

7.1 ライフデザイン・カバヤ（株）

事業名		CLT中層化「ウィングスラブ汎用性拡大及び防耐火対応プロジェクト」	
実施者（担当者）		ライフデザイン・カバヤ株式会社	
建築物の概要	用途		事務所
	建設地		岡山県岡山市北区西島田町67番1、68番、72番1
	構造・工法		CLTパネル工法、一部鉄骨柱及び梁、一部CLT充腹梁
	階数		6
	高さ（m）		30.87m
	軒高（m）		27.37m
	敷地面積（㎡）		3,487.59㎡
	建築面積（㎡）		625.00㎡
	延べ面積（㎡）		3,630.00㎡
	階別面積	1階	505.00㎡
2階		625.00㎡	
3階		625.00㎡	
4階		625.00㎡	
5階		625.00㎡	
6階		625.00㎡	
C L Tの仕様	C L T採用部位		壁、床、屋根、複合スラブのウェブ／フランジ部分
	C L T使用量（㎡）		建築物使用量 概算1,042㎡
	壁パネル	寸法	270mm厚
		ラミナ構成	9層9プライ
		強度区分	S90
		樹種	ヒノキ
	床パネル	寸法	150mm厚
		ラミナ構成	5層5プライ
		強度区分	S90
		樹種	ヒノキ
	屋根パネル	寸法	90mm厚
		ラミナ構成	3層3プライ
強度区分		Mx60	
樹種		スギ	
木材	主な使用部位（CLT以外の構造材）		無
	木材使用量（㎡）※構造材、羽柄材、下地材、仕上材等とし、CLT以外とする		0㎡
仕上	主な外部仕上	屋根	30分 耐火構造(大臣認定) ※アスファルト防水
		外壁	2時間耐火構造(大臣認定) ※タイル貼
		開口部	カーテンウォール：スチール、溶融亜鉛メッキ リン酸処理仕上+複層ガラス
	主な内部仕上	界壁	無 注)界床：次期開発(本件開発床仕様による2時間耐火構造)
		間仕切り壁	2時間耐火構造(大臣認定) ※化粧材貼り
		床	東立て方式合板28mm下地カーペットタイル
天井		CLT+PB21×2	
構造	構造計算ルート		ルート3
	接合方法		引張及びせん断金物、ビス接合
	最大スパン		充腹梁による最大スパン10m
	問題点・課題とその解決策		構造検討とウェーブフランジ材の接合部試験、ウェブ材の部材試験を行い、その結果をもとにスパン別、想定荷重別に数パターンのCLT複合スラブを設計し実大評価試験を行う。
防耐火	防火上の地域区分		その他地域
	耐火建築物等の要件		3階以上2時間耐火、1、2階1時間耐火
	本建築物の防耐火仕様		3階以上2時間耐火、1、2階2時間耐火
	問題点・課題とその解決策		CLT充腹梁が1時間及び2時間耐火の告示仕様対象外。個別に大臣認定を取得予定。
温熱	建築物省エネ法の該当有無		該当あり：規制対象
	温熱環境確保に関する課題と解決策		構造プロトタイプモデルとしては外皮を全面開口としている。実設計ではCLTスラブ持出しによる庇で日射遮蔽効果に期待。
	主な断熱仕様（断熱材の種類・厚さ）	屋根（又は天井）	カネライトフォーム ・ 50～100mm
		外壁	複層ガラス
床		無	
施工	遮音性確保に関する課題と解決策		－
	建て方における課題と解決策		－
	給排水・電気配線設置上の工夫		－
	劣化対策		－
工程	設計期間		プロトタイプの設計期間 2021年6月～2022年1月（8ヵ月）
	施工期間		令和4年7月～令和5年2月（8ヵ月）
		C L T躯体施工期間	－
体制	竣工（予定）年月日		2024年10月頃予定
	発注者		ライフデザイン・カバヤ株式会社
	設計者（複数の場合はそれぞれ役割を記載）		基本設計：日本CLT技術研究所1級建築士事務所
	構造設計者		株式会社構造計画研究所
	施工者		ライフデザイン・カバヤ株式会社
	C L T供給者		銘建工業株式会社
	ラミナ供給者		－

実証事業名：CLT 中層化「ウィングスラブ汎用性拡大及び防耐火対応プロジェクト」

建築主等、協議会運営者：ライフデザイン・カバヤ株式会社

1. 実証した建築物の概要

用途		事務所		
建設地		岡山県岡山市北区西島田町		
構造・工法		CLT パネル工法、一部鉄骨柱及び梁、一部 CLT 充腹梁		
階数		6		
高さ (m)		30.87m	軒高 (m)	27.37m
敷地面積 (㎡)		3,487.59 ㎡	建築面積 (㎡)	625.00 ㎡
階別面積	1 階	505.00 ㎡	延べ面積 (㎡)	3,630.00 ㎡
	2 階	625.00 ㎡		
	3 階	625.00 ㎡		
	4 階	625.00 ㎡		
	5 階	625.00 ㎡		
	6 階	625.00 ㎡		
CLT 採用部位		壁、床、屋根、複合スラブのウェブ／フランジ部分		
CLT 使用量 (m³)		建築物使用量 概算 1,042 ㎡		
CLT を除く木材使用量 (m³)		—		
CLT の仕様	(部位)	(寸法 / ラミナ構成 / 強度区分 / 樹種)		
	壁	270mm 厚/9 層 9 プライ/S90/ヒノキ		
	床	150 厚/5 層 5 プライ/S90/ヒノキ		
	屋根	90mm 厚/3 層 3 プライ/Mx60/スギ		
設計期間		2022 年 6 月～2023 年 2 月 (8 カ月)		
施工期間		2022 年 7 月～2023 年 2 月 (7 ヶ月)		
CLT 躯体施工期間		2022 年 7 月～2023 年 2 月 (7 か月)		
竣工 (予定) 年月日		2024 年		

2. 実証事業の目的と設定した課題

昨年の補助事業にて 6 階建 CLT 中層建築の設計実証を行った際、床スラブとして使用する CLT 複合スラブの部材性能実証も行ったが、全体の構造計画の中の一部として行ったに過ぎず、スパン対応、製造コスト、防耐火要件等課題を残しており建築に向け改善を図る。また、10m 超の無柱空間が確保できる部材となり中大規模の CLT 並びに木造建築において利用価値は高い。

(1) 構造検討とウェブフランジ材の接合部試験、ウェブ材の部材試験を行い、その結果をもとにスパン別、想定荷重別に数パターンの CLT 複合スラブを設計し実大評価試験を行

う。その結果と事前検討の確認を行い設計手法の妥当性確認を行う。

(2) 防耐火要件対応については、壁は仕上げに木材を用いる仕様、床は 1 時間/2 時間耐火に対応できる標準仕様と仕上げに木材を用いる仕様を検討し耐火試験を実施して性能確保の確認を行う。

3. 協議会構成員

(設計) ライフデザイン・カバヤ株式会社 守谷和弘、市村直也、小宮秀則
藤本和典 (協議会運営者)

(施工) ライフデザイン・カバヤ株式会社

(材料) 銘建工業株式会社：車田慎介、近藤純平

(試験) 広島大学 森拓郎

4. 課題解決の方法と実施工程

・構造検討とウェブフランジ材の接合部試験、ウェブ材の部材試験を行い、その結果をもとにスパン別、想定荷重別に数パターンの CLT 複合スラブを設計し実大評価試験を行う。その結果と事前検討の確認を行い設計手法の妥当性確認を行う。

・防耐火要件対応については、壁は仕上げに木材を用いる仕様、床は 1 時間/2 時間耐火に対応できる標準仕様と仕上げに木材を用いる仕様を検討し耐火試験を実施して性能確保の確認を行う。

<協議会の開催>

2022 年 6 月 10 日：第 1 回開催、スケジュール及びスキムの確認、耐火試験の予定
接合部仕様・接合部試験の検討

8 月 17 日：第 2 回開催、試験経過確認およびウェブ部材の仕様・試験検討
耐火試験の結果及び今後の予定

11 月 8 日：第 3 回開催、試験結果確認および CLT 複合スラブの仕様・試験・設計
方法検討
耐火試験 (壁) 結果確認

2023 年 2 月：第 5 回開催、実証事業の取りまとめ検討／耐火試験 (床) の結果確認
<性能確認>

(構造)

2022 年 7 月：ウェブフランジ接合部の接合方法及び試験体洗い出し

8 月：ウェブフランジ接合部試験

9 月：ウェブフランジ接合部試験

CLT 複合スラブ性能評価試験の試験体及び評価項目の検討

ウェブ材試験は無

12 月：CLT 複合スラブ試験(12/12～12/14 宮崎県木材利用技術センター)

2023 年 1 月：ウェブ材のせん断／曲げ補足試験 (広島大学及び宮崎木材利用技術 S)

(耐火)

2022 年 7 月：壁 耐火性能評価試験

間仕切壁 1 時間耐火試験 (7/20、7/26 建材試験センター中央試験所)

