

# 平成25年度基準整備促進事業

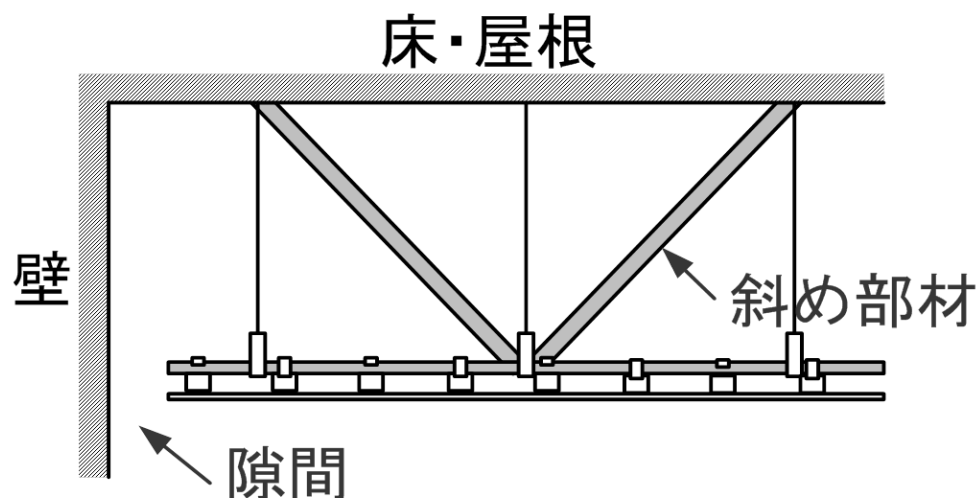
## S4.「吊り天井の耐震設計に係る基準の高度化に資する検討」

【事業主体名】 戸田建設株式会社

【共同研究者】 独立行政法人建築研究所

# 調査の目的

- ・「建築物における天井脱落対策に係る技術基準」(平成25年国土交通省告示第771号等)では、天井周囲の壁等との間に**隙間(クリアランス)**を設けることを前提としている。



告示の仕様

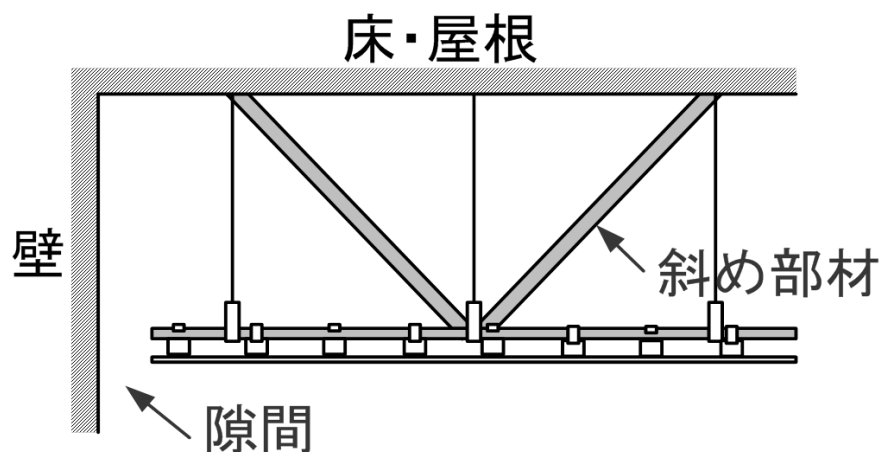
# 調査の目的

- ・一方で、室の用途・環境によっては、隙間（クリアランス）を設けにくい場合もあり、隙間のない天井の告示化に対するニーズも多い。

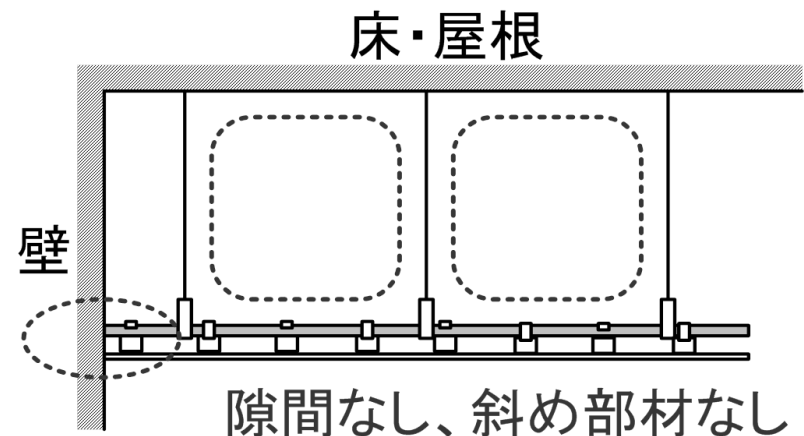
- ・また、基準原案に対するパブリックコメント（募集期間2013年7月～9月）に対し、国交省は「クリアランスを設けない構造方法について、天井と壁が衝突等をしていても安全である仕様が提示されれば、その仕様を基準に追加することとします。」と回答している。

# 調査の目的

- ・このような背景の中、**隙間のない水平な在来天井の耐震性**について、実験的な検証を踏まえた**技術資料の整備**を行うことを目的とした。
- ・隙間のない天井では、斜め材を設けないことを前提としているため、天井裏のスペースを有効に活用できるメリットもある。



(a) 告示の仕様



(b) 本調査の対象とする仕様

# 報告書の目次

## 1. 全体概要

## 2. 天井面の耐力

### 2.1 天井面の曲げ実験

### 2.2 面内圧縮実験（小規模、大規模）

## 3. 壁等との衝撃力による外力

### 3.1 中規模天井の振動台実験

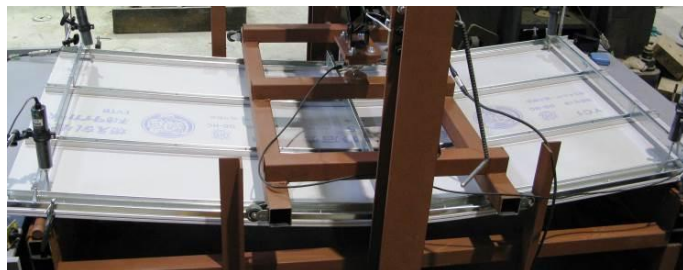
### 3.2 大規模天井の加振実験

### 3.3 衝撃力の評価

## 4. まとめ

# 1.全体概要

## 2.天井面の耐力...天井の剛性や耐力に関するデータの取得



曲げ実験



面内圧縮実験

## 3.壁等との衝撃力による外力...壁等と衝突した際の衝撃力に関するデータを取得



振動台実験



大規模加振実験

## 2.天井面の耐力

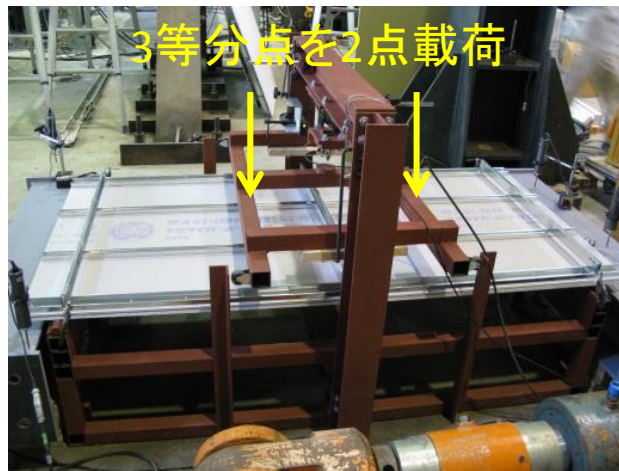
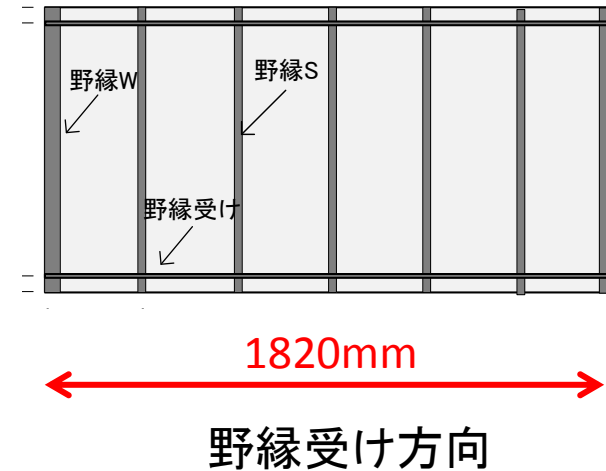
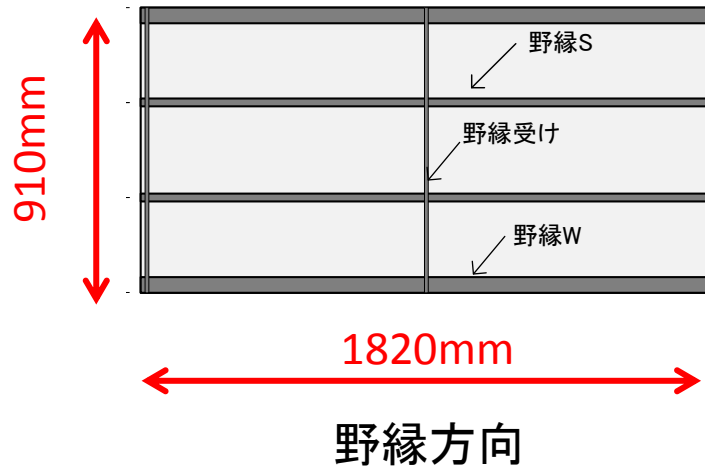
## 2.1 天井面の曲げ実験

### 目的

天井の設計や解析を行う際に必要となる、天井面の座屈耐力を評価するためのデータを取得する。



# 試験体と載荷方法



※天井を載荷した際の荷重と変形を測定

## パラメータ

下地材方向	加力(正負)
野縁ピッチ	ボード枚数
ボード厚	ボード種類
JIS / 一般材	目地の有無

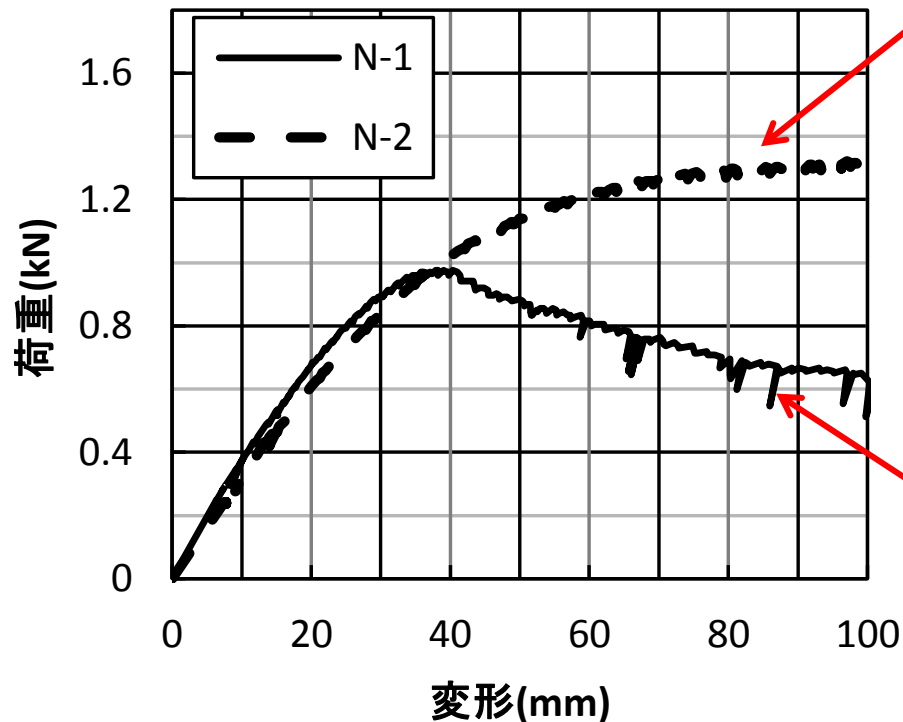
※加力の正負について  
 正: 左写真のように下地側を載荷  
 負: ボード側を載荷

## 試験結果の一例

(パラメータ: 加力方向の違い)

