

振動計測に基づく東京理科大学神楽坂1号館の立体振動特性に関する基礎的研究

栗田研究室 5106082 三村 香織

1. 研究背景と目的

近年、非破壊検査手法を用いた構造健全性診断に関する研究が盛んに行われてきている。本研究では、振動記録を用いた建物振動特性の把握から、構造健全性診断を行うことを目的とし、東京理科大学神楽坂1号館（以下1号館と略称）を対象に定期的な常時微動測定や地震観測記録を蓄積してきた。これまでの研究成果から、1号館は複雑な振動をしていることが分かり、振動特性には揺れ振動が示唆された為、本論文では立体振動モデルを用いたシステム同定から観測記録の詳細分析を行い、1号館の立体的な振動特性を把握することを目的とする。

2. 研究方法

2-1. 対象建物概要

対象建物は、1980年に竣工した1号館である。地下1階、地上17階、塔屋1階、軒高56.47m、NS方向19.40m、EW方向45.12mの鉄骨鉄筋コンクリート造で、平面形状はEW方向10スパン、NS方向2スパンである。

2-2. 振動計測概要

振動計測は常時微動測定と地震観測を行っている。常時微動測定は、2009年12月14日(21:40~23:00)に屋上階で10分間行った。また地震観測は2002年から現在まで253記録を蓄積しており、その中から本論文では代表的な11記録を用いて分析を行った。表1に代表的な11記録の中から5記録を選定し地震記録結果の概要を示す。尚、サンプリング周波数は常時微動測定・地震観測共に100Hzである。図1に屋上階での計測配置図(強震計・微動計)、図2に強震計設置階を示す。

3. 振動計測による振動特性の推定

3-1. 常時微動測定結果

3-1-1. 伝達関数

常時微動記録に対してFFTを実行し、アンサンブル平均をして得られるパワースペクトル及びクロススペクトルを用いて、地下1階に対する伝達関数を算出した。図3に建物中心mc1と建物端部mc5NS、mc4EWにおける屋上階の常時微動測定の伝達関数を示す。卓越振動数は既往の研究¹⁾と近い値が得られた。さらに建物中心mc1において1.70Hz、4.97Hzで卓越が見られないのに対し、建物端部mc4、mc5は卓越が存在することから揺れ成分も示唆された。

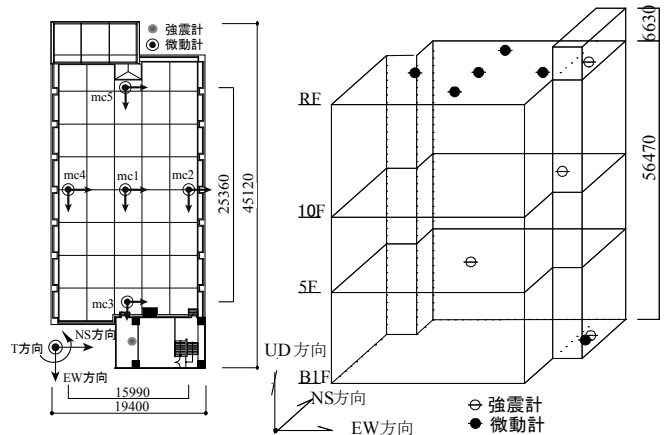


図1 測定計画(RF平面図) 図2 測定計画(立体図)

表1 地震観測記録候補一覧

eqNo	地震発生日	屋上階最大SI値[cm/sec]	屋上最大加速度[gal]	
			EW方向	NS方向
eq1	2002/10/13	0.3	2.5	4
eq2	2005/7/23	34.5	132.2	196.7
eq3	2007/7/16	5.1	29.5	24.1
eq4	2008/5/9	0.4	14.7	13.5
eq5	2009/9/4	1.4	13.4	8.2

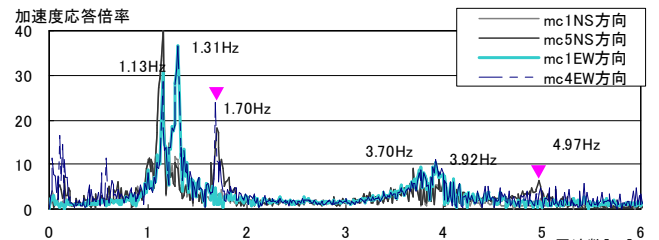


図3 屋上階伝達関数(常時微動)

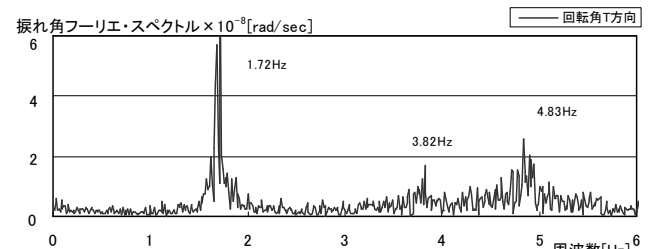


図4 揺れ角フーリエ・スペクトル(常時微動)

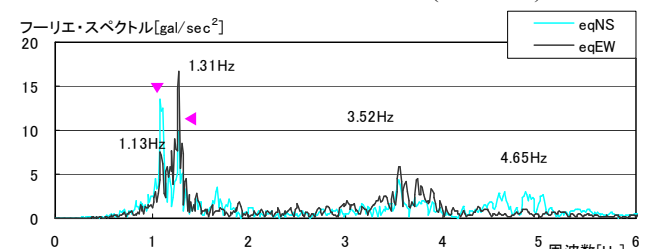


図5 屋上階フーリエ・スペクトル(地震観測)

