

## 中間階における免震補強に関する研究

DA11190 寺本 彩乃

### 1. はじめに

日本は地震が多く発生する災害大国であり、地震対策として耐震構造や制震構造が多く普及しているが、近年では「免震構造」が注目され、多くの実用事例が見られるようになってきた。

一方、築年数が経過した旧耐震の建物も多く存在しており近年では都市部のオフィスビルの免震レトロフィットの事例が増えている。

そこで本研究では、都市部のオフィスビルにおける免震レトロフィット事例を調査し傾向と特徴を明らかにし、中規模オフィスビルを模した解析モデルにより、狭い敷地条件でも多様な地震動に対する免震レトロフィットの適用性を検討する。

### 2. 免震レトロフィット事例調査

2012年4月までに免震レトロフィット完了工事が報告された99棟のうち、15棟が民間事務所ビルである。15棟のうち、7棟は自社ビル、6棟はテナントビル、その他の2件はデータセンターと政党本部である。本研究では、テナントビルの6棟のうち、東京の都市部に所在している4棟を実地調査した。



建物 A

建物 B



建物 C

建物 D

写真 免震レトロフィット調査建物事例

調査を行った建物はすべて狭い敷地条件のもとで中間階に免震をいれる、免震レトロフィット工事が行われたことが分かった。

### 3. 対象建物概要

対象とする建物は日本建築学会 鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説 2010 付録の構造設計例に記載されている設計例を使用した。本建物の平面形状は、36.0m×14.4mの長方形であり、中央部片側に、階段・EV・WC等のコア部を有する高さ28.3mの7階建て（地下なし）事務所ビルである。建設地は多雪区域でない一般地域とし、地盤は第2種地盤を想定した。表1に本設計例の建物概要、図3基準階平面図を示す。

表 1 建物概要

主要用途	事務所
延床面積	3628.8m <sup>2</sup>
建築面積	518.4m <sup>2</sup>
構造種別	鉄筋コンクリート造
階数	地上7階
最高高さ	28.30m
軒高さ	27.60m
基礎深さ	GL-1.6m

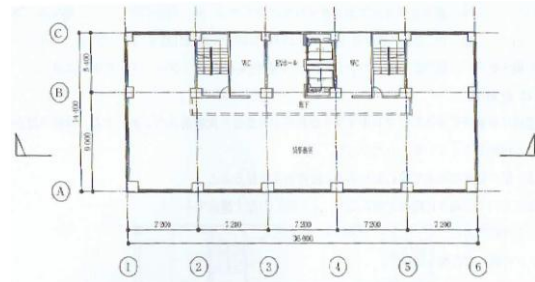


図 3 基準階平面図

### 4. 解析モデル概要

日本建築学会 鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説 2010 を基に立体モデルを作成。解析ソフトのSNAP ver.5を使用する。図4-1は解析モデルの全景である。

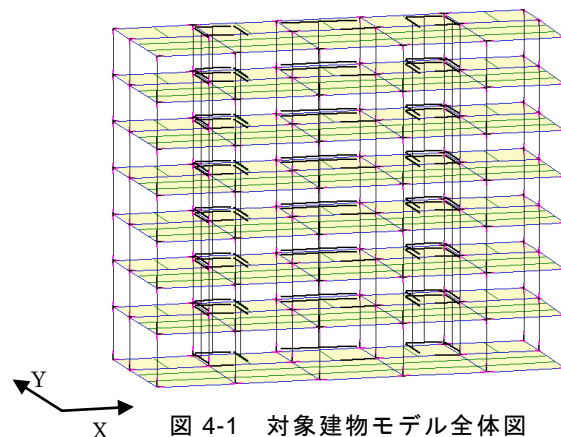


図 4-1 対象建物モデル全体図

腰壁付き梁は、大張芯の位置で線材にモデル化する。柱スパンは柱芯々間距離とする。日本建築学会 鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説 2010 の 9 条に従い剛域を設定し、剛域端は材の縁より取り付く部材位の全せい（腰壁を含む）の 1/4 入った位置とする。

