

非構造部材の耐震性に関する 研究動向と展望

(国研)建築研究所
建築生産研究グループ
主任研究員
石原 直

内容

I はじめに

II 研究動向（建築研究所での検討の紹介）

- 1) 荷重・外力
- 2) 各種非構造部材の耐震性 →天井、壁

III 展望

- 1) 構造躯体の変形
- 2) 壁の設計用地震力
- 3) 非構造部材の振動特性
- 4) 非構造部材の剛性・耐力等の力学特性
- 5) その他

IV おわりに

I はじめに

表 地震時の天井脱落等の被害の例

年	地震	主な被災建築物
H13(2001)	芸予地震	体育館、武道場
H15(2003)	十勝沖地震	空港ターミナルビル
H16(2004)	新潟県中越地震	体育館
H17(2005)	宮城県沖を震源とする地震	温水プール
H19(2007)	能登半島地震	体育館
H23(2011)	東北地方太平洋沖地震	ホール、体育館、空港ターミナルビル
H28(2016)	熊本地震	ホール、体育館

I はじめに

地震時の天井脱落等の被害の例



空港ターミナルビル天井の被害(2003年十勝沖地震)

I はじめに

地震時の天井脱落等の被害の例

「建築物における天井脱落対策試案」について

参考資料

■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
- 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、た、被害件数は、(社)日本建設業連合会からの報告によれば、

- 死者5名、負傷者72名以上
- 被害件数約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

東日本大震災(2011年東北地方太平洋沖地震)

I はじめに

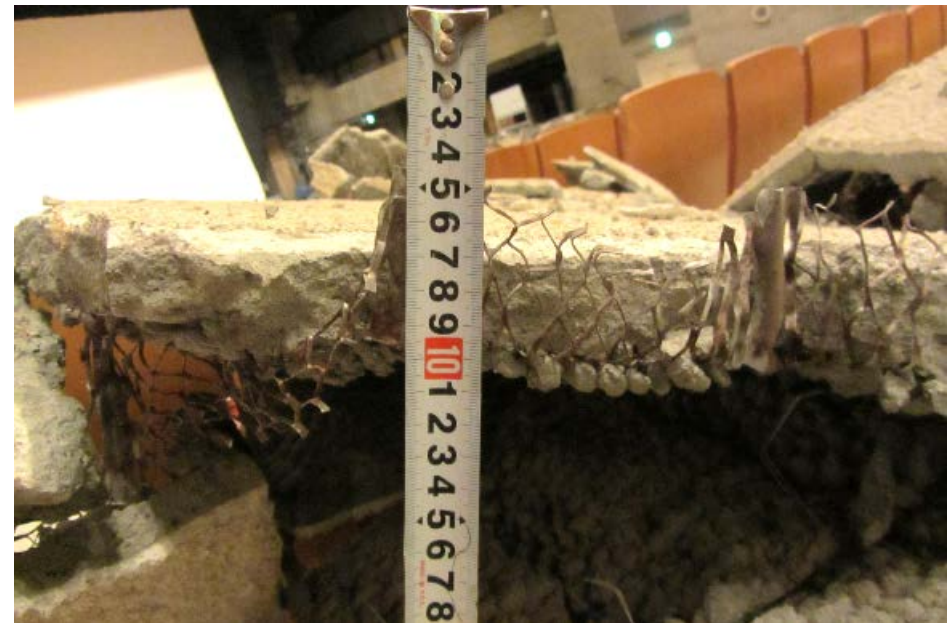
地震時の天井脱落等の被害の例



東日本大震災
(2011年東北地方太平洋沖地震)

I はじめに

地震時の天井脱落等の被害の例



鉄網にモルタルを塗った重たい天井の脱落

熊本地震での被害例

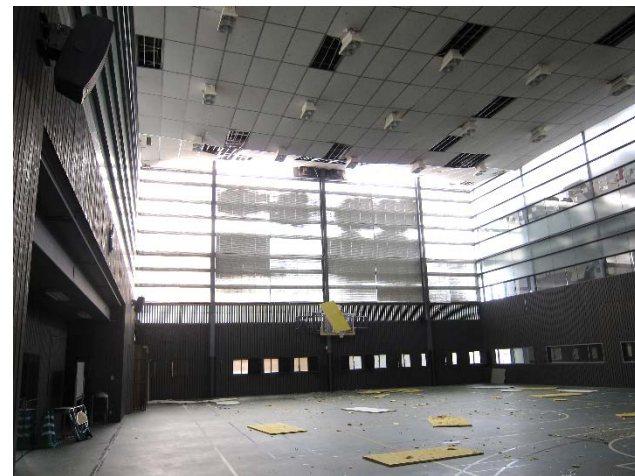
I はじめに

地震時の天井脱落等の被害の例

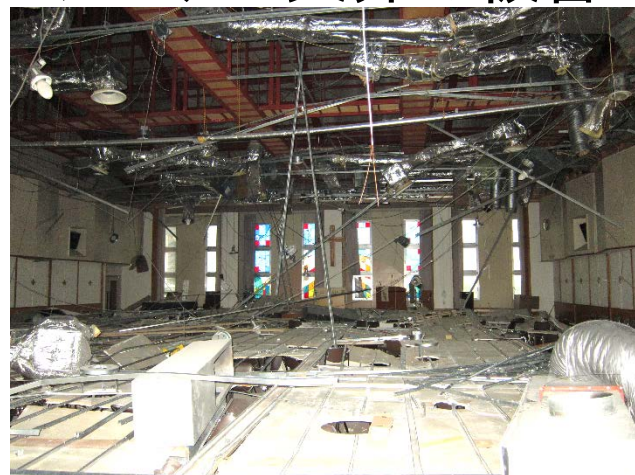


在来工法天井の全面的脱落

熊本地震での被害例



システム天井の被害



在来工法天井の全面的脱落

I はじめに

地震時の間仕切壁の被害の例



熊本地震での被害例

多くの被害が発生しているとの情報あり。

I はじめに

非構造部材と呼ぶ場合に建築設備（機器）を含む場合があるが、本講演では対象とせず、**内外装材等**（構造躯体に含まれない下地や**2次部材**を含む）について述べる。

