

RC 橋脚の塑性回転変形が高減衰積層ゴム支承の設計に与える影響

筑波大学 正会員 庄司 学 東京工業大学 フェロー会員 川島 一彦

1. はじめに

積層ゴム支承は上下部構造間に設けられるため、橋脚の回転変形による支承の回転変形は無視できないはずであり、特に橋脚が塑性化し、橋脚の天端にドリフト3%以上の変形が生じる場合には、支承にはそれ相当の回転変形が生じる可能性がある。しかし、現行の積層ゴム支承の設計では、局部せん断ひずみを算定する際に活荷重による $1/150\text{rad} \sim 1/300\text{rad}$ 程度の回転量を考慮するのみである^{1), 2)}。以上より、本研究では、ハイブリッド地震応答実験を行い、RC 橋脚の塑性回転変形が免震支承の回転変形に与える影響について検討することとした。

2. 実験供試体および実験方法

実験では、降伏耐力 P_y^p が異なる 3 種類の RC 橋脚（以下、タイプ A～C 橋脚）上に同一仕様の高減衰積層ゴム支承（以下、HDR 型免震支承）を配置した合計 3 体の供試体（以下、実験 H1～H3）を用いた。橋脚の降伏耐力 P_y^p は、図-1 に示すように橋脚の主鉄筋比 ρ_l を変化させて 3 通りに変化した（図-2 参照）。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 は 0.8% である。HDR 型免震支承は、図-3 に示すように層厚 13mm $\diamond$ 4 層の高減衰ゴムと 3mm $\diamond$ 3 枚の内部鋼板で構成されている。実験では、図-4 のように設置された供試体を 1 質点 1 自由度系としてモデル化し、数値積分法として Hilber ら³⁾ の HHT α -法を採用した Shing ら⁴⁾ による計算アルゴリズムを用いた。入力地震動として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 50% に縮小して用いた。また、図-5 に示すように支承の 4 隅において支承の上部鋼板に対する下部鋼板の相対鉛直変位を計測し、免震支承の $v_1 \sim v_2$ 間、 $v_3 \sim v_4$ 間の回転角 θ_l^{12} 、 θ_l^{34} を求めた。橋脚基部の塑性化によって橋脚天端に生じる回転角 θ_p は橋脚天端に生じる水平変位 u^p を橋脚基部から天端までの高さ h^p で除することによって求めた。

3. RC 橋脚の塑性回転と免震支承の回転変形の関係

橋脚の回転角 θ_p および免震支承の回転角 θ_l^{12} の時刻歴を比較した結果が図-6 である。いずれの実験ケースにおいても精度が保証できる範囲までを示している。また、免震支承の上端部中央点回りのモーメント M^b と免震支承の載荷軸方向の平均回転角 $\bar{\theta}_l (= (\theta_l^{12} + \theta_l^{34})/2)$ の関係を実験 H2 の場合を例に示すと図-7 のようになる。図-6、図-7 によれば、免震支承には最大 0.086 $\sim$ 0.21rad の回転変形が生じており、実験 H2 の場合にはモーメント $M^b \sim$ 回転角 $\bar{\theta}_l$ の関係にも大きな履歴が生じている。橋脚天端に生じる回転角の最大値が 0.022 $\sim$ 0.067rad であるから、免震支承には橋脚の回転変形の 1.8 $\sim$ 9.5 倍の回転変形が生じたことになる。ここで示した免震支承の回転角には水平アクチュエータのスィベルの回転角の影響が含まれているが、橋脚の回転の影響だけを見込んで、積層ゴム支承の設計において活荷重によって想定される $1/150 (=0.0067)$ rad（桁端部）、 $1/300 (=0.0033)$ rad（中間橋脚）の回転角よりも 1 オーダー大きな回転角が生じるという点が重要である。

