

広島工業大学の講義棟 Nexus21の強震計測システムと データ処理方法

岩井 哲*・川上 善嗣**

(平成30年10月22日受付)

The strong motion measurement system and data processing method for the lecture building Nexus21 of Hiroshima Institute of Technology

Satoshi IWAI and Yoshitsugu KAWAKAMI

(Received Oct. 22, 2021)

Abstract

This research aims to provide useful information for seismic motion analysis and seismic design of structures. Data processing system is developed to get acceleration records at the lecture building Nexus21 of Hiroshima Institute of Technology (HIT) due to a strong earthquake, such as the Nankai Trough earthquake, which is feared to occur in the near future. The obtained results are as follows. (1) A list of the records of felt earthquakes for the last 10 years at HIT is summarized. (2) A processing software is created to select the three functions of “waveform display,” “spectrum display,” and “3D display”. (3) “Waveform display” and “3D display” show the acceleration, and the velocity / displacement calculated by the integration of the time history. (4) In “spectrum display”, the analysis results of the Fourier spectrum of acceleration, velocity, and displacement, in each floor and direction are presented and can be output as text. (5) Using the acceleration on the first floor of the lecture building due to the 2016 Kumamoto earthquake as an input, we attempted to verify the building response by vibration analysis.

Keywords: strong earthquake, acceleration records, Fourier spectrum, building response

1. 研究の背景と目的

広島工業大学の講義棟三宅の森 Nexus21は2009年から供用された。強震計は、工学部建築工学科で導入を決定した2011年3月に、広島工業大学の講義棟に設置された。この強震計は講義棟の1階、4階、10階の中央エレベーターホール前のEPS室に置いている。建物の長手方向に合わせた南北(NS)方向と、直交する東西(EW)方向、ならびに上下(UD)方向の3方向について、加速度の計測を毎日24時間

態勢で、1/100秒間隔にデータ取得を行い、学内LANを通じて専用のサーバーPCに0.1秒おきにデータを送信している。

講義棟に地震計を設置した主たる目的は、近々発生することが懸念されている南海トラフ地震などの大地震に備え、広島にある理工系大学として、加速度記録を地震動の解析や構造物の耐震設計・研究などに役立て、地震学ならびに耐震工学に関わる研究や開発に益する情報提供を行うことにある。大きな地震の加速度記録を取得し、時刻歴波形やスペクトルの形で、広島工業大学で得られた記録とし

* 広島工業大学名誉教授

** 広島工業大学工学部建築工学科教授

て提供する。1階に設置した強震計は、地震動の構造物への入力として考えられ、地震動の卓越周期や地盤の影響を知ることができる。4階ならびに10階に設置した強震計からは、地震動による構造物の応答や固有周期に関わる情報を得る。

2011年にはこの加速度データの処理の方針を確立し、処理には鎌田（福山大学名誉教授）によりHPで公開されている波形解析 WAVEANA、スペクトル解析 SPECANA など数個のプログラムを利用した。これらにより欲しい地震関連情報は得られることがわかったが、一方で、処理の操作手順が複雑で面倒であるということ、また作業が多くなると人的ミスに繋がる可能性が増えるという問題があった。そこで、一貫して処理を行えるプログラムを自ら作成することにした。講義棟で得られた加速度記録から誰でも簡単に加速度、速度、変位の時刻歴波形を取り出せ、2D、3D表示やスペクトルの表示が行えるものを目指した。

本研究は、加速度記録のテキスト・データと合わせて、地震や建物の応答解析のためのツールを一貫処理プログラムとして提供するものである。開発にはマイクロソフトの Visual Basic（以下、VBと表記する）を用いた。これは Windows 画面を扱えるソフトとして、著者が比較的慣れているためである。

2. 強震計の仕様と設置状況

強震計の仕様は表1の通りである。強震計の設置状況を写真1ならびに図1、図2に示す。加速度ピックアップは GMR (Giant Magneto Resistive Effect: 巨大磁気抵抗効果) センサーを採用したもので、安価で高精度の加速度検出を実現する。10年を経過しているが、使用上、問題ないとのことである。ただサーバー PC と、加速度情報を丸々記録する外部ハードディスクは、最近になって、データ転送エラーが生じる原因になったため、2020年10月に交換した。それに伴い導入初期に利用していたモニターシステムは一部利用できなくなったが、データの基本的なフォーマットは変わっていない。なおこのシステムは東京大学地震研究所の全国地震観測の1つとしてインターネット接続されており、本学から地震情報を送信している。



写真1 強震計の設置状況

表1 IT 強震計 ITK-002の仕様

計測デバイス	GMR (Giant Magneto Resistive Effect : 巨大磁気抵抗効果) 加速度ピックアップ
計測加速度軸	X, Y, Z 3軸
定格加速度レンジ	±2450Gal (X, Y, Z 軸)
加速度計測範囲	±2940Gal (X, Y, Z 軸)
計測加速度分解能	0.01Gal
他軸感度	± 3 % 未満
ノイズ	0.1Gal 未満
定格電圧	DC 6 V ± 10%
絶縁耐圧	AC500V 1 min (AC アダプタ性能)
絶縁抵抗	500V, 1 M Ω 以上 (AC アダプタ性能)
材質	アルミ板
取り付け許容角度	水平取り付け ± 3° 以内
質量	約400g (製品予定)
使用温度	周囲温度: -10 ~ + 40°C (ただし, 結露しないこと)
精度保証温度	周囲温度: 0 ~ + 40°C (ただし, 結露しないこと)
保存温度	-20 ~ + 60°C
サンプリング周期	10ms サンプリング
時間精度	NTP 依存
通信方式	ethernet
伝送速度	100/10Mbps
配線長	最大100m

強震計は地表に近い1階床上、最上階の10階床上に設置することを基本とし、維持管理を考慮して電気管理施設 (EPS) 内とした。4階床上設置は建物中央高さ近くになり、構造的に5階以上が下部階と変化することを意識した。講義棟建設時に LAN を引いた。予算的制約がなければ、建物から離れて影響を受けない地表の自由面と、各階に強震計を設置できればなお良かった。

