

橋台支持地盤の洗掘方向が橋台の損傷に及ぼす影響の検討

The effect of scouring direction of the support ground to damage of abutments in river flooding

北見工業大学 大学院 学生員 ○鎌田啓市 (株)ピーエス三菱 高橋大樹
 北見工業大学 正会員 宮森保紀 北見工業大学 正会員 渡邊康玄
 北見工業大学 正会員 川口貴之 北見工業大学 正会員 川尻峻三
 北見工業大学 正会員 三上修一

1. はじめに

2016年には4つの台風が北海道に接近、上陸し、これらの台風がもたらした豪雨により、多くの橋梁が被災した。

著者ら¹⁾の調査では、2016年北海道豪雨災害で被災した橋梁は114橋あり、なかでも図-1のように橋台下面が洗掘を受けて傾斜、転倒したものは9橋あった。この橋では、河川増水時に橋台が水衝部となり橋台下支持地盤が洗掘を受け橋台が傾斜した。それに伴いフーチングなどの鉄筋コンクリート部材が損傷した。このようにこの災害では、ウィングがパラレルタイプの橋台やピアアバット橋台のように側壁のない橋台において大規模な被害がみられた。そこで本研究では、直接基礎のピアアバット橋台を対象に、有限要素法による非線形静的解析によって被災状況を再現し、支持地盤の洗掘が橋台の構造安定性や損傷に与える影響を検討した。具体的には、有限要素法を用いて橋台をモデル化し、フーチング底面の地盤バネを削除することで支持地盤の洗掘を再現した。このモデルに対して橋台及び橋桁の自重による非線形解析を行い、洗掘方向を変化させた場合の橋台の変位とともに、コンクリートのひび割れを求めた。

2. 解析条件

2.1 解析対象橋梁

本研究では、ピアアバット橋台を採用している実橋を参考にモデル化した。解析対象橋梁の諸元を表-1に示す。基礎は直接基礎とする。

2.2 解析モデルと解析ケース

本研究では、橋台フーチング下面が洗掘を受けた場合の橋台の変位およびコンクリートのひび割れを求めるため、有限要素法を用いた非線形静的解析を行った。解析ソフトは、有限要素法解析プログラムであるmidas FEAを用いた。

モデル化は側径間の支間1/2の主桁と橋台を対象とした。橋台のモデル化に際してはソリッド要素を用いた。コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=21\text{N/mm}^2$ とし圧縮モデルに関してはThorenfeldtモデルを使用した。コンクリートの引張強度は $f_t=2\text{N/mm}^2$ とし完全弾塑性型の応力-ひずみ関係とする。鉄筋に関してはモデル化した橋台のソリッド要素内に異形鉄筋SD345、D16をバー要素で表現した。バイリニアの非線形特性を与え、降伏応力は 345N/mm^2 で、von Misesの降伏条件を用いた。

主桁はソリッド要素で鋼I桁を表現し、ヤング係数は $2.0 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ として材料物性を与えた。床版も同様にソリッド要素で表現し、コンクリートの設計基準強度は $\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$ とした。本研究では、主桁や床版の損傷は考慮していないため、材料モデルは線形とした。

支承部の支持条件は固定支点到に設定し、支承部に相当する主桁側と橋台側の節点について、橋軸方向と橋軸直角方向を拘束した。桁の支間中央側の端部についても、橋軸および橋軸直角方向を固定した。橋台のフーチング下面の各

節点には節点バネ要素として地盤バネを設置した。地盤バネのバネ定数については3章で説明する。

解析ケースは①橋軸方向(y軸方向)、②橋軸直角方向(x軸方向)の2方向から設置した地盤バネを段階的に削除し、それによる橋台の変位量とひび割れを計算した。荷重は橋台および主桁の自重である。上記の条件をもとに作成した解析モデルの全景を図-2に示す。

3. 地盤条件と地盤バネ

フーチング下面の地盤は、砂質地盤の場合一般的に良質な支持層とみなされるN値30とする²⁾。地盤バネを算出するために用いる地盤反力係数は、道路橋示方書・同解説IV下部構造編²⁾に準じて求める。以下の計算で地盤の変形係数は $E_0=2800\text{N}$ 、換算係数は $\alpha=1$ とした。

