

## 時間領域のモード解析

### — 超高層ビル工学院大学校舎の動的特性 —

### 3.11 東北地方太平洋沖地震時および その前後の地震時の固有周波数の比較検討

株式会社バイブラントシステム開発  
Vibrant System Development Co., Ltd.

〒207-0014 東京都東大和市南街 5-39-16  
TEL (FAX) 042-507-2731  
E-mail ando@vsdc.co.jp  
URL <http://www.vsdco.jp>

## 目 次

1. はじめに .....	1
2. 解析結果 .....	1
2-1 三陸沖地震の解析結果 2011.03.09 11:45:12 の解析結果 .....	2
2-2 東北地方太平洋沖地震 2011.03.11 14:46:18 の解析結果 .....	5
2-3 福島県中通り地震観測記録 2011.04.12 14:07:42 の解析結果 .....	8
3. 考察 .....	11
4. おわりに .....	11

## 1. はじめに

2011年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震による長周期地震動は、震源に比較的近い首都圏だけでなく遠く700km以上も離れた大阪においても超高層ビル内で観測され、様々な被害をもたらしました。長周期地震動は、大都市圏の堆積平野のような周囲を基盤岩で囲われた盆地状の地盤内に入射すると何度も反射を繰り返して増幅していき、長時間にわたって定常的な振動が継続します。そのため、近い将来、発生が予測される大規模地震に備えて超高層ビルの被害防止対策が急がれており、動的特性に基づいた調査研究が多くの研究機関で行われています。弊社においても観測記録による解析手法の研究・開発を行ってきました。以下に、その中の「時間領域のモード解析<sup>1) 2)</sup>」による超高層ビルの動的特性に関する解析例を紹介します。

対象とした超高層ビルは高さ143mの工学院大学新宿校舎です。同校舎で観測された東北地方太平洋沖地震およびその前後の地震の地震記録に対して時間領域のモード解析を適用して校舎の動的特性および入力加速度の大きさによる振動性状の違いについて検討しました。解析に使用した地震記録は工学院大学建築学科久田嘉章研究室より公開されている記録です。

## 2. 解析結果

時間領域のモード解析は、地震記録のEWおよびNS1（観測対象フロアのNS方向のひとつ）の2成分について行いました。解析は校舎の地上部を対象とし、運動方程式に関して1Fの記録を建物に対する入力波、29F、24Fおよび22Fの記録をその出力と仮定して行いました（UD成分は1Fの記録がないため対象としていません）。使用した地震記録を表2-1に示します。

表 2-1 モード解析に使用した地震記録

No.	記録	震源地
1	2011.03.09 11:45:12	三陸沖 M7.0 51km
2	2011.03.11 14:46:18	東北地方太平洋沖地震 M9.0 24km
3	2011.04.12 14:07:42	福島県中通り M6.4 15km

