区周辺の千曲川右岸について1959(昭和34)年,1982(昭和57)年にも侵食されていることを報じ,現地は千曲川が増水すると被害を受ける可能性が高い場所であることを認識し,対策を講じる必要があるとしている¹⁶⁾.2020年2月以降,本復旧に向けた検討は,国土交通省関東地方整備局長野国道事務所と同省北陸地方整備局千曲川河川事務所が担う形で「東御市本海野地区権限代行災害復旧工事調整会議」に引き継がれており^{34),37)},繰り返して被災しない強度の高い設計・施工が期待される.

6.2.4 電気・ガスなど供給系ライフラインの課題

本稿では、令和元年台風 19 号 (東日本台風)の接近・襲来に伴って千曲川沿川地域で生 じた洪水氾濫による被害を中心に、供給系ライフラインである電気・ガス事業への影響を 整理して考察した。令和元年は台風 15 号 (房総半島台風)に伴う強風による被害も生じた 中にあって、ここでは浸水や洪水流による影響に着目した。これまで水工学分野において は、ライフラインへの影響を系統的に論じた報告が少なかったため、各項においては、最 初に電気、ガス事業のそれぞれの特徴を説明したうえで、被災するリスクの高い施設を絞 り込みながら、千曲川の洪水氾濫による浸水に伴う施設の損傷による供給の停止から再開 に至る過程までを対象に要因分析を試みた。

千曲川沿川の電気、都市ガス事業については、長野市穂保地先における堤防決壊直後の 10 月 13 日未明にいずれも最大供給停止戸数(電気:約 6.5 万戸,ガス:約 900 戸)を示 し、その後、電気は約3日間、ガスは約9日間を要してほぼ全世帯への供給を再開した. 供給停止戸数の多寡は,それぞれの供給様式の違いによるところが大きく,電線・電柱な ど地上設備主体の電気事業に対し、埋設された導管など地下設備主体の都市ガス事業の特 徴を反映しているものと考えられる.ただし、いずれの被害についても影響を大きくした 直接的要因として、電気は変電所(豊野変電所)、ガスは整圧所(豊野地区整圧所)といっ た地上供給施設の浸水による機能損傷が挙げられ,両施設自体の復旧は 2020 年 2 月時点 でも完了していない、現地は今も尚、復旧の途上にあるとも言えるが、重要施設の配置や 浸水対策の重要性が浮き彫りになった.図6.2.7には、電気供給施設の豊野変電所、ガス 供給施設の豊野地区整圧所,長野新幹線車両センター(JR 東日本)と豊野駅(しなの鉄道 北しなの線・JR 東日本飯山線)も併せて示されている. いずれも今回の洪水氾濫による浸 水深の大きな地域に位置し,長野市による洪水ハザードマップ³⁸⁾でも大きな浸水深が想定 される地域にも関わらず、現地でインフラ・ライフラインの重要施設が建設されてきたこ とは反省すべき点であり、今後は他地域においても見直しながら対応を講じていく必要が あると言えよう. なお, ガス事業に関しては, 近年, パイプライン整備が天然ガスの生産・ 輸入拠点から消費地に向けて延伸してきた中にあって,そのルート途上で河川や凹部・谷 地形を跨ぐ際、地上に露出し橋梁に添架された導管が被災した事例も見受けられた、橋梁 自体も重要な交通インフラであるが、導管が添架された場合には、ライフライン施設とい う側面も鑑みたリスク管理が必要である.

最後に本稿で触れた被災状況を踏まえて総括するに,浸水が想定される地域にあってイ ンフラ・ライフラインなどの都市機能を確保していくためには,供給施設やそれらを結ぶ 供給網については浸水に備えて設計するだけでなく,浸水や洪水流に晒される事態を想定 した体制を整備する必要性が強く示唆された.近年の災害状況にも鑑み,本稿が洪水氾濫 によるインフラ・ライフライン施設やその供給機能への影響を低減する対策が進展する一 助になれば幸いである.

(田代喬)

6.3 住宅

6.3.1 調査目的と範囲

本調査は、氾濫流が住宅に及ぼす被害の分析を行うための予備調査として位置付けられ、 被害地域の基本的な住宅の特徴と被害状況についての情報収集を行った.調査日は 2019 (令和元)年10月20日、調査対象地域は図6.3.1に示す堤防が決壊し広範な河川氾濫に よる被害が生じた長野県豊野町大字穂保および豊野駅を中心とする千曲川左岸である.



図 6.3.1 調査を行った大字穂保と豊野駅周辺(OpenStreetMap)

6.3.2 建築物の被害

<u>a)構造部材の被害</u>

大字穂保の破堤点近傍では建築物の一部または全部が流出した事例が確認された.写 真 6.3.1 は破堤点から北西約 100m に位置する住宅被害を撮影したものである.住宅が べた基礎だけを残して流出している.写真 6.3.2 はこの住宅の上部構造と基礎の緊結部 を示しており,流体力によって破断したと思われる.写真 6.3.3 は先の住宅(写真 6.3.1) に近接するピロティ構造になっている 2 階建住宅であり,流体力によって構造材が変形 しながらも,かろうじて倒壊を免れていた.写真 6.3.4 は破堤地点のすぐ北側に位置す る木造住宅の写真である.隅部が流出しつつも残存している.大字穂保において,構造 部材に被害が出ている,あるいは一部または全部が流出している住宅は破堤地点から半 径 100m 程度に限定されていた.また,この範囲内にあっても構造部材に被害が出てい ないように思われる建物も見られた.簡易な基礎の上に設置された倉庫等の軽量な建築 物では,転倒している例も見られた.(写真 6.3.5)





写真 6.3.1 流出した上部構造

写真6.3.2 破断した基礎緊結部



写真 6.3.3 倒壊寸前の住宅



写真 6.3.4 隅部が流出したものの残存 している住宅



写真 6.3.5 転倒した構造物(倉庫と思われる)の例

b) 床上浸水による被害

国道 18 号線穂保交差点から破堤地点へと向かう道沿いでは,浸水深は住宅基礎上端から計測して 1m~2m 程度であった.この地域の多くの住宅は,盛り土やかさ上げさ

れた基礎によって,基礎部が道路面から0.5m~1m程度高くなっており(写真6.3.6~ 6.3.8)床上浸水が低減されていた. 参考までに,かさ上げされていないビニールハウ スの浸水痕を写真6.3.9に示す.



写真 6.3.6 石積みによりかさ上げ



写真 6.3.7 コンクリートによりかさ上げ





写真 6.3.8 石積みによりかさ上げ 写真 6.3.9 付近のビニールハウスの浸水痕 かさ上げ等で床面を十分に上げることができない場合は,床上浸水被害が見られたが, 住宅の基礎形式によってその被害の様相および復旧方法に違いが見られた.

大字穂保の住宅では**写真 6.3.10**の布基礎(床下には小石を敷き詰めている)が多く採 用されている印象を受けた.布基礎形式の住宅では床下が直接地面とつながっているた めに断熱性では劣るが,床上浸水後,住宅外部の水が引くのと同時に自然に床上および 床下の水が排水されていく点で床上浸水からの復旧という点では優れているとも考えら れる.

豊野駅周辺の住宅では布基礎, べた基礎の両方が見られた(写真 6.3.10, 写真 6.3.11). べた基礎,特に外断熱工法の住宅ではその気密性故に,床上浸水発生後にべた基礎上部 に水が滞留し, 排水作業に困難が伴うことが聞き取り調査で確認された. 写真 6.3.11 の 住宅では, べた基礎上に堆積した泥水の排水にポンプを使用したが, 完全に泥を取り除 くことが困難なことから, 写真 6.3.12,6.3.13 のようにべた基礎外周部に孔をあけて住 宅外に排水がされていた. なお, 基礎に孔をあける際には建築業関係者が設計図を参照 することで, 配筋を切断しないよう注意が払われていた.



写真 6.3.10 布基礎の住宅



写真 6.3.11 べた基礎の住宅



写真 6.3.12 基礎の一部にあけた開口 (外側)



写真 6.3.13 基礎の一部にあけた開口 (内側)

<u>c) 外壁の被害</u>

外壁がサイディング材で仕上げられている場合,ほとんど浸水被害が確認できず,浸 水後に拭き取られていたりして,外壁面から浸水高さを識別できない住宅も多くみられ た.浸水によってサイディング材や壁内部の構成材料の含水率は上昇していると思われ るが,本調査の範囲では,サイディング材においては目視観察による色調変化がみられ た例はなかった.他方で,ラスモルタル塗外壁においては色調変化が明瞭で,浸水深さ が目視で識別できる住宅があった.大字穂保に多く見られた土壁の一種である小舞壁 (土塗り壁)において浸水被害がもっとも顕著であり,写真 6.3.14 のように土が流出 して小舞竹が残っている例が多くみられた.

また,特徴的な被害として,漂流物の衝突が原因と思われる外装材の被害(写真 6.3.15) や内水圧(動圧あるいは静水圧)の上昇が原因と思われる外装材の剥離(写真 6.3.16) が見られた.





写真 6.3.14 土壁の脱落 写真 6.3.15 漂流物の衝突



写真 6.3.16 外装材の剥離 と思われる被害

<u>d) 開口部の被害</u>

破堤箇所の直近や氾濫流が建物内を通った箇所ではガラス窓が割れている一方で,浸 水深さが2階の床上に達していても,破堤箇所から遠ければ開口部のガラス面が割れ ていない例が多かった. (写真 6.3.17,写真 6.3.18)



写真 6.3.17 破堤箇所の近くだがガラス が破損していない例



写真 6.3.18 写真 6.3.17 より破堤箇 所から遠いが、氾濫流が通過してガラ スが破損した例

<u>e) 屋根の被害</u>

屋根葺材の多くは屋根面と緊結されていたため流失している例はほとんど見られなかった.例えば写真 6.3.19 に、2 階床上まで浸水したが、屋根葺材はほぼ流失していない千曲川破堤地点から北に約 2.5km 離れた豊野南団地内の住宅を示す(写真 6.3.20 は同団地内の別住宅の 2 階押し入れに残された浸水痕).また、破堤箇所の直近にあっても、構造躯体ごと破損している部位を除けば、屋根葺き材は流失していなかった.



写真 6.3.19 玄関の屋根上に残った泥 写真 6.3.20 2 階の押し入れに残った浸水痕

(小山毅,西嶋一欽,藤本郷史,山田真史)

参考文献

- 長野県環境部生活排水課:クリーンピア千曲からのお知らせ、 https://www.pref.nagano.lg.jp/seikatsuhaisui/infra/suido-denki/gesuido/20191021.html (2020年 1月23日付)
- 2) 長野県環境部生活排水課:台風第19号によるクリーンピア千曲の被災状況への対応について,

https://www.pref.nagano.lg.jp/seikatsuhaisui/kensei/soshiki/soshiki/kencho/haisui/ index.html (2020年3月19日付)

- 3) 信濃毎日新聞2019年10月14日,信濃毎日新聞2019年10月16日,信濃毎日新聞2019年10月 18日,信濃毎日新聞2019年10月19日,信濃毎日新聞2019年10月20日,信濃毎日新聞2019 年10月23日,信濃毎日新聞2019年11月12日,信濃毎日新聞2019年12月12日
- 4) 内閣府:令和元年台風第19号に係る被害状況等について,

http://www.bousai.go.jp/ updates/r1typhoon19/index.html (2019年10月24日8時30分現在)
5) 内閣府:令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について(令和2年4月10日9時00分現在), http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19 45.pdf, 2020

- 6) 経済産業省産業保安グループガス安全室:近年の台風・豪雨災害における対応状況,経済産業省産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会ガス安全小委員会, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/gas_anzen/pdf/021_03_01.pdf , 2020 (2020.04.16 確認)
- 7) 経済産業省:台風15号・19号に伴う停電復旧プロセス等に係る個別論点について,経済産業省総 合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会/同省産業構造審議会 保安・消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会合同電力レジリエンスワーキンググループ, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/resilience_wg/pdf/006_04 _00.pdf, 2019 (2020.04.16 確認)
- 8) 経済産業省産業保安グループ電力安全課:令和元年に発生した災害の概要と対応,経済産業省産業構造審議会保安・消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会, https://www.meti.go.jp/shingikai/sankoshin/hoan_shohi/denryoku_anzen/pdf/021_01_00.pdf , 2019 (2020.04.16確認)
- 9) 梶谷義雄,山本広祐,豊田康嗣,中島正人:水力発電施設に関わる災害事例の収集と溢 水被害に伴う社会的影響評価法の検討,土木学会論文集 F4, Vol.67, No.1, pp.1-13, 2011.
- 10)田代喬:水力発電施設への地震の影響,大震度直下型地震による河川への影響の総合的 調査研究報告書,平成28年度京都大学防災研究所特別緊急共同研究・土木学会水工学委 員会熊本地震災害調査団(研究代表者・団長:大本照憲(熊本大学)),pp.89-103,2017.
- 11) 経済産業省:電気工作物の保安, https://www.meti.go.jp/policy/safety_security/ industrial __safety/sangyo/electric/detail/setsubi_hoan.html (2020.04.16 確認)

- 12) 東北電力株式会社:台風 19 号に伴う停電復旧対応の振り返り,経済産業省総合資源エネル ギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会/同省産業構造審議会保安・ 消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会合同電力レジリエンスワーキンググループ, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/resilience_wg/pdf/008_04_00. pdf, 2019 (2020.04.16 確認)
- 13) 中部電力株式会社:台風 19 号に伴う停電復旧対応の振り返り,経済産業省総合資源エネル ギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会/同省産業構造審議会保安・ 消費生活用製品安全分科会電力安全小委員会合同電力レジリエンスワーキンググループ, https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/resilience_wg/pdf/008_03_00. pdf, 2019 (2020.04.16 確認)
- 14) 国土交通省国土地理院:令和元年(2019年)台風19号に関する情報, https://www.gsi.go.jp/ BOUSAI/R1.taihuu19gou.html#11 (2020.04.16 確認)
- 15) 国土交通省北陸地方整備局河川部河川工事課:千曲川堤防調整員会, http://www.hrr.mlit.go.jp/river/chikumagawateibouchousa/index.htm, 2019 (2020.04.16 確認)
- 16) 信濃毎日新聞社編集局:信濃毎日新聞特別縮刷版:2019 台風 19 号長野県の災害報道 10・13~12・13 2カ月の記録,信濃毎日新聞社メディア局出版部,224p,2020.
- 17) 内閣府:大規模水害時に対する現状の方策(電力、通信、ガス),内閣府中央防災会議 大規模水害対策に関する専門調査会,http://www.bousai.go.jp/kaigirep/chuobou/senmon/ daikibosuigai/3/pdf/shiryou 7.pdf, 2007 (2020.04.16 確認)
- 18)多田直人,池内幸司,廣瀬昌由,栗林孝典,猿渡広邦,伊藤弘之,久保田啓二朗,大浪 裕之,池田剛司:洪水氾濫によるライフライン停止被害の定量的な算出手法の開発,河 川技術論文集,第19巻,pp.265-270,2013.
- 19) 建築物における電気設備の浸水対策のあり方に関する検討会:建築物における電気設備の浸水対策ガイドライン(原案),国土交通省住宅局建築指導課・経済産業省産業保安グループ電力安全課, https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/content/001330090.pdf,2020 (2020.04.16 確認)
- 20) 令和元年台風第 15 号・第 19 号をはじめとした一連の災害に係る検証チーム:令和元年台 風第 15 号・第 19 号をはじめとした一連の災害に係る検証レポート(最終とりまとめ),内 閣府中央防災会議,http://www.bousai.go.jp/kaigirep/r1typhoon/pdf/dai3kai_torimatome.pdf, 2020 (2020.04.16 確認)
- 21) 経済産業省資源エネルギー庁:ガスシステム改革の現状と今後の課題について,経済産業省総合資源エネルギー調査会電力・ガス事業分科会電力・ガス基本政策小委員会ガス事業制度検討ワーキンググループ第1回会議資料, https://www.meti.go.jp/shingikai/ enecho/denryoku_gas/denryoku_gas/gas_jigyo_wg/pdf/001_05_00.pdf, 2018 (2020.04.16 確認)
- 22) 経済産業省資源エネルギー庁:実施から1年、何が変わった?ガス改革の要点と見えて

きた変化,

https://www.enecho.meti.go.jp/about/special/tokushu/denryokugaskaikaku/gaskaikaku.html (2020.04.16 確認)

- 23) 一般社団法人日本ガス協会:都市ガス事業の現況, https://www.gas.or.jp/gasfacts_j/#target/, 2019 (2020.04.16 確認)
- 24) ガスエネルギー新聞:供給停止 1200 戸以上に ガバナ水没、添架管折損も/台風 19
 号, 2019 年 10 月 21 日号, p.1, https://www.gas-enenews.co.jp/news/?action=view&id=3492,
 2019 (2020.04.16 確認)
- 25) 長野都市ガス株式会社:供給エリア, https://www.nagano-toshi-gas.co.jp/company/kyoukyu/ (2020.04.16 確認)
- 26) 長野都市ガス株式会社:台風 19 号に関する災害について 第2報(2019年10月13日 16時30分現在), https://www.nagano-toshi-gas.co.jp/news/2019/10/19.html, 2019 (2020.04.16確認)
- 27) 長野都市ガス株式会社:台風 19 号に関する災害について 第3報(2019年10月14日 13時00分現在), https://www.nagano-toshi-gas.co.jp/news/2019/10/20191014-dai3pou.html, 2019 (2020.04.16確認)
- 28)田代喬,八木健太郎,戸田祐嗣:洪水氾濫流が都市ガス供給システムに及ぼす影響に関する一考察:供給地域の浸水過程と施設に作用する流体力に基づく被害推定,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.5, pp.I_1489-I_1494, 2018.
- 29)田代喬,八木健太郎,菅沼淳,戸田祐嗣:浸水事象が都市ガス供給システムに及ぼす影響の統合的把握に向けた試算方法の設計,第10回インフラ・ライフライン減災対策シンポジウム講演集,pp.42-46,2020.
- 30) 長野都市ガス株式会社:台風 19 号に関する災害について 第 10 報 (2019 年 10 月 19 日 16 時 30 分現在), https://www.nagano-toshi-gas.co.jp/news/2019/10/20191019-10pou.html, 2019 (2020.04.16 確認)
- 31) 国際石油開発帝石株式会社: 天然ガスが届くまで, https://www.inpex.co.jp/ museum/03/ contents04.html (2020.04.16 確認)
- 32) 山本一雄:日本海側天然ガス田と太平洋側 LNG 基地とのパイプライン接続,石油技術 協会誌,第73巻,第2号, pp.143-151,2008.
- 33) 東御市:【特集】台風 19 号被災状況,市報とうみ, No.188, pp.2-5, 2019.
- 34) 長野県:千曲川東御市本海野地区の災害について, https://www.pref.nagano.lg.jp/ ueken/ seibi/documents/r1-1111-2-tikumagawa-motounno-saigai.pdf (2020.04.16 確認)
- 35) 国際石油開発帝石株式会社: 台風 19 号の影響について(第二報)(お知らせ), 2019 年

10月29日, https://www.inpex.co.jp/news/assets/pdf/20191029.pdf, 2019 (2020.04.16 確認)

36) 国土交通省関東地方整備局長野国道事務所:記者発表資料:台風 19 号により被災した 「海野宿橋」の応急対策工事が11月14日(木)に完了見込み,https://www.ktr.mlit.go.jp/ ktr_content/content/000761131.pdf, 2019 (2020.04.16 確認)

- 37) 国土交通省関東地方整備局長野国道事務所:直轄権限代行による東御市道(白鳥神社線) 災害復旧事業,https://www.ktr.mlit.go.jp/nagano/nagano00162.html (2020.04.16 確認)
- 38) 長野市:長野市洪水ハザードマップ, https://www.city.nagano.nagano.jp/soshiki/kikibousai/ 2570.html (2020.04.16 確認)

第7章 避難行動と情報

7.1 はじめに

2019(令和元)年台風 19 号(2020(令和 2)年 2 月 19 日に気象庁が「令和元年東日本 台風」と命名)は、死者 104 名、行方不明者 3 名、全壊 3,308 棟、半壊 30,024 棟、一部破 損 37,320 棟、床上浸水 8,129 棟、床下浸水 22,892 棟(2020 年 4 月 6 日時点)という大規模 な被害をもたらした¹⁾. 避難勧告等対象者数 797 万人、最大避難者 23.7 万人と報告されて おり²⁾、災害救助法は、甲信越、関東、東北を中心に東日本大震災を超える 390 市区町村 に適用された.水害としては稀に見る広域被害をもたらしたといえる.

災害時には、被災地の住民行動に関して様々な調査が行われる.しかしながら、多くの 場合、対象となる災害における行動についての知見が得られるだけであり、これまでの災 害での行動との比較などが行われることは少ない.土木計画学研究委員会減災システム研 究小委員会(2015(平成27)年6月~2018(平成30)年6月)では、このような現状を鑑 み、災害時の住民行動について、体系的な調査が必要と考え、これまで、標準的な災害調 査の在り方について議論を重ねてきた.今回、これまでの議論と過去の災害調査での調査 分析から、今後の災害時の行動調査のひな型となりうる調査項目を提案し、平成30年7月 豪雨災害から調査を実施している.本稿では、令和元年台風19号(東日本台風)における 調査から得られた知見について報告する.

7.2 調査票の設計と調査の実施

平成 30 年 7 月豪雨災害での調査の経験をもとに一部修正した調査票を活用した.調査 項目は、フェイス情報、当日の避難行動、居住地付近のハザード、防災意識など 34 項目と し、Web 調査として実施した.調査対象エリアは、東日本台風における最大避難者数が多 かった東京都、千葉県、埼玉県、群馬県、茨城県、栃木県、神奈川、宮城県、岩手県、福 島県、静岡県、長野県、山梨県、新潟県、三重県、山形県、愛知県より選定した 117 市区 町とその周辺地域とした.平成 30 年 7 月豪雨災害の調査より、避難情報(避難準備・高齢 者避難開始、避難勧告、避難指示(緊急))を受けておらず、被害のなかった地域に住む避 難しなかった人の結果は分析対象としにくかったから、スクリーニング項目を設定し、避 難した人、避難情報を受け取った人、避難情報を受けていないが居住地が何らかの被害を 受けた地区に住んでいた人のみを調査対象とすることとした.調査は、2020 年 3 月下旬に 行われ 4000 サンプルを回収した.本稿は、全国の傾向を分析するとともに中部・北陸地区 で被害の最大の被害であった長野県(83 サンプル)を比較して分析を行うものとする.

7.3 調査協力者の特徴

回収した 4000 サンプルに関する単純集計結果について示す.スクリーニングにより,被 害や避難情報が出ておらず,避難しなかった人は対象外とした.そのうえで,グループ1 (避難した人のグループ,以下「避難」と記す)は711人(17.8%),グループ2(避難勧告以上の情報を受け取ったか,居住地に被害があった地区に住む人のグループ,以下「非避難」と記す)3289人(82.2%)であった.回答者は,男性60.9%,女性39.1%,年齢は,30歳未満6.7%,30歳代13.2%,40歳代25.85%,50歳代28.85%,60歳代18.6%,70歳以上6.8%であった.都県別では岩手県74人,宮城県303人,山形県26人,福島県194人,茨城県235人,栃木県231人,群馬県183人,埼玉県397人,千葉県357人,東京都1118人,神奈川県449人,新潟県51人,山梨県63人,長野県83人,静岡県194人,愛知県15人,三重県27人である(図7.3.1).



図 7.3.1 回答者の都県別分布

グループ1に属する避難者の避難先としては、33%が避難所、指定避難所であり、最も 多いのは垂直避難の47%であった(図7.3.2). 今回は都市部での水害であり、3階建て以 上の建物に垂直避難には、「自宅の2階、マンションの高層階など」という注釈をつけてお り、避難時には避難の認識があったか否かはわからない.



図 7.3.2 避難先の内訳(全エリア N=711)

長野県は,避難者数の多かった4市を対象とし,長野市29人,須坂市15人,千曲市26人,中野市13人からの回答を得た.県全体でグループ1は18人(22%)(長野市7人,須坂市1人,千曲市7人,中野市3人),グループ2は65人(78%)であり,全エリアに比して避難した人が多い.グループ1に属する避難者の避難先としては,指定避難所2人(長野市,須坂市),近所の家2人(長野市,千曲市),高台2人(長野市,中野市)であり,最も多いのは垂直避難の12人(長野市4人,千曲市6人,中野市2人)であった(図7.3.3).



図 7.3.3 避難先の内訳(長野県 N=18)

7.4 「避難」と「非避難」を分ける要素に関する分析

7.4.1 避難行動と避難情報

「避難」もしくは「非避難」を決めた時に取得していた情報は、図7.4.1のようになっ

た. 調査では,取得していた情報をすべて回答してもらっていたが,集計時には最も緊急 性の高い避難情報(避難指示(緊急)>避難勧告>避難準備・高齢者避難開始の順)を代表値 として重複回答とならないように修正した.



図 7.4.1 避難先の内訳(全国 N=4000)

帰無仮説を「避難/非避難と避難指示(緊急)の取得は関連がない」「避難/非避難と避難 勧告の取得は関連がない」「避難/非避難と避難準備・高齢者避難開始の取得は関連がない」 とし、χ2 乗検定を行った.クロス集計表、期待度数の表とp値を表 7.4.1-7.4.3 に示す. また、70歳以上のサンプルのみに限定しての、避難/非避難と避難準備・高齢者避難開始 の取得に関するクロス集計表、期待度数の表とp値を表 7.4.4 に示す.

	表 7.4.1	避難/非避難	隹と避難準備・	高齢者避難開始	(p值:1	. 82E-19)	(全国	N=40	00	I)
--	---------	--------	---------	---------	-------	-----------	-----	------	----	----

クロス集計	避難準備未取得	避難準備取得	期待度数	避難準備未取得	避難準備取得
避難	640	71	避難	548.35875	162.64125
非避難	2445	844	非避難	2536.64125	752.35875

表 7.4.2 避難/非避難と避難勧告(p 値:1.84E-05)(全国 N=4000)

クロス集計	避難勧告未取得	避難勧告取得	期待度数	避難勧告未取得	避難勧告取得
避難	415	296	避難	363.2340585	347.7659415
非避難	1628	1660	非避難	1679.765941	1608.234059

表 7.4.3 避難/非避難と避難指示(緊急)(p 値: 7.56E-17)(全国 N=4000)

クロス集計	避難指示未取得	避難指示取得	期待度数	避難指示未取得	避難指示取得
避難	462	249	避難	546.93675	164.06325
非避難	2615	674	非避難	2530.06325	758.93675

クロス集計	避難準備未取得	避難準備取得	期待度数	避難準備未取得	避難準備取得
避難	37	4	避難	27.63369963	13.36630037
非避難	147	85	非避難	156.3663004	75.63369963

表 7.4.4 避難/非避難と避難準備·高齢者避難開始(p 値:0.00071)(全国 N=4000)

有意水準 5%とした場合, すべての項目に対して帰無仮説は棄却され, さらに避難準備・ 高齢者避難開始に関しては 70 歳以上のサンプルに限定しても帰無仮説は棄却されること がわかった. 避難準備・高齢者避難開始や避難勧告については, 情報を取得して避難した という場合の観測値が期待度数よりも小さいことから, これらの情報を受け取っても避難 しないと解釈できる. これに対して避難指示 (緊急)に関しては, 上記と逆のパターンに なっているので, 避難指示 (緊急)を受け取ると避難すると解釈できる. 避難指示 (緊急) のみが避難に有効である傾向は, 平成 30 年 7 月豪雨災害時にも見られた傾向であり, 最 も緊急性が高い情報を受けないと避難しないということは, 近年の避難行動の特徴ととら えられると考えられる.

長野県のみに限定してみた場合のクロス集計,期待度数の表とp値を表 7.4.5-7.4.7 に 示す(サンプル数が少ないため,避難準備・高齢者避難開始だけはχ2 乗検定ではなく,フ ィッシャーの正確確率検定(片側)を行っている).

クロス集計	避難準備未取得	避難準備取得	期待度数	避難準備未取得	避難準備取得
避難	13	5	避難	14.70731707	3.292682927
非避難	55	10	非避難	52.29268293	11.70731707

表 7.4.5 避難/非避難と避難準備·高齢者避難開始(p 値:0.191)(長野県 N=83)

表746	~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~	/ 非避難と避難勧告	(n 値	$\cdot 0.003)$	(長野県	N=83)
10 1. 1. 0				. 0. 000/		1000/

クロス集計	避難勧告未取得	避難勧告取得	期待度数	避難勧告未取得	避難勧告取得
避難	17	1	避難	11.71084337	6.289156627
非避難	37	28	非避難	42.28915663	22.71084337

表 7.4.7 避難/非避難と避難指示(緊急)(p 値:0.290)(長野県 N=83)

クロス集計	避難指示未取得	避難指示取得	期待度数	避難指示未取得	避難指示取得
避難	8	10	避難	9.975903614	8.024096386
非避難	38	27	非避難	36.02409639	28.97590361

有意水準 5%とした場合, 避難勧告取得のみ帰無仮説は棄却された. 情報を取得して避難 したという場合の観測値が期待度数よりも小さいことから, 避難勧告を受け取っても避難 しないと解釈できる. サンプル数が少ないので, これだけで結論づけることはできないが, 長野県だけに限定してみると避難情報は避難に直結しているものはないという結果となっ た.

7.4.2 避難行動と情報源

避難情報を取得した媒体に関して,表7.4.8,図7.4.2に示す.避難情報を取得した媒体は、テレビや緊急速報メール(エリアメール)は比率が大きいものの、避難者と非避難者の回答比率には優位な差がない.一方でラジオ、行政以外のSNS・アプリ、市町村のSNSやHP,警察・消防・消防団の訪問が0.01未満となっており、これらの情報媒体を利用する避難者の比率が高い.また、近所や地域の方の訪問、離れた場所に住む知人や家族からの電話・メールなど身近な人からの情報では避難する群で比率が高くなっている.長野県も同様の傾向は示しているが、サンプル数が少なく、信頼性の高い検定とならないため、スコアのみ示した.

		全	国 (N=4000)		長野県	長野県(N=83)		
設問概要	選択肢	避難	非避難	。信	避難	非避難		
		(N=711)	(N=3289)	pile	(N=18)	(N=65)		
	テレビ	367	1639	0.74	11	29		
	ラジオ	80	202	>0.01	1	6		
	行政以外のホームベー ジやSNS、アブリ	110	366	>0.01	2	6		
	緊急速報メール(エリ アメール)	311	1418	<mark>0.8</mark> 4	13	33		
	市町村のホームページ やSNS	121	427	>0.01	2	6		
取得媒体	市町村の登録制メール	113	428	0.07	1	8		
	都や県の登録制メール	17	65	0.53	0	1		
	防災行政無線	178	747	0.29	9	21		
	警察、消防、消防団の 訪問	19	36	>0.01	1	5		
	近所や地域の方の訪問	37	57	>0.01	3	1		
	離れた場所に住む知人 や家族からの連絡	59	68	>0.01	3	0		

表 7.4.8 避難情報の取得媒体



図 7.4.2 避難情報の取得媒体(全国 N=4000)
7.4.3 避難行動と備え

災害への備えについては「その他」の回答を除く全ての項目で避難者,非避難者の間で 優位な差があった(表 7.4.9,図 7.4.3).避難した人はそうでない人よりも,設定した災 害への備えのいずれにおいても用意している比率が高い.一方で「特に何もしていなかっ た」と回答する非避難者の比率が高いことからも,避難者と災害への備えには強い関係が あることが確認できる.

		全国 (N=4000)			長野県 (N=83)		
設問概要	選択肢	避難	非避難	n値	避難	非避難	
		(N=711)	(N=3289)	pie	(N=18)	(N=65)	
	飲料水・食糧の備蓄	454	1879	>0.01	8	26	
	避難場所、経路の確認	305	935	>0.01	6	25	
災害への備 え状況	近隣の指定避難所まで の避難経路の検討	164	372	>0.01	3	10	
	市区町村の登録制メー ルの登録	130	427	>0.01	0	8	
	家族との連絡方法の確 認	197	<mark>680</mark>	>0.01	5	17	
	非常用持出品の準備	216	810	>0.01	5	8	
	地域の自主防災活動や 消防団への参加	41	88	>0.01	0	1	
	その他	5	36	0.35	0	0	
	特に何もしていなかっ た	120	1007	>0.01	5	22	

表 7.4.9 災害への備え



図 7.4.3 災害への備え(全国 N=4000)

防災訓練や防災講演会への参加状況では、「毎回参加していた」「時々参加していた」「1 回参加したことがある」の回答で避難者が有意に高い比率となっており、「参加したことは ない」の回答で非避難者が有意に高い比率となっている(表7.4.10,図7.4.4).例え1回 であっても防災イベント等への参加は,避難行動の選択に正の影響を与えると考えられる.

		全国 (N=4000)			長野県(N=83)	
設問概要	選択肢	避難	非避難	n店	避難	非避難
		(N=711)	(N=3289)	plie	(N=18)	(N=65)
防災訓練や 防災講演会 への参加状 辺	毎回参加していた	69	157	>0.01	2	4
	時々参加していた	131	483	>0.01	5	17
	1度参加したことがあ る	102	363	>0.01	3	8
<i>//</i> L	参加したことはない	409	2285	>0.01	8	35

表 7.4.10 防災イベントへの参加状況



図 7.4.4 防災イベントへの参加状況(全国 N=4000)

7.4.4 避難行動と近隣住民や地域コミュニティとの関係

災害前の近所づきあい状況に関する設問では、すべての項目で避難者と非避難者で優位 な差があった(表 7.4.11,図 7.4.5). 非避難者は「挨拶をする程度」、「ほとんど付き合い がない」というコミュニティとのつながりが弱いことを示す回答の比率が高い.一方で避 難者はコミュニティとのつながりが強いことを示す回答(「積極的な地域活動への参加」

「清掃への参加や当番の役割を担う」「高齢者・障がい者や子育て支援への参加」「愚痴を 言える人がいる」)の比率が高い.したがって、コミュニティとのつながりは避難行動の選 択に強く関係すると考えられる.

		全国 (N=4000)			長野県 (N=83)	
設問概要	選択肢	避難	非避難	n値	避難	非避難
		(N=711)	(N=3289)	ple	(N=18)	(N=65)
災害前の近 所づきあい 状況	積極的に自治会等の地 域活動に参加したり、 親しく話したりしてい る	151	392	>0.01	4	19
	一斉清掃の参加や当番 制の役割を行っている	184	641	>0.01	6	29
	高齢者・障がい者や子 育て支援に参加してい る	49	81	>0.01	0	4
	愚痴を言えるような友 人が近所にいる	78	276	0.03	1	9
	挨拶をする程度	266	1443	>0.01	6	18
	ほとんど付き合いがな い	130	840	>0.01	3	8

表 7.4.11 近隣住民や地域コミュニティとの関係



図 7.4.5 近隣住民や地域コミュニティとの関係(全国 N=4000)

コミュニティ内の防災活動状況に関する設問では,避難者が「自治会等の地域単位で防 災に関する取り決めがある」,「防災に関する取り決めのため,数回会合がある」,「自治会 等の地域単位で高齢者・障がい者などに関する取り決めがある」に回答した比率が高く, 有意な差がある(表 7.4.12,図 7.4.6).「自治会等の地域単位で防災に関する取り決めが あるかどうか知らない」の回答で非避難者が有意に高い比率となっている.したがって, 地域のコミュニティで防災活動がされていることは避難を促す可能性が示唆される.

		全国 (N=4000)			長野県 (N=83)	
設問概要	選択肢	避難	非避難	n値	避難	非避難
		(N=711)	(N=3289)	pie	(N=18)	(N=65)
コミュニ ティ内の防 災活動状況	自治会等の地域で防災 に関する取り決めがあ る	145	512	>0.01	5	18
	自治会等の地域で防災 に関する取り決めのた め、数回会合がある	72	244	0.02	3	9
	自治会等の地域で、高 齢者・障がい者などに 関する取り決めがある	<mark>64</mark>	180	>0.01	2	9
	自治会等の地域で取り 決めはない	108	499	0.99	2	4
	自治会等の地域で取り 決めがあるかどうか知 らない	374	1994	>0.01	8	31
	その他	2	18	0.361	0	0

表 7.4.12 コミュニティ内の防災活動状況



図 7.4.6 コミュニティ内の防災活動状況(全国 N=4000)

7.4.5 避難行動と世帯構成

災害前の世帯構成について訪ねた設問では乳幼児,小学生,妊婦,介護の必要な方を家 族に含む世帯が避難の比率が高く,有意な差が確認できる(表7.4.13,図7.4.7).つまり, 幼い子供をもつことと避難者には正の関係があることが考えられる.一方で,ペットや避 難行動や避難生活が困難な方を家族に含む世帯は,避難の意思決定に負の影響を与えると 考えたが,2群の間に有意な差は見られなかった.また,「本設問にあてはまるものはない」 と回答した世帯は負の関係があり,避難に支障のない世帯ほど避難しない傾向にあると考 えられる.

	選択肢	全国 (N=4000)			長野県 (N=83)	
設問概要		避難	非避難	p値	避難	非避難
		(N=711)	(N=3289)		(N=18)	(N=65)
	乳幼児	85	245	>0.01	3	3
	小学生	90	310	>0.01	0	7
災害前の同 居家族 (ペットを 含む)	妊婦	13	29	0.02	0	2
	介護の必要な方	51	145	>0.01	2	5
	ベット(犬、猫)	125	585	0.90	2	13
	その他、病気や障害な どで避難行動や避難生 活が難しい方	29	124	0.70	2	3
	上記にあてはまるもの はない	396	2083	>0.01	10	36

表 7.4.13 災害前の同居家族 (ペットを含む)



図 7.4.7 災害前の世帯構成 (ペットを含む) (全国 N=4000)

7.5 まとめ

令和元年東日本台風での被災者行動に関して,Web 調査を行い,今回の災害における住 民の行動について分析を行った. 避難した人の特徴として,以下の傾向が示唆された.

- 避難勧告までの情報より、避難指示(緊急)の発表により行動する
- 身近な人から寄せられた情報(地域の人の訪問や遠くにいる家族や知り合いからの メールや電話)により行動する
- テレビや緊急速報メールだけでなく,能動的に情報を取得する必要がある媒体(SNS, HP, ラジオ)からも情報を得ている
- 防災訓練や講演会等へ参加したり、災害への準備をしたりしている
- 家族に乳幼児,小学生,妊婦,要介護者がいる
- 平常時からコミュニティとのつながりが強い
- 防災や要支援者に関する取り組みがある自治会に参加している

これらの傾向は、平成 30 年 7 月豪雨災害でも同様にみられた傾向である(詳細は参考 文献3を参照のこと). くしくも、連続した年に、西日本、東日本で大災害があったためこ のような傾向を確認することができた. 長野県の特徴をみると全国とは傾向が違うものも ある(サンプルが少ないため十分な考察はできていない). これは地域性に依存した傾向の 存在を示すものであると考えられるため、今後は都道府県別、地域別の分析を進めて、全 国的な傾向と地域差のある傾向を把握することが求められる.

参考文献

- 1)内閣府:令和元年台風第19号に係る被害状況等について,令和2年4月10日 http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_45.pdf
- 2)中央防災会議防災対策実行会議令和元年台風第19号等による災害からの避難に関するワーキンググループ:令和元年台風第19号等を踏まえた水害・土砂災害からの避難のあり方について(報告),令和2年3月

http://www.bousai.go.jp/fusuigai/typhoonworking/pdf/houkoku/honbun.pdf

3)平成30年度科学研究費補助金 特別研究促進費「平成30年7月豪雨による災害の総合研究」 (課題番号:18K19951,研究代表:山本晴彦)報告書,2019.

(畑山満則)

第8章 課題と提言

今次洪水の調査結果およびそこから得られた課題に基づいて,提言を以下に示す.

提言1(観測充実・活用)
降水量や水位などに関する高い確実性を持った空間的に密な観測網の充実および取得
されたデータの統合・活用が必要である。

近年の降水量や水位・流量観測に関する新技術の発展と実用化はめざましいが, さらな る充実とリアルタイム活用のシステム作りが必要である.

千曲川の今次洪水は、主に上流の佐久市・佐久穂町の群馬県側斜面での豪雨がもたらした.リアルタイムで利用できるアメダス、気象レーダ、国土交通省設置雨量計,XRAINでの一雨観測値は最大 300mm 強であった.その後入手した長野県設置雨量観測所の最大一雨雨量は南佐久郡上石堂地点での 579mm と判明した.レーダが雨量を正確に観測できない地域は他にもあると考えられる.また、現状の地上雨量計観測網で豪雨域の降雨量を正確に観測できる保証はなく、観測網の再評価が必要である.さらに、県観測雨量を即座に利用できるようにし、国による観測情報と統合解析できるようにすべきである.

千曲川破堤地点に設置されていた危機管理型水位計により高精度の最大越流水深が計 測された.これにより氾濫現象の正確な評価が可能になり、今後の被災分析の信頼性向上 が期待できる.このように貴重な情報が得られる危機管理型水位計は、低コストが前提で はあるが工夫により流失・欠測を極力少なくする対策と、より多くの設置が期待される.

今回,千曲川破堤は夜間に発生したためその時刻が不明であり,破堤情報伝達に混乱が 生じた.夜間の破堤把握など堤防監視に関する研究開発が必要である.

提言2(河道管理)

河道内砂州を有する急流河川においては、大規模洪水時の砂州挙動と流路変動の予測技術を高める必要がある.

今次洪水により千曲川では、大規模な河床変動・流路変動が生じた.特に上田市では、 出水前には長期間砂州の陸域であった箇所に流路が移動し水衝部が発生したことで、堤防 欠損と落橋被害がおきた.これは流量低減時に発生したと推定されるが、詳細なメカニズ ムは不明であり、さらなる研究により予測技術を高める必要がある.

千曲川上流部では、1960年代から河道に植生が侵入・消滅を繰り返していたが、1980年 代から2010年代にかけて徐々に植生域が増え、砂州が一部固定化および樹林化し、低水路 に小さな砂州が形成される二極化状態にあった.このような河道でも、ひとたび大規模出 水が発生すれば、急流河川特有の激しい侵食力により川全体で砂州や流路が大きく変動し、 堤防侵食や落橋といった現象を引き起こすことが改めて示された.

今回のような被災を防ぐためには、目に見える裸地砂州や流路位置のみに着目するだけ では不十分である.今回の状況を踏まえると、現況の流下能力規模のうち比較的大規模な 洪水の来襲を想定し、砂州の移動、水衝部の発生要因となる洪水流の偏心、水衝部の最深 河床高の変化など河道全体で時々刻々と変化する現象を考えることが求められる.対象と する現象に対し、現況の低水護岸・堤防護岸の基礎高や水制工の配置の評価が必要であり、 流路変動が生じた場合でも、侵食被災に繋がらないための対策、洪水流をできるだけ流心 へ誘導する対策などを講じていく必要がある.また、これらの対策を支援するためには、 砂州の移動開始条件や水衝部の挙動等河床変動を精度よく予測できる数値解析技術や観測 技術の研究が必要不可欠と言える.これらの研究を通し、洪水流の偏心が顕著となる河道 状態や区間を特定する判断指標の構築は急務である.

なお,堤防侵食や落橋被害を引き起こした流路変動は,ピーク流量を過ぎた流量減衰時 に大きく進行したと推定され,ピーク時のみならず,流量低減時における河道状況の迅速 な把握が必要である.

471

<u>提言3(避難行動)</u>

大河川の沿川地域における避難行動には、未だ多くの課題がある。その解決に向けて、 様々な取り組みが必要である。水工学分野では、多点での河川水位情報の活用、水害リ スクの認知と理解の深化を促す洪水ハザードマップ作成、リアルタイム浸水想定シミュ レーション等、様々な研究開発が必要である。

破堤氾濫域の地区は、地区防災計画を策定し、日頃から洪水氾濫への備えを準備する模範的地域である.また、長野市は想定最大浸水予測に基づく新洪水ハザードマップを2019年8月に全戸配布していた.それにもかかわらず、適切な避難行動をとっていない事例が 多々みられた.

この解決に向けて,よりわかりやすい避難情報の出し方,受け手の理解能力向上等,様々 な取り組みが実施されている.水工学分野では,多点での河川水位情報の活用,水害リス クの認知と理解の深化を促す洪水ハザードマップ作成,リアルタイム浸水想定シミュレー ション等の研究開発が必要である.

従来の水位観測所に加えて、2018年以降に新設された危機管理型水位計による観測水位 は、今まで未知だった多くの洪水水理の情報を提供する.このリアルタイム情報はインタ ーネット配信により活用されているが、現時点ではそれ以上の活用はなされていない.計 測精度の確保に細心の注意を払いながら、縦断的な水位データを活用した洪水予測精度向 上や住民の避難行動への活用が必要である.

千曲川破堤氾濫による浸水範囲,全壊家屋範囲は,洪水ハザードマップでの浸水範囲, 家屋倒壊等氾濫想定(氾濫流)エリアと類似している.このことから,破堤が生じた場合 の浸水および危険性の事前情報として,洪水ハザードマップの重要性が改めて示された. しかし,避難行動に十分結びついていない現状を踏まえると,行政(水防活動,避難活動 の支援),地域(地域防災力の向上のための,地域間情報伝達と避難対策の構築・事前検 討),住民(各家庭における備えの議論,災害時の情報収集,避難想定などの防災意識改 革)が有機的に関連して,全体として減災力を向上させることが必要であり,その基礎資 料として機能するハザードマップの活用の検討が必要である.

また,適切な避難行動を促すために、リアルタイムの浸水深予測も必要である.このためには、高速計算技術の開発や、時間的な浸水変化情報の表示・活用法を検討する必要がある.さらに、そのシステム開発が実施できた場合には、それらを住民が活用できるよう、 情報伝達システムも踏まえた社会実装策を十分に検討する必要がある.

