

第50回

鉄道の洗掘対策

はじめに

日本の鉄道網は明治5年新橋・横浜間の開業以来、昭和初期までの期間に急速に整備が進み、その当時に建造された古い構造形式の建造物は現在でも数多く存在し供用されています。中でも河川橋りょうは、鉄道網を整備する上で避けられない構造物であり数多くの橋りょうが建設されましたが、架橋技術が当時は未熟だったことや建設費の圧縮を理由として根入が浅く支間長の短い直接基礎形式(☞参照)の橋りょうが数多く建造されました。そのため、

河川増水時には、橋脚の基礎周辺地盤が洗掘を受けて橋脚が傾斜・転倒し、橋りょうが流出する災害が開業間もない頃の鉄道では多数発生しています。

洗掘災害を防ぐための防災対策は、ソフト対策とハード対策とに大別されます。前者では増水時に洗掘の発生が懸念される場合に徐行あるいは運転中止を実施する運転規制の取り組みが、後者では橋脚基礎の洗掘に対する耐力を高めるため河床防護工の施工や基礎の改良などの取り組みが進められてきました。

近年では設計技術や架橋技術の進歩

により洗掘が問題となる事例は少なくなっていますが、洗掘が懸念される橋りょうでは、補強などの維持管理や運転規制により安全輸送を確保する努力が続けられています。

ここでは、橋りょうの洗掘災害を防止するためにソフト・ハード両面か

ら実施されてきた取り組みについて、過去から現在までの主な変遷を俯瞰するとともに、将来に向けた展望について述べたいと思います。

れい明期から昭和20年代

明治から大正初期にかけての旧鉄道省資料によれば、洗掘による橋脚の流失などの災害記録は「鉄道水害記事¹⁾」としてまとめられており、災害発生時の経緯と具体的な復旧方法が記載されています。図1に記録の一例を示しますが、みお筋(☞参照)の変化や桁下水位など詳細な調査が実施されていたことがうかがえます。しかしながら、この頃の資料中にはソフト面での維持管理に関する具体的な記述は見当たりません。当時は災害発生後の復旧に全力で臨む事後防災が中心の考え方であり、水害の復旧事例の詳細を記録・集積することで、将来の水害復旧時の参考として活用していたようです。

一方で、この頃の洗掘に対する対策として「沈床工」がすでに用いられていたことが図1(丸破線で囲んだ部分)から分かります。昭和12年に発行された「防災保線読本²⁾」には、洗掘対策として蛇籠工、粗梁沈床、木工沈床(図2)などの詳細な構造と材料表が記載されており、これらの対策工が従前から広く用いられていたと考えられます。また、同資料中には河川出水の規模を量水標によって記録し、その情報を共有



図1 「明治44年水害記事¹⁾」とこれに掲載された函館本線然別・仁木間余市川橋りょうの被災状況

☞ 直接基礎

地盤を比較的広く浅く掘削し、底面処理を施し、フーチングなどを設置して作用を支持層に直接伝える、比較的浅い基礎。

☞ みお筋

河川中において、流れの中心となる水深が最も深い点を結んだ線。

することで警備などに役立てるように記載されています。同時期の昭和11年に出版された「防災保線・風水害応急心得：岡山保線事務所編纂³⁾」には、「河川流水票設置及出水位報告規定：廣達第175号」が記述されており、量水標により増水履歴を計測して報告するよう定められています(図3)。現在でも広く用いられている量水標(図4)がこの時期よりも前から重要なツールとして利用されていたことがわかります。

気象情報の入手に関しては、大正14年2月に中央气象台からの気象無線通報が開始され、同3月にはラジオによる天気予報が開始されています⁴⁾。また、昭和10年には当時の中央气象台と鉄道省との間で鉄道気象通報に関する申し合わせが取り交わされており⁵⁾、列車の運転や線路保守に支障を及ぼす異常気象が発生した際の通報制度が定められました。このような制度に伴い、「防災保線・風水害応急心得：岡山保線事務所編纂³⁾」中には、管内主要河川の降雨量と流域面積から求められる河川流量との関係を増水実績から推定しておき、暴風警報が発令された場合の桁下水位の増加見込みを報告すること、と述べられています(図5)。入手できた資料の範囲ですが、ここで初めて豪雨に伴って発生する増水に対して運転規制の考え方を取り入れた記述がみられるようになり、大正末期頃から昭和初期にかけて同様の取り組みが進められたと考えられます。

