

特 集 7  
研 究 速 報

# 滑り支承を用いた戸建て住宅用免震装置の開発

Development of Seismic Isolation Device Using Sliding Bearing for Houses

矢 口 大 輔\*・藤 田 隆 史\*

Daisuke YAGUCHI and Takafumi FUJITA

## 1. ま え が き

1995年1月17日兵庫県南部地震での、積層ゴムを用いた建物免震構造の良好な免震効果が報告されている。一方、同地震で家具の転倒による被害が多数報告されたことから、戸建て住宅用の免震技術が注目され、現在、積極的に開発が進められている。

筆者らは、比較的低コストで、かつ、メンテナンスの容易なことが要求される戸建て住宅用免震装置として、滑り支承を用いた免震装置の開発を行っている。この滑り支承は、モノキャストナイロンを用いたものであり、大荷重支持状態で低摩擦摺動性を示す。既に量産材料であるため、低コストで入手できることから戸建て住宅用の免震装置として非常に有効と思われる。

本報では、この滑り支承を用いた免震装置の振動台による加振実験の結果を報告する。

## 2. モノキャストナイロン製滑り支承

モノキャストナイロンは、本質的には6ナイロンと呼ばれるポリアミド樹脂の成形品であり、特に耐摩耗性、

低摩擦摺動性に優れ、建設機械のスライドプレート、シーブ(ワイヤロープ用滑車)、台車の車輪、産業機器のスプロケット、チャック等の幅広い分野で使用実績がある。本開発で用いたものは成形工程の際、同材料に4弗化エチレンを混入させ、更に低摩擦摺動性能を向上させたもので、産業機器等の軸受け部にも使用されるものである。モノキャストナイロンの基本性質を表1に、滑り支承を図1、2に示す。

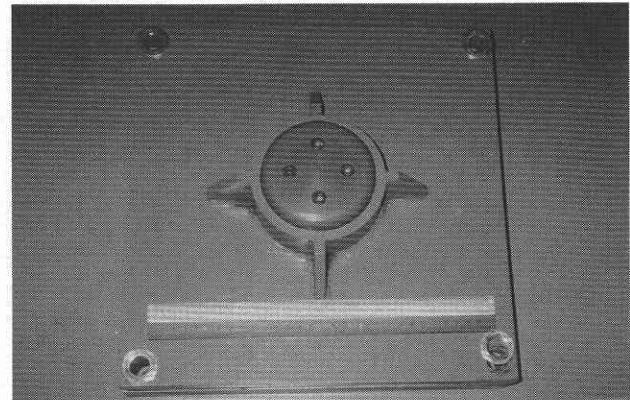


図1 モノキャストナイロン製滑り支承

表1 モノキャストナイロンの基本性質

圧縮強度	短期許容	13.7 MPa
	降伏	76.4~80.4 MPa
連続使用温度	高温許容	120°C
	低温許容	-40°C
耐薬品性	油	変化なし
	酸	適さず
	アルカリ	変化なし
	有機溶剤	変化なし
限界 P V 値		249 MPa·m/min
ロックウェル硬度		105 (Rスケール)
融点		220°C~223°C

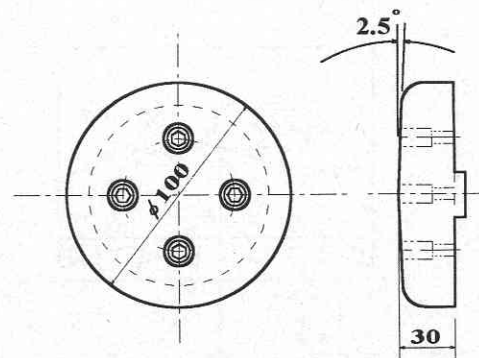


図2 モノキャストナイロン部

\*東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報

3. 免震装置の概要

3.1 構造

本免震装置は図3に示す様にモノキャストナイロン及びそれを固定するホルダ、鋼製の支承盤で構成される。支承盤には中心が一番深くなるように傾斜面が適度の角度(以下傾斜角度)をなす円錐形のくぼみを付け、被免震構造体(住宅)が水平変位を生じた場合、重力により原点に向かう変位依存性のない復元力が生ずるようになっている。この傾斜角度は、強風による揺動防止の為にトリガーレベルや許容される応答変位に合わせ設定する。今回の実験では、予備計算で応答変位が15cm以下となる傾斜角度として2.5°と設定した。