8 月：壁 耐火性能評価試験

間仕切壁 2 時間耐火試験 (8/15、8/18 建材試験センター中央試験所)

外壁 2 時間耐火試験 (内側) 8/31、9/5 建材試験センター中央試験所)

9 月：外壁 2 時間耐火試験 (外側) 9/29、10/5 建材試験センター中央試験所)

10 月：壁耐火試験は 1 時間、2 時間共に全て合格、大臣認定申請を行う

2023 年 2 月：床 耐火性能評価試験

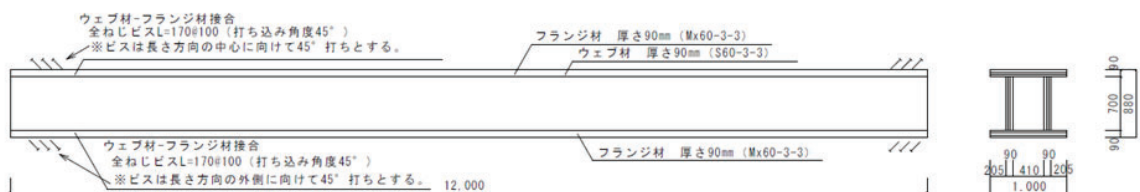
ウィングスラブ (床下) 2 時間耐火試験 (2/14、2/16 建材試験センター西日本)

ウィングスラブ (床上) 2 時間耐火試験 (2/27、3/2 建材試験センター西日本)

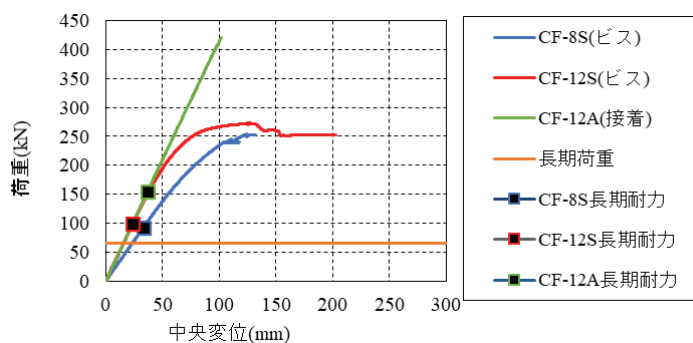
5. 得られた実証データ等の詳細

・ウィングスラブ性能評価試験 (8m スパンビス仕様、12m スパンビス仕様/接着仕様)

仕様 (試験体名)	接合方法	支持スパン /試験体長さ (m)	ウェブ/複合スラブ せい (mm)	目標 EI × 10 ¹⁰ (kN・mm ²)	設計 EI × 10 ¹⁰ (kN・mm ²)
8m ビス仕様 (CF-8S)	全ねじビス 45度打ち@100	8/8.4	380/500	1.9	2.6
12m ビス仕様 (CF-12S)	全ねじビス 45度打ち@100	11.6/12	700/880	11.9	14.3
12m 接着仕様 (CF-12A)	レゾルシノール系 接着剤	11.6/12	620/800	12	14.5



《試験結果》



スパン 8m、12m について必要性能 (長期許容耐力、曲げ剛性) を満たしていることを確認した。

複合スラブの曲げ剛性の評価について、試験結果よりウェブ材のせん断変形分を考慮するとメソッドを用いる事により適切に評価出来る事を確認した

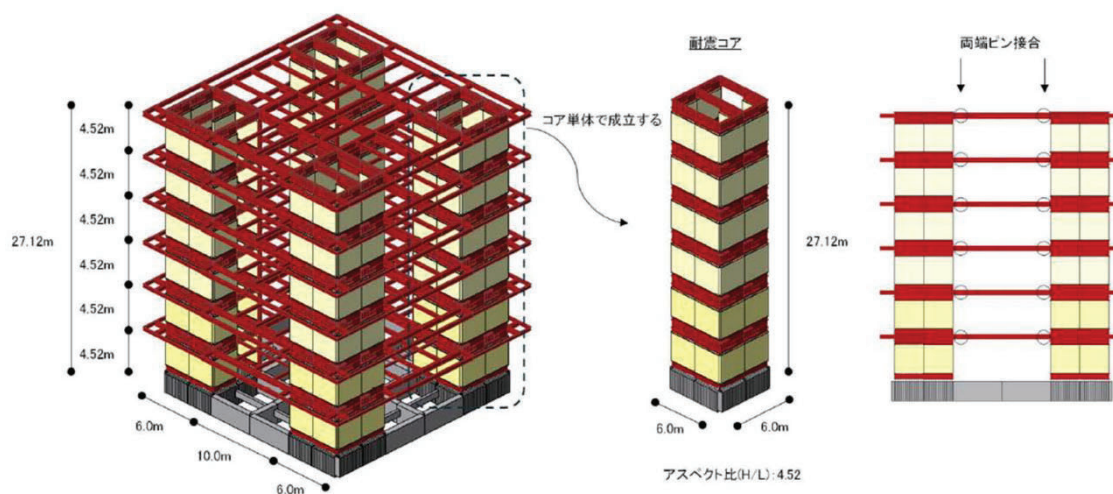
- ・間仕切壁 1 時間耐火試験 耐火被覆厚 36 mm 合格 大臣認定取得
- ・外壁 2 時間耐火試験 内側耐火被覆 57 mm 合格 大臣認定取得
- ・間仕切壁 2 時間耐火試験 両面耐火被覆 57 mm 合格 大臣認定取得
 - ※仕上げに木材を用い被覆を兼ねる耐火建築を目指したが、有識者や試験機関から難易度の高さの指摘を受け、告示や既認定の被覆厚低減を目標とした
- ・ウィングスラブ床 2 時間耐火試験(実施中) 大臣認定取得予定
- ・躯体工事の他工法との比較

6階建ての1層床で躯体施工コスト比較(材工)		
工法	金額	工期
CLTウィングスラブ	¥12,219,684	3日間
RC造	¥5,145,938	10日間
S造	¥5,524,956	7日間
※12m×12mの無柱空間として試算		
※建て方時のレッカー等重機代含む		
※建築地を岡山市内として輸送費を含む		

6. 本実証により得られた成果

- ・CLT 中層化 project として昨年度は構造モデルの設計に取り組み、今年度は最大 12m の無中空間を可能とするウィングスラブ及び防耐火対策に取り組み、6 層以下の CLT らしいビル設計の実現に大きく近づけた。
- ・被覆厚を低減できること、及び 3 階建て以下で採用している 120 mm 厚 5 層 5 プライの CLT(ラミナ厚 24 mm)まで認定範囲に含めることができたことで耐火建築のコストダウンに結びつく。
- ・ウィングスラブの施工コストは他工法と比較してまだまだ高いが、圧倒的な工期短縮、DfMA の効果が期待できる。

7. 建築物の平面図・立面図・写真等



(成果物)

ウィングスラブ(複合スラブ)の
事前検討と構造性能確認について

2023 年 2 月

ライフデザイン・カバヤ（株）

(成果物) 複合スラブの事前検討と構造性能確認について

複合スラブ汎用性拡大の為、ウェブ材、フランジ材に CLT を用いた複合スラブについて、事前検討と複合スラブ曲げ試験結果の比較により事前検討の適正度確認を実施した。



1. 事前検討

1.1 目標 EI

複合スラブの曲げ剛性は目標値を下記とし、下式にて算出した。

スパンの 1/300 かつ 20mm 以下で変形増大係数 2 を考慮→目標たわみ 10 mm 以下

$$EI = \frac{5(P + G)L^4}{384(\delta_b - \delta_s)}$$

G : 固定荷重

P : 積載荷重(事務所)

(たわみ検討時=0.0008kN/mm²)

L : スパン(=8000mm, 11600mm)

δ_b : 目標たわみ(=10mm)

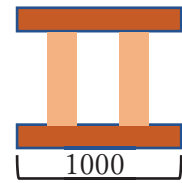
1.2 設計 EI

複合スラブ曲げ剛性(設計 EI)の算出は、下記に示す Eurocode5 に示されている γ メソッドを用いた。検討した試験体仕様は「1.3 試験体仕様と試験体性能」の表 1-3-1 に示す。

$$(EI)_{ef} = \sum_{i=1}^3 (E_i I_i + \gamma_i E_i A_i a_i^2) = 2(E_1 I_1 + \gamma_1 E_1 A_1 a_1^2) + E_2 I_2 + \gamma_2 E_2 A_2 a_2^2$$

$$a_2 = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2) - \gamma_3 E_3 A_3 (h_2 + h_3)}{2 \sum_{i=1}^3 \gamma_i E_i A_i} = \frac{\gamma_1 E_1 A_1 (h_1 + h_2)}{2(\gamma_1 E_1 A_1 + \gamma_2 E_2 A_2)}$$

$$\gamma_1 = \frac{1}{1 + \frac{\pi^2 E_1 A_1 s_1}{K_1 L^2}}, \quad a_1 = \frac{h_1 + h_2}{2} - a_2$$



複合スラブ断面

$(EI)_{ef}$: 有効曲げ剛性(kN・mm²)

