

統計的手法による河川橋脚基礎の洗掘要注意橋りょう抽出手法

防災技術研究部 地盤防災

主任研究員 佐溝 昌彦

1. はじめに

河川増水時における橋りょうの洗掘被害を防止するため、定期的な検査(全般検査)の他、必要な場合には詳細検査(個別検査)を行うことで、改修等の措置の要否が判断される。この一連の検査では、多くの橋りょうの中から洗掘被害の発生が懸念される箇所(以下、洗掘要注意橋りょうという)を的確に抽出することが必要である。一方で、洗掘要注意橋りょうの抽出は、現状では現場技術者の判断に委ねられることが多く、より客観的かつ合理的な抽出手法が求められている。

そこで、被災歴や被災実態、橋りょう検査結果、橋りょう周辺の河川環境条件および増水歴などに基づく統計解析により、河川橋脚基礎の洗掘要注意橋りょう抽出手法を開発した。

2. 全般検査における一次抽出

2.1 洗掘災害の事例分析

過去の洗掘災害事例を調べた結果、災害が発生した橋りょうおよび河川環境の特徴には、①河川改修による河道環境の変化、②経年的な河床全体の低下、③河川(流路)に対する橋脚の位置が高水敷きにある、④防護工の変状や構造上の不備、⑤基礎の岩着判定の誤認、⑥扇状地形で多発する、などの条件が挙げられた。

2.2 採点表の作成

全般検査段階では、検査結果から橋りょう間の相対的な洗掘の危険性の順位付けを行うことが望ましいことから、橋りょうの条件別に点数化しやすい採点表によって一次抽出する方法を提案した。また、洗掘被害発生の危険性が特に高い要因に該当する橋りょうは他の条件によらず要注意橋りょうと判定することとした。

採点表の作成にあたり、洗掘現象に関係するといわれている条件を①河川の環境条件、②橋りょうの構造条件、③防護条件に分類した上で、前述の被災事例から抽出した特徴をもとに、洗掘への影響が大きいと一般的に考えられている要因を評価項目として挙げた。この評価項目ごとにカテゴリ(区分)を設定し、それぞれの区分に対して経験的な判断に基づく重み付けを行って配点し、採点表¹⁾を作成した(表1)。

2.3 採点表による評価

評価は橋脚ごとに行い、すべての評価項目に対して主に目視による調査や過去の検査記録によって、現地の状況に該当する区分を選択し、各項目の合計点を対象橋脚の評価点とする。この評価点が低いほど洗掘を受け易い注意の必要な橋脚(洗掘要注意橋脚)となる。ただし、洗掘災害発生の危険性が高い重要な要因(表1の点数欄に◆印のあるもの)に、ひとつでも該当すれば、採点表の合計点に拘わらず洗掘要注意橋脚とすることとした。また、そうした橋脚を有する橋りょうを洗掘要注意橋りょうとする。

ここで、この採点表により77橋脚の評価を行った際の評価点の頻度分布を図1に示す。なお、図中の赤く示したものは、橋脚の洗掘災害に関する専門技術者が、過去の経験や専門知識を用いて洗掘

要注意橋脚と判断したものである。それらの評価点が110点を下回っていたことから、洗掘要注意橋脚の閾(しきい)値を110点とした。すなわち、表1に示す採点表によって合計点が110点以下もしくは重要な項目の要因に一つでも該当する橋脚は洗掘要注意橋脚として一次抽出する。

表1 一次抽出のための採点表

評価項目		区分	点数	
河川の環境条件	地形	平野	10	
		谷底平野	10	
		扇状地	0	
		山間地	5	
	河川幅の狭窄	無	15	
		有	0	
	河床材料	砂	10	
		礫	0	
		露岩・巨礫	10	
	全体河床の低下	有	0	
無		10		
橋りょう(橋脚)の構造条件	河川の湾曲に対する橋脚の位置	直線および曲線内側	15	
		曲線外側	5	
	河川敷に対する橋脚の位置	流水中	0	
		陸地(護岸なし)	10	
		陸地(整備護岸)	25	
		陸地(整備護岸、流路隣接)	15	
	下流方落差	高さ	なし	20
			~1m	5
			1m~2m	0
		形式	2m~	◆
コンクリート			—	
ブロック			—	
変状	変状有り	◆		
	変状無し	—		
施工範囲	河川幅の一部のみ	◆		
	河川幅全体	—		
根入比	直接・杭	根入比1.5を満点、0を0点とする傾斜配点	50	
	ケーソン	根入比3.5を満点、1.0を0点とする傾斜配点	—	
根入れ長の変化	1.5m以上の増減がある	◆		
	増減なし	—		
基礎底面の岩着	岩着と思われる	15		
	岩着	30		
基礎構造形式	直接基礎・木杭	—		
	杭基礎	—		
ケーソン	ケーソン	—		
	その他	—		

