

[特別企画]

東日本大震災における昇降機の被害状況

Report on Seismic Damages of Elevators and Escalators by the Great East Japan Earthquake

○正 宮田 毅^{*1} 藤田 聡^{*2} 下秋 元雄^{*1}

Takeshi MIYATA^{*1}

^{*1} Japan Elevator Association

5-10-2, Minami Aoyama, Minato-ku, Tokyo 107-0062, Japan

Abstract

The great earthquake and tsunami hit the Tohoku, Central and north of Japan on March 11, 2011. Also many strong aftershocks occurred in the long term until June in 2011. The earthquake including aftershocks and tsunami awfully damaged the buildings and building facilities. This paper provides a summary of the investigation, mainly carried out by the Japan Elevator Association⁽²⁾⁽³⁾, and a summary of the typical damages of elevators' and escalators' equipment and of the building walls concerned with elevators and escalators, in order to contribute to improve the earthquake-resistant design for the forthcoming earthquake.

Key Words: Earthquake Damage, Elevator, Escalator, The Great East Earthquake, Aseismic guideline

1. 諸言

2011年3月11日14時46分に発生した三陸沖を震源とする「東北地方太平洋沖地震」は、震度階7（マグニチュード9.0）を記録した巨大地震で、地震後に大津波が太平洋沿岸の広地域に亘って到達した。その後、余震が長期間にわたり、東日本地域に大きな損害を与えた。建築物とともに昇降機も大きな被害を受けたが、幸いに昇降機に関わった人身に及ぼす被害は無かった。

一般社団法人日本エレベーター協会（以下「協会」という。）では、これまで1978年の宮城県沖地震、1995年の兵庫県南部地震、2004年の新潟県中越地震、2005年の千葉県北西部を震源とする地震、すなわち昇降機が大きな被害を受けた地震について調査を行ってきた。今回も一連の余震及び津波による被害状況を協会会員に7月下旬から9月にかけて問い合わせる方法で調査し昇降機の耐震設計・施工指針の効果について分析を行った⁽¹⁾⁽³⁾。本稿ではこれらの調査結果の概要について報告する。

2. 被害調査

今回の地震では、本震及び大津波、長期間にわたる余震が発生したことから、協会会員は、発生当初から被害を受けた昇降機の復旧に注力した。この状況から協会での調査は、一連の余震がほぼ一段落した後、それまでに発生した地震及び大津波による被害を一括で調査することとした。調査対象地震は、3月11日の本震及びそれに伴う大津波、並びに3月11日から6月30日までの間に発生した震度階5強以上の地震の被害を対象とした。調査地域は、1項に記載の地震で、震度階4以上を観測した地点が存在する1都1道19県とした。更に、震度階は3であるが超高層建築物において長周期地震動の影響を受けたと推定される大阪府も調査地域に加えた。

対象昇降機は、震災発生当時に協会会員と保守契約を締結していた、小荷物専用昇降機を除いた「エレベーター及びエスカレーター」で、被害状況が確認できたものとした。立ち

入りが制限されている地域、建物、また倒壊した建物に設置されている場合は除外した。協会会員に調査票を送付して、人身事故、閉じ込め、被害の有無、準拠する耐震指針、及び地震時管制運転装置の有無を調査した。被害件数が膨大なため、個々の被害事例の詳細な調査は行わず、兵庫県南部地震での被害事例をもとに被害の項目を予め設定し、被害の有無を調査することとした。被害調査期間は7月下旬から8月末までとし、協会会員から調査票の回収によって報告を受けた。調査結果の分析のために、協会内の技術及び保守関係の委員及び事務局で構成するWGで分析を行った。

3. 昇降機の被害の概要

3-1 耐震指針別の被害件数

表1に、長周期地震動の影響を受けたと推定される大阪府を除く調査地域について昇降機の調査完了台数と被害件数、被害発生率を示す。

Table1 Number of surveyed or damaged elevators and escalators, and incidence ratios

Objects	Aseismic guideline	Elevator		Escalator	
		Number of units	Incidence ratio (B/A%)	Number of units	Incidence ratio (B/A%)
Number of investigated elevators (A)	2009	6 460	—	800	—
	1998	144 953	—	18 367	—
	1981	168 290	—	Before 1998	—
	Before 1981	48 209	—	21 800	—
	Total	367 912	—	40 967	—
Number of damages (B)	2009	73	1.13	16	2.00
	1998	3 388	2.34	1 031	5.61
	1981	3 975	2.36	Before 1998	2.53
	Before 1981	1 485	3.08	551	—
	Total	8 921	2.42	1 598	3.90

