

23号館の地震時実挙動観測に基づくシミュレーション

栗山利男*1、荏本孝久*2

(*1：(株)構造計画研究所地震防災グループ、*2：神奈川大学工学部建築学科)

1. はじめに

神奈川大学横浜キャンパスに新築された23号館は、地下2階と地下1階の間に免震層を有する鉄筋コンクリート造建物であり、地震時の建物挙動を明らかにすることを目的として2001年4月より強震観測が実施されている。本報では、観測された地震観測記録に基づき免震層の復元力特性を評価し地震応答解析を行ない、23号館の地震時振動特性（周期特性）について観測記録との比較検討を行った結果を報告する。

2. 解析モデル

地震応答解析に用いた建物モデルは、各階ごとに1個の質点を設けた等価せん断型モデルとした。各層の質量およびバネ定数は建物設計時の振動解析モデルを参照して図1に示すように設定した（以下、このモデルを設計値モデルと称する）。設計値モデルの非線形特性は、本報で扱う入力地震動レベルが小さいことから

線形として取扱うこととした。ただし免震層については、設計時に設定されたトリリニア型の復元力特性を用いた（図7参照）。なお、本報での建物モデルは、基礎固定モデルとして扱っており、スウェイ、ロッキングは考慮していない。

地震応答解析に用いた入力地震動は、これまでに観測された地震記録のうち建物地下2階での最大加速度が最も大きかった9月18日に観測された東京湾を震源とするNo.7地震（M4.4、地下2階での最大加速度：12.45cm/sec²）を用いた。

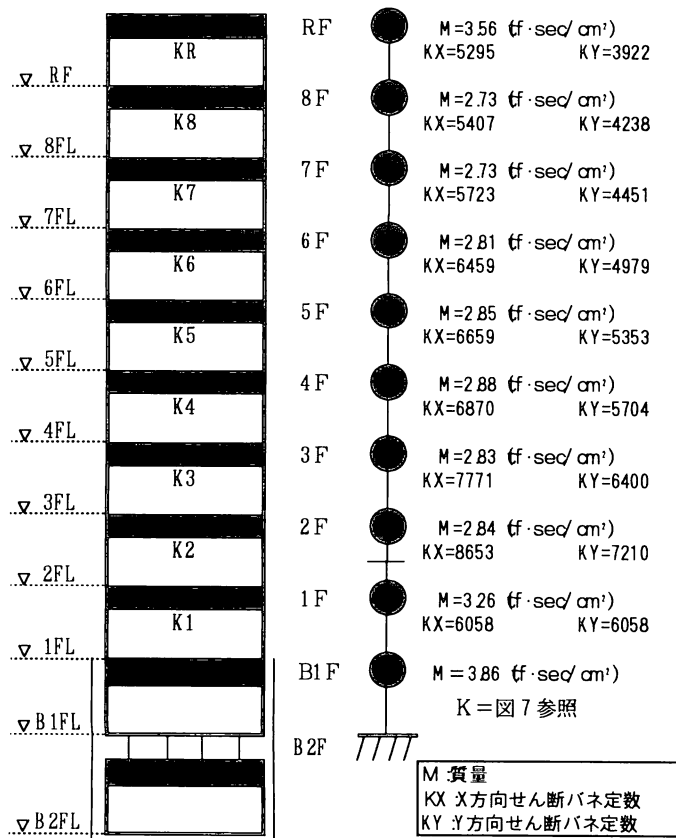


表1 固有周期（設計値）

	方向	1次	2次
上部構造のみ	X	0.79	0.28
	Y	0.86	0.31
積層ゴムアイソレータ とダンパーを考慮	X	1.40	0.40
	Y	1.43	0.44

図1 建物モデル

3. 設計値モデルによる地震応答解析結果

図2に地震応答解析結果から得られた8階における加速度応答時刻歴のフーリエスペクトルを観測記録の加速度フーリエスペクトルと比較して示す。図2より地震応答解析結果によるフーリエスペクトルの卓越周期は、X方向、Y方向ともに1.4秒および0.4秒付近であり、観測結果のフーリエスペクトルと比較すると長周期成分が卓越している結果となった。観測記録を正確にシミュレーションするためには建物モデルの剛性を見直す必要がある。

