

立体振動を有する建物の連続振動モニタリングに基づく 振動特性の変動に関する基礎的研究

栗田研究室

5106075

保科 佳樹

1 はじめに

近年、既存建物の構造健全性を把握することを目的とした連続振動モニタリングの有効性が注目されている¹⁾。連続振動モニタリング記録から得られる建物の振動特性の変動を把握することは、構造健全性を評価する上で重要であると考えられる²⁾。しかし現在、立体振動を有する建物における連続的な振動特性の変動に関する知見は少ない。

これまでの研究成果から東京理科大学神楽坂1号館(以下、1号館と略称)は立体振動していることが報告されている³⁾。本論文では、1号館を対象として連続振動モニタリング記録および地震観測記録を分析することから、立体振動を考慮した振動特性の変動を統計的に把握することを目的とする。

2 対象建物および振動観測システム概要

2.1 東京理科大学神楽坂1号館

1号館は、1980年に竣工した建物である。地下1階、地上17階、塔屋1階、軒高:56.47m、X方向(長辺方向):45.12m、Y方向(短辺方向):19.40mの鉄骨鉄筋コンクリート造である。

2.2 振動観測システム概要

1号館では2010年7月23日から微小振動を対象とした連続振動モニタリングを実施している。また2002年3月から地震観測を実施している。微動計・地震計を地下1階、5階、10階、屋上階の計4カ所に設置し計測を行っている(図1)。両観測ともサンプリング周波数は100Hzに設定し、水平2成分・上下1成分、計3成分の振動を記録している。

本論文では2010年7月23日16:53~9月26日23:54までの連続振動モニタリング記録を解析対象とする。ただし、8月14日13:43~8月16日7:43と8月19日9:33~8月26日13:24の期間は、微動計の計測範囲を越えた為、観測が一時中断された。地震記録は、解析対象期間から経年変化の影響が少ないと考えられる2010年2月17日に発生した記録(図3)のシステム同定結果を用いる。

3 立体振動性状

3.1 並進1次モードにおける振動角度の評価方法

1号館に関する既往の研究³⁾において、1号館の振動特性にはX方向・Y方向の振動性状が相互干渉していることが報告されている。この原因として、振動方向が建物の X_0 軸・ Y_0 軸からずれていることが考えられる。従って、1号館の振動特性を正確に把握する為には、振動主軸を建物軸から座標変換することによって適切に評価する必要がある。図2に、建物振動方向の X' 軸・ Y' 軸を振動主軸、建物軸と振動主軸のずれの角度を振動角度 θ と定義し、座標変換の概念図を示す。

本論文では、式1を用いて並進1次モードの振動角度 θ を算出した後、式2により連続振動モニタリング記録を補正する。

$$\begin{bmatrix} C_{xx}(0) & C_{xy}(0) \\ C_{yx}(0) & C_{yy}(0) \end{bmatrix} = [\alpha] \begin{bmatrix} C_{xx}(0) & C_{yy}(0) \\ C_{yx}(0) & C_{xy}(0) \end{bmatrix} [\alpha]^T \quad \dots \text{式1}$$

$$[\alpha] = \begin{bmatrix} \cos \theta & \sin \theta \\ -\sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix}$$

C_{xx}, C_{yy} : X, Y方向自己相関関数(補正前)
 C'_{xx}, C'_{yy} : X, Y方向自己相関関数(補正後)
 C_{xy}, C_{yx} : X-Y, Y-X方向自己相関関数(補正前)
 C'_{xy}, C'_{yx} : X-Y, Y-X方向自己相関関数(補正後)

$$\begin{bmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{y} \end{bmatrix} = [\alpha] \begin{bmatrix} \ddot{x}_0 \\ \ddot{y}_0 \end{bmatrix} \quad \dots \text{式2}$$

