

1. はじめに

本学 23 号館は 2001 年 4 月に竣工した免震構造を有する RC 構造物であり、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。本研究では 2005 年度までに観測された比較的観測記録値が大きな地震を対象として免震層の動的な特性の検討を行うとともに、その結果を組み込んだモデルによる動的解析を行い、観測記録に基づく地震応答特性と比較・検討を実施した。なお、動的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—建物連成系モデルにより解析を実施した。

2. 動的挙動観測

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。設置した地震計はサーボ型加速度計で 8 階、6 階、3 階、地下 1 階、地下 2 階の 5 箇所に各設置階ともに、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。

3. 観測記録

観測波形は 23 号館の地中 (-21.8m)、地表 (-1.5m)、地下 1.2 階、地上 3.6.8 階の 7 箇所に設置された地震計で得られた加速度記録を各階ごとに X (NS 成分)、Y (EW 成分)、Z (鉛直成分) が整理されている。2005 年 1 月以降に観測さ

れた各階の最大加速度値 (A_{max}) を地中 (GL-21.8m) の A_{max} を基準とした場合の各階での比率を図 2 に示す。また、比較対象として本学 1 号館をとりあげ、同様に各階での比率を図 3 に示す。この結果、非免震建物の 1 号館では地震波の特性によって上層階での揺れに大きなばらつきが見られた。一方、免震建物の 23 号館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ばらつきは見られなかった。しかし、図 2 の 5 月 19 日の地震を代表として長周期の地震に関しては、短周期の地震と比較して上層階での揺れが増幅された。

