

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

|                   |                                                                                                            |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 論題(和文)            | 強風時の観測記録に基づく超高層免震建物の捩れ振動特性の分析 - その1 加速度の捩れ成分および固有振動数の分析                                                    |
| Title(English)    |                                                                                                            |
| 著者(和文)            | 中井亜里沙, 佐藤大樹, 村上智一, 田村哲郎, 普後良之, 吉江慶祐, 笠井和彦                                                                  |
| Authors(English)  | Arisa Nakai, Daiki Sato, Tomokazu Murakami, TETSURO TAMURA, Yoshiyuki Fugo, Keisuke Yoshie, KAZUHIKO KASAI |
| 出典 / Citation     | 日本建築学会関東支部研究報告集, , , pp. 413-416                                                                           |
| Citation(English) | , , , pp. 413-416                                                                                          |
| 発行日 / Pub. date   | 2017, 3                                                                                                    |

# 強風時の観測記録に基づく超高層免震建物の振れ振動特性の分析

## その1 加速度の振れ成分および固有振動数の分析

構造一振動

正会員 ○ 中井亜里沙<sup>\*1</sup>同 佐藤大樹<sup>\*1</sup>同 村上智一<sup>\*1</sup>同 田村哲郎<sup>\*1</sup>同 普後良之<sup>\*2</sup>同 吉江慶祐<sup>\*3</sup>同 笠井和彦<sup>\*1</sup>

風応答観測 超高層免震建物 振れ回転中心位置

振れ応答 長期観測 固有振動数

### 1. はじめに

1995年に発生した阪神・淡路大震災以降、免震建物の優れた耐震性能が評価され、その需要が高まった。当初は建物の機能を守る必要が高い建物や防災拠点、病院などに採用される例が多く、中低層建物を中心に建設されていたが、近年においては集合住宅や事務所ビルなどにも、免震構造が採用されるケースが増えており、それは超高層建物においても例外ではない<sup>1)</sup>。超高層免震建物の需要は今後も増え続けると考えられることから、このような建物の実挙動を知ることは重要である。免震構造は並進と振れの固有周期が近接する傾向があるため、風外力の空間的な不均一によって生じる振れ力に対して敏感であるといわれている<sup>2)</sup>。振れ振動に関する既往研究において、金子らは風洞実験による多点同時測定システムによる高層建物の振れ振動の検討により、塔状比1~3の高層建物の建物頂部の加速度応答値は、端部と重心で最大で2倍程度の応答の違いが出る可能性があるとしている<sup>3)</sup>。建物外周部の居住性能を評価する際は振れ振動による加速度の増幅を無視できないため<sup>3-4)</sup>、風応答時の振れ振動特性に関して把握することは非常に重要である。中層免震建物の風観測記録について大熊ら<sup>5-6)</sup>より報告されているが、風荷重が大きくなる超高層免震建物の実測に基づく強風下での実挙動に関する研究や報告例は少なく<sup>7)</sup>、振れ振動特性に関して分析した報告は殆どない<sup>8)</sup>。

東京工業大学すずかけ台キャンパス(横浜市緑区)には、扁平な平面形を有する超高層免震建物として総合研究棟2号館(以後、J2棟)がある。この建物では複数層における応答加速度および建物頂部の風向風速が常時観測されている。本報その1では、これまでの観測データのうち比較的大きい応答を示した5つの強風イベントのデータを対象に、建物頂部に関する振れ振動特性の分析結果を報告する。

### 2. 建物概要および観測装置概要

図1に、J2棟の立面図を示す。J2棟は2005年に竣工した地上20階、棟屋2階、高さ91.35m、平面形状は15.8m×46.2mの鉄骨造超高層免震建物であり、1階と2階の間に免震層を有する中間層免震構造が採用されている<sup>9)</sup>。図2に観測装置配置図を、図3に免震層の概要を示す<sup>10)</sup>。J2棟には計27chの加速度計、免震層(MF)には計13chの変位計が設置されている。加速度計・変位計はそれぞれ40Hzのアナログロー

