

日本大学生産工学部における強震観測

－その 5 ロッキング振動の検討－

日大生産工(学部)○ 郡司 和弥 日大生産工 藤本 利昭
 日大生産工(院) 高畠 秩 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 年には増設を含む新たなシステムに整備した。²⁾

本報告では、前報その 4 に引き続き、2013 年に新たに強震計を設置した鉄筋コンクリート造 (RC 造) 建物での観測概要を紹介するとともに、これまでに観測された記録を基に理解されるスウェイ振動・ロッキング振動の基本的検討を行った結果を報告する。



図 1 津田沼キャンパス強震計配置図

2. 強震観測概要

写真 1 に 4 号館南側の写真を、図 1 にキャンパス内の強震計配置図を示す。4 号館は RC 造で、図 2 に示すように地上 4 階、地下 1 階建てで建物高さ $H=18.6\text{m}$ の建物であり、南北約 8m × 東西約 53m でキャンパスの東側に位置する建物である。この建物は昭和 30 年代後半に建設された建物であり、学内でも歴史のある建物と言える。構造形式は、長辺方向がラーメン構造、短辺方向が耐震壁付きラーメン構造である。



写真 1 4 号館南側写真

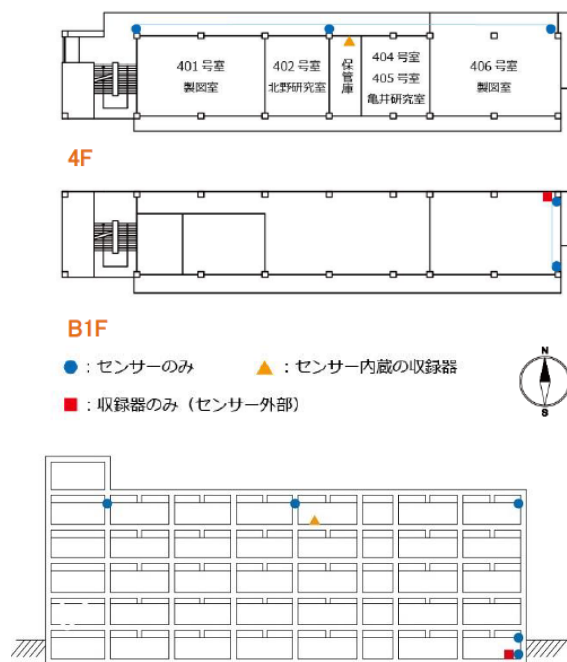


図 2 4 号館の強震計設置箇所

図 2 に 4 号館における強震計の設置箇所を示す。観測に使用している強震計は SMAC-MD 型収録器 (9 成分) とセンサーはサーボ型加速度計の組み合わせから成り、いずれも (株) ミツトヨ製である。地下 1 階、4 階それぞれ独立に

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

－ Part 5 Consideration of Rocking Vibration －

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

収録し、ラジオを用いた時刻校正を行っている。
4 階では図 2 に示すように北側の廊下に沿って
ほぼ等間隔に 3 ケ所の柱頭部に 3 成分のセンサ
ーを設置し、中央部の床上に収録器を設置した。
地下階ではロッキング振動を測定する目的で東
側地下 1 階の南側床上と北側の柱頭部（1 階床
下に相当する）に 3 成分のセンサーを、北側の
床上にセンサー内蔵型の収録器を設置した。4
号館全体では合計 6 ケ所での観測である。

3. 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、計 49 個
が観測されている。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。³⁾

表 1 解析に用いた地震概要一覧

震源時	震央	M	緯度	経度	深さ[km]	計測震度 ※
2013/9/20 2:25	福島県浜通り	5.9	37° 3.0'	140° 41.7'	17	1.8
2013/11/10 7:37	茨城県南部	5.5	36° 0.1'	140° 5.0'	64	3
2013/11/16 20:44	千葉県西北部	5.3	35° 35.6'	140° 9.0'	72	3
2013/11/17 0:45	千葉県西北部	4.2	35° 34.7'	140° 9.7'	71	0.7
2013/11/29 1:15	千葉県西北部	4.8	35° 41.2'	140° 7.1'	69	2
2013/12/21 1:10	茨城県南部	5.2	35° 55.7'	140° 8.2'	62	2.2
2014/4/18 7:53	茨城県南部	4.7	36° 07.4'	139° 50.7'	49	1.4
2014/5/5 5:18	伊豆大島近海	6	34° 57.1'	139° 28.8'	156	2.5
2014/5/13 8:35	千葉県西北部	4.9	35° 34.0'	140° 06.8'	72	2.4
2014/11/12 9:53	茨城県南部	4.8	36° 08.0'	140° 05.1'	66	1.5
2015/5/30 20:23	小笠原諸島西方沖	8.1	27° 51.6'	140° 40.9'	682	2.9

