

冬期の積雪を考慮した免震戸建住宅の地震応答解析

辻 拓哉*・永野 康行**

Earthquake response analysis on Base-Isolated Houses restrained by fallen snow

Takuya Tsuji and Yasuyuki Nagano

Base-isolated buildings are distinctive for their isolation from the ground, and because these buildings have a structural form that doesn't transmit earthquake movements to the building. However, the force of the earthquake will be largely horizontally transferred. The effect of snow build up on the horizontal displacement of base-isolated buildings during earthquakes has not yet been demonstrated. The purpose of this paper is to investigate and analyze this phenomenon by executing a seismic response simulation.

1. 序

免震建物は、地盤と建物を絶縁することにより、地震動を建物に入力しない画期的な構造形式として注目を浴びている。建物の固有周期を延ばすことにより、地震動の固有周期と共振させない。ところが、建物地震は大きく水平変形をすることになる。我が国の日本海側を中心に、いわゆる「多雪区域」では冬期の積雪が長期間にわたって観測される。この建物周囲の積雪が免震建物の水平変位を拘束し、免震効果が発揮されないことが危惧される。本論文の目的は、免震戸建住宅の免震可動部に積雪がある場合、免震機能が想定通りに作動するかどうか、地震応答解析を実施することにより、解析的に調査することである。

1975年に免震材料（積層ゴム）が開発され、1983年には免震建築物第一号である「八千代台免震住宅」が完成した。1995年の阪神大震災当時、日本には約50棟の免震建物が建っていた。免震被害の大きかった宝塚市のすぐ隣の三田市に2棟の免震建物が建っており、1棟は建設会社村松組の研究棟、もう1棟はビルWESTで、ともに大震災の半年～1年前に出来たばかりであった。地震後は2棟とも無傷であったため、免震建物は注目され、免震建物は普及していった。1985年から2005年までの20年間で、日本では約1200棟の免震建物が建設されている。免震建物が普及したので、免震戸建住宅も普及すると考えられたが、免震戸建住宅は戸建住宅の重量・行政手続き・伝統技術とのコスト問題等のため、あまり普及していない^[1]。

* 大末建設株式会社 ** 建設工学科建築学専攻

免震構造は耐震構造や制震構造と違い、建物内部にある家具などの転倒が発生しないので安全な上、安心が確保されていると思われる。筆者らの意見として免震構造は建物内でも安全・安心なので免震戸建住宅が普及してもらいたいという想いから本研究を実施した。

本論文では、免震戸建住宅の免震可動部に積雪がある場合の地震応答解析を実施し、免震効果が阻害されるかどうかを明らかにする。このような研究は筆者らの知る限りにおいて、未だ実施されていないと思われる。本研究成果により、多雪地域に免震住宅を普及させることができるかもしれないと考える。

2. 延べ床面積による免震材料の違い

2.1 戸建住宅で使われる免震材料

2006年9月4日現在ではA社が全体の免震戸建住宅の78.2%を建設されている。図1に住宅メーカーで免震戸建住宅の受注戸数実績をパーセントで示す^[2]。

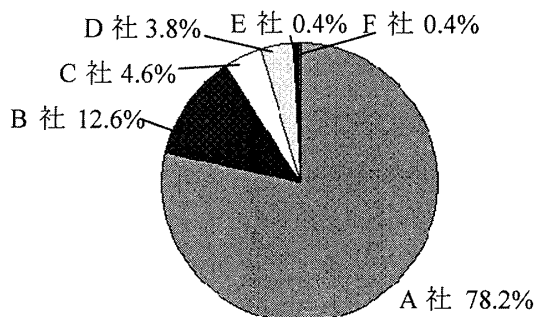


図1 免震戸建住宅の受注戸建実績 (2006年9月4日現在)

A社の戸建免震住宅の免震材料を調べた。図2はA社の建築技術で使用されている免震材料である。スライダーとはすべり支承のことである。A社では戸建住宅の揺れを小さくする支承材として滑り支承を使用している。地震後に住宅を元の位置の戻すための復元材として積層ゴムが使用されている^[3]。

