

南海・東南海地震にそなえて、
構造設計者はいかに対応するか

—2011.3.11東日本大震災の教訓を生かして—

3.非構造部材の対応 (天井、斜行部材)

PC・工業化分科会
大住和正

2012年5月30日(水)15:00～17.45

非構造部材のうち東日本大震災で多数被害があった天井（在来天井に関して）と落下や損傷が報告されている斜行部材（車路スロープ、エスカレーター、階段）を取り上げる。

1. 天井（在来天井）

2. 斜行部材

- ・車路スロープ
- ・エスカレーター
- ・階段

1. 天井について

- ・東日本大震災による天井の被害状況
- ・天井鋼製下地の基本構成（在来工法）
- ・天井の耐震性に関わる基標準類
- ・天井被害に対する対策
- ・天井の耐震性能確保に向けて
- ・天井に関するアンケート
- ・行政の動き

東日本大震災による天井の被害状況

(1) ホールなどの大空間の天井

(2) 一般建築物の天井

(3) 低層の店舗建築の天井

大空間の天井の被害



大ホール天井の落下(福島市)



武道場天井の落下(仙台市)

大空間の天井の被害



換気用フードと傾斜天井との接合面における損傷



変形し脱落した天井下地クリップ

給食センター天井の被害（仙台市）

大空間の天井の被害



天井材の落下



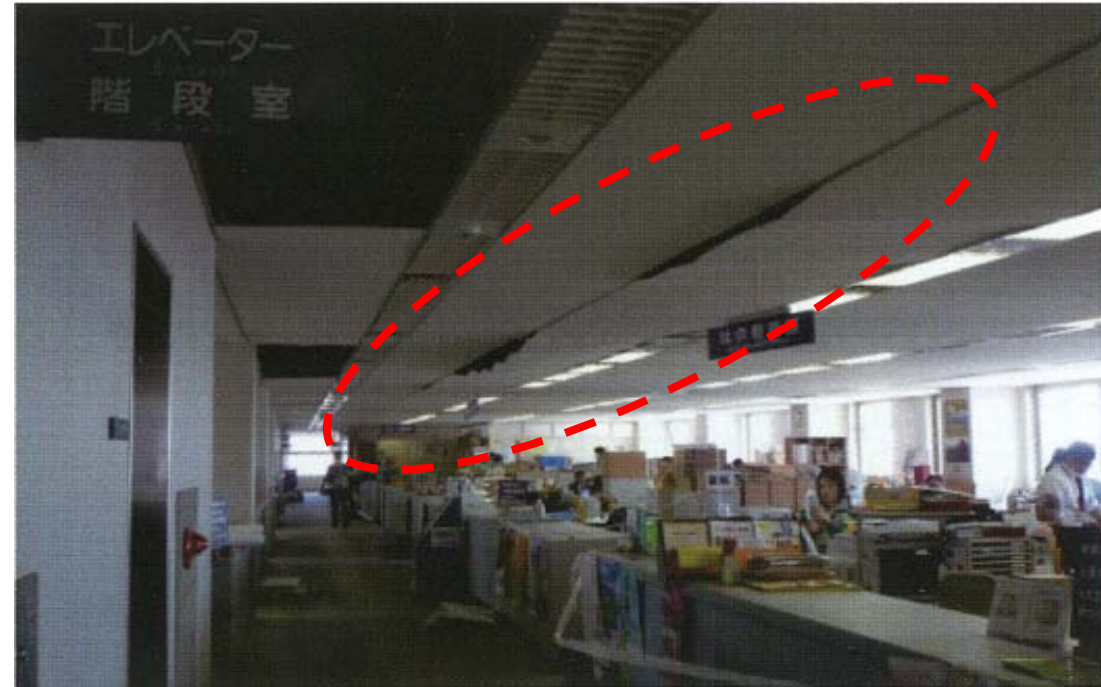
吊ボルト先端の野縁受けハンガーが開いた状態

複合施設天井の被害(仙台市)

一般建物の天井の被害



オフィスビル天井の落下(新宿区)



天井パネルの破損(富士宮市)

一般建物の天井の被害

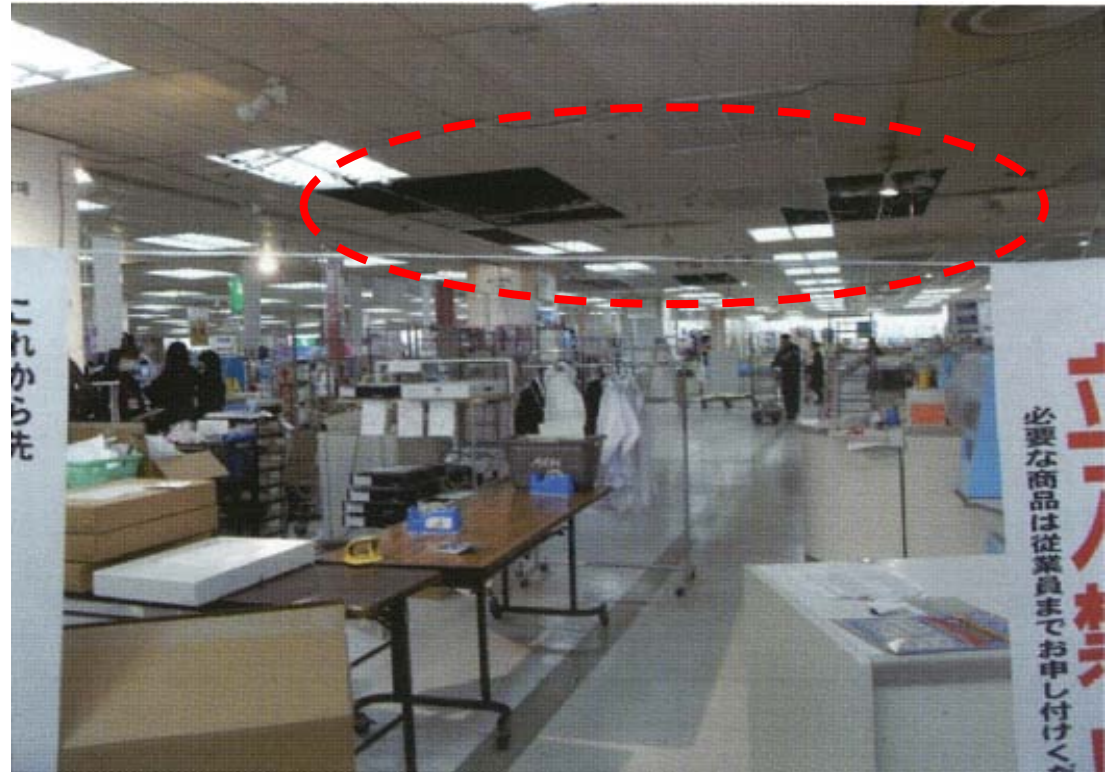


壁際の天井材の破損、落下

低層の店舗建物の天井の被害



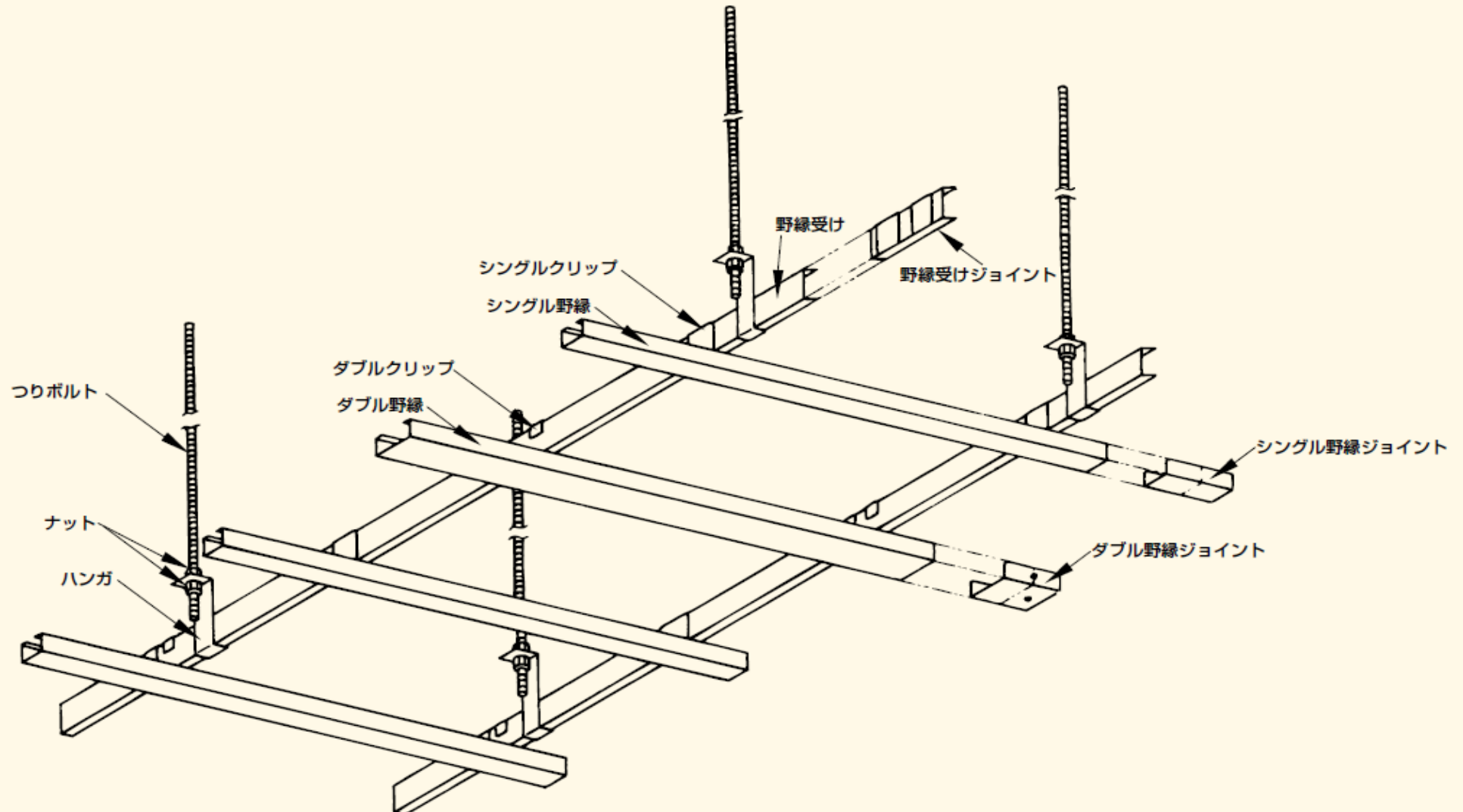
天井パネルの破損
(栃木県芳賀町)



