

# 巨大地震に対する建物周囲の積雪を考慮した免震構造物の地震応答解析

永野 康行\* 岡崎 汐里\*\*

## Earthquake Response Analysis of Isolated Buildings Considering around Snow Cover to Huge Earthquakes

Yasuyuki Nagano and Shiori Okazaki

At snowy areas in winter, there is a case that isolated buildings with around the snow cannot move horizontally. The purpose of this paper is to analyze the performance of isolated buildings considering snow cover and to consider the influences of snow cover at snowy areas of isolated buildings when huge earthquakes happen. The maximum response displacement in a seismic layer was stored in a general clearance or less within the range of this analysis considering the rigidity by snow cover around seismic building surroundings of winter at a huge earthquake.

Keywords: Seismic Isolation, Snow Cover, Earthquake Response Analysis, Huge Earthquakes

### 1. 序

兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）は日本初めての大都市直下型の大地震で、この後に免震建築は特に注目されるようになった。2011年3月11日午後2時46分頃に、マグニチュード9.0の未曾有の超巨大地震「東北地方太平洋沖地震」が発生し、この地震により宮城県栗原市で震度7、宮城県、福島県、茨城県、栃木県で震度6強など広い範囲で強い揺れを観測した。また、太平洋沿岸を中心に高い津波を観測し、特に東北地方から関東地方の太平洋沿岸では大きな被害があった。気象庁はこの地震を「平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震」と命名した<sup>(1)</sup>。

免震建築には、建築物の基礎に免震層を設ける基礎免震、中間階に免震層を設ける中間層免震、既存の建築物に用いられる免震レトロフィットなどがある。現在の免震建築の多くは基礎免震が採用されている。免震層には、積層ゴムやダンパーなどが設置されており、点検や水平移動のためにある程度の高さが必要である。この他にも地震などで建物が動いた時、擁壁へ衝突しないように一定の間隔でクリアランスが設けられている。多雪区域では冬期には、積雪により免震建物の水平変位に影響が出てしまうおそれがあるため、クリアランスの性能を発揮出来ない可能性が

---

\* デザイン学科      \*\* 大学院生建築学専攻

出てくる。本研究の目的は、積雪の影響を考慮した地震応答解析を実施し、巨大地震が起こったときに多雪区域では免震建物周辺の積雪が免震建物にどのような影響を与えるのかを解析的に考察する事である。

永野<sup>(2)</sup>は、積雪部の復元力特性をバイ・リニア型で設定し、まずその影響を調べている。次に免震建物の応答特性や擁壁・衝突について検証している研究は既にいくつか存在しているが、積雪が巨大地震時に緩衝材として役割を果たすかどうかを剛性から調査している。既往研究<sup>(2)</sup>では、これらの2つを解析的に明らかにしている。

## 2. 免震建物周囲の積雪の影響を考慮した地震応答解析

### 2.1 序

既往の研究<sup>(2)</sup>と同様に、より現実的に積雪の復元力特性を設定し、積雪を考慮した高層免震建築物の地震応答解析を行う。解析した復元力特性は、弾性型とバイ・リニア型である。地震応答解析プログラムと入力地震動 El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS のデータを用いる。

### 2.2 復元力特性

復元力特性とは、骨組や部材の荷重履歴と変形履歴の関係、または材料の応力履歴とひずみ履歴の関係をいう。骨格曲線（スケルトンカーブ）と履歴特性（ヒステリシスルール）の組合せで表現され、構造解析においては、これらをモデル化して用いる。免震構造においては、免震層の復元力特性が全体の応答を支配するため、免震部材のモデル化には、エネルギー吸収を過大評価しないこと、過度な単純化により実際の復元力特性との乖離が生じないことなど、適切な配慮が必要である<sup>(3)</sup>。本解析で採用した免震層の復元力特性は、バイ・リニア型である。