N-1: 野縁方向PB9.5mm 1枚張り下地側加力

N-2: 野縁方向PB9.5mm 1枚張り面材側加力



<加力方向の違いの比較>



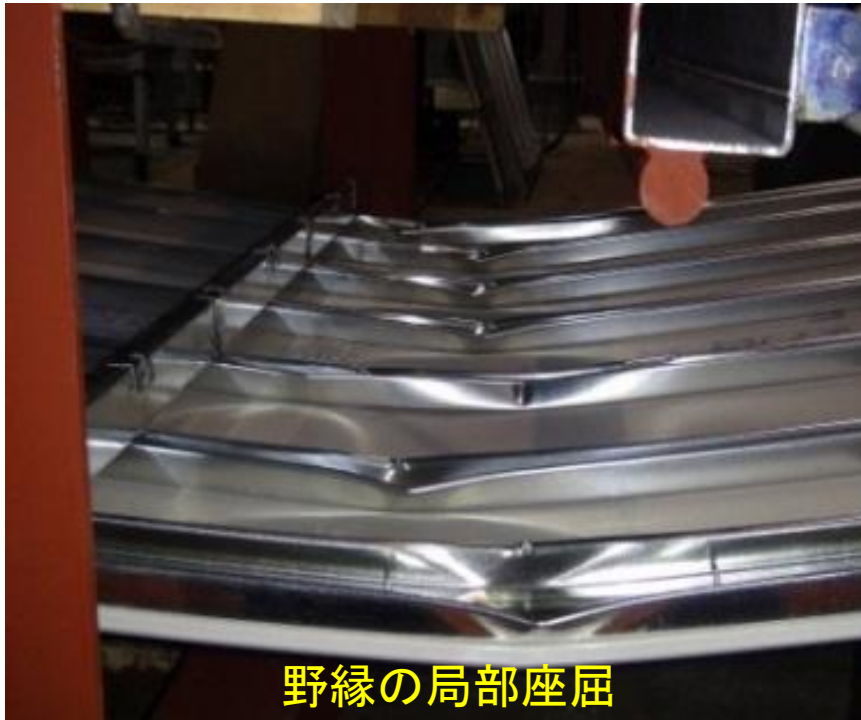
N-2: 面材側から加力



N-1: 下地材側から加力

## 天井の破壊状況

材の方向により破壊形状に特徴の違いが見られる。



＜野縁方向試験体の破壊状況＞  
JIS材 150ピッチ 正側加力(試験体N-5)



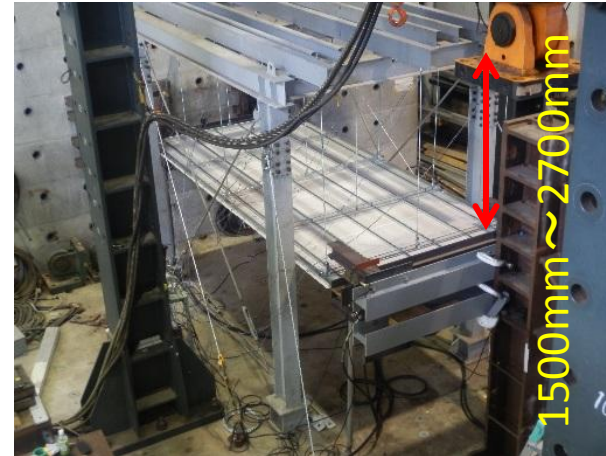
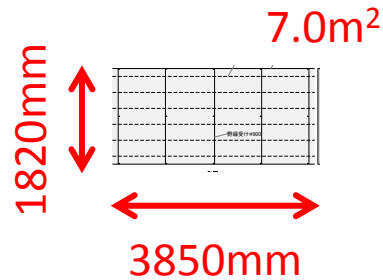
＜野縁受け方向試験体の破壊状況＞  
JIS材 300ピッチ 正側加力(試験体U-4)

## 2.2天井の面内圧縮試験

### 目的

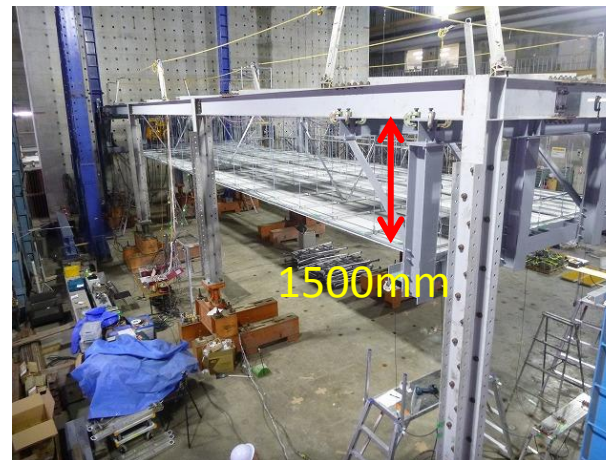
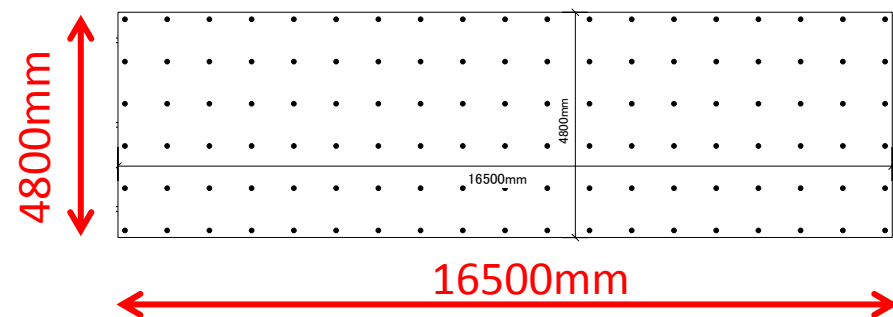
天井の静的載荷試験を実施し、設計を行う際に必要となる天井の面内圧縮耐力等のデータを取得する。

## ・小規模天井試験体



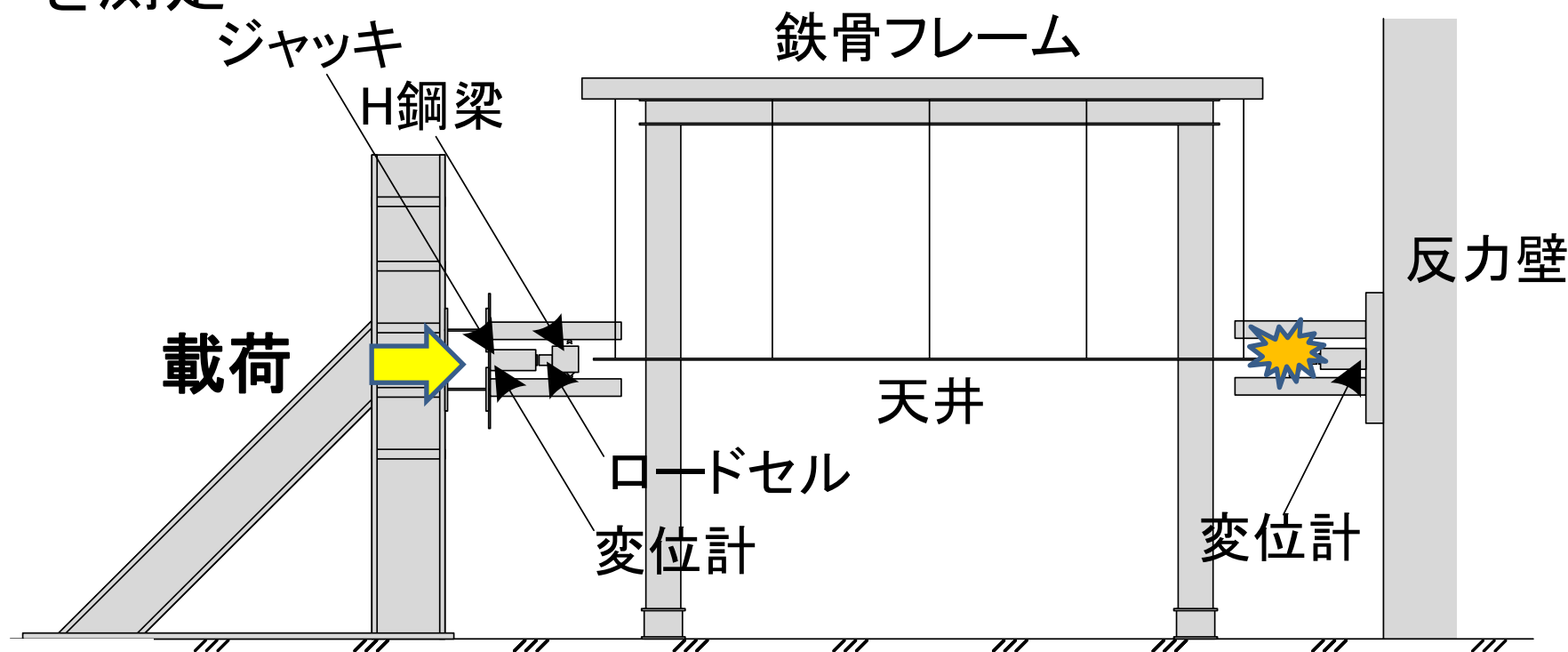
パラメータ  
下地材方向  
ボード枚数  
天井懐長さ  
水平材の有無  
開口の有無  
天井の規模