天井パネルの破損(水戸市)

天井鋼製下地の基本構成(在来工法)

JIS A 6517 建築用鋼製下地(天井)より抜粋



天井の耐震性に関わる基規準類

◆国土交通省住宅局による通知(技術的助言)

- ・2001年芸予地震後(体育館等の天井落下)
国住指第357号
「芸予地震被害調査報告の送付について」
- ・2003年十勝沖地震後(空港ターミナルビル等の天井落下)
国住指第2042号
「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について」
- ・2005年宮城県沖地震後(仙台市内のスポーツ施設の天井落下)
国住指第1337号
「大規模空間を持つ建築物の天井の崩落対策について」
国住指第1427号
「地震時における天井崩落対策の徹底について」

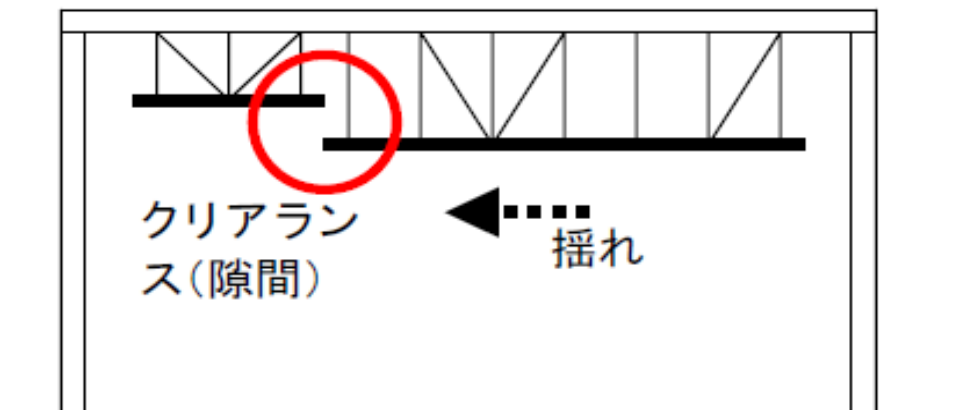
天井の耐震性に関わる基標準類

◆国土交通省住宅局による通知(技術的助言)



大空間の天井では

- ・構造体と天井材の間にクリアランスを設ける。
- ・吊ボルトにブレースを設ける。(振れ止め)等



- ・剛性の異なる部分にも構造的にクリアランスをとる。

天井の耐震性に関わる基規準類

◆「官庁施設の総合耐震計画基準及び同解説」(平成8年) 建設大臣官房営繕部監修

- ・非構造部材の設計用標準水平震度が記載されている。

非構造部材の設計用標準水平震度

場 所	耐震安全性の分類	
	機能の停止が許されない室、 A類施設の外部及び特定室	一般室及びB類施設の外部
上層階 屋上及び塔屋	1.0	1.0
中間階	1.0	0.6
1 階及び地下階	0.6	0.4

(注) 上層階の定義は、次のとおりとする。

2～6階建の場合は最上階、7～9階建の場合は上層2階、10～12階建の場合は上層3階、13階建以上の場合は上層4階とする。

平屋建の場合は、1階及び地下階の値を用いる。

天井の耐震性に関わる基規準類

◆「非構造部材の耐震設計施工指針・同解説および耐震設計施工要領」(2003年 日本建築学会)

- ・非構造部材の慣性力に対する検討、強制変形角に対する検討が記載されている。

非構造部材の水平震度 = $\beta \times$ 主体構造の床応答

非構造部材の床応答倍率 β

非構造部材の形状 非構造部材の主体構造への固定方法 非構造部材の剛性	板 状			棒 柱 状		
	表面または裏面を面的に固定	上下端あるいは左右端もしくは端面全部を線的に固定	一端のみ線的に固定	材軸に平行に線的に固定	両端固定	一端のみ固定
剛性が高いもの	1.0	1.0	1.5	1.0	1.0	1.5
上記以外のもの	1.0	1.5	2.0 以上	1.0	1.5	2.0 以上

[注] 剛性が高いものとは固有振動数が 10Hz 以上のものをいう。

- ・天井の耐震性能を確保するための設計・施工上のポイントが記載されている。

天井被害に対する対策

◆天井の大規模な落下

- ・複雑な形状をしている天井に対しては、構造検討が必要。
- ・天井が重い場合は支持材のピッチを狭くするなどの配慮が必要。



◆壁との干渉による損傷

- ・クリアランスを適切に計画する。
- ・野縁方向のブレース通りに繋ぎ材を通し野縁受けとの交差部を固定する。



天井被害に対する対策

◆クリップ・ハンガーの損傷

- ・金具の変形防止措置を行う。
- ・適正なブレース配置・強度アップによる揺れの抑制。



◆鋼製下地衝突による壁の損傷

- ・壁際にランナーを通す。
- ・クリアランスを適切に計画する。



天井の耐震性能確保に向けて

JSCA本部

「東日本大震災における非構造部材の被害状況の分析と耐震安全性確保に関する課題の整理と提言」参照

◆構造設計者の関わり方

- ・建物の外力に対する変形（層間変形角）や荷重（フロアレスポンス）は構造設計者が発信すべき事項である。
- ・天井の詳細についても構造設計者が理解し、意匠設計者や施工者に適切なアドバイスを行う必要がある。
- ・天井は施工段階での変更が多い。施工段階で構造的な知識のある人の確認が重要である。
⇒現場での確認体制の確立・ルール作りが必要。
- ・適切な耐震仕様のコストが見込まれている（設計段階で設計図書に適切な耐震仕様を記述すること）ことも重要。

