

軽量角形鋼管による 耐震天井構造の開発

近畿大学工学部建築学科 准教授 松本慎也
株式会社 佐藤型钢製作所
一般財団法人建材試験センター 西日本試験所

はじめに

- 本研究は、**施工規模に応じた適用性の高い新しい吊り天井構造を開発し**、建築物の天井脱落事故を防ぐための**安全性能評価システムを構築**することを目的として実施しています。
- 本公開実験では平成26年4月に施行された建築物における天井脱落対策に係る一連の技術基準告示に示されている天井の設計ルートにおいて、**天井ふところ高さが3mを超える大型天井を**対象とした天井構造の耐震性能を**実大加力実験**により検証します。

一般的な吊り天井の構成

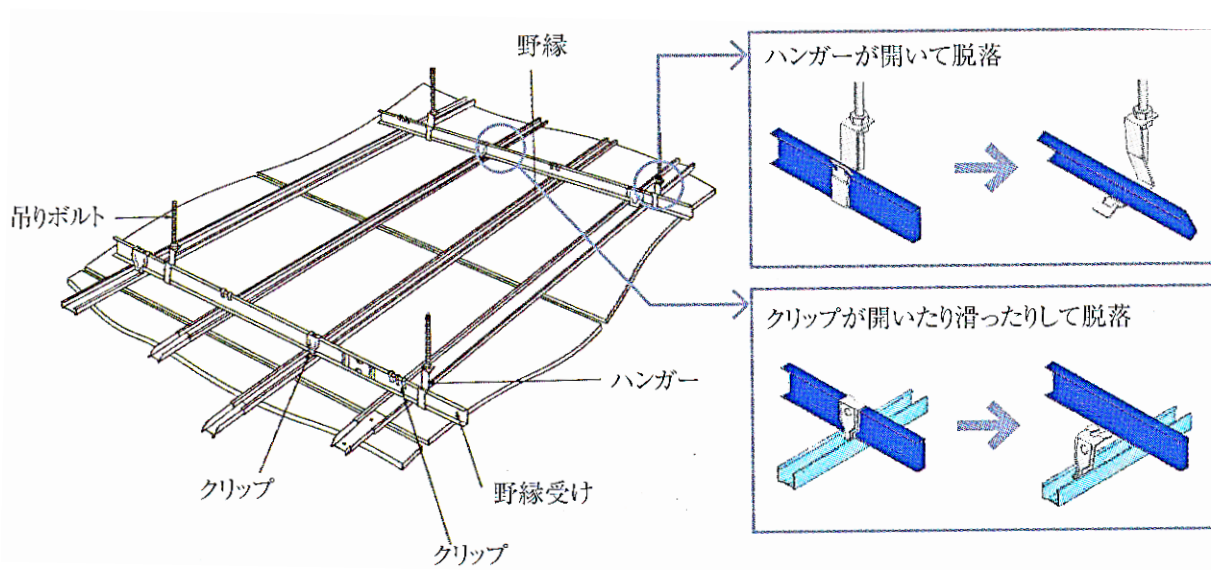


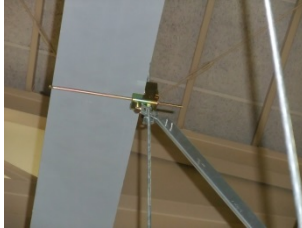
図1 在来吊り天井

通常、この上に人は乗ることはできない

在来型吊り天井試験体 (天井ふところ高さ3m)

※広島国際大学にて実施
(藤谷研究室)

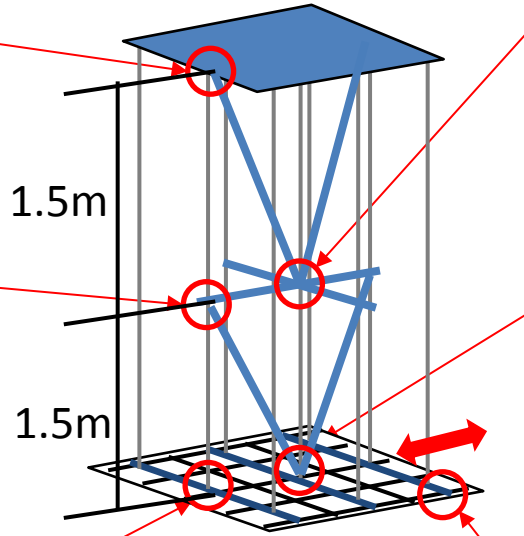
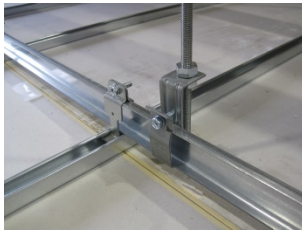
吊ボルト・
ブレース端部



ブレース端部



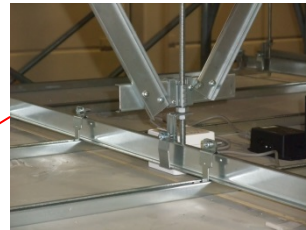
耐震ハンガー



中央ブレース交点



下部ブレース交点



耐震クリップ

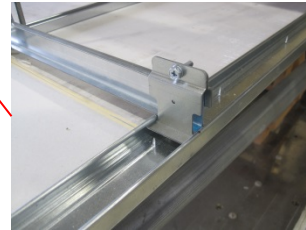


表1 部材断面性能

試験体	部材	寸法 mm		単位 質量 kg/m	断面積 cm ²	重心位置		断面二次 モーメント		断面二次半径		断面係数		せん断中心	
		H×A	t			Cx cm	Cy cm	Ix cm ⁴	Iy cm ⁴	ix cm	iy cm	Zx cm ³	Zy cm ³	Sx cm	Sy cm
試験体1	C-38-12-1.2	38×12	1.2	0.550	0.720	0	0.28	1.43	0.09	1.41	0.35	0.75	0.09	0.63	0
試験体2	C-40-20-1.6	40×20	1.6	0.939	1.196	0	0.57	2.90	0.46	1.56	0.62	1.45	0.32	1.2	0

実験結果

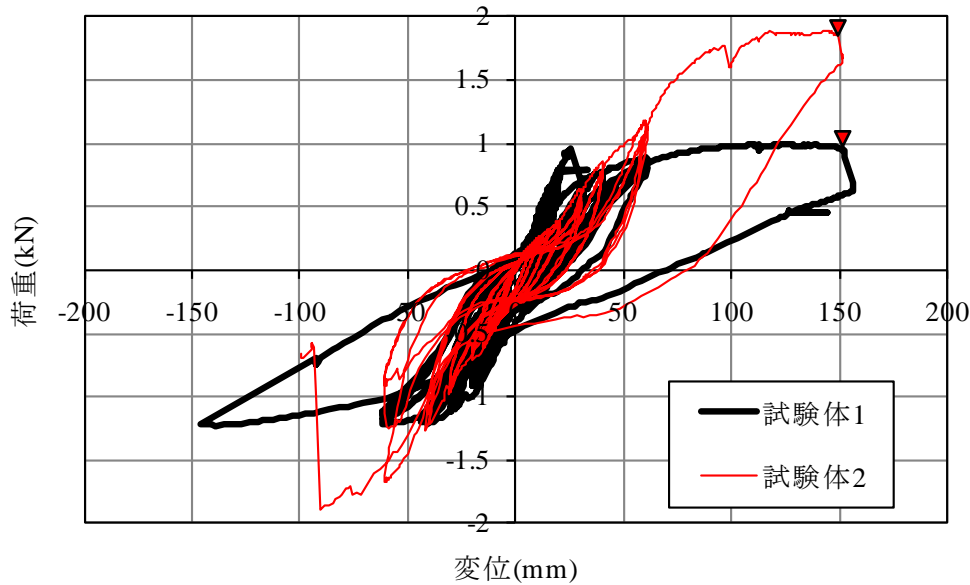


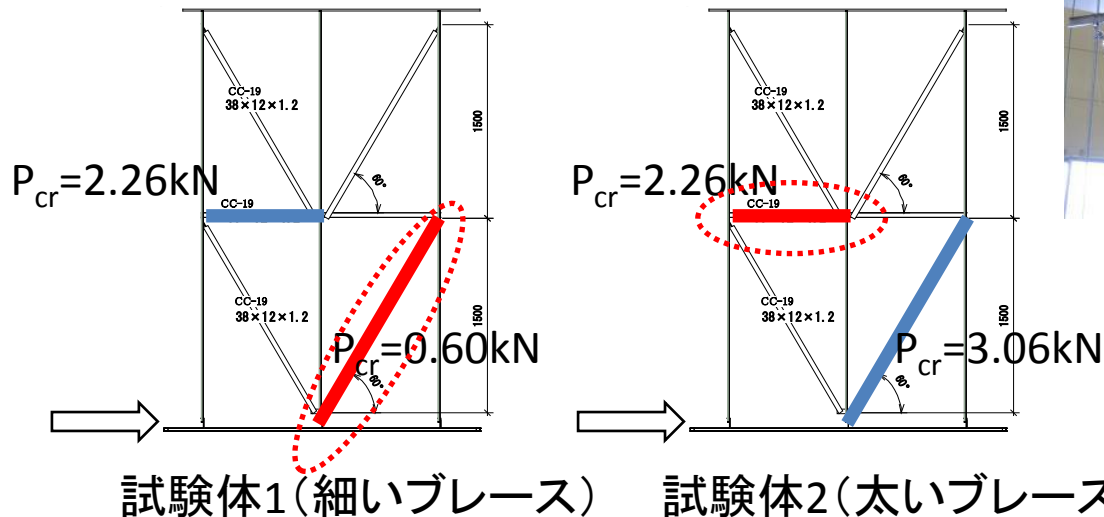
図2 荷重－変位関係の比較



写真1 試験体1の損傷状況



写真2 試験体2の損傷状況



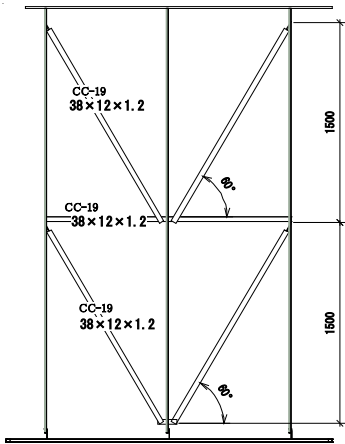
試験体1(細いブレース)

