

## 工学院大学八王子キャンパス免震建物の地震応答解析に関する研究

DB13161 鈴木 ちひろ

### 1. 研究の背景と目的

近年、兵庫県南部地震や東北地方太平洋沖地震が発生し、さらに首都直下地震や南海トラフ地震のような海溝型巨大地震による大規模災害が危惧されている。その中地震対策として、地震のエネルギーを抑制し建物に伝わらないようする“免震構造”が注目されつつあり、顧客への安心の証拠として共同住宅や集合住宅、事務所などで実用事例が増加傾向にある。しかし、長周期地震が発生した場合、免震層は応答変位が大きくなってしまうため、設計基準を上回ってしまう危険性がある。

本研究では、免震建物である本校八王子キャンパスの 1 号館総合教育棟（以下教育棟と呼ぶ）を対象とし、構造計算書を基に簡易的な質点系モデルを作成する。そして、想定されている巨大地震が発生した時の応答解析を行い、建物への影響を推測する。

### 2. 研究の流れ

今回は免震構造計算書を基に質点系モデルを作成し、実際に観測された地震波形の採取とバンドパスフィルターを行った。最終的には、作成したモデルをさらに精度を高めるために、今回採取した地震波形を入れ、実際に観測された波形と比較を行う。その後、想定される巨大地震の予想地震波形で応答解析を行う。

### 3. 対象建物及び質点系モデルの概要

#### 3.1 対象建物の概要

教育棟は免震層の上に共有の地下が 1 階、地上部が 4 棟に分かれている。これらの建物は E 棟 S 棟 W 棟 N 棟となっているが、ここでは A 棟 B 棟 C 棟 D 棟とする。A～C 棟は 1～3 階、D 棟が 1～4 階になっている。図 1 に建物分布、表 1 には教育棟の建物概要を示す。偏心率は NS 方向に 2.431%、EW 方向に 4.598% となっている。



図 1: 建物分布

表 1: 対象建物の概要

|        |                        |
|--------|------------------------|
| 建物名称   | 工学院大学<br>八王子キャンパス総合教育棟 |
| 竣工年    | 2012年                  |
| 基準階面積  | 3214.40m <sup>2</sup>  |
| 階数     | 地上4階、地下1階              |
| 構造種別   | RC造(一部S,PCa,PC)        |
| クリアランス | 500mm以上                |

#### 3.2 質点系モデルの概要

構造計算書<sup>3)</sup>を基にモデルを作成した。表 2 に上部構造の復元力特性、図 2 にモデル図を示す。モデルは NS、EW 方向に 1 成分ずつ作成する。1 階床を共用の剛床、2 階以上の上部構造は独立した並列型の質点系モデルである。表 3 にこのモデルの固有周期と構造計算書に記載された免震層弹性範囲内の変形時の固有周期の比較を示す。また、免震装置の配置<sup>4)</sup>について図 3 で示す。

表 2: 上部構造の復元力特性

| 棟   | 階   | 層質量    | 構造用階高 | 水平せん断剛性          |                  |
|-----|-----|--------|-------|------------------|------------------|
|     |     | Wi(kN) | H(m)  | X方向<br>Ks(kN/cm) | Y方向<br>Ks(kN/cm) |
| D   | 4   | 12408  | 4.00  | 17996            | 17492            |
|     | 3   | 9949   | 4.40  | 51247            | 31285            |
|     | 2   | 15310  | 4.50  | 60090            | 44232            |
| C   | 1   | 14351  | 4.35  | 120495           | 71806            |
|     | 3   | 8910   | 4.10  | 10771            | 9652             |
|     | 2   | 8097   | 4.20  | 21474            | 18186            |
| B   | 1   | 8333   | 4.35  | 27680            | 26737            |
|     | 3   | 6800   | 3.45  | 7924             | 7324             |
|     | 2   | 6446   | 4.05  | 13041            | 12549            |
| A   | 1   | 6831   | 4.30  | 19920            | 18660            |
|     | 3   | 10046  | 3.45  | 7560             | 9682             |
|     | 2   | 8615   | 4.05  | 13019            | 16281            |
| A-D | B1  | 41399  | 4.05  | 297965           | 275399           |
| A-D | 免震層 | 61447  |       | 積層ゴム<br>647      | 647              |
|     |     |        |       | U型ダンパー<br>3496   | 3496             |