天井に関するアンケート

◆アンケート対象

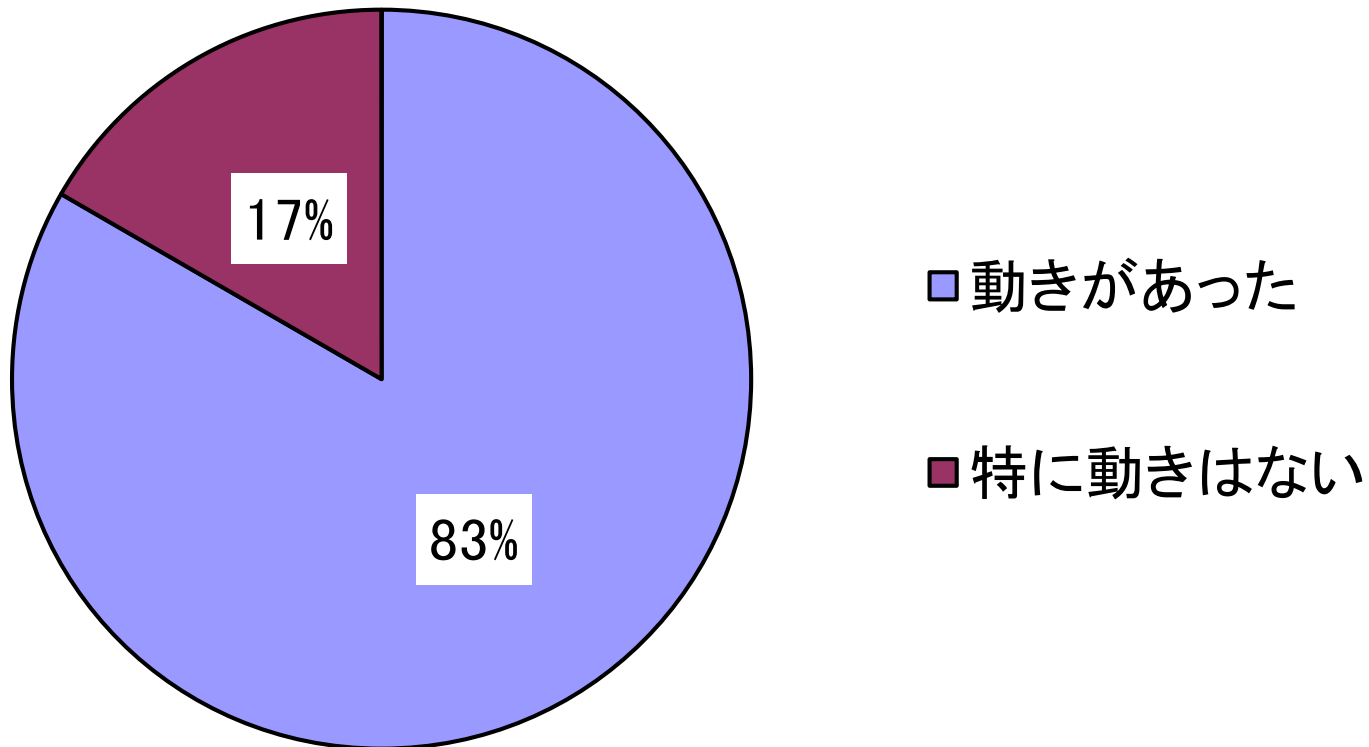
- ・JSCA関西支部会員
- ・設計事務所、ゼネコンの構造設計者
- ・約十数名

◆アンケート内容

- ・天井に対する東日本大震災後の対応
- ・天井の設計に対する構造設計者の関わり方
- ・天井の地震被害をなくすためには

天井に関するアンケート

Q2. 「2011.3.11東日本大震災」以後、天井の設計・施工に関して社内に対策等の動きがありましたか？



天井に関するアンケート

◆「社内に対策等動きがあった」との回答が約8割以上

- ・社内指針の改訂・作成

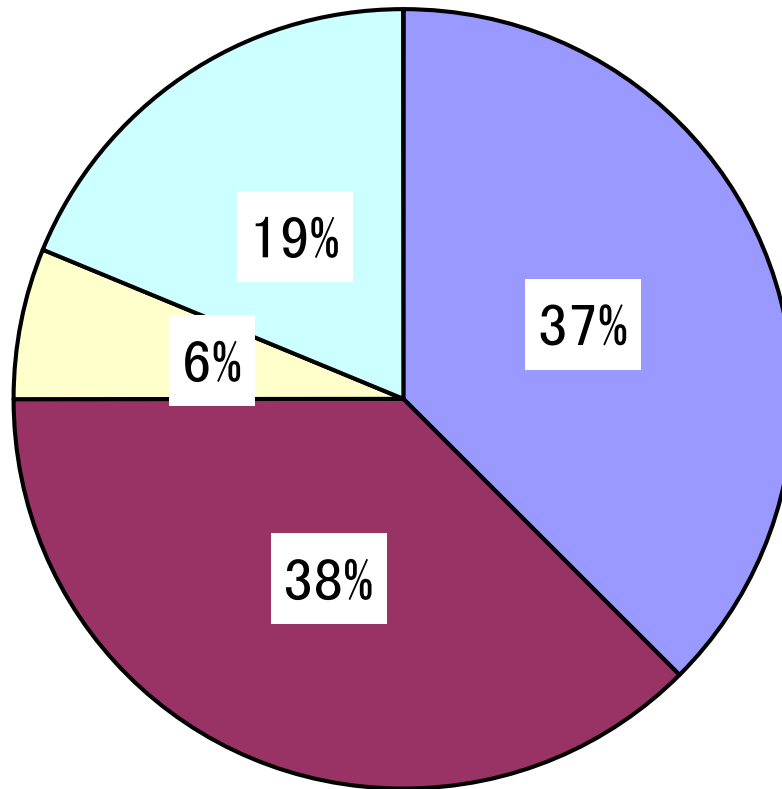
- ・「東北の被害報告や天井の設計の現状調査」

- ・「標準仕様や様々な仕様について振動実験を行い、在来天井の新たな仕様を設定しつつある」

- ・「建物に応じて大地震時の設計外力を意匠設計者と構造設計者が協議して決めることになった」

天井に関するアンケート

Q3. 「2011.3.11東日本大震災」以前、天井の設計について構造設計者としてどのように関わっていましたか？



■ ほとんど関わっていない

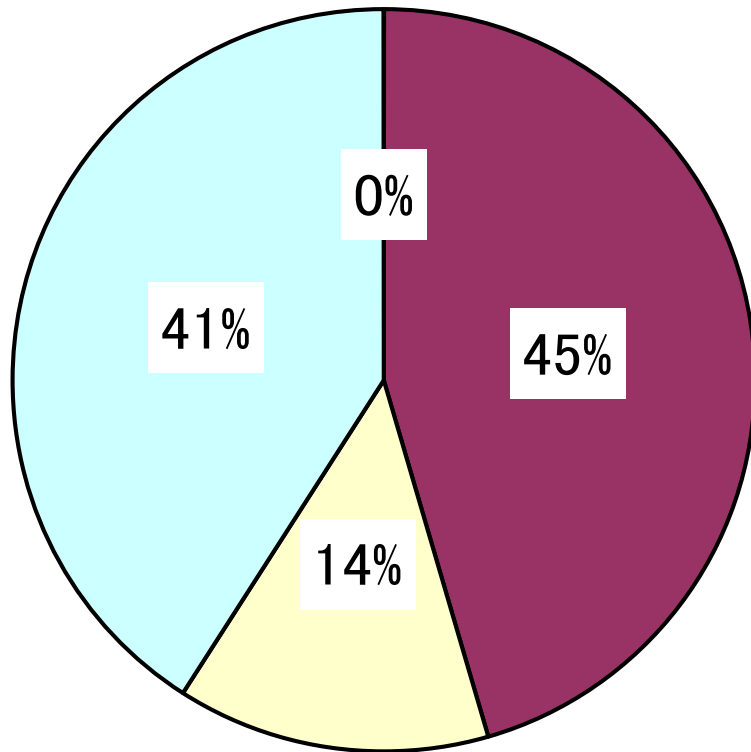
■ 意匠設計者にアドバイスをを行う

□ 設計図の仕様を指針等と照合し、確認している

□ 構造計算を行っている(状況に応じて)

天井に関するアンケート

Q4. 今後、天井の設計について構造設計者としてどのように関わっていこうと考えていますか？



■ 特に関わらない

■ 意匠設計者にアドバイスをを行う

□ 設計図の仕様を指針等と照合し、確認する

□ 構造計算を行う(状況に応じて)

