日本建築学会大会学術講演梗概集
（北　陸）2002年8月

# 神奈川大学23号館(免震棟)の風応答性状に関する研究
## （その３　地震風応答観測概要および常時微動測定）

○正会員　下村祥一[*1]　同　大熊武司[*2]
同　安井八紀[*3]　同　小賀伸一[*4]

免震建物　風応答観測　常時微動
地震応答　振動モード　復元力特性

### １．はじめに

兵庫県南部地震を契機に、地震荷重の低減を目的とした免震建物が急速に普及してきている。しかしながら、風外乱に対する免震建物の応答に関する研究は、未だ少なく、その挙動について不明な点が多いのが現状である。

筆者らは、文献1)2)において、神奈川大学23号館を対象に、風力天秤実験に基づいて応答を予測し、再現期間１年の風速に対して平均的な知覚閾[3]程度の加速度が予想されることを試算している。

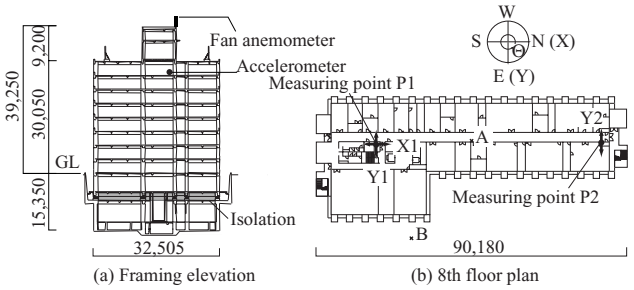
本研究は、文献1)2)に引き続き、2001年より実施している風応答観測結果について報告するものである。その３では、風応答観測概要に加え、常時微動測定、地震観測の結果について、その4では風応答観測結果を、その5では弾塑性応答解析結果について報告する。

### ２．対象建物および観測概要

**2.1 建物概要**　観測対象建物である神奈川大学23号館は、図1に示すように地上8階建て塔屋2階，地下2階で、免震層は地下2階と地下1階の間に設けられている。

表1に示すように、設計時の解析結果[4]によれば、免震層を固定した場合の1次固有振動数は約1.2Hz、免震層の初期剛性を考慮した1次固有振動数は約0.7Hzである。いずれの場合も短辺方向であるY方向の固有振動数が最も低く、捩れの固有振動数が最も高いが、その振動数比は約1.1と小さい。また、建物の重心と免震層の剛心とのずれは、X方向で0.1m以下、Y方向で約0.5mであり、殆ど偏心のない構造となっている。

**2.2 風応答観測概要**　観測項目は、塔屋屋上の南西側隅角部(建物最高部から2.5m，地上41.75m)に設置された風車型風向風速計(日本エレクトリック・インスツルメント，N-262LVS)と、建物8階に設置された加速度計(東京測振，SS-1:FS 500mm/s²)3成分である。加速度の方向はX方向に1成分(P1点)，Y方向に2成分(P1およびP2点)としている。観測データは、20Hzのローパス・フィルター(NF回路設計ブロック，P-84）を介した後、サンプリング周波数50Hzで常時時刻歴が記録されている。




(a) Framing elevation　(b) 8th floor plan

**図1 建物概要および観測点概要**

**表1　設計時の固有振動数(Hz)[4]**

| | X | Y | 捩れ |
|---|---|---|---|
| 免震層固定時 | 1.18 | 1.14 | 1.28 |
| 免震層初期剛性時(上部弾性体) | 0.72 | 0.70 | 0.74 |
| 免震層初期剛性時(上部剛体) | 1.38 | 1.38 | ― |

**2.3 地震観測概要および常時微動測定**　地震観測では、地下2，地下1，3，6，8階の図1に示すP1点おいて、XおよびY方向の加速度をサンプリング周波数100Hzで測定している。

風観測に先立ち、微小振動時の振動性状の把握を目的として，竣工後に常時微動測定を実施した。測定では、XあるいはY方向について、地上点と地下1，2，4，6，8階に各1点ずつ、6点同時に速度時系列を測定した。測定位置は、地上点は図1に示すB点、建物内計測点はA点の位置で、A点は設計上の重心位置に概ね一致する。データはサンプリング周波数100Hzで約40分記録した。計測時間帯の横浜地方気象台での10分平均風速は0.8m/s～3.1m/s[5]であった。