E_1 : フランジ材のヤング係数(kN/mm²)

E_2 : ウェブ材のヤング係数(kN/mm²)

I_1 : フランジ材の断面二次モーメント(mm⁴)

I_2 : ウェブ材の断面二次モーメント(mm⁴)

γ_1 : フランジ材-ウェブ材間の接続剛性係数

γ_2 : 定数=1

A_1 : フランジ材の断面積(mm²)

A_2 : ウェブ材の断面積(mm²)

a_1 : フランジ材中央から中立軸までの距離(mm) a_2 : ウェブ材中央から中立軸までの距離(mm)

s : スパン方向の接合具のピッチ(mm)

L : 支点間距離(mm)

h_1 : フランジ材の高さ(mm)

h_2 : ウェブ材の高さ(mm)

K : ウェブ材-フランジ材間の滑り係数(kN/mm)

※E は、CLT を用いた建築物設計施工マニュアル記載の値

※K は、接合部試験を実施し、その結果より、接着仕様 1m あたり 3611(kN/mm)、ビス仕様(全ねじビス 45 度打ち) 1 本あたり 5.47(kN/mm)とした。

設計 EI 算定時の複合スラブ曲げ剛性と滑り係数 K 関係を図 1-2-1 示す。スパン方向 1m あたりの滑り係数と複合スラブリの曲げ剛性の関係より、滑り係数が 100(kN/mm)程度以下では複合スラブリの曲げ剛性の変化が大きいがそれ以降は変化量が小さくなるため、効率的な部材構成となるように、ビス仕様では、滑り係数が 109.4(kN/mm)となる、全ねじビス 45 度打ち 100mm ピッチを採用した。

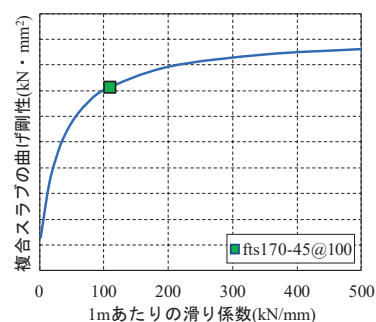


図 1-2-1 曲げ剛性と滑り係数（ビス）

1.3 試験概要

1.3.1 試験体仕様と試験体性能

1.1、1.2 にて算出した目標 EI、設計 EI と各試験体仕様を表 1-3-1 に示す。また代表例の 12m ビス仕様の試験体図を図 1-3-1 に示す。

表 1-3-1 各試験体一覧

仕様 (試験体名)	接合方法	支持スパン /試験体長さ (m)	ウェブ/複合スラブリ せい(mm)	目標EI×10 ¹⁰ (kN・mm ²)	設計EI×10 ¹⁰ (kN・mm ²)
8mビス仕様 (CF-8S)	全ねじビス 45度打ち@100	8/8.4	380/500	1.9	2.6
12mビス仕様 (CF-12S)	全ねじビス 45度打ち@100	11.6/12	700/880	11.9	14.3
12m接着仕様 (CF-12A)	レゾルシノール系 接着剤	11.6/12	620/800	12	14.5

※ウェブ材：CLT 厚さ 90 mm、S60-3-3、

フランジ材：CLT (8m 仕様) 厚さ 60 mm (12m 仕様) 90 mm、Mx60-3-3、幅 1m

※全ねじビス：φ8 mm、長さ 170 mm

※ウェブ材せいは、12m 仕様は設計 EI が目標 EI を 15%程度、8m 仕様は 25%程度上回るせいとした。

目標 EI 算出時の想定荷重 (G+P) は、CF-8S が 3.14kN/m²、CF-12S が 3.6kN/m²、CF-12A が 3.53kN/m²とした。

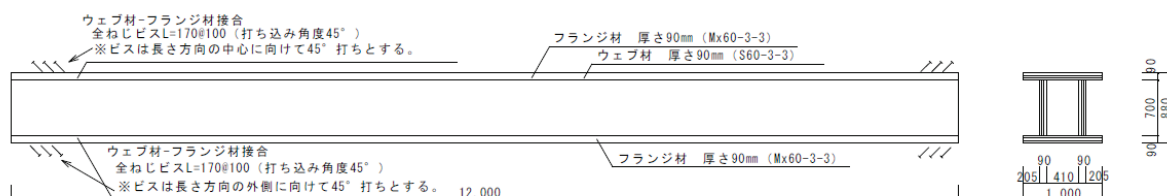


図 1-3-1 試験体図（代表例 12m ビス仕様）

1.3.2 試験方法

複合スラブの実大曲げ試験は単調載荷による 4 点曲げ試験とした。加力図と試験条件をそれぞれ図 1-3-2、表 1-3-2 に、試験時の様子を写真 1-3-1 に示す。

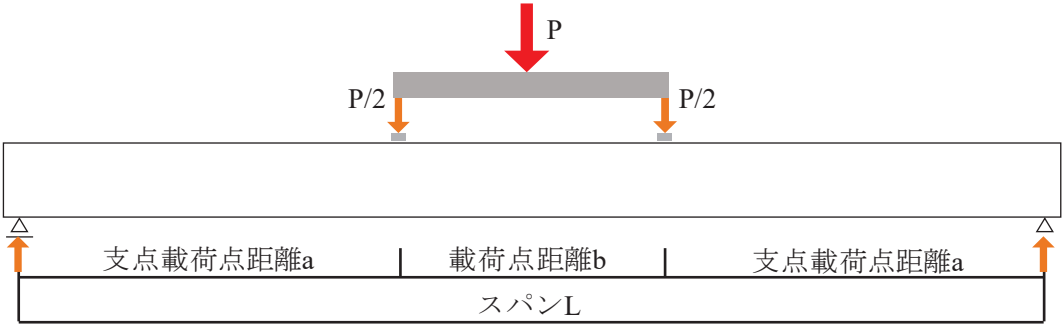


図 1-3-2 加力図

表 1-3-2 試験条件

試験体名	L(mm)	a(mm)	b(mm)	加力速度 (mm/min)
CF-8S	8000	3000	2000	3
CF-12S	11600	4500	2600	6
CF-12A	11600	4500	2600	6



写真 1-3-1 試験時の様子

1.4 試験結果

1.4.1 破壊性状

各試験体の試験後の様子を写真 1-4-1 から写真 1-4-3 に示す。

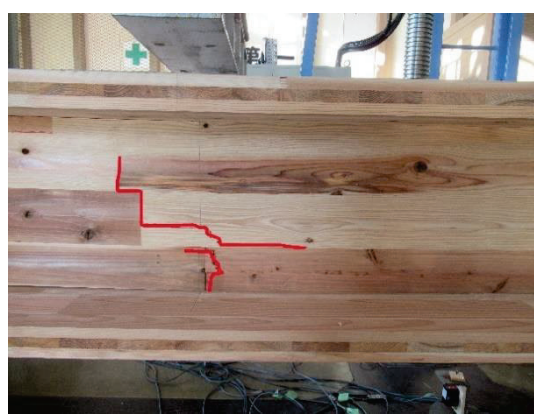
ビス試験体において、フランジ材とウェブ材のずれが蓄積し、複合スラブの端部では、写真 1-4-1(b)のような 1cm 程度のずれが確認できた。CF-8S は複合スラブ全体として曲げ変形した後、最終的に写真 1-4-1(c)に示すような曲げ区間でのウェブ材の面内曲げ破壊がみられた。CF-12S は一方の支点・荷点間のビス抜けが先行し、ウェブ材単体として抵抗したことにより写真 1-4-2(b)に示すようにスパン中央部分でウェブ材が面内曲げ破壊した。それと同時に、ビス抜けが先行した側の下フランジ材が写真 1-4-2 (c)のように完全に抜け落ちた。CF-12A は接着剤によって剛に接合されており、複合スラブが一体として曲げ変形した後、写真 1-4-3(b)のように下フランジ材がスパン中央付近で曲げ破壊し、同時に写真 1-4-3(c)に示すようにウェブ材が面内曲げ破壊した。



(a) 試験体全体



(b) スラブ端部でのせん断ずれ



(c) ウェブ材の面内曲げ破壊

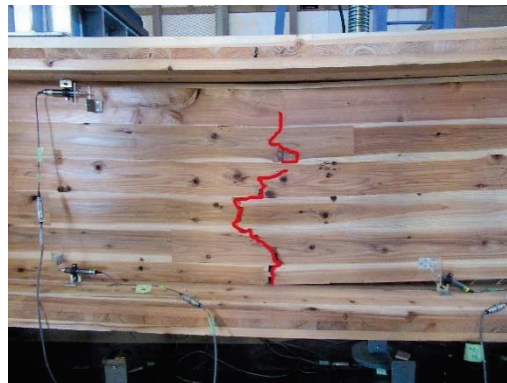
写真 1-4-1 試験後の様子(CF-8S)



