

S7 CLTを用いた木構造の設計法に関する検討

CLTパネル構法の構造性能と 設計法に関する調査

一般社団法人 木を活かす建築推進協議会

株式会社 日本システム設計

共同研究 独立行政法人 建築研究所

調査の背景と目的

背景1 平成24年度までにCLT構造関係の各種実験が実施され、CLT構造の性能に関する一定の知見が得られている。

- 木造長期優良住宅の総合的検証事業 [(株)日本システム設計, H23,24年度]
CLT構造建築物に関する実験・解析
 - ①CLT壁構面せん断実験
 - ②CLT造3階建て実大試験体の振動台実験
 - ③CLT造3階建て実大試験体の静的加力実験
 - ④大型CLTパネル構面水平加力実験



- 木造住宅・建築物の整備促進に関する技術基盤強化を行う事業 [銘建工業(株), H22年度]
CLTパネル・接合部の構造性能に関する実験
- CLTパネルを用いた中高層建築物の構造計画と接合部性能の検証事業 [木構造振興(株), H23,24年度]
接合部の構造性能に関する実験・解析
- 木材の利用促進に資する中層・大規模の設計・評価法の開発 [(独)建築研究所, H23年度～]
材料性能・構造性能に関する実験・解析

調査の背景と目的

背景2 国内のCLT生産能力が拡充されつつある。

- 最大サイズ 2.7×6.0m [銘建工業(株)]

背景3 CLTの日本農林規格案(以下「JAS案」)が公布された。

- CLT構造の技術基準作成・法制化が進行している。

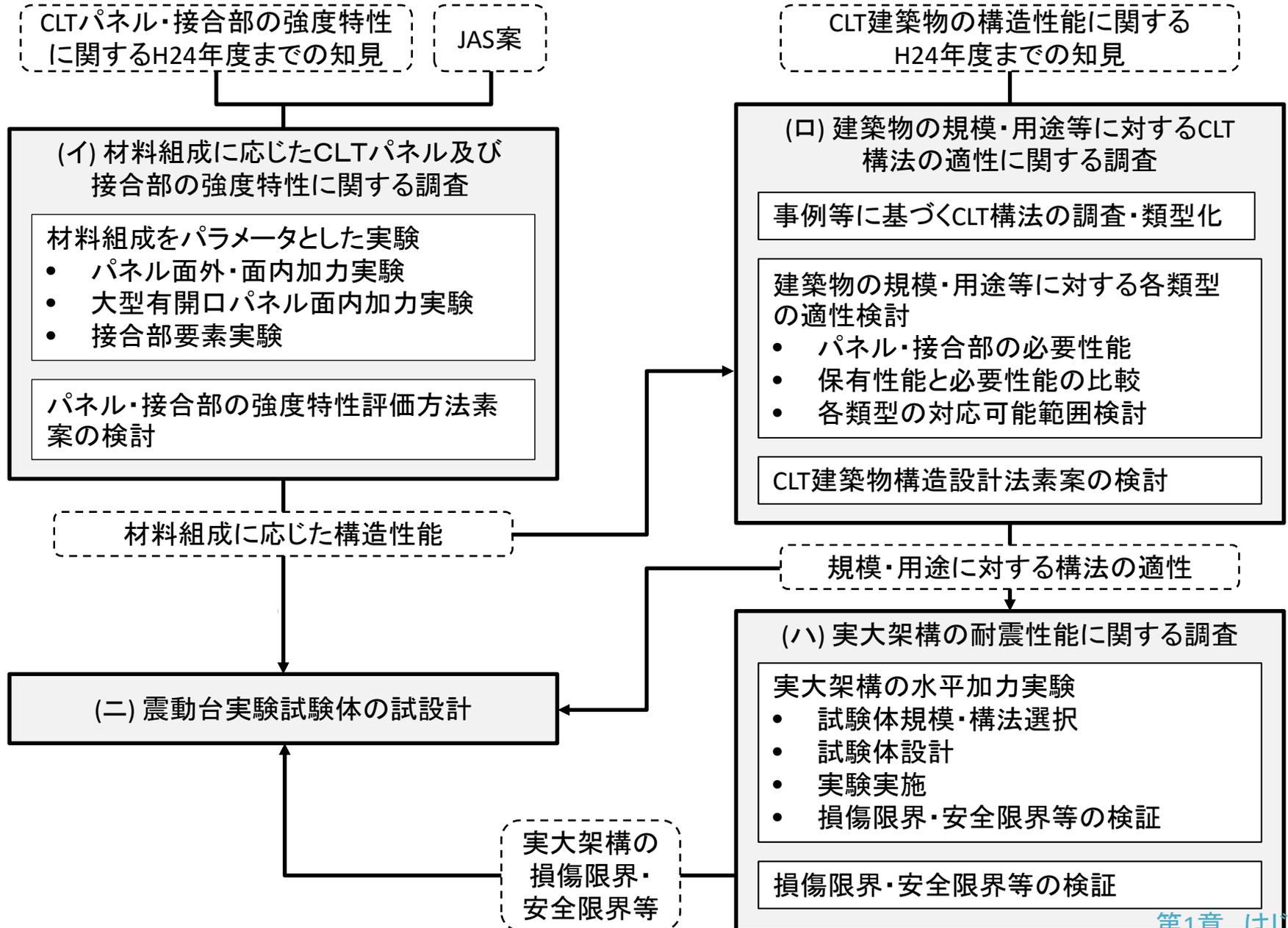
目的 以上の背景及び全体計画におけるH25年度調査の位置付けを考慮し、CLTを用いた木構造の設計法構築に資することを目的として、以下の課題について実験的及び解析的検討を行う。

- (イ) 材料組成に応じたCLTパネル及び接合部の構造性能に関する調査
- (ロ) 建築物の規模・用途等に対するCLT構法の適性に関する調査
- (ハ) 実大架構の耐震性能に関する調査
- (ニ) 震動台実験試験体の試設計

全体計画

H25年度	CLTパネルの必要性能・品質の評価法検討 構造要素・CLTパネルの設計法素案検討
H26年度	崩壊系等検証実験 構造設計法原案の検討・提案
H27年度	設計法検証実験 構造設計法の改良・とりまとめ

H25年度調査のフロー



H25年度報告書と課題の関係

第1章 はじめに

第2章 建築物の規模・用途等に対するCLT構法の適性に関する調査 →(ロ)

第3章 材料組成に応じたCLTパネル及び接合部の構造性能に関する調査 →(イ)

第4章 L形・T形パネル水平加力実験 →(イ), (ハ)

第5章 大型有開口パネル実大構面水平加力実験 →(イ), (ハ)

第6章 大型有開口パネルの構造特性に関する検討 →(イ), (ハ)

第7章 震動台実験試験体の試設計 →(二)

