

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

永野 康行*

Snow Season Earthquake Behavior in Seismic Isolation and Correspondence to the Huge Earthquake

Yasuyuki Nagano

Recently, the happening large earthquake occurs extremely unusually. In the present study, the earthquake response analysis of a seismic building at the snowfall due to the large earthquake is first done, and what influence the snowfall gives to a seismic building at the earthquake is considered. Next, it is examined whether the snowfall plays the role as the cushioning material so that the building should not collide with the retaining wall around a seismic layer when the massive earthquake to the horizontal migration that exceeds the clearance that has been installed in surroundings in the base-isolated structure happens.

Keywords: Seismic Isolation, Snow Cover, Earthquake Response Analysis, Buffer Material

1. 序

日本は、世界有数の地震国である⁽¹⁾。最近では極めてまれに起こる大地震が発生している。兵庫県南部地震（阪神・淡路大震災）は日本初めの大都市直下型の大地震で、この後に免震建築は注目されるようになった。

耐震・免震・制震の違いは、簡潔にまとめると地震に対しては、耐震構造は地震力を受けても十分に耐え、壊れず、粘りを持つ。免震構造は地震力をなるべく受けず、建築部に入る地震力を小さくする。制振構造は建築構造物内に振動を吸収する装置を設け、揺れを制御する。

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。多雪区域では冬の時期、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

出てくる。そこに注目し、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緩衝材として擁壁への衝撃を緩和できるのかどうか考察する。

春日ら⁽²⁾は、復元力特性が弾性型での解析を実施しているが、本研究では積雪部の復元力特性をバイ・リニア型で設定し、その影響を調べる。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するが、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べる。本研究の目的は、これらの2つを明らかにすることである。

2. 積雪の影響を考慮した地震応答解析

2.1 序

既往の研究⁽²⁾を踏まえ、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⁽³⁾。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。

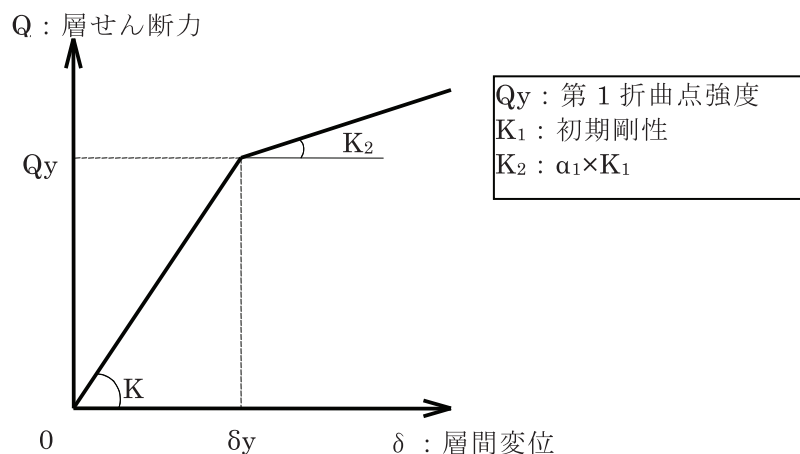


図1 バイ・リニア型モデル

第 1 折曲点強度の値は、既往の研究⁽²⁾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。

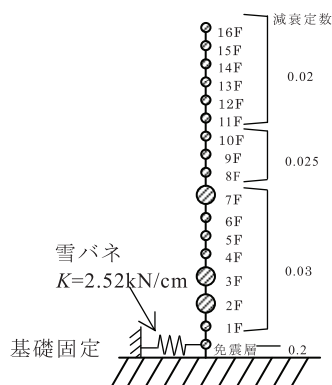


図 2 地震応答解析モデル

表 2 応答解析モデル諸元

階	質量 (t・s ² /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、最大速度を 50cm/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。El Centro 1940 NS の最大加速度は 511cm/s^2 , Taft 1952 EW の最大加速度は 497cm/s^2 , Hachinohe 1968 NS の最大加速度は 330cm/s^2 である。

2.5 地震応答解析結果

図 3 に最も大きな変化が見られた Hachinohe 1968 NS での各第 1 折曲点強度の免震層を取り出した変位応答結果を示す。図 4 にもっとも大きな変化が見られた El Centro 1940 NS での各第 1 折曲点強度の免震層を取り出したせん断力応答結果を示す。