## 2.1 三陸沖地震の解析結果

解析で使用了三陸沖地震の記録を図 2.1-1 に示します。

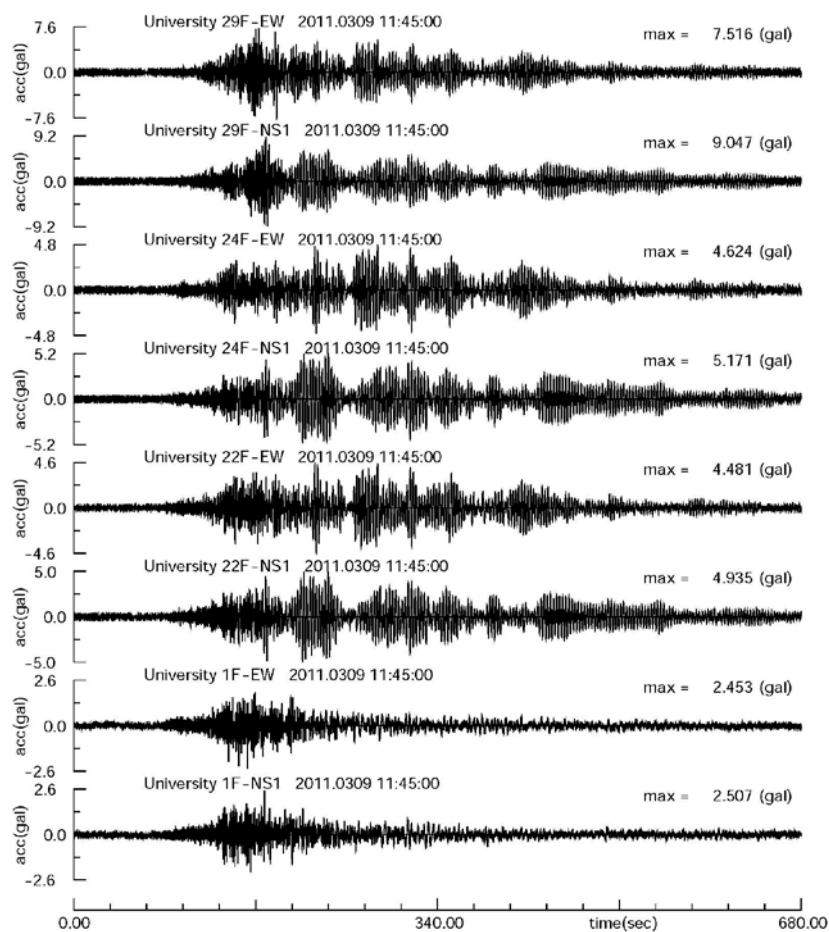


図 2.1-1 2011 年 3 月 9 日の地震記録 (EW および NS1 成分)

解析より、それぞれ 4 個のモードが求められました。各モードの固有周波数、固有周期、固有減衰定数および刺激係数を表 2.1-1、2 に示します。

表 2.1-1 EW 成分の固有周波数、固有減衰定数および刺激係数

次数	固有周波数(Hz)	固有周期(sec)	固有減衰定数(%)	刺激係数
1	0.3690	2.7100	2.52	0.8831
2	1.0827	0.9236	1.63	0.0441
3	2.0386	0.4905	3.19	0.0589
4	3.1014	0.3224	2.08	0.0139

表 2.1-2 NS1 成分の固有周波数、固有減衰定数および刺激係数

次数	固有周波数(Hz)	固有周期(sec)	固有減衰定数(%)	刺激係数
1	0.3479	2.8744	1.22	0.9105
2	1.1292	0.8856	1.60	0.0303
3	2.2468	0.4451	2.02	0.0431
4	3.2749	0.3054	2.31	0.0160

解析より求められた 29F の加速度波形および伝達関数の観測記録との比較図を EW 成分について図 2.1-2、3 に、NS1 成分について図 2.1-4、5 に示します。双方とも再現性は良好です。他の 2 点 24F および 22F についても同様です。

