

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6) 緊急地震速報を活用した簡易長周期地震動予測によるエレベーター制御方法について

正会員 ○久保 智弘*
同 久田 嘉章**

緊急地震速報 リアルタイム地震観測 長周期地震動
エレベーター対策 波数積分法 グリーン関数ライブラリー

1.はじめに

内閣府中央防災会議¹⁾では、日本を取巻く地震災害の切迫性が高いことから、地域社会や企業における地震防災力の向上のため、地震防災マップ作成のすすめやBCPに関するガイドラインを策定し、公表している。また気象庁²⁾でも、地震災害軽減のために、平成19年10月から緊急地震速報を一般向けにも配信を行っている。

一方、2004年10月23日の新潟県中越地震では、首都圏に建つ超高層ビルにおいて、エレベーターケーブルの一部が首都圏で観測された長周期地震動により、切断する被害が発生した。このため、首都圏に建つ超高層ビルにおいて、建物の耐震性能のみならず、建築設備機器に対しても長周期地震動の対策を行う必要があると考えられる。

そこで本研究では、昨年首都圏に建つ超高層建築物を持つ工学院大学を対象として、緊急地震速報とリアルタイム地震観測システムを活用したエレベーターにおける閉じ込め防止対策への適用³⁾を検討した。本報では、緊急地震速報を活用した長周期地震動の簡易的評価方法について、検討する。

2.長周期地震動の影響について

工学院大学新宿校舎は地上約143m(1989年竣工、地下6階地上29階、固有周期約3秒)の超高層建築で、地震感知器による制御機能を持つエレベーターが11台ある。このうち、4台のエレベーターが高層階まで運行しており、長周期地震動による影響を受ける可能性がある。そこで、これまで長周期地震動が工学院大学で観測された地震におけるエレベーター設備被害について、調査した。表1に各エレベーターにおける地震感知器での設定値を示す。表1から、高層階まで利用できる高層階用エレベーターでは、長周期地震動用として、波動エネルギーセンサーが設置されており、非常用エレベーターでは、一般的なエレベーターに設置されているP波センサーとS波センサーの2つのセンサーが設置されていることがわかる。表2は、エレベーターで被害が発生した地震について、工学院大学に記録が残っていた2004年以降の被害をまとめた結果を示す。表2から、波動エネルギーセンサーが

付いている高層用エレベーターで一時停止した事例が多く、首都圏で長周期地震動が観測された2005年宮城県沖地震や2007年中越沖地震において、エレベーターが停止したことがわかる。2007年中越沖地震では、工学院大学の地震観測システムの更新中であったため観測記録が得られなかった。この地震の際、エレベーターが運休となってしまったため、メンテナンス業者による復旧が必要となり、エレベーターの復旧まで2時間以上かかった。

表1: 各エレベーターにおける地震感知器について

エレベーター	特低 低 高		
	P波センサー	S波センサー	S波センサー
非常用	ビットで5gal	ペントハウスで40gal	ペントハウスで80gal
高層用	なし	ペントハウスで80gal	ペントハウスで120gal
波動エネルギーセンサー(kine・cm)	ペントハウスで10kine・cm	ペントハウスで30kine・cm	ペントハウスで100kine・cm

表2: エレベーター被害事例について

月日	Mjma	震源地	震源深さ(km)	GL-100m		29階		エレベーター	
				最大加速度 (cm/s ²)	最大変位 (cm)	最大加速度 (cm/s ²)	最大変位 (cm)	高層用	非常用
2007年7月16日	6.8	新潟県上中越沖	17km					運休	運休
2005年10月19日	6.3	茨城沖	48km	4.99	8.98	1.29	異常なし	異常なし	異常なし
2005年10月16日	5.1	茨城県南部	47km	7.57	13.57	0.31	異常なし	自動復旧	自動復旧
2005年8月16日	7.2	宮城沖	42km	6.68	29.7	4.53	自動復旧	自動復旧	自動復旧
2005年7月23日	6.0	千葉県北西部	73km	36.44	84.98	3.59	運休	運休	運休
2004年10月23日	6.8	新潟県中越地方	13km	5.61	27.3	7.38	自動復旧	記録無し	記録無し
2004年9月5日	7.4	東海沖沖(23時)	44km	3.67	14.9	5.71	自動復旧	記録無し	記録無し

