

無堤河川に適した渡河施設計画・設計の在り方

古木 守靖¹・横倉 順治²

¹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@cti.co.jp

²正会員 八千代エンジニアリング (株) 海外事業部 技師長 (〒111-8648 東京都台東区浅草橋5-20-8CSタワー)

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

日本の平地河川では連続堤が整備されているため、河川を渡る道路施設とは堤防間に構築される橋梁である。他方海外では無堤河川が多く、河川の範囲は明確ではないため、盛土構造と橋梁あるいはボックスカルバート構造を組み合わせて渡河する。無堤河川での渡河施設整備にあたっては、有堤を前提とした日本の技術基準では十分に対応できないため、その計画・設計のありかたが課題となっている。本論文ではアジア、アフリカ、中米など途上国の無堤河川での渡河施設被災事例を分析して課題を抽出し、海外の社会・自然条件に適した無堤河川渡河施設計画・設計の在り方を考察した。

Key Words: river without embankment, river crossing structures, damage by floods, locally appropriate technology

1. はじめに

日本国内において道路・橋梁技術者は、渡河の条件の多くを河川管理者から示されることから、河川に関する深い知識は必ずしも必要としない。一方海外、特に途上国での渡河施設整備事業では、河川は無堤であり、河川のみならず氾濫原と一体となった道路・橋梁を扱うことになる。

ところが、このような場合国内には参照すべき体系的、標準的参考文献はほとんどないといつてよい。このため本論文ではアジア、アフリカ、中米など途上国の無堤河川における渡河施設での被災事例を分析して課題を抽出し、海外の社会・自然条件に適した無堤河川渡河施設計画・設計の在り方を考察した。

2. 海外無堤河川渡河施設整備の課題

JICA のインフラ事業は総じて、相手国の高い評

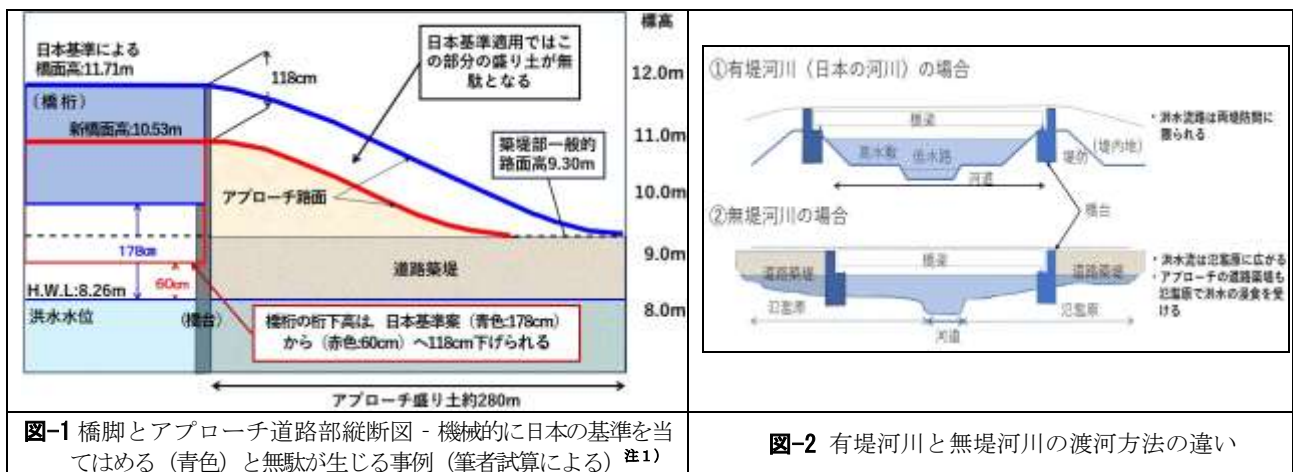
価を得ている。しかし無堤河川渡河施設に洪水による被災事例が見られるなど、以下のような課題が存在すると考えられる。

(1) 国内基準の機械的な適用

海外無堤河川の渡河施設に、有堤河川を前提とした日本の河川管理施設等構造令（以下河川構造令）をそのまま適用したため無駄が生じる例が見られる（**図-1**）。例えば必要以上に桁下高さを確保する結果となり橋梁の取付け道路が長く、あるいは高くなり横断が困難になって地域分断に繋がる。このように国内基準を利用する場合は、その根拠を原点に立ち返って確認する必要がある。

(2) 氾濫原渡河の計画・設計思想

図-2 は有堤河川と無堤河川における渡河方法の違いを示す。有堤河川では両堤防内に橋台を設けてあるので問題の中心は橋脚である^{注2}。しかし無堤



河川では橋台周りの洗堀も大きな課題である。なぜなら渡河施設の開口部の疎通能力の不足により、過大な流速が発生し橋台前面や周辺道路築堤が損傷するなどの被害が発生するが、統一した計画・設計思想は確立されていないからである^{1,2)} (写真-1)。

