

## 摩擦係数の温度依存性に着目したシングル球面すべり支承の振動台実験

宇都宮大学 学生会員 ○谷本 靖斗 正会員 藤倉 修一 正会員 タイ ウィサル  
 正会員 大藪 宏文 学生会員 勝目 進之介 学生会員 青田 洸希

### 1. はじめに

1995年の兵庫県南部地震において、道路橋の鋼製支承に多くの被害が確認され、免震支承がわが国の橋梁に広く適用されるようになった。免震支承とは、上部構造と下部構造間で地震力を遮断するアイソレート機能と、地震力を低減する減衰機能を併せ持つ支承のことであり、わが国では、鉛プラグ入り積層ゴム支承や、高減衰積層ゴム支承といった免震支承が開発されている。また、近年では既存の橋梁の老朽化や耐震性能不足により、特に2016年熊本地震以降、速やかな橋梁の機能回復が求められる耐震補強対策が進められており、既存の鋼製支承の免震化も必要となっている。しかし、積層ゴム系支承は、ある程度の高さが必要となり、鋼製支承の取り替えが困難な場合が多い。そこで本研究では、支承高が低く、耐震補強に有効な免震支承である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状の球面を、凸型のすべり面をもつスライダが滑る振り子型の支承であり、摩擦による減衰機能と振り子運動による復元機能を有する。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。既往の研究から、球面すべり支承のすべり面には、摩擦係数の速度・面圧・温度依存性等の各種依存性があることが報告されている<sup>1)</sup>。本研究では、外気温の変化が球面すべり支承の摩擦特性に与える影響を明らかにすることを目的とし、また、すべり材が異なる中摩擦型と低摩擦型の摩擦係数の違いが温度依存性に与える影響についても検証する。

### 2. 実験供試体概要

実験に使用した振動台実験の橋梁模型試験体および実験状況を図-1に示す。上部構造模型には、 $0.90 \times 0.16 \times 0.25 \text{m}^3$ の鉄筋コンクリートブロックの上に鋼板を合計16枚設置し、これを4基のシングル球面すべり支承で支持した。上部構造の総重量は16.97kNであり、1基あたりに平均4.24kNの軸力が作用する。実験で用いたシングル球面すべり支承試験体の詳細を図-2に示す。シングル球面すべり支承は、スライダ(材質SS400)、コンケイブプレート(材質SUS304)、ヒンジプレート(材質SUS304)から構成される。用いたシングル球面すべり支承の球面半径は2500mmである。スライダには中摩擦型と低摩擦型の2種類を用いた。中摩擦型のスライダには、すべり面に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、この中摩

Key Words : シングル球面すべり支承, 振動台実験, 摩擦係数, 温度依存性, 速度依存性

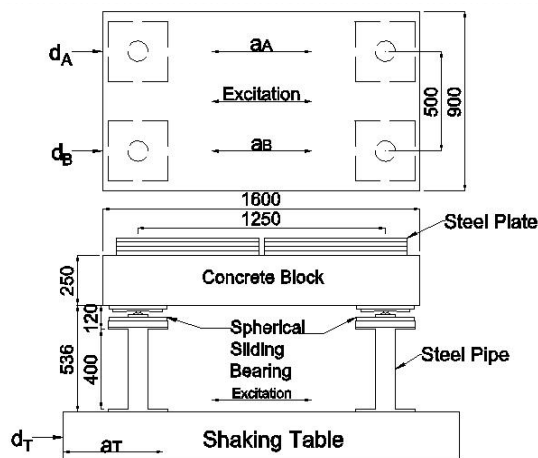


図-1 橋梁模型試験体および加振実験状況

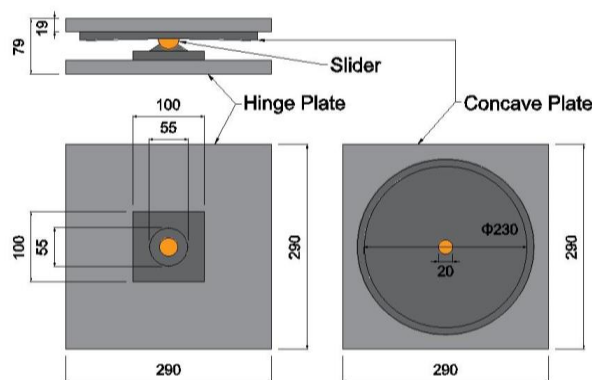


図-2 シングル球面すべり支承試験体

表-1 正弦波による加振条件

スライダのすべり材	周波数 (Hz)	加速度振幅 ( $\text{m/s}^2$ )
中摩擦型 (PTFE)	1.0	0.08
低摩擦型 (PTFE+シリコンオイル)	1.0	0.15

擦型のすべり材にシリコンオイルを含浸して摩擦抵抗を減らしたものを低摩擦型とした。

### 3. 実験概要

夏および秋の2シーズンの外気温条件で実験を行った。夏の外気温は $25^\circ\text{C} \sim 30^\circ\text{C}$ 程度、秋では $15^\circ\text{C} \sim 20^\circ\text{C}$ 程度であった。载荷方法については、図-1の橋梁模型に対し、試験体の長手方向である橋軸方向に、正弦波により1方向加振した。正弦波による加振条件を表-1に示す。周波数を1.0Hzとし、中摩擦型の試験体に対しては $0.15 \text{ (m/s}^2)$ 、低摩擦型の試験体に対しては $0.08 \text{ (m/s}^2)$ の加速度振幅とした。図-1に示すように、計測項目は、

