

中部大学工学部 正員 山田 善一 京都大学工学部 正員 家村 浩和
立命館大学理工学部 正員 伊津野和行 京阪電気鉄道(株) 正員○野村 武司

1. はじめに

本研究では、免震支承用のハイブリッド実験システムを用いて、免震構造物モデルのサブストラクチャー・ハイブリッド地震応答実験を行い、構造物全体の弾塑性挙動を実験的に追求するとともに、地震動の入力レベルや橋脚モデルの違いが構造系全体の免震効果におよぼす影響について検討した。

2. 実験の概要

本実験で用いた免震支承用のハイブリッド実験システムの全容を図-1に示す。鉛直に設置された2台のアクチュエーターにより、水平载荷ビームを介して免震支承に設計荷重相当の40tonfの軸力を与え、もう1台の大ストロークのアクチュエーター(±250mm)により、免震支承を水平方向にせん断変形させる、大変形試験が可能なシステムである。

サブストラクチャーモデルとしては、図-2に示す免震橋梁を対象とし、これを図-3のように2自由度系にモデル化した。免震支承部分を载荷実験し、橋脚部分は数値計算による解析を行い、構造物全体系を中央差分法による数値解析を行うことにより、サブストラクチャー・ハイブリッド実験を行った。図-4に本実験のフローチャートを示す。供試体には、鉛プラグ入り積層ゴム支承(LRB)を用いた。このLRBの平面形状は300mm×300mm、ゴム総厚は77mm(7mm×11層)、インサートプレートは2.3mm×10層、鉛プラグはφ60mmである。橋脚モデルとしては、線形および非線形の2種類のモデルを採用し、非線形モデルの復元力特性は、剛性低下型Tri-linearとした。なお、図-5に橋脚の変位-荷重関係の包絡線を示す。一方、線形モデルの剛性はTri-linearモデルの初期剛性と一致させた。入力地震波形には、保有水平耐力レベルの検討に用いる

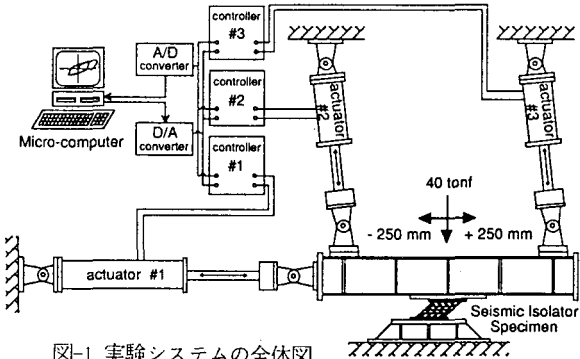


図-1 実験システムの全体図

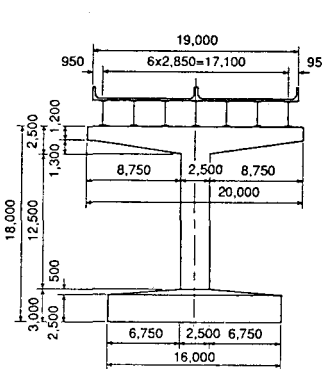


図-2 免震構造物

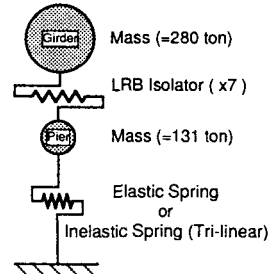


図-3 2自由度系モデル

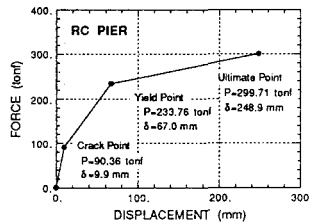


図-5 橋脚の変位-荷重関係包絡線

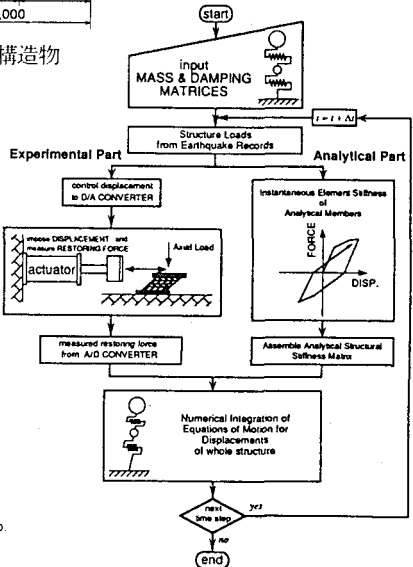


図-4 フローチャート

II 種地盤用の地震波形を、最大加速度50, 100, 200および300galと相似的に変化させて用いた。なお、積分時間間隔は0.01秒として、数値解析を行った。

