

令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用
木材供給力強化対策事業のうちCLT建築実証支援事業

CLT等木質建築部材 技術開発・普及事業

成果概要集

木構造振興株式会社

CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用
木材供給力強化対策事業のうちCLT建築実証支援事業

CLT等木質建築部材 技術開発・普及事業

成果概要集

木構造振興株式会社

CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業

目次

No	事業	実施団体	掲載頁
1	CLTを用いた中大規模木造建築物の 防耐火設計手引き(案)の作成	公益財団法人 日本住宅・木材技術センター 一般社団法人 日本CLT協会	4
2	非住宅・中大規模木造建築用の高耐力壁及び 各部要素の開発検討事業	一般社団法人 木を活かす建築推進協議会	20
3	液体ガラス処理木材の外構材等への利用拡大を図るための 品質管理基準の検討とその耐久性評価試験 —表面処理木材保存剤としての検討—	一般社団法人 高知県木材協会	32
4	CLT中高層建築物 普及のためのマニュアル類整備事業	一般社団法人 日本CLT協会	40
5	保存処理条件を考慮した直交集成板(CLT)の 日本農林規格化に資するデータ収集・調査事業	日本木材防腐工業組合	54
6	超厚合板の開発のための性能試験等の実施	日本合板工業組合連合会	64
7	国内で生産されるJAS構造用合板及びJASコンクリート型枠用 合板の温室効果ガス排出原単位構築	日本合板工業組合連合会	72
8	中高層非住宅木造建築物等に必要国産材CLT等部材 技術開発事業及び普及事業	一般社団法人 中大規模木造プレカット 技術協会	76
9	CLT土木利活用技術の開発と土木分野に適應する CLT製造技術の検証	一般社団法人 日本CLT協会	90
10	アカマツ大径材を活用した構造部材の製造技術及び 強度特性の検証	けせんプレカット事業協同組合	116
11	難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を図るための屋外耐久 性向上技術および難燃性能の統合的継続評価と相関性の確認	公益社団法人 日本木材保存協会	126
12	木材の保存処理性能の試験方法のJAS化のための 妥当性検証事業	公益社団法人 日本木材保存協会	134
13	CLTパネルの標準化・規格化開発検討事業	一般社団法人 日本CLT協会	144
14	中大規模木造建築用の木製開口部の開発検討	一般社団法人 日本木製サッシ工業会	150
15	令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源 活用・建築用木材供給力強化対策事業のうちCLT建築実証 支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業 (国産材を用いた非等厚ラミナ構成CLTの製造技術に関する検討)	一般社団法人 日本CLT協会	158
16	木ダボ積層材(DLT)の普及に向けた性能評価と普及活動	株式会社社長谷萬	166
17	中大規模木造建築のための加工・施工技術普及検討事業	日本集成材工業協同組合	176

No	事業	実施団体	掲載頁
18	国内で生産されるJAS構造用集成材の 排出原単位の構築事業	日本集成材工業協同組合	184
19	軟弱地盤対策のための地中利用木材のCO ₂ 蓄積量の 評価に関する調査(フェーズⅢ)	公益財団法人 国際緑化推進センター (JIFPRO)	188
20	CLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド型 木造構造システムの性能評価と構造設計法	株式会社 堀江建築工学研究所 国立大学法人 東北大学工学研究科	208
21	品質・性能を確保した乾燥材の供給に向けた技術、 及び基本的乾燥技術の普及	一般社団法人 全国木材組合連合会 日本木材乾燥施設協会	216
22	トドマツ枠組材の強度データ収集	一般社団法人 全国木材組合連合会 国産材製材協会	222
23	省エネ基準及び中大規模建築物に対応した ログハウス建築部材の技術開発事業	一般社団法人 日本ログハウス協会	230
24	MSRたて継ぎ材による新需要創出事業	ツーバイフォー建築における国産木材 活用協議会	240
25	木質系材料30分耐火構造非耐力壁の開発事業	一般社団法人日本WOOD. ALC協会	244
26	単板積層材を用いた横架材及び床材の国産材比率の向上 — 国産ハイブリッドLVL開発と長尺LVL床版開発 —	一般社団法人 全国LVL協会	254
27	地域材の難燃薬剤処理LVLを用いた被覆型耐火構造の開発	一般社団法人 全国LVL協会	264
28	CLTパネル工法建築物の倒壊限界を考慮した 耐震基準策定に関する検討	株式会社日本システム設計 京大大学生存圏研究所	270
29	接着重ね材JAS規格改定に関する調整と追加検証	一般社団法人 日本BP材協会	276
30	CLTパネル工法用接合金物の開発、合理化検討事業	公益財団法人 日本住宅・木材技術センター 一般社団法人日本CLT協会	284
31	グラウトジョイントを用いたCLTパネル工法引張接合部の 汎用性拡大に関する検討	株式会社 日本システム設計	294
32	中高層木造建築物(4階以上)における用途別 内装木質化促進等検討事業	一般社団法人 木のいえ一番協会	300
33	「CLTを用いた中大規模鋼木混合構造建物用制震壁」の 性能改善、及び構造設計の合理化・容易化に向けた設計 支援システムの構築と成果の普及促進	山佐木材株式会社	308
34	高層木造を実現する強度・剛性に優れた 積層圧密木質部材の開発	株式会社 竹中工務店 地方独立行政法人北海道立総合研究機構 林産試験場	316
35	大断面集成材等の生産時における積層接着工程の 短時間化に向けた開発・製作検証	福島県木造技術開発協同組合	328
36	中層建築を対象とした性能、施工費、LCAなどの 指標に基づくCLT等木造建築の企画・設計支援ツールの開発	宮城県CLT等普及推進協議会	338

CLTを用いた中大規模木造建築物の 防耐火設計手引き(案)の作成

● 実施団体 ●

公益財団法人 日本住宅・木材技術センター

〒136-0075 東京都江東区新砂3-4-2

一般社団法人 日本CLT協会

〒103-0004 東京都中央区日本橋2-15-5 VORT 東日本橋2F

事業 目的

平成30年改正建築基準法により、高性能の準耐火建築物（75分、90分準耐火等）で4階以上の中大規模木造建築物の建築が可能となった。さらに令和4年度の建築基準法の改正により、3000㎡を超える大規模建築物に対する燃えしろ設計法の拡大、防火区画内の木造化等の合理化が予定されている。このためこれらの防耐火規制の合理化を活かしたCLTを用いた中大規模木造建築物向けの一般的な防耐火設計手引きの拡充が必要である。

このため、令和3年度から改正防耐火規定に基づくCLT建築物への適用の考え方や留意点などを整理し、CLTを用いた外壁等の防耐火試験により、防耐火設計上の弱点となる納まり詳細の検討を進め、これらの成果をまとめた防耐火設計手引きについて検討を行っている。

令和5年度においては、これらの成果を基に、さらにCLTを用いた設計の可能性が考えられる追加的な防耐火試験による検証を行い、防耐火手引きの拡充について検討を行った。

実施した 項目

本事業では、学識経験者、設計実務者等により構成される検討委員会を設置し、下記の1、2について検討・実施した。

1. 検討委員会において、CLTを用いた防耐火設計上の弱点や検証がなされていない内容について検討
2. CLTを用いた防耐火試験による性能検証を実施
CLTを用いた設計の可能性が考えられる1時間耐火試験の開口小口の被覆の検証や配管設備の丸穴での貫通部の被覆の検証、および取り付けのビスやボルトの熱橋の影響の確認の耐火試験を行った。また30分耐火構造の外壁（非耐力壁）の耐火試験、さらには床や天井の1時間耐火の貫通部やビスやボルトの熱橋影響の確認試験等を実施した。

実施 体制

CLTを用いた中大規模木造建築物の防耐火設計手引き検討委員会（順不同、敬称略）

[委員長]

成瀬 友宏 （国研）建築研究所 防火研究グループ長

[委員]

安井 昇 桜設計集団一級建築士事務所 代表／早稲田大学理工学研究所 招聘研究員

鈴木 淳一 （国研）建築研究所 防火研究グループ 主任研究員

野秋 政希 （国研）建築研究所 防火研究グループ 主任研究員

樋本 圭佑 国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 防火基準研究室 主任研究官

宮林 正幸 （有）ティー・イー・コンサルティング 取締役所長

山田 誠 （一社）建築性能基準推進協会

向井 昭義 （公財）日本住宅・木材技術センター 常勤理事兼試験研究所長

[協力委員]

福島 純 林野庁林政部木材産業課木材製品技術室 課長補佐
石井 宏典 国土交通省住宅局参事官（建築企画担当）付 企画専門官
高梨 潤 国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室 課長補佐

[コンサルタント]

加來 千紘 桜設計集団一級建築士事務所

[事務局]

（公財）日本住宅・木材技術センター,（一社）日本CLT協会

CLTを用いた中大規模木造建築物の防耐火設計手引き検討委員会WG（順不同、敬称略）

[主査]

安井 昇 桜設計集団一級建築士事務所 代表／早稲田大学理工学研究所招聘研究員

[委員]

鈴木 淳一（国研）建築研究所 防火研究グループ 主任研究員
野秋 政希（国研）建築研究所 防火研究グループ 主任研究員
樋本 圭佑 国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 防火基準研究室 主任研究官
宮林 正幸（有）ティー・イー・コンサルティング 取締役所長
山田 誠（一社）建築性能基準推進協会
佐藤 章（公財）日本住宅・木材技術センター 防耐火試験室長

[アドバイザー]

成瀬 友宏（国研）建築研究所 防火研究グループ長

[コンサルタント]

加來 千紘 桜設計集団一級建築士事務所

[事務局]

（公財）日本住宅・木材技術センター,（一社）日本CLT協会

実施した
内容

3体の試験体にて、1時間耐火構造壁および床における下記部分の耐火被覆との取り合い部の性能検証を実施した。また、30分耐火構造の非耐力の壁についてもCLTを用いた燃え止まり性状の検証実験を1体実施した。

- | | |
|------|---|
| 試験体① | 1時間耐火構造壁 — 開口小口・設備貫通・留め具
実験条件：1時間加熱＋6時間放置 |
| 試験体② | 1時間耐火構造壁 — 開口小口・留め具（試験体①の改良版）
実験条件：1時間加熱＋4時間放置 |
| 試験体③ | 1時間耐火構造床 — 設備貫通・留め具
実験条件：1時間加熱＋3時間放置 |
| 試験体④ | 30分耐火構造外壁 — 燃え止まり型の比較検証
実験条件：30分加熱＋5時間30分放置 |

<実験場所>

- 試験体①,②,④ （公財）日本住宅・木材技術センター・壁炉
試験体③ （一財）ベターリビング・小型炉

試験体① 1時間耐火構造壁 — 開口小口・設備貫通・留め具

外壁開口小口には、窓サッシの取付下地となり得る厚さ 30mm または 38mm の木材を最外層に配置し、その下張りに強化せつこうボードの厚さや枚数を変えた代替え措置を 3 仕様、配管設備の貫通部の措置を 8 仕様選定し、CLT 躯体への燃焼の有無を検証した。配管設備の孔形状は昨年度の成果を踏まえ、本事業ではφ 250 と φ 150 の丸孔とした。また、耐火被覆を貫通して CLT に取り付く留め具を 26 仕様選定し、留め具による熱橋の影響について検証を行った。仕様の詳細については、図-1 に示す。

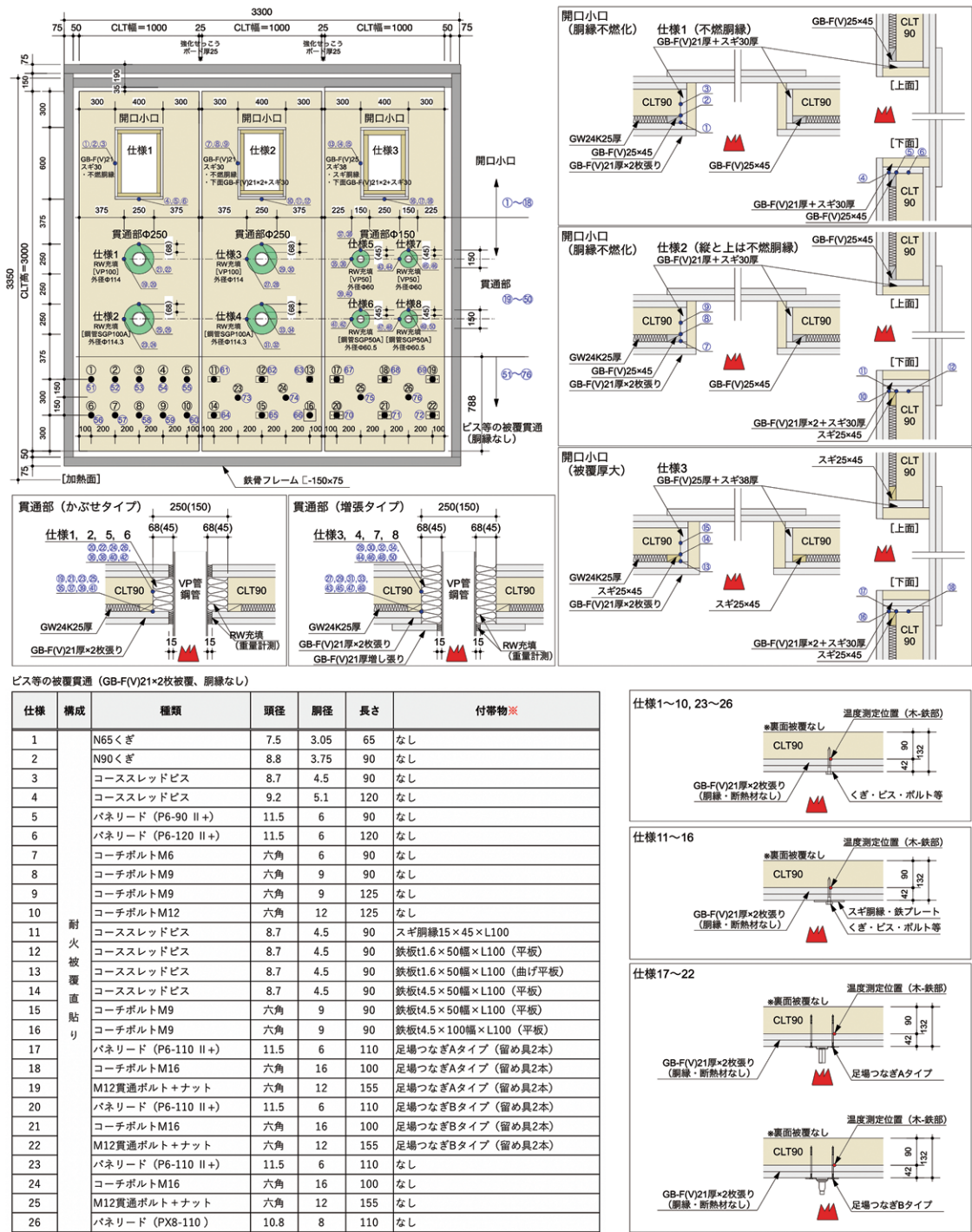
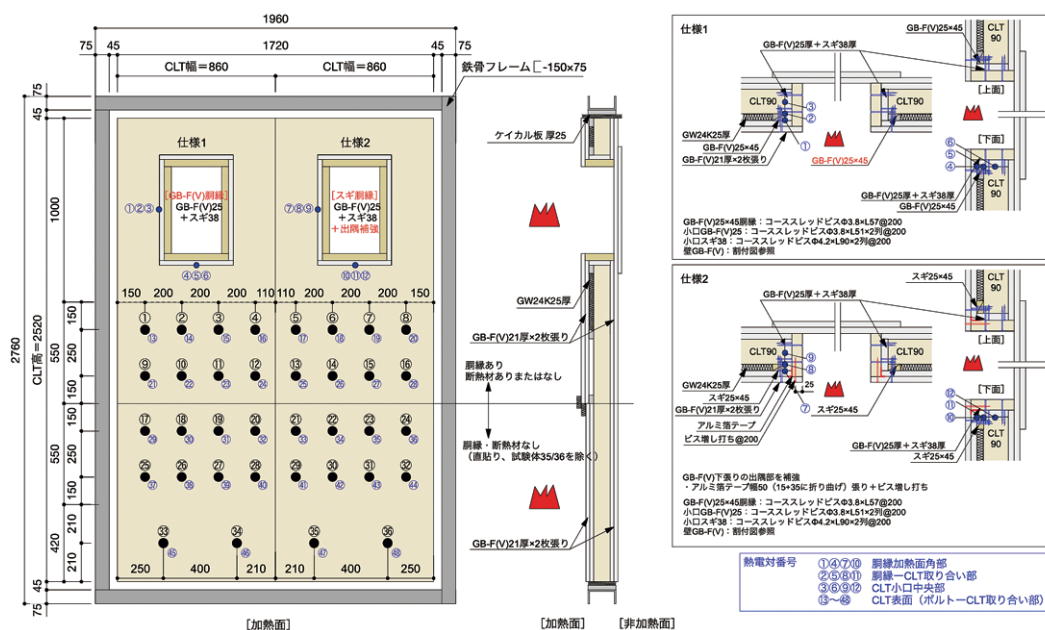


図-1 試験体①の寸法・構造・温度測定位置 (単位 mm)

試験体② 1時間耐火構造壁 — 開口小口・留め具 (試験体①の改良版)

試験体①の実験結果を踏まえ、試験体②では開口小口の被覆を2仕様、耐火被覆を貫通して取り付く留め具を36仕様選定し、加熱実験を実施した。試験体仕様の詳細については、図-2に示す。



仕様	構成	種類	厚さ	長さ	付帯物
1	コーポルトM9	六角	9	90	なし (断熱材あり部)
2	コーポルトM16	六角	16	100	なし (断熱材あり部)
3	コーポルトM16	六角	16	125	なし (断熱材あり部)
4	コーポルトM9	六角	9	90	鉄板4.5×508×L100 (平版) (断熱材あり部)
5	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板4.5×508×L100 (平版) (断熱材あり部)
6	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板4.5×1008×L100 (平版) (断熱材あり部)
7	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板1.6×1008×L100 (平版) (断熱材なし部)
8	コーポルトM9	六角	9	90	なし (断熱材なし部)
9	コーポルトM16	六角	16	100	なし (断熱材なし部)
10	コーポルトM16	六角	16	100	なし (断熱材なし部)
11	コーポルトM9	六角	9	90	鉄板4.5×508×L100 (平版) (断熱材なし部)
12	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板4.5×508×L100 (平版) (断熱材なし部)
13	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板4.5×1008×L100 (平版) (断熱材なし部)
14	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板1.6×1008×L100 (平版) (断熱材なし部)
15	コーポルトM16	六角	16	100	なし (断熱材なし部)
16	コーポルトM16	六角	16	100	なし (断熱材なし部)
17	コーポルトM16	六角	16	100	GW24K25厚 (100%) で暖め具壁をカバー
18	コーポルトM16	六角	16	100	GW24K25厚 (100%) で暖め具壁をカバー
19	コーポルトM16	六角	16	100	AE25厚 (100%) で暖め具壁をカバー
20	コーポルトM16	六角	16	100	ASボンドで暖め具壁をカバー
21	コーポルトM16	六角	16	100	追加断熱材で暖め具壁をカバー
22	コーポルトM16	六角	16	100	スチール板で暖め具壁をカバー
23	コーポルトM9	六角	9	90	鉄板4.5×508×L100 (平版) (仕様17でカバー)
24	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板4.5×508×L100 (平版) (仕様17でカバー)
25	コーポルトM9	六角	9	90	鉄板4.5×508×L100 (平版) (仕様18でカバー)
26	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板4.5×508×L100 (平版) (仕様18でカバー)
27	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板4.5×1008×L100 (平版) (仕様18でカバー)
28	コーポルトM16	六角	16	100	鉄板4.5×1008×L100 (平版) (仕様18でカバー)
29	コーポルトM9	六角	9	90	溶かセッコロボード F21.5×100×100
30	コーポルトM9	六角	9	90	溶かセッコロボード F21.5×100×100
31	コーポルトM16	六角	16	100	溶かセッコロボード F21.5×100×100
32	コーポルトM16	六角	16	100	溶かセッコロボード F21.5×100×100
33	コーポルトM16	六角	16	100	足場つなぎ改良タイプ (M16#80-2&4)
34	コーポルトM16	六角	16	100	足場つなぎ改良タイプ (M16#80-2&4)
35	コーポルトM16	六角	16	100	外部断熱: 足場つなぎ改良タイプ (M16#80-2&4)
36	コーポルトM16	六角	16	100	外部断熱: 足場つなぎ改良タイプ (M16#80-2&4)

※ 仕様36の外断熱材は下部断熱材とする。
 外部断熱: GB-F(V)21mm厚×2枚張り+実業系サイディング 15mm厚
 外部断熱: GB-F(V)15mm厚+ALC50mm厚

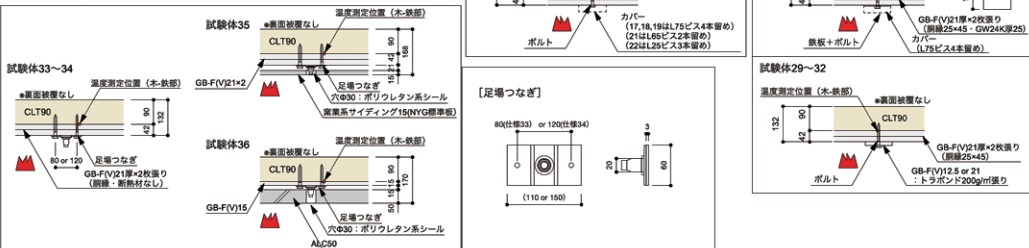
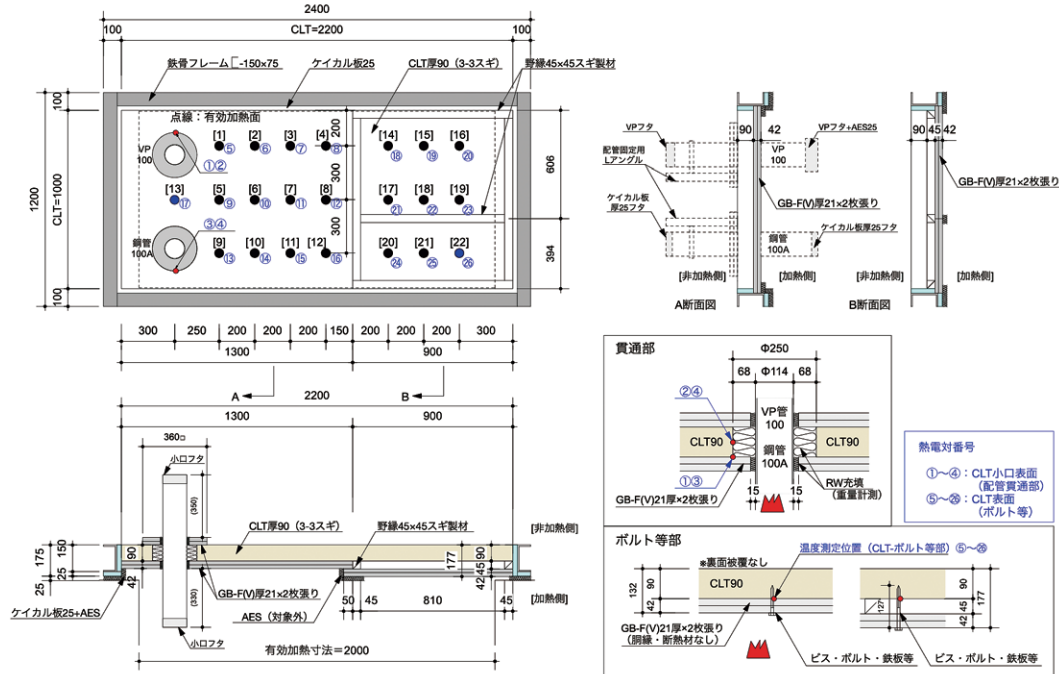


図-2 試験体②の寸法・構造・温度測定位置 (単位 mm)

試験体③ 1時間耐火構造床 — 設備貫通・留め具

1時間耐火構造床の躯体と想定して、配管設備の貫通部の措置を2仕様選定し、CLT躯体への燃焼の有無を検証した。配管設備の孔形状は試験体①の壁と同様にφ250の丸孔とした。また、耐火被覆を貫通してCLTに取り付け留め具を22仕様（ビスやボルト等）選定し、留め具による熱橋の影響について検証を行った。仕様の詳細については、図-3に示す。



仕様	構成	種類	頭径	胴径	長さ	付帯物※
1	耐火被覆直貼り	コーチボルトM9	六角	9	90	なし
2		コーチボルトM9	六角	9	125	なし
3		コーチボルトM12	六角	12	125	なし
4		コーチボルトM16	六角	16	100	なし
5		コーチボルトM16	六角	16	125	なし
6		コーチボルトM9	六角	9	90	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)
7		コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)
8		コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板)
9		コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板1.6×100幅×L100 (平板)
10		コーススレッドビス	8.7	4.5	90	なし
11		パネリード (PX8-110)	10.8	8	110	なし
12		サワランハンガー (木ネジ)	7.5	6.3	80	なし
13		— (留め具なし)	—	—	—	—
14	野縁4	コーチボルトM9	六角	9	150	なし
15		コーチボルトM12	六角	12	150	なし
16		コーチボルトM16	六角	16	150	なし
17		コーチボルトM9	六角	9	150	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)
18		コーチボルトM16	六角	16	150	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)
19		コーチボルトM16	六角	16	150	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板)
20		コーチボルトM16	六角	16	150	鉄板1.6×100幅×L100 (平板)
21		パネリード (PX8-110)	10.8	8	110	なし
22		— (留め具なし)	—	—	—	—

図-3 試験体③の寸法・構造・温度測定位置 (単位 mm)

試験体④ 30分耐火構造外壁 — 燃え止まり型の比較検証

国産材利用を前提とし、スギ、ヒノキ、カラマツを用いた4仕様のCLTにて、燃え止まり型の30分耐火構造外壁（非耐力壁）の比較実験を行った。仕様の詳細については、図-4に示す。

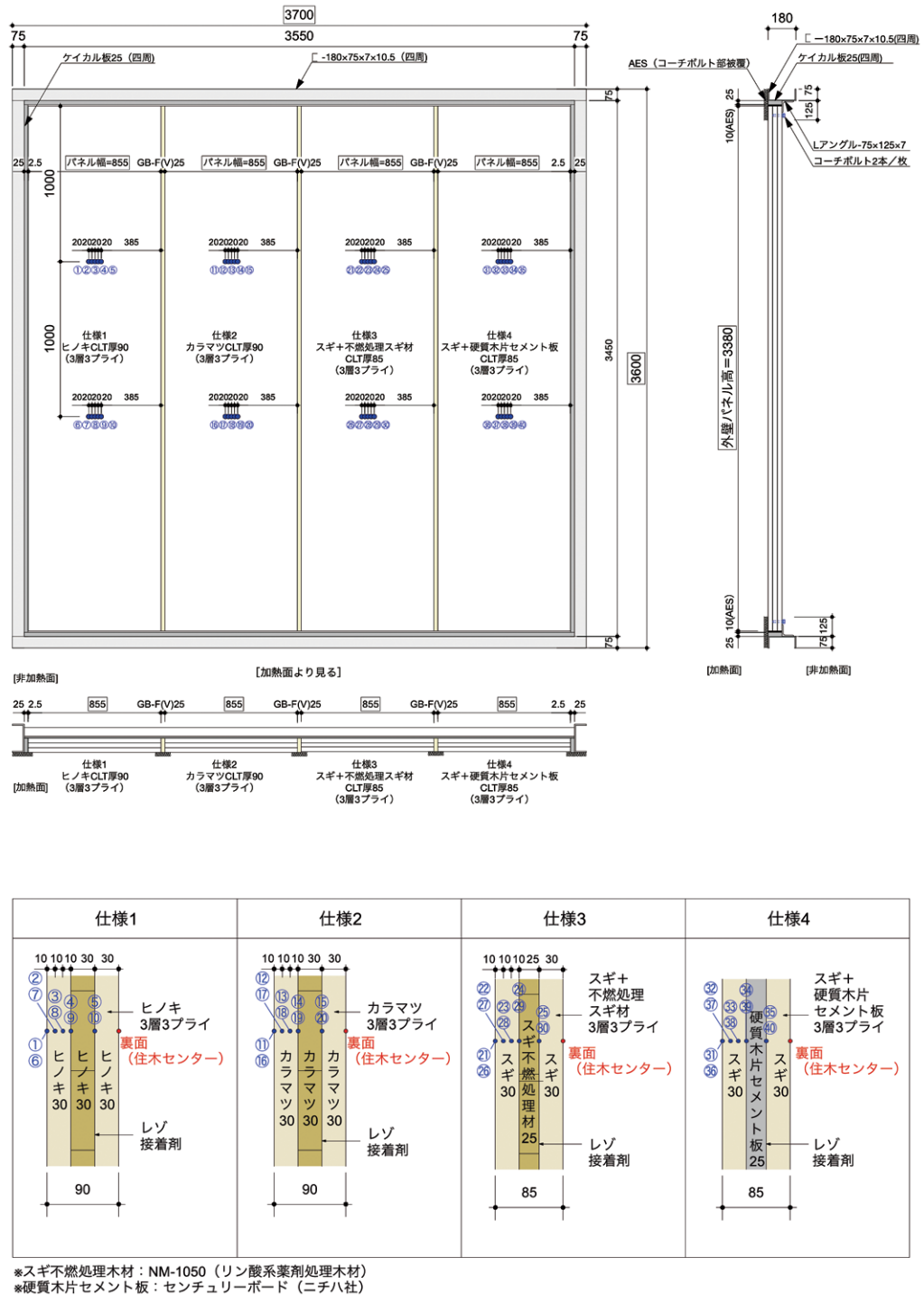


図-4 試験体④の寸法・構造・温度測定位置（単位mm）

試験体および実験装置の写真



写真-1 試験体①の加熱面全景



写真-2 試験体②の加熱面全景



写真-3 試験体③の加熱面全景



写真-4 試験体④の加熱面全景

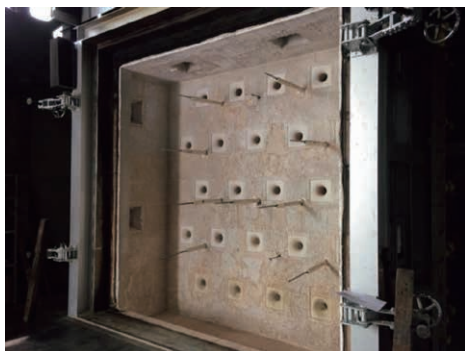


写真-5 壁炉の全景



写真-6 小型炉の全景

前述の4体の実験結果について、試験体①、②、③については、検証部位（開口小口・設備貫通・留め具）ごとに、また30分耐火構造外壁は仕様ごとに結果概要を記載する。

【1時間耐火構造壁の開口小口-試験体①と②の結果】

結果の一覧を表-1に示す。開口小口については、内部温度の推移を計測し、実験終了後のCLT躯体の炭化の有無により非損傷性（躯体の燃焼）への影響を確認した。

強化せっこうボード25mm厚+スギ38mm厚に不燃胴縁を用いた仕様（試験体②の仕様1）にて、上下枠・縦枠ともにCLT躯体に変色や炭化はみられなかった。また他の仕様についても試験体①の仕様2,3及び試験体②の仕様2についてもCLT躯体に部分的に炭化がみられたが、いずれも実験終了時には燃え止まり、自消しているのを確認した。

表-1 1時間耐火構造壁の開口小口の実験結果一覧

仕様		260°C到達時間（熱電対番号）				炭化の有無		
		場所	CLT躯体			胴縁	CLT	
			隅角部	隅角部	小口中央			
試験体①	仕様1 四周ともに 強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚 +スギ30mm厚	不燃 胴縁	縦枠	158分 (2)	163分 (3)	不燃	あり (燃焼継続)	
			上枠	—	—	不燃	なし	
			下枠	173分 (5)	171分 (6)	不燃	あり (燃焼継続)	
	仕様2 上枠・縦枠： 強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚 +スギ30mm厚 下枠： 強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚×2枚 +スギ30mm厚	不燃 胴縁	縦枠	—	到達せず (最高193.2°C)	到達せず (最高192.3°C)	不燃	あり (燃え止まり)
			上枠	—	—	—	不燃	なし
			木製 胴縁 下枠	到達せず (最高195.7°C)	到達せず (最高204.5°C)	到達せず (最高147.7°C)	なし	なし
	仕様3 上枠・縦枠： 強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +スギ38mm厚 下枠： 強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚×2枚 +スギ30mm厚	木製 胴縁	縦枠	213分 (13)	218分 (14)	到達せず (最高171.5°C)	あり (燃え止まり)	
			上枠	—	—	—	あり (燃え止まり)	なし
			下枠	到達せず (最高182°C)	到達せず (最高155.4°C)	到達せず (最高123.3°C)	なし	なし
試験体②	仕様1 四周ともに 強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +スギ38mm厚	不燃 胴縁	縦枠	到達せず (最高169.2°C)	到達せず (最高161.7°C)	到達せず (最高122.3°C)	不燃	なし
			上枠	—	—	—	不燃	なし
			下枠	到達せず (最高248.6°C)	213分 (5)	225分 (6)	不燃	なし
	仕様2 四周ともに 強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +スギ38mm厚 +出隅補強（アルミ箔テープ）	木製 胴縁	縦枠	到達せず (最高221°C)	到達せず (最高208.2°C)	到達せず (最高149.5°C)	なし	なし
			上枠	—	—	—	なし	なし
			下枠	204分 (10)	208分 (11)	221分 (12)	あり (燃え止まり)	

【1時間耐火構造壁の設備貫通部-試験体①の結果】

結果の一覧を表-2に示す。壁の設備貫通部については、全ての仕様で、実験終了後に木製胴縁およびCLT躯体に炭化はなく、非損傷性（躯体の燃焼）に影響のないことを確認した。

【1時間耐火構造床の設備貫通部-試験体③の結果】

結果の一覧を表-2に示す。床の設備貫通部については、全ての仕様で、実験終了後に木製胴縁およびCLT躯体に炭化はなく、非損傷性（躯体の燃焼）に影響のないことを確認した。

表-2 1時間耐火構造壁・床の設備貫通部の実験結果一覧

部位	仕様				260°C到達時間		炭化の有無	
					胴縁	CLT躯体	胴縁	CLT
					隅角部	小口中央		
壁の設備貫通部 試験体①	仕様1	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚×2枚 +ロックウール充填	VP管(塩ビ)	100A(外寸φ114)	到達せず(最高157°C・側)	到達せず(最高95.6°C・上)	なし	
	仕様2		鋼管(SGP)	100A(外寸φ114.3)	到達せず(最高188.3°C・側)	到達せず(最高98.2°C・上)	なし	
	仕様3	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚×2枚 +400mm角のGB-F(V)21mm厚増張 +ロックウール充填	VP管(塩ビ)	100A(外寸φ114)	到達せず(最高111.7°C・側)	到達せず(最高101.3°C・上)	なし	
	仕様4		鋼管(SGP)	100A(外寸φ114.3)	到達せず(最高163.5°C・側)	到達せず(最高112.8°C・上)	なし	
	仕様5	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚×2枚 +ロックウール充填	VP管(塩ビ)	50A(外寸φ60)	到達せず(最高130.9°C・側)	到達せず(最高96.5°C・上)	なし	
	仕様6		鋼管(SGP)	50A(外寸φ60.5)	到達せず(最高192.5°C・側)	到達せず(最高114.2°C・上)	なし	
	仕様7	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚×2枚 +300mm角のGB-F(V)21mm厚増張 +ロックウール充填	VP管(塩ビ)	50A(外寸φ60)	到達せず(最高102.7°C・側)	到達せず(最高98.4°C・上)	なし	
	仕様8		鋼管(SGP)	50A(外寸φ60.5)	到達せず(最高144.3°C・側)	到達せず(最高112°C・上)	なし	
床の設備貫通部 試験体③	仕様1	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚×2枚 +ロックウール充填	VP管(塩ビ)	100(外寸φ114)	到達せず(最高154.5°C)	到達せず(最高102.5°C)	-	なし
	仕様2		鋼管(SGP)	100A(外寸φ114.3)	到達せず(最高140.7°C)	到達せず(最高116.7°C)	-	なし

【1時間耐火構造壁の留め具-試験体①と②の結果】

結果の一覧を表-3に示す。実験終了時に試験体①、②ともに全ての仕様で実験終了時にCLTT躯体の燃焼継続はないことを確認した。また試験体①の全ての仕様で、試験体②では、胴縁25mm厚ありの場合は仕様1,3,9,10～15、耐火被覆直貼りの場合は仕様17～23,25～30,32,35,36において留め具が簡易に抜けない（手で引っ張っても抜けない）ことを確認した。

