

付属資料2

開発途上国の無堤河川における渡河施設計画・設計事例

開発途上国の無堤河川の渡河施設では、以下のような計画・設計がなされ、必要に応じて洪水対策が実施されている。

1. 交通量の少ない渡河施設としては次のようなものがある。
 - 1) 洗い越しとコースウエー
 - 2) 沈下橋
2. 一般的な構造としては、橋梁＋取付け道路とされている。
3. 長大な取付け道路では、越流されることを前提とした道路盛土（アプローチ盛土または氾濫原盛土道路など）も設置されている。
4. 砂防ダムが渡河施設として利用されている場合がある。

以上について 1991～2023 年における具体的事例を以下のようにまとめた。事例ごとに構造の概要を説明した資料を添付した。なお、洗い越し、コースウエー、沈下橋、および橋梁の構造については本文の表 2-1（p.37）にて説明した。

開発途上国の無堤河川における渡河施設計画・設計事例

No.	国名	建設/事業の実施時期・協力スキーム	案件名	渡河施設計画・設計事例	page
1. 洗い越し、コースウエー、沈下橋					
1-1	ネパール	1996～2015 事業実施、日本無償資金協力	シンズリ道路建設計画	洗い越し ¹⁾ ・コースウエー ²⁾ と越流を許容するボックスカルバート橋（沈下橋） ³⁾	3
1-2	ベトナム	2002 EN 日本無償資金協力	中部地方橋梁改修計画	地方部道路における沈下橋	5
1-3	マリ	不明	ニジェール河渡河施設	沈下橋、洗い越しの組み合わせ	8
1-4	モーリタニア	不明	無堤河川（ワジ）に建設された渡河施設	洗い越し、コースウエーと沈下橋	9
1-5	モロッコ	不明	無堤河川（ワジ）に建設された渡河施設	洗い越し、コースウエー	12
1-6	チュニジア	不明	メジェルダ川渡河施設	国道の沈下橋	15
1-7	ミャンマー	2015～ 事業実施 外務省日本 NGO 連携 無償資金協力	地方での沈下橋の建設及び技術移転事業	地方道路の沈下橋	15
1-8	ジブチ	2020 竣工 日本無償資金協力	国道 1 号線改修計画	降雨時に冠水し通行不能を引き起こす既存洗い越し構造をボックスカルバート橋に更新（計画規模を超える洪水については越流を想定してコースウエーとなる）	19
1-9	ジブチ	2024 EN ⁴⁾ 日本無償資金協力	パルマレ橋梁建設計画 準備調査	ジブチ市内の幹線道路の既存コースウエーの一部を橋梁に架替	22
2. 越流を前提とした道路盛土					
2-1	カンボジア	2000 EN 日本無償資金協力	国道 6 号線シェムリアップ区間改善計画	越流を許容する国道盛土道路	25
3. 現地資源・技術による護岸・橋脚周りの護床などの洪水対策工（一般的なので 4 例のみ提示）					

3-1	バングラデシュ	1987~1991 建設工事, 日本無償資金協力, 80 億円	メグナ橋建設計画	橋脚周りの河床に洗堀対策とし て捨て石工を実施	27
		1992~1994 対策工事, 日本無償資金協力 11.3 億円	メグナ川護岸対策計画	不安定な沖積河川の河道変動による湾曲外側 の橋台周りの河床低下対策としての鉄線籠と 捨て石工	
		1998~1999 対策工事, 日本無償資金協力 2.18 億円	メグナ橋護岸改修計画	不安定な沖積河川の河道変動と局所洗堀によ る湾曲外側の橋脚周りの河床低下対策として の捨て石工	
3-2	カンボジア	2001 2/2 期, 日本無償 資金協力 EN	国道 6A 号線橋梁整備 計画	橋梁 + 取付け道路: 橋梁地点での 河床・河岸洗堀対策 (護岸, 護 床整, 鉄線籠の適用)	30
3-3	ボリビア	2007 竣工, 日本無償 資金協力 2009 補修自国予算	日本・ボリビア友好橋 改修計画	橋梁と盛土取付け道路の洗堀対策: 木杭鉄線 水制と導流工等による護岸・根固め・水制 (以 上自己資金), 橋台周りの護岸に使用され た鉄線籠 (日本無償)	32
3-4	ネパール	不明	ネパールタライ平野 East West High way の Lalbakaya 川 橋 梁 , Kharak Khola 川 橋 梁	橋台の浸食対策として, 地元材料・技術によ る対応可能な工法により実施された浸食対 策 (水制, 護岸, 導流工)	37
4. 砂防ダムの渡河施設としての利用					
4-1	インドネシア	2006~2011 事業実施, 日本有償資金協力	メラピ山流域砂防施設建設 (プロゴ川流域メラピ火山緊急防災事業 JBIC Loan IP-524)	砂防ダムを利用した渡河施設	40
4-2	インドネシア	2006~2011 事業実施, 日本有償資金協力	バワカレン山流域砂防施設建設 (JBIC Loan IP-524)	砂防ダムを利用した渡河施設	43
5. 水文資料が十分に得られない場合の計画対象洪水を検討する上での工夫					
5-1	ミャンマー	2021, JICA 協力準備 調査	農村地域における基礎イン フラ開発計画	丘陵地帯自然河川における新たな架橋計画・設計 の策定 (2021 年政令により日本の無償資金協力に よる建設は pending)	45

1), 2), 3) : 洗い越し, コーズウエーと沈下橋の定義については, 本文表 2-1 (p.37) 参照.

4) EN (Exchange of Note, 交換公文) : 日本政府と援助を受ける国 (被援助国) 政府との間で取り交わされる公文書であり, 援助の内容や条件について合意した内容を記録したもの. EN 締結をもって事業が開始される.

1. 洗い越し, コーズウエーと沈下橋

1-1	ネパール	シンズリ道路建設計画	事業実施時期: 1996～2015 年
資金: 日本政府による無償資金協力 260.7 億円			
コンサルタント: 日本工営, 施工会社: 安藤ハザマ, 大成建設			
課題: 洗い越し・コーズウエーと沈下橋（越流を許容するボックスカルバート橋）の建設			
背景			
シンズリ道路は、ネパールの首都カトマンズとタライ平野の東部をつなぐことにより、首都カトマンズとインドおよび東部タライ平野との間での安定した物資の輸送ルートを確認し、その所要時間を短縮させ、そして沿線地域の開発の促進による住民生活を改善すること、などを目的として 1996 年～2015 年に日本の無償資金協力によって建設された。			
自然条件			
1) 河川は全て無堤の自然河川である。 2) 雨季は 6～9 月である。			
対策 ¹⁾			
1) シンズリ道路 160km における渡河地点 54 か所では, 39 基の洗い越し・コーズウエーが設置され, 15 か所には橋梁が建設された。 ^{1) の p. 202} 2) 洗い越し・コーズウエーは建設の時間とコストを抑えることができることから, 小規模な川の支流を横切る箇所や, 雨季に水が流れる河床などを中心に設置された。 ^{1) の p. 77}			
 <p>図 1 緩勾配, 堆積土砂撤去が容易な土砂流が主となる天井川状の支流では越流型の洗い越しが採用された²⁾</p>		 <p>図 2 第 4 工区洗い越し</p>	
 <p>図 3 第 4 工区洗い越し</p>		 <p>図 4 第 4 工区洗い越し</p>	



図 5 第 4 工区洗い越し



図 6 流量が多く、かつ土石流の流れる河川では連続ボックスカルバートを適用して、越流を許容する沈下橋となっている²⁾。



図 7 第 4 工区の橋梁は手すりがなく、越流を許容する構造（沈下橋）となっている。



図 8 乾季も常時流れの有る河道部には管渠を併用してコーズウエーとされている²⁾。

考察

- 1) 1992 年頃、日本大使館の調査により第一工区の現場が実際に視察され、ネパール政府が日本から供与された建設機械を使いどのように道路建設を計画・施工して維持管理しているかが確認された。その結果ネパールの技術者が自力で建設した第 1 工区では、橋梁を設けず、これに代えて洗い越し・コーズウエーの設置という工夫がされていることが判明した。¹⁾ の p.61 洗い越しとコーズウエーは橋よりもコストを軽減できる。このことから、洗い越し・コーズウエーのアイデアは、日本側からの一方的な提案ではなく、ネパール側による自国予算による対応におけるコーズウエーの採用にも発想を得ていると考えられる。
- 2) 1993 年の JICA 調査では、橋を多く採用する計画を、橋を最小限として洗い越し・コーズウエーを多用する計画とされた。¹⁾ の p.63、³⁾
- 3) 河川勾配の比較的大きな河川でのコーズウエーや沈下橋の採用は大規模な堤体を構築することになり、経済性を伴わなくなるとの判断から、基本的に洗い越しを採用することとされた。一方常流河川には必要な箇所横断パイプカルバートを設置して流路を確保するコーズウエーとするなど、各河川の特性を分析して洗い越し・コーズウエーの形式を選定することとされた。⁴⁾
- 4) 2007 年に実施された事後評価報告書で、「洗い越しとコーズウエーの採用は、経済性や河川環境に配慮した設計を行っていることから、適切な設であったと判断した。」と評価されている⁴⁾。

参考文献

- 1) 亀井温子：未来を拓く道，佐伯印刷株式会社出版事業部，pp. 61, 63, 77, 202, 2016 年 3 月 10 日
- 2) 日本工営 HP, https://www.road.or.jp/img/international/pdf/32_3.pdf
- 3) 国際協力事業団，日本工営：シンズリ道路建設計画アフターケア調査最終報告書第 1 巻要約編，p.3，1993 年
- 4) 国際協力機構：無償資金協力におけるプロジェクト・レベル事後評価にかかる評価調査業務（道路セクター）報告書，第 4 章 ネパールシンズリ道路建設計画（第 4 工事区間 2/2 期），p. 4-6，2007 https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2007_9900500_4_f.pdf

1-2	ベトナム	中部地方橋梁改修計画	事業開始時期：2002 年
資金：日本政府による無償資金協力			
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，オリエンタルコンサルタンツ			
課題：地方農村部における越流を許容する道路橋の計画			
背景			
<p>ベトナム中部地方の道路網および道路整備の現状は，開発の遅れに伴うインフラの 未整備で道路網としての発達は遅れている．無償資金協力の対象とされた 73 橋の内分けは，橋梁のない地点：23 ヲ所，人・自転車・バイクのみが通行する橋：10 ヲ所，車両通行可能な橋梁：40 ヲ所（この内，10t 以下の荷重制限のある橋は 31 ヲ所）であった．道路整備も進んでいる現状から早急に橋梁の整備が 必要とされた．毎年洪水の影響を受け，孤立する地域もあり，道路橋梁による交通手段の確保が重要とされていた．</p>			
自然条件 ¹⁾ p.2-7			
<p>1) 河川は全て無堤である．</p> <p>2) 中部地方は他地方に比べ雨季の降水量が著しく多く，毎年のように洪水被害が発生している．</p>			
対策			
<p>基本設計調査においては以下の点が検討された．¹⁾</p> <p>1) 施設建設の計画に当たっては，橋梁建設により河川流下能力を阻害しないよう十分な通水断面を確保した橋長を設定する．しかしながら，洪水時に浸水地域が対象橋梁付近を広く覆い，しかも洪水流速が早くない箇所においては，既往 最高水位程度の洪水時には<u>越流を許し</u>アクセスが制限される橋梁の検討を行った．^{1)p.3-10}</p> <p>2) Quang Ngai 省 Xa Cai (No.67) 橋と Phu Yen 省 Tra Buong (No.79) 橋の設計水位 については次の通りである： 両橋梁とも既往最高水位レベルの洪水時にはアプローチ道路および周辺地域がほぼ水没する．そのため橋梁のみを既往最高水位で設計する必要性に乏しく，また洪水流速が小さいため越流しても橋梁に損傷を与える可能性が小さい．したがって，既往最高水位レベルの洪水時にはアクセスが制限されるものの，毎年の洪水時には通行可能な高さが橋梁上面高となるよう計画高水位を設定して，橋梁計画を策定した ¹⁾ p.3-13．両橋の位置は図 1 に示した．</p> <p>3) 設計水位に関しては，対象河川が中小河川または支川であり，水位・流量データがほとんど入手できなかった．したがって，既往最大水位のヒアリング結果を基本として設計水位を定めるが，近傍の雨量データの解析をもとに算出した流量・水位でその妥当性を検証した．^{1)p.3-10}</p> <p>4) 橋脚の杭基礎については，施工性，経済性を勘案して，仮締切工の必要 のないよう，XaCai 橋，Tra Buong 橋ともにパイルベントとした．^{1)p.3-19} パイルを連結する横梁は平水位よりも高いので，仮締切なしで橋梁下部工の施工が可能となる．</p> <p>5) 桁下高は以下のように設定した．¹⁾ p.3-15 Xa Cai 橋：0.5m， Tra Buong 橋：1.0m その決め方を表 1 に示した．</p>			



表 1 桁下高

道路に対する桁下空間（建築限界）	H=4.5m	
設計水位から桁下までの高さ （航路制限の無い河川）	平地部（流木等の無い河川）	: H=0.5m
	山間部（流木等の流下する河川）	: H=1.0m



Picture 1: On bridge center line from right bank.



Picture 2: From left bank, look upstream on the the proposed center line.