図1にバイ・リニア型の復元力特性を示す。

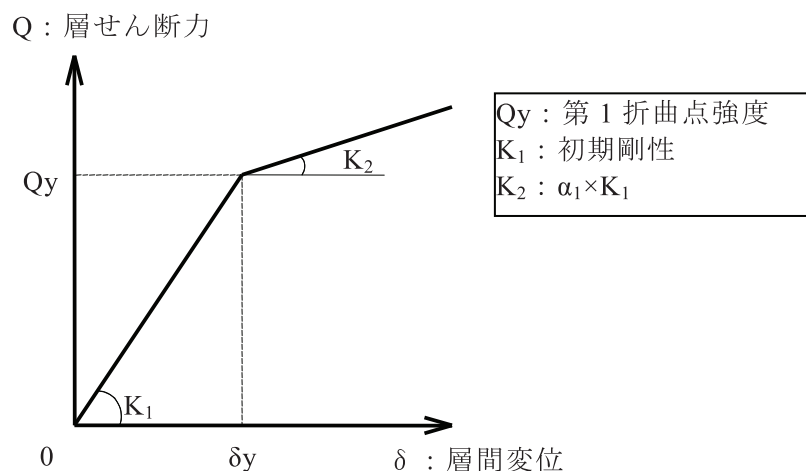


図1 バイ・リニア型モデル

第 1 折曲点強度の値は、既往の研究<sup>(2)</sup>からせん断力の最大値(モデル A)を基準として 1/2(モデル B), 1/3(モデル C), 1/4(モデル D), 2/3(モデル E), 3/4(モデル F)で値を設定して、解析を実施した。第 1 折曲点強度を以下の表 1 に示す。

表 1 第 1 折曲点強度の値

モデル名	A	B	C	D	E	F
第 1 折曲点 強度 (kN)	5,000	2,500	1,667	1,250	3,333	3,750

第 2 分枝剛性比の値を以下の式に示す。

初期剛性：236.68kN/cm

バネ定数：2.52kN/cm/cm

第 2 分枝剛性比

福井市の設計用積雪深：2m

$2.52\text{kN/cm} \times 200\text{cm} = 504\text{kN/cm}$

第 2 分枝剛性比  $= 236.68\text{kN/cm} \div (236.68\text{kN/cm} + 504\text{kN/cm}) = 0.32$

## 2.3 構造物モデル

図 2 に示すように多質点系振動モデルに置換する。質点数は免震層も入れて 17 質点である。構造物モデルには X 方向と Y 方向とがあるが、本研究では X 方向を解析する。図 2 に地震応答解析モデルを、表 2 に応答解析モデル諸元を示す。

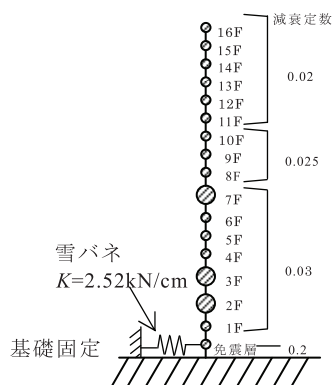


図 2 地震応答解析モデル

表 2 応答解析モデル諸元

階	質量 ( $\text{t} \cdot \text{s}^2/\text{cm}$ )	初期剛性(kN/cm)
16F	0.223	1,909
15F	0.477	3,828
14F	0.326	4,185
13F	0.327	4,347
12F	0.327	4,910
11F	0.329	5,357
10F	0.363	7,059
9F	0.398	7,507
8F	0.398	9,830
7F	0.819	13,066
6F	0.677	13,725
5F	0.679	14,536
4F	0.698	16,858
3F	1.116	21,970
2F	0.974	21,520
1F	0.630	23,716
免震層	0.630	236.68 (積雪なし) 740.68* (積雪あり)

※免震層の初期剛性に福井市の設計用積雪深 2m より、上記で設定したバネ定数を 200 倍したものを加えることとする。

## 2.4 入力地震動

入力地震動として、巨大地震を模擬するものとして、最大速度(以下  $V_{max}$ )を 100cm/s と 150cm/s で基準化した El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS を採用した。これら El Centro 1940 NS, Taft 1952 EW, Hachinohe 1968 NS を採用した理由は、入力地震動として採用された実施例が多くあるためである。 $V_{max}=100\text{cm/s}$  での El Centro 1940 NS の最大加速度は  $1022\text{cm/s}^2$ , Taft 1952 EW の最大加速度は  $994\text{ cm/s}^2$ , Hachinohe 1968 NS の最大加速度は  $660\text{ cm/s}^2$ である。 $V_{max}=150\text{cm/s}$  での El Centro 1940 NS の最大加速度は  $1511\text{cm/s}^2$ , Taft 1952 EW の最大加速度は  $1491\text{ cm/s}^2$ , Hachinohe 1968 NS の最大加速度は  $990\text{ cm/s}^2$ である。