## ・大規模天井試験体

79.2m<sup>2</sup>

## 試験、および計測方法

- ・ジャッキを介して片側から天井が破壊するまで載荷。
- ・計測は、載荷荷重と天井変位、吊りボルトの軸ひずみを測定

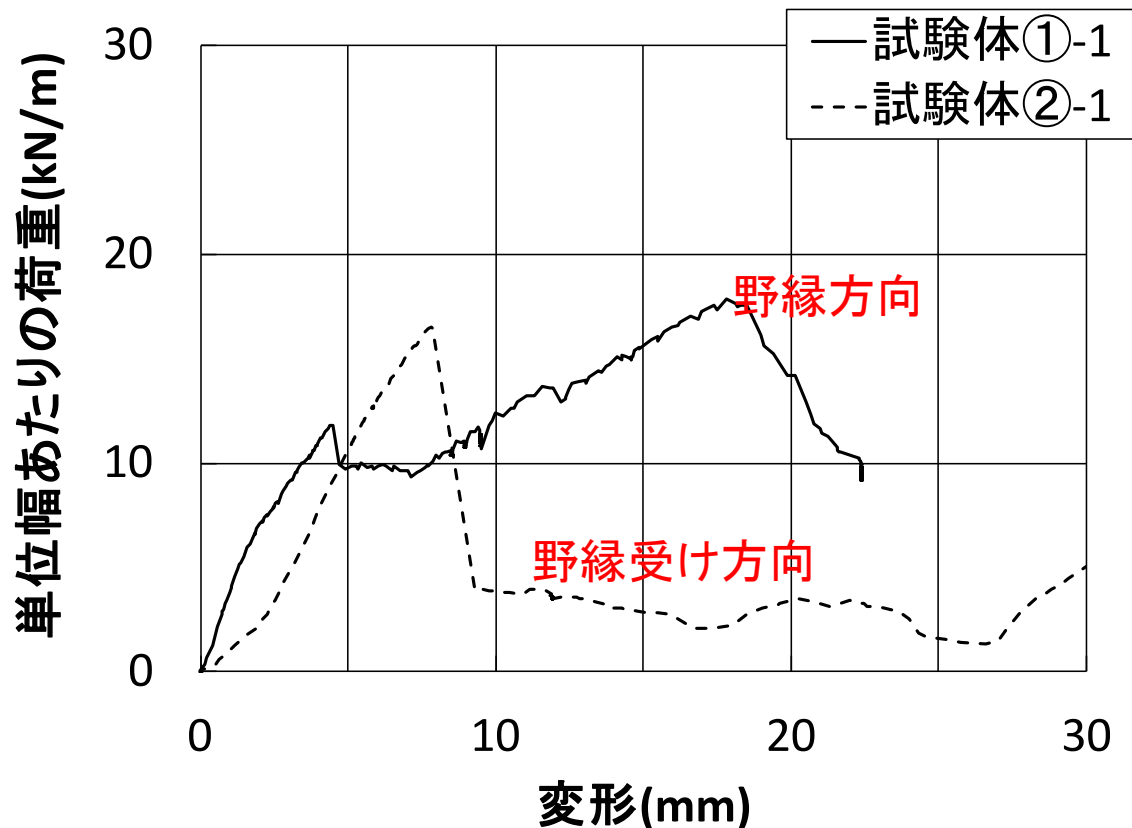


### 実験方法例：小規模天井実験

大規模も同様の方法

## 実験結果(小規模天井)

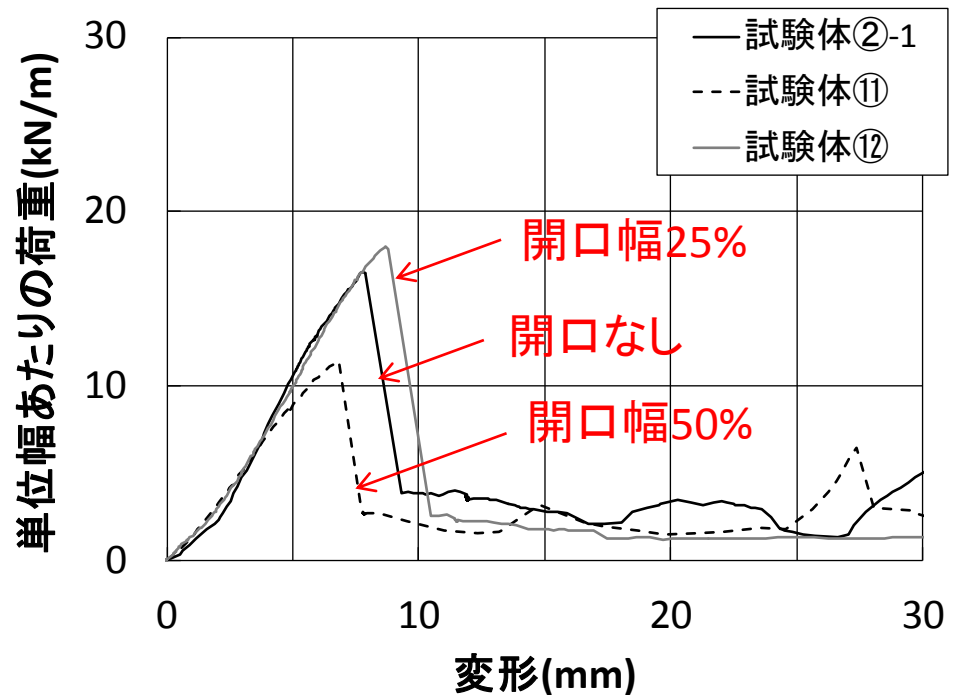
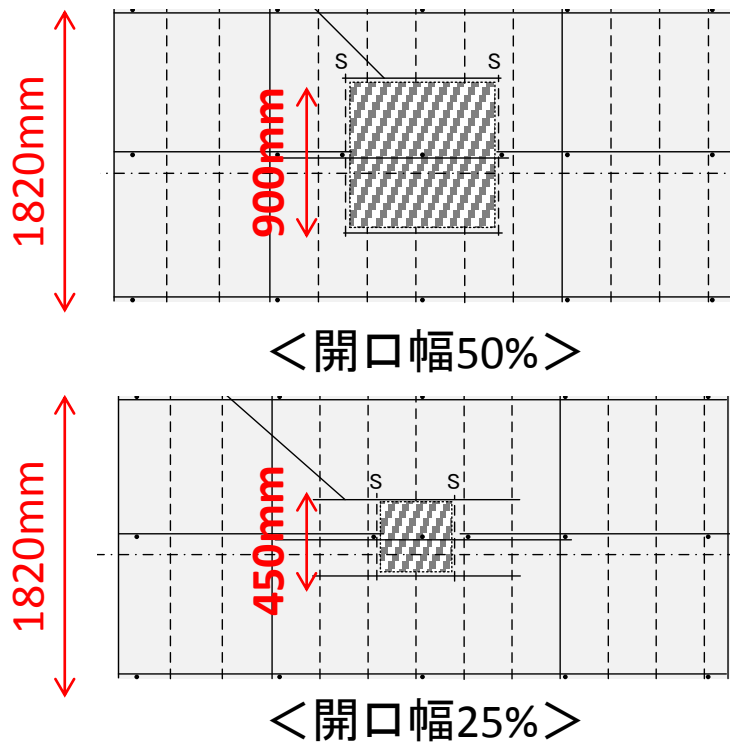
加力方向、ボード枚数、吊り長さ、開口などの違いによる天井面内圧縮耐力を確認



〈加力方向の違いの比較 ボード1枚張り天井懐1.5m〉

## 実験結果(小規模天井)

加力方向、ボード枚数、吊り長さ、開口などの違いによる天井面内圧縮耐力を確認

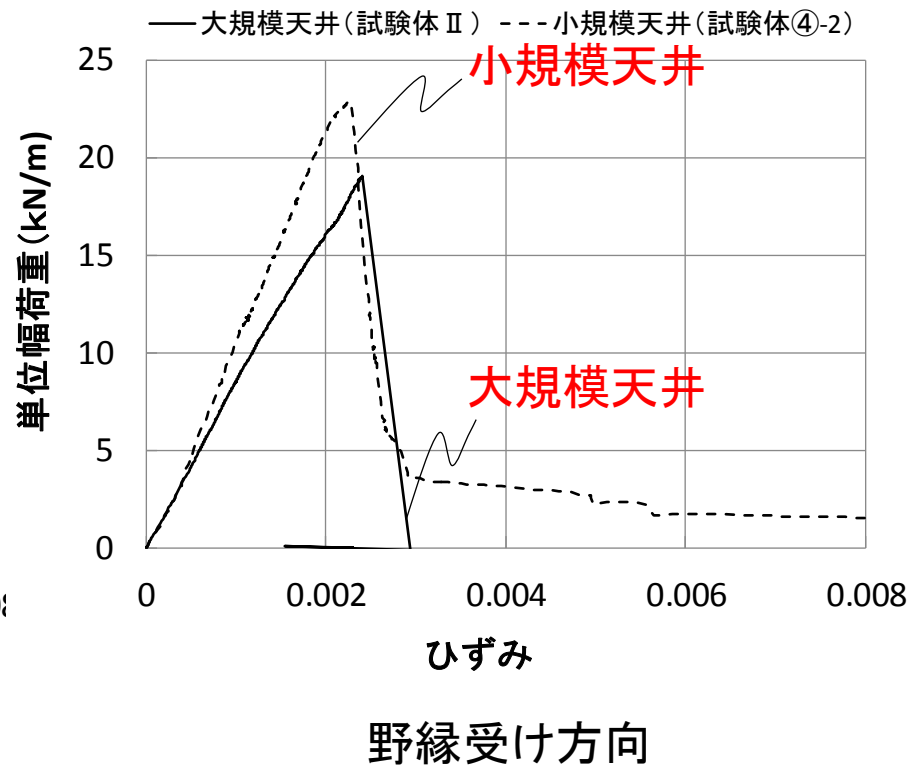
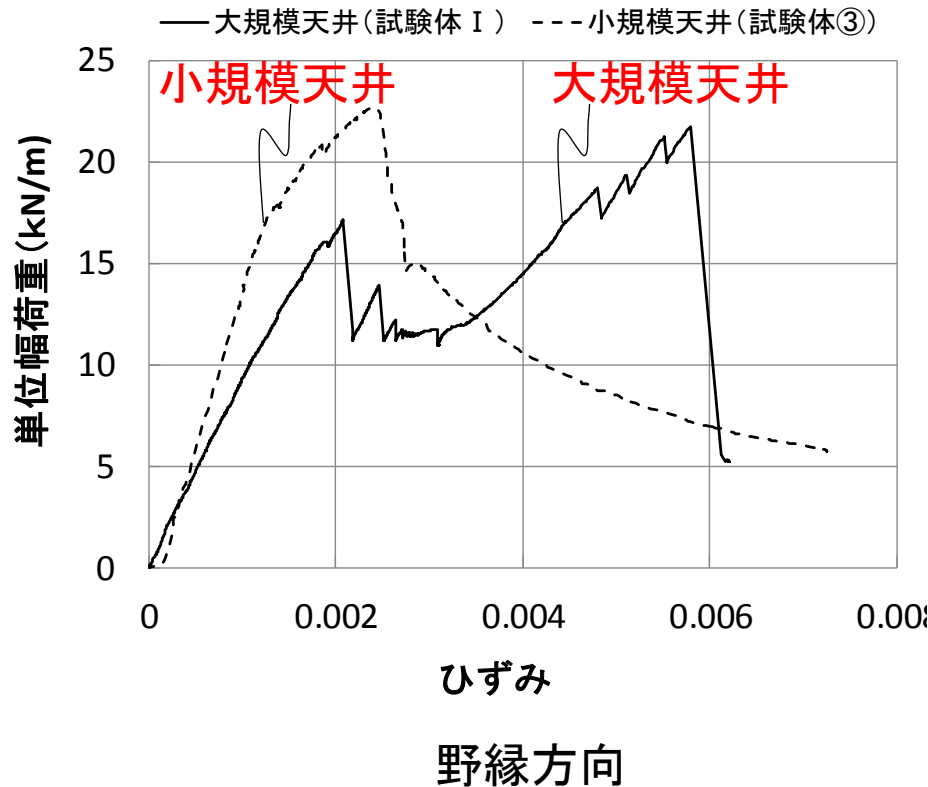


＜開口の有無による違いの比較＞  
ボード1枚張り



# 実験結果(小規模と大規模の比較)

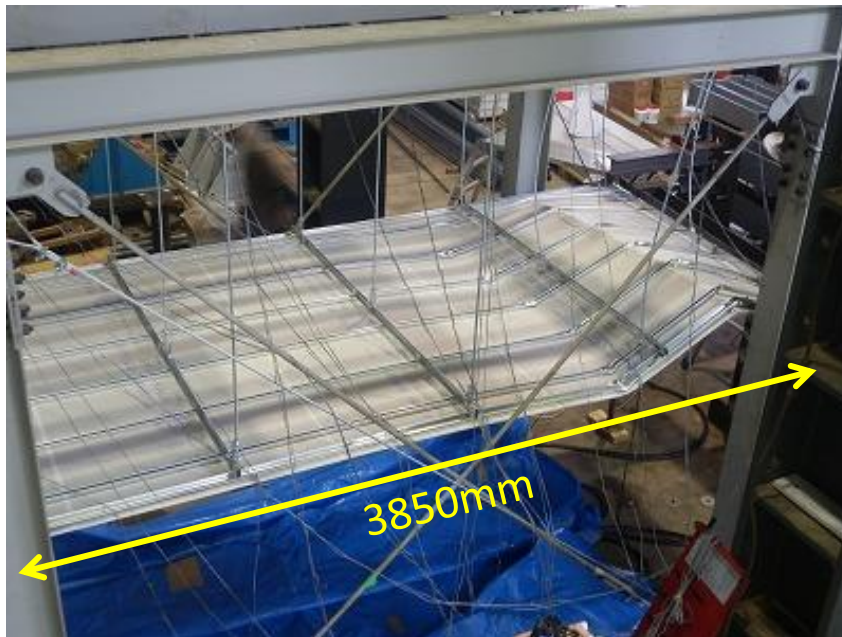
規模が大きくなることによって、最大耐力、剛性が低下した。



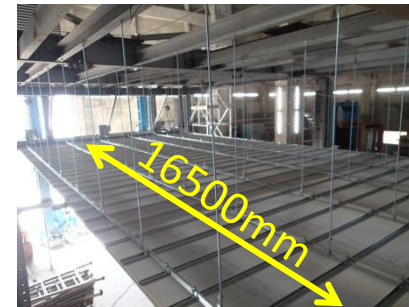
<規模サイズの違いの比較 ボード2枚張り>

## 実験結果(破壊形状)

小規模、大規模天井共に、天井の端部が損傷することで耐力が低下した。



小規模天井



大規模天井

<破壊形状>

## 3.壁等との衝撃力による外力

# 3.1 中規模天井の振動台実験

## 目的

- ①施工誤差等により不可避免的に生じる隙間  
(ギャップ)により発生する衝撃力を確認する。
- ②天井が破壊するまでのレベルまで加振を行い、  
衝撃による天井の破壊性状を確認する。

