

付属資料 1

開発途上国の無堤河川での洪水による橋梁被災事例

付属資料 1.1 被災事例

開発途上国の無堤河川に架けられた橋梁では、洪水により次のような被害が発生している。

- 1) 中小河川の洪水流路に建設された取付け盛土と橋梁の洪水被害
- 2) 大河川の氾濫原盛土道路とその橋梁の洪水被害
- 3) 都市河川での橋梁被害と市街地への洪水の氾濫
- 4) 大規模な沖積河川の河道変動に起因する橋脚・橋台基礎の河床低下と橋脚周りの局所洗堀

1991～2023 年における具体的事例は以下のようにまとめられる。事例ごとに被害の概要を添付した。

開発途上国の無堤河川での洪水による橋梁の被災事例

No.	国 名	発生 時期	被災施設建設の 建設/資金/時期	場所・橋梁名	被災の形態	page
1. 中小河川の洪水流路に建設された取付け盛土と橋梁の洪水被害						
1-1	ホンジュラス	1998*	日本無償, 1998	新 Cholteca 橋	洪水流路に建設された取付け盛土の流失	3
1-2	ホンジュラス	1998*	不詳	ホンジュラス各地の 6 橋	洪水流路に張り出た取付け盛土の洗堀、橋台・橋脚・橋桁の崩壊・流失	4
1-3	ニカラグア	1998*	不詳	国内各地の 10 橋	洪水流路に張り出た取付け盛土の流失、橋脚・橋桁流失	6
1-4	ニカラグア	1998*	不詳	エル・グアルモ橋	洪水流路に張り出た橋台の洗堀	10
1-5	エルサルバドル	1998*	不詳	南部を縦貫する CA-2 上の 3 橋	橋台・橋脚の洗堀と橋脚・橋桁の崩壊	11
1-6	ボリビア	2008	日本無償 2007	日本ボリビア友好橋	取付け盛土の洗堀	13
1-7	インドネシア	2011	日本無償 2008	テイモール、ファツアット橋	取付け盛土の流失（想定内）	15
1-8	バヌアツ	2015	日本無償 2005	テオウマ橋	橋台、築堤の洗堀	16
1-9	ミャンマー	2023	自国政府 2018	タキン橋	沈下橋アプローチ築堤の流失	17
2. 大河川の氾濫原盛土道路とその橋梁の洪水被害						
2-1	カンボジア	1996	1968 年自国 予算で建設、 1990 年代前半に 日本無償で改修	6A 及び 6 号線、メコン 川プノンペン上流右岸 氾濫原	Hurricane Willy, 氾濫原盛土道路の 流失、橋台・橋脚の洗堀	19
2-2	カンボジア	1998	不詳, 1940 年 頃の橋梁	7 号線モアットクモン 橋、メコン川プノンペン 上流右岸氾濫原	氾濫原盛土道路での橋梁の橋脚 洗堀、橋脚・橋桁の崩壊	22
2-3	ホンジュラス	1998*	不詳	アグアン川の下流部 氾濫原盛土道路	氾濫原盛土道路の洗堀	23
2-4	ホンジュラス	1998*	不詳	スーラバレー出口 氾濫原での盛土道路	氾濫原盛土道路の洗堀	24
2-5	ニカラグア	1998*	不詳	Los Limones 平野の 氾濫原	氾濫原盛土道路の洗堀	25
2-6	カンボジア	2000	94-96ADB に よる舗装緊急 補修	1 号線、メコン川プ ノンペン下流右岸 氾濫原	氾濫原盛土道路の洪水時における 人為的開削	26
2-7	バングラデシュ	2007	不詳	ジャムナ河右岸 氾濫原	氾濫原盛土道路の流失、橋梁周辺 河床の洗堀	27

2-8	ネパール	2019	不詳	タライ平野	氾濫原盛土道路の流失	29
3. 都市河川での橋梁被害と市街地への洪水の氾濫						
3-1	ホンジュラス	1998*	不詳	テクシガルパ市内の 8 橋	Hurricane Mitch, 市街地での橋脚の流失, 橋桁の流失	32
3-2	東ティモール	2021	不詳	首都デイリ市内の 3 橋	熱帯低気圧 Seroja による市街地の橋梁での洪水氾濫	34
4. 大規模な沖積河川の河道変動に起因する橋脚・橋台基礎の河床低下と橋脚周りの局所洗堀						
4-1	バングラデシュ	1991 ~ 1998	日本無償 1991	メグナ橋	不安定な沖積河川の河道変動による橋台・橋脚周りの大規模な河床洗堀	38
5. 参考事例						
参考 1	USA	1987	連邦補助	I-90, Schoharie Creak Bridge, NY. US.	直接基礎橋脚の地盤が洪水流により洗堀され転倒, 落橋	42

注) 1998*はハリケーンミッチ (Hurricane Mitch) による被災である。

1. 中小河川の洪水流路に建設された取付け盛土と橋梁の洪水被害

1-1	ホンジュラス	被災 1998 年	新 Cholteca 橋	建設資金・時期：日本政府無償資金協力 1998 年
扇状地		洪水流路に建設された取付け盛土約 900m の流失		
自然原因				
ハリケーンミッチによる降雨で発生した洪水				
損傷状況				
<p>パンアメリカン 1 号線上の新 Cholteca 橋（橋長 190m, 3 径間）は、1998 年に日本の無償資金協力で建設された。しかし同年のハリケーンミッチによる洪水で河道を横断する取付け盛土が約 900m 流失した。一方橋梁本体の被害は軽微だった。</p> <p>不安定な扇状地河川であり、洪水後は流路が変わって図 1 のように架橋位置に流水がない状況となった。その後同橋は再度日本の無償資金協力により 7 径間 294m 延伸され、10 径間、橋長 484m となった。²⁾</p>		 <p>図 1 広い河道を横断する盛土道路が流失した。¹⁾</p>		
考察				
<p>1) 橋梁計画を策定するにあたって計画洪水規模が 1/100 年超過確率とされ、橋長と桁下高が決められた³⁾。しかし実際に発生した洪水規模は 1/200 年超過確率と言われており、洪水流量に対して橋梁地点での開口部の断面積が不足したと考えられる。そのため、橋梁の上流側の水位が上昇し、取付盛土道路が越流されて流失したと推定される。</p> <p>2) 参考文献 1) には、ホンジュラス・ハリケーン災害復興調査団（1998 年 12 月 26 日～1999 年 1 月 23 日）の団員として参加した岡原美知夫氏（当時建設省土木研究所構造橋梁部長）より、以下の様な提言がなされている：</p> <p>＜2 段階設計＞</p> <p>ミッチの出水量を、橋梁断面を決定するための計画流量とすると、資金の面から現実的に対応できる橋梁の規模を超えてしまう可能性が強い。このため 2 段階の計画流量を設定し、橋梁部及びアプローチ部について 2 段階設計を行うことが合理的であると考えられる。</p> <p>第一段階⇒大洪水時に対しては、橋梁部およびアプローチ部での越流を許容する構造とし、致命的な損傷を避けるため基礎については十分な根入れと洗堀対策を行う。上部工についてはコンクリート構造かつできるだけ流水抵抗の小さな断面を採用することが望ましい。</p> <p>第二段階⇒中洪水時に対しては、橋梁部及びアプローチ部での越流は認めないものとし、この時の計画流量で橋梁部の長さ及び高さを決定する。</p> <p>3) 岡原美知夫氏より、ハリケーンミッチによって被災した橋梁の復旧方法について意見を直接ヒアリングした際に、以下のコメントがあった⁴⁾。</p> <ul style="list-style-type: none">・当該国においては B/C の観点から 1/100 年超過確率洪水を対象とした橋梁を計画するのは現実性がなく、不合理である。				

- ・橋梁ではなく、取付け道路の考え方を整理する必要がある。橋梁は外力に対して安全であることが重要であるが、一方取付け道路は被災しても相手国政府による復旧が可能であり、そのような設計を行うとすれば、今後復興支援を行う日本の負担を減らすことができる。
- ・超過洪水により破損はするが、自国予算によって復旧可能な渡河施設構造が提案できるのでないか。



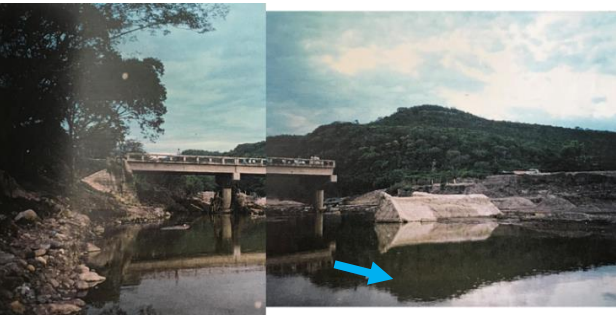
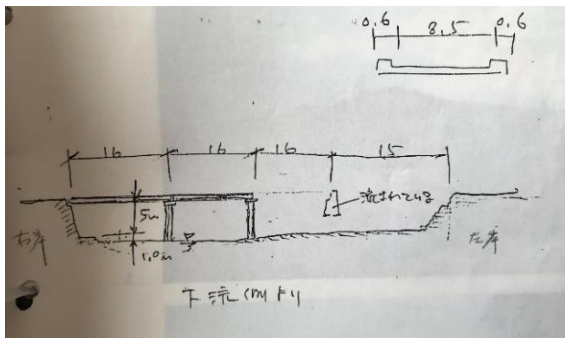


4) 日本政府無償資金協力による新チョルテカ橋の復旧に当たっては、以下のような計画とされた²⁾



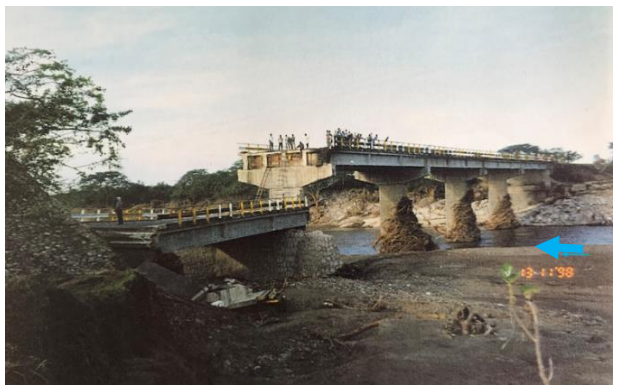

- ・新流路にも追加的に橋長を延伸して洪水の流下に必要な川幅を確保し、また流路を固定するために上流に水制を設ける。計画洪水規模は既存橋梁と同様 1/100 年確率とする。
 - ・水理検討に基づき、橋長は既存 190m に加えて左岸側に 210m、右岸側に 84m 延伸して、合計 484m とする。
 - ・取付け盛土の高さについては、越流により取付け盛土が被災した場合でも、地元行政の予算で復旧できる程度の高さとなるよう考慮する。
 - ・超過洪水対策として、越流を受ける上部工と橋脚に対する流水圧、上部工に作用する流木衝撃圧、取付け盛土の下流側法尻への鉄線籠の設置と法面への植生による洗堀対策を計画する。
- 無堤河川での渡河施設の計画・設計にあたって、河川工学からの視点と現地行政の財政状況を勘案して、最適な渡河形態とするための検討がなされたと考えられる。

参考文献

- 1) 国際協力事業団（大井英臣他）：ホンジュラス・ハリケーン災害復興調査報告書、II-1、岡原美知夫、1998 年 10 月
ホンジュラス国においてハリケーンミッチにより被災した橋梁の復旧に関する技術的所見及び助言、pp. 2~3、写真 3-3、1999 年 2 月 14 日
- 2) 国際協力事業団：ホンデユラス共和国橋梁復旧計画基本設計調査報告書、pp.3-7~3-47、1999 年
- 3) 国際協力事業団、セントラルコンサルタント株式会社：ホンデユラス共和国新チョルテカ橋建設計画基本設計調査報告書平成 8 年（1996 年）1 月、pp. 13~14
- 4) 岡原美知夫氏（ホンジュラス・ハリケーン災害復興調査団（1998 年 12 月 26 日～1999 年 1 月 23 日）に団員として参加、当時建設省土木研究所構造橋梁部長）から横倉順治（当時 JICA 無償資金協力部審査室調査役・主任審査員）がヒアリングを実施した、1999. 4. 22

1-2	ホンジュラス	被災 1998 年	ホンジュラス各地の 6 橋	建設資金・時期 不詳
谷底平野の掘込河道、平地の掘込河道				
洪水流路に張り出た取付け盛土の洗堀、橋台・橋脚・橋桁の崩壊・流失				
自然原因				
ハリケーンミッチによる降雨で発生した洪水				
損傷状況と考察 ¹⁾				
橋梁名	建設場所	橋長	構造	損傷状況と考察
Ilama 橋 (図 1, 2)	谷底平野 掘込河道	120m	4 径間	洪水時に橋脚と橋桁がすべて流失した。橋脚の流失は河床洗堀によると推定される。左岸側取付け盛土は洪水時に拡大した流れで流失した。
Rio Hondo 橋 (図 3, 4)	谷底平野 掘込河道	48m	3 径間 RC	左岸橋台と上部工 1 径間が流失し、他の 1 径間もずれている。左岸取付け盛土が河道に突き出ている洪水を阻害した。河川幅から橋長は 80m 必要。
Democrasia 橋	谷底平野 掘込河道	240m	3 径間	桁下まで洪水位が達したが、橋梁本体には損傷なし。盛土道路は広い範囲で一面に冠水し、下流側法面が浸食された。

Iztoca 橋 (図 5)	平地 掘込河道	75m	3 径間	洪水時に流路が拡大し、河道に突き出て建設された右岸取付け盛土は、橋台裏側まで洗掘されて流失し、直接基礎の橋台は崩壊した。このため、右岸側橋桁 1 径間が流失。橋脚と左岸橋台は無事。洪水時には氾濫原全体が河道になったと考えられる。
Nacaome 橋 ²⁾ (図 6)	平地 掘込河道	146m	3 径間 トラス	越流によりトラス橋桁全体が流失した。右岸側の取付け盛土が河道に張り出ている。再建の際には、計画規模の洪水が流下できるよう、橋長と桁下高を見直す必要がある。
Guasaule 橋 ²⁾ (図 7~10) ホンジュラス～ ニカラグアの国境橋	平地 掘込河道	154m	5 径間	左岸橋台背面の洗掘による翼壁と胸壁の損傷に続いて橋台が崩壊し、ニカラグア側の上部工 1 径間が落下・流失した ²⁾ 。左岸の取付け道路が洪水を阻害しており、川幅に比較して橋長が約 15m 不足している。
 <p>1998.12</p>				 <p>左岸橋台 右岸橋台</p> <p>1998.12</p>
<p>図 1 Ilama 橋¹⁾</p> <p>4 径間@30=120m 橋脚と橋桁が流失</p>				<p>図 2 Ilama 橋橋台¹⁾</p>
 <p>1998.12</p>				
<p>図 3 Rio Hondo 橋¹⁾</p>				<p>図 4 Rio Hondo 橋被災状況のスケッチ¹⁾</p>
 <p>崩壊した右岸橋台</p> <p>1999.1.9</p>				 <p>1999.1.8</p>
<p>図 5 Izutoca 橋²⁾</p> <p>右岸橋台裏側が洗掘され、直接基礎の橋台が崩壊した</p>				<p>図 6 Nacaome 橋²⁾</p> <p>橋桁がすべて流失した。</p>

 <p>1998.11.13</p>	 <p>1999.1.8</p>
<p>図 7 Guasaule 橋³⁾ 平地掘込み河道となっている。</p>	<p>図 8 Guasaule 橋³⁾ 左岸取付け道路盛土が洪水を阻害したと推定される。</p>
 <p>1998.11.13</p>	 <p>1998.11.13</p>
<p>図 9 Guasaule 橋³⁾ 左岸下流側から 左岸側橋台と橋桁 1 スパンが崩落した。</p>	<p>図 10 Guasaule 橋³⁾ 左岸上流側から 左岸側橋台と橋桁 1 スパンが崩落した。</p>
<p>考察</p>	
<p>1. 被災した橋梁の復旧⁴⁾ 日本の無償資金協力により、以下の 4 橋が復旧された：Itutoca 橋（パンアメリカンハイウェイ 1 号線）、Ilama 橋（国道 20 号線）、Democrasia 橋（中米道路網 13 号線）、Rio Hondo 橋（国道 15 号線）</p> <p>1) 目標整備水準</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 50 年に 1 度の確率の洪水を計画洪水として、これに十分に耐え得る橋梁構造とすること ・ 上記計画洪水を超える超過洪水に対しても可能な限りの対応策を講じること <p>2) 架橋位置、橋長と橋面計画高</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 架橋位置： 架橋地点周辺の地形、前後の取付道路の現況、必要用地が収用済みであること等の理由から、3 橋とも被災前の橋梁のあった位置に永久橋を建設するのが最適であるとの結果となった。 ・ 橋長： 各架橋地点の状況と水文解析から求められた確保・維持すべき河川幅を考慮して決めた。 ・ 橋面計画高： > 橋長、計画洪水量から求められる計画洪水位、径間長から求められる桁高、必要とされる桁下高さ、取付け道路部を含む道路縦断設計結果等から決められた。 > 必要な桁下高としては、①計画洪水位に対する条件として、日本の「河川構造物設計基準 	

(案)」 (原文のまま) で決められた所定の余裕高を計画洪水水位上に持つこと, ②超過洪水への配慮として, ミッチ来襲時の水位を桁がクリアーすること, を満たすこととした.