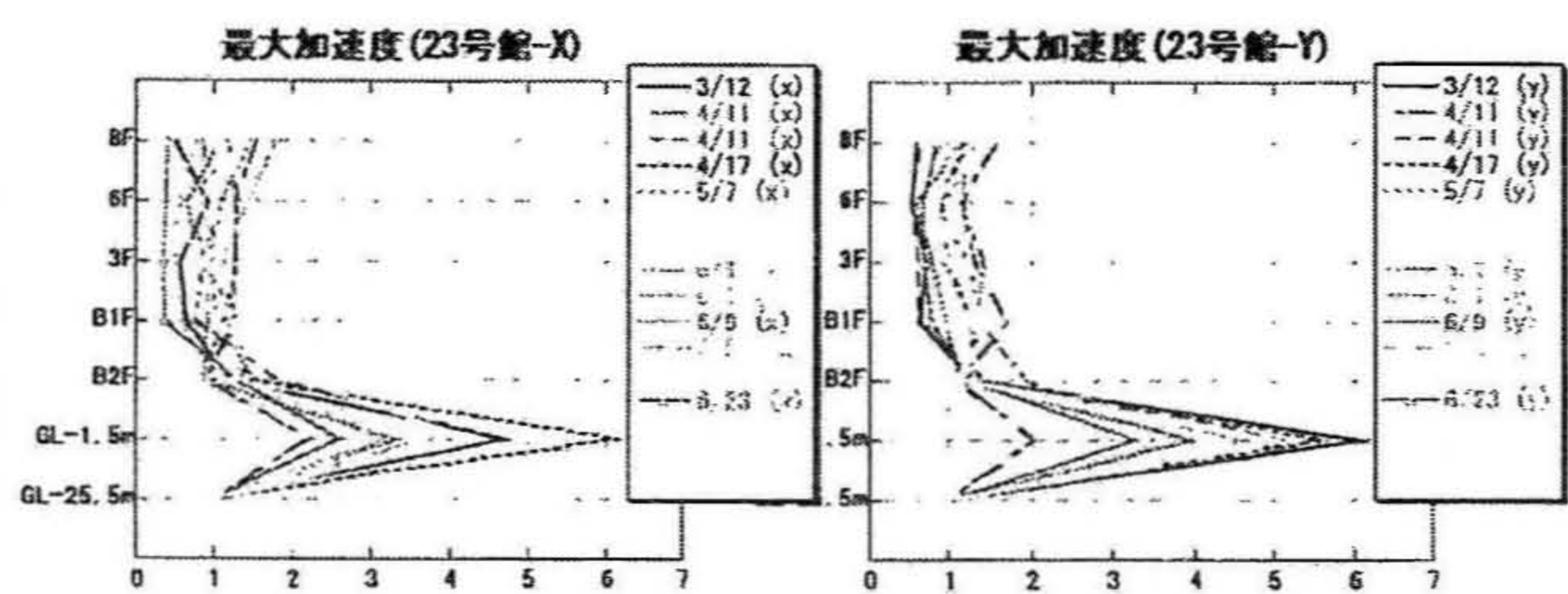


図 2 23 号館最大加速度応答比率

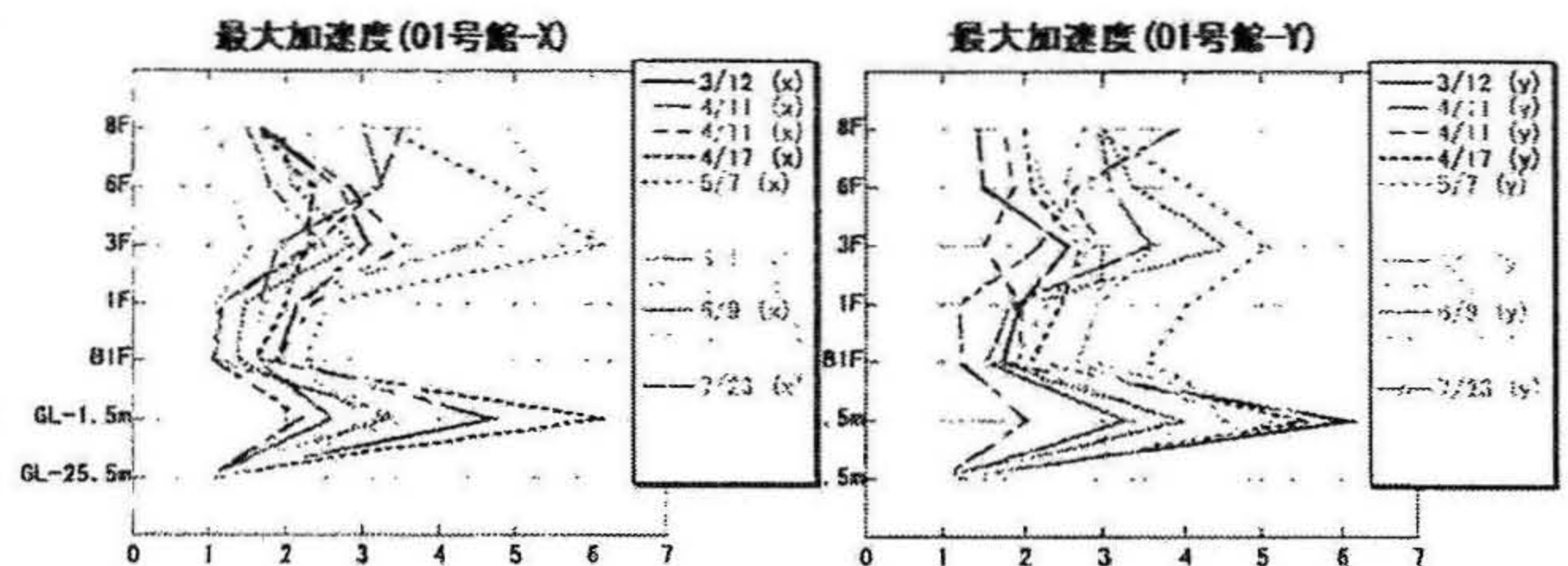


図 3 1 号館最大加速度応答比率

4. 免震層の特性

免震層の復元力特性を求めるため、比較的大きな観測地震記録 (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 4 のように集約して下式から求めた。図 5 には観測記録の中で最大の加速度を記録した 2005 年 7 月 23 日の地震を対象として得られた X 方向の $Q-\delta$ の関係 (全時間帯、 δ 最大の時間帯、 δ 平均の時間帯) を示す。最終的に各地震 X、Y 方向それぞれの $Q-\delta$ の関係から、地震の大きさにより変化する等価せん断剛性 (K_e) と等価粘性減衰定数 (h_e) を関数化して算出した。図 6 に算出した等価せん断剛性 (K_e) と、等価粘性減衰定数 (h_e) 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 (K_e)、等価粘性減衰定数 (h_e) を表す。