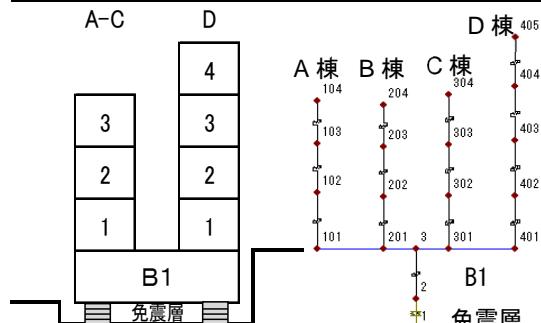


図 2: モデル図

表 3: 固有周期

|          | 方向    | 固有周期(s) |       |
|----------|-------|---------|-------|
|          |       | 1次      | 2次    |
| 免震層弹性範囲  | NS 方向 | 1.511   | 0.315 |
|          | EW 方向 | 1.510   | 0.348 |
| モデルの解析結果 | NS 方向 | 1.511   | 0.315 |
|          | EW 方向 | 1.522   | 0.414 |

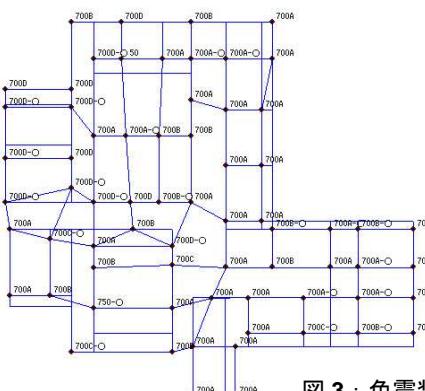


図 3: 免震装置配置図

#### 4. 観測記録について

##### 4.1 強震観測システムの設置

総合教育棟では、強震観測システムについての概要について示す。センサーは静電容量式加速度センサーを使用している。設置場所について図4で示しているようにD棟の基礎上、B棟とD棟のB1階、D棟の4階（計4箇所）に設置している。

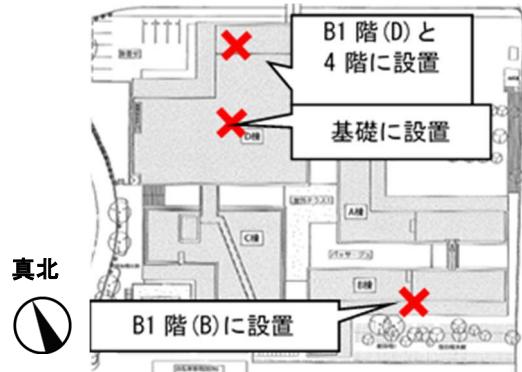


図4：強震システム設置場所

##### 4.2 観測データ

今回、表4に示した2つの観測波形を対象に応答解析を行う。それぞれの観測波形（加速度波形）にノイズの除去のためにフィルターをかけ、速度波形・変位波形をだすため観測波形を積分し、免震装置の効果を確認する。図5、図9にそれぞれのフーリエスペクトルを示す。図6、図7に埼玉県北部地震、図10、図11に福島県沖地震NS、EW方向の加速度波形と変位波形を示す。図8、図12にB棟に対するD棟の相対変位を示す。

