

工学院大学新宿校舎の昇降機における地震被害を少なくする最適階の検討

D1-09055 遠藤和明

1. 1はじめに

超高層の建物では昇降機は縦の移動手段としてはなくてはならないものとなっている。また昇降機の技術基準は建築基準法同様、大学棟竣工当時（1989年）から現在に至るまで計算方法や災害対策について大きく改正された部分がある、過去の被害ではレール変形やかごが外れるなど早期普及が困難な被害が見られた。そこでこのような背景のもと本研究では、新宿副都心の一角に位置する超高層建築物である工学院大学（高層棟）の高層用エレベーターを対象とし、地震応答を任意形状立体フレームの弾塑性解析プログラムを用いて、2009年度版の最新昇降機技術基準の診断方法のもと、計算式や解析プログラムを用いての応答解析結果より、昇降機周辺機器についてのレールの変形、かごの脱レールの原因であるガイドレールの耐震診断について行うものとする。耐震性の妥当性を確認する事を目的とする。

1. 2 対象物概要（建築物）

大学棟の建物概要を示す。表1に建物概要、図1-1に東側立面図、Y14・X2通り軸組図、図1-2に基準階平面・伏図を示す。

表1：大学棟構造概要

建築場所	東京都新宿区西新宿
竣工念	1989年
基準階面積	1170㎡
階数	地上29階、地下6階、塔屋1階
アスペクト比	NS:5.59、EW:3.73
構造種別	地上：鉄骨造（ブレース付ラーメン架構）
	地下1～2階：鉄骨鉄筋コンクリート造
	地下3～6階：鉄筋コンクリート造

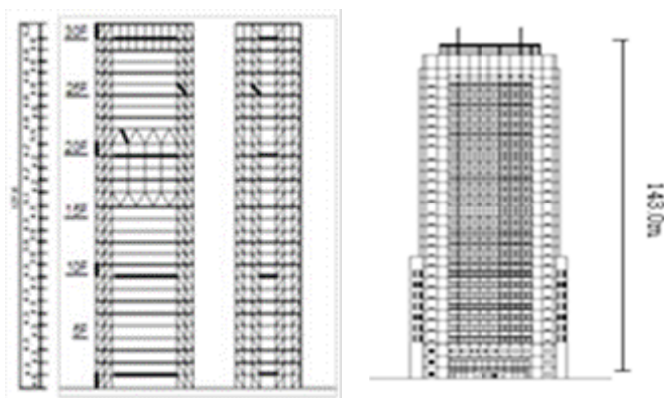


図1-1：左) 東側立面図 右) 軸組図

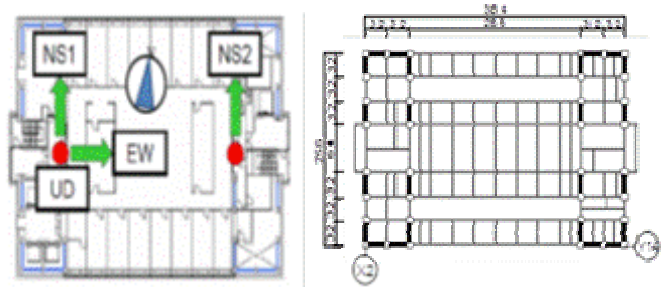


図1-2：基準階平面・伏図

1. 3 対象物概要（エレベーター）

大学棟用のエレベーターの概要を示す。表1にエレベーターの仕様。図1に対象とするエレベーターの簡略的な構造。図2にエレベーターの配置位置を示す。No. A-1～A-3号機の中高層エレベーターは今回、モデルを簡易化する為に除く形とする、またNo. A-4～A-6号機についてもB5～B1地下階の解析はしないとする、よってNo. A-4～A-6号機についてのみで行い、行程（昇降距離）は1階～28階の119.690m。



図1-3：エレベーター構造

1. 4 対象物概要（入力地震波）

本学のモデルに入力する地震波の概要を示す。解析するにあたり、今回は首都直下型地震波（90syukka）と東海東南海型地震波（TOK-V2）を使用する。想定首都直下型地震の場合、卓越周期はNS方向で1秒、EW方向は0.5秒である。想定東海東南海型地震の場合、卓越周期はNS、EW方向共に約0.1秒である。最大加速度は首都直下型NS方向で59 s²、東海東南海型NS方向で145 m/s²、EW方向で174 cm/s²である。