・超過洪水対策

Itutoca 橋では, 主として架橋地点の地形等物理的状況から, この桁下高に対する条件を満たすことが不可能であることが判明し, 超過洪水時に橋梁の上部工が流水の水位以下に没する可能性がある. このような状況に対しては, 以下のような対策を講ずることと対処した.

>上部工 (上流側主桁) に流水力, 流木衝突力を外力とした計算を行う.

>横桁の配置 (本数) を増やし, 且つ, 桁高を十分にとって上部工の剛性を増す

2. 被災の復旧に関する考察


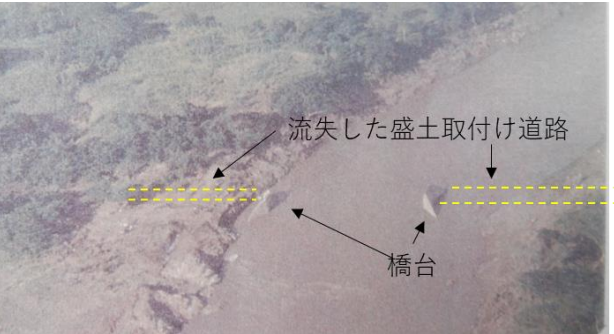
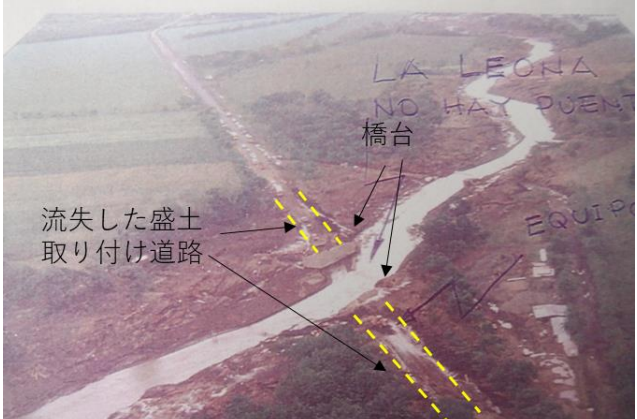
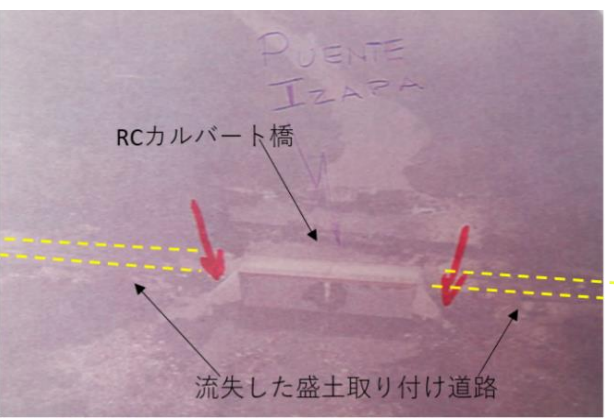
- 1) 1/200 年確率といわれる降雨による洪水で発生した被害の復旧計画の洪水規模が 1/50 年確とされたが, 併せて超過洪水への対策が検討されている.
- 2) 日本の河川管理施設等構造令に準拠して橋面高を決めているが, 同構造令に定める桁下高は堤防の存在を前提としているので, これをそのまま無堤河川に適用することは必ずしも妥当ではない. 同基準の考え方を参考にし, 流速・流木などの流下物も考慮して渡河施設事業者が総合的に判断することとなる. (本文 p.49 参照)

参考文献

- 1) 国際協力事業団, セントラルコンサルタント: ホンジュラス, ニカラグア無償資金協力実施促進調査写真集, 平成 10 年 11 月 27 日~平成 10 年 12 月 12 日
- 2) 岡原美知夫: ホンジュラス・ハリケーン災害復興調査報告書, II-1「1998 年 10 月ホンジュラス国においてハリケーンミッチにより被災した橋梁の復旧に関する技術的所見及び助言」, p.3, 写真 5-1, 6, 1999.2.14
- 3) Ing Shuji Murakami, Central Consultant Inc.: Fotografias Corredor Chinanteca~Guasaule, 1998.11.13
- 4) 国際協力事業団, セントラルコンサルタント, パシフィックコンサルタンツインターナショナル: ホンジュラス共和国橋梁普及計画基本設計調査報告書, pp. 3-1~3-8, 平成 11 年 12 月(1999 年)

1-3	ニカラグア	被災 1998 年	国内各地の 10 橋	建設資金・時期 不詳
谷底平野, 平地掘込河道, 自然堤防帯				
洪水流路に張り出た取付け盛土の流失と橋脚・橋桁の流失				
自然原因				
ハリケーンミッチによる降雨で発生した洪水が被災の自然原因である.				
損傷状況				
洪水により, 橋梁の取付け盛土が流失した. 橋桁も流失したケースもある. 国内各地の橋梁の被災状況を以下に示した.				

	
<p>図 1 キメラス橋のカルバート橋梁³⁾ 取付け盛土が流失した。</p>	<p>図 2 ヒカル橋³⁾ 取付け盛土と橋桁が流失した。</p>
	
<p>図 3 ドウコアリ橋³⁾ 取付け盛土と橋桁が流失した。</p>	<p>図 4 アト・グランデ橋 Puente Hato Grande⁴⁾ 取付け盛土と橋桁が流失した。</p>
	
<p>図 5 アト・グランデ橋 Puente Hato Grande (橋長 65m, RC3 径間) 両岸の取付け盛土と橋桁が流失している。上図は 1998.11.13 時点(被災直後)の状況であり、そのまま補修されていない状況が写真撮影時まで続いている。</p>	
	
<p>図 6 エル・ガジョ橋 Puente El Gallo(橋長 33m, RC2 径間) 河道に張り出した取付け盛土が越流により洗堀された。橋長 33m の橋梁は平水流路のみに架橋されていた。洪水発生時には流路幅が増大、河道を横断する盛土道路が洪水を阻害して洗堀され流失した。同橋は国道 24 号線上にある。</p>	

 <p>流失した盛土取り付け道路</p> <p>1998.11.13</p>	 <p>流失した盛土取り付け道路</p> <p>1998.11.13</p>
<p>図 7 エル・ガジョ橋 Puente El Gallo ⁴⁾</p> <p>橋桁は流失していない。</p>	<p>図 8 エル・ガジョ橋 Puente El Gallo ⁴⁾</p> <p>取付け盛土が流失した</p>
 <p>1998.11.11</p>	 <p>流失した盛土取り付け道路</p> <p>橋台</p> <p>(橋長 60m, RC5 径間)</p>
<p>図 9 Chinandega~Guasaule 間の橋梁 ⁵⁾</p> <p>取付け盛土と橋桁が流失した。</p>	<p>図 10 エステロ レアル橋 Puente Estero Real ⁶⁾</p> <p>取付け盛土と橋桁が流失した。</p>
 <p>流失した盛土 取り付け道路</p> <p>橋台</p> <p>LA LEONA NO HAY PUENTE EQUIPO</p>	 <p>RCカルバート橋</p> <p>流失した盛土取り付け道路</p> <p>PUENTE IZAPA</p>
<p>図 11 レオナ橋 Puente La Leona ⁶⁾</p> <p>取付け盛土と橋桁が流失した。</p>	<p>図 12 イサパ 橋 Puente Izapa ⁶⁾</p> <p>カルバート構造の橋梁は残っており、取付け盛土が流失した。</p>

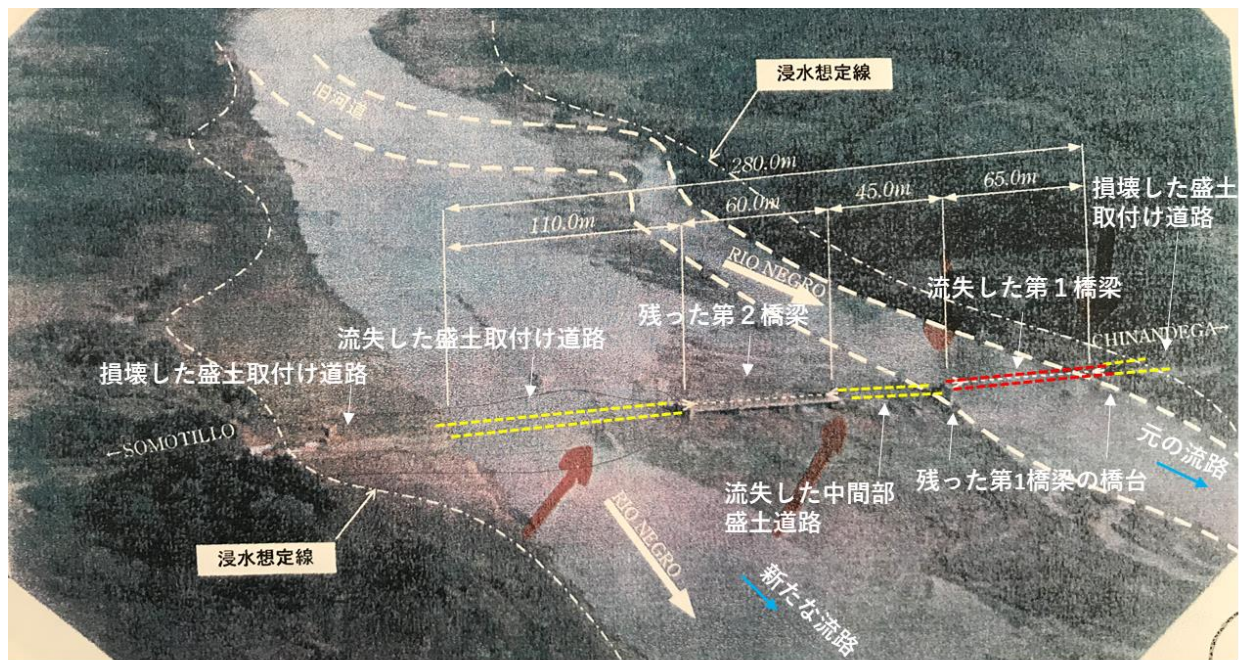


図 13 リオネグロ 橋⁷⁾

洪水で右岸の取付け盛土が損壊・流失，中間部の盛土道路が流失，左岸側取付け盛土が損壊した。また左岸側の第 1 橋梁が流失した。右岸側の流失した取付け盛土があった部分には新たな流路が形成された。



図 14 リオネグロ 橋被災前の地形と橋梁の状況⁷⁾

被災前では，流路は左岸側の第一橋梁に偏っていた。



図 15 リオネグロ 橋右岸取付け盛土⁷⁾

洪水が越流して取付け盛土が大きく浸食された。

考察

1. 被災現象の解明

これらの橋梁では，設計対象洪水を流下させるための通水断面を確保する橋長としたと思われる。従って 200 年確率洪水に対してはまず盛土部分が流失した。さらに被害が大きくなって橋梁本体が損傷を受けた。¹⁾⁻²⁾ 取付け盛土被害の原因として計画規模を超える洪水で取付け盛土が越流されて流失し，橋梁を通過する洪水の流速と水位も増加して橋桁が流失したと想定される。

2. 日本の無償資金協力による復旧¹⁾

1) 日本の無償資金協力による以下の国道 24 号線上の 3 橋が復旧された：アト・グランデ橋，エル・ガジョ橋，エステロレアル橋。なおリオ・ネグロ橋は日本の無償資金協力により建設工事中に被災しており，1.6 億円の追加資金により補修された。

2) 目標整備水準

- ・既往洪水第 2 位アレータ（ほぼ 50 年に 1 度の確率）を計画洪水として、これに充分に耐え得る橋梁構造とする。整備水準の決定にあたっては、特にアト・グランデ橋を例として、コーズウェイ、潜水橋および排水橋それぞれについて洪水時の交通遮断、橋梁・取付道路の維持管理等の観点から比較検討を行った。^{1)の資料 11}

- ・上記、計画洪水を超える超過洪水に対しても可能な限りの対応策を講じた。

3) 架橋位置、橋長と橋面計画高

- ・新設橋の架橋地点：

以下の理由から既設橋と同じ位置とされた：①国道 24 号線は、すでに道路改良のための設計が完了している ②調査対象橋梁 4 橋のうち、3 橋は橋梁建設中の迂回路を必要としない ③エステロ・レアル橋は既設橋の補修・補強である。

- ・橋長：

各架橋地点の状況と水文解析から求められた確保・維持すべき河川幅を考慮して決めた。

- ・橋面計画高：

橋長、計画洪水量から求められる計画洪水位（既往第 2 位のハリケーン「アレータ」時の水位に相当）、径間長から求められる桁高、必要とされる桁下高さ、取付道路部を含む道路縦断計画等から決められた。ここで必要な桁下高としては、日本の「河川構造物設計基準（案）」で決められた所定の余裕高を計画洪水位上に持つことを満たすこととした。また、アト・グランデ橋及びエル・ガジョ橋について、超過洪水への配慮として、ハリケーン「ミッチ」来襲時の水位が取付道路を含め越流しないことを満たすこととした。

4) 越流対策

- ・上部工主桁下面が超過洪水位以下になる橋梁：アト・グランデ橋及びエル・ガジョ橋では、想定されるこのような状況に対しても橋梁構造物が損傷することなく、その安全・安定を保つように設計上で以下などの対策を講ずる。

>上部工（上流側主桁）に流水圧、流木衝突力を外力とした計算を行う。

>横桁の配置（本数）を増やし、且つ、桁高を十分にとって上部工の剛性を増す。上・下部工の緊結を強固にする。

- ・潜水橋（原文のまま）となる橋梁：エステロ・レアル橋では、再利用に対しては、上記の越流対策を施すこととする

3. 日本の無償資金協力による復旧

- 1) 1/200 年確率といわれる降雨による洪水で発生した被害の復旧計画の洪水規模が 1/50 年確とされたが、併せて超過洪水への対策が検討されている。
- 2) 日本の河川管理施設等構造令に準拠して橋面高を決めている点については、前出 1-2 ホンジュラス各地の 6 橋と同様である。

（参考）

参考文献 3）において、ニカラグア共和国災害復興専門家派遣要請調査（1999 年 3 月 10 日～4 月 5 日）に団長・総括担当として参加した渡辺正幸氏（当時国際協力事業団 国際協力専門員）は次のように今回の橋梁の被災について意見を述べている：

今回被災した道路橋については、その計画に河川水理面での配慮が組み込まれていなかったことが指摘される。その災害は単にハリケーンの挙動の異常さや降雨量の大きさだけに帰されるものではない。

橋梁は言うまでもなく河川を横過するための構造物である。従って、橋梁は河床変動と河床波の形態を含む河川の水理並びに河床の地質構造に従わなければならない。

（中略）

また、橋梁災害と川幅を関連づけるのは橋梁の長さである。水理的に決められる川幅に加えて、流れの方向性とそれに大きな影響を与える河道の線形、ならびに河床波の観点から、橋梁の位置・長さ・方向・橋台の護岸の線形などが設計されるべきである。

橋梁の多くは河道を水平・垂直方向で狭め、路体が流水の攻撃を受ける点に保護構造物もなく築かれ、橋台や橋脚には河床変動の知識を欠くために基礎が浅く、それらの方向は河床波の知識を欠くために流れの抵抗を大きくしている。

