

高架橋モデルの振動特性に関する実験および数値解析による再現

宇都宮大学 ○ 学生員 笠松 正樹
 宇都宮大学 正会員 中島 章典
 宇都宮大学 正会員 斉木 功

1. はじめに

現在，地震，風，交通荷重などの様々な作用により橋梁に生じる振動問題を，橋梁の設計，維持管理段階において数値解析手法を用いて検討しこれに対処しなければならない場合がある．そのためには対象構造をより正確に再現するためのモデル化が必要である．

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模型を用いた．まず，橋脚，上部構造の振動特性を得るために振動実験を行い，次いで高架橋模型全体の振動実験を行った．また，高架橋模型をモデル化する際の様々な要因が固有振動数にどのように影響するかを検討した．固有振動数の実験結果と，平面骨組のための有限要素法を用いた解析結果を比較し，再現性を検討した．

文献1) では高架橋模型の固有振動特性および減衰特性を，剛体ばねモデル解析を用いて検討している．しかし，3次元非線形解析の適用も考えると，有限要素法を用いる方が汎用性があると言える．

2. 実験概要

表-1 は高架橋模型の各部材の諸量を示す．上部構造のスペンは2000mmとし，張り出し部分はスペン2000mmに対して片側25mmとした．橋脚は高さ500mmの平鋼を用い，上鋼板，下鋼板を上下に隅肉溶接した．

表-2 は試験体詳細を示す．橋脚には断面の異なる平鋼1と平鋼2の2種類を用いた．平鋼1，上鋼板1，下鋼板1からなる橋脚を橋脚1と呼び，その橋脚1を用いている高架橋を高架橋1と呼ぶ．同様に，平鋼2，上鋼板2，下鋼板2からなる橋脚を橋脚2と呼び，その橋脚2を用いている高架橋を高架橋2と呼ぶ．

2本の橋脚の上鋼板の上にそれぞれ固定支承，可動支承を設置した．ハンマーにより衝撃力を加えて，自由振動中に上部構造のスペン中央，橋脚基部のひずみをひずみゲージにより測定し，可動支承の水平変位を非接触式変位計を用いて測定した．また，可動支承側の橋脚には十分剛なH形断面の鋼材を用いた．したがって，高架橋全体系の振動時には，基本的に上部構造と固定支承側の橋脚が一体となって振動し，可動支承側の橋脚はほとんど振動しないと考えられる．実験時には下鋼板を基盤にボルト4本で強固に固定して，逸散減衰の影響が極力生じないように配慮した．

図-2 は支承部の詳細を示す．支承の質量は固定支承で571.5g，可動支承で853.3gである．

ひずみおよび水平変位のデータ測定にはデジタル動ひずみ測定機を使用した．各データのサンプリング周波数は2000Hzとした．

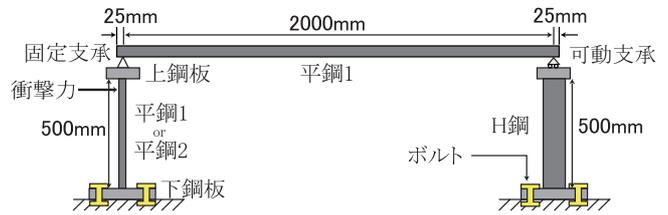


図-1 高架橋模型

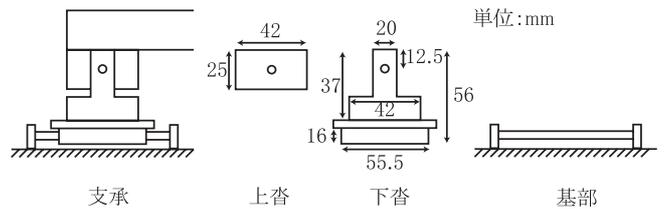


図-2 支承部詳細

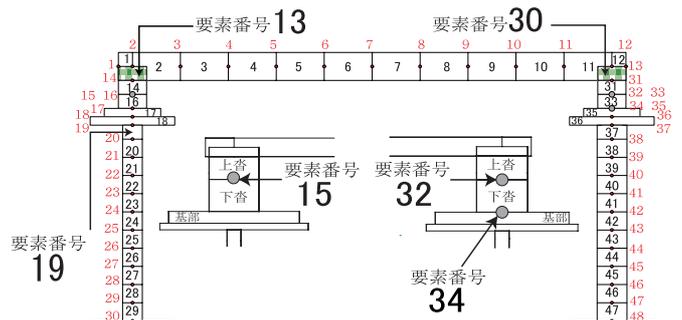


図-3 有限要素モデル

3. 実験結果

橋脚，上部構造，高架橋の各実験より得られたひずみデータから固有振動数を得るためにFFTを行った．表-3，表-4はFFTのスペクトルピークより求めた固有振動数の実験結果を示す．

4. 解析概要

本研究では，図-3 に示す高架橋を47要素に分割して，平面骨組のための有限要素法による固有値解析を行った．固有値解析では支承のモデル化，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，橋脚の溶接部分の影響を考慮した．

支承の構造は複雑なので正確にモデル化することは難しい．そこで支承を図-3のように上沓，下沓，基部の3つの要素に分けてモデル化した．図-3中の要素番号15，32に対応する上沓-下沓間のヒンジ部には，ばね要素を配置した．

