

## 回転変形能力を有する弾性すべり支承に関する実験的研究

森 貴久 齋藤 啓一<sup>\*1</sup> 長濱 温子 平井 圭<sup>\*2</sup> 神津 和大<sup>\*2</sup> 小泉 貴宏<sup>\*3</sup> 杉山 洋<sup>\*3</sup>

Fatih Sutcu<sup>\*4</sup> 菊地 優<sup>\*5</sup>

Takahisa Mori, Keiichi Saitoh, Atsuko Nagahama, Kei Hirai, Kazuhiro Kouzu,  
Takahiro Koizumi, Hiroshi Sugiyama, Fatih Sutcu, Masaru Kikuchi

### 概 要

杭頭免震構造は、杭頭に直接支承材を設置することで、免震層下部の基礎構造を簡略化し、コスト低減に寄与するが、一般的な基礎免震構造に比べて杭頭の回転変形拘束効果が小さくなる。よって、杭頭の回転変形に伴って支承材も回転変形することとなる。本研究では、杭頭免震構造にも適用可能な、回転変形機能を高めた弾性すべり支承について繰り返し二軸載荷試験を行い、基本性能や回転変形角に対する依存性を確認した。その結果、支承の回転変形角 1/100rad まで、摩擦係数に影響がないことを確認した。また、長周期長時間地震動時には、弾性すべり支承の応答変形が過大になる可能性がある。本弾性すべり支承について、長周期長時間地震動に対する性能を確認するために、繰り返し二軸載荷試験と熱・力学連成解析を追加で実施した。その結果、本弾性すべり支承は、長周期長時間地震動下において、スライド板の温度上昇に伴って摩擦係数が低下することを確認した。

### Experimental Study on Elastic Sliding Bearings with Rotational Deformation Capacity

#### Abstract

The pile-top seismic isolation method simplifies the foundation structure under the seismic isolation layer by installing the isolators directly on the top of the piles, contributing to cost reduction. However, the rotation deformation constraint effect of the pile-top method is smaller than that of the conventional seismic isolation applications with a relatively stiff foundation layer. As a result, the seismic isolation devices also rotate and de-form as the pile-top rotates. This study carried out cyclic bi-axial loading tests on special elastic sliding bearings with rotational deformation capacity, which can be implemented in the pile-top seismic isolation method. The tests were carried out to confirm the basic performance and dependence on the rotational deformation angle of the devices. The tests showed that the friction coefficient was not affected up to the rotational deformation angle of 1/100 radians of the elastic sliding bearings. In addition, during long-period and long-duration ground motions, the response deformation may become excessive due to the change in the performance of the elastic sliding bearing. Additional cyclic bi-axial loading tests and thermal-mechanical coupled analysis were conducted to confirm the performance of this elastic sliding bearing under long-period and long-duration ground motions. It was observed that the friction coefficient decreases with the rising temperature of the sliding plate, and the performance of the device under long-period and long-duration ground motion was confirmed.

キーワード：弾性すべり支承、摩擦係数、杭頭免震工法、繰り返し二軸載荷試験、長周期長時間地震動、熱・力学連成解析

<sup>\*1</sup> 大和ハウス工業株式会社 建築系商品開発部 <sup>\*2</sup> 黒沢建設株式会社 <sup>\*3</sup> 株式会社ビー・ビー・エム

<sup>\*4</sup> イスタンブール工科大学 <sup>\*5</sup> 北海道大学

# 1. はじめに

近年、日本では大型倉庫などの免震建築物において、杭頭免震工法の導入が進んでいる。杭頭免震工法では、杭上部に免震装置を直接取り付けすることで、基礎梁や基礎スラブのサイズを最小化又は完全省略することができ、基礎工事のコスト削減に貢献する。しかし、図1に示すように、杭頭の回転に伴って免震装置が回転する杭頭免震工法では、従来の基礎免震工法に比べ、免震装置の回転拘束が極端に小さくなる。そのため、杭頭の回転が免震性能に及ぼす影響を検証し、必要な対策を講じることが重要である。

また、一部の地域(関東、静岡、中京、大阪など)における超高層ビルや免震建築物については、国土交通省の告示<sup>1)</sup>により、長周期地震動下での設計検証が義務付けられている。長時間の長周期地震動を受ける免震装置では、比較的大きな応答変位が予想され、前述した長周期地震動下における免震装置の性能を十分に理解することは極めて重要である。一方、長周期地震動による繰り返し荷重(変形)による免震性能の変化を考慮した時刻歴地震応答解析の解析モデルが提案されており<sup>2),3)</sup>、このような建築構造物の性能を正しく評価するためには、長周期地震動下における免震装置の挙動を把握することが重要である。

本報では、一定の回転能力を有し、杭頭免震工法に使用可能な特殊な弾性すべり支承(以下、本支承)について、二軸載荷試験を実施し、基本性能と回転

角依存性を確認した。また、本支承について、長周期地震動下での性能を把握するための二軸載荷試験と熱・力学連成解析を行った。

# 2. 弾性すべり支承の構成と特徴

本支承の構成を図2に示す。本支承は、トッププレート、スライド板、すべり材(ポリアミド)、ゴム支承、ベースプレートで構成されている。摩擦係数の設計値は0.029である。

ゴム支承は、ゴム層が上下の鋼板に挟まれた3層構造となり、下鋼板の中央には円形の穴があいている。本支承は、このゴム層が変形することにより、杭頭部の回転変形に追従することができる。各構成部品の使用材料を表1に示す。