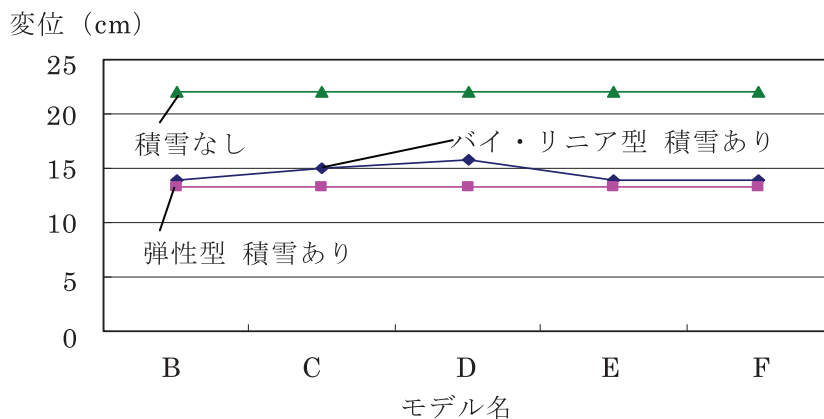


図 3 免震層の変位応答結果（入力地震動：Hachinohe 1968）

変位応答解析での結果から、Hachinohe 1968 NS では、バイ・リニア型と弾性型での積雪を考慮した場合にはあまり差が無いが、積雪を考慮しない場合と比較すると積雪を考慮しない場合の方が約 1.6 倍大きい。

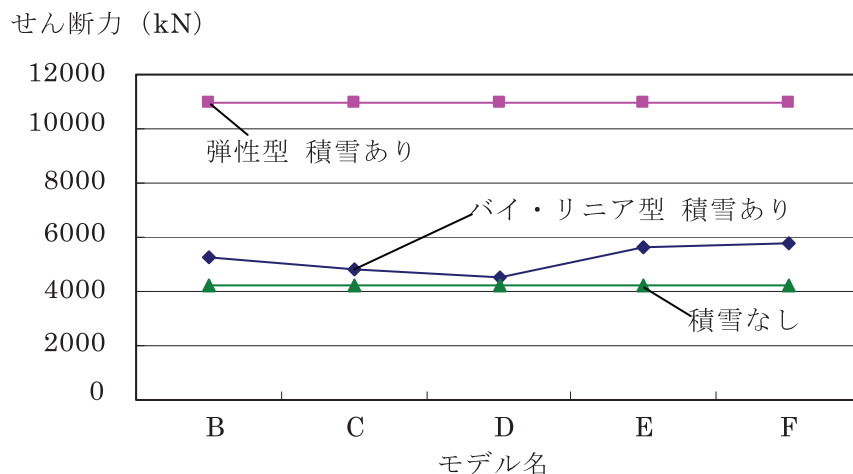


図 4 免震層のせん断力応答結果（入力地震動：El Centro 1940 NS）

せん断力応答解析での結果から、El Centro 1940 NS では、第 1 折曲点強度によりそれぞれの差が違うが、一番差が出た 1250kN での比較をみると、バイ・リニア型で積雪を考慮した場合と積雪を考慮しない場合ではあまり差はでないが、弾性型で積雪を考慮した場合と比較すると弾性型で積雪を考慮した場合の方が約 2.75 倍大きい。

2.6 結論

多雪区域では積雪により免震建物の水平方向に影響が出るおそれがあるため、本章では、弾性型とバイ・リニア型での積雪を考慮した場合、積雪の影響を考慮しない場合の条件で解析を実施し、結果を比較した。

免震層での変位応答解析結果では、弾性型で積雪を考慮する場合とバイ・リニア型で積雪を考慮する場合に対し、積雪を考慮しない場合の方が一番大きな値では約 1.6 倍なった。免震層でのせん断力応答解析結果では、弾性型で積雪を考慮する場合と積雪を考慮しない場合に対し、弾性型で積雪を考慮する場合の方が一番大きな値では約 2.75 倍になった。

本章の解析において設定した設計用積雪深 2m では、免震建物周辺の積雪を考慮する必要があると考えられる。

3. 積雪が緩衝材として役割を果たすかどうかの考察

3.1 序

本章では、免震層に設けられているクリアランスを超える巨大地震が起こった場合に免震建物が擁壁へ衝突しないよう積雪が緩衝材として役割を果たすのかどうか考察する。緩衝材とは、免震層の擁壁側面に設置してあり、地震力を吸収し、建物に伝えないようにする素材である。