表-3 1時間耐火構造壁の留め具の実験結果一覧

仕様名	仕様 [mm]						最高温度※2 ()内の時間は260°C到達時間	がたつき ※3
	構成	留め具の種類	頭径	胴径	長さ	付帯物※1		
試験体① 耐火被覆直貼り	1	N65き	7.5	3.05	65	なし	159.5°C/94分	なし
	2	N90き	8.8	3.75	90	なし	187.2°C/63分	なし
	3	コーススレッドビス	8.7	4.5	90	なし	161.3°C/90分	なし
	4	コーススレッドビス	9.2	5.1	120	なし	192.9°C/63分	なし
	5	パネリド (P6-90 II+)	11.5	6	90	なし	181.3°C/66分	なし
	6	パネリド (P6-120 II+)	11.5	6	120	なし	167.5°C/67分	なし
	7	コーチボルトM6	六角	6	90	なし	164.3°C/75分	なし
	8	コーチボルトM9	六角	9	90	なし	321.4°C/62分 (48分)	なし
	9	コーチボルトM9	六角	9	125	なし	314.1°C/61分 (23分)	なし
	10	コーチボルトM12	六角	12	125	なし	361°C/62分 (34分)	あり
	11	コーススレッドビス	8.7	4.5	90	スギ脚線15×45×L100	150.7°C/88分	なし
	12	コーススレッドビス	8.7	4.5	90	鉄板t1.6×50幅×L100 (平板)	201.7°C/63分	なし
	13	コーススレッドビス	8.7	4.5	90	鉄板t1.6×50幅×L100 (曲げ平板)	243.9°C/61分	なし
	14	コーススレッドビス	8.7	4.5	90	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)	209.6°C/68分	なし
	15	コーチボルトM9	六角	9	90	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)	405.4°C/61分 (30分)	あり
	16	コーチボルトM9	六角	9	90	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板)	317.7°C/65分 (47分)	あり
	17	パネリド (P6-110 II+)	11.5	6	110	足場つなぎAタイプ (留め具2本)	211.9°C/66分	なし
	18	コーチボルトM16	六角	16	100	足場つなぎAタイプ (留め具2本)	421°C/59分 (31分)	あり
	19	M12貫通ボルト+ナット	六角	12	155	足場つなぎAタイプ (留め具2本)	347.8°C/61分 (39分)	なし
	20	パネリド (P6-110 II+)	11.5	6	110	足場つなぎBタイプ (留め具2本)	240°C/61分	なし
	21	コーチボルトM16	六角	16	100	足場つなぎBタイプ (留め具2本)	367.4°C/60分 (28分)	あり
	22	M12貫通ボルト+ナット	六角	12	155	足場つなぎBタイプ (留め具2本)	272.1°C/60分 (56分)	なし
	23	パネリド (P6-110 II+)	11.5	6	110	なし	195.8°C/64分	なし
	24	コーチボルトM16	六角	16	100	なし	452.1°C/61分 (31分)	あり
	25	M12貫通ボルト+ナット	六角	12	155	なし	200.3°C/64分	なし
	26	パネリド (PX8-110)	10.8	8	110	なし	177°C/62分	なし
試験体② 胴縁25mm厚あり	1	コーチボルトM9	六角	9	90	なし (断熱材あり部)	330.3°C/62分 (36分)	なし
	2	コーチボルトM16	六角	16	100	なし (断熱材あり部)	431.2°C/63分 (31分)	× (抜ける)
	3	コーチボルトM16	六角	16	125	なし (断熱材あり部)	436.5°C/63分 (33分)	なし
	4	コーチボルトM9	六角	9	90	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板) (断熱材あり部)	279.5°C/61分 (47分)	× (抜ける)
	5	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板) (断熱材あり部)	451.8°C/63分 (26分)	× (抜ける)
	6	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板) (断熱材あり部)	470.4°C/62分 (26分)	× (抜ける)
	7	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t1.6×100幅×L100 (平板) (断熱材あり部)	470.8°C/62分 (24分)	× (抜ける)
	8	— (留め具なし)	—	—	—	— (断熱材あり部)	95.3°C/52分	—
	9	コーチボルトM9	六角	9	90	なし (断熱材なし部)	249.5°C/62分	なし
	10	コーチボルトM16	六角	16	100	なし (断熱材なし部)	317.8°C/62分 (39分)	なし
	11	コーチボルトM16	六角	16	125	なし (断熱材なし部)	354.9°C/62分 (32分)	なし
	12	コーチボルトM9	六角	9	90	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板) (断熱材なし部)	316.2°C/60分 (29分)	なし
	13	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板) (断熱材なし部)	354.9°C/62分 (26分)	あり
	14	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板) (断熱材なし部)	328.8°C/61分 (23分)	あり
	15	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t1.6×100幅×L100 (平板) (断熱材なし部)	333.1°C/62分 (33分)	あり
	16	— (留め具なし)	—	—	—	— (断熱材なし部)	97.1°C/53分	—
	17	コーチボルトM16	六角	16	100	GW24K25厚 (100角) で留め具頭をカバー	383.6°C/64分 (46分)	あり
	18	コーチボルトM16	六角	16	100	RW24K25厚 (100角) で留め具頭をカバー	276.9°C/63分 (60分)	なし
	19	コーチボルトM16	六角	16	100	AES25厚 (100角) で留め具頭をカバー	138.2°C/65分	なし
	20	コーチボルトM16	六角	16	100	ASボンドで留め具頭をカバー	497.8°C/61分 (22分)	あり
21	コーチボルトM16	六角	16	100	加熱発泡材で留め具頭をカバー	512°C/62分 (25分)	あり	
22	コーチボルトM16	六角	16	100	スチール缶で留め具頭をカバー	507.7°C/61分 (28分)	あり	
23	コーチボルトM9	六角	9	90	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板) (③仕様17でカバー)	383.6°C/62分 (36分)	なし	
24	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板) (③仕様17でカバー)	473.7°C/62分 (32分)	× (抜ける)	
25	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板) (③仕様17でカバー)	480.7°C/63分 (33分)	あり	
26	コーチボルトM9	六角	9	90	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板) (③仕様18でカバー)	320.3°C/63分 (50分)	なし	
27	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板) (③仕様18でカバー)	343.7°C/67分 (55分)	あり	
28	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板) (③仕様18でカバー)	355.4°C/67分 (51分)	あり	
29	コーチボルトM9	六角	9	90	強化せっこうボード12.5×100×100	337.2°C/62分 (39分)	あり	
30	コーチボルトM9	六角	9	90	強化せっこうボード21×100×100	287.5°C/62分 (49分)	あり	
31	コーチボルトM16	六角	16	100	強化せっこうボード12.5×100×100	484.8°C/62分 (28分)	× (抜ける)	
32	コーチボルトM16	六角	16	100	強化せっこうボード21×100×100	486.5°C/62分 (29分)	あり	
33	コーチボルトM16	六角	16	100	足場つなぎ改良版1タイプ (M16@80-2本)	338.3°C/60分 (32分)	× (抜ける)	
34	コーチボルトM16	六角	16	100	足場つなぎ改良版2タイプ (M16@120-2本)	418.6°C/59分 (23分)	× (抜ける)	
35	コーチボルトM16	六角	16	100	外壁再現1:足場つなぎ改良版1タイプ (M16@80-2本)	206.1°C/76分	なし	
36	コーチボルトM16	六角	16	100	外壁再現2:足場つなぎ改良版1タイプ (M16@80-2本)	120.3°C/105分	なし	

※1 試験体①の仕様17~22において、足場つなぎAタイプ=高ナットタイプ、Bタイプ=ワンウェイ束タイプを示す。
また試験体②の仕様35,36の外壁仕様は下記内容とする。
外壁再現1: GB-F(V)21mm厚×2枚張り+窯業系サイディング (NYG標準板) 15mm厚
外壁再現2: GB-F(V)15mm厚+ALC50mm厚

※2 試験体③の仕様8,16は、CLT表面 (木部)、その他はCLT表面 (木部)-留め具 (鉄部) の取り付け部の温度を示す。

※3 実験後の留め具の「がたつき」の有無は、留め具を手で引っ張り上下左右に動かない仕様を「なし」、留め具は抜けないががたつき仕様が「あり」と示す。
また、手で引っ張った際に容易に留め具が抜ける場合には「× (抜ける)」と記載する。

【1時間耐火構造床の留め具-試験体③の結果】

結果の一覧を表-4に示す。実験終了時に、全ての仕様で燃焼の継続はなく、耐火被覆直貼りの仕様ではNo.2~5,10~12、野縁45mm厚ありの仕様では全ての留め具が簡易に抜けない (手で引っ張っても抜けない) ことを確認した。

表-4 1時間耐火構造床の留め具の実験結果一覧

仕様名	仕様 [mm]						最高温度※1	がたつき ※2	
	構成	留め具の種類	頭径	胴径	長さ	付帯物	木-鉄部 ()内の時間は260°C到達時間		
試験体④	1	コーチボルトM9	六角	9	90	なし	318.5°C/61分 (40分)	× (抜ける)	
	2	コーチボルトM9	六角	9	125	なし	321.9°C/62分 (36分)	なし	
	3	コーチボルトM12	六角	12	125	なし	432.6°C/60分 (22分)	あり	
	4	コーチボルトM16	六角	16	100	なし	319.3°C/47分 (37分)	あり	
	5	コーチボルトM16	六角	16	125	なし	389.9°C/63分 (33分)	あり	
	6	コーチボルトM9	六角	9	90	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)	374.7°C/63分 (22分)	× (抜ける)	
	7	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)	511.2°C/58分 (20分)	× (抜ける)	
	8	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板)	383.9°C/47分 (27分)	× (抜ける)	
	9	コーチボルトM16	六角	16	100	鉄板1.6×100幅×L100 (平板)	370.2°C/61分 (31分)	× (抜ける)	
	10	コーススレッドビス	8.7	4.5	90	なし	181.5°C/62分	なし	
	11	パネリード (PX8-110)	10.8	8	110	なし	236.3°C/62分	なし	
	12	サワラハンガー (木ネジ)	7.5	6.3	80	なし	228.6°C/65分	なし	
	13	— (留め具なし)	—	—	—	—	121.9°C/177分	—	
	14	野線	コーチボルトM9	六角	9	150	なし	198.7°C/65分	なし
	15	野線	コーチボルトM12	六角	16	150	なし	203.3°C/65分	なし
	16	野線	コーチボルトM16	六角	16	150	なし	225.7°C/64分	なし
	17	5m	コーチボルトM9	六角	9	150	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)	207.1°C/63分	なし
	18	5m	コーチボルトM16	六角	16	150	鉄板t4.5×50幅×L100 (平板)	260°C/64分	なし
	19	5m	コーチボルトM16	六角	16	150	鉄板t4.5×100幅×L100 (平板)	246.6°C/64分	なし
	20	厚あり	コーチボルトM16	六角	16	150	鉄板1.6×100幅×L100 (平板)	240.4°C/64分	なし
	21	厚あり	パネリード (PX8-110)	10.8	16	110	なし	116°C/173分	なし
	22	厚あり	— (留め具なし)	—	—	—	101.8°C/192分	—	

※1 仕様13, 22は、CLT表面 (木部)、その他はCLT表面 (木部)-留め具 (鉄部) の取り合い部の温度を示す。

※2 実験後の留め具の「がたつき」の有無は、留め具を手で引っ張り上下左右に動かない仕様を「なし」、留め具は抜けないががたつき仕様を「あり」と示す。

また、手で引っ張った際に容易に留め具が抜ける場合には「× (抜ける)」と記載する。

【30分耐火構造外壁-試験体④の結果】

結果の一覧を表-5に示す。仕様1～4のいずれも実験終了時に、燃焼継続なく、燃え止まっていることを確認した。

表-5 30分耐火構造外壁の実験結果一覧

試験体仕様	結果							
	試験体上部				試験体下部			
	熱電対	表面から	最高温度 [°C]	到達時間 [分]	熱電対	表面から	最高温度 [°C]	到達時間 [分]
仕様1 ヒノキCLT厚90mm 3層3プライ レゾルシノール樹脂系接着剤 塗布量: 221.6 g/m ²	1	0mm	525.7	31.00	6	0mm	691.0	28.50
	2	10mm	535.0	31.50	7	10mm	303.8	57.00
	3	20mm	288.3	33.50	8	20mm	257.0	33.75
	4	30mm	197.4	82.75	9	30mm	187.1	80.50
	5	60mm	95.8	139.50	10	60mm	92.9	139.50
	41	90mm	96.7	25.50	42	90mm	76.2	34.50
仕様2 カラマツCLT厚90mm 3層3プライ レゾルシノール樹脂系接着剤 塗布量: 227.6 g/m ²	11	0mm	872.6	30.75	16	0mm	840.4	30.00
	12	10mm	558.2	33.00	17	10mm	563.3	30.00
	13	20mm	457.9	30.00	18	20mm	390.1	33.00
	14	30mm	208.3	62.25	19	30mm	209.8	67.00
	15	60mm	98.6	119.25	20	60mm	97.2	128.75
	43	90mm	60.7	143.00	44	90mm	58.3	150.50
仕様3 スギ+不燃処理スギCLT厚85mm 3層3プライ レゾルシノール樹脂系接着剤 塗布量: 297.9 g/m ²	21	0mm	816.2	30.75	26	0mm	768.8	30.00
	22	10mm	494.3	30.25	27	10mm	426.4	31.00
	23	20mm	299.6	31.75	28	20mm	269.3	29.50
	24	30mm	165.8	31.75	29	30mm	144.6	88.75
	25	60mm	100.5	78.75	30	60mm	94.4	142.25
	45	85mm	57.3	27.75	46	85mm	54.5	150.00
仕様4 スギ+硬質木片セメント板CLT厚85mm 3層3プライ レゾルシノール樹脂系接着剤 塗布量: 239 g/m ²	31	0mm	826.6	30.75	36	0mm	859.7	30.00
	32	10mm	596.9	31.00	37	10mm	624.5	30.25
	33	20mm	613.7	30.50	38	20mm	454.0	30.50
	34	30mm	174.4	81.25	39	30mm	157.8	79.50
	35	60mm	98.6	132.25	40	60mm	98.2	89.25
	47	85mm	63.1	108.00	48	85mm	80.2	78.50

：燃え止まっている深さ (260°Cまで到達していない熱電対位置)

実験終了時の試験体全景と解体時の詳細の一例



写真-7 試験体①の加熱面全景



写真-8 試験体①のCLT全景



写真-9 試験体②の加熱面全景



写真-10 試験体②のCLT全景



写真-11 試験体③の加熱面全景



写真-12 試験体③のCLT全景



写真-13 解体時の開口小口の例
(試験体①仕様 1/CLT炭化あり)



写真-14 解体時の開口小口の例
(試験体②仕様 1/CLT炭化なし)



写真-15 解体時の設備貫通部の例
(試験体①仕様 6/CLT炭化なし)



写真-16 解体時の設備貫通部の例
(試験体③仕様 2/CLT炭化なし)



写真-17 解体時の留め具の例
(試験体①仕様 23/がたつきなし)



写真-18 解体時の留め具の例
(試験体①仕様 10/がたつきあり)



写真-19 解体時の留め具の例
(試験体③仕様 1/ 抜ける)



写真-20 試験体④の加熱面全景

【設計手引き (案) への仕様案】

前述の試験体①～③の実験結果を踏まえ、「CLTを用いた中大規模木造建築物の防耐火設計手引き (案)」にて提案する開口小口、設備貫通部、留め具の納まり案を記載する。

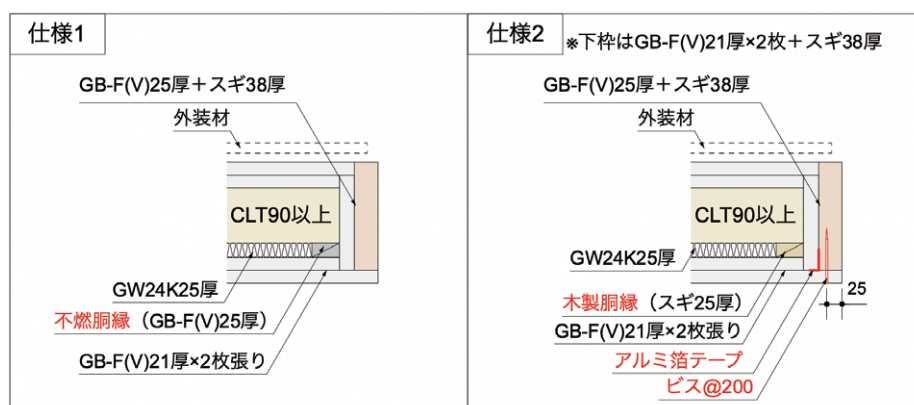


図-5 1時間耐火構造壁の開口小口の納まり案 (単位:mm)

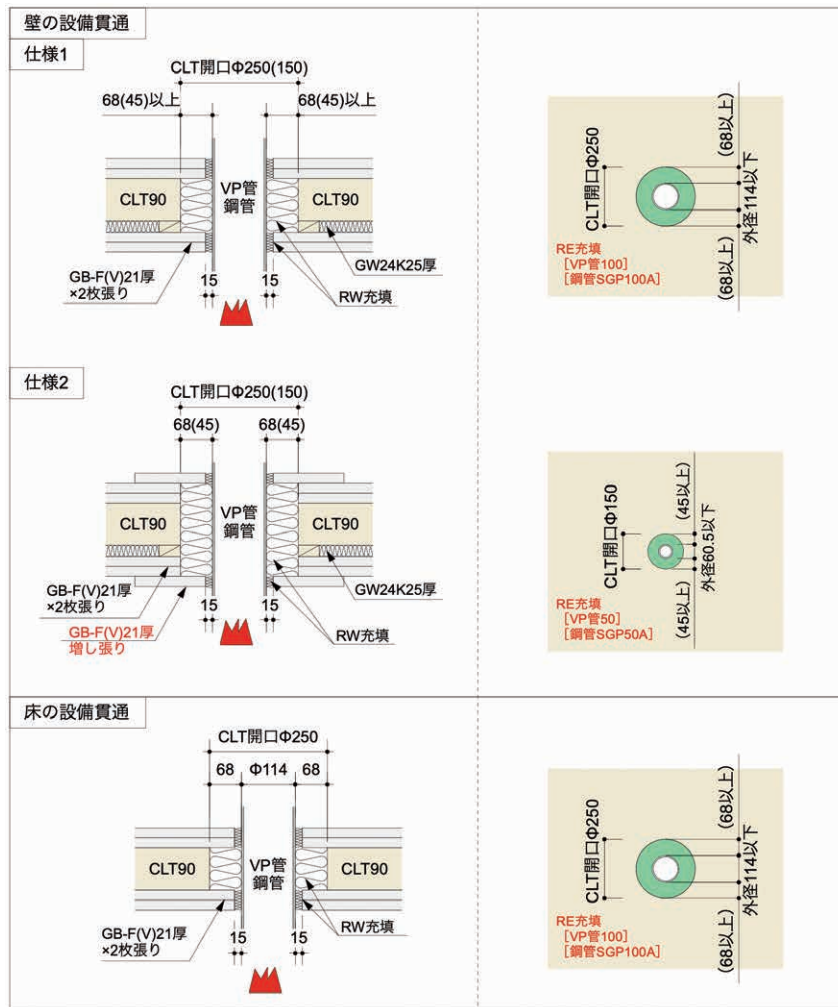


図-6 1時間耐火構造壁・床の設備貫通部の納まり案 (単位: mm)

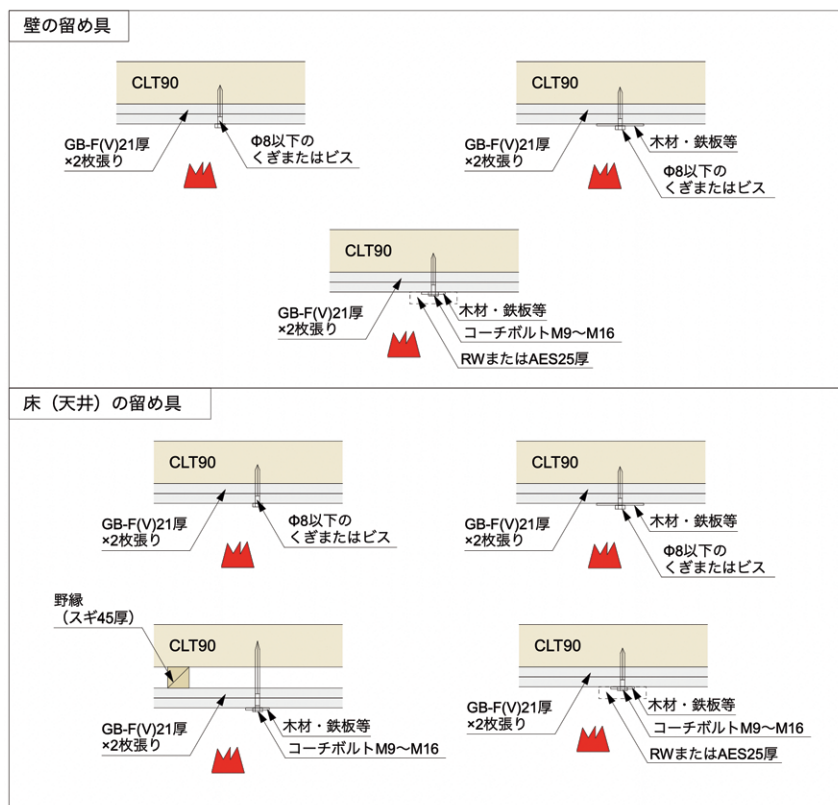


図-7 1時間耐火構造壁・床の留め具の納まり案 (単位: mm)

今後の 課題・展開 等

本事業では、1時間耐火構造壁及び床については、躯体にCLTを用いた場合の開口小口、貫通部、留め具廻りについて性能検証を実施し前述の成果を得た。また30分耐火構造壁（非耐力）については、国内に流通する材料を用いた構成のCLTにて燃え止まり性状を確認した。

今後は、昨年度の2時間耐火構造の成果に加え、本事業での成果を元に、設計指針となるマニュアルを整備するとともに、新たな技術開発につながるよう日本建築学会等にて工学的知見を公開・普及することに努める。

なお、本事業で得られた成果は、建物の躯体に他の木材、木質材料を用いた場合（在来軸組工法等）にも応用できる余地があると考えられ、本成果を踏まえた仕様の整理を今後の課題としたい。

非住宅・中大規模木造建築用の高耐力壁及び各部要素の開発検討事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 木を活かす建築推進協議会

〒107-0052 東京都港区赤坂2-2-19 アドレスビル5F

事業目的

昨年度から引き続き、非住宅・中大規模木造建築物を建てる際に必要となる、(1)高耐力壁〔=高倍率、高階高耐力壁〕及び(2)それに対応する接合金物、並びに(3)各部要素の、仕様の追加、検討、検証などを行う。

実施した項目

(1) 高耐力壁

- ・耐力壁試験
- ・耐力壁の解析モデルの提案

(2) 接合金物

- ・めり込み補強金物の圧縮試験
- ・扁平柱用接合金物の圧縮・引張試験

(3) 各種要素試験

- ・釘の一面せん断試験
- ・釘頭貫通力試験
- ・面材の面内せん断試験

実施体制

この事業を実施するに当たり、学識経験者、関連業界等による下記委員会を設置し、事業計画、成果の検討などを行うとともに、委員会の傘下として高耐力壁等の実務に携わるWGを設けた。

■開発検討委員会（※敬称略・順不同）

- | | |
|-----|---------------------------------------|
| 委員長 | 大橋 好光（東京都市大学 名誉教授） |
| 委員 | 青木 謙治（東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授） |
| 委員 | 落合 陽（東京都市大学建築都市デザイン学部建築学科 講師） |
| 委員 | 逢坂 達男（一般社団法人 日本木造住宅産業協会 技術開発委員長） |
| 委員 | 坂口 晴一（一般社団法人 日本ツーバイフォー建築協会 技術部長） |
| 委員 | 大桃 一浩（一般社団法人 JBN・全国工務店協会中大規模木造委員会委員長） |
| 委員 | 功刀 友輔（一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会 理事） |
| 委員 | 金井 邦夫（木造住宅接合金物協会 会長） |
| 委員 | 神谷 文夫（株式会社 セイホク 技師長） |

■高耐力壁等開発検討WG（※敬称略・順不同）

- | | |
|----|-----------|
| 主査 | 大橋 好光（前述） |
| 委員 | 青木 謙治（前述） |

- 委員 高橋 雅司 (一般社団法人 日本木造住宅産業協会 技術開発部長)
 委員 潮 康文 (木造住宅接合金物協会)
 委員 川原 重明 (一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会 理事)
 委員 松田 英之 (一般社団法人 JBN・全国工務店協会中大規模木造委員会委員)

■面材耐力壁の各部要素WG

- 主査 大橋 好光 (前述)
 委員 青木 謙治 (前述)
 委員 落合 陽 (前述)
 委員 神谷 文夫 (前述)
 委員 石川 広資 (株式会社 ノダ 繊維板事業部 製品管理課 課長、日本繊維板工業会 会員会社 [MDF 関係])
 委員 服部 和生 (日本ノボパン工業 株式会社 営業本部営業推進部 部長 兼 営業企画グループ グループマネージャー、日本繊維板工業会 会員会社 [パーティクルボード関係])
 委員 功刀 友輔 (前述)
 委員 金井 邦夫 (前述)
 委員 野田 徹 (アマテイ 株式会社 生産本部 技術部 部長 兼 品質管理室 室長、日本自動釘打機ステープル工業会 兼 線材製品協会 会員会社)
 委員 清水 庸介 (公益財団法人 日本住宅・木材技術センター 構造試験室 研究主幹)
 委員 潮 康文 (前述)

■オブザーバー、行政

公益財団法人 日本住宅・木材技術センター、林野庁木材産業課、木構造振興株式会社 など

■コンサルタント

株式会社 えびす建築研究所

■事務局

(一社) 木を活かす建築推進協議会

実施した 内容

(1) 高耐力壁

1) 前期試験

前期試験は、真のせん断変形角評価で相当壁倍率 15 倍の耐力かつ靱性のある破壊性状を目標とした。試験体は壁面材・釘・壁仕様等をパラメータとし表.1 に示す仕様とした。各仕様ともに床面材がある仕様だが、壁面材とは隙間を設けることで純粋な壁勝ち大壁仕様と同等の挙動となるようにし壁としての基礎的な性能を得られるようにした。真壁仕様も同様に壁面材の四周に隙間を設け大壁仕様と同様の挙動になるようにした。試験体概要図を図.1 に示す。

表.1 試験体仕様の一覧 (高耐力壁、前期試験)

項目\試験体 No.	No. 39	No. 39H	No. 40	No. 41	No. 42	No. 44
試験体の目標耐力	30kN/m(真)					
壁仕様	床勝ち大壁			床勝ち真壁		
柱頭仕様	めり込み補強金物(ほぞパイプ仕様)					
柱脚仕様	めり込み補強金物					
壁面材	面材種類	構造用合板 (全層カマツ)	構造用合板 (全層ヒノ)	MDF	パーティクル ボード	構造用合板 (全層スギ)
	厚さ	18mm			24mm	
	面材幅	910mm			770mm	
	詳細	特類 2 級		密度 0.7g/cm ³ 相当		特類 2 級
	両 or 片面	片面				
接合具	CNZ75 縦方向@100mm 2列千鳥 横方向 @150mm 1列				CNZ75 縦方向@50mm 2列千鳥 横方向 @200mm 2列千鳥	
壁面材と床面材の隙間	30mm					
壁面材と柱、桁との隙間				柱 10mm、桁 30mm		
床仕様	床勝ち					
壁長さ×壁高さ	910mm×3800mm					
柱、胴つなぎ材	断面：120mm×120mm、樹種：ヒノキ集成材(E95-F315)			柱：120mm×120mm、胴つなぎ材：120mm×96mm、樹種：ヒノキ集成材(E95-F315)		
土台	断面：120mm×150mm、樹種：ヒノキ集成材(E95-F315)					
間柱	断面：45mm×120mm、樹種：ヒノキ集成材(E95-F315)			断面：45mm×96mm、樹種：ヒノキ集成材(E95-F315)		
土台側受け材	断面：120mm×90mm、樹種：ヒノキ集成材(E95-F315)、STS6.5F-L180を端部2本留め、その他@125mm以下2列千鳥			断面：96mm×90mm、樹種：ヒノキ集成材(E95-F315)、STS6.5F-L180を端部2本留め、その他@125mm以下2列千鳥		
柱側受け材				断面：96mm×90mm、樹種：ヒノキ集成材(E95-F315)、STS6.5F-L180@150mm 2列千鳥		
桁	断面：120mm×360mm、樹種：ヒノキ集成材(E105-F300)					

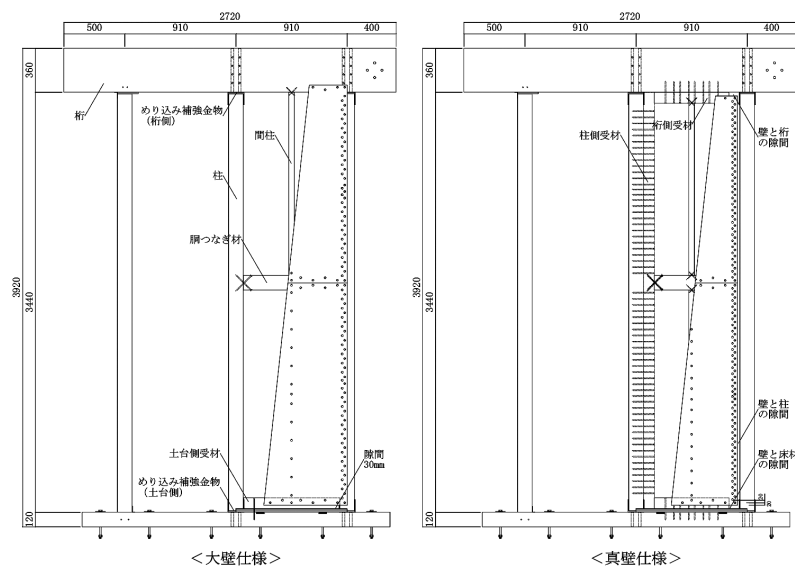


図.1 高耐力壁試験体例 [単位 mm]

2) 後期試験

後期試験は、前期試験の結果に基づき仕様を選定した。前期試験ではやや目標耐力に及ばなかった結果となったため、横方向の釘間隔を狭めた。また、真壁仕様は壁面材の面内せん断破壊が見られたため、壁面材幅を狭め四周の隙間が大きくなり壁面材が柱やめり込み補強金物などに接触することによる応力集中を防ぐようにした。試験体仕様を表.2に示す。

表.2 試験体仕様の一覧（高耐力壁、後期試験）

項目\試験体 No.	No. 43-1, 2, 3	No. 45-1, 2, 3	
試験体の目標耐力	30kN/m(真)		
壁仕様	床勝ち大壁	床勝ち真壁	
柱頭仕様	めり込み補強金物(ほぞパイプ仕様)		
柱脚仕様	めり込み補強金物		
壁面材	面材種類	構造用合板(全層カマツ)	構造用合板(全層スギ)
	厚さ	18mm	24mm
	面材幅	910mm	750mm
	詳細	特類2級	
	両 or 片面	片面	
接合具	CNZ75 縦方向 @100mm 2列千鳥 横方向 @200mm 2列千鳥	CNZ75 縦方向 @50mm 2列千鳥 横方向 @200mm 2列千鳥	
壁面材と床面材の隙間	30mm		
壁面材と柱、桁との隙間	柱 20mm、桁 30mm		
床仕様	床勝ち		
壁長さ×壁高さ	910mm×3800mm		
柱、胴つなぎ材	断面: 120mm×120mm、樹種: ヒノキ集成材 (E95-F315)	柱: 120mm×120mm、胴つなぎ材: 120mm×96mm、樹種: ヒノキ集成材 (E95-F315)	
土台	断面: 120mm×150mm、樹種: ヒノキ集成材 (E95-F315)		
間柱	断面: 120mm×45mm、樹種: ヒノキ集成材 (E95-F315)		
土台側受け材	断面: 120mm×90mm、樹種: ヒノキ集成材 (E95-F315)、STS6.5F-L180を端部2本留め、その他@125mm以下2列千鳥	断面: 96mm×90mm、樹種: ヒノキ集成材 (E95-F315) STS6.5F-L180を端部2本留め、その他@125mm以下2列千鳥	
柱側受け材	断面: 96mm×90mm、樹種: ヒノキ集成材 (E95-F315)、STS6.5F-L180@100mm 2列千鳥		
桁	断面: 120mm×360mm、樹種: ヒノキ集成材 (E105-F300)		

3) 高耐力壁と接合金物を組み合わせた解析モデルの構築と解析の実施

高耐力壁試験を実施した仕様について接合金物と組み合わせた増分解析を実施する。昨年度まで壁面材釘のせん断ばねは、要素試験により得られた釘1本あたりの特性に打ち付けられる釘本数分で乗じたものを各辺の中央に1か所ずつに配置したが、釘の位置による影響を加味し実態に近づけるため複数に分割して配置する。また、実験では壁面材は上下2枚張りのため解析モデルでも同様に再現する形式とした(図.3)。

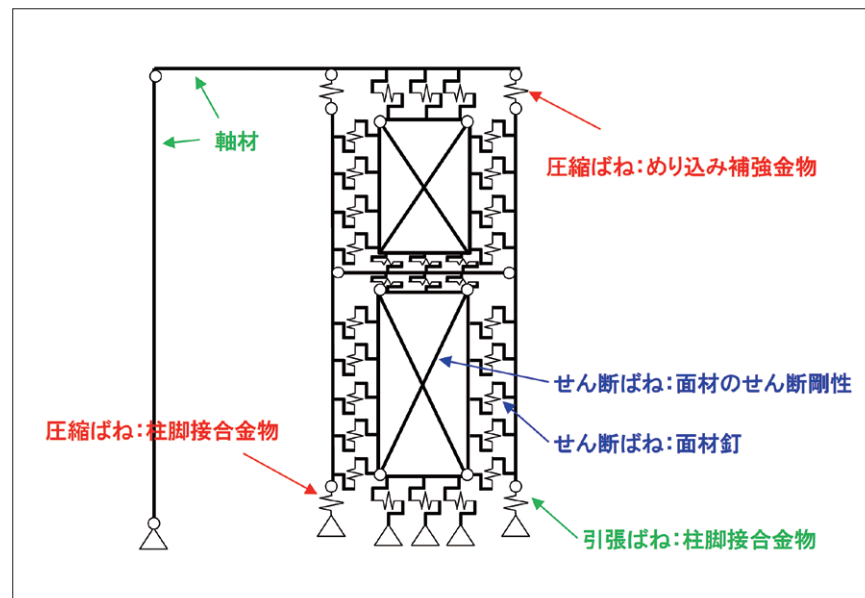


図.3 解析モデル概要図

(2) 接合金物

1) めり込み補強金物の圧縮試験

耐力壁試験にも用いているめり込み補強金物（図.2）について、柱部分とドリフトピン部分のめり込み性能を分離して評価することを目的に、図.4に示す形式にて圧縮試験を実施する。

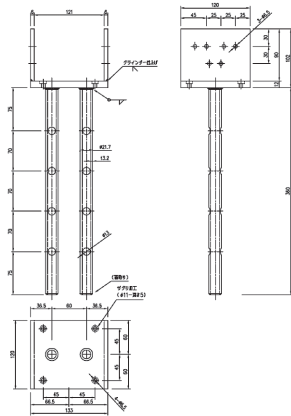


図.2 めり込み補強金物 [単位 mm]

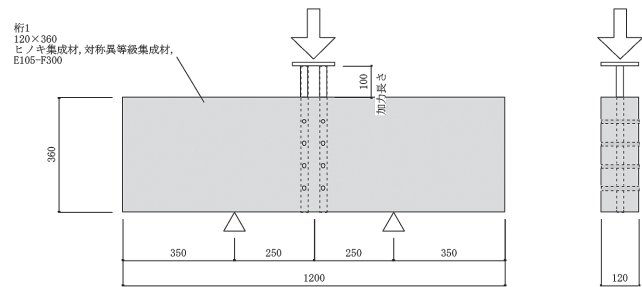


図.4 めり込み補強金物試験概要 [単位 mm]

2) 扁平柱用接合金物の引張・圧縮試験

これまで非住宅中大規模木造の柱断面は 120mm 角にて検討・実験を行ってきたが、最下階の引張応力等を考慮すると柱断面の増大が必要になるとともに接合金物の性能上昇が望まれる。これまでに開発してきた 120mm 角柱用の接合金物 TB-D9 を改良した（図.6）。柱脚接合金物試験では、柱断面 120mm × 240mm に対し金物を 2 個併用する形式で試験を実施する（図.5 左）。中間階接合金物試験では、梁 120mm × 600mm の上下に TB-D9 金物を配置し、金物間を M24 の引きボルト・高ナット等で緊結する（梁にめり込み応力が働かない機構）、図.5 右の形式で試験を実施する。

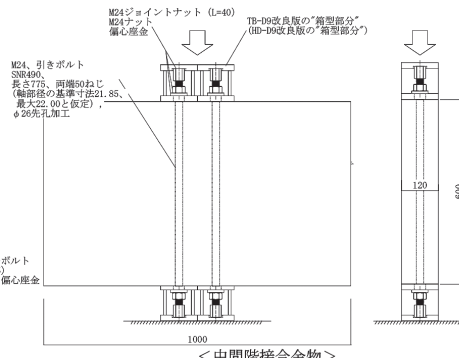
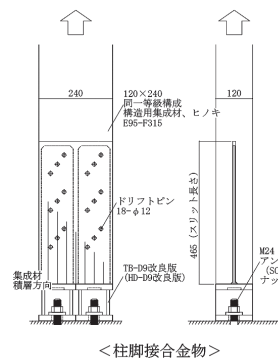


図.5 扁平柱用接合金物試験体図 [単位 mm]

図.6 柱脚接合金物 (TB-D9 改良) [単位 mm]

(3) 各部要素

1) 釘頭貫通力試験

昨年度実施した釘頭貫通力試験は、φ 76mm の反力治具で実施したがそれだと面材の曲げ変形成分も含んだ荷重変形関係・特性値となっていた。面材の曲げ成分を排除するため、図.7に示すようにスリット幅 17mm の反力治具にて試験を実施する。

2) 釘の一面せん断試験

昨年度実施した釘の一面せん断試験はロケット型試験だったが、4本の釘の試験時の挙動がまち

まちで荷重変形関係と破壊性状の関係を整理することが難しかった。そのため図.8に示すように、ASTM規格の試験方法（1本の釘打ち）に準拠することでそれらの整理を試みる。

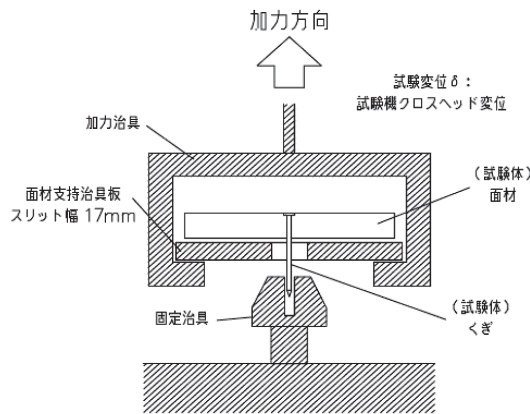


図.7 釘頭貫通力試験概要図

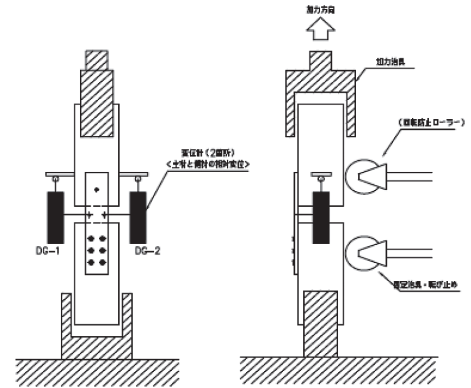


図.8 釘の一面せん断試験概要図

実施した結果

(1) 高耐力壁

荷重変形関係、構造特性値の一覧を図.9、表.3に示す。前期試験では各1体ずつではあるが、構造用合板の樹種による比較や繊維板の種類による比較を行い、それぞれカラマツ・ヒノキは同等の結果、MDF・パーティクルボードは同等の結果となることが分かった。後期試験では前期試験の結果を踏まえ、釘の間隔や真壁仕様の面材幅を変えるなど行い、大壁仕様のNo.43については耐力・破壊性状ともに目標としていた相当壁倍率15倍、靱性のある引抜け破壊となった。真壁仕様のNo.45は面材の面内せん断破壊やパンチングアウトが見られる結果となったが、荷重変形関係的には急激な耐力低下などはなく靱性のあるものとなった。

解析モデルでは3体実施したNo.43、45試験体について、柱頭及び柱脚に接合金物の配置した場合の耐力壁特性の推定を行った。接合金物のばねを配置したことで実験結果(真のせん断変形角評価)に比べて初期剛性はやや低い結果となった。

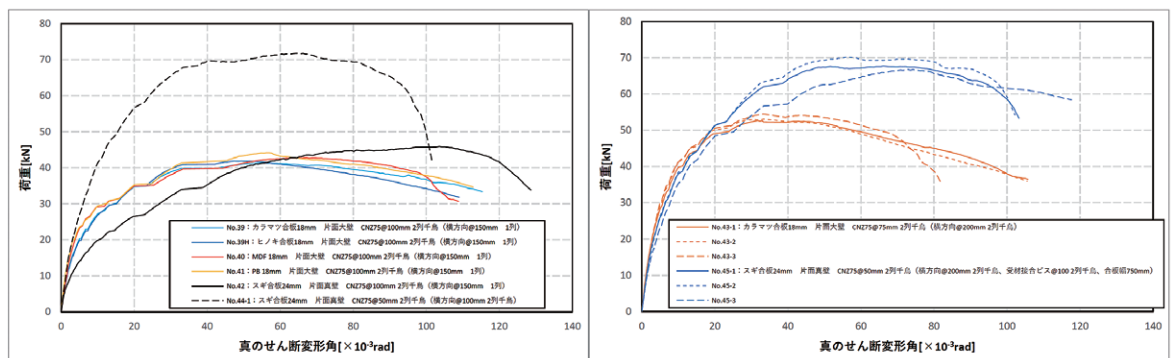


図.9 荷重変形関係 (高耐力壁)