# 3. 摩擦係数の各種依存性

## 3.1 試験体と試験方法

本支承の基本性能として、所定の条件下での摩擦係数(設計値)や、本支承に作用する面圧に対する摩擦係数の依存性(面圧依存性)および地震動の速度に対する摩擦係数の依存性(速度依存性)を確認するため、二軸載荷試験を実施した。これらの面圧及び速度依存性を確認するための試験体は、試験装置の載荷能力の都合により、実物大の本支承の中央部分を切り出した試験体(以下、切り出し試験体)とした。切り出し試験体の形状を図3に示し、仕様と寸法を表2に示す。試験体名の数値は、実物大における長期許容荷重(kN)を示し、cutは切

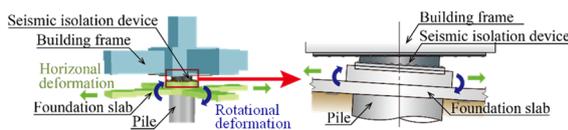


図1 杭頭免震工法

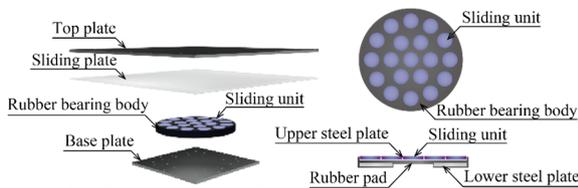


図2 本弾性すべり支承の構成

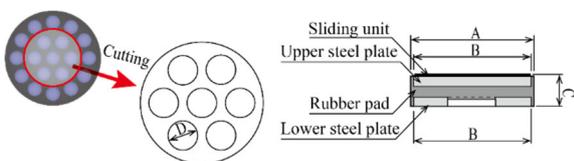


図3 切り出し試験体の断面構成

表1 本弾性すべり支承の材料一覧

Component	Material	Material grade
Sliding component	Top plate	Steel
	Sliding plate	Stainless steel
	Sliding unit (medals)	Polyamide
Rubber bearing component	Rubber pad	Natural rubber
	Upper/Lower plate	Steel
Foundation component	Base plate	Steel

表2 切り出し試験体の仕様と寸法

Specimen Type	Design Axial Load [kN]	Outer Diameter		Gross Height C [mm]	Sliding Unit D [medals-mm]
		A [mm]	B [mm]		
6000cut	2,200	455	435	63	7-φ116
9000cut	3,300	552	532	70	7-φ142
11500cut	4,200	623	603	75	7-φ161

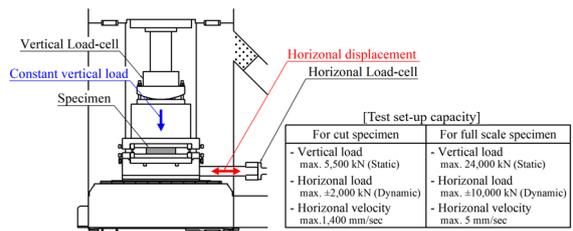


図4 二軸載荷試験装置

り出し試験体である旨を示す。また、試験装置を図4に示す。本载荷試験は、試験体に一定の鉛直方向荷重を载荷しながら、水平方向の動的荷重を载荷するものである。摩擦係数の設計値は、試験体に作用する鉛直方向の面圧を  $15\text{N/mm}^2$  とし、水平速度が  $400\text{mm/sec}$  (正弦波の最大速度) となるように水平载荷したときの計 13 回の履歴サイクルのうち、3 回目の Y 切片荷重から決定した。基本的な試験条件を表3に示す。

### 3.2 面圧および速度依存性

すべり材が樹脂材料の場合、その摩擦係数は面圧や水平方向の速度に依存することが知られている<sup>4)</sup>。そこで、摩擦係数の各種依存性を確認するため、面圧と水平方向の速度を変化させた条件で二軸载荷試験を実施した。

まず、6000cut の試験体 (3 体) を用いて、面圧依存性に関する試験を行った。面圧は、 $7.5\text{N/mm}^2$  から  $30\text{N/mm}^2$  までの 6 段階を設定した。試験で得られた面圧と摩擦係数の関係を図5に、同じ試験で得られた水平荷重と水平変位の関係を図6に示す。試験結果より、摩擦係数は面圧が増加するにした

がって減少する傾向を示す。この傾向は、特に面圧が  $15\text{N/mm}^2$  より小さい領域で顕著である。面圧と摩擦係数の関係を式(1)と式(2)で示す。ここで、 $\mu$  は摩擦係数、 $\sigma$  は面圧を示す。

$$\mu = -0.00261\sigma + 0.06815 \quad (7.5\text{ N/mm}^2 \leq \sigma \leq 15\text{ N/mm}^2) \quad (1)$$

$$\mu = -0.00063\sigma + 0.03845 \quad (15\text{ N/mm}^2 < \sigma \leq 30\text{ N/mm}^2) \quad (2)$$

次に、速度依存性の確認のために、6000cut の試験体 (3 体) において、1, 5, 50, 100, 200, 400, 600, 800mm/sec の速度で試験を実施した。一方、9000cut と 11500cut の試験体 (各 3 体) においては、5, 400, 800mm/sec の速度で試験を実施した。試験で得られた速度と摩擦係数の関係を図7に、水平荷重と水平変位の関係を図8に示す。試験結果より、摩擦係数は速度が増加するほど減少する傾向を示し、速度が  $400\text{mm/sec}$  を超える領域ではほぼ一定となる。速度と摩擦係数の関係を式(3)と式(4)で示す。ここで、 $v$  は速度を示す。

表3 試験条件

Vertical Area Pressure	Wave Type	Horizontal Displacement	Horizontal Sliding Velocity (max.)	Loading Cycle
[N/mm <sup>2</sup> ]	[-]	[mm]	[mm/sec]	[times]
15	Sine-wave	±200	400	13

