

(210) 免震支承によるRC橋脚の耐震補強に関する サブストラクチャーハイブリッド実験

立命館大学 理工学部 伊津野 和 行
埼玉大学 工学部 William Tanzo
京都大学 工学部 家村 浩 和
中部大学 工学部 山田 善 一

1. はじめに

既存構造物の耐震補強は、都市全体の耐震安全性を高めるためにも重要な問題である。近年、免震支承を用いた免震橋梁の研究が盛んになり、それにともない、免震支承の設置による既存橋梁の耐震補強も実現可能な段階になったと考えられる。新しく免震橋梁を設置する場合と、既存構造物に免震支承を設置する場合とで比較すると、橋梁が既にある程度劣化しているかどうか大きな違いとなる。何らかの原因で既に劣化している橋梁に免震支承を設置した際に、新しい免震橋梁と同等な免震効果が得られるかどうか検討することは重要だと考えられる。本研究では、新しい橋脚と、一度小規模な地震を経験した橋脚をモデル化し、その免震化による免震効果を実験的に検討して、橋梁の初期条件の違いが免震橋梁の地震応答に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 実験概要

本実験では、免震支承として高減衰ゴム支承を対象とし、一辺25cmの正方形断面で、層厚12mmのゴムを4層、間に1mmの鋼板をはさんで重ねた縮尺モデルを用いた。本実験で用いた高減衰ゴム支承の基本的動特性については、既報を参照されたい。

実験は、サブストラクチャーハイブリッド実験の手法を用いて実施された。ハイブリッド実験は、コンピューターによる地震応答計算に、供試体の非線形な履歴復元力特性を実験から直接取り込むサブルーチンを組み合わせたシステムであり、ここでは構造物の一部分だけ取り出して実験を行うサブストラクチャー実験として実施している。実験システムの概要をFig. 1に示す。

図中の3台のアクチュエーターの内、上から吊るした2台で供試体に一定軸力を与えている。パソコンによって橋脚の地震応答を計算し、水平に設置された1台のアクチュエーターによってその応答変位を与えている。アクチュエーターに設置されたロードセルによって復元力を計測し、それをパソコンに取り込んで、次のステップの地震応答計算を行っている。

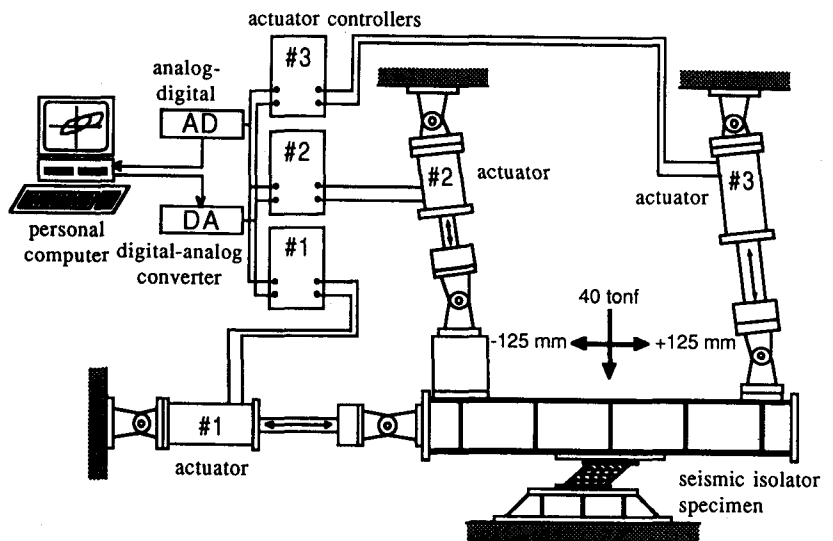


Fig.1 Hybrid loading system of earthquake response for seismic isolators.

耐震補強を行う対象構造物としては、Fig. 2に示す1本柱T型RC橋脚を選び、Fig. 3のように1自由度系としてモデル化を行った。Fig. 3(a)は、免震支承をつけていないオリジナル橋脚のモデルであり、Fig. 3(b)は、免震ゴム支承で耐震補強された橋脚のモデル（全体で2自由度系）である。橋脚の履歴復元力特性としては、繰り返し載荷による劣化を考慮した劣化型トリリニアモデルである、3パラメーターモデル²⁾を採用した。これは、剛性劣化と強度劣化、及びピンチング効果を3つのパラメーターによって表現するモデルであり、RC構造物の非線形履歴応答をよく表現することができるかと報告されている。

