

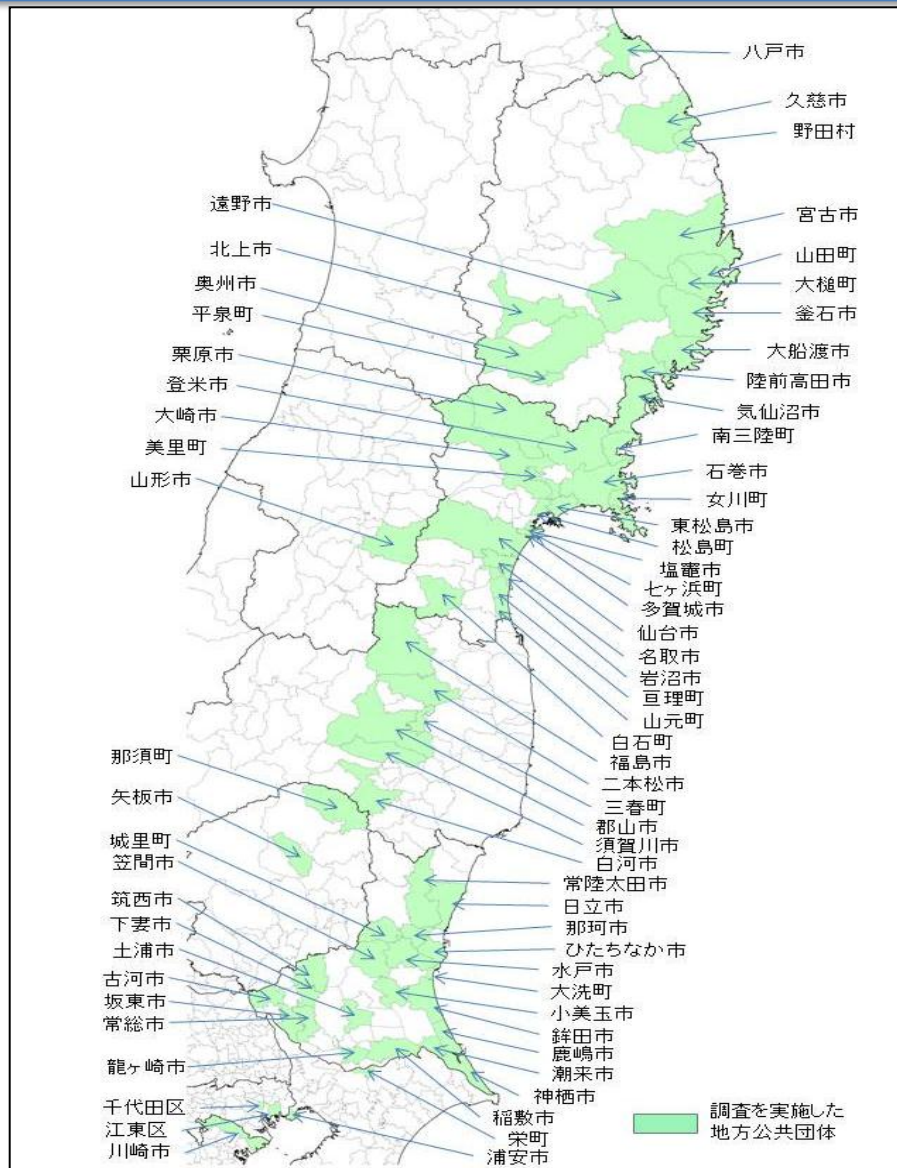
# 東日本大震災による建築物被害を踏まえた 対応について

---

国土技術政策総合研究所 建築研究部  
基準認証システム研究室長 深井敦夫

# 1. 建築物の被害と取り組みの概要

## ■建築物の被害状況に関する現地調査の実施



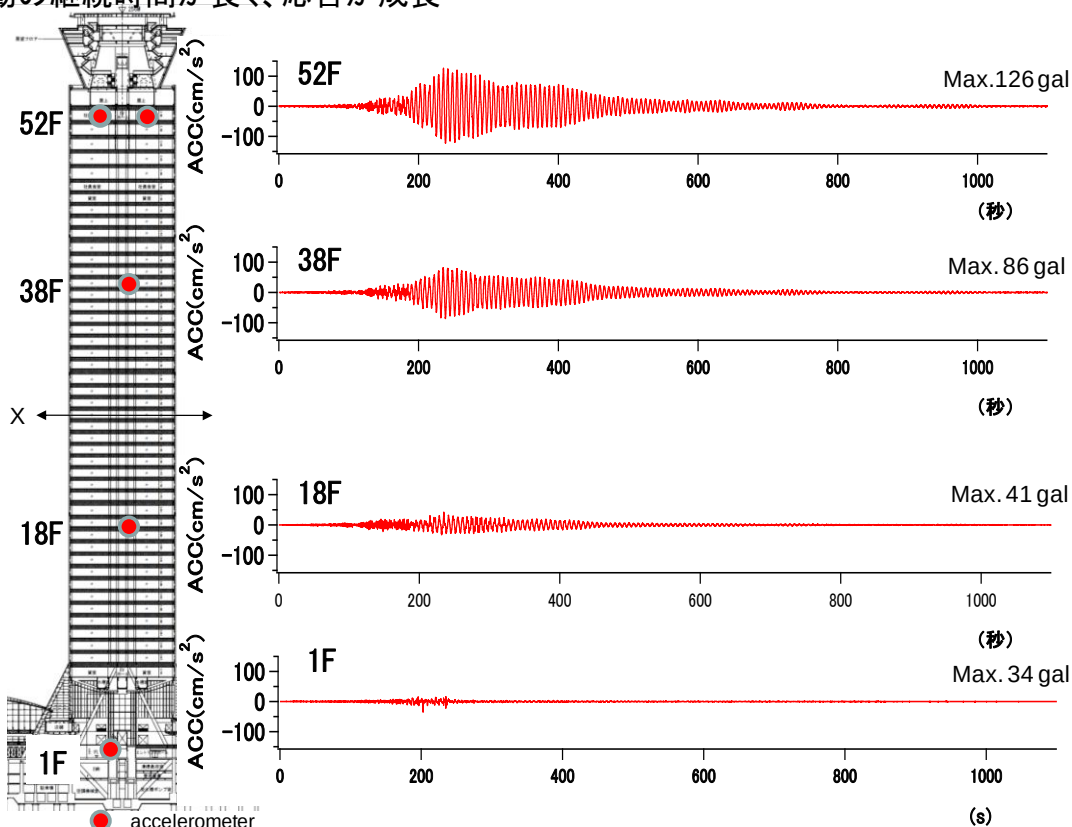
- ・発災翌日から調査開始
- ・発災後1ヶ月間で、のべ65名  
(建研・国総研計)を調査派遣、  
約140名を調査派遣。