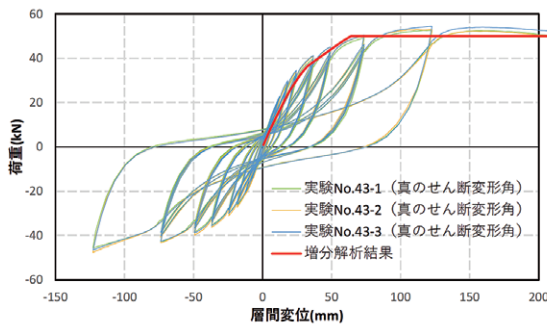
表.3 構造特性値 (高耐力壁)

評価項目\試験体No	No. 39						No. 40						No. 41						No. 42						No. 44					
	No. 39	No. 39H	No. 40	No. 41	No. 42	No. 44	No. 43-1	No. 43-2	No. 43-3	平均	ばらつき係数	50%下限値	No. 45-1	No. 45-2	No. 45-3	平均	ばらつき係数	50%下限値												
Pmax (kN)	41.4	41.85	42.75	44.25	43.35	71.81	52.7	53.1	54.5	53.4	0.992	53.0	67.8	70.2	66.0	68.0	0.985	67.0												
Py (kN)	22.5	22	24.8	24.3	20.9	39.0	29.7	30.6	31.6	30.6	0.985	30.2	35.2	35.6	38.2	36.3	0.979	35.6												
0.2Pu√2μ-1 (kN)	25.6	25.5	24.8	24.3	17.5	36.6	36.5	37.4	38.0	37.3	0.990	36.9	34.3	35.0	29.7	33.0	0.959	31.6												
2/3Pmax (kN)	27.6	27.9	28.5	29.5	28.9	47.9	35.1	35.4	36.3	35.6	0.992	35.3	45.2	46.8	44.0	45.3	0.985	44.7												
P _{1/50} (kN)	22.9	22.4	25.7	25.5	16.3	32.3	32.8	34.0	34.6	33.8	0.987	33.3	30.5	30.9	27.6	29.7	0.972	28.8												
初期剛性 (10 ³ kN/rad)	3.49	3.42	4.06	4.29	1.83	4.28	5.38	5.61	5.66	5.55	—	—	4.06	4.11	3.23	3.80	—	—												
Py (kN)	22.5	22.0	24.8	24.3	20.9	39.0	29.7	30.6	31.6	30.6	—	—	35.2	35.6	38.2	36.3	—	—												
θy (10 ⁻³ rad)	6.58	6.61	6.11	5.66	11.40	9.11	5.52	5.45	5.58	5.52	—	—	8.68	8.67	11.82	9.72	—	—												
Pu (kN)	38.4	38.9	38.8	39.9	36.8	66.4	49.9	50.0	51.4	50.4	—	—	61.9	63.3	59.3	61.5	—	—												
θu (10 ⁻³ rad)	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	66.67	—	—	66.67	66.67	66.67	66.67	—	—												
塑性率μ	6.05	5.87	7.00	7.18	3.32	4.30	7.20	7.48	7.34	7.34	—	—	4.37	4.32	3.63	4.11	—	—												
構造特性係数Ds	0.30	0.31	0.28	0.27	0.42	0.36	0.27	0.27	0.27	0.27	—	—	0.36	0.36	0.40	0.38	—	—												
短期基準せん断耐力 (kN)	22.5	22.0	24.8	24.3	16.3	32.3	29.7	30.6	31.6	30.6	—	30.2	30.5	30.9	27.6	29.7	—	28.8												
壁長さ1mあたり (kN/m)	24.7	24.2	27.3	26.7	17.9	35.4	32.6	33.6	34.7	33.7	—	33.2	33.5	33.9	30.4	32.6	—	31.7												
相当壁倍率	12.6	12.3	13.9	13.6	9.1	18.1	16.7	17.2	17.7	17.2	—	16.9	17.1	17.3	15.5	16.6	—	16.1												

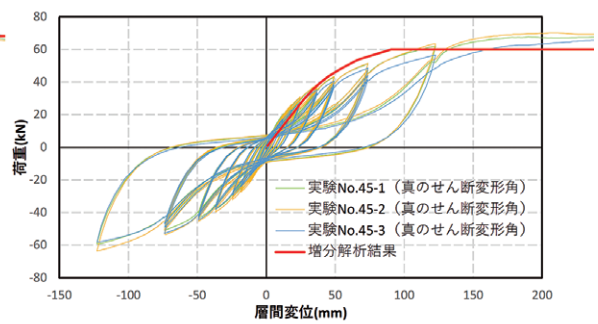
※ばらつき、低減係数は乗じていない

※低減係数αは乗じていない

※低減係数αは乗じていない



<No.43仕様 解析結果>



<No.45仕様 解析結果>

図.10 実験結果と解析結果の比較

(2) 接合金物

1) めり込み補強金物

試験結果の一覧を図.11、表.4に示す。試験により試験仕様（桁材：120×360,ヒノキ集成材 E105-F300、丸パイプ：φ21.7mm、t=3.2mm、ドリフトピン：径12mm）におけるドリフトピン部分の剛性及び耐力を評価した。実験の結果、今回の仕様における剛性は45.5kN/mm（ドリフトピン1本あたり5.7kN/mm）、終局耐力は200.7kN（ドリフトピン1本あたり25.1kN）であった。昨年度報告した試験結果ではめり込み補強金物全体の剛性は85.6kN/mmであることから、ドリフトピン部部分の剛性は全体の半分程度を有することが分かった。

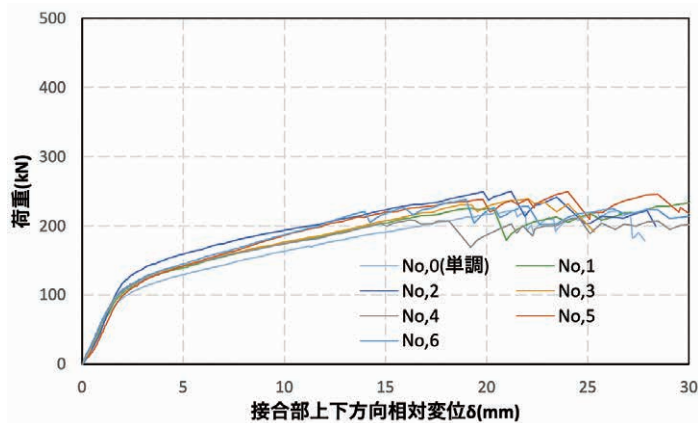


図.11 荷重変形関係 (めり込み補強金物)

表.4 構造特性値 (めり込み補強金物)

試験評価 (6 体)			
短期 基準耐力※ (kN)	← min{ ①, ② }		平均 初期剛性 K (kN/mm)
	①降伏耐力 P_y の 5%下限値 (kN)	② $2/3P_{max}$ の 5%下限値 (kN)	
102.9	102.9	136.1	45.4

※いずれの試験体も低減係数は乗じていない

2) 扁平柱用接合金物

試験結果の一覧を図.12,13、表.5,6に示す。試験により扁平柱 120mm × 240mm (ヒノキ集成材) における最下階の引張性能及び中間階の圧縮性能を評価した。その結果、扁平柱用柱脚金物の短期基準引張耐力は 253.9kN となり、120 角柱 (金物 1 個) の試験結果 (平成 30 年度補正) に対し 2 倍以上の耐力となり想定を上回る結果となった。また、中間階金物試験は金物に内挿された引きボルトの圧縮座屈で決まり、短期基準圧縮耐力は 305kN となった。オイラーの座屈理論より求めた計算値 (引きボルト $L=600\text{mm}$ で計算) と比較するとボルトの両端は両端固定と両端ピンの中間程度の固定度を有することがわかった。

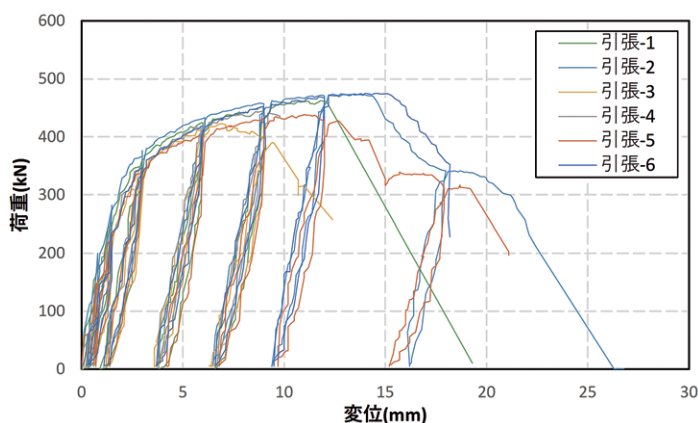


図.12 荷重変形関係 (扁平柱用柱脚金物)

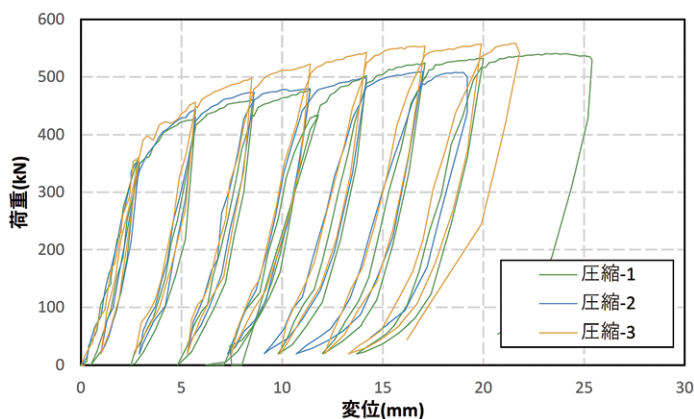


図.13 荷重変形関係 (扁平柱用中間階金物)

表.5 構造特性値（扁平柱用柱脚金物）

試験評価（6体）			
短期 基準耐力※ (kN)	←min{ ① , ② }		平均 初期剛性 K (kN/mm)
	①降伏耐力 Py の 5%下限値 (kN)	②2/3Pmax の 5%下限値 (kN)	
253.9	253.9	269.7	133.8

※いずれの試験体も低減係数は乗じていない

表.6 構造特性値（扁平柱用中間階金物）

試験評価（6体）			
短期 基準耐力※ (kN)	←min{ ① , ② }		平均 初期剛性 K (kN/mm)
	①降伏耐力 Py の 5%下限値 (kN)	②2/3Pmax の 5%下限値 (kN)	
297.1	297.1	305.6	110.6

※いずれの試験体も低減係数は乗じていない

(3) 各部要素

1) 釘頭貫通力試験

試験結果の一覧を図.14に示す。試験により面材の面外曲げ成分を排除した釘頭の貫通力性能を評価した。その結果、最大荷重は面材密度や釘頭部径に依存することが確認された。

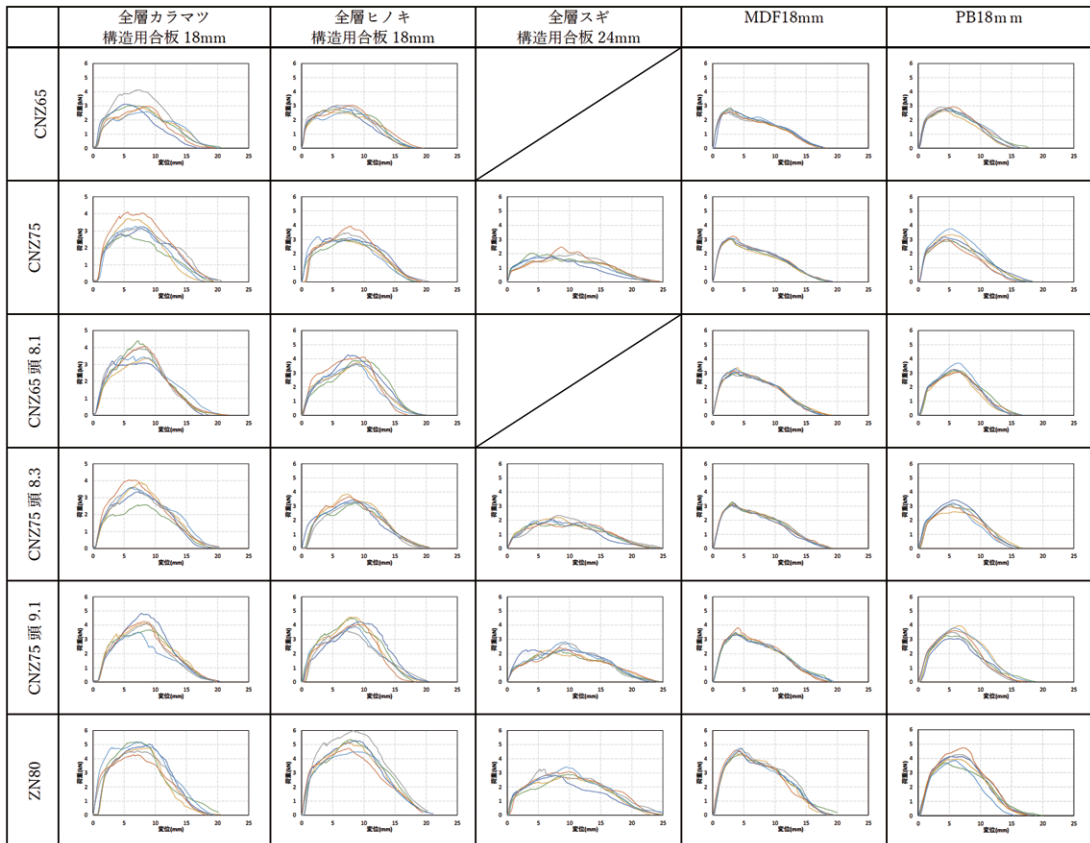


図.14 荷重変形関係（釘頭貫通力試験）

2) 釘の一面せん断試験

試験結果の一覧を図.15、表.7,8に示す。試験により釘の一面せん断性能及び破壊性状を評価した。その結果、破壊性状は概ね引抜ける結果となったが、全層スギ24mm合板やZN80釘を用いた仕様ではパンチングアウトが目立つ結果となった。これまで実施してきたロケット型試験（釘4本）に比べると、ASTM規格に準拠した試験（釘1本）は破壊性状を整理しやすいことが確認された。

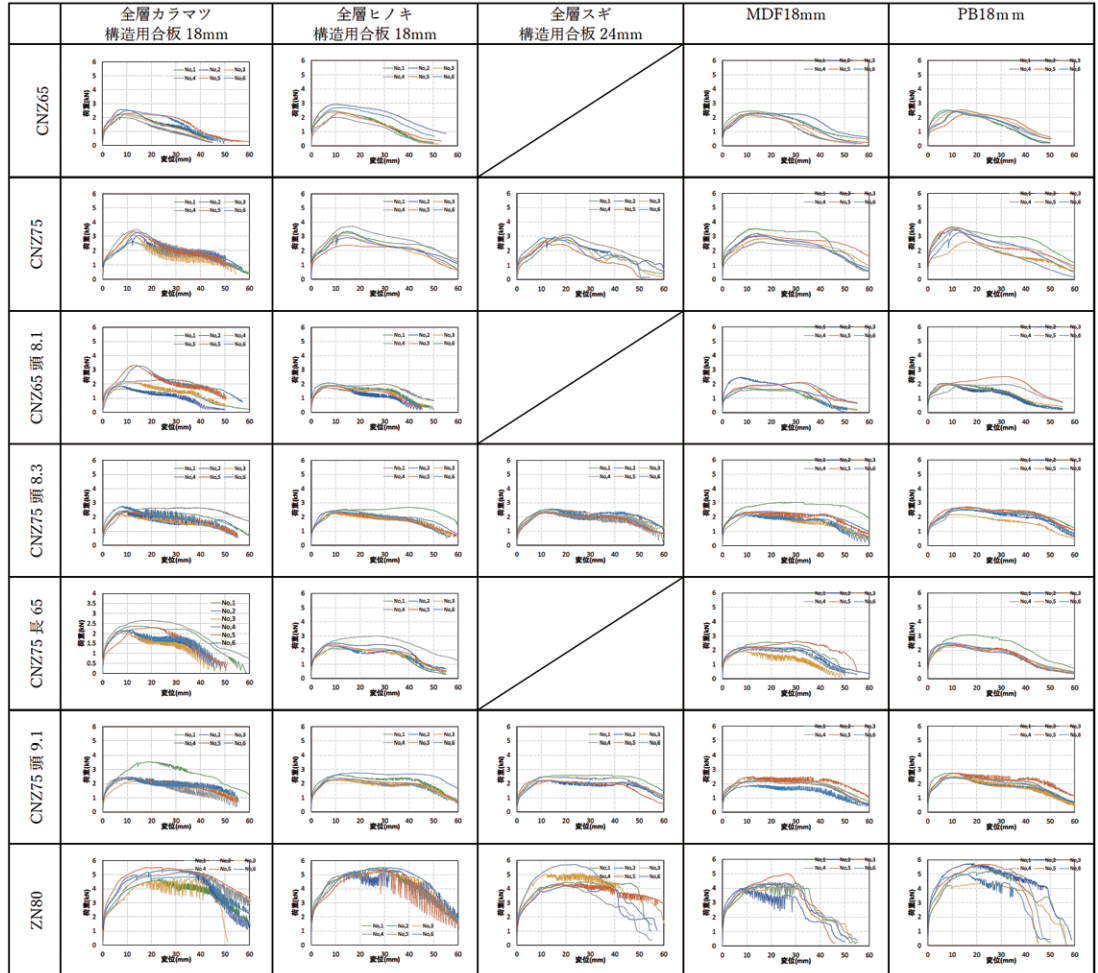


図.15 荷重変形関係（釘の一面せん断試験）

表.7 構造特性値 (釘の一面せん断試験)

面材種類	釘	最大荷重		降伏時		終局時		初期剛性 K (kN/cm)
		P (kN)	δ (mm)	Py (kN)	δy (mm)	Pu (kN)	δu (mm)	
全層カラマツ 構造用合板 18mm厚	CNZ65	2.32	9.21	1.13	0.77	2.06	21.18	15.50
	CNZ75	3.15	13.41	1.40	1.15	2.59	20.54	12.43
	CNZ65 頭部径 8.1	1.98	11.96	1.02	1.11	1.79	21.12	10.18
	CNZ75 頭部径 8.3	2.49	14.32	1.24	1.15	2.25	22.29	13.42
	CNZ75 長さ 65	2.29	13.52	1.17	1.10	2.08	22.65	11.30
	CNZ75 頭部径 9.1	2.58	13.33	1.35	1.29	2.33	23.58	11.29
	ZN80	5.07	25.46	2.52	2.00	4.53	29.91	13.53
全層ヒノキ 構造用合板 18mm厚	CNZ65	2.46	10.68	1.25	0.82	2.19	24.50	16.72
	CNZ75	3.11	14.66	1.50	0.96	2.68	28.70	16.00
	CNZ65 頭部径 8.1	1.92	10.75	1.02	0.70	1.73	27.22	16.30
	CNZ75 頭部径 8.3	2.40	11.71	1.16	0.79	2.17	28.97	14.74
	CNZ75 長さ 65	2.43	11.68	1.31	0.95	2.22	27.95	15.92
	CNZ75 頭部径 9.1	2.45	12.92	1.24	0.77	2.24	29.29	16.52
	ZN80	5.34	28.13	2.79	1.67	4.75	29.72	17.85
全層スギ 構造用合板 24mm厚	CNZ75	2.91	16.34	1.37	1.84	2.47	26.06	9.00
	CNZ75 頭部径 8.3	2.45	15.16	1.18	1.02	2.18	27.71	11.96
	CNZ75 頭部径 9.1	2.33	13.75	1.17	1.05	2.13	30.00	12.36
	ZN80	4.71	21.58	2.40	1.33	4.28	30.00	18.76
MDF 18mm厚	CNZ65	2.28	12.36	1.14	0.84	2.05	27.55	13.78
	CNZ75	3.06	15.08	1.57	1.10	2.72	29.53	15.22
	CNZ65 頭部径 8.1	1.96	16.24	1.06	1.04	1.77	28.73	12.08
	CNZ75 頭部径 8.3	2.43	16.41	1.33	1.06	2.22	28.74	15.00
	CNZ75 長さ 65	2.27	16.27	1.31	1.13	2.09	27.59	14.24
	CNZ75 頭部径 9.1	2.24	16.91	1.18	0.90	2.06	29.09	14.11
	ZN80	4.36	20.86	2.38	1.19	3.92	25.98	22.93
パーティクル ボード 18mm厚	CNZ65	2.43	12.49	1.20	0.79	2.13	26.06	15.94
	CNZ75	3.36	11.69	1.70	0.87	2.92	23.10	21.18
	CNZ65 頭部径 8.1	2.08	15.18	1.16	1.19	1.87	24.55	13.80
	CNZ75 頭部径 8.3	2.56	13.89	1.30	0.78	2.30	29.78	17.21
	CNZ75 長さ 65	2.52	11.28	1.35	0.66	2.28	28.60	21.93
	CNZ75 頭部径 9.1	2.58	11.06	1.41	0.80	2.34	27.14	17.76
	ZN80	5.26	20.34	2.76	1.33	4.81	29.14	22.94

表.8 破壊性状の分類 (釘の一面せん断試験)

釘の種類	胴部径 (mm)	釘頭径 (mm)	合板 (カラマツ)		合板 (スギ)	MDF	パーティクルボード
			18mm	18mm	24mm	18mm	18mm
CNZ65	3.33	7.14	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%	△	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%
CNZ75	3.76	7.92	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%	△ 1/6 = 17%	△ 5/6 = 83%	○ 6/6 = 100%
CNZ65型 頭径8.1	3.33	8.10	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%	△	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%
CNZ75型 頭径8.3	3.76	8.30	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%	△ 4/6 = 67%	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%
CNZ75型 長さ65	3.76	7.92	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%	△	○ 4/6 = 67%	○ 6/6 = 100%
CNZ75型 頭径9.1	3.76	9.10	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%	○ 6/6 = 100%
ZN80	5.26	11.13	○ 6/6 = 100%	△ 4/6 = 67%	× 0/6 = 0%	× 0/6 = 0%	× 0/6 = 0%

○ : 6体すべてで引抜け破壊した
 △ : 6体のうち1体以上パンチングアウトした。釘の引抜け割合を示す
 × : 6体すべてでパンチングアウトした

**今後の
課題・展開
等****(1) 高耐力壁**

今年度の事業では高耐力壁となる仕様の選定などの調査や、設計モデルの構築などを行ってきた。その中で挙げた（高耐力壁ゆえの）主な検討課題を、以下に示す。

- ・ヒノキ以外の樹種（スギ、カラマツなど）
- ・壁長さ、壁高さが変化した場合の性能評価
- ・実設計に向けてのデータの有用性の検討

(2) 接合金物

今年度の事業では、めり込み補強金物や扁平柱用接合金物の検討を行ってきた。それ以外にも、高耐力壁を目指すための主な課題を、以下に示す。

- ・めり込み補強金物のせん断性能の把握
- ・扁平柱用接合金物のせん断性能の把握
- ・昨年度まで実施した240角柱用接合金物（5層向け）のせん断性能の把握
- ・実設計に向けたディテール検証

(3) 各部要素

今年度の事業では、釘頭貫通力試験や釘の一面せん断試験を実施し各部要素の特性を整理した。今後の主な課題を、以下に示す。

- ・軸材の樹種が異なる場合（スギ、カラマツ等）の性能評価
- ・壁面材厚、構造用合板樹種の異なる場合の性能評価
- ・各種実験データを用いた詳細計算等による検討

液体ガラス処理木材の外構材等への利用拡大を図るための品質管理基準の検討とその耐久性評価試験 —表面処理木材保存剤としての検討—

● 実施団体 ●

一般社団法人 高知県木材協会

〒781-0801 高知県高知市小倉町2番8号

事業目的

「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（令和3年10月施行）」の成立により、木材利用が益々重要となっている。今後の木材の需要拡大のためには、非住宅建築物や外構材等への利用拡大を図ることが必須であると考えられる。現状では、使用環境に対応した耐久性を保持させるために、各種木材保存剤が使用されているが、生産・加工・施工・廃棄・リサイクルの過程において、環境負荷を軽減するという視点からは、廃棄・リサイクルなどの課題がある。そこで、環境負荷に配慮した木材保存剤として、液体ガラスに着目し、その処理木材の品質とその性能を科学的に検証し、合理的な実用条件を検討する。

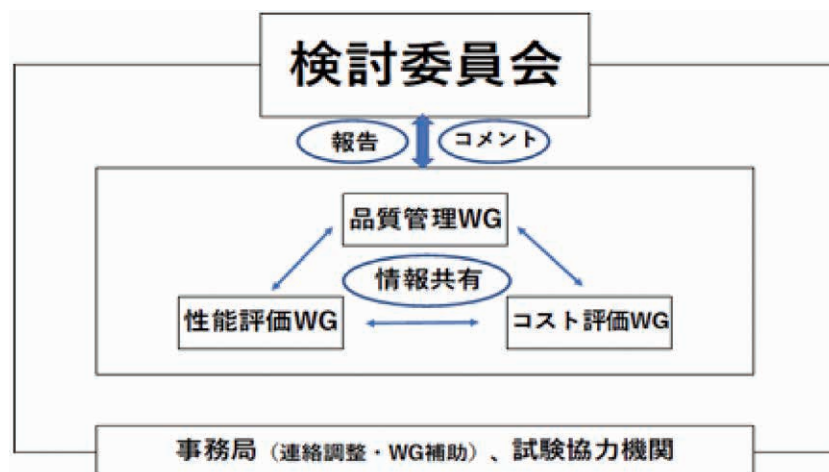
具体的には、これまでの事業成果として、液体ガラスと既存認定木材保存剤との組み合わせ（ハイブリッド）により、耐朽性（防腐・防蟻性能）を担保できることを確認し、さらに実験室レベルでの目標時間（5000時間）の耐候性を達成可能な処理仕様を見出すことができた。今年度は、目標時間耐候性（耐候促進試験での5000時間）の再現性とその処理仕様管理基準の確立、さらに新たな液体ガラス改質による性能向上付与を目的とする。

実施した項目

本事業では、学識経験者、関係団体等により構成される検討委員会及び三つのWGを設置し、下記の①～⑤について検討、実施した。

- ①目標時間耐候性の再現性とその処理仕様管理基準の確立
- ②液体ガラス改質による性能（耐候性等）向上の検討
- ③液体ガラス厚塗り処理材及び改質液体ガラス処理材の耐久性評価
- ④改質液体ガラス処理材の他の性能付加の検討
- ⑤トータルコストの検討

実施体制



- 検討委員： 市浦英明（高知大学）
堀沢 栄（高知工科大）
板倉修司（近畿大学）
木口 実（日本大学）
栗崎 宏（富山県農林水産総合技術センター木材研究所）
山本幸一（(公社)日本木材保存協会）
赤堀裕一（大日本防腐(株)）
手塚大介（兼松サステック(株)）
篠原速都（ミロクテクノウッド(株)）
長野麻子（(株)モリアゲ）
和田守通（(株)eステップ）
樫尾隆仁（(株)eステップ）
片岡輝芳（(株)e 2m）
中城秀樹（高知県林業振興環境部木材産業振興課）
小野田勝（高知県林業振興環境部木材産業振興課）
- 品質管理WG： 栗崎 宏、赤堀裕一、手塚大介、篠原速都、和田守通
樫尾隆仁、片岡輝芳
- 性能評価WG： 市浦英明、堀沢 栄、板倉修司、栗崎 宏、和田守通
樫尾隆仁、片岡輝芳
- コスト評価WG： 和田守道、樫尾隆仁、片岡輝芳
- 事務局： （一社）高知県木材協会
- 試験協力機関： 高知県工業技術センター、高知県立森林技術センター

実施した内容

①目標時間耐候性の再現性とその処理仕様管理基準の確立

昨年度の耐候促進試験において、5000時間の耐候性を保持した処理仕様をベースとして、液体ガラスの種類と組み合わせ、塗装方法、塗膜厚さについて検討を行った。

②液体ガラス改質による性能（耐候性等）向上の検討

さらなる性能向上を目的として、液体ガラスへのセルローズナノファイバーの添加や塗装工程の中に3DプリンターやFRP塗装の組み入れなどの処理仕様を検討し、試験体を作成した。

③液体ガラス厚塗り処理材及び改質液体ガラス処理材の耐久性評価

上記①及び②で検討した処理仕様に基づき、試験体を作成し、キセノンウエザーメーターによる促進耐候試験/耐候促進試験を行った。

④改質液体ガラス処理材の他の性能付加の検討

床材への用途を想定し、FRP塗装による表面硬度の性能向上について、試験体を作成し、硬さ試験を行った。

⑤トータルコストの検討

①及び②で検討した処理材についての処理コストを検討した。

①目標時間耐候性の再現性とその処理仕様管理基準の確立

①-1 目標時間耐候性の再現性

昨年度の耐候促進試験において、5000時間の耐候性を保持した処理仕様をベースとして、液体ガラスの種類と組み合わせ、塗装方法、塗膜厚さについて検討を行った処理仕様結果を表-1に示す。

表-1 目標時間耐候性再現の処理仕様

タイプ	樹種	加圧注入	塗布方法	下塗	中塗	上塗	塗膜厚 μm	
A	スギ	AAC	ローラー	木あじ	木粧肌	テリオスウッド	400	
	〃			COWS-N	木粧肌	テリオスウッド		
	ヒノキ			木あじ	木粧肌	テリオスウッド		
	〃			COWS-N	木粧肌	テリオスウッド		
B	スギ			ローラー	木あじ	木粧肌	テリオスウッド	600
	〃				COWS-N	木粧肌	テリオスウッド	
	ヒノキ				木あじ	木粧肌	テリオスウッド	
	〃				COWS-N	木粧肌	テリオスウッド	
D	スギ		機械塗装 + ローラー	木粧肌		テリオスウッド	600	
	ヒノキ			木粧肌		テリオスウッド		
G	スギ		刷毛	S-100C 2回塗り 180g/m ²				
	ヒノキ							
H	スギ	ローラー	木あじ 5回	テリオスウッド		400		
	ヒノキ		木あじ 5回	テリオスウッド				

木あじ：無機ハイブリッド水性シリケート塗料 A タイプ

COWS-N：無機ハイブリッドシリケート塗料 B タイプ

木粧肌：エポキシ樹脂系硬質塗料

テリオスウッド：無機・有機複合型コーティング塗料

S-100C: 住友林業塗料

塗膜厚さ 400 μm : 耐候促進試験 5000 時間クリアと同様の塗膜厚さ

①-2 処理仕様管理基準の確立

処理仕様を管理する基準のために、液体ガラスの種類と組み合わせ、塗装方法が同様であれば、塗膜厚さを指標とすることが適当であると考えられる。塗膜厚さの計測方法としては、非破壊方式が簡便で省力的であり、現場では合理的であり、今回、超音波方式膜厚計を選択・採用して、顕微鏡による実測値と膜厚計計測値の相関関係を調べた結果を図-1に示す。図-1から両者には、高い相関があり、超音波方式膜厚計の有効性を確認できた。そして、一定の塗膜厚さを現場で具現化するために、塗布量と塗膜厚さの関係を見出すこととした。図-2、図-3に塗布量と塗膜厚さの関係を示す。両者には、高い相関があり、今後は、目標とする性能とコストに配慮した塗膜厚さを再現確保するためには、塗布量管理をすることが適当であると考えられる。

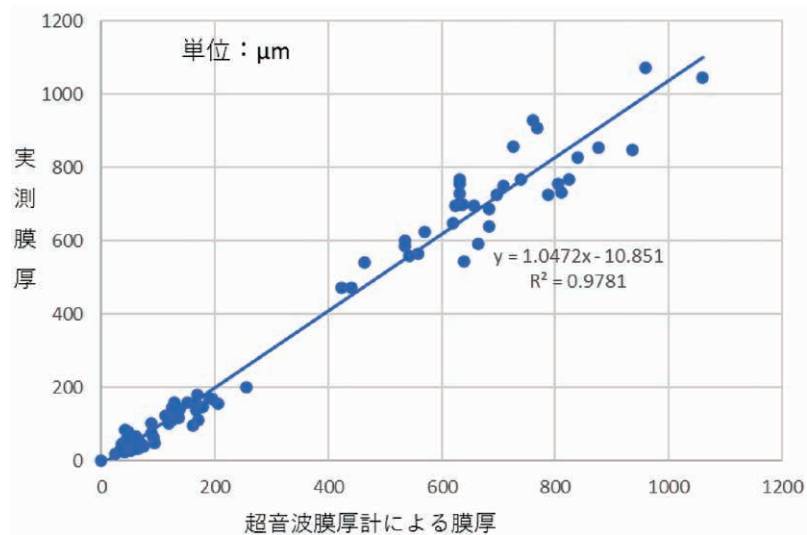


図-1 実測と超音波膜厚計の膜厚の関係

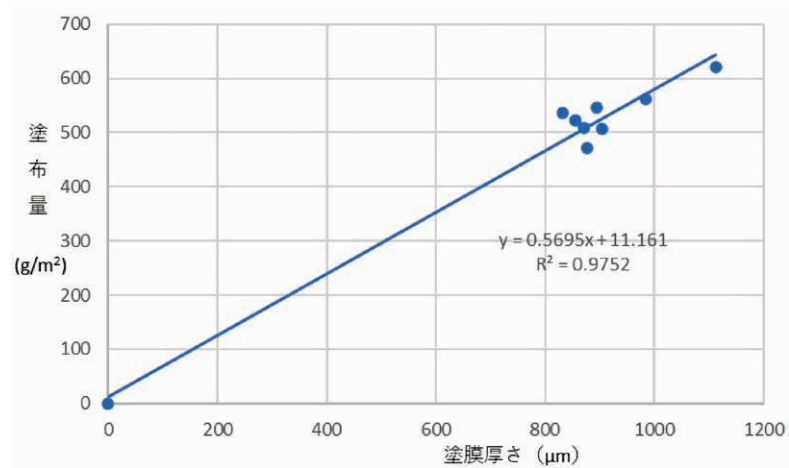


図-2 塗布量と塗膜厚さの関係

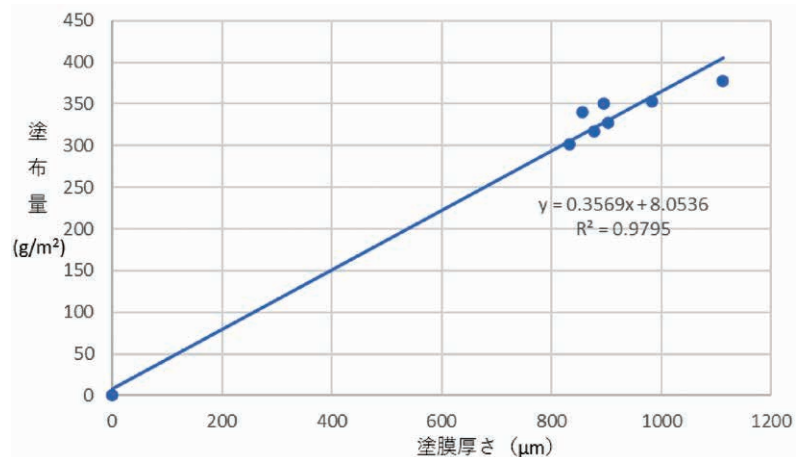


図-3 塗布量（固形分）と塗膜厚さの関係

②液体ガラス改質による性能（耐候性等）向上の検討

さらなる性能向上を目的として、液体ガラスへのセルロースナノファイバーの添加や塗装工程の中に3DプリンターやFRP塗装の組み入れなどの処理仕様を検討した結果を表-2に示す。

表-2 液体ガラス改質による性能向上の処理仕様

タイプ	樹種	加圧注入	塗布方法	下塗	中塗	上塗
C	スギ	AAC	ローラー	木あじ+CNF	木粧肌	テリオスウッド
	〃			COWS-N+CNF	木粧肌	テリオスウッド
	ヒノキ			木あじ+CNF	木粧肌	テリオスウッド
	〃			COWS-N+CNF	木粧肌	テリオスウッド
E	スギ		機械塗装+ローラー	FRP樹脂（エポキシ系）		テリオスウッド
	〃			FRP樹脂（エポキシ系）		テリオスウッド
	ヒノキ			FRP樹脂（エポキシ系）		テリオスウッド
	〃			FRP樹脂（エポキシ系）		テリオスウッド
F	スギ	ローラー	UVプリント	木粧肌	テリオスウッド	
	ヒノキ		UVプリント	木粧肌	テリオスウッド	
I	スギ	エフネン	ローラー	木あじ	木粧肌	テリオスウッド
	スギ	セーフティ		木あじ	木粧肌	テリオスウッド
J	スギ	AAC	含浸	FRP樹脂（エステル系）		
	スギ			FRP樹脂（エステル系）		
	スギ			FRP樹脂（エステル系）		
	スギ			FRP樹脂（エポキシ系）		

木あじ：無機ハイブリッド水性シリケート塗料 A タイプ
 COWS-N：無機ハイブリッドシリケート塗料 B タイプ
 CNF：セルロースナノファイバー
 木粧肌：エポキシ樹脂系硬質塗料
 テリオスウッド：無機・有機複合型コーティング塗料
 エフネン・セーフティ：不燃処理

③液体ガラス厚塗り処理材及び改質液体ガラス処理材の耐久性評価

キセノンウエザーマーターによる促進耐候試験の経過観察の様子を写真-1及び写真-2に示す。

耐候促進試験で5000時間の耐候性を目標としているが、4000時間経過時で、タイプA、Cの試験体では、塗膜の軽度なダメージがあるものの、おおむね健全な状態を堅持している。また、タイプHは、3000時間経過時で健全である。これら、タイプA、C、Hは、5000時間の耐候性が期待できそうである。

一方、タイプGの試験体は、1000時間経過時で塗膜面積の50%以上が塗膜のダメージを受けており、2000時間経過時ではほぼ全面積がダメージを受ける結果となった。

タイプB、D、Eの試験体では、4000時間経過時で、塗膜のダメージを受けているが、塗膜面積の50%未満の状態と見られ、5000時間の耐候性に達する試験体も残存する可能性がある。

タイプFは、標識等の用途を想定して、UVプリントを施したものであるが、3000時間の耐候性はあると思われる。

タイプIは、難燃処理薬剤で処理したものに表面処理したものであるが、3000時間経過時で健全な状態で、5000時間の耐候性も期待できそうである。

タイプJは、FRPを含浸したもので、耐候性以外の防腐・防蟻性能、硬さ、難燃性等の可能性について、調査研究の必要性があると考えているが、3000時間以上の耐候性が期待できそうである。

経過時間	A		B		D		G		H	
	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ
0h										
1000h										
2000h										
3000h										
4000h										

