

3. 非構造部材に関する基準の 整備に資する検討

大規模空間を有する建築物の
連層ガラス窓・天井被害に関する調査

【事業主体名】 戸田建設（株）
西松建設（株）

【共同研究者】 独立行政法人建築研究所

大規模空間を有する建築物の 連層ガラス窓・天井被害に関する調査

平成22年度の調査検討項目

- ①連層のガラス窓等を試験体とした実験を行い、地震時の損傷・脱落が発生する仕組みを検討する。
- ②大規模空間を有する建築物に設けられた在来工法天井の耐震性検討のためのマニュアル整備に資する技術資料の収集、整備を行う。

平成22年度の活動内容

某体育館の被害状況（岩手・宮城内陸地震 2008年6月）



竣工：1985年（築25年）
構造：1F:RC造、2F:S造、屋根:S造
高さ：7m～11m
規模：長辺方向約50m、短辺方向約25m
ガラス窓：横連層、2段、引き違い

※

構造部材には大きな被害は無かった。
ガラス窓の面内方向の変形能力は十分にあると考えられる。

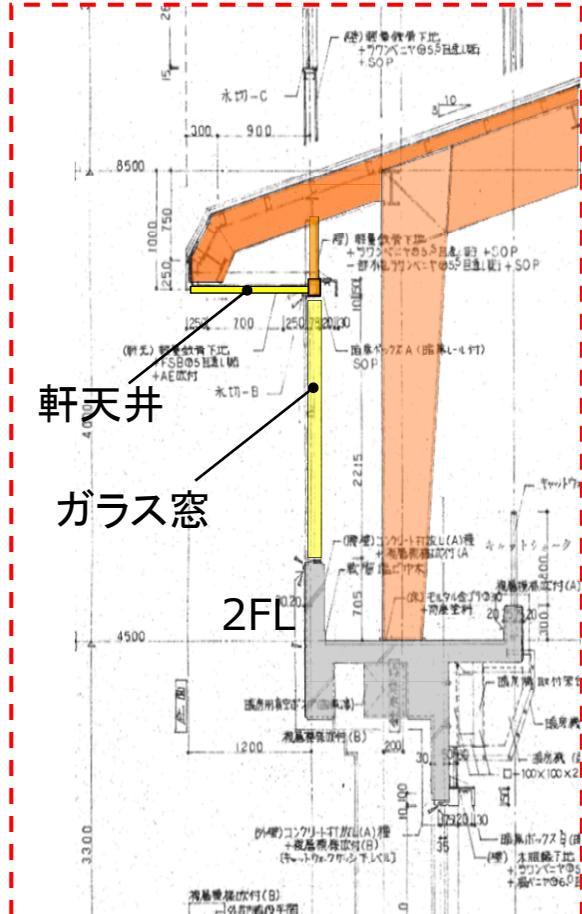
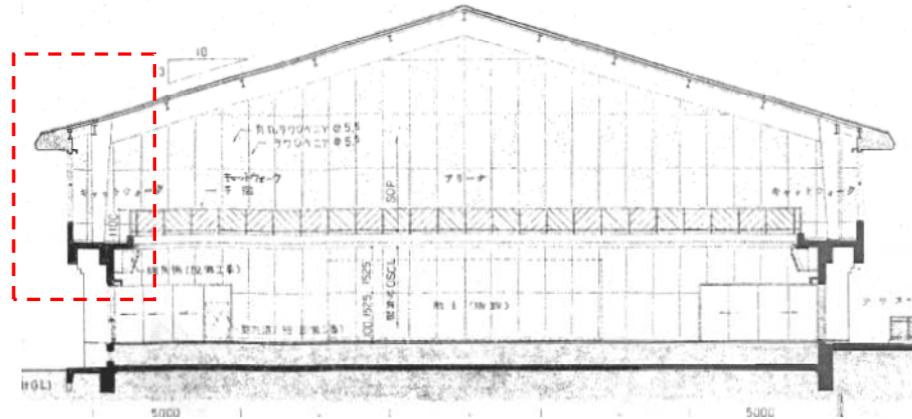
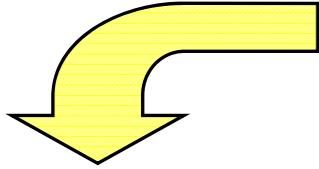
岩手・宮城内陸地震での被害状況
震度6弱

連層のガラス窓等を試験体とした実験による損傷・脱落が発生する仕組みを調査

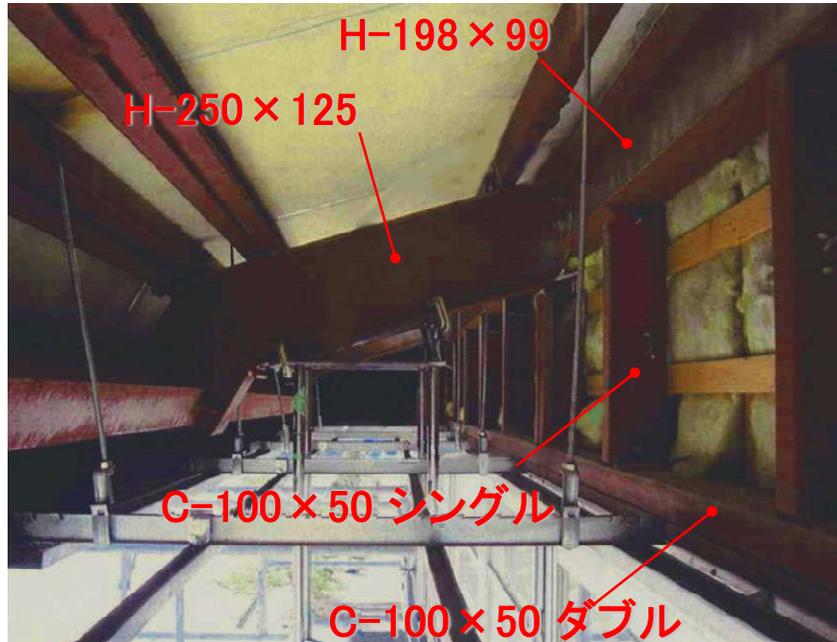
目 的

ガラス窓の実験的検討により、板ガラスの破損や窓障子の脱落について、耐震対策の検討を行う上での基礎データを収集することを目的とする。

体育館のガラス窓と軒天井



軒天井裏(天井板外す)



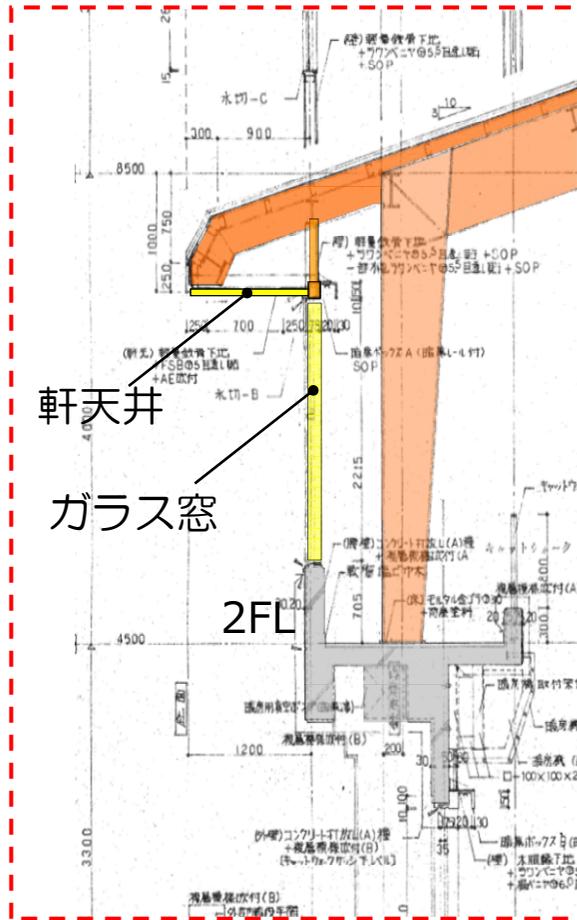
ガラス窓



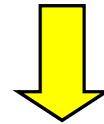
ガラス窓と軒天井

検討項目

構造部材が被害を受けていないこととガラス窓の被害写真からその原因を推測すると、以下の点が考えられる



- ①窓サッシに大きな面外方向変形またはねじれ変形が生じた可能性
要因: 横連層窓の波打ち現象、軒天破壊による進行性破壊など
- ②窓サッシの縦方向にクリアランス以上の変形が生じた可能性
要因: 軒先を含めた非構造部材の局部振動など
- ③板ガラスに大きな慣性力または圧力が働いた可能性



検討項目

- ①静的加力実験
 - ・面内変形、面外変形の特性
 - ・窓サッシの伸び(縦方向)の影響
- ②振動台実験
 - ・静的加力実験と同様+上下動
 - ・窓サッシねじれの影響

試験体



①窓サッシ (竣工当時の窓サッシに準ずる現行品)

仕様

外れ止め: 下部の外れ止めはなし

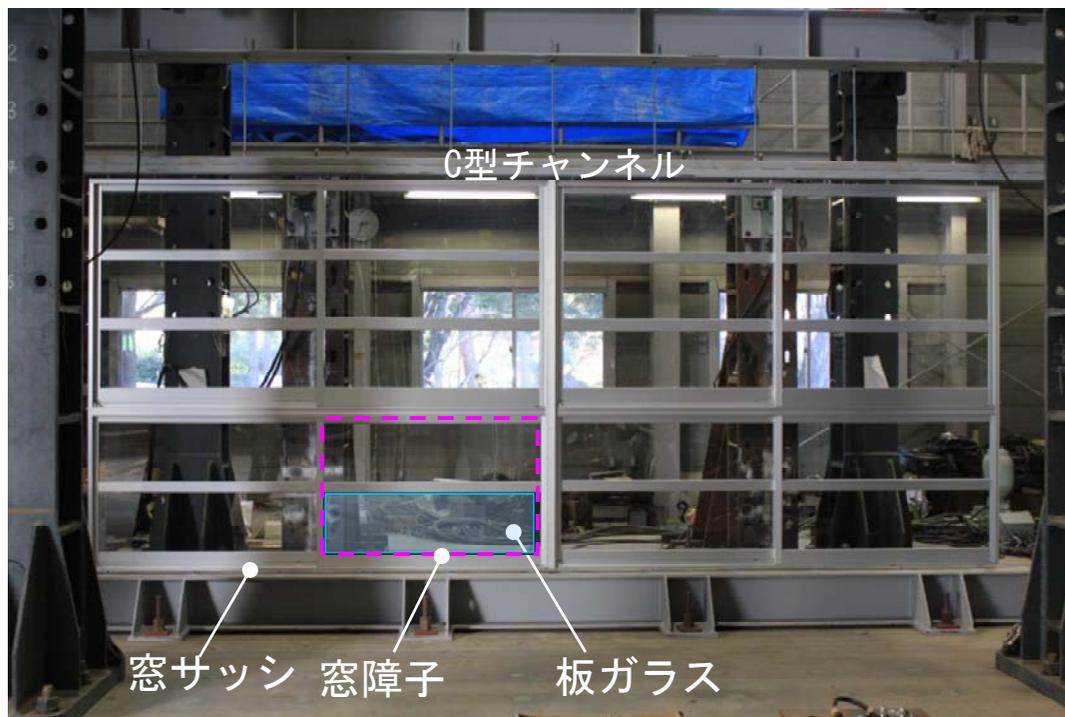
断面形状: 段差あり

サッシ枠と窓障子の掛かり代
: 上下・左右とも7mm

窓サッシの固定方法

サッシアンカーを上端、下端ともアングル材を介して、それぞれC型チャンネル材、鉄骨土台に溶接した。

上端のC型チャンネル材はM12ネジボルト(束材の役目)を介して上部梁にボルト・ナットで締め付けた。



試験体 H=2,260mm、W=4,580mm

試験体

②フロート板ガラス（体育館と同じ仕様）

試験体ガラスの仕様

項目	仕様
種類	フロート板ガラス (JIS R 3202:1996)
厚さ	3mm
ガラス押さえ	ガラスビニール (定形ガasket・材質PVC)

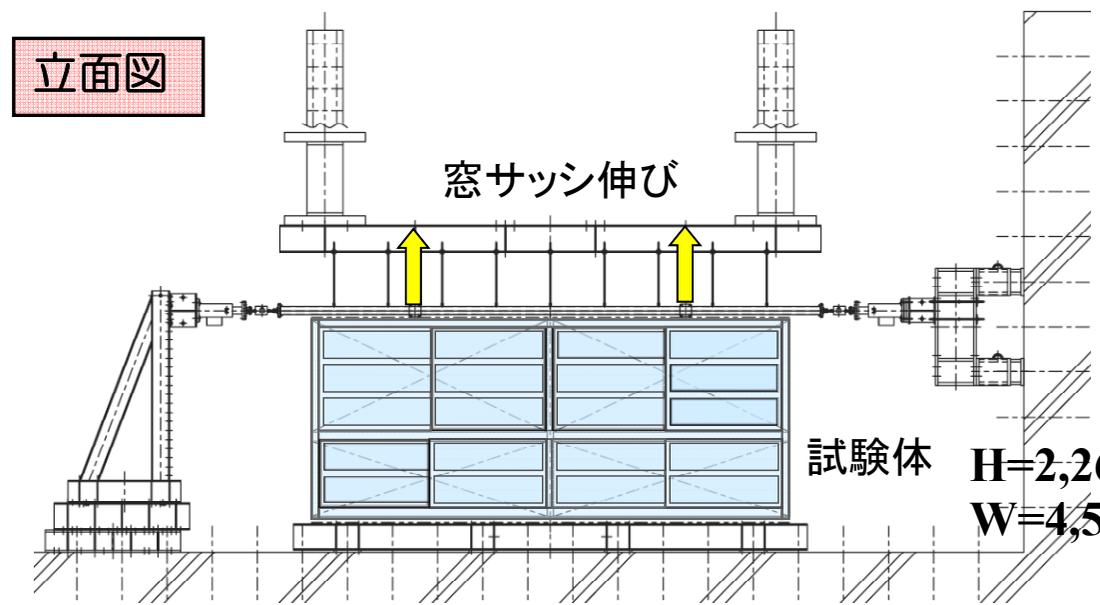
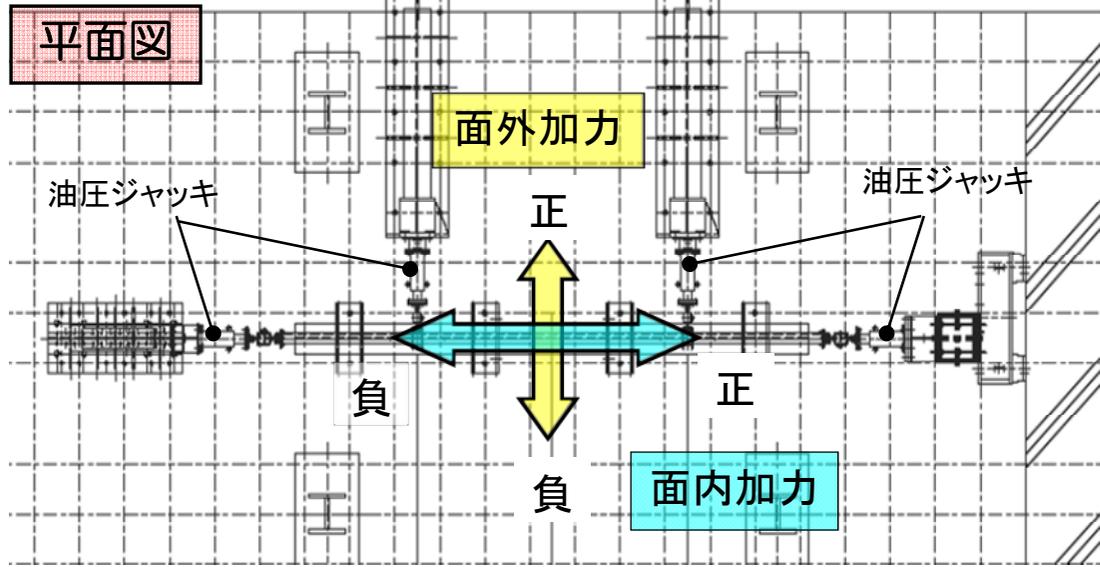


