

免震支承と RC 橋脚がともに塑性化する場合の免震橋の地震応答特性

東京工業大学大学院 正会員 庄司 学 フェロー 川島 一彦 ハザマ 正会員 齋藤 淳

1. はじめに

橋梁の免震設計では、免震支承に塑性変形を集中させることにより、橋脚や基礎の塑性化を防止することが基本となっている¹⁾。しかし、兵庫県南部地震クラスの強震動が免震橋に作用した場合には、免震支承のみならず橋脚にも塑性化が生じると考えられる。本研究では、免震支承を有する RC 橋脚に対して正負くり返し載荷実験とハイブリッド実験を行い、免震支承および橋脚がともに塑性化する場合の免震橋の非線形地震応答特性について検討した。

2. 実験供試体および実験方法

実験には、降伏耐力 P_y^p が異なる3種類の RC 橋脚上に HDR 型または NR 型免震支承を配置した供試体6体と RC 橋脚単体の合計7体の供試体を用いた。橋脚は図-1 に示すように断面寸法が400mm×400mm、高さが2150mmである。橋脚の降伏耐力 P_y^p は、橋脚の主鉄筋比 ρ_l (面積比) を $\rho_l = 0.95\%$ $\rho_l = 1.58\%$ まで変化させて、 $P_y^p = 49.2\text{kN}$ $P_y^p = 78.4\text{kN}$ まで3通りに変化させた。帯鉄筋は D6/SD295A を橋脚躯体全高にわたって 50mm 間隔で配置した。帯鉄筋比 ρ_s (体積比) は $\rho_s = 0.8\%$ である。HDR 型および NR 型免震支承は、図-2 に示すように、ゴム総厚 t_g (13mm×4層) のゴム層 (高減衰ゴムまたは天然ゴム、せん断弾性係数 $G = 1.2\text{MPa}$) と 3mm×3 枚の内部鋼板で構成されている。実験は、1.23 MPa に相当する一定軸力 (191.7kN) を作用させ、変位制御で水平方向に載荷を行った (図-3)。正負くり返し載荷実験では、一定振幅ずつ変位を漸増させて載荷し、各載荷振幅におけるくり返し回数は3回とした。ハイブリッド実験では、兵庫県南部地震の際に神戸海洋気象台で観測された NS 成分記録を25%~50%に縮小し、入力地震動とした。

3. 免震支承と橋脚の水平力 水平変位関係の遷移

図-4 には、正負くり返し載荷実験より得られた免震支承と橋脚の水平力 水平変位関係および履歴吸収エネルギーを示す。±45mm 載荷時には、免震支承は-29mm~33mm、橋脚は-19mm~15mm 変形しており、免震支承と橋脚はともに塑性化しているが、橋脚の損傷は基部から高さ 500mm 付近までに約 0.5mm のクラックが生じている程度である。±95mm まで載荷振幅を増やすと、橋脚は-44mm~55mm 変形し、橋脚の履歴曲線が免震支承の履歴曲線よりも大きくなり、橋脚の塑性化が卓越する。この時、橋脚には基部から高さ 200mm 付近までに斜めひび割れが生じ、被りコンクリートの剥離も生じた。このように、免震支承~橋脚系に作用する変位が漸増する際には、免震支承と橋脚の塑性化の進展に伴って、橋脚の塑性化が免震支承の塑性化よりも卓越する場合がある。

4. 免震支承と橋脚の塑性化の進展

図-5 には、ハイブリッド実験において入力地震動の強度を 25%から 50%に増やした場合の免震支承と橋脚の応答変位を示す。なお、神戸 50%を入力した場合は、免震支承の下部鋼板が 7 秒付近で変形し、これより免震支承の応答変位が明らかにおかしくなったので、図-5 には 7 秒付近までの応答のみを示した。これより、地震動の強度が大きくなると、免震支承の最大変位は33.8mm 68.6mmと 2 倍に、橋脚の最大変位は9.7mm 33.5mmと 3.5 倍に大きくなる。神戸 25%の強度では、橋脚は降伏変位 $u_y^p = 13.23\text{mm}$ (石橋, 吉野²⁾) の方法により、橋脚躯体のフォーミングから抜けだしを考慮) まで至っておらず、橋脚は降伏していないが、神戸 50%まで強度が大きくなると、橋脚の塑性化は進展し、橋脚の最大変位の変化は免震支承の最大変位の変化よりも大きくなる。