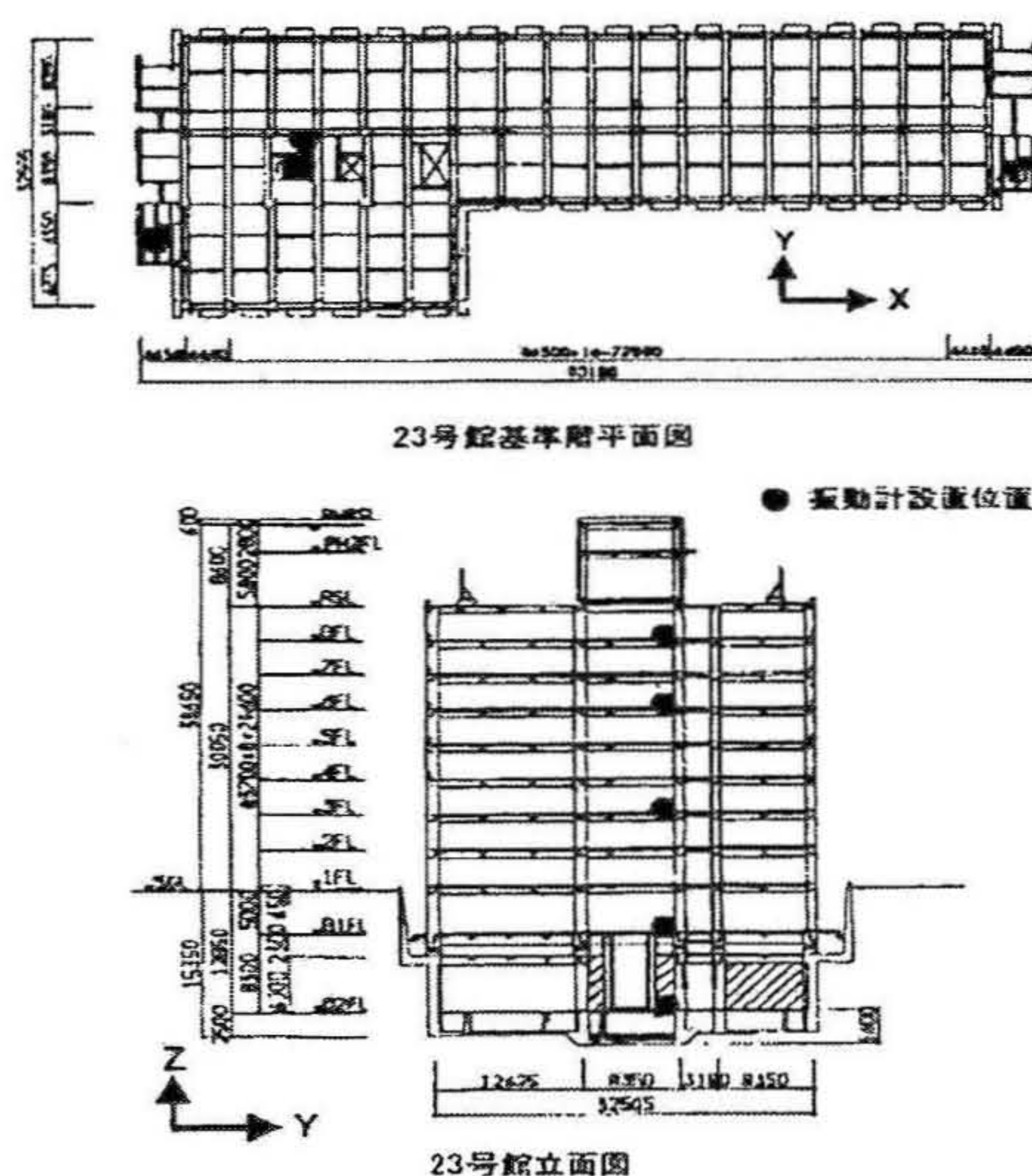


図 1 立面図・基準階平面図

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)
2001	4月10日	10:04	千葉県南東部	M4.5	11.8 19.2 7.6
	11月17日	1:32	千葉県北西部	M4.4	9.1 17.6 6.2
2002	5月19日	5:00	千葉県北西部	M4.6	16.1 49.3 15.9
	6月14日	11:43	茨城県南西部	M4.9	10.3 14.6 3.8
2003	5月10日	11:46	千葉県北西部	M4.5	11.2 12.5 6.8
	5月12日	0:57	茨城県南西部	M5.2	10 18.3 7.6
	5月26日	18:26	宮城県沖	M7.0	9 18 5.1
	8月18日	19:00	千葉県北西部	M4.6	21.1 13 8.9
	9月20日	12:55	千葉県南東部	M5.8	30.5 38 14.2
2004	7月17日	15:10	千葉県沖	M5.5	16 20.6 8.5
	8月6日	3:23	千葉県北西部	M4.6	29.2 49.2 15.2
	8月25日	1:49	東京湾	M4.4	14.9 19.7 12
	10月6日	23:40	茨城県南西部	M5.7	25.8 21.3 11.5
	10月23日	17:56	新潟県中越	M6.8	9.5 9.3 3.7
	10月23日	18:34	新潟県中越	M6.5	8.6 9.3 3.6
2005	7月23日	16:35	千葉県北西部	M6.0	147.1 141.3 57.6