ガラスビニールの施工

フロート板ガラスの主な特性

項目	特性
比重	約2.5
平均破壊応力	面内: $\sigma = 54.9\text{MPa}$ (560kgf/cm ²) エッジ: $\sigma = 35.3\text{MPa}$ (360kgf/cm ²)
許容応力(短期)	面内: $\sigma = 24.5\text{MPa}$ (250kgf/cm ²) エッジ: $\sigma = 17.7\text{MPa}$ (180kgf/cm ²)
ヤング係数 E	$7.16 \times 10^4\text{MPa}$ (730,000kgf/cm ²)
破壊時の歪み	$\varepsilon = \sigma / E = 560 / 730000 = \underline{767 \times 10^{-6}}$

静加力実験



加力実験装置と加力方向

加力方法
 複動型油圧ジャッキ
 (最大500kN±100mm 面内、面外各2機)

実験条件 (加力パターン)

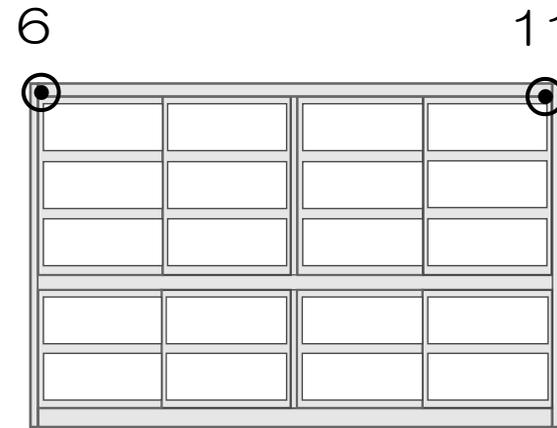
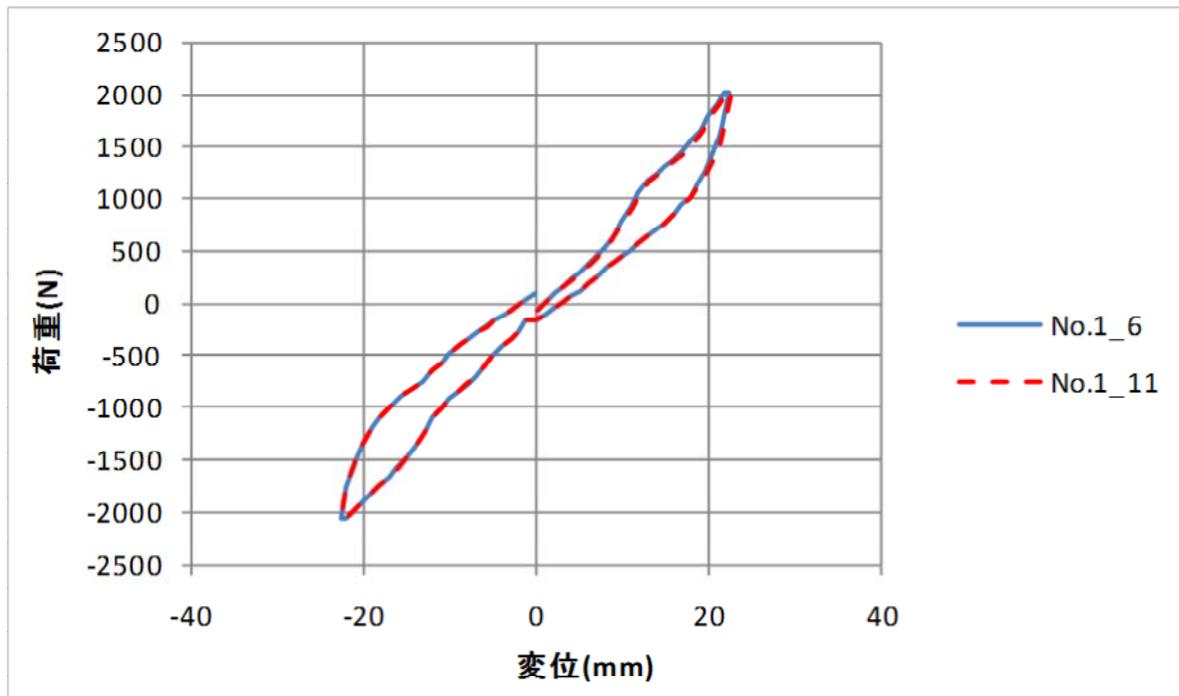
No.	①面内変形	②面外変形	③伸び	④カギ開
1	±22.6mm			
2		±33.8mm		
3	+11.3mm	±22.6mm		
4		±22.6mm	+2mm	
5	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	
6	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	○

※部材角と変位の関係

- 33.8mm : 1/67
- 22.6mm : 1/100
- 11.3mm : 1/200

静加力実験

■面内方向加力による影響

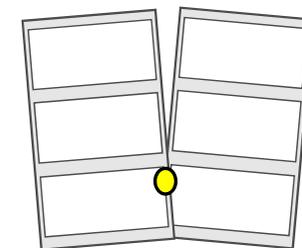


【挙動】

窓サッシ上側で窓障子に対して隙間が生じた。下側では見られなかった。クレセントを支点に窓障子が回転しているのが目視で確認できた。

【荷重－変形関係】

面内方向に層間変形角 1/100まで加力したが、ほぼ弾性範囲



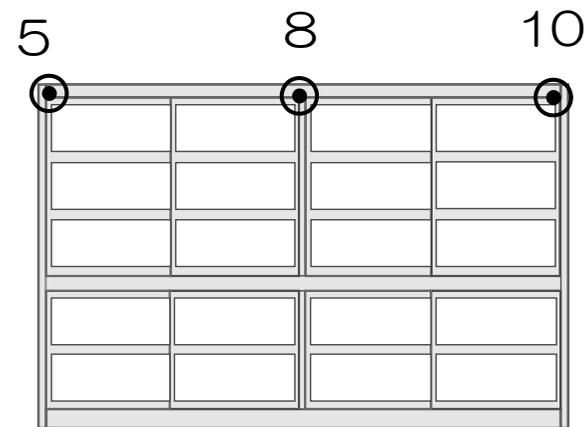
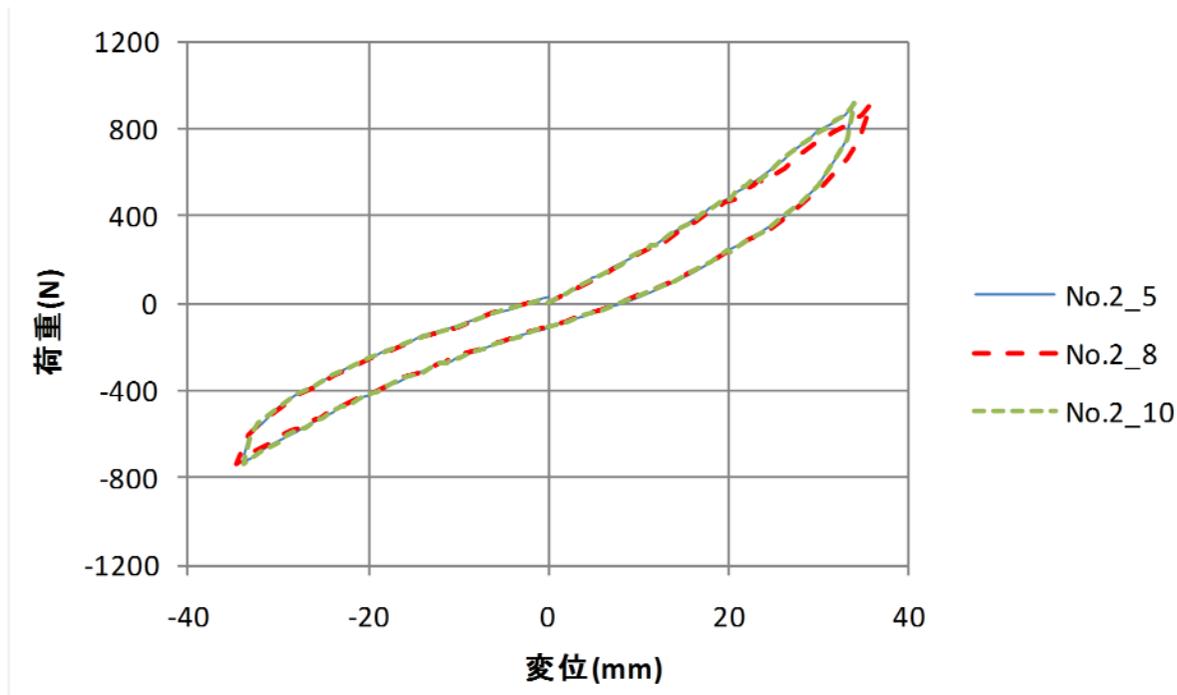
【ガラス歪み】

歪みは5 μ 以下で、応力は生じなかった。

No.	①面内変形	②面外変形	③伸び	④カギ開
1	±22.6mm			
2		±33.8mm		
3	+11.3mm	±22.6mm		
4		±22.6mm	+2mm	
5	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	
6	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	○

静加力実験

■面外方向加力による影響



【挙動】

窓サッシ上側で窓障子の掛かり代が小さくなった。

【荷重－変形関係】

面外方向に層間変形角1/100まで加力した場合、面内方向への変形を与えなかったNo.2よりNo.3の方が、面外方向の剛性が若干高くなっている。

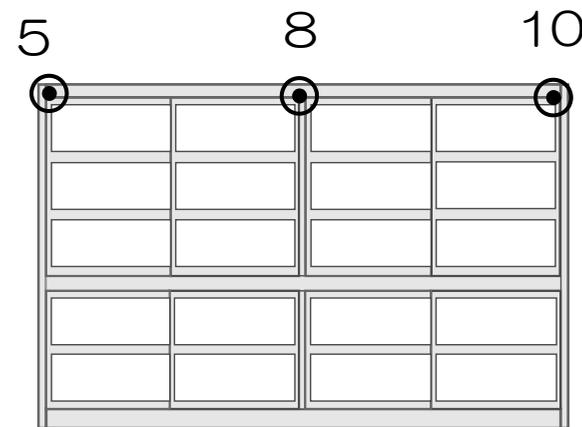
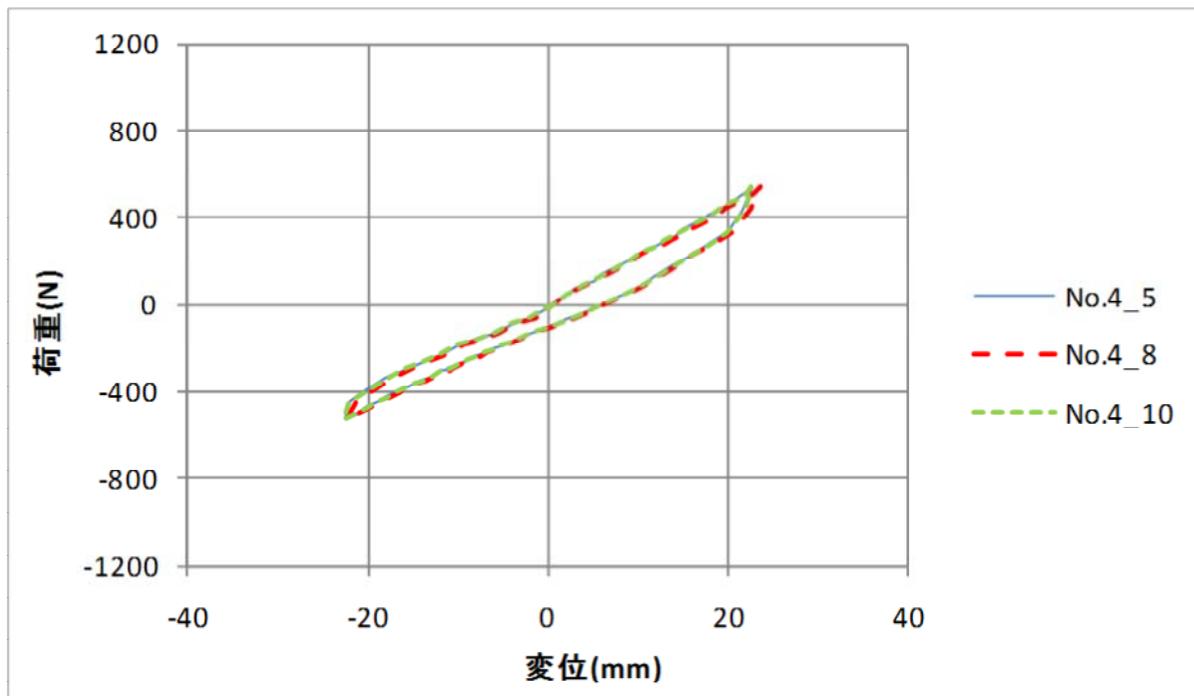
【ガラス歪み】

