

日本大学生産工学部における強震観測

－その4 4号館(RC造)の振動性状の把握－

日大生産工(院) ○高島 秩 日大生産工 藤本利昭
 日大生産工 師橋憲貴 日大生産工 下村修一
 日大生産工(非常勤) 工藤一嘉

1 はじめに

日本大学生産工学部津田沼キャンパス内では2007年6月から強震観測を継続しており¹⁾、2013年には強震観測システムを新たに整備した²⁾。本報告では、その内の昭和30年代後半に建設されたRC造建物で、これまでに観測された記録から理解される諸特性(スウェイ振動・振れ振動)の基本的検討を行った結果を報告する。また、過去に同建物で山辺ら³⁾により起振機実験による観測が行われており、この結果との比較を行う。

2 観測記録概要

強震観測を開始した2013年9月から2015年5月までの間に震度1以上の強震記録が計49個観測されている。そのうち、キャンパス内の全強震計で観測された計11個の強震記録を用いて検討を行った。表1に検討に用いた地震の概要を示す。また、一例として2013年11月16日に発生した地震の4階3ヶ所(東側、中央、西側)と地下1階3ヶ所(北床、南床、北柱)の加速度波形を3成分毎に分け、図1に並べた。4階のEW成分は3か所とも波形が良く

揃っているが、NS成分の振幅を見ると、3ヶ所でもかなり変化していることが分かる。また、4階UD成分においては中央に比べ東と西の両側の振幅が大きい。

3 4号館(RC造)の振動性状

3.1 スウェイ・ロッキング振動

4号館の基本的振動性状を評価するため、全強震計で観測された計11個の強震記録のS波到達時から60秒間の記録を解析した。地下1階(北床)を基準として4階各所(東、中央、西)の長辺方向(EW)、短辺方向(NS)毎にスペクトル比(システム関数)を地震毎に求め、平均化したものを図2に示す。なおスペクトルの平滑化にはParzenウィンドウの幅は0.2Hzを用いた。基礎固定としたNS、EW方向共に1次モードと推定される2.7Hz付近にピークが見られたことから、4号館は長辺・短辺共に1次固有周期がほぼ等しい建物であるといえる。各方向のスペクトル比を見ると、長辺方向(EW)ではきれいな単峰形を示し、かつ3ヶ所とも同形である。

表1 解析に用いた地震概要一覧(計測震度は4号館地下1階北床の記録を使用)

震源時	震央	M	北緯	東経	深さ[km]	計測震度
2013/09/20 02:25	福島県浜通り	5.9	37° 03.0'	140° 41.7'	17	1.8
2013/11/10 07:37	茨城県南部	5.5	36° 00.1'	140° 05.0'	64	3.0
2013/11/16 20:44	千葉県北西部	5.3	35° 35.6'	140° 09.0'	72	3.0
2013/11/17 00:45	千葉県北西部	4.2	35° 34.7'	140° 09.7'	71	0.7
2013/11/29 01:15	千葉県北西部	4.8	35° 41.2'	140° 07.1'	69	2.0
2013/12/21 01:10	茨城県南部	5.2	35° 55.7'	140° 08.2'	62	2.2
2014/04/18 07:53	茨城県南部	4.7	36° 07.4'	139° 50.7'	49	1.4
2014/05/05 05:18	伊豆大島近海	6.0	34° 57.1'	139° 28.8'	156	2.5
2014/05/13 08:35	千葉県北西部	4.9	35° 34.0'	140° 06.8'	72	2.4
2014/11/12 09:53	茨城県南部	4.8	36° 08.0'	140° 05.1'	66	1.5
2015/05/30 20:23	小笠原諸島西方沖	8.1	27° 51.6'	140° 40.9'	682	2.9

Strong-Motion Observation at the College of Industrial Technology, Nihon University

－ Part 4 Vibration Characteristics of the No.4 Building of RC Construction －

Satoshi TAKABATAKE, Toshiaki FUJIMOTO, Noritaka MOROHASHI,
 Shuichi SHIMOMURA and Kazuyoshi KUDO

