

異なる振動レベルにおける コンクリート高架橋の振動特性の把握に関する研究

宇都宮大学 学生員 ○ 齋藤 廣太郎 フェロー 中島 章典
学生員 竹嶋 竜司 学生員 齋藤 拓哉

1. はじめに

橋梁構造物などの動的特性を把握する際に、その構造物の固有振動数や減衰定数などの振動特性を確認することは重要であり、これまでに多くの橋梁構造物に対して振動計測が行われ、解析モデルとの比較が行われてきた。この中の計測手段の1つとして常時微動計測が挙げられる。常時微動計測では加振手段を必要とせず、供用中の橋梁でも簡単に計測できるという特徴を持っており、常時微動による計測あるいは計測結果を用いた研究が数多く行われてきている^{1)~3)}。しかしながら、常時微動は非常に微小な振動を計測していることより、データ解析にデリケートさが要求されるため¹⁾、常時微動計測で把握した振動特性が、実地震動のような大きな振動下の振動特性にも対応するかどうか疑問視されることもある。

そこで本研究では、2体のRC橋脚模型に上部構造を加えた単径間のコンクリート高架橋模型を用いて微小振動から、実橋脚では計測規模や作業の難易度の関係上困難であった、より大きな振幅の振動まで加振を行い、計測された固有振動数や減衰定数などの振動特性について考察を行った。

さらに、橋梁構造物は一般的に地盤に支持されているため、地盤が橋梁の振動特性に与える影響は大きい³⁾。そこで本研究では、固定度の高い状態と地盤を模擬した状態の2つの橋脚基部の状態に変化をつけたケースで振動計測を行った。これより2つのケースを比較し振動特性の変化を確認した。

2. 自由振動計測

(1) RC橋脚における計測

本研究ではまず、RC橋脚模型2体作成し、自由振動計測を行った。RC橋脚模型の寸法などを図-1に示す。

計測器は、橋脚頂部に橋軸方向、フーチング上には鉛直方向に加速度計を設置し、人力により加振を行った。加振は橋脚頂部の最大応答加速度が $0.1\text{m/s}^2 \sim 20\text{m/s}^2$ 程度になるように、微小振動から大振幅まで大きさを変えて行い、応答加速度を計測した。

また、振動計測はRC橋脚基部の状態を変化させた2つのケースについて、同様の計測方法で行った。1つは固定された振動台上に鉛直補剛材を有するH鋼を設置し、その上にRC橋脚模型をボルトで固定した状態。もう1つは地盤を模擬するため、コンクリート床上に砂を敷き、その上にRC橋脚を固定せずに置いた状態とした。それぞれの基部の状態を図-2に示す。それぞれのケースを固定状態、模擬地盤と定義する。

(2) 高架橋模型における計測

RC橋脚模型と同様にして、ゴム支承を有する単径間のコンクリート高架橋模型を用いて、微小振動から大振幅までの橋梁完成系の振動特性を検討するために、図-1のような高架橋模型を作成した。計測器は、橋脚頂部上の上部構造に橋軸方向、フーチング上には鉛直方向に加速度計を設置し、人力により加振を行った。加振は橋脚頂部の最大応答加速度が $0.1\text{m/s}^2 \sim 2.0\text{m/s}^2$ 程度になるように、微小