2020年の機器更新の際に、実は、重大な誤りが2点見つけた。1つは、定格加速度レンジが±2450Galであることで、これまでは K-NET 形式の ±2000Gal と考えていたことである。もう1つは、水平成分の X, Y 軸が、正しくは EW (東西に近い講義棟短辺方向)、NS (南北に近い講義棟長辺方向) であることの認識の誤りで、これまで NS と EW の方向を逆に考えて処理していたことである。取得データそのものには問題がないので、この10年間で、致命的な事態は発生していなかったと思われるが、利用者はこれまでのデータを扱う際にも、注意をお願いしたい。

強震計で観測された加速度データは、サーバー PC (Unix 系) に転送し、日・時・分の単位でファイル保存している。まずデータをサーバー PC から Windows PC へファイルを転送 (USB メモリーあるいはプログラム WinSPC を使用) する。その後、入力前処理としてテキストに変換す

る。プログラム ITK Data View を使用する場合は GAL (GMR) を選択し、バイナリーの RAW ファイルからテキストの CSV ファイルに変換する。¹

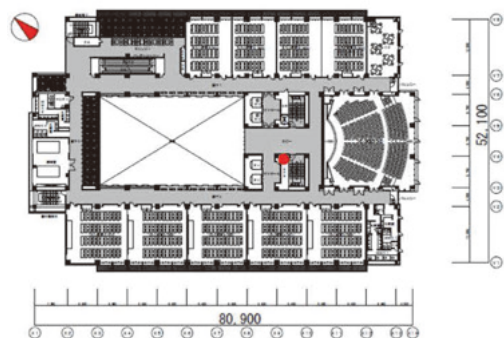


図1 講義棟 Nexus21の平面上の強震計設置位置 (赤丸の箇所)



図2 講義棟 Nexus21の立面 (断面) 上の強震計設置位置 (赤丸3箇所)

3. 有感地震の取得状況

表2はこれまでに取得した有感地震のリストである。国土交通省・気象庁の震度データベースを参照して情報補充した。平均して年に5件ほど有感地震を記録している。識別番号は観測システムによって自動的に割り当てられたもので、一部に抜けがあるのは、地震ではない振動もしくは電氣的ノイズを拾った時のものを判別し省いたことによる。

4. 計測データの処理—プログラムの全体構成

計測した加速度データの処理プログラムの基本となる部分は多くが田中 (2013) の制作による。これをプログラムの並んでいる順番で、土岐 (2018) が Sub プロシージャごとに番号 (#) 付けを行ったもので整理した。プログラム全体構成を図3に示す。大きく分類すると①から⑥の6つのプログラム群からなる。①加速度データの読み込みを

表2 2012年～2020年に取得した有感地震のリスト

識別番号	発生年月日	発生時刻	震源地	地震の規模M	最大震度	大学1階床の最大震度	大学1階床の最大加速度 N-S, E-W, U-D (Gal)
1	2012/12/22	15:15	伊予灘	4.4	3	0.4	2.02, 2.25, 1.33
2	2013/01/08	20:19	広島県西部	3.7	2	0.6	8.98, 13.92, 5.76
3	2013/04/13	05:33	淡路島付近	6.3	6弱	1.2	3.60, 2.87, 1.76
4	2013/05/24	14:45	サハリ近海	8.2	3	0.0	0.56, 0.76, 1.11
8	2014/03/14	02:06	伊予灘	6.2	5強	4.1	103.56, 124.95, 38.0
10	2014/08/14	07:51	周防灘	4.4	3	0.9	4.14, 5.40, 2.30
11	2014/08/29	04:14	日向灘	6.1	4	0.5	1.39, 1.50, 0.64
14	2014/09/23	12:32	安芸灘	3.9	3	0.4	3.40, 5.45, 2.60
15	2014/11/01	19:36	伊予灘	4.3	2	0.6	2.87, 4.74, 1.63
16	2015/02/06	10:25	徳島県南部	5.0	5強	0.0	0.91, 0.92, 0.89
17	2015/05/30	20:23	小笠原諸島西方沖	8.5	5強	0.4	1.10, 1.63, 1.08
18	2015/07/13	02:52	大分県南部	5.7	5強	1.8	8.10, 8.45, 2.98
19	2015/07/24	17:53	愛媛県南予	4.7	4	0.3	1.58, 1.59, 1.07
20	2015/08/26	07:51	日向灘	5.2	4	0.0	1.09, 0.93, 0.70
21	2015/11/14	05:51	薩摩半島西方沖枕崎の西南西160km付近	7.0	4	0.0	0.58, 0.38, 0.29
23	2016/04/01	11:39	三重県南東沖	6.1	4	0.0	0.58, 0.41, 0.42
24	2016/04/14	21:26	熊本県熊本地方	6.5	7	0.9	2.36, 2.04, 1.58
25	2016/04/14	22:07	熊本県熊本地方	5.7	6弱	0.0	0.81, 0.95, 0.51
26	2016/04/15	00:03	熊本県熊本地方	6.4	6強	0.4	1.34, 1.40, 0.88
27	2016/04/16	01:25	熊本県熊本地方	7.3	7	2.7	14.48, 9.56, 9.97
28	2016/04/16	01:45	熊本県熊本地方	6.0	6弱	0.7	1.88, 2.21, 1.55
29	2016/04/16	03:55	熊本県阿蘇地方	5.8	6強	0.0	0.90, 1.20, 1.02
30	2016/07/01	14:39	伊予灘	4.3	3	0.3	2.79, 2.16, 1.15
31	2016/08/15	13:36	伊予灘	4.3	3	0.6	3.00, 2.51, 1.31
32	2016/10/21	14:07	鳥取県中部	6.6	6弱	2.9	31.55, 21.17, 11.77

