

## 地震応答解析による免震建物の地震応答評価法の検討

### ～長周期地震動を含めた解析～

T06K693A 徳田貴信  
指導教員 中村友紀子講師

#### 1. 背景・目的

建物の地震被害を軽減させる目的として、免震構造を取り入れる建物が増加している。免震構造とは、水平剛性を小さくし、建物への地震入力を低減させるアイソレータと、発生した振動エネルギーを消費するダンパーからなり、地震が起きた際に、地盤と建物とを絶縁状態に近づける構造である。<sup>1)</sup>

しかしながらその地震応答は、免震層特性や入力地震動などに左右される。また、2003年の十勝沖地震で、免震建物に影響を及ぼすや長周期な地震波が観測され、免震建物の問題点、課題も指摘されている。

本研究では、免震建物をモデル化し、免震層特性をパラメータとして地震応答解析を行い、免震建物に与える影響を検討する。また、その解析結果と各地震応答スペクトルとを比較し、それらの関係性について評価する。

#### 2. 研究概要

##### 2.1 解析モデル

本研究では、図1に示す通り上部構造を剛体とした免震層の1質点系モデルを用いる。免震層を構成しているアイソレータとダンパーは、既往の研究<sup>2)</sup>を基に、それぞれせん断バネと履歴減衰型ダンパーにモデル化する。免震層の復元力特性は図2に示す通り、アイソレータとダンパーを合成したバイリニア型とした。解析パラメータは、アイソレータの固有周期 $T_f$ (1~5(s))、ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha$ (0.02~0.12)、ダンパーの降伏点変位 $s\delta_y$ (1~5(cm))とした。なお、変化させるパラメータ以外は、 $T_f$ は3.0(s)、 $\alpha$ は0.04、 $s\delta_y$ は3.0(cm)とした。

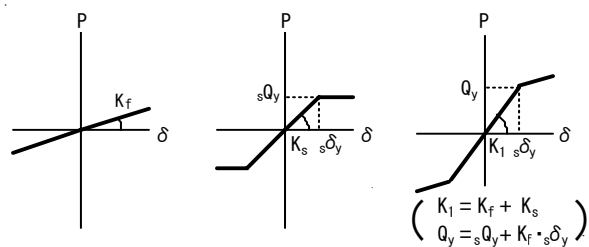
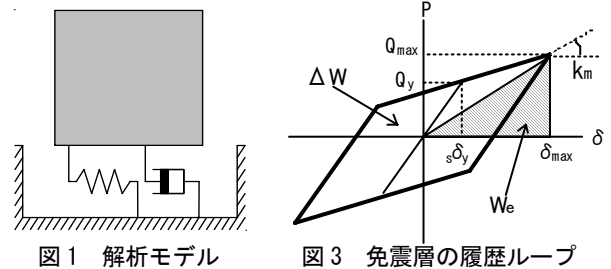
また、解析結果から、建物の減衰性能を表す等価減衰定数 $h_{eq}$ と、最大応答値での割線剛性から等価周期 $T_m$ を求めた(図3)。それぞれ次式で算出した。

$$h_{eq} = (\Delta W / W_e) / 4\pi \quad T_m = 2\pi \sqrt{M / k_m}$$

$$\left[ \begin{array}{l} \Delta W = 4(Q_y \cdot \delta_{max} - Q_{max} \cdot s\delta_y) \\ W_e = 0.5 \cdot Q_{max} \cdot \delta_{max} \end{array} \right] \left[ k_m = Q_{max} / \delta_{max} \right]$$

##### 2.2 入力地震動

入力地震波は、2003年十勝沖地震の苫小牧、2004年新潟県中越地震の小千谷、長岡、2007年能登半島地震の柳田、輪島、2007年新潟県中越沖地震の柏崎、長岡、2008年岩手・宮城内陸地震の金ヶ崎、鳴子の9波<sup>3)</sup>に加え、想定地震動の名古屋浅発直下型、新東海型、濃尾平野型の3波<sup>4)</sup>を合わせた計12波のns方向を採用した。