求めた基礎地盤の鉛直方向地盤反力係数、水平方向地盤反力係数を表-2、表-3に示す。鉛直方向地盤反力係数、水



図-1 橋台被災状況(右岸から撮影)

表-1 解析対象橋梁

上部構造形式	3径間単純鋼鈑桁橋
橋長	87.2m(3@28.5m)
主桁本数	4(3@3m)
橋台形式	ピアアバット
基礎形式	直接基礎
橋台高さ	10.45m

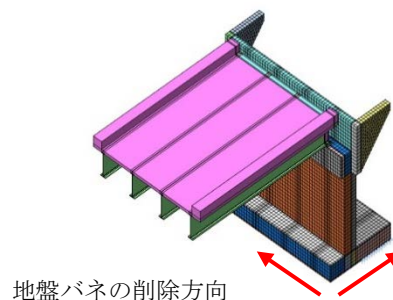


図-2 解析モデル全景

キーワード 橋梁被害 豪雨災害 橋台 損傷

連絡先 〒090-8507 北海道北見市公園町165番地 TEL 0157-26-9472 (宮森保紀)

方向地盤反力係数から、モデル化した橋台フーチング下面の各節点の鉛直方向地盤バネ k_v' および水平方向地盤バネ k_h' を求める。橋台フーチング下面は 2040 節点あるので、各節点に設ける鉛直方向地盤バネおよび水平方向地盤バネは以下のように求めた。

$$k_v' = k_v \times \text{モデル幅} \times \text{奥行幅} \div \text{節点数} \quad (1)$$

$$= 53.4 \times 10^3 \times 6.2 \times 12.5 \div 2040 = 2.03 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

$$k_h' = k_h \times \text{モデル幅} \times \text{奥行幅} \div \text{節点数} \quad (2)$$

$$= 22.2 \times 10^3 \times 6.2 \times 12.5 \div 2040 = 0.84 \times 10^3 \text{ kN/m}$$

本研究では橋台背面土流出後を想定し土圧は考慮しない。

4. 解析結果と考察

解析結果として図-3 に鉛直方向最大変位を示す。図-3 では、地盤バネを徐々に削除していった場合の、フーチング下面の面積に対して、地盤バネを削除した部分の面積の割合を洗掘割合とした。また、橋台にひび割れが発生した点を図示した。図-4、図-5 は橋軸方向に地盤バネを削除した場合の洗掘割合 50%および 70%の時のひび割れの分布、図-6 には橋軸直角方向に地盤バネを削除した場合の洗掘割合 40%のひび割れ分布を示す。図-7 は図-1 とは別の橋台の被災状況である。

いずれの解析ケースにおいても洗掘が進行すると鉛直方向最大変位が徐々に増加した。洗掘割合が約 80%までは、橋軸方向に洗掘が進行した場合の最大変位が橋軸直角方向に洗掘が進行した場合に比べ大きくなったが、約 80%を過ぎると、橋軸直角方向に洗掘が進行した場合の最大変位は急激に増加し、最終的な鉛直方向最大は橋軸直角方向に洗掘が進行した場合が大きくなった。

また、橋軸方向に洗掘が進行した場合では、洗掘割合が約 40%で橋台前面にひび割れが発生した。洗掘が進行すると洗掘割合約 50%でフーチング下面にひび割れが発生した。洗掘割合約 70%になると図-5 のように、橋台前面とフーチング下面のひび割れが連続した。本解析では、支承部の支持条件は固定支点とし、橋軸方向を拘束したため、橋台前面およびフーチング下面が引張側となったためである。橋軸直角方向に洗掘が進行した場合では、洗掘割合が約 40%で支承部にひび割れが発生した。ひび割れが発生した原因は同様に支承部の支持条件が影響していると考えられる。このような傾向は図-1、図-7 で示したような被害形態と整合的であり、実際の被災メカニズムを表現できたと考えられる。