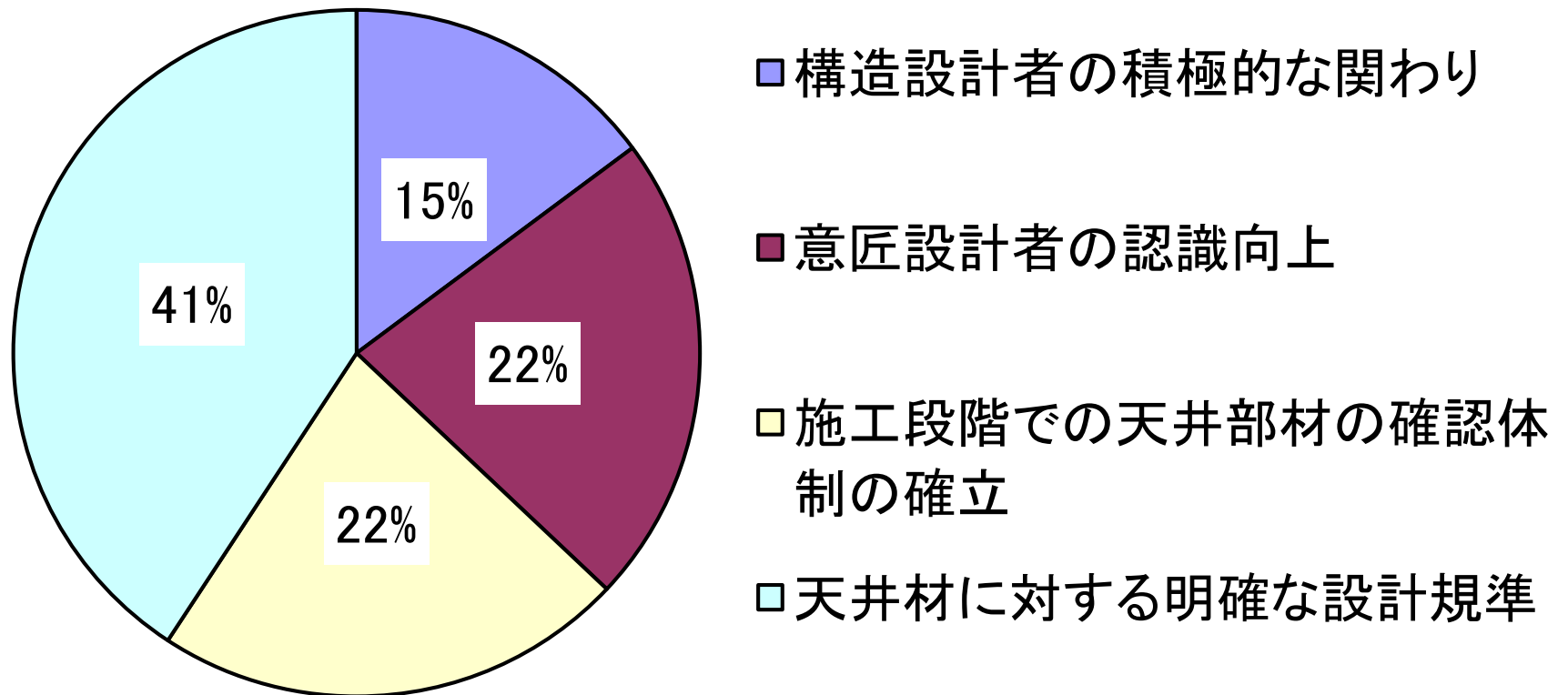
天井に関するアンケート

◆ 構造設計者の関わり方

- ・東日大震災前「ほとんど関わっていない」との回答約4割
⇒東日大震災後、「特に関わらない」との回答0
- ・「状況に応じて構造計算を行う」との回答が
 東日本大震災前 約2割
 ⇒東日本大震災後 約4割

天井に関するアンケート

Q5. 天井の地震被害を防ぐためには何が必要と考えますか？



・天井材に対する明確な設計規準が望まれている。

天井に関するアンケート

◆ 天井の地震時安全性の確保についての意見

- ・クリップの改善等、ディテールの見直し等も必要だが、あまり進んでいない気がする。設計上のルール改善と責任を明確にすべきか。
- ・現在天井材の支持材の施工は、強度チェックがあまりなく、天井材の建材メーカーに依存している。設計の基準を設けるべきと考える。

行政の動き

(日経アーキテクチュア 5月25日号より)

「天井の耐震基準の原案まとまる」

つり天井の耐震性を確保するために、つりボルトを天井1m²ごとに1本以上設けたうえ、野縁や斜め部材などの天井材が地震時にすべらないように緊結する。こうした仕様に従わない場合は、天井に最大で自重の2.2倍の水平力が加わると想定して、耐力や変位の安全性を計算で確かめる。

国土交通省 2011年度建築基準整備促進事業
建築性能基準推進協会 検討委員会

2. 斜行部材について

■車路スロープ

■エスカレーター

■階段

- ・東日本大震災における被害状況
- ・被害原因の推定
- ・設計上の留意点
- ・斜行部材に関するアンケート

車路スロープの被害

スロープ方向梁端GPL・梁ウェブ・HTBの破断



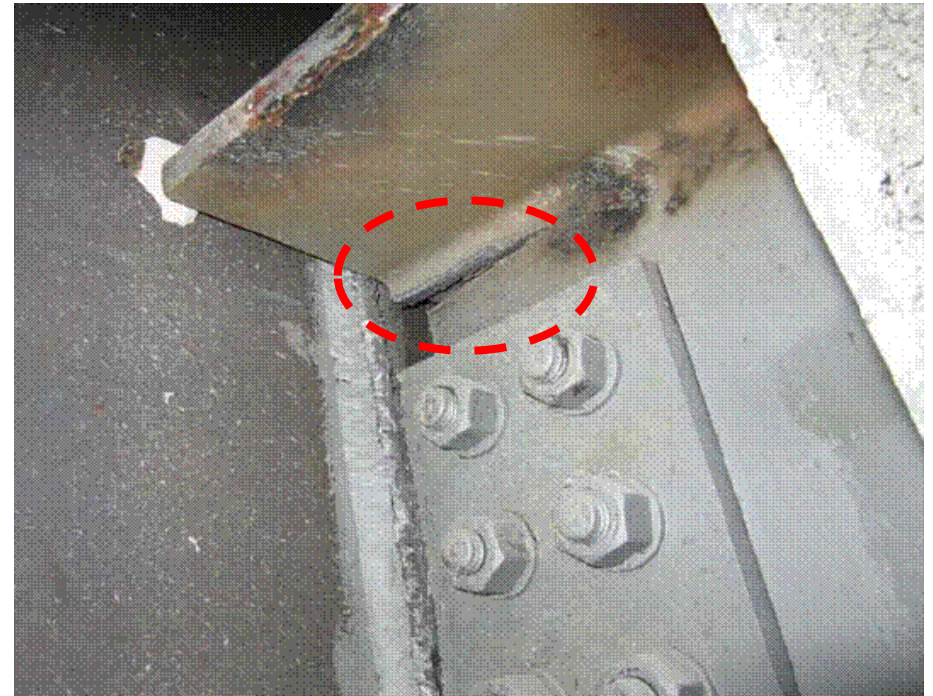
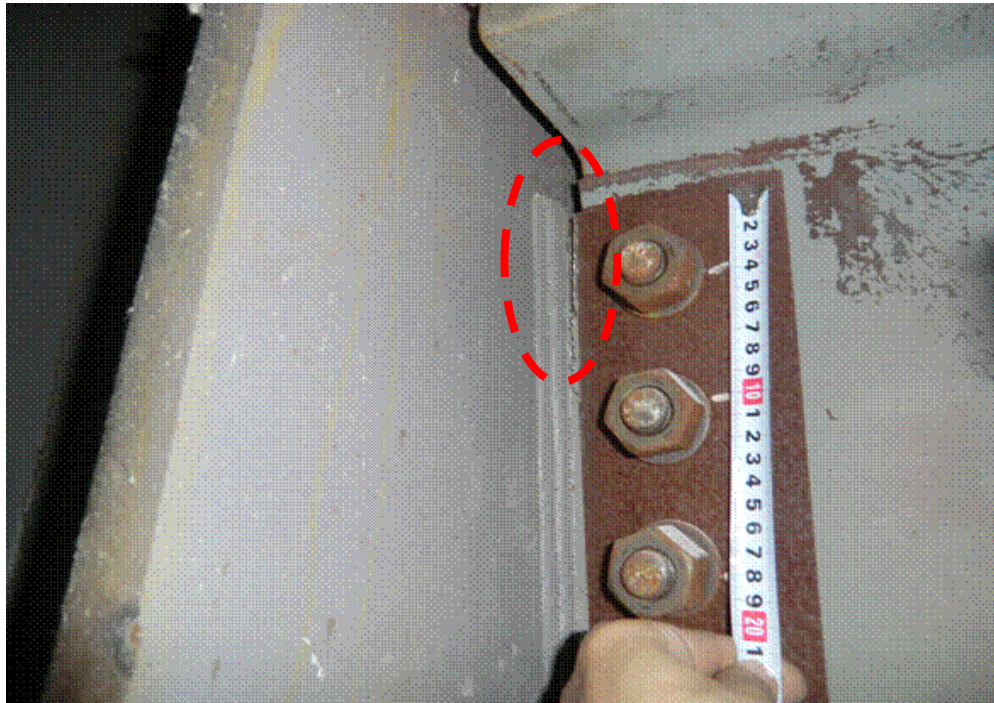
車路スロープの被害