※計測震度は 4 号館地下 1 階北床の記録を使用

4. 4 号館のスウェイ・ロッキング振動

a) スウェイ振動

構造物を支える地盤は地震力を受けて変形し、
構造物に移動や回転が生じる。建物の水平移動
に伴う振動はスウェイ振動、転倒モーメントに
よって起こる回転変形に伴う振動はロッキング
振動と呼ばれる。

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 秒間の記録をフーリエ解析し、地下
1 階(北床)と 4 階各所(東、中央、西)とのスペ
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 3 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。⁴⁾

その結果、NS 方向は振動数 2.64Hz, EW 方向

2.76Hz 付近に一次モードと推定されるピーク
が見られたことから、基礎固定と考えた時の 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 ケ所とも同形である。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。この点については前報そ
の 4⁵⁾を参照していただきたい。

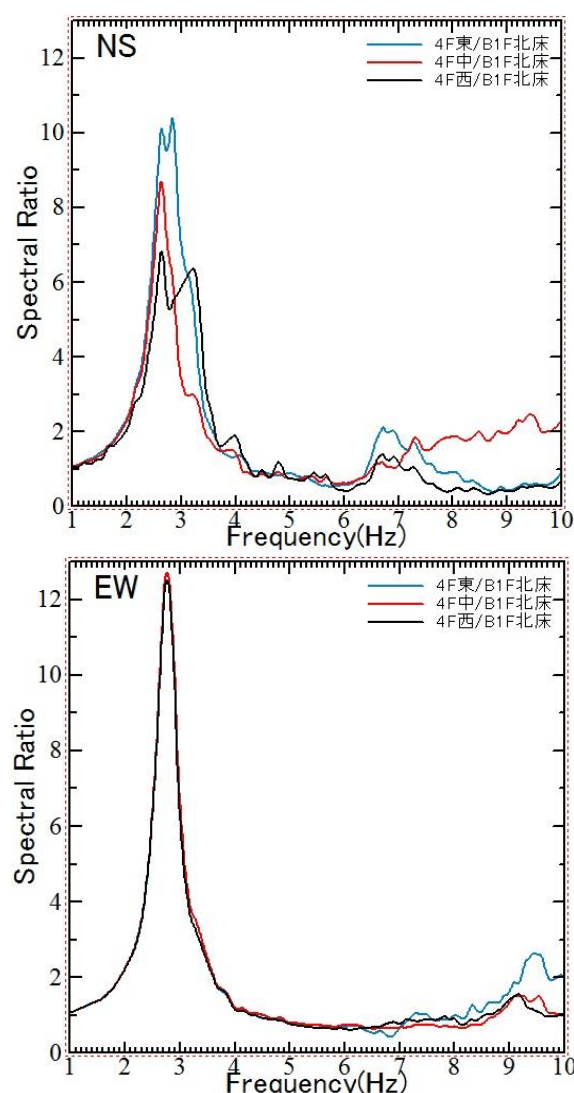


図 3 北床を基準とした 4 階各地点の
スペクトル比

2013 年 11 月 17 日の千葉県西北部の地震を例
として、ここでは一次モードに着目し、NS,EW
成分の積分による変位波形に 2.64Hz を中心と
したバンドパスフィルター(2~5Hz)を掛けて検
討を行った。図 4、5 にバンドパスフィルターを
掛けた積分変位波形を示す。NS 成分の変位波

形は13秒から東側から位相のずれが生じ、5秒間ほど西側と東側で波形が逆位相になっていることが確認できた。一方、EW成分はNS成分と違い、3ヶ所の変位波形は同位相で振動していることが確認できた。NS方向に関する位相ずれについてはその4⁵⁾で検討している。図2から求めた4階(西側、中央、東側)3ヶ所の共通の1次卓越振動数(1次固有周期)、最大スペクトル比を表2に示す。

