

鋼橋模型の振動挙動の時刻歴応答解析による再現性に関する検討

宇都宮大学 学生員 ○伊藤 悠
 フェロー会員 中島 章典
 学生員 竹嶋 竜司
 学生員 Reem Al Sehnawi

1. はじめに

橋梁の耐震設計などに際しては、時刻歴応答解析を用いることも一般的であり、その際にはできるだけ再現性の高い解析モデルの構築が要求される。このための基礎データの収集を目的として、多くの構造物に対して振動計測が行われ、固有振動数や減衰定数などの同定結果と数値解析結果との比較が行われており、振動挙動の再現が試みられてきた^{1)–3)}。

既往の研究では、実橋梁で計測した振動特性と数値解析結果を比較し再現性を検討した事例もあるが、その再現性は必ずしも高くはなく、時刻歴波形やフーリエスペクトルを定性的に比較したものが多い⁴⁾。

そこで本研究では、実橋梁よりも容易に振動特性が把握できる鋼製橋脚と鋼橋模型を用いて、振動挙動の時刻歴応答解析による再現性の精緻化を試みる。

2. 自由振動実験、強制振動実験

(1) 鋼製橋脚における計測

初めに、図-1 のような鋼橋模型の脚となる鋼製橋脚を対象として頂部におもりをボルトで固定し、自由振動実験を行った。断面諸量を表-1 に示した。

計測器の設置場所として、橋脚頂部では橋軸方向、下鋼板上で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。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加振を行い、応答加速度を時間刻み 0.001 秒で 16384 点計測した。次に振動台を用いて強制振動実験を行った。計測器の設置場所として、橋脚頂部では橋軸方向、下鋼板上では鉛直方向に加速度計を設置し、鋼製橋脚を釧路地震波の振幅 30% で加振した。また、応答加速度は時間刻み 0.001 秒で計測した。

(2) 鋼橋模型における計測

鋼製橋脚の上鋼板にボルトで H 鋼を固定し、図-2 のような鋼橋模型を作製した。計測器の設置場所として、橋脚頂部は橋軸方向、下鋼板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。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加振を行い、応答加速度を時間刻み 0.001 秒で 16384 点計測した。次に、振動台を用いて神戸地震波の振幅 50% で加振した。また、応答加速度は時間刻み 0.001 秒で計測した。

3. 固有値解析

鋼製橋脚および鋼橋模型の固有振動数を解析により求めるためにそれぞれ図-3、図-4 のようなモデル化を行った。鋼製橋脚においては、平面の梁要素を用いて、同構造系を 45 節点 44 要素に分割し、基部である節点番号 1 は完全固

