

# 「耐震改修とその効果」 竹内 徹



### 1. 建築諸規準と耐震性能

被害の程度の指標

修復可能な被害(小破)

修復可能な被害(中破) → 損害率50~75%で「全壊」と判定

層崩壊・人命被害(大破) = 「倒壊」

### 1. 建築諸規準と耐震性能

耐震指標 $I_s$ 値の見方

① 建物全体の分布

③ 被害建物の分布

1968年十勝沖地震および(震度6弱) 1978年宮城県沖地震により中破以上の被害を受けた建物について

$I_s=0.6$

$I_s=0.7$

$I_s=1.0$

相対頻度

$I_s$ 指標

現行の耐震改修が継続使用・避難所としての機能を保証するわけではない

### 1. 建築諸規準と耐震性能

近いうちに襲来が予想される首都直下型地震の際には・・・

- 郊外の住居区域はリング状に火災域となり、都心の600万人が帰宅困難者となる。
- 大量の一時滞在施設を確保することが必要
- 一時滞在施設は震災後に立ち入り可能な状態でなければならない

### 1. 建築諸規準と耐震性能

建築物の構造性能マトリクス

| 建築物の状況                  | 震度5強                                 | 震度6弱                                   | 震度6強                                  | 震度7                                    |
|-------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
|                         | レベル1<br>再現期間43年程度の荷重<br>(30年超過確率50%) | レベル1.5<br>再現期間72年程度の荷重<br>(50年超過確率50%) | レベル2<br>再現期間475年程度の荷重<br>(50年超過確率10%) | レベル3<br>再現期間970年程度の荷重<br>(100年超過確率10%) |
| 使用継続<br>無被害             | 許容応力使用荷重                             |  |                                       | グレード3                                  |
| 機能維持<br>軽微な被害<br>継続使用可能 |                                      | グレード1                                  | グレード2                                 |  |
| 人命安全<br>継続使用不可<br>修復可能  |                                      |  | 許容安定耐力<br>検定用荷重                       |  |
| 倒壊前<br>修復不能             |                                      |  |                                       |  |

危険物施設

重要建築物

通常建築物

建築基準法の規定(最低基準)

### 1. 建築諸規準と耐震性能

熊本大学 土木・建築棟の被害(2014熊本地震)

耐震改修済

腰壁・階段室壁せん断破壊

→立ち入り禁止

1. 建築諸規準と耐震性能

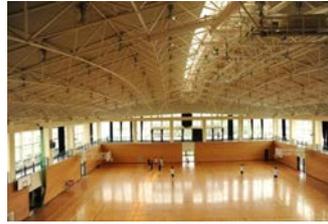
学校体育館の被害(2011東北地方太平洋沖地震)



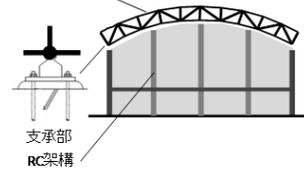
ブレース材の座屈・破断  
→立ち入り禁止

1. 建築諸規準と耐震性能

学校体育館の被害(2011東北地方太平洋沖地震)



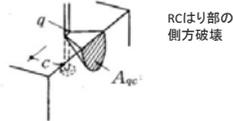
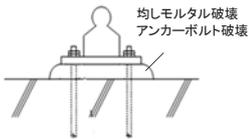
鉄骨屋根 新耐震規準準拠



支承部の破壊・落下  
→立ち入り禁止

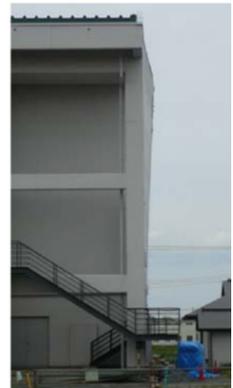
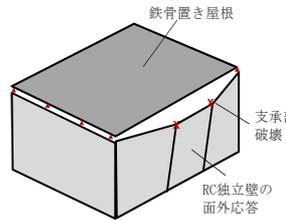
1. 建築諸規準と耐震性能

屋根支承部・定着部の破壊



1. 建築諸規準と耐震性能

RC独立壁架構の面外応答変形による被害  
→現在の基規準では反映されていない



2. 使用性を確保した耐震改修

建築物の構造性能マトリクス

| 建築物の状況                  | 震度5強                                 | 震度6弱                                   | 震度6強                                  | 震度7                                    | 危険物施設<br>重要建築物<br>通常建築物 |
|-------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------------------|--|-------------------------|
|                         | レベル1<br>再現期間43年程度の荷重<br>(30年超過確率50%) | レベル1.5<br>再現期間72年程度の荷重<br>(50年超過確率50%) | レベル2<br>再現期間475年程度の荷重<br>(50年超過確率10%) | レベル3<br>再現期間970年程度の荷重<br>(100年超過確率10%) |                         |
| 使用継続<br>無被害             | 許容応力度用荷重                             |  |                                       |  |                         |
| 機能維持<br>軽微な被害<br>継続使用可能 |                                      |  | グレード2                                 |  |                         |
| 人命安全<br>継続使用不可<br>修復可能  |                                      |  | 終局安定耐力<br>検定用荷重                       |  |                         |
| 倒壊前<br>修復不能             |                                      |  |                                       |  |                         |