試験体2(太いブレース)

加力実験の結果

表2 試験体の耐力と重量の関係

試験体名	耐力 P (kN)	質量 M (kg) ※石膏ボード貼り	重量 W (kN)	耐力重量比 P/W
試験体1 (細いブレース)	0.99	66.45	0.65	1.52
試験体2 (太いブレース)	1.85	66.45	0.65	2.84

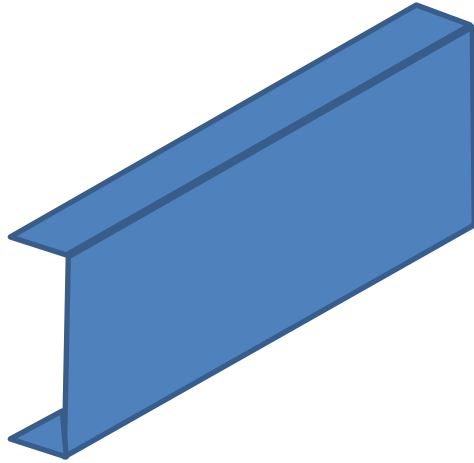


設計震度2.2Gレベルに対して、天井ふところ3mの在来型吊り天井を検討すると、天井裏空間は、ほぼブレースで埋め尽くされる計算となる
＝ 設備との取り合いが困難となる



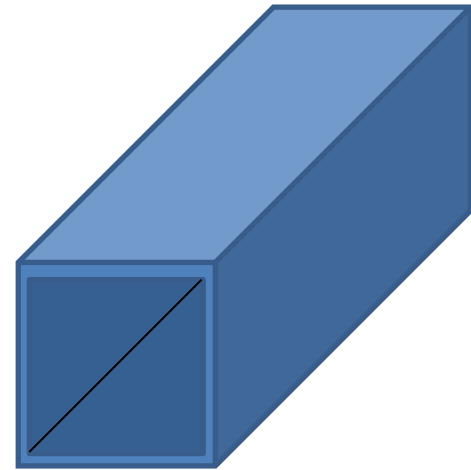
解決するための新しい天井構造を検討

在来型吊り天井の問題点は 断面性能にあり



開断面

強軸 >> 弱軸

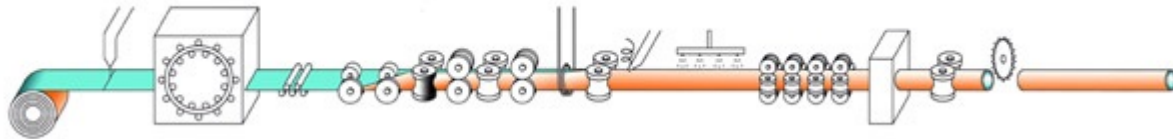


閉断面

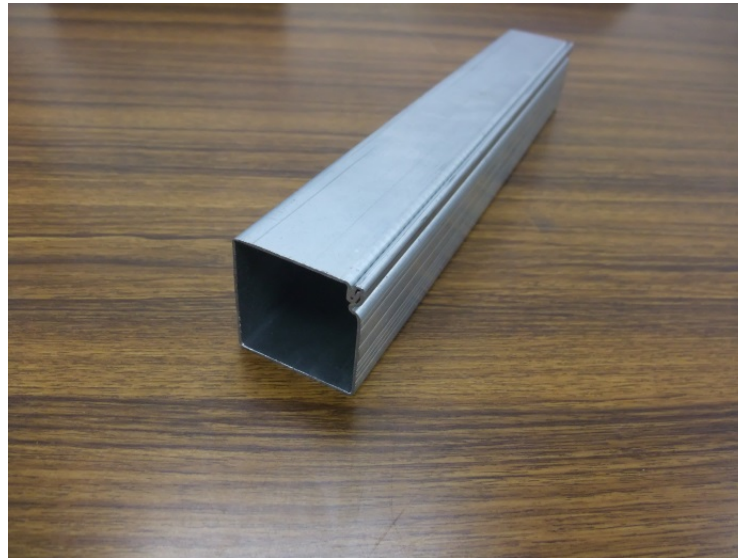
強軸 ≒ 弱軸
(正方形の場合)

圧縮で抵抗させる部材は閉断面が圧倒的に有利

軽量角形鋼管に注目



ロールフォーミング加工
(冷間圧延連続成形)



穴あけ等の
先行加工が可能

コーナーかしめ(特許技術・(株)佐藤型钢製作所)

使用材料

溶融亜鉛めっき鋼板 (JIS G3302)



鋼帯(コイル)

亜鉛めっき鋼板 の記号	降伏点, 耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)
SGCC	205以上 ※参考値	270以上 ※参考値	—
SGC400	295以上	400以上	18以上

※今回の実験ではSGC400材を使用

素材引張試験

鋼材はJIS G3302に適合する溶融亜鉛めっき鋼板(SGCC-Z12)

コイル寸法 (mm×mm×mm)	質量 (kg)	化学成分(%)				
		C ×10 ⁻³	Si ×10 ⁻²	Mn ×10 ⁻²	P ×10 ⁻³	S ×10 ⁻³
1.2×1219×844	9670	59	2.5	19	10	8

試験体名	試験体の製作方法
引張試験体1	成形前のコイルより切り出して製作した試験体
引張試験体2	冷間加工成形後の部材のフラット面より切り出して製作した試験体
引張試験体3	冷間加工成形後の部材のビード面より切り出して製作した試験体

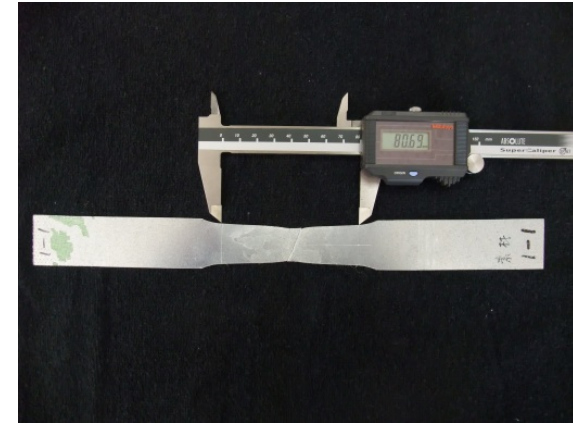
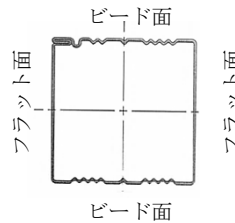
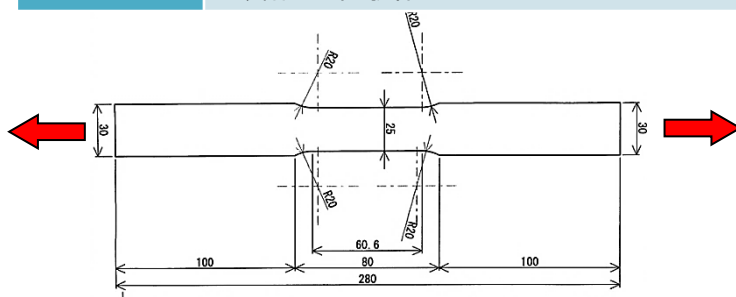


写真3 引張試験体1 破断状況



引張 試験体	降伏応力度	引張強さ	ヤング係数	ポアソン比	破断伸び
	σ_y	σ_{max}	E	ν	δ
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²		%
試験体1	284.9	371.9	1.69×10^5	0.316	34.00
試験体2	343.4	397.2	1.82×10^5	0.322	32.81
試験体3	384.7	413.7	1.75×10^5	0.309	26.63

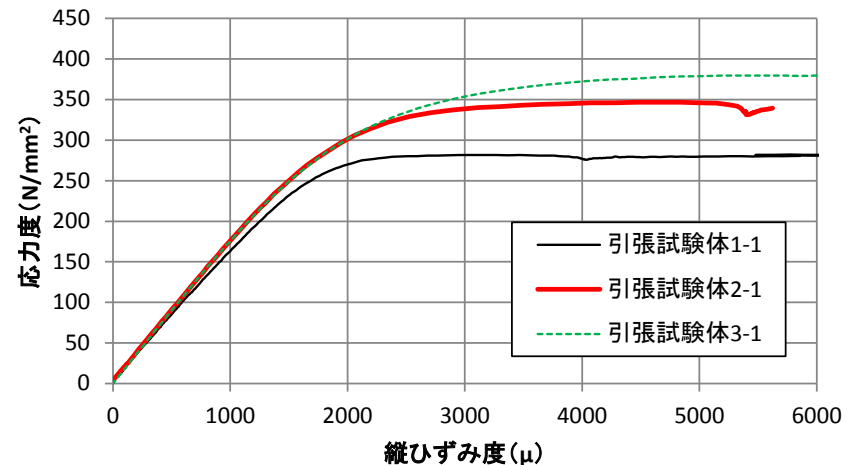
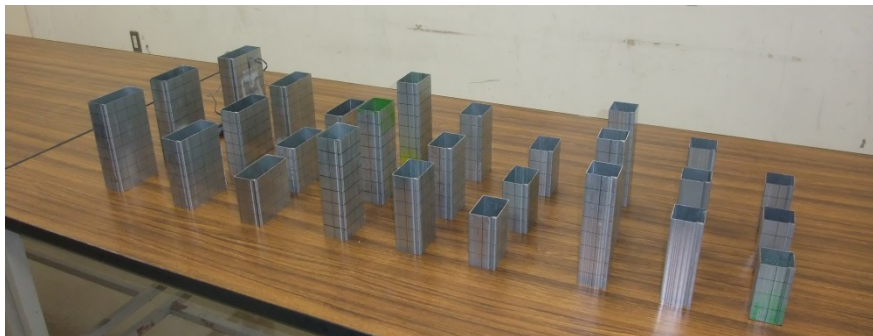