鉄筋コンクリート造の非構造の壁（いわゆる雑壁）も対象としていない。

内容

I はじめに

II 研究動向（建築研究所での検討の紹介）

- 1) 荷重・外力
- 2) 各種非構造部材の耐震性 →天井、壁

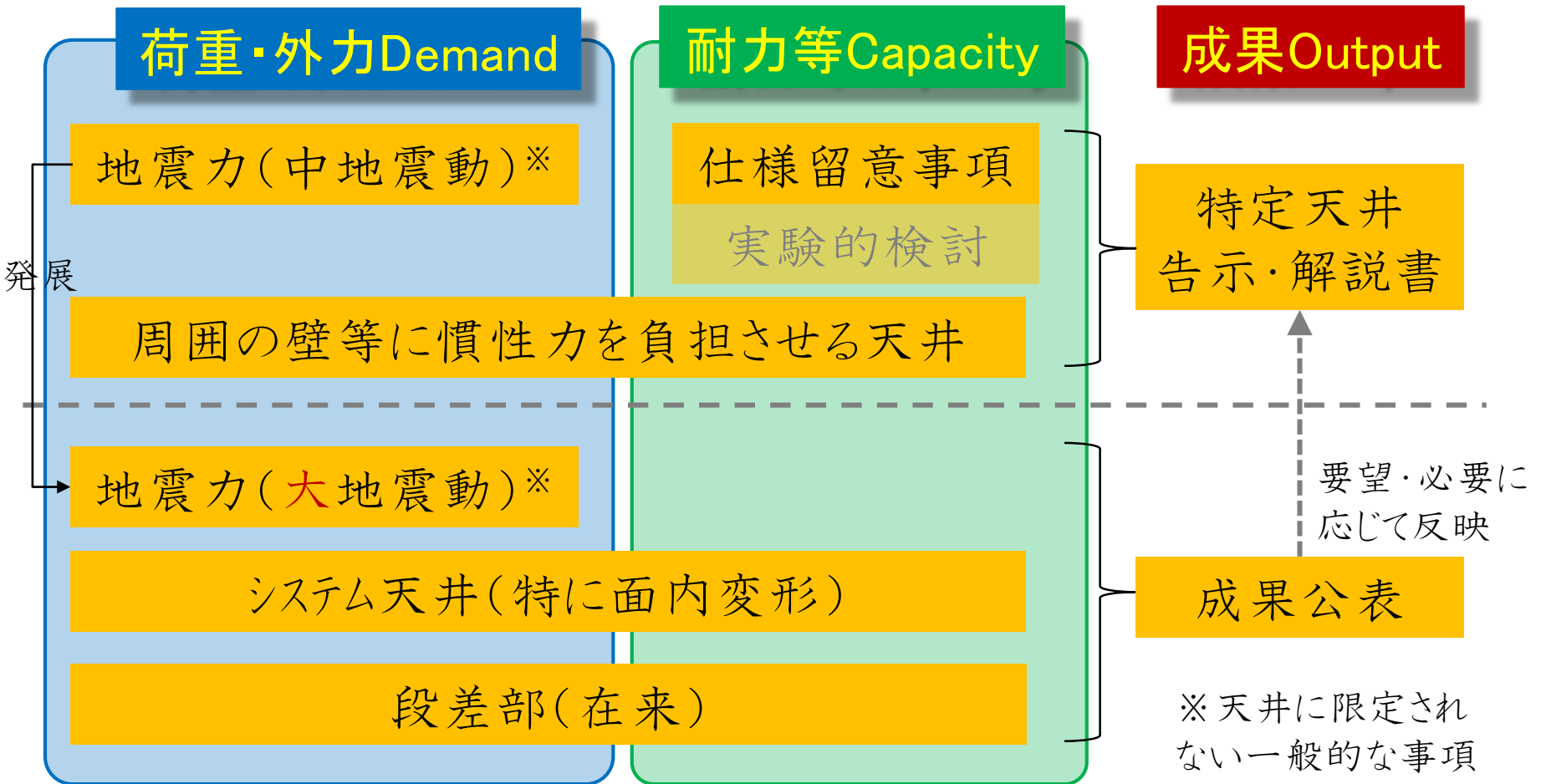
III 展望

- 1) 構造躯体の変形
- 2) 壁の設計用地震力
- 3) 非構造部材の振動特性
- 4) 非構造部材の剛性・耐力等の力学特性
- 5) その他

IV おわりに

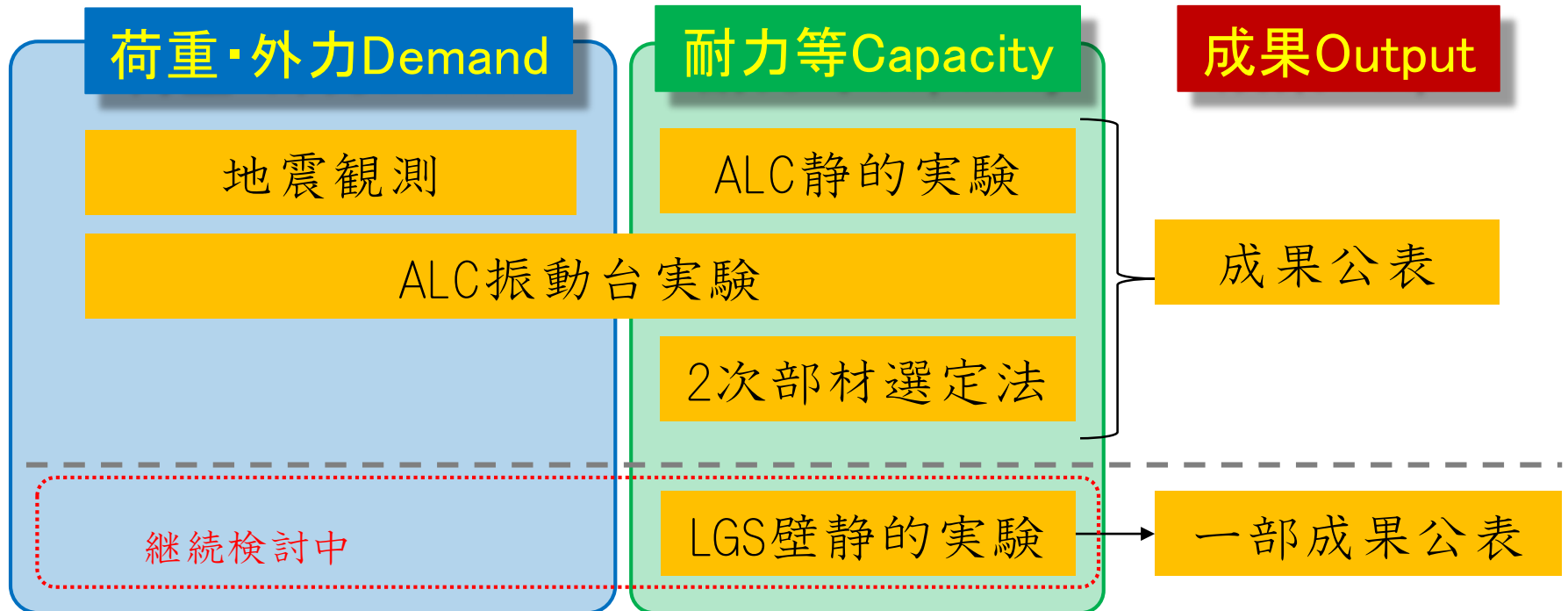
II 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

天井関連



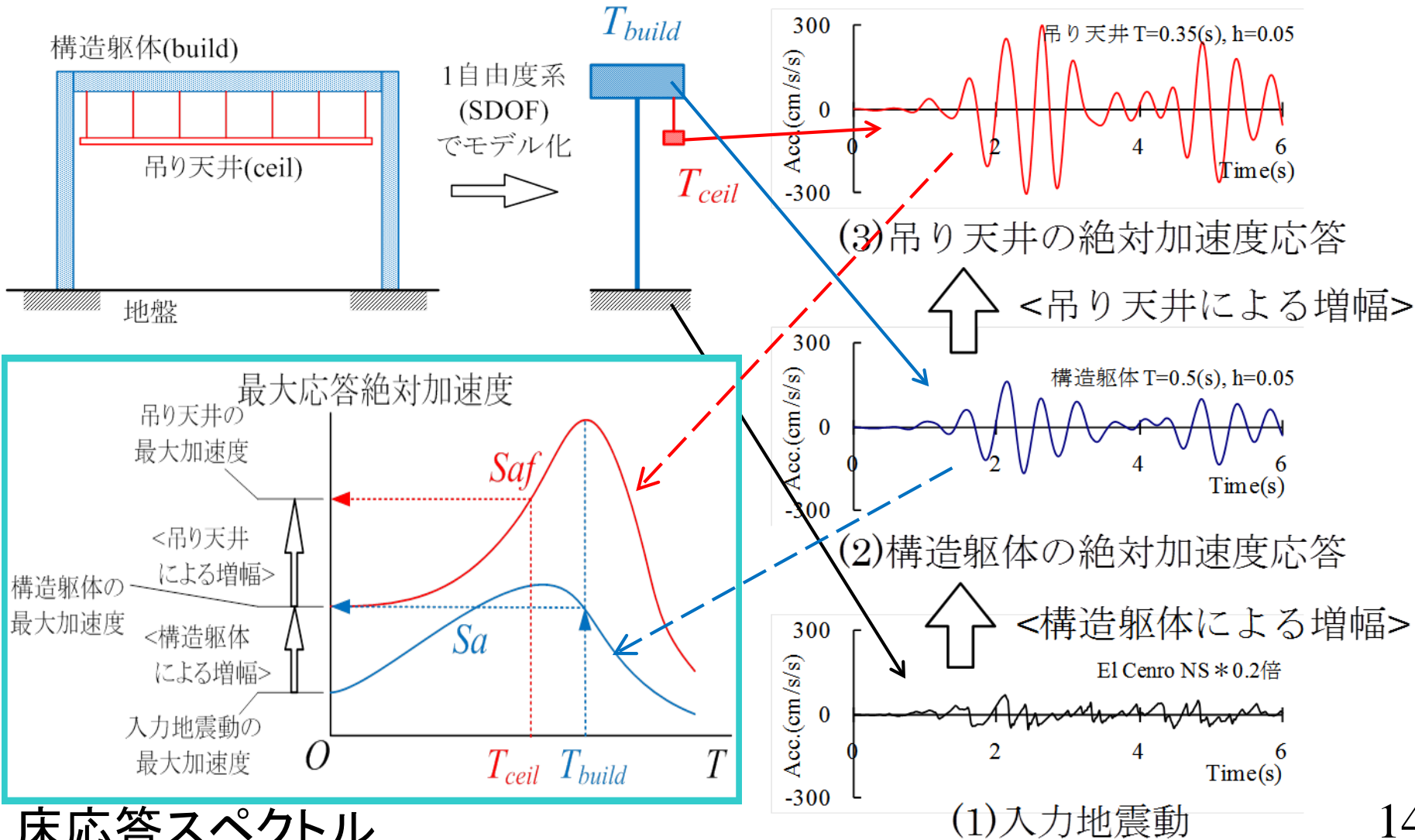
Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

間仕切壁関連



Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-a) 特定天井関連



床応答スペクトル

(1) 入力地震動

14

Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-a) 特定天井関連

従来の非構造部材は1G
程度の地震力で設計

表 設計用標準水平震度

場所	高耐震	一般
上層階	1.0	1.0
中間階	1.0	0.6
1階	0.6	0.4

注) 「官庁施設の総合耐震計画
基準及び同解説 平成8年版」表
4.3を簡略化して表示

特定天井基準

- 共振を重視
- 応答倍率は時刻歴
応答解析結果に基づ
く経験則としてやや
大胆に設定



中地震動を対象としな
がらも最大で2.2G

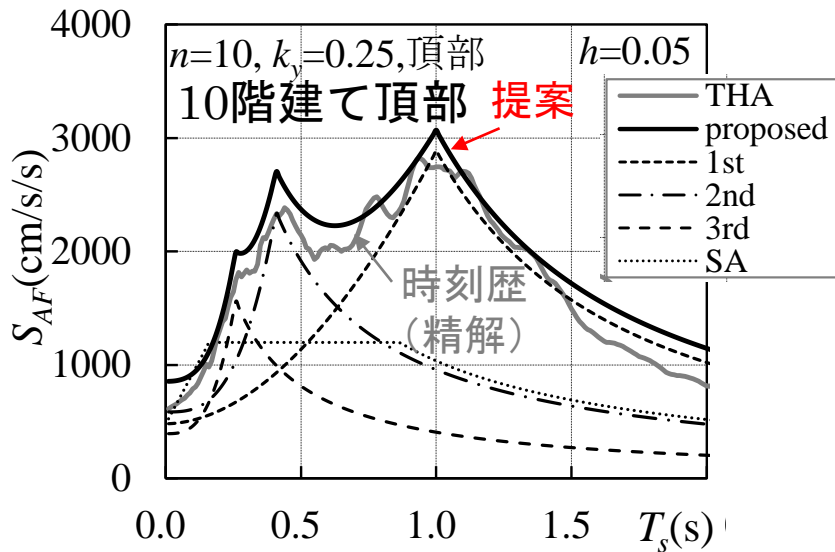
II 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-a) 特定天井関連