写真-1 液体ガラス厚塗り処理材の耐候促進試験の観察
試験体の処理仕様は、表-1のとおり

経過時間	C		E		F		I	J
	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	ヒノキ	スギ	スギ
0h								
1000h								
2000h								
3000h								
4000h								

写真-2 改質液体ガラス処理材の耐候促進試験の観察
試験体の処理仕様は、表-2のとおり

④改質液体ガラス処理材の他の性能付加の検討

床材への用途を想定し、FRP 塗装による表面硬度の性能向上について、試験体を作成し、硬さ試験を行った結果を、図-4 に示す。

FRP 含浸処理材とスギ圧密材（50%圧縮）との表面硬さを比較すると、FRP の種類によって、スギ圧密材よりも表面硬さが高い数値を示すものがあり、今後の実用化に向けて、さらに調査研究の必要があると思われる。

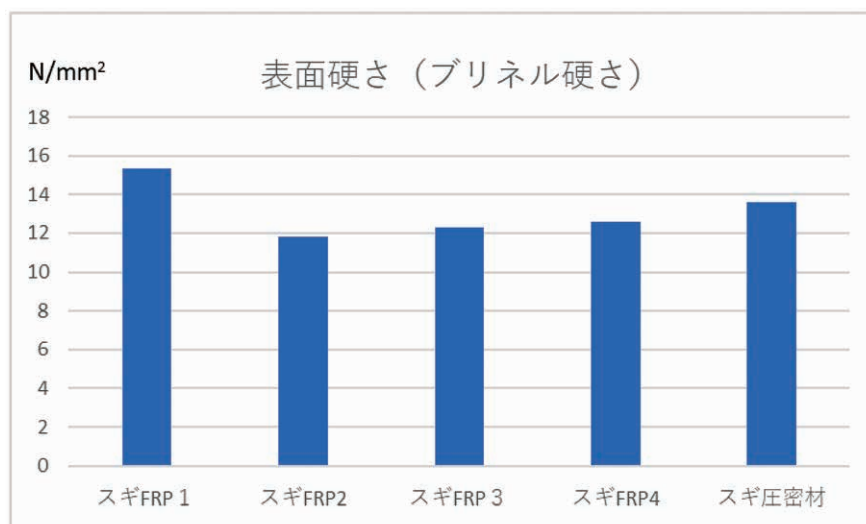


図-4 FRP 含浸 材の表面 硬さ

⑤トータルコストの検討

①及び②で検討した処理仕様材についての処理コスト（設計価格）を検討した結果を以下に示す。
設計条件として、デッキ材（120mm × 30mm × 1995mm） 4枚/㎡ 40㎡当たりで試算した。
（塗装面積95.76㎡ 体積1.15㎡）

加圧注入（AAC）処理は、100,000円/㎡で、1,200円/㎡

表面処理の処理コスト（設計単価）を表-3に示す。

表-3 表面処理の処理コスト（設計単価）

タイプ	塗装方法	下塗	中塗	上塗	設計単価（円/m ² ）
A	ローラー	木あじ 又は COS-N	木粧肌	テリオスウッド	14,500
B		木あじ 又は COS-N	木粧肌(2)	テリオスウッド	16,500
C		木あじ+CNF 又は COS-N+CNF	木粧肌	テリオスウッド	16,200
D	機械塗装+	木粧肌		テリオスウッド	11,700
E	ローラー	FRP（エポキシ）		テリオスウッド	11,700
F	ローラー	UV プリント		テリオスウッド	10,500
G	刷毛	S-100C(2)			3,000
H	ローラー	木あじ(5)		テリオスウッド	12,000
I	ローラー	木あじ	木粧肌	テリオスウッド	10,500
J	含浸	FRP(エステル)			10,200(7,200)
		FRP（エポキシ）			10,200

()内の数字は、回数

CNF の単価については、製造条件等によって様々であるが、40,000 円/kg と仮定し、木あじ又は CON-N と CNF の配合比を 1:0.4 とした場合で試算

今後の 課題・展開 等

外構材としての耐久性（防腐・防蟻、耐候）向上の課題に対し、市販木材保存剤と液体ガラス等とのハイブリッド処理により、一定の成果を得ることができ、特に、耐候性については、耐候促進試験で耐用年数 10 年に相当する 5000 時間の耐候性を有する処理仕様を見出すことができました。今後は、品質管理基準の順守・徹底や修正・見直しも視野にいて、安定的な品質を確保し、普及促進を図る。

一方、生産コスト低減のために、塗装方法、塗装工程の改善を継続して検討する。

今後の展開として、耐久性能に加えて、外構材から建築構造材や内装材等用途拡大を目指し、耐摩耗性、硬度向上、耐火性等を付与する部材開発として、FRP の木材への応用を検討する。

CLT中高層建築物 普及のための マニュアル類整備事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本CLT協会

〒103-0004 東京都中央区東日本橋 2-15-5 VORT 東日本橋 2F

事業 目的

現状CLTパネル工法での中高層建築物の施工棟数はまだまだ少ない。木造建築物における防耐火の対策や、RC造の建築に比べて弱いとされる遮音（特に床衝撃音）対策に不安を感じ設計者やクライアントが二の足を踏んでいる状況と考えられている。また意匠・設備などの納まりに関する資料が少なく、設計・施工の両者にも採用するハードルが高く感じられている。

そこで、具体的な防耐火を考慮した意匠・設備の納まり図や施工法、効果的な遮音対策法をマニュアルで提示することで、中大規模建築物への採用のハードルを下げ、不安を少しでも払拭することでCLT利用促進することを目的としている。

実施した 項目

本事業は、学識経験者、設計実務者等により構成される検討委員会を設置し、CLT中高層建築物の普及のためのマニュアル類整備等について、以下の検討を行った。

- ①中高層建築物 耐火構造及び設備の施工マニュアルの編集、とりまとめ
- ②中高層建築物 遮音マニュアルの編集、とりまとめ

実施 体制

令和5年度 CLT中高層建築物 普及のためのマニュアル類整備事業委員会
(順不同、敬称略)

委員長

小見 康夫 東京都市大学 建築都市デザイン学部 建築学科 教授

委員

田中 学 (一財)日本建築総合試験所 試験研究センター 環境部長

河野 友弘 大和ハウス工業株式会社

飯田 尚樹 森田建設株式会社

井塚 茂 SMB建材株式会社

行政

福島 純 林野庁林政部木材産業課木材製品技術室 課長補佐

巻田 和丈 林野庁林政部木材産業課木材製品技術室 木材専門官

コンサルタント

塩崎 征男 MS木造建築研究所

溝渕木綿子 建設木材工学研究所

事務局

平原 章雄 木構造振興株式会社
一般社団法人日本CLT協会

**令和5年度 CLT中高層建築物 普及のためのマニュアル類整備事業委員会
遮音マニュアル小委員会**

(順不同、敬称略)

委員長

田中 学 一般財団法人日本建築総合試験所

幹事

河野 友弘 大和ハウス工業 株式会社

委員

並木 博一 ジャパン建材 株式会社
森 則理 大建工業 株式会社
近藤 純平 銘建工業 株式会社
島崎 潤悦 株式会社 吉野石膏 DD センター
鶴澤 恒雄 株式会社 吉野石膏 DD センター
渡部 充隆 神島化学工業 株式会社
花井 厚周 株式会社 竹中工務店
小島 裕孝 日本住宅 株式会社
真弓 博行 株式会社 鴻池組
鈴木 俊男 淡路技建 株式会社
大淵 知至 フクビ化学工業 株式会社
増田 潔 大成建設 株式会社
黒木 拓 株式会社 熊谷組
藤澤 康仁 株式会社 大林組
柳沼 勝夫 株式会社 奥村組
堀尾 貞治 東急建設 株式会社
山内 崇 戸田建設 株式会社
塩崎 征男 MS 木造建築研究所

協力委員

平光 厚雄 国立研究開発法人 建築研究所
河合 良 日本乾式遮音二重床工業会
笠井 祐輔 一般財団法人日本建築総合試験所
廣田 誠一 北海道立総合研究機構 北方建築総合研究所
玉越 勢治 帝塚山学院大学
川中 彰平 国立米子工業高等専門学校

コンサルタント

佐藤 千春 株式会社 三井ホームデザイン研究所

事務局

一般社団法人日本CLT協会

和5年度 CLT中高層建築物 普及のためのマニュアル類整備事業委員会
施工マニュアル小委員会
(順不同、敬称略)

委員長

飯田 尚樹 森田建設株式会社

委員

井塚 茂 SMB建材株式会社
中島 忠大 清水建設株式会社
鳥羽 展彰 銘建工業株式会社
杉田 敏之 株式会社ミサワホーム総合研究所
木本 勢也 三井ホーム株式会社

オブザーバー

伊藤 健一 三建設備工業株式会社
太田 芽美 三建設備工業株式会社
内田 泰斗 三建設備工業株式会社
山口 裕史 株式会社きんでん
太栗 靖人 TOTO九州販売株式会社

コンサルタント

塩崎 征男 MS木造建築研究所
溝渕木綿子 建設木材工学研究所

事務局

一般社団法人 日本CLT協会

実施した
内容

①中高層建築物 耐火構造及び設備の施工マニュアルの編集、とりまとめ

CLTパネル工法の4階建てモデル設計を活用し、1時間耐火の各部納まり及び電気・設備設計の各部納まりの検討を行った。検討の際にBIMデータを活用することで、2D図面上だけでは気づけなかった防耐火に関する納まりや設備設計の干渉などチェックを行い、各部納まり図より、各部の施工手順を実務者にヒアリングを行い、施工マニュアルのとりまとめを行った。

②中高層建築物 遮音マニュアルの編集、とりまとめ

CLTの床及び壁の遮音性能について、2014年から2022年の9年間にわたって研究開発を行い、木造建築での対策が難しいとされる「重量衝撃音」においてもLH-45の性能を達成するに至った。

一財) 日本建築総合試験所を中心に研究した内容、およびCLT実験棟で行った試験データ等を整理し、CLTを用いた建築物を設計する際に役立つ資料としてとりまとめる。



図1 4階建てモデル設計のパース

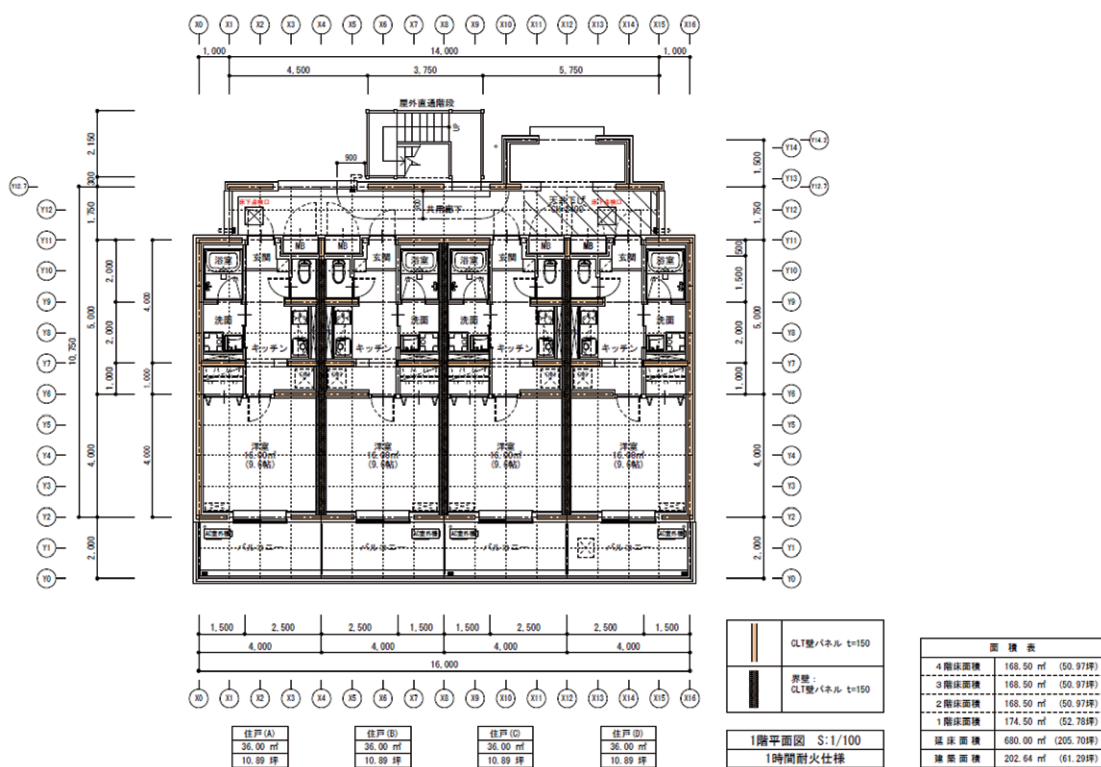


図2 4階建てモデル設計1階平面図 (意匠図)

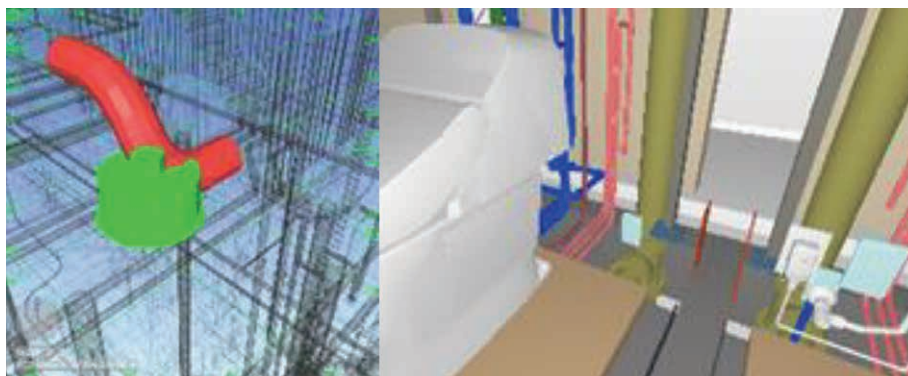


図3 4階建てモデル設計 BIMモデルの干渉チェック作業様子

3.4 開口部の取り合い

防火区画に設けられる開口部(サッシ等)の納まり部の CLT パネル木口に強化せっこうボード 21mm を 2 枚張りとして木口面からの火炎・熱を防ぐ。壁面の被覆材等との突付け面には、耐火シール等により隙間を空けないことに留意する。

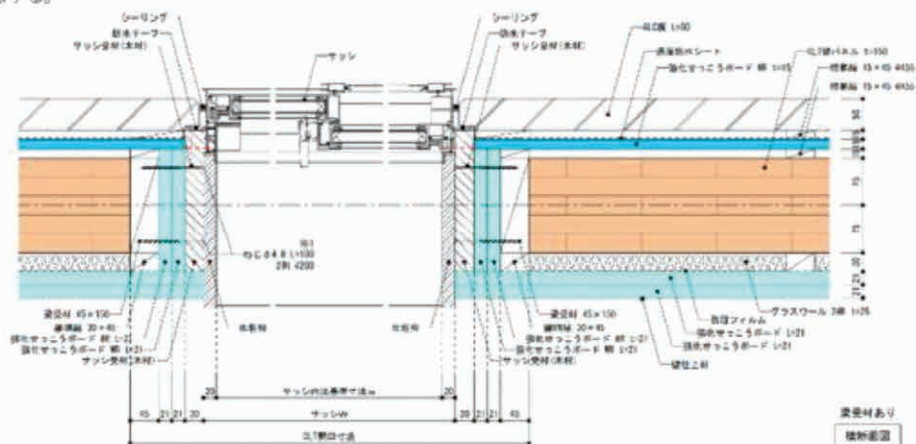


図 3.4-1 サッシの納まり例 (水平断面図)

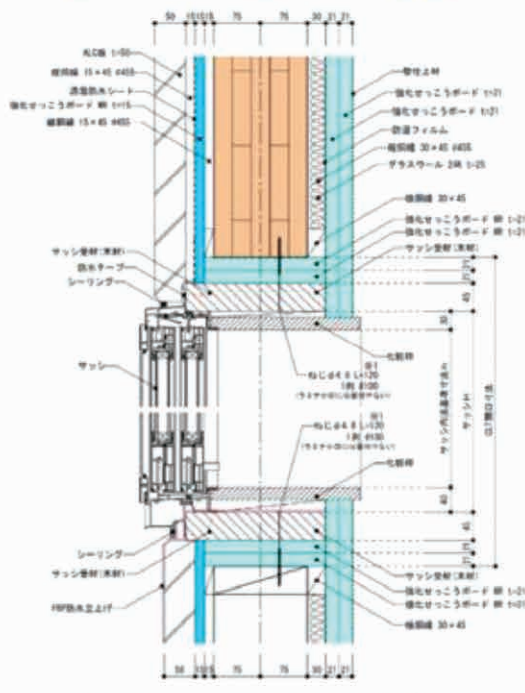


図 3.4-2 サッシの納まり例 (垂直断面図)

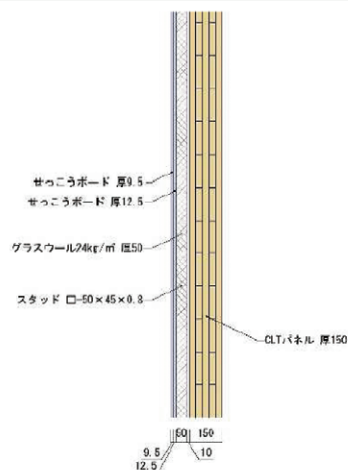
図 4 1 時間耐火構造の施工マニュアル (例)

遮音データシート 壁 (残響室)

試験体の概要	
データNo.	No.H27壁 3
躯体CLT仕様	CLT 5層5プライ t150mm (樹種:スギ)
CLTへの被覆	音源側: - 受音側: -
対策した部位	受音側
対策の概要 (寸法単位 mm)	軽量鉄骨下地せっこうボード2枚張りふかし壁 t82 mm ※空気層 t60 mm (GW24kg/m ³ t50 mm充てん)
1 m ² の重量	.0 kg/m ²

試験体の仕様図

(寸法単位 mm)



【データの出典】

- 元報告書の名称 : 平成27年度林野庁委託事業 CLT住性能向上研究開発事業
- 発行年月 : 2016年3月
- 元の試験体記号 : ③

図5 壁データシート (左ページ/試験体概要) 例

空気音 <small>(音響透過損失)</small>	軽量床衝撃音 <small>(タッピングマシン)</small>	重量床衝撃音(1) <small>(タイヤ衝撃源)</small>	重量床衝撃音(2) <small>(ボール衝撃源)</small>
+14 (Rr-48)	- -	- -	- -

注) 上表中、上段の数値はCLT素版(データNo.H27壁1)に対する遮音性能評価値(上表の下の数値)の変化量を示す。

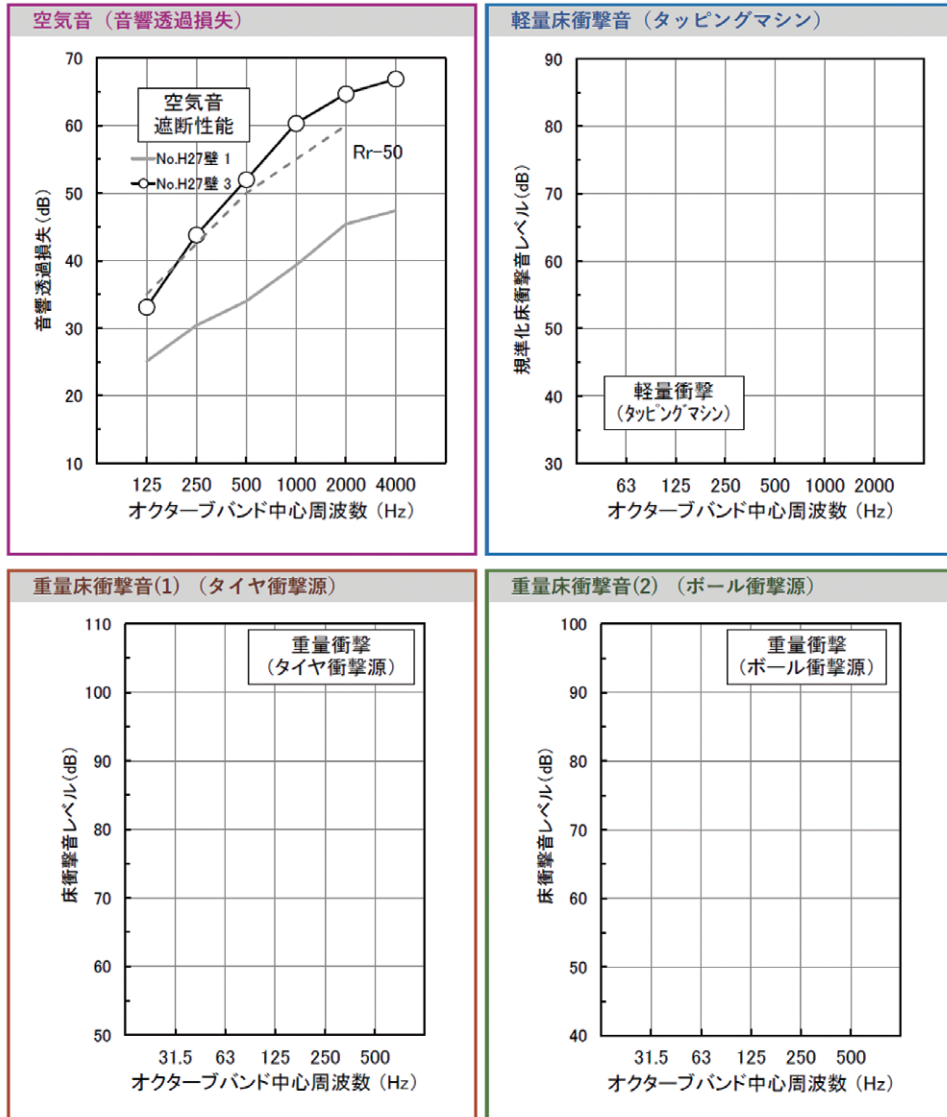


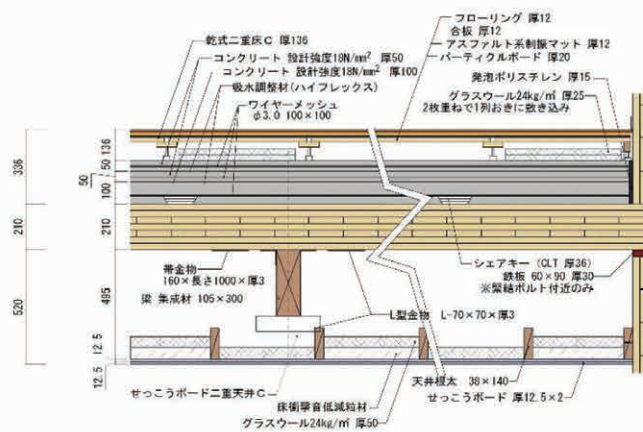
図6 壁データシート (右ページ/測定結果) 例

遮音データシート 床 (CLT遮音実験棟)

試験体の概要	
データNo.	No.R4 B8
躯体CLT仕様	CLT 5層7ブライ t210mm (樹種: スギ)
CLTへの被覆	床上側: - 天井側: -
対策した部位	床上側、天井側
対策の概要 (寸法単位 mm)	床上側: コンクリート t100 mm + t50 mm + t50 mm + 乾式二重床 t136 mm (床下空気層にGW設置) 天井側: 室中央に梁 (105 mm × 300 mm) を設置 + 金物による補強 + 緊結ボルト付近に鉄板挟み込み + 独立根太せこうボード二重天井 t520 mm ※空気層 t495 mm (GW24kg/m ³ t50 mm、粒状体挿入)
1 m ² の重量	. kg/m ²

試験体の仕様図

(寸法単位 mm)



【データの出典】

- 元報告書の名称 : 令和3年度 木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業 (CLT床遮音性能向上の研究開発)
- 発行年月 : 2023年3月
- 元の試験体記号 : B8

図7 床データシート (左ページ/試験体概要) 例

空気音 <small>(室間音圧レベル差)</small> +16 <small>(Dr-43)</small>	軽量床衝撃音 <small>(タッピングマシン)</small> +48 <small>(LL-42)</small>	重量床衝撃音(1) <small>(タイヤ衝撃源)</small> +32 <small>(LH-46)</small>	重量床衝撃音(2) <small>(ボール衝撃源)</small> +32 <small>(LB-41)</small>
---	--	---	---

注) 上表中、上段の数値はCLT素版(データNo.H30 1-6)に対する遮音性能評価値(上表の下の数値)の変化量を示す。

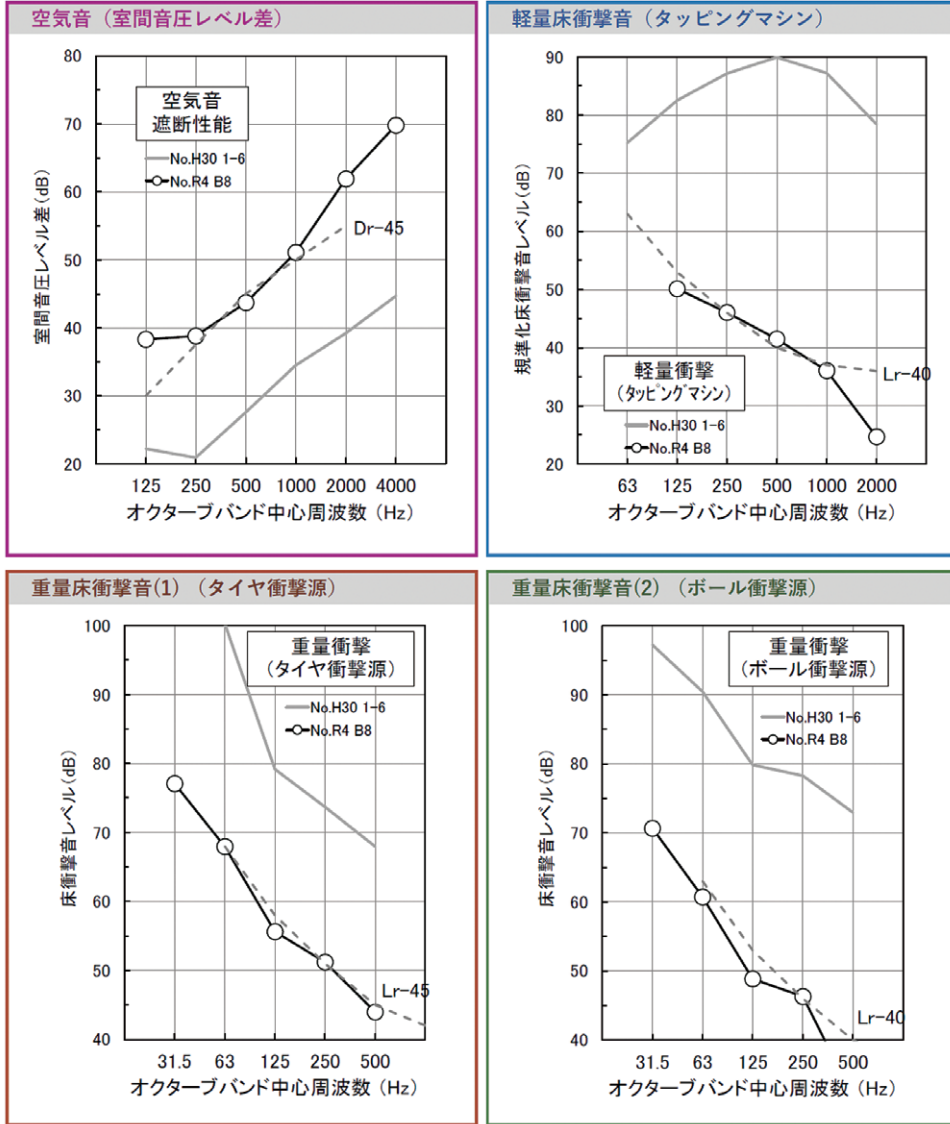


図8 床データシート (右ページ/測定結果) 例

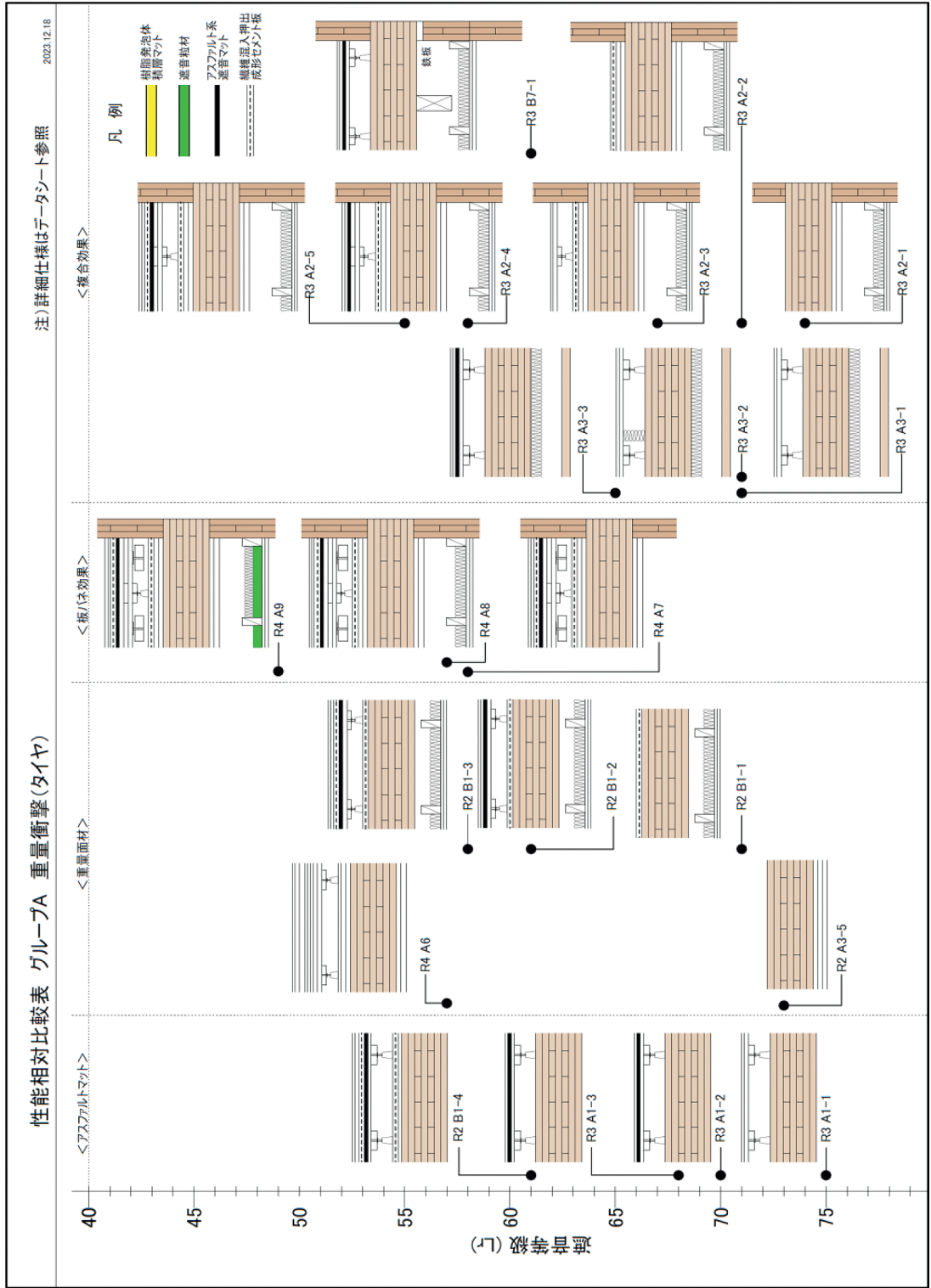


図9 性能相対比較表 (グループ別) 例

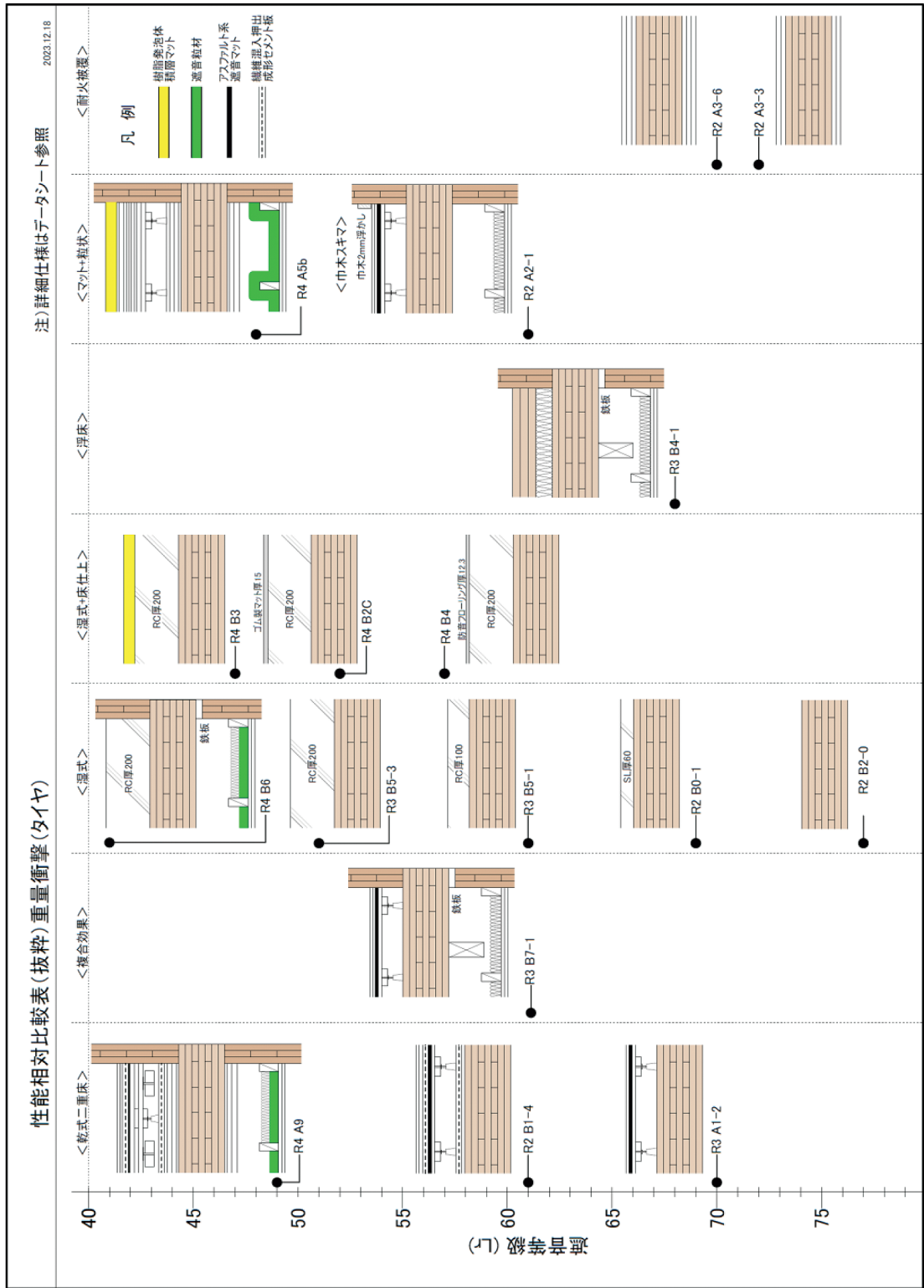


図 10 性能相対比較表(グループ別)例

試験体の仕様図		(単位：mm)	
図〇〇. 試験体垂直断面図			
試験体の概要			
CLTへの被覆 (単位：mm)	床側上：床根太 t12 mm + 強化せっこうボード t21 mm×2 天井側：野縁 t12 mm + 強化せっこうボード t21 mm+t25 mm		
対策の概要 (単位：mm)	床側上：床根太 t12 mm + 繊維混入押出成形セメント板 t26 mm+ 乾式二重床 t190 mm ※ダンパー付き、繊維混入押出成形セメント板入り 天井側：独立根太せっこうボード二重天井 t432 mm ※空気層 t407 mm (GW24kg/m ³ t50 mm、粒状体挿入)		
重量	kg/m ²		
コスト	¥ /m ²		
遮音性能			
床衝撃音 遮断性能値 (L数)	重量床衝撃音		軽量床衝撃音
	タイヤ	ボール	
	49	46	53
空気音遮断性能 (D数)	40		

図 11 床遮音性能測定結果 (17種類抜粋) 例

実施した 結果

①中高層建築物 耐火構造及び設備の施工マニュアルの編集、とりまとめ

CLTパネル工法の4階建てモデル設計を活用し、1時間耐火の各部納まり及び電気・設備設計の各部納まりの検討を行った結果、以下の内容を得られた。

- 4階建てのモデル設計に係る耐火構造の施工マニュアルの提供
- 4階建てのモデル設計の各部納まり図の提供（電気及び設備設計含む）
- BIMデータを活用することで、2D図面上だけでは気づかなかった納まりや設備設計の干渉などを事前に確認することができ、各部の納まりが干渉していない状況を図面として表現できた。

②中高層建築物 遮音マニュアルの編集、とりまとめ

2014年～2022年の間に、床衝撃音試験116体、壁遮音試験17体、実物件試験27件、感応試験6回の試験や測定を行ってきた。

これらの試験DATAを整理し、これまで年度別での断片的な実験結果報告であったものを、全体的に評価するに至った。

- それぞれの試験データを統一した書式や図表でデータシート化することで、検索や比較がしやすい資料にまとめることができた。
- 整理した測定結果表や作成したデータシートを基に、それぞれの遮音対策（グループ）別にまとめた「性能相対比較表」を作成し、より設計者に分かりやすい資料とすることができた。
- 前述の「性能相対比較表」から特徴的な17種類を抜粋し、その詳細なデータ（性能、コスト、重量、断面寸法等）を測定結果表として掲載することで、設計者の知りたい情報をより具体的に示すことができた。
- CLT実験棟で行った実験結果について「遮音設計マニュアル（補追版）」としてまとめることができた。これは、次年度以降に講習会等で利用する予定である。

今後の 課題・展開 等

本事業では、成果物として、具体的な防耐火を考慮した意匠・設備の納まり図や施工法を示した「4階建てのモデル設計に係る耐火構造の施工マニュアル」「4階建てのモデル設計の各部納まり図（電気及び設備設計含む）」及び効果的な遮音対策法を示した「遮音設計マニュアル（補追版）」を提供した。今後、設計者や施工者に対して、本事業の成果物を広く内容を伝えるべく、普及活動として講習の開催等を検討していきたい。

保存処理条件を考慮した直交集成板 (CLT) の 日本農林規格化に資するデータ収集・調査事業

● 実施団体 ●

日本木材防腐工業組合

〒105-0004 東京都港区新橋5-28-7 新橋安達ビル4階

事業目的

2010年には「公共建築物等における木材の利用の促進に関する法律」が施行され、2021年にはそれを民間建築にまで広げた「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律」（通称：都市（まち）の木造化推進法）が施行された。その中においてCLTは木材を大量かつ有効に使用する材料であることから建築用の各部構造材料としてこれを利用すれば、効果的に上記の法律の趣旨に対応しうるものとして注目を集めている。

