

開発途上国における無堤河川での渡河施設の 洪水被害の現状と計画のありかたに関する考察

横倉順治¹・古木守靖²

¹正会員 八千代エンジニアリング(株) 海外事業部 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8)

E-mail:jn-yokokura@yachiyo-eng.co.jp

²正会員 (株) 建設技研インターナショナル 特別技術顧問 (〒136-0071 東京都江東区亀戸2-25-14)

E-mail:furuki.moriyasu@ctii.co.jp

日本の平地河川では連続堤が整備され、橋梁建設にあたっては河川法規に設計条件が規定されている。一方途上国では堤防が建設されている河川は稀でほとんどが無堤である。その橋梁の多くはコストが優先され、平水時の流路にのみ架橋され、洪水時の氾濫原には盛土構造の取付け道路が建設されている。このため盛土道路と橋梁が洪水流を妨げて損傷する事例が多発している。

これらの無堤河川での橋梁建設では、有堤を前提とした日本の技術基準では十分に対応できず、その計画のありかたが課題となっている。本論文ではアジア、中米など途上国の無堤河川での橋梁被災事例に関し、その現象を河川工学的視点から解明して課題を抽出し、地域の社会・自然条件に適した計画・設計のあり方について考察し、無堤河川での渡河施設建設ガイドラインの必要性を提言した。

Key Words: rivers without dykes, river crossing structures, damage by floods, locally appropriate technology, view point from river engineering

1. はじめに

日本の河川では古代から今日まで営々と堤防が作られて洪水災害に対する安全性が向上した¹⁾。明治維新後の近代化以降には高水管理を基本として連続堤が整備され、都市化、工業化による日本の発展に貢献してきた。このような背景により、日本の河川は高度に管理され、橋梁の建設にあたっては、河川法令で設計条件が規定されている。

一方、途上国の河川に堤防が建設されていることは稀であり、河川を横断する渡河施設は多くの場合、氾濫原を渡る盛土道路と橋梁とで構成されている。架橋位置、橋長、桁高などは渡河施設設置者が、規定によらず自由に決定しているのが実情である。具体的にはこれらの渡河施設の多くはコストが優先されている。このため洪水に対しては橋長・桁下高が不十分となり、盛土道路と橋桁が洪水流を妨げて損傷する事例が多数発生している。ODAによる橋梁事業では、有堤河川を前提とした日本の技術基準を無堤河川にそのままには適用することができず、計画・設計手法のありかたが課題となっている。

これらの実態は有堤河川での経験が中心である国内の道路橋梁技術者の間では関心と呼ぶこともなく、研究論文も少ない^{2),3)}。このような実情に鑑み、本論文ではアジ

ア、中米などの開発途上国において多発している無堤河川での渡河施設の被災事例に関し、その原因を河川工学的視点から解明し、計画の在り方について考察して提言を行った。ここに示された被災事例と考察・提言が、特にODAによる渡河施設整備に関わる日本の技術者にとって、安全性と経済性に優れ、地域の自然条件・社会条件に適した施設計画・設計の一助となることを目指した。

2. 海外無堤河川における渡河施設の被害事例

日本の河川では、洪水の計画規模に基づいて策定された河道の縦横断形状により連続堤が築かれている。一方途上国の無堤河川における渡河施設では、洪水時に次のような被害が発生している。

- 1) 大河川の洪水流路(氾濫原)盛土道路とその橋梁被害
- 2) 中小河川の洪水流路に張り出て建設された盛土取付け道路と橋梁の被害

(1) 大河川の氾濫原盛土道路とその橋梁の被害

カンボジアのメコン河、バングラデシュのジャム河などの大規模河川の氾濫原、あるいはネパールのタライ平



図-1 1996年洪水で越流されているカンボジア国道6A号線のメコン河氾濫原盛土道路²⁾ 図-2 カンボジア国道6A号線のメコン河氾濫原盛土道路で、1996年洪水で洗掘された25号橋の橋台基礎 1997.4 横倉順治 図-3 2000年洪水で盛土道路が堤防となりメコン河水位が上昇したので、人為的に開削されたカンボジア国道1号線³⁾ 2000.9.16