図3 応力度－ひずみ度関係

軽量角形鋼管の圧縮特性

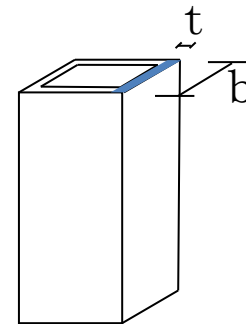


圧縮試験体

(27種類: 板厚3種, 形状3種, 長さ3種)



終局状況



幅厚比 = t/b

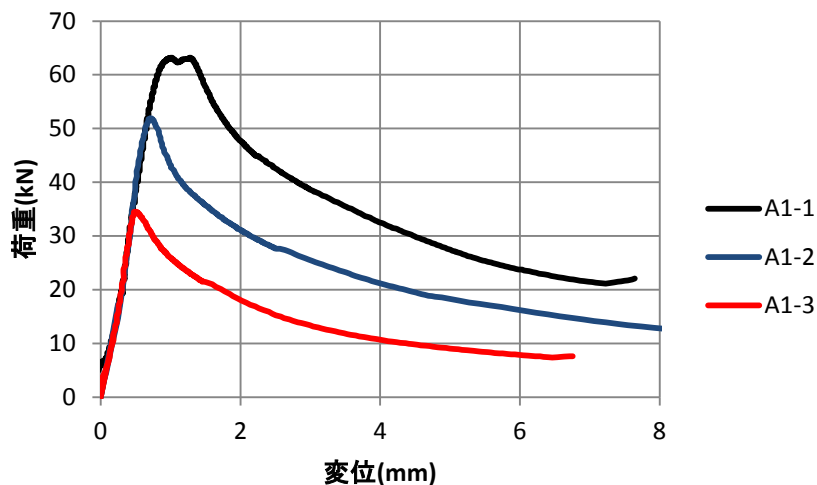


図4 荷重—変位関係

(かしめ部は座屈時の大変形でもはずれない)

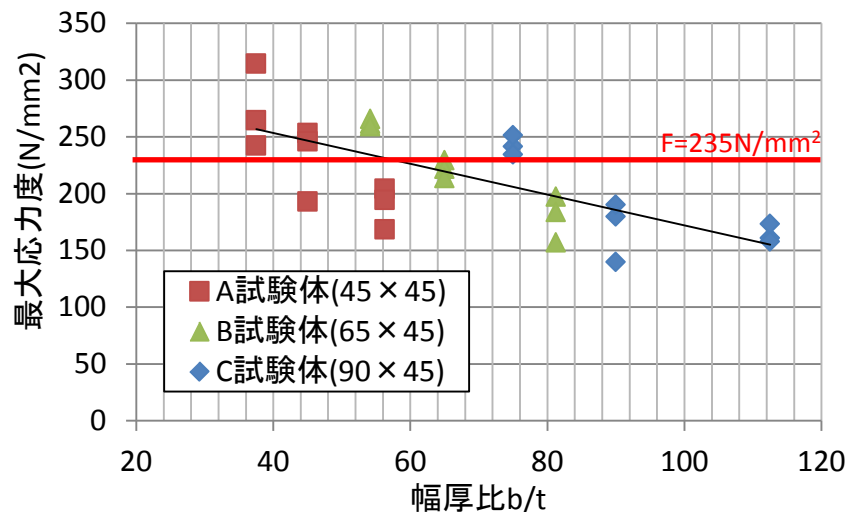


図5 最大応力度—幅厚比の関係

提案する耐震天井構造の概要

開断面(チャンネル材)から閉断面(角形鋼管)へ

コーナ一加締め技術による
軽量角形鋼管を使用

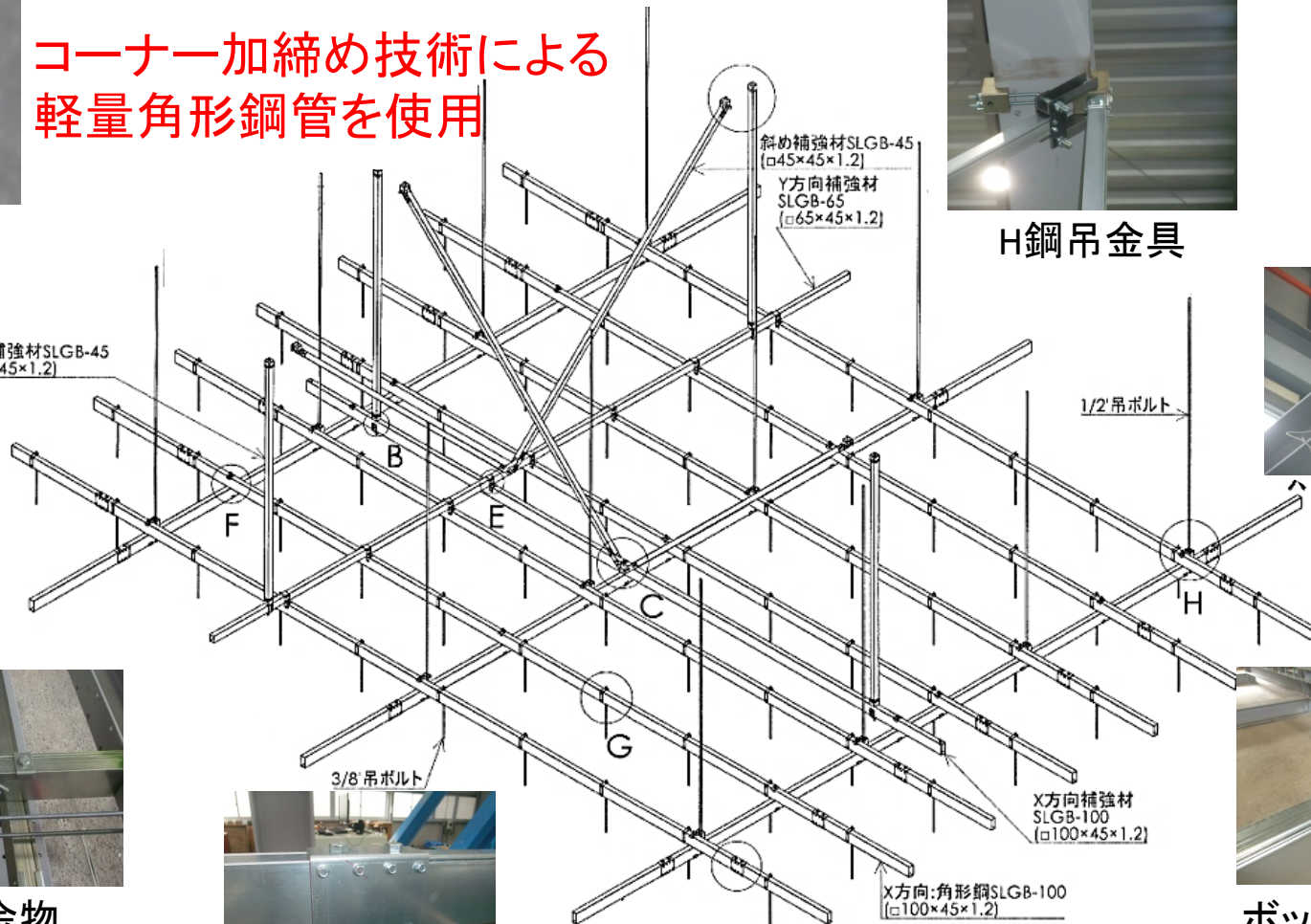


H鋼吊金具

鉛直補強材 SLGB-45
(□45×45×1.2)



軽量角形鋼管



鉛直補強材



接合金物



継手金物



ボックスハンガー

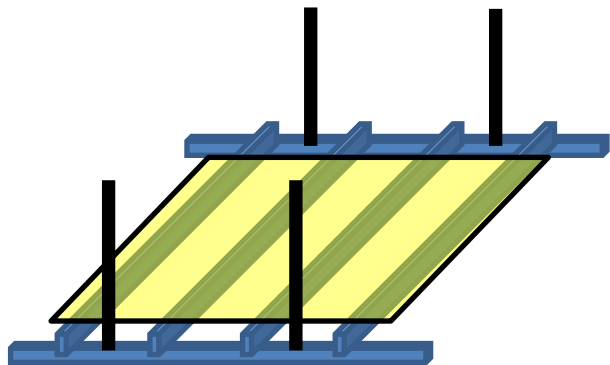
吊りボルトの基本ピッチの検討



試験体全景



総積載荷重3トン載荷時 (3260N/m²)



