防災・減災を目的とした傾斜すべり支承の開発

智貴	濱	徹也	半澤	銘崇	劉
設計本部)	(1	(技術研究所)		術研究所)	(技

Development of Sloped Sliding-Type Bearing for Disaster Prevention and Mitigation

Ming-Chung Liou, Tetsuya Hanzawa and Tomotaka Hama

2011 年東北地方太平洋沖地震の後、BCP の観点から自動ラック倉庫には荷崩れ防止対策が求められた。そこで、軽量 な上に積載荷重が変動する自動ラック倉庫の免震化に適用可能な傾斜すべり支承を開発した。本稿は、傾斜すべり支承 の開発経緯、メカニズム、開発内容を述べた上、自動ラック倉庫のほか、キュービクルへの適用、実施例を紹介する。 更にアスペクト比の高い架構へ適用拡大することを目的とし、傾斜すべり支承の摺動子に積層ゴムを挟んだ傾斜弾性す べり支承を開発した。ここでは、免震エレベーターへの適用について述べる。

The Great East Japan Earthquake of 2011 demonstrated the need for measures to prevent the collapse of products stored in warehouses with automatic racking systems from the perspective of BCP. A sloped sliding-type bearing has been developed that is lightweight and suitable for automatic warehouses with fluctuating loading capacity. This paper explains the development history of this sliding bearing, its mechanism, and its mechanical details. Application to cubicle-type high voltage receiving equipment as well as automatic rack warehouses is described, and details of some implementation cases are given. Furthermore, with the aim of expanding application to frames with a high aspect ratio, an elastic version of the bearing in which laminated rubber is sandwiched between the sliders of this sliding bearing is also described. The application of this bearing to the seismic isolation of elevators is described.

1. はじめに

2011 年東北地方太平洋沖地震では、物流施設の自動ラック倉庫での荷崩れや積み荷の落下、生産施設や病院等のキュービクル(変電設備)の損傷が多く見られた。これらの構造物は、共に建物より小規模・軽量でありながら、その被害により施設の操業や建物の機能維持に支障を来す点に特徴がある。大地震後の事業継続性(BCP)の観点から被害を防ぐもしくは減少させるため、設備機器のような軽量構造物の免震化が求められている。

一方、現在の免震構造においては、建物の重量 を支持する支承として積層ゴムが一般的に用いられ ている。積層ゴムは径が小さくなると2次形状係 数(=ゴム直径/ゴム総厚)が小さくなり、座屈を 考慮した許容面圧が小さくなるため、軽量構造物 では十分に長周期化できず、高い免震効果が望め ない。そこで、軽量構造物では支承にすべり支承 が用いられることが多いが、すべり支承だけでは 復元性能がないため、復元ばねとして積層ゴムが 併用されることが多い。このすべり支承と積層ゴ ムの併用免震システムの場合、弾性の復元ばねが あるため、地震時の応答加速度は摩擦係数で頭打 ちにならず、変位が大きくなるほど大きくなる。 また、すべり支承と積層ゴムの比率に留意する必 要があり、復元ばねである積層ゴムの比率が大き いと構造物の応答加速度が大きくなり、積層ゴム の比率が少ないと応答加速度は抑えられるものの、 残留変位が大きくなる可能性がある。また、積層 ゴムとすべり支承では鉛直クリープ量に差がある ことや、構造物の積載荷重が使用中に偏在・変動 する場合は免震層の偏心が大きくなりねじれ変形 が大きくなる可能性もあるなど、設計上留意すべ き点は多い。

当社は、すべり支承と定荷重ばねの組み合わせ により、応答加速度を頭打ちにすることができ、 かつ残留変位のほとんど残らない免震床を開発し ている¹⁾。ここでは、同様の原理に基づき、軽量 建築物、自動ラック倉庫及び重量設備機器などに 適用することが可能な、傾斜すべり支承を開発し た。本論文は、傾斜すべり支承の開発経緯、メカ ニズム、開発内容を述べた上、自動ラック倉庫の ほか、キュービクルへの適用、実施例を紹介する。 更にアスペクト比の高い架構へ適用拡大すること を目的とし、傾斜すべり支承の摺動子に積層ゴム を挟んだ傾斜弾性すべり支承を開発した。ここで は、免震エレベーターへの適用について述べる。