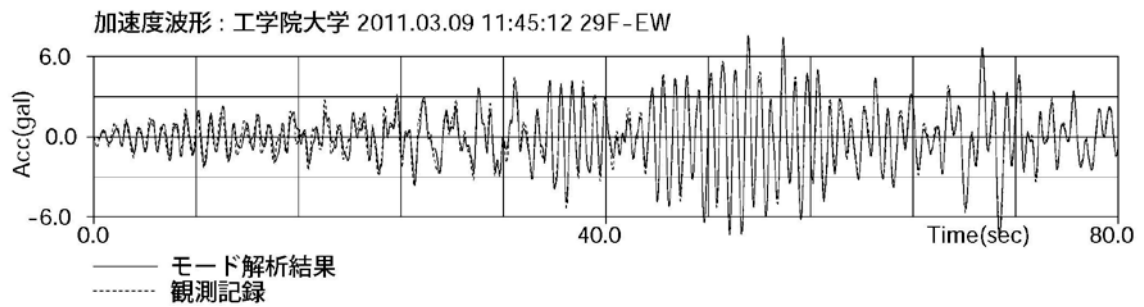


図 2.1-2 29F-EW 成分の加速度波形の比較図

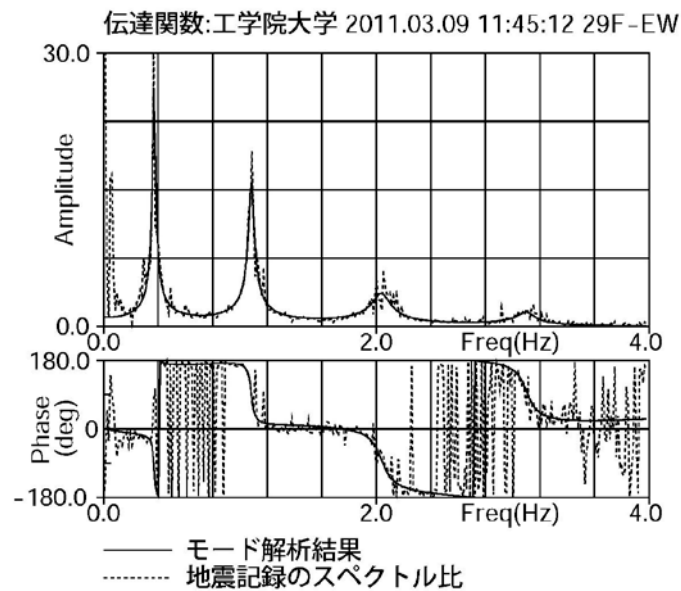


図 2.1-3 29F-EW 成分の伝達関数の比較図

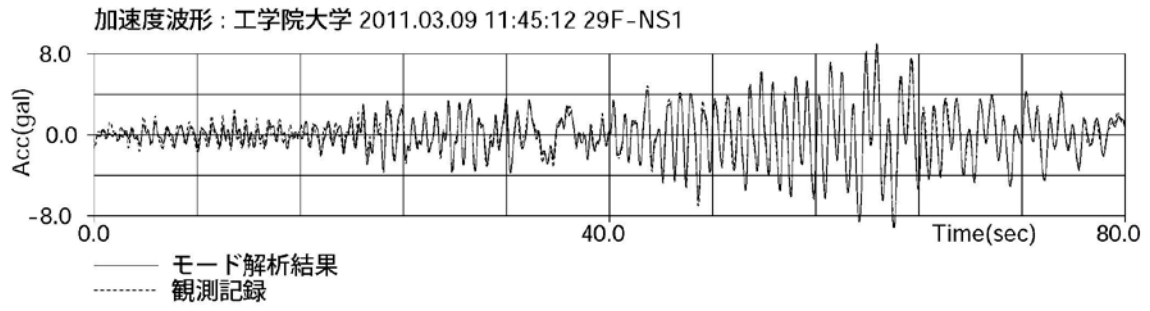


図 2.1-4 29F-NS1 成分の加速度波形の比較図

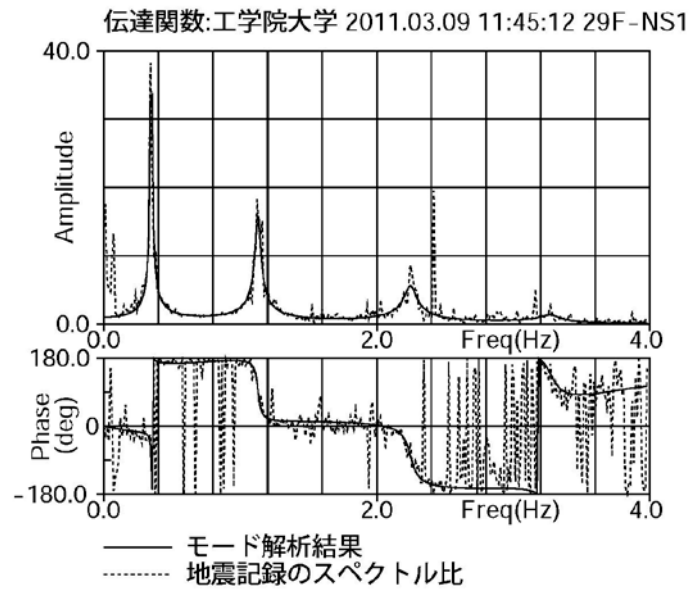


図 2.1-5 29F-NS1 成分の伝達関数の比較図

2.2 東北地方太平洋沖地震 2011.03.11 14:46:18 の解析結果  
 解析で使用した記録を図 2.2-1 に示します。

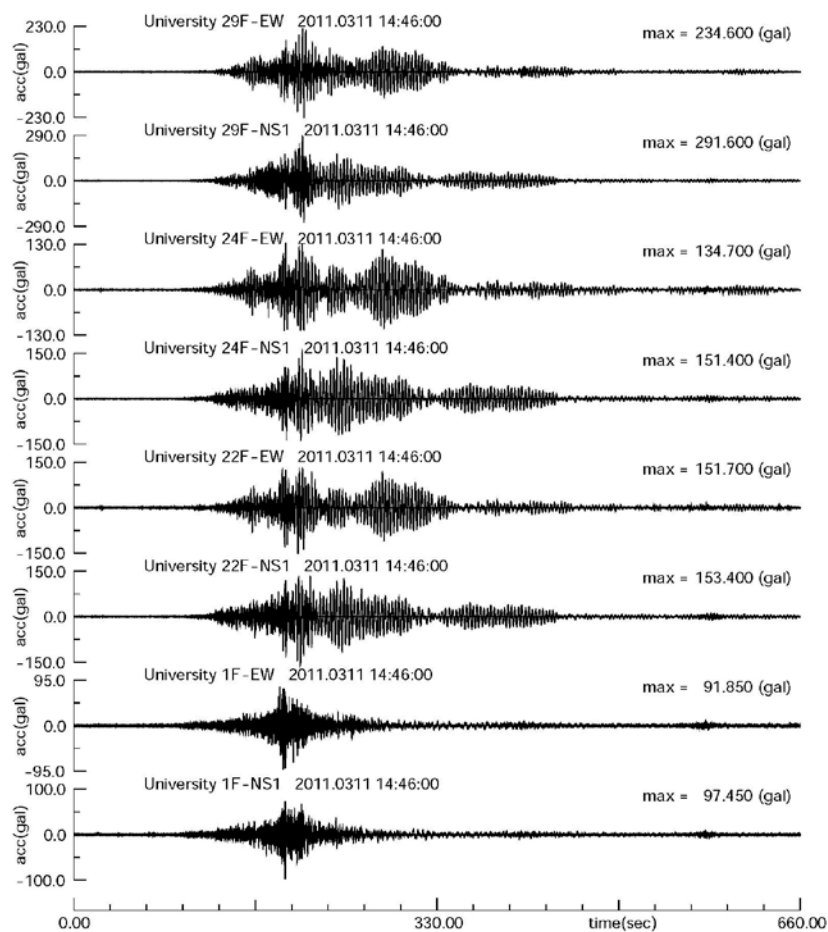


図 2.2-1 2011 年 3 月 11 日の地震記録 (EW および NS1 成分)

解析より、それぞれ 4 個のモードが求められました。各モードの固有周波数、固有周期、固有減衰定数および刺激係数を表 2.2-1、2 に示します。

表 2.2-1 EW 成分の固有周波数、固有減衰定数および刺激係数

次数	固有周波数(Hz)	固有周期(sec)	固有減衰定数(%)	刺激係数
1	0.3406	2.9360	1.25	0.9043
2	1.0006	0.9994	1.55	0.0357
3	1.9283	0.5186	2.88	0.0451
4	2.9339	0.3408	4.19	0.0150

表 2.2-2 NS1 成分の固有周波数、固有減衰定数および刺激係数

次数	固有周波数(Hz)	固有周期(sec)	固有減衰定数(%)	刺激係数
1	0.3244	3.0826	2.01	0.9174
2	1.0636	0.9402	1.80	0.0256
3	2.0732	0.4823	3.03	0.0377
4	3.0500	0.3279	4.01	0.0192

解析より求められた 29F の加速度波形および伝達関数の観測記録との比較図を EW 成分について図 2.2-2～3 に、NS1 成分について図 2.2-4～5 に示します。双方とも再現性は良好です。他の 2 点 24F および 22F についても同様です。

