

2) 緊急地震速報システムと東日本大震災での作動事例

2) Development of Earthquake Early Warning System and Operation in The Tohoku Earthquake

恒川 裕史 Hiroshi Tsunekawa*1

芝崎 良美 Yoshimi Shibasaki*2

1 はじめに

2007年に一般への配信が始まった緊急地震速報であるが、速報で予測されるのは地表面震度である。建物の上部では揺れが増幅されるため、地表ではそれほどの揺れではなくとも高層階では大きな揺れとなることがある。建物の安全確保を考えた場合、地表面震度のみの提供では情報として不十分である。こうした観点から筆者らは、建物の応答、特に近年注目を浴びている長周期地震動による建物およびエレベータ（以下EV）の応答を考慮した緊急地震速報システムを開発導入し¹⁾、運用してきた²⁾。このシステムが東日本大震災においても有効に作動したので、その概要を報告する。

2 システムの概要^{1)~4)}

Fig.1に、システムフローを示す。気象庁からの高度利用者向けの緊急地震速報を受信すると気象庁技術基準に基づく地表面震度に加えて長周期地震動の予測を行い、それらの結果を用いて更に建物およびエレベータの応答量を予測し、これらの結果を総合的に判断してエレベータの地震時管制運転（最寄り階に停止し扉を開放）や館内放送といった安全確保処理を行う。さらに建物に設置した地震計の記録をリアルタイムに処理することで地震動の収束を判定し、長周期地震動によるEVロープの絡まりなどがなく安全であると判断した場合にのみエレベータの運転を復旧する仕組みとなっている。なお、地震時管制運転は、本システムの信号をEV側地震時管制運転装置のP波入力端子にP波センサーと並行して接続することで実現している。



Fig.1 システムフロー
System flow diagram

建物応答は、当該建物での地震観測の結果から最下階と最上階との計測震度の回帰式を算出し、気象庁技術基準に基づく地表面予測震度に基づき予測する。

長周期地震動は、緊急地震速報の震源情報に基づき、当該建物が立地する堆積層の1次固有周期付近の擬似速度応答平均値の距離減衰式により予測する。さらに長周期地震動による建物およびEVの応答は、長周期地震動予測値と建物の加速度応答計算値およびEVの変位応答計算値との回帰式を用いて予測する。

3 東日本大震災での作動事例

対象となる建物は、東京都千代田区大手町に位置する超高層ビルであり、その概要をTable 1に示す。気象庁の発表によれば、当該地域の震度は震度5強であった。Table 2に、イベントの発生時刻をまとめた。緊急地震速報の第1報を14:46:45に受信している。緊急地震速報が一般向けに発表されたのは第4報で、これを受信したのは14:46:49であった。ただし、この時点で対象となる地域は宮城県、岩手県、福島県、山形県、秋田県の東北地方であった。その後、14:47:02に第9報を受信したところ、気象庁技術基準の地表面震度は3（計測震度3.1）であったが建物の予測震度が4（計測震度3.8）、長周期地震動による応答加速度が36.04Galといずれも設定していた基準を越えたため本システムが館内放送とEV地震時管制を行っ

Table 1 建物の概要
Specification of the building

階数	地上	24
	地下	4
	塔屋	1
軒高		99m
構造種別	地上	S造
	地下	RC, SRC造
設計時固有周期	X方向	2.63秒
	Y方向	2.58秒

*1 技術研究所 主任研究員 Chief Researcher, Research & Development Institute

*2 エンジニアリング本部 Chief, Engineering Department

た。この後14:47:28に地震計が地震を検知している。一方、震度3から4として関東地方に一般向けの緊急地震速報が発表されたのは14:47:45の第12報であるが、地震計で計測した建物最上階の計測震度は1.7となっており、既に揺れ始めている。結果的に、関東地方に限れば気象庁の緊急地震速報は間に合わなかったと言える。更に14:48:05にはEVのP波センサーが稼働しているが、この時の計測震度は2.5であった。最後に15:00:55にEVの管制が解除されている。

