# 振動と変位に着目した洗掘模型実験

鉄道総合技術研究所　正会員　○ 欅　　健典
鉄道総合技術研究所　正会員　　宮下　優也
鉄道総合技術研究所　正会員　　渡邉　　諭
鉄道総合技術研究所　正会員　　太田　直之

## 1. はじめに

近年、気候変動に伴う豪雨が頻繁に生じており、鉄道の河川橋りょうでは洗掘の発生が懸念される場面が増えている。これらの洗掘の恐れのある橋脚の健全性を把握するための手法として、橋脚の傾斜モニタリング[1)]や固有振動数を指標として評価する衝撃振動試験[2)]が一般に行われている。さらに、近年では常時モニタリング技術の進歩により、連続的に固有振動数の変化を捉える試みもなされている[3)4)]。しかし、洗掘災害の発生頻度が低いことから、実際に洗掘が進行する過程の連続的な固有振動数の変化を捉えた事例は乏しい。そこで、本稿では、洗掘進行時に生じる現象をより詳細に検討するため模型実験を行い、橋脚が倒壊するまでの経過を分析した結果を報告する。

## 2. 実験概要

水路模型は、図 1 に示す長さ 3,000mm、断面 500mm×500mm の T 字型鋼製水路を用いた。水路中央部には、片面に透明のアクリル板を設置した土槽が設けてあり、流水中の橋脚の洗掘状況を確認できる構造となっている。橋脚模型は鉄道橋りょうに多く用いられている小判型の断面形をもつ柱状体をモルタルコンクリートで再現した。縮尺および寸法については水路幅（500mm）を考慮し、実物大の 1/35 スケールとなるよう、水路の流下方向延長 140mm、幅 70mm、高さ 250mm とした。地盤材料については case1 として「珪砂」を、case2 として「稲城砂」を用いた。構築後の地盤の密度は、case1 は$\rho_d$ ＝1.525 g/cm$^3$、case2 は$\rho_d$ ＝1.277g/cm$^3$ であり、底面からの注水により飽和させた。計測機器は、図 2 に示す位置に、加速度計（WILCOXON 社製 731-207）を橋脚天端の両端部と地盤の 3 箇所のそれぞれ橋軸直角方向及び鉛直方向、レーザー変位計（KEYENCE 社製 IL-S100）を橋軸直角方向に設置した。実験は水路下流端に貯留水槽を設け、ポンプにて水を循環させ水流を発生させた。また、流速を 0.6m/s 程度とし、20 秒間流水後に停止することを橋脚が倒壊するまで繰り返し実施した。

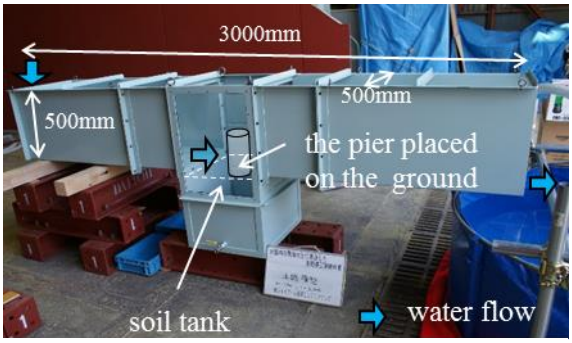


図 1.　水路模型

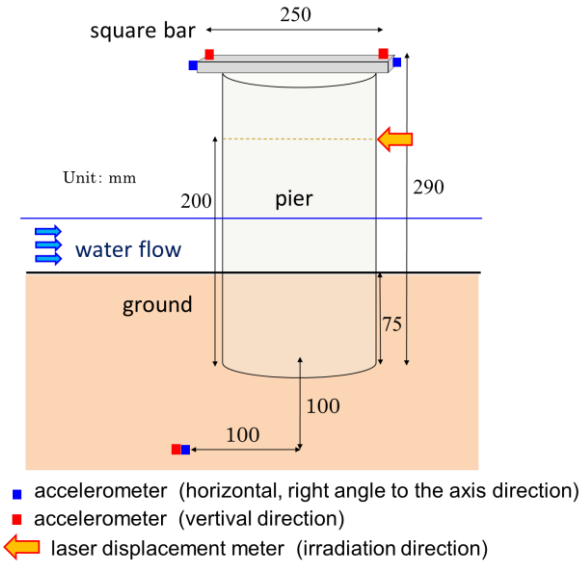


図 2.　センサ設置位置

## 3. 実験結果

case1 では 5 回目、case2 では 3 回目の通水終了直後に橋脚が倒壊した。case1 では上流側へ、case2 では流水の直角方向のやや上流側へ倒壊した（図 3）。case1、case2 ともに倒壊時には地盤が小判状に洗掘されており、case2 では粒度の大きな砂が

キーワード　洗掘、固有振動数、変位、模型実験
連絡先　　〒185-8540　東京都国分寺市光町 2-8-38　　TEL 042-573-7263

底面に堆積しているのが確認できた（図 4)。流水時の加速度波形を基に算出した橋脚の固有振動数と、目測で確認した洗掘深の関係を図 5 に示す。なお、固有振動数の算出にあたっては橋脚上と地盤内で計測された加速度波形を比較し、フーリエ振幅比の卓越がみられ、かつ 2 つの波形の位相差が反転する振動数を特定して固有振動数とした[5]。図 5 から、case1 においては洗掘深の変化に対して固有振動数の変化が明瞭に現れているが、case2 では固有振動数の変動幅は小さいことが分かる。