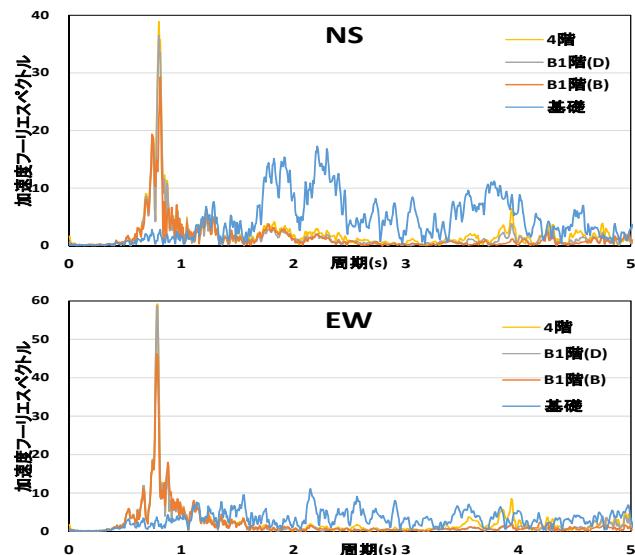


図5：埼玉県北部地震のフーリエスペクトル

表4：観測地震概要

| 震央名称  | 日付         | 発生時刻  | M   | 八王子の観測震度 |
|-------|------------|-------|-----|----------|
| 埼玉県北部 | 2015/5/25  | 14:28 | 5.5 | 震度4      |
| 福島県沖  | 2016/11/22 | 5:59  | 7.4 | 震度2      |