3.長周期地震動を対象とした簡易長周期地震動推定方法

3.1 簡易長周期地震動推定方法によるエレベーターの停止方法

上述のように、これまで超高層ビルにおいて長周期地震動によるエレベーター被害や停止事例があり、事前対策が必要となる。また前報で、地震発生後から長周期地震動が到達し、超高層ビルにおいて最大応答に達するまでに、エレベーターを停止されるのに十分な時間があることを報告した。そこで、本研究では図2のフローに従い、エレベーターを停止させるための手法を提案する。

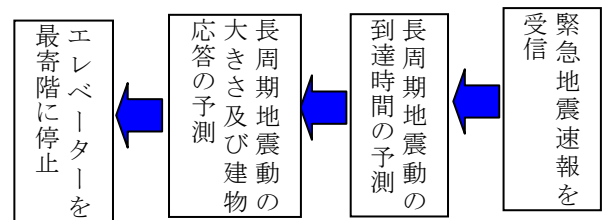


図2: 簡易長周期地震動によるエレベーターの停止フロー

このフローでは、緊急地震速報を受信後、得られる震源位置、地震規模を活用し、これまで工学院大学で観測

された長周期地震動の到達時間に関して、整理したデータを使い、到達時間を予測する。次に、平行成層を仮定したグリーン関数法⁴⁾により作成した長周期地震動用ライブラリーを活用し、到達する地震動の大きさを予測し、1質点系モデルによる応答解析による結果を利用し、エレベーターを事前に最寄り階に停止させる。

3.2 長周期地震動の到達予測時間データベース

工学院大学では、1990年からこれまで地震観測を行っており、これまで多くの地震記録が観測された。この観測記録を使い、震央距離とP波、S波、表面波の到達時間について、整理した。その結果を図3に示す。この図は1994年から2007年1月までの観測記録174個のうち82地震を整理したもので、このうち表面波が観測された観測記録は15個ある。この図から、表面波は約2.5kmで到達していることがわかる。本研究では、このデータベースを使い、震央位置と工学院大学の距離から長周期地震動の到達予測時間を求める。

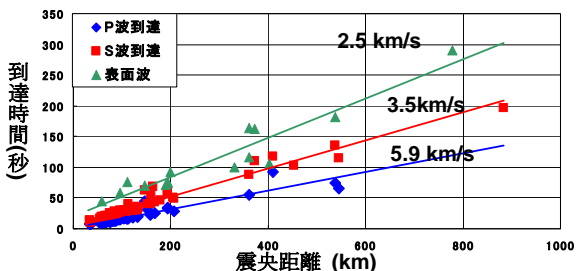


図3: 工学院大学におけるP,S,表面波の到達時間と距離

3.3 長周期地震動の簡易予測方法

本研究では、対象とする建物の固有周期が3秒程度であり、簡易的に長周期地震動を予測するため、平行成層を仮定した波数積分法によるグリーン関数法を用いて、地震動の予測を行う。本研究では2004年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。図4は工学院大学における地盤モデルを示し、GL-2.5km以深を緊急地震速報で利用している防災科学技術研究所の走時データからモデル化し、GL-2.5km以浅を山田・山中(2003)⁵⁾を参考にモデル化した。また地震動を計算する際の地震モーメントは武村(1990)⁶⁾を参考に気象庁マグニチュードから計算した。図5(a)にGL-100mにおけるNS方向の観測波形(細線)と予測波形(太線)(0.2Hz~1Hzまでをバンドパスフィルター処理)を示し、図4(b)に建物応答の観測波形と予測波形から1次固有周期3秒の1質点系の応答を求めたものを示す。図より、3次元効果による影響のため、70秒以降は堆積層の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、観測記録と予測記録はほぼ合っており、長周期地震動の即時予測に有効なことが分かった。