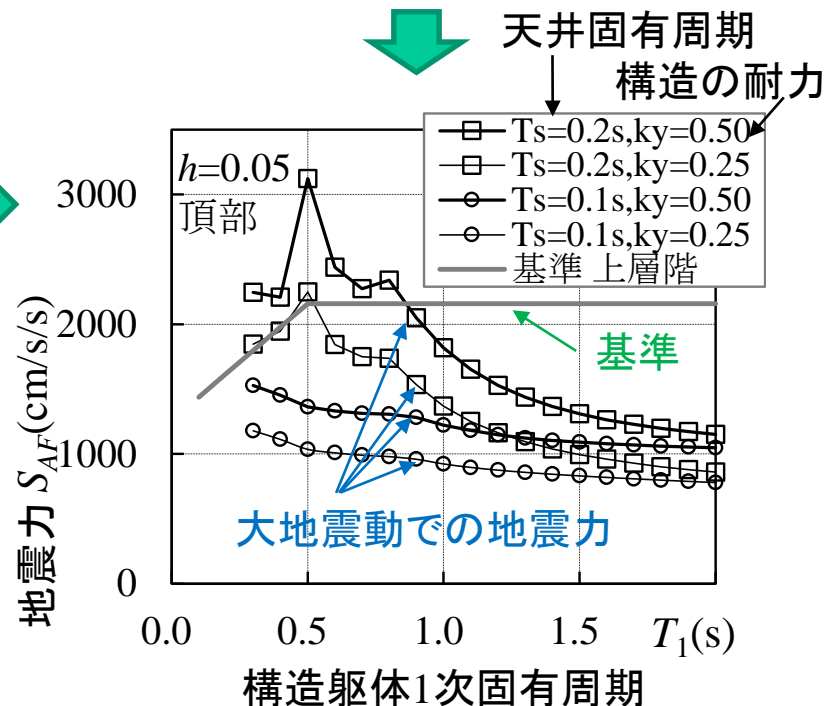
極めて稀に発生する地震動 (大地震動)、構造躯体非弾性

稀に発生する地震動 (中地震動)、構造躯体弾性

数値計算から経験的に得た応答倍率等を元に評価法を提案



床応答スペクトルの評価例

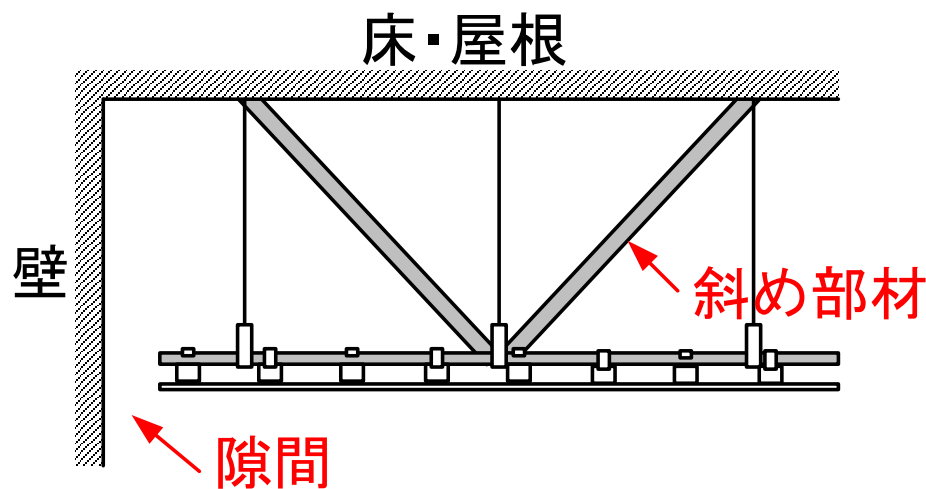


天井の固有周期を抑えること等により、大地震動に対しても損傷を免れうる

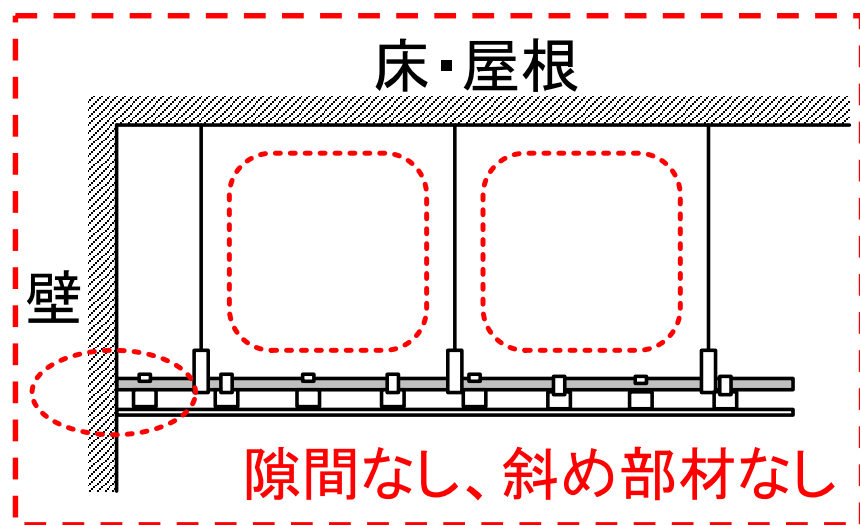
Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-a) 特定天井関連

平成25年度建築基準整備促進事業(戸田建設との共同研究)



当初の特定天井
(壁際の断面図)

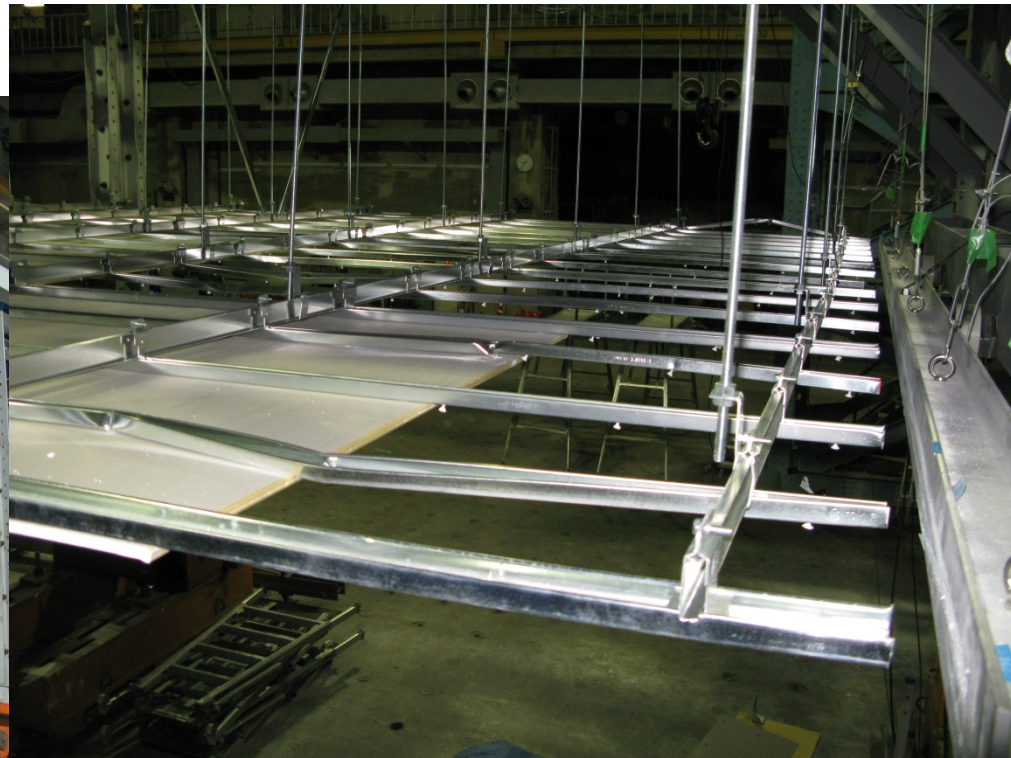


クリアランス(隙間)のない
天井の概要(壁際の断面図)

Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-a) 特定天井関連

加振実験での破壊形態



せっこうボード
の落下(耐風圧
クリップを使用)

クリップの外れによる天井面の落下

18

Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-a) 特定天井関連

解析法の適用性検討

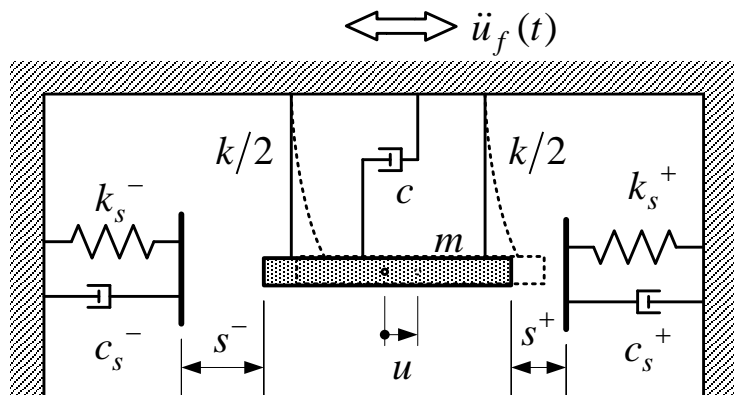


図 1 自由度系モデル

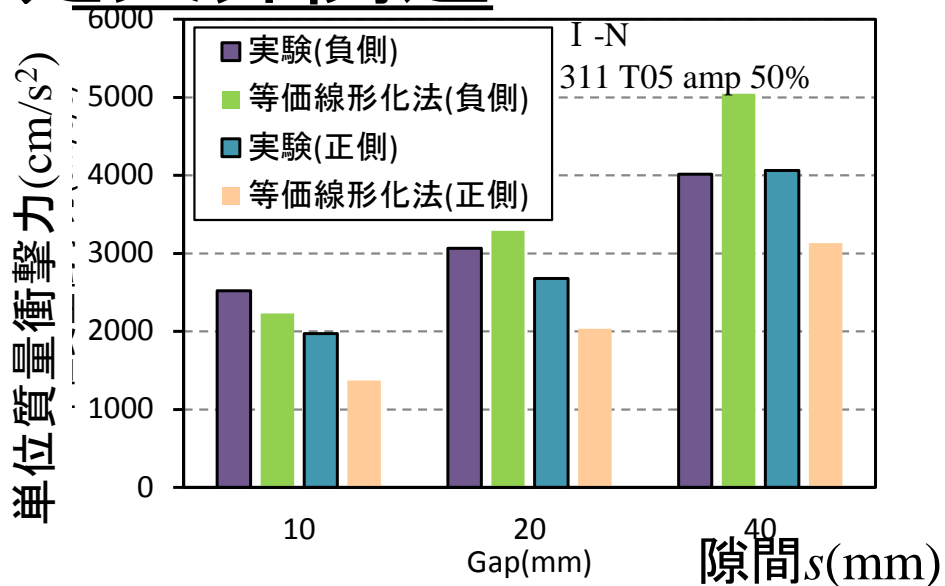


図 衝撃力推定 (等価線形化法)

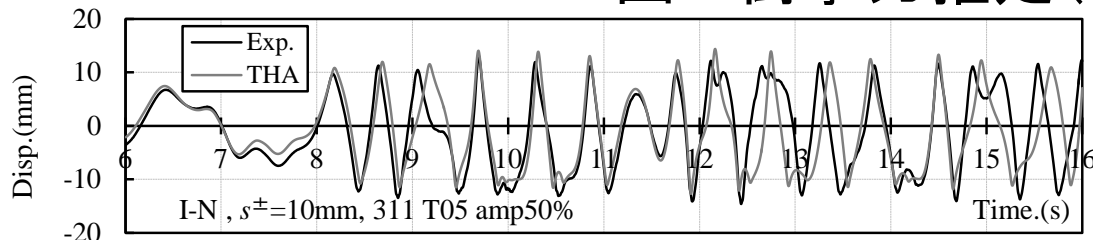


図 相対変位の比較 (Exp.: 実験、THA: 時刻歴応答解析)