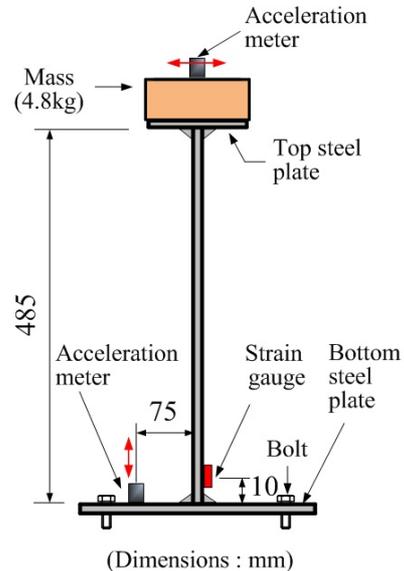


図-1 鋼製橋脚

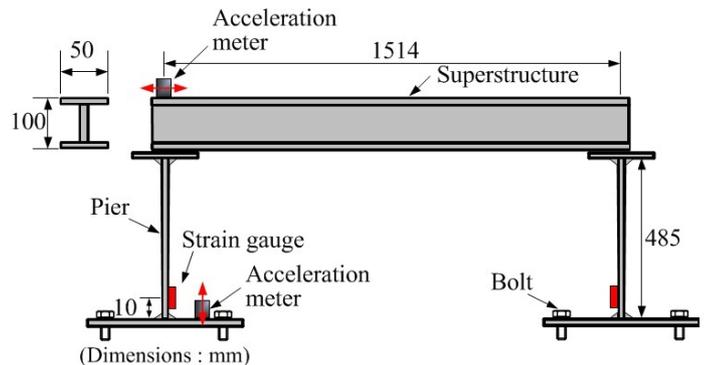


図-2 鋼橋模型

表-1 断面諸量

部材	寸法 (mm)	単位体積重量 (kN/m ³)
上鋼板	9 × 99.8 × 126	75.6
橋脚部材	485 × 19.9 × 11.7	75.9
下鋼板	12 × 300 × 300	76.1
おもり	48 × 85 × 150	76.5
H 鋼	100 × 50 × 6.0 × 6.0	82.9

定状態とした。次に、鋼橋模型においても、平面の梁要素を用いて、同構造系を 59 節点 58 要素に分割し、基部である節点番号 24, 42 は完全固定状態とした。また、鋼製橋脚と H 鋼のつなぎ目となる要素番号 40, 58 は高さのみ持つ、質量を考慮しないオフセット要素とした。

以上より、鋼製橋脚および鋼橋模型において求められた固有値解析結果と実験値を表-2 に示す。

Key Words: 鋼橋模型, 時刻歴応答解析, 二乗平方平方根 (RMS)

〒 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.028-689-6210

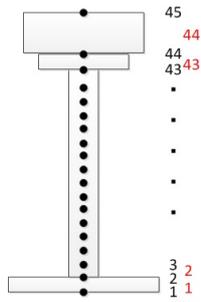


図-3 鋼製橋脚の解析モデル

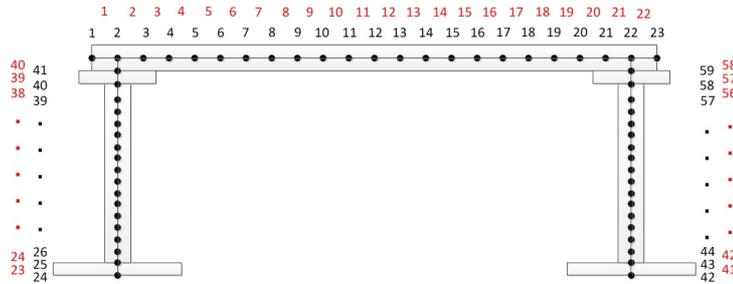


図-4 鋼橋模型の解析モデル

表-2 固有値解析結果と実験値の比較 (Hz)

	固有値解析	実験値
鋼製橋脚	7.13	7.08
鋼橋模型	13.4	13.2

4. 時刻歴応答解析

(1) 鋼製橋脚

初めに、釧路地震波の振幅 30%で加振した実験結果と基部を完全固定状態にした時刻歴応答解析結果の時刻歴波形とフーリエスペクトルを図-5, 図-6に示した。これらを比較すると明らかに振動波形や振幅が異なっていることがわかる。また、表-2のように固有振動数も異なることから実際には完全固定状態ではないことが考えられる。そこで、基部に回転地盤ばねと回転ダッシュポットを組み込み、解析を行った。

回転地盤ばね定数の値を変えることで、固有振動数の値が変わる。このことから、解析モデルの固有振動数が実験値である 7.08Hzになるよう地盤ばね定数を設定した。次に、回転ダッシュポットの減衰係数を変えることで、減衰定数の大きさは変わるが、減衰定数は振幅依存性があるため特定できない。そこで、回転ダッシュポットの減衰係数を変えていき、時刻歴波形とそのフーリエスペクトルにおいて実験結果と解析結果の二乗平方平方根 (RMS) を比較することで、回転ダッシュポットの減衰係数の同定を試みた。その結果を、時刻歴波形については図-7、フーリエスペクトルについては図-8に示した。なお、図-7-a, 図-8-aは縦軸にRMS, 横軸に回転ダッシュポットの減衰係数をとっており、図-7-b, 図-8-bにおいては、縦軸にRMS, 横軸に減衰定数をとっており、赤点が時刻歴波形においてRMSが最も小さい値で、緑点がフーリエスペクトルにおいてRMSが最も小さい値である。矢印は回転ダッシュポットの減衰係数の推移を示している。