^{*1} 正員、一般社団法人日本エレベーター協会（〒107-0062 東京都港区南青山5丁目10番2号）

^{*2} 正員、東京電機大学（〒102-8551 東京都足立区千住旭町5番）

E-mail: miyata.elekyo@silka.ocn.ne.jp

3-2 エレベーターの部位別の被害

表2に、エレベーターの部位別の被害件数を示す。被害例を大別すると、①水平地震力による固定部の破壊又は機器の変形、②建築物の揺れにより主索、ケーブル類が加振されて生じる引っ掛かり、③建築物自体の被害による二次的被害に分類される。①項目としては機械室での駆動装置、制御盤などの移動転倒やガイドレールの曲がり、②の項目としては主索、調速機ロープが昇降路内機器に引っ掛かり機器を破損、③としては乗場入口周りの壁の破損、昇降路内壁の落下によるエレベーター機器の被害などがある。特に今回は、津波による二次災害も発生していることが特徴である。今回の地震では、全体で8921件の被害報告があり、主索・ケーブル類の引っ掛かり、脱レール、レール等の変形が4160件と多く発生している。重要な被害としては、釣合おもりブロックの脱落が49件発生している。

Table2 Damages of components in elevators

Item of Damages	No. of Damages
1 主索、ケーブル類の引っ掛かり	2 125
2 冠水、浸水被害	1 134
3 脱レール	1 123
4 レール、ブラケット、ガイドシユールの変形	917
5 かご機器の破損	892
6 乗場装置の破損	646
7 昇降路内機器の損傷	432
8 建物損壊による被害	415
9 機械室機器の破損	326
10 主索等のロープの外れ	157
11 油圧機器の破損	131
12 釣合おもりブロックの脱落	49
13 その他	574
Total	8 921

3-3 エスカレーターの部位別の被害

表3に、エスカレーターの部位別の被害件数を示す。今回の地震被害の特徴として冠水被害が多く報告されている。地震力そのものによる被害としては、層間変位によるトラスの移動、変形や乗降板の破損等が多く発生しており、それらに続いて欄干の破損や外装板の破損が生じている。また、重要な被害としては、エスカレーター本体の落下が4件発生している。

Table3 Damages of components in escalators

Item of Damages	No. of Damages
1 冠水	320
2 位置ずれ	255
3 乗降板の破損	175
4 トラスの変形	162
5 欄干(ガラス等)の破損、脱落、位置ずれ	143
6 その他外部要因による損傷	120
7 外装板、外装照明の外れ、脱落	60
8 ステップの破損	41
9 利用者用安全対策品(三角部ガード等)の脱落	37
10 デッキボード、スカートガードの曲がり、破損	20
11 チェーン類の切断、落下	5
12 本体の落下	4
13 移動手摺用レールの曲がり、破損	4

14 制御盤の移動	3
15 欄干照明の落下	1
16 その他	248
Total	1 598

4. 耐震指針について

これまでに制定・改定されてきた耐震指針は、①昇降機防災対策標準(以下「81耐震以前」という。)、②エレベーター耐震設計・施工指針1981年版(以下「81耐震」という。)、③昇降機耐震設計・施工指針1998年版(以下「98耐震」という。)、④昇降機耐震設計・施工指針2009年版(以下「09耐震」という。))の4つがある。昇降機の地震被害低減のためには、それぞれの昇降機が準拠している耐震指針と被害実態を比較することにより、改定されてきた耐震指針の効果について把握することが重要なポイントとなる。表4に、09耐震でのエレベーターに関する、耐震目標及び耐震性能の確保方法について示す。09耐震で定めている耐震性能目標の内容と被害状況を比較して評価することが効果把握の一つの方法となる。建物基礎部での加速度と震度階とを関連づけることは困難であるが、09耐震で稀に発生する地震を震度階5弱から5強程度、極めて稀に発生する地震は震度階6弱から6強程度と想定し、これをもとに耐震指針の効果把握を行った。