実験・解析 → 設計用地震力の提案 → 改正告示・解説書に反映

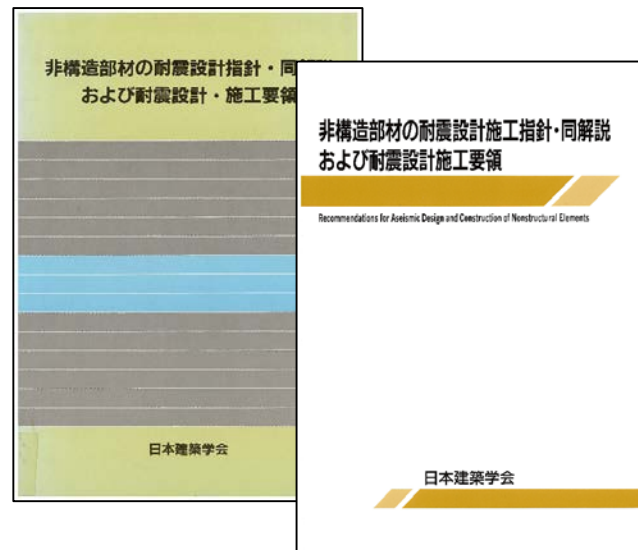
II 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-b) AIJ指針の設計用慣性力の再検討