大地震時の継続使用が期待できる  
一段上の耐震改修

2. 使用性を確保した耐震改修

耐震レベルを向上させた制振部材による  
大学校舎の耐震改修



2. 使用性を確保した耐震改修

東京工業大学緑が丘1号館は1968年の設計であり、B1階～3階での柱のせん断破壊→層崩壊の危険



2. 使用性を確保した耐震改修

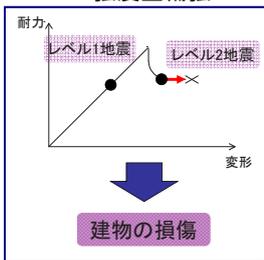
強度型在来耐震補強構法は建物外観を破壊し、性能に対しコストも高い



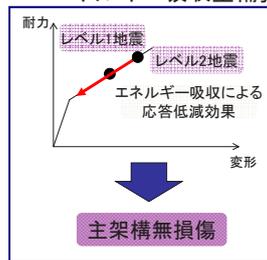
2. 使用性を確保した耐震改修

構造設計方針

強度型補強



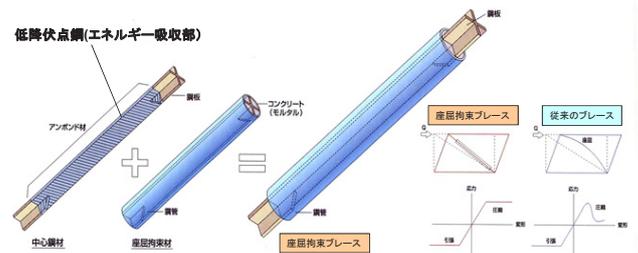
エネルギー吸収型補強



従来の耐震補強では大地震後の継続使用が保障されていない

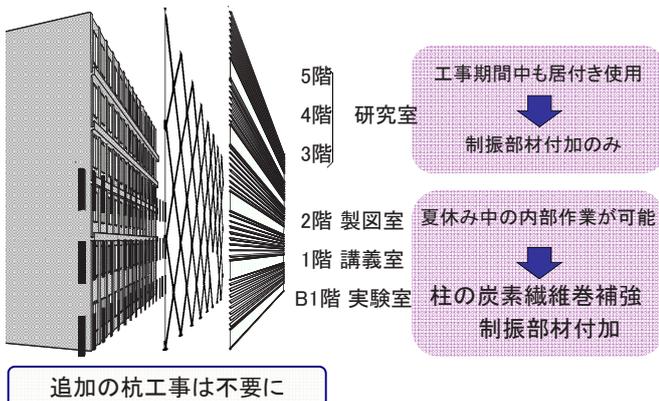
2. 使用性を確保した耐震改修

エネルギー吸収ブレース(座屈拘束ブレース)



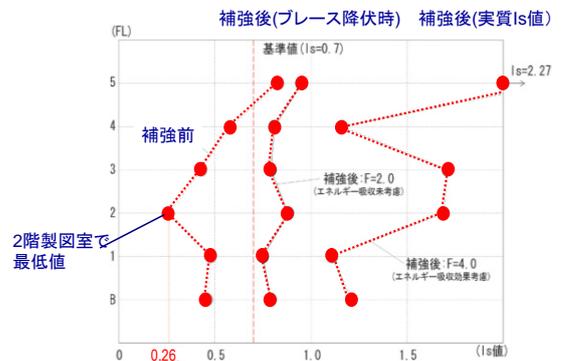
2. 使用性を確保した耐震改修

補強方針



2. 使用性を確保した耐震改修

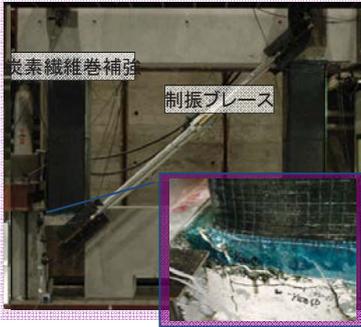
補強前後の耐震指標(Is値)の変化



2. 使用性を確保した耐震改修

縮小架構実験

RC-2(補強強化モデル)



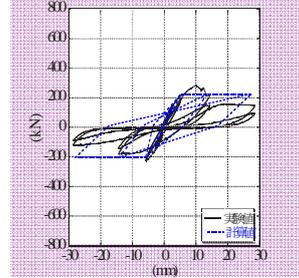
RC-1  
層間変形1/250載荷時  
せん断ひび割れ  
↓  
層間変形1/100載荷途中  
せん断崩壊  
↓  
RC-2  
層間変形1/50  
2回まで載荷  
↓  
ひび割れ発生も  
耐力低下はなし