柱付き壁（そで壁付き柱）も柱芯の位置で線材にモデル化する。これは、部材せいがスパンに比べて比較的小さいからである。柱付き壁としての図心と柱芯が異なることの影響は、部材の復元力特性を日本建築学会 鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説 2010 の付. 10 に基づいて算定することにより、自動的に補正させる。⑧通り以外の壁は、3 本柱の耐震壁モデルとする。

柱、はり部材は単軸バネでモデル化し、壁も柱、はりと同様に単軸バネにより弾塑性部材としてモデル化した。

建物重量は、構造部材及び小梁については日本建築学会 鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説から部材の大きさを算出し、解析ソフト SNAP ver.5 を用いた自動生成により算出した。

#### 4.1 応力解析結果

建物の解析モデルを作成後、長期応力、短期応力解析を行い、設計例に記載されている結果との比較を行った。解析結果の数値に関してはまだ検討の余地があるが、形状に関しては設計例の解析結果に近い形状になった。

図 4-2 に応力解析結果を示す。

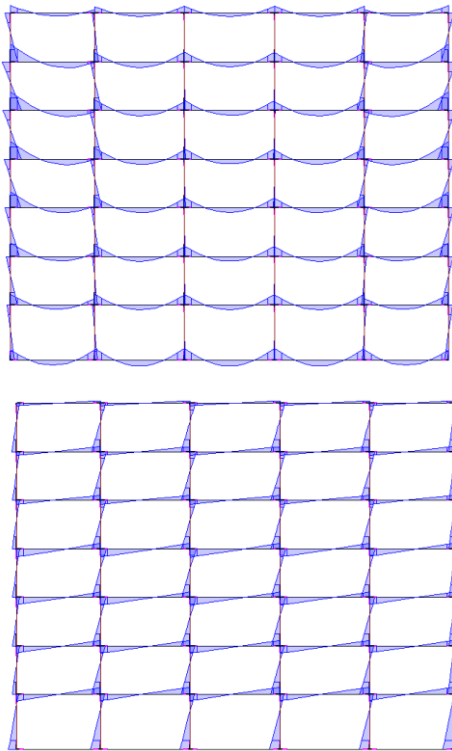


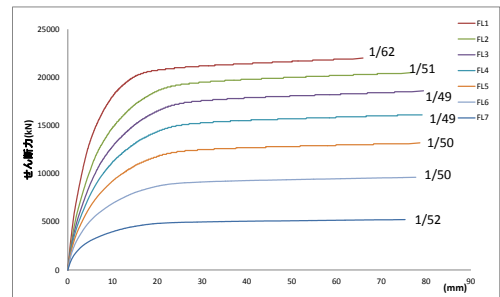
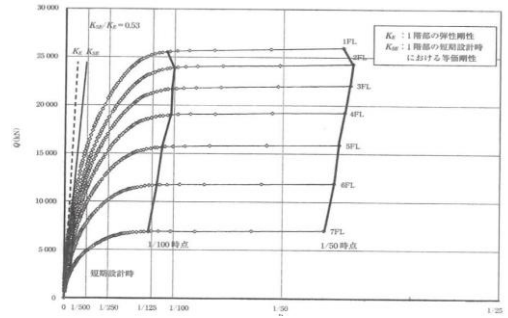
図 4-2 応力解析結果

上図：長期応力解析図（A 通り）

下図：短期応力解析図（A 通り）

#### 4.2 増分解析結果

応力解析後、増分解析を行い、設計例に記載されている結果との比較を行った。設計例と最大層せん断力を比較した際にモデル解析結果の全階で設計例の 8 割の最大層せん断力を維持できたので今回は、ここでモデル化をやめ、免震部材を入れた。図 4-3 に増分解析結果を示す。