### ３．常時微動および地震観測結果

**3.1 固有振動数と減衰定数**　常時微動記録を27個の81.92秒の小サンプルに区分し、地上と各階とのクロススペクトルのアンサンブル平均を地上のパワースペクトル密度のアンサンブル平均で除して伝達関数を評価した。8階を事例として図2に示す。2001年9月18日4時24分に観測された地震記録から、常時微動と同様な手法によって求めた伝達関数およびパワースペクトル密度を図3に示す。地震時の加速度時系列は0.2Hz～10Hzのバンドパス・フィルター処理を施した後、Trifunacの方法[6]により基線補正した。また、評価区間は地下2階のX方向に最大加速度が生じた時間から2秒間遡った時間からの20秒間とした。常時微動時および地震時の1次固有振動数および減衰定数を表2に示す。

常時微動測定結果より推定した固有1次振動数はX，Y両方向共に約1.6Hzで、設計時に想定した免震層が初期剛性時の固有1次振動数よりも高く、加えて上部構造を剛体と

**表2　常時微動時，地震時の固有1次振動数および減衰定数**

| | | 固有振動数(Hz) | | 減衰定数(%) | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | X | Y | X | Y |
| 常時微動時 | RD法 | 1.62 | 1.57 | 1.16 | 1.90 |
| | 伝達関数 | 1.64 | 1.61 | 1.49 | 3.79 |
| | パワースペクトル密度 | 1.62 | 1.59 | 1.34 | 2.58 |
| 地震時 | 伝達関数 | 1.10 | 1.09 | 19.4 | 18.5 |

*Wind Response of The 23rd Building (Base-isolated type) of Kanagawa University*
*Part 3 Outline of Full-scale Measurement*　*SHIMOMURA Shoichi, OHKUMA Takeshi, YASUI Hachinori and KOGA Shinichi*

した場合よりも高い。また、減衰定数は、X方向で1.2～1.5%程度と手法によらず概ね一定で、Y方向では1.9～3.8%と手法による減衰定数に差が認められる。

地震時の固有1次振動数は約1.1Hzで、免震層が初期剛性時の固有1次振動数よりも高い。減衰定数は18～20%である。

**3.2 振動モード**　図4に常時微動時および地震時の伝達関数から推定した1次の振動モードを示す。地震時の振動モードと常時微動時の振動モードを比較すると、免震層の変形角がより一層大きくなっていることがわかる。

**3.3 剛性分布と免震層の復元力特性**　建物をせん断構造物とし、建物が固有振動数で正弦運動していると仮定して、振動モードおよび質量[4]より求めた各層の剛性分布を図5に示す。ただし、振動モードが得られていない層については、隣接層の値から直線で内挿あるいは外挿した。

常時微動時の上部構造の剛性は、X方向では設計値の約2倍、Y方向では2～3倍程度の値となっている。一方、免震層の常時微動時の剛性は設計値の10～15倍である。地震時の上部構造のXおよびY方向の剛性は、下層においては常時微動時の剛性と設計値の中間的な値に位置し、上層部では常時微動時の剛性と概ね一致する。一方、地震時の免震層の剛性は、X, Y方向共に常時微動時には設計値の10数倍あった剛性から約3倍まで低下している。免震層の剛性が、上部構造に比較して地震時に急激に剛性が低下していることがわかる。

X方向を事例として、地震時の加速度時系列から推定した免震層のせん断力と免震層＋地下2階の変形の関係を、設計時および各外乱時の剛性と併せて図6に示す。なお、同図は振動時間の大半を占める部分を拡大したものである。層せん断力は、各層の加速度時系列に各層の質量を乗じ、それらを合算することで評価した。ただし、測定されていない層の加速度は、隣接層の値から直線で内挿あるいは外挿した。変形は、地下2階と地下1階の加速度をTrifunacの方法[6]により評価した。

振動時間の大半を占める変形が±0.2mm以下の領域の平均的な剛性と地震時の振動モードから推定した剛性とは概ね一致している。この領域においては、Bi-linearに近い復元力特性になっており、常時微動の振動モードから推定した剛性が、この復元力特性の弾性勾配に相当する剛性と同程度の値となっている。このように免震層は、低振幅域でも弾塑性的な挙動を示すことがわかる。

## 4．おわりに

神奈川大学23号館を対象とした風応答観測の概要、常時微動時ならびに地震時の固有振動数、減衰定数、振動モード、剛性分布および免震層の復元力特性について述べた。その結果、低振幅域でも弾塑性的な挙動を示すことが明らかになった。

