

シングル球面すべり支承を有する橋梁模型の正弦波加振実験

宇都宮大学
株式会社 HRC 研究所
日鉄エンジニアリング株式会社

正会員 ○大藪 宏文
フェロー会員 中島 章典
正会員 山崎 伸介

藤倉 修一
野呂 直以

Nguyen Minh Hai

1. はじめに

1995 年兵庫県南部地震によって、我が国の橋梁構造物に甚大な被害が生じ、これを契機に、免震設計が広く適用されるようになった。免震設計とは上部構造から下部構造に伝わる地震力を低減することを目的とする設計であり、そのためには、変形性能の高い免震支承が全体の変形を吸収することで実現される。免震支承として、現在では積層ゴム支承が広く用いられているが、近年発生した東北地方太平洋沖地震及び熊本地震等において積層ゴム支承の破断等の損傷が確認されている¹⁾。このことより、積層ゴム支承だけに頼るのではなく、別のタイプの免震支承の開発が重要となっている。球面すべり支承は、積層ゴム支承と比べて、支承の構造高や平面寸法をコンパクトにすることが可能であり、固有周期が上載荷重に左右されない特徴を持つ。本研究は、球面すべり支承に着目し、橋梁への実用化を目指すものである。

既往の研究²⁾では、上部構造の応答のみに注目することが多く、すべり面に生じる摩擦力が上部構造および下部構造に及ぼす影響について調査した研究は少ない。球面すべり支承を有する橋梁構造物においては、すべり面に生じる摩擦力は支承部の水平せん断力であり、支承の設計を行う上で重要となる。また、上部構造重量に偏心がある場合には各支点到に反力差が生じ、上部構造が回転する可能性がある。本実験では振動台による正弦波加振実験を行い、すべり面に生じる摩擦力に着目し、シングル球面すべり支承を有する橋梁模型の挙動を調べた。

2. 実験概要

図 1 にシングル球面すべり支承の詳細を示す。シングル球面すべり支承はスライダ（材質 SS400）とコンケイブプレート（材質 SUS304）およびヒンジプレート（材質 SUS304）から構成される。スライダは上下に 2 つの凸型球面を有し、球面半径はそれぞれヒンジ部とすべり面に対応している。スライダのすべり面が接する面積は直径 20mm の円となる。コンケイブプレートは球面半径 2500mm の凹型面を有し、このコンケイブプレート上をすべり面としてスライダは摺動する。ヒンジプレートはスライダの回転に対応する。すべり面に接するスライダの表面には、PTFE 織物と接着性を高めた高強度繊維の二重織物から成るすべり材を貼付した。

図 2 に実験装置の概要を示し、測定位置もあわせて示す。上部構造寸法は $0.90 \times 1.60 \times 0.25\text{m}$ （重量 8.30kN）のコンクリートブロックとし、これを 4 基の球面すべり支承によって支持した。支承の下に橋脚を想定した鋼管（ $\phi 101.6\text{mm}$, $t=3.2\text{mm}$, $L=400\text{mm}$ ）を設

置した。さらに、コンクリートブロックの上に錘となる鋼板（0.51kN/枚）を合計 16 枚載荷し、上部構造重量を調整した。振動台の加振方向は EW 方向とし、振動台の制御は加速度ではなく力で制御されている。橋脚模型の橋軸方向（長手方向）または橋軸直角方向（短手方向）に対して一方向載荷した。

測定項目については図 2 に示すように、上部構造の加速度（ A_A , A_B ）および変位（ D_A , D_B ）を測定し、振動台の加速度（ A_G ）及び変位（ D_G ）も測定した。また、鋼管基部のひずみを測定することで鋼管に働く水平力を求めた。

実験条件を表 1 に示す。鋼板を用いて均等載荷または偏心載荷とし、錘の枚数を加振直角方向に対して偏らせることで、重心位置を載荷方向に対して偏心させた。単純に上載荷重を各支点到で割ると、均等載荷の場合には各支点到に 4.29kN が載荷され、偏心載荷の場合に

