

1. はじめに

本学 23 号館は免震構造を有する RC 構造物であり、その動的挙動を明らかにすることを目的として振動観測が実施されている。2001 年から 2005 年度までに観測された記録から、短周期の地震(近地地震)に比べ長周期の地震(遠地地震)では上層階での揺れの増幅が確認されている。本研究では 2007 年までに観測された長周期地震を対象として免震層の動的特性を検討するとともに、その結果から振動モデルによる地震応答解析を行い観測記録との比較・検討を行った。なお、解析には周辺地盤の特性を考慮し、多質点系モデルを用いた地盤—建物連成系モデルを用いた。

2. 振動観測

23 号館は地下 2 階, 地上 8 階, 塔屋 2 階の RC ラーメン構造で地下 2 階と地下 1 階の間に免震層を有する中間免震構造となっている。図 1 に対象建物の立面図・平面図を示す。使用されている地震計はサーボ型加速度計で地下 2 階, 地下 1 階, 3 階, 6 階, 8 階の 5 箇所、各設置階ともほぼ同じ位置に設置されている。建物から約 30m 離れた地表(GL-1.5m)及び地中(GL-21.8)の 2 箇所で鉛直アレー観測が実施されている。

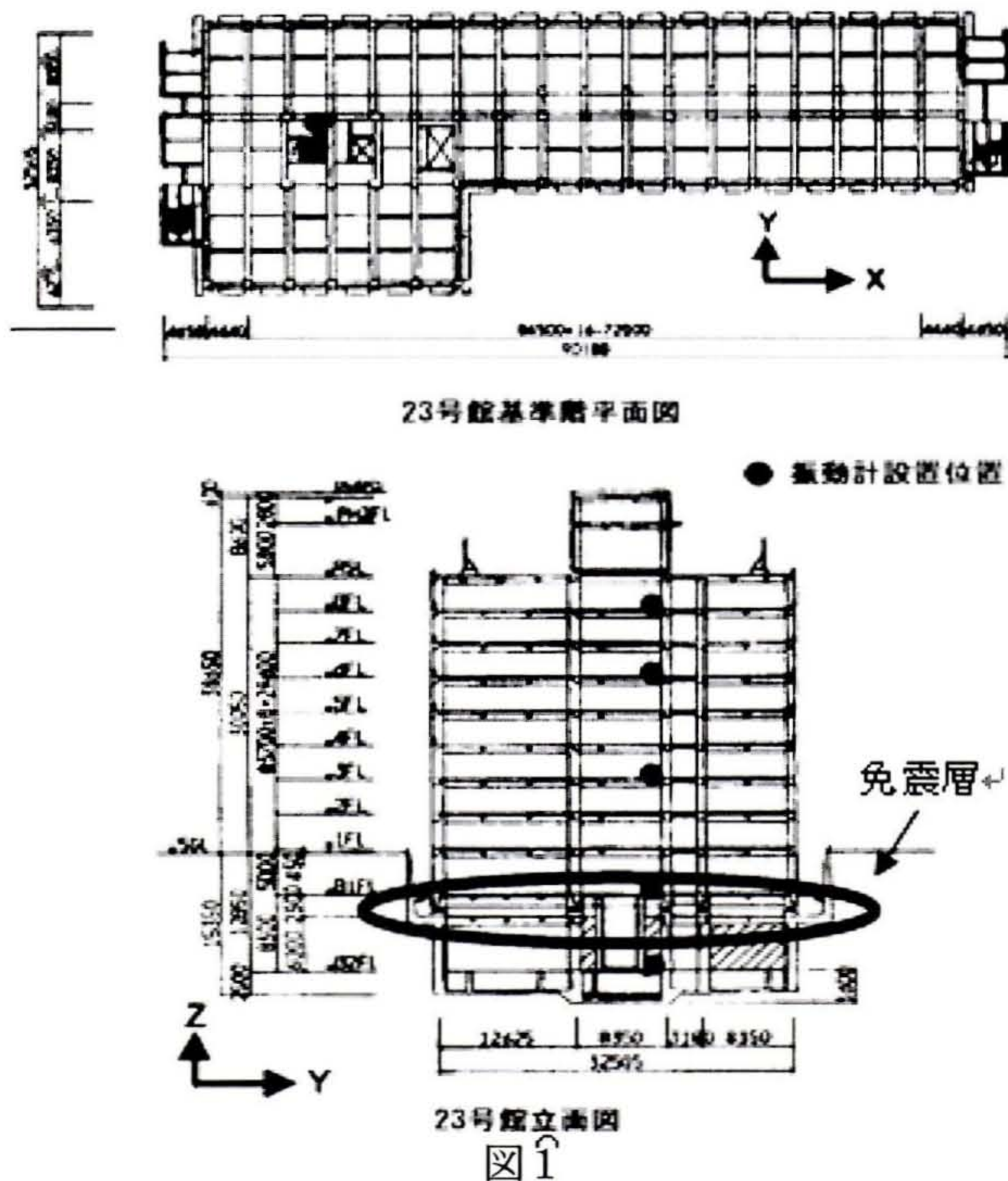


図 1

3. 観測記録

得られた観測記録が各階ごとに X(NS 成分)、Y(EW 成分)、Z(鉛直成分)に整理されている。2001 年から 2007 年までに観測された比較的長周期である地震(表 1)について、各階の最大加速度値(Amax)を地中(GL-21.8m)の Amax を基準とした場合の各階での比率を図 2 に示す。比較として短周期の地震についても図 3 に示す。この結果免震建物において短周期の地震では免震層が有効に機能して入力を低減し、上層階での揺れに大きな変動はないが、長周期の地震に関しては上層階での揺れが増幅されていることが分かる。

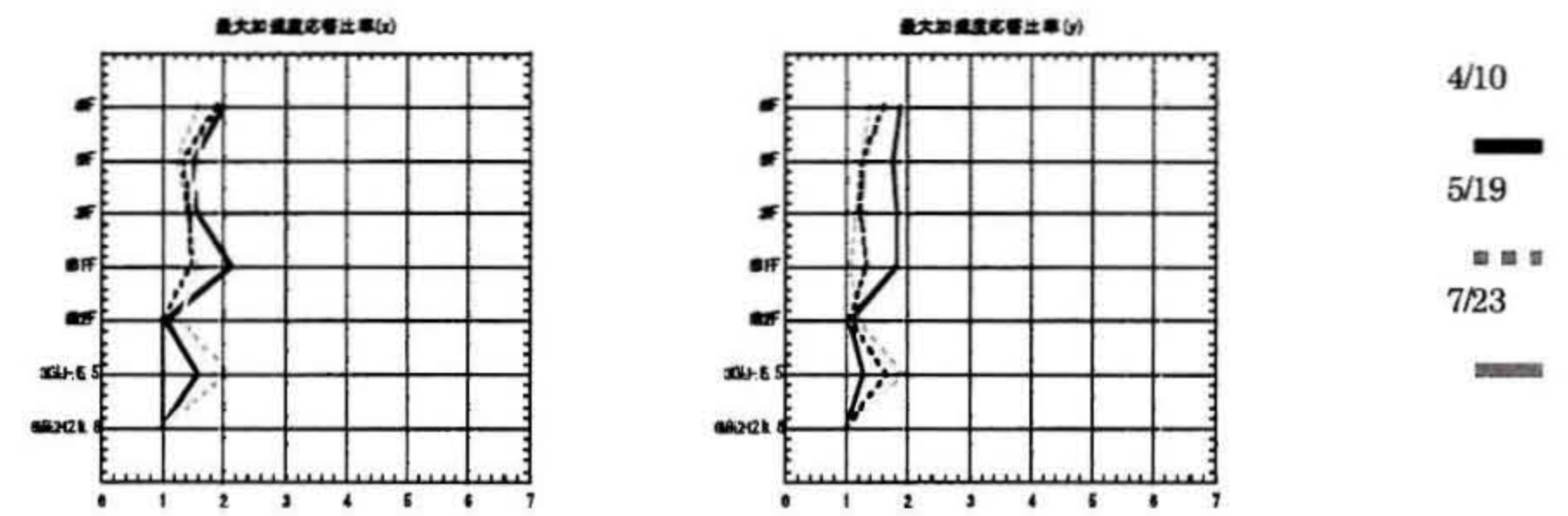


図 2 最大加速度応答比率 (長周期地震)