次に、橋脚の橋軸直角方向の変位の経時変化を図 6 に示す。図中において、変位の正方向は上流方向への変位を示しており、青色及び赤色の網掛けはそれぞれ case1、case2 における流水時間帯を示している。case1 においては流水終了直後に上流側への大きな変位が見られるが、case2 では変動は小さい。

以上の結果から、case1 では上流側から徐々に橋脚底面の地盤材料が流出し、基礎の不安定化に伴い傾斜が段階的に進行して最終的に橋脚の倒壊に至ったと考えられる。一方で case2 では橋脚底面において粒径の大きな砂分が流出せず残存したため、傾斜と地盤の支持力が見かけ上大きく変化することなく、最終的に細粒分を失った支持地盤が、case1 に比べると脆性的に破壊して倒壊に至ったと考えられる。

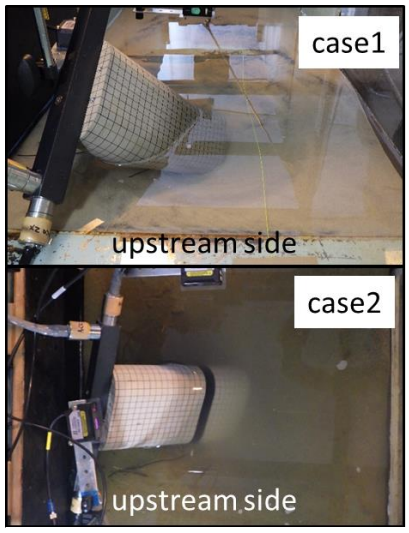


図 3.　橋脚の倒壊状況

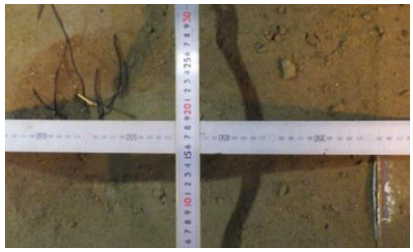

図 4.　case2 倒壊後の地盤状況

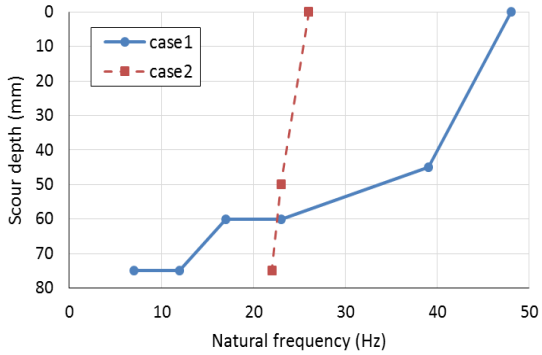


図 5.　固有振動数と洗掘深の関係

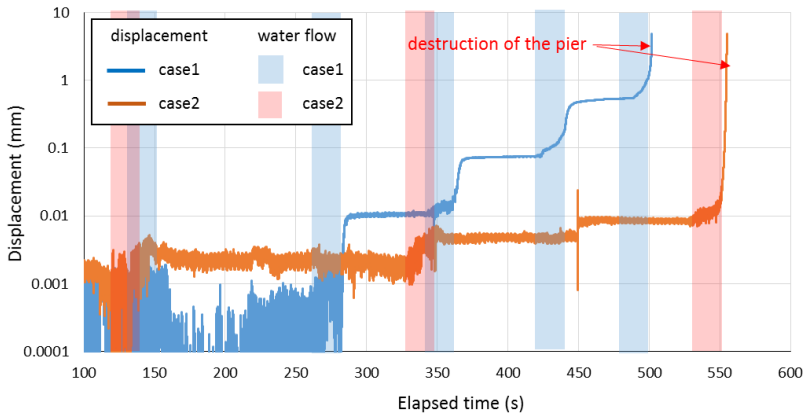


図 6.　橋脚の橋軸直角方向の変位の経時変化

## 4. まとめ

振動と変位に着目した洗掘模型実験を行い、地盤材料の違いによる洗掘の進行度と、橋脚の洗掘に対する健全度評価指標の一つである固有振動数との関係を考察した。その結果、根入れの変化に伴う固有振動数の低下傾向は地盤材料によって異なる可能性が確認された。今後は、さらに橋脚の底面の状態を模型実験で確認し、より効果的な健全性指標の提案につなげていきたいと考えている。

## 参考文献

1) 加藤健二,鈴木博人,田中淳一：洗掘検知装置の概要と警報発令基準値の設定方法, SED, No.17, pp.168-175, 2001.12
2) 西村昭彦,棚村史郎：既設橋梁橋脚の健全度判定法に関する研究，鉄道総研報告，Vol,3，No.8，pp.41-49，1989.8
3) 松本繁治,今井賢一,舟橋秀麿：東海道新幹線富士川橋りょうの増水時自動計測システムの開発，鉄道におけるサイバネティクス利用国内シンポジウム論文集 51-614, 2014.11
4) 欅健典：加速度計を用いた洗掘検知装置の開発, JREA, 57(6), pp.38648-38651, 2014.06
5) 小林俊夫,中村豊,田母神宗幸：洗掘に伴う橋脚の振動特性の変化,土木学会第 48 回年次学術講演会, I-107, 1993