図-7-a, 図-8-aより時刻歴波形とそのフーリエスペク

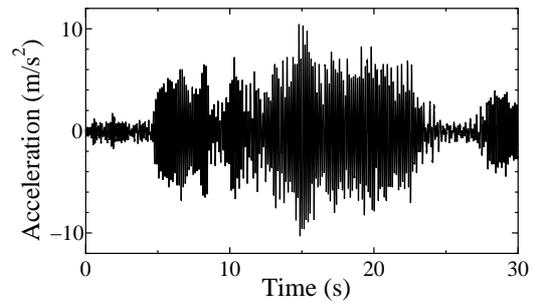


図-5-a 時刻歴波形

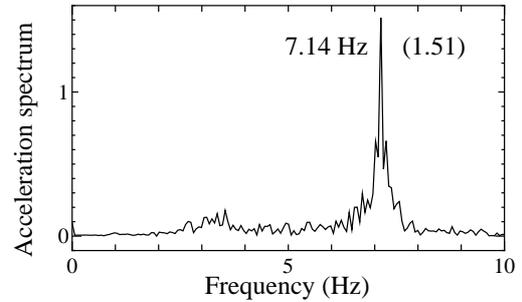


図-5-b フーリエスペクトル

図-5 釧路地震波 30%(実験値)

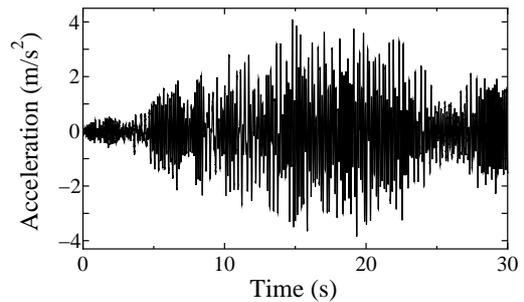


図-6-a 時刻歴波形

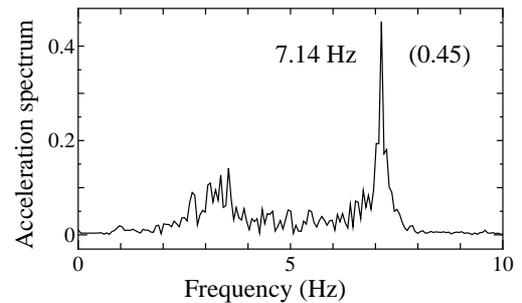


図-6-b フーリエスペクトル

図-6 釧路地震波 30%(基部固定)

トルでRMSが最も小さくなるときの回転ダッシュポットの減衰係数は異なることがわかる。

また、それぞれRMSが最も小さい値をとるときの回転ダッシュポットの減衰係数を用いて時刻歴応答解析を行った結果を図-9, 図-10に示した。振幅の大きさやフーリエスペクトルのピーク値など、若干異なるがある程度再現できている。

(2) 鋼橋模型

神戸地震波の振幅 50%で加振した実験結果と、基部に回転地盤ばねと回転ダッシュポットを組み込んだ解析結果を比較する。まず、解析モデルの固有振動数が実験値である 13.2Hzになるよう地盤ばね定数を設定した。また、鋼製