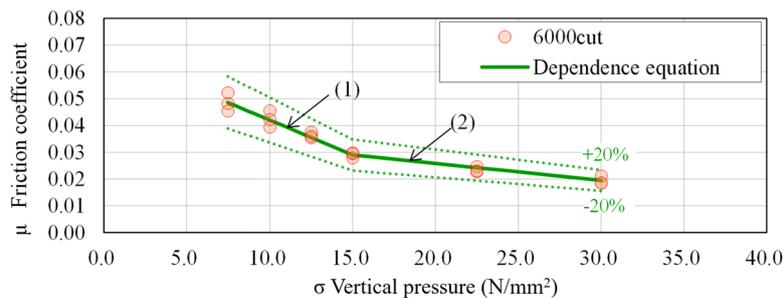


図5 面圧と摩擦係数の関係

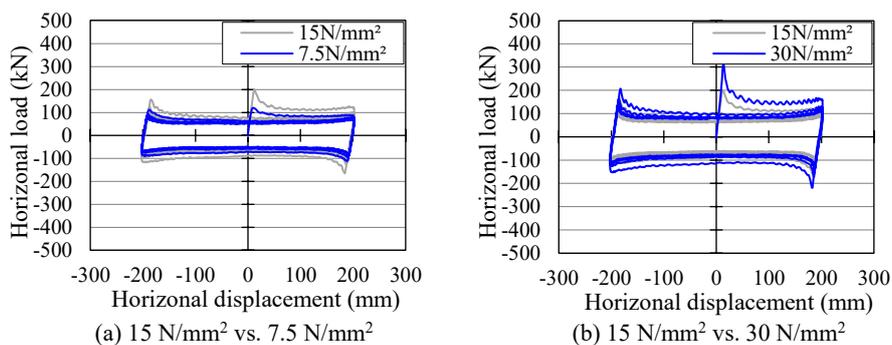


図6 面圧依存性試験における荷重-変位関係 (6000cut 試験体)

$$\mu = -0.0000724 v + 0.057957 \quad (3)$$

(1 mm/sec  $\leq v \leq$  400 mm/sec)

$$\mu = 0.029 \quad (4)$$

(400 mm/sec  $< v \leq$  800 mm/sec)

#### 4. 摩擦係数の回転角依存性

##### 4.1 試験体概要及び試験方法

試験は図 4 に示す二軸載荷装置を用いて実施した。試験体は、実物大のものをサイズ別に 3 種類

(6000type, 11500type, 17500type) 使用し、一定の鉛直荷重下で水平方向に動的載荷を行った。試験体名の数値は、各試験体の長期許容荷重 (kN) を示す。

また、図 9 のようにテーパ状に角度をつけた鋼板を用いて、杭頭の回転変形を模擬している。試験において、 $\theta$  は地震時の杭頭の回転変形を模擬するテーパ鋼板の水平荷重方向と傾斜方向とのなす角度を示す。 $\phi$  は、杭頭の回転角をラジアンで示す。試験は、すべての試験体で面圧が 15N/mm<sup>2</sup> と

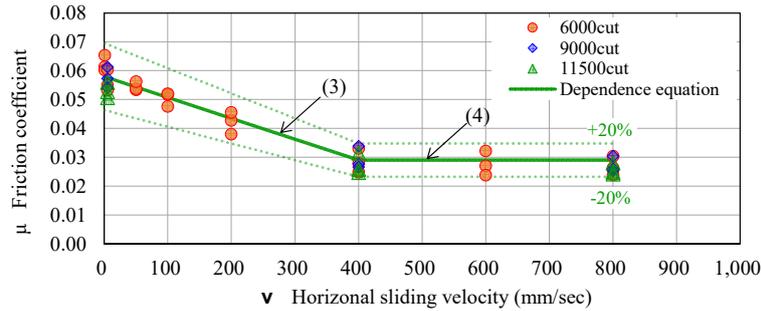


図 7 速度と摩擦係数の関係

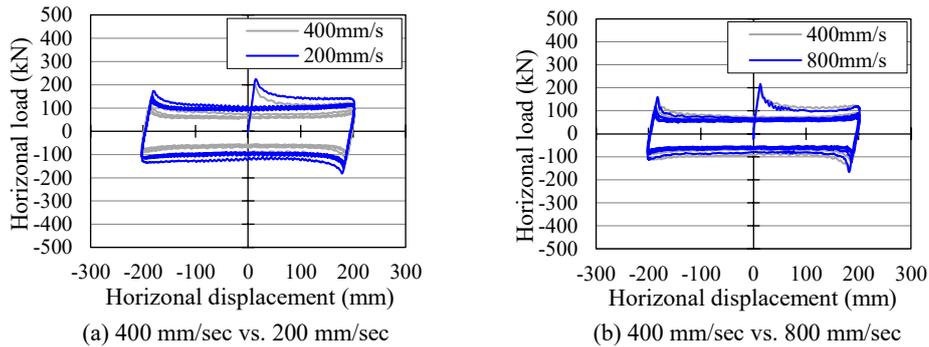
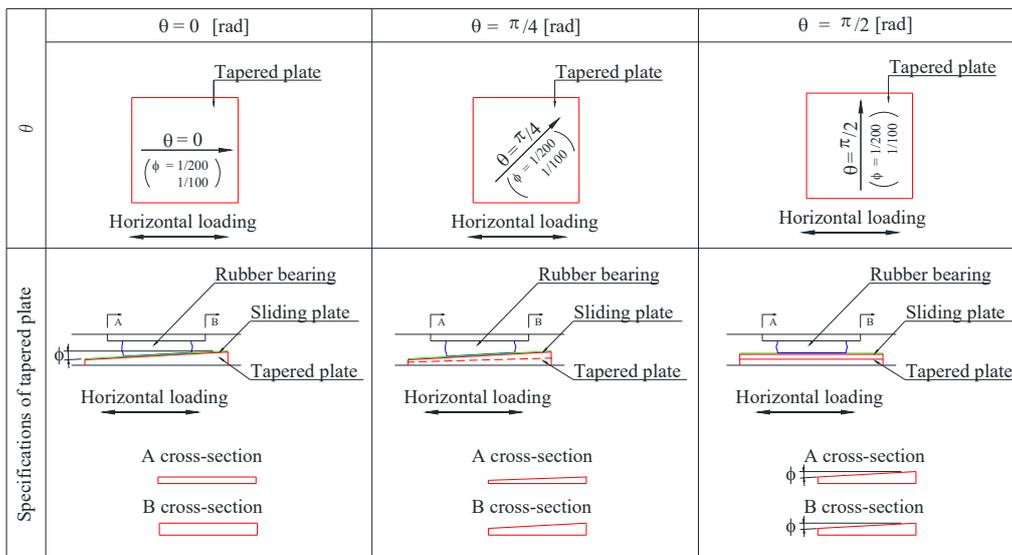