3. 道路事業から見た有堤河川と無堤河川

(1) 道路・橋梁検討の水工学的差異

氾濫原を流れる洪水流は橋梁が狭窄部となって流速を早めて洗堀の原因となる(図-3)。また渡河施設は洪水流を堰上げて上流域に影響を及ぼす。このため水理学的な検討は、有堤河川渡河時とは異って橋脚のみならず氾濫原にせり出してくる形の道路築堤と橋台についても行わなければならない。

(2) 河川と橋梁：架橋位置、径間長、桁下高等^{註3)}

a) 架橋位置と橋長等

日本の河川では河川構造令により橋台設置位置や桁下高さなどの基準が定められている。一方無堤河川を多く扱う JICA 事業の事例では、まず洪水時の流路・流心とその湾曲などを考慮したうえで架橋位置を仮定する。次に水理計算により流下能力、堰上げ水位及び橋台、橋脚周辺の流速を計算する。堰上げ水位(背水)計算は上流域の水位に及ぼす悪影響を確認するためである。また流速計算は洗堀が過大にならないようにするためである。

b) 桁下高

河川構造令では桁下高は、桁の下端が堤防天端高(計画高水位+余裕高)以上となるように定められている。堤防の余裕高は流量によって異なり、最小値で0.6m、最大値で2.0mである(図-4)。

一方、無堤河川にあっては、堤防余裕高が存在しないので、日本と同じ意味での桁下の余裕高は存在しない。海外の桁下高の規定は流量によって変わらず、計画対象洪水水位からの高さは、オーストラリア等の0.5m及び米国各州あるいはニュージーランド等の0.6mが一般的である。

(3) その他の設計要素

有堤河川では、堤防間の限られた河積の中で橋脚による流下能力の阻害を最小限にする必要がある。一方無堤河川では、橋長そのものが可変であり、橋脚設計の自由度は高い。このためパイルベント橋脚(あるいは多柱式橋脚)なども国際的には忌避されていない。

河川構造令の基準径間長は堤防があることを前提として導かれた算定式(同第63条^{註4)}によっているので、無堤河川では適用する必然性は見いだせず、橋梁スパンの合理的決定手順によればよい。ただし、最小値となっている径間長20mという値は、日本の経験により流木による堰上げに対する安全性が高まることが知られているので参考となる。

また国内では橋脚の河積阻害率が問題とされる(河川構造令第62条の解説)。しかしこれも有堤河川における議論であり、無堤河川では有効な指標ではなく、水理計算で堰上げを推定してあれば適用する必要はない。一方無堤河川では、渡河施設は洪水流を絞ることになるため、洗堀が必ず問題となる。築堤部の損傷の復旧は比較的容易であるが、橋脚や橋台の損傷は復旧に多大の費用と時間を要する。従って洗堀により、新設橋梁が落橋したり、橋台が危険に晒されたりする事例は多く発生していることに注意が必要である。

(4) 河川工学と道路工学との統合が求められる

以上の考察から、道路事業であっても河川工学を考慮することが必要で、道路事業と河川事業の統合化が必要とされるといえる。むしろ統合化によって道路・橋梁施設の安全性が担保される。

4. 米国平地における流域・河川管理と標準的渡河計画手順

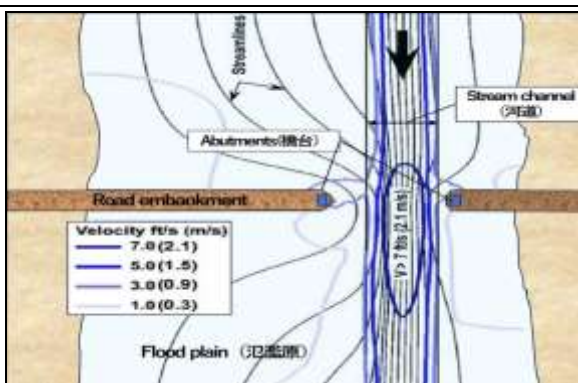
無堤河川の渡河事例の多い米国の事例を調査し標準的手順を探る。

(1) 米国 FEMA (Federal Emergency Management Agency) の氾濫原管理^{3,4)}



(写真提供：元 JICA 国際協力専門員三部氏)

写真-1 洪水流が橋台背後(手前側)の道路築堤を流失させた例(インドネシア)



出典：Evaluating Scour at Bridges, Figure8-13を筆者加工

図-3 無堤河川洪水における橋梁周りの水理解析の例

平地の無堤河川における渡河計画として米国における事例が参考となる。

図-5は、FEMAによる米国の一般的な river channel (河道), flood plain (氾濫原), floodway (洪水流路) などの定義を示している。基本的な氾濫・河川管理の考え方は以下の通りである。

