

洗掘災害発生要因の分析と洗掘要注意橋りょう抽出手法

佐溝 昌彦* 輿水 聡*
森 泰樹** 渡邊 諭*

An Estimating Method for Scouring Apprehended Bridge Piers and the Analysis of the Occurrence Factor

Masahiko SAMIZO Satoru KOSHIMIZU
Taiki MORI Satoshi WATANABE

In order to prevent scouring-related damage under flood condition, bridge pier structures are inspected to judge whether or not repairs or remolding are required. In this paper, we have created two rating tables for application in estimating method for scouring apprehended bridge piers for inspections. One is for primary extraction as used in general inspections; another is for secondary extraction in detailed inspections of individual bridge piers extracted from the general inspections.

キーワード：検査，土木保守，橋脚，統計解析，河床低下，洗掘

1. はじめに

河川増水時には流水による橋脚周辺地盤の洗掘や河床低下の影響で橋脚基礎の安定性が低下し、橋脚が傾斜したり倒壊したりする場合がある。こうした河川増水時における橋りょうの洗掘災害を防止するためには、橋りょうの健全性を定期的に確認する検査が欠かせない。検査では、まず目視による検査（全般検査）で健全性の概略評価を行い、さらに必要な箇所では、詳細な検査（個別検査）により健全性の詳細評価や措置の要否について検討を行う。これまで、洗掘に対して注意すべき橋りょうの条件や洗掘が発生しやすい条件についてはいくつか報告^{1)~4)}されている。しかし、これらは評価手法としては定量的ではないことや、適用に際して高度な河川工学上の知識が必要であることなどから、鉄道の保守現場で十分に活用されるまでには至っていない。このため、鉄道の現場技術者が「洗掘を受けやすい橋りょう」を災害が起こる前に客観的かつ平易に抽出できる、合理的な手法が必要といえる。

そこで、保守現場で平易に使い、かつ定量的に洗掘要注意橋りょうを抽出する手法を開発した。この手法は、すべての橋りょうを対象に行う一次評価と、それで選ばれた橋りょうを対象に行う二次評価とで構成されている。一次評価は、主に目視を中心とした簡易な調査に基づき評価する採点表を用いて行うもので、全般検査段階での適用を想定している。二次評価は、より詳細な調査に基づき評価する採点表を用いて行うもので、個別検査段階での適用を想定している。

* 防災技術研究部（地盤防災）

** 防災技術研究部（地盤防災）（現、西日本旅客鉄道株式会社）

ここでは、過去の被災事例に基づき洗掘災害の発生要因を整理するとともに、一次評価用の採点表および二次評価用の採点表の提案に至るまでの検討内容と洗掘要注意橋りょう抽出手法の概要について述べる。

2. 橋りょうの洗掘災害事例分析

2.1 橋りょうの洗掘災害の背景

国鉄時代に収集された洗掘災害事例（108件）の分析によれば、鉄道橋りょうにおける洗掘災害の発生が多い地形は溪流、扇状地、谷底平野であり、基礎形式では直接基礎形式の橋脚である⁵⁾。こうしたことの背景には、①国内の鉄道が整備された明治時代から昭和初期にかけては、橋りょうの架設技術が未熟なため、建設される橋りょうは支持力が得やすく橋りょう長を短くできる地形を選び、短支間で多橋脚かつ直接基礎形式で根入れが浅いものが多く、これらが現在も供用されていること、②高度成長時代の河床材料の採取、さらに治山事業の進捗、ダム建設、河道整備などによって河川を流れる土砂量そのものが減少し、河床高が低下することで根入れがより浅くなる傾向にある、などの点が挙げられる。

2.2 災害事例からみた特徴

橋りょうの洗掘災害例には、①岩着していると思われる基礎部が洗掘された例⁶⁾、②河川改修や河川整備による河道条件の変化が見られる例⁷⁾、③河床全体の低下が経年的に見られる例^{6), 7)}、④河道の幅が橋りょう付近で狭隘となっている例⁸⁾、⑤流路に隣接する河岸に位置する橋脚が被災する例（図1左）、⑥橋りょうの下流