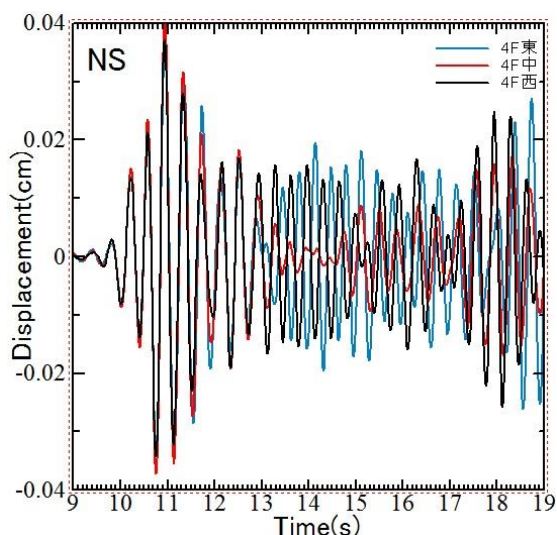


図4 4階NS方向の変位波形

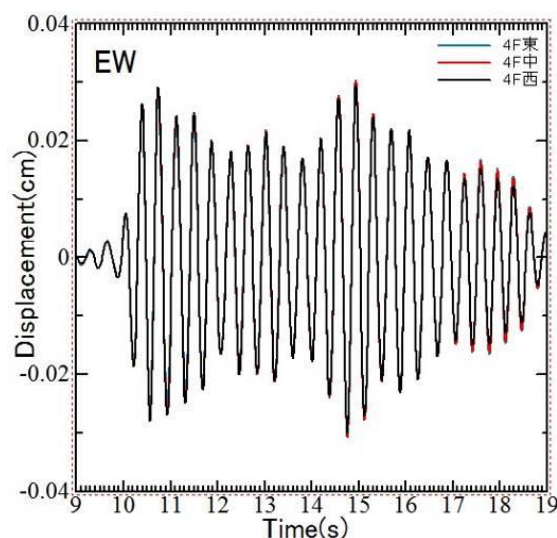


図5 4階EW方向の変位波形

表2 4階の水平方向の固有周期等

	NS			EW		
	西側	中央	東側	西側	中央	東側
振動数(Hz)	2.64	2.64	2.64	2.76	2.76	2.76
固有周期(s)	0.379	0.379	0.379	0.362	0.362	0.362
スペクトル比	10.1	8.7	6.8	12.5	12.7	12.5

b) ロッキング振動

ロッキング振動について検討するため、地下1階の北床、南床、北柱頭の3箇所で観測したUD方向のフーリエスペクトルを図6に示す。図6から求めた地下1階(北床、南床、北柱頭)の3ヶ所の1次固有振動数、1次固有周期、最大スペクトルを表3に示す。卓越振動数2.6Hz付近にピークが見られることから、UD方向の積分変位波形を2.6Hzを中心としたバンドパスフィルター(2~5Hz)を掛け、4Fの3箇所(西、中央、東)と地下1階の3箇所(北床、南床、北柱頭)の変位波形からロッキング振動の有無について検討した。図7、8にバンドパスフィルターを掛けたNS、UD方向の積分変位波形を示す。

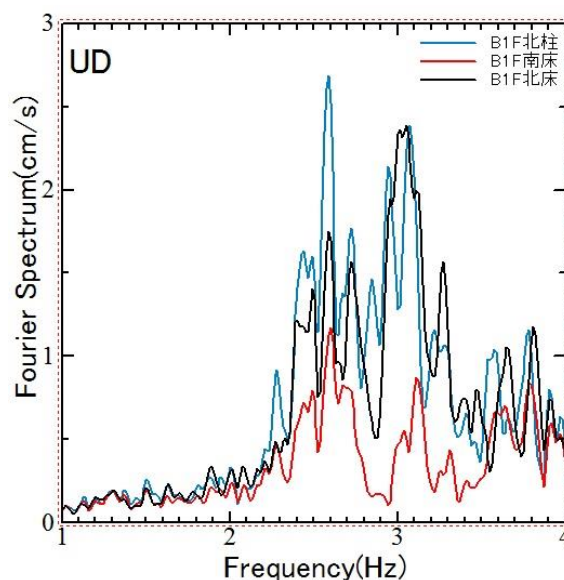


図6 地下1階のUDフーリエスペクトル

表3 地下1階のUD方向の固有周期等

	UD		
	北側床	南側床	北側柱
振動数(Hz)	2.59	2.59	2.59
固有周期(s)	0.386	0.386	0.386
スペクトル(cm/s)	1.75	1.13	2.69

図7、8では、9秒からの1秒間3箇所のNS、UD方向ともに変位波形はほぼ一致している。10秒からNS方向は北側柱が床よりも大きく揺れている。それ以後UD方向では北側と南側で変位波形が位相のずれを生じている。このことからロッキング振動が起きていると考えられる。