(a) 試験体全体

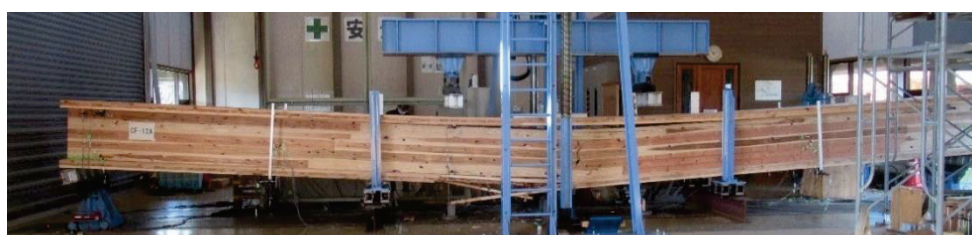


(b) 下フランジのビス抜け



(c) ウェブ材の面内曲げ破壊

写真 1-4-2 試験後の様子(CF-12S)



(a) 試験体全体



(b) 下フランジのビス抜け



(c) ウェブ材の面内曲げ破壊

写真 1-4-3 試験後の様子(CF-12A)

1.4.2 荷重変位関係

各試験体の荷重-変位関係を図 1-4-1、想定負担荷重と耐力一覧を表 1-4-1 に示す。
各試験体の長期許容耐力はそれぞれの負担荷重を上回り、性能を満たす事を確認した。

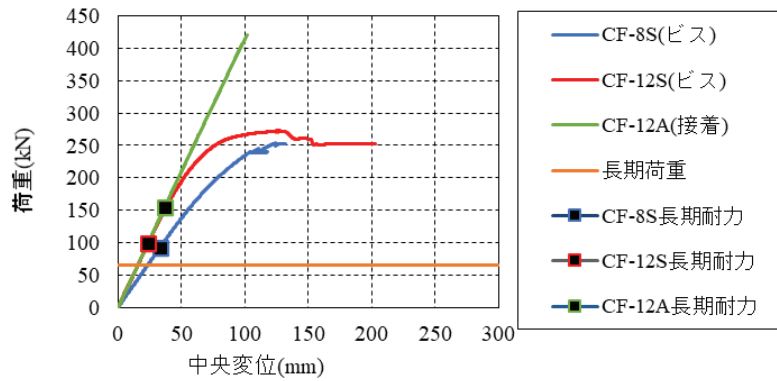


図 1-4-1 荷重変位関係

表 1-4-1 長期負担荷重と耐力一覧

試験体	長期負担荷重 (kN)	最大荷重 (P_{max})	長期許容耐力 ($1.1/3P_{max}$)
CF-8S	41.92	253.51	92.95
CF-12S	66.12	272.51	99.92
CF-12A	65.31	420.85	154.31

※長期負担荷重 (G+P) は、CF-8S が 5.24kN/m²、CF-12S が 5.7kN/m²、CF-12A が 5.63kN/m²とした。

1.4.3 曲げ剛性の設計値との比較

目標 EI、設計 EI、実験値及び実験値よりせん断変形を除いた曲げ剛性（純曲げ EI）一覧を表 1-4-2 に示す。なお、純曲げ EI は、実験値の中央変位には式(1-4-1)に示すようにせん断たわみが含まれていることが考えられる。そこで、せん断たわみを取り除いた純粋な曲げ剛性を図 1-4-2 に示すように、載荷点間距離 1m とし本試験の前に 20kN までの載荷をおこなった事前試験の結果を踏まえて式(1-4-2)により算出した。

$$\delta = \left(\frac{Pa(3L^2 - 4a^2)}{48EI} \right) + \kappa \frac{P}{GA} \quad (1-4-1) \quad \delta_2 - \delta_1 = \frac{Pa\{(3L_2^2 - 4a^2) - (3L_1^2 - 4a^2)\}}{48EI} \quad (1-4-2)$$

δ_1 : 事前試験の中央変位(mm)

δ_2 : 本試験の中央変位(mm)

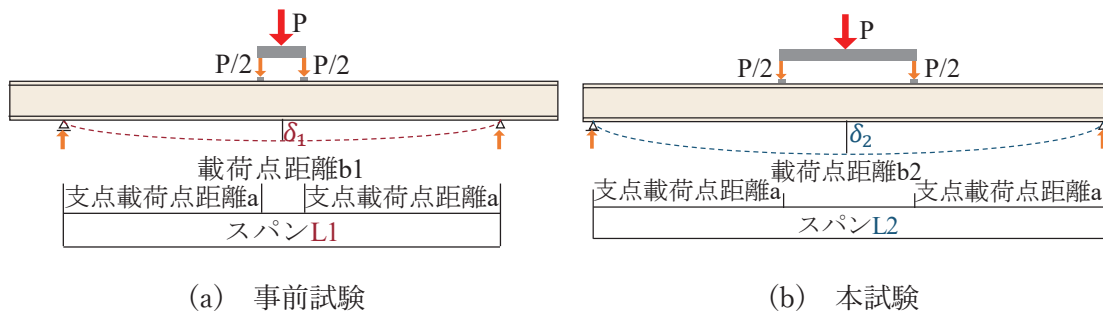


図 1-4-2 純粋な曲げ剛性算出用の試験図

表 1-4-2 設計値と実験値の一覧(単位： $\times 10^{10}\text{kN} \cdot \text{mm}^2$)

試験体名	目標EI	設計EI	実験値	純曲げEI	実験値/ 目標EI	純曲げEI/ 設計EI
CF-8S	1.93	2.6	2.8	4.1	1.49	1.58
CF-12S	11.9	14.3	12.6	17.7	1.04	1.24
CF-12A	12	14.5	12.8	14	1.06	0.97

各試験体ともに、実験値が目標 EI を上回った。CF-8S は、実験値が設計 EI と同程度であったが CF-12S および CF-12A においては少し下回った。これは γ メソッドの評価にせん断変形が含まれていないため考えられる。その確認として、せん断変形を除いた曲げ剛性（純曲げ EI）をみると、CF-8S においては設計 EI を 1.58 倍と大きく上回った。これはフランジ厚が 60mm であり、ウェブ材へのビス打込み長さが接合部試験時（試験時フランジ厚 90 mm）より長かったために高剛性となったことが理由であると考ええる。また、CF-12S では、1.24 倍と本実験で得られたせん断変形が少し小さく計測されたと考えられ、高い曲げ剛性が得られた。最後に、CF-12A においては、ほぼ接合部のずれなどが無いため計算の精度が高く、設計値の 0.97 倍を示し、 γ メソッドによる曲げ剛性の推定は純粋な曲げ剛性に対して適切であることを確認した。

1.5 まとめ

- ・ウェブ材フランジ材を CLT にて構成した複合スラブについて、スパン 8m、12m について必要性能（長期許容耐力、曲げ剛性）を満たしていることを確認した。
- ・複合スラブの曲げ剛性の評価について、試験結果よりウェブ材のせん断変形分を考慮すると γ メソッドを用いる事により適切に評価出来る事を確認した。
- ・今回は、曲げ剛性の事前検討時に設計値は目標値の 115%とし設計すると必要性能を満たす事を確認した。今後、汎用性を高めるために様々なスパン時の性能検討を可能とするため、事前検討時に γ メソッドの検討含まれないせん断変形をどのように見込むかについて今回の結果より検討を進める。

試 験 報 告 書

(接合部せん断試験)

2023 年 2 月

広島大学 森研究室

第2章 接合部せん断試験

2.1 目的

1.3 節で示したγメソッドによる有効曲げ剛性の算出より、複合スラブの曲げ剛性を高めるには、フランジ材-ウェブ材間の接続剛性もしくは、フランジ材及びウェブ材の断面性能を高める必要がある。本章では、前者のフランジ材-ウェブ材間の接続剛性を高めるための接合部せん断試験をおこなった結果を報告する。

接合部せん断試験は、接着接合とビス接合、プレート接合についておこない、それぞれ樹種の違いや、ビス接合においては、ビス種類や打ち込み角度を変えて試験をおこなった。

2.2 接着接合

2.2.1 試験体

せん断試験体は側材-主材-側材の順にロケット型に並べた3材料を接合して作成した。試験体の諸元を表 2.2-1 に示す。側材には、全て3層3プライの Mx60 スギ CLT を用いており、主材には、複合スラブに用いるスギ CLT(SC)に加えて、CLT と集成材の違いを調べるためにスギ集成材(SG)、密度の異なる樹種による違いを調べるためにオウシュウアカマツ集成材(以下、欧州アカ集成材)(RWG)の三種類を用いた。接着剤は、レゾルシノール系樹脂接着剤を用いた。試験体図を図 2.2-1 に示す。

表 2.2-1 試験体一覧

番号	樹種	接着剤	試験体数
SC-ad	スギ CLT(Mx60-3-3)	レゾルシノール	6
SG-ad	スギ集成材(E65-F225)		6
RWG-ad	欧州アカ集成材(E105-F300)		6

