

衝撃振動試験法による洗掘進行度と鉛直振動の相関分析

(公財) 鉄道総合技術研究所
同上

正会員 ○小松 灯 正会員 中島 進
正会員 萩谷 俊吾 正会員 横山 大智

1. はじめに

鉄道では、橋脚基礎の健全度を評価する指標の一つに固有振動数が用いられており、固有振動数を把握する現地試験法に衝撃振動試験がある。一般的に衝撃振動試験では、橋脚天端を錘で水平打撃した際の水平応答波形を収録し、その構造物の固有振動数を把握し、過去の試験結果や標準値と比較して健全度を評価する。

一方で、近年は河川増水による鉄道橋脚基礎周辺の洗掘によって、根入れの減少や基礎底面の露出等により、直接基礎形式の河川橋脚が不安定化し、傾斜や沈下、転倒等の災害が続発している。図-1に示すように、直接基礎形式の橋脚は、基礎底面が洗掘により露出すると著しく安定性が低下するため、橋脚基礎の露出程度を評価することは重要であるが、有効な調査法がないことが課題である。

これらのことから、本稿では橋脚基礎模型を用いた衝撃振動試験により、水平打撃時の上下流端における鉛直振動の振幅比から基礎の底面で有効に応力分担できない範囲を推定する方法の実現性について検討した。

2. 衝撃振動試験による基礎底面状態の推定

基礎底面が全面的に設置している場合、橋脚の固有振動モードが基礎底面の中央を中心とした回転振動（ロッキング振動）においては、図2のように、上下流端における鉛直振動は振幅量がほぼ同一で逆向きの応答になる。しかし、図3に示すように洗掘を受けた範囲は、支持地盤の流出および土砂の再堆積によって、正常な状態に対してゆるんだ状態となり、自重や列車荷重による鉛直荷重を有効に応力負担することができないため、鉛直振動の振幅比は上下流端で差異が生じ、基礎の回転中心は移動する。このように、基礎の回転中心を推定し、基礎底面のいわゆるゆるみ領域を推定したうえで、残存した有効面積から支持力推定することで、洗掘を受けた基礎の支持力を定量的に評価できる可能性がある。

このような概念のもとで、上流側の鉛直振幅と下流側の鉛直振幅の比をロッキング比と定義し、ロッキング比から基礎の回転中心を推定する方法の妥当性を検証することを目的として、基礎模型を用いた洗掘実験を実施した。

3. 洗掘模擬掘削実験

1) 実験概要

洗掘模擬掘削実験の概要を図4に示す。洗掘を模擬した掘削の進行に伴う橋脚の振動特性の変化を把握するため、橋脚基礎模型（無筋コンクリート：幅2000mm、厚さ1000mm、高さ2200mm、重量約8.0ton）を用いて洗掘を模擬した掘削を行い、衝撃振動試験により水平及び鉛直応答波形を収録した。また、根入れを模擬するために橋脚模型設置後に1200mmの埋戻しを行い、その状態から洗掘を模擬した掘削を開始した。

衝撃振動試験におけるセンサ設置箇所について、水平応答

キーワード 洗掘、衝撃振動試験、鉛直応答波形、ロッキング振動、基礎構造物

連絡先 〒185-8540 (公財) 鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎・土構造研究室 TEL 042-573-7261

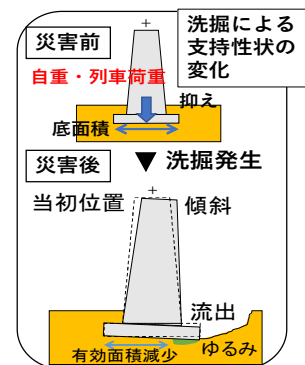


図1 支持性状の変化概要図

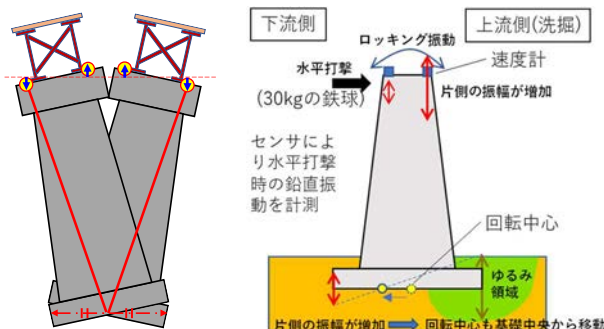


図2 回転振動

図3 回転中心移動の概念図

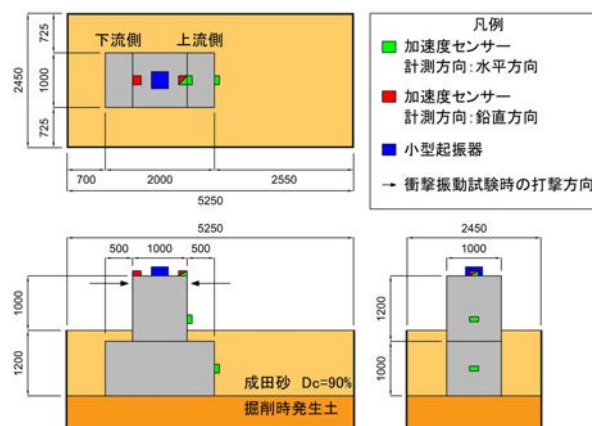


図4 橋脚基礎模型の全体概要

波形の収録は橋脚模型天端・中段・下段の3箇所とし、鉛直応答波形の収録は橋脚模型天端の上流側と下流側の2箇所とした。なお、本実験では衝撃振動試験での打撃方向による振動特性への影響を確認するため、上流側と下流側の両方向から打撃を実施した。また、振動特性をより精緻に把握するため、小型起振器による強制振動試験も実施した。強制振動試験では、加振はSweep加振とし、入力加速度の片振幅を約1000galで一定として3Hzから25Hzまで毎秒1Hzで周波数を増加させた。