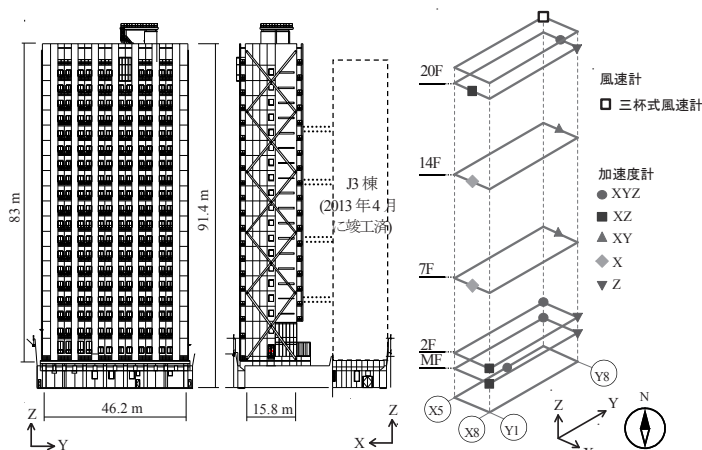


図1 J2棟立面図

図2 観測装置配置図

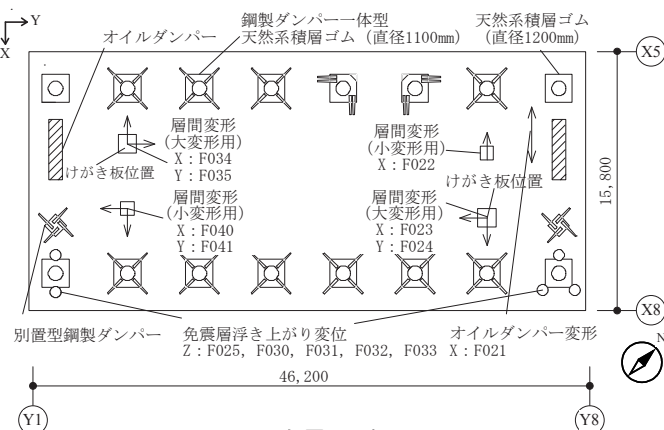


図3 免震層の概要

パスフィルタを介して100Hzで収録されている。免震層は直径1100mm(鋼製ダンパー一体型)、1200mmの天然ゴム系積層ゴム支承(NRB1100, NRB1200)計16基、別置型鋼製ダンパー2基、オイルダンパー2基(X方向のみ)から構成されている。

建物頂部の北側には三杯式風速計と矢羽根式風向計が設置されており、風速データは3秒ごとに平均し、瞬間風速として記録され風向は正16方位で記録される。加速度計・変位計と風速計はそれぞれ独立したシステムとなっているが、各々LANなどの通信を経由してタイムサーバーを定期的に参照することで計測時刻を同期している。

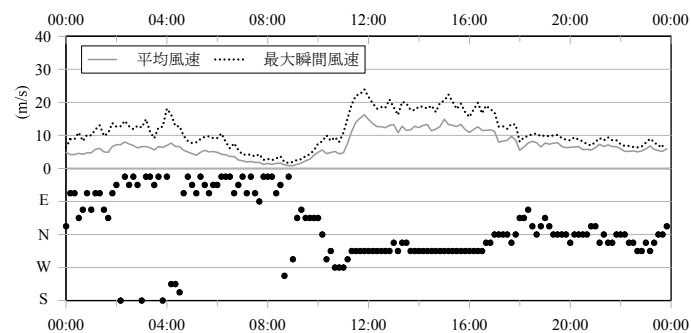
### 3. 風観測記録概要

本報では、J2棟単体時期における観測データの内、最大瞬間風速が大きい強風イベントのデータ caseA(2006年3月17日)、caseB(2006年10月6日)、caseC(2007年9月6日~9