特集：防災技術

方に大きな落差が見られる例⁷⁾(図1右), ⑦橋脚周りの防護工が変状している例, などが挙げられ, 河川の特徴が洗掘の原因となっている事例が多いことがわかる。



図1 洗掘災害事例からみた特徴の例

2.3 洗掘災害の原因

河川増水時の橋りょう被害の多くは, 橋脚の安定にとって支配要因である基礎の根入れ長が急激に変化することで発生している。つまり急激な河床高さの変動(河床変動)によって引き起こされている。この河床変動は, 橋脚などの構造物の周りで水流が複雑になることで起こる「洗掘(局所洗掘)」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」とに分けられる。橋りょうの洗掘災害はそれらが複合して発生することが多い。また, 局所洗掘は構造物に起因する現象であり, 河床低下は河川特性によって起こるため, 影響を与える要因が河川ごとに異なる。局所洗掘の影響要因には, 水位や流速, 河床材料の粒径や比重, 橋脚の躯体幅や形状, などがある。一方, 河床低下の影響要因には, 河床勾配や河道の曲率, 川幅の変化, 河床材料, 出水状況や河川工事, などが挙げられる。

2.4 河床変動に関する環境変化の具体例

河床変動が著しい橋りょうを例として, その近傍にお

ける過去からの河川環境の変化を年代ごとの空中写真から判読し, 河床変動を助長する要因について検討した結果について紹介する。

図2に示すA橋りょうでは, 1975年当時は滞筋(平時における主な水の流れの道筋)が右岸側に見られたが, 1988年には滞筋が左岸側に移動するとともに橋りょうの上下流で砂州の形成や移動が見られる。さらに1996年には右岸側の砂州に植生が繁茂し右岸側の流路が喪失するなど砂州の固定化が進行している。また, A橋りょう付近の河川幅は上流の橋りょう付近に比べて広がっていることから, 砂州を形成しやすい環境にあることがわかる。さらに, 近年は低水護岸が整備されたことで, 流路の固定化がより進行したものと考えられる。こうした砂州の固定化は滞筋の固定につながり橋脚周辺での洗掘を助長することがこの例からわかる。

3. 全般検査における一次評価

3.1 評価項目の選定

一般に, 河川橋脚における洗掘現象に関係の深い要因としては, 既往の洗掘深予測式^{5), 9), 10)}に説明変数として使われているものが知られている。具体的には, 河床材料の粒径, 河床縦断勾配, 水位・流速, 橋脚形状や橋脚幅等である。今回作製した一次評価用の採点表は, 洗掘現象に関係すると考えられる条件を, 表1で色分けした3つに分類した上で, 表1に示すように評価項目を選定した。評価項目は前述の災害事例からみた特徴を参考に洗掘への影響が大きいと考えられている要因を河川工学の高度な専門知識を持っていなくても使えるように配慮した。