灌漑施設も復旧すればよいという単純なものではない。灌漑堰は既述の通り、流水の大きな抵抗となっているが、その原因は河川水理を無視した計画が行われ、適正な管理が行われていないことにあり、その理由は河川の計画・管理行政がないことである。灌漑施設の復旧は河川計画・管理行政のフレーム・ワークを確立する中で捉え直さなければならない。

河川水理の専門知識が道路・橋梁計画に組み込まれない限り道路・橋梁の防災は達成できない。このようなことが今回の災害から教訓として学ばなければならない。しかし復旧工事に現場からは教訓を学んだという事実が少ない。

高価な橋梁を守るために安価に再建できる路体をヒューズと見て非常時には切れても構わないとの考え方があるが、道路の信頼性・交通の安全を等しく国民に保障する責任ならびにヒューズとして使うならば、その大前提である予・警報の可能性と信頼性の観点からこの考え方は採るべきではない。（以上原文のまま）

参考文献

- 1) 国際協力事業団，セントラルコンサルタント，片平エンジニアリング インターナショナル：ニカラグア共和国主要幹線道路橋梁架替計画基本設計調査報告書，pp.18~24，資料 11，2000 年 1 月
- 2) 国際協力事業団，セントラルコンサルタント，片平エンジニアリング・インターナショナル：ホンジュラス共和国・ニカラグア共和国グアサウレ橋架け替え計画基本設計調査報告書，2000. 1
- 3) 国際協力事業団派遣事業部（渡辺正幸他）：ニカラグア共和国災害復興専門家派遣要請調査報告書 第一篇総括報告第 4 章 4-7，1999 年 4 月
- 4) セントラルコンサルタントマナグア事務所：ニカラグア台風（Mitch 関連被災橋梁状況写真集 1998 11 月～12 月
- 5) Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI), SPEA: Informe Tecnico De la inspeccion de los danos causados a la red vial nacional por el Huracan Mitch, En las tramos, Nicaragua, 1998
- 6) Ministerio de Transporte e Infraestructura, Direccion de Vialidad : Reporte grafico de danos, Nicaragua, 1998
- 7) 国際協力事業団，セントラルコンサルタント：ニカラグア共和国主要幹線道路橋梁架け替え工事（第二次）（リオネグロ橋）打合せ資料，p.11, 13, 31，1999 年 9 月 30 日

1-4	ニカラグア	被災 1998 年	エル・グアルモ橋	建設資金・時期 不詳
平地掘込河川		橋台護岸法先の洗堀		
自然原因				
ハリケーンミッチによる降雨で発生した洪水				
損傷状況				
両岸橋台のコンクリート護岸の法先が崩壊した．また橋梁の下流約 20m に建設された床固工が河床洗堀により崩壊した． ¹⁾				

 <p>2000.7.30 横倉順治 (橋長 60m RC 3 径間)</p>	 <p>2000.7.30 横倉順治</p>
<p>図 1 エル・グアルモ橋, 左岸下流側から</p>	<p>図 2 橋梁下流の床固工の崩壊</p>
 <p>2000.7.30 横倉順治</p>	 <p>2000.7.30 横倉順治</p>
<p>図 3 左岸橋台護岸と橋脚基礎の洗堀</p>	<p>図 4 左岸橋台護岸法先の損壊</p>
<p>考察</p>	
<p>1) 被災現象の解明 以下のような一連の現象が想定される： ハリケーンミッチによりもたらされた大規模な洪水流量と大きな流速の発生⇒床固工の下流河床の洗堀⇒床固工の崩壊⇒床固工上流に貯留された土砂の流失⇒床固工上流の河床低下と橋台周りの局所洗堀⇒橋台護岸法先の損壊 橋台護岸が洪水流路に張り出した形状は、その周りでの局所洗堀を助長した可能性がある。</p> <p>2) 日本の無償資金協力による復旧 ²⁾ ・日本の無償資金協力により、前項国道 24 号線上の 3 橋（アト・グランデ橋、エル・ガジョ橋、エステロリアル橋）とともに復旧された。 ・目標整備水準、架橋位置、橋長と橋面計画高 前出 3 橋と同様である。超過洪水については桁下高を超える水位あるいは越流は想定されず、その対策は検討されなかった。</p>	
<p>参考文献</p>	
<p>1) 財団法人海外建設防災協会：国際建設防災第 10 号，平成 12 年，p.82, 2000 年 12 月 2) 国際協力事業団，セントラルコンサルタント，片平エンジニアリング インターナショナル：ニカラグア共和国主要幹線道路橋梁架替計画基本設計調査報告書，pp.18~24, 2000 年 1 月</p>	

1-5	エル・サルヴァドル	被災 1998 年	南部を縦貫する幹線道路 CA-2 上の 3 橋
建設資金・時期 不詳		溪谷河川, 丘陵地帯河川	
橋台・橋脚の洗堀と橋脚・橋桁の崩壊			

自然原因		ハリケーンミッチによる降雨で発生した洪水		
損傷状況				
橋梁周辺における経年的な河床低下に加えて、ハリケーンミッチによる大規模な洪水流量と大きな流速により、河岸・河床洗堀が発生した。				
橋梁名	地形	橋長 m	構造	被災の状況
ラ・ペルラ橋	溪谷 河川	56m	3 径間 RC	左岸橋台前面基礎と 2 基の橋脚基礎底面が大きく洗堀された。洪水直後、これら 3 基の下部構造物は構造上不安定な状態となった。 ボーリング調査の結果では、支持地盤は橋脚基礎より下にある。橋台基礎は支持地盤よりかなり上に位置し、構造的には不安定であると判断される。 ¹⁾
<p>図 1 ラ・ペルラ橋の損傷状況 2)</p>				<p>図 2 大きく洗堀された左岸側橋台基礎 2)</p>
カングレヘラ橋	丘陵地 帯河川	113m	5 径間 RC	左岸橋台の川側への傾斜と沈下（約 15 cm）及びこれに伴う上部工 1 径間の落下が発生した。十分な根入れを持たない橋台基礎が低水路の移動とミッチによる洪水の影響で基礎が洗堀され、沈下と傾斜が発生したものと推察される。ボーリング調査の結果によれば、支持地盤はかなり下にあり、全ての橋台・橋脚の基礎はこれらに達していないと判断される。 ¹⁾
<p>図 3 カングレヘラ橋の損傷状況 2)</p>				<p>図 4 カングレヘラ東側(左岸側)橋台</p> <p>ミッチの洪水で沈下・傾斜した。根入れ不足が原因と推察される。²⁾</p>
ヒボア橋	溪谷 河川	146m	12 径間 RC	第 1 橋脚の大きな洗堀、第 2 橋脚の洗堀による倒壊、第 4 橋脚の約 30cm の沈下、及びこれに伴う左岸 5 径間にわたる上部工の落下が発生した。過去 20 年間に河床は 1.5m 低下したと言われている。このような河床低下傾向と元々の基礎の根入れ不足が、洪水の洗堀で致命的となり橋脚の崩壊に至った。 ¹⁾

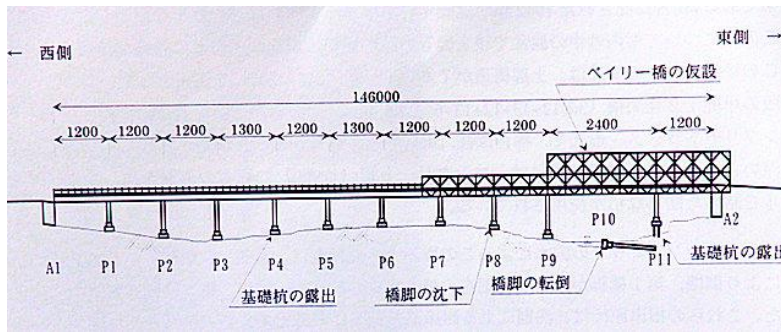


図 5 ヒボア川橋梁の損傷状況²⁾



図 6 ヒボア橋東側 P11 橋脚基礎
洗堀され杭が露出した。²⁾

考察

- 1) ハリケーンミッチによる橋台・橋脚などの構造物周りでの河床低下が直接の被災の原因となった。基礎工の根入れ不足がハリケーンミッチの洗堀で致命傷になったと思われる。¹⁾
- 2) JICA 報告書では取付け盛土により起こされる洪水流の収縮による洗堀は言及されていない¹⁾。
- 3) これら 3 橋は日本の無償資金協力により復旧されており、被災前後の橋長を以下に比較した¹⁾。両者に大きな相違はなく、橋長は被災前においても妥当な範囲内であったと考えられる。

表 1 復旧前後の橋長の比較¹⁾

橋梁名	被災前（旧橋）	日本の無償資金協力による復旧後
ラ・ベルラ	56m	65m：旧橋長が確保されれば問題ないが、左岸側橋台前の護岸工を残すよう新橋台を少し後退させた。
カングレヘラ	113m	120m：旧橋は河川内に少し突き出ている。新橋は左岸側橋台を後退させて旧橋 113m を少し長く 120m とした
ヒボア	146m	本川 90m、支川 30m：旧橋は本川と支川を跨いで一本の橋が架けられていた。復旧後は本川と支川にそれぞれに架橋された。

参考文献

- 1) 国際協力事業団，日本工営，オリエンタルコンサルタンツ：エル・サルヴァドル共和国 主要幹線上橋梁緊急復旧計画基本設計調査報告書，pp.2-22~2-31，2000.7
- 2) 日本工営，オリエンタルコンサルタンツ：エル・サルヴァドル国 主要幹線上橋梁緊急復旧計画基本設計調査，現地調査結果概要，pp.2-8~2-15，2000.2

1-6	ボリビア	被災 2008 年	日本ボリビア友好橋	建設資金・時期: 日本政府無償資金協力 1997 年
自然堤防帯			取付け盛土の洗堀	
自然原因	ピライ川での 2007 年 12 月～2008 年 3 月の雨季の増水と, 2008 年 3 月に発生した洪水			
損傷状況と対策工事				

1. 損傷状況

日本ボリビア友好橋は 2007 年に日本の無償資金協力によって建設された（図 1, 2）¹⁾。国道 4 号線がピライ川を渡河するための重要な交通インフラとなっている。2007 年 12 月～2008 年 3 月の雨季の増水と洪水によって橋梁取付け道路盛土が約 200m にわたって浸食された。橋梁と周辺河道の平面図を図 3 に示した。大きな河道変動（湾曲外側の河岸浸食）は 2008 年 3 月に一昼夜で起こり、その際には河岸が約 150m 後退し、洪水時には橋梁上流河道が左側に移動し（図 4）その浸食範囲が道路舗装部分にまで及んだ（図 5～図 6）。なお日本の無償資金協力で建設されたのは橋梁部分のみであり、被災した取付け道路盛り土はボリビア側による建設であった。

2. 対策工事

洪水の後、ボリビア政府予算により 応急対策工事が実施された。応急対策は左岸取付け道路盛土の上流側法面での護岸工設置、および洪水時に拡張した流路での導流工と水制（木杭と金網）であった。これらの対策工事については資料 2 にて詳述した。

3. 河川と流域の概要

平均年雨量＝1616mm、平均年最大洪水流量 $Q=1100\text{m}^3/\text{s}$ 、1/100 年確率流量 $Q_{1/100}=5620\text{m}^3/\text{s}$

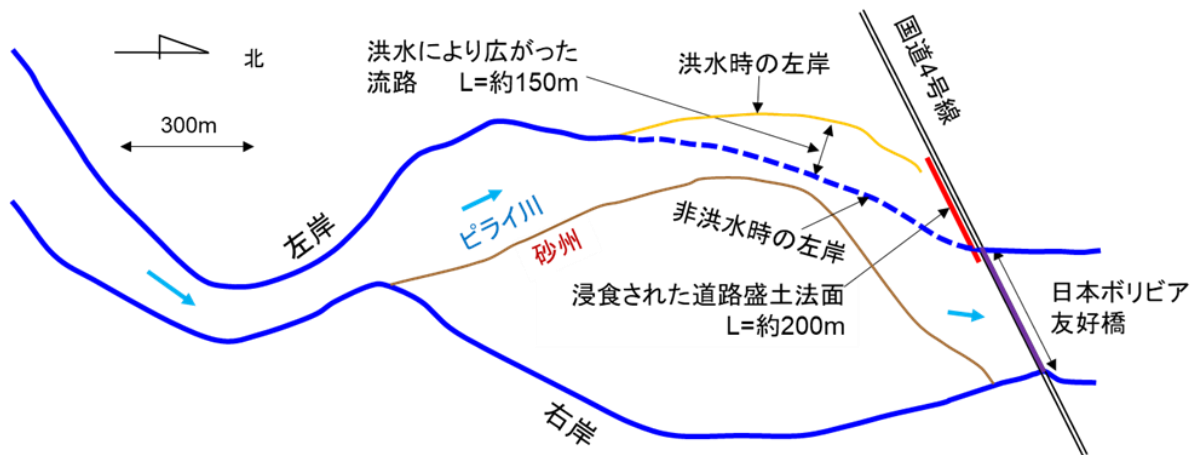
損傷と対策工事の様子



図 1 日本ボリビア友好橋銘板



図 2 友好橋全景とピライ川（左岸上流より）



出典：ボリビア政府提供による平面図をもとに横倉順治が加工作成

図 3 洪水時における左岸側の変動と取付け盛土の浸食を示した平面図

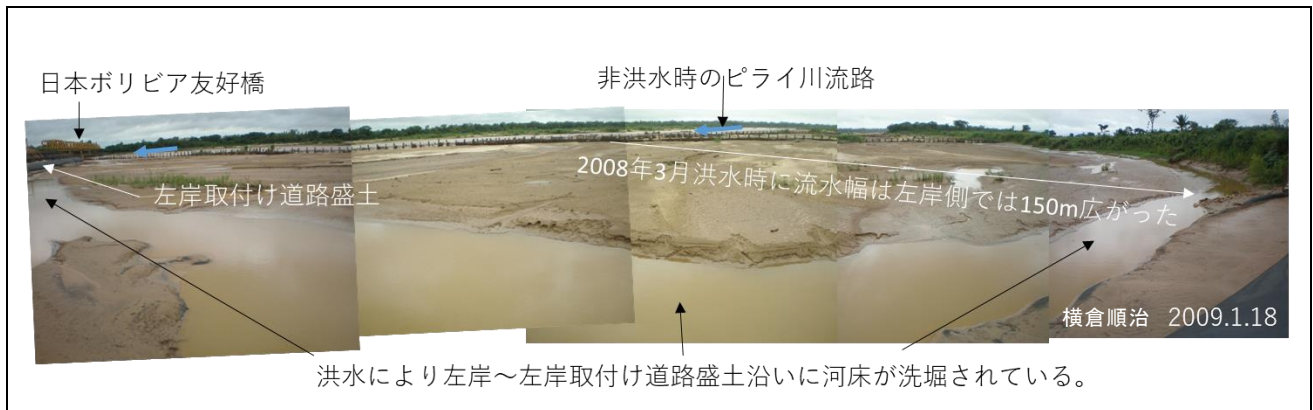


図 4 洪水時における左岸側における河岸の変動と河岸～取付け道路盛土沿いの河床低下の様子



図 5 2008 年雨季末期での取付け盛土の上流側法面の浸食

図 6 同左

考察

取付け盛土は、洪水時に左岸上流に広がった流水の水衝部となった。そのメカニズムを右図に示した。

流水は左岸沿い取付け盛土を浸食しながら流下し、左岸沿いに河床が洗掘されている（図 4～図 6 参照）。

氾濫原に広がった洪水流により道路盛土の上流側に水衝部ができて洗掘された

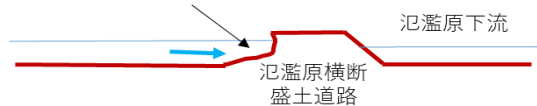


図 7 取付け盛土の浸食メカニズム

参考文献

- 1) 国際協力機構, セントラルコンサルタント: ボリビア共和国 日本・ボリビア友好橋改修計画基本設計調査報告書, 2004.11
- 2) 国際協力事業団: アイゼンハウアー橋改修計画予備調査報告書, 2003.3

