衝撃振動試験による木杭基礎橋脚補強の確認検討

鉄道総合技術研究所　正会員　羽矢　洋
同　上　正会員　稲葉智明
北陸鉄道株式会社　太田陽一
株式会社　テス　赤坂大介

１．はじめに

鉄道橋下部工の健全度調査には、衝撃振動試験法が一般的に用いられている。この試験では、橋脚天端を重錘により水平方向に打撃し、その時の自由減衰振動波形を測定・解析することによって得られる 1 次モードの固有振動数を評価指標として、橋脚の健全度を判定している。

本編では、洗掘により安定性が低下した軟弱地盤上木杭基礎橋脚を対象に実施した補強工事前後における衝撃振動試験結果および詳細な解析結果について報告する。

２．橋梁概要および補強工概要

調査対象構造物である浅野川線蚊爪～粟ヶ崎間大野川橋梁は、N 値 0～3 の沖積粘性土が 30m 以上にわたって堆積した河口に近い河川橋梁で、8 橋脚からなる単線橋梁である。このうち第 6 号橋脚は ”みお” に位置していることから洗掘が進み、線路縦断方向に河床の傾斜が強く、さらに過去に敷設された布団籠も河床面の傾斜に沿ってずれるなど、安定性を損なった状況にあった。橋梁全体図を図 1 に示す。

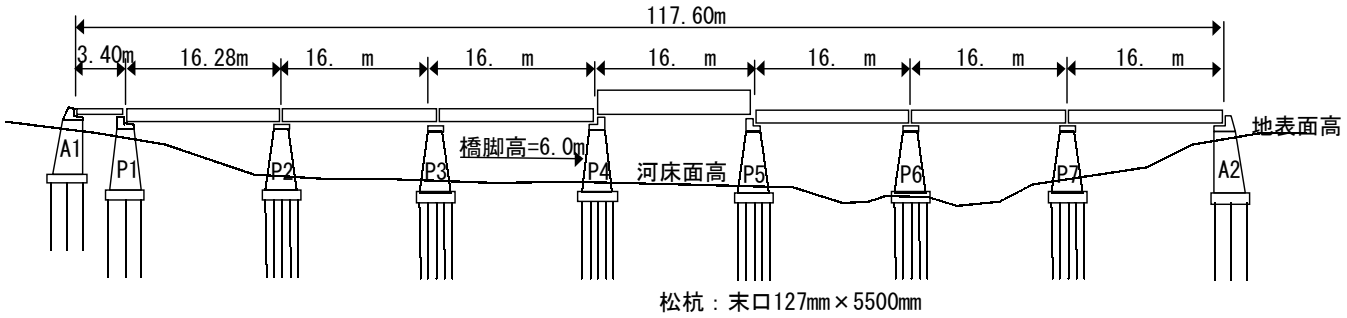


図 1　浅野川線蚊爪～粟ヶ崎間大野川橋梁全体図

北陸鉄道では、このような状況にある本橋脚に対し、洗掘進行の防止と基礎の支持性状の向上を目的として補強工事を実施した。なお、木杭基礎橋脚の一般的な補強工法としては、基礎周辺を鋼矢板で締切り、さらにコンクリートスラブを頂版として構築する手法がしばしば採用されるが、河床変動の可能性がある橋脚や超軟弱地盤に構築された木杭基礎の場合、補強後において基礎への負担が大きくなり、将来的に橋脚の安全性に問題が生じる場合もある。そのため、ここでは鋼矢板を木杭先端以深まで圧入し橋脚周囲を囲んだ後、地盤の変動の追随性を考慮し、頂版コンクリート打設に代えて厚さ 1m 弱の栗石敷設とすることで、将来的にも安全性を確保することとした（図 2）。なお、良好な拘束効果を期待するため、栗石の敷設はダイバーの手により一つずつ丁寧に行った。

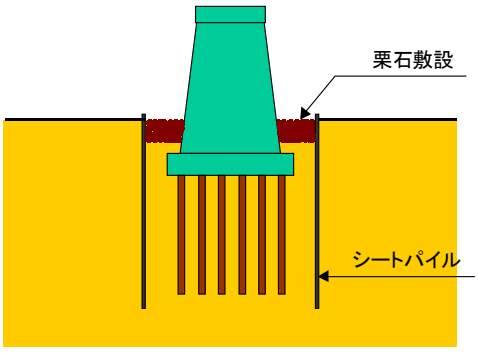


図 2　第 6 号橋脚補強図

３．衝撃振動試験結果

補強工事前後において衝撃振動試験を実施し、施工前・後の振動性状の変化を確認した。図 3 は補強工事前の衝撃振動試験により得られたフーリエスペクトルで、この図から、本橋脚の固有振動数が 3.3Hz であること

キーワード　木杭基礎，維持管理，現地調査，衝撃振動試験
連絡先　〒185-8540　鉄道総合技術研究所 基礎・土構造　東京都国分寺市光町 2-8-38　TEL.042-573-7261

がわかる。また、図 4 は補強後の試験結果で、この結果を見ると、固有振動数には変化がないことがわかる。しかし、フーリエスペクトル上にはさらに高い周波数帯にスペクトルの卓越が確認でき、補強前には 7.8Hz であったものが、補強後においては 8.5Hz に変化していることが確認できる。