3.2 積雪について

積雪は、地面に積もった直後の雪は柔らかくふわふわしているが、しだいに沈降して硬くなり、積雪の深さが 1m 以上にもなると、底のほうの雪は人が歩いてもぬからない程度に硬くなる⁽⁴⁾。積雪は粉体、塑性体、粘性体、弾性体のすべての性質をもっている。この多様な性質の生まれる理由の一つは温度にある。積雪の置かれている環境が氷の融点にあまりにも近いこと。したがって降り積もった雪は一刻の休みもなく「粉」の状態から粒子どうしが付着を起こし、変形、成長、消滅を繰り返しているのである。これらを積雪の変質または変態と呼ぶ。二つ目は積雪の幾何学的形状にある。積雪は 50% から 90% もの空間を保って雪粒が 3 次元網目構造を形成しているため、力学的にも熱力学的にも実に不安定な状態にある⁽⁵⁾。

3.3 積雪の緩衝材としての役割

本節では、免震層のクリアランスを超えるような地震が起った場合、積雪が緩衝材として役割を果たすのかどうか、剛性から考察する。荷重－変位関係図より剛性を設定する。

・積雪の剛性

本節で考える積雪は既往の研究⁽²⁾で実験しているものを使用する。図5に荷重－変位関係図を示す。

剛性：0.000052kN/mm～0.000097kN/mm

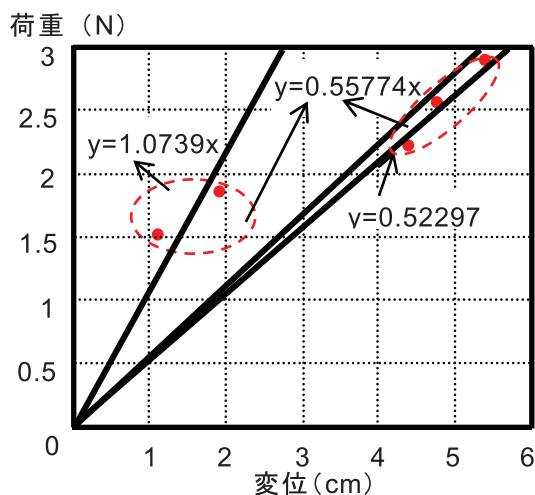


図5 積雪 荷重－変位関係図⁽²⁾

・緩衝材の剛性

本節で考える緩衝材は既往の研究⁽⁶⁾で検討している、天然ゴム系防舷材、スチロール系断熱材、油圧系ショックアブソーバの3種類を使用する。既往の研究⁽⁶⁾での荷重－変位関係図より剛性を設定する。図6～図8にそれぞれの緩衝材の荷重－変位関係図を示す。

