

洪水による橋梁下部構造の安定性評価に関する基礎的検討

早稲田大学 学生会員 ○鈴木 瞭
早稲田大学 正会員 佐藤 靖彦

1. 研究背景

日本では近年、局地的な豪雨や台風の接近により水害が多発している。水害による橋梁の被害額は年々増加傾向にあり、早急な対策が求められる。ここでは洪水によって生じる被害のうち、河川内で進行し、ある時突然橋脚の沈下や倒壊をもたらす洗掘に焦点をあてる。昨今の洗掘被害の状況を考えると、既存の洗掘深予測式や設計方法が実情と乖離している可能性がある。著者らは、今後、合理的な対策手法を構築することを念頭に、本論において、課題の抽出を目的として洗掘を受けた橋脚の安定性評価法を検討する。

2. 既往の研究による洗掘深予測式

河川内で生じる洗掘は、進行状況を外部から判断することが困難であるため、洗掘深の予測が橋梁設計や管理において必要である。洗掘深予測の研究は50~60年ほど前から、たとえば、Laursen¹⁾や中川ら²⁾によって盛んに行われてきた。しかし、洗掘の複雑さゆえか、正確な予測手法が確立されているとは言えず、そのため、近年では予測の研究は五十嵐³⁾の研究などがあるものの、もっぱら石野ら⁴⁾や大前ら⁵⁾によって行われているような実際に起きた洗掘の被害に関する研究が大多数である。

表1にこれまで提案されてきた主な洗掘深推定式を示す²⁾³⁾⁶⁾。これらを比較すると、統一的なパラメータが見出されていないことが読み取れる。そこで、本研究では、実際に洗掘によって橋脚が沈下した橋梁A(図1)を対象に、各予測式により洗掘深を計算した。その値は表1の右列に示されている。この結果より、いずれの予測式も誤差が大きく、過大評価する式もあれば過小評価する式もある。パラメータの種類や数による傾向も見られず、本検討のみでは洗掘深に大きな影響を与えるパラメータを抽出できない。

3. 洗掘された橋脚の安定性

今後洗掘の対策法や設計基準を構築していく上で、
キーワード 洗掘、橋梁、橋脚、安定性、河川

表1 既往の研究による洗掘深予測式

提案者	予測式	実測値/ 計算値
P. Andru	$z_s = 0.8h$	1.88
Z. S. Tarapore	$z_s = 1.35h \quad h_0/D > 1.15$ $z_s = 1.17D \quad 0 < h_0/D \leq 1.15$	0.90
E. M. Laursen	$\frac{D}{h_0} = 5.5 \frac{z_s}{h_0} \left[\left(\frac{1}{11.5} \frac{z_s}{h_0} + 1 \right)^{1.7} - 1 \right]$	1.58
H. W. C. Breusere	$z_s = 1.40D$	1.43
J. Larras	$z_s = 3.33KD^{\frac{3}{4}}$	0.63
H. W. Shen	$z_s = 0.0222Re^{0.619}$	0.76
村上	$\frac{z_s}{D} = 1.45 \frac{h_0}{D} \quad \frac{h_0}{D} < 1.0$	1.38
国鉄	$z_s = 1.6D$	1.25
土研	$\frac{z_s}{D} = f\left(\frac{h_0}{D}, \frac{h_0}{d_m}, Fr\right)$	1.33

z_s : 推定洗掘深 h_0 : 水深 D : 橋脚幅
 d : 河床材料粒径 K : 橋脚形状による係数
 Re : レイノルズ数 Fr : フルード数



図1 橋梁A

洗掘を受けた橋脚の安定性評価手法が重要となる。本研究では、一般的な直接基礎の橋脚を例にとり、洗掘深 z_s を徐々に大きくした際の安定性の検証を地盤と橋脚に分けて行う。

まず洗掘が進行した際の地盤の安定性について考える。洗掘がフーチングに達していない時は図2(a)のように洗掘深と同じだけ一律に河床低下したものとみなし、フーチングに達した以降は図2(b)のように洗掘で生じた箇所を斜面と見立てモデル化し、斜面安定として計算する。実際に洗掘が進行するとフ