日本木材防腐工業組合では従来からCLT建築物の耐久設計手法や維持管理のためのシステム作りが遅れていることや、CLT自体の耐久性向上が喫緊の課題であることを指摘してきた。これを受けて、本組合では様々な劣化環境下における各種保存処理CLTの耐久性を明らかにすること及びCLT壁体の層間浸水による劣化リスクと保存処理の有効性を検証することに加えて、加圧注入処理CLTの日本農林規格化に資する資料の収集・整備に取り組んできた。その結果、CLTがこれまでにない構成・寸法の木質材料であること、また要求される保存性能が多様であると考えられることから、それらに対応した保存処理法を確立するとともに、その性能を保証するために必要となる品質検査項目を明らかにするとともに、その評価方法と評価基準を検討する必要があるとの結論に至った。

そこで今年度の事業では1) 保存処理条件の異なるCLTの製造技術の開発と性能評価、2) 保存処理CLTのJAS規格に求められる製造基準及び品質基準案の作成、3) 使用環境に対応したCLT保存処理材の耐候性要求性能の把握、4) 使用環境に対応したCLT保存処理材の耐久性要求性能の把握を行って、保存処理CLTのJAS規格化への基礎的な資料を実験、調査により収集することを目的としている。

実施した項目

本事業では下記の(1)～(6)について調査及び制作・試験を行った。

事業実施内容

- 1) 製造工程の異なる保存処理CLTの製造技術の開発と性能評価
- 2) 保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質基準案
- 3) 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求性能把握
- 4) 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐久性要求性能把握
- 5) 平成27年度林野庁補助事業で実施したCLT暴露試験の調査
- 6) 保存処理CLTの実使用環境を想定した建物調査

実施体制

本事業の目的達成のため、専門知識を有する学識経験者、耐久性調査携わった関係機関、日本CLT協会及び日本木材防腐工業組合から構成する委員会を発足させ事業を推進した。

委員長	中島 正夫（関東学院大学 名誉教授）
委員	石川 敦子（(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材改質研究領域 領域長）

委員	新藤 健太 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 積層接着研究室 室長)
委員	栗崎 宏 (富山県農林水産消費総合技術センター 木材研究所 木質製品課 主任専門員)
委員	小野 泰 (ものづくり大学 建築学科 教授)
委員	宮武 敦 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 研究専門員)
委員	井道 裕史 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 材料接合研究室 室長)
委員	鈴木 賢人 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員)
委員	槌本 敬大 ((国研) 建築研究所 材料研究グループ グループ長)
委員	秋山 信彦 (国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室 主任研究官)
委員	河合 誠 (一般社団法人 日本CLT協会 顧問)
委員	平松 靖 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 領域長)
委員	中川 美幸 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 積層接着研究室 研究員)
委員	松永 浩史 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材改質研究領域 木材保存研究室 室長)
委員	前田 啓 ((国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材改質研究領域 機能化研究室 主任研究員)
委員	山内 一浩 (独立行政法人 農林水産消費安全技術センター 規格調査部 規格調査課 専門調査官)
委員	板垣 悟 ((公財) 日本合板検査会 認証部長)
委員	佐野 敦子 ((公財) 日本住宅・木材技術センター 認証部 研究主幹)
委員	日本木材防腐工業組合 (組合員8名)
オブザ	高木 望 (林野庁 木材産業課 材製品調査班 課長補佐)
オブザ	福島 純 (林野庁 木材産業課 木材製品技術室 建築用木材班 課長補佐)
オブザ	巻田 和文 (林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材専門官)
オブザ	平原 章雄 (木構造振興株式会社 常務取締役)
事業主体	関澤外喜夫 (日本木材防腐工業組合 専務理事)

本事業の進捗状況に併せて以下のワーキングを設けて事業を推進した。

- グループA:** 製造工程の異なる保存処理CLTの製造技術の開発と性能評価
CLTの製造、保存処理関係については、森林総合研究所、日本木材防腐工業組合委員、CLT協会、日本住宅・技術センター等の意見を聞き実施した。
- グループB:** 保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案
CLTの強度試験関係は森林総合研究所、日本合板検査会、建築研究所、国土技術政策総合研究所等々の専門家の意見を聞き実施した。
- グループC:** 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求性能把握
森林総合研究所、ものづくり大学、日本木材防腐工業組合委員等で実施した。
- グループD:** 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐久性要求性能把握
富山県農林水産消費総合技術センター、日本木材防腐工業組合委員等で実施した。

- グループE：平成27年度林野庁補助事業で実施した暴露試験の経過調査
富山県農林水産総合技術センター、日本木材防腐工業組合委員等で実施した。
- グループF：保存処理CLTの実使用環境を想定した物件調査
森林総合研究所、関東学院大学等で実施した。

主要協力会社等

- * (株) 中東
- * (国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所
- * (株) ハセベつくば工場
- * 富山県農林水産総合技術センター
- * 奈良県森林技術センター
- * ものつくり大学
- * 組合委員会社
越井木材工業 (株)、(株) ザイエンス、兼松サステック (株)
大日本木材防腐 (株)

実施した
内容

(1) 製造工程の異なる保存処理CLTの製造技術の開発と性能評価

目的：直交集成板の日本農林規格で求められる品質及びJAS製品に与えられる各種基準強度について、保存処理CLTを対象にデータ収集する。

方法：製品処理及びラミナ処理により保存処理CLTを表1に示す条件で試作し、その品質及び強度性能等を明らかにした。用いた樹種はスギ、保存処理に用いた薬剤はCUAZ、ACQ、AAC、AZNとした。製品処理CLTの目標浸潤度はCLT端部から50mmの木口面にある辺材部の80%とした。試作したパネル数は製品処理では無処理及び各薬剤毎に4体計20体、ラミナ処理では各1体計8体とした。

表1 保存処理CLTの製造条件と評価項目

	製品処理	ラミナ処理	ラミナ処理
層構成	5層5プライ	3層3プライ	3層3プライ
試験体寸法	0.9m×3.6m	1m×3.6m	1m×3.6m
インサイジング	あり(表層のみ)	あり/なし	あり/なし
接着剤	レゾルシノール	レゾルシノール	API
圧縮	高周波加熱 約20分/1プレス	高周波加熱 約20分/1プレス	冷圧 1時間/1プレス
評価	強度/接合/保存/接着	接着	接着
API: 慧星高分子イソシアネート樹脂、強度: 面外曲げ、圧縮、面外せん断、接合: 引きボルト			

(2) 保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案

目的：直交集成板の日本農林規格で保存処理CLTに求められる各種品質項目について、評価方法や評価基準を提案する。

方法：これまでに明らかになった各種条件で製造された保存処理CLTの品質、強度性能等に基づいて、日本農林規格関係者、建築基準法関係者と協議して日本農林規格に必要な品質基準、試験手順を提案した。

(3) 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求性能把握

目的：日射、雨水などの影響が異なる使用環境について、保存処理CLTへの耐候性要求性能を把握する。

方法：R2年度に、各種保存処理 (AAC, ACQ, CUAZ, AZNA, AZN, LPH, 無処理の7種類) と塗装 (A

～E,無塗装の6種類）を施したスギCLTの屋外暴露試験を開始し、重量、色差等の計測と、スキャナーによる外観記録を行った。R3年度からは、木口シールを施した試験体を追加し、割れの計測を開始した。R5年度は、これらの計測を継続し、保存処理と塗装の種類や、暴露条件による気象劣化の違いを検討した。

(4) 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐久性要求性能把握

目的：仕様や経年により雨水の影響を受ける使用環境について、バックアップ対策としての保存処理CLTへの要求耐久性能を把握する。

方法：①保存処理TLユニットの曝露試験

最悪、すなわち雨水がCLTの層間に容易に侵入する使用環境を想定して、R2年度からつくば、奈良、富山の3地点で、6種保存処理（AAC,ACQ,CUAZ,AZNの各K3仕様、K4仕様のAZNA、AQ樹脂処理屋外製品仕様のLPH）を施したスギ辺材杭（30mm角300mm長さ）を10本ずつ並べた束を3層直交させたトリプルレイヤー（TL）ユニットの曝露試験を開始し、以降1年ごとに劣化状態を調査している。R5年度も、引き続き曝露を継続し、劣化調査を行った。

②接着TLユニットの曝露試験

接着層が使用環境に及ぼす影響として雨水の侵入に着目し、R3年度から幅はぎ接着のみを施した無処理スギTLユニット、R4年度から層間も接着したTLユニットを作製して屋外曝露を開始し、定期的に秤量して含水率の推移を推定している。R5年度も秤量を継続し、含水率推移への影響を検討した。

(5) 平成27年度林野庁補助事業で実施した曝露試験の経過調査

目的：保存処理CLTの屋外曝露環境における耐久性能について、製品レベルで実証的に検討する。

方法：H27年度（2015年度）に、試作した実大保存処理スギCLT（AAC,ACQ, AZN それぞれ3plyと5ply）を3方向に組んだ試験体（3面試験体）合計6体を作製し、仙台、伊勢崎、大阪の3か所で屋外曝露を開始した。9年経過した各試験体の現在の状態について、劣化、干割れ、接着剥離、含水率等を測定する。

(6) 保存処理CLTの実使用環境を想定した物件調査

目的：非住宅・中規模建物にCLT等の木質材料を利用するためには、住宅とは異なる耐久設計が必要となる。そこで構造部材の保存処理を念頭に、中規模木造建物の耐久性に関わる事例を調査し課題を抽出した。

方法：九州にある大規模な木造屋根をもつ混構造の体育館について、2017年に実施された維持保存のための木造部補修工事の事例に関し現地調査を行い、予防保全の重要性について検証を行った。

実施した結果

(1) 製造工程の異なる保存処理CLTの製造技術の開発と性能評価

製品処理により試作した保存処理CLTの品質評価を行ったデータのうち、製品厚さと含水率計で測定した含水率の測定結果を処理前と処理後を比較して表1-1に示す。製品厚さの基準は表示する厚さ（145mm）に対して±2.9mm、また、含水率は全乾法で15%以下となっている。一部にこれらを超える測定値があるが、測定条件等を確認し精査する予定である。

ラミナ処理により試作した保存処理CLTの煮沸試験結果のうち一接着層あたりの剥離率の平均値を図1-1に示す。記号は、木材同士の接着層（木-木）、薬剤処理ラミナ同士の接着層（各薬剤略称）、薬剤処理ラミナと木材の接着層（各薬剤略称-木）、PRFはレゾルシノール樹脂、APIは水性高分子イソシアネート樹脂を示す。PRFはAPIと比較して安定した性能を示した。保存処理ラミナに対してレゾルシノール樹脂を高周波加熱により接着できることが明らかになった。

表 1-1 製品処理による保存処理CLT

項目	薬剤	処理前			製品処理CLT		
		最小	平均	最大	最小	平均	最大
厚さ mm	CuAZ	143.5	~ 144.7	~ 145.3	145.2	~ 145.6	~ 146.3
	ACQ	144.3	~ 145.1	~ 145.8	146.7	~ 147.6	~ 148.8
	AAC	143.6	~ 144.6	~ 145.3	145.3	~ 145.9	~ 146.4
	AZN	143.6	~ 144.7	~ 145.2	145.0	~ 145.9	~ 149.4
含水率 (含水率計) %	CuAZ	8.6	~ 10.5	~ 15.1	6.0	~ 8.1	~ 10.8
	ACQ	10.0	~ 11.0	~ 14.0	10.5	~ 14.3	~ 18.0
	AAC	6.6	~ 8.1	~ 11.1	6.4	~ 8.4	~ 10.9
	AZN	10.5	~ 11.6	~ 12.8	10.7	~ 12.8	~ 14.8

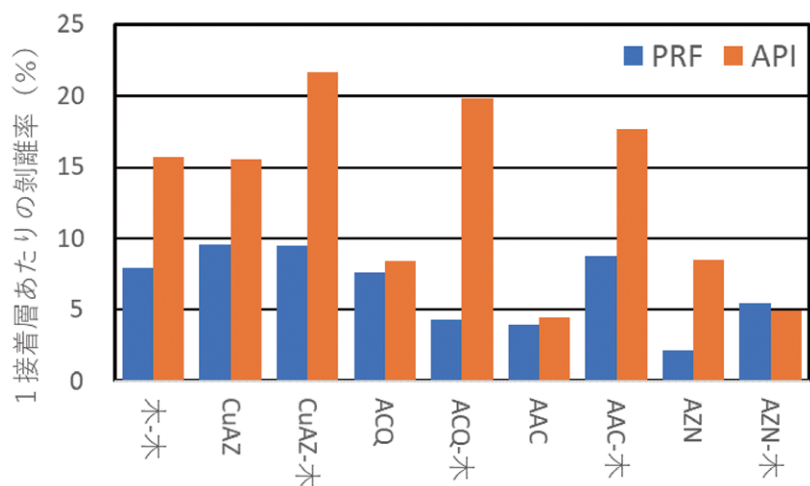


図 1-1 ラミナ処理保存CLTの煮沸剥離試験結果抜粋

(2) 保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案

製品処理による保存処理CLTの製造においては、CLT工場と保存処理工場との間でCLTパネルの出荷と受入が発生する。また、製品の性質上破壊を伴う検査（含水率、接着、強度、浸潤度、吸収量等）のサンプル確保が困難な場合が想定される。その場合、工場認定時に実施される初期試験の役割が重要になること、各工場での品質管理と出荷・入荷時の体制整備も重要になることがわかった。これらの点をまとめて表 2-1 に示す。

表 2-1 製品処理による保存処理CLTの品質等確保のための要点

検査実施	パネル出荷 CLT工場	パネル受入 防腐工場	注入パネル出荷 防腐工場	注入パネル受入 CLT工場	注入CLT出荷 CLT工場
厚さ	品管データ	←	品管データ	←	格付検査
幅	品管データ	←	品管データ	←	格付検査
長さ	品管データ	←	品管データ	←	格付検査
直角度	品管データ	←	品管データ	←	格付検査
含水率 ※	品管データ	←	品管データ	←	格付検査
注入量	—	—	(品管データ)	—	—
浸潤度 ※	—	—	(品管データ)	←	格付検査
吸収量 ※	—	—	(品管データ)	←	格付検査
接着性能 ※	品管データ	←	←	←	格付検査
強度性能 ※	品管データ	←	←	←	格付検査
曲がり	—	—	—	—	格付検査
反り	—	—	—	—	格付検査
ねじれ	—	—	—	—	格付検査

(3) 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐候性要求性能把握

保存処理を施したブロック試験体の干割れについて、図3-1に木口シール無し（暴露期間1098日）、図3-2に木口シール有り（暴露期間728日）の干割れの進行状況グラフを示す。グラフより干割れの長さ（総長）、幅（最大）、深さ（最深）ともに、垂直設置より水平設置、木口シール有りより木口シール無しのブロック試験体の方が進行している。

また、ラミナ間の干割れ長さとし干割れ深さが、ラミナ長(300mm)とラミナ厚(30mm)に達している傾向も垂直設置より水平配置が明確で、木口シール有りのブロック試験体ではラミナ間の干割れは生じていない。

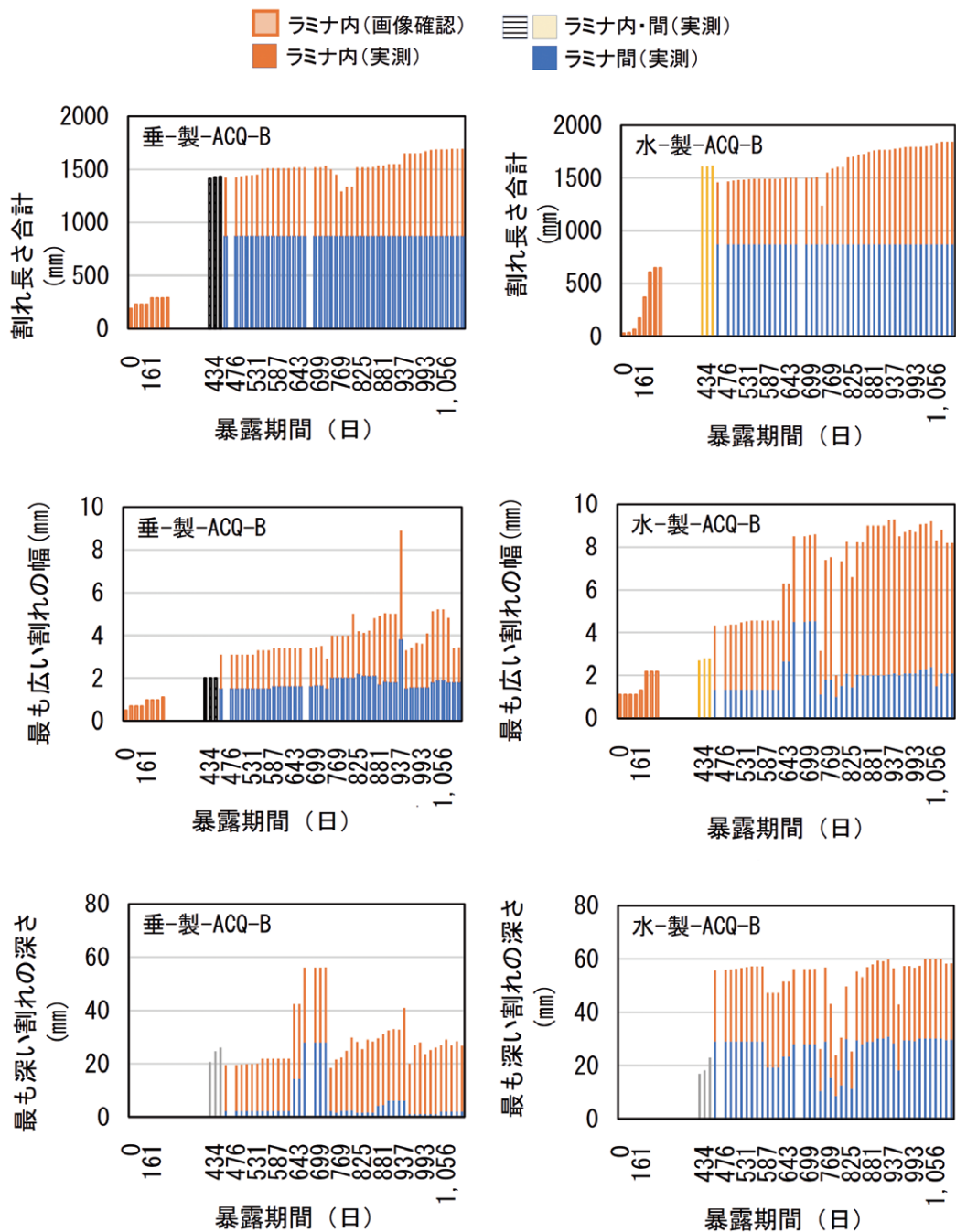


図3-1 干割れの進行状況（木口シール無し：左 垂直配置、右水平配置）

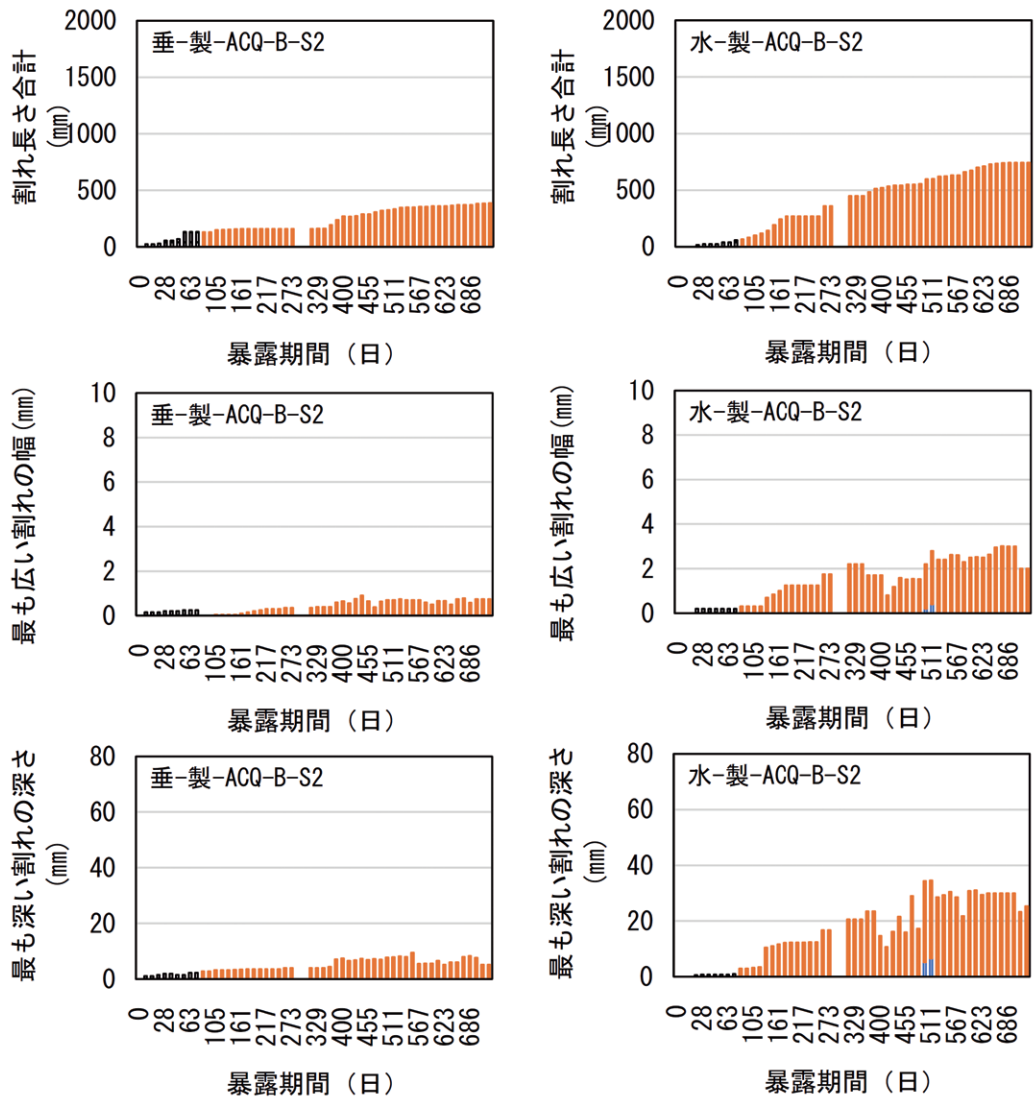


図3-2 干割れの進行状況（木口シール有り：左 垂直配置、右水平配置）

(4) 使用環境に対応したCLTの保存処理への耐久性要求性能把握

①保存処理TLユニットの曝露試験

R5年10～11月に、つくば、奈良、富山の3地点で、曝露開始から3年経過した保存処理TLユニットの劣化状態を評価した。各地とも、無処理TLユニットの平均被害度は2.5を超えたが、6種の保存処理TLユニットの被害度は全ての試験地の全ての処理ユニットが1未満であった。試験地間でほとんど差異がなかったことから、3か所の被害度を平均した概要グラフを図4-1に示した。

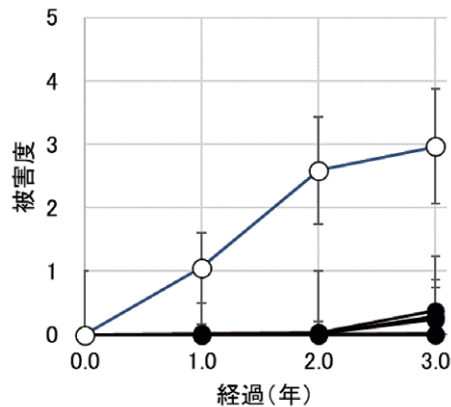


図4-1 保存処理TLユニットの被害度の推移（3試験地の被害度の平均 ○無処理 ●保存処理）

②接着 TLユニットの曝露試験

接着層が雨水侵入に及ぼす影響について、幅はぎ接着を施した TLユニットと層間も接着した TLユニットの含水率推移を図 4-2 に示す。接着 TLの含水率は、接着せずに金具止めしたコントロール TLと同様に増減したが、やや低いレベルを推移しており、若干ではあるが接着層は浸水を抑制した。

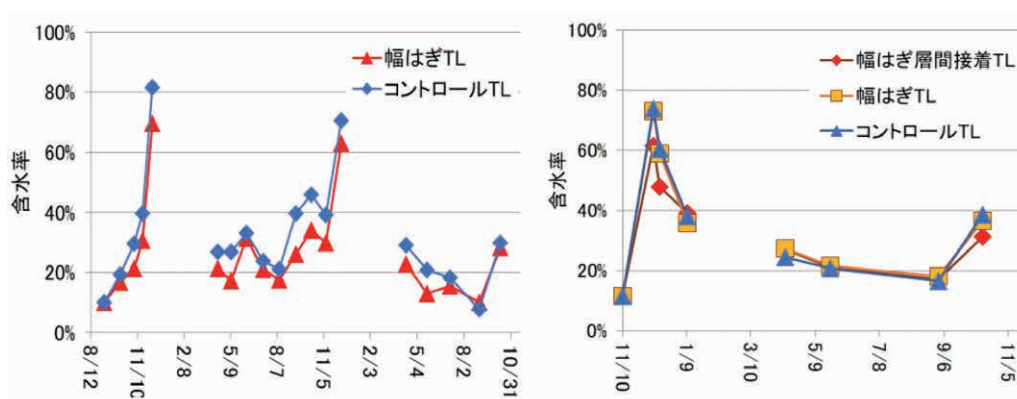


図 4-2 接着 TLユニットの含水率推移
(左：R3～R5年 右：R4～R5年)

(5) 平成 27 年度林野庁補助事業で実施した曝露試験の経過調査

H27 年度（2015 年度）に仙台、伊勢崎、大阪の 3 か所で曝露を開始し、9 年経過した保存処理スギ CLT3 面試験体（写真 5-1）の劣化、干割れ、接着剥離、含水率を測定した。いずれの試験体も明らかな劣化は認められなかったが、干割れや剥離は発生しており、曝露地や面の方向によって異なった。含水率は、各面 15 点ずつで、測定には、Merlin KH9-WS5（測定深さ 8mm（メーカー仕様））と KH9-WS25（同 40mm）の 2 種類の高周波式含水率計を用いた。得られた測定値は含水率計によって異なった。一例として、仙台曝露地の 3plyAZN 試験体の 15 測定点における測定値の差を、図 5-1 に示す。差は、水平向きの面 2 で大きく、とくに垂直向きの 2 面と取り合わせ部分で大きくなる傾向が見られた。取り合わせ部分は、垂直面への降雨が最終的に滞留する箇所であり、測定値の差は含水率の材内分布に関係するものと予想される。スペックの異なる複数計器を用いた含水率測定は、多くの測定事例が蓄積されれば、CLT 建築物の調査等に活用できる可能性がある。

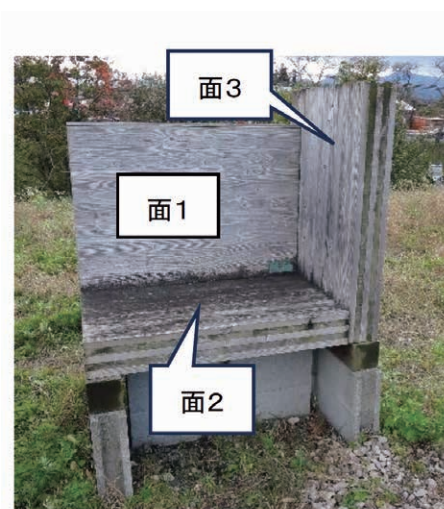


写真 5-1 保存処理 CLT3 面試験体

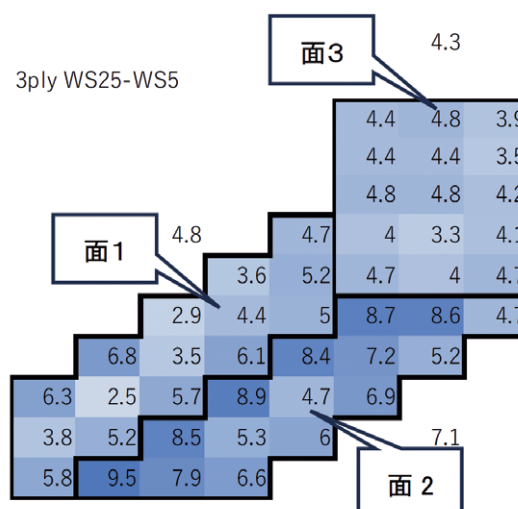


図 5-1 測定値の差 (WS25 - WS5)
(3 Ply AZN 処理 曝露地仙台)

(6) 保存処理CLTの実使用環境を想定した物件調査

2017年に木造部補修が行われた九州地域に建つ大規模木造屋根を有する体育館について現地調査を行い、関係者にヒアリング等を実施した。竣工時は木造の屋根部軒の出が6mあったが(写真6-1,6-3)、先端から最大で40cm程度に腐朽が認められたことから、屋根どうしを筋結している引きボルト位置よりさらに上(安全)側となる80cm分について、集成材厚板パネル屋根部材を切断し(写真6-2,6-4)、ガルバリウム鋼板を木口に巻き付ける補修工事を行った。

本物件は、大規模木造部の不具合を補修・維持保全を行うことで引き続き使用可能な状態にした貴重な事例となった一方で、当初の設計段階から集成材厚板パネルの木口部を風雨に曝す設計としたこと、さらに定期的な点検や予防保全に対するマニュアルやそもそもの予算措置がなく、結果として腐朽が進行するまで放置してしまったことなどが問題点としてあげられる。



写真6-1 補修前建物外観 (2013.2) 写真6-2 補修後建物外観 (2024.1)



写真6-3 補修前屋根詳細 (2013.2) 写真6-4 補修後屋根詳細 (2023.11)

今後の 課題・展開 等

- (1) 製造工程の異なる保存処理CLTの製造技術の開発と性能評価を行った結果、ラミナ処理による保存処理CLTの製造においてはレゾルシノール樹脂接着剤の使用が安定した性能確保をもたらすと考えられた。また、その場合に高周波加熱により生産効率向上が可能であることが明らかになった。一方、製品処理による保存処理CLTの製造においては、乾式・湿式に関わらず一定の品質が確保できる可能性が示唆された。
- (2) 保存処理CLTの規格に求められる製造基準及び品質規準案を検討した結果、ラミナ処理による保存処理CLTについては、通常の手順、基準で品質が確保できること、また、製品処理による保存処理CLTに関しては、浸潤度への要求水準を緩和することで一定品質の製品が製造可能であることがわかった。しかし、その品質確保のための手順・基準作成には検討の余地があり、また、浸潤度の要求水準が緩和された製品の実使用上の問題点についても今後検討する必要があると考えられた。
- (3) 非住宅の中層・中規模建物への木材利用の機運が急速に高まっているが、特に中層以上を木造とする場合、劣化外力も耐震性も住宅レベルとは異なる。当然こうした規模の建物にCLT等の木質材料を

利用するためには、住宅とは異なる耐久設計が必須であり、定期的な維持管理のためのアニュアルや予防保全のための予算措置は必須である。また維持管理や交換がしにくい構造躯体等には、より耐久性の高い保存処理技術の確立が必要であろう。JAS等の規格化も急がれる。

執筆担当

- (1) 宮武 敦氏
- (2) 宮武 敦氏
- (3) 石川敦子氏、小野泰氏
- (4) 栗崎 宏氏
- (5) 栗崎 宏氏
- (6) 新藤健太氏

超厚合板の開発のための性能試験等の実施

● 実施団体 ●

日本合板工業組合連合会

〒101-0061 東京都千代田区神田三崎町 2-21-2

事業目的

現在は30mm厚程度の国産の構造用合板をさらに厚手化した「超厚合板」の製品・技術開発を行う。
具体的な検討項目は、

① 超厚合板の製造因子の検討

超厚合板の製造因子として、単板の選別程度及び積層接着方法に着目し、製造の可否並びに難易について検討を行う。

② 超厚合板の基礎物性の把握

超厚合板の基礎的性能の項目として、曲げ性能、水平せん断性能、接着の程度、含水率変化を採り上げ、性能の評価を実施する。

③ 超厚合板の接合部性能の把握

超厚合板の用途として、建築物の構造材として使用可能であることを目標としており、使用時には接合部を介した応力伝達性能が求められることから、接合部に関する基本的性能を把握する。

④ 超厚合板の構面としての性能把握

超厚合板を構造用途で用いる場合、耐力壁等の構面としての性能が求められるため、耐力壁の水平せん断性能を把握する。

上記の4項目により、超厚合板の製造仕様と性能の関係を把握する。

実施した項目

事業目的を達成するため、下記の4項目の試験を実施した。

- ① 超厚合板の製造因子の検討
- ② 超厚合板の基礎物性の把握
- ③ 超厚合板の接合部性能の把握
- ④ 超厚合板の構面としての性能把握

実施体制

日本合板工業組合連合会に設置する技術開発委員会において、本事業を推進した。

I 委員（五十音順、敬称略）

青木 謙治 東京大学大学院 農学生命科学研究科 《副委員長》
朝倉 靖弘 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構
大西 裕二 宮城県林業技術総合センター

岡崎 泰男	秋田県立大学 木材高度加工研究所
河原 大	東京電機大学 未来科学部建築学科
渋沢 龍也	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 《委員長》
杉本 健一	国立研究開発法人 森林研究・整備機構
谷川 信江	東京大学大学院 農学生命科学研究科
槌本 敬大	国立研究開発法人 建築研究所
戸田 淳二	株式会社 中央設計
平野 茂	株式会社 一条工務店
宮本 康太	国立研究開発法人 森林研究・整備機構

II 合板メーカー委員（順不同、敬称略）

平松 正樹	丸玉木材株式会社
大畑 泰廣	ホクヨープライウッド株式会社
今野 政明	北上プライウッド株式会社
阿部 勝浩	石巻合板工業株式会社
岡田 隆一	セイホク株式会社
鈴木 春樹	秋田プライウッド株式会社
岡部 隆之	新秋木工業株式会社
李 元羽	株式会社キーテック
菊地 啓善	新潟合板振興株式会社
酒井 徹	林ベニヤ産業株式会社
藪谷 充浩	株式会社ノダ
黄 箭波	湖北ベニヤ株式会社
荒木 裕二	島根合板株式会社
橘 由幾	松江エヌエル工業株式会社
河野 誠一	株式会社日新
堀 浩太郎	新栄合板工業株式会社

III オブザーバー（順不同、事業完了時、敬称略）

川原 聡	農林水産省 大臣官房 新事業・食品産業部 食品製造課
田村 堯大	農林水産省 大臣官房 新事業・食品産業部 食品製造課
高木 望	林野庁 木材産業課 木材製品技術室
立花 紀之	林野庁 木材産業課 木材製品技術室
伊豫田 望	林野庁 木材産業課
今村 正輝	独立行政法人 農林水産消費安全技術センター
尾方 伸次	公益財団法人 日本合板検査会
平原 章雄	木構造振興株式会社

IV 事務局

日本合板工業組合連合会、東北合板工業組合、東京合板工業組合
中日本合板工業組合、西日本合板工業組合

① 超厚合板の製造因子の検討

超厚合板の製造因子として、単板の選別程度及び積層接着方法に着目し、製造の可否並びに難易について検討を行った。

② 超厚合板の基礎物性の把握

超厚合板の基礎的性能の項目として、曲げ性能(図1)、水平せん断性能(図2)、接着の程度(図3)、含水率変化(図4)を採り上げ、性能の評価を実施した。

③ 超厚合板の接合部性能の把握

超厚合板の用途として、建築物の構造材として使用可能であることを目標としており、使用時には接合部を介した応力伝達性能が求められることから、接合部に関する基本的性能(図5)を把握した。

④ 超厚合板の構面としての性能把握

床構面とそれを支える柱頭部を想定しためり込み性能を把握した(図6)。



図1 曲げ試験の様子(左:変位計設置状況、右:加力状況)

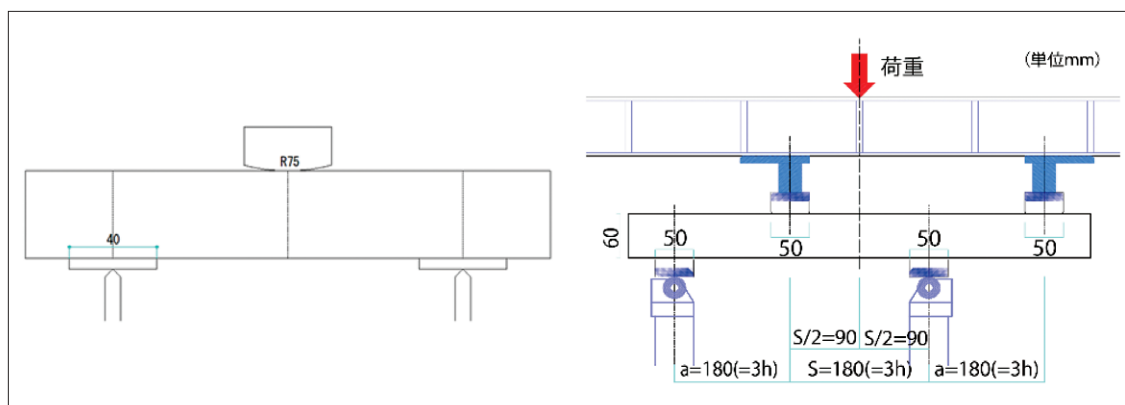


図2 水平せん断試験の様子(左:短スパン曲げ方式、右:加逆対称4点曲げ方式)