¹ かつて GAL (K-NET) を選択し変換したが、GAL (GMR) が正しい選択である。これが本節の誤りの修正に対応する。

表 2 (続き) 2012年～2020年に取得した有感地震のリスト

識別番号	発生日月日	発生時刻	震源地	地震の規模M	最大震度	大学1階床の最大震度	大学1階床の最大加速度 N-S, E-W, U-D (Gal)
33	2016/10/21	14:53	鳥取県中部	5.0	4	1.0	3.90, 3.41, 1.51
34	2017/03/02	23:53	日向灘	5.2	4	0.3	1.17, 1.37, 0.64
35	2017/06/20	23:27	豊後水道	5.0	5強	0.0	- - -
36	2017/06/25	07:02	長崎県南部	5.6	5強	0.0	0.36, 0.33, 0.29
37	2017/08/16	04:38	伊予灘	4.9	2	0.1	3.69, 3.06, 1.30
38	2018/01/09	05:52	伊予灘	4.4	3	0.7	2.93, 3.55, 1.96
39	2018/02/19	03:31	豊後水道	5.0	4	0.8	2.92, 2.88, 1.39
40	2018/04/09	01:32	島根県西部	6.1	5強	2.6	25.23, 36.31, 14.20
41	2018/04/09	02:10	島根県西部	4.8	4	1.2	6.52, 8.70, 4.25
42	2018/04/09	05:05	島根県西部	4.6	4	0.4	2.44, 2.55, 2.44
43	2018/06/18	07:58	大阪府北部	6.1	6弱	0.5	1.46, 1.49, 0.83
45	2018/06/26	17:00	広島北部	4.9	4	1.5	8.53, 11.28, 4.58
46	2019/01/08	21:39	種子島近海	6.4	4	0.0	0.63, 0.39, 0.22
47	2019/03/11	15:37	愛媛県南予	4.5	3	0.8	2.86, 2.82, 1.71
48	2019/03/27	15:38	日向灘	5.4	4	0.5	1.58, 2.15, 0.93
49	2019/05/10	20:40	日向灘	4.8	2	1.0	1.80, 2.68, 1.63
50	2019/05/11	08:59	日向灘	4.9	4	0.1	1.20, 1.14, 0.98
51	2019/10/07	08:02	伊予灘	4.3	3	1.2	6.01, 5.54, 2.71
52	2019/11/22	18:06	日向灘	5.2	3	0.0	0.71, 0.66, 0.29
53	2019/11/26	15:10	瀬戸内海中部	4.6	4	0.5	2.70, 2.80, 2.23
54	2020/03/09	04:29	豊後水道	4.7	3	0.7	3.27, 2.08, 1.46

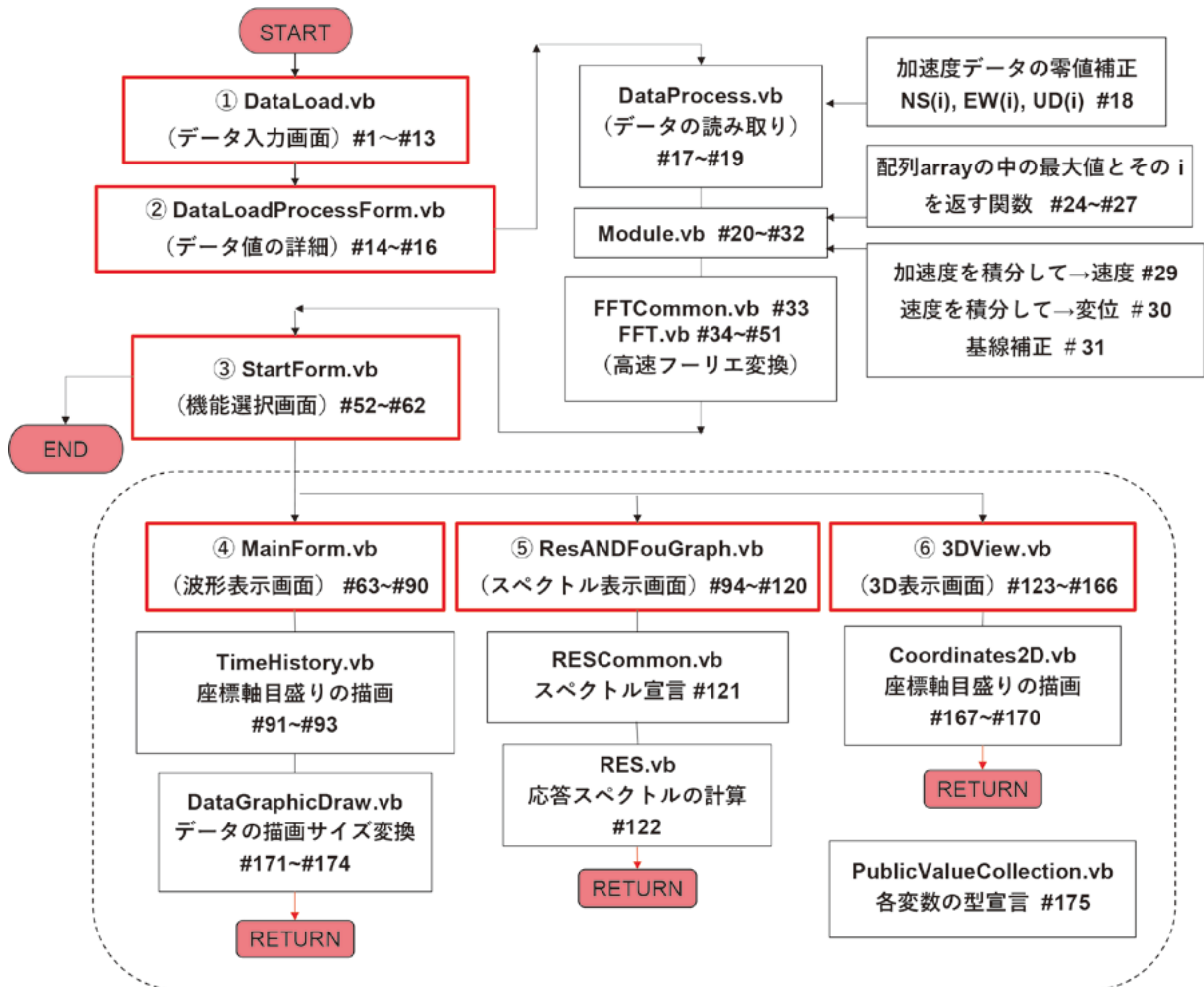


図 3 計測データの処理プログラムの全体流れとサブプログラムなどの番号付け

行うデータ入力画面、②データの基本的処理を行う：加速度を時間について積分して速度・変位を算出、時間軸領域から周波数領域へ高速フーリエ変換（FFT）してスペクトルを導出、最大値を読み取るなど、③加速度の最大値を表示し、機能選択を行う画面、までが前半部となる。後半部の機能選択は④「波形表示」、⑤「スペクトル表示」、⑥「3D表示」の3つからなる。以下に各々の説明をする。

