

1.はじめに

2003 年に発生した十勝沖地震では勇払平野で発生した堆積層表面波による長周期地震動の揺れによってスロッシングを起し石油タンクの火災が発生した。2004 年に発生した新潟県中越地震では、震源から約 190km 離れた六本木ヒルズにおいて関東平野で発生した堆積層表面波による長周期地震動により、エレベータケーブルが大きく揺れ、1 基は 8 本あるワイヤの 1 本が側壁にある電源・信号用ケーブルを留める金具に引っ掛かり切断<sup>1)</sup>された。

長周期地震動による被害は 1983 年の日本海中部地震でも報告されている。この地震で約 500km も離れた東京都の新宿にある某超高層建築物で長周期地震動によりエレベータの事故が発生した。また 2000 年に発生した鳥取県西部地震では都内にある恵比寿ガーデンプレイスのエレベータに被害が発生した。

このように超高層建築は固有周期が長いために長周期地震動で大きく震動するので、超高層建築物が多い都心では長周期地震動への対策が必要であると言われている。

一方、2007 年から気象庁による地震被害の軽減を目的とした緊急地震速報の提供<sup>2)</sup>が始まった。緊急地震速報とは、地震発生直後に震源に近い地震計で捉えた観測データを解析して震源やマグニチュードを直ちに推定し、瞬時に知らせる情報のことである。

この緊急地震速報は一般向け配信と高度利用者向け配信の 2 つがあり、前者は震度だけの情報、後者は速報番号、震源位置、深さ、マグニチュードといった情報でこの情報に基づき予測対象地点で短周期地震動の指標値である震度を予測することを目的としている。このため、現状では長周期地震動の予測を目的としたことには利用されていない。また本学の緊急地震速報は緊急地震速報による推定震度が通常の方法ではなく、震度マグニチュードという、一般の緊急地震速報とは違ったものを使用している。

そこで、本研究では緊急地震速報から得られる地震の震源位置やマグニチュード、震源深さから長周期地震動の発生の有無と発生した場合に超高層建築の応答と建築設備被害を予測する方法を検討する。ここでの建築設備はエレベータを対象として長周期地震動が到達する前にエレベータ制御が行えるようにすることを目的とする。

2.研究の流れ

- 工学院大学におけるエレベータの停止事例を収集し、どのセンサーにより停止したかを検証。
- 緊急地震速報を活用して工学院大学新宿校舎のエレ

ベータへの適用方法の検証。

- 地震波を作成し、観測記録と比較。
- 長周期地震動による超高層建築物の地震応答について観測記録と等価 1 質点系モデル、3D モデルでの比較。
- 都心の超高層建築物への適用方法を考察。

3.エレベータの停止事例の検証

工学院大学新宿校舎に設置してあるエレベータは全部で 10 台あり、すべてのエレベータに地震感知器による制御機能を持っている。このうち中・高層階まで運行しているものが 7 台あり、この 7 台は長周期地震動による影響を受ける可能性がある。

表 1 は 2004 年以降に実際に記録が残っている工学院大学新宿校舎のエレベータの被害についてまとめた結果である。

表 1 エレベータの被害事例

月日	Mjma	震源地	震源深さ	29階				波動エネルギー	エレベータ	
				GL-100m 最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大加速度 (cm/s <sup>2</sup> )	最大速度 (cm/s)	最大変位 (cm)		高層階	非高層
2004年9月5日	7.4	東海道沖(23時)	44km	3.69	14.9	6.75	5.71	19.27	停止	記録なし
2004年10月23日	6.8	新潟県中越地方	13km	5.60	27.3	10.3	7.39	38.06	停止	記録なし
2005年7月23日	6.0	千葉県北西部	73km	47.64	85.3	10.7	3.71	19.85	停止	停止
2005年8月16日	7.2	宮城県沖	42km	20.90	29.7	9.32	4.46	20.78	自動復帰	自動復帰
2005年10月16日	5.1	茨城県南部	47km	7.57	13.6	0.75	0.31	0.12	異常なし	自動復帰
2005年10月19日	6.3	茨城県沖	48km	4.99	8.98	2.72	1.29	1.75	異常なし	異常なし
2007年7月16日	6.8	新潟県上中越沖	17km	記録なし					停止	停止

