

# 振動計測に基づく東京理科大学神楽坂1号館の動特性に関する研究

栗田研究室

5105077 松原 貴章

## 1. はじめに

振動データを用いた建物の構造健全性診断法については、解決すべき課題が多い。振動データの分析で得られる建物の動特性の変化と建物の損傷や劣化との関係については、未だ、明らかにされていない。本研究は、東京理科大学神楽坂1号館を用いて構造健全性診断法を開発することを目的に、当該建物の現在までの動特性の変化を、常時微動データと今までに観測された地震記録の分析により調べる。

## 2. 建物概要

### 2.1 対象建物

対象建物は、1980年に竣工した初期免震建築物の一つである、東京理科大学神楽坂1号館（以下、1号館）である。1号館は地下1階、地上17階、塔屋1階、軒高56.47m、EW方向45.12m、NS方向19.40mの鉄筋鉄骨コンクリート造建築物で、平面形状はEW方向10スパン、NS方向2スパンの整形ラーメン構造である。（図1）

### 2.2 免震装置

地下1階柱は内側にコンクリートが充填されたボックス型鉄骨柱、外側に中空鉄筋コンクリート柱を配置して二重柱を構成し、これを免震装置としている。中空鉄筋コンクリート柱の上部と1階梁下部の間はコイル状の鉄筋ダンパーで接続されており、地震時に上部構造が水平移動を起こすと、ダンパーを介して水平力の一部が鉄骨柱頂部に作用する仕組みになっている。（図2）

## 3. 対象建物の動特性

### 3.1 常時微動測定概要

2008年12月10日(22:25~22:50)に1号館の常時微動測定を行った。サンプリング周波数を100Hz、計測時間を10分間として2回行った。図3に計測器機配置図を示す。同図に強震計の配置図も示す。

### 3.2 常時微動時の振動特性

図4、図5に常時微動測定から得たEW、NS方向それぞれの伝達関数およびコヒーレンスを示す。伝達関数  $H(\omega)$ 、コヒーレンス  $\text{Coh}^2(\omega)$ は次式より得られる。

$$H(\omega) = \frac{S_{xy}(\omega)}{S_{xx}(\omega)}$$

$$\text{Coh}^2(\omega) = \frac{|S_{xy}(\omega)|^2}{S_{xx}(\omega)S_{yy}(\omega)}$$

$$\begin{cases} S_{xx}(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^*(\omega)X_i(\omega) \\ S_{yy}(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N Y_i^*(\omega)Y_i(\omega) \\ S_{xy}(\omega) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^*(\omega)Y_i(\omega) \end{cases}$$

ただし、 $X(\omega)$ :入力、 $Y(\omega)$ :出力、\*:共役複素数、N:平均回数  
 $S_{xx}$ 、 $S_{yy}$ : パワースペクトル、 $S_{xy}$ : クロススペクトル