■「平成23年東北地方太平洋沖地震調査研究」((独)建築研究所と共同)  
:「速報」を公表(H23.5)  
:「(最終報告)」を公表(H24.3)  
\* 以上はHPで公開

## ■長周期地震動に関する評価

震源から770km(大阪)に立地するh=256mの超高層庁舎

- ・地盤の周期と建物周期が近接
- ・地震動の継続時間が長く、応答が成長



- ・ H22.12 対策試案を公表、パブリックコメントを実施していたところ
- ・ 東日本大震災の観測データを踏まえてさらに検討の必要
- ・ 建築構造基準委員会に長周期WGを設置
- ・ (独)建築研究所等の協力も得て検討中(本日 別途発表)

RC造：兵庫県南部地震との被害形態の比較、  
被災建築物の詳細解析

S造：体育館被害とIs、設計基準と相関分析

木造：個別物件の詳細図面に基づく分析

免震：入力動と免震層の応答性状の検討

地盤：液状化判定式の適用性の検討

RC造被災建築物の詳細分析



1995年兵庫県南部地震で見られた  
RC造建築物の被害の分類（架構レベルの破壊）

被害の有無

阪神  
大震災

東日本  
大震災

ピロティ階の崩壊または大破  
壁の偏在に起因するねじれ応答による隅柱等の破壊  
低層建築物での中間の特定階の崩壊または大破  
中高層建築物での中間の特定階の崩壊または大破  
セットバックの影響による層崩壊  
建築物全体の転倒  
パンケーキ状の崩壊  
隣接建物との衝突  
異種構造間での破壊  
ペントハウスの傾斜、転倒、落下  
プレキャストコンクリート屋根の落下

◎  
○  
○  
○  
○  
○  
○  
○  
○  
◎  
○  
○  
○

○  
○  
○  
—  
—  
—  
—  
—  
—  
—  
○  
—  
—

鉄骨造屋根支承部の被害分析



- ・ 構造部材に関しては、概ね過去の被害地震における傾向の範囲内
- ・ 天井落下等非構造部材の被害について対策を検討

# 1 (4)国総研・建研最終報告書（第6章 各種構造の津波被害）



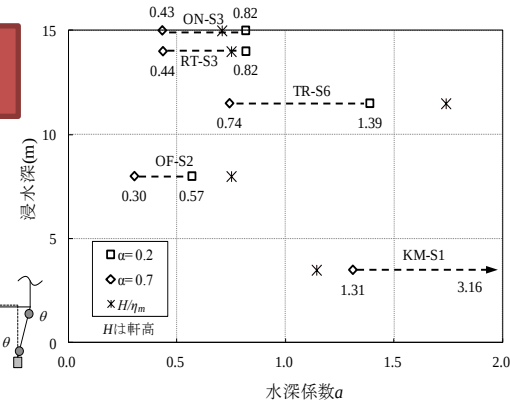
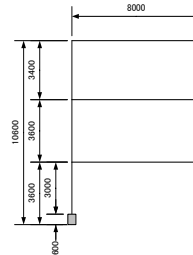
RC造：建築物転倒の解析的検証

液状化時の杭の引抜耐力の検討

S造：開口による波力低減効果の検証

木造：木造住宅の耐え得る浸水深の検討  
及び設計法の提案

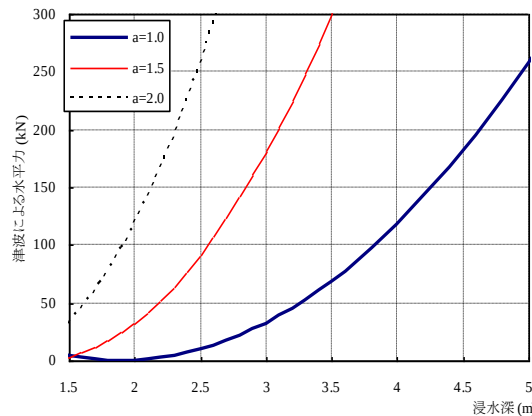
鉄骨造の骨組耐力と開口を  
考慮した水深係数の検討



RC造転倒建築物の詳細検討



木造建築物の詳細検討



| 建物仕様<br>津波荷重 | 開口低減無し |       |         |       |
|--------------|--------|-------|---------|-------|
|              | 壁量計算   |       | 品確法等級 3 |       |
| 水深係数         | 6P×6P  | 8P×8P | 6P×6P   | 8P×8P |
| a= 3.0       | 0.9m   | 1.0m  | 1.0m    | 1.1m  |
| a= 2.0       | 1.4m   | 1.5m  | 1.6m    | 1.7m  |
| a= 1.5       | 1.9m   | 2.0m  | 2.1m    | 2.2m  |

- ・ 転倒、滑動等の現象や、開口の影響について検証
- ・ 構造設計法についての提案  
(これらは技術基準、設計例に活用)



# 1(5)建築関連技術基準原案の検討【建築構造基準委員会】

被災地現地調査団の派遣(委員5名＋  
国総研、H23. 4/21－22)

第1回(H23/6/8)

- ・建築物被害調査速報
- ・津波対策
- ・長周期地震動対応 ほか

第2回(H23/8/18)

- ・津波対策
- ・非構造部材の安全確保対策
- ・液状化被害

第3回(H23/10/13)

- ・津波対策(指針原案提示)
- \*【11月に本省から通知発出】**

第5回(H24/7/9)

- ・天井脱落防止対策【7/31～(1次)パ  
ブコメ】
- ・エスカレーター落下対策【同上】
- ・長周期地震動対応 ほか

第6回(H24/10/22)

- ・天井脱落防止対策
- ・エスカレーター落下対策
- \*【2/27から告示案等についてパブ  
リックコメント実施】**

他の課題について引き続き検討

建築構造基準委員会 委員名簿 (H24. 12)

