

I-751

エレベーターの管制運転及び故障と地震動の強さとの関係

東京大学生産技術研究所 ○正会員 加藤 康広

同上 正会員 山崎 文雄

同上 正会員 片山 恒雄

1. はじめに 地震が発生した際に故障の発生が予想されるエレベーターは、閉じ込め事故などの二次災害を未然に防ぐために、点検を受け異常の無いことを確認した上で運転することが望ましい。このため機械室に地震感知器を設置して、一定の設定値を越える加速度を感知した際には最寄り階で停止させている(地震時管制運転)。しかし感知器が動作した場合には保守員の点検を受けた後に運転を再開させるため、都市の高層化に伴いエレベーターも増加し、復旧にも時間を要するようになった。本研究は地震発生時に震源位置や地震規模などの情報から各地の管制運転の状況や故障の発生を推定し復旧活動を支援すること、また今後発生が予想される大地震に対する復旧計画の基礎資料を提供することを目的としている。今回は過去の被害データから地盤の最大加速度と管制運転や故障の状況との関係を求めた。

2. 管制運転と地盤の最大加速度 1992年2月2日に東京湾浦賀水道沖で発生した地震¹⁾の際には、ほとんど被害が無かったにも関わらず、都心部を中心に多くのエレベーターが停止した。図1には建物上部で設定値 $120(\text{cm/s}^2)$ を感知して停止した状況を示したが、都心部では80%以上のエレベーターが停止したことがわかる。このときの各都市(市、区単位)の管制運転の状況(以下、停止率)と地盤の最大加速度の関係を図2に示す。加速度は文献²⁾より、地盤上の記録を採用し、停止率 R_i と加速度 A_i との関係を $A_i < \alpha$ では $R_i = 0$ 、 $\beta \leq A_i$ では $R_i = 1$ 、 $\alpha \leq A_i < \beta$ では $R_i = 0.5 \times \cos[\pi/(\beta - \alpha) \times (A_i - \alpha)] + 0.5$ で仮定し、最小二乗法で求めた。都市毎のエレベーターの台数の違いを考慮して、各都市に台数比で重み w_i を与えた。 α と β を反復させ数値的に求めた結果 $\alpha = -16.8$ 、 $\beta = 131.6$ となった。また耐震基準が改正された1981年6月1日施行の建築基準法施行令適用以前のエレベーターには設定値 $100(\text{cm/s}^2)$ を採用しているが、同様に求めると、 $\alpha = -22.9$ 、 $\beta = 116.6$ となった。

調査対象を市や区のレベルで分類したため、地震計の観測点と対象にした建物では、同じ地盤の上にあるとは言えないため、ばらつきも大きい。建物の高さや階数、RC造やS造などの構造種別など建物の条件を考慮していない影響も含まれると思われる。このことは地盤上で $120(\text{cm/s}^2)$ を越えた地域でも、全台数が停止しないことに表われている。

3. 故障発生率と地盤の最大加速度 過去の地震での地盤上の最大加速度と故障発生率(故障台数/設置台数)との関係を停止率の推定と同様に重み付きの最小二乗法で求めた。故障とは地震動による物損や脱

レールなどとし、停電の影響など二次的な被害や管制運転による停止は除いた。考察には1983年日本海中部地震、1987年千葉県東方沖地震、1992年2月2日東京湾地震、1993年釧路沖地震、1993年能登半島沖地震と1993年北海道南西沖地震の6地震を使用した。加速度は文献²⁾よりSMAC型以外の地震計の地盤での値を中心に採用し、SMAC型の値を使用する場合には記録補正後の値を使用した³⁾。各都市の地盤上の加速度 A_i と故障発生率 R_i との関係は $0 \leq A_i < A_0$ では $R_i = 0$ 、 $A_0 \leq A_i$ では $R_i = b \times (A_i - A_0)^a$

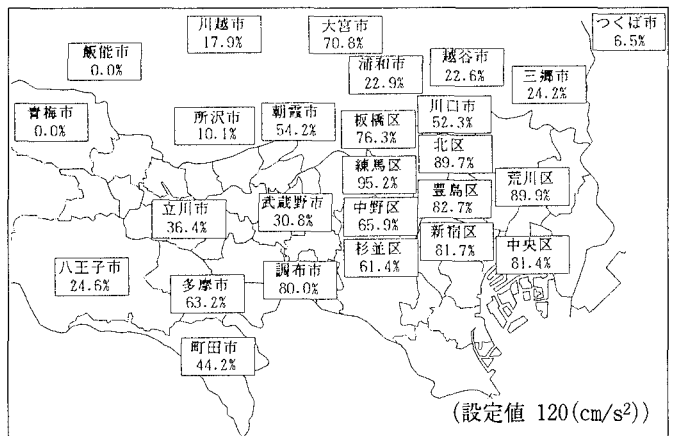


図1. 1992年2月2日東京湾地震でのエレベーターの停止

で仮定し、 a, b, A_0 の各値を反復させ数値的に解を求めた。建築基準法改正以前に設置されたエレベーターに対しては $R=3.90 \times 10^{-12} \times A^{3.8}$ となり、改正以降のものに対しては $R=1.78 \times 10^{-10} \times A^{3.2}$ となった。回帰式を比較する限り、改正の前後で大きい違いを見ることができないが、これは法改正以前より耐震対策が進められてことや、観測点での最大加速度と対象とした全ての建物での値が一致しない点などが考えられる。