第8章 まとめ

2.1 CLT建築物構法の類型化

- 床勝ちプラットホーム構法に限定
- 大型パネルと小幅パネル

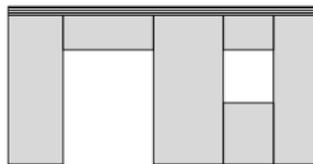


- 壁構面の構成方法バリエーション

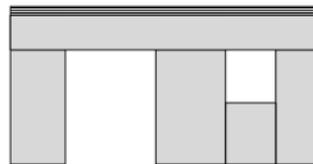
(a)
大型パネル＋
くり抜き開口



(b)
小幅パネル＋
壁間まぐさ



(c)
小幅パネル＋
通しまぐさ

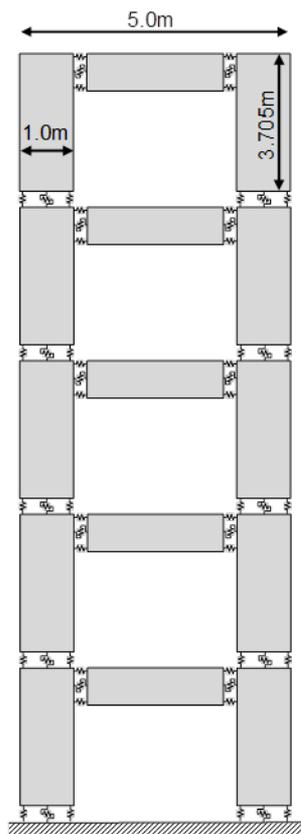


(d)
小幅パネル＋
まぐさ無し

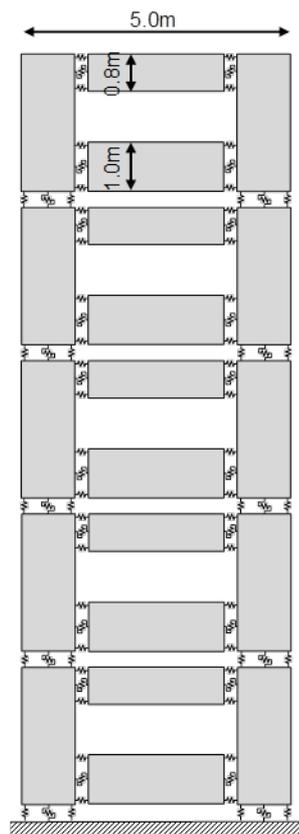


2.2.1 各構法類型の耐震性能評価

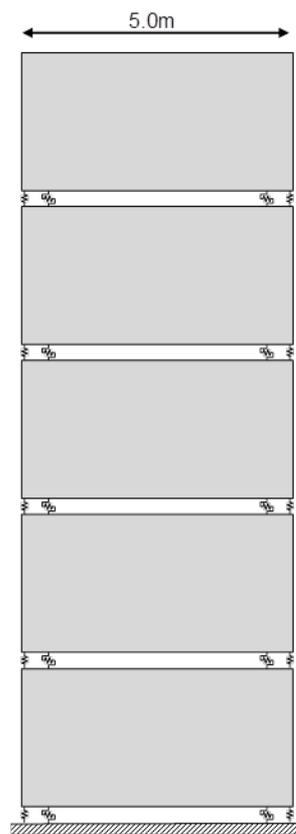
- 限界耐力計算による耐震性能評価



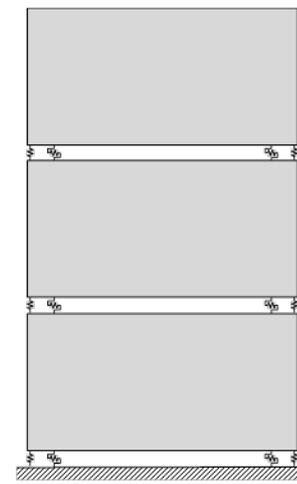
(a)
小幅パネル5層
腰壁無し



(b)
小幅パネル5層
腰壁有り



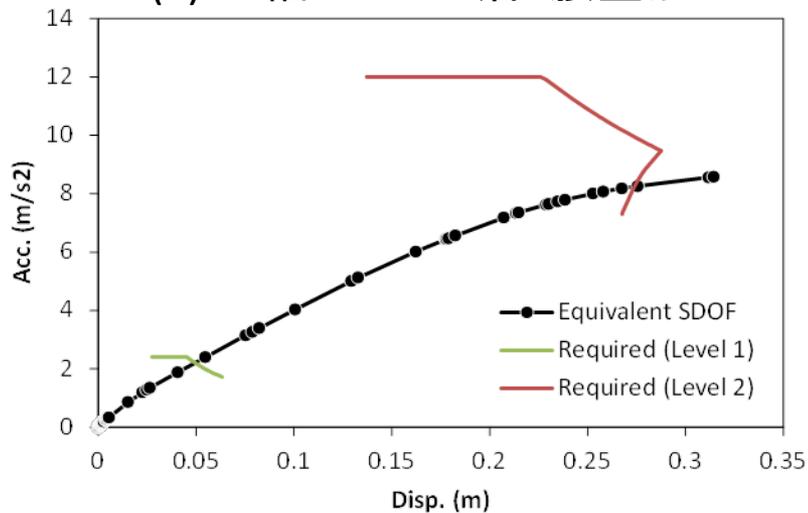
(c)
大型パネル5層



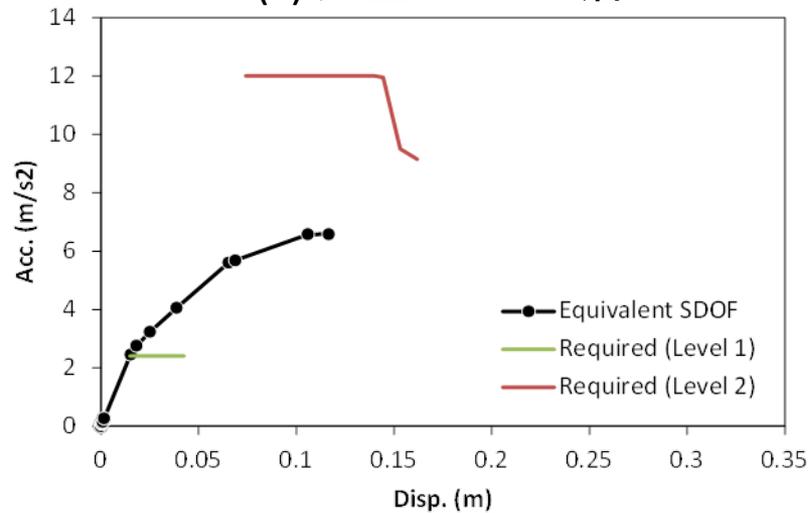
(d)
大型パネル3層

2.2.1 各構法類型の耐震性能評価

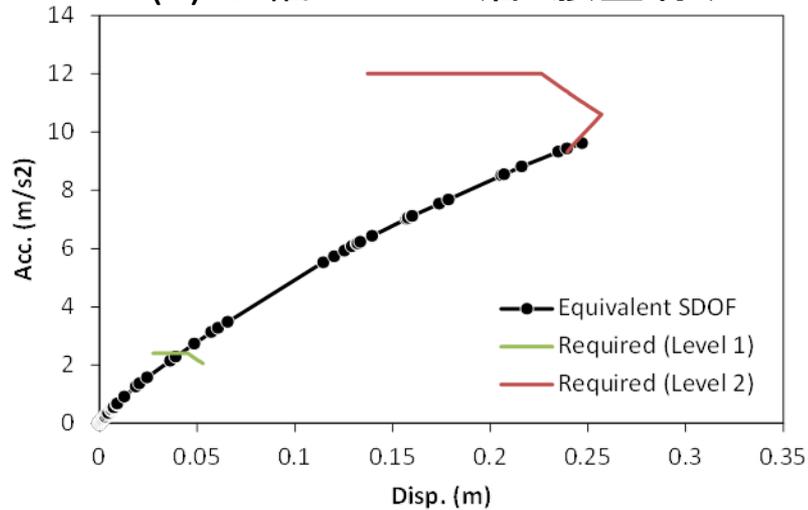
(a) 小幅パネル5層・腰壁無し



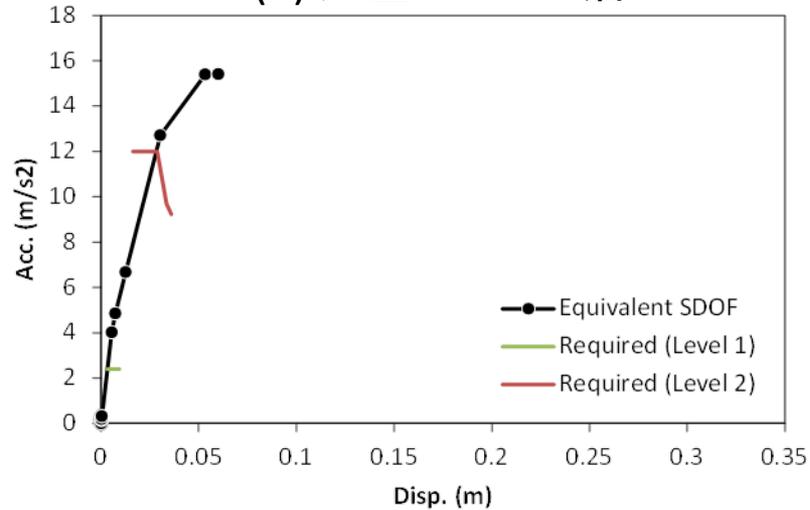
(c) 大型パネル5層



(b) 小幅パネル5層・腰壁有り



(d) 大型パネル3層



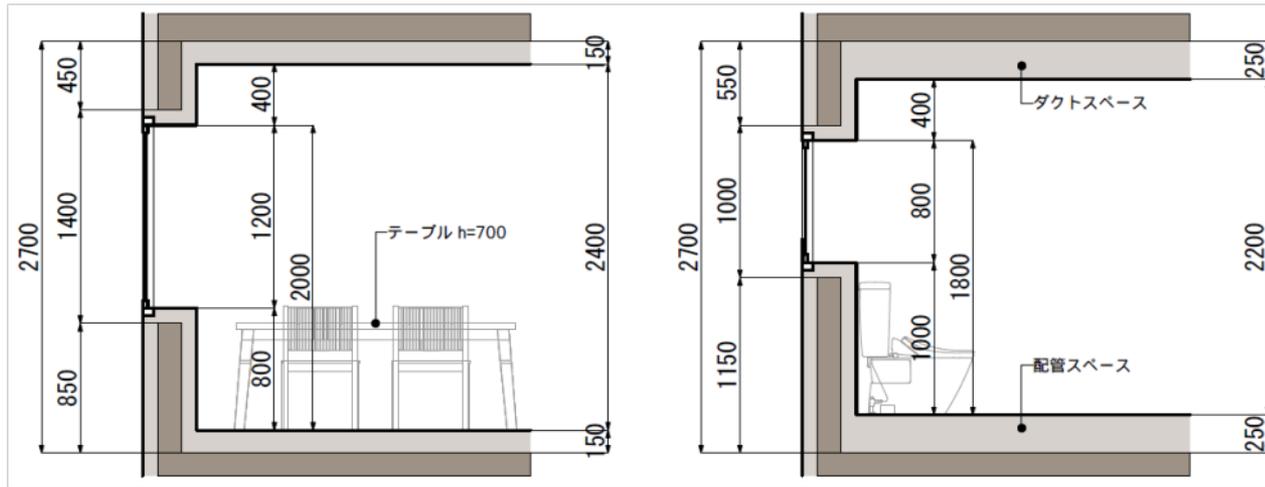
2.2.1 各構法類型の耐震性能評価

- 小幅パネルによる壁構面は中高層建築物に適し、大型パネルによる壁構面は低層建築物に適するという傾向がある。
- しかし、CLTパネル自体は大きな耐力的余裕を有している
⇒ 変形性能の高い接合部の使用 ⇒ 大型パネル構面による中層対応
- 大型パネルによる壁構面は、接合部が少ないことおよび部品点数が少ないことによる工期短縮というメリットが考えられ、その点からCLT建築物では積極的に大型パネルを採用すべき。
- 小幅パネルによる壁構面の構造性能については一定の知見があるが、大型パネル壁構面については知見が少ない。

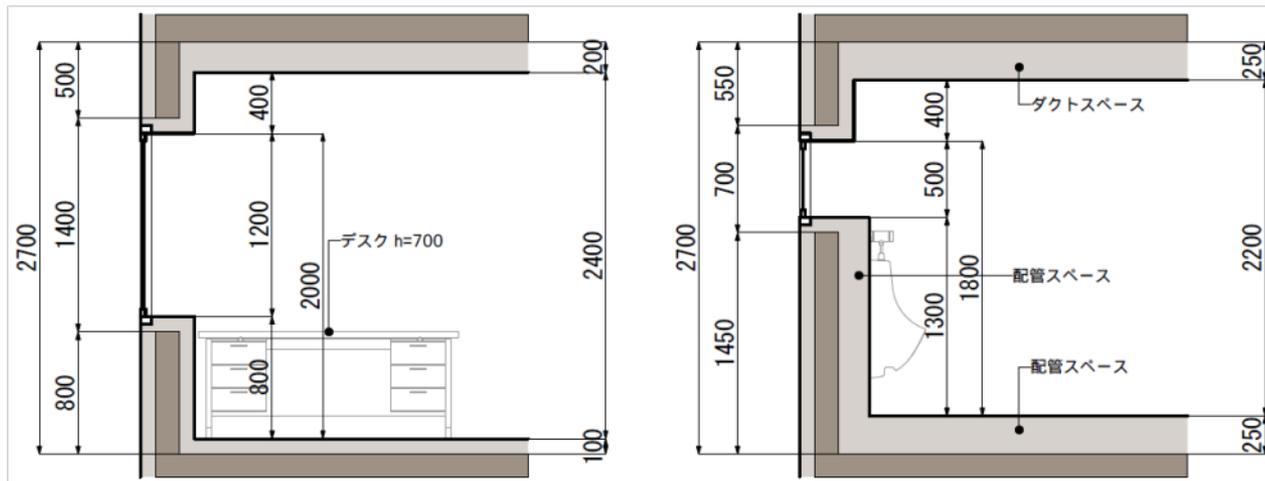


- 「有開口大型パネルを含むCLT建築物の構造設計法の構築」が必要。

2.2.2 大型パネルの開口形状



住居系用途



業務系用途

2.3 CLT構法の設計法素案の検討

(1) 設計法C：限界耐力計算による設計法

- 簡易構造モデルを用いた荷重増分解析
- 限界耐力計算による応答評価、検定

課題：簡易構造モデルの設定方法

(2) 設計法B：ルート2 (許容応力度等計算)に相当する設計法

- 簡易モデルを用いた弾性解析
- $C_0 = 0.2$ に相当する地震力に対する応力・変形算定、検定

課題：終局耐震性能が直接確認されない → 構造安全性を確保するための仕様規定

(3) 設計法A：「壁量計算＋N値計算」に相当する設計法

- 構造計算(応力・変形算定、検定)省略

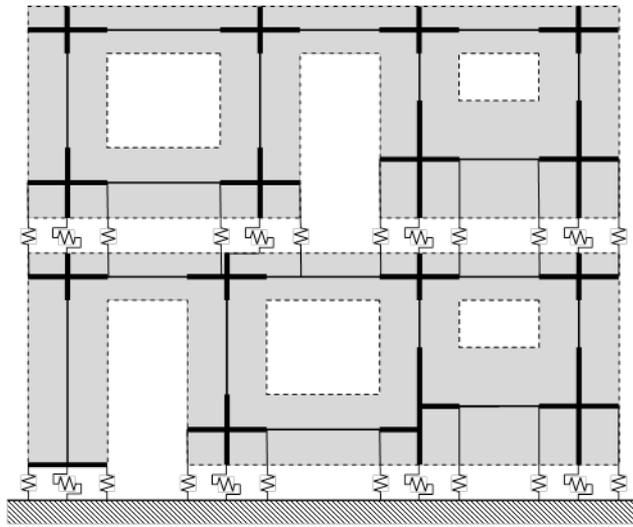
課題：構造性能評価の精度が低い → 仕様規定の強化

垂れ壁、腰壁は無視した全壁部分のみを耐力壁とみなすなどの措置

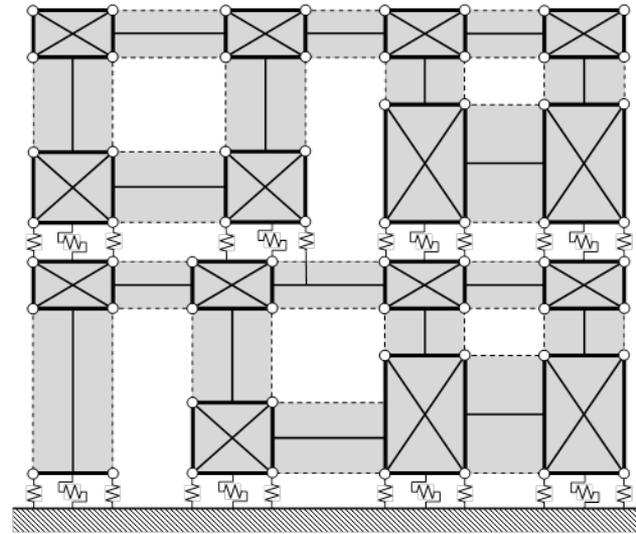
2.3 CLT構法の設計法素案の検討

設計法C：限界耐力計算による設計法

- 有開口大型パネル構面に対応する簡易構造モデルの設定



ラーメンモデル



ラーメン・せん断パネルモデル

- 有開口大型パネル等の面内水平加力実験 [第4, 5章]
- 有開口大型パネルの面内水平加力実験結果とFEM解析の適合性 [第6章]
- FEM解析と簡易モデル解析の適合性 [第6章]

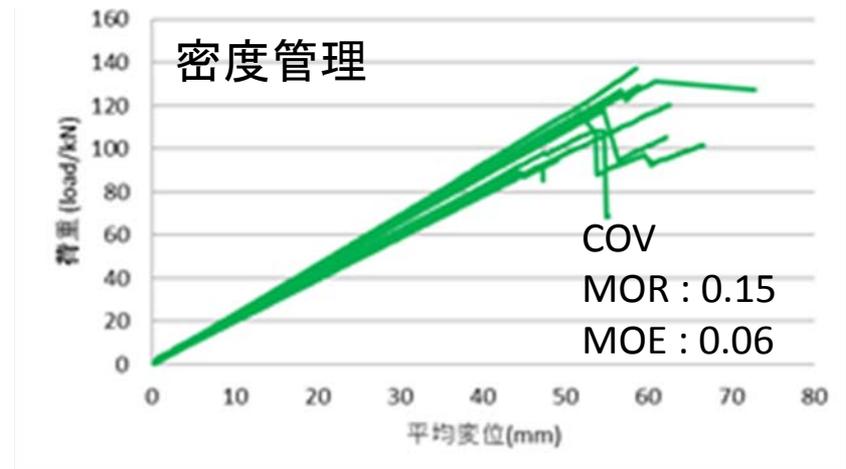
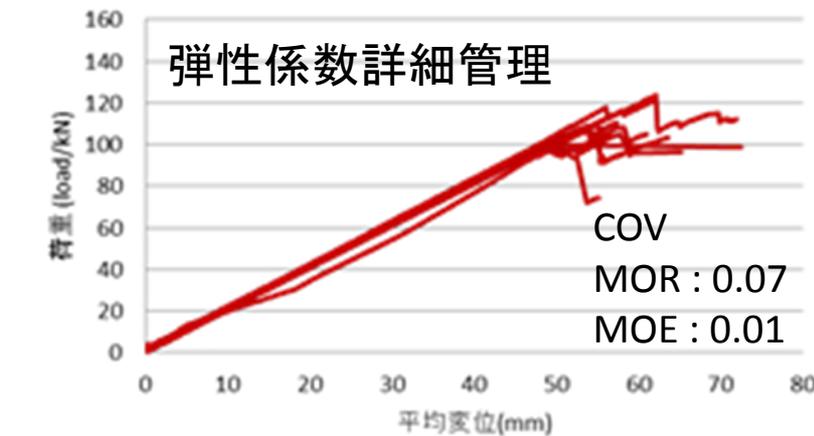
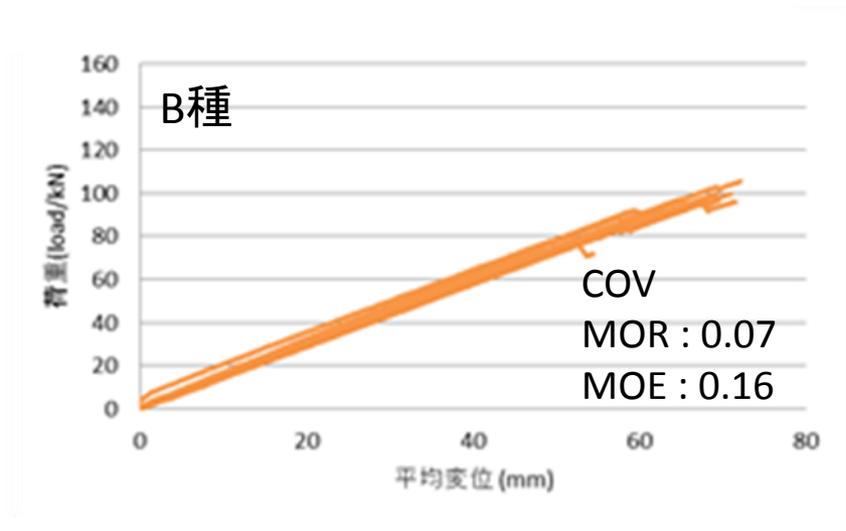
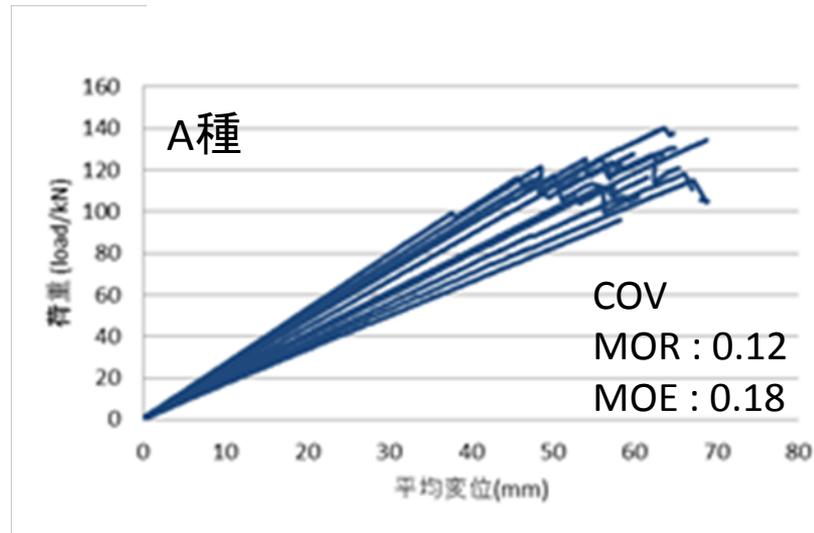
3.1 材料組成をパラメータとしたパネル曲げ試験

