

首都圏に建つ偏心有超高層建築の制振補強に関する研究

D1-10134 白崎 和幸

1. 研究の背景と目的

近年首都圏では、M7クラスの首都直下地震による強震動や、M8クラスの東海、東南海地震による長周期地震動の危険性が高まっていると指摘されている。更に2011年3月11日に発生した東日本大震災では、過去に例がないほどの大きな振幅レベルの波形が観測され、そのため超高層建築における地震応答解析はより重要なものとして注目されている。

本研究では超高層建築における地震応答解析の一環として、新宿副都心の一角に位置する超高層建築物であるSTEC情報ビル（以下オフィス棟と呼ぶ）を対象とし、今後発生するであろう強震動の被害予測等の対策に使用する為にオフィス棟立体モデルでの弾塑性地震応答解析を行い、立体モデルに修正を加える事でより精度の高い解析結果を得る事が出来るモデルへと改善し、その立体モデルの応答解析を行う。

2. 対象構造物概要

2.1 オフィス棟概要

オフィス棟の建物概要を示す。表1にオフィス棟構造概要、図1に基準階平面・伏図及び強震観測センサーの位置を示す。地上部はS造のブレース付きラーメン構造となっており、東西端部に9.6m幅のブレース構造のコアを持つダブルコアの建物である。また、コアを結ぶ22.4mの大スパン梁が8本配置されている。図1に示す通り、東西端部のコアの大きさがX通り方向で異なる為、偏心によるねじれの影響が懸念される。

表1：オフィス棟構造概要

建物名称	エステック情報ビル(オフィス棟)
建築場所	東京都新宿区西新宿
竣工年	1989年
基準階面積	1499m ²
階数	28階
アスペクト比	NS:3.96、EW:3.16
構造種別	地上:鉄骨造り(ブレース付きラーメン構造) 地下1~2階:鉄骨鉄筋コンクリート造 地下3~6階:鉄筋コンクリート造
地業形式	東京れき層下部を支持層とする直接基礎(べた、布、独立基礎)
基礎構造	一部周辺低層部に基礎杭を併用

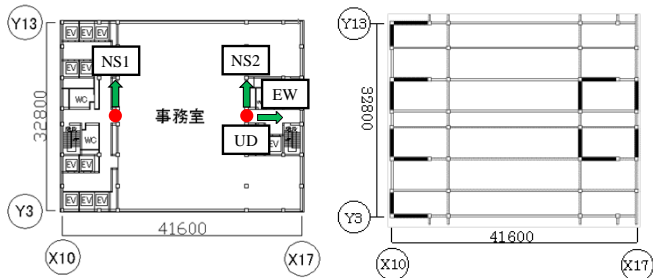


図1：左) 基準階平面図 右) 基準階伏図

2.2 立体モデル概要

既往の研究¹⁾により、構造計算書及び施工図面を元に立体フレームモデルが作成されている。地下部分は剛性の高いRC構造である為、本研究では地下階は扱わず、地上階の構造部分のみを対象とする。非構造部材については既往の研究では考慮していない。建物重量は、構造部材及び小梁については構造計算書から部材の大きさを算出し、解析ソフト（任意形状立体フレーム弾塑性解析プログラム SNAP V.5）を用いた自動生成により算出した。

2.3 立体モデルの改善

既存モデルでは外壁、内壁などの非構造の壁重量が考慮されていないが、今回の研究では新たにオフィス棟モデルに壁重量を追加し、その応答を解析する。壁重量を追加する前後の固有周期の移り変わり、東北地方太平洋沖地震で観測された固有周期を表2に示す。また大学棟の重量を追加したことによる各階重量と全層合計重量、割合の移り変わりを図2に示す。これを見ると、壁重量を追加したことによって全体の重量がおよそ15%程度増加したことが分かる。

表2 各周期の比較

	固有周期				ねじれ一次
	NS		EW		
	一次	二次	一次	二次	
3.11観測	2.978	0.934	3.181	0.979	2.206
重量追加前	2.691	0.924	2.854	0.890	1.835
重量追加後	2.984	1.022	3.175	0.982	2.196

