

ネパールテライ平野における多量の流出土砂を含む 未改修河川に関する洪水対策のありかた

横倉順治¹・豊田高士²・中村俊之³

^{1,3}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)

¹ E-mail: jn-yokokura@yachiyo-eng.co.jp, ³ E-mail: ts-nakamura@yachiyo-eng.co.jp

² 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)

² E-mail: tk-toyoda@yachiyo-eng.co.jp

テライ平野はネパールの社会経済にとって重要な地域であるが、頻発する水害が問題となっており、そこを流れる未改修河川の洪水対策が課題とされている。テライ河川のうち既に連続堤が建設されている 4 河川では、地質的に脆弱な上流山地から流出した土砂による河床上昇が進行して破堤・水制の流失などの被害が発生しており、かえって水害リスクを高める結果となっている。今後テライ河川の改修にあたっては、連続堤を基本とした対策をそのままには適用できず、土砂対策を考慮した種々の工夫が必要と考えられる。また未改修河川の氾濫原では、そこに建設された盛土道路が洪水を阻害して盛土の流失被害が発生している。本論文ではこれらの現状を明らかにして課題を整理し、現地の自然・社会環境に適した洪水対策のあり方を適正技術の視点から考察した。

Key Words: Terai Plain, rivers without dikes, sedimentation, flood control, appropriate technology

1. はじめに

ネパールのテライ平野 (以降テライ) はネパール南部に東西約 880km, 南北 20~45km でインドとの国境沿いに広がる平地帯である (図-1)。そこでは北側に続く山地帯から河川への土砂流入による河床の上昇と気候変動に起因して、近年では水害が深刻化している。その対策のため日本など海外からの技術・資金協力が実施されてきたが、効果は問題の進展に追い付いていない。

テライの面積は国土面積の 1/5 以下であるが、人口と GDP は全国の 1/2 以上を占め、ネパール社会経済にとって重要地域であり、その洪水対策は緊急的課題とされている。一方テライを流れる河川 (以降テライ河川) の洪水対策の検討にあたっては、上流山地から流送される多量の土砂による河床上昇を考慮する必要がある、連続堤を基本とした治水技術をそのままには適用できないと思われる。本論文では主に土砂問題の視点からテライで高まる水害リスクを明らかにし、日本と異なる自然・社会環境に適した洪水対策のあり方を考察した。

2. テライ河川の概要と特徴

(1) 地形と河川の概要

テライはチュリア・シワリク山地 (以降シワリク) の麓の平地であり、北から南に海拔およそ 300~50m で傾斜し

ている。河川は扇状地~自然堤防帯を形成している。河床勾配は河川によって異なるが、1/70~1/3180 である。ネパールには支流も含めると 6,000 の河川が存在し、これらはテライを南下してインドに入り、ガンジス河に合流する。そのうちマーカリ、カルナリ、ガンダキ、コシの 4 大河川はヒマラヤに源流が達する。中規模河川はカンカイ、カマラ、バグマティ、ティナウ、ウエストラプティ、バババイ、などであり、シワリクとヒマラヤの間を並行するマハバラート山地を主な源流とする。その他の小規模河川はシワリクを源流としている。これらのテライ河川にはシワリクから多量の土砂が流出している²⁾。

(2) 洪水対策上留意すべき河川の特徴

水害対策上留意すべき河川の特徴は以下のようである。

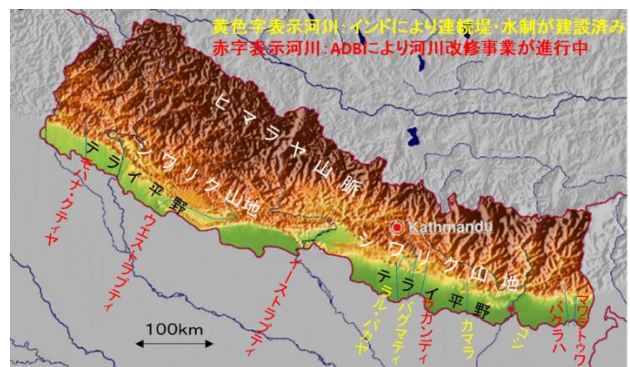


図-1 ネパール テライ平野と河川改修の現状



図-2 河床が上昇し橋脚フーチングが埋没、桁下高が低減した



図-3 コシ河では河床が堤内地盤高より高くなっている



図-4 カマラ川では河床が堤内地盤高より高くなっている

1) シワリクからの流出土砂により河床が上昇している
シワリクは造山運動によって形成されたヒマラヤ前衛の標高約 1000m の山地である。表土が薄くその地質は脆弱で崩壊し易い。崩壊地から続く土石流跡が多く見られ薄い薄い表土の下には基盤岩としての泥板岩が広がり、植林に適さない²⁾。1981~2010 のテライの平均年降水量は、ダン郡とバラ郡でそれぞれ 1522, 1907mm であって、このうち 6 月~9 月の雨季に 8 割以上が集中する³⁾。