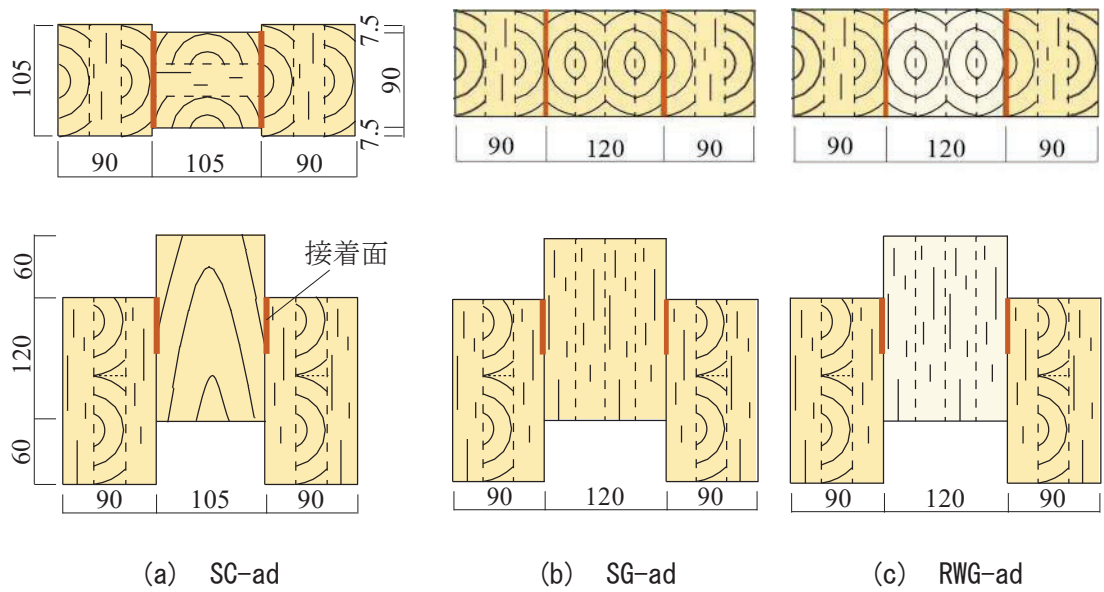


図 2.2-1 接着試験体図

2.2.2 試験方法

試験は、広島大学 E3 棟にてアムスラー型万能試験機を用いてロケット型試験体の主材を押しすることによりおこなった。加力中に側材が広がるのを防ぐため、溝型鋼を用いて試験体を手締めにより固定した。加力速度は 1mm/min とした。変位は、主材と側材の相対変位を前後左右、計 4 箇所 CDP50M(東京測器)により計測した。加力条件、試験の様子をそれぞれ図 2.2-2、写真 2.2-1 に示す。

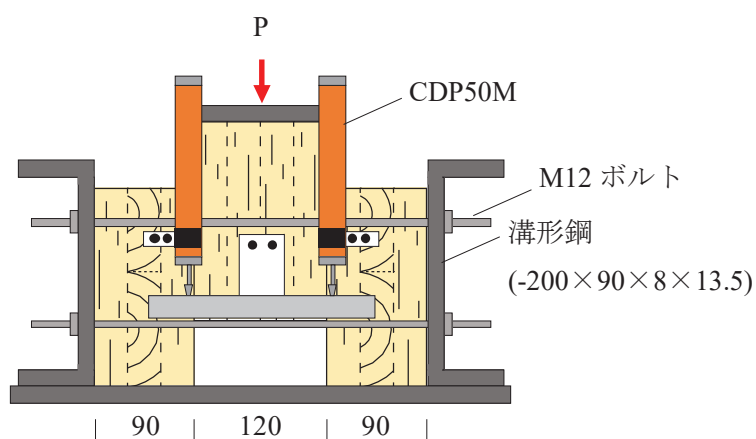


図 2.2-2 加力条件



写真 2.2-1 試験の様子 (SG-ad-1)

2.2.3 破壊性状

全ての試験体において、主材と側材の境界の接着剤が写真 2.2-2 に示すように割裂してせん断破壊が生じ、樹種による破壊性状の違いはみられなかった。

破壊は基本的に片面で起きており、載荷後は破壊した側の側材はすぐに離れ、非破壊側の側材は、軽くたたくことにより外れた。解体後の試験体の接着面を写真 2.2-3 に示す。

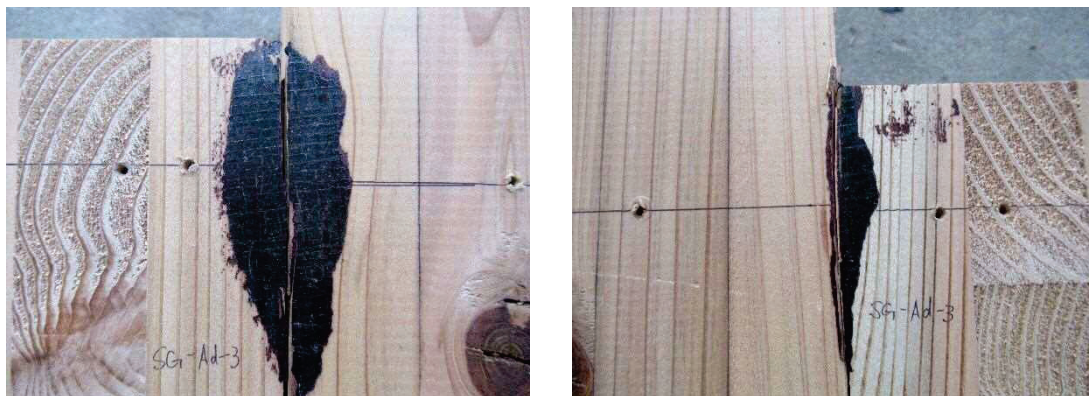
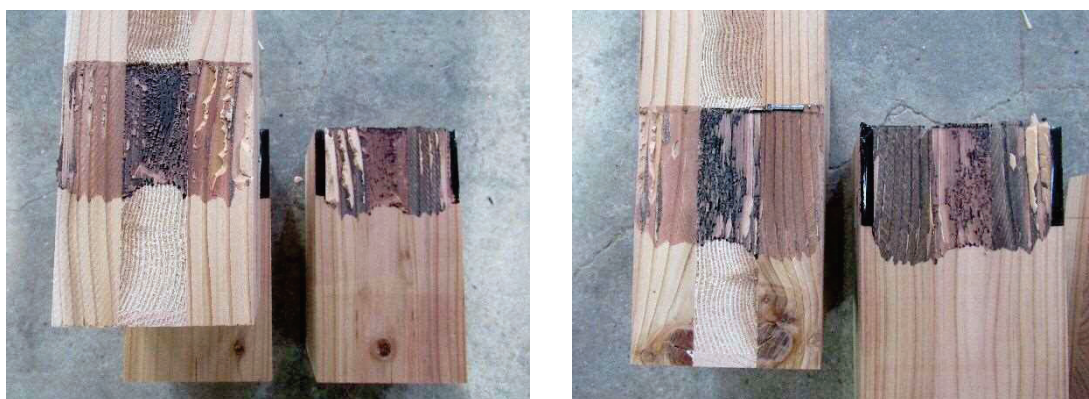


写真 2.2-2 試験後の接着面の割れ (SG-ad-3)



(a) SG-ad-3 の破壊面

(b) SG-ad-3 の非破壊面

写真 2.2-3 試験体解体後の様子

2.2.4 試験結果

2.2.4.1 スギ CLT 試験体

主材および側材の木材での破壊を防止するため、高さ方向 50mm の接着面積を目標として接着を行ったが、実際の接着面積にはばらつきがあったため、試験体の接着面積を解体した試験体の接着面の面積をそれぞれ計測した。解体したスギ CLT 試験体から計測した各試験体の接着面積の一覧を表 2.2-2 に示す。

表 2.2-2 接着面積一覧 (mm²)

	SC-ad-1	SC-ad-2	SC-ad-3	SC-ad-4	SC-ad-5	SC-ad-6
左側	6750	5400	5130	5760	5130	6210
右側	5580	5580	5490	6480	5670	6750
破壊面	右	左	左	左	左	右

図 2.2-3 にスギ CLT 試験体の荷重変位関係を示す。変位は前後左右に取り付けた 4 つの変位計の平均値を用いている。最大荷重や剛性にはバラつきが見られたものの、荷重変位グラフの概形は似通っており、最大荷重(P_{max})到達後、 $0.9P_{max}$ まで荷重が減り、再度荷重が上昇した後、急激に荷重が低下した。