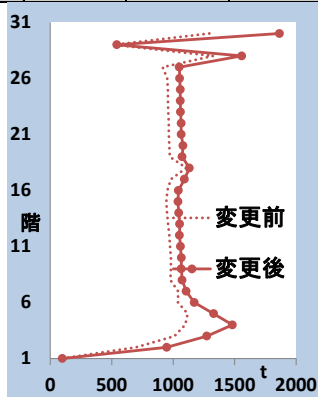


図2：壁重量追加による重量の移り変わり

2.4 入力地震波

大学棟で観測システムより観測された東北地方太平洋沖地震（以下東北地震と呼ぶ）、想定首都直下型地震²⁾（以下首都直下地震と呼ぶ）、想定東海・東南海地震³⁾

(以下東海東南海地震と呼ぶ) の NS、EW、UD 成分の 3 成分を使用して行う。図 3 は、各地震の加速度の NS 方向の時刻歴波形、図 4 は各地震の加速度応答スペクトルを示す。

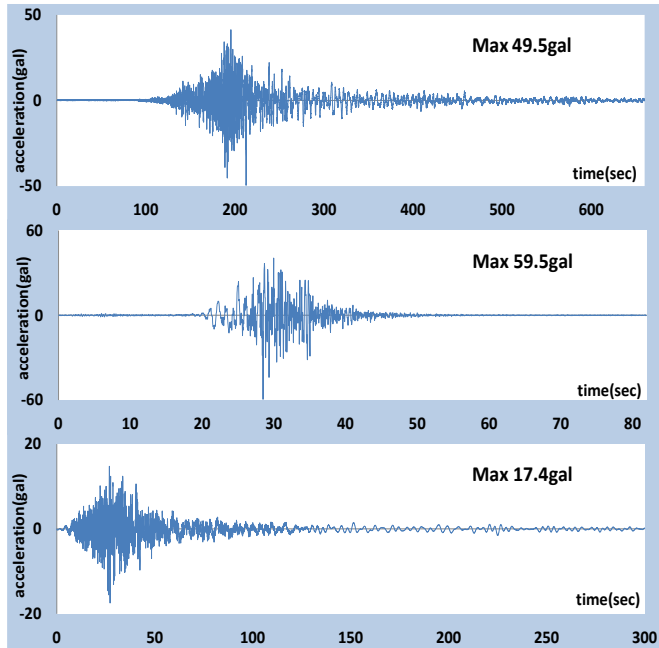


図 3：上段 東北地震 NS
中段 首都直下地震 NS
下段 東海東南海地震 NS

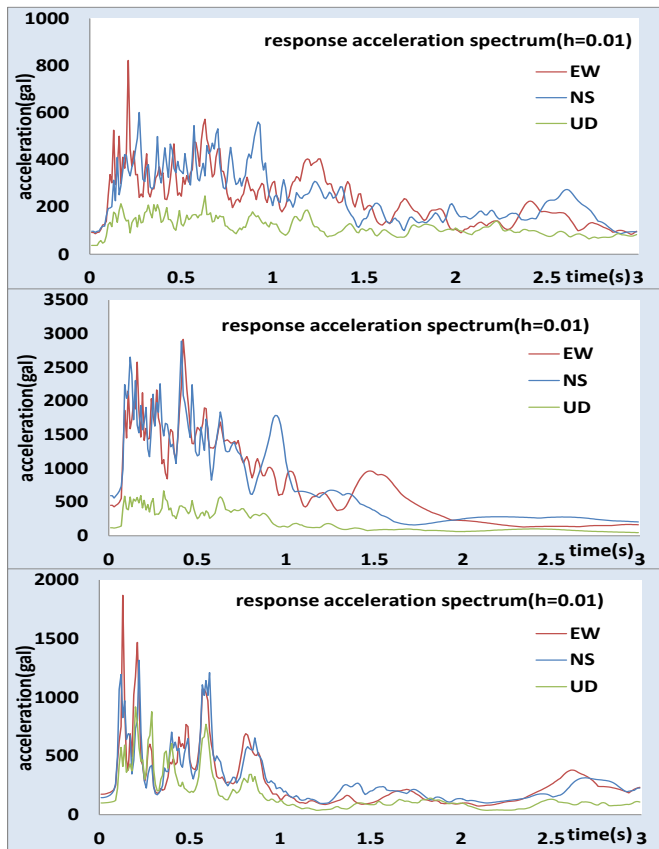


図 4：上段 東北地震加速度応答スペクトル
中段 首都直下地震加速度応答スペクトル
下段 東海東南海地震加速度応答スペクトル

3. 地震応答解析結果

図 5、6、7 に各地震の最大応答値を示す。東北地震のみ観測記録との比較を載せているが、層間変形角については観測器が各階に設置されていないため、観測記録との比較は行っていない。