鉛直載荷試験

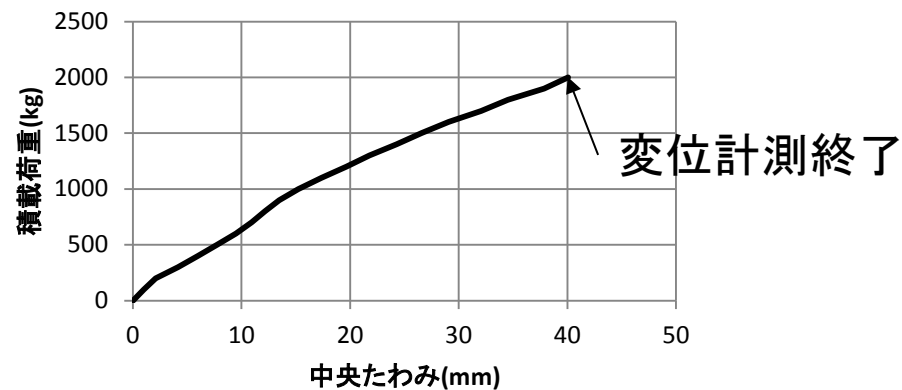
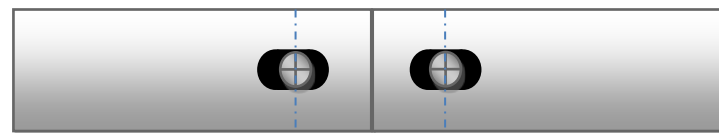
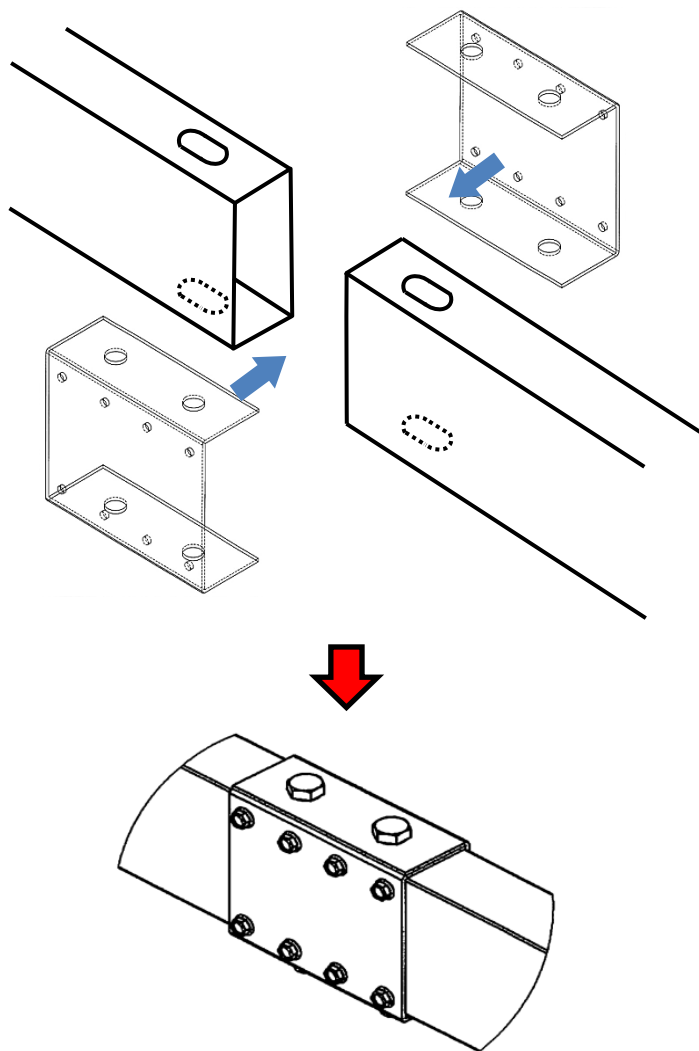
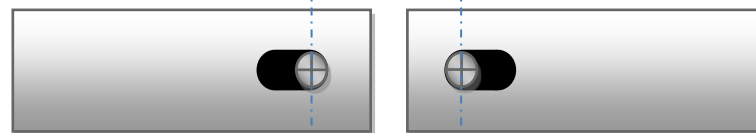


図6 積載荷重-中央たわみ関係

継手金物の検討



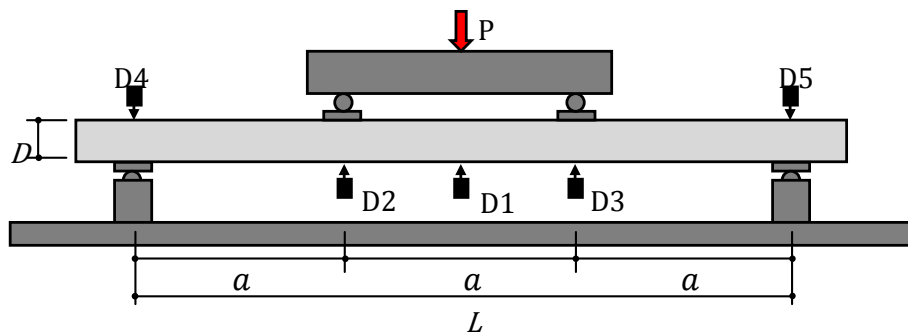
試験体A(隙間なし)



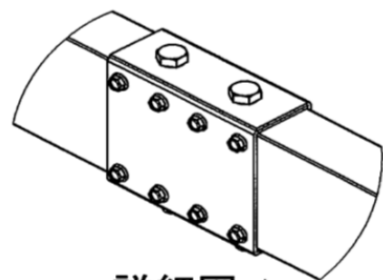
13mm

試験体B(隙間あり:最大調整代)

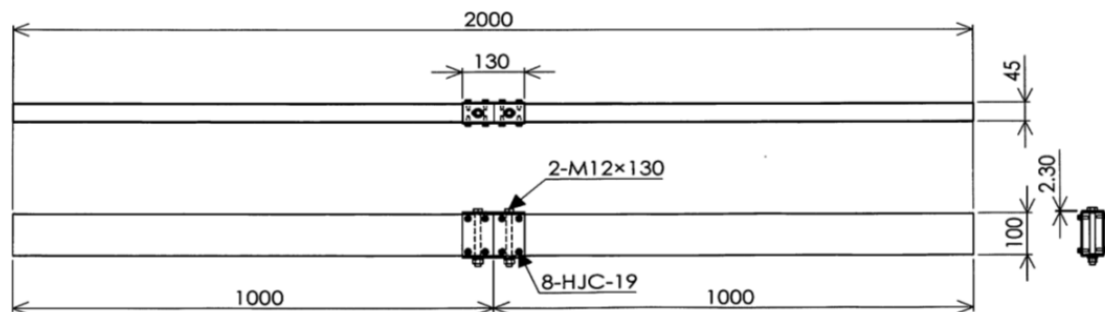
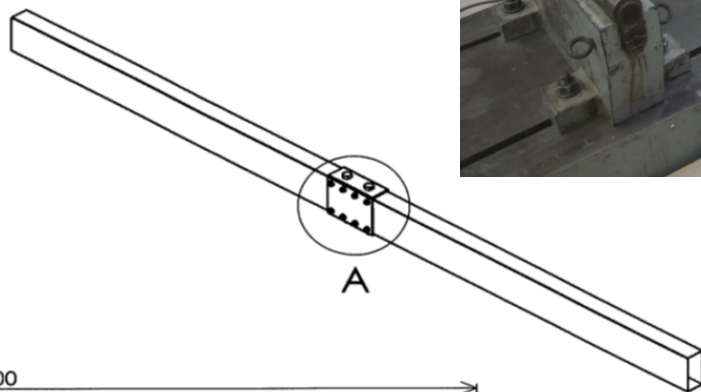
継手部の曲げ試験



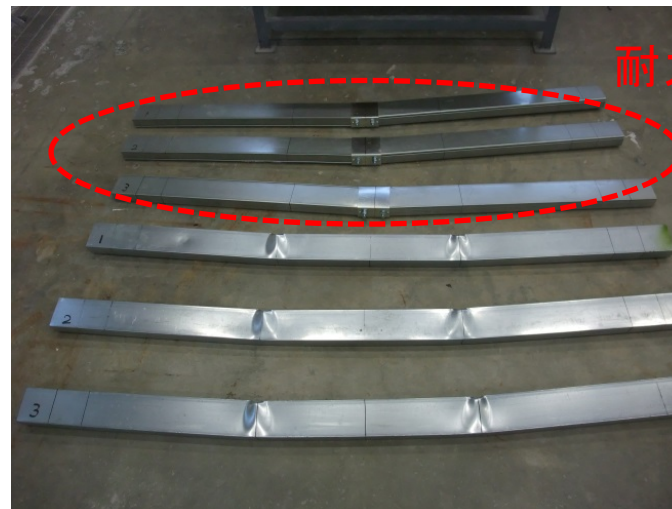
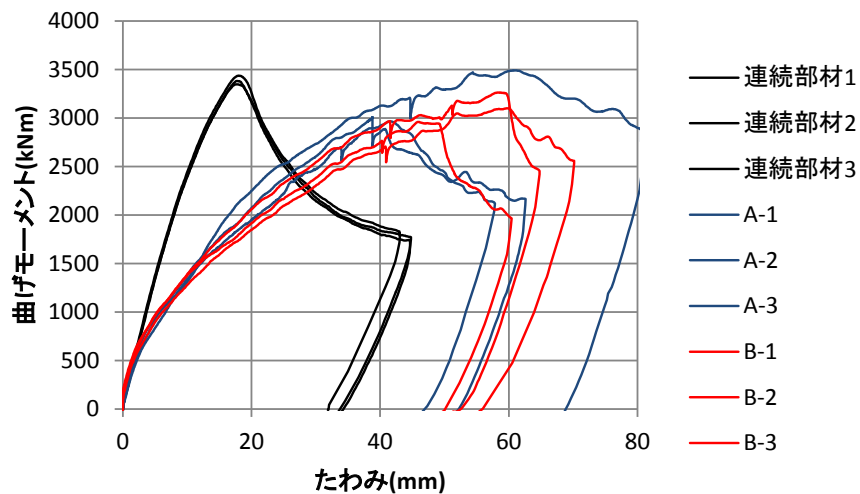
曲げ実験風景



