

第 部門

小型振動台実験による鋼製橋脚の地震時挙動再現に関する基礎的研究

大阪市立大学 学生員 中西 泰之 大阪市立大学大学院 正会員 松村 政秀
 大阪市立大学大学院 正会員 北田 俊行 大阪市立大学大学院 正会員 山口 隆司

1 研究背景および目的

1995年1月17日に発生した兵庫県南部地震により、変形性能が高く、強地震に対しても安全であると考えられていた鋼製橋脚にも、種々の被害が及んだ。2002年に改版された道路橋示方書・同解説¹⁾には、動的照査法による耐震性能評価を設計に反映させるよう明記された。ここで、動的応答解析においては、構造系の振動特性、減衰特性、および部材の非線形履歴特性等を十分に考慮した上での解析モデルが必要となる。この解析モデルの検証には、振動台を用いた動的実験など、動的な載荷実験が必要となる。しかし、鋼製橋脚を対象とした振動台実験の実施事例は少ないのが現状である。そこで、本研究では、矩形断面橋脚の動的な地震時挙動を再現したり、その合理的な耐震設計手法を確立するために必要な動的応答特性に関する基礎データを蓄積することを目的として、縮小鋼管柱モデルを用いた振動台実験を行う。さらに、既開発の弾塑性有限変位解析プログラム EPASS/USSP²⁾を用いる弾塑性動的応答解析を行い、振動台実験により得られた結果と比較することによって、動的応答解析における材料特性および減衰特性のモデルの再現性について検討している。

2 実験概要

1) 実験装置

実験装置の概要を図-1に示す。実験供試体上部には、橋梁上部構造の重量を模した質量 1,000kg の鋼塊を設置した。また、動的挙動を計測するために、歪ゲージ式加速度計を振動台、試験体中央、および鋼塊の重心位置の計 3カ所、レーザー式変位計および接触式変位計をそれぞれ 1カ所、ひずみゲージを基部から 10mm の位置の表裏に計 6カ所、設置した。

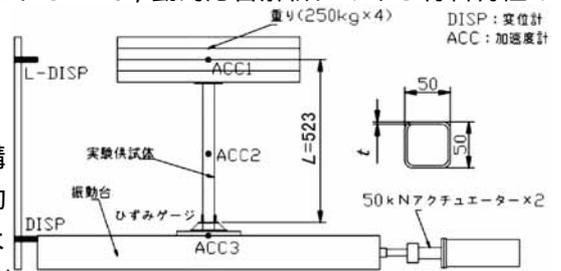


図-1 実験装置の概要(寸法: mm)

2) 実験供試体

実験には、無補剛断面からなる実物大の単柱形式橋脚を試設計し、それを約 1/20 スケールで縮小した 2 体の実験供試体を用いる。実験供試体 TYPE1 の柱断面(50×50×1.6)は、旧道路橋示方書 鋼橋編³⁾、および 耐震設計編⁴⁾に基づいて設計水平震度 0.283 で震度法により設計した。この TYPE1 を基準モデルとして、板厚を 2.3mm に変えたモデルが TYPE4 である。材質は STKR400 である。実験供試体の寸法およびパラメーターを表-1に示す。

表-1 実験供試体の寸法およびパラメーター

供試体	荷重作用点高さ L (mm)	鋼管高さ L' (mm)	断面 $A \times B$ (mm)	板厚 t (mm)	固有周期 T (sec)	降伏変位 y (mm)	軸力比 N/N_y	細長比パラメーター λ	幅厚比パラメーター R_R
TYPE1	523	417	50×50	1.6	0.279	4.57	0.105	0.630	0.600
TYPE4	523	417		2.3	0.238	7.16	0.074	0.639	0.408