上図：設計例解析結果

下図：解析モデル解析結果

図 4-3 増分解析結果

#### 5. 免震層の設計

3. に示した免震レトロフィットを仮定し、免震層を 1 階柱の中間位置に仮定した。上部構造の重心位置と免震層の剛心位置の偏心率が 3% 未満になるように鉛プラグ入り積層ゴム支承と弾性すべり支承を配置した。鉛プラグ入り積層ゴム支承は直径 600mm、ゴムの弾性係数は G4、二次形状係数 S2=5.0 とした。弾性すべり支承は直径 500mm、摩擦係数は 0.011 とした。鉛プラグ入り積層ゴム支承の平均面圧は 9.64N/mm<sup>2</sup> である。鉛プラグの降伏せん断力は全体の柱軸力の 4.73% である。表 2 に免震部材の概要、図 5 に免震部材の配置図を示す。

表 2 免震装置の概要

	部材種別	積層ゴム径 (丸型)	中心孔径	鉛プラグ径	(mm)
	鉛プラグ入り積層ゴム	600	-	100	
	鉛プラグ入り積層ゴム	600	-	120	
	鉛プラグ入り積層ゴム	600	-	130	
	弾性すべり支承	500	10	-	

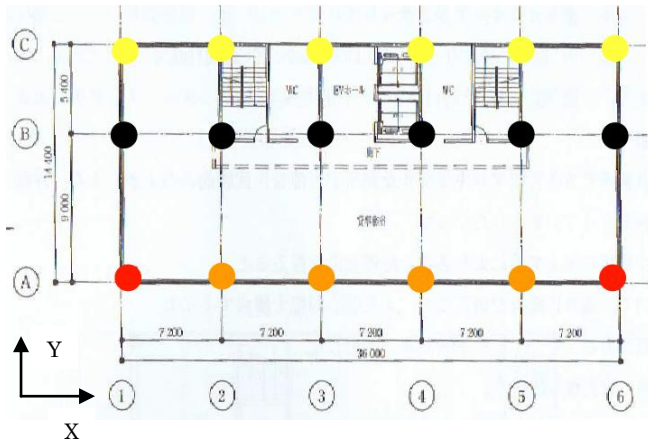


図 5 免震装置配置図

## 6.地震応答解析

### 6.1 地震応答解析概要

4. に示した立体解析モデルおよび、5. で示した免震層を設けたモデルを用い、時刻歴地震応答解析を行った。解析は水平 X 方向(長手方向)に対して行い、既存建物と免震レトロフィット建物の応答解析結果を比較した。

### 6.2 入力地震波概要

El Centro 波 NS 成分を用い、加速度振幅を 1.0 倍、1.5 倍、2.0 倍にした波形で地震応答解析を行った。図 6-1 に加速度時刻歴波形、図 6-2 に加速度応答スペクトルを示す。