2. 傾斜すべり支承について

2.1 構成概要

図-1に傾斜すべり支承の概要を示す。

この支承は、免震層の上部構造体に固定した上沓 と、下部構造体に固定した下沓との間に摺動子を挟 み、摺動子が上下沓との接触面において相対すべり を生じる構成としている。上下沓は、V型のすべり 面(摩擦面)を構成しており、すべり面はそれぞれ 1方向のみに傾斜した平面としている。すべり面に はステンレス板が固定されており、摺動子には PTFE 系(ポリテトラフルオロエチレン樹脂、通称 テフロン)または PA系(ポリアミド樹脂、通称ナ イロン)のすべり材を固定している。摺動子は上下 のすべり面を挟み込むようにすべり材を設けたガイ ドレールが付いており、すべり面の傾斜方向にのみ 摺動子が移動できるようにしている。上沓と下沓の すべり面の傾斜方向は直交しており、これにより直 線的なすべり面でありながら2つのリニアガイドを 上下に直交配置した場合と同様、水平 360 度任意の 方向に変位することが出来る²⁾。



図-1 傾斜すべり支承の概要

2.2 免震機構

図-2 に傾斜すべり支承の模式図を示す。常時は 摺動子のすべり材全面が沓に一体化したすべり板に 接触して荷重を支持しているが、地震時に変位が生 じた時には、摺動子のすべり材の片側のみがすべり 板に接触することになり、接触面積は変位によらず 一定となる。

傾斜すべり支承の復元力は、すべり面の摩擦力と 傾斜復元力との組み合わせとなる。傾斜復元力は、 傾斜面をV字形の直線とすることで、重力効果によ り変位に係わらず常に一定である。この傾斜復元力 は図-2の復元力の模式図に示すように傾斜角 θ で 定まり、変位によらず $F = Wtan\theta$ の一定値となる。 このため、傾斜すべり支承の復元力は変位が大きく なっても $\mu W + Wtan\theta$ 以上となることはない(μ : 摩擦係数)。つまり傾斜すべり支承の場合、応答加 速度は(μ +tan θ)gで頭打ちとなる(g:重力加速度)。

また、傾斜復元力を適切に設定すると、残留変位 が抑制できる。当社が行った既往の研究¹⁾では、式 (1)で示すように摩擦力µWの0.1~0.4倍の傾斜復元 力を与えれば、残留変位はほとんど生じないことが 明らかになっている。したがって、残留変位を生じ ないように復元力を設定した場合の最大荷重は式 (2)になる²⁾。

$$W \tan \theta \ge (0.1 \sim 0.4) \mu W$$
(1)

$$F = \mu W + (0.1 \sim 0.4) \mu W = (1.1 \sim 1.4) \mu W$$
(2)

例えば摩擦係数 *μ* を 0.1 とした場合に生じる応答 加速度は 110~140cm/s²で頭打ちとなる。



図-2 傾斜すべり支承の復元力の模式図

2.3 要素実験

本節では、傾斜すべり支承単体を用いて傾斜すべ り支承の面圧と速度に関する依存性を確認するため に行った要素実験について述べる。

2.3.1 実験概要

試験体の概要を図-3 及び図-4 に示す。すべり面の 傾斜角 θ は 1.5 度とした。また、鉛直荷重支持用す べり材は PTFE 系材料とし、基準面圧として 20N/mm²、とし 200kN 用の支承サイズとした。す べり板は SUS304 研磨板とした。加力試験条件を表 −1 に示す。加力方向は水平 1 方向とした²⁾。



項目	単位	条件値
面圧	N/mm ²	5,10,20,40
加力速度	cm/s	0.5,1,5,10,20,50,75,100
最大変位	mm	±100
加力方向	度	0,45,90

