

## 衝撃振動試験による鉄道ラーメン高架橋ならびに鋼桁の固有振動数に関する分析

(公財) 鉄道総合技術研究所 正会員 ○萩谷 俊吾 正会員 佐名川太亮 正会員 中島 進

### 1. はじめに

鉄道の橋りょうや高架橋下部工の健全度評価に関する主な現地試験方法の一つに衝撃振動試験がある<sup>1),2)</sup>。これは、橋脚や高架橋の上部を重錘（一般に約30kg）で打撃して得られる固有振動数により健全度を評価するものである。本試験法が開発されて約30年が経過するが、維持管理の実務において広く普及している。

本稿では、ラーメン高架橋の構造全体系一次の固有振動数と、橋脚と連成して応答する桁の固有振動数の二点について、実測データをもとに分析を行った結果を報告する。

### 2. ラーメン高架橋の構造全体系一次の固有振動数に関する分析

#### 1) ラーメン高架橋の衝撃振動試験の課題

鉄道では建設・保守費の優位性や都市機能の阻害防止の観点からラーメン高架橋が多く供用されている。一方、衝撃振動試験による健全度評価の方法として、固有振動数の実測値を標準値（健全なものであった場合に保有すべき固有振動数）で除した値（健全度指標値 $\kappa$ ）で評価する方法<sup>3)</sup>がよく用いられる。標準値の算定式は、橋脚では全国の多数の橋りょうをもとに構築されているが<sup>1)</sup>、ラーメン高架橋では特定路線の高架橋をもとに構築<sup>4)</sup>されていて適用範囲が限定的である。そこで、多様な構造形式のラーメン高架橋の固有振動数（構造全体系一次）の標準値算定式の提案を目的として分析を行った。

#### 2) 分析の概要と結果

杭基礎形式のラーメン高架橋計107ブロックの実測データを対象とした。これらの衝撃振動試験は高架橋の天端側面を重錘で打撃することで得られる構造全体系一次の固有振動数の把握を目的としたものである。既往の標準値算定式のサンプルデータ<sup>4)</sup>と比較すると、建設年（1969年～2016年）および固有振動数（2.0Hz～6.1Hz）が広い範囲にあるのが特徴である。なお、対象とする高架橋の変状に関する調査は実施していない。

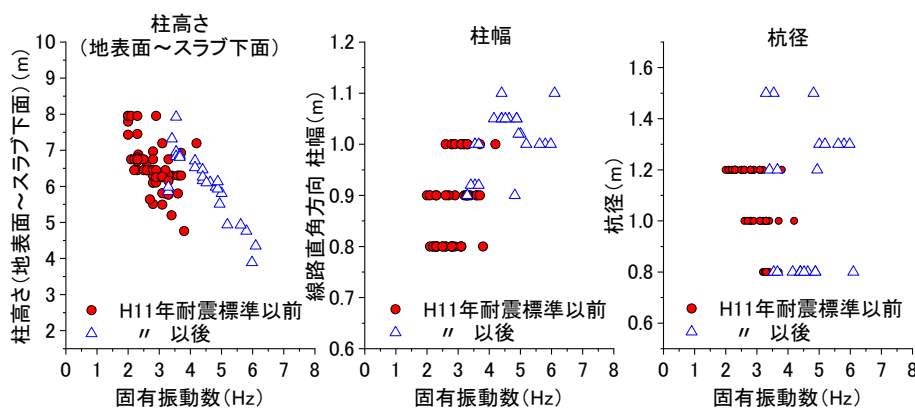


図1 固有振動数と柱高さ、柱幅、杭径との相関関係

図1に既往の標準値算定式<sup>4)</sup>の変数である柱高さ（地表面～スラブ下面）、柱幅、杭径と固有振動数の関係を示す。図中、レベル2地震動が導入された「鉄道構造物等設計標準・同解説（耐震設計）平成11年版<sup>5)</sup>」（以下、平成11年版耐震標準）の制定年を基準として分けて記載しているが、平成11年版耐震標準の以後で固有振動数が明らかに大きくなっている。

ここで、固有振動数は柱高さ（基礎上端～スラブ下面）、柱幅、杭径を変数とした累乗近似式で表すことができると仮定し、柱高さと柱幅の指数は基礎上端を固定端とした門型ラーメンの水平固有振動数の理論式から算出し、杭径の指数ならびに項の係数について回帰分析を行った結果が式(1)である。

$$F = 72.1H^{-1.5} \times D_1^{2.0} \times D_2^{0.1} \quad \dots \text{式(1)}$$

$H$ : 柱高さ（基礎上端～スラブ下面）(m),  $D_1$ : 柱幅 (m),  $D_2$ : 杭径 (m)

固有振動数の実測値と式(1)あるいは既往の標準値算定式<sup>4)</sup>による算定値の関係を図2に示す。図より、式(1)に

キーワード 橋りょう, 高架橋, 基礎構造物, 衝撃振動試験, 固有振動数  
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

よる算定値は実測値と広い範囲の固有振動数で概ね一致した（決定係数 0.73）．式(1)は基礎部が十分に剛で基礎より上部の門型ラーメン部材が1自由度系で自由振動すると仮定したものであり，固有振動数の実測値が式(1)の算定値よりも明らかに小さい場合は基礎の変状が疑われる．以上より，一般に基礎の変状は目視不可だが，衝撃振動試験で固有振動数の実測値と式(1)の算定値を比較することで基礎の変状の有無の推定が可能と考えられた．

