

1 柱 1 杭式 RC ラーメン高架橋杭頭部および柱端部の損傷レベルが 振動特性に及ぼす影響について

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

1. はじめに

ラーメン高架橋は、一般的に大きな地震等による損傷を受けても一定のじん性を保つことを期待した構造であるが、早期に復旧性をするためには、地震後速やかに損傷レベルを定量的に検知する必要がある。特に鉄道では、地震後のダウンタイムは営業損失に直結するため、損傷レベルを迅速に検知し、早期に復旧計画を立てる必要がある。さらに、大地震時では、地中部(特に杭頭部)も損傷している可能性があるため、目視確認可能な柱のみでなく杭頭部の損傷レベルも検知可能な手法が求められる。そこで、筆者らが実施した 1/2 スケールの大型ラーメン高架橋模型の載荷試験および衝撃振動試験結果¹⁾を基に、状態監視手法により地震後のラーメン高架橋の柱と杭頭部の損傷レベルを早期に検知する手法の構築を試みた。

2. 状態監視手法

2. 1 状態監視指標

本手法では、ラーメン高架橋の柱上部に取り付けた加速度センサで、状態監視指標として、図 1 に示す 1 ブロック高架橋の全体一次の固有振動モードの常時微動の卓越振動数の低下率を状態監視する。損傷前後の卓越振動数(Hz)を f, f' とした場合、卓越振動数の低下率 γ' は次式で表現される。

$$\gamma' = f'/f \tag{1}$$

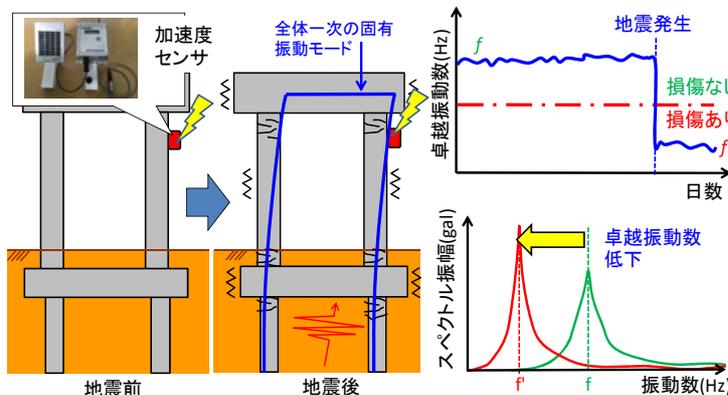


図 1 状態監視手法のイメージ

この低下率により柱部材と杭頭部の損傷レベルを検知する。ここで対象とする卓越振動数は、 $f_0 \sim f_1$ (Hz)の振動数範囲で最大の振幅を有する振動数であり、 f_0, f_1 はそれぞれ、今回実施した模型試験と既往の計測結果から、例えば健全時の卓越振動数 f (Hz)の 0.2 倍 (1.0Hz 下限), 1.2 倍程度が考えられる。このように範囲を決めて卓越振動数を算出する理由は、全体一次の固有振動モード以外の振動モードの卓越振動数を極力排除するためである。なお、実構造物で運用する際は、対象構造物の計測結果を踏まえ別途範囲設定を検討する必要がある。

2. 2 柱と杭頭部の損傷レベル検知手法

本研究で目的とする手法を構築するためには、加速度センサで計測される全体一次の卓越振動数の低下率から、柱および杭頭部の損傷レベルを検知する手法が必要である。しかし、筆者ら実施した大型模型試験¹⁾では、柱、杭頭部がそれぞれ単独に損傷した場合の卓越振動数の低下率の確認が主で、柱と杭頭部がともに損傷した状態は CASE3 の 1 ケースでしか確認できていないため、試験結果のみでは柱と杭頭部両者の損傷の影響を含んだ全体一次の卓越振動数の低下率と、柱および杭頭部の損傷レベルの関係を構築することはできない。

そこで、部材の損傷をフレーム要素の剛性の低下で表現した骨組み解析モデルを用いた固有値解析を実施し、柱および杭頭部が単独に損傷した場合の固有振動数の低下率と、両者が損傷した場合の固有振動数の低下率の関係を調べた。なお、本件では、大型模型試験の結果から、固有振動数の低下率は卓越振動数の低下率と同等であることを前提条件としている。剛性を低下させる箇所は、図 2 に示す損傷部位である、柱の上床版と地中