3) 実験パターン

3種類の動的実験を行った。すなわち、1) 供試体に自由振動状態を発生させ、減衰定数および固有振動数を求める自由振動実験、2) 周波数の異なる sin 波を逐次入力し、加振周波数と最大応答の関係を求める sin 波入力実験、および 3) 地震加速度を入力し、供試体の弾塑性応答を得る地震波入力実験、の3種類である。地震波入力実験は、鋼製橋脚が軟弱な地盤に設置されることが多いことを考慮し、JR 鷹取駅構内地盤上で観測された、種地盤に対するレベル 2 地振動タイプの地震波を用いた。ただし、図-2に示すように、時間軸は、相似則に基づき $1/\sqrt{20}$ に縮小し、加速度振幅軸は事前に行った解析により、応答変位が降伏変位を 3 割程度超えるレベルとなるように 2/5 に縮小している。なお、TYPE4 に関しては、弾性状態から剛性が約 65% 低下した状態で地震波入力実験を行っている。

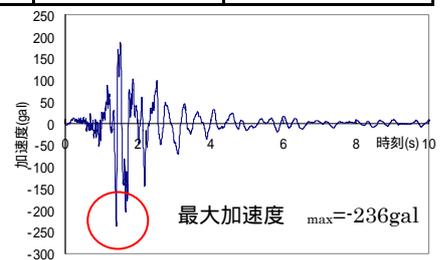


図-2 入力地震加速度波形

図-2に示すように、時間軸は、相似則に基づき $1/\sqrt{20}$ に縮小し、加速度振幅軸は事前に行った解析により、応答変位が降伏変位を 3 割程度超えるレベルとなるように 2/5 に縮小している。なお、TYPE4 に関しては、弾性状態から剛性が約 65% 低下した状態で地震波入力実験を行っている。

3 解析モデル

解析モデルは、供試体を板要素、重りを剛体要素でモデル化している。なお、ヤング係数、降伏点、およびポアソン比は実験で得られた値を用いている。また応力-ひずみ曲線は、引張試験により得られた応力-ひずみ曲線に適合するよう定めている。

Yasuyuki NAKANISHI, Masahide MATSUMURA, Toshiyuki KITADA and Takashi YAMAGUTHI

4 実験結果

1) 自由振動実験の結果

表-2 に実験から得られた固有周波数および減衰定数を示す。固有周波数は、計算値と解析値との誤差は最大で0.2%であり、精度の良い結果を得た。一方、減衰定数に関してはTYPE1, TYPE4 どちらの場合も、解析結果の減衰定数の方が、実験結果の減衰定数より大きな値を示した。

表-2 固有周波数および減衰定数

供試体	固有周波数(Hz)	減衰定数 h
TYPE1	2.532(2.532)	0.013(0.016)
TYPE4	2.849(2.857)*	0.015(0.019)

*表中、()内の値は解析結果である

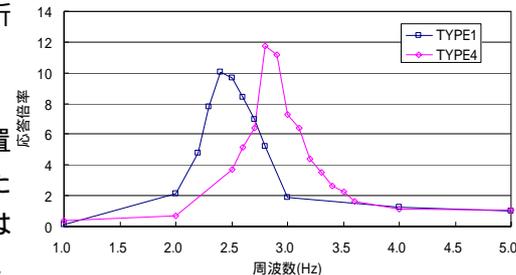


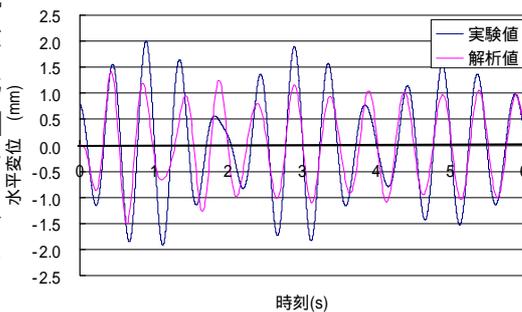
図-3 共振曲線

2) sin 波入力実験の結果

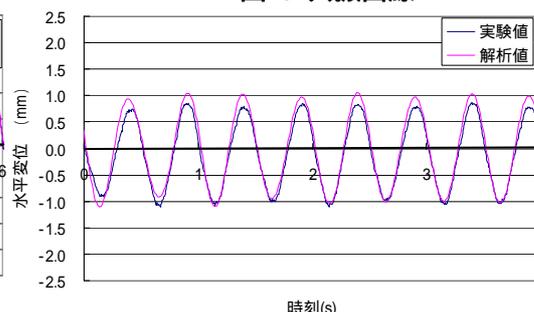
図-3 に、周波数と応答倍率の関係を示す。縦軸の応答倍率は重心位置における最大応答変位 \max を振動台の加振振幅で除して無次元化したものである。実験供試体の固有振動数に近い周波数では、TYPE1 では応答倍率が10, TYPE4 では12 と顕著な共振現象が確認された。また、固有周波数から0.5Hz