中・高層用エレベータは長周期地震動用センサーが設置されているため停止するようになっている。このセンサーが設置された高層用エレベータでは長周期地震動による揺れにおいて、波動エネルギーセンサーによりエレベータ制御が行われていることがわかる。この波動エネルギーセンサーにより停止した事例と 29 階での最大変位を比較すると 29 階で概ね 3cm となった場合停止している。これは小野田他<sup>3)</sup>の式からも同様のことが言える。

4.緊急地震速報を工学院大学へ適用した例

工学院大学新宿校舎では 2008 年 8 月 12 日から 9 月 3 日に緊急地震速報を用いたエレベータ閉じ込め防止対策のテスト運用を行った。これは緊急地震速報による推定震度が 3 以上の場合とやや大きな長周期地震動の到達が予測された場合、若しくはリアルタイム観測システムで 5gal 以上を観測した場合にエレベータを停止するための信号を送るように設定した。

この結果テスト運用期間中には東京都で震度 3 を観測した地震が 2008 年 20 日 15 時 13 分に発生し、東京都新宿区の震度は震度 3 と気象庁により公表された。しかし、リアルタイム観測システムによる工学院大学の震度は震度 2 であり、緊急地震速報による推定震度も同様に震度 2 と推定されたためエレベータ制御を行わなかった。このことから緊急地震速報の推定震度の精度は観測記録と

一致しており、震度マグニチュードから震度を求めることで、より精度の高い震度予測が行え、エレベータを的確に制御できることを確認した。

### 5.地震波の簡易予測

本研究では、簡易的に長周期地震動を予測するために平行成層を仮定したグリーン関数法を用いて地震動の予測を行う。ここでは2004年新潟県中越地震を対象に工学院大学での観測記録と予測された地震動の比較を行った。観測記録は工学院大学新宿校舎のGL-100mで観測された波形を使用しバンドパスフィルタを0.1Hzから10Hzまでかけている。

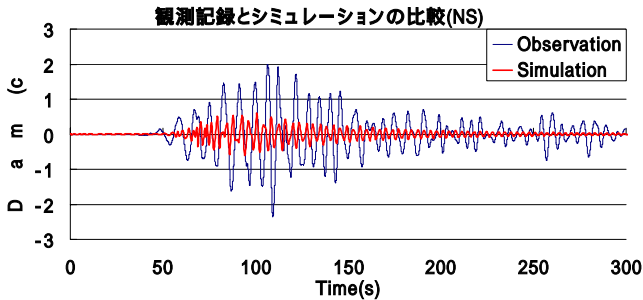


図1 作成した地震動と観測記録の比較

図1より70秒以降は、盆地構造による表面波を表現することが出来ていないために予測波形と観測波形があまり一致していないが、30秒から70秒までは観測記録と予測波形が概ね合っているため、長周期地震動の即時予測に有効ことが分かった。

### 6.等価1質点系モデルでの比較

本研究では地震が発生した場合の超高層建築物の変位応答を等価1質点系モデルの応答解析により評価する。そのために、等価1質点系モデルと工学院大学新宿校舎の構造計算書を基に作成した質点系モデル、また立体モデルと観測記録で比較を行い等価1質点系モデルの精度の検証を行った。

