

# 摩擦型制震デバイスを用いた高架橋模型の振動実験

宇都宮大学 学生員 ○酒井 亮太, フェロー 中島 章典  
オイレス工業株式会社 正会員 横川 英彰

## 1. はじめに

兵庫県南部地震以降、積層ゴム系の支承構造を用いて地震力の低減と耐震性の向上を図る免震構造が一般的に採用されてきた。しかし、ゴム系支承は割高であるためにコスト削減を目的とした機能分散型支承として、鉛直荷重を受け持つすべり摩擦型の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適用は必ずしも一般的ではない。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検証されていないことが挙げられている<sup>1)</sup>。

本研究では、支承構造にすべり支承を有する簡易な高架橋模型を対象に、振動実験とその再現を試みる動的解析を行う。まず、支承および橋脚部材などの構成要素の特性を得るために要素実験を行い、次に高架橋模型全体系の振動実験を行い、すべり支承の効果を確認する。そして、要素実験により得られたすべり系支承の特性を組み込んだ解析モデルを用いた動的解析により、高架橋模型全体系の振動実験結果の再現性を確認する。

## 2. 実験概要

ここではすべり支承、上部構造および橋脚部材からなる図-1に示すような高架橋模型を対象に、自由振動実験および地震波による強制振動実験を行った。

高架橋模型は、橋脚の下鋼板をボルト4本を用いて振動台に強固に固定し、逸散減衰の影響が極力生じないようにした。また、振動台の加振方向と高架橋模型の橋軸方向が一致するように模型を設置した。

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橋軸方向に加振し、このときの加振方向の支承の水平変位を非接触式変位計で、支承上の上部構造部材の加速度および振動台上の加振方向の加速度をそれぞれ加速度計を用いて計測した。同時に、両橋脚基部付近のひずみをひずみゲージを用いて計測した。ここでは入力地震波として、兵庫県南部地震時のJMA神戸記録波を調整したものを用いた。自由振動実験時には、支承を高架橋模型の橋軸方向に引張って放し、自由振動状態になった後の応答を計測した。

比較のために支承条件に固定支承を有する場合も同様に、自由振動実験と強制振動実験を行った。

また、模型全体系の振動実験に先立って、支承部の要素実験を行った。上部構造および橋脚部材などの構成部材の特性は既往の文献<sup>2)</sup>を参考にした。

## 3. すべり支承構造

本研究では、図-2のような上沓、下沓、基部からなる小型のすべり支承と圧縮ばねを合わせたすべり支承構造を用いた。

鉛直荷重をすべり支承で受け持ち、水平荷重の一部をばねが受け持つ支承構造とした。免震支承の水平変位依存性のモデル化に関して、免震橋の動的解析やその照査においては、一般にその非線形履歴特性をバイリニア型にモデル

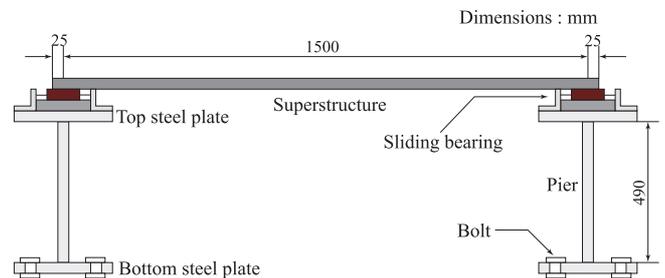


図-1 高架橋模型

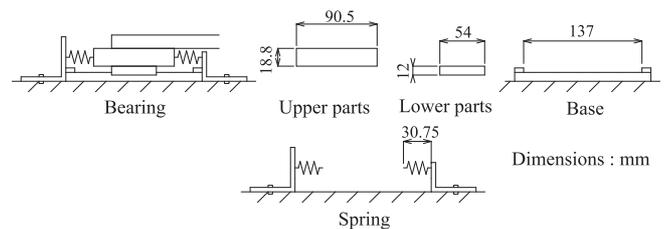


図-2 支承部詳細

化してよいとされている<sup>3)</sup>。この場合、1次剛性および2次剛性は用いる支承の特性に基づいて適切に定めなければならない。本実験では、すべり支承と圧縮ばねの特性を把握する要素実験を行った。