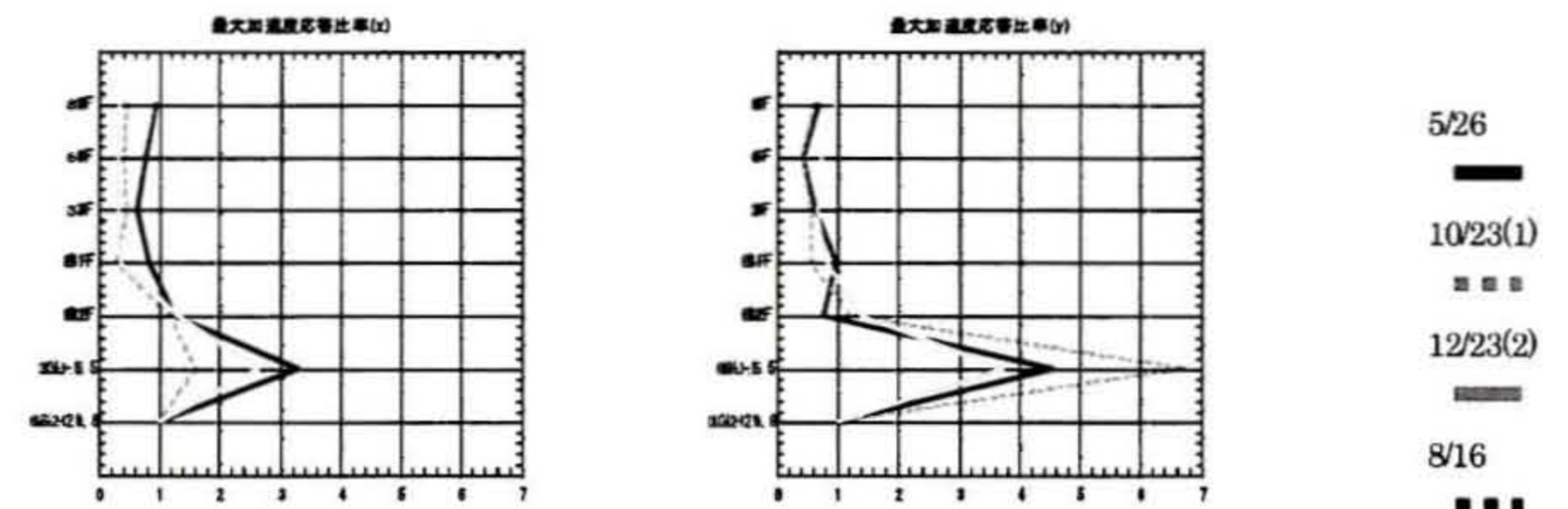


図 3 最大加速度応答比率 (短周期地震)

4. 長周期地震動の動的挙動

2004 年 10 月 23 日 17:56 に観測された長周期地震動である新潟県中越地震(M6.9)について動的挙動を検討した。図 4 に本学 23 号館 8 階 x 方向で観測された加速度波形、図 5 に免震層の層間変位のグラフ、図 6 にピーク周期、図 7 に等価せん断剛性(ke)、等価粘性減衰定数(he)のそれぞれの時間的変化を示す。長周期地震動によりピーク周期が長周期側にシフトしていることが分かる。