東北地震の最大応答値を見ると、観測記録と同様 NS1 よりも NS2 の方が応答値が大きくなっており、ねじれが再現されていることが分かる。応答値の大きさには若干の差があるものの、最大値の形から全体的に見ても実際の応答の形が上手く再現されていると考えられる。首都直下地震では、全体的に応答値が大きく、特に層間変形角では 22 階付近で最大で 1/100 を超える部分があり、大きな被害が予測される。また NS1、NS2 での差が大きいことも特徴で、加速度は NS1 に比べて NS2 の応答は 50% を超える差があり、層間変形角では 3 階付近で 60% を超える差が見られた。その為偏心の影響による構造的被害が予測される。東海東南海地震では首都直下地震に比べて各最大応答値は小さいものの、他の地震同様に偏心の影響が見られる。層間変形は NS1 では 1/200 を下回っているものの、NS2 ではほぼすべての層で 1/200 を超えていることが分かる。

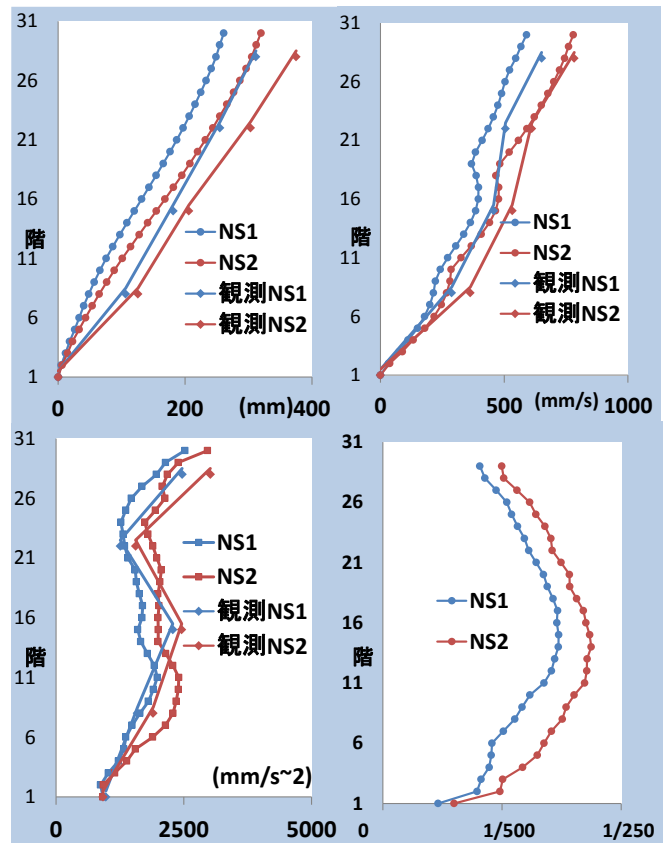


図 5：東北地震 最大変位(上段左)、最大速度 (上段右)、最大加速度 (下段左)、層間変形角 (下段右)

