

3 階建て免震住宅の実大振動実験
その3 入力地震動の性質と応答

3 階建て免震住宅 実大振動実験 主軸 1 軸波
長周期地震動 2003 年十勝沖地震 ストッパー

1. はじめに
本報では、同一地震動を用いた主軸 1 軸入力と水平 2 軸入力での応答比較から、主軸 1 軸のみによる設計の注意点を探る。また、長周期地震動に対する応答性状を考察し、どのような長周期波に対し過大な応答を生じるのかを、計算によって求める。合わせて、入力レベルを大きくしてストッパーを作動させた時の応答についても報告する。

2. 主軸1軸入力と2軸以上入力の応答比較
主軸 1 軸入力の場合と水平 2 軸又は 3 軸入力の場合との応答の違いを見るための加振を、JMA 小千谷と三の丸を用いて行った。いずれの加振も原波の 80% のレベルである。図 1 に免震層のオービットの例を示す。また、表 1 に免震層の最大応答変位とともに主軸 1 軸入力時の変位に対する 2 軸以上入力時の変位の比率を示す。水平 2 軸又は 3 軸入力時の免震層の最大変位（オービット上で原点から最も離れた点までの距離）は、主軸 1 軸入力時の免震層の変位に対して、すべり支承で 15%、20%、転がり支承の場合で 6%、9% 大きかった。文献¹⁾ではこの比が -10% ~ +10% 程（解析値）となっている。実応答では様々な要因も加わる事から、主軸 1 軸のみの設計では若干の余裕を持つ必要がある。

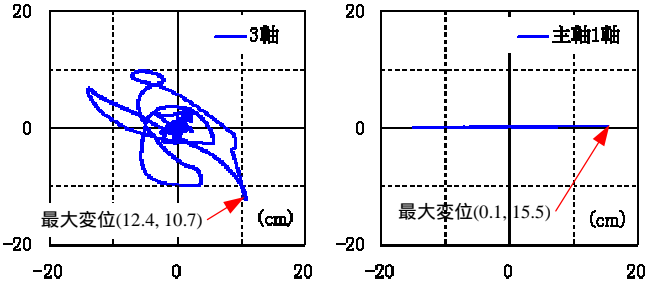


図 1 主軸 1 軸と 3 軸入力時の免震層変位オービット（転がり支承、JMA 小千谷 80%）

表 1 免震層最大応答変位 (cm)			
入力波	入力軸	すべり支承	転がり支承
JMA 小千谷	1 軸	14.9	15.5
	3 軸(NS+EW+UD)	17.2	16.4
	3 軸 / 主軸 1 軸	1.15	1.06
三の丸	1 軸	25.8	22.6
	2 軸(P+N)	31.0	24.6
	2 軸 / 主軸 1 軸	1.20	1.09

3. 長周期地震動に対する応答
長周期地震動として 2 種類の告示波(ySa075、ySa100)、静岡主軸 1 軸波(Shizu_P)、三の丸主軸 1 軸波(San_P)、及び主要動の後の定常的な長周期波形（ここでは、「後揺れ長

正会員 飯田 秀年^{*1} 同 中田 信治^{*2}
同 桐山 伸一^{*2} 同 山本 健史^{*3}
同 皆川 隆之^{*1} 同 福和 伸夫^{*3}

周期」と呼ぶ) が現れる苫小牧主軸 1 軸波(Toma_P)をここでは取り上げる。図 2 に擬似速度応答スペクトルを示す。いずれの長周期地震動も 1 秒以上の周期帯において大きなパワーを有しており、特に San_P は本実験における免震層の目標周期である 3 秒付近に大きなピークを持っている。また、Toma_P も 7 秒付近にピークを持っている特徴的な地震動である。図 3 には、San_P と Toma_P の地震動をデータ開始点から 100 秒ごとに区切り、それぞれの時間帯についての擬似速度応答スペクトルを示す。Toma_P の継続時間の後半は長周期成分のみとなっているのが分かる。図 4 には正弦波に近い波形となっている 200 ~ 300 秒の間の時刻歴変位波形を示す。