図 8 速度依存性試験における荷重-変位関係 (6000cut 試験体)



$\theta$  : angle between horizontal loading direction and the rotational deformation direction  
 $\phi$  : rotational deformation angle

図 9 回転角依存性試験における試験条件

なるような鉛直荷重を載荷し、6000type と11500type の試験体のみ面圧が  $30\text{N/mm}^2$  となるような鉛直荷重を載荷した実験も行った。試験体の仕様と試験条件を表4に示す。

#### 4.2 回転角依存性の評価

6000type 試験体において、 $\theta=0$  rad とし、異なる回転角 ( $\phi=0\sim 1/100$  rad) で載荷した時の水平変位と水平荷重の関係を、作用させる鉛直荷重(面圧)別に図10に示す。また、回転角と摩擦係数の関係を図11に示す ( $\theta=0, \pi/4, \pi/2$  rad)。

試験結果より、水平変位と水平荷重の関係については、回転角  $\phi=0$  の状態と比較してほとんど同

様である。回転角  $\phi=0$  の状態と摩擦係数を比較すると、面圧  $15\text{N/mm}^2$  の場合で $\pm 6\%$ 以下、面圧  $30\text{N/mm}^2$  の場合で $\pm 7\%$ 以下であった。よって、回転角の増加による摩擦係数への影響は比較的小さく、無視できると考える。また、 $\theta$  や試験体の大きさについても、摩擦係数に有意な影響を与えないと考える。

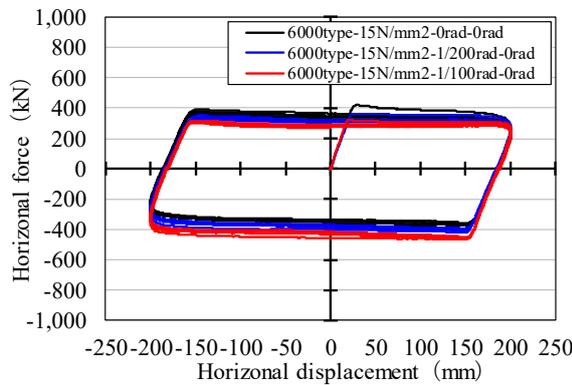
### 5. 大累積変位下における性能

#### 5.1 試験方法及び試験体の概要

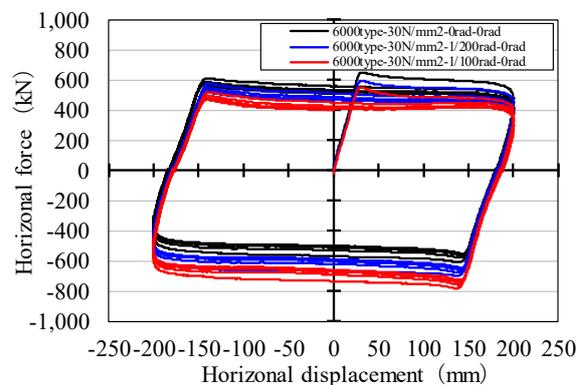
樹脂系すべり材の繰り返し載荷に対する性能は、長周期地震時の大累積変位によって生じるスライ

表4 試験体の仕様と試験条件

Specimen type	Outer Dia. [mm]	Effective Dia. [mm]	Gross Height [mm]	Rubber pad Height [mm]	Sliding Units [mm]	Vertical Pressure [N/mm <sup>2</sup> ]	Rotational deformation [rad]
6000 type	735	715	73	16	19 x $\phi$ 116	15 or 30	$\theta=0$ : $\phi=1/100$ & $1/200$
11500 type	1,010	990	88	21	19 x $\phi$ 142	15 or 30	$\theta=\pi/4$ : $\phi=1/100$ & $1/200$
17500 type	1,240	1,220	101	26	19 x $\phi$ 161	15	$\theta=\pi/2$ : $\phi=1/100$ & $1/200$

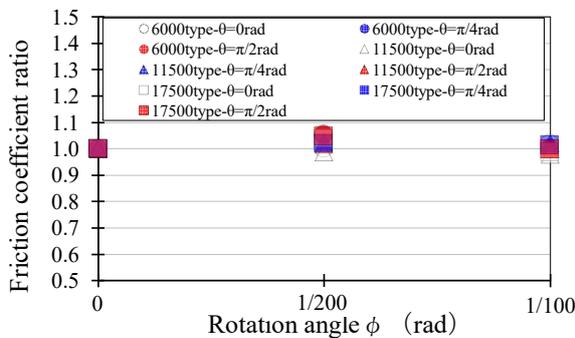


(a) 6000 type, vertical pressure  $15\text{N/mm}^2$

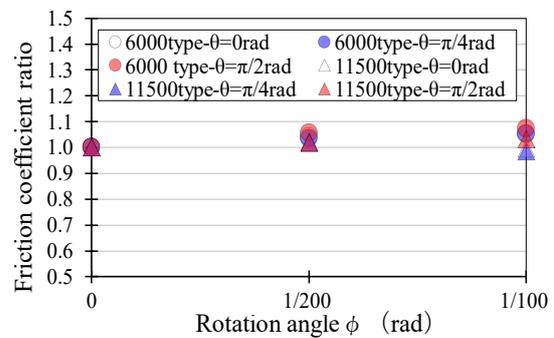


(b) 6000 type vertical pressure  $30\text{N/mm}^2$

図10 回転角依存性試験における荷重-変位関係 (6000type 試験体)