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

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

$Q_{B2F(t)}$: 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

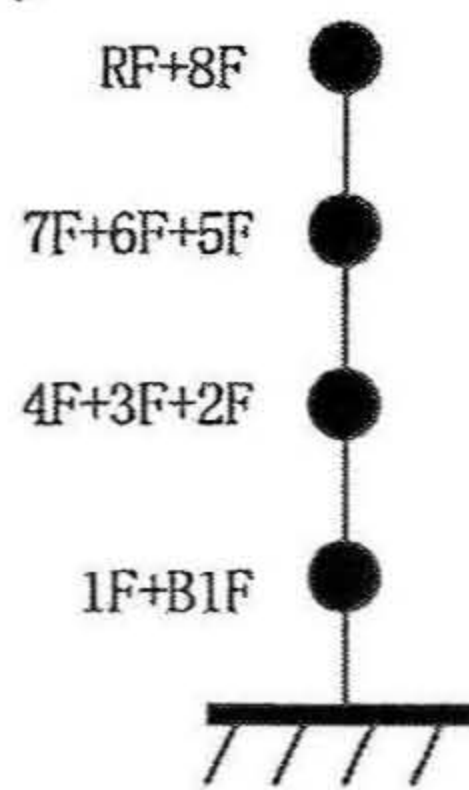


図4

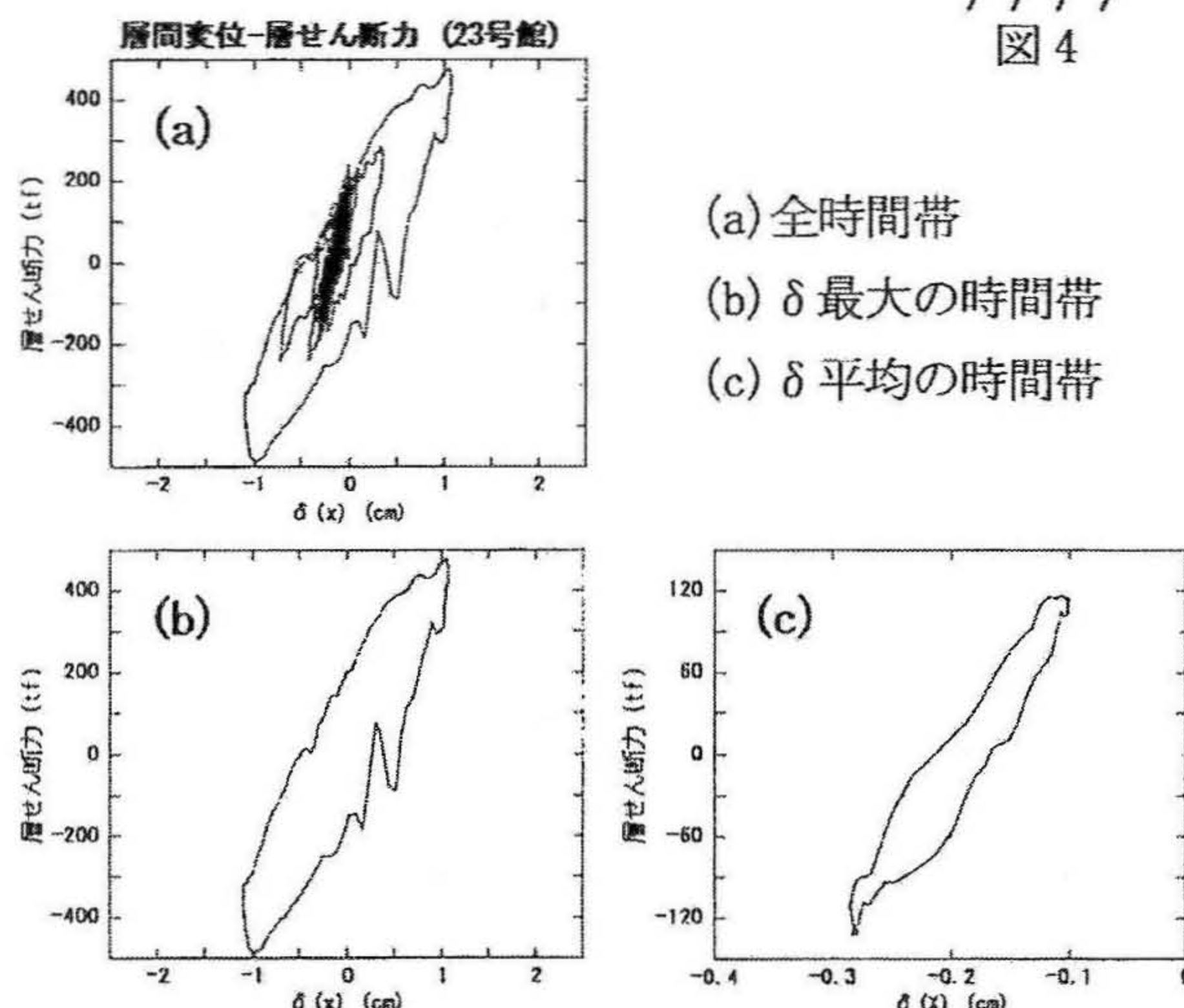


図5 Q-δの関係(2005年7月23日-X方向)