図 2 Xa Cai 橋現況 1) p. 資 8-17

既往最高レベルの洪水時には周辺一帯が氾濫して、アプローチ道路も水没する。ただし流速は小。

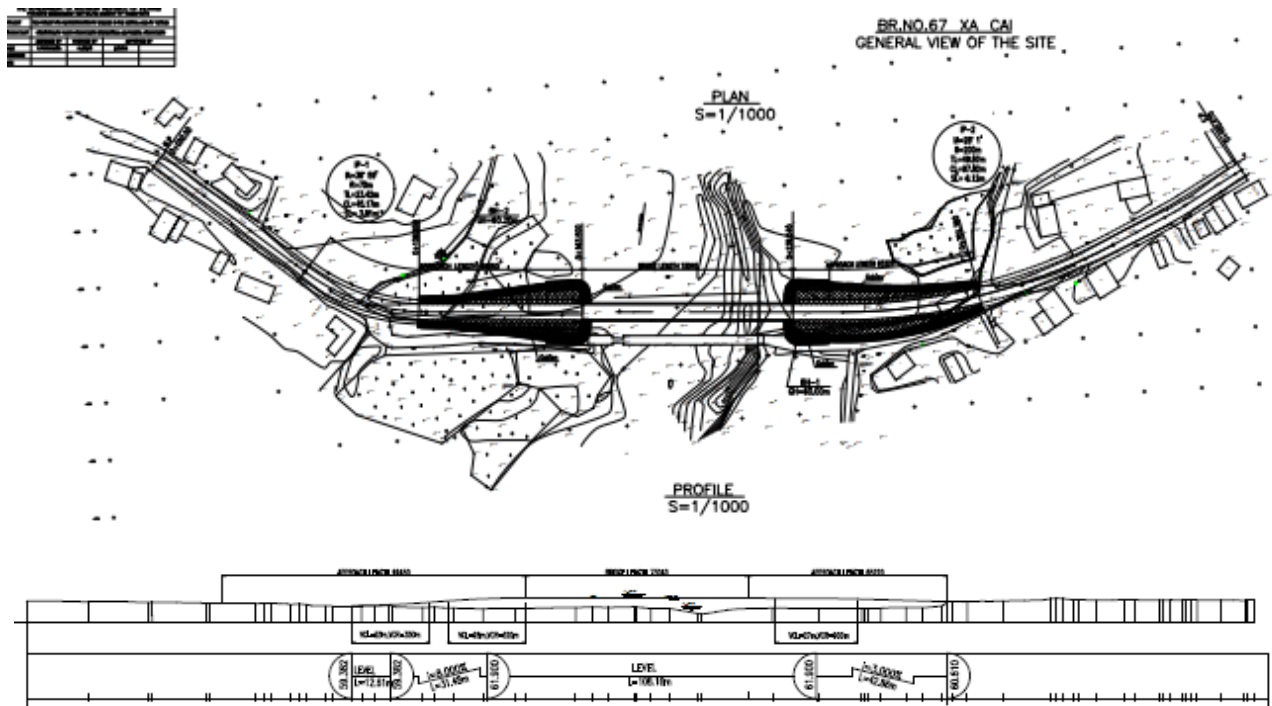


図 3 Xa Cai 橋平面図(上図)・道路縦断図(下図) 周辺一帯が氾濫原となっている

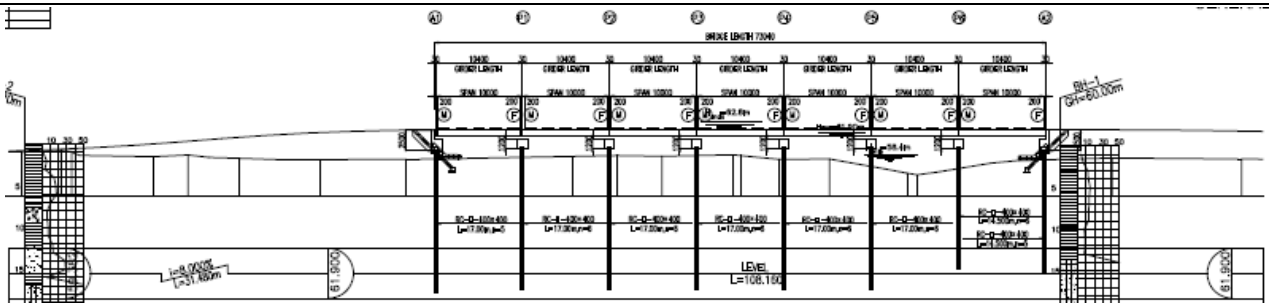


図 4 Xa Cai 橋構縦断面図 橋長 73m, 7 径間 基礎工はパイルベント

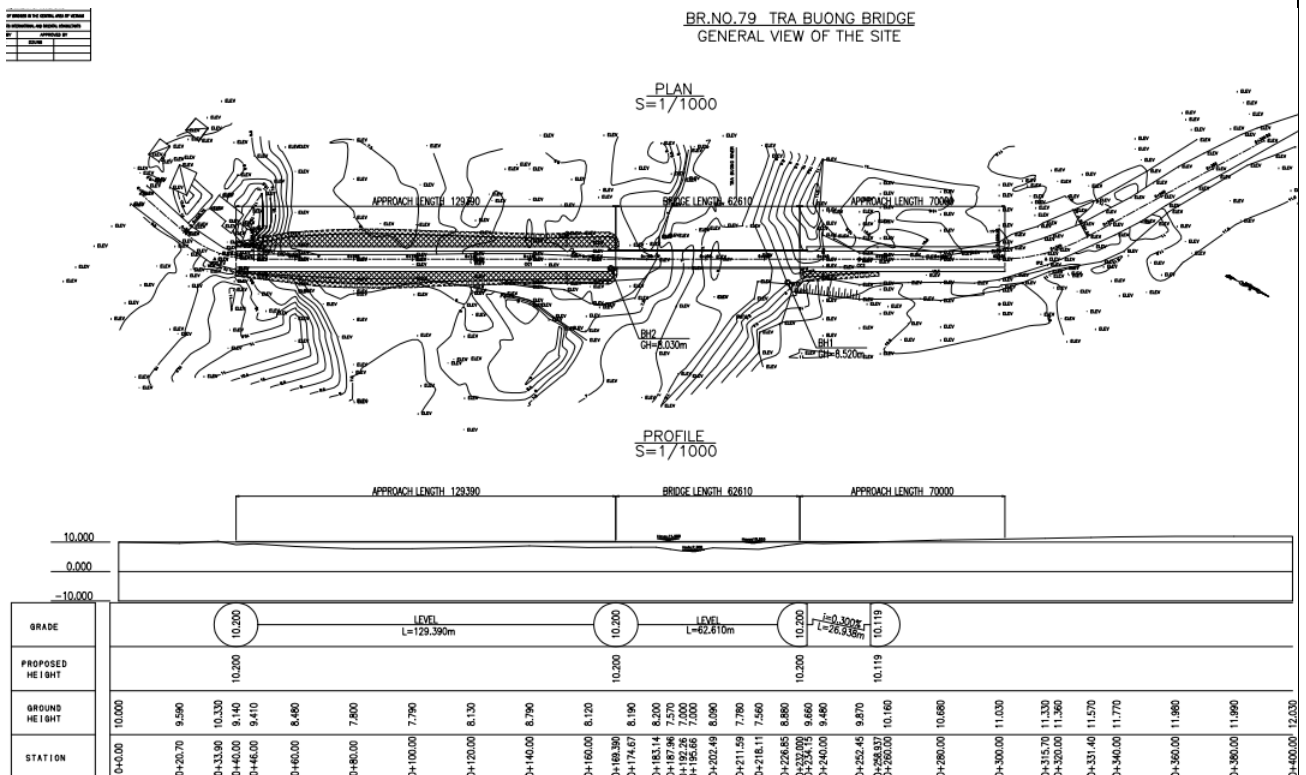


Photo 1: Crossing Point

Photo 2: Downstream side

洪水時には氾濫原の中を通るアプローチ道路も水没する

図 5 Tra Bong 橋現況 1) p. 資 8-24



周辺一帯が氾濫原になっている。

図 6 Tra Bong 平面図(上図)・橋道路縦断面図(下図)

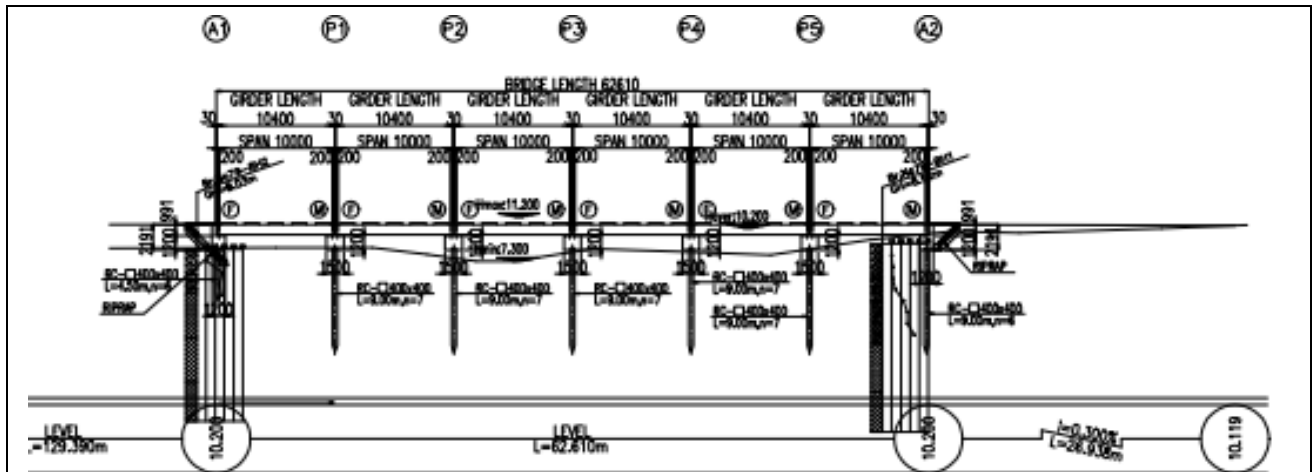


図 7 Tra Bong 橋縦断面図 6 径間橋長 62.61m 基礎工はパイルベント

考察

この道路計画では、地方道路の橋梁という位置づけに鑑み、以下のような工夫が行われた。

- 1) 氾濫原に位置するため、既往最高水位レベルの洪水時にはアプローチ道路全体および周辺地域がほぼ水没する橋梁については、橋梁のみを既往最高水位で設計する必要性に乏しく、既往最高水位レベルの洪水時には越流を許容する橋梁計画を行った。
- 2) 橋脚の杭基礎については、施工性、経済性を勘案して、仮締切工の必要のないパイルベント基礎を使用した。
- 3) 水位・流量データがほとんど入手できなかったため、既往最大水位のヒアリング結果を基本として設計水位を定めた。さらに近傍の雨量データの解析をもとに算出した流量・水位でその妥当性を検証した。

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、オリエンタルコンサルタンツ： ヴィエトナム社会主義共和国中部地方橋梁改修計画基本設計調査報告書， pp. 3-10, 3-13～3-22, 資 8-17, 資 8-24, 2002

1-3	マリ	首都バマコ近傍のニジェール河渡河施設（沈下橋+洗い越し）	建設時期：不詳
資金：不詳		コンサルタント：不詳	建設会社：不詳
調査の経緯： 2002 と 2003 年に実施された日本政府無償資金協力によるマリでの「第二次小学校建設計画」の実施状況確認調査のための移動の途上にて、JICA 無償資金協力調査員により確認された。			
現地調査実施時期： 2002 年 9 月および 2003 年 3 月			
課題： 西アフリカの無堤河川に建設された沈下橋・洗い越し			
対策と考察			
<ol style="list-style-type: none"> 1) マリの首都バマコ郊外では、無堤の自然河川であるニジェール河に沈下橋+洗い越しによる渡河施設が建設されている。 2) ニジェール河は西アフリカを代表する大河川であり、これに通年通行可能な橋梁を建設するためには相応の資金が必要とされる。したがってその建設にあたっては、コストに見合う便益が必要とされるが、これが十分でなかったために沈下橋+洗い越しが選択されたものと推察される。写真で見ると、交通量が少なく、橋梁を建設するには十分な便益が期待できないと考えられる。 			



図 1 マリ ニジェール川で雨季に越流されている渡河施設(沈下橋 + 洗い越し)



図 2 同渡河施設で乾季に供用中の状況

参考文献

なし

1-4	モーリタニア	首都ヌアクショット～キファ間の国道 3 号線	建設時期:不詳
資金: 不詳		コンサルタント: 不詳	建設業者: 不詳
調査の経緯: 2003 年 5 月及び同年 9 月に, JICA 無償資金協力調査員がキファ市飲料水給水施設備計画 ¹⁾ にかかる無償資金協力実施状況確認調査の移動中に当該渡河施設の現地調査を実施した.			
課題: 無堤一時河川に建設された洗い越しとコーズウエー			
対策とその背景			
モーリタニアの首都ヌアクショット～キファ間の国道 3 号線は多くの一時河川を横断しており, その渡河施設としてコーズウエーと洗い越しが採用されている.			
対策の事例			
<div><div></div><div></div></div>			
図 1 一時河川渡河施設として建設されたコーズウエー(1)の下流側			
コーズウエー法面は洪水時の浸食対策のためにコンクリートで被覆され, 流路にボックスカルバートが設置されている. 同カルバート下流側出口には河床洗堀対策として鉄線籠が設置されている.			



