

エレベーターの現状と近年の地震による運転停止と閉じ込めの事例の分析

名古屋大学工学部環境土木・建築学科建築学コース
飛田研究室 杉浦峻介

1. 背景と目的

平成 30 年 6 月 18 日午前 7 時 58 分、大阪府北部を震源とする地震 (M6.1, 34. 843°N, 35. 622°E) が発生した。この地震によって多くのエレベーターの運転停止と閉じ込めの被害が発生した。エレベーターの保守台数の分析や、地震動と運転停止及び閉じ込めの関連に着目して、今後発生する大地震の被害の詳細な予測につながる研究の基礎データの一つとなることを目的とする。

2. エレベーターの現状

2.1 地震に対するエレベーターの設備

平成 21 年 9 月の建築基準法施行令の改正により、エレベーターに戸開走行保護装置、P 波センサー、予備電源の設置が義務付けられた。P 波センサーは地震発生時に加速度を検知しエレベーターのかごを最寄り階に停止させる地震時管制運転装置のセンサーである。P 波センサーの無いものは、S 波を検知し、地震時管制運転に移行する。地震時管制運転装置の無いエレベーターも未だ多数存在する。

戸開走行保護装置とは乗場戸又はかご戸が開いている状態では昇降機能を停止させる装置である。これは、地震に対してのものではなく、平成 18 年に発生したシンドラー社製エレベーターの戸開走行による死亡事故によるものである。

2.2 保守台数及び新規設置、リニューアル台数から各仕様のエレベーター台数について

表 1 に現状のエレベーターの保守台数を示す¹⁾。乗用(荷物用、自動車用、ホームエレベーターを除いた)についての地震時管制運転の有無の台数は、総台数での保守台数と地震時管制運転の比を用いて概算した。表 2 の数値は、国土交通省によると現行基準適合(ここでは戸開走行保護装置の有無は問わない)が約 3 割、既存不適格(地震時管制運転装置無を除く)が約 4 割であるので、これをもとに概算した。表 3 に 2013 年度から 2018 年度までの新規設置及びリニューアル(完全撤去新設及び準撤去新設)台数を示す。乗用について、保守台数が約 620,000 台であり、現行基準適合のエレベーターは約 200,000 台である。年間に新規設置、リニューアルされるものが約 22,000 台であるので現状の台数では現行基準適合の増加には時間がかかると考えられる。また、地震時管制運転無しのエレベーターは、地震時に大きな加速度を検知しても運転を継続するため、故障などによって重大な被害に繋がらないように、早急に設備の変更が求められる。

表 1 現状の保守台数 (台)

総台数		乗用台数		
2018年度 保守台数	地震時管 制運転有	2018年度 保守台数	地震時管 制運転有	地震時管 制運転無
757,788	573,004	617,372	約467,000	約150,000

表 3 年度別新規設置、リニューアル台数 (台)

	2013年度	2014年度	2015年度	2016年度	2017年度	2018年度
新規設置	19,417	19,853	19,329	18,988	19,328	19,188
リニューアル	2,166	2,113	2,293	2,488	2,455	2,559
合計	21,583	21,966	21,622	21,476	21,783	21,747

表 2 地震時管制運転
有の仕様別台数 (台)

乗用 地震時管制運転有	
現行基準適合	約200,000
既存不適格	約266,000

3. エレベーターと地震

3.1 地震時のエレベーターの挙動と基準となる加速度

地震時管制運転装置の設置されているエレベーターが地震動を検知した時、図 1 のように運転を停止させる。その際の基準となる加速度は表 4²⁾ となっている。低加速度の基準のみを検知した場合、自動復旧機能があるものは保守会社による点検行わず自動で点検をし、異常がない場合運転を再開する。自動復旧機能がないものは保守会社による点検を行うまで運転を再開しない。高加速度の基準を検知した場合、運転停止又は閉じ込めが発生する。高加速度の基準は運行限界耐力評価の値である。この値を超えた場合、以後の運転に支障をきたす恐れがあるので、運転を停止し自動復旧機能が備わっていても、保守会社による点検が行われるまで運転を再開しないこととされている。着床前に高加速度を検知した場合は閉じ込めとなる。

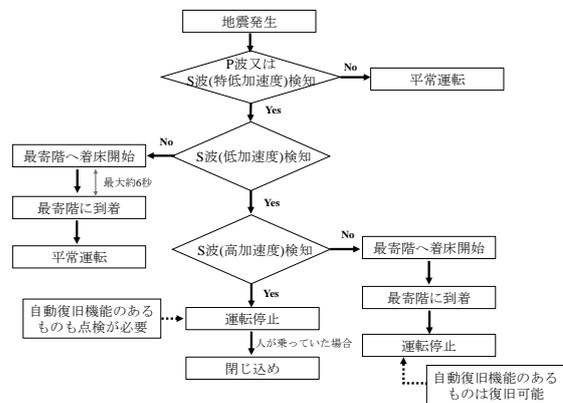


図 1 地震時管制運転のフロー図

表 4 地震時管制運転の基準となる加速度 (単位:cm/s²)