<u>提言4(施設管理)</u>

浸水時に市民生活へ大きな影響を与える可能性がある重要な公共土木施設などに対しては,最大規模の浸水想定に対する備えが必要である。

千曲川の破堤氾濫や側岸侵食によって、電気・水道・ガスなどのライフラインシステム が被災し、一時的に供給が途絶されたほか(停電63,500戸、断水約5,000戸、都市ガス停止 900戸など.いずれも長野県内の最大値)、長野新幹線車両センターや下水処理場および沿 川の多くの排水機場などが大きな被害を受け、長期に亘り市民生活に多大な支障が生じ ている.この長期の甚大な被害は、設計や事業継続において、浸水を想定していない、ま たは、過小な浸水深想定のため発生した.想定を超える浸水などにより、受給施設の電気 設備だけでなく、変電所やガス整圧所などが被災し、橋梁や道路の損壊に伴う供給経路が 断絶され、被害が深刻化、長期化した.すべての重要施設は最大規模の浸水想定に対する 備えが必要である.

長野新幹線車両センターについては、2m程度のかさ上げを行っていたが、今回の破堤氾 濫にともなう最大浸水深が約4mであったため、北陸新幹線の車両30編成のうち1/3に当 たる10編成120車両が浸水し、廃車となった.その損失額は100億円を超え、2019年11 月末まで一部区間運休、2020年3月中旬まで暫定ダイヤが続いた.

破堤点の約3km下流に位置するクリーンピア千曲(千曲川流域下水道)と佐久市下水管 理センターは浸水により被災し,現在も簡易処理が続いている.グリーンピア千曲は,過去 の氾濫実績に基づいて,敷地を周囲地盤高より1m程度高くしていたが,今回の破堤氾濫 にともない敷地内建物が最大で約2m浸水した.その結果,流域関連市町村(処理面積: 4,459ha,汚水処理人口:143,000人)に対し,下水道の使用制限を呼びかける事態となり, 現在も施設の復旧作業が続いている.今回の被災による応急対策費と本格復旧費としてす でに9億400万円を専決処分しており,処理施設全体の復旧工事費はおよそ246億円が見 込まれている.

排水機場に関しては、長野市内だけでも7か所でポンプが故障し、長野市は緊急対策と して国土交通省と長野県の排水ポンプ車計28台を配備した.また、被災した排水機場の一 部では、次の梅雨期までに復旧工事が間に合わず、排水能力は被災前より2割低いまま洪 水期を迎える事態が発生している.

473

提言5(河川整備) 氾濫危険性の軽減に向けて、河道整備を着実に実施していくことが重要である。

今次洪水は計画高水位を超える規模であった.堤防整備率が約6割の現況の河道では流 下能力不足は明確で、複数箇所での堤防からの越水を伴いながら、ほぼ堤防満杯で洪水が 流れた.千曲川上流には洪水調節をする大ダムも遊水地もなく、既存施設の高度利用など の施策は適用できない.大規模貯留施設の建設も当面望めない.限られた平地である千曲 川沿いの盆地を開発してきた歴史から、長野県の都市はほぼすべてが氾濫域である.その ため、千曲川では、上下流バランスを確保した上で、河道整備を着実に実施していくこと が重要である.

今次洪水では、幸いにも浸透による堤防被害は発生しなかったが、もう少し洪水継続時 間が長ければ被害が生じていたかもしれず、本当に安全であるとは言い切れない.引き続 き、浸透に対する堤防の弱点箇所を縦断的に把握することに努め、必要に応じて浸透対策 を講じていくことが重要である.また、流下能力不足区間では、堤防強化対策が必要であ るとともに、河道掘削や樹木群管理等により水位を低減し、氾濫被害を軽減するための対 策も積極的に進めていく必要がある.

今次洪水のように、計画高水位を超える洪水外力条件下での長時間の浸透や越水が発生 することがあるため、決壊までの時間を少しでも稼ぐことが可能な堤防強化技術の検討・ 開発が急務である.

また,気候変動により予想される洪水規模の拡大への対応として,20世紀までの実績降 雨に基づき整備された築堤をはじめとする治水施設の強化に加え,気候変動による増分に ついての対策が必要である.

<u>提言6 (土地利用)</u>

市街化区域や立地適正化計画の居住誘導地域の指定にあたっては水害リスクの考慮が 徹底されるべきであり,より高い水害リスクが想定される地域に対しては市街化調整区 域や災害危険区域等の土地利用規制を積極的に検討すべきである.

今回の千曲川左岸の堤防決壊によって長野市長沼地区及び豊野地区を含む広域が浸水 した.中でも豊野地区は豊野駅南側の低地部が浸水し,且つ,浸水した家屋の約4割が2m 以上の浸水であったと推定され,垂直避難も困難な状況であったと考えられる.この地域 は長野市が指定する市街化区域に位置しており,さらには立地適正化計画における居住誘 導地域にも指定されていた.この地域は治水地形区分上の氾濫平野や旧河道に位置してお り,元来,水害ハザードの高い地域でもあった.市街化区域や居住誘導地域の指定にあた っては,水害リスクの考慮が徹底されるべきである.

一方で,長沼地区は決壊地点に近く地区の大部分が浸水したものの,2m以上の浸水深に 位置する被害建物数は全体の1割程度であった.長沼地区は長野市の市街化調整区域に指 定されており,建物の大半が自然堤防上に位置していた.市街化調整区域の指定による水 害の軽減効果が現れたと言え,水害リスクがある他地域においても積極的な指定が望まれ る.しかし,市街化調整区域内であっても,幹線道路沿いを中心に事業所や工場等の開発 が見られた,それらの開発・建築許可にあったっても水害リスクへの配慮が望まれる.

今回の水害を受けて、河川と都市計画・土地利用計画の連携、それにもとづく具体的な 土地利用規制施策の検討を急がなくてはならない. また、本調査では情報不足のため提言にまで至らなかったが、今後課題となる可能性の ある項目として以下が議論された.

(1) 氾濫域の土砂堆積

今次災害の特徴として,破堤氾濫域での土砂堆積が挙げられる.破堤氾濫域はリンゴ果 樹園を中心とする農地が広がる.氾濫流に多く含まれたシルト・粘土質土砂が堆積し収穫 間近のリンゴが被災した.さらに,通気性の低い土砂堆積の放置は樹木を枯死させる懸念 から,ボランティアの支援による堆積土砂搬出は各住宅での搬出が一段落した後,農地で の搬出が開始された.本調査団は,土砂堆積の実態の一部は把握できたが,道路や事業所 からの搬出土砂も含めた堆積土砂処分までの実態までは調査できなかった.

今後,堆積土砂に関する事前復旧・復興計画を作成する場合には,分野毎にさらに部分 的にしか行われていない土砂堆積の知見の集積が必要になる.本調査団が行った氾濫域の 土砂堆積調査は,原則,自らの判断で可能な範囲で行ったものを集めた結果であり,堆積 土砂の実態が把握できた訳ではない.今後,もっときめ細やかな調査の体制構築が必要で あろう.また,流木を含め堆積土砂堆積分布の解釈をするためのシミュレーション技術は 本調査報告書で示したとおり利用可能なレベルにある.

(2) 中小河川の河川整備計画

県管理河川の河川整備計画は圏域毎に作成される.千曲川・犀川流域は,北信圏域,長 野圏域,高瀬川圏域,松本圏域,上小圏域,北佐久圏域,南佐久圏域に分割されている. その中で,高瀬川圏域,北佐久圏域の河川整備計画は,治水安全度が比較的高く,河川事 業計画がないため,未策定となっている.今回,北佐久圏域の多数の河川で氾濫被害が発 生した.この圏域の河川は治水安全度が比較的高いとは言え,治水安全度は河川により相 当異なるようである.また,今後の気候変動により安全度低下が懸念される.これらを評 価するために,例えば河川整備計画策定により実施できるのではという議論があった.

A. 信濃川水系河川整備方針および計画の概要

信濃川水系河川整備基本方針¹⁾が2008(平成20)年6月に策定された.千曲川の計画規 模は、1/100であり、計画降雨については、1926(昭和元)年から1969(昭和44)年まで の年最大流域平均2日雨量を用いて確率処理し、立ヶ花地点では186mm/2日と決定した. 貯留関数法で流出計算を行い、立ヶ花地点での基本高水のピーク流量を11,500m³/sと定め た.このうち2,500m³/sを上流ダム群により調節して、計画高水流量を9,000m³/sとし、本 川の杭瀬下地点は5,500m³/s、犀川の小市地点は4,000m³/sとした(図付.1).その後、信濃 川水系河川整備計画²⁾が2014(平成26)年1月に策定され、1983(昭和58)年9月洪水と 同規模の洪水に耐えられる流量として、立ヶ花地点における目標流量7,300m³/s が定めら れた(図付.2).







図付.2 整備計画目標流量図²⁾



C. 浸水域の詳細図(信州大学大学院 ERNESTO ORLANDO RODRIGUEZ ALAS 作成)



2.2 で示した浸水域の詳細図を,図付.4~図付.29 に示す.

図付.4 飯山市①



図付.5 飯山市②



図付.6 飯山市3



図付.7 飯山市④



図付.8 飯山市⑤



図付.9 飯山市⑥



図付.10 飯山市⑦



図付.11 飯山市⑧



図付.13 中野市①



図付.14 中野市上今井12



図付.15 中野市栗林(3)



図付.16 長野市穂保(4)



図付.17 小布施町大島(5)



図付.18 須坂市相之島16



図付.19 須坂市福島①



図付.20 長野市牛島18



図付.21 長野市松代町(19)



図付.22 長野市小森20-1



図付.23 長野市小森20-2



図付.24 長野市東篠ノ井20-3



図付.25 長野市篠ノ井20-4



図付.26 長野市岩野20



図付.27 千曲市土口22



図付.28 千曲市尾米川ポンプ場~新田(3)(2)



図付.29 千曲市国分25

参考文献

- 1) 国土交通省河川局:信濃川水系河川整備基本方針, 2008.
- 2) 国土交通省北陸地方整備局:信濃川水系河川整備計画【大臣管理区間】, 2014.
- 3) 長野市ホームページ:長野市洪水ハザードマップ 4.古里・柳原・浅川・朝陽・若槻・ 長沼・豊野地区周辺,

https://www.city.nagano.nagano.jp/uploaded/attachment/330477.pdf (2020.06.16 確認)

(吉谷純一,豊田政史)



第1章 気象・水文

1.1 台風 19 号災害が示唆する地球温暖化影響と適応へのメッセージ

1.1.1 台風 19 号と気候変動適応

図 1.1.1¹1は地球温暖化に関する緩和と適応の一般的な関係,これまでの近代治水の進展,治 水としての温暖化適応についてまとめたものである.青線は災害外力に対応しての適応能力 (防災力)を示している.明治の近代治水の開始以降,外力に対応する目標(治水の計画目標, 図中の細線)を立てて鋭意治水事業を進められてきている.その近代治水開始時点,あるいは, 戦後荒れ果てていた国土に台風が何度か来襲し(カスリーン台風,枕崎台風,伊勢湾台風,第2 室戸台風など),洪水や高潮による大氾濫被害をもたらした終戦時点を左端と捉えても良い. その後,高度経済成長に伴って治水事業も進み,昭和34年の伊勢湾台風以降1000人以上の死 者の出る風水害はない.これは,青線が右肩上がりになってきているように,災害外力への対応 力が治水事業によって増大してきた結果である.しかし,現在は地球温暖化の影響が出だし ている.たとえば2017年の九州北部豪雨,2018年の平成30年7月豪雨では総雨量や水蒸気 の総流入量が,地球平均気温が産業革命以来4度上昇している場合の将来予測と矛盾しない こと^{2),3)},後者の総雨量は地球温暖化の影響により6~7%増加していたこと⁴⁾,また,平成 30年7月豪雨直後の日本の猛暑は温暖化の影響がなければ生起しなかったこと⁵⁾,等が科学 的に明らかになっている.

このように、まだ目標(ゴール)に達していない河川流域もあり(図1.1.1)では未整備と 記した)、そこでは鋭意事業が進められてきている中,温暖化の影響がじわじわと出だしてそ のゴールが遠のきだしている.したがって、これまでに加えた対応が必要になり、それを地 球温暖化への適応である.

さて、地域的には温暖化の影響はどこで目立つようになるのか?それは気候区分の境目で ある.たとえば,高山植物の生息下限が山を登っているとの観測が、そして益々そうなるとの



図 1.1.1 地球温暖化影響の緩和とそれへの適応(小松(九大,2012),三村(茨城大,2014) に中北が追記(2019))¹⁾

予測がなされている.あるいは南の樹種が北へ移動することもあるだろう.災害外力,災害は どうだろうか?台風19号は関東や東北中南部に記録を更新する大雨をもたらした.もともと 東北は,平成30年7月豪雨により被災した西日本に比べれば大雨の頻度や程度は小さい.そ こに西日本並みの豪雨に見舞われれば治水の目標を超えてしまい災害となる.あるいは,治水 の目標を超えなくても治水の目標に近い大雨に見舞われる機会が温暖化の兆候として増えれ ば,図1.1.1に示した「未整備」のところが狙い撃ちされることになる.どのように温暖化 の影響が出だしてきているのかを認知したり,モニタリングによってしっかりして明確化し たりしてゆくことも,温暖化適応を促進してゆくのに大事なことであると考えている.

(京都大学・中北英一)

1.1.2 台風 19 号の温暖化影響評価について

通常,台風はその低気圧性回転により,中心より東側で南方からの水蒸気を巻き込み雨量 が多くなる.そこで平成 30 年豪雨の解析と同様に²⁾,台風中心より東側を通過する日平均値 の水蒸気フラックスを指標として,20km 解像度の d4PDF で発生した台風性低気圧と台風 19 号を比較し,台風 19 号の特徴及び現在気候における異常性を解析した.

d4PDFからの台風抽出は、20km 解像度と日平均値という点を踏まえ、台風抽出には少し緩 い基準を独自に設けて取りこぼしがないよう抽出を行った.日平均値で見た時に最低海面更 正気圧が995hPa以下、最低気圧点付近の最大地上風速が16m/s以上を基準として台風性低 気圧(以下、単に台風と記す)を抽出した.その中で、台風19号と同じく東日本付近の領域 (東経135°~147°、北緯22°~33°)に存在した台風を解析に用いた.解析指標である水蒸気フ ラックスは、台風の中心(最低海面更正気圧点)から東側360kmの直線上で、北向きを正と して南方から通過してくる水蒸気フラックス(比湿×風速)の線積分と定義した.

解析データは 20km 解像度 d4PDF の現在気候(60 年×50 アンサンブル)と将来気候(60 年×90 アンサンブル)から抽出された台風の日平均水蒸気フラックス,そして気象庁 MSM データによる台風 19 号が発生した 2019 年 10 月 10 日の日平均水蒸気フラックスである. d4PDF から上記の抽出基準で抽出された台風の個数は現在気候で 4918,将来気候で 8196 であった. 高度は約 10000m まで,鉛直方向に全ての層で同じ定義で水蒸気フラックスを計算し,鉛直プロファイルを作成した.

結果を図 1.1.2 に示す. 横軸が水蒸気フラックス, 縦軸が高度を示す. 赤(青)の陰影は d4PDFの将来気候(現在気候)から抽出された台風の水蒸気フラックスの相対頻度を表して おり,陰影の色が濃いほど相対頻度が高い(その水蒸気フラックス量を持つ台風の頻度が多 い)ことを示す. 赤及び青の実線で水蒸気フラックスの最大値(相対頻度 0)のプロファイ ル,破線で相対頻度 0.001のプロファイル,そして点線で相対頻度 0.01のプロファイルを示 している. そして,台風 19 号の水蒸気フラックス鉛直プロファイルを黒点でプロットしてい る.

台風 19 号の黒点を見ると、5000m 以上の上空を除くほぼ全ての層で青色の実線の外側に プロットされている.このことは、d4PDF という大量アンサンブルデータの解析でも、現在 気候では発生し得ないレベルの水蒸気量が台風 19 号によって日本列島付近に供給されてい たということを示唆している.また地表面付近だけでなく、高度 10000m 付近までのほぼ全 層で最大レベルあるいはそれ以上の水蒸気量がもたらされていた.すなわち、台風によって もたらされた水蒸気量の観点からすると、台風 19 号は現在気候ではほぼ有り得ないレベルの 台風であったと言える.一方将来気候においては、台風 19 号の水蒸気フラックスは全層にお いて相対頻度 0.01 以上の場所に位置している.こちらも頻度としては決して高くはなく稀な レベルの水蒸気量ではあるものの、将来気候では東日本付近に発生する台風の中で 100 回に 1 回以上は同程度の水蒸気フラックスを持つ台風が発生し得るということを示唆している.

(京都大学・小坂田ゆかり,中北英一)



図 1.1.2 d4PDF で発生した台風と台風 19 号の水蒸気フラックスの鉛直プロファイル

1.1.3 本章のまとめ

(1) 今次災害における新規性の高い現象と過去より繰り返し発生している現象

2017年の九州北部豪雨,2018年の平成 30年7月豪雨では総雨量や水蒸気の総流入量が, 地球平均気温が産業革命以来4度上昇している場合の将来予測と矛盾しないこと^{2),3)},後者 の総雨量は地球温暖化の影響により6~7%増加していたこと⁴⁾,また平成 30年7月豪雨直 後の日本の猛暑は温暖化の影響がなければ生起しなかったこと⁵⁾,等が科学的に明らかにな っていると述べた.台風19号においても現在気候では発生し得ないレベルの水蒸気量が日本 列島付近に供給されていたということを示唆した.

(2) 今後への提言

治水のように適応を進めてゆくには長い時間がかかることを考えれば,地球温暖化の進行 は速い. 今すぐに適応をスタートすること,すなわち,今すぐ,科学的将来予測をベースに 先を見越して考え,どう適応するかを決め(計画),そして実行に移してゆくこと(適応)が, 「後悔しない適応」である.時間が限られている.

また,未整備部分の被災なども含め,どのように温暖化の影響を出だしてきているのかを 認知し,モニタリングをしっかりして明確化してゆくことも,温暖化適応を促進してゆくの に大事なことであると考えている.

参考文献

- 1) 中北英一, 第 1 回 "最近の災害から思うこと", 連載 "後悔しない地球温暖化適応", 隔月 誌「地球温暖化」, 日報ビジネス社, No.57 (2020 年 5 月号), pp26-27, 2020.
- 小坂田ゆかり、中北英一:領域気候モデルによる梅雨豪雨継続時間と積算雨量の将来変化 予測と過去の事例を用いた検証、土木学会論文集 B1(水工学)、Vo.74, No.5, pp.19-24, 2018.
- 3) 小坂田ゆかり,中北英一,平成 30 年 7 月豪雨の特徴及び地球温暖化による影響評価,土 木学会論文集 B1 (水工学), Vol.75, No1, pp.231-238, 2019.
- 4) Kawase, H., Y. Imada, H. Tsuguti, T. Nakaegawa, S. Naoko, A. Murata, and I. Takayabu, 2020: The Heavy Rain Event of July 2018 in Japan enhanced by historical warming, BAMS special report, Vol.101, No.1, pp. S109-S114, doi:10.1175/BAMS-D-19-0173.1.
- 5) Imada, Y., M. Watanabe, H. Kawase, H. Shiogama, and M. Arai, 2019: The July 2018 high temperature event in Japan could not have happened without human-induced global warming, SOLA, 15A, pp. 8-12, doi:10.2151/sola.15A-002.

(京都大学・中北英一,小坂田ゆかり,山口弘誠)

1.2 2019 年台風 19 号による千曲川・利根川上流域における降雨特性と台風経路の影響

1.2.1 2019年台風 19号による降雨・災害の概要

2019年10月、台風19号は勢力を保ったまま伊豆半島に上陸し、関東地方、福島県を縦断 し、各地で観測史上1位の降雨量をもたらした.河川の氾濫等による浸水範囲は西日本豪雨 (2018年)を超えるなど、記録的な豪雨災害となった.本検討では台風19号による大雨、台風 経路による影響、気象場の特性、温暖化の影響を明らかにすることを目的とする.本検討で は、はじめに、これまでに観測された台風経路および降雨情報を用いて両者の関係から台風 19号の特徴を明らかにする.この際に、カスリーン台風(1947年)や寛保2年(1742年)にも千 曲川および利根川、荒川など関東地方も含む大洪水が発生していたっことから、本検討では 類似の大雨災害はこれまでにも確率的に生じ得たという視点に立ち、低頻度極端現象の分析 に適した合計で数千年の気候データで構成される大量アンサンブル気候データを用いた大雨 リスクの評価を実施する.次に関東山地を挟むように位置する利根川上流域と千曲川流域で の降雨の特徴を観測情報および地域気候モデルを用いた解析により把握する.これにより、 台風19号によって千曲川流域に大雨がもたらされた要因の解明を試みる.最後に本検討では 台風19号のような台風による大雨リスクの気候変動による影響を把握するために d4PDFを 用いて温暖化進行後の大雨リスクを分析する.解析の詳細については星野ら(2020)²を参照 されたい.

1.2.2 台風経路に着目した降雨量の分析

2019年台風19号の特徴を台風経路の観点から過去の台風事例を用いて統計的に分析した. 台風 19 号および過去に関東地方で大雨をもたらした台風事例(1958 年台風 22 号(狩野川台 風), 1947 年台風 9 号(カスリーン台風))における台風の経路と台風の中心位置に対応した気 象庁の気象観測所(秩父地点)における 1 時間降雨強度を図 1.2.1 に示す. 同図より, 各事例 は台風が本州に接近する際の経路が類似していることがわかる. また, いずれの事例におい ても台風の接近とともに降雨強度が高まる台風の位置も同様の傾向を示すことがわかる. こ



れは台風 19 号の ような大雨をもた らす台風は過去に も発生していたこ とを示す結果であ る.

台風の経路が降 雨量に与える影響 を分析した.台風 の経路の類似度か ら台風 19 号に類 似した経路の過去 の台風を図 1.2.2

図 1.2.1 気象観測所(秩父観測点)において過去に大雨をもたらした台 風の経路と、台風の位置に対応した降雨強度(72時間降雨量が最大とな る期間をプロット)


図 1.2.2 台風 19 号と経路が類似した台風と台風 19 号の経路が経度方向に 1 度ずつずれた際に 経路が類似した台風(赤線は台風 19 号の経路. 左から経度方向に-2, -1, 0, 1, 2 度ずれた場合を示す. 抽出された台風事例数を右下に示す. なお, 2019 年台風 19 号は類似台風に含んでいない.)



に示す.類似度の算出方法の詳細は別報 2)に記す. また,台風 19号の経路がずれた場合の大雨リス クを評価するため経路が経度方向にずれた場合 の類似台風も抽出した.ここでは秩父観測所(台 風 19号による 24時間雨量は 519 mm)を対象と し,類似台風がもたらした 24時間累積降雨量を 図 1.2.3に示す.同図より,台風 19号は大雨と なりやすい経路であったことがわかるとともに, 東西に1度程度ずれていた場合でも同程度の大 雨となった可能性が示唆された.

図 1.2.3 台風経路が経度方向にずれた場 合の秩父観測点での降雨量

1.2.3 利根川上流域と千曲川流域における台風 19 号の降雨特性

南東方向から関東山地に向けて湿った空気が吹き付けた場合,関東山地よりも東側に位置 する利根川流域の山間部で降雨が多くもたらされ,山地を越えた空気は乾燥し,関東山地の 西側に位置する千曲川流域への水蒸気流入量は少なくなると考えられるものの台風 19 号で は千曲川流域でも大雨となった.この要因を明らかにするため過去に発生した台風 19 号と 経路が類似した台風を対象に降雨と水蒸気の鉛直プロファイルを分析した.

図 1.2.4 に台風 19 号と経路が類似した 4 事例の利根川上流域と千曲川流域での流域平均 降雨強度の時間変化を示す. この 4 事例は 2006 年以降を対象に前述の方法で抽出したもの である. 2007 年台風 9 号の利根川上流域での降雨量は今次台風と同程度であるが,千曲川流 域での降雨量は 50 mm 程度少ないことがわかる. 利根川上流域北部,特に西御荷鉾山周辺で の降雨が大きかったことから周辺での地形と降雨分布に着目する. 西御荷鉾山を通る北緯 36.1 度における地形の断面図と台風 19 号時の降雨分布を図 1.2.5(a)に示す. 同図より,利 根川上流域側である西御荷鉾山付近では西御荷鉾山の山頂を避けた西側と東側に強雨域が広 がっていることがわかる. また,千曲川流域では,関東山地山頂付近で最も降雨量が大きく, 関東山地の西側の蓼科地区の標高が高いエリアでも 48 時間で 250 mm を越える降雨がもた らされたことがわかる. 次に,利根川上流域のおける 48 時間累積降雨量が同程度である 2007



図 1.2.4 台風 19 号と経路が類似した 4 事例の利根川上流域と千曲川流域での流域平均降雨強 度の時間変化.(a)は利根川上流域,(b)は千曲川流域を表す.



図 1.2.5 西御荷鉾山を通る北緯 36.1 度における地形の断面図と 48 時間累積降雨分布. (a) は 2019 年台風 19 号における 2019 年 10 月 12 日 09 時 (JST) からの 48 時間累積降雨量, (b) は 2007 年台風 9 号における 2007 年 9 月 5 日 10 時 (JST) からの 48 時間累積降雨量を示す. 黒線 は標高を表す.標高データは解像度が約 1kmの GTOP030 を利用した.標高のピークは左から蓼科,関東山地, 西御荷鉾山を表す.赤色は千曲川上流域,青色は利根川上流域の降雨を表す.

年台風9号時における北緯36.1度における地形の断面図と降雨分布を図1.2.5(b)に示す.2007年台風9号時は, 台風19号時と同様,西御荷鉾山を避け, 東側と西側両方に強雨域が位置することがわかる.しかし,関東山地より西側の千曲川上流域においては,降雨量は少ない.この降雨量の差を生み出す原因について調べる.本研究ではNeimanら³⁾の水蒸気の重心高さと標高の関係が降雨分布特性に影響を与えるという結果を参考に,2019年台風19号と2007年



図 1.2.6 (a) 2019 年台風 19 号と(b) 2007 年台風 9 号の水蒸気の鉛直プロファイル. 気圧が 500 hPa (地 上から約 6 km) から 1000 hPa (地上高さ), 東経 137.5 度か ら 139.4 度の範囲の比湿の経度方向に平均した値.

台風9号の水蒸気の重心高さから降雨量の違いを調べた.気象庁メソモデル(MSM)のデータ から比湿の鉛直プロファイルを作成し,水蒸気重心高さを求めた.両イベントの降雨ピーク 時の結果を図1.2.6に示す.同図より鉛直方向での水蒸気の総量に大きな差はないよう見え る.しかし,2007年台風9号と比較すると2019年台風19号時は比湿が大きい層が上空に 位置しており,水蒸気重心が高く,2019年台風19号時は高度約870hPa,2007年台風9号



図 1.2.7 2019 年 10 月 11 日 9:00 から 10 月 13 日 9:00 (JST) における利根川上流域(a)と千曲川流域(b)の流域平均 48 時間 累積降雨量[mm]を示す.参考として破線で想定最大規模降雨(利根川 上流域:72時間総雨量 491 mm,千曲川流域:2 日総降雨量 392 mm),点 線で計画雨量(利根川上流域:72時間総雨量 336 mm,千曲川流域:2 日 総降雨量 186 mm)を示す.



図 1.2.0 日風程路とそれそれのアンリンフルにおける 40 時间降雨量を示す. (a)は利根川上流域の 48 時間累積降雨量がアンサンブルの中で上・下位5 位の経路を示す. 上・下位をオレンジ, 青で示す. (d)は利根川上流域の 48 時間累積降雨量とその順位を示す. (b), (d)は千曲川流域における (a), (c)と同様の図.

時は約 930 hPa と算出 された. 2019 年台風 19 号時は水蒸気重心が高 かったために関東山地 などの山越えをしやす く,千曲川流域により多 くの水蒸気をもたらし たことで千曲川流域に おける降雨量が増加し たことが考えられる.

1.2.4 地域気候モデル を用いたアンサンブル 予報実験

利根川上流域と千曲川 流域における降雨の特徴 を詳しく検討するため, 領域気象モデル WRF-ARF Ver. 3.6.1(以降, WRF)を用いたアンサン ブル予報実験(21 アンサ ンブル)を実施した.なお, 計算条件の詳細について は別報(星野ら 2))を参照 されたい. 図は割愛する が再現計算と気象庁Сバ ンドレーダから得られる 同期間の 48 時間累積降 雨分布は概ね一致した. 気象庁Cバンドレーダと WRF による予測計算結

果の比較を行う.図1.2.7 に利根川上流域と千曲川流域の流域平均48時間累積降雨量を示 す.同図より、利根川上流域と千曲川流域における降雨の立ち上がりが、WRFによる予測計 算では5時間ほど遅いものの累積降雨量は両流域ともにアンサンブルデータ間の幅に収まっ ている.今回の実測値は地上雨量、Cバンドレーダ共にアンサンブル計算結果の中でも降雨 量は小さいことがわかる.アンサンブル間での48時間累積雨量の差は利根川上流域で約95 mm、千曲川流域で約150mmであった.これは千曲川流域と利根川上流域における48時間 累積降雨量が今回の台風より約100mm前後多くなる可能性があったことを示唆する結果で ある.

次に、アンサンブル間で48時間累積降雨雨量が100mm程度異なる原因を台風経路との

関係と考え,台風経路と利根川上流域および千曲川上流域の降雨量の関係を調べる.図1.2.8 にそれぞれのアンサンブルにおける台風経路と累積降雨量を示す.台風経路は48時間累積降 雨量の中で上位5位と下位5位の台風経路を示す.図1.2.8(a)より利根川上流域の累積降雨 量と台風経路に一貫した傾向はみられないことがわかる.図1.2.8(b)より,千曲川流域の累 積降雨量は台風経路が西寄りになると増加する傾向がある.実際の台風経路はアンサンブル と比較すると東寄りであったが,今回の台風経路が西寄りであった場合,千曲川における48 時間累積降雨量は300 mm 程度となっていた可能性が示唆される.

1.2.5 気候変動による降雨量の変化

台風 19 号と類似経路の台風がもたらす降雨量の気候変動の影響を評価するために大量ア ンサンブル気候データ d4PDF(Mizuta et al., 2017)⁴⁾ を用いた分析を実施した.ここでは d4PDF の産業革命前から 4 度全球平均気温が上がった気候条件(4 度上昇実験)と 1951 年か ら 2010 年までの気候条件(過去実験)の 2 つの気候条件を対象とした.前述の方法と同様に d4PDF から台風 19 号と経路が類似した台風を抽出した.それらの台風がもたらす 24 時間 降雨量を図 1.2.9 に示す.この図より,どちらの気候においても台風 19 号と類似の経路がも たらす降雨量が多いことがわかる.また,いずれの経路においても温暖化進行後では降雨量 は増加し,経度が 2 度程度ずれた場合であっても過去の気候における危険な台風経路がもた らす降雨量に匹敵する降雨が発生することが示された.これは,温暖化進行後においては台 風による大雨に対してより警戒が必要となることを示す結果である.なお,ここでは d4PDF の領域実験(水平解像度 20km)を使用したが,地形の影響や短時間強雨の再現のためには力学 的ダウンスケーリング(DDS)の実施の必要性が示されている ^{5),6)}. DDS により表現される強 い雨は適切な大雨リスク評価に不可欠であり,今後は本検討で実施した解析を DDS 実施後 のデータに適用し,大雨のリスクの詳細を明らかにする必要がある.

d4PDFのような大量のアンサンブルデータを用いることはこれまでの歴史(寛保2年(1742年)の大雨のような数百年前の大雨も含めて)では起こり得たが偶然起こっていない,または



図 1.2.9 台風 19 号が東西にずれた場合の類似経路台風がもたらす 24 時間降雨量

法の先進性,有効性は国際的に高く評価されており(Yamada⁷⁾),今後の適応策の検討において極めて重要となると言える.

1.2.6 まとめ

本研究でわかったことを以下にまとめる.

- 2019年台風19号と類似した経路をたどって甚大な大雨災害となった事例(1947年 カスリ ーン台風、1958年 狩野川台風)は過去に発生しており、カスリーン台風では複数の観測点 で台風19号の降雨量を上回っていることから台風19号の大雨はこれまでにも起こり得た 低頻度の事象だとみなせる。
- 過去の台風の統計情報およびアンサンブル予報実験から台風の経路がずれた場合に危険性が高まる地域があることが示され、経路のずれを想定した大雨リスクを検討が重要であることがわかった。
- ・千曲川流域での大雨は水蒸気の重心の高さが要因である可能性が示唆され、気候変動の影響も含め気象場の違いによる大雨リスクの変化に着目する必要がある。
- 温暖化進行後の気候では台風19号と類似の台風による降雨量は増大する傾向にあり、今後はより警戒が必要であることが示された.

参考文献

- 山田 啓一,北濱 翔,寛保2年(1742)千曲川大洪水の復元,水利科学,2009,53 巻,1 号,p. 96-111
- 2) 星野剛,山田朋人ら:台風経路に着目した令和元年台風 19 号の大雨特性の評価,土木学 会論文集 S2 分冊(令和元年風水害報告特別企画),投稿中
- 3) Neiman, P. J.; Ralph, F. M.; White, A. B.; Kingsmill, D. E.; Persson, P. O. G.; The statistical relationship between upslope flow and rainfall in California's coastal mountains: Observations during CALJET. *Monthly Weather Review*, 2002, 130(6), 1468-1492.
- Mizuta, R.; Murata, A.; Ishii, M.; Shiogama, H.; Hibino, K.; Mori, N.; Arakawa, O.; Imada, Y.; Yoshida, K.; Aoyagi, T.; et al. Over 5,000 Years of Ensemble Future Climate Simulations by 60-km Global and 20-km Regional Atmospheric Models. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 2017, 98, 1383-1398.
- 5) 山田朋人,星野剛,舛屋繁和,植村郁彦,吉田隆年,大村宣明,山本太郎,千葉学,戸村翔, 時岡真治,佐々木博文,濱田悠貴,中津川誠:北海道における気候変動に伴う洪水外力の 変化,土木学会河川技術論文集,第24巻,391-396,2018.
- Hoshino, T.; Yamada, T. J.; Kawase, H. Evaluation for Characteristics of Tropical Cyclone Induced Heavy Rainfall over the Sub-basins in The Central Hokkaido, Northern Japan by 5-km Large Ensemble Experiments. *Atmosphere.* 2020, 11(435), 1-11.
- 7) Yamada, T. J. Adaptation measures for extreme floods using huge ensemble of highresolution climate model simulation in Japan. Summary report on the eleventh meeting of the research dialogue, 28-30, UNFCCC Bonn Climate Change Conference, Bonn, Germany. 2019

(北海道大学 山田朋人・星野剛・岡地寛季・大屋祐太・竹原由)

1.3 栃木県の中小河川と阿武隈川上流域の堤防および氾濫調査

1.3.1 主要流域の降雨量と河川水位

令和元年東日本台風(台風19号)は、10月8日から10日にかけて915 hPaの猛烈な台風 として日本に接近し、10月12日19時前に伊豆半島に上陸した.10月12日から13日にかけ て関東・東北・北陸地方を含む広域で大雨となり、箱根町で12日の日雨量が922.5 mm(降り 始めからの総雨量は1001.5 mm)に達し、日雨量の全国記録を更新した.図1.3.1は、10月11 日9時から14日9時までの(レーダアメダス解析雨量に基づく)累積雨量分布を示してお り、特に関東山地の東向き斜面で総雨量が多いことが分かる.気象庁の報告によれば、12時 間から24時間雨量でみたときに過去の記録を更新した地点数が多くなり、アメダス観測によ る統計で、それぞれ120地点、103地点で記録を更新した¹⁾.なお、西日本豪雨も広域で大量 の雨が降った事例である.西日本豪雨は、台風19号に比べると72時間雨量など、より長時 間で過去の記録を更新した地点数が多い特徴を有していた(西日本豪雨による最大72時間降 水量は122地点で記録を更新).

図 2.2 は、主要流域の基準地点に着目した際の、流域平均雨量と河川水位を示す.本図の 流域平均雨量は、日本気象協会の資料²⁾に基づいて作図している.計画降雨と実績2日雨量、 計画高水位と実績水位を比較している.ここで示す主要な河川流域のうち、久慈川、那珂川、 多摩川、相模川、千曲川、阿武隈川で計画雨量を上回る降水量が降っていたことが分かる. 利根川と荒川の計画降雨は3日間雨量を基準としているのに対し、実績雨量は2日雨量を示 す.特に利根川流域において2日間で計画に概ね匹敵する程度の降雨が確認された.また、 河川水位に着目すると、多摩川、千曲川、鳴瀬川でそれぞれ実績水位は計画高水位を上回る. その他の河川流域についても、多くが計画高水位近くに達しており、特に利根川流域の栗橋 地点において、氾濫危険水位を70 cm 上回り、計画高水位まで30 cm に迫っていたことが分 かる.



図 1.3.1 2019 年 10 月 11 日 9 時~10 月 14 日 9 時の気象庁解析雨量に基づく累積雨量





1.3.2 堤防決壊と被災状況

台風 19 号により 20 水系 71 河川, 合計 142 箇所(うち国管理河川 14 箇所)の堤防決壊が 発生した³⁾. この数は西日本豪雨による堤防決壊計 37 箇所(うち直轄 2 箇所)をさらに上回 るものである.また両者の災害による住家被害を比較すると,台風 19 号は西日本豪雨に比べ て特に半壊家屋数,一部損壊数が多い⁴⁾.

表 1.3.1 は内閣府が発表している都道府県別の人的・物的被害の状況を示す⁴⁾. 住家被害 は福島県で最も多く,次いで栃木県に被害が集中していることが分かる. 福島県は阿武隈川 の洪水やその流域下流部で発生した集中豪雨による水・土砂災害が主要な原因と考えられる. 栃木県は,足尾山地から流出する渡良瀬川流域の支川が氾濫したことによって多くの住家が 被災したものと考えられる.

		人	的被	害			住		非住家被害			
都道府県名	死者	<u>う</u> ち 災害闡連死者	行 方 不明者	負 億 重傷	易 者 軽傷	全壊	半壊	一部 破損	床上 浸水	床下 浸水	公共 建物	その他
	人	X	人	人	人	棟	棟	棟	棟	棟	棟	棟
北海道								4				1
青森県					1			1	7	9		
岩手県	3			4	3	41	<u>395</u>	<u>935</u>	<u>44</u>	<u>315</u>	0	<u>445</u>
宮城県	19		2	7	35	303	2,964	2,659	1, 580	12, 326	17	72
秋田県								8				
山形県				2	1.		4	34	65	98		8
福島県	32			1	58	1, 447	12.221	6, 614	1.081	407	<u>43</u>	8,009
茨城県	2		1		20	146	1,601	1, 501	27	523		<u>946</u>
栃木県	4			4	19	81	5,200	8, 207	30	440	<u>15</u>	<u>950</u>
群馬県	4			1	8	22	<u>296</u>	521	<u>20</u>	112	3	<u>74</u>
埼玉県	4	1		1	32	<u>134</u>	<u>541</u>	699	2, 370	3, 388	<u>0</u>	<u>105</u>
千葉県	12			2	28	<u>36</u>	1,731	3, 907	470	888		22
東京都	1				<u>10</u>	<u>36</u>	655	913	317	532	<u>25</u>	32
神奈川県	9			3	35	<u>48</u>	673	1, 601	715	468	21	171
新潟県				2	3	3	9	49	23	278	3	13

表 1.3.1 台風 19 号の人的・物的被害の状況(消防庁情報:令和2年1月 10 日現在)⁴⁾

図 1.3.3 は栃木県が報告している堤防決壊等の被害発生個所を示しており,秋山川や永野 川など多くの中小河川で被害が発生したことが分かる.秋山川下流の決壊地点を例にとると, 渡良瀬川合流部は直轄区間となっており,その上流の県管理区間で決壊が発生している.株 式会社 PASCOより提供された 10月13日10時28分時点の衛星画像を確認すると,秋山川と 渡良瀬川の合流部に氾濫水が広がっていることが確認される.上述のように堤防が決壊した のは図 1.3.4 に示す秋山川の左岸側で扇状地の地形にあたる箇所であり,ここで氾濫した水 が周辺に被害をもたらしながら氾濫平野まで到達していた.この氾濫形態は,扇状地におけ る流下型の支川氾濫に分類されよう.堤防が決壊した付近では家屋の損壊や落橋なども確認 された(図 1.3.5).その他,永野川・思川などでは河川の上流部においても堤防決壊や越流 による被害が確認されている(図 1.3.6).



図 1.3.3 栃木県管理河川における堤防決壊等の被災地点(左上)と秋山川下流部(左下)における 10 月 13 日 10 時時点の浸水状況(PASCO 社提供の衛星画像に一部加筆)



図 1.3.4 秋山川下流部堤防決壊地点周辺の地形図(地理院地図より作成). 扇状地で堤防が 決壊し氾濫平野における合流部まで氾濫水が流下した.



図 1.3.5 秋山川下流部における堤防決壊地点周辺の写真(11月3日佐山撮影)



図 1.3.6 永野川・思川上流部の堤防決壊・越流による被害(11 月 3 日佐山撮影)

図 1.3.7 は、後述の流出解析によって推定されたピーク流出高(=ピーク流量/集水面積、 単位:mm/h)と当該箇所の集水面積(単位:km²)を示している.赤点で示した地点は、山地 からの流出河川に分類されるもので、栃木県の堤防決壊箇所に着目した結果である.また荒 川上流の越辺川で破堤した箇所における推定流量と集水面積との関係を参考にプロットして いる. 青点で示した地点は, 同じく栃木県の中小河川における堤防決壊箇所を示しているが, 平野から流出する河川の結果を青点でプロットしている. この結果は後述のモデルのデフォ ルトパラメータ設定で推定したピーク流量である。そのため、本報告でのピーク流量は、実 際よりもやや過大評価傾向となる可能性がある. そのことを踏まえたうえで集水面積が 200 km²以下程度の中小河川に着目をすると、ピーク流出高がおおよそ 35 mm/h を超えるあたり で被害が出ていること,支川の上流部では局所的にさらにピーク流出高が高くなって 40 mm/h を上回る地点があることが分かる.同図に併記した秋山川と永野川の河川整備計画による計 画流量(流出高に換算した結果)と比較すると、今回の洪水ではそれらの値をはるかに上回 っていたことが分かる.後述のように、阿武隈川下流に流れ込む五福谷川のピーク流出高は 約 50 mm/h に迫る値となっており、山地における支川のピーク流出高がそのような値になる ときには、斜面崩壊も同時に発生している可能性があり、土砂流出が河道を埋めて、水・土 砂ともに氾濫するような水・土砂氾濫の発生が甚大な人的・家屋被害をもたらす可能性があ る.



図 1.3.7 栃木県管理河川の堤防決壊地点における集水面積と推定ピーク流出高の関係:赤 印は山地からの流出河川を,青印は上流部に山地流域が無い河川を表す.参考として秋山川 および永野川の計画流量を流出高に換算した結果を黒印で示す.

以上のように、台風 19 号による洪水災害の特徴は、計 142 箇所にのぼる非常に多くの箇所 で堤防が決壊して被害をもたらしたこと、その多くは中小河川に集中しており、特に福島県 や栃木県で住家被害数が多くなったこと、中小河川や大河川の支流における氾濫の形態は 様々であり、谷底平野や扇状地部から溢れる流下型の支川氾濫や山間部における水・土砂災 害など豪雨がより時空間的に集中した場合にみられる形態の氾濫も発生したことが分かる. 一方で、荒川や利根川といった首都圏を流れる大河川の重要な地点においても、例えば栗橋 で氾濫危険水位を 70 cm 上回るといった危機的状況であったことにも注視しておく必要があ る. このような点を踏まえたうえで、4. では関東、東北、北陸地方を対象に、すべての中小 河川を反映した分布型の降雨流出解析を行い、台風 19 号時のピーク流出高の分布を推定す る. また気象庁による最新のメソアンサンブル予測雨量を流出モデルに入力し、台風が日本 に接近していた 2019 月 10 月 12 日 9 時の時点を初期時刻として、39 時間先までアンサンブ ルで予測した場合の結果に基づいて、長時間の洪水予測可能性について述べる.

(京都大学防災研究所・佐山敬洋)

参考文献

- 気象庁:台風第19号による大雨,暴風等:令和元年(2019年)10月10日~10月13日,災 害をもたらした気象事例,2019.
 https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/20191012/20191012.html
- 一般財団法人 日本気象協会:防災レポート Vol.1『台風 19 号の降雨量と一級河川「計画 降雨」の比較を行いました』, 2019. https://www.jwa.or.jp/wp-content/uploads/2019/11/69a10cd326c9c84cc49c50f3d228c56c.pdf
- 3) 国土交通省:令和元年台風第19号による被害状況等について,2019. https://www.mlit.go.jp/saigai/saigai_191012.html
- 4) 内閣府:令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について, 2019. http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/index.html

1.4 令和元年台風 19 号を対象とする降水の確率評価

1.4.1 国土交通省管理河川の基準点における年最大流域平均降水量

災害が起こった河川を中心に表 1.4.1 の河川について資料を国土交通省より収集した.表 1.4.1 には年最大値の時系列が有する変化傾向を見るため、線形回帰の係数(変化傾向 (mm/10年))と Mann-Kendall 検定の統計量 MK_Z を示した.阿武隈川と久慈川は MK_Z が 1.96を超えており、有意水準 5%で増加傾向が有意でないとはいえない.図1.4.1 は、阿 武隈川の岩沼と荒川の岩淵を比較したものである.ともに 1980 年代以降時々大きなイベン トがあるが、それ以前の 20-30 年間は大きなイベントがない. 荒川の時系列から阿武隈川と 同じ 1952 年以降を取り出すと、ほぼ同じパターンとなり、変化傾向は+10.3(mm/10 年)で MK_Z は 1.80 となる.ここでは、このように期間により時系列の変動傾向が異なることから、 定常性の問題は残るものの、定常解析の手法を用いて確率を求める.