2. 使用性を確保した耐震改修

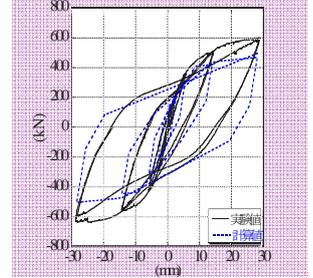
実験による復元力特性の比較



無補強モデル

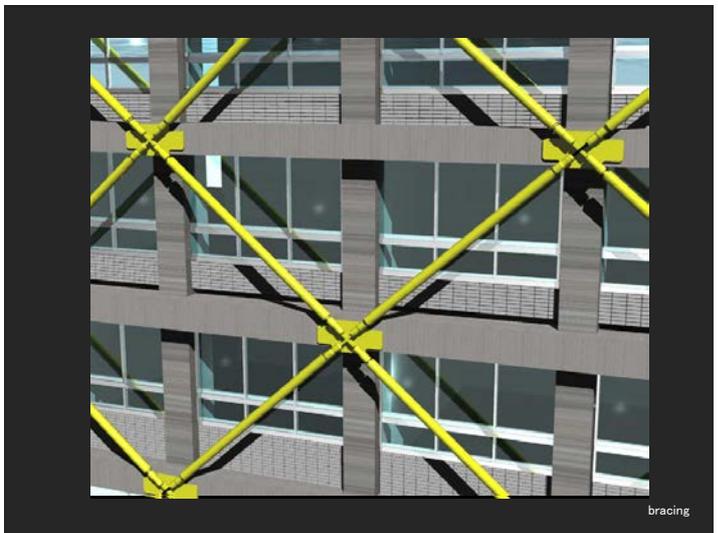
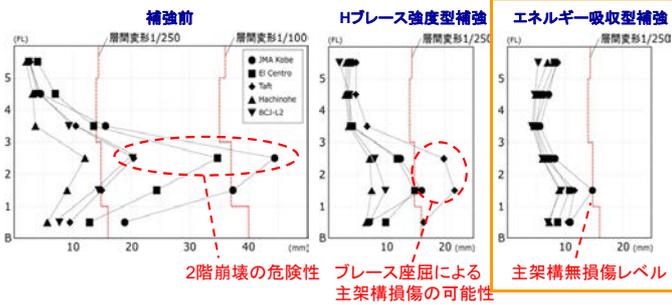


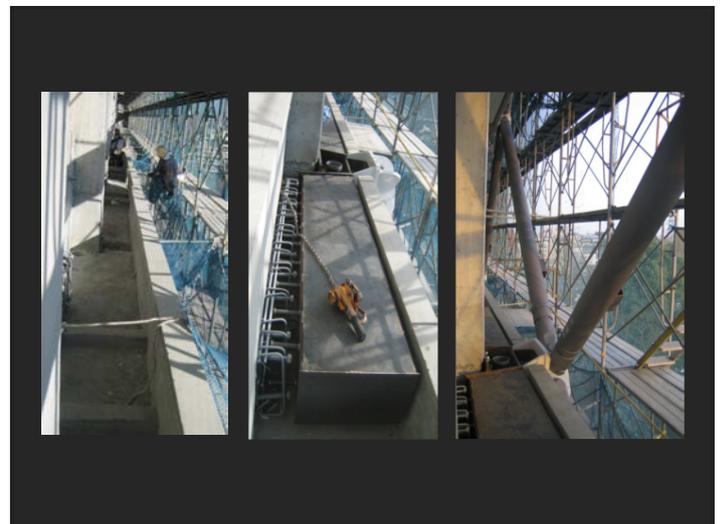
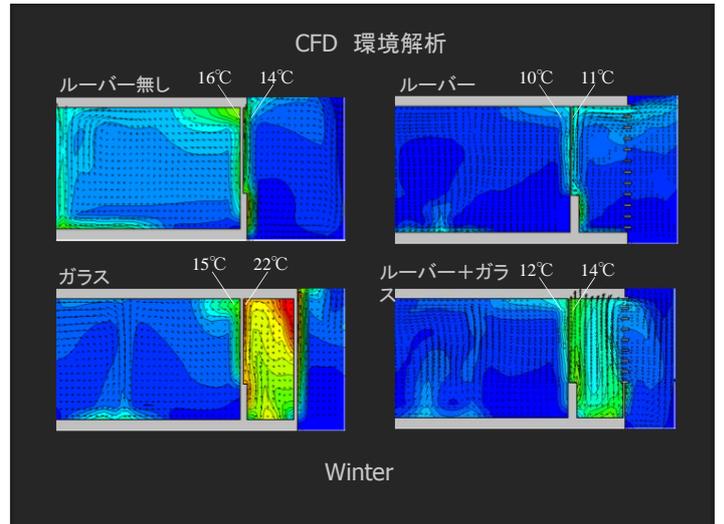
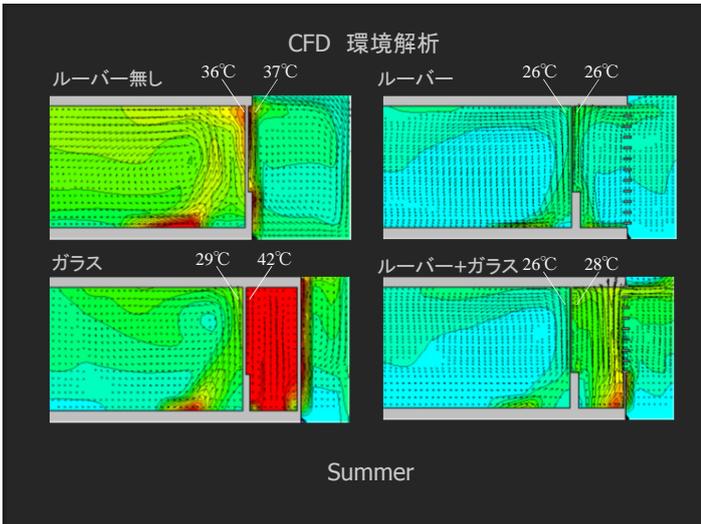
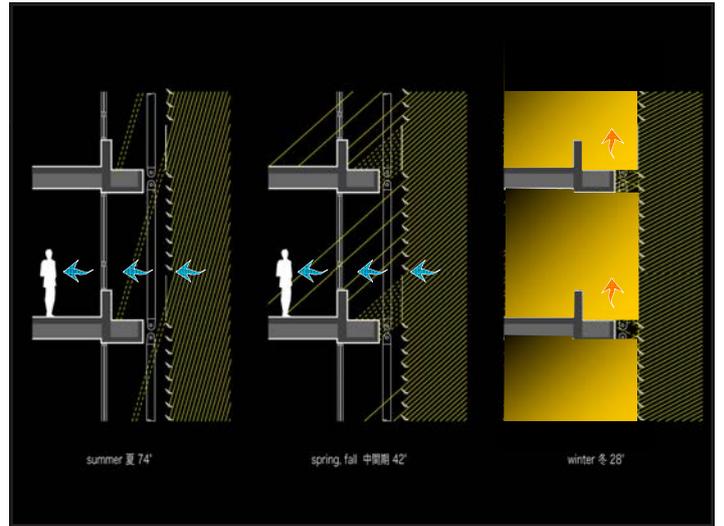
補強モデル