(a) Vertical pressure  $15\text{N/mm}^2$



(b) Vertical pressure  $30\text{N/mm}^2$

図11 摩擦係数比と回転角の関係

ド板の温度上昇の影響を受けることが知られている。摩擦係数とスライド板の温度の関係を確認するため、図 4 に示す二軸载荷装置を用いて、大累積変位を与える試験を実施した。本試験では、動的な水平载荷を行いながら、鉛直方向の载荷荷重を一定に保持した。ゴム層のない 6000cut の試験体を使用することで、ゴム層が水平剛性と熱伝導に及ぼす影響を排除した。さらに、試験体は厚さ 10mm の断熱層で上下両側から断熱し、温度放射の影響を低減している。試験では、熱電対を用いてスライド板の裏側で温度を測定した。また、試験体には  $15\text{N/mm}^2$  の一定面圧を加え、水平変位は各サイクルで  $\pm 200\text{mm}$ 、水平速度は  $255\text{mm/sec}$  (正弦波の最大速度) で载荷した。载荷装置の油圧システム容量を考慮して、13 サイクルを 1 セットと定義し、18 ~ 20 セットの载荷を行うことで、試験体に大きな累積変位を与えた。試験体の仕様と試験条件を表 5 に示す。

## 5.2 大累積変位が性能に及ぼす影響

水平変位と水平荷重の関係を図 12 に示す。摩擦係数と累積変位の関係、及びスライド板温度と累積変位の関係をそれぞれ図 13 と図 14 に示す。前述したように、载荷装置の油圧システムの制限により、複数の载荷セットに分割して载荷したため、各载荷セットの間では、スライド板温度が必然的に低下し、摩擦係数が一時的に増加する。したがって、図 13 と図 14 では、試験結果の包絡曲線を一緒に示している。図 13 と図 14 の包絡曲線が示すように、試験初期はスライド板の温度が急激に上昇するが、累積変位が約 5m を超えると温度上昇率は低下する。同様に、摩擦係数は累積変位によって減少するが、最終的には一定の値に収束する。本試験におけるスライド板の最高温度は  $113^\circ\text{C}$  であった。

試験で得られた摩擦係数とスライド板温度の関係を図 15 に示す。前述したように、本支承は速度依存性を有している。したがって、図 15 に示す摩

表 5 試験体の仕様と試験条件

Specimen No.	Outer Diameter [mm]	Effective Diameter [mm]	Gross Height [mm]	Sliding Unit [medals - mm]	Number of cycles cycles $\times$ set
B1	455	435	23	7 - $\phi 116$	13 $\times$ 18
B2					
B3					13 $\times$ 20

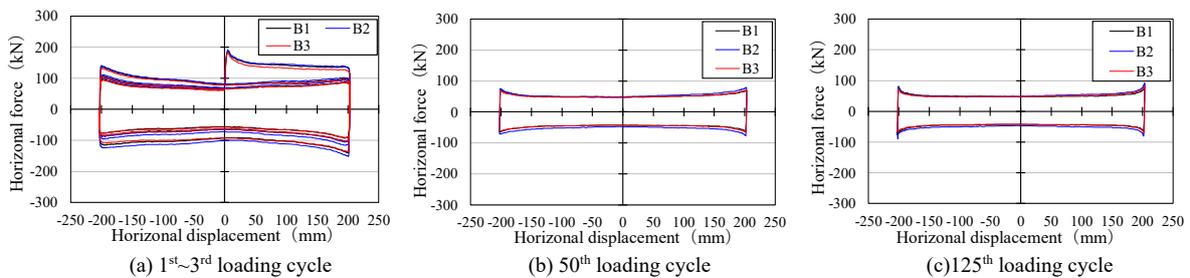


図 12 大累積変位試験における荷重-変位関係

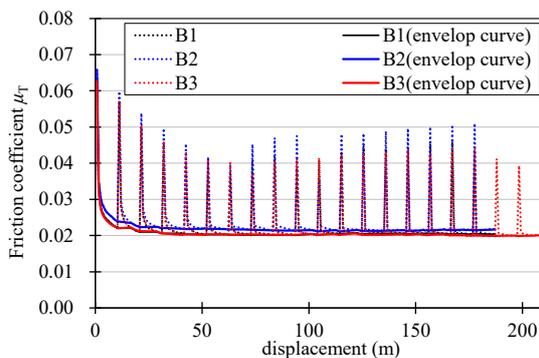


図 13 摩擦係数と累積変位の関係

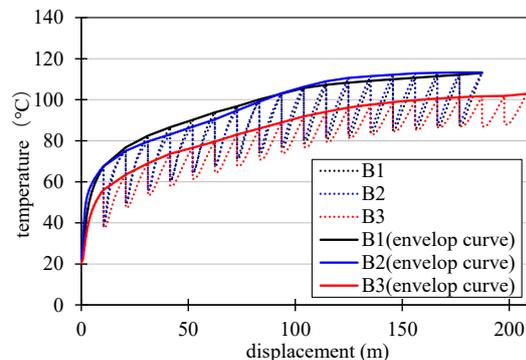


図 14 スライド板温度と累積変位の関係

摩擦係数は、式(3)と式(4)に示す速度依存関係式を用いて、標準速度 400mm/sec に補正した値である。試験結果より、摩擦係数  $\mu_T$  とスライド板温度  $T$  の関係について、式(5)~式(8)を示す。