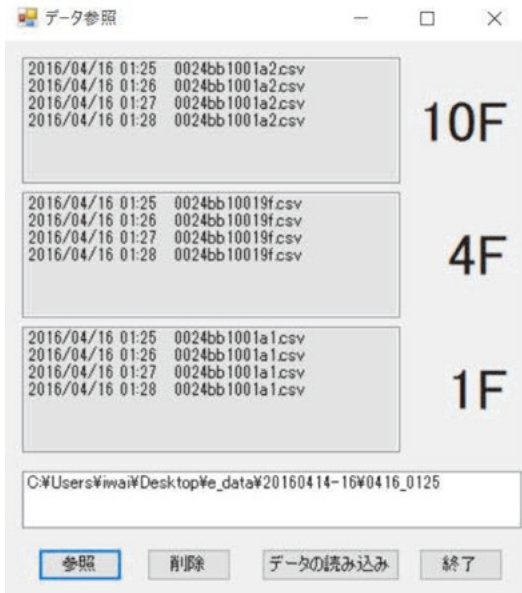


図4 加速度データの読み込み画面



図5 加速度最大値の表示と機能選択画面

5. 各処理システムの解説

(1) データの読み出しと表示画面の選択ウィンドウ

① 図4の画面で、ファイルの読み込みには「CSVファイル」を使用する。「CSVファイル」は、分毎に分別されたフォルダ内に、「RAWファイル」と同名で保

存している。その数分のフォルダ一式を「参照」から読み込むか、□の枠内にドラッグ&ドロップすると、上部に階別に自動で振り分けられることを確認する。

- ② 「データの読み込み」を実行すると、図5の画面の「波形表示」「スペクトル表示」「3D表示」の3つを機能選択する画面になる。
- ③ 図5の画面の「出力」では、加速度と、その時刻歴の積分処理によって計算した速度・変位成分をテキストファイル形式で出力できる。

速度、変位を算出する積分の処理は、解の発散があり、実は大きな問題となる。強震計から得られた加速度データは1/100秒間隔の離散型データである。本研究では、大崎(1994)による積分波形の基線補正方法を用いた。変位を求める段階で長方形積分や台形積分よりも精度を上げるため、加速度変化を線形と仮定して積分を行った。これにより、速度波形を求める際には台形積分と変化はないが、変位を求める際には加速度の線形変化分だけ速度に補正がかかり、変位波形の精度の向上に繋がる、とされる。速度波形の最終点が軸と一致するよう、加速度波形は1次式、速度波形は2次式、変位波形は3次式によって補正している。(結果の例を図8に示す)

(2) 波形表示ウィンドウ

- ① 図6の画面の右上にある「階別、方向別、成分別」をチェックすることでそれぞれの波形を表示できる。
- ② 「描画成分設定」で、加速度、速度、変位をチェックすることで表示を変更できる。
- ③ その下の、表示する階をチェックする。
- ④ 表示する方向をチェックする。
- ⑤ 「時間軸設定」で、表示する波形の開始時刻と終了時刻を指定できる。
- ⑥ 縦軸の値を自動設定する・しないを選択できる。チェックを外すことで縦軸のスケールが自由に設定できる。
- ⑦ 「描画」を実行すると①～⑥の設定した条件で波形を表示する。赤色はNS(南北)方向、青色はEW(東西)方向、緑色はUD(上下)方向である。複数の波形を同時に重ねることもできる。
- ⑧ 「最大値(ばらばら)」は図6のように、各図の縦軸値で最大表示するもので、「最大値統一」は図7のように、10, 20, 50のレベル毎に規準化して、3つの図を統一したスケールで大小比較する場合に使う。
- ⑨ □枠で選択した波形をキャプチャできる。

