

地震動下における高架橋モデルの減衰特性に着目した研究

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，検討することが必要となる場合がある．

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し，特に減衰特性に着目して数値解析結果の再現性を確認する．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際しては，精緻なモデル化に留意するとともに，要素実験より得られたそれぞれの減衰特性を組み込み，時刻歴応答解析を行って得られた結果と実験結果を比較する．

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．高架橋模型のについては，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の自由振動実験を行った．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，高架橋模型を橋軸方向に加振した．この時の橋脚基部，上部構造スパン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自由振動実験を行い，材料内部減衰に起因する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対応する重りを載せ，振動台に正弦波を入力し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

高架橋模型を図-2 のようにはり柱要素を用いて要素分割し，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．模型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¹⁾．

支承部の構造は図-2 中に示すようにモデル化し，要素番号 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

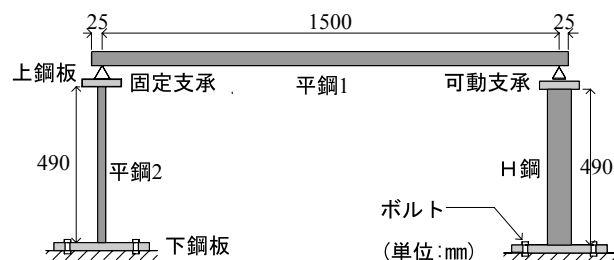


図-1 高架橋模型

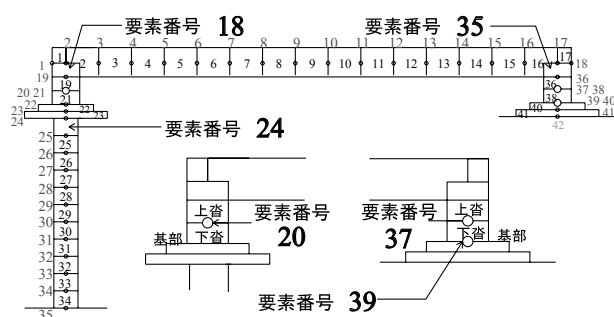


図-2 有限要素モデル

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

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，粘性減衰は剛性比例型の減衰行列として，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，摩擦力は上述のように動摩擦試験から求めて時刻歴応答解析に用いた．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，摩擦力は 5Hz の正弦波で外力を加えた場合の動摩擦試

Key Words: 振動台実験，時刻歴応答解析，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 宇都宮大学大学院工学研究科情報制御システム科学専攻 Tel.028-689-6208 Fax.028-689-6208