評価項目		区分	点数	
防護条件	かご	なし	0	
		不明	0	
	変状	変状有	0	
		変状無	5	
		変状不明	0	
		変状中・一部流出・乱積み	20	
	ブロック	変状	変状中・一部流出・乱積み	5
		連結	変状有	20
	はかま	根入れ	連結	5
			河床>はかま上面	20
変状		はかま下面<河床<はかま上面	10	
張コンクリート	敷設範囲	河床<はかま下面	◆	
		周辺全面	40	
シートパイル	根入れ	2D以上(D:橋脚躯体幅)	20	
		河床>基礎底面	◆	
変状	変状	2D未満(D:橋脚躯体幅)	0	
		変状有り	◆	
変状不明	変状不明	変状不明	0	
		変状不明	0	

特記事項	点数
河川改修	—
環境変化	—
河川の流向と橋脚の向き	—
河口部の特殊な条件	—
被災歴	—
隣接橋りょうの存在	—
その他	—

※各項目の該当する点数を合計し、合計点の少ない橋脚ほど洗掘に対する要注意橋脚と判断する
 ※◆印はその項目に該当する橋脚は合計点に拘わらず要注意橋脚とする
 ※張コンクリートは橋脚周りに部分的に施工されたものを含む
 ※—印は、直接評価に加えないが、調査しておくことが望ましい項目

3. 個別検査における抽出

個別検査では、一次抽出された橋脚を対象としてより詳細な評価を行う必要がある。しかし、洗掘現象は河川特性や橋りょうの構造が複雑に絡み合っており、詳細な評価には様々な情報と高度な専門知識を要する。また、本来は増水時を想定して安全であるか否かを判断することが望ましい。これまで、橋脚基礎の健全性を評価する手法としては、橋脚基礎の根入れ比(根入長さ)と橋脚幅の比)によるものや、衝撃振動試験による健全度指標 κ によるものがある。しかし、これらはいくまで現状の評価であり、将来の状態を予測するものでは必ずしもない。そこで、橋りょうの検査記録による河床状態の変化および出水履歴や河川環境条件の変化等を基に、将来の基礎の状態を推定し、健全性の程度を評価する手法について検討することとした。

3.1 検討概要

主に洗掘や河床低下が見られた橋りょうを対象に、出水履歴や検査記録などの資料収集を行うとともに橋りょうと河川工作物の実態や河川環境の変化を確認するための現地調査を63の橋りょうを対象に行った。調査で得られたデータを基に、統計解析により洗掘への影響に対する各種要因の重み付

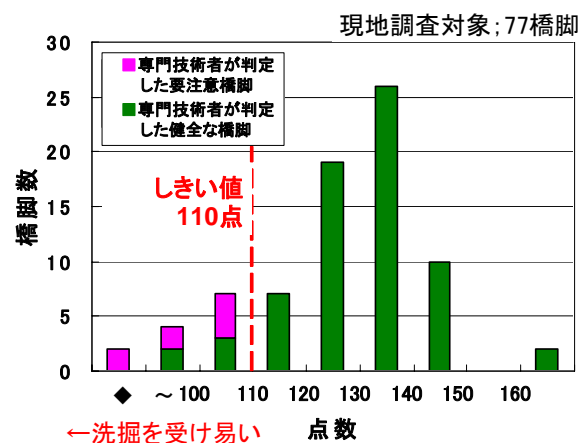


図1 現地調査(77橋脚)による点数別の橋脚数の頻度分布

けの精査を進め、その結果から、後述する洗掘速度や河床低下速度を予測する採点表を作成した。

3.2 洗掘を受けやすい橋りょうの特徴

橋脚の安定性に影響を及ぼした種々の事例から、洗掘を受けやすい橋りょう条件および河川環境条件を検討した結果、2.1 で示した特徴以外に①橋りょう近傍における河川の分合流の存在、②滞筋の変化、③砂州の発達・移動などの河川環境の変化、等が河床低下や橋脚周辺の洗掘に係していることがわかった。

3.3 橋脚の安定性に影響する要因

(1) 橋脚周りの洗掘と河床低下

河川増水時の橋りょう被害は、急激な河床高さの変動(河床変動)が原因となっている。この河床変動は、橋脚周りで起こる「洗掘」と、構造物の有無に関係なく河川特性によって河道全体で起こる「河床低下」とに分けられ、それらが複合して発生している。

