振動台実験からわかる室内被害の発生過程

鱒沢工学研究所　　鱒沢　曜

はじめに

- 構造体が健全であっても起こり得る室内被害の主要因として、非構造部材の被害に着目する。
- 東日本大震災における非構造部材の典型的な被害事例および超高層ビルにおける被害事例を振り返る。
- 長周期地震動の特徴および超高層ビルに及ぼす影響について触れる。
- 振動台実験による超高層オフィスビルやマンションを想定した室内被害の映像より非構造部材の耐震対策の重要性を示す。
- 非構造部材の耐震対策による室内被害の抑制効果を確認する。

建物の構造体と非構造部材

- 建物の構成要素

構造体	建物の骨格を構成する柱，梁，耐震壁，床スラブおよび基礎など
非構造部材	構造体に支えられている天井，照明器具，外壁，窓ガラス，建具，間仕切壁，家具・什器類および設備機器・配管類など

非構造部材の被害は地震時における室内被害の大きな要因

東日本大震災における非構造部材の被害事例

東日本大震災における非構造部材の被害事例

東日本大震災における非構造部材の被害事例

東日本大震災における非構造部材の被害事例

東日本大震災における非構造部材の被害事例

東日本大震災における非構造部材の被害事例

東日本大震災における非構造部材の被害事例

東日本大震災における非構造部材の被害事例

■エキスパンション・ジョイントの損傷・落下～宮城県仙台市

東日本大震災における超高層ビルの被害

■工学院大学新宿校舎における被害事例

天井パネルの落下（28階）

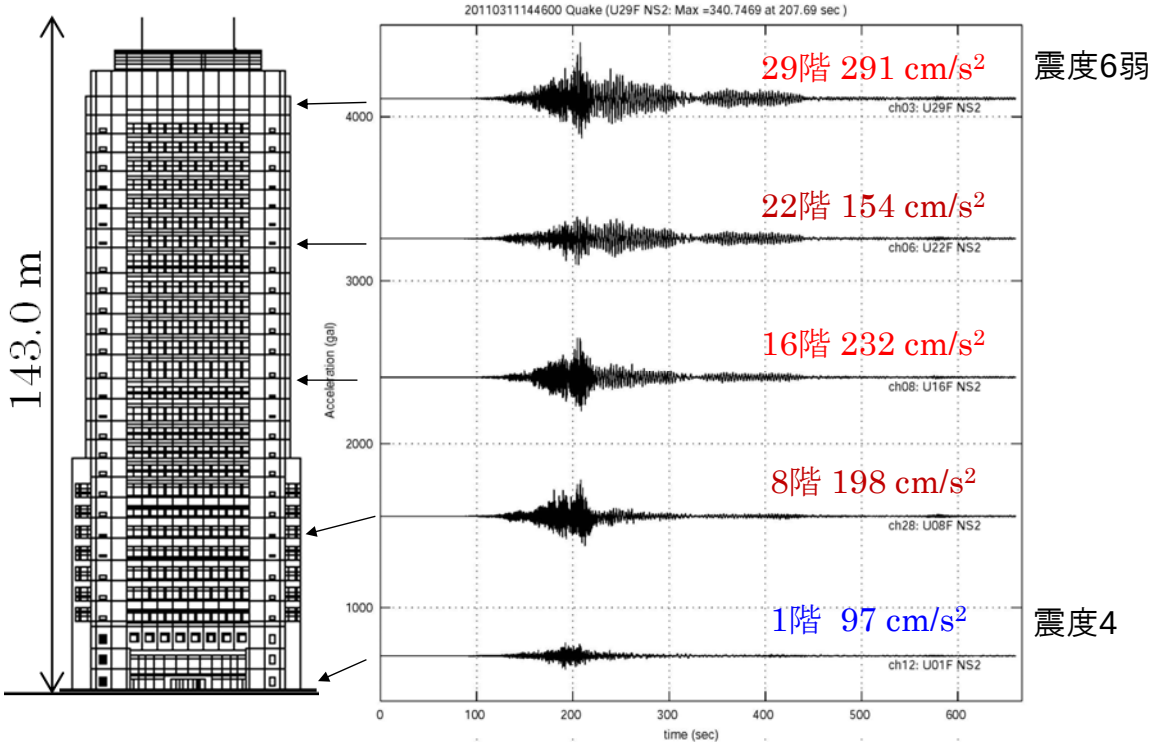
本棚の転倒（24階）

間仕切壁の変形（24階）

エキスパンション・ジョイントカバーの変形・脱落（7階）

東日本大震災における超高層ビルの揺れ

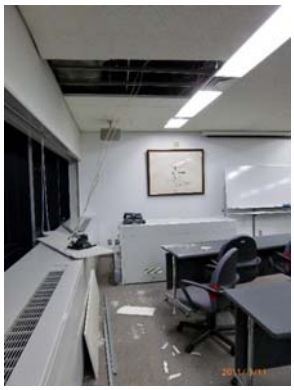
■工学院大学新宿校舎における強震記録（南北成分の加速度）



東日本大震災における天井被害の発生状況

工学院大学高層棟の天井被害

高層棟	場所	状態
28	第1会議室	一部天井落下
	第4会議室	天井板のたわみ
27	2718	天井板の落下
26	2612	天井板のたわみ
24	弱電実験室	天井一部ズレ 2箇所
	2432	天井の一部ズレ
	2418	天井の一部ズレ
	南側通路	天井の一部ズレ
23	2373	天井の一部ズレ
	2381	応接室天井のズレ
	2373	天井の一部ズレ