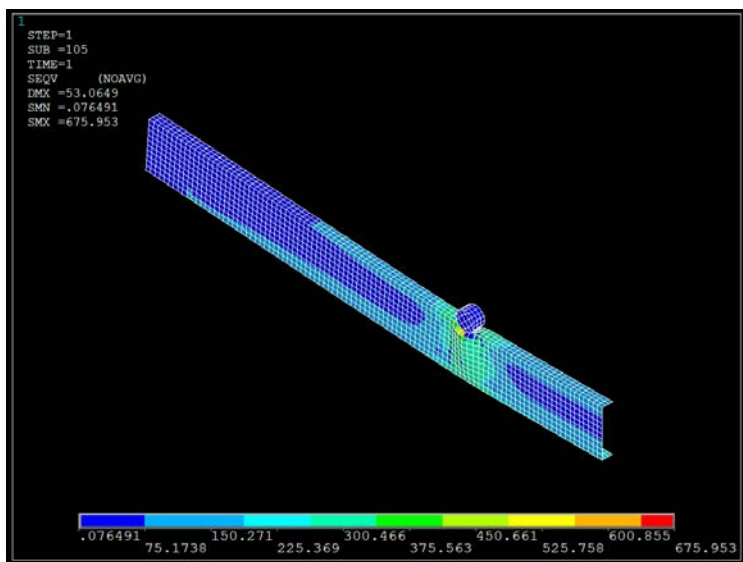
詳細図 A
スケール 1 : 3



部材縦継金物の曲げ性能



終局状況



FEM解析



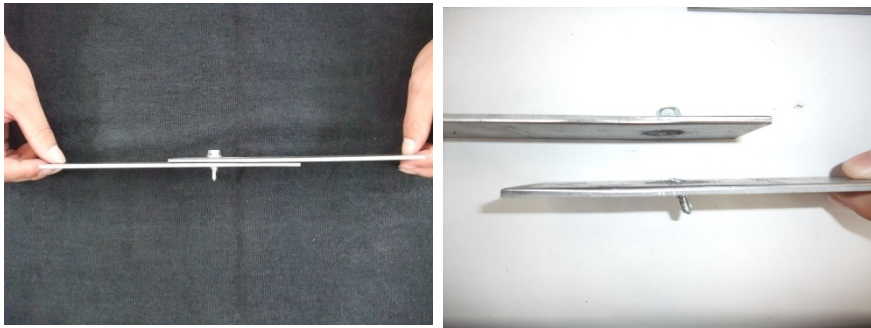
試験体A(隙間なし)



試験体B(隙間あり)

ドリルねじの一面せん断試験

ねじ1本試験体



引張試験体

破断状況

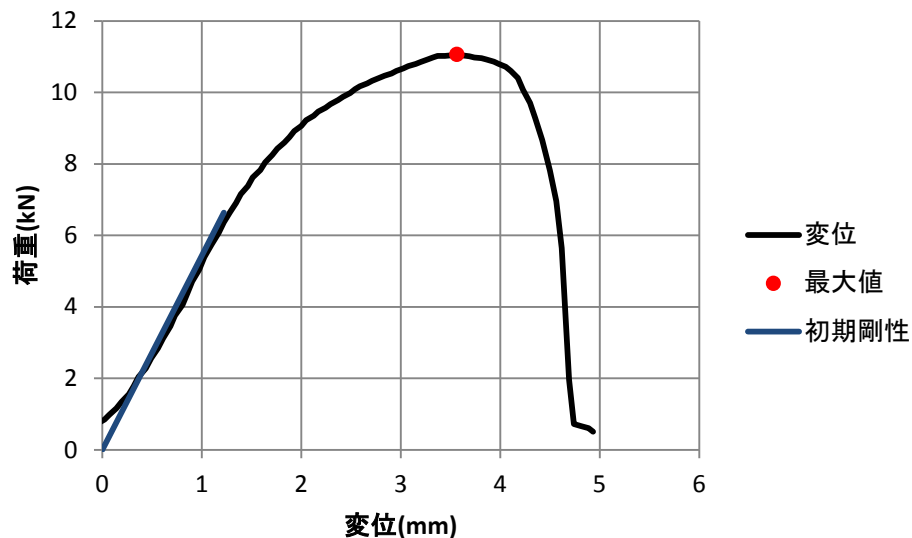
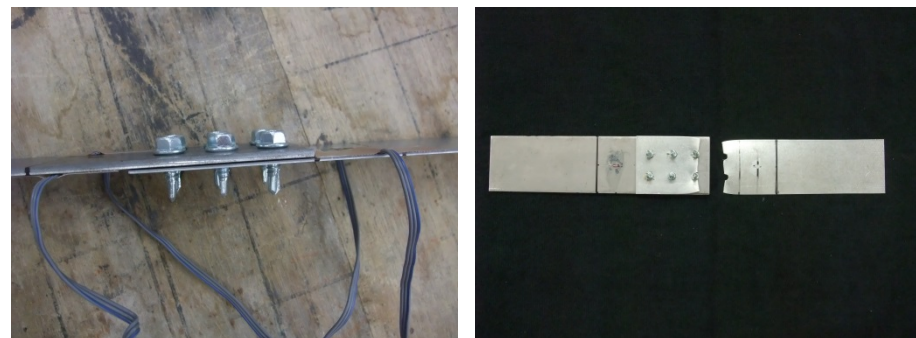


図7 荷重—変位関係

ねじ6本試験体



引張試験体

破断状況

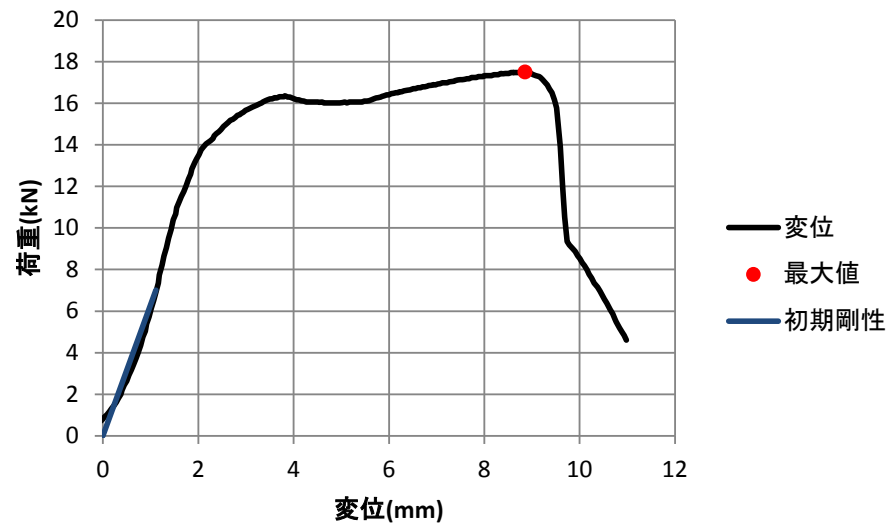


図8 荷重—変位関係

接合部引張試験

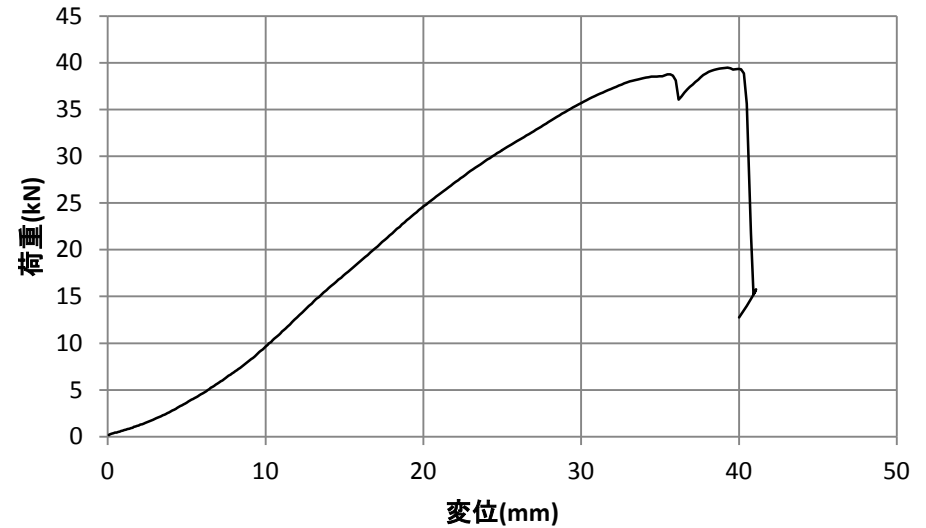
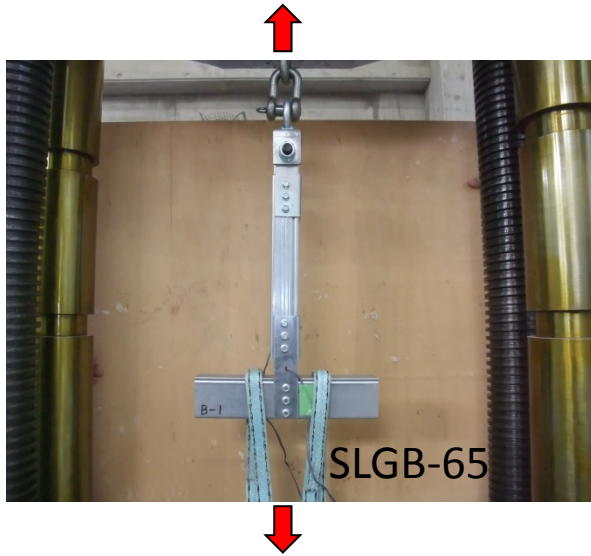


図9 荷重－変位関係



終局状況

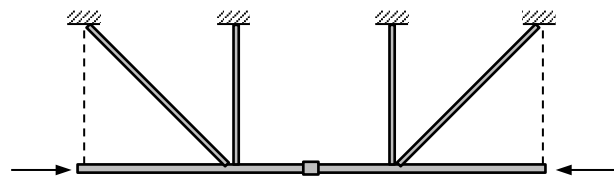
取付金具	ドリルねじ	水平材	鉛直材	最大耐力(kN) (3体平均)
K100	HJC-19	SLGB-100	SLGB-45	40.4
K65	HJC-19	SLGB-65	SLGB-45	41.4