※八王子市大横町観測地点にて<sup>2)</sup>

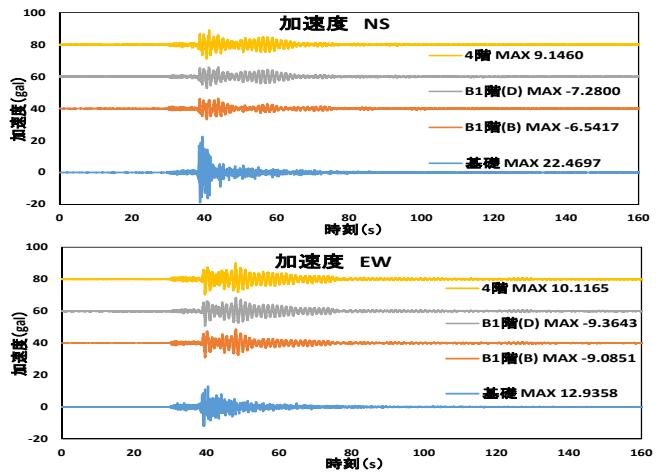


図6：埼玉県北部地震の加速度波形（上 NS 下 EW）

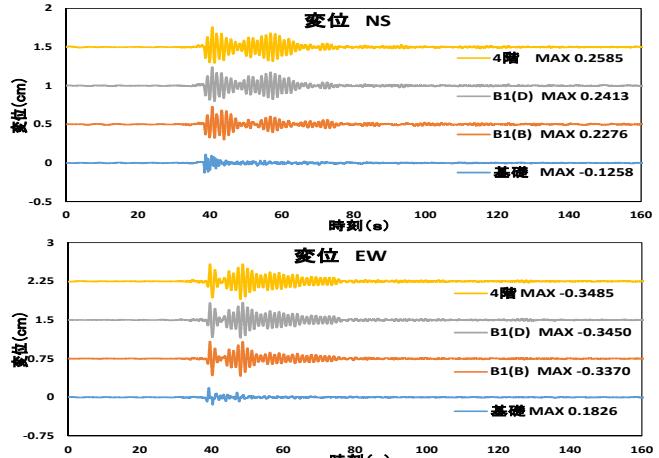


図7：埼玉県北部地震の変位波形（上 NS 下 EW）

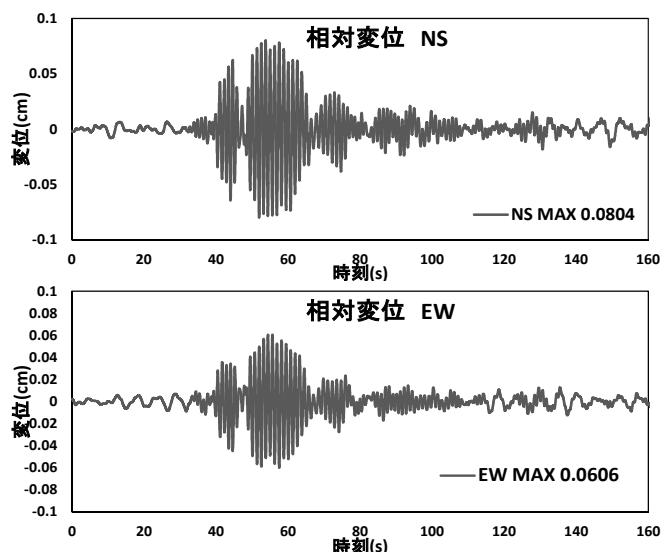


図8：埼玉県沖地震の相対変位（上 NS 下 EW）

埼玉県北部地震では、加速度波形では、基礎部に対し上部構造では抑えられていることがわかる。また、変位波形では大きくなっていることがわかった。よって、この地震での教育棟の免震装置の効果が働いたといえる。また、図8より、NSで35%、EWで18%の捻れが生じていることがわかる。

