

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

DB15022 伊藤 俊輔

1. 研究の背景と目的

近年、各地で多くの地震が発生し、今後の大型地震の予想も注目を集めている。その対策として“免震構造”が採用されるようになってきた。しかし、長周期地震動に対して応答変位が設計基準を上回る恐れなど配慮すべき点も多くある。

本研究では免震構造である工学院大学八王子キャンパス総合教育棟を対象とし、構造解析モデルの作成を行う。さらに、実際の観測地震波や想定地震波を用い、モデルの再現性向上、地震応答解析による被害想定を行うことを目的とする。

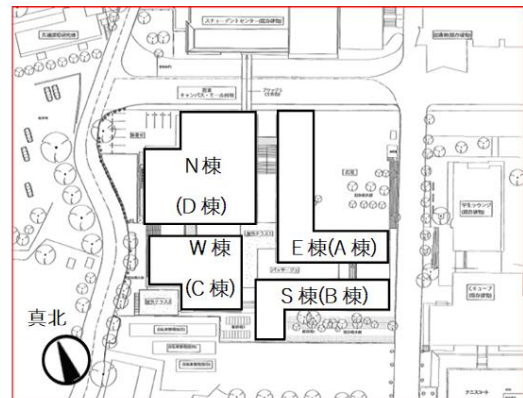


図1 建物分布

2. 研究の流れ

本研究の参考モデルとして現存するモデル(鈴木ちひろ:2017年度卒業論文より)の追解析を行う。当初の予定では構造設計書や観測記録との整合性を確認し、偏心等を考慮したモデルへ発展させ、予想される大規模地震波を用いて地震応答解析や被害想定を行うことを方針としていた。しかし、観測波のNS方向EW方向の記録が逆転していることが判明した。よって、観測地震波の修正、モデルと観測波の修正前後の変化の確認、対象建物の特性(振幅依存性)の確認を行う。この結果から、モデルと観測記録の妥当性を確認する。

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

教育棟は基礎部と全棟共有の地下1階の間に免震層があり、上部構造は3階建が3棟、4階建が1棟となっている。表1に教育棟の建物概要、図1に建物分布を示す。

表1 教育棟の建物概要

建物名称	工学院大学八王子キャンパス総合教育棟
建築場所	東京都八王子市中野町
竣工年	2012年
建築面積	3,214.40m ²
階数	地上4階、地下1階
構造種別	RC造(一部S造、PCa造、PC造)
クリアランス	500mm以上
偏心率	NS方向2.431% EW方向4.598%
免震用積層ゴム	天然ゴム系積層ゴム68基
減衰材	鋼製U型ダンパー23基

3-2. 質点系モデルの概要

質点系モデルの概要として、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ている。これらの建物はそれぞれE棟S棟W棟N棟と称されているが、ここではA棟B棟C棟D棟とする。

表2 上部構造の復元力特性

棟	階	層質量 W(kN)	構造用階高 H(m)	水平せん断剛性	
				X方向 Ks(kN/cm)	Y方向 Ks(kN/cm)
D	4	12408	4.00	17996	17492
	3	9949	4.40	51247	31285
	2	15310	4.50	60090	44232
	1	14351	4.35	120495	71806
C	3	8910	4.10	10771	9652
	2	8097	4.20	21474	18186
	1	8333	4.35	27680	26737
B	3	6800	3.45	7924	7324
	2	6446	4.05	13041	12549
	1	6831	4.30	19920	18660
A	3	10046	3.45	7560	9682
	2	8615	4.05	13019	16281
	1	9633	4.60	24112	33889
A-D	B1	41399	4.05	297965	275399
A-D	免震層	61447	積層ゴム	647	647
			U型ダンパー	3496	3496

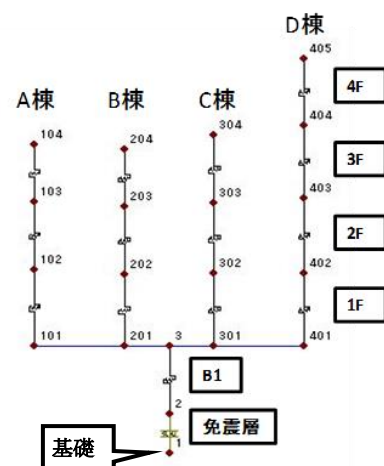


図2 モデル図

4. 構造設計書との比較検討

構造設計書の記録(黒線)とモデルの解析結果(赤線)を比較し整合性の確認をとる。対象を D 棟とし、構造設計書の設計用入力地震動を入力する。今回は EL CENTRO 波(図 3)、HACHINOHE 波(図 4)、TAFT 波(図 5)の 3 波を記す。横軸は変位 (cm) 及び加速度 (cm/s^2) とし、縦軸の階数は -1 階を免震層、0 階を地下 1 階とする。