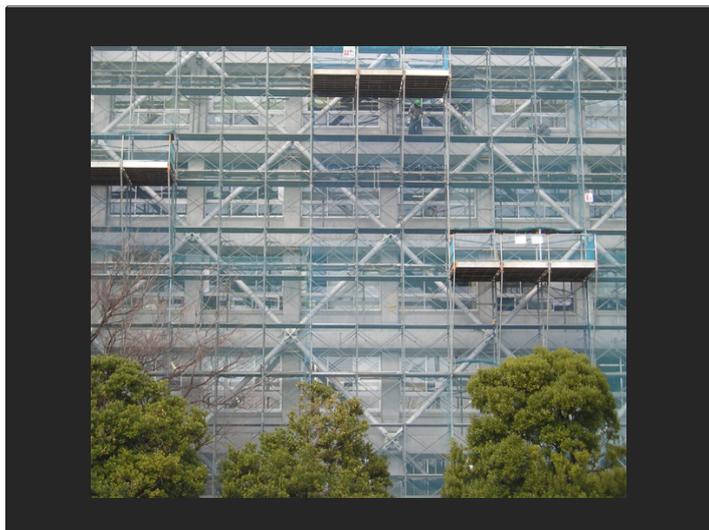


2. 使用性を確保した耐震改修

レベル2地震時刻歴応答解析結果  
( $V_{max}=50\text{cm/sec}$ )





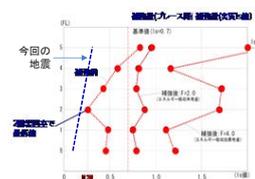
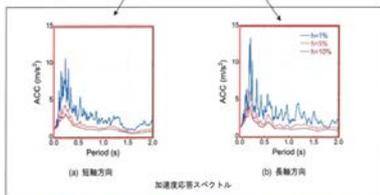
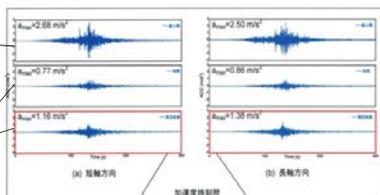