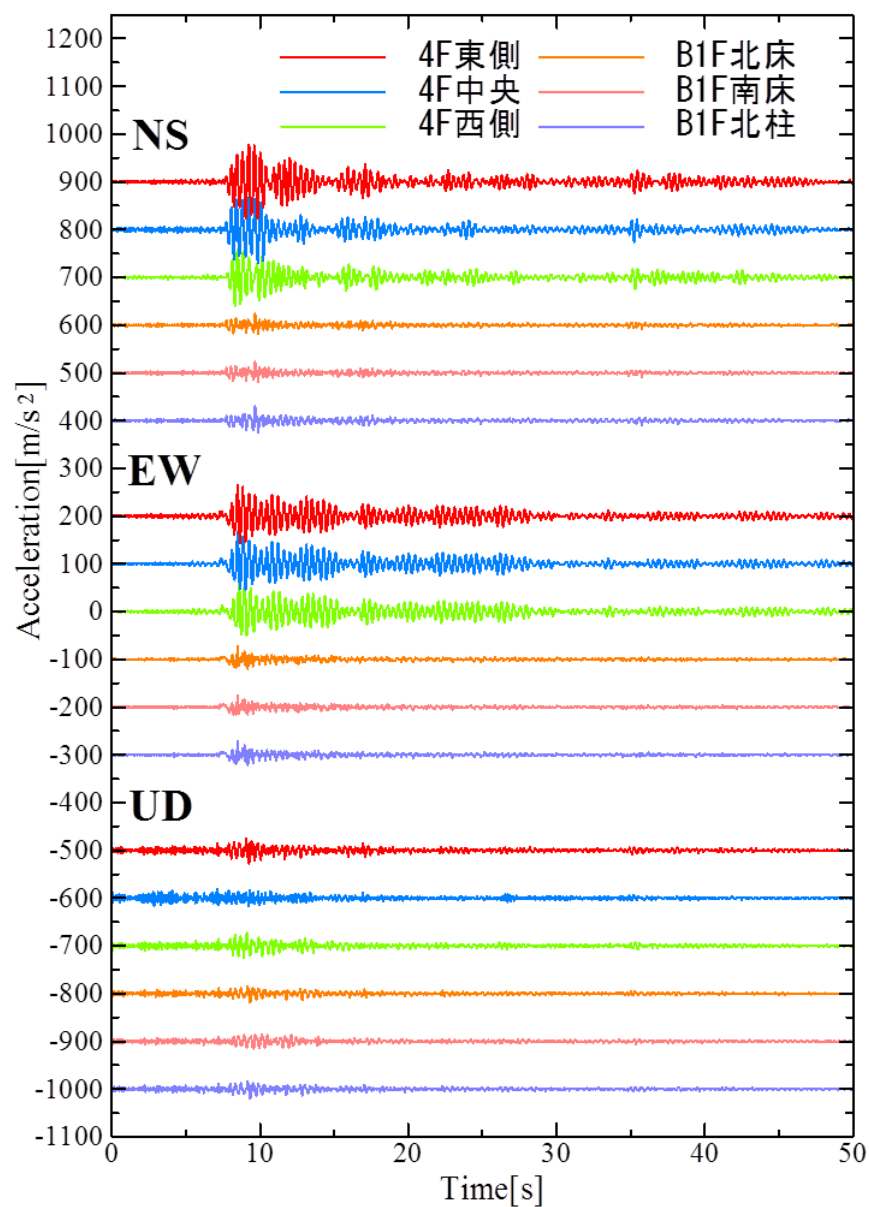


図1 4号館の強震記録

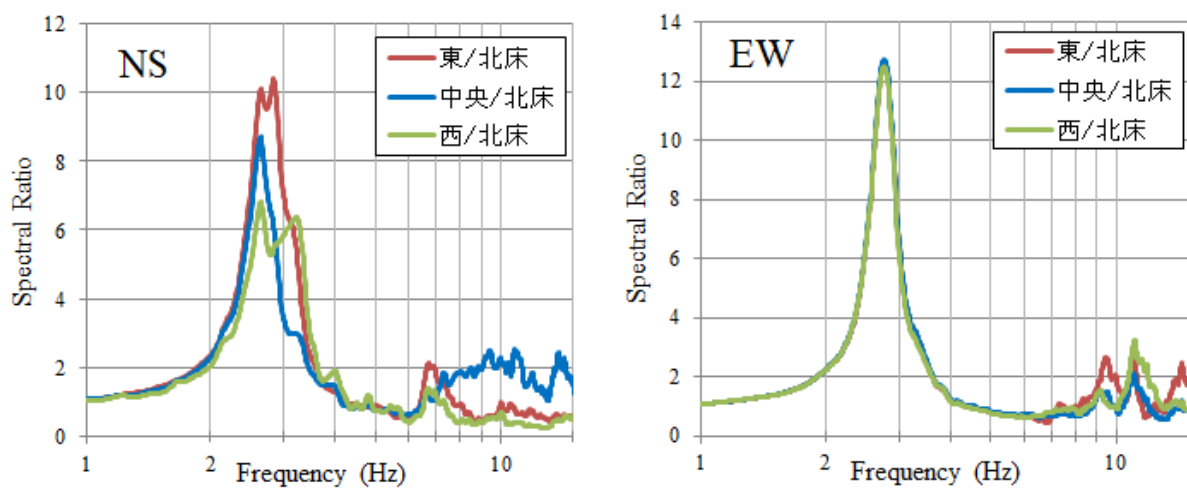


図2 観測結果による平均化システム関数

一方NS方向では東側と西側の端では3.0Hz付近にもうひとつのピークが見られ、中央においては第2のピークが見られない。この点についてはのちに議論する。

また、地下1階のUD成分での位相が反転することから、4号館での建物短辺方向（NS）に対するロッキング振動が確認できたが、こちらは次報（その5）にて詳細に検討する。

3.2 振れ振動

先の検討で、4号館の平均的システム関数が単一ではなく、NS成分に2つのピークが見られることを指摘した。この現象はねじれ振動を示唆しており、今回は観測震度が最も大きく震源地に近い、2013年11月16日に発生した地震（M5.3）記録を用いて検討する。観測記録をフーリエ解析し、基礎固定に相当する地下1階（北床）と4階各所（東、中央、西）のスペクトル比を求め、図3に示す。EW成分にも3Hzに若干ピークが見られるが、顕著なNS成分に限って議論する。なおスペクトルの平滑化にはParzenウィンドウの幅は0.2Hzを用いた。図3から求めた3ヶ所のピーク周期（1次固有周期）、最大スペクトル比、および振れの周期（NS方向）、スペクトル比、中央の減衰定数（ハーフパワー法により求めた）を表2に示す。