	P波	S波		
		特低	低	高
P波センサーなし	2009年以前	80(頂部設置) 30(底部設置)	150(頂部設置) 60(底部設置)	200(頂部設置) 100(底部設置)
P波センサーあり	2009年以降	2.5~10	200(頂部設置) 80(底部設置)	300(頂部設置) 120(底部設置)

3.2 大阪府北部を震源とする地震の被害と加速度波形

近畿地方を中心に 2 府 9 県で 63,338 台の運転停止と 2 府 3 県で 346 台の閉じ込めが発生した³⁾。これらの都道府県ごとの発生台数を表 5、表 6 に示す³⁾。閉じ込めの発生原因を表 7³⁾に示す。原因の多くを占めるのが乗場戸スイッチ又はかご戸スイッチの一時的な開路及び大きな加速度の検知である。前者は戸開走行保護装置の誤作動によるものとされており、後者は図 1 の S 波 (高加速度) の検知にあたる。閉じ込めが起こったエレベーターのうち現行基準適合の割合が多かったことから、この地震は内陸の地震で震源からの距離が短いことで P 波検知から S 波検知までの時間が十分に確保できなかったと考えられる。

図 2 は大阪市の地動加速度波形である。P 波検知から高加速度基準の S 波検知までの時間は 3.27 秒で、特低加速度基準の S 波検知から高加速度基準の S 波検知までの時間は

2.71 秒である。これらの差は 0.56 秒であり、P 波センサーが十分に効果を発揮しなかったといえる。震源から近い地域では、現行基準適合と既存不適格のエレベーターに加速度による閉じ込めの危険性に大きな差はないと考えられる。

図 3 は堺市の地動加速度波形である。P 波検知から高加速度基準の S 波検知までの時間は 5.30 秒で、特低加速度基準の S 波検知から高加速度基準の S 波検知までの時間は 0.24 秒である。その差は 5.06 秒であり、P 波センサーの効果が発揮されたと考えられる。

戸開走行保護装置の戸の開放を検知する機器が誤作動したため運転が停止し閉じ込めが起こっている。2009 年以降に設置されたエレベーターには戸開走行保護装置が設置されているので、現行基準適合のエレベーターで閉じ込めが発生した割合が大きいと考えられる。

地震時管制運転装置の無いエレベーターは、大きな加速度を検知しても運転を継続するので、閉じ込めが発生した割合が小さいと考えられる。

表 5 運転停止発生台数

	保守台数 (貨物、自動車、 ホーム除く)	運転停止 台数	割合
福井県	2,713	15	0.55%
岐阜県	5,809	97	1.67%
愛知県	40,843	152	0.37%
三重県	5,335	146	2.74%
滋賀県	4,876	1,388	28.47%
京都府	14,623	7,440	50.88%
大阪府	64,633	37,831	58.53%
兵庫県	31,198	13,824	44.31%
奈良県	4,800	2,434	50.71%
和歌山県	3,361	7	0.21%
香川県	3,750	4	0.11%
合計	181,941	63,338	34.81%

表 7 閉じ込め発生原因

乗場戸スイッチ又は かご戸スイッチの一時的な開路	211件
大きな加速度の検知	195件
停電	54件
調速機の過速スイッチの作動	17件
乗場戸スイッチ又は かご戸スイッチの開路 (一時的なものを除く)	12件
非常止め装置の作動	7件
その他の安全装置	2件
乗場戸の施錠装置の係外れ	1件

表 6 閉じ込め発生台数

	現行基準適合			既存不適格			地震時管制運転なし		
	発生台数	保守台数	割合	発生台数	保守台数	割合	発生台数	保守台数	割合
滋賀県	0	1,600	0.00%	1	2,100	0.05%	0	1,200	0.00%
京都府	13	4,800	0.27%	11	6,300	0.17%	0	3,500	0.00%
大阪府	121	21,300	0.57%	144	27,800	0.52%	13	15,500	0.08%
兵庫県	4	10,300	0.04%	33	13,400	0.25%	1	7,500	0.01%
奈良県	1	1,600	0.06%	4	2,100	0.19%	0	1,200	0.00%
合計	139	39,600	0.35%	193	51,700	0.37%	14	28,900	0.05%