ラミナの品質制御方法が、CLTパネルの強度特性、並びにその分布に及ぼす影響を確認することを目的として、ラミナの品質制御方法を変えて製造した同一等級構成CLTパネルの曲げ破壊試験を実施。

名称	ラミナ		JAS上の 構成および強度等級	試験体 No.
	曲げ弾性係数	密度		
	全層(kN/mm ²)	全層(kg/m ³)		
A種	2.5以上	制限なし	A種 S30-5-5	A01~A12
B種	2.5以上6.0未満		B種 S30-5-5	B01~B12
弾性係数詳細管理	6.0以上7.0未満		B種 S60-5-5	Y01~Y12
密度管理	2.5以上	405~435	A種 S30-5-5	D01~D12

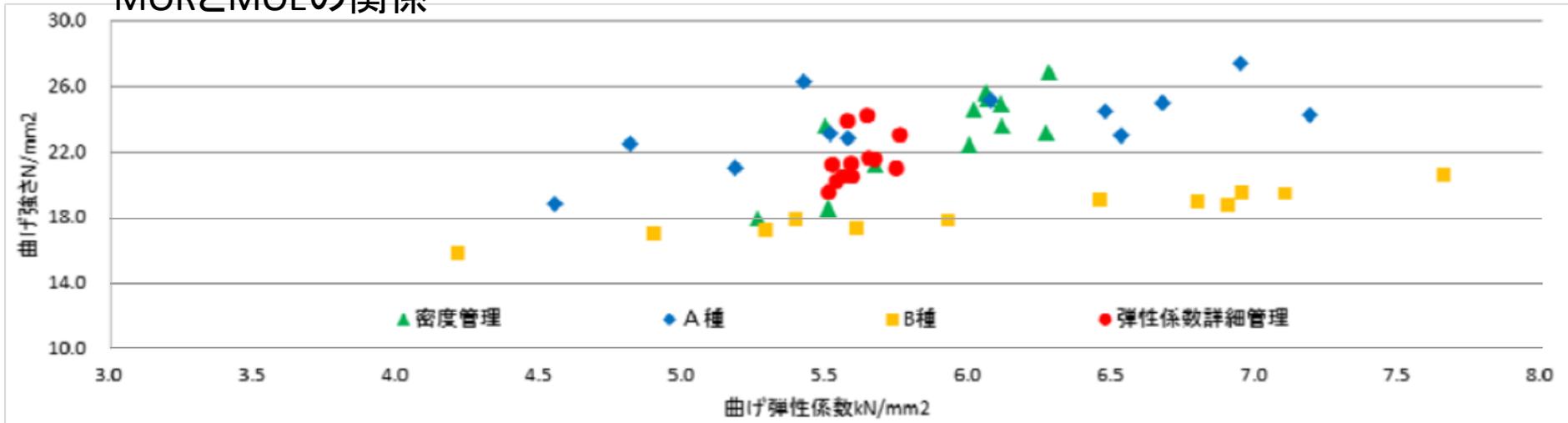


3.1 材料組成をパラメータとしたパネル曲げ試験

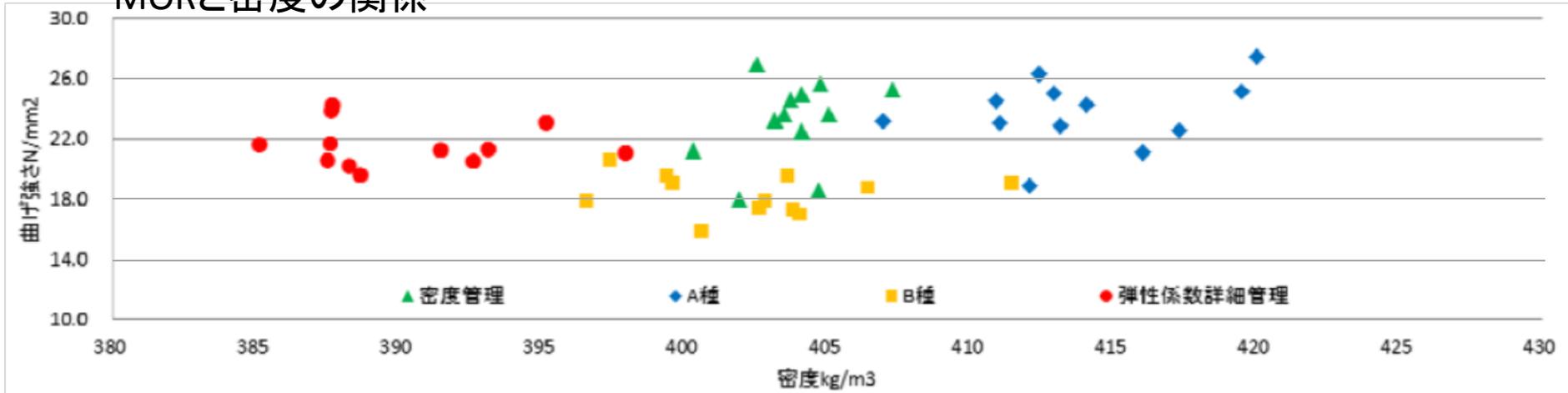


3.1 材料組成をパラメータとしたパネル曲げ試験

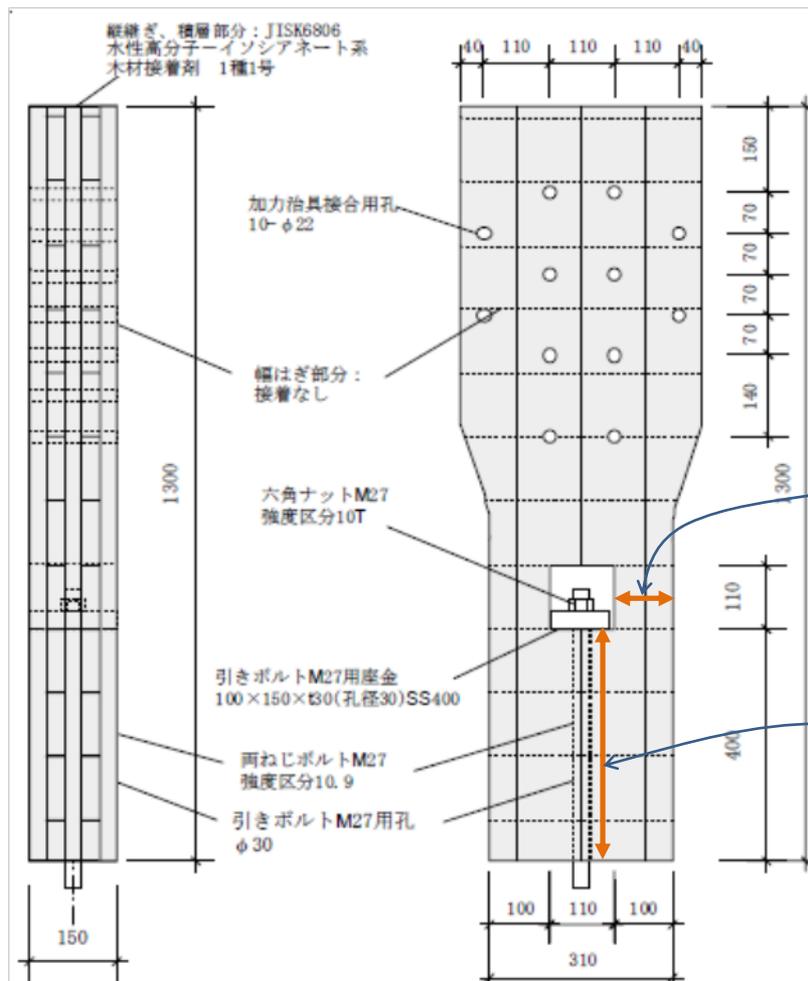
MORとMOEの関係



MORと密度の関係



3.2 引きボルト接合部の端距離・縁距離の影響



縁距離
50, 80, 100, 150mm

端距離
150, 200, 300, 400, 500mm

3.2 引きボルト接合部の端距離・縁距離の影響

試験体の種類

名称※	ラミナ種類	MOE (GPa)	最外層方向	JAS等級	縁距離 × 端距離 (mm)
60SPC○○-△△	L60	6.0~7.0	平行	S60	50 × 400, 80 × 400, 100 × 400, 150 × 150, 150 × 200, 150 × 300, 150 × 400
ASPC○○-△△	A種	平均 3.0 下限 2.5	平行	S30	50 × 400, 80 × 400, 100 × 400, 150 × 150, 150 × 200, 150 × 300, 150 × 500
ASOC○○-△△			直交		50 × 400, 80 × 400, 100 × 400, 150 × 150, 150 × 200, 150 × 300, 150 × 400, 150 × 500

※○○：縁距離、△△：端距離

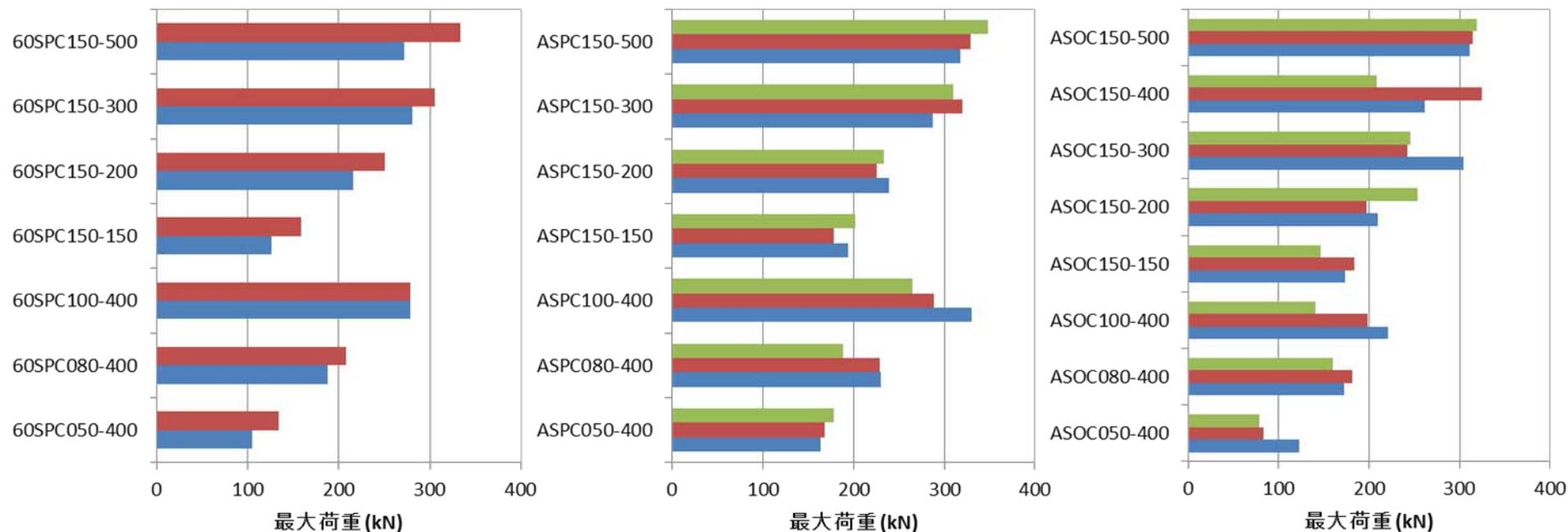
共通事項 ラミナ構成：同一等級

密度管理無し

幅はぎ位置がボルト心に一致

3.2 引きボルト接合部の端距離・縁距離の影響

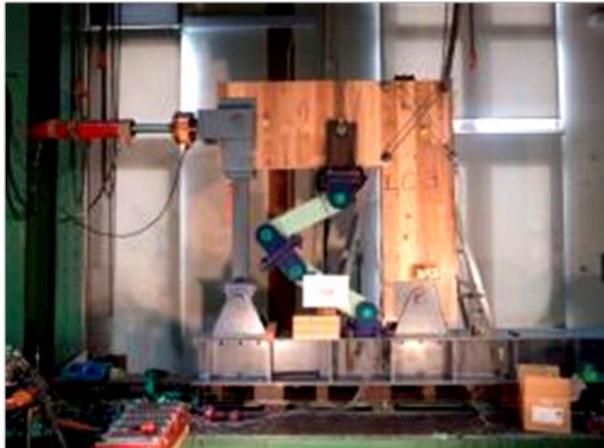
実験結果 (最大荷重)