図 1.4.2 は 7 水系 9 基準点の 2019 年までの資料の確率プロットを示す.継続時間が異な るが,同じスケールで表示している.阿武隈川,久慈川,多摩川,千曲川で既往最大記録を更 新している.図中には Gumbel 分布と GEV 分布を最尤法で当てはめて示しているが,いず れの分布を選ぶべきかは赤池の情報量基準 AIC で判断し,表1.4.1 に 2019 年事象の確率年 として示している.2019 年の千曲川の立ケ花上流域平均 2 日降水量 196.8mm は,昭和元年 からの記録の中で最大であった.また,信濃川の小千谷地点 199.2mm も既往の記録を更新し た.それぞれの地点における 2019 年台風 19 号の豪雨でのリターンピリオドは 94 年および 225 年と推定された.また,阿武隈川の岩沼地点上流の流域平均 2 日降水量 274.3mm の再現 期間は 250 年であった.

水系名	鳴瀬川	鳴瀬川	阿武隈川	阿武隈川	久慈川	那珂川	荒川	多摩川	利根川	利根川	利根川	利根川	信濃川	信濃川
河川名	鳴瀬川	吉田川	阿武隈川	阿武隈川	久慈川	那珂川	荒川	多摩川	利根川	鬼怒川	小貝川	渡良瀬川	信濃川	千曲川
地点名	三本木	落合	福島	岩沼	山方	野口	岩淵	石原	八斗島	石井	黒子	高津戸	小千谷	立ヶ花
降雨継続時間	2d	2d	2d	2d	2d	2d	3d	2d	3d	3d	3d	3d	2d	2d
基準点上流 流域面積(km2)	551	197	3,172	5,265	898	2,181	2,015	1,040	5,108	1,247	583	472	9,719	6,442
観測開始年	1927	1927	1952	1952	1910	1929	1898	1923	1926	1926	1926	1926	1926	1926
基本方針雨量	312	335	256.5	251.6	235	300	548	457	319	361.7	300.7	418.9	186	171
2019年台風19号雨量	298.2	330.8	252.7	274.3	254.6	269	446.2	489.7	308.4	368.2	218.9	310.9	199.2	196.8
変化傾向(mm/10年)	4.1	3.4	8	8.8	2.9	2.9	-0.4	3.6	2.6	2.2	0.8	3.5	1.7	1.7
MK_Z	1.88	1.33	3	2.98	2.35	1.3	0.03	1.05	1.11	0.57	0.91	1.46	1.11	1.08
2018までの資料による2019事象	GEV	GEV	Gumbel											
の確率年	53	84	250	337	151	50	105	218	156	22	20	18	278	109
2019までの資料による2019事象	GEV	GEV	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	GEV	Gumbel	GEV	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel	Gumbel
の確率年	44	65	191	250	132	45	47	181	46	21	18	17	225	94

表 1.4.1 国土交通省管理河川の計画降雨継続時間の基準点上流流域平均雨量の確率評価



図1.4.3は2019年の豪雨事象(黒点)と基本方針の計画降雨(赤点)を比較するため,流 域面積を横軸に,縦軸に総降雨量を取ってプロットした DA 関係である.小千谷(信濃川), 立ケ花(千曲川),岩沼(阿武隈川),石井(鬼怒川),石原(多摩川),山方(久慈川)は基本 方針で定められた計画雨量を超えている.なお,今回の豪雨は短時間に集中していることか ら,計画降雨継続時間より短い時間での比較も必要であろう.



図 1.4.2 国土交通省管理 7 河川 9 地点の確率プロット. 2019 年までの資料をプロットし, 2019 年の値には青い細線のクロスを加えている.



図 1.4.3 総降雨量で示した DA 関係

1.4.2 AMeDAS および気象官署の時間降水量の解析

本州の東日本に相当する範囲の AMeDAS および気象官署の既往の時間降水量を気象庁 HP より収集し,継続時間 1~96 時間毎に年最大値を求めプロットした. 関東地方から東北地方 太平洋沿岸にかけて,12 時間,18 時間,24 時間降水量の既往最大値が今回の台風豪雨で発 生したことが特徴的である.

顕著な事例の DD 関係を図 1.4.4 にいくつか紹介する.2019 年の台風 19 号による降雨が 比較的短時間で終了しているため,ここでは 48 時間までを示す.気象官署の記録は AMeDAS に比べてかなり長く,日雨量では 19 世紀から観測が行われている.時間降水量はそれほど長 くはないが,1950 年から蓄積されている観測所がかなりある.台風 19 号で降雨量が多かっ た地点は AMeDAS ではほとんど既往最大を更新しているが,気象官署では,例示した奥日 光,河口湖,秩父,大島のように,それより大きな記録が残されている.秩父では継続時間に よって 1947 年の記録と 1 位と 2 位が入れ替わっている.茶色の DD 関係は,国土交通省が 平成 27 年 7 月に公表した地域毎の最大降雨量を描いたものである.箱根や城山ダム (ダム上 流域平均雨量) では,継続時間によっては想定最大を上回っていることに留意する必要があ る.

図1.4.5 は台風 19 号の豪雨の雨量強度(mm/hr)を継続時間ごとに整理したものである. 継続時間が1~3時間においては,三陸地方の普代,小本,宮古が大きな値を示しているが長 続きはしていない.表1.4.2 に継続時間3,6,12,18,24 時間での雨量強度の新潟~長野~静岡 県より東の範囲での上位20地点を示す.表中に東北地方の地名が散見されるが,その地域で 記録破りの雨が降っただけでなく,東日本域の中でも非常に多かったことがわかる.



図 1.4.4 気象観測地点雨量と城山ダム流域平均雨量の継続時間ごとの年最大値.赤色は 2019 台風 19 号による値,青色(東北東部)と茶色(関東)は国土交通省が平成 27 年 7 月に 公表した地域ごとの最大降雨量をもとに得た値.



図 1.4.5 台風 19 号の豪雨の時間雨量強度と継続時間の関係

表 1.4.2	継続時間ごとの時間平均降雨強度	(mm/hr)	(上位 20 位まで)
---------	-----------------	---------	-------------

順位	3h		6h		12h		18h		24h	
1	普代	76.2	箱根	64.8	箱根	59.3	箱根	50.2	箱根	39.3
2	小本	71.5	筆甫	61.2	筆甫	42.9	湯ケ島	37.6	湯ケ島	29.8
3	箱根	70.5	普代	52.8	梅ケ島	42.3	浦山	33.6	浦山	27.0
4	筆甫	70.0	小本	52.4	湯ケ島	40.0	梅ケ島	32.8	小沢	26.0
5	宮古	68.8	宮古	50.2	浦山	38.6	小沢	32.6	梅ケ島	25.6
6	山田	61.3	梅ケ島	50.1	相模湖	37.1	相模湖	32.3	相模湖	25.1
7	丹沢湖	58.7	花園	49.6	小沢	36.8	筆甫	32.1	筆甫	24.5
8	梅ケ島	56.8	丹沢湖	49.3	丹沢湖	36.6	ときがわ	30.8	ときがわ	24.5
9	仙台	55.2	川内	47.6	南部	36.5	小河内	29.9	小河内	24.1
10	久慈	53.8	仙台	46.6	ときがわ	36.4	三峰	29.1	三峰	23.4
11	花園	53.7	塩谷	44.8	奥日光	34.5	南部	29.1	御殿場	22.8
12	川内	53.0	丸森	44.0	花園	34.3	御殿場	28.8	南部	22.8
13	塩谷	51.2	浦山	43.6	小河内	34.0	丹沢湖	28.2	丹沢湖	21.9
14	丸森	50.8	葛生	43.6	三峰	33.7	秩父	27.0	秩父	21.6
15	浦山	49.3	奥日光	43.5	川内	33.3	寄居	25.7	上野原	20.1
16	釜石	49.2	相模湖	43.3	御殿場	32.3	奥日光	25.6	奥日光	20.1
17	相模湖	48.3	山田	43.1	普代	32.0	上野原	25.5	寄居	19.8
18	奥日光	48.3	南部	41.8	塩谷	31.8	花園	25.2	西野牧	19.7
19	岩沼	47.8	大能	41.7	葛生	31.8	西野牧	24.4	花園	19.0
20	新町	46.5	湯ケ島	41.6	足尾	31.8	川内	24.4	上吉田	18.6



図 1.4.6 2019 年までの既往最大値 (AMeDAS)の分布. 関東から東北にかけては, 2019 年以 外に, 2011 年の新潟福島豪雨, 1983 年の南関東の豪雨, 2015 年の鬼怒川を中心とした 2015 年関東・東北豪雨, 1998 年那須周辺の豪雨がある.

図1.4.6は2019年までのAMeDAS資料のうち各地点最大の24時間降水量をプロットしたものである.関東平野の西から北に連なる強雨域はこれまでに何度も大雨を受けてきたところであるが、多くの地点は2019年の台風19号で記録を更新しており、九州や四国の雨の多い地域に匹敵する降雨記録を有するに至った.国土交通省が平成27年7月に発表している地域ごとの最大降雨量(1km²で12時間584mm、24時間690mm、48時間925mm)と比較して、これを超えるものは、12時間は箱根711mm、24時間は箱根942mmと湯ヶ島715mm、48時間は箱根1001mmで発生している。

(京都大学防災研究所・田中茂信)

1.5 令和元年台風 19 号を対象とする広域分布型流出解析

1.5.1 関東甲信越・東北地方の 150m 空間分解能 RRI モデルの構築

従来の降雨流出解析は、流域単位で流出モデルを適用し、その結果を観測流量と比較しな がら、モデルをキャリブレーションすることが一般的であった.しかし、台風 19 号や西日本 豪雨のように、各地で同時多発的に発生する豪雨災害に対しては、観測情報の無い中小河川 も含めて広域を一体的に解析することが望ましい.その場合、流域毎のキャリブレーション が難しくなるため、モデルの物理的妥当性と頑健性がより重要となる.そこで、空間解像度 約 150 mで日本全国をカバーする RRIモデルを用いて、東北、関東、北陸地方を対象に流出 解析を行った.ここで対象とする河川は流域面積 1 km²以上の全ての河川とする.一方、流域 面積約 5,500 km²以上の大河川下流部(利根川下流など)については、計算効率の観点から今 回は計算の対象外としている.

解析の入力情報は、気象庁レーダアメダス解析雨量とした.また、洪水予測の可能性を議 論するために、気象庁メソアンサンブル降水予測(MEPS)をRRIモデルに入力した結果を示 す.解析雨量を入力したシミュレーションの期間は 2019 年 10 月 11 日 9 時~14 日 9 時 (72 時間)とする.一方、MEPS を入力した予測実験は 12 日 9 時を初期時刻とする 39 時間先ま での予測とする.RRIモデルはパラメータのチューニングを行わず、デフォルト値を用いる. ただし、観測流入量と比較した結果、特に関東地方でデフォルトパラメータによる解析結果 に過大評価傾向が見られたため、関東地方全体でパラメータを変更した結果を示す(表 1.5.1). ダム操作の影響を反映するため、国交省・水資源機構のダムについては、実績放流量を境界 条件に設定する.RRIモデルは降雨流出に加えて洪水氾濫を一体的に解析できるモデルであ るが、氾濫の再現には河道断面情報の反映が重要となり、広域での断面情報の反映は実現で きていないため、本報では矩形の河道断面を設定し、さらにその断面を実際よりもやや大き めの値で設定した解析を行い、河川流量の時空間分布に着目をして結果を述べる.

衣1.5.1 麻林鸣に	あける Ҝӷ モナルの	ハフメータ設定値
パラメータ値	デフォルト値	関東に適用
$n [\mathrm{m}^{-1/3} \mathrm{s}]$	0.4	0.4
d_a [m]	0.471	0.471
d_m [m]	-	0.05
$k_a [m/s]$	0.1	0.03
β [–]	-	7.0
$n_{river} [m^{-1/3}s]$	0.0	03

表 1.5.1 森林域における RRI モデルのパラメータ設定値

河川ピーク流量を空間的に表示するために、ピーク流量を当該地点の集水面積で除して基準化した流出高(単位は mm/h に換算した結果)を示す.仮に降雨が一定で継続すれば、仮想的には、定常状態(雨量=流出量)に達して、降雨強度と流出高が一致する.実際には、降雨は時空間的に分布するため、流出高も流域面積に応じて減少する傾向がある.上述の通り、おおよその目安として、ピーク流出高が 30 mm/h を超えるような状況になると、中小河川で

は、河川の流下能力を超えて堤防決壊や越水が発生することが分かってきている.

1.5.2 中小河川を含めたピーク流出高の広域推定と豪雨災害との関連分析

解析雨量をRRIモデルに入力してピーク流出高を推定した結果を図1.5.1に示す.左図は、 流域面積が100~5,500 km²の主要な河川だけを示した図であり、実際の計算では右図に示す ように流域面積1 km²以上の全ての河川の流量を一体的に解析している.まず左図に着目を すると、ピーク流出高は、荒川支流(越辺川、都幾川)、多摩川、相模川で特に大きくなって おり、25~30 mm/h に達していたことが分かる.信濃川、那珂川、久慈川、阿武隈川など、今 回被害を受けた主要河川で流域面積が大きい区間は、それに次いでピーク流出高が大きく13 ~20 mm/h 程度(千曲川は約10 mm/h)である.その他、鬼怒川、利根川上流、阿賀野川上流 などで高くなっている.次に右図に示された中小河川に着目すると、栃木県の足尾山地から 流出する河川(永野川、秋山川、黒川など)でピーク流出高が極めて大きく30~45 mm/h 程 度に達している.荒川、利根川上流の秩父山地、多摩川上流の丹沢山地(いずれも東斜面)で 同程度にピーク流出高が大きくなっている.東北地方では、特に太平洋沿岸の山地でピーク 流出高が大きく、阿武隈川支流の丸森町を流れる河川でその値が特に大きいことが分かった.



流域面積 100 km²~ 5,500 km²

流域面積 1 km²~ 5,500 km²

図 1.5.1 解析雨量を RRI モデルに入力して推定したピーク流出高の分布 (左:流域面積 100~5,500 km²の主要河川, 右: 面積 1 km²以上の全ての河川を描画)

阿武隈川下流部に流入する支川(雉子川,五福谷川)では,12日夜(10時頃)に流量のピ ークを迎えていたことが図1.5.2より分かる.その後5~6時間後に阿武隈川がピークとなる (推定).すなわち,先に支川の豪雨災害で被害が出て避難が難しくなり,さらに,本川水位 が上昇し支川の流出が阻害されたことが推察される.



図 1.5.2 阿武隈川下流部丸森町周辺における推定ピーク流出高の分布と支川(雉子尾川, 五福谷川および阿武隈川本川における流量ハイドログラフ)

1.5.3 メソアンサンブル降雨予測データを用いた中小河川の長時間洪水予測の可能性分析

図1.5.3は、10/129:00の時点で、気象庁が39時間先(10/140:00)まで予測した降雨量(MEPS) を RRI モデルに入力して、ピーク流出高を計算した結果を示す.予測の不確実性を加味する ため、MEPS は初期条件に摂動を加えて21メンバーの結果を有する.この図は、各メンバー の予測雨量を入力して、それぞれの河道地点において21メンバーの中央値(10位)の結果を 示している.

流域面積 100 km²~ 5,500 km² に着目をする左図より,ピーク流出高の予測結果は,実績 雨量を入力した再現計算結果の空間分布(図1.5.1)とよく対応することが分かる.特に那珂 川,久慈川の決壊地点付近では予測流出高の中央値がそれぞれ 15 mm/h, 12 mm/h となり,実 績(解析結果)のそれは 17 mm/h, 13 mm/h であり類似している.また,荒川,多摩川,相模 川上流は予測の中央値でもピーク流出高が 30~40 mm/h を超えていた.実績(解析結果)で は一部(相模川水系道志川)などを除き,25~30 mm/h 程度であった.

一方,中小河川の予測結果も表示されている右図に着目すると,栃木県の足尾山地から流 出する中小河川の予測結果は流出高で 40 mm/h を超えていたことが分かり,実績(解析結果) の状況とよく符合する.新潟県南部など,一部の地域では,実際にはそれほど大きな流出高 ではなかったが,高い流出高が予測されていた地域もあった.阿武隈川下流部の丸森町では, 予測ピーク流出高の中央値(21 メンバー中 10 位)はそれほど大きくないが,上位 5 位の結果に よれば(図は省略) 30 mm/h を超える予想となっていた.



流域面積 100 km²~ 5,500 km²

流域面積 1 km²~ 5,500 km²

図 1.5.3 10/12 9:00 を初期時刻として 39 時間先まで 21 アンサンブルで予測したピーク流 出高中央値(左:流域面積 100⁵,500 km²の主要河川,右:1 km²以上の河川を描画)

流出予測の精度を検証するため、ダム流入量の解析結果と予測結果を観測流入量と比較す る.図1.5.4 は関東地方、図1.5.5 は東北地方のダム流域における結果を示している.図中 赤線は観測結果を示しており、解析雨量を入力したモデルの出力結果(青線)と比較して両 者が一致していれば、モデルの再現性が高いことを示す.前述のように、この結果は関東地 方を除いて RRI モデルのデフォルト設定による結果であり、RRI モデルのデフォルト設定で は、土壌中の不飽和側方流の影響を考慮せず、飽和側方流と表面流を解析するモデルとなっ ているため、一般的に過大評価傾向を示す.ただし、西日本豪雨の解析結果によると、西日 本の多くの流域で大規模な洪水であれば、デフォルト設定でもおおよそ洪水を再現できるこ とが分かっており、同様の結果は東北・北陸地方でもみられた.

一方,関東地方においては、大規模な出水にも関わらず、デフォルトパラメータによる過 大評価の傾向が顕著であり、土壌中の不飽和流出成分を反映することの必要性が分かった. 図中の灰色の線は21本のハイドログラフを示しており、MEPSを入力した予測流入量の結果 を示す. もちろんダムによって(場所によって)精度の違いがあるものの、西日本豪雨によ る前線性豪雨の予測結果に比べると、予測のばらつきが全体的に小さく、その精度も高かっ たことが分かった. ダム地点以外でも、例えば越辺川や都幾川の流量については、解析雨量 を入力したものと非常によく合致しており、豪雨が深刻になる前の段階から予測できる可能 性を示唆している(図1.5.6). ただし、予測精度は上述のように地域的にもバラつきがあり、 今後、アンサンブル予測情報を用いた洪水予測の実現に向けて、さらなる検証が必要である.



図 1.5.4 関東地方主要ダム流入量解析結果(青),予測結果(灰色)と実績(赤)の比較



図 1.5.5 東北地方主要ダム流入量解析結果(青),予測結果(灰色)と実績(赤)の比較



図 1.5.6 久慈川, 那珂川, 越辺川 (荒川上流), 都幾川 (荒川上流) における推定流量: 解析雨量を入力した場合と 10 月 12 日 9 時の時点から 21 メンバーで予測した場合

1.5.4 まとめ

中小河川における洪水氾濫の状況を調査するとともに,関東・東北・北陸を対象に,令和 元年台風 19 号の降雨流出特性を分析した.本章の要点は以下のようにまとめられる.

- ・ 台風 19 号によって計 142 箇所(うち 14 箇所は国管理)で堤防が決壊した.この数は、平成 30 年 7 月豪雨(西日本豪雨)による計 37 か所(うち 2 か所は国管理)の堤防決壊箇所数を上回るものであった.台風 19 号や西日本豪雨のような広域・同時多発的な洪水災害の特徴を把握するためには、洪水流出の状況を広域で解析し、俯瞰的に議論する視点が必要となる.
- 今回の堤防決壊を伴う氾濫の多くは中小河川や大河川の支川において発生したものであり、調査の結果、おおよそ次の様に氾濫形態が分類された.合流部の貯留型氾濫、氾濫平野における沿川流下型の支川氾濫、谷底平野・扇状地部から溢れる流下型の支川氾濫、山間部における水・土砂災害である.豪雨が山地で時空間的に集中すると、水・土砂災害や谷底平野・扇状地部から溢れる流下型の支川氾濫が顕著となる.台風 19 号の事例では、阿武隈川下流部(丸森町周辺)で水・土砂災害が、栃木県の足尾山地を発する多くの中小河川で谷底平野・扇状地から溢れる流下型の支川氾濫が確認された.氾濫形態と周辺の土地利用に応じて、被害の形態を見極めたうえで、その特性に応じた対策が必要である.対策には河川整備や予警報・早期避難に加えて、適切な土地利用管理についても検討を進めるべきである.
- 中小河川を含めた全国河川の長時間洪水予測を実施した.気象庁が公表しているメソアンサンブル降水予測情報は、39時間のリードタイムを有する21メンバーの予測情報である.西日本豪雨を対象にした同様の解析結果に比べて、今回の台風19号の事例では、流量予測の幅が小さくなり、解析雨量を入力した場合とより整合する結果となった.今後、アンサンブル洪水予測の有効な活用方法を検討する必要がある.
- 今回は堤防決壊等の大規模な洪水氾濫は発生しなかったものの、首都圏を流れる主要河川の基準点でも多くの場所で計画高水位に迫る危険な状態であった.近年は決壊が生じていない主要な河川の下流部においても、最悪の事態を想定した備えを進める必要がある.

(京都大学防災研究所・佐山敬洋)

1.6 令和元年台風 19 号による洪水流量と氾濫水系数の将来変化分析

台風 19 号や,平成 30 年7月に発生した西日本豪雨では,1 つの豪雨事例によって多くの 水系で一度に水害が発生した.広範囲で氾濫が発生した場合,直接被害だけでなく間接被害 も深刻化し,さらに復興に時間が掛かり影響が長期化することが予想される.本章では,複 数の流域が同時に被災するというカタストロフィックな災害がどれほどの頻度で発生するの か,また気候変動による豪雨頻度の増加に伴って同時氾濫リスクがどの程度増加するのかを 把握することを目的として,台風19号による氾濫水系数に着目し,その再現期間と将来変 化を「温暖化対策に資する気候変動 予測データベース d4PDF」によって推定する.

まず,台風19号が直撃した関東・東北・甲信越地方の全一級水系31河川を対象として降 雨流出モデルを構築する.そして,観測水位とH-Q曲線が得られた鳴瀬川の三本木橋地点 と阿武隈川の岩沼地点を対象に降雨流出モデルの台風19号洪水における再現性を確認する. 次に,全31水系でd4PDFの年最大降雨事例に入力して年最大洪水ピーク流量を各水系で計 算する.関東・東北・甲信越地方の全水系の中で,同一年に年最大流量が流下能力を超える 水系数を過去実験,4度上昇実験それぞれで計算し,同一年氾濫発生確率の将来変化を推定 する.最終的に,台風19号規模で破堤が発生した6水系以上の水系が同一年に氾濫する確 率とその将来変化を推計する.

1.6.1 関東・東北・甲信越地方の降雨流出モデル 1K-DHM の構築

東北・関東・甲信越地方の一級河川 31 流域(岩木川,高瀬川,馬淵川,北上川,鳴瀬川, 名取川,阿武隈川,米代川,雄物川,子吉川,最上川,赤川,久慈川,那珂川,利根川,荒川, 多摩川,鶴見川,相模川,荒川(甲信越),阿賀野川,信濃川,関川,姫川,黒部川,常願寺 川,神通川,庄川,小矢部川,手取川,梯川)を対象とする.降雨流出解析には,土壌中を流 れる不飽和流と表層土壌中の中間流,地表面流を考慮した以下のキネマティックウェーブモ デル¹⁾を基礎式とする分布型降雨流出モデル1K-DHM²⁾を用いる.各流域で,ダム集水面積 が基準地点の流域面積の5%を超えるダムに対しては,一定量放流方式によって洪水調節機 能をモデル化した.モデルパラメータは,観測データが多く流域の開発状況が現状に近いと 思われる2000年~2017年の既往最大洪水を対象に,参照地点でのNash指標を最大化する ようにSCE-UA法³によって同定した.

1.6.2 鳴瀬川および阿武隈川での台風 19 号洪水の再現計算

台風 19 号洪水での水位観測データと H-Q 曲線が入手できた鳴瀬川の三本木橋地点と阿武 隈川の福島地点を対象に、気象庁解析雨量を入力データとして流量時系列を算出し、本台風 事例の降雨流出解析を実施した.図1.6.1 に三本木橋地点および福島地点の観測流量(推定 値)と計算流量を示す.鳴瀬川の三本木橋地点では、観測流量の推定値と計算流量がよく一 致している.一方、福島地点では観測流量の推定値に比べて計算流量がピーク付近で約2倍 大きい. Nash 指標は 0.83 および 0.52 となった.流出率を比べると、鳴瀬川では観測流量 と計算流量でそれぞれ 61 %と 66 %、阿武隈川ではそれぞれ 66 %と 60 %となった.流出率 の観点では降雨流出解析によって観測流量を再現しているといえる.

台風 19 号では、福島地点上流で 2,800 ha の範囲が浸水したと推定されており 4)、同定事

例である 2002 年台風 6 号時の浸水面積(690 ha) かに比べて 4 倍以上の広い範囲で浸水が発生した. H-Q 曲線は平成 30 年度までの観測をもとに作成されたものであること,および流出率をよく再現していることから,阿武隈川でのピーク流量の違いは上流での大規模な氾濫によるものと考えられ,ピーク時刻が概ね一致している点,および鳴瀬川での再現性が高い点から降雨流出モデルは妥当であると判断した.



図 1.6.1 台風 19 号洪水の再現計算結果(黒丸:観測値,実践:計算値,棒グラフ: 降雨強度)

1.6.3 d4PDF 年最大降雨データのバイアス補正

d4PDF は、気象研究所の全球大気モデル MRI-AGCM 3.2 による水平解像度約 60 km の全 球気候実験および日本域で水平解像度約 20 km の非静力学領域気候モデル NHRCM を用い て力学的にダウンスケーリングした領域気候実験からなる大規模アンサンブル気候予測デー タである
⁶. 本解析では、領域気候実験の中で 1951~2010 年までを再現した過去実験およ び4 度上昇気候下での60年分の気候計算を行った4 度上昇実験(それぞれ3,000 年および 5,400年分の気候再現・予測計算)による降水量データを用いて将来変化を分析する.バイア ス補正は、田中ら ⁷が d4PDF 過去実験と気象庁解析雨量(1988 年~2016 年までの計 29 年 分)の年最大流域平均雨量の確率分布の違いを2標本 Kolmogorov-Smirnov 検定(以下,2 標本 K-S 検定) により評価した結果をもとに, 有意水準 5 %の 2 標本 K-S 検定で棄却された 水系を対象に実施した.関東・東北・甲信越地方では16水系(岩木川,高瀬川,馬淵川,名 取川,米代川,雄物川,子吉川,最上川,赤川,久慈川,那珂川,荒川(甲信越),姬川,神 通川, 庄川, 小矢部川) が該当する. 補正方法は, Piani et al.⁸に基づく雨量値ごとに補正率 を定めるクオンタイルマッピング手法を採用しており、データ年数が少なく外れ値の影響を 受けやすい気象庁解析雨量に対しては Gumbel 分布, d4PDF 過去実験については Gumbel 分 布とGEV分布の中で赤池情報量規準AICの小さい方を用いた.上記のバイアス補正手法は、 水系ごとの計画降雨継続時間の年最大流域平均雨量を対象に行った. 各年で継続時間内の流 域平均雨量が年最大値となる事例に対して、流域内におけるその継続時間内の各メッシュの 降雨強度に補正率を一様に掛け合わせ、その前後 72 時間の降雨データを加えたものを年最 大降雨データとして降雨流出モデルに入力した.



図 1.6.2 d4PDF の洪水ピーク流量の非超過確率(青:過去実験,赤:4 度上昇実験)

1.6.4 鳴瀬川と阿武隈川における台風 19 号洪水の再現期間と 4 度上昇気候下での変化予測

再現性を確認した鳴瀬川,阿武隈川について,過去実験および4度上昇実験の年最大洪水 ピーク流量と非超過確率をそれぞれ図1.6.2 に示す.なお,阿武隈川では,降雨流出モデル を検証した福島地点ではなく基準地点である岩沼地点の結果を示す.非超過確率の推定には, すべてWeibull 公式を用いた.図中の赤線のマークの違いは,4度上昇実験で与えている海 水面温度分布アンサンブルの違いを表し,凡例中の表記は予測に使用された海水面温度の将 来変化パターンの頭文字を意味する.どちらの水系も,4度上昇実験では洪水ピーク流量が 大きく増加することがわかる.台風19号の洪水ピーク流量の計算値は鳴瀬川(三本木橋地 点)で2,058 m³/s,阿武隈川(岩沼地点)で11,467 m³/s であり,過去実験によると再現期間 はそれぞれ535年,123年に相当する.阿武隈川では,台風19号の観測流量に見られたよう に,上流の氾濫の影響で実際の流量は計算値よりも小さいと考えられるが,上流域を含めた 流域全体として約120年程度の再現期間に対応する規模の洪水であったといえる.4度上昇 気候下では,同計算流量の再現期間が6つの海水面アンサンブルに対して,鳴瀬川および阿 武隈川でそれぞれ約32年~100年,約16年~58年と推定された.

鳴瀬川では計画降雨の対象継続時間が2日間と定められている.しかしながら,流域面積 (1,133 km²)を考慮すると洪水に支配的な継続時間は2日間より短い可能性がある.そこ で,48時間だけでなく,より継続時間の短い12時間および24時間流域平均雨量の確率分布 を比較したものを図1.6.3に示す.d4PDFと同様,気象庁解析雨量の非超過確率の推定にも Weibull 公式を用いた.田中ら つによると,鳴瀬川では48時間雨量のバイアスが小さいが, 12時間および24時間雨量で見てもd4PDFは気象庁解析雨量と整合するこがわかる.48時 間年最大流域平均雨量300mmを対象にd4PDFを用いて台風19号の再現期間を推定すると 124年となる.一方,12時間年最大流域平均雨量249mmおよび24時間年最大流域平均雨 量273mmを対象にd4PDFを用いて推定した台風19号の再現期間はそれぞれ2,085年およ び485年となり,24時間雨量がd4PDFの年最大洪水ピーク流量による再現期間の推定値と 整合する.以上の結果から,d4PDFによる極値雨量は鳴瀬川において短い降雨継続期間を含めて高い再現性を持つため,台風 19 号の再現期間およびその 4 度上昇実験での変化推定は 妥当であると考えた.



図 1.6.3 鳴瀬川流域における異なる継続時間内の年最大流域平均雨量の確率分布の 比較(黒:気象庁解析雨量,青:d4PDF 過去実験)

1.6.5 台風 19 号による同時氾濫の発生確率と将来変化

東北・関東・甲信越地方の全水系での d4PDF による年最大洪水ピーク流量データを用い て、台風 19 号と同規模の同時氾濫が生起する確率およびその将来変化を分析する.ただし、 ここでは氾濫解析モデルは使用せず、年最大時間流量が氾濫判定の基準とする流量を超えた 場合に氾濫が発生すると仮定して氾濫の同時性を分析する.氾濫判定の基準となる流量には、 現況の流下能力を代表して計画高水流量を選択した場合、および d4PDF 過去実験で計画年 に対応する流量(以下、d4PDF 計画規模再現流量)を用いた場合の2通りで計算を行った. なお、d4PDF を用いて計算した洪水の同時発生は、同一年での氾濫発生を対象とする.した がって、氾濫発生水系数は同じ降雨事例で氾濫した水系の数とは限らないが、復興や補償に 対して広範囲に長期的な影響をもたらす点で有益な情報であると考える.

それぞれの基準を用いた場合の,東北・関東・甲信越地方での同一年の氾濫発生水系数の 超過確率を図1.6.4(a)(b)に示す.どちらを基準にした場合も,4度上昇実験では同一年氾濫 水系数が増加し,1年の間により多くの水系で氾濫が発生する可能性を示唆している.各年 に6水系以上の水系が同一年に氾濫する事象が独立であると仮定すれば,ある期間内の発生 回数は,上記で求めた年間発生確率を母数とする二項分布に従う.過去実験および4度上昇 実験での同一年氾濫発生確率の変化を片側二項検定で検定した結果,5%有意水準で有意に 上昇することが確認された.

台風 19 号により国管理河川では 6 水系で破堤が発生したことから, 6 流域以上の流域で氾濫が生じたときに台風 19 号規模の同時氾濫が発生したと考える.このとき,過去実験における同一年氾濫確率は氾濫判定の基準を計画高水流量とした場合に 0.0023, d4PDF 計画規模

再現流量とした場合に 0.0027 となり,再現期間 400 年程度の規模のものであることが分かった.ただし,計画高水流量と d4PDF 計画規模再現流量の両方とも,いくつかの水系では現況の流下能力より大きいと考えられるため,現在の同時氾濫確率の再現期間はより短い可能性がある.4 度上昇実験における同一年氾濫確率は,氾濫判定の基準を計画高水流量とした場合に 0.03, d4PDF 計画規模再現流量とした場合に 0.05 となり,再現期間 25 年程度で同時氾濫確率が発生することが分かった.ただし,上記のとおり本分析での同時発生は同一年での氾濫発生を意味しており,同じ年で豪雨事例が異なる可能性がある.したがって,台風 19 号単体での氾濫水系数の再現期間は推定値より長い可能性がある.今後,単一の豪雨事例 による氾濫水系数の将来変化を分析する予定である.



準にした場合

図1.6.4 同一年氾濫発生水系数の超過確率(青線:過去実験,赤線:4 度上昇実験)

1.6.6 最大同時氾濫水系数となった事例の降雨特性

d4PDF の 4 度上昇実験において,同一年氾濫水系数が最大の 16 水系となった年におい て,13 水系が氾濫した台風事例(以下,d4PDF最大氾濫事例)を対象に,3日間(8月27 日~8月29日)積算雨量の空間分布を図1.6.5(a)に示す.図中の白丸は各時刻において領域 内で海面更正気圧が最小となるグリッドを表し,各グリッドを結ぶ実線として台風経路を推 定した.本台風は,九州地方や近畿地方には上陸せず,台風19号と同様に関東地方の南海上 から北上して関東地方に上陸し,東北地方を通過して北海道へと抜けた.積算雨量は,上陸 した関東地方で最も多く,上陸後の北上と共に小さくなった.他に前線等の雨域も見られず, 台風単体による降雨事例であったが,累積雨量 300 mm 以上の地域が東北地方北部まで広 がっている.

気象庁解析雨量から作成した台風 19 号時(2019 年 10 月 10 日~12 日)の3 日間積算雨 量の空間分布(図1.6.5(b))も 300 mm 以上の降雨が広範囲に分布しているが、東北地方で は豪雨が沿岸域に集中していることがわかる. 図中の白丸は気象庁による台風経路, 点線は d4PDF最大氾濫事例での推定台風経路を表しており, 両者はほぼ同じ経路を通っていたこと がわかる. 上陸後の中心気圧も, 台風 19 号が約 950 hPa~980 hPa, d4PDF最大氾濫事例 が約975hPa~980hPaと台風19号の方がやや低いものの大きな違いはなく,積算雨量の違いは水蒸気量の違いによる可能性が高いといえる.d4PDF最大氾濫事例は被災水系数の観点でより発生頻度の低い事例であるが、4度上昇気候下での水蒸気量の増加が影響している可能性がある.ここでは同一年氾濫水系数が最大となった1事例のみの結果を示しているが、氾濫水系数が上位の年では同一事例で複数の水系が氾濫する場合が多く、豪雨の頻度だけでなく、豪雨そのものが強大化することで同一事例による同時氾濫リスクが増加することが示唆される.



図 1.6.5 d4PDF の 4 度上昇実験での最大氾濫事例(13 水系)と台風 19 号の 3 日間積算雨量の比較.実線は台風経路を表す.

1.6.7 まとめ

台風19号および平成30年7月の西日本豪雨では,広域にわたって多数の水系が氾濫した. 広範囲で同時期に氾濫が発生した場合,サプライチェーンを通した間接的被害,被害の集中 による支援の遅れなど長期的に大きな影響を与える.本章では,台風19号のような広域複合 氾濫がどの程度の確率で生じ,気候変動によってどの程度頻度が増加するのかを調べること を目的として,関東・東北・甲信越地方の全31水系を対象に,多数の極端豪雨アンサンブル をもつ d4PDF を用いて同時氾濫水系数の再現期間とその将来変化を推計した.得られた知 見を以下にまとめる.

- 台風 19 号による洪水ピーク流量の再現期間は鳴瀬川で約 540 年,阿武隈川で約 120 年 と推定され、4 度上昇気候シナリオの下では約 32 年~100 年,約 16 年~58 年と高頻度 化する.
- 2) 年最大洪水ピーク流量が流下能力に相当する流量を超えた場合に氾濫が発生すると考え、 関東・東北・甲信越の全 31 水系の中で各年に氾濫が発生した水系数を計算した結果、4 度上昇実験では同一年に氾濫する水系数が大きく増加する.
- 3) 台風 19 号で破堤が発生した 6 水系以上で氾濫が同一年に発生する超過確率は, 過去実験

では氾濫判定の基準を計画高水流量とした場合に 0.0023, d4PDF 計画規模再現流量とした場合に 0.0027 となり,再現期間 400 年程度である.

- 4) 4 度上昇実験で 6 水系以上が同一年に氾濫する超過確率は、氾濫判定の基準を計画高水 流量とした場合に 0.03、d4PDF 計画規模再現流量とした場合に 0.05 となり、再現期間 20 年~30 年程度で台風 19 号と同数程度以上の水系で氾濫が生じる可能性がある.
- 5) 4 度上昇実験で13水系が氾濫した台風事例は、台風19号と同様の経路および中心気圧 であったが、台風19号よりも陸上でより多くの降水をもたらしており、海面水温の昇温 の影響による水蒸気量の増加が影響している可能性が示唆された.

ここでは、台風 19 号がかつてないほど広範囲に浸水をもたらした点に着目し、これまで水 系ごとに評価されることが多かった洪水の再現期間について、d4PDF という大規模アンサン ブルデータを活用することで氾濫水系数という新たな観点からそのリスクを評価した.

(京都大学・田中智大, 立川康人)

参考文献

- 立川康人,永谷言,寶馨: 飽和,不飽和流れの機構を導入した流量流積関係式の開発,水 工学論文集, Vol.48, pp.7-12, 2004.
- 2) Tachikawa, Y. and Tanaka, T.: 1K-DHM/1K-FRM, http://hywr.kuciv.kyotou.ac.jp/products/1K-DHM/1K-DHM.html(2020/7/10 確認.)
- Duan, Q., Soroodhin, S. and Gupta, V. K.: Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models, Journal of Hydrology, Vol.158, pp.265-284, 1994. doi:10.1016/0022-1694(94)90057-4.
- 4) 東北地方整備局: 台風 19 号による河川(阿武隈川水系阿武隈川下流(宮城県) の被災状況, http://www.thr.mlit.go.jp/bumon/kisya/saigai/images/77859 2 5.pdf
- 5) 東北地方整備局: 阿武隈川水系河川整備計画 [大臣管理区間], p. 23, 2012.
- 6) d4PDF, http://www.miroc-gcm.jp/~pub/d4PDF/index.html(2020/7/10 確認.)
- 7) 田中智大,河合優樹,立川康人: d4PDF による全国一級水系河川流域の年最大流域平均 雨量の再現性評価,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.75, No.2, I 1135-I 1140, 2019.
- Piani C, Haerter J O, Coppola E.: Statistical bias cor- rection for daily precipitation in regional climate mod- els over Europe, Theoretical and Applied Climatology, Vol. 99, No. 1-2, pp. 187-192. DOI:10.1007/s00704- 009-0134-9. 2010. doi:10.1007/s00704-009-0134-9.

第2章 河川災害

2.1 千曲川上田地区における河床変動数値解析

2.1.1 上田市堤防欠損地点における流路変動の状況

台風 19 号に起因する豪雨により,千曲川では大規模出水となり,河道内では流路が大きく 変動した.特に,上田市においては,流路変動によって堤防が侵食を受け,上田電鉄鉄道橋 (KP104 付近)が落橋するに至った.ここで,図2.1.1 に Sentinel2 衛星¹⁾から得られる上 田市近傍における洪水前後の正規化差植生指数 NDVI 画像を示す.千曲川上流は,長年の土 砂採取等の影響により澪筋が固定化し,高水敷と低水路の比高差が大きくなる,いわゆる二 極化状態にあり,図2.1.1a に示すように固定化された砂州上には河畔林が密生した状態にあ った²⁾.一方,図2.1.1b に示すように本洪水により,流路が大きく変動し,高水敷の植生が 流失するなど,河道内の状態が大きく変化した.

堤防欠損地点は、出水前は蛇行している低水路の内岸に当たる植生域側に位置し、その対 岸側が水衝部であった.しかし、出水時に起きた砂州や流路の変動によって水衝部の位置が 変化し、堤防を侵食したと考えられる.堤防欠損は 10 月 13 日朝 7 時 35 分ごろに発生した ことが国土交通省北陸地方整備局のライブカメラ映像から分かっている.この時期は流量ピ ークよりも後であり、流量低減時に図 2.1.2 に示すような堤防侵食が進んだと考えられる. 落橋が水位のピーク後におきたこと、その際、植生域が消失し新たな砂州が確認されたこと を踏まえると、出水のピークで植生に覆われていた領域が河床変動領域に取り込まれ、元々 存在していた河道幅全体での凹凸、つまり河道幅全体で形成されていた砂州形状がベースと なる変化が起こったと考えられる.そのプロセスで、河岸侵食や流路変動が急速に進行し、 左岸側に深掘れ部が発生したと推察できる.特に、着目すべきなのは、流量ピーク時にでき た大きな砂州を基盤として流量低減時に形成された流路が、側方侵食を助長し、流量低減し てからも徐々に現象を進めていることである.このように長年固定化、樹林化した砂州が、 出水時に変動、もしくは侵食され、災害の原因となることは河川管理上大きな問題であり、 河道変化と堤防侵食、並びにその落橋への影響について分析する必要がある.そこで、本章



図 2.1.1 千曲川上田市付近の出水前後の正規化差植生指数. a) 出水前(2019 年 10 月 10 日), および b) 出水後(2019 年 10 月 28 日)



図 2.1.2 堤防欠損地点の様子.a) 10 月 13 日(㈱Pasco 提供),b) 10 月 14 日の様子(北陸地整提供資料より)

において、本洪水イベントに誘発された河床・河道変化を数値計算モデルにより再現し、出 水時の流路変動特性について明らかにすることを試みる.

2.1.2 数値計算モデルと計算条件

流路変動解析には、河川解析ソフトウェア iRIC に同封されている Nays2DH³⁾を用いた. 本モデルは、本研究で対象としているような砂州と流路変動、側岸侵食への適用例が多く、 適切な計算条件、パラメータの設定の下、出水時に見られる流路変動を合理的に表現できる ⁴⁾.計算モデルの詳細は、文献等^{3,4)}を参照いただくこととし、以下に概略を示す.本モデル では、流れは一般座標変換された二次元非定常浅水流方程式により計算される.抵抗則につ いては、マニング則により与え、植生の影響については、別途植生密生度を与えて、植生抵 抗を考慮する.なお、計算上の密生度の具体値は後述する.また、ここでは掃流砂による河 床変動を扱い、浮遊砂の影響は無視する.掃流砂は、全流砂量を芦田・道上式により求め、横 断方向流砂量については、渡邊の式を用いる.二次流の算定については、二次流強度の発達 と減衰を考慮したモデルを用いている.また、河岸侵食を考慮するために、斜面崩壊角度を 設定し、計算上ではこれを超えた角度を持つ斜面を崩落させるものとしている.なお、ここ で対象としている現象では、植生の流失を考慮する必要がある.ここでは簡単のため、初期 河床よりも、0.3 m 河床低下した場合に植生が流出するものとした.

計算範囲は、KP102.5-107.5 (およそ図2.1.1 に示す区間)としている.初期地形について は、砂州等の地上部を平成25年測量のLPデータより与え、LPデータで欠測している水面 下については、平成29年測量の横断測量データにより与えている.上流端に与える流量につ いては、本計算領域よりも下流に位置する杭瀬下地点における水位観測データを水位-流量 曲線により変換した暫定ハイドログラフ(ピーク値5869 m³/s)を用いた.粗度係数について は、計画粗度を参考に0.034を計算領域全体に与えている.これは、河床・河道変動により 低水路・高水敷の様相が計算中に大きく変化するためであるが、設定値により図2.1.3のよ うに痕跡水位を概ね再現できることを確認している.河床材料は均一粒径とし、対象区間の 50%粒径である64 mmを与えた.なお、KP106付近に見られる露岩部、並びに航空写真か ら判断できる護岸部については、固定床として扱っている.植生密生度については、データ がないため、ここでは航空写真から判断される領域について密生度0.01 m⁻¹を試行的に与え た.



図 2.1.3 ピーク水位時における計算水位と痕跡水位の比較. 水路中心での比較とするために, 痕跡水位は左右岸の観測値を平均したものを用いている.



図 2.1.4 計算された河床変動過程.

2.1.3 数値計算結果と考察

図 2.1.4 に計算された河床・河道変動の時間変化を示す. 図中の計算結果は,流量ハイド ログラフに示す時間における河床変動量を意味しており,図 2.1.4a はピーク時,また図 2.1.4c は落橋したおよその時刻における計算結果である. これらの図より,計算結果は,図 2.1.1b に示す砂州の形状変化や水衝部の変化を定性的に表現できているといえる.


