

全国にある木材加工工場にて製造可能な CLT(Cross Laminated Timber) の開発と社会実装

宇都宮大学 地域デザイン科学部
建築都市デザイン学科
中島史郎

研究の背景①

接着を用いて製造する木質構造材料



集成材



CLT (Cross-Laminated Timber)

- 比較的大がかりな製造設備を要する
- 接着に対する高度な品質管理が必要

製造できるところが限られる

接着を用いないで製造する木質構造材料



NLT (Nailed-Laminated Timber)



DLT (Dowelled-Laminated Timber)

- 簡単な設備で製造が可能
- 接着に対する品質管理が不要

小規模な木材加工事業者でも製造できる

研究の背景②

挽板を接着剤を用いて製造したCLT



CLT (Cross-Laminated Timber)

接着剤

- 挽板を接着積層しているため、材料の面内せん断剛性が著しく高い(剛)

CLTを隣接する部材に接合する接合部で
耐力・剛性・靱性に対する設計

挽板をビス接合を用いて製造したCLT



NLT (Nailed-Laminated Timber)

ビスにより積層

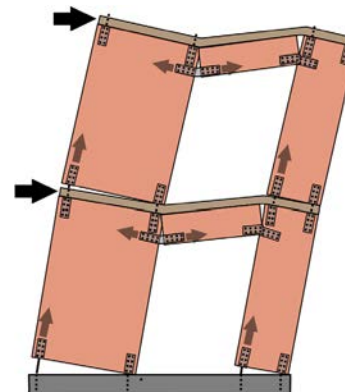
- ビスの種類と本数・配置により部材の面内せん断剛性が定まる

CLT自体で耐力・剛性・靱性に対する