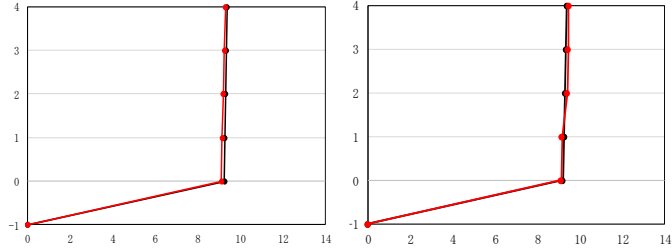


図 3-1 EL CENTRO 波 変位比較 (左 : NS 右 : EW)

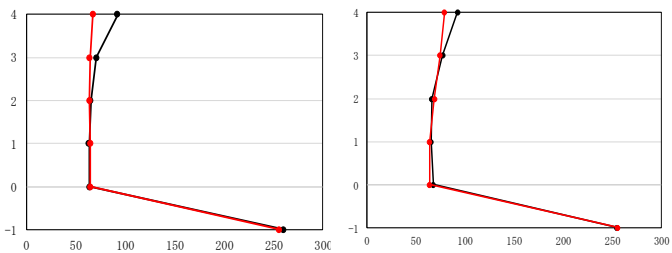


図 3-2 EL CENTRO 波 加速度比較 (左 : NS 右 : EW)

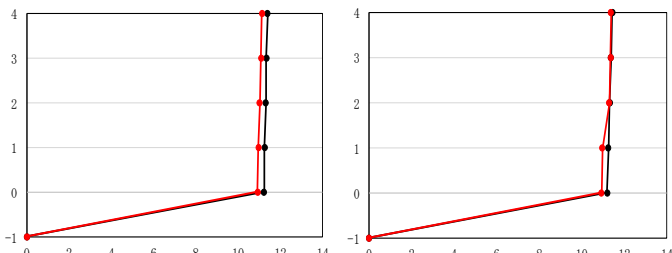


図 4-1 HACHINOHE 波 変位比較 (左 : NS 右 : EW)

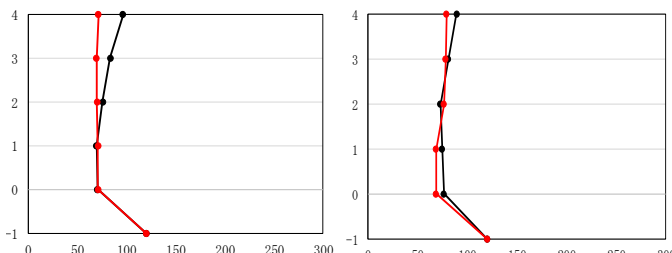


図 4-2 HACHINOHE 波 加速度比較 (左 : NS 右 : EW)

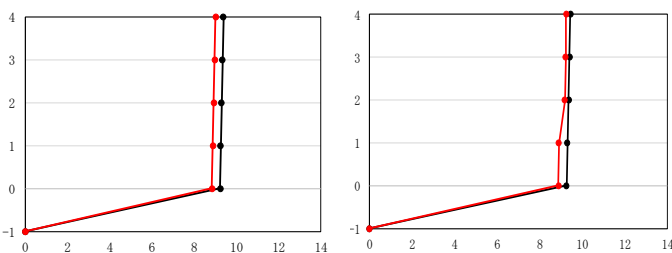


図 5-1 TAFT 波 変位比較 (左 : NS 右 : EW)

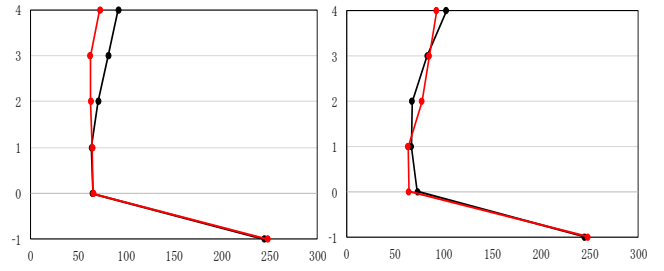


図 5-2 TAFT 波 加速度比較 (左 : NS 右 : EW)