図 2.1.5 流れと横断面内における最深河床位置の時間変化. 流れ場は, 水深コンターと 流線により可視化している. また, a-1), b-1), c-1)におけるOは横断面内における最深 河床の位置を表しており, a-2), b-2), c-2)はその縦断図を示している. 図中の×は落橋 地点を示している.

次に計算結果について砂州と流れの時間変化から堤防欠損との関連を考察する. 図 2.1.4 に示すように,従来交互に形成されていた砂州が,洪水流と土砂移動によってピーク流量時 点で下流側に移動をしていく様子がわかる. この砂州の移動と流路変動,並びに河岸侵食の 関係についてより詳細に検討するために,図 2.1.5 に流れの変化と横断面における最深河床 位置の変化を示す. 図 2.1.5a に示すようにピーク流量時点においては,流れは流路幅全体に わたって直線的に流れており,最深河床位置も洪水前に形成されている澪筋に沿っている. この時点では,堤防欠損地点から見ると主流路は河川の中央部に位置している.一方,流量 の低下に伴い流線は大きく蛇行しはじめ,最深河床位置が下流に移動しつつ,堤防に近づい ていく様子がわかる(図 2.1.5b, c).この時,川幅全体にわたって大規模な砂州が発達するこ とにより,流れの蛇行と集中を誘発し,河岸を侵食したと考えられる.



図 2.1.6 計算における流線と無次元せん断力の時間変化. 図に示す時刻は, 図 2.1.4 と 同様である. 図中の×は落橋地点を示している.

また,流量低下に伴い流れの直進性は低下し,砂州により形成された深掘れ部に流れが集 中しやすくなり,侵食力の強い流れを長期間生じさせることで,結果として大規模な側岸侵 食を誘発する^{4,5)}.この点について明確に示すために,図2.1.6 に図2.1.4 と同じ時系列に おける流線と無次元掃流力を示す.図からわかるように,流量の減少とともに流線の蛇行が 顕著となり,流線が集中する箇所で無次元掃流力が大きくなっていくことがわかる.このよ うな砂州による蛇行流の発達と無次元掃流力の増加は主流部において比較的大きな掃流力が 長時間継続することとなり,堤防欠損地点に固定化されていた左岸側の砂州を侵食し,落橋 が確認された図2.1.4c の時刻においては,新たな水衝部へと変化していることがわかる.

このような洪水流の変化に伴う砂州の変化,流量減衰時における澪筋への流れの集中,及 びそれに誘発される固定化されていた比高差の大きい砂州の侵食によって,流路が大規模に 変動し、堤防侵食と落橋につながったと考えられる.

2.1.4 本章のまとめ

本章では、2019年出水時に千曲川上田市付近において見られた流路変動について二次元数 値計算モデルによってその再現を行い、本洪水に起因する堤防欠損、落橋との関連性につい て考察した.計算結果より、洪水流によって形成されていた砂州が発達、前進し、それによ り水衝部が大きく変化することで、従来砂州の堆積側であった堤防が侵食を受け、落橋につ ながったと推測された.千曲川における砂州は、長年固定化され、植生が密生していたもの も多く、河道はいわゆる二極化状態にあった.しかし、ひとたび大規模出水が発生すれば、 急流河川特有の激しい侵食力により砂州や流路が大きく変動し、堤防侵食や落橋といったリ スクを引き起こすことが本検討で改めて示された.

数値計算結果は、定性的には現象を再現している一方、砂州の移動や流路の切り替わりを 過小評価している傾向にある.これはデータ不足によるかもしれないが、現象の再現に決定 的である河岸侵食モデルの精度による可能性もある.河岸侵食モデルの精度は、固定化され た比高の高い砂州からの土砂供給量の推定精度にも影響する.河岸からの土砂供給はその下 流における流路変動にも大きな影響をもつことから⁷⁾,これらの視点を踏まえて流路変動機 構についてさらに検討する必要がある.

謝辞:本研究の実施に当たり,令和元年台風 19 号豪雨災害調査団の皆様にはデータ提供や 結果について多大なご助言を頂きました.特に,名城大学溝口敦子教授には計算結果のとり まとめについてご協力,ご助言いただきました.ここに期して感謝の意を表します.

参考文献:

- 1) https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2
- 2) 西嶋貴彦・前田諭・阿部充・五十嵐武・竹内洋子:千曲川中流域の試験的河道掘削に関す る研究,リバーフロント研究所報告,第25号,pp.3-12,2014.
- 3) https://i-ric.org/
- Iwasaki, T., Shimizu, Y. and Kimura, I.: Numerical simulation of bar and bank erosion in a vegetated floodplain: A case study in the Otofuke River, Advances in Water Resources, 93, 118-134, 2016.
- 5) 寺本敦子・辻本哲郎:砂州を伴う河道の低水路河岸侵食に関する数値解析による研究,水 工学論文集, Vol.47, pp.649-654, 2003.
- 6) 岡部和憲・久加朋子・清水康行・長谷川和義・新庄興・山口里実:流量ハイドログラフ形 状に対する蛇行流路の移動特性~+勝川水系音更川を事例として~,土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.5, pp.I_1009-I_1014, 2018.
- (1) 山口里実・久加朋子・清水康行・泉典洋・渡邊康玄・岩崎理樹:河道内の土砂動態と流路 変動の関係,土木学会論文集 B1(水工学), Vol.74, No.4, pp.I_1153-I_1158, 2018.

(北海道大学・岩崎理樹)

2.2 千曲川上流部中小河川の被災分析

2.2.1 千曲川上流域での災害概要

令和元年東日本台風は図 2.2.1 のとおり千曲川流域では佐久市・佐久穂町の群馬県境近く の斜面に最も大きな豪雨をもたらした.その最大値は長野県が観測する佐久穂町上石堂雨量 局での 579mm であり,うち 557mm は 24 時間に集中した.両地域を流れる中小河川の上流 部(流域界近く)と下流部(千曲川合流点近く)では降雨量が大きく異なる.これは台風によ る東風時の長野県内の降雨地域特性である.

この豪雨地域にある数々の中小河川は溢水・氾濫し,長野県佐久建設事務所管内での公共 土木施設等の被災は457箇所,住宅全壊は全壊205戸,床上浸水221戸,床下浸水980戸に 及ぶ¹⁾.

被害はすべての河川で発生したが,特に,佐久市内で千曲川に合流する滑津川(流域面積: 105km²)の被害は甚大であった.滑津川は千曲川合流点近くで幅 320mに亘り決壊し,氾濫 水が川に沿って流下し,住宅地,商業施設,佐久市下水道管理センターが被災した.また,上 流の佐久穂町で千曲川に合流する抜井川(流域面積:81km²)も同規模の豪雨があり多数の施 設が被災したが,住宅被害は滑津川ほどではなかった.その理由は,降雨量の相違,抜井川 上流の古谷ダムでの洪水調節,河道の相違,地形や土地利用形態が考えられる.本章は,こ れらの効果評価の最初として降雨量の相違の評価に焦点を当てた分析を行った.



図 2.2.1 気象庁・国土交通省・長野県による地上観測雨量から作成した千曲川流域の3日間 雨量(2019/10/11-13)

2.2.2 滑津川・抜井川流域の降雨量評価

地上雨量計による降雨観測は気象庁,国土交通省,長野県が,レーダー雨量観測は気象庁, 国土交通省が行っている.これらのデータを入手し,3日間(2019.10.11-13)雨量の等雨量 線図 2.2.2(a)~(e)を作成した.









(c)国交省地上雨量データ

凡例 ▲川3□軽井派 □ 清津川流域
 □ 抜井川流域
 □ 打政界 - 千曲川と犀川 北部



(d) 国交省・気象庁地上データ



(e) 国交省・気象庁・長野県地上データ

2.2.2 各種雨量データ利用により求めた等雨量線図(2019.10.11-13の3日間雨量)

(a)XRAINの雨量は最も小さく、(b)全国合成レーダーGPVが次に小さい雨量である.初谷、 上石堂など地上雨量観測値は雨量の実態を示す信頼できる観測値と考えると、XRAINは流域 全体で、抜井・滑津川流域界付近では特に、過小評価となっている.全国合成レーダーGPV も同様の傾向である.流域界付近で雨量が大きい傾向は見て取れるものの、流出解析に用い ることができる精度とは言えない.レーダー局から離れた地域であるのがその理由と考えら れる.

(c)は国土交通省データのみ、(d)は気象庁データも加え、(e)はさらに長野県データも加えク リギング法で補間した等雨量線図である. 観測地点を増やすほど流域界付近の雨量値が大き くなる. 特に抜井川流域で顕著である. それは北相木 (気象庁),上石堂 (長野県),余地ダム (長野県)の雨量観測値を加えたためである. 滑津川流域では,初谷 (長野県)の観測値を加 えると流域界付近の雨量値が大きくなるが,その増加量は抜井川流域ほどではない. それは 滑津川流域内やその周辺に雨量計が少ないことが主要因と考えられる.

現在, XRAIN は洪水予測の入力に用いるほどに高精度と言われるが, この地域での観測精 度は洪水予測や流出解析に供する精度とは言えない.また,現在の地上雨量計網は大河川流 域にとって十分かもしれないが,中小河川流域の洪水を解析できるだけの観測密度にはなっ ていないと言える.

2.2.3. 洪水ピーク流量の推定

両流域とも水位・流量は観測されていない. そこで合理式により令和元年東日本台風の洪 水ピーク流量を推定した.

洪水到達時間は土木研究所の式から推定し流出係数は山地の標準値 0.7 とした²⁾. 洪水到 達時間は両流域とも6時間とした.5種の推定雨量毎に合理式で求めたピーク流量を表2.2.1 と図2.2.3に示す.

滑津川流域	(a)XRAIN	(b)GPV	(c)MLIT	(d)MLIT	(e)MLIT+JMA				
				+JMA	+NP				
最大流域平均雨量	85	134	139	141	168				
(6 時間) (mm)									
ピーク流量(m³/s)	290	458	474	481	572				
抜井川流域	(a)XRAIN	(b)GPV	(c)MLIT	(d)MLIT	(e)MLIT+JMA				
				+JMA	+NP				
最大流域平均雨量	89	135	121	132	184				
(6 時間) (mm)									
ピーク流量(m³/s)	231	354	316	346	481				

表 2.2.1 推定雨量毎の推定ピーク流量



図 2.2.3 合理式による推定ピーク流量

5種の推定雨量の中で最も妥当な雨量はすべての地上雨量から求めた(e)(MLIT+JMA+NP) と考えられるので、これから推定したピーク流量が最も妥当と判断できる. 仮に XRAIN を 用いてピーク流量を推定するとこの約半分,最大降雨を観測した長野県観測所がなかった場 合は約 20%減となる.

2.2.4 本章のまとめ

千曲川流域で令和元年東日本台風時に最も大きな降雨を観測した上流域の中小河川である 滑津川と抜井川を対象として、5種の雨量データセットで流域降雨分布とピーク流量を推定 し、下記の結論を得た。

- 1) XRAIN, 全国合成レーダーGPV 雨量は千曲川上流域の豪雨域を正確に観測できなかった.
- 2) 中小河川の流域平均雨量推定には国土交通省、気象庁地上雨量観測値では不十分で、流 域界近くに長野県が設置した雨量観測値を加える必要がある.流域平均雨量及び推定ピ ーク流量の推定差は2割程度である.
- 3) 抜井川流域と比較し、滑津川流域及びその周辺に雨量計が少ないため、雨量及びピーク 流量推定値の精度も劣ると考えられる.
- 4) 今後,両河川の被害,ダム調節,河道の相違を考慮する必要がある.

謝辞:千曲川上流部中小河川の被災分析に示したすべての図表は,信州大学大学院近藤孝洗 君が作成した.

参考文献

- 長野県佐久建設事務所:令和元年東日本台風(台風19号)による公共土木施設等の被害,https://www.pref.nagano.lg.jp/sakuken/saigaihukkyu/tyhoon19/documents/2higai-shousai.pdf
- 2) 国土交通省:河川砂防技術基準(調査編)第3章水文解析,
 https://www.mlit.go.jp/river/shishin_guideline/gijutsu/gijutsukijunn/chousa/pdf/03.pd
 f

(信州大学・吉谷純一)

2.3 SAR 画像を用いた千曲川の氾濫解析

2.3.1 はじめに

発災後短時間で被災地の画像を取得し被災状況の把握や二次災害の危険察知を目的として, Lバンド合成開口レーダー「PALSAR-2」を搭載した陸域観測技術衛星2号「だいち2号」

(ALOS-2)が運用されている.合成開口レーダー(SAR)は照射したマイクロ波の観測対象 表面での後方散乱を連続観測し,仮想的に広い開口幅で取得するもので,気象衛星に搭載さ れる受動型の光学センサと異なり夜間や曇天時にも観測が可能である.

2019年10月の台風19号は台風本体の発達した雨雲や台風周辺の湿った空気の影響で,静岡県や新潟県、関東甲信地方,東北地方を中心に広い範囲で記録的な大雨を引き起こした¹⁾. 千曲川・信濃川流域において7箇所の堤防決壊が生じ,各地で浸水被害が発生した.これに対し,発災後直ちにALOS-2/PALSAR-2による観測が実施された.本章では,この千曲川流域を対象とした観測の概要と,その結果を白水ら²⁾の手法を発展させた解析を実施し,捉えられた氾濫浸水の状況を説明する.

2.3.2 ALOS-2 / PALSAR-2 による発災後の千曲川流域の観測

千曲川流域を対象とした発災直後の PALSAR-2 による観測は,10月13日11時56分開始, および,15日12時37分開始の高分解能モード1(単偏波,観測幅50km,分解能3m)の



図 2.3.1 長野県千曲川流域対象の高分解能モード1 観測

シーン ID	観測日時 (JST)	衛星進行 方向	観測方向	オフ ナディア角	偏波
ALOS2290982870- 191013	2019/10/13	ディセンディング	右側	25.6	HH
ALOS2290982880- 191013	2019/10/13	ディセンディング	右側	25.6	HH
ALOS2291282830-	2019/10/15	ディセンディング	左側	42.7	HH
ALOS2291282840- 191015	2019/10/15 12:37	ディセンディング	左側	42.7	HH

表 2.3.1 発災直後の千曲川流域を対象とした高分解能モード1での観測



図 2.3.2 長野県千曲川流域の観測結果

ものがある.これらの観測範囲について図2.3.1に示す.また,表2.3.1に観測条件の概要 を示す.衛星進行方向は衛星の南北の移動方向を示し,ディセンディングは南下しながらの 観測であることを示す.北上中の観測の場合はアセンディングと表現される.また,観測方 向は進行方向を正面として左側にセンサを振った観測か右側に振った観測かを示す.オフナ ディア角は衛星の直下と衛星から観測対象中心を覗いた線とがなす角である.本章では,こ の観測のうち,浸水状況をよく反映した13日観測のシーン ALOS2290982870-191013 を対象 に解析を行った.当該シーンのレーダー画像プロダクトは処理レベル2.1で,後述の解析時に はスペックルノイズ低減を目的にLee filter 処理を付加している.図2.3.2 右は9月13日正 午ごろの千曲川流域を対象とした観測で得られた SAR 画像プロダクトの範囲を示す.左図は 右図中で赤の網掛けされた箇所を拡大したもので,低散乱域を青く強調表示している.濃い 青色で確認できる河川の周辺に広い青色の領域が複数確認できるが,これらは長野市や飯山 市周辺の浸水状況を反映したものである.

2.3.3 長野市穂保地区の浸水深推定と検証

本節では、前述の発災直後の観測によって得られた SAR 画像を解析し、長野市の穂保地区 における浸水深分布を示す.また浸水痕跡高の実測結果との比較を行い,適合性を評価する.

大木ら³⁾に倣い,SAR 画像から恒常的に水域である箇所を多数サンプルとし、水域の後方 散乱係数の平均値 μ および標準偏差 σ を求めた.後方散乱係数が μ+σ 以下となる箇所を二値 化し水域として抽出した. この水域の分布を示すラスタ画像に Majority フィルタを適用した 後ポリゴン化した.そのうち、広大な面積のポリゴンについてポリゴン辺縁の地盤高データ (国土地理院5mメッシュDEM)を参照して浸水域の水面高を仮定した.ここではその水面 高を仮想水面と呼ぶ.図2.3.3は上記の処理状況を示す.黄色で示される水域ポリゴンのう ち、河川でない箇所で水域となったポリゴンについてその境界の地盤高を取得した.このよ うに求めた仮想水面高と、範囲内の地盤高の差を推定浸水深として求めた。その結果を図



図 2.3.3 長野市穂保地区解析イメージ

図 2.3.4 長野市穂保地区推定浸水深分布



図 2.3.5 実測浸水深と推定浸水深の対応



2.3.4に示す.ここで、図中の○は山口大学山本晴彦教授らの浸水痕跡調査の結果を浸水深分布と同様の浸水深階級で表示したものである.千曲川から西側に向かうほど地盤高は低くなるため、浸水深が大きくなることが分かる.実測値も概ねその傾向を表している.特に新幹線車両基地のある箇所では浸水深は4~5m程度であったことが分かる.実測値との比較を行った.図2.3.5の横軸は衛星画像による推定浸水深で、縦軸は実測浸水深である.この図面に傾き1:1の二等分線が描かれている.この線上にデータがプロットされれば両者の数値は一致していることになり精度が良好であることを意味する.データは概ね二等分線上に集まってはいるものの、散らばりも見受けられる.実測値と推定値の平均の相対誤差は28%であり、また平均の誤差値(絶対値)は57 cm程度であった.二等分線から離れたところにあるデータが平均の誤差値を大きくしているものと考えられる.図2.3.6 に実測浸水位から仮想水面高を引いた差を示す.浸水深が2mより大きい箇所では本解析による推定はよく実測に対応している.浸水が浅い箇所では推定値が実測値に対して低く見積もられている.これは、図2.3.6から確認できるように、浸水範囲の上流側や、下流側でも支流浅川の左岸側の一部で仮想水面高が低く見積もられていることが影響している.

2.3.4 飯山市・木島平村の浸水深推定

本節では,前述の手法に沿って飯山市・木島平村における浸水深分布を解析した結果を示 す.解析にあたっては,図2.3.7に示す1から6までの対象エリアごとに,その内部の水域 を抽出し,水域ポリゴン境界の標高を参照して仮想水面高を決定した.図2.3.8に推定した 浸水深分布を示す.飯山市中心街で建物の多いエリア3では6m以上の浸水箇所を含む.市 街地のため全体的に後方散乱が強いが公園や農地,学校のグラウンド棟の浸水は確認できた



図 2.3.7 飯山市・木島平村解析イメージ



図 2.3.8 飯山市·木島平村推定浸水深分布

ためそれらの箇所の辺縁の標高を参照して仮想水面高を取得した.水域の抽出としては不完 全なため,仮想水面高選定のためのサンプル数が不足し,浸水深が過小評価となっているこ とも考えられる.また,対岸の木島地区を含むエリア4においても工場や家屋が密集してお り高散乱となる箇所がある.そのため,浸水域を過小評価し,エリア3と同様に浸水深も低 く見積もっていることが考えられる.一方で,エリア2では照射されたマイクロ波の陰とな る丘の斜面で水域と同じく低散乱となっている箇所を誤って水域として判断しており,浸水 域および仮想水面高を過大評価していると考えられる.

2.3.5 本章のまとめ

SAR 画像を用いて千曲川流域の浸水状況および浸水深を把握することを試みた.長野市の 穂保地区の浸水では,浸水深の実測値に対する平均誤差は57cmであった,水深が2m以上の ところでは比較的精度は良かったが,水深の浅いところでは推定浸水深は過小評価されてい た.また飯山市・木島平村での推定浸水深では建物が多くエリア3で6m以上の水深箇所が あることが伺われた.

参考文献

- 内閣府:令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について(令和 2 年 4 月 10 日 9:00 現 在)
- 白水 元・金城 海輝・山本 晴彦・朝位 孝二:合成開口レーダーを用いた浸水域および浸 水深の推定法に関する研究,土木学会論文集 B1(水工学),Vol.75, No.2, I 1471-I 1476, 2019.
- 3) 大木 真人・渡邉 学・夏秋 嶺・本岡 毅・永井 裕人・田殿 武雄・鈴木 新一・石井 景子・ 伊藤 拓弥・山之口 勤・島田 政信: ALOS-2 PALSAR-2 データによる平成 27 年 8 月関東 ・東北豪雨の洪水域把握と精度検証,日本リモートセンシング学会誌, 36 巻 4 号 p.348-359, 2016.

(山口大学・朝位孝二,山口大学・白水元)

2.4 宮城県丸森町における阿武隈川支川の破堤機構

2.4.1 丸森町の概要と降雨の特徴

対象とした丸森町の河川の概要を図 2.4.1 に示す.大きな被災を受けた阿武隈川支川の規 模は,内川の流域面積 105.8km²,流路長 18.2km,五福谷川の流域面積 23.8km²,流路長 2.7km, 新川の流域面積 16.9km²,流路長 2.1km である.内川,五福谷川では下流側で昭和 26 年度か ら中小河川改修事業を開始している¹⁾.内川の内川橋上流の 3.2km 区間で総合流域防災事業 により重点的に整備を進めていたが,平成 23 年度から事業を休止している¹⁾.新川について は昭和 26 年度からの中小河川改修事業により概成済みである¹⁾.

丸森町は盆地という地形もあり過去に何度も水害に遭ってきた²⁾.例として,1986年8月 5日の台風第10号による豪雨洪水が挙げられる.この際の台風第10号による連続雨量は 400mmを超え,町内各地で河川の氾濫や土砂災害,浸水被害が発生し,幹線道路も寸断され るなど非常に大きな被害を受けた^{3),4),5)}.

今次の台風第 19 号の際,町内にある筆甫雨量時観測所で例年の総降水量のうち 40%に値 する雨量が観測された(図 2.4.2).筆甫雨量観測所の時間最大雨量は 74.5mm で 24 時間雨量 は 587.5mm に達した.



図 2.4.1 丸森町の位置と流域の概要



2.4.2 堤防決壊に関する現地調査結果

堤防の決壊箇所は、内川に 10 か所、新川に 4 か所、五福谷川に 4 か所の計 18 か所である ¹⁾. 図 2.4.3 は 2019 年 10 月 13 日に撮影された新川右岸の決壊した箇所での写真である.新 川・内川合流点の直上流に位置している. ほぼ 48m の区間にわたって堤防が決壊している. 調査時点ではまだ水が引いておらず、堤内地から河川への流れが認められた. ただし、この 場所では堤防が完全に決壊しており、堤防を破壊した越流の方向が堤外から堤内なのか、あ るいは逆なのかが判然としない.

次に,新川に沿って幾分上流部を図2.4.4に示す.図2.4.4右端の排水樋管が図2.4.3左端に見られる.約220mの距離の中に,決壊には至らないものの川表側の法面が部分的に侵食されている箇所が多く見られる.これより,越流は堤内地から川表に向かう方向であることが分かる.堤防天端に残る植生の倒伏方向からもこの流れの向きが確認された.



図 2.4.3 堤防決壊箇所(新川, 2019 年 10 月 13 日)



図 2.4.4 堤内地からの流れによる法面洗掘箇所(新川, 2019 年 10 月 13 日)

以上の様に、丸森町における今次洪水による堤防被災の特徴の一つは堤内地からの越流に よる堤防決壊である.同様な事例は、台風 19 号洪水の際に他所においても観察されている. 川越⁶によれば、福島県において発生した 50 箇所の堤防決壊(国管理河川:1箇所,県管理 河川:49箇所)のうち、同様な機構による決壊が6件見られた.このうち、福島県須賀川市 の阿武隈川左岸に位置する浜尾遊水池直下流での破堤もやはり同種のメカニズムによる.す なわち、遊水池上流の二箇所から越流した外水がその下流の狭隘な低平部に集中し、本川に 戻る際に破堤に到ったものと推定されている⁷.

また、今次台風以外に目を向けると、同様な機構による堤防被害として首藤⁸⁰により 1986 年台風 10 号洪水の際に吉田川・鶴田川流域で発生しているとの報告がなされている.この際、 吉田川の破堤箇所から氾濫した外水が堤内地を流れ、鶴田川の堤防を越えて河川に戻った. 首藤⁸⁰によれば、「下流三地点は殆ど時を同じくして破堤した.(中略)この氾濫水は 0.5km~ 1.5km 離れた鶴田川の右岸堤に衝突して跳ね上がったと言われる.かなりの速度を持ってい たと考えて良かろう.」と記述されている.

なお、このような現象は超過洪水発生時には一般的に見られるものと推測される.この際 には想定されていない川裏からの流れにさらされて破堤に到る危険性がある.このような視 点に基づいて破堤の危険性について検討を行うことが求められる.

2.4.3 氾濫に関する数値シミュレーション

(1) シミュレーション手法

本章の数値シミュレーションには EFDC (Environmental Fluid Dynamics Code) モデル⁹⁾を

使用した. EFDC モデルでは鉛直方向の計算格子に σ 座標グリッドを採用しているが, ここでは単層として計算を行った.地形データには国土地理院の 5m 解像度データを用い, 河道部には宮城県による測量データを使用し, 河道内, 堤内地のマニングの粗度係数を, それぞれ 0.03 および 0.05 として与えた.

本章の再現計算においては、堤防決壊の現象を次のように仮定した.まず、堤防決壊地点 については、既往研究¹⁰⁾を参考にして各地点越流が発生してから3時間後に堤防を全壊させ た.なお、部分的な侵食のみで決壊に至らない箇所については、堤防の高さを変えていない. また、後述する内川・新川における越流水深・越流時間を計算する際には、これより上流部 の破堤点を上記と同様に扱い、越流水深を計算する箇所については決壊をさせずに、最大の 越流水深、越流流速を求めた.

雨量データは宮城県河川流域情報システムの筆甫雨量観測所のデータ¹¹⁾を使用した.内川 水位観測所では氾濫による計器の水没により,2019年10月12日21:30以降に欠測となって いる(図2.4.2).内川流域内の雨量観測所である筆甫雨量観測所の雨量と内川水位観測所の 水位は概ね同じ時刻にピークが発生している(図2.4.2).数値計算における境界条件として の河川流量は,2D降雨-流出-氾濫モデル(Rainfall-Runoff-Inundation model, RRI モデル)¹²⁾に より算定した.

(2) 数値モデルの検証

数値モデルの検証には,図2.4.2 に示した内川水位観測所地点での水位の時系列変化,お よび丸森町市街地エリアにおける実測された浸水深データを用いた.いずれも数値シミュレ ーション結果と良好な一致を示した.

(3) 氾濫の様子

図2.4.5には数値シミュレーションで得られた氾濫の状況を示した.図2.4.5(a)の時点で はすでに降雨が始まっているが,流れは河道の中に収まっている.図2.4.5(b)においては, 内川の上流部右岸において氾濫が見られる.その後,図2.4.5(c)では内川上流右岸の氾濫域 が拡大している.図2.4.5(d)では内川・五福谷川合流点より上流の広範囲において3mほど の浸水深が認められる.その後,図2.4.5(e),図2.4.5(f)においては,内川・五福谷川合流 点付近より堤内地への氾濫が見られ,図2.4.5(g),図2.4.5(h)において堤内地の水深の増加 が見られる.上述の,堤内地からの氾濫水による破堤の生じた箇所は,いずれも鋭角隅角部 に位置していることが分かる.まず,図2.4.3,図2.4.4に被災状況を示した図2.4.5(g)の Aの箇所は内川・新川合流部において形成された鋭角隅角部である.その他にも,図2.4.5(g) のBの箇所は橋梁取り付け道路の盛り土部が新川右岸堤防が山付き堤であることから,丘陵部と堤 防の間に鋭角隅角部を形成している.以上の様に,堤内地からの越流により破堤が生じた箇 所は共通の地形的特性を有していることが分かった.



(a) 10月12日 17:30



(c) 10月12日 19:30



(e) 10月12日 21:00



(g) 10月12日 23:00



(b) 10月12日 18:30



(d) 10月12日 20:10



(f) 10月12日 21:20



(h) 10月13日 3:00

図 2.4.5 氾濫水の広がり

(4) 破堤の有無を支配する水理条件

堤防決壊の条件を調べるために、堤内地からの越流による堤防の破壊レベルを、

a. 破堤した場所

b.部分的な法面侵食があった場所

c.侵食がなかった場所

の3つに分類した.ここでは、侵食された断面において、天端部が完全に流失したか否かを a と b の境界とした.

それぞれのレベルについて,最大越流水深 hoと越流継続時間 toとの関係を調べた.図2.4.6 に結果を示す.なお、数値シミュレーションにおいて図2.4.6にプロットした地点の最大越 流水深、越流継続時間を求める際には、当該地点より上流側の破堤地点については上記計算 法で破堤を考慮するが、当該地点については決壊を起こさないものとしてシミュレーション を実施した.図2.4.6によれば、決壊が発生した場所は越流水深、越流継続時間ともに大き い傾向があることがわかる. 浸食の痕跡がなかった場所や, 法面の一部侵食があった場所は 最大越流水深が 0.4m, 氾濫継続時間が 200 分以内の中にほとんどの地点が収まっている.ま た,破堤が起きた場所では氾濫継続時間が200分を超えている場所が多い.このことから, 本章では、堤防決壊は越流が生じてから3時間後に起きたと仮定したが、これにより概ね現 実の現象を表すことができていると推測できる.なお、図実線は須賀ら¹⁰⁾が破堤限界の目安 をして与えた次式を示している.

$$h_0 = \frac{110}{t_0}$$
 (m-min 単位) (2.4.1)

本研究の結果はこれよりも幾分低めであり,破堤限界はおおよそ次式で与えられる.

$$h_0 = \frac{70}{t_0}$$
 (m-min 単位) (2.4.2)

W/11.5



図 2.4.6 破堤状況と越流水深・越流継続時間との関係

2.4.4 おわりに

本章においては、令和元年台風第 19 号時の宮城県丸森町阿武隈川支川での破堤機構に関す る検討を行った.現地調査によれば、新川右岸や五福谷川右岸では川表側に侵食の痕跡があ ったことから堤内地から川に向かう方向への越水の影響で堤防が決壊したことがわかった. さらに、EFDCモデルを用いて丸森町内の河川の流動を再現し、決壊が起きた地点の最大越流 水深及び越流継続時間を調べた.決壊が起きた場所では、おおよそ式(2)の関係を満たすこと がわかった.また、甚大な被災箇所はいずれも鋭角隅角部を形成し、氾濫水の集中をもたら し、破堤に至ったと推測される.

謝辞:本研究で使用した河床データは宮城県河川課から提供を受けた.ここに記して謝意を 表する.

参考文献

- 1) 宮城県土木部河川課:第1回令和元年度台風 19号により被災した河川管理施設等の設計 検討会,資料-3,2019.
- 丸森町史編さん委員会 編: 丸森町史, 国立国会図書館, 1316p, 1984.
- 3) 建設省仙台工事事務所: 8·5 豪雨(台風 10 号)災害=直轄河川·道路被災記録=, 74p, 1986.
- 4) 宮城県: 災害の記録,みやぎ災害記録集,2019.
 https://www.pref.miyagi.jp/soshiki/kasen/miyagisuigaikirokusyuu.html
- 5) 松田磐余: 1986 年台風 10 号による被害の特徴と出水への対応,総合都市研究,第 30 号, pp.51-74, 1987.
- 川越清樹: 令和元年台風第 19 号福島県の被害と考察, 令和元年度土木学会東北支部技術 研究発表会概要集, 2020.
- 7) 国土交通省東北地方整備局: 第2回阿武隈川上流堤防調查委員会, 資料, 2019.
- 8) 首藤伸夫:第12章 吉田川の氾濫,1986年台風 10号による関東・東北地方の災害に関す る調査研究,昭和61年度文部省研究費自然災害研究報告書,pp.112-120,1987.
- 9) Hamrick, J.M.: A Three-Dimensional Environmental Fluid Dynamics Computer Code, Marine science and ocean engineering, 317, pp.5-1992, 1992
- 須賀堯三,石川忠晴,葛西敏彦: 越流水による堤防の破堤特性その3,第25回水理講演会 論文集, pp.355-360, 1981.
- 11) 宮城県: 河川流域情報システム,

https://www.dobokusougou.pref.miyagi.jp/miyagi/servlet/Gamen1Servlet

12) Sayama, T., Fukami, K. Tanaka, S. and Takeuchi, K.: Rainfall-runoff-inundation analysis for flood risk assessment at the regional scale, Proceedings of the Fifth Conference of Asia Pacific Association of Hydrology and Water Resources (APHW), pp.568-576, 2010.

(東北大学・田中 仁, Nguyen Xuan Tinh)

2.5 久慈川の浸水氾濫調査と解析

2.5.1 流域概要,降雨量と流況の概要

 久慈川は八溝山を水源とする幹線流路延長 124
 km,流域面積 1,490 km²の一級河川である.流域
 図¹⁾に主要地点名などを加筆し,図2.5.1 に示す (青枠は後述の調査ルートの範囲を示す).

令和元年度台風 19 号では源流の八溝山で2日 雨量273 mm (既往最高は2日雨量229 mm),大 子で2日雨量253 mm (既往最高は2日雨量202 mm)と観測²⁾されるなど,流域内の多くの雨量観 測所で既往最多雨量を上回る降雨量が観測され た.このとき久慈川基準地点の山方(河口から 35.2km)においては現行整備計画目標洪水(S61.8) の流量約3,000 m³ s⁻¹を上回る約3,700 m³ s⁻¹を記 録した.また,富岡水位観測所(河口から21.8 km) では10月13日4時にピーク水位の5.7 m (氾濫 危険水位は3.5 m)を記録している.

2.5.2 破堤・浸水状況調査と聞き取り調査

現地調査は、第1回目は令和元年10月18日から20日、第2回目は令和2年2月3日、4日に実施した.調査ルートを図2.5.2に示す.現地調査の項目は、主に浸水痕跡調査と、住民の聞き取り調査である.聞き取り調査は現地における対面調査に加えて、SNS(ソーシャル・ネットワーキング・サービス)も活用した.災害状況を写真やコメントで発信しているSNSユーザーに、著者らのアカウントから直接問い合わせることで公開されている情報と、さらに詳しい当時の情報を収集することができた.

2.5.3 破堤・浸水状況調査の結果

本節では,特に浸水範囲が広範となった辰ノロ 橋(河口から約30km)から支川の浅川合流点(河 口から約17.5km)までの範囲について浸水痕跡調 査の結果と氾濫流の過程を報告する.

図 2.5.3 にこの範囲の衛星写真(10 月 13 日撮影)に破堤箇所と氾濫流の方向加えた図を示す.



この範囲における破堤は富岡橋上流におけ る4箇所(範囲①),二線堤1箇所(範囲②), 浅川2箇所(範囲③)の計7箇所である.以 下に範囲①から③の詳細についてそれぞれ 述べる.

(1) 富岡橋上流(範囲①)の結果

範囲①の詳細を図2.5.4に示す. 富岡橋上 流右岸において,破堤した A 点(河口から 27.3 km)で氾濫流は堤内地に向かっていた. この破堤による氾濫流は堤内地を流下し,富 岡橋直上流部に滞留する. これにより堤内地 の水位が上昇することで,B点(河口から25.6 km)で破堤したと推測される. このときの氾 濫流は堤外へ向いている. また,富岡橋に接 続する右岸の道路は越流していないことが 確認できた. この道路および堤防へ接続する 道路の下にはボックスカルバートが設置さ れ,本来であれば堤内の水はここから本線へ

排水されるが,当時はその機能を十 分に果たすことができず,この範囲 に氾濫水が滞留したと考えられる.

富岡橋上流左岸においては、C点 (河口から 27.3 km) で氾濫流は堤 内地に向いていた.この範囲には無 堤区間もあるため、そこからも堤内 地に流入したと確認できる.また、 富岡橋直上流 (D点、河口から 25.6 km)の破堤点でも氾濫流は堤内地に 向かっており、これらが合流した氾 濫流が堤内地を流下し、二線堤付近

(範囲②) へ流下していくことになる. この付近では小倉公民館において 160 cm の浸水深を確認した.



図 2.5.3 辰ノロ橋から浅川合流点までの破 堤状況



図 2.5.4 富岡橋上流の破堤状況

(2) 二線堤付近(範囲②)の結果

範囲②の詳細を図 2.5.5 に示す. 左岸の堤内地を流下してきた氾濫流は二線堤で堰き止められ,水位が上昇し,その後,氾濫流が天端を越水する過程で E 点(河口から 22.5 km)の二線堤を浸食し破堤に至ったと考えられる. SNS で情報提供いただいた 10 月 13 日 8 時頃に撮





図 2.5.7 陸閘付近(13 日 9:39)

図 2.5.5 二線堤の破堤状況



図 2.5.6 10 月 13 日 8 時頃の二線堤

影された映像の1シーンを図2.5.6に 示す. 奥の樹林のすぐ手前が国道 293 号である.二線堤の上流側では国道が 冠水しているが,下流側では道路のガ ードレールが見えるなど道路は冠水し ていないことが確認できる. このこと からも氾濫流が二線堤により堰上げら れていることがわかる.また,国道に は陸閘が設置されているが、浸水時に は閉じられていなかったことを聞き取 り調査によって確認した.この映像が 撮影された約1時間半後の9時39分 の陸閘付近の様子を図 2.5.7 (常陸太 田市防災対策課提供)を示す.二線堤 付近の水位が下がり,国道の陸閘を氾 濫流が流れている様子がわかり,この 時点では二線堤上流側の国道はまだ冠 水している状況も確認できる.



図 2.5.8 浅川合流付近の破堤状

(3) 浅川合流付近(範囲③)の結果

範囲③の詳細を図2.5.8に示す.二線堤から 流下した氾濫流は,浅川右岸と久慈川左岸に囲 まれた松栄町に流入した.平常時であればこの 範囲に流入した雨水は松栄樋管,松栄第一樋管 を通して久慈川へ排水されると考えられるが, 当時,久慈川の水位が高いため樋管は閉じられ ていたと推測される.このためこの範囲では水 位が上昇し,氾濫流は浅川右岸を越水し,浅川 へ流入する過程で破堤に至ったと考えられる

(F 点 (久慈川合流点から 0.7 km), G 点久慈 川合流点から 1.5 km)). 浅川堤防に残された水



図 2.5.9 浅川堤防の痕跡

位の痕跡を図 2.5.9 に示す. 浅川左岸堤防の川表側には天端より低い位置に水位があったこ とがわかる.また,浅川右岸の川表側には,浅川方向に草が倒れており,浸食されている痕 跡も見られた.

以上,現地調査の結果より,辰ノロ橋(河口 から29.4 km)から支川の浅川合流点(河口から 17.5 km)までの広範な浸水被害について原因と 過程を明らかにすることができた.また,SNS を活用した聞き取り調査を取り入れることで, 本災害の時間的な経過に関する情報を得るこ とができた.

2.5.4 浸水氾濫シミュレーションによる検討

2.5.3 節で述べた辰ノロ橋 (河口から 29.4 km) から支川の浅川合流点 (河口から約 17.5 km) ま での氾濫流の調査結果と考察の妥当性につい て,浸水氾濫シミュレーションによる検討を行 った.浸水氾濫解析には iRIC Nays2D Flood³⁾ を使用する. iRIC Nays2D Flood は非定常平面 2 次元流計算を行うモデルであり,基本的に, 解析領域内の地形データと流入河川の流量が 入手できれば解析を行うことができる.



図 2.5.10 解析領域

図 2.5.10 に解析領域を示す.解析期間は 2019 年 10 月 12 日午前 0 時から 10 月 14 日午前 0 時とした.地形データには国土地理院基盤地図情報数値標高モデル 5 m メッシュを用い, 上流境界における流入流量は久慈川基準地点の山方観測所(河口から 35.2km)の観測流量(図



図 2.5.11 山片観測所 (38.3km) 観測流量

2.5.11) を与えた. 下流の境界条件は自由流出 (等流条件)を与えた.計算格子幅は5m,地 表面のマニングの粗度係数は計算領域全体で 0.03 m^{-1/3} s とした. 破堤箇所は,現地調査に基 づき図 2.5.12 のように設定した. 破堤のタイミ



ングは現地での聞き込み調査に基づき 10 月 13 日午前 0 時とした. なお,本解析では支流からの流入量および解析領域内の降水は考慮していない.

図 2.5.13 に 10 月 12 日午後 10 時から 10 月 13 日午前 6 時までの 1 時間ごと,及び 10 月 13 日 12 時の浸水深分布の結果を示す. 12 日午後 11 時頃に右岸側,13 日午前 0 時頃に左岸 側で堤防の越流が始まり,それぞれ堤内地を氾濫流が流下する様子が確認される.

右岸側の氾濫流は13日午前0時頃に富岡橋の付近の標高の高い地形に阻まれ,堤内地での 浸水深が大きくなっている(午前1時頃).それ以降,右岸側の氾濫流の浸水深はほとんど変 化しておらず,氾濫流は久慈川に戻されている.

左岸側では13日午前0時頃に堤防の越流が始まり、その後破堤したようである(破堤によって家屋の被害を受けた住民への聞き込み調査による). 氾濫流は堤内地を流下し、午前2時前には二線提を超えた. なお、二線提の陸閘は開けられていたので、最初のうち氾濫流はその陸閘を通って下流側に流下したと考えられる. 二線提の破堤時刻は不明であるため、本解析では二線提の破堤は考慮していない. その後も氾濫流は流下を続け、午前5時頃には久慈川と浅川の合流点付近に達した. 久慈川と浅川には堤防が築堤されているため、氾濫流は行き場を失ってそこに溜まっていく様子が解析されている. 午前6時から午前12時までは水深に大きな変化がみられず、行き場を失った氾濫水が浅川の堤防を越えて浅川に流れ込む状況が続いている。

図2.5.14は10月13日12時における氾濫流の浸水位分布図である. 久慈川と浅川の堤防 に挟まれた地域一帯は氾濫水の水位が14.4m(T.P.)で一定であり, ここに地帯が滞留していた 様子が示されている. 図2.5.8に示したFとGに相当する箇所は周囲の堤防と比べて少し低 くなっており, ここから久慈川の氾濫流が浅川の堤防を越えて浅川に流れ込んでいく様子も 示されている.

以上のように、現地調査で得られた氾濫流の挙動に関する考察が数値シミュレーションに よって裏付けられた.なお、数値シミュレーションの精度を確認するため、SNS に投稿され た氾濫当時の写真が撮影された場所を見つけ出して現地で計測した浸水深と、シミュレーシ ョンの結果を比較した(図2.5.15).一つ目は、富岡橋の下流側左岸(図の矢印)にある常陸



図 2.5.13 10 月 12 日午後 10 時から 10 月 13 10/13 12:00 日午前 6 時までの 1 時間ごと,及び 10 月 13 日 図 2.5.14 10 月 13 日 12 時の浸水位分 12 時の浸水深分布

板金製作所で10月13日6:42に撮影された写真である.SNSへの投稿者に確認したところ, 写真を撮影したのは概ね最大浸水時だったようである.写真に残されていた浸水痕に相当す る位置を現地で確認したところ当時の浸水深は130 cm であった.これに対して,解析結果は 37 cm であり過小評価していた.二つ目はもう少し下流の図中の矢印の地点である.常陸太田 市の公式ツイッターに投稿された写真の場所を特定し,写真に写っていた歩道の柵から当時 の浸水深を計測したところ90 cm であった.一方で解析結果は45 cm であり,この点でも過小 評価であった.本解析では二線提の破堤を考慮に入れておらず,これが過小評価の一因であ る可能性がある.



図 2.5.15 SNS 投稿写真による浸水深と氾 濫シミュレーションの比較

参考文献

- 国土交通省関東地方整備局: 久慈川水系河川整備計画【大臣管理区間】の概要(平成 30 年 8月)
- 2) 国土交通省関東地方整備局: 令和元年 10 月台風 19 号に伴久慈川・那珂川の出水状況等に ついて (概要版) (令和元年 11 月 21 日版)
- 3) iRIC ソフトウェア: https://i-ric.org/ja (2020年3月15日閲覧)

(愛媛大学・森脇 亮)

2.6 那珂川流域における河川氾濫の調査と解析

2.6.1 那珂川における被害の概要

那珂川は,その源を福島県と栃木県の境界に位置する那須岳(標高 1917m)に発し,栃木 県および茨城県を流下して太平洋に注ぐ,河川流路延長 150km,流域面積 3270km²の一級河 川である¹⁾(図 2.6.1).その流域は栃木県,茨城県,福島県 3 県の 13 市 8 町 1 村からなり, 平成 17 年での流域の土地利用は,山林等が 2403km²(全体の約 73%),水田や畑地等の農地 が 721km²(全体の約 22%),宅地等の市街地が 146km²(全体の約 4%)となっている¹⁾.

那珂川流域では,昭和13年以降に11回(昭和13年,昭和16年,昭和22年,昭和33年, 昭和 36 年,昭和 61 年,平成 3 年,平成 10 年,平成 11 年,平成 14 年,平成 23 年)にわた って台風による大きな洪水が発生しており、その度に堤防の強化や、遊水地の確保といった 対策が行われている.特に,昭和61年8月の洪水では広範囲の浸水被害が発生したため,水 戸市,ひたちなか市,大洗町といった,那珂川下流域の約25kmに亘る区間で災害対策特別緊 急事業が行われた.図2.6.2に、那珂川の地形や河床勾配等に着目した河道区分、および浸 水想定区域²⁾を示す.那珂川は、上流から、源流渓谷区間、那須野原浸食河道区間、八溝山地 並行河道区間(盆地区間)、八溝山地横断区間、沖積地砂利河道区間、自然堤防帯河道区間で セグメントが分かれており,主要な浸水想定区域(全体で約73.85km²/s)は八溝山地を横断し て那珂川が平地に流出する沖積地砂利河道区間と、自然堤防帯河道区間に位置する洪積台地 に挟まれた幅約 600~3000m 程度の沖積低地に限定されている. 図 2.6.3 は, 河道計画の基 準地点となっている野口水位観測所における台風第19号上陸前後のハイドログラフと,野口 水位観測所から最も近い雨量観測所である、上伊勢畑雨量観測所のハイエトグラフである. 上伊勢畑雨量観測所では、2019/10/12 6:00 から、2mm/hの雨量が観測されたのを皮切りに、 降雨量が増加し、2時間後(2019/10/12 8:00)には 7mm/h, 16 時間後(2019/10/12 22:00) に は、最大雨量の9mm/hが観測された.そして野口水位観測所では、2019/10/12 9:00から流量 が増加し始め,最大雨量が観測されてから8時間後の2019/10/136:00にピーク流量(5965m³/s) が観測された.那珂川の計画高水流量は、野口水位観測所において 6600m³/s であり、その値 を上回りはしなかったものの、計画高水流量に迫る流量が流下したことが確認された。当該 ピーク流量は,那珂川で昭和13年以降に発生した洪水のピーク流量の内,3番目に大きい値 である.