設計を行うことが可能

研究の背景③

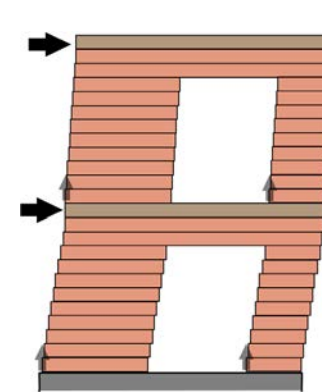
挽板を接着剤を用いて製造したCLT

CLTを隣接する部材に接合する接合部で
耐力・剛性・靱性に対する設計



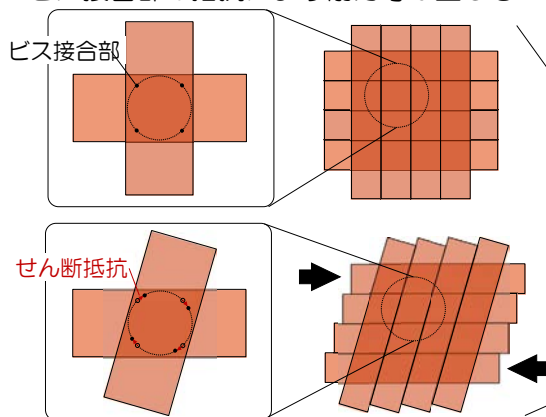
挽板をビス接合を用いて製造したCLT

CLT自体で耐力・剛性・靱性に対する
設計を行うことが可能

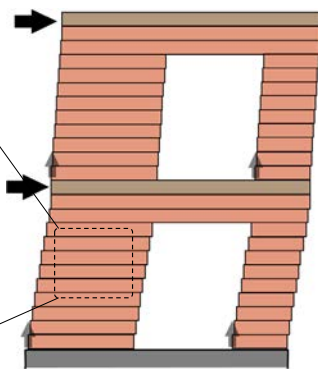


ビス接合を用いて製造したCLTの耐力等の発現機構

挽板が交差する部分の中央部を
回転中心とする回転変形とそれに伴う
ビス接合部の抵抗により耐力等が生じる



挽板をビス接合を用いて製造したCLT
CLT自体で耐力・剛性・靱性に対する
設計を行うことが可能



目的

1. ビス接合を用いて挽き板を積層接合したCLTについて：

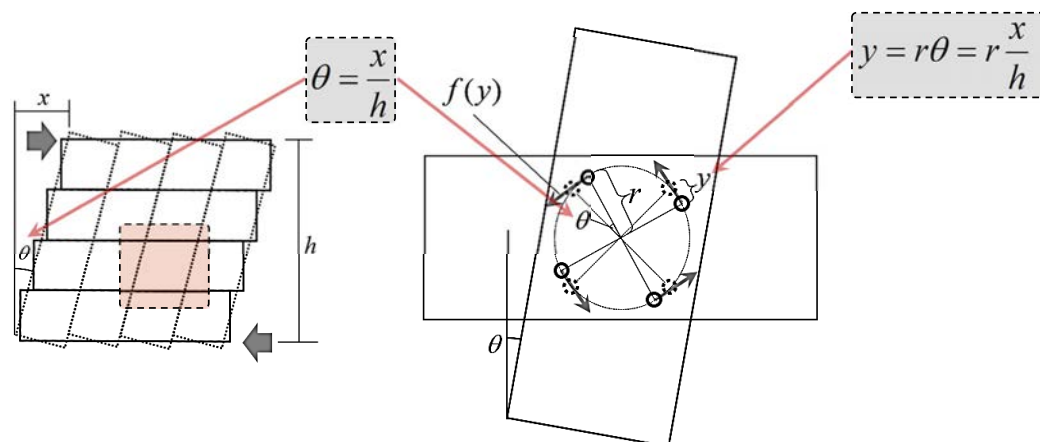
- ① 面内せん断に係る部材設計法を、前述の耐力等の発現機構を元に定め、
- ② 部材設計法の妥当性を実験により確認する。

2. モデル建物を対象として：

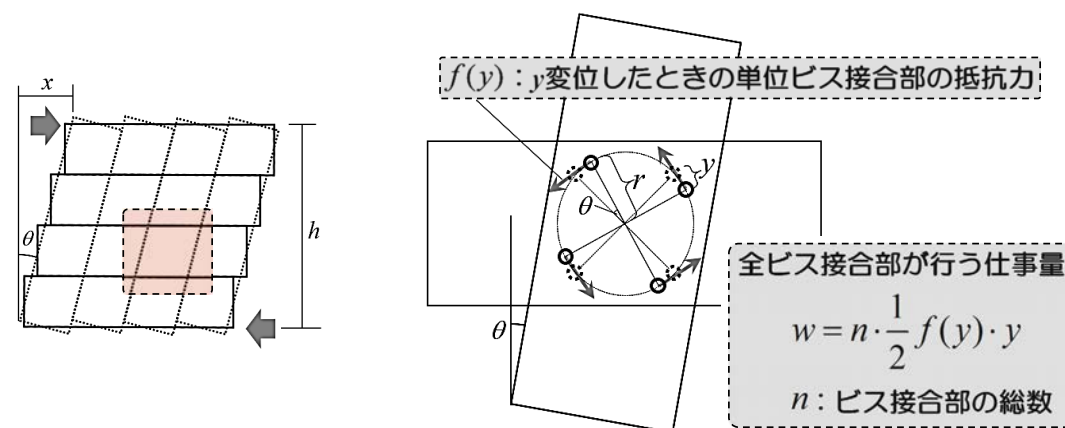
- ③ ビス接合を用いて挽き板を積層接合したCLTの利用の可能性について考察する。