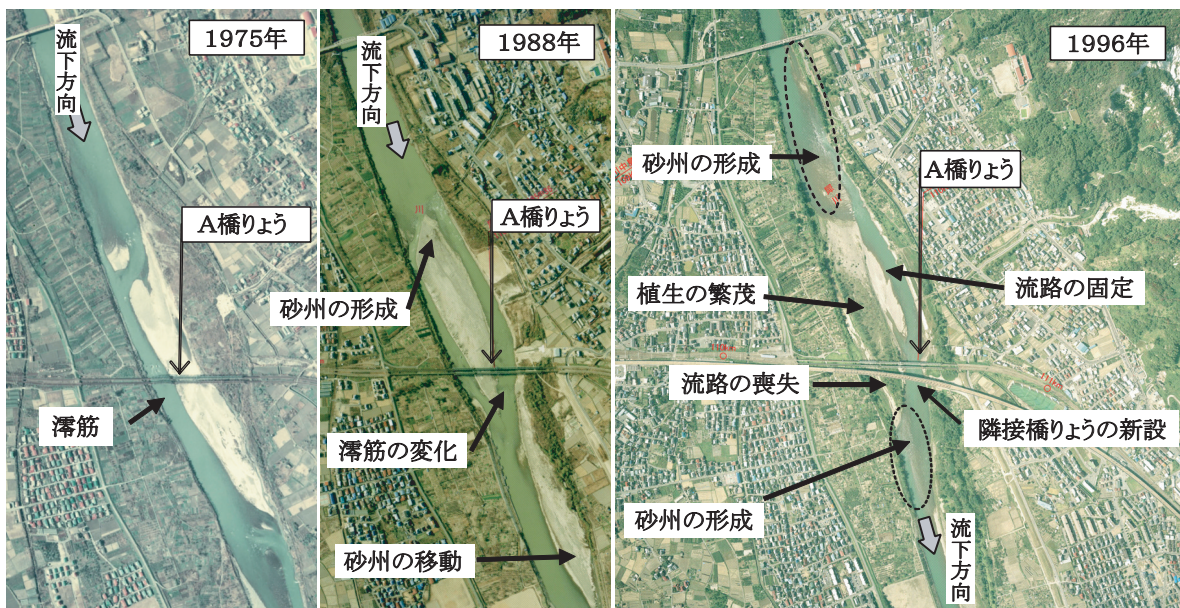


図2 河床変動が認められた橋りょう近傍での河川環境の比較例(A橋りょう)

表1 一次評価用採点表の評価項目

条件	評価項目
河川的环境条件	①地形, ②河川幅の狭窄, ③河床材料, ④河床全体の低下
橋りょう(橋脚)の構造条件	⑤河川の湾曲に対する橋脚の位置, ⑥河川敷に対する橋脚の位置, ⑦下流方落差, ⑧根入れ比, ⑨基礎の岩着
防護条件	⑩防護工の有無と工種, ⑪変状の程度, ⑫河床面と基礎底面との高低差

3.2 採点表の作成方法

表1に示す評価項目ごとに表2に示すような区分を設定し、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い、仮の点数配分による採点表(素案)を作成した。その上でこの採点表(素案)に基づいて無作為に選んだ77橋脚で採点を試行することで点数の再配分を行い、一部の評価項目と区分の配点を見直し、表2に示す点数配分を決定した。

この採点表によって77橋脚を再評価した。図3は採点表による点数の合計である評価点別の橋脚数の頻度分布である。なお、図中の赤色と緑色の区分は、橋脚の洗掘に関する専門技術者が経験的に判断した「洗掘要注意橋脚」と「健全な橋脚」である。

3.3 採点表による評価方法

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

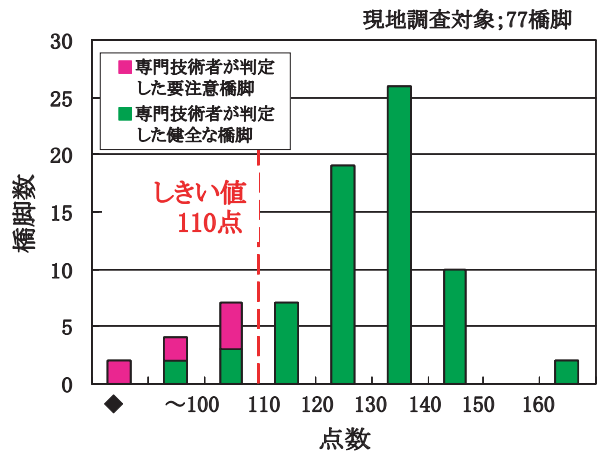


図3 再評価した点数別の橋脚数の頻度分布¹²⁾

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2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。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。

本方式による採点と専門技術者の経験的判断とを比較した結果、少なくとも対象としたもののうち、詳細な調査が必要と思われる橋りょう(橋脚)の評価点はすべて110点未満であった(図3参照)ことから、洗掘要注意

表2 一次評価用の採点表¹¹⁾

評価項目	区分	点数		
河川的环境条件	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	
	河床全体の低下	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	0	
		流水中	5	
	河川敷に対する橋脚の位置	陸地(護岸なし)	10	
		陸地(護岸なし, 流路隣接)	0	
		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
2m~			◆	
形式		コンクリート	-	
		ブロック シートパイル等	-	
変状	変状有り	◆		
施工範囲	河川幅の一部のみ	◆		
根入比	直接・杭ケーソン	根入比1.5を満点, 0を0点とする傾斜配点	50	
		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	◆		
基礎の岩着	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	-		