ドリルねじの種類, 本数の検討

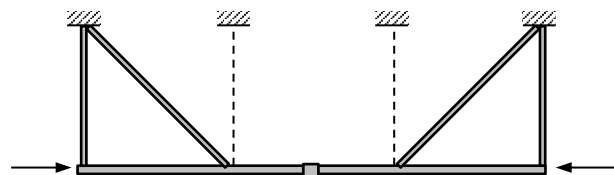
今回の実験シリーズ

検証項目

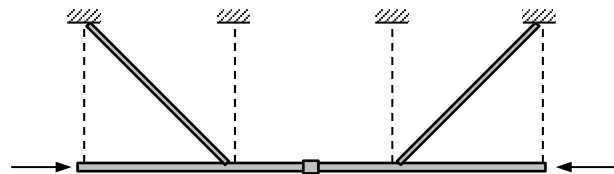
- 繰り返し载荷に対する耐力特性
- 鉛直補強材の効果
- ブレース配置に対する耐力特性



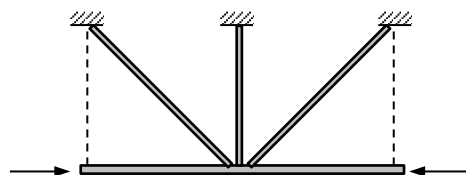
モデル1



モデル2



モデル3

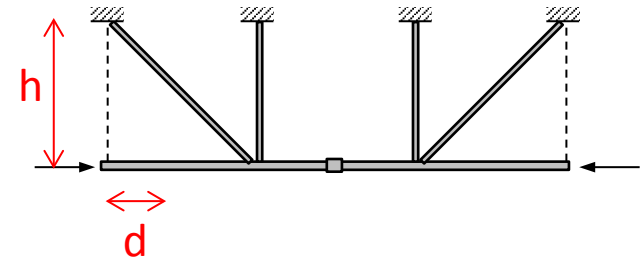


モデル4

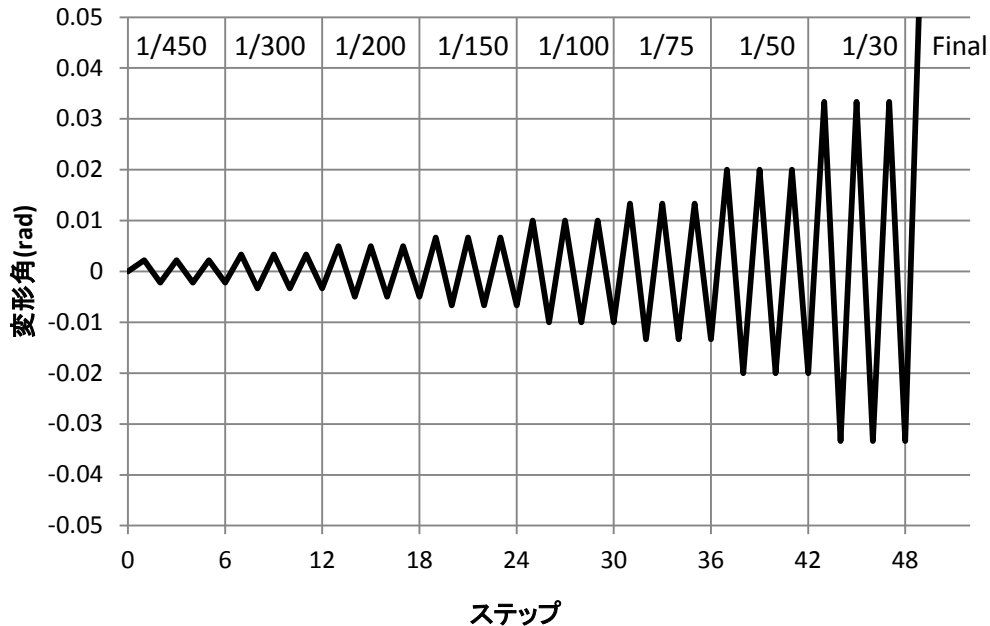
繰り返し载荷と耐力の評価方法

目標変形角に対する正負交番繰り返し(変位制御)
1つの変形角レベルに対し3サイクルの繰り返しを行う

$$\text{変形角} = \text{水平変位}d / \text{天井ふところ高さ}h$$

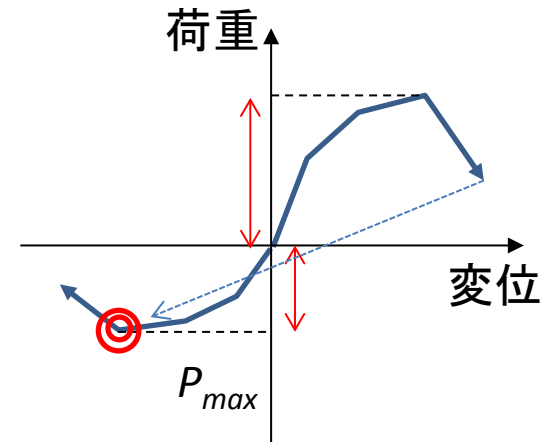


最大耐力は、押し側と引き側の
最大荷重のうち、最小のものとする



正負交番繰り返し

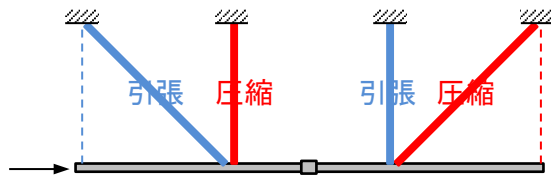
(1変形角レベル3サイクル繰り返し)



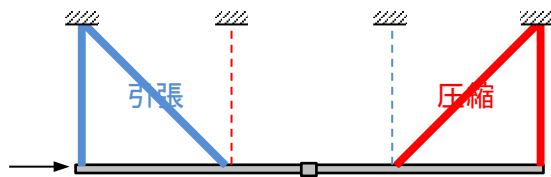
最大耐力の評価

鉛直補強材の効果

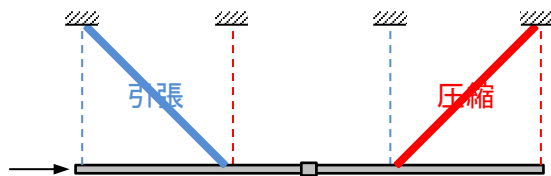
逆ハ試験体



モデル1



モデル2



モデル3

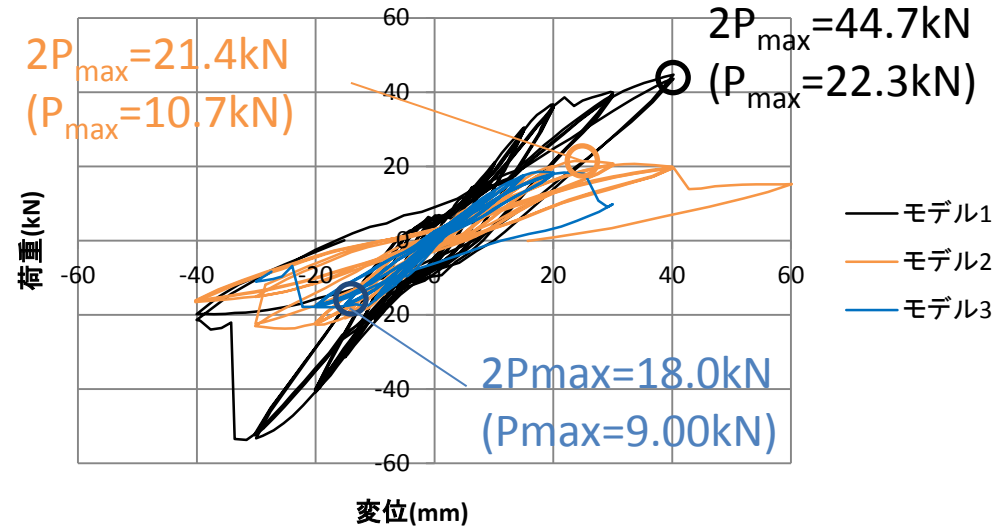


図10 各試験体(2構面分)の荷重-変位関係

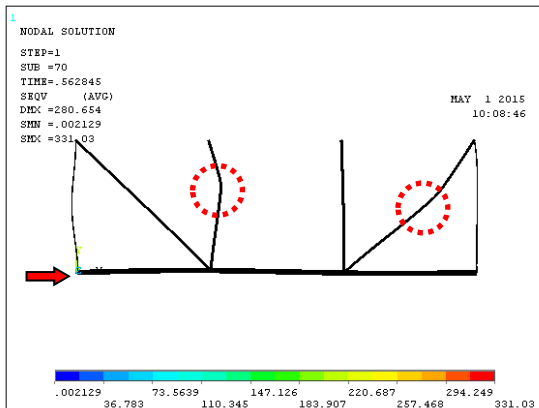
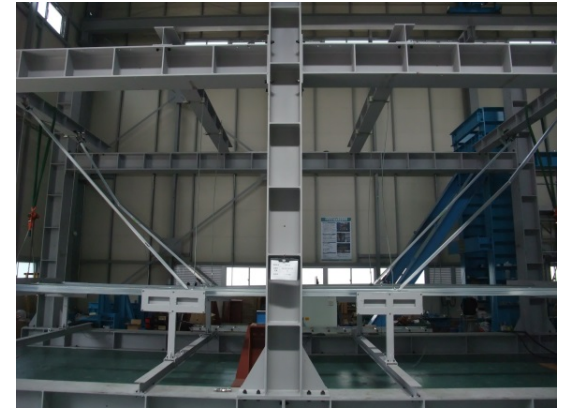
表3 ブレース1対あたりの耐力