既往の研究⁴⁾により建物の被害に対しては最大加速度よりも最大速度やSI値⁵⁾の方が相関が良いことが示されており、エレベーターの故障に関しても建物の被害を原因とするものに対しては、最大速度やSI値との相関が良いと考えられる。またエレベーターに対する地震動の入力は、各地震動のスペクトルによらず、設置されている建物の固有周期に対応する成分が卓越し、更に各部位の固有周期の違いによって故障の有無が生じるとも考えられる。そのため1つの指標だけで判定せずに、構造や階数など建物の諸条件、故障部位の違いなどで、異なった指標を用いることにより、より適確な被害を判断することが可能になると思われる。

また今回のように統計的に計算する他に、力学的なモデルを作成しエレベーターの各部の応答を地盤上のスペクトルから直接計算し影響を検討する方法も考えられる。例えば、地盤とカゴの伝達関数 $A(\omega)$ を求めることにより、カゴの加速度応答スペクトル $S_A^C(\omega)$ を地盤上の加速度応答スペクトル $S_A(\omega)$ より、 $S_A^C(\omega)=A(\omega) \times S_A(\omega)$ などの形で仮定することで地震動のカゴへの影響を検討し、脱レールや物損を推定することなどが考えられる。

4. おわりに 本研究では地震の情報から管制運転や故障の発生を推定を行う目的で、地盤の最大加速度と停止率や故障発生率との回帰式を検討した。地震動の観測点と対象としている建物の所在地との違いなどもあり散らばりも大きいですが、更にデータを整理し他の指標による検討も含めて精密化を図りたい。また多質点モデルなどを用いて、地震動のエレベーター各部への影響を直接検討できる方法等も今後検討していきたい。

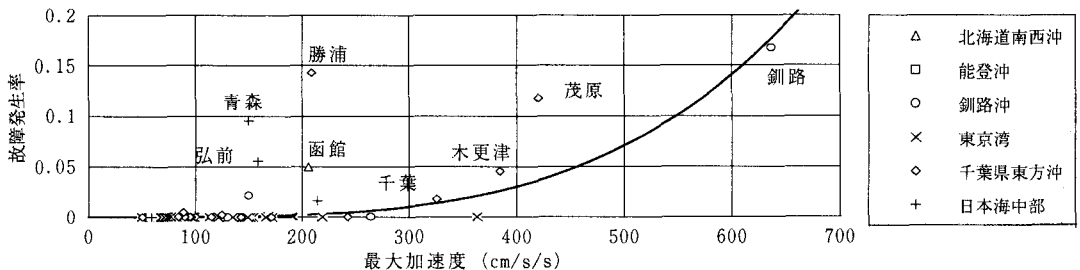
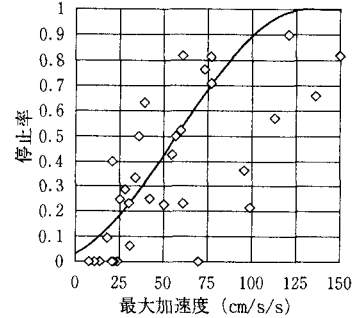
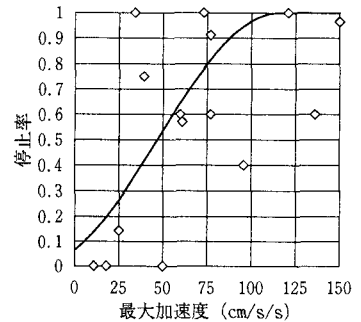


図3. 故障発生率と最大加速度（建築基準法改正以前のエレベーター）

参考文献：1) 片山, 根岸: 1992年2月2日・浦賀水道付近の地震の概要, 土木学会第47回年次学術講演会講演概要集第一部, 1992. 2) 防災科学技術研究所: 強震速報 No. 23, 37, 40, 41, 42, 43. 3) 童, 山崎, 佐々木, 松本: 被害事例に基づく地震動強さと建物被害率の関係, 第9回日本地震工学シンポジウム論文集, 1994(投稿中). 4) 安藤, 山崎, 片山: 地震動の強さ指標による構造物損傷の評価, 第8回日本地震工学シンポジウム論文集, 1990. 5) 佐藤, 片山, 大保, 川崎: 新しい制御用地震センサーの開発と試作, 第18回地震工学研究発表会講演概要, 1985.



(1) 設定値 120(cm/s²)



(2) 設定値 100(cm/s²)

図2. 停止率と最大加速度