図3 接着剥離試験片、煮沸処理の様子（左：接着剥離試験片、右：煮沸処理）

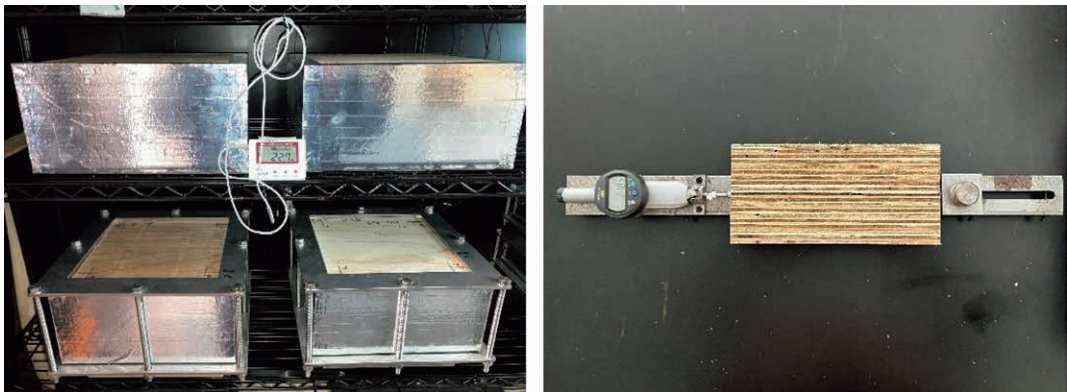


図4 透湿量・寸法変化測定の様子（左：透湿量、右：寸法変化）

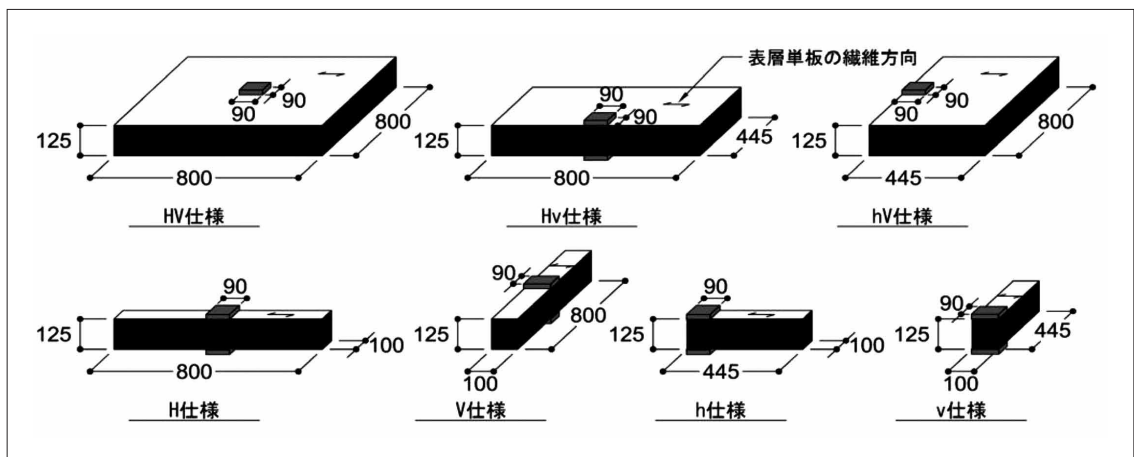


図6 構面のめり込み試験の試験体仕様

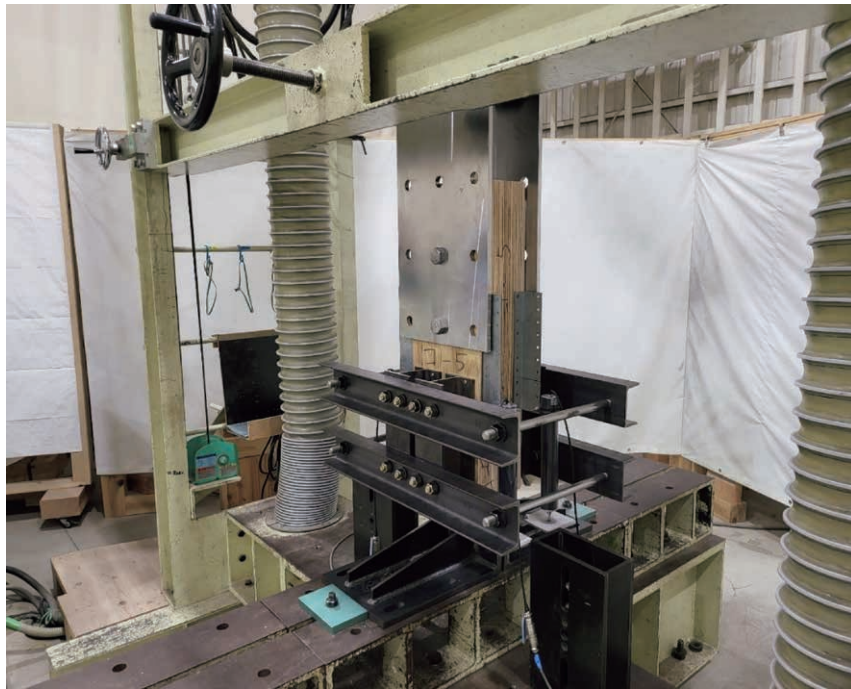


図5 ドリフトピン接合部の試験の様子

実施した 結果

① 超厚合板の製造因子の検討

超厚合板の製造因子として、単板の選別程度及び積層接着方法に着目し、単板構成、樹種、厚さの異なる試験体を試作した。全ての試験体において製造は可能であったが、全層を一度の熱圧縮で接着するワンショット型の製造方法においては工程の管理が難しいことが分かった。

② 超厚合板の基礎物性の把握

厚さ144mm超厚合板の透湿量測定試験を令和3年度より継続して実施した。測定開始から500日程度経過して透湿カップ試験体の透湿による質量変化量は約500日経過後あたりから一定になりつつあるが、約700日経過後の現在も透湿抵抗値が算出可能な安定性は得られていない。このような大断面の試験体については、測定法の検討が必要と言える(図7)。その他、3種の層構成の異なる厚さ120mmの超厚合板について、周囲温湿度を23℃ 50% RHから23℃ 90% RHにさせた際の寸法変化を測定した。

単板構成(合板型(平行層40%)、合板型(通常仕様)、B種LVL型(平行層70%)、LVL型(全層平行))・厚さ(100、120mm)の異なる超厚合板の曲げ性能を測定した。平行層単板が多いほど、厚さが厚いほど曲げ性能は高く、これらの因子を制御することで性能設計が可能であることが分かった。短スパン曲げ方式の水平せん断試験について、スパン長を試験体厚さの3、4、5、6倍として実施した。平使いではめり込みの影響が少ないスパン5h、6hで試験を行ったほうがよいと思われる。縦使いでは全て曲げ破壊し、せん断破壊が得られず今後も検討が必要である。また加圧板の形状の影響についても検討したが、ほとんど差がなかった。逆対称4点曲げ方式試験の結果と比較するとJAS規格の試験条件が妥当であった(図8)が更に検討を要する。

超厚合板の接着性能に影響を及ぼす因子として、単板構成(上記と同じ)、単板樹種(スギ、ヒノキ、カラマツ)及び製品厚さ(48、60、72、96、144mm)について検討を行った。接着性能は、単板積層材のJAS規格の接着剥離試験(煮沸及び減圧加圧、いずれも2回繰返し)を用いて評価した(図9)。

単板構成の影響は、スギ、ヒノキでは明確な傾向は見られなかったが、カラマツにおいては平行層の割合が小さい方が剥離の出現が多くなる傾向となった。ただしいずれも試験片全体の剥離率は5%以下であった。単板樹種の影響は、いずれの試験方法においても、スギ、ヒノキ、カラマツの順に剥

離が多くなる結果となった。製品厚さの影響は、本実験の範囲では特に見られなかった。接着性能の評価方法の確立と判断基準の設定については、これらの結果を踏まえて、今後さらに検証を進める必要がある。

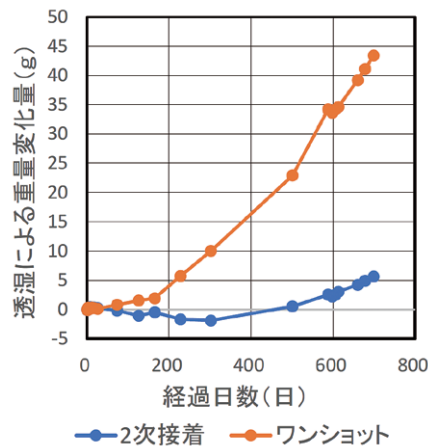


図7 透湿による重量の経時変化

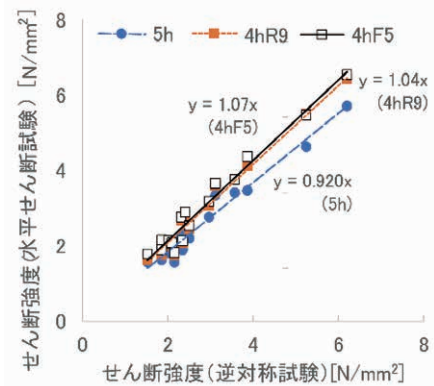


図8 せん断強度 (逆対称試験) とせん断強度 (水平せん断試験) の関係

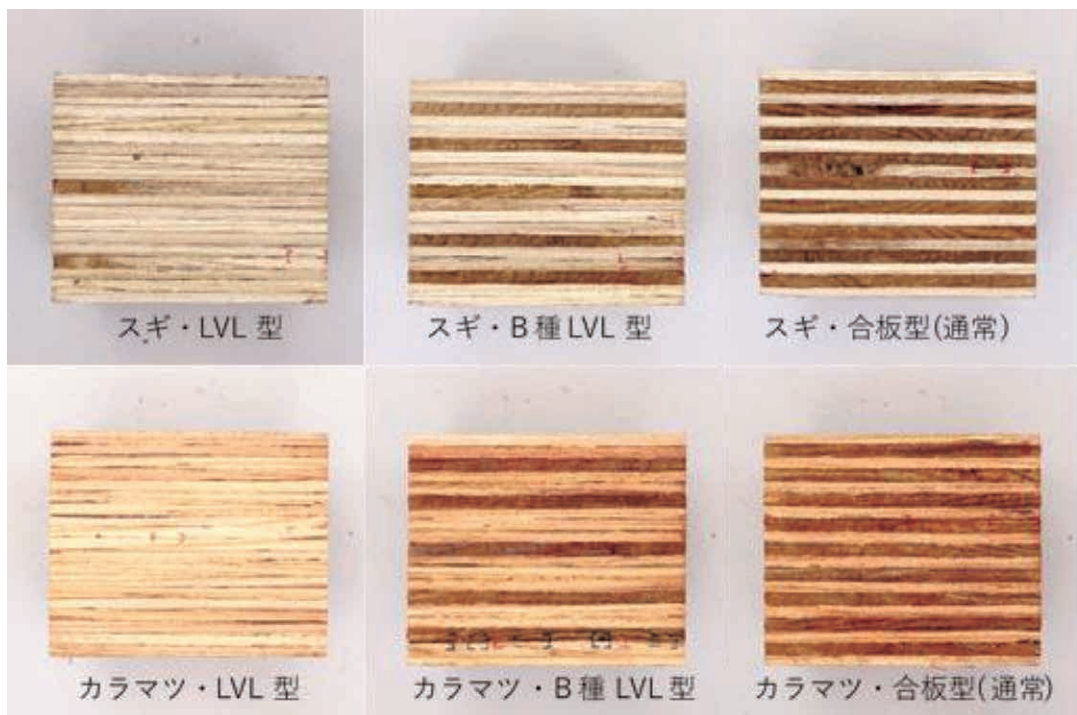


図9 接着剥離試験後の試験片の様子
(スギ：煮沸剥離試験、カラマツ：減圧加圧剥離試験)

③ 超厚合板の接合部性能の把握

超厚合板鋼板挿入ドリフトピン接合部で、鉛直方向及び水平方向の接合間距離を実験パラメータとした実験を行い (接合具本数：2本)、単位接合部の構造特性値の重ね合わせが成立するかの検証を行った (図10)。

鉛直方向に接合具を接合具間距離4d (d:接合具径) で配置した場合 (端距離も同値)、単位接合部の構造特性値を2倍とした値は得られなかったが、5dとした場合 (端距離も同値) は2倍同等程度の値が得られ、鉛直方向の接合具間距離を5d (端距離も同値) とすることにより、単位接合部の構造特性値の重ね合わせが成立することが示唆された。

水平方向の接合具間距離を実験パラメータとした実験 (端距離:7d、縁距離:4d) では、接合具間距離2dで配置した試験体は、加力途中で集合型せん断破壊が生じ、単位接合部の構造特性値を2倍とした値は得られなかった。3d以上とした場合は2倍同等程度の値が得られ、水平方向の接合具間距離は、接合部の集合型せん断破壊の検定をすることにより定められることが示唆されたが、今後、この検証実験を行う必要がある。

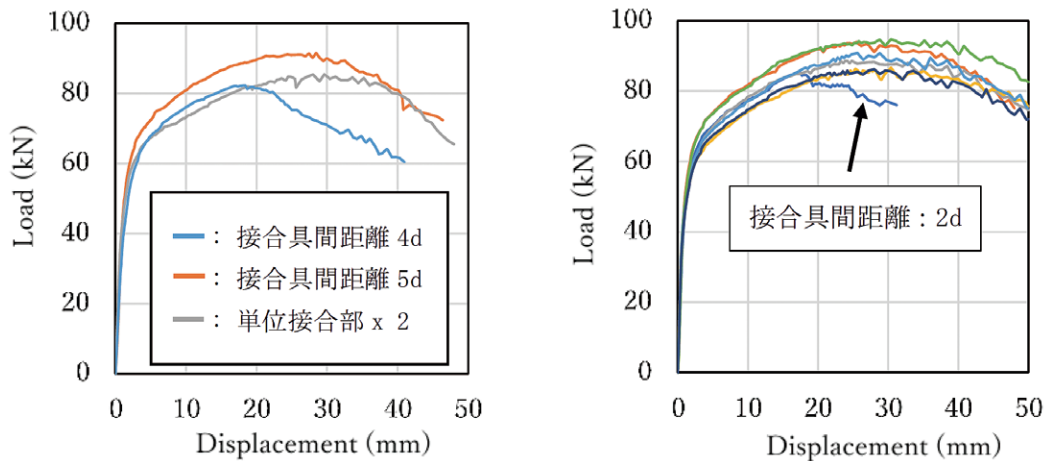


図10 加力時の荷重-変形関係の包絡線
(左:接合具鉛直方向配置、右:接合具水平方向配置)

④ 超厚合板の構面としての性能把握

超厚合板とそれを支える柱頭を想定しためり込み性能について検討したところ、降伏荷重には余長の影響がほとんどないが、単板の繊維方向に余長がある場合には、加圧板直下近傍も引き込みながら変形するために、同じ余長の条件であれば降伏荷重が少し向上する。ただし、一次剛性については余長や単板の繊維方向に余長があるかどうかは、あまり影響を及ぼさない。このことから弾性域においては、余長の影響が小さく加圧板直下の影響が大きいと考えられる。一方で二次剛性については、余長があるほど、特に単板の繊維方向に余長があるほど向上することから、塑性域に入り変形が進行するほど、余長の影響が大きくなると考えられる。超厚合板を構造用途で用いる場合、耐力壁等の構面としての性能が求められるため、耐力壁の水平せん断性能を把握した。

今後の課題・展開等

超厚合板の性能に影響を与える重要な製造因子である単板の選別程度および積層接着方法と基礎物性、接合部性能、構面としての性能の関係を把握した。この結果により、建物の要求性能に応じた超厚合板の製造条件を決めること、今回試作・評価を行った超厚合板を用いた際の建物の構造的性能を予測することが可能となる。含水率変化については、経時的変化を長期間測定する必要があるため、次年度以降の継続が必要である。

今後、その他の製造因子を含め、更に検討を行い、超厚合板単体の性能データに加え接合部、構面等の性能データの蓄積を図るとともに、建築物における要求性能を把握することで、超厚合板の実用化に資することが可能となる。

国内で生産されるJAS構造用合板及び JASコンクリート型枠用合板の温室効果ガス排出原単位構築

● 実施団体 ●

日本合板工業組合連合会

〒101-0061 東京都千代田区神田三崎町2-21-2

事業目的

近年、脱炭素社会の実現に向けて、木材利用への関心と期待が高まっており、特に建築分野においては、LCA(Life Cycle Assessment)を用いた建築物への木材利用による環境負荷削減効果を定量的に評価する取組が広がりつつある。

このような中、LCAで使用される合板の『原単位』(1m³当たりの製造に係る温室効果ガス(以下、GHG)排出量の環境負荷)については、積み上げ法による信頼性と代表性のあるデータが整備されておらず、他資材と同じレベルで比べた違いを示すことが難しい状況となっている。

本事業では、国内生産JAS合板のLCA原単位を構築するためのデータ収集等を実施し、建築分野で木材が有効に評価される環境を整備することにより、JAS合板の普及拡大に資すること、また、国内のJAS合板製造工場におけるGHG排出削減のための指標として活用することを目的とした。

実施した項目

- 1 合板に特化した調査票の作成とそれによる合板工場の現地調査
- 2 データ収集及び加重平均による環境負荷量の算出と分析

実施体制

日本合板工業組合連合会に設置する合板LCA原単位構築委員会において本事業を推進した。

(委員長)

服部順昭 東京農工大学名誉教授

(委員)

中野勝行 立命館大学 政策科学部 准教授

渋沢龍也 (国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究ディレクター

尾方伸次 公益財団法人 日本合板検査会 専務理事

(オブザーバー)

熊谷有理 林野庁木材産業課木材製品技術室 住宅資材班 課長補佐

松田 涼 林野庁木材産業課木材製品技術室 住宅資材班 住宅資材技術係長

平原章雄 木構造振興株式会社 常務取締役

(調査実施機関)

一般社団法人サステナブル経営推進機構

実施した内容

<算定にあたっての条件および方法>

LCAは、①目的と調査範囲の設定、②インベントリ分析、③影響評価(インパクト評価)、④解釈の4つの段階で構成されている(表1)。算定にあたっての条件及び方法を表2に、合板工場における一般的なシステムフロー図及び本事業で設定したシステム境界(原材料調達～工場出荷準備)を図1に示した。

表1 LCAの枠組み

段階	内容
① 目的と調査範囲の設定	LCA をどのような目的で実施するのかを明らかにし、対象の範囲や機能単位、対象とするライフサイクルのステージ（システム境界）などの前提条件や制約条件を明確にする段階
② インベントリ分析	ライフサイクルの各ステージにおける環境負荷データ（インプットデータ、アウトプットデータ）を調査し、ライフサイクル全体での環境負荷を計算する段階
③ 影響評価（インパクト評価）	インベントリ分析で得られた結果を、地球温暖化、大気汚染などといった環境影響領域（環境へのインパクトカテゴリ）に分類し、各項目に環境への影響度を評価する段階。
④ 解釈	インベントリ分析や影響評価から得られた結果を基に、環境に与える影響や改善点をまとめる段階。

表2 算定にあたっての条件及び方法

No.	条件項目	算定条件
1	目的	国内生産 JAS 合板の排出原単位構築
2	評価対象製品	国内生産 JAS 構造用合板 国内生産 JAS コンクリート型枠用合板 (全広葉樹合板を除く)
3	機能単位	製造された合板 1m ³
4	評価範囲	原材料調達～工場出荷準備
5	時間的有効範囲	令和3年(2021年)1～12月の1年間 ※設備更新や需給の先行きを見て、工場が通常操業状態にある直近の1年間でも良いものとした。
6	配分方法	全乾質量と価格による配分を実施。配分の方針については以下の通り。 ● ボイラープロセスに関する活動量（重油、焼却灰処理）は製品に配分する ● 工場全体にかかるプロセス（集塵機やフォークリフトの使用）の活動量は各製品に配分する ● 細分化して収集できない電力は各製品に配分する ● バイオマスボイラーに投入されるバイオマス（パーク、チップ、おが粉等）については製品製造のために消費されるため、配分係数設定の際には当該バイオマスは製品製造の負担とする
7	データの平均方法	加重平均（JAS合板の出荷量を用いて実施）
8	インベントリ分析方法	積み上げ法 ※インベントリ分析用原単位は原則として、LCI データベース IDEA ver.3.1 を使用
9	環境影響評価手法	対象環境影響領域は気候変動とし、インベントリ分析結果から得られた温室効果ガス（CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O）の排出量に、IPCC 第5次評価報告書の100年値であるGWPを乗じたものを足し合わせ、二酸化炭素換算量として温室効果ガス排出量（単位はkg-CO ₂ eq）を算出

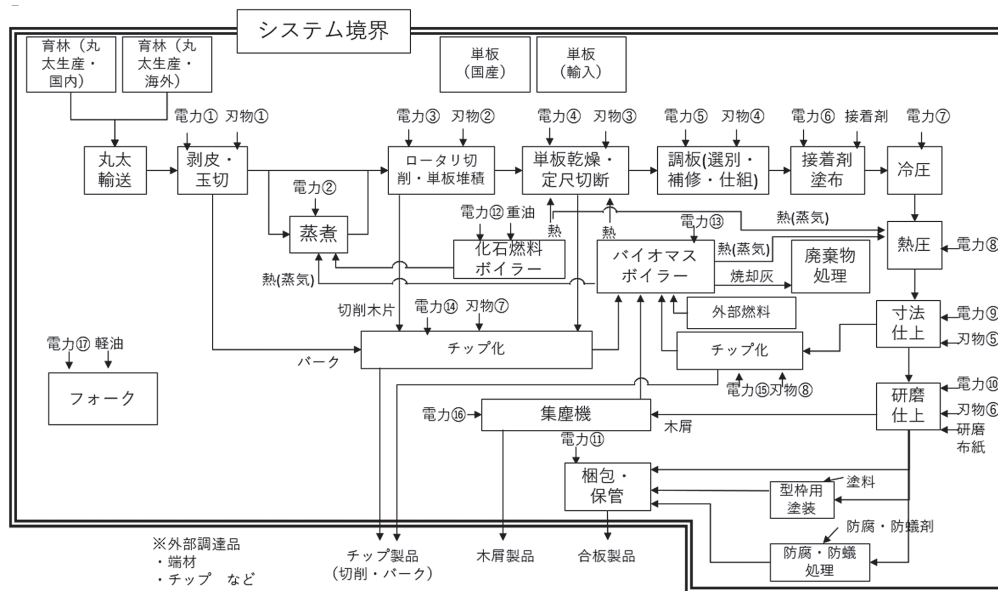


図1 合板工場における一般的なシステムフロー図及びシステム境界

1 合板に特化した調査票の作成とそれによる合板工場の現地調査

調査対象工場は、対象製品である国内で生産された JAS 構造用合板と JAS コンクリート型枠用合板の生産量がそれぞれのシェアにおいて 50%以上になるように、かつ、地域性も考慮して、18工場を選定した。予め調査票を工場担当者に送付し、委員会の委員から一人以上と LCA チームで構成される調査団を構成して、現地調査を実施した。調査では、趣旨説明、生産ラインの見学、調査票へのデータ記入について具体的な打合せを行い、後日、提供データの信頼性向上のための作業を工場担当者と LCA チームとで実施した。使用した調査票の一部を図 2 に示す。

得られたデータから工場ごとに JAS 合板 1m³ 製造に係る活動量を算出し、主産物と副産物に配分した (全乾質量配分及び価格配分)。この作業を調査した全ての工場について行い、国内で生産された JAS 合板 1m³ 製造に係る活動量を JAS 合板出荷量で加重平均し、配分方法別 (全乾質量・価格) に国内代表値として算出した。

国内で生産される JAS 合板のインベントリデータ記入シート

行番号	調達工程	分類	樹種名	産地	単位	その他	出荷地	輸送手段	手荷割別	中継地	手荷割別	保管地
1									(96)		(96)	
2												
3												
4		投入原材料の区分										
5		国産丸太の樹種別使用量			m ³							
6					m ³							
7					m ³							
8		輸入丸太の樹種別使用量			m ³							
9					m ³							
10	材料				m ³							
11	調達				m ³							
12					m ³							
13		国産単板の樹種別使用量			m ³							
14					m ³							
15					m ³							
16		輸入単板の樹種別使用量			m ³							
17					m ³							
18					m ³							

図2 データ収集に用いた調査票 (一部)

2 データ収集及び加重平均による GHG 排出量の算出と分析

項目 1 で得られた活動量データ (国内代表値) に LCI データベース IDEA ver.3.1 に搭載された原単位を乗じて GHG 排出量を算定した。

実施した結果

1 合板に特化した調査票の作成とそれによる合板工場の現地調査

本項では調査票を用いて収集したデータをもとに計算した国内生産 JAS 構造用合板と JAS コンクリート型枠用合板をそれぞれ 1m³ 製造する際の活動量を示す。計算および評価の結果については最終報告書を参照いただきたい。

本項で得られた活動量に本事業での使用が許諾された LCI データベース IDEA ver.3.1 に搭載された原単位を乗じて GHG 排出量を算定する。

2 データ収集及び加重平均による GHG 排出量の算出と分析

GHG 排出量を算出した結果、定性的ではあるが、工場によって傾向が異なるものの、原材料（丸太）の調達や接着剤、エネルギー（電力）の使用による GHG 排出量が多いことが確認できている。このような寄与率の高い活動から軽減対策を講じることで、効果的な GHG 排出の低減が期待される。

本事業によって我が国を代表する信頼性の高い国内生産 JAS 合板の排出原単位を積み上げ法により構築することができた。これにより、例えば木造建築物の環境負荷をより信頼性高く定量的に算定することが可能となり、投資家や施主が合板を始めとする木材の利用による GHG 排出量削減について適切に理解できるようになること、さらには JAS 合板の普及拡大につながることを期待される。

今後の課題・展開等

調査結果から明らかになった各工場のホットスポット（課題）について、環境負荷低減に向けたさらなる対応が必要である。

今後は、本事業で構築した排出原単位が我が国で最も多用されている IDEA 原単位データベースに採用されるように、学術論文などによる公表を積極的に行う。

その結果、木造建築物の LCA による環境負荷の評価が、鉄骨造や鉄筋コンクリート造の建築物と同じ土俵で行えるようになり、より環境負荷の少ない選択・行動につながることを期待される。

さらには、合板の排出原単位を合板業界・個社だけの活用で終わらせるのではなく、他の木質部材の排出原単位も含めて、木材産業におけるカーボンニュートラル達成に向けた取り組みが加速されることを期待する。

中高層非住宅木造建築物等に必要な国産材 CLT等部材技術開発事業及び普及事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会

〒416-0932 静岡県富士市柳島 242-2

事業目的

これまで低層非住宅木造建築物用に開発してきた国産材 CLT 真壁表し 20 倍耐力壁を中高層非住宅木造建築物に使用できる耐火仕様に変更して試験を行う。昨年度の実業で開発した小口ビス留め柱脚金物や 20m 超スパン対応 JIS トラスについて、接合部、継手の金物コストを大幅に抑え、容易に施工できる仕様の開発、試験を行い、標準化する。

また、これらの中高層非住宅木造用の部材を利用して、在来軸組構法の 4 階建て木造建築物の試設計を行い、中層の木造建築物の普及に努める。

実施した項目

中高層非住宅木造建築物等に必要な国産材 CLT 等部材技術開発事業の検討委員会を設置し、以下の開発を行った。

- ① 国産材 CLT 真壁現わし耐力壁耐火仕様の開発
- ② 中高層用高耐力柱脚接合部の開発
- ③ 20m 超スパン対応 JIS 仕様トラスの高耐力引張継手の開発

中層木造建築普及促進加速化事業として、在来軸組構法の 4 階建て木造への拡張 PJ を設置し、4 階建て木造の試設計を行った。

実施体制

	実施事業	担当ワーキング	ワーキング責任者
国産材 CLT 等木質建築部材技術開発事業	① 国産材 CLT15 倍真壁現わし耐力壁 耐火仕様の開発	構造ワーキング	稲山正弘 (東京大学教授)
	② 中高層用高耐力柱脚接合部の開発	構造ワーキング	稲山正弘 (東京大学教授)
	③ 20m 超スパン対応 JIS 仕様トラスの高耐力引張継手の開発	構造ワーキング	稲山正弘 (東京大学教授)
中層木造建築普及促進加速化事業	在来軸組構法の 4 階建て木造への拡張 PJ	構造ワーキング	稲山正弘 (東京大学教授)
国産材 CLT 等木質建築部材普及事業	報告書、発表資料の作成と試験成績書の公開	構造ワーキング	稲山正弘 (東京大学教授)

構造委員会委員長：川原重明 ((株) 木質環境建築)

実施した内容

① 国産材CLT20倍真壁現わし耐力壁 耐火仕様の開発

2022年度に実施した壁倍率20倍のCLT真壁耐力壁について、4階建ての木造建築における利用を考慮して1時間耐火構造となる仕様を新たに開発した。土台、梁、柱を21mm厚の強化石膏ボード2枚で被覆した上から受材を留め付ける仕様とした。

予備試験では2体、本試験では3体の試験体について「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年度版）」に基づく壁試験を実施した。

また、比較試験として2022年度に行った階高2.8mのCLT真壁耐力壁と同様の仕様で、階高を耐火仕様に合わせて4mとした仕様の本試験を実施した。2022年度の仕様より階高が高いため、柱の割裂が起きやすいことを考慮して、柱とCLTを留めるビスの上部、下部に割裂防止ビスを6本ずつ追加している。

② 中高層用高耐力柱脚接合部の開発

柱木口に当てた鋼板製ベースプレート越しに木質構造用ねじを鉛直に打ち込むことで留めつける高耐力柱脚金物の引張試験を実施した。昨年度まで行った、木質構造用ねじを斜めに打ち込む仕様の柱脚金物に対して、金物の加工、施工の簡易化を目的として改良をおこなった。4層高強度耐力壁が連続した仕様を想定して目標引張降伏耐力を230kNとした仕様の柱脚接合部の引張試験を実施した。柱材はオウシュウアカマツ異等級構成集成材E105-F300を採用し、壁厚さ方向の柱太さが120mmに収まるように断面は120mm×180mmとした。木質構造用ねじはφ8、L=320mmを18本使用した。本試験では、SS400製鋼板t=35mmを組み立て式のダブルベースとし、鋼板間はSCM435製軸長さ150mmのM16六角穴付きボルト4本を用いて接合した。圧縮力に対して抵抗するためボルトにS45C製内径φ18、外径φ27の鋼製スリーブをかぶせた。柱と接しない側のプレートにSNR490B製、伸び代長さ400mmのM24アンカーボルトを2本設置した。木質構造用ねじの呼び径、本数、位置を変化させて予備試験を実施し、本試験の仕様を決定した。本試験は「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017）」に順次、単調引張加力試験を1体行い、その結果をもとに繰り返し加力を6体実施し柱脚接合部短期基準耐力を算出した。

③ 20m超スパン対応JIS仕様トラスの高耐力引張継手の開発

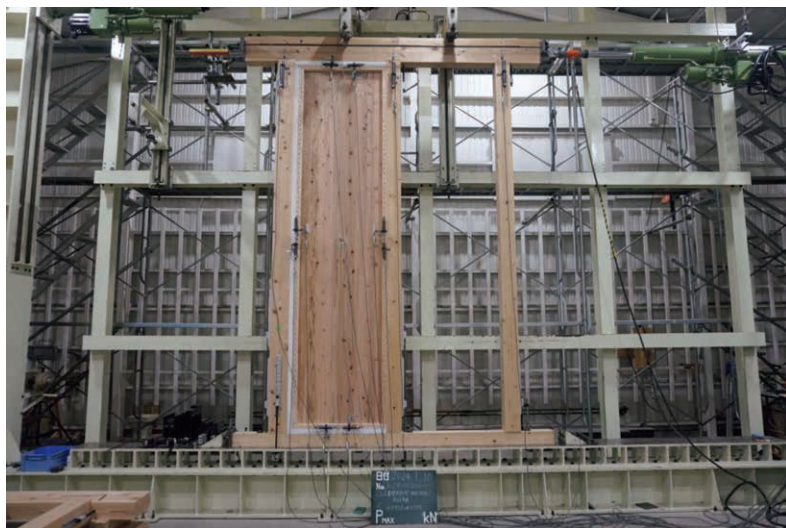
20mを超えるスパンの中大規模の木造建築の屋根を、JIS A 3301-2015木造校舎の構造設計標準に例示仕様が示されたトラスを応用して用いることを想定し、より大きな応力を負担できる高耐力の引張継手や合掌尻の接合部の開発を令和3年度補正予算事業にて行った。その成果として、実案件に採用可能な、製作金物と斜めビス打ちによる高耐力の引張継手の仕様を開発した。今年度は、トラス一台あたりの費用を大幅に抑えるために、製作金物に替えて、斜めビス打ちを用いた高耐力引張継手を開発した。

まず、20m超スパンの国産材を用いた集成材等によるトラスの下弦材を前提に、木材同士の高耐力引張継手の試設計を行った。試設計に基づいた試験体により、引張継手の要素実験を段階的に実施し、力学的性能を確認した。また、要素実験の結果を基に改良を重ね、最終的に確定した引きボルト式継手と斜めビス打ちを併用した高耐力引張継手を用いた、10m程度の縮小スパンの実大試験体による木造山形トラスの静的加力実験を実施して、実際にトラスの下弦材に用いられた高耐力引張継手の性能や破壊性状等を確認した。

中層木造建築普及促進加速化事業

在来軸組構法の4階建て木造への拡張PJ

プロジェクトを発足し、これまで開発してきた構造要素を利用し、一般流通材等を利用して建てることのできる在来軸組構法4階建て木造建築物の試設計を行った。



CLT真壁耐力壁耐火仕様 試験設置状況



中高層用高耐力柱脚接合部 試験実施状況

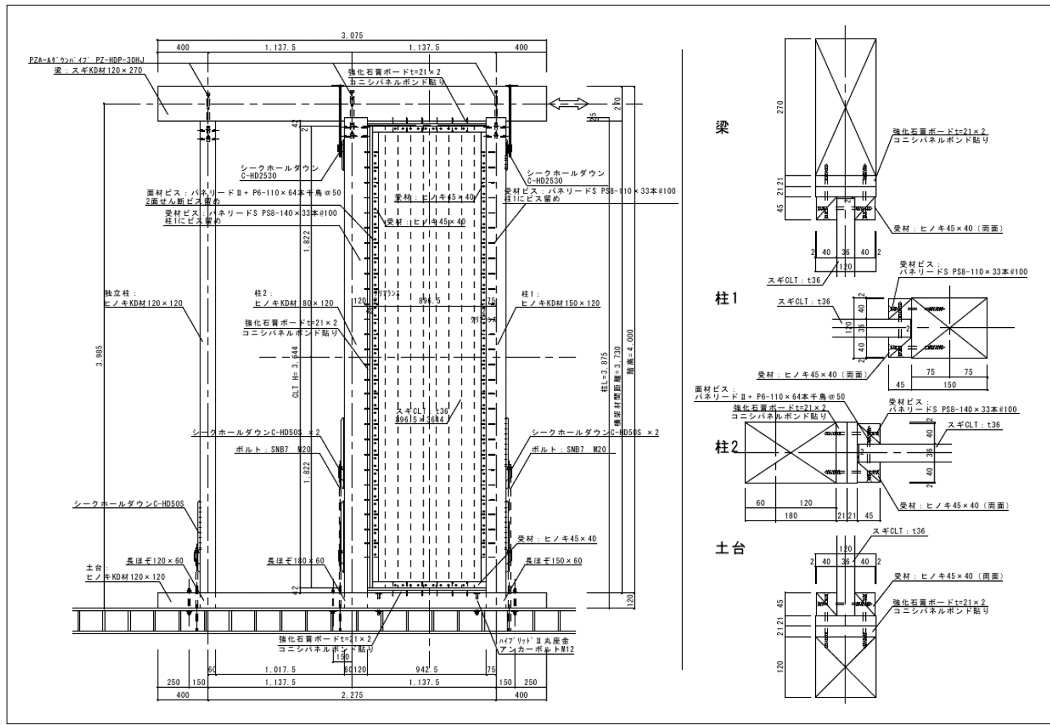
実施した
結果

① 国産材CLT20倍真壁現わし耐力壁 耐火仕様の開発

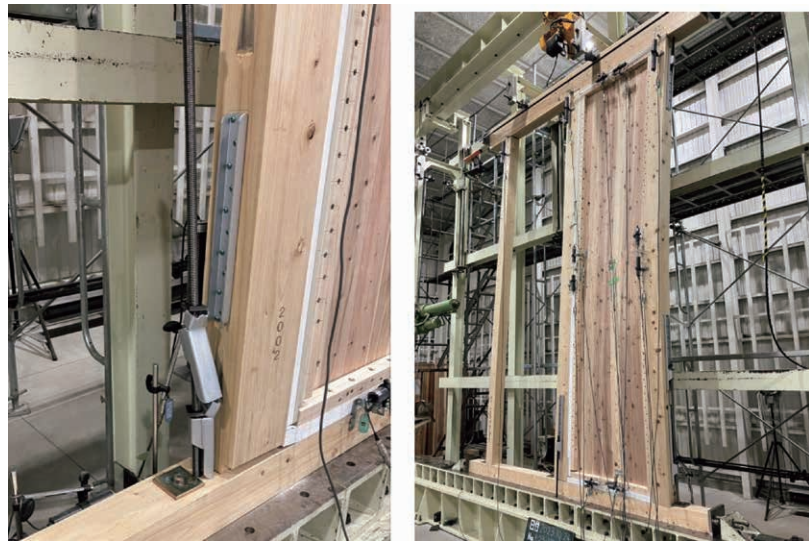
予備試験の1体目は引き切りの際に引張側の柱の柱脚部ホールダウン金物が破断し、急激に荷重が低下した。荷重上昇中の脆性的な破壊であり塑性率が小さくなったため、基準せん断耐力は $(0.2/D_s)P_u$ で決定し29.15kNとなった。2体目では、1体目の際に破壊した柱脚部の表裏にホールダウン金物を1体ずつ追加した結果、ホールダウン金物は破壊せず、最大荷重136.92kNを記録した後に梁中央部が曲げ破壊した。この時点で $0.8P_{max}$ まで荷重は低下していなかったが、圧縮側の柱が面外方向にはらんでいて座屈の危険があったため加力を中止した。1体目よりも終局変位が大きくなったことで塑性率が上昇したため、基準せん断耐力は $1/150rad$ 時の荷重で決定し48.27kNとなった。これは壁倍率21.5倍相当で、目標の壁倍率20倍を上回る性能であった。

本試験では圧縮側の柱の座屈を防ぐため、ヒノキ150角製材の添え柱を引き切り時に最も圧縮力がかかる側に設置した。また予備試験ではウレタン樹脂系の接着剤で石膏ボードを軸材に接着していたが、本試験では1時間耐火構造の仕様に合わせて使用する接着剤を無機系のものに変更した。本試験1体目では $1/50rad$ 付近から梁中央部の曲げ破壊が徐々に進展し、また左柱頭部の梁の端抜けが生じたがそこで荷重は大きく低下することなく、およそ $1/22rad$ まで変形したところで引張側の柱脚部ホールダウン金物が破断した。2体目では $1/50rad$ の加力サイクル中に右柱が曲げ破壊を生じ、3体目では引き切り時に $1/24rad$ 付近で左柱が曲げ破壊を生じた。3体の平均にばらつき係数を乗じた値で P_y は60.21kN、 $(0.2/D_s)P_u$ は31.91kN、 $2/3P_{max}$ は72.24kN、 $1/150rad$ 時の荷重は50.33kNとなり、短期基準耐力は31.91kN、壁倍率は14倍相当となった。柱の破壊により変形性能を十分に確保できなかったことで目標であった20倍には届かない結果となったが、石膏ボードに対して面材が支圧するパネル部分の性能の高さは確認され、壁倍率14倍の高耐力が得られた。

耐火被覆の無い階高4mCLT耐力壁の本試験3体行い、終局耐力 $(0.2/D_s) \times P_u$ で43.6kNとなり壁倍率は22倍相当となった。2022年度に行った階高2.8mの仕様の壁倍率20倍相当と同等以上の性能が確認できた。