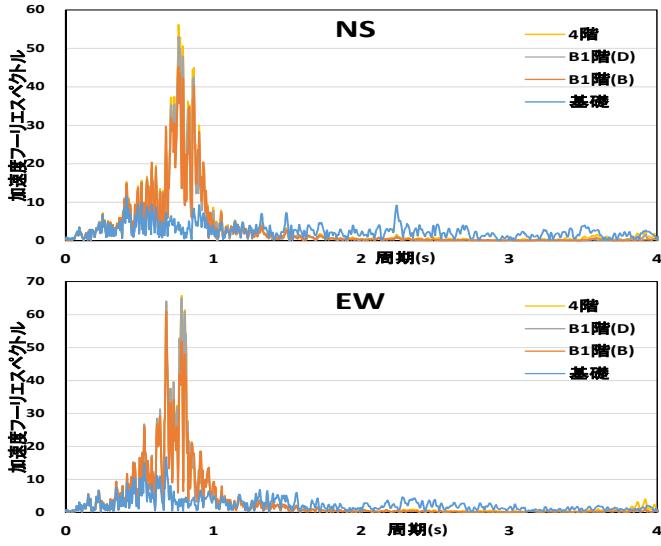


図9：福島県沖地震のフーリエスペクトル

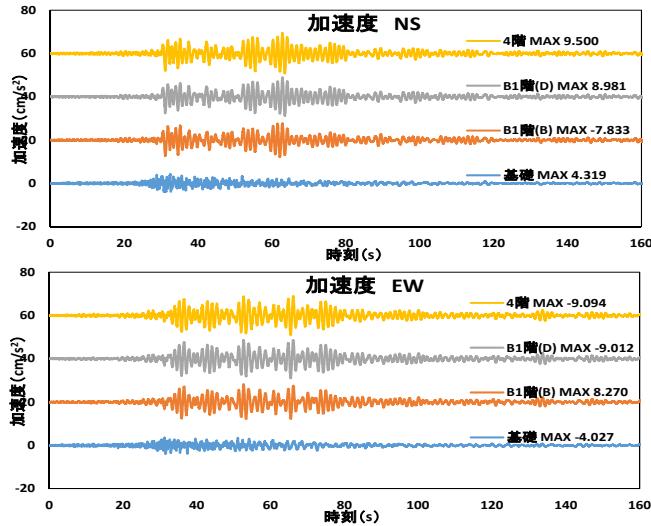


図10：福島県沖地震の加速度波形（上 NS 下 EW）

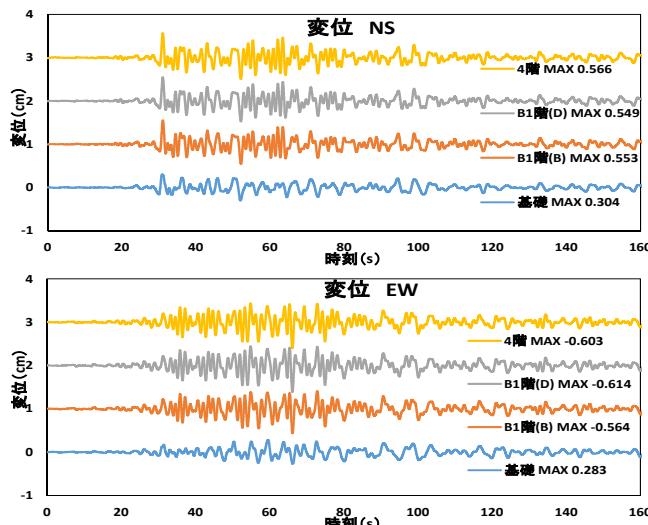


図11：福島県沖地震の変位波形（上 NS 下 EW）

一方で、福島県沖地震では、変位波形では基礎部に対して上部構造では抑えられているが、加速度波形では上部構造で増幅していることがわかる。よって、免震装置の効果が十分に得られなかつたといえる。

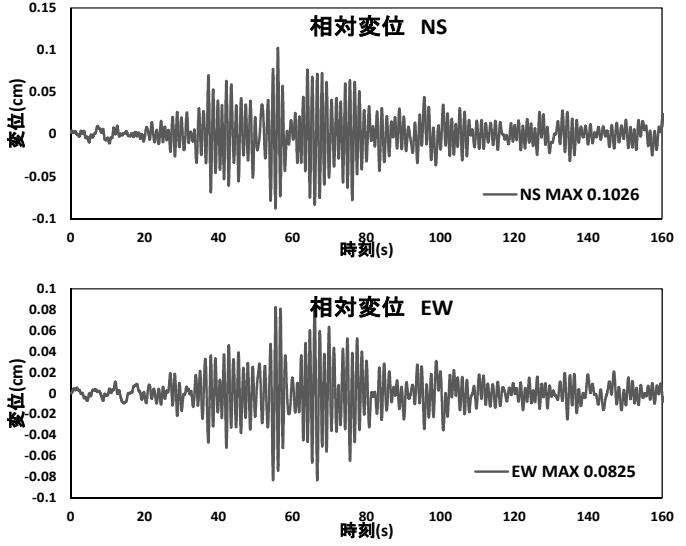


図12：福島県沖のB棟に対するD棟の相対変位  
(上 NS 下 EW)

