

低摩擦型球面すべり支承の振動台試験

宇都宮大学 学生員 ○勝目進之介 正会員 藤倉修一
正会員 大藪宏文 学生員 青田洗希

1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震では、多くの橋梁に被害が生じ、支承においても破損や損傷等の甚大な被害が確認された。この地震によって、免震構造という考えが広まり、現在、我が国では一般的に積層ゴム系支承が採用されている。しかし、2011年東北地方太平洋沖地震、2016年熊本地震において、経年劣化や地盤変状等によって積層ゴム系支承に破断や亀裂等の被害が確認されている¹⁾。そこで、積層ゴム系支承だけでなく、別のタイプの免震支承の開発を進める必要がある。そこで本研究では、新たなタイプの免震支承として、我が国の橋梁では適用実績のない球面すべり支承に着目する。

球面すべり支承は、コンケイブプレートという、凹型球面上をスライダが滑る可動式の支承であり、摩擦による減衰機能と振り子運動による復元機能を有している。また、固有周期は球面半径のみで決まり、上載荷重の影響を受けない特徴を持つ²⁾。その中でも、本研究では、低摩擦型の球面すべり支承に着目する。低摩擦型球面すべり支承は、スライダを低摩擦にすることによって、中摩擦型よりも上部構造と下部構造の絶縁性を高くし、慣性力による摩擦力を低減し、橋脚の断面力の低減を図ることができる。本研究では、シングル球面すべり支承を対象とし、4基の球面すべり支承で支持された橋梁模型桁に対して、摩擦の異なる2種類のスライダを用い、振動台による加振実験を行った。球面すべり支承の新たな知見を得るため、すべり面の摩擦係数の違いによる、基本的特性や動的挙動の違いを明らかにすることを目的とする。

2. 実験供試体

実験に使用したシングル球面すべり支承の概略図を図-1に示す。シングル球面すべり支承はコンケイブプレート(材質 SUS304)とヒンジプレート(材質 SUS304)、及びその間に位置するスライダから構成される。球面半径が異なる3種類のコンケイブプレートを用い、摺動するスライダも同じ球面半径を有する。コンケイブプレートの球面半径および固有周期、固有振動数を表-1に示す。表-1に示すように、球面半径が大きくなると、固有振動数は小さくなる。このコンケイブプレート上をすべり面として、スライダが摺動する。スライダは直径20mmの凸型球面であり、すべり面に接している面には、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。また、低摩擦型のスライダにはシリコンオイルをしみ込ませ、摩擦を低減している。ヒンジプレートはスライダの回転に追従できるように関節機能を有している。

3. 加振実験状況

振動台実験による加振実験状況を図-2に示す。上部構造模型は $0.90 \times 1.60 \times 0.25\text{m}^3$ のコンクリートブロックを用い、その上に鋼板を計16枚設置した。上部構造の総重量は、17.16kNであり、これを、4基のシングル球面すべり支承によって支持するため、1基あたり平均4.29kNの軸力が作用する。各支承の下に橋脚を想定した鋼管柱($\phi = 101.6\text{mm}$, $t = 3.2\text{mm}$, $L = 400\text{mm}$)を設置し、これらを

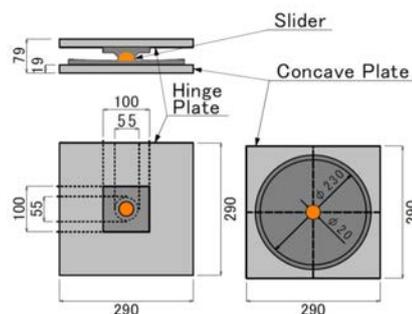


図-1 実験供試体

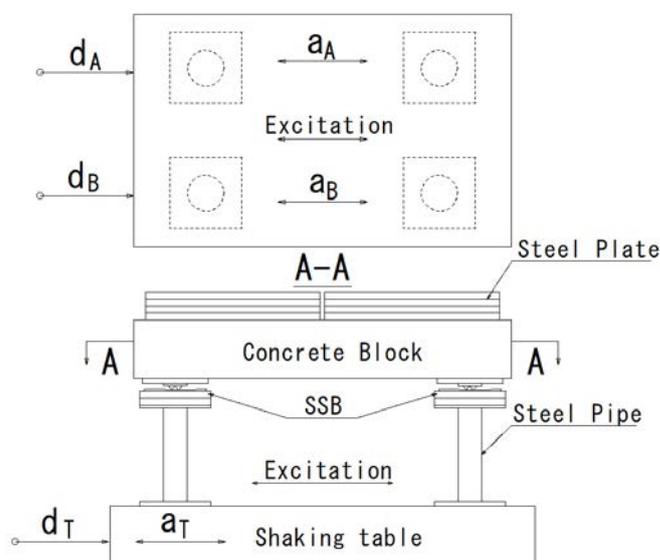


図-2 加振実験状況

表-1 シングル球面すべり支承の固有周期

球面半径 $R(\text{mm})$	500	1000	2500
固有周期 $T(\text{s})$	1.42	2.01	3.17
固有振動数 $f(\text{Hz})$	0.70	0.50	0.32

