

摩擦型制震デバイス模型の地震時挙動の数値解析による再現

宇都宮大学 学生員 ○ 齋藤 拓哉 宇都宮大学大学院 学生員 酒井 亮太
 宇都宮大学大学院 フェロー 中島 章典 オイレス工業 正会員 横川 英彰

1. はじめに

兵庫県南部地震以降、積層ゴム系の支承を用いて地震力の低減を図る免震構造が一般的に採用されるようになったが、ゴム系の免震支承が一般に割高であることから橋全体系としてのコスト縮減までには至らない場合がある。そこで、コスト縮減を目的とした機能分散型の支承構造として、鉛直荷重を受け持つ、すべり支承と水平荷重を受け持つ復元力構造を組み合わせた支承構造が採用される事例が増えつつある。しかし、このような支承構造の採用事例は多くはない。この理由としてすべり支承を用いた免震構造の地震時挙動が十分に明らかになっていない点が挙げられる¹⁾。

著者ら²⁾はフラットベアリングのすべり支承を用いた高架橋模型を対象とした振動実験結果を、動的解析により定性的に再現した。しかし、フラットベアリングのすべり支承の復元力特性は摩擦型とは言い難かったため、本研究では、面接触のすべり支承を試作し、それを有する簡易橋梁模型を対象に振動実験を行う。そして、すべり支承の復元力特性を把握し、また、復元力特性を組込んだ動的解析により、簡易橋梁模型の振動実験結果の再現性を検討する。

2. 実験概要

本研究において実験の対象とした簡易橋梁模型は、図-1に示すように、十分なH型断面の鋼材の上にすべり支承を設置し、H型断面の鋼材を用いた上部構造部材から構成されている。この簡易橋梁模型を対象に正弦波および地震波による強制振動実験を行った。振動時は上沓部と上部構造部材が一体となって振動する。

強制振動実験においては、振動台を付属の制御装置で、地震波の加速度データを入力して簡易橋梁模型の橋軸方向に加振した。このときのすべり支承の加振方向の相対水平変位を非接触式変位計で計測し、また、すべり支承上の上部構造の加速度および振動台の加速度を加速度計を用いて計測した。ここでは、入力地震波として、北海道釧路沖地震時のJMA 釧路地震波の加速度記録を用いた。

3. すべり支承構造

本研究では、図-2に示すようにすべり面を境にした上沓部、下沓部に圧縮ばねを組み合わせたすべり支承を試作した。また、上沓部と下沓部の接触面は厚さ0.5mmのテフロン同士が接触する構造とした。

鉛直力をすべり面が受け持ち、水平力をすべり面の摩擦力と圧縮ばねが受け持つという、機能分散型の支承構造とした。摩擦力による復元力だけでは、原点復帰を期待することは難しいため、圧縮ばねを設置することで原点復帰が期待できるようにした。本実験では、復元力特性を構成するすべり支承の摩擦力による復元力特性を把握するために、要素実験を行った。

すべり支承の要素実験では、摩擦力による復元力特性のみを把握するため、圧縮ばねを設置しない状態で要素実験を行った。また、簡易橋梁模型の振動実験時に1つのすべり支承のすべり面に掛かる鉛直力を再現するために、対応