当該災害を受けて,那珂川では流域内で10箇所の堤防が決壊し,上流・下流合わせて2082 棟の建物が被害を受けた³⁾. その被害数は,最も被害が大きかった昭和61年8月の台風第10 号による7789棟以降,最大の被害数であった.また,直轄河川改修が始まって以降,初めて 本川の破堤氾濫を経験した.

本章では、令和元年台風第19号を受け、那珂川で被害の大きかった地域の踏査および UAV を用いた現地調査と、流出氾濫の再現シミュレーションの結果を報告する.



2.6.2 現地調査

(1) 現地調査方法

図 2.6.4 は国土地理院で公開されている 令和元年台風第 19 号を受けての那珂川の 浸水範囲⁴⁾である.その面積はおよそ 18.54km²であり,浸水想定区域に指定され ている面積のおよそ 1/4 の範囲であった. 被害は茨城県内の下流域部に集中してお り,特に Seg2-1 と Seg2-2 区間の接続部で河 床勾配の変化点に相当する右支川の藤井川 上合橋水位観測所および下国井水位観測所 付近に浸水範囲が集中している事が確認で きる.図 2.6.2 に示した浸水想定区域と比 較しても,水府橋より下流域の浸水は内水 氾濫によるものが中心で想定より抑えられ ている.そこで,災害の後の現地調査では,



図 2.6.2 那珂川河道区分図と浸水想定区 域



2019 年 10 月 14 日と 17 日に,被害の集中した沖積地砂利河道区間(seg2-1)に該当する図 2.6.4のAで示す範囲を対象に現地調査(調査1)を実施した.また,2019 年 10 月 18 日に, 図 2.6.4のBに示す範囲での那珂川と田野川の合流部,那珂川と藤井川の合流部,および藤 井川決壊箇所で,氾濫・浸水痕跡の現地調査(調査2)を行った.調査1では,踏査による被 災状況の記録を行い,調査2では,再び踏査による被災状況の記録を行うとともに,UAV(DJI 社製 Phantom 4 pro V2)を用いて支川(藤井川)における堤防決壊箇所の撮影を行った.また, 調査域において,27 点地点で建物の壁や植物についた泥の痕跡から氾濫流の痕跡水深を測定 し,GNSS(Global Nav-igation Satelite System/全球測位衛星システム)を用いて,当該地点の 緯度・経度および標高を測定した.UAVによって撮影された静止画から,SfM-MVS(Structure from Motion-Multi Video Stereo) にてオル ソ画像を作成した.その際, UAV の撮 影範囲における陸上の構造物の角等,不 動点とみなせる場所についても GNSS に よって緯度・経度および標高を把握し, GCP (Ground Control Point) として利用し た.

(2) 現地調査結果

図2.6.5は調査1で撮影した那珂川流 域の,被災状況の様子である.那珂川の 調査区間では国管理区間で3箇所,県管 理区間で2箇所の破堤が発生し,広範囲 に冠水がみられた.破堤・浸水区間の被 害状況は上流側と下流側で特性が異な っていた.那珂川右岸41.2kの茨城県常



図 2.6.4 調査範囲および令和元年台風 19 号 浸水範囲

陸大宮市の下伊勢畑地先,那珂川左岸 40.0kの常陸大宮市野口地先では,10月13日未明に河 川の湾曲外岸側から越流破堤が発生したが、洪水流は短期間の浸水の後に、13日の夕刻まで に一連区間の下流端から自然排水された. 那珂川右岸 28.6k 右岸の茨城県那珂市下江戸地先 では、13日早朝から堤防高の不連続箇所から越流が発生した後に破堤し、背後の約2.1km²が 浸水したが、本川の水位低下に伴って破堤箇所から急速に排水がされ、浸水の影響は短期的 であった. これらと対象的に, 下流側に位置する右支川の藤井川合流点上下流の水戸市渡里 町,飯富町,岩根町,藤井町においては広範囲の浸水が発生し,その期間は最大4日間程度 継続した.これら浸水の発生原因のうち,藤井川合流点より上流区間は那珂川右支川の藤井 川の堤防が茨城県管理区間の水戸市藤井町地先、成沢町の2箇所で越流・破堤した氾濫流と 藤井川支川の西田川の氾濫によるものであったが、藤井川合流点より下流の浸水は那珂川か らの越流と、支川田野川からの氾濫に起因すると推定された。当該地点では那珂川の湾曲部 外岸側の複数地点において堤防植生の倒伏や堤防裏法尻部の浸食などの越流痕跡が認められ たが,那珂川湾曲部の破堤には至らなかった.氾濫水の一部は藤井川破堤箇所や排水樋菅よ り排出されたが、排水能力が不足していたため、国土交通省の排水ポンプ車の配備により浸 水から3日後の10月16日に排水が完了した.浸水区間の地表面の浸食・堆積状況および, 植生の倒伏状況から氾濫区域内での氾濫流は遅かったと推定される.

藤井川の越流・破堤の一因として図2.6.6 に示す通り,藤井川1.0k 地点にある上合橋水位 観測所の水位が10月12日23 時頃から那珂川19.7k 地点に設置された下国井水位観測所(藤 井川合流点より1.3km下流)の水位と連動した急上昇を示していることから,那珂川の背水 の影響が考えられる.また,下国井の水位は13日の午前5時より右岸堤防高を超過し,上合 橋の水位低下が始まる13日午後0時までの7時間の間,越流が継続していたと推定される. 調査1より,水位上昇に破堤や長時間の越流に伴う長期間の浸水は Seg2-1 区間と Seg2-2 区



図 2.6.5 調査1によって得られた現地の様子(撮影日:2019/10/14)

間の遷移区域で起こり,氾濫区域の排水能力 不足が被害の長期化に影響していたことが明 らかとなった.

図 2.6.7 は調査 2 で得られた藤井川で堤防 が破場した箇所(図2.6.5の④藤井川破堤地 点)のオルソ画像である.破堤した箇所の A の範囲では堤内地が氾濫流により大きく浸食 されているほか,藤井川の流向に対し,斜め 上流方向に浸食痕跡が認められることから, 那珂川本川の背水の影響が示唆される.図 2.6.8は、調査2の痕跡水深測定の状況と、測 定した痕跡水深の分布図である. 図2.6.8(a) は藤井川で破堤が発生した箇所周辺の調査結 果であり,最大 2.9m, 平均 1.8m の浸水が発生 しており,特に藤井川の破堤箇所周辺で深い 浸水深(最大 4.15m)が確認された.図 2.6.8(b)は,那珂川と田野川,または藤井川合 流部近辺の調査結果であり,範囲内のほとん どが田畑として利用されていた. 当該区域で は、平均 2.0m の浸水が発生しており、那珂川 右岸の田畑は全体的に浸水深が深かったが, 特に田野川と那珂川の合流付近で最高値の 5.1mが観測された.当該区域では調査1で述 べたように越流した水が自然排水されずに 3 日間溜まっており、排水が完了するまでに長



図 2.6.6 令和元年台風 19 号による那珂 川の水位変化



図 2.6.7 藤井川破堤箇所のオルソ画像



(a)藤井川破堤地点周辺
 (b)藤井川合流部および田野川周辺
 図 2.6.8 痕跡水深計測結果



図 2.6.9 那珂川流域内の雨量・水位観測所

図 2.6.10 那珂川流域の土地利用区分

い時間を有した.以上,調査2により,藤井川合流点と田野川合流点近辺では,平均1.9mの 浸水が発生しており,広い範囲で浸水被害が発生したことが確認された.

2.6.3 RRI モデルによる那珂川流域の流出解析

(1) 解析方法

支川の流入を考慮した上で氾濫解析を実施するため,那珂川全流域で降雨流出解析を実施 した.当該流出解析には,RRIモデルを使用した.RRIモデルは河川流量から洪水氾濫までを 一体で迅速に解析できるモデルである⁵⁾.解析を実施するにあたり,入力した降雨情報は, 2019年10月11日0時から2019年10月16日0時までの,図2.6.9に示す103地点の雨量 観測所における雨量データとした.那珂川流域の地形データは,国土地理院の数値標高モデ ル(10m×10m)を200mメッシュ間隔にして用いた.また,土地利用データ(水田,畑地, 山地森林,都市部,水域)を国土数値情報より入手し,土地利用に応じてパラメータを変更

	1:水田	2: 畑地	3 山地森林	4:都市	5:水域
N_slope:	1.000d0	4.000d-1	4.000d-1	2.000d-1	1.000d-1
Soil_dep:	1.000d0	1.000d0	1.500d0	1.000d0	1.000d0
Gammaa:	4.710d-1	4.710d-1	4.710d-1	4.710d-1	4.710d-1
Ksv:	3.560d-7	4.560d-7	0.000d0	0.000d0	5.560d-7
Sf:	2.730d-2	2.730d-1	0.000d0	0.000d0	2.730d-1
Ka:	0.000d0	0.000d0	4.350d-2	0.000d0	0.000d0
Gammam:	0.000d0	0.000d0	4.000d-2	0.000d0	0.000d0
Beta:	4.000d0	4.000d0	7.000d0	4.000d0	4.000d0

表 2.6.1 土地利用区分ごとのパラメータ

して計算を行った.土地利用ごとの領域区分の 様子を図 2.6.10 に示す.5 つの土地利用区分に ついて,那珂川では,水田の割合が17%,畑地の 割合が14%,山地・森林の割合が56%,都市の割 合が10%,水域の割合が3%となった.2節で述 べた土地利用(平成17年時)と多少変化してい



図 2.6.11 各観測所における流量実測 値と RRI モデルによる計算値の 比較

るものの、山地森林の割合が依然として最も高く、那珂川流域の流出に関して最も影響の大きいパラメータといえる.各土地利用状況におけるパラメータを表2.6.1に示す.N_slopeは斜面の透過粗度係数,Soil_depは土層厚さ、Gammaaは飽和有効空隙率、Ksvは鉛直方向の飽和透水係数,Sfは湿潤前線の吸引圧,Kaは側方の飽和透水係数,Gammamは不飽和有効空隙率、Betaは透水係数比を表している.それぞれのパラメータは、一般値を基準として、実測値に合うように調整した.ここで、RRIモデルでは、詳細な河道断面情報が得られない場合、第一近似として河道幅 W(m)と深さ D(m)を以下の式(1)、(2)より求める⁶.

$$W = C_{W} A^{s_{W}} \tag{2.6.1}$$

$$D = C_d A^{s_d} \tag{2.6.2}$$

A は集水面積(km), S_W, C_W, S_d, C_d は入手可能な断面情報から推定する河道パラメータであ り、本解析においても、実測した河道幅と深さが一致するように、流域内 5 地点の河道断面 情報から河道パラメータを推定し、それぞれ、0.327、15、0.21、0.93 と定めた.マニングの 粗度係数は 0.035 とし、斜面の計算間隔は 60 秒、河川の計算間隔は 30 秒とした.

(2) 解析結果

図2.6.11 は、RRI モデルの解析によって得られた黒羽水位観測所、野口水位観測所、水府 橋水位観測所における流量の計算値と実測値を比較したグラフである.水府橋水位観測所で は過小評価であるが、黒羽水位観測所、野口水位観測所においてはおおよそ実測値と計算値 が一致していることが分かる.水府橋観測所で過小評価となった理由として、RRI モデルで は、河道断面が矩形の掘込河道の設定となっているため、詳細な下流の複雑な河道断面が再 現できず、下国井水位観測所以降の氾濫が過大評価となったためだと考えられる.図2.6.12 は、現地調査で本川の背水の影響が確認された藤井川に相当するセルの流量時系列である.



図 2.6.12 藤井川と那珂川の合流部近傍での流量時系列



較 (RRI モデル)

流下方向と逆向きに流れる流量が負の値を示している. セル H1 では, 2019/10/12 22:00 から 2019/10/13 3:00 の間に,流下方向と逆向きの流れが示された. また,セル H2 では, 2019/10/13 1:00 から流量が減少傾向を示し, 2019/10/13 4:00 から 2019/10/13 5:00 の間に流量が流下方向 と逆向きの流れが示された. 藤井川が那珂川の流下方向とほぼ平行に合流する地形となって いることや災害時の那珂川の急激な流量の増加を鑑みると,背水の影響を受けた可能性が高 いと考えられる. 図 2.6.13 は, RRI モデルで計算された災害時における那珂川の最大水深で ある. 実際の氾濫の状況と比べ,下流における氾濫が過大評価であるが,野口水位観測所か ら下国井水位観測所までの氾濫の様子がおおよそ再現できている. また,荒川と那珂川の合 流部付近で最も深い浸水が発生しており,荒川と合流すると一気に増加した流量がそのまま 沖積地砂利河道区間を流下し,自然堤防河道区間との遷移区間で氾濫が発生していることが 確認できた. 図 2.6.14 は現地調査で得られた痕跡水深と痕跡水深を測定した位置における図 2.6.13 で示した RRI で計算された最大水深コンターの値を比較したグラフである. 実測値と



計算値の誤差の平均は 1.21m であり,最大の誤差は 3.79m,標準偏差は 1.09m であった.調査 2 の範囲は,河道が狭い支川付近の氾濫原であり,誤差が 5cm と,高い精度で再現できている地点もあったが,多くの地点で実測値と計算値が合わない結果となった.以上,RRI モデルで那珂川流域全体の流出解析を実施した結果,台風第 19 号による降雨の流出状況をおおよそ再現することができた.また,中小河川沿いなど比較的単純な河道の氾濫は再現性が高かったが,下流部の河道幅の広い河川の氾濫は過大評価であった.

2.6.4 iRIC による那珂川流域の流出解析

(1) 解析方法

RRI モデルでは、那珂川流域のおよその流出状況を再現できたが、河道の狭い支川付近の 浸水域の把握や、支川におけるより詳細な流れの挙動を十分には再現できなかった.そこで、 iRIC の Nays2D Flood を用いて、那珂川の野口水位観測所から、水府橋水位観測所より約 2km 上流までの区間における氾濫解析を行った. Nays2D Flood は一般曲線座標で境界適合座標を 用いた非定常平面 2 次元流計算による氾濫流解析用ソルバである⁷⁾. 氾濫解析に使用した地 形データには、2017 年の冬季に国土交通省の定期横断測量によって得られた断面データを 1m 間隔に内挿補完した堤外地の地形データと、国土地理院が公開している 5m 間隔の堤内地の 地形データとを結合したデータを使用した. 図 2.6.15 は、計算格子および境界条件として入 力した流量の位置を示している. 計算格子は現地調査を行った範囲のうち、当該災害で浸水 被害が生じた箇所すべてを含む範囲に設定し、格子間隔は 20m、格子数は、i 方向に 1053、j 方向に 211 とした. 境界条件は、那珂川に合流する河川の内、RRI モデルによる流出解析で 得られた流量の合計が 50m³/s を超える箇所、または、調査 2 で痕跡水深を記録した範囲にあ る田野川、藤井川およびその支川(緒川、藤井川の支川である西田川、西田川につながる農



図 2.6.17 現地調査で得られた痕跡水深と氾濫解析で得られた最大浸水深の比較

業用水路 A および B,藤井川,藤井川の支 川である前沢川,そして田野川)とした.

図 2.6.16 は,境界条件として入力した 流量の時系列である.上流端境界条件であ る那珂川本川の流量時系列は,野口水位観 測所の実測値を入力した.野口水位観測所 では,2019/10/12 9:00 から流量が増加し始 め,台風第 19 号が伊豆半島に上陸してか ら 2 時間後である,2019/10/12 21:00 に, 流量の増加量が大きくなり,2019/10/13 6:00 に最大流量(5965m³/s)が観測されて いる.側方の境界条件である支川の流量時 系列は,7.3 節で実施した RRI モデルの流 出解析結果の,支川と那珂川の合流部に相



図 2.6.18 那珂川と藤井川の合流部付近に おける水深コンターおよび流速ベク トル

当するセルでの流量時系列を入力した.マニングの粗度係数は、小谷ら⁸、水落・楠⁹を 参考に、堤内地を0.031、堤外地を0.038と定めた.その他のパラメータとして、下流端 の境界条件は自由流出、タイムステップは0.05秒、初期水面形は水深ゼロとした.また、 移流項の差分法は風上差分(1次精度)としている.なお、十分な助走期間および水の引 き時間を確保するため、流量の時系列は、2019/10/11 0:00~2019/10/16 0:00 としている. また、破堤地点や、水門の開閉に関しては、検討に十分なデータが得られなかったため、 考慮していない.



図 2.6.19 藤井川の流量算定位置

(2) 解析結果

図 2.6.17 に, 現地調査で得られた痕跡水深 と, 氾濫解析で得られた最大水深の比較を示 す.図 2.6-17(a)は調査 2 の範囲における, 氾 濫解析によって得られた浸水深コンターと調 査 2 で得られた実績浸水深,図 2.6.17(b)は浸 水深の実測値と計算値を比較したグラフを示 している.赤い点が右岸側,青い点が左岸側の 計測地点である.左岸側では計算値が過大評価 となっているが,右岸側の実測値と計算値はお およそ一致していることが分かる.右岸側の実



測値と計算値の誤差の平均値は 0.35m,最大値は 0.80m,最小値は 0.04m,標準偏差は 0.23m であり,RRI モデルよりも高い再現性が得られた.傾向として,堤防近傍で測定した痕跡水 深は計算値よりも過大評価となった.また,左岸側が過大評価となった原因は,左岸側氾濫 域の下流端に設置された境川水門およびポンプ操作(最大 4.5m³/s)による那珂川への排水を 計算に反映できていないことによるものと考えられる.図2.6.18は,藤井川の上合橋水位観 測所で最大水位が観測された時刻(2019/10/13 8:00)における水深コンターおよび流速ベクト ルを表している.ここで,藤本ら¹⁰は,2019年 10月 24日に那珂川周辺の現地調査を行って おり,aの地点において,道路の柵の曲がり方や畑の作物の倒れる報告から,地形と直角に北 から南に抜ける流れがあったと推測しており,計算結果はその通りの流れの方向を示してい る.上記より,この氾濫解析の結果はおよそ当時の災害の様子を再現していると考えられる.

以上を踏まえ、現地調査や RRI モデルの解析によって推察された那珂川の支川である藤井 川で発生した本川の背水の影響について、この氾濫解析でも検討を行った. iRIC では、指定 する河川流量の時系列を出力することは困難であるため、格子の横断面から藤井川に相当す る部分のグリッドを選び、流下方向の流量を算出した. なお、iRIC では、計算結果として流
速の y 方向および x 方向の流速が得られるが,計算格子での藤井川の流下方向は負の y 成分 となるため, y 成分が正の値となるときは流下方向と逆向きに流れている(藤井川にて背水影 響が現れている)と判断し,流量を負の値とした.図2.6.19は,藤井川の流量を算定した位 置を示しており,地点[1]は那珂川と藤井川の合流地点からおよそ 540mの位置,地点[2]は, およそ 1780mの位置となっている.図2.6.20(a)は地点[1]の流量時系列,図2.6.20(b)は地 点[2]の流量時系列のグラフである.地点[1]では2019/10/12 17:10から流量が上昇し始めたが, 2019/10/13 0:30 から低下傾向になり、2019/10/13 4:00 に反対方向の流れのピーク流量(-51.82m3/s) が示された. その後, 上昇傾向に戻り, 2019/10/13 13:50 に流下方向のピーク流量 (106.98m³/s) が示された. 地点[2]は, 図 2.6.12 の H2 のセルに相当し, 流量は 2019/10/12 15:30頃から上昇し始めたが、2019/10/13 0:20から低下傾向となり、2019/10/13 4:20に反対方 向の流れのピーク流量(-29.25m³/s)が示された. その後,上昇傾向に戻り, 2019/10/13 8:30 に流下方向のピーク流量(213.03m³/s)が示された.この結果は,現地調査とRRIモデルによ る解析で示唆された藤井川における背水の発生を裏付けるものであり、那珂川の急激な流量 の増加によって、藤井川の流れがせき止められ、那珂川の背面で徐々に上昇し、藤井川の水 位が限界水深を超えて、背水が起こった可能性が極めて高い.以上、氾濫計算によって藤井 川において背水が発生した時間帯や逆流が発生した時間帯をおおよそ把握でき、 RRI モデル および iRIC を用いた流出氾濫再現シミュレーションによって支川におけるバックウォータ ー現象を再現できることが明らかになった.なお、藤井川の築堤整備にあたっては、那珂川 の背水の影響を考慮し、バック堤として堤防高が決定、整備されており、背水の影響は築堤 計画において考慮されているため、県管理区間における越流破堤は背水の影響を軽視したも

のではなく,河道流下能力を超える降雨・流量があったことが根本的な原因だと考えられる.

2.6.5. 結語

令和元年台風第 19 号により大きな被害を受けた那珂川において現地調査を行った結果,那 珂川の支川である藤井川と田野川近辺では,平均 1.9mの浸水が発生しており,広い範囲で浸 水被害が発生したことが確認された.また,当該災害では氾濫区域からの十分な排水能力が なかったため 4 日間にわたって浸水が続いた.さらに,那珂川本川と藤井川の水位変動や氾 濫流の痕跡から,藤井川では背水の影響を受けていたことが推察された.

次に、那珂川における流出・氾濫を再現するために RRI モデルおよび iRIC を用いた再現シ ミュレーションを実施した. RRI モデルで那珂川流域全体の流出解析を実施した結果、下流 域の自然堤防帯区間(河口~20kp)の氾濫を過大評価する傾向があるものの、流域全体にお ける流出状況をおおよそ再現することができた. さらに、RRI モデルから得られる流量を境 界条件として、那珂川の沖積地砂利河道区間(20kp~38kp)を対象に、iRIC を用いた氾濫解 析を行った. その結果、現地調査で得られた藤井川と田野川周辺の痕跡水深と解析で得られ た浸水深がおおよそ一致し、最大浸水深の分布を把握することができた. また、藤井川にお いて確認された本川の影響によるバックウォーター現象が本解析でも確認できた.

参考文献

- 1) 那珂川水系河川整備計画【大臣管理区間】, 関東地方整備局, pp.1-9, 2016.
- 2) 国土交通省:国土数値情報ダウンロード,浸水想定区域データ(茨城県および栃木県), https://nlftp.mlit.go.jp/ksj/gml/datalist/KsjTmplt-A31.html(2020年4月12日閲覧).
- 3) 水戸市,ひたちなか市,常陸大宮市,那珂市,茨城町,大洗町,城里町,大田原市,那須 烏山市,茨木町,市貝町,那珂川町,茨城県,栃木県,気象庁,水戸地方気象台,宇都宮 地方気象台,常陸河川国道事務所:令和元年台風第19号を踏まえた「那珂川緊急治水対 策プロジェクト」~地域が連携し、多重防御治水により、社会経済被害の最小化を目指す ~【主な取組項目の概要】,pp.6-8, 2020.
- 4) 国土地理院;令和元年(2019年)台風19号に関する情報,浸水推定段彩図の浸水範囲の 輪郭線,https://www.gsi.go.jp/BOUSAI/R1.taihuu19gou.html(2020年4月12日閲覧).
- 5) 佐山敬洋, 岩見洋一: 降雨流出氾濫(RRI)モデルの開発と応用, 土木技術資料, Vol. 56, No. 6, pp. 1-4, 2014.
- 6) 佐山敬洋,建部祐哉,藤岡奨,牛山朋來,萬矢敦啓,田中茂信:2011年タイ洪水を対象にした緊急対応の降雨流出氾濫予測,土木学会論文集 B1(水工学), Vol. 69, No. 1, pp. 14-19, 2013.
- 7) 一般社団法人 iRIC-UC: iRIC Software, https://i-ric.org/ja/(2020年4月12日閲覧).
- 小谷美佐,今村文彦,首藤伸夫:GIS を利用した津波遡上計算と被害推定法,土木学会海 岸工学論文集,第45巻,pp.356-360,1998.
- 9) 水落彰宏, 楠馨: 河川シミュレーションソフト iRIC を用いた実河川への適用事例, 和光 技研株式会社技術レポート, pp.12-15, 2015.
- 10) 藤本郷史,小山毅,山田真史:2019 年台風 19 号に伴う那珂川における氾濫および建物被 害調査速報,京都大学防災研究所 社会防災研究部門 防災技術政策研究分野ホームペー ジ,2019.

(山口大学・赤松良久)

2.7 氾濫流の挙動を踏まえた水害リスクの評価

2.7.1 はじめに

令和元年台風19号は広域に多数の堤防決壊をもたらし、その件数は国管理河川で14か所, 県管理河川で128か所にも及んだ¹⁾. 幸い決壊までに至らなかったが,越水した河川を含め るとその数は非常に多く、この状況はまさに「川は溢れるもの」で、県管理河川すなわち中 小河川を対象にすれば、なおさらなことである.本章では、「氾濫流の挙動を踏まえた水害リ スクの評価」という題目ではあるが、被災した中小河川を事例に、氾濫流の挙動を踏まえた 水害リスクをどう認識するかに焦点をあて、また今次出水の洪水外力がどのくらい規模であ ったのかを推測することで評価につなげたい.

2.7.2 中小河川の氾濫過程からの考察

関東地方では特に大きな被害となったのが栃木県で,住家被害では,全壊・半壊・一部破損 で 11,238 棟,床上浸水 1,452 棟,床下浸水 1,058 棟(令和元年 12 月 12 日現在)にも及んだ ²⁾. なかでも渡良瀬川流域にあって佐野市を貫流する秋山川,栃木市を貫流する永野川の氾濫 による浸水被害は甚大で,ともに栃木県管理河川区間で数か所の決壊が生じた(図 2.7.1). ここではこの被災をもたらした河川の氾濫過程について検討する.

(1) 秋山川について

秋山川では特に佐野市内の2か所の破堤が大きな被害をもたらした.それらは佐野市大橋町 (大橋上流右岸)と佐野市赤坂町(海陸橋上流右岸)であり,後者は秋山川の下流側に位置 する(図2.7.2).海陸橋上流右岸の決壊は10月12日21時過ぎに起こり(氾濫危険水位は 2.8mであり,12日19時40分頃に3.43mを記録,図2.7.3に示す橋台に残る流下物から橋梁 も水位を上げた可能性がある),その地点の状況を図2.7.4 に示す.決壊地点は



図 2.7.1 台風 19 号による関東地方の累積雨量と注目した渡良瀬川支川流域(赤枠)



図 2.7.2 海陸橋上流右岸の決壊箇所



図 2.7.3 海陸橋橋台に残存する流下物



図 2.7.4 海陸橋上流右岸の決壊状況(天端に残る流下物と裏法面の侵食が目立つ)



図 2.7.5 衛星画像(10月13日10時28分観測,赤坂町右岸破堤点は×で示された位置)

緩い湾曲部の外岸側であり,同図より右岸堤防天端には多くの流下物の残存が目立つ.一方, その対岸(内岸)には越水した痕跡は認められない.堤防裏法面には侵食跡が目立ち,典型 的な越水による裏法面侵食であることが示唆された. 氾濫水が市街地や農地を襲い, 佐野市を横断する国道 50 号線や JR 両毛線等の主要交通網 も浸水被害を受けた. 図 2.7.5 の衛星画像(10 月 13 日 10 時 28 分観測, 赤坂町右岸破堤点は ×で示された位置)から見える氾濫湛水がどのような挙動で流下してきたかを知るために, 氾 濫流解析から考察した.

氾濫解析に用いた地形データは国土地理院・基盤地図データ(5m メッシュ)を用いた.執筆時点では破堤流量の情報はなく,ここでは氾濫流量が図 2.7.5 の氾濫域全体を再現できるように試行的に決めた.その結果,赤坂町右岸破堤のみを考慮して氾濫流量 150 m³/s としてこれを一定時間与えた.参考までに秋山川の河川整備計画 ³⁾によれば計画流量は 430 m³/s (計画規模 1/30) で現状の流下能力は概ね 200 m³/s である.氾濫解析には,iRIC Nays2D flood を用い,マニング粗度係数は 0.035 とした.その結果,図 2.7.5 の湛水域を再現するには計算時間を 6 時間以上にする必要があり,佐野市公式 SNS アカウントの情報によれば少なくとも 10時間以上は破堤箇所からの越水が続いていたことも考慮して計算時間を検討した.

図2.7.6 は決壊後1時間17分の氾濫域の浸水深コンター図である.この時点において国道50号線の周囲より高い地形(盛土)によって上流側に一時湛水する.国土交通省宇都宮国道事務所によると12日22時16分頃から冠水による国道50号線の全面通行止めが実施されている.NHK報道や佐野市SNSによれば堤防決壊は21時20分頃であり,50号線通行止めまでの所要時間は約1時間となり,解析結果と概ね一致する.その後,氾濫流は国道50号線を越えて,図2.7.7(7時間35分後の浸水深コンター図)の点線(赤色)方向に流下して渡良瀬川・秋山川合流点に向かい,湛水した.

氾濫域を治水地形分類図と比較したものが図 2.7.8 である.破堤点付近では居住地区を浸水するが,その下流での氾濫域のほとんどは水田等の農地で,その中で住居や学校等の公共施設が微高地(自然堤防)の地形上に集中しており被害の軽減につながっている. 湛水による 農地被害があるが,ここに貯留したことで下流河川への洪水流量負荷を低減させることを評価することが重要である.



図 2.7.6 決壊後1時間 17分の氾濫域の浸水深コンター図



図 2.7.7 決壊後 7 時間 35 分の氾濫域の浸水深コンター図



図 2.7.8 治水地形分類図と決壊後7時間 35 分の氾濫域浸水深コンターの比較

(2) 永野川について

宇都宮地方気象台から 10 月 13 日午前 2 時に河川はん濫発生情報が発表され,栃木市によれば永野川の決壊は 6 か所となった.ここでは大平町川連地点(JR両毛線・鉄道橋梁上下)での決壊による氾濫過程を検討する.この大平地域では,栃木市によれば住家被害で,全壊2,大規模半壊44,半壊487,一部破損1124 であり,非住家被害では,大規模半壊3,半壊54,一部半壊142,床上浸水117 が発生した⁴⁾.

図2.7.9はJR 両毛線鉄道橋梁直上流側右岸の決壊地点での緊急復旧の状況である.湾曲部 外岸にあたり,被災前から護岸の設置がなされていることから水衝部であることが分かる. 図2.7.10にはJR 橋梁を下流側から上流に向かって見た状況で,橋梁上流側で決壊した流れ の一部が橋梁下流右岸から河道に戻った状況が推測された.また,橋梁上部には大量の流下 物の残存が見られ,橋梁による流れの抵抗,水位上昇の可能性がある.



図 2.7.9 大平町川連地点の右岸決壊



図 2.7.10 JR 橋梁を下流側から上流に向かって見た状況



図 2.7.11 大平町川連地点決壊からの氾濫流の流れ



図 2.7.12 県道 11 号を流れる氾濫流

図 2.7.11 には現地調査,報道等から求めた氾濫流の流れを示したものである.興味深いことは,氾濫流は永野川からの川筋を離れて流下していくことで県道 11 号をしばらく流れた後(図 2.7.12),県道から離れ,水田地帯に流れていく.この間,多くの住居,商業施設を浸水させた(JR 大平下駅付近の県道での調査から浸水深さは 1.0m から 1.5m 程度が目立った).

そこで、このような氾濫流の挙動を把握するため、iRIC Nays2D flood を用いて氾濫流解析 を行った.後述する氾濫原全体(図2.7.13)を再現できるよう試行的に決めた結果、氾濫流 量 200 m³/s としてこれを 10 時間与えた.参考までに永野川の河川整備計画によれば計画流量 は 620 m³/s である.氾濫解析には、iRIC Nays2D flood を用い、10m 格子の地形データ(国土 地理院)でマニング粗度係数は 0.04 とした.

図2.7.13に浸水深コンター図を示す.氾濫流は破堤点から線状に広範に広がり,2手に分かれた後,国道50号線を横断し,約10㎞流下して最終的に渡良瀬川遊水地第3調節池に到達した.図2.7.14は,衛星画像(SPOT7,10月13日10時28分観測,PASCO提供)および該当するエリアの治水地形分類図を示した.これより,台地に拘束された氾濫平野と旧河道および他川の現河道(静和川,江川)がつながった形で氾濫流が流下して行くことが読み取れる.実は浸水想定区域図(計画規模)にも同様な浸水想定区域,したがって,ハザードマップも同様に記載されている⁵⁾.しかし,これらの図を見ても浸水域を生む氾濫流の正体がまず分からない.ここに,リスクをどう認識するかという問題が出てくる.氾濫流の現象,すなわち氾濫流がどのように流下して到達するのかを知っておくことの大切さをこの事例は示しており,そのためにはハザードマップの結果だけではなく,その途中にある過程の理解が重要である.



図 2.7.13 最大浸水深コンター図(永野川)



図 2.7.14 衛星画像 (SP0T7, 10 月 13 日 10 時 28 分観測, PASCO 提供) および該当す るエリアの治水地形分類図 (永野川)

2.7.3 秋山川を対象とした今次出水規模の評価

前述したように,秋山川の河川整備計画によれば計画流量は 430 m³/s(計画規模 1/30)で現状の流下能力は概ね 200 m³/s である.

そこで、今次出水について洪水流量の推測を行い、計画規模との比較を行った.洪水流量の推定には降雨流出氾濫モデル(RRIモデル)を用いた⁶. RRIモデルは、国立研究開発法人土 木研究所 ICHARM で開発された、山地・平地を問わず流域をグリッドセルに分割し、降雨流 出から洪水氾濫まで流域スケールで一体的に解析することのできる分布型モデルである.雨 量データには気象庁解析雨量を用いた.また、本計算モデルは利根川上流域において今次出 水の外力評価を行ったものと同等である⁷⁾.

図 2.7.15 は秋山川の下流地点からの距離(m)を横軸として,縦軸にピーク流量(薄緑線) を示したものである.計算からの見積もりでは下流地点で計画流量 430 m²/s を大きく越え, 700 m²/s に迫る規模に及んだ(計算では堤防決壊は考慮していない).計算結果は今後精査が 必要であるが,この程度の規模となれば,河道だけで処理するのはかなり大変で,冒頭に述 べたように「川は溢れるもの」と思った方が良い.



図 2.7.15 RRI モデルによる秋山川流域の洪水外力の推定(横軸, 秋山川下流からの縦断距 離, 縦軸:河床位, 地盤高, 堤防高, ピーク水位, ピーク流量)

2.7.4 おわりに

本調査検討では、氾濫流の挙動、流下過程および湛水域を知ることで、水害リスクを認識 することの大切さを示し、今次出水について1例ではあるが、秋山川の洪水外力の推定を行 った.最後に、地形と土地利用に特徴づけられた氾濫流の挙動から氾濫域を特定し、微高地 の居住地と言う住まい方の工夫が被害軽減ための流域管理(氾濫原管理)として重要なこと を、台風19号から学ぶべきレッスンとして付け加えたい.

また、本章では県管理河川である中小河川を対象に考察したが、国管理河川においては今 次出水の外力規模である雨量と流量について主な被災河川を対象に評価されている(図 2.7.16). こうした評価が県管理河川においてもなされることが重要であり、さらには県管 理河川でも直轄河川でも、今次洪水規模と河川の現況治水体力を相対評価しておくことが重 要である. 今次洪水規模、河川整備計画規模、現況体力(計画規模達成率)を比較、明示にす ることは、今後の整備方針を考える上、また、流域の住民にとって水害リスクを認識する上 で極めて大切と考える.

本検討をすすめるにあたり, RRI モデルによる秋山川の洪水流量推定は阿部紫織氏(土木 学会水工学委員会台風 19 号調査団団員,三井共同建設コンサルタント(株))による検討結 果を使用させて頂いた.また,氾濫流解析では群馬大学学部生の藤井裕己君(現・東京都), 瀧野広幸君(現・JR 東日本)の協力を得た.記して謝意を表します.



図 2.7.16 令和元年台風 19 号による直轄河川での雨量および流量規模 8)

参考文献:

- 内閣府:台風 19 号等の概要,令和元年台風第 19 号 等による災害からの避難に関する ワーキンググルー プ第 1 回資料),令和元年 12 月 18 日, http://www. bousai.go.jp/fusuigai/typhoonworking/index.html 3
- 内閣府:令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について,令和元年 12 月 12 日 15 時 現在, http://www.bousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19 42.pdf
- 栃木県:一級河川 利根川水系渡良瀬川上流圏域 河川整備計画(第 2 回変更), 平成 25 年 10 月. http://www.pref.tochigi.lg.jp/h06/town/kasen/kaishu/documents/watarasejoryu_kasens eibikeikaku2.pdf
- 4) 栃木市: 台風 19 号による市内の被害情報, 2020 年 3 月 13 日更新, https://www.city.tochig i.lg.jp/soshiki/12/20496.html

- 5) 栃木市:栃木市防災ハザードマッ 2019 年版, 2019 年 7 月 2 日更新 https://www.city.tochig i.lg.jp/soshiki/12/15881.html
- 6) Takahiro Sayama, Go Ozawa, Takahiro Kawakami, Seishi Nabesaka, Kazuhiko Fukami: Ra infall-Runoff-Inundation Analysis of Pakistan Flood 2010 at the Kabul River Basin, Hydro logical Sciences Journal, 57(2), pp. 298-312, 2012.2.
- 7) 阿部紫織,清水義彦,浅沼 順,佐山敬洋:令和元 年台風 10号による利根川上流域の洪水外力の推定と 治水課題の考察,河川技術論文集,第 26巻,2020.
- 8) 国土交通省水管理・国土保全局河川計画課:令和元年度の主な水害とその対応について, 令和2年6月30日,社会資本整備審議会資料.

(群馬大学・清水義彦)

2.8 河川合流点や破堤付近の流れに対する植生影響

2.8.1 都幾川右岸 0.4k 破堤地点付近の河川内周辺の痕跡と破堤点の状況について

荒川水系の入間川支川群(越辺川・都幾川)では、その多くにおいて堤防が相対的に低い 箇所から越水し破堤に至った¹⁾が、河道内樹林が局所的な水位上昇や偏流に影響したと推定 される個所も存在した. 荒川本川の熊谷砂州ではハリエンジュ・ヤナギの流木・流枝やツル ヨシの根茎などで流木ダムのような箇所もあった²⁾が、都幾川の場合は、流木そのものはあ まり発生せず竹林が稲わらのような浮遊物を前面側で大量にトラップし、流れに対して壁の ようになっている箇所も存在した. 同現象が水位に与える影響は樹林帯周辺の局所的なもの なので、樹林帯と堤防の位置関係が重要である. 都幾川右岸 0.4k では堤防に近く、かつ堤防 側に偏流が生じそうな向きに樹林帯が生えていた(図 2.8.1).

堤防調査委員会資料 ¹⁾によると,都幾川と越辺川の合流点付近の越水範囲は,都幾川右岸 0.2k-0.6k(国管理区間)であり,0.4k地点での越水深は少なくとも 20cm以上としている.埼 玉大学の現地調査では,図2.8.1に示すように,0.7k地点付近でも越水の痕跡が見られた. 現地調査より,決壊幅 90mの間に,堤体の一部が残存していた(以後,島状地形と呼ぶ).島 状地形が決壊区間に2つ残存している状況から,この箇所は法尻から発達した洗掘が川表側 に到達するなどして生じた強い越水流れが3本存在し,それぞれ侵食されたが最下流の樋門 側の1本は越水流れが相対的に弱かったのか,落堀は明確には確認できなかった.前側の2 か所は大量に浮遊物をトラップした樹林帯の前,横の位置関係になる.本章では,河川合流 点というそもそも背水影響を受けやすい箇所で,堤防近くのパッチ状の樹林帯が堤防付近の 水位に及ぼす影響を,実洪水時に生じる浮遊物トラップ影響も含めて解明することを目的と する.





2.8.2 破堤地点付近の今次出水の流れの再現

(1) 解析の概要

河川氾濫を含む入間川流域の出水状況をより詳細に把握するため、図 2.8.2 に概念図を示したモデルを使用する. 荒川本川は植松橋から東京湾までを支川群を含み 50m メッシュで解析しつつ,入間川流域の都幾川・越辺川の合流点より上流ではより詳細に 10m メッシュで解析が可能な 2way ネスティングモデル ³⁾を,流れの基礎方程式は,樹木の抗力項を除き,田中

ら4と同様とした. 台風 19 号における, 観測所の実測水位と換算流量(国交省が今回の洪水 を反映する前の HQ 式で算定した暫定値)を境界条件として与えた. 実測データがない場合 や欠測がある場合は, 各観測所において国交省観測水位, 換算流量から HQ 式を作成し, そ の HQ 式に貯留関数法(荒川流域モデル)⁵⁾で計算した流量 Q を欠測部分に当てはめて水位を 求め, 境界条件として与えた.







図 2.8.3 水位・流量ハイドログラフ(境界条件)

(2) 植生条件

(a)大領域および詳細領域における河道内植生のモデル化

大領域では,河道内植生の抵抗を粗度係数として与えた.詳細領域では,高木,低木,竹林,ササについては粗度係数ではなく,鉛直構造や空隙率を考慮した抗力項としてその抵抗 を与えた.植生の種類ごとのパラメータを下の表2.8.1に示す.

(b)浮遊物トラップのモデル化

表 2.8.1 植生の種類と各々のパラメータ

植生の種類	高さ (m)	直径 (m)	密度 (本/m²)			
高木	樹高: 9.0	0.2	0.03			
	枝下高: 3.0					
低木	樹高: 3.0	0.1	0.03			
	枝下高: 1.5					
竹林	9.0	0.038	3.43			
ササ	3.0	0.015	25			

該当の樹林帯を外周部と内部に 分離し,前面部のみに浮遊物トラ ップに相当する抵抗を与えた.浮 遊物のトラップ面積は現地調査に おいて把握した河床高から 2.5m を使用した.抵抗は壁の抵抗係数

(C_d=1.5)を与えた.トラップし た場合には抵抗のみならず,流水 通過断面が減少するので,支配方 程式の空隙率を変化させた.

(3) 計算ケース

入間川流域においては、国交省管理区間で5か所、埼玉県管理区間で1か所の破堤現象が 発生しているため、境界条件を与えても同合流地点の流況再現が難しい.五十嵐ら⁶は、荒川 水系都幾川の堤防決壊の有無と堤防決壊時刻が堤内地の氾濫量等に与える影響を検討し、決 壊時刻による氾濫量の変化から都幾川 6.5k 左岸の堤防決壊は 10 月 12 日の 22 時以降である こと、埼玉県管理区間の都幾川右岸の堤内地の氾濫は、霞堤からの浸水であるため、1.4k 右 岸の堤防決壊有無は堤内地の氾濫量にほとんど影響しないこと、を明らかにした.ここでは、 都幾川上流部、都幾川右岸 0.4k、越辺川左岸 7.6k が、それぞれ、22 時、25 時、27 時に起こ ったと想定した計算をベースに植生影響を考察する.

2.8.3 解析結果と考察

(1) 越水箇所は植生の有無によって変化したか

図 2.8.4 に、植生なし、植生あり、植生ありトラップあり(*Ca*変化のみ)の3ケースの、 堤防から氾濫開始した時間の水位コンターを示す.まず、植生なし計算(図 2.8.4(a))に





(a) 植生なし



(b) 植生あり、浮遊物トラップなし



(c) 植生あり、浮遊物トラップあり 図 2.8.4 越流開始時点の水位コンター (Google Earth に計算結果を重ねて作成)

おいても都幾川右岸 0.4k の箇所から 19 時に越水が始まっている. この時の河川内の流速は 合流点付近に低速域ができており,特に越辺川からの流れと都幾川の流れが右岸 0.4k 付近で ぶつかるよどみ点(流れが 0 になる特異点)になっており,その近傍で水位が上昇しやすい 場所であることがわかる. すなわち,河川の平面線形・河床高・堤防高特性と今回の出水特 性から溢れやすい箇所であり,同地点の氾濫が植生繁茂状況によりもたらされた主要因では ないことがわかる. なお,同図において破堤点以外で越水開始した箇所(図 2.8.4(a)の左側 の越水箇所)では破堤はしなかったものの,図 2.8.5 に示すように堤防が大きく欠損してい る. ここで九十九川が合流する関係で地盤高が変化するとともに堤防が曲がっており,その 地点から都幾川右岸 0.4k にかけて堤防沿いの流速が急速に遅くなる領域が形成されている. 計算は越水開始状況を非常に精度よく再現できている.

その他の図においてもこの2か所は共通で現れている.ただし,植生がある場合はトラップの有無にかかわらず,越流開始時刻は2時間程度早くなっていることがわかる.植生トラップが生じたケース(図2.8.4(c))では、トラップなし(図2.8.4(b))よりもわずかながら,はん濫が早く開始しているため、同時刻の氾濫域はやや広がっている.