以上離れると、応答倍率は共振時の1/3以下に低減することがわかる。

図-4には、1例として固有周波数2Hzのsin波を入力した際の、重心位置における水平変位の時刻歴応答を解析結果とともに示す。



TYPE1 では、(a)TYPE1



(b)TYPE4

図-4 水平変位の時刻歴応答(固有周波数 2Hz の sin 波入力)

近いため、うねりの現象が観察され、うねりが発生していないTYPE4 に比べて解析結果との差異は大きくなった。

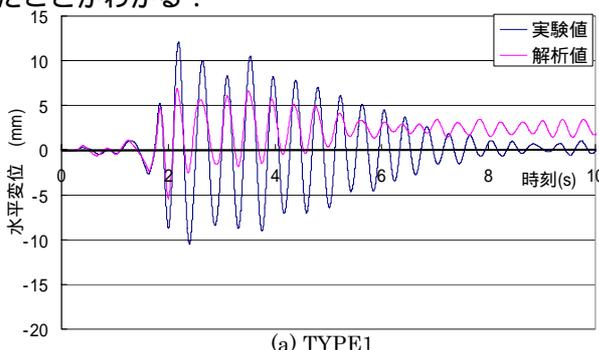
3)地震波入力実験の結果

図-5には、重心位置における水平変位の時刻歴応答を、解析結果とともに示す。表-3には、各実験および解析の最大応答変位と残留変位を示す。実験と解析では、TYPE1 および TYPE2 いずれも、固有周期はほぼ一致したものの、応答変位波形には差異が認められる。

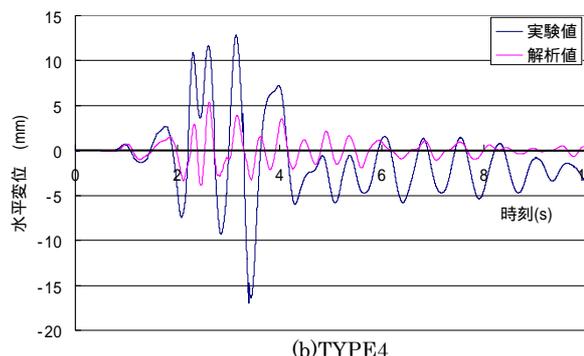
表-3 最大応答および残留変位

	TYPE1		TYPE4	
	最大応答	残留変位	最大応答	残留変位
実験値	2.65 δ_y	L/2066	2.38 δ_y	L/26
解析値	-1.18 δ_y	L/1.9	0.76 δ_y	L/2081

これは、レーザー変位計の計測点である鋼塊が回転する影響を取り除けていないことも一因である。また、TYPE1 の最大応答変位はTYPE4 に比べて大きい値を示した。これは地震波の卓越周波数である2.24HzにTYPE1の固有振動数が近く、共振現象を起こしたためである。TYPE1には残留変位がほとんど認められず、弾性的に振動していたことがわかる。



(a) TYPE1



(b)TYPE4

5 まとめ

図-5 水平変位の時刻歴応答

本研究では、矩形断面橋脚の動的応答特性を、縮小鋼管柱模型を用いた振動台実験により検討した。その結果、減衰の影響は実験と比較して解析の方が顕著に認められることがわかった。また、応答が大きくなるにつれ実験値と解析値の差が大きくなり、実験値の方が大きい値を示す傾向が見られた。

参考文献

1)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，2002.3, 2) Toshiyuki Kitada, Masahide Matsumura, Y. R. An and T. Yamano, Advanced Static/Dynamic, Elasto-Plastic and Finite Displacement Analysis of Steel and Composite Spatial Structures, International symposium on advances in steel and composite structures 2005, pp.58-81, Hong Kong, December 2005, 3)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 鋼橋編，1996.12, 4)日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，1996.12