

第5章 昇降機の耐震設計の現状と課題

5-1. 検討方針

昇降機の耐震設計は、一般の設備機器同様に、経験した地震規模、経験した地震被害、および、昇降機の社会インフラ設備としての機能維持のあり方からの経験工学のもとに構築され、昇降機耐震設計・施工指針 2009 年版（以降 09 耐震指針と呼ぶ）に示されている。

一方、ここでの検討が対象としている地震規模は、現昇降機耐震設計の視点からすると想定外の地震規模であり、また、昇降機機器に与える地震入力特性を吟味する上では、建物の揺れ性状分析がまだ想定域にある。

そこで、今後の想定規模の地震に対する詳細部位などの建物応答の更なる調査研究が待たれるが、この研究に反映するために、過去のエレベーターの被害経験をベースに、本検討で対象とすると考えられる地震規模での耐震設計課題について考察する。

5-2. 長周期地震動に対する昇降機の地震対策の現状

2009 年 8 月に 09 耐震指針が国土交通省住宅局建築指導課監修のもと、(財)日本建築設備・昇降機センター/(社)日本エレベーター協会より発行された。その中では、加速度が小さい長周期地震動における長尺物振れ等の対応策が盛り込まれている。

09 耐震指針の性能目標と長周期地震動対策について以下に示す。

5-2-1. 09 耐震指針の性能目標

09 耐震指針における耐震性能の目標は以下としている。

- (1) エレベーターは、稀に発生する地震動に対して、地震後も支障なく運行できるものとする。
極めて稀に発生する地震動に対しては、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。
- (2) エスカレーターは、極めて稀に発生する地震動に対して、機器に損傷が生じて建築梁などの支持材から外れて落下しないものとする。

具体的な構造性能規定にかかわる耐震設計対象機器を

- a) エレベーターの運行に関わる昇降案内機器
- b) 乗客の人命安全に関わる機器で、
 - ・エレベーターは、かごを懸垂し支持する“かご懸垂機器”
 - ・エスカレーターは、“トラス本体機器”

に分類し、それぞれの機器の耐震性能と性能確保方法を表 5.1 に示す。

また、耐震設計に関連するエレベーターの機器配置図を図 5.1 に、エスカレーターのトラス本体機器の配置図を図 5.2 に示す。

表 5.1—耐震設計対象機器区分とその耐震性能と性能確保方法

耐震設計 機器区分	構成機器	耐震性能(性能確保方法)	
		稀に発生する地震	極めて稀に発生する地震
		運行限界耐力の確保 (弾性設計)	安全限界耐力の確保 (構造特性係数導入設計地震力)
エレベーター 昇降案内機器	① レール	かご・釣合おもりの脱レール防止 (強度とたわみ) (ガイド部かかり代に裕度)	(機能を保証しない)
	② レール支持部材		
	③ ガイド装置	ロープ類の長尺物の引っ掛かり 防止(突出物保護措置)	(機能を保証しない)
	④ 主索、調速機ロープ、 その他ロープ類 (仕様規定)		
エレベーター かご懸垂機器	⑤ 制御盤	機能維持	転倒・移動しないこと (支持部の耐力確保)
	⑥ 巻上機		
	⑦ そらせ車		
	⑧ 機械室なし レール・同支持部材	機能維持	かごが懸垂支持できること (レールの耐力確保：注1))
	⑨ 主索 調速機ロープ	機能維持	ロープが綱車から外れないこと (ロープ外れ防止措置)
	⑩ 釣合 おもり枠		おもりブロックの脱落防止 (脱落防止措置)
エスカレーター トラス本体機器	① 固定支持部	右に同じ	移動しないこと (支持部の耐力確保)
	② 非固定支持部 (すべり支承部)		落下しないこと (層間変形角 1/100) (層間変位対応のかかり代確保))

注1) 機械室なしエレベーターでは、運行限界耐力が確保されていれば、安全限界耐力も有している。
 注2) 機械室なしエレベーターにおいても、レールでかごを懸垂支持しない構造のものは昇降案内機器として扱う。
 注3) かご枠およびエスカレーター本体は通常使用時における懸垂耐力評価において強度が確保されているため地震動における強度評価はできている。

