

高架橋模型の振動実験と数値解析手法による非線形挙動の再現性の検討

宇都宮大学
宇都宮大学

学生員 ○ 緒方 友一, 笠松 正樹
正会員 中島 章典, 横川 英彰

1. はじめに

大地震を受ける橋梁の耐震設計に際しては、橋梁の非線形動的挙動を数値計算手法によって追跡する必要性がますます高まっている。現状で精度の高い数値計算手法によって橋梁など骨組構造物の非線形動的挙動はある程度追跡できるとされているが、これらの結果を振動実験結果と比較して確認した例は少ない。そこで本研究では、現状で高い精度を有する数値計算手法による非線形動的解析結果と、高架橋模型の非線形領域までの振動実験結果を比較し、数値計算手法の再現性を確認することを目的とする。この場合、高架橋模型はできるだけシンプルなものとするとともに、高架橋を構成する部材の材料特性および減衰特性を部分実験により把握する。そして、これらの材料特性あるいは減衰特性を組み込み、高架橋のモデル化に注意を払って数値計算を行い、両者の結果を比較する。

2. 実験概要

高架橋模型を構成する橋脚模型を用いて振動実験を行った。実験に用いた橋脚模型には、高さ 487mm の平鋼を用い、上鋼板、下鋼板を上下に隅肉溶接した。引張試験により求めた平鋼の弾性係数、降伏応力、降伏ひずみはそれぞれ 208.4GN/m^2 、 304.5MN/m^2 、 1460.5μ となった。表-1 は橋脚模型の各部材の諸量を示す。振動実験に際して橋脚模型の挙動が非線形領域に至るように、写真-1 に示すとおり上鋼板に長ねじ 4 本によりおもりを固定した。下鋼板部と振動台は M10 のボルト 4 本で強固に固定し、逸散減衰の影響が極力生じないように配慮した。ひずみ計測位置は、下鋼板と溶接した平鋼基部より 11mm 上とし、振動台による入力加速度を計測するため、振動台上面に加速度計を設置した。なお、ひずみおよび加速度のデータ測定にはデジタル動ひずみ測定器を使用し、測定間隔は 0.001s とした。

まず、おもりを付けた橋脚模型の固有振動数および減衰特性を得るために自由振動実験を行った。橋脚模型の上部に外力を加え、自由振動状態になった時のひずみを測定した。地震波による強制振動実験では、橋脚模型を振動台を用いて平鋼の弱軸方向に加振し、応答ひずみと入力加速度を計測した。また地震波による加振実験に加え、試験体の固有振動数と同振動数、加速度振幅一定の正弦波で加振し、非線形領域で試験体を共振させた共振実験も実施した。

表-1 断面諸量

部材	寸法 (mm)	密度 (t/m ³)
平鋼	11.74×19.87×487	7.7459
溶接部	17.1×26.2×8.0	7.7459
上鋼板	125.483×100.19×8.71	7.703
下鋼板	300.81×232.34×15.96	7.648



写真-1 橋脚模型

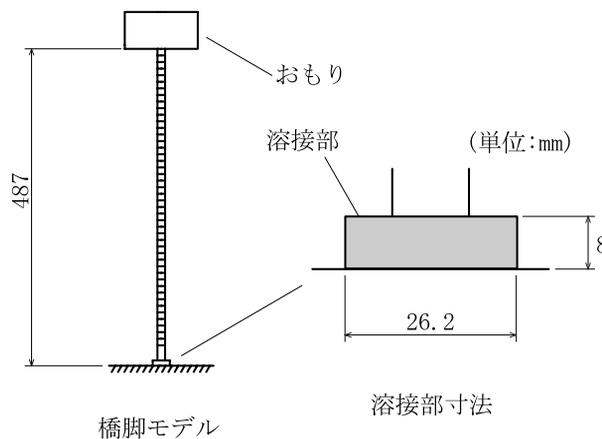


図-1 解析モデル

3. 解析概要

本研究では、鋼材の降伏および幾何学的非線形性を考慮した平面骨組のための有限要素法と、ニューマークの β 法 ($\beta=1/4$) 及び修正ニュートンラフソン法を併用し