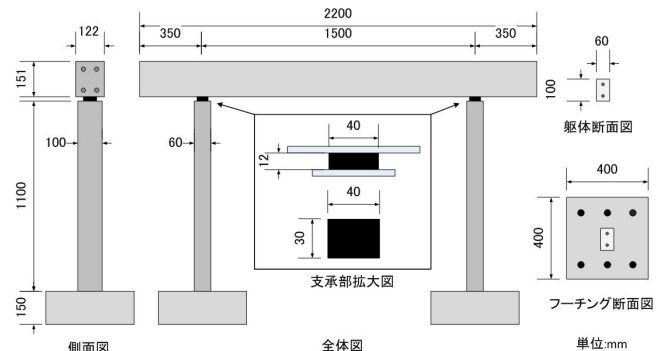


図-1 計測対象模型

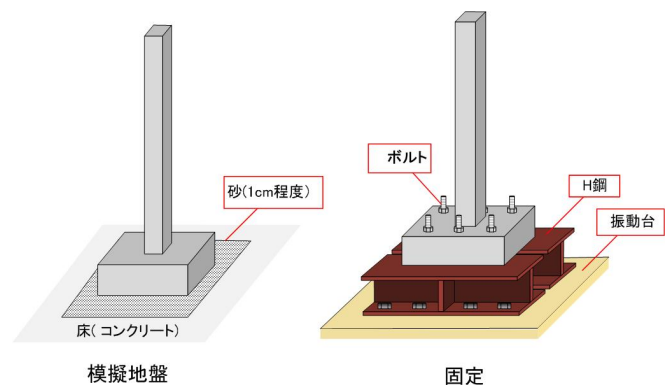


図-2 橋脚基部の状態

振動下から大振幅まで大きさを変えて行い、応答加速度を計測した。また、計測ケースはRC橋脚と同様にして、RC橋脚基部の状態を変化させた2つのケースで計測を行った。

3. 固有値解析

RC橋脚模型およびコンクリート高架橋模型における固有振動数を解析により求めるためにそれぞれ梁要素を用いてモデル化を行った。まず、RC橋脚模型については、14節点13要素に分割し、基部は完全固定とした。

次に、高架橋模型の解析モデルでは、58節点57要素に分割し、基部は完全固定とした。また、支承部には水平、鉛直、回転のばね定数を組み込んだ。水平ばね定数は、ゴムの要素実験を行い、水平変位と水平力の関係の傾きより算出した値、 968.7kN/m を用いた。鉛直ばね定数については、既往の研究⁴⁾より単層ゴム(緩衝材)において、断面積や厚さなどの形状、およびゴムの硬度から、圧縮剛性を算出する式に基づいて求めた。算出した圧縮剛性 785.7kN/m を鉛直ばね定数として解析に組み込んだ。回転ばね定数については、十分小さい値 $1.02 \times 10^{-7}\text{kNm/rad}$ を用いた。解析において、支承部分の鋼板の影響は小さいと考えられるので、鋼板は無視した。