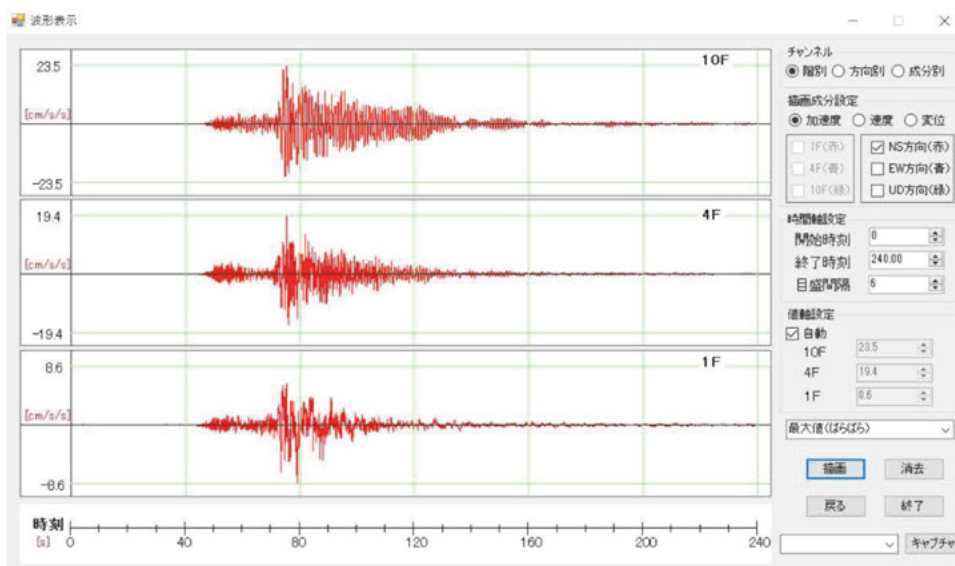


図6 加速度の各階 NS 方向波形表示画面（縦軸を最大値で規準化した場合）

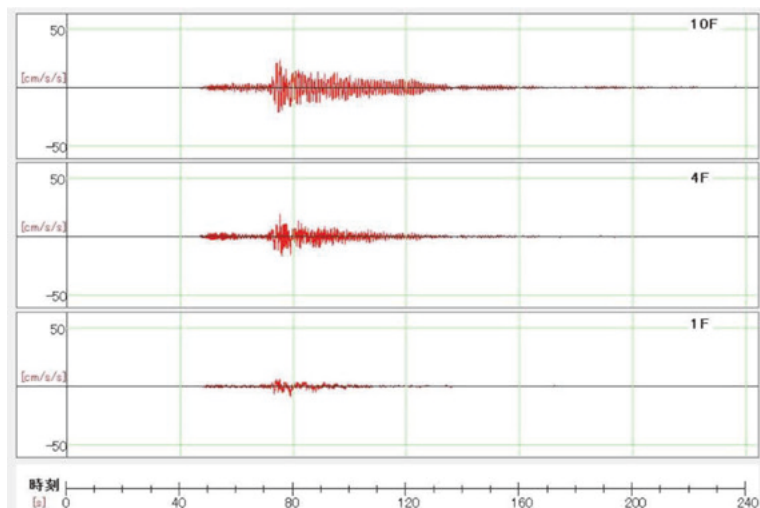


図7 加速度の各階 NS 方向波形表示画面（縦軸を統一して大小関係を明示した場合）

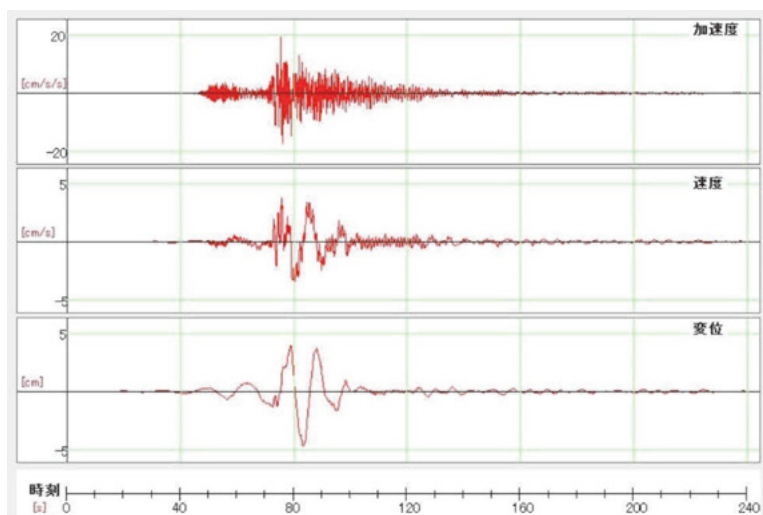


図8 4階 NS 方向について加速度、速度、変位波形を表示した場合

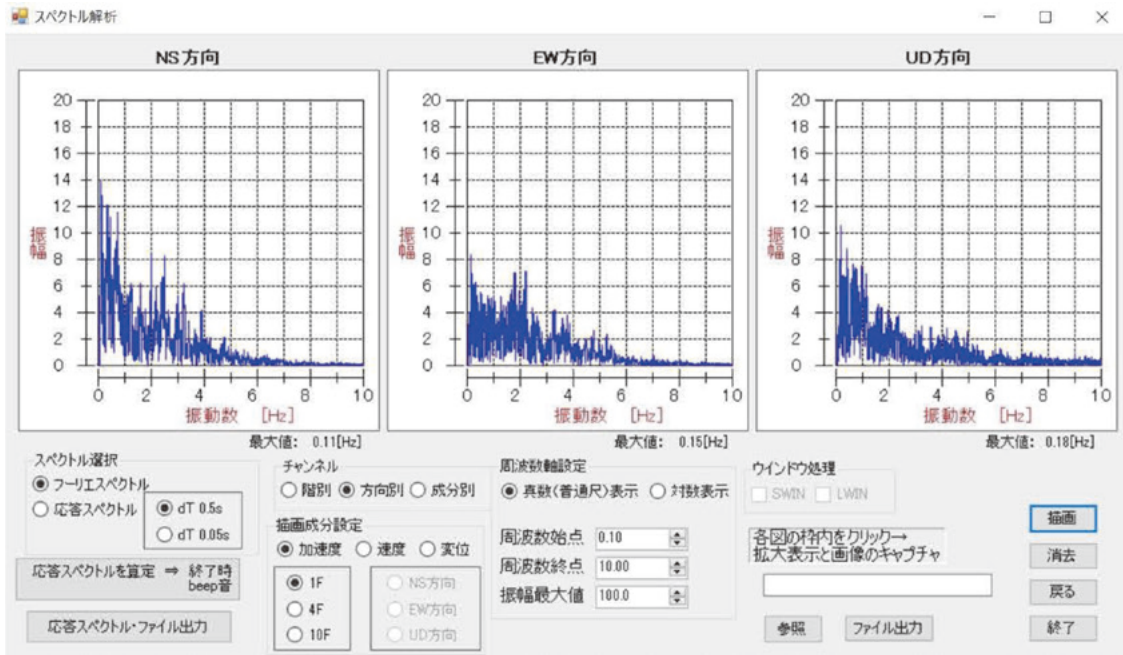


図9 1階各方向について加速度のフーリエスペクトルを真数で表示した場合

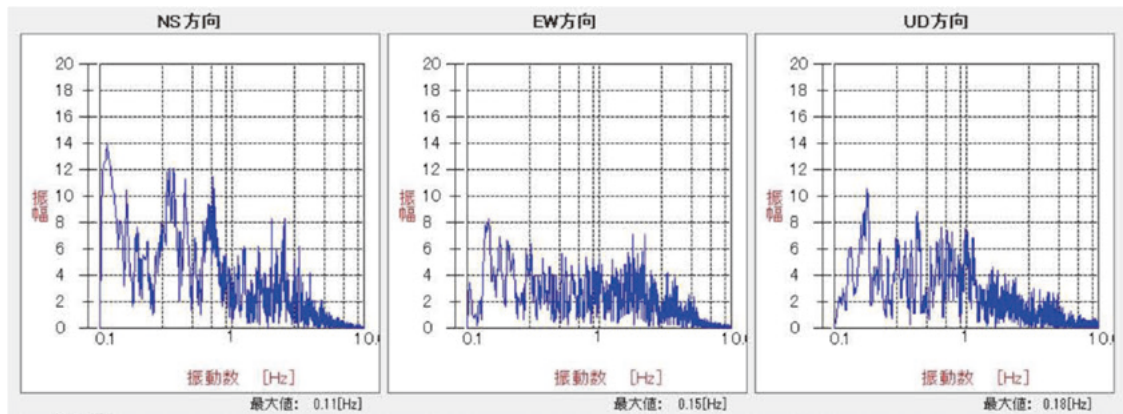


図10 1階各方向について加速度のフーリエスペクトルを対数(0.1Hz~10Hz)で表示した場合

(3) スペクトル表示ウィンドウ

図5でスペクトル表示を選択すると図9の画面が表示される。ここで、サンプルに用いた地震データは2016年4月16日の熊本地震のうちの最大規模のM7.3地震(表2の識別番号27)発生によって、大学講義棟で取得したデータによるものである。

- ① 「チャンネル」の階別、方向別、成分別をチェックすることでそれぞれ表示できる。
- ② 「描画成分設定」で、階別、方向別の際は、加速度、速度、変位を選択できる。
- ③ チャンネルの方向別、成分別の際に、階を選択できる。
- ④ 階別、成分別の際に、方向を選択できる。
- ⑤ 真数(普通尺)表示と、対数表示を選択できる。(図9、図10)
- ⑥ 「描画」を実行すると①~⑤の設定した条件でスペクトルを表示する。
- ⑦ 3つの波形グラフの枠内をクリックすると、波形を拡大表示する。画像をキャプチャすることもできる。
- ⑧ 「ファイル出力」は各階、各方向の加速度、速度、変位のフーリエスペクトルをテキストで出力する。
- ⑨ 応答スペクトルも表示できるようにした。応答スペクトル表示手順は次の通りである。
- ⑩ スペクトル表示画面の左側にある、スペクトル選択-応答スペクトルにチェックを入れる。計算する周期きざみをdT0.5sか、dT0.05sを選ぶ。
- ⑪ 「応答スペクトルを算定」を押下する。⇒終了時にbeep音が鳴る。
- ⑫ 画面の右側の「描画」で3画面を表示する。
フーリエスペクトルは地震動の特性が反映される。地震応答スペクトルは地震動の特性と、建物の特性の両者を反映させる。
スペクトル表示の検証に、1940年エルセントロ(El Centro)