22	入り口	東西入り口の天井ズレ
21	廊下	一部天井落下
20	第6会議室	天井の一部ズレ
	2011	天井の一部ズレ
	廊下	天井の一部ズレ
19	入り口	天井の一部ズレ
	1937	天井の一部ズレ
18	1861	天井の一部ズレ
17	入り口	天井の一部ズレ、ホワイトボードの落下
	1772	天井の一部ズレ
	事務室	天井の一部落下
	1776	天井の一部ズレ
	1718	天井の一部ズレ
16	入り口	入り口付近、天井の一部ズレ
	1616	天井の一部ズレ、撤去
	1667	天井の一部ズレ、撤去
	1661	天井の一部ズレ
15	1517	天井の一部ズレ
	1518	天井の一部ズレ
14	通路	天井の一部落下
	管理室	天井の一部落下
12	学長室	天井の一部破損
5	511	天井の一部に小穴



28階：天井板落下

24階：天井板脱落

21階：天井板落下

16階：天井板脱落

長周期地震動の特徴

- 地震のタイプ：**海溝型巨大地震**（マグニチュード8程度以上）
- 近年の被害地震：2003年十勝沖地震，2011年東北地方太平洋沖地震など
- 卓越周期：**2～3秒程度以上**
- 継続時間：**数分以上**
- 増幅特性：堆積盆地内で大きく増幅，**超高層建築物等の長周期構造物と共振**
- 揺れの特徴：**大きな振幅，多数回繰返し振動**
- 影響範囲：**半径数100km**
- 今後の想定地震：東海・東南海・南海地震など

長周期地震動が超高層ビルに及ぼす影響

- **振幅の大きな揺れの繰返しによる影響**
  - 天井や天井吊り下げ器具等の落下
  - 内装のひび割れ，剥離
  - キャスター付き機器の移動
  - 未固定の家具・什器類の転倒
  - 設備配管接続部等の損傷
  - 外壁パネル接合部等の損傷
  - 構造体接合部等の疲労
- **周期の長い揺れによる影響**
  - エレベーターロープの共振
  - 水槽・タンク類のスロッシング

超高層ビルを想定した振動台実験

- 超高層オフィスビルやマンションの室内空間を忠実に再現した実物大試験体で高層階の大振幅床応答を再現した振動台実験（2008年1月実施）
- 実施主体： 兵庫県、防災科学技術研究所
- 目的： システムキッチン･リビングやオフィスシステム等における危険性や耐震対策の効果の検証
- 東南海･南海地震において想定される30階の床応答を若干うわまわる大振幅床応答（最大1.5 m）を試験体の5層にわたって再現