ここで、橋脚の変位 u_p と支承の変位 u_b の比 γ を $\gamma(t) = u_b(t)/u_p(t)$ と定義する。また、 γ は時間によってあまり変化しないため、この平均値 $\tilde{\gamma}$ を $\tilde{\gamma} = \text{Average}\{\gamma(t)\}_{for t}$ で求めることとする。このようにして求めた $\tilde{\gamma}$ と橋脚の最大変位 u_{pmax} の関係を正負くり返し載荷実験とハイブリッド実験に対して示すと図-6 のようになる。 u_{pmax} が大きくなると $\tilde{\gamma}$ は減少し、また、 u_{pmax} が同一であっても $\tilde{\gamma}$ はハイブリッド実験のほうが正負くり返し載荷実験よりも大きい。これは、 u_{pmax} が同一となるように載荷してもハイブリッド実験のほうが橋脚の損傷が小さく、橋脚の剛性低下が小さいためである。

キーワード：免震設計，免震支承，RC橋脚，塑性化，ハイブリッド実験，非線形動的解析

連絡先：〒152-8552 東京都目黒区大岡山2-12-1 TEL 03-5734-2922 FAX 03-5734-3810

5. 結論

1) 免震支承～RC橋脚系に作用する変位が漸増する際には，橋脚の塑性化が支承の塑性化よりも卓越する場合がある．

2) 橋脚の変位の最大値 u_{pmax} が大きくなるほど，免震設計においては橋脚自体の非線形応答の影響が無視できなくなる．

謝辞：本実験で用いた HDR 型および NR 型免震支承は（株）ブリヂストンに製作していただきました．また，本実験の準備や実験中には東京工業大学川島研究室の研究員や大学院生に大変お世話になりました．参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・解説 V 耐震設計編，1996.11. 2) 石橋忠良，吉野伸一：鉄筋コンクリート橋脚の地震時変形性能に関する研究，土木学会論文集，No.390/V-8，1988.2.

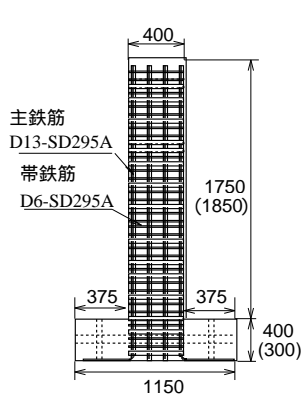


図-1(a) RC橋脚 ($\rho_l = 0.9\%$)

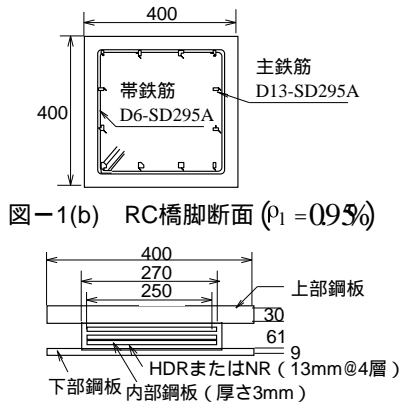


図-1(b) RC橋脚断面 ($\rho_l = 0.9\%$)