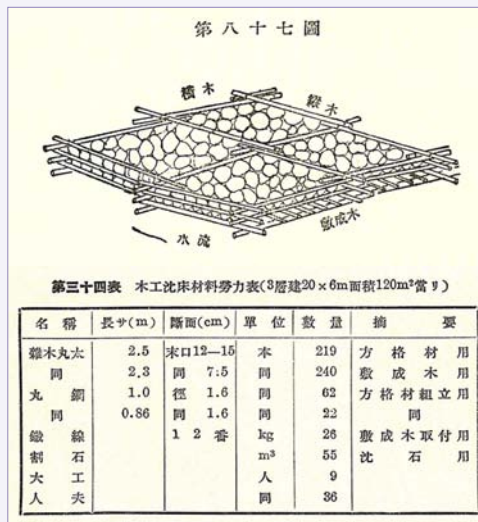


図2 木工沈床一般図
出典：「防災保線読本²⁾」鉄道省工務局



図4 量水標の例

廣達甲第一七二號ニリ所長ノ決定セシ事務所管内洪水測定
個所ハ第五表ノ通りテアル。

保線區
年 月 日
量水標設置
量水標水位
年 月 日
洪水線迄ノ高さ

年 月 日	出 水 位	記 事

備考 1、出水位ハ當日ノ最高トシ量水標設置河川ニ在リテハ桁下端
ヨリ線路ニ在リテハ軌條上面ヨリ測定スルモノトス
2、出水數日ニ直ルキハ出水ノ當日ヨリ減水ノ日迄記入スル
モノトス
3、記事欄ニハ出水ノ状況及附近被害ノ程度及將來ノ参考トナル
事項ヲ詳細ニ記載スヘシ
4、用紙ノ大きハB列四番トス

図3 出水位票
出典：「防災保線・風水害応急心得³⁾」岡山保線事務所編纂

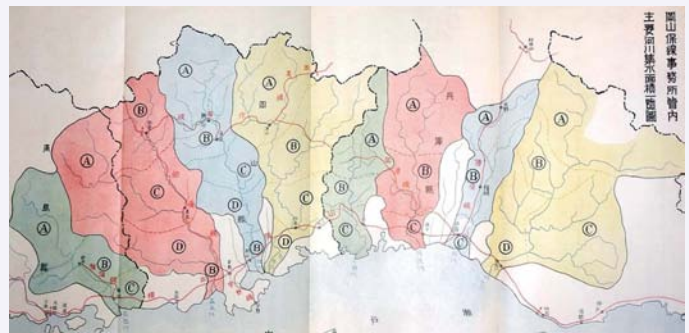


図5 主要河川集水面積一覽図
出典：「防災保線・風水害応急心得³⁾」岡山保線事務所編纂

昭和30～40年代以降

昭和33年発行の「防災保線⁵⁾」には列車運転の停止判断の際の参考例とともに、降雨量と河川の流出量との割合を調査しておくことにより洪水を予測することが重要であることが記載されています。しかしながら、運転規制の基準についてはあらかじめ定めた水位により判断するとの記述があるのみで、統一的な基準値は示されておらず、各鉄道管理局内で定められた独自の基準に従って運転規制を実施していたと考えられます。そのような状況の中、昭和43年10月1日に、富良野線の第一富良野川橋りょうの橋脚が洗掘により倒壊して貨物列車が脱線し死傷者6名を出す事故が発生しました(図6)⁶⁾。この事故を受け、同年10月17日に「橋梁洗掘の再点検について⁷⁾」、同年10月22日には「予測限界洗掘深さの推定



図6 第一富良野川橋りょうでの被災状況
出典：「国有鉄道線路災害記録⁶⁾」日本国有鉄道施設局

による運転規制水位の定め方⁸⁾」が通達されています。この通達では、水位の増加に伴う予想限界洗掘深さの算出方法と運転規制水位を定める方法が記載されており、水位に関する運転規制の基準値が初めて具体的に示されました。さらに昭和47年9月には「降雨に対する運転規制基準作成要領⁹⁾」が作成され、これまで各管理局で定められていた規制値の考え方を統一した運転規制を実施することを決めました。この中では、現況の河床高から予想洗掘深を差し引いた状態における橋脚の転倒、