Table4 Aseismic performance target

対象機器	構成機器	耐震性能の目標	
		稀に発生する地震 (建築物基礎部での加速度基準値: 約100gal)	極めて稀に発生する地震 (建築物基礎部での加速度基準値: 約400gal)
昇降案内機器	レール	地震後も支障なく運行できるものとする。 (閉じ込め回避)	機器に損傷は生じて、かごが懸垂支持されているものとする。(人命安全の確保)
	レールブラケット	かご・釣合おもりの脱レール防止	(運行機能を保証しない)
	ガイドシユール	ロープ類の長尺物の引っ掛かり防止	(運行機能を保証しない)
	主索、調速機ロープなど		
かご懸垂機器	制御盤	運行機能維持	転倒・移動しないこと
	巻上機	運行機能維持	
	そらせ車	運行機能維持	
	主索、調速機ロープ	運行機能維持	ロープが綱車から外れないこと
	釣合おもり枠		おもりブロックの脱落防止

5. 被害状況及び分析

5-1 都道府県別被害状況

図1に、都道府県別のエレベーターの被害件数及び被害件数を調査完了台数との比率で示したグラフを示す。被害件数では、設置台数の多い東京都の2640件が最も多く、宮城県の被害が2433件とそれに続いているが、被害発生比率では、宮城県の26.8%が群を抜いている。被害率の差はあるが、広範囲に被害が発生したことが判る。

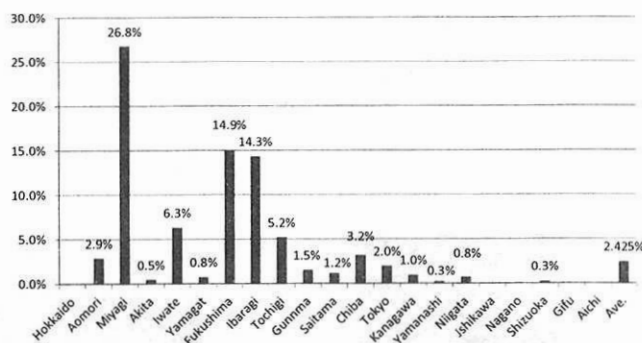


Fig1. Incidence ratios by prefecture

図2に、調査対象都道府県を調査期間内に発生した地震の最大震度階別にグループ化した場合の震度階別の被害発生比率を示す。包括的にみた場合エレベーターの耐震性能が震度階6前後にあることが分かる。

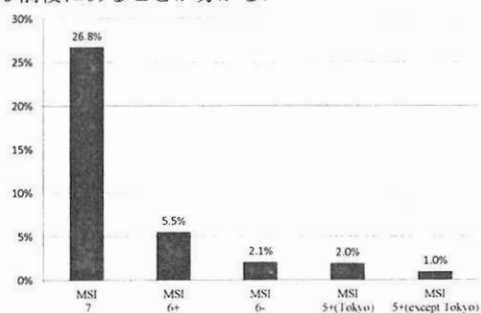


Fig2. Incidence ratios of elevator damages by seismic intensity

5-2 耐震指針別被害状況

図3に、耐震指針別被害発生比率を示す。平均的な被害発生率は約2%であるが、81耐震以前から最新の基準になるに従い、被害比率が低減することが判る。

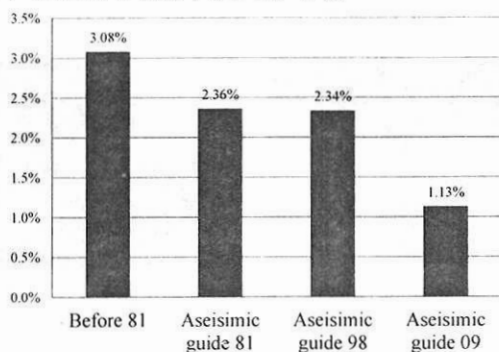


Fig3. Incidence ratios of lift damages by aseismic guideline

5-3 部位別被害状況

かご懸垂機器、長尺物、昇降案内機器等、建築物自体の被害によるエレベーターの二次的被害及びエレベーターが設置されている昇降路で発生した被害、並びにエスカレーターの被害について述べる。

5-3-1 かご懸垂機器

09耐震は、地震時の人命安全に影響のある被害事象として、巻上機、制御盤の転倒・移動・破損、主索の外れ、釣合おもりブロックの脱落に注視して改定が進められた。この中で、