RC橋脚模型と高架橋模型双方において、振動実験は微小振動下で行われるため、解析に組み込むコンクリート材料の弾性係数には動弾性係数を用いた。

Key Words: 常時微動, 振動レベル, コンクリート高架橋, RC橋脚模型, 固有振動数, 減衰定数

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6208

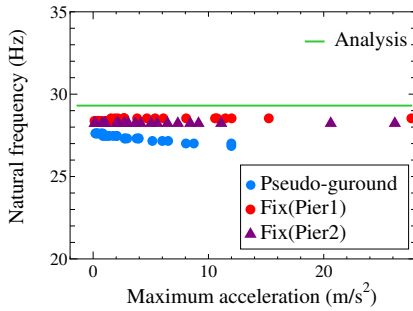


図-3 RC 橋脚模型の固有振動数

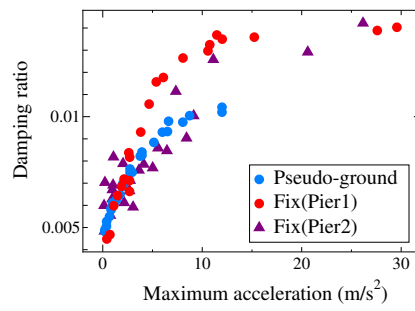


図-4 RC 橋脚模型の減衰定数

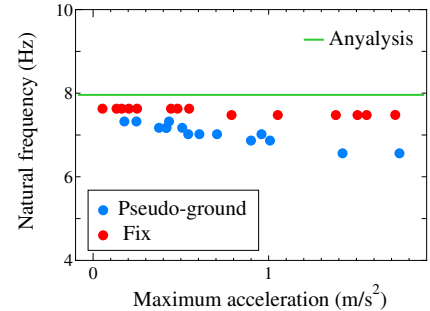


図-5 高架橋模型の固有振動数

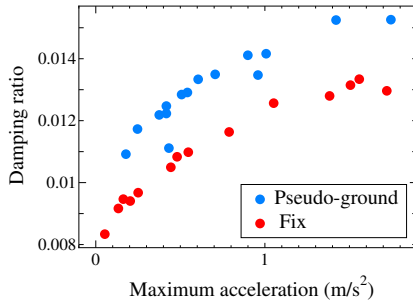


図-6 高架橋模型の減衰定数

以上より、RC 橋脚模型および高架橋模型において求められた固有振動数を表-1 に示す。

4. 自由振動実験結果と考察

(1) RC 橋脚模型

まず、RC 橋脚模型の固有振動数の実験結果を表-1 に示す。また、1つのRC 橋脚模型について基部の固定状態による固有振動数を比較したものを図-3 に示した。まず、RC 橋脚模型について固定状態の場合には、2体ともほぼ一定の値を示した。一方、模擬地盤の場合には1体がばらつきの大きい結果となってしまった。模擬地盤については、砂の状態が振動特性に大きな影響を与えるため、砂の締め固めの具合により、データにばらつきが生じてしまったと考えられる。もう1体については振動レベルが大きくなるにつれて固有振動数が小さくなる傾向を示した。さらに、どちらの状態においても、図-3において緑線で示した解析値より実験値が少し小さな値であることがわかる。固有値解析においては橋脚基部を完全固定としているので、この結果は妥当であり、解析において地盤の考慮が必要である。

次に、減衰定数についての実験結果であるが、固定状態の場合、2段階に減衰しているような自由振動波形が得られた。ここで、1段階目に基づいて減衰定数をとると振動レベルが中程度のときに他の振動レベルのときよりも大きな値となった。これは、H鋼が橋脚模型と同時に揺れて、橋脚基部でH鋼と橋脚模型との間ですべり摩擦が生じることにより、逸散減衰の影響が1段階目の減衰に大きく影響していると考えられる。そこで、自由振動波形において十分に減衰した波数に基づいて減衰定数を算出することとした。

以上を踏まえ、基部の固定状態における減衰定数の比較をしたものを図-4 に示した。これより減衰定数は、固定状態によらず、振動レベルが大きくなるにつれて小さくなる傾向を示した。

(2) 高架橋模型

高架橋模型において固定状態と模擬地盤の固有振動数の実験結果を表-1、図-5 に示した。これらより、固有振動数は固定状態ではあまり変化しないが、模擬地盤では振動レベルが大きくなるにつれて固有振動数が小さくなる傾向が確認できた。また、図-5の緑線で示した解析値より実験

表-1 固有振動数 (Hz)

対象	模擬地盤	固定
固有値解析	RC 橋脚 高架橋	29.5 7.9
実験結果	RC 橋脚 1 RC 橋脚 2 高架橋	- 26.9~27.6 6.6~7.3
		28.4~28.5 28.2 7.5~7.6

値が小さいことから、解析において地盤の考慮が必要であると考えられる。

次に、固定状態と模擬地盤の減衰定数の実験結果を図-6 に示す。これより、振動レベルが大きくなるにつれて減衰定数も大きくなる傾向を示した。また、模擬地盤状態では固定状態に比べ減衰定数が大きくなった。これは、模擬地盤の方が、基部の逸散減数の影響を大きく受けるためと考えられる。

5. おわりに

本研究の検討を通して得られた主な結論を以下に示す。

1. 高架橋模型と橋脚模型どちらも基部を固定とした場合、振動レベルが大きくなるにつれて、固有振動数が小さくなるという振幅依存性はあまり見られず、振動レベルが大きくなるにつれて、減衰定数は大きくなるという振幅依存性が見られた。地盤を模擬した状態では、固有振動数と減衰定数どちらにおいても、振幅依存性が見られた。これより橋脚基部の固定度が小さくなると、振幅依存性が顕著に表れることを確認できた。
2. 減衰定数については、RC 橋脚模型とコンクリート高架橋模型において同程度の値を示していることから、支承部での減衰は小さく、材料内部減衰や基部の逸散減衰の影響が大きいと考えられる。
3. 高架橋模型と橋梁模型どちらにおいても、固有振動数の解析値より実験値の方が少し小さい値を示したため、完全固定状態ではないと言える。よって、解析においても橋脚基部に地盤の考慮が必要であると考えられる。

RC 橋脚模型およびコンクリート高架橋模型において、微小振動下で得られた振動特性と大振幅時の振動特性の関連性について信頼性の高い結果を得るためには、橋脚基部の地盤の影響等を適切に取り入れながら、さらにデータの蓄積を行っていく必要があると考えられる。

参考文献

- 1) 日本建築学会：建築物の減衰，丸善，2000.10.
- 2) 大崎順彦：新地振動のスペクトル解析入門，鹿島出版，1994.5.
- 3) 中島章典，中野貴代美，中村晋：常時微動に基づく独立橋脚および橋梁完成系の振動特性の把握，構造工学論文集 Vol.56A，2010.3.
- 4) 北原武嗣，梶田幸秀，西本安志：桁間衝突用緩衝材ゴムの圧縮剛性に関する実験的検討，第10回地震保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2007.2.