滑動，支持の安全率を算出することとし，列車停止に対する安全率（☞参照）は1.2，徐行に対する安全率は1.5と定められました。このように安全率の目安が与えられたことで洗掘深の推定において簡易な予測式が実用されるようになりました。さらに河川橋りょうの規制水位として，①荷重を考慮した橋脚，橋台の転倒，滑動，鉛直支持に対する安全な水位の最小値，②流下物の危険を考慮する必要のある河川について河川管理施設等構造令に示された桁下余裕高を確保する水位，③橋りょう背後の盛土に隣接する護岸，堤防高に

よる規制水位，のうち最も低い水位を規制水位として採用することと定めています。ソフト対策として最も基本的な指標である運転規制水位の設定方法についてはこの時点で初めて全国統一の指標となり，現在も踏襲されています。

一方のハード対策ですが，昭和30年代から40年代における高度経済成長期には，ダム建設による上流からの土砂供給量の減少とコンクリートの材料となる砂利の大量採取による河床低下が日本全体で急速に進行し問題となり，そのような環境下において橋りょう基礎を防護するため，はかま工（☞

電圧の変化により計測する電磁式洗掘計（☞図7），河床中に埋設された浮子の露出を浮子につけたロープの動きから探知する浮子式洗掘計（☞図7），そのほか，超音波式やアイソトープ式などが挙げられます¹⁰⁾。これらの技術の一部は試験的に導入されましたが，増水時の流下物で破損しやすく維持管理が困難なことなどから実用化には至りませんでした。

昭和50年代～現在

昭和40年代末には河川での砂利の採取が規制されたことや，「事後防災」から「事前防災」への防災意識の変化により構造物の検査体制が強化され防災のための投資が増加したことなどにより，昭和50年代以降は洗掘被災件数も減少しました¹¹⁾。しかしそのような状況において，昭和57年8月2日に，東海道本線富士川橋りょうの橋脚が倒壊し流失するという災害が発生しました（☞図8）。これを契機に設置された対策委員会により「東海道本線富士川橋りょう対策技術委員会報告書¹²⁾」がまとめられました。この中では，河床変動を考慮した最大洗掘深を予想する上で基準となる河床高さの考え方や，根固めブロック工の効果的な敷設方法などが示されました。

また，富士川橋りょう災害以降，橋脚基礎の健全性評価手法として，現在では広く普及している衝撃振動試験¹³⁾が開発されました。これは，重錘を橋脚に衝撃させた際の応答波形からスペクトル解析を実施し，固有振動数を把握することで基礎の健全性を評価する技術です。また，既設の根固めブロック工に対して増水時の流失の可能性を判別する手法¹⁴⁾が開発されるとともに，目視を主体とした簡易な調査により根固めブロック工を含む防護条件，河川