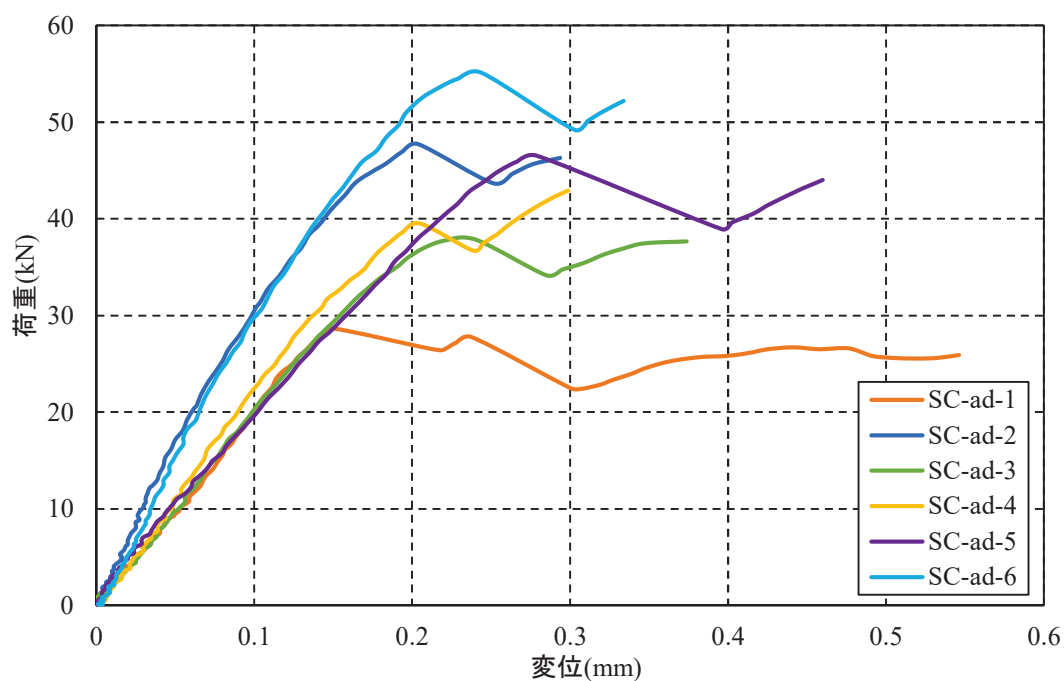


図 2.2-3 スギ CLT 試験体荷重変位関係

2.2.5 比較と考察

各試験体の接着面積の差が大きく最大荷重や初期剛性をそのままの値を用いて比較することは適当でないため、破壊側の接着面積に応じて各単位面積あたりの最大荷重・初期剛性を図 2.2-6 に示して比較をおこなう。初期剛性は $0.1P_{max}$ - $0.4P_{max}$ の荷重変位の傾きから算出している。最大荷重は、CLT は 3 層の内 1 層が木口面となり接着耐力が減少するため、同じ樹種の集成材に比べて小さくなった。また、より密度の高い欧州アカ集成材を主材に用いた場合、接着耐力は約 1.1 倍大きな値となった。一方で、初期剛性については、CLT が最も高く、スギ集成材の剛性がその約 0.7 倍程度となった。CLT が最も高剛性であった理由としては、変位計の取り付け位置が CLT の層をまたいで横方向に離れていることにより、CLT や集成材の層内や層間のずれもせん断変形に含まれ、CLT のせん断抵抗が大きいためにかかけの剛性が高くなったことが考えられる。

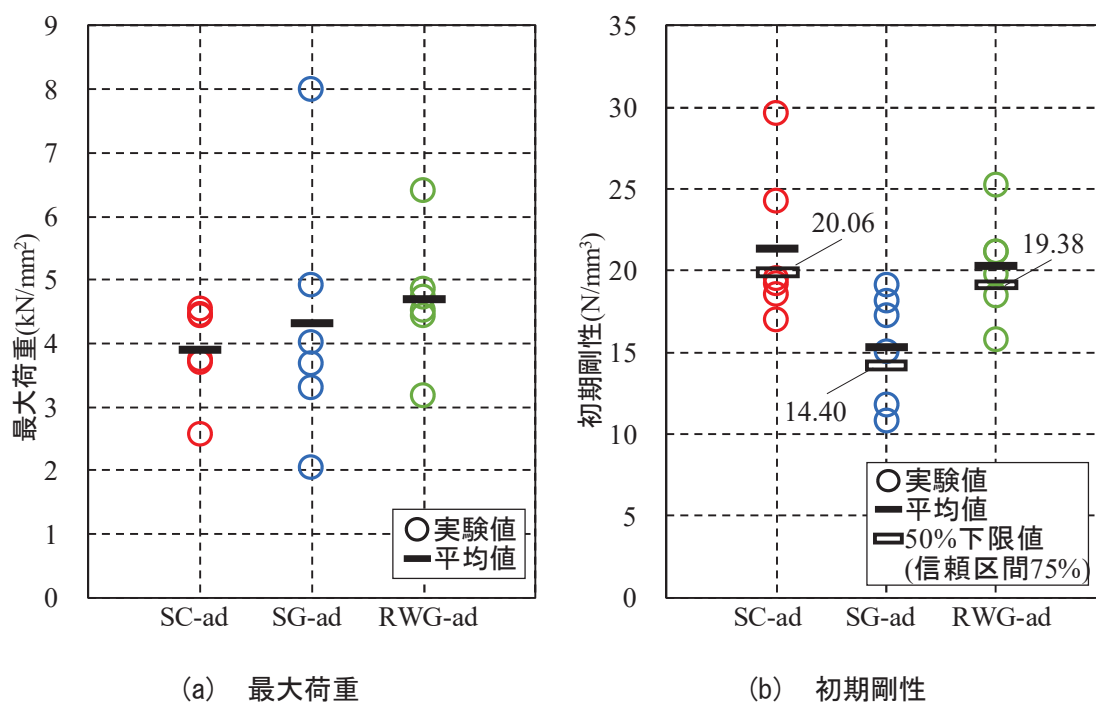


図 2.2-6 単位面積当たりの特性値

2.3 ビス接合

2.3.1 試験体

試験体は接着試験体と同様に側材-主材-側材の順にロケット型に並べた3材料をビスで接合して作成した。試験体の諸元を表 2.3-1 に示す。側材には、全て3層3プライのMx60 スギ CLT を用いており、主材には、接着試験体と同様に、スギ CLT に加えて、スギ集成材(SG)、欧州アカ集成材(RWG)の三種類を用いた。なお、CLT については、ビスを木口に打った場合と木端に打った場合で異なると考えられるため、強軸の CLT と弱軸の CLT を用意した。強軸の CLT が木口打ち(SCma)で、弱軸の CLT が木端打ち(SCmi)となっている。接合に用いたビスは、半ねじビスとして2種類の長さの四角穴付きタッピンねじ(sts135:L=135×6.5、sts180:L=180×6.5)またはMP オールスクリュー(MP180:L=180×8.4)を用い、ねじ部長さの違いの影響を調べるために全ねじビスである (fts170:L=170×8.0)を用いた。それぞれ角度パラメーターとして、90 度、60 度、45 度と曲げ機構から引張機構へと向かう3段階を設定した。試験体名は、(主材条件)-(ビス種類)-(ビス角度)-(試験体番号)の形で表記する。ビスの一覧を図 2.3-1 に示す。

表 2.3-1 試験体一覧

主材条件 接合条件		SC : CLT		SG:スギ 集成材	RWG:オウシュウ アカマツ集成材
		SCma: 木口打ち	SCmi: 木端打ち		
sts135 : 四角穴付き タッピンねじ L=135×6.5	90°	3 体	3 体	3 体	3 体
	60°	3 体	3 体	3 体	
sts180 : 四角穴付き タッピンねじ L=180×6.5	60°	3 体	3 体	3 体	
	45°	3 体	3 体	3 体	3 体
MP180 : MP オール スクリューL=180×8.4	90°	3 体	3 体	3 体	3 体
fts170 : 全ねじビス L=170×8.0	90°	3 体	3 体	3 体	3 体
	60°	3 体	3 体	3 体	
	45°	3 体	3 体	3 体	3 体



(a) 四角穴付きタッピンねじ (L=135)



(b) 四角穴付きタッピンねじ (L=180)



(c) MP オールスクリュー (L=180)



(d) 全ねじビス (L=170)

図 2.3-1 ビス一覧

ビス試験体の概形図及び各部寸法表をそれぞれ図 2.3-2、表 2.3-2 に、各試験体の詳細図の一覧を表 2.3-3 に示す。ビスは奥行き方向の中央に打ち込んだ。