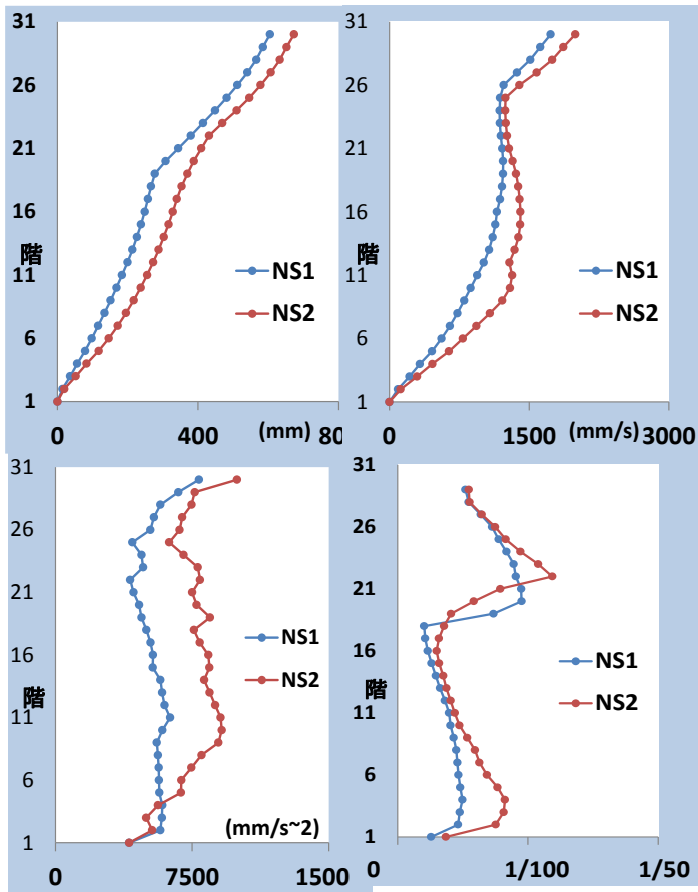


図 6: 首都直下地震 最大変位(上段左)最大速度(上段右)
最大加速度(下段左)、層間変形角(下段右)

4. 制震補強案の検討

解析結果より、図 8 で示すように最も応答の大きかった首都直下地震で層間変形角が 1/100 を超えている 22 階近辺と、NS1 と NS2 で 60~70%程度の差が発生している 3 階付近の二カ所の応答の低減を目標に制震補強案の検討を行う。具体的には、22 階近辺は最大層間変形角が NS1、NS2 共に 1/100 を下回る事、3 階付近は NS1、NS2 の差を 20%低減させる事を設計目標とする。使用するオイルダンパー性能を表 4、図 9 に示す。オイルダンパー設置位置を図 10 に示す。

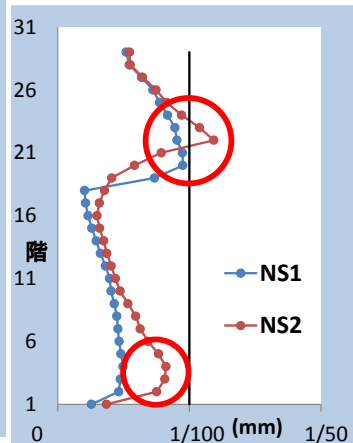


図 8: 首都直下地震層間変形角

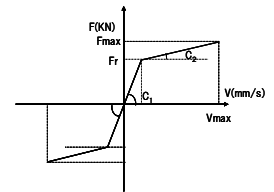


図 9: ダンパー減衰力速度関係図

表: 4 ダンパー性能

型式	SD2000kN-160
最大減衰力Fmax(kN)	2000
リリース減衰力Fr(kN)	1600
減衰係数C1(kN・s/mm)	50
減衰係数C2(kN・s/mm)	3.39
内部剛性kd(kN/mm)	430