2.3.2 実験結果

「水平荷重/鉛直荷重」(以下、 λ と示す)につ いての理論上の履歴ループを図-5に示す。 λ の代表 値 λ_{R} は、3波目において水平変位の正負方向、及び 水平荷重の正負によりAからDの4つの範囲に分け、 それぞれの範囲内の絶対値の平均値を λ_{A} から λ_{D} と し、その全平均で算出している。

加力方向 0 度及び 45 度の λ_R の面圧速度依存性を 図-6 に示す。 λ_R は高面圧になるにつれ低下する結 果となった。また速度による影響として 10N/mm² 以下の低面圧では高速になるにつれ λ_R が上昇する 傾向が見られた。また加力方向に関わらず、それぞ れの基準面圧では、50~100cm/s において λ_R の上昇 は見られず、ほとんど差異の無い結果となった。

さらに代表として基準面圧、速度 10 及び 100cm/s の λ 履歴ループを加力方向 0 度及び 45 度について、 図-7 に示す。いずれも安定した履歴を描いているこ とを確認した。



2.4 振動台実験

本節では、傾斜すべり支承による免震構造の動的 性能を評価するため、錘 (PC ブロック、2500×2500 × 320mm/枚、約 60kN)を4つの傾斜すべり支 承で支持した試験体で行った振動台実験^{2),3)}につい て述べる。

2.4.1 試験体と試験条件

図-8と**写真-1**は、PC ブロックによって構成される試験体 A、B、C を示す。

1) 傾斜すべり支承の仕様:基準面圧 20N/mm²になるように載荷力 30 k N の支承 4 つを使用した。傾斜角 1.5 度とした。すべり材は摩擦係数 0.1 の PTFE 系材とした。傾斜すべり支承の可動性については、振動台試験を実施する前に、支承単体を 用いた水平2方向加力試験により性能を確認済み である。

- 2) 積載物:3 種類の載荷パターンとした。 試験体A:基準載荷力の1.0倍 試験体B:基準載荷力の1.5倍、偏心載荷無し 試験体C:基準載荷力の1.5倍、偏心載荷あり なお、試験体Cは、PCブロック1枚と同じ重さの 鋼製ブロックを偏載させている。
- 3) 加振波および加振ケース
 - 表-2に振動台実験に用いた地震波と加振ケース を示す。地震波のNS、EW、UD方向は、振動台 X、Y、Z方向と対応させた。3D-4と3D-5は再現 性を、3D-ALLは残留変位の累積性を確認するた めに原点位置に戻さずに連続加振を行った。







図-8 試験体図



写真-1

表-2 地震波と加振ケース

	X 2	PULK IX			
ケース	加振波	地震波方向(振動台の加振方向) の最大加速度(cm/s ²)			レベル
		NS(X)	EW(Y)	UD(Z)	
2D-1	El Centro波	510	313	-	50cm/s
2D-2	芳賀波	799	1197	-	100%
2D-3	告示波	440	346	-	100%
2D-4	JMA神戸波	821	619	-	100%
3D-1	El Centro波	510	313	307	50cm/s
3D-2	芳賀波	799	1197	808	100%
3D-3	告示波	440	346	207	100%
3D-4	JMA神戸波	821	619	333	100%
3D-5	JMA神戸波	821	619	333	100%
3D-ALL	①El Centro波	510	313	307	50cm/s
	②芳賀波	799	1197	808	100%
	③告示波	440	346	207	100%
	④JMA神戸波	821	619	333	100%