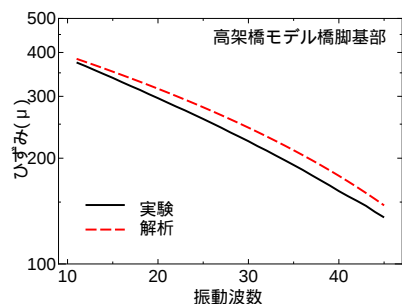


図-3 水平加振時のひずみと振動波数の関係

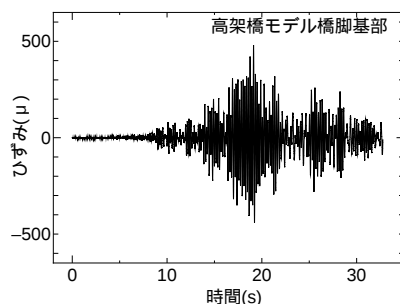


図-4 地震波による強制振動時の振動波形（実験結果）

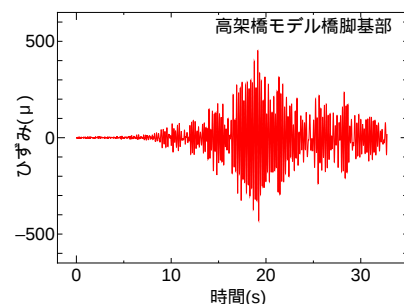


図-5 地震波による強制振動時の振動波形（解析結果）

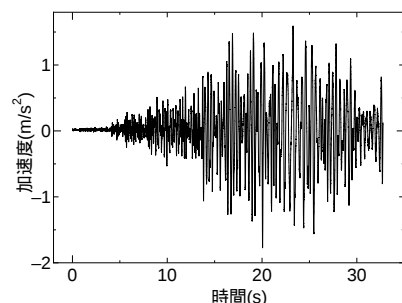


図-6 入力地震波

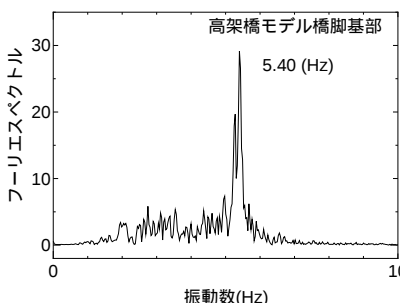


図-7 ひずみ応答のFFT結果（実験結果）

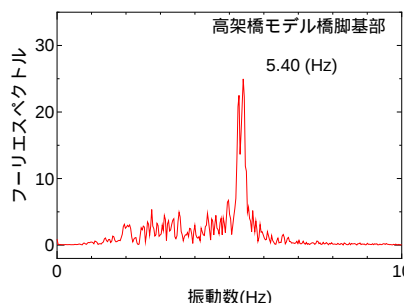


図-8 ひずみ応答のFFT結果（解析結果）

験結果から算出した。

上部構造の自由振動実験結果と、部材の内部摩擦減衰、摩擦力を考慮した数値解析結果を比較したところ、実験結果の減衰が明らかに大きくなった。そこで、支承回転部の減衰を考慮する必要があると考え、その影響を解析に組み込んだ。その結果、実験結果と解析結果は一致し、高架橋の解析にはそれらの値を用いた。強制振動実験時には、振動台上に取り付けた加速度計で加速度を計測し、入力加速度として解析に用いた。

4. 高架橋模型の実験結果と解析結果の比較

(1) 自由振動実験

上述の要素試験の結果を踏まえ、解析に用いる減衰要因として、材料内部減衰、摩擦力、支承回転部の減衰を考慮した。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 300μ 程度のときの値を用いた。

高架橋模型の自由振動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応答にそれぞれ FFT 処理を行い固有振動数を求めた。その結果、実験値が 5.37Hz に対し解析値が 5.31Hz とほぼ一致した値が得られた。また、それぞれのひずみ応答の振動波数とひずみ振幅の関係を図-3 に示す。この図から、厳密には実験結果の粘性減衰の影響が解析結果の減衰に比べ大きく、実験結果は直線、つまり指数的で粘性的な減衰を示したのに対し、解析結果は上に凸の形を示すことがわかる。これは、解析結果の方が、摩擦減衰の影響が大きいことを表しているが、両者は定性的、定量的にほぼ一致していると言える。

(2) 振動台を用いた強制振動実験

振動台を用いた強制振動時における高架橋模型の橋脚基部のひずみの実験結果と解析結果を、それぞれ図-

4、図-5 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。ひずみの最大値を比較すると実験値が 480μ に対し、解析結果が 452μ であり、ひずみの振動波形は良く再現できた。実験結果と解析結果のフーリエスペクトルの形状は定性的には一致している。しかし、フーリエスペクトルのピーク値を見ると、解析結果が実験結果に比べ、比較的小さい値を示している。これは、自由振動実験で述べたように解析の摩擦力を実際の値に比べ大きく考慮している可能性があり、加えて強制振動下では粘性減衰に比べ摩擦力の影響が大きいことが原因と考えられる。

5. まとめ

本研究では、高架橋模型を対象とし、振動実験結果と有限要素法を用い要素実験より得られる減衰要因を組み込んだ時刻歴応答解析結果を比較することで、固有振動特性と減衰特性の再現性を検討した。

その結果、自由振動実験における橋脚基部では、解析結果は固有振動特性と減衰特性はほぼ定量的、定性的に再現できた。次に、地震波を用いた強制振動実験結果と、自由振動実験と同じモデルを用いた数値解析結果を比較したところ、振動波形を定性的、定量的に再現できた。なお、本研究の一部は、科学研究費補助金の補助を受けて実施した。これに対して深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) A.Nakajima et al : Experimental study on vibration characteristics of simple viaduct model and its reproduction by numerical model, 2nd Asia Conference on Earthquake Engineering, 2006.3.