

豪雨災害から橋を守る



中島 進
Susumu Nakajima
構造物技術研究部
基礎・土構造研究室長



佐名川 太亮
Taisuke Sanagawa
構造物技術研究部
基礎・土構造研究室
主任研究員



渡邊 諭
Satoshi Watanabe
防災技術研究部
地盤防災研究室長

はじめに

近年、夏季に線状降水帯などの発生により、激しい豪雨が長時間続き河川が増水・氾濫する例が多くあります。鉄道構造物のうち、河川をまたぐ橋である「河川橋りょう」はこうした降雨の影響を受けやすく、夏季の豪雨時に多くの被害が発生しています。ここでは、豪雨時における河川橋りょうの被害とメカニズムや、被害

防止のための取り組み、被災した橋脚を再供用して復旧した例を紹介します。

近年の豪雨における河川橋りょうの被害とメカニズム

鉄道が河川をまたぐ際に建設される河川橋りょうでは、河川が増水の影響により、さまざまな形態の被害が生じます。図1は河川橋りょう

図1 河川橋りょうの主な被害形態



基礎地盤の洗掘

橋台背面地盤・橋台の流出

下流

傾斜・沈下した橋脚

橋台背面地盤の侵食・流出

上流

うの主な被害とメカニズムを示しますが、被害形態は基礎地盤の洗掘^①、橋台背面地盤の侵食・流出、水圧の作用による橋脚の折損、水圧の作用による桁の流出、におおむね分類できます。

基礎地盤の洗掘は、橋脚と衝突して下方に回り込んだ河川水により、地盤が削られる洗掘の影響が基礎の下面より深くまで到達することで、基礎下に空洞が生じたような状態となる現象です。その結果、橋脚の自重を基礎が支えきれずに、傾斜や沈下などの被害が発生します。

橋台背面地盤の侵食・流出は、増水した河川の流水が橋台の背面地盤を削り取る現象で、橋台の傾斜や、橋台背面で線路がはしご状になるなどの被害が生じます。

① 洗掘

橋脚あるいは橋脚基礎と衝突し下方に向かった河川水の流れによって、橋脚基礎周りの砂・礫などの河床材料が巻き上げられ、基礎周辺の地盤が流出する現象で、洗掘が著しくなると基礎の底面が露出する場合もあり、豪雨時における基礎の不安定化の要因となります。

水圧の作用による橋脚の折損は、水圧により無筋コンクリートの橋脚の柱が主にコンクリートの打継ぎ目（打設時期の異なるコンクリートの境界面）で折れてしまうことにより生じます。

水圧の作用による桁の流出は、増水した河川水が桁に衝突することで、大きな圧力が桁に作用し、桁が橋脚からもぎ取られるようにして流出することにより生じます。

こうした被害の発生しやすさは、橋りょうを構成する橋脚・橋台の河川内での位置関係や河川環境の影響を強く受けます。このため、鉄道構造物への対策だけでは抜本的な対策とならない場合も多いうえに、対策工事の実施可能期間が雨の少ない非出水期（河川工事が可能な期間で、川が増水しにくい11月1日から翌年5月31日までの期間）に限定されるため、多くの鉄道事業者が対策に苦慮しているのが実情です。