2.4.2 実験結果

図-9に錘の最大応答加速度、最大応答変位、残 留変位、残留変位の結果を示す。

- 1)応答加速度:図-9(a)のXとY方向の結果より、
- 2D-1~4 と 3D-1~4 を比較すると、入力地震波の 違い、面圧と載荷パターンの違い、地震波上下動 の有無が最大応答加速度に与える影響は小さく、X とY方向共に最大応答加速度が 180~290cm/s²で、 頭打ちとなることを確認した。理論値(126cm/s²) より実験結果が大きくなった原因は、支承サイズ が小さいことに起因してスケール効果により摩擦 係数が 0.1 を上回っていた点、原点付近の勾配切 り替えによる衝撃などが考えられる。図-9(a)の Z方向の結果より、XY加振時にもZ方向の応答が 生じること、および XYZ 加振時は、地震波と面圧 の違いによって増幅の程度は異なるがZ方向の最 大応答加速度は入力加速度よりやや大きくなって いることが分かった。
- 2)応答変位:図-9(b)より、地震波によってばらつ きの程度は異なるが、面圧や載荷パターンによる 影響は少ないことが分かった。
- 3)残留変位: 図-9(b)より、水平方向の最大応答変 位が 200mm を超えるケースも含めて全てのケース で残留変位は 6mm 以下となり、わずかであること を確認した。
- 4) 再現性: 図-9の3D-4と3D-5の実験結果を比較 すると、最大応答加速度、最大応答変位および残 留変位はほぼ同じ値となっており、同じ加振波形 に対する応答の再現性があることが分かった。
- 5) 残留変位の累積性: 図-10 は 3D-ALL の 4 種類の 地震波で連続して加振した時の残留変位分布図で ある。残留変位は片方向に偏らず、累積しないで 一定の範囲に収まることが分かる。



図-9 実験結果の整理

3. 軽量構造物への適用

3.1 自動ラック倉庫への適用

3.1.1 地震による被災と構造的特徴

2011 年東北地方太平洋沖地震では、物流施設の自動ラック倉庫に被害が多く見られた。その被害は、ラック構造体そのものよりも高所に置かれた積み荷の荷崩れによる場合が多かった。そのため、特にラックの頂部における加速度低減対策が求められている。

自動ラック倉庫は、建物に比べて軽量の他に以下 の特徴があるため、一般の積層ゴム支承は適用が難 しい。

- ①高いアスペクト比を持つ独立構造であるため揺れやすい構造である。
- ②荷物の総重量は、ラック本体の自重より大きく、 荷物の充填状況により固有周期が常に変化して いる。



図-10 3D-ALL の残留変位分布

③搬入・搬出・収納する荷物の収納位置や荷物の 総重量は一定しておらず、偏在・変動する。

以上の特徴を踏まえ、固有周期変化に影響される ことがなく、自重の偏在・変動にも対応可能な傾斜 すべり支承を、自動ラック倉庫に適用した。

3.1.2 適用の課題と解決法

図-11 に傾斜す べり支承の自動 ラック倉庫への適 用方法を示す。物 流施設もしくは工 場内に設置する場 合が多い。適用に 際しては、対象ラッ ク構造体(剛性など)



図-11自動ラック倉庫 への適用概念

と荷物(配置、重量)などの基本情報のほか、荷す べり加速度、荷崩れ加速度と許容される免震変位な どの設計クライテリア値を確認する必要がある。

実案件への適用に際しては、実際に使用する腕木、 パレット、コンテナ間の静動摩擦係数を計測し、ま た振動台試験により、荷崩れ加速度を実測した。

取得したデータを基に、設計クライテリアを満足 できるように傾斜すべり支承の仕様(傾斜角1.5度、 摩擦係数0.012)と免震層のオイルダンパーの規格 などを決定した。更に、設計用入力地震動による応 答波を振動台で再現し、実際の荷物を使った加振実 験を行い、所要の免震効果を確認することができた (写真-2)。写真-3に設置した傾斜すべり支承を

(今夏一2)。今夏一3に設置した傾斜り、り文承を示す。



写真-2 振動台試験

写真-3 傾斜すべり支承

3.2 キュービクルへの適用

3.2.1 被害と構造物の特徴

2011年東北地方太平洋沖地震では、変電設備とし て個々の施設に設置されているキュービクルの損傷 により電源供給に支障を来した例が多く見られた。 その内訳は、脚部ボルトの破断による内部変圧器の 転倒や移動の他、変圧器への過大な加速度の入力に 起因する内部コイルの破損、ケーブルと支持アング ルの干渉による両者の損傷等も多く、単に脚部等の 部材強度の増加のみならずキュービクル内部への加 速度伝達の低減が必要であることが明らかとなった。 そこで筆者らは加速度頭打ち効果を有する傾斜すべ り支承の適用を試みた。