月 7 日, 台風 9 号 (T0709)), caseD (2007 年 10 月 27 日, 台風 20 号 (T0720)), caseE (2008 年 4 月 18 日) を使用する<sup>7)</sup>。表 1 に風観測記録の概要を示す。図 4 に各強風イベントの風速と風向を示す。なお, 平均風速は 10 分間の平均値を示しており, 風向は 10 分間における最多風向を示している。caseA では 11:50 に, caseB では 15:40 に, caseC では 1:10 に, caseD では 16:20 に, caseE では 7:50 にそれぞれ最大瞬間風速を記録している。なお, caseC は停電により風速データが欠損していると考えられる時間が複数存在するため, 10 分間の中で風速データが 0 m/s となっているプロットを欠測

表 1 風観測記録概要

| 名称    | 年月日            | 最大平均 |     | 最大瞬間 |     |
|-------|----------------|------|-----|------|-----|
|       |                | 風速   | 風向  | 風速   | 風向  |
| caseA | 06/03/17       | 16.3 | NW  | 23.9 | NW  |
| caseB | 06/10/06       | 16.2 | NNW | 25.6 | NNW |
| caseC | 07/09/06-09/07 | 17.2 | ESE | 30.6 | ESE |
| caseD | 07/10/27       | 20   | NNW | 28.2 | NNW |
| caseE | 08/04/18       | 20.2 | NE  | 26.5 | ENE |



(a) caseA (2006 年 3 月 17 日)

と判断し除外している。ただしここでは, 計測されたデータの範囲内で得られた最大瞬間風速を用いることとした。参考として近隣の風観測データを確認したところ, 概ね近い時刻に最大風速が観測されている。

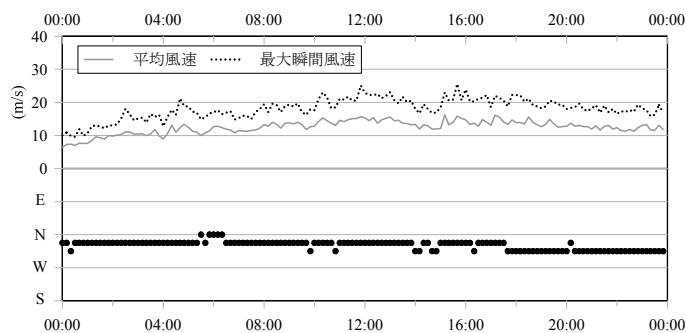
## 4 加速度応答特性の分析

### 4.1 観測記録の処理方法

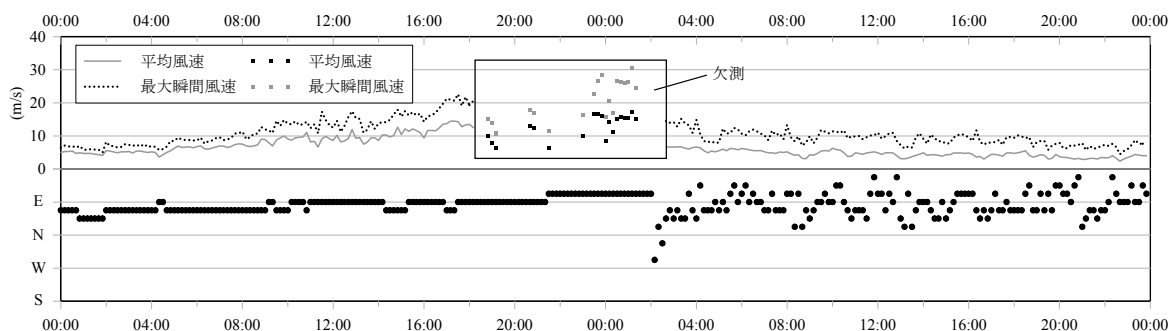
加速度計は建物端部に設置されているため, 各加速度計の X 方向のデータには X 方向成分と振れ成分が含まれている。ここでは, X 軸方向成分と振れ成分をともに含む生データを, X (NE) および X (SW) と称する。また J2 棟の剛心が概ね建物中心に位置していることから, 本報では式(1)により算定したものを X 方向並進加速度と定義し, X (並進) と称する。同様に式(2)により算定したものを振れの加速度と定義し, X (振れ) と称する。