(2) 洗掘と河床低下を支配する要因の抽出

洗掘を支配する要因には、水位や流速などの水理条件、河床材料の粒径や比重、橋脚の躯体幅や形状、などがある。また、河床低下を支配する要因には、河床勾配や河道の曲率や幅の変化、河床材料、出水状況などの河川特性の他、河川工事などが考えられる。

3.4 統計解析

統計解析では、3.3(1)および(2)で示した洗掘と河床低下に対して、それぞれの進行速度(cm/年)を目的変数とし、影響すると思われる要因を説明変数として数量化I類解析を行った。解析では、変数減数法により説明変数間での単相関の高い項目を順次取り除くとともにカテゴリスコアが示す傾向が工学的、経験的な傾向とほぼ一致するものを残した。統計解析の対象とした橋りょうは、現地調査を実施した橋りょうのうち、河川諸元が不明なものや十分な防護がなされているもの、洗掘・河床低下の統計値が取得不能なものを除いた49橋りょうとした。なお、ここでの洗掘とは河川横断面における橋脚直近での河床高さの変化をいい、河床低下は河川横断面における最深河床高さの変化をいう。また、速度は正の値が河床の低下を表し、負の値が上昇を表している。

3.5 洗掘要注意橋りょう抽出方法の検討

(1) 採点表

解析結果をもとに、洗掘速度と河床低下速度の予測を行うための項目とカテゴリの点数をまとめた採点表をそれぞれ表2、表3に示す。これらの採点表は評価項目ごとに該当するカテゴリの点数と基本点を合計することで、各々の進行速度(cm/年)が求められる。

表2 洗掘速度の予測採点表

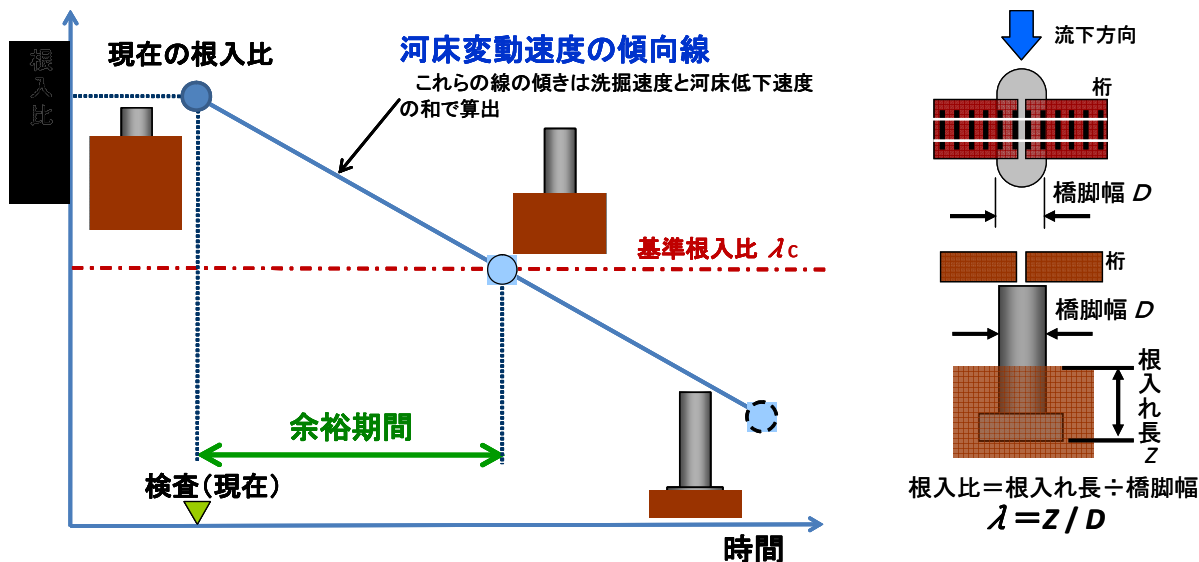
項目名	カテゴリ			
	$S \leq 50$	$50 < S \leq 200$	$200 < S \leq 1000$	$1000 < S$
流域面積 S (km ²)	-11.7	1.6	5.1	22.5
河床材料 d_m (mm)	$d_m < 2\text{mm}$ 0.0	$2 \leq d_m < 30\text{mm}$ 9.2	$30 \leq d_m < 100\text{mm}$ 5.5	$100 \leq d_m$ -6.7
曲率半径 r/B	$0 \leq r/B < \infty$ 1.7	$r/B = \infty$ (直線) -2.0		
河川幅の狭窄	なし -2.2	あり 15.8		
砂州の有無	なし -3.5	あり 0.9		
河積阻害率 P	$P \leq 0.1$ -2.2	$0.1 < P \leq 0.15$ -0.7	$0.15 < P$ 4.7	
射流・常流	射流 16.0	常流 -5.1		
平均年最大流量の出現頻度 N (回/年)	$N \leq 0.66$ 2.5	$0.66 < N$ -6.9		
基本点	18.8 (cm/年)			