試験体各階の内容

- 試験体屋上
  - 植木、パラボラアンテナ、空用室外機
- 試験体5階
  - ユニットバス、自動販売機
- 試験体4階
  - **リビング（システムキッチン、テーブル、テレビ等）、寝室**
  - **対策の有無の比較**
- 試験体3階
  - 子供部屋（二段ベッド、ベビーベッド、本棚、学習机等）
- 試験体2階
  - **オフィス（机、ロッカー、コピー機等）**
  - **対策の有無の比較**
- 試験体1階
  - 設備配管耐震継手

実験における主な検証項目

- 長周期地震動による超高層建物のオフィス空間への影響
  - 室内の事務機器、家具、什器等の挙動の解明
  - 事務機器や家具等の配置や固定・転倒防止策による安心・安全空間確保の検証
    - ロッカー、机、書庫、キャビネット等の事務機器に転倒防止策を施した場合の効果の確認
    - 避難路の確保と事務機器等の配置方法の確認
- オフィス以外の居住空間（子供部屋、キッチンリビング、寝室、浴室等）での家具等の挙動と対策（家具固定、転倒防止等）効果の確認
  - 各用途空間の挙動の解明
  - 家具等の配置や固定・転倒防止策による安心・安全空間確保の検証
    - 家具等に固定・転倒防止策を施した場合の、その効果の確認
    - 家具等の配置方法の確認
- 屋外設置物の挙動と対策（転倒防止等）効果の確認

振動台実験の様子

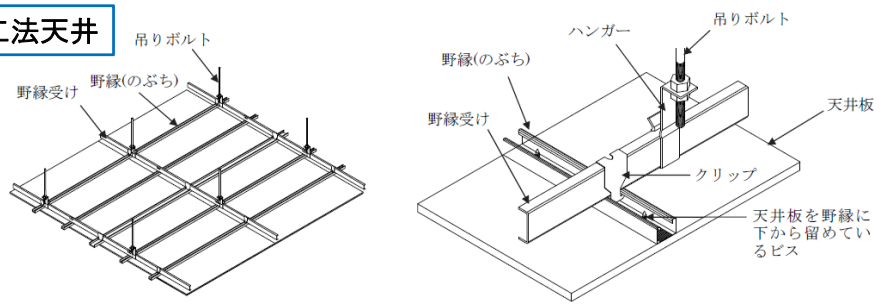
提供　防災科学技術研究所　Eーディフェンス

システム天井の振動台実験と落下防止対策

- 工学院大学新宿校舎に用いられているシステム天井を模擬した実大試験体の振動台実験（2013年12月実施）
- 実施主体： 工学院大学、鱒沢工学研究所、三洋工業
- 目的： 東日本大震災で実際に発生した被害の再現および天井落下防止対策による効果の検証
- 最大床応答加速度約900galの振幅漸増波（T=0.5s）
- 振動台実験のパターン
  - 無補強
  - 天井ボードの落下防止用金物補強
  - 落下防止用金物＋壁補強

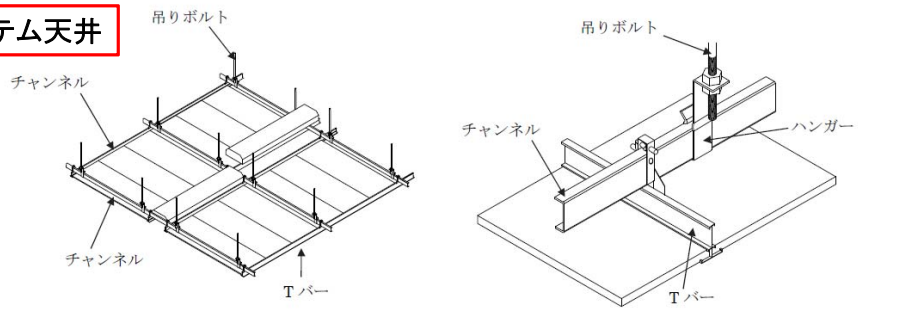
工学院大学新宿校舎に用いられている主な天井の構成

在来工法天井



在来工法天井は軽量鉄骨下地に下から天井板を鋼材にビス止めし、天井板を設置する工法で、工学院大学新宿校舎では12階以下の低層階と高層階のエレベーターホール等一部で使用されている。