4．シミュレーション解析によるモードの解明と評価

衝撃振動試験で得られた二つの卓越振動数を解明するため、固有値解析によるシミュレーションを行った。木杭基礎のモデル化においては、木杭により地盤改良された支持地盤上の直接基礎として解析モデルを構築し、地盤ばねの算出に用いる地盤 N 値の初期値は、土被り側面を N 値=2、基礎底面を N 値=20（粘性土）と仮定した。固有値解析モデルを図 5 のように構築し、補強前のモデルに対し補強後のモデルでは栗石による補強部の水平ばね値を大きく設定することとした。

解析の結果、１次の固有振動数である 3.3Hz は施工前後において変化なく、一方、２次の固有振動数については施工前が 7.8Hz であるのに対し施工後に 8.5Hz としてシミュレート可能であることが判明した。また、１次の振動モードはスウェイモードであるのに対し、２次のモードは栗石による補強部を回転中心とするロッキング振動モードであることが判明した（図 7）。

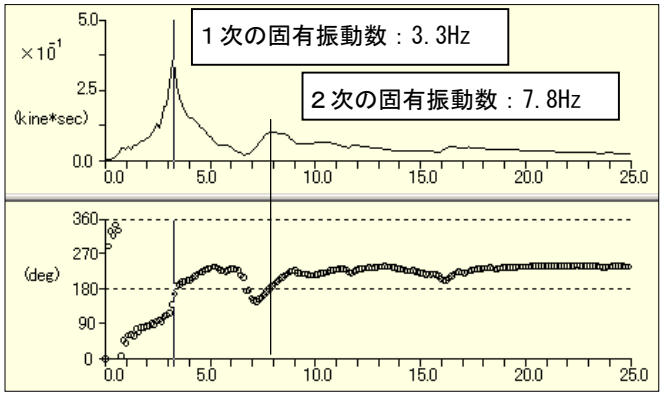


図３　補強前の試験結果

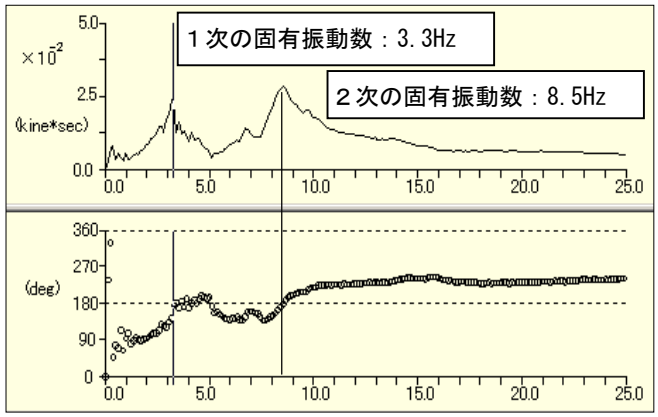


図４　補強後の試験結果

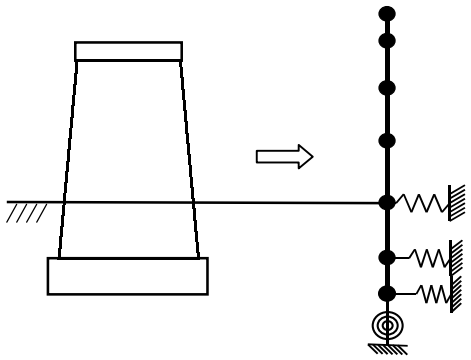


図５　固有値解析モデル構築

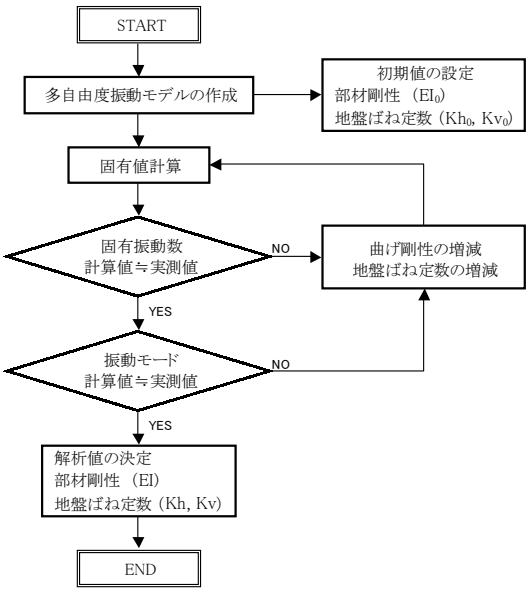
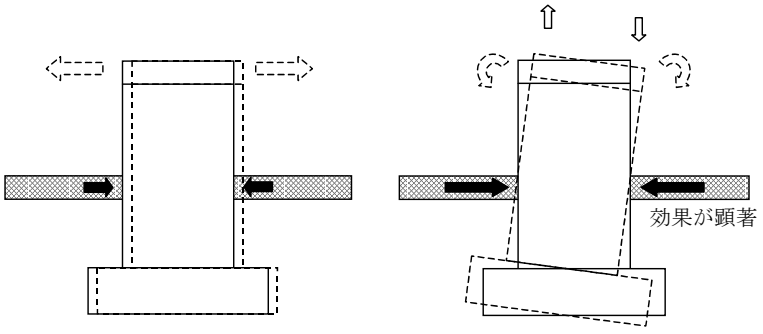


図６　シミュレーション解析の手順



(a) スウェイモード（１次）　(b) ロッキングモード（２次）

図７　シミュレーション解析結果順

5．まとめ

これまでは、補強に伴う支持力性状の向上はフーチング底面あるいはそれ以深を回転中心とするモードにおいて確認できるものと考えられてきたが、今回のように超軟弱地盤上橋脚の場合、その補強効果は、２次の振動モードに現れるという知見を得た。今後の健全度評価では、この知見を含め慎重に行うこととしたい。