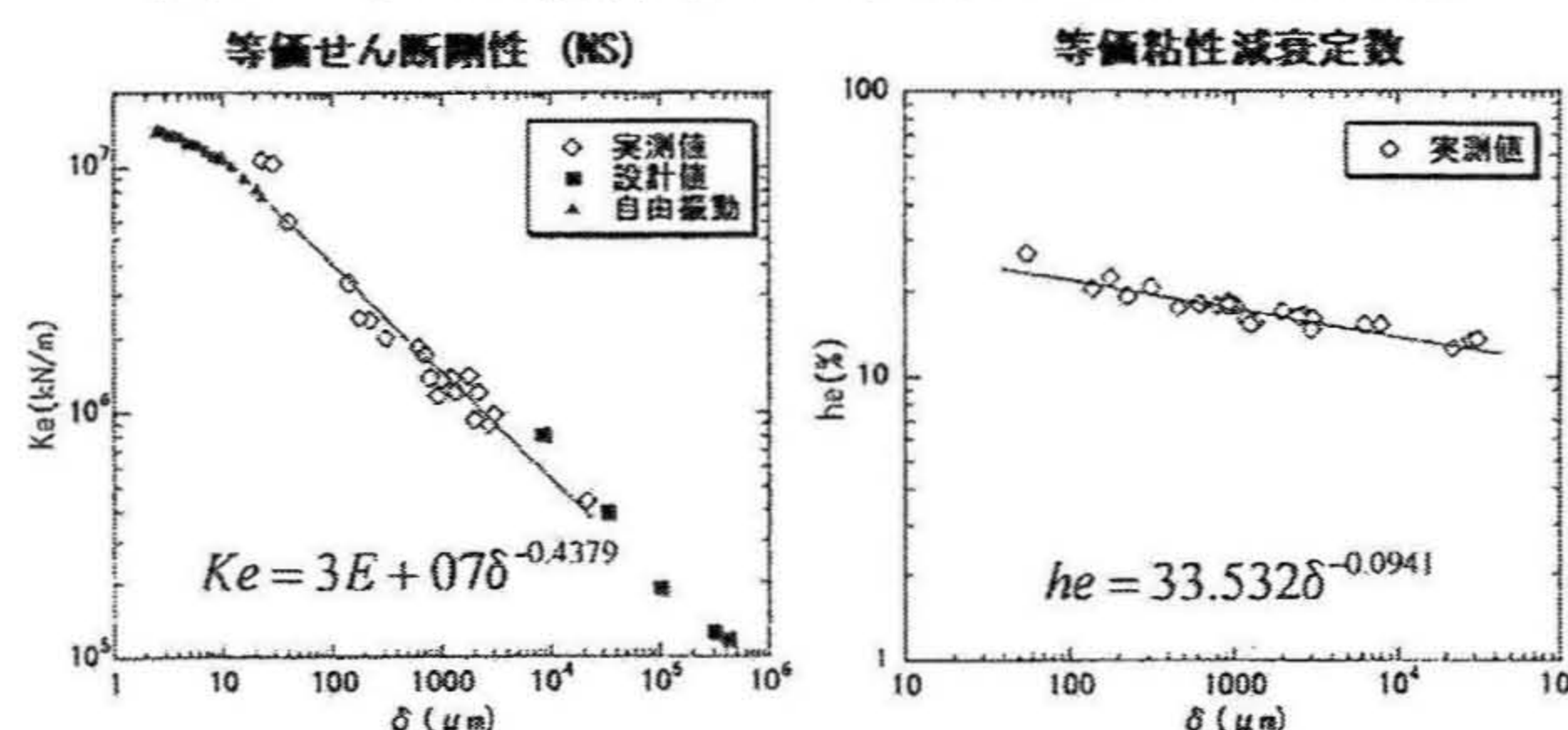


図6 等価せん断剛性(X方向)・等価粘性減衰定数

5. 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。図7に23号館のX方向解析モデルを示す。解析時には、地震の大きさ(免震層の層間変位)により変化する関数として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、地震波の入力位置は本研究からGL-21.8mとした。できるかぎり人工物の影響のない観測地震波を入力させるため、最も深い点(GL-21.8m)で観測された地震波を用いた。