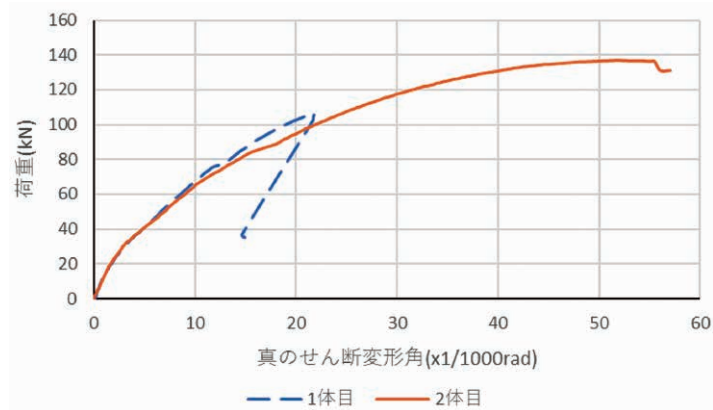


CLT真壁耐力壁耐火仕様予備試験 試験体

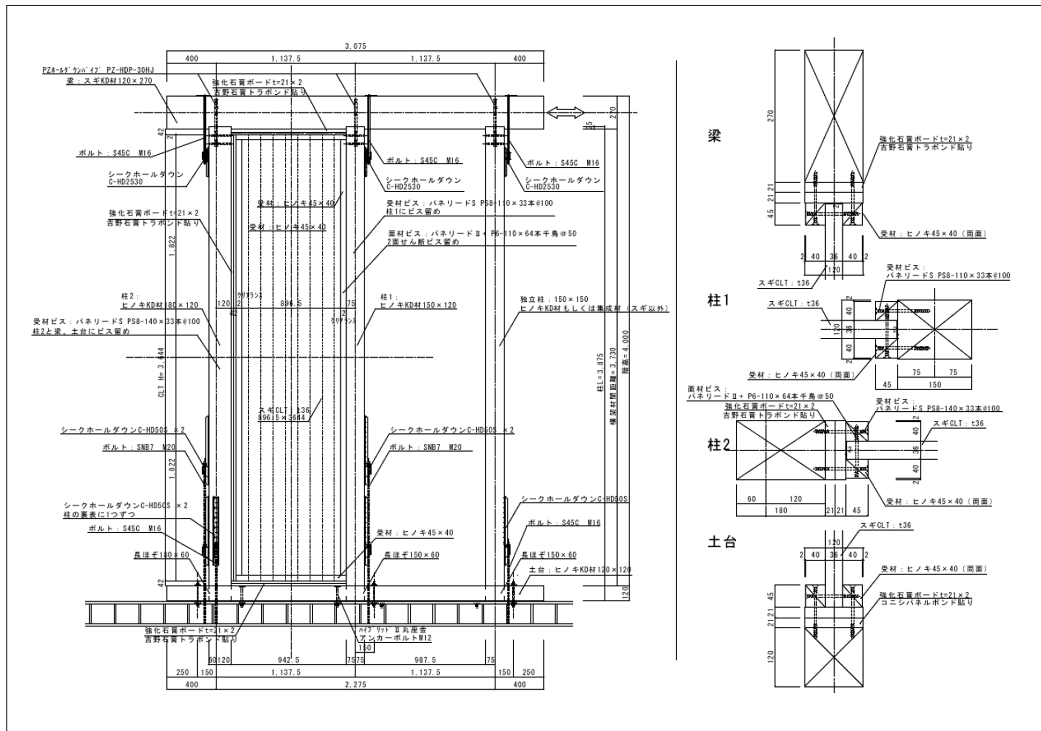


左 予備試験1体目 ホールドダウン金物の破断

右 予備試験2体目 右柱の面外へのたわみ



CLT真壁耐力壁耐火仕様本試験結果 荷重-変形角曲線



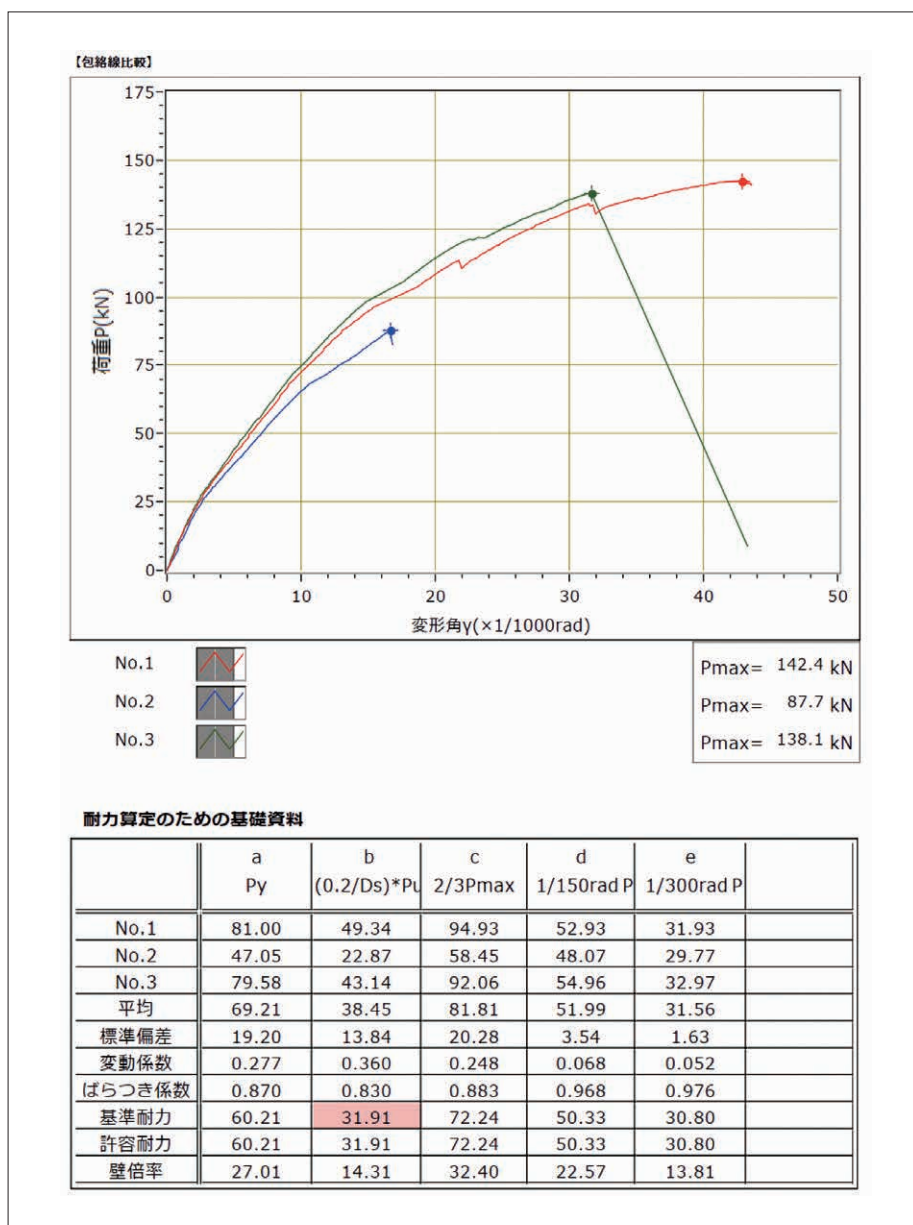
CLT 真壁耐力壁耐火仕様 本試験 試験体



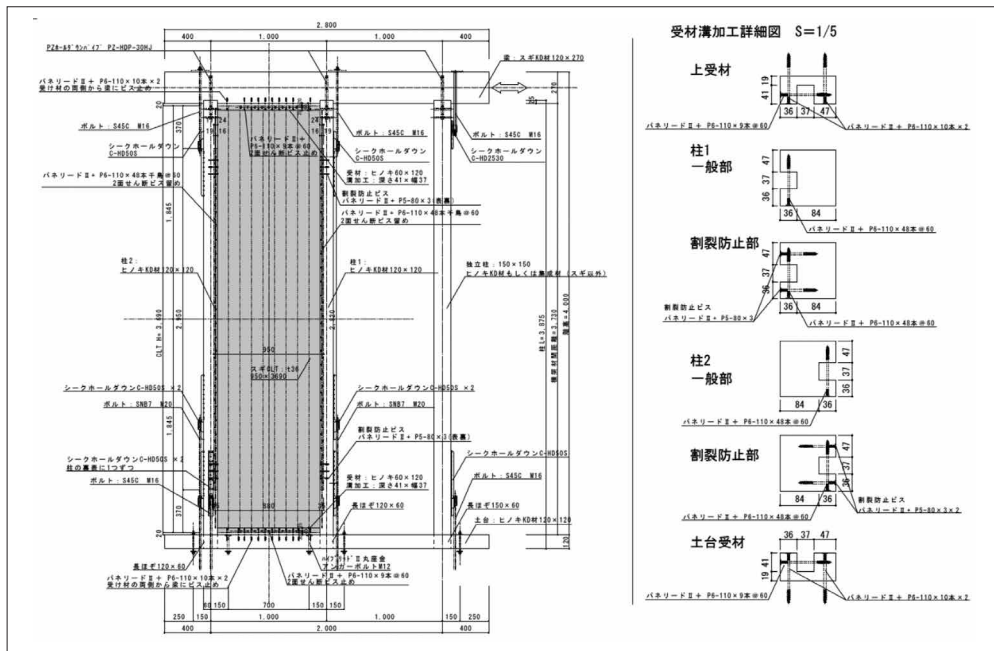
左 本試験 1 体目 ホールダウン金物の破断



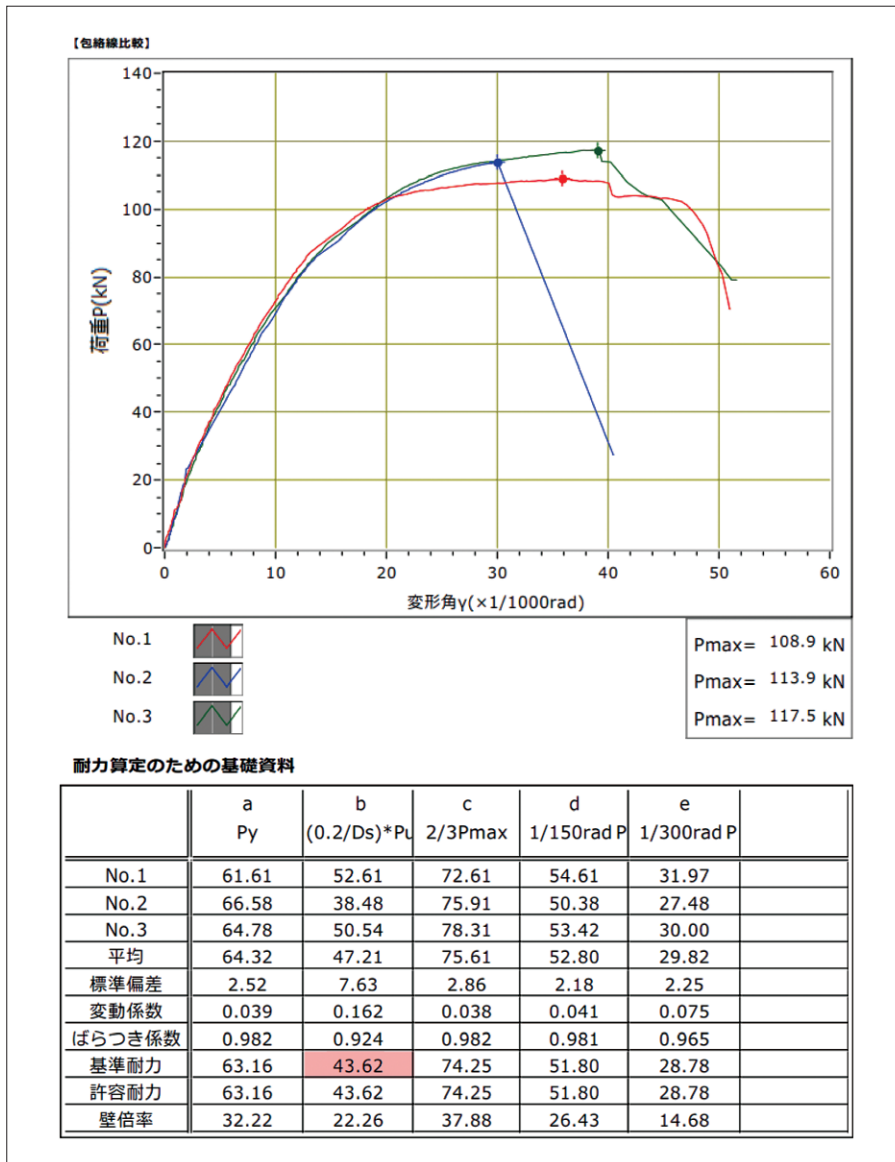
右 本試験 2 体目 右柱の曲げ破壊



CLT 真壁耐力壁耐火仕様本試験結果



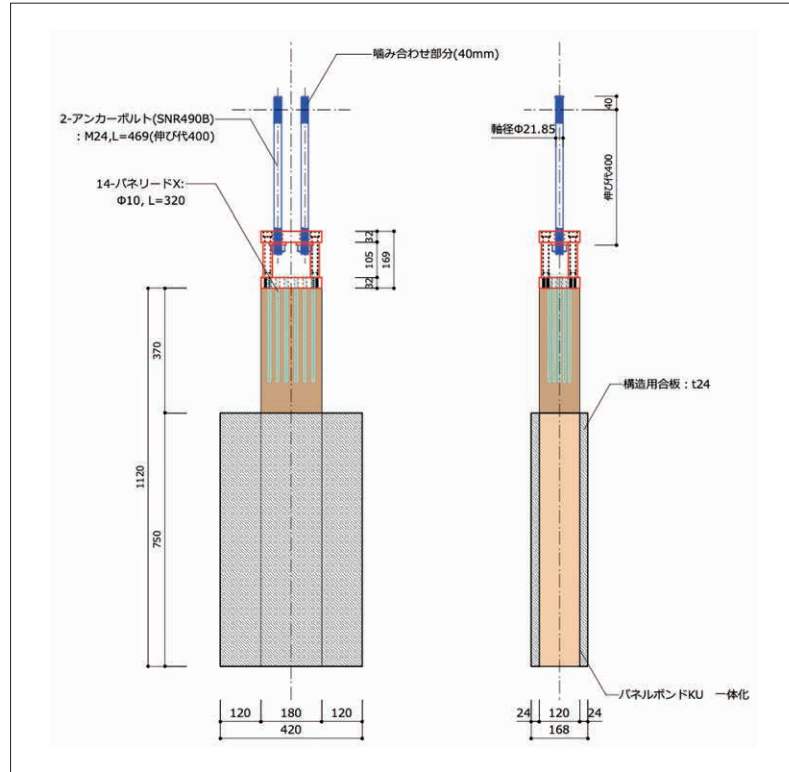
CLT真壁耐力壁4m仕様 試験体



CLT真壁耐力壁4m仕様 本試験結果

② 中高層用高耐力柱脚接合部の開発

本試験では全ての試験体においてアンカーボルトの降伏後に荷重が低下した。試験体6体のうち、1体は木質構造用ねじの引き抜け、2体は集合型のせん断破壊、3体はアンカーボルトの破断で試験が終了した。目標降伏耐力230kNに対して、特性値の平均が $P_{max}=389kN$ 、 $2/3P_{max}=259kN$ 、 $P_y=272kN$ 、 $P_u=348kN$ となった。短期基準耐力は $2/3 P_{max}$ が決定要因となり、ばらつき係数を考慮して237kNであり目標耐力を達成した。

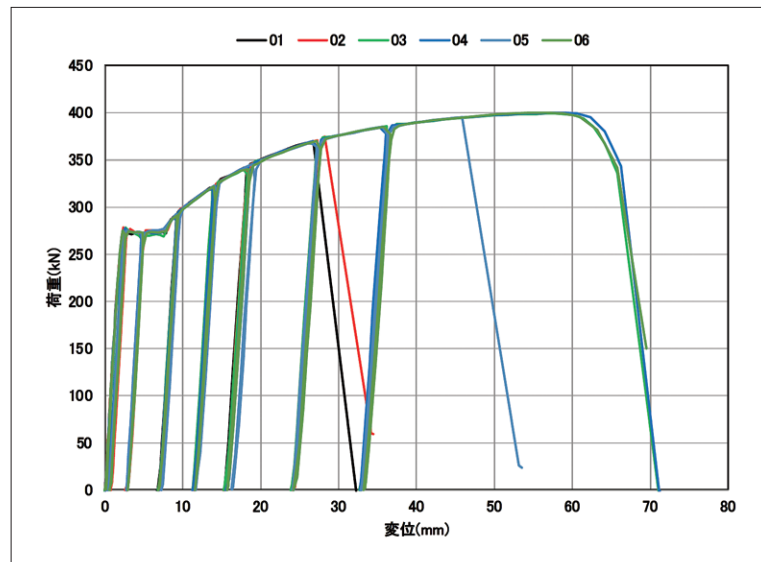


中高層用高耐力柱脚接合部 試験体仕様



破壊例

(左：集合型せん断破壊、右：アンカーボルトの破壊)



荷重変位関係

特性値

No.	Pmax	2/3Pmax	Py	Pu	δ_{max}	δ_y	δ_v	δ_u	μ	K
	最大荷重 [kN]	最大荷重×2/3 [kN]	降伏荷重 [kN]	終局荷重 [kN]	最大荷重時の変位 [mm]	降伏変位 [mm]	完全弾塑性モデルの降伏変位 [mm]	終局変位 [mm]	塑性率(δ_u/δ_v) -	剛性 [kN/mm]
1	368	245	270	322	26	2	3	27	10	123
2	375	250	273	325	28	2	3	28	10	120
3	399	266	273	363	57	2	3	66	20	110
4	400	266	273	370	57	2	3	66	20	112
5	395	263	270	349	46	2	3	46	16	124
6	400	266	271	362	57	2	3	66	22	122
Average	389	259	272	348	45	2	3	50	17	118
標準偏差(SD)	14	10	1	21	15	0	0	19	5	6
変動係数(CV)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
95%下限値 ($k=2.336$)	=Ave*(1-k*CV)	356	237	268	300	-	-	-	-	-
50%下限値 ($k=0.297$)	=Ave*(1-k*CV)	-	-	-	-	41	2	3	44	15
Po 短期基準耐力	2/3Pmax、Pyの下限値の最小値		-	237	-	-	-	-	-	-

③ 20 m超スパン対応 JIS 仕様トラスの高耐力引張継手の開発

JIS A 3301-2015 : 木造校舎の構造設計標準に例示仕様が示された山形トラスの引きボルト式継手に斜めビス打ちを併用した試験体で最大荷重は500kN程度となり、かつ高い剛性を示した。引きボルトのみの場合との比較では、斜めビスを併用した場合の方が、荷重は約1.6倍、剛性は7倍程度高い結果が得られた。長スパン時にトラスの下弦材に生じる引張力を負担することが可能な高耐力・高剛性の引張継手として、引きボルト式継手に斜めビス打ちを併用する継手が有効であることを確認した。



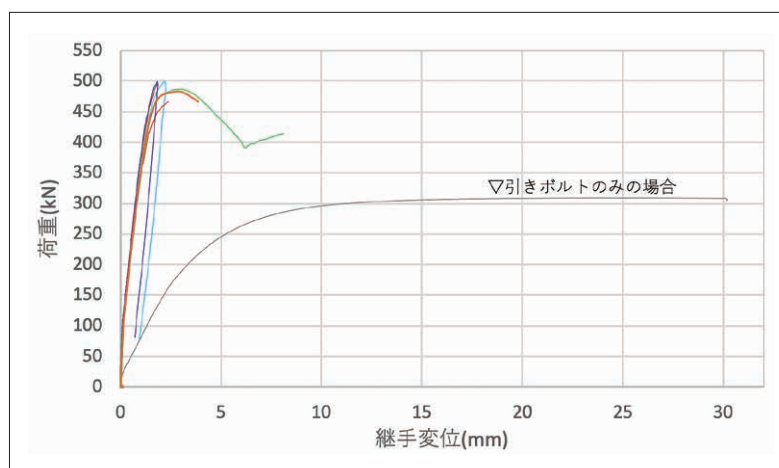
▲ 引きボルト式継手と斜めビス打ちを併用した高耐力継手の組立



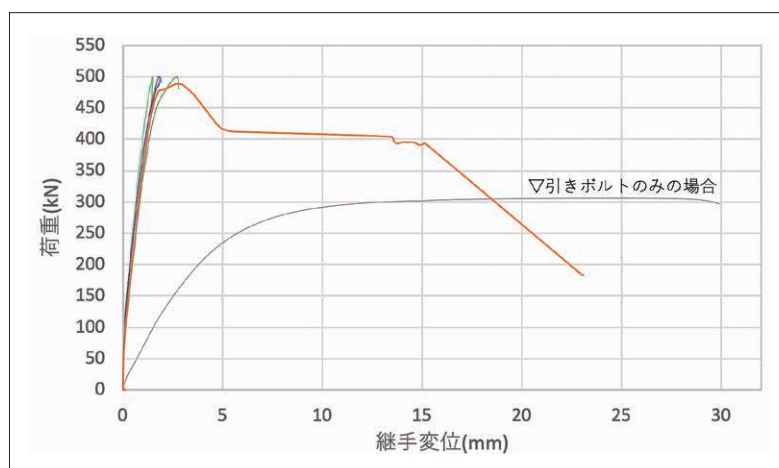
▲高耐力継手の引張実験：試験体組立および加力状況

本試験 結果一覧

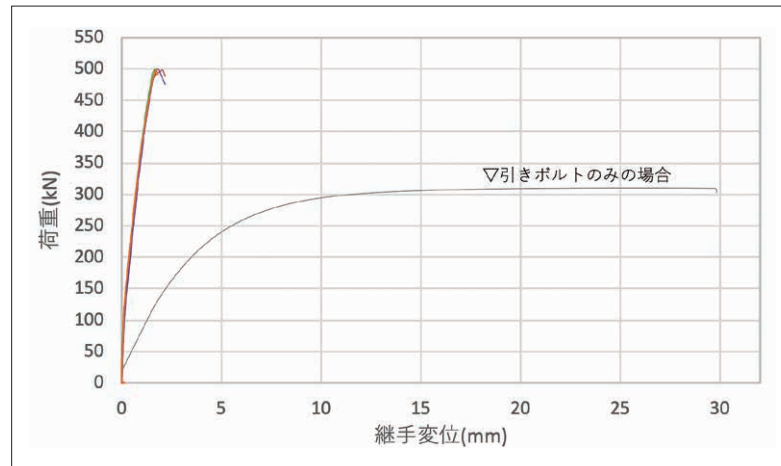
- ・荷重一変位関係曲線



① ヒノキ対称異等級構成集成材 E105-F300



② カラマツ対称異等級構成集成材 E105-F300



③ オウシュウアカマツ対称異等級構成集成材 E105-F300
・特性値および短期基準耐力等一覧

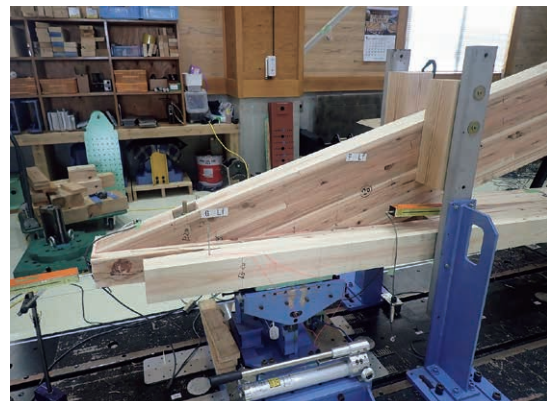
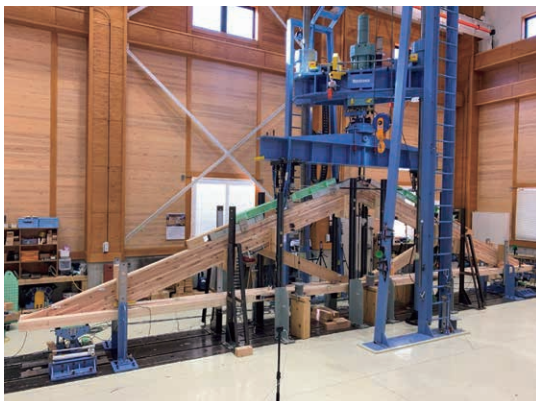
特性値の平均値一覧

樹種	強度等級	最大荷重 時変位量		降伏耐力		降伏変位		終局耐力		初期剛性 K kN/mm
		Pmax kN	δ max mm	Py kN	δ_y mm	Pu kN	Py kN	δ_y mm	Pu kN	
① ヒノキ	E105-F300	488.6	2.3	258.5	0.63	455.9	258.5	0.63	455.9	410.0
② カラマツ	E105-F300	498.2	2.0	252.2	0.58	448.6	252.2	0.58	448.6	443.2
③ オウシュウアカマツ	E105-F300	498.2	1.8	252.9	0.56	457.2	252.9	0.56	457.2	451.5

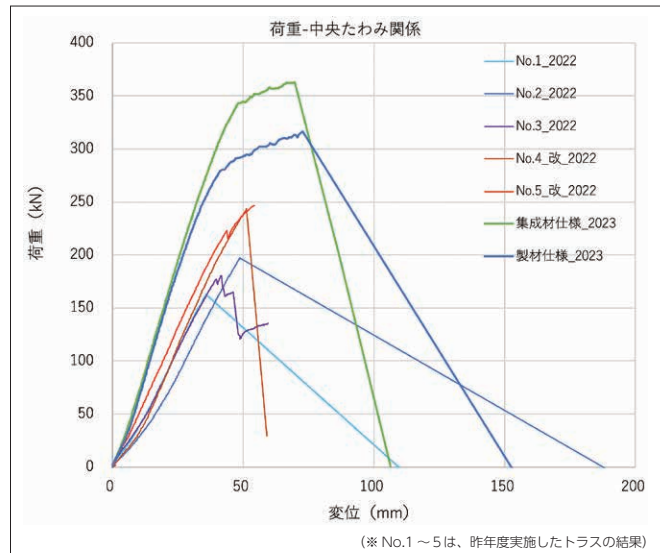
短期基準耐力および長期許容耐力の算出

樹種	強度等級	Pmax kN	2/3 標準偏差 %	変動係数 %	ばらつき 係数	最大荷重 による耐力 kN	降伏耐力 Py kN	標準偏差 %	変動係数 %	ばらつき 係数	降伏耐力 による耐力 kN	短期	長期
												基準耐力 kN	許容耐力 kN
① ヒノキ	E105-F300	325.8	8.51	2.61	0.94	305.9	258.5	10.54	4.08	0.90	233.9	233.9	128.6
② カラマツ	E105-F300	332.1	3.14	0.94	0.98	324.8	252.2	12.63	5.01	0.88	222.7	222.7	122.5
③ オウシュウアカマツ	E105-F300	333.2	0.17	0.05	1.00	332.8	252.9	8.72	3.45	0.92	232.5	232.5	127.9

また、引きボルト式継手と斜めビス打ちを併用した継手を用いた実大トラスの静的加力実験の結果、登り梁にスギ集成材、陸梁にヒノキ集成材を用いた試験体では最大荷重が約363kN、登り梁にスギ製材、陸梁にヒノキ製材を用いた試験体では最大荷重が約316kNとなった。引きボルト式継手と斜めビス打ちの併用による、比較的成本を抑えた高耐力の引張継手が、実際にトラスの継手に採用可能であることを確認した。



▲引きボルト式継手と斜めビス打ちを併用した継手を用いた実大トラスの実験結果：試験実施状況および最終破壊状況



▲引きボルト式継手と斜めビス打ちを併用した継手を用いた実大トラスの実験結果：最終破壊状況および荷重—中央たわみ関係

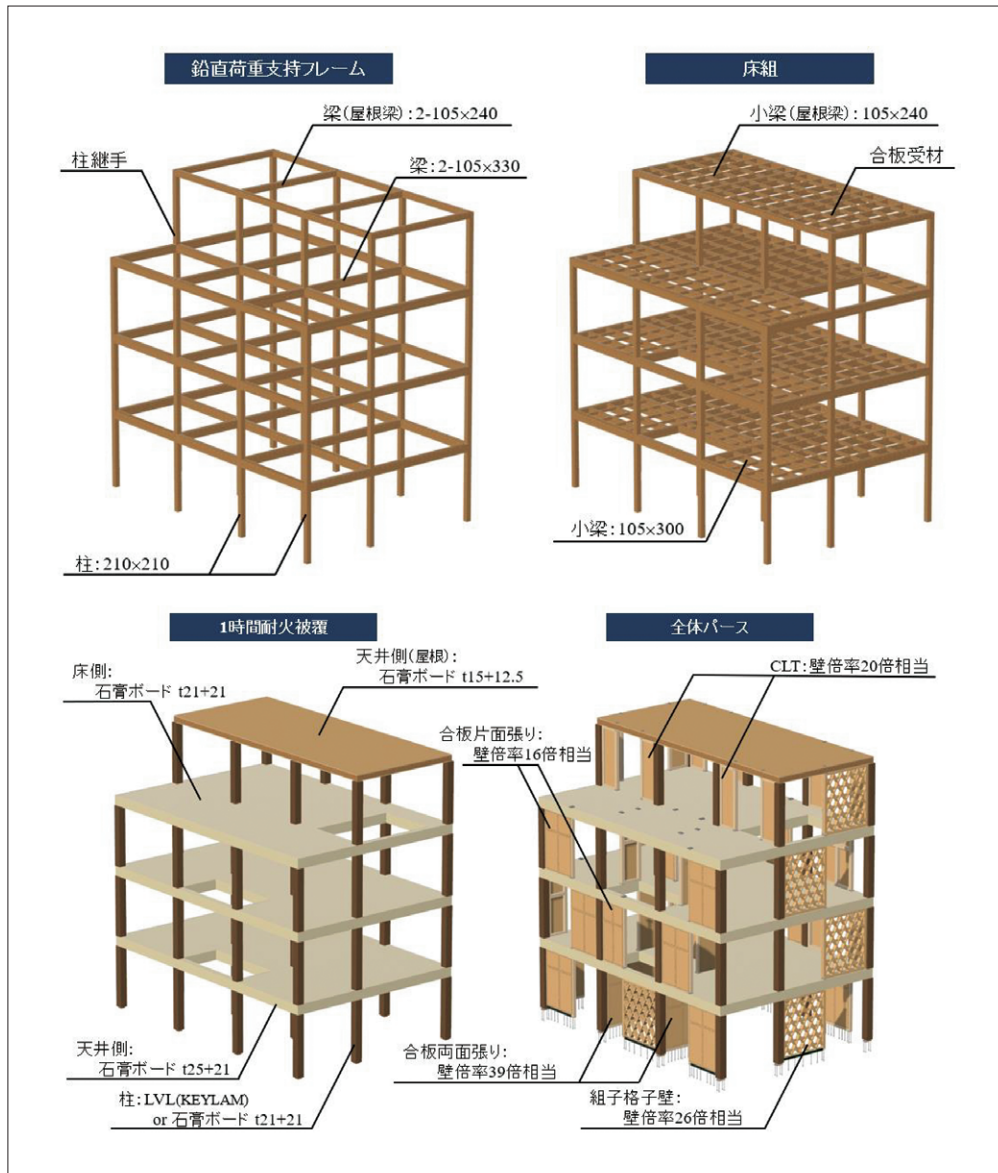
中層木造建築普及促進加速化事業

在来軸組構法の4階建て木造への拡張PJ

1階を店舗、2～4階を共同住宅、オーナー住宅とした在来軸組構法4階建て木造建築物の試設計を行った。1時間耐火構造とし、鉛直荷重を支える部材は強化石膏ボードで被覆した。水平力を受ける部材は、木材現わしとしてCLT真壁20倍耐力壁など、市松状に配置し、柱頭柱脚にかかる引張力をコントロールする設計としている。



▲4階建て木造 イメージ



▲構法全体のイメージ

今後の
課題・展開
等

今後の課題として、本年度試験を行ったCLT耐力壁耐火仕様、CLT耐力壁4m仕様、中高層用高耐力柱脚接合部、20m超スパンJISトラスの標準図、マニュアルを作成する。作成した標準図、マニュアル、試験成績書とともに当協会ホームページに公開して、広く一般に使用できるようにする。試設計した在来軸組構法の4階建て木造建築物を、標準化して普及させるために、プレカットCAD、一貫構造計算ソフトの4階建て対応に必要な項目を洗い出し、検討する。

CLT土木利活用技術の開発と 土木分野に適応するCLT製造技術の検証

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本CLT協会

〒103-0004 東京都中央区東日本橋 2-15-5 VORT 東日本橋 2F

事業 目的

わが国の森林・林業を再生し、木材自給率を向上させてゆくために、CLTの利用拡大を図り用途を建築から土木分野へ広げることは、重要かつ有効な視点である。これを推進するために、令和3年3月に策定されたCLTの更なる利用拡大に向けた新ロードマップに、「土木分野で活用可能な製品の開発推進」と謳われていることから明らかである。

これを受け、当協会では令和3年度より「土木用CLTと土木利用技術の開発」に取り組み、複数の技術提案とその検証、ならびに土木利用に適応するCLTの性能検証、製造の可能性を探っている。

本事業は、CLTの土木利活用技術と土木分野に適応するCLT製造技術について、令和3年より進めている検証結果から社会的なニーズがより高いと判断される技術提案を抽出し、これらの実装化を進め、早期の製品化・市場導入を目指すものである。

実施した 項目

本事業は、CLTの建築分野での実績を踏まえながら、使用環境が大きく異なる土木利用を目指すものである。そこで新たな観点で要求性能等を見直し、求めるべき成果を以下の3項目と設定した。

- ① 土木分野におけるCLTの耐久性能の検証
- ② 土木用CLTの開発
- ③ CLTの土木利用技術の開発

1. 土木分野におけるCLTの耐久性能の検証

土木利用を想定した環境下におけるCLTの耐久性を検証するため、「基礎試験」を進めた。CLTの耐久性にとって過酷と考えられる地中、海中、淡水中での利用を想定し、各環境での暴露試験を行い、基礎データを取得した。試験期間を5年間と想定したうち、本年度が3年目であり、3年度目の結果を分析・考察した。

2. 土木用CLTの開発

建築分野で利用されてきた既存CLTの概念にこだわらず、土木分野での要求性能に適合するCLTの開発を目指した。土木用途を想定し多様な使用条件を想定し、適切な性能を有しかつ経済的なCLTの製造技術を検証した。

また、単なる材料開発ではなく具体的な製品開発と連携させ、製品の要求性能とCLTが確保すべき必要性能との関係を明確化にしながら、市場競争力の高い材料開発を目指した。

3. CLTの土木利用技術の開発

土木分野で利用機会の多い社会インフラ機能に着目して、木材とCLTの利点を活かした利用技術開発を進めた。リサイクルやカスケード利用も視野に入れ、機能、環境、経済的な優位性を定量化し、市場導入の意義を実大実験などから幅広く検証し、早期に社会実装が期待される技術を見極めた。

具体的な製品テーマは以下とした。

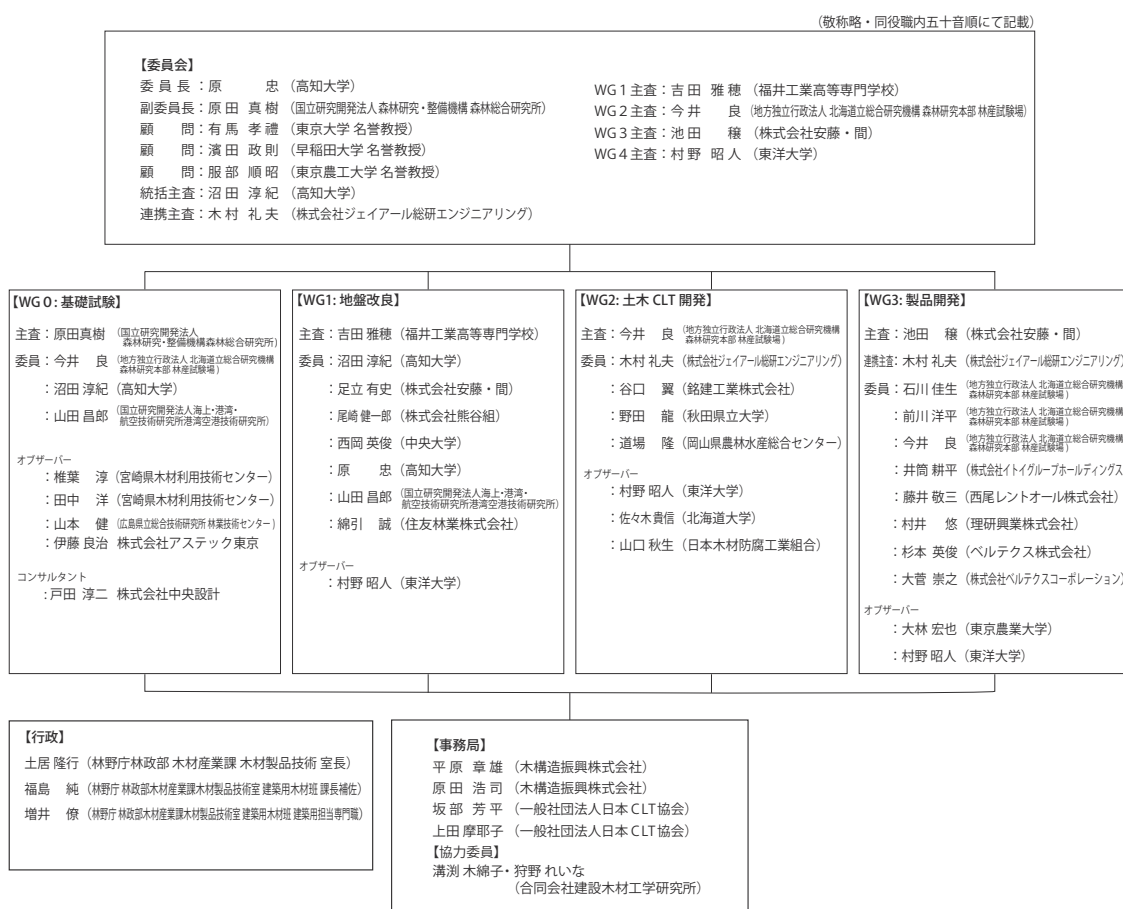
- ・地盤補強
- ・敷板
- ・プラットフォーム用スラブ
- ・防雪柵

実施体制

一般社団法人日本 CLT 協会内に委員会を設置し、委員長、副委員長に土木工学、木材工学における学識経験者を迎え、さらに技術顧問として各技術部門におけるわが国の第一人者に委任した。委員は、土木工学、木材工学、環境工学等の幅広い分野の有識者に委任した。

委員会の下部組織として、開発テーマ別の 4 作業部会 (WG) を設定し、代表する委員を主査として配置し、統括主査に WG の技術統括を委任した。

本事業の委員会構成と各テーマに基づき研究開発を進める WG との関係を以下に構成図として示す。



2024 組織図

1. 土木分野におけるCLTの耐久性能の検証

CLTを土木分野の屋外・地中・水中の3条件で利用することを想定し、各条件下で暴露したCLTの材質変化をモニタリングし、その耐久性能を検証した。

具体的には、地盤中・海水中・淡水中の環境に設置した2種類のCLT供試体（写真-1）について、耐久性を検証するための基礎データを取得した（暴露2年目）。供試体は以下の2種類の接着剤を用いたスギCLT Mx60・5層5プライから採取した。

- レゾルシノール樹脂系接着剤（RF）
- 水性高分子イソシアネート系接着剤（API）



写真-1 CLT供試体（左：キュービック型試験体、右：ボード型試験体）

1-1 各環境下での劣化状況の確認

地盤の違い（亜寒帯・温帯・亜熱帯）と水質の違い（海水・淡水）を組み合わせた環境で、設置後約2年を経過した供試体（キュービック型・ボード型）の割れや腐朽等の劣化状況の観察と強度試験を実施した。各環境別の存置期間を表-1に示す。