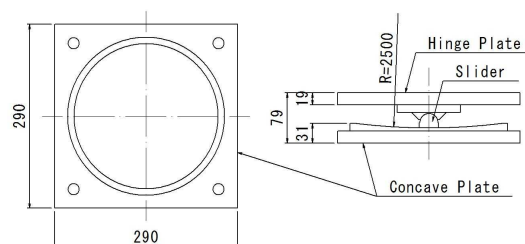


図 1 シングル球面すべり支承

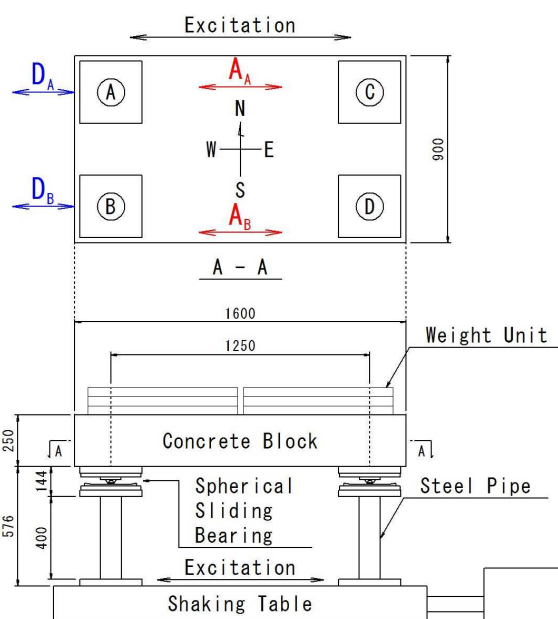


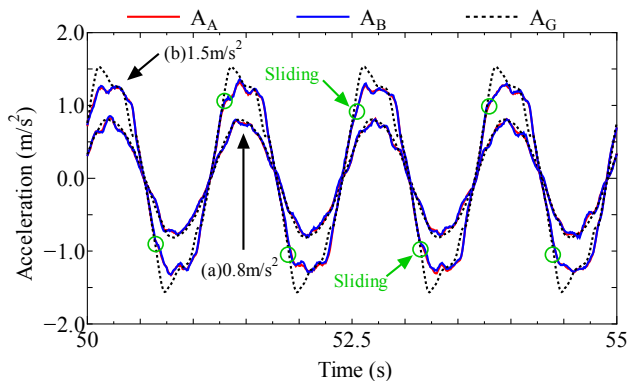
図 2 実験装置概要

キーワード 免震構造, 球面すべり支承, 摩擦力, 振動台実験

連絡先 〒321-8585 宇都宮市陽東 7-1-2 宇都宮大学地域デザイン科学部社会基盤デザイン学科 Tel. 028-689-6227

表 1 実験条件一覧

加振方向	载荷方法	周波数(Hz)	加速度振幅(m/s ²)
橋軸/ 橋軸直角	均等载荷/ 偏心载荷	0.8 / 1.0	0.8 / 1.0 / 1.5
		2.0	0.8 / 1.0 / 1.3
		0.8 / 1.0	0.8 / 1.0 / 1.5
		2.0	0.8 / 1.0 / 1.3



(橋軸方向, 均等载荷, 0.8Hz, 0.8 or 1.5m/s²)

図 3 加速度の時刻歴応答

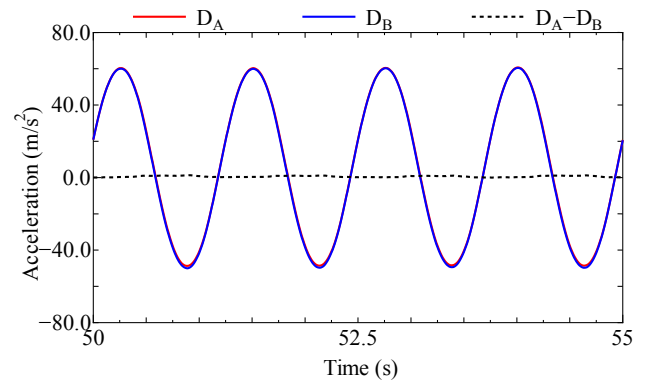
はN側の支点 A, C に 4.94kN, S側の支点 B, D に 3.64kN を载荷することになる. 加振周波数や加速度振幅は上部構造が撓動する条件を検証するために設定した. シングル球面すべり支承は, コンクリートプレートのすべり面がスライダーに対して下に位置するように配置した.