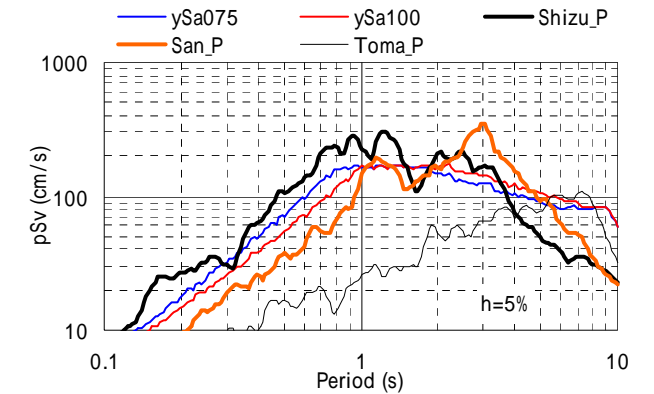


図 2 長周期地震動の擬似速度応答スペクトル

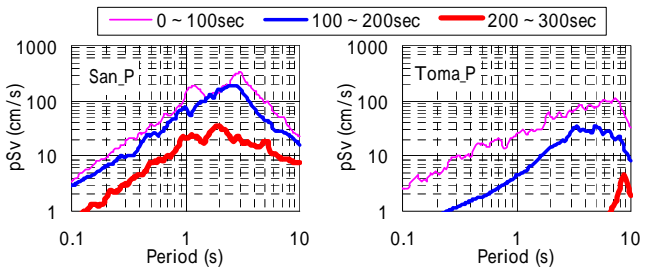


図 3 時間帯別の擬似速度応答スペクトル

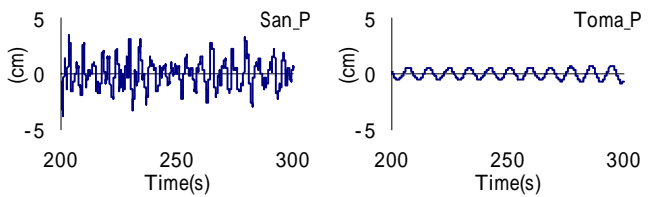


図 4 時刻歴変位波形 (200 ~ 300 秒の間)

図5に免震層変位およびベースシア係数を示す。長周期地震動では、免震層が共振しやすく、短周期地震動によって生じるベースシア係数よりも大きくなる傾向にあると考えられるが、本実験においては、ストッパーが作動した転がり支承のSan_P 110%を除いて0.2未満であり、免震効果は明確に認められる。表2にSan_PとToma_Pの加振での、200秒以降における免震層の最大応答変位を示す。変位がほとんど生じていないのは、石油タンクや超高層ビルと比べて、免震層の減衰が大きいと考えられる。

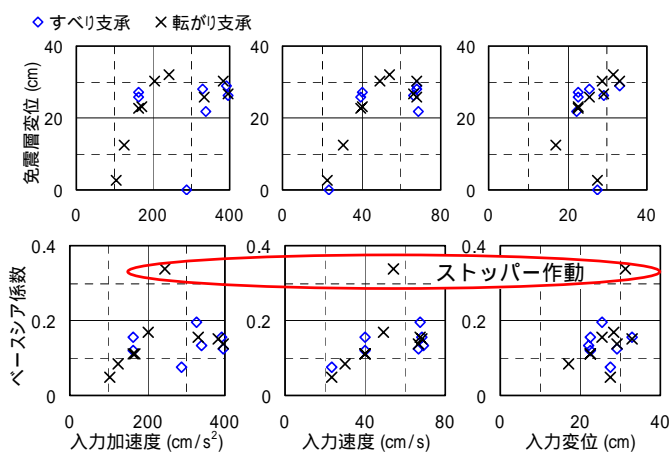


図5 免震層変位とベースシア係数

表2 200秒以降での免震層の最大応答変位 (cm)

入力波	入力レベル	すべり支承	転がり支承
San_P	80 %	0.20	0.61
	100 %	-	0.98
	110 %	-	1.05
Toma_P	100 %	0.04	0.07

4. 長周期成分の限界入力レベル

今回の実験では後揺れ長周期により免震層変位が(共振により)励起されることはなかった。ここでは、応答変位がクライテリアを超えない入力レベルを計算により求めてみる。応答変位は調和外力による定常応答として、(1)式によって求めた。

$$\delta_r = \frac{\delta_0}{\sqrt{\left\{1 - \left(\frac{P}{\omega}\right)^2\right\}^2 + 4 \cdot h^2 \cdot \left(\frac{P}{\omega}\right)^2}} \quad (1)式$$