各入力地震動の加速度波形 ( $V_{max}=100\text{cm/s}$  の場合) を図 3 に示す。

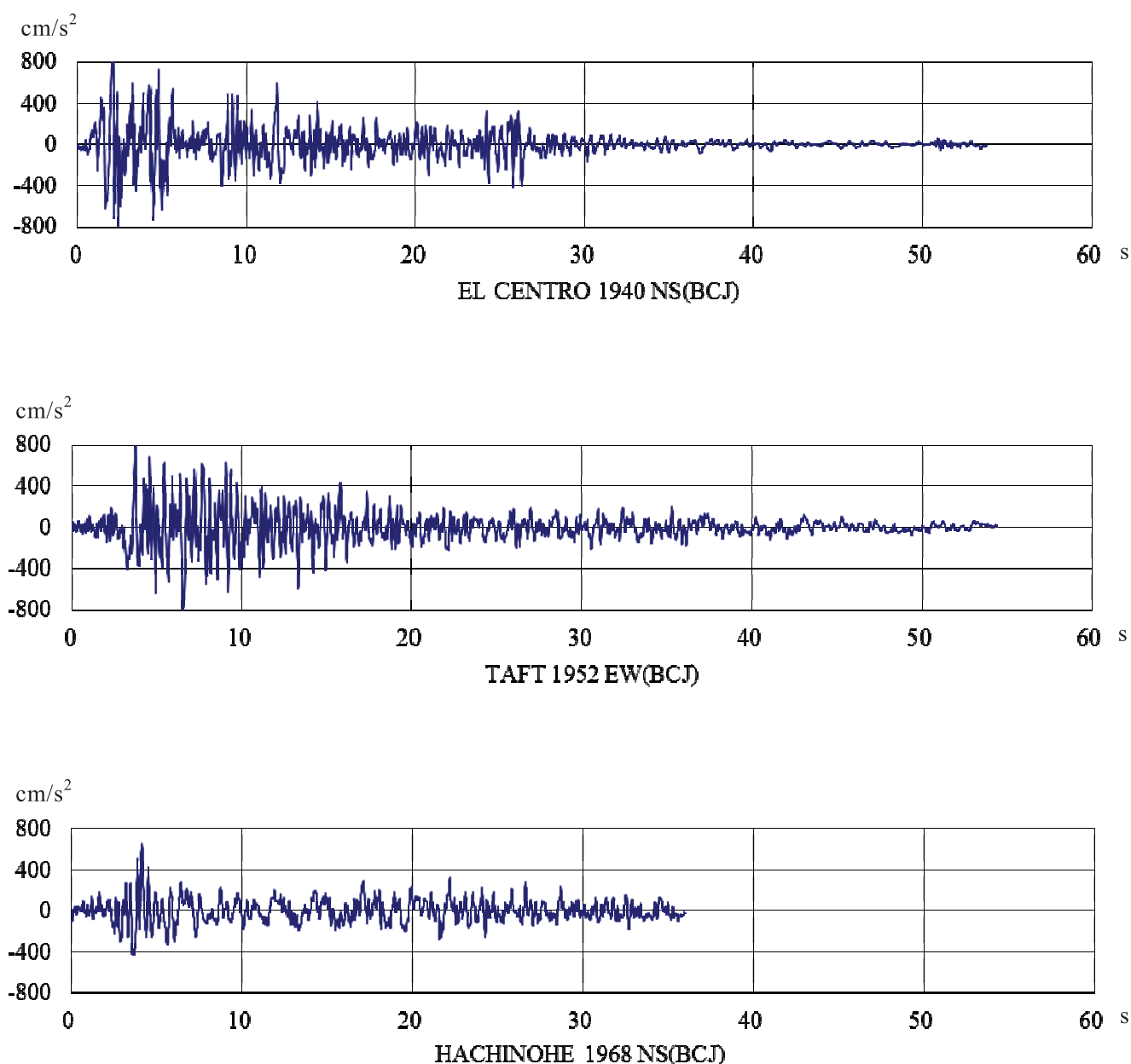


図 3 加速度波形 ( $V_{max}=100\text{cm/s}$  で基準化)