巻上機及び制御盤の転倒・移動・破損に関する最大震度階別、耐震指針別の被害比率を図4、5に示す。

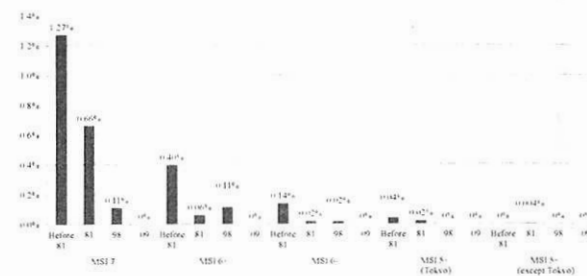


Fig4. Incidence ratios of traction machine damages

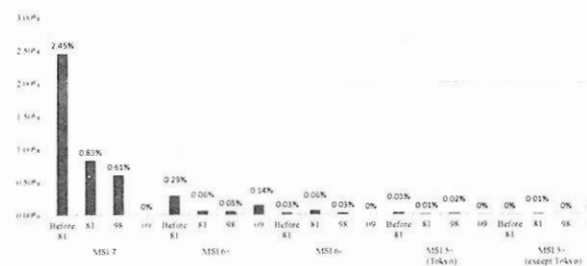


Fig5. Incidence ratios of control panel damages

5-3-2 長尺物

09耐震では、エレベーターの運行機能の維持に支障のある被害事象として、調速機ロープ、主索、移動ケーブル、釣合ロープ等の引っ掛かりをあげている。これら長尺物の引っ掛かりに関する最大震度階別、耐震指針別の被害比率を図6に示す。

震度階7での被害が震度階6強以下に比べて発生比率が高くなる。しかしながら、震度階6強以下では震度階に応じて低減することはなく5強まではほぼ同等の被害発生率となっている。この理由はロープ類の振れ量が建築物の変位量及び加振周波数と関係を持つため、必ずしも震度階と直接の関係が無いことが考えられる。

また、震度階3を記録した大阪府では58件の被害があったが、そのうち47件は長尺物の被害である。

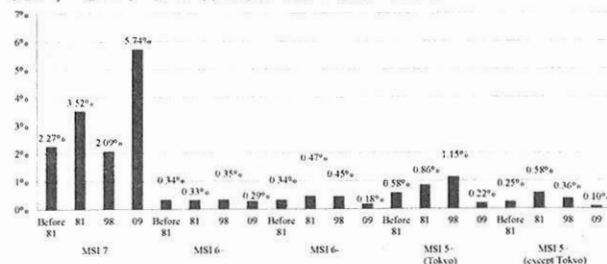


Fig6. Incidence ratios of entanglement of wire ropes or long cables

5-3-3 昇降案内機器の被害（脱レール）

図7に、かご及び釣合おもりの脱レールと最大震度階別・指針別の状況を示す。他の被害と同様に震度階6強以上と6弱未満で被害の発生率の差が大きい。

6強以上では、耐震指針の改定毎に発生比率が約半減しており、本被害事象に対しては耐震指針の改定の効果が大きいと判断できる。

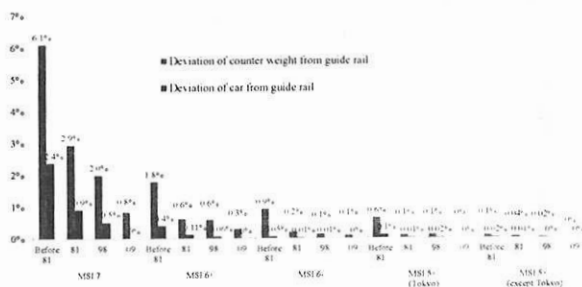


Fig7. Incidence ratios of deviation of counter weight and car

5-3-4 ガイドレールなどの変形

図8に、釣合おもり側レール、レールブラケット、ガイドシューなどの変形と最大震度階別・指針別の状況を示す。いずれも震度階6強以上での被害が多いが特徴的なことはガイドレールの変形は耐震指針の改定により発生比率が減少するが、ガイドシューの変形は逆に増大する傾向が見られる。これはレールの強度向上にともないレールと釣合おもりとの接点であるガイドシューの強度に弱点が現れたものと考えられる。

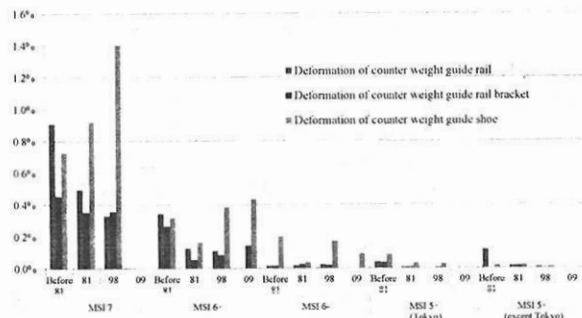


Fig8. Incidence ratios of deformation of counter weight guiderail, rail bracket and guide shoe

