

2011年東北地方太平洋沖地震における 小山高専建物の強震記録解析

高橋 純一*

Analysis of strong motion waves recorded on buildings of Oyama National College of Technology during the 2011 Tohoku-Chihou Taiheiyu-Oki Earthquake

Junichi TAKAHASHI

Two reinforced concrete buildings which houses the department of electronic and advance course of Oyama National College of Technology has recorded strong earthquake during The Tohoku-Chihou Taiheiyu-Oki Earthquake. In this paper, described the strong earthquake motions and building response due to the motions.

KEYWORDS : the 2011 Tohoku-Chihou Taiheiyu-Oki Earthquake, strong motion record, building, Oyama national college of technology

1. はじめに

1995年兵庫県南部地震は、地震観測のあり方に大きな変化を与え、以後さまざまな機関による地震観測ネットワークが整備された。国や自治体による強震観測網に加え民間のものも加えると1万点以上の観測点が存在している。しかも、インターネットを介して地震発生直後に公開される強震記録も少なくなってきた。しかし、この15年間で地盤系の強震観測網は飛躍的に整備されてきたが、建物系の地震観測は地盤系と比べて極端に少ないといえる。

小山高専建築学科高橋研究室では、1995年阪神・淡路大震災直後の1995年2月に小山高専の建築学科棟と電子制御工学科棟の両建物の最下階と最上階に強震計を設置して強震観測を行ってきた。その後2002年4月より、建築学科棟の強震計を、新築された専攻科棟の最下階と最上階に移して、

強震観測を行っている。

ここでは、本年2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震において、両建物で観測された強震記録の地震動指標、応答スペクトル等について検討を行っている。

2. 強震観測建物概要

強震計は電子制御工学科棟と専攻科棟の最下階及び最上階に各1台、常時4台を設置して観測を行っている。両建物の概要を表1に示す。両建物の基礎は独立杭基礎で、地表下約12m及び17mにN値50以上を示す層が存在しており、これらの層に達する杭により支持されている。両建物とも1981年6月新耐震基準の施工後に設計された建物である。