## 2.5 地震応答解析結果

図 4 に  $V_{max}=100\text{cm/s}$  時のせん断力応答結果を示す。

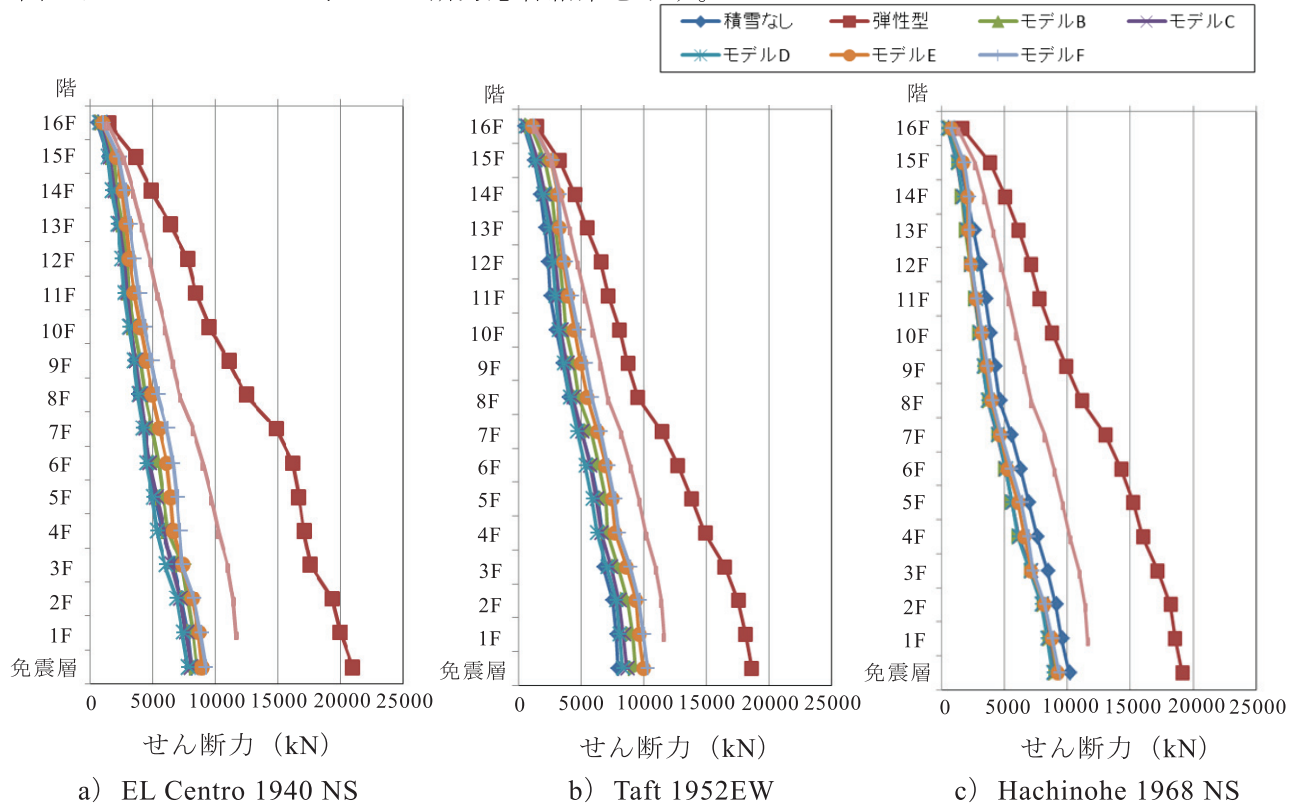


図 4 せん断力応答結果 ( $V_{max}=100\text{cm/s}$ )