1-7	インドネシア	被災 2011年4月	ティモール島, ファツアット橋 ¹⁾
建設資金・時期: 日本政府無償資金協力 2008年4月		扇状地	取付け盛土の流失
場所・施設概要			

インドネシア，東ヌサテンガラ州（ティモール島）スヌエル川
2008年4月に日本の無償資金協力により完成
橋長：129.7m, 5スパン
形式：5径間連結合成 PC-I 桁橋
橋台：逆 T 式，直接基礎
橋脚：パイルベント式 $\phi 1.0\text{m}$ 及び 1.2m
取付道路延長：420m



図 1 ファツアット橋位置図

被災状況

2011年4月の出水により，右岸アプローチの道路盛土が越水，流失し通行不能となった²⁾



(三部信雄氏提供)

図 2 右岸側アプローチ盛土道路の流失状況



図 3 ファツアット橋平面図と側面図

破線は本来設けるべき導流堤，右岸盛土は流失

考察

1. 原因

写真によれば洪水流路幅は約160m であり，地元要請による橋長も160mであった．しかし50年確率降雨に対する水位や地元ヒアリングによる最高水位などから，流水断面を計算し橋長は129.7m とされた（図2では写真手前側の洪水流路内にアプローチ道路の盛土が入り込んだ設計となっている．図3平面図の赤丸部分が河道内の盛土部分）．

洪水規模が50年確率以上であった可能性もあり，その場合越水は想定内と言える．しかし，実際には越水と洗堀により通行不能となったのである．復興に当たっては，自国予算により右岸に1スパン追加し，橋長約155m の橋梁として再建された．

2. 教訓

地方道路における B/C の視点から，洪水流路に道路盛土を建設する計画とされたものである．道路盛土が浸食，越流された場合でも，その復旧は比較的低コスト・短時間で工事可能であるとの考え方によった．氾濫原に取付道路と橋梁を建設する場合，設計対象洪水を超える洪水に対する選択肢まで検討し，投資効果の判断から盛り土部を先に流失させる構造とすることも選択肢である．

参考文献

- 1) JICA, 片平エンジニアリング・インターナショナル：インドネシア共和国 東西ヌサトゥンガラ州橋梁建設計画 基本設計調査報告書，2005 年 1 月
- 2) JICA インドネシア事務所：案件別事後評価（内部評価）評価結果表，無償資金協力，2015 年 2 月

1-8	バヌアツ	被災 2015年	テオウマ橋	建設資金・時期: 日本政府無償資金協力 2005年
平地掘込河道			橋台基礎及び取付け盛土の洗堀	
自然原因				
<p>テオウマ橋は震災復興計画で2005年に建設された。2015年3月サイクロン・パムにより被災した。</p> <p>橋梁建設後河川の蛇行が進んで、右岸側の橋台が水衝部となっていた。(同橋の位置は図1, 施設の概観はドローン写真 図2を参照)</p>				
		図1 テオウマ橋位置図		図2 上流側から見た被災橋梁
損傷状況				
<p>バヌアツのエファテ島に建設されたテオウマ橋はサイクロン・パムの出水(50年確率レベル)により、洪水は橋梁を超え、右岸側アプローチの法面が崩落し、橋台基礎防護工(蛇籠)が流失した。そのためパイルが露出して危険な状況となった。図3では右岸橋台とその背面の法面が損壊した。</p>				
			図3 テオウマ橋右岸側橋台(基礎が露出)と背面の被災状況	
考察				
1. 原因				
<p>既存橋梁は震災復興の施設であって、洪水に対して十分な疎通能力が無かった。このため50年確率の出水で堰上げが発生し、越水に至った。また付近の河道の安定対策も実施されていなかったの、順次蛇行が進み、橋梁右岸の取付け盛土が水衝部となっていたことも原因として推定される。</p>				
2. 教訓				
<p>当該橋梁は震災による被災の復旧事業によるものであり、原状復旧という原則が適用されたと思われる。その後の復興事業では、流出確率を確認し、橋梁自体のみならず、流下能力,塞き上げ量,洗堀及び蛇行の影響等をチェックし、最低限の河道安定工事を含む橋梁事業が実施されている。</p>				
参考資料				
<p>1) JICA, 建設技研インターナショナル:バヌアツ国 エファテ島環状道路テオウマ橋災害修復情報収集・確認調査調査報告書, 2017 年</p> <p>2) JICA, 建設技研インターナショナル, 国際航業:バヌアツ国 テオウマ橋災害復興計画 準備調査報告書, 2019 年</p>				

1-9	ミャンマー	被災 2023 年	タキン橋(Thakin Bridge)	
建設資金・時期: 州政府(盛土部)と日本政府 NPO 支援事業 2018 年			広い氾濫原	氾濫原盛土部の洗堀・流失
自然原因	2023 年 5 月降雨による出水で橋梁部, 築堤部ともに越水が発生した.			

降雨データは不明

被災状況

氾濫原横断の盛土部が越流により洗堀・流失した事例である（図 1）。橋梁は橋長 178m の沈下橋として計画され、アプローチ道路盛土の約 400m 区間には 2 箇所名残川があり大型のカルバートが設置された。越水により盛土部は流失したが、沈下橋及びカルバートの損傷はなかった。沈下橋建設は日本の外務省による NPO 支援事業で実施されたが、盛土部は地元政府（州）が建設した。

構造物が無事であったことから、地元政府は直ちに土工部の復旧工事にかかり、約 1 週間で復旧した。

図 2：復旧工事風景、図 3：平面図、図 4：横断面



図 1 流失したアプローチ道路盛土



図 2 復旧工事の様子

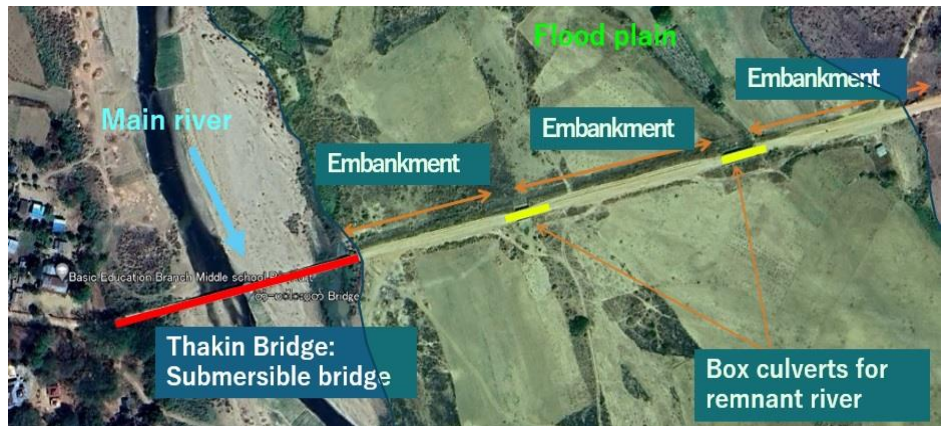


図 3 橋梁位置図

19 径間のラーメン構造、橋長 178m

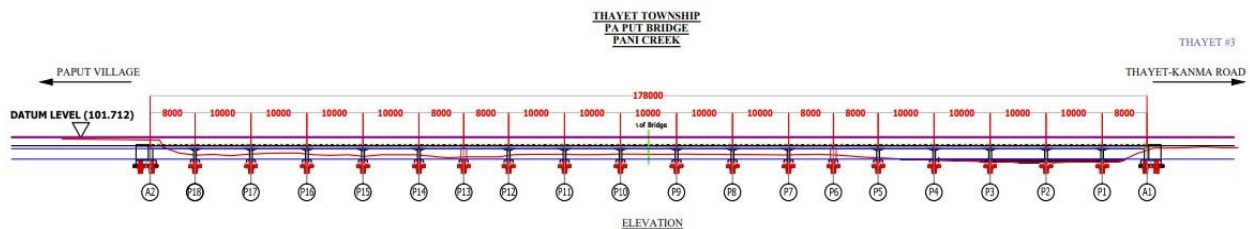


図 4 タキン橋(Thakin Bridge)

考察

- 1) 被害の原因は氾濫原の渡河施設としての盛土道路の開口部（橋梁＋カルバート2基）の通水断面積不足である。ただし出水の流量が不明であるので、盛土部設計が不適切であったかどうかは問えない。また今後の設計の考え方として、盛土部を十分高くするか、越水を許す構造にできるかの検討は有効であろう。
- 2) 盛土部は地元技術者による建設であり、被災直後に復旧体制を取れたことが素早い復旧工事の執行に繋がったと推定される。一定確率以上の洪水に対しては、土工復旧を前提とすることもあり得るという事例である。

2. 大河川の氾濫原盛土道路とその橋梁の洪水被害

2-1	カンボジア	被災 1996 年	国道 6A 号線, 6 号線の盛土道路と橋梁
建設資金・時期: 1968 年自国予算で建設, 1990 年代前半に日本無償で改修			
大規模沖積河川		氾濫原盛土道路の流失, ここに架けられた橋梁の橋台・橋脚の河床洗堀	
自然原因			
メコン川 1996 年 10 月洪水 による. 1996 年 10 月 18 日朝日新聞報道によれば 20 年ぶりの大洪水であり, 国民の 1 割がこの洪水によって被災したと報道された. この洪水では氾濫原盛土道路と橋梁が被災しており, 被害が発生した施設位置図と流域の概要を図 1 に示した.			
損傷状況			
1996 年 10 月洪水は氾濫原に溢れ (図 2), メコン川のカンボジア首都プノンペン上流右岸側氾濫原を横断する国道 6A 号線に建設された複数の橋梁地点 (24 号橋, 25 号橋, 26 号橋) で河床洗堀があり, 橋脚, 橋台周りの河床が低下した (図 3, 図 4). また 6A 号線に続く国道 6 線では, 氾濫原に溢れた洪水により道路盛土が越流されて 3 か所で決壊した (図 1 の➡). 6 号線交差点手前での 6A 号線盛土道路の越流の状況を図 5, 図 6 に示した. 被災した施設位置は図 1 の赤丸で示した.			
			
図 1 メコン川のカンボジア 1996 年洪水氾濫での国道 6A~6 号線の道路盛土と橋梁の被災位置 ¹⁾ (国道の路線番号は当時の路線名で表記)		図 2 1996 年洪水時における 26 号橋周辺での氾濫原湛水の様子 ²⁾	
			
図 3 河床洗堀を受けた国道 6A 号線の 26 号橋		図 4 河床が洗堀され基礎が露出した 6A 号線 25 号橋の橋台	



図 5 越流される 6A 号線盛土道路(6 号線交差点手前)



図 6 越流されている 6A 号線盛土道路

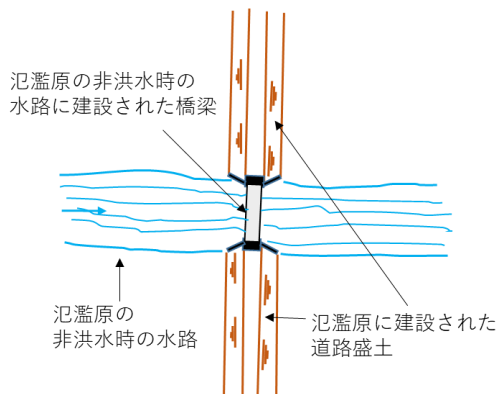
考察

1. 橋梁地点での河床洗堀

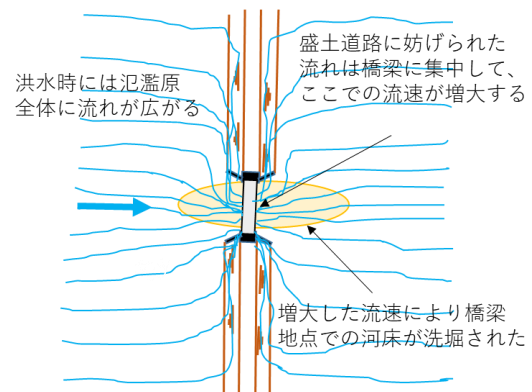
- 国道 6A 号線はカンボジア独自の資金で 1962～1968 年に建設された³⁾。6A 号線には 26 基の橋梁が建設され、このうち 21～26 号橋はメコン川右岸氾濫原を横断する盛土道路に設置されている。これらの 6 橋梁は氾濫原内の中小河川、水路、池に架けられた。
- 1996 年洪水で被災した 24 号橋はクライスバイ川、25 号橋は池、26 号橋は上下流に水田が広がる池、にそれぞれ架橋された。これらの橋は通常の（平水時）の導水、排水機能だけを考慮して橋長、桁下高が決められたと判断され、大洪水時の流下断面不足による塞き上げ、道路の越流に対する配慮が不足している⁴⁾。
- 1993 年には 6A 号線とその橋梁の補修を目的とした日本の無償資金協力準備調査が実施されたが、その橋長、スパン割、は原設計通りとされた³⁾。
- そのため 1996 年に氾濫原を洪水が流下した際には、橋梁地点での流積が不足し、橋梁上流側の水位が上昇して流速が増大し、図 7 に類似した水理現象が発生したことが想定される。このような大きな流速で流下した洪水流により 河床が洗堀されたと考えられる（図 3, 図 4）。橋梁周りの河床洗堀のメカニズムは下図（図 8）の様に推定される⁵⁾。



図 7 2000 年洪水時に日本の無償資金協力で新設された 6 号線橋梁で発生した水理現象（射流と跳水）



非洪水時の水路に架橋されており、その期間の流速と流量は小さい。



洪水時には流れが橋梁地点に集中して流速が増大した。

図 8 氾濫原盛土道路の橋梁周りの河床洗堀のメカニズム

- ・前述のようにこれらの橋が 1960 年代に建設された際には、通常の（平水時）の導水・排水機能だけを考慮して橋長桁下高が決められたと想定される。1993 年の調査に基づく日本の無償資金協力による補修は、内戦後の復興事業でもあり既存橋梁の復旧が基本とされた。その結果 1960 年代に策定された原計画の規模を上回った 1996 年の洪水では橋長と桁下高さが不足し、結果として道路盛土上流側で洪水が塞上げられて越流し、また橋梁地点での流速が増加したと考えられる。その対策には適切な設計流量の設定とそれに応じた橋長および護床・護岸工が重要となる。

2. 道路盛土の流失

6 号線では、越流され、洗堀を受けて決壊して流失した。スノルケン〜ファーアブ間でメコン川右岸氾濫原を横断する 6 号線では、高さ 1〜3m の既存盛土道路が氾濫原を流下する洪水流を阻害し、3 か所で越流されて決壊し、1 部区間での冠水及び法面崩壊、および既存橋梁の損壊など多大な被害を受けた。図 5、図 6 に示した 6A 号線での状況が 6 号線でも発生したと推定される。

3. 河川工学的視点からの考察

- a. メコン川の氾濫原を通過する 6A 号線、6 号線は、雨季の水位上昇への対応として盛土構造とされ、そこを横断する中小規模の流路に橋梁が設置されている。洪水時に氾濫原を洪水が流下して橋梁での通水断面積が不足すると、盛土を挟んで上下流の水位差が拡大し、盛土道路が越流されて洗堀を受け、決壊した。
- b. このように道路盛土による洪水阻害に起因した水理現象が生じるため、橋梁地点では流速が増大して河床洗堀が発生し、橋台・橋脚が損壊している。
- c. 1996 年洪水をはじめ、後述 1998 年、2000 年洪水による被害も同じ現象事例である。
- d. 図 7 は 1996 年洪水で決壊した 6 号線盛土道路地点に日本の無償資金協力によって新設された橋梁での、2000 年洪水時の模様である。橋上下流の水位差は 1m 以上であり、射流と跳水現象が発生しているが、護岸・護床工による対策が施されたために橋台・橋脚に被害を及ぼすような河岸・河床の洗堀は発生しなかった。道路盛土による洪水阻害に起因した水理状況に対して、護岸・護床工による対策を施すことが重要である。

4. (参考)川村勝 JICA 専門家の意見

川村勝 JICA 専門家（2000 年当時 カンボジア国公共事業運輸省に道路橋梁計画分野で派遣）は、1996 年洪水による道路・橋梁の被害とその復旧について以下のような意見を述べている⁶⁾。