注) 以降、ビス接合を用いて挽き板を積層接合したCLTを
Screwed CLTと呼ぶ。

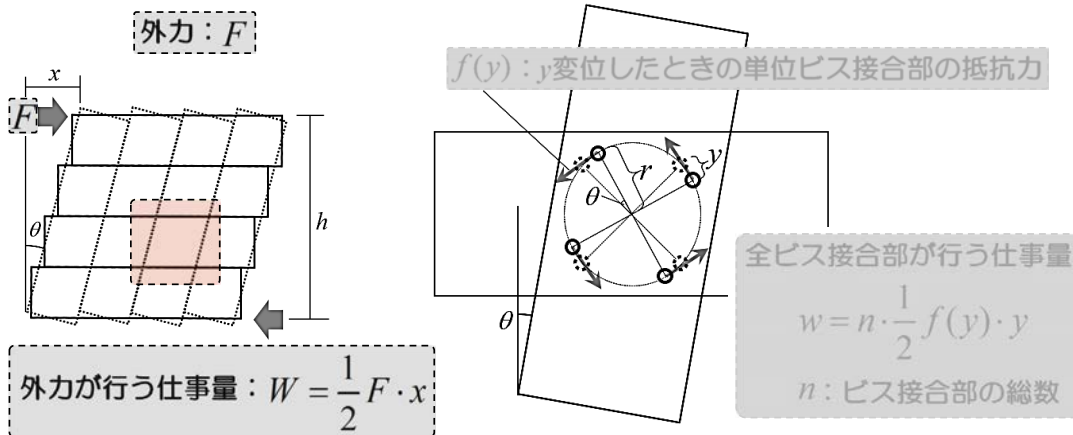
Screwed CLT の荷重変位関係の算定法



Screwed CLT の荷重変位関係の算定法



Screwed CLT の荷重変位関係の算定法①



Screwed CLT の荷重変位関係の算定法①

$$\text{外力が行う仕事量: } W = \frac{1}{2} F \cdot x$$

全ビス接合部が行う仕事量

$$w = n \cdot \frac{1}{2} f(y) \cdot y$$

n : ビス接合部の総数

$W = w$ となるので、

$$F = \frac{n \cdot f(y) \cdot y}{x}$$

微小区間についてみると

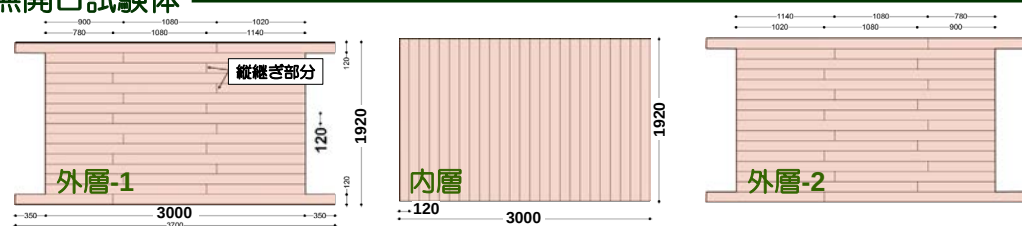
$$\Delta F = \frac{n \cdot f(\Delta y) \cdot \Delta y}{\Delta x}$$

変位増分解析により
Screwed CLTの荷重変位関係
を求めることができる

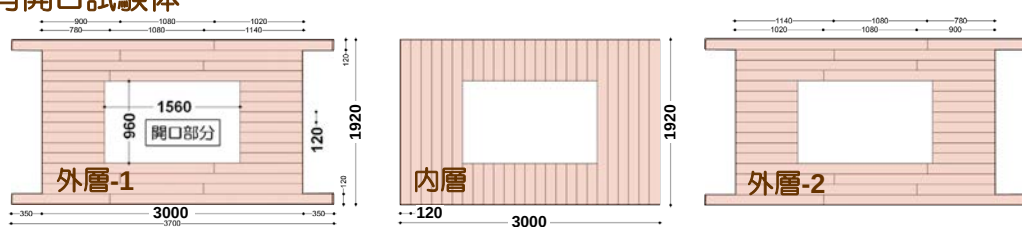
(Δy は Δx の関数)