図 2 一時河川渡河施設として建設されたコースウエー(1)の上流側

洪水時の浸食対策のため、コースウエー法面はコンクリートで被覆され、流路にボックスカルバートが設置されている。



図 3 一時河川渡河施設として建設されたコースウエー(2)の下流側

洪水時の浸食対策のためにコースウエー法面はコンクリートで被覆され、流路に設置されたボックスカルバート下流側出口には洗堀対策として鉄線籠が設置されている。



図 4 一時河川に建設されたコースウエー(3)

洪水時を想定した浸食対策のためにコースウエー法面はコンクリートで被覆され、流路にボックスカルバートが設置されている。



図 5 一時河川に建設された洗い越し(4)

流水越流部が前後の道路面高より低くされている。ボックスカルバートは設置されていない。



図 6 一時河川のコースウエー(5)下流側

洪水時の浸食対策のためにコースウエー法面はコンクリートで被覆され、流路にボックスカルバートが設置されている。その前後の道路盛土法（写真右側）はコンクリート被覆されていない。



図 7 一時河川のコースウエー(5)上流側

コースウエーとその前後の道路盛土の法面構造については同左。



図 8 一時河川のコースウエー(6)下流側

洪水時の浸食対策のためにコースウエー法面はコンクリートで被覆され、流路にはボックスカルバートが設置されている。ボックスカルバートの下流側出口には河床洗掘防止対策として鉄線籠が設置されている。



図 9 一時河川のコースウエー(7)下流側

洪水時の浸食対策のためにコースウエー法面は練石で被覆され、流路にはボックスカルバートが設置されている。ボックスカルバートの下流側には河床洗掘防止対策として鉄線籠が設置されている。写真右側、カルバート下に立つ女性の身長から、カルバートの内側の高さは約 2m と推測される。



図 10 一時河川渡河施設として建設されたコースウエー(8)下流側

洪水時の浸食対策としてコースウエー法面は練石で被覆され、流路にはボックスカルバートが設置されている。

考察

- ・モーリタニアの首都ヌアクショット〜キファ間の国道には、一時河川の渡河施設としてコースウエーと洗い越しが多用されている。
- ・コースウエーでは、河川滞筋にボックスカルバートが設置され、その下流側出口は浸食対策として鉄線籠が敷設されている。
- ・一時河川河床高と周辺地盤高との差が大きい場合には、ボックスカルバートは設置されておらず、洗い越しとされている。
- ・コースウエー盛土法面は浸食対策としてコンクリートまたは練り石積み法面保護工で被覆されている。盛土高が大きい場合には、施工性あるいは事業費対策と想定されるが、練り石積みにより被覆されている。
- ・コースウエー盛土法面が浸食対策としてコンクリートで被覆されている理由として、越流の発生が想定されていることも考えられる。
- ・河川はすべてワジであり、洪水が発生しても交通遮断の発生は一時的なものである。また写真で見ると交通量は極めて少ない。渡河施設としてのコースウエーと洗い越しの採用は、このような自然・社会状況から費用対効果を考えた場合には適切であったと考えられる。

参考文献

- 1) 国際協力事業団，八千代エンジニアリング：モーリタニア・イスラム共和国キファ市飲料水給水施設整備計画 基本設計調査報告書 2001.10

1-5	モロッコ	無堤河川(ワジ)に建設された洗い越し	建設時期:不詳
資金: 不詳	コンサルタント: 不詳	建設会社: 不詳	
調査の経緯: 2004 年 2 月に実施された無償資金協力事業の実施状況確認調査の移動中に無償資金協力調査員により確認された。			
課題: 無堤河川に建設された洗い越しとコースウエー			
対策とその背景			
モロッコの平均的な年間降水量は 330mm であり、日本の 2 割程度と少なく、多くの河川は流域に降雨のある場合にのみ流水が生じるワジ(一時河川)となっている。このような流水が生じる時間が短くかつ交通量が少ない道路の渡河施設は、橋梁ではなくコースウエーあるいは洗い越しとされている。			
対策の事例			
 <p>2004.2 横倉順治</p>		 <p>2004.2 横倉順治</p>	
図 1 洗い越し(シディ近傍)		図 2 左図下流	
洗い越しが床固の機能を発揮して、上流側に土砂が		洗い越し下流側河床が洗掘されている。	

<p>堆積し、下流側の河床が低下している。</p>  <p>2004.2 横倉順治</p>	 <p>2004.2 横倉順治</p>
<p>図 3 洗い越し(タザリン近傍) 上図同様に洗い越しが床固の機能を発揮して上流側に土砂が堆積し、下流側河床が低下している。</p>	<p>図 4 左図下流 洗い越し下流側が洗堀されている。</p>
 <p>2004.2 横倉順治</p>	 <p>2004.2 横倉順治</p>
<p>図 5 コーズウエー(ホセイマ近傍) 上流側では土砂が堆積して、下流側では河床が低下している。</p>	<p>図 6 左図上流 上流側に土砂が堆積している。</p>
 <p>2004.2 横倉順治</p>	 <p>2004.2 横倉順治</p>
<p>図 7 右上図の下流側 コーズウエー下流側が洗堀されている。コーズウエー中央部に水抜きカルバートが設置されている。</p>	<p>図 8 コーズウエー(ケタマ近傍) ワジに建設されており、撮影時には流水は全くなかった。</p>

	
<p>図 9 コーズウエー(タタ〜フーム・エルハセン間の幹線道路) ワジに建設されており、撮影時には流水はなかった。</p>	<p>図 10 左図下流 流量が比較的小さいためか、コーズウエー下流側には河床低下・洗堀が発生していない。</p>
	
<p>図 11 洗い越し(タタ〜フーム・エルハセン間の幹線道路) ワジに建設されており撮影時には流水はなかった。</p>	<p>図 12 左図下流 コーズウエー下流側には河床低下・洗堀は発生していない。</p>
<p>考察</p>	
<ol style="list-style-type: none"> 1) モロッコの地方幹線道路では渡河施設として多くの洗い越しとコーズウエーが建設されている。 2) 交通量の少ない地方道路では、便益/建設コストに見合った工法であるといえる。 3) 渡河施設を洗い越しあるいはコーズウエーとしても、北アフリカのような雨量が少ない地域であれば、洪水の流出の頻度は低く、交通遮断の頻度は少ないと考えられる。写真で見ると交通量は少ないので、洪水によって交通が遮断されても、その社会・経済的な影響は最小限になると想定される。 4) 流量が比較的多い河川では、洗い越し下流河床が低下している。この場合には、床固形式の洗い越しではなく、カルバートを設置したコーズウエーまたは沈下橋として、土砂を下流に流下させて河床に土砂を供給する方法などが考えられる。 5) ネパールのシンズリ道路では床固工形式の洗い越しの下流での河床低下が発生しており、その改善策としてカルバート形式の渡河施設が提案されている。 	
<p>参考文献</p>	
<p>なし</p>	

1-6	チュニジア	メジェルダ川渡河施設(沈下橋)	建設時期:不詳
資金:不詳		コンサルタント:不詳	建設会社:不詳
調査の経緯:「チュニジア国 メジェルダ川に係る気候変動影響を考慮した統合流域管理・洪水対策検討調査」(JICA)の2012年に実施された現地調査中において確認が行われた.			
課題:首都チュニス市の北を流れるメジェルダ河に建設された国道4A号線の沈下橋			
対策と考察			
<p>1) チュニジアの首都チュニスの北郊外では、同国の主要河川の一つであるメジェルダ河の最下流部を国道A4号線が渡河する地点で、沈下橋が建設されている(図1,2).</p> <p>2) メジェルダ河の最下流部は両岸に築堤されているが、橋面高は堤防天端高よりも低くなっており、構造的に沈下橋となっている.</p> <p>3) 国道ではあるが、計画当時は交通量が多くなく、建設コストと便益を比較して沈下橋が選択されたと推定される.</p>			
			
図1 K. Landans 橋		図2 K. Landans 橋 ¹⁾	
チュニジアのメジェルダ河の最下流部を渡河するアリアナとカラート・アンダールスを結ぶ幹線道に架けられている.		洪水時には冠水して沈下橋となる. 設備省により計画洪水規模を大きくした架け替えが計画された.	
参考文献			
1) 国際協力機構, 八千代エンジニアリング:チュニジア国 メジェルダ川に係る気候変動影響を考慮した統合流域管理・洪水対策検討調査最終報告書, p.6-20, 2013			

1-7	ミャンマー	地方部における沈下橋の建設及び技術移転事業	事業実施時期：2015～2022 年
資金：		実施機関：	
外務省日本 NGO 連携無償資金協力		認定 NPO 法人国際インフラパートナーズ（JIP）	
課題： 地方農村地帯における無堤河川での沈下橋の建設			
背景 ¹⁾			
沈下橋は、時には水に沈むが洪水後にはただちに通行が可能となる。費用が安いので当該区域の交通事情を速やかに改善することができる。JIP は外務省の資金協力を得て 2017 年から 2022 年までにミャンマーの農村部で 15 基の沈下橋を建設し、その計画・設計・施工の技術移転を行ってきた。この事業は現地住民に喜ばれ、生活・経済の水準を高めることが実証されて、現地政府も沈下橋を自ら建設している。ただし、2022 年以降はミャンマーの国内情勢により、事業の実施を見合わせて			

いる。

なお、2024 年 2 月 9 日には沈下橋建設のための調印式が在ラオス日本大使館で行われた。沈下橋の建設がラオスでも同じような成果を上げることが期待されている^り。

自然条件

乾季は 11～3 月、雨季は 6～10 月

対策²⁾

沈下橋とは（Japan Infrastructures Partners HP, (<https://jip.or.jp/submersible-bridge/>)より）

「沈下橋」とは、洪水などで川の水位が上がると水面下に沈んでしまう橋のことです。沈下橋は建設が容易なため、世界中で古くからかけられてきました。現在日本で建設されている通常の橋は、何十年に一度起こると予測される水位を基準にするため高い位置にかけられますが、沈下橋は水面近くの低い位置にかけられるため、橋が小さくなり費用を節約することが出来ます。

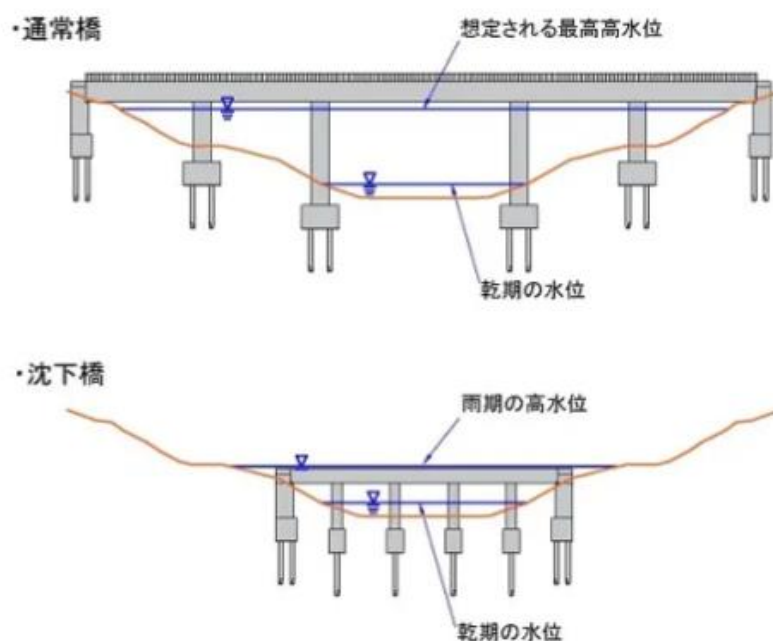
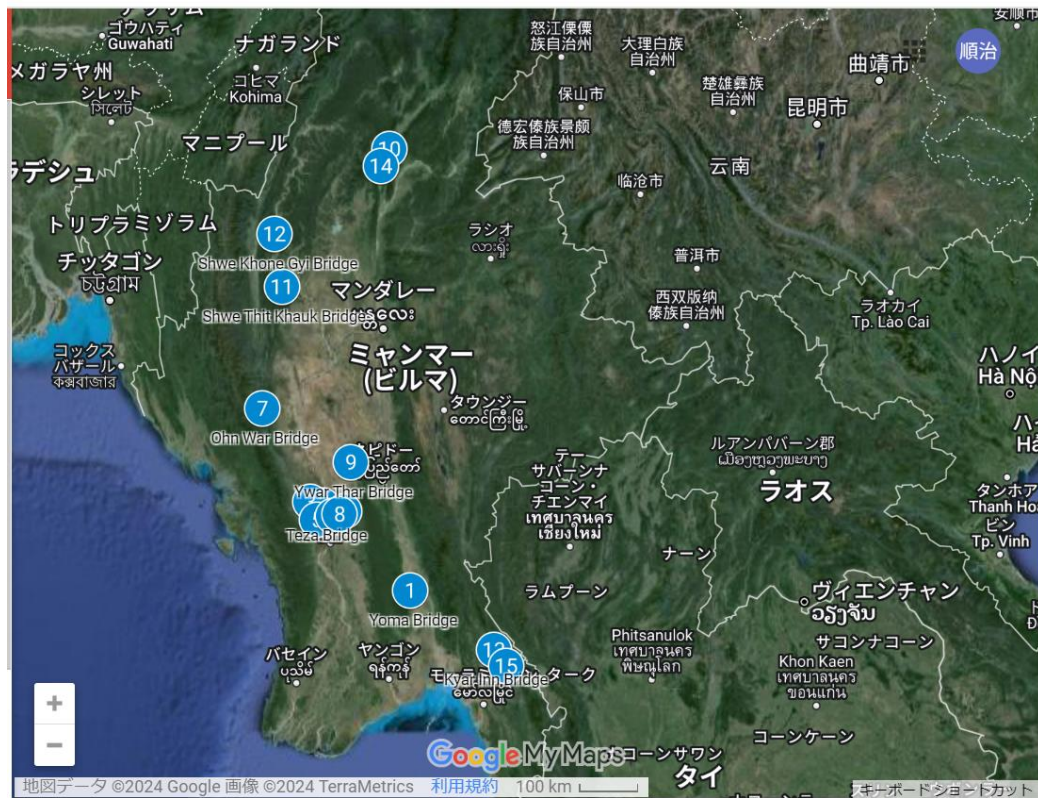


表 1 ミャンマーで建設された沈下橋一覧

No.	橋の名前	地域名	建設年	橋長
1	ヨマ橋	パゴ	2016 年	60m
2	テザ橋	マグウェー	2017 年	83m
3	テインリン橋	マグウェー	2017 年	66m
4	トゥリア橋	マグウェー	2017 年	66m
5	タキン橋	マグウェー	2018 年	178m
6	メタ橋	マグウェー	2018 年	76m
7	オーンワール橋	マグウェー	2018 年	66m
8	GGP 橋	マグウェー	2018 年	
9	Ywar Thar 橋	マグウェー	2018 年	
10	ホントネ橋	サガイン	2019 年	56m

11	シュエチツチャウク橋	サガイン	2019 年	66m
12	シュエコネジー橋	サガイン	2019 年	122m
13	チャールイン橋	カイン	2019 年	56m
14	ナンタールタバウ橋	サガイン	2020-2021 年	208m
15	モエニネ橋	カイン	2020 年	152m

<https://jip.or.jp/submersible-bridge/>



<https://jip.or.jp/submersible-bridge/>

図 1 ミャンマーで建設された沈下橋の位置図



<https://jip.or.jp/202106-smb-completion/>

図 2 2020 年度の事業としてカイン州に建設された沈下橋

2021 年 6 月 11 日の早朝から、子供を抱いた母親などの村人が、橋を渡っている（左写真）。その後、6 月 16 日の夕方から翌朝にかけて、増水により橋が水面下に沈むのが確認されたが（中央と右の写真）、流速と沈下水深が大きくないので、人が渡っている。



<https://jip.or.jp/category/myanmar/page/2/>

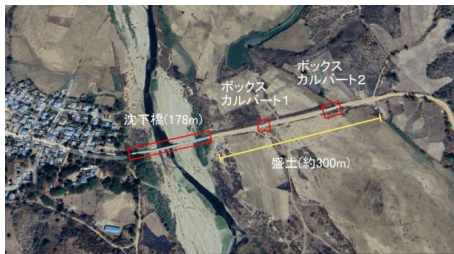
図 3 雨期の高水位で橋面が水没するときは、通行止めにするよう指導や表示をしているが、紅白の縁石が見える深さ 15 cm くらいまでは、利用者の判断で通行している。