Key Words: 非線形動的挙動, モデル化, 減衰特性, 振動台実験, 高架橋模型

〒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

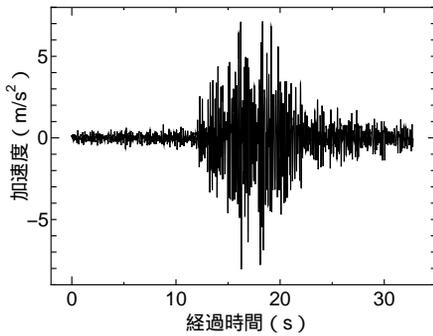


図-2 強制振動実験入力加速度

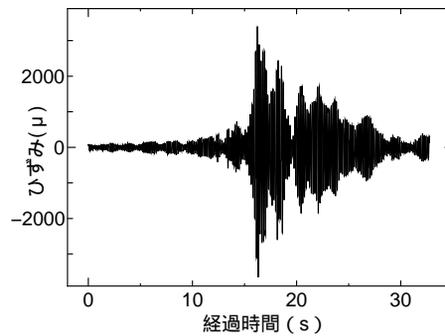


図-3 強制振動実験の応答ひずみ

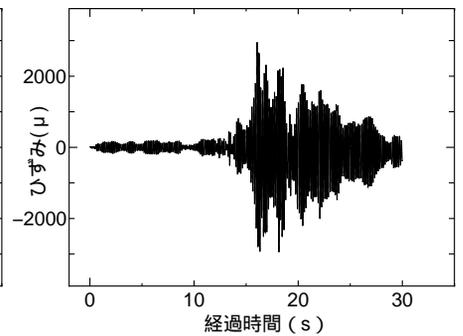


図-4 強制振動実験の解析結果

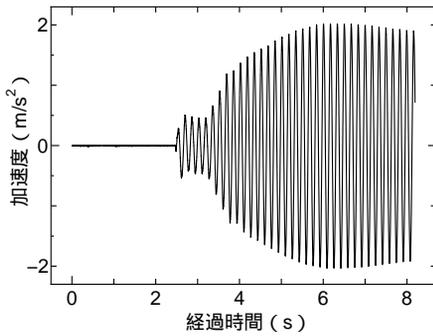


図-5 共振実験入力加速度

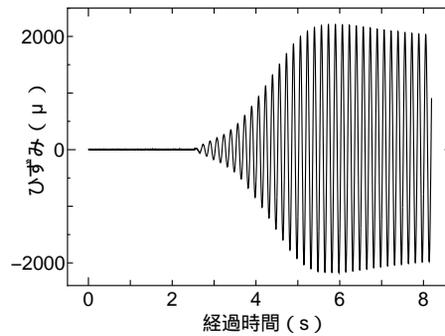


図-6 共振実験の応答ひずみ

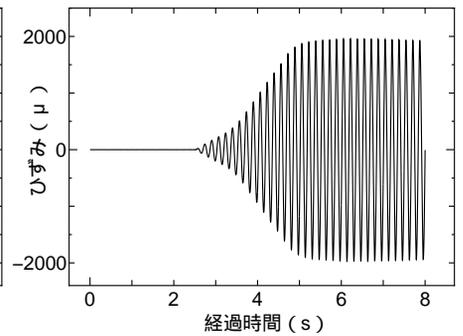


図-7 共振実験の解析結果

た非線形動的応答解析を行った。図-1に示す橋脚模型を50要素に分割して、有限要素モデルを構築した。その際に、橋脚基部の溶接部のモデル化も行った。振動実験では、基部から弾塑性に至ることが予想されるが、溶接部は断面が大きく塑性化は考えにくいいため、溶接部を橋脚部とは別にモデルに組込む必要がある。また部材の塑性領域の進展による構造部材の剛性の低下を考慮するため、各要素において部材軸方向を5分割、部材断面を10分割している。これら細分割した点におけるひずみ、応力を知ることができる。

減衰には粘性減衰のみを剛性比例型として考慮した。また数値積分の時の時間刻みは、入力加速度の計測間隔に合わせ0.001sとした。

4. 実験結果および解析結果

(1) 自由振動実験および解析

実験から得られたひずみ応答にFFTを用いたスペクトル解析を行い、固有振動数を求めた。また、文献1)の自由振動波形から粘性減衰定数を求める方法を参考にし、ひずみの振幅と振動波数の関係から減衰定数を算出した。固有振動数、減衰定数はそれぞれ6.04Hz、 1.343×10^{-3} を得た。

(2) 強制振動実験および解析

加速度計で計測した入力加速度波形を図-2に示し、強制振動中の計測点の応答ひずみを図-3に示す。最大応答ひずみは、 3652μ に達しており、降伏ひずみを大きく超えているので基部が塑性化したと考えられる。実験で得た加速度波形を用いて動的解析を行い、同位置の応答ひずみを算出した結果を図-4に示す。解析での最

大応答ひずみは、 2956μ となり、塑性域には十分に達しているものの、実験と比較して解析では2割弱小さい応答を示している。応答ひずみのスペクトル解析の結果を比較すると、卓越振動数は一致する。解析結果が実験に比べ小さい応答を示すのは、動的解析における減衰が実験に比較して大きいためと考えられる。

(3) 共振実験および解析

共振実験において、加速度計で計測した入力加速度波形を図-5に、応答ひずみを図-6に示す。最大応答ひずみは、 2213μ となり、塑性域で定常状態となっている。実験で得た加速度波形を用いて動的解析を行い、同位置の応答ひずみを算出した結果を図-7に示す。解析での最大応答ひずみは、 1957μ となり、最大応答ひずみを比較すると地震波での振動実験と同様に、解析結果が実験結果に比べて、1割程小さい応答を示している。応答性状に関しては、動的解析が塑性域での定常状態を定性的に再現できており、スペクトル解析の結果、卓越振動数も一致していることが確認できた。

5. まとめ

本研究では、鋼製橋脚模型の基部の応答ひずみが非線形領域に至る地震波を与えた時の振動実験結果と非線形動的解析結果を比較し、再現性について検討した。実験結果と解析結果を比較すると誤差があり、その理由を明らかにすることおよび、高架橋における振動実験と解析結果の再現性についての検討が今後の課題である。

参考文献

- 1) 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。