

すべり支承の地震時挙動に関する模型実験と数値解析

宇都宮大学大学院 学生員 ○ 齋藤 拓哉 宇都宮大学大学院 フェロー 中島 章典
宇都宮大学大学院 学生員 酒井 亮太 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離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に対する復元力特性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⁾。

著者らの研究²⁾で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、動的解析により再現することを試みた。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異なるものであった。本研究では、面接触のすべり面を有する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を試みる。

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、十分剛な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。この簡易橋梁模型に対して正弦波および地震波による強制振動実験を行った。振動時に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、下沓部と上沓部側面に設置した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、支持機能を分離した支承構造とした。試作したすべり支承の復元力は、すべり面の摩擦力と圧縮ばねに依存する。そこで、復元力特性を構成するすべり支承の摩擦力と圧縮ばねのばね定数を把握するために、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。動摩擦力には面圧依存性³⁾が確認されているため、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必要がある。そのために、対応する重りを載せて正弦波で加振した。この時の相対水

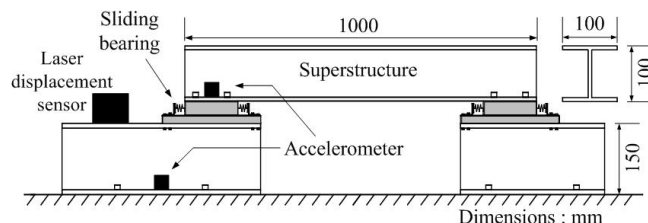


図-1 簡易橋梁模型

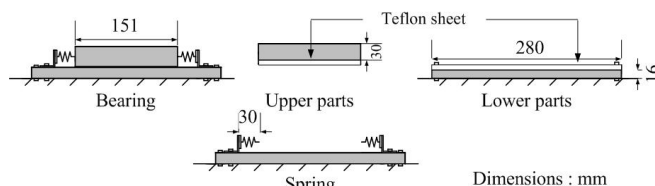


図-2 支承部詳細

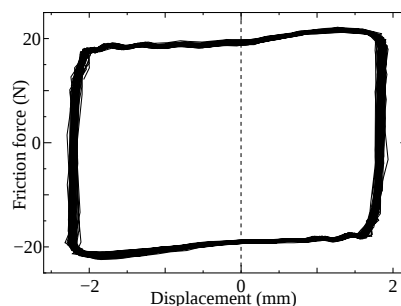


図-3 相対水平変位-摩擦力関係

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、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は等しくなるはずであるが、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。

一方、圧縮ばねのばね定数は式(1)を用いて算出した⁴⁾。

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

ここで、 k はばね定数、 G はせん断弾性係数(78kN/mm²)、 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。試作したすべり支承模型1つには、圧縮ばねを4本使用しているので、ばね定数は2.51N/mmとなる。

Key Words: すべり支承, 振動台実験, 地震時応答性状, 動的解析

〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学工学部建設学科 Tel.028-689-6210 Fax.028-689-6210