3.2.2 キュービクルへの適用課題と解決法

図-12 に傾斜すべり支承のキュービクルへの適 用方法を示す。キュービクルは当該施設敷地内の地 上に置かれる他、建物本体、特に屋上に設置される 場合も多い。この場合の傾斜すべり支承による免震 化の留意点を以下に示す。

①風荷重による滑動に注意が必要である。

②建物屋上の応答波が入力波となるため、応答変 位が過大になる傾向がある。



③キュービクルの加速度クライテリア値は、一般的に1G程度である。

④接続するケーブルの余長が必要、かつ水平変位時にケーブルによる抵抗力が生じる。

上記①、②に対しては高摩擦係数を有するポリア セタール樹脂系の摩擦材 (POM、摩擦係数 μ は約 0.25)を用いて対処することとした。また残留変位 を殆ど生じさせないための適正傾斜角 θ は、2.2節 で示した式(1)で与えられるため、ここでは θ =3 度、 ($tan\theta$ =0.052)とした。

最大復元力は μ W+ Wtanθ=0.30 Wとなるため、 支承上部の加速度は上部剛体の場合で 0.3G 程度で あり、変圧器脚部の防振ゴム挙動等に起因する増幅 を考慮しても③の加速度クライテリアを満足すると 予想される。

以上にて仕様を決定した支承の単体加力試験、 ケーブル抵抗力確認試験および全体の動的性能を確 認するための振動台試験を実施した⁴⁾。

単体加力試験用の試験体を写真-4 に、得られた履 歴ループと摩擦係数 λ_R を図-13 と図-14 に示す。 履歴ループはいずれの方向においても安定した性状 を示し、また λ_R は高速、高面圧になるにつれ低下す る特性を有することがわかった。



写真-5にキュービクルへの接続ケーブルの水平 変位時抵抗力を確認するための試験状況を示す。 ケーブル抵抗力は、固定高さを120cm確保すれば 最大径 A250(600VCVTケーブルの断面積250mm²) の場合で152Nであり、別途振動台実験によりこの 抵抗力が免震性能に悪影響を与えないことを確認し た。写真-6に振動台試験の状況を示す。実験結果 より、変圧器の加速度は概ね1G以下であり、キュー ビクルの稼動に支障がないことを確認した。また、 実験後の確認では変圧器およびキュービクルに損傷 はみられなかった。

写真-7に適用した実案件の施工中および完成後の状況を示す。



写真-7 施工風景と完成後

4. 傾斜弾性すべり支承

一般に、初期剛性が高い剛滑り支承とアスペクト 比が高い上部フレームとの組合せでは、高次モード の影響により、上部フレームの応答加速度がやや大 きくなる傾向がある。傾斜すべり支承も同様であっ て、アスペクト比が高い上部フレームへの適用を可 能にするために、低摩擦すべり支承の摺動子に積層 ゴムを挟んだ傾斜弾性すべり支承を開発した⁵。

4.1 支承の構成と免震機構

傾斜弾性すべり支承の構成を図-15 に示す。基本 構成は、傾斜すべり支承と同じであり、直交した上 沓と下沓との間に摺動子を挟んだ構成となっている。 上下沓もV型に傾斜したすべり面(摩擦面)を有し ており、すべり面側にはステンレス板が、摺動子側 には PTFE 系の摩擦板が固定されている。但し、摺 動子の高さ方向中央部には、天然ゴム系積層ゴムを 配置している。摺動子と上下沓の傾斜面との摩擦係 数は μ =0.01~0.1 程度とし、傾斜面の角度 θ は、想 定する地震時の残留変形をほぼ無くすことができる ように傾斜すべり支承と同じ、2.2 節で示した式(1) を満足するように設定する。但しここでは、摩擦係 数 0.012 とし、傾斜角 θ は 1.5 度とした。