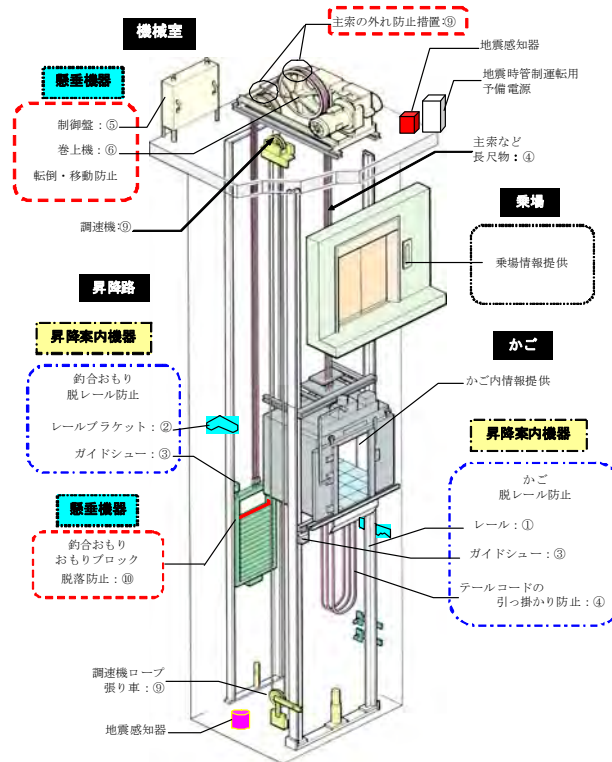


図 5.1 エレベーターの耐震設計機器配置例
(機器 No は表 5.1 の構成機器番号を示す)

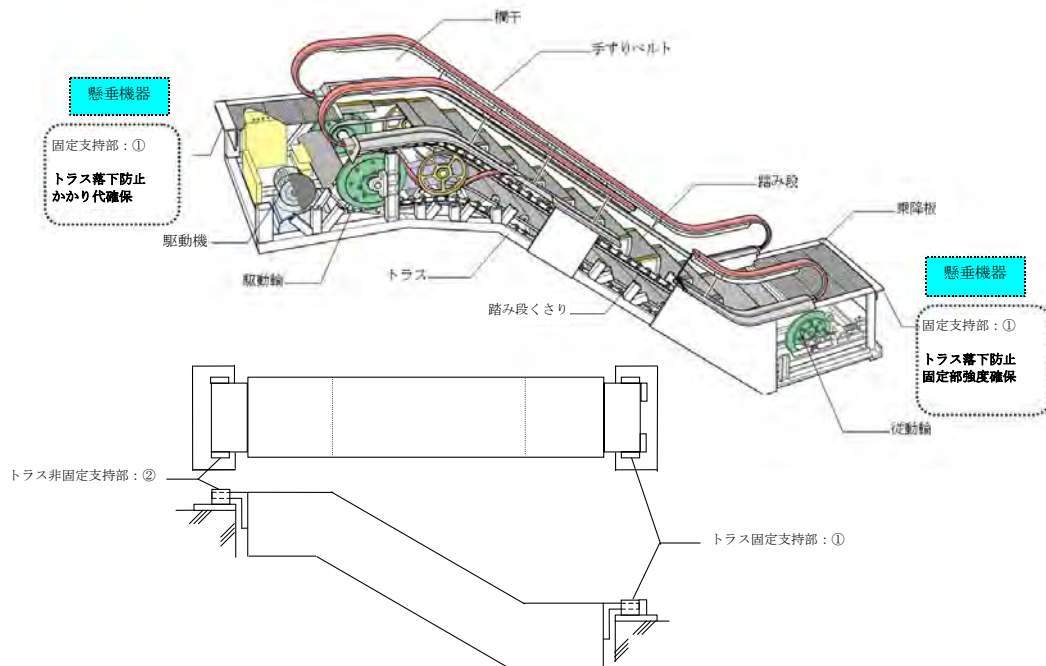


図 5.2 エスカレーターのトラス本体機器の配置例

- ・耐震性能に関連する機器 No は表 5.1 の構成機器番号を示す。
- ・固定支持部と非固定支持部の配置には、上下逆の場合もある。

5-2-2.09 耐震指針における長周期地震動対策

高層建物における、ロープ等の長尺物は、長周期地震動によって、固有周期が一致し共振し、長尺物が大きく振れまわる場合がある。

09 耐震指針では、長周期地震動対策の(社)日本エレベーター協会標準(JEAS)の「綱車のロープ溝外れ防止設計標準(JEAS-710)」及び「エレベーターの昇降路内機器突起物に対する保護措置設置標準(JEAS-711)」を一部強化し、盛り込まれている。

