

1 柱 1 杭式 RC ラーメン高架橋大型模型の正負交番载荷試験による振動数の低下傾向について

鉄道総合技術研究所 正会員 石原 匠 正会員○西岡 英俊 正会員 阿部 慶太
正会員 仁平 達也 正会員 名取 努

1. はじめに 鉄道ラーメン高架橋においては、地震で被害を受けた際の早期運行再開に向け、地震後の損傷の有無を効率的に確認する健全度評価手法が求められている。特に橋梁および高架橋の安定性の健全度評価については、従来、災害発生時に現地にて衝撃振動試験¹⁾等による振動特性の把握により評価を行っているが、アクセス困難な箇所や試験の実施が困難な立地条件に対して、衝撃振動試験に代わる損傷検知および徐行規制解除におけるダウンタイムの短縮に役立つ健全度診断手法が必要であると考えられる。また、杭基礎構造物の場合、地中部(特に杭頭部)に損傷が発生する可能性が考えられるものの、目視による確認は困難なため、目視の代わりとなる健全度評価手法が求められるが未だ確立できていない。そこで、本研究では 1/2 スケールの RC ラーメン高架橋模型²⁾に対して、杭および柱部材の地震による損傷を想定するために正負交番水平载荷試験を実施し、各载荷ステップにおける損傷状態毎に衝撃振動試験等の振動特性を確認する試験を行い杭頭部および柱端部の損傷評価方法の検討を行った。

2. 試験概要

(1) 模型の諸元²⁾ 試験で使用した模型形状(図-1, 図-2 参照)は、1 層 1 径間を模擬した鉄筋コンクリート構造のラーメン高架橋で、基礎形式は羽根つき鋼管杭 4 本からなる。ただし、杭頭部(フーチング接続部から 500mm の区間)は損傷を集中させると共に損傷状況をより詳細に検証するために細径の鉄筋コンクリート構造とした。コンクリートの設計基準強度は 30N/mm²とした。詳細は文献 2)を参照されたい。

(2) 試験方法 試験方法は、杭頭部損傷のみを想定した地中梁载荷(CASE1)と柱損傷のみを想定した上床版载荷(CASE2)を実施(図-2 参照)し、各 CASE の载荷ステップ終了毎に衝撃振動試験および常時微動計測等の振動試験により杭頭部の影響評価を行った。なお、CASE2 に関しては、CASE1 を実施した後に行っており、杭頭部の損傷が影響しないように地中梁を反力フレームに固定して試験を実施している。また、CASE2 終了後、柱および杭の損傷が同時に発生している状態の損傷評価を行うため、CASE2 で行った地中梁の固定を開放した状態で衝撃振動試験等(CASE3)を行った。载荷ステップについては、降伏変位(1δy)付近までは荷重制御、降伏変位以降は変位制御で载荷を行い、CASE1, CASE 2 共に 8 ステップ実施した。杭および柱部材における降伏変位の設定は、杭は载荷方向に対して 45°の位置の主鉄筋、柱は柱基部の最外縁の主鉄筋に貼り付けたひずみゲージの測定値が、鉄筋の引張試験により求めた降伏ひずみ(杭: 1945μ, 柱: 2020μ)に達した時点の変位を基本とした上で、特に CASE1 については地盤ばねの影響も鑑みて荷重変位曲線の変曲点を考慮しつつ判断した。振動試験に関しては、衝撃振動試験を図-2 に

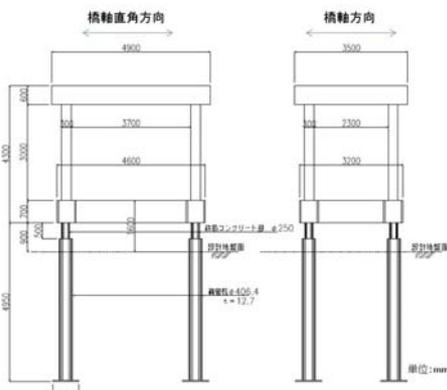


図-1 RC ラーメン高架橋模型一般図および配筋図²⁾

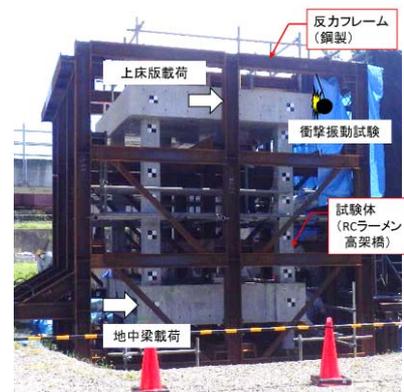
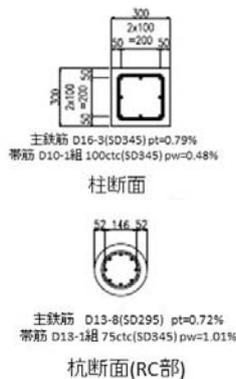


図-2 载荷試験概況図

キーワード ラーメン高架橋, 正負交番载荷試験, 衝撃振動試験, 常時微動, 振動数

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町 2-8-38 鉄道総合技術研究所(基礎・土構造) TEL 042-573-7261

示す通り、1 質点系の振動モード(以下、全体 1 次モード)を確認するために上床版の天端(図-2 参照)に重錘で衝撃を与え試験を行った。振動試験は各载荷ステップの荷重除荷時に行った。各振動試験計測については、圧電型加速度計(ウィルコクソン社製、形式：793L, 731-207)を柱上部に設置し計測した。