4 L形・T形パネル水平加力実験

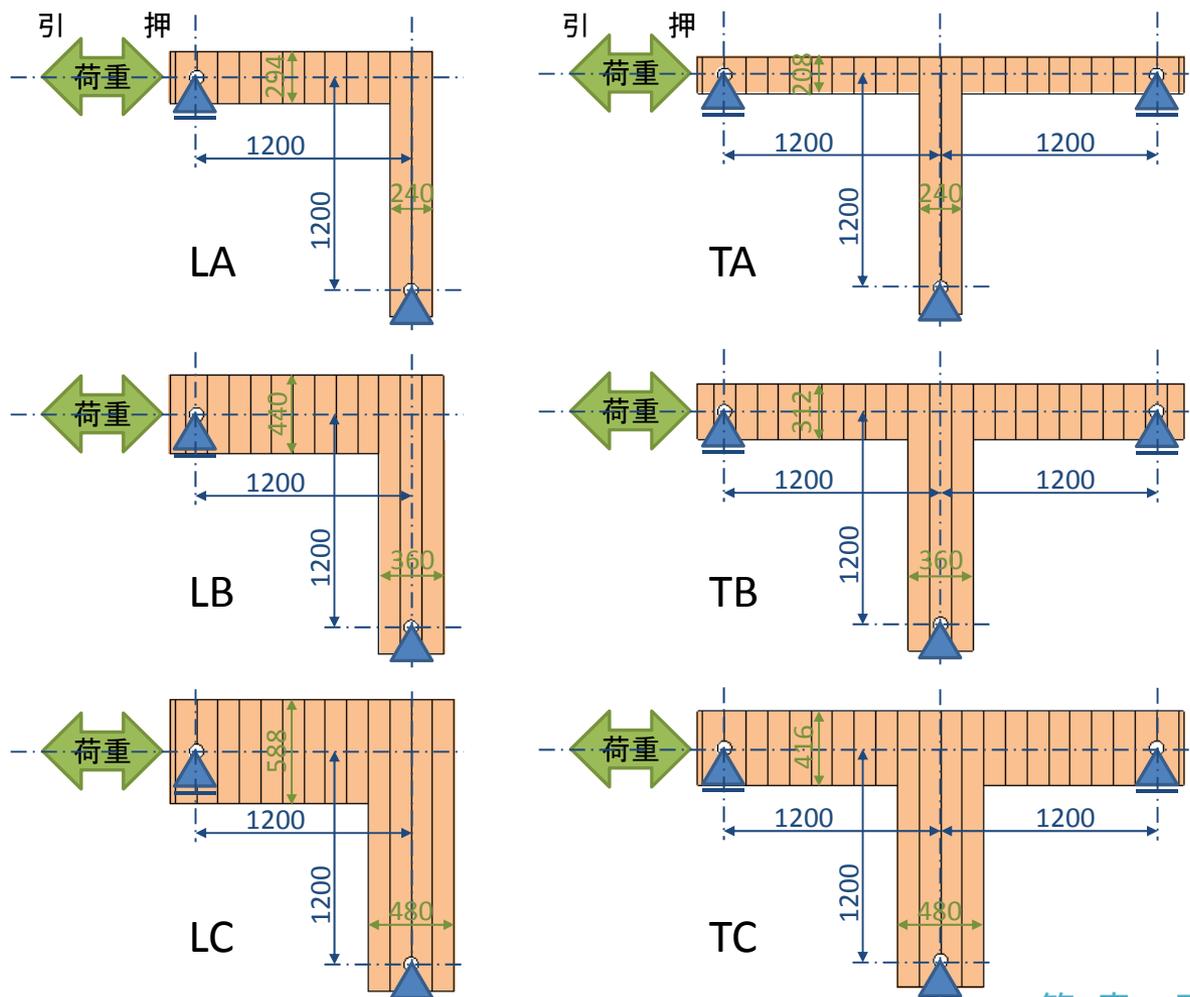
4.1 実験の目的

- 簡易構造モデルの設定に向けて
- CLTパネルの面内加力実験結果に対するFEM解析の適合性確認
- CLTパネルの一様性・一体性が損なわれる場合に対するFEM解析の適用性確認



4.2 試験体の形状

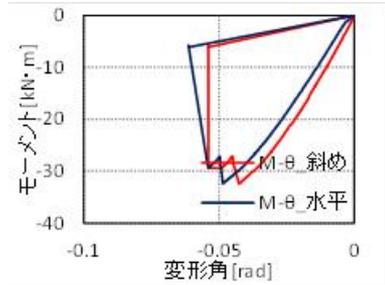
- 縦材と横材のせい比率を、縦材・横材の曲げ応力度に対するパネルゾーンのせん断応力度の比率が最大になるように設定。
- CLTパネル：Mx60, B種, 5層5プライ



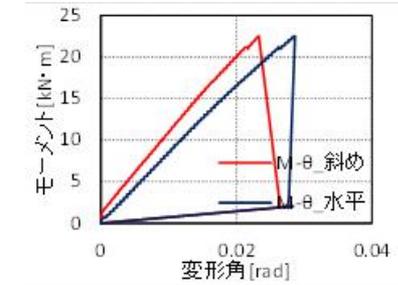
4.3 実験結果

試験体
LB

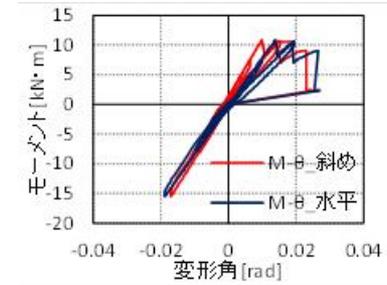
単調押し加力



単調引き加力

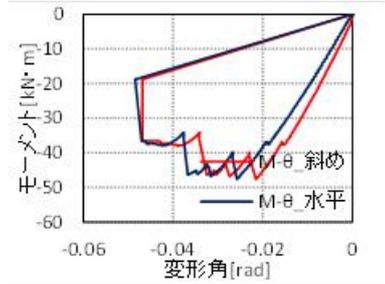


繰返し加力

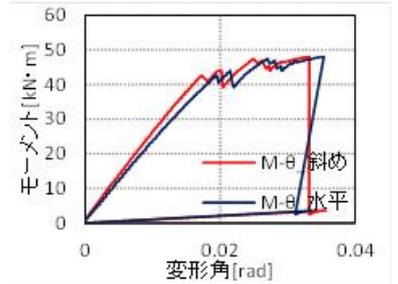


試験体
TB

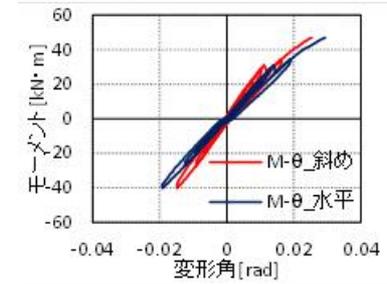
PZせん断破壊



横材曲げ破壊



横材曲げ破壊



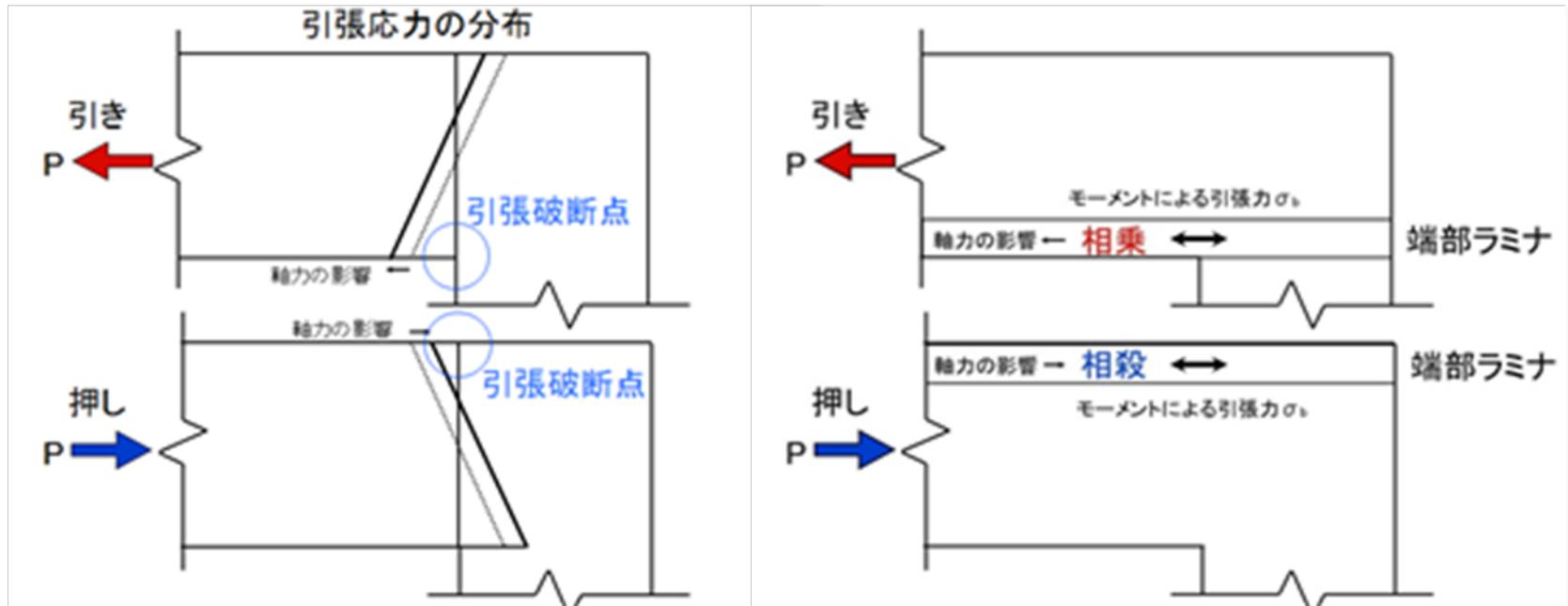
4.3 実験結果

最大荷重(kN)と破壊状況

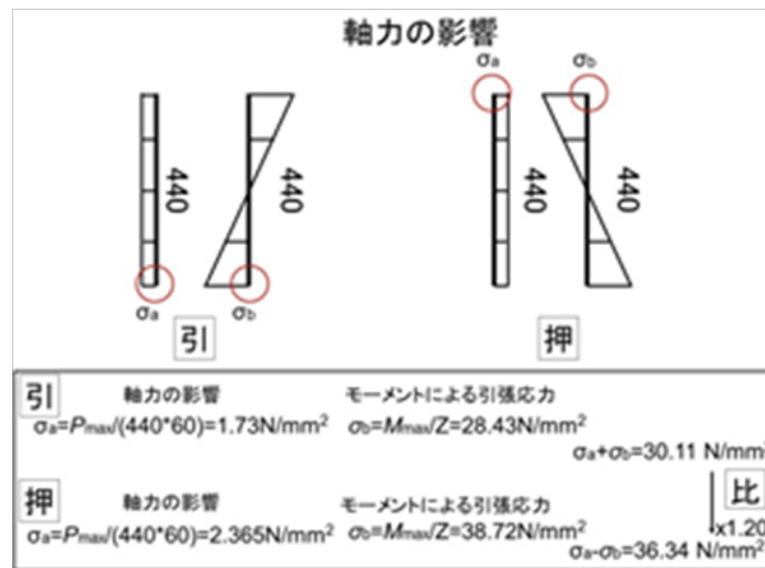
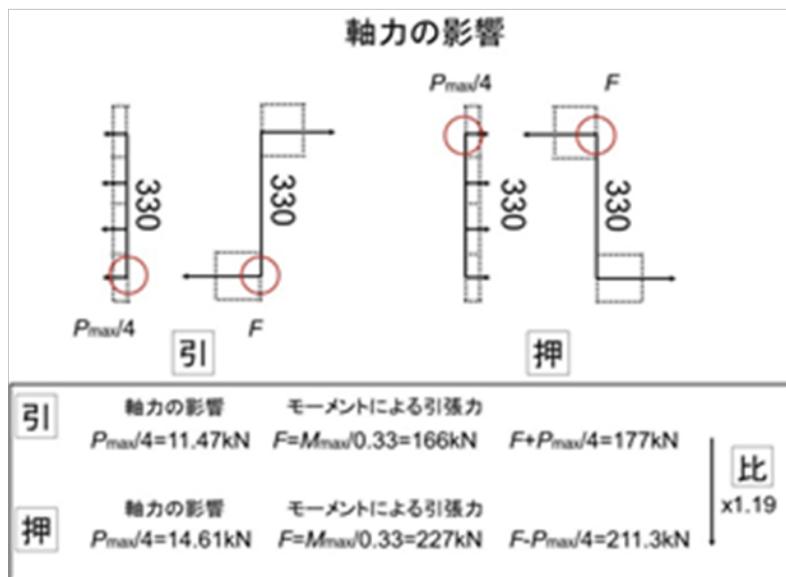
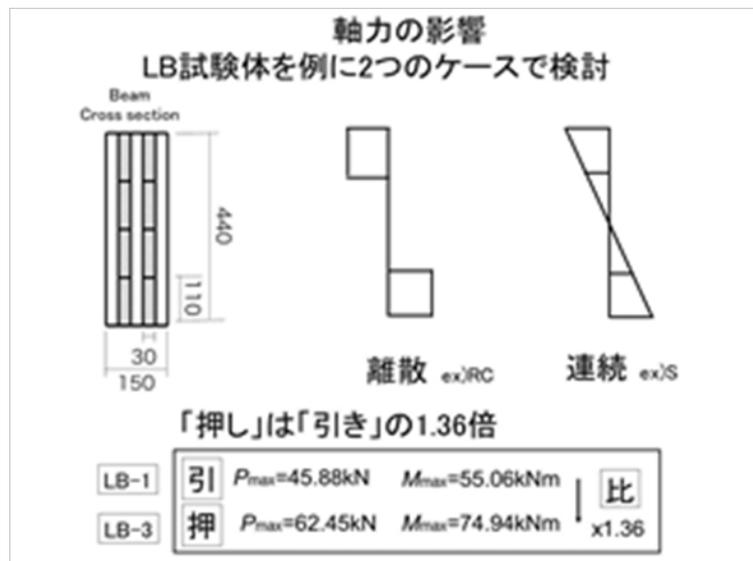
試験体	項目	加力方法		
		単調引き	繰返し	単調押し
LA	最大荷重	18.77	9.06	27.01
	破壊状況	M	M	S
LB	最大荷重	45.88	27.92	62.45
	破壊状況	M	M	S
LC	最大荷重	57.45	49.83	94.7
	破壊状況	M	M	M
TA	最大荷重	23.96	26.46	22.30
	破壊状況	M	M	S
TB	最大荷重	47.97	34.50	47.68
	破壊状況	M+S	M	M+S
TC	最大荷重	80.54	79.16	78.17
	破壊状況	M	M+S	M