振動台に固定した。加振方向は試験体の長手方向を橋軸方向として加振し、正弦波の加振方法は、所定の加速度振幅に至るまで漸増させ、所定の加速度振幅で約20秒加振した。計測項目は、上部構造加速度(a_A , a_B)、変位(d_A , d_B)及び、振動台加速度(a_T)、変位(d_T)である。用いた正弦波は周波数1.0Hz、加速度振幅 1.0m/s^2 である。

4. 実験結果および考察

(1) 摩擦係数-変位関係

図-3は、3種類の球面半径に対して加振した時の摩擦係数-変位関係を示している。(a)球面半径500mm、(b)球面半径1000mm、(c)球面半径2500mmの結果である。(a)~(c)の赤線は低摩擦型、青線は中摩擦型の実験結果を示している。加速度振幅が定常状態に達してからの3サイクル程度を表している。横軸の変位は、上部構造の2か所で計測した変位の平均から振動台の変位を差し引いた相対変位で

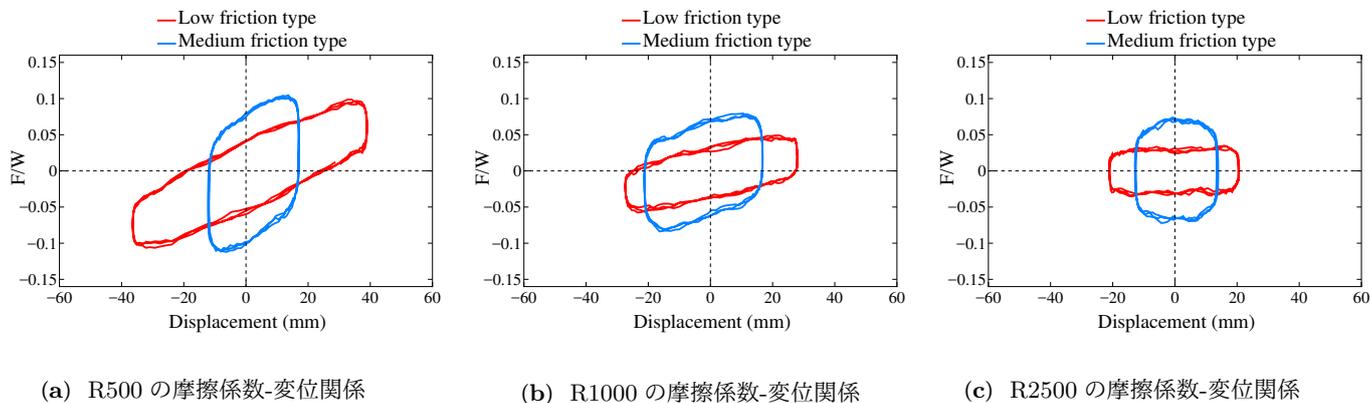


図-3 各球面半径の摩擦係数-変位関係

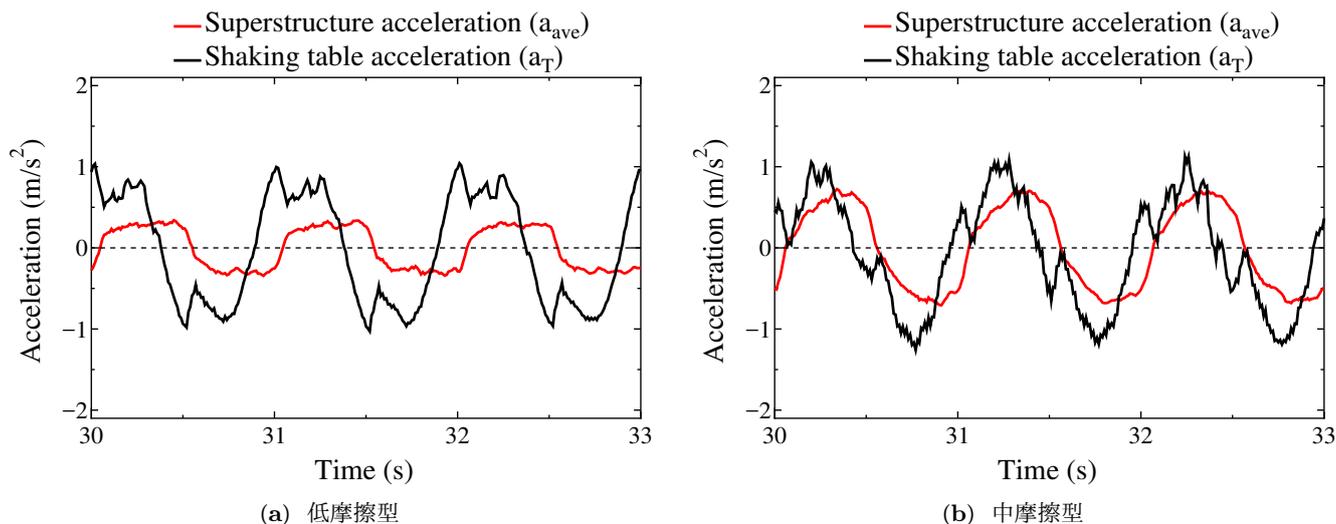


図-4 時刻歴応答加速度

ある。縦軸の F/W は、上部構造重量に対する水平荷重の比を表しており、上部構造加速度に上部構造質量 $M=1750\text{kg}$ を乗じて水平力を求め、これを、上部構造重量 $W=17.2\text{kN}$ で除した値となる。ここで摩擦係数は、相対変位が0の時とし、このグラフの y 切片から求められる。中摩擦型では約0.070程度、低摩擦型では約0.035程度であり、低摩擦型は中摩擦型の概ね1/2程度となった。また、いずれも履歴曲線は角が丸みを帯びた形状をしており、低摩擦型の方が中摩擦型より滑りやすく、相対変位が大きいため、横に長い形状をしている。

(2) 変位応答

図-3の摩擦係数-変位関係から相対変位はいずれの球面半径においても中摩擦型より、低摩擦型の方が相対変位が大きくなっている。低摩擦型は中摩擦型より低い荷重で滑り出すため、相対変位は大きくなる。また、球面半径が大きくなるにつれ、相対変位が小さくなるという結果であった。これは、加振振動数1Hzに対して、表-1に示したように、球面半径が大きくなると固有振動数は小さくなり、加速度共振曲線における共振振動数から離れるためである。