### 3. 橋脚との相互作用で応答する桁の固有振動数に関する分析

#### 1) 橋脚の衝撃振動試験における桁の固有振動数が及ぼす問題

橋脚の衝撃振動試験では，橋脚の天端側面を打撃して橋脚の自由振動を励起させる．しかし，橋脚が支持する桁の自由振動が同時に励起されて，橋脚の固有振動数の同定が困難となる場合がある．そこで，橋脚の固有振動数の同定する際の参考として，桁の支間長に応じた固有振動数について分析を行った．

#### 2) 分析の概要と結果

衝撃振動試験において桁の上フランジに設置した振動センサで収録された計 116 データを用いた．これらのデータの加振方法は図3に示す2通りがあり，数量の内訳はおおよそ半々である．

図4に桁の支間長と固有振動数の関係を示す．同図には過去に計測された列車通過後の残留振動計測<sup>6)</sup>で同定した固有振動数も合わせて記載した．既往の検討により桁の支間長( $L$ )と列車非載荷時の鉛直固有振動数( $n_0$ )は式(2)で近似できることが示されている<sup>6),7)</sup>が，鉛直方向は式(2)，水平方向は式(2)に1/2を乗じた場合と概ね一致した．

$$n_0 = 180 \cdot L^{-1.0} \cdots \text{式(2)}$$

橋脚の固有振動数を同定する際に図4は参考となるが，実測値のばらつきがある．これは対傾材や橋側歩道等の二次部材の有無や形状の差異によることが考えられる．したがって，橋脚の固有振動数の特定が困難な場合は，桁の固有振動数を現地計測したり，特定の固有振動数の値のみではなくフーリエスペクトルの波形形状と合わせて管理したりすることが重要である．

### 4. おわりに

本稿では，鉄道構造物の維持管理で活用されている衝撃振動試験について，杭基礎形式のラーメン高架橋の標準的な固有振動数や鋼桁の支間長と固有振動数の関係について示した．引き続き，今回提案したラーメン高架橋の標準値算定式の適用性の検証や，実測データをもとにした種々の分析を行っていく予定である．なお，本分析にあたり鉄道事業者各社の方々から衝撃振動試験の実測データをご提供いただいた．ここに感謝の意を表します．

**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，第3巻第8号，1992.3. 2) 西村昭彦：ラーメン高架橋の健全度評価法の研究，鉄道総研報告，第4巻第9号，1990.9. 3) 鉄道構造物等維持管理標準・同解説（構造物編）基礎・抗土圧構造物，丸善出版，2007. 4) 西村昭彦・羽矢洋：衝撃振動試験による山陽新幹線構造物の健全度判定，基礎工 Vol.24, pp.73-79, 1996.9. 5) 国土交通省監修・鉄道総合技術研究所編：鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計，丸善出版，1999. 6) 橋本香一：鋼鉄道橋の応力および衝撃に関する研究，鉄道技術研究報告，1970.6. 7) 鉄道構造物等設計標準・同解説 鋼・合成構造物，丸善出版，2009.

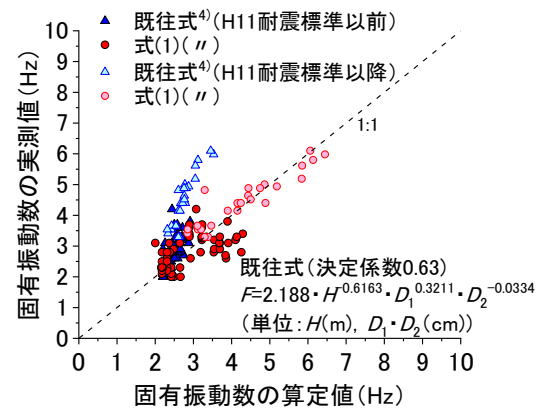


図2 固有振動数の実測値と算定値

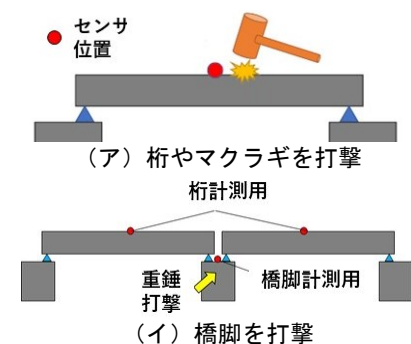


図3 桁の加振方法

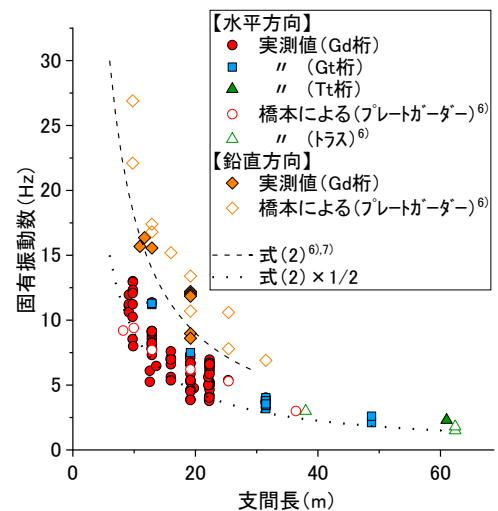


図4 支間長と固有振動数の関係