

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                                                 |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 論題(和文)            | 高摩擦弾性すべり支承のスリップ現象による変位増大の予測精度の検証                                                                                                |
| Title(English)    | Verification of Prediction Accuracy of Displacement Increase due to Slip Phenomena of High Friction Elastic Sliding Bearing     |
| 著者(和文)            | 崎谷俊太, 佐藤大樹, 陳引力, 三須基規, 稲井慎介, 桑素彦, 川又哲也, 得能將紀, 丸尾純也                                                                              |
| Authors(English)  | Shunta Sakiya, Daiki Sato, Yinli Chen, Motoki Misu, Shinsuke Inai, Motohiko Kuwa, Tetsuya Kawamata, Masaki Tokunou, Junya Maruo |
| 出典(和文)            | 日本建築学会大会学術講演梗概集, 構造II, , pp. 837-838                                                                                            |
| Citation(English) | , 構造II, , pp. 837-838                                                                                                           |
| 発行日 / Pub. date   | 2025, 9                                                                                                                         |
| 権利情報              | 一般社団法人 日本建築学会                                                                                                                   |

高摩擦弾性すべり支承のスリップ現象による変位増大の予測精度の検証

正会員

同

同

同

同

○崎谷俊太\*<sup>1</sup>

陳引力\*<sup>1</sup>

稲井慎介\*<sup>3</sup>

川又哲也\*<sup>3</sup>

丸尾純也\*<sup>3</sup>

同

同

同

同

佐藤大樹\*<sup>1</sup>

三須基規\*<sup>2</sup>

桑素彦\*<sup>3</sup>

得能将紀\*<sup>3</sup>

耐風設計      高摩擦弾性すべり支承      荷重制御実験

1 はじめに

主要な免震部材である弾性すべり支承の摩擦係数は風応答のような低速度領域において低下することが知られている<sup>1)</sup>。摩擦係数は弾性すべり支承の滑動に関わるため、耐震設計では滑動しないという判定がなされたケースにおいても、風を想定した低速度領域では摩擦係数が低下し、結果的に変位が増大する現象（以下、スリップ現象）の発生が予想される<sup>2)</sup>。

本報では、弾性すべり支承の縮小試験体に対し風方向風力を模擬して実施した、平均成分を有する長時間の正弦波荷重制御実験より、スリップ現象による変位増大の予測式を作成する。また、最大速度、ガストファクター $G_f$ の異なる実験ケースに対して予測式の精度を検証する。

2 予測式の作成

2.1 実験概要

図1に弾性すべり支承実験の試験機セットアップを、図2に試験体詳細図をそれぞれ示す。試験体のすべり材には直径90mmの充填剤入りPTFEを、試験体のゴム部材には総厚4mm、水平剛性 $K_E = 10.3 \text{ kN/cm}$ の天然ゴム系積層ゴムをそれぞれ用いた。中板（図1）は動的アクチュエータと繋がっており、中板にはステンレス鋼のすべり板が取り付けられている。試験体は同じ形状のものを2つ用いており、それぞれで中板を挟むように配置した<sup>2)</sup>。

実験での加振条件一覧を表1に示す。本実験ではスリップ現象による変位増大を確認するため、風方向風力を模擬した、平均成分と変動成分の双方を持つ荷重を設定した。また、加振速度は風応答と同程度の速度とした。荷重比 $\lambda_F$ とは、載荷荷重 $F_{ES}$ の最大値を耐震設計で用いられる、 $v_{ES} = 40 \text{ cm/s}$ における水平荷重の基準値 $F_{d40}$ で除したものである<sup>2)</sup>。

2.2 荷重比及び面圧依存式の構築

図3、4に試験体変位 $u_{ES}$ の時刻歴波形、図5、6に履歴曲線を示す。ここで、変位時刻歴波形の傾きを平均変位移動速度 $V_m$ と定義し、10分間における変位を平均移動変位 $X_{m(10)}$ と定義する。文献3)より、荷重比 $\lambda_F$ と平均変位移動速度 $V_m$ は正の対応関係にあり、また、荷重比0.33を

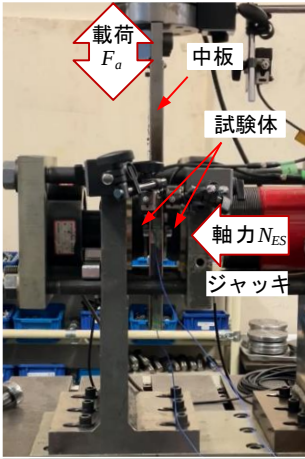


図1 弾性すべり支承実験  
セットアップ

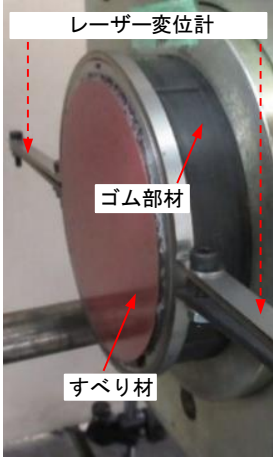
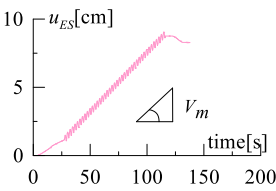