歪みは5 μ 以下で、応力は生じなかった。

No.	①面内変形	②面外変形	③伸び	④カギ開
1	±22.6mm			
2		±33.8mm		
3	+11.3mm	±22.6mm		
4		±22.6mm	+2mm	
5	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	
6	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	○

静加力実験

■窓サッシ伸びの影響



【挙動】

束材2mm引き上げにより、窓サッシの横材が円弧状に変形した。

さらに面外変形により、窓サッシ上側で窓障子の掛かり代がなくなったが下部の掛かり代により脱落しなかった。

【荷重－変形関係】

束材を2mm引き上げにより負側での面外方向の剛性が高くなっている。

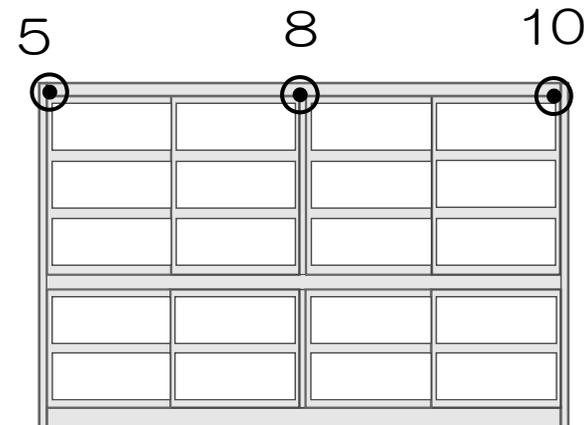
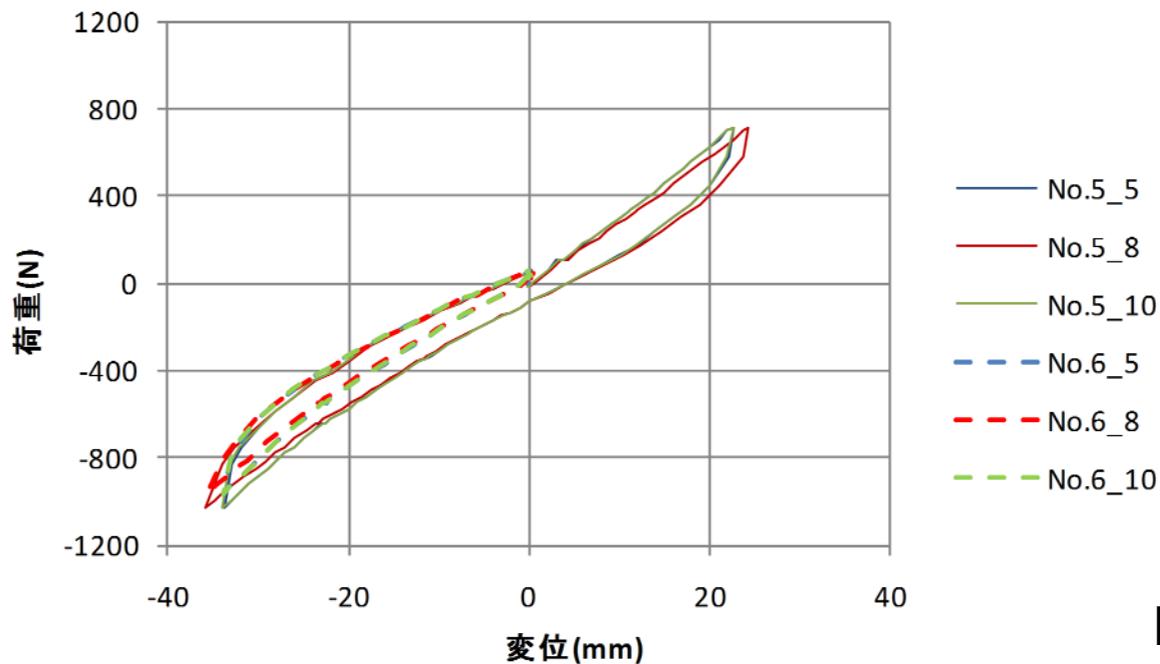
【ガラス歪み】

歪みは5 μ 以下で、応力は生じなかった。

No.	①面内変形	②面外変形	③伸び	④カギ開
1	±22.6mm			
2		±33.8mm		
3	+11.3mm	±22.6mm		
4		±22.6mm	+2mm	
5	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	
6	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	○

静加力実験

■カギ開きの影響



No.	①面内変形	②面外変形	③伸び	④カギ開
1	±22.6mm			
2		±33.8mm		
3	+11.3mm	±22.6mm		
4		±22.6mm	+2mm	
5	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	
6	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	○

【窓障子の挙動】

クレセントを支点に窓障子が回転しているのが目視で確認できた。
(No.5)

【荷重－変形関係】

カギ開きの影響は見られない。

【ガラス歪み】

歪みは5 μ 以下で、応力は生じなかった。

静加力実験

■ 上部レールからの外れ

No.2



No.5

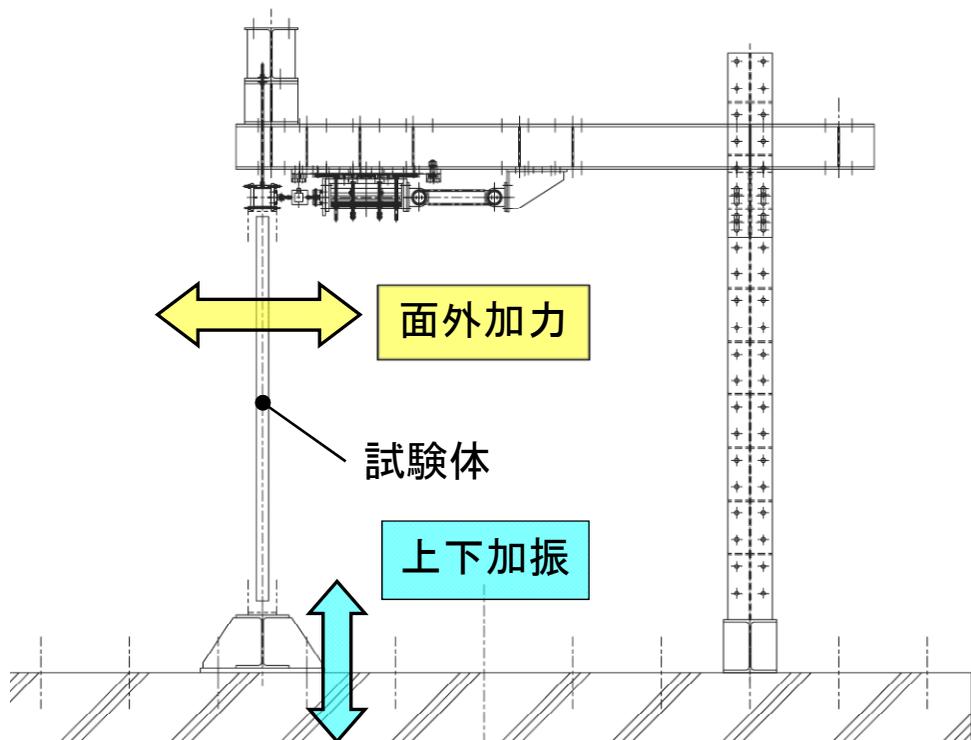


試験体最終加力状況

No.	①面内変形	②面外変形	③伸び	④カギ開
1	±22.6mm			
2		±33.8mm		
3	+11.3mm	±22.6mm		
4		±22.6mm	+2mm	
5	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	
6	+11.3mm	+33.8mm	+2mm	○

実験No.5において、面外変形+33.8mmにおいて、上端レールから窓障子が外れたが、脱落は生じなかった。

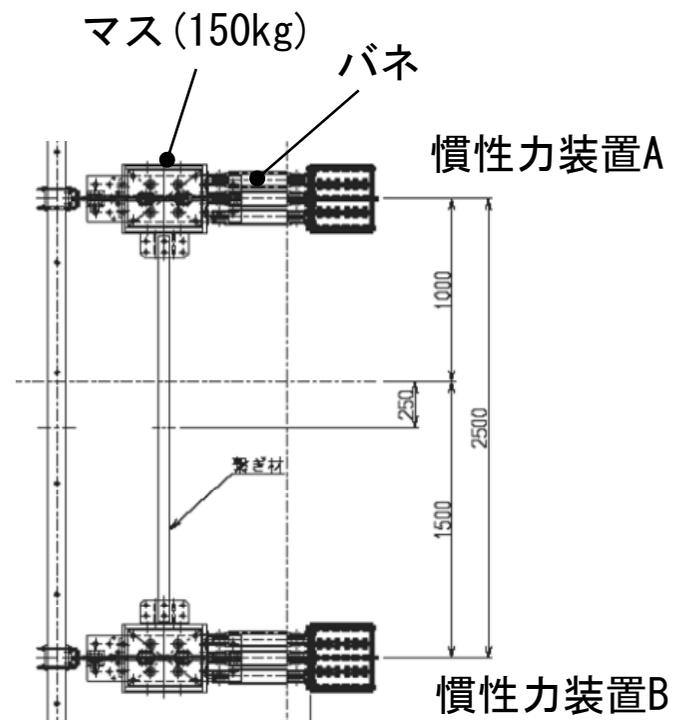
振動台実験



振動台加振実験

実験① 面外加力+上下動

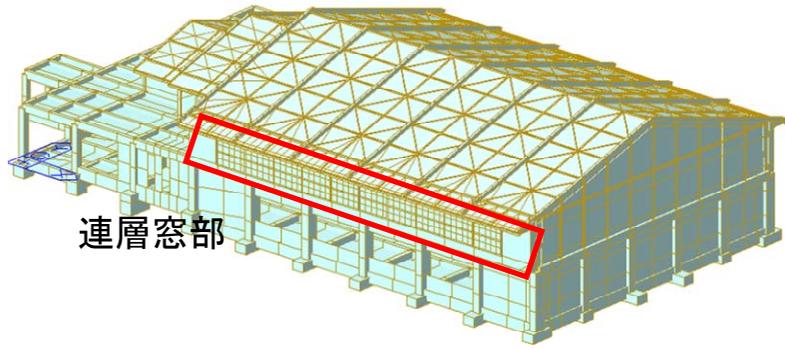
実験② 面外ねじれ+上下動



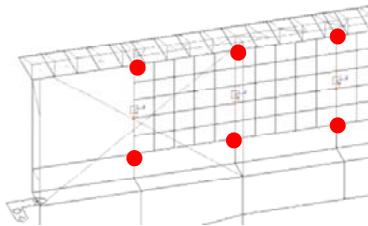
慣性加力装置

振動台実験

入力波



連層窓部



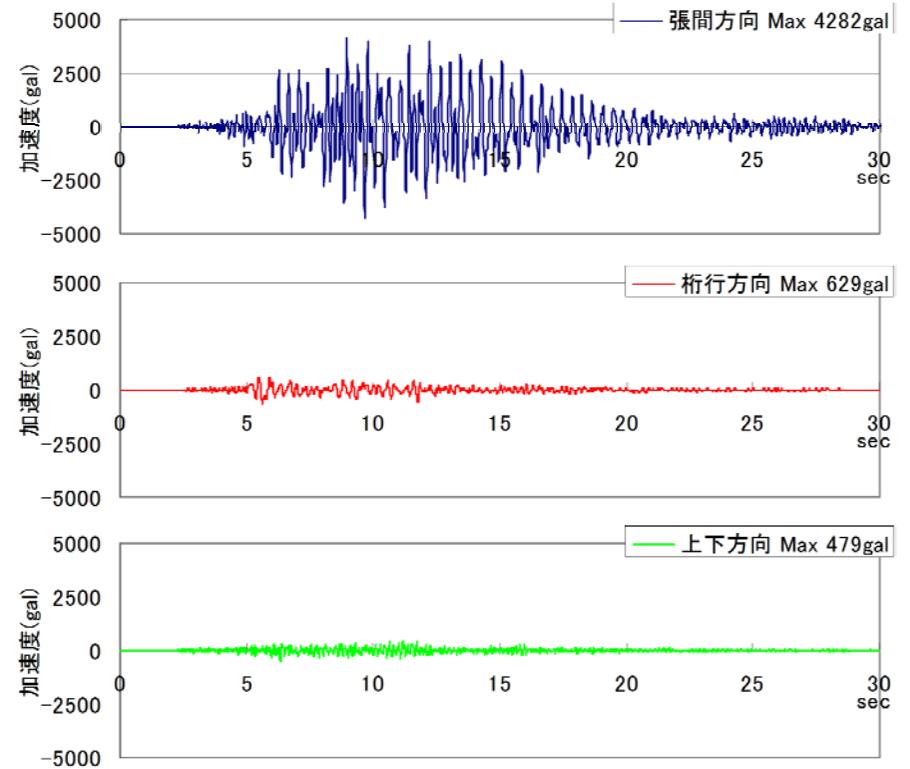
連層窓部もモデル化
サッシ枠
赤丸位置のみ構造体
に結合

解析モデルの概要

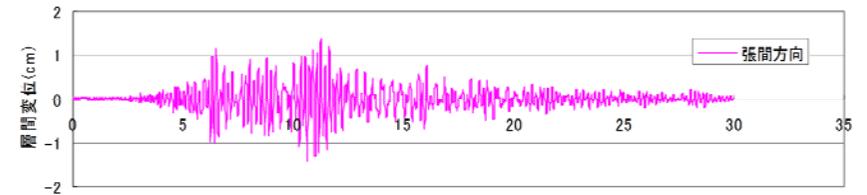
上下方向：応答波 最大加速 479 [gal]

面外方向：最大層間変位 14.2mm
0.63/100 [rad.]