◎委員長 ○委員長代理

委 員

|             |                        |
|-------------|------------------------|
| 金岡 宏幸       | 日本建築行政会議 適判部会部会長       |
| 金箱 温春       | (社)日本建築構造技術者協会会長       |
| 北村 春幸       | 東京理科大学理工学部建築学科 教授      |
| ◎久保 哲夫      | 東京大学名誉教授               |
| 桑原 文夫       | 日本工業大学工学部建築学科 教授       |
| 田中 仁史       | 京都大学防災研究所 教授           |
| 田端 隆        | (社)日本建築士事務所協会連合会常任理事   |
| 中島 正愛       | 京都大学防災研究所 教授           |
| ○平石 久廣      | 明治大学理工学部建築学科 教授        |
| 細澤 治        | (社)日本建設業連合会設計委員会構造専門部会 |
| 榊田 佳寛       | 宇都宮大学大学院工学研究科 教授       |
| 緑川 光正       | 北海道大学大学院工学研究院 教授       |
| 望月 国広       | 日本建築行政会議 構造部会部会長       |
| 安村 基        | 静岡大学農学部環境森林科学科 教授      |
| 専門委員        |                        |
| 清家 剛        | 東京大学新領域創成科学研究科 准教授     |
| 元結正次郎       | 東京工業大学総合理工学研究科 教授      |
| 協力委員        |                        |
| 飯場 正紀       | (独)建築研究所構造研究グループ主席研究監  |
| 大川 出        | (独)建築研究所構造研究グループ主席研究監  |
| 福山 洋        | (独)建築研究所構造研究グループ長      |
| 事務局         |                        |
| 国土技術政策総合研究所 | 建築研究部                  |

## 2. 津波避難ビルの構造上の要件 に関する技術基準



## 2 津波避難ビル等の構造要件に関する技術基準 (1)概要

津波避難ビル等の構造上の要件に係る暫定指針

：住宅局及び国総研によりとりまとめ。（H23.11.17住宅局通知）。  
津波防災地域づくり法に基づく技術基準告示（H23.12.27）

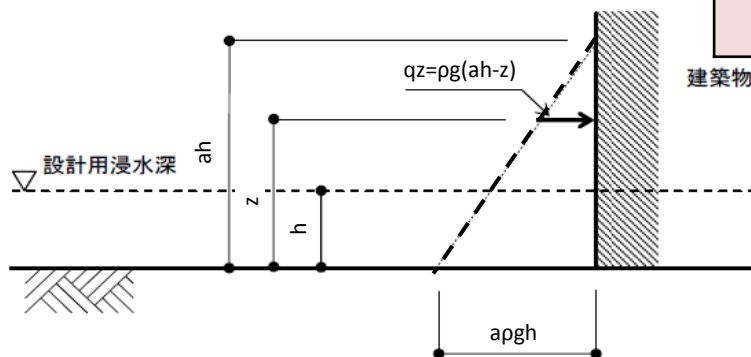
### 主な見直し

#### ●津波荷重の設定の合理化

従来のガイドライン  
(実験に基づき設定)  
一律、浸水深の**3.0倍**  
の静水圧

今回の震災  
を踏まえ  
合理化

|                                 |      |
|---------------------------------|------|
| ① 堤防や前面の建築物等による軽減効果が見込まれる場合     | 2.0倍 |
| ② ①のうち、海岸等からの距離が離れている場合（500m以遠） | 1.5倍 |
| ③ ①、②に該当しない場合                   | 3.0倍 |

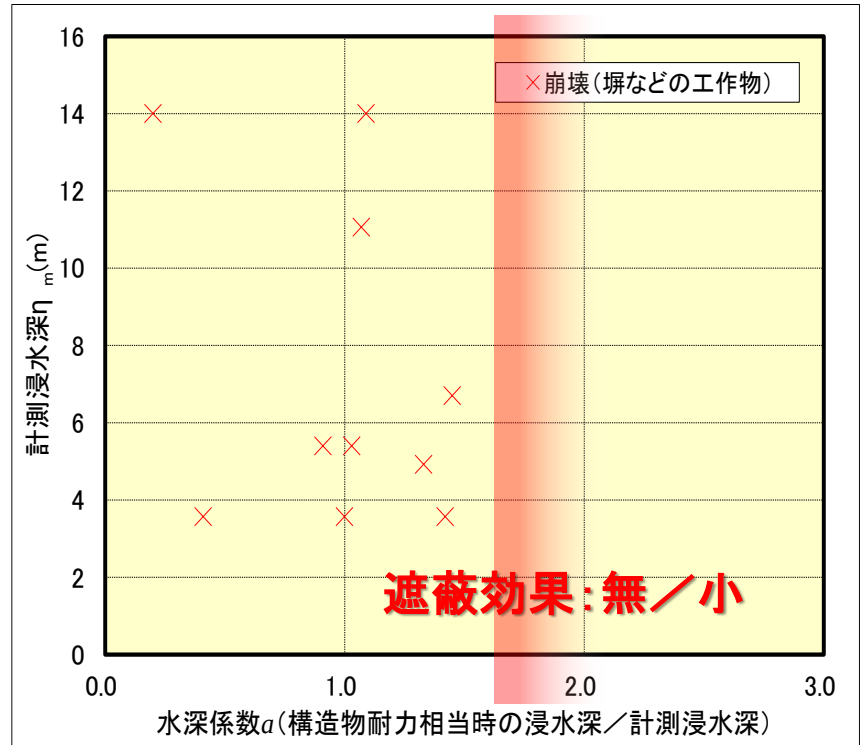
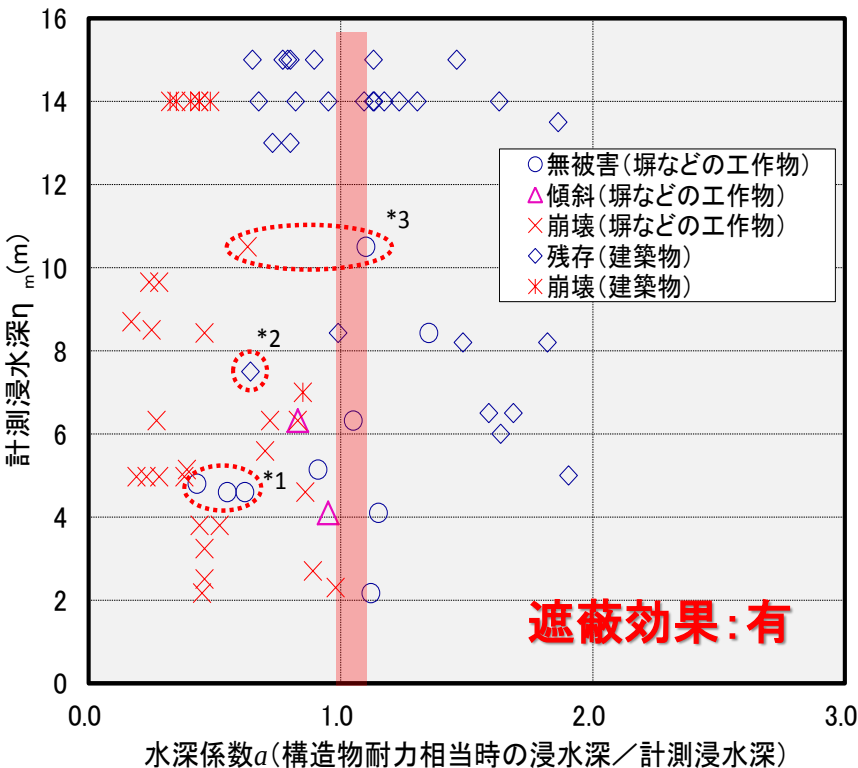


