

# 免震支承を用いた鋼製橋脚のハイブリッド地震応答実験

名古屋大学 学生会員 ○中島 大輔 名古屋大学 学生会員 金田一 智章  
 名古屋大学 フェロー会員 宇佐美 勉

## 1. 緒言

文献[1]で提案されたハイダクティリティー鋼製橋脚は、ハイブリッド地震応答実験などによりその優れた強度と変形能が実証されている。しかし、応答変位が大きいために、残留変位が大きくなり、橋脚によっては、残留変位で与えられる橋脚の機能保持限界<sup>[2]</sup>(表1参照)の照査において崩壊(As)と見なされた。そこで、昨年度は残留変位低減の方策として、震度法による一次設計の際の安全率の引き上げと、橋脚基部へのコンクリート充填を取り上げ、実験により検証した<sup>[3]</sup>。しかし、残留変位の低減の効果は確認されたが、損傷度分類を大幅に改善するには至らなかった。従って、本研究では、さらなる残留変位低減の方策として、ハイダクティリティー鋼製橋脚に対して免震支承の導入を取り上げ、その効果をハイブリッド地震応答実験により検証する。

表1 許容損傷度の分類と機能保持限界としての残留変位制限値

許容損傷度 (記号)	損傷内容および復旧期間	残留変位制限値
崩壊 (As)	車両通過が不可能、撤去・建て替えが必要	$h/100$ 以上
大損傷 (A)	橋の機能消失、補修2ヶ月以上必要	$h/100$
中損傷 (B)	緊急車両のみ通行可能、補修に2週間から2ヶ月程度必要	$h/150$
小損傷 (C)	数日以内で復旧可能。または、補修しながら普通車通行可能	$h/300$
無損傷 (D)	損傷がほとんど無し、目視点検後、すぐに通常交通可能	$h/1000$

注)  $h$  = 橋脚高さ

## 2. 実験概要

図1に本実験で使用した供試体の概念図を、表2に実験供試体の実測寸法を示す。製作には板厚4.5mmのSM490YA材を用いた。橋脚のパラメータは、文献[1]で提案されているハイダクティリティー鋼製橋脚の設計思想に基づいて設計した。なお、表2の $H_y$ 、 $\delta_y$ は、II種地盤時の値である。

免震支承として鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)を用いる。図2にはLRBの概念図を、表3にはLRBのパラメータを示す。これらの値は、LRBの性能試験(せん断ひずみ100%載荷試験)から求めた。ここで、 $Q_d$ =降伏強度、 $K_1$ =初期剛性、 $K_2$ =2次剛性、 $K_r$ =除荷域剛性、 $h_I$ =LRBの高さである。

鋼製橋脚と免震支承を組み合わせた地震応答解析では、一般に2自由度系にモデル化をして解析が行われている。本研究では、この2自由度系を1自由度系に縮約したモデルを想定してハイブリッド地震応答実験を行った。

入力地震波としては、兵庫県南部地震観測地震波であるJR警報地震計(鷹取)(II種地盤)を用いた。

表2 供試体実測寸法(図1参照)

Specimen	$h$ (mm)	$B$ (mm)	$D$ (mm)	$t$ (mm)	$b_s$ (mm)	$t_s$ (mm)	$\gamma/\gamma^*$	$\bar{\lambda}_s$	$\bar{\lambda}$	$R_f$	$H_y$ (kN)	$\delta_y$ (mm)
S35-35H	1033	224	201	4.82	26	4.82	3.7	0.178	0.355	0.332	99.6	5.90

表3 LRBのパラメータ

Isolator	$Q_d$ (kN)	$K_1$ (kN/mm)	$K_2$ (kN/mm)	$K_r$ (kN/mm)	$h_I$ (mm)
Case1	33.5	5.36	0.79	3.50	181
Case2	12.4	5.40	1.89	7.73	125

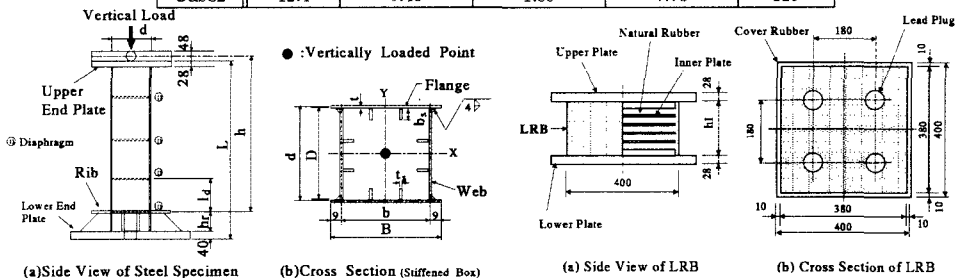


図1 実験供試体

図2 鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)

## 3. 実験結果および考察

図3は、非免震橋脚と免震橋脚について、時刻歴応答変位と復元力履歴ループの比較を行ったものである。変位および荷重は、それぞれ降伏変位： $\delta_y$ 、降伏荷重： $H_y$ で無次元化してある。

非免震橋脚の場合、最大応答変位は $10.2\delta_y$ であるのに対し、免震支承を用いた場合Case1では $1.22\delta_y$ 、Case2では $3.13\delta_y$ となった。この結果より、免震支承による最大応答変位低減の効果を確認できる。特に、固有周期 $T=2.90(\text{sec})$ となる

