

高架橋モデルの地震動下における振動実験 および数値解析

宇都宮大学 学生員 ○ 日野秀幸, 笠松正樹
正会員 中島章典, 横川英彰

1. はじめに

様々な動的荷重を受ける橋梁の設計, 維持管理を行う際, 構造物の動的応答を数値解析によって予測, 検討する必要がある。

本研究では, 図-1 に示すような橋脚, 上部構造, 支承からなる高架橋モデルを対象とする。まず, 橋脚, 上部構造それぞれの自由振動実験と支承の動摩擦試験を行い, 次に, 高架橋全体系の自由振動実験, 振動台を用いた強制振動実験を行い, 着目点の動的応答値を実測する。また, 構造物のモデル化に関しては, 要素実験より得られたそれぞれの減衰特性を組み込み, 動的解析を行って得られた結果と実験結果を比較することで数値解析プログラムの再現性を検討する。

2. 実験概要

実験に用いた試験体の各部材の諸元を表-1 に示す。2本の橋脚の上鋼板の上にそれぞれ固定支承, 可動支承を設置し, 可動支承側の橋脚には十分剛なH型断面の鋼材を用いた。橋脚の下鋼板を M10 のボルト 4 本で振動台に固定し, 逸散減衰の影響が極力生じないように配慮した。高架橋モデルの自由振動実験として, 高架橋の橋軸方向に水平加振した場合と上部構造のスパン中央を鉛直に加振した場合を行った。次に, 地震波を用いた強制振動実験時には振動台を実地震波の加速度データを用いて制御し, 高架橋モデルを橋軸方向に加振した。この時の橋脚基部, 上部構造中央のひずみをひずみゲージで, 可動支承部の変位を非接触式変位計で, 振動台上の加速度を加速度計によって計測した。

また, 橋脚単体, 上部構造と同鋼材の片持ち柱を用いた振動実験を行い減衰定数を算出した。

可動支承部には, 動摩擦試験によって得られた動摩擦係数を用いて摩擦力を算定し組込んだ。動摩擦試験は支承に上部構造重量と同等の重りを載せ, 振動台に正弦波を入力し外力を加えて得られた支承の変位と摩擦力から履歴を描き, 動摩擦係数を算出した。

3. 解析概要

高架橋モデルを図-2 のように要素分割し, 平面骨組のための有限要素法による時刻歴応答解析を行った。モデルのモデル化にあたり, 支承, 橋脚の溶接部, 幾何剛性, せん断変形, 断面の回転慣性, 上部構造の張り出し部分の影響を考慮した。モデル化の方法は参考文献 1) と同様に行った。

支承部の構造は図-2 中に示すようにモデル化し, 要

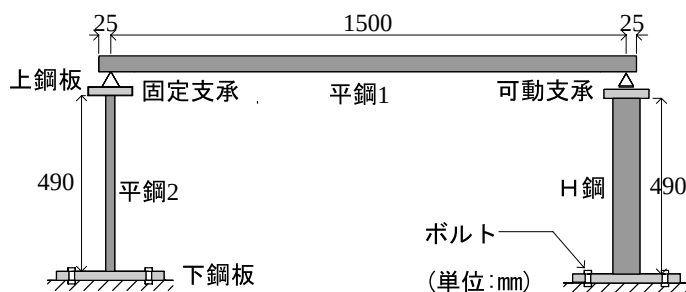


図-1 高架橋模型

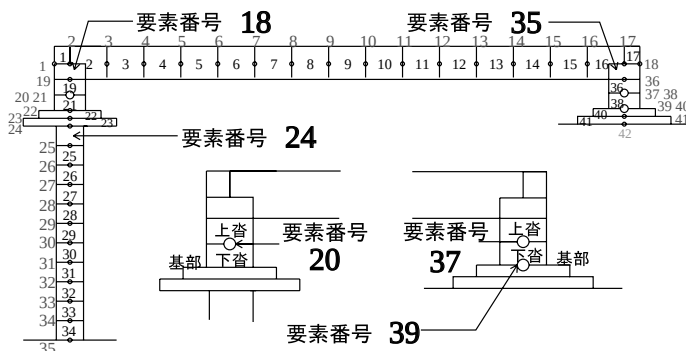


図-2 有限要素モデル

素番号 20, 37 に対応するヒンジ部, 要素番号 39 に対応する可動支承部にそれぞれに水平, 鉛直, 回転のばね要素を挿入した。ヒンジ部の回転方向, 可動支承部の水平方向のそれぞれのばね定数を 0 とし, その他の水平, 鉛直, 回転のばね定数は十分に剛なものとした。橋脚の溶接部は要素 24 に質量を加えて考慮し, 要素番号 18, 35 は質量を考慮しない仮要素とした。

時刻歴応答解析では, 粘性減衰を剛性比例型, 摩擦減衰は摩擦要素を導入して考慮した。粘性減衰に関しては, 橋脚, 上部構造それぞれの振動実験で得られた振動波形から粘性減衰定数を求めて時刻歴応答解析に用いた。摩擦力は動摩擦試験から求めた動摩擦係数を用いて算出した。ここで, 地震波を用いた強制振動時に橋脚の応答が最も卓越する振動数は 5Hz 付近である。そこで, 動摩擦係数は 5Hz の正弦波で外力を加えた場合の動摩擦試験結果から算出した。