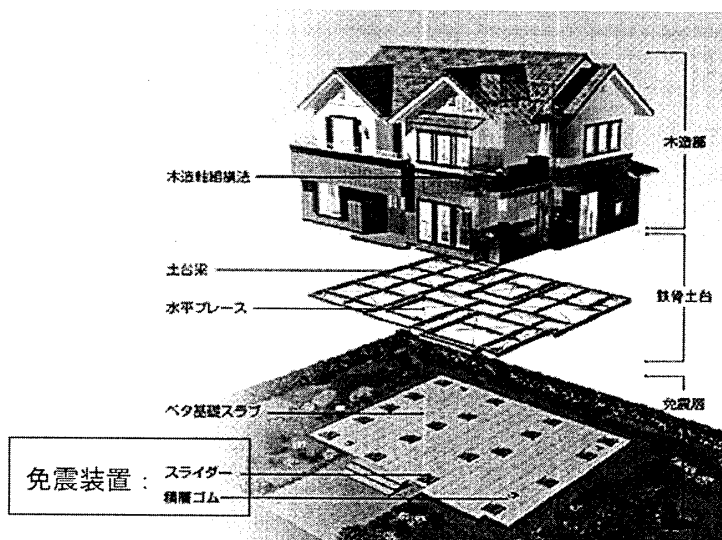


図2 A社の免震技術^[3]へ加筆

2.2 集合住宅など、規模・重量の大きい場所で使用されている免震材料と地震力

集合住宅など延べ床面積の大きい建築物には色々に組み合わせた免震材料が使用されている。日本建築センター性能評定シートより使用されている免震材料について調査した。延べ面積と免震材料を表1に示す。

これから、免震集合住宅の規模は関係なく色々な組み合わせで免震材料は使用されていることが分かる。

表1 免震集合住宅において採用されている免震材料

建物名称	延床面積 (m ²)	免震材料
A 棟	10,611.98	・天然ゴム系積層ゴム ・鉛ダンパー ・鋼棒ダンパー
B 棟	8,852.12	・高減衰積層ゴム ・滑り支承
C 棟	13,780.52	・天然ゴム系積層ゴム ・鉛プラグ入り積層ゴム ・滑り支承
D 棟	5,147.24	・鉛プラグ入り積層ゴム ・天然ゴム系積層ゴム
E 棟	21,102.81	・鉛プラグ入り積層ゴム ・天然ゴム系積層ゴム ・鋼棒ダンパー

免震戸建住宅と免震集合住宅の比較では、日本建築センター性能評定シートより平面形状が長方形の集合住宅を5つ選択し、長辺1mあたりの地震力を求めた。5つの中で一番地震力が大きかった新築工事物件を選択し、その建築物の概要を表2に示す^[4]。

表2 建築物の概要(B棟)

免震材料	高減衰積層ゴム・滑り支承
用途	共同住宅(賃貸マンション)
敷地面積	3,227.00m ²
建築面積	1,668.54m ²
延床面積	8,852.12m ²
階数	地上12階
1m ² あたりの仮定重量	14.7kN/m ² (1.5t/m ²)
建物長辺の長さ:L	51.6m

地震用建物重量 W は

$$W=13 \times 1668.54 \times 14.7=318858\text{kN} \text{ となる。} \quad \dots (1)$$

地震時せん断力 Q_B は、最下階のせん断力係数 0.12(評定シート)を使用する。

$$Q_B=318858 \times 0.12=38262.9\text{kN} \text{ と略算する。} \quad \dots (2)$$

建物長辺の長さあたりの地震力は

$$Q_B/L=38262.9/51.6=741.5\text{kN/m} \text{ となる。} \quad \dots (3)$$

同様に平面形状が正方形の免震戸建住宅（建築面積 100m^2 ）で地震力を求めると、 16.17kN/m となる。

2.3 結論

免震戸建住宅の免震材料はスライダーと積層ゴムの組み合わせが多い。

免震戸建住宅の地震力は免震集合住宅の約 $1/50$ だった。この数値を見ても、集合住宅は重量が重く、規模が大きいため免震可動部の積雪を押しのけるだろう。しかし、免震戸建住宅(建築面積 100m^2)は 16.17kN/m と力が弱いため免震可動部の積雪が妨げとなり、免震効果が十分に発揮されない恐れがありうるということがわかった。

3. 簡略化モデルを使用した地震応答解析

3.1 序

地震応答解析では El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS の 3 つの波を使用する。この 3 波を使用して免震戸建住宅の解析を行う。住宅の免震可動部に積雪がある場合免震が正常に作動するかどうかを調べる。解析のモデルの免震戸建住宅の平面形状は正方形とし、住宅「小」の建築面積は 50m^2 、住宅「中」の建築面積は 100m^2 、住宅「大」の建築面積は 150m^2 とした。