システム天井

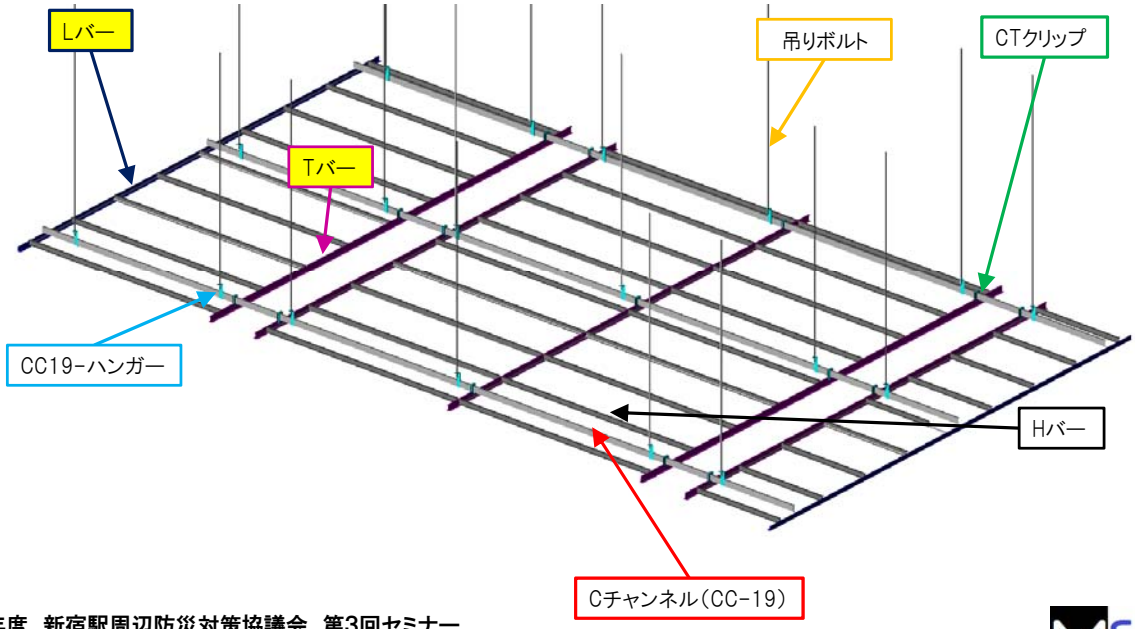


システム天井は軽量鉄骨下地で作製される支持部材の上に天井板が固定されず載せられている工法で、工学院大学新宿校舎では12階以上の高層階で使用されている。

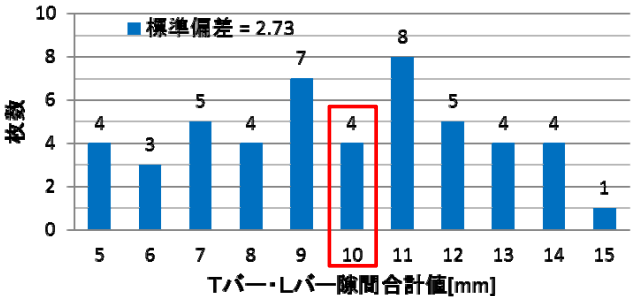
日本建築学会,非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会：天井等の非構造材の落下事故防止ガイドライン、日本建築学会 非構造材の安全性評価及び落下事故防止に関する特別調査委員会報告書、2013.03.14

システム天井の構成

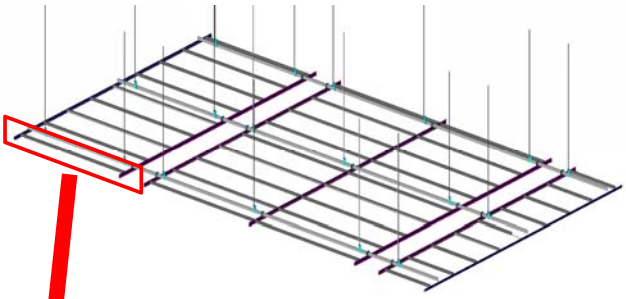
- **シングルライン工法**：照明等の設備ユニットをライン上に配置することで施工の合理化や簡略化が図られた工法