図 2.8.5 越水開始箇所と被災箇所の対応関係(写真撮影:田中規夫)

(2) 植生が及ぼした水位上昇(植生有無とトラップ有無の比較)

図 2.8.6 に(植生ありー植生なし)の水位差を示す.なお,記述済みではあるが植生なし とは図 2.8.2 の詳細領域内のすべての樹木がない状態をさす.図 2.8.6(a)より,植生ありの 場合には水位を 0.4-0.8m 上昇させており,それは合流点に限らず上流域全体に及んでいる. 図 2.8.6(b)をもとに詳細にみると,注目している一部の植生(□で示す)の破堤点付近の植 生前面部で局所的に 0.1-0.2m 程度上昇し,背後で 0.1m 程度下降するような特徴があり,それ は図 2.8.4(a)と(b)のベクトル図から,植生なしのよどみ点はやや下流に下がっていること からと局所的な水面勾配があったことがわかる.

図 2.8.7 に(植生有・トラップ有一植生有・トラップ無(*C*_dのみ変化)の水位差を示す. 同区間において,水位差は植生前面側で 3-7cm 程度であり,植生背後では 2-3cm 程度であった.植生が存在しなくても同地点から溢れる現象が生じたため,同地点の植生が主要因ではないが,副次的な要因として越流量を増やした可能性が考えられる.この地点におけるトラップそのものの影響は相対的に小さかったと考えられる.



(a) 都幾川と越辺川の合流部における差
 (b) 破堤点付近の差
 図 2.8.6 植生の有無による水位差(□は樹林帯箇所)



図 2.8.7 樹林帯が浮遊物をトラップしたことによる水位上昇(口はトラップ箇所)

(3) 破堤点近傍の局所現象

図 2.8.8 に破堤点間際の越流直前の水位縦断図を示す.上述した水理現象により,上流側の 2 つのおっぽりに相当する箇所は,堤防高さの凹凸にも関連して低い箇所に相当し,氾濫開始が下流側より 500s 程度早い.また,上流側おっぽり付近は流速が速く,下流側おっぽり 箇所は淀んだ状態にある.これが越流状況の違いをもたらし,それがさらに堤防の侵食状況 に影響を与え,洗掘形状に違いが生じた可能性がある.



図 2.8.8 堤防高と水面形の時間変化の比較(右図: Google Earth をもとに作成)

河道内樹林帯には河岸沿いの流速を低減し,洪水時に澪筋を変動させづらくしているもの や,合流点では背割堤のような役割を果たす場合もある.河川環境上,営巣地などの関連で 重要な樹林帯もある.その一方で,河川全体の粗度係数に影響する状態や,パッチ状植生で1 つ1つのせき上げは大きくないものの,偏流や局所的なせき上げが問題となる場合もある. それぞれの樹林帯の役割を評価し管理しておくことが望ましい.

2.8.4 本章のまとめ

本章では都幾川と越辺川の合流点(都幾川右岸 0.4k)の破堤点近傍で生じた水理現象について検討を行った.主要な知見は以下のとおりである.

- 植生なし計算においても同地点からの越水開始が確認された.越水開始箇所は植生を除いた場合の河川特性(平面的な合流,河床高,堤防高)と出水特性(それぞれの河川の今次出水における合流特性)が影響を与えたと考えられる.
- 2) 洪水前の植生状態と,越辺川と都幾川の樹木がすべてないと仮定した状態(植生無)を比較したところ,全体的に 0.4-0.8m の水位上昇がみられた.河道内樹林帯の役割を評価したうえで,せき上げや偏流影響の大きい樹林帯を抽出する必要がある.
- 3) 植生が浮遊物をトラップした影響そのものは、水位に対して 2-7cm 程度で大きくはなかったが、越流水深が小さい場合には大きな影響となるため、堤防に近接する植生については浮遊物トラップにより発生する偏流現象にも着目することが望ましい。

謝辞 突発災害科研費(台風19号)の予算を使用した.国土交通省関東地方整備局より水位 データ等を貸与いただいた.記して謝意を表します.

参考文献

- 1) 国土交通省, 第3回荒川水系越辺川・都幾川堤防調査委員会資料, 2020 (<u>https://www</u>.ktr. mlit.go.jp/ktr content/content/000762806.pdf)
- 2) 田中規夫,洪水時の樹木破壊による抵抗変化と樹林帯による浮遊物トラップで生じる偏流 現象,河道管理小委員会WS「河道管理の最前線~現場と研究の接点を探る~」 2020.1.
- 3) 五十嵐善哉,田中規夫,末永博,又吉健太:荒川中流域の支川群の河道内植生が洪水流に 与える影響と生態的機能の評価,河川技術論文集,第26巻,2020年6月.(採択済み)
- 田中規夫,五十嵐善哉,伏見健吾:荒川中流域の潜在的氾濫リスクと現存する江戸時代の 旧堤防群が果たす減災効果,土木学会論文集 B1 (水工学), Vol.74, No.4, pp.I_1393-I_1398, 2018.
- 5) 国土交通省: 荒川の流出モデルについて, 2015. (<u>https://www</u>.ktr.mlit.go.jp/ktr_content/cont ent/000638163.pdf)
- 6) 五十嵐善哉,田中規夫:都幾川上流および都幾川・越辺川合流部の堤防決壊時刻が堤内地 氾濫量に与えた影響,土木学会論文集 S2(令和元年風水害報告特別企画),2020.(投稿中)
 (埼玉大学・田中規夫,高塚智之,五十嵐善哉)

2.9 複層を有する堤防周辺地盤の浸透現象

2.9.1 はじめに

豪雨災害が頻発する昨今にあって,河川水の氾濫から住宅地等を守る河川堤防の重要性は ますます大きくなっている.力学に基づいた築堤技術の確立が急務であり,そのためには越 水や浸透,侵食に対する堤防の耐久性能を定量的に評価する技術が必要不可欠である.本章 では,中でも堤防にパイピング破壊をもたらす浸透現象を対象とする.

堤防周辺の浸透現象については古くから数多くの研究が行われているが、近年、前田らの グループは、基礎地盤において透水層の上に不透水層が被覆している複層構造ではパイピン グの危険度が高くなることを明らかにしている^{1),2)}. さらに彼らのグループは、浸透流解析と 実験を行って、複層構造の被覆層が薄いほど、浸透層の行き止まり位置が堤防に近いほど水 圧が上昇し噴砂しやすいことを明らかにするとともに、それらの結果を基にパイピングの発 生フローチャートや漏水対策型水防工法などを提案している^{3),4),5),6)}. また、これらの結果を 現地観測によって検証している^{7),8)}.

本研究は、重要な無次元パラメータの抽出や、メカニズムの理解をより容易にすることを 目的として、山村、久楽⁹が提案した Dupuit-Forchheimer 型の簡単な浸透流モデルを用いた理 論解析によって、前述の複層を有する堤防周辺地盤の浸透現象について再考を行なったもの である.



図 2.9.1 Conceptual diagram of the multiple permeable layers behind an embankment. (a) The case of the permeable layers extending infinitely behind the levee. (b) The case of the permeable layers extending to a limited area.

2.9.2 定式化

図 2.9.1 は河川の主流方向と垂直な面で切り取った、複層を有する堤防周辺地盤の断面の

概念図である.二層の透水層が低水路から堤防の下を通って堤内地に向かって広がっている. 透水性の高い下層の透水層が透水性の低い薄い上層に覆われているような状態を仮定する. その時,下層内での浸透流量^qは次式で表される.

$$\tilde{q} = -\tilde{k}\tilde{D}\frac{\mathrm{d}\tilde{\phi}}{\mathrm{d}\tilde{x}}$$
(2.9.1)

ここで $\tilde{\phi}$ は下層内のピエゾ水頭であり、 \tilde{x} は堤外地側の法尻を原点とした横断方向の座標、 \tilde{D} は下層の層厚である.また、、は次元量を表し、後に無次元化を行った無次元量はこれを落として表す.ここで問題を簡単にするために堤防は不透水性であると仮定する.堤防幅を \tilde{B} とし、堤内地側の堤防法尻の点を $\tilde{x} = \tilde{B}$ とすると、堤防下の部分($0 \leq \tilde{x} \leq \tilde{B}$)では流量は一定であるので次式が成立する.

$$\frac{\mathrm{d}\tilde{q}}{\mathrm{d}\tilde{x}} = 0 \tag{2.9.2}$$

一方,堤防法尻より堤内地側($\tilde{x} > \tilde{B}$)の地表面からは流速 \tilde{v} で浸透流が湧き出している.その時,流量保存の関係から次式が成立する.

$$\frac{\mathrm{d}\tilde{q}}{\mathrm{d}\tilde{x}} = -\tilde{v} \tag{2.9.3}$$

堤内地側の地表面に湧出した水は少量であるため、湛水深は無視できるかあるいは瞬時に流 失してしまうものと仮定し、そこでのピエゾ水頭は一定値 $\tilde{\phi}_2$ であるとする.透水性の低い表 層の厚さが十分薄いと仮定すると、浸透流速 \tilde{v} は地表面でのピエゾ水頭 $\tilde{\phi}_2$ と下層におけるピエ ゾ水頭 $\tilde{\phi}$ の差を用いて次のように表される.

$$\tilde{v} = \tilde{k}_s \frac{\tilde{\phi} - \tilde{\phi}_2}{\tilde{D}_s}$$
(2.9.4)

ここで \tilde{D}_s は上層の厚さである.

河道内のピエゾ水頭は一定値 ϕ_1 であるとする.その時, $\tilde{x} = 0$ における境界条件は次式で表される.

$$\tilde{\phi} = \tilde{\phi}_1 \quad \text{when} \quad \tilde{x} = 0 \tag{2.9.5}$$

また,図2.9.1(a)に示すように透水層が堤内地側に無限に広がっているような場合,堤防より無限遠点($\tilde{x} \to \infty$)でピエゾ水頭は $\tilde{\phi}_2$ に漸近する.この境界条件は次式で表される.

$$\tilde{\phi} \to \tilde{\phi}_2 \quad \text{as} \quad \tilde{x} \to \infty \tag{2.9.6}$$

一方, 図 2.9.1(b) に示すように堤内地における透水層の広がりが限られているような場合, 透水層が $\tilde{x} = \tilde{L}$ までであるとすると次の境界条件が成立する.

$$\tilde{q} = 0$$
 when $\tilde{x} = \tilde{L}$ (2.9.7)

2.9.3 無次元化

次のような無次元化を導入する.

$$\left(\tilde{x},\tilde{B},\tilde{L}\right) = \tilde{B}\left(x,1,L\right), \quad \tilde{\phi} - \tilde{\phi}_2 = \left(\tilde{\phi}_1 - \tilde{\phi}_2\right)\phi, \qquad (2.9.8a,b)$$

$$\tilde{q} = \tilde{Q}q, \quad \tilde{v} = \frac{\tilde{Q}}{\tilde{B}}v, \quad \tilde{Q} = \tilde{k}\tilde{D}\frac{\dot{\phi}_1 - \dot{\phi}_2}{\tilde{B}}$$
(2.9.8c,d)

また、次のような無次元パラメータを導入する.

$$\kappa = \frac{\tilde{k}_s}{\tilde{k}}, \quad \delta = \frac{\tilde{D}_s}{\tilde{D}}, \quad \beta = \frac{\tilde{B}}{\tilde{D}}$$
(2.9.9a,b,c)

上の無次元化を用いて支配方程式(2.9.1)-(2.9.4)を無次元化するとそれぞれ次のようになる.

$$q = -\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}x} \tag{2.9.10}$$

$$\frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}x} = \begin{cases} 0 & (0 \le x \le 1) \\ -v & (1 \le x) \end{cases}$$
(2.9.11)

$$v = -\lambda^2 \phi \tag{2.9.12}$$

ここでλは次式で表される.

$$\lambda = \beta \sqrt{\frac{\kappa}{\delta}} \tag{2.9.13}$$

無次元化した境界条件(2.9.5)-(2.9.7)は次のようになる.

$$\phi = 1 \quad \text{when} \quad x = 0 \tag{2.9.14}$$

$$\phi \to 0 \quad \text{as} \quad x \to \infty \tag{2.9.15}$$

$$\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{d}x} = 0 \quad \text{when} \quad x = L \tag{2.9.16}$$

2.9.4 透水層が無限に広がっている場合の解

堤防直下の領域(0≤x≤1)では、式(2.9.10)を式(2.9.11)に代入して次式が得られる.

$$\frac{\mathrm{d}^2\phi}{\mathrm{d}x^2} = 0 \tag{2.9.17}$$

境界条件(2.9.15)を用いて上式を解くと次のような解が得られる.

$$\phi = (\phi_B - 1)(x - 1) + \phi_B \tag{2.9.18}$$

ここで、 ϕ_B はx = 1におけるピエゾ水頭である.

堤内地の領域(x > 1)における支配方程式は,式(2.9.10)および(2.9.12)を式(2.9.11)に代入して 次のように得られる.

$$\frac{\mathrm{d}^2\phi}{\mathrm{d}x^2} = \lambda^2\phi \tag{2.9.19}$$

境界条件(2.9.15)を用いて式(2.9.19)を解くと次のような解が得られる.

$$\phi = \phi_B \mathrm{e}^{-\lambda(x-1)} \tag{2.9.20}$$

x = 1では流量が連続であるから式(2.9.18)および(2.9.20)の一階微分が等しくなる. その条件 から ϕ_B を求めると次式が得られる.

$$\phi_B = \frac{1}{\lambda + 1} = \frac{\delta^{1/2}}{\kappa^{1/2}\beta + \delta^{1/2}}$$
(2.9.21)

したがって透水層が無限に広がっている場合の下層内のピエゾ水頭は次のように表される.

$$\phi = \begin{cases} -\frac{\lambda}{\lambda+1}x+1 & (0 \le x \le 1) \\ \frac{1}{\lambda+1}e^{-\lambda(x-1)} & (1 \le x) \end{cases}$$
(2.9.22)

2.9.5 透水層の広がりが有限である場合の解

解法の手順は 2.9.4 とほぼ同様である. この場合も堤防直下の領域($0 \le x \le 1$)における解 は式(2.9.18)で表される. 堤内地の領域(x > 1)における解は,支配方程式(2.9.19)を境界条件 (2.9.16)およびx = 1における流量の連続条件を用いて解くと次のような解が得られる.

$$\phi = \begin{cases} \frac{\cosh \lambda (L-1) - (x-1)\lambda \sinh \lambda (L-1)}{\cosh \lambda (L-1) + \lambda \sinh \lambda (L-1)} & (0 \le x \le 1) \\ \frac{\cosh \lambda (L-x)}{\cosh \lambda (L-1) + \lambda \sinh \lambda (L-1)} & (1 \le x \le L) \end{cases}$$

$$(2.9.23)$$

2.9.6 解析結果と考察

下層内のピエゾ水頭 ϕ の分布を決める無次元パラメータは $l (= b(k/d)^{1/2})$ およびLである.こ こではb = 10および $\delta = 0.1$ と仮定し κ およびLによる ϕ の分布の変化を見ることにする.

透水層の広がりが無限である場合($L = \infty$)およびL = 20場合についてピエゾ水頭 ϕ の分布 の κ による変化を図示したのがそれぞれ図2.9.2(a)および(b)である.解の形からもわかるよ うにピエゾ水頭は、 $0 \le x \le 1$ ではx方向に線形に減少し、 $x \ge 1$ の領域ではx方向に指数関数 的に減少するが、 κ が減少するに従って全体的に ϕ が大きくなる様子がわかる.また透水層の 広がりが有限な場合、無限な場合に比べて行き止まりの位置であるL = 2付近で ϕ が大きくな っている様子がわかる. κ は表層の透水係数と下層の透水係数の比である.したがって表層の 透水係数が下層の透水係数と比較して小さければ小さいほど ϕ が増加することがわかる.堤内 地領域における ϕ が大きければ噴砂を起こしやすくなる.したがって、透水係数の差の大きい 複層の場合に噴砂が起こりやすくなることがわかる.



🗷 2.9.2 The piezometric head ϕ as a function of x and κ in the cases (a) $L = \infty$, and (b) L = 2. $\delta = 0.1$, $\beta = 10$.

透水層の広がり *L* が ϕ の分布に与える影響について見たのが図 2.9.3 である. (a)および(b) は それぞれ $\kappa = 0.01$ および 0.001 の場合である.透水層が無限に広がる場合に比べて,行き止ま りの位置付近で ϕ が数倍程度大きくなることがわかる.また κ が小さいほど行き止まりの影響 を受けて ϕ が増加する領域が広くなる.



 \boxtimes 2.9.3 The piezometric head ϕ as a function of x and L in the case (a) κ = 0.01, and (b) κ = 0.001. δ = 0.1, β = 10.

2.9.7 本章のまとめ

透水層が複層になっている場合の浸透現象について簡単なモデルを用いて理論解析を行った.その結果によると、複層の上層の透水係数が下層の透水係数と比較して小さければ小さいほど噴砂が起きやすくなり、透水層の広がりが限られており行き止まりの位置が堤防に近いほど噴砂が起きやすくなることが明らかとなった.

参考文献

- 櫛山総平,前田健一,齊藤啓,李兆卿,透水性基盤の層構造による噴砂口動態およびパイ ピング進行性への影響,第51回地盤工学研究発表会,1093-1094,2016..
- 2) 齊藤啓,前田健一,泉典洋,基盤漏水に伴う噴砂及びパイピング進行条件の検討,河川技術論文集, Vol. 22, 251-256, 2016.
- 3) 西村柾哉,前田健一,櫛山総平,泉典洋,齊藤啓,異なる基礎地盤特性の堤防の噴砂動態・ パイピング挙動と漏水対策型水防工法の効果,河川技術論文集,Vol. 23, 381-386, 2017.
- 4) 齊藤啓,前田健一,二次元浸透流解析によるパイピング照査の高度化に向けた基礎研究, 河川技術論文集, Vol. 23, 375-380, 2017.
- 5) 西村柾哉,前田健一,櫛山総平,高辻理人,泉典洋,河川堤防のパイピング危険度の力学 的簡易点検フローと漏水対策型水防工法の効果発揮現象,河川技術論文集, Vol. 24, 613-618, 2018.
- 6) 西村柾哉,前田健一,高辻理人,牧洋平,泉典洋,実堤防の調査結果に基づいた河川堤防のパイピング危険度の力学的点検フローの提案,河川技術論文集, Vol. 25, 499-504, 2019.
- 7) 岡村未対,前田健一,西村柾哉,高辻理人,石原雅規,品川俊介,今村衛,北川で繰返し発 生した陥没を伴う噴砂の詳細メカニズム調査,河川技術論文集,Vol. 25, 487-492, 2019.
- 8)前田健一,岡村未対,石原雅規,新清晃,上野俊幸,西村柾哉,高辻理人,品川俊介,笹岡 信吾,北川で繰返し発生した噴砂による堤内・法尻箇所のゆるみ調査,河川技術論文集, Vol. 25, 535-540, 2019.
- 9) 山村和也,久楽勝行,堤防の地盤漏水に関する研究,土木研究所報告,1-23,1972. (北海道大学・泉 典洋,名古屋工業大学・前田健一,愛媛大学・岡村未対)

2.10 河岸侵食発生個所における洪水時の三次元流れと乱れエネルギー分布の特徴

2.10.1 検討概要

2019年10月12日から13日,令和元年台風19号により,関東地方や甲信地方,東北地方 において,記録的な大雨をもたらした.千曲川では,台風により河岸侵食によって落橋や幹 線道路の崩壊等,大規模な被害を受けた.大規模洪水時において,河岸侵食被害の軽減対策 のためには,河岸侵食危険箇所の予測手法を確立することが喫緊の課題である.

護岸などの構造物の被災機構には、作用した外力特性だけでなく、河岸材料及び構造物の 特性によって様々な被災形態がある.構造物設計においては外力と抵抗力の比から危険度を 検討する必要があるが、河岸侵食被害の形態が多様である上、破壊過程で種々の要因が複合 的に作用する複雑な現象であること、また河岸の構成状況を定量的に把握することは難しい. このため、望ましくない流況箇所を検出することや、流況改善効果を定量化することができ る流況評価手法が望まれる. 2018 年 7 月豪雨の現地調査によって湾曲部、構造物周辺などの 水衝部、段落ち部下流で高速流が発生する箇所などにおいて河岸侵食が発生した¹⁾. これら の箇所では流れの三次元性や大きな底面せん断力により、流速分布が変形し、乱れエネルギ ーが大きくなっていると考えられる.また、乱れエネルギーが大きい箇所では圧力、水面の 変動も大きく、護岸内の圧力の増加によって護岸の裏込め土砂が河道へ流出しやすいと考え られる. 八木ら²⁾は、三篠川洪水流の準三次元解析を行い、洪水時の乱れエネルギーを計算 し、河岸侵食箇所では乱れエネルギーが大きいことを明らかにした.そこで、本章では、令 和元年 19 号台風によって被害を受けた千曲川の河岸侵食被災箇所について、準三次元解析に より、局所的な流れと洪水時の乱れエネルギー分布を比較し、考察することを目的とする.

2.10.2 解析方法

洪水流の三次元流れと乱れエネルギーの解析には準三次元解析法である BVC 法 ³⁾⁻⁵⁾を用いる.BVC 法 ³⁾⁻⁵⁾は大きなスケールの流れの解析に適用できる水深積分モデルで流速鉛直分布 を仮定し,底面・水表面境界条件のもとで水平方向渦度方程式や水面流速方程式,鉛直方向 運動方程式等を連立することによって,平面二次元の枠組みで水深スケールの三次元渦運動 を解くことができ,底面の流速,圧力とその鉛直分布を求めることが可能なモデルである. SBVC2 法は,浅水流を仮定し,渦度方程式のみを浅水流方程式と連立させる簡易的な BVC 法 であるが,本研究で検討する乱れエネルギー分布と河岸侵食危険箇所の関係においては,水 面流速方程式を加えた SBVC3 法や浅水流の仮定を用いない GBVC3 法とほとんど変わらない 結果であったのでこれを採用することにした.解析法の詳細については既往文献 ³⁾⁻⁵⁾を参照 いただきたい.

解析区間は、令和元年台風 19 号によって多くの河岸侵食が発生した千曲川(依田川より 6k上流から依田川合流典までの約 6km)とした.国土地理院の数値標高データの 10m の等高 線を元に高水敷を作成し、低水路に関しては 1m 程いずれも高水敷より下げて河道を作成し た.上流端はいずれも流出解析⁶によって求めた流量ハイドログラフを与えた.雨量には国 交省が運用する XRAIN データを用いた.



図 2.10.1 千曲川の流出解析区間と位置図



図 2.10.2 千曲川流域の内村ダム(左)と余地ダム(右)の計算と観測流量ハイドログラフ

図2.10.1に千曲川流域の流出解析の範囲とダムの位置図を示す.流出解析は図2.10.1に 示す集水面積を対象とし、下流端では一定の水位勾配を与えた.パラメータのキャリブレー ションに関しては、以下のように流域内のダム流入量と比較し、三篠川と瀬野川に用いた値 と同じ値を用いることとした.図2.10.2に内村ダムと余地ダムの観測と計算の流量ハイドロ グラフを示す.千曲川流域の内村ダムの流入量と計算値がおおむね一致している.余地ダム については、解析流量ハイドログラフは内村ダムや余地ダムの観測流入流量ハイドログラフ と比較して波形が滑らかになっている.余地ダムの累積流量ハイドログラフについては観測 値とほぼ一致したが、2章で述べられているように余地ダム流域では特に XRAIN の観測精度 に課題があるようで、この点については今後検討する必要がある.また、下流端はいずれの 解析区間とも、縦断方向の水深勾配をゼロにして解析を行った.計算期間はピーク流量の立 ち上がり前から、立ち上がり後の減衰するまでの期間とした.

2.10.3 解析結果

図2.10.3は、千曲川の乱れエネルギーk^{1/2}の平面分布を示す.河岸侵食被害の多くは湾曲 部で発生しているが、湾曲部以外では田中橋の橋脚の付近で発生している.図2.10.4は千曲 川の両岸の乱れエネルギーの縦断分布である.左岸②を除いて、すべての侵食箇所において乱 れエネルギーの平方根が0.4m/sを超えた箇所で、局所的な最大値を含む箇所で発生している. 左岸②で乱れエネルギーが小さいにも関わらず侵食被害を受けていることについては、左岸 沿いに構造物があり、本解析ではこれを考慮していないことが原因の一つと考えられる.



図 2.10.3 千曲川の乱れエネルギー k^{1/2}の平面分布(縦断距離は依田川合 流点からの距離を示す)



次に大きな河岸侵食被害を発生させた箇所について流れ場を検討する. 図 2.10.5 は千曲川 の右岸の水位の縦断分布である. 橋脚の影響で流れがせき止められて橋脚周辺で水面勾配が 大きくなり,下流で流速が加速される流れであることが分かる. 図 2.10.6 に落橋被害を受け た田中橋周辺の左岸及び右岸の河岸侵食箇所①の(a)水位のコンターと水表面流速ベクトル, (b)水表面流速と底面流速の差*δu*の二次流成分*δu*_Nと底面流速分布を示す.ここに,*δu*_Nは流れ 方向に対して時計回りの渦度成分を正としている.田中橋橋梁の下流で水面が低下し流速が 加速していることがわかる.特に左岸側は河道湾曲により,田中橋上流で流れが集中してお り,より危険度が高くなっていたと考えられる.一方,落橋を引き起こした右岸側の侵食部 では,左岸側に流れが集中しており,水面,底面流速は小さくなっている.しかし,湾曲部の 強い二次流が橋脚直上流で右岸側に輸送され,その直下で橋脚によって逆向きの二次流が生 成されており,強い三次元流れが生じていたと考えられる.その結果,図2.10.4に示すよう に右岸側の侵食被害箇所付近で乱れエネルギーが急増し,侵食危険度が高くなったと考える ことができる.



図 2.10.5 千曲川の痕跡水位(右岸)と右岸沿いの解析水位最大値の縦断分布

図 2.10.6 田中橋におけるピーク流量時の流れと二次流構造

図2.10.7 は海野宿橋周辺の洪水流量ピーク時の二次流強度と底面流速である.海野宿橋下 の道路が侵食された河道が屈曲した外岸部において,強い二次流が生産されて下流方向に発 達し,外岸沿いの底面流速は内岸方向に曲げられることに加え,流下に従い加速しているこ とが分かる.この結果,図2.10.3,図2.10.4 に示したように,左岸湾曲部外岸沿いの乱れエ

図 2.10.7 海野宿橋におけるピーク流量時の水面と底面流速差の二次流方向成分と 底面流速分布

2.10.4 まとめ

本章では令和元年台風 19 号によって被害を受けた千曲川に対して、準三次元解析を用いた 洪水流解析を行い、乱れエネルギーの視点で河岸侵食危険度を検討した. 乱れエネルギーが 大きい箇所でも被害が生じていない箇所はあったが、千曲川での河岸侵食被災箇所は、いず れも乱れエネルギーによる乱れの代表速度 k^{1/2}が 0.4 m/s を超える極大値を有する箇所で発生 していた. 乱れエネルギーが大きい箇所でも被害が生じていない箇所はあったが、それらは 河岸侵食対策や樹木群が繁茂しているなどで説明できるものが多かった. これらの特徴は、 平成 30 年 7 月豪雨に対して著者らが検討した結果と同様であった. 河岸侵食箇所の乱れエネ ルギーの増大箇所は、河道湾曲による二次流、構造物による流れの集中など異なる要因で生 じていることや必ずしも流速が大きくない箇所でも河岸侵食が発生したことなどから、乱れ エネルギーを用いた流況評価により、侵食危険度を検出することは有効と考えられる. しか し、乱れエネルギーの極大値の検出について定量的に検討するには至っておらず、閾値 0.4 m/s の物理的意味の考察も十分でない. また、外力の作用時間や破壊進展機構との関係を明らか にすることも、洪水時の危険度評価に重要と考えられる.

参考文献

- 1) 2018年7月西日本豪雨災害調查報告書,(社)土木学会中国支部, 2018.
- 2) 八木郁哉・内田龍彦・河原能久:大規模洪水時における河岸侵食箇所の検出法,河川技術 論文集,第25巻,pp.729-734,2019.
- Uchida, T., Fukuoka, S.: Numerical calculation for bed variation in compound-meandering channel using depth integrated model without assumption of shallow water flow. Advances in Water Resources., Vol 72, pp. 45-56, 2014.
- 4) 内田 龍彦, 福岡 捷二: 非平衡粗面抵抗則を用いた一般底面流速解析法の導出と局所三次 元流れへの適用, 土木学会論文集 B1(水工学), 第71巻2号, pp.43-62, 2015.
- 5) Uchida, T., Fukuoka, S., Papanicolau, A.N., and Tsakiris, A.G.: Nonhydrostatic Quasi-3D Model

Coupled with the Dynamic Rough Wall Law for Simulating Flow over a Rough Bed with Submerged Boulders. J Hydraulic Eng., (ASCE), Vol.142(11), 2016.

6) 佐山敬洋,建部祐哉,藤岡奨,牛山朋來,萬谷敦啓,田中茂信:2011年タイ洪水を対象にした緊急対応の降雨流出氾濫予測,土木学会論文集 B1(水工学)Vol.69, No.1, pp. 14-29, 2013.
 (広島大学・内田龍彦)

2.11 台風 19 号による河川災害状況の把握と洪水氾濫プロセスの検討

2.11.1 はじめに

令和元年10月台風第19号では、関東甲信越、東北地方を中心とした豪雨となり、中小河 川での土砂・洪水氾濫や破堤氾濫、大河川での破堤氾濫が発生した。同災害には、近年の豪 雨災害に見られる特徴的な中小河川の土砂・洪水氾濫、大河川の破堤氾濫が含まれており、 これらを調査・検討することは、今後の中小河川や大河川の防災・減災対策を講じる上で有 用な情報になると考えられる.本章では、令和元年台風第19号を対象に豪雨と洪水氾濫状況 を調査し、被害が生じた河川流域の豪雨、洪水氾濫状況、破堤した河川等を整理することで、 豪雨や洪水氾濫の特徴とそのプロセスを検討した.

2.11.2 調査対象流域・豪雨と被害状況の概要

調査対象流域は、図2.11.1 に示す信濃川,多摩川,荒川,利根川,那珂川,久慈川,阿武 隈川,名取川,鳴瀬川流域の9つの流域である.図中には各流域の水位・雨量観測所,国の 直轄管理区間を示している.表2.11.1 に,各流域の流域面積,降雨継続時間,計画降雨量等 ¹⁾を示す.なお,図中の背景には,国土地理院の地理院タイル²⁾を用いた.以降のいずれの図 についても,背景には国土地理院の地理院タイルを用いている.

図 2.11.2 に、図 2.11.1 の流域についての 48 時間雨量を示す.雨量には国土交通省が運用・管理する XRAIN³⁾を用い、図 2.11.2 ではメッシュ毎の 48 時間雨量を示している.これより、(1)多摩川、荒川流域の中流域と阿武隈川流域の下流域で雨量が多いこと、(2)次に、利根川流域の北東部、那珂川流域の上流部、阿武隈川の上流域、名取川、鳴瀬川流域の下流域で雨量が多いこと、(3)信濃川流域の上流域では、他の流域に比べ雨量は少ないものの、同流域内では雨量が集中していること、などが確認できる.

図 2.11.3 に、図 2.11.2 で雨量が集中していた荒川流域と多摩川流域の流域平均雨量と累 加雨量を示す.図中には、地上観測雨量をティーセン分割により求めた流域平均雨量,XRAIN のレーダ雨量を示す.これより、累加雨量は、(1)地上雨量、レーダ雨量の順で大きく、地上 雨量とレーダ雨量では 100~150mm 程度の差があること、(2)地上雨量と比較して、レーダ雨量 は豪雨時の雨量を過少に評価していること、などが確認できる.この要因の詳細は不明であ るが、豪雨域の背後の観測所でレーダ雨量との差が大きくなる傾向があったことから、レー ダの減衰が一つの要因と考えられる.そこで、ここでは、各時刻の地上雨量とレーダ雨量か ら地上雨量計の位置での補正係数を求め、その補正係数を空間補間することで、流域内のレ ーダ雨量を補正した雨量(以下、補正雨量とする)を求めた.図 2.11.3 に、補正雨量より算定 した流域平均雨量と累加雨量を示す.これより、補正雨量は、(1)荒川流域では地上雨量に比 ベ累加雨量が 30mm 程度大きく、多摩川流域では同程度で評価していること、(2)その波形や 量を概ね再現していることが確認できる.

この豪雨により,国管理河川の6水系7河川で12箇所,都道府県管理河川の20水系67河 川で128箇所⁴⁾の堤防決壊が発生し,2019年12月12日時点で死者86名,行方不明者3名, 浸水面積約35,000ha,床上浸水1万1,408棟、床下浸水2万2,991棟,全壊家屋3,067棟,半 壊家屋2万4,948棟,一部破損家屋2万6,039棟の被害が生じた⁵⁾.

調査対象流域 調査対象流域の48時間雨量 図 2.11.2

図 2.11.1

表 2.11.1 各流域の流域面積,				降雨継続時間,計画降雨量		
流域名	流域面積 (km ²)	流路延長 (km)	計画規模	降雨継続時間 (hr)	計画降雨量 (mm)	基準点
信濃川	11,900	367	上流部:1/100 中流部:1/150 下流部:1/150	48	上流部:186 中流部:171 下流部:270	上流部:立ヶ花 中流部:小千谷 下流部:帝石橋
多摩川	1,240	138	1/200	48	457	石原
荒川	2,940	173	1/200	72	548	岩淵
利根川	16,840	322	本川:1/200 支川:1/100	72	八斗島:319 高津戸:419 石井:362 黒子:301	利根川:八斗島 渡良瀬川:高津戸 鬼怒川:石井 小貝川:黒子
那珂川	3,270	150	1/100	48	300	野口
久慈川	1,490	124	1/100	48	235	山方
阿武隈川	5,400	239	1/150	48	上流部:256.5 下流部:251.6	上流部:福島 下流部:岩沼
名取川	939	55	1/150	48	上流部:362.8 下流部:388.4	上流部:名取橋 下流部:広瀬橋
鳴瀬川	1,130	89	1/100	48	上流部:312 下流部:335	上流部:三本木 下流部:落合

図2.11.3 補正雨量よる流域平均雨量と累加雨量(左:荒川流域,右:多摩川流域)

2.11.3 豪雨と洪水氾濫の特徴と洪水氾濫プロセスの検討

以下では,補正雨量,水位観測所の水位ハイドログラフ⁶,堤防が決壊した河川や破堤箇所 7),越水・溢水地点や区間4),豪雨と洪水状況,破堤箇所,浸水被害状況を流域毎に整理し た. ここでは、紙面の都合上、荒川、那珂川流域の結果について述べる.

図 2.11.4 荒川流域の計画降雨継続時間内の雨量,計画高水位を超えた水位観測地点,堤防 決壊が生じた河川,溢水・越水区間,ピーク水位と計画高水位との関係

図 2.11.4 に荒川,図 2.11.5 に那珂川の計画降雨継続時間内の雨量,計画高水位を超えた 水位観測地点,堤防決壊が生じた河川,溢水・越水区間,ピーク水位と計画高水位との関係 を示す.図中には,(雨量-計画雨量)/計画雨量が0より大きな地域つまり,計画雨量よりも多 量な雨量が降った地域も示している.なお,計画雨量には表2.11.1の値を用いた.堤防決壊 が生じた河川については、国の直轄管理区 間では破堤地点を、県管理の河川では、破 堤位置に関する詳細な情報が得られなか ったため、河川全体と地先レベルでの破堤 位置を示している.

荒川流域では,国の直轄管理区間におい て越辺川で2箇所,都幾川で1箇所の計3 箇所,県管理区間において都幾川と新江川 で堤防決壊が発生した.直轄管理区間の破 堤地点はいずれも合流点であった.図 2.11.4 から,(1)同流域の上流域で計画降 雨量を超える豪雨が生じていること, (2)破 堤地点周辺の観測水位は計画高水位を超 えていること,(3)合流点下流の菅間観測所 でも計画高水位を超えていること,(4)一方 で, 荒川と入間川の合流点下流では計画高 水位を超えていないこと,などが確認でき る.計画高水位を超えた観測所におけるピ ーク水位の発生時刻は、都幾川の野本で12 日 19時 40 分、 越辺川の 高坂橋で 12 日 19 時 50 分, 越辺川の落合橋で 12 日 20 時 50 分~13日1時00分,入間川の落合橋で12 日 20 時 30 分~13 日 1 時 00 分,小畔川の 落合橋で 13 日 1 時 10 分であった. さら に,三川合流後の越辺川下流の菅間水位観 測で水位が計画高水位を超えていた.この ため, 菅間水位観測所より上流区間で水位 が高くなり,図2.11.4 に示す流下能力の 低い合流点周辺で破堤氾濫が生じたと考 えられる.

那珂川流域では国の直轄管理区間にお いて那珂川で3箇所,県管理区間において 藤井川,蛇尾川,荒川,中川,内川および 百村川の5河川で堤防決壊が発生した.図 2.11.5から,(1)同流域では上流域で計画 降雨量を超える豪雨が生じていること,(2)

図 2.11.5 那珂川流域の計画降雨継続時間内の 雨量,計画高水位を超えた水位観測地点, 堤防決壊が生じた河川,溢水・越水区間, ピーク水位と計画高水位との関係

県管理河川の多くは豪雨域で堤防の決壊が生じていること,(3)一方で藤井川については国直 轄管理区間との合流点周辺で堤防決壊が生じていること,(4)その下流の上合橋水位観測では 計画高水位を超えていること,(5)国の直轄管理区間では豪雨域より下流で堤防決壊が生じて いること,などが確認できる.計画高水位を超えた観測所でのピーク水位の発生時刻は,水

605

図 2.11.6 荒川での浸水域と治水地形分類(左図)・航空写真(中央)・標高解析結果(右, 氾 濫水の流下方向)の比較

府橋で13日9時10分であった.水府橋観測所から野口観測所までの区間では計画高水位を 超えるあるいはそれに近い水位となっていた.このことから、本川と県管理河川の多くは、 想定以上の豪雨による洪水により河道の流下能力を超える区間で破堤氾濫が生じたと考えら れる.一方で、藤井川については本川の水位上昇により堰上げ背水が発生し、河道の流下能 力を超える区間で破堤氾濫が生じたと考えられる.

以上から、いずれの流域においても、(1)県管理河川では、豪雨域に含まれる河川、本川と 合流する河川では本川水位が計画高水位を超えている河川で破堤氾濫が生じていること、(2) 一方で、国直轄管理区間では豪雨域の下流で破堤地点が存在していること、特に那珂川流域 では、上流域で豪雨となっており、その雨水が下流に流下することで直轄管理区間の破堤氾 濫や浸水被害が生じたこと、などが確認できる。このように、今回の豪雨による洪水氾濫の 特徴は、豪雨域を含む中小河川で氾濫が生じるとともに、上流域から河道へ流入した雨水が 下流へ流下し、比較的降雨量が少ない地域で破堤や氾濫を発生させた点にあり、近年多発し ている局地的な集中豪雨による中小河川の氾濫と計画規模程度の豪雨による直轄管理区間の 氾濫が混在した点にあると考えられる。今回の豪雨は、今後の中小河川流域と大河川流域の 危機管理対策のあり方を検討する上で重要な事例であり、今回の調査を通じて、流域規模に 応じた危機管理のための雨量および水位情報の利用のあり方を検討したいと考えている。

次に,図2.11.4,2.11.5の降雨量中の赤枠の領域について,浸水域と治水地形分類や土地 利用との関係,破堤地点付近での標高と標高解析による落水線から氾濫水の流下方向を把握 した.なお,治水地形分類図,航空写真,数値標高モデル(5mメッシュ)のいずれも国土地理 院のもの²⁾を用いた.また,標高解析より得られる落水線は水の流下方向を表しており,この 本数が少ない場合には水の溜まりやすい場所を表す.

図2.11.6に荒川流域における浸水域と治水地形分類図,航空写真,標高解析結果を重ねた 結果を示す.これらより,(1)浸水域の多くは,氾濫平野や旧河道に集中していること,(2)破 堤地点付近の浸水域の土地利用は,水田が多く住宅地が少ないこと,(3)住宅地が浸水してい る地域には,中小河川が存在しており,内水河川の氾濫が要因であること,(4)浸水域では標 高差が小さいため,落水線本数が少なく,水が貯まるような箇所が浸水したこと,などが確 認できる.今回,関東地方の直轄管理区間で破堤が発生した箇所は,いずれも氾濫平野で, その土地利用の多くは田畑であり,氾濫水を貯留するような箇所であった.このことから, 同地域は氾濫水を一時的に溜め込む遊水池的な役割を果たしたのではないかと考えられる. 図 2.11.7 に那珂川流域における浸水域 と治水地形分類図,航空写真,標高解析結 果を示す.これらより,荒川流域と同様に, (1)浸水域の多くは,氾濫平野や旧河道に集 中していること,(2)破堤地点付近の浸水域 の土地利用は,水田が多く住宅地が少ない こと,(3)落水線本数は少なく水が溜まりや すい場所であること,などが確認できる. このことから,同地域は氾濫水を一時的に 溜め込む遊水池的な役割を果たしたので はないかと考えられる.

このように、本豪雨による洪水氾濫で は、氾濫原の地形特性により、上流から越 流した氾濫水が堤内地を流下し破堤箇所

図 2.11.7 那珂川流域における浸水域と治水
 地形分類(上図)・航空写真(中央)・
 標高解析結果(下図,氾濫水の流下方
 向)の比較

周辺に湛水した地域や氾濫水を一時的に溜め込む遊水池的な役割を果たした地域があったと 考えられる.

2.11.4 本章のまとめ

本調査から,(1)県管理河川では,豪雨域で流下能力の不足や,本川の水位上昇による流下 能力の低下により氾濫が生じたこと,(2)直轄河川では,上流域の豪雨により河道に流入した 雨水が下流へ流下し,比較的雨量の少ない地域で河道内水位が上昇することで破堤氾濫が生 じたこと,(3)地形特性によっては,氾濫水を流下させて河道へ戻そうとする氾濫原と氾濫水 を一時的に溜め込む遊水池的な役割を果たした氾濫原があったこと,(4)関東地方で破堤が発 生した地域は,氾濫平野で,その土地利用の多くは田畑であり,氾濫水が落水線とは逆方向 に広がる地域であったことから,遊水地的な役割を果たした可能性があること,などの本豪 雨による洪水氾濫の特徴が確認された.(4)を踏まえると,関東地方では,氾濫原管理を重視 した流域治水対策がなされていたのではないかと考えられる.今後,遊水池的な役割を果た した地域の流量低減効果等を数値シミュレーションで検討し,流域全体での雨水と洪水氾濫 流の水のやり取りを定量的な把握が可能なツールの構築に繋げたいと考えている.

謝辞:本研究を実施するに当たり,文部科学省の委託事業により開発・運用されているデー タ統合・解析システム(DIAS)からデータの提供を受けた.また,本学大学院生の金屋諒君, 桂佑樹君,元本学学部生の清水廉君には多大な協力を得た.ここに記して感謝の意を表しま す.

参考文献

- 国土交通省河川局:信濃川水系河川整備基本方針 https://www.mlit.go.jp/river/basic_info/jigyo_keikaku/gaiyou/seibi/shinanogawa_index .html, 2008(参照 2020/01/29).
- 2) 国土地理院:地理院タイル一覧, https://maps.gsi.go.jp/ development/ichiran.html,
2020(参照 2020/01/29).

- 3) DIAS: http://www.diasjp.net/service/xrain/, 2017(参照 2020/01/29).
- 4) 国土交通省:令和元年台風 19 号等による被害状況等について(第 52 報), http://www.mlit.go.jp/common/001323332.pdf, 2020(参照 2020/01/29).
- 5) 消防庁:令和元年台風第 19 号及び前線による大雨による被害及び消防機関等の対応状況 (第 63 報),https://www.fdma.go.jp/disaster/info/items/taihuu19gou63.pdf, 2019(参照 2020/01/29).
- 6) 国土交通省:水文·水質データベース, http://www1.river.go.jp, 2019(参照 2019/11/10).
- 7) 国土交通省:堤防決壊箇所一覧(12月3日 16:00時点),
 https://www.mlit.go.jp/common/001313204.pdf, 2019(参照 2020/01/29).

(九州工業大学・重枝 未玲)

2.12 台風 21 号の洪水氾濫状況

2.12.1 千葉県一宮川の洪水氾濫状況と調節池の洪水調節効果

(1) はじめに

令和元年では、台風15,19,21号が次々と本州に接近・上陸した.台風15号は「風台風」 であり、観測史上最強クラスの勢力で関東地方に上陸した.台風進路の東側となった千葉県 では最大風速 50m/s 以上を記録し、鉄塔倒壊やその後の停電の長期化等甚大な強風災害が発 生した¹⁾.10月12日に関東地方に上陸し、東日本を北上した台風19号は大型の「雨台風」 であり、全国で142地点の堤防決壊を引き起こす豪雨災害をもたらした²⁾.それから約2週 間後に、本州の南海上の低気圧と東海上の台風21号(以下、台風21号と称す)により関東 ~東北地方の太平洋側を中心に大雨となった³⁾.この豪雨により千葉県や福島県など35河川 が氾濫し、千葉県は台風15号に続き年2度の大規模風水害を受けた²⁾.

2019 年台風 19 号災害における大きな特徴の一つとして、ダムや調節池・遊水地による治 水効果が発揮された事例が多いことである.利根川水系では、渡良瀬遊水地にて約 1.6 億 m³、 菅生・稲戸井・田中の 3 調節池で約 9,000 万 m³、八ッ場ダムを含む上流ダム群で約 1.45 億 m³ を貯留し、氾濫防止に大きく寄与した. 荒川水系では、上流ダム群で約 4,500 万 m³、荒川第 一調節池で約 3,500 万 m³を貯留し荒川本川の越水氾濫は生じなかったが、支川の入間川流域 ではダム・調整池等が無く、7 カ所の堤防決壊により広範囲の洪水氾濫が発生した⁴⁾. 一方、 台風 21 号時では、調節池を有する千葉県一宮川において、中流部を中心に大規模な洪水氾濫 が発生した⁵⁾. このように、調節池の洪水調節効果は出水規模や河道整備状況により大きく 異なったものと考えられる.