3.2 住宅のモデル化

地震応答解析用モデルは質点系とする。図 3 は住宅をモデル化したものである。 m_0 は免震層・1 階の質量、 m_1 は 2 階の質量、 m_2 は屋根の質量となっている。 K_0 は免震層の初期剛性、 K_1 は 1 階部分の初期剛性、 K_2 は 2 階部分の初期剛性、 K_3 は雪バネの初期剛性である。

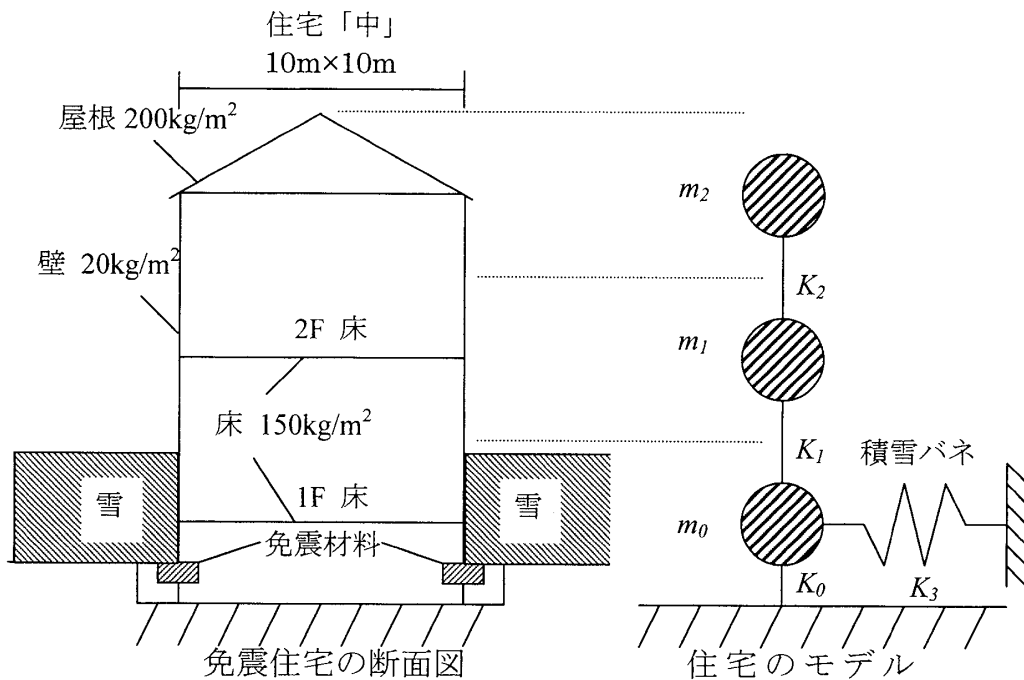


図3 住宅のモデル化

3.3 解析緒元

免震層・1階の質量 m_0 を求める。

壁の質量 m は

$$M = 7.07 \times 4 \times 1.5 \times 20 \times 10^{-3} = 0.8484 / 980 = 0.000866 \text{ t} \cdot \text{s}^2 / \text{cm} \quad \dots (4)$$

床の質量 m は

$$M = 7.072 \times 150 \times 10^{-3} / 980 = 0.00765 \text{ t} \cdot \text{s}^2 / \text{cm} \quad \dots (5)$$

壁と床の質量の合計で

$$m_0 = 0.008516 \text{ t} \cdot \text{s}^2 / \text{cm} \text{ となる。}$$

2階の住宅質量 m_1 、屋根部の住宅質量 m_2 も式1で壁の質量を求め、式2で床の質量を求める。それを合計すると質量を求めることができる。表3、表4、表5には住宅の大きさの質量、階高、第1折曲点強度、初期剛性、第2分枝剛性比を示す。

表3 住宅小の設定数値

		免震層	1階	2階
質量(t sec ² /cm)		0.008516	0.00938	0.011
階高(m)		3.0	3.0	3.0
第1折曲点強度(kN)		104.86	80.16	50.76
	積雪			
初期剛性 (kN)	なし	2.617	26.17	16.56
	少	9.545		
	中	23.4		
	多	37.26		
第2分枝剛性比	なし	0.01	0.3	0.3
	少	0.72		
	中	0.89		
	多	0.93		