図-4 バングラデシュ 2007年洪水の際Z5401線で流失した道路盛土と崩壊したカルバート橋 被災2007.7 撮影2009.4 栗原敏広氏 図-5 ネパール 2019年洪水の際、タイ平野南部を横断する国道ポスタルハイウエーで流失した道路盛土 2019.8 ネパール道路局 図-6 2019年洪水で橋梁の流積が不足して洪水に越流され損傷したポスタルハイウエーの盛土道路舗装 2019.8 ネパール道路局

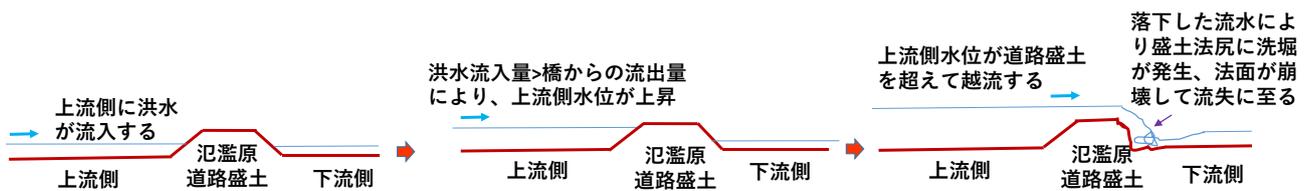


図-7 氾濫原に建設された道路盛土流失のメカニズム

野のような多数の河川流域を包含する大規模氾濫原では、雨季の洪水による交通障害を避けるために、道路は盛土構造とされている。これらの道路盛土が氾濫原内の河川を横断する箇所には橋梁が設置されている。

これら広大な氾濫原での大規模洪水時には、盛土道路に設置された橋梁での流下能力が不十分なために盛土上流側の水位が上昇して盛土が越流され、流失する被害が発生している。橋梁地点では流速が増大して河床が洗掘され、橋台・橋脚が損壊し、橋桁が流失している。

カンボジアのプノンペン上流メコン河右岸氾濫原での1996年洪水(図-1, 2), 同下流右岸氾濫原2000年洪水(図-3), バングラデシュのSirajganj上流ジャムナ河右岸氾濫原での2007年洪水(図-4) およびネパールのタイ平野南部を横断する国道ポスタルハイウエーで発生した2019年洪水(図-5, 6)の被災事例を各図に示した。図-3は、プノンペン下流メコン河右岸沿いの国道1号線盛土道路が河川堤防となって河道から氾濫原への洪水の拡散を妨げ、河道水位が上昇してプノンペンへの影響リスクが明白となり開削された状況である。開削箇所には日本の

無償資金協力で橋梁が新設された。

これらの被害は、氾濫原に建設された盛土道路が洪水の流れを阻害したことが原因となっている。盛土道路流失のメカニズムを図-7に示した。これは多くの場合道路計画において、河川水理学的な視点からの安全性に関する配慮が不足ないし欠如しているためである^{注1)}。

(2) 中小河川の洪水流路に張り出て建設された盛土取付け道路と橋梁の被害

中小規模の河川では平水流路にのみ架橋され、洪水流路には盛土取付け道路が建設されている。洪水流路に洪水が拡大すると、盛土取付け道路が洪水を阻害するので橋梁の上流側水位が上昇し、洪水規模によっては盛土が越流されて流失し、橋桁も流失している(図-7と同様)。

1998年に中米を襲ったハリケーンミッチによる洪水により多くの橋梁がこの形態で被災した。ニカラグアの国道上の橋梁で発生した盛土取付け道路と橋桁の流失被害を図-8~9に示した。図-10は日本の無償資金協力により1997年に建設されたホンジュラスの新 Cholteca 橋の盛