- ・ 6 号線の（注：氾濫原を横断する）約 1km については、既存の道路高さを前後に比べて概ね 1m 程度低くしており、当時から洪水吐として考慮していた事がうかがわれる。96 年洪水ではこの区間においても、50m が決壊した。
- ・ 洪水時に、道路に設ける横断水路にどの程度の通水能力を見込めばよいかは、現時点では詳細なデータがない以上、1996 年の被害をもとに設定することはやむを得ないと考えられる。しかしながら、これまでの検討の中では、1996 年洪水ではなぜ道路が破壊したのかについての考察が不十分ではないかと考えられ、原因の究明無くして対策を講ずることは技術支援において問題が大きいと考える。
- ・ 1996 年の洪水では、国道 6 号線の約 550m 区間が決壊したわけであるが、当時の道路縦断を観察すると、約 1km 程度の区間の道路高さが低く設定されていたことがわかる。96 年の洪水では、この箇所においても越流したが、この箇所での損傷は軽微であったようである。

> この構造はいわゆる「越流堤防」に該当する。洪水原（原文のまま）の中に道路を設けるうえで、

ある程度の規模の洪水に対しては、限定した被害を許容し、他の区間を保護するとともに、修復の容易さを確保するという設計思想があったのではないかと考えられる。

- ＞ この設計思想に対して、国道 6,7 号線の修復では、盛土構造の道路は従来より遥かに補強され、かつ越流に対してもかなりの安全性の向上が見込まれるが、その一方では他の区間へと弱点が移行したとも考えられる。

- ・洪水余水吐の検討：

- ＞ 道路計画上の考えとして、道路の一部にあらかじめ弱点を設けて、この部分を決壊させることにより他を守るという思想は、（注：盛土の）復旧の容易さも考え合わせると至極合理的である。また国道 6 号線では約 1km にわたって道路高さを前後に比べて 1m 低く設定していたが、日本の援助事業により現在では計画洪水位を考慮した盛土高により一定確率の洪水に対して抵抗するという考え方へと変わった。

- ＞ 道路における洪水吐の設置は、一年を通じて走行可能な状態を確保したいというカンボジア側の意向を必ずしも満足していないが、整備延長の増をきたした建設単価の抑制、維持管理の容易さなどを考慮すると、検討の余地はあると考えられる。

- ・盛土構造から堤体としての検討：

現状の洪水原に位置する盛土道路は、締固めにより浸透水に対して抵抗できるという考え方に基づいて設計計画されている。しかしながら、材料の品質も地域によってばらつきがあり、何よりも施工に伴う品質のむらは避けがたい。したがって、長期的には部分的な劣化は避けがたいと考えられる。この意味では、道路盛土の設計において、遮水層構造の採用や、のり面の勾配を緩慢にして斜面の浸食を避けることなど、河川の堤防に近い考え方で設計計画を行う必要がある。

5. 日本政府の無償資金協力による復旧

(1) スノルケン～ファアブ間における既存橋梁の復旧と橋梁の新設⁷⁾

スノルケン～コンポンチャム 69km の道路改修の一環として既存 10 橋の架け替えと 3 橋の新設が行われた。

1) 既存橋の架け替えでの設計方針^{7) pp. 3-36-3-39}

- ・架橋位置

8 橋については経済性、取り付け盛り土の施工性、道路線形などを考慮して既存橋梁と同じ位置に架け替えた。2 橋は道路線形と河川の通水断面確保の必要性から既存橋梁から 15m 南側に移動された。

- ・橋長

上下流の川幅、通水能力、橋台周りの洗堀状況、既存橋台位置などを考慮し、No. 2 橋梁を除き、現況橋長とほぼ等しくした。

- ・設計洪水位と桁下余裕

洪水調査の結果に基づき設計洪水位を決定した。洪水水位は記録がないのでヒアリング、痕跡調査値+0.50m が設計洪水位とされた。桁下余裕は日本の河川管理施設等構造令を参考に、橋長 10m 程度の橋梁では 0.6m、それ以上の橋梁では 1m とされた。

2) 新設された橋梁の設計方針^{7) p.3-39pp. 3-53~3-57, D-50~D-51}

- ・架橋位置

盛土道路決壊箇所及び既存橋梁などの排水施設の位置を考慮して決められた。

- ・設計洪水位と桁下余裕

コンポンチャム～プノンペンの氾濫原流量について洪水解析が行われた。その結果に基づき、1996 年洪水水位+道路盛土が決壊しなかったと仮定した場合の推定水位上昇量 30cm が設計洪水水位

+10.80 とされた。桁下余裕高は 1.00m である。道路計画高は越流を許容しないこととして、計画洪水水位+50cm（舗装と路盤圧）の+11.30 とされた。

・橋長

盛り土道路を洪水が越流しない流水断面を確保する。通水断面幅 50m に橋脚・橋台厚を考慮して 54m とされた。



・浸食対策

橋梁周りは洪水時に流速が速くなることから、布団籠を設置する。

参考文献

- 1) 横倉順治, 須賀堯三: 開発途上国の未改修河川でのコーズウエーと潜り橋の実用性に関する現地資料に基づく考察, 河川技術論文集第 17 巻, pp.293~298, 2011 年 7 月
- 2) 横倉順治: 開発途上国の未改修・不安定河川における架橋, 築堤及び取水施設などの建設計画に関する河川工学的考察, 宇都宮大学, p.43, 2005 年 5 月
- 3) 国際協力事業団, パシフィックコンサルタンツインターナショナル: 国道 6A 号線復旧計画基本設計調査報告書, pp. 3-18, 3-45, 5-1, 5-6, 5-13, 1993 年 5 月
- 4) 国際協力事業団, パシフィックコンサルタンツインターナショナル: カンボジア王国国道 6A 号線橋梁整備計画基本設計調査報告書, pp.2-37~2-45, 2000 年 7 月
- 5) 横倉順治, 須賀堯三: 開発途上国の氾濫原道路とその橋梁計画の在り方-河川防災の視点から, 水工学論文集 pp.337~342, 2000 年 2 月
- 6) 川村勝: カンボジア主要道路における洪水被害について, pp.1, 19,29~30, 34~35, 2000 年
- 7) 国際協力事業団, オリエンタルコンサルタンツ: カンボジア王国国道 6・7 号線改修計画基本設計調査, pp. 3-2, 3-36~3-39, 3-56~3-57, D-50~D-51, 平成 9 年 1 月 (1997 年)

2-2	カンボジア	被災 1996 年	国道7号線モアットクモン橋
建設資金: 不明 建設時期: 1940 年頃			
大規模沖積河川		氾濫原盛土道路に架けられた橋梁での河床洗堀による橋脚・橋桁の崩壊	
自然原因			
1996 年のメコン川洪水			
損傷状況			
国道7号線は 1940 年ころ建設され、モアットクモン橋もその時に建設されたと推定される。その位置を図1に赤破線で示した(国道の路線番号は当時の路線名で表記)。橋長約 150m の RC 橋であった。1996 年の洪水でベトナム側の橋脚が倒壊したが、連続橋であったために橋桁の落下は免れた。1998 年にコンポンチャム側の橋脚が老朽化により崩落してコンクリート上部工である橋桁が落下した ¹⁾ (図2)。その後同橋は日本の無償資金協力によって新設された。			


 <p>図 1 メコン川の 1996 年洪水で被災し、1998 年に崩落した国道 7 号線の橋梁モアットクモン橋の位置図</p>	 <p>写真提供 (株) 日本工営</p> <p>図 2 1998 年に倒壊したモアットクモン橋</p>
---	--

考察

1996 の洪水では橋梁を通過する際の流速が増大して河床が洗掘され、橋脚が倒壊したと想定される。

参考文献

- 1) 国際協力事業団，日本工営，パシフィックコンサルタンツインターナショナル：カンボジア王国国道 7 号線コンポンチャム区間改修計画基本設計調査報告書，pp.2-6~2-7, 3-1, 3-8, 2001 年 1 月

2-3 ホンジュラス	被災 1998 年	アグアン川の下流部氾濫原盛土道路 5km 区間
建設資金・時期不詳	幅広い氾濫原	氾濫原盛土道路の洗堀
自然原因 ¹⁾		
<p>1998 年 10 月ハリケーンミッチは中南米諸国を襲い、過去 200 年で最も激しい災害をもたらしたといわれている。ホンジュラス、ニカラグア、グアテマラ、エルサルバドルの 4 か国における死者合計は約 1 万人にのぼり、このうちの 9 割はホンジュラスとニカラグアで発生した。これはハリケーンミッチが 10 月 27 日～29 日の 3 日間ホンジュラスに停滞して、特に隣接する同 2 か国に被害が集中したためである。ニカラグア北西部にあり、ホンジュラスとの国境に近い地方都市チナンデガでの 10 月 26 日～31 日にかけての 5 日雨量は 1,494mm に達した。これはホンジュラスのカリブ海沿岸にあるラ・セイバ市の年平均降雨量 1,021mm²⁾を大きく上回った。</p>		
損傷状況 ^{3)~5)}		
<p>国道 13 号線は、アグアン川河口から 20km 上流地点で、同川を橋長 150m・5 径間 PC 橋で渡河している。橋桁は河川の平水流路のみに架けられている。その左右岸合わせて約 5km の間続く氾濫原を盛土道路によって横断している。この盛土道路がハリケーンミッチの際、アグアン川からの氾濫水によって越流され、盛土が数か所で合計延長約 1km 洗堀された^{3), 4)} (図 1)。</p>	 <p>写真提供 細川容宏氏</p> <p>図 1 アグアン川氾濫原の道路盛土の洗堀</p>	

考察⁵⁾

被災の原因

被害の原因として、氾濫原の横断構造物としての盛土道路の開口部（橋梁）の通水断面積が不足したことが想定される。下図にそのメカニズムを説明した。設計上どのくらいの洪水を想定したかは不明であるが、平水流路のみに架橋されていることから、1/200 年超過確率という規模が非常に大きな洪水を安全に流下させることができなかったと想定される。

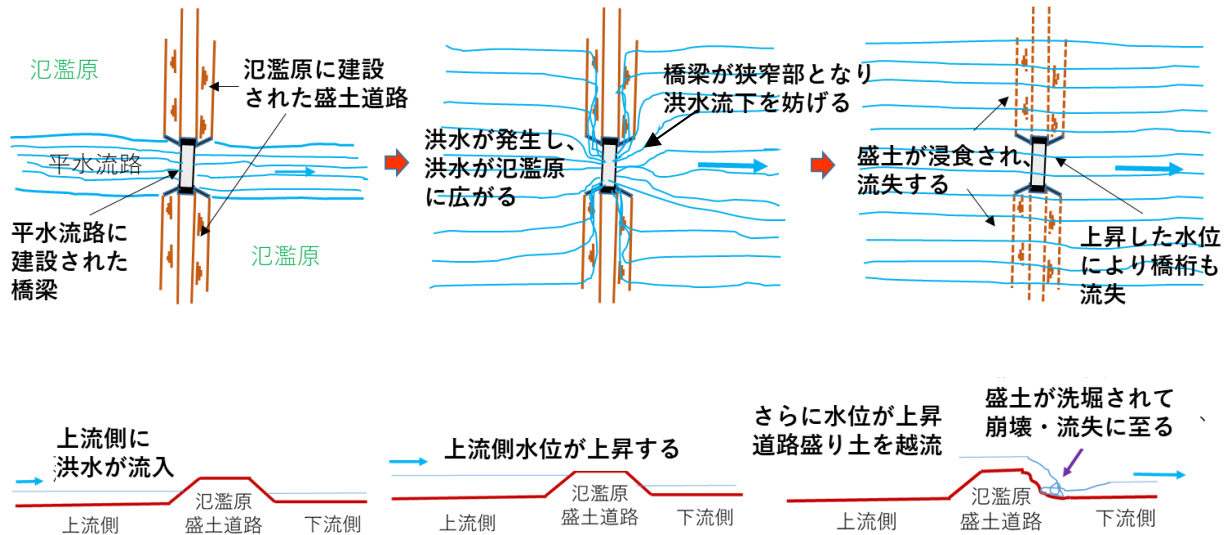


図2 洪水の越流により氾濫原道路盛土が洗堀されるメカニズム

氾濫原への洪水の流入量を、盛土道路の開口部としての橋梁からの排水量が下回る場合、氾濫原に洪水が貯留されて水位が上昇する。氾濫原の水位上昇が継続して、ついには盛土道路の天端高を超えると、洪水が盛土道路を越流する。越流水により盛土道路の下流側法面が浸食される（図2）。このようなメカニズムによって図1の被害が発生したと想定される。

図2では道路盛土の洗堀がさらに進んで盛土が流失し、また橋桁も流失する段階まで表現しているが、これら盛土・橋桁の流失に至るまでの現象については後述 2-4 以降の事例に当てはまる事象となっている。

参考文献

- 1) 横倉順治：1998 年ハリケーン“ミッチ”による橋梁災害復旧事業 -架橋計画における河川防災的視点の重要性と課題-，国際建設防災第10号（平成12年版），p78
- 2) <https://ja.weatherspark.com/countries/HN>
- 3) 横倉順治，須賀堯三：開発途上国の氾濫原道路とその橋梁計画の在り方-河川防災の視点から，水工学論文集第44巻，2000年2月，p337~342，（同論文写真は細川容宏氏提供，1999.8.4）
- 4) 細川容宏（ホンジュラス共和国災害復興調査短期派遣専門家）より横倉順治（JICA 無償資金協力部審査室調査役）がヒアリング，1999.8.4

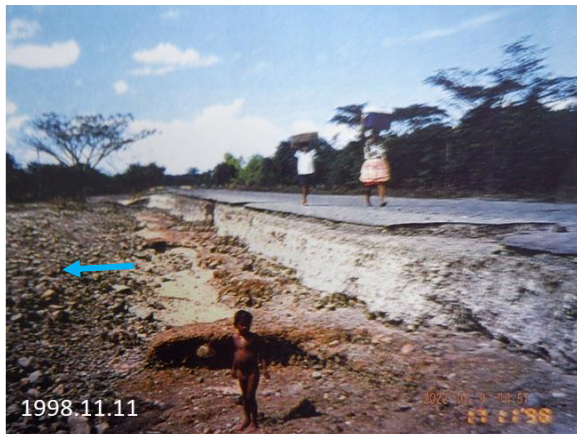
2-4	ホンジュラス	被災 1998 年	スーラバレー氾濫原での、盛土道路 5 km 区間
建設資金・時期不詳		幅広い氾濫原	氾濫原盛土道路の洗堀
自然原因	ハリケーンミッチによる降雨で発生した洪水		
損傷状況			
国道 21 号線はスーラバレーを流れるウルア川を橋長 240m の PC 橋で渡河しており、その左右岸併せて約 5km の間続く氾濫原を盛土道路が横断している。ハリケーンミッチによる洪水はスーラバレー全体に氾濫原し、この盛土道路が氾濫水によって越流されて盛土が洗堀された。			

考察

ハリケーンミッチ被害のメカニズムは 2-3 の図 2 と同様である¹⁾。ハリケーンミッチは 1/200 年確率レベルの洪水であり、このレベルの出水に対しては、氾濫原の横断構造物としての盛土道路の開口部（橋梁）の通水断面積が不足し、盛土が越流・洗堀されたと考えられる。

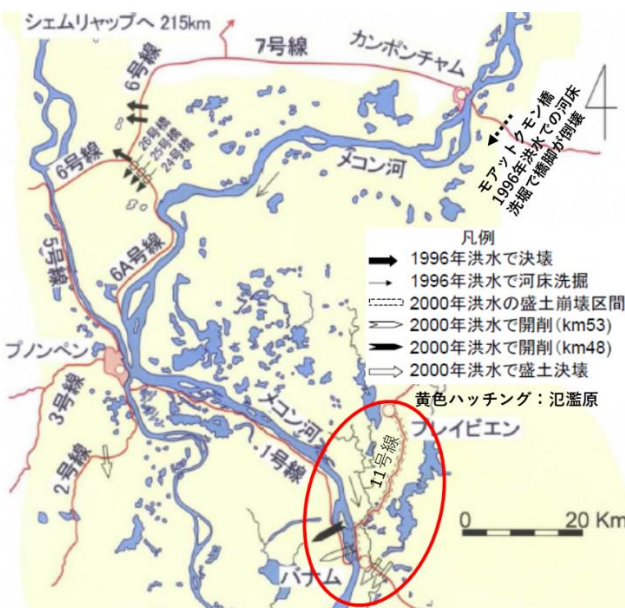

参考文献

- 1) 細川容宏（ホンジュラス共和国災害復興調査短期派遣専門家）から横倉順治（JICA 無償資金協力部審査室調査役）がヒアリング, 1999.8.4

2-5 ニカラグア		被災 1998 年		Los Limones 平野の氾濫原	
建設資金・時期不詳			自然堤防帯		氾濫原盛土道路の洗堀
自然原因	ハリケーンミッチによる降雨で発生した洪水				
損傷状況					
					