Screwed CLT の面内せん断用の試験体（3層構成の場合）

無開口試験体

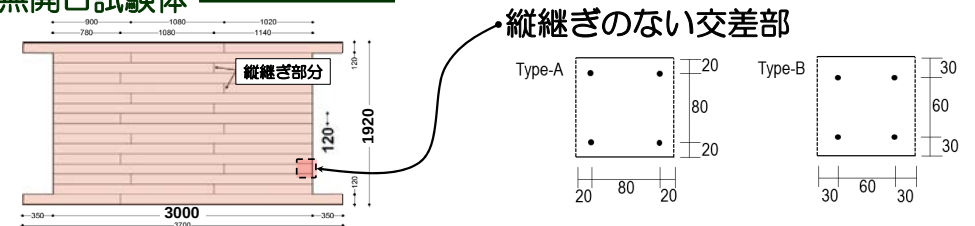


有開口試験体

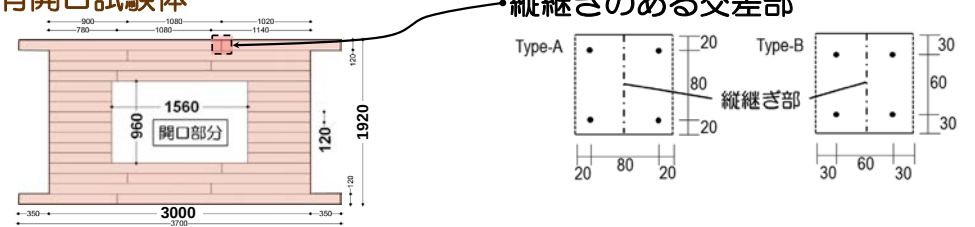


Screwed CLT の面内せん断試験 — ビス接合部の配置

無開口試験体

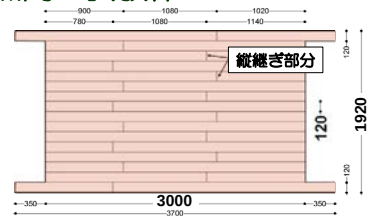


有開口試験体

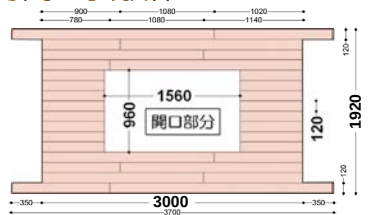


Screwed CLT の面内せん断試験 ― 層構成とビスの仕様

無開口試験体



有開口試験体



層構成と積層接合に用いたビスの仕様

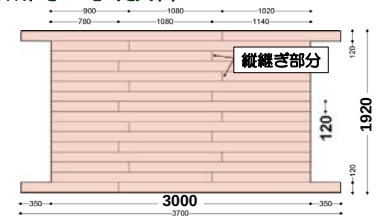
3層構成

[接合材：3層構成]
パネリドⅡ P5-80
・径：5mm，長さ：80mm

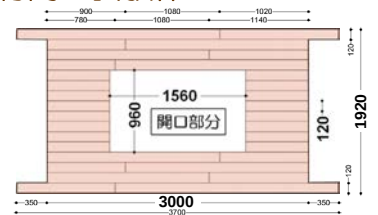


Screwed CLT の面内せん断試験 ― 層構成とビスの仕様

無開口試験体



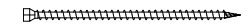
有開口試験体



層構成と積層接合に用いたビスの仕様

5層構成

[接合材：5層構成]
パネリド PX6-140
・径：6mm，長さ：140mm

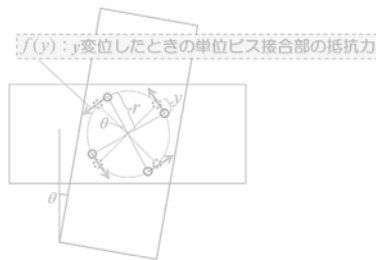


試験体の仕様と試験の目的

試験体名	F3-20	F3-30	F5-20	F5-30
①層数	3層	3層	5層	5層
②開口の有無	無	無	無	無
③ビス材縁距離	20mm	30mm	20mm	30mm

試験体名	O3-20	O3-30	O5-20	O5-30
①層数	3層	3層	5層	5層
②開口の有無	有	有	有	有
③ビス材縁距離	20mm	30mm	20mm	30mm

- 目的 ① 製材の積層数と耐力との関係を確認
② 開口の有無と耐力との関係を確認



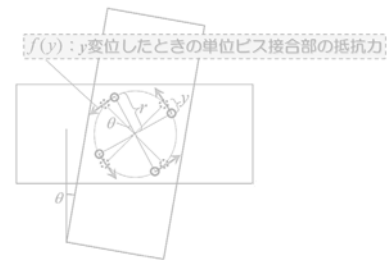
- ③ ビスの材縁距離と耐力との関係を確認

試験体の仕様と試験の目的

試験体名	F3-20	F3-30	F5-20	F5-30
①層数	3層	3層	5層	5層
②開口の有無	無	無	無	無
③ビス材縁距離	20mm	30mm	20mm	30mm