また同地震記録の加速度波形を1次固有周期でのスペクトル比が最も小さい4F西側を基準として4F中央、東側の位相差スペクトルを求めたものを図4に示す。図から、2.8Hz付近で位相が反転し始め、3.1Hz付近で位相差がピークとなっていることが分かる。なおスペクトルの平滑化にはParzenウィンドウの幅は0.2Hzを用いた。

図5には、表2のスペクトル比を基に作成した4階平面の短辺方向（NS）の振動形状を示す。長辺方向（EW）は表2に示す通りスウェイだけで十分説明可能であるが、短辺方向（NS）はこの限りではない。1次モードではスペクトル比は東側が15.7、中央が12.2、西側が8.7で、東側ほど大きくなり、スウェイに振れ（回転）変形成分が含まれた振動形状になっていることがわかる。一方振れの周期では、スペクトル比は東側が12.9、中央が5.9、西側が7.4となり振れ変形が卓越した振動形状になっていることが確認できる。

これらのねじれ振動が生じている原因を明らかにするため、市販の構造計算プログラム⁴⁾により4号館をモデル化して検討を行った。なお、4号館は古い建物であり、詳細な図面が入手できなかったことから、実測により建物をモデル化している。図6にそのプログラムを用いたモデル化で求めた4号館4階の重心位置Gと剛心位置Lを示す。