図 5 に  $V_{max}=100\text{cm/s}$  時の変位応答結果を示す。

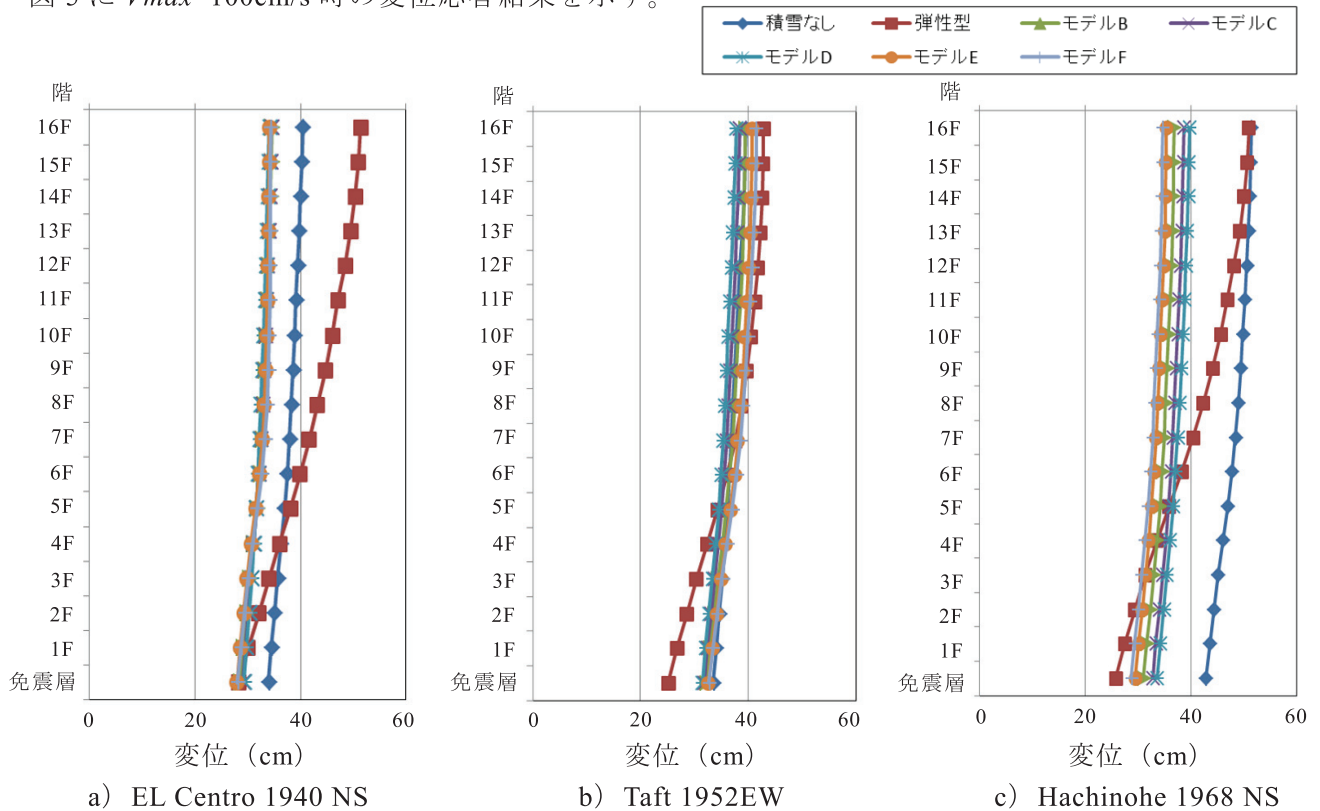


図 5 変位応答結果 ( $V_{max}=100\text{cm/s}$ )

