

I-B68

免震鋼製橋脚の弾塑性地震応答解析と
ハイブリッド地震応答実験の比較

名古屋大学大学院 学生員 中島大輔¹
 名古屋大学大学院 正会員 金田一智章²
 名古屋大学大学院 フェロー会員 宇佐美勉¹

1. 緒言

著者らは、免震支承を用いた鋼製橋脚の地震時挙動を、橋脚頂部と上部構造にそれぞれ質点を有し、水平地震動を受ける2質点2自由度系モデルによる、弾塑性地震応答解析を行ってきた(文献[1]参照)。それにより、免震支承を用いた鋼製橋脚の安全性および機能保持の照査を文献[2]に示される単柱式鋼製橋脚の設計ガイドラインを基に行った。しかし、単柱式鋼製橋脚の復元力モデルである2パラメータモデル(文献[3]参照)については、過去に行われたハイブリッド地震応答実験によってその妥当性が検証されているものの、免震支承を有する鋼製橋脚のような2質点2自由度系モデルについては、実験結果がないことから、十分な妥当性の検証が行われていない。そこで、本研究ではハイブリッド地震応答実験結果より、鋼製橋脚の復元力モデルとして2パラメータモデル、免震支承の復元力モデルとしてバイリニアモデルを用いた2自由度系の弾塑性地震応答解析を行い、その妥当性を検証する。また、実験で用いた免震支承(LRB)の復元力特性を、解析で用いる復元力モデル(バイリニアモデル)に置換する必要があるため、その方法を提案する。

2. 解析モデル

本研究では、ハイブリッド実験で用いた橋脚と同じパラメータを持つ鋼製橋脚を使用した。そのパラメータの諸量を表1に示す。なお、ハイブリッド実験で用いた橋脚の詳細は、文献[4]を参照されたい。また、免震支承として3種類を使用した。

解析モデルとしては、橋脚頂部と上部構造に質点を有し、水平地震動を受ける2質点2自由度系モデルを用いる。そして、線形加速度法を用いた弾塑性地震応答解析を行う。また、橋脚の減衰定数を $\xi_P=0.05$ 、免震支承の減衰定数は無視($\xi_B=0$)し、減衰マトリックス[C]はWilson, Penzienらが提案した減衰マトリックスを採用し、その際のモード別減衰定数は、ひずみエネルギー比例型減衰定数とした。また、橋脚上部の集中質量は橋脚全体の質量の30%とする。解析時間間隔は、 $\Delta t=0.001(\text{sec})$ とした。

橋脚の復元力モデルは、トリリニア型の骨格曲線を持つ2パラメータモデルを使用した。このモデルは、鋼製橋脚の地震応答による繰返し載荷に対して、除荷域の剛性低下、強度劣化より、局部座屈およびP- Δ 効果が考慮されており、精度良く解析が行える。また、免震支承の復元力モデルについては、次節を参照されたい。

入力地震動は、兵庫県南部地震による観測地震動の内、神戸海洋気象台観測地震動NS成分(I種地盤用)、JR鷹取駅観測地震動NS成分(II種地盤用)を用い、修正地震動として、JR鷹取駅観測地震動NS成分の修正地震動(II種地盤用)、東神戸大橋観測地震動の修正地震動(III種地盤用)の計4地震動を用いた。ただし、各地震動において、加速度に大きな特徴のある20秒間を取り出し、自由振動のために加速度が零の成分を5秒間加え、全体として25秒間の地震動とした。

3. 免震支承の復元力モデル

解析を行うにあたり、支承の復元力モデルを作成する必要がある。そこで、ハイブリッド実験で使用した免震支承(LRB)を用い、性能試験を行った。用いた支承は3体であり、試験方法は、せん断ひずみを100%、面圧を2.04MPaとして定変位繰返し載荷試験を行った。この結果、図1に示すように免震支承の復元力特性はバイリニア型に近い形状をとるため、復元力モデルとしてバイリニアモデルを用いる。ここで、 $K_{1,B}$ は支承の1次剛性、 $K_{2,B}$ は2次剛性、 $H_{d,B}$ は降伏荷重、 $K_{r,B}$ は除荷域剛性、 $K_{B,e}$ は等価剛性である。

以下に、モデル化の方法を示す。

表1 鋼製橋脚のパラメータ

橋脚	R_f	$\bar{\lambda}$	γ/γ^*	$\bar{\lambda}_s$
S3535H	0.332	0.355	3.74	0.179
S3545H	0.334	0.454	3.83	0.178

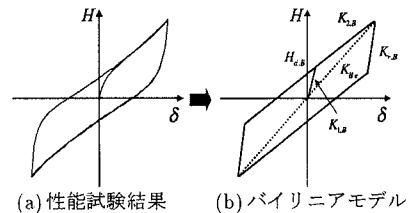


図1 復元力のモデル化

Key Words : elasto-plastic seismic response analysis, high ductility steel bridge pier, seismic isolator, pseudodynamic test