$$X(\text{並進}) = \{ X(\text{NE}) + X(\text{SW}) \} / 2 \quad (1)$$

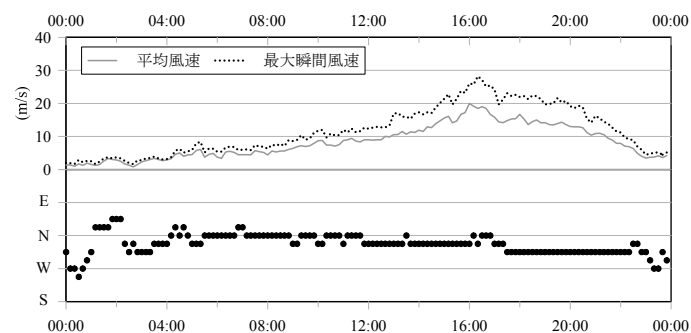
$$X(\text{振れ}) = \{ X(\text{NE}) - X(\text{SW}) \} / 2 \quad (2)$$



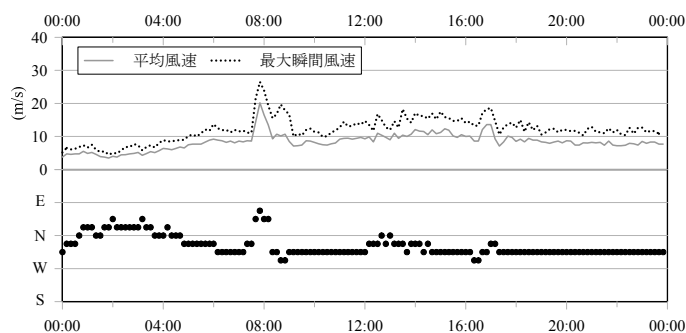
(b) caseB (2006 年 10 月 6 日)



(c) caseC (2007 年 9 月 6 日～7 日)



(d) caseD (2007 年 10 月 27 日)



(e) caseE (2008 年 4 月 18 日)

図 4 各強風イベントの風向風速

J2 棟に使用されている加速度計は、ダイナミックレンジとして 130dB が採用されており、微動から強振動に至るまでを精度よく計測できる<sup>10)</sup>。ただし、風応答時の加速度記録は S/N が低下するため、加速度記録のフーリエスペクトルから 5Hz より高周波数側をノイズと判断し、10 分間毎のデータに対し 5Hz のローパスフィルターを用いた<sup>11)</sup>。

## 4.2 加速度記録の最大値分布

図 5 に最大瞬間風速を観測した 10 分間における caseA～caseE の免震層、2, 7, 14, 20 階それぞれの、X ( NE ), X ( SW ) および X ( 並進 ) の加速度記録を示す。なお、同図に示すプロットは同じ瞬間に発生したものではないことに注意されたい。caseC および caseD の 14 階 X ( SW ) 方向の加速度記録は欠測していたため、プロットを除外している。図 5 より、揺れを含む端部の加速度は、並進加速度よりも大きい値を示

していることが確認できる。最上階である 20 階に着目すると X ( NE ) または X ( SW ) は、X ( 並進 ) と比較して最大 1.8 倍を示すイベントもあり、揺れ成分を無視できないことを確認した。

## 4.3 加速度のパワースペクトル密度

図 6 に caseC ( 2007 年 9 月 7 日 ) の 20 階の X ( 揺れ ) と X ( 並進 ) の加速度のパワースペクトル密度 ( 以下、PSD ) の一例を示す。図 6(a) は最大瞬間風速が示された時刻 ( 1 : 10 ) であり、図 6(b) は最大瞬間風速の半分程度の風速で 1 : 10 と同じ風向を示した時刻 ( 6 : 30 ) である。なお、10 分間における最大瞬間風速は、図 6(a) は 30.6 m/s、図 6(b) は 11.9 m/s で、図 6(a) の風速は図 6(b) の約 2.6 倍であり、風向はいずれも ESE 方向である。図 6(a) は、揺れよりも並進のスペクトルピークの方が大きいですが、図 6(b) では揺れのスペクトルピークの方が