4. 局部せん断ひずみの照査

実験 H2 に対して免震支承に生じた水平変位による局部せん断ひずみ γ_s 、鉛直変位による局部せん断ひずみ γ_c 、回転角による局部せん断ひずみ γ_R をそれぞれ求め、 γ_s 、 $\gamma_s + \gamma_c$ 、 $\gamma_s + \gamma_c + \gamma_R$ を求めると図-8 のようになる。これより、回転角による局部せん断ひずみ γ_R の寄与が大きいために、免震支承に生じる局部せん断ひずみ γ が 5 程度となり、局部せん断ひずみの許容値 3.3 を越えていることがわかる。通常、積層ゴム支承の設計における地震時を想定した照査では、ゴムの回転角に対する明確な規定がなく、常時を想定した照査で活荷重による桁の回転を見込んでいただけである。地震時保有水平耐力法レベルの設計においては、橋脚基部の塑性ヒンジ化に伴う橋脚の塑性回転を想定するため、これに起因して大きな値となる橋脚の回転角相当の回転角を免震支承に想定する必要がある。

5. 結論

1) 本実験で計測された免震支承の回転角には、橋脚の回転の影響だけを見込んで積層ゴム支承の設計において活荷重によ

キーワード：免震設計，免震支承，RC 橋脚，塑性回転，ハイブリッド地震応答実験

連絡先：〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1 TEL：0298-53-6190 FAX：0298-53-5207

って想定される $1/150\text{rad}$ (桁端部) , $1/300\text{rad}$ (中間橋脚) の回転角よりも 1 オーダー大きな回転角が生じる .

2) 地震時保有水平耐力法レベルの設計においては, 橋脚基部の塑性ヒンジ化に伴う橋脚の塑性回転を想定するため, これに起因して大きな値となる橋脚の回転角相当の回転角を免震支承の局部せん断ひずみの算定時には想定する必要がある .

謝辞: 本実験で用いた HDR 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 . 参考文献 1) 建設省土木研究所: 道路橋の免震設計法マニュアル (案) , 1993. 2) 日本道路協会: 道路橋支承便覧 , 1991. 3) Hilber, H. M. , Hughes, T. J. R. and Taylor, R. L. : Improved Numerical Dissipation for Time Integration Algorithms in Structural Dynamics , Earthquake Engng. Struct. Dyn , Vol.5 , pp.283-292 , 1977. 4) Shing, P. B. , Vannan, M. T. and Cater, E. : Implicit Time Integration for Pseudodynamic Tests , Earthquake Engng. Struct. Dyn , Vol.20 , pp.551-576 , 1991.