<https://jip.or.jp/202208-sagaing-smb-completion-by-drrd/>

図 4 ミャンマー北部サガイン Region の沈下橋

2021 年のように数週間に渡り通行不能となることはなく、2022 年はせいぜい 1 日だけと想定通りになっている様子。すっかり地域に溶け込んで、多くの人々に利用されている。



<https://jip.or.jp/202308-takin-smb-restoration/>

図 5 JIP が 2019 年に建設したミャンマーのマグウェ Region にあるタキン橋。

架橋地点の氾濫原は約 500m もあるため、当面現在の流水部に 178m の沈下橋を建設し、残りの氾濫原は名残川の 2 か所にボックスカルバートの水抜き部を設けた盛土構造にされた。

2023 年 5 月に起きた洪水は、まだ雨期の初めにも関わらず、氾濫原に盛土をして造った取付け道路を全面的に乗り越える異例のものとなった。そのため盛土部分がかなり被災したが、沈下橋本体は無傷で、流されてしまった盛土部分の復旧も、地域政府の主導の下、1 週間程度で終わった。

この橋は住民からの要望が特に強く、復旧の早さからもその重要性が伺える。大洪水が起きても地域の力で容易に復旧できたことは、沈下橋という形式の実用性を裏付けすることになった。

考察¹⁾


- 1) 沈下橋事業は 2015 年のある日、J3 IP の会員が仕事で訪れたミャンマーで、「地方の川が氾濫し、2 年連続で橋が流されてしまった。4000 人以上の住民が被害を受け、中でも 100 人以上の学生

が学校に行けなくて困っている。」という新聞記事を目にしたことをきっかけに、プロジェクトが始動しました。」とされ、村落の生活の利便性の向上に大きな効果をもたらしている。

- 2) 住民による計画，建設，維持管理が可能な技術である．沈下橋は通常水が流れている低い位置に架けるので，
 - ・基礎が簡易
 - ・橋長が短い
 - ・洪水流の抵抗を減らすために構造が簡素化されている．
 そのため，
 - ・通常 1 橋を架ける費用で数本~10 本が建設できる．
 - ・地方でも容易に調達できる材料（セメント，骨材，鉄筋）のみを用い，現場打杭を採用するので，地元建設業者で建設可能
 - ・複雑な付属物がないので，維持管理が容易
- 3) 一方十分な強度を有しているので，費用対効果の大きな技術であるといえる．

参考文献

- 1) <https://jip.or.jp/ja/202403-laos-newspapers/>
- 2) Japan Infrastructure Partners ([HTTPS://JIP.OR.JP/](https://jip.or.jp/))

1-8	ジブチ	国道 1 号線改修計画	竣工:2020 年
資金: 日本政府による無償資金協力 EN 金額 39 億円		コンサルタント: 八千代エンジニアリング 建設会社: 大日本土木	
JICA 協力準備調査報告書の完成: 2018.12			
課題: 降雨時に冠水して通行不能を引き起こす既設の洗い越し構造を, 超過洪水と流下土砂に配慮したボックスカルバートに更新した.			
背景 ¹⁾			
<ul style="list-style-type: none">・ 国道 1 号線はジブチ港が位置する首都ジブチからエチオピア国境のあるガラフィまでの 219km を繋ぐ最重要幹線道路である (図 1)・ 隣国エチオピアの輸入物資の 9 割以上が国道 1 号線を通る.・ 延長 20.69km が改修計画の対象区間とされた.・ 事業実施前の渡河施設は洗い越しとなっていて, 毎年 1~2 回洪水に越流されていた.			
図 1 プロジェクト位置図 ¹⁾			
自然条件 ¹⁾ の p.2-13 と渡河施設の現状			
<ul style="list-style-type: none">・ 河川はワジであり, 乾季に流水はない.・ 雨季は 10~4 月, 年間降雨量は約 150mm である.			

対策¹⁾

1) 工事の内容

降雨時に冠水し通行不能を引き起こす既設の洗い越しとそれに付随する小規模なカルバートを十分な通水能力を有するボックスカルバートにすべて更新する。このことにより、通年通行を可能とする高水準な国際幹線道路として整備することとされた^{1) の p.ii}

2) 協力対象事業の投入概要

既存の渡河施設は以下のようになっている（図 2）。

表 1 既存渡河施設の分類^{1) の p.3-23}

分類 1	分類 2（既設構造物）	グループ
渡河部	洗越し構造（大規模）：延長 100m を超える	グループ①（1 箇所）
	洗越し構造（小規模）	グループ②（6 箇所）
横断排水部	カルバート構造	グループ③（33 箇所）

この状況を以下の様に改善する^{1) の p.3-24~27}（図 3~4）：

グループ ①, ②⇒ ワジ横断部の渡河構造物（ボックスカルバート）の整備 --- 7 箇所
 グループ ③ ⇒ 雨水排水構造物（ボックスカルバート）の整備 --- 33 箇所
 加熱混合アスファルト舗装による道路整備（国境付近を除く） --- 20,275m
 セメントコンクリート舗装による国境施設付近の車道整備 --- 415m

3) 工期及び概略工事費

実施設計～工事完了まで 27 か月、日本側投入額」 38.63 億円

4) 計画・設計の内容

- ・国道 1 号線 20.7km 区間の無堤ワジに設置された毎年越流される洗い越し 7 基、カルバート 33 基を、洪水規模が 1/25 年確率のボックスカルバートに改善した。
- ・ボックスカルバートの下流側には洗堀対策としてコンクリートで護床工を設置した。
- ・カルバート底版には土砂堆積しないよう縦断勾配を設置した。（図 5）
- ・側壁上流側には、土石緩衝柱を設置した。（図 5）
- ・計画規模（1/25 年確率）を上回る洪水が流下した場合には越流されるコースウエーとなる。



図 2 各グループの代表的な現況写真^{1) の p.3-23}

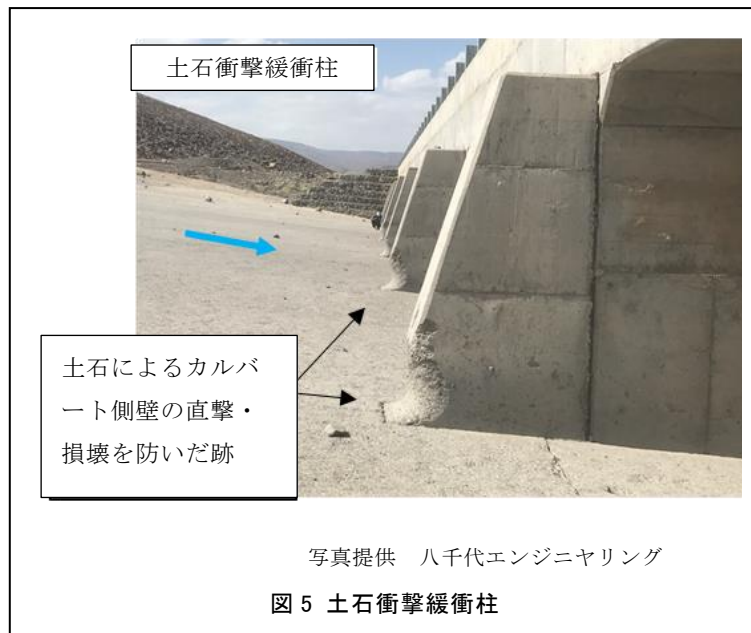


図 3 No.36 ボックスカルバートの完成予想図¹⁾



図 4 No.36 ボックスカルバートの完成施設写真¹⁾

<http://note.yachiyeng.co.jp/n/n0da>



写真提供 八千代エンジニアリング

図 5 土石衝撃緩衝柱

考察

- 1) 既存道路では渡河地点で洗い越しあるいは小型のカルバートが設置されて、降雨時に発生する流水の越流を許容していた状況が、経済・社会の要請から越流を許容しない渡河施設構造に変更された。
- 2) 実際には堤防を有しないワジに設置された渡河施設であり、計画規模（1/25 年確率）を上回る洪水が流下した場合には越流されるコーズウエーである。

参考文献

- 1) 国際協力機構，八千代エンジニアリング株式会社：ジブチ国国道一号線改修計画準備調査準備調査報告書，平成 30 年 12 月（2018 年），p.ii, p.2-13, pp.3-23~3.27

1-9	ジブチ	パルマレ橋梁建設計画	事業開始時期：2024 年（GA 締結 2024 年 1 月）
資金： 日本政府による無償資金協力 59.44 億円		コンサルタント：八千代エンジニアリング 建設技研インターナショナル	
協力準備調査報告書完成：2023 年 11 月			
課題：ジブチ市内の主要路線であるパルマレ道路がアンボリ川を渡河するために設置されていた洗い越しを橋梁に架替えた。			
背景 1) の p.ii			
ジブチ市の東西地区を結ぶ主要路線であるパルマレ道路はアンボリ川を洗い越しで渡河している（図 1～2）。しかし当該渡河施設が洗い越し構造のため降雨時には冠水により通行不能となっていた（図 3～4）。近年ジブチ市の 降雨量は増加傾向にあり、これに伴い当該洗い越しの通行止めが数日間続き、結果として多大な経済損失を引き起こしている。かかる状況下道路局では、ジブチ市東西地域を結ぶ主要路線であるパルマレ道路の通年通行を可能とするため、既存洗い越しを橋梁に更新することが必要とされている。			
自然条件 1) の p.ii			
1) アンボリ川は無堤で、自然河川のままとなっている。 2) ジブチ市では都市化に伴う交通量の増加に加え、近年は洪水が頻発しており、年に 1～2 回程度アンボリ川が増水、1～5 日程度当該洗い越しが通行不能となっている。			
			
(出典：1)の巻頭図)		(出典：1)の巻頭図)	
図 1 ジブチ市内を流れるアンボリ川と架橋位置		図 2 河口扇状地河川アンボリ川での架橋位置	
			
(出典：1)の巻頭図)		(出典：1)の巻頭図)	
図 3 既存渡河施設はコーズウエーであり、1～2 年の頻度で洪水時に越流する ¹⁾ 。		図 4 2023 年 3 月洪水で越流されている状況 ¹⁾	

対策 1)の p.iii

- 1) アンボリ川を渡河する洗い越しの平水流路の部分を橋梁化して取付け盛土の建設を行う。(図 5～6)
- 2) 1/25 年確率洪水を対象とし、橋梁地点での河道改修を行う。
- 3) しかし現在のアンボリ川の平水流路の流下能力は 1/1.5 年確率規模の洪水であることから、今後ジブチ政府が河道改修（計画規模は 1/25 年確率洪水）を行うことされている。
- 4) 無償資金協力では、アンボリ川の洪水流路の全幅にわたって渡河施設を建設するのではない。左岸側には既存洗い越しが残される計画とされている。アンボリ川の河道改修はジブチ川の負担とされており、これが実施されるまでは、洪水時には左岸側洪水流路に流水が溢れ、既存洗い越しを越流することとなる。



(出典：1) の巻頭図)

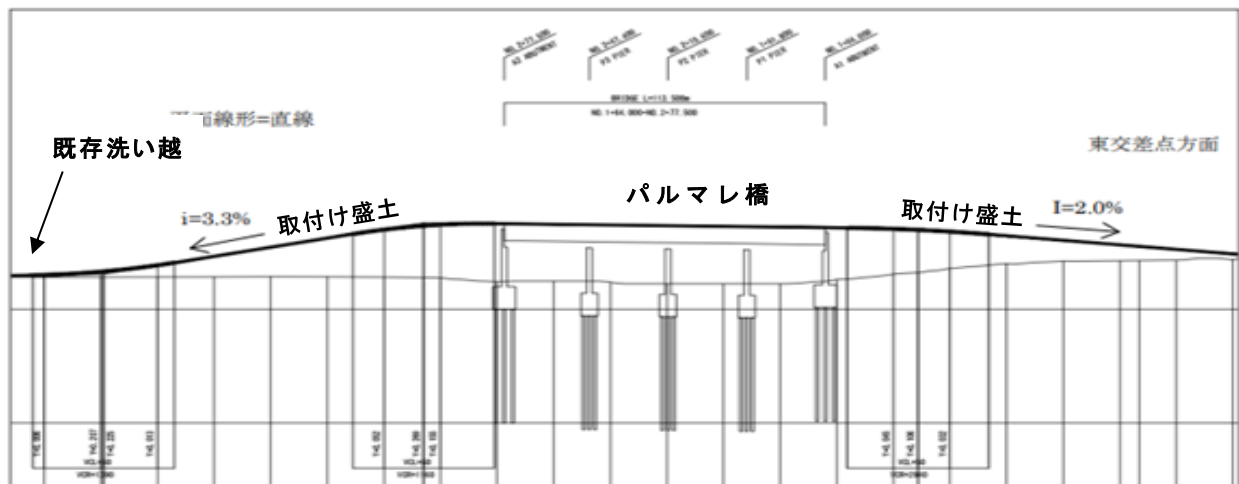
図 5 無償資金協力による建設計画平面図



(出典：1)の巻頭図)

図 6 橋梁完成予想図

橋長と桁下高は 1/25 年確率規模の洪水を想定している。一方橋梁上下流の既存河道は未改修であり、1/1.5 年確率以上の洪水で氾濫する。既存河道改修はジブチ政府負担とされている。



出典：調査団作成

(出典：1)の巻頭図)

図 7 縦断計画

考察

- 1) パルマレ道路は首都内の幹線道路であるにもかかわらず、アンボリ川にかかる既存の渡河施設は洗い越しである。このため同川では 1~2 年に洪水が発生し、そのたびに洗い越しが越流されて交通が阻害されている。このことは首都だけでなく国家としても社会・経済的に大きな損失を生み出している。このような状況を改善するために洗い越しの橋梁化が計画された。

- 2) アンボリ河全体の河道改修はジブチ政府の負担とされている。同河道改修が完了するまでは、従来とおり 1~2 年の頻度で洪水流路に溢れた流れによって既存洗い越しが越流され、また当該計画で洪水流路に建設された取付け盛土の法面は洗堀されるリスクがある。

