

洗掘被災橋脚の簡易安定性評価に関する研究 その1 ～洗掘の影響を考慮した旧式直接基礎橋脚の安定性簡易評価法の開発～

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○萩谷 俊吾 笠原 康平 横山 大智 中島 進

1. はじめに

鉄道では河川管理施設等構造令などの河川管理に関する技術的基準が整備される以前に建設された河川橋りょう橋脚（以下、旧式橋脚という）の洗掘による傾斜等の被害が続発している。また、近年では早期運転再開を目的とした洗掘被災橋脚の再供用による応急復旧を行った事例^{例え1)}が増加している。

このような背景から、洗掘被災橋脚の再供用可否の暫定的な判断方法として、基礎の安定性を簡易的に評価する方法（以下、簡易評価法という）の開発が望まれている。本稿では、直接基礎の旧式橋脚を対象として、簡易的に洗掘の影響を考慮した基礎の安定性を評価する方法について検討した結果を報告する。

2. 洗掘による基礎の不安定化機構と簡易評価法の概要

筆者らが鉄道橋りょうの洗掘被災事例を分析した結果、洗掘による橋脚の主な被災形態は沈下を伴った河川の上流方向への傾斜であった²⁾。また、被災の多くは降雨や水位の運転規制による列車運転抑止中に発生している。これらのことから、洗掘による基礎の不安定化機構は橋脚や桁等の死荷重に対する基礎の鉛直支持力の不足に起因すると考えられる。

図1に簡易評価法の模式図を示す。上記を踏まえ、簡易評価法では固定死荷重と鉛直支持力の比により洗掘を受けた橋脚基礎の安定性を評価する。洗掘の進行によって低下する鉛直支持力は、鉄道の設計標準³⁾の直接基礎の支持力算定式（後述の式(1)、式(2)）を机上や現地で容易に取得できる情報を用いて手計算で算定できる内容に変換し、また斜面上の基礎の支持力評価法⁴⁾を組み合わせることで支持地盤が流出して基礎底面が露出した条件においても適用可能とした簡易式（後述の式(3)）により算定する。なお、式(1)、(2)から式(3)への換算において、 $f_{ry} \cdot f_{rq}$ は現状では0.33（安全率3に相当）、 $I_y \cdot I_q$ は1（荷重の傾斜なし）、 $\gamma_{e1} \cdot \gamma_{e2}$ は 9kN/m^3 （水中単位体積重量）としている。

$$R_{vd} = q_{vd}A' + \gamma_{e2}D_fA' \quad \dots \text{式(1)}, \quad q_{vd} = f_{ry}I_y\beta_bB_e\gamma_{e1}N_y + f_{rq}I_q\gamma_{e2}D_f(N_q - 1) \quad (\text{砂質土の場合}) \quad \dots \text{式(2)}$$

$$R_v = [\{ 1.5 - 0.6(B/L) \} B N_y + 3 D_f (N_q + 2)] B L \delta \quad (\text{砂質土の場合}) \quad \dots \text{式(3)}$$

ここに、 R_{vd} ：設計鉛直支持力度、 q_{vd} ：増加荷重に対する設計鉛直支持力度、 A' ：フーチング底面の有効面積、 $f_{ry} \cdot f_{rq}$ ：地盤抵抗係数、 D_f ：フーチング底面の有効根入れ深さ、 γ_{e1} ：支持層の土の有効単位体積重量、 γ_{e2} ： D_f 区間の土の平均有効単位体積重量、 $I_y \cdot I_q$ ：傾斜荷重に対する補正係数、 β_b ：フーチング底面の形状係数、 B_e ： B^* 、 L の小さい方、 B^* ：フーチング側面の有効幅、 B ：フーチング側面の幅、 L ：フーチング前面の幅 ※式(3)では B ：短辺幅、 L ：長辺幅とする
 δ ：基礎幅の露出率に応じた支持力低減率（図3から設定する）

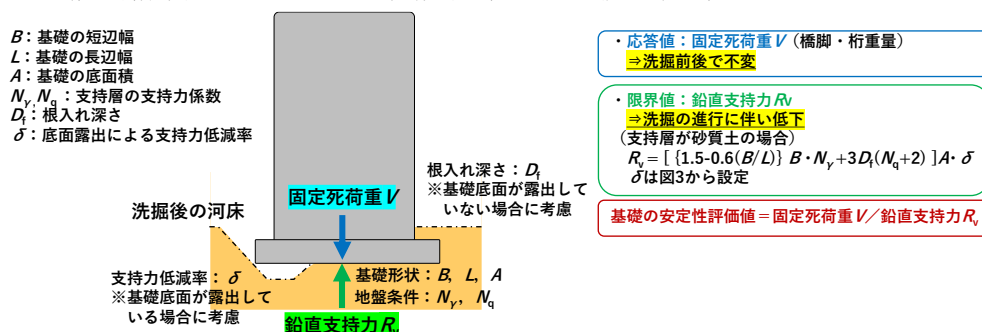


図1 簡易評価法の模式図

キーワード 洗掘, 支持力, 直接基礎, 安定性評価
 連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38
 (公財) 鉄道総合技術研究所 基礎・土構造 TEL 042-573-7261