また、2009年9月28日施行の新法(建築基準法施行令及び国土交通省告示)により、主索の溝はずれ防止及び長尺物引掛り防止の基準が一部法令化されている。

長周期地震動などにより、ロープが共振し昇降路内を振れ廻ることによるロープ溝外れ防止、引っ掛かり防止構造となっている。

本概要を図 5.3、図 5.4 に示す。

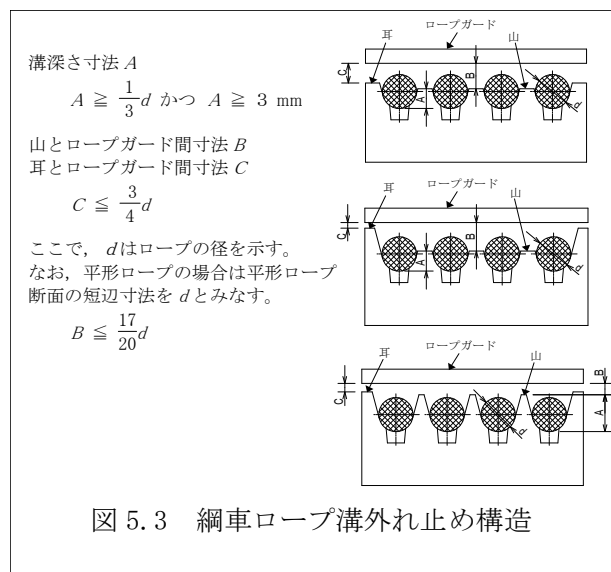


図 5.3 綱車ロープ溝外れ止め構造

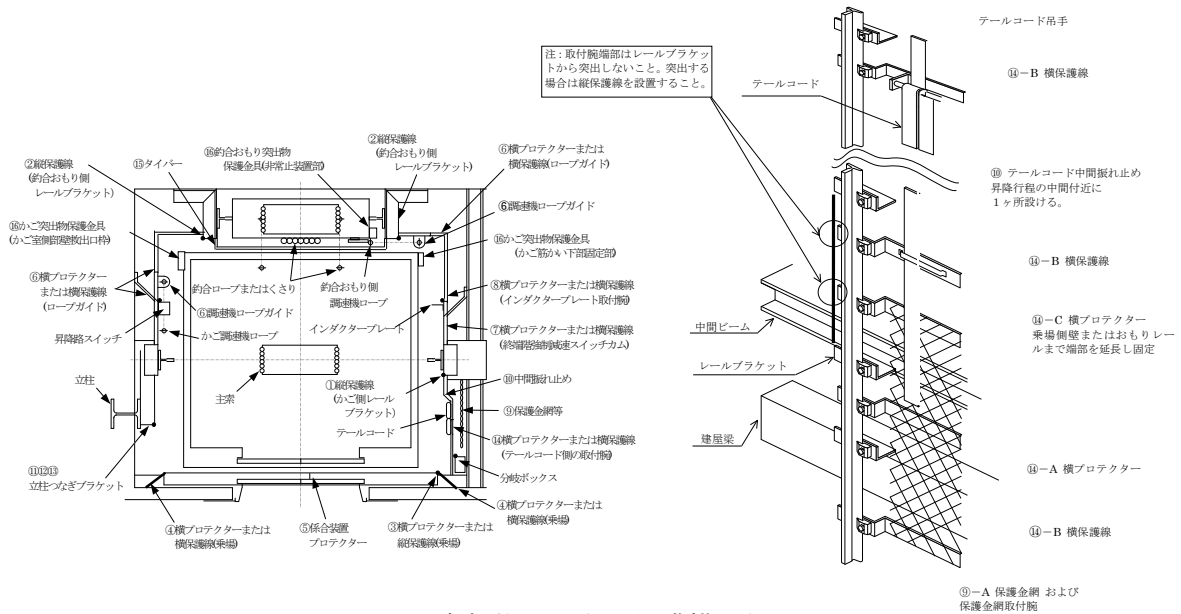


図 5.4 突起物に対する保護措置例

さらに、長周期地震動によりロープなどの長尺物の振れが大きくなると予測できる場合には、速やかに最寄階に停止し、乗客の閉じ込めや二次被害を抑制するため、長尺物振れ管制運転を高さ 120 m 超えの建築物に設置されるエレベーターを対象に導入することとしている。