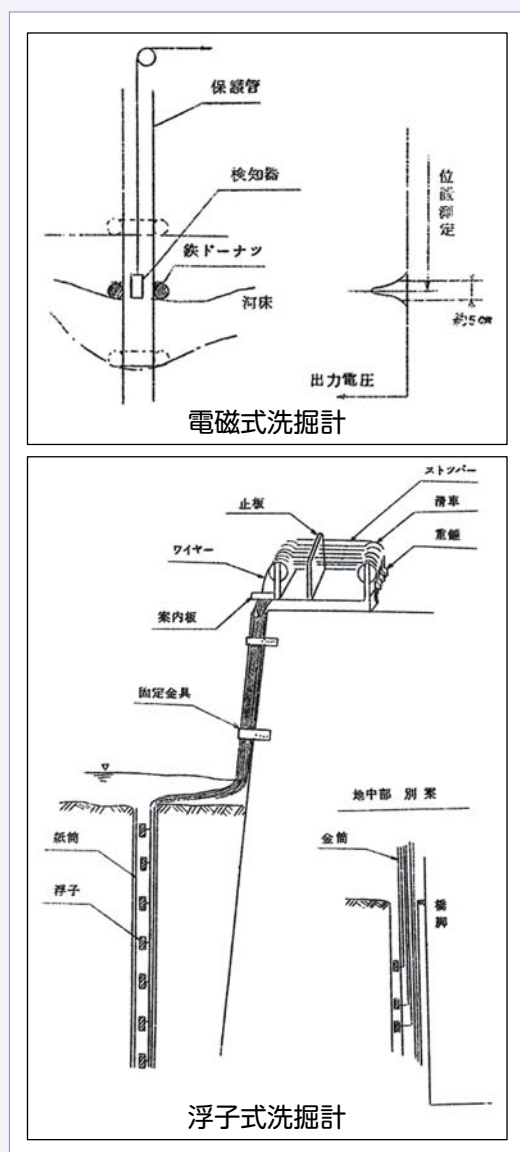


図7 洗掘計の例

出典：「橋脚部の洗掘及び洗掘計についての研究の紹介¹⁰⁾」
鉄道技術研究所速報

はかま工（☞参照）や鋼矢板などによる基礎の補強（☞参照）や，重量物であるコンクリートブロックを敷設することで橋脚周りの洗掘を防止する工法が広く採用されるようになりました。また，当時の鉄道技術研究所では洗掘深を測定する方法の開発が精力的に進められてきました¹⁰⁾。例えば，橋脚に沿って設置されたさや管（☞参照）内のレールが河床低下に伴って沈下した量を計測するレール降下式洗掘計，非金属パイプ周りに通されたドーナツ型の鉄片の位置をインダクタンス

☞ 安全率

基礎を不安定化させる作用力に対し，それに対する抵抗力の割合を示した指標。

☞ はかま工

垂直支持力の増加を目的に基礎の底面積を増加させる工法の一つ。

☞ 鋼矢板などによる基礎の補強

橋脚の周りを鋼鉄製の矢板で囲むことにより，洗掘の進行に対して転倒を防止する工法。

☞ さや管

棒状の物体や配線などを通すために設けた，ひとまわり径の大きな管。



図8 富士川橋りょうの被災状況

の環境条件および橋りょうの構造条件を点数化して洗掘を受けやすい橋りょうを抽出する採点表が作成されています¹⁵⁾。これらの評価技術は現在の「鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)基礎構造物・抗土圧構造物¹⁶⁾」にまとめられ活用されています。

今後の洗掘対策技術の展望

科学技術が進歩した今日においても、橋脚基礎周辺で発生する洗掘現象を直接確認・可視化する技術は確立されておらず、今後も継続的な技術開発が必要です。また、日本では少子高齢化の急激な進行により維持管理分野における人的リソースの不足が深刻化しており、橋脚基礎についてもほかの構造物ストックと同様に省力化のための技術開発が強く求められることとなります。

橋脚基礎の洗掘に対する健全性評価技術としては、近年のIoT技術を活用した健全度判定の自動化技術の開発、例えば安価かつ高精度なセンサーを用いた多点同時観測により洗掘時の傾斜や固有振動数の変化を監視する技術や、ビッグデータ処理手法を取り入れた異常検知の技術などの実用化に向けた取り組みが必要となると考えられます。

一方、最近では雨の降り方の変化により局地的豪雨による急激な増水発生の増加が懸念され、想定を上回る河床侵食や局所洗掘が発生する可能性が高まると考えられます。そこで、気象レーダーで捉えた高密度の降雨情報あるいは降雨予測情報を入力条件とし、流出解析