両建物の平面、断面図をそれぞれ図1、2に示

* 建築学科 (Dept. of Architecture), E-mail : takajun@oyama-ct.ac.jp

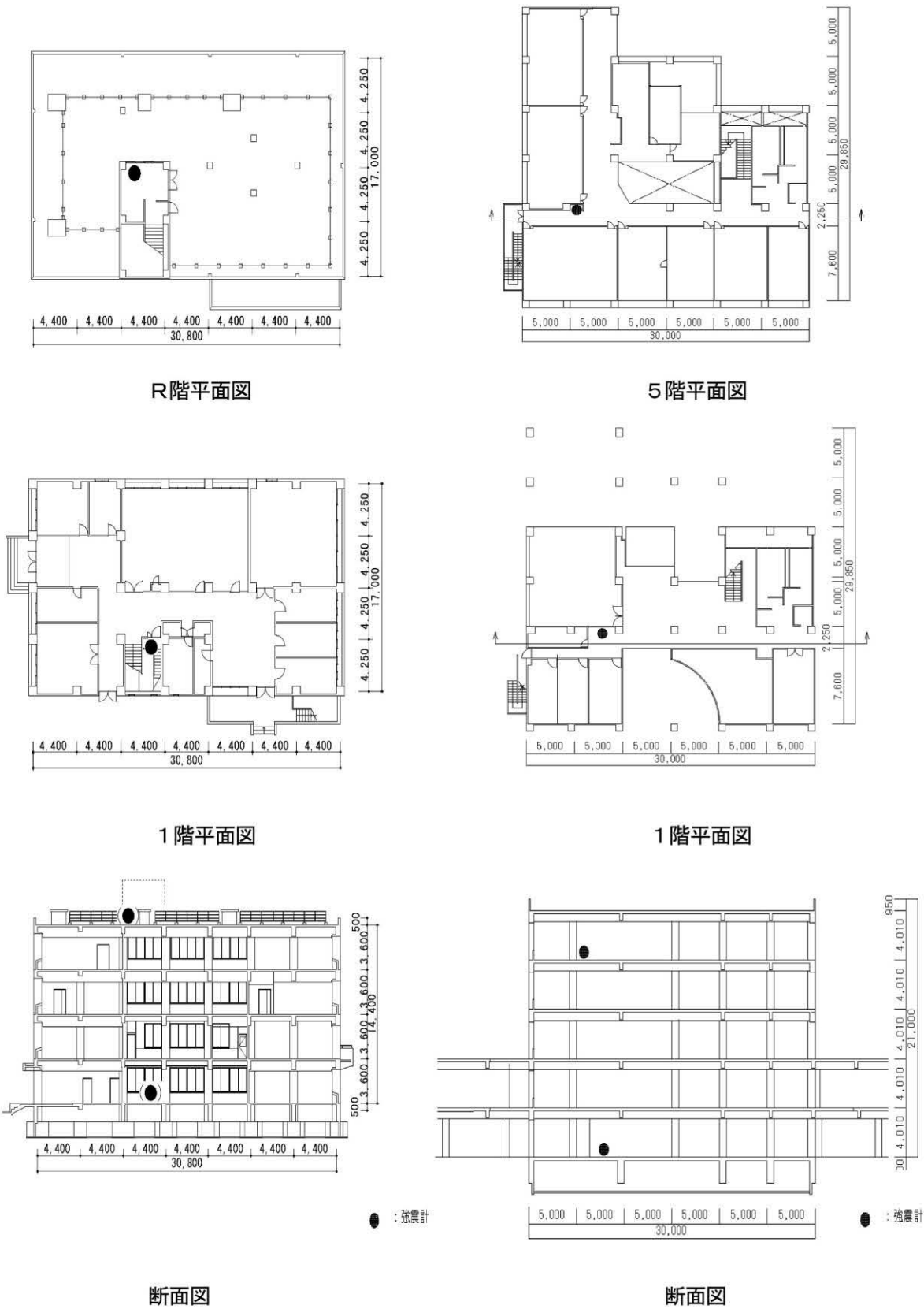


図 1 電子制御工学科棟の強震計設置位置

図 2 専攻科棟の強震計設置位置

す。図中に強震計の位置を示している。強震計は、電子制御工学科棟には階段室まわりの1階ピット入口部分及びR階ペントハウス部分のレーダー観測室に、専攻科棟には、設計段階から施設係に依頼して地震観測室を設けて頂き、1階と5階の地震観測室に、それぞれ設置している。

3. 強震計概要

設置強震計の特性を表2に示す。同強震計はフォースバランス型の加速度計で、DC～50Hzを測定可能である。記録収録は、3つの24ビットA/D変換器で同時に行い、1/2の圧縮で3成分を記録している。電源は電池により駆動し、常時電池を充電することにより、停電時においても36時間は作動が補償されている。設置状況を写真1に示す。

両建物とも、強震計の短手方向と建物の長手方向を対応させており、記録波形の1、2、3chそれぞれがNS、UD、EW方向成分に対応している。

各建物の設置強震計最下階と最上階で運動コードにより連結し、最下階の記録開始レベルに達した時点で最上階器での同時記録を可能にし、観測記録を研究室において電話回線により回収可能としている。

4. 地震概要ならびに被害状況

2011年3月11日14時46分に発生した東北地方太平洋沖地震の発生位置と小山高専の位置を図3に示す。同地震の地震概要¹⁾を表3に示す。同地震の規模はマグニチュード9と非常に大きなものであった。同地震の震源は三陸沖であったが、その直後に東西200km、南北500kmの領域でM5以上の5個の地震が発生している。ここでは、M9の地震のみを検討している。なお、小山高専のGPSによる位置より求めた、震央距離は349kmとなっている。