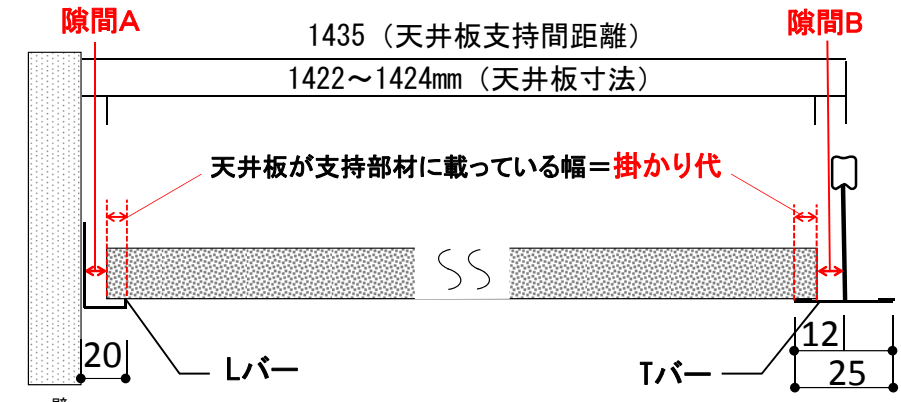


実測調査に基づく天井板の配置



施工調査による隙間実測値のヒストグラム



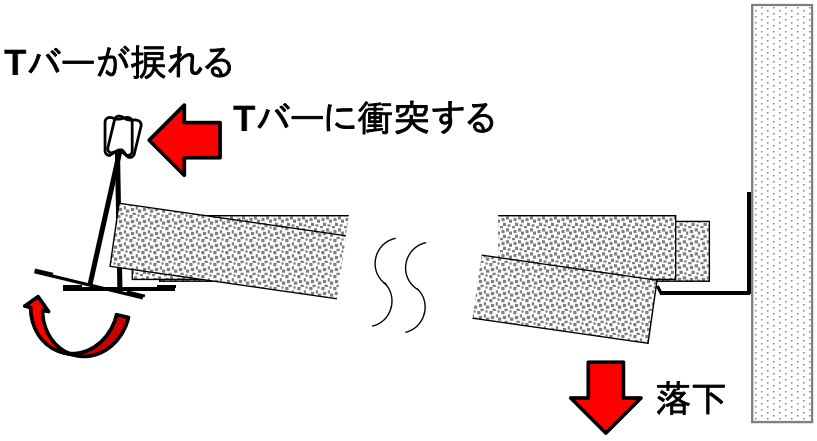


隙間A+B（両側）= 隙間設定値10mm

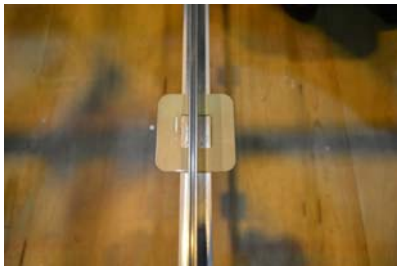
天井板の配置方法と詳細図

天井板落下パターンの一例

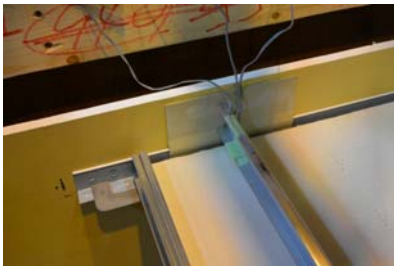
- 支持部材（Tバー）の掛かり代より隙間が小さい場合



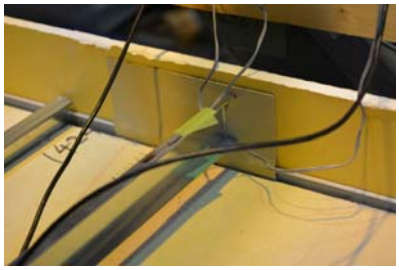