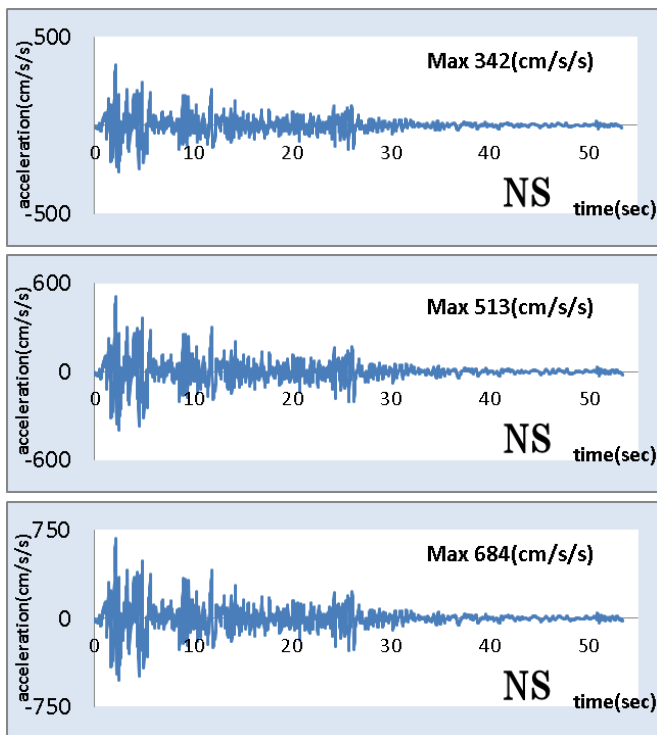


図6-1：上段:El Centro波 NS  
中段：El Centro波×1.5 NS  
下段：El Centro 波 × 2.0 NS

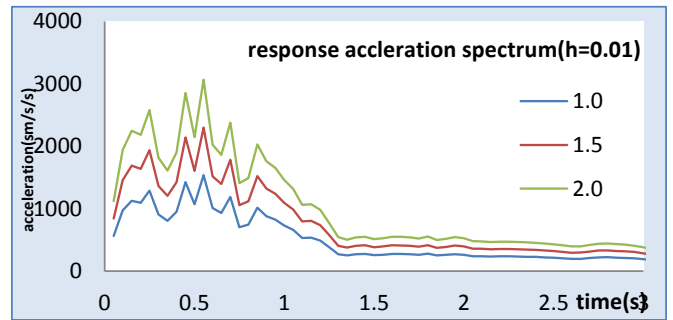


図 6-2：El Centro 波加速度応答スペクトル

### 6.3 地震応答解析結果

図 6-3 に El Centro NS 成分を入力したときの各階水平方向の最大加速度、最大速度、最大変位および、最大層間変形角を、既存建物モデルと免震レトロフィットモデルについて示す。図 6-4 および図 6-5 は入力波形の振幅を 1.5 倍と 2.0 倍にした時の結果を同様に示す。

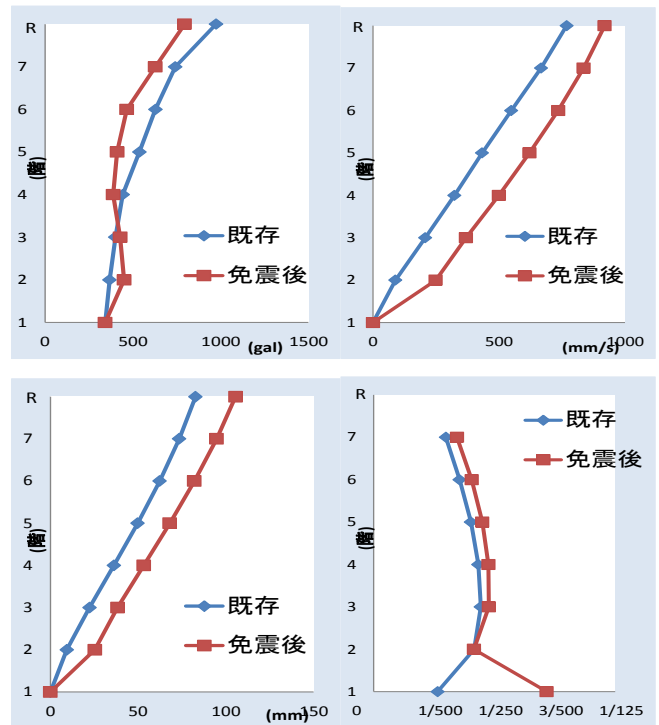


図 6-3 El Centro 波 地震応答解析  
加速度 (左上) 速度 (右上)  
変位 (左下) 層間変形角 (右下)

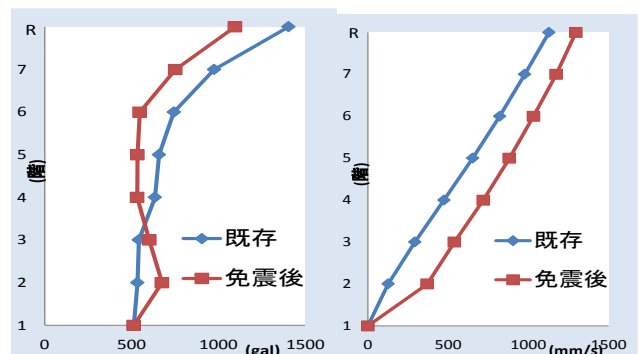


Figure 6-4: Comparison of seismic response for El Centro wave scaled by 1.5 between existing and isolated models.