また、図12よりNS方向で18%、EW方向で20%の捻れが生じていることが分かった。

## 5. 地震応答解析

### 5.1 観測波形との比較

4.2で述べた2つの観測波形と、その波形を使って応答解析した結果を比較したものを図13、図14で示す。

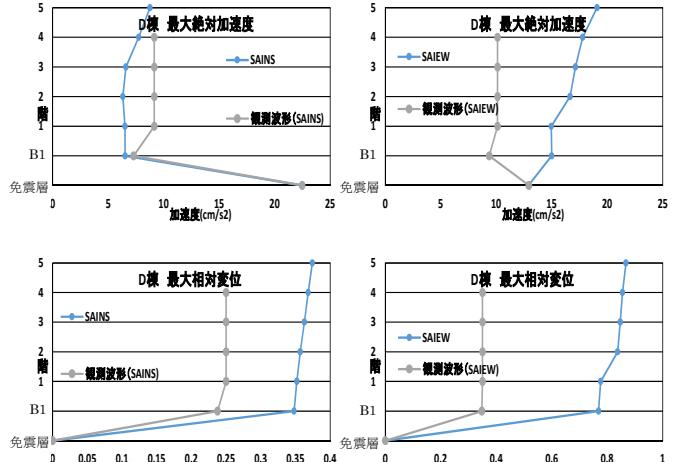


図13：モデルと観測波形（SAI）の比較（左 NS 右 EW）

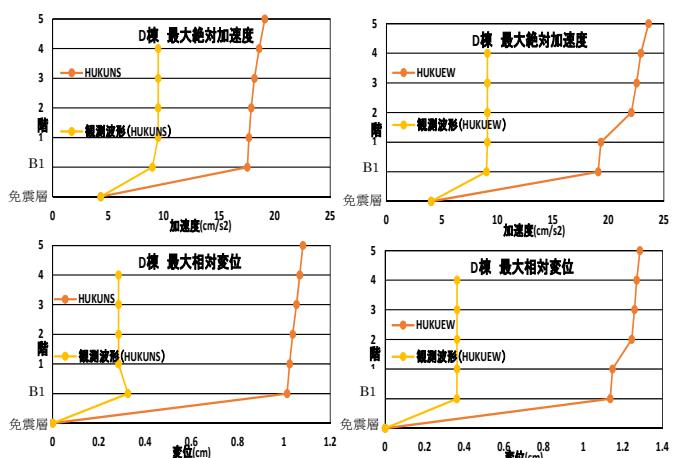


図14：モデルと観測波形（HUKU）の比較（左 NS 右 EW）

図 13、図 14 の結果より、どちらも観測波形に対して解析結果では大きな値になった。特に規模の小さい福島県沖地震の方が誤差が大きい。原因として今回使用した復元力特性(表 3)は構造計算書に記載されたもの<sup>3)</sup>を用いており、その復元力特性は立体モデルを静的応答解析によって得られた外力と変位の関係より求められたものであり、エキスパンションや犬走りなどが考慮されていない。さらに今回観測された波形は、小地震だったためエキスパンションや犬走りなどに摩擦が生じて地震力を抑えられていると考えられる。

## 5.2 計算書との比較

次に構造計算書のデータと告示波などで応答解析を行った結果を比較したものを図 15、図 16 に示す。

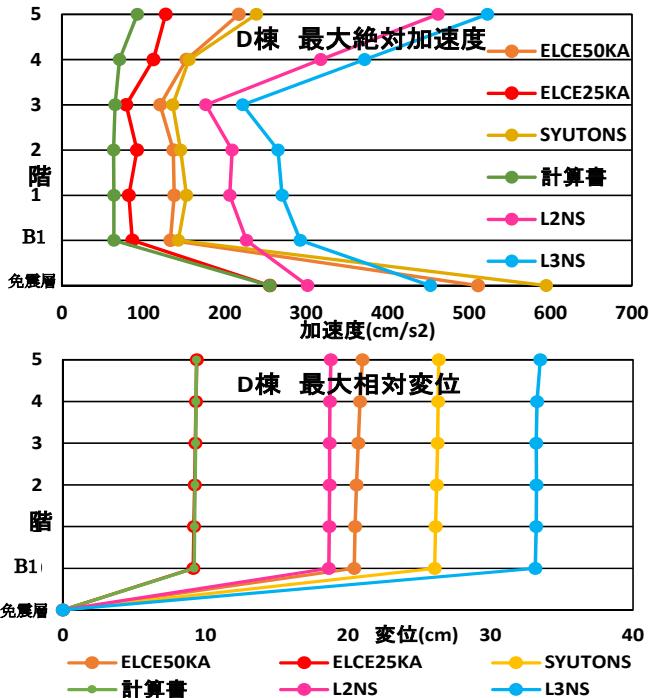


図 15：モデルと計算書の比較 (NS)