3. 実験結果と考察

最大加速度200galの入力に対する、上部構造および橋脚頂部の加速度時刻歴波形を橋脚モデル別に図-6と図-7にそれぞれ示した。なお、この図中には数値シミュレーションによる非免震構造物モデルの加速度も示した。非免震構造物モデルの応答に比べて、免震構造物モデルの上部構造の応答は長周期化し、橋脚頂部の応答は逆に短周期化している。上部構造の最大加速度は、線形橋脚モデルでは免震化により免震前の約53%に低減されており、非線形橋脚モデルでは約68%に低減されていることが分かる。次に、各入力レベルにおける免震効果について検討するため、最大入力加速度に対する上部構造の最大応答加速度の値を加速度応答倍率として図-8に示した。これより、線形橋脚モデルの場合、最大加速度100galから200galの入力に対して、免震化により上部構造の最大加速度を免震前のおよそ53%程度に低減できることが分かる。また、非線形橋脚モデルの場合では、100galから200galの入力に対して、免震前のおよそ53%から68%に低減できる。しかしながら、さらに大きな300gal入力に対しては、線形・非線形橋脚モデルともに加速度の低減効果が小さくなっていることが分かる。この原因を検討するために、最大加速度200galおよび300galの入力に対する、非線形橋脚モデルの免震支承部分の履歴ループを一例として図-9に示した。これより、200gal入力までは免震支承にハードニング現象は起きていないが、300gal入力ではひずみ率にして約200%以上の領域において、免震支承にハードニングが起きており、このため上部構造の応答加速度が増大したと考えられる。

4. まとめ

免震支承の設計変位内ではほぼ満足する免震効果を有するものの、振幅が増大するとハードニング現象が起るため、免震効果は低下することが確認された。また、非線形橋脚モデルの場合、非免震構造においても加速度応答は大きく低減されるため、免震化による上部構造の加速度低減効果としては、線形橋脚モデルと比べて若干小さくなることが確認された。

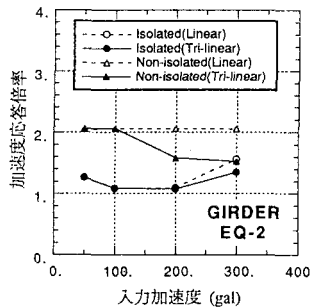


図-8 加速度応答倍率

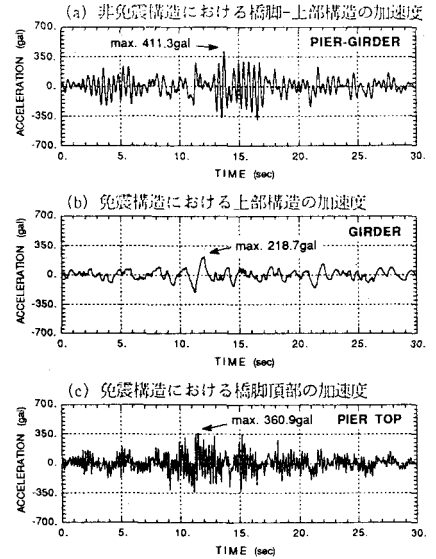


図-6 加速度時刻歴（線形橋脚、200gal）

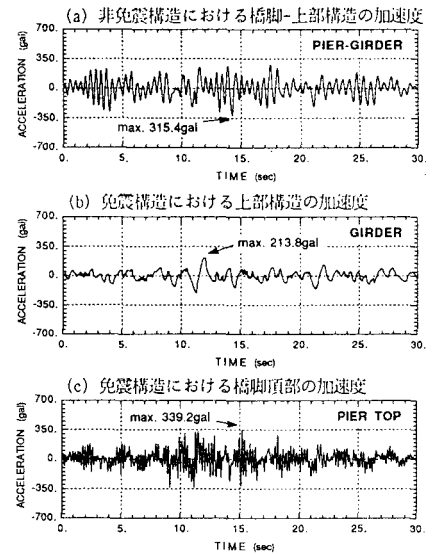


図-7 加速度時刻歴（非線形橋脚、200gal）

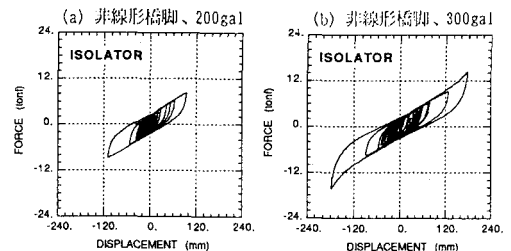


図-9 免震支承の履歴曲線