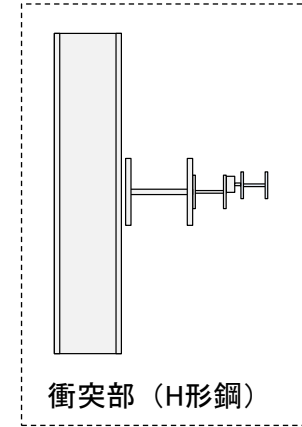
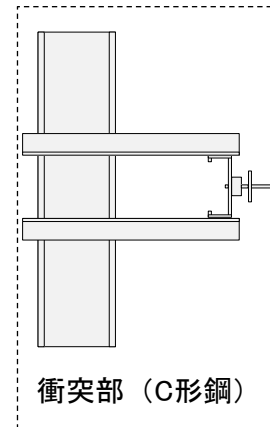
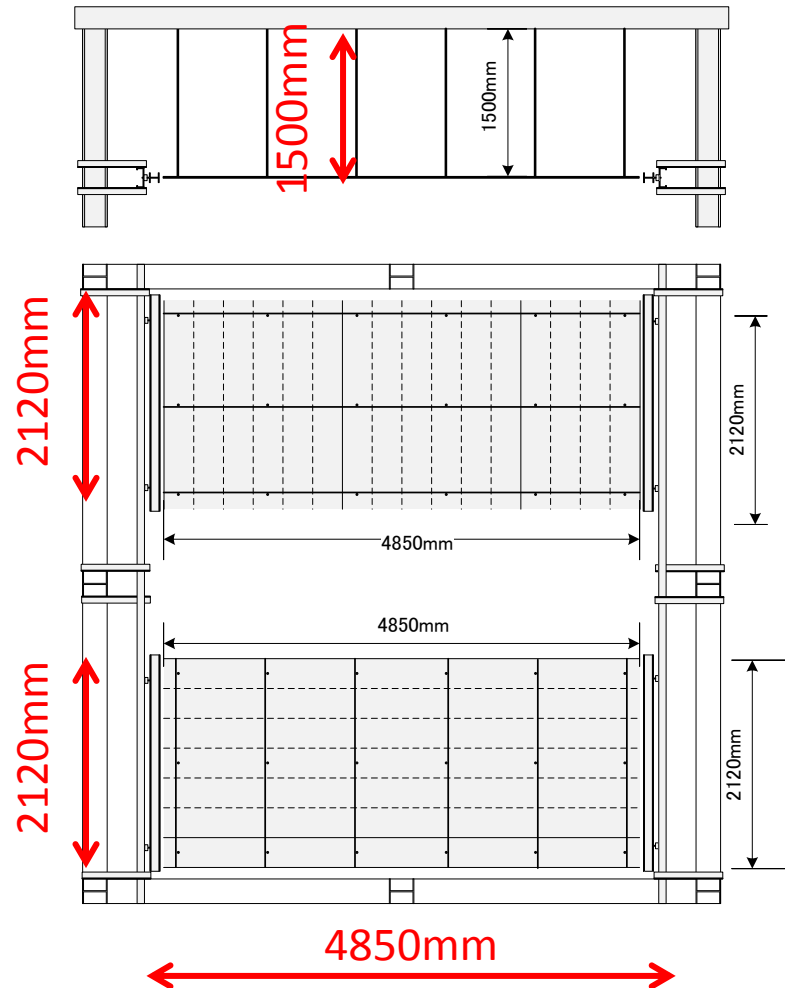
# 試験体の概要

## パラメータ

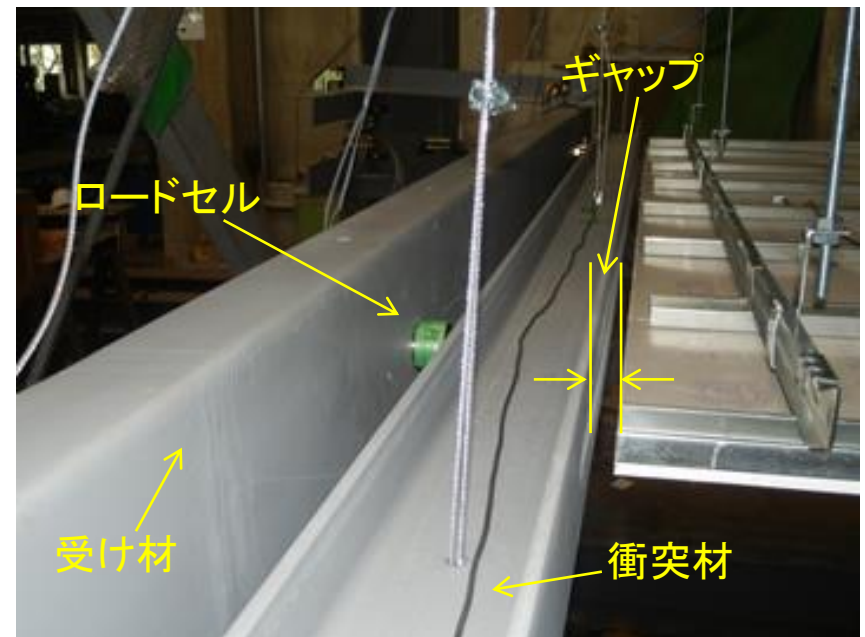
下地材方向

ボード枚数

衝突部の仕様 (H形鋼、C形鋼、LGS壁)

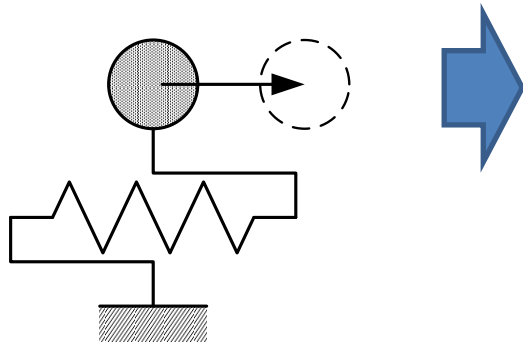


# 実験、および計測方法

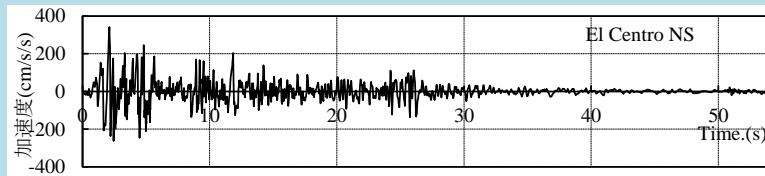


# 振動台入力波

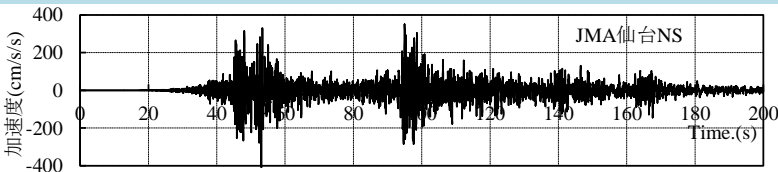
T=0.3sec、0.5sec、0.7sec



入力地震動



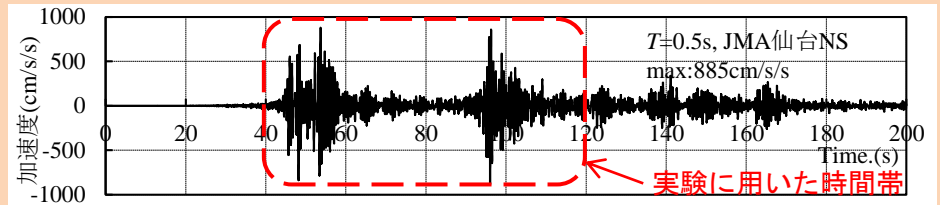
El Centro NS



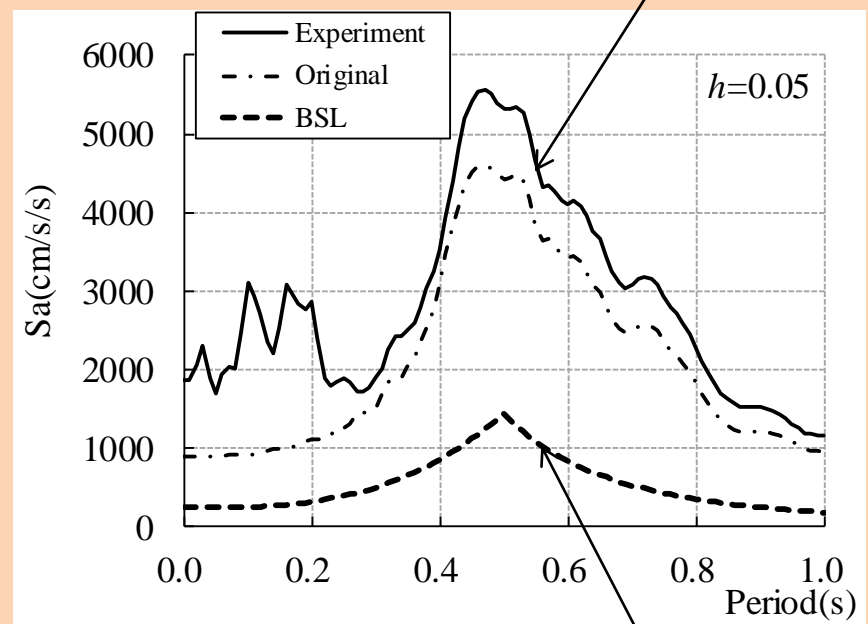
JMA仙台NS

SDOF応答絶対加速度  
(振動台での入力波)