表4 住宅中の設定数値

		免震層	1階	2階
質量(t sec ² /cm)		0.016525	0.01775	0.021655
階高(m)		3.0	3.0	3.0
第1折曲点強度(kN)		104.86	154.74	99.18
	積雪			
初期剛性 (kN)	なし	4.9	51.49	33.32
	少	14.7		
	中	34.3		
	多	53.9		
第2分枝剛性比	なし	0.01	0.3	0.3
	少	0.67		
	中	0.86		
	多	0.909		

表 5 住宅大の設定数値

		免震層	1階	2階
質量(t sec ² /cm)		0.0245	0.026	0.0321
階高(m)		3.0	3.0	3.0
第1折曲点強度(kN)		104.86	229.3	149.75
	積雪			
初期剛性(kN)	なし	7.497	74.97	48.9
	少	19.77		
	中	44.3		
	多	68.85		
第2分枝剛性比	なし	0.01	0.3	0.3
	少	0.66		
	中	0.85		
	多	0.91		

3.4 積雪バネ

免震層の初期剛性に雪のバネを付けるものとして考えた。その結果を表6に示す。

表 6 雪バネと初期剛性

	積雪	免震層の初期剛性	雪バネ	使用する初期剛性
住宅小	少	2.617kN/cm	6.93kN/cm	9.545kN/cm
	中		20.79kN/cm	23.4kN/cm
	多		34.64kN/cm	37.26kN/cm
住宅中	少	4.900kN/cm	9.8kN/cm	14.7kN/cm
	中		29.4kN/cm	34.3kN/cm
	多		49kN/cm	53.9kN/cm
住宅大	少	7.497kN/cm	12.27kN/cm	19.77kN/cm
	中		36.81kN/cm	44.3kN/cm
	多		61.35kN/cm	68.85kN/cm

3.5 入力地震動

地震応答解析用の入力地震動は最大速度を 50cm/s で基準化した El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS とした。El Centro 1940 NS の最大加速度は 511cm/s², Taft 1952 EW の最大加速度は 497cm/s², Hachinohe 1968 NS の最大加速度は 330cm/s² である。図4には入力地震動の変位応答スペクトルを示す。

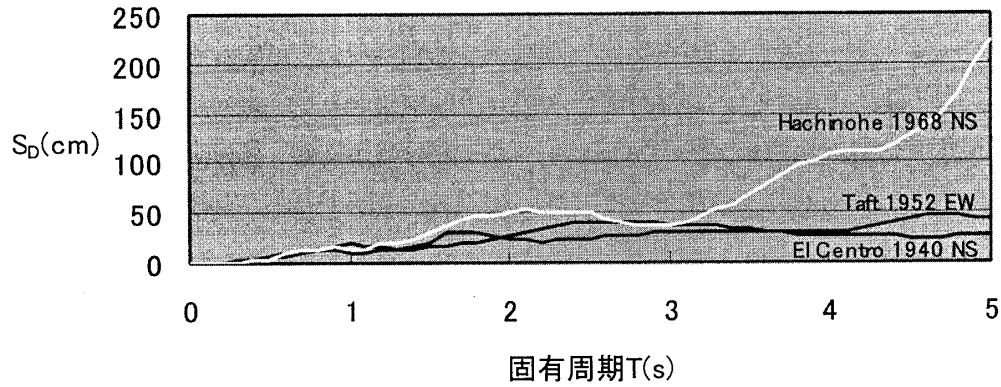


図4 変位応答スペクトル($h=0.05$)

3.6 解析結果

免震可動部の積雪が多くなるにつれて住宅の変位は小さくなっていった。表7と図5には免震層の最大応答変位、表8と図6には免震層のせん断力係数を示す。

表7 免震層の最大応答変位

入力地震動	なし	少	中	多
El Centro 1940 NS	30.8cm	12.0cm	6.8cm	4.2cm
Taft 1952 EW	21.5cm	14.8cm	5.8cm	4.3cm
Hachinohe 1968 NS	30.8cm	11.4cm	7.0cm	4.4cm