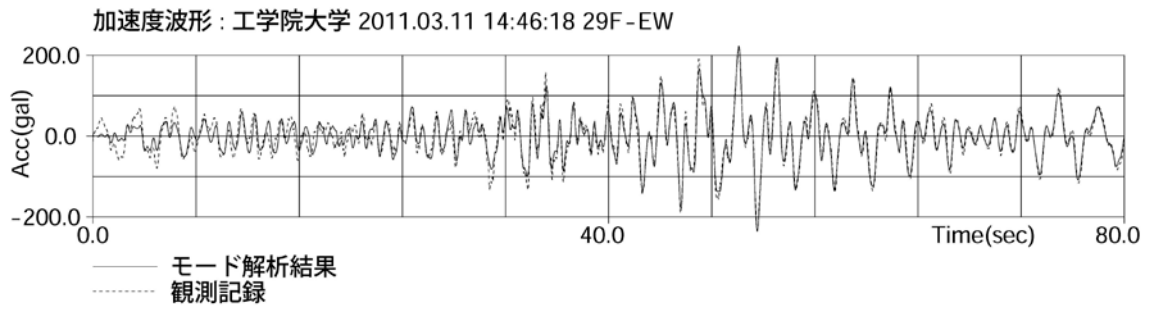


図 2.2-2 29F-EW 成分の加速度波形の比較図

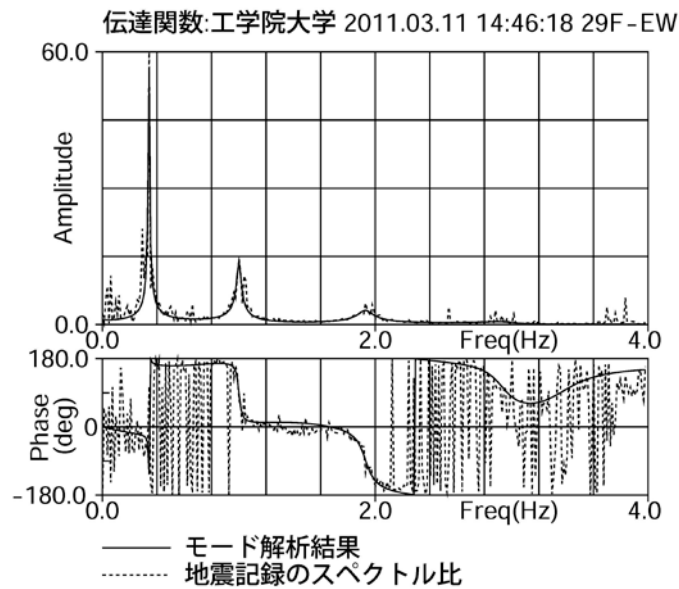


図 2.2-3 29F-EW 成分の伝達関数の比較図

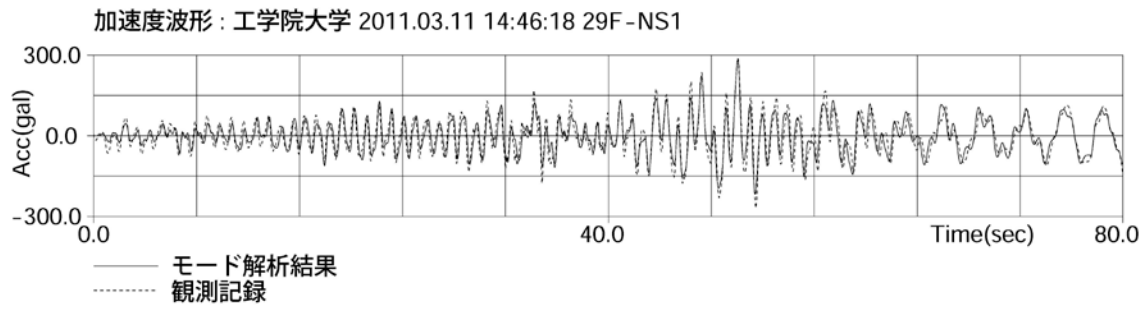


図 2.2-4 29F-NS1 成分の加速度波形の比較図

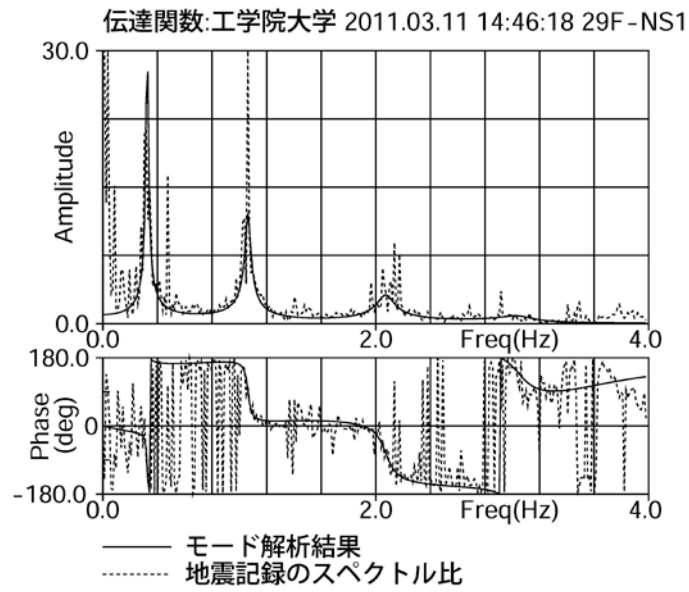


図 2.2-5 29F-NS1 成分の伝達関数の比較図

2.3 福島県中通り地震観測記録 2011.04.12 14:07:42 の解析結果  
 解析で使った記録を図 2.3-1 に示します。