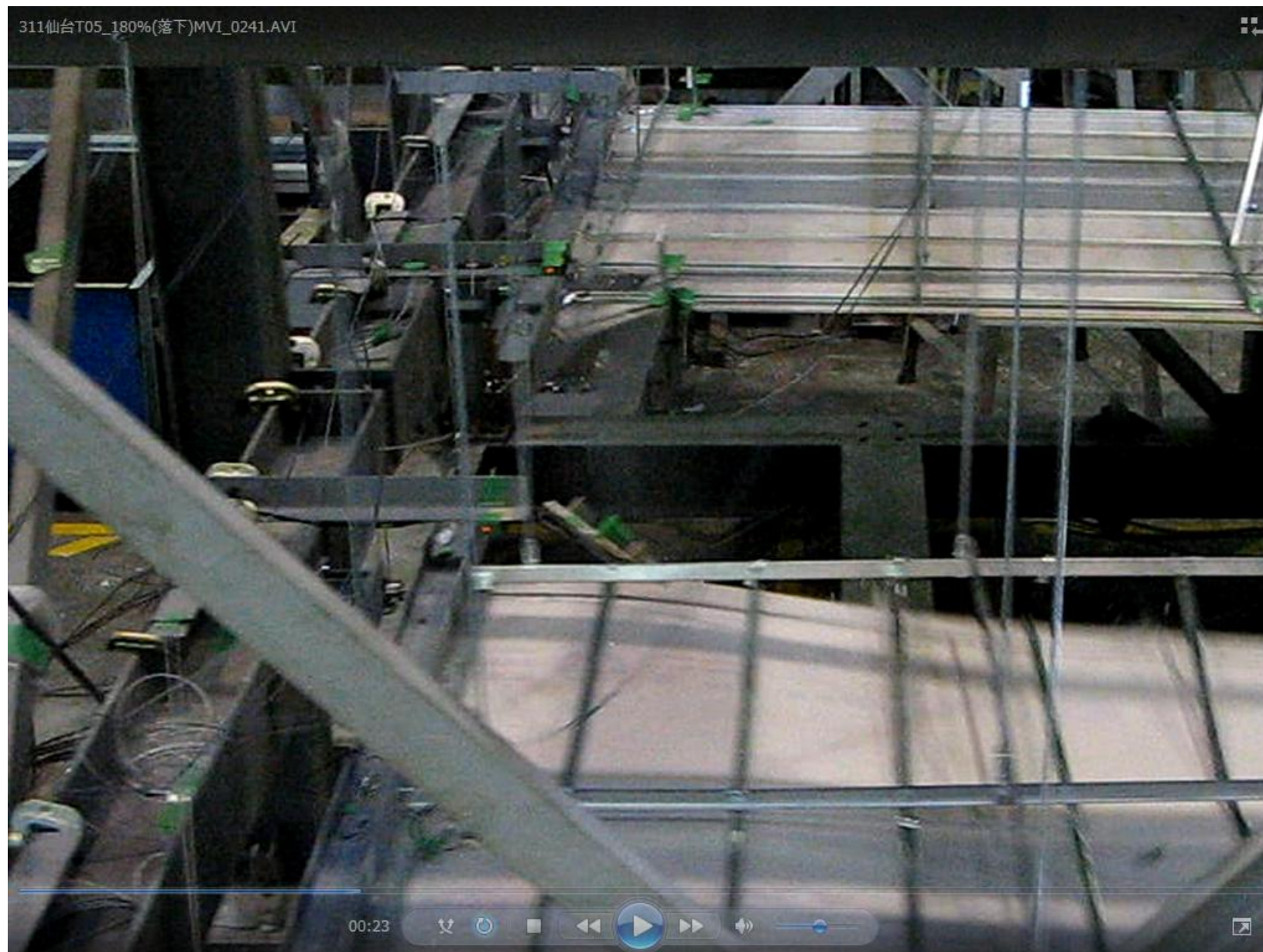
例：T=0.5s, JMA仙台 NS



天井が破壊した際の入力のスペクトル  
加振実施試験体Ⅲ, V



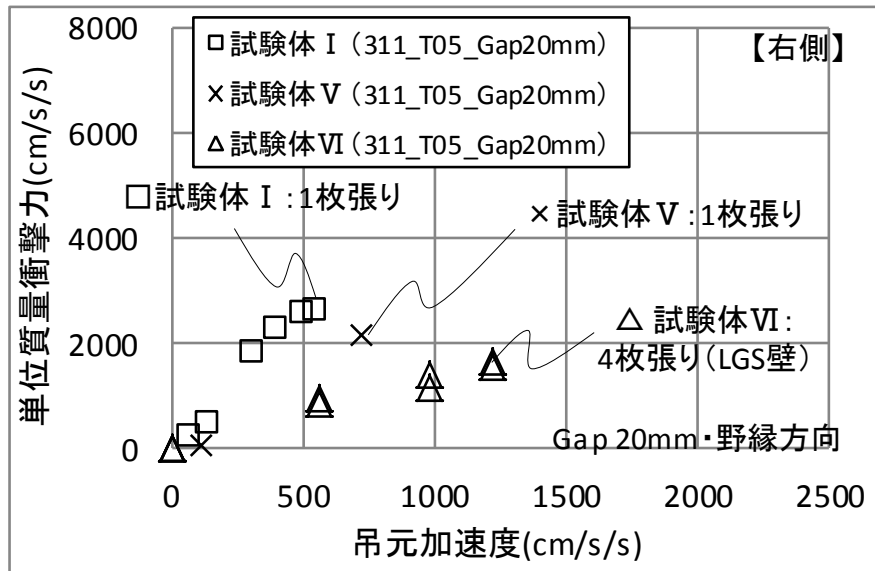
解説書記載の  
天井基準応答スペクトル



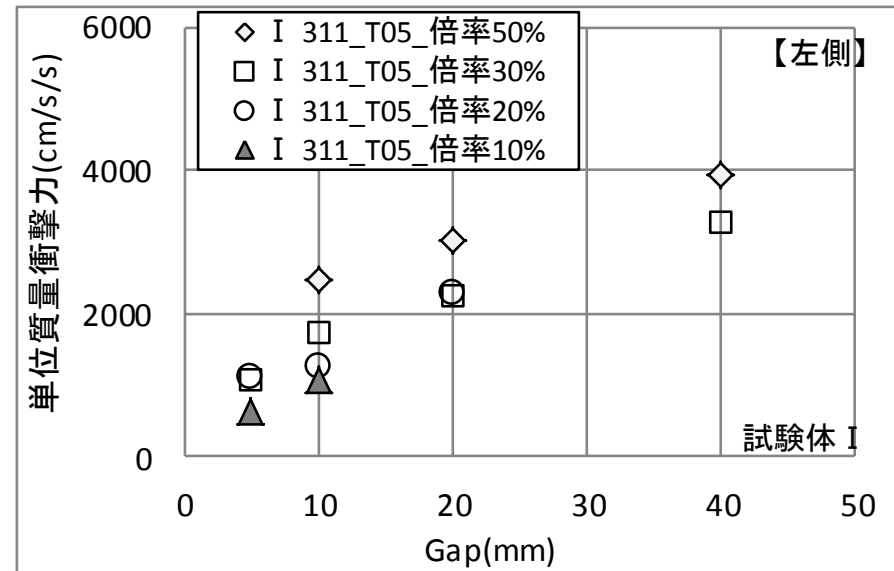


# 各試験パラメータと衝撃力の関係

- 試験体 I : 1枚張り
- × 試験体 V : 4枚張り
- △ 試験体 VI : 4枚張り(LGS壁)



<吊元加速度との関係>



<ギャップとの関係>

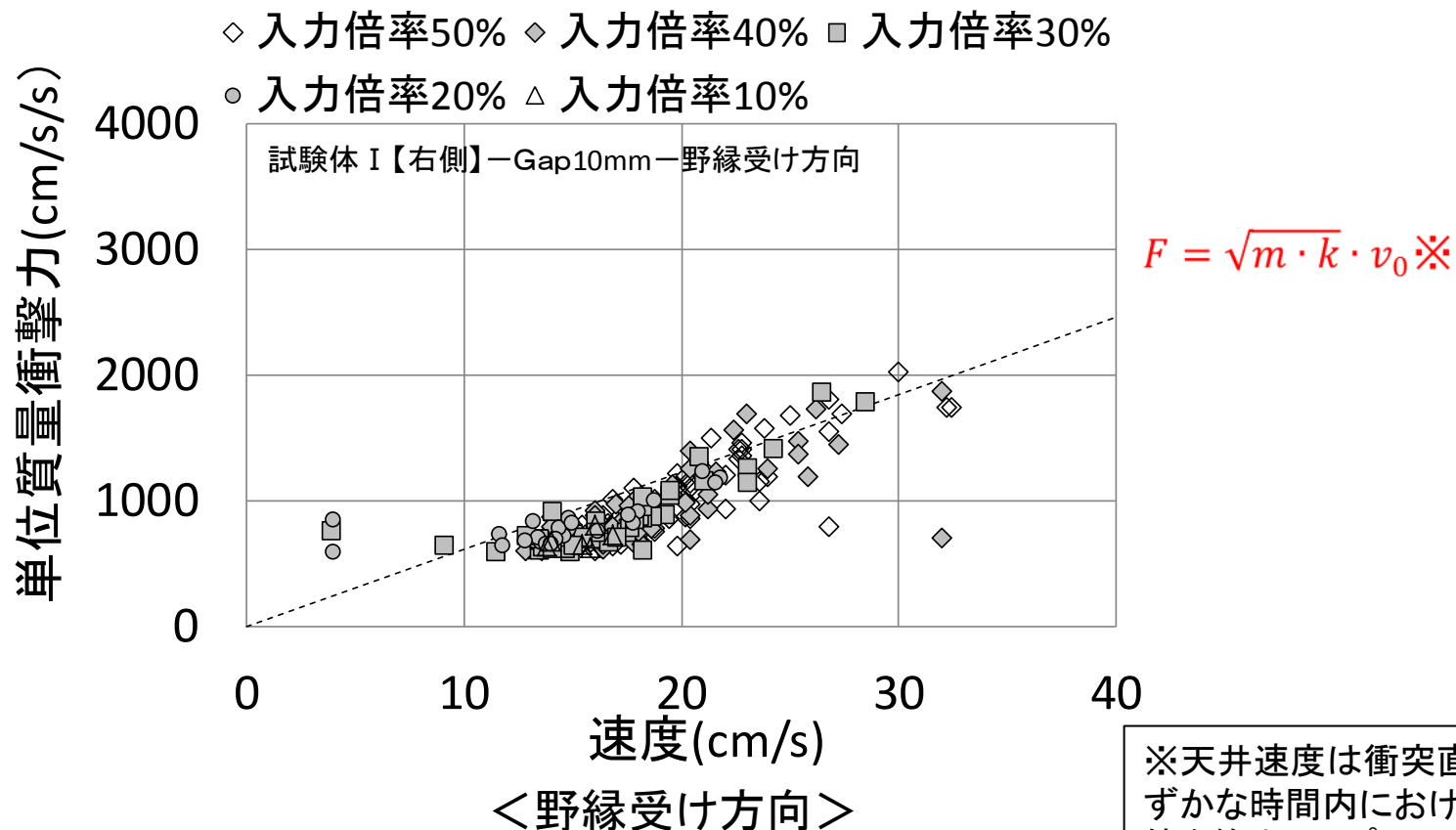
※単位質量衝撃力(cm/s/s)