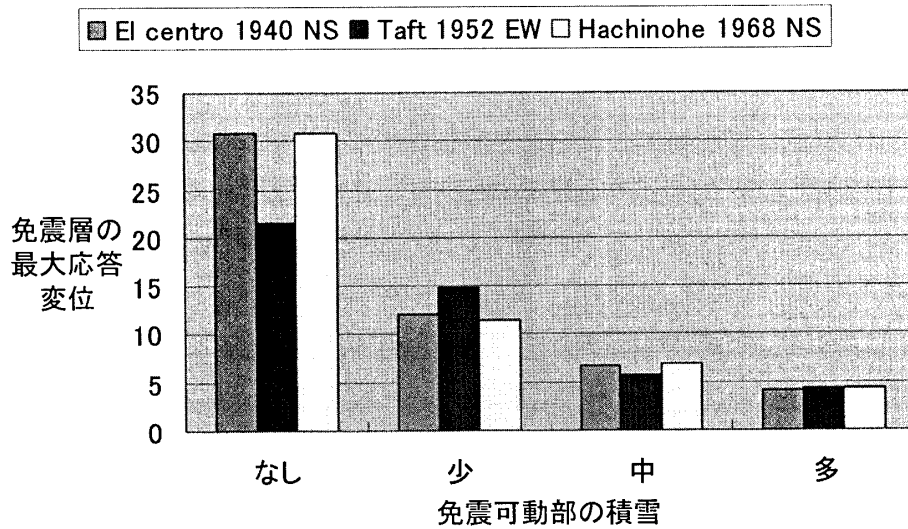


図5 免震層の最大応答変位

表 8 免震層のせん断力係数

入力地震動	なし	少	中	多
El Centro 1940 NS	0.05	0.23	0.47	0.49
Taft 1952 EW	0.05	0.35	0.37	0.43
Hachinohe 1968 NS	0.05	0.17	0.42	0.51

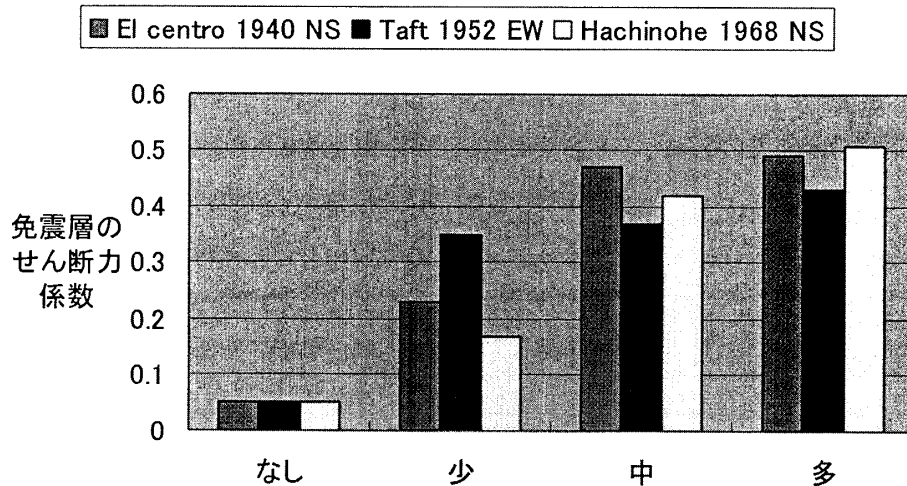


図 6 免震層のせん断力係数

3.7 結論

変位では免震可動部の積雪が免震効果の妨げとなり、免震として十分な効力を発揮できない。せん断力係数は 0.2 以上（木造の場合は 0.3 以上）と決められているが、免震可動部の積雪が「中」のときと「多」のときは 0.4~0.5 となっている。大地震時に免震効果が発揮されないのであれば、人命にもかかわる問題である。

4. 結論

本解析の範囲内では、免震可動部に積雪があると地震時に免震効果が十分には発揮されない場合がある。免震建物として免震効果を十分に発揮させるためには、免震可動部の積雪を融雪するなどの行為が必要である。

謝辞 本研究は一部、平成 19 年度 福井工業大学 学内特別研究費（個人研究）研究費 A により実施した。

参考文献

- [1] 深堀美英：免震住宅のすすめ 大地震から“家”と“家庭”を守るために pp.39-45 講談社 2005年6月20日
- [2] (株)住宅産業研究所発行「住宅産業エクスプレス」、2006年9月4日発行
- [3] 一条工務店ホームページ http://www.ichijo.co.jp/technology/menshin/ichijo_mensin.shtml
- [4] 日本建築センター性能評定シート -免震構造- BCI 基評-1B0006 pp.89-90

(平成 20 年 3 月 31 日受理)