併せて、荷重算定にあたって、以下のことを明示  
①開口部（窓等）への流入による波力低減が可能  
②ピロティの開放部分は荷重算定の対象から除外

※上記の他、浮力による転倒に関する検討、洗掘への設計上の配慮、漂流物の衝突への設計上の配慮について 明確化

## 2(2)津波荷重についての分析、基準の検討

### ○水深係数 $a$ と被害程度の関係（遮蔽効果の有無）



- ・「遮蔽効果有り」では  $a = 1.0$  程度で被害 / 無被害が区分
- ・「遮蔽効果無し / 小」では, 「遮蔽物有り」よりも被害・無被害を区分する  $a$  の値は大きくなる (1.5以上)

2階建ての冷蔵倉庫、直接基礎、**開口部が少ない**

転倒(横倒し)・移動(**隣接する高さ2mの壁を乗り越える**)



### ○浮力算定式

津波によって生じる浮力

$$Q_z = \rho g V$$

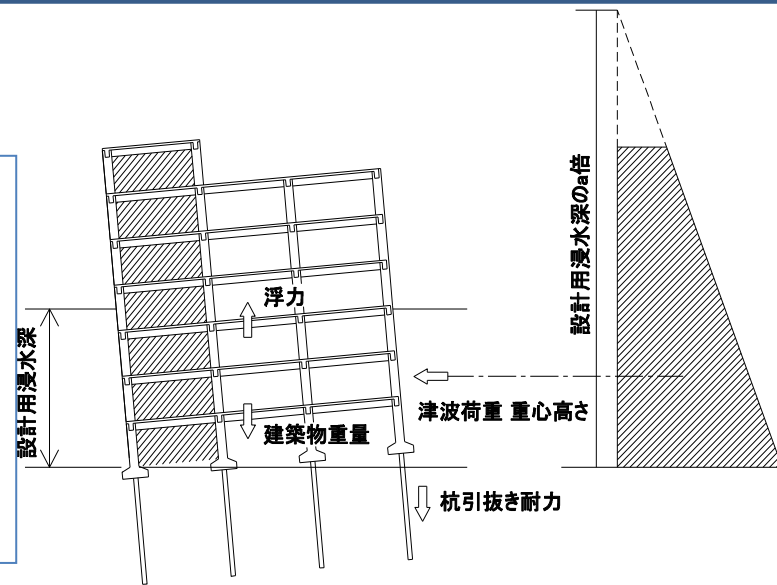
ここに

$Q_z$ : 浮力(kN)

$V$ : 津波に浸かった建築物の体積( $m^3$ )

ただし、開口率を勘案して水位上昇に応じた開口部からの水の流入を考慮して算定することができる。

- ①開口部から水が流入し、一部が空気だまりとなった場合の浮力
- ②開口部が少なく、建物容積全体相当の浮力が働いている場合があると推定。

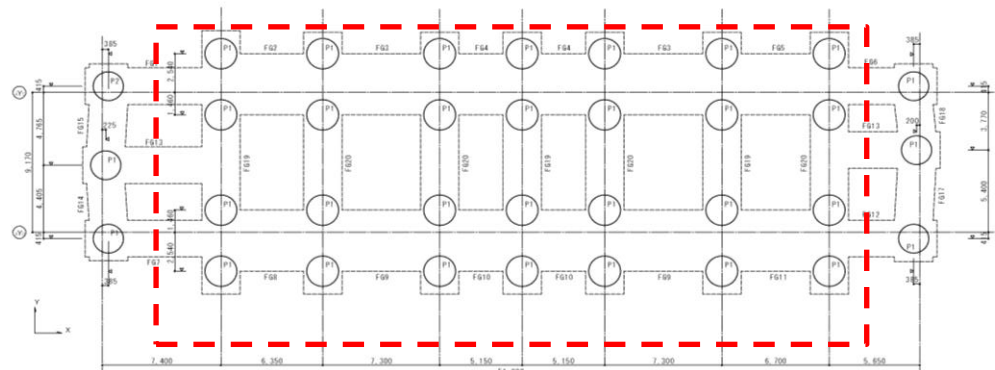


実務者の技術的支援のため、新たな指針に沿った複数の設計例を作成した。具体の計算プロセスを提示するとともに、設計例作成を通じて得られた所見について基準の解説に反映。これらについては公開。補助事業を活用し講習会を実施。

鉄筋コンクリート造 6階建て共同住宅(浸水深10m、水深係数2.0)

鉄筋コンクリート造 8階建て共同住宅(浸水深15m、水深係数2.0)

(その後、これらをもとに、さらにS造、木造のバリエーションが補助事業により作成され、公開されている。)



くい伏図

(設計用浸水深15m、 $a=2.0$ の場合)

○水平耐力確保: 耐力壁(1階)の壁厚: 500mm

○転倒耐力確保: 鋼管コンクリートくい: 2本1組にして設置(原設計18本→**34本: 上図**)、 $\phi 2,000\text{mm}$

### 3. 天井脱落対策に関する技術基準

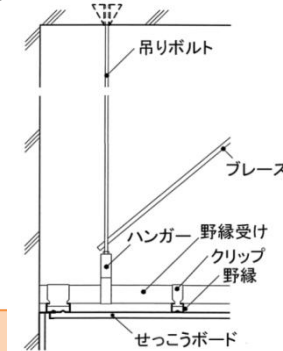
### 3 (1) 天井脱落対策に係る技術基準 (経緯概要)