\ddot{x}_0, \ddot{y}_0 : 補正前応答加速度
 \ddot{x}, \ddot{y} : 補正後応答加速度

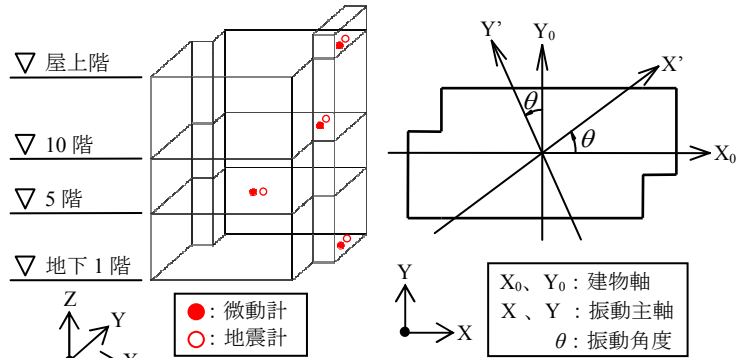


図1 計測機器配置図

図2 座標変換概念図(平面図)

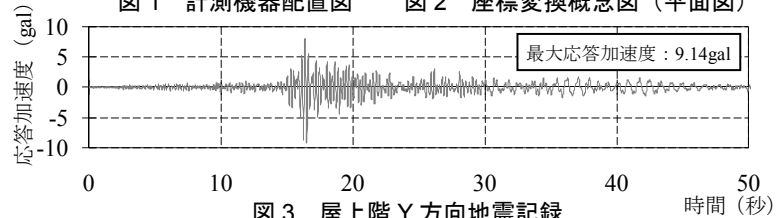


図3 屋上階Y方向地震記録

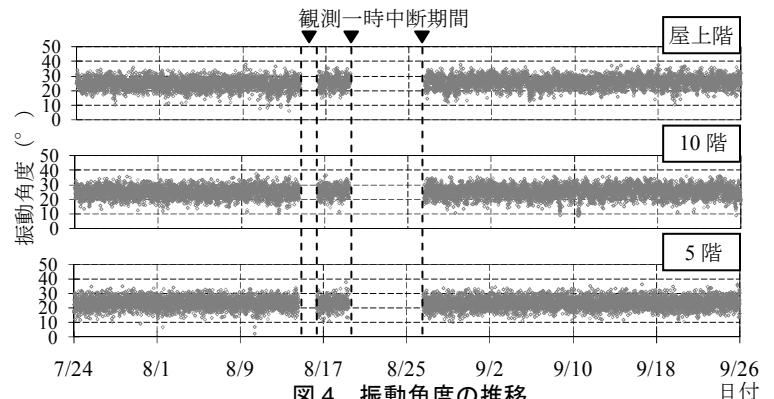


図4 振動角度の推移

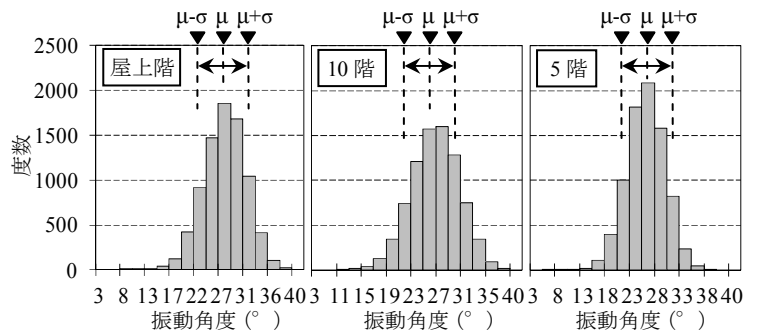


図5 振動角度の変動幅

3.2 振動角度の変動

図4、図5に連続振動モニタリング記録を用いて10分毎に評価した振動角度の推移とヒストグラムを示す。図4より、振動角度は全階共に概ね同じばらつきで推移していることが見られた。図5のヒストグラムでは、全階共に単峰対称型の分布形状をしており、概ね同じ変動幅であることが分かった。表1に各階の度数分布から算出した振動角度の平均値(μ)、標準偏差(σ)、変動係数(C.V.)を示す。

表1 振動角度 (平均値・標準偏差・変動係数)

	屋上階	10階	5階
平均値 (μ)	25.6°	25.0°	23.4°
標準偏差 (σ)	4.03°	4.04°	3.85°
変動係数 (C.V.)	0.16	0.16	0.17

表1より振動角度における変動幅は、屋上階:21.6°~29.6°、10階:21.0°~29.0°、5階:19.6°~27.3°の範囲で主に変動していることが分かった。

また地震記録から振動角度を算出³⁾すると、屋上階:27.2°~34.0°、10階:25.9°~28.3°、5階:24.6°~28.8°の範囲となり、振動角度は地震時に比べ微動時の方が小さくなることが示唆された。