試験体名	O3-20	O3-30	O5-20	O5-30
①層数	3層	3層	5層	5層
②開口の有無	有	有	有	有
③ビス材縁距離	20mm	30mm	20mm	30mm

- 目的 ① 製材の積層数と耐力との関係を確認
② 開口の有無と耐力との関係を確認

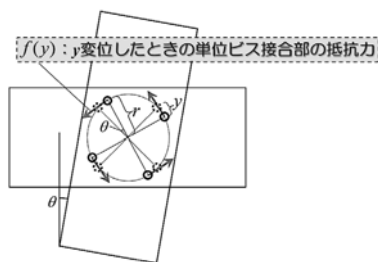


- ③ ビスの材縁距離と耐力との関係を確認

試験体の仕様と試験の目的

試験体名	F3-20	F3-30	F5-20	F5-30
①層数	3層	3層	5層	5層
②開口の有無	無	無	無	無
③ビス材縁距離	20mm	30mm	20mm	30mm

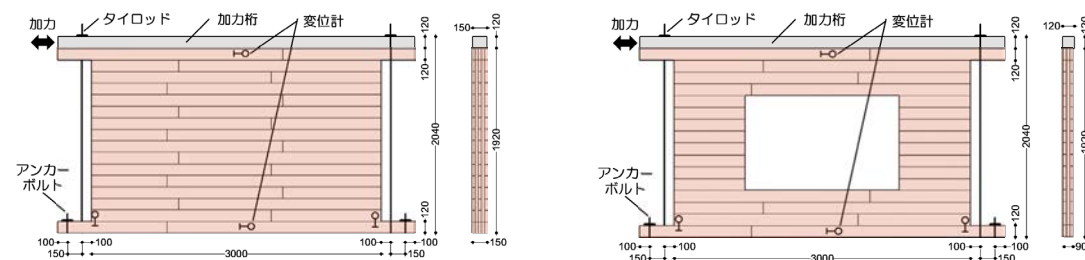
試験体名	O3-20	O3-30	O5-20	O5-30
①層数	3層	3層	5層	5層
②開口の有無	有	有	有	有
③ビス材縁距離	20mm	30mm	20mm	30mm



- 目的 ① 製材の積層数と耐力との関係を確認
② 開口の有無と耐力との関係を確認

- ③ ビスの材縁距離と耐力との関係を確認

試験方法（加力方法）

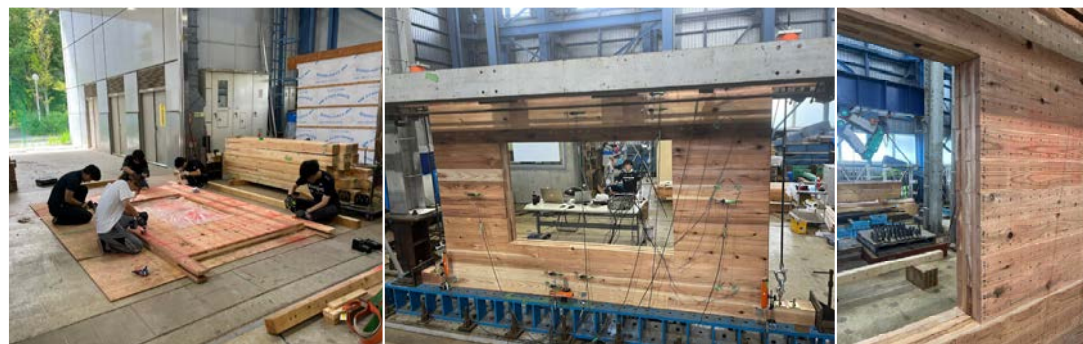


加力方法：正負交番の繰り返し加力

加力スケジュール：±1/450、±1/300、±1/200、±1/150、±1/100、±1/75、±1/50radを折り返し点とする3回繰り返し加力、その後、加力装置の荷重の容量まで単調加力