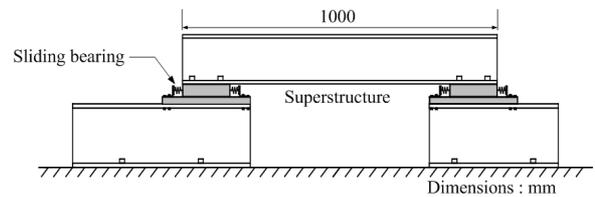


図-1 簡易橋梁模型

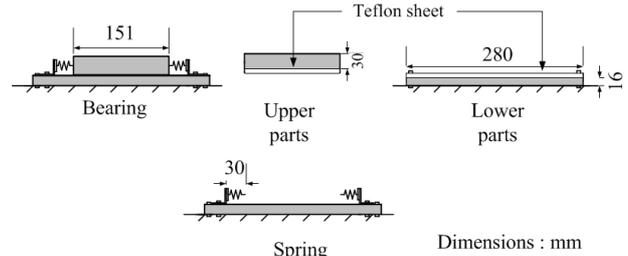


図-2 支承部詳細

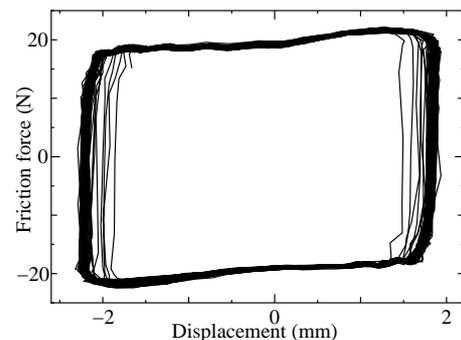


図-3 相対水平変位-摩擦力関係

する重りを載せて正弦波で加振した。この時の加振方向の相対水平変位を非接触式変位計で計測し、上沓部の加速度を加速度計を用いて計測した。計測された加速度の符号を正負反転させた値に、すべり面より上部の質量を乗じたものを摩擦力とした。要素実験から得られた、相対水平変位-摩擦力関係を図-3に示す。変位0mm付近の摩擦力を正側、負側から抽出したものを平均化し、支承1の摩擦力を18.2Nとした。同様に、支承2の摩擦力を18.9Nとした。

要素実験では、2つの支承をそれぞれ振動数3, 5, 7, 10Hzで加振して摩擦力を求めた。縦軸に求めた摩擦力、横軸に各振動数とした結果を図-4に示す。図-4を見ると、振動数による摩擦力の変化は小さいことがわかる。しかし、支承1と支承2の摩擦力の和と、簡易橋梁模型のばねを設置しない状態で加振した時に得られた摩擦力には差異が見られる。この原因として、簡易橋梁模型を設置した際の不整により、すべり支承の接触面が減少し、面圧が増加して簡易橋梁模型の摩擦力が小さくなったと考えられる。

圧縮ばねのばね定数は式(1)を用いて算出した³⁾。

$$k = \frac{Gd^4}{8nD^3} \quad (1)$$

ここで、 k はばね定数、 G はせん断弾性係数(78kN/mm²)、

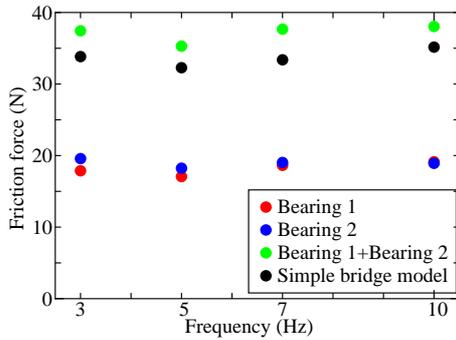


図-4 正弦波加振時の振動数と摩擦力の関係

d は素線径 (1.0mm), n は有効巻数 (9), D はコイル径 (12mm) である. これらを式 (1) に代入することで, ばね 1 本当たりのばね定数を 0.627N/mm と算出した. 簡易橋梁模型では, 圧縮ばねを 8 本使用しているため, ばね定数は 5.02N/mm となる.

4. 簡易橋梁模型のモデル化

実験で用いたすべり支承を図-5に示すように, 質点ばね系にモデル化した. 質量 M_1 には, すべり支承の上巻部と上部構造部材の質量を考慮した. ばね定数 K_1 を持つばね要素には, 摩擦力を降伏値とする完全弾塑性型の復元力特性を考慮し, ばね定数 K_2 を持つばね要素には圧縮ばねの復元力特性を考慮することで, すべり支承をモデル化した. この時に, 摩擦力は2つの支承の要素実験により求めた値の和 (37.1N) とし, 式 (1) から求めたばね定数を K_2 として解析モデルに組込んだ.

5. 実験結果と解析結果の比較

簡易橋梁模型の解析モデルを用いて動的解析を行い, 正弦波加振, 地震波による強制振動時の相対水平変位, 慣性力に着目して応答を再現できるか検討した.

まず, すべり支承を有する簡易橋梁模型を対象とした正弦波加振 (振動数 5Hz) によって得られた, 相対水平変位-慣性力関係の履歴ループと解析によって得られた履歴ループを図-6に示す. 解析結果と実験結果を比較すると, 両者の履歴ループはほぼ一致しているが, 実験結果の変位振幅よりも, 解析結果の変位振幅が大きいことが分かる. また, 相対水平変位の最大あるいは最小値付近では, 実験結果は丸みを帯びた形になっており差異が見られる. これは, 実験結果には摩擦力以外の減衰力が影響しているため, あるいは, すべり支承にテフロンシートを用いたことによると考えられる.