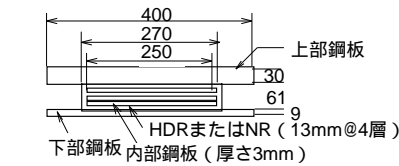


図-2 HDR型またはNR型免震支承

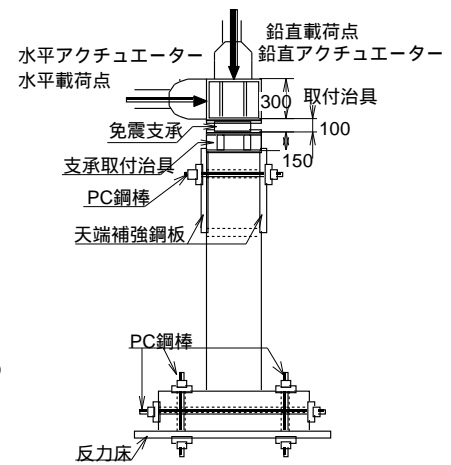


図-3 荷状況

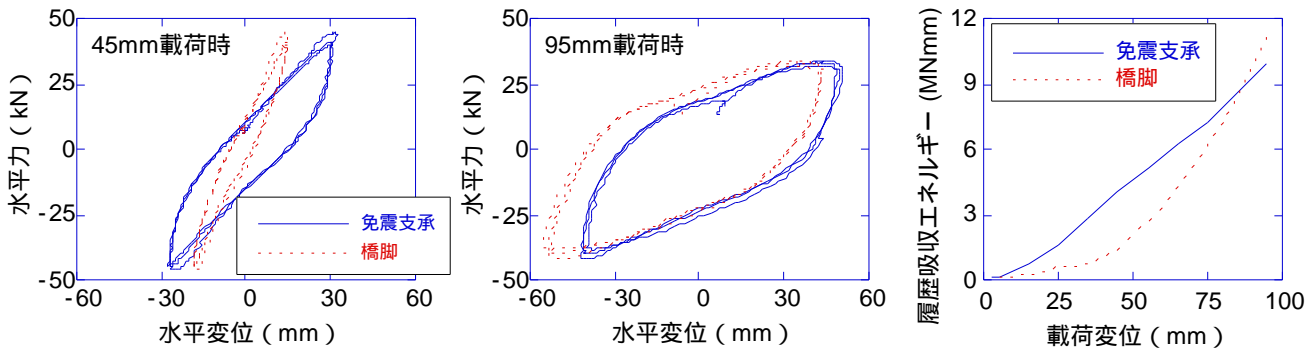


図-4 免震支承と橋脚の水平力 水平変位関係と履歴吸収エネルギー

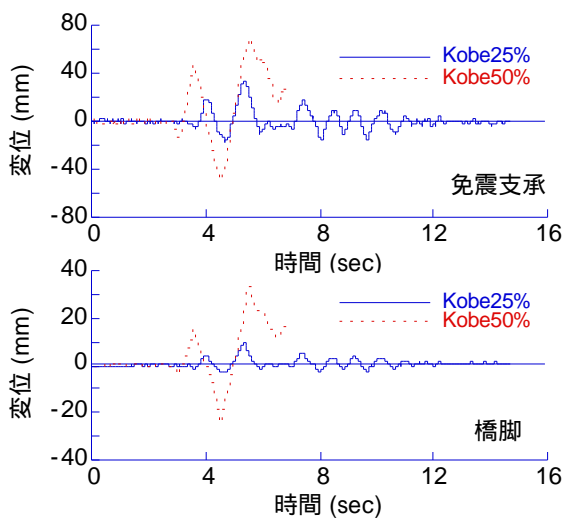


図-5 免震支承と橋脚の応答変位

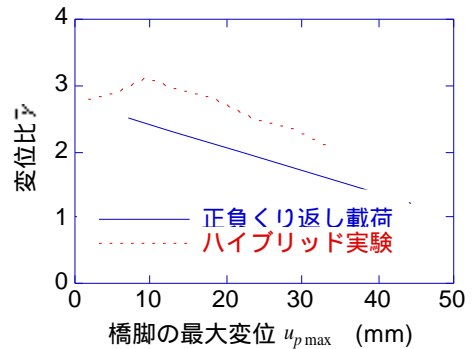


図-6 変位比 $\tilde{\gamma}$ と橋脚の最大変位 u_{pmax}