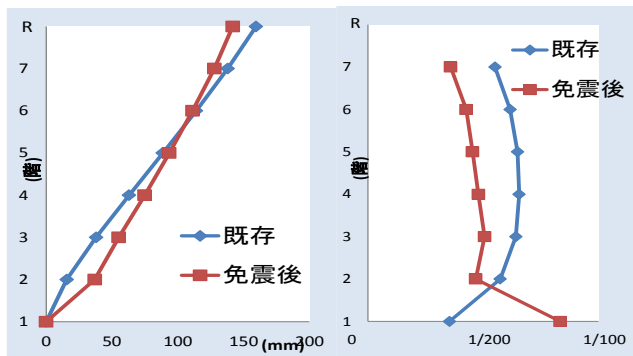


図 6-4 El Centro 波×1.5 地震応答解析  
 加速度 (左上) 速度 (右上)  
 変位 (左下) 層間変形角 (右下)

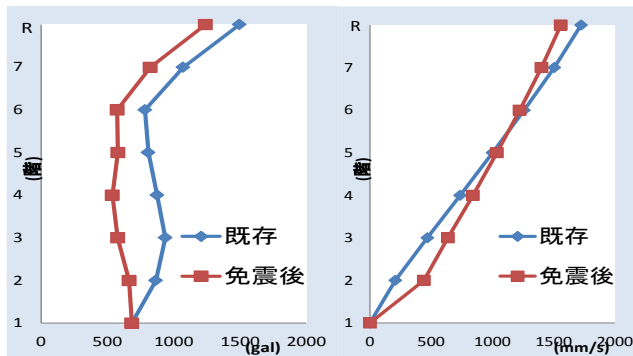


図 6-5 El Centro 波×2.0 地震応答解析  
 加速度 (左上) 速度 (右上)  
 変位 (左下) 層間変形角 (右下)

すべての解析結果で、免震レトロフィットモデルの方が1階の層間変形角が大きくなっており、免震層が変形していることが分かる。また入力波の振幅が大きくなるほど免震層の変形が大きくなり、相対的に上部構造の層間変形角が小さくなっていることが分かる。最大応答、最大加速度も入力波の振幅が大きくなるほど免震化による低減効果が大きくなっているが十分な効果とは言えない。さらに最大応答速度に関しては免震レトロフィットモデルのほうが大きくなっており、解析モデルのさらなる検討が必要である。

## 7. まとめと今後の課題

### 7.1 まとめ

免震レトロフィット工事が完了した建物のうちテナン

トビルについて調査を行い、狭隘な敷地条件において中間階免震は有効であるということが分かった。

日本建築学会：鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説 2010 に記載されている設計例で建物のモデル化を行い、免震層の設計後、免震装置配置後のモデルを作成応力解析、増分解析後に El Centro 波 NS 成分の加速度振幅の 1.0 倍 1.5 倍 2.0 倍の波形を用い地震応答解析を行った。

地震波形の加速度振幅が大きくなるにつれて、1 階の層間変形角が大きくなり、免震層が変形していることが分かるが、最大応答速度に関しては、免震レトロフィットモデルのほうが大きくなっておりさらなる検討が必要。

### 7.2 今後の課題

設計例により近いモデルになるようにモデルの改善を行い、より大きい変位でも重心位置と剛心位置が少なくなるように免震装置配置の検討を行う。

さまざまな地震波での地震応答解析を行ない、設計時の想定以上の地震が来た際に必要なフェールセーフや工学院大学でも使用されている強震動モニタリングシステム、被災度判定システムの利活用についての検討を行う必要がある。

### 参考文献

- 1)日本建築学会：鉄筋コンクリート構造 計算基準・同解説 2010
- 2)Yoe Masuzawa, Yoshiaki Hisada : Current State of Retrofitting Buildings by Seismic Isolation in Japan
- 3)鱒沢曜：免震レトロフィット仮受け工法の開発と実施工への適用
- 4)社会法人 免震構造協会 免震構造入門
- 5)株式会社構造システム：SNAP ver.5 テクニカルマニュアル