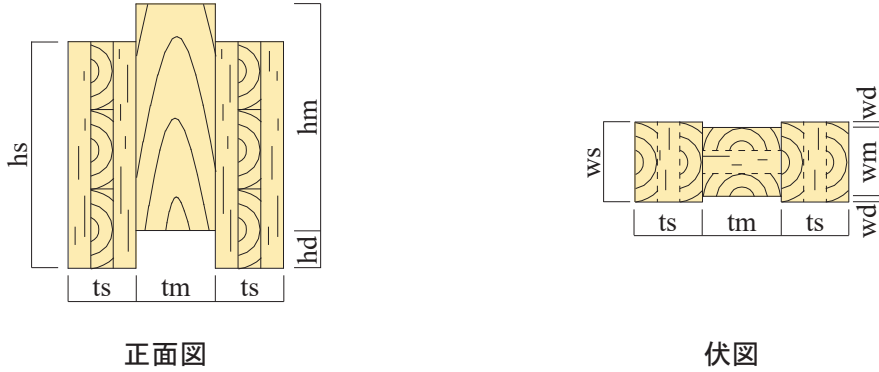
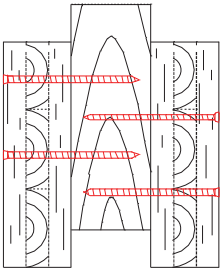
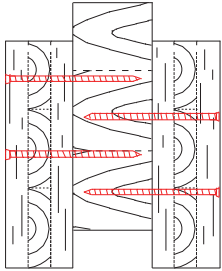
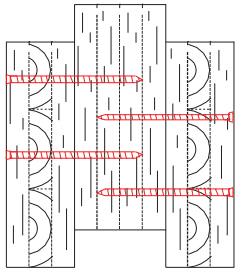
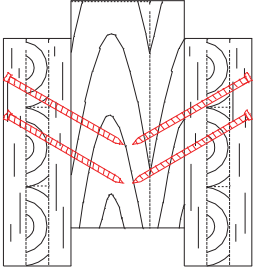
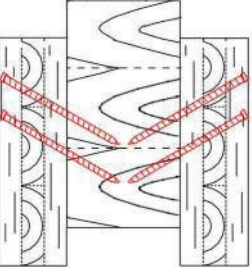
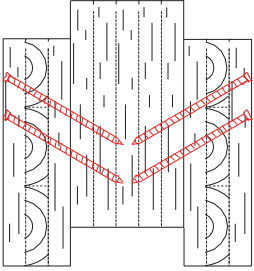
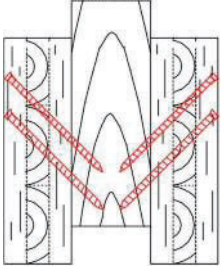
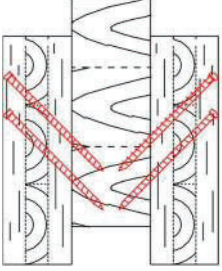
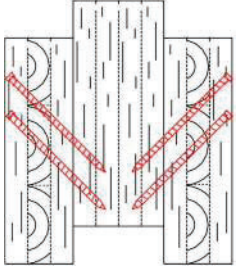


図 2.3-2 試験体図

表 2.3-2 試験体寸法表 (単位 : mm) L: ビス長さ

主材種類	SCma			SG/RWG	
ビス角度	90° ,45°	60° (L=135)	60° (L=170,180)	90° ,45°	60°
tm	105	95	150	120	150
ts	90				
hm	300				
hs	300				
hd	50				
wm	90			105	
ws	105				
wd	7.5			0	

全 ね じ ビス	fts170	90°			
		60°			
		45°			

2.3.2 試験方法

試験方法は接着試験体と同様におこない、加力速度は 2mm/min とした。加力条件、試験の様子をそれぞれ図 2.3-3、写真 2.3-1 に示す。

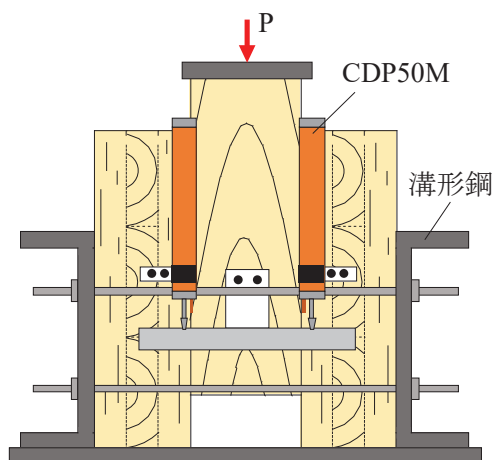


図 2.3-3 加力条件(SCma 試験体)



写真 2.3-1 試験の様子(SCma-sts135-90-1)

2.3.4 試験結果

2.3.4.1 SCma 試験体

SCma 試験体の荷重変位関係を図 2.3-6 に示す。

90 度打ちは緩やかに荷重が上昇し、降伏したのち、荷重が落ちることなく変位が大きくなった。45 度打ちは荷重が上昇し降伏したのち、変位 20mm 以下で $0.8P_{max}$ を下回った。60 度打ちも 45 度打ちと比較的同様の荷重変位関係がみられた。

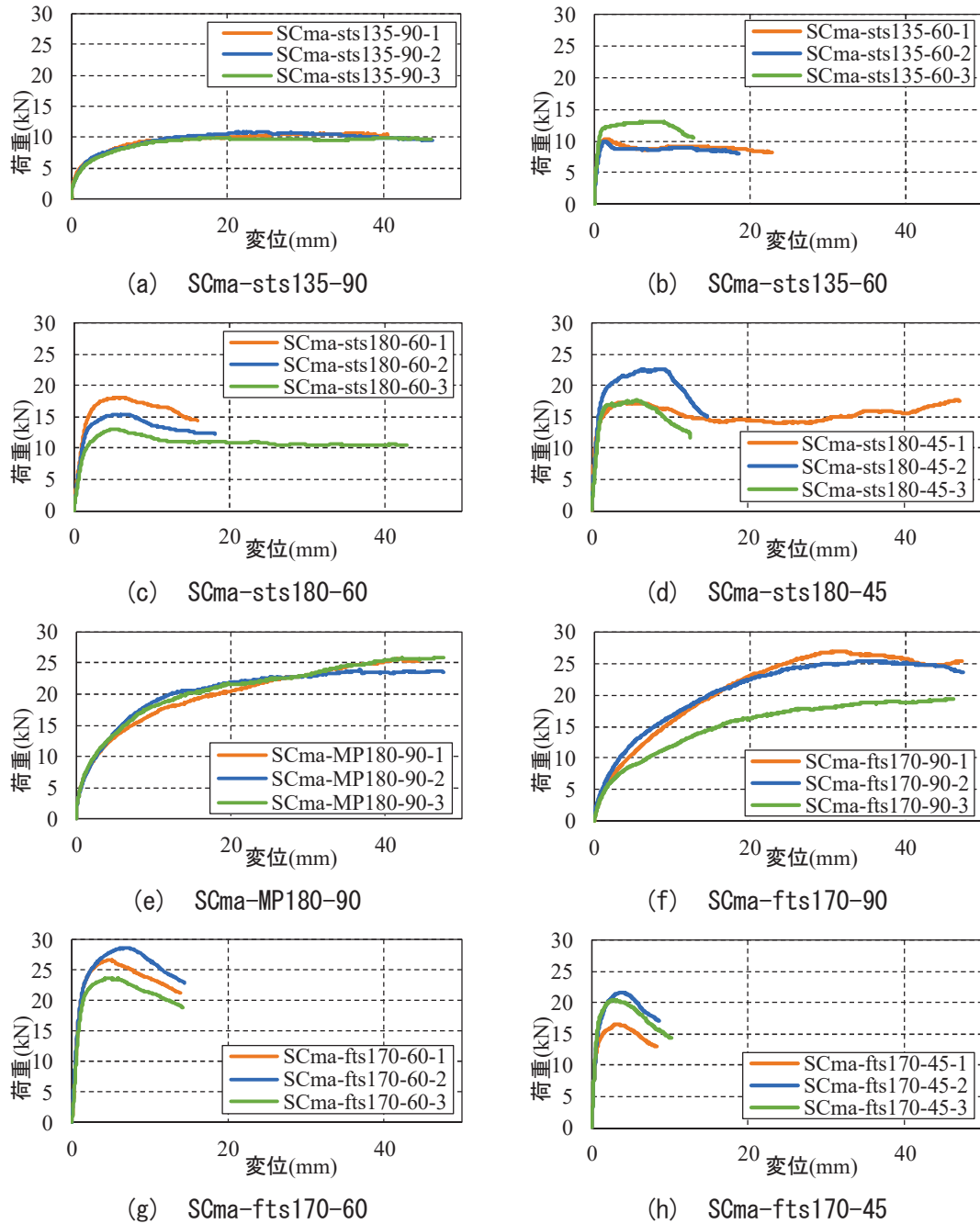


図 2.3-6 SCma 試験体荷重変位関係

2.3.4.2 SCmi 試験体

SCmi 試験体の荷重変位関係を図 2.3-7 に示す。

SCmi 試験体の最大荷重は SCma 試験体の 5～10kN 程度大きな値であったが、荷重変位関係はほぼ同様の傾向を示した。SCmi-sts180-45-2,3 は降伏後、荷重が落ちない傾向がみられたが、その原因については明らかにはならなかった。

