

# 長周期地震動による免震建物の地震応答に関する検討

○中村祐太<sup>1)</sup>・中村友紀子<sup>2)</sup>

- 1) 非会員 中村祐太, 新潟大学, 新潟市五十嵐2の町8050,
- 2) 正会員 中村友紀子, 新潟大学, 新潟市五十嵐2の町8050,

## 1. 背景と目的

免震構造物は、免震層を設けて、固有周期を延ばして地震動との共振を避けること、ダンパーなどを付加しエネルギー吸収量を大きくすることで、地震応答を低減させている。一方で、2003年十勝沖地震の苫小牧や2004年紀伊半島南東沖地震によって、やや長周期地震動が観測され、これらの長周期構造物の耐震安全性が、懸念されている。

本研究では、免震構造物において、免震層を構成しているアイソレータの固有周期、ダンパーの降伏耐力、降伏点変位をパラメータとして地震応答解析を行い、応答性状への影響について検討した。

## 2. 解析モデル

解析には、図1のように上部構造と免震層をそれぞれ1質点とした2質点系モデルを用いた。復元力特性は、免震層については図2に示すように、アイソレータとダンパーを合成したバイリニア型とし、上部構造は線形とした。アイソレータの固有周期 $T_f(s)$ 、ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha$ 、降伏変位 $s\delta_y(cm)$ を解析パラメータとした。パラメータの値は、文献1)を参考に決定して表1に示す値を用いた。免震層の剛性、降伏せん断力は次式のようなになる。上部構造は、その固有周期が $T=0.3(s)$ となるように剛性を決定した。減衰定数は $h=0.05$ とした。

それぞれの場合での免震層の最大応答変位、上部構造の最大応答層せん断力係数との関係を図5～図7に示す。

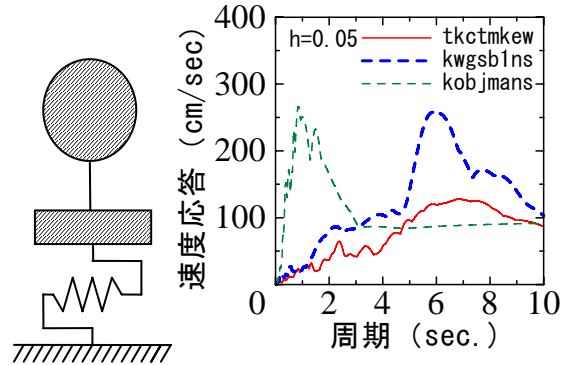


図1 解析モデル

図4 速度応答スペクトル

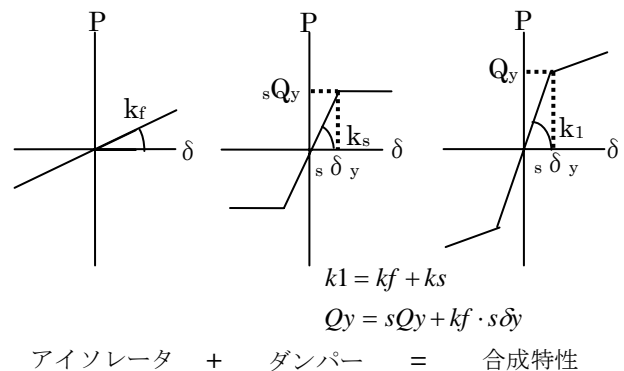


図2 免震層の復元力特性

## 3. 入力地震波

入力地震波は、長周期地震動として、2003年十勝沖地震の苫小牧港湾でのEW波(以下tkctmkew波)、1964年新潟地震の川岸町アパートでのNS波(以下kwgsb1ns波)を用いた。また比較対象として、被害の大きかった1995年兵庫県南部地震の海洋気象台でのNS波(以下kobjmans波)を用いた。各地震波の加速度時刻歴を図3に、速度応答スペクトルを図4に示す。長周期が卓越したtkctmkew波、kwgsb1ns波は、最大加速度は小さいが継続時間が長く、固有周期3.0秒以上の範囲で速度応答値がkobjmans波を上回っている。

## 4. 解析結果

アイソレータの固有周期 $T_f(s)$ 、ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha$ 、降伏変位 $s\delta_y(cm)$ を変化させて解析を行なった。このとき、変化させるパラメータ以外は、中央値( $T_f=3.0$ 、 $\alpha=0.04$ 、 $s\delta_y=3.0$ )とした。

表1 解析パラメータ

アイソレータの固有周期 $T_f(s)$	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0
ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha$	0.01, 0.02, 0.04, 0.06, 0.08
ダンパーの降伏変位 $s\delta_y(cm)$	1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0