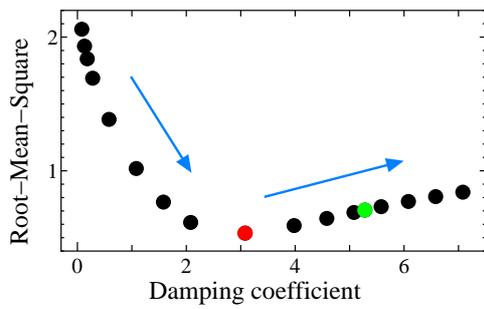


図-7-a RMS-回転ダッシュポットの減衰係数

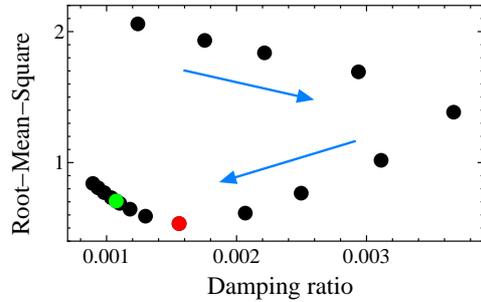


図-7-b RMS-減衰定数

図-7 時刻歴波形における RMS

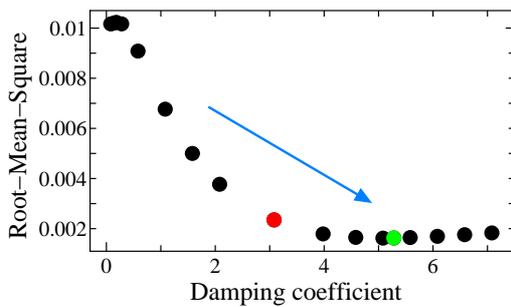


図-8-a RMS-回転ダッシュポットの減衰係数

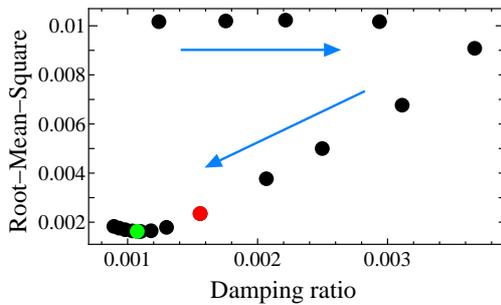


図-8-b RMS-減衰定数

図-8 フーリエスペクトルにおける RMS

橋脚と同様に、2つの鋼製橋脚の回転ダッシュポットの減衰係数を変えることで、減衰定数は変わることから、時刻歴波形とそのフーリエスペクトルにおいて実験結果と解析結果のRMSを比較し、回転ダッシュポットの減衰係数を同定した。その結果を図-11に示した。なお、RMSの値の大きさによって色分けされており、図-11-aでは、赤い部分が最も低く、図-11-bでは、青い部分が最も低い。

以上より、鋼製橋脚同様、時刻歴波形とそのフーリエスペクトルでRMSが最も小さくなるときの回転ダッシュポットの減衰係数は異なる。

また、神戸地震波の振幅50%で加振した実験結果を図-12、それぞれRMSが最も小さい値をとるときの回転ダッシュポットの減衰係数を用いて時刻歴応答解析を行った結

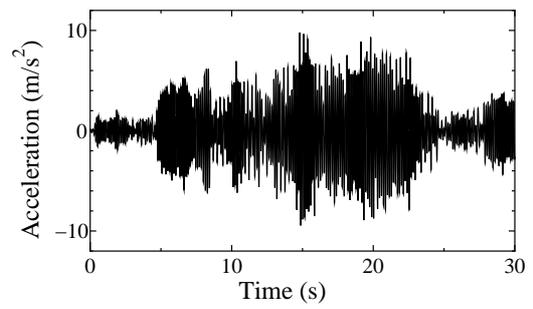


図-9-a 時刻歴波形 (解析値)

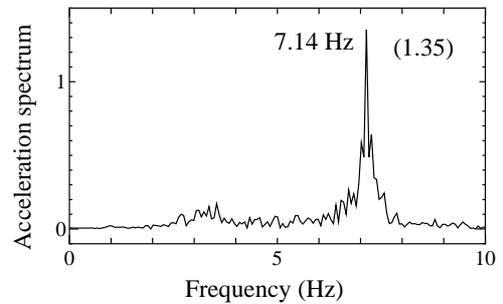


図-9-b フーリエスペクトル (解析値)

図-9 時刻歴波形の RMS 最小時 (鋼製橋脚)