3-1-2. 振れ角フーリエ・スペクトル

建物端部(mc3-mc5、mc4-mc2)の加速度から加速度振れ角を求め、上記と同様にアンサンブル平均し、振れ角フーリエ・スペクトルを算出した(図4)。この図から、振れ振動の卓越振動数は、1.72Hz、3.82Hz、4.8Hzと思われる。

3-2. 地震観測結果

図5にeq5のフーリエ・スペクトルを示す。3-1と同様1.2Hz付近に2つの卓越が見られ、並進振動が生じ、立体振動していることが確認された。各方向1次・2次固有振動数は3-1と近い値になるが、高次モードになるにつれて判断しにくくなる。

4. システム同定

既往の研究¹⁾は、地震観測記録の固有振動数を最大応答倍率から判断していた為、より詳細に振動特性を把握する必要があった。そこで、既往の研究²⁾に振れモードを考慮し、モーダルアナリシスを基とした2方向入力2方向出力モデルのシステム同定を行った。立体モデルの初期値は既往の研究²⁾で得られた減衰定数・固有振動数(表2)・刺激関数を与えている。尚、入力データは表1のeq1~eq4を含む計11波形の地震観測データを用いた。

4-1. システム同定結果

同定した代表例として、加速度・震度共に最大記録であるeq2の屋上階実測と同定モデルの時刻歴応答波形(図6)と屋上階実測と同定モデル伝達関数(図7)の比較を示す。尚、図6の時刻歴応答波形は主要動付近を抜粋して拡大したものである。時刻歴応答波形は概ね一致し、伝達関数、複雑な立体振動を行っている為振れの卓越等が再現できていないものの、スペクトル形状はほぼ一致しているので、同定値は実測と近いものと考えられる。立体モデルの同定結果により、常時微動をはじめ、地震動の周波数領域における卓越を立体的に6次まで分解することができた。次に図8に地震記録eq2を代表例に同定時に得られた刺激関数の値から角度平均を基に描いたX方向加力における1次の並進振動モード性状を示した。10階5階も同様に同定して得られた刺激関数から振動モード性状(省略)を捉えることで、常時微動測定結果と同様、立体振動が確認された。

4-2. 固有振動数の振幅依存性

図9に同定値の屋上階最大加速度に対する1次固有振動数の関係を示す。最大加速度増加に伴い、1次固有振動数が低下する振幅依存性が既往の研究¹⁾同様に確認できた。

6. まとめ

常時微動解析及び地震観測データを用いたシステム同定を通して、立体振動特性を把握することができた。

以下に本論文で得られた知見を列挙する。

- ・剛性の分布の変化については刺激関数の変化で捉えていく。
- ・高次モードでの振動特性の把握はシステム同定の精度を上げない限り、断定することは難しい。

表2 常時微動と立体モデルの固有振動数の比較

		単位:Hz		
		立体モデル	常時微動	成分
固有振動数	1次	1.14	1.13	NS方向
	2次	1.28	1.31	EW方向
	3次	-	1.72	振れ方向
	4次	3.70	3.70	NS方向
	5次	3.89	3.92	EW方向
	6次	4.80	4.97	振れ方向

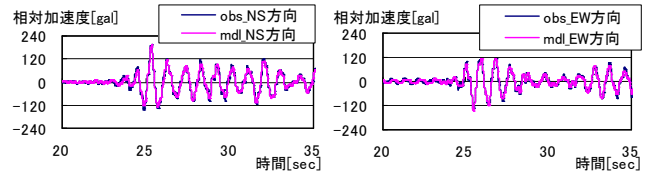


図6 実測と同定モデルの時刻歴応答波形の比較(eq2)

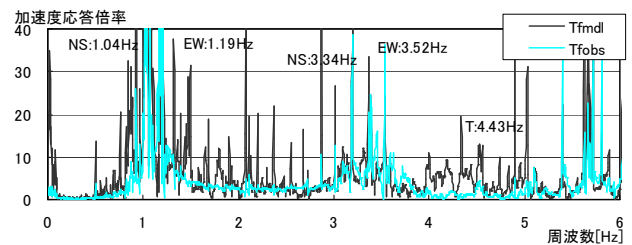


図7 実測と同定モデルの伝達関数の比較(eq2)

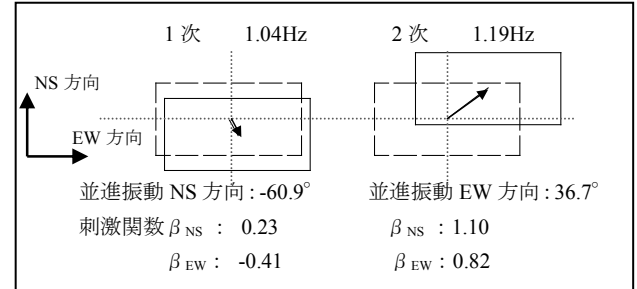


図8 EW方向加力時1次2次振動モード性状(屋上階)

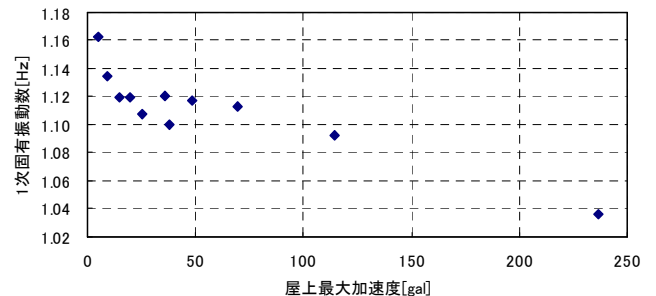


図9 固有振動数の振幅依存性(同定モデル)

【参考文献】

- 1)松原貴章：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、卒業論文、東京理科大学栗田研究室、2009.3
- 2)小原雅樹：地震応答記録に基づく構造系の動的特定推定に関する研究、博士論文、東北大学和泉正哲研究室、1984.3