計測：水平変位
鉛直変位
挽き板の縦継ぎ部分の変位（開き）

試験体の製作と試験の様子

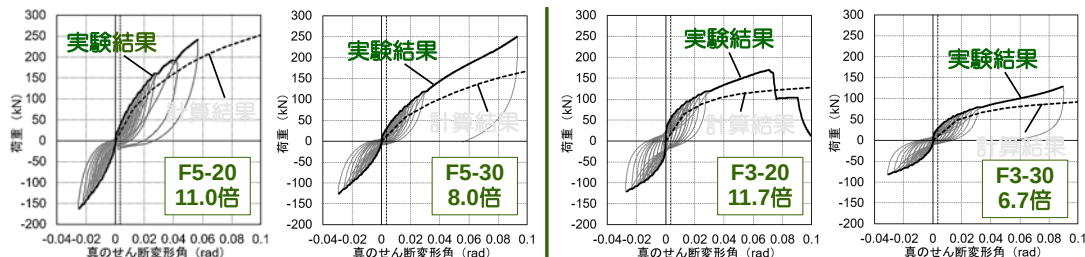


試験体製作の様子

加力試験の様子

試験体の変形

実験結果一荷重変形角曲線（開口なし）



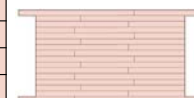
(a)5層構成・材縁20mm

(b)5層構成・材縁30mm

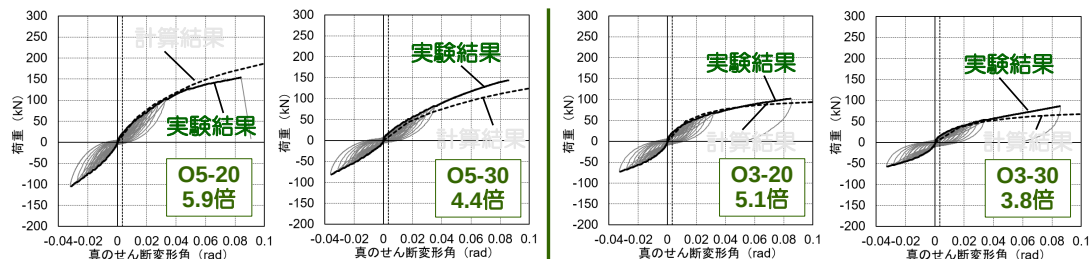
(c)3層構成・材縁20mm

(d)3層構成・材縁30mm

試験体名	Py (kN)	P _{1/150} (kN)	2/3P _{max} (kN)	0.2Pu/Ds (kN)	降伏耐力 (kN)	単位長さ 降伏耐力 (kN/m)	壁倍率 相当 (倍)
F5-20	125	64.6	161	67.2	64.6	21.5	11.0
F5-30	117	46.8	167	68.2	46.8	15.6	8.0
F3-20	86.7	69.3	113	68.8	68.8	22.9	11.7
F3-30	63.5	39.6	86.0	44.9	39.6	13.2	6.7