3.2 解析モデル

免震装置の設計用解析モデルとして図4に示すように構成し、運動方程式を以下のように作成した。

(i) 滑りが生じていない場合 ...PHASE I

$$x = const, \quad \dot{x} = 0$$

(ii) 滑りが生じている場合 ...PHASE II

$$M\ddot{x} + F(x) + \mu Mg \cos^2 \theta \sin(\dot{x}) = -M\ddot{z} \quad (1)$$

ただし、

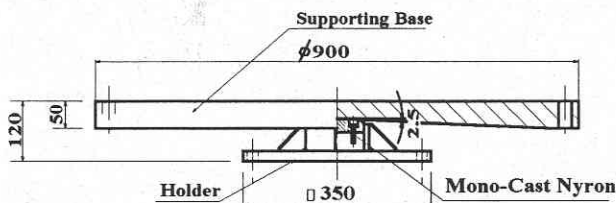


図3 免震装置

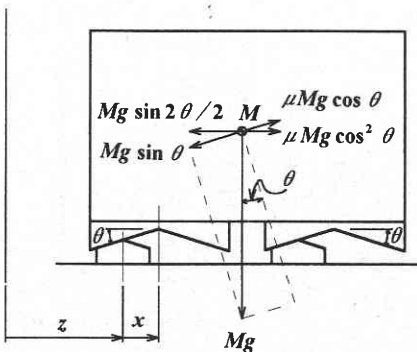


図4 解析モデル

$$F(x) = \begin{cases} Mg \sin 2\theta / 2 & : x > r \sin 2\theta / 2 \\ M(g/r)x & : |x| \leq r \sin 2\theta / 2 \\ -Mg \sin 2\theta / 2 & : x < -r \sin 2\theta / 2 \end{cases}$$

ここで、 $M$ は上部構造の質量、 $\theta$ は支承盤の傾斜角度、 $r$ は支承盤中心部の球面加工部曲率半径、 $\mu$ は免震装置の動摩擦係数、 $g$ は重力加速度、 $x$ は水平変位、 $\ddot{z}$ は入力加速度である。

(iii) PHASE I と PHASE II の切換条件

$$\begin{aligned} |F(x) + M\ddot{z}| > \mu Mg & \text{の時, PHASE I} \rightarrow \text{II} \\ |F(x) + M(\ddot{x} + \ddot{z})| \leq \mu Mg & \text{の時, PHASE II} \rightarrow \text{I} \end{aligned}$$

式(1)において、変位が増加する場合を考えると、

$$|M(\ddot{x} + \ddot{z})| = Mg(\sin 2\theta / 2) + \mu Mg \cos^2 \theta \quad (2)$$

であり、式(2)の両辺をMでわると、

$$|\ddot{x} + \ddot{z}| = g(\sin 2\theta / 2) + \mu g \cos^2 \theta \quad (3)$$

となる。これは上部構造の質量によらず、 $\theta$ と $\mu$ の設定値のみで応答加速度が決定されることを意味する。

4. 実験モデルと実験方法

振動台実験では、免震装置そのものの復元力特性を把握することを目的とした剛体モデル加振実験と、免震効果を把握することを目的とした住宅モデル地震波加振実験を行った。表2に実験モデルの諸元を、図5に実験モデルを示す。

剛体モデルでは鉄骨フレーム上に鉄板を直接固定し、1質点系モデルを構成した。また、住宅モデルではボックス

表2 実験モデル諸元

鉄骨フレーム	外 寸	3.0×3.0×0.2 <sup>H</sup> m
	質 量	2.4ton
住宅ユニット	外 寸	3.0×2.5×2.9 <sup>H</sup> m
	質 量	床:0.5ton 天井:0.5ton
	固有振動数	8.0 Hz
滑り支承	減衰定数	0.113
	外 寸	φ0.1×0.03 <sup>m</sup>
	材 質	モノキャストナイロン
支 承 盤	テーパ角	2.5° (0.43m/s <sup>2</sup> 相当)
	外 寸	φ0.86×0.05 <sup>m</sup>
	材 質	SCM440
	表面処理	クロームメッキ
モデル質量	中心部曲率半径	0.3m (φ0.05m 内部)
	テーパ角	2.5° (0.43m/s <sup>2</sup> 相当)
	剛体モデル	4.8ton
	住宅モデル	M1: 2.9ton M2: 0.5ton