まず全国の100年確率の flood hazard (洪水危険範囲) を推定し、ハザードマップの形で検索できる仕組みとなっている。flood hazard 内で架橋と道路築堤を行う場合氾濫原を encroach (侵犯) するので、その場合 surcharge (堰上げ) が1フィート以下でなければならないとする。ただし floodway は侵犯不可能であり、floodway はあらかじめ水理計算によって地図上に示されていて、法的な規制がかかっている^{注5)}。これら規制条件により道路築堤の開口部の延長、すなわち橋長が決まる。

このように米国無堤河川の場合、河川区域という概念ではなく、flood hazard, floodway そして floodplain への侵犯という概念で河川及び流域の管理がなされている。

FEMAによる管理基準に対応して、各州では具体的な渡河計画・設計の標準的な手順を公開している。

桁下高は、舟運が無い場合流量ではなく氷など流下物の有無から決定される。また橋台、橋脚付近の流速及び洗堀深計算方法のガイドラインが連邦道路庁により整備されている⁵⁾。

(2) 総合技術としての標準的な手順

無堤河川渡河に関する内外の事例をもとに、好ましい渡河施設検討手順を具体的に述べると次のようになる。

- ・水文データ等から計画対象洪水及び水位の決定
- ・橋梁仕様と築堤部設計の仮決定 (最適設計)
- ・水理計算による堰上げ水位と洗堀量の推計
- ・問題があれば橋長、河道断面の再検討
- ・河道の安定化対策の検討

5. 結論と今後の課題

(1) まとめ

旧来の海外無堤河川渡河施設の計画・設計事例の課題をまとめると、

- ① 日本国内の基準を機械的に適用したことによる無駄
- ② 無堤河川の洪水を適切に処理できない渡河計画・設計による意図しなかった施設損傷の二つに分類される。

無堤河川渡河施設計画・設計においては、渡河施設が損傷を受けないように計画・設計することと、渡河施設による流水の堰上げによって沿川地域に被害が発生させないことが基本的な考え方である。

無堤河川では氾濫原に突き出した道路築堤と橋台が氾濫原の洪水流によって損傷しやすいため、工学的安全照査は有堤河川とは異なり、我が国では一般的ではない。

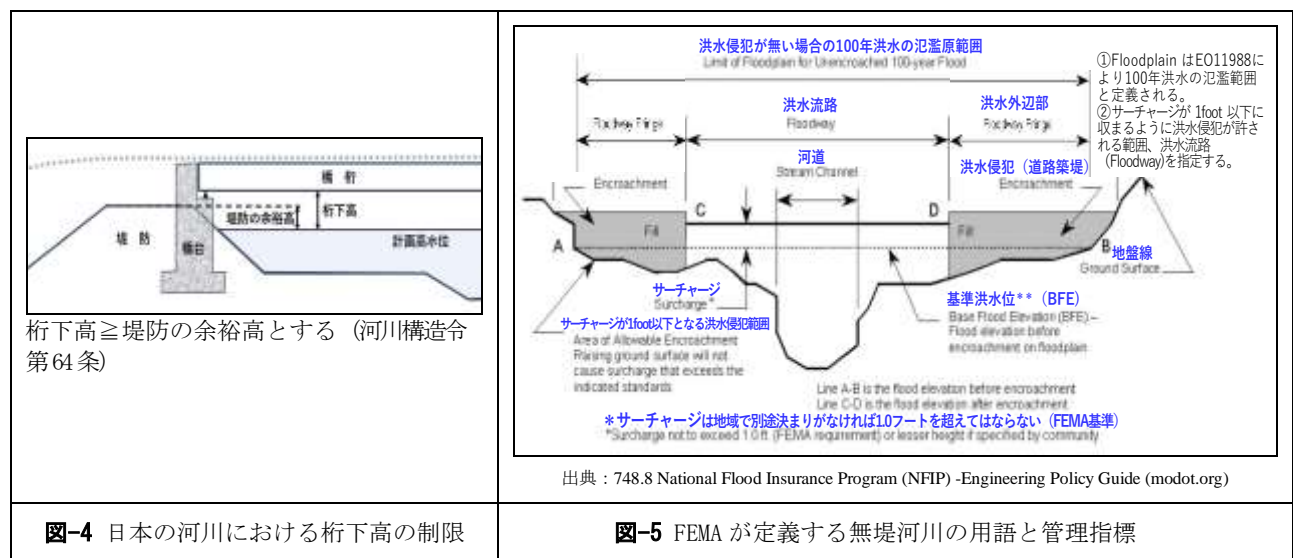
国内規定では河川構造令が中心となるが、それは有堤河川を前提として組み立てられているので、堤防の存在に直接左右される桁下高、基準径間長などに関する規定は、そのまま機械的に適用するのではなく、現地の事情にふさわしい計画・設計を行う必要があることも指摘される。