アイソレータ + ダンパー = 合成特性

図2 免震層の復元力特性

#### 3. 解析結果

##### 3.1 パラメータ変化による地震応答の影響

パラメータをそれぞれ変化させ解析を行った。なお、各地震波の最大速度が同値になるよう倍率をかけて統一し、比較し易くした。本研究では100(kine)と50(kine)に統一した。全12波のうち、6波(金ヶ崎、柏崎、小千谷、輪島、苫小牧、新東海)の最大速度100(kine)における解析結果を図4に示す。

アイソレータの固有周期 $T_f$ を延ばした際の最大応答変位は、苫小牧は増大し、金ヶ崎、柏崎、新東海は $T_f=3(s)$ でピークを迎え、小千谷、輪島はわずかに減少した。等価減衰定数 $h_{eq}$ は0.02~0.30程度の範囲で変化し、等価

周期は約 1.0~4.5(s)で変化していた。

ダンパーの降伏せん断力係数 $\alpha$ を大きくした際の最大応答変位は、苫小牧、金ヶ崎、柏崎、新東海は減少、小千谷、輪島はほぼ横ばいとなった。これは、小千谷と輪島が比較的短い周期で卓越する地震波であり、 $T_f=3(s)$ では応答値が低減し、影響が小さくなるためと考えられる。 $h_{eq}$ は概ね 0.01~0.33 の範囲で変化し、等価周期 $T_m$ は 1.9~3.0(s)程度で変化していた。

ダンパーの降伏点変位 $\delta$ を大きくした際の最大応答変位は、いずれの地震波もわずかに増大した。 $h_{eq}$ は $\delta$ を大きくするとわずかに小さくなり、 $T_m$ はわずかに延びた。

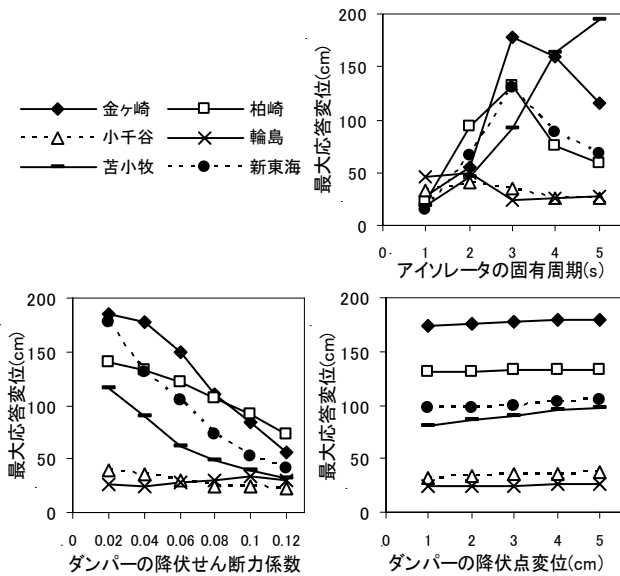


図4 パラメータ変化時の最大応答変位

### 3. 2 最大応答変位と応答スペクトルとの関係

縦軸に加速度応答スペクトル、横軸に変位応答スペクトルをとり、減衰定数 $h=0.05$ と、各解析結果の等価減衰定数がほぼ収まる値(0.10~0.30)の2本の曲線(以下、 $S_a S_a$ 曲線と表記)を作成し、最大応答値との関係性を検証した。さらに $T_f$ の値に対応した原点を通る直線(以下、 $T_f$ 直線と表記)と $S_a S_a$ 曲線との交点と、最大応答値との関係性を図5に示す。 $T_f$ 直線の傾きの大きい順に 1.0(s)、2.0(s)となっている。