(3) 加速度応答

図-4は、振動台加速度と上部構造加速度の比較を時刻歴で示す。球面半径2500mmに対して加振した(a)は低摩擦型、(b)は中摩擦型の結果である。図-4の黒線は振動台加速度を示し、(a)、(b)の赤線はそれぞれの上部構造加速度を示している。上部構造加速度は図-2に示す上部構造加速度(a_A , a_B)の2箇所平均(a_{ave})を用いている。それぞれ、定常状態に達してからの3サイクル程度を示している。図-4より、振動台の最大加速度約 1.0m/s^2 に対して、上部

構造の最大加速度は、低摩擦型で約 0.3m/s^2 、中摩擦型で約 0.7m/s^2 であり、どちらも上部構造加速度が振動台加速度を下回っている。低摩擦型、中摩擦型ともに、スライダが摺動し、免震効果によって上部構造加速度が低減するが、低摩擦型の方が効果が大きい。これは、スライダのすべり面を低摩擦にし、絶縁性を高めたことによるものである。また、低摩擦型の方が相対変位が大きいため、振動台と上部構造の加速度履歴の差が大きくなっている。

5. まとめ

本研究では、低摩擦型球面すべり支承の基本的特性や動的挙動を明らかにするために、シングル球面すべり支承のすべり面の摩擦係数の違いに着目した振動台実験を行った。本研究で得られた結果および知見は以下のようになる。

1. 低摩擦型の摩擦係数は中摩擦型の摩擦係数の約1/2程度で、相対変位が低摩擦型の方が大きいため、中摩擦型に比べ、横に長い履歴形状になった。
2. 本ケースにおいて、低摩擦型、中摩擦型ともに球面半径を大きくすることで、加速度共振曲線における共振振動数から離れるため、相対変位は小さくなる。
3. スライダが摺動することによって生じる免震効果は絶縁性が高い低摩擦型の方が大きくなる。

参考文献

- 1) 藤倉修一, 川島一彦: 2016年熊本地震による道路橋の被害概要, 第19回性能に基づく橋梁等の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp. 161-168, 2016.
- 2) 中村秀司, 西本晃治, 富本淳: 球面すべり支承NSSSB®の開発～高面圧で周期のばらつきが小さい免震支承～, 新日鉄住金エンジニアリング技報, Vol.6, pp. 28-35, 新日鉄住金エンジニアリング株式会社, 2015.