入力地震動は、道路橋示方書・耐震設計編³⁾に記載された標準波形を用いた。実験による免震ゴムの最大応変変形量が、ゴム総厚の100%及び200%程度になるよう、加速度波形の最大値を、それぞれ60gal及び120galに修正して入力した。

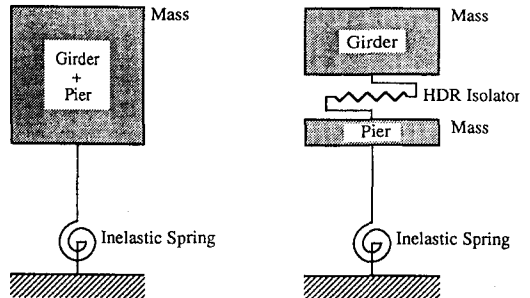
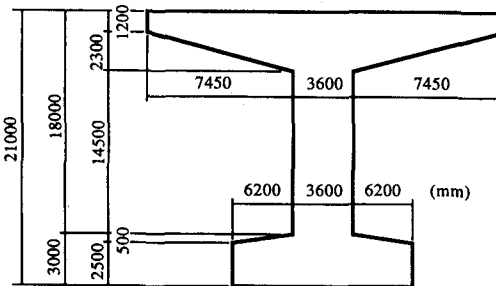
まず、1自由度オリジナル橋脚モデルに対して、入力波形の最大加速度を60galとして、少し非線形応答を示す程度の地震応答数値シミュレーションを行った。このシミュレーションの終了時の履歴復元力特性を初期値として、引き続き耐震補強をした場合の再度の強い入力（最大加速度120gal）に対するハイブリッド地震応答実験を実施した。つまり、はじめのシミュレーションによってある程度劣化した橋脚モデルを作成することになり、それまでの応答の最大値、エネルギー吸収量、劣化した剛性などを初期値として用いて、地震応答実験を行なうわけである。同様に、数値シミュレーション終了時の値を初期値として、耐震補強を施さない場合に対しても、再度の地震に対する地震応答を数値シミュレーションによって求めた。これらの比較をすることによって、耐震補強効果を明らかにすることができると考えた。さらに、橋脚の履歴復元力特性として劣化していないものを用いて、耐震補強された橋脚のハイブリッド地震応答実験を実施し、橋脚の劣化が橋脚の地震応答に及ぼす影響について検討した。

3. 実験結果と考察

ここでは入力地震動として、I種地盤用の加速度波形を用いた場合について、結果と考察を示すこととする。実験ケースをTable 1に示す。橋脚の状態としてある程度劣化している場合とない場合の2通り、そしてそれぞれ免震支承を付けた場合と付けない場合の2通りについて、最大加速度を120galに修正した地震波形に対する応答を検討した。

Table 1 Loading schemes to evaluate effect of pre-loadings.

	pre-loading		main loading	
	input motion	isolation	input motion	isolation
Case A	Type I EQ. max. 60gal	No	Type I EQ. max. 120gal	Yes
Case B	-	-	Type I EQ. max. 120gal	Yes
Case C	Type I EQ. max. 60gal	No	Type I EQ. max. 120gal	No
Case D	-	-	Type I EQ. max. 120gal	No



(a) 1-DOF non-isolated model. (b) 2-DOF isolated model.
Fig. 2 T-shape bridge pier model. Fig. 3 Bridge pier and girder models used for simulations.

表中Aは劣化した橋脚に免震支承を付け加えたケース、Bは劣化していない橋脚に免震支承を付けたケース、Cは劣化した橋脚に補強を加えなかったケース、Dは劣化していない橋脚をそのまま用いたケースである。ケースAとCの1度目の弱い地震波入力による数値シミュレーションをpre-loading、その他の载荷（実験）をmain loadingと呼ぶ。それぞれのケースに対する履歴応答曲線をFigs. 4～6に示す。