ガラス窓の応答加速度



ガラス窓の層間変位



振動台実験

実験① 面外加力+上下動

実験条件

面外方向

慣性加力装置による
正弦波: 応答変位(層間変位)で基準化
最大30mm (層間変形角: 1.3/100)

上下方向

シミュレーション解析による上下動
窓サッシ下部の応答波
最大加速度 497gal (100%)

サッシ伸び

0, 2, 4mm

実験結果



面外方向

30 mm (1.3/100 rad)

上下動

最大1000gal (200%)

サッシ伸び

4mm

①ガラス歪み

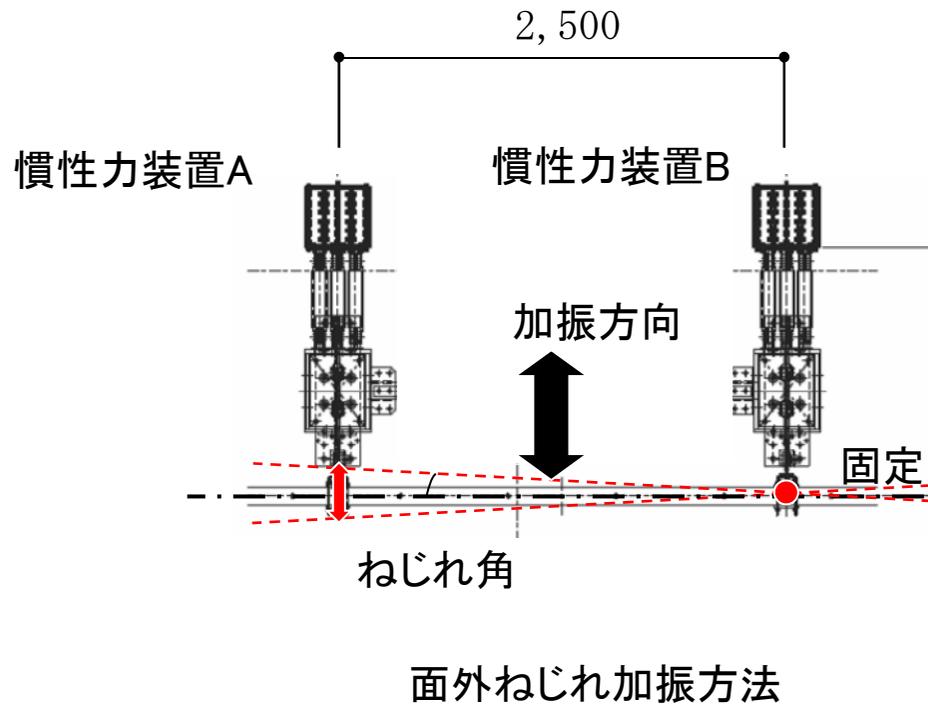
最大ひずみ 24 μ

ほとんど応力は発生していない

②窓障子の脱落は生じなかった

振動台実験

実験② 面外ねじれの影響



実験条件

ねじれ角

慣性加力装置による(左図)

2.1~9.4/1000 rad

上下動

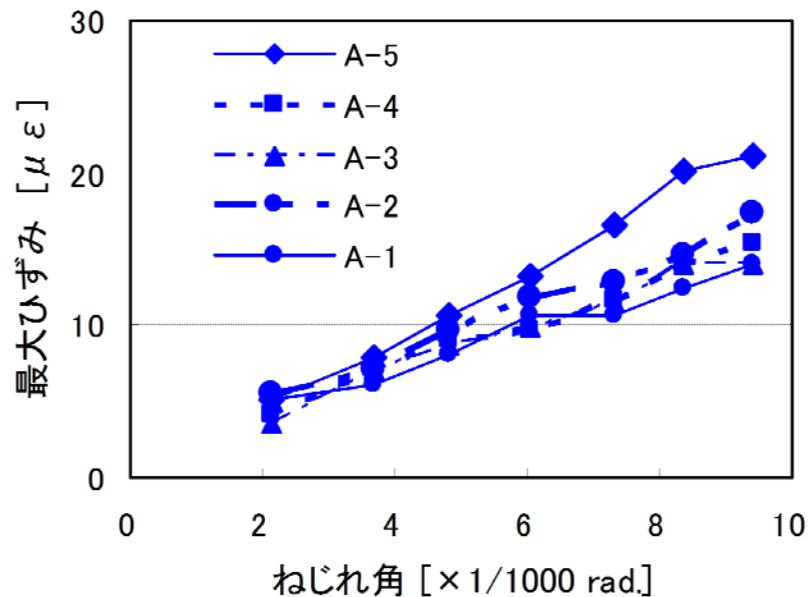
最大1700gal 0~340%

振動台実験

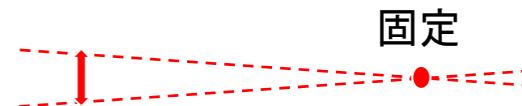
実験② 面外ねじれの影響

ねじれ角 2.1~9.4/1000 rad

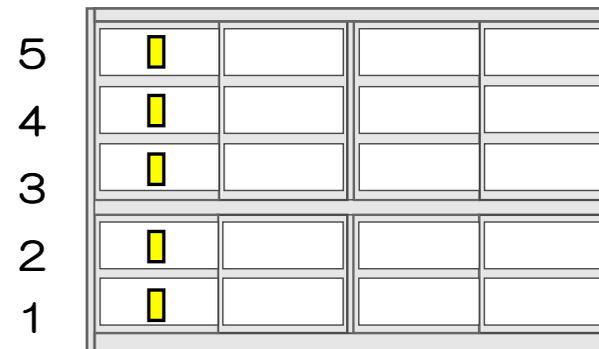
上下動 なし



ねじれ角とガラスひずみの関係



A



ねじれ角増大に伴い、ひずみ量は大きくなる傾向にあるが、破壊に至るには小さい

振動台実験

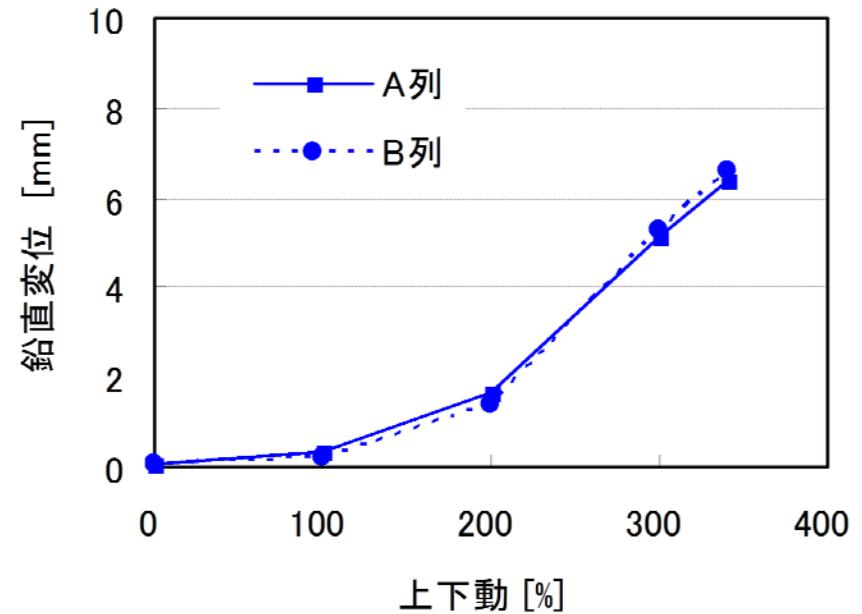
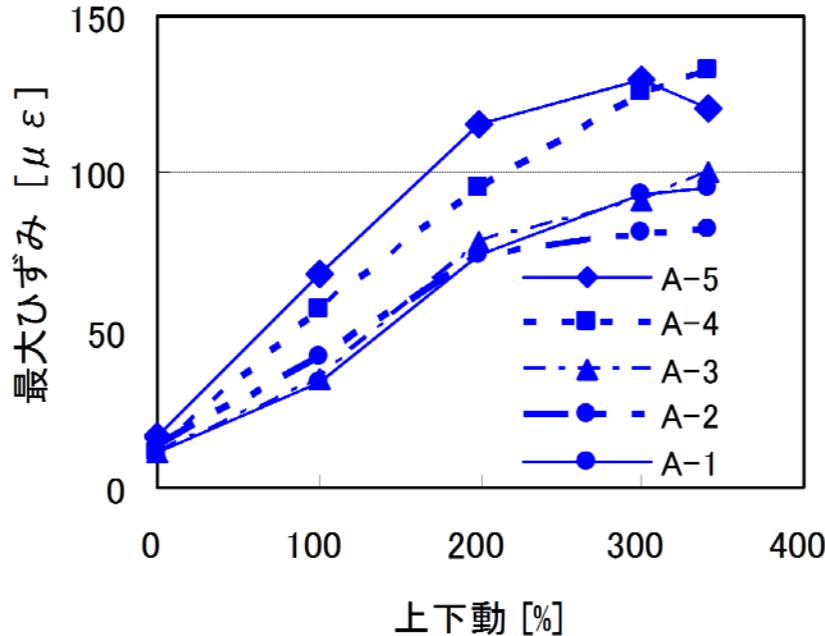
実験② 面外ねじれの影響

ねじれ角 7.3/1000 rad

上下動 最大1700gal 0~340%



上下動 340%



最大ひずみと障子鉛直変位

まとめ

■静的加力実験

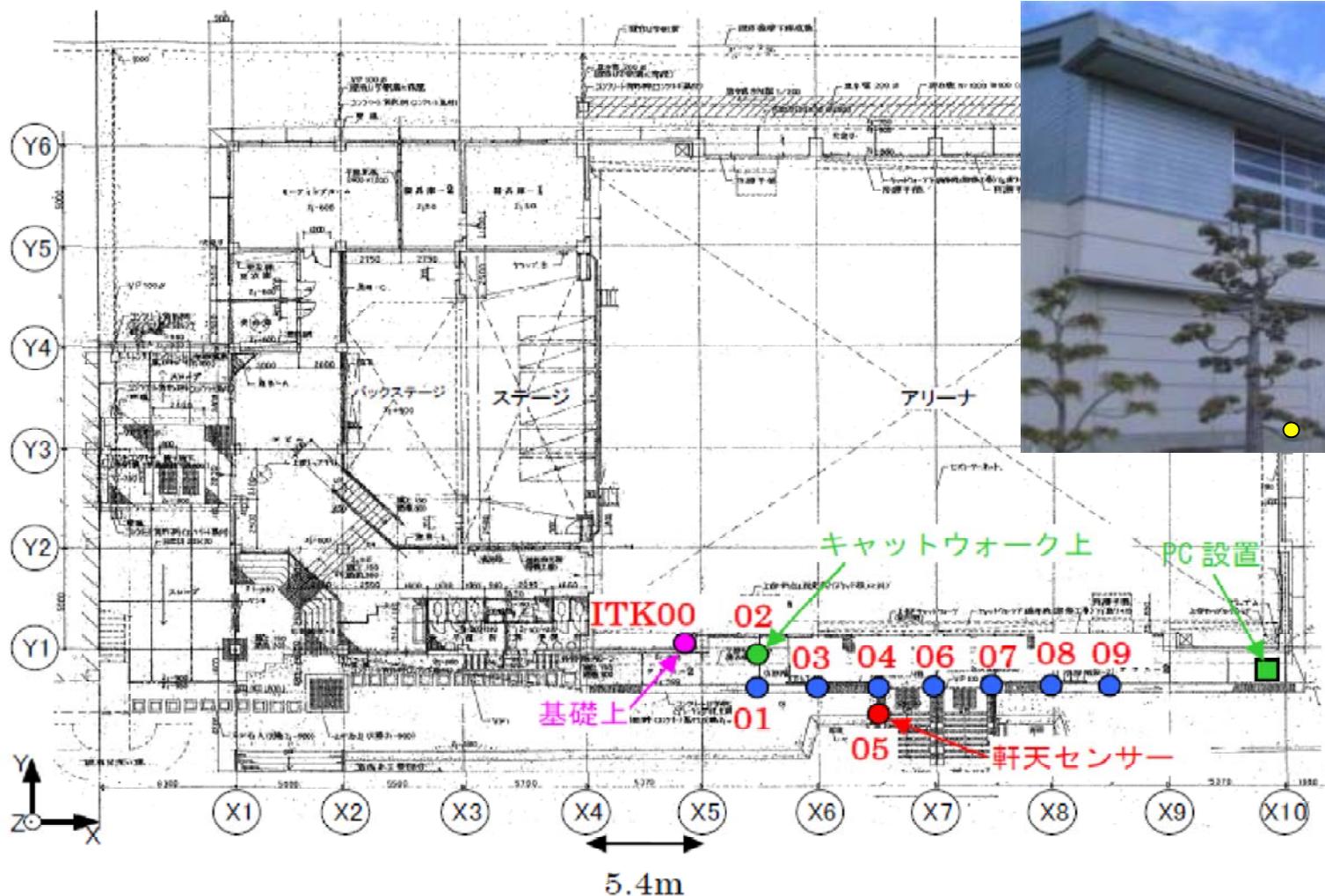
- ①窓ガラスに生じる応力、窓障子の脱落に関する基礎的な技術情報を収集した。
- ②窓上部において窓障子と窓サッシとの間に隙間が生じるまで加力を行い、クレセントを支点とした窓障子の回転が生じるなどしても窓障子が脱落までには至らなかった。
- ③窓サッシの上部サッシ枠が上方に引き上げられるような状態を想定した上で同様の加力を行ったものの、窓障子の脱落には至らなかった。

■振動台実験

- ④ガラス窓の変形および加振に伴って生じるガラス窓内部での変形、応力、ガラス窓の状態等について基礎的な技術情報を収集した。
- ⑤ガラス窓面に面外のねじれを生じさせるような加振に上下動を伴わせた加振により、窓ガラスに200 μ mのひずみを生じたもののガラスの破損までには至らなかった。

