

京都大学工学研究科 フェロー 家村 浩和
 京都大学工学研究科 正会員 高橋 良和
 京都大学工学研究科 学生員 ○ 平井 崇士

1 概要 機能分離型免震装置は荷重支持板とゴムバッファから成るが、基本構造は滑り型であり、滑り面に上下動が作用した場合、水平地震応答性能が悪化することが考えられる。本研究では、機能分離型免震橋梁の地震応答に及ぼす軸力変動の影響を明らかにするため、免震支承を実験部、橋脚を計算部としたサブストラクチャーハイブリッド実験を行った。

2 機能分離型免震装置 機能分離型免震装置とは、常時と地震時に各々求められる機能を荷重支持板とゴムバッファで分離することのできる装置である。荷重支持板は上面がテフロン板で、上査下面のステンレス板との間でスライドする機構になっており、滑り摩擦によって減衰効果を発揮できる。また、ゴムバッファは天然ゴムと補強板で構成されており、せん断変形率は250%まで許容することがせん断破壊試験により確認されている。本研究で使用した実験供試体は、(株)ビービーエムで開発された機能分離型免震装置であり、40(tf)用の荷重支持板と2個のゴムバッファ(層厚8.4(mm)×5)を採用している(図1)。

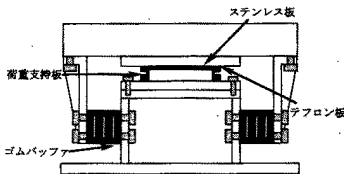


図1 実験供試体

3 実験システム 実験システム(図2)は載荷、制御、解析、計測、記録システムより成り立っている。載荷装置として3台のアクチュエータを用い、上下方向にある2台のアクチュエータは鉛直荷重を載荷するとともに、実験供試体に対して水平を保持できるように計算制御を行なっている。

4 静的繰り返し載荷実験 機能分離型免震装置の基本特性を把握するため、正負交番載荷実験を行った。荷重支持板のテフロン面における摩擦係数の滑り速度依存特性と面圧依存性を確認し、ゴムバッファ

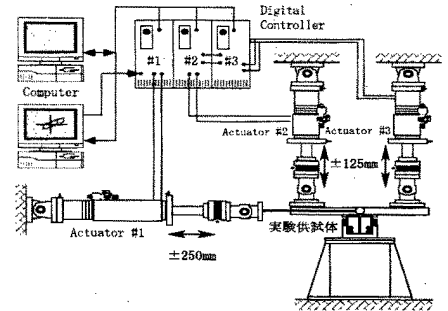


図2 実験システム

を取り付けた機能分離型免震装置の静的載荷実験を行った。軸力を40(tf)、載荷速度を0.2(kine)の一定に保ち、水平変位振幅 $\pm 10(\text{mm}) \sim \pm 100(\text{mm})$ 、振幅増10(mm)、2回繰り返しの強制変位を与えた。

図3に摩擦係数と滑り速度及び面圧の関係を示す。実験では載荷速度が遅いため、摩擦係数の変動は大きい。従来¹⁾の近似式を用いた近似曲線においては、滑り速度が速い領域の摩擦係数は一定値に漸近する傾向があり、実地震波を対象とする場合、摩擦係数の滑り速度依存性の影響は小さいと言える。一方、面圧の増加に伴い摩擦係数は減少しているが²⁾、地震時の滑り支承の軸力変動を考慮すると、面圧は時々刻々と変化するため、摩擦係数の面圧依存性は重要であると言える。また、図4に機能分離型免震装置の履歴曲線を示す。水平変位が約80%以上の領域においてわずかにハードニングが生じているものの、全体としてほぼ剛塑性型の履歴形状になっている。さらに、ゴムバッファのせん断ひずみ率が約250%まで許容できることを確認した。また、2次剛性のせん断バネ定数は約0.57(tf/cm)になった。

5 サブストラクチャーハイブリッド地震応答実験 機能分離型免震橋梁の地震応答に及ぼす軸力変動の影響を明らかにするため、複雑な挙動を示す機能分離型免震支承の復元力特性を載荷実験より検出し、数値モデル化された橋脚部はコンピュータにより計算するサブストラクチャーハイブリッド実験を行った。