5-3-5 釣合おもりブロックの脱落・落下

釣合おもりブロックの脱落・落下は、全体で49件発生している。震度階6強以上での発生比率が80%を占めるが、件数は少ないながら6弱以下でも発生している。図9に、全地域の耐震指針別の被害比率を示す。震度階7では耐震指針別の低減傾向が顕著である。釣合おもりブロックの脱落・落下防止対策は98耐震から導入されている。釣合おもり枠の開き止め構造を強化した09耐震での被害事例は報告されていない。

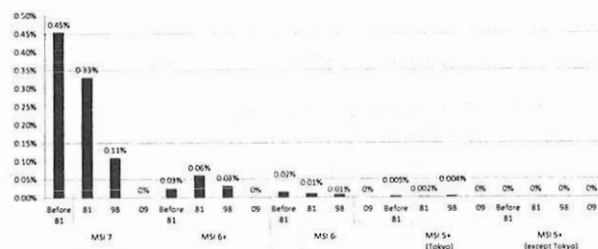


Fig9. Incidence ratios of counter weight block dropping down.

5-3-6 乗場等の被害

エレベーターの乗場は、利用者がエレベーターに乗降する際に利用する。今回の大震災でも、乗場の乗降口の周囲の壁に損傷が見られた。乗場周囲の壁の損傷事例を図10、図11に示す。建物躯体の壁が変形して、壁の仕上げ部分が割れて躯体部分から剥離脱落している。壁の損傷は、乗場の左右の壁、上部の壁で発生しており、乗場の扉の周りにある三方枠の変形、扉の変形などの被害が発生している。

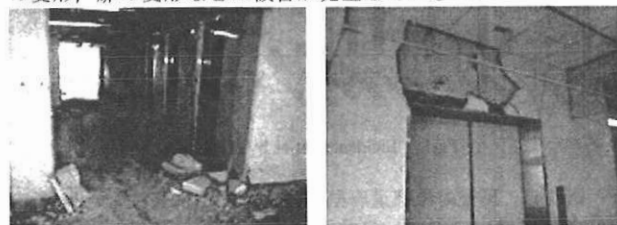


Fig.10 Damage of entrance hall Fig.11 Damage of entrance hall wall

乗場装置の破損の被害発生率は、被害件数8921件に対して645件であるので、7.2%である。

また、冠水、浸水の被害では、地震に伴って発生した津波によって1階部分の乗場の扉、三方枠が押しつぶされた事例、建築物の最上部に設置された高置水槽、建築物内に敷設された水道管等が破損したことによって乗場から昇降路の中に水が流れ込み、乗場及び昇降路内のスイッチ類に損傷を与えた事例も発生した。

壁の破損等の被害事例は、エレベーターの設計だけでは防止ができないため、建築物の設計と連携して検討する必要がある。

5-3-7 昇降路壁等

地震動によって建築物が大きく変形して昇降路の内壁に亀裂等が発生し、その内壁が部分的に破損すると、破損片が昇降路の中に落下する。今回の大震災では、昇降路の内壁が破損した事例があった。昇降路の内壁の破損事例を図12に、破損片によるエレベーターのかご上機器の破損事例を図13に示す。

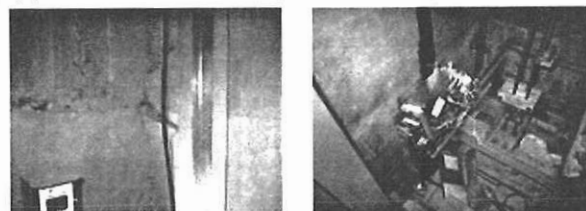


Fig.12 Damage of hoist way wall Fig.13 Damage by chips of hoist way wall

エレベーターの停止位置が昇降路の内壁の損傷部より下側であったため、損傷部の破片はエレベーターのかごの上に落ち、かごの上に配置している制御機器、スイッチ類を破損した。また、天井部分に落下した破片が鋭利で大きい場合は、天井を貫通することが考えられる。そのほか、昇降路の内壁の破片は、昇降路に配置した機器、昇降路の最下部のピットに配置した機器などを破損した。