Key Words: 振動実験，高架橋模型，モデル化，固有値解析

〒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

表-1 断面諸量

部材	寸法 (mm)	密度 (t/m ³)	質量 (g)	弾性係数 (GN/m ²)
平鋼 1	15.73×38.02	7.771	2323.8(500mm あたり)	206.73
平鋼 2	11.68×19.76	7.734	897.0(500mm あたり)	209.02
H 鋼	100.15×50.12×6.72×4.97	7.925	4376.8(500mm あたり)	204.58
上鋼板 1	124.30×99.69×5.97	7.343	539.6	-
下鋼板 1	300.81×232.34×15.96	7.648	8530.8	-
上鋼板 2	124.74×99.62×5.57	7.776	538.2	-
下鋼板 2	300.33×230.24×15.87	7.759	8515.0	-

表-2 試験体詳細

橋脚 1	上鋼板 1, 下鋼板 1, 平鋼 1 からなる橋脚
橋脚 2	上鋼板 2, 下鋼板 2, 平鋼 2 からなる橋脚
上部構造	支承, 平鋼 1 からなる単純梁
高架橋 1	上部構造, 支承, 橋脚 1 からなる高架橋
高架橋 2	上部構造, 支承, 橋脚 2 からなる高架橋

水平 (橋軸) 方向, 鉛直方向には剛な結合条件を満たすようなばね定数を用い, 回転方向においてはヒンジの条件を満たすように, ばね定数を 0 とした. 可動支承側の要素番号 34 に対応する下沓 - 基部間にもばね要素を配置し, 鉛直方向, 回転方向には剛な結合条件を満たすようなばね定数を用い, 水平方向においては可動支承の条件を満たすように, ばね定数を 0 とした. 固定支承側の下沓 - 基部間には, ばね要素を考慮しなかった.

橋脚に用いた平鋼と上鋼板は溶接により接合されている. そこで, 溶接部の質量は上鋼板直下の平鋼の要素 (図-3 の要素番号 19) に含まれるものとした. 図-3 に示す要素番号 13, 30 は質量を考慮しない仮要素とした.

また, 精度の良いモデル化を実現するためには, 橋脚, 上部構造, 支承の構造特性および材料特性を精度良く把握する必要がある. 表-1 に示すように, 引張試験より求めた値を弾性係数とした. 上鋼板, 下鋼板に関しては寸法と重量のみを測定した.

5. 解析結果

橋脚, 上部構造, 高架橋の固有振動数の実験結果と解析結果の比較を表-3, 表-4 に示す.

(1) 溶接部分のモデル化の検討

橋脚 2, 高架橋 2 を用いて, 溶接部分が固有振動数に与える影響を検討した. 溶接部分の質量は約 13g であり, 平鋼 2 の長さに換算すると約 7mm 分に相当する. 橋脚 2 の場合, 固有振動数の実験結果に対する解析結果の比は, 溶接を考慮しない場合では 1.017, 溶接を考慮した場合は 1.008 になった. しかし, 高架橋 2 の場合, 橋脚卓越の 1 次振動モードでは, 固有振動数の実験結果に対する解析結果の比は, 溶接を考慮しない場合もした場合も共に 1.002, 上部卓越の 2 次振動モードでも固有振動数の実験結果に対する解析結果の比は共に 1.005 となり, 溶接部の影響はほとんど見られない.

表-3 固有振動数の実験結果と解析結果 (橋脚 1 を使用)

モデル	実験結果 (Hz)	解析結果 (Hz)	比
橋脚 1(1 次)	36.255	36.839	1.016
上部構造 (1 次)	9.155	9.158	1.000
高架橋 1(上部)	9.156	9.136	0.998
高架橋 1(橋脚)	10.010	10.223	1.021

比: 解析結果 / 実験結果

表-4 固有振動数の実験結果と解析結果 (橋脚 2 を使用)

モデル	実験結果 (Hz)	解析結果 (Hz)	比
橋脚 2(1 次)	20.600	20.763	1.008
上部構造 (1 次)	9.155	9.158	1.000
高架橋 2(橋脚)	4.761	4.771	1.002
高架橋 2(上部)	9.155	9.199	1.004

(2) 高架橋の実験結果と解析結果の比較検討

橋脚, 高架橋の固有振動数の実験結果と解析結果を表-3, 表-4 に示すように高架橋 1 においては 1 次振動モードが上部構造卓越, 2 次振動モードが橋脚卓越である. 一方, 高架橋 2 においては 1 次振動モードが橋脚卓越, 2 次振動モードが上部構造卓越である.

橋脚 2, 高架橋 2 の固有振動数の実験結果に対する解析結果の比よりも橋脚 1, 高架橋 1 の固有振動数の実験結果に対する解析結果の比の方が大きくなった. この原因として, 橋脚は断面の大きな平鋼を用いた方が下鋼板と基盤の固定度が幾分低下するためと考えられる.

上部構造はどちらも同じモデルを用いているので固有振動数の実験結果と解析結果は表-3, 表-4 のどちらにおいても同じ結果となった.

6. おわりに

本研究では, 特に, 固有振動数に着目し実験結果と平面骨組のための有限要素法による解析結果を比較した. また各要因が固有振動数に及ぼす影響を検討し, 対象モデルでのより精度の良い再現性を目指した. 今後は, 動的応答性状についても比較検討を行う予定である.

参考文献

- 1) 中島他: 高架橋モデルの固有振動特性に関する実験および解析, 第 7 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, 2004.1.