実験結果一荷重変形角曲線（開口あり）

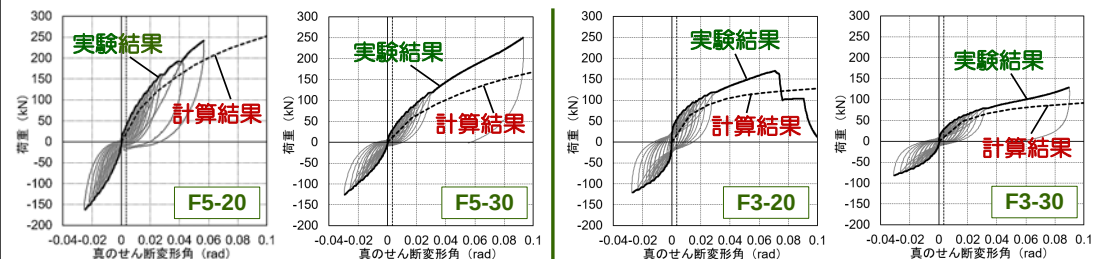


(a)5層構成・材縁20mm (b)5層構成・材縁30mm (c)3層構成・材縁20mm (d)3層構成・材縁30mm

試験体名	P_y (kN)	$P_{1/150}$ (kN)	$2/3P_{max}$ (kN)	$0.2P_u/D_s$ (kN)	降伏耐力 (kN)	単位長さ 降伏耐力 (kN/m)	壁倍率 相当 (倍)
O5-20	88.7	34.6	103	48.5	34.6	11.5	5.9
O5-30	69.7	26.1	96.0	39.1	26.1	8.7	4.4
O3-20	52.7	30.1	68.0	35.9	30.1	10.0	5.1
O3-30	42.7	22.1	57.6	26.9	22.1	7.4	3.8

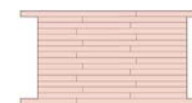


実験試験と計算結果の比較（開口なし）

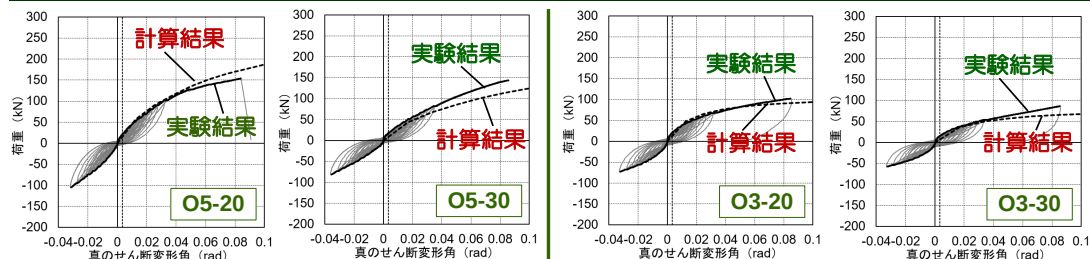


(a)5層構成・材縁20mm (b)5層構成・材縁30mm (c)3層構成・材縁20mm (d)3層構成・材縁30mm

計算結果は荷重が実験結果よりも低く求まった



実験試験と計算結果の比較（開口あり）



(a)5層構成・材縁20mm (b)5層構成・材縁30mm (c)3層構成・材縁20mm (d)3層構成・材縁30mm

O5-20とO3-20を除き、
計算結果は荷重が実験結果よりも低く求まった



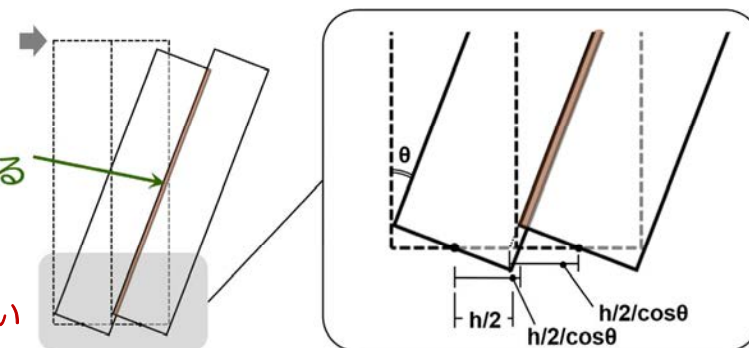
計算結果に対する考察

計算結果の荷重が、実験結果の荷重よりも低く求まった理由：

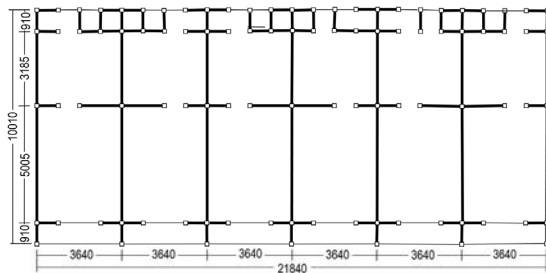
挽板が傾斜すると挽板間に支圧力と摩擦力が生じるが、この力が行う仕事量を計算では考慮していない。外力と釣り合う仕事量が小さく評価。