$$\mu_T = 0.0379 \quad (T \leq 20^\circ\text{C}) \quad (5)$$

$$\mu_T = -0.00149 T + 0.06768 \quad (20^\circ\text{C} < T \leq 28^\circ\text{C}) \quad (6)$$

$$\mu_T = 0.1685 T - 0.561 \quad (28^\circ\text{C} < T \leq 96^\circ\text{C}) \quad (7)$$

$$\mu_T = 0.013 \quad (96^\circ\text{C} < T) \quad (8)$$

## 6. 熱・力学連成解析による長周期地震動下の性能評価

### 6.1 解析手法と解析条件

実物大弾性すべり支承の温度依存性を模擬する

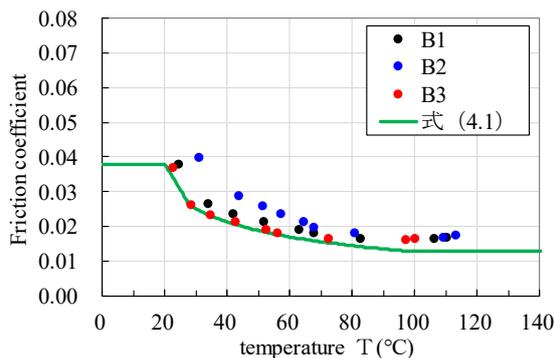


図 15 摩擦係数とスライド板温度の関係  
(標準速度 400mm/sec に補正)

ために、熱・力学連成解析を実施した。解析モデルを作成し、切り出し試験体の試験結果に基づいてモデルを校正した。熱・力学連成解析は、既往の研究で開発された力学モデルと熱伝導モデルを組み合わせたものである<sup>5)</sup>。

試験に用いた切り出し試験体と実物大支承の解析モデルを図 16 に、解析モデルの仕様と解析条件を表 6 に示す。熱伝導解析の材料定数を表 7 に示す。解析モデルには、ゴム層のない 6000cut モデル、3 種類の実物大支承 (6000type, 11500type, 17500type) のモデルを使用した。6000cut モデルでは天板裏面に断熱材を配置し、実物大支承モデルでは天板裏面にコンクリートフーチングを配置した。スライド板の表面からの熱伝達係数は  $25\text{W}/(\text{m}^2\text{K})$  と定義し、他の境界面及び断面は熱伝達しないものとした。初期温度を  $20^\circ\text{C}$ 、水平変位の振幅を  $\pm 200\text{mm}$ 、周期を 4.93 秒とし、125 サイクルの正弦波水平荷重による載荷とした。解析には面圧と速度の依存式として式(1)~式(4)を用い、摩

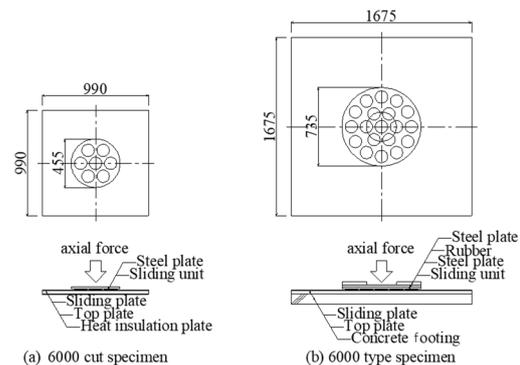


図 16 解析モデル

表 6 解析モデルの仕様と解析条件

Specimen type	Vertical load [kN]	Outer Diameter [mm]	Rubber pad Height [mm]	Sliding Unit [medals - mm]	Width of Sliding plate [mm]	Horizontal Displacement [rad]	Loading period [sec]	Initial temperature [°C]
6000 cut	2,200	455	-	7 - $\phi 116$	990	$\pm 200$	4.93	20
6000 type	6,000	735	16	19 - $\phi 116$	1,675			
11500 type	11,500	1,010	21	19 - $\phi 142$	1,950			
17500 type	17,500	1,240	26	19 - $\phi 161$	2,180			

表 7 熱伝導解析で用いた材料定数

Component	Material	Thickness [mm]	Volumetric specific heat [ $\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$ ]	Thermal conductivity [ $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ ]
Sliding plate	Stainless steel	4	$3.97 \times 10^6$	16.0
Base-plate	Steel	28 (32*)	$3.72 \times 10^6$	59.0
Heat insulation plate	Heat insulator	(10*)	$2 \times 10^6$	2.1
Concrete footing	Concrete	100	$2.41 \times 10^6$	0.4

\* : 6000 cut model

擦係数とスライド板の温度の関係は式(5)~式(8)を用いた。

## 6.2 熱・力学連成解析結果

6000cut モデルについて、大累積変位試験と熱・力学連成解析による水平荷重と水平変位の関係を図17に示し、熱・力学連成解析で得られた実物大支承モデルの水平荷重と水平変位の関係を図18に示す。