これらの被害事例も、乗場の事例と同様に、エレベーターの設計だけでは防止ができないため、建築物の設計と連携して検討する必要がある。

5-3-8 機械室

エレベーターの機械室の中において、エレベーター機器の上に落下の可能性がある建築部材は、天井、建築柱、梁及びその仕上げ材である。また、電気設備としては、照明設備、空調設備、換気設備及び通気ダクトなどである。今回の大震災で見られた機械室内の建築部材の事例を図14に、換気設備の通気ダクトの事例を図15に示す。

これらの被害事例も、乗場等の事例と同様に、エレベーターの設計だけでは防止ができないため、建築物の設計及び電気設備の設計と連携して検討する必要がある。



Fig.14 Damage of a part of beam Fig.15 Damage of ventilation duct

5-3-9 エスカレーター

エスカレーターの本体の落下は、1995年の兵庫県南部地震において、震度階7であった兵庫県神戸市の1現場1台発生した(1)。今回の大震災では、エスカレーターにおいて本体の落下が宮城県仙台市の、本震で震度階およそ6弱、6強であった2現場で3台、福島県郡山市の、震度階およそ6弱であった1現場で1台発生した。

いずれもの現場も3階部分の屋上が駐車場で、2階と3階との間を結ぶエスカレーター本体が1階と2階とを結ぶエスカレーターの上に落下した。落下の原因となった地震動が本震であったのか余震であったのかは、明らかに本震以降の余震で落ちた1台を除いて確定していない。一般にエスカレーターは多くが利用しているので、人身事故には至らなかったことは幸いであった。

エスカレーターを建築物に設置する場合、エスカレーターの下端は柱と梁によって直方体の空間を構成する下の建築梁に、エスカレーターの上端は直方体の対角の位置にある建築梁に掛けられている。支持は、エスカレーター的一端を固定支持とし、他端をすべり支持として地震による梁間の層間変形量をすべり支持で吸収する構造である。それぞれの階間で想定される層間変形量に対して、エスカレーターの建築物へのかかり代を十分に確保することが必要となる。

今後想定される巨大地震においてエスカレーターの本体の落下させないために、2011年度後半から年度末まで及び2012年度前半において、一般的な建築物の層間変形角の想定値、その想定値を考慮したエスカレーターのかかり代の検討、並びに新規及び既設のエスカレーターに対する具体的な落下防止対策の検討を進めている。

落下防止対策の事例の一例を図16に示す。

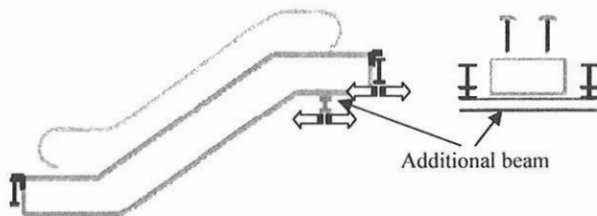


Fig.16 One of the examples of countermeasure by additional beam

5-4 閉じ込め発生状況

エレベーターが何らかの原因で乗場又は乗場以外の位置に

停止して、エレベーターのかごの中から出られなくなることを閉じ込めという。地震発生時における閉じ込めの主な原因として、エレベーターの機器が原因のものは次の①から④がある。①釣合おもりのガイドレールから外れ、②昇降路内に設けた安全スイッチ類の作動又は破損、③かごを懸垂しているロープ又は制御信号伝達用ケーブル等の引っ掛かりによる、エレベーターの物理的な停止、又は機器の破損。エレベーターにとっての二次被害としては、④昇降路の内壁等の落下による機器破損、エレベーターが動いているときにかごの扉を乗客が無理に開けた、また管理者の操作不備などがある。さらに⑤停電等による駆動源の喪失がある。

今回の大地震により東京都内で発生した、上述の①から④までが原因である閉じ込めの主な要因を分析した結果を表5に示す。ロープ等の振れ回りによる引っ掛かり、釣合おもりのガイドレールからの外れが多い。