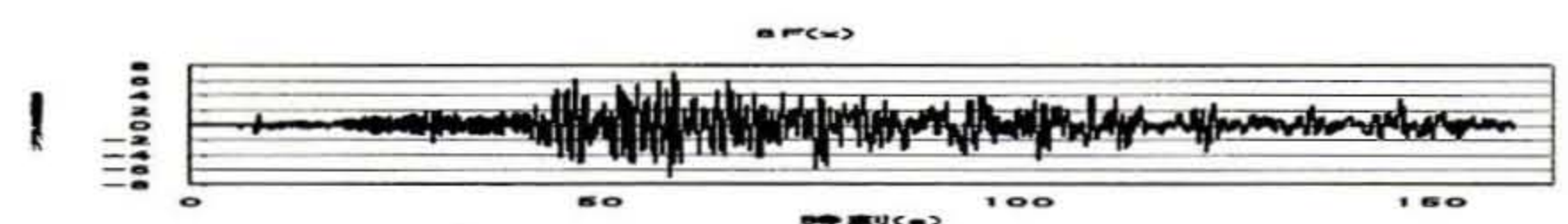


図 4 8 F(x) 加速度波形

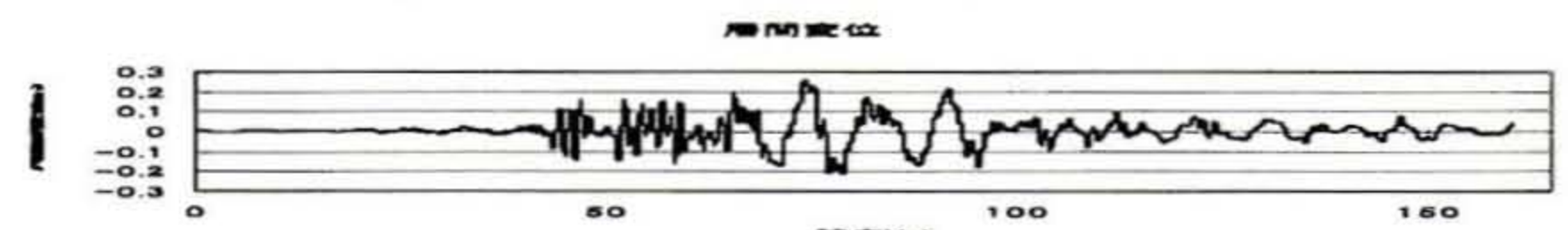


図 5 層間変位



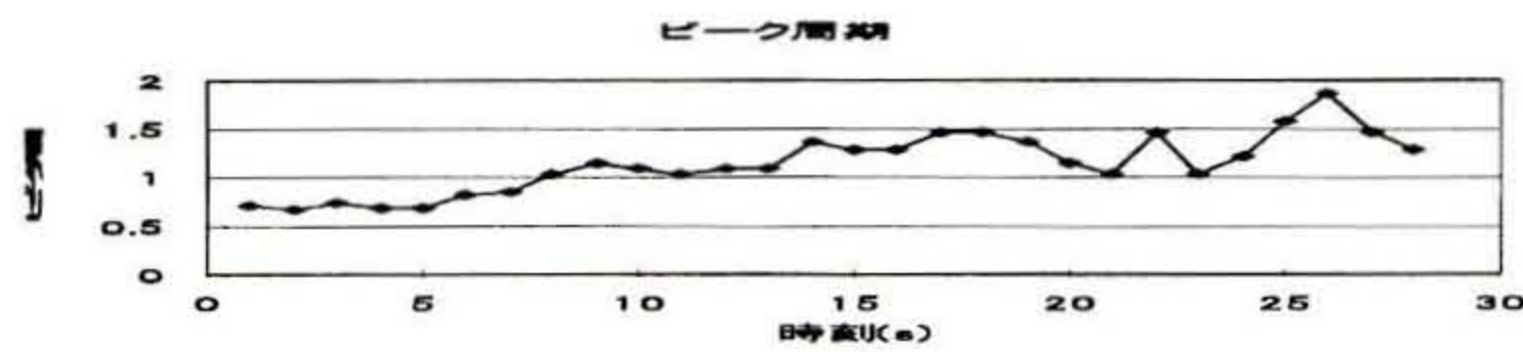


図6 ピーク周期

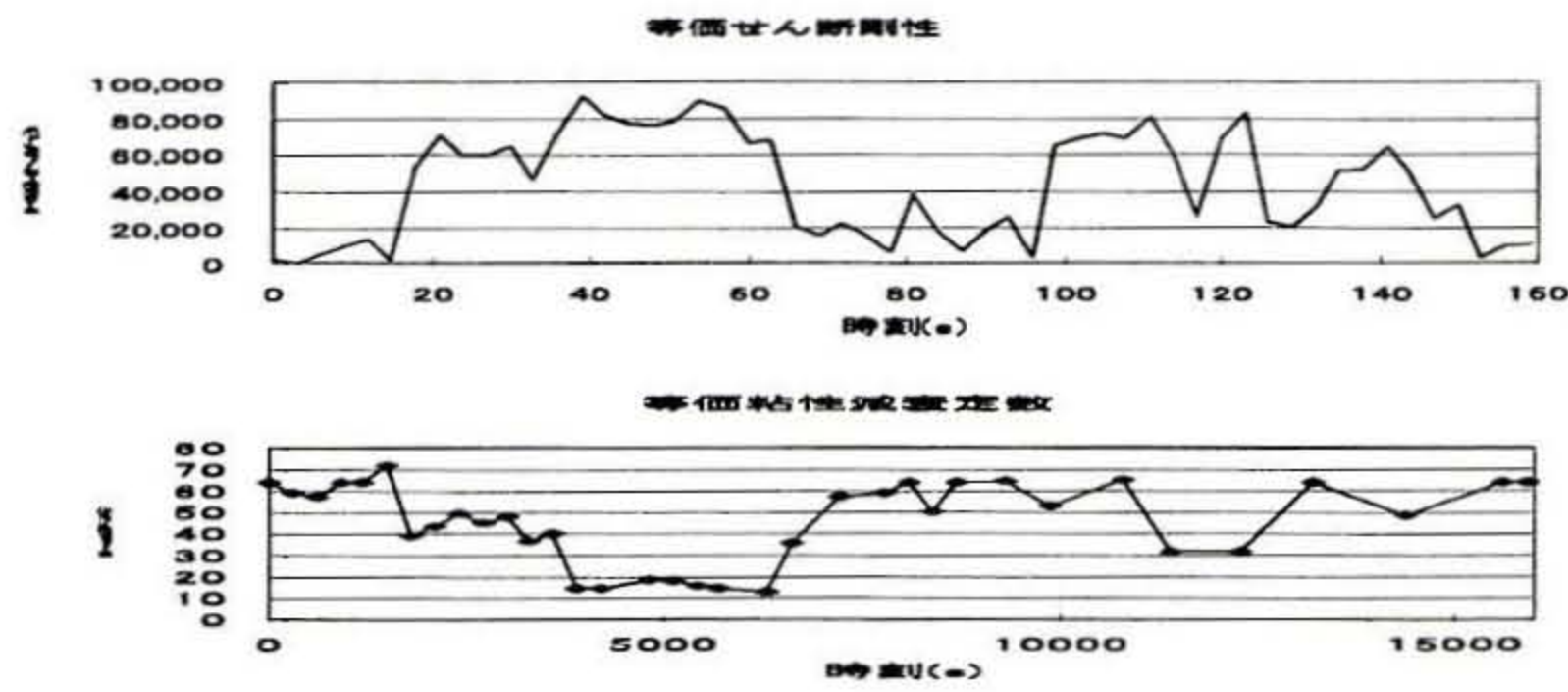


図7 等価せん断剛性(上)・等価粘性減衰定数(下)

### 5. 免震層の特性

免震層の復元力特性を求めるため、比較的長周期である地震の観測記録(表1)を用いてB1FとB2Fの加速度記録を数値積分して免震層上下階の相対変位(δ)を求めた。また、免震層での層せん断力(Q)は質点を図8のように集約し下式から求めた。最終的に各地震X、Y方向それぞれQ-δの関係を示す1周期分のループをいくつか取り出し、地震の大きさにより変化する等価せん断剛性(Ke)と等価粘性減衰定数(he)を関数化して算出した。図9に関数化した等価せん断剛性(Ke)と、等価粘性減衰定数(he)を示す。このグラフはX軸を層間変位とし、層間変位に対する等価せん断剛性(Ke)、等価粘性減衰定数(he)を表す。