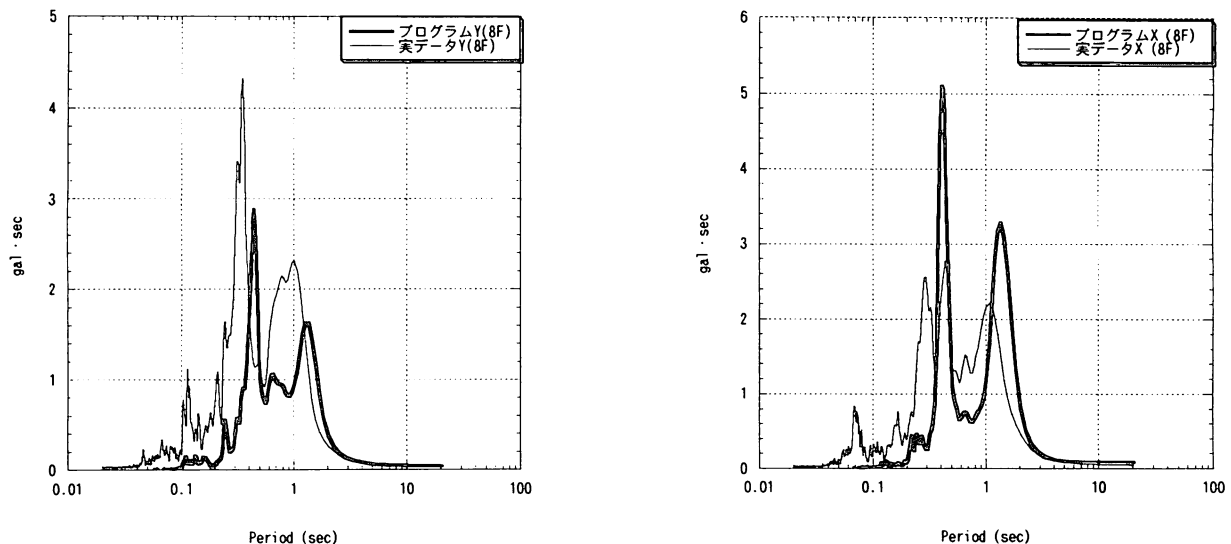


図2 解析結果と観測記録のフーリエスペクトルの比較

4. 免震層の復元力特性の検討

安達ら³⁾は23号館の振動実験結果から免震層の復元力特性を評価している。その結果によれば、免震層の等価せん断剛性・等価減衰定数は、微小な相対変位から強い非線形性を有することが明らかになっている。

本報では、地震時における免震層の等価せん断剛性を求めるために、免震層上下階で得られた加速度記録を二回積分することにより変位波形を算出し、免震層上下階の相対変位を求めた。算定した相対変位波形を図3に示す。免震層に作用する層せん断力は、加速度記録に図4に示すように地震計設置階に集約した質量を乗じた総和から求めた。図5に免震層に作用するせん断力と相対変位の関係を示す。図5より復元力特性は免震層上下階の相対変位が大きくなるに従いループの傾きは小さくなり、面積は大きくなるといった傾向が認められる。

次に、この復元力特性から免震層の等価せん断剛性と相対変位の関係を算定した。算定結果を図6に設計値、自由振動実験および定常加振実験から得られた結果と一緒に示す。図6より地震観測記録から算定した等価せん断剛性は、NS(X)方向、EW(Y)方向ともに振動実験による結果と設計値を補間した結果となっており、相対変位が大きくなると減少し設計値に近づく方向になっている。