温度による摩擦係数の変化率  $\alpha$  (以下、 $\alpha$ ) は式(9)~式(12)で提案されるが、これは先に提案した式(5)~式(8)を換算して求めたものである。 $\alpha$  とスライド板温度の関係について、切り出し試験体による実験結果、実物大支承モデルによる解析結果、及び式(9)~式(12)を図19に示す。式(9)~式(12)は、実物大支承モデルの解析結果に近い値を示すが、より小さな  $\alpha$  の値であることから、安全側の評価となる。

$$\alpha = 1.613 \quad (T \leq 20^\circ\text{C}) \quad (9)$$

$$\alpha = -0.0634 T + 2.881 \quad (20^\circ\text{C} < T \leq 28^\circ\text{C}) \quad (10)$$

$$\alpha = 7.1702 T - 0.561 \quad (28^\circ\text{C} < T \leq 96^\circ\text{C}) \quad (11)$$

$$\alpha = 0.553 \quad (96^\circ\text{C} < T) \quad (12)$$

図20にスライド板温度  $T$  とすべり材の単位面積当たりの累積吸収エネルギー  $E$  の関係を示す。図20には、実物大支承モデルの解析結果より提案した式(13)~式(15)も示す。提案式は、解析結果や実験結果に対して安全側の評価を与えるものである。

$$T = 0.01481E + 20 \quad (E \leq 1,600 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2) \quad (13)$$

$$T = 0.005542E + 34.833 \quad (1,600 < E \leq 4,950 \text{ kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2) \quad (14)$$

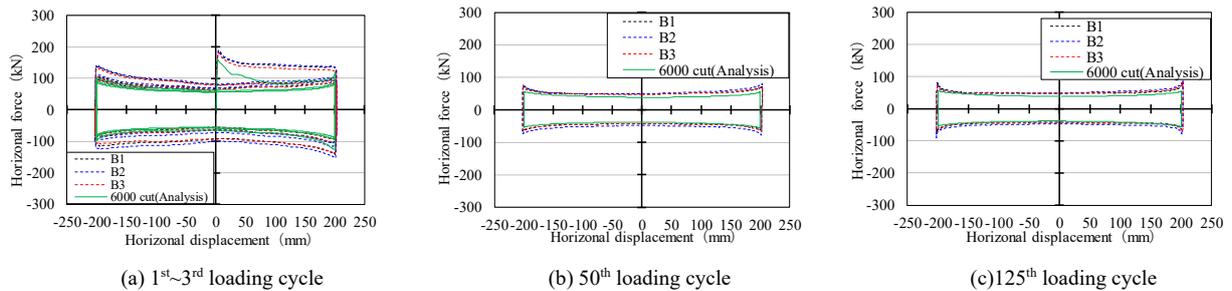


図17 大累積変位試験と熱・力学連成解析による荷重-変位関係の比較

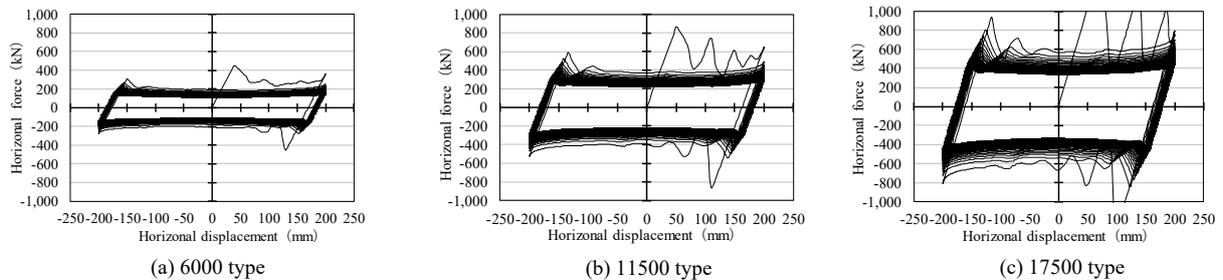


図18 熱・力学連成解析の荷重-変位関係 (実物大支承モデル)

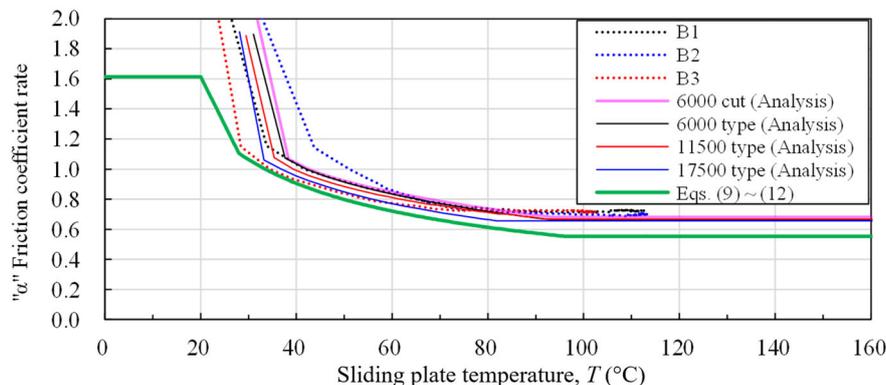


図19 温度による摩擦係数の変化率とスライド板温度の関係

$$T=0.003053E+47.153$$

$$(4,950 < E \leq 21,500\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2) \quad (15)$$

$$\alpha=0.553$$

$$(16,000 < E \leq 21,500\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2) \quad (20)$$

最後に、 $\alpha$ とすべり材の単位面積当たりの累積吸収エネルギー $E$ の関係を表式(16)～式(20)として提案し、図21に示す。これらの提案式は、前述した式(9)～式(15)を用いて得られる。式(16)～式(20)により、実物大支承モデルの解析結果を安全側に評価している。これにより、式(16)～式(20)を用いて、長周期地震動下における本支承の性能変化を適切に評価できると考える。

$$\alpha=-0.0634 (0.01481E+20) +2.881$$

$$(0 < E \leq 540\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2) \quad (16)$$

$$\alpha=7.1702 (0.01481E+20) -0.561$$

$$(540 < E \leq 1,600\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2) \quad (17)$$

$$\alpha=7.1702 (0.005542E+34.833) -0.561$$

$$(1,600 < E \leq 4,950\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2) \quad (18)$$

$$\alpha=7.1702 (0.003053E+47.153) -0.561$$

$$(4,950 < E \leq 16,000\text{kN}\cdot\text{m}/\text{m}^2) \quad (19)$$

## 7. まとめ

本報告では、特殊な弾性すべり支承の基本的な性能、回転角依存性、長周期長時間地震動下における性能を、複数の繰り返し二軸載荷試験と熱・力学連成解析によって評価した。以下に本報告をまとめる。