¹ 〒464-8603 名古屋市中千種区不老町 TEL 052-789-4617

² 〒733-8553 広島市西区観音新町4丁目6番22号

- 1) 1次剛性 $K_{1,B}$ は原点での接線剛性とする。
- 2) 図2において、性能試験のせん断ひずみが正負の最大値の半分の値($\gamma_{\max}/2$ および $\gamma_{\min}/2$)となる4点(引張側： T_1 および T_2 、圧縮側： C_1 および C_2)を求める。ここで、 T_1 と T_2 を結んだ直線Tの傾きを $K_{2,BT}$ 、 C_1 と C_2 を結んだ直線Cの傾きを $K_{2,BC}$ とし、2次剛性 $K_{2,B}$ はその平均値とする。
- 3) 降伏荷重 $H_{d,B}$ は、直線T、と直線Cと荷重軸Hの切片荷重($H_{d,BT}$ 、 $H_{d,BC}$)の平均値とする(図2参照)。
- 4) 性能試験結果の1ループの履歴吸収エネルギーが、上記の方法により定められた2次剛性 $K_{2,B}$ と降伏荷重 $H_{d,B}$ を用いたバイリニアモデルの履歴吸収エネルギーと等価になるように、除荷域剛性 $K_{r,B}$ を定める。
- 5) 等価剛性 K_{Be} は、復元力履歴ループのせん断ひずみが最大値($\gamma_{\max}$)となるA点と最小値($\gamma_{\min}$)となるB点を結んだ直線の傾きとする(図2参照)。

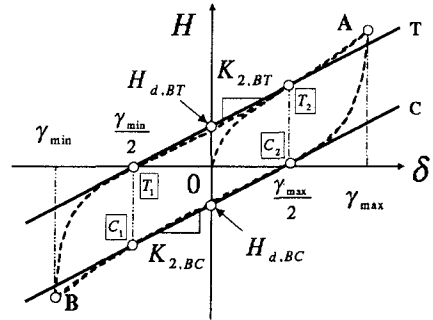


図2 復元力モデルの諸量の作成法

1)~5) によって求めたバイリニアモデルの諸量を表2に示す。これより、等価剛性の値は、Case1が最も低い値となり、Case2, Case3の順に高くなる。等価剛性が低いほど橋脚は長周期化されるのでCase1, 2, 3の順に橋脚を長周期化する。なお、解析上、1次剛性 $K_{1,B}$ を除荷域剛性 $K_{r,B}$ に置き換え、計算を行っている。

表2 免震支承(LRB)のパラメータ

供試体名	$H_{d,B}$ (kN)	$K_{1,B}$ (kN/mm)	$K_{2,B}$ (kN/mm)	$K_{r,B}$ (kN/mm)	K_{Be} (kN/mm)
Case1	33.5	5.36	0.794	3.50	1.11
Case2	12.4	5.40	1.89	7.73	2.07
Case3	35.0	12.5	2.52	10.9	3.31

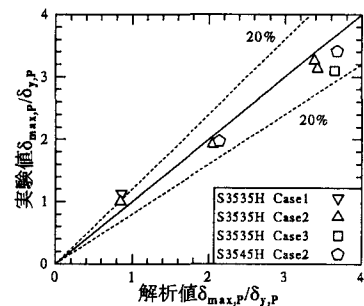


図3 最大応答変位の比較

4. 実験と解析結果との比較

ハイブリッド地震応答実験と弾塑性地震応答解析の最大応答変位を比較したものを図3に示す。縦軸は、ハイブリッド地震応答実験の最大応答変位 $\delta_{\max,p}$ を降伏変位 $\delta_{y,p}$ で除したものを示し、横軸は、解析値の最大応答変位 $\delta_{\max,p}$ を降伏変位 $\delta_{y,p}$ で除したものを示している。この結果より、2パラメータモデルを使用することにより、実験との誤差をおおむね10%以内に収めることができる。しかしながら、支承にCase3を用いた場合はその誤差が18%にまで広がる。また、実験結果に比べ解析結果の方が大きな値を示し、安全側にある。

ハイブリッド地震応答実験と弾塑性地震応答解析の残留変位を比較したものを図4に示す。その結果、最大応答変位に比べ誤差が大きくなっている。特に橋脚にS3545Hを用いた場合は誤差が拡大した。相関係数に関しても最大応答変位が0.99であるのに対して、残留変位は0.70と低くなる。特に、最大変位後の応答に関しては、実験と解析との誤差が大きくなることが分かった。

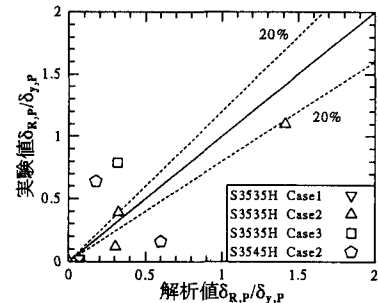


図4 残留変位の比較

5. 結言

本研究で得られた成果を以下にまとめる。

- (1) 免震支承の性能試験より、復元力特性をバイリニア型にモデル化する方法を確立した。
- (2) 実験と解析とを比較した結果、最大応答変位に関してはよく一致している。
- (3) 残留変位に関しては、最大応答変位ほど実験との整合性は高くない。

参考文献

- [1] 子林隆, 宇佐美勉, 葛西昭(1996): 免震及び非免震鋼製橋脚の耐震性能評価, 土木学会論文集, 1999.4 登載予定。
- [2] 土木学会鋼構造委員会・鋼構造新技術小委員会・耐震設計WG: 橋脚の耐震設計指針案と耐震設計のための新技術, 1996.7.
- [3] 鈴木森晶ら(1996): 箱形断面鋼製橋脚の復元力モデルと弾塑性地震応答解析, 土木学会論文集, No.549/I-37, pp.191-204.
- [4] 金田一智章, 宇佐美勉, 中島大輔, 免震支承を持つ鋼製橋脚の激震時挙動に関する実験的研究, 第54回年次学術講演会講演概要集, 1999.