地震の加速度データ（NS成分で最大 340cm/s^2 ）を本プログラムに入力し、地震応答スペクトル解析によるエルセントロ地震の応答を出したものが図11である。ここでは減衰定数を0.01, 0.05, 0.10について結果を示した。1940年エルセントロ地震のデータの場合、計算時間が $dT0.5s$ で数秒、 $dT0.05s$ ならその10倍かかる。多くの建築振動学の本には代表的に記されているので比較できる。妥当な結果が出たと考える。

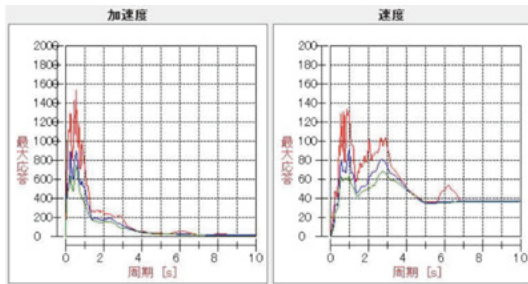


図11 地震応答スペクトル解析による1940年エルセントロ (El Centro) 地震 NS 成分の応答結果

(4) 3D表示ウィンドウ

図5で3D表示画面を選択すると図12の画面になる。左枠内が3D表示、右枠の3つが2D表示である。2D表示は左上側が桁行(NS)方向-鉛直(UD)方向、右上側が梁間(EW)方向-鉛直(UD)方向で、右下側が桁行(NS)方向-梁間(EW)方向の、軌跡残像を現す。

- ① 加速度, 速度, 変位の波形動画を選択することができる。
- ② 開始時刻を指定することができる。
- ③ 3Dと2D画面の軌跡残像を表示するデータ数を変更できる。データ数の default 値は15としている。
- ④ 表示データ間隔を [1データ・2データ] で変えて、3Dと2D表示の動きを [遅く・速く] できる。
- ⑤ 「階」にチェックを入れることで2D画面の描画する階を指定でき、「スケール設定」により2D画面の寸法表示を変更できる。
- ⑥ スケールの数値を変えることで3D画面の寸法表示を変更できる。
- ⑦ 鉛直軸回転角と水平面回転角を指定することで3D画面の向きを変更できる。
- ⑧ 「描画」を実行すると①～⑦の設定した条件で3D画面と2D画面を表示する。
- ⑨ 動画画面の「一時停止/再開」ができる。

6. 振動解析による建物応答の検証例

数例しか試みていないが、地震応答解析と実際の応答の比較検証に、データを用いることができる。一貫構造計算ソフト SuperBuild / SS7 (ユニオンシステム株式会社) を利用して、建物の算出データの地震力の項目から質量と

剛性を算出した [野邑・山根 (2020)]。2016年熊本地震による講義棟1階の加速度 (図13) を入力し、弾塑性応答解析プログラム Answer (ストラクチャー社) によって時刻歴応答を求めた。図14と図15の比較からは、地震動入力が小さく、基本的に弾性応答の領域であり、応答がほぼ似た形状を示すことが確認できる。特に強い地震動を計測できた場合には、講義棟の制震ダンパーの効果を検証することにも繋がる。構造設計・応答解析に是非、利用頂くよう期待する次第である。