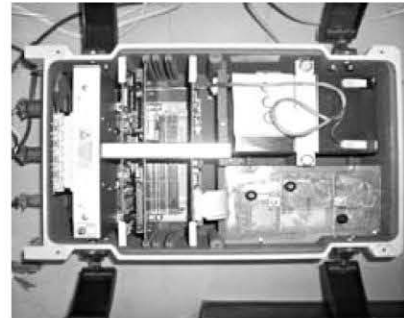


写真1 強震計設置状況

表2 強震計概要

検出部	
方式	フォースバランス型加速度検出器
検出方法	水平2方向、垂直1方向(計3方向)
測定範囲	0.5G, 1G, 2G選択可(1G)
最小検出	0.007gal
固有振動数	50Hz
減衰係数	クリティカル値の70%
測定周波数	DC～80Hz
測定誤差	19ビット
記録収集	
方式	24ビット(A/D)デジタル変換器
ダイナミックレンジ	110dB以上
応答周波数	DC～80Hz
分解能	19ビット
雑音(RMS)	3μV
サンプリングレート	100, 200, 250sps選択可
チャンネル数	3チャンネル
入力感度	±2.5V F.S
記録フォーマット	24ビット(3バイト単位)出力
リアルタイム出力	RS-232C規格デジタル出力
記録開始	
周波数範囲	0.1～12.5Hz ティンクル
方式	4チャンネル独立設定可
スタート	
ストップ	それぞれF.Sの0.01%～100%を設定可
警報レベル	
ブライベント	0～60秒を設定可(10秒)
ホストイベント	0～6500秒を設定可(60秒)
記憶	
方式	PCMCIA(Ver.2.1)JEIDA(4.1)
スロット1	5MBメモリーカード
スロット2	スロット1と同じハードディスク
記憶容量	40分(標準5NB)1/2圧縮方式
時刻	
GPSオフショ	内部時計校正、設置位置の特定
時刻精度	5マイクロ秒のUTC
電源	
電池	12V(12AH)内蔵 36時間補償
充電器	入力AC100V(DC24V)
作動環境、寸法	
温度、湿度	-20～70℃、0～100%
寸法、重量	256(W)×381(L)×178(H)、11.4kg

表1 強震計設置建物概要

建物名	竣工	階数	延べ床面積(m ²)	杭(種類、経、長さ)
電子制御工学科棟	1987	4+PH	2,179	PHC, 450φ, 1,700
専攻科棟	2001	5	3,459	PHC, 800&900φ, 1,900

同地震による被害概要¹²⁾を表4に示す。同図には全国と栃木県における被害を示している。全国における死者行方不明者は大部分が津波による犠牲者で、1万9千9百6人の約2万人と甚大なものとなった。住家被害の全壊約118,000棟、半壊約178,000棟となっている。人的被害の甚大さに対して、住家被害は地震の規模に対して、それほど多いものとはいえない。全国の被害に対して栃木県の被害は軽微なものであった。

5. 強震記録

専攻科棟1階の強震計は、今回の地震の前震と考えられている2日前の3月9日の記録収集時には異常が認められなかったが、今回の地震で記録をメモリーに保存する段階で原因不明の異常をきたし、記録が得られなかった。したがって、強震記録は、電子制御工学科棟の1階、R階ならびに専攻科棟5階で得られている

5. 1 強震記録波形、地震動指標

強震計の設定時間刻みは0.005秒である。今回の3月11日14時46分発生の東北地方太平洋沖地震において観測された、電子制御工学科棟1階とR階の地震動波形（加速度波形、速度波形、変位波形）を図4に、専攻科棟5階の地震動波形を図

5に示す。各地震動波形の最大値を表5に示す。なお、速度波形と変位波形は、強震計で観測された加速度記録より求めている。

図4に示す電子制御工学科の地震動波形は、継続時間が400秒と長く、最大加速度は1階の南北、

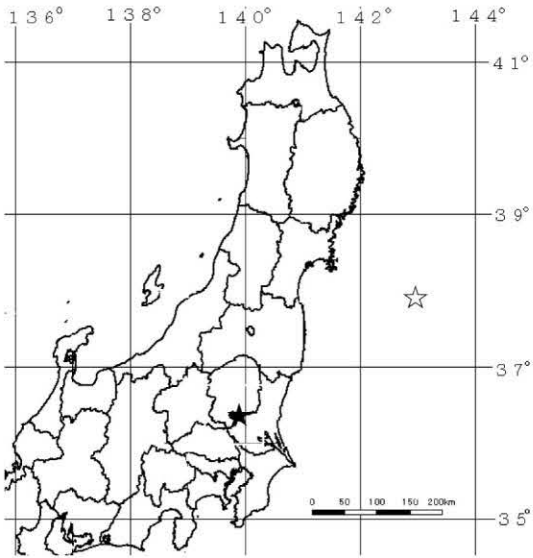


図3 地震発生位置(☆)と観測地点位置(★)

表3 地震概要¹¹⁾

地震発生日時	震 央		深さ (km)	規模 (M)	震央地名	震央距離* (km)
	緯度	経度				
2011. 3. 11 14:46	38. 62°	142. 51°	24	9. 0	三陸沖	349
* : 小山高専からの震央距離。 小山高専の位置 : 北緯 36. 19° 、東経 139. 50°						