以上の検討結果から、免震層の復元力特性を再設定した。設定した免震層の復元力特性を図7に示す。

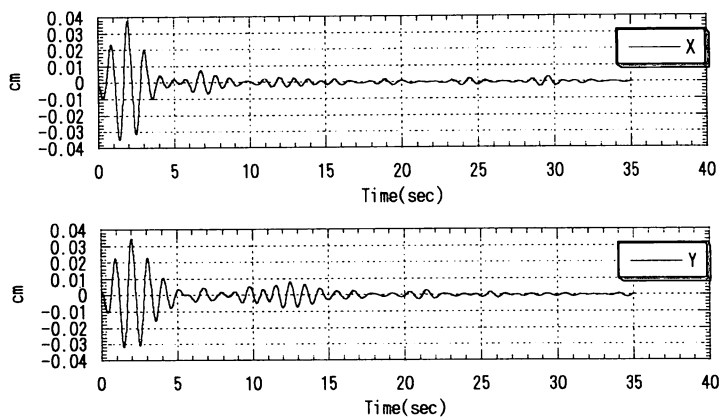


図3 免震層上下階の相対変位時刻歴

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

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

$Q_{B2F}(t)$: 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 免震層の層せん断力算定方法

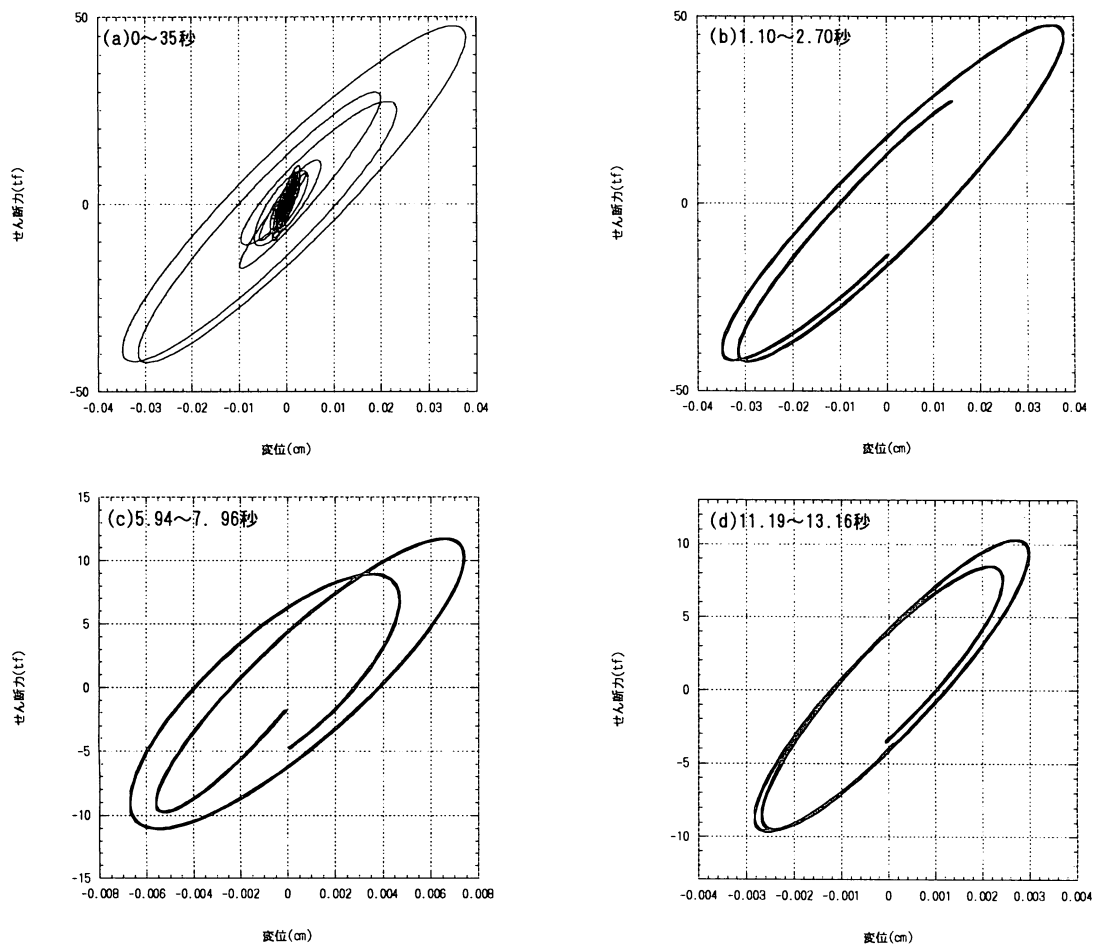


図5 地震観測記録から得られた免震層のせん断力と相対変位の関係

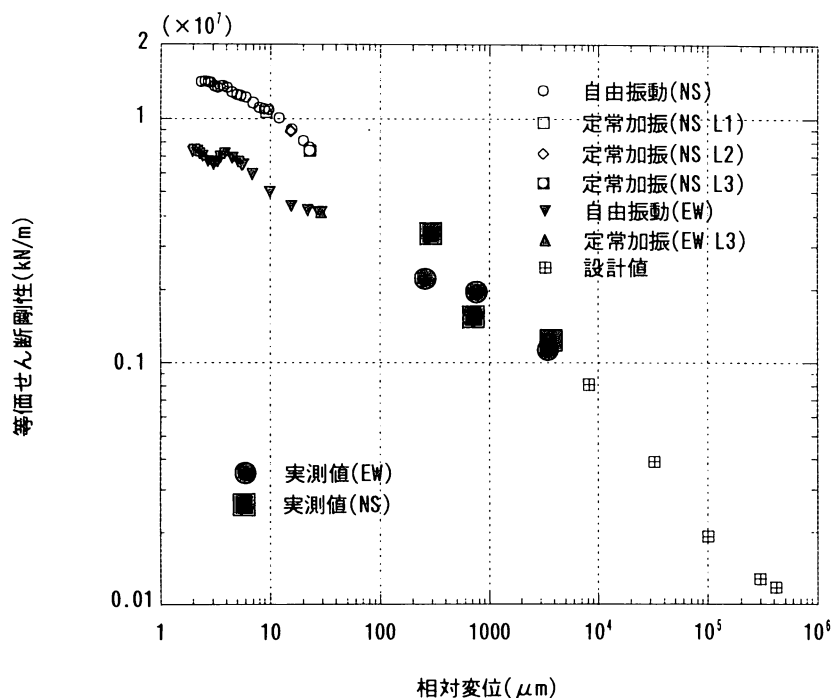
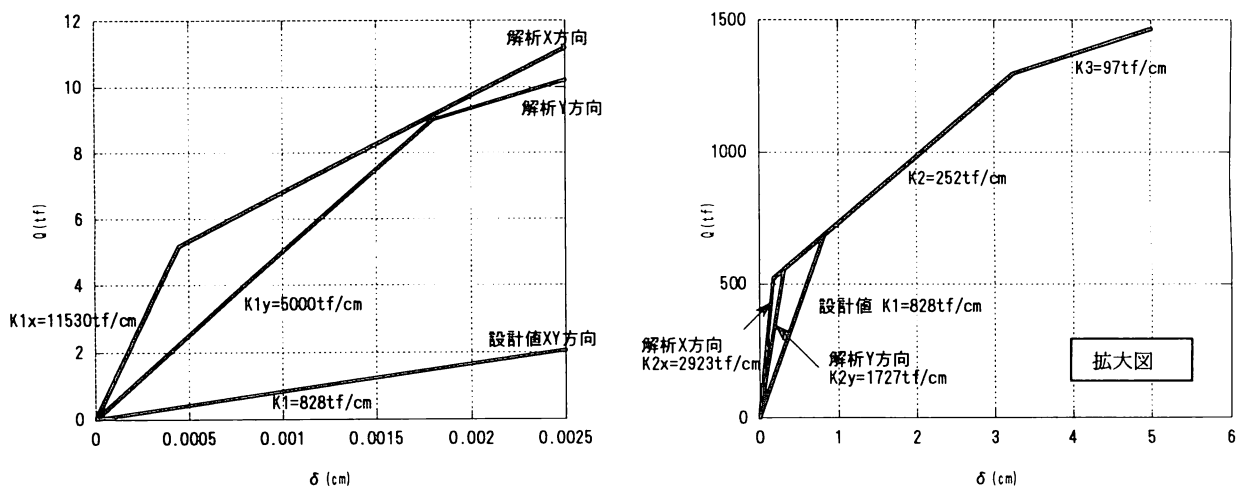