参考文献

- 1) 国際協力機構，八千代エンジニアリング，建設技研インターナショナル：パルマレ橋梁建設計画準備調査報告書，2023 年 11 月

2. 越流を前提とした道路盛土

2-1	カンボジア	国道 6 号線シェムリアップ区間改善計画	事業実施時期:2000～2001 年
資金: 日本政府による無償資金協力		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	
課題: 越流を許容する国道盛土道路の計画			
背景			
<p>カンボジアのトンレサップ湖北岸に沿って走る国道 6 号線は、シェムリアップ手前 17.5km の区間について(図 1)、日本の資金協力により 2000～2001 年度予算で改善工事が実施された。</p> <ol style="list-style-type: none"> 水理面に関する現状 <ol style="list-style-type: none"> 橋梁は 5 橋あるが、洪水通水容量については、問題はなかった。 15 個のボックスカルバートと 6 個のパイプカルバートについては、パイプカルバートの多くは断面が小さく、容量が不足している。^{1) p.3-2} 改善工事の内容 ^{1) 要約} <p>道路の改善：17.5km カルバート改築/増設：改築 21 か所，増設 8 か所 路面排水施設の新設：3.94km</p> 			
		 <p>【タイ】 【カンボジア】 【ラオス】 【ベトナム】 シムリアップ トンレサップ湖 コンポンチナン コウコン バンレン ベンサイ タベン クラチェ ホーセン ストゥントレン 無償資金協力対象区間 国道 6 号線</p>	
図 1 国道 6 号線工事区間位置図			
自然条件 ^{1) p.2-8}			
<ol style="list-style-type: none"> 降水量 <p>平均的な年間降雨量は約 1400mm である。降雨は 5～10 月に集中しており、この 6 か月間で年間の 88%の降雨がある。</p> 水文・水理 ^{1) pp.2-8～2-9} <p>トンレサップ湖には北側のクレン山地から流下する河川が流入し、トンレサップ川を経てメコン河につながり南シナ海に流下する。各河川の国道 6 号線横断地点における河床の標高は 10.0m～11.0m で、トンレサップ湖からのバックウォーターが国道 6 号線に達することはない。しかしトンレサップ湖の水位上昇のため山岳地から流出する雨水が排水されにくくなることにより、（同国道盛り土の上流側で）広範囲で洪水が起こる。洪水が国道 6 号線の一部区間を越流することもある。</p> 			
対策			
<ol style="list-style-type: none"> 越流を許容する道路高さの設定 <ol style="list-style-type: none"> 改善以前には盛土道路を挟んで山側(上流側)からの洪水は橋梁及びカルバートを通じて道路を横断するが、山側からの流出量が非常に多く、道路上流側の湛水位が上昇した場合、道路を越流することがある。 道路を高くして越流を防ぐと、上流側の水位がさらに上昇して、通水部への水の局所的集中が生じ、道路盛土の洗堀、農耕条件の変化、下流側特定地域への水の直撃、などの問題を引き起こすことがある。これを考慮し、道路横断部の水理条件をできるだけ変えないことを原則とした。 聞き込み調査によれば、過去 30 年間の上流側最高水位（1997 年実績）は標高 14.50m 程度と考えられるが、誤差及び局所的水位変化を考慮し、道路縦断を変えない区間を標高 15.0m 以下の区間とした。3 区間・延長 3km では道路縦断形状を現況のままとして、従来とおり越流を許容する 			

こととした。^{1) p.3-4}

- 4) 各区間の縦断形状の凹部にはカルバートが新設され、カルバートの開口部周り 20m に練石積み法面保護工が設置された。越流による被害跡は見られず、交通に支障なく機能していることが著事業実施 8 年後に相当する 2009 年 8 月にこの区間を通過した JICA 企画調査員（資金）により視認されている。²⁾

2. 橋梁改修の基本方針

橋梁改修の基本方針は以下の通りとされた。^{1) p.3~10}

1) 高水位 EL 14.50m （地方部）

これは、聞き込み調査によって推定した 1997 年洪水時の水位であり、過去 30 年間の最高水位と考えられた。この値は水文解析による推定値とも一致した。

2) 最小桁下余裕高 0.6m

聞き込み調査によれば、流木等大きな流下物があつたという情報はないので、大きな値とする必要はないと思われたが、洪水時の風浪、うねり、跳水等の一時的水位上昇および流下物の浮上高を考慮し、0.6m の余裕高とされた。なお、国道 6A 号線修復計画および国道 6 号・7 号線修復計画でも同じ値が用いられている。

3) 橋台前面間距離を現橋の値以下にしないこと

橋台位置は現橋と同位置を原則とするが、アプローチ部の洗掘の状況により必要と判断される場合は、橋長の長くなる方向に橋台位置を変えた。

3) 河積阻害率 5%以下

日本の河川基準を準用し、5%とされた。

4) 最小径間長 10m

日本の河川基準では最小 12.5m（洪水量 500 m³/秒、河川幅 30m 未満の場合）であるが、明確な河川断面のない河川を対象としているので、基準を緩めて 10m とされた。

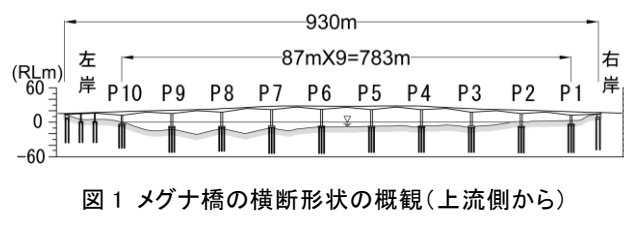
考察

- 1) 洪水被害を避けるために道路盛り土高を高くすると盛土上流側の水位が上昇するので、それだけ越流による盛土とその下流域での洗堀被害が拡大することとなる。盛土高を抑え、越流を前提とした洗堀対策を施すことにより被害を削減することができると考えられた。
- 2) 橋梁の改修方針には日本の河川基準（河川管理施設等構造令）が参照されたが、これに定められた数値がそのまま適用されたのではなく、必要に応じて現地状況に対して適切と判断される数値が検討されている。

参考文献

- 1) 国際協力事業団、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 6 号線シェムリアップ区間改善計画基本設計調査報告書，pp. 2-8, 2-9, 3-2, 3-4, 3-10, 1999
- 2) 横倉順治、須賀堯三、栗原敏広、松永繁：開発途上国の未改修河川でのコース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. 293~296, 2011 年 7 月

3. 洗堀対策として、現地で得られる資材・技術を用いて建設された護岸・護床工

3-1	<p>バングラデシュ</p> <p>事業名、事業実施時期と資金：</p> <p>1) メグナ・メグナグムチ橋建設計画¹⁾， 1987～1991 年（日本政府による無償資金協力）</p> <p>2) メグナ橋護岸対策計画²⁾， 1993～1994 年（日本政府による無償資金協力）</p> <p>3) メグナ橋護岸改修計画^{3), 4)}， 1998～1999 年（日本政府による無償資金協力）</p> <p>4) バングラデシュ政府運輸省道路局による浅深測量調査 2007 年（バングラデシュ政府資金）⁵⁾</p> <p>課題：大規模沖積河川に建設されたメグナ橋の捨て石工による橋脚周りの洗堀対策</p>														
背景															
<p>メグナ橋はバングラデシュの主都ダッカの南東約 30km，国道 1 号線がメグナ河を渡河する地点に，日本の無償資金協力により 1991 年に建設された全長 930m の PC 箱桁橋である．同橋の横断形状の概観を図 1，調査・建設工事・対策工事の履歴を表-1 に示した．メグナ橋では建設中から，河道左岸側の湾曲外側への河道変動に起因する河床洗堀により橋台周りの矢板護岸が崩壊し，さらに橋脚周りの河床低下が進んだ．</p>															
<p>表1メグナ橋での河床洗堀とその対策の歴史</p> <table border="1"> <tr> <td>1984～85</td><td>橋梁建設のための JICA による調査</td></tr> <tr> <td>1987～91</td><td>日本の資金協力による建設工事（P1～P10 周り捨て石工を含む）</td></tr> <tr> <td>1994</td><td>上流左岸での簗工による護岸建設（日本の資金協力）</td></tr> <tr> <td>1997</td><td>橋梁周辺河床対策のための JICA による調査</td></tr> <tr> <td>1998</td><td>P7～P9 周りと護岸前面への捨て石工（日本の資金協力）</td></tr> <tr> <td>2007</td><td>バングラデシュ道路局による橋梁周辺河床での深淺測量</td></tr> <tr> <td>構造概要</td><td>13 径間，現場丁 RC 杭（L=40～48m @ P1～P10），橋脚幅 D=3.2m</td></tr> </table>	1984～85	橋梁建設のための JICA による調査	1987～91	日本の資金協力による建設工事（P1～P10 周り捨て石工を含む）	1994	上流左岸での簗工による護岸建設（日本の資金協力）	1997	橋梁周辺河床対策のための JICA による調査	1998	P7～P9 周りと護岸前面への捨て石工（日本の資金協力）	2007	バングラデシュ道路局による橋梁周辺河床での深淺測量	構造概要	13 径間，現場丁 RC 杭（L=40～48m @ P1～P10），橋脚幅 D=3.2m	 <p>図 1 メグナ橋の横断形状の概観（上流側から）</p>
1984～85	橋梁建設のための JICA による調査														
1987～91	日本の資金協力による建設工事（P1～P10 周り捨て石工を含む）														
1994	上流左岸での簗工による護岸建設（日本の資金協力）														
1997	橋梁周辺河床対策のための JICA による調査														
1998	P7～P9 周りと護岸前面への捨て石工（日本の資金協力）														
2007	バングラデシュ道路局による橋梁周辺河床での深淺測量														
構造概要	13 径間，現場丁 RC 杭（L=40～48m @ P1～P10），橋脚幅 D=3.2m														
対策とその効果															
<p>メグナ橋の橋脚周りの河床低下対策として，以下のような対策が実施された．</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) 1987～1991 に実施された建設工事では，橋脚周り半径 20m の範囲に厚さ 2m で玉石を護床工として敷設した． 2) その 6 年後，メグナ橋周辺河床低下と橋脚の安全性を確認するために 1997 年に JICA により実施された調査^{3) 4)}では以下の点が明らかとなった． <ul style="list-style-type: none"> ・メグナ橋周辺では，1985～97 年の 13 年間に於いて，最深部では 15m の河床低下が発生している（図 2）． ・橋脚周りに施工された捨て石による護床工は，周辺河床低下に伴って変形している（図 3）． ・P7～P9 の水中写真では，橋脚フーチング以下の基礎構造を玉石が円錐状に包んでいる（図 4）． 3) この状況に鑑み，橋脚の基礎構造の安全性を確保するために，1998 年に日本政府の無償資金協力によって P7～P9 の橋脚周りに捨て石工が追加的に実施された．捨て石は 3 橋脚の既存捨て石の円錐の法先の円周に追加的に施工された． 4) その 9 年後にあたる 2007 年にバングラデシュの運輸省道路局（Roads and Highways Department, Ministry of Communications）はメグナ橋周辺の深淺測量をおこなった．その結果以下の状況が明らかとなった⁵⁾． 															

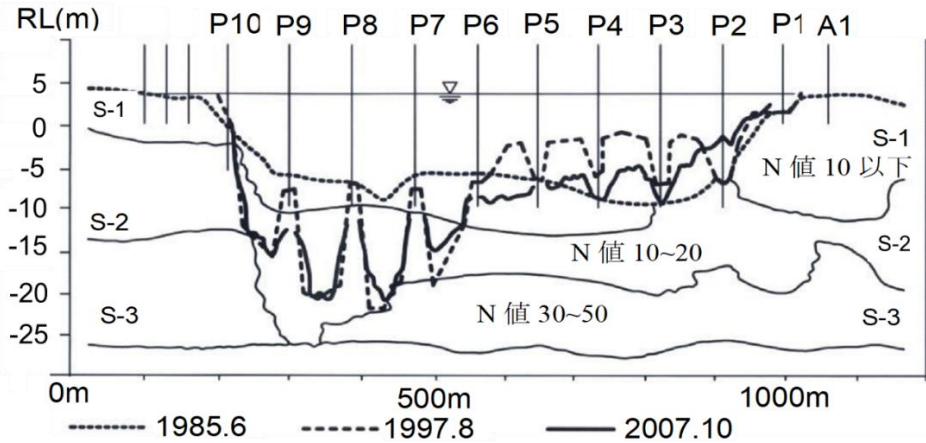


図2 メグナ橋の橋軸沿いでの河床横断形状³⁾

左岸側（湾曲外側）の P7～P9 の橋脚間の河床では、1985～1997 年に約 15m という大きな河床低下が見られたが、1997～2007 年ではその規模での低下現象は終息した。一方河心～右岸寄りでは洗堀が進んでいる。

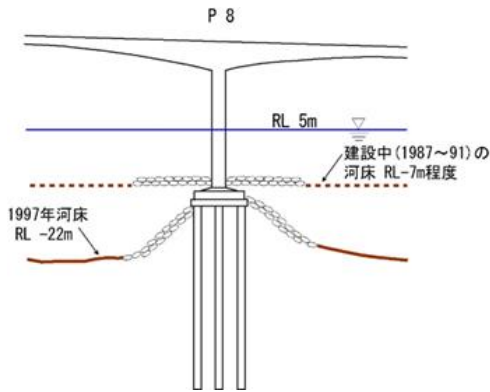


図3 メグナ橋 P8 橋脚周辺河床の測量結果³⁾

P8 では 1987～1997 で河床が 15m 低下した。

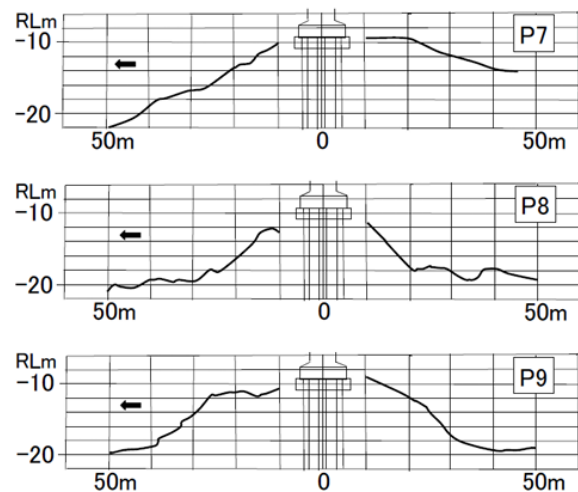


写真提供 パシフィックコンサルタンツインターナショナル

図4 写真上側に P8 のフーチングの角が映っている³⁾ 河床低下で捨石の下にあったフーチングが露出した。

- ・左岸側 P7～P9 では 1998 年からの河床の低下は見られない。
- ・これらの 3 橋脚における捨て石工の形状は 1997 年のそれと若干の変化はあるが、橋脚基礎周りを円錐状に包んでいる状況が継続しており、基礎杭の露出を防止している⁴⁾。（図 5）