4 振動特性の変動

4.1 連続振動モニタリング記録の同定手法

表1の振動角度の平均値を用いて、式2により連続振動モニタリング記録を補正する。補正された連続振動モニタリング記録はARMAモデル同定法⁴⁾を用いて10分毎に並進1次モードの固有振動数および減衰定数を同定する。

4.2 1次固有振動数・1次減衰定数の同定結果

図6、図7に屋上階におけるX方向・Y方向並進1次モードの固有振動数の推移とヒストグラムを示す。図6より、Y方向に比べX方向の1次固有振動数が大きく変動しながら推移していることが見られた。図7では、X方向の度数分布形状が全体的に広く分布しており、Y方向に比べ変動幅が大きいことが分かった。

図8、図9に屋上階におけるX方向・Y方向並進1次モードの減衰定数の推移とヒストグラムを示す。図8より、X方向・Y方向とも全体的にばらついて推移しているが、2%付近で多く分布していることが見られた。図9では、X方向・Y方向とも概ね同じ変動幅であるが、平均値、中位数、最頻値を算出し比較すると、平均値>中位数>最頻値となり対数正規分布に近い分布形状であることが分かった。表2に1次固有振動数と1次減衰定数の平均値(μ)、標準偏差(σ)、変動係数(C.V.)を示す。

表2 1次固有振動数・1次減衰定数 (屋上階)

	1次固有振動数 (X方向)	1次固有振動数 (Y方向)	1次減衰定数 (X方向)	1次減衰定数 (Y方向)
平均値 (μ)	1.31Hz	1.15Hz	2.12%	1.99%
標準偏差 (σ)	0.03Hz	0.02Hz	1.74	1.78
変動係数 (C.V.)	0.23	0.17	0.82	0.89

表2より1次固有振動数と1次減衰定数の変動幅は、1次固有振動数がX方向:1.28Hz~1.34Hz、Y方向:1.13Hz~1.17Hzの範囲、1次減衰定数がX方向:0.38%~3.86%、Y方向:0.21%~3.77%の範囲で主に変動していることが分かった。表1、表2の変動係数から、振動角度・1次固有振動数・1次減衰定数の相対的なばらつき量を比較すると、振動角度・1次固有振動数に比べ1次減衰定数の方が大きくなっていることが分かった。これは1次減衰定数の同定精度が影響していると考えられる。また、地震記録から屋上階の1次固有振動数と1次減衰定数を算出³⁾し、微動時と地震時での比較を表3に示す。

表3 1次固有振動数・1次減衰定数の比較 (微動時・地震時)

	1次固有振動数 (X方向)	1次固有振動数 (Y方向)	1次減衰定数 (X方向)	1次減衰定数 (Y方向)
微動時 (平均値)	1.31Hz	1.15Hz	2.12%	1.99%
地震時	1.29Hz	1.13Hz	1.45%	1.17%

表3よりX方向・Y方向共に1次固有振動数は微動時に比べ地震時の方が0.02Hz低くなり、これは応答加速度の増加に伴い固有振動数が低下する振幅依存性による影響であると考えられる。1次減衰定数についてはX方向・Y方向共に0.75%程度地震時より微動時の方が大きくなることを確認された。

参考文献

- 山本 謙男:ヘルスモニタリング、共立出版、1999年
- 金澤 健司:コンクリート系建物の固有振動数の日変動メカニズム解明、日本建築学会構造系論文集、第612号、pp.63-71、2007年2月
- 松原 貴章ほか:東京理科大学神楽坂1号館における地震時応答加速度と立体振動特性の関係、第13回日本地震工学シンポジウム、2010年11月
- 斎藤 知生・白石 理人:常時微動モニタリングによる免震建物の動特性変化分析、日本建築学会大会学術講演梗概集、2010年9月
- 谷萩 隆嗣:ARMAシステムとデジタル信号処理、コロナ社、2008年