小学校体育館の地震観測結果

地震観測の概要



地震計設置位置

地震波の概要

地震波の概要

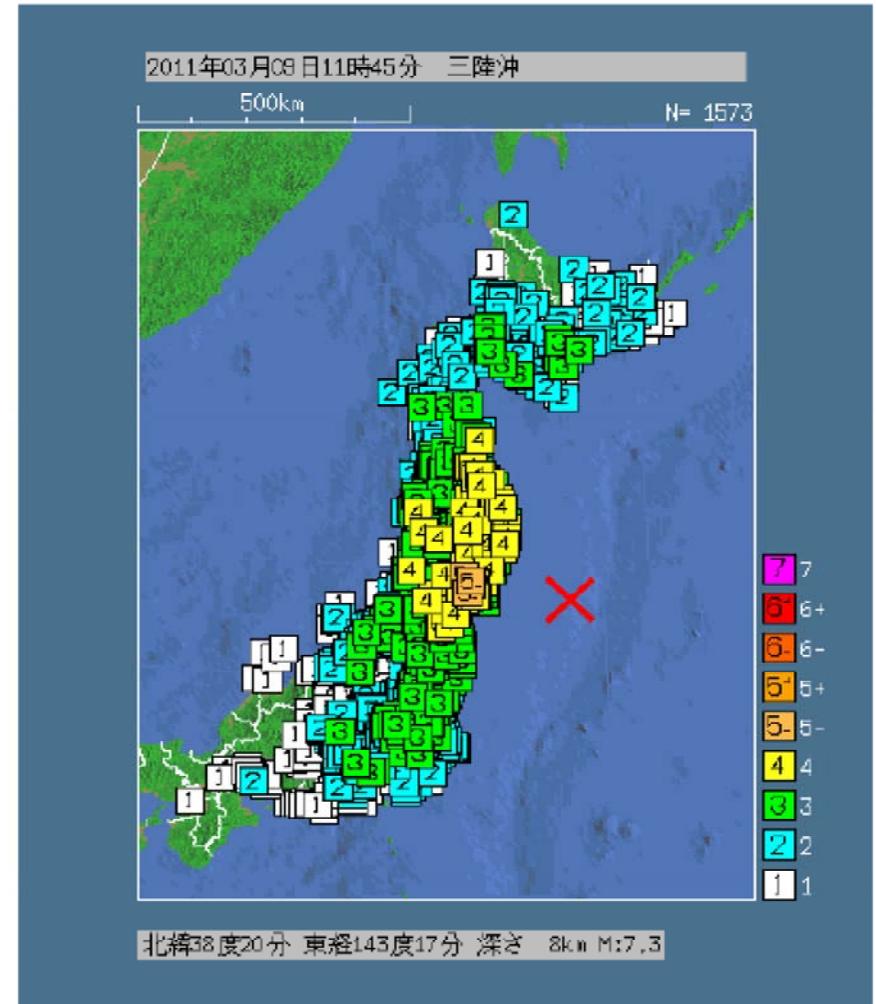
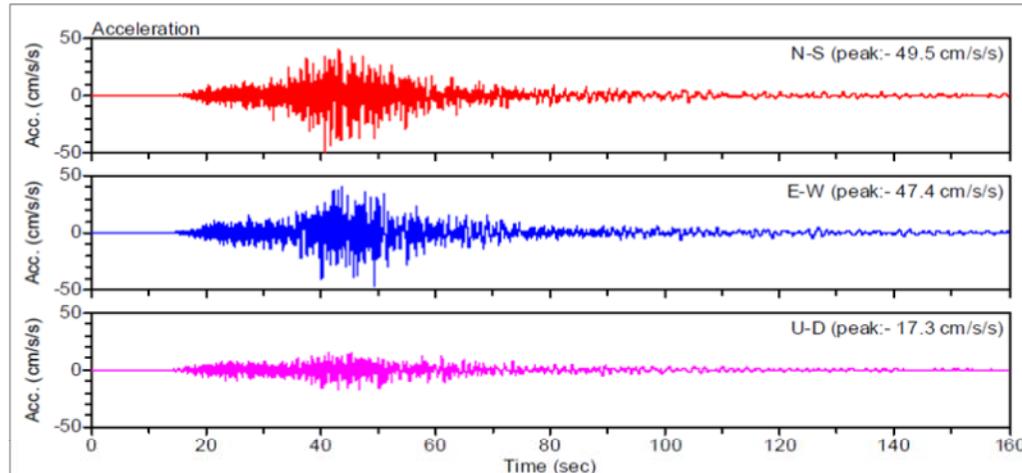
発生日時: 2011年3月9日11時45分

震源: 三陸沖

マグニチュード: 7.3

小学校付近の震度: 4

最大加速度: 49.5gal (K-NET築館より)



観測結果

最大加速度一覧

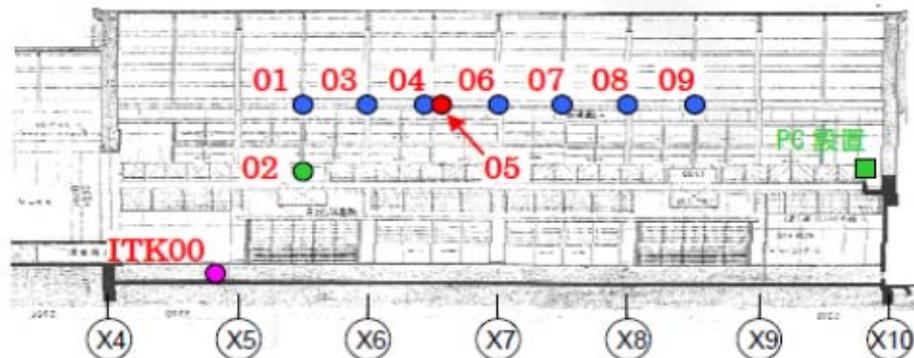
No.	窓面外		窓面内		備考
	張間 (gal)	桁行 (gal)	上下 (gal)		
ITK00	44.2	37.2	11.6		基礎上
ITK02	72.5	47.3	13.1		キャットウォーク上
ITK01	207.3	126.5	32.7		サッシ上部(ステージ側)
ITK03	218.1	134.4			
ITK04	249.4	130.4	51.9		サッシ上部
ITK06	304.1	137.8	42.0		サッシ上部
ITK07	392.9	128.3	48.6		サッシ上部
ITK08	471.9	126.9	62.9		サッシ上部
ITK09	519.1	121.7	90.0		サッシ上部

10倍以上増幅

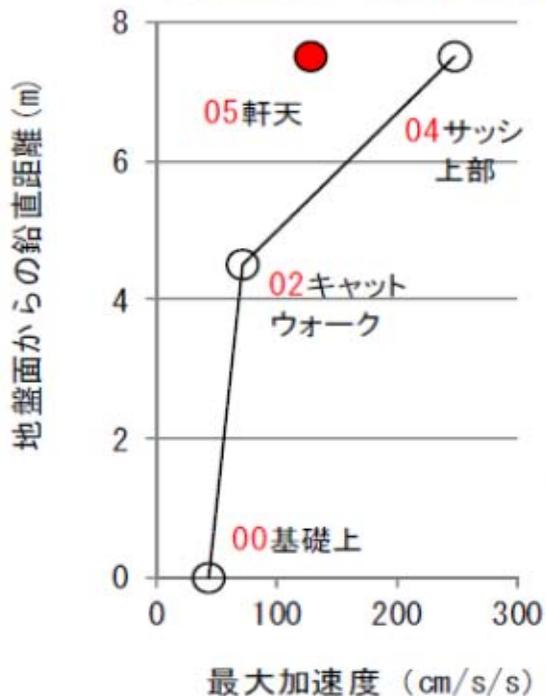
最大加速度分布(窓面外方向)

■張間方向の加速度記録分析

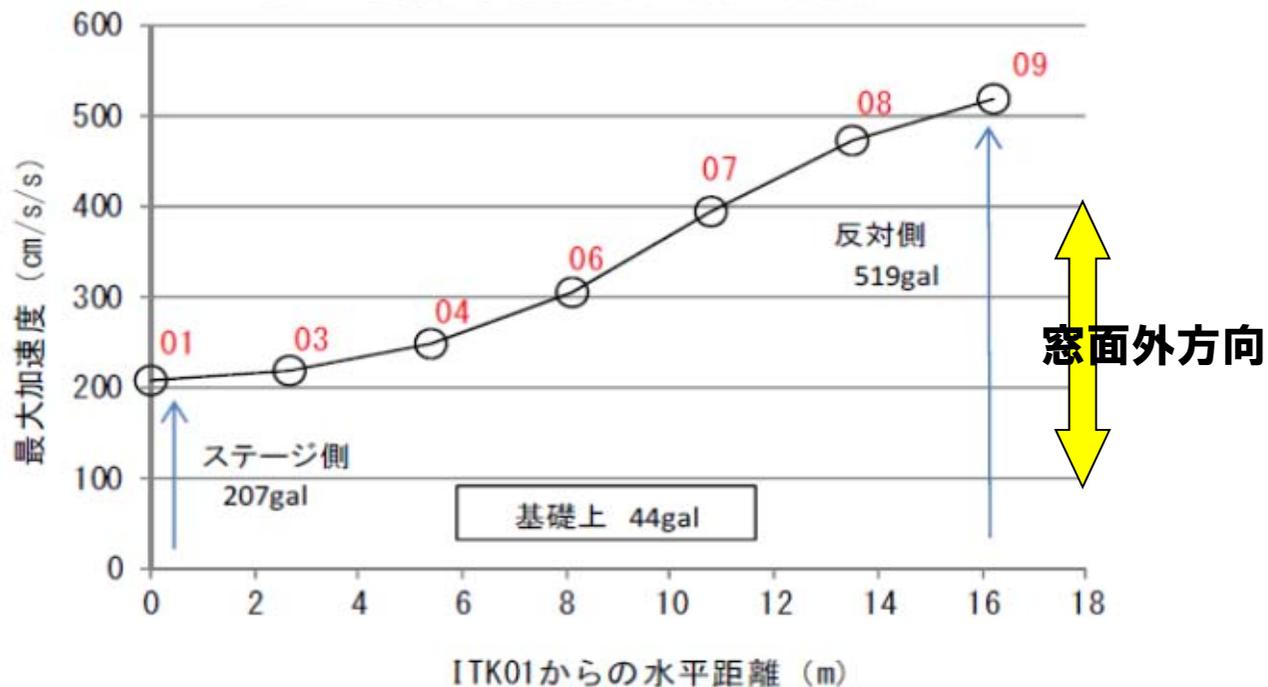
■ 基礎上 44.2 gal



最大加速度分布
(張間方向=窓面外方向)



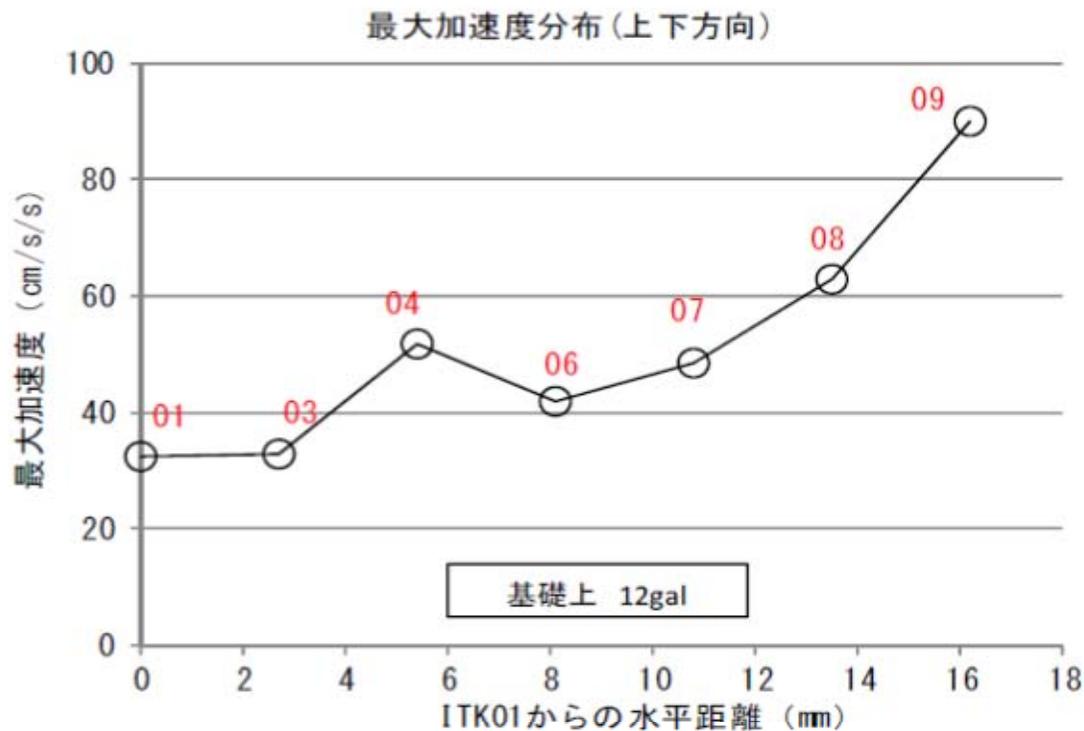
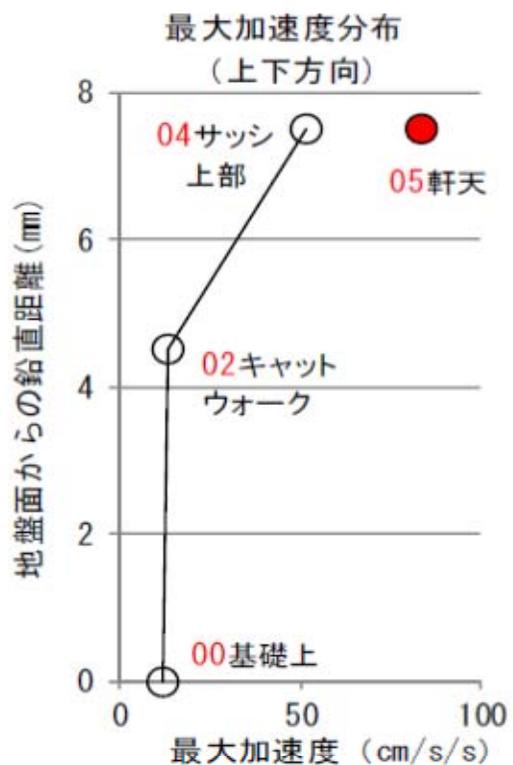
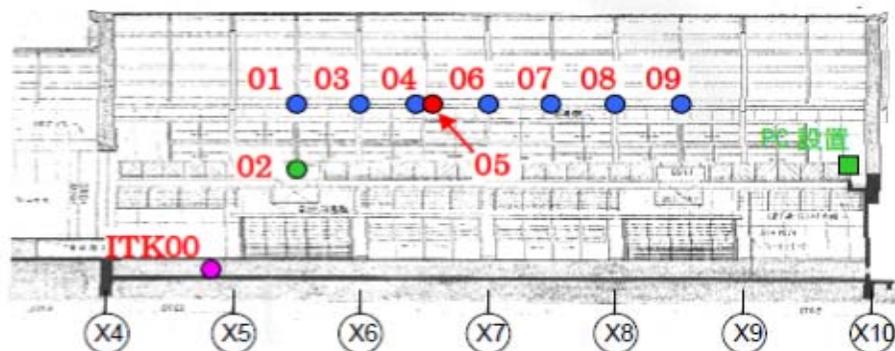
最大加速度分布(張間方向=窓面外方向)



最大加速度分布(上下方向)