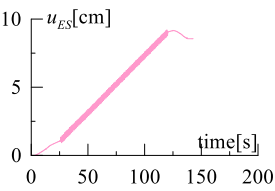
図2 弾性すべり支承実験  
試験体詳細

表1 荷重制御実験加振条件一覧

| 実験名    | 波形  | 面圧<br>[MPa] | 最大荷重<br>[kN] | $\lambda_F$ | $V_m$<br>[cm/s] | 最大速度<br>[cm/s] | $G_f$ | 文献 |
|--------|-----|-------------|--------------|-------------|-----------------|----------------|-------|----|
| LC-A-1 | 正弦波 | 10          | 5.44         | 0.70        | 0.0396          | 0.5            | 2.1   | 3) |
| LC-A-2 |     |             | 6.21         | 0.80        | 0.0839          |                |       | 3) |
| LC-A-3 |     |             | 6.99         | 0.90        | 0.1934          |                |       | 3) |
| LC-B-1 | 正弦波 | 15          | 7.04         | 0.70        | 0.0272          | 0.5            | 2.1   | 3) |
| LC-B-2 |     |             | 8.05         | 0.80        | 0.0582          |                |       | 3) |
| LC-B-3 |     |             | 9.05         | 0.90        | 0.1099          |                |       | 3) |
| LC-C-1 | 正弦波 | 20          | 8.33         | 0.70        | 0.0229          | 0.5            | 2.1   | 3) |
| LC-C-2 |     |             | 9.52         | 0.80        | 0.0458          |                |       | 3) |
| LC-C-3 |     |             | 10.71        | 0.90        | 0.1036          |                |       | 3) |
| LC-D-1 | 正弦波 | 30          | 10.26        | 0.70        | 0.0208          | 0.5            | 2.1   | 3) |
| LC-D-2 |     |             | 11.72        | 0.80        | 0.0375          |                |       | 3) |
| LC-D-3 |     |             | 13.19        | 0.90        | 0.0647          |                |       | 3) |
| LC-C-4 | 正弦波 | 20          | 10.71        | 0.90        | 0.0869          | 1.0            | 2.1   | -  |
| LC-C-5 |     |             | 10.71        | 0.90        | 0.0842          | 2.0            |       | -  |
| LC-C-6 | 正弦波 | 20          | 9.52         | 0.80        | 0.0735          | 0.5            | 1.5   | -  |
| LC-C-7 |     |             | 9.52         | 0.80        | 0.0398          |                | 3.0   | -  |



(a) 1.0 cm/s



(b) 2.0 cm/s

図3 変位時刻歴波形（最大速度による違い）

Verification of Prediction Accuracy of Displacement Increase due to Slip Phenomena of High Friction Elastic Sliding Bearing

SAKIYA Shunta\*<sup>1</sup>, SATO Daiki\*<sup>1</sup>, CHEN Yinli\*<sup>1</sup>  
MISU Motoki\*<sup>2</sup>, INAI Shinsuke\*<sup>3</sup>  
KUWA Motohiko\*<sup>3</sup>, KAWAMATA Tetsuya\*<sup>3</sup>  
TOKUNO Masaki\*<sup>3</sup>, MARUO Junya\*<sup>3</sup>

下回る場合はスリップ現象が発生しないことが示されている。そのため、実験結果より最小二乗法を用いて荷重比 $\lambda_F$ と面圧 $\sigma$ の依存性を考慮した平均変位移動速度 $V_m$ の予測式を作成した(式(1)～(3))。ただし、予測式の適用範囲は $0.33 \leq \lambda_F \leq 0.9$ および $10 \text{ MPa} \leq \sigma \leq 30 \text{ MPa}$ とする。また、最大速度  $0.5 \text{ cm/s}$ 、ガストファクター $G_f = 2.1$ の実験ケースを用いている。

$$V_m = a \cdot (\lambda_F - 0.33)^b \quad (1)$$

ここで、

$$a = 34.738 \cdot \sigma^{-1.392} \quad (2)$$

$$b = -0.0468 \cdot \sigma + 4.1188 \quad (3)$$

図3より、最大速度が変化しても平均変位移動速度 $V_m$ への影響は小さいことが分かる。一方で、図4より $G_f$ を変化させると、平均成分の値が変化するため、変位増大の傾向が変化していることが分かる。また、図5, 6のいずれのケースにおいても残留変位が生じていることが分かる。

### 3 予測式の適用性

前章で示した予測式と実験結果を用いて変位の増大量の予測精度検証を行う。予測精度検証の指標として、 $V_m$ に外力の継続時間として10分間を乗じた平均移動変位 $X_{m(10)}$ を用いる。図7に平均移動変位 $X_{m(10)}$ -荷重比 $\lambda_F$ 関係を、図8に平均移動変位 $X_{m(10)}$ の予測精度を示す。図8より、いずれの実験ケースにおいても平均移動変位 $X_{m(10)}$ の予測精度は概ね10%以内に収まっていることが分かる。