評価項目	区分	点数		
防護条件	なし	なし	0	
		不明	0	
	かご	変状有	0	
		変状無	5	
		変状不明	0	
	ブロック	変状	変状無	20
			変状中・一部流出・乱積み	5
		連結	変状大・流出	◆
			変状不明	0
	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	◆	
		変状有り	◆	
	シートパイル	変状不明	0	
		周辺全面	40	
シートパイル	根入れ	2D以上(D:橋脚躯体幅)	20	
		2D未満(D:橋脚躯体幅)	0	
	変状	河床>基礎底面	20	
		河床<基礎底面	◆	
特記事項	-	変状有り	◆	
		変状不明	0	
		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

特集：防災技術

橋脚の閾（しきい）値を110点とした。すなわち、表2に示す採点表によって合計点が110点未満もしくは重要な項目の要因の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されることになる。

4. 個別検査による二次評価

洗掘現象は河川特性や流水の諸条件、橋りょうの構造条件が複雑に絡み合って起こる現象である。そのため、表2による判定により一次抽出された橋りょうに対して洗掘被害の発生する危険度を的確に評価するには目視を中心とした簡易な調査による評価では十分とはいえない。そこで、次の段階では洗掘に対して注意を要する橋りょうを定量的に評価し抽出できるより詳細な検査手法が必要となる。抽出に際しては、一次評価により抽出した橋りょうを対象に、個別の橋りょうが洗掘被害を受ける潜在的な危険度とともに、河床変動の進行度合いも考慮することとした。抽出方法の検討に際しては、洗掘被害を受けた鉄道橋りょうの構造および河川的环境条件等について現地調査等を実施して収集分析した。このデータを基に、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けを精査した。

4.1 解析データ収集のための調査

4.1.1 調査対象選定の考え方

現地調査の対象となる箇所は、最近の検査記録から洗掘や河床低下あるいは滞筋の変化が確認された橋りょうおよび比較のため河床変動が生じていない橋りょうを含めるとともに、河川の規模や橋りょうが架かる河川の位置（上流域から下流域）についてもできる限り偏りをなくした。この結果、甲信越地方と東北地方から69橋りょうを調査対象として選定した。

4.1.2 調査項目

調査項目は、2.2および3.1で述べた河川橋りょうにおける洗掘現象に関係の深い要因を参考として選定した。また、検査記録や河川管理者の資料からは、1) 橋脚の寸法形状、2) 基礎形式、3) 根入れ長、4) 防護工の有無、5) 流域面積、6) 計画高水流量、7) 平均年最大流量、8) 河床材料、9) 平均粒径、などについて調査するとともに、補完する意味から現地調査でも資料の記載内容を確認した。

4.1.3 現地調査の概要

現地調査では、過去の空中写真から得られた情報と現況との比較による環境変化の把握、あるいは河川工作物の有無や状態について確認した。調査範囲は橋りょうを中心に上下流とも川幅の5ないし10倍（数百m～1km程度）を対象とした。

具体的な調査項目は、1) 近傍の水位観測地点、2) 河床勾配（橋りょう地点）、3) 河床材料、4) 河床材料の平均粒径、5) 河川の断面形状、6) 川幅（低水路・堤防幅）、7)

川幅変化の有無、8) 砂州の有無や移動の有無、9) 最新河床高の変化、10) 流れに対する橋脚の角度、11) 落差工の有無、12) 粗度係数、13) 流路の湾曲、14) 近接橋りょうの有無と構造、15) 河川工事の有無と内容、などである。

4.2 局所洗掘と河床低下を予測するための統計解析

2.3で述べたように、橋りょうの洗掘災害は局所洗掘と河床低下が複合して発生するケースが多く、最も厳しい場合には河床低下した上で局所洗掘することが考えられる。また、影響を与える要因が両者で異なるため、別々に推定した上で総合的に評価することとした。そこで、局所洗掘と河床低下の進行速度を個別に予測するための統計解析を実施した。解析方法は、局所洗掘の速度 Se (cm/年) と河床低下の速度 Srd (cm/年) を目的変数とし、それぞれに影響すると思われる要因を説明変数とする数量化I類解析とした。なお、それぞれの定義は図4に示すように、橋脚直近の同一地点における河床高さの変化（局所洗掘）と同一橋りょうの河床横断面内における過去および現在の最深河床高さの差（河床低下）とした。