7. 処理システムの開発と完成に致る経過説明

処理システムの開発について総括する。

地震波を取り扱う処理ソフトは多く存在する。特に建築構造に関わる者の関心は、観測された地震の波形と、その卓越する周波数の特性を知ることにあると思われる。従って処理システムとしては、地震の波形と応答スペクトルを表示する機能があればよい。また大きな地震が発生した場合には、余震も多い。システムの操作は、同じ手順を繰り返すだけで良いのだが、それでもミスをする可能性が皆無にはならない。得られた結果の信頼性を得るには、入力以外の操作はできるだけ少ない方がよい。自前のシステムの開発は、人的ミスに繋がる操作をできるだけなくすこと、各人の希望に合わせた地震関連情報を手軽に取り出せることを目指して行ったものである。

卒業研究課題として学生諸氏に取り組んでもらった課題は主に、次の通りであった。①図形表示での座標軸数値の統一を計り、3つの図の大小比較が視覚的にできるようにすること、②もし単位や数値の誤りがあれば直すこと、③ウィンドウ画面の中にスイッチボタンがあるのに、働かないという機能の不全をなくすこと、④スペクトルの対数表示が3図できちんと出るよう整備すること、⑤3D表示画面でのスケールオーバーをなくすこと、などである。

以下、本件に関わった卒業研究を提出年代順に並べる。

1. 倉田聖士・藤原敬由：広島工業大学新講義棟への地震計設置計画と振動性状調査, 2011年1月
2. 藤井翔太・丸山涼太：広島工業大学の講義棟における強震計設置と応答記録の可視化, 2012年1月
3. 木村隆志・田中 大：広島工業大学講義棟の地震計設置による地震記録の可視化と検証, 2013年1月
4. 堀本将宏・吉永大志：広島工業大学講義棟地震計記録の一貫処理プログラムの開発・更新, 2014年1月
5. 大野裕也：VisualBasicによる強震計測記録の処理システム開発, 2015年1月
6. 土岐典弘：広島工業大学講義棟の強震計記録のVisualBasicプログラムによる解析処理法, 2018年1月