このような地質と気象の要因によって、シワリクでは土砂生産が活発であり、同山地に水源を持つ小規模河川、あるいはこの山地を通過する大・中規模河川に多量の土砂が供給されている。シワリクでの土砂生産量は 1.66 mm/年 (ラカンディ川流域) ~2.70mm/年 (ロハンドラ川流域) と推定されている⁴⁾。流送された土砂は河床の上昇を引き起こしている (図-2~4)。

2) 多くが無堤・自然河川である

これまでインド政府の資金協力によりコシ、ラル・バケヤ、カマラなど 4 河川に連続堤が建設されている (図-1 黄色字表示)。現在はアジア開発銀行 (以降 ADB) の資金により 6 河川で築堤を含む改修が行われている (図-1 赤字表示)。しかしその他の河川は未改修である。

3) 砂防施設の整備が遅れている



図-5 2019 年 7 月洪水で破堤したラル・バケヤ川左岸堤防



図-6 氾濫水が越流して流失した道路盛土 ネパール道路局

日本による砂防分野での技術協力が 1991~2004 に 2 期にわたって行われたが、事業規模でのシワリクにおける砂防施設の建設はほとんど進展していない。

3. テライ河川による水害の特徴

テライ河川による水害の特徴を以下に要約した。

1) 河床上昇に起因する破堤リスクが増大している

テライ河川では土砂の堆積により河床が上昇して河積が減少し、破堤による外水被害のリスクが高まっている。外水被害は 2010 以降では、2011, 2014, 2016, 2017, 2019 の各年に発生していて、その頻度は 2 年に一度となっている。2019 では被災人口 10 万人・死者 117 人であった。

築堤された河川では土砂堆積が河道内に限定されるため、河床上昇速度が無堤河川より増大すると考えられる。コシ河などの有堤河川では堤内外の地盤高差が顕著になっている (図-3, 4)。2019 年 7 月洪水によりラル・バケヤ川では左岸で 2 か所が破堤し (図-5)、バグマティ川では長さ 50m の大型水制が流失した。

2) 内水リスクが増大している

有堤河川では河床上昇により河道への排水が困難となり、内水被害のリスクも増している。周辺の農地では排水不良による内水被害は毎年発生している⁴⁾。河川に流入できない排水は堤内排水路を流下するが (図-3)、流域の降雨状況により内水被害を引き起こしている²⁾。

3) 氾濫原道路盛土で洪水阻害による被害が頻発している

テライには東西ハイウエーと並行してその南側に鉄道の建設が計画され、一部建設済である。さらにその南にもう一本の幹線国道 (ポスタルハイウエー) が建設中である。これらの道路・鉄道盛土の排水施設が不十分のため、未改修河川から溢れた洪水あるいは内水が氾濫原を流下して道路盛土を越流し、盛土の流失と道路舗装の損壊などの被害が発生している (図-6)。

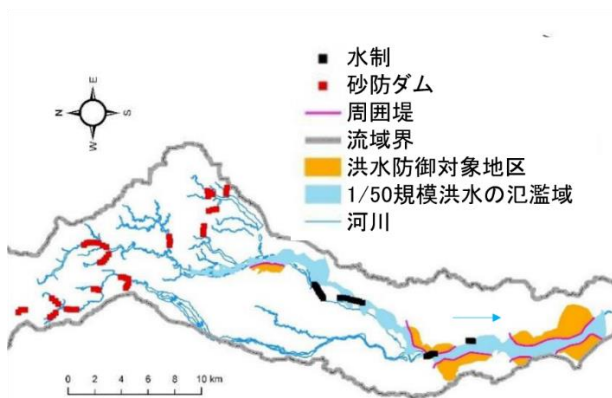


図-7 ADB マワ-ラトゥワ川改修で計画された周囲堤⁹⁾

4. 洪水対策に関する考察

テライ河川の洪水対策は土砂対策を考慮して検討する必要がある。河道の水位を計画高水位以下に抑えることを主眼とした治水計画を改め、現地の自然条件と社会経済に適した無理のない工法を提案した。