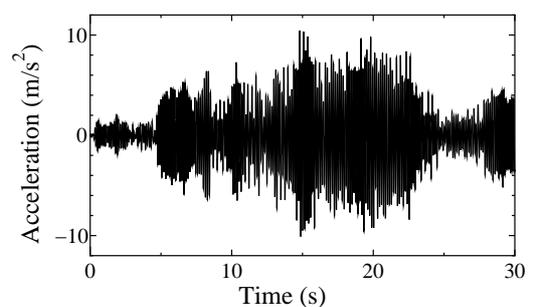


図-10-a 時刻歴波形 (解析値)

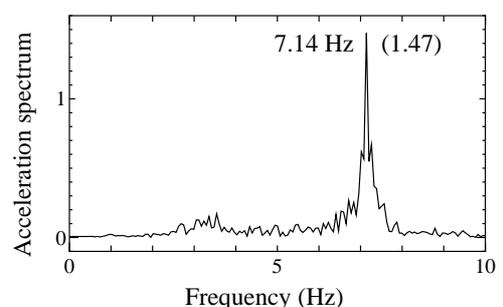


図-10-b フーリエスペクトル (解析値)

図-10 フーリエスペクトルの RMS 最小時 (鋼製橋脚)

果を図-13、図-14に示した。スペクトルのピーク値が若干異なるが、波形や振幅などある程度再現できている。

5. おわりに

本研究では、鋼製橋脚、鋼橋模型の振動挙動の数値解析による再現性を検討した。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. 時刻歴応答解析により構造物の振動挙動を再現する際、固有振動数とその再現性に大きく影響する。
2. 実験結果と解析結果との間の時刻歴波形およびフーリエスペクトルにおける二乗平方平方根の値がそれぞれ最小になるときの橋脚基部に設けた回転ダッシュポットの同定値は異なる。したがって、解析結果の評価に

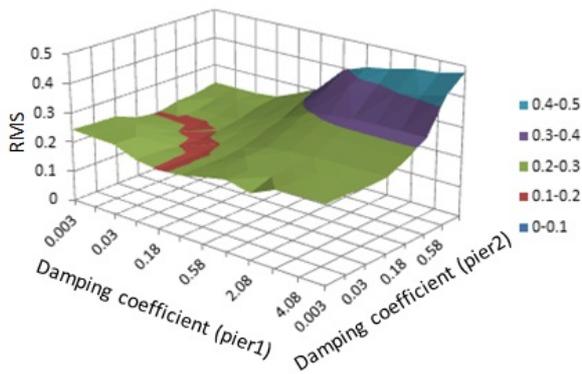


図-11-a 時刻歴波形

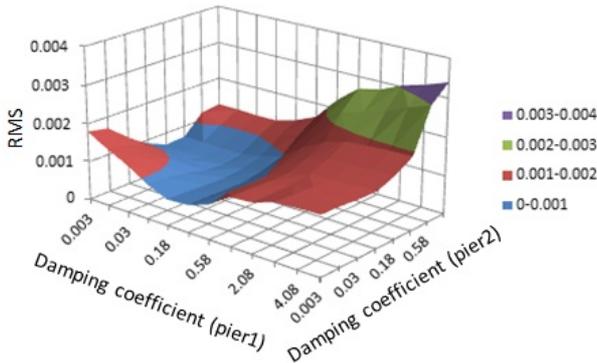


図-11-b フーリエスペクトル

図-11 鋼橋模型における RMS

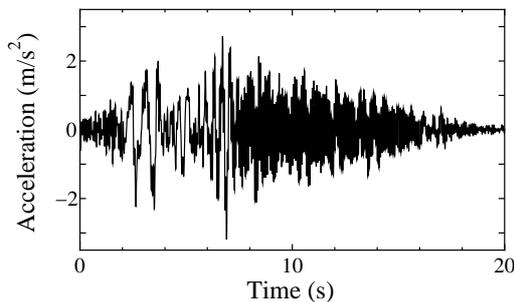


図-12-a 時刻歴波形

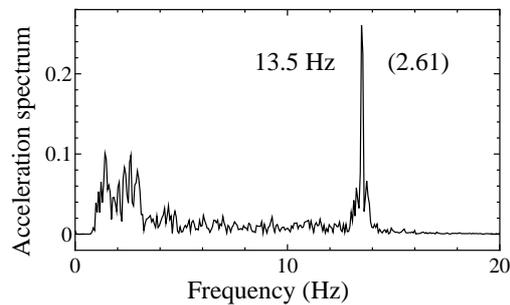


図-12-b フーリエスペクトル

図-12 神戸地震波 50% (実験値)