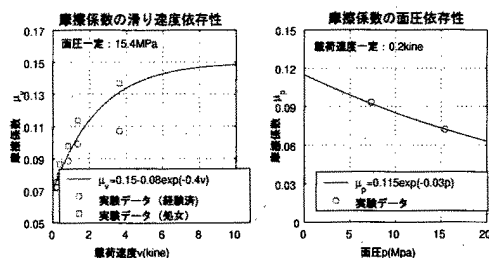


図3 摩擦係数の滑り速度及び面圧依存性

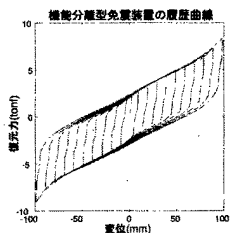


図4 静的繰返し載荷実験結果

図5の5径間連続鋼免震橋³⁾のP1橋脚を対象に、上部工と橋脚の2自由度2質点系にモデル化する。上部工と橋脚の重量は1124、567.1(tf)、免震支承と橋脚の粘性減衰定数は2%とした。なお、実橋レベルの運動方程式を計算するため、実橋と供試体との間に相似則(相似比:1.96)を適用した。橋脚の復元力履歴特性はトリリニア型モデル、入力地震動は神戸海洋気象台記録を用いた。また、フレーム応答解析より、P1橋脚の滑り支承に生じる軸力変動は図6のようになった。UD成分と比較して長周期になっているが、橋桁のたわみ振動の影響によるものと考えられる。ここでは、6秒付近で最も軸力が抜けていることがわかる。この軸力変動を相似則にしたがって調整し、ハイブリッド実験を行った結果を図7に示した。

軸力変動を与えた場合の免震支承履歴曲線を軸力一定の場合と比較すると、第1象限では復元力が大きくなっているのに対し、第3象限では小さくなっている。これは、第1象限では軸力が圧縮力として作用する領域であるのに対し、第3象限では軸力が抜ける領域であるためである。さらに、軸力が抜ける側では摩擦力が減少するため、免震支承の変位が大きくなっており、軸力変動を与えた場合は危険側の結果を示している。最大値を比較すると、軸力変動を与えた場合の免震支承の最大変位の方が約10%程度大きくなっている。これは、6秒付近の軸力が最も抜けた瞬間の免震支承の相対変位に相当している。

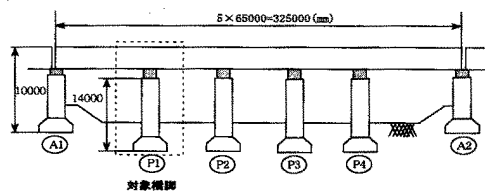


図5 対象橋梁

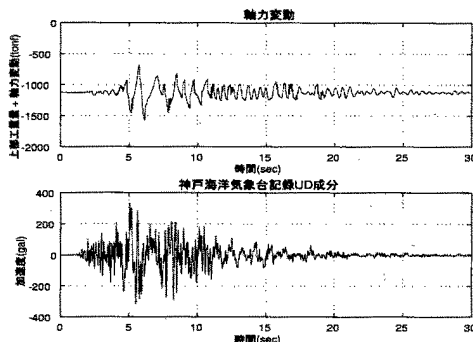


図6 滑り支承の軸力変動

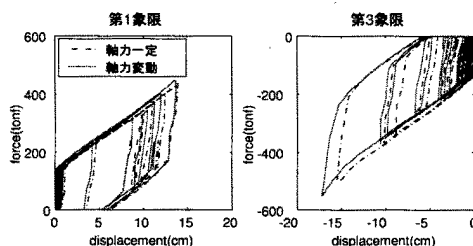


図7 サブストラクチャーハイブリッド実験結果

6 結論

本研究で得られた結論を以下に示す。

- 機能分離型免震装置はほぼ剛塑性型の履歴形状を示すことがわかった。また、ゴムの許容せん断ひずみ率250%の変形性能を確認した。
- サブストラクチャーハイブリッド実験より、軸力変動を考慮した場合、軸力が抜ける間は摩擦力が減少し、支承変位が増大することを確認した。

参考文献

- 岡本晋, 深沢泰晴, 藤井俊二, 尾崎大輔: すべり方式免震システムを有する橋梁の地震時挙動特性, 土木学会論文集 No.513/I-31, pp191-200, 1995.4
- 林章二, 北村佳久, 猿田正明: 積層ゴムとすべり支承による複合免震システムに関する研究, 第10回日本地震工学シンポジウム, pp2807-2812, 1998.11
- 財団法人土木研究センター: 建設省・道路橋の免震設計法マニュアル(案), 1992.3