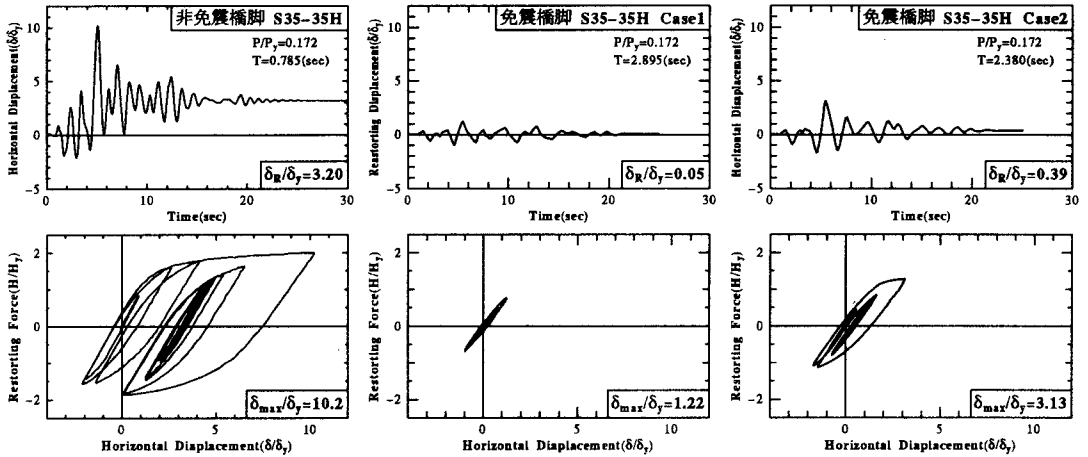


図3 免震橋脚と非免震橋脚の実験結果

Case1の場合、応答をほぼ弾性域に抑えることができる。これは免震支承の柔軟性により、免震支承が大変形を起こし、その結果として橋脚自体の変位が小さく抑えられたことによるものと考えられる。

残留変位に関しては、Case1を用いた場合非免震橋脚の2%、Case2では12%に抑えることができ、最大応答変位と同様に低減効果が見られる。固有周期 $T$ による応答値を比較すると、橋脚を長周期化するほど最大応答変位、残留変位はともに低減する傾向が見られる。

上部工変位に関して図4に上部工変位スペクトルを示す。ここで、横軸に橋脚の固有周期 $T$ を、縦軸に上部工の最大応答変位 $\delta_{s,max}$ を橋脚の高さ $h$ で無次元化した値をとった。上部工の最大応答変位は非免震橋脚に比べて、Case1を用いた場合20%、Case2を用いた場合56%増加する。橋脚の長周期化により残留変位は低減できるものの上部工変位は増加する傾向にある。したがって、免震支承の導入には注意を要する。

尚、他の実験結果に関しては、紙面の都合により当日発表することとする。

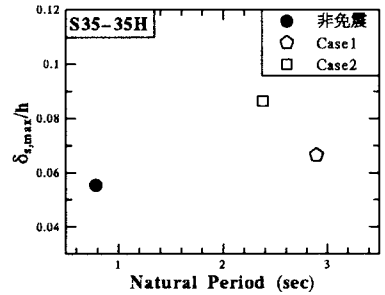


図4 上部工変位スペクトル

4. 安全性の判定

ハイブリッド地震応答実験結果を用いて、橋梁の機能保持限界の照査を行う。ここで、照査基準として表1の残留変位制限値を用いる。図5に橋脚の固有周期 $T$ を横軸に、残留変位制限値 $\delta_R/h$ を縦軸にとった残留変位スペクトルを示す。Case1を用いた場合、橋脚が $T=2.90(sec)$ まで長周期化され、損傷度分類が非免震橋脚での崩壊(As)から無損傷(D)と低減されている。また、Case2を用いた場合( $T=2.38(sec)$ )、損傷度は小損傷(C)になった。これは、重要構造物が許容する損傷度である小損傷(C)以下を満たしており、免震支承は残留変位低減の方策として非常に有効であることが分かる。

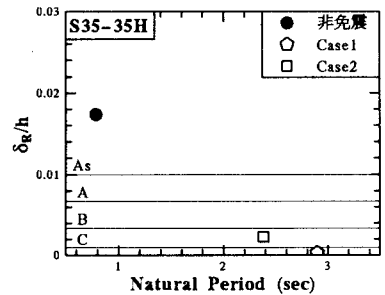


図5 残留変位スペクトル

5. まとめ

本研究における実験の結果、以下のような結論が得られた。

- 1) 免震支承を導入し橋脚を長周期化することにより、地震応答値を大幅に低減させることができる。
- 2) 橋脚の長周期化により上部工変位が増加する傾向にあり、長周期化には注意を要する。
- 3) 免震支承を導入した橋脚を1自由度系に縮約して、ハイブリッド地震応答実験が行える。

参考文献

[1] 宇佐美勉, 渡辺孝一, 金田一智章, 岡本隆, 池田茂: ハイダクティリティー鋼製橋脚の耐震性能に関する実験的研究, 土木学会論文集, No.591/I-43, pp207-218, 1998.4.  
 [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] 芳崎一也, 宇佐美勉, 本間大介: 大地震後の残留変位を抑制した鋼製橋脚の開発—ハイブリッド地震応答実験による検証—, 構造工学論文集に投稿中.