衝撃力(kN)を天井質量(kg)で除した値。

天井重量の異なる試験体を比較評価するために用いた。

# 天井速度と衝撃力の関係

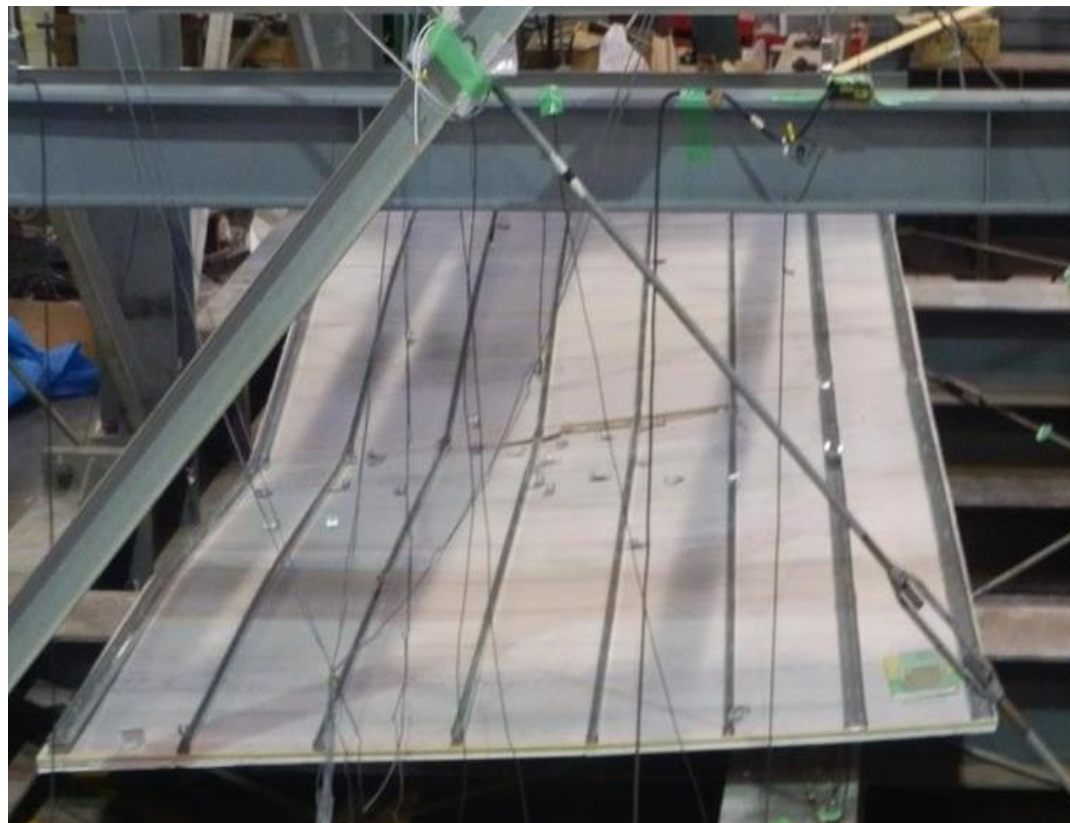
速度と間に明確な相関性があり、速度がわかれば衝撃力を予測することができる。



※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 報告書、2013年3月4日

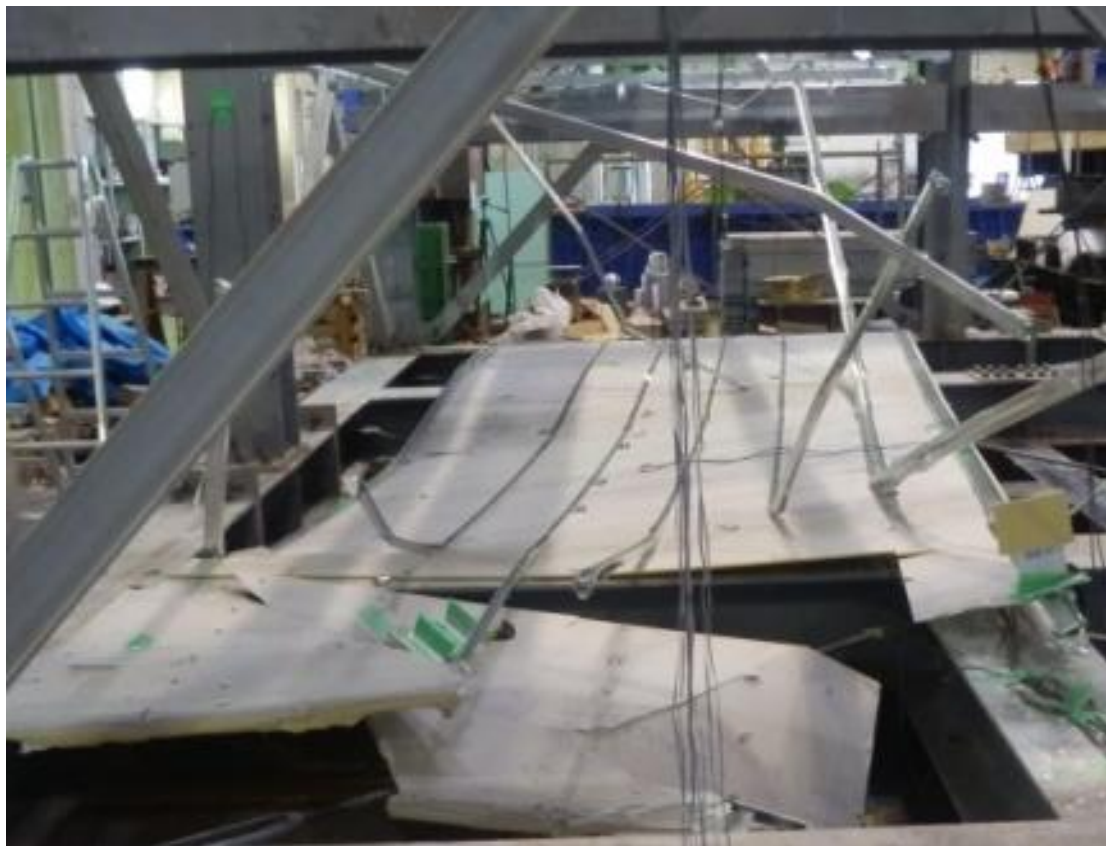
※天井速度は衝突直前のわずかな時間内における最大値を算出してプロット

# 天井の破壊状況



クリップの外れ(試験体Ⅲ 野縁方向)

# 天井の破壊状況



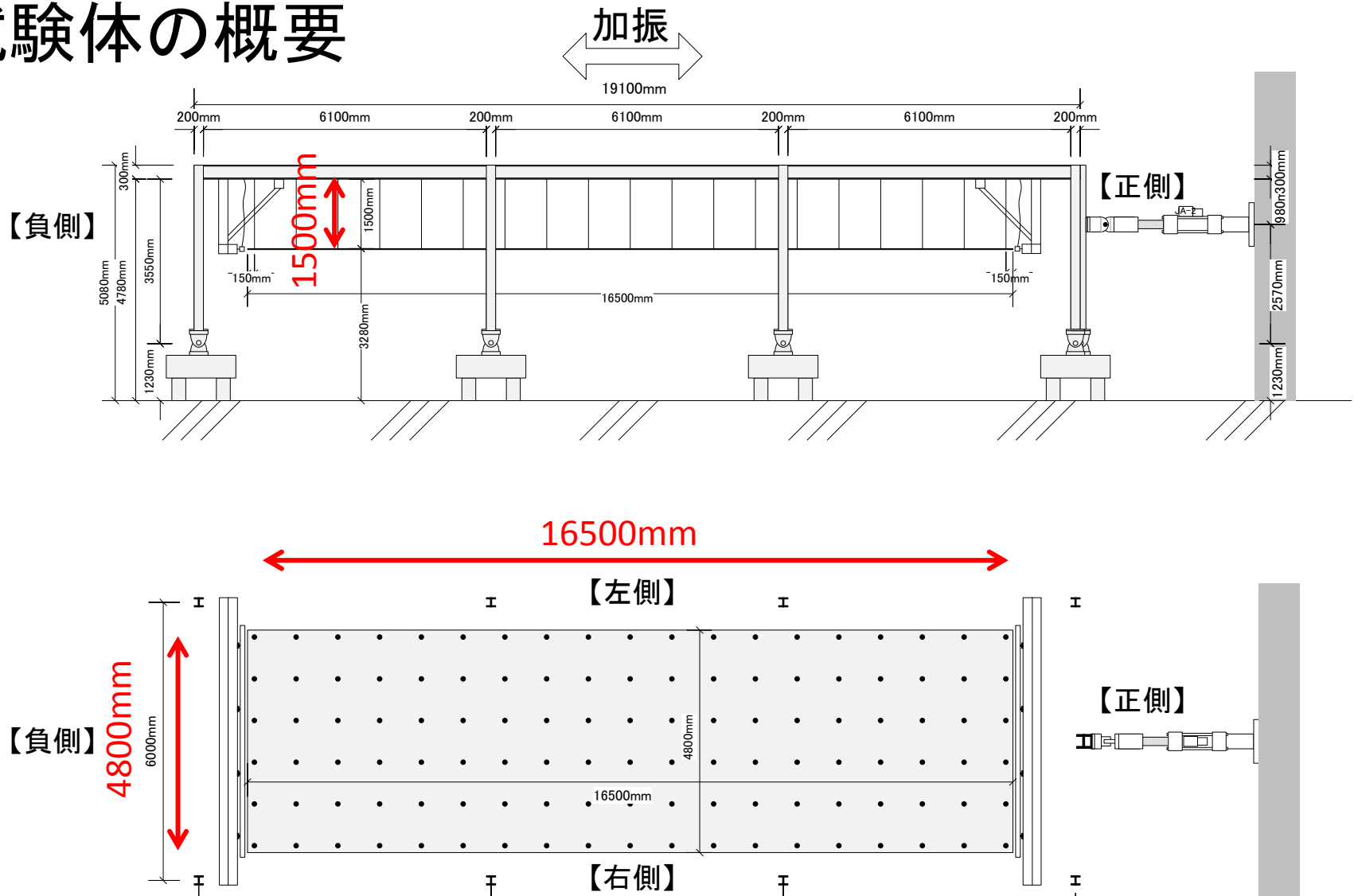
クリップをビス留めすると根元が破壊(試験体 V 野縁方向)

## 3.2 大規模天井の加振実験

### 目的

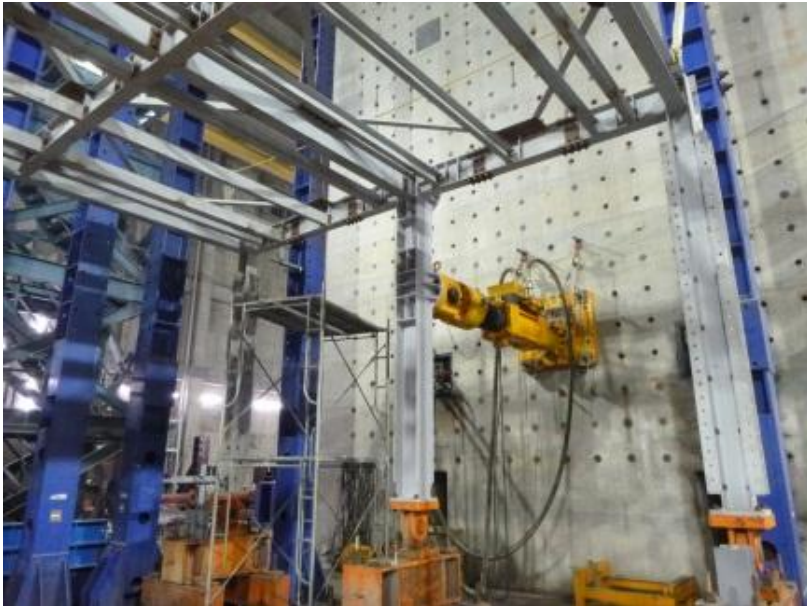
- ①振動台実験と同様に、施工誤差等により不可避免的に生じる隙間（ギャップ）により発生する衝撃力を確認する。
- ②天井規模を大きくしたことによる、**衝撃力や破壊形状の規模効果**を確認する。
- ③**層間変形角やギャップの有無**が衝撃力に与える影響を確認する。

# 試験体の概要

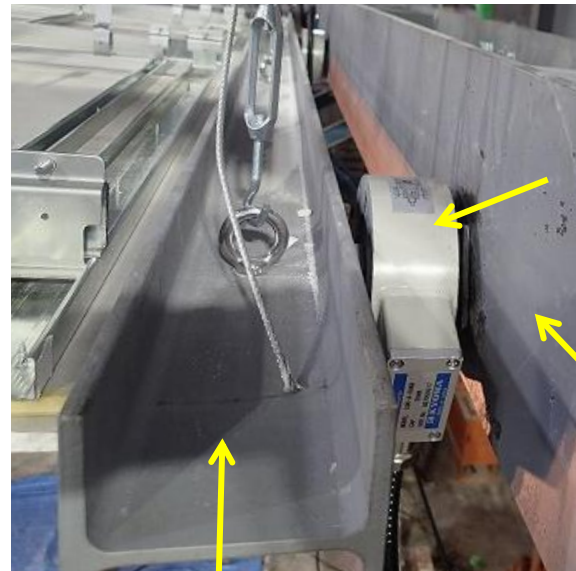


# 実験、および計測方法

パラメータ  
下地材方向  
ボード枚数  
JISクリップ／耐風圧クリップ  
層間変形の有無



天井フレームをアクチュエータにより加振



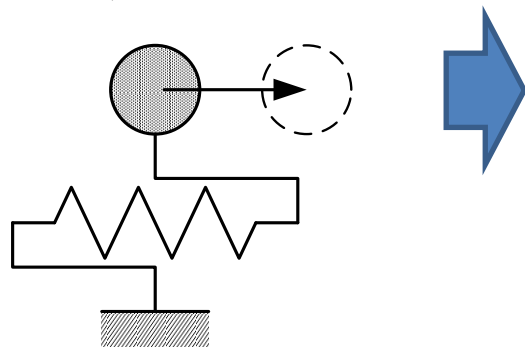
衝突材

ロードセル

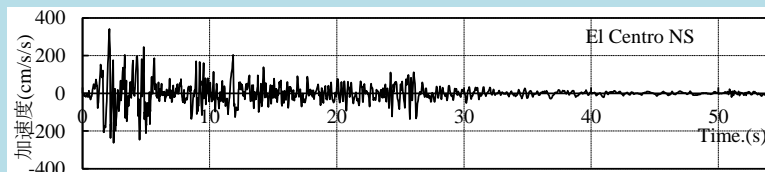
受け材

# 大規模天井入力波

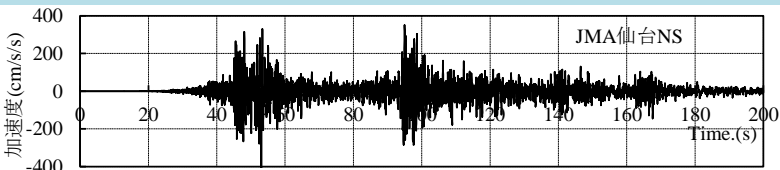
T=0.3sec、0.5sec、0.7sec



入力地震動



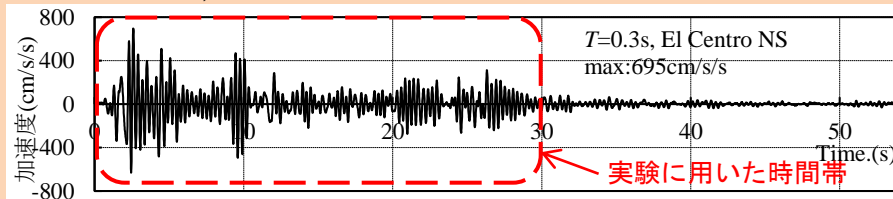
El Centro NS



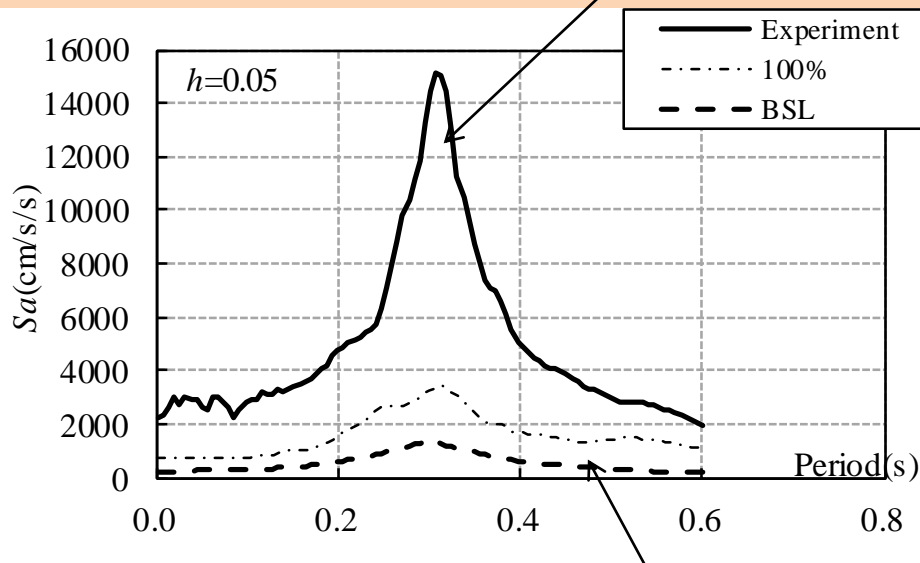
JMA仙台NS

SDOF応答絶対加速度  
(振動台での入力波)