表1 観測地震記録

年	日付	時間	震源	マグニチュード	MAX(23号館)地表面		
					X(gal)	Y(gal)	Z(gal)
2003	5月26日	18:26	岩手県沖	M7.0	9.0	15.7	5.1
2004	10月23日	17:56	新潟県中越	M6.8	9.2	9.3	3.7
		18:34	新潟県中越	M6.5	8.1	9.3	3.6
2005	8月16日	11:47	宮城県沖	M7.2	13.9	15.7	5.6

$$Q_{B2F(t)} = \sum_{i=B1F}^{RF} \frac{W_i}{g} \ddot{X}_i(t)$$

$$\delta(t) = \delta_{B1F}(t) - \delta_{B2F}(t)$$

$Q_{B2F(t)}$  : 免震層に作用する層せん断力

$W_i$  : i層の重量  $g$  : 重力加速度

$\ddot{X}_i(t)$  : i層の水平応答加速度

$\delta(t)$  : 免震層上下フロア間の相対変位

$\delta_{B1F}(t)$  : B1Fの水平応答絶対変位

$\delta_{B2F}(t)$  : B2Fの水平応答絶対変位

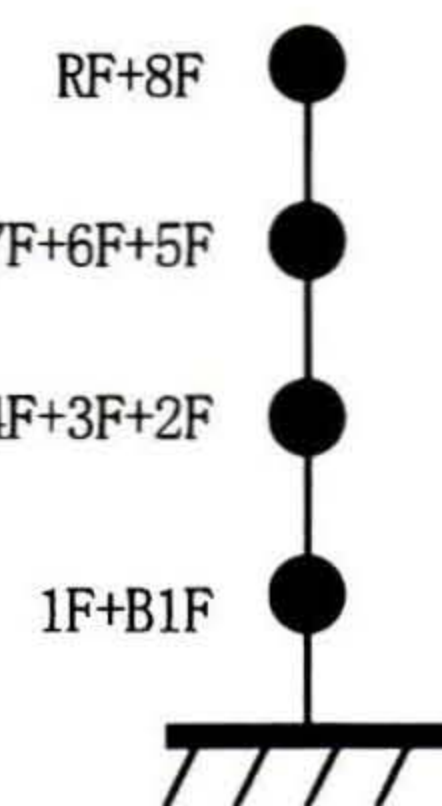


図8

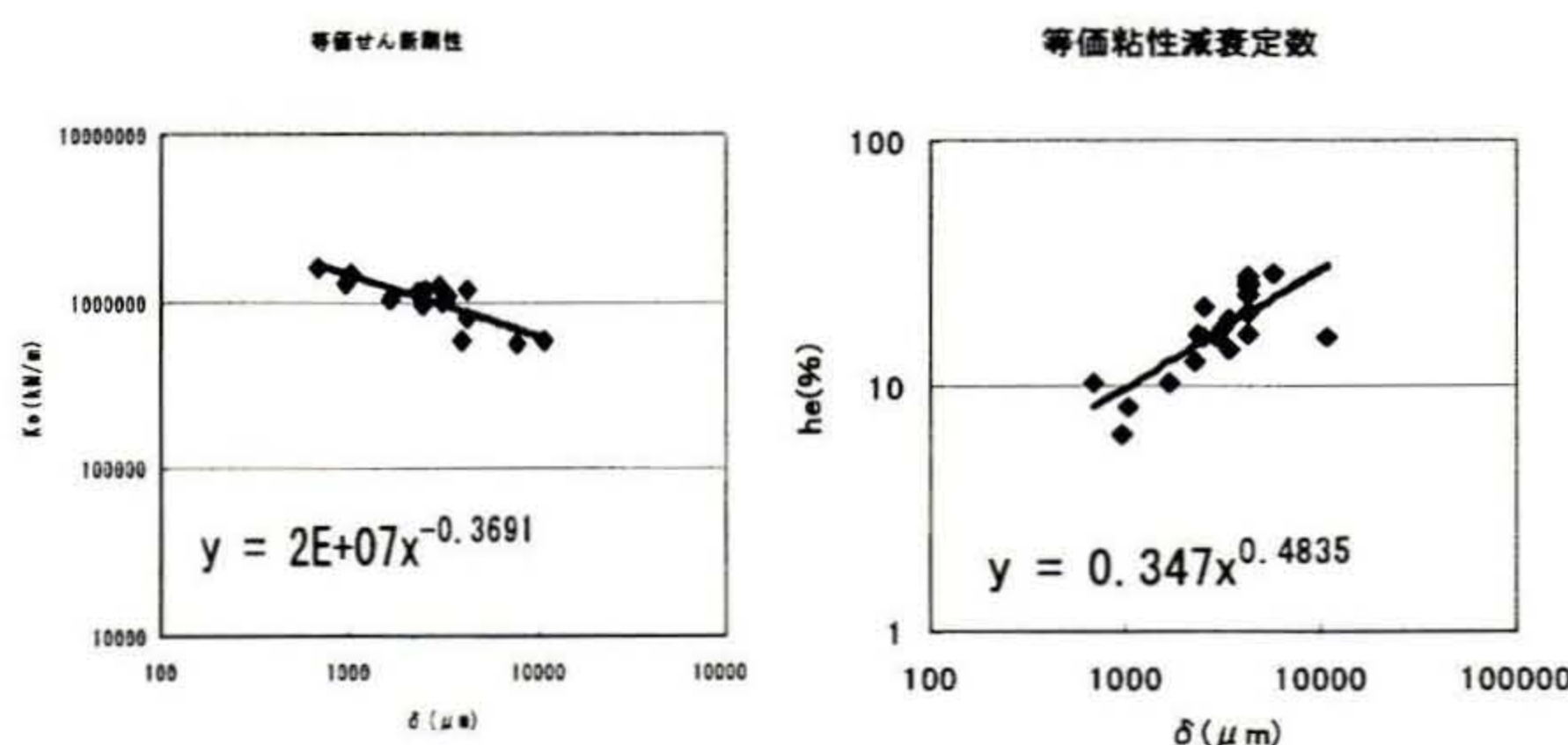


図9 等価せん断剛性・等価粘性減衰定数(X方向)

### 6. 地震応答解析

解析には地盤-建物連成系の相互作用を解析することができる2次元有限要素プログラム Super Flush/2Dを用いた。解析時には、算出した等価せん断剛性(Ke)と等価粘性減衰定数(he)を入力地震波ごとに定め入力した。

#### 6-1. 解析結果

解析結果の一例として長周期地震動である2004年10月23日の新潟県中越地震の観測値を用いた解析結果を示す。地震応答解析の結果から得られた加速度応答波形を用いて算定した加速度フーリエスペクトルと、観測波から算定した加速度フーリエスペクトル(B1Fx, 8Fx)を比較したものを図10に示す。なお、解析ではGL-1.5mから地震波を入力した。図より、B1Fx, 8Fxとも観測結果と解析結果のスペクトルはほぼ良好に対応している。