図6 地震観測記録から得られた等価せん断剛性と相対変位の関係



第一折れ点				第一折れ点			
δ 1設計値	0.8297cm	Q 1設計値	687tf	δ 1x	0.00045cm	Q 1x	5.189tf
第二折れ点				δ 1y	0.0018cm	Q 1y	9tf
δ 2設計値	3.2503cm	Q 2設計値	1297tf	第二折れ点			
				δ 2x	0.1775cm	Q 2x	522tf
				δ 2y	0.3200cm	Q 2y	558tf
				第三折れ点			
				δ 3x	3.2503cm	Q 3x	1297tf
				δ 3y	3.2503cm	Q 3y	1297tf

図7 地震観測記録から評価した免震層の復元力特性

5. 地震応答解析

設計値モデルに、前章で求めた免震層の復元力特性を用いて非線形地震応答解析を実施した。図8に観測された加速度時刻歴波形と地震応答解析の結果から得られた加速度応答時刻歴波形を示す。また図9に加速度フーリエスペクトルを示す。図9より観測記録と解析結果は振幅レベルに若干の差が認められるものの、周期特性は概ね整合している。

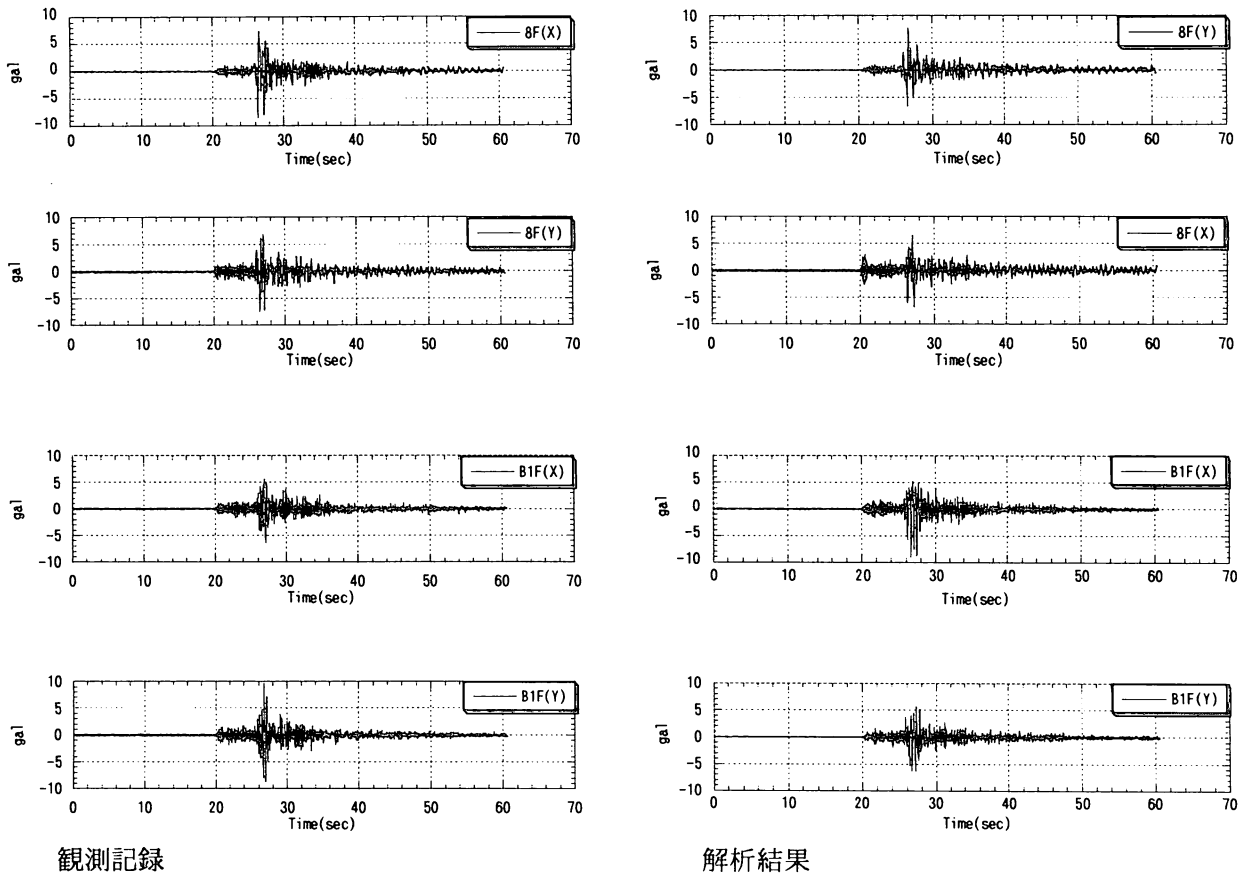


図8 加速度時刻歴波形

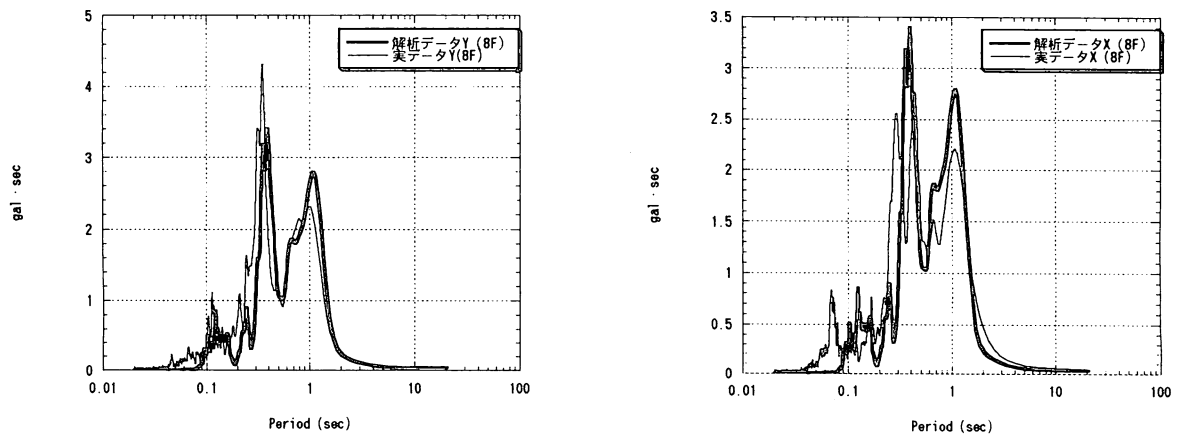


図9 フーリエスペクトル

6. まとめ

地震観測記録を用いて地震応答解析を行った結果、以下の知見が得られた。

- ①設計値モデルによる地震応答解析結果から評価した建物周期は、観測記録から評価した建物周期よりも若干長周期成分が卓越している。