また摺動子に組込む積層ゴムは、

①積層ゴムが塑性変形を生じない範囲で、せん断 ひずみが100%以下になる

②ゴムのせん断変形による偏心量は摺動子の最短辺長の10%以下になるように、せん断弾性係数G6程度、厚さ4mmのゴムを積層してゴム総厚40mmとした。

支承の地震時の挙動を図-16に示す。地震時変位 が微小な場合は摺動子の摩擦板にはすべりは生じず、 積層ゴムのみが変位する。変位が大きくなり積層ゴ ムの水平力(せん断剛性×変位)がすべり荷重を超 えると摺動子が傾斜面を上がり、ポテンシャルエネ ルギー(位置エネルギー)が増加する。地震力が逆 方向になった時もまず積層ゴムのみが変位する。

傾斜弾性すべり支承の復元力特性(荷重-変形関係)を図-17に示す。ここで支承の軸力(自重)を Wとする。滑動以後の荷重は自重の傾斜復元力と傾斜面の摩擦力により定まり、変位に依存しない。こ のため傾斜すべりの荷重は変位が大きくなっても $\mu W + W tan \theta$ 以上となることはない。つまり、傾斜 弾性すべりの場合の応答加速度は概略($\mu + tan \theta$)g で頭打ちとなる。

傾斜弾性すべり支承に傾斜すべり支承と同様に 水平0度、45度、90度方向の加振を行って各種材 料依存性などの力学性能を確認した。図-18に、 15N/mm²におけるλ(水平荷重/鉛直荷重)-水平変位 関係の履歴ループ例(10cm/s)を示す。安定した履 歴を描いており、問題なく作動することを確認した。

また全試験後に平均面圧 20N/mm²に対して圧縮限 界試験を実施し、安定した履歴ループを示すこと、 目視上顕著な損傷や破断は生じないことを確認した (写真-8)。





図-18 んと水平変位(0,90,45 度)



写真-8 試験後の支承の状況

4.2 エレベーターへの適用

4.2.1 開発の経緯

都市部の集合住宅では地震や停電などの災害時の 在宅待機において、高齢者を含めた居住者の生活動 線を確保するためにエレベーターの稼働が重要と考 えられる。しかし、一般的には大地震時には専門技 術者による安全確認がなされるまでは稼働できない 場合が多く、地震後すぐに継続稼働が可能なエレ ベーターの必要性は高まっている。一方、既存ストッ クの有効活用は社会的要請となっており、高経年マ ンションの長寿命化は重要である。そこで本計画で は、地震時におけるエレベーターの継続稼働を目的 として、免震化したエレベーター棟(免震エレベー ター)の既存集合住宅への増築を想定した構造検討 を行った。

4.2.2 エレベーターへの適用課題

既存集合住宅へエレベーター棟を増築するには以 下の課題がある。

- ①増築するエレベーター棟は、一般に高アスペク ト比の独立した構造になるため、揺れやすい。
- ②極稀に発生する地震動に対して継続稼働を可能 とするために、エレベーター棟の応答加速度は 頂部 200cm/s²以下、ピット部 80 cm/s²以下とす る必要がある⁷⁾。

4.2.3 構造概要

以上の適用課題に対して、一般的な外廊下タイプ の13層の中層集合住宅(耐震構造)への免震エレ ベーターの増築(エキスパンションジョイントによ り分離)を想定した計画とした。図-19に平面図、 立面図、断面図を示す。エレベーターを各階利用で きるように本体建物と合わせて13層とし、建物高 さは約37m、約5.5m×5.8mの平面形状とした。



図-19 平面図、立面図、断面図

表-3 免震装置	置諸元
----------	-----

傾斜弾性すべり支承		オイルダンパー		
長期軸力		約400~550kN 最大抵抗力		35kN
摩擦	係数	0.012	限界速度	1.0m/s
積層ゴム	サイズ	330mm角	ストローク	$\pm 360 \mathrm{mm}$
	厚さ	4mm×10層	等価粘性減衰係数	35kN•s/m
台数		4台	台数 8台	