長尺物振れ感知器を設け、S波感知器と同様の管制運転を行う。

<適用対象>

- ・建物高さ (H) 120m 超え
- ・昇降路頂部の高さ (h) 60m 超え
- ・昇降路全高 (L) 60m 超え

長尺物振れ感知器の代表的な事例として、以下があげられる。

- a) 建築物の揺れと継続時間を計測することにより主索などの振れ量を計算によって予測する振れ量予測方式
 - b) 建築物の揺れから長尺物振れを模擬する振れ予測方式(振れ応答計算方式、振り子の振れ量から判定するペンデュラム方式)
 - c) 建築物の揺れの速度と変位の積から算定する波動エネルギー係数値、地動や建築物の揺れの周波数成分周波数の分布と大きさなどから長尺物の振れの程度を想定する判定方式
- 長尺物振れ感知器の設定は、表 5.2 による。また、管制運転フロー例を図 5.5 に示す。

表 5.2 長尺物振れ感知器の設定

感知レベル	[振れ低]	[振れ高]
長尺物の振れ量	振れ高の 50～70%程度の振れ状態	長尺物が昇降路機器と強く接触し昇降路機器が変形する可能性のある振れ状態
検出時の動作	最寄階停止とする。停止後、一定時間経過した後、平常運転に復帰。	最寄階停止とする。保守員の点検後、もしくは、自動診断仮復旧運転の後、平常運転に復帰。

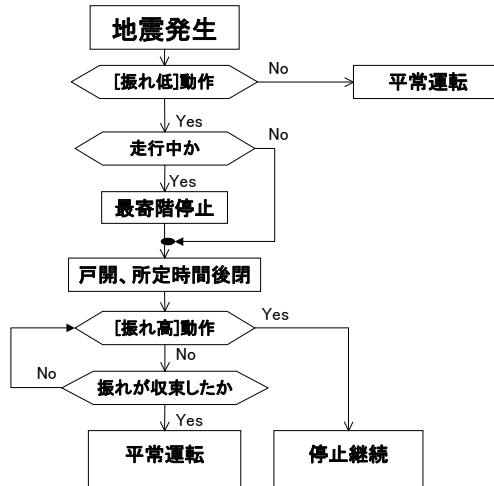


図 5.5 長尺物振れ管制運転フロー例

以上の構造により、長周期地震動による長尺物振れの対策を行っている。

5-3. 昇降機への影響

5-3-1. 起こりうる事象・懸念事項

本長周期地震動による建物の応答解析結果より、従来想定されている建物層間変形角 1/100 を大きく上回るものがある。これらの結果から想定される昇降機への影響について、人命安全上問題と考えられる起こりうる事象・懸念事項を検討した。

<懸念事項>

- ・エレベーター出入口取付け部分の非構造壁の破損、変形による戸開不能（閉じ込め）や戸本体の敷居外れ。
- ・エレベーター昇降路壁の脱落によるエレベーターかごの変形、救出運転不能。
- ・保守作業時や復旧作業時に発生する地震や余震での、昇降路壁の脱落による作業員の負傷。
- ・機械室なしエレベーターのガイドレールを固定する建物側壁や梁の破損によるかご懸垂機器の支持機能不能。（機械室なしエレベーターにおいて、ガイドレールにて、上部巻上機や釣り車を支持していることが多い）
- ・上下地震動によるエレベーター出入口部の層間上下相対変位による戸の変形や敷居からの外れ。

- ・建物層間変位・残留変形によるガイドレール変形、救出運転不能。
- ・層間変位によるエスカレーターのフレーム脱落

5-3-2. 昇降機耐震設計課題

① 建物の揺れ特性に基づく課題

エレベーター機器設計は、建物地震応答からの慣性力応答と変位応答での被害事象に対処すべき課題を抱えているが、現耐震設計では、これらの被害が同時に発生する見方は必要でなかった。すなわち、現耐震設計は、機器強度設計に関わる強震時の慣性力荷重からの被害事象と昇降機構の機能維持に関わる長周期地震時の揺れ変位からの被害事象は、それぞれ独立事象として対応してきている。

本委員会の想定地震波でも建物応答結果を見ると応答加速度と変位とのピークには時間的ずれがある。これら地震被害事象の同時発生の程度を明らかにし、その程度に応じて、地震応答時の慣性力応答と変位応答事象の重ね合わせ方を究明のもとに、耐震設計を構築する必要がある。