例：T=0.3s, ElCentro NS



天井が破壊した際の入力のスペクトル  
加振実施試験体 I、III、IV、VI

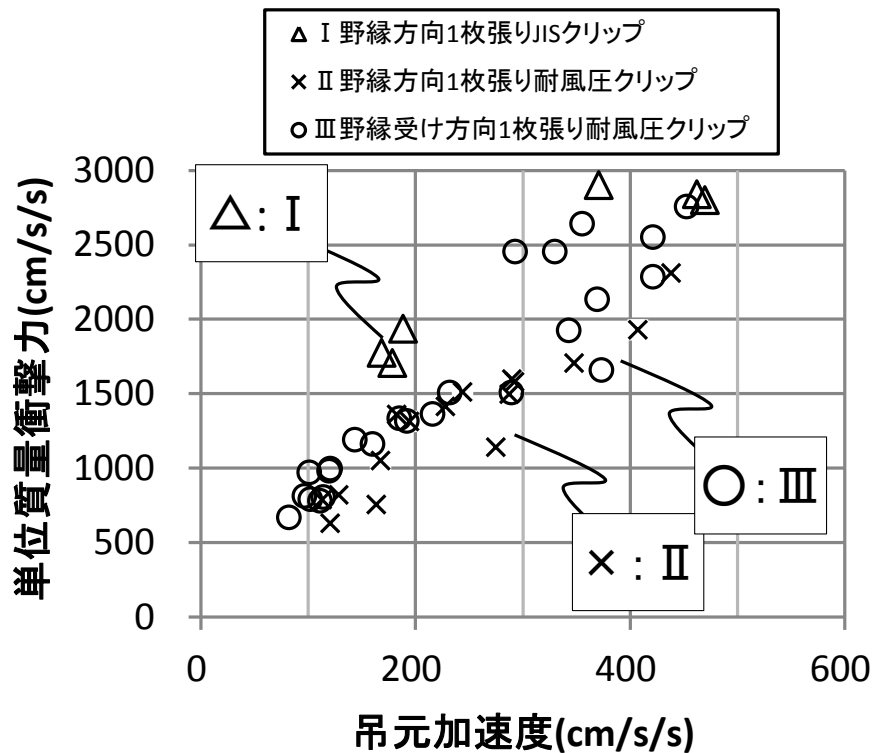


解説書記載の  
天井基準床応答スペクトル

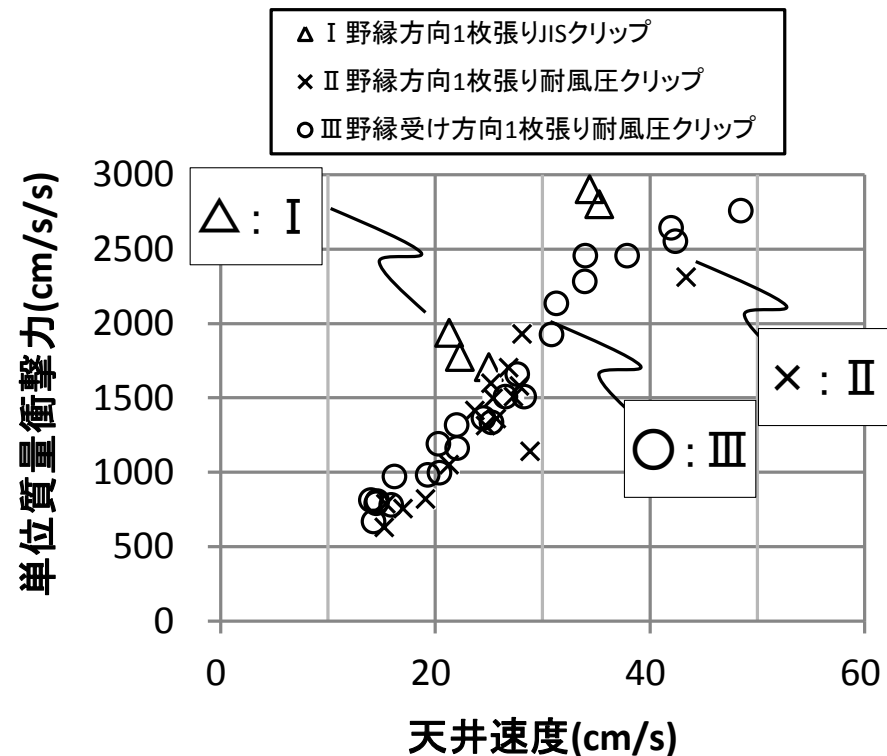




# 各試験パラメータと衝撃力の関係



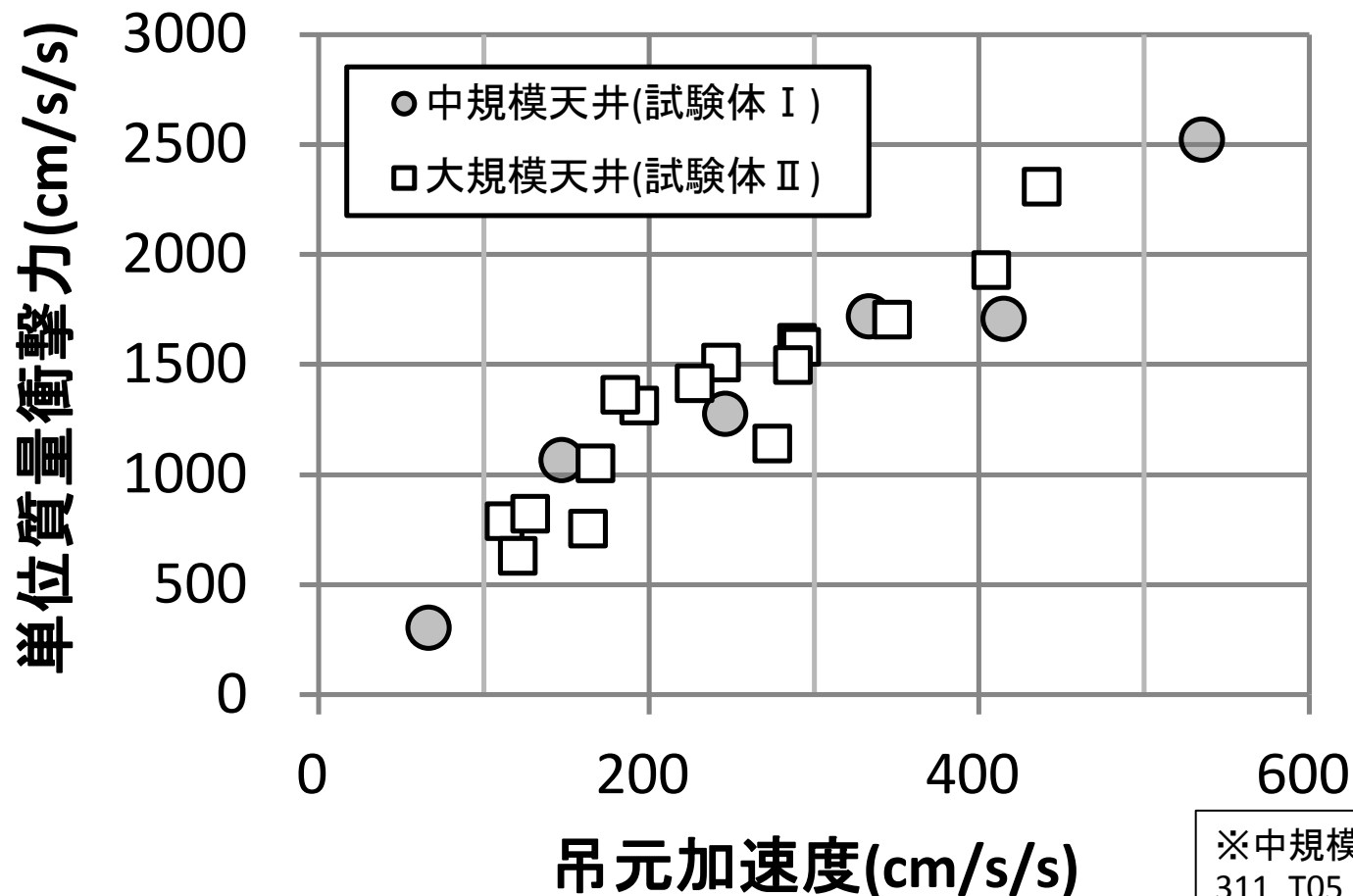
＜吊元加速度と衝撃力の関係＞  
 吊元の最大加速度と最大衝撃力の関係



＜速度と衝撃力の関係＞  
 天井の最大速度と最大衝撃力の関係

※天井速度は衝突直前のわずかな時間内における最大値を算出してプロット

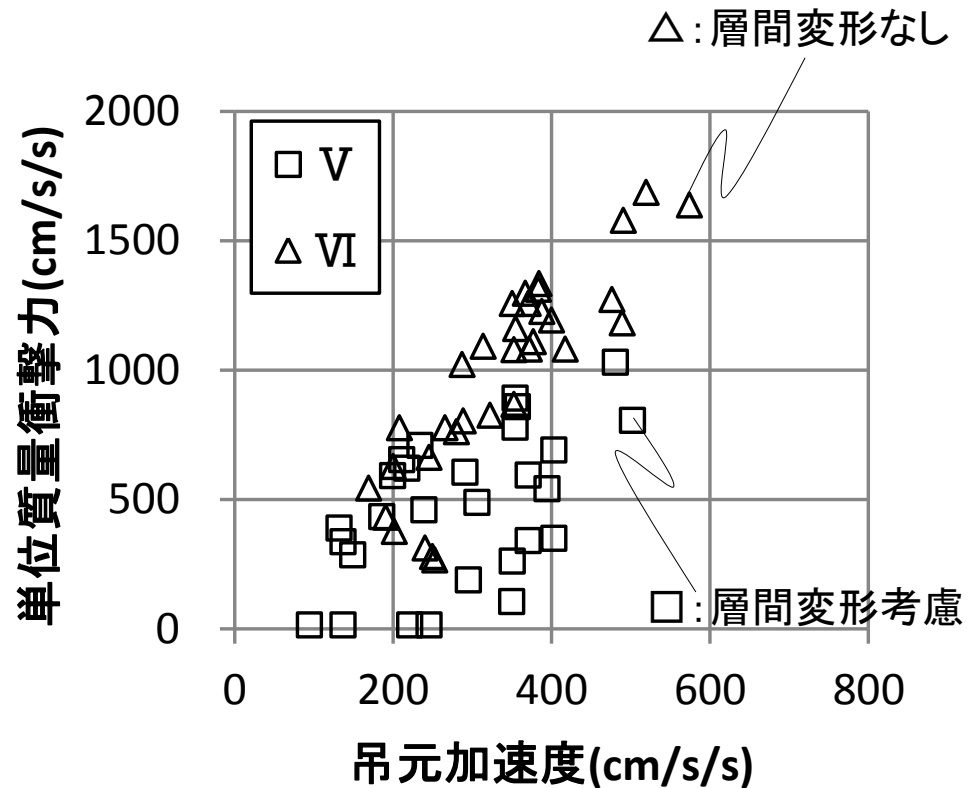
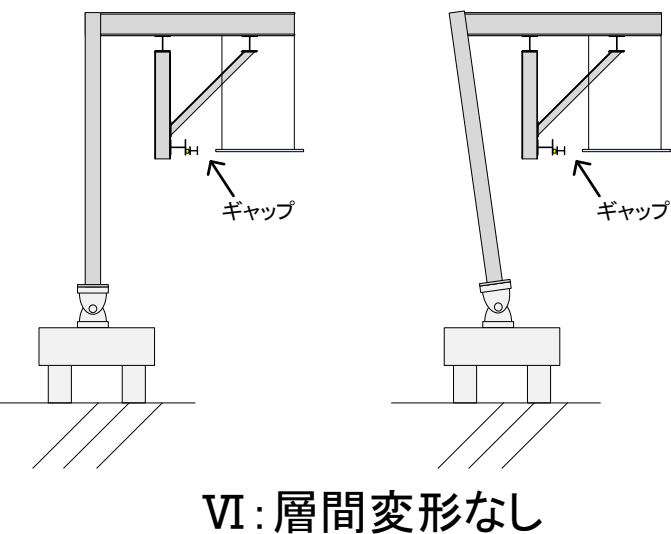
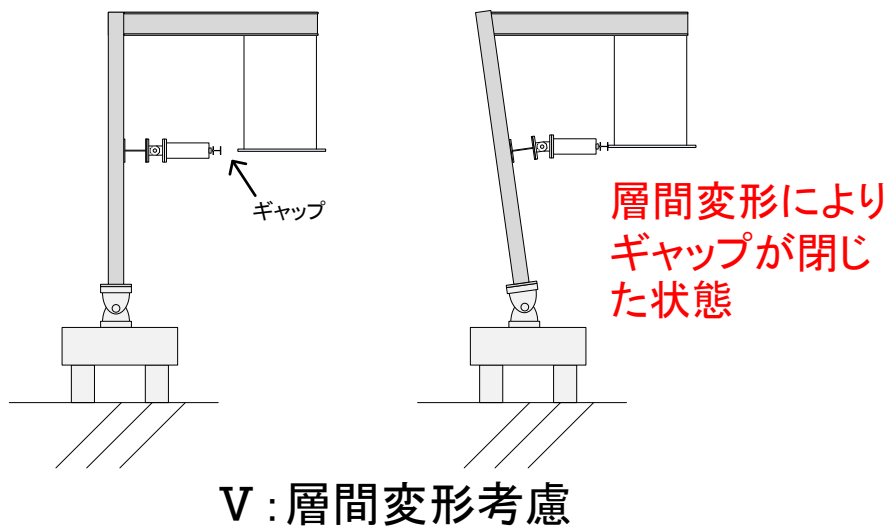
## 大規模天井と中規模天井(振動台実験)の比較



＜吊元加速度と衝撃力の関係＞  
野縁方向ボード1枚張りの場合

※中規模試験は、  
311\_T05 ギャップ10mm  
の結果をプロット  
大規模天井は、  
311T03,05,07ギャップ  
10mmの結果をプロット

# 層間変形の有無による衝撃力への影響

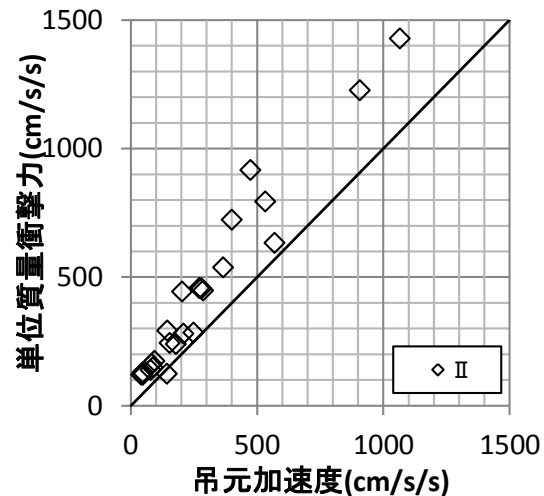


<層間変形の有無の比較>  
対象加振波:0311JMA仙台T0.3s,0.5s,0.7s

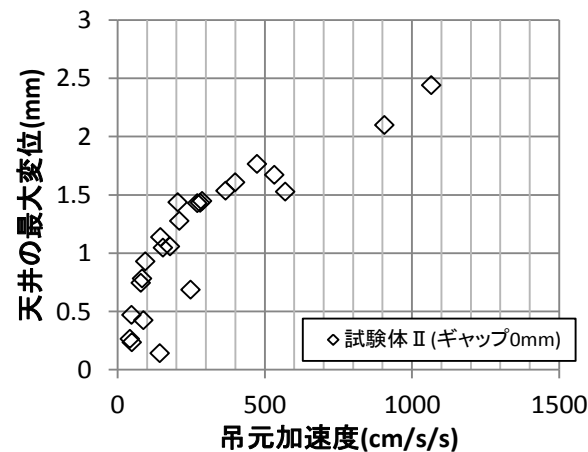
# ギャップ0mmにおける衝撃力への影響



↑  
ギャップ0mmの状態



吊元加速度-単位質量衝撃力の関係



吊元加速度-天井の最大変位の関係  
(最大変位:天井と衝突材との相対変位の最大値)

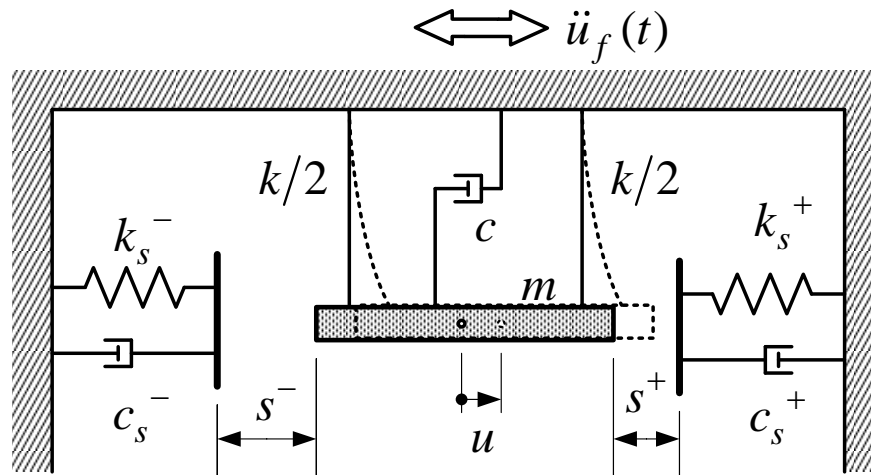
## 3.3 衝撃力の評価

### 目的

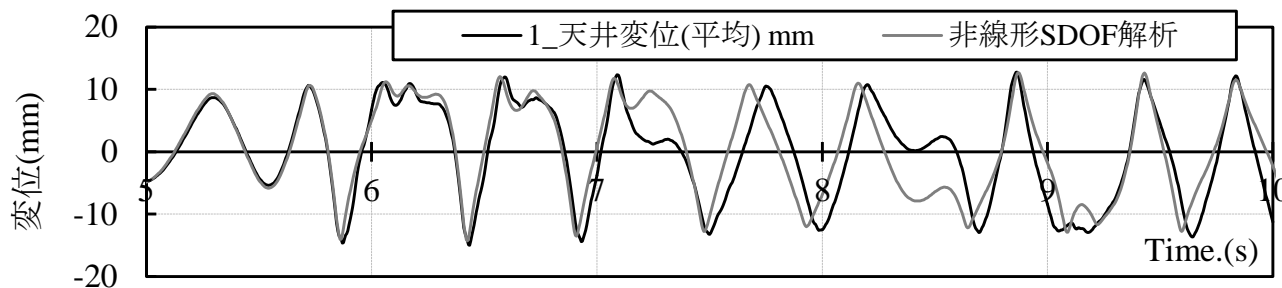