3. 試験結果

(1) 杭頭部損傷評価(CASE1) 地中梁载荷時の载荷荷重と载荷点水平変位の荷重変位関係を図-3 に、衝撃振動試験より計測した応答スペクトルから得られる全体 1 次モードの固有振動数および常時微動計測により確認できた卓越振動数(本研究では、1Hz~5Hz の間で決定)の低下率と各载荷ステップにおける最大変位の関係を図-4 に示す。なお、図-4 の縦軸の卓越・固有振動数は载荷前に計測した振動数の結果で正規化した低減率として示している。また、荷重変位曲線および鉄筋ひずみデータの結果より確認した杭頭部の降伏変位を図-4 に示す。結果として、降伏変位に至る前から徐々に振動数の低下が確認され、部材の損傷の進展と共に振動数が低下することが確認できた。これは、杭頭部の損傷が、従来からの構造物の安定性の健全度診断の際に用いられる全体 1 次モードに対して感度があることを示している。また、固有振動数と卓越振動数の相関に関しても完全には一致していないが、部材の剛性低下等に合わせてある程度の同等の感度で低下することが確認できた。

(2) 柱端部損傷評価(CASE2) CASE1 と同様に载荷点における荷重変位関係および全体 1 次モードにおける固有振動数、卓越振動数の低下率と最大変位の関係および柱端部の降伏変位を図-3, 4 に示す。卓越振動数の低下率は固有振動数の低下率と概ね同等であり、特に降伏変位を超えた段階で振動数の低下が顕著に現れたことが確認できた。

(3) 杭頭および柱端部損傷評価(CASE3) 杭頭および柱端部が損傷した状態における、健全状態からの卓越および固有振動数の低下率はそれぞれ 0.46(1.71Hz), 0.45(1.59Hz)であり、概ね同様の低下率となることを確認した。

4. まとめ 本研究では、構造物の安定性における健全度診断指標として、卓越振動数を用いて、杭頭および柱端部の損傷状態を検知できることを確認した。既往の研究³⁾により常時微動から得られる卓越振動数は、高架橋全体一次の固有振動モードの固有振動数と高い相関関係を有することが確認されていたが、CASE1~3 の結果より部材が損傷した場合でもこの関係を維持することを確認した。すなわち、柱端部または杭頭部の損傷に対し、卓越振動数の低下率から、全体一次の固有振動数の低下率を検知できることが可能と考えられる。ただし、実際に地震が発生した際のラーメン高架橋の損傷形態として、柱および杭単独で発生するとは限らないため、課題として全体 1 次モードにおける卓越振動数の低下率が各部材の損傷にどの程度寄与しているかを検証する必要がある。

謝辞 本研究は、国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて実施しました。

参考文献 1) 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, 1989.8

2) 石原匠，阿部慶太，名取努，小湊祐輝：大型模型を用いた鉄道ラーメン高架橋杭頭部の健全度評価手法の構築に向けた検討，鉄道工学シンポジウム論文集，第 20 号，pp. 133-139, 2016

3) 徳永宗正，曾我部正道，谷村幸裕，小野潔：常時微動測定に基づく鉄道高架橋の等価固有周期の推定手法，土木学会論文集 A1(構造・地震工学)，Vol.71, No.1, pp. 72-86, 2015

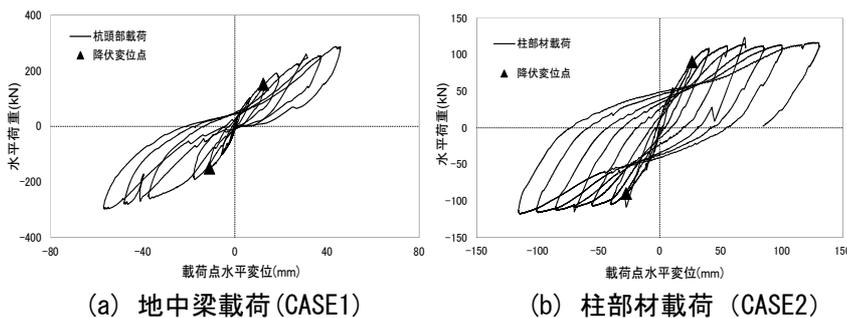


図-3 大型模型試験での荷重変位関係

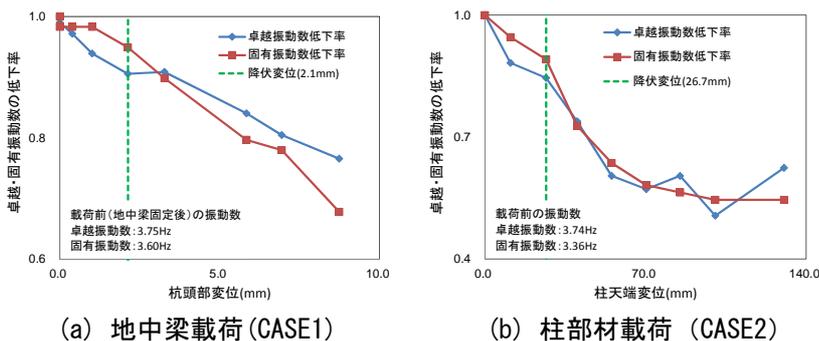


図-4 卓越振動数と固有振動数の低下率と変位の関係