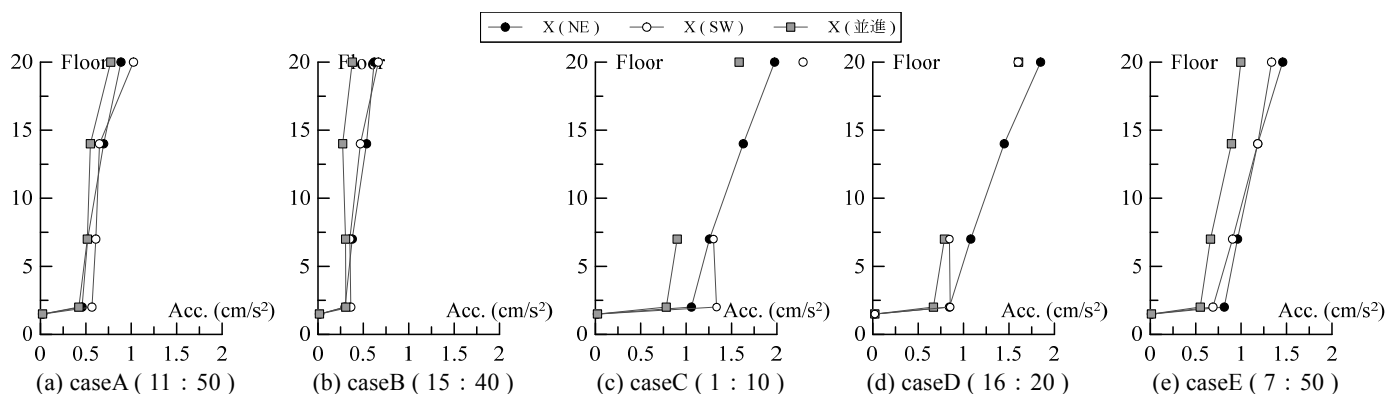


図 5 加速度最大値の高さ方向分布

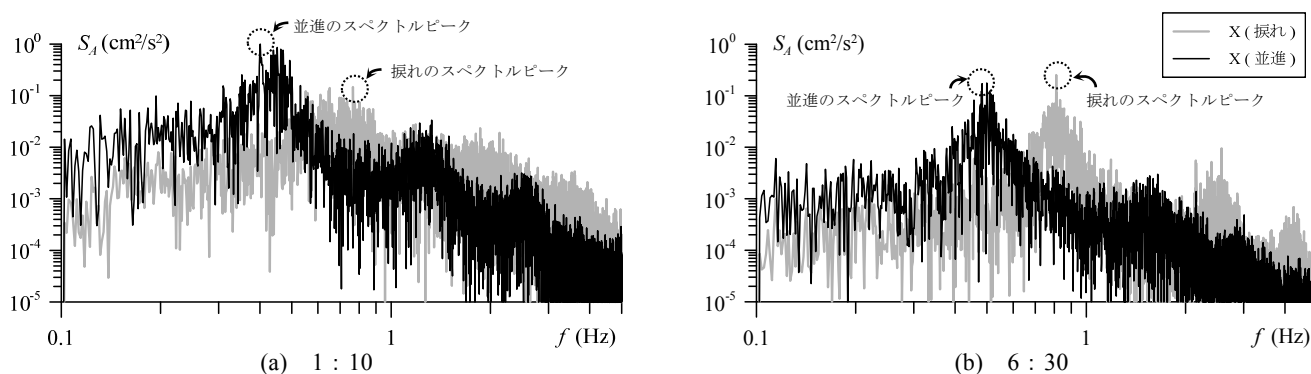


図 6 揺れ成分および並進成分のパワースペクトル密度 ( caseC 2007 年 9 月 7 日 20 階 )