本節では、2019 年台風 21 号において調節池がどのように洪水調節効果を発揮したかを検 証する.ここでは、千葉県一宮川第二調節池を対象とする.そのため、現地調査ならび平面 二次元計算による洪水調節効果の検討を行い、調節池において治水効果が今次災害において どのように発揮されたのかを把握する.また、平面二次元計算にて、調節池の越流堤高を変 化させて、洪水調節機能がどのように変化するかを検討する.

(2) 一宮川と台風 21 号の概要

一宮川は,千葉県茂原市・一宮町などを流域に抱え,流域面積 203km²,流路延長 37km の 二級河川である.主な支川は,三途川,豊田川,阿久川,鶴枝川,瑞沢川であり(図13.1), 瑞沢川以外は茂原市市街地で一宮川に合流する.茂原市では天然ガスかん水の採取により, 17 年間で最大 30cm 程度の地盤沈下が生じている⁶.

河川整備計画では年超過確率を 1/10 とする⁷⁾. 一宮川には,第一調節池(貯水容量 30 万m³),第二調節池(同 70 万m³),阿久川調整池(同 31 万m³),瑞沢川調節池(19 万m³)の4 つが既設である. 今後,第二調節池の増設(+40 万m³)が計画されている.本対象の一宮川 第二調節池は,越流堤の高さ 7.78[T.P.m],幅 180m であり,計画高水位は 9.41[T.P.m]である. 今次豪雨では,本流域内にて日雨量が最大で 360mm に達し,広域氾濫が発生し,死者 6 名と なった.



図 2.12.1 一宮川流域の概要と浸水範囲・実測浸水深マップ

(3) 現地観測方法

台風 21 号による洪水氾濫状況を調べるために,一宮川と支川(豊田川・阿久川・鶴枝川・ 三途川),一宮川第二調節池にて現地調査を行った.調査日は 2019/11/14, 11/27, 2020/1/17 の 計 3 回である.調査では VRS 方式 RTK-GNSS (Trimble R10, Trimble 社製) とスタッフを用 い,浸水深・浸水位(計 146 地点)と堤防高・河床高等を計測した.ArcGIS Pro2.3 により「点」 の浸水位データを内外挿して,面的な浸水位・浸水深データを作成した.この結果と千葉県 が作成した浸水範囲と合わせて一宮川水系における氾濫面積・氾濫水量を求めた.

(4) 氾濫シミュレーションの概要

洪水氾濫プロセスに対する一宮川第二調節池の治水効果を調べるために,洪水氾濫シミュ レーションを行った.氾濫追跡に適した平面二次元解析を行うために, iRIC Nays2DFlood を 用いた.計算領域は図13.1中の点線で示す範囲(東西2650m,南北方向1310m,格子:10m 四方)であり,一宮川本川と第二調節池,右支川(鹿島側,梅田川),左支川(豊田川)を含 むエリアである.地形データとしては,氾濫域は DEM(解像度:5m)を用い,河道部では測 量結果を与えた.計算期間は10/25 6:00~24:00 とした.境界条件としては,河道部の一宮川 本川と豊田川・鹿島側・梅田川上流端では,流入流量を与えた.その際には,早野地点の H-Q 式より得られた流量より,流域面積比で各河川の流量を算定した.また,流出部である一 宮川下流端では,早野水位観測所の実測水位を与えた.氾濫域の境界条件では自由流出条件 とした.

調節池条件が洪水氾濫に及ぼす影響を調べるために,計算ケースとしては,現況再現(Case 1)に加えて,調節地の越流堰高さ(7.78[T.P.m])を現況より下げた場合(6.8[T.P.m], Case2-1),上げた場合(8.8[T.P.m](Case2-2),9.41[T.P.m](H.W.L.相当,Case2-3)),さらに,調節池が無い場合(Case2-4)を設定した.

(5) 結果と考察

a) 降雨·洪水概況

台風 21 号時の降雨・河川水位状況を把握するために、上流の水上観測所の時間雨量と中流・早野水位観測所の河川水位の時間変化を図2.12.2 に示す. これより、10/25 早朝より降雨が開始し、12-15 時の間では時間雨量が 60mm を越える非常に激しい雨が記録された. それに伴い、河川水位も雨量と共に増加し、11 時過ぎに H.W.L を超えた. その後、水位は増加し、周辺堤防高 (=8.15[T.P.m])を 12 時過ぎに超えて溢水が発生した. 水位ピークは 19:20 に現れ、ピーク値は堤防高を 1.65m も上回った.



図 2.12.2 一宮川流域における時間雨量(水上)と河川水位(早野)の時間変化

今次豪雨の降雨規模を見るために,一宮川流域内6地点の雨量データ(1h, 6h, 24h最大雨量)を図2.12.3に示す.ここでは,流域平均値と計画雨量(年超過確率1/10)も示す.これより,計画雨量を超えた地点数は,1h・6h・24h雨量に対して各々2・5・4地点であった.特に6h雨量の流域平均値は計画雨量の1.5倍と大きい.また茂原アメダス観測所データより再現確率を求めたところ,1~24h雨量の中では6h雨量が最も大きい(14年).



b) 洪水氾濫状況の実態把握

一宮川流域における洪水氾濫状況を把握するために、本調査により得られた浸水深データ を点として図2.12.1 に示す. 図中には、千葉県が公表した氾濫範囲(図中赤線内)⁵⁾も表示 する. これより、一宮川本川上・中流域のみならず、支川の三途川・豊田川・阿久川・鶴枝川 等でも大規模な氾濫が見られた. 浸水深の最大値は茂原市街地にて2.80mを記録した. また、 一宮川第二調節池からも越水し周辺が浸水した. 全体の氾濫面積は23.1km² であり、氾濫水 量は1321万m³に達した.

c)一宮川第二調節池の氾濫状況に及ぼす影響

洪水氾濫プロセスと調節池の関係を調べるために、氾濫シミュレーション結果により得られた浸水深コンターを図2.12.4(a)に示す.ここでは、増水期(10/25 12時)における現況

(Case1)と調節池無(Case2-4)を表示している.これより,第二調節池の無い Case2-4 では, 支川の梅田川周辺及び一宮川本川において第二調節池下流側の左右岸で氾濫が発生している. 一方,第二調節池を含む現況の Case1 では,第二調節池直下流域の氾濫範囲が減少するだけ でなく,梅田川周辺の氾濫域も減少している.これより,増水期では第二調節池の効果で一 宮川や支川の水位低下が生じ,一定の氾濫抑制効果が作用していたことが分かる.

しかしながら、同日 14 時以降の浸水深コンターを見ると、現況(Casel)と調整地無(Case2-4)の両者の差はほぼなく、計算期間終了時(10/25 24 時)ではほぼ一致した(図省略).そ の時の浸水状況として、氾濫計算による最大浸水深コンターを図 2.12.4(b)に示す.図中に は、現地調査による実績浸水深も丸印で表示する.これより、洪水氾濫は一宮川本川の調節 池下流側や、豊田川・梅田川などの支川沿いに広がっている.また、本解析の浸水深と実績 浸水深を比べると、大まかなパターンは一致している.両者の差を取り、RMS 値を求めたと ころ、浸水深で 0.55m、浸水位で 0.41m であり、本解析の一定の妥当性を確認した.



(a) 10/25 12:00 (現況・Case1 と調節池無・Case2-4)



(b) 最大浸水深(計算値)と観測値 図 2.12.4 氾濫計算による浸水深コンター

d) 越流堰高さが水位低下に及ぼす影響

上述したように、一宮川第二調整池により、増水期の12時ごろまでは、氾濫抑制効果が見

られた. このことを詳細に検討するために, 第二調節池越流堤直下流の八王子橋地点におけ る水位の時間変化を図2.12.5 に示す. ここでは, 現況と調節池の堰高さが異なる全5ケース の結果が表示されている.まず, 現況(Casel)と調節池無(Case2-4)を比べると, 10/25 9 時までは両者の差はないが, 水位が越流堰高さ(7.78[T.P.m])を越え, 水位は Case2-4>Case1 となり, 12 時時点で水位差は 0.70m となった. それ以降では, 水位が H.W.L(=9.41[T.P.m]) を超えると両者の水位差は無くなる.最終的に満水となり, 一宮川第二調節池から越水が発 生した.

次に、越流堤高を下げた場合(6.80[T.P.m], Case2-1)では、10/257:10に調節池に水が流入 し、水位はこの時点で最も低いが、調節池は早々に満杯となり(11:30)、最も早く洪水調節機 能が損なわれた. 越流堤高を8.8[T.P.m]と上げた場合(Case2-2)、調節池無のCase2-4との水 位差を保った時間が最長の10:20~14:00となった. この後、調節池が満杯となる以前に下流 域で氾濫が開始した. また、越流堤高がH.W.L(9.41[T.P.m], Case2-3)では、水位低減量はも っとも小さいが、調節池の満水までの時間を遅らせたため、小さいながらも水位低減効果を 17時まで発揮できた. なお、最終的な浸水範囲は全ケース共にほぼ一致した. そのため、計 画規模を上回る豪雨状況下では、調節池の治水効果の限界が示された.

このように、第二調節池により、増水期にて河川水位が H.W.L 以下までは治水効果を発揮 し下流水位の低下効果をもたらし、避難時間を稼ぐ効果があった.しかしながら、H.W.L.以上 の河川水位では調節池が満杯となり、貯留効果を発揮できていない.そのため、調節地だけ なく、流域全体の治水対策が適切になされて調節池の十分に効果が発揮される.また、堰高 影響としては、堰高が高いほど調節池の満水までの時間がかかるため、調節池下流の水位低 下効果は長時間発揮されるが、H.W.L.に到達する時間を最も遅らせたのは、堰高が H.W.L と 同じ Case2-3 ではなく、0.60m 低い Case2-2 であった..このため、洪水規模に応じて、洪水流 量調節や水位低下効果を長時間発揮できる調節池の構造(例えば、堰高)の検討は必要と言 える.



2.12.2 福島県夏井川における連続災害発生状況の把握

(1) はじめに

福島県では、台風 19 号で浸水被害を受けた箇所が再び台風 21 号で浸水し、短期間で複数

の災害「連続災害」が発生した.気候変動の影響により,豪雨災害が全国各地で発生してい る状況を考えると,風水害の連続災害の発生状況を把握し,災害復旧のあり方を考慮するこ とは極めて重要である.本節では,福島県いわき市を流れる二級河川の夏井川を対象として, 2019年台風 19 号と台風 21 号による洪水氾濫発生状況やそれと密接に関係している河川堤防 の決壊・復旧状況を把握する.ここでは,まず,夏井川流域における現地調査を実施し,堤防 決壊や洪水氾濫状況,氾濫水量などを把握する.合わせて,台風 19 号から 21 号接近までの 堤防復旧状況も取りまとめる.さらに台風 19 号・21 号共に発生した洪水氾濫エリアを対象 に氾濫シミュレーションを実施し,観測結果では得られない両台風による氾濫状況の比較を 行い,夏井川で発生した連続災害の発生状況を検証する.

(2) 夏井川・流域の台風 19・21 号災害概要

a) 夏井川の概要⁸⁾

調査対象である夏井川は、阿武隈山系の大滝根山・仙台平・高柴山を分水嶺とし、阿武隈 山地を横断して、いわき市、小野町、滝根町を流れて太平洋沿岸に注ぐ二級河川である.夏 井川の流域面積は748.6km²、流路延長は67.1kmであり、流域の一部は図13.6に示すとおり である.主な支川は、小玉川・好間川・新川であり、小玉川上流には重力式コンクリートダム の小玉ダム(洪水調節容量:960万m³)がある.夏井川河川整備基本方針¹⁴⁾によれば、基準 点(鎌田橋地点、河口より7.1kp)では、年超過確率を1/70とし、基本高水を3,800m³/s、小 玉ダムなどにより洪水調節流量は1,600m³/s、河道への計画高水流量は2,200m³/s である.夏 井川は、河道の75%が急峻な山間部を流れるため、多くの洪水氾濫被害が発生した.主な災 害はS52年9月、S61年8月等に発生した.



図 2.12.6 夏井川の概要

b) 気象・河川水位及び被災状況

まず、今次豪雨災害における気象状況の特徴を把握するために、夏井川流域内のアメダス 観測所(上流:川前.下流:平)と水位観測所(小川,河口より21.1kp;鎌田,同7.1kp)の 実測値の時間変化を図 2.12.7 に示す. ここでは、台風 19 号と 21 号接近時において、時間・ 累積雨量と河川水位を表示している.なお、平アメダス観測所では、台風 19 号時の 10/12 22 時以降のデータが欠測したことに注意されたい.これより、台風 19 号では、10/12 12 時ご ろより降り始め、同日 19 時にピークの時間雨量となり(平:35mm,川前:31.5mm)、10/13 未明まで雨は継続した.累積雨量は平アメダス観測所では 241mm (10/12 22 時時点)、川前ア メダス観測所では 227mm となった.雨量としては、流域内で大きな差異は見られない.また、 河川水位は、両地点共に 10/12 16 時以降から上昇を開始し、上流の小川観測所では氾濫危 険水位を同日 20:40 に上回り、23:30 に水位ピーク(36.82[T.P.m])に達した.ピーク水位 は堤防高に約 20cm まで迫った.下流の鎌田観測所では、同日 21:50 に氾濫危険水位を超え、 22:20 に一度ピーク(9.42[T.P.m]) となり、その後水位低下するが、再び上昇し、翌 13 日 0:10 に 2 度目の水位ピーク(9.13[T.P.m]) となり、その後、低下した.

一方, 台風 21 号では, 10/25 昼過ぎより雨が降り始め, 平アメダス観測所では時間雨量が 40mmを越え, 累積雨量は 198mm に達した.一方, 川前アメダス観測所では, ピーク雨量は 22.5mm, 累積雨量は 63mm となり, 上流域(山側)の雨量は少なく, 下流域(海側)に降雨 が集中していた.この時の河川水位は, 10/25 18 時頃から水位が増え, 上流側・小川観測所 では 21:10 に水位ピーク(33.64[T.P.m]), 下流側・鎌田観測所では 21:50 にピーク(7.75[T.P.m]) となった.これは, 台風 19 号と比べて小川では 3.18m, 鎌田では 1.67m も低い洪水であった.



台風 19 号による豪雨に見舞われたため,夏井川流域では,堤防決壊が8箇所(夏井川左岸 8.58kp, 10.9kp, 11.9kp, 12.6kp, 17.1kp, 18.6kp,夏井川右岸18kp,好間川左岸2.1kp)にお いて発生した.それにより,広範囲が浸水し,死者は8名となった.このうち6名は夏井川 の左岸側である.また,台風 19 号による福島県内の死者はは32名であり,夏井川流域は県 内では阿武隈川流域に次いで多い.

一方,台風21号でも大雨は降ったが,浸水は好間川周辺等に限定された.また,決壊した 堤防の復旧途中であった地点5の堤防から越水が発生し,連続災害の発生が確認されたが, その浸水の様子は不明である.

(3) 現地調査

a)現地調查·情報収集方法

夏井川における 2 つの台風による被害状況を把握するために,洪水氾濫状況とその大元と なる堤防決壊状況に関する現地調査を行った.調査日は,2019/11/21 と 12/10 の 2 回である. 調査内容としては,洪水氾濫状況を把握するために,家の壁や垣根,堤防決壊個所に残され た痕跡水位・水深を計測した.その際,RTK-GNSS(R4・R6・R10, Trimble 社製)計3 台と スタッフを用いた(計測点数:90 地点).調査対象範囲は,決壊地点1~8 を含む夏井川・好 間川周辺である.これらの調査結果は,主として,氾濫範囲が大きい台風19 号起源であると 見なされる.著者らの調査のみでは浸水範囲全てをカバーできなかったので,不足分はいわ き市 HP に記載されている台風19 号と21 号用の浸水区域図を用いた.上記の観測結果とい わき市などの結果を ArcGIS 上にて統合し,後述の浸水深マップなどを作成した.

次に、堤防決壊状況を調べるため、決壊箇所の断面測量や決壊幅を計測した.また、越水の痕跡の有無を確認し、見つけた痕跡水位を計測し、越流水深を求めた.決壊した全 8 地点 を調査できず、地点 2-5 のみ調査した.



図 2.12.8 台風 19 号による夏井川の洪水氾濫状況

b)洪水氾濫状況

まず,台風19による洪水氾濫状況を把握するために,著者らの現地調査結果より得られる 「点」の浸水深分布から得られた浸水深コンターと氾濫状況の様子を図2.12.8に示す.これ より,夏井川の上流側では,浸水深が1~2mのエリアが多いが,夏井川下流域や好間川周辺 に広い浸水が発生している.また,上流域は比較的水田が冠水しているが,下流域には市街 地や家屋が浸水している.これらの氾濫は,堤防決壊地点の周囲や下流側に多いが(例えば 決壊地点5-7),夏井川左岸・決壊地点4の上流域や,決壊が生じていない夏井川右岸でも浸 水している.夏井川では多くの場所で,堤防決壊には至らないが,越水が発生していること が確認されており,越水氾濫の影響を受けている可能性が高い.合わせて,内水氾濫も同時 に発生したものと推察される.

また、家屋1階が水没する浸水深が3m以上の範囲も広く存在し、最大浸水深はコンター 上では4.17mとなった.また、夏井川左岸側では、人的被害が集中しており、このような大 きな浸水深と関係しているものと考えられる.夏井川周辺は標高が高い土地に囲まれており、 堤防決壊や越水によって氾濫した水は低地で溜まる貯留型氾濫となったため、このような大 きな浸水深となったものと考えられる.これらの氾濫水量は、夏井川の上流で140万m³、下 流左岸で524万m³、右岸で411万m³等となり、合計は1,485万m³と2018年西日本豪雨時の 約半分となっている.また、氾濫面積は10.7km²であった.このように夏井川では氾濫水量の 大きな氾濫であった.

一方,台風 21 号による浸水面積は 0.069km²であり,台風 19 号と 20 分の 1 以下の極めて 狭い範囲にとどまった(図省略).浸水は台風 19 号でも大きな浸水深が見られた新川周辺に 確認された.一方で,台風 21 号に地点 5 付近で発生した越水による浸水深や浸水範囲は確認 されていない.そのため,氾濫シミュレーションを用いて,台風 21 号における氾濫状況につ いて検討を行う.

地点		左右岸	縦断 距離[kp]	決壞幅 [m]	越流 水深[m]	比高差[m]		土嚢[袋]
						裏のり	表のり	
夏井川	1	左岸	8.5	25	ND	ND	ND	110
	2	左岸	10.9	38	0.3	1.24	1.63	115
	3	左岸	11.9	37	ND	2.95	3.24	400
	4	左岸	12.6	26	0.4	ND	2.36	400
	5	左岸	17.1	73	0.9	1.56	4.93	1500
	6	右岸	17.9~19.5	25	ND	ND	ND	140
	7	左岸	8.11	40	ND	ND	ND	180
好 間 川	8	左岸	12.6	25	ND	ND	ND	300

表 2.12.1 夏井川流域の堤防決壊状況の概要(ND=No data)

c)堤防決壊状況

現地観測結果に基づく堤防決壊地点の情報を表2.12.1にまとめて示す.ここでは、決壊位置、決壊幅、越流水深、比高差、復旧に用いた土嚢袋の数である.これより、夏井川本川の堤防決壊は左岸側に集中している(6箇所/7箇所).現地調査を行った4地点(地点2~5)はいずれも越流を確認し、越流水深は0.3~0.9mであった(地点3では越流の痕跡のみ確認). 決壊幅は25~73mであり、地点5が最大であった.また、比高差(堤防天端と法尻の標高差)は1~5mであり、こちらも地点5が最大なった.このように、堤防決壊地点の被害は、上流側の地点5が最も大きく、堤防決壊幅、比高差ともに他の地点の2倍近くに及んだ.そのため、表13.1に示す地点5の復旧に使われた土嚢は1500袋に達し、他地点よりも1桁多く、復旧に最も時間を要した.

このため、地点 5 の仮復旧作業(土嚢設置)は、台風 21 号までに間に合わず、台風 21 号では越水が生じていた。その状況を詳細に説明するために、決壊地点 5 における仮復旧状況と痕跡水位を図 2.12.9 に示す、地点 5 では、表 2.12.1 に示すように、堤防の比高差が約 5m

であったため、仮復旧用の土嚢は5段分必要となった.ただし、台風21号までに、土嚢を5 段設置予定であったが、3段分しか設置されていなかった.痕跡水位としては、台風19号で は24.28[T.P.m]であった.一方、台風21号では地元の聞き取りの結果、4段目まで土嚢があれ ば越水しなかったため、少なくとも4段目の土嚢高さ(=21.81~22.78[T.P.m])の範囲であっ た.また、台風21号の氾濫量は台風19号よりも格段に少なかったとの証言があったので、 氾濫水量も1桁以上小さかったものと推察される.これらの状況は、不明確であるため、次 節で氾濫シミュレーションを介して検討する.



図 2.12.9 決壊地点5における仮復旧状況と痕跡水位

(4) 氾濫シミュレーション

台風 19 号と 21 号の両方で氾濫が発生した夏井川上流域の洪水氾濫状況を調べるため,決 壊地点 5 周辺の氾濫シミュレーションを実施した.ここでは,氾濫解析に適した平面二次元 計算モデルとして iRIC Nays2D Flood を用いた.計算範囲は決壊地点 5 付近の南北方向 400m, 東西方向 200m とし,計算格子幅は 25m,地形として DEM (5m メッシュ)を与えた.境界条 件としては,上流端の地点 5 からは氾濫水量の時系列変化を与え,その他の境界では流出不 可とした.計算期間は台風 19 号では 10 月 12 日 21 時-13 日 5 時,台風 21 号では 10 月 25 日 18 時~26 日 3 時とした.決壊地点 5 からの氾濫流量については,台風 19 号では,洪水浸水 想定区域図作成マニュアル⁹の決壊幅の時間変化を与え,小川水位観測所から,当該地点の 越流水深の時間変化を推定した.それらの結果と本間の越流公式より氾濫水量を求め,総和 が実測値と一致するまで与えた.一方,台風 21 号では,前節の観測値条件と台風 19 号の水 位縦断分布特性を加味し,地点 5 の越流水深が 0.2~0.6[m]になることが判明したので,最大 越流水深が 0.2m, 0.6m の 2 ケースを検討した.

台風 19 号を対象として,地点 5 周辺における氾濫状況を把握するために,浸水深コンターの観測値と解析値(最大値)を図 2.12.10(a),(b)に示す.この観測値を見ると,氾濫域の下流側(図中下側)ほど水深が大きくなり,氾濫水が溜まる貯留型氾濫となっている.また,解 析結果においても同様の傾向が確認されている.また,観測値と解析値の浸水深や浸水位の 誤差は概ね 50cm 以内に収まっており,本解析の一定の妥当性が示された.また,解析値から 得られる氾濫面積 A は 1.02km²,氾濫体積 V は 166 万 m³であった.

一方, 台風 21 号における最大浸水深コンターの解析結果を図 2.12.10(c), (d)に示す.これ より最大越流水深が 0.2mのケースでは,ほとんど浸水しておらず,氾濫面積 A=0.49km²,氾 濫体積 V=6.5万 m³であった.現地の聞き取り調査より,当時,地点 5 からは少量の越水のみ であったとの報告があり、0.2mのケースが近いものと考えられる.一方,最大越流水深 0.6m のケースでは、わずか 0.4m 増加しただけであるが、浸水深は大きくなり、氾濫面積 A=0.88km², 氾濫体積 V=93.7万m³と台風 19 号と同規模となった.このように、復旧に時間を要している 間に次の豪雨が発生すると、小規模出水でも大きな浸水被害が発生する可能性が高い.その ため、このような連続災害に備えるために、より速やかな復旧工法の開発はもとより、被災 後(特に決壊後)の洪水氾濫リスク評価手法を確立し、手戻りの無い復旧手順の決定を行う ことが今後必要となる.



図 2.12.10 台風 19 号・21 号における最大浸水深コンターの比較(観測値(a),解析値(19 号)(b),解析値(21 号,最大越流水深 0.2mのケース(c), 0.6mのケース(d))

2.12.3 まとめ

本章では,調節池を有しながらも広域での氾濫が発生した二級河川一宮川における一宮川 第二調節池について検討を行った.その結果,一宮川第二調節池においては,解析対象の台 風21号のような計画規模を大きく超過する洪水に対しては,調節池の効果は増水期の河川水 位低減効果を発揮し,満水になって以降はこの効果は発揮できない.今後の降雨の傾向や流 域全体での治水状況に応じては,可動式越流堰の導入などにより効果的な調節池の活用法の 検討が有用である.

次に令和元年台風 19 号,21 号の連続災害による被災が見られた福島県夏井川に焦点をあ て,現地調査と氾濫解析を行った.その結果,台風 21 号によって再越水した地点5付近では, 当時の浸水面積は狭い範囲に留まったものの,堤防復旧途中であったことが起因して19号と 同程度の浸水が発生しうる可能性もあったことが示唆された.連続災害に備えるために,速 やかな復旧工法の開発や被災後の洪水氾濫リスク評価手法を確立することが今後必要となる.

参考文献

- 1) 内閣府 令和元年台風第 15 号等に係る被害状況等について(12 月 5 日 17:00 現在), http://www. bousai.go.jp/updates/r1typhoon15/pdf/r1typhoon15_30.pdf
- 2) 内閣府 令和元年台風第 19 号等に係る被害状況等について(4 月 10 日 9:00 現在), http://www.b ousai.go.jp/updates/r1typhoon19/pdf/r1typhoon19_45.pdf.
- 3) 気象庁 低気圧等による大雨, https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/data/bosai/report/2019/2019102

5/jyun sokuji20191024-1026.pd

- 4) 国土交通省関東地方整備局 『令和元年東日本台風(台風第19号)出水速報(第4報)』, http s://www.ktr.mlit.go.jp/ktr content/000773445.pdf
- 5) 千葉県 県・流域市町村が連携した一宮川流域浸水対策特別緊急事業について, https://www.pr ef.chiba.lg.jp/kasei/documents/ichinomiyagawasinsuitaisaku.pdf
- 6) 千葉県 第 10 回一宮川流域懇談会, https://www.pref.chiba.lg.jp/kasei/kawazukuri/ichinomiya/dai1
 0-iin.html
- 7) 千葉県 二級河川一宮川水系河川整備計画, <u>https://www.pref.chiba.lg.jp/kasei/keikaku/rivers/plan/</u> ichinomiya/documents/ichinomiya-plan20150807.pdf
- 福島県:夏井川水系河川整備計画,<u>https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/10</u> 230.pdf. 2002(閲覧日:令和2年4月12日).
- 9) 国土交通省: 洪水浸水想定区域図作成マニュアル(第4版), 2017.

(東京理科大学・二瓶泰雄,小野村史穂,片岡智哉)

2.13 令和元年台風 19 号による豪雨災害と平成 30 年 7 月西日本豪雨災害の比較研究

2.13.1 はじめに

近年,地球温暖化の影響を受けたと考えられる豪雨被害が全国各地で毎年のように発生している.そのような状況下で,平成30年7月に発生した西日本豪雨災害に続いて,令和元年10月には関東を中心にして台風19号による豪雨災害が発生した.両豪雨災害は広域かつ大規模であったため,多くの人命・財産が失われた.本章は,それぞれの災害の被災要因や特徴を明らかにして今後の防災・減災に資することを目的として行った.

2.13.2 降雨の特徴

平成 30 年 6 月 29 日に発生した台風 7 号は 7 月 4 日に日本海で温帯低気圧に変わり,その 後,7月5日から8日にかけて西日本に梅雨前線が停滞し,記録的な大雨をもたらした.この 豪雨により,2013 年 8 月 30 日から運用が開始された大雨特別警報が過去最多の1 府 10 県 (京都府,岐阜県,兵庫県,鳥取県,岡山県,広島県,愛媛県,高知県,福岡県,佐賀県,長 崎県)において発表された.気象庁が示した図2.13.1の豪雨発生要因のイメージ図¹¹に示す ように,①多量の水蒸気の2 つの流れ込みが西日本付近で合流し維持され,②梅雨前線の停 滞・強化などによる持続的な上昇気流が形成され,③局地的な線状降水帯が形成されたこと が大雨の要因とされている¹⁾.また,気象庁は,はじめて個別の豪雨について地球温暖化に伴 う水蒸気量の増加の寄与があったとした.降雨の特徴としては,長期間降雨が続いたことで あり,24,48,72時間降水量の観測史上1位を更新した.更新箇所はそれぞれ 76,124,122 か所に上る²⁾.しかし,1,3,6,12時間降水量についてはそれぞれ 14,16,31,48 か所と 長時間の降水量に比べ更新個所数が少なかった.図2.13.2の6月28日から7月8日までの 期間で観測された最大72時間雨量³に示すように西日本の多くの箇所で72時間雨量の観測



図2.13.1 平成30年7月5日から8日の大雨の 気象要因イメージ図¹⁾



図2.13.2 72時間降水量の期間最大値の 分布図³⁾

最大を記録した.

令和元年台風第 19 号は 10 月 12 日 19 時頃伊豆半島に上陸し,関東地方を通過,13 日未明 に東北地方沖に抜け,同日正午ごろに温帯低気圧に変化した.台風の通過に伴い,東日本を 中心に大雨となり,平成 30 年の西日本豪雨を上回る 13 都県(静岡県,神奈川県,東京都, 埼玉県,群馬県,山梨県,長野県,茨城県,栃木県,新潟県,福島兼,宮城県,岩手県)で大 雨の特別警報が発表された.



このような大雨となった要因として, 気象庁は図 2.13.3 のイメージ図に示す三点を挙げて いる 4. ①大型で非常に強い勢力を持った台風の接近による多量の水蒸気の流れ込み. ②局 地的な前線の強化及び地形の効果などによる持続的な上昇流の形成. ③台風中心付近の雨雲 の通過である. ①については進路に沿った海域とその南側は海面水温が 30 度を超え、また、 内部の水温が深さ 50 m で 29 度を超えていた. そのため,通常の台風であれば海面の吸い上 げによって周辺の水温が低い海水と混合され水温が低下することで台風の勢力が衰退するが, 台風 19 号は周辺海域の水深が深い範囲でも水温が高かったため、水温が下がることなく勢力 を維持し続けた.加えて、海面温度が一度上昇するごとに水蒸気の蒸発量は7%ほど増加する といわれており、例年に比べ海水面の温度が 1~2 度ほど高かったことから水蒸気の供給も増 加していたため、非常に広い範囲に水蒸気を供給し、雨量を増加させた. ②について、例年 に比べ偏西風が北寄りに移動し、かつ、太平洋高気圧が例年以上発達し、台風 19 号の進路を 北寄りにする流れが生じていたため、本州に接近する進路をとったと考えられている.また、 関東甲信越地方から福島県にかけて北側の寒気と南からの台風の接近によって局地的な前線 が形成されたため、台風の接近に伴い、多量の水蒸気の供給されることで雨量を増加させた. さらに、①の供給された水蒸気が各地の地形効果により上昇気流となったことも雨量を増加 さえた要因の一つとしており、③について①と②で形成された雨量に加えて、台風自身の降 雨水が重なったことが、全体的に雨量を増加させた.

図 2.13.4 に 24 時間降水量の期間最大値を示すが,上陸した静岡県をはじめ,関東甲信越, 東北地方を中心とした広い範囲に強い雨をもたらし,10日からの総降水量は神奈川県箱根町 で 1000 mm を超え,東日本を中心に17地点で 500 mm を超えた.また,関東から東北一帯の 多くの地点で12時間,24時間降水量の観測史上1位をそれぞれ120地点,103地点で更新す るという記録的な大雨であった ^{5),6)}.

図2.13.5に各災害別の代表的な地点におけるハイエトグラフを示す⁵.図2.13.5(a)は小田川と その支川の合計8箇所が決壊した倉敷市を示している.また,図2.13.5(b)は土砂災害が発生した宮 城県丸森町のハイエトグラフである.これから,平成30年7月豪雨は,時間雨量が数十mmに達す るような豪雨が数時間続くのではなくて,時間10~20mm程度の幾つかのピークを持つ降雨が数日 間続いたことが分かる.一方,台風19号については10月12日から13日にかけて,時間50mm程 度の大雨が1日程度と短期間でピークが分散しない強い降雨であったことが分かる.このことより, 平成 30 年西日本豪雨は長期分散型豪雨, 令和元年台風 19 号は短期集中型豪雨といえる.



図2.13.5 24時間降水量の期間最大値の分布図⁵⁾

2.13.3 被害の概要

(1) 洪水氾濫

平成30年7月豪雨の際には、国管理河川である小田川で2箇所決壊し、県管理の河川では、広島 県12箇所、岡山県10箇所など、35箇所の合わせて37箇所の堤防が決壊した²⁾. 特に、高梁川 水系小田川とその支川である末政川、高馬川、真谷川において、本川の水位上昇の影響を受 けたバックウォーター現象に伴う越水等により8箇所にわたって堤防が決壊した²⁾. これに より真備町の浸水面積は約1200 ha にのぼり、4,600棟の住宅被害が発生した. 平成30年7月 豪雨において、国土交通省が所管する558 ダムの内、213 ダムで洪水調節が実施され、その 内、8 ダムで異常洪水時防災操作を実施された²⁾.

一方,台風19号による大雨の際には,関東・東北地方を中心に,国管理の6水系7河川12 箇所と県管理の7県20水系67河川の128箇所の合わせて140箇所もの堤防が決壊した⁵⁾. 特に,千曲川の立ヶ花狭窄部の上流において左岸が決壊し,1,360haが浸水した.国管理河川 の氾濫による浸水面積だけでも約25,000haであった⁶⁾.このときの豪雨において,国土交通 省が所管する146ダムで洪水調節が実施され,その内,6ダムで異常洪水時防災操作が実施 された⁶⁾.

図2.13.6(a)は、平成30年西日本豪雨の際に堤防決壊により大規模な浸水被害が生じた高 梁川と小田川の合流点付近から十数キロメートル上流に位置する日羽観測所の水位変化を示 している⁷⁾.また、図2.13.6(b)は、新幹線の車両基地が浸水するなどの被害が生じた千曲川 の立ヶ花観測所の水位変化を示している⁵⁾.何れの箇所もピーク水位は氾濫危険水位を2m 程度超えており、かなりの勢いで同水位を超えていたことが特徴である.

洪水氾濫について堤防の決壊箇所数で両水害を比較すると、国管理、県管理とも令和元年 台風 19 号による洪水の方が多く発生しており、決壊総数は 4 倍近く多かった.これは、図 2.13.5 に示したように、西日本豪雨が数日間にわたる長雨であったのに対して、令和元年の 台風の方が 12 時間から 24 時間という短期集中型の降雨であったことが特徴としてあげられ、 出水が急激であったことが決壊数が増加した要因として考えられる.国管理河川の決壊要因 は両豪雨災害ともに越流が主な要因であったことが堤防調査委員会により明らかにされてい る.また、何れの出水においても県管理の中小河川の被災割合が非常に高いことが特徴であ る.



(2) 土砂災害

平成 30 年 7 月豪雨では全国で,土石流等 769 件,地滑り 55 件,崖崩れ 1,688 件の合わせ て 2,512 件の土砂災害が発生した⁹⁾.発生件数の割合は,崖崩れ 67%,土石流等 31%で土砂 災害の殆どを占め,地滑りは 2%であった.特に広島県では,土石流等 609 件,地滑り 1 件, 崖崩れ 632 件の合わせて 1,242 件の土砂災害⁹⁾が発生しており,土石流災害の約 8 割が広島県 で発生した.一方,浸水被害の大きかった岡山県で発生した土砂災害は,土石流 11 件,地滑 り 10 件,崖崩れ 35 件の合わせて 56 件であった¹⁰⁾.同じ瀬戸内海に面した花崗岩地帯である にも拘わらず広島県の方が被災件数が多かったのは,図に示していないが,7月5日から8日 にかけて降った長雨の最後に広島県では線状降水帯が居座り,時間数十 mm の大雨が降り続 いたのに対して,岡山県では終盤の降雨が時間 20 mm 程度であったことが原因と考えられる. また,広島県坂町等では,豪雨により上流域から流出した多量の土砂が谷からの出口付近よ り下流の河道に堆積して氾濫を起こす土砂・洪水氾濫が発生した.

一方,令和元年台風 19 号では全国各地で土石流等 426 件,地滑り 44 件,崖崩れ 492 件の 合わせて 962 件の土砂災害が発生した⁵⁾. 台風の経路の影響により特に東北地方の日本海側 で多数発生した.発生件数の割合は,西日本豪雨災害と同様に,地滑りの割合は少なく,土 石流等と崖崩れによる被害がほとんどであった.また,宮城県丸森町では土砂・洪水氾濫も 発生した.

(3) 住家,人的被害

平成 30 年 7 月西日本豪雨では、広域的かつ同時多発的に外水氾濫、内水氾濫、土石流が発生し、 死者行方不明者 232 名,住家の全半壊等 21,460 棟,住家浸水 30,439 棟という甚大な被害が生じた⁸⁾.

令和元年 10 月の台風 19 号による豪雨では,極めて広範囲にわたり,河川の氾濫や崖崩れ等が発生し,死者行方不明者 87 名,住家の全半壊等 54,054 棟,住家浸水 34,399 棟の甚大な被害が発生した⁵.

河川の決壊数や,全半壊,住家浸水戸数は令和元年台風19号による被害の方がかなり多か ったが,死者行方不明者数は5割以上減少した.

図 2.13.7 に示す災害種別の死者数を見ると、平成 30 年豪雨は土砂災害による死者数が

54%であったのに対して、台風 19 号では水害による死者数が 74%とかなり多くなった⁵⁾. こ れは、河川堤防の決壊数が平成 30 年豪雨の 37 箇所に比べて令和元年台風 19 号では 140 箇所 と 3.8 倍と増えたことが水害による死者数の割合が増えた主な要因であると考えられる. し かし、両者の水害による死者数で見ると、60 から 70 名程度で同程度である. このように令和 元年台風 19 号の洪水被害の割に犠牲者が少なくなったのは、台風 19 では平成 30 年西日本豪 雨災害の時よりも避難する人の割合が多くなったと推察される. 避難者の割合が増えた原因 としては、平成 30 年豪雨の教訓が生かされたことと、台風の進路予測の精度が向上して危険 性を認知できた住民が増えたことが要因と考えられる.

また、二瓶¹¹の報告によると令和元年の台風により自宅で被災した 21 名の全員が 1 階で 水死していることと、その内 12 名が 2 階建て以上の共同住宅もしくは 2 階建てであった.平 成 30 年の真備町においても 2 階建ての犠牲者が多く出ており、想定される浸水深が 2 m 以上 の地域では、1 階建てに限らず 2 階建てであっても早めの避難が必要であることを示してい る. さらに、令和元年の台風 19 号の犠牲者の内、22 名(20%程)は車中であり、避難時に車 を使う際も早めに避難する必要があることを示唆している.



(a) 平成30年西日本豪雨(197人)
 (b) 令和元年台風19号(84人)
 図2.13.7 災害種別犠牲者割合(平成30年西日本豪雨は岡山県,広島県,愛媛県の合計)⁵⁾



図2.13.8 年齢別犠牲者割合(平成30年西日本豪雨は岡山県,広島県,愛媛県の合計)⁵⁾

次に,年齢別の死者数について見ると,両水害共に 70歳以上の高齢者の死者割合が高く, また,両者とも5割程度を占めた⁵⁾. 60歳から 69歳までの割合でみると,平成 30年西日本 豪雨が 12%であったのに対して,令和元年の台風 19号では 29%と 2.4倍に増加しているの が特徴である. 60 歳以上の割合で見ると、平成 30 年西日本豪雨では 65%、令和元年台風 19 号では 76% と、高齢者が 70%程度と犠牲者に占める割合が高いため、今後、高齢者をいかに迅速に避難 させるかが課題である.

2.13.4 本章のまとめ

本章では、平成 30 年西日本豪雨災害と令和元年台風 19 号による災害の状況や特徴を検討 した.得られた主要な知見は以下のとおりである.

- 平成30年西日本豪雨は48時間,72時間累積雨量の既往最大箇所が多かったが,令和元 年台風19号では,12時間,24時間累積雨量の既往最大箇所が多かったことより,平成30 年西日本豪雨は長期分散型豪雨,令和元年台風19号は短期集中型豪雨といえる.また,何れの 大雨も,地球温暖化の影響と考えられる空気中の水蒸気量が多かったことが挙げられ,今 後も大規模かつ広域な大雨による災害が頻発する可能性が高い.
- 2) 洪水による堤防決壊箇所数は、令和元年台風 19 号の方が4 倍近く増えた.何れの水害においても、中小河川の被災割合が非常に高く、中小河川の被災防止策を積極的に進める必要がある.
- 3) 土砂災害の犠牲者数は、令和元年台風 19 号の方がかなり少なかった.これは、平成 30 年 西日本豪雨災害の教訓が生かされたことと、台風の進路予測精度が向上したことが、土砂 災害の警戒を要する住民の避難を促したものと考えられる.
- 4) 犠牲者に対する高齢者の占める割合が両水害ともに非常に高かった.また、2 階建てであっても1 階で犠牲になる高齢者も多かった.よって、人的被害の軽減のためには高齢者をいかに迅速に避難させるかが課題である.

参考文献

- 1) 「平成 30 年 7 月豪雨」の大雨の特徴とその要因について(速報): 気象庁, 2018.7.13.
- 2) 平成 30 年 7 月豪雨における被害等の概要:大規模広域豪雨を踏まえた水害対策検討小委 員会第1回資料2,国土交通省,2018.9.28.
- 3) 平成 30 年 7 月豪雨(前線及び台風第 7 号による大雨等): 気象庁, 2018.7.13.
- 4) 令和元年台風第 19 号とそれに伴う大雨などの 特徴・要因について(速報):気象庁, 2019.10.24.
- 5) 台風 19 号等の概要:令和元年度台風第 19 号による災害からの避難に関するワーキンググ ループ,第1回資料3,内閣府,2019.12.18.
- 6) 令和元年台風 19 号による被害等:気候変動を踏まえた水害対策小委員会,国道交通省, 2019.11.22.
- 7) 平成 30 年 7 月豪雨の気象・水文概況:高梁川水系小田川堤防調査委員会第 1 回資料 2, 2018.7.27.
- 8) 大規模広域豪雨を踏まえた水害対策のあり方について(答申):国道交通省, 2018.12.
- 9) 平成 30 年 7 月豪雨の概要: 平成 30 年 7 月豪雨による水害・土砂災害からの避難に関する ワーキンググループ,第3回参考資料1,内閣府,2018.12.12.

10) 平成 30 年 7 月豪雨災害記録誌: 岡山県, 2020.3.

11) 二瓶泰雄:台風 19 号・21 号による洪水氾濫・人的被害状況,水工学委員会「令和元年台風 19 号豪雨災害調査団」速報会, 2019.12.6.

(岡山大学・前野詩朗)

2.14 河川堤防の被害分析 ~阿武隈川,千曲川の浸透被害を中心に~

2.14.1千曲川

(1) 左岸 57k 付近

図 2.14.1 に越流侵食箇所の様子を示す.同地点は決壊箇所から少し下流の位置にあたる. 越水によって破堤しないところを調査することで,越水による侵食プロセスの痕跡をみるこ とが目的である.同地点では法肩から法面下部まで大規模に堤体が削られていた.一方で法 尻は崩れておらず,法すべりのような堤体の沈下および,堤内側で盤膨れや噴砂の確認はで きなかった.また,越流侵食箇所付近の裏法尻で簡易貫入試験を1箇所実施したが,基礎地 盤内に局所的なゆるみ等は確認されなかった.同地点においては図に示すような大規模な越 流侵食が発生した箇所もあれば小規模な侵食(複数)も見られた(図 2.14.2 参照).小規模 な侵食に関しては上記の大規模な侵食とは異なり,法肩からではなく法面中央あたりから法 尻に向かって縦に洗堀されていた.また,侵食箇所周辺には直径 30cm 程度の石も流出してい たため,被災時にはかなり大きな流速が発生していた可能性がある.侵食の切欠となる弱点 箇所を考える上で有益な情報となると考えている.



図2.14.1 越流侵食箇所の様子(大規模な侵食箇所)

(2) 右岸 57K 付近

一方,図2.14.3に右岸57kの越流侵食箇所の様子を示す.同地点は決壊箇所の対岸にあたる.堤体表面の植生がはがされていたなど越流による痕跡が残っているものの堤体に変状はほとんど見られなかった.さらに,基盤漏水対策が行われた箇所(表側の矢板打設,裏法のドレーン施工)において越水が生じたが,踏査による調査では変状が見られなかった。漏水のための堤防強化が越水にも効果があった可能性がある。今後,さらなる分析を行うことで,

越水時に浸透と侵食の複合作用がある場合には裏法尻の効率的な補強を考えるための示唆的 な情報となるとおもわれる。



図2.14.2 越流侵食箇所の様子(小規模な侵食箇所)



図2.14.3 右岸側の裏法面の様子

2.14.2 阿武隈川

(1) 阿武隈川右岸 32.4k 付近

図 2.14.4 に示すように数百メールにわたり, 噴砂, 陥没, 法面の亀裂など見られ, 浸透に よる変状が見られた. この箇所においての簡易動的コーン貫入試験を行い, 噴砂が明瞭な箇 所では堤体下にゆるんで残っている箇所があることを確認している. パイピングの進展には 至っていない.