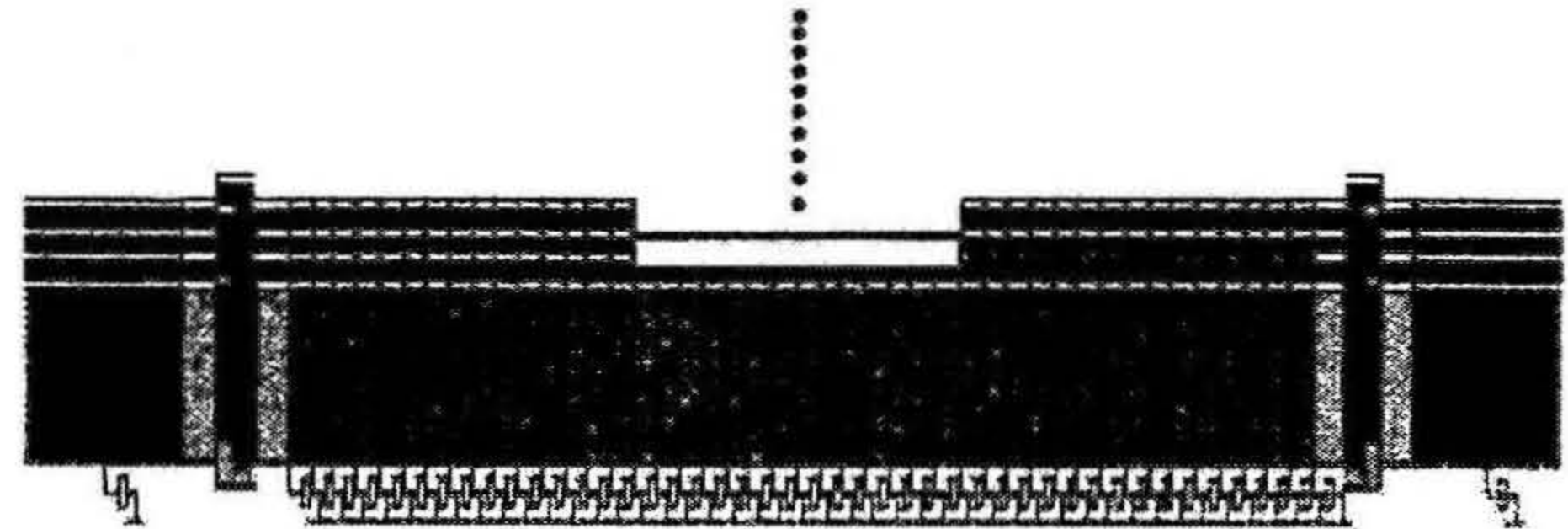


図7 23号館X方向解析モデル

5(1). 解析結果と考察

解析結果の一例として、観測記録の中で最大の加速度を記録した2005年7月23日の地震波形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を比較したものを図8に示す。両者はよく一致した特長を示している。他の地震波形を用いた解析についても同様の結果が得られた。