#### ■東日本大震災での天井脱落の被害

- 東日本大震災では、体育館、劇場、商業施設、工場などの大規模空間を有する建築物の天井について、比較的新しい建築物も含め、脱落する被害が多く見られた。

#### ■建築基準法の天井脱落に係る規定(現行)

- 建築基準法では、天井について、風圧並びに地震その他の震動及び衝撃によって脱落しないようにしなければならない旨規定【建築基準法施行令第39条】



#### ■建築基準法に基づく天井脱落対策の規制強化(案)

天井脱落対策について、国総研で作成した「天井脱落対策に係る技術基準原案」をもとに技術基準を定め、建築基準法に基づき、新築建築物等への適合を義務付け

※H24.7/31～技術基準原案についてパブリックコメント、 H25.2/28～政令・告示案についてのパブリックコメント

#### (参考) 現状と、天井脱落対策に係る技術基準案の比較例

|                 | 現状                    | 見直し後                                                               |
|-----------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------|
| クリップ、ハンガー等の接合金物 | 引っ掛け式等で地震時に滑ったり外れるおそれ | ねじ留め等により緊結                                                         |
| 吊りボルト、ブレース等の配置  | 設計により様々               | 密に配置<br>吊りボルト 1本/m <sup>2</sup><br>強化したブレース<br>1対/15m <sup>2</sup> |
| 設計用地震力(水平方向)    | 実態上1G程度               | 最大2.2G                                                             |



# 3天井脱落対策 (3)技術基準の検討(全体の構成(案))



## 新築建築物等

## 既存建築物

### 安全上重要な天井

〔 6m超の高さにある、面積200㎡超の吊り天井  
(※人に重大な危害を与えるおそれの低いものを除く) 〕

【目標】中地震で天井が損傷しないこと。

(これにより、中地震を超える一定の地震においても脱落の低減を図る。)

#### ※その他の天井

- 人に重大な危害を与えるおそれの低いもの。
  - ・ 高さ6m未満
  - ・ 面積200㎡未満
- 人に危害を与えるおそれがない場所に設置されているもの。
  - ・ 居室、廊下その他の人が日常利用する場所に設けられるもの以外の天井
- 軽いもの。
  - ・ 天井の質量が2kg/㎡以下

(設計者の判断により安全を確保)

○以下のいずれかのルートを適用し検証。

#### 仕様ルート

水平方向の地震力に対し斜め部材を配置し、周辺にクリアランスを確保

耐震性等を考慮した天井の仕様適合することで検証  
(天井の質量  
2kg/㎡超  
20kg/㎡以下)

#### 計算ルート

天井の耐震性等を計算で検証

#### 特殊検証ルート

複雑な天井等を、個々の建築物の特性に応じ時刻歴応答解析等で検証

その他の方法によるものについては、仕様ルート・計算ルートの追加(告示)により対応を検討。一定の設計ルール(仕様、計算方法)の認定(一般認定)を位置づけ。

### 既存の天井

○新築時の基準または

#### 落下防止措置

- 天井材が損傷しても落下しないような措置がなされているもの
  - ・ ネットの設置
  - ・ 天井面構成材をワイヤー等で吊る構造

※耐震診断基準に位置づけ



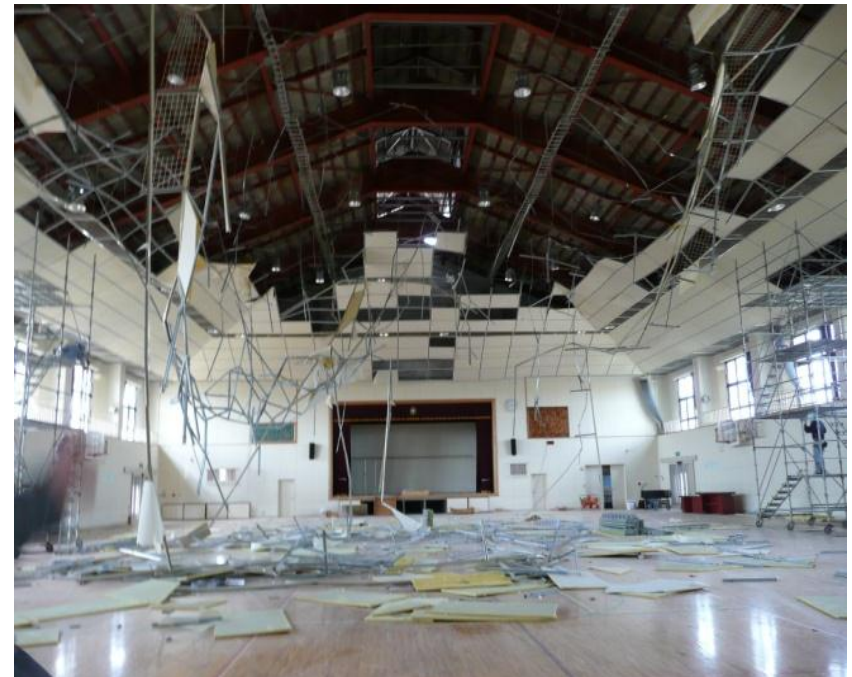
### 3 (2) 天井脱落対策に関する技術基準 (被害分析)

#### ■東日本大震災での天井脱落の被害

- 東日本大震災では、体育館、劇場、商業施設、工場などの大規模空間を有する建築物の天井について、比較的新しい建築物も含め、脱落する被害が多く見られた。
- 報道等によれば、天井の脱落等による人的被害は、死者5名、負傷者72名以上。また、被害件数は、(社)日本建設業連合会からの報告によれば、約2000件判明。