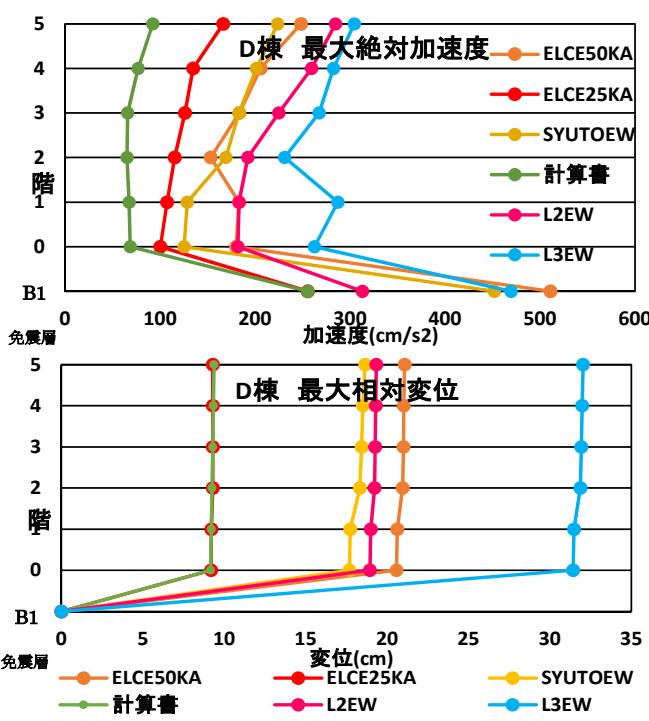


図 16：モデルと計算書の比較 (EW)

構造計算書に記載されたデータは EL CENTRO25kin のデータを採用する。今回、EL CENTRO50kin、EL CENTRO25kin、首都直下地震の波形、長周期地震動の告示波(3.11 時に大学棟(新宿)の観測波形を基に作成)の Level2、Level3 について応答解析を行った。

結果として EL CENTRO25kin の計算書の値と解析結果が近似したことから、モデルの妥当性が伺える。捻れも考慮すると一概には言えないが、この結果が妥当だとすると、告示波 Level3 に対しても約 32cm もの変位が起きるとされるが、教育棟は 50cm ものクリアランスを設けているため、擁壁に衝突することはないと推測される。

## 6. まとめと今後の課題

今回、構造計算書や平面図、軸組図などの図面を基に立体モデルの作成を試みたものの SNAPver7 で解析することができなかった。よって、質点モデルを使用し、実際に教育棟の強震観測システムで観測された波形と応答解析した結果と、構造計算書のデータと EL CENTRO や長周期地震動の告示波などで応答解析を行い、比較した。その結果、解析結果と計算書のデータが近似したことから、モデルの妥当性が伺える。しかし、観測データと比較した結果では、福島県沖地震の観測波形と解析結果の波形では大きく異なる結果となった。原因としてエキスパンションジョイントや犬走りが影響したと考えられる。特に小地震では相対的に剛性が大きくなるので影響は大きくなる。しかし、まだ強震観測システムを導入してから年月が浅いため、規模の大きい地震を観測できないのが現状である。

今後の課題として、エキスパンションジョイントなどの剛性を調節し、質点系モデルを改善していく。立体モデルについて、解析ができなかった原因として、それぞれの階の質量の入力が不十分であったことや、部材の生成にあると考えられる。よって立体モデルの改善も引き続き今後の課題とする。また、観測波形の記録の採取についても引き続き行っていく。

## 7. 参考文献

- 1)野口修太郎：2013 年度卒業論文(工学院大学八王子キャンパス総合教育棟の地震応答解析に関する研究) 久田研究室
- 2)気象庁 HP : <http://www.jma.go.jp/jp/quake/>
- 3)工学院大学八王子キャンパス 総合教育棟 (構造計算書)
- 4)工学院大学八王子キャンパス 総合教育棟 確認申請書

## 8. 謝辞

本研究を進めるにあたり、御指導賜りました久田嘉章教授、金箱温春特別専任教授、金箱構造設計事務所白橋様に深く感謝いたします。