M : 横材曲げ破壊、S : パネルゾーンせん断破壊

4.3 実験結果



4.3 実験結果



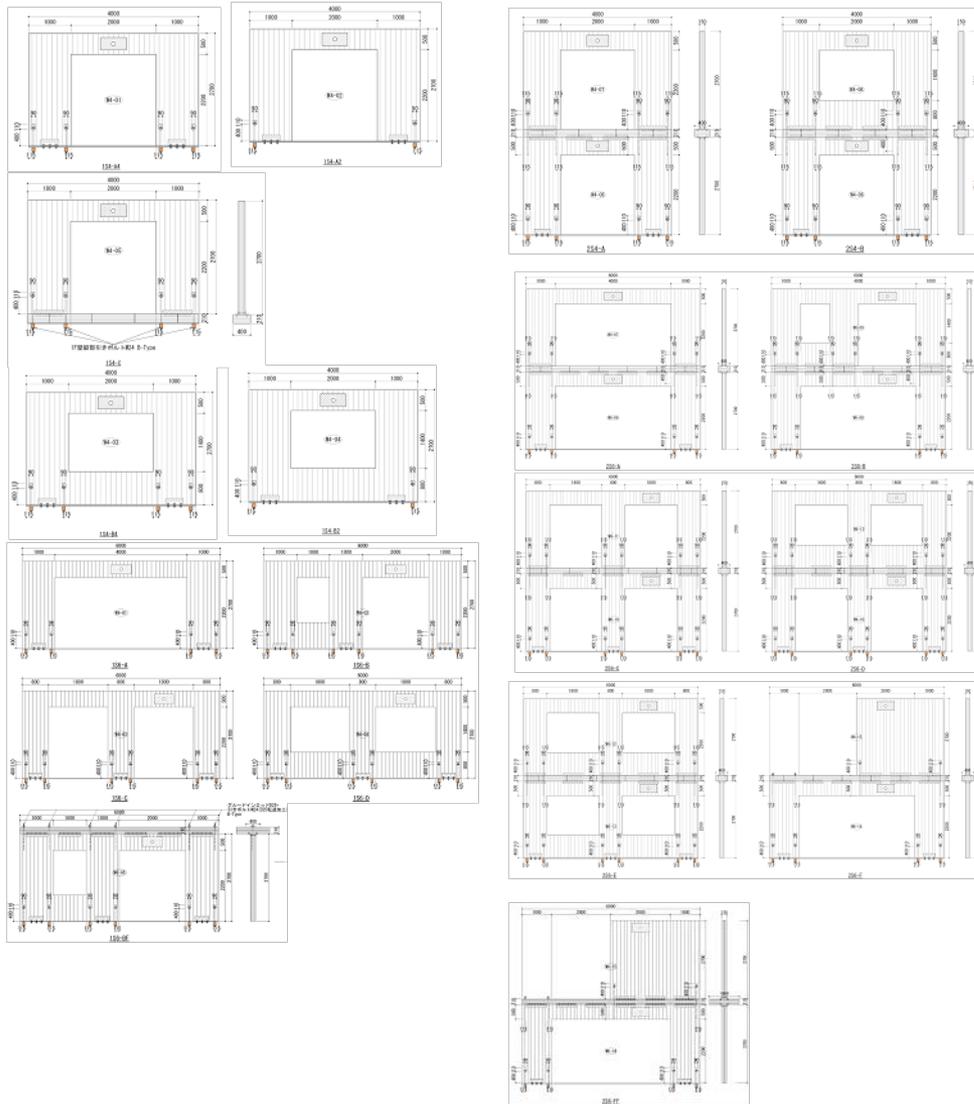
5 大型有開口パネル実大構面水平加力実験

5.1 実験の目的

- 簡易構造モデルの設定に向けて
- CLTパネルの面内加力実験結果に対するFEM解析の適合性確認
- 今後採用されると考えられる開口パターンを有する実大壁構面を対象として
- 床CLTパネルが壁構面の水平耐力性能に及ぼす影響の確認も含む



5.2 試験体の仕様



■ 1層構面 (10種)

1S4-A4, 1S4-A2, 1S4-C, 1S4-B4, 1S4-B2,
1S6-A, 1S6-B, 1S6-C, 1S6-D, 1S6-BF

■ 2層構面 (9種)

2S4-A, 2S4-B,
2S6-A, 2S6-B, 2S6-C, 2S6-D, 2S6-E,
2S6-F, 2S6-FF

■ CLTパネル

樹種: すぎ、等級: Mx60, B種
(壁: 5層5プライ、床: 7層7プライ)

■ 接合部

・壁パネル上下端引張

1階パネル下端: 引きボルト M24

1階パネル上端: GIR D25

2階パネル下端: 引きボルト M24

・壁パネル上下端せん断: 鋼板ビス打ち

・床パネル相互: 合板スプライン接合

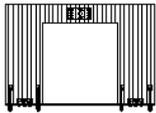
■ 加力方法

1,2層の層間変位が等しくなるように変位制御で加力

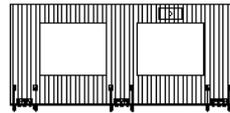


5.3 実験結果

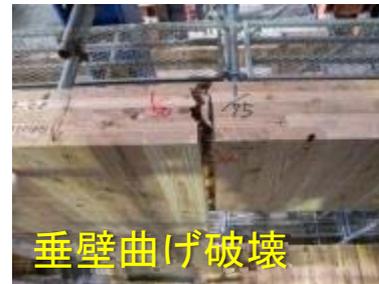
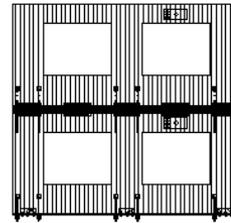
1S4-A4



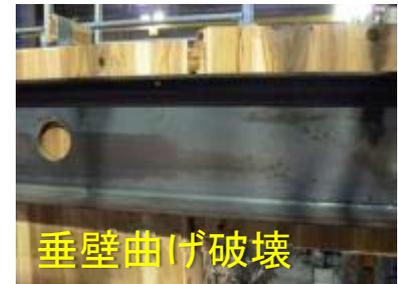
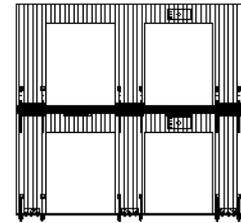
1S6-D



2S4-A

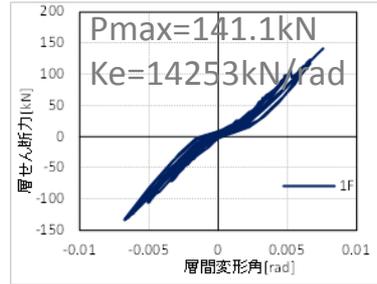
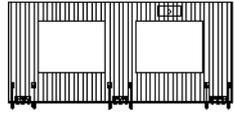


2S6-E

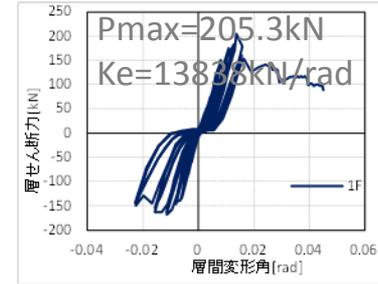
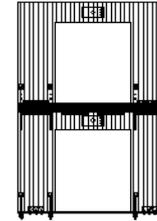


5.3 実験結果

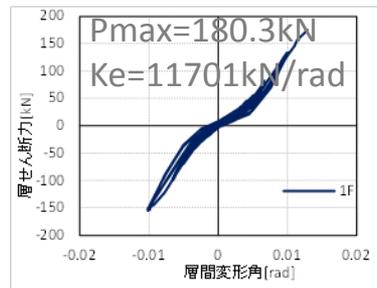
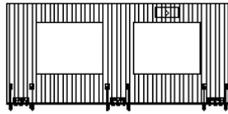
1S4-A4



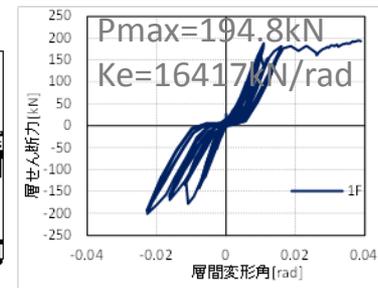
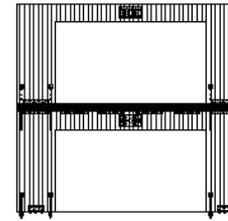
2S4-A



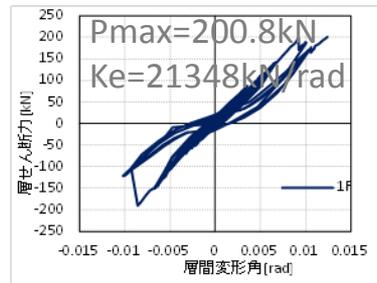
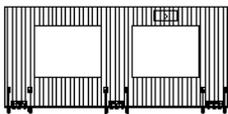
1S6-A



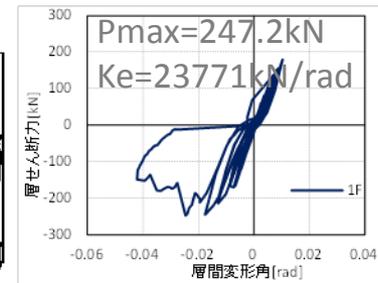
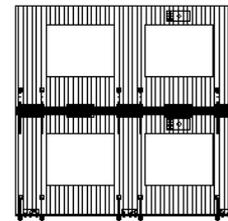
2S6-A



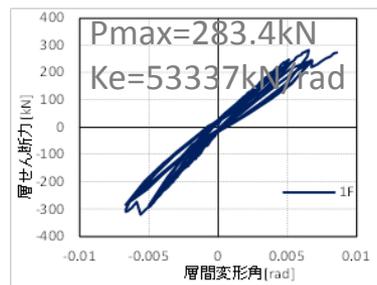
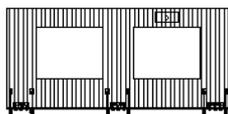
1S6-C



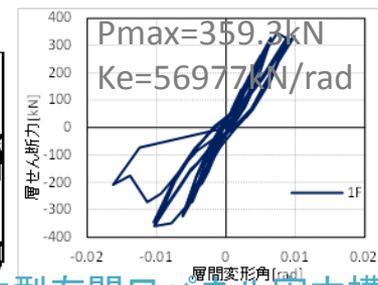
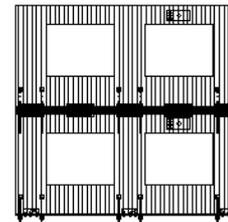
2S6-C



1S6-D

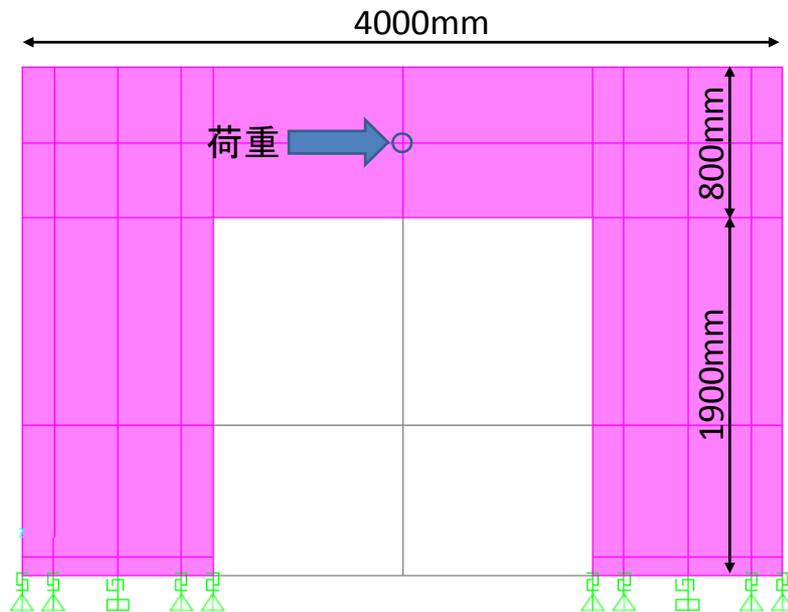


2S6-E

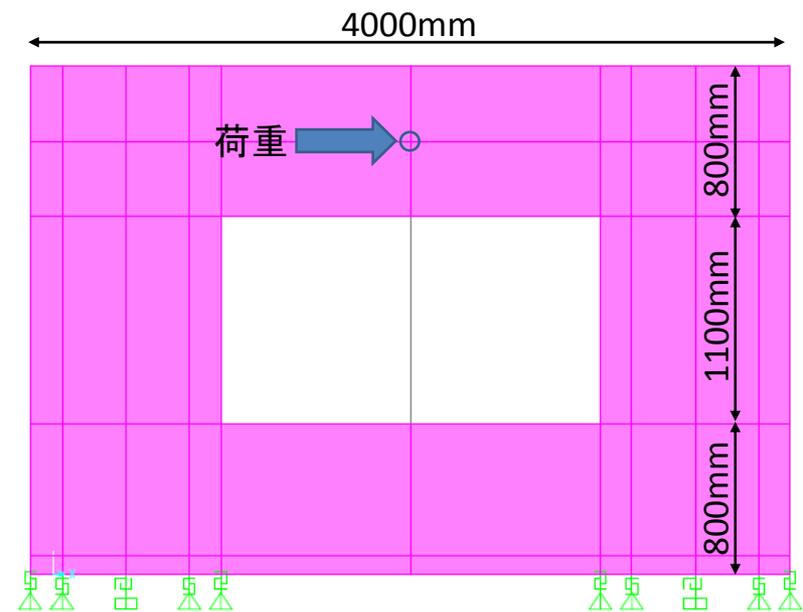


6.1 大型有開口パネルに対する構造モデルの検討

- H24年度に実施した大型有開口パネルの面内せん断実験結果とFEM解析結果の比較
- FEM解析結果と簡易構造モデルを用いた解析結果の比較



C形試験体



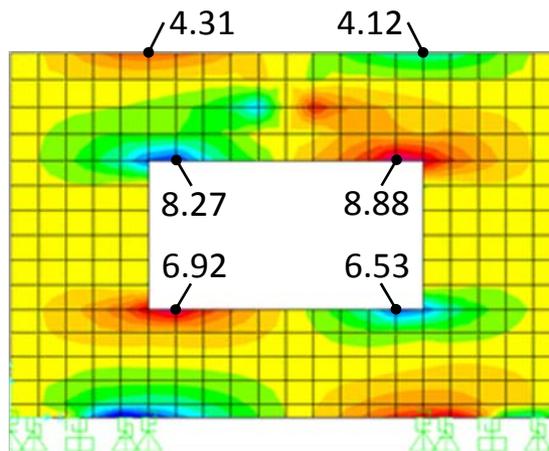
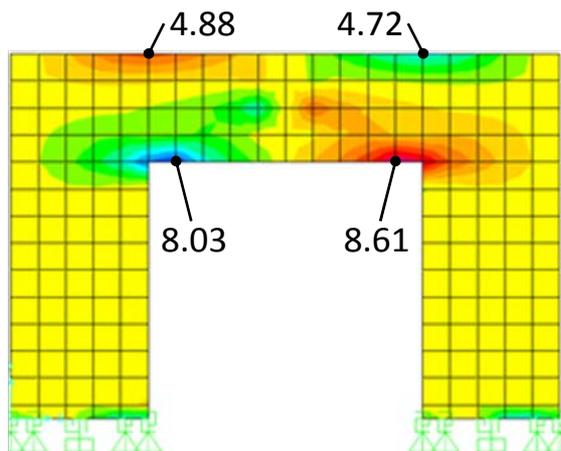
O形試験体