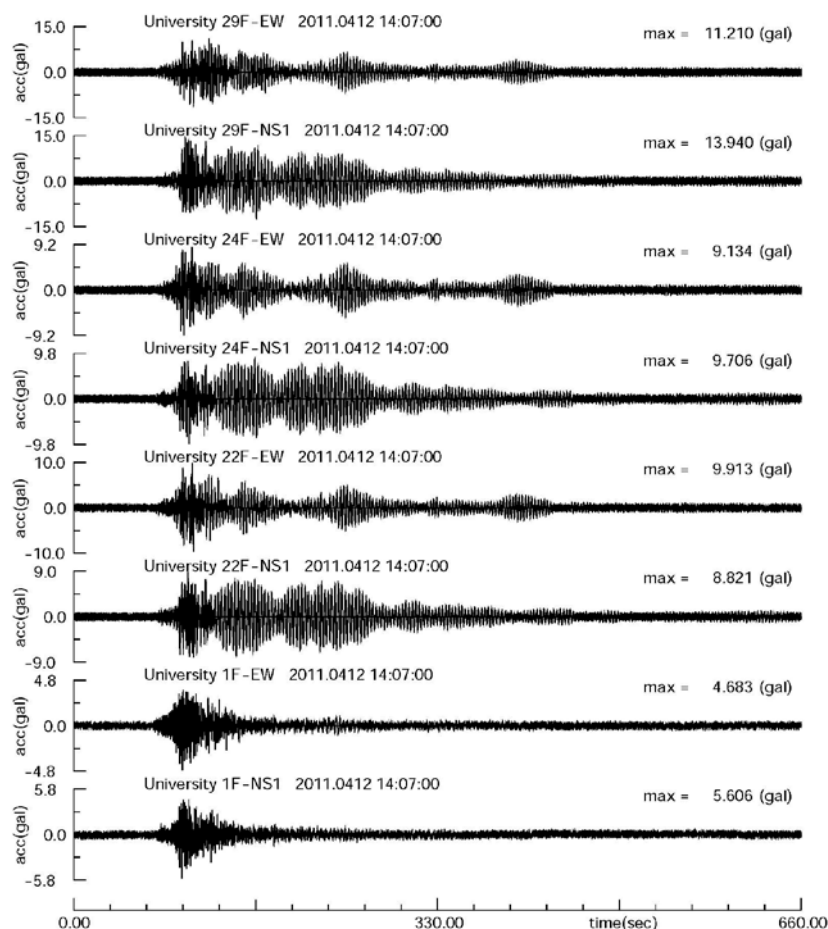


図 2.3-1 2011 年 4 月 12 日の地震記録 (EW および NS1 成分)

解析より、それぞれ 4 個のモードが求められました。各モードの固有周波数、固有周期、固有減衰定数および刺激係数を表 2.3-1、2 に示します。

表 2.3-1 EW 成分の固有周波数、固有減衰定数および刺激係数

次数	固有周波数(Hz)	固有周期(sec)	固有減衰定数(%)	刺激係数
1	0.3481	2.8727	1.33	0.9043
2	1.0414	0.9603	1.25	0.0357
3	1.9821	0.5045	1.72	0.0451
4	2.9600	0.3378	2.01	0.0150