際して、時刻歴波形とフーリエスペクトルのどちらかを優先するのが検討事項となる。

鋼橋模型の振動挙動の再現性については、橋脚基部の状態の影響を大きく受けることがわかった。今後、実験データを収集し、数値解析において固有振動数の差異の影響などを検討する予定である。

参考文献

1) 山本泰幹, 藤野陽三, 矢部正明: 地震観測された長大吊構造系橋梁の動的特性と動的解析モデルによる再現性, 構造工学

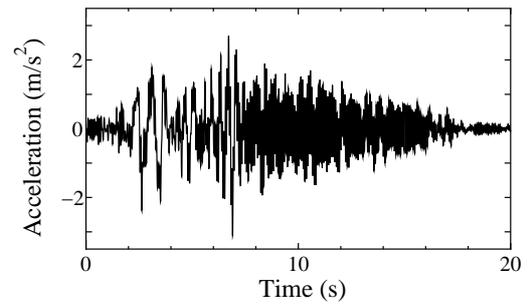


図-13-a 時刻歴波形

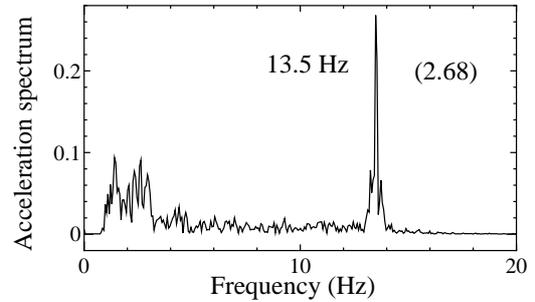


図-13-b フーリエスペクトル

図-13 時刻歴波形の RMS 最小時 (鋼橋模型)

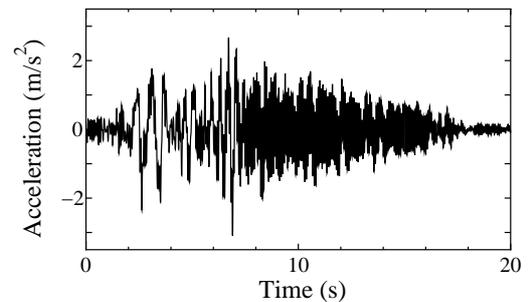


図-14-a 時刻歴波形

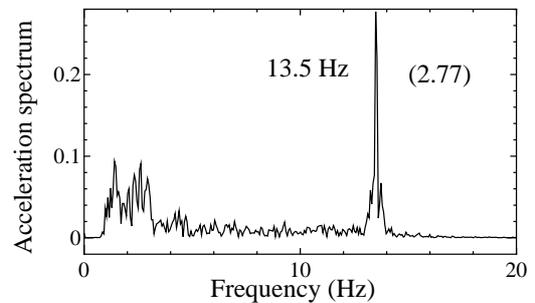


図-14-b フーリエスペクトル

図-14 フーリエスペクトルの RMS 最小時 (鋼橋模型)

論文集 Vol.65A No.3, pp.738-757, 2009.8.
 2) 葛西昭, 宇佐美勉, 能登晋也: 鋼製橋脚一地盤系の地震応答解析における減衰マトリクスに関する一考察, 構造工学論文集 Vol.49A, pp.465-474, 2003.3.
 3) 陵城成樹, 伊津野和行: 道路橋橋脚の耐震設計における動的応答解析法に関する一考察, 地震時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, 2005.2.
 4) 横川英彰, 中島章典, 緒方友一, 青戸清剛, 笠松正樹: 基部からの逸散減衰の影響を含む高架橋模型の振動実験とその解析, 構造工学論文集 Vol.54A, pp.209-217, 2008.3.