図 2.14.4 裏法など堤内側の変状の様子

(2) 阿武隈川左岸上流 10.6k 地点

本地点は本川である阿武隈川と支川である佐久間川の合流地点である. なお,本地点の阿 武隈川の堤外側の一部には「阿武隈川平成の大改修」により,矢板が施工されている. 図2.14.5 には,本調査地の噴砂発生地点を示す. 図からわかるように,本地点ではいくつもの噴砂が 発生し,噴砂が群生している部分も見受けられた. 被災後には噴砂地点の周辺に,釜段工が 施されていた.本地点の堤内側には畑が広がっているが,法尻から畑の中にも噴砂孔が見受 けられた.本地点の被害は漏水のみであり,氾濫等は発生していない.

図2.14.6 に簡易動的貫入試験の結果と小段の沈下の様子を示す.支川との合流部付近で多数かつ激しい噴砂が発生し堤体下にもゆるみが進展したと考えられる.ただし、本川については矢板が施工されておりゆるみの進展が抑制されたと考えられる.支川側では、堤体下部のゆるみの進展によって小段に10cm程度の沈下が見られた.ただし、この箇所については今回の出水だけでなく、過去の出水履歴にも起因する可能性もある.噴砂履歴については記録に残っていなかったが、ヒアリングによる証言から明らかになっている.このような情報を確実にかつ簡単に蓄積する方法の構築が必要である.UAV や衛星などの鳥瞰的な情報収集技術の活用が期待される.

図2.14.7に土木研究所が主体で行ったトレンチ掘削による調査の様子を示している.現地 で発生したパイピングの進展プロセスを断面で観察することができ、実験や解析で確認され た結果と比較が可能である.また、貫入試験や電気探査によって推測された地盤構造を実際 に目視で確認でき、調査結果の解釈の向上にも繋がる.貴重なデータの収集ができた.今後 も、このような破堤してない箇所でのデータの蓄積が重要である.



図2.14.5 噴砂の様子と貫入試験の側線



図2.14.6 側線②(支川)における堤体下のゆるみ域の残存と小段の沈下



図2.14.7 噴砂・陥没箇所のトレンチ掘削調査:パイピングの進展プロセスの見える化

(名古屋工業大学・前田健一)

第3章 土砂·流木災害

3.1 宮城県伊具郡丸森町子安で発生した土石流の流動特性

3.1.1 概要

2019年10月12日から13日にかけて,台風19号による豪雨によって宮城県南部に位置す る伊具郡丸森町子安で複数の土石流が発生し,家屋が破壊されて4名の死者・行方不明者が 発生した.台風19号による土砂災害の数は2019年12月24日時点で952となっており,一 つの台風による土砂災害の数としては過去最多であった.土石流の数は407,がけ崩れは501, 地滑りの数は44であり,死者数は16人,行方不明者数は1人,負傷者数は10人であった (いずれも2019年12月24日時点).なお,宮城県の土砂災害の数は254であった.

本報告では,宮城県伊具郡丸森町子安周辺の C-X 合成レーダーによる降雨強度データを用いた斜面崩壊・土石流発生危険度の評価を実施するとともに,現地調査及び平面二次元の土 石流数値シミュレーションによって土石流の流動特性を明らかにし,今後の土砂災害対策に 資する情報を提供する.

3.1.2 調査対象地点の概要

(1) 地形・地質

図 3.1.1 に調査対象地点の位置を示す.子安地区は阿武隈川右岸側の阿武隈高地北端付近に位置している.子安地区には南北方向に道路があり,道路沿いに一世帯所有の二軒の家屋が存在していた.斜面は西向きであり,被災家屋よりも上流域の斜面勾配は約18度,被災家屋よりも下流域の斜面勾配は約9度である.



図 3.1.1 対象地点の位置



図 3.1.2 対象地点周辺の地質¹⁾



図 3.1.3 細粒土砂(2019.10.17 撮影)



図 3.1.4 コアストン (2019.10.17 撮影)



図 3.1.5 C-X 合成レーダーによる土石流発生地点における降雨強度の時間的な変化

図 3.1.2 に研究対象地点周辺の地質図を示す.対象地点の斜面上部は花崗岩地帯,被災家

屋周辺は花崗閃緑岩となっている.2017年の九州北部豪雨被災地の赤谷川流域の地質は広い 範囲で花崗閃緑岩となっており、2018年の西日本豪雨被災地の広島市は広い範囲で花崗岩地 帯となっており、研究対象地点と同様の地質である.また、風化の度合いも似ており、図3.1.3 に示すような粒径 1mm 前後の細粒土砂が多い一方で、図3.1.4 に示すような直径数 m から 数十 cm の球状風化したコアストンも見られた.

(2) 降雨

図3.1.5 に C-X 合成レーダーによって得られた土石流発生地点における降雨強度の時間的 な変化を示す.降雨は,2019年10月12日午前9時ぐらいから10月13日午前2時ぐらいま で降り続いており,12日午後9時6分に最大降雨強度を記録している.近くに住んでいる住 民によると,午後9時7分に土石流が発生したとのことであり,ちょうど最大降雨強度の発 生時間と一致している.土石流発生までの積算降水量は309mmであり,同じ花崗岩系の地質 で発生した2018年の広島県安芸郡熊野町川角での土石流発生までの積算降水量153mmに比 べると,土石流発生までの積算降水量が大きいことがわかる.これは,最大降雨強度と斜面 勾配の両地点での違いが影響を与えていると考えられる.2018年の広島県安芸郡熊野町川角 で土石流を発生させた豪雨の最大降雨強度は120mmを超えており,子安地区の1.5倍以上と なっている.どちらの土石流も表層崩壊起源であることを考えると,斜面表層の土壌水分量 の増加によって崩壊が発生していると考えられるため,短時間でも最大降雨強度が大きい方 が表層における水分量が一時的に増えるため,積算降雨量が少なくても斜面崩壊が発生しや すい状態となると考えられる.また,広島県安芸郡熊野町川角の斜面勾配は約25度であり, 子安地区の18度よりも斜面勾配が急であり,崩壊が発生しやすいと考えられる.



図 3.1.6 家屋上流の土石流流動域(2019/10/17 撮影)

3.1.3 現地調査

図 3.1.6 に家屋上流の土石流流動域の様子を示す.比較的明確な土石流の流動痕が三筋確認できるため,土石流は少なくとも三カ所から発生し,家屋の方に流れてきたと考えられる. また,土石流による地盤浸食深が非常に浅いことがわかる.図 3.1.7 に対象地点周辺の斜面 の様子を示す.周辺の斜面でも,非常に多くの土石流が発生していることがわかる.なお, これらの土石流は下流の宅地まで到達していない.これは,対象地域は斜面勾配が20度以上 の場所がほとんど無く,土石流発生斜面としては比較的緩やかであるとともに,斜面の途中 に土石流の堆積域となる緩勾配域が存在しているためと考えられる.また,斜面上の不安定 土砂の厚さが薄く,土石流の規模がそれほど大きくならないことも原因と考えられる.



図 3.1.7 周辺の斜面(2019/10/17撮影)



図 3.1.8 土砂災害危険度の時間的な変化

3.1.4 土砂災害危険度

図 3.1.8 にリアルタイム土砂災害危険度評価システム²⁾を使って得られた,土砂災害危険 度の時空間的な変化を示す.図には,C-X 合成レーダーで得られた降雨強度の空間分布も示 している.10月12日17時ごろから子安地区においてランク1の土砂災害危険度が表示され はじめる.その後,時間とともに土砂災害危険度が増加し,土石流が発生した21時過ぎには 危険度が最も高いランクとなっており,本システムにおいても土砂災害の発生を予測できて いたことがわかる.

3.1.5 土石流の数値シミュレーション

(1) 基礎方程式

数値シミュレーションに用いた基礎方程式は,水と土砂の混合物を一つの流体として扱った一流体連続体モデルである平面二次元土石流モデル³⁾によるものを用いる.構成則は江頭ら⁴⁾によるものを用いる.本解析モデルでは,細粒土砂が水と混合することによって液体として振る舞う相変化を考慮している.

(2)解析条件

図 3.1.9 に解析に用いた計算格子と初期地盤高さを示す. 平均格子幅は 2m である. 地盤 データには国土地理院による 5mDEM データを用いた.本解析では,図 3.1.6 で示した斜面 崩壊起源の三つの土石流を考慮している.土砂の平均粒径は 1cm としている.



図 3.1.9 解析に用いた計算格子と初期地盤高さ

(3) 解析結果

図3.1.10に土石流の流動深の空間分布の時間変化を示す.土石流発生から宅地までの到達時間は約40秒と短く,降雨強度が時間雨量約80mmと強かったことを考えると,土石流発生後に別の場所に避難をすることは非常に難しかったと考えられる.また,斜面での平均流速が10m/sと速く,家屋全体が流出しているため,二階への垂直避難では助からないことがわかる.ただし,宅地前の道路に沿って北,もしくは南に60m程度移動した場所は土石流流動域から外れるとともに谷地形ではないため,土石流による被災確率は非常に低い.そのため,

そのような場所に一時避難場所を確保することができれば、生存確率を高めることが可能である.



(e) 100秒後

(f) 200秒後



3.1.6 まとめ

斜面崩壊・土石流発生危険度評価を実施するとともに,現地調査及び平面二次元の土石流数値シミュレーションにより,発生した土石流の流動特性を検討した.得られた成果をまとめると,以下のようである.

- (1) 対象地点の斜面上部は花崗岩地帯,被災家屋周辺は花崗閃緑岩となっており,粒径 1mm 前後の細粒土砂が多い一方で,直径数 m から数十 cm の球状風化したコアストンも見ら れた.
- (2) CX バンドレーダー雨量によれば,2019年10月12日午後9時6分に最大降雨強度を記録 しており,土石流発生時刻と一致している.
- (3) 土石流発生までの積算降水量は 309mm であり、同じ花崗岩系の地質で発生した 2018 年の

広島県安芸郡熊野町川角での土石流発生までの積算降水量 153mm に比べると, 値が大き いことがわかる.これは, 最大降雨強度と斜面勾配の両地点での違いが影響を与えている と考えられる.

- (4) 土石流は少なくとも三カ所から発生し、家屋の方に流れてきたと考えられる.また、土石 流による地盤浸食深が非常に浅い.
- (5) 10月12日17時ごろから子安地区において土砂災害危険度が表示されはじめ、土石流が 発生した21時過ぎには危険度が最も高いランクとなっており、本システムにおいても土 砂災害の発生を予測できていたことがわかった.
- (6) 土石流発生から宅地までの到達時間は約40秒と短く,土石流発生後に別の場所に避難を することは非常に難しかったと考えられる.また,斜面での平均流速が10m/sと速く, 家屋全体が流出しているため,二階への垂直避難では助からないことがわかる.
- (7) 道路に沿って宅地から 60m 程度移動した場所は土石流流動域から外れるとともに谷地形 でないため、土石流による被災確率は非常に低い.よって、そのような場所に一時避難場 所を確保することによって、生存確率を高めることが可能である.

(京都大学·竹林洋史)

参考文献

- 1) 国立研究開発法人産業技術総合研究所地質調査総合センター:地質ナビ.
- 五十嵐孝浩,竹林洋史,浜田裕貴,的場萌実,飛岡啓之,澤田悦史,平川了治:"生命の 危険からの自発的回避"のための土砂災害危険情報サービスの構築,土木学会論文集 B1(水工学) Vol.72, No.4, I_1285-I_1290, 2016.
- Takebayashi H., Fujita, M. : Numerical Simulation of a Debris Flow on the Basis of a Two-Dimensional Continuum Body Model. Geosciences, 10, 45, 2020.
- 4) 江頭進治,伊藤隆郭:土石流の数値シミュレーション,日本流体力学会数値流体力学部
 門Web 会誌, Vol.12, No. 2, pp. 33-43, 2004.

3.2 宮城県丸森町における土砂・流木災害の発生要因分析

3.2.1 はじめに

令和元年東日本台風(台風19号, Hagibis)では,多くの堤防決壊が発生したことから,河 川災害が注目されたが,宮城県最南端の丸森町では阿武隈川支川の新川,内川,五福谷川の3 河川の流域で大雨が集中し,斜面崩壊が多数発生した.第一の要因は大雨が集中したことで あるが,地質的には風化しやすい花崗岩などが含まれる深成岩がそれらの流域に広く分布し ており,河川上流域は森林が多く,広葉樹と針葉樹が混ざった針広混交林が多い特徴がある. これらが土砂災害の発生にどの程度影響しているのかを調べることは,今後の同地域の災害 安全度や河川計画を検討する上でも重要と考えられる.さらに,今次水害では流木も多量に 発生していた.流木発生量については,公的な調査結果がまとめられていないため正確な値 が不明である.よって,今次水害での流木発生規模を確かめておくことも,併せて重要と考 えられる.

このようなことから、災害発生後一ヶ月程度以内に現地調査を行い、土砂・流木災害の状況を調べた.さらに現在、著者らが開発している河川流域における降雨・地形・地質・土地被 覆などの情報を基に、降雨パターンに応じた流木発生量を推定する手法を丸森町の3河川と 比較的被害の小さかった同町の阿武隈川支川雉子尾川の計4河川へ適用し、土砂・流木災害 の発生要因の分析を試みた.

3.2.2 丸森町における土砂・流木災害の発生状況

宮城県丸森町は、宮城県の最南端で福島県との県境に位置している. 面積 273.3 km², 人口 13,110人(2020年4月末現在)であり、高齢化率が 2019年3月段階で 40.3%(県内2位)の 小さい町である^{1,2)}. 町内を阿武隈川が東西に横切り、右岸側支川として宮城県管理の内川 (流域面積:105.84 km², 延長:18.2 km)と雉子尾(きじお)川(65.6 km², 11.9 km), ならび に内川の支川である五福谷(ごふくや)川(23.8 km², 2.7 km)と新川(16.93 km², 2.2 km)が 流れている³⁾.

今次台風では,10月12日に丸森町でも大雨が発生した.図3.2.1に気象庁アメダス筆甫 (ひっぽ.内川上流)における10月12日から13日5時までの降雨状況を示す.位置は図 3.2.2に示す.ピーク時間雨量は12日20時の74.5 mm,12日の日降水量は558 mmであっ た.過去の日降水量の最大値は,1989年8月6日の359 mmであったが,今次台風が記録を 更新している.年降水量の平年値は1,459 mmであることから,今次台風の日降水量は年降水 量平年値の38.2%となり,年雨量の約1/3が1日で降った.筆甫の降雨について確率計算した 結果,1時間最大累積雨量は74.5 mmで再起確率が約1/25,3時間は210 mmで約1/80,6時 間は367 mmで約1/150,12時間は515 mmで約1/150,ならびに24時間は587.5 mmで約 1/125であった.

このような大雨により,4河川の下流域では外水・内水はん濫が広範囲に発生した⁴⁾.特に, 内川で10カ所,五福谷川と新川でそれぞれ4カ所ずつの堤防決壊が発生している⁵⁾.さらに, 大雨によりこれら河川の流域では斜面崩壊が多発した.国土地理院⁴⁾は10月20~21日に丸 森町の空中写真を撮影し,斜面崩壊の分布図を公開した.GIS上で崩壊地を再プロットした ものを図3.2.2に示した.斜面崩壊の発生は阿武隈川右岸側に集中しており,特に内川・新 川・五福谷川沿いが多く, 雉子尾川沿いはあまり多くないことが分かる. 4 河川全体での崩壊 斜面数は 497 カ所であった. これらのはん濫や土砂災害に起因した人的被害は, 丸森町だけ で死者 10 人, 行方不明者 1 人 (2020 年 4 月 10 日現在) であった⁶. 宮城県全体が死者 19 人,行方不明者2人であったが,県全体に対して人口が0.6%、面積が3.8%であることから 考えても、特筆して大きい被害であったことが分かる.



図 3.2.1 筆甫雨量観測所の降雨状況(表示 図 3.2.2 丸森町の斜面崩壊発生状況と地 期間: 2019 年 10 月 12 日 0 時~13 日 5 時)



形(傾斜角),ならびに雨量観測地点





写真 3.2.1 五福谷川沿いの住宅の土砂埋没 写真 3.2.2 五福谷川沿いの住宅周辺の流 状況

木

著者らは,発災2週間程度後の10月25日,ならびに約1ヶ月後の11月16~17日に現地 調査を実施し、土砂・流木災害の状況を確認した。1回目の調査は、被災により道路が寸断さ れた箇所が多く、丸森町市街地側から各河川の上流へ向かうことがほとんど出来なかったが、 2回目の調査時点では道路の啓開も進み、車と徒歩で大部分の調査は実施できた. 被災3河 川(内川・新川・五福谷川)において、土砂・流木の発生が顕著であり、住宅が土砂で埋没し たり(写真 3.2.1),住宅周辺に流木が堆積したり(写真 3.2.2)する状況が見られた.また, 河川沿いの道路法面が洪水流により削られた結果、道路が崩落し通行止めとなっている箇所 が多数見られた。一方で、筆甫と同レベルの大雨が降った雉子尾川では、上流域で斜面崩壊 が一部発生し、流木が破壊した橋梁(田代橋)も見られたものの、総じて前述の3河川と比 べると被災規模は小さかった.よって、同レベルの降雨規模でありながら被災規模が大きく 異なった3河川と雉子尾川を比較することは、要因分析において重要であると考えられる.

次に各河川流域から発生した流木量を評価した.ここでは、斜面崩壊面積と土地被覆デー

タから発生流木量の推定を行った.その際に必要となる情報が、斜面上の森林における単位 面積あたりの樹木量(幹体積量)である.今回の被災流域では、針葉樹と広葉樹が入り交じ った混交林であることから、それぞれの樹種についての単位面積あたり幹体積量が必要であ る.ここでは、対象地域で利用可能な情報が得られないことから、平成29年7月九州北部豪 雨で用いられた福岡県スギ人工林収穫予測システム⁷⁾から算出される樹齢45年のスギを対象 とした値である 54,900 m³/km²を針葉樹林に、林野庁の「土石流・流木対策の手引き」⁸⁾に使 用されている広葉樹の値100 m³/km²を広葉樹林に対してそれぞれ適用した.対象とした4河 川について今次台風による実績流木量として算定したところ、内川が 6,720 m³、新川が 2,972 m³, 五福谷川が 9,588 m³, ならびに雉子尾川が 1,217 m³と得られた. 河川流域を渓流に区分 し、渓流面積に対する発生流木量をプロットしたものを図3.2.3に示す.計241渓流で斜面 崩壊が発生しており、そのうち51 渓流において単位面積あたり流木発生量が1,000 m³/km²を 上回っていた.最大値は内川の渓流で 4,608 m³/km²と見積もられた.これは,平成 29 年まで 最大値と考えられていた 1,000 m³/km²を大きく上回っていた.一方,その最大値を更新した 平成 29 年九州北部豪雨 ⁹⁾での 20,000 m³/km² や平成 30 年西日本豪雨での推定値 ¹⁰⁾である約 10,000 m³/km²には及ばなかったが、近年の降雨規模増大が流木量を著しく増加させているこ との傍証となるものである.



図 3.2.3 今次台風の斜面崩壊から推定した流木量の渓流面積に対する関係

3.2.3 斜面崩壊の要因分析のためのロジスティックモデルの適用

次に、今次台風による大雨に起因する斜面崩壊の発生要因を誘因データとしての雨量と素 因データとしての地形・地質・被覆条件を用いたロジスティックモデルにより分析する.対 象河川は、土砂・流木の発生が著しかった内川・五福谷川・新川、ならびに比較的被害の小さ かった雉子尾川の4河川の流域とした.

対象流域を 30m メッシュで区切り,要因データセットを GIS(ArcGIS, ESRI 社製)上に作成 した.要因データについての組み合わせを数種類作成して比較し¹¹⁾,最も適合度が高く,か つ雨量データと正の相関性を持つモデルをベストモデルとして選定した.そのモデルでは, 斜面崩壊に寄与する素因として傾斜角・地質・平面曲率・累積流量・土地被覆を,誘因として 1時間・3時間の各最大累積雨量を CX 合成レーダー雨量データ(以下, C-X 雨量)より設定 したものを使用している.

雨量データの取り扱いとして、各時間累積雨量は、それより短い時間の累積雨量の影響を 通常は含んでおり、いわゆる多重共線性がある.その影響を極力小さくすることを目的に、3 時間最大雨量は1時間最大雨量を差し引いた雨量とする処理を行った.また、C-X 雨量につ いて、地上雨量による補正を行った. 筆甫での 10 月 12 日の1 日分についての比較を図 3.2.4 に示す. 地上雨量が C-X 雨量と比べてかなり大きいことが分かる. 日雨量で比較すると、筆 甫で 1.89 倍、丸森(図 3.2.2) で 1.07 倍、ならびに大内(図 3.2.2) で 1.44 倍と地上雨量が 大きかった. ゆえに、C-X 雨量の直接利用では雨量を過小評価することになるため、補正が 必要となる. ここでは、今回の対象範囲に含まれる筆甫と大内での日雨量の倍率を平均して、 C-X 雨量を一律 1.67 倍する補正を行った. 図 3.2.5 に一例として 3 時間最大雨量(補正前) の分布を示す. 内川・新川・五福谷川の流域が最も雨の強い雨域に入っており、雉子尾川は それらより弱めの雨域であった.





図 3.2.4 筆甫における C-X 雨量と地上雨量 図 3.2.5 3 時間最大雨量の分布 (C-X 雨量) の比較 (2019 年 10 月 12 日分のみ)

地形については、国土地理院の数値情報 10m メッシュ¹²⁾を用いた.GIS 上で各メッシュの 傾斜角と平面曲率,ならびに河道と各河川の流域界を求めている.平面曲率は、最大傾斜角 方向に直交する方向の曲率で、上に凸が正値、凹が負値、フラットな場合は 0 となる.ArcGIS の Spatial Analyst Toolbox 中の Surface Tool を使用して計算した.図3.2.2 に傾斜角、河道、4 河川の流域界の分布を示した.斜面崩壊の分布と重ねて示しているが、概ね傾斜角 20°以上の 斜面での崩壊が顕著であることが分かる.また、GIS の機能 (Flow Accumulation Tool を使用) を用いて累積流量を算出した.累積流量とは、傾斜に沿って地表流が流れる場合に対象とす るメッシュを通過する水が通過してきたより高い位置のメッシュ数を累積したものであり、 一般的には流路や尾根を特定するために用いられる.

地質については、地質情報は国土交通省の 50 万分の 1 土地分類基本調査¹³⁾から表層地質 図を用いた. 図 3.2.6 に表層地質図を示す.内川・新川・五福谷川については、風化しやす い花崗岩が含まれる深成岩が分布している.一方、雉子尾川については、上流域については 同様に深成岩が分布しているが、中下流は堆積岩となっている.同図も斜面崩壊分布を重ね ているが、明らかに深成岩が分布する地帯に斜面崩壊が集中していることが分かる.佐藤・ 宇根¹⁴⁾による丸森町の斜面崩壊状況の調査結果によると、花崗岩・花崗閃緑岩が風化した箇 所の崩壊が顕著であったことが報告されている.

土地被覆については、土地被覆情報は宇宙航空研究開発機構(JAXA)地球観測研究センター (EORC)¹⁵⁾から日本域高解像度土地利用土地被覆図を用いた.図3.2.7に土壌被覆分布を示す. 4河川の流域で顕著な植生の違いは見られない.特徴として、広葉樹と針葉樹が入り交じった 針広混交林が分布している.一般的に針葉樹は根入りが浅く表層崩壊が起こりやすく、一方 で広葉樹は根が深く表層崩壊が起こりにくいと考えられている.実際に,渓流から流出する 流木の発生状況(流域面積あたりの流木発生量(幹材量))は最大で,広葉樹が100 m³/km²で あるのに対して,針葉樹は1,000 m³/km²と統計的に説明されていた⁸⁾が,前述の通り平成29 年豪雨では最も被害の大きかった赤谷川で針葉樹が最大 20,000 m³/km² で流出した渓流があ った⁹.



図 3.2.6 丸森町の表層地質分布



図 3.2.7 丸森町の土地被覆分布



の比較

図3.2.9 河川毎の流木発生量の実績と評価 の比較

斜面崩壊を次のように評価した.まず,河川流域を渓流に区分けする.次に,ロジスティ ックモデルで計算される各メッシュの崩壊確率 Pを求める.各渓流に含まれるメッシュの P を平均し,渓流の崩壊確率を評価する.そして,崩壊面積を渓流の面積に平均崩壊確率を掛 け合わせて求める.図3.2.8に渓流毎の崩壊面積率の評価結果を示した.決定係数 R²は0.447 であった.最後に,ロジスティックモデルで評価した斜面崩壊から算出された河川毎の発生 流木量を,前述の実績値と比較した(図3.2.9).五福谷川を除いて概ね誤差 20%に収まって おり,河川単位で見た場合にはよく一致していた.

3.2.4 結論

令和元年東日本台風により甚大な土砂・流木災害を被った宮城県丸森町を対象として災害 調査を行った.さらに、今次台風による斜面崩壊や流木流出の要因分析を行うために、地形・ 地質・土地被覆・雨量の情報から斜面崩壊発生確率を評価できるロジスティックモデルを開 発した.
現地調査の結果,丸森町を流れる阿武隈川支川の内川・新川・五福谷川の3河川において 著しい土砂・流木災害が発生したこと,一方で雉子尾川では上流域を除き被害は小さかった ことが確認された.データ解析から,今次台風による流木発生量は,平成29年九州北部豪雨, 平成30年西日本豪雨に次ぐ規模だったことが示された.さらに,ロジスティックモデルによ る分析で,今次台風による斜面崩壊の発生は地質構造に大きく支配されており,風化しやす い花崗岩や花崗閃緑岩が含まれる深成岩が分布していることが要因であったと推定された.

本調査で得られたロジスティックモデルは完全なものではないが,土砂・流木災害の規模 を降雨再起確率で表示することを可能にした.丸森町の治水・砂防計画において水・土砂・ 流木の相互影響を考慮することも可能にするものであり,今後の気候変動の影響を加味した 治水計画策定において利用されることで大規模災害の安全度向上が望まれる.

参考文献

- 1) 丸森町ホームページ: http://www.town.marumori.miyagi.jp/link.html (2020年6月)
- 2) 宮城県ホームページ: https://www.pref.miyagi.jp/ (2020 年 6 月)
- 3) 宮城県(2012): 一級河川阿武隈川水系阿武隈川圏域河川整備計画, p.59.
- 4) 国土地理院:令和元年(2019 年)台風 19 号に関する情報, https://www.gsi.go.jp
 /BOUSAI/R1.taihuu19gou.html (2020 年 6 月)
- 5) 大坪祐紀,福島陽介,畑山作栄,山本卓男(2020):令和元年台風第19号における河川管理 者の対応,河川,883,pp.22-27.
- 6) 内閣府: 令和元年台風第 19 号に係る被害状況等について, p.116, 2020.
- 7) 福岡県:スギ人工林収穫予測システム, http://www.pref.fukuoka.lg.jp/contents/sugiyosoku.html (2018年4月)
- 8) 林野庁(2012): 土石流・流木対策の手引き, p.65.
- 9) 国土交通省(2017):平成 29 年 7 月九州北部豪雨は過去最大級の流木災害. http://www. mlit.go.jp/common/001198670.pdf (2018 年 5 月時点).
- 10) 津末明義ら(2020): 斜面崩壊・流木流出のロジスティックモデルによる評価手法の平成 30 年西日本豪雨への適用とモデルの改良, 投稿中.
- 11) 矢野真一郎ら(2020): 令和元年東日本台風による丸森町における斜面崩壊・流木発生のロジスティックモデルによる要因分析,投稿中.
- 12) 国土地理院: 基盤地図情報 DL サービス, https://fgd.gsi.go.jp/download/map Gis.php?tab=dem (2020 年 6 月)
- 13) 国土交通省:50万分の1土地分類基本調査,表層地質図,https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect /landclassification/land/hyousou_chisitsu.html (2020年6月)
- 14) 佐藤浩, 宇根寛(2019): 2019 年台風 19 号による宮城県丸森町の斜面崩壊の状況について、
 日本地理学会, http://www.ajg.or.jp/disaster/files/201910 Typhoon19006 v3.pdf
- 15) 宇宙航空研究開発機構:日本域高解像度土地利用土地被覆図,https://www.eorc.jaxa.jp /ALOS/lulc/lulc_jindex_v1803.htm (2020年6月)

(九州大学・矢野真一郎)

3.3 宮城県伊具郡丸森町の土砂洪水氾濫被害:地盤履歴と災害伝承の融合

3.3.1 序説

2019年10月に東日本一帯で台風19号がもたらした豪雨による土砂災害や洪水氾濫による 被害が発生した.宮城県南部においても複数の箇所で土砂崩壊や河川の氾濫が発生し、人的 被害が発生した.阿武隈川は福島県から宮城県南部を流れる流路延長約240kmの一級河川 で、県境部付近の渓谷部を抜け、宮城県丸森町付近から角田盆地を北上しながら平野部を経 て仙台湾に流れ込んでいる.阿武隈川は増水時には洪水氾濫を繰り返しており、近年では 1986年8月、1998年7月、2002年7月に洪水被害が発生している.

また,調査地域の阿武隈川周辺には風化花崗岩が分布し,それらは降雨などによって崩壊 しやすい特性があり,豪雨などにより過去にも同様の土砂災害が繰り返し起こってきたと考 えられる.そこで,本章では阿武隈川下流の支流域である丸森町の五福谷川と内川周辺で現 地調査を行い,河川洪水氾濫の状況と洪水氾濫堆積物の特徴について報告する.



図3.3.1 浸水範囲(青色)¹⁾と調査位置図(基図は国土地理院が作成)

3.3.2 調査地区の地形概況と調査箇所の特徴

調査箇所の概況

調査地域は丸森町の阿武隈川南側に位置する地区である.阿武隈川は,渓谷部を抜けた後, 北向きに屈曲する手前で支川の内川と合流しており,その上流では新川,五福谷川が合流す る.この豪雨では,阿武隈川の周辺各地で洪水氾濫が起こり,一部は土砂洪水氾濫の様相を 呈した.丸森町においては役場南方の支川周辺で内水氾濫を生じた.図3.3.1 に国土地理院 が2019年10月13日に撮影した写真等により作成した浸水範囲の水深図²⁾に調査位置を重ね たものを示す. 調査は洪水堆積物の地層構成を解明することを目的として,長さ 1m,幅 0.1mの鉄製のハンディジオスライサーを人力で押し込み地表部の堆積物を採取した.調査箇所は TY-01,02,03 の 3 地点で,豪雨災害の発生約 3 か月後の 2020 年 1 月 12 日に実施した.

(1) 調査箇所の地形と被災状況

TY-01 地点は、支川にはさまれた標高 20m 前後の水田を主とする低地部である. このう ち、五福谷川では上流での豪雨により河川の浸食や護岸沿いの道路が一部流出した. 下流部 では、増水により内川との合流部の上流側の左岸側の一部が破堤し、河川水が堤内地に流入 した. これらの流水は下流側が堤防に囲まれた地形のため、排水不良を生じ被災後 2 ヶ月後 も湿潤状態が続いた. そのため、水位低下後も農道や水田表層には細粒土が 0.3~0.5m 程度 堆積した状況であった.

TY-02 地点は、図 3.3.2 に示すように破堤部の 30m 程度下流側であり、破堤部のすぐ堤内 側には流水の影響で直径約 20m, 深さ 5m 程度の洗堀部(落堀)が形成されていた.破堤部に 近い場所には直径 2~5cm の河床礫が点在し、地表部には破堤部から供給された砂礫や砂質 土が 0.5m 程度堆積しており、調査箇所に礫や粗粒分のやや少ない場所を選定して、堆積物を 採取した.TY-03 地点は、五福谷川の右岸側の堤内地で、被災前は畑であったが、波長約 0.1m の漣痕(リップルマーク)の顕著な細粒砂が 0.5m 程度の層厚で堆積していた(図 3.3.3).こ れは堆積層の表面を水が流れることで、周期的な波状の模様のリップルマークが形成された ものである.



図3.3.2 破堤部上流側からの状況



図3.3.3 氾濫堆積物のリップルマーク

3.3.3 地層の特徴

図 3.3.4 に採取した堆積物の写真と観察結果を示す. 表 3.3.1 に採取試料の土質試験結果 と堆積環境を示す. TY-01 地点の試料は GL-0.43m までは微細砂混じりのシルトで,その下位 は稲ワラ株を含み,被災前の旧表土であることがわかる. TY-02 地点は,GL-0.15m までは細 砂~微細砂で,0.36m までは中粒砂~粗粒砂で,上方細粒化を示す. TY-03 地点は,GL-0.40m までが,弱く平行層理の発達した細砂で,下位から上位にかけて上方粗粒化傾向を示す.0.40 ~0.47m 間はやや含水比の多いシルト質の細砂である.



図3.3.4 採取試料の柱状図と状況

採取地点		TY-01		TY-02		TY-03		
試料深度(GL-m)		0.0 ~0.09	0.10 ~0.40	0.0 ~0.15	0.2 ~0.3	0.0 ~0.20	0.33 ~0.42	0.42 ~0.47
土粒子の密度 ρ _s (g/cm ³)		2.547	2.691	2.705	2.676	2.721	2.681	2.637
自然含水比 W _n (%)		109.5	48.9	32.3	14.2	17	45	59.8
粒度	礫分(%)	0	0	1	36	0	0	0
	砂分 (%)	6	4	83	58	91	73	41
	シルト分 (%)	74	81	10	6	4	19	44
	粘土分 (%)	20	15	6		5	8	15
	最大粒径 (mm)	2	0.85	4.75	9.5	0.85	2	2
	均等係数 U。	9.2	7.8	11.7	13.2	2.1	19.7	55
分類名		砂混り 粘性土	粘土	粘性土質 砂	粘性土混 り礫質砂	粘性土 混り砂	粘性土質 砂	砂質 粘性土
分類記号		(Cs-S)	(CH)	(SCs)	(SG-Cs)	(S-Cs)	(S-Cs)	(CsS)
堆積環境		細粒分の 堆積区間		破堤による 流下区間		土砂流の流下区間		

表3.3.1 採取試料の土質試験結果と堆積環境

3.3.4 考察とまとめ

上流側の TY-03 地点には、水流によって形成されたリップルマークが地表面に残されてお り、細粒分が堆積していないことから、上流から流入した砂分を多く含む河川水が一定の流 速を保ちながら流下したことを示唆している.破堤部の TY-02 地点では、破堤部から下流側 にかけて砂礫や砂を多く含む河川水が堤内地に流入し、北側の水田地帯に流下し、500m 以 上下流の TY-01 地点では、流入水が 2 ヶ月程度滞留しシルト分を多く含む粘性土が堆積した と考えられる.以上の結果から、河川から供給された堆積物を調査することで、土砂洪水氾 濫の状況と堆積環境について概略把握することができた.

今回の調査では、簡便性を優先した人力タイプのジオスライサーのため1mまでの深度し か採取できなかったが、電動タイプのジオスライサーを用いれば、2m~3m程度の堆積物が 採取でき、より古い時代の洪水氾濫堆積物を採取できる可能性がある。それらの堆積物を解 析することで、古流速の算定²⁾や過去の発生した洪水氾濫の状況を解明する手掛かりが得ら れる。今後更なるデータの取得と過去の災害記録との対比を進め、土砂洪水氾濫の履歴を検 討していきたい。

謝辞:現地調査の実施ならびに調査結果の検討には稲垣秀輝氏(環境地質),上野将司氏(応 用地質),落合達也氏(アジア航測),松木宏彰氏(復建調査設計),吉川修一氏(八千代エンジ ニヤリング)にご協力いただいた.また,本研究は本特別研究促進費に加えて,土木学会地 盤工学委員会,科研費・基盤研究(A)(鈴木素之,19H00785)および中国建設弘済会技術開 発支援事業助成(鈴木素之)の助成を受けた.ここに記して謝意を表する.

(山口大学大学院創成科学研究科・鈴木素之)

参考文献

- 国土地理院:【暫定】<速報>令和元年台風 19 号に伴う大雨による浸水推定段彩図(阿武 限川) 宮城県角田市及び丸森町周辺, https://www1.gsi.go.jp/geowww/201910/shinsui/13_shinsui_abukuma_kakudamarumori.pdf
- 2) 増田富士雄,中山尚美:古潮流速の算定,堆積学研究会報,29, pp.1-8, 1988.

提言

<u>提言 1</u>

台風 19 号における洪水規模と現況の河川治水体力を比較・評価することは重要で ある.治水基礎体力となる河川整備計画を可及的速やかに達成することが必要不可 欠である.

今次洪水規模と河川の現況治水体力を比較・評価しておく必要がある.そして,今次 洪水規模,河川整備計画規模,現況体力(整備計画規模達成率も含め)を明示にするこ とは,今後の整備方針を考える上で,かつ社会が水害リスクを認知する上で極めて重要 である.利根川および荒川の本川区間(直轄区間)において決壊は生じなかったが,こ れは今次出水規模が河川整備計画規模とほぼ同等であり,河川整備計画の進捗・達成が 治水基礎体力として不可欠であることを示している.一方,甚大な被害に至った千曲川 や那珂川,久慈川,阿武隈川本川とその支川では整備計画を大きく上回る規模であった. 河川整備計画(治水基礎体力)の見直しについてはその実行性を踏まえ,再度災害防止 が可能か,あるいは氾濫許容の不可避など,対応レベルを明確にすると共に,社会に発 信することが重要である.

<u>提言 2</u>

浸水被害が頻発した支川合流部の水害リスクを認知し、土地利用規制・誘導を含めた流域対策を積極的に進めることが不可避である。

台風 19 号においては合流点付近の氾濫現象が各地(特に中流域)で頻発した. 合流 部付近は遊水機能をもつ低平な氾濫原であることが多く,支川(県管理の中小河川)は 築堤により本川影響区間(バックウォーター)を有して越水しやすい. また,支川の治 水安全度は通常本川に比べて低く,支川が氾濫するとその氾濫水は合流点に向かい,周 囲の堤防により逃げ場を失って浸水被害をもたらす. 今次出水ではこうした事例が多々 発生した. 合流部固有の水害リスクを住民が認知するとともに,土地利用規制,誘導を 含めた流域対策が必要である.

<u>提言 3</u>

近年の災害では河川堤防の決壊や越流に伴う大規模氾濫に発生することが多いことから、 堤内地において氾濫水の流下を制御すると共に、早急に河道に戻す工夫を行って、氾濫面 積・時間を最小化していく必要がある。

近年の災害では河川堤防の決壊や越流が多地点で発生し、その結果、広域の洪水氾濫 が発生することが多い. 台風 19 号では久慈川や那珂川において氾濫流が河川に沿って 流下する現象が見られた. また、那珂川では氾濫水が自然排水されずに最大4日間滞水 した. さらに、久慈川では氾濫流が天端を越水する過程で二線堤を浸食したため、二線 堤が決壊した.

連続堤防で締切ることで、破堤氾濫が生じた際に、氾濫流を河道へ戻すことが困難と なっており、大規模水害時における下流のリスクが増大している可能性がある.氾濫範 囲や氾濫時間を最小化して、浸水被害を抑制する上では、氾濫流の挙動を踏まえ、氾濫 水の流下を制御して河道に戻すことが必要である.そのためには、霞堤や二線堤などに 代表される氾濫流を制御するための工夫を見直すことが必要不可欠である.

<u>提言 4</u>

最新の計測技術を有効活用して、中小河川管理に不可欠な基礎データ整備を効率的に 促進すると共に、それに基づく河川維持管理や治水対策の高度化が必要である.

台風 19 号においては 71 河川で堤防が決壊したが,そのうち 43 河川が浸水想定区域 を指定する対象に含まれない中小河川であった.このような洪水浸水想定区域が指定さ れてない河川は全国に約 19000 あり,簡易的な浸水想定情報を作成するなどの早急な対 応が必要である.また,このような河川においては一つの豪雨イベント中に土砂・流木 が中下流域まで流下する土砂・洪水氾濫も発生する可能性があり,河床変動や流木の影 響を考慮した治水対策も必須である.

このような中小河川の治水対策を推進するにあたり,現状では水位・流量や河床形状 といった基礎データが不足している.そのため,近年急速に発展しつつある UAV や衛星 リモートセンシング技術等を利用した地形測量や簡便な水位・流量モニタリング手法を 開発し,中小河川の網羅的なデータ取得を目指す必要がある.

<u>提言 5</u>

洪水ハザードマップによる水害リスクの認知と理解をさらに推進する. 一方, ハザ ードマップだけでは読み取れない浸水リスクを明示することは必須であり, 特に本 川と支川の合流部の浸水リスクが高いことを周知する必要がある.

台風 19 号における氾濫域の多くはハザードマップ想定の浸水域と浸水深が良く対応 していた.ハザードマップが整備済みの一級河川周辺では,実際の浸水域の9割以上が ハザードマップの浸水域内であり,洪水ハザードマップの有効性が今次豪雨災害でも認 められた.一方,複数支川の氾濫や内水の発生など複合的な浸水過程も生じており,単 独のハザードマップから認知できない水害リスクについて十分に注意を払う必要があ る.また,ハザードマップからは氾濫水の由来が読み取れず,広域な浸水被害に対応し にくい場合がある.そのため,氾濫流の動的な挙動を踏まえた水害リスクの理解が必要 である.

さらに,洪水氾濫による人的被害としては,建物内で見つかった死者の多くは,貯留 型氾濫の発生域に集中している.これらの場所の特徴は,「本川と支川の合流点に近い」,

「氾濫域がくぼ地になっている」等が挙げられる.これらの場所では,3m以上の浸水 深,水位上昇速度が1m/hour以上が大半であり,一端浸水が始まると短時間で急激に大きな浸水深となるため,人的被害が発生しやすい.そのため,このような場所を人的被害が発生しやすい「水害ホットスポット」として捉え,浸水想定区域内でも特に注意すべき場所として周知する必要がある.

現状の洪水ハザードマップでは、浸水深や浸水継続時間が示されているが、浸水発生 リスクの区別はなされていない.そのため、「多段階リスク明示型浸水推定図」※のよ うな氾濫リスクを明示し、合わせて、水害ホットスポットのような人的被害が発生し易 いエリアの周知が今後必要となる.

※土木学会台風第 19 号災害総合調査団の提言(2020 年 1 月 23 日)

<u>提言 6</u>

降雨パターンによる水害リスクの変化を認知することが必要である.

台風 19 号による豪雨は,東日本の広い範囲で短時間降雨が既往最大値を更新してお り,直轄河川の支川においても甚大な被害を受けている.国土交通省は,平成 27 年 7 月に発表した「浸水想定(洪水、内水)の作成等のための想定最大外力の設定手法」にお いて,全国を 15 の地域区分に分けて,各地域区分内の想定最大規模降雨を示している. 今次豪雨では一部の地域で地域区分の想定最大規模降雨を上回っていた.他の地点でも 24 時間以内の短時間降雨量が想定最大規模降雨に迫る場所が多くみられた.千曲川、 阿武隈川では最大 24 時間雨量が計画降雨(2 日雨量)を上回っており,計画を上回る 状況が発生した.豪雨の DAD 関係を考えると中小河川流域の水害リスクは大流域に比べ 極めて高かった.短時間豪雨がもたらす中小河川流域の水害リスクと施設能力の関係を 知っておくことが危機管理上重要である.

<u>提言 7</u>

アンサンブル予報による不確実性を含めた予測情報を積極的に活用し、長時間の洪水予測情報を提供して、「逃げ遅れゼロ」や「社会経済被害の最小化」を一段と進める 必要がある.

アンサンブル予報を活用することにより,リードタイムが24時間以上の長時間の洪水 予測情報を,予測値の不確実性とともに提供する予測システムを開発する必要がある。 特に今回のような大型台風による被害を最小化するためには、危険な地域や洪水(河川 流量や水位)の規模を24時間以上のリードタイムをもって不確実性と合わせて予測し、 避難活動やダム貯水池の事前放流等の治水施設の高度利用,交通システムの計画運休や 商業施設の臨時休業の判断に利用する予測技術の開発を進める必要がある.また,長時 間かつ不確実性を含めた洪水予測情報を,行動に結びつける方法を合わせて検討する必 要がある。

提言 8

温暖化の影響が出だしており、後悔しない適応が重要である. 科学的将来予測を元 にした適応計画を構築し今すぐ実行に移すことが重要である.

2017年の九州北部豪雨,2018年の平成30年7月豪雨では総雨量や水蒸気の総流入量 が地球平均気温が産業革命以来4度上昇している場合の将来予測と矛盾しないこと,後 者の総雨量は地球温暖化の影響により6~7%増加していたことが科学的に明らかにな っている. 台風19号においても現在気候では発生し得ないレベルの水蒸気量が日本列 島付近に供給されていたということを示唆した.このように温暖化の影響がすでに出だ している.

温暖化の影響は気候区分の境目や未整備のところでまず目立つようになる.19 号台 風災害ではこの視点も重要である.どのように温暖化の影響が出だしてきているのかを, 継続的に検証し明確化してゆくことも,温暖化適応を促進してゆく上で極めて大事なこ とである.

治水としての適応には長い時間を要する.そのことからすれば地球温暖化の進行は速い.今すぐに適応をスタートすること,すなわち,今すぐ,科学的将来予測をもベース に先を見越して考え,新たな考え方でどう適応するかを決め(計画),そして実行に移 してゆくこと(適応)が,「後悔しない適応」である.時間が限られている.

今後,地球温暖化の進行により、梅雨や台風に頻繁に現れるものと予想される湿潤絶

対不安定層により大雨はより激甚なものになることが予想される。また、海面水温がさ らに上昇すれば、今回のような前線を伴う台風の状況下では、前線の位置も北へ移動 し、地域によってはこれまでよりも雨量が増加し、甚大な被害が生じる可能性がある. このような科学的知見を適切に計画や適応策に反映させていくことが望まれる.