図-8 ニカラグア Chinandega-Gausaule 間国道での橋桁と盛土道路の流失

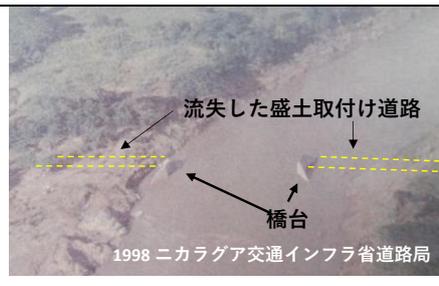


図-9 ニカラグアのレオナ橋での橋桁と盛土取付け道路の流失

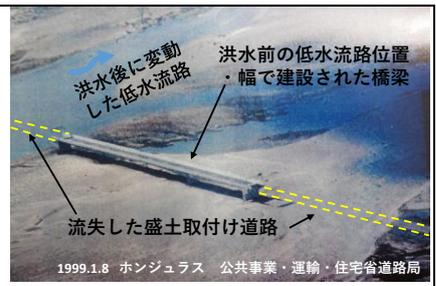


図-10 ホンジュラス新 Cholteca 橋では盛土取付け道路が両岸で 900m 流失。

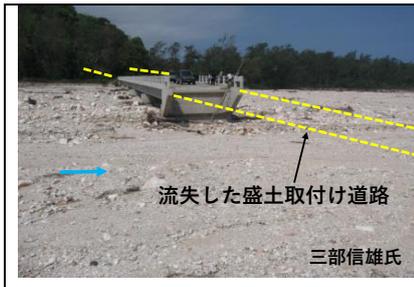


図-11 インドネシア東ヌサテンガラ州 スヌエル川ファトゥアットゥ橋の盛土取付け道路の流失



図-12 ボリビア国道 4 号線の日本・ボリビア友好橋にて、2008 年 3 月洪水で発生した盛土取付け道路の洗堀



図-13 日本の無償資金効力で新設されたカンボジア国道 6A 号線橋梁での 2000 年洪水時における水理現象³⁾

土取付け道路の被災状況である。日本の追加的無償資金協力で1径間追加して修復された。ただしこれらの災害をもたらした降雨規模と設計対象洪水との関係は不明であり、渡河施設の計画規模の適否を評価するものではない。

図-11は日本の無償資金協力で建設されたインドネシアでの橋梁の被災事例であり、盛土取付け道路の流失である。この計画では限られた予算による事業化を計るため、復旧工事の容易な盛土部があえて残された経緯がある。自国予算で1径間追加して修復された。

盛土道路が越流されない場合でも、洪水流路に広がった流れによって、道路盛土の上流側が洗堀される被害が発生している。ボリビアの国道4号線に日本の無償資金協力により2007年に建設された日本・ボリビア友好橋において2008年に発生した被害事例を図-12に示した。

以上の被害は橋梁地点での洪水が盛土道路で阻害されたことが原因である。平水時の流路だけに架橋されている理由として、河道改修計画が存在しないことと、最小限の予算で渡河施設を多く設置するために、コストのかかる橋梁部を最小限とし、残りは被災しても容易に復旧可能な盛土構造とされたことが推定される。

3. 考察

1) 有堤河川で橋梁を建設する際には、日本ではその手順は河川管理施設等構造令に定められている。一方途上国の無堤河川では橋梁緒元が自由に決められており、平水

流路にのみ架橋されている事例が多い。日本の ODA による図-10~12 の事例でも平水流路にのみ架橋されている。被災形態は、①橋梁部狭隘による堰上げにより橋梁地点での流速と水位が増大し、河床洗堀が発生して橋台・橋脚が損傷、橋桁が流失、②洪水流路の道路盛土の洗堀・流失、の2形態である。

2) 被害対策として、洪水流を阻害しない橋長と桁下高の確保が必要となるが、橋長と桁下高を大きくするとコストが上がる。コストと便益のバランスが必要となる。具体的には、計画対象洪水の生起確率を社会的・経済的受容性から検討して洪水流量・水位を決め、堰上げ高や洗堀量を勘案のうえ施設設計を行うことになる。しかしこの手順は日本では確立していないので、時に不十分な検討結果となる。交通量と道路重要度により、比較的小規模な洪水での越流を前提としたコーズウエー・潜り橋が提案される^{2),3),注2)}。日本の無償資金協力で2015年に竣工したネパールのシンズリ道路で多用された実績がある。

3) 橋梁では上下流の水位差により流速が増大して(図-13)河床洗堀が発生する。しかし従来洗堀量の推計は必ずしもルール化されておらず、洗堀による橋台、橋脚の損傷事例は多い。代表的対策としては護床工の設置が重要となる。1996年メコン川洪水で被災した国道6A号線に新設された橋梁の鉄線籠による護床工は、2000年洪水で発生した大きな流速にも効果を発揮した。鉄線籠は建設価格が比較的安価で高度な技術を要しないことから途上国では多用されている。しかし河床材料の洗堀に対