- (1) 本支承の面圧依存性と速度依存性に関する知見が得られ、それらの評価式を提案した(式(1)～式(4))。
- (2) 回転角依存性については、回転角が1/100radより小さい範囲では、回転角が摩擦係数に及ぼす影響は無視できることを確認した。また、 $\theta$ (水平荷重方向と回転変形方向の角度)が摩擦係数に及ぼす影響も無視できることが確認された。

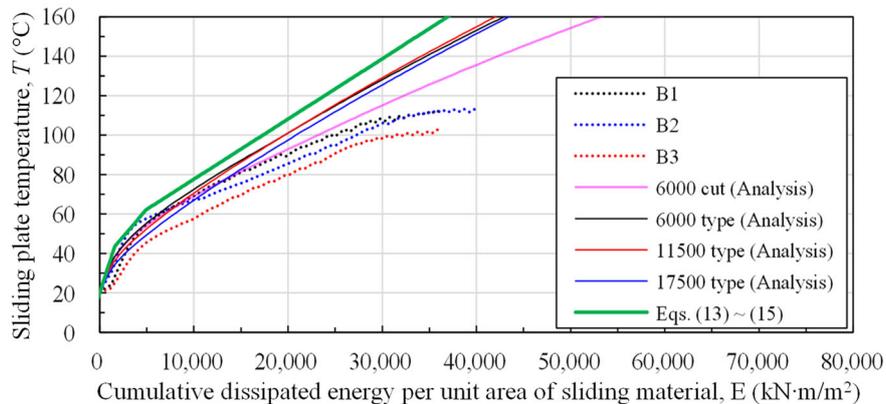


図20 スライド板温度とすべり材の単位面積当たりの累積吸収エネルギーの関係

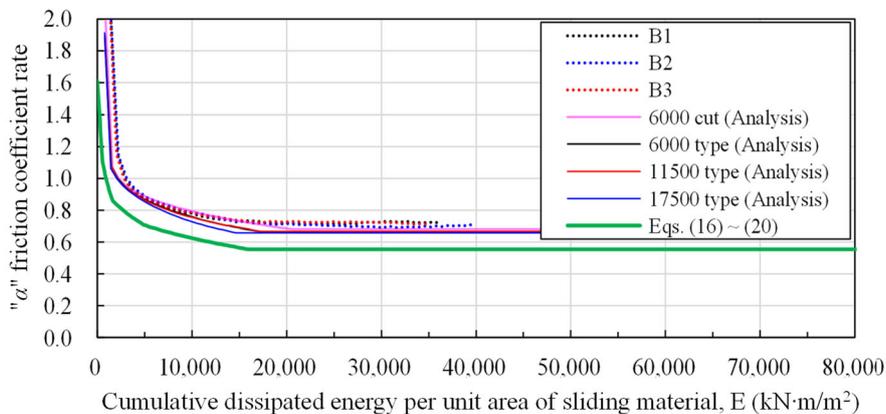


図21 温度による摩擦係数の変化率とすべり材の単位面積当たりの累積吸収エネルギーの関係

- (3) 本支承の摩擦係数は、スライド板の温度上昇により減少し、所定の温度を超える領域では一定の値に収束する。切り出し試験体モデルにおける摩擦係数の変化率 $\alpha$ とスライド板温度の関係は、実物大支承モデルとほぼ同じ結果となり、その関係式を提案した(式(9)～式(12))。
- (4) 長周期地震動を受ける免震構造物の時刻歴応答解析では、摩擦係数の変化率 $\alpha$ とすべり材の単位面積当たりの累積吸収エネルギー $E$ の関係を表す提案式(式(16)～式(20))に基づいて、本支承の性能評価とモデル化を行うことができる。

### 参考文献

- 1) 国土交通省：国住指第 1111 号，超高層建築物等における南海トラフ沿いの巨大地震による長周期地震動対策について（技術的助言），2016。  
[https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku\\_hou se\\_fr\\_000080.html](https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/build/jutakukentiku_hou se_fr_000080.html), (参照 2023-06-07)
- 2) 国土交通省：建築基準整備促進事業について，課題番号 27-3 (平成 22 年度～平成 24 年度)・S11 (平成 25 年度)，  
[https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku\\_hou se\\_fr\\_000016.html](https://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_hou se_fr_000016.html), (参照 2023-06-07)

- 3) 国立研究開発法人建築研究所：免震建築物の繰返し依存性の検証方法，長周期地震動対策に関わる技術資料・データ公開特設ページ，別紙 5-2，  
<https://www.kenken.go.jp/japanese/contents/topics/lpe/index.html>, (参照 2023-06-07)
- 4) 日本建築学会：免震構造設計指針（第 4 版），pp.28-40，2013.
- 5) M. Kikuchi, K. Ishii, T. Mori, R. Kurosawa, H. Sugiyama, T. Koizumi : THERMAL-MECHANICAL COUPLED ANALYSIS MODEL FOR MATRIX SLIDING BEARINGS, 17th World Conference on Earthquake Engineering, Sendai, Japan, 2020.

(補足)

本報告は、The 18th World Conference on Seismic Isolation (18WCSI)にて英文発表された内容を和訳したものである。

### 執筆者紹介



森 貴久  
博士（工学）

#### ひとこと

建築物は大地震で単に人命を守ればよいというものではなく、地震後にも安心して継続使用できることが必要です。免震構造はそれを実現できる極めて有効な手段であると考えます。