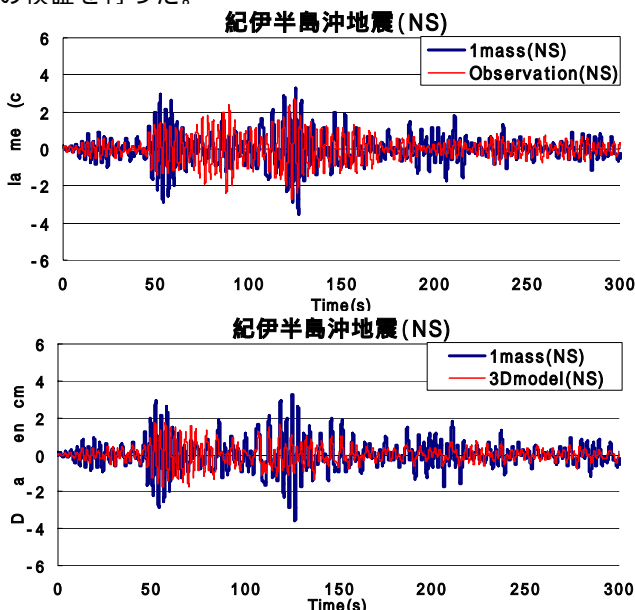


図2 等価1質点系モデルと観測記録と立体モデルの比較  
等価1質点系モデルは固有周期を約3秒とし、刺激係数

は1.43で行った。工学院大学新宿校舎の質点系モデルと立体モデルは既往の研究<sup>4)5)</sup>から、減衰を剛性比例型で、減衰定数を2%として応答解析を行った。また入力地震波は2004年に発生した紀伊半島沖地震の工学院大学新宿校舎のGL-100mで観測した波形を用いて行った。

図2より等価1質点系モデルでの変位応答は観測記録と立体モデルの変位応答と比較すると、概ねの応答が一致しており、長周期地震動では1次モードが支配的であるので等価1質点系モデルで評価することが出来ると考えられる。

### 7.都心の超高層建築への適用

都心の超高層建築物におけるエレベータ制御の研究を行うために7つの超高層建築物を用いた。これらの超高層建築物はどれも35階を超えるものである。この適用法を考える上で、複数の都心にある超高層建築物の構造計算書を調べた結果、概ね刺激係数が1.4となっていることから今回の検証は刺激係数を1.4として行った。7つの超高層建築物とは新丸の内ビルディングなどで行った。これらを観測記録と「5.地震波の簡易予測」で作成した地震波の応答スペクトルを比較し、長周期地震動の変位応答を予測する。

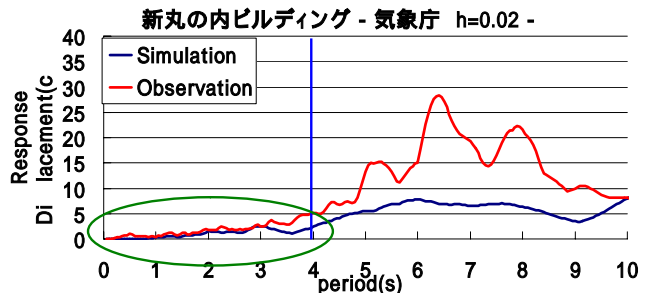


図3 新丸の内ビルディングにおける適用法の比較

図3より固有周期が3秒から4秒ぐらいの超高層建築物には誤差が少なくこの手法を用いて長周期地震動による変位応答を予測することが出来るといえる。

### 8.まとめ・今後の課題

このように長周期地震動による超高層建築物の変位応答は3秒から4秒に限りこの手法で予測することが出来ることがわかった。しかし作成した地震動では盆地構造による表面波が表現することが出来ないために、4秒を超える超高層建築には適用できないので、統計データを集め、補正する必要がある。

### 参考・引用文献

- 1)47NEWS, <http://www.47news.jp>
- 2)気象庁ホームページ, <http://www.jma.go.jp>
- 3)小野田芳光他,地震管制運転 波動エネルギー式 地震感知システムの導入, 設立35周年記念 昇降機技術講演会講演論文集日本エレベータ協会, pp.53-68, 1985
- 4)星幸男,2006年度久田研究室 卒業論文
- 5)島村賢太,2007年度久田研究室 卒業論文