② 建物の層間変形角性状からの課題

- ・ 層間変形角の変化率とレール支持課題

連続する3層間での各層間変形角の差分とその各層間変形角の角度の方向によって、ガイドレールの変形量が決まる。つまり、層間変形角が大きくても、その上下の層の層間変形角の角度の方向と量が同じであれば、レール自体は変形していないことになる。よって、各時刻における層間変形角の差分の最大値を建物応答解析等より抽出し、検討する必要がある。

- ・ 昇降路防火区画構成する非構造材の耐力の課題

昇降路壁の破損・落下による被害を回避するために、層間変形角と非構造材の壁の区画構成機能維持の特性を確認し、非構造材の壁の落下防止策等の耐力増しを検討する必要がある。(昇降路壁破損写真：図 5.6 1995年兵庫県南部地震被害)

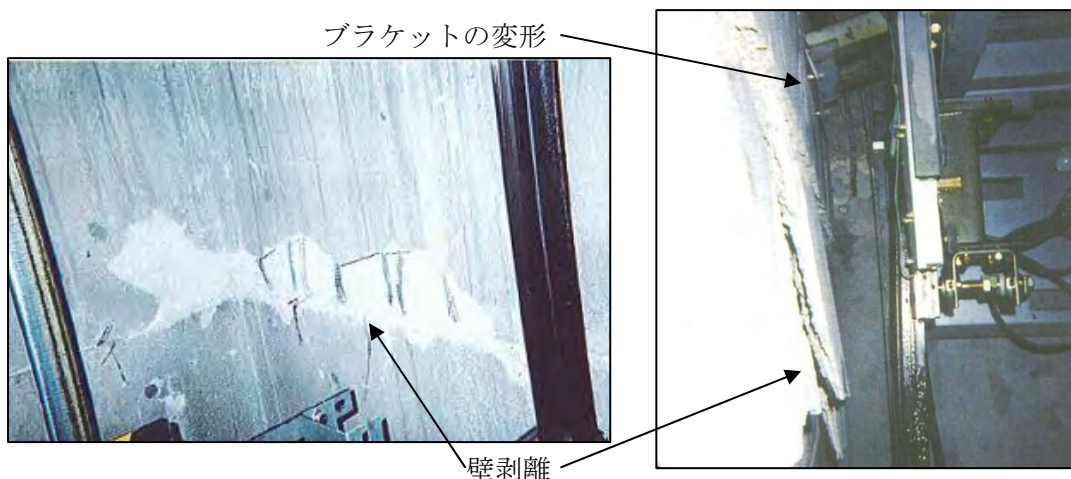


図 5.6 昇降路壁破損状況 1995年兵庫県南部地震被害

- ・ エスカレーターフレーム支持の課題

建物の想定される層間変位の基準を明確にし、エスカレーターの対応変形量を設定する必要がある。

③ 上下動に対する階層上下相対変位から課題

- ・ 想定される地震波特性でのエレベーター出入口部の上下動床梁応答の評価

出入口における階層上下相対変位量を見極め、出入口の戸の敷居外れ防止を検討する必要がある。(昇降路(出入口)壁破損写真：図 5.7 1995 年兵庫県南部地震被害)



戸外れ

図 5.7 昇降路(出入口)壁破損状況 1995 年兵庫県南部地震被害

④ 地震時管制運転での課題

提案波での初期微動と主要動との時間差特性を踏まえて、慣性力荷重の応答、層間変形角度応答の時間差等も考慮し課題および対応策を検討する必要がある。

5-4. 今後の検討

①時刻歴建物応答及び建物の状態から昇降機への詳細影響を検討

- ・ 時刻歴応答加速度、応答変位から、長尺物の振れ予測
- ・ 建物の非構造部材(出入口部壁や昇降路壁)の状態から昇降機への詳細影響検討
- ・ 建物残留変形量から昇降機への詳細影響検討

②本地震波による建築各応答量から、昇降機における設計方針を検討

本地震波における建築の被害クライテリアやそれに対応する設計方針(方向性)の決定後、それを基に、建築側への要求事項も含めた昇降機における設計方針を検討する。(5-3-2項の耐震設計課題に対する検討を行う)

③上記、昇降機設計方針から、現行の指針等の確認

現行の設計指針・(社)日本エレベーター協会標準を確認し、問題点等について抽出する。