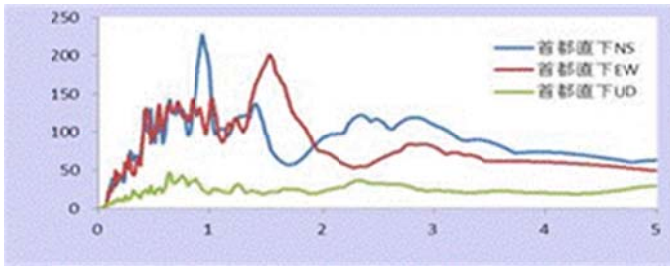


図1-4：首都直下 フーリエ速度応答スペクトル

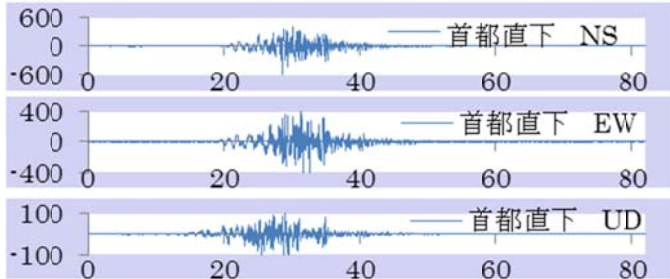


図1-5：首都直下時刻歴加速度波形（上からNS・UD・EW）

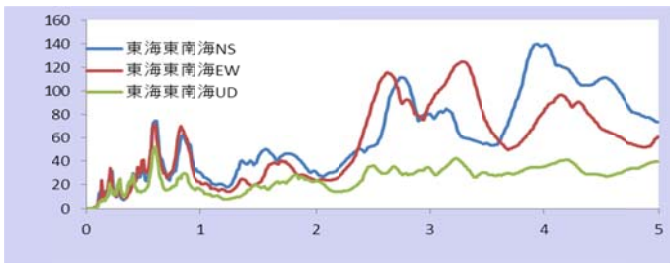


図1-6：東海東南海 フーリエ加速度応答スペクトル

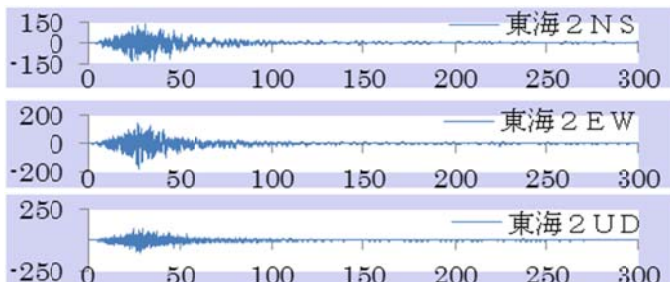


図1-7：東海東南海時刻歴加速度波形（上からNS・UD・EW）

2.1 昇降機技術基準耐震設計について(2002年度版)

研究の背景と目的で示したように建築基準法同様、昇降機における施工指針も工学院大学竣工当時の1989年から現在に至るまで改正は数回されている、超高層建築物に据え付けられる昇降機も例外では無く60m以上の建物に昇降機を施工する場合はフロアレスポンスを用いて設計を行う手法から応答倍率を用いて計算する手法に改正された、まず初めに2009年以前に用いられていたフロアレスポンス法についてここに示す。

2.2 計算概要

$$K_h = F_r / g \cdot K_2 \cdot I$$

K_h : 設計用水平震度 F_r : フロアレスポンス

k_2 : 機器の応答倍率を考慮した係数 I : 用途係数

$$P_x = K_h \cdot m \cdot \varepsilon \quad m = m_1 + \alpha m_2 = 2900 + 0.25 \times 1600 = 3300 \text{ kg}$$

P_x : レールにかかる荷重 m : 等価質量

$$m = m_1 + \alpha m_2 \quad (N)$$

m_1 : かごの質量 (kg)

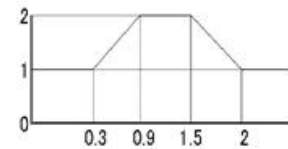
m_2 : かごの積載量 (kg)