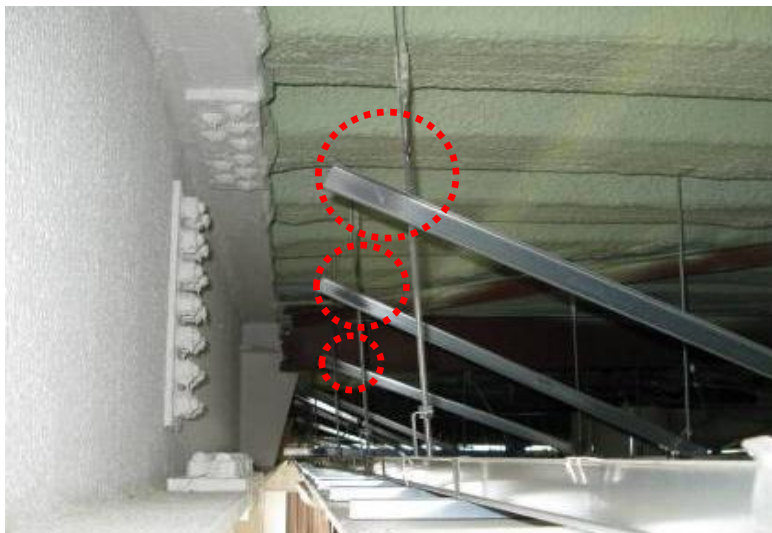


音楽ホールにおける天井の脱落

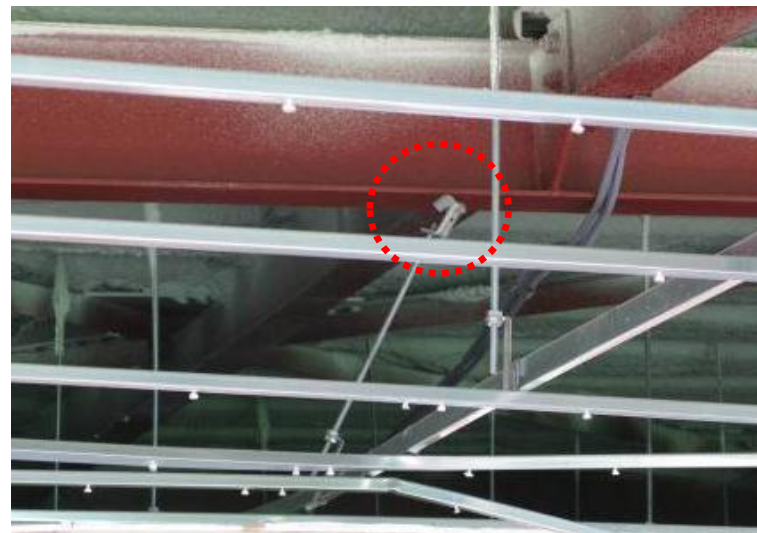


体育館における天井の脱落

### 3 (2) 天井脱落対策に関する技術基準 (被害分析)



斜め部材の溶接の外れ



H形鋼梁への吊り金具の外れ



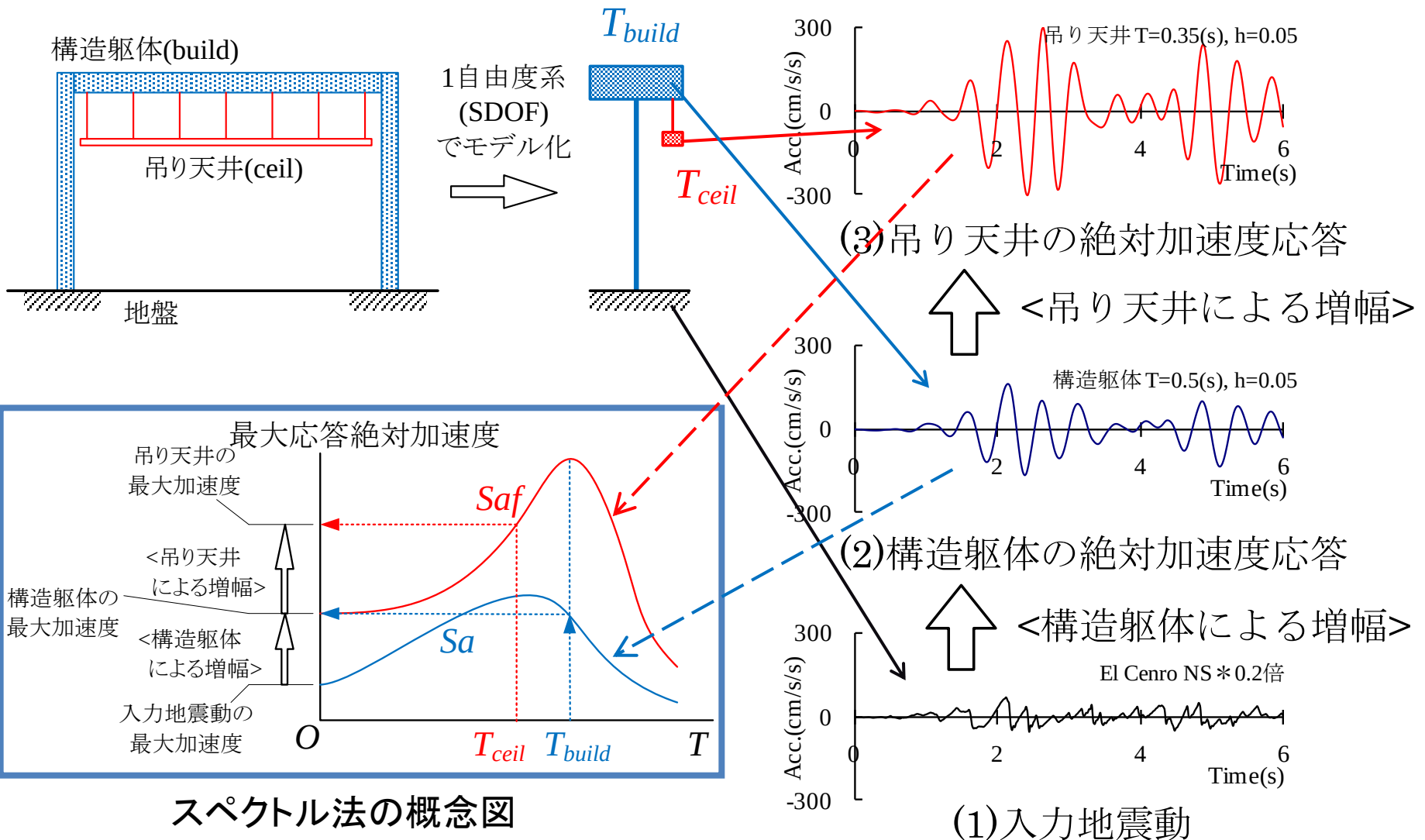
床面に落下した天井(クリップの外れ)



ハンガーの開き

(出典:平成23年度建築基準整備促進事業 41.非構造部材の地震被害を踏まえた基準整備に資する検討 報告書)