6.1.1 FEMモデルによる検討

C形 (P = 250kN)

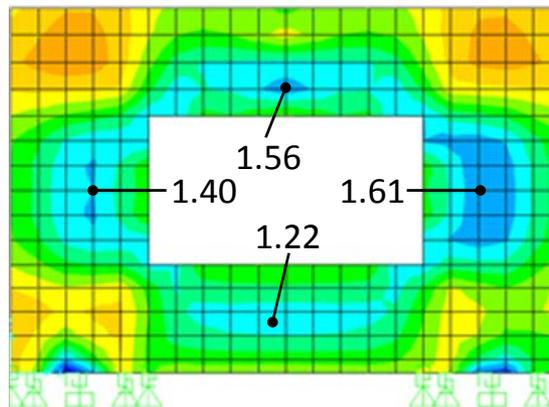
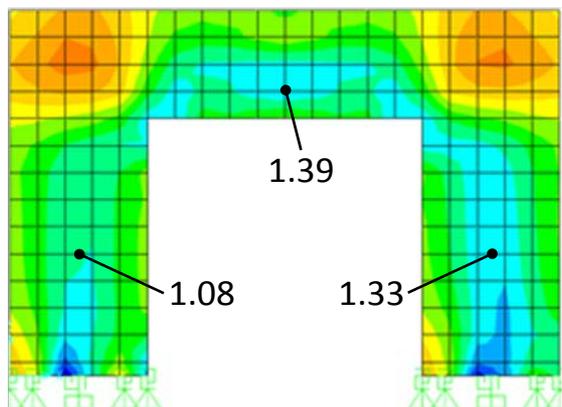
O形 (P = 330kN)

x方向
直応力度
(MPa)



$$F_b = 20\text{MPa} / 2.5 = 8.0\text{MPa}$$

せん断
応力度
(MPa)

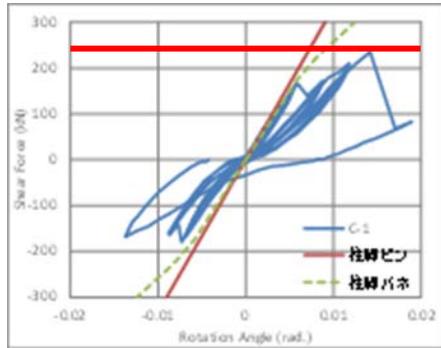


$$F_s = 2.7 \sim 3.0\text{MPa}$$

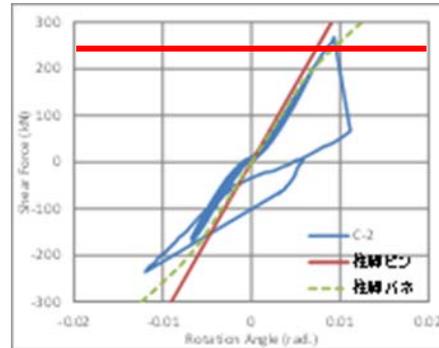
6.1.1 FEMモデルによる検討

C形

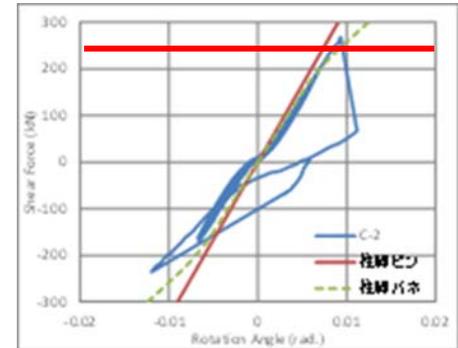
1体目



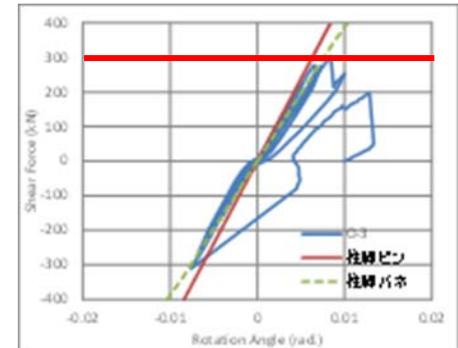
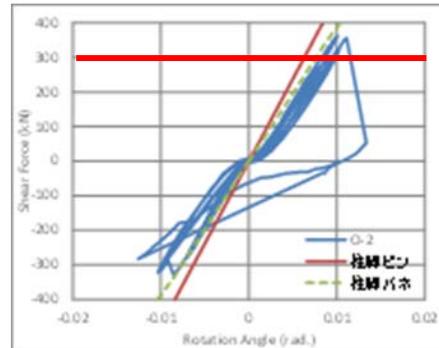
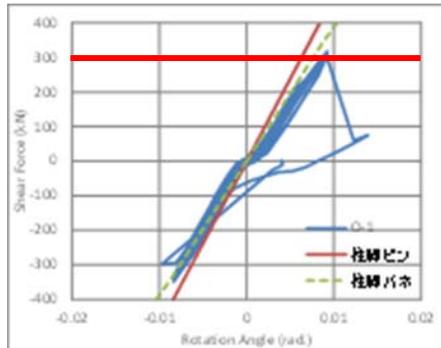
2体目



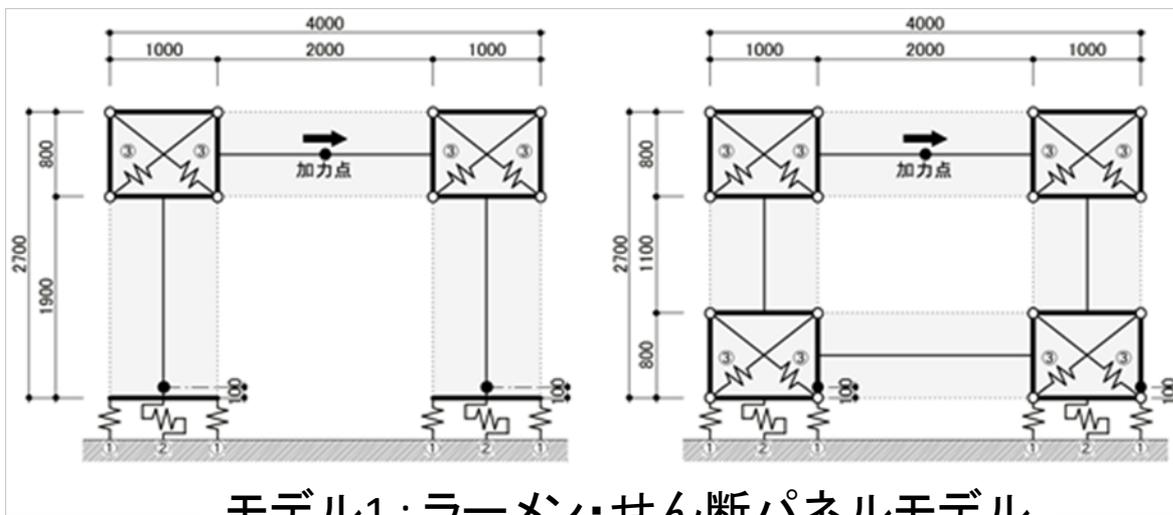
3体目



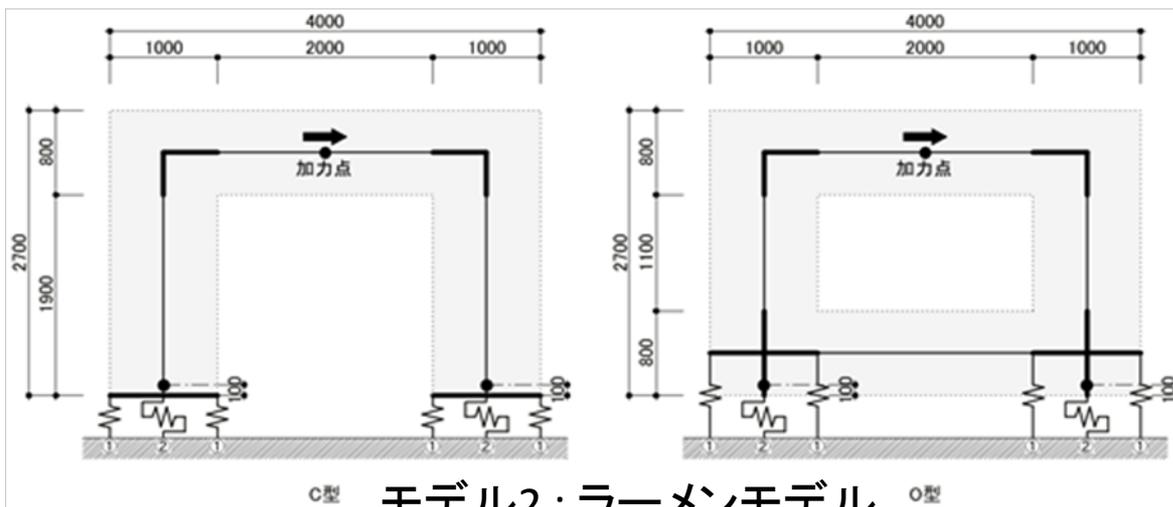
O形



6.1.2 簡易構造モデルによる検討



モデル1：ラーメン・せん断パネルモデル

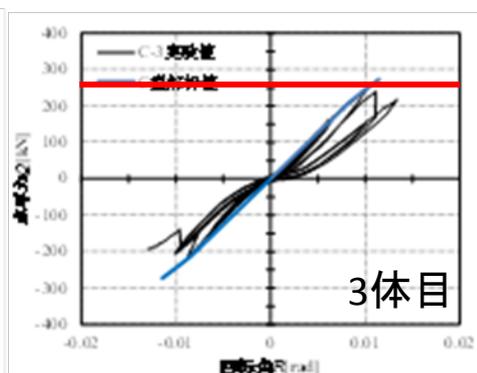
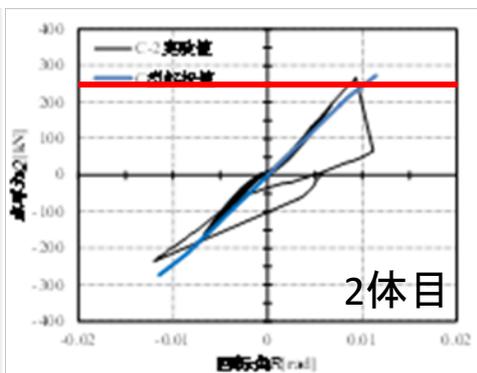
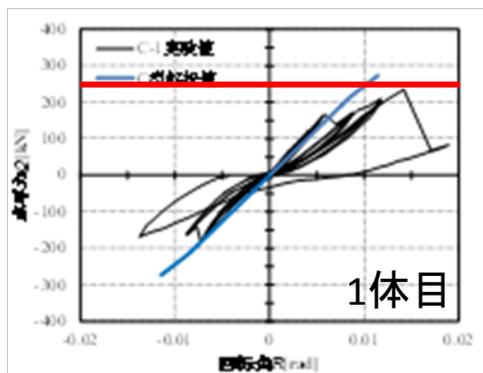


C型 モデル2：ラーメンモデル O型

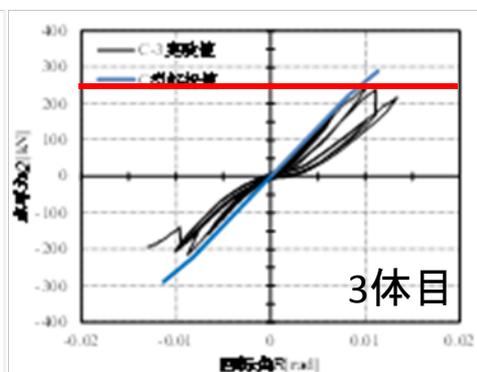
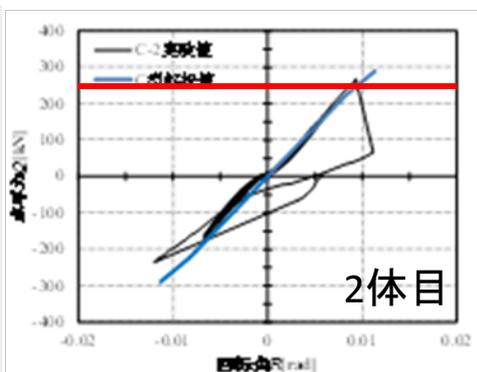
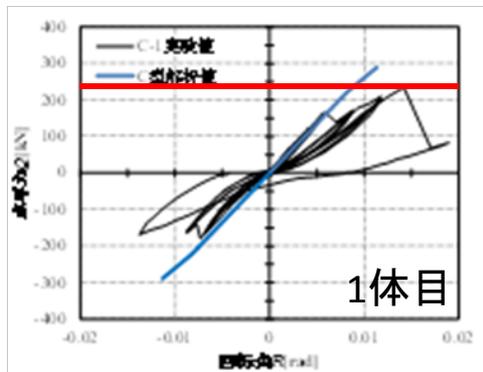
6.1.2 簡易構造モデルによる検討