### 4 まとめ

本報では、弾性すべり支承のスリップ現象による変位増大を定量的に評価するため、荷重制御実験より荷重比及び面圧をパラメータとした予測式を作成した。また、予測式に対して最大速度、ガストファクターの異なる実験結果の予測精度について検証した。その結果、予測式を用いて、最大速度、ガストファクター $G_f$ によらず精度よく平均移動変位 $X_{m(10)}$ を予測できることを確認した。

#### 謝辞

本報告は、戸田建設株式会社、SWCC 株式会社および東京科学大学佐藤研究室の共同研究の成果の一部をまとめたものです。本論文をまとめるにあたり、SWCC 株式会社の土屋諒恭氏には実験においてご教示を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 佐藤他：低速度領域における摩擦係数の変化を考慮した弾性すべり支承の解析モデルの構築，日本建築学会構造系論文集，第89巻，第821号，pp.719-726，2024.7
- 2) 崎谷他：平均成分を有する正弦荷重を受ける高摩擦弾性すべり支承の変位増大に関する実験的検討，風工学シンポジウム講演梗概集第28巻，pp.167-174，2024.12
- 3) 崎谷他：高摩擦弾性すべり支承のスリップ現象による変位増大の予測，日本建築学会関東支部研究報告集，pp.561-564，2025.3

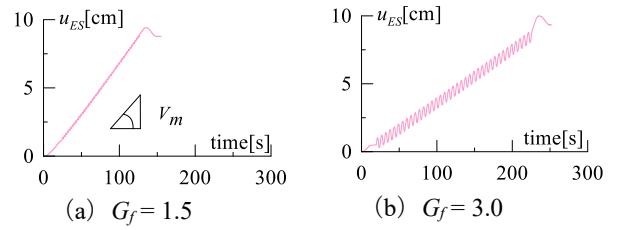


図4 変位時刻歴波形 ( $G_f$ による違い)

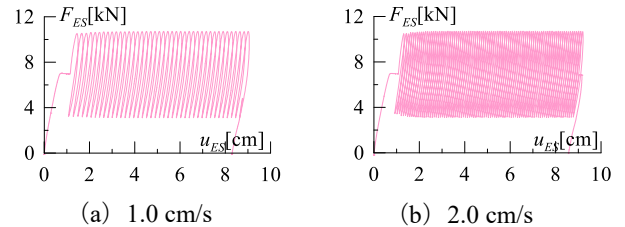


図5 履歴曲線 (最大速度による違い)

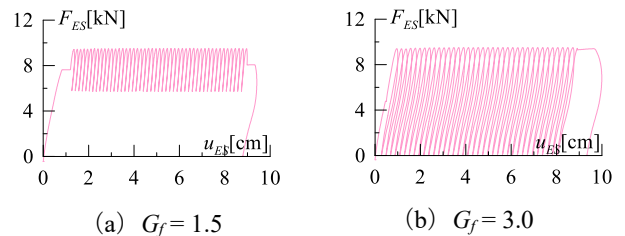


図6 履歴曲線 ( $G_f$ による違い)

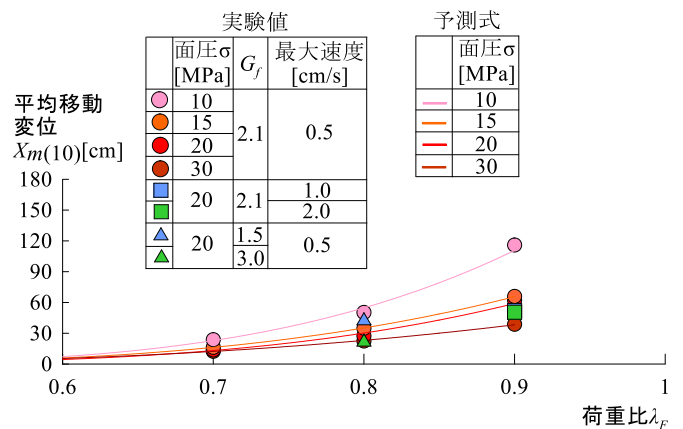


図7 平均移動変位 $X_{m(10)}$ -荷重比 $\lambda_F$ 関係

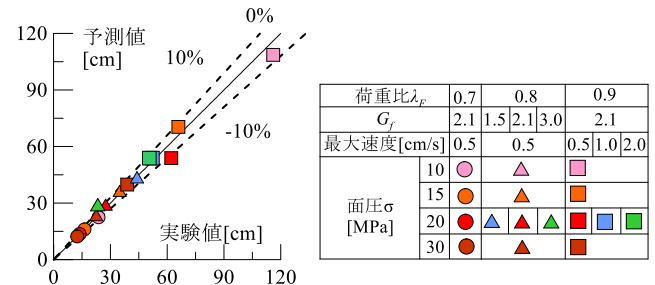


図8 平均移動変位 $X_{m(10)}$ の予測精度

\*1 東京科学大学

\*2 SWCC 株式会社

\*3 戸田建設株式会社

\*1 Institute of Science Tokyo

\*2 SWCC Corporation

\*3 TODA Corporation