強制振動実験時には, 振動台上に取り付けた加速度計で計測した加速度データを入力加速度として解析に用い, 各節点に慣性力として作用させた。

Key Words: 振動台実験, 動的応答解析, 高架橋モデル, モデル化, 減衰特性

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

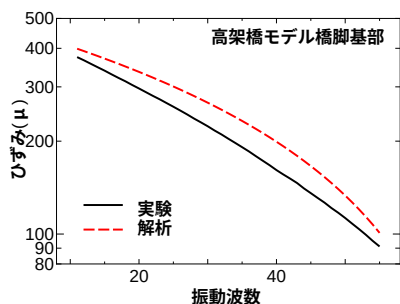


図-3 水平加振時のひずみと振動波数の関係

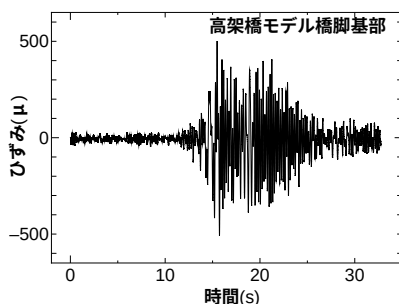


図-4 地震波による強制振動時の振動波形 (実験結果)

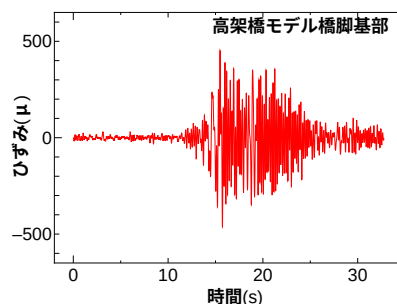


図-5 地震波による強制振動時の振動波形 (時刻歴応答解析結果)

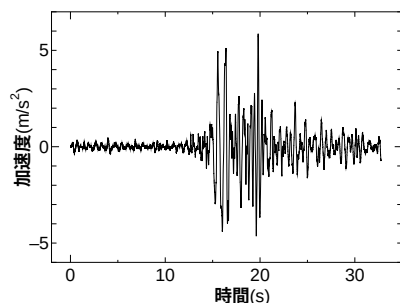


図-6 入力地震波

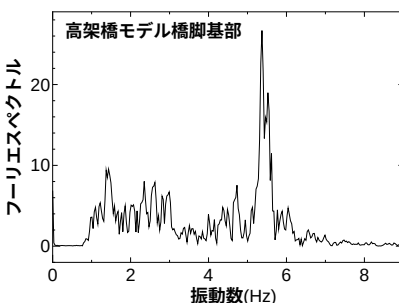


図-7 ひずみ応答のFFT結果 (実験結果)

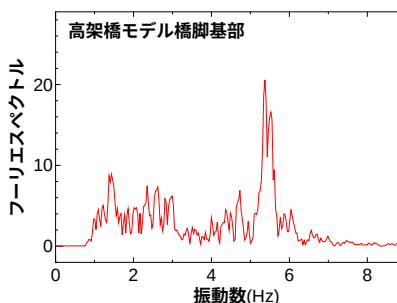


図-8 ひずみ応答のFFT結果 (時刻歴応答解析)

表-1 断面諸量

部材	寸法 (mm)	密度 (t/m ³)
平鋼 1	15.62×37.47	7.846
平鋼 2	11.66×19.76	7.832
H 鋼	100.05×50.39×6.62×5.00	7.969
上鋼板	125.33×99.47×8.57	7.778
下鋼板	300.25×300.90×8.95	7.483

4. 実験結果と解析結果の比較

(1) 自由振動の場合

高架橋モデル水平加振実験時における橋脚基部のひずみデータと、時刻歴応答解析結果より得られた橋脚基部のひずみデータにそれぞれ FFT 処理を行い固有振動数を求めた。その結果、実験結果の固有振動数が 5.37Hz に対し解析結果が 5.31Hz という値が得られた。

また、振動波数とひずみの振幅の関係を図-3 に示す。この図から、実験値が指数的に減衰しているのに対し、解析値は直線的で実験値に比べ減衰が小さい。この要因の一つとして減衰定数のひずみに対する依存性が考えられる。この傾向は橋脚単体の実験結果から確認できた。一方、上部構造のみの振動実験の結果と解析結果のずれが大きいことから、現在考慮している以外の粘性的な減衰が働いていることも考えられる。今回、水平加振時の解析に用いた橋脚の減衰定数は、橋脚の振動実験における橋脚基部のひずみが 300 μ 程度のときの値を用いた。

(2) 振動台を用いた強制振動の場合

振動台を用いた強制振動時における橋脚基部の振動波形の実験結果と解析結果を図-4、図-5、解析に用いた実験時の振動台の応答加速度を図-6 に示す。また、そのデータに FFT 処理を施したものを図-7、図-8 に示す。卓越振動数は実験結果が 5.37Hz に対し解析結果が 5.37Hz となり一致した。FFT の結果、振動波形をそれぞれ比較してみると、実験結果と解析結果の形状は一致しており定性的に再現できたと言える。

次に、ひずみの最大値を比較してみると実験値が 507 μ に対し、解析結果が 453 μ となった。その他のピークの値を見ても解析結果が実験結果より小さい値を示している。今回、解析に用いた橋脚の減衰定数は振動実験のひずみが 300 μ 程度の時の実験結果を用いた。そこで、同ひずみが 200 μ、500 μ 程度の時に対応する減衰定数を用いて解析を試みたが、ひずみのピークなどに大きな差は現れなかった。

5. まとめ

本研究では、高架橋モデルを対象とした振動実験と平面骨組のための有限要素法を用いた数値解析を行い、数値解析プログラムの再現性を検討した。その結果、固有振動数はモデル化や減衰の影響を考慮し精度良く再現できた。また、地震波による強制振動時の振動波形は定性的に再現できた。

参考文献

- 笠松ら：高架橋モデルの振動特性に関する実験とその有限要素法解析，第9回地震時保有耐力法に基づく橋梁の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集，2006.2.