ロッキング振動を確認するため、地下1階のUD成分での位相が反転することに着目した。

地下1階の北側床を基準として、それぞれ北側柱頭、南側床の上下動の時刻歴（積分変位波形）を北側床に乗じた結果を図9に示す。

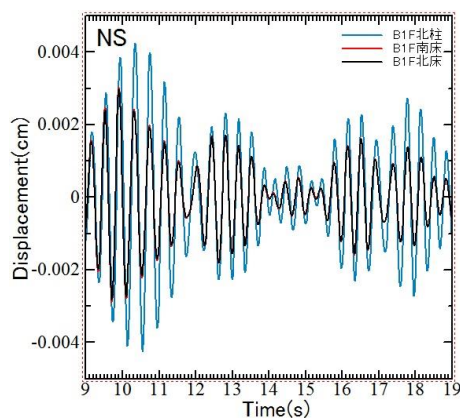


図7 地下1階 NS 方向の積分変位波形

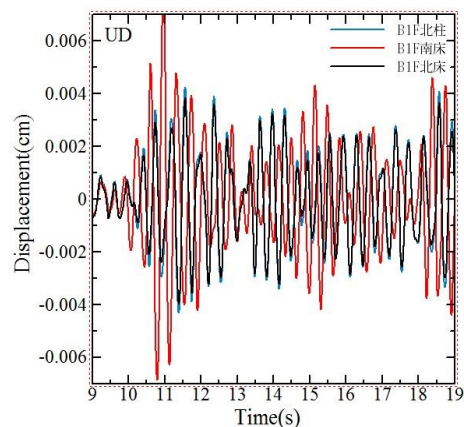


図8 地下1階 UD 方向の積分変位波形

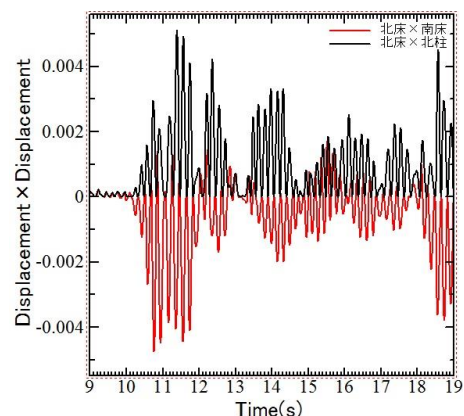


図9 ロッキング振動の検討
(北床 UD×南床 UD)

地下1階の北側床と北側柱頭の積は、同位相であるためすべて正になるが、南側床との積は11±1秒と14±1秒と18秒付近で大きく負になる。一方、地下1階のNS方向は10±1秒、13±1秒と18秒で振幅が大きくなっている。水平動(NS)

のほぼ1秒の遅れでロッキングが見られる理由は現時点では明確ではないが、スウェイに引き続き、短辺での曲げ振動が起こることで転倒モーメントが働き、ロッキング振動に大きく影響を与えていると考えられる。このロッキングは定常的に表れてはいないので各時刻歴の部分を切り出して検討する必要がある、今後の課題としたい。

5. 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、RC造4階建て4号館のスウェイ・ロッキング振動について検討した。平均化したフーリエスペクトル比から、NS,EW,UD成分共に2.6Hz付近に一次モードの卓越振動数が判明した。検討の結果、EW成分(長辺方向)はスウェイ、NS成分(短辺方向)では、曲げ振動や転倒モーメントが働き、ロッキング振動による影響と考えられる。短辺方向にロッキング振動が確認されたが、曲げ振動と同期しているとは限らず、非定常な表れ方をしている。今後はさらに検討を深めたい。

謝辞

本強震観測は東京大学地震研究所のご支援と生産工学部事務局のご理解によるところが多い。関係各位に感謝を表します。

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—, 第47巻第1号日本大学生産工学部研究報告A(理工系), pp.25-37, 2014.6
- 2) 高畠秩, 藤本利昭, 師橋憲貴, 下村修一, 工藤一嘉, 櫻田智之: 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, pp.863-866, 2013.12
- 3) 気象庁ホームページ:
<http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/shindo/index.html>
- 4) 独)建築研究所:
<http://www.smo.kenken.go.jp/~kashima/viewwave>
- 5) 高畠秩, 藤本利昭, 師橋憲貴, 下村修一, 工藤一嘉: 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—, 第48回(平成27年度)日本大学生産工学部学術講演会講演概要, 2015.12