天井落下防止対策の概要



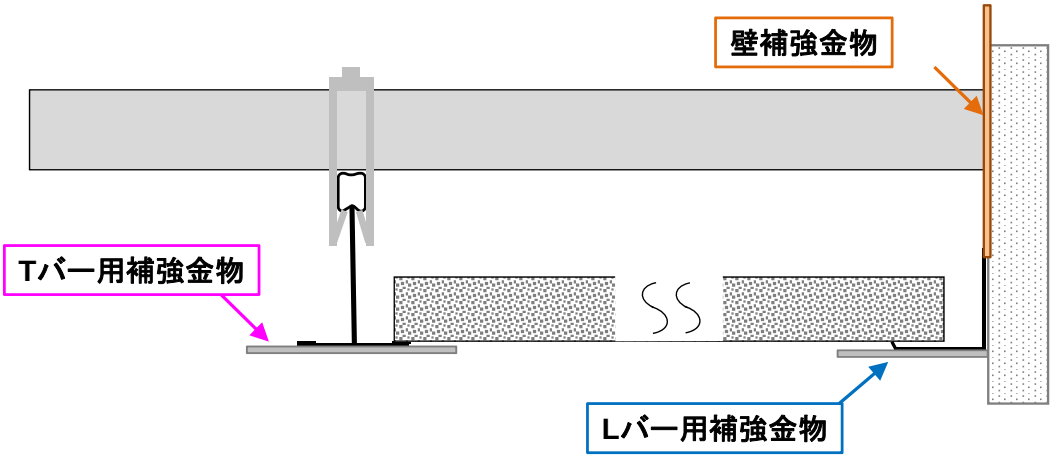
落下防止用補強金物
Tバー用



落下防止用補強金物
Lバー用

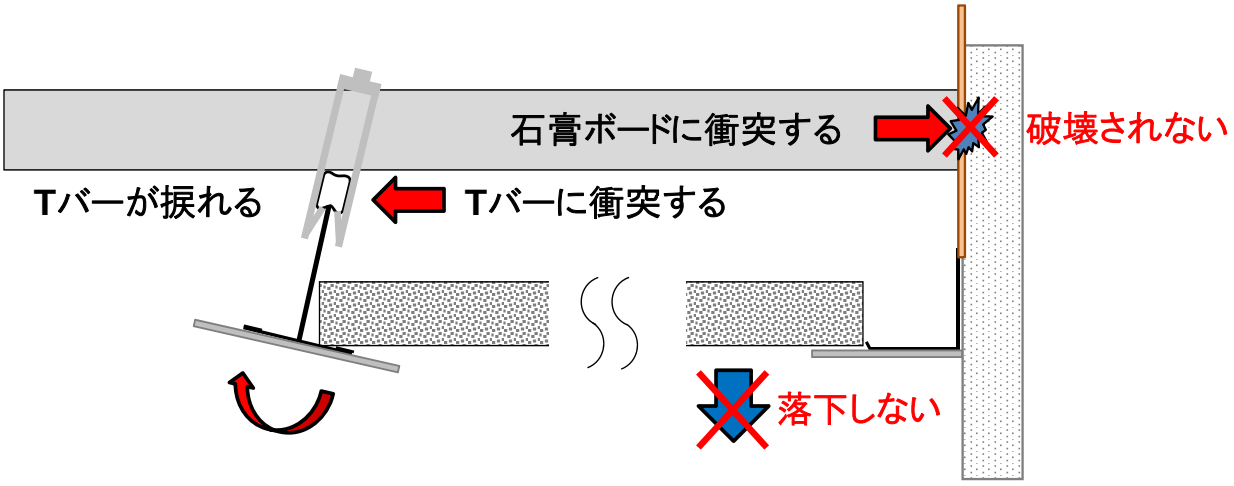


壁補強金物

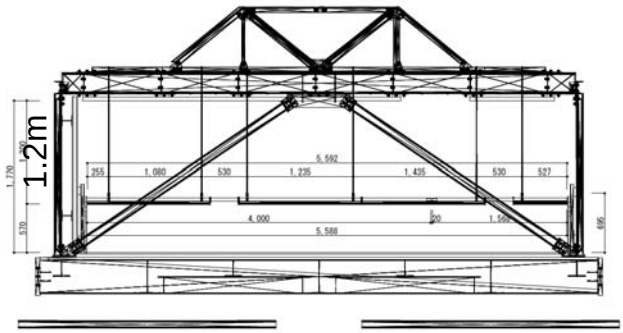


期待される対策の効果

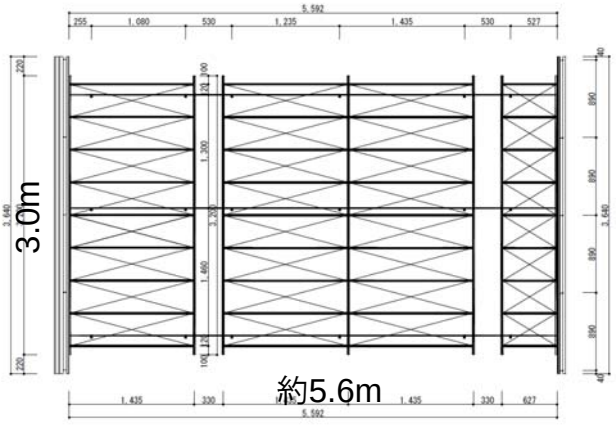
支持部材（Tバー）の**Cチャンネルの石膏ボードへの衝突**及び
Tバーの変形による天井板落下の防止