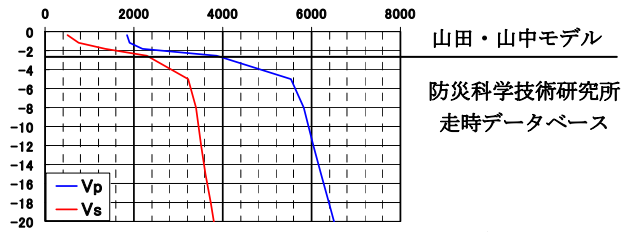
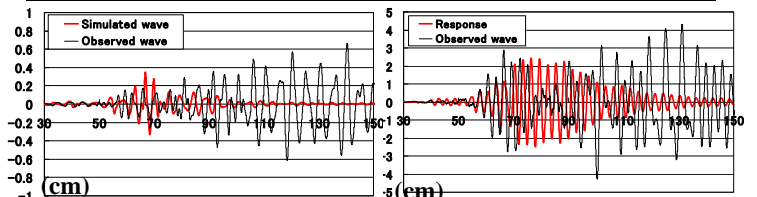


図4: 工学院大学における地盤モデル

表3: 2004年中越地震の震源モデル

Mjma	Depth(km)	Mo (dyne-cm)	Stress Drop (bar)	fmax (Hz)
6.8	13.2	4.74E+25	30	6



(a) 基礎面における変位(NS方向) (b) 最上階における応答変位(NS方向)

図5: 中越地震における観測波形と予測波形

4. まとめ

本研究では、超高層用エレベーターへの地震防災対策として、緊急地震速報を活用した簡易的長周期地震動予測法によるエレベーター制御について提案し、到達時間の予測と簡易的長周期地震動予測によるグリーン関数ライブラリー構築について、既存の観測記録を用いて、簡易的長周期地震動予測について比較検討を行った。

その結果、簡易的長周期地震動予測法により、はじめに到達する長周期地震動を予測できることを確認した。今後は、次元地震動シミュレーションによる長周期地震動も活用し、堆積層表面波による長周期地震動による建物の最大応答を評価できる経験式を作成する予定である。

謝辞

本研究は、文部科学省の学術フロンティア事業「工学院大学地震防災・環境研究センター」、および国土交通省の建設技術研究開発助成「首都圏震災時における帰宅困難者・ボランティアと地域住民・自治体との協働による減災研究」、文部科学省平成19年度・教育研究装置「長周期地震動を対象とした超高層建築のリアルタイム地震観測システム」による研究助成により行われました。本研究は防災科学技術研究所と共同研究として行われ、堀内茂木博士、山本俊六博士にご協力頂きました。データ整理について、工学院大学建築学科西村亜希さんに、エレベーターの被害情報について工学院大学施設課の皆様と防災センターの皆様にご協力頂きました。また、観測記録としてK-NET及び震源情報として気象庁及びF-NETを使用いたしました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 中央防災会議, 内閣府, (<http://www.bousai.go.jp/>)
- 2) 緊急地震速報について, 気象庁, (<http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/EEW/kaisetsu/index.html>)
- 3) 久保・久田, 首都圏にある超高層キャンパスの地震防災に関する研究(その7) 緊急地震速報とリアルタイム地震観測システムの活用, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-II, 212312, 2007
- 4) 地盤震動(現象と理論), 4.2章, 日本建築学会, 2005
- 5) 山田・山中, 関東平野における地下構造モデルの比較のための中規模地震の地震動シミュレーション, 地震 第2輯, 第56巻(2003), 111-124頁
- 6) 武村, 日本列島およびその周辺地域に起こる浅発地震のマグニチュードと地震モーメントの関係, 地震 第2輯, 第43巻(1990), 257-265頁

* ABSコンサルティング工修

**工学院大学 教授・工博

* ABS Consulting, M Eng.

** Prof., Kogakuin University, Dr. Eng