表1に2回の常時微動測定から得た1次、2次、3次固有振動数および1次減衰定数の平均値を示す。なお、減衰定数の評価方法としてハーフパワー法を用いた。

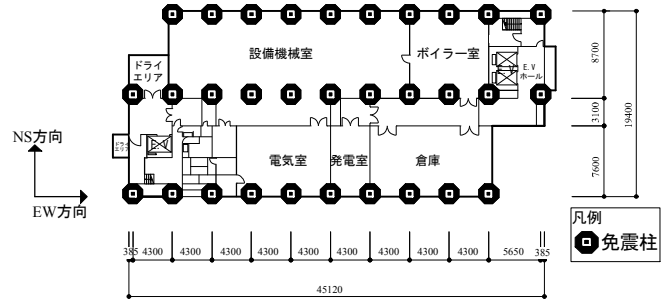


図1 地下1階平面図

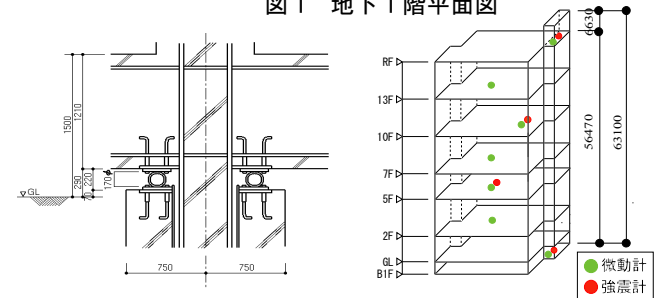


図2 免震装置断面図

図3 計測器機配置図

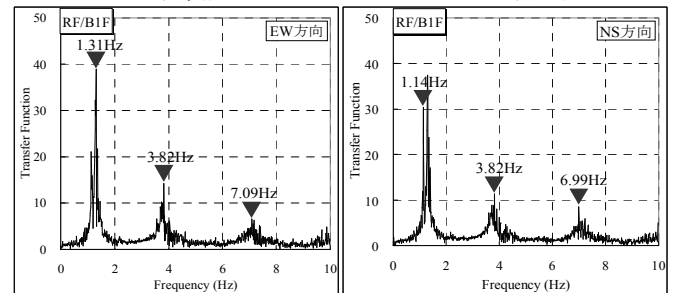


図4 伝達関数

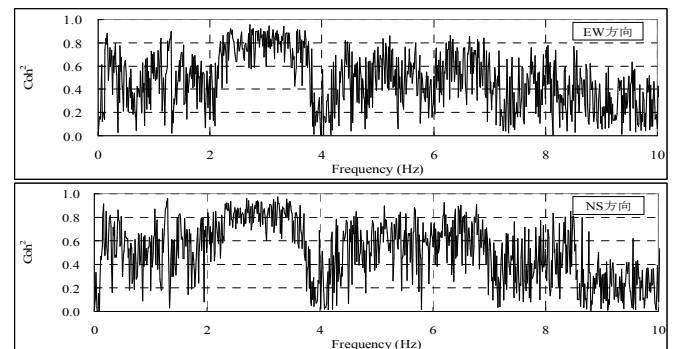


図5 コヒーレンス

表1 1次、2次、3次固有振動数と1次減衰定数

			EW	NS
常時微動測定	固有振動数(Hz)	1次	1.30	1.15
		2次	3.82	3.88
		3次	7.04	7.09
	減衰定数(%)	1次	2.35	3.34
地震観測	固有振動数(Hz)	1次	1.28	1.17
		2次	3.79	3.97
		3次	7.02	7.12
	減衰定数(%)	1次	2.42	2.42

### 3.3 観測地震

2002年3月に強震計が設置および観測されて以来、現在までに計215回、最大震度5強までの地震が観測されている。

### 3.4 地震時の振動特性

215回の地震観測記録の中で近年に発生した地震の代表例として、図6に2008年6月14日の岩手・宮城内陸地震の屋上階における加速度応答波形を示す。また、図7にこの波形の伝達関数を示す。表1に215回の地震観測の1次、2次、3次固有振動数および1次減衰定数の平均値を示す。図8は常時微動測定および215回の地震観測より得たEW、NS方向の屋上最大加速度と1次固有振動数との関係を示す。EW、NS方向の1次固有振動数はそれぞれ1.07Hz～1.42Hz、1.03Hz～1.32Hzの範囲にある。

### 3.5 常時微動および地震観測時における動特性の比較・検討

図8より地震観測記録における1次固有振動数が、常時微動時における1次固有振動数と比べて高く評価されるものの存在が確認できた。この現象は2次固有振動数、3次固有振動数の場合でも同様に見られた。この現象の理由の1つとして、1号館の経年変化が考えられる。また、常時微動時の固有振動数と地震観測記録の最大固有振動数の差はEW方向の1次0.16Hz、2次0.72Hz、3次1.26Hz、NS方向の1次0.17Hz、2次0.66Hz、3次1.45Hzとなり、両方向とも高次固有振動数になるにつれて差が広がる。図9に屋上階を基準としたとき、各方向の常時微動時および震度5強時のモード形状を示す。常時微動時の2次モードでは両方向ともに7階が腹となり、13階でモードの方向が反転する。3次モードでは8階、15階が節となる。また、モード形状を比較すると、NS方向の2次、3次モードの5階を除き概ね一致した。

### 4. まとめ

1号館の常時微動測定および地震観測記録により得られた結果を以下に示す。

- 1) 1次固有振動数はNS方向に比べEW方向が約1割高く評価されるものの、2次、3次固有振動数はNS方向が高く評価される。
- 2) 過去の地震記録の固有振動数の中には、常時微動時の固有振動数よりも高く評価されるものがあることから、1号館の経年変化が考えられる。
- 3) 常時微動時および震度5強時におけるEW方向のモード形状はよく一致しているが、NS方向の2次、3次モードの5階で差が出た。

本研究の結果を踏まえ、震度5以上の地震がより多く観測されることにより、5階における常時微動測定時と震度5強時のモード差の原因を解明することが課題として挙げられる。また今後、1号館の地震観測において、微動計増設を予定しており、常時微動連続モニタリングの実施を計画している。測定記録の詳細な分析から、気温や風などの外的要因が1号館の動特性に及ぼす影響を解析・評価する。さらに、免震層部分のモデル化を適切に行い、立体解析モデルを用いた地震応答解析から、地震観測記録との比較・検討を進めていく予定である。