梁との結合部から 1D (D:柱幅) 区間と杭頭部の地中梁結合部から 1D'区間 (D':杭頭部幅) とし、柱の 1D 区間と杭頭部の 1D'区間を、100%, 50%, 20%, 10% の 16 通りの組み合わせで剛性低下率を変化させた解析を実施した。柱の剛性のみが低下した場合の固有振動数の低下率 α 、杭頭部の剛性のみが低下した場合の固有振動数の低下率 β 、柱、杭頭部ともに損傷した場合の固有振動数の低下率 γ とした際の $\alpha \times \beta$ と γ の関係を図 3 に示す。剛性低下率の組み合わせに拘らず次式の関係が成り立つことが分かる。

$$\gamma = \alpha \times \beta \tag{2}$$

よって、式(2)を用いれば、柱、杭頭部両者が損傷した場合の全体一次の卓越振動数の低下率は、大型模型試験から得られる、柱、杭頭部それぞれが単独に損傷した場合の卓越振動数の低下率を、式(2)に代入することで求めることができる。なお、柱の剛性のみを低下させる固有値解析において、大型載荷試験で実施したジャッキによる地中梁固定の有無、埋め戻し土の有無の影響を検討し、それらの影響は固有振動数の低下率に対して些少であること確認した。

一方、大型模型試験では、載荷前の卓越振動数と、柱載荷および杭頭部載荷いずれも終了した載荷後の柱と杭頭部両者が損傷した場合の卓越振動数はそれぞれ 3.75Hz, 1.71Hz であり、卓越振動数の低下率は 0.46 (=1.71/3.75) である。この値は、杭頭部載荷後の杭頭部材のみが損傷した場合の全体一次の卓越振動数の低下率 0.77 に、柱部材載荷後の柱のみが損傷した場合の卓越振動数の低下率 0.62 を乗じて求めた値 0.48 と同等であり、式(2)の関係を概ね満たしていることが確認できる (図 3 中「試験」参照)。本手法により、全体一次の低下率の要因を柱および杭頭部材で分解することが可能であることが確認できた。

ただし、実際に柱部材と杭頭部材の損傷程度において全体一次の低下率を分解するには、柱と杭頭部材が同時に損傷した場合に各部材の損傷レベルを定量的に評価する必要がある。そこで、柱部材の損傷程度については、松本ら²⁾の部材角測定装置を用いて柱の卓越振動数の低下率を把握し、全体一次の低下率から杭頭部材の卓越周波数の低下率を把握することが可能であると考えられる。また、その他の方法として、関ら³⁾、田中ら⁴⁾が示すように柱打撃による衝撃振動試験を行うことで、柱の損傷レベルを明確にすることも可能であると考えられる。

3. まとめ

大型模型試験および固有値解析結果より、柱と杭頭部の損傷レベルを常時微動の卓越振動数の低下率から検知する手法を構築した。今後、実測事例を増やす等して、実構造物への適用性について検討する必要がある。

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) 石原匠, 西岡英俊, 阿部慶太, 仁平達也, 名取努: 1柱1杭式RCラーメン高架橋大型模型の正負交番載荷試験による振動数の低下傾向について, 土木学会第72回年次学術講演会(投稿中)
- 2) 松本光矢, 曾我部正道, 仁平達也: 応答部材角測定による高架橋群の地震被害評価法, 鉄道総研報告, Vol.23, No.12, 2009
- 3) 関雅樹・西村昭彦・佐野弘幸・中野聡: RCラーメン高架橋の地震時損傷レベルの評価に関する研究, 土木学会論文集, No.731/I-63, 51-64, 2003.4
- 4) 田中宏昌・関雅樹・下村勝・中野聡: ラーメン高架橋の健全度に関わる柱の剛性評価法の研究, 構造工学論文集, Vol.47, pp.1019-1028, 2001.3

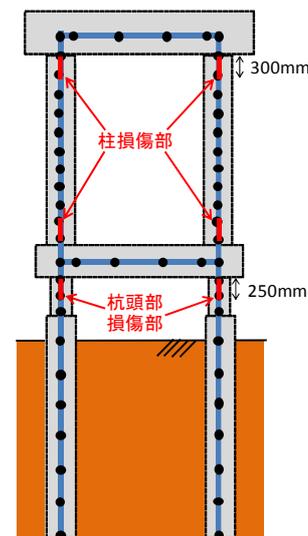


図 2 骨組み解析モデル

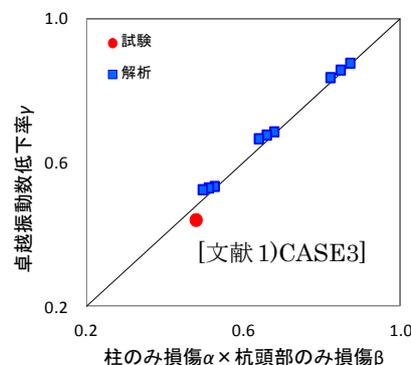


図 3 $\alpha \times \beta$ と γ の関係