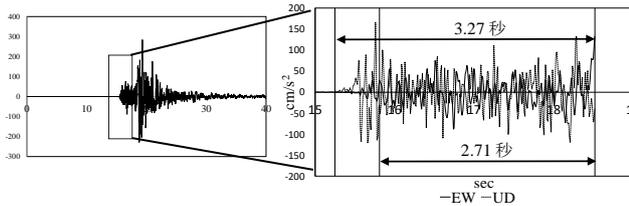


図 2 大阪市の地動加速度 東西方向

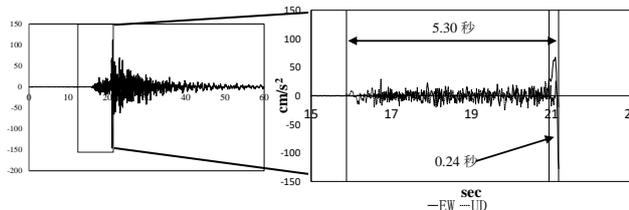


図 3 堺市の地動加速度 東西方向

3.3 千葉県北西部を震源とする地震の被害と加速度波形

平成 21 年 9 月の建築基準法施行令の改正の切っ掛けとなった地震であり、首都圏を中心に約 64,000 台の運転停止及び 78 台の閉じ込めが発生した⁴⁾。その詳細を表 8 に示す。

現在に比べエレベーターの耐震性の基準が低いことや P 波センサーが義務付けられていなかったことから多くの運転停止が発生したと考えられる。P 波センサーの設置されていない場合の水平方向の加速度 30 cm/s^2 と 100 cm/s^2 の検知時間の差について検討する。図 3 の川崎市での地動加速度波形に見られるように、P 波センサーがない場合、検知時間の差は 0.62 秒と非常に小さな値となっている。P 波センサーがある場合は、検知時間の差は 9.72 秒と最寄り階停止までの時間は十分に確保できる。このような加速度波形の場合、P 波センサーによって閉じ込め発生は軽減できると考えられる。

地震に対するエレベーター設備の対策は閉じ込め発生の防止に効果があると考えられるが、戸開走行保護装置等の安全装置など、地震以外に対する設備によって閉じ込めが発生していると考えられる。地震動との関係について今後の研究で明らかにしていきたい。

表 8 運転停止及び閉じ込め発生台数⁴⁾

	台数	割合
保守台数 (A)	227,000	
うち地震時管制運転あり (B)	144,000	B/A 63.44%
うち装置が作動し停止 (C)	64,000	C/B 44.44%
閉じ込め台数 (D)	78	D/A 0.03%
うち地震時管制運転あり (E)	73	E/B 0.05%
部品の故障・損傷等台数 (F)	44	F/A 0.02%

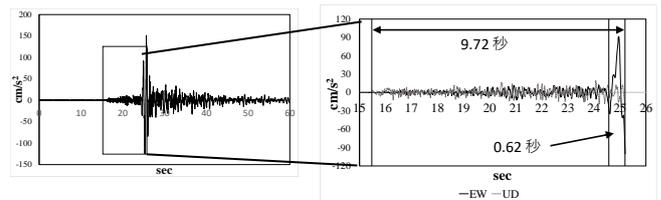


図 4 川崎市の地動加速度 東西方向

4. まとめ

年間の新規設置台数から、現行基準が改正されたとしても対応するエレベーターの増加は緩やかであり、当面は既存不適格となるエレベーターの利用が続く。大阪府北部の地震では現行基準適合の閉じ込め発生割合が大きかったが、P 波センサーの設置は一定の効果を発揮したと考えられる。今後の研究によって地盤や建物の特性を考慮した被害想定をして閉じ込めの救出やエレベーターの復旧に早急に対応できる状況を作る必要がある。現状大きな加速度の検知を除く閉じ込めの原因に関しては詳細な分析が発表されておらず、今後も同様の被害が起こると推測される。原因究明に際し、エレベーターメーカーと建設業の双方が情報を共有し地震動による影響を考慮した装置の開発が求められる。

参考文献

- 1) 一般社団法人日本エレベーター協会：2018 年度昇降機設置台数等調査結果報告 Elevator Journal No.26 2019.8
- 2) 谷口元彦：エレベーター設備の災害対策 建築設備技術者協会会誌 2010 年 10 月号 日立製作所
<https://www.hitachi.co.jp/New/news/month/2007/05/0510.html> (2020-1-23 参照)
三菱電機ビルテクノサービス
https://www.meltec.co.jp/press/1173501_966.html (2020-1-23 参照)
- 3) 国土交通省住宅局建築指導課：大阪府北部を震源とする地震に因るエレベーターの被害状況の分析と対策の実施状況について、2019 年 6 月
- 4) 社会資本整備審議会建築分科会：建築物等事故・災害対策部会：エレベーターの地震防災対策の推進について、2008 年 4 月