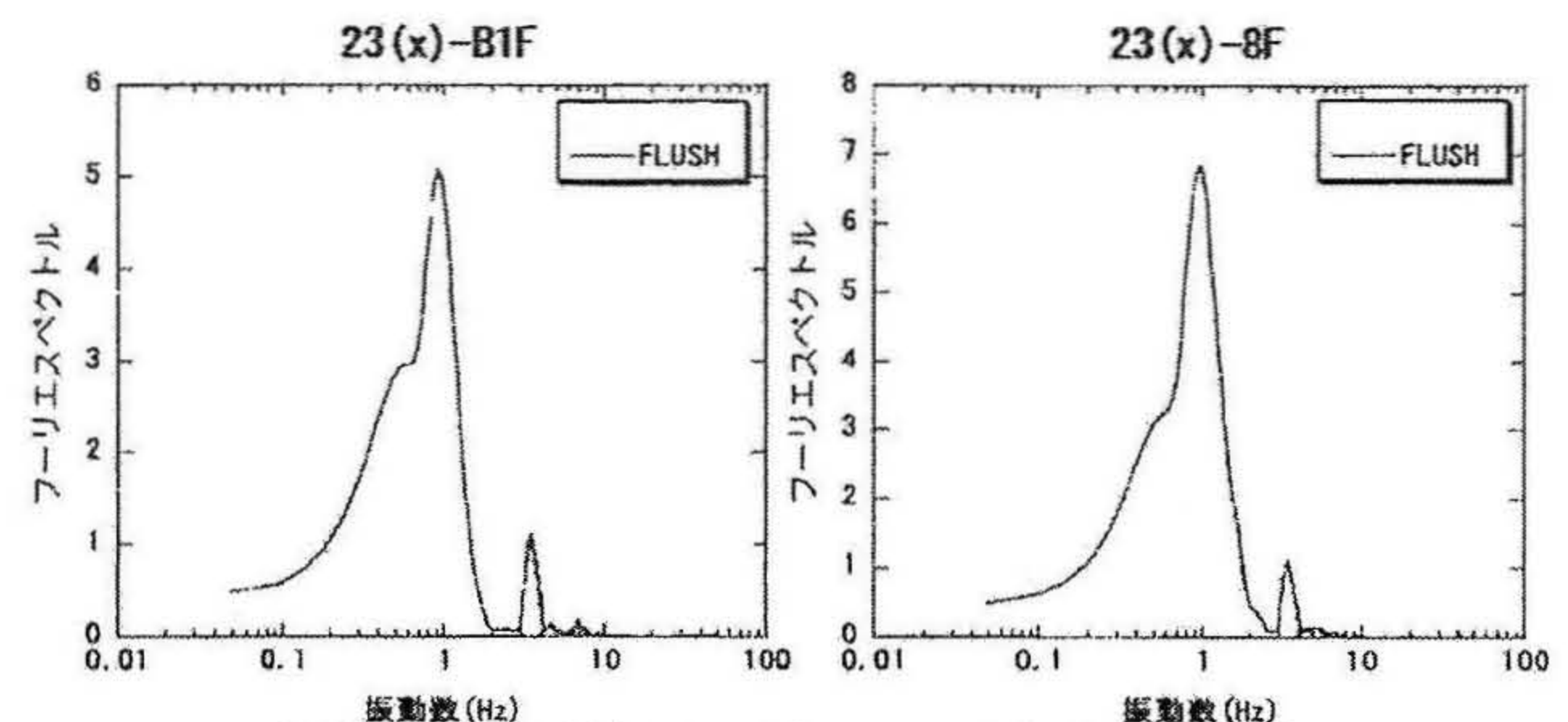


図8 23号館フーリエスペクトル比較

6. まとめ

本研究では神奈川大学23号館を対象として免震建物の動的挙動の研究を行った。観測記録では免震建物の23号館は免震層の効果により上層階では振幅がほとんど増幅されないことが確認できた。一方、非免震建物の1号館では地震波の特性により上層階での振幅にばらつきがあることが確認できた。解析結果はスペクトル特性におけるピーク周期や最大値が一致していることから、概ね良好な結果が得られたといえる。比較的振動振幅の大きな地震を対象として、地盤と建物の相互作用を考慮することにより良好な解析結果が得られることが確認できた。

[参考文献]

- 1) 荏本孝久、山本俊雄、栗山利男: 神奈川大学23号館(免震棟)の強震観測記録
- 2) 伊藤和久: 23号館免震層の強震観測に基づく動的復元力特性の検討 (2002年度卒業論文)
- 3) 武元雄作: 近接した免震建物と非免震建物の動的挙動に関する基礎的研究 (2004年度卒業研究)