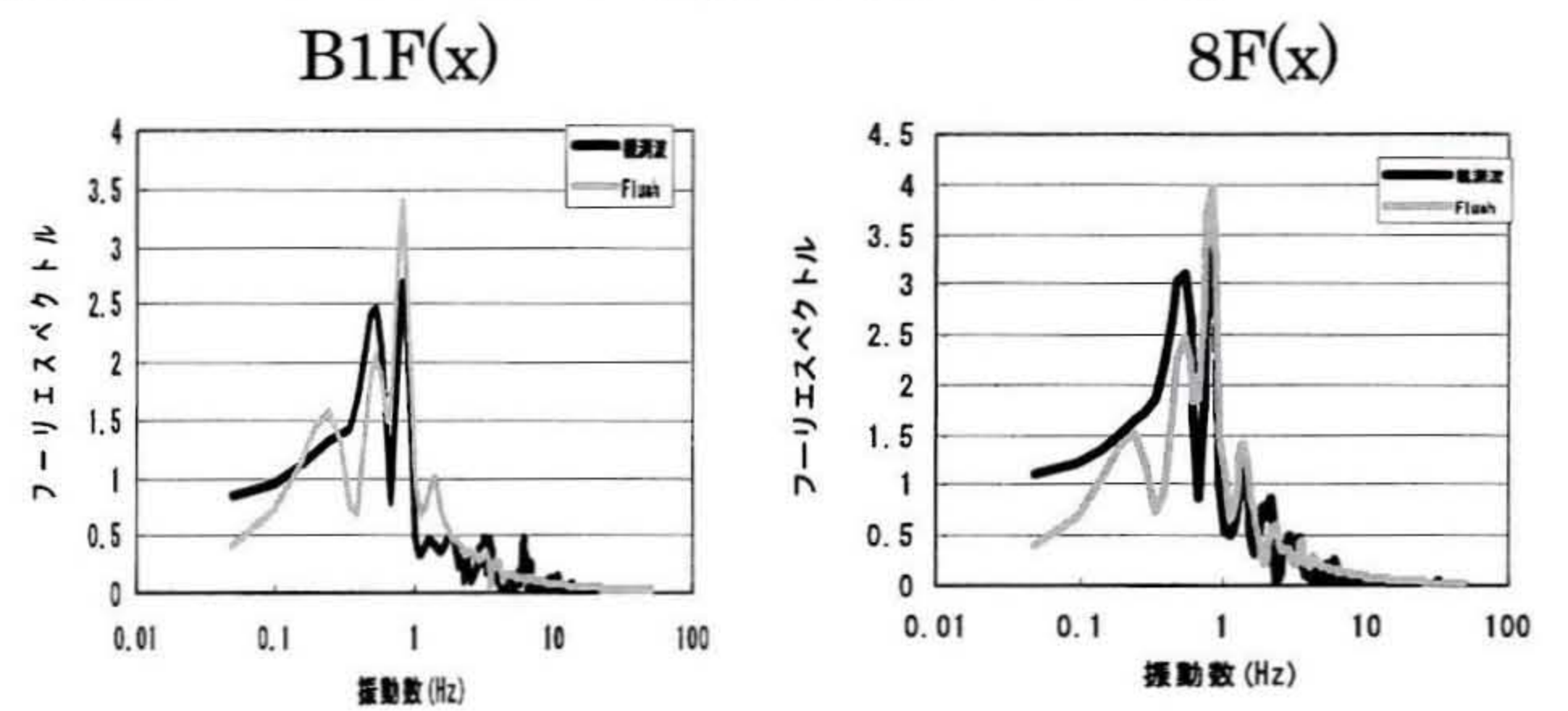


図10 加速度フーリエスペクトル(B1F(x), 8F(x))

### 7. まとめ

本研究では神奈川大学23号館を対象として、長周期の地震による免震建物の動的挙動について研究を行った。長周期地震動の動的挙動については時間の経過とともにピーク周期は増加し、回帰直線をとると等価せん断剛性(ke)は減少、等価粘性減衰定数(he)は増加する傾向にあることが分かった。また層間変位の変化に対しては、層間変位が大きくなるとともに等価せん断剛性(Ke)は減少し短周期地震動との差はあまりみられなかったが等価粘性減衰定数(he)は短周期地震動ではほぼ平坦であるのに対し長周期地震動では増加傾向を示した。

解析結果については、短周期地震動に比べて表面波成分が多い長周期地震動について解析を行う場合は鉛直下方から地震動を入力するより、比較的地表面に近い地点から地震動を入力した方が良好な結果を得ることが出来た。

#### [参考文献]

- 1) 太田外氣晴・座間信作：巨大地震と大規模構造物—長周期地震動による被害— (共立出版 2005年9月発行)
- 2) 大崎順彦：建築振動理論 (彰国社 1996年11月発行)
- 3) 澤村優作：地盤-建物相互作用を考慮した免震RC造建物の振動解析 (2005年度卒業研究)