実験概要



実験体立面図

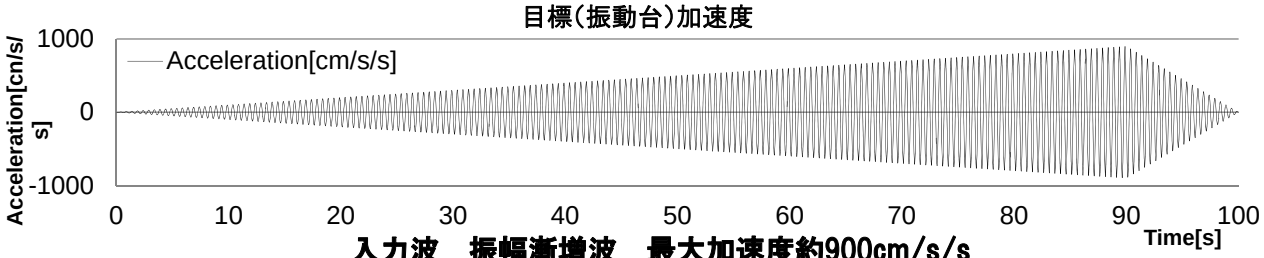


試験体平面図

実験パターン

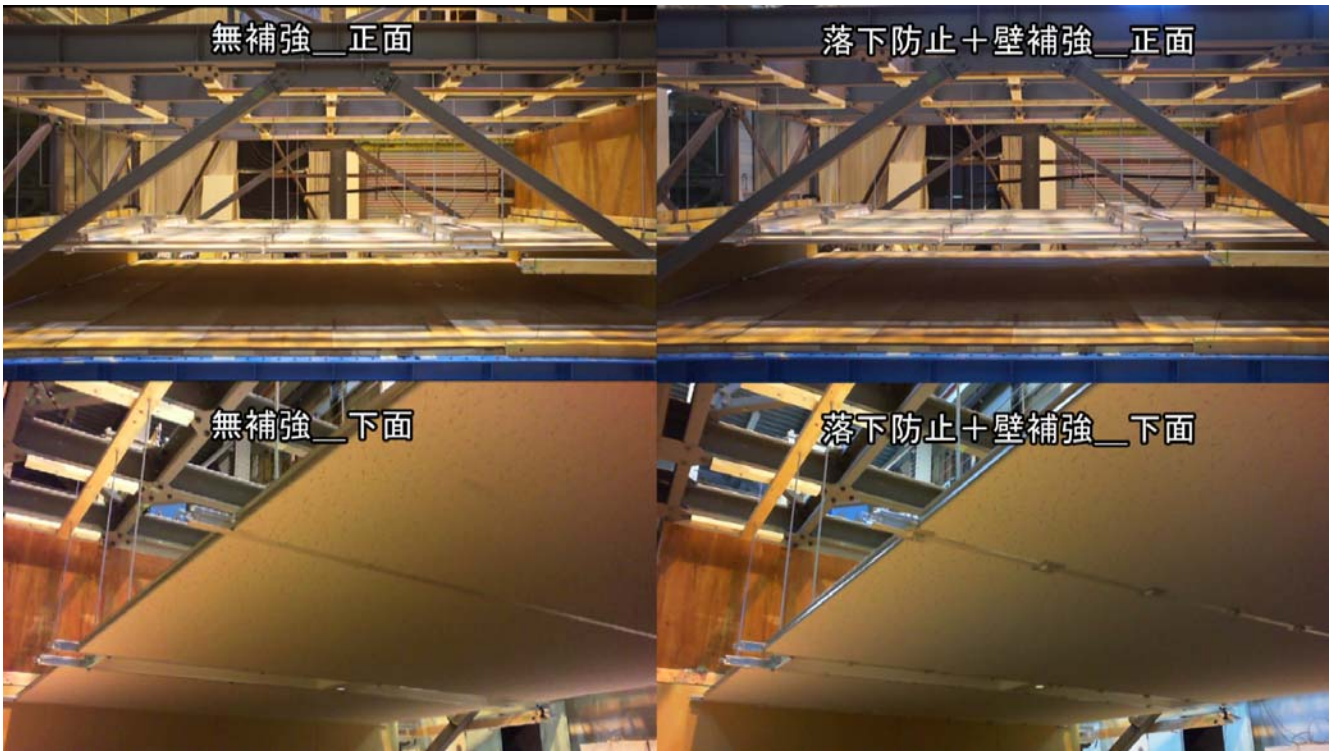
実験パターン	入力波	周期	漸増時間	減衰時間	加振回数
無補強	振幅漸増波	0.5秒	90秒	10秒	1
落下防止用金物	振幅漸増波	0.5秒	90秒	10秒	2
落下防止用金物＋壁補強	振幅漸増波	0.5秒	90秒	10秒	4

目標（振動台）加速度



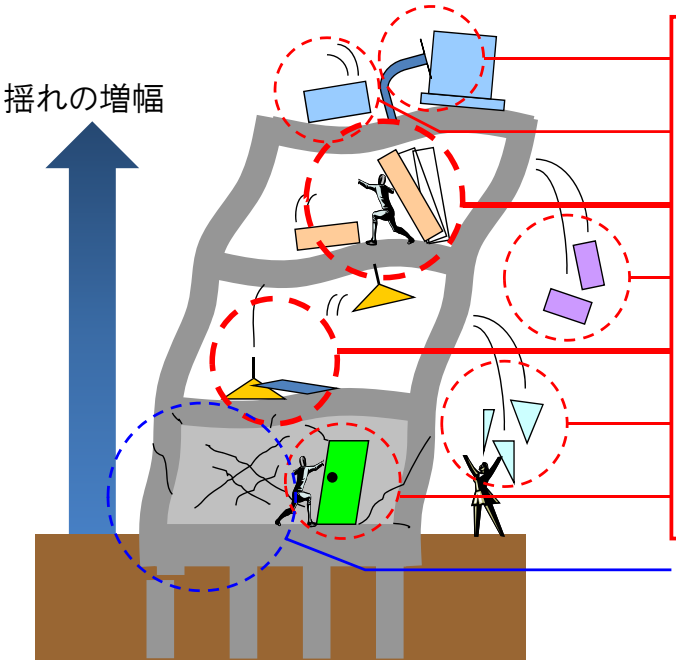
入力波＿振幅漸増波＿最大加速度約900cm/s/s

振動台実験の様子



まとめ

■地震動による主な建物被害



非構造部材の被害

- □ 設備配管の破損
- □ 設備機器の転倒･機能の停止
- **□ 家具･什器の転倒**
- □ 外壁の脱落
- **□ 照明器具･天井の落下**
- □ 窓ガラスの破損･落下
- □ 建具枠の変形･間仕切壁の損傷
- □ 構造体の損傷

人的被害･事業継続への影響

地震時の**室内安全性**と**継続使用性**を確保するために**非構造部材の対策**は必須！
→地震後に**建物の即時使用性**を判断する際、**非構造部材の被害確認**は重要！