Fig.2に塔屋で観測した速度記録と各イベントの関係を示す。地震計の地震検知のトリガーは0.02kineに設定されている。本システムのEV地震時管制動作によりEV側の地震時管制運転装置へ信号が送られてから最寄り階にかごが停止し扉が開くまでにはある程度の時間がかかるが、本システムがEV管制を開始してから地震計が地震検知するまで26秒の余裕があり、揺れ始める前にEVを停止および開扉でき、乗客が安全に避難する

時間があったことがわかる。また、本システムは、気象庁技術基準による一般向け緊急地震速報が発表される43秒前、EVのP波センサーが作動する63秒前に作動しており、システムの有効性が確認できた。更に揺れが収まることを確認して安全にEVの管制を解除していることも確認できる。

Table 2 イベント時刻と予想震度および計測震度
Predicted and measured seismic intensity

時刻	速報	イベント	予測			計測 最上階 震度
			震度		長周期 加速度	
			地表	建物		
14:46:45	第1報		0	0.4	0.013	
14:46:49	第4報	一般向け（東北）	2.6	3.4	14.05	
14:47:02	第9報	EV管制開始	3.1	3.8	36.04	
14:47:28		地震検知				
14:47:45	第12報	一般向け（関東）	3.4	4.2	74.44	1.7
14:48:05	第13報	P波センサー作動	3.6	4.3	94.8	2.5
14:48:37	最終報		3.7	4.5	120.7	3.7
15:00:55		EV管制解除				

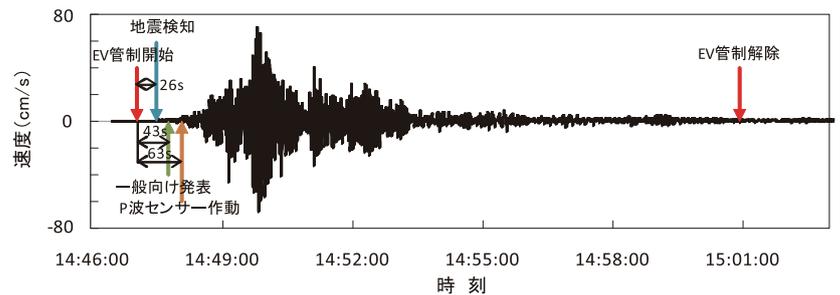


Fig.2 建物最上階の地震記録とシステムの動作時刻
Strong motion record of the top of the building and system operations

4 今後の展開

本建物に実装したシステムではEVロープなどの長尺物の応答は簡単な一質点系の線形応答解析に基づき安全側になるように予測している。しかし、こうした長尺物の応答はロープの張力やかごの移動などに伴い複雑な性状を示す。今後は不要な停止を防ぐためにも、こうしたEVロープなどの振動を精度よく推定する手法⁵⁾を研究し、より合理的なシステムの実用化を目指したい。

謝辞

開発事業本部、エンジニアリング本部、技術研究所の関係者各位にはシステムの導入、運用、地震記録などの回収にあたり多大なご協力をいただきました。記してここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 吉澤陸博, 恒川裕史, 小林喜久二: 長周期地震動予測を考慮した緊急地震速報システム, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.189-190, 2009年8月
- 2) 平野範彰, 吉澤陸博, 恒川裕史, 奥野智久, 芝崎良美, 辰巳安良: 超高層建物での緊急地震速報システムの作動事例, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.827-828, 2010年9月
- 3) 小林喜久二: 長周期地震動の距離減衰式に関する検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-2分冊, pp.371-372, 2007年8月
- 4) 吉澤陸博: 緊急地震速報を用いた防災システムのための建物内震度予測の検討, 第13回日本地震工学シンポジウム, pp.4318-4323, 2010年11月
- 5) 岡村潔, 林暁光: 移動境界を有するロープの振動性状に関する解析的研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, B-1分冊, pp.257-258, 2010年9月