ε : ガイドシユアの荷重比

1階〜最上階-1: $\varepsilon = 0.6$ 最上階: $\varepsilon = 0.4$

$K_2 = f_b / f_m$ F_b = 本学の一次固有周期は3.1秒なので1/3.1より
= 0.3225を得る

エレベーター機器の応答倍率を考慮した係数



f_b : 建築物の一次固有振動数

f_m : 機器の一次固有振動数

エレベーター機器の一次固有振動数 f_m の値

機器	一次固有振動数 f_m (Hz)	備考
巻き上げ機	3~5	防振支持
MG	4~5	防振支持
制御盤	6~12	固定支持
かご	1.5~4	-
つり合い重り	2~5	-

f_b / f_m = 最小値1.5を用いても0.215なので、エレベーター機器応答倍率を用いた係数 図より $K_2 = 1.0$ を得る

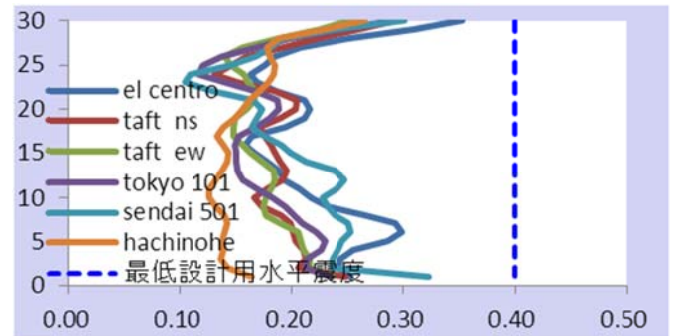


図2-1 告示波6波 設計用水平震度

$$\text{最大応力度} \quad \sigma = 7/40 \times P_x L / Z + 6EI \delta / 5L^2 Z$$

$$\text{たわみ} \quad \delta = 11/960 \times P_x L^3 / EI$$

2.3 耐震診断 結果 入力地震波 告示波6波

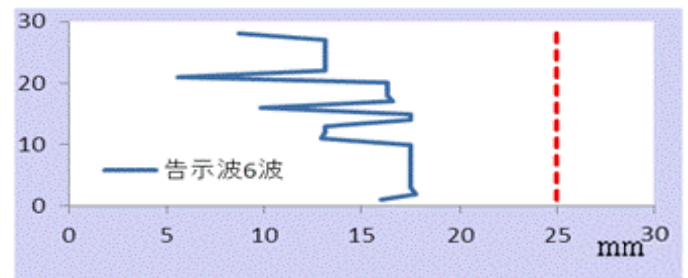


図2-2 許容たわみ診断(脱レール診断)

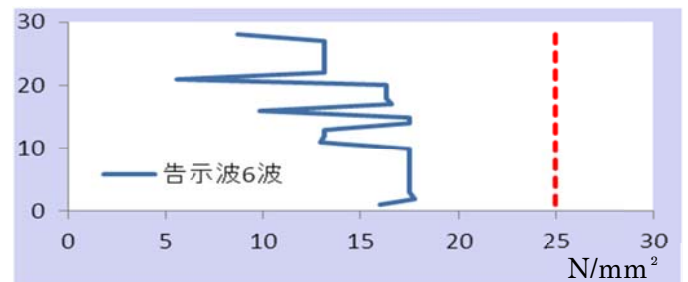


図2-3 許容応力度診断

3.1 昇降機技術基準耐震設計について(2009年度版)

フロアレスポンス法に続き、2009年度から採用されている応答倍率法についてここに示す。

3.2 計算概要

設計用水平標準震度 K_{sh}

設計対象	対象機器	建築物区分	建築物基礎耐震度 A_c (G)		建築物の応答倍率	機器の応答倍率	構造特性係数 $D_{s,e}$	$K_{sh}=A_c \cdot D_{s,e}$		
			耐震 A09	耐震 S09				耐震クラス A09 注1 2)3)	耐震クラス S09 注1) 2)3)	
運行限界内機器	昇降機	60m以下	0.12	0.2	2階以上の階	2.5	2.0	1.0	0.6	1.0
					1階および地階	1.0	2.0	1.0	0.4	0.6
					建築物の全層1/4の上層階	K1	弾性支持	1.0	0.2・K1・注3)	0.3・K1・注3)
運行限界外機器	昇降機	60m超え	0.2	0.3	上層階を除く2階以上	1.5	1.5	1.0	0.3・K1	0.45・K1
					1階および地階	1.0	2.0	1.0	0.4	0.6
					基礎免震	免震全階	K1	1.0	1.0	0.2・K1