2) 実験条件

本実験では洗掘を模擬するにあたり、「①根入れ部分の掘削→②基礎底面下の掘削→③埋戻し」の順に掘削・埋戻しを行い、図5に示す通り全12ステップの計測を実施した。まず、根入れ長 $D_f=1200\text{mm}$ の状態から $D_f=800\text{mm}$, $D_f=400\text{mm}$, $D_f=50\text{mm}$, $D_f=0\text{mm}$ の4段階の掘削を実施し、基礎底面下の掘削では、上流側の底面露出率（基礎下の掘削幅を基礎幅で除した値）が5%, 10%, 20%, 30%となるように掘削した。その後、再堆積の模擬

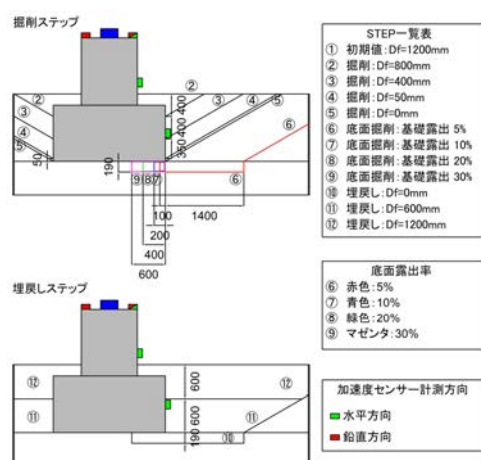


図5 実験手順図



図6 実験状況

では $D_f=0\text{mm}$, $D_f=600\text{mm}$, $D_f=1200\text{mm}$ となるように3段階の埋戻しを実施した。実験状況を図6に示す。

3) 実験結果

ここでは、衝撃振動試験より得られた固有振動数で抽出した上下流端でのフーリエ振幅によるロッキング比（図7）と、理論値として底面露出率を考慮した基礎の有効幅を設定し、その有効幅の中心を回転中心とした場合のロッキング比（図8）を比較し考察する。

まず、橋脚基礎模型の固有振動数の評価にあたり、衝撃振動試験で上下流の両側からによる打撃とSweep試験の結果を比較したところ、図9に示すように、3試験共に固有振動数は概ね一致していた。次に、図10に示したロッキング比の実測値に着目すると、根入れがある状態（底面露出率0%, ステップ1~5）でもロッキング比にはバラつきが生じており、且つ1.0にはなっていないことから、初期状態から何らかの影響で片振れを示唆する結果である。この結果の要因としては、橋脚模型設置時の不陸や支持地盤の石灰改良等々によるものと推察される。ステップ6~9における底面露出率5%~20%間の結果は、図3に模式的に示す通り、掘削した上流側の鉛直振動の振幅が大きく、概ね理論値に近い傾向である。一方で、底面露出率30%でロッキング比が減少しているが、これは底面露出率30%の掘削後では下流側基礎の浮上りが目視で確認されており、浮上りによる振動モードの変化だと推察される。

図7 衝撃振動試験結果例。上下流端のロッキング比と固有振動数のグラフ。

図7 衝撃振動試験結果例

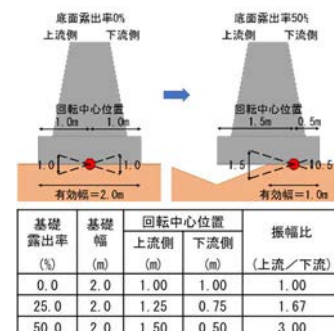


図8 理論値の概念図

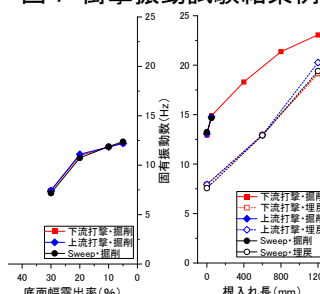


図9 固有振動数の変化

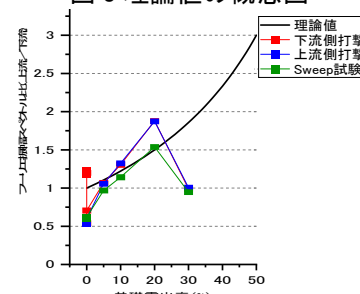


図10 ロッキング比の変化

4. まとめと今後の課題

基礎の回転中心を推定する適用性を模型実験により検証した結果、掘削が基礎底面まで到達してから浮上り発生前までは理論値と計測結果が定性的に整合する結果を得た。浮上りが生じた後は理論式的前提と異なる状態となるために、実験結果と理論値の乖離が拡大したものと推定される。今後は、基礎底面の地盤反力分布も計測しながら、同検討を行うことで、提案手法の適用性の検証を進めたい。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。