まずFig.4は、ケースAの劣化した橋脚に免震支承を付け加えた場合の履歴曲線である。Fig.4(1)は最大加速度60galの入力地震動による免震補強前のオリジナル橋脚の地震応答シミュレーション結果であり、この1度目の応答によって応答が多少非線形領域に入っていることがわかる。この応答計算終了時の履歴復元力特性を初期値として、最大加速度120galの入力地震動による免震補強後のハイブリッド地震応答実験を行なった結果が、橋脚の応答Fig.4(2)と桁の応答Fig.4(3)である。免震支承の付加によって固有周期が長周期化し、桁の応答は復元力が小さく変形が大きくなっている。最大応答付近では、ゴムのハードニング現象が若干見られる。これに対してFig.5は、劣化の無い橋脚に免震支承を付け加えた場合のケースBの結果である。同様にFig.5(1)が橋脚の応答、Fig.5(2)が桁の応答を示している。Fig.4(2)とFig.5(1)を比較すると、橋脚の応答は初期剛性の違いによって多少非線形領域における履歴曲線に違いが見られる。しかし応答量は、免震支承を取り付けないケースC (Fig.6)及びケースDの応答が大きく非線形領域に入っていることを考えると非常に小さい。履歴吸収エネルギー量を他の地震波（道路橋示方書のⅡ種及びⅢ種地盤用波形）を入力したケースも含めて比較した図がFig.7である。図中、Case 1-A～1-Dまでが、これまでに述べてきたケースA～Dに相当し、Case 2-A～2-DがⅡ種地盤用波形に対する実験結果、Case 3-A～3-DがⅢ種地盤用波形に対する実験結果である。この図 (Fig.7) から、いずれの地震波に対しても、免震支承を付けたケースAとBはエネルギー吸収量が小さく、損傷も少ないことが予測される。

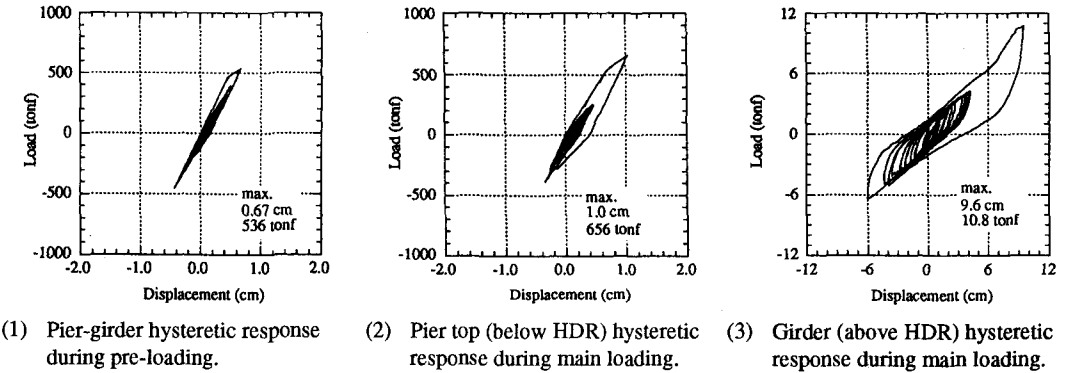


Fig. 4 Hysteretic response for Case A.

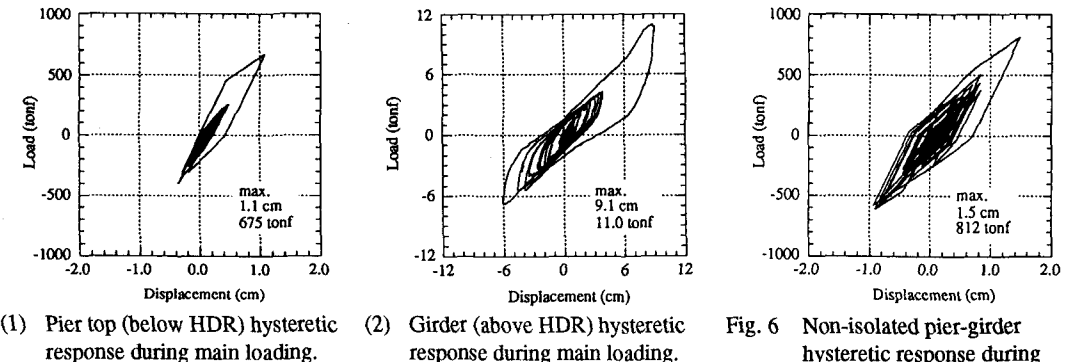


Fig. 6 Non-isolated pier-girder hysteretic response during main loading for Case C.

Fig. 5 Hysteretic response for Case B.