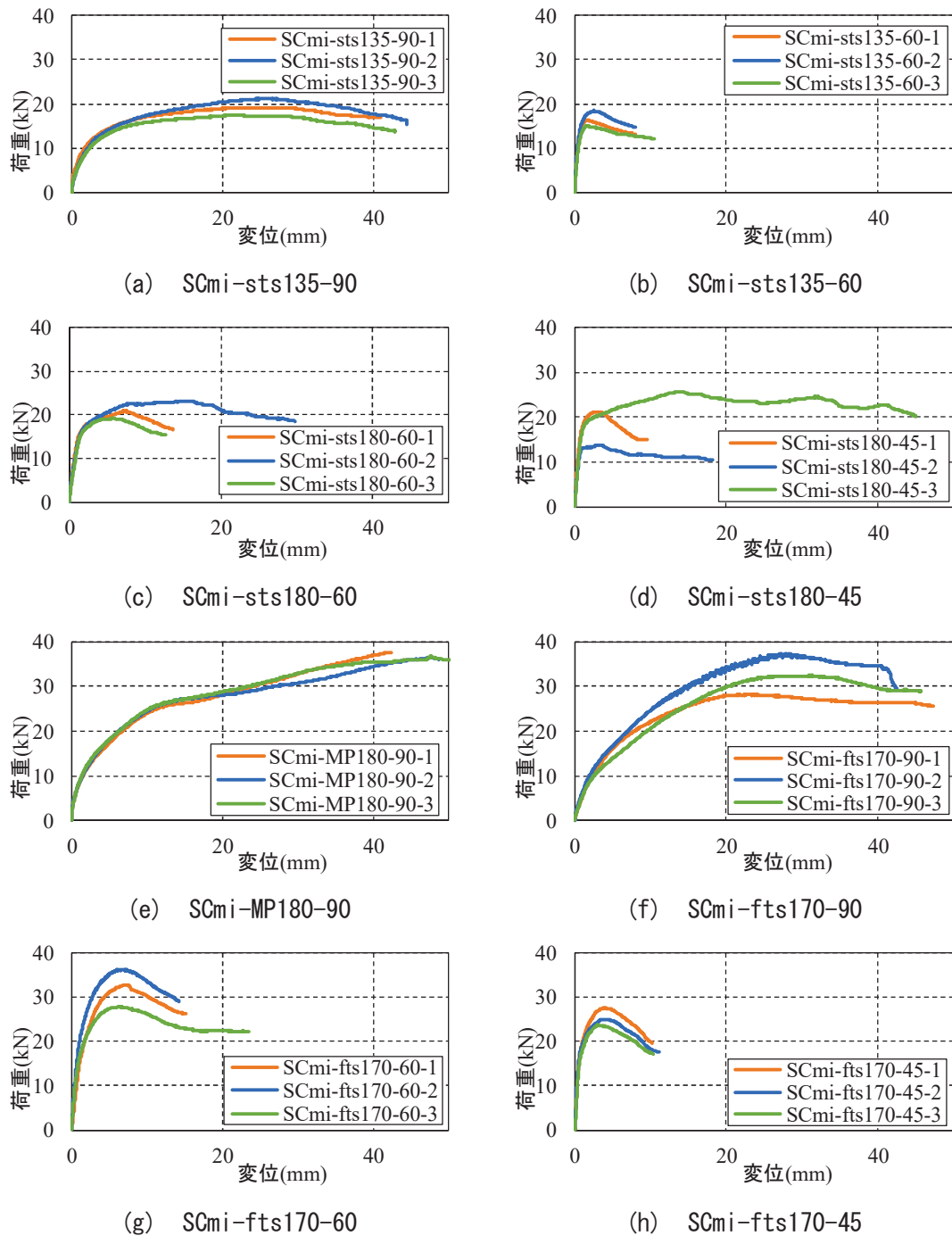


図 2.3-7 SCmi 試験体荷重変位関係

2.3.5 比較と考察

2.3.5.1 降伏荷重

各試験体におけるビス 1 本あたりの降伏荷重の平均値を表 2.3-6 に、試験結果の一覧を図 2.3-10 に示す。

表 2.3-6 ビス 1 本あたりの降伏荷重の平均値 (kN)

ビス名 長さ 角度	sts				MP	fts			
	L=135		L=180		L=180	L=170			
	90°	60°	60°	45°	90°	90°	60°	45°	
SCma	1.49	1.49	2.55	3.22	3.66	3.04	4.24	3.03	
SCmi	2.79	2.35	3.53	3.22	5.41	4.18	4.39	3.79	
SG	2.60	2.43	3.79	3.41	5.19	3.93	5.67	4.22	
RWG	2.47			4.14	6.25	5.42		5.27	

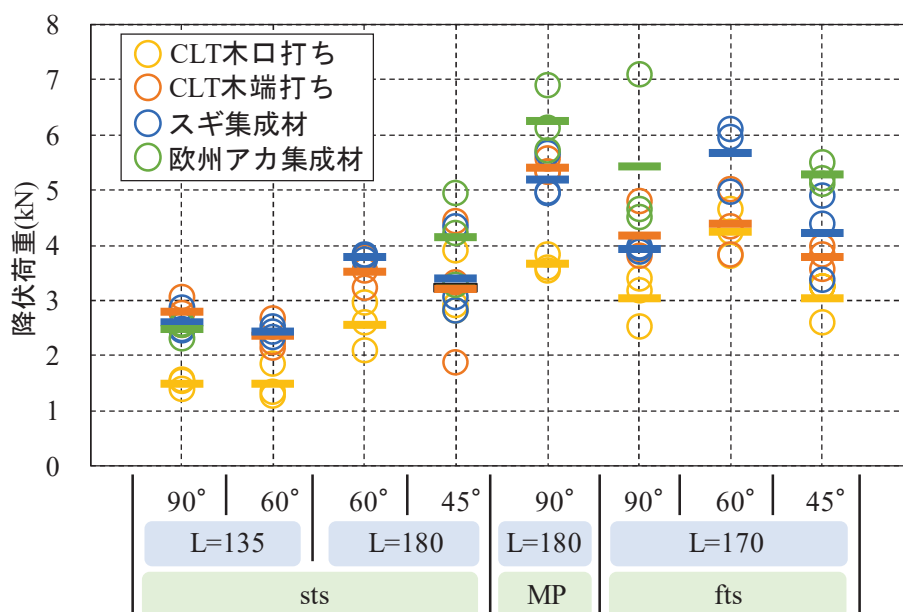


図 2.3-10 ビス 1 本あたりの降伏荷重の比較

全体として、CLT 木口打ちが最も小さく、CLT 木端打ちとスギ集成材が同程度の値を示し、欧州アカ集成材が最大となる傾向がみられた。ビスの違いについては、同じ 90 度打ちで比較した場合、sts<MP<fts であり、これは、ビスの打ち込み長さが大きいためだと考えられる。ねじ部長さは 90 度打ちの場合はほとんど影響しないことがわかる。これは、EYT 式からもわかり、ビスのせん断性能にはビス長さ、径、材料強度が影響を与えている。

2.3.5.2 初期剛性

各試験体におけるビス 1 本あたりの初期剛性の 50%下限値を表 2.3-7 に、試験結果の一覧を図 2.3-12 に示す。

表 2.3-7 ビス 1 本あたりの初期剛性の 50%下限値(信頼区間 75%)(単位 : kN/mm)

ビス名 長さ 角度	sts				MP	fts		
	L=135		L=180		L=180	L=170		
	90°	60°	60°	45°	90°	90°	60°	45°
SCma	0.70	4.38	2.10	3.99	0.58	0.42	4.32	5.47
SCmi	1.01	5.56	2.83	4.36	0.70	0.69	3.76	6.19
SG	1.05	4.20	2.78	4.40	0.75	0.76	4.59	5.07
RWG	1.18			5.27	0.92	0.60		8.01

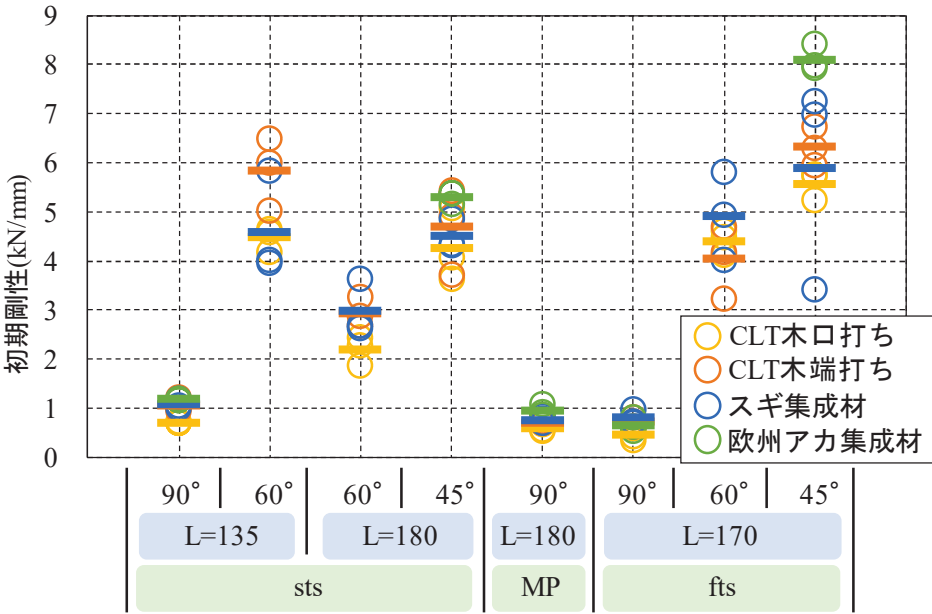


図 2.3-12 ビス 1 本あたりの初期剛性の比較