表4 地震被害概要¹²⁾

都道府県	人的被害(人)			住家被害(棟)			火災 (件)
	死者	行方不明	負傷者	全壊	半壊	一部破壊	
全国	15, 989	3, 917	6, 115	117, 652	178, 200	612, 351	287
栃木県	4	0	132	262	2, 083	64, 155	0

東西の水平2成分で 550～600gal、R階で 830～890kine、上下成分で1階、R階とも 220～270gal の大きな値を示している。R階の1階に対する

加速度応答倍率は南北方向成分が 1.49 倍、東西方向成分が 1.48 倍を示している。
最大速度は、電子制御工学科棟1階の水平方向

表5 地震動指標

建物名	階数	方向	加速度 (gal)	速度 (kine)	変位 (cm)	計測 震度	SI*
電子制御 工学科棟	1階	NS	555	55.3	12.7	6.0	64.5
		UD	220	13.9	3.8		59.1
		EW	598	49.7	11.0		71.0
	R階	NS	828	67.0	12.6	6.2	74.7
		UD	267	14.2	3.8		72.3
		EW	886	66.5	11.7		82.8
専攻科棟	5階	NS	990	75.4	13.7	6.4	91.8
		UD	292	15.8	3.7		80.0
		EW	1,024	65.1	11.9		97.3