3. 実験結果

図 3 に正弦波加振による上部構造 A_A , A_B および振動台 A_G の加速度時刻歴応答を示す. 実験条件は橋軸方向, 均等载荷および周波数 0.8Hz で, 加速度振幅は(a)0.8m/s², (b)1.5m/s²である. (a)では支承のすべりが生じていないため, 振動台と上部構造の加速度は等しい. (b)では支承のすべりが生じることにより振動台と上部構造の加速度に違いが確認され, 上部構造の加速度が振動台の加速度に比べて低減されている. 加速度を重力加速度で除することで摩擦係数が得られ, その値は 0.1 程度である.

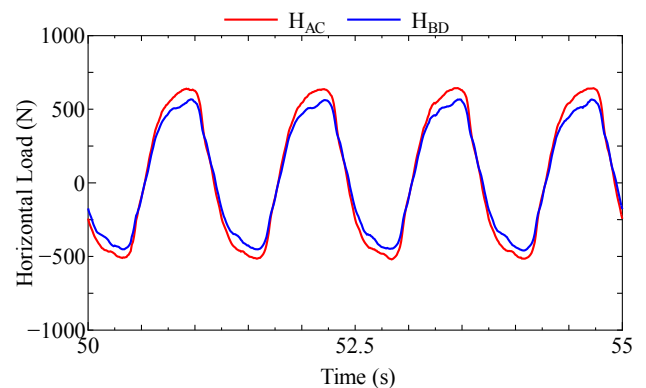
図 4 は橋軸直角方向加振, 偏心载荷および周波数 0.8Hz で, 加速度振幅 1.5m/s²によって得られた変位 D_A , D_B の時刻歴応答である. この場合, 偏心载荷しているものの, 変位の差は最大でも 1mm 程度と A 側と B 側の変位はほぼ同じ値を示し, 回転応答は生じていない.

図 5 は図 4 と同じ実験条件によって得られた支点 A および C と支点 B および D のそれぞれの水平力の平均値である. 水平力は各支点の鋼管のひずみから求めたモーメントを元に算出している. 支点 AC の水平力が支点 BD よりも大きく, 偏心による摩擦力の影響である. 図 4 の加速度応答は A 側と B 側でほぼ同じ値を示すが, 水平力はそれぞれ異なる値を示している. 球面すべり支承の履歴特性から作用軸力が大きくなると, 抵抗となる摩擦力も同時に大きくなるため, 上部構造が回転しないと考えられる. 重量から計算した支点 AC 側の水



(橋軸直角方向, 偏心载荷, 0.8Hz, 1.5m/s²)

図 4 変位の時刻歴応答



(橋軸直角方向, 偏心载荷, 0.8Hz, 1.5m/s²)

図 5 各支承の水平力

平反力の割合は全体の 58%程度であり, 図 5 より求めた支点 AC 側の水平力の割合は全体の 53%程度であった.

4. まとめ

本研究ではシングル球面すべり支承で支持された試験体に対して正弦波加振実験を行い, 以下の結果を得た.

1. スライダーのすべりによって振動台と上部構造の加速度に違いが生じ, 上部構造の加速度が低減される.
2. 上部構造の重心を偏心させた場合, 各支点の水平力に差が生じるものの, 上部構造は回転しなかった.

参考文献

- 1) 曾田信雄, 山田金喜, 木水隆夫, 広瀬剛, 鈴木基行: 東北方太平洋沖地震により破断した積層ゴム支承の性能試験, 構造工学論文集, Vol. 59A, pp. 516-526, 2013.
- 2) 竹内徹, 中村秀司, 内田正颯, 吉田道保, 松井良太: 偏心および浮き上がりを考慮した球面すべり支承の振動台実験, 日本建築学会構造系論文集第 80 巻, pp. 1385-1392, 2015.