(2) 本研究により期待される効果

① 無堤河川渡河施設の計画・設計という、学際的分野の論理的構築と課題分析を行い、体系化を試みたもので、現場技術者にとっての基礎的な情報源となって、渡河施設の損傷リスクを低下させる。

② 海外の渡河現場で遭遇している無堤河川渡河という土木工学分野に日本の技術者、研究者が関心を寄せ、計画・設計技術を研究するきっかけになる。

③ 海外無堤河川の渡河施設整備を担当する技術者は、道路工学と河川工学の統合技術のもとで事業に携わることが必要であることが明らかになった。



これにより担当する技術者が、国内に限られた経験と基準類の呪縛から解放されて、海外独特の問題に、工学の基本に立ち返って取り組み、海外各地の条件に適した合理的な計画・設計手法に基づく事業の実践に貢献することが期待される。

(3) 今後の課題

今後現地の状況に適した渡河技術を具体化するためには以下の諸点に関して情報の収集・蓄積に取り組む必要がある。

- ① 無堤河川渡河の計画・設計手順の標準化
- ② 無堤河川の渡河施設計画・設計に必要な水理解析手法の検証
- ③ 蛇籠等既存の洗掘対策工法の他 Guide bund など無堤河川向け工法の研究
- ④ 技術者育成と発注に必要な標準仕様等の整備

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活動の成果を構成するものであり、ご協力、ご指導頂いた関係者に謝意を表します。

NOTES

- 注1)日本基準として河川構造令を適用すると、(図の範囲外にある)丸型橋脚橋梁の高水位からの余裕高を橋脚横梁先端から(流量に応じた値)100cm取らなければならない、それに桁厚が加わって桁下高は178cmとなったものである。
- 注2)財)国土技術研究センター：河川を横過する橋梁に関する計画の手引き(案)，2009.7. では橋脚の洗掘を中心に上げている。
- 注3)日本の状況は、河川管理施設等構造令研究会編：解説・河川管理施設等構造令，(公社)日本河川協会，1992.5による。
- 注4)基準径間長(Lm)は、河川構造令において求めている最小の径間長で、 $L=20+0.005Q$ であらわされ

る。Qは計画高水流量(m³/s)である。右辺第2項は「大河川ほど破堤した時の被害が大きいと考えられるからである」とし、堤防の存在を前提としている。

注5)The Federal Emergency Management Agency: FEMA's National Flood Hazard Layer (NFHL) Viewer (arcgis.com)において確認ができる。

REFERENCES

- 1) 古木守靖：無堤平地河川渡河施設の計画と設計—地域に適した技術開発—，土木学会年次学術講演会講演概要集，Vol.76，VI-623，2021.9 [M. Furuki, Planning and Design of No-bank Flatland River Crossing Facilities: Development of Technology Suitable for the Region, *Nenji-gakujutu-kouenkai kouen-gaiyoushu*, JSCE, Vol.76, VI-623, 2021.9]
- 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かた河川防災の視点から，土木学会，土木学会論文集，第44巻，pp.337-342，2000.2 [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) 末次忠司：アメリカ治水史の系譜—氾濫原管理施策への展開—，土木史研究，第16号，pp.175-187，1996.6 [Tadashi SUETSUGI, History of Flood Protection Policies in the United States Evolution toward Floodplain Management Policies, *Doboku-shi kenkyu*, JSCE, No. 16, pp.175-187, 1996.6]
- 4) U.S. Department of Transportation (USDOT): Federal Highway Administration, Hydraulic Engineering Circular, No. 17, 2nd Edition
- 5) U.S. Department of Transportation (USDOT): Evaluating Scour at Bridges, Fifth Edition, Hydraulic Engineering Circular, No. 18, 2012.

Received October 16, 2023
Accepted November 6, 2023

PLANNING AND DESIGN SUITABLE FOR NON-EMBANKED RIVER CROSSING

FURUKI Moriyasu and YOKOKURA Junji

Since continuous embankments are maintained in Japan flatland rivers, the bridges built between embankments are synonyms of road facilities across rivers. On the other hand, as rivers overseas have no embankment, the range of the river is not clear. The combination of a fill structure and a bridge or box culvert structure is used to cross this type of river. In the development of river crossing facilities on the non-embanked river, the planning and design of the river crossing facility for Japanese engineers is an issue because the technical standards of the Japan which based on the premise of the embankments cannot adequately respond. In this paper, we analyzed and extracted the problems of river crossing facilities including bridges on the non-embanked rivers in developing countries such as Asia, Africa, and Central America. The planning and design of the non-embanked river crossing facility suitable for overseas social and natural conditions is studied.