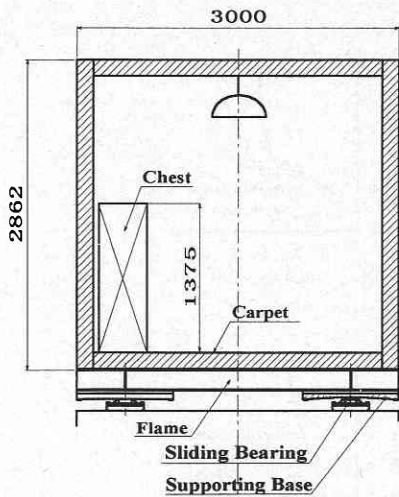


図5 実験モデル

スラメン構造住宅に使用されるユニット一角を鉄骨フレーム上に固定し2質点系モデルを構成した。非免震時での実験は、鉄骨フレームと振動台とを固定治具で結合することで実施した。また、ユニット内部に絨毯を敷き、実験的に搭状比が1:3の家具を設置し、天端での応答加速度を計測した。

### 5. 実験結果

#### 5.1 免震装置の復元力特性

免震装置の復元力特性線図は、振動中心を境に摩擦抵抗力に支承盤の傾斜角による抵抗力 (2.1 kN) が加算されて図6に示すような形状となる。また、ループの幅より摩擦係数は8/100~9/100であること、変位による摩擦係数の変化が殆ど無いことからその速度依存性は無視しても性能予測上差し支えないと考えられる。