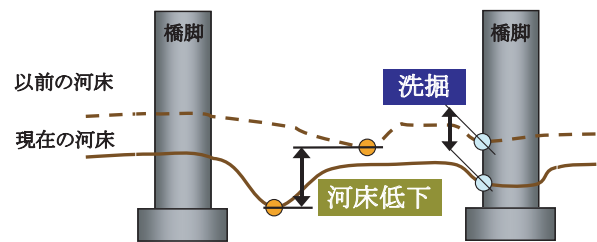


図4 洗掘と河床低下のイメージ

4.2.1 解析対象橋りょうの選定

統計解析の対象とした橋りょうは、現地調査を実施した69橋りょうのうち、河川諸元が不明な橋りょう、三面張りなど十分な防護がなされていたもの、あるいは洗掘や河床低下の記録が収集できなかったものを除いた49橋りょうとした。また、対象とした橋りょうにおける局所洗掘と河床低下の速度の頻度分布を図5と図6に示す。なお、正の値が河床の「低下」を表し、負の値は河床の「上昇」を表している。

4.2.2 目的変数

解析にあたり、目的変数として局所洗掘の速度と河床低下の速度の二つを取り上げた。ここで、各目的変数の定義は以下の通りである（図4）。

- ・局所洗掘の速度：橋脚周りで最も局所洗掘された位置での1年あたりの変動量
- ・河床低下の速度：河床断面のうち、最も低い河床位置での1年あたりの変動量

これら二項目は検査で実施した河床高さの測定結果から読み取り、それぞれの速度は河床高さの差を読み取った二つの期間（経過年数）で除して求めた。

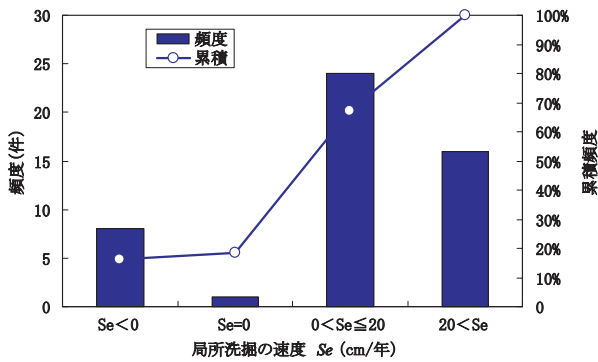


図5 局所洗掘の速度の頻度分布

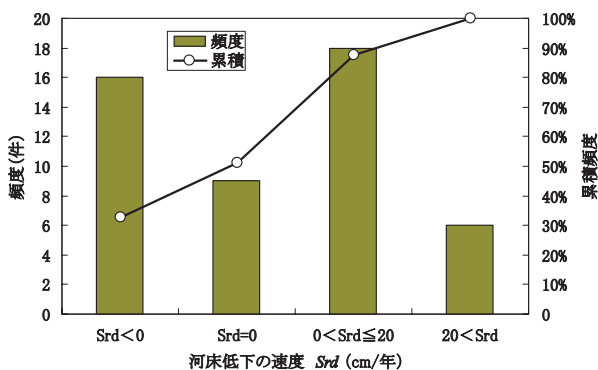


図6 河床低下の速度の頻度分布

4.2.3 外力の検討

局所洗掘は水流が橋脚などの構造物に遮られることで発生し、流速が速いほど大きくなることから、その発生には出水量が大きく影響する。また、河床低下は増水時に河床材料が移動することで進行する。つまり、両者の評価には現象を引き起こす外力として作用する出水条件が重要な要因と考えられる。しかし、被災時の水位や出水量の記録は残っていない場合が多い。そこで、河川の規模を表す「計画高水流量」と、主に河川の基本的な流況を左右する「平均年最大流量」という二つの値を「外力」を示す指標とした。なお、両者は一般に河川管理者から提供を受ける情報であるが、全ての河川で求められていない。そのため今回の解析では、全橋りょうに対して簡易な1段タンク型貯留関数モデル¹³⁾による流出解析により水文統計値を求めた。流出解析では、対象橋りょうの上流域にあるアメダス観測点から1カ所選定し、ここでの雨量値を流域における雨量の代表値とした。また流域面積は対象橋りょうより上流とし、国土地理院発行の20万分の1地形図から求めた。