## 2. 使用性を確保した耐震改修

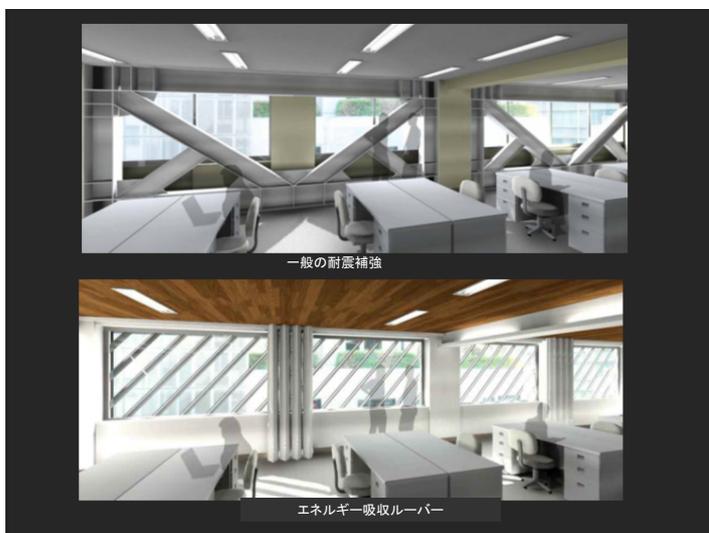
東北地方太平洋沖地震において観測された応答



緑が丘1号館 測定・時松研究室



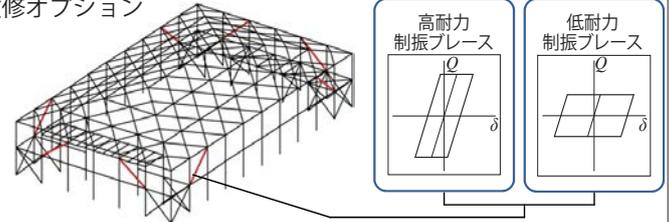
事務局1号館レトロフィット 2008





## 2. 使用性を確保した耐震改修

改修オプション

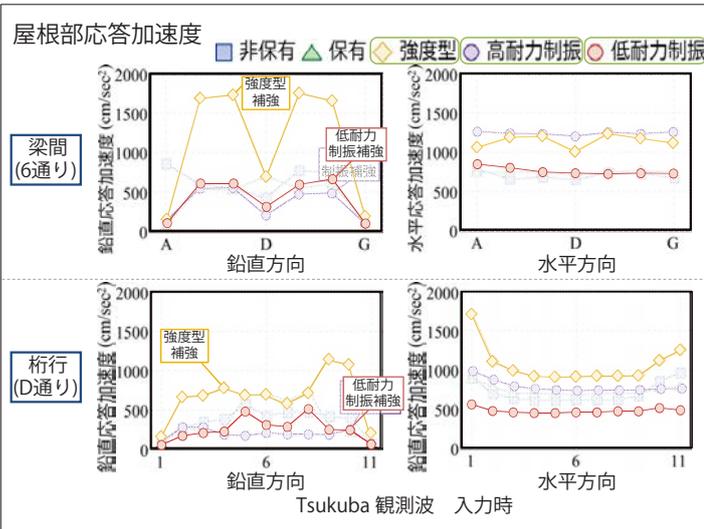


H<sub>H</sub>モデル, H<sub>L</sub>モデル (制振ブレース補強)

I<sub>S</sub> 値評価

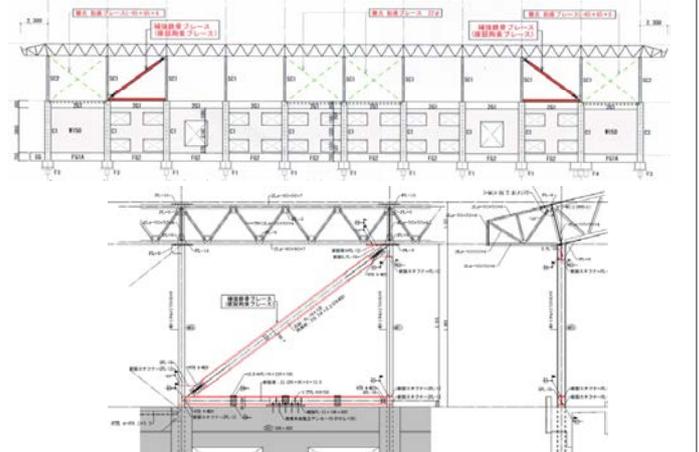
| モデル名           | 構面 | F <sub>f</sub> (F <sub>d</sub> ) | Q <sub>fu</sub> (kN) | Q <sub>dy</sub> (kN) | C <sub>f</sub> | C <sub>d</sub> | h <sub>eq</sub> | D <sub>h</sub> | I <sub>S</sub> <sup>5)</sup> |
|----------------|----|----------------------------------|----------------------|----------------------|----------------|----------------|-----------------|----------------|------------------------------|
| H <sub>H</sub> | 梁間 | 1.3                              | 1312                 | 1695                 | 0.238          | 0.307          | 0.33            | 0.72 (0.62)    | 1.72 (1.98)                  |
|                | 桁行 | (3.0)                            | 1173                 |                      | 0.212          |                | 0.34            | 0.74 (0.64)    | 1.62 (1.88)                  |
| H <sub>L</sub> | 梁間 | 1.3                              | 1312                 | 565                  | 0.238          | 0.102          | 0.24            | 0.56 (0.53)    | 1.10 (1.16)                  |
|                | 桁行 | (3.0)                            | 1173                 |                      | 0.212          |                | 0.25            | 0.56 (0.53)    | 1.04 (1.11)                  |