■上下方向の加速度記録分析

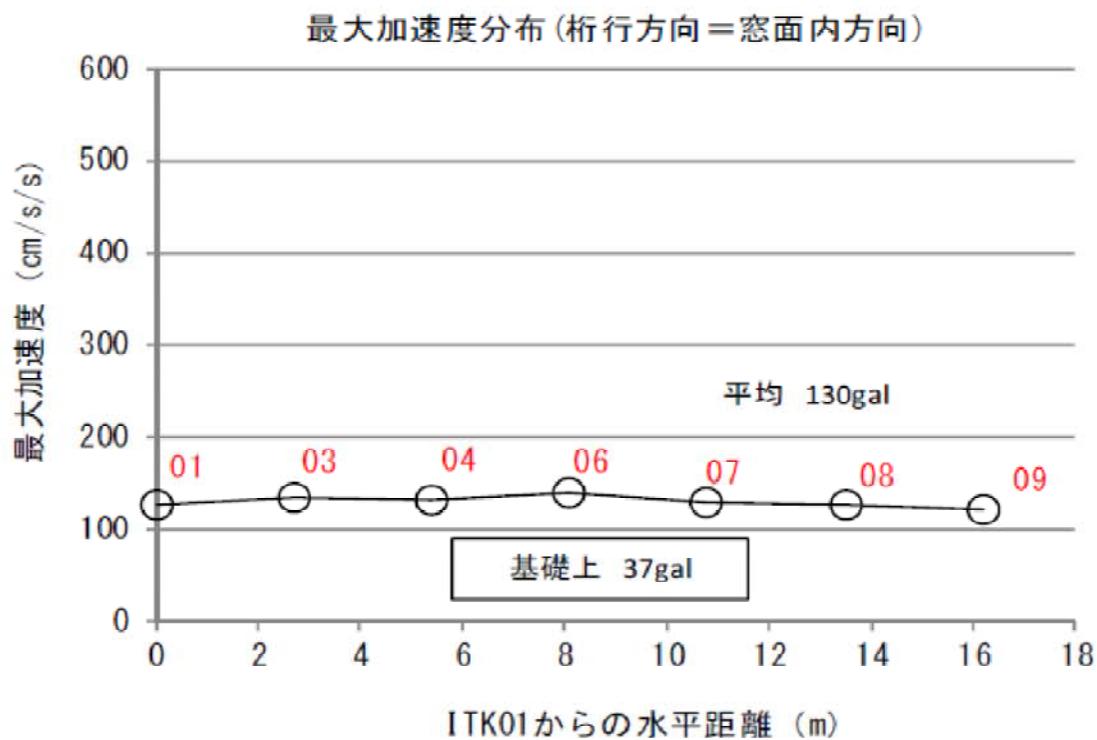
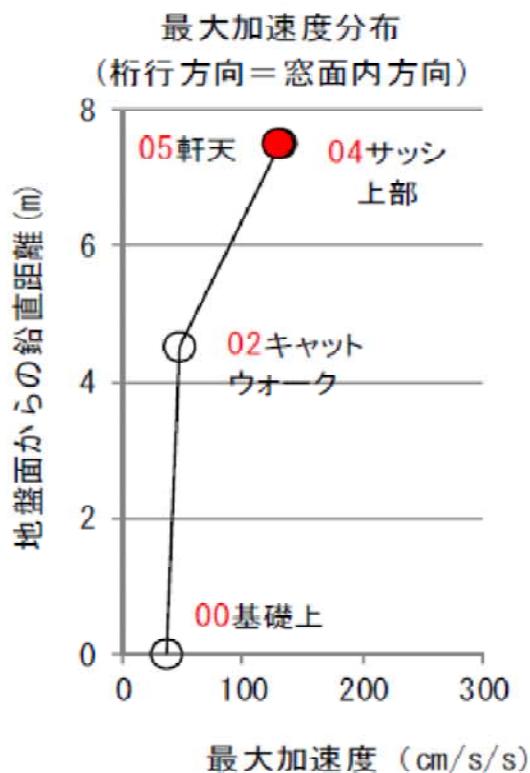
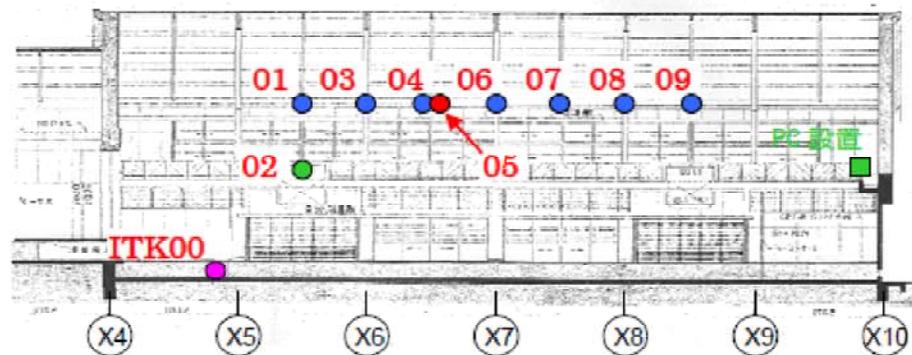
基礎上 11.6 gal



最大加速度分布(窓面内方向)

■ 桁行方向の加速度記録分析

基礎上 37.2 gal



在来工法天井の耐力評価に関する検討

在来工法天井の耐力評価を検討する上で必要となる資料を収集することを目的に、以下の実験を行った。

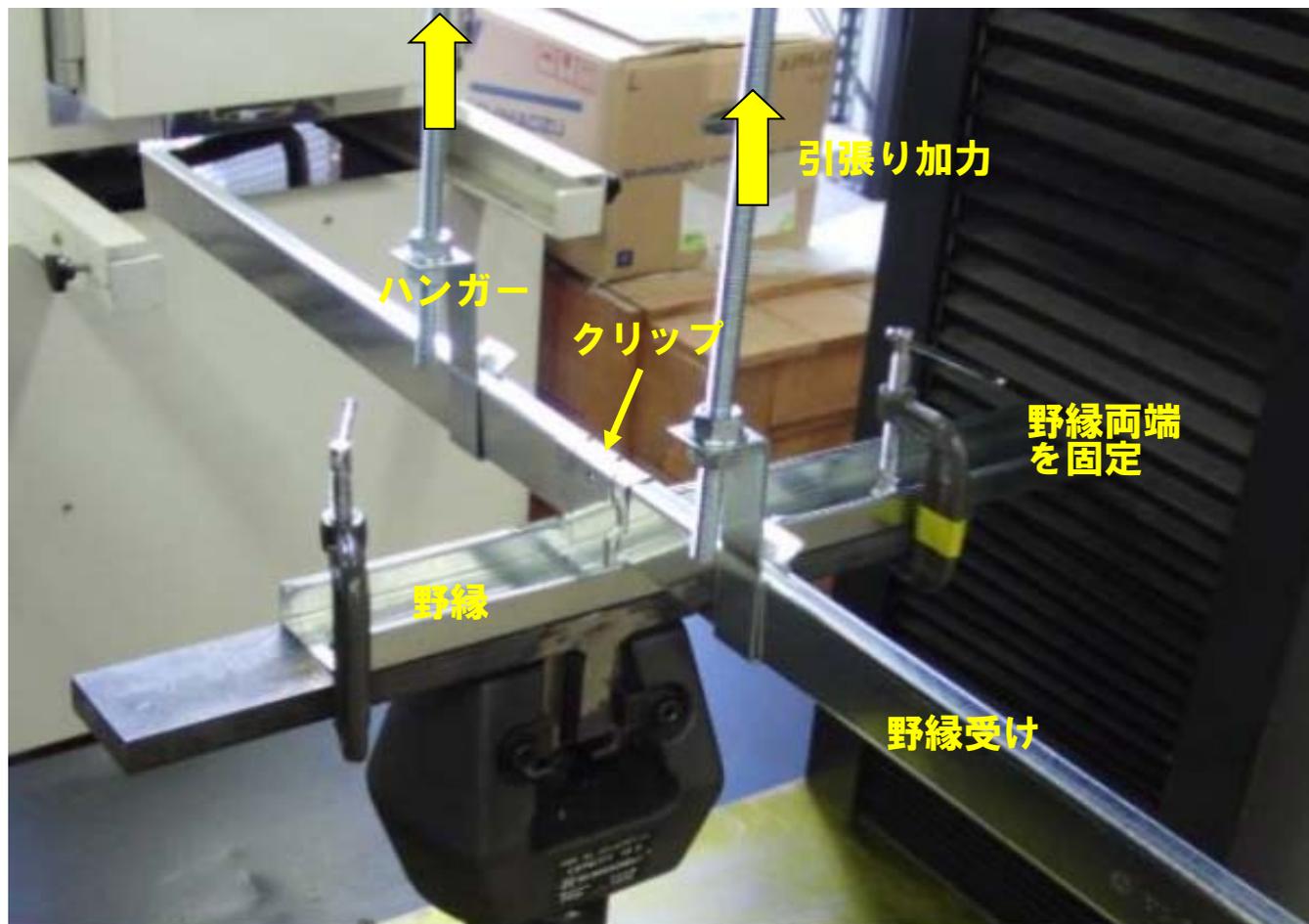
天井附属金物に関する実験

多数のメーカーで製作された天井部材を対象に、静的引っぱり試験を実施、クリップ接合部の耐力、剛性を評価した。

小試験体を用いた実験

天井全体での静的、動的実験を実施、耐力、剛性を評価した。

天井附属金物に関する実験の概要



実験状況

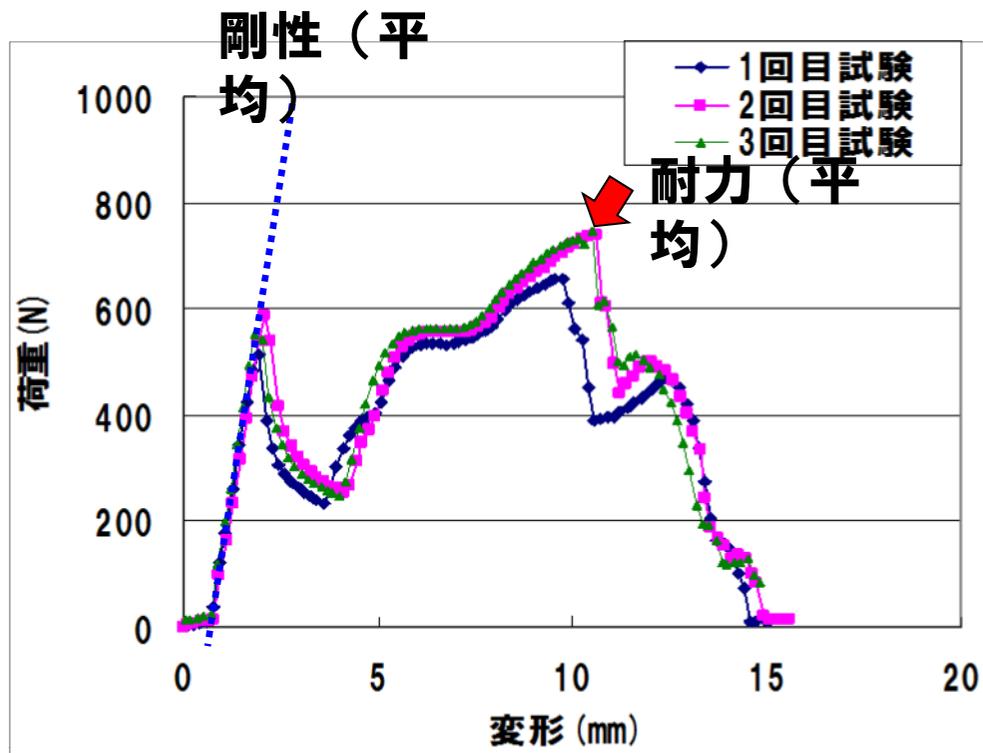
試験ケース

	番号	ケース番号	JIS	一般	サイズ	掛け方		番号	ケース番号	JIS	一般	サイズ	掛け方
A社	1	A-J-WB	○	—	W	B		61	D-J-WB	○	—	W	B
	2	A-J-WF	○	—	W	F		62	D-J-WF	○	—	W	F
	3	A-J-WD	○	—	W	D		63	D-J-WD	○	—	W	D
	4	A-J-SB	○	—	S	B						S	B
	5	A-J-SF	○	—	S	F						S	F
	6	A-J-SD	○	—	S	D						S	D
	11	A-G-W	○	—	W	B						W	B
	12	A-G-WF	○	—	W	F						W	F
	13	A-G-WD	○	—	W	D						W	D
	14	A-G-SB	○	—	S	B						S	B
15	A-G-SF	○	—	S	F					S	F		
16	A-G-SD	○	—	S	D					S	D		
B社	21	B-J-W	○	—	W	B					W	B	
	22	B-J-WF	○	—	W	F					W	F	
	23	B-J-WD	○	—	W	D					W	D	
	24	B-J-SB	○	—	S	B					S	B	
	25	B-J-SF	○	—	S	F					S	F	
	26	B-J-SD	○	—	S	D					S	D	
	31	B-G-W	○	—	W	B					W	B	
	32	B-G-WF	○	—	W	F					W	F	
	33	B-G-WD	○	—	W	D					W	D	
	34	B-G-SB	○	—	S	B					S	B	
35	B-G-SF	○	—	S	F					S	F		
36	B-G-SD	○	—	S	D					S	D		
C社	41	C-J-WB	○	—	W	B	F社	101	F-J-WB	○	—	W	B
	42	C-J-WF	○	—	W	F		102	F-J-WF	○	—	W	F
	43	C-J-WD	○	—	W	D		103	F-J-WD	○	—	W	D
	44	C-J-SB	○	—	S	B		104	F-J-SB	○	—	S	B
	45	C-J-SF	○	—	S	F		105	F-J-SF	○	—	S	F
	46	C-J-SD	○	—	S	D		106	F-J-SD	○	—	S	D
	51	C-G-WB	—	○	W	B		111	F-G-WB	—	○	W	B
	52	C-G-WF	—	○	W	F		112	F-G-WF	—	○	W	F
	53	C-G-WD	—	○	W	D		113	F-G-WD	—	○	W	D
	54	C-G-SB	—	○	S	B		114	F-G-SB	—	○	S	B
55	C-G-SF	—	○	S	F	115	F-G-SF	—	○	S	F		
56	C-G-SD	—	○	S	D	116	F-G-SD	—	○	S	D		