図 1 Chinandega～Guasaule 間の Los Limones 平野の氾濫原での道路盛土下流側法面の浸食 ¹⁾			図 2 同左道路盛土の洗堀 ¹⁾		
Chinandega～Guasaule を結ぶ国道 24-3 号線は、Los Limones 平野氾濫原において、盛土道路が越流で洗堀された。			同左道路盛土に設置されたパイプカルバートの通水容量が不足したため、上流からの氾濫水が盛土を越流、盛土が洗堀された。カルバートに沿ったパイピングも影響した可能性がある。		
考察					
Los Limones 平野（図 3）では 1/200 年確率レベルのハリケーンミッチによる洪水が氾濫し、盛土道路に設置されたパイプカルバートの通水容量が不足して盛土道路上流からの氾濫水に越流され、盛土が洗堀されたと考えられる。					
					
図 3 Chinandega～Guasaule 間の Llano Los Limones（リモネス平野）					



参考文献

- 1) Ministere de Transporte e Infraestructura (MTI), SPEA: Informa Tecnico de la inspeccion de los danos causados a la red vial nacional por el Huracan Mitch en las tramos, Managua-Nicaragua, 1998

2-6	カンボジア	被災 2000 年	メコン川氾濫原
建設資金・時期: 1994～96 年にアジア開発銀行の資金による緊急的補修行われた。			
大規模沖積河川の氾濫原		盛土道路の洪水時での崩壊と、越流を避けるための人為的開削	
自然原因	メコン川 2000 年 9 月洪水		
被災状況			
<p>1) メコン川 2000 年 9 月洪水時にプノンペン下流右岸の氾濫原を同川と並行する国道 1 号線では、盛土道路を挟んでメコン川と氾濫原の水位差が約 2m となった。メコン本川の水位はさらに上昇し続けて上流の首都プノンペンで堤防を越流する危険性が生じたので、本川水位を低下させるため、プノンペンから右岸下流 48km 及び 53km の 2 地点で人為的に道路盛土が開削された（開削された箇所の位置は図1）。図2 は 48km 地点での開削の様子である。</p> <p>2) ブレイビエン～バナム間の国道 11 号線では、約 30km の区間で道路盛土が崩壊した²⁾（図1）。</p>			
			
図 1 メコン川 2000 年洪水での国道盛土開削箇所 ¹⁾ (国道の路線番号は当時の路線名で表記)		図 2 2000 年洪水における 1 号線プノンペンから 48km 地点での道路盛土の開削 写真の道路盛土の左側がメコン川、右側はその氾濫原となっており、道路盛土を挟んで約2mの水位差が生じた ¹⁾	
考察			
<p>1) プノンペン下流右岸で、メコン川と並行に建設された国道 1 号線（図 1）は、雨季の水位上昇への対応として盛土構造とされている。</p> <p>2) 2000 年 9 月洪水時には国道 1 号線道路盛土が堤防の機能を果たして、河川側と氾濫原側の水位差は約 2m となった。メコン川の水位上昇は首都プノンペンでの洪水リスクを生じさせたので、本川水位を低下させるためプノンペンから 48km および 53km の 2 地点で人為的に道路が開削された。図 2 は 48km 地点開削後の様子である。同 2 地点ではその後日本の無償資金協力により架橋され、国道 1 号線も改修された³⁾。</p> <p>3) 国道 11 号線の道路盛土はメコン川右岸の氾濫原を横断しており、その盛土が上流からの氾濫水の流下を阻害して洗掘されたと想定される。</p>			

参考文献

- 1) 横倉順治, 須賀堯三: 開発途上国の未改修河川でのコーズウェーと潜り橋の実用性に関する現地資料に基づく考察, 河川技術論文集第 17 巻, pp.293~298, 2011 年 7 月
- 2) 川村勝: カンボディア主要道路における洪水被害について, p.10, 2000 年
- 3) 国際協力機構, 片平エンジニアリング・インターナショナル: カンボジア国国道 1 号線 (ブノンペン~ネアックルン区間) 改修計画基本設計調査報告書, 平成 17 年 (2005 年) 3 月

2-7	バングラデシュ	被災 2007 年	ジャムナ川)の氾濫原を走る Z5401 号線	建設資金・時期 不詳
大規模沖積河川			氾濫原盛土道路の流失, そこに建設されたカルバート橋の崩壊	
自然原因				
ジャムナ川 2007 年 7 月洪水が自然原因となった. 2007 年 6 に始まったモンスーンによる豪雨が誘引となって, 7 月からバングラデシュ各地で洪水が起き始め, 7 月下旬には 2004 年以来の大洪水の様相を呈して, 国土の 1/3 が水没, 9 月 15 日時点における死者は 1000 名であった (AFPBBNews) .				
損傷状況				
1) 道路局 (Road and Highway Department: RHD)の所管する国道では, 全国で 52 の橋梁・コンクリートカルバート橋が損壊した				
2) 被害は Z5401 号線で最も大きかった (図 1~6) . ジャムナ川からからの氾濫水は Z5401 の道路盛土を最大 1m の水深で越流した.				
3) Z5401 道路は図 1 に示したようにジャムナ川右岸の氾濫原に建設された盛土道路であり, そこには多数のカルバート橋が建設されている. これらのカルバート橋が崩壊し道路盛土が流失した.				
			 <p>写真提供 栗原敏弘氏</p>	
図 1 ジャムナ川の 2007 年洪水において, 最も被害の大きかった Z5401 道路とジャムナ河の位置図			図 2 崩壊したカルバート	

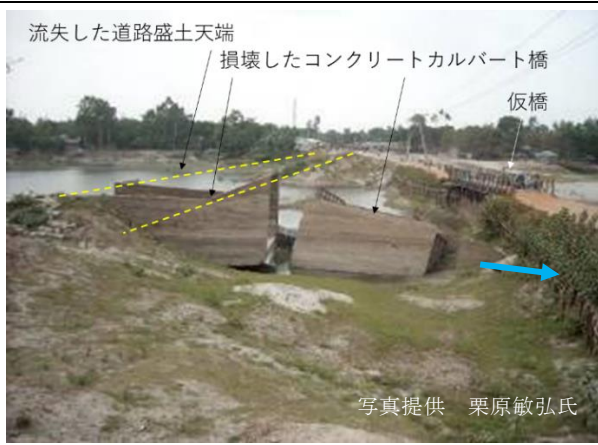


図 3 道路盛土道が流失しカルバートが崩壊した

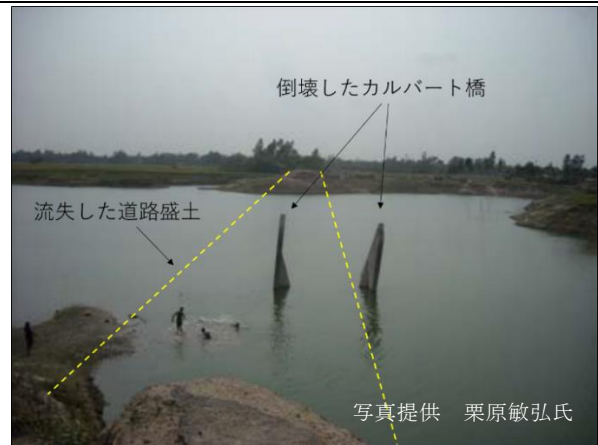


図 4 崩壊したカルバートと流失した道路盛土



図 5 洗掘により傾いたカルバート

写真左側方面ジャムナ河からの洪水により、カルバートが写真右側（洪水下流側）に沈下した。

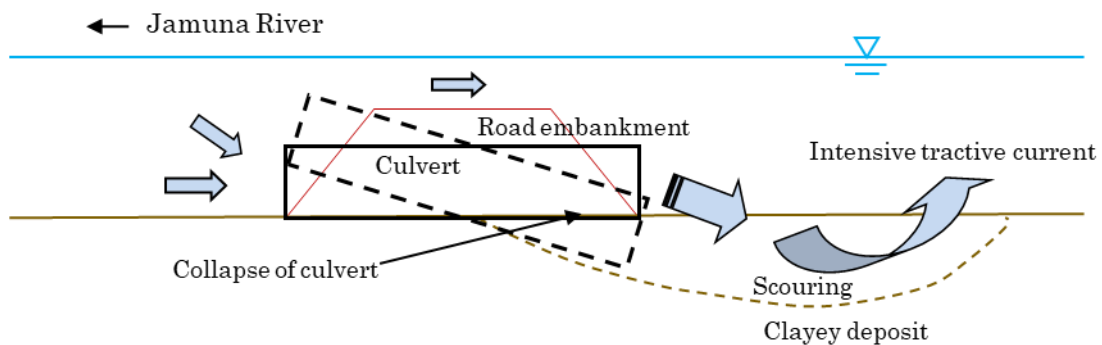


図 6 左図カルバートから流出した氾濫水により形成された落堀（深さは約 10m）¹⁾

考察

1. 損傷に至った現象の解明

道路下に設置されたカルバートでは、氾濫水流量に比較して開口部が狭く、そのためジャムナ川からの氾濫水を十分には下流側に排水できず、盛土道路の上流側水位が上昇してカルバートを通過する際の流速が増大した。このために 流出側の河床が洗掘されてカルバート構造体が不等沈下し、損壊したと想定された（下図参照）¹⁾



出典：栗原敏弘氏（元バングラデシュ派遣 JICA 専門家（道路橋梁維持管理））¹⁾

図 7 盛土道路に建設されたボックスカルバート橋の損傷のメカニズム

カルバートが損壊すると、その空間を氾濫水が通過して周辺の盛土が浸食されて流出したと考えられる。道路盛土とカルバート損傷の原因をまとめると以下のようになる。

- 1) Z5401 道路はジャムナ川右岸氾濫原を南北に通過する盛土道路である。
- 2) ジャムナ川の洪水はこの氾濫原に溢れたが、Z5401 の道路盛土に阻害された。
- 3) 盛土道路に建設された橋梁・カルバートの通水面積は十分でないため、次第に上流（ジャムナ川）側の水位が上昇し、その結果橋梁・カルバート通過流速が増大して橋梁・カルバート出口の河床が洗掘された。
- 4) カルバート下流側の河床洗掘により橋梁が傾斜した。さらに流水圧によりカルバートが移動・崩壊した。同時にカルバート周辺の盛土も流失した。
- 5) 盛土の流失は、カルバートと盛り土の隙間のパイピングあるいは盛り土を氾濫水が越流したことが原因として考えられる。

2. ジャムナ河氾濫原道路の被災に関する対策案

- 1) 盛土上下流の水位差発生を最小化することが肝要であり、そのためには洪水をできるだけ 阻害しない工夫が必要となる。その対策として以下の案が考えられる。
 - ・カルバートの数を増やす。
 - ・橋梁の長さ、数を増やす。
 - ・コーズウエーを設置する（盛土道路の一部区間の天端高を特に低くして氾濫水越流を許容する。越流されても浸食に抵抗性のある構造とする。越流中はやむを得ず交通が遮断される）。
 - ・道路全線にわたって盛土天端高を低くし（超過確率年を小さく取る）、上下流の水位差が大きくなる前に盛土とそこに設置された橋梁・カルバートなどの越流を許容する。
- 2) カルバート・橋梁などの構造物周辺河床の洗掘を防止するために、鉄線籠、捨石などの護床工をより広い範囲に施工する。また構造物周辺の盛土の洗掘防止のための護岸・根固め工をより広い範囲に施工する。
- 3) 道路交通が洪水に安全となるように盛土高を増大させることは、以上の対策と合わせて検討しなければ、かえって問題を深刻化させる恐れがある。

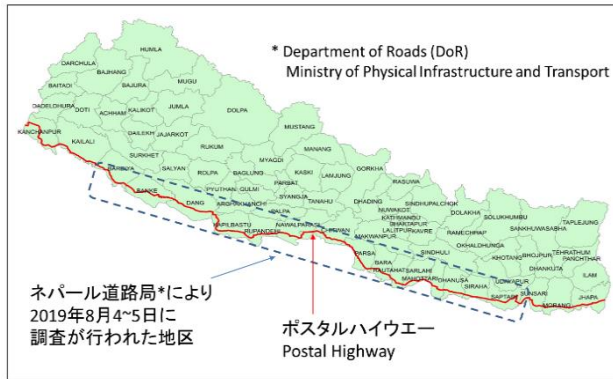
参考文献

- 1) 栗原敏弘（元バングラデシュ派遣 JICA 専門家（道路橋梁維持管理））：Sirajganj 地区 Z5401 のカルバートの被災状況，2009 年 4 月，写真提供はすべて栗原氏による。

2-8	ネパール	被災 2019 年	タライ平野南部を横断するポスタルハイウエー
建設資金・時期 不詳		扇状地～自然堤防帯	氾濫原盛土道路の流失
自然原因			
タライ平野における 2019 年 7 月洪水			
被災状況			
1) タライ平野を流下する河川から氾濫原に溢れた洪水により、同平野を東西に横断するポスタルハイウエー（図 1）の道路盛土が越流され、道路盛土と道路舗装が損壊、あるいは道路盛土が流失した（図 2～9）。			
2) 橋梁の盛土構造の取付け道路が洪水により浸食された（図 10）。			

被災状況：2019 年 7 月洪水での ポスタルハイウエー被害の様子

(写真はすべてネパールインフラ・交通省道路局提供, 撮影は 2020 年 8 月 4~5 日)



Janakpur – Jaleswar Road, Province 2

図 1 写真撮影位置図

図 2 氾濫水により流失した道路盛土



Bagamati (Baharhawa) – Phatuwa – Maheshpur – Aruwa Road, Rautahat



Janakpur – Kaptol Kamala Road, Province 2

図 3 氾濫水により流失した道路盛土

図 4 流積不足のカルバートと流失した道路盛土



Rajabiraj – Kunali Road near by Tilathi village of Saptari, Province 2



Nepagunj – Baghauda Road (Westren Terai, in Province 5)

図 5 流積不足のカルバートと流失した道路盛土

図 6 流積不足のカルバートと流失した道路盛土



ネパールインフラ・交通省道路局提供
Bagmati (Baharhawa) – Phatuwa – Maheshpur – Aruwa Road, Rautahat

図 7 道路盛土が越流され、損壊した道路舗装



ネパールインフラ・交通省道路局提供
Bagmati (Baharhawa) – Phatuwa – Maheshpur – Aruwa Road, Rautahat

図 8 道路盛土が越流され、損壊した道路舗装



ネパールインフラ・交通省道路局提供
Nepagunj – Baghauda Road (Western Terai of Nepal, in Province 5)

図 9 道路が越流され、下流側地盤が浸食されて不同沈下したコンクリート道路舗装



ネパールインフラ・交通省道路局提供
Janakpur – Yadukuha Road, province 2

図 10 洪水を阻害して浸食された盛土取付け道路

考察

無堤河川からあふれ出た氾濫水はタライ平野を流下する際に、ポスタルハイウエーの道路盛土に阻害された。道路盛土に設置された氾濫水排水のためのカルバート、橋梁の排水容量が十分ではないため、道路盛土上流側で水位が上昇、道路盛土を越流して道路舗装・盛土を損壊し、さらに盛土が決壊して流失したと想定される（事例 2-3 の図 2 参照）。

2019 年洪水の発生確率年は不明であるが、これらの渡河施設の計画対象洪水の規模を上回ったためにこれらの被害が発生したものである。

参考文献

なし

3. 都市河川での橋梁被害と市街地への洪水の氾濫

3-1	ホンジュラス	被災 1998 年	テクシガルパ市内の 8 橋
建設資金・時期 不詳		市街地の掘込河道, 堤防・パラペットなし	
市街地での橋脚の流失, 橋桁の流失			
自然原因	ハリケーンミッチによる降雨で発生した洪水		
損傷状況			
首都テクシガルパ市内を流れる河川に発生した洪水により, 橋桁が流失し, 橋脚が倒壊した.			
			