表 2.3-2 NS1 成分の固有周波数、固有減衰定数および刺激係数

次数	固有周波数(Hz)	固有周期(sec)	固有減衰定数(%)	刺激係数
1	0.3294	3.0358	1.16	0.9174
2	1.0796	0.9263	1.43	0.0256
3	2.1378	0.4678	1.75	0.0377
4	3.1222	0.3203	1.60	0.0192

解析より求められた 29F の加速度波形および伝達関数の観測記録との比較図を EW 成分について図 2.3-2~3 に、NS1 成分について図 2.3-4~5 に示します。双方とも再現性は良好です。他の 2 点 24F および 22F についても同様です。

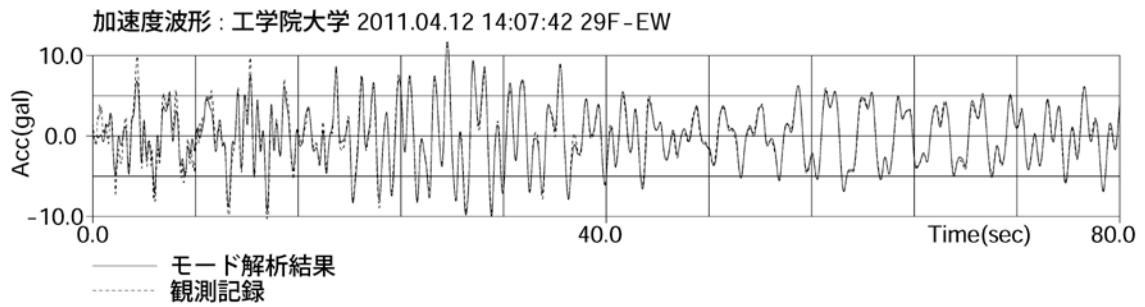


図 2.3-2 29F-EW 成分の加速度波形の比較図

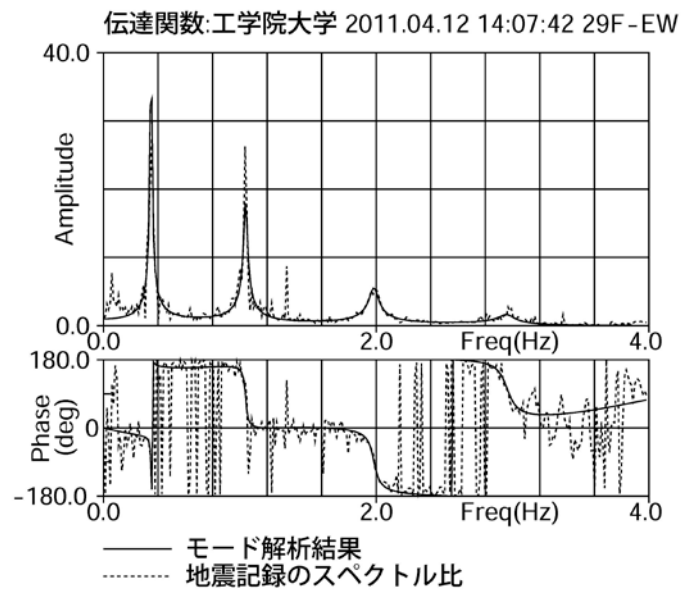


図 2.3-3 29F-EW 成分の伝達関数の比較図

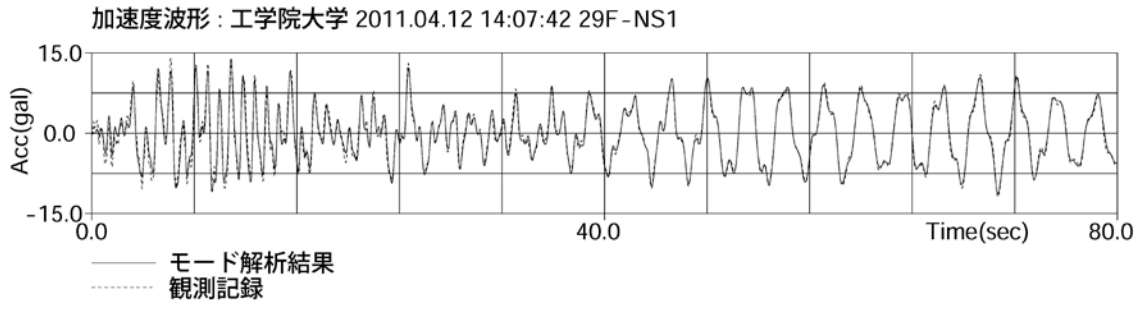


図 2.3-4 29F-NS1 成分の加速度波形の比較図

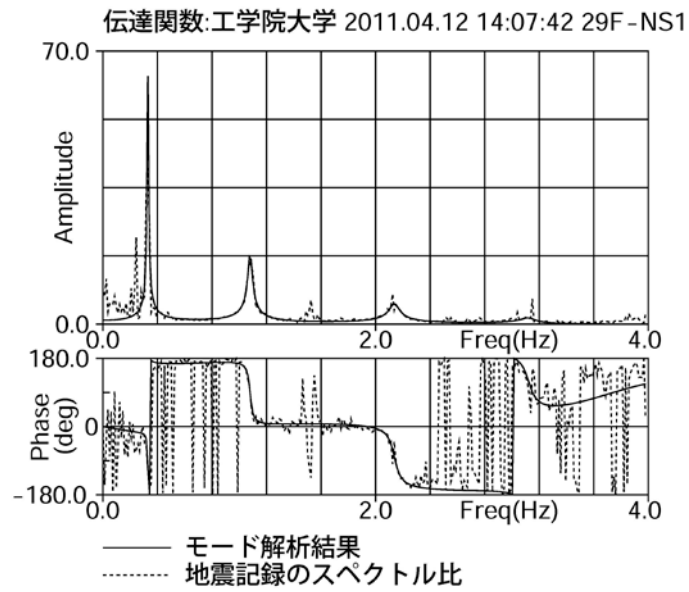


図 2.3-5 29F-NS1 成分の伝達関数の比較図

### 3. 考察

校舎の解析より求められた 4 個のモードの中で加速度応答に対して支配的な刺激係数の最も大きい第 1 次モードの固有周波数は、東北地方太平洋沖地震（本震）およびその前後の地震について、表 3-1、2 のようになります。本震と前後の地震の加速度最大値を比較して 1F で 20～40 倍の違い（29F で 20～30 倍）がありますが、固有周波数の差異は小さく、EW、NS1 各成分の本震の値は前震に比較して 7.7%および 6.8%それぞれ減少し、後震では本震とほぼ同様の結果が得られました。従って、本件で取り上げた 3 地震に関しては入力加速度の大きさによる動的特性の違いは小さく、弾性範囲内の挙動と考えられます。