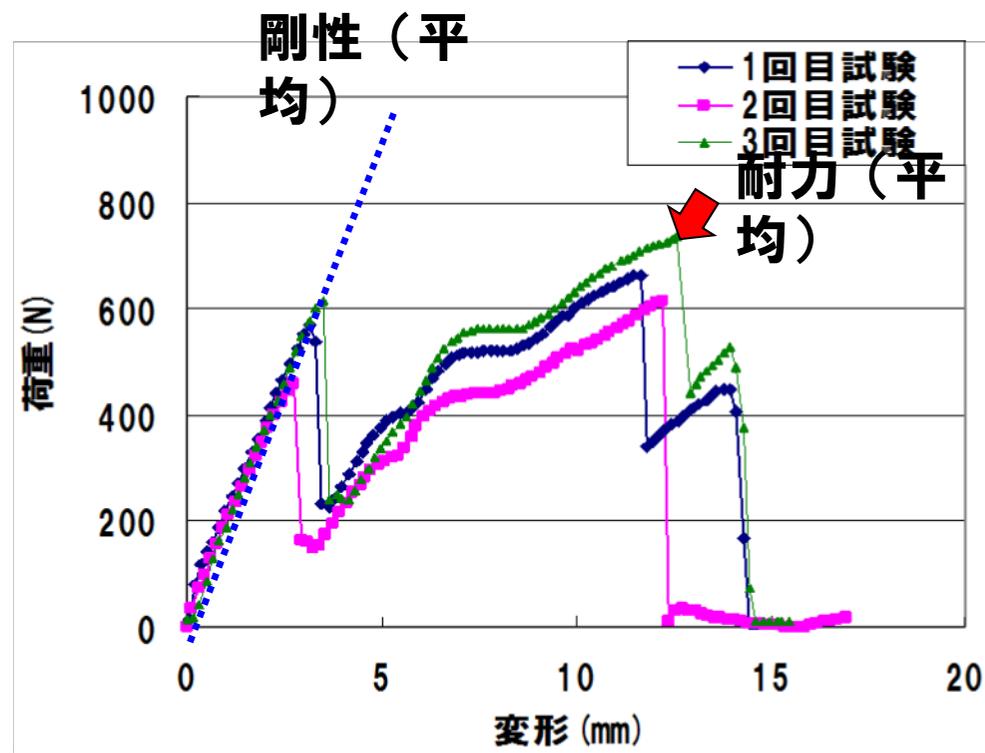
計測計画



試験結果の一例

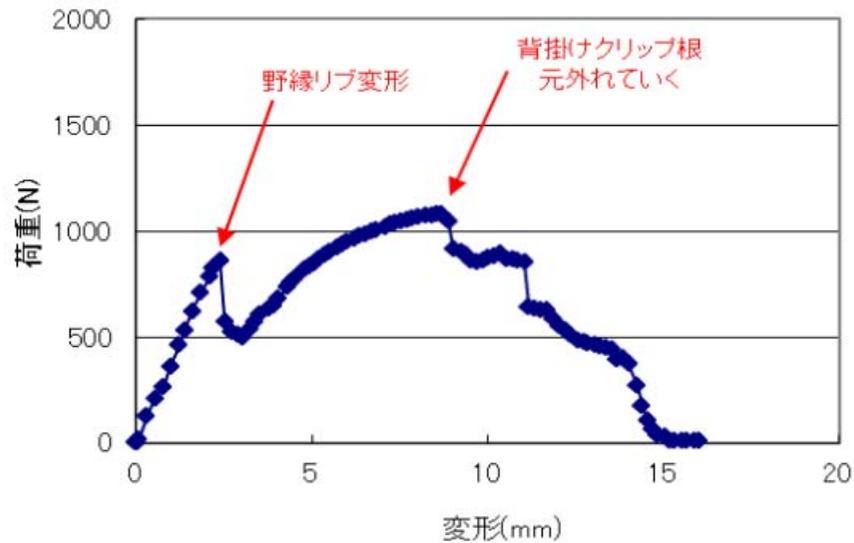


A社 シングル背掛け (A-J-SB)

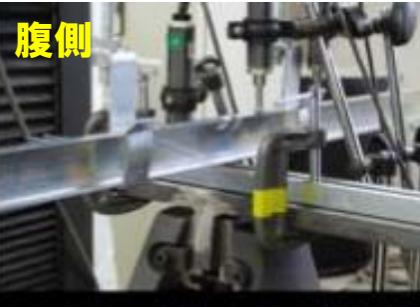


A社 シングル腹掛け (A-J-SF)

荷重変形関係とクリップの変形状況



変形2mm



腹側



背側

変形4mm



野縁のリップが変形

変形6mm

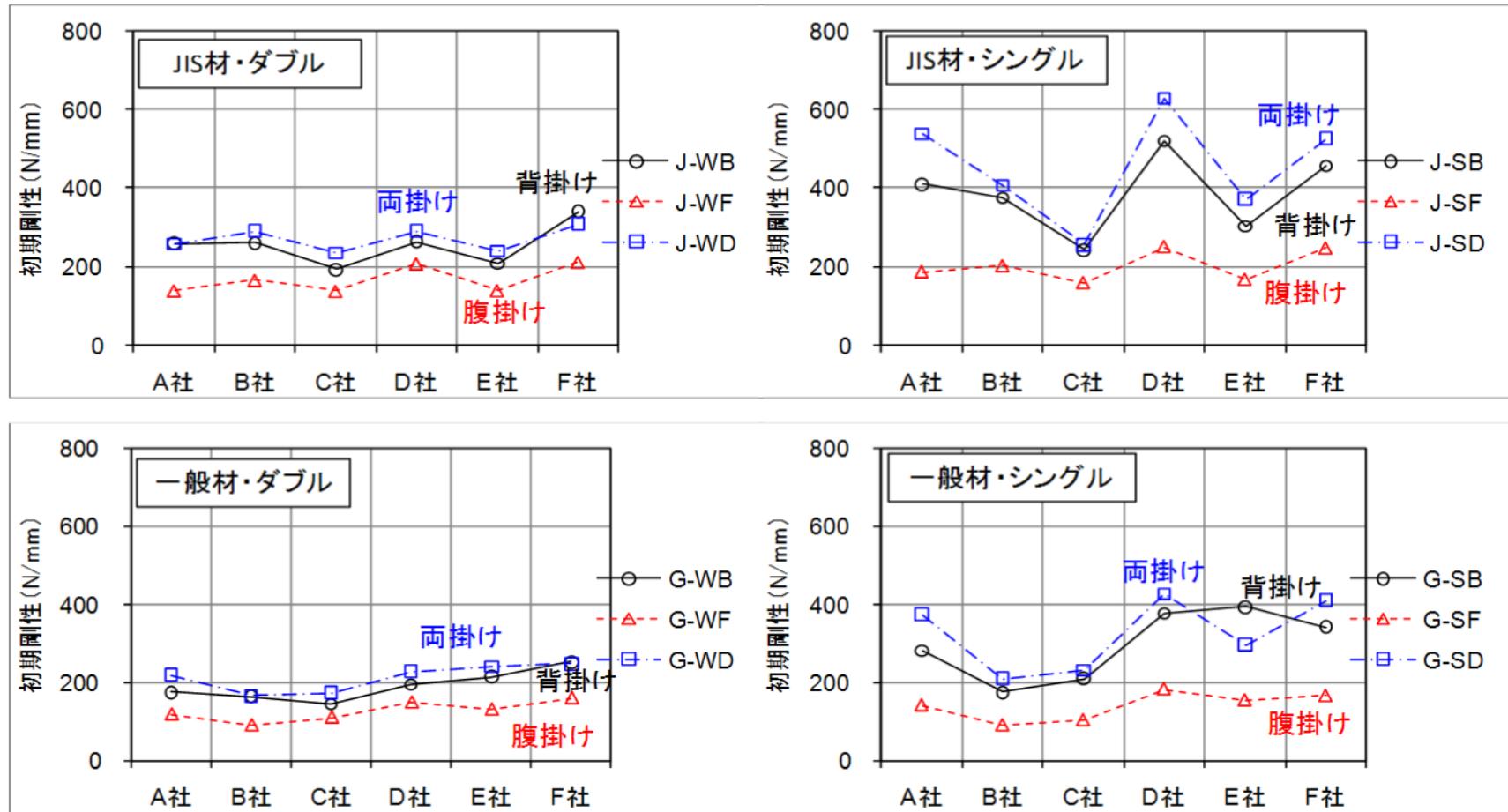


変形8mm

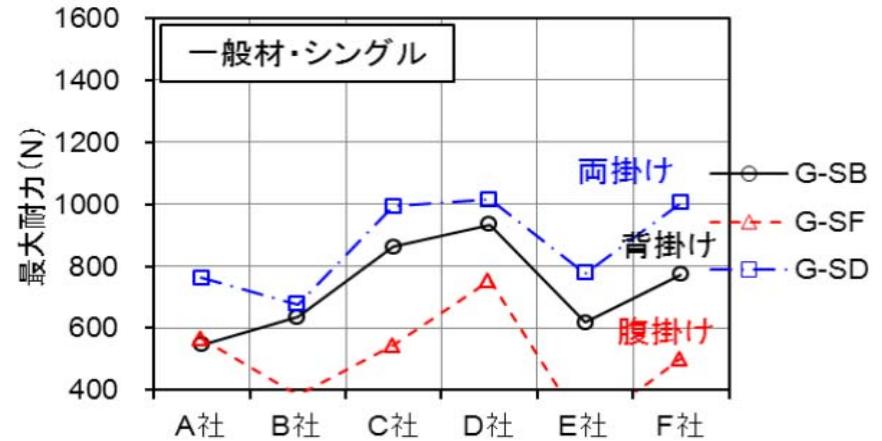
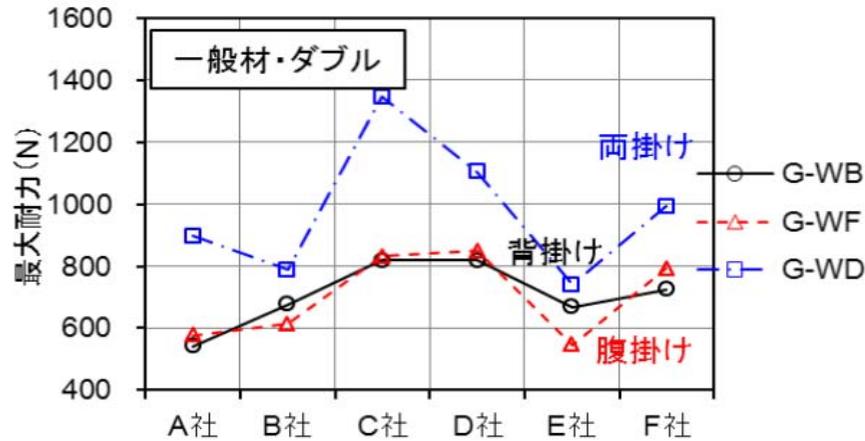
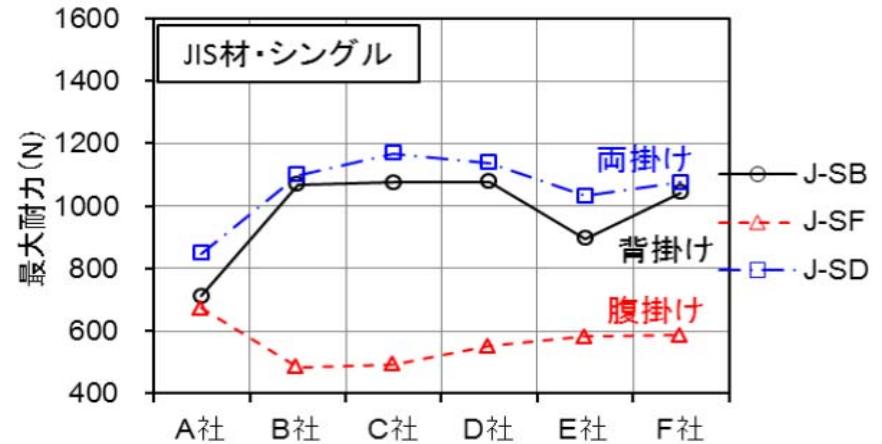
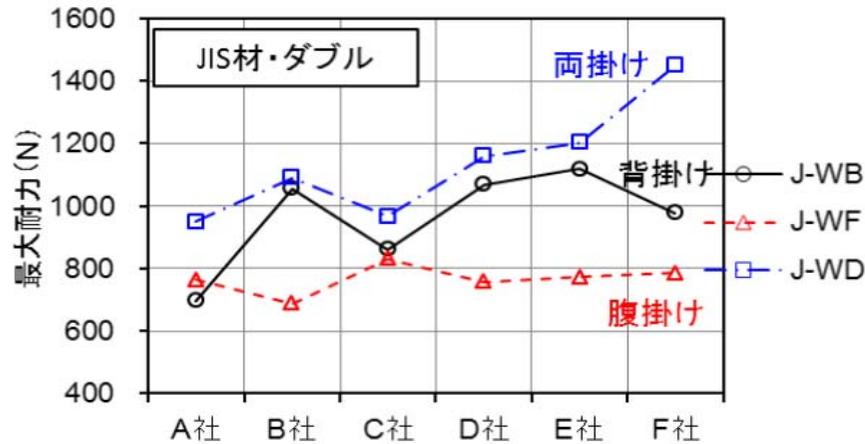