1) 周囲堤の適用と流域遊水機能の活用

山地部での土砂生産・流出の抑制対策として、植林と併せて山腹工、砂防ダムなどの建設が必要とされる。これらの土砂対策の効果は事業の進捗に従って発現されるが、それには長期的時間軸を要し、多量の土砂が流送される環境は今後も相当の期間は継続すると想定される。このような状況で連続堤を建設すると、土砂堆積が河道内に限定されて河床上昇速度が増大し、かえって越水・破堤のリスクが高まる。

このことから、築堤は集落・インフラなどの重要施設保護のための一定区間に限定した周囲堤とし、上下流を一貫して途切れることなく建設される連続堤は計画しない⁹⁾。片堤防も検討する。洪水時に湛水を許容している土地は、その遊水機能を引き続き活用する。ADB の事業対象とされている 6 河川においても周囲堤が計画されており、その配置図の一例を図-7 に示した。ADB 事業で周囲堤を計画するにあたっては、優先的に防護すべき対象を現地で調査し、氾濫計算により周囲堤の効果が確認されている⁹⁾。

2) 水害防備林の整備

連続堤の代替として水害防備林を整備する⁹⁾。氾濫原の一地区を局所的に防御するため、集落の上流域に数十から数百メートルの帯状の樹林帯を設置することを想定し、集落単位の防御を目指す。日本の事例に関する研究では⁶⁾⁸⁾、①粗度増大による洪水流速の低減と河岸・河床洗掘の抑制 ②水制的作用による流速の低減と河道の固定 ③土砂濃度のろ過 ④堤外遊水地機能 ⑤堤内地の流速低減効果、などが水理学的に検証され、無堤区間で治水上重要な役割を果たしていることが解明されている。

一方植林のための土地利用と維持管理には合意形成と住民参加が必要と考えられ、地元住民による理解が重要



図-8 洪水の越流を前提としたシンズリ道路のコースウエー



図-9 ラカンディ川沿いに設置された鉄線籠水制

となる。

3) かすみ堤の設置

連続堤の代替としてかすみ堤を整備する。その機能は急流区間（河床勾配が 1/500~1/600 以上）では、上流からの氾濫水の河道への還元と内水排除、緩流区間（同 1/1000~1/数千）では洪水の遊水効果である。かすみ堤の開口部は排水口となり、水路を掘れば堤内地からの排水を促進することができる。また川に面した堤防で洪水氾濫を防ぎ、その堤防が破堤した場合には、重複した後ろの堤防で氾濫を最小限に抑える超過洪水対策となる⁹⁾。水制としての付加的機能も有する¹⁰⁾。

4) コーズウエー、潜り橋の整備

テライの氾濫原盛土道路では比較的小規模な洪水を対象として橋梁・カルバートが設計されている。従ってより大きな洪水を想定して設計する必要があるが、その分工事費が高くなるので、どの程度の洪水を想定するかは地域の社会経済とネパール政府の財政状況を考慮して判断しなければならない。通行不能の頻度が多くなるなど多少の利便性を犠牲にしても、比較的小さな規模の洪水を設計対象とし、超過洪水に対する配慮を重視する設計がより合理的であると考えられる場合もある。具体的にはコースウエーと潜り橋の建設である¹¹⁾。

日本の資金協力により 2015 年に完成したテライ~カトマンズを結ぶ全長約 160km のシンズリ道路では、渡河地点 54 か所のうち 39 か所で、橋梁ではなくコースウエーが建設された（図-8）。越流なしを前提とした考え方を見直し、日本とは異なる環境に即した問題解決の選択肢とされている¹²⁾。

5) 鉄線籠工の活用

ネパールでは河川護岸、道路法面擁壁など様々なインフラに鉄線籠工が用いられている（図-9）。鉄線籠が設置された場所周辺の河岸、河床が侵食されると、鉄線籠は崩壊することなくそれに追従して変形し、その機能が維

持されるという優れた特性を有する。鉄線籠の材料である鉄線と玉石は現地調達可能であって地元の資金で対応できる価格である。材料が2種類のみであり、かつ施工には高度な技術は要しないことから施工性・維持管理性にも優れているといえる。前出シンズリ道路でも鉄線籠により総計30.6万m³の道路法面擁壁が建設された。鉄線籠工はネパールにおいては持続可能な技術として評価され、その実用性は高い¹³⁾。