AIJ「非構造部材の耐震設計指針」

1985年10月 初版 刊行

2003年1月 第2版 刊行



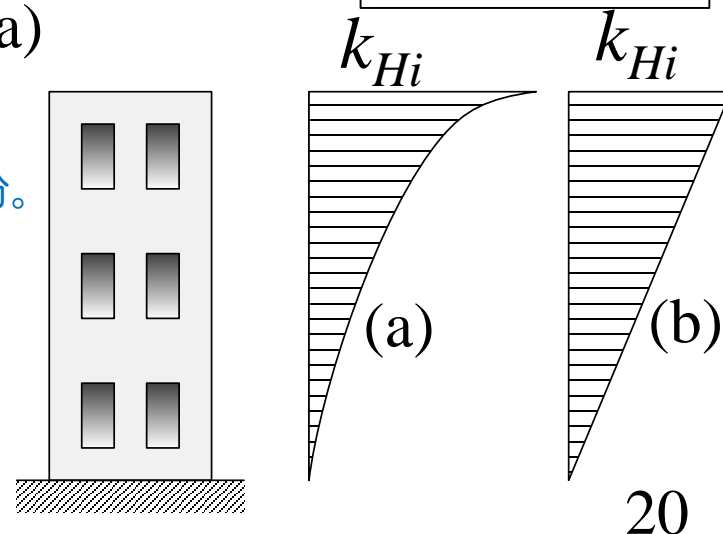
k_{Hi} : 主体構造の床応答倍率より定まる係数

$$k_{Hi} = R_t (A_i \cdot W_i - A_{i+1} \cdot W_{i+1}) C_0 / W_i \quad (a)$$

2003年改訂で追加。
設計用層せん断力の差分。

$$k_{Hi} = \left(1.0 + \frac{7}{3} \frac{X_i}{H} \right) K_0 \quad (b)$$

初版からある直線式



Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-b) AIJ指針の設計用慣性力の再検討

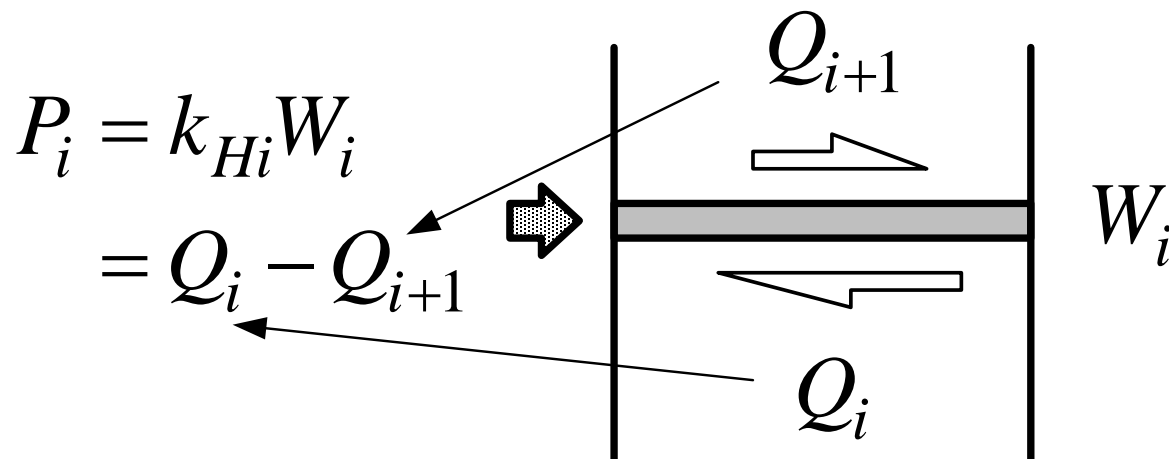
(a)式は次のように書き替えられる。

$$P_i = k_{Hi} W_i = Q_i - Q_{i+1} \quad (a')$$

ここで、 $P_i = k_{Hi} W_i$: 設計用の床の慣性力、

$Q_i \equiv R_t A_i \tilde{W}_i \tilde{C}_0$: i 層の設計用層せん断力

(a')式は静的な釣合い



II 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

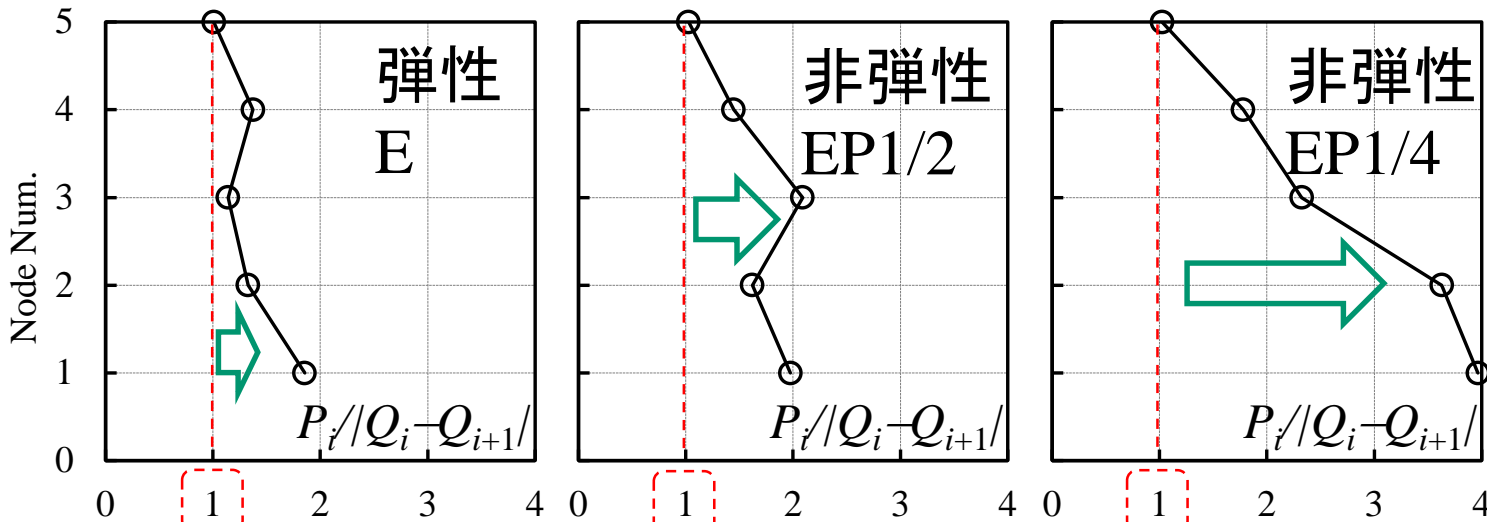
1) 荷重・外力 1-b) AIJ指針の設計用慣性力の再検討

P_i , Q_i , Q_{i+1} は時刻歴の絶対値の最大値を表すので、大小関係を考えると、次の不等式が得られる。

$$|Q_i - Q_{i+1}| \leq P_i$$

指針(a)式に相当⇒下限でしかない。

※ただし、最上階(頂部)では $Q_{i+1}=0$ として $Q_i=P_i$ が成立。



5階建ての計算例 $P_i / |Q_i - Q_{i+1}| \rightarrow$ 下層では下限の2~4倍程度 22

II 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

1) 荷重・外力 1-b) AIJ指針の設計用慣性力の再検討

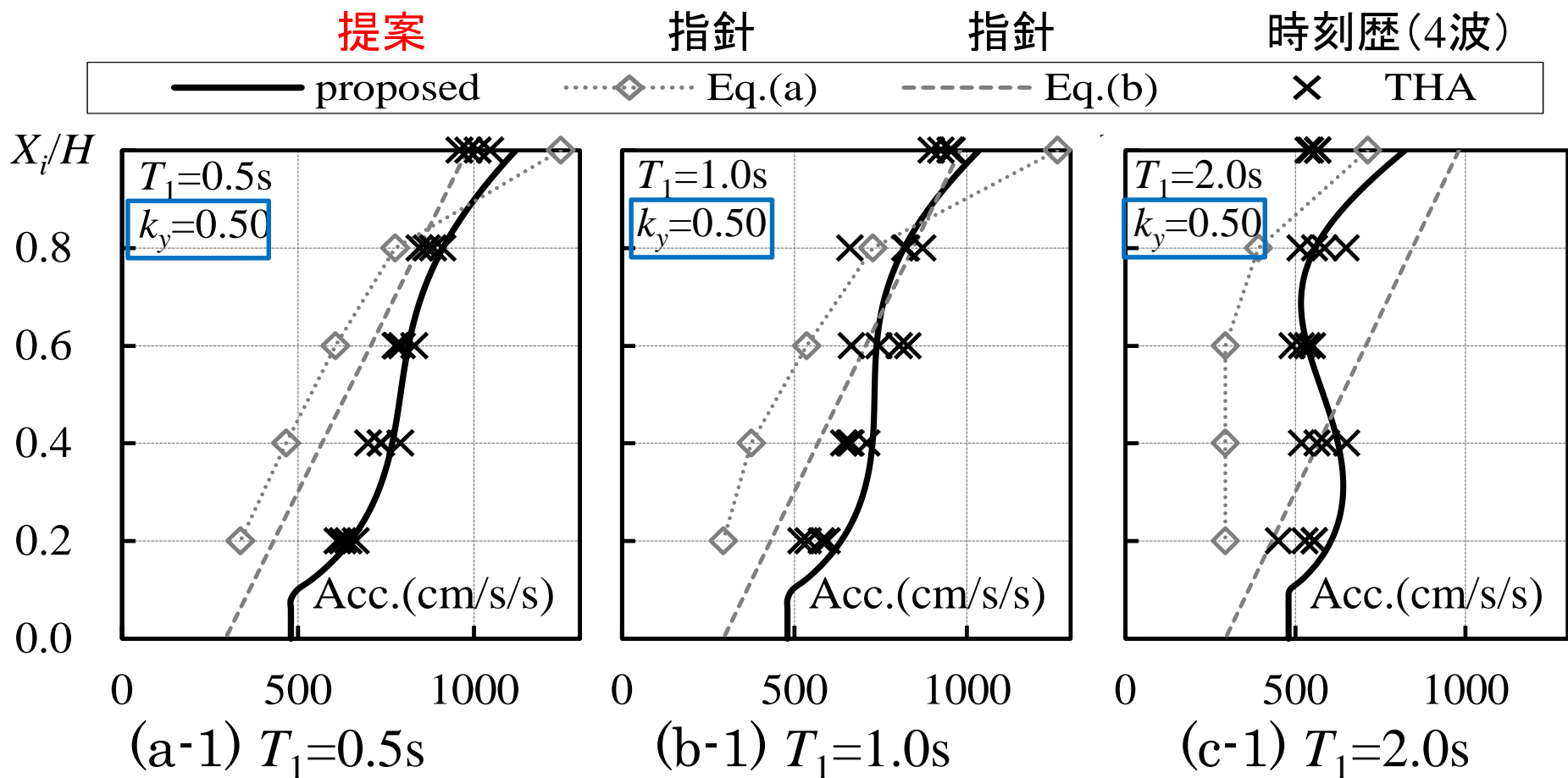


図 慣性力(加速度) 時刻歴と提案式等の比較

提案した評価式(proposed)は時刻歴(THA)とよく対応

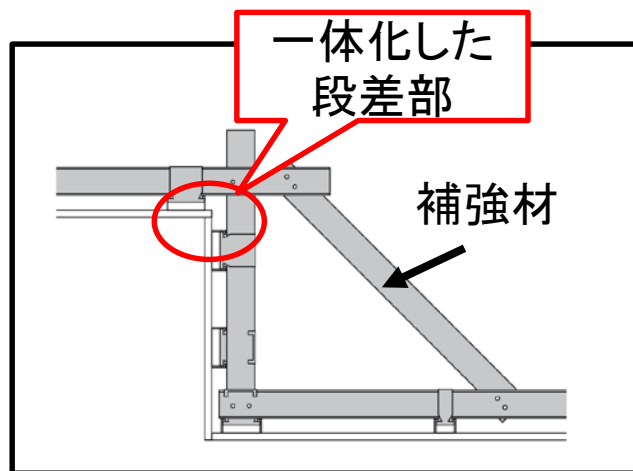
Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

2) 各種非構造部材 2-a) 天井

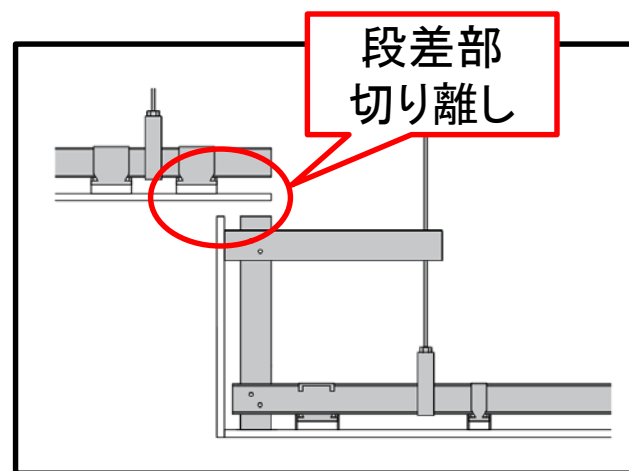
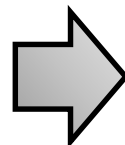
東京理科大学連携大学院

(a) 在来工法天井の段差部

特定天井基準：段差を設ける場合、**耐力等が明らかでないこと**から**応力集中を避けるため段差部で切り離す**ことが求められる



従来の段差仕様



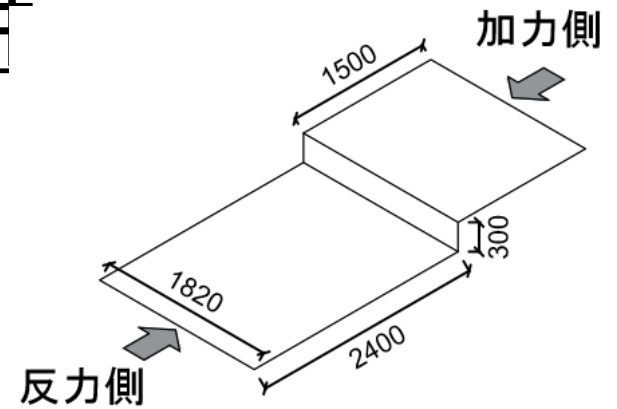
基準で求められる段差仕様

→特定天井では斜め部材で揺れを抑えるので、
一体化した段差部でも損傷しないのでは？

II 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

2) 各種非構造部材 2-a) 天井

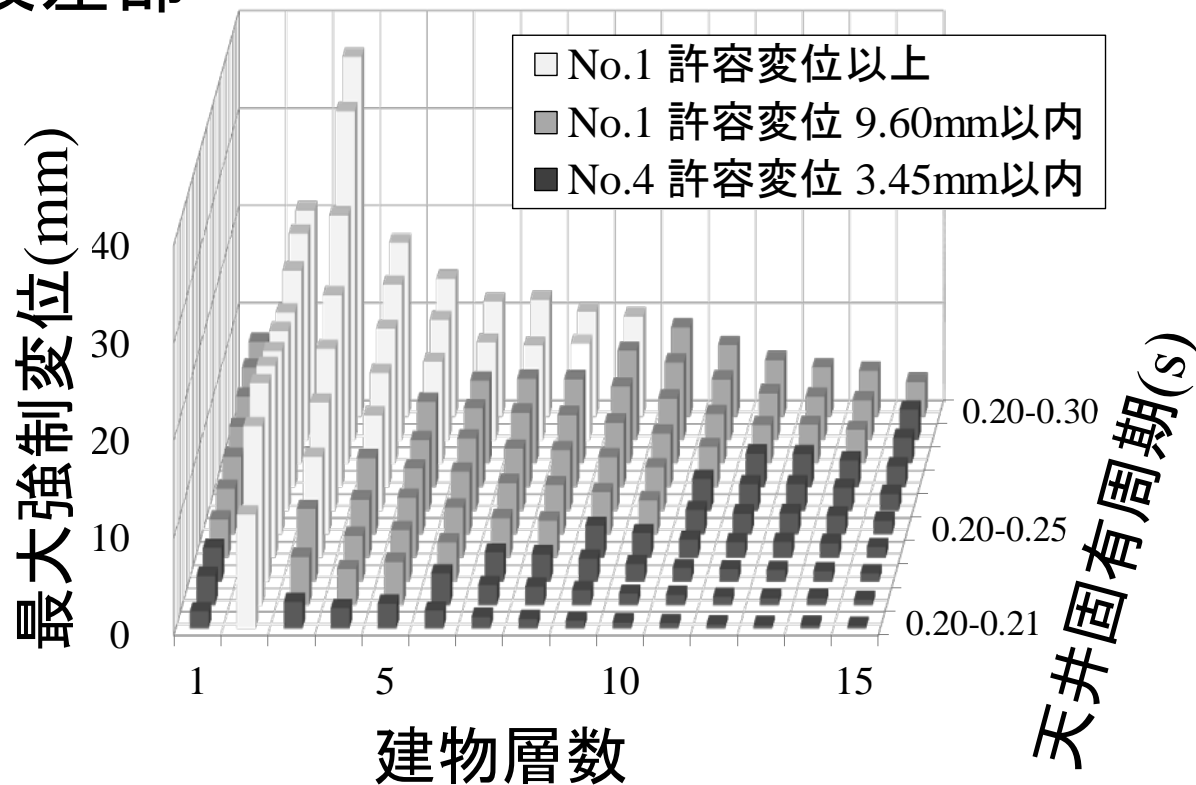
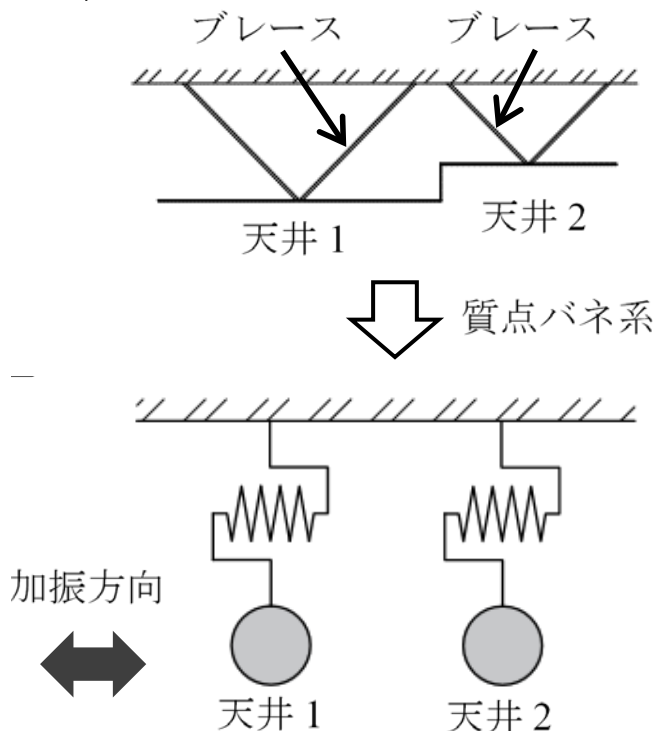
(a) 在来工法天井の段差部 実験