すべり支承の要素実験では、支承の正弦波加振を行い、その実験結果から得られる荷重と水平変位関係を図-3に示す。支承に変位が生じている間は荷重はほぼ一定であるため、そのときの正側と負側それぞれの荷重を平均化し、このときの荷重を0.62Nとした。

圧縮ばねの要素実験では、ばね定数 $k'$ を算定するため、圧縮ばね4本を用いて、その上に錘を載荷し、そのときのばねの変位を測定した。圧縮ばねは塑性化しない剛性と考え、実験によりばね1本あたりのばね定数は0.4045N/mmと求めた。一般に、圧縮ばねは有効巻数が少なくなるとばね定数が大きくなるという反比例関係がある。そのため、高架橋実験時と有効巻数を同じにするために、有効巻数を5とし、ばね定数は0.728N/mmと定めた。

この2つの要素実験により、本実験で用いるすべり支承の1次剛性、2次剛性はそれぞれ $K_1=1.0 \times 10^3$  N/mm、 $K_2=0.728$  N/mmと定めた。

## 4. 解析概要

実験で用いた上部構造および橋脚ははり要素に、支承は水平、鉛直、回転方向のばね要素にモデル化して動的解析を行った。要素実験で求めた値を支承の水平方向のばねの履歴特性として解析モデルに組み込んだ。また、支承の鉛直方向は剛な結合条件を満たすようなばね定数を定め、また、回転方向は解析の対象とする振動モード(支承が水平方向に変位する振動モード)に大きく影響しないため、十分小さいばね定数を定めた。

固定支承においては、支承の水平方向に剛な結合条件を満たすようなばね定数を定めた。

橋脚基部は、実験時にはボルトを用いて振動台に固定するが、この固定方法では十分な固定度が得られず、逸散減

**Key Words:** すべり系支承, 振動実験, 高架橋模型, 地震時応答性状

〒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

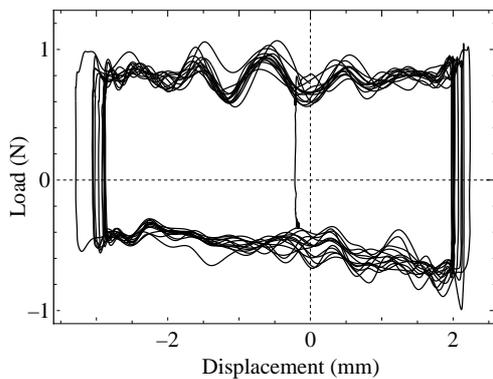


図-3 水平変位-荷重関係

表-1 固有振動数の比較

Bearing	Experiment(Hz)	Analysis(Hz)
Sliding	1.71	1.81
Fixed	9.03	9.05

衰の影響を受けていると考えられる。基部における剛性と、それに伴う基部からの減衰の考慮は、基部に回転ばねおよび回転ダッシュポットを設けることでモデル化した。回転ばねのばね定数および回転ダッシュポットの減衰定数は、既往の文献<sup>2)</sup>を引用した。

また、構築した高架橋模型の解析モデルの妥当性を確認するために、固有振動解析を行った。この固有振動解析によって得られた固有振動数と、自由振動実験から得られた固有振動数を比較することにより構築した解析モデルの妥当性を確認した。

高架橋模型の自由振動実験および固有振動解析により得られた1次振動モードの固有振動数を表-1に示す。その結果、支承条件がすべり支承の場合の相対誤差は約5.85%、固定支承の場合の相対誤差は約0.22%と精度良く再現できることを確認した。

### 5. 実験結果と解析結果の比較

この構築した解析モデルを用いて動的解析を行い、強制振動時の応答を再現できるか検討した。支承条件にすべり支承を用いた場合の橋脚基部のひずみ応答の結果を図-4-aに、固定支承を用いた場合の橋脚基部のひずみ応答の結果を図-4-bに示す。また、それぞれにおいて上段は実験結果を示し、下段は解析結果を示している。