C形試験体

モデル1



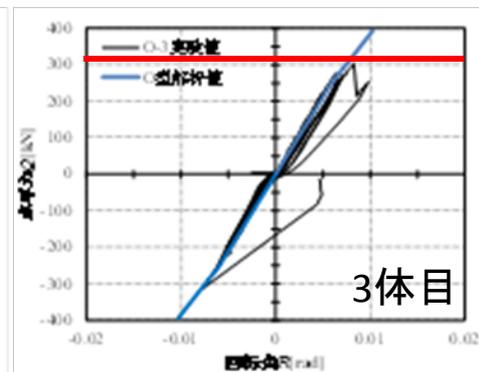
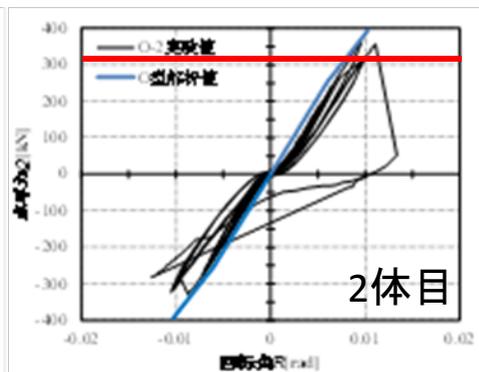
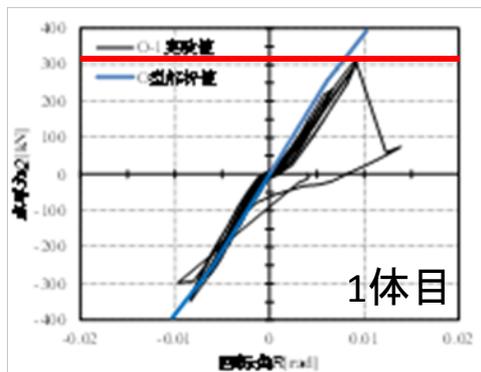
モデル2



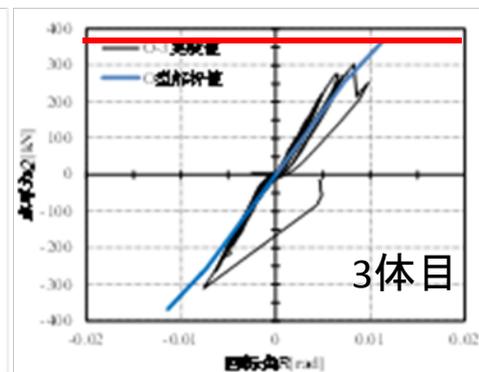
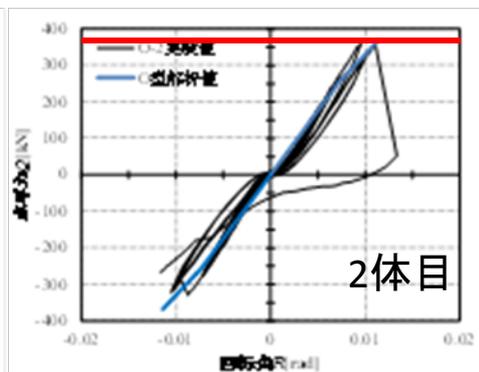
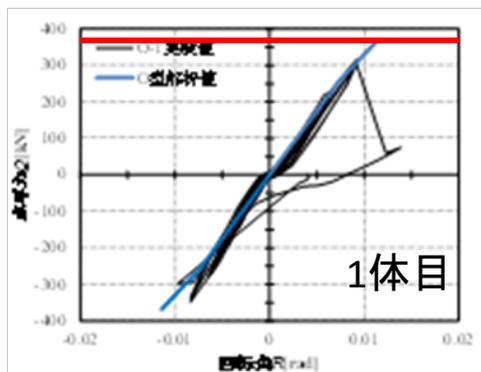
6.1.2 簡易構造モデルによる検討

O形試験体

モデル1



モデル2



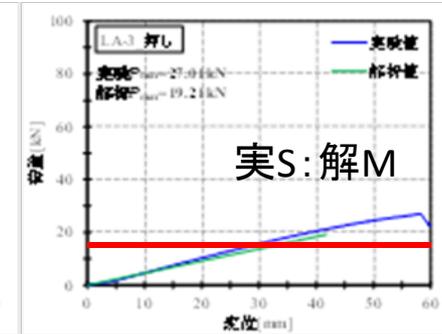
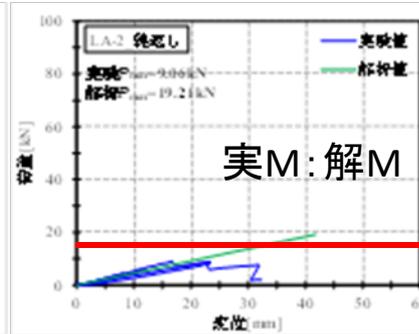
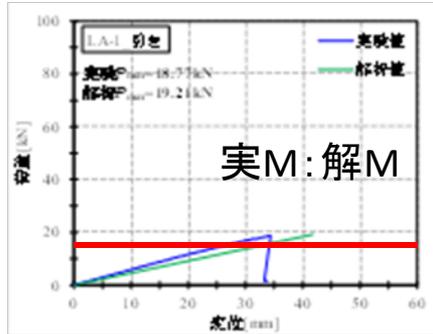
6.2 L形・T形パネル実験に対応するFEM解析

引き加力

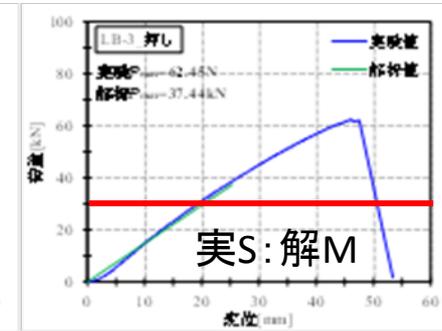
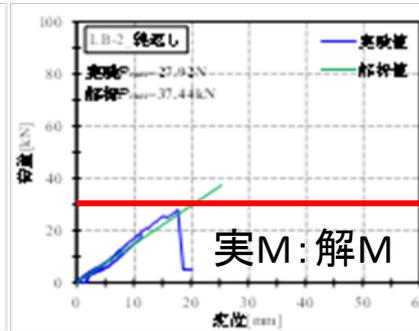
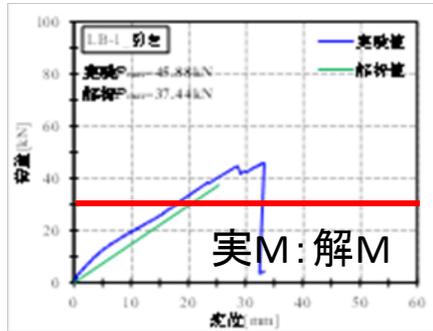
繰返し加力

押し加力

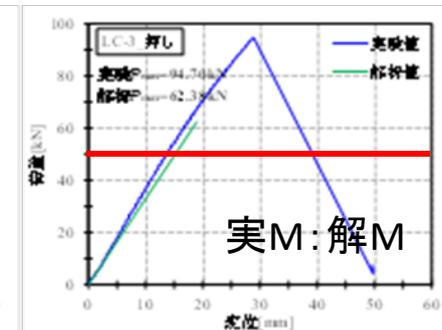
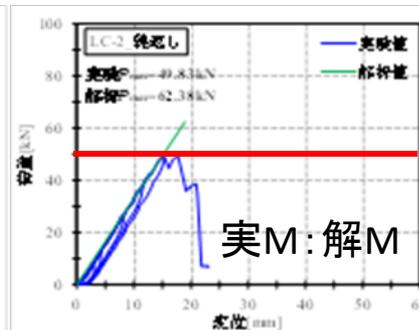
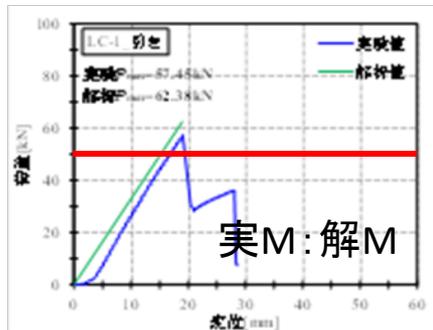
LA



LB



LC



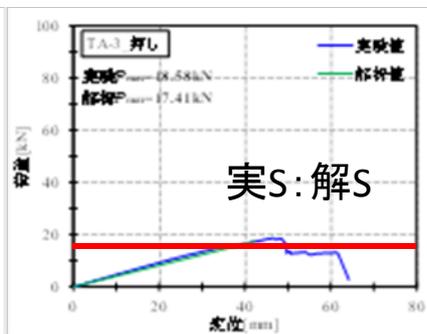
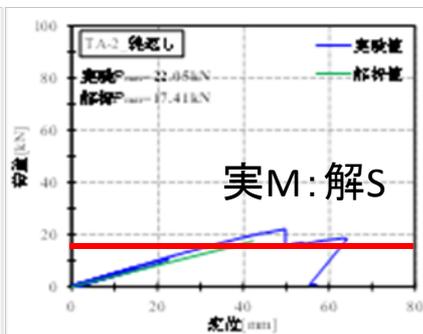
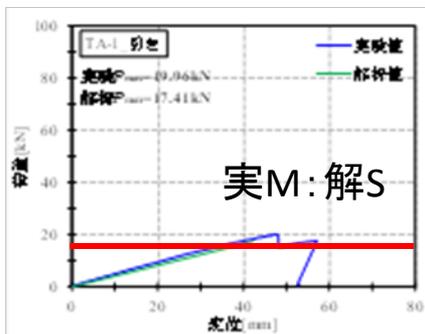
6.2 L形・T形パネル実験に対応するFEM解析

TA

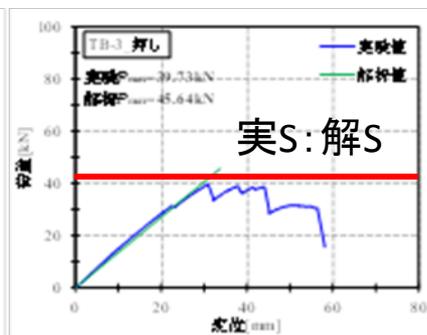
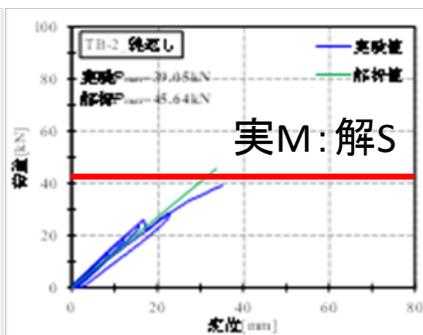
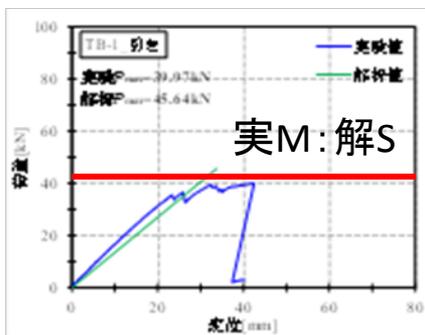
引き加力

繰返し加力

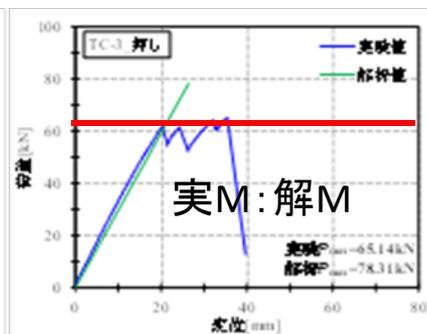
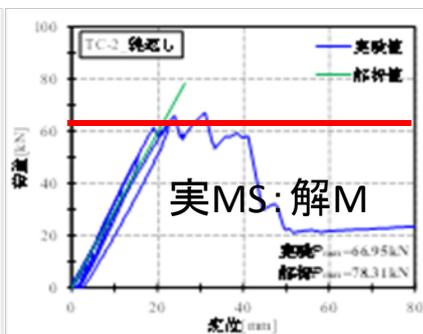
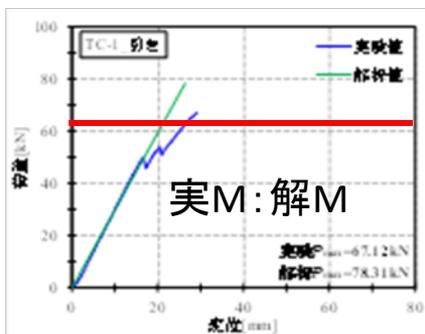
押し加力



TB

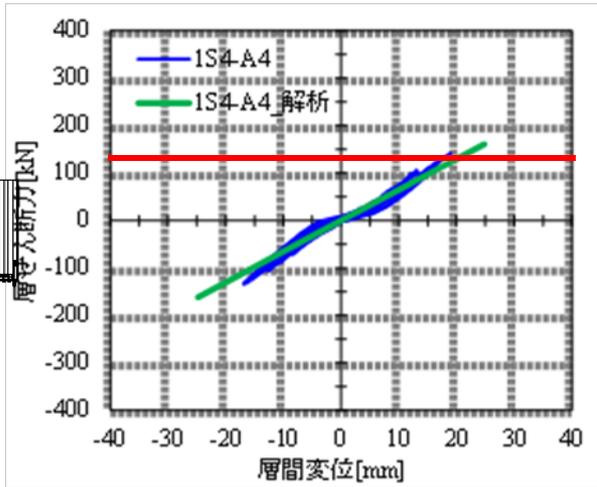
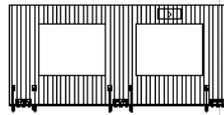


TC

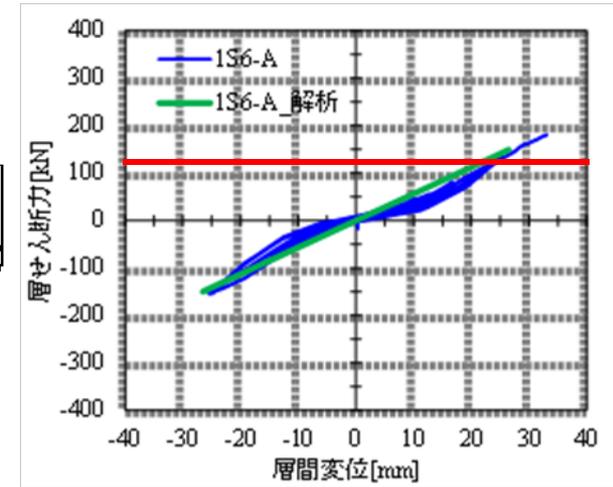
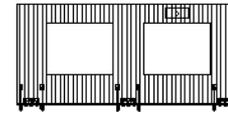