II 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

2) 各種非構造部材 2-a) 天井

(a) 在来工法天井の段差部解析



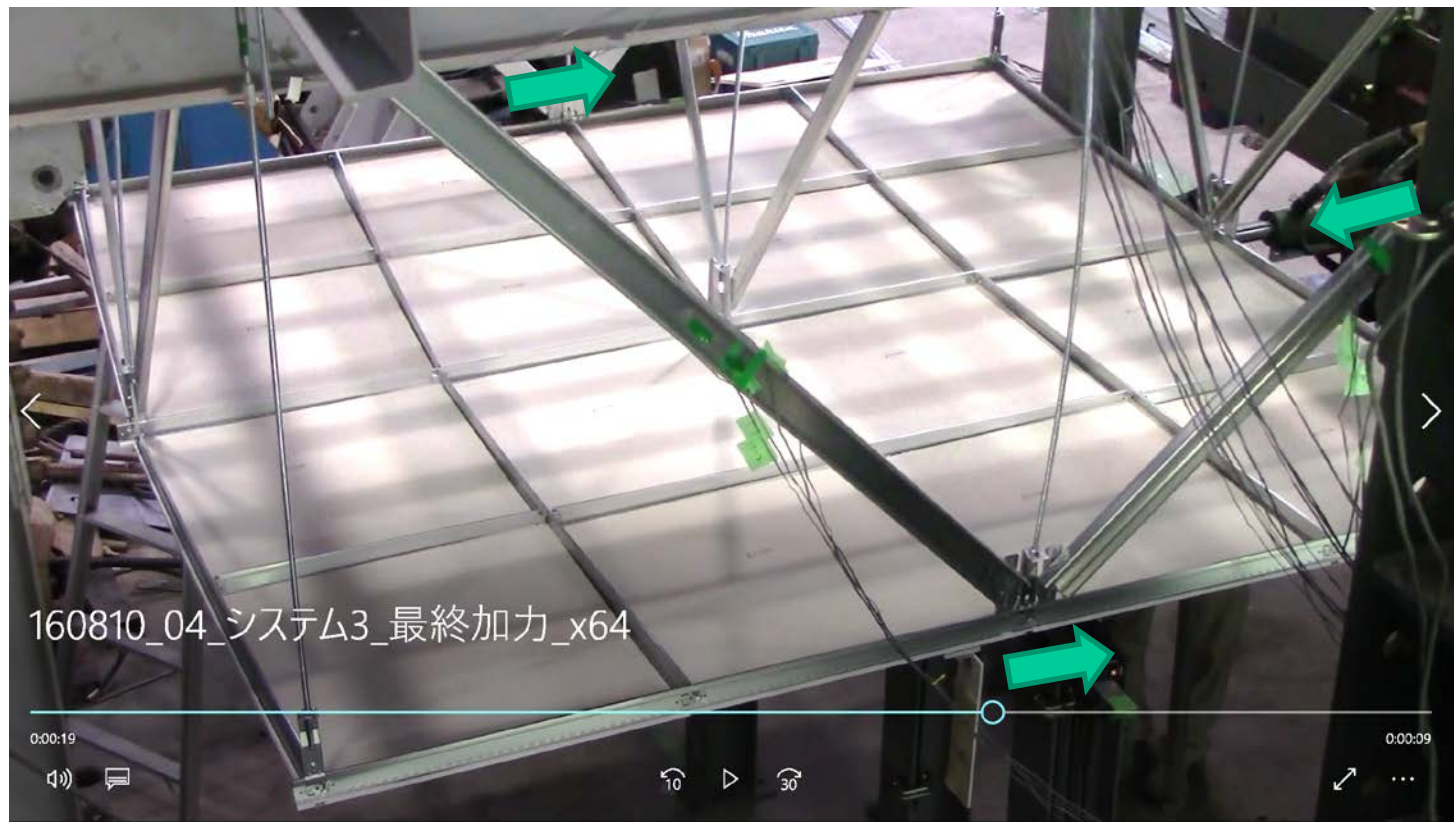
→解説書で求められている分離は必ずしも必要でない。

Ⅱ 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

2) 各種非構造部材 2-a) 天井

(b) システム天井 (特に面内せん断変形)

実験

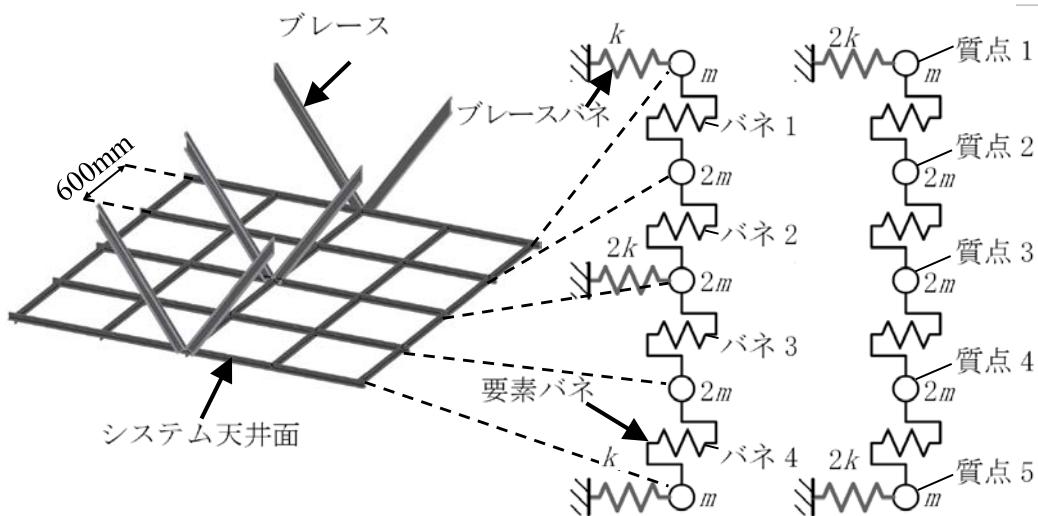


II 研究動向 (建築研究所での検討の紹介)

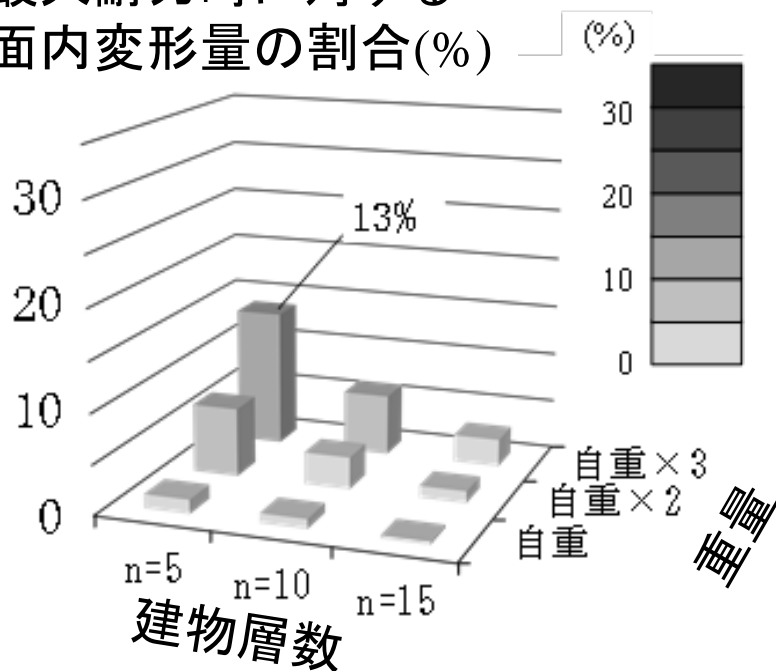
2) 各種非構造部材 2-a) 天井

(b) システム天井 (特に面内せん断変形)

解析



最大耐力時に対する
面内変形量の割合(%)