支承盤の中心部に設けた球面部では、モノキャストナイロンの直径と比較して小さな領域であったため、実際

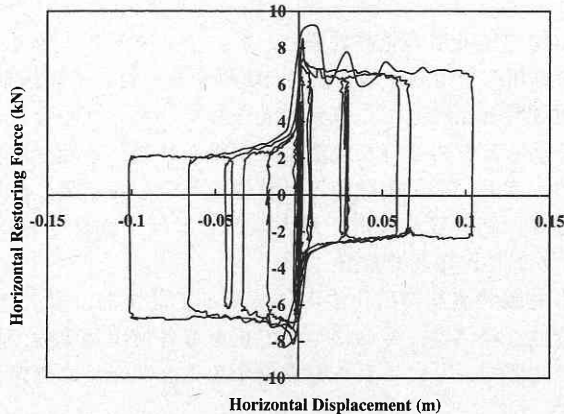


図6 復元力特性

にはその部分での滑動はなく、同線図には特性として現れなかった。従って今回の解析モデルでrは微小値として評価した。

図7に示す神戸NS波加振(最大加速度5m/s<sup>2</sup>)時の時刻歴応答波形と、これらのパラメータでシミュレーション

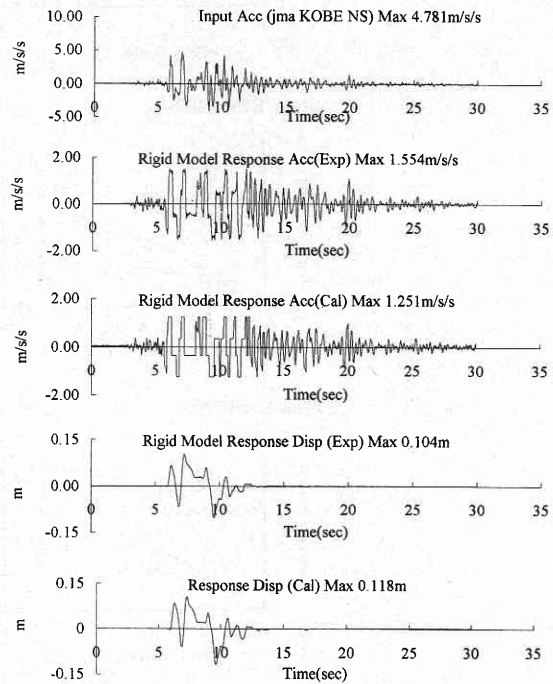


図7 時刻歴波形の比較

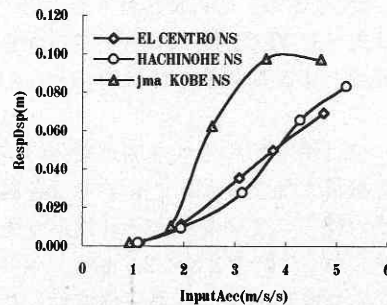
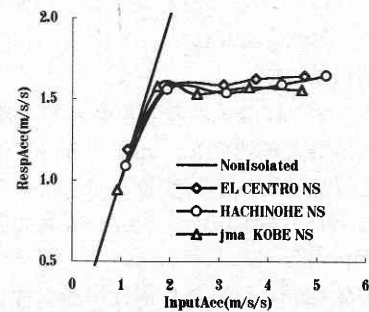
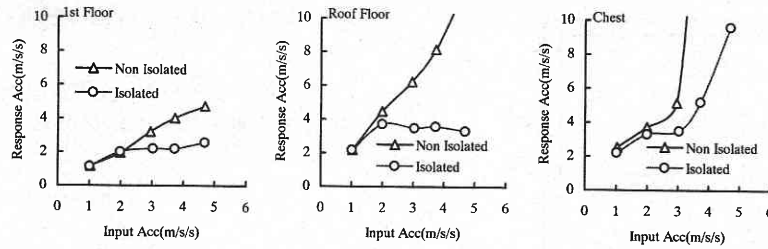
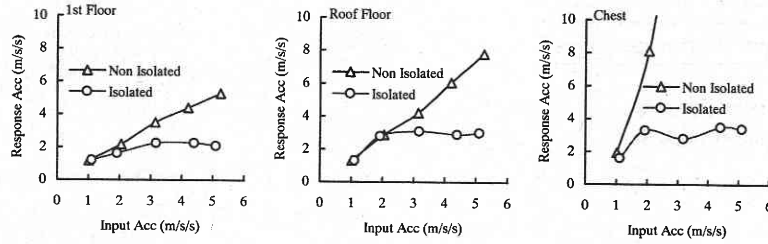


図8 剛体モデルの応答

1)EL CENTRO NS



2)HACHINOHE NS



3)jma KOBE NS

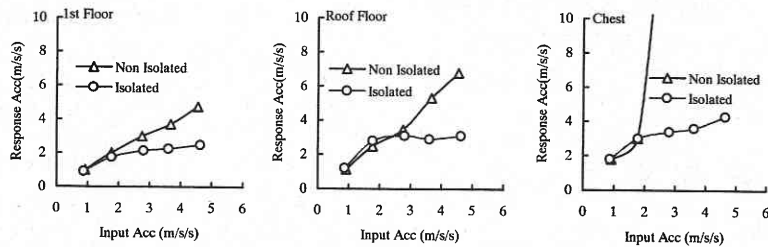


図9 住宅モデルの応答

ンした波形がほぼ一致していることより復元力特性のモデリングの妥当性が確認された。

5.2 免震性能について

図8は剛体モデルについてのエルセントロ波、八戸波、神戸波での加振最大加速度を  $1\text{ m/s}^2 \sim 5\text{ m/s}^2$  とした時のそれぞれの応答加速度、応答変位を示している。同様に図9に住宅モデルの1階床上、天井、家具の天端での応答加速度を示す。

図8より剛体モデルの場合、何れの地震波についても約  $1.5\text{ m/s}^2$  で滑り始め、応答加速度もその値で頭打ちとなる。これは式(3)及び図6の復元力特性からも明らかで、始動加速度と応答加速度がほぼ同一となることが特徴である。

住宅モデルでは滑り始める加速度が剛体の時よりもやや上昇し、加振最大加速度が約  $2\text{ m/s}^2$  では各観測点において免震効果が得られていないがそれ以上で免震効果が現れた。図9では、1階で  $2.2 \sim 2.5\text{ m/s}^2$ 、天井で  $3\text{ m/s}^2$  で頭打ちとなる傾向にある。応答変位波形、及びその最大値はおおよそ剛体モデルと同様であった。

設置した家具は非免震時、カーペット上で滑りながら大きくロッキングし、壁にぶつかる等の挙動を起こした。一方、免震時はエルセントロ波加振(最大加速度  $4\text{ m/s}^2$  以上)で少々ロッキングしたもの、全般的に移動することなく良好な免震効果があることを確認した。

6. あとがき

戸建て住宅用の免震装置として、モノキャストナイロンを採用した滑り支承で振動台実験を行った。その結果、非免震時と比較して、家具の大きなロッキングや移動がなくなるほどの良好な免震効果が得られた。また、解析モデルにおいて、実験値と計算値を照合した結果、応答加速度、応答変位波形、最大値ともほぼ一致しており、その妥当性が確認できた。

本免震装置を実用化するにはあたってはまだ、耐久性、安全性、経済性、寿命について更なる各種確認実験、検討が必要であり、これらを実施することが今後の課題となる。

(1997年8月18日受理)