表 3-1 EW 成分の第一次固有周波数（固有周期）の変動

No.	地震	固有周波数(Hz)	固有周期(sec)
1	前震	0.3690	2.7100
2	本震	0.3406	2.9360
3	後震	0.3481	2.8727

表 3-2 NS1 成分の第一次固有周波数（固有周期）の変動

No.	地震	固有周波数(Hz)	固有周期(sec)
1	前震	0.3479	2.8744
2	本震	0.3244	3.0826
3	後震	0.3294	3.0358

### 4. おわりに

本震およびその前後の地震記録より求められた固有周波数（表 3-1、2）から、差異は小さいながら、本震時の固有周波数の減少分が回復していないことが指摘されます。また、加速度波形（図 2.2-2 および図 2.2-4）でも認められますが、新宿の K-net 記録のピーク・パラメータ・スペクトル<sup>3)</sup>より、校舎は、刺激係数の大きい第 1 次モードだけでなく、第 2 次モードも揺れに大きく関与したことが認められます（第 2 次モードの固有周波数の減少率は第 1 次モードと同様です）。これより、2 個の低次モードに対して感度量の大きい内部構造を中心に固有周波数の減少分を招いた箇所および剛性低下量について検討する必要があるのではないかと考えます。

#### 参考文献

- 1) 安藤幸治・岩楯敞広：時間領域のモード解析による振動系の動的特性の同定とその適用、土木学会論文集、No.450/ I -20、pp.151～160、1992.7
- 2) 安藤幸治，岩楯敞広，小田義也：数値モデル同定解析手法とその適用，機械学会年次大会，2011.9
- 3) 株式会社 i2S2：第二部 震度 7 に対応できる設計技術は？