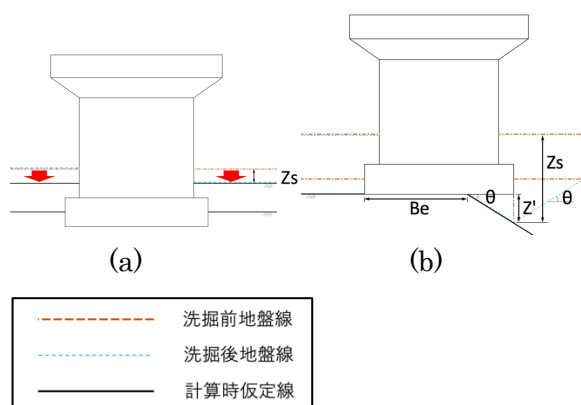


図2 地盤の安定性評価のモデル化

ーチング底面も洗掘されるため、洗掘が進行するにつれて斜面を図中左へと移動させる。支持力は、道路橋示方書の地盤の許容支持力式を用いた。地盤の支持力が失われる時の力を地盤の最大安定力と呼ぶこととする。

続いて、洗掘がフーチング底面の荷重重心よりも大きく洗掘された場合に考慮すべき橋脚の安定性について検討する。ここでは、大前ら⁵⁾の検討を参考にした。具体的には、図3のようにモデル化し、転倒モーメント2種類と抵抗モーメント3種類について考えた。ここでは、転倒モーメントと抵抗モーメントが釣り合う時の死荷重($W+W'$)の値を橋脚の最大安定力と呼ぶ。

以上より得られた結果を図4に示す。地盤および橋脚の最大安定力 V_p は、洗掘深 Z_s の増加とともに緩やかに低下し、フーチング底面に洗掘が達した $Z_s=4$ の時に急激に低下する。つまり、根入れが0となると最大安定力が大きく低下する。また、フーチング底面の荷重重心位置まで洗掘が進行すると、10cm程度のさらなる洗掘の進行で橋脚の最大安定力が急

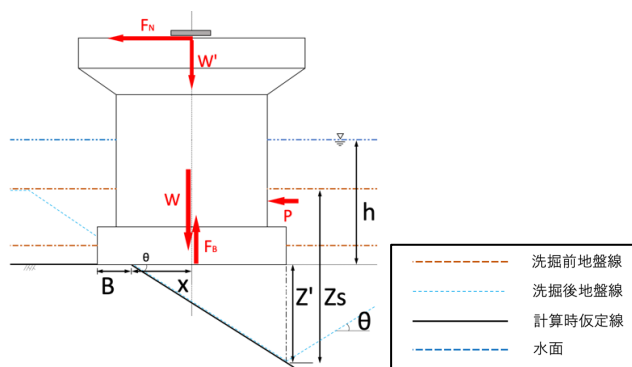


図3 橋脚に加わる外力

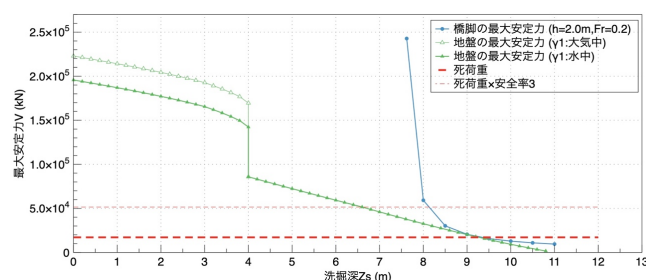


図4 洗掘深と地盤・橋脚の最大安定力の関係

激に失われるため、この点を踏まえ、洗掘深の予測精度を論じる必要がある。また、今回の検討では考慮しなかったが、上載荷重の偏りにより重心位置の移動に伴うモーメントの変化も考えられる。これら実際の状況を考えた検討が今後洗掘への対策手法を構築するうえで留意すべき要件である。

4. まとめ

既存の洗掘深予測式が橋脚の転倒可能性に及ぼす影響や必要な精度に関して、ケーススタディを通じて明らかにした。今後はこれらを元に洗掘の解析モデルを作成し、より実用に向けた評価手法を検討していく。

参考文献

- 1) E. M. Laursen : An Analysis of Relief Bridge Scour, Journal of the Hydraulics Division, 1963, Vol. 89, Issue 3, p.93-118
- 2) 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, 17 巻 B 号, p.725-751, 1974
- 3) 五十嵐保 : 円柱橋脚の局所洗掘深さの予測, 水利工学, 58 巻, p.117-142, 2014
- 4) 石野和男, 榎田真也, 前野詩朗, 玉井信行 : 礫床河川において洪水中に発生した橋脚の沈下原因の究明および対策工の研究, 水工学論文集, 第 54 巻, 2010 年 2 月
- 5) 大前秀明, 加藤博 : 天竜川上流における橋梁の局所洗掘について
- 6) 佐溝昌彦 : 河川増水時における鉄道橋脚の被害の実態と橋脚の安定性評価に関する研究, 国士舘大学, 2014, 博士論文