検討した架構計画図を図-20に示す。

①架構計画:免震上部架構は既存建物への増築を 想定し、軽量で施工性が良く短工期で実現できる鉄 骨造とした。鉄骨柱脚下部に RC 架構を設け、免震装 置上部の剛性を確保するとともに、地震時の転倒に 対するカウンターウェイトとしての役割も持たせた。 RC 架構下部には傾斜弾性すべり支承を各柱位置に 配置し、免震上部架構からエレベーターピットを吊 り下げる架構としている。支承材による長周期化に より、地震時に免震上部架構に生じる加速度を低減 し、エレベーターの停止を防ぐ計画とした。免震装 置のメンテナンス性やピット寸法の最小化に配慮し、 B1 階柱の柱頭免震を採用した。免震上部架構は高ア スペクト比(7程度)に対して架構剛性を確保し、 より高い免震効果を得るため、鉄骨ブレース架構と した。

②免震装置:計画で採用している免震装置の諸元 を表-3に示す。また、免震層の過大変形を抑える ため、住宅等で採用される最大抵抗力が小さいオイ ルダンパー(各方向4台ずつ)を採用した。



4.2.4 時刻歴解析による検討

ここでは、上記の構造概要に対して、時刻歴応答 解析を実施した⁶⁾。解析のパラメータは、①地震波 5 波②摩擦係数のばらつき(基準値 0.012 と±40%) とした。検討用入力地震動はレベル 2 地震動として 観測波(El Centro1940 NS 波、Taft 1952 EW 波、 Hachinohe 1968 NS 波: 50 cm/s 規準)、告示波 A

(JMA Kobe 1995 NS)、長周期地震動(KA1)の 5 波を用いた。図-21は、摩擦係数0.012の解析結 果例を示す。加速度クライテリアに対してピット部 80 cm/s²は満足していないが、頂部200 cm/s²のク ライテリアに対しては満足している。また摩擦係数 のばらつきを考慮した場合でも満足していることを 確認した。

最後に、免震装置の引抜きを把握するため、上下 方向地震応答解析も実施し、水平動と上下動による 軸力の時刻歴和を行い、引抜は生じなかったことを 確認した。



図-21 最大応答加速度

5. まとめ

軽量構造物の免震化のために傾斜すべり支承を 開発した。

材料の選定から、要素試験や振動台試験を実施 し、免震支承としての動的性能を確認した。実験 結果より、最大応答加速度が頭打ちされること、 上下動の影響が応答の最大値に及ぼす影響が少な いこと、同じ地震波であれば最大応答加速度、応 答変位および残留変位の再現性があること、残留 変位がわずかであり累積しないことを確認した。

また自動ラック倉庫、キュービクルなどの軽量 構造物に適用する際の課題に解決策を提案して実 装に至った。

更に適用拡大として傾斜弾性すべり支承を開発 し、エレベーターの免震化への適用性について検 討した。

<参考文献>

- 福喜多輝,磯田和彦,坂本眞一: "復元機構を持つすべり支 承を用いた簡易型免震床の性能",日本建築学会大会学術講 演梗概集, B-2, pp. 297-298, 2012
- 木原幸紀,磯田和彦,劉 銘崇,北村佳久,濱 智貴,松井和幸: "傾斜すべり支承を利用した免震構法の開発(その1)~(その5)",日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.471-480,2014
- 劉 銘崇,磯田和彦,福喜多輝,北村佳久,濱 智貴: "残留 変位抑制免震機構を有する傾斜すべり支承",第14回日本 地震工学シンポジウム,pp.2067-2076,2014
- (著智貴,神原浩,劉銘崇,北村佳久,磯田和彦,中島裕二: "傾斜すべり支承によるキュービクル免震システムの開発 (その1)~(その2)",日本建築学会大会学術講演梗概 集,pp.611-614,2016
- 5) 半澤徹也, 劉 銘崇, 濱 智貴: "傾斜弾性すべり支承の開発 (その1)~(その2)",日本建築学会大会学術講演梗概 集,pp.625-628,2022
- 6) 上原大輔,櫻木健司,濱 智貴,劉 銘崇,斎藤宏一: "傾斜 弾性すべり支承を使用した免震エレベーターの検討(その1) ~(その2)",日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.253-256, 2022
- 7) (財)日本建築設備・昇降機センター、(社)日本エレベー ター協会:建築基準法及び同法関連法令昇降機技術基準の解 説、2016