①天然ゴム系防舷材

剛性：0.036kN/mm～0.08kN/mm

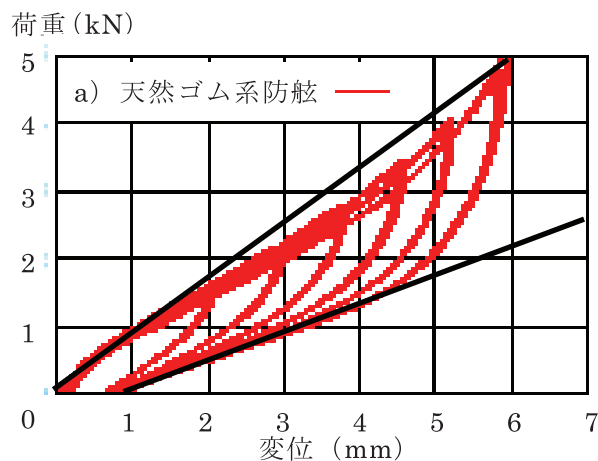


図6 天然ゴム系防舷材 荷重－変位関係図；参考文献⁽⁶⁾に加筆

② スチロール系断熱材

剛性：0.017kN/mm～0.3kN/mm

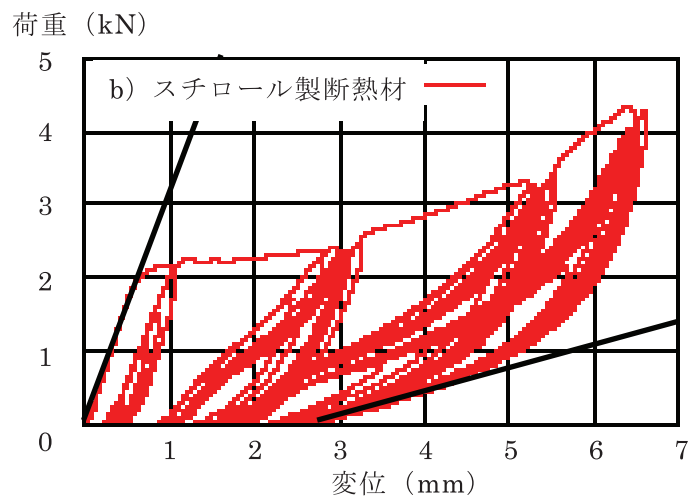


図 7 スチロール系断熱材 荷重－変位関係図；参考文献(6)に加筆

③ 油圧系ショックアブソーバ

剛性：0.045kN/mm～0.25kN/mm

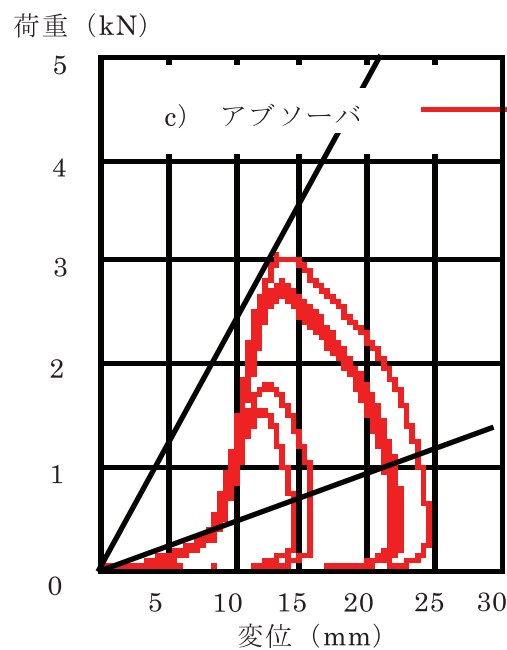


図 8 油圧系ショックアブソーバ 荷重－変位関係図；参考文献(6)に加筆

3.4 結論

大地震による擁壁への衝突の可能性は高くなってきている。本章では、積雪が緩衝材としての役割を果たすかどうか考察したが、剛性から積雪は緩衝材よりも小さいことが分かった。今回考察した積雪では、緩衝材としては効果が発揮されないことが考えられる。

4. 結論

免震構造の免震層には、積層ゴムやダンパーなどが設置されており、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。

本研究は、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考察し、免震構造物の周囲に設けられているクリアランスを超える巨大地震が起こった場合、建物が免震層周辺の擁壁へ衝突しないよう積雪が緩衝材としての役割を果たすのかどうかについて調べることを目的としている。

2章では、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。本節では、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つで解析を行い、変位、せん断力応答解析の結果から比較をした。その結果、免震層での変位応答解析結果では、弾性型で積雪を考慮する場合とバイ・リニア型で積雪を考慮する場合に対し、積雪を考慮しない場合の方が一番大きな値では約1.6倍になった。免震層でのせん断力応答解析結果では、弾性型で積雪を考慮する場合と積雪を考慮しない場合に対し、弾性型で積雪を考慮する場合の方が一番大きな値では約2.75倍になった。本章の解析で設定した設計用積雪深2mでは、免震建物周辺の積雪を考慮する必要があると考えられる。

3章では、大地震による免震層周辺の擁壁へ衝突する可能性が高くなってきているので、巨大地震時によりクリアランスを超える地震が起こった場合に免震建物が擁壁へ衝突しないように積雪が緩衝材として役割を果たすかどうかを剛性から考察した。その結果、剛性から積雪は緩衝材より小さいことが分かった。今回考察した積雪では、現在使用されている緩衝材として効果が発揮される可能性はあまりないと思われる。

謝辞

本研究は、平成21年度 福井工業大学 学内特別研究費（個人研究）研究費Bにより実施した。3章の積雪評価において、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。本論文での応答解析は卒研究生の岡崎汐里さんの協力を得た。ここに記し感謝の意を表す。

参考文献・URL

- (1) 理科年表： <http://www.rikanenpyo.jp/member/?module=Member&action=MS1>
- (2) 春日 智昭, 永野 康行, 前田 博司：日本建築学会北陸支部研究報告集, 社団法人 日本建築学会北陸支部, pp.45-48, 2009.7
- (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
- (4) (社) 日本雪氷学会：雪と氷の辞典, 株式会社 朝倉書店, p.89, 2005.2
- (5) (社) 日本雪氷学会：雪と氷の辞典, 株式会社 朝倉書店, p.96, 2005.2
- (6) 諏訪田 晴彦：大地震動に対する変位抑制部材付き免震住宅の耐震安全性, 平成17年度に終了した研究開発, pp.9-10

(平成22年3月31日受理)