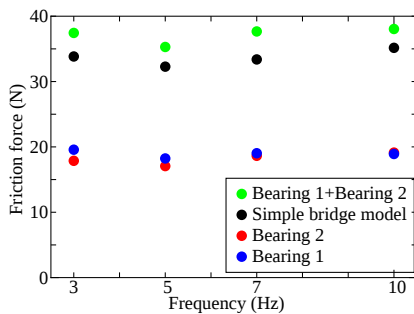


図-4 正弦波加振時の振動数と摩擦力の関係

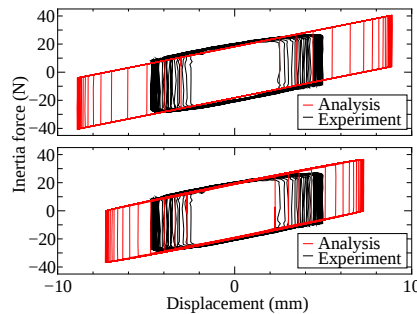


図-5 正弦波 3Hz 加振時の相対水平変位-慣性力関係

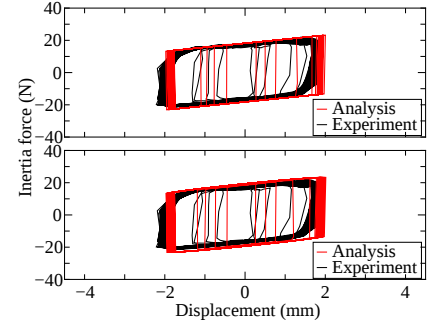


図-6 正弦波 10Hz 加振時の相対水平変位-慣性力関係

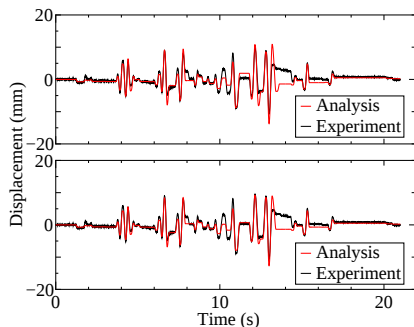


図-7 JMA 釧路地震波加振時の相対水平変位時刻歴曲線

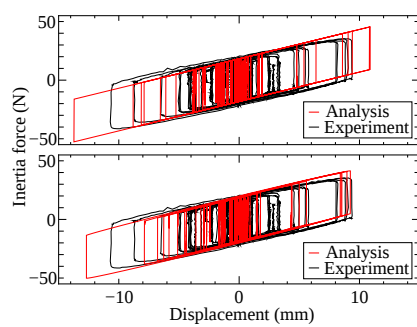


図-8 JMA 釧路地震波加振時の相対水平変位-慣性力関係

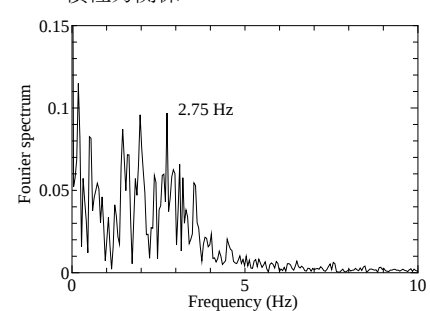


図-9 JMA 釧路地震波加振時の相対水平変位スペクトル解析結果

4. 簡易橋梁模型のモデル化

簡易橋梁模型に用いた上部構造部材をはり要素に、すべり支承を水平、鉛直、回転方向のばね要素によりモデル化し、動的解析を行った。また、ダッシュポットを設置することですべり面による粘性減衰を考慮した。要素実験で求めた摩擦力和式(1)から算出したばね定数を支承の水平方向のばねの復元力特性とした。摩擦力による復元力特性は摩擦力を降伏値とする完全弾塑性型とし、圧縮ばねは、ばね定数に基づく線形の復元力特性として解析モデルに組み込んだ。すべり支承の鉛直方向のばね要素には剛な結合条件を満たすようなばね定数を定め、回転方向のばね要素においても回転を許さない支承構造なので、回転方向に対して剛な条件となるように十分大きなばね定数にした。

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、正弦波と地震波加振時の相対水平変位、慣性力に着目して応答を再現できるか検討した。

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を示す。図-5に振動数 3Hz 加振時の解析結果と実験結果を示す。上段には粘性減衰を考慮していない解析結果、下段には粘性減衰を考慮した解析結果を示す。また、図-6に振動数 10Hz 加振時の解析結果と実験結果を示す。上段には粘性減衰を考慮していない解析結果、下段には粘性減衰を考慮した解析結果を示す。減衰定数は要素実験で約 3 まで、図-5の上段の解析結果と実験結果を比較すると、両者の履歴ループは 2 次勾配の点でほぼ一致しているが、慣性力と変位振幅の点で差異が見られる。下段の粘性減衰を考慮した場合の解析結果と実験結果を比較すると、慣性力はほぼ一致し、変位振幅においても再現性は高まったと言える。図-6の 10Hz においては、粘性減衰の有無の関わらず再現性は高いと言える。

次に、JMA 釧路地震波による加振によって得られた相対水平変位時刻歴曲線を図-7に示す。上段は粘性減衰を考慮していない解析結果と実験結果、下段は粘性減衰を考

慮した結果を示している。図-7の上段に示す、粘性減衰を考慮していない場合の解析結果と実験結果の二乗誤差の和を取ると 45232mm^2 となり、下段の粘性減衰を考慮した場合は 31629mm^2 となるため、粘性減衰を考慮することにより再現性が高まったと言える。図-8に相対水平変位-慣性力関係の履歴ループを示す。上段は粘性減衰を考慮していない場合、下段は粘性減衰を考慮した場合を示している。さらに、相対水平変位時刻歴曲線のスペクトル解析結果を図-9に示す。図-8の上段、下段の解析結果と実験結果をそれぞれ比較すると、下段に示す粘性減衰を考慮することにより、再現性が高まったと言える。しかし、両者とも解析結果の相対水平変位振幅の方が大きいことが分かる。図-9を見ると相対水平変位時刻歴曲線の卓越振動数は 3Hz 以下に存在する。そのため、振動数 3Hz の正弦波で加振した時と同様の傾向となったと考えられる。しかし、図-7、図-8から、解析結果は実験結果を安全側に評価できていると言える。

6. おわりに

本研究では、テフロン同士が面接触する際に生じる摩擦力和圧縮ばねによる復元力特性を有する、すべり支承を試作し、正弦波と地震波による加振時の相対水平変位-慣性力関係および相対水平変位時刻歴曲線に着目し、実験結果と解析結果の比較を行った。支承部のモデル化に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こんだ。解析結果に粘性減衰を考慮することで、実験結果の再現性を高めることができた。また、解析により実験結果を安全側に評価できることを確認した。

参考文献

- 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.
- 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.
- 姫野, 運上: 支承部における摩擦特性のモデル化とその評価式に関する検討, 土木学会地震工学論文集 Vol.27, 2003.12.
- 日本ばね学会: ばね (第 4 版), 丸善, 2008.5.