図 6 に  $V_{max}=150\text{cm/s}$  時のせん断力応答結果を示す。

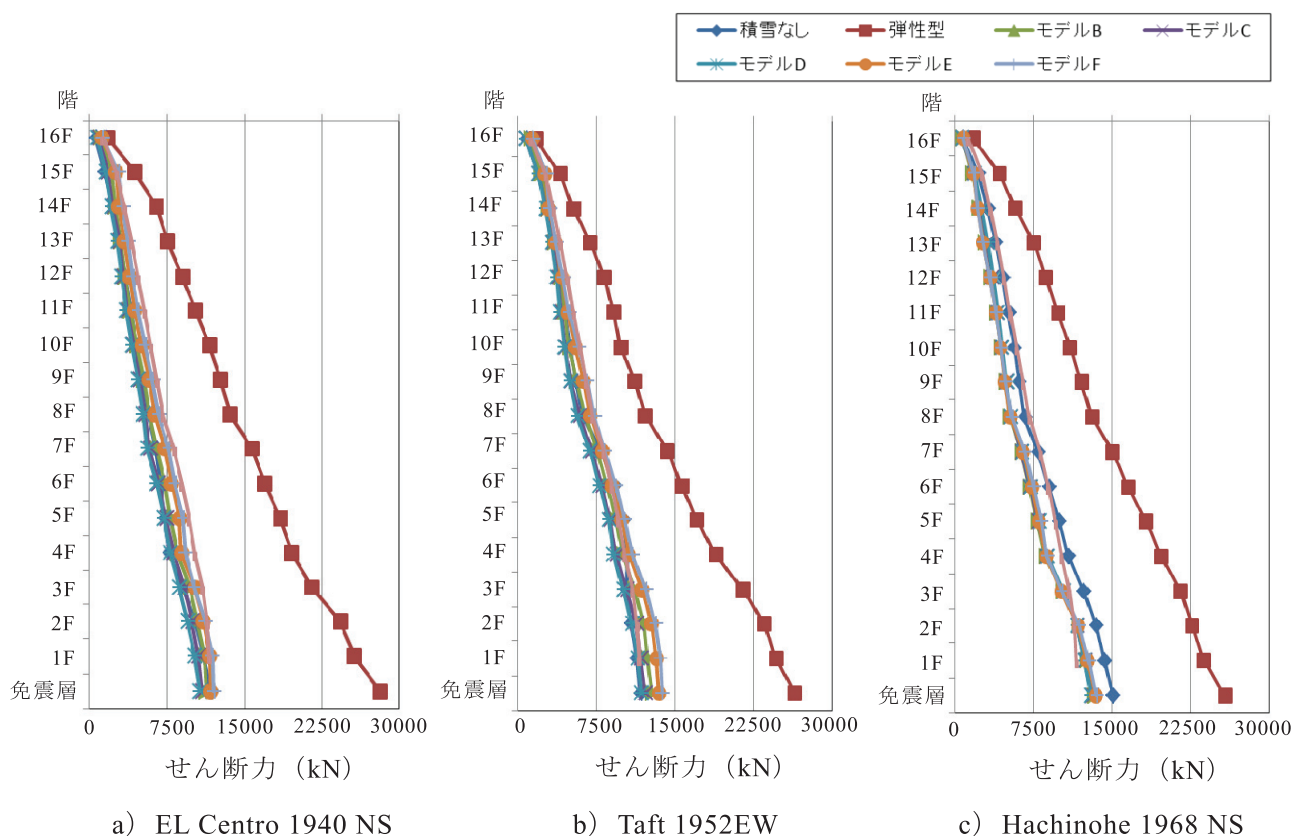


図 6 せん断力応答結果 ( $V_{max}=150\text{cm/s}$ )

図 7 に  $150\text{cm/s}$  時の変位応答結果を示す。

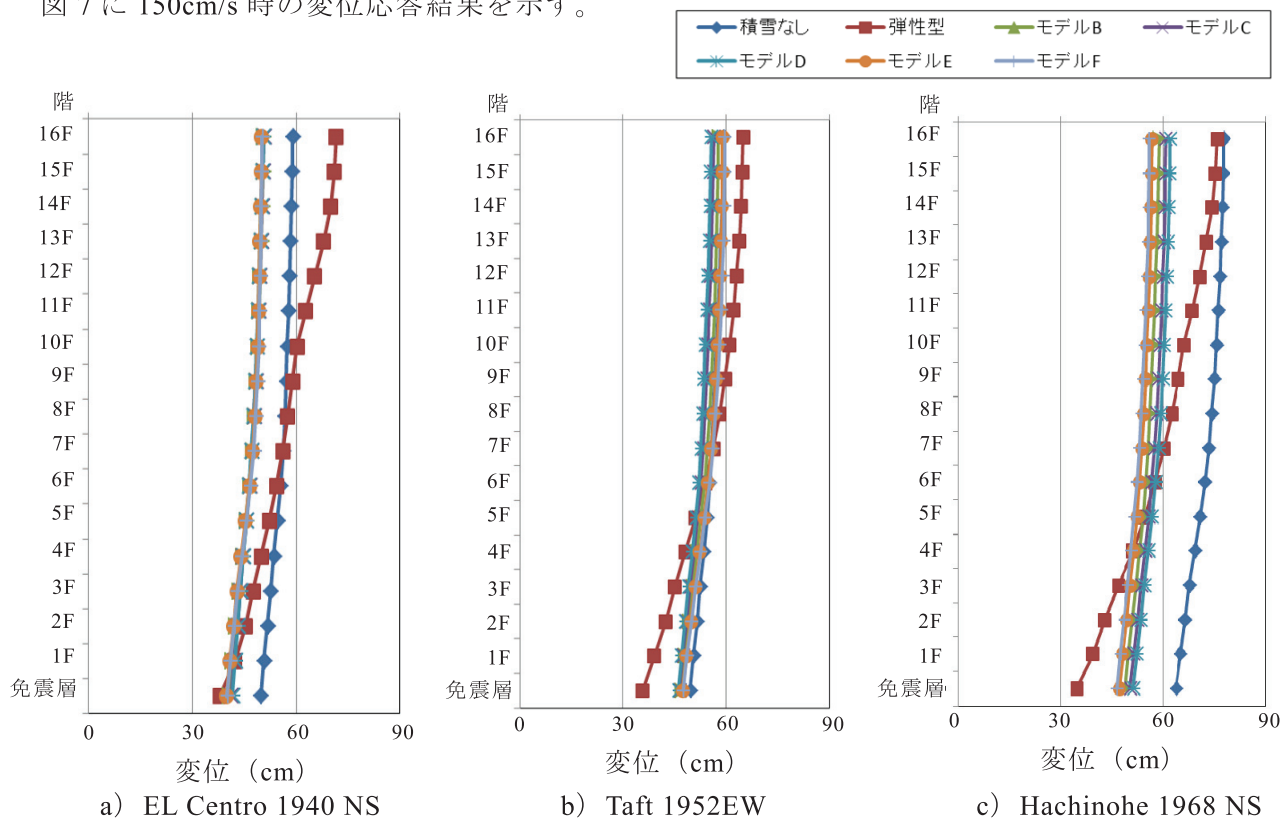


図 7 変位応答結果 ( $V_{max}=150\text{cm/s}$ )