* SI: 2方向合成スペクトル強さ

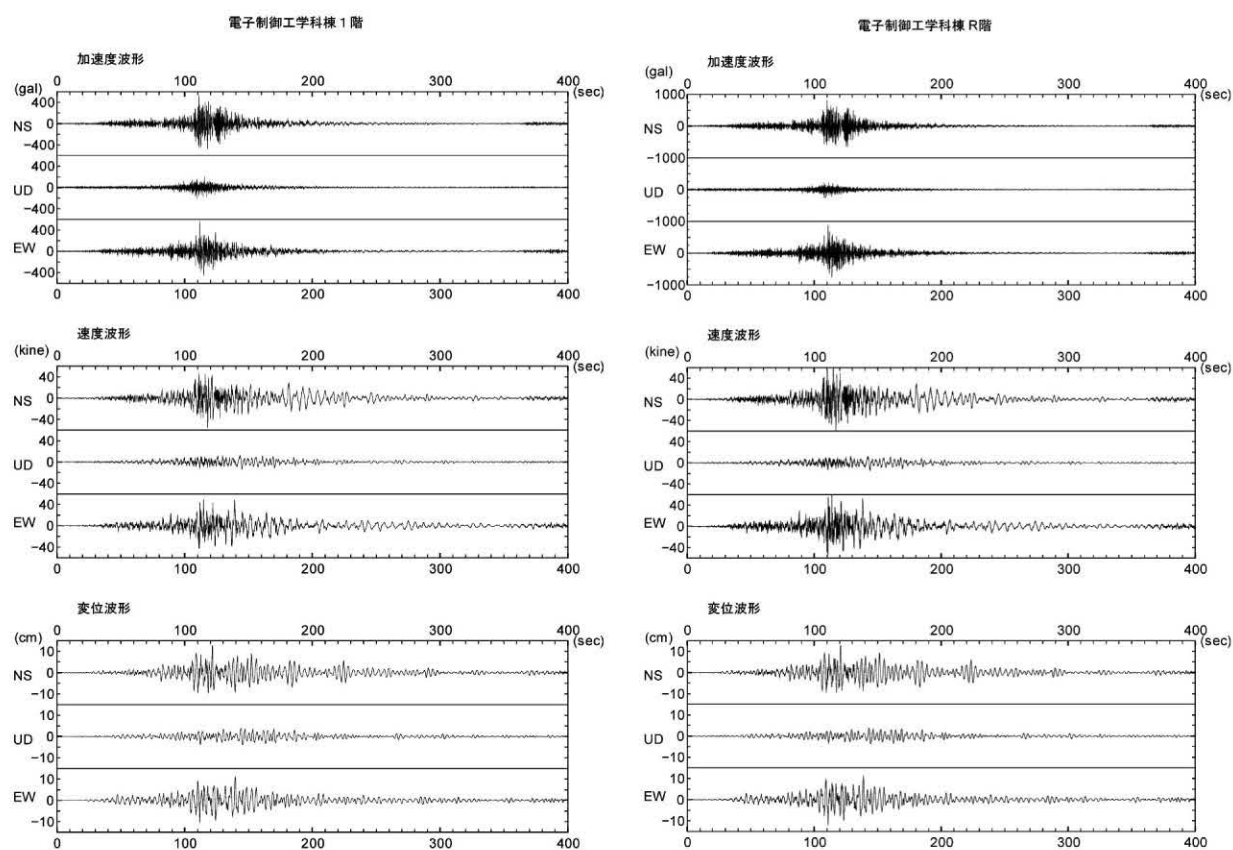


図4 電子制御工学科棟の強震記録波形（1階、R階）

成分で約 50kine、R 階で約 65kine を、最大変位は 1 階で約 10cm、R 階で 12cm を示している。

図 5 に示す専攻科棟 5 階の地震波形は記録時

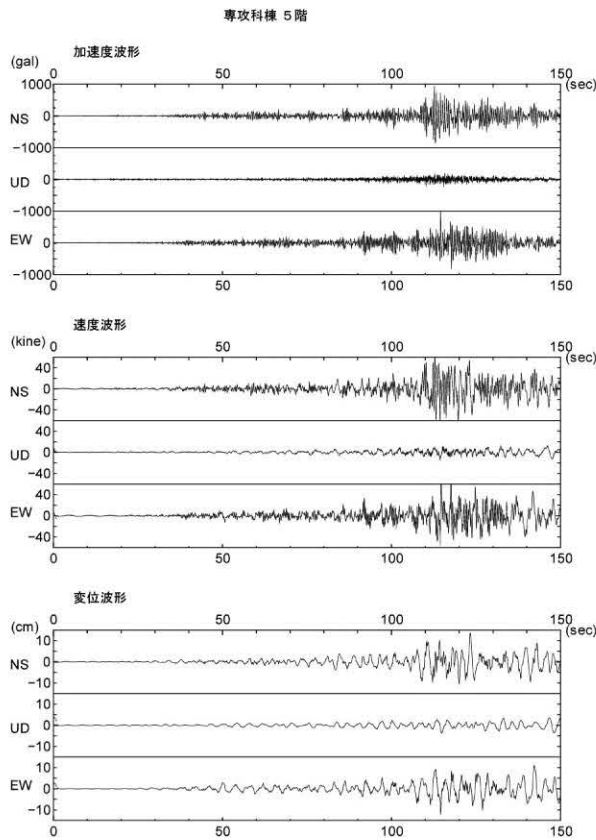


図 5 専攻科棟の強震記録波形（5 階）

が 150 秒と短くなっているが、最大加速度は水平 2 成分で 990～1,000gal、上下成分で 290gal と、電子制御工学科棟 R 階に比べて大きな値を示している。最大速度は約 70kine を、最大変位は約 13cm を示している。

地震動波形の 3 成分合成より求めた計測震度ならびに水平 2 方向の速度応答スペクトルの合成より求めたスペクトル強さ SI を表 5 に示す。

電子制御工学科 1 階の計測震度は 6.0 で、気象庁が発表している小山市内の震度 5 弱より大きな値を示した。また、SI は電子制御工学科棟 1 階の水平成分で約 60～70kine・sec の値を示している。

今回の地震における本校建物の被害状況は、軽微であった。建物外装タイルの剥離剥落、エクspansionジョイントの破損、体育館の天井ボードの破損、暖房ボイラー用煙突の耐火煉瓦の剥落落下等で、復旧費用として 2,920 万円が計上されている。なお本学全建物内の仕子の壁面への固定は、平成 22 年 8 月の安全衛生委員会で、転倒防止措置の実施が決定され、幸いにも今回の地震発生直前の 2 月 25 日までに施工が終了していた。

5. 2 応答スペクトル

電子制御工学科 1 階の地震動 3 成分を併記した加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルを図 6 に示す。減衰常数を 5 %としている。