支承構造をすべり支承、固定支承としたそれぞれの解析結果で、最大ひずみ時の応答値が実験結果に比べ解析結果のほうが若干小さいが、応答波形は実験結果のそれを定性的に再現できていることがわかる。

そこで、支承構造がすべり支承の場合と固定支承の場合とを比較し、すべり支承の効果を確認した。

強制振動実験時におけるそれぞれ支承の相対水平変位を図-5に示す。固定支承を用いたときは支承の変位はないが、すべり支承を用いたときは相対水平変位が生じている。また、図-4に示す橋脚基部のひずみに着目すると、すべり支承の場合と固定支承の場合で、それほど大きな差は表れなかった。

両端が固定支承の場合は、温度応力による影響も考えられるため必ずしも合理的な構造ではないが、この実験結果からでは、橋脚に作用する力を低減するなどのすべり支承を用いた場合の効果は確認できていない。

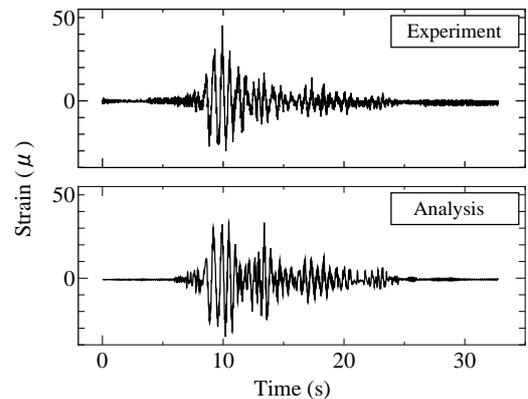


図-4-a すべり支承とした高架橋模型

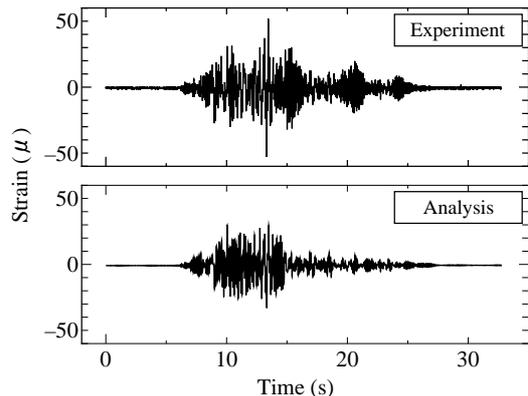


図-4-b 固定支承とした高架橋模型

図-4 強制振動時の橋脚基部のひずみの応答波形

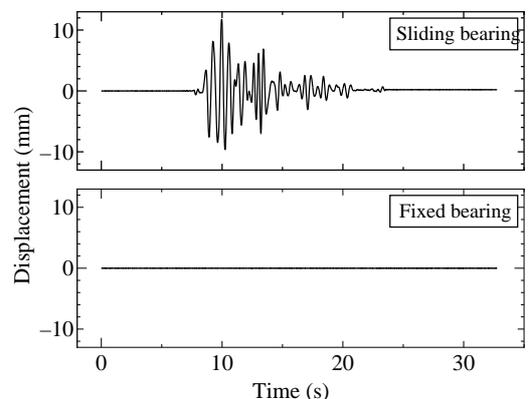


図-5 強制振動時の支承の相対水平変位の応答波形

### 6. おわりに

本研究では、特に、すべり支承または固定支承と上部構造および橋脚部材から成る高架橋模型の強制振動時の応答に着目し、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おいては支承部の要素実験より得られた特性を用いて、解析プログラムの再現性を検討した。

今後は、この解析プログラムを用いて、すべり支承の摩擦力やばね定数を変化させ、パラメトリック解析を行い、最適なすべり支承の特性を検討する予定である。

#### 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) 浅井, 中島, 中野, 横川, 緒方: 積層ゴム支承を有する高架橋模型の振動実験とその解析, 土木学会第63回年次学術講演会, 1-577, pp.1153-1154, 2008.9.
- 3) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 (V 耐震設計編), 丸善, 2002.3.