5. まとめ

- 1) 土砂生産が著しい山地が上流域に存在するネパールテライ平野の未改修河川における水害に関して、現地で収集した資料に基づいて課題を明らかにし、対策のあり方を現地の自然・社会環境に適した適正技術の視点から考察した。主要な結論は以下のとおりである。
 - a 上流域における土砂生産が活発であるため、連続堤が建設された河川では河床上昇速度が増大して河積が減少し、破堤・水制の流失が発生して水害リスクが高まっている。したがって連続堤を基本とした治水技術はそのままには適用できないと考えられる。
 - b 連続堤の代替案として周囲堤、水害防備林、かすみ堤などが想定される。周囲堤は、ADBの資金協力対象6河川に関して現地調査と数値計算に基づいて計画されている。かすみ堤と水害防備林は明治時代以前からの日本における伝統的技術であるが、近年の研究によりその機能・効果が再認識されており、十分に現代的意味を有していると考えられる。
 - c ネパールではコーズウエーと潜り橋はシンズリ道路などで建設されていてその有用性が実証されており、鉄線籠工は河川構造物の一般的工法とされている。これらの建設には複雑な技術は必要とせず、事業費が比較的安価であり、維持管理も地元技術で対応可能である。
- 2) テライの土砂対策と洪水対策には世代を超えた長期的な対応が必要となる。そのためにはネパールの官庁技術者だけでなく民間人材の育成が重要であり、その一方

策として、河川・砂防分野における高等教育機関での教育活動への日本からの国際協力が提言される。

参考文献

- 1) 国際協力事業団：ネパール国テライ平野河川治水計画調査最終報告要約, pp.S-4~S-9, 1999
- 2) Basistha Raj Adhikari: Flooding and inundation in Nepal Terai: issues and concerns, Hydro Nepal, Issue No.12, pp.59~65, 2013
- 3) Central Bureau of Statistics, Government of Nepal: Environmental Statistics of Nepal, Table 2.1.2, p.12, 2019
- 4) Dhakal S.: Flood hazard in Nepal and new approach of risk reduction, International Journal of Landslide and Environment, Vol.1, No.1, pp.13~14, Oct. 2013
- 5) ADB: Grant 0299-NEP: Water Resources Project, Preparatory Facility, Final Report – Volume 3 Mawa Ratuwa (1 of 5), p.19, May 2016
- 6) 末次忠司・館健一郎・小林裕明：防災樹林帯による氾濫流制御に関する研究, 水工学論文集, 第2巻, pp. 805~810, 1998
- 7) 福岡捷二・五十嵐崇博・高橋宏尚：江の河水防林の特性と治水効果, 水工学論文集第39巻, pp. 501~506, 1995年2月,
- 8) 渡辺訓甫：河川整備と水害防備林の機能に関する調査研究, 第5回都市水害に関するシンポジウム, pp. 1~7, 2006
- 9) 大熊孝：霞堤の機能と語源に関する考察, 第7回日本土木史研究発表会論文集, pp.259~266, 1987年6月
- 10) 寺村淳：日本の河川における不連続堤防の変遷と分類に関する研究, 新潟大学博士論文, p.175, 2008年2月
- 11) 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, 17巻, pp.293~298, 2011
- 12) 二宮仁志・横倉順治・渡邊法美：開発途上国でのODAインフラ整備事業における適正技術の評価手法, 令和3年度土木学会全国大会第76回年次学術講演会, VI-633, 2021
- 13) 横倉順治：開発途上国における鉄線籠工の実用性に関する現地資料に基づく考察, 土木学会第72回年次学術講演会（平成29年9月）, VI-063, 2017

(2021. 10. 11 受付)

PLANNING OF FLOOD ALLEVIATION FOR RIVERS THAT CONTAIN A LARGE AMOUNT OF SEDIMENT IN TERAI PLAIN OF NEPAL

Junji YOKOKURA, Takeshi TOYODA and Toshiyuki NAKAMURA

The Terai Plain is an important region for Nepal's socio-economics, but they suffer from frequent floods since most of rivers on the plain are natural. Of the rivers, four have been improved with dikes, but they are under the risk of breaching due the progress of a large amount of sedimentation over the channels confined with dike walls. When improving the rivers in Terai, continuous dikes cannot necessarily be the best solution. Another problem is that the embanked roads on the flood plains interfere flood flows and are often breached. For these problems, countermeasures consistent with the natural condition and socio-economics of the locality are discussed.