4) 文部科学省大田官務文書施設企画部：屋内運動場等の耐震性能診断基準(平成18年度版), 2010.10  
5) 竹内徹, 堤友紀, 熊谷知宏, 小川利行：制振部材を用いた鉄骨造体育館の耐震改修および屋根部地震応答, 日本建築学会構造系論文集, 第77巻, 第656号, pp.1891-1900, 2010.10



## 制振部材による靱性型の改修・補強計画

座屈拘束ブレースにより余震による座屈再被害を回避し、F値向上による経済設計を行う



## 2. 使用性を確保した耐震改修

制振部材による改修・補強  
補強後の耐震性能評価

X方向 (桁行方向)

| 階     | E <sub>o</sub> | F <sub>es</sub> |                | R <sub>IS</sub> | R <sub>q</sub> |                                |
|-------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| 2(S)  | 1.21 (3.17)    | 1.50            |                | 0.8 (2.11)      | 1.45           |                                |
|       | F              | E <sub>o</sub>  | S <sub>D</sub> | T               | I <sub>S</sub> | C <sub>TU</sub> S <sub>D</sub> |
| 1(RC) | 2.00           | 3.79            | 0.95           | 0.97            | 3.49           | 1.53                           |

Y方向 (梁間方向)

| 階     | E <sub>o</sub> | F <sub>es</sub> |                | R <sub>IS</sub> | R <sub>q</sub> |                                |
|-------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|--------------------------------|
| 2(S)  | 1.14 (3.21)    | 1.50            |                | 0.76 (2.14)     | 1.38           |                                |
|       | F              | E <sub>o</sub>  | S <sub>D</sub> | T               | I <sub>S</sub> | C <sub>TU</sub> S <sub>D</sub> |
| 1(RC) | 1.00           | 4.21            | 0.95           | 0.97            | 3.88           | 4.00                           |

実質的なI<sub>S</sub>値

## 2. 使用性を確保した耐震改修

改修工事状況



座屈拘束ブレース取り付け状況

接合部施工状況

### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支承部改修

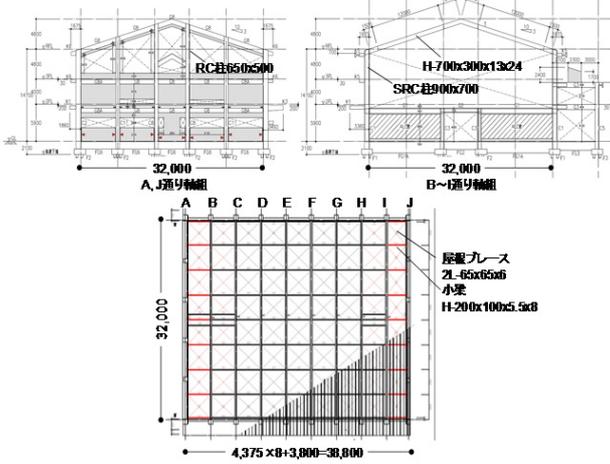
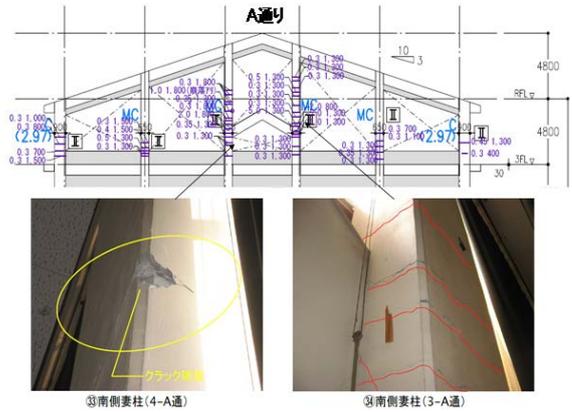