スロープ最下部根巻きコンクリートの損傷
車路スラブのひび割れ



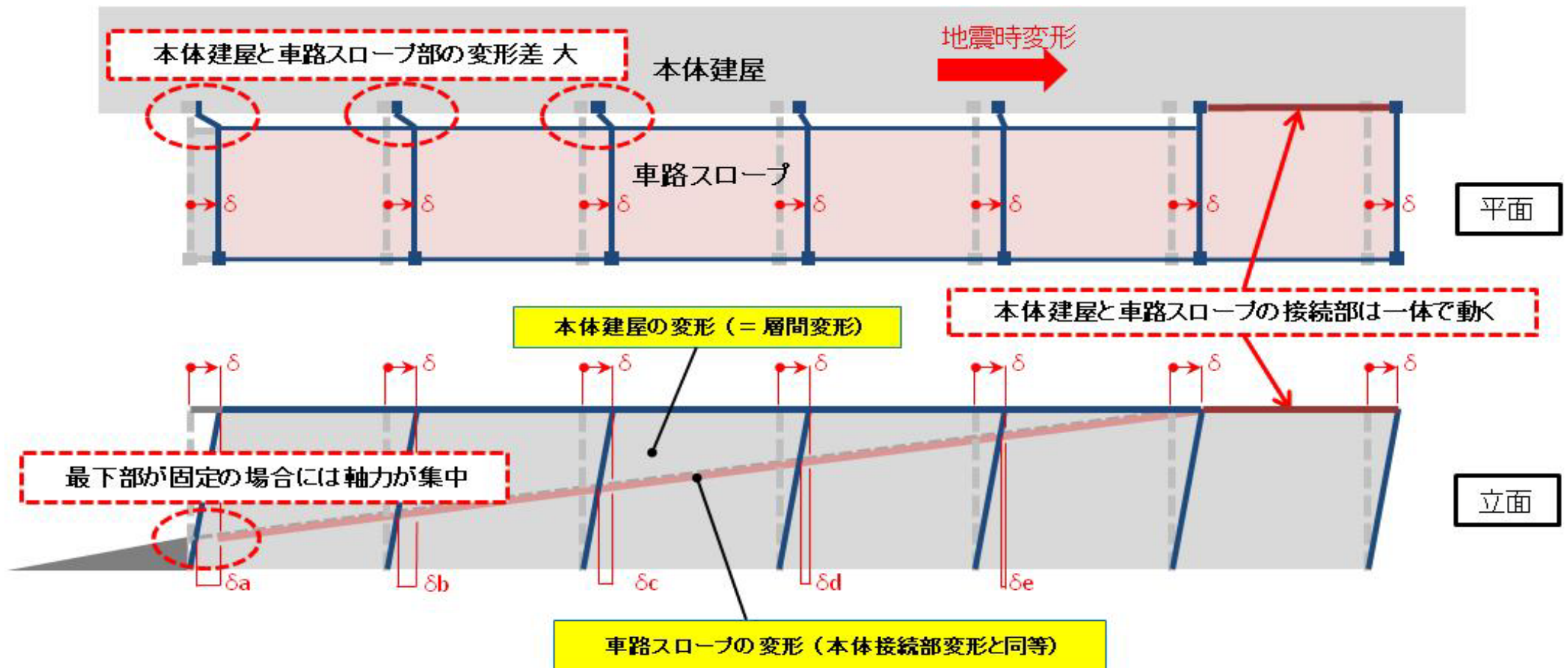
車路スロープの被害

スロープ直交方向 梁端部のGPL破断・き裂
梁上フランジフィレット部のき裂



車路スロープ 被害原因の推定

- ・スロープと本体建屋の**変形差**が、**スロープ直交方向のピン接梁のGPLの面外変形**に集中
- ・スロープのブレース効果で、最下部RC取合い部に大きな力が発生して損傷。

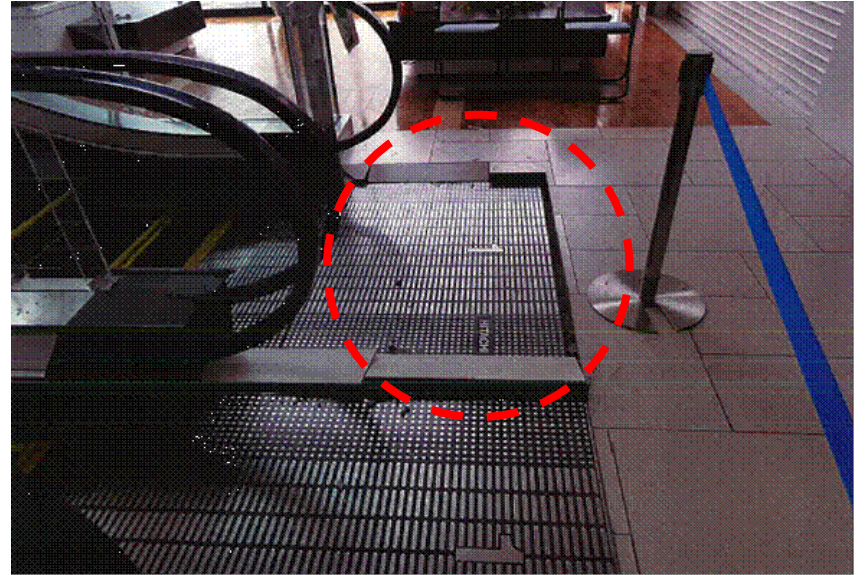


車路スロープ 設計上の留意点

1. 車路スロープを本体建屋とはEXP.Jを設け、個別に変形できる独立型とする。
2. やむを得ず本体建屋と接続する場合
 - ・接続部を本体建屋との変形差に追従できる滑り支承等にする。
 - ・車路スロープの中間にEXP.Jを設けて、接続部材の強制変位の影響を小さくする。
 - ・接続部材を強制変形による付加応力を考慮して設計する。
 - ・落下防止ブラケットの設置などフェールセーフを設ける。

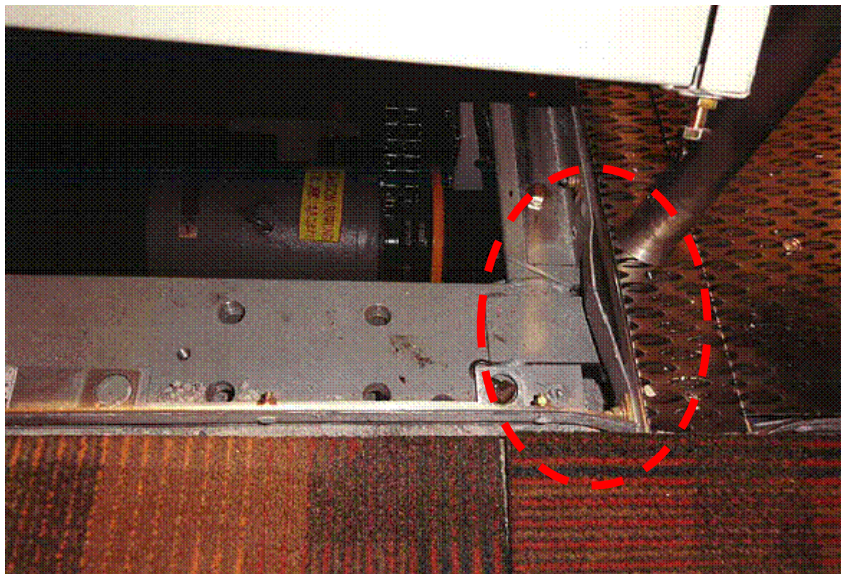
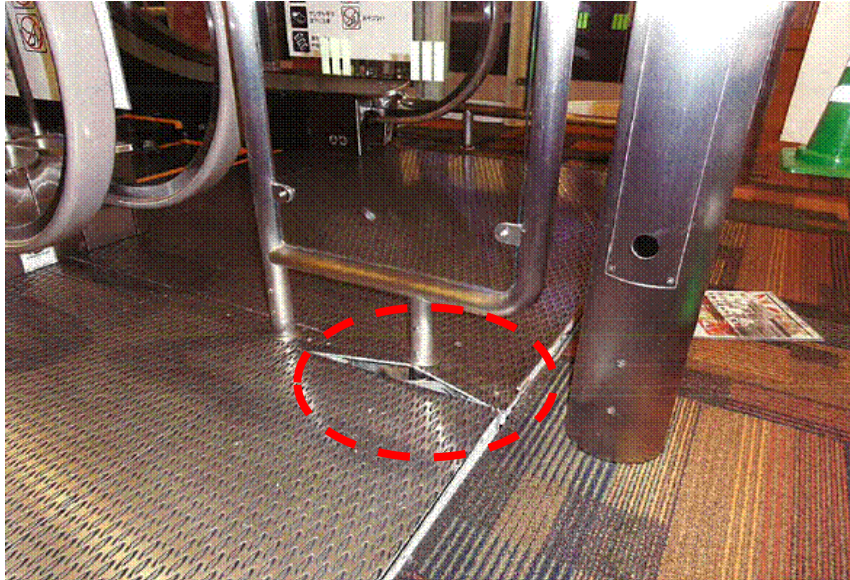
エスカレーターの被害