この流出解析により、1984年から2006年までの23年分のアメダス時間雨量データから各年の年最大流量を求め、その結果から、平均年最大流量を算定した。また、計画高水流量については、既知の計画高水流量との相関が高かったことから各河川の超過確率100年の洪水流量をこれに変わる指標とした。ここで、年最大流量は暦年での最大流量値、平均年最大流量は各年の最大流量値の観測年数での平均値である。

4.2.4 解析結果

解析結果から求めた実績値と予測値との関係について、図7に局所洗掘速度を図8に河床低下速度を示す。それぞれ重相関係数は0.511と0.530であり、相関が高いとはいえないものの、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、経験的な傾向と一致するものを残した結果である。

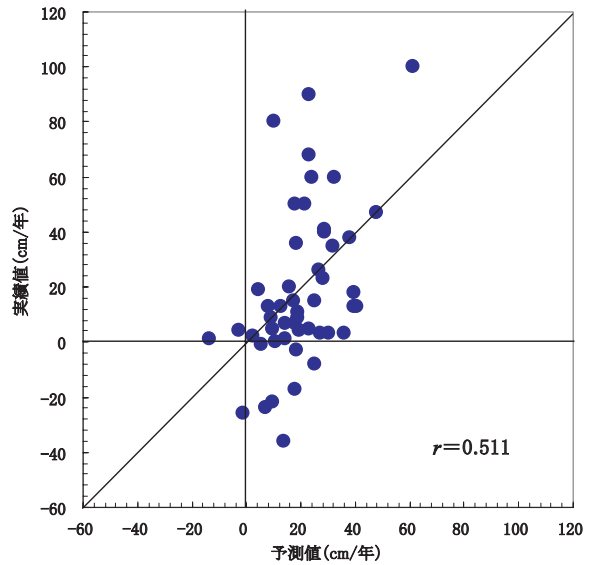


図7 局所洗掘速度の実績値と予測値との比較

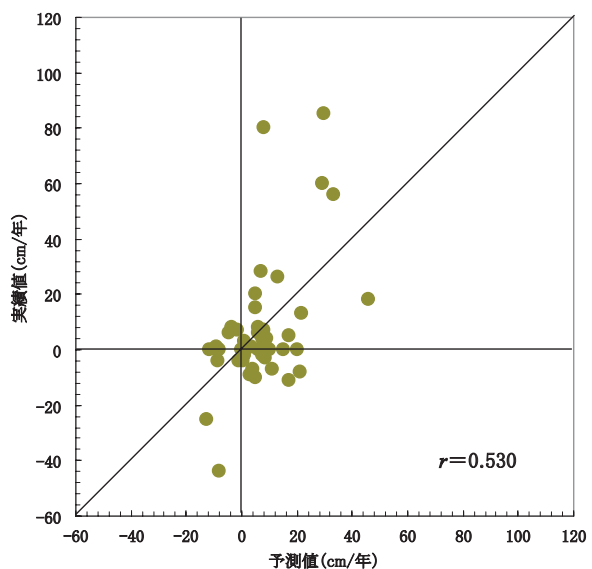


図8 河床低下速度の実績値と予測値との比較

4.3 洗掘要注意橋りょう抽出方法の検討

4.3.1 採点表

解析結果をもとに、説明変数を評価項目とする、局所洗掘速度と河床低下速度の予測を行うための採点表をそれぞれ表3、表4のように定めた。なお、局所洗掘速度の予測採点表を提案するにあたり、河床材料が2mm未満のサンプル数は極めて少なく、統計的に偏った結果となる可能性が

特集：防災技術

高いと判断し、現時点では配点を0.0とすることとした。

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) を求める。

表3 局所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_s (mm)	$d_s < 2$	$2 \leq d_s < 30$	$30 \leq d_s < 100$	$100 \leq d_s$
	0.0	9.2	5.5	-6.7
曲率半径 r/B	$0 \leq r/B < \infty$	$r/B = \infty$ (直線)		
	1.7	-2.0		
河川幅の狭窄	なし	あり		
	-2.2	15.8		
砂州の有無	なし	あり		
	-3.5	0.9		
河積阻害率 P	$P \leq 0.1$	$0.1 < P \leq 0.15$	$0.15 < P$	
	-2.2	-0.7	4.7	
射流・常流	射流	常流		
	16.0	-5.1		
平均年最大流量の出現頻度 N (回/年)	$N \leq 0.66$	$0.66 < N$		
	2.5	-6.9		
基本点	18.8 (cm/年)			