- 5) 図 6 に 1989～2009 年のメグナ橋上下流における河道の変動を示した。同橋上流左岸の湾曲外側では、1997 年以降は河岸線の変化が終息しているように思われる。このことが上述したように、左岸側橋脚 P7～P9 での河床低下の終息につながったと考えられる。一方、河心～右岸寄りの P2～P6 周りでは河床が低下していることも明らかとなった。（図 2）



バングラデシュ運輸交通省提供

図5 施工後 16 年経過した捨石護岸の形状⁵⁾

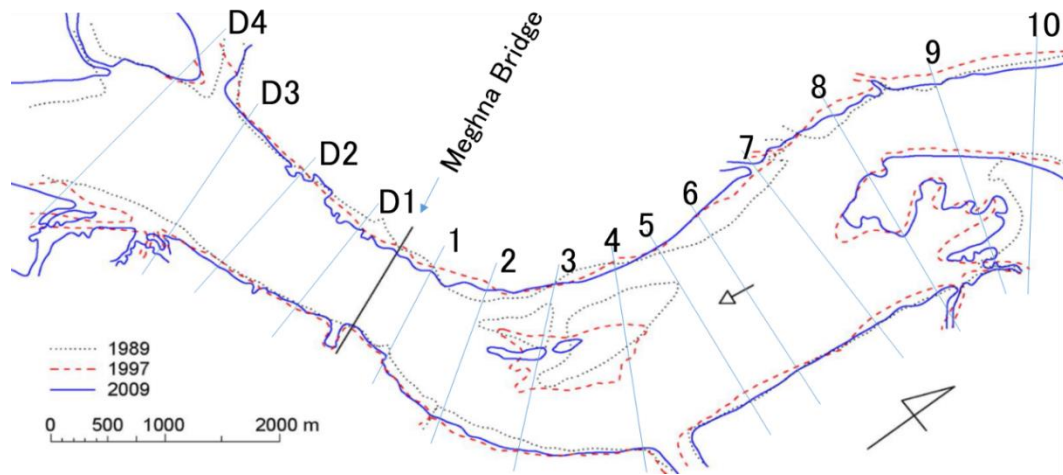


図 6 メグナ橋上下流における河岸線の変動(1989～2009 の比較)³⁾

1989 年, 1997 年, および 2009 年の平面形状を比較した. 1989 年と 1997 年の形状は地形測量による結果であり, 2009 年の形状は衛星写真 C2009 Google の河岸線をトレースしたものである. 橋梁周辺の河床低下に直接影響を及ぼすと考えられる上流左岸側の湾曲外側の河岸では, 1997~2009 年においては橋梁から側線 4 まで河岸の後退はない.

考察¹⁾

モンスーン地域の大規模沖積河川の代表的事例であるバングラデシュのメグナ河に建設されたメグナ橋において, 計画段階の 1985 年から 2007 年までの 23 年間にわたって蓄積された実測値に基づき, 橋梁周辺河床の変化の実態と今日役回りの河床洗堀対策について, 以下のように考察した.

- 1) メグナ橋地点での河床低下には, 湾曲による河床低下と橋脚周りの局所洗堀が影響している.
- 2) メグナ側のように雨季の数か月にわたって大きな流量と高い水位が継続する大規模な沖積河川での橋脚周りの局所洗堀については, 従来の研究成果によって得られる予測値(付属資料 1 の 4-1 の表 1 参照)を超えている.
- 3) 橋脚周りの局所洗堀は, メグナ橋が 1991 年に完成した 16 年後の 2007 年においては, 左岸寄りの橋脚では収束したが右岸寄りの橋脚では進行している. 完成後もモニタリングを継続して維持管理に備えることが重要となる.
- 4) 橋脚周辺に敷設された捨石は, 周辺河床の低下に伴って円錐形に変化して橋脚フーチング以下の杭の露出を防いでいる. 大規模な河床低下に柔軟に追従しており, モンスーン地域の大規模沖積河川での, 予測が困難な橋脚周りの護床工としての機能を果たしているといえる.

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: バングラデシュ共和国メグナ橋護岸改修計画基本設計調査報告書, 写真 p.10, pp.6-9, 7-8~7-11, 図 5-10~図 5-16, 1998.2
- 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, 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
- 5) Toll Operation and Maintenance of Meghna Bridge and Associated Works, Roads and Highways Department, Ministry of Communications: River Training Works, Bathymetric Survey Report, Report No. BR-MG-H1-004, BROMAS-JV, Oct 28 to Nov 01, 2007
- 6) 横倉順治, 須賀如川, 栗原敏広: メグナ河(バングラデシュ)における橋脚周辺の河床洗堀に関する長期実測資料に基づく研究: 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 70, No.4, 1_1087-1_1092, pp.1_1087~1092, 2014

3-2	カンボジア	1) 国道 6・7 号線改修計画 2) 6A 号線橋梁整備計画 ¹⁾	事業開始時期: 1) 1997 年 2) 2002 年
資金: 日本政府による無償資金協力		コンサルタント: 1) オリエンタルコンサルタンツ 2) パシフィックコンサルタンツインターナショナル	
課題: 橋梁地点で増大する流速による河床・河岸浸食対策 (護岸工・護床工として鉄線籠工の適用)			
背景			
<p>カンボジアではメコン河氾濫原に盛土構造の国道が建設されている (図 1) . 雨季にはメコン川が氾濫して、これらの国道の盛土と、それらの国道が氾濫原内の中小河川渡河地点に架けられた橋梁が被災している。</p> <p>1996 年洪水では、メコン河プノンペン上流右岸氾濫原道路 (国道 6A 号線, 6 号線) で被害が発生した。その内容は以下のとおりであった。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 氾濫原を横断する 6 号線の道路盛土が洪水に越流され、3 か所で流失した (図 1 の赤丸内の太線矢印) . ・ 氾濫原を横断する 6A 号線の 3 橋梁地点 (24, 25 および 26 号橋) で流速が増加して河床が洗掘された (図 1 の赤丸内の細線矢印) . 25 号橋と 26 号橋の被害状況を図 2, 3 に示した。 <p>6 号線と 6A 号線の盛土道路・橋梁の計画高水の規模は不明であるが、この時は 20 年ぶりの大洪水だったと言われている。</p> <p>これらの被害に対しては日本の無償資金協力により、6 号線の盛り土道路流失ヵ所には 3 橋 (各橋とも橋長 54m, コンクリート T 桁橋) が新設され¹⁾ , 6A 号線の 3 橋は橋長が延ばされて架け替えられた²⁾ . その設計にあたっては、橋梁地点における河床と橋台周りの洗掘対策が課題となった。</p>			
<div>  <p>図 1 1996 年洪水による 6 号線, 6A 号線でのメコン川氾濫原における道路・橋梁被害箇所</p> </div>			
<div>  <p>図 2 河床が洗掘され基礎が露出した 6A 号線 25 号橋の橋台</p> </div>			
<div>  <p>図 3 6A 号線 26 号橋では河床洗掘により橋台が倒壊、橋脚周りの河床が洗掘されて橋桁が変形した。</p> </div>			

対策

無償資金協力によって 6 号線および 6A 号線で新設・架け替えを行った橋梁では、河床・河岸洗堀対策として鉄線籠工が適用された。6 号線で新設された橋梁では、2000 年洪水で道路盛土の上下流で水位差が生じて橋梁を通過する流れに射流と跳水現象が発生したが（図 4）、鉄線籠による護岸と護床により洗堀・浸食の被害はなかった（図 5）。



図 4 無償資金協力で新設された 6 号線の橋梁においては、2000 年洪水で道路盛り土の上下流で水位差が生じて射流と跳水が発生した。



図 5 6 号線に新設された橋梁では、護床、護岸工洗堀に対して有効であり、かつ施工容易で廉価な鉄線籠が採用された。2000 年洪水で発生した左図のような射流・跳水によっても河床と盛土法面での洗堀は生じなかった。

考察

- 鉄線籠は洗堀に対して有効であり、人力で施工可能であって高度な技術を必要とせず、かつ廉価あることから護岸工、護床工として、現地での持続可能な工法と考えられる。
- 1996 年洪水で被災した国道 6 号線および 6A 号線の道路と橋梁はその後改修されたが、改修前の 6 号線・6A 号線交差点から北側で氾濫原を横断する区間の縦断形状を見ると、交差点から 2～3km の約 1km の区間で盛土高がその前後より 1.2m 程度低くされ凹状となっている（図 6 赤矢印の範囲）。同部分は盛土道路における洪水吐として計画されたと考えられている³⁾。1996 年洪水ではこの区間が 50m 決壊したが、このような余水吐き機能により洪水流下が促進されて、他の道路盛土と橋梁への被害の軽減が期待されていたことが推測される。

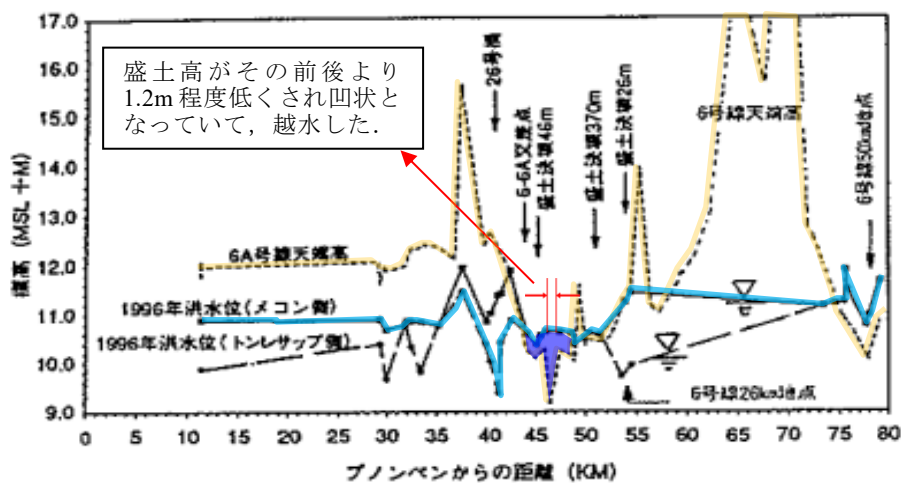


図 6 国道 6A～6 号線盛り土道路天端高と 1996 年洪水水位の縦断図⁴⁾

参考文献

- 1) 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報告書, p.3-60, 1997 年 1 月
- 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: カンボジア王国国道 6 号線橋梁整備計画基本設計調査報告書 平成 12 年 7 月 (2000 年 7 月)
- 3) 川村勝: カンボジア主要道路における洪水被害について, 専門家報告書, 国際協力事業団, pp.5~29, 2001.
- 4) 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ありかた 河川防災の視点から, 水工学論文集, 第 44 巻, p.340, 2000 年 2 月

3-3	ボリビア	日本ボリビア友好橋改修計画	竣工: 2007.3
-----	------	---------------	------------

資金: 日本の無償資金協力 3.5 億円 (橋梁部分のみの改修)¹⁾
取付盛土道路は既存を利用し, 改修計画終了後の橋梁と取付盛土道路の持管理はボリビア側の責任とされた。

調査の経緯: 日本ボリビア友好橋は 2007 年 3 月に日本政府の無償資金協力によって竣工したが, その後 2008 年 3 月洪水によって取付け盛土道路が被災したため, 無償資金協力新規案件「河川の洗掘による護岸対策工事計画」に係る業務出張が 2009 年 1 月に JICA により実施された。²⁾

課題:

無堤河川 (アマゾン川上流域ピライ川) に建設された橋梁の盛土取付道路の洪水による浸食被害に対する対応

- 1) 鉄線柵水制 (ボリビア側自己資金)
- 2) 護岸, 根固め, 水制 (ボリビア側自己資金): 根固めと水制御の材料には) Geotube^{注)} が費用されている。
- 3) 日本の無償資金協力によって設置された橋台周りの護岸に使用された鉄線籠工

注) Geotube とは, 高さ約 2m, 幅約 5m, 長さ 15m 程度の巨大な布袋の中に砂を詰めたもの。砂を充填する方法は, 水を混ぜた砂を液状化してポンプで圧入する。

自然条件¹⁾

ピライ川と日本ボリビア友好橋に関する基本的情報

流域平均年雨量 1616mm

平均年最大洪水流量: $Q=1,100\text{m}^3/\text{s}$ 1/100 年確率流量: $Q_{100}=5,620\text{m}^3/\text{s}$

河床勾配 $I=1/600\sim 1/800$, 5 万分の一地形図からは 1/800 (支流のゲンダ川は 1/200~1/400)

河床材料の平均粒径 $d_{60}=0.3\text{mm}$ (ゲンダ~ピライ合流点下流)

$d_{60}=0.1\sim 0.2\text{mm}$ (合流点上流ピライ川) であり, 砂河川となっていると言える。

低水路幅: 500~600m 平均年最大水深: $H_m=2.5\text{m}$ 既往最大水深: $H_{\max}=3.1\text{m}$

流域面積 (橋梁地点): 4,039 km^2

橋長: 280m

背景と対策

国道 4 号線が通過するピライ河に架かる日本ボリビア友好橋（日ボ友好橋）の改修は 2007 年 3 月に日本の無償資金協力によって完成した（図 1）。既存の橋梁が老朽化したために更新したものである。橋台回りの護岸の設置は日本の協力によったが、左岸盛土取り付け道路は当時の既存施設をそのまま利用した。

その後ピライ河は 2008 年 3 月の集中豪雨による洪水で、国道 4 号線が通過する日ボ友好橋の上流側で河道が大きく左岸側に蛇行して変動した（図 2 の黄色線）。このため、左岸側の日ボ友好橋取り付け道路の盛土に沿って洪水が流れ、取り付け道路の盛土の上流側法面が約 200m にわたり路肩まで浸食され（図 2 の赤線）、4 号線の通行が危険となった。これに対して、2008 年 5 月から 2009 年 1 月にわたり実施されたボリビア道路管理局の対策工事により被災カ所が復旧した。