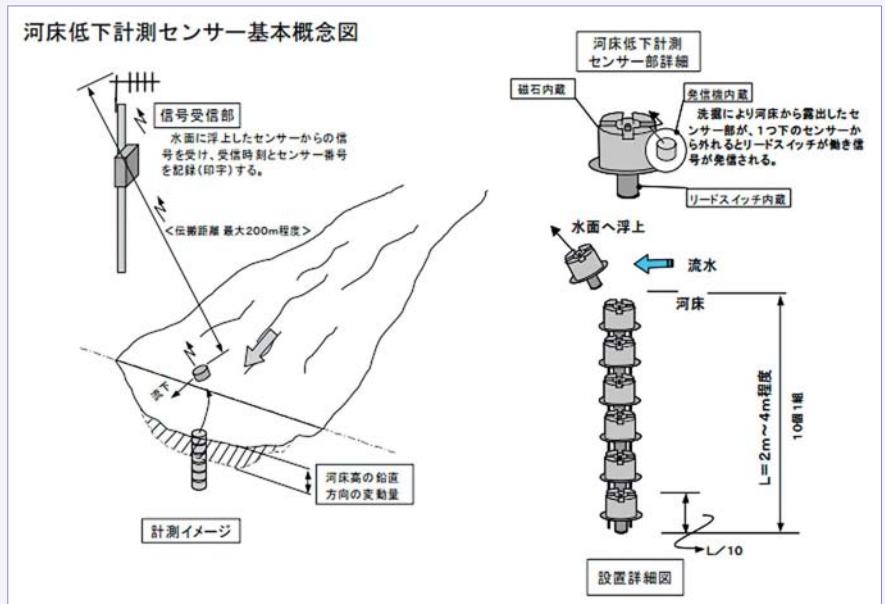


図9 洗掘計の一例

出典:「急流河川における浸水想定区域検討の手引き¹⁷⁾」国土交通省北陸地方整備局

ならびに河床変動シミュレーションをリアルタイムで実施して危険度を評価する技術が必要となると考えられます。また、実河川の現場においては河床変動の進行性を確実に把握する手法が重要になると考えられ、例えば無線通信を活用した洗掘計(図9)¹⁷⁾のような効果的な洗掘検知装置の普及が求められます。

しかし、自然災害は時として人智を超えたところで発生するものであり、全ての災害を未然に察知して防ぐことは不可能です。そのため、近年防災意識の高まりとともに共有化されつつある「減災対策」に向けて、増水時のリスクアセスメントを中心とした手法を取り入れた取り組みの必要性も同時に高まると考えられます。

このように、将来の鉄道の洗掘対策は、橋脚基礎周辺のミクロ的なスケールから河川流域全体のマクロ的なスケールまで多方面からの複合的な技術が必要となると考えています。このよ

うな展望を見据えながら、鉄道の安全輸送のさらなる向上のため洗掘対策に関連する研究と技術開発を今後も進めていきたいと考えています。

(渡邊諭/防災技術研究部
地盤防災研究室)

文献

- 1) 鉄道院業務調査会議: 明治四十四年水害記事, 1913他
- 2) 鉄道省工務局: 防災保線読本—風水災編—, 1937
- 3) 岡山保線事務所編纂: 防災保線—風水害応急心得, 1936
- 4) 気象庁: 気象庁ホームページ
- 5) 嶋原吉之祐: 防災保線, 鉄道現業社, 1958
- 6) 日本国有鉄道施設局: 国有鉄道線路災害記録(昭和34年~昭和43年度間), 1969
- 7) 施設局長: 橋梁洗掘の再点検について, 施土第851号, 1968
- 8) 施設局土木課: 予測限界洗掘深さの推定による運転規制水位の定め方, 1968.10.22
- 9) 日本国有鉄道施設局・運転局: 降雨に対する運転規制基準作成要領, 1972.9
- 10) 新井秀雄, 坂本静穂, 西沢生一, 松波哲夫: 橋脚部の洗掘及び洗掘計についての研究の紹介, 鉄道技術研究所速報, No.69-1010, 1969
- 11) 村上温: 鉄道橋の洪水時被災機構と安全管理に関する研究, 鉄道技術研究報告, No.1307(施設編第573号), 1986
- 12) 日本鉄道施設協会: 東海道本線富士川橋りょう対策技術委員会報告書, 1983.12
- 13) 西村昭彦, 棚村史郎: 既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究, 鉄道総研報告, Vol.3, No.8, pp.41-49, 1989
- 14) 岡田勝也, 村石尚: 統計的にみた橋脚の洪水時洗掘防止工の安定度判定手法, 鉄道総研報告, Vo.4, No.5, pp.18-27, 1990
- 15) 佐溝昌彦, 村石尚, 中村貴史: 洗掘を受けやすい橋梁を抽出するための採点表(案), 日本鉄道施設協会誌, Vol.43, No.11, 2005
- 16) 鉄道総合技術研究所: 鉄道構造物等維持管理標準・同解説(構造物編)基礎構造物・抗土圧構造物, 丸善, 2007
- 17) 国土交通省北陸地方整備局: 急流河川における浸水想定区域検討の手引き, 2003.9