落下、デッキ位置のズレ、レベル下がり

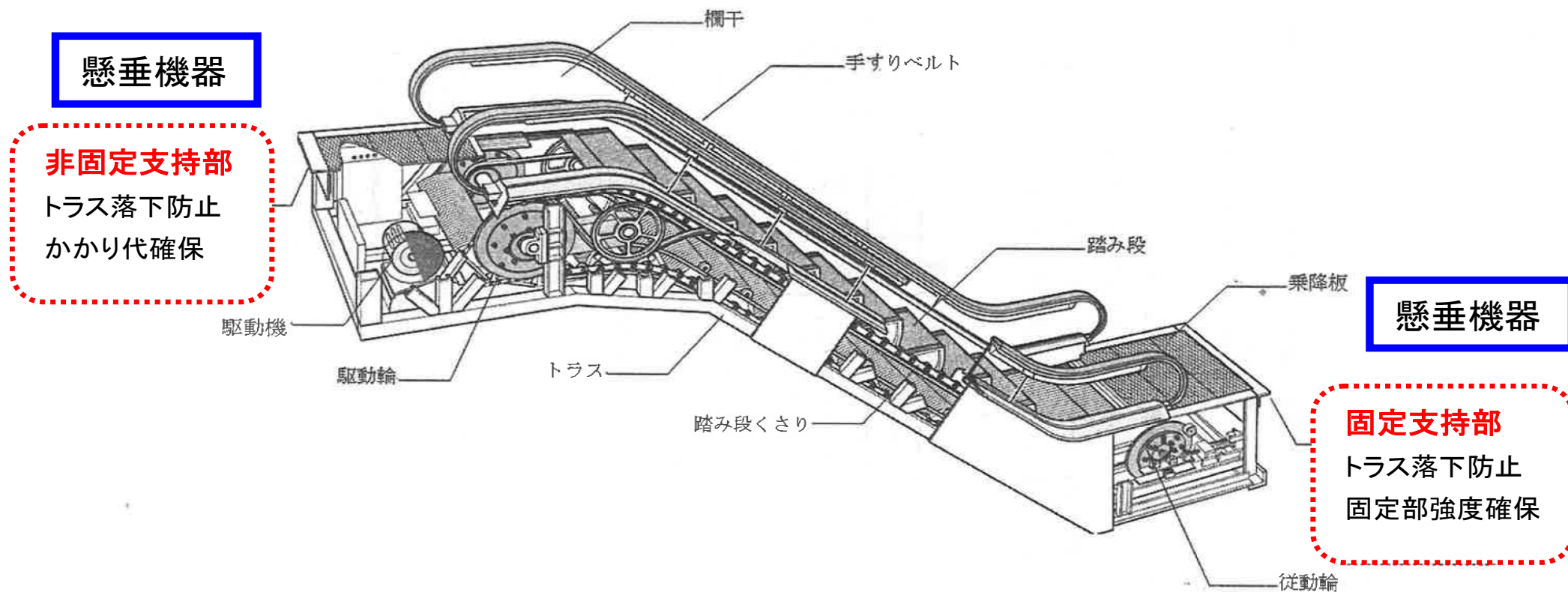


エスカレーターの被害

フレーム損傷、デッキ床の損傷



エスカレーター 被害原因

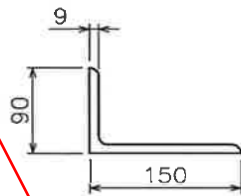


- ・落下: 建物層間変形に対するかかり代不足

エスカレーター 被害原因

止金具があり床側への
移動可能寸法は20mm程度

止金具詳細 (1:5)



A-A (1:5)

ボルト M20
床仕上に支障のある場合は、
ナットに廻り止め溶接後
ナットの上端を切断願います。

エスカレーター据付完了後、
床仕上願います。
(日立除外工事)

止金具

モルタル詰めが
多い

かかり代は $h/100 + 20\text{mm}$

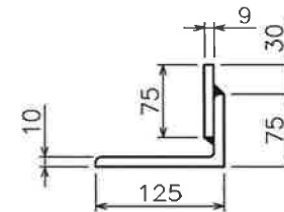
実際のクリアランスは 30~50mm

非固定側

デッキ、フレームの損傷:

- ・縮まる方向へのクリアランス不足
- ・可動部にモルタル等が詰められ、変形に追従できない

止金具詳細 (1:5)



ボルト M20

床仕上に支障のある場合は、
ナットに廻り止め溶接後
ナットの上端を切断願います。

A-A (1:5)

止金具

エスカレーター据付完了後、
床仕上願います。
(日立除外工事)

通常モルタル詰め

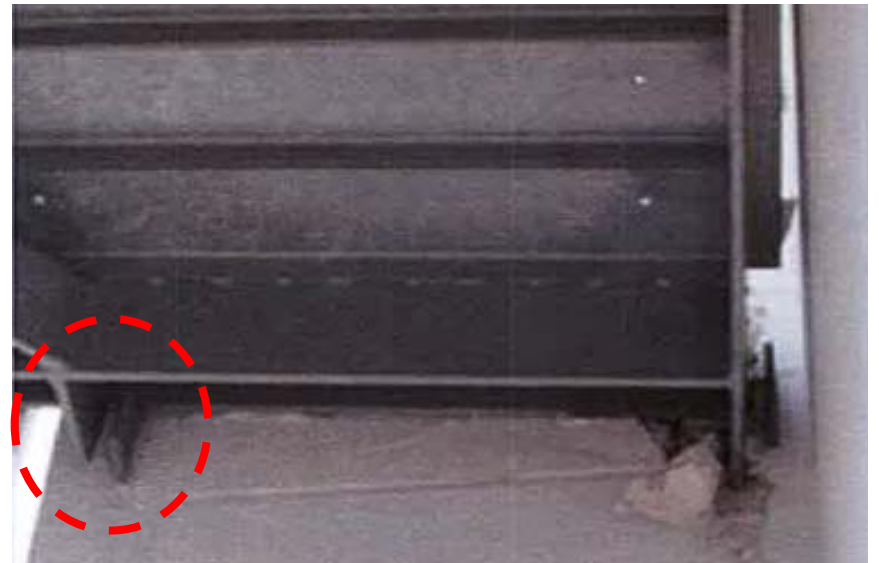
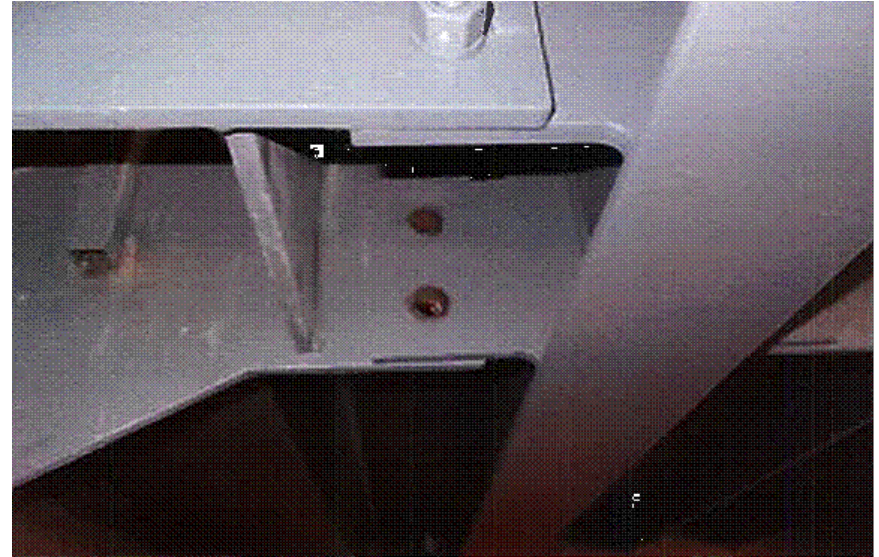
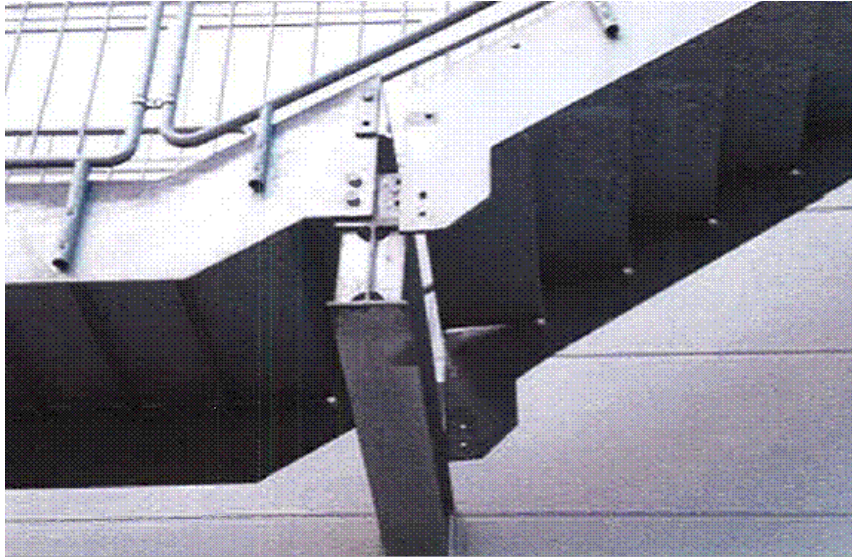
固定側

エスカレーター 設計上の留意点

- ・固定側、非固定側の設定を明確にし、非固定側周囲のクリアランスを確保する。
- ・落下防止に必要なかかり代を確保するとともに、非固定側のクリアランス寸法にも留意する。
現状の落下防止のかかり代は「昇降機耐震設計・施工指針」により規定されているが、東日本大震災の被害を踏まえて見直しされる予定である。
- ・エスカレーターの局部震度を考慮し、エスカレーターを支持する梁の剛性・強度を確保する。