参考文献 1)棟安 敦史,小鷹 正人:東京理科大学神楽坂校舎1号館の振動特性—常時微動・地震観測に基づく検討—,東京理科大学工学部第一部建築学科篠崎研究室卒業論文,2004 2)松下研究室:東京理科大学神楽坂校舎1号館構造計算書・構造図及び建築意匠図,1978

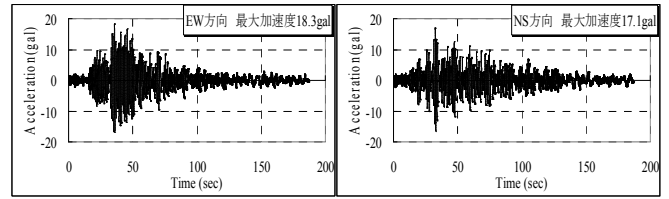


図6 加速度応答波形

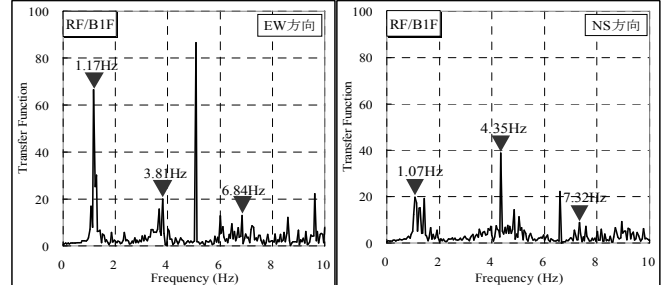


図7 伝達関数

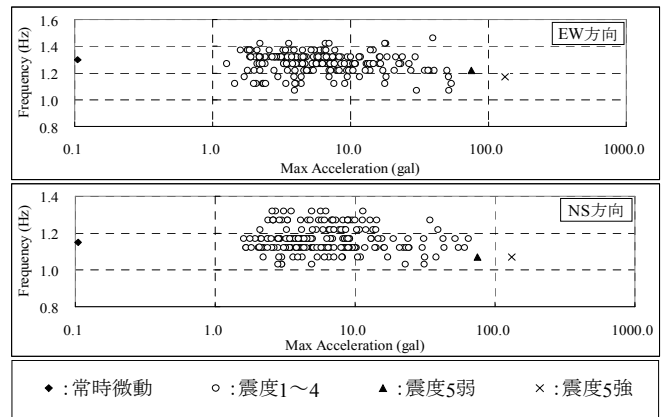


図8 屋上最大加速度と1次固有振動数

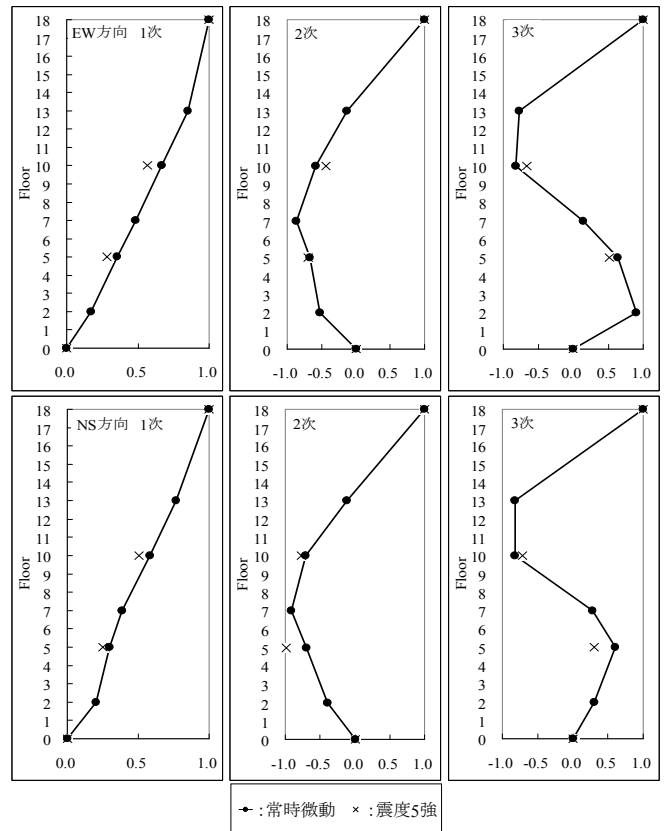


図9 モード形状