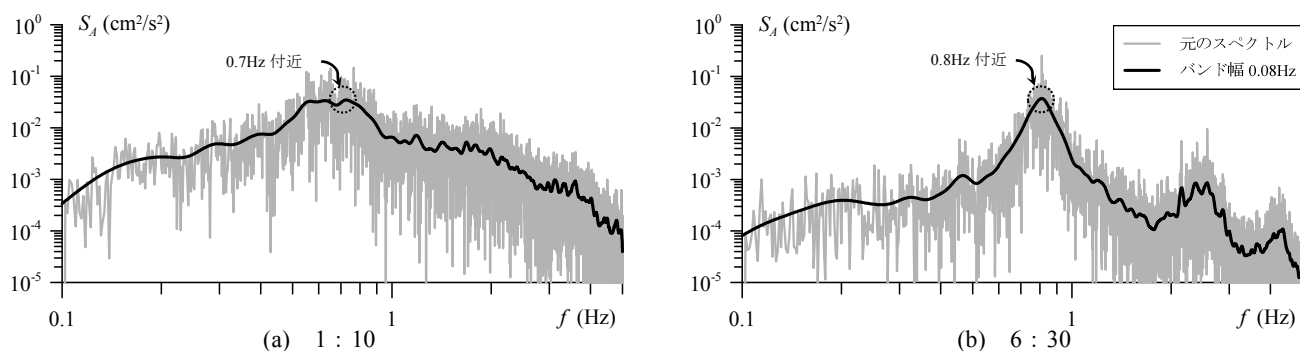


図 7 揺れ成分のパワースペクトル密度 ( caseC 2007 年 9 月 7 日 20 階 )