階段の被害

接合部HTB破断、アンカーボルト破断、GPLの損傷

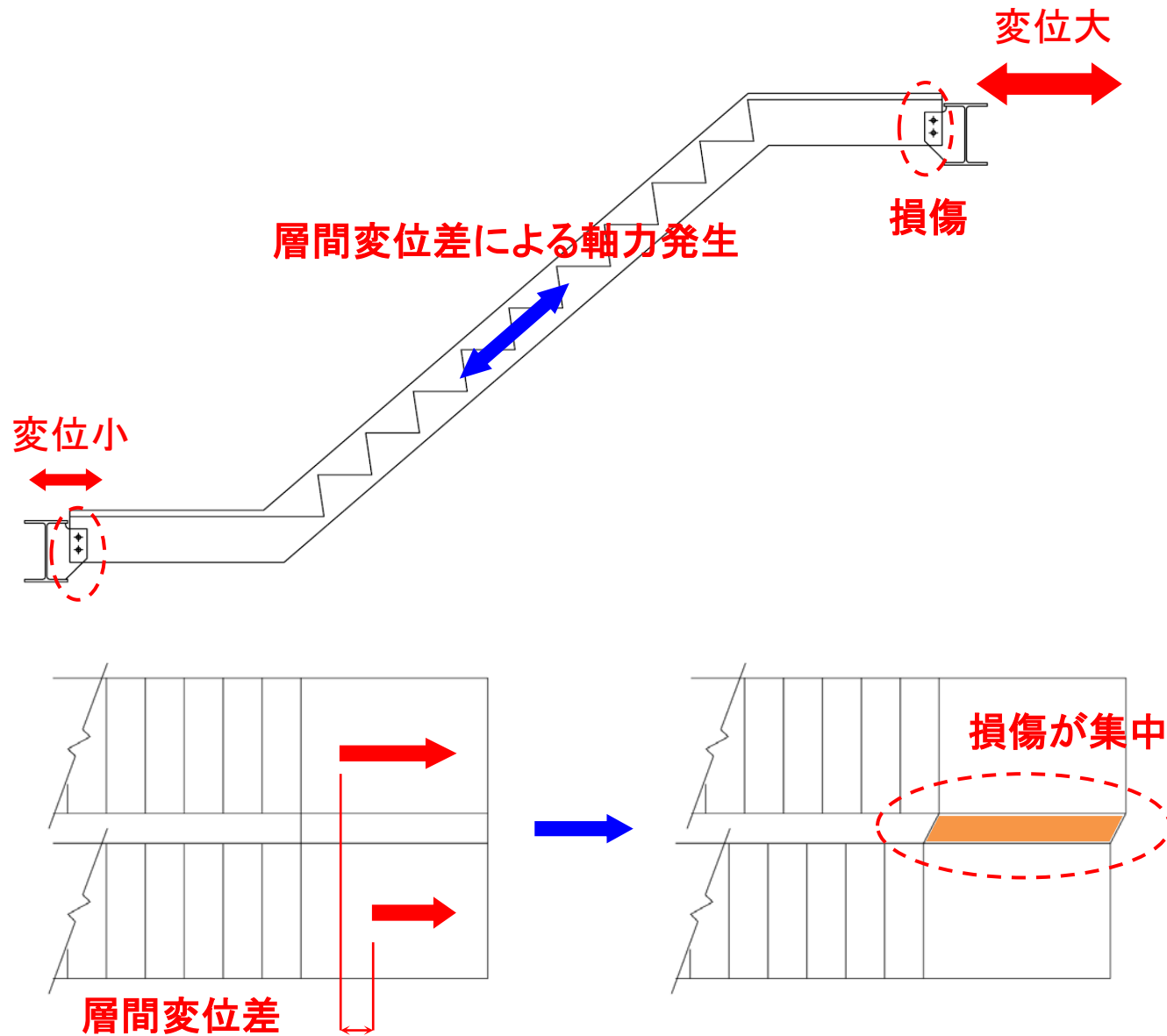


階段の被害

レベル調整ボルト損傷、ササラ損傷、踊り場損傷など



階段 被害原因



階段 設計上の留意点

- ・層間変形に追従できるディテールの導入（滑り支承、ルーズホール対応）または、落下防止対策（梁上のかかり代を大きくとる等）をとることが望ましい。
- ・鉄砲階段では特に注意が必要。