現耐震では耐震クラスを2種類設け、一般的なマンションなど特に必要以上の耐震性を求められないものをA09耐震クラスとし、学校、官公庁、病院など一般的な建物よりも耐震性能が求められる場合はS09耐震クラスとする。本学は地震災害時に新宿駅西口の防災拠点ともなるのでS09耐震クラスを用いる。設計用水平震度を求める際に高さ方向に関して以前は考慮が無かったが、2009年からの現基準では階毎に考慮する。1階は水平荷重が0.6倍、上層階を除く2階以上は0.45×応答倍率、建物全高1/4の上層階では0.3×応答倍率×機器応答倍率とする。(機器応答倍率は2.2 計算概要で記した、計算法と全く変わらない) またレール継ぎ目においてもガイドレールと継ぎ目板の断面二次モーメントと断面係数の比を用いて計算を行う。下記にすべての予備計算を示す。

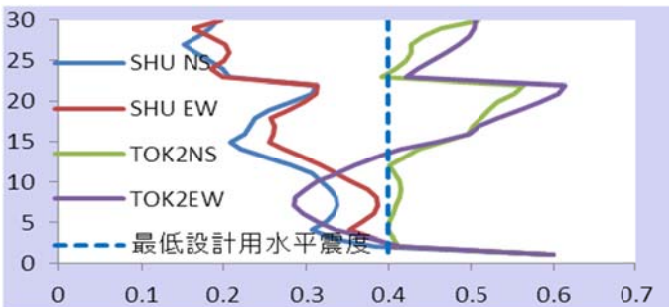


図3-1 首都直下・東海東南海 応答倍率

設計用水平震度 $K_h = K_{sh} \cdot I \cdot Z$ $Z = \text{地域係数} = 1.0$
 $K_{sh} = \text{設計用水平標準震度 (上図参照)}$ $I = \text{用途係数} = 1.0$

用途係数 I

エレベーターの用途	対象機器	
	懸垂機器	昇降案内機器
乗用・人荷共用・寝台用	1.0	1.0
荷物用	1.0	0.75

$$\text{レールにかかる荷重 } P_x = K_h \cdot m \cdot g \cdot \varepsilon$$

$$\text{等価質量 } m = m_o + a m_l = 2900 + 0.25 \times 1600 = 3300 \text{ Kg}$$

$$\text{かご質量 } m_o = 2900 \text{ Kg} \quad \text{積載量 } m_l = 1600 \text{ Kg}$$

$$\text{水平動等価質量係数 } \alpha = 0.25$$

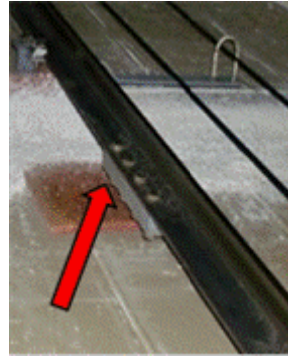
$$\varepsilon : \text{荷重比} \quad 1 \text{階} \sim \text{最上階} - 1 \text{階} : \varepsilon = 0.6 \quad \text{最上階} : \varepsilon = 0.4$$

継ぎ目板応力係数

断面係数比 Z_2/Z_1	γ_1
0.375以上の場合	1.0
0.375未満の場合	$(Z_1 \times 0.375) / Z_2$

継ぎ目板たわみ係数

断面二次モーメント比 I_2/I_1	γ_2
4%以下	2.9
4%を超え、8%以下	2.0
8%を超え、13%以下	1.7
13%を超え、20%以下	1.5
20%を超え、30%以下	1.3
30%を超え、45%以下	1.2
45%を超える	1.0