表-1 供試体存置期間 ※2023（令和5）年12月時点

環境	地盤			海水	淡水
場所	亜寒帯 （旭川市）	温帯 （三次市）	亜熱帯 （都城市）	港湾空港研究所 （横須賀市）	飛島技術研究所 （野田市）
設置	2021年11月	2021年12月	2021年12月	2021年12月	2022年1月
取り出し	2023年9月	2023年8月	2023年8月	2023年10月	2023年9月

【試験方法】

図-1に各供試体の検証フローを示す。各試験体は取り出した直後に軽く表面の汚れを落として劣化状況を観察し、続いて洗浄後に再度の観察・割れ測定・撮影を行った。

キュービック型供試体については、洗浄後すぐに質量を測定し、目標含水率を60%以上として含水率調整（飽和化）を行った後、以下の強度試験を実施した。強度試験完了後は乾燥して質量計測を行った。

強度試験は、1体の供試体から、集成材の日本農林規格（以下、JAS）に基づくブロックせん断試験体※を4体採取し、圧縮試験（2体）及びブロックせん断試験を実施した。圧縮試験では、縦圧縮強度及び縦圧縮ヤング係数、ブロックせん断試験では、接着面のせん断強さをそれぞれ測定した。

※試験体サイズ：幅25mm×高さ30mm（溝切深さ2.5mm×溝幅2mm）×長さ150mm

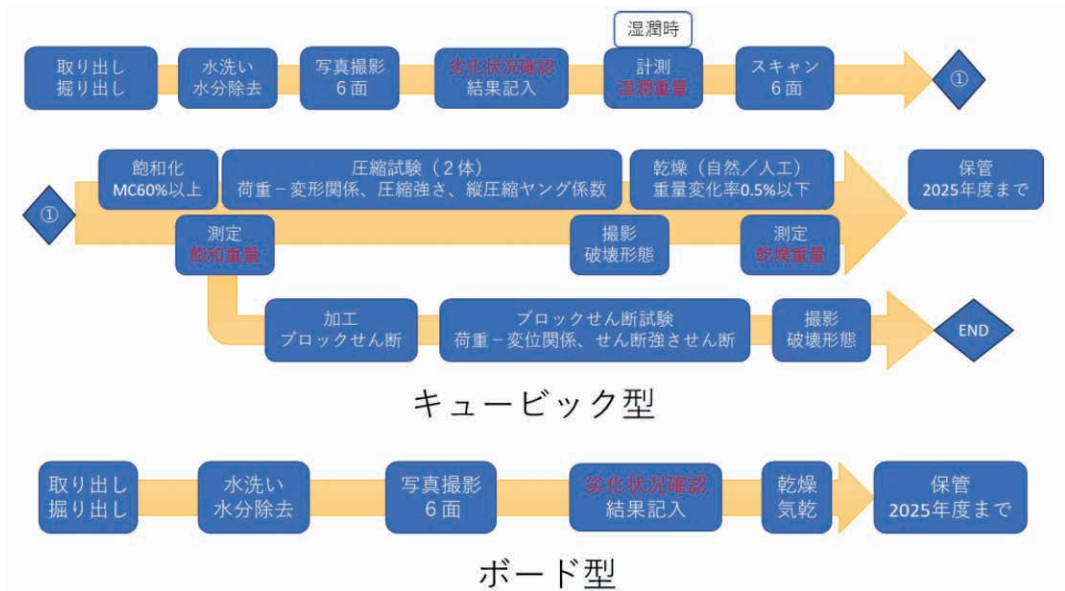


図-1 各試験体の検証フロー

2. 土木用CLTの開発

土中利用や水中利用が想定される土木分野では、要求性能や品質が建築向けのCLTとは異なることが想定される。従って、従来の建築用CLTの概念に捉われない、土木用途に適する新たなCLT製造技術の開発に取り組んだ。

2-1 高含水率ラミナの接着性能試験

CLTのJASではその含水率は15%以下と規定されており、ラミナは一般的に人工乾燥されている。しかし、土木用のCLTについては、屋外での使用が想定されることやコスト低減の観点から、人工乾燥工程を省略した天然乾燥ラミナの使用が合理的と考えられる。

そこで、製材したスギラミナを心材で構成された心材ラミナと一部心材を含む辺材で構成された辺心混合ラミナの2種類に仕分けし、それぞれ3つの異なる乾燥条件（未乾燥（以下、ND）、天然乾燥（以下、AD）、人工乾燥（コントロール、以下、KD））で乾燥した後に、3種類の接着剤（水性高分子-イソシアネート系接着剤（以下、API）、レゾルシノール樹脂系接着剤（以下、RF）、一液型ポリウレタン系接着剤（以下、PUR））を用いて積層接着し、18種類（2×3×3条件）の小型CLT試験体（300×300 mm、厚さ90 mm（3層3プライ））を作成した。各試験体から接着試験片（75×75 mm）およびブロックせん断試験片を3片ずつ採取し、減圧加圧はく離試験と1方向単調加力によるブロックせん断試験を実施した。

2-2 高含水率条件で接着性能を発揮できる接着剤の性能検証

高含水率下でも接着性能を発揮する接着剤として突板フリッチ用のPURがあるので、その接着性能の検証を行った。この接着剤の可使時間はメーカー推奨値で7分間と非常に短く、製造ラインでの接着に要する時間（3層3Pで5分程度、5層5Pで7分程度）が短いことから、製造工程上で軽微なトラブルが発生しても、接着剤の可使時間を超える恐れがある。そこで、メーカー推奨の可使時間をどの程度超えれば接着性能が低下するかを、堆積時間を変えて調べた。それに加えて、接着面の含水率が接着性能に影響することから、製造ラインでの適用を念頭に、含水率を2水準設定して、テーブルテストの試験体を製作した。（表-2）

表-2 テーブルテスト試験体仕様一覧

No.	層構成	接着剤	含水率	圧縮圧力	塗布量	オープン 堆積時間	クローズ 堆積時間	圧縮時間
1	スギ3層4P	GA-914	①AD 材水滴あり	5.0 kg/cm ²	25g/900 cm ²	4分	7分	20分
2	"	"	②AD 材水滴除去	"	"	"	"	"
3	"	"	①AD 材水滴あり	"	"	"	10分	"
4	"	"	②AD 材水滴除去	"	"	"	"	"
5	"	"	①AD 材水滴あり	"	"	5分	11分	"
6	"	"	②AD 材水滴除去	"	"	5分	"	"
7	"	"	①AD 材水滴あり	"	"	7分	12分	"
8	"	"	②AD 材水滴除去	"	"	7分	"	"
9	"	"	①AD 材水滴あり	"	"	4分	13分	"
10	"	"	②AD 材水滴除去	"	"	"	"	"
11	"	"	①AD 材水滴あり	"	"	"	14分	"
12	"	"	②AD 材水滴除去	"	"	"	"	"
13	"	"	①AD 材水滴あり	"	"	"	15分	"
14	"	"	②AD 材水滴除去	"	"	"	"	"
15	"	"	③KD 材水滴あり	"	"	7分	10分	"

【接着剤を塗布する際の含水率の条件】

- ①スプレーにより水を噴霧し、水滴が残った状態
- ②その水滴をエアーで除去した状態

2-3 製造条件の違いによる土木用CLTのコストスタディ

昨年度までに、C材（大曲がり材で集成材や合板用材、チップ材等に用いる材）から製材した安価なラミナを用いてCLTを製造する方法について、製造歩留まりに寄与する仕上げ切削工程の省略も含めて、コストスタディを行ってきた。

本年度は、これに加えて、天然乾燥のみのラミナを用いてCLTを製造する方法についてのコストスタディを実施した。

2-4 プレス機を用いない圧縮技術の開発

農業用ビニールシートと真空ポンプを用いた真空プレスによる圧縮技術でCLTを製造する技術の開発に取り組んだ。（写真-2）

接着剤にAPIを用いて1,900×1,900 mmの3層3プライCLT（スギ）の製造実験を行い、圧縮圧力測定、電力消費量測定、曲げ強度試験を実施した。



写真-2 真空プレスによる圧縮の様子

【圧縮圧力測定】

真空プレスの理論上の最大圧縮圧力は通常の油圧プレスの約1/10である大気圧（0.1 MPa）であり、圧力むらが懸念される。そこで、プレスケール・微圧用4LW（0.05～0.2 MPa）（富士フィルム製）を用いて、全面の圧力分布を測定した。

【電力消費量測定】

電力の消費は、真空プレスの場合、接着剤塗布用ローラーおよび真空ポンプの稼働時である。比較検証のため、通常の油圧プレス（圧縮圧1 MPa、圧縮時間60分）で製造する場合の電力量を計量した。油圧プレスの場合、電力の消費は、接着剤塗布用ローラーおよび油圧プレスの稼働時である。接着剤塗布用ローラーの消費電力は真空プレス時の数値とし、油圧プレスは実際と同様に稼働させて電力消費量を計量した。計量にはクランプオンパワーロガー PW3365（日置電機株式会社製）を使用し、1秒ごとに電力量を計測して使用期間中の積算電力量を求めた。

【曲げ強度試験】

以下の4種類のCLTから、幅300 mmの試験体を各5体採取し、曲げ試験を行った。曲げ試験は中央載荷とし、支点間距離を厚さの16倍として行った。

- ①真空プレスで製造したJAS規格のスギCLT（M60）（真空プレス①）
- ②JAS規格外ラミナを用い、真空プレスで製造したCLT（真空プレス②）
- ③通常のプレスを用いて製造したJAS規格CLT（JAS）
- ④JAS規格外ラミナを使用し、通常のプレスを用いて製造したCLT（NonJAS）

2-5 木釘や木ネジを用いた機械的接合CLTの検討

面材料を圧縮できるプレス機を有しない製材工場や、工事現場でのCLT製造を実現するため、木釘を用いた接着剤レスCLT（写真-3）と、木ネジで簡易圧縮して現場接着したCLT（写真-4）について製造検証を行った。なお、木ネジの簡易圧縮時の圧力はプレスケール・超低圧用2LW（0.5～2.5 MPa）で確認した。試作したCLTは強度性能を調べた。

木釘を用いた接着剤レスCLTは、スギ（M90）の人工乾燥ラミナを用い広葉樹材の木釘で釘着することで、CLT（1,900×1,900 mm、3層3プライ）を試作し、幅300 mmを切り出して曲げ試験を行った。

木ネジで簡易圧縮した現場接着CLTは、ACQを加圧注入したトドマツ（M90）ラミナにPURを塗布し屋外用のステンレスネジ（φ5 mm×長さ75mm）で簡易圧縮したCLT（1,080×1,800 mm、3層3プライ）で、そこから幅300 mmの試験体を切り出して曲げ試験を行った。



写真-3 木釘による機械的接合の様子



写真-4 木ネジ簡易圧縮 CLT

2-6 JAS規格外ラミナを用いたCLTの製造試験

土木分野でCLTを利用する場合、建築分野で求められる性能を満たしていなくても良いケースも想定される。

そこで、単価の安いヒノキ小径木（原木市場では柱材として使えない直径14 cm以下のヒノキ丸

太、図-2、写真-5) の直材から製材した JAS 規格外ラミナを用いた土木用 CLT の製造検証を進めた。外層に JAS 規格外となる丸身が残っているラミナ (以下、丸身ラミナ) を用いた製造実証により、製造上の問題点を抽出した。製造コストをさらに削減するため、人工乾燥は行わず、天然乾燥したラミナを用いた。

製造実証した CLT は以下の 3 種類である。

①ヒノキ・スギハイブリッド CLT (3層3プライ、1,000×2,900 mm、8枚)

外層：ヒノキ丸身ラミナ (幅方向の仕上げ無し、縦継ぎ無し、天然乾燥)

内層：スギ規格外はね材 (縦継ぎ有り、人工乾燥)

②ヒノキ・スギハイブリッド CLT (3層3プライ、1,000×2,900 mm、8枚)

外層：ヒノキ丸身ラミナ (幅方向の仕上げあり、縦継ぎ無し、天然乾燥)

内層：スギ規格外はね材 (縦継ぎ有り、人工乾燥)

③ヒノキ CLT (3層3プライ、1,000×2,900 mm、8枚) (写真-5)

外層：ヒノキ丸身ラミナ (幅方向の仕上げ無し、縦継ぎ無し、天然乾燥)

内層：ヒノキ通常ラミナ (縦継ぎ有り、天然乾燥)

製造後、各 CLT から試験体を採取し、実大強度試験機を用いた曲げ強度試験および繰り返し荷重による疲労試験を実施した。曲げ試験体は各仕様 4 体とし、荷重点間距離は 630 mm (7 倍)、支点間距離 1,890 mm (21 倍) の「3等分点 4 点荷重方式」で実施した。疲労試験は、破壊荷重の約 1/3 に相当する最大荷重と最小荷重 2 kN の間で 1 秒間に一回の繰り返し荷重を与え、繰り返し回数 2,000 回ごとに中央たわみを計測し、これを 10 万回繰り返して実施した。

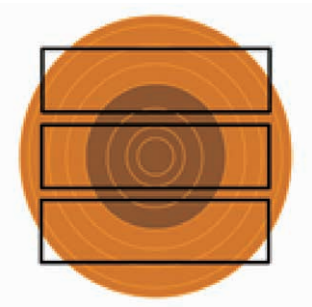


図-2 小径木の製材



写真-5 ヒノキ CLT

3. CLT の土木利用技術の開発

3-1 CLT を用いた軟弱地盤対策の検証

軟弱地盤中では木材が生物劣化を生じにくい実績に基づき、木材を使った軟弱地盤対策が行われるようになってきている。本事業では、面材である CLT を改良体として軟弱地盤に構築する方法について、地表面に対し水平に設置する方法 (水平地盤補強) と鉛直に設置する方法 (鉛直地盤補強) の 2 通りの有効性を検証した。

(1) 水平地盤補強

CLTを用いた板状の改良体を水平に設置する水平地盤補強方法については、設置後約2年が経過したCLTを掘り出し、その状況を調査した。

【調査方法】

- 実施場所： 秋田県大潟村
- 調査実施時期： 2023年8月（設置は、2021年11月、約2年経過）
- 施工概要： 2021年に軟弱地盤を0.5m掘削し、CLTを水平に設置し、1.5mの盛土を行った現場で、盛土を撤去後、CLTを掘り出し、調査を行った。
- 調査概要： CLTの状況観察、亀裂と剥離の発生状況観察、曲げ試験を実施した。
まず盛土を撤去し、CLTを吊り上げ、現地でCLTの亀裂と剥離を調査した。（写真-6）その後、掘り出したCLTの中央部より幅0.3m×長さ2.07mの供試体を切り出し、水浸させた後（含水率目標60%以上）、JAS3079:2019に従い曲げ試験を実施した。（写真-7）



(a) 盛土撤去状況



(b) CLTの吊り上げ状況



(c) 亀裂のスケッチ状況

写真-6 CLT水平地盤補強実施後のCLTの掘出し調査状況



(a) 試験前



(b) 試験後

写真-7 CLT水平地盤補強実施後採取したCLTの曲げ試験の状況

(2) 鉛直地盤補強

CLTを鉛直に地中に挿入し設置する方法は、数値解析を実施した後に、実際の施工性について実施工を行い検討を行った。

【試験概要】

- 試験場所： 佐賀県神埼市神崎町志波屋 2001
- CLT材圧入時期： 2023年12月15日～2023年12月22日
- 実施方法： 最初に地盤改良工の中層混合処理工法（WILL工法）により一時的に地盤を緩め、次にCLTを地表から地中の6.0mまで圧入した。WILL工法では、セメントスラリーと地盤を攪拌し流動化させた。その際のセメント量は、原地盤相当の強度を目標とするため、最低セメント添加量を70kg/m³の貧配合とした。なお、セメントを添加しない水掘りのパターンも実施した。
- CLTの仕様： 強度等級ラミナ構成のMx60-5-5とした。CLTの寸法は、長さ6.0m、厚さ0.15m、幅が0.5mと1.0mの2種類とした。
- 実験パターン： CLT幅（0.5mと1.0m）、CLTの配置、原地盤にセメント添加有無（貧配合と水掘り）の5パターンを実施した。（図-3、写真-8）

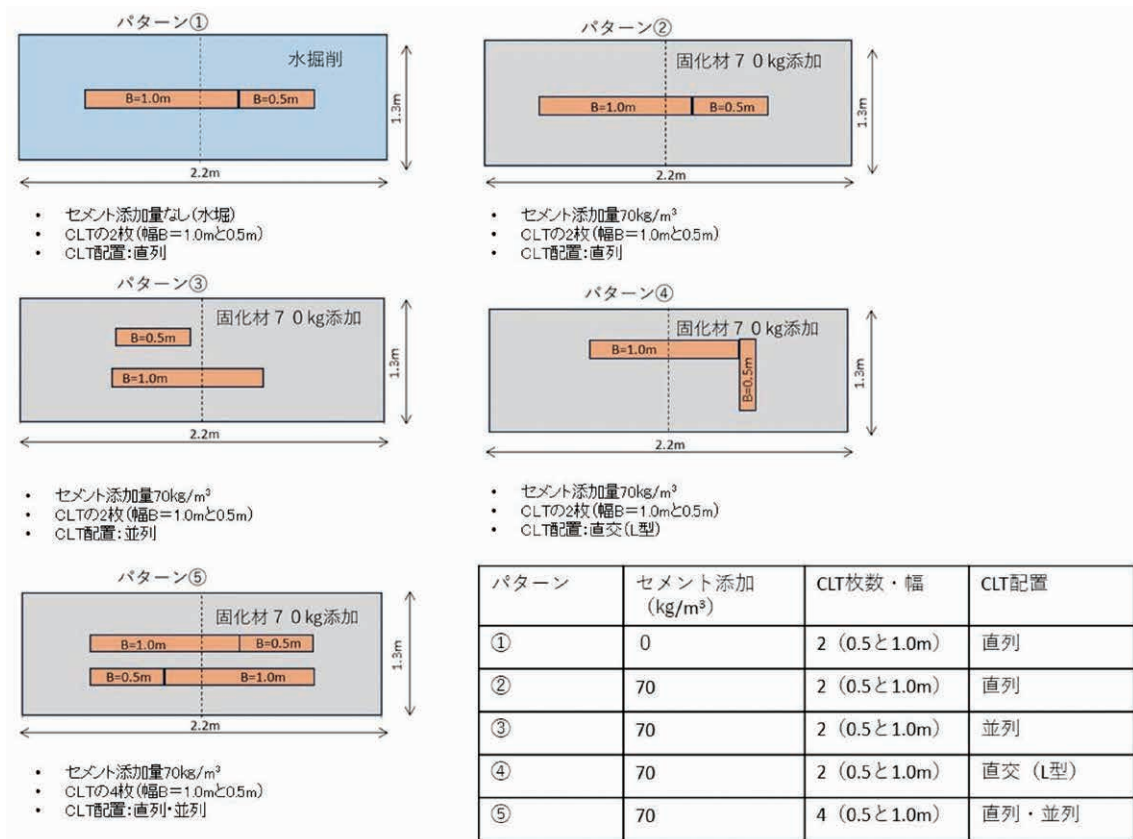


図-3 CLT鉛直地盤補強の現場実験パターン



写真-8 CLT鉛直地盤補強の実施工実施状況

3-2 CLT敷板の開発

工事現場等における作業車両の走行性確保などを目的として使用されている敷鉄板の代替として、CLT敷板の技術開発を進めた。本年度は、CLT敷板の製品化による事業展開を視野に入れ、以下の6つの視点で検討した。

(1) 実用性の検証

土木工事現場の車両待機所 (図-4)、発電施設の建築工事現場 (図-5)、チップ保管庫の作業ヤードの3箇所の現場において、以下のCLT敷板の施工性や使用感等を把握するための実証試験を行った。

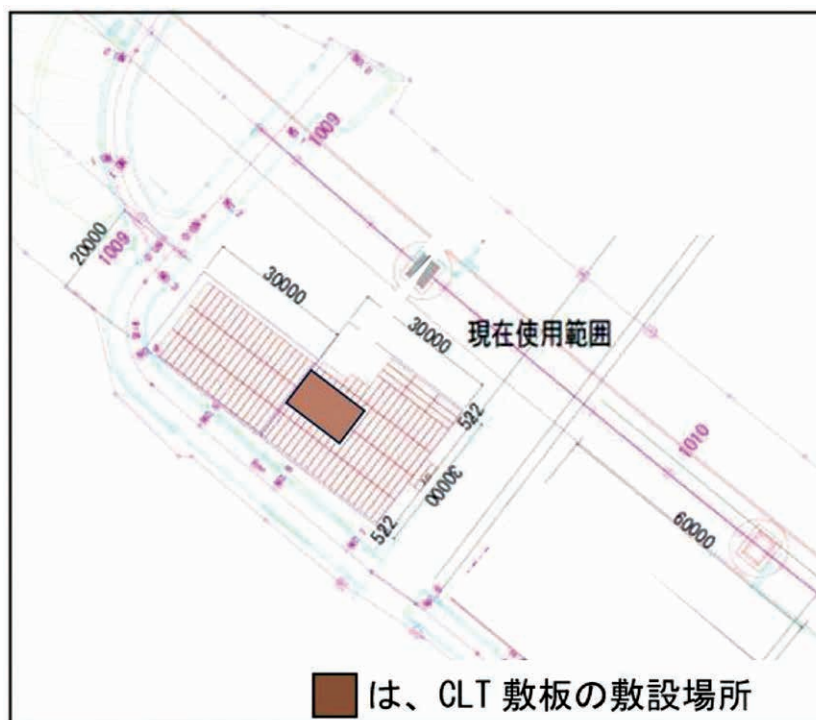


図-4 実証試験現場の平面図（車両待機所）

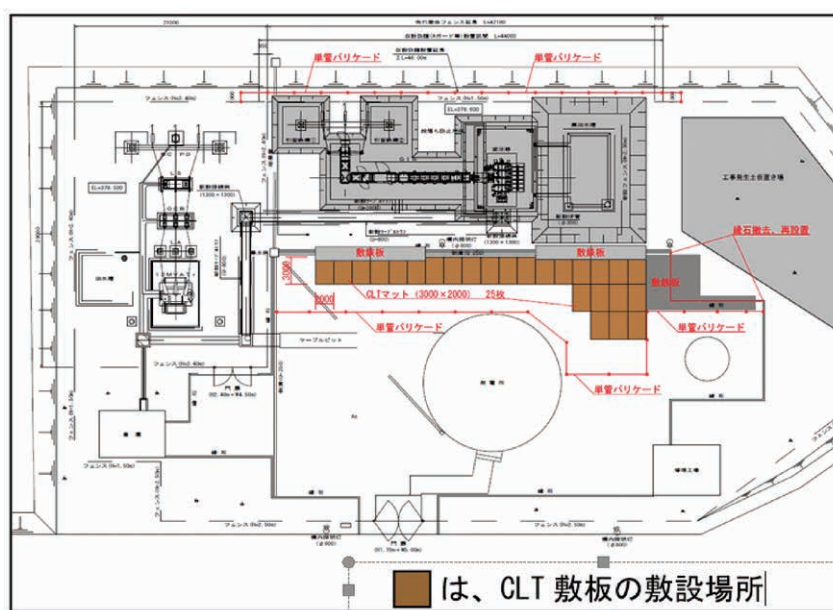


図-5 実証試験現場の平面図（建築現場）

(2) 施工性・耐久性向上

施工性、耐久性等を向上するための対応策として、以下の3テーマについて検討した。

- ①敷設時の吊上金物
- ②敷設後のズレ止め接合具
- ③端部保護フレーム

(3) 曲げ強度の確認

CLT 敷板の転用やリサイクルのタイミングの判断基準を確立するため、曲げ強度試験によって使用後のCLT 敷板の強度を把握した。

(4) トレーサビリティシステムの構築

CLT敷板の使用履歴を把握するためのトレーサビリティシステムを構築し、システムの検証を行った。

(5) 温熱環境の把握

敷板表面上の温熱環境による作業環境の快適性を定量的に把握するため、CLT敷板と敷鉄板上の上部の温湿度を比較した。

(6) 腐朽度の評価

CLT敷板の腐朽度を把握するため、敷設後と未使用のCLT敷板をピロディン試験によって比較した。

3-3 CLTプラットフォームの開発

CLTを鉄道駅のプラットフォーム用スラブとして使用する場合の塗装方法や強度を把握することを目的に、以下の試験を実施した。

(1) モデルプラットフォームの製作

モデルプラットフォームを4区画に分け、それらのCLT表面に以下の4通りの保護塗装を施した。

- ①素地（コントロール）
- ②外装塗装
- ③デッキ用ノンスリップ塗装
- ④砂地塗装

さらに、各区画の塗膜上に視覚障害者誘導用ブロックを3タイプ（鋏、シート、樹脂）取り付け、屋外に設置し、経年変化による表面変状および滑り性能について確認した（写真-9）。



写真-9 モデルプラットフォームの屋外暴露状況

(2) 荷重試験（曲げ強さ・たわみ量等）

CLTが所定の曲げ性能（曲げ強さ、たわみ量）を満たすか否かを確認するため、3等分荷重による曲げ試験を実施した（図-6）。

プラットフォームの設計時には、単純支持の梁として設計を行うが、実際の施工時においては、プラットフォーム用スラブを設置するH鋼にL型ボルトでひっかけて固定するため、その固定の有無による曲げ性能を確認した。

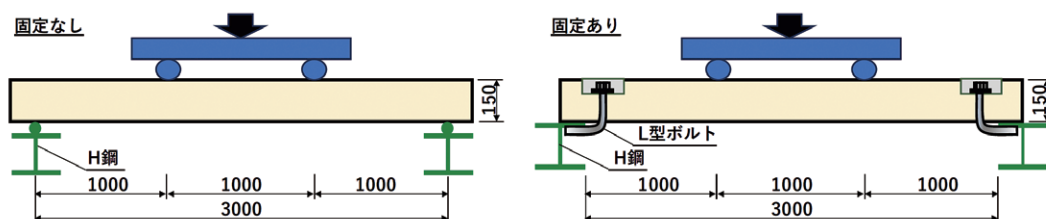


図-6 曲げ試験概要

3-4 CLT防雪柵の開発

既存の鋼製防雪柵と比較し防雪柵としての機能を確認することを目的に、以下の試験を実施した。

(1) 風洞実験

CLT防雪柵と鋼製防雪柵の防雪効果を比較するため、以下の風洞実験を実施した。(写真-10) 模擬雪を流すことで現地の吹雪を再現し、目視によって防雪柵が効果を発揮しているかを確認する可視化実験、可視化実験で再現した吹雪の粒をハイスピードカメラで撮影し、解析することで模擬雪の動きと力などを算出するPIV(粒子画像流速測定法)解析実験、現地の積雪を再現し、防雪柵によって道路上への積雪量が抑えられているかを確認する堆積実験の3パターンの実験を行った。

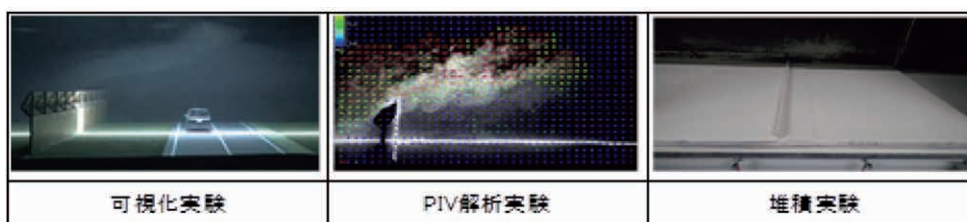


写真-10 各種風洞実験詳細

(2) CLT防雪柵の公道施工

北海道標津郡中標津町の依橋15線にて、過年度に設置した鋼製防雪柵を撤去し、既存基礎ブロックにCLT防雪柵を設置した。(写真-11)

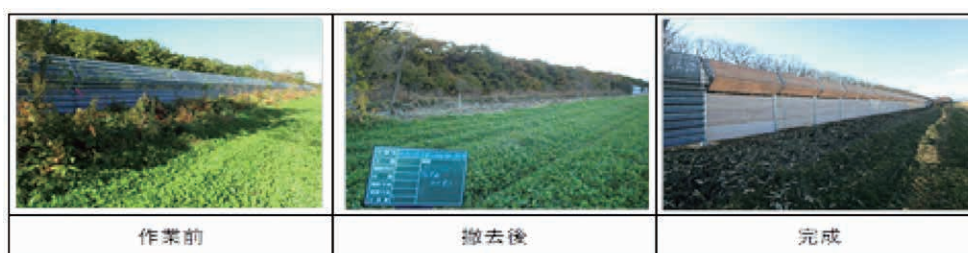


写真-11 CLT防雪柵 設置状況

実施した結果

1. 土木分野におけるCLTの耐久性能の検証

地盤(亜寒帯・温帯・亜熱帯)・水質(海水・淡水)の各環境から、設置後約2年を経過した供試体(キュービック型・ボード型)を取出し、検証した結果を以下に示す。

(1) 劣化状況

地盤・海水・淡水の各環境における劣化状況の例を写真-12から写真-16に示す。

地盤中の供試体については、地域によらず、1年目より、接着剥離あるいはラミナ亀裂が観察される供試体数が増加した。また、亜寒帯(旭川)では腐朽・虫害はほとんど観察されず、亜熱帯(都城)では腐朽等の生物劣化が観察された。海水中の供試体については、全面海水浸漬(海水中)では接着剤の種類によらず、接着層を残してほぼ形状をとどめないほどの激しい海虫(フナクイムシおよび海生クイムシ(甲殻類))による食害が見られた。淡水中の供試体については、接着剤の種類によらず、ラミナの亀裂及び接着剥離が観察され、腐朽は観察されなかった。



写真-12 劣化状況の例（土壌中・旭川）

左：接着剥離（GL-0.5m・API）、右：ラミナ亀裂（GL-0.5m・RF）



写真-13 劣化状況の例（土壌中・三次）

左：腐朽・接着剥離（GL-0.5m・API）、右：ラミナ亀裂（GL-0.5m・RF）



写真-14 劣化状況の例（土壌中・都城）

左：腐朽・接着剥離（GL-0.5m・API）、右：腐朽・表層ラミナ割れ（GL-0.5m・RF）



写真-15 劣化状況の例（海水中・横須賀）

左：海虫害（海水中・API）、右：海虫害（海水中・RF）



写真-16 劣化状況の例（淡水中・野田）

左：ラミナ亀裂（WL-0.5m・API）、右：腐朽・ラミナ亀裂（WL-0.5m・RF）

(2) 圧縮試験結果

圧縮試験の結果、暴露期間が圧縮強度と圧縮ヤング係数の関係に及ぼす影響を、暴露前（初期値）、1年後、2年後の暴露期間別に図-7に示す。

全体として、暴露期間が長くなるほど圧縮強度、圧縮ヤング係数ともに低下する傾向が認められた。ただし、その傾向は地域によって差異が認められた。

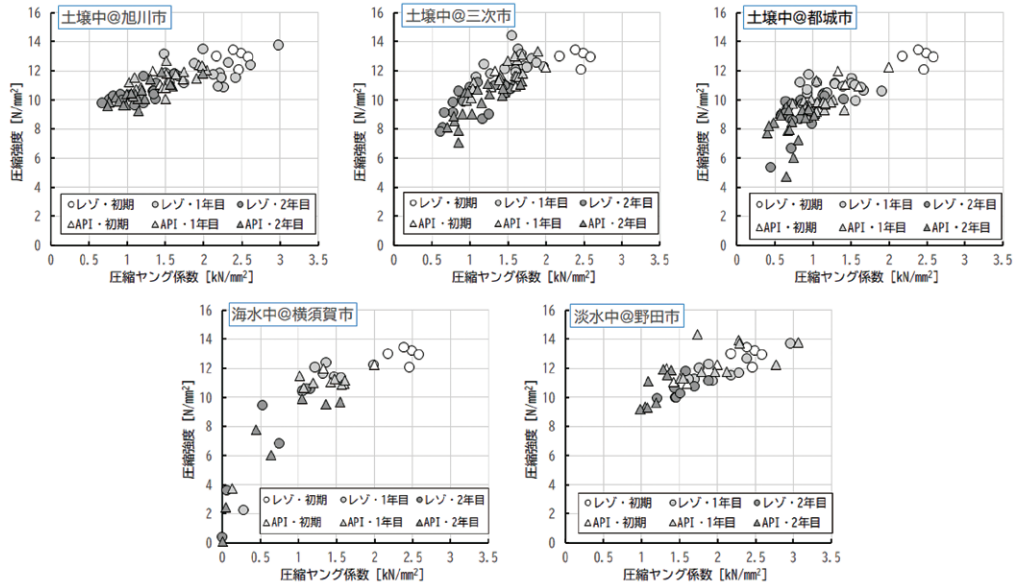


図-7 暴露期間が圧縮ヤング係数と圧縮強度の関係に及ぼす影響

(3) ブロックせん断試験結果

ブロックせん断試験は、地盤環境（亜寒帯、温帯、亜熱帯）、淡水環境の供試体から切り出した試験体で行ったが、接着面のせん断強さはばらつきが大きく、地盤環境、接着剤、設置位置による違いは分からなかった。なお、昨年度の試験では、想定したせん断面で正しく破壊しない試験体があったが、本年度は試験体のせん断面に施す溝の幅を狭くするという改良により、正しくせん断面での破壊を生じさせることができた。

2. 土木用CLTの開発

2-1 高含水率ラミナの接着性能試験

各ラミナの含水率測定の結果、心材ラミナの含水率は未乾燥が35%、天然乾燥が17%、人工乾燥が11%となった。辺材ラミナの含水率については、未乾燥が50%、天然乾燥が17%、人工乾燥が11%となった。接着はく離試験およびブロックせん断試験の結果を表2に示す。はく離試験ではNDラミナを使用した1条件(API)、せん断試験ではNDラミナを使用した2条件(API, RF)で、JASの評価基準で不適合となる試験片がみられた。他方、PURを使用したCLTについては、いずれの評価においても、不適合となる試験片はみられなかった。(表-3)

表-3 高含水率ラミナの接着性能試験結果

乾燥条件		ND			AD			KD		
		API	PRF	PUR	API	PRF	PUR	API	PRF	PUR
はく離試験	剥離率									
	平均値 [%]	10.3	0.0	0.1	1.5	0.5	0.2	0.3	0.2	0.1
	最大値 [%]	8.2	0.1	0.2	2.5	1.0	0.2	0.6	0.3	0.2
JAS基準 不適合試験片数		3/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6
ブロックせん断試験	木部破断率									
	平均値 [%]	87.6	67.3	92.7	99.7	96.5	95.5	99.8	99.5	99.1
	JAS基準 不適合接着面数*	2/12	4/12	0/12	0/12	1/12	0/12	0/12	1/12	0/12
	せん断強度									
	平均値 [N/mm ²]	1.9	1.7	1.9	2.0	1.9	2.0	2.1	2.0	2.1
標準偏差 [N/mm ²]	0.5	0.4	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.6	0.4	
試験時含水率	平均値 [%]	16.5	16.7	16.3	16.1	16.5	15.9	11.8	12.0	11.5

2-2 高含水率条件で接着性能を発揮できる接着剤の性能検証

はく離試験の結果、はく離率がJAS基準で不適合と判定された試験体は、No.7、11、13、14の4仕様で、水滴をエアードで飛ばし除去した仕様と比べ、水滴が残っている仕様のはく離率が高い結果となった。水滴が残った仕様は、オープン堆積が4分と短い場合でも、クローズ堆積が12分を超える仕様は接着性能に影響を及ぼすことが確認できた。

ブロックせん断試験の結果、木破率がJAS基準を下回る結果となった試験体は、No.5、7、10、11、13の5仕様であった。はく離率の結果と同様、ブロックせん断の木破率の結果も、水滴をエアードで飛ばし除去した仕様と比べ、水滴が残っている仕様の木破率が低い結果となった。水滴が残った仕様は、オープン堆積が4分と短い場合でも、クローズ堆積が11分を超える仕様は接着性能に影響を及ぼすことが確認できた。また、水滴を除去した仕様では、No.10以外は、JAS基準を上回る結果となった。

2-3 製造条件の違いによる土木用CLTのコストスタディ

最新の製造歩留まりや製造原価を反映した試算を行った(表-4)。現状チップ等の用途に回っているC材の活用、積層接着後の仕上げ切削の省略、天然乾燥による乾燥エネルギーの削減などを組み合わせることにより、20~30%程度のコスト削減が期待できることが示された。

表-4 土木用CLTのコストスタディ

No.	樹種	ラミナ品質	仕上げ切削	接着剤	乾燥	年間製造量の想定[m3/年]	歩留(Gラミナ)	現行価格との差	コスト削減効果	備考
1	スギ	A,B材	あり	水ビ	あり	10,000	75%	100.0%	-	R3年度コスト試算
2	スギ	A,B材	なし	水ビ	あり	10,000	85%	91.7%	-8.3%	〃
3	スギ	C材	あり	水ビ	あり	10,000	75%	82.1%	-17.9%	〃
4	スギ	C材	なし	水ビ	あり	10,000	85%	75.2%	-24.8%	〃
5	スギ	A,B材	あり	水ビ	あり	30,000	75%	89.8%	-10.2%	〃
6	スギ	A,B材	なし	水ビ	あり	30,000	85%	81.5%	-18.5%	〃
7	スギ	C材	あり	水ビ	あり	30,000	75%	71.9%	-28.1%	〃
8	スギ	C材	なし	水ビ	あり	30,000	85%	65.0%	-35.0%	〃
9	スギ	A,B材	あり	フリッチ	なし	10,000	75%	96.6%	-3.4%	R5年度コスト試算
10	スギ	A,B材	なし	フリッチ	なし	10,000	85%	88.3%	-11.7%	〃
11	スギ	A,B材	あり	フリッチ	なし	30,000	75%	89.1%	-10.9%	〃
12	スギ	A,B材	なし	フリッチ	なし	30,000	85%	80.8%	-19.2%	〃

2-4 プレス機を用いない圧縮技術の開発

真空プレスの電力消費量は885.0 Whであり、油圧プレス1,648 Whに比べて半分程度であった。真空プレスの消費電力の90%以上が真空ポンプの稼働によるものであった。なお、真空ポンプの能力と排気速度は比例的な関係にあり、排気時間、すなわち吸引開始から圧縮圧力が十分に作用するまでの時間を現状より長くできる製造条件なら、実験に使用した真空ポンプの能力そのままでも複数枚のCLTを同時製作可能である。この場合、真空プレスによる電力消費量は同時製作する枚数に応じて、さらに減少する。

測定した圧縮圧力の結果を写真-17に示す。色の濃い箇所は圧力が作用していることを表しているが、いずれにおいても全面に均等に圧力が作用していないことが分かる。凹凸や節がある場合は凹凸部や節周辺に圧力が集中し、その他の箇所にはあまり圧力が作用していない。隙間を充填できるPUR

以外の接着剤を用いる場合は圧縮圧不足の箇所が生ずる可能性がある。

曲げ試験結果を図-8および図-9に示す。曲げヤング係数ではJASが最も高く、真空プレスではJASの70～73%程度であった。曲げ強さは真空プレスが最も高く、JASの110～122%程度であった。

曲げ強さから下限値を求めたところ、JASは21.0 MPa、Non JASは22.1 MPa、真空プレスは39.0および28.7 MPaであった。JASとNon JASがほぼ同等であったのは、Non JASに用いたラミナは強度ではなく節や丸み等の欠点を