3. 基礎底面が露出した場合の支持力算定の考え方

図2に示すように、洗掘により支持地盤が流出して基礎底面が露出した場合の鉛直支持力は、①基礎底面の接地面積の縮小、②荷重の偏心量の増加、③支持地盤の傾斜として考慮する。①と②は、式(2)において基礎底面の有効幅・有効面積の減少、また荷重の偏心量の増加として扱う。③は、洗掘によって支持地盤が傾斜した場合の支持力発現機構は明らかではないものの、定性的には平地盤である場合と比較すると支持力低減が生じると考えられる。そこで、目下部により提案された極限解析法による上界値計算⁴⁾から算出される補正係数 λ によって洗掘の影響を支持地盤の傾斜の影響として考慮することとした。

λ の値は土の内部摩擦角、斜面勾配、斜面高と基礎幅との比および斜面肩幅と基礎幅との比などから決定されるものである。簡易評価法では計算の簡便化のため、図2の③に示す斜面を想定して基礎幅 B 、 L を変数(被災事例を基に設定した最小・最大値の範囲内でランダムに3000パターン設定)とした繰返し計算により、図3に示す基礎底面幅の露出率に応じた支持力低減率($D_f = 0$ で底面露出率0%の支持力に対する低減率) δ を算定した。そして、被災後に把握した基礎底面の露出率に応じて δ を図3の下限值で設定し、式(3)により鉛直支持力を算定する。

4. 実橋脚を対象とした試算による簡易評価法の妥当性検証

洗掘によって基礎底面が露出した計5基の実橋脚を対象として、図面等から算定した死荷重を式(3)で算定した鉛直支持力で除して、洗掘に対する基礎の安定性の簡易評価を実施した。

図4に洗掘程度(基礎の根入れ長、基礎幅の露出率)と安定性評価値の関係を示す。各橋脚の被災後に確認された基礎幅の露出率における安定性評価値は、傾斜が生じた橋脚は傾斜が生じなかった橋脚よりも大きい結果となった。また、その境界値は1.0程度となった。

以上の結果は、提案手法により洗掘の程度に応じた基礎の安定性を簡易に評価可能なことを示唆している。

5. おわりに

簡易評価法は、設計標準の支持力式を手計算で算定できる内容に変換し、また斜面上の基礎の支持力評価法を組み合わせることで支持地盤が洗掘された条件でも適用可能とした簡易式により鉛直支持力を算定する。そして、

固定死荷重と鉛直支持力の比によって基礎の安定性を簡易的に評価する手法を提案した。提案手法を実被害事例に適用した結果、傾斜が生じた橋脚と生じなかった橋脚とを比較的良好な精度で選別可能なことを確認した。

今後、被災橋脚の傾斜程度や再供用に伴う復旧方法(埋戻しや桁座の増し打ちなど)による被災橋脚の基礎の安定性の変化を考慮できるように簡易評価法の改良を図る。

なお、本研究は国土交通省の鉄道技術開発・普及促進制度の助成を受けたものである。

参考文献 1) 井上太郎ら：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，2022.12 2) 萩谷俊吾ら：鉄道河川橋りょうの洪水被害に関する被災・復旧事例の分析，第63回地盤第63回地盤工学シンポジウム，2022.12 3) 鉄道構造物等設計標準・同解説 基礎構造物，丸善出版，2012 4) 目下部治：斜面上直接基礎の支持力評価に関する計算，土と基礎，No.325，PP.7-12，1985

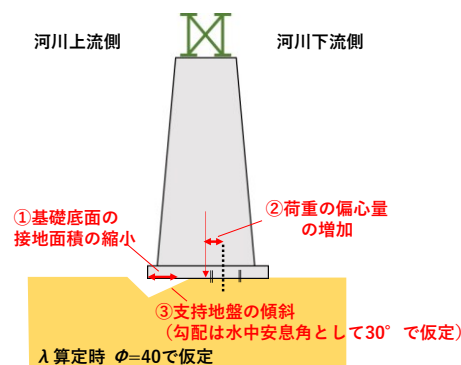


図2 基礎底面が露出した場合に支持力算定で考慮する項目

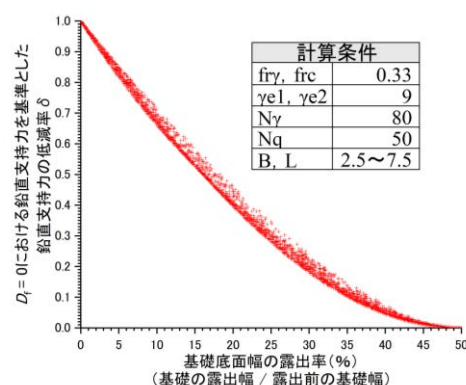


図3 基礎幅の露出率に応じた鉛直支持力の低減率 δ

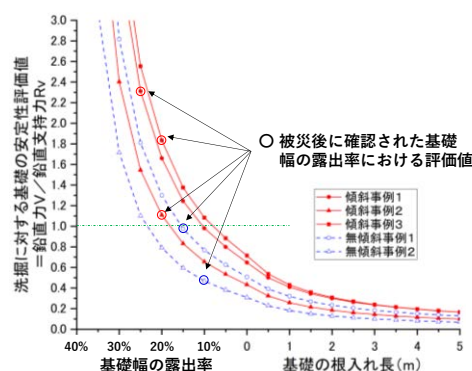


図4 被災した実橋脚に対する簡易評価法の適用結果