	最大耐力 約2.1倍 (kN)	最大荷重時変位 (mm)
モデル1	22.3	40.2
モデル2	10.7	23.5
モデル3	9.00	16.6

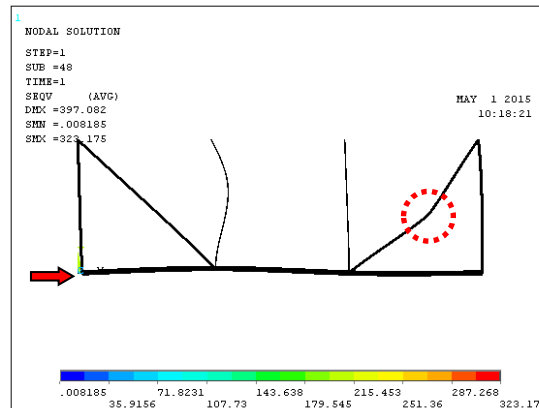
約2.5倍

60mm以下

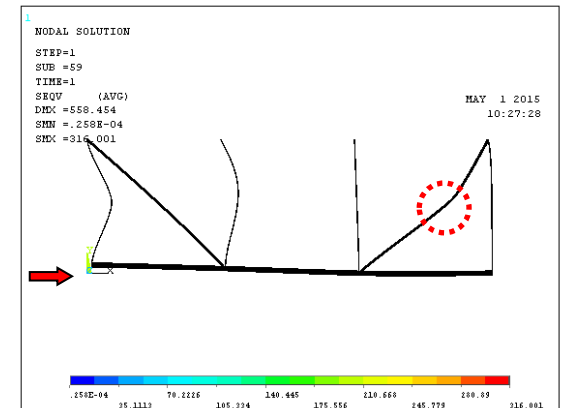
各モデルの終局状況



モデル1



モデル2



モデル3

※汎用FEM解析プログラム(ANSYS)による解析値(幾何学的非線形考慮)

逆ハとV字の比較

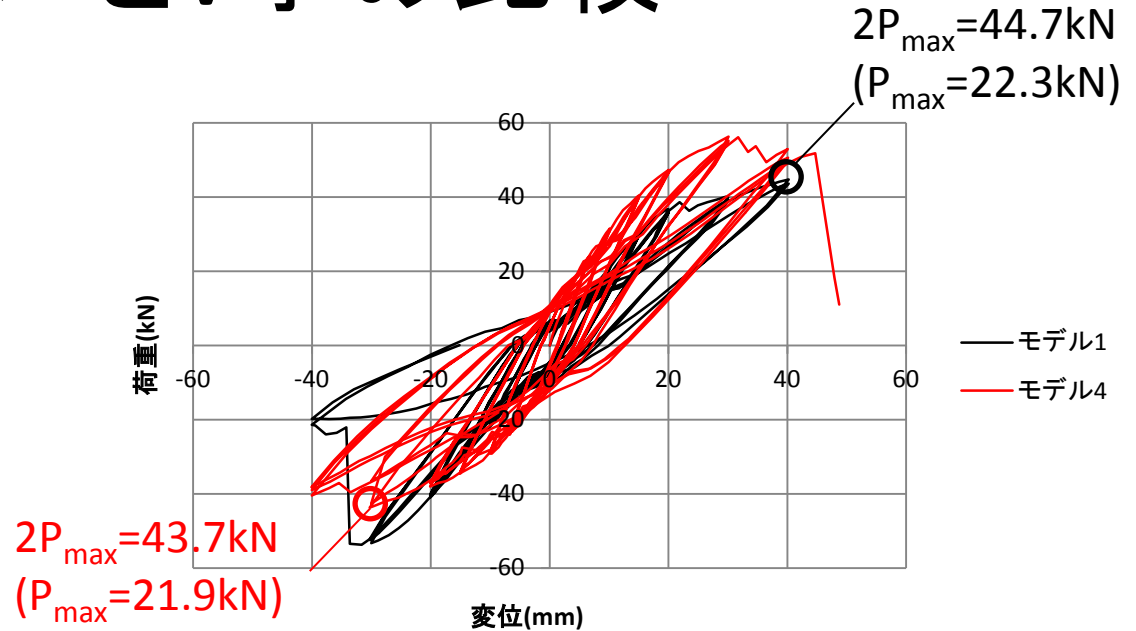
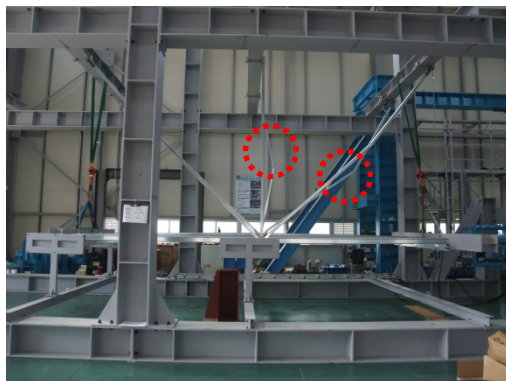
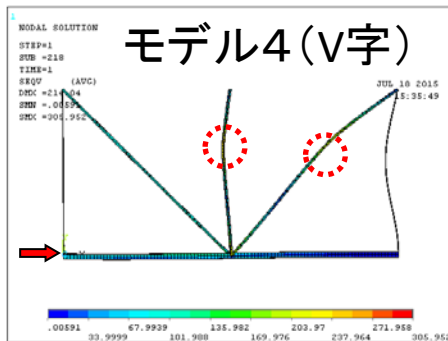
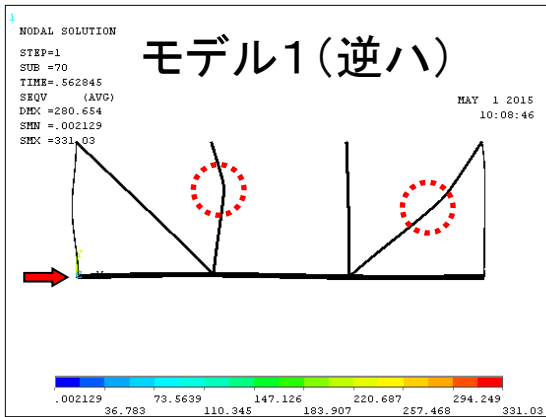
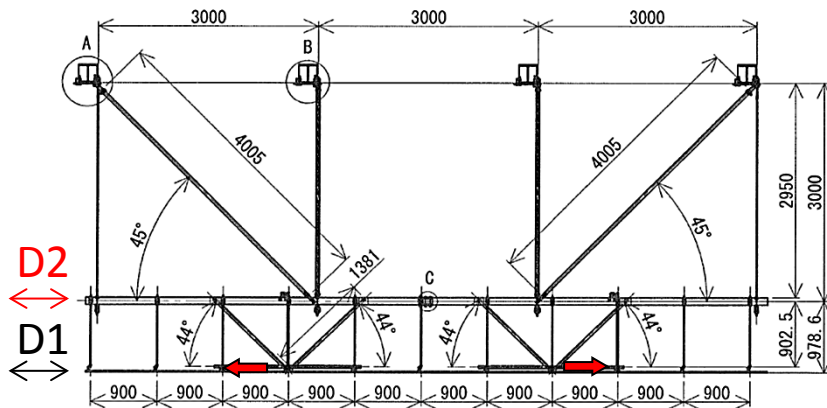


図11 各試験体(2構面分)の荷重-変位関係

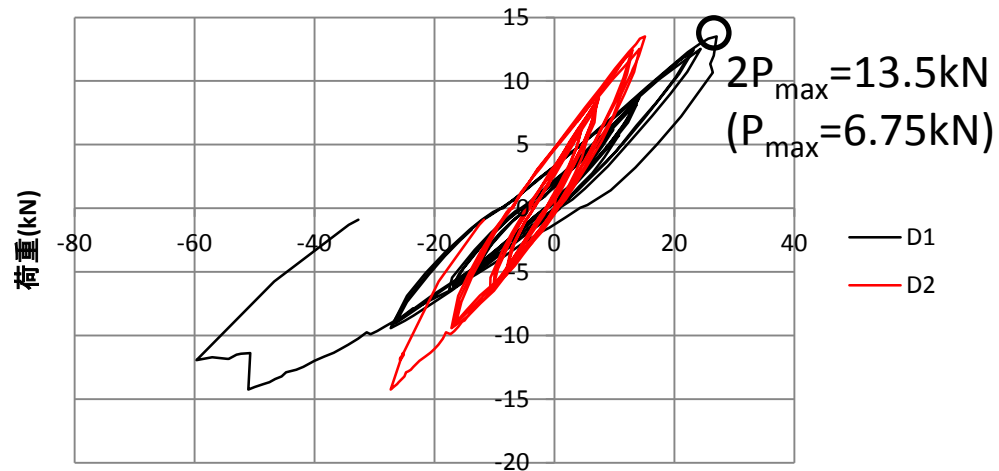
表4 ブレース1対あたりの耐力

	最大耐力 (kN)	最大荷重時変位 (mm)
モデル1	22.3	40.2
モデル4	21.9	30.3

在来天井取付け試験体



試験体



絶対変位(mm)