$V_{max}=100\text{cm/s}$  の場合における，図 8～図 10 に免震層の最大せん断力応答結果，図 11～図 13 に免震層の最大変位応答結果を示す。

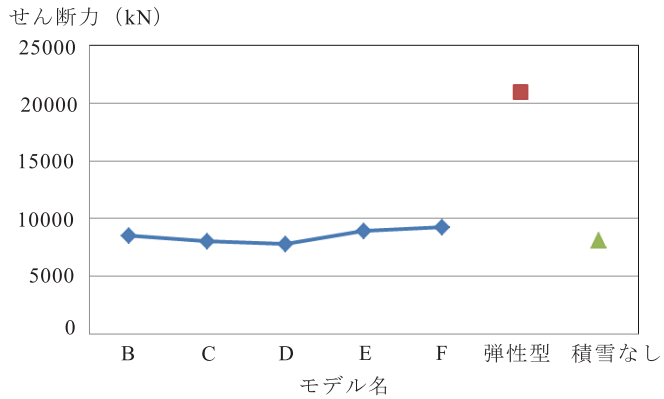


図 8 免震層・せん断力応答結果  
(EL Centro 1940 NS)

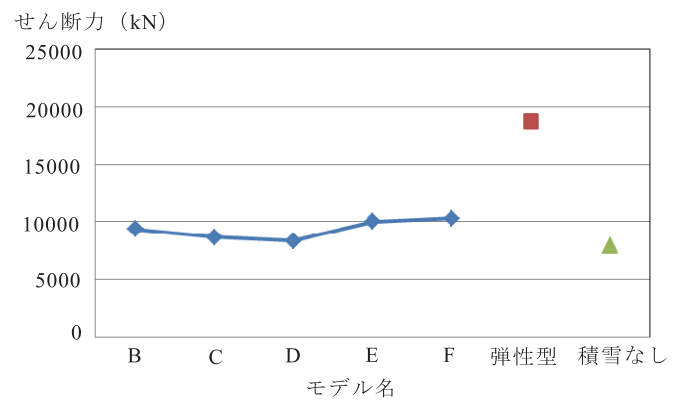


図 9 免震層・せん断力応答結果  
(Taft 1952 EW)

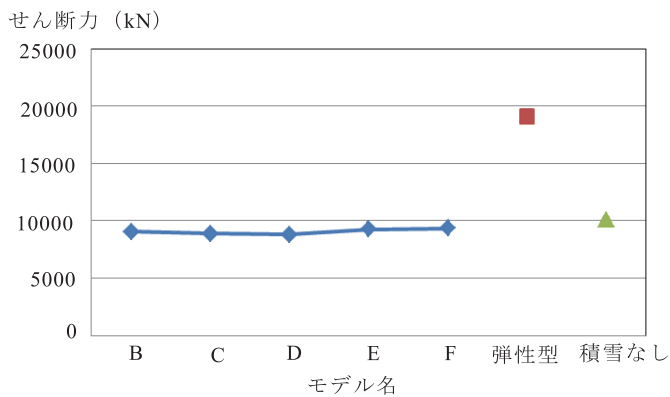


図 10 免震層・せん断力応答結果  
(Hachinohe 1968 NS)

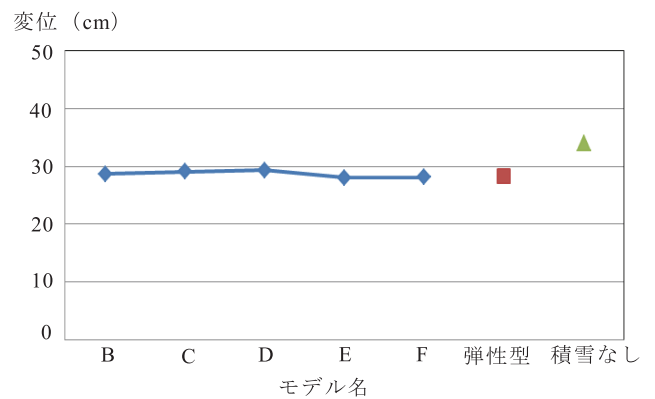


図 11 免震層・変位応答結果  
(EL Centro 1940 NS)

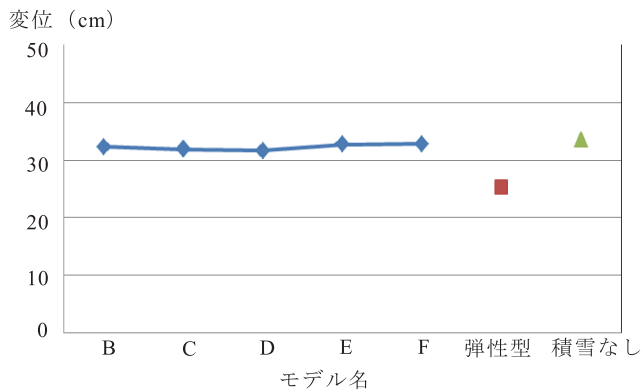


図 12 免震層・変位応答結果  
(Taft 1952 EW)