Table5 Cause of the trap

Cause of the Trap	No. of damages	Incidence ratio
1 長尺物の引っ掛かり・外れ	27	42 %
(1) 調速機ロープの昇降路内機器などへの引っ掛かり	18	
(2) 調速機ロープの滑車からの外れ	4	
(3) 主索の昇降路内機器などへの引っ掛かり	2	
(4) 主索の滑車からの外れ	1	
(5) 釣合ロープの振れでのスイッチ オフ	2	
2 釣合おもり脱レール	14	22 %
3 二次被害(昇降路壁の落下による損害等)、外的要因(利用者、管理者の取り扱い不備等)	7	11 %
4 かご、乗場ドアのスイッチ類	7	10 %
(1) かごドアのスイッチ オフ	3	
(2) かごが乗場ドアスイッチに接触	4	
5 かごと昇降路機器との接触	4	6 %
6 その他 (異常検知、おもり側非常止め動作、ボルト破損)	4	6 %
7 調速機のスイッチ オフ	2	3 %
Total	65	100 %

5-4-1 地震時管制運転装置

地震時により早く地震動を感知することは、早期の避難、被害の軽減に有効である。エレベーターの地震時管制運転装置には初期微動(P波)を感知するP波感知器と本震(S波)を感知するS波感知器との2種類を用いている。この装置は、P波を感知するとエレベーターを最寄り階に停止させ、乗客をS波到達前に降ろすことを想定して制御している。

既設のエレベーターにおける、S波感知器のみ、又はP波S及び波の両方の感知器を用いた地震時管制運転装置の普及率は、総保守台数のうちの約60%である⁽⁴⁾。また、既設のエレベーターについて、2011年11月時点の東京都における定期検査報告から調査では、地震時管制運転装置の普及率は約80%、P波及びS波感知器の両方を備えた地震時管制運転装置の普及率は約35%であった。

2009年9月の建築基準法施行令の改正で、P波感知型地震時管制運転装置の設置、さらに地震時に停電が発生した場合に備えて予備電源の設置も新設のエレベーターに義務付け

られた。既設のエレベーターにはこの法令改正は適用されないが、今後既設のエレベーターに地震時管制運転装置の普及促進を図ることは必要である。

6. 建物管理上の留意点

地震被害の発生状況と耐震指針との関係は上述の通りであるが、地震被害の低減にむけて可能な限り新しい耐震指針に準拠した耐震改修を計画的に行うことが重要である。さらに日常の管理として、地震時の利用禁止のPR、安全が確認されるまでの休止措置、エレベーター内の閉じ込め者の有無確認と保守会社・消防署など緊急時連絡先の確認、利用再開時の異常の有無確認などに留意する必要がある。

7. まとめ

(1) 耐震指針については、地震被害をもとに制定、改定を継続してきた。これらの耐震指針強化の方向性に大きな誤りはなかったと判断できる。

(2) 2009年8月に発行された09耐震の効果は改定後に設置された台数が少なく、十分な評価を行うには更なる調査が必要である。

(3) エレベーターの釣合おもりブロックの落下防止に向け09耐震に示した対策の適用に更なる注力が必要である。

(4) エスカレーターの耐震設計は、新設及び既設のエスカレーターに対し、一般的な建築物の層間変形角の想定値を考慮したエスカレーターのかかり代及び確実な落下防止対策の実施が必要である。

(5) 機械室、昇降路、乗場の壁等は、建築物との設計との連携が現在以上に必要である。

8. 結語

本稿では大震災に直面したエレベーター、エスカレーターの直接的被害の発生状況と準拠耐震指針との関係、及び二次的被害事例を紹介した。エレベーター、エスカレーターの耐震設計を向上するには、エレベーター、エスカレーターそのものが準拠する耐震設計基準を最新とすることに加えて、昇降路の内壁など建築物の設計と連携して、総合的な耐震設計の向上を継続的に進めてゆくことが必要である。

9. 参考文献

- (1) 財団法人日本建築設備・昇降機センター、社団法人日本エレベーター協会、“13.1 地震被害事例”，昇降機技術基準の解説2009年版 分冊 昇降機耐震設計・施工指針2009年版，pp. 188-192.
- (2) 宮田 毅，特別講演Ⅰ“東北地方太平洋沖地震などによるエレベーターの被害概要”，一般社団法人日本機械学会，-No. 11-94 (2012)，pp. 1-4.
- (3) 社団法人日本エレベーター協会，“東北地方太平洋沖地震などの昇降機被害調査報告”，エレベーター界，Vol. 47, No. 185 (2012)，pp. 4-8.
- (4) 社団法人日本エレベーター協会，“2010年度昇降機台数調査報告”，エレベーター界，Vol. 46, No. 184 (2011)，pp. 3-9.