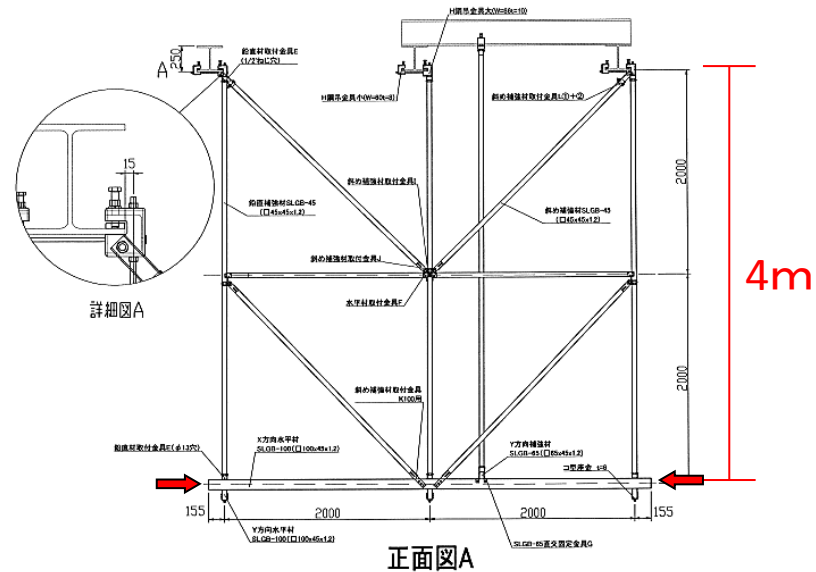
試験体(+在来天井モデル)



終局状況
(接合部の降伏に伴う部材の座屈)

2段ブレース仕様

天井ふところ3mを超えると2段ブレースとする



試験体全景

2段ブレースの耐力特性と終局状況

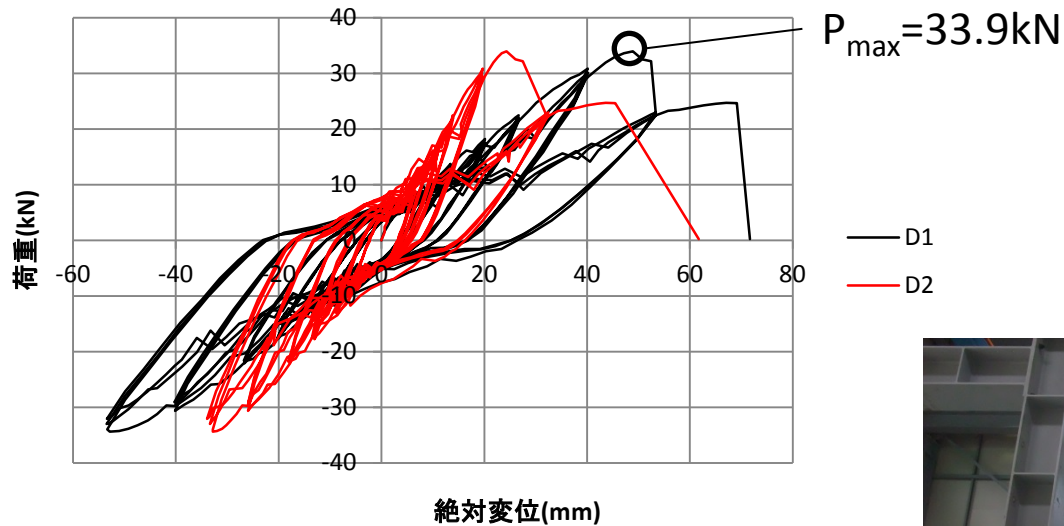


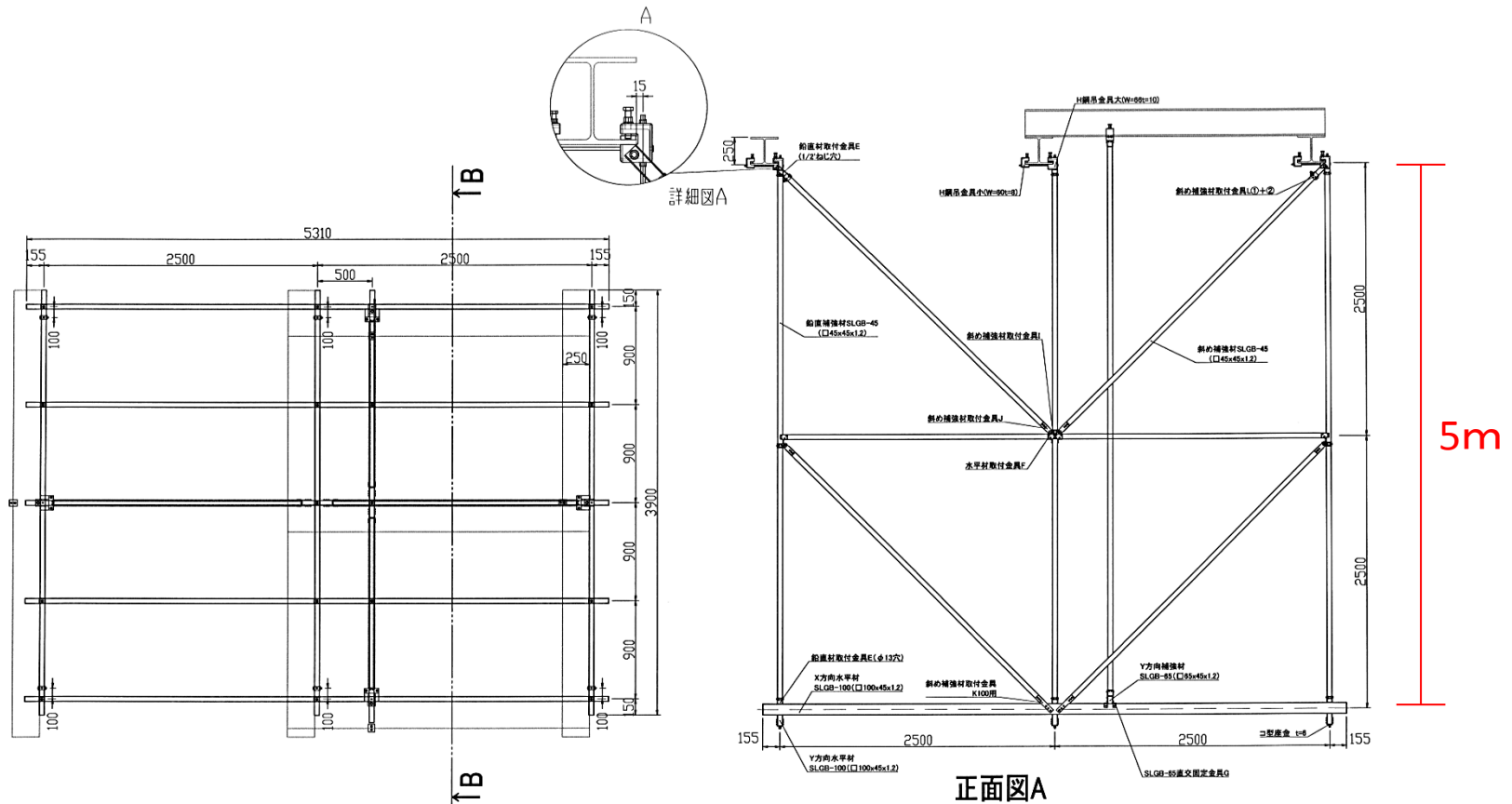
図12 2段ブレース試験体の荷重-変位関係

上段ブレース材の座屈



終局状況

公開実験の試験体



天井ふところ5m

実験のポイント

1. 2段ブレースの効果を確認(目標最大耐力20kN以上)
2. 終局時に鋼管のかしめ部のはずれがないことを確認

2段ブレース(5m)の耐力特性と終局状況

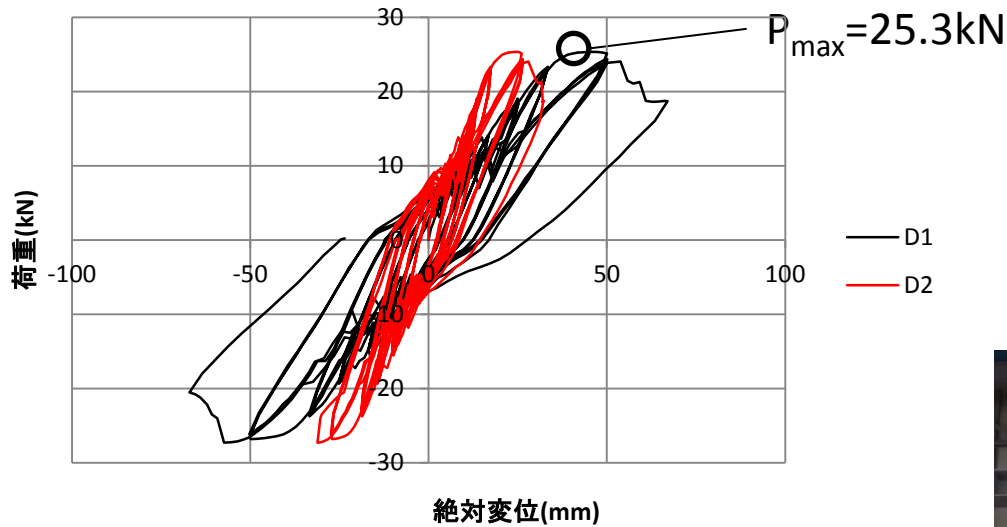


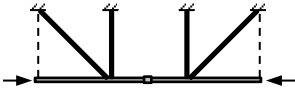

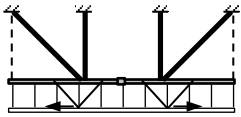
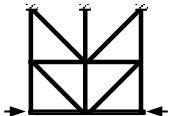
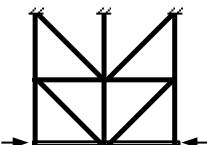
図12 2段ブレース試験体の荷重-変位関係



終局状況

耐力特性一覽

表5 ブレース1対あたりの耐力

天井ふところ	架構タイプ	概形	最大耐力※ (kN)	最大荷重時 変位(mm)
ふところ3m	逆ハ		22.3	40.2
ふところ3m	V字		21.9	30.3
ふところ3m +在来1m	逆ハ +在来V字		6.75	27.1
ふところ4m	2段V字		33.9	48.9
ふところ5m	2段V字		25.3	45.4

※ブレース1対に対する最大耐力