図 1 Colonia El Pado 橋 ¹⁾ コンクリート擁壁によって護岸が設置されている.取付け道路は残ったが, 橋桁が流失した.		図 2 Colonia La Primavera 橋 ¹⁾ 橋脚は残ったが, 橋桁が流失した. 流失した橋桁の残骸が写真中央右寄りに見られる.	
			
図 3 橋梁名不明 ¹⁾ 洪水によって橋桁が流失し, 橋脚が残っている.		図 4 Comayaguera 南部の橋 ¹⁾ 洪水で橋桁が流失, 橋脚基礎 (写真右下) が残った	
			
図 5 Juan Ramon Molina 橋 ¹⁾ : 左岸から右岸を見る 橋長 69m, RC π ラーメン 3 径間		図 6 Juan Ramon Molina 橋 ¹⁾ : 右岸から左岸を見る	
橋桁と橋脚 2 基が流失している。橋台周りの洗堀はない。洪水が越流して上部工に流水圧及び流木の衝撃圧が作用してラーメン構造の上部工と橋脚が一体となって流失した ²⁾ 。橋脚基礎が直接基礎でかつ根入れが不十分であったことも一因と推定されている。川幅は約 70m で, 橋長もこれと同じ数値である。			



1998.12.4

図 7 Chile 橋¹⁾ 上流からの全景(橋長 134m, 6 径間)

4 本の主桁が流水圧や流木の衝突によって流失あるいは大きな損傷を受けたが、そのほかの主桁は再使用が可能とされた³⁾。橋台、橋脚は無事だった。川幅は約 140m であり、橋長は川幅をわずかに阻害した。



1998.12.4

図 8 Chile 橋¹⁾

下流側右岸寄りの欄干が流失した。



1998.12.4

図 9 Chile 橋¹⁾ 橋げた裏側

洪水の際にハンチのかぶりコンクリートが剥離して、鉄筋が露出した。



1998.12

図 10 Mallol 橋¹⁾ 背後の建物は国立博物館

橋桁が流失しなかったのは、石積アーチ橋であり、上部工と下部工が一体構造をしているためと考えられる。



写真提供
セントラルコンサルタント(株)

図 11 カリアス橋

同左

考察	
<p>1. 被災原因に関する考察</p> <p>これらの橋梁と河川には以下のような特徴がある.</p> <p>1) 市内の河川は掘り込み河道となっている.</p> <p>2) 河川には築堤されていない.</p> <p>3) 河道に取付け盛土が張り出て建設されている橋梁は 1 橋 (Colonia El Pado 橋, 図 1) のみであった.</p> <p>Colonia El Pado 橋を除いては (図 2~9), 被害の原因は次の様であったと想定される.</p> <ul style="list-style-type: none"> ・市内に洪水が氾濫したことから, 洪水の流量は掘込み河道から溢れる規模であったと考えられる. ・そのため橋梁は洪水によって越流され, 橋桁が流失したと想定される. 流木による被害もあった可能性がある. ・橋脚が流失した橋梁 (Comayaguera 橋, Juan Ramon Molina 橋) では橋脚が倒壊している. これらの橋については, 橋桁の流失は越流によるか, 橋脚の倒壊によるかは不明である. ・アーチ式の石積橋梁で橋桁流失の被害は発生しなかったのは, 上下構造が一体となっているためと推定される (図 10, 11). ・ハリケーンミッチは 200 年確率洪水であり, これらの渡河施設の計画規模を上回っており, このような被害が発生したと考えられる. <p>2. 被災した橋梁の復旧²⁾</p> <p>1) 日本の無償資金協力により, Juan Ramon Molina 橋, Chile 橋の 2 橋が復旧された.</p> <p>2) 復旧にあたっての目標整備水準, 架橋位置, 橋長・橋面計画高, 超過洪水対策及びこれらに関する考察は前出 1-2 ホンジュラス各地の 6 橋と同様である.</p>	
参考文献	
<p>1) 国際協力事業団, セントラルコンサルタント: ホンジュラス, ニカラグア無償資金協力実施促進調査団写真集, 1998 年 11 月 27 日~12 月 12 日</p> <p>2) 国際協力事業団, セントラルコンサルタント, パシフィックコンサルタンツインターナショナル: ホンジュラス共和国橋梁普及計画基本設計調査報告書, pp. 3-1~3-8, 平成 11 年 12 月(1999 年)</p>	

3-2	東ティモール	被災 2021 年 4 月	ディリ市内の 3 橋及び郊外の橋梁
建設資金・時期 不詳		扇状地上の市街地の掘込河道(堤防・パラペットなし)	
市街地の橋梁での洪水氾濫			
自然原因			

2021 年 4 月、東ティモール国は熱帯低気圧 Seroja による豪雨に見舞われた。

この豪雨により 4 月 4 日には約 30 万人が居住する首都ディリとその近郊で斜面崩壊、土石流、河川の氾濫が発生し、ディリ市の市街地の大部分が冠水した。ディリを流れる河川を図 1 に示した。

これらの一連の災害により、ディリ市内では 4,147 軒の家屋が被災し、22 人が死亡した¹⁾。また給水施設等の重要な社会インフラが被害を受けた¹⁾。

(参考：気象条件)

東ティモール国は熱帯モンスーン気候であり、雨季と乾季がある。北部海岸地域の雨季は 12 月から 4 月までで、雨季の降雨にはバラツキがある。降雨のない日も多い一方で、降雨時には短期間に集中的に雨が降る傾向にある。ディリの年間降雨量は 1,000mm 未満でさほど多くない。例えば、2014 年の最大月間降雨量は 4 月に記録された 182.3mm/月である²⁾。一方、ディリ空港近傍に位置する運輸通信省（Ministry of Transport and Communication）下の気象地球物理局（National Directorate of Meteorology and Geophysics, DNMG）の降雨観測所のデータによると、2021 年 4 月 4 日の降雨は、24 時間雨量 341.8mm/日、同最大時間雨量 71.2mm/時の豪雨であった³⁾。



図 1 東ティモール首都ディリと 2021 年洪水被害の位置図

赤色破線で示した地区は洪水被害の発生した首都ディリとその周辺市街地

損傷状況

ディリ市内のマロア川では複数の橋梁地点において上流からの生活廃棄物と土砂による流路の阻害があり、洪水が周辺市街地に溢れて浸水被害をもたらした。マロア川のこれらの橋梁の位置を図 2 に、被害状況を図 3~6 に示した。

カメア川のカルバート橋は流木で閉塞して洪水に越流された(図 7)。モタベヌス

ク川を渡河するディリ～ロスパロス国道の橋梁地点では、道路盛土が浸食を受けた。これは橋梁の通水断面積が不足して流れを阻害したため、上流側水位が上昇して道路盛土を越流したことによると推定される。(図 8)

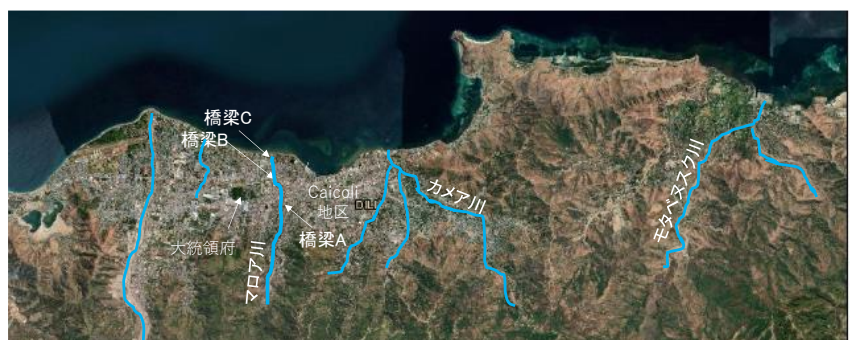


図 2 マロア川に建設され閉塞して洪水が発生した橋梁、および橋梁が洪水を阻害して道路・橋梁に被害が生じた位置図



図 3 流積が不足しているマロア川の橋梁
(図 2 の橋梁 A), 下流側から

桁下高が低く、また橋台が河道に突出して流積を狭くしている。これらが出水時に流れを阻害して、氾濫を助長した。



図 4 流積が不足しているマロア川の橋梁
(図 2 の橋梁 A), 上流側から

同左



図 5 流積が不足しているマロア川の橋梁(図 2 橋梁 B)



図 6 流積が不足しているマロア川の橋梁(橋梁 C)



2021.6.5 Yachiyo Engineering. Co. Ltd



2021.6.5 Yachiyo Engineering. Co. Ltd

<p>図 7 カメラ川のカルバート橋梁</p> <p>調査時には除去されていたが、出水時には流木で閉塞して洪水が越流し、氾濫を助長した。越流時に破損した欄干が確認できる。</p>	<p>図 8 ヘラのモタ・ベヌヌク川橋(ディリからヘラを経てマナット、パウカウ、ロスバロスに至る国道)</p> <p>周辺は 4 月洪水で湛水、道路盛土が浸食された。橋梁の通水断面積が不足して流れを阻害したと想定される。</p>
<p>考察</p>	
<p>橋梁地点での氾濫に関して、以下のように考察した。</p> <p>1. 河川上流域での地質と土砂生産</p> <p>ディリはティモール島の北部海岸地域に位置し、南北 3～5km、東西はティバル、タシトル、ディリ、ヘラまで入れると約 30km の範囲に広がる。南側はラメラウ山地（以下、南部山地）に接している。南部山地からは市内に複数の河川が流れ込んでいる（図 1）。南部山地の地質はスレートと千枚岩であり、脆弱で片状に剥離、破砕しやすく、斜面崩壊や地すべりの素因となる特徴を持つ。このような土砂が下流に流出して河床に堆積し、マロア川では橋梁地点での桁下高不足の原因となっている。2021 年 4 月の豪雨は上流の丘陵地帯で 120 以上の地滑りを発生させた。⁴⁾</p> <p>2. モアラ川橋梁での河道閉塞と洪水の状況^{4), 5)}</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 当該 3 橋梁は、橋面高が周辺地盤高と同じで、そのために橋桁の水面からの余裕高が少なくなっている。また橋台が河道に張り出ている。このため、橋梁地点での流積が、その上下流の河道の流積よりも縮小している。 2) 極端な降雨は、土壌浸食、ディリ周辺の丘陵地帯からの地滑りとそれに続く土石流をもたらした。モアラ川橋梁地点では、上流から流下する土砂に都市廃棄物も加わって河床が上昇して流積が減少した。 3) 洪水が橋梁地点で溢れたのは、洪水規模の大きさに加えて、こられの要因もあったと想定される。 4) 洪水は橋梁を越流し、隣接する道路を一時的な雨水路に変えた。 5) このため河川兩岸で洪水が発生して、河岸の家屋が被災した。大統領官邸の中庭も浸水した。 6) 大統領府がある地区あるいは Caicoli 地区（図 2）などは完全に浸水し、Caicoli 地区では浸水深さが 1.5m となった。 7) マロア川河口の左岸側に位置し、海岸道路沿いにある日本大使館前の幹線道路が洪水により損傷した。 8) 橋梁地点での洪水氾濫の被害軽減のためには、①橋の桁下高は計画高水位以上とする、②橋台が計画河道断面を阻害しない、の諸点は橋梁設計上必須である。さらに上流からの土砂管理を適切に行い、河床の上昇を抑制して、通水断面を確保することが重要となる。 	
<p>参考文献</p>	
<ol style="list-style-type: none"> 1) UN Resident Coordinator's Office (RCO): Timor-Leste Floods - Situation Report No. 10 (As of 18 June 2021) 2) https://reliefweb.int/sites/reliefweb.int/files/resources/TL%20April%20Flood%20Response%20Situation%20Report%2010%20%2818%20June%202021%29.pdf 3) JICA, 山下設計, インテムコンサルティング, パデコ: 東ティモール民主共和国東ティモール国立大学工学部校舎建設計画準備調査報告書, p.2-13, 2015 年 12 月 4) 3) 運輸通信省気象地球物理局 (DNMG) HP 5) Benjamin Hopffer Martins: Dili City inundation extension assessment and causes identification, A preliminary report by the UNTL Survey Team, 東ティモール国立大学工学部, 山口大学工学部社会建設工学科, 山口大学グローバル環境・防災学研究会:「東ティモール洪水緊急報告会」資料, 2021 年 5 月 29 日 Web 開催 6) Aleixo Sarmiento and Survey Members: Rivers infrastructure damages survey in the City of Dili caused by 	

- 7) tropical cyclone Seroja, 東ティモール国立大学工学部, 山口大学工学部社会建設工学科, 山口大学グローバル環境・防災学研究会:「東ティモール洪水緊急報告会」資料, 2021 年 5 月 29 日 Web 開催

4. 大規模な沖積河川の河道変動に起因する橋脚・橋台基礎の河床低下と橋脚周りの局所洗堀

4-1	バングラデシュ	1) メグナ・メグナグムチ橋建設計画 ¹⁾ , 1987~1991 (日本政府無償資金協力) 2) メグナ橋護岸対策計画 ²⁾ , 1993~1994 (日本政府無償資金協力) 3) メグナ橋護岸改修計画 ³⁾ , 1998~1999 (日本政府無償資金協力)
-----	---------	---

不安定な沖積河川での橋台・橋脚周辺河床の低下と河岸浸食 顕著な被災は 1991~1998

損傷の状況

メグナ橋は日本の無償資金協力により、'87 から'91 までの工期と約 80 億の工費で完成した(図 1, 2), 橋長 930m, 11 径間 PC 道路橋である¹⁾。しかし建設中から上下流で河岸位置と河床深の変化が継続し(図 3, 4), 1991 年には左岸橋台の上流側矢板護岸が、河床洗堀で 195m にわたり崩壊したため(図 5), 11.3 億円の無償資金協力で、1993~1994 に鉄線籠・捨石の新護岸が建設された²⁾(図 2)。1997 の調査では、橋脚周りの河床が最深部 P7~P8 橋脚の間で 1985 の調査時から 14m の低下が判明した(図 6)。橋脚周りの河床低下には湾曲流外側の河床洗堀も影響している(図 7)。P7~9 では施工後には捨石工に覆われていた橋脚フーチングが露出し、橋脚安定上の限界河床高であることが判明した(図 8, 9)。このため、1998 に 2.2 億円の無償資金協力より、橋脚周りに捨石が施工された³⁾。