実験で確かめられた衝撃力等が、数値計算や簡易な評価方法によって推定できるか否かを検証する。(推定可能であれば、実験で再現できなかったパラメータの影響や、実用的な外力評価法を検討する場合に数値計算等を有効活用できる。)

## 非線形応答解析

天井特性 ( $m$ 、 $c$ 、 $k$ ) と天井と壁との隙間  $s$  (正負)、衝突部  $k_s$  (正負)、反発係数より算出した  $c_s$  (正負) をもとに、非線形時刻歴応答解析を実施、実験結果と比較した。



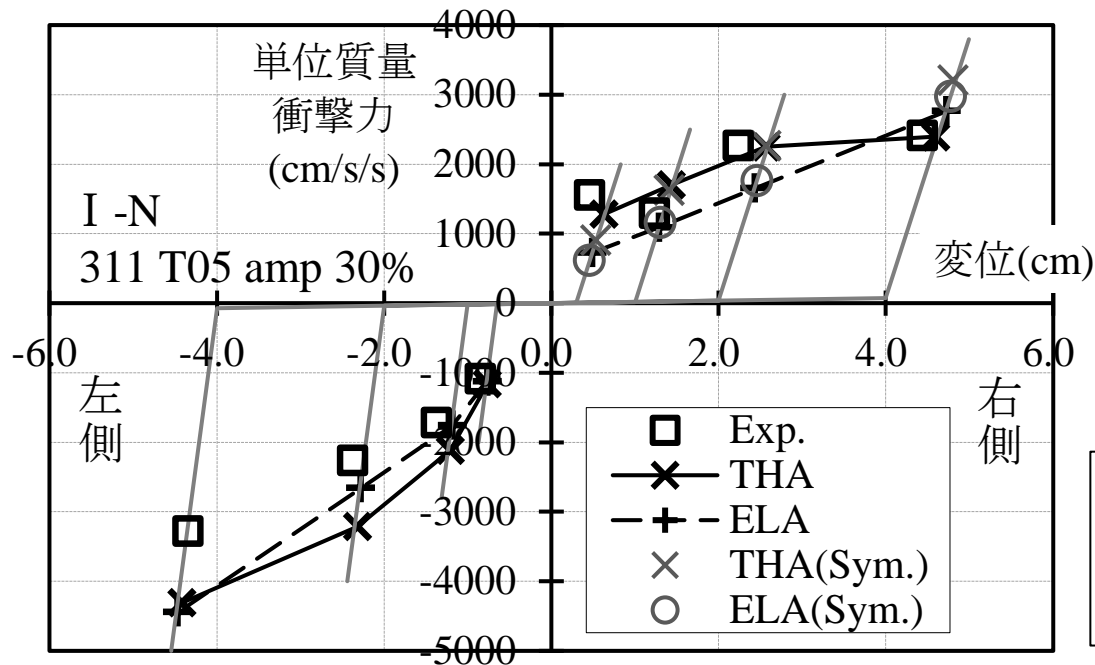
解析モデル



天井変位の時刻歴波形(実験値との比較)

## 応答スペクトルによる評価法

応答スペクトルに基づく簡易な評価方法※(ELA)により最大応答を評価し、実験値(Exp)と比較した。非線形時刻歴解析結果(THA)との比較も併せて行った。



変位と衝撃力(単位質量当たり)の関係

※笠井和彦、チャン タン ビン: Spectrum-based prediction rule for peak structural responses due to seismic pounding (Part 1 sdof systems pounding against rigid structures)、日本建築学会構造系論文集、第610号、pp.65-74、2006年12月



## 4.まとめ

### 2.天井面の耐力

- ・曲げ実験により、下地材方向、ボード仕様、枚数、加力（正負）等の違いによる曲げ剛性、耐力を確認し、天井面の座屈耐力を評価するためのデータを取得した。
- ・面内圧縮試験により、吊り長さ、ボード仕様、枚数、下地材方向、開口の有無等の違いによる天井耐力に関するデータを取得した。
- ・開口幅が25%の場合の剛性、耐力は開口なしとほぼ同じであった。
- ・天井規模の違いが剛性、耐力、破壊形状に与える影響を確認した。

## 4.まとめ

### 3.衝撃力による外力

- 入力加速度、天井仕様、ギャップ寸法などの違いによる衝撃力等に関するデータを取得した。
- 衝撃力は、天井速度と高い相関性があることを確認した。
- 単位質量当たりの衝撃力は、天井規模によらず同程度であった。
- 地震時の層間変形が衝撃力に与える影響は小さかった。
- 非線形応答解析(1自由度系)と応答スペクトルに基づく簡易な評価方法により、衝撃力を概ね予測できることを確認した。