また、Fig.4(3)とFig.5(2)の桁の応答にはほとんど違いが見られない。橋脚の応答も、履歴曲線の形には違いがあるものの、最大応答値には違いが見られない。このことは、1度非線形応答を経験した既存構造物に対しても、免震支承が十分効果的に動作することを示している。

最後に、ケースBとケースDの加速度応答をFigs.8~9に示す。Fig.8は免震化していないケースDに対する橋脚の加速度応答波形であり、最大応答加速度は144galであった。Fig.9(1)は、免震化を行なったケースBの橋脚（免震支承の下）の応答波形で、最大応答加速度は210gal、Fig.9(2)は、その時の桁（免震支承の上）の応答波形で、最大応答加速度は128galであった。免震化した橋脚の加速度応答が、免震化しない場合の応答値より大きくなっているのは、免震化することによって橋脚の応答が線形応答になったためであり、Fig.7で述べたように橋脚の損傷は小さいと予想される。Fig.9(2)の免震化した桁の応答も、衝撃的な1波の応答が大きいほかは小さくなっており、十分な免震効果が得られていることがわかる。

4. まとめ

以上本研究では、何らかの原因で既に劣化している橋梁に免震支承を設置した際に、新しい免震橋梁と同等な免震効果が得られるかどうか実験的・解析的に検討した。そして既存橋梁に対しても、新しい橋梁と同様な免震効果が得られることを示した。今後、橋脚を多自由度でモデル化し、損傷箇所の検討などを進めることが必要だと考えられる。

参考文献

- 1) 山田善一・家村浩和・ウィリアム タンゾ・鶴野禎史・中村鎮雄：ハイブリッド地震応答載荷実験手法による高減衰ゴム支承の免震効果，構造工学論文集，Vol. 37A，pp. 851~862，1991年3月。
- 2) Y.J.Park, A.M.Reinhorn and S.K.Kunnath: Seismic Damage Analysis of Reinforced Concrete Buildings, Proc. of 9WCEE, Vol. VII, pp. 211-216, Aug. 1988.
- 3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，V耐震設計編，1990年2月。

(発表者連絡先：〒603 京都市北区等持院北町56 立命館大学理工学部土木工学科 TEL 075-465-1111)

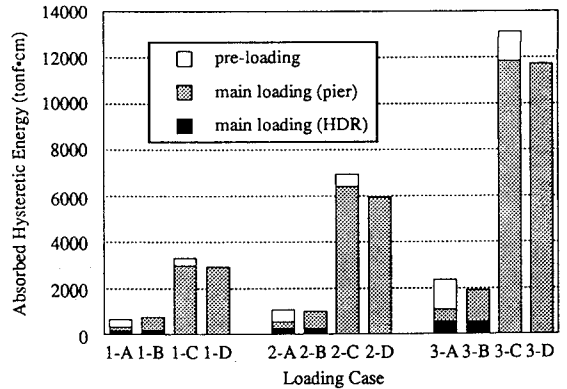


Fig. 7 Comparison of absorbed hysteretic energy during earthquake response for each case.

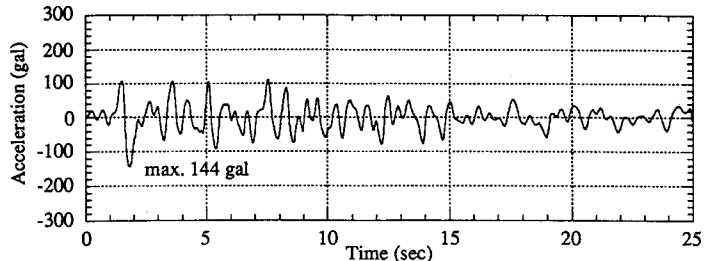


Fig. 8 Non-isolated pier-girder acceleration response for Case D.

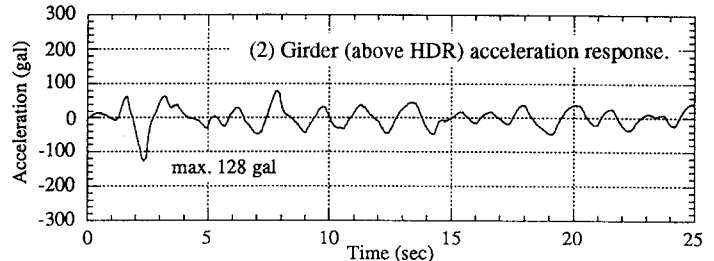
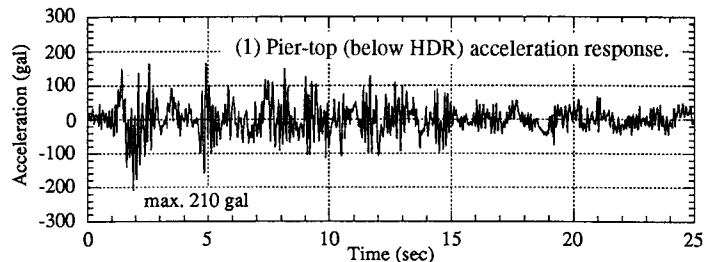


Fig. 9 Acceleration response time histories of isolated structure for Case B.