最大変位の比較から記した 3 波全てが NS、EW 方向ともに概ね一致しており、構造設計書とモデルの整合性が確認できる。最大加速度の比較でも NS、EW 方向ともに近似性が見られる。また、基礎部より上部構造の加速度が大きくなっており、免震構造の安全性の基準となる上部構造の最大加速度に関しても全て 200gal を下回っているため、免震モデルとして妥当性が伺える。

5. 観測記録との比較検討

5-1. 強震観測システムの概要

総合教育棟の強震観測システムの概要について図 6 示す。

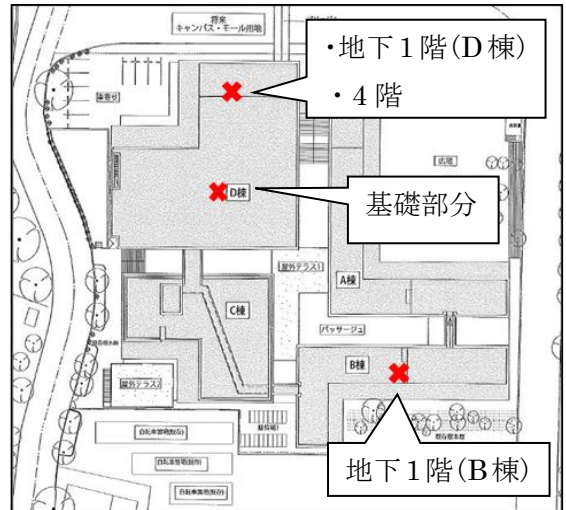


図 6 強震観測システムの概要

5-2. 観測記録の修正について

研究の流れでも記したが、本研究を進める途中で、採用していた総合教育棟から得られた観測記録の NS 方向 EW 方向の記録が逆転していることが判明した。判明の経緯としては、久田研究室で行われた工学院大学新宿校舎観測記録の検証時に総合教育棟の記録の確認検証が行われたことで分かった。検証の方法は観測記録の福島県沖の地震(M7.4)を対象とし、KiK-net 八王子で得られた記録と八王子校舎で観測した波形を方位補正(X・Y 方向)、極性補正(Y 方向)した波形を比較する。

KiK-net 八王子の EW 波形と教育棟観測記録の ch1 を方位補正した変位波形の比較を図 7 に示す。また、KiK-net 八王子の NS 波形と教育棟観測記録の ch2 を極性、方位補正した変位波形の比較を図 8 に示す。なお、観測記録修正前の教育棟観測記録チャンネル表では ch1 が NS 方向、ch2 が EW 方向の記録となっている。なお、図 7、図 8 は縦軸を変位 (cm)、横軸を周期 (s) とする。

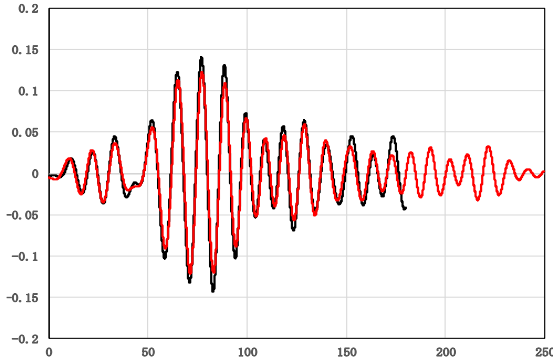


図 7 KiK-net 八王子 EW 変位波形 (赤線) と

教育棟観測記録の ch1 を方位補正した変位波形 (黒線)

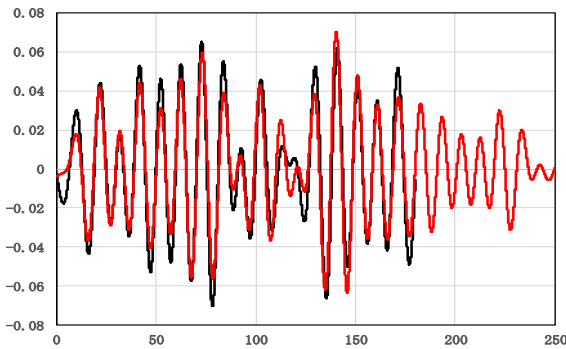


図 8 KiK-net 八王子の NS 変位波形 (赤線) と

教育棟観測記録の ch2 を極性、方位補正した変位波形 (黒線)

図 7、図 8 から KiK-net 八王子 EW 波形と教育棟観測記録 ch1 方位補正変位波形が、KiK-net 八王子の NS 波形と教育棟観測記録 ch2 極性方位補正変位波形が近似していることが分かる。よって、教育棟の観測記録チャンネル表は、正しくは ch1 が EW 方向、ch2 が NS 方向であることが分かる。