クリップ根元外れ

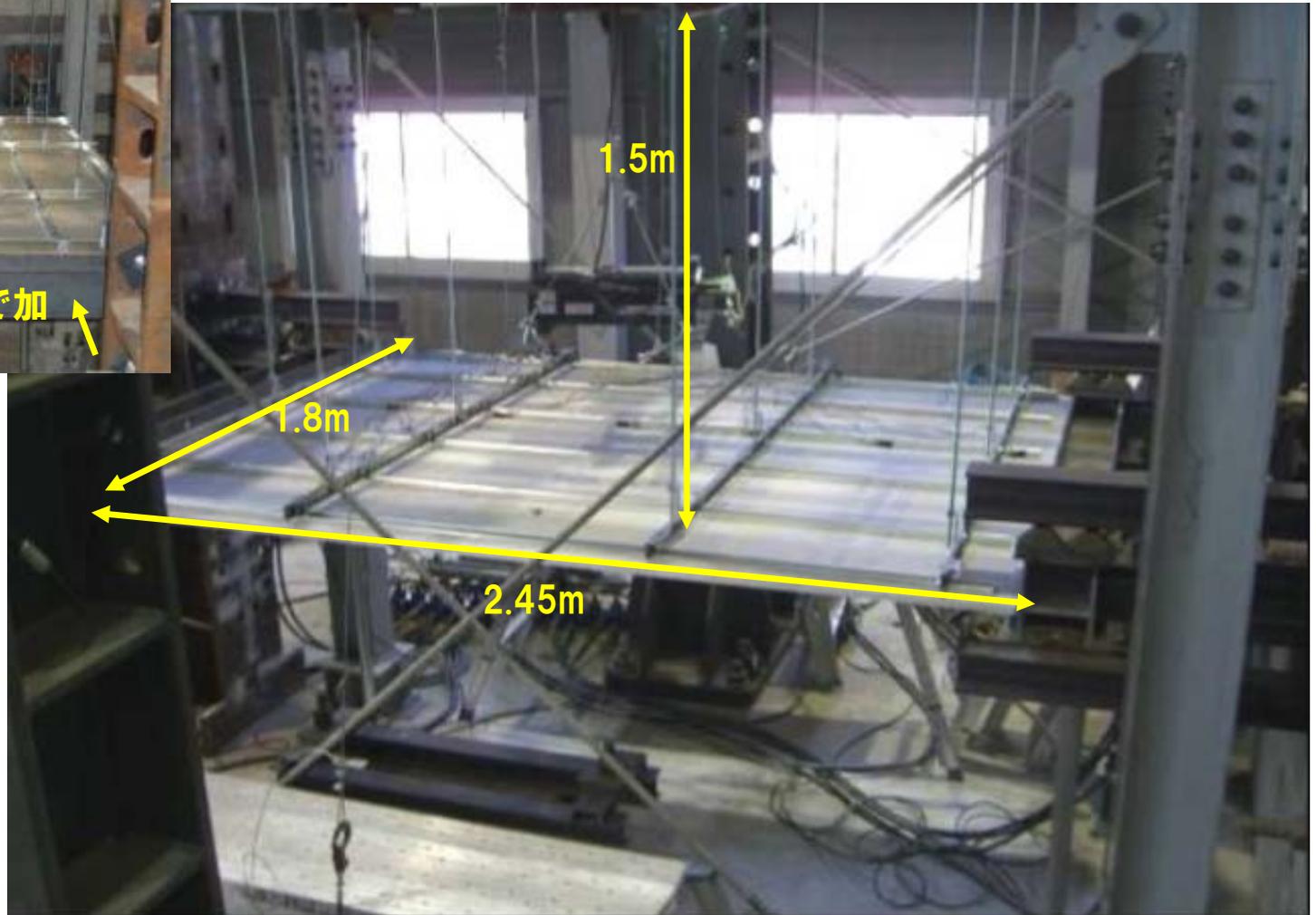
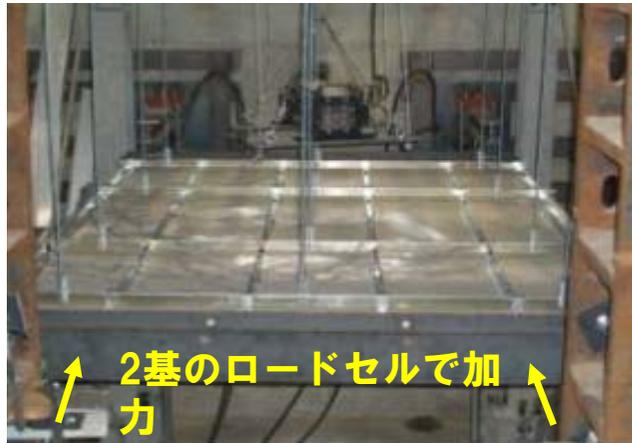
接合部の剛性(クリップの掛け方による比較)



接合部の耐力(クリップの掛け方による比較)



小試験体を用いた実験

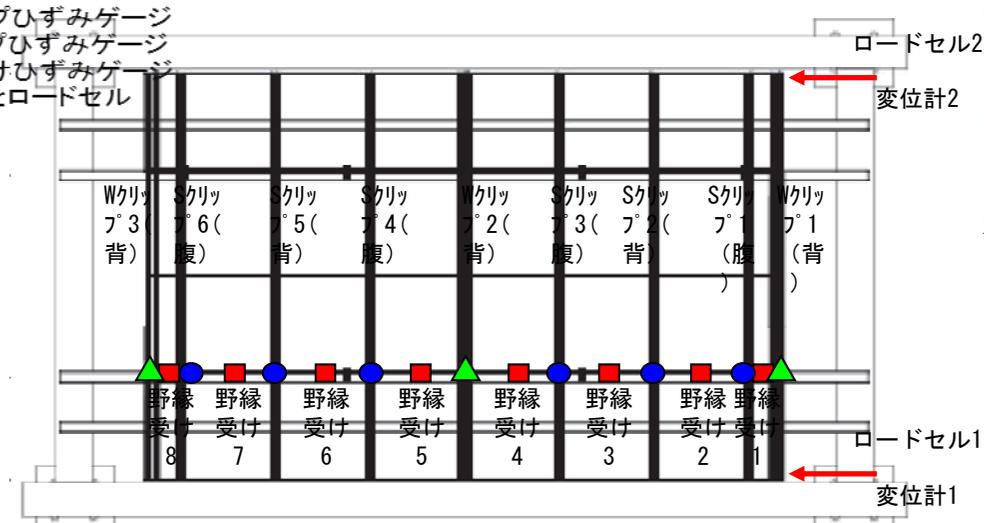


実験状況

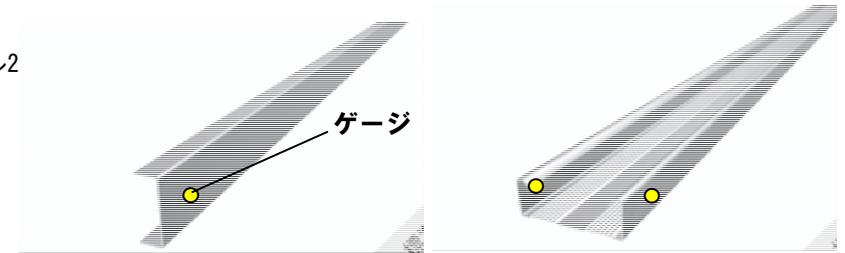
小試験体を用いた実験

計測計画

- ▲ : Wクリップひずみゲージ
- : Sクリップひずみゲージ
- : 野縁受けひずみゲージ
- ← : 変位計とロードセル



実験No.2、実験No.3 野縁受け方向加力時



野縁受け

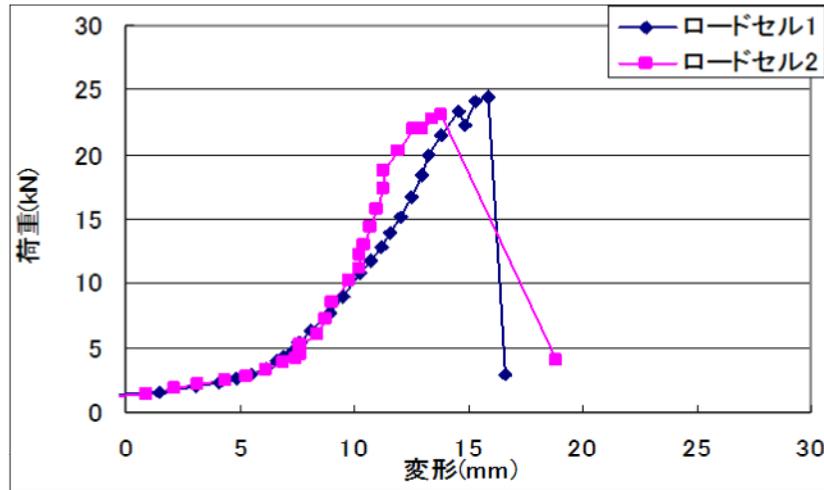
野縁



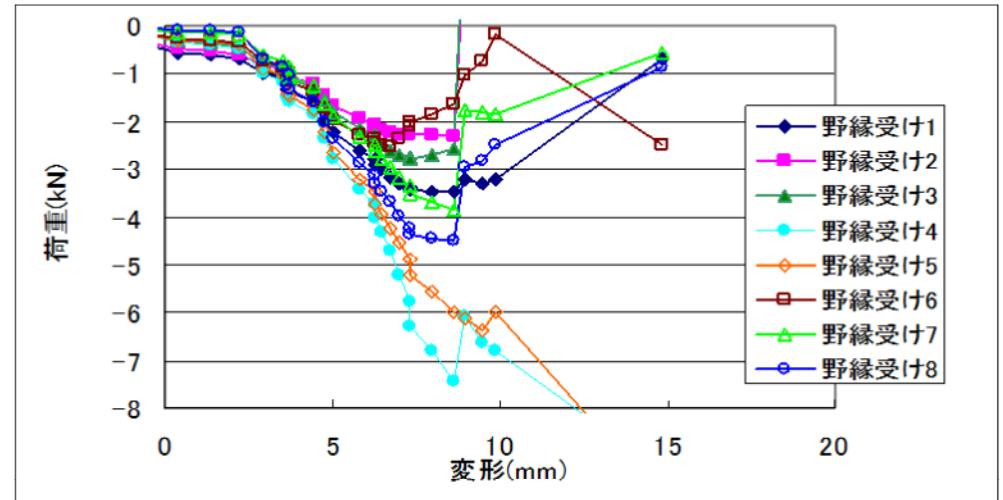
クリップ

小試験体を用いた実験

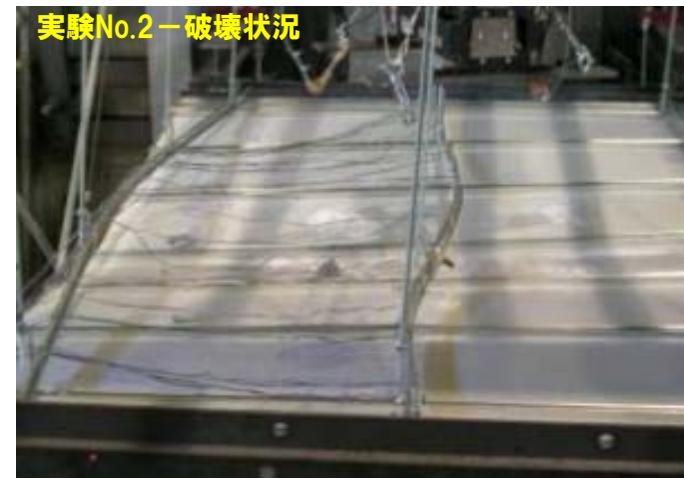
実験結果



荷重と変形の関係

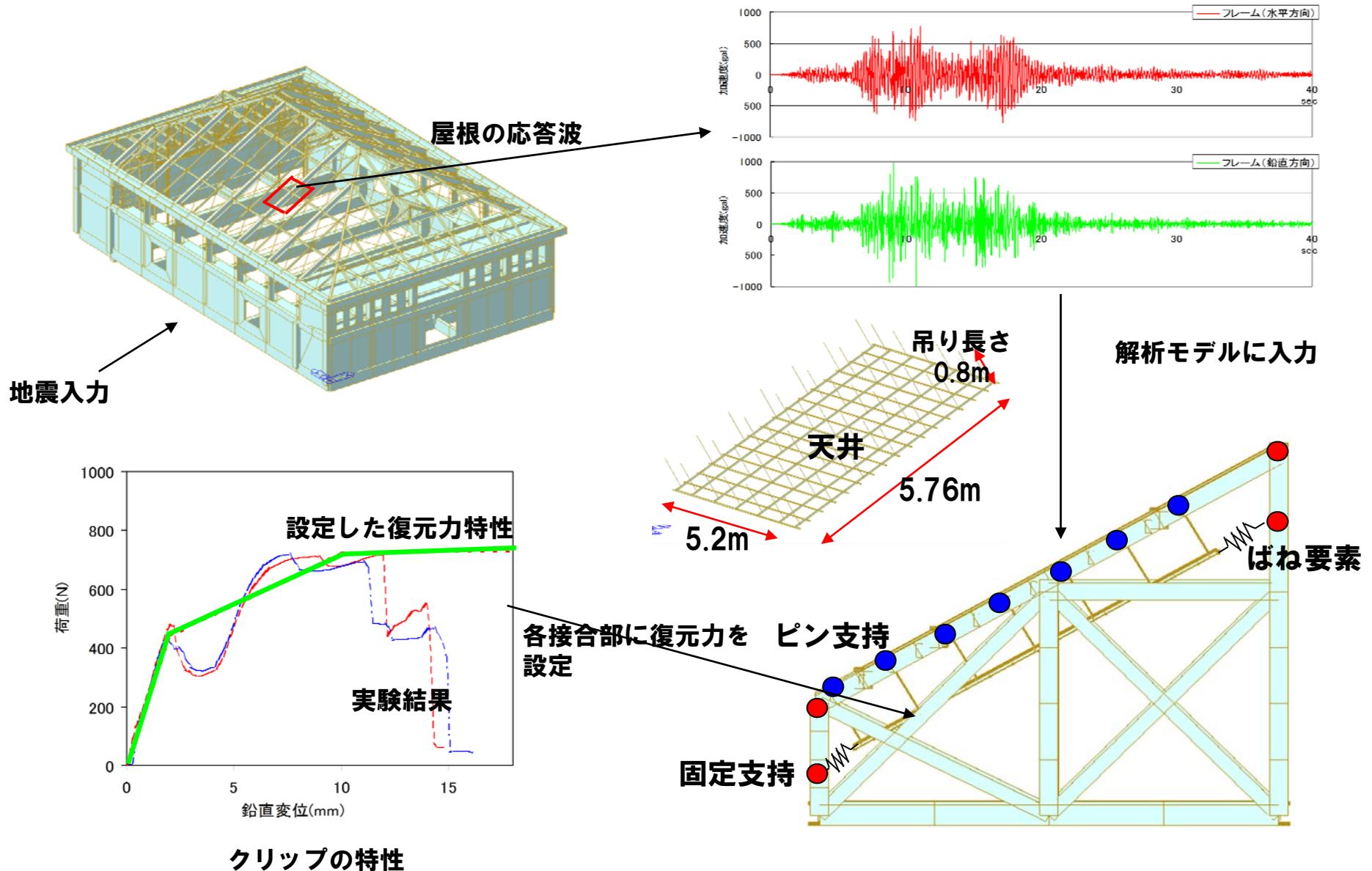


天井材に生じる応力



天井の最終破壊状況

シミュレーション解析概要



シミュレーション解析結果