図 1 日本ボリビア友好橋

対策の内容

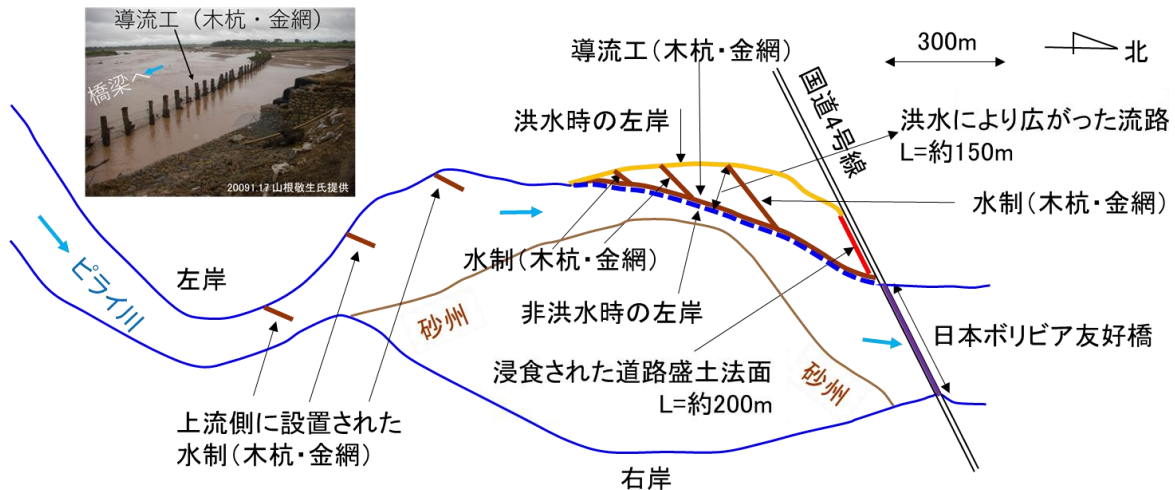


図 2 日本ボリビア友好橋における盛土取り付け道路の浸食対策に関する構造物配置図²⁾



図 3 2008 年 3 月の洪水で左岸取り付け道路が浸食された。

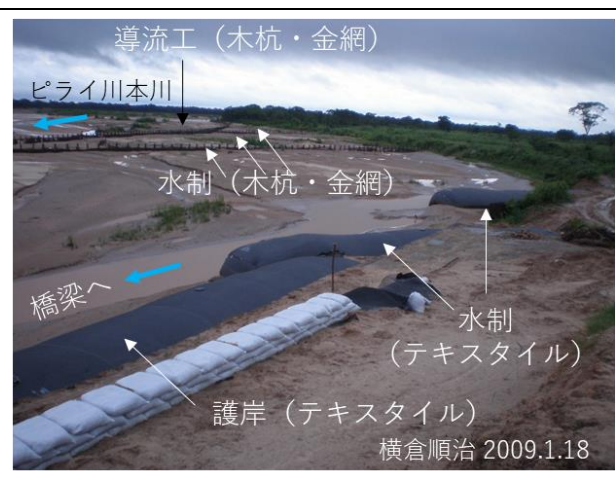


図 4 2009 年 1 月における補修の様子（左岸取り付け道路から下流を見た様子）、護岸工、根固工と水制が設置された。



山根敬生氏 2009.1.16



山根敬生氏 2009.1.16

図 5 木杭・金網による導流工
導流工が河岸の固定に機能している。導流工は木杭・金網を利用した現地工法である。

図 6 橋梁上流左岸では導流工と河岸から伸びた 3 条の水制が土砂堆積を促進している。



山根敬生氏 2009.1.16

図 7 3 条の水制が土砂堆積を促進している。



横倉順治 2009.1.18

図 8 法面保護はソイルセメントを積めた土嚢、根固めは Geotube が使用されている。写真右下には Geotube 製の水制の一部が見える。



横倉順治 2009.1.18

図 9 左写真の上流側に設置された Geotube 製の水制



山根敬生氏 2009.1.16

図 10 護岸の上流側には Geotube 水制が 2 基設置されている。



図 11 護岸法面の小段ごとに、プラスチック製網材を道路盛元法面まで、崩壊防止のために水平に埋め込んでいる。

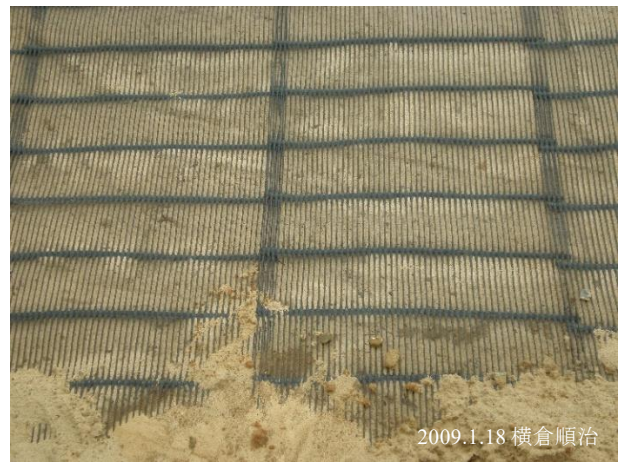


図 12 崩壊防止のために護岸盛り土に水平に埋め込まれているプラスチック製網材



図 13 橋台の護岸に用いられた鉄線籠
橋台周りの護岸には鉄線籠が使用されている。地盤の変化にも柔軟に変形してその機能を維持している



図 14 橋台周りの護岸に使用されている鉄線籠工（橋の上から右岸下流側の護岸を見たところ）



図 15 日ボ友好橋のさらに上流にも木杭・金網水制が設置されている（図 2 参照）。



図 16 上流側でも水制により木の枝などの流下物が補足され、土砂堆積が促進されている

考察

1. 木杭・金網を材料とした水制と導流工

建設材料と構造

- 1) 旧河道左岸に沿って木杭・金網の導流工が設置され、また、今回侵食されて形成された新河岸と導流工を結ぶ形で 3 本の水制が設置されている。
- 2) 水制の材料は木杭と一辺 5 cm 程度の六角形が亀甲状に編まれた金網である。
- 3) 導流工は杭二列の計画であったが、実際には一列で施工されている。

考察

- 1) 導流工の内側に設置された 3 条の水制工間には土砂が堆積している。
- 2) そのため、河道は右岸寄り 2007 年以前の位置にもどっている。
- 3) これらの水制工、導流工によって流れが直接河岸に当たることが防止され、左岸の侵食が抑制されている。
- 4) 水制と導流工の構造は透過性であるので、砂を含んだ流水が水制を通り越して流れる間に、流速が落ちて砂が堆積していると想定される。
- 5) 透過性であるため、流水の当たりが柔で、水制工周りの局所洗掘削を低減できる。
- 6) 流水の勢いをそぎ、砂の堆積を促進する、という点については、十分その機能を果たしていると考えられる。
- 7) コンクリート、石材、鋼材などを利用した構造でないので、耐久性は劣ると想定される。
- 8) 日本には全く見られない構造物であるが、砂河川においては、土砂堆積を促進して、流向の制御機能を発揮している。材料の入手が容易であり、現地での持続的工法として用いられている。

2. 鉄線籠を材料とした橋台周りの護岸

考察

- 1) 図 13, 14 に示すように河床・河岸が変形しても柔軟にその変形に追従して、護岸としての機能が維持されている
- 2) 施工が比較的容易で安価であり、現地で持続可能な工法である。

3. ソイルセメントを詰めた土嚢による取り付道路盛り土法面の保護工、及びプラスチック網材による盛土法面のせん断破壊防止

建設材料と構造

- 1) 護岸高さは河床から天端まで 8.5m である。
- 2) 道路盛り土の法面保護のために、ソイルセメントを詰めた土嚢を 10 段 4m の高さに約 3 分勾配で積み上げ、ている。
- 3) 元盛土地盤まで、別途プラスチック製網状材を、剪断防止のために埋め込んでいる

考察

ソイルセメント、プラスチック網材など現地で得られる材料を用いて適切な設計が行われたと考えられる。

4. Geotube による根固め工と水制

建設材料と構造

- 1) Geotube が根固め工、水制工の材料として利用されている。
- 2) Geotube とは高さ約 2m、幅約 5m、長さ約 15m の巨大な合成繊維でできた布袋の中に砂を詰め、たもの。砂を充填する方法は、砂に水を混ぜて液状化し、これをポンプで圧入する。

考察

- 1) 短時間で設置できることから地元コンサルタントの提言によって緊急工法として採用した由。

2) 耐久性が不明であり、応急対策といえる。

まとめ

- 2008 年洪水において河道が左岸湾曲外側に移動し、河岸と取付け道路の浸食が発生して、その対策として水制および導流堤が設置された。このような河道安定工は、橋梁事業の計画段階において検討して取り入れる必要がある。当該橋梁の場合には以下のような理由で、災害が発生した後の対症療法となったと想定される：
 - 計画時点で河川工学の視点からの対策の必要性が認識されなかった。
 - 災害の予測はされたが予算の制約があった。
- このような無堤の自然河川の橋梁計画においては、河川工学の視点から対策を取り入れ入れることが重要である。調査・計画段階で河川分野を専門とする技術者を参加させ、また対策に必要な資金を準備すべきである。

参考文献

- 国際協力機構、セントラルコンサルタント：日本ボリビア友好橋改修計画基本設計調査報告書、2004 年 11 月
- 国際協力機構：ボリビア無償資金協力新規案件「河川の洗掘による護岸対策工事計画」に係る業務出張報告 2009 年 2 月 9 日、JICA 国際協力客員専門員 横倉順治

3-4	ネパール	国道橋の橋台周りにおける洗堀防止対策工	建設時期：不詳
資金：不詳		コンサルタント：不詳	施工会社：不詳
調査経緯：2019 年に JICA により実施された「数値標高モデル及びオルソ画像整備計画協力準備調査」において調査が行われた。			
課題：橋梁取付け道路上流側の盛土、あるいは橋台周りの河岸浸食対策としての護岸、水制の設置			
背景と対策			
<ol style="list-style-type: none"> ネパールのタライ平野の北側を東西に走る国道 Mahendra High Way (East West High way) はヒマラヤまたはその前衛の山脈から流下する多くの河川を横断している。河川横断箇所には橋梁が建設されている。これらの橋梁では、洪水流路に建設された取付け道路盛土、あるいは橋台周りの浸食対策として水制と護岸工、導流工が設置されている。 これらの構造物の材料は鉄線籠、土嚢など、国内で調達が可能である。施工は人力によるので高度な建設技術を必要とせず、工事費も現地政府予算で対応できる金額である。 現地資源を利用した持続的な工法が適用されていると考えられる。 			
自然条件			
<ol style="list-style-type: none"> タライ平野を流下する河川のうち、有堤河川は 4 河川存在する。以下対策事例に示した河川のうち、Lalbakaya 川は有堤である。Kharak Khola 川は無堤の自然河川である。 雨季は 6~9 月である。 			

対策事例



図 1 Lalbakaya 川右岸には、鉄線籠による護岸工と土嚢による水制が設置されている。

護岸工は河床・河岸の変動に追従して柔軟に変形し、その機能を維持している。各構造物が連携して橋台周辺河岸・河床の浸食対策として機能している。



図 2 右図の水制は一基ごとに崩壊防止のために全体がネットで覆われている。

土嚢は対紫外線材を用いている。3 基の水制の間の河床には土砂堆積を促進するために竹杭が多数打ち込まれている。各水制間には土砂が堆積している。



図 3 ネパールタライ平野 Kharak Khola 川で洪水流路に建設された取付け道路盛り土の浸食対策

上流側に水制、導流工、護岸工が設置されている。いずれの構造物も鉄線籠を利用している。水制が上流側河岸を安定させ、導流工により平水流路は取付け道路盛り土への接近が阻まれている。さらに護岸工が道路盛り土の浸食を防止している。各構造物が連携して機能を発揮している。

考察

- 1) Lalbakaya 川は有堤河川であり、橋梁は堤防天端間に架けられている。河道湾曲外側に位置する右岸側橋台周辺河岸・河床の洗掘対策として水制と護岸が設置されている。以下の状況が明らかとなった。
 - ・水制間には土砂が堆積している。河岸の浸食対策として機能している。
 - ・護岸は河床と河岸の変形に伴って崩壊しているように見えるが、実際には河床・河岸の変形に柔軟に追従しながらその機能を発揮しているといえる。
- 2) Kharak Khola 川は無堤の掘り込み河道に架橋されている。河道湾曲外側に位置する左岸側の取付け盛り土道路と橋台の浸食対策として、左岸上流側に水制、導流工、護岸工が設置されている。以下の状況が明らかとなった。
 - ・水制間には土砂が堆積している。河岸の浸食対策として機能している。
 - ・導流工は平水流路の取付け道路盛り土への接近を阻んでいる。
 - ・護岸工が道路盛り土の浸食を防止している。盛り土には浸食の痕跡は見られなかった。

・各構造物が連携して機能を発揮していると考えられる。

- 3) 両橋梁とも、浸食対策として設置された構造物の材料は鉄線籠と土嚢である。これらはネパール国内で調達可能であり、人力施工が可能で高度な建設技術を必要とせず、工事費も現地政府予算で対応可能であると思われる。現地資源を利用した持続的な工法が適用されていると考えられる。

参考文献

- 1) 国際協力機構，朝日航洋，八千代エンジニアリング：ネパール国数値標高モデル及びオルソ画像整備計画協力準備調査 2019

4. 渡河施設として利用された砂防ダム

4-1	インドネシア	事業実施時期: 1975～2011 年
1) メラピ山・プロゴ川流域及びバワカラエン山緊急防災計画 (JBIC Loan IP-524) をはじめとする有償資金協力 ^{1)・2)}		
2) インドネシア政府予算 (APBN) による砂防施設を利用した渡河施設の建設		
資金: 日本政府による有償資金協力 ^{1)・2)} またはインドネシア政府予算		コンサルタント: 八千代エンジニアリング 建設会社: 清水建設 他
課題: メラピ山流域において砂防ダムを利用した渡河施設が建設された。		
背景と対策		
<p>メラピ山流域には山頂を中心として 15 の溪流が流下しており、これらの河川には土砂災害対策として、自国予算あるいは日本政府の有償資金協力¹⁾により 2011 年までに 264 基の砂防ダムが建設された。一方これらの河川は 地域住民の生活と経済活動に必要とされる道路交通を阻害しており、日常生活と経済活動の障害となっていたので、同流域では渡河施設としての機能を有する多機能な砂防ダムが多数建設されている。</p> <p>砂防ダムの一般的な構造は、流水が天端の左右に偏らずその中央を流下するよう、左右両側に図 1 に示すような袖を設け、中央を余水吐きとしている。これに対して渡河機能を有する砂防ダムでは、天端を車両が通過できるように袖を除去し、天端は左右両岸から中央に向けて緩勾配とされている。その事例をそれぞれ図 2 と図 3 に示した。流水・砂礫を天端中央に寄せて流下させる、という砂防ダムとしての機能については袖付き砂防ダムがより効果的であるが、限られた予算の中で地域の社会経済状況の改善を図るためには、砂防ダムに渡河施設機能を持たせることが効率的であり、このような構造が工夫されたものである。</p> <p>砂防ダム天端を道路交通に利用する構造のほかに、砂防ダムの袖を橋台としてその上に橋桁を渡す構造も考案されている。</p> <p>砂防ダム天端を車両などの通行に利用する構造を図 4 ～5 および図 8～15 に、砂防ダムの袖を橋台としてその上に橋桁を渡した事例を図 6～7 に示した。</p>		
 <p>図 1 袖付きと袖なし砂防ダムの比較</p>		
 <p>図 2 袖がついた通常の砂防ダム (アブ川 AP-RD3)</p> <p>ダム天端中央が水通しとなっている。</p>		
 <p>図 3 袖のない砂防ダム</p> <p>袖がなくダム中央の水通しに向かって天端両端から下り勾配がつけられ、渡河施設とされた。</p>		