5-3. 観測記録とモデルの応答変位比較

今回は D 棟を対象とし、モデルに実際の基礎部分で観測した地震波を入力し解析を行う。観測記録の NS 方向と EW 方向を修正する前後でのモデルの D 棟各階での最大応答変位と、実際に観測した D 棟各階の最大変位を比較する。採用する観測地震波は、千葉県北西部 (M:4.4 震央距離: 72.77km) (図 9)、埼玉県北部 (M:5.6 震央距離: 50.32km) (図 10)、福島県沖 (M:7.4 震央距離: 276.27km) (図 11) の 3 波とする。なお図 9、図 10、図 11 の横軸は変位 (cm) とし、縦軸の階数は

-1 階を免震層、0 階を地下 1 階とし、修正前 (NS、EW 逆転状態) を黒線、修正後 (NS、EW 正常) を赤線、観測記録を緑線とする。

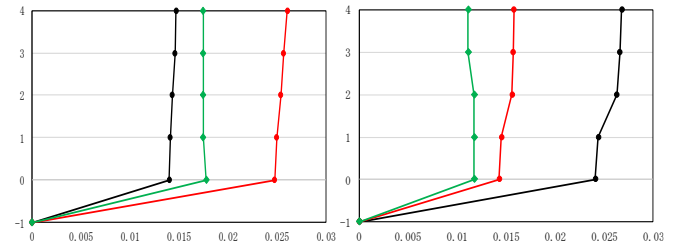


図 9 千葉県北西部 変位比較 (左: NS 右: EW)

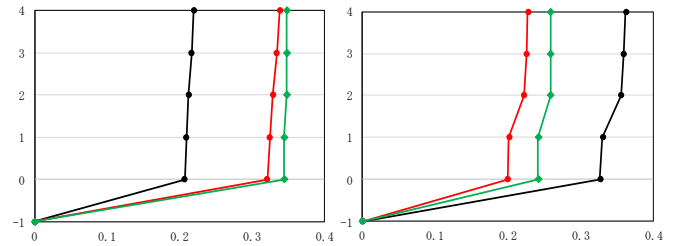


図 10 埼玉県北部 変位比較 (左: NS 右: EW)

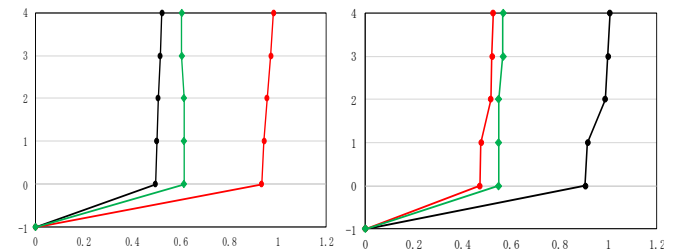


図 11 福島県沖 変位比較 (左: NS 右: EW)

3 波それぞれの比較から観測記録の NS、EW 方向の逆転修正による応答変位の変化が確認できる。埼玉県北部では NS、EW 方向どちらも修正後の方が観測波に近づいている。千葉県北西部と福島県沖では EW 方向は修正後の方が観測波に近づくが、NS 方向は修正後の方が観測波から離れている。また、全体の傾向として NS と EW で修正前後の位置関係が入れ替わっている。

5-4. 観測記録の加速度フーリエスペクトル比較

観測記録の卓越周期の確認として、千葉県北西部 (M:4.4 震央距離: 72.77km) (緑線)、埼玉県北部 (M:5.6 震央距離: 50.32km) (赤線)、福島県沖 (M:7.4 震央距離: 276.27km) (黒線) の 3 波の加速度フーリエスペクトルとモデルの 1 次固有周期 (黄色線) を比較する。図 12、図 13 から規模が大きな観測記録ほどモデルの卓越周期に近い成分がみられ、卓越周期が右へ移る傾向が確認できる。このことから、規模 (振幅) が大きくなるにつれ卓越周期が伸びる振幅依存性があるのではないかと推測できる。