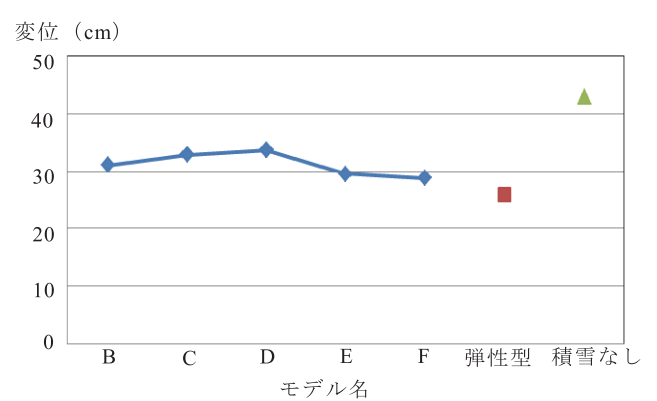


図 13 免震層・変位応答結果  
(Hachinohe 1968 NS)



## 2.6 結論

冬期の免震建物周囲の積雪による剛性を考慮すると、巨大地震時 ( $V_{max}=100\text{cm}$ ,  $150\text{cm}$ ) においても免震層の最大応答変位は一般的なクリアランス ( $60\text{cm}$ ) 以内に納まる傾向が見受けられる。このことは、建物周囲の積雪は擁壁への衝突を防ぐ効果として見ることができる。一方、冬期の免震建物周囲の積雪による剛性は、免震効果を阻害する方向に働くため、建物の応答せん断力は増大する。入力地震動のレベルが  $V_{max}=100\text{cm}$  であれば、耐震建物として建築基準法で定められる外力で設計しておけば、本解析の範囲内では問題がないことがわかった。しかし、 $V_{max}=150\text{cm}$  を想定外力のレベルとするならば、応答せん断力に対応する応力に対して柱・梁といった構造主部材を設計しておけばよい。

## 3. 結論

本研究は、巨大地震時での積雪時における免震建築物の地震応答解析を行い、地震時に積雪が免震建物へどのような影響を与えているのかを解析的に調査し、特に最大応答せん断力と最大変位についてまとめた。本論文では、巨大地震として最大速度 ( $V_{max}$ ) を  $100\text{cm}$  と  $150\text{cm}$  に基準化した二つのレベルを想定した。

多雪区域は積雪により水平方向に影響が出る場合があるため、積雪の影響を考慮して地震応答解析を実施した。本論文では、免震層の復元力特性が弾性型で積雪を考慮した場合とバイ・リニア型で積雪を考慮した場合、積雪を考慮しない場合の3ケースにおいて地震応答解析を実施し、最大応答変位、最大応答せん断力の結果をまとめた。本解析の範囲内ではあるが、冬期の免震建物周囲の積雪による剛性を考慮すると、巨大地震時においても免震層の最大応答変位は一般的なクリアランス以内に納まった。このことは、建物周囲の積雪は擁壁への衝突を防ぐ効果として見るすることができる。一方、冬期の免震建物周囲の積雪による剛性は、免震効果を阻害する方向に働くため、建物の応答せん断力は増大する。入力地震動のレベルが  $V_{max}=100\text{cm}$  であれば、耐震建物として建築基準法で定められる外力で設計しておけばよいが、 $V_{max}=150\text{cm}$  の巨大地震を受ける場合は、応答せん断力に対応する応力に対して構造主部材を設計しておく必要があるといえる。

## 謝辞

本研究は、平成22年度 福井工業大学 学内特別研究費（個人研究）により実施した。また積雪の剛性評価に関しては、福井工業大学デザイン学科主任教授 前田博司 博士より助言を頂いた。ここに記し、謝意を表す。

## 参考文献・URL

- (1) 気象庁：平成23年（2011年）東北地方太平洋沖地震関連情報，<http://www.jma.go.jp/jma/menu/jishin-portal.html>
- (2) 永野康行：免震構造物の積雪時における地震時挙動および巨大地震への対応，福井工業大学研究紀要第40号，pp.239-246，2010.7
- (3) 社団法人 日本免震構造協会：考え方 進め方 免震建築，株式会社オーム社，p.179，2005.5

（平成23年3月31日受理）