表4 河床低下速度の予測採点表

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

4.3.2 要注意橋りょう抽出方法と考え方

抽出方法の適用のイメージを図9に示す。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 , 図9右参照) を基に、洗掘と河床低下それぞれの進行速度の和である「河床変動速度 (cm/年)」から求められる余裕時間で評価する。余裕時間とは現在の根入比が基準根入比 λc を下回るまでの期間のことで、余裕

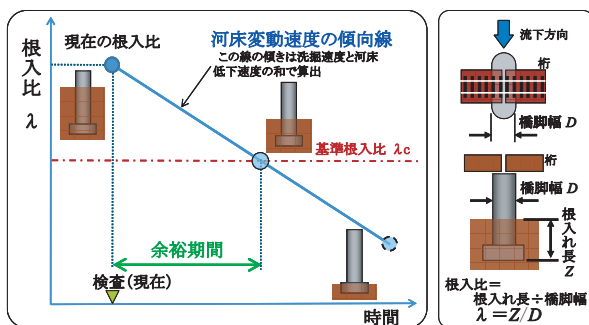


図9 洗掘要注意橋りょう抽出方法の適用イメージ

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。この余裕期間は個別検査ごとに実態に合わせて見直すものとする。

また、ここでいう基準根入比は橋脚基礎の力学的な安定性や予測洗掘深などを考慮して適宜定めるものとし、具体的には橋脚幅の1.45倍⁵⁾とすることを想定している。

5. おわりに

河川増水時における洗掘に対して弱点となる橋脚の選定を目的とする、全般検査用の一次評価採点表と個別検査用の二次評価採点表による抽出手法を提案した。この手法は現場技術者が平易に使えることを目指しており、橋脚の洗掘に対する評価を定量的に行う上での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、必要により維持管理の実務に適した見直しを図っていく予定である。

文献

- 1) 新井秀雄, 坂本静穂: 橋脚部の洗掘および洗掘計についての研究紹介, 鉄道技術研究所速報, No.69-1010, pp.2-3, 1969.4
- 2) 三上正憲: 橋脚等の洗掘に対する運転規制方法の改善, 日本鉄道施設協会誌, Vol.38, No.1, pp.43-45, 2000.1
- 3) 青木照幸: 橋脚・護岸の洗掘に伴う運転規制方法の改善, 日本鉄道施設協会誌, Vol.38, No.2, pp.15-17, 2000.2
- 4) 道路防災点検の手引き編集委員会: 道路防災点検の手引き(豪雨・豪雪等), 財団法人保全技術センター, pp.69-75, 2007.9
- 5) 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, 鉄道技術研究所報告, No.1307, pp.118-127, 1986.3
- 6) 田口 均, 安東豊弘: 田沢湖線六枚沢橋りょう橋脚洗掘災害, 日本鉄道施設協会誌, Vol.34, No.6, pp.30-32, 1986.6
- 7) 西澤幸安: 平成9年度災害の概要-JR東日本-, 日本鉄道施設協会誌, Vol.36, No.6, pp.13-14, 1998.6
- 8) 山口 薫, 中島秀寿: 予讃線高松~香西間ハゼ川橋りょう洗掘災害, 日本鉄道施設協会誌, Vol.36, No.6, pp.26-28, 1998.6
- 9) 中川博次, 鈴木幸一: 橋脚による局所洗掘深の予測に関する研究, 京都大学防災研究所年報第17号B, 1974.4
- 10) 須賀堯三, 西田祥文: 橋脚による局所洗掘深の予測と対策に関する水理的検討, 土木研究所資料, 第1797号, 1982.3
- 11) 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, 2007.1
- 12) 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, pp.28-30, 2005.11
- 13) 国土交通省・北海道開発局建設部河川管理課: 実時間洪水予測システム理論 解説書, (財)北海道河川防災研究センター・研究所, p.7, 2004.5