5. まとめ

本研究では、有限要素モデルにより非線形静的解析を行うことで豪雨災害における橋台の被災状況を再現し、橋台の支持地盤の洗掘が橋台の構造安定性や損傷に与える影響を検討した。解析結果は、実際の被害形態と整合的であり、被災メカニズムを表現することができたと考えられる。また、洗掘面積が大きくなると鉛直最大変位が徐々に増加し、洗掘方向により鉛直方向最大変位に差が生じることが分かった。

参考文献

- 1) 鎌田啓市, 宮森保紀, 渡邊康玄, 川口貴之, 川尻峻三, 三上修一: 2016 年北海道豪雨による橋梁の被災状況と被災メカニズムの基礎的検討, 土木学会 第 72 回年次学術講演会講演概要集, CS6-004, 2017.
- 2) 社団法人 日本道路協会: 道路橋示方書 (I 共通編・IV 下部構造編)・同解説, 社団法人 日本道路協会, pp276-280, pp283-287, 2012.

表-2 鉛直方向地盤反力係数

	N 値 30
$E_0(\text{kN/m}^2)$	84.0×10^3
$B_v(\text{m})$	2.73
$k_{v0}(\text{kN/m}^2)$	0.28×10^6
$k_v(\text{kN/m}^3)$	53.4×10^3

表-3 水平方向地盤反力係数

	N 値 30
$E_0(\text{kN/m}^2)$	84.0×10^3
$B_h(\text{m})$	8.80
$k_{h0}(\text{kN/m}^2)$	0.28×10^6
$k_h(\text{kN/m}^3)$	22.2×10^3

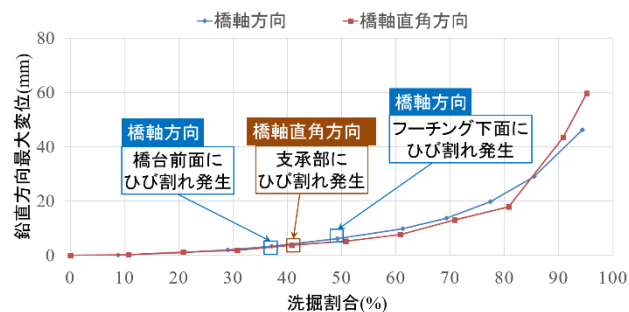


図-3 鉛直方向最大変位

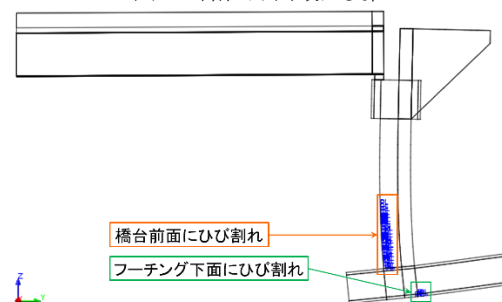


図-4 ひび割れ形状(橋軸方向, 洗掘 50%)

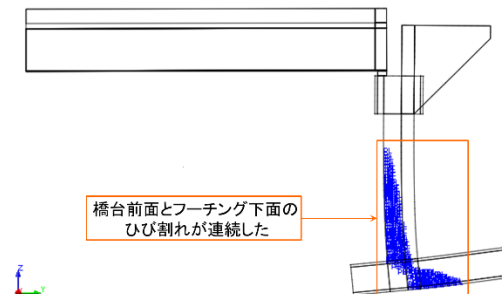


図-5 ひび割れ形状(橋軸方向, 洗掘 70%)

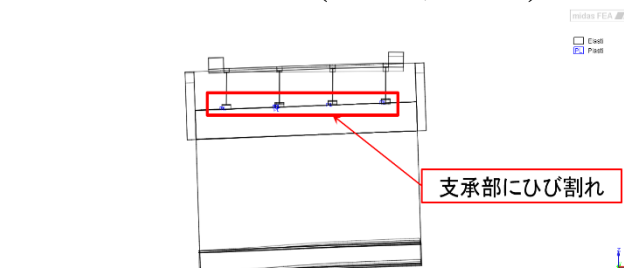


図-6 ひび割れ形状(橋軸直角方向, 洗掘 40%)



図-7 橋台被災状況(左岸から撮影)