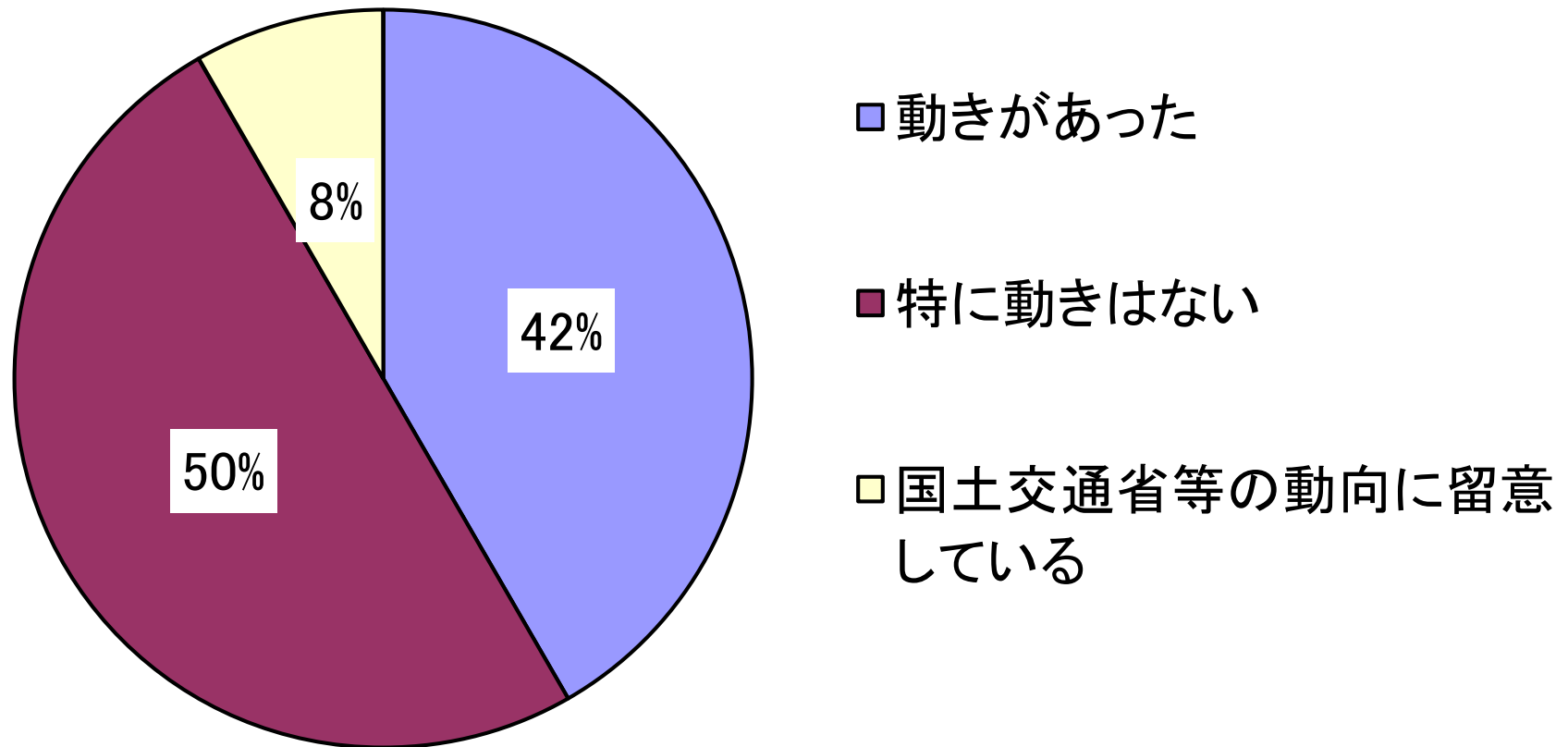
斜行部材に関するアンケート

◆アンケート内容

- ・斜行部材に対する東日本大震災後の対応
- ・車路スロープ、エスカレーター、階段に対する今後の対応

斜行部材に関するアンケート

Q1. 「2011.3.11東日本大震災」で斜行部材（エスカレーター、階段、スロープ）に被害がありましたか、これに対して社内的に対応等の動きがありましたか？



斜行部材に関するアンケート

◆「社内的に対応等の動きがある」との回答が約4割

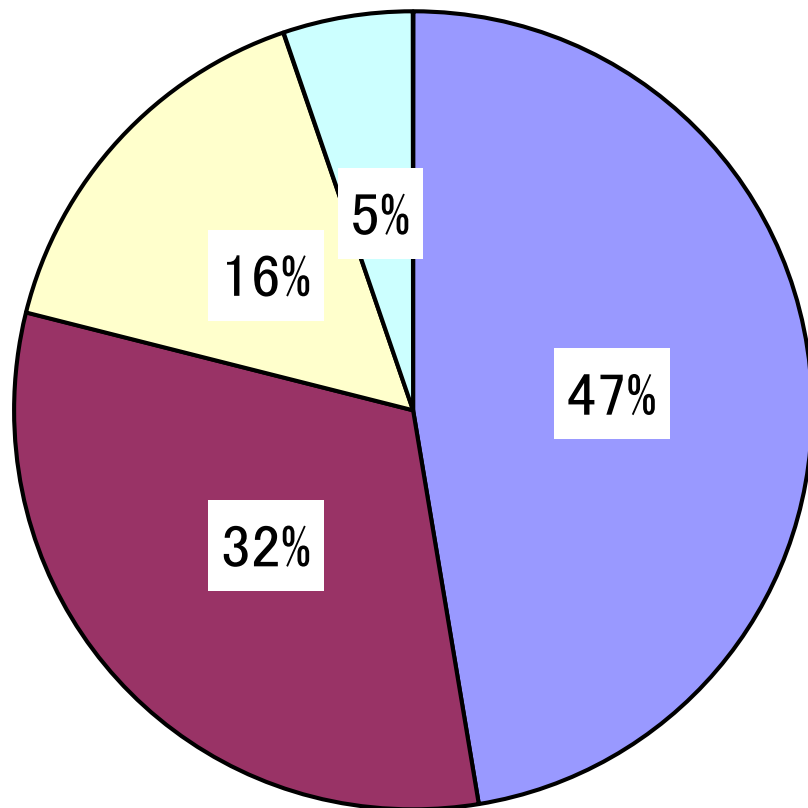
- ・社内指針の改訂・作成

- ・設計・施工物件の調査

- ・「建物に応じて大地震時の層間変形角を意匠設計者と構造設計者が協議して決めることになった」

斜行部材に関するアンケート

Q2. 「昇降機耐震設計・施工指針」によるとエスカレーターは層間変位 $h/100+20\text{mm}$ のかかり代を落下防止対策とすることになっています。今後どのような対応をしていくべきだと思いますか？



■ 仕様に則った確実な施工の徹底

■ より大きな地震を想定したかかり代等の設定

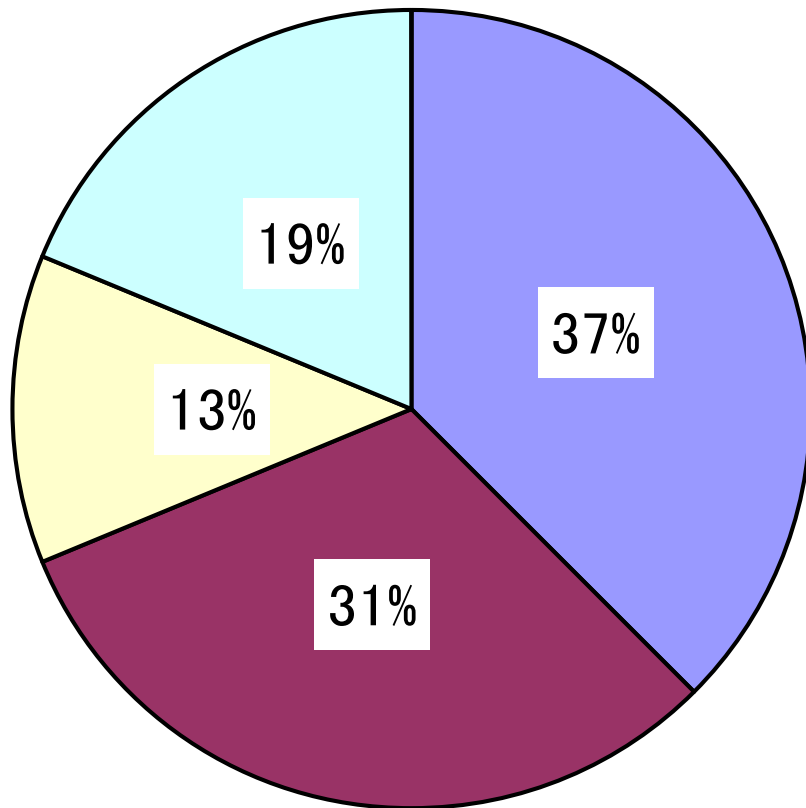
■ エレベーターの慣性力に対する支持梁の剛性・強度の確保

■ その他 「建物に応じた大地震時の層間変形角の算定」

・「確実な施工の徹底」との回答が約5割、適正な施工が求められている。

斜行部材に関するアンケート

Q3. 通常の階段は上階側、下階側がそれぞれ固定されており、その部分はブレース要素として作用することになります。今後の階段の設計について、今後どのような対応をしていくべきだと思いますか？



- 固定側、非固定側を明確し、必要なクリアランス、かかり代を確保する
- 階段の慣性力に対する支持梁の剛性、強度の確保
- 仕上げとのクリアランスの確保
- その他

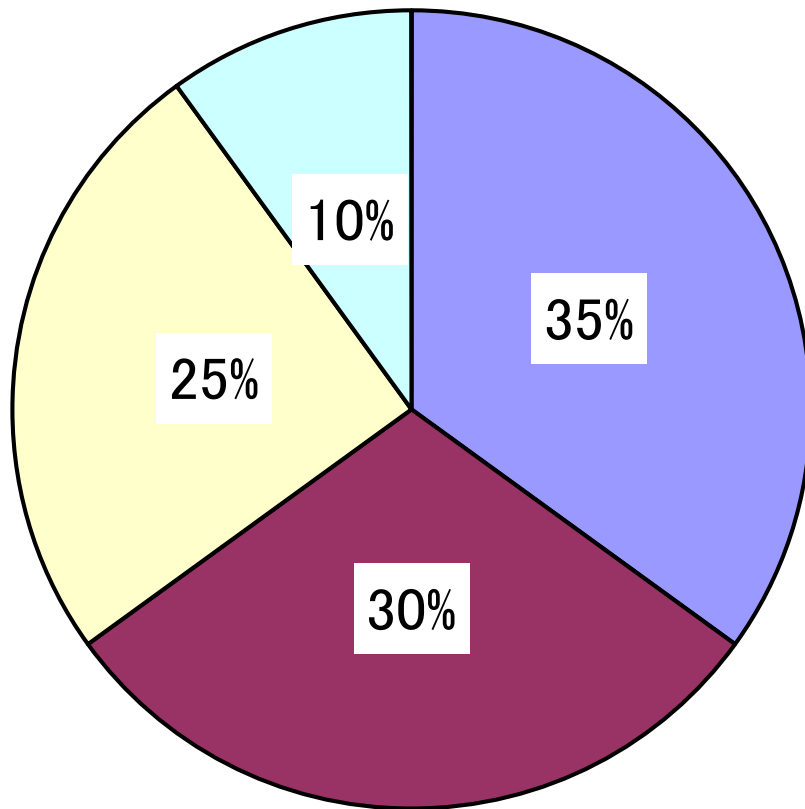
斜行部材に関するアンケート

◆ その他回答として

- ・ブレース要素として作用する場合も構造安全性が確保されることを確認する。
- ・本体の変形に追従できる構造とする。
- ・直通階段は固定側、非固定側を明確にすべきだが、折返階段は通常は特別な対応不要では？（RC階段は悩ましいところだが）

斜行部材に関するアンケート

Q4. スロープについては、ブレース部材として作用しないようにEXP.J等が設けられていますがおさまり上接続しなければならない場合もあります。今後どのような対応をしていくべきだと思いますか？



- 接続部材に強制変形による付加応力を考慮した設計を行う
- 車路中間部のEXP.Jを設けて強制変位の影響を小さくする
- 落下防止ブラケットの設置などフェールセーフを設ける
- その他 「鉄骨だけでなくスラブにも配慮が必要」等

非構造部材の対応(天井、斜行部材)まとめ

天井について

- ・複雑な天井は構造検討を行う。
- ・壁と天井の間は適切なクリアランスや衝突防止材に配慮する。
- ・野縁方向のブレース通りに繋ぎ材を配置し、揺れを抑制する
- ・クリップやハンガーなど金具の変形防止措置を施す。
- ・ブレースの偏心距離や継手金物に配慮する。
- ・構造設計者のこれまで以上の関わり
- ・設計・施工の確認体制やルール作り
- ・天井の明確な設計規準

斜行部材(車路スロープ、エスカレーター、階段)について

- ・建屋本体の変形に対する追従性を確保する。(かかり代、クリアランス等)
- ・強制変形をうける場合は、付加応力を考慮した設計を行う。
- ・局部震度を考慮した支持部材の強度、剛性を確保する。
- ・落下防止のフェールセーフを設ける。
- ・仕上げとのクリアランスを確保する。
- ・確実な施工の徹底。

以上