→中地震1回程度では面内せん断変形を伴う損傷は少ないこと等を把握した。

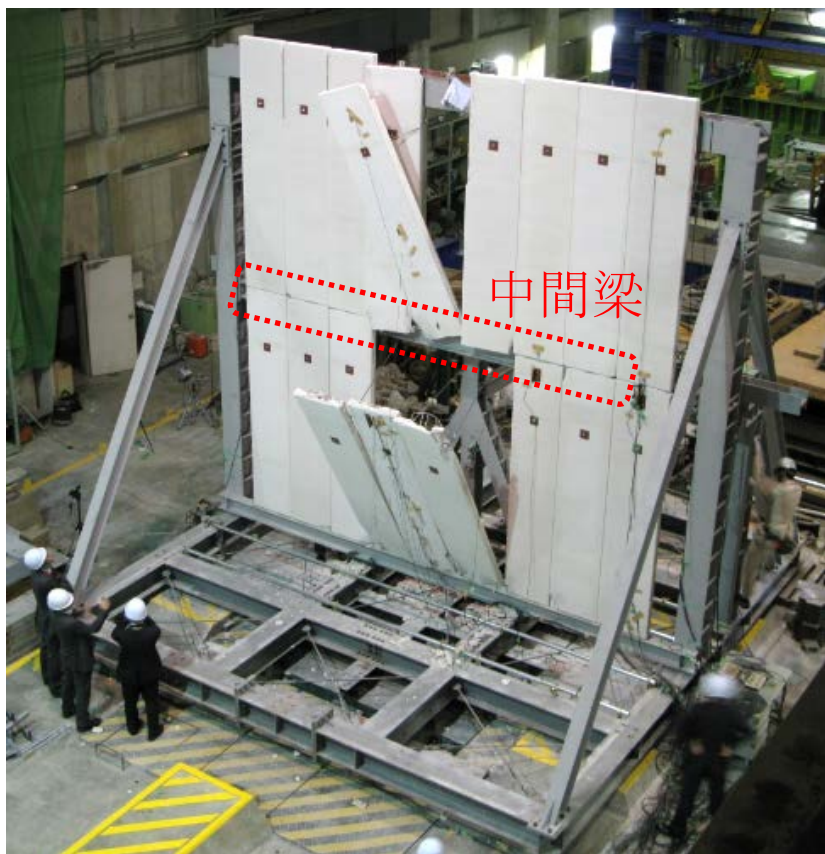
解析結果の例

II 研究動向

2) 各種非構造部材

(a) 振動台実験

東日本大震災での破壊状況検証
壁面外方向の地震時挙動の把握



試験体No. 1のパネル脱落状況

2-b) 大規模間仕切壁

(b) 2次部材断面選定法

壁に一定以上の振動数
を持たせるためのスパン
の制限値を一覧表と
して整理

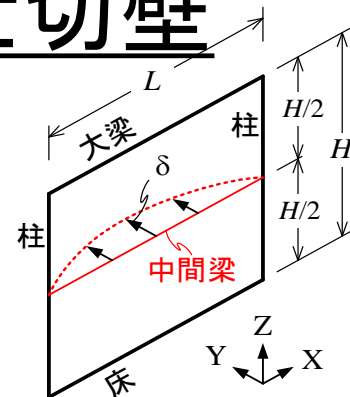


表 スパンの制限値

断面	スパン L(m) (左から階高H=6, 8, 10mの場合)			備考
	6m	8m	10m	
H-148x100x6x9	4.85	4.54	4.31	
H-150x150x7x10	5.41	5.08	4.83	
H-194x150x6x9	6.12	5.74	5.46	試験体
H-200x200x8x12	6.93	6.53	6.23	
H-250x125x6x9	6.78	6.36	6.05	
H-244x175x7x11	7.42	6.98	6.65	
H-250x250x9x14	8.32	7.88	7.54	
H-298x149x5.5x8	7.60	7.13	6.78	
H-300x150x6.5x9	7.81	7.34	6.99	
H-294x200x8x12	8.53	8.05	7.68	
H-300x300x10x15	9.57	9.10	8.72	

2次部材(中間梁)の断面 スパンの制限値(m)

内容

I はじめに

II 研究動向（建築研究所での検討の紹介）

- 1) 荷重・外力
- 2) 各種非構造部材の耐震性

III 展望

- 1) 構造躯体の変形
- 2) 壁の設計用地震力
- 3) 非構造部材の振動特性
- 4) 非構造部材の剛性・耐力等の力学特性
- 5) その他

IV おわりに

Ⅲ 展望

1) 構造躯体の変形

稀に発生する地震動
(中地震動): 層間変形
角は原則1/200 以内



極めて稀に発生する地震動
(大地震動): 層間変形角は？



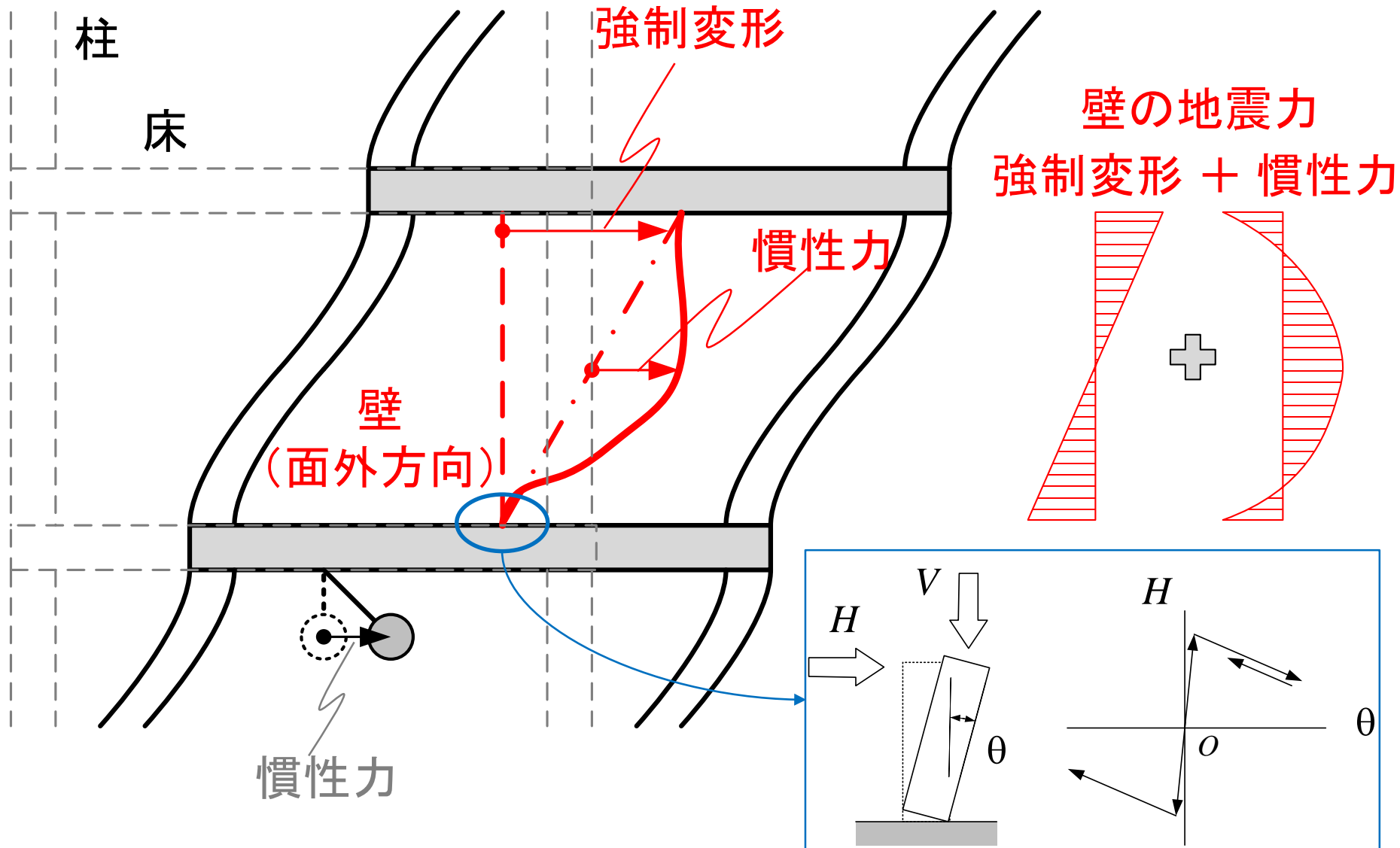
線形と非線形で最大変位は同等
であるという変位一定則によれば、

$$1/200 \times 5 = \underline{1/40} !$$

※エスカレータの脱落防止で採用

非構造部材	構造躯体
より大きな変形追随性 を持つ非構造部材の 構工法の開発	変形を抑制するような 構造設計

Ⅲ 展望 2)壁の設計用地震力



Ⅲ 展望 3)非構造部材の振動特性

非構造部材自体の揺れによる応答の増幅を考慮するためには、、、？

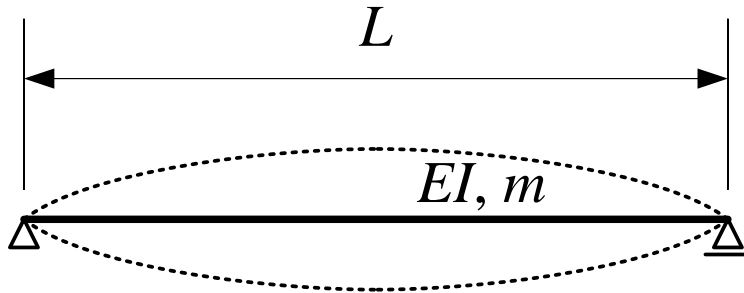


非構造部材の**振動特性**

- 固有周期(又は固有振動数)
- 減衰性状

たわみの制限に関する注意点

単純梁の固有振動数 f (1次)



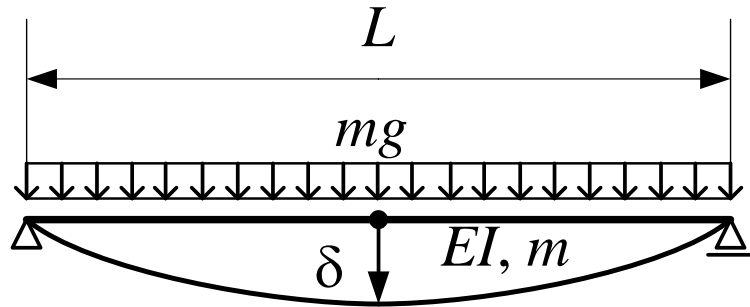
$$f = \frac{\pi}{2L^2} \sqrt{\frac{EI}{m}}$$

ここで、 L : 梁の長さ(壁の高さ)、 EI : 曲げ剛性、 m : 単位長さ当たりの質量。

Ⅲ 展望 3)非構造部材の振動特性

たわみの制限に関する注意点(続き)

自重が面外方向にかかる場合(壁を寝かせて単純梁とした場合)のたわみ δ



$$\delta = \frac{5}{384} \frac{mgL^4}{EI}$$

ここで、 g :重力加速度。

変形制限として、

$$\frac{\delta}{L} \leq (\text{制限値})$$

応力やひずみの状態を考えると妥当な制限

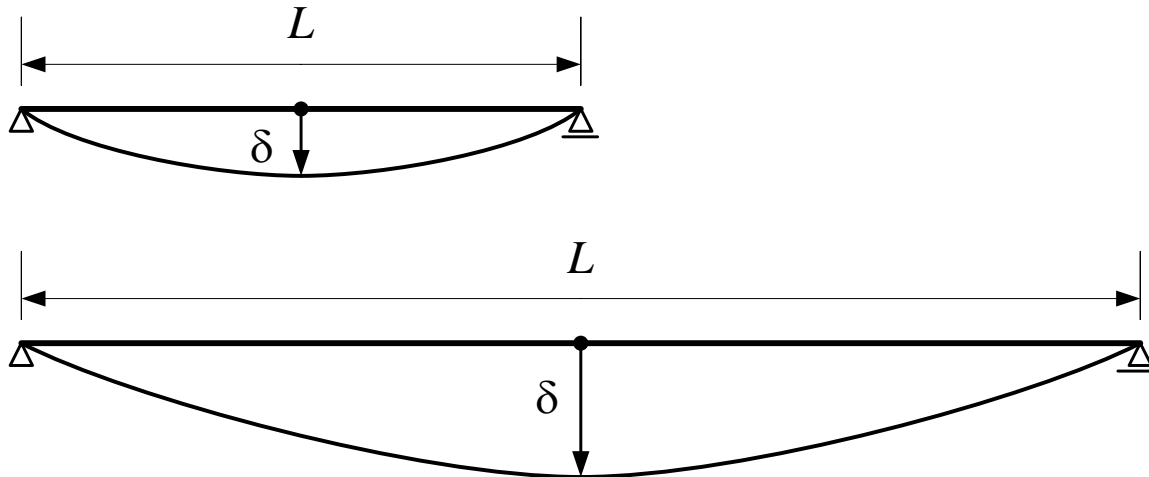
制限値は、例えば1/300。

Ⅲ 展望 3)非構造部材の振動特性

たわみの制限に関する注意点(続き)