図4.4 建物表面軸組および屋根伏図

### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支承部改修



### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支承部改修



### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支承部改修

検討指針

講習会  
「ラッシュル屋根構造設計指針」 建築会館 11/12

鉄骨置屋根構造の耐震診断・改修の考え方

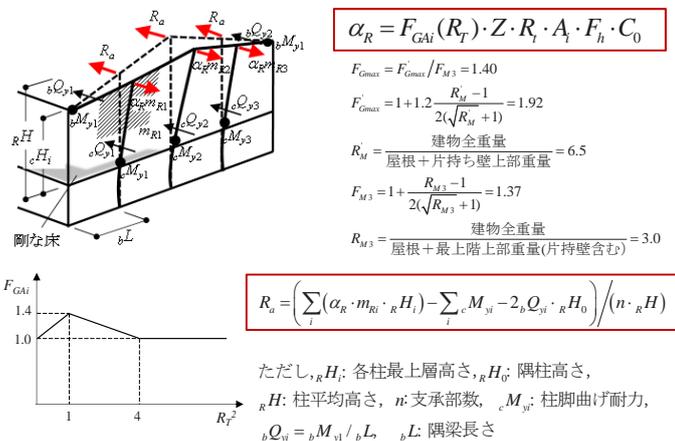
一般社団法人 日本建設技術協会  
鉄骨置屋根構造耐震診断研究会

| 開催年月日     | 会場     | 参加費     | 申込方法            | 申込先  | 申込書提出方法 |
|-----------|--------|---------|-----------------|------|---------|
| 11月12日(土) | 東京都中央区 | 15,000円 | 講習会申込書(別紙)を提出する | 建築会館 | 郵送      |
| 11月13日(日) | 東京都中央区 | 15,000円 | 講習会申込書(別紙)を提出する | 建築会館 | 郵送      |

[https://www.ajj.or.jp/index/?se=entry&event\\_id=1536](https://www.ajj.or.jp/index/?se=entry&event_id=1536)

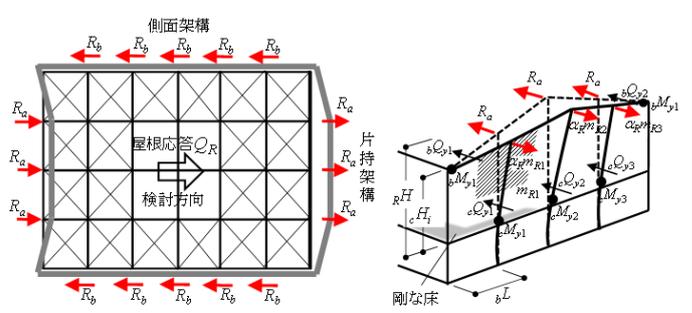
### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支承部改修

RC片持架構に働く応答加速度評価 (現状の設計基準・改修指針に含まれず)

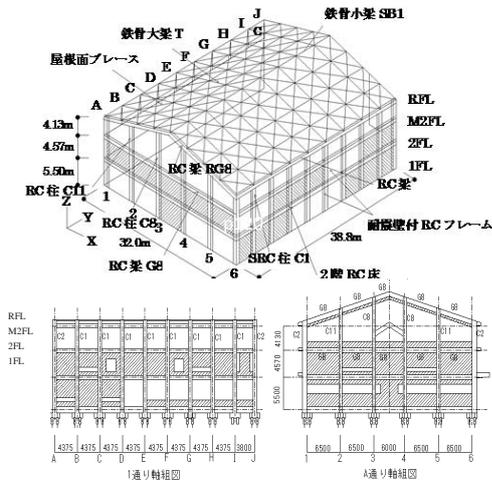


### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支承部改修

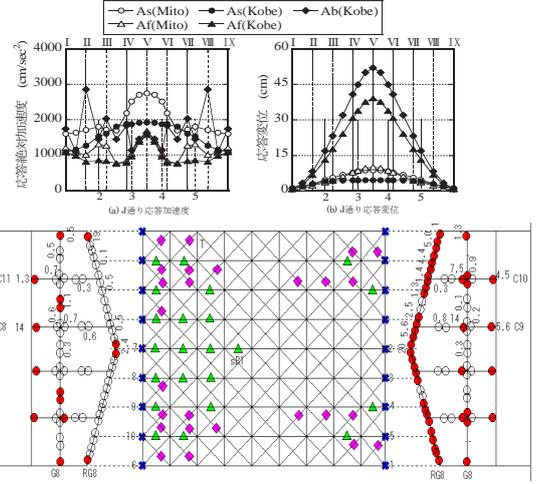
屋根面を通じた力の伝達



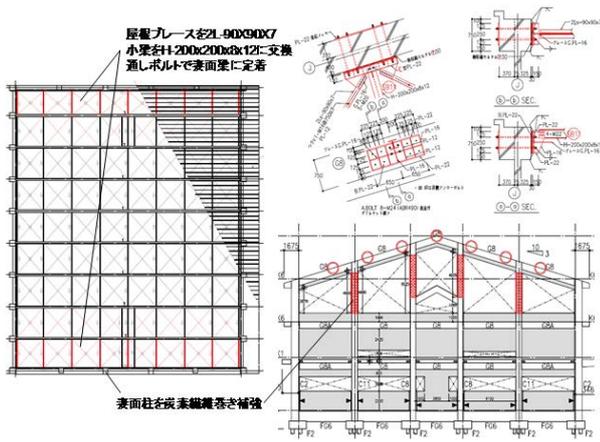
### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支那部改修