δ_r : 応答変位
 δ_0 : 入力振幅
 P : 免震層の等価円振動数
 ω : 入力波の円振動数
 h : 免震層の等価減衰定数

図6に P/ω と D_a の関係を示す。ここで、免震層の設計クライテリアとして $\delta_r = 30\text{cm}$ を設定し、免震層の減衰が20%、免震層周期=入力波周期=3.0

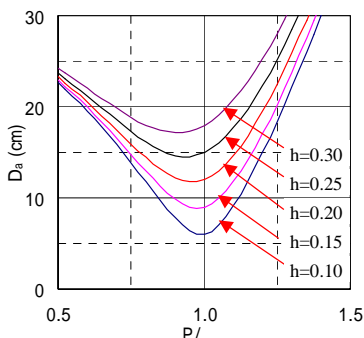


図6 P/ω と D_a の関係

秒とすると、応答変位がクライテリアを超えない入力レベル D_a は12cm(この時、最大入力加速度は 52.6cm/s^2)と計算される。今回対象とした2波はこの値以下であったが、後揺れの長周期波がこの値を超える事が予測される場合は、減衰を増す等の対策が必要である。

5. ストッパー作動時の応答

今回はSan_Pのような免震層と共振成分を持つ波が継続的に続く地震動において、ストッパーを作動させるレベルの加振を行ったが、ストッパーの作動は1回のみであり、損傷は軽微であった。ストッパーが作動した時の1階せん断力係数は0.339、層間変形角は1/259で、弾性範囲内の変形にとどまった。図7にストッパーが作動した時の荷重変形関係及び1階層間変位を、図8には免震層層間変位と1階層間変位の時刻歴波形を示す。

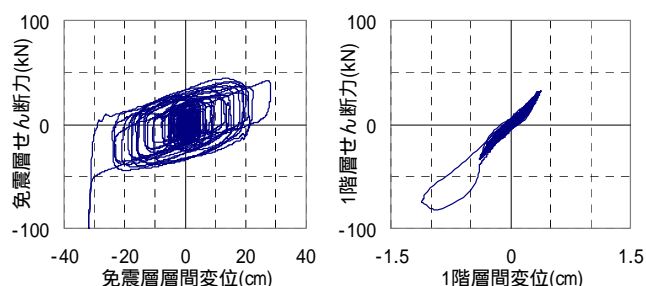


図7 ストッパー作動時の免震層及び1階の荷重-変形関係

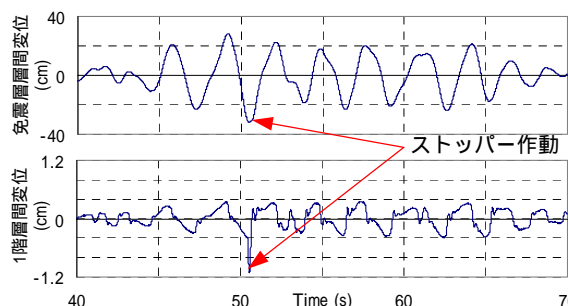


図8 ストッパー作動時の免震層及び1階の層間変位波形

6. まとめ

主軸1軸入力と水平2軸又は3軸入力の変位の比較では、水平2軸又は3軸入力時の方が最大で20%大きな応答になっており、主軸1軸のみによる設計では若干の余裕をみる必要がある。免震建物にとって不利な長周期地震動を用いた加振では、入力レベルが100%以下の場合にはベースシア係数が0.2以下で、ストッパーを作動させた場合でも上部架構の変形は弾性範囲内にとどまった。また、後揺れ長周期に対しては、入力レベルが小さい事と、通常の構造物に比べて減衰が大きい事により、ほとんど免震層の変位は生じなかった。計算により、調和外力による免震層応答変位が、設計クライテリアを超えない入力レベルを示した。

[参考文献]

- 1) 平野・他(2000): 実大振動実験に基づく木造免震住宅の地震応答評価手法に関する研究 その1), 日本建築学会構造系論文集, No.529, pp.65-72

*1 日本システム設計

*2 旭化成ホームズ

*3 名古屋大学大学院環境学研究所

*1 Nihon System Sekkei Co.

*2 Asahi Kasei Homes Co.

*3 Grad.School of Environmental Studies, Nagoya Univ.