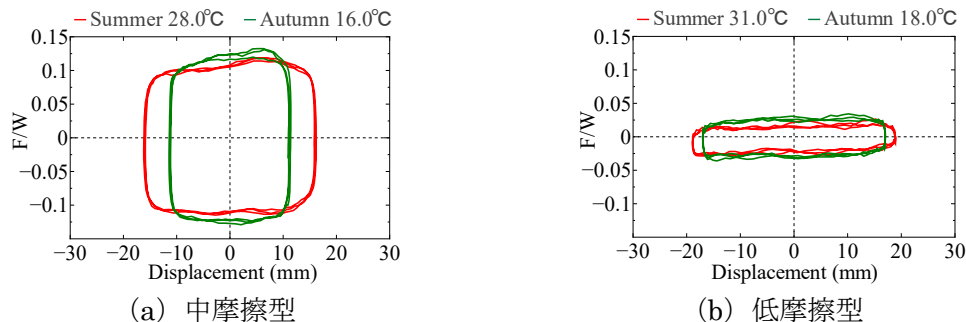


図-3 履歴曲線

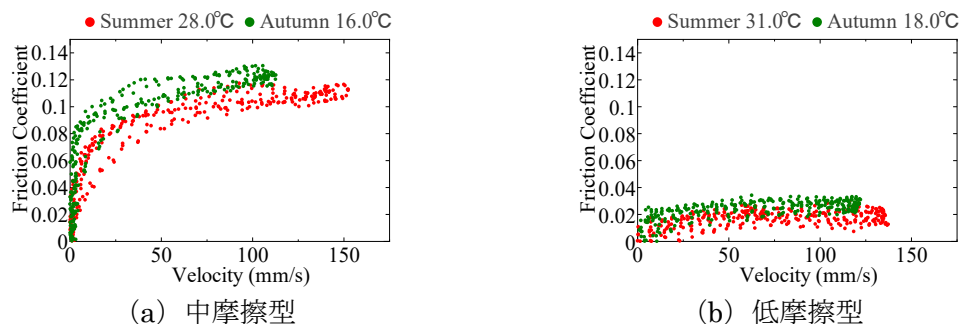


図-4 速度－摩擦係数関係

上部構造加速度 ( $a_A$ ,  $a_B$ ) および上部構造変位 ( $d_A$ ,  $d_B$ ), 振動台加速度 ( $a_T$ ) および振動台変位 ( $d_T$ ) である。

#### 4. 実験結果

##### (1) 履歴曲線

履歴曲線を図-3 に示す。赤線は夏、緑線は秋の実験結果である。縦軸は、上部構造の計測加速度から求めた水平荷重  $F$  を鉛直荷重  $W$  で除した値である。摩擦係数の定義により、このグラフにおける  $y$  切片は摩擦係数の値となる。横軸は支承部の相対変位であり、支承の撓動変位を表している。中摩擦型における  $y$  切片摩擦係数は、秋と夏では、それぞれ 0.123, 0.108 となり、秋の方が  $y$  切片摩擦係数は大きく、応答変位は小さかった。これは、外気温が低下によりすべり面の PTFE の温度も低くなったことで、摩擦係数が大きくなり、滑りにくくなったと考えられる。低摩擦型でも履歴曲線において同様の傾向が確認できるが、中摩擦型ほど明確ではない。これは、シリコンオイルの影響により中摩擦型よりも低摩擦型の方が、摩擦係数の温度依存性が小さいことを示している。

##### (2) 速度－摩擦係数関係

支承部相対速度と摩擦係数の関係を図-4 に示す。図-3 に示す履歴曲線では摩擦係数は時間とともに変化している。図-4 の縦軸には変化する摩擦係数の絶対値を示し、シングル球面すべり支承に関する荷重変位関係の式<sup>2)</sup>に上部構造の計測加速度と相対変位を代入して求めた値である。横軸は支承部撓動速度の絶対値であり、相対変位を数値微分して求めた。中摩擦型と低摩擦型のいずれにおいても、速度の増加とともに摩擦係数が大きくなる速度依存性が確認された。また、中摩擦型では、同じ速

度と比較すると、外気温が低い方が摩擦係数は高い傾向である。田中らは、すべり面の撓動速度の増加とともに PTFE の摩擦係数は大きくなり、摩擦速度が等しい場合、温度が高くなると摩擦係数は小さくなる<sup>3)</sup>ことを示しており、中摩擦型の結果はこの傾向と一致する。低摩擦型についても同様の傾向であるが、温度による摩擦係数の変化は小さい。

#### まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

1. PTFE を用いた中摩擦型の球面すべり支承では、外気温が大きい方が摩擦係数は大きくなり、応答変位は小さくなった。
2. 中摩擦型の球面すべり支承の摩擦係数は、速度の増加とともに摩擦係数が大きくなった。
3. 低摩擦型の球面すべり支承においても、中摩擦型と同様に、温度依存性と速度依存性が確認されたが、摩擦係数の変化は中摩擦型よりも小さかった。

#### 参考文献

- 1) 西本晃治, 中村秀司, 富本淳, 市川康: 高面圧球面すべり支承 (SSB) の開発, (その2 SSB の各種依存性及び繰り返し耐久性), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.483-484, 2014.
- 2) M.C.Constantiou, P.Tsopelas, Y-S.Kim and S.Okamoto: NCEER-Taisei Corporation Research Program on Sliding Seismic Isolation Systems for Bridges: Experimental and Analytical Study of a Friction Pendulum System (FPS), Technical Report NCEER-93-0020, November, 1, 1993.
- 3) K.Tanaka, Y.Uchiyama and S.Toyooka: The Mechanism of Wear of Poytetrafluoroethylene, Wear, 23 (1973), pp.153-172