$T_f$ 変化時と $\delta$ 変化時では、 $h=0.05$ の $S_a S_a$ 曲線と最大応答値はほぼ重なる結果となった。

$T_f$ 変化時の最大応答値と、 $T_f$ 直線と $h=0.05$ の $S_a S_a$ 曲線との交点は、概ね一致した。 $\delta$ 変化時でも、 $T_f=3.0(s)$ の直線と $h=0.05$ の $S_a S_a$ 曲線との交点にほぼ一致した。

$\alpha$ 変化時については、 $T_f=3.0(s)$ の $T_f$ 直線上に重なった。 $\alpha$ 変化時では等価減衰定数にばらつきがあり、それぞれの等価減衰定数に見合った $S_a S_a$ 曲線を作成すると、その交点に近くなると思われる。

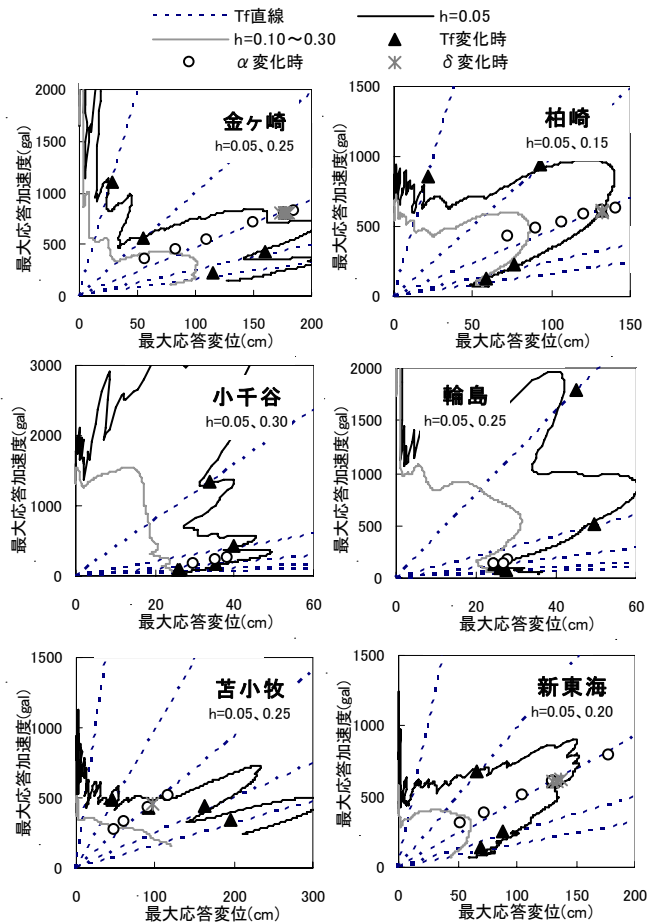


図5 最大応答変位と応答スペクトルとの関係

### 4. まとめ

免震層特性をパラメータとして地震応答解析を行い、免震建物に及ぼす影響を検討した。また、その解析結果と地震応答スペクトルとの関係性について検討した。

免震層特性が建物に与える影響については、ダンパーの降伏せん断力係数、アイソレータの固有周期で顕著に出ることが分かった。

また地震応答スペクトルとの関係性は、最大応答値が $S_a S_a$ 曲線と $T_f$ 直線との交点にほぼ重なり、免震建物における地震応答は、地震応答スペクトルにより評価し得ると言える。つまり、地震波の加速度応答スペクトルと変位応答スペクトル、アイソレータの固有周期が既知であれば、その免震建物の地震応答が推測できる。

### 参考文献

- 1) 日本免震構造協会：「免震構造入門」、オーム社
- 2) 中村祐太：「免震層特性が建物の地震応答に及ぼす影響」、2006、新潟大学工学部建設学科卒業論文
- 3) 防災科学技術研究所、強震観測網 <http://www.kyoshin.bosai.go.jp/>
- 4) 国土交通省中部地方整備局 <http://www.cbr.mlit.go.jp/>