**謝辞**　本研究は、文部科学省学術フロンティア、神奈川大学産学共同研究総合プロジェクト「地震・台風災害の制御・低減に関する研究(TEDCOM)」の一環として行われたものであり、記して感謝の意を表します。

**参考文献**

1)2) 大熊武司他;神奈川大学23号館(免震棟)の風応答性状に関する研究(その1),(その2),日本建築学会大会学術講演梗概集,pp.197-200,2001.9　3) 日本建築学会;建築物の振動に関する居住性能評価指針・同解説,1991　4) 神奈川大学,日建設計;神奈川大学(仮称)新3・4号館 評定資料,1998.12　5) 気象庁;気象庁月報 平成13年6月　6)Trifunac M.D et.al;Recent Developments in Data Processing and Accuracy Evaluations of Strong Motion Acceleration measurements, Proc. of 5th WCEE, 1973.6

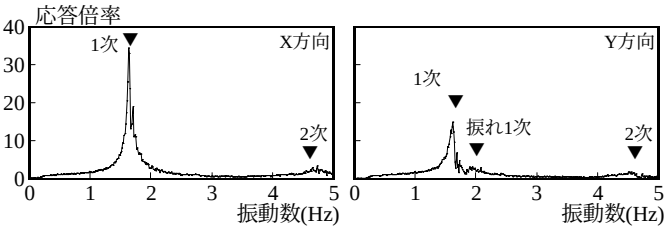



図2　常時微動時の伝達関数(8F)

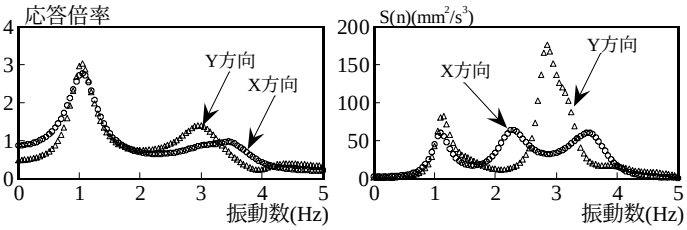



図3　地震時の応答倍率およびパワースペクトル密度(8F)

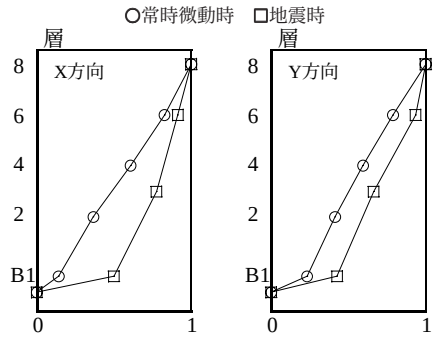



図4　振動モード

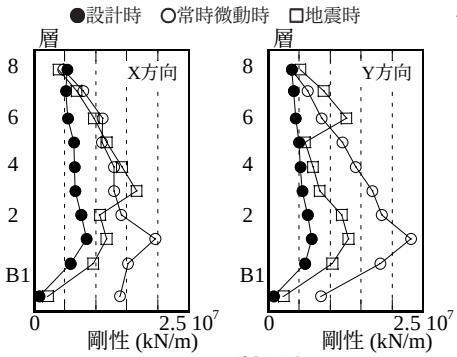



図5　剛性分布

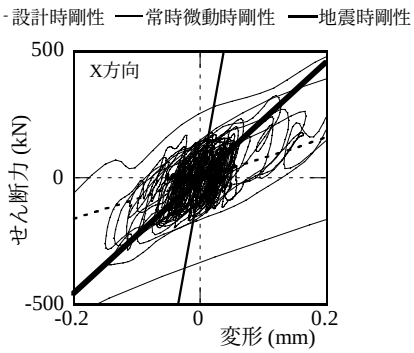



図6　免震層の復元力特性

*1 神奈川大学工学部建築学科 助手　Research Associate, Dept. of Arch., Faculty of Eng., Kanagawa Univ.
*2 神奈川大学工学部建築学科 教授・工博　Professor, Dept. of Arch., Faculty of Eng., Kanagawa Univ., Dr. Eng.
*3(株)泉創建エンジニアリング(神奈川大学大学院生)　Chief Research Engineer, Urban Environment Research Center, ISEC
*4 神奈川大学大学院生　Graduate Student, Dept. of Arch., Faculty of Eng., Kanagawa Univ.