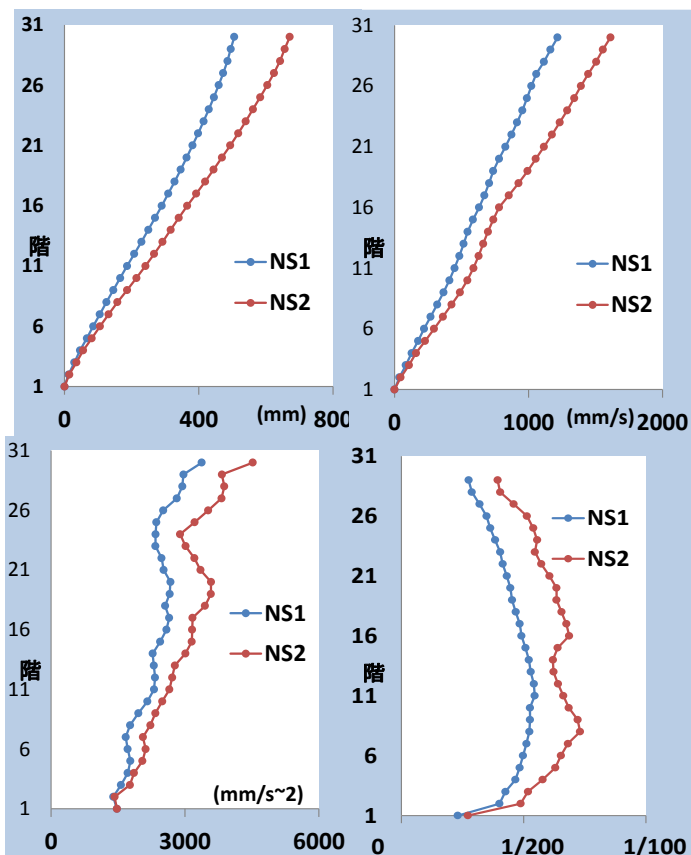


図 7: 東海地震 最大変位(上段左)、最大速度(上段右)
最大加速度(下段左)、層間変形角(下段右)

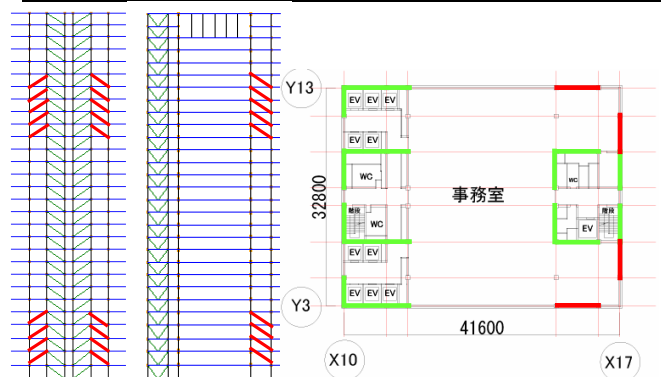


図 10: オイルダンパー設置位置(赤線)
右、軸組図(X17,Y3,Y13) 左、平面図

5. 地震応答解析結果比較

図 11、12 に補強後の解析結果を示す。首都直下地震での変位と速度には大きな変化は見られないものの、最大加速度を見ると NS1 の値が大きくなり、NS2 の値が小さくなっている。その為、NS1 と NS2 での応答の差

が小さくなり、偏心の影響が小さくなっていることが確認できる。層間変形角では NS1、NS2 とともに最大値が 1/100 を下回っており、また 3 階付近での東西の差は元の 160~170%から 135%程度に抑えられた。東北地震の解析結果を見ると、変位、速度共に値が小さくなっており、首都直下を対象としたダンパーの配置であるものの他の地震にも一定の効果が得られることが分かった。層間変形角に関しても、ダンパーを配置していない側の応答も小さくなっているため、偏心に対してはあまり効果があるとは言えないものの、全体の応答が小さくなっていることから補強としての効果はあるといえる。