表3 河床低下速度の予測採点表

項目名	カテゴリ			
	$d_m < 2\text{mm}$	$2 \leq d_m < 30\text{mm}$	$30 \leq d_m < 100\text{mm}$	$100 \leq d_m$
河床材料 d_m (mm)	-2.0	-2.2	8.5	-8.1
曲率半径 r/B	$0 \leq r/B < \infty$ 2.1	$r/B = \infty$ (直線) -2.5		
河床縦断勾配 G	$G \leq 1/400$ -5.3	$1/400 < G \leq 100$ -2.8	$100 < G$ 8.8	
河川幅の狭窄	なし -2.6	あり 18.9		
砂州の移動の有無	なし 2.0	あり -4.9		
分合流の有無	なし -6.0	あり 4.9		
低水護岸の有無	なし -4.7	あり 2.8		
近傍での河川工事・橋梁の有無	なし -0.9	あり 4.8		
平均年最大流量の出現頻度 N (回/年)	$N \leq 0.66$ -1.1	$0.66 < N$ 3.2		
基本点	6.6 (cm/年)			

(2) 河床変動速度と洗掘要注意橋りょう

将来の橋脚周りにおける河床高さは「河床変動速度(cm/年)」から推定する。ここで、河床変動速度は「洗掘」と「河床低下」それぞれの進行速度の和として求める。洗掘災害発生の危険性は、実測した現在の根入比(根入れ長 Z /橋脚幅 D)を基に、河床変動速度から求められる余裕時間で評価する。余裕時間は現在の根入比が基準根入比 λ_c を下回るまでと予測される期間に相当し、余裕時間が短いものほど洗掘被害を受けやすい橋りょうとして評価する(図2)。



※ 検査ごとの根入比(実測)から、基準根入比を下回るまでの余裕期間を算出

図2 河床変動速度予測後の評価イメージ

4. 洗掘要注意橋脚抽出手法のフロー

洗掘要注意橋脚を抽出する一連の作業の流れを図3に整理した。全般検査では管内の全橋りょうを対象に一次抽出用の採点表を用いた評価を行い、そこで選ばれたものを対象に、将来の河床変動速度を予測した上で、現状の根入比(根入れ長)との比較から健全性を評価判定するものである。

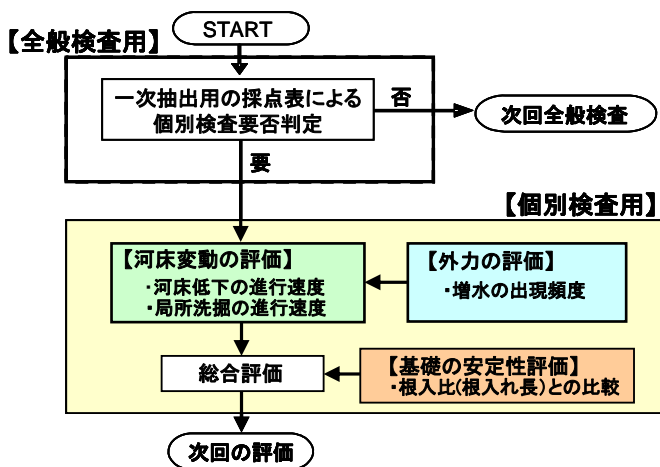


図3 洗掘要注意橋脚抽出手法のフロー

5. おわりに

被災事例や検査記録、出水歴を基に統計解析により洗掘への影響に対する各種要因の重み付けの精査を行い、洗掘要注意橋りょうの抽出手法の提案を行った。今回、提案した手法は目視調査を中心とした一次抽出のための採点表と将来の河床変動(河床高の変化)を考慮して評価するものである。また、この評価手法は現場技術者が平易に使えることを目指しており、洗掘に対する評価に一定のルールを示したものである。今後、事業者による試行の結果などを参考に、維持管理の実務に適した見直しを図っていきたい。

【文献】

1) 鉄道総合技術研究所編：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），pp.99-108，2007年1月