継ぎ目板寸法 縦4cm 横12cm 奥行30cm

$$Z_{x1} = \text{レールの断面係数} = 31.1 \text{ cm}^3$$

$$I_{x1} = \text{レールの断面二次モーメント} = 199 \text{ cm}^4$$

$$Z_2/Z_1 = 1.02 \text{ より } 0.375 \text{ 以上なので } r_1 = 1.0$$

$$I_2/I_1 = 0.321 \text{ たわみ係数図より } r_2 = 1.2$$

$$\text{最大応力度 } \sigma = \gamma_1 \times (7/40 \times P_x L / Z_x + 6EI_x \delta / 5L^2 Z_x)$$

$$\text{レールたわみ } \delta = \gamma_2 \times 11/960 \times P_x L^3 / EI_x \text{ が求まる}$$

3.3 各階毎の計算例

入力地震波 入力地震波 25kine

el centro, tokyo 101, taft ew, taft ns, sendai 501, hachinohe 28階(最上停止階)の場合

$$\begin{aligned} \text{最大応力度 } \sigma &= \gamma_1 \times (7/40 \times P_x L / Z_x + 6EI_x \delta / 5L^2 Z_x) \\ &= 125.6137 \text{ N/mm}^2 < 255 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{レールたわみ } \delta &= \gamma_2 \times 11/960 \times P_x L^3 / EI_x \\ &= 10.4554 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

19階の場合

$$\begin{aligned} \text{最大応力度 } \sigma &= \gamma_1 \times (7/40 \times P_x L / Z_x + 6EI_x \delta / 5L^2 Z_x) \\ &= 198.6691 \text{ N/mm}^2 < 255 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{レールたわみ } \delta &= \gamma_2 \times 11/960 \times P_x L^3 / EI_x \\ &= 19.91723 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

1階の場合

$$\begin{aligned} \text{最大応力度 } \sigma &= \gamma_1 \times (7/40 \times P_x L / Z_x) \\ &= 274.4948 \text{ N/mm}^2 > 255 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{レールたわみ } \delta &= \gamma_2 \times 11/960 \times P_x L^3 / EI_x \\ &= 28.72546 \text{ mm} < 25 \text{ mm} \end{aligned}$$

3. 4 計算結果

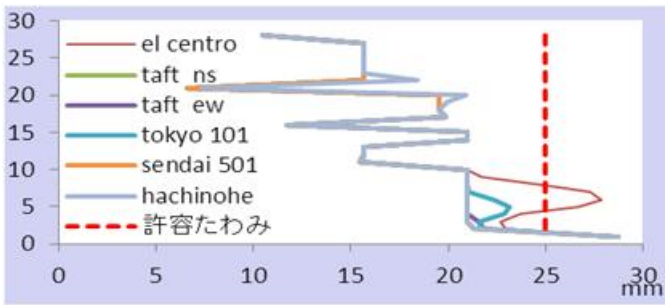


図3-2 許容たわみ診断 (脱レール診断)

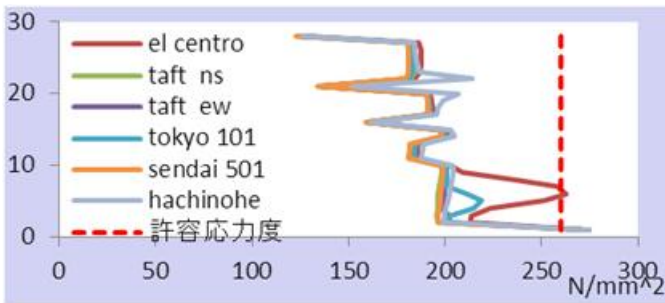


図3-3 許容応力度診断

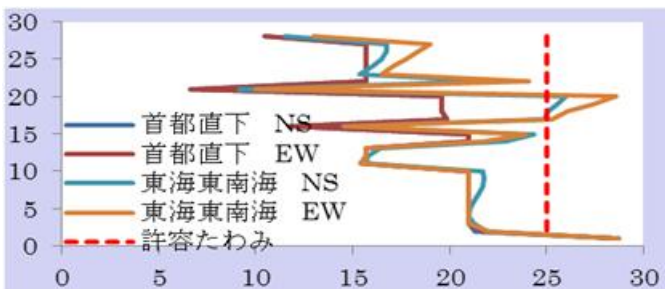


図3-4 許容たわみ診断 (脱レール診断)