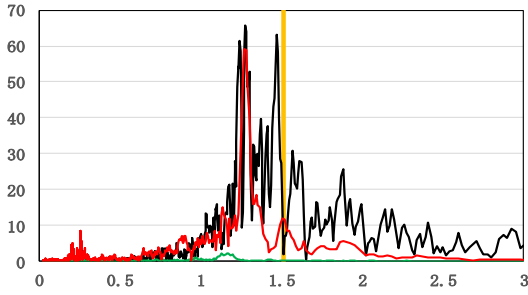


図 12 NS 方向 加速度フーリエスペクトル比較

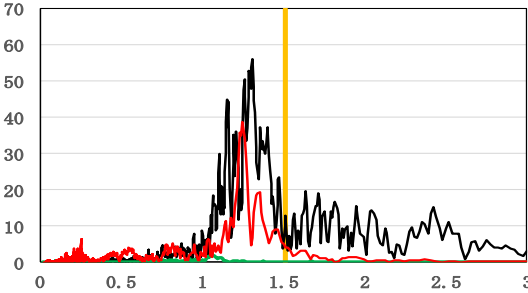


図 13 EW 方向 加速度フーリエスペクトル比較

5-5.建物特性(振幅依存性)の確認

加速度フーリエスペクトル比較から振幅依存性の建物特性が推測できるため、モデルの1次固有周と観測波の卓越周期の比較から検証を行う。各観測波の卓越周期と最大応答変位の関係をプロットし、最大応答変位 0.1cm 未満を除く 10 波に対する回帰線を引く。この回帰線がモデルの1次固有周とその時の最大変位(弾性限界変位)の値からなる点(赤のひし形)に近似するかを確認する。NS 方向 EW 方向どちらにおいても、回帰線が右上がりの傾向を示しており、最大応答変位が大きくなるにつれ卓越周期も伸びることを示している。よって振幅依存性が確認できる。また、小規模な観測波のみ(観測波全てが弾性範囲内)ではあるが、近似した回帰線を描くことができているため、モデルと観測波の妥当性が伺える。さらに、今後より規模の大きな観測波が得られた場合には、回帰線の傾きが大きくなりモデルの値により近似することが予想できる。

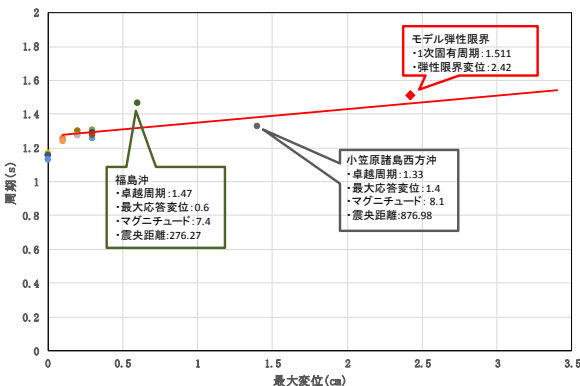


図 14 NS 方向 卓越周期-最大応答変位

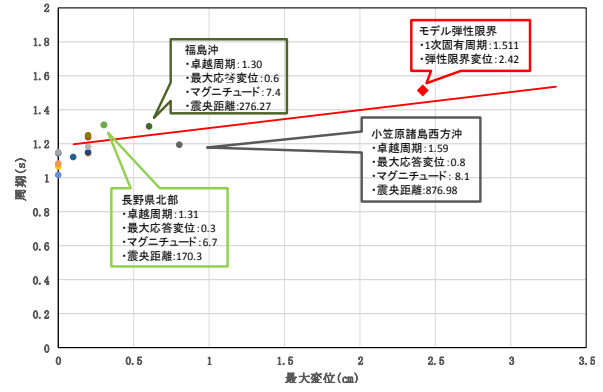


図 15 EW 方向 卓越周期-最大応答変位

6.まとめと今後の課題

今回、現存する質点系モデルの追解析を行い、モデルの妥当性の検証を行った。これによりモデルと構造計算書の整合性を確認することができた。本研究の途中過程で、観測波の NSEW 方向逆転が判明したため観測波の修正を行った。これを受け、観測記録とモデルの応答変位比較を行い、観測波修正によるモデル解析結果の変化を確認した。また、振幅依存性の検証から観測波とモデルの妥当性を確認できた。

今後の課題としては、より精密な整合性検証手段の検討と観測記録の方位確認と修正を行うことが挙げられる。また、要修正により公開停止中の観測記録データの再公開も行う。その後、壁剛性や偏心等について考慮したモデルへ発展させ、予想巨大地震の応答解析や被害想定を行うことを今後の目標とする。

7.参考文献

- 1) 石井竣：2017 年卒業論文(最大級地震を考慮した工学院大学八王子キャンパス教育棟の地震応答解析に関する研究) 久田研究室
- 2) 鈴木ちひろ：2016 年度卒業論文(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) 久田研究室
- 3) 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
- 4) 工学院大学総合教育棟構造設計書
- 5) KiK-NET(防災科学技術研究所強震観測網)：
<http://www.kyoshin.bosai.go.jp/kyoshin/>
- 6) F-NET(広帯域地震観測網)：
<http://www.fnet.bosai.go.jp/top.php?LANG=ja>