6.3 大型有開口パネル実験に対応するFEM解析

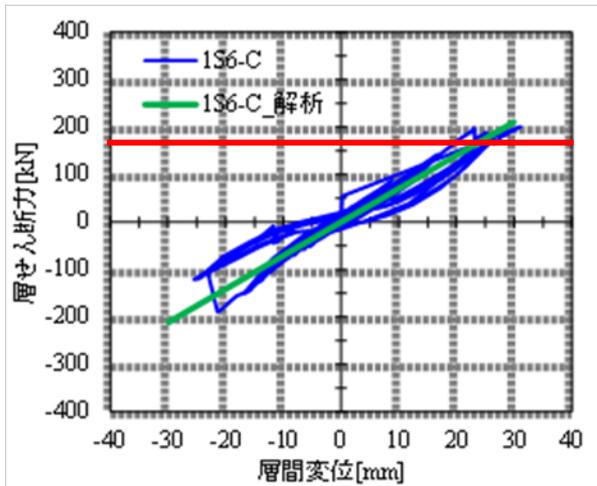
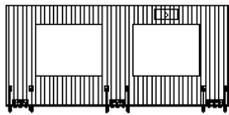
1S4-A4



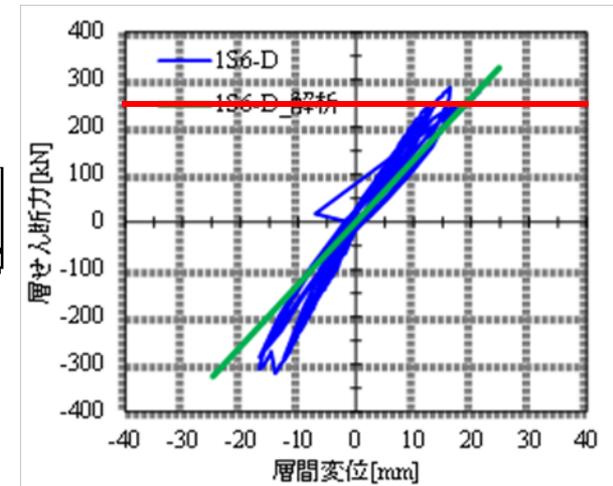
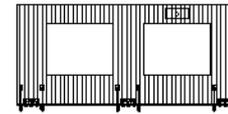
1S6-A



1S6-C

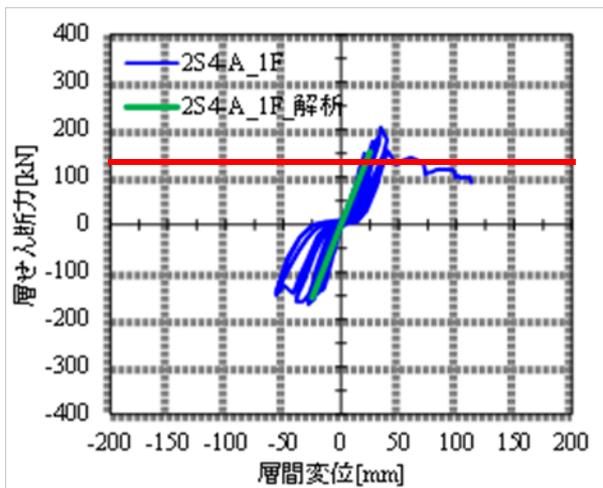
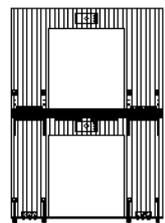


1S6-D

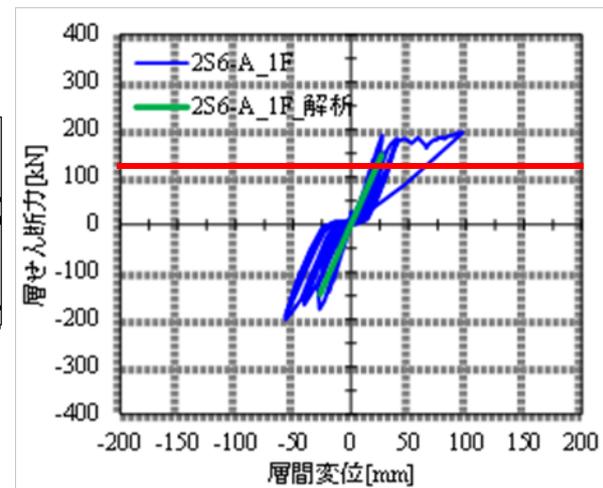
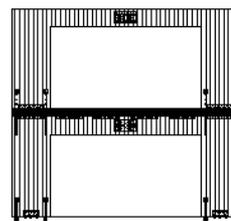


6.3 大型有開口パネル実験に対応するFEM解析

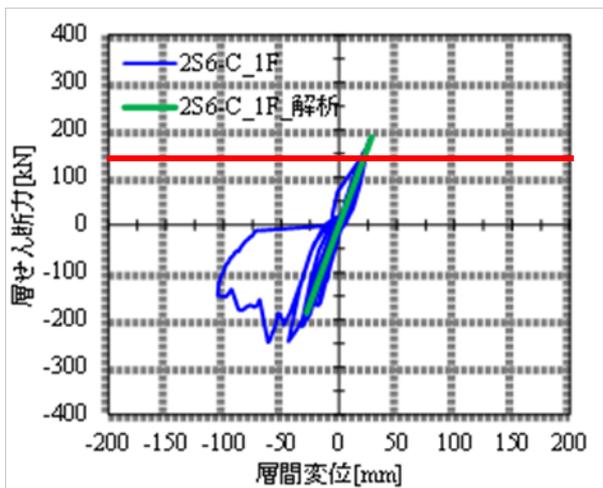
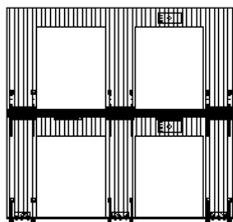
2S4-A



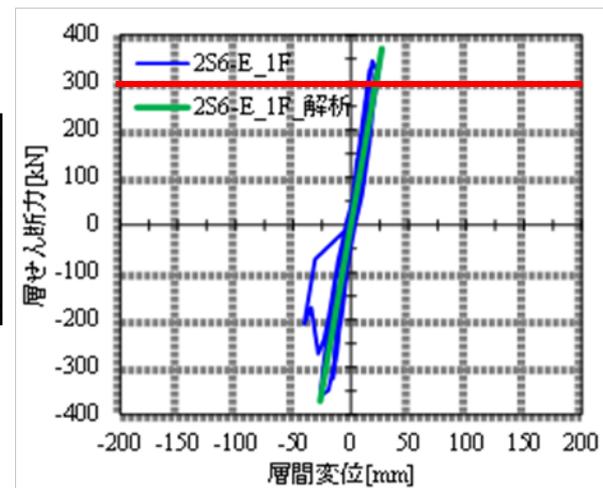
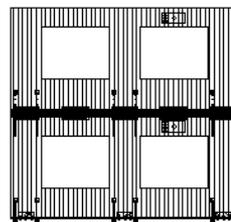
2S6-A



2S6-C



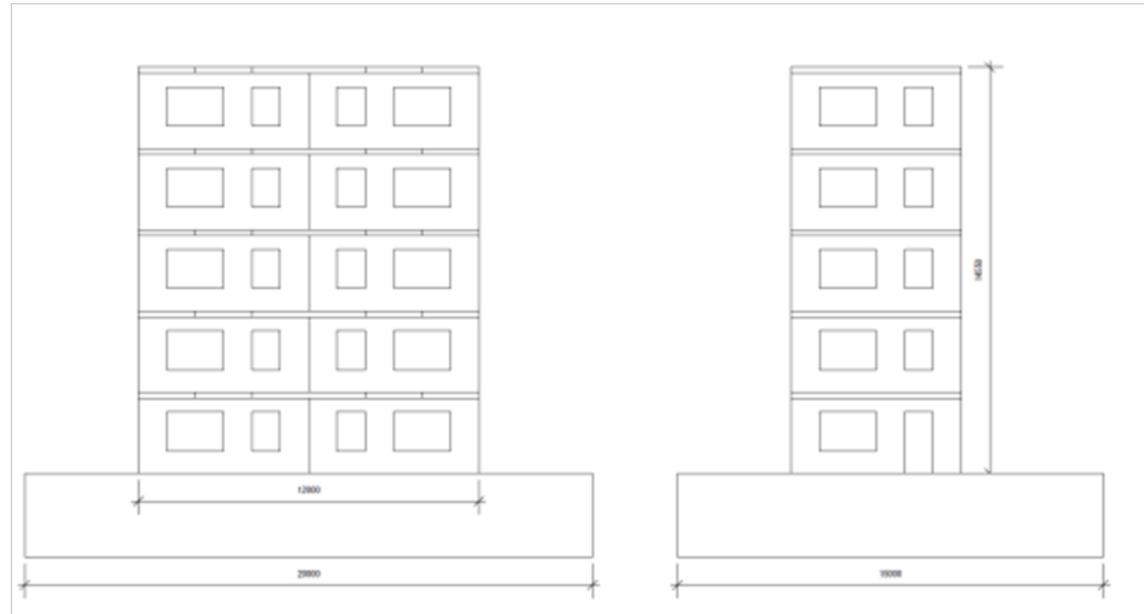
2S6-E



7 震動台実験試験体の試設計

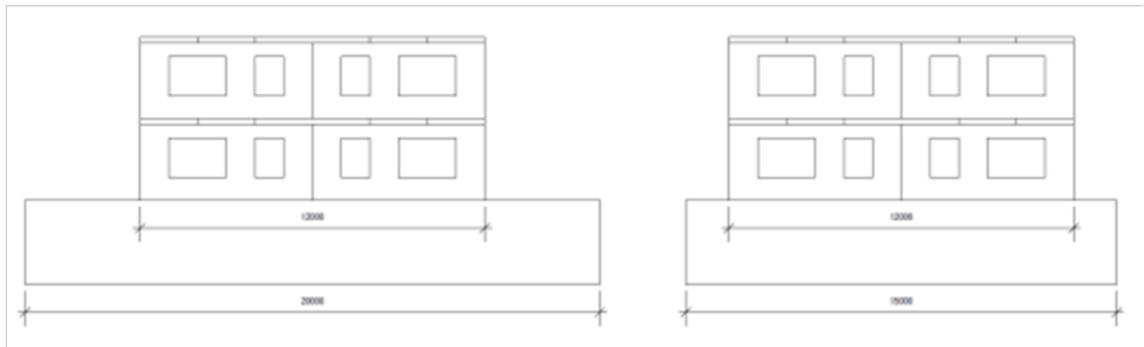
■試験体A

- ・壁CLT：小幅パネル
- ・5～7層程度
- ・引きボルト接合



■試験体B

- ・壁CLT：大型パネル
- ・2～3層程度
- ・引きボルト接合
またはビス接合



8 まとめ

第2章 建築物の規模・用途等に対するCLT構法の適性に関する調査

2.1 CLT建築物構法の類型化

- 床勝ちプラットホーム構法
- 大型パネルと小幅パネル

2.2 建築物の規模・用途等に対するCLT構法の適性に関する調査

- 大型パネル → 高耐力・低靱性 → 低層建築物
- 小幅パネル → 高靱性 → 中層
- 大型パネルによる工期短縮というメリット
- 欧米の事例でも大型パネルが多い
- 小幅パネル壁構面の耐震性能については一定の知見がある
- 有開口大型パネル壁構面に関する知見は少ない



有開口大型パネルを含むCLT建築物の構造設計法構築

2.3 CLT構法の設計法素案の検討

- 設計法C：限界耐力計算による設計法 ⇒ 簡易構造モデルの設定
- 設計法B：ルート2に相当する設計法
- 設計法A：「壁量計算＋N値計算」に相当する設計法

8 まとめ

第3章 材料組成に応じたCLTパネル及び接合部の構造性能に関する調査

3.1 材料組成をパラメータとしたパネル曲げ実験

- JAS A種、JAS B種、弾性係数詳細管理、密度管理
- JAS B種、弾性係数詳細管理で曲げ強度の変動係数が減少

3.2 引きボルト接合部における端距離・縁距離の影響

- 縁距離が小さい場合にラミナの引張破壊
- フィンガージョイントの影響があり得る
- 降伏耐力、最大耐力の算定式素案

8 まとめ

第4章 L形・T形パネル水平加力実験

4.1 実験の目的

- 簡易構造モデル ⇔ FEMモデル ⇔ 実験
- CLTパネルの一様性・一体性が保証されない場合に対するFEM解析の適用性

4.2 試験体の形状

- 縦材・横材の曲げ応力度に対するパネルゾーンのせん断応力度の比率を最大化

4.3 加力・測定方法

- 押し加力、引き加力、繰返し加力

4.4 実験結果

- L形の最大耐力：繰返し < 引き < 押し
- T形の最大耐力は加力方法によらずほぼ一定

8 まとめ

第5章 大型有開口パネル実大構面水平加力実験

5.1 実験の目的

- 簡易構造モデル ⇔ FEMモデル ⇔ 実験
- CLTパネルの面内せん断実験結果に対するFEM解析の適合性
- 実建物に採用されると考えられる開口パターンを有する壁構面
- 床CLTパネルの影響

5.2 試験体の仕様

- 1層構面10種、2層構面9種

5.3 加力・測定方法

- 変位制御（1, 2層の層間変位を等しくする）

5.4 実験結果

- 主に開口入隅部におけるまぐさ・腰壁の曲げ破壊、低靱性
- 開口を含むパネル全体が一体として挙動する傾向

8 まとめ

第6章 大型有開口パネルの構造特性に関する検討

6.1 大型有開口パネルに対する構造モデルの検討

- H24面内せん断実験結果とFEM解析結果、簡易構造モデル解析結果は良く適合
- ただし、ラーメンモデルは耐力をやや過大に評価する場合がある

6.2 L形・T形パネル実験に対応するFEM解析

- L形試験体では、FEM解析結果は引き加力または繰返し加力に概ね適合
- T形試験体では加力方法によらずほぼ適合

6.3 大型有開口パネルに対応するFEM解析

- H25面内せん断実験結果とFEM解析結果の比較
- 1層試験体についてはほぼ適合
- 2層試験体については耐力をやや過小評価

第7章 震動台実験試験体の試設計

- 小幅パネル、5～7層
- 大型パネル、2～3層