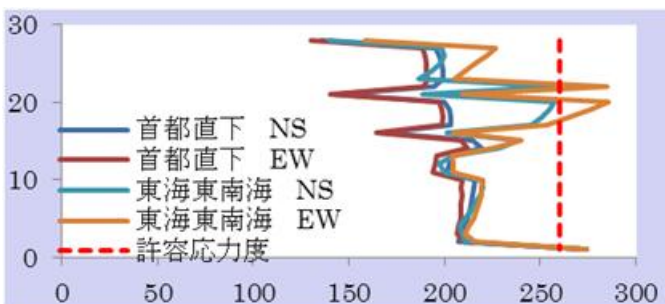


図3-5 許容応力度診断

3. 5 耐震補強 バッキング法について

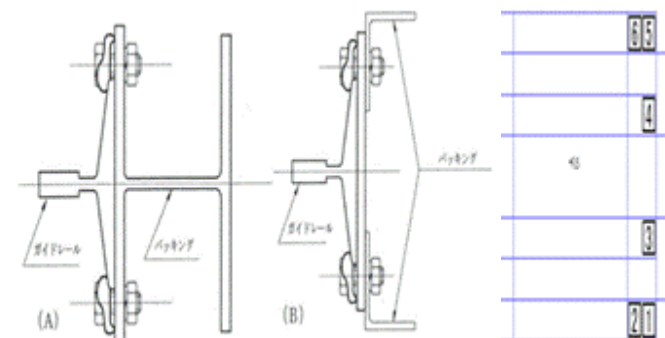


図3-6 バッキングの施工方法 図3-7 昇降機配置図

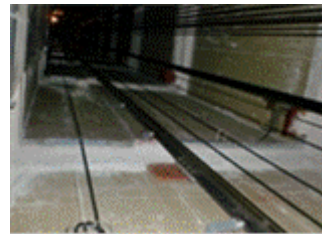


図3-8 5号機 左側

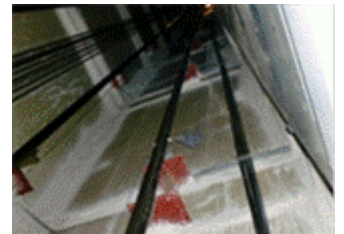


図3-9 5号機 右側

バックキング法について

図1 (A) はガイドレール背面にH鋼を溶接し、ガイドレールの許容たわみ・応力度を上げる手法である(但し、レールと昇降路内の壁との距離が無い場合を除く)

図1 (B) はガイドレール背面にL鋼を溶接し、ガイドレールの許容たわみ・応力度を上げる手法である(H鋼に比べ強度は落ちるがレールと壁との距離が短い場合でも施工が可能)

4. 1 まとめ

・本大学は極めて稀に発生する(東北地方太平洋沖地震など)地震に対して新宿駅西口の防災拠点(S09耐震)として高い耐震性能が求められるため、現状維持は危険と判断できた。だが一般的な建物(A09耐震)として判断する場合には、被害は見られなかった。

・想定東海東南海・首都直下・告示波6波では1階、5~7階、17~20階の被害が確認できたのでそれぞれの階に補強が必要。

5. 1 今後の課題

・建物応答の時刻によって減衰率が変動することが分かっているので、時刻によって変動する減衰率を考慮したモデルの作成が必要。

・補強する場合断面二次モーメントおよび断面係数の値は、ガイドレールを含む合成値を用いて診断を行うため、改めて補強した場合に耐震性能があるかの再計算が必要。

参考文献

- 1.)建築設備・昇降機耐震診断基準及び回診指針-1996-年度版
- 2.)建築基準法及び同法寒冷法令 昇降機技術基準の解説-2002-年度版
- 3.)二井内信成: 2011年東北地方太平洋沖地震による工学院大学新宿校舎の応答解析についての研究 工学院大学2011年度 卒業論文
- 4.)荒川洋輔: 超高層建築の強震観測記録と地震応答解析 同
- 5.)大宮憲司: 高層建築物の高さ方向の震度増幅に関する研究 同
- 6.)工学院大学 構造計算書及び東芝・日立エレベーター耐震設計書
- 9.)三井亜沙美・小松山雅彦 メインロープの震害軽減のための建物・エレベーター連成系の基礎研究 日本建築学会構造系論文集
- 10.)緊急地震速報をエレベーター制御に活用するための 課題整理検討委員会報告書
- 11.)株式会社 日本設計事務所 KDN 街区再開発計画 構造計算書
- 12.)昇降機耐震設計・施工指針2009年版