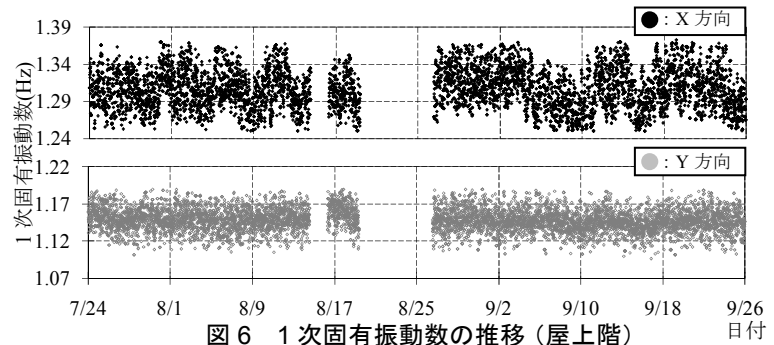


図6 1次固有振動数の推移 (屋上階)

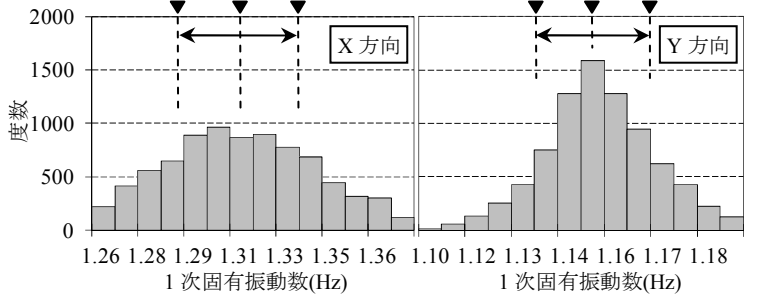


図7 1次固有振動数の変動幅 (屋上階)

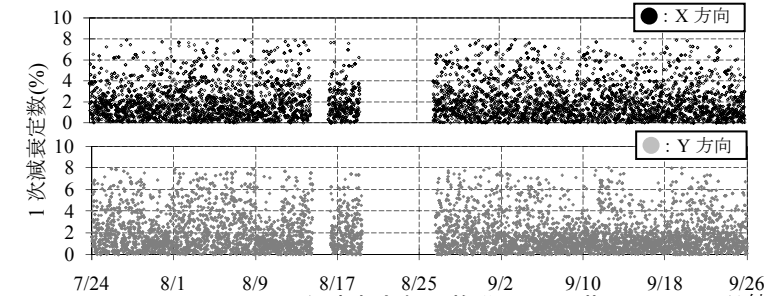


図8 1次減衰定数の推移 (屋上階)

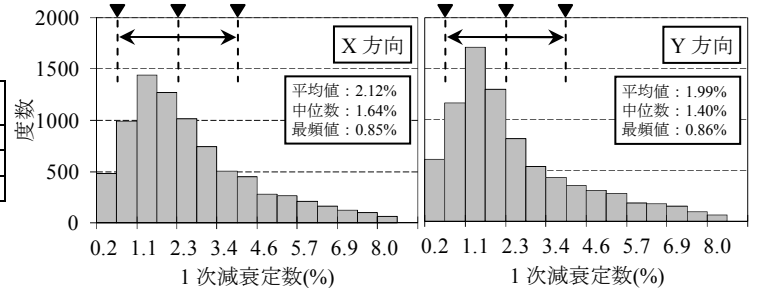


図9 1次減衰定数の変動幅 (屋上階)

5 まとめ

1号館の連続振動モニタリングに基づく振動特性の変動について得られた知見を以下に示す。

- 解析対象期間における1号館の振動角度は、屋上階:25.6°±4.03°、10階:25.0°±4.04°、5階:23.4°±3.85°の範囲で主に変動していることが分かった。また、地震時に比べ微動時の振動角度は小さくなることを示唆された。
- 屋上階の1次固有振動数はX方向:1.28Hz~1.34Hz、Y方向:1.13Hz~1.17Hz、1次減衰定数はX方向:0.85%~2.12%、Y方向:0.86%~1.99%の範囲で主に変動していることが分かった。また1次固有振動数は微動時に比べ地震時の方が低くなり、振幅依存性の影響が見られた。1次減衰定数は地震時に比べ微動時の方が大きくなることを確認された。
- 1次減衰定数の変動係数は、振動角度と1次固有振動数の変動係数に比べ大きくなっていることが分かった。これは1次減衰定数の同定精度が影響していることが考えられる。今後は、立体振動モデルを用いて同定値(1次固有振動数および1次減衰定数)の精度を向上させる予定である。