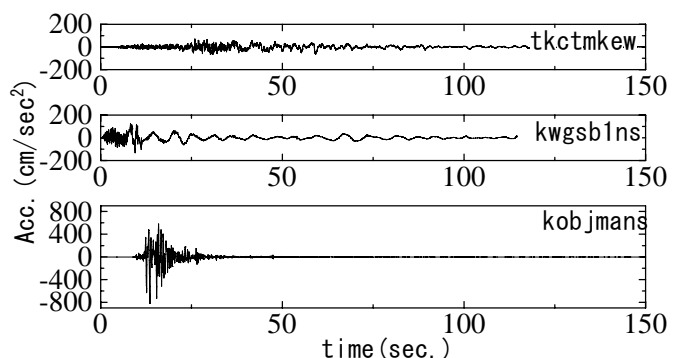
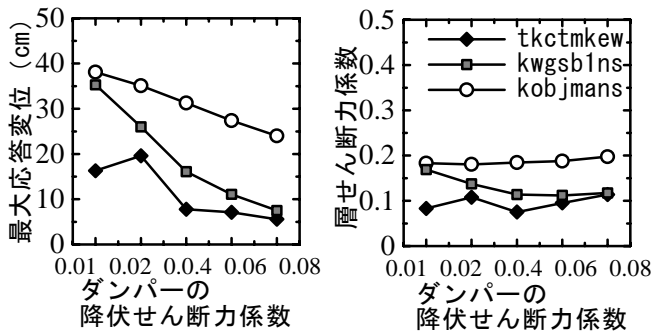
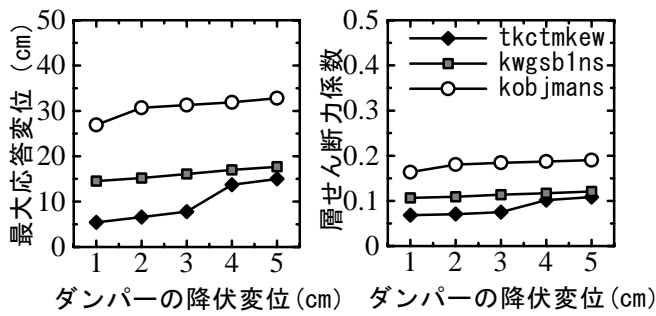


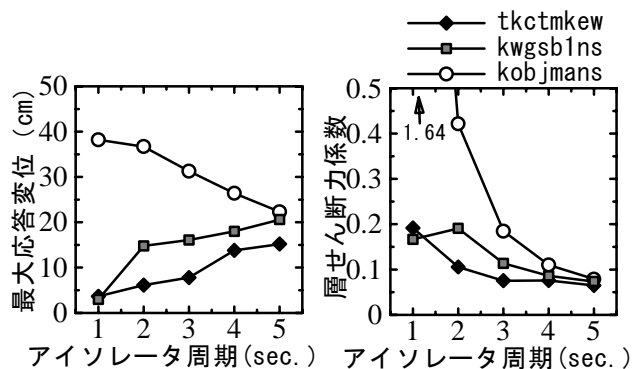
図3 入力地震動加速度時刻歴



(a) 免震層最大変位 (b) 上部構造層せん断力係数  
図5 ダンパー降伏せん断力係数変化時の最大応答



(a) 免震層最大変位 (b) 上部構造層せん断力係数  
図6 ダンパー降伏変位変化時の最大応答



(a) 免震層最大変位 (b) 上部構造層せん断力係数  
図7 アイソレータ周期変化時の最大応答

#### 4.1 ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha$ による影響

図5にダンパーの降伏せん断力係数  $\alpha$  を変化させたときの(a)免震層最大変位、(b)上部構造の最大層せん断力係数を示す。いずれの地震波においても、ダンパーの降伏せん断力係数  $\alpha$  を大きくすると、免震層の最大応答変位は低減している。

#### 4.2 ダンパーの降伏変位 $\delta_y$ による影響

同様に図6にはダンパーの降伏点変位  $\delta_y$  を変化させたときの最大応答値を示す。ダンパーの降伏点変位を大きくしても、免震層の最大応答変位にあまり変化が見られない。これはダンパーの降伏せん断力係数を固定したまま降伏点変位のみを変化させているため、弾性時の剛性 (= 固有周期) は変化する

が、ダンパーの降伏後はその影響は小さく、最大応答変位はダンパーの降伏により伸びた周期 (等価周期) の影響を受けるものと考えられる。

#### 4.3 アイソレータの固有周期 $T_f$ による影響

図7にアイソレータの固有周期  $T_f$  を変化させたときの最大応答値を示す。kobjmans では、免震層の最大応答変位は、アイソレータの固有周期を延ばすことにより低減するが、tkctmkew、kwgsblns では逆に増大している。この2つの地震動は、図4からもわかるように、長周期成分が大きいため、応答値が大きくなる。しかし、上部構造の最大層せん断力係数については、免震層とは逆に、アイソレータの固有周期  $T_f$  を延ばすことによって、層せん断力係数は低減している。長周期地震動に対しては、アイソレータの固有周期が長くなるほど免震層の応答変位が大きくなるが、クリアランスを超えなければ、上部構造に影響はないと考えられる。アイソレータの固有周期が1.0秒のとき、kobjmans で上部構造の応答値は非常に大きくなった。これは上部構造を弾性としたこと、実際の免震建物には無いほど短い周期としてしまった為である。

#### 5. まとめ

免震建物の免震層のアイソレータの周期、履歴減衰装置の履歴モデルをパラメータとして地震応答解析を行い、それらが応答に及ぼす影響を検討した。

ダンパーの降伏せん断力係数  $\alpha$  を大きくすることで、長周期地震動、被害地震ともに免震層の最大応答変位は低減した。

ダンパーの降伏変位  $\delta_y$  は、大きくしても最大応答変位はあまり変化しなかった。ダンパーが降伏するまでの剛性の違いは、最大応答値に影響を与えなかった。

アイソレータの固有周期  $T_f$  を延ばすことによって、被害地震である kobjmans では免震層の応答値が小さくなったが、長周期地震動では大きくなった。免震層の固有周期を延ばすことでは、免震層の応答変位が低減されない場合がある。一方、上部構造はいずれの地震波でも応答値が低減した。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会、免震構造設計指針、pp330~331
- 2) 柴田明徳、最新耐震構造解析、森北出版

#### 謝辞

2003年十勝沖地震の苫小牧、1995年兵庫県南部地震の神戸海洋気象台、1964年新潟地震川岸町の強震記録はそれぞれ、港湾地域強震観測システム、気象庁、東大地震研究所強震観測室に提供していただきました。