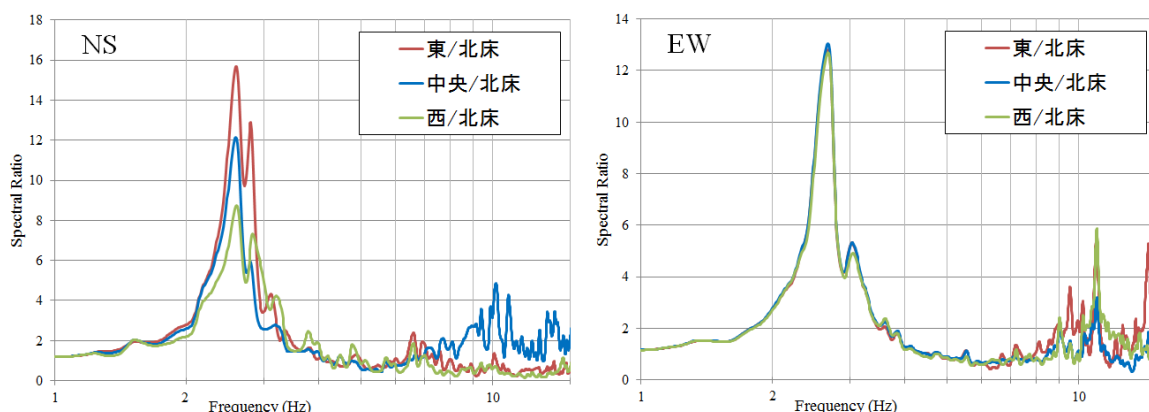


図3 観測結果によるシステム関数

表2 4号館の固有周期等

	平均						2013/11/16					
	NS			EW			NS			EW		
	東側	中央	西側	東側	中央	西側	東側	中央	西側	東側	中央	西側
周波数[Hz]	2.64	2.64	2.64	2.76	2.76	2.76	2.59	2.59	2.60	2.67	2.67	2.69
固有周期[s]	0.379	0.379	0.379	0.362	0.362	0.362	0.386	0.386	0.385	0.374	0.374	0.372
(固有)スペクトル比	10.1	8.7	6.8	12.5	12.7	12.5	15.7	12.2	8.7	12.8	13.0	12.7
減衰定数[%]	—	7.18	—	—	6.42	—	—	4.25	—	—	4.79	—
振れ周波数[Hz]	2.84	3.22	3.22	—	—	—	2.80	2.80	2.83	—	—	—
振れ周期[s]	0.352	0.310	0.310	—	—	—	0.358	0.358	0.353	—	—	—
(振れ)スペクトル比	10.4	3.0	6.4	—	—	—	12.9	5.9	7.4	—	—	—

構造計算プログラムによる検討の結果4号館では、建物の剛心Lが重心Gより西側に4.8m、南側に1.9mほど偏心していることがわかった。短辺方向（NS）のねじれ振動は、この偏心の影響が要因の一つと考えられる。なお4号館は長辺方向（EW）に対しても偏心しているが、長辺方向に対しては観測点が同一軸上にあるため、振れによる振幅の差異が確認できなかったものと推察される。