対策の事例



自国予算 1975



自国予算 1980

図 4 ゲンドール川 GE-D(Kepuharjo)

砂防ダムの天端に袖はなく、天端は水平とされ、渡河施設として利用されている。

図 5 ゲンドール川 GE-C (Jambon)

砂防ダムの天端に袖はなく、天端には左右岸から中央に向けて緩勾配が付けられ、渡河施設として利用されている。



自国予算 1994



自国予算 1994

図 6 スノオ川砂防ダム SE-C1(Talun) 上流側

砂防ダム水通しの袖を橋台として利用している。

図 7 同左下流側

旧トラス橋が下流側に残っている。



自国予算 1995



第二次円借款 1999

図 8 ボヨン川砂防ダム BO-D3(Wonorejo)

砂防ダム左右岸から中央に向かって天端が下り緩勾配になっており、渡河施設として利用されている。

図 9 ウオロ川 WO-C3 (Kendal Sari)

同左



第二次円借款 1999



第二次円借款 2001

図 10 アプ川砂防ダム AP-D3(Tlogolele)

砂防ダム左右岸から中央に向かって天端が下り緩勾配になっており、渡河施設として利用されている。

図 11 クラサック川 KR-C (Kembang)

同左、ダム天端両側沿いに、転落防止用の高さ約 1 m の支柱が連続して設置されている。



第三次円借款 2006



第三次円借款 2007

図 12 ゼンドール川 GE-C13

図 11 と同じ

図 13 スノオ川 SE-RD6

同左



第三次円借款 2007



第三次円借款 2009


図 14 クニン川 KU-RC3

水通しの袖はそのまま残され、砂防ダム天端が渡河施設として利用されている。

図 15 プチ川 PU-D3 (Salamsan)

ダム天端両側沿いに、転落防止用の高さ約 1 m の支柱がパイプで繋がれて設置されている。

考察	
<p>1) これらの砂防ダムは以下の様な構造を有して、渡河施設としての機能を果たしている。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・図 4～5 および図 8～15 の渡河施設について：洪水・土砂の越流を前提としたコースウエーとされている。 ・図 6～7 の渡河施設について：砂防ダムの袖を橋台として利用した橋梁とされている。桁下高が十分高くされて、洪水・土石流に対して安全な構造とされている。 <p>2) 渡河施設としての機能を有する砂防ダムは、1 施設で防災と道路交通の 2 機能を備えており、施設建設の費用削減に貢献している。</p> <p>3) 防災と交通の両機能を備えた、地域の安全と開発に貢献する多目的施設として機能を果たしている。</p>	
参照事項	
<p>1) 第二次円借款：Mt. Merapi & Mt. Semeru Volcanic Disaster Countermeasure Project, 1995～2001, 52 億円</p> <p>2) 第三次円借款：Urgent Disaster Reduction Project for Mt. Merapi, Progo River Basin 2006～2011, 41 億円</p>	

4-2	インドネシア	メラピ山・プロゴ川流域及びバワカラエン山緊急防災計画 JBIC Loan IP-524	事業実施時期： 2006～2011
資金： 日本政府による有償資金協力		コンサルタント： 八千代エンジニアリング	
課題： バワカレン山流域において砂防ダムを利用した渡河施設が建設された。			
背景と対策			
<p>1) バワカレン山流域で土砂災害対策として実施された日本の有償資金協力では、地域住民の生活と経済活動に必要とされる道路交通の改善を行うために、渡河施設としての機能を有する多機能な砂防ダムが建設された。</p> <p>2) 通常の砂防ダムは前項 4-1 の図1に示すように天端水通しの両脇に袖が設置されているが、本事業では以下のような渡河施設の機能を有する砂防ダムが建設された。</p> <ul style="list-style-type: none">・袖を橋台としてその上に橋げたを渡した（図 1）・袖をなくして、車両が通過できるように天端を緩勾配にした（図 2）			
			
図 1 砂防ダムの袖を橋台としたトラス橋 砂防ダムの袖を高くして桁下高を取り、洪水・土石流からの橋桁の安全を確保している。		図 2 砂防ダムの天端をコースウエーとして利用した渡河施設	

考察
<p>前事例 4-1 と同様であり，以下のとおりである．</p> <ol style="list-style-type: none">これらの砂防ダムは以下の様な構造を有して，渡河施設としての機能を果たしている．<ul style="list-style-type: none">図 1 の橋梁について：桁下高が十分高くされて，洪水・土石流に対して安全な構造とされている．図 2 の橋梁について：洪水・土砂の越流を前提とした強度を有するコーズウエーとされている．渡河施設としての機能を有する砂防ダムは，1 施設で防災と道路交通の 2 機能を備えており，施設建設の費用削減に貢献できる．このような多機能砂防ダムは日本ではほとんど見られないが，インドネシアでは防災と交通の両機能を備えた，地域住民の生活と地域開発に貢献する多目的施設として貢献している．
参考文献
なし

5. 水文資料が十分に整備されていない状況での橋梁計画における洪水対策の検討

5-1	ミャンマー	農村地域における基礎インフラ開発計画	協力準備調査報告書 2021 年
資金： 日本政府による無償資金協力 (2021 年政変のため実施は中断されている)		コンサルタント： 八千代エンジニアリング	
課題： 地方道路での無堤河川における架橋計画			
背景 1) の pp.iii~iv			
<p>本協力対象事業は、チン州の協力対象地とするテディム・タウンシップにおいて道路・橋梁を整備するとともに、エーヤワディー地域の協力対象地とするモラメアンジュン・タウンシップ及びボガレ・タウンシップにおいて給水施設を整備する。もってミャンマーの地方農村部における農村開発ならびに貧困削減に寄与するものである。</p> <p>チン州ドルアン村落においては、幹線道路及び圃場へのアクセス向上、村落内のネットワーク構築、ならびに河川増水時の 通年通行確保するために、道路・橋梁を建設する。</p> <p>対象河川であるゾーザン川には堤防は整備されていない。また水文観測も行われておらず、データが得られない状況であった。</p>			
自然条件 1) の pp.2-8~2-9			
<p>気象</p> <p>本計画対象地となるチン州ドルアン村落は、ミャンマーの北西部に位置し、11 月～4 月が乾季、5 月～10 月が雨季であり、年間降水量約 1,600mm は雨季の 7 月～9 月に集中している。</p> <p>地形</p> <p>チン州ドルアン村落は、インド・バングラデシュとの国境付近に位置するアラカン山脈北部 の東山麓に位置し、丘陵地形を呈している。その標高は 160m 程度である。</p> <p>河川</p> <p>対象河川であるゾーザン川は周辺地域の主要河川であり、流域面積は 53.6km² の無堤河川である。水深は浅く 1m 程度である.. 洪水時にも周辺道路は冠水しない。</p>			
対策 1) の pp. 3-16～3-26			
<p>協力準備調査報告書 pp.iii~iv, 3-16~3-26 ¹⁾では、以下の様に検討されている。</p> <p>1. 橋台位置(橋長の設定)</p> <p>橋梁を架設するゾーザン川は無堤河川のため、河川幅は雨期出水時の川幅を現地聞き取り調査および洪水跡より設定した。その結果、橋台位置を計画高水位、HWL=135.0m(次項にて説明)と設定した現河岸より後背地とし、橋長を 160m とした。現河岸に布団かごによる護岸工を設置し河道の確保と橋台の洗堀防止を図る。</p> <p>2. 架橋地点における計画高水流量及び計画高水位</p> <p>本邦における橋梁計画・設計では、渡河する河川の計画規模(確率年)、計画高水流量・水位、河川の断面形状などに基づき、桁下高をはじめとする構造諸元を設定するのが一般的である。しかし、ミャンマーの地方河川は無堤であるため、主要な国道、地方道の橋梁においても本邦の橋梁のような整理事例はない。したがって、本計画における橋梁計画では、以下の通り河川条件を決定している。</p> <p>1) 河道は現況に基づく。</p> <p>2) 橋長は現況河道に基づき、住民からの聞き取りにより得た洪水時での川幅とした。</p> <p>計画高水流量および計画高水位の検討方法は以下のとおりである。</p>			

付属資料 2 開発途上国の無堤河川における渡河施設計画・設計事例

- 1) 洪水流下跡と地元住民へのヒアリングに基づき計画高水水位を設定し、その値は標高 135.0m となった。その流量は橋梁地点での設計計画断面と河床勾配を用いてマニング式で計算すると $607\text{m}^3/\text{sec}$ となった
- 2) 一方以下の方法によって橋梁計画地点での 1/2～1/100 年確率流量を計算した：
本計画協力対象地では雨量観測実施されていないため灌漑水利用局が近隣のザガイン地域カレーミヨで観測された過去 5 年の雨量データを用いて、合理式により 1/2～1/100 年確率の流出量を算定した。その結果 1/100 年確率雨量による洪水流量は $604\text{m}^3/\text{sec}$ となった。
- 3) 住民から聞き取った水位に基づく流量 $607\text{m}^3/\text{sec}$ > 雨量データに基づく 1/100 年確率流量 $604\text{m}^3/\text{sec}$ となったので、住民からの聞き取り水位は 1/100 年確率流量の水位を上回り、構造物規模として妥当と判断され、これを計画高水位とした。

3. 橋梁構造

a) 桁下高^{注1}

通年通行を確保するため、流量に従い桁下高を確保する。高水流量が $500\text{ m}^3/\text{s}$ から $2,000\text{ m}^3/\text{s}$ であるため、桁下高は既設桁下高以上かつ HWL に対し 1m 以上の余裕高を確保する。日本の河川管理施設等構造令に準拠した。

b) 橋梁形式

本橋梁は、通年通行を目的としていることから沈下橋形式は対象外とする。また、ベイリー橋形式は、簡易な仮橋であることから永久橋として適切でないため対象外とする。鋼板桁橋、PC ポストテンション T 桁橋、ポニートラス橋の 3 案について比較検討した。^リ

対象橋梁（ZZ-BR1）の橋梁形式は、ミャンマーで適用可能な橋梁形式を抽出し、比較を行った上で選定した。本計画では、橋梁アプローチ部の盛土高を小さくするため下路式構造とし、施工も小規模なクレーンにより架設可能で経済性に優れるポニートラス橋を選定した。

鋼板桁橋	PC ポストテンション T 桁橋	ポニートラス橋
		

図 1 橋梁形式は、現地で調達可能な技術で建設できるポニートラス橋とされた

c) 下部工形式

橋台形式は、ミャンマーにおいて橋台高 4.5～14m の範囲において最もよく適用されている逆 T 式橋台を採用する。橋脚形式は、河床～桁下までの高さが 2～3m と低いことから壁式 橋脚（小判形）を採用する。

4. 護岸工

- 1) 橋梁を架設するゾーザン川は無堤河川であるが、計画高水位と設定した現河川堤に橋台全面幅に上下流側それぞれ 10m を加えた約 30m 区間に護岸工を設置し、河道の確保と橋台の洗堀防止を図る。
- 2) 橋台周りには、道路、構造物を保護するため護岸工を設置する。この護岸工は、ミャンマーで調

注1 河川管理施設等構造令の第 64 条は橋の桁下高を堤防の余裕高以上にするように規定するものである。従って有堤河川での余裕高の規定を無堤河川に機械的に適用することは本来適切ではない。付属資料 3 を参照のこと。

達容易であり、かつ追従性に富む多段積み鉄線籠工とする。

5. 計画された橋梁

ZZ-BR1(新設) 形式:鋼ポニートラス橋

橋長(支間割): 160.0m(4@40.0m)

全幅員: 8.00m

下部工形式: 逆 T 式橋台, RC 壁式橋脚

基礎形式: 杭基礎(場所打ち杭 $\phi=1,000\text{mm}$)

護岸工:階段式鉄線籠

基礎形式: 杭基礎(場所打ち杭 $\phi=1,000\text{mm}$)

考察

- 1) 無堤で流域の雨量観測所がなく、流量・水位観測も行われていない中規模河川での渡河施設計画である。データの欠如を補完するための対応が行われた。
 - ・ 計画高水位は、流下跡など現地の河道状況、および地元住民からのヒアリングに基づき行われた。その値は近傍流域の雨量観測データによる水文解析により検証された。
 - ・ 無堤河川であるので、河川構造令第 64 条は前提条件である堤防余裕高も存在しないので適用はしない。しかしこの現場では信頼できる水文データが得られないので、桁下高の決定も安全サイドの判断をせざるを得ないともいえる。その場合若干大き目の 1 m という桁下高を選択することはやむを得ないかもしれない（本報告書第 3 章参照）。
 - ・ 橋台位置（橋長の設定）は、雨季出水時の川幅を現地聞き取り調査した結果、及び洪水跡より設定された。橋台位置は、計画高水位（HWL=135.0m）と設定した現河川の崖（bank）より後背地とされており、平水流路にとらわれず、洪水流路を推定して橋台位置を決めており、防災上安全側の設計となっている。もちろん本来は背水計算や洗掘計算を行って、可能であれば橋長を短くするべきであるが、橋梁が小規模なことから、水文データの信頼性が低いことも考慮されたものと思われる（本報告書第 3 章参照）。
- 2) 橋梁、護岸の構造・形式については、現地の技術レベル・建設機械によって限定される施工性、材料入手の容易さ、など現地での建設事情と整合性のある工法が採用されている。

参考文献

- 1) 国際協力機構、八千代エンジニアリング：ミャンマー連邦共和国農村地域における基礎インフラ開発計画協力準備調査報告書（先行公開版），pp. iii~iv, 2-8~2-9, 3-16~3-26, 2021 年 2 月