- ②地震観測記録から得られた免震層の等価せん断剛性と相対変位の関係は、微小な相対変位から非線形性を示しており、相対変位が大きくなると等価せん断剛性は小さくなる傾向が認められる。この結果は、振動実験および設計値とも整合した結果となった。
- ③地震観測記録から評価した免震層の復元力特性を用いたモデルで地震応答解析を行った結果、設計値モデルによる解析結果よりも観測記録の周期特性を良く説明できた。
- ④前述したように免震層の等価せん断剛性は微小な相対変位から非線形性を示すことから、今後さらに多数の地震観測記録を用いて免震層の特性を明らかにし、最適な復元力特性を設定していく必要がある。

参考文献

- 1) 吉田和彦、大熊武司、常木康弘：神奈川大学 23 号館（免震棟）および新 1 号館の振動実験 その 1 23 号館（免震棟）の構造設計概要、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.807-808、2001 年 9 月
- 2) 引田智樹、安達直人、内山正次、大熊武司：神奈川大学 23 号館（免震棟）および新 1 号館の振動実験 その 2 23 号館（免震棟）の振動実験結果、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.809-810、2001 年 9 月
- 3) 安達直人、引田智樹、内山正次、大熊武司：神奈川大学 23 号館（免震棟）および新 1 号館の振動実験 その 3 23 号館（免震棟）免震層の復元力特性、日本建築学会大会学術講演梗概集、B-2、pp.811-812、2001 年 9 月
- 4) 栗山利男、山本俊雄、荏本孝久：RC 造免震構造建物の地震観測結果に基づく動的挙動の検討、第一回日本地震工学研究発表・討論会梗概集、p.136、2001 年 11 月