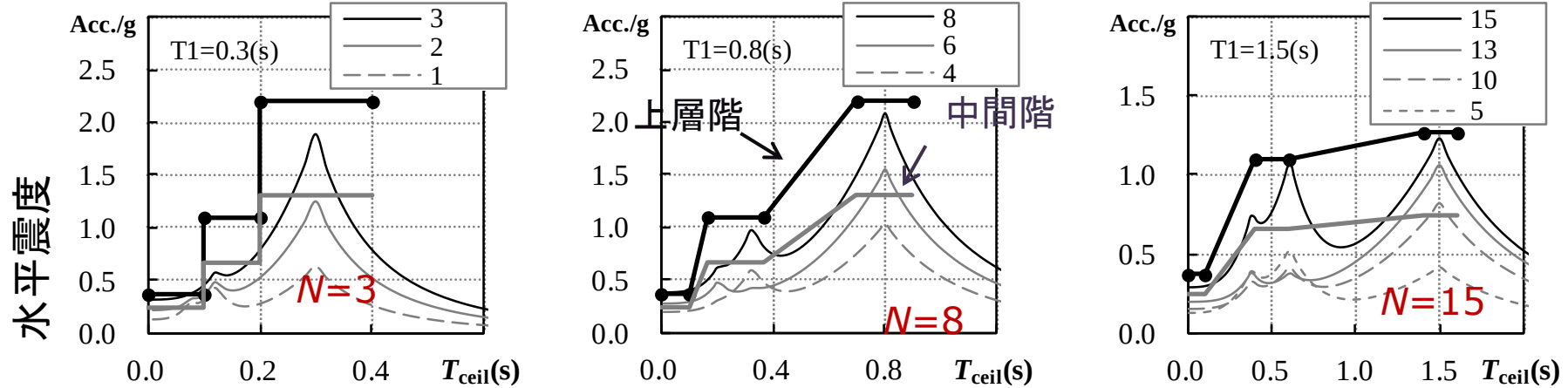
# 3天井脱落対策 (3)技術基準の検討(応答スペクトル法)





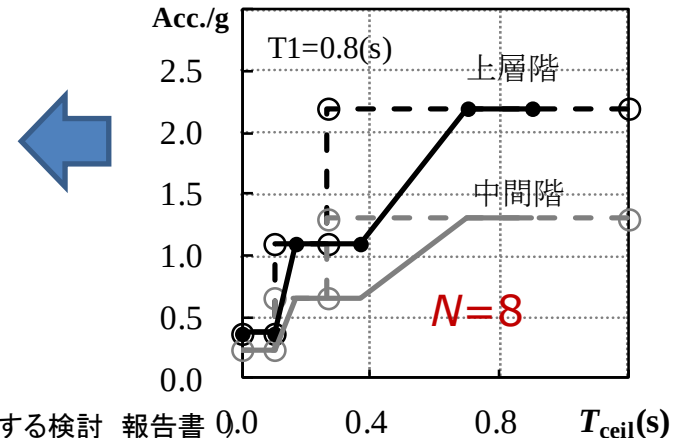
# 3天井脱落対策 (3)技術基準の検討(評価法の簡略化)