次に, 強制振動実験によって得られた相対水平変位-慣性力関係の履歴ループと解析によって得られた履歴ループを図-7に, 相対水平変位時刻歴曲線を図-8に示す. 図-7を見ると, 正弦波加振時にも見られた減衰力の影響と, 慣性力の符号が変化する点において, 丸みを帯びている挙動が見られるが, 実験結果と近い挙動を示しており, 復元力特性を定性的に再現出来ていることが分かる. 図-8においても相対水平変位時刻歴曲線の実験結果と解析結果は近い挙動を示しており, 定性的に再現出来ている.

6. おわりに

本研究では, テフロン同士が面接触するすべり支承を試作し, 正弦波加振時と地震波による強制振動時における相対水平変位-慣性力関係と相対水平変位時刻歴曲線の実験結果と動的解析結果の比較を行った. 支承部のモデル化に

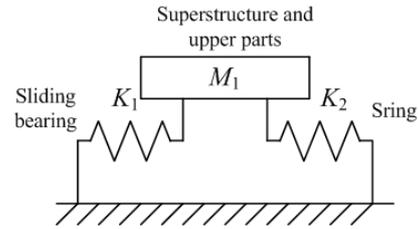


図-5 解析モデル

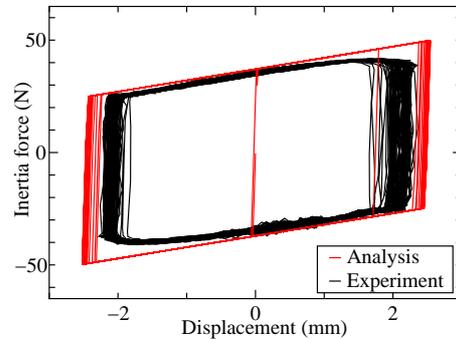


図-6 簡易橋梁模型の正弦波加振時の相対水平変位-摩擦力関係

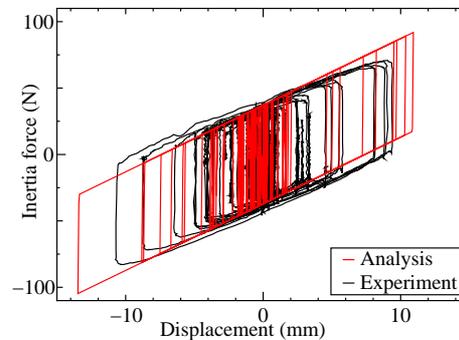


図-7 簡易橋梁模型の強制振動時の相対水平変位-慣性力関係

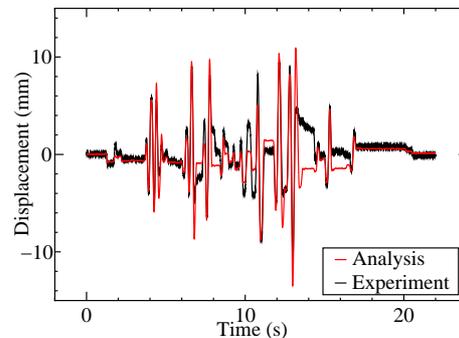


図-8 簡易橋梁模型の強制振動時の相対水平変位時刻歴曲線

おいてはすべり支承の要素実験, 式 (1) より得られた復元力特性を組み込み, 解析プログラムの再現性を検討し, 定性的に再現出来ることを確認した.

今後は, 解析プログラムに減衰力を考慮することや, 復元力特性をより実際の挙動に近づけたものに変更して, 解析プログラムに組み込み, 実験結果の挙動の再現性をより高める予定である.

参考文献

- 1) 岡田, 遠藤, 運上: すべり系支承を有する免震橋梁の振動台実験, 土木学会論文集 A Vol.63No.3, pp.396-410, 2007.7.
- 2) 酒井, 中島, 横川: すべり支承の制震効果に関する振動台実験および数値解析, 土木学会第 64 回年次学術講演会, 1-405, pp.809-810, 2009.9.
- 3) 日本ばね学会: ばね (第 4 版), 丸善, 2008.5.