そのため、被害抑制への重要な取り組みとして、事前の点検や増水時の洗掘の進行を緩和するような暫定的対策が行われていますが、近年



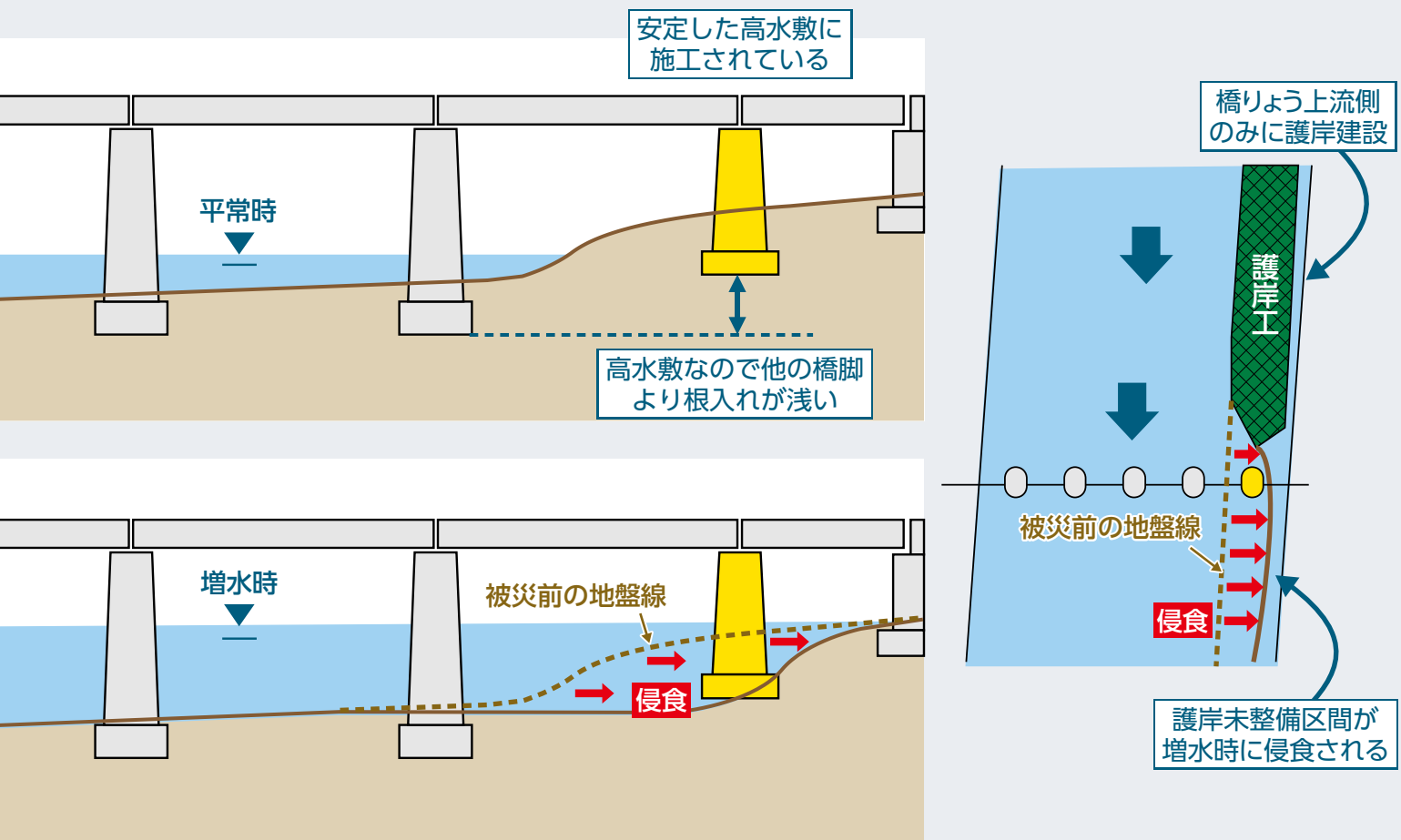


図2 河川断面の変化に起因した河川橋りょうの被災の模式図

の河川橋りょうの被害を受けて、点検の着目点や暫定的な対策の例、被害が生じた河川橋りょうの復旧例などをとりまとめた「河川橋りょうの維持管理の手引き」¹⁾が作成されています。

河川橋りょうの維持管理の手引き

「河川橋りょうの維持管理の手引き」は、前述した被害形態の中で、洗掘による被害が最も多かったことをふまえ、洗掘が発生しやすい河川橋りょうの特徴、洗掘に対する調査方法や健全度の判定方法、具体的な対策工などについて取りまとめています。

図2には、被災事例から見た洗掘が発生しやすい河川橋りょうの特徴の例として、河川橋りょうの上流側に護岸を建設したことにより河川断面が変化して被災した橋脚の例を示しています。河川橋りょうにおいては、洗掘への備えとして安定で堅固な地盤に基礎を建設し、十分

な根入れを確保するように配慮されてきました。しかし、供用過程における河川護岸の整備工事などにより、河川橋りょう周辺の断面が建設時から変化した場合などには、本来は洗掘や侵食の作用を受けないはずの橋脚が倒壊する例があります。

また、河川橋りょうには洗掘への備えとして洗掘防護工²⁾が施工されている場合もありますが、これまで洗掘防護工の調査に関する具体的な着目点や判定例は十分に整理されていませんでした。そこで、図3に例を示すように洗掘防護工の変状に応じた調査箇所や変状原因の推定、

洗掘防護工

橋脚周囲で局所的に発生する洗掘や河床の全体的な低下を防止するために設けられる構造物で、列車荷重を直接的に支持する構造物ではないものの、洗掘による河川橋りょうの安定性の低下を抑制する重要な機能を有しています。

構造物	変状種別	調査箇所	変状原因の推定例	判定の例	※判定
根固め工 ・ブロック ・かご	不陸	<p>施工範囲の上下流の端部</p> <p>上流方</p> <p>下流方</p> <p>上流方</p> <p>下流方</p> <p>上流方</p> <p>下流方</p> <p>上流方端部での全体的な不陸の例</p> <p>下流方端部での全体的な不陸および一部ブロックの流出の例</p>	<ul style="list-style-type: none"> 増水による洗掘 	<p>施工範囲の上流方端部の全体が浸食を受け不陸、流失および傾斜が生じているもの</p>	A
				<p>施工範囲の上流方端部の一部が浸食を受け不陸、流失および傾斜が生じているもの</p>	B
				<p>施工範囲の下流方端部の河床全体が落差による侵食を受けているもの、あるいは一部の浸食により下流方端部の一部のブロック等が流失しているもの</p>	A
				<p>施工範囲の下流方端部の河床の一部が落差による侵食を受けているもの</p>	B