図 1 メグナ橋位置図¹⁾

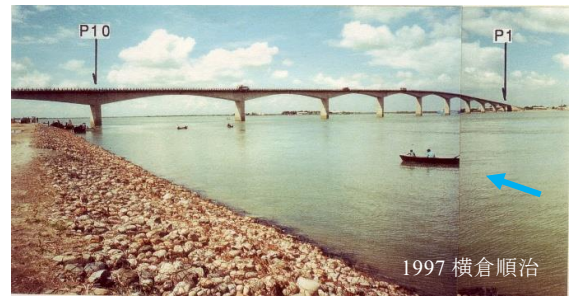


図 2 メグナ橋の概観 上流左岸側より

河岸・河床の変動と被災の状況

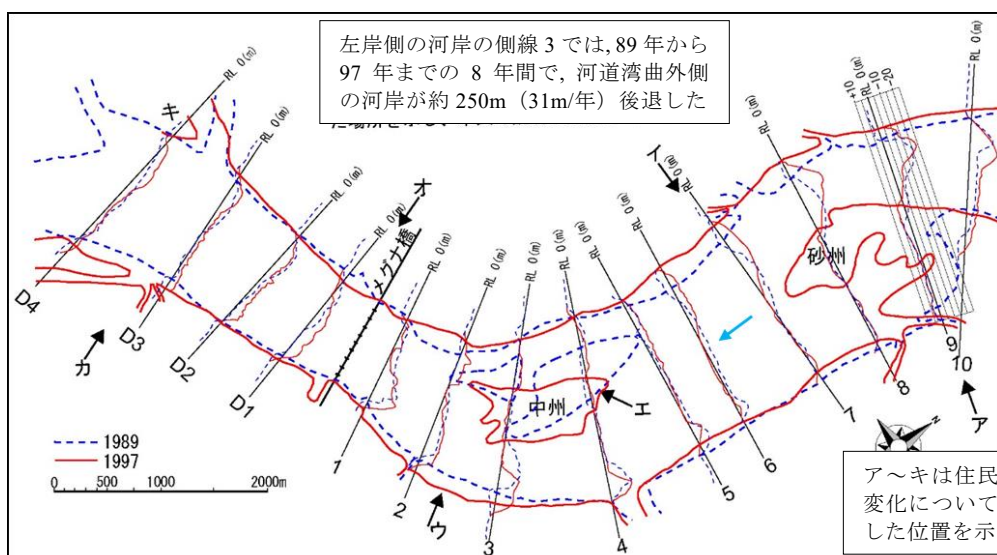


図 3 メグナ橋上下流における河岸線の変動(1989 と 1997 の比較)⁴⁾

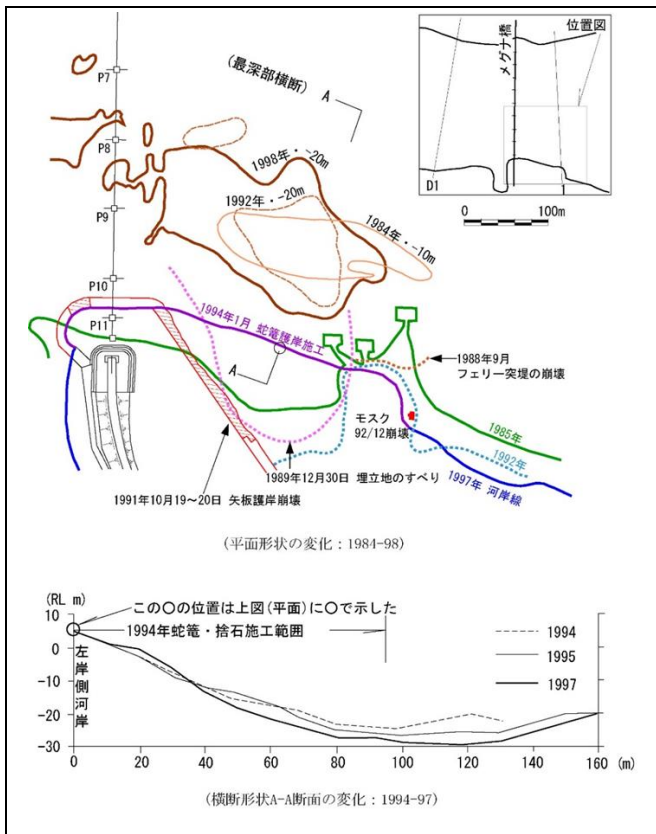


図 4 左岸橋台付近の河岸線と河床変動(1984-1994)⁴⁾



図 5 1991 年 10 月 19-20 日に発生した矢板護岸崩壊

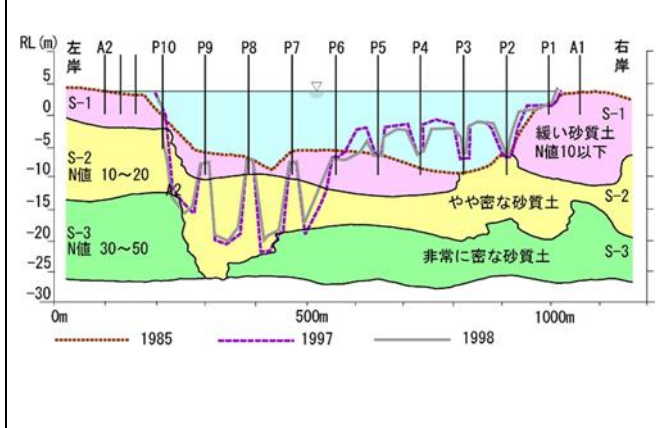


図 6 メグナ橋橋軸での河床高の変化(1985-1998)⁴⁾

湾曲流外側にある橋脚周りの河床低下が顕著であり, P9 では 13 年間で 16.6m 低下した。

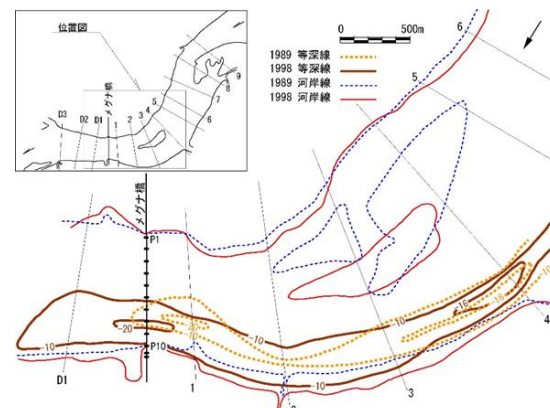


図 7 メグナ橋上下流の河岸・河床変動(1989-1998)⁴⁾

橋脚周りの河床低下には, 湾曲流外側の河床浸食も影響している。

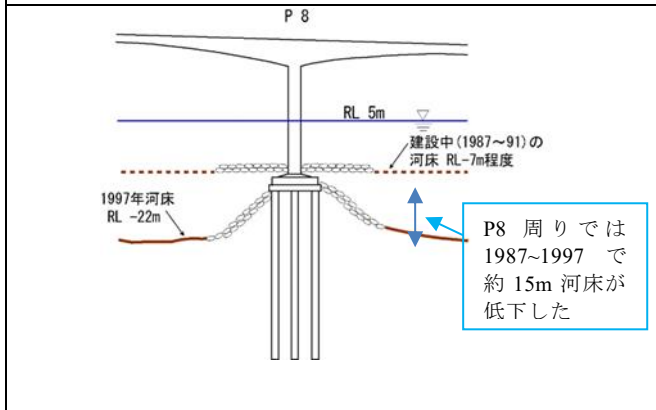


図 8 メグナ橋 P8 橋脚周辺河床の測量結果⁵⁾



写真提供 パシフィックコンサルタンツインターナショナル

図 9 写真上側に P8 のフーチングの角が映っている⁵⁾

考察

メグナ橋での河床低下と河岸浸食について、以下のように考察を行った。

- 1) メグナ橋の架橋位置の選定にあたっては、完成後の維持管理への配慮が必要であるとの観点から、湾曲現象として安定している地点が架橋位置とされた。
- 2) メグナ橋の建設計画を策定するために 1985 年に実施された調査では、それまでの過去 70 年間に於ける地形測量図とランドサット写真を入手できたので、これを参照して検討し、当時のフェリー乗り場付近が安定していることが判明し、ここを架橋地点とした⁶⁾。
- 3) しかしながら、橋梁完成直後に橋台護岸の崩壊が起きている。また橋脚周りの河床低下も発生した。左岸側の河岸の側線 3 では、1989 から 1997 年まで約 250m (31m/年) 後退した (図 3)。第 9 橋脚周りでは 1985 から 1997 年までに 16.6m 河床が低下した。これらには河岸線の変動による湾曲外側の河床・河岸浸食と構造物周りの局所洗掘が影響している。
- 4) 維持管理上はいつそのような危険な状態になるのかを知ることが必要となるが、これを予測するのは今のところ困難な状況となっている^{注)}。そこで、実務上は実際の現象をモニタリングし、その結果を反映させて浸食現象の阻止、あるいはその抑制を図ることが重要であることを当該事例から学び取ることができる。

注) メグナ川のように雨季の数か月にわたって大きな流用と高い水位が継続する河川での橋脚周りの局所洗掘の予測については既存の予測式を適用するには前提条件が異なり無理があると考えられ、以下のような対応が提案される。

- 1) これまで提案されている橋脚周りの局所洗掘予測の式やグラフでは、橋脚周辺の洗掘は、比較的短時間で平衡に近い最終洗掘の状態に達する、スケールの小さい現象として捉えられている。一度の短期間の洪水によって生じる河床の水中安息角による最終洗掘深を予測している。各局所洗掘予測式・グラフによる推定値を表 1 に整理した。
- 2) 図 10 に示すようにメグナ橋地点では約 6 か月にわたって高水位が継続し、その期間には流速も増大する (図 11)。したがって、これら表 1 の式を開発途上国で見られる洪水ピークが長期間継続するような状況に適用するには、前提条件が異なり、無理があると思われる。
- 3) 沖積河川の橋脚周りの洗掘量については、このような条件を考慮して、類似河川での橋脚

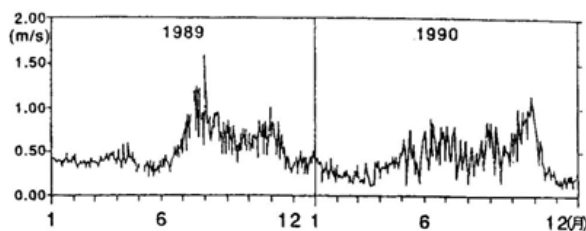
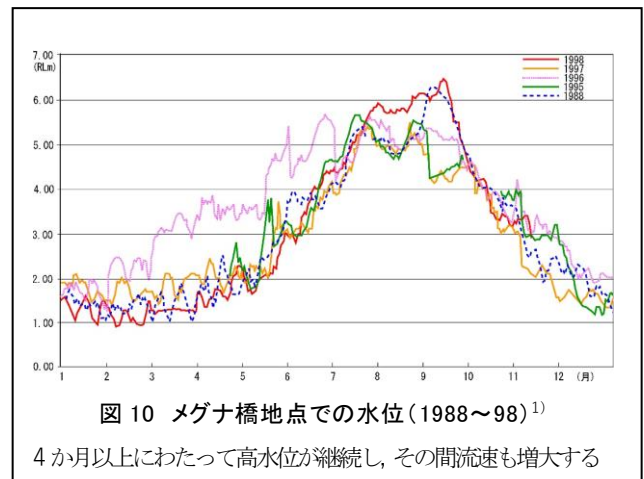


表 1 橋脚による局所洗掘の予測²⁾

Author	洗掘深さ: Z(m)	Author	洗掘深さ: Z(m)
Andru	11.2(適用外)	Neill	7.5
Laursen	7.0 (適用外)	Qureshi	3.4
Tarapore	4.3	国鉄	5.1
Laras	4.8	須賀ら	1.9 (適用外)
Breusers	4.5		

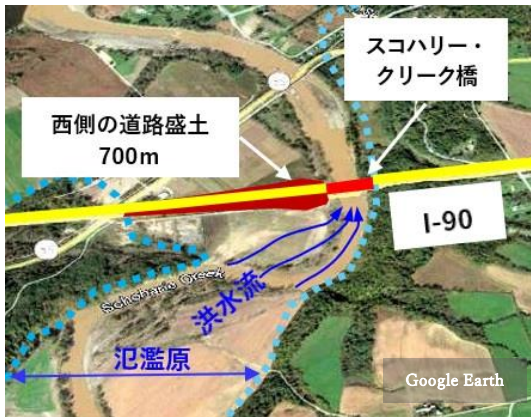
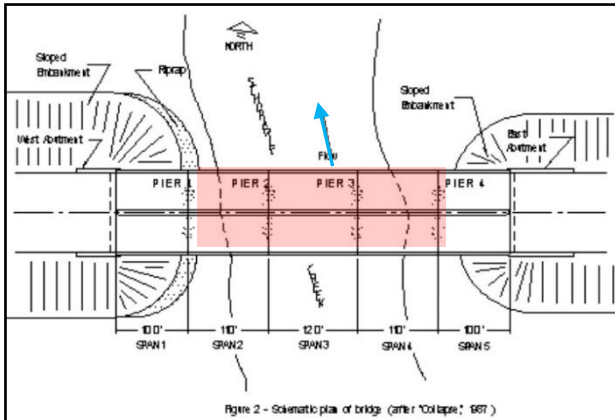
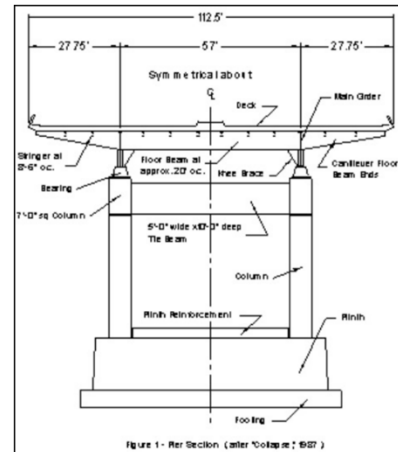
ho=14m, v=1m/s, dm=0.2mm, D=3.2m

周りの河床低下現象の実例を参考にするなど、既存の予測式による以外の推定方法により検討する必要がある。

参考文献

- 1) 国際協力事業団,パシフィックコンサルタンツインターナショナル, 日本工営: バングラデシュ人民共和国: メグナ・メグナグムチ橋建設計画調査報告書本編, 1985.3
- 2) 国際協力事業団, パシフィックコンサルタンツインターナショナル, 日本工営: バングラデシュ人民共和国 メグナ河護岸対策計画基本設計調査報告書, 1992.11.
- 3) 国際協力事業団, パシフィックコンサルタンツインターナショナル, 日本工営: バングラデシュ人民共和国メグナ橋護岸改修計画基本設計調査報告書. 1998.2.
- 4) 横倉順治, 須賀如川: 開発途上国の未改修・不安定河川の架橋計画に関する河川工学的考察, 土木学会論文集 No.733/II-63, pp. 37-56, 2003.5
- 5) 国際協力事業団, パシフィックコンサルタンツインターナショナル, 日本工営: バングラデシュ人民共和国メグナ橋護岸改修計画基本設計調査報告書資料編, p.資 3-5, 1998.2
- 6) 国際協力事業団, パシフィックコンサルタンツインターナショナル, 日本工営: バングラデシュ人民共和国メグナ・メグナグムチ橋建設計画調査報告書本編, p.2-4, 1985.3

5. 参考事例

参考-1	USA	被災 1987 年 4 月	I-90, Schoharie Creek Bridge, NY.
供用開始 1954 年		広い氾濫原	橋脚基礎の洗堀・桁落下
自然原因			
<p>原因となったのは降雨 150mm/日に加え雪解け水による 1800m³/s、流速 4.6m/s の出水であった。(大陸の平地無堤河川での流速 4.6m/s は速いといえる。) これは氾濫原を盛土で侵犯し洪水流を橋梁部に集中したことに起因すると言えよう (図1)。</p>			
損傷状況			
<p>1987 年 4 月 5 日 I-90 の Thruway Bridge (L=165m, W=34m, 1954 年 供用) において、橋脚 3 本が損傷・倒壊し橋桁 2 スパン (後に 3 スパン) が落下、車 5 台が巻き込まれ 10 人が犠牲となった。</p> <p>橋梁は単純鉄桁でコンクリート橋脚は強固ではない土壌の上に直接基礎で設置された標準的な設計であった。基礎の周囲は土砂で埋め戻されていたが、責任者はその上を riprap でカバーすることを不要とした。築後 30 年を経てこれらは洗堀を受けて流れさり、更に基礎の周囲及び基礎の下面の地層がえぐられて、橋脚の破壊・転倒に至り桁の落下に繋がった。なお当初設計では、ドライ施工を実施するために使用した鋼矢板を残すようになっていたがこれも除かれていた (図 2, 3)。</p>		 <p>スコハリークリーク橋は氾濫原に 700m の盛土を行って洪水流を収縮させていることが分かる。</p> <p>図1 I-90 スコハリー・クリーク橋</p>	
 <p>図2 Thruway Bridge 平面図 (着色は落下したスパン)</p> <p>出典：The Collapse of the Schoharie Creek Bridge</p>		 <p>図3 橋脚立面図: 直接基礎</p>	
工学的考察(原因と教訓)			
原因			
<p>米国国家運輸安全委員会 (NTSB)は次のようにまとめている。</p> <ul style="list-style-type: none">・ 当時の AASHTO1949 では杭基礎が必要であると明確に規定していなかったが、杭があれば洗堀に対する耐性は高かった。・ 連続桁にしておけば応力分散により粘りが出た。・ 基礎の周りに矢板を残し、riprap を十分に被せておくべきであった。			

- ・何よりもまして、管理者は構造上重大な影響のある基礎の点検と維持管理を行わなければならない。

教訓

この事故は米国内で大きな反響を呼んで、橋梁洗堀対策元年ともいうべき洗堀に対する意識の変化をもたらし、その後洗堀に係るガイドブックが整えられた。

詳細資料 : *Lessons from the Collapse of the Schoharie Creek Bridge*, Proceedings of the 3rd ASCE Forensics Congress, October 19 - 21, 2003, San Diego, California