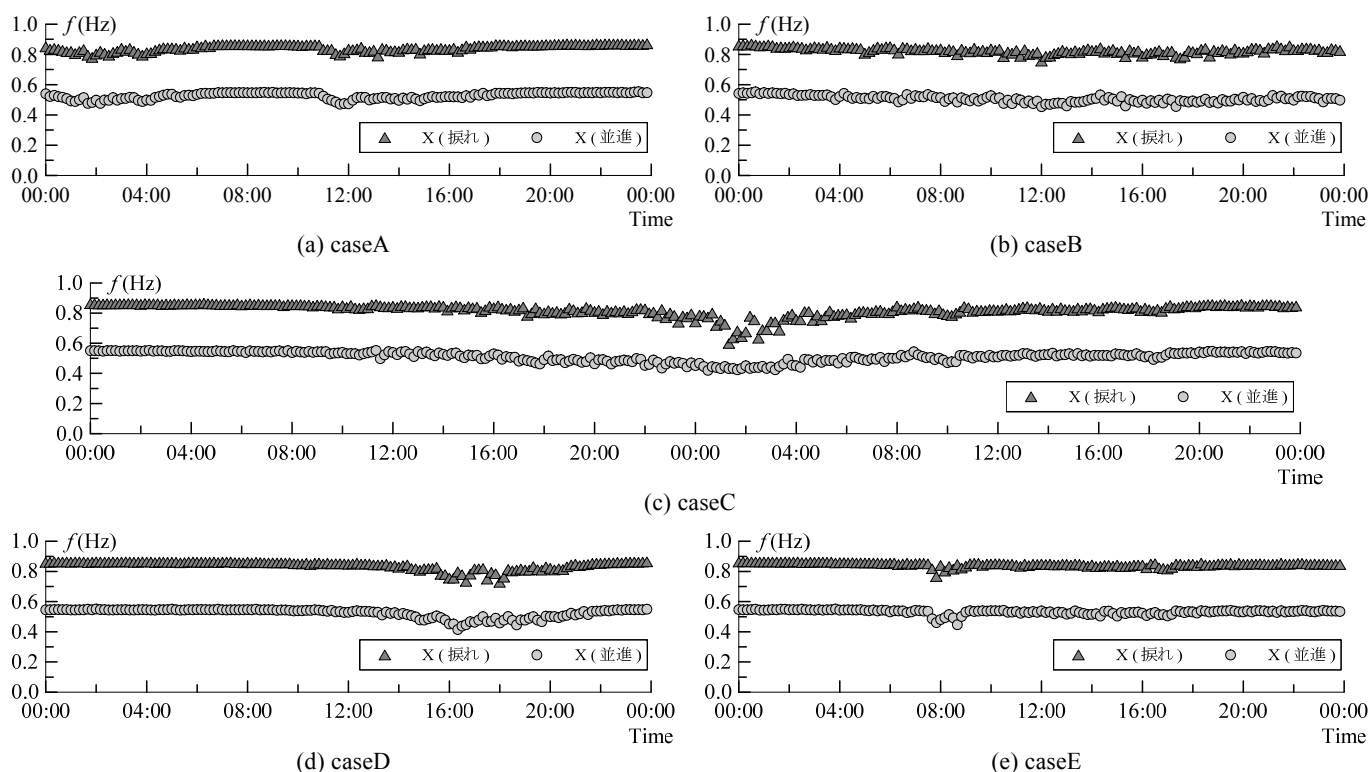


図 8 固有振動数の時系列変化

並進のスペクトルピークよりも大きいことが分かる。同じ風向でも並進と揺れの応答加速度の大小関係は逆転することがあり、また最大瞬間風速発生時と同程度の揺れの応答加速度が比較的低い風速で発生する事例を観測できた。

#### 4.4 風応答時における固有振動数の変化

図 7 に、caseC (2007 年 9 月 7 日) の 20 階の揺れ成分の加速度の PSD の一例を示す。本報では、揺れ成分の加速度記録に対して、0.08Hz のバンド幅をとり、Parzen のウィンドウを用いてスペクトルの平滑化<sup>12)</sup>を行うことにより、揺れ成分の卓越振動数を求めた。20 階の加速度の PSD (10 分間) のピーク値より固有振動数を求めているため、空力弾性や付加質量効果が含まれた値となっているが、今回の応答範囲では無視できるほど小さいと考えることが出来る。

図 8 に、caseA～caseE の 20 階の応答加速度の X (揺れ) および X (並進) の風応答時の固有振動数の時系列変化を示す。図 8 より、5 つの強風イベントにおいて、風速の増大に伴い、建物の固有振動数が低下していることが確認できる。また、揺れ成分の固有振動数は並進成分の約 1.6 倍から 1.9 倍で、約 0.8 Hz 付近にあることが確認できる。図 8(c)caseC (2007 年 9 月 7 日) の 1:50～2:50 においては、風速の増大により、揺れ成分の固有振動数が並進成分の固有振動数に近接しており、並進成分に対する揺れ成分の卓越振動数は、1.4 倍程度であることを確認した。

#### 5. まとめ

本報その 1 では、超高層免震建物である東京工業大学 J2 棟を対象に、これまでの風観測データのうち比較的大きい応答を示した 5 つの強風イベントのデータを対象に、風応答時の揺れ成分に関して分析した。以下に得られた知見を示す。

- (1) 揺れを含む建物端部の加速度は、並進加速度よりも最大で約 1.8 倍大きくなり、強風時の建物に及ぼす揺れの影響を無視できないことを確認した。
- (2) 加速度のパワースペクトル密度より、並進のスペクトルピークのほかに、揺れによるスペクトルピークを確認した。同じ風向でも並進と揺れの応答加速度の大小関係は逆転することがある。また、最大瞬間風速発生時と同程度の揺れの応答加速度が、比較的低い風速で発生する事例を観測した。
- (3) 揺れ成分の固有振動数は、並進成分の約 1.6 倍から 1.9 倍で、0.8Hz 付近にあることを確認した。また、強風時の風速の増大により、揺れ成分の固有振動数が並進成分の固有振動数に近接し、並進成分に対する揺れ成分の卓越振動数が約 1.4 倍に低下する事例を確認した。

謝辞および参考文献は、その 2 にまとめて示す。

\*1 東京工業大学 \*2 (株) 風工学研究所 \*3 (株) 日建設計