※A：運転保安、旅客および講習などの安全ならびに列車の正常運行の確保を脅かす、またはその恐れのある変状等があるもの
 B：将来、健全度Aになる恐れのある変状等があるもの

図3 洗掘防護工の判定例（抜粋）

健全度の判定例などをビジュアルベースで整理しました。

このような着眼点で取りまとめられた「河川橋りょうの維持管理の手引き」は令和3年6月に発刊され、夏季を中心に発生する豪雨災害に対し、鉄道の安全・安定輸送を図るために活用されています。

被災橋脚の再供用による復旧

前述した手引きの活用により、河川橋りょうの予防保全の取り組みは、今まで以上に強化されていますが、大雨の発生頻度は日本全国的に増加しており、今後も河川橋りょうの被害は少なからず発生することが想定されます。河川橋りょうが被災した場合、被災構造物が再供用できない場合、構造物の再建設が必要となります。しかし、河川内では工事が可能な期間が限定されるため、再供用の可否は運行再開までに要す

る期間に大きく影響します。近年では、変状した橋脚に対して、補修の上で小さい荷重から段階的に載荷荷重を増加させることで、被災構造物の支持力を確認し、運行再開を図っている例もあります。

図4は実際に被災した河川橋りょうの再供用による鉄道運行の復旧プロセスの例を示しています。この事例では、7月に発生した豪雨に伴い、基礎地盤の洗掘により河川橋脚に沈下や傾斜が生じました²⁾。

まずは目視や衝撃振動試験などの調査により、再供用の可能性があるかを判断しました。この例では、増水時に一時的に洗掘の影響が基礎底面まで及んだことで自重を支えきれずに沈下・傾斜が生じたものの、基礎周辺の地盤は比較的堅固な状態で残存していたことにより、再供用の可能性があると判断されています。しかし、そのまま列車運行を再開し、列車荷重が作用し



図4 被災した河川橋りょうの再供用による鉄道運行の復旧プロセスの例

た場合には橋脚の変状が進行するおそれがあったため、変状後の河川橋りょうが列車荷重を支持できるかを見極めるための載荷試験を実施しました。

載荷試験としては、予備載荷試験と試験列車による載荷試験を実施しており、予備載荷試験では水タンクを桁上に設置し、ポンプにより河川水のタンクへのくみ上げ、タンクからの排水



図5 鋼管杭による補強状況

杭打設用の施工機械

打設中の杭

鋼管状の杭

最終的には杭と基礎の間にコンクリートを打設して一体化



水タンク

水タンクに河川水のくみ上げ・排水することで繰り返し載荷

列車載荷試験

繰り返し載荷により基礎の変位の累積傾向を把握し、列車載荷試験の可否を判断

予備載荷試験



列車通過時の基礎の変位量を把握、営業列車運行の可否を判断

を繰り返すことで列車荷重と同程度の鉛直荷重を加えました。この予備載荷試験には、試験列車の通過可否の見極めとともに、繰り返しの載荷により基礎の変位の累積傾向を把握しながら、沈下を促進させることで、洗掘により緩んでいた地盤に基礎を押し込み、緩みを解消させる意味もあります。最終的には試験列車による走行試験により運行再開の可否を判断しました。その後、徐行による速度規制をかけながら運行再開を行い、[図5](#)に施工時の状況を示すように鋼管状の杭による補強完了後に通常運行を再開しました。

こうした現場で得られた知見は、「洗掘被災橋りょうの再供用による応急復旧マニュアル

ル」³⁾として取りまとめられ、その後の災害復旧で大いに活用されています。

おわりに

鉄道橋りょうは経年が進む一方で、気象変動の影響により、特に夏季にごく短期間にこれまで経験したことのないような豪雨を経験する事例が増えています。鉄道総研でも夏季における河川橋りょうの予防保全、被害軽減、早期復旧に寄与する研究開発を今後も進めてまいります。得られた知見が夏季における河川橋りょうの被害発生要因の理解、維持管理や災害後の復旧方針選定の一助になれば幸いです。[RRR](#)

文献

- 1) 国土交通省鉄道局監修 鉄道総合技術研究所編：鉄道河川橋梁における基礎・抗土圧構造物の維持管理の手引き，2021
- 2) 井上太郎，白川孝博，佐名川太亮，渡邊諭：洗掘により傾斜・沈下した橋脚の再供用による応急復旧，第63回地盤工学シンポジウム，論文番号1-3-2，2022
- 3) 鉄道総合技術研究所：洗掘被災橋りょうの再供用による応急復旧マニュアル，2021