$\delta/L \leq$ (制限値)としても、振動数 f は、 $\Rightarrow f \propto \frac{1}{\sqrt{L}}$

→ L が大きくなると、振動数 f は低下
例えば、 L が2倍で、 f は $1/\sqrt{2}=0.7$ 倍



Ⅲ 展望

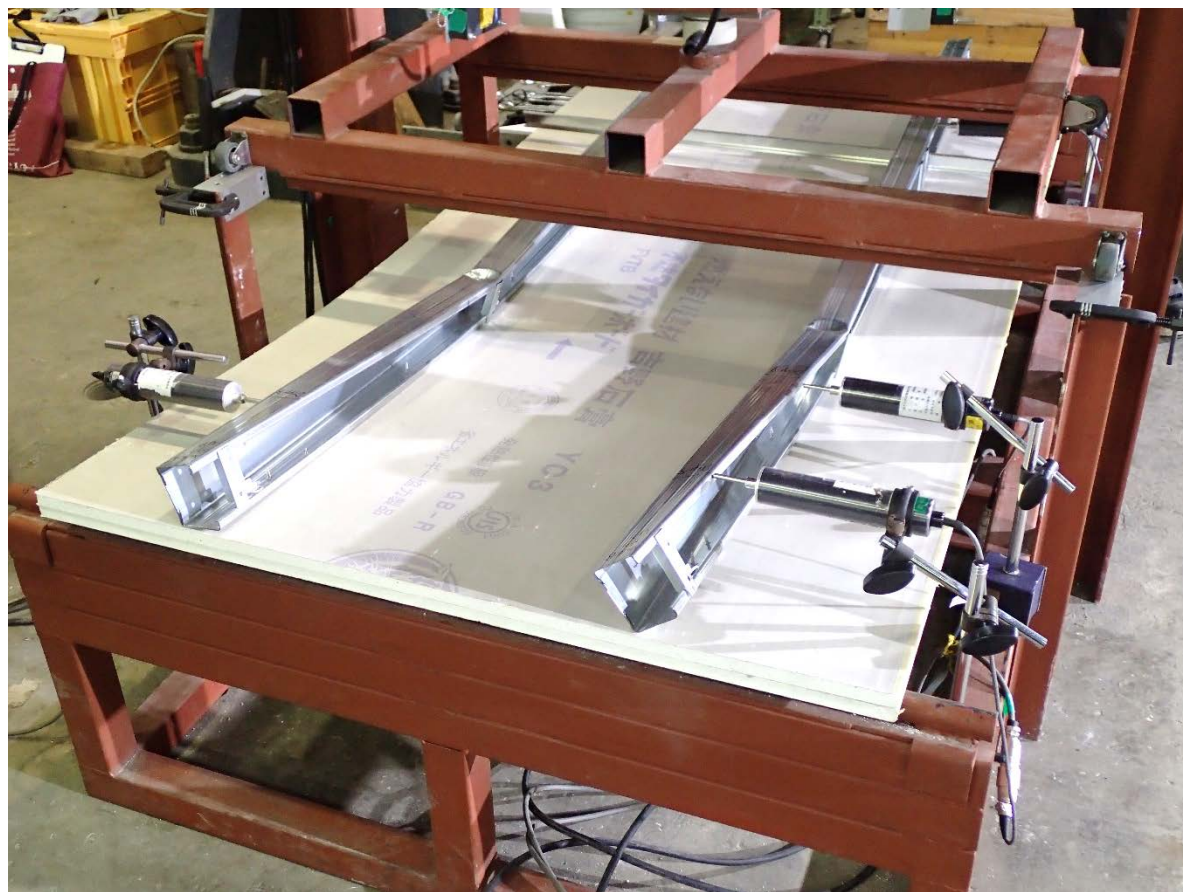
4) 非構造部材の力学特性

LGS壁

例えば軽量鉄骨下地間仕切壁(LGS壁)は地震被害の要因の特定や講ずべき対策については十分に明らかにされていない。



建築研究開発コンソーシアムで研究会



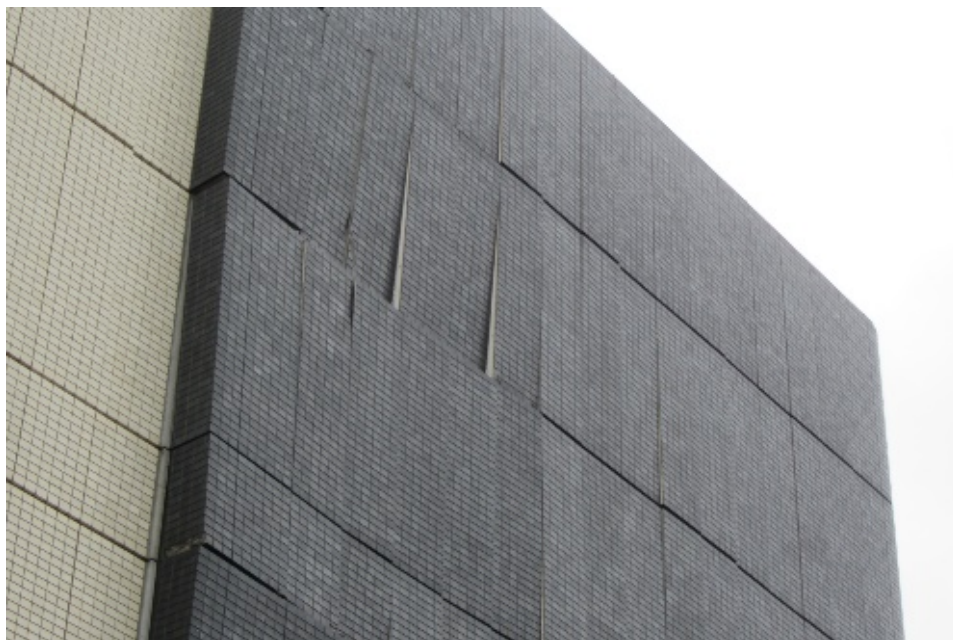
LGS間仕切壁の実験(載荷後)
(詳細はポスター発表参照)

Ⅲ 展望

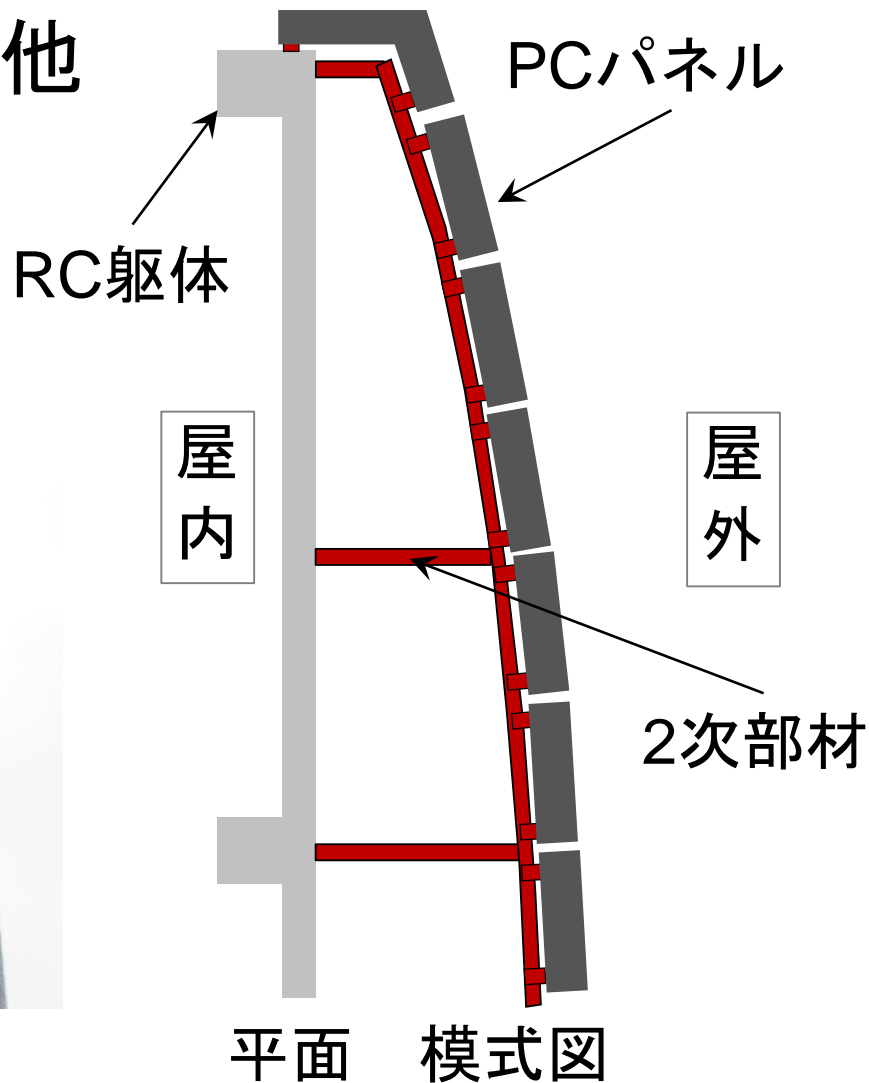
5) その他

2次部材の設計

熊本地震の被害例



PCパネルのずれ



既存の非構造部材の耐震診断・改修の促進

IV おわりに

本講演では非構造部材の耐震性に関する研究動向を紹介するとともに、展望を述べた。解決すべき課題は多いが、地道に、しかし着実に歩を進めて、少しずつでも地震被害の低減と安全・安心な建築物の普及に貢献できればと思う。

ご清聴、ありがとうございました。