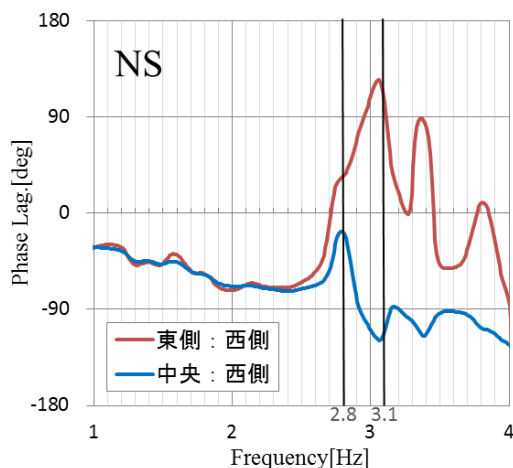
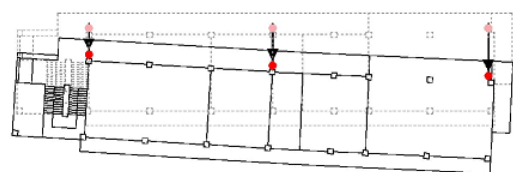
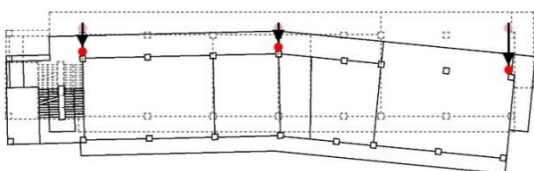


図4 位相差に見る振れ



1次モード



振れ周期

図5 4号館の振動形状

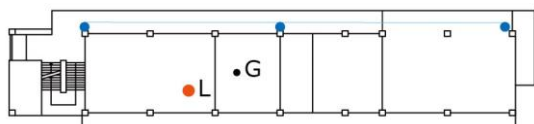


図6 4号館の重心Gと剛心L

3.3 起振機実験の観測結果との比較

過去に行われた研究成果を基に、4号館の振動性状の変化について検討を行った。

本報告では、強震観測結果の解析より、1次固有周期は、約0.39秒、減衰定数は、中央で4.25%となった。1993年に同建物で山辺ら³⁾により起振

機による振動実験が行われており、その研究によれば、共振曲線から求めた卓越振動周期が約0.37秒、本研究と同様に4階と地下1階の振幅比から求めた卓越振動周期が約0.33秒であり、減衰定数は4～5%であると報告されている。この結果は西側を起点としており、単純な比較はできないが、減衰定数はほぼ同様の結果であったものの、固有周期は僅かに伸長しているといえる。本キャンパス内の5号館（RC造）、37号館（S造）の解析では⁵⁾、東日本大震災時の建物の振動により固有周期が伸長し、その後も回復していないことが報告されている。この点を考慮すると、4号館も同様に東日本大震災を含む地震を経験したことが影響している可能性が高い。

4 まとめ

日本大学生産工学部津田沼キャンパスにおける強震観測記録から、4号館（RC造4階建て）の振動特性について検討した。平均化したスペクトル比（基礎固定に相当）から、1次モードの卓越周期はNS、EW方向共に0.37秒（2.7Hz）付近に判明した。なお、短辺方向（NS成分）のスペクトル比には3Hz付近にもう一つのピークがあり、最大震度を観測した強震記録の解析から、振れ振動であることが確認された。

謝辞

本強震観測は東京大学地震研究所のご支援と日本大学生産工学部のご理解・ご支援により実現しました。関係各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 師橋憲貴、浪花翔馬、高橋和丈、櫻田智之、工藤一嘉：強震観測から理解された日本大学生産工学部津田沼キャンパス学館の地震時振動性状－2011年東北地方太平洋沖地震時の非線形挙動に着目して－、日本大学生産工学部研究報告A（理工系）第47巻第1号、2014年6月、pp.25～37
- 2) 高島秩、藤本利昭、師橋憲貴、下村修一、工藤一嘉、桜田智之：日本大学生産工学部における強震観測－その1 観測システム概要－、第46回（平成25年度）日本大学生産工学部学術講演会講演概要、2013.12、pp.863-866
- 3) 山辺克好、熊谷匠：実在建築物の振動性状に関する研究－起振機による振動実験の場合－、日本建築学会学術講演梗概集、1998年9月、pp.999～1000
- 4) 株式会社 ストラクチャー：http://www.structure.jp/
- 5) 浪花翔馬、工藤一嘉、師橋憲貴、櫻田智之：東北地方太平洋沖地震による日本大学生産工学部（習志野市）学館の非線形挙動に関する考察、日本地震工学会・大会2013、#149、2013年11月