- 簡易スペクトル法:「スペクトル法」をもとにして、水平振動簡略化。
- 共振には周期に幅を持たせスペクトル法をほぼ包絡する形とする。



- 水平震度法:簡易スペクトル法の結果をさらに単純化
- 中地震動を入力地震動としたときの水平震度を明示。

| 階   | 水平震度  |
|-----|-------|
| 上層階 | 2.2rZ |
| 中間階 | 1.3rZ |
| 下層階 | 0.5   |



### 3(3)天井脱落対策 技術基準の検討(仕様基準)



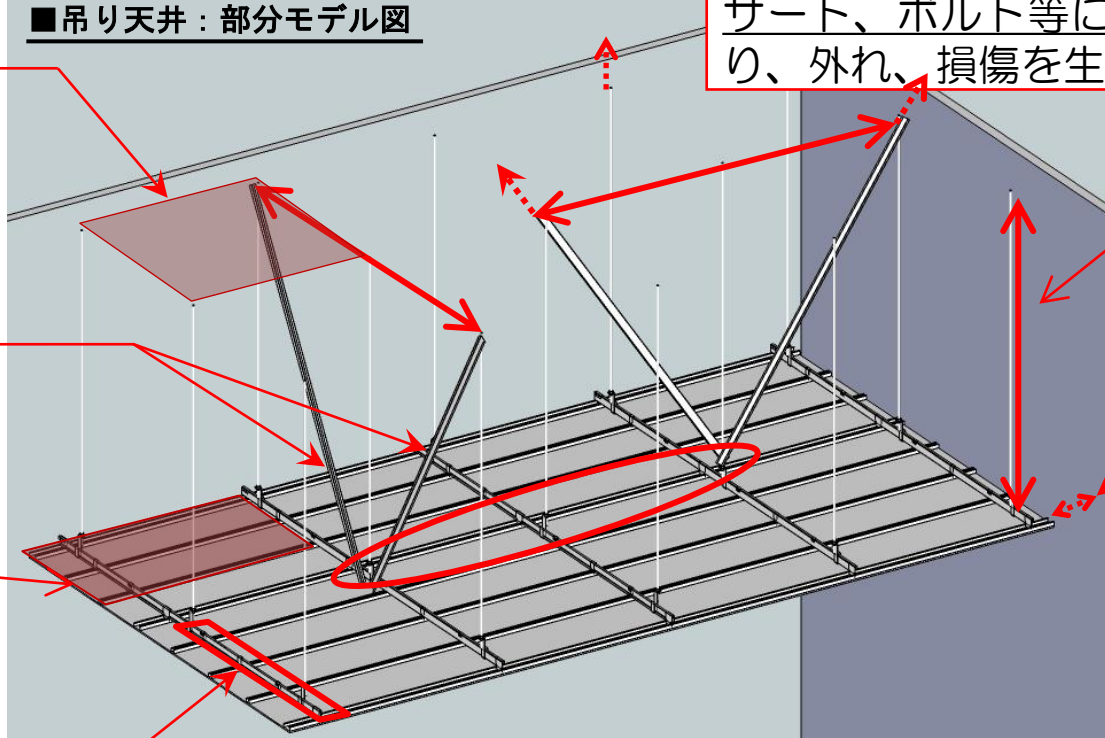
⑤ 吊りボルトは、1本/㎡以上

⑨ 斜め部材は、V字状に、算定式で必要とされる組数

① 天井の単位面積質量は、20kg/㎡以下

② 天井材は、相互に緊結し、荷重 又は外力により、容易に滑り、 外れ、損傷を生じないこと

■吊り天井：部分モデル図



③ 吊り材は、構造耐力上主要な部分等に取り付け

④ 斜め部材又は吊り材は、埋め込みインサート、ボルト等により取付け、容易に滑り、外れ、損傷を生じないものとすること

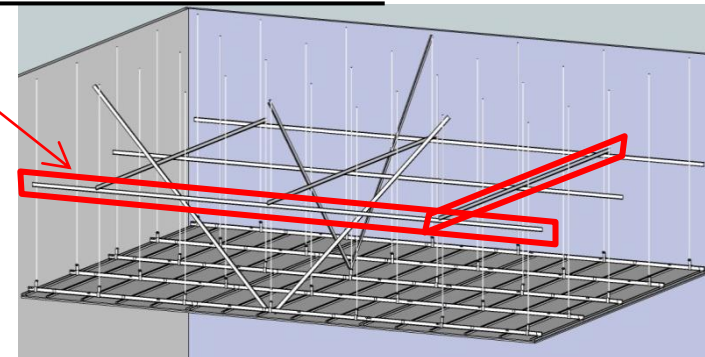
⑦ 吊り長さは、3m以下で、おおむね均一

⑩ 壁等との間に、6cm以上の隙間を設けること

⑥ 天井面に段差等を設けないこと

※吊り長さ1.5m以上の場合

⑧ 1.5m以内ごとに補剛材を設置



# 4. エスカレーター落下対策に関する 技術基準



# 4 「エスカレーターの落下防止対策試案」について (1) 被害等

## 東日本大震災でのエスカレーター落下被害



仙台市幸町のショッピングセンター  
(設計・施工：A社)



仙台市泉大沢のショッピングセンター (設計・施工：B社)



郡山市のショッピングセンター  
(設計・施工：C社)

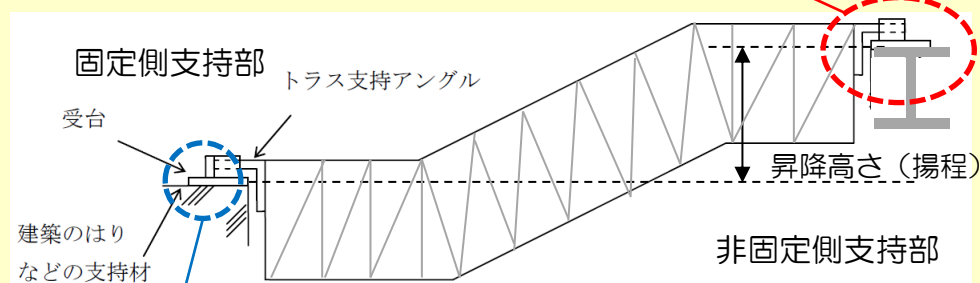
## ■ 現行のエスカレーターの耐震基準(業界指針)

○現在、エスカレーターの耐震性能については「昇降機耐震設計・施工指針」(業界指針)において、右図のような落下防止対策を定めているが、法令上の規定はない。

○東日本大震災においては、上記指針に従って設計・設置されたエスカレーターにおいても落下事案が発生したことから、想定すべき建築物の変位(現行1/100)について見直しが必要。

### 現行指針の概要

① 昇降高さ× $\frac{1}{100}$ +20mm以上の「かかり代」の確保



② 固定部の強度を計算により確保

## ■現行の業界指針

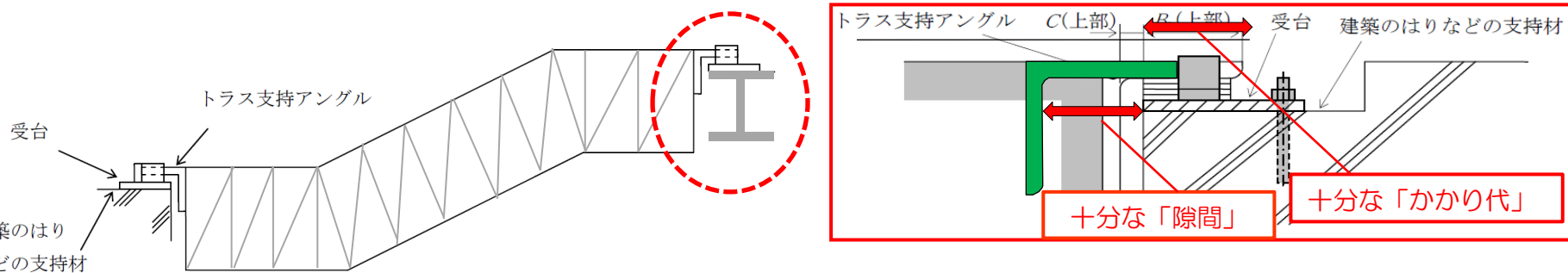
落下防止のための「かかり代」(昇降高さ×1/100+20mm以上)を確保する。



## ■建築基準法に基づくエスカレーターの落下防止対策の規制強化

「エスカレーターの落下防止対策に係る技術基準原案」をもとに基準を定め、建築基準法に基づき、新設エスカレーターへの適合を義務付け

**基準 ⇒ 落下防止のための十分な「かかり代」(昇降高さ×1/40+20mm以上)の確保(ただし、構造計算により緩和が可能) など**



## 5. まとめと今後の取り組み

東日本大震災における建築物被害を踏まえ



## 津波避難ビルの構造上の要件等の基準の整備

: H23.11～12 技術基準の通知・告示制定 H24.2～ 技術資料を整備、公開・説明会  
H25～ さらに基準の高度化に向け、総プロ等を活用し、設計上の工夫を評価する手法等  
について調査研究を実施予定

## 天井脱落防止対策

: 技術基準原案について、パブリックコメントを実施(H24.7/31～9/15)。意見を踏まえ、技術的検討を行い、建築基準法施行令・告示改正予定(パブコメ中)。  
H25 技術資料の整備予定

## エスカレーターの脱落防止対策

: 技術基準原案についてパブリックコメントを実施(7/31～9/15)。意見を踏まえ、技術的検討中。

引き続き検討: 長周期地震動対策  
敷地の液状化対策