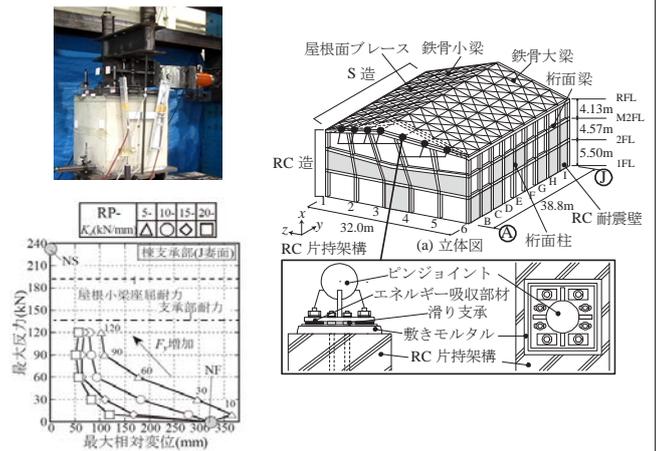
### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支那部改修



### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支那部改修



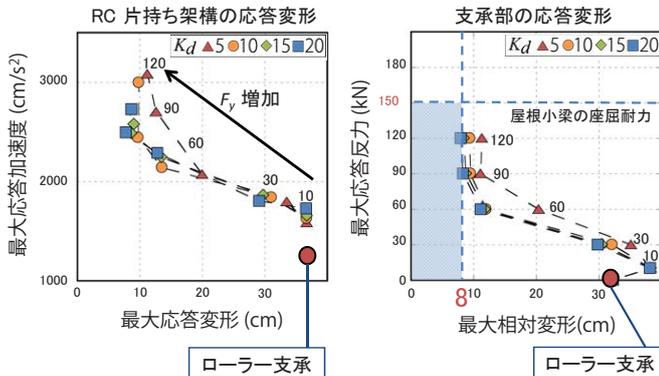
### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支那部改修



### 3. 鉄骨置屋根学校体育館の支那部改修

摩擦ダンパー支承によるRC片持ち架構の応答低減効果

$F_y$ : 滑り荷重 (kN)  $K_d$ : 初期剛性 (kN/mm)



### 4. 地震時の応急使用性判定

建物の破壊形式と応急使用性判定方法は構造種別によって大きく異なる



鉄骨(S)建物



公共ホール、スタジアム、体育館

鉄筋コンクリート(RC)建物

**鉄筋コンクリート(RC)建物の典型的な破壊形式**



雑壁のせん断破壊・境界梁の破壊(立ち入り許容範囲)

素人が雑壁と柱を区別するのは困難



柱のせん断破壊(立ち入り不可)

層崩壊

**公共ホール・体育館の典型的な破壊形式 (S・RCまたは混合構造)**



ブレース座屈 (立ち入り許容範囲)

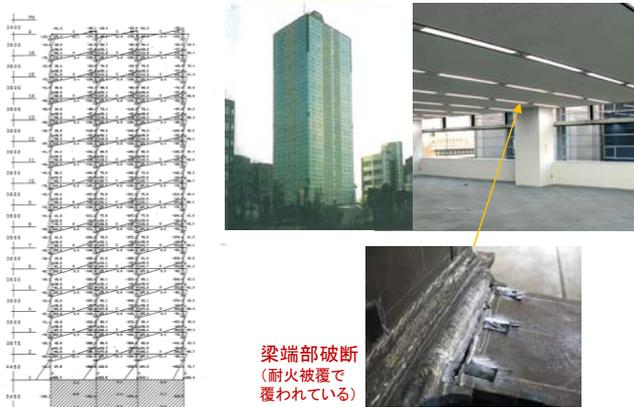
支承部破壊 (立ち入り許容範囲 避難施設使用不可)

上部にありすぐには発見できない

落下の兆候をどう判断するか

天井落下(避難施設使用不可)

**4. 地震時の応急使用性判定 高層建物の応急使用性判断**



梁端部破断 (耐火被覆で覆われている)

数時間内にすべての階の構造体を点検することは不可能

**鉄骨(S)建物の典型的な破壊形式**



非構造壁の破壊 (立ち入り許容範囲)

RC壁ではない

ブレース座屈 (立ち入り許容範囲)

梁端部破断 (立ち入り不可)

層崩壊

天井裏・耐火被覆に隠れているのですぐには発見できない  
建物の傾き、仕上げ状況より判断するしかない

**4. 地震時の応急使用性判定**

**大規模施設のエントランスホール**



ガラス壁や天井の健全性をどのように判定するか？

**4. 地震時の応急使用性判定**

**応急的使用性判断のための被害調査項目作成のポイント(提言)**

- 全ての建物に対し共通に設定した調査項目リストは、被災建物の本質的な危険度と乖離する可能性がある。
- 構造種別ごとに見るべき部位と判断基準は異なる。少なくとも調査項目リストは構造種別ごとに設定すべき。
- 大規模な建物は全体の安全性を数時間で判断することが難しい。

帰宅困難者受け入れ候補施設では、その建物がどのような構造種別で、どこからどのように壊れるか、どこを見てどのように壊れるまで使用可能かの「カルテ」をその建物の構造設計者または耐震診断をした技術者があらかじめ準備し、建物管理者に伝達しておくことが必要。

カルテの整備とヘルスマonitoring技術(過信は禁物)の応用を推進