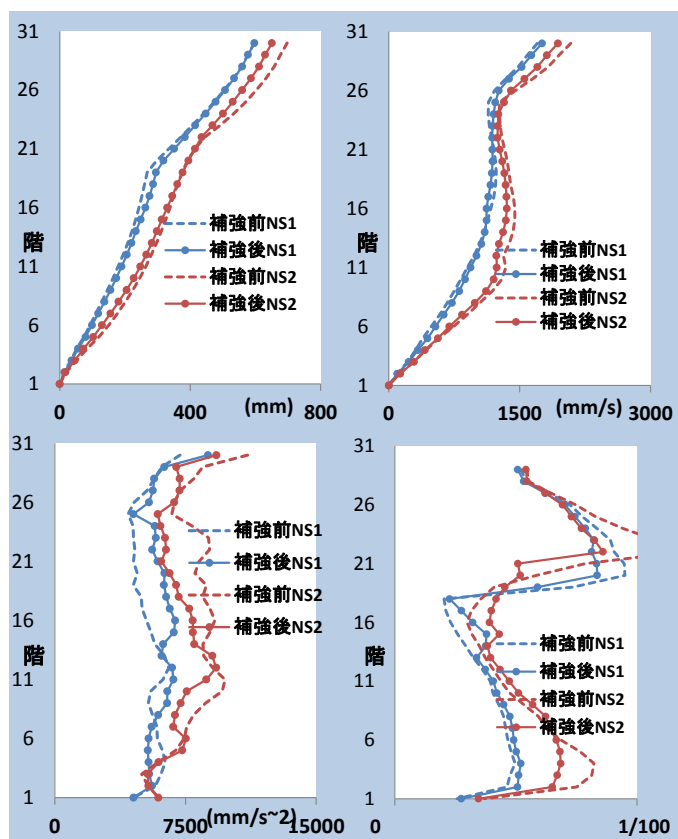


図 11: 首都直下地震,最大変位(上段左)最大速度(上段右) 最大加速度(下段左)、層間変形角(下段右)

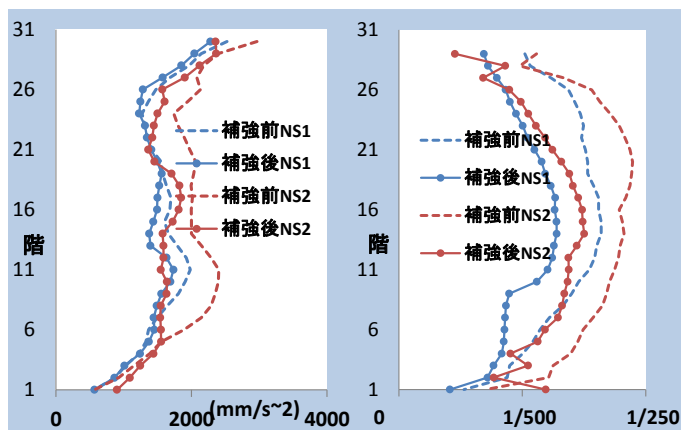
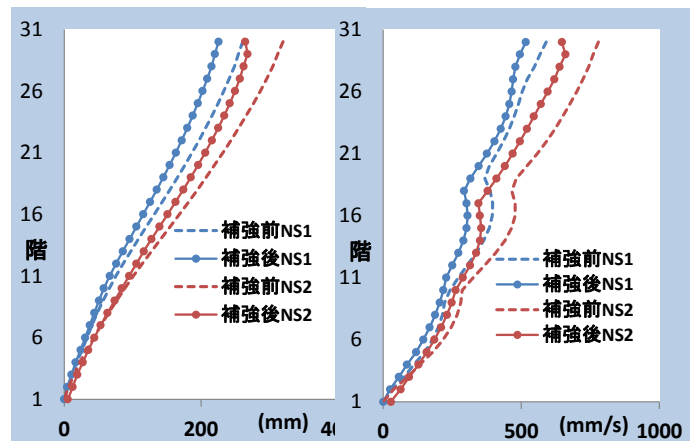


図 12: 東北地震 最大変位(上段左)最大速度(上段右) 最大加速度(下段左)、層間変形角(下段右)

6. まとめ

モデルに壁重量を追加した結果、固有周期は観測の物と近い値となった。また他の地震でも偏心の影響が見られ、東側の応答が西側より二割から七割程度大きくなった。

もっとも応答の大きかった首都直下地震の 22 階付近の層間変形角が 1/100 を下回ることで、3 階付近の東西の差を 170%から 30%減らすことを目標にダンパーを配置し解析を行った。その結果、加速度では東西の差が小さくなり、層間変形に関しても 22 階は 1/100 を下回り、3 階付近も東西の差が 135%程度に抑えられ、目標を達成することができた。また、首都直下地震に対しての補強案だったが、東北地震に対しても応答の低減の効果を発揮することが分かった。

今後の課題としては、実際に補強をする上での施工性、運搬性などの検討、多くの企業が事務所として利用しているため BCP(事業継続計画)についても検討していく必要がある。

参考文献

- 1) 藤波昭秀:首都圏に建つ超高層建築の制震補強に関する研究 工学院大学 2010 年度修士論文
- 2) 田中良一他:首都圏に建つ超高層キャンパスと地域連携による地震防災に関する研究(その2) 首都直下地震の強震動予測日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、構造Ⅱ、pp.815-816、2008.9
- 3) 株式会社大成建設提供