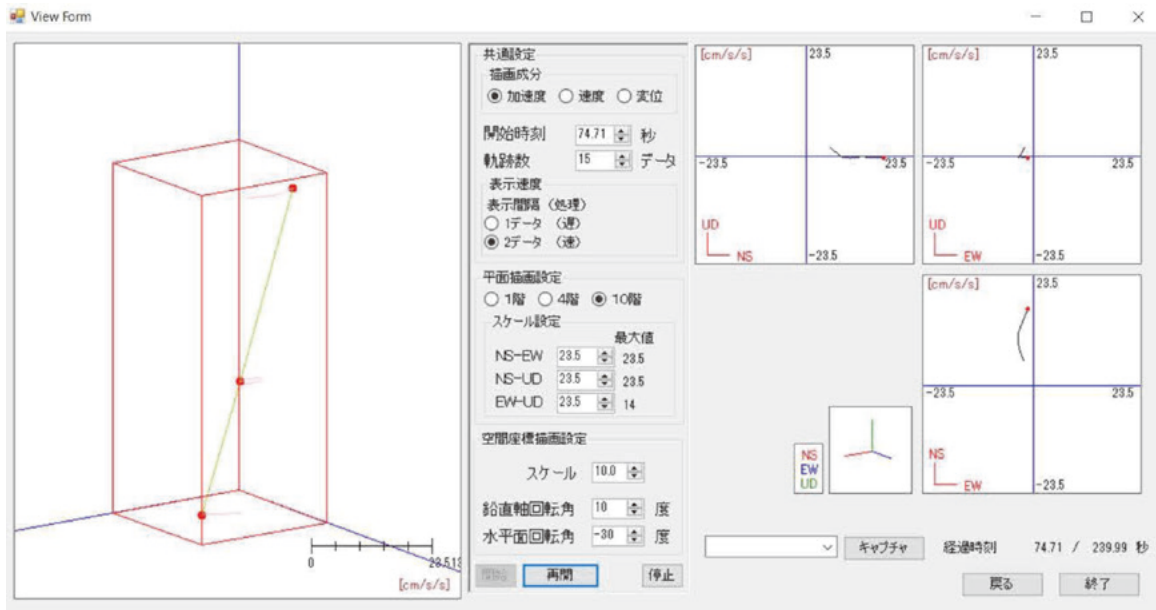


図12 各階の加速度・速度・変位成分を3D表示し、水平・上下成分の2D表示で軌跡を示す

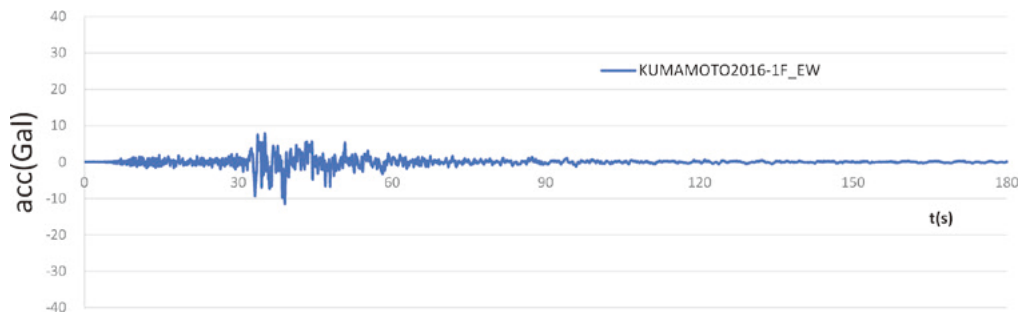


図13 振動解析の入力に用いた2016年熊本地震による講義棟1階の加速度波形

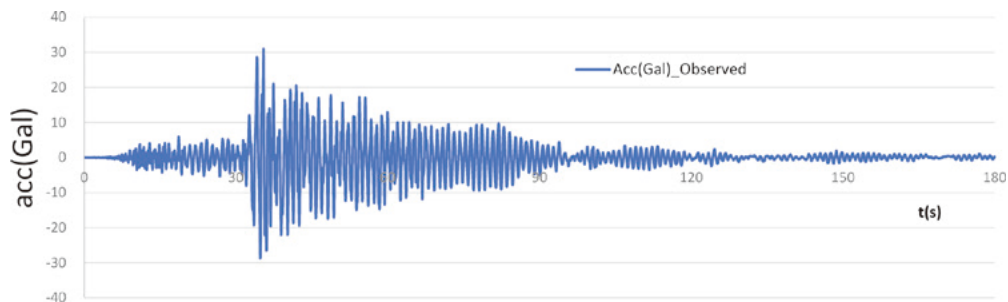


図14 実測された2016年熊本地震による講義棟10階の加速度波形

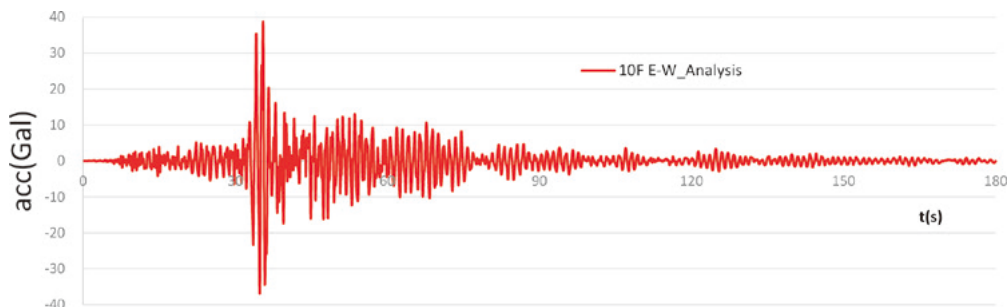


図15 振動解析による講義棟10階の加速度応答結果（弾塑性応答解析プログラム Answer による時刻歴応答）

7. 今井周汰：Visual Basicによる強震計測記録処理システムの開発，2019年1月
8. 松岡幸太郎・四元隆司：大学講義棟の強震計測とデータ処理システム改良，2020年1月
9. 谷口壮汰・山下侑生：大学講義棟の強震計測による応答表示システム，2021年1月

VBによるプログラムの基本となる大部分は田中大君の制作によるものであった。初期の段階でほとんどの機能が網羅できていたことは、非常に高く評価できる。しかし、これが未完であったことと、プログラムの解説が充分ではなかったため、その後にこの課題に興味をもって、引き継いで臨んだけれども、プログラムの複雑さに大変苦労した学生も多い。

プログラミングそのものを経験したことがない者も多い。VBとプログラミングの学習で、初心者にはカタカナのコンピュータ用語、文法、変数の型、などで混乱も多く、おそらくハードルは高かったと思われる。FortranやBasic言語を、かつて利用していた著者にとっても、オブジェクト指向型のWindowsプログラミングは不慣れだった。テキストは、いろいろある中でも川口（2010, 2012）の本が参考になった。

卒業研究は前年度からの引き継ぎで、内容を理解し、新しい機能を付け加える作業は困難をきわめた。またプログラムというものは、正常に動いて初めて成果となるので、どれだけ努力を重ねても、作業の労力と時間に、結果が比例しない恨みもある。残念なことに目に見える具体的な進展のなさに、卒業研究の成果としては不満を感じた諸氏も少なくなかったように思われる。

今回、データ処理システムとして、ある程度の完成をみて、まとまった形で実行形式のプログラムとして提供することができる状況となった。まだ完成されたものでないとしても、多くは利用可能な形になっている。本来の研究としては、これを道具に使って、新しい知見へと進めるべきであったが、システムの開発と整備に予想外に手間取ってしまったことが若干悔やまれる。

ハードもソフトも5年経てば環境が変わる。OSが変われば、更新していく必要性に迫られることが常にある。意欲のある方々には修正が可能なように、プログラムコードも提供している。なお、関連のハードとソフトは川上が維持管理している。

8. まとめ

広島工業大学の講義棟Nexus21に設置した強震計測システムとデータ処理方法をまとめた。得られた主な成果は、以下の通りである。

- (1) 本学での10年間の有感地震の取得状況を一覧にした。
- (2) 「波形表示」「スペクトル表示」「3D表示」の3つの機能を選択できるデータ処理ソフトを作成し、地震加速度のテキスト・データとともに、実行形式のプログラムとして提供できるようにした。
- (3) 「波形表示」・「3D表示」では加速度記録と、その時刻歴の積分処理によって計算した速度・変位を画面表示できるようにした。データはテキスト形式でファイル出力できるようにした。
- (4) 「スペクトル表示」では、各階、各方向の加速度、速度、変位のフーリエスペクトルを真数と対数の形式で画面表示し、テキストで出力できるようにした。また応答スペクトルも表示できるようにした。
- (5) 2016年熊本地震による講義棟1階の加速度を入力に用いて、振動解析による建物応答の検証を試みた。入力レベルが小さいため、弾性応答と見られるが、建物応答が実測値と解析値で概ね対応することを示した。

謝 辞

（一財）地域地盤環境研究所（地盤研究財団）の赤澤隆士氏には計測機器設置の計画案の段階から、ハード・ソフトの整備、ならびに更新に到るまで、観測当初から終始変わらず多大な協力と示唆を戴きました。また岩井研究室の多くの学生諸氏には、卒業研究課題として、10年近くの長い間これに関わって戴きました。各人の努力に感謝致します。なお一連の研究の報告先として、学会誌よりも、大学の紀要の方がもっともふさわしいと思い、ここに投稿することにしました。本報告は、上記学生諸氏への返礼の意味でも有意義と認識しました。関わった皆様方に、厚く御礼申し上げます。

文 献

1. 大崎順彦：新・地震動のスペクトル解析入門，鹿島出版会，(1994) pp. 133-138.
2. 鎌田輝男：K-NET / KiK-net 観測波形解析 WAVEANA4.2 (2016/07/28バージョンアップ) <http://www5b.biglobe.ne.jp/~t-kamada/CBuilder/waveana.htm>
3. 川口輝久：「かんたんプログラミング Visual Basic 基礎編」，技術評論社，(2012) 328p.
4. 川口輝久・河野勉：「かんたんプログラミング Visual Basic コントロール編」，技術評論社，(2010) 400p.
5. 国土交通省・気象庁：震度データベース検索 <http://www.jma.go.jp/jma/menu/menureport.html>
6. 野邑悠真・山根佑太：構造計算ソフトを用いた大学講義棟の地震応答解析，広島工業大学卒業論文，(2020) 62p.