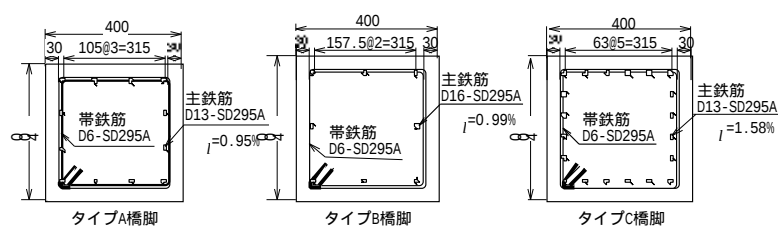


図-1 RC 橋脚

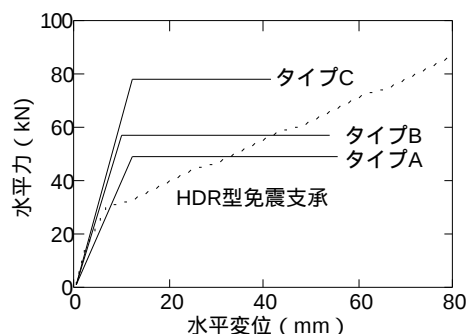


図-2 免震支承と橋脚の水平力～水平変位関係

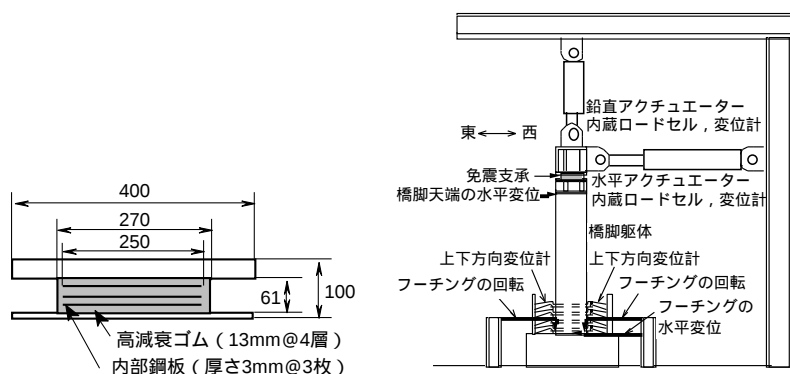


図-3 HDR 型免震支承

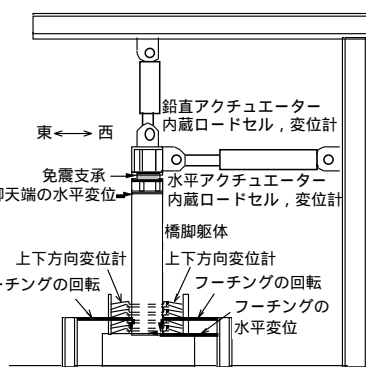


図-4 荷重状況

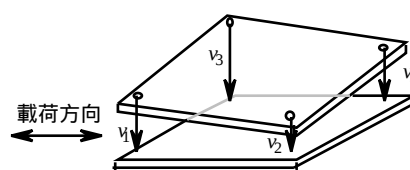


図-5 免震支承の回転角の計測

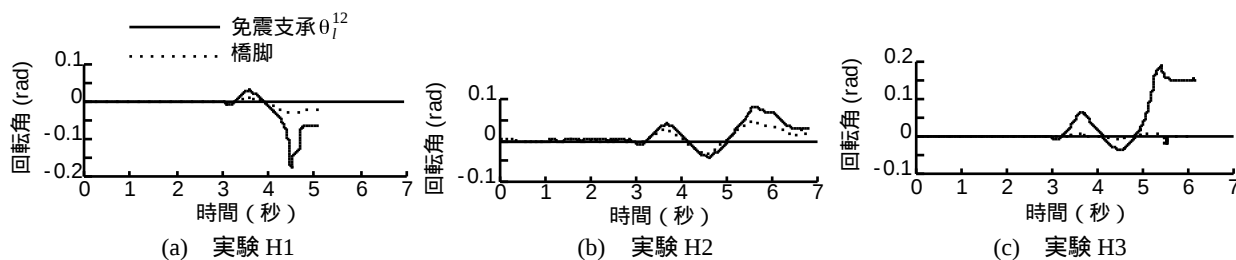


図-6 免震支承と橋脚の回転角の時刻歴

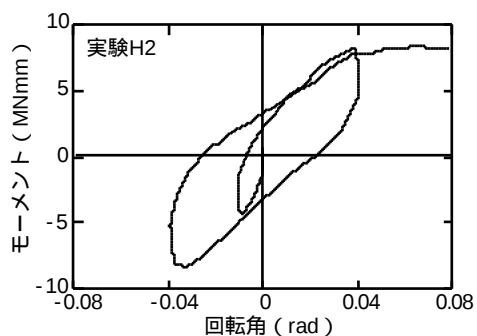


図-7 免震支承のモーメント～回転角関係

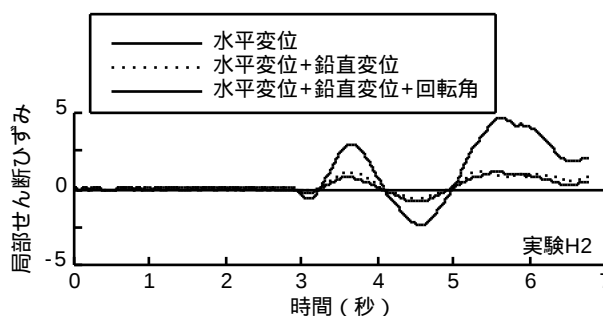


図-8 免震支承に生じる局部せん断ひずみ