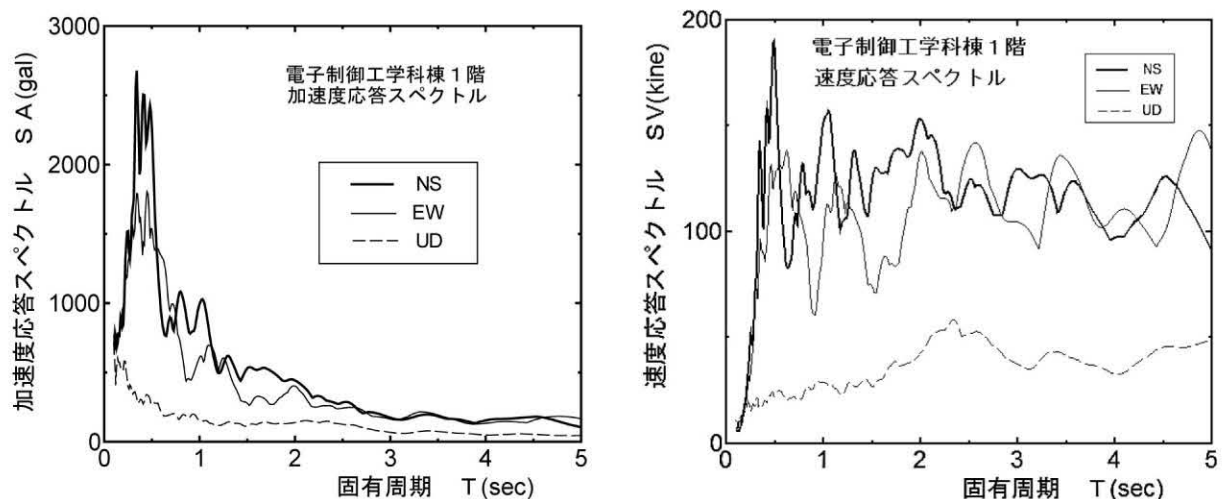


図 6 電子制御工学科棟 1 階の加速度応答スペクトルと速度応答スペクトル

加速度応答スペクトルの水平2成分は、0.4 秒付近に応答最大値約 2,500gal の大きなピークを示しているが、それ以降の周期では急激に低下を示している。

速度応答スペクトルの水平2成分は、0.4 秒付近に最大値 150kine のピークを示しているが、以降の周期では大きな変化を示さずほぼ一定値を示している。

これらの加速度応答スペクトルと速度応答スペクトルは、今回の地震における栃木県南部の建物での被害が最大加速度が大きかったにも拘わらず軽微であったことを説明しうる1つの理由となるものと考ええる。

6. おわりに

1995 年兵庫県南部地震発生直後より、小山高専の2棟の建物で強震観測を行ってきている。今回の2011 年東北地方太平洋沖地震において、これまでの観測結果で最大の記録が得られた。ここでは、強震観測結果の解析結果の一部について報告したが、今後さらに同記録の検討を進める予定である。

最後に、強震観測開始以来、卒業研究、特別研究の研究テーマとして検討を行ってきた研究室の学生に、ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 堀越一輝：小山高専平成6 年度卒業研究、1995. 2
- 2) 高橋純一：小山高専建物の強震観測、小山高専研究紀要、第28 号、1996. 3
- 3) 鈴木貴之：小山高専平成8 年度卒業研究、1997. 2
- 4) 柔久保樹里：小山高専平成10 年度卒業研究、1999. 2
- 5) 堀越一輝：小山高専専攻科特別研究、2001. 2
- 6) ミク・バーナル：小山高専平成12 年度卒業研究、2001. 2
- 7) 石丸夏乃：小山高専平成15 年度卒業研究論文、2003. 2
- 8) 大塚雅洋：小山高専平成20 年度卒業研究、2009. 2
- 9) Kinematics : Installation and Initial Startup
Instructions for Altus K2 High Dynamic Range
Accelerograph Rev. a. 2007
- 10) 応用地震計測：強震波形解析プログラム STMAP II、2007
- 11) 国土交通省気象庁：平成23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震について(第16 報)、2011. 3
- 12) 総務省消防庁：平成23 年(2011 年)東北地方太平洋沖地震(東日本大震災)第139 号、2011. 9
- 13) 日本建築学会：2011 年東北地方太平洋沖地震災害調査速報、2011. 8
- 14) 小山高専：小山高専 Quarterly 2011 夏号、2011. 8
- 15) 宇津徳治：地震の事典、朝倉書店、1987. 3
- 16) 鎌田輝男：白地図 Ken Map Ver8. 33、2006. 12
- 17) 石坂智：Ngraph for Windows Ver6. 03、2010. 6

【受理年月日 2011年 9月30日】