する抵抗力と護床工の効果に関する定式化された指針はないので、その整理が必要である。

4) 海外無堤河川での渡河施設の計画・設計については、これまでは個々の現地状況に応じて検討され、担当者の判断によるところが大きかった。また建設後の技術面に関する事後評価は全く行われていない。今後はこれまでの事例・実績を整理して技術的視点からの評価を実施し、組織・個人に蓄積されてきた知識・経験を統合して、無堤河川における渡河施設の計画・設計手順をガイドライン化することが必要である。このことにより当該分野の技術を体系化してその質を高め、また実務を効率化することが可能となる。そのためには道路と河川の両技術領域を融合した学際的アプローチが必須となる。

4. まとめ

1. 海外無堤河川における渡河施設すなわち盛土取付け道路及び橋梁での洪水被害の現状を明らかにし、現象の解明を行い、これらの重要性に目を向ける必要性を述べた。
2. その対策について考察した。有堤河川とは異なり、無堤河川の渡河施設計画では以下の点が重要となる。
 - 1) 平水流路だけでなく洪水流路を想定し、桁下高・橋台位置、洗堀対策に関し河川工学的視点から検討する。
 - 2) 交通量と道路重要度によっては、あえてアプローチ盛土部での越水を許容する設計、あるいは比較的小規模な洪水での越流を前提としたコーズウエー・潜り橋も選択肢とするなど、地域の社会・自然状況に適した安全で経済的な工法を選択肢として検討する。
3. 今後の課題は以下のとおりである。
 - 1) これまで日本の ODA で建設された無堤河川の渡河施設に関し、技術的視点から調査して事後評価する。
 - 2) これまでの知見・経験を体系化して、無堤河川での渡河施設計画・設計ガイドラインとして取り纏める。
 - 3) ガイドラインの作成は組織横断的作業となるので、一案として土木学会が調整機関となり、関連諸機関の連

携を図りながら推し進めることが提案される。関連組織として、ODA 事業を実施する JICA、日本の建設業発展を担う国交省、および工学の進歩を目指す学会・協会などの学際的広がりが必要と考えられる。

謝辞：本研究は土木学会建設マネジメント委員会国際連携小委員会の活動成果であり、ご協力・ご指導いただきました関係者の方々に深く感謝の意を表します。

NOTES

- 注 1) 国際協力事業団派遣事業部、渡辺正幸：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 4章, pp.4-7, 1999年4月。
- 注 2) 国際協力事業団、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. 1~3, 1999年2月14日。

REFERENCES

- 1) 山本晃一：河川堤防の技術史, 技報堂出版, pp. 5~80, 2017. [K.Yamamoto: *Kasen teibo no gijutsushi*, Gihodo shuppan, pp.5~80, 2017.]
- 2) 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方 -河川防災の視点から-, 水工学論文集第 44 巻, 土木学会, pp. 337~342, 2000. [J.Yokokura, K.Suga: Planning of flood plain roads and bridges in underdeveloped countries from the point of view of river disaster prevention, *Annual journal of hydraulic engineering, JSCE*, Vol.44, pp.337-342, 2000.]
- 3) 横倉順治, 須賀如川, 栗原敏広, 松永繁：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, 土木学会, pp. 293~296, 2011. [J. Yokokura, N. Suga, T.Kurihara, S. Matsunaga: A study on practicability of causeways and submersible bridges over natural rivers in developing countries, *advances in river engineering, JSCE*, Vol. 17, pp. 293-298, 2011.]

(Received October 23, 2023)

(Accepted November 6, 2023)

FLOOD DAMAGES AND PLANNING OF CROSSING STRUCTURES OF RIVERS WITHOUT DYKES IN DEVELOPING COUNTRIES

YOKOKURA Junji and FURUKI Moriyasu

In developing countries, rivers with dykes are rare. At such rivers, most of the bridges are constructed only in the channels during normal water flow, with embanked approach roads on the flood plains, as the cost is priority. This has led to many cases where embanked roads and bridges are damaged by floods. Japanese technical standards, which assume rivers with dykes, cannot simply be applied to such rivers.

In this paper, cases of bridges damaged in rivers without dykes in Asia and Central America are analyzed from the perspective of river engineering. The planning of bridges in such rivers is discussed from view point of technology appropriate under the local social / natural conditions. This paper also suggests the needs for a guideline for the planning of river crossing structures under the circumstance.