製材間に
支圧と摩擦が生じる

安全側の設計
という観点からは
考慮しないほうが良い

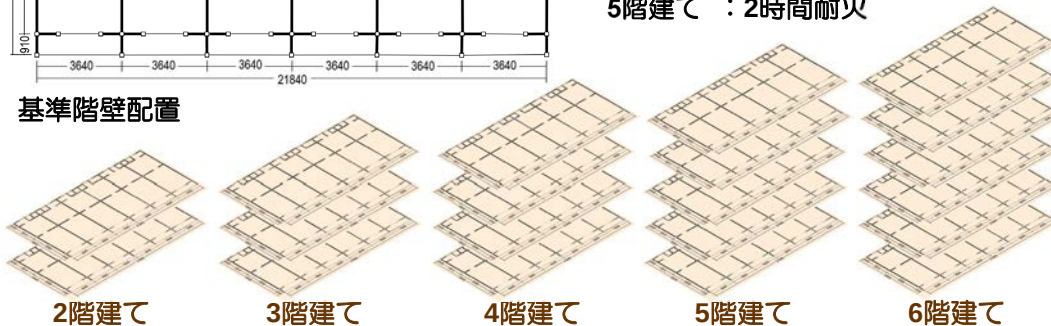


Screwed CLT を構造材とする設計事例ー計算対象



基準階壁配置

用途：集合住宅
基準階床面積：1181.5 m²
階数：2～5階建て
2～3建て：1時間準耐火
4階建て：1時間耐火
5階建て：2時間耐火

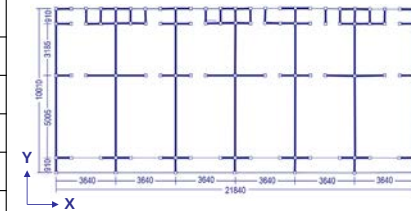


2階建て 3階建て 4階建て 5階建て 6階建て

Screwed CLT を構造材とする設計事例ー結果（地震時）

必要耐力（降伏時）と必要壁長さ

作用階	必要耐力 (降伏時)	必要壁長さ (m)			
		F5-20	F5-30	(F3-20)	F3-30
6階	216	3.3	4.6	3.1	5.5
5階	454	7.0	9.7	6.6	11.5
4階	641	9.9	13.7	9.3	16.2
3階	793	12.3	16.9	11.5	20.0
2階	931	14.4	19.9	13.5	23.5
1階	1050	16.3	22.4	15.3	26.5



壁長さ X方向：54.6m
Y方向：81.0m

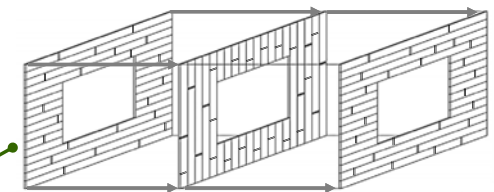
無開口壁で最も耐力が低い、[3層構成+ビスの縁距離30mm] の Screwed CLTを用いても耐力を確保することができる。

まとめ

1. 構造用ビスを用いて接合したScrewed CLTの面内せん断に係る降伏耐力、終局耐力、初期剛性に関する知見を実験により得た。
2. Screwed CLTの面内せん断に係る荷重変形角関係をビス接合部の荷重変位関係を用いて増分解析により求める方法を示した。
3. 計算結果が安全側の値となっており、設計に用いることが可能であるという結果を得た。
4. 6階建ての建物を設計した場合、耐力が最も低いScrewed CLT [3層構成+ビス材遠距離：30mm] を水平抵抗要素とした場合であっても、降伏時と必要な耐力を得ることができることを確認した。

今後について

1. 積層数が5層以上、例えば、7層や9層の場合の耐力と剛性についての検証。
2. 短い挽板、例えば、360mm程度を用いた場合の性状の確認。
3. より精緻な試設計の実施。
4. 活用の可能性の検討。



耐震補強用のパネルとしての活用

ご清聴下さりありがとうございました

文献 : Petr Kuklík, Lukáš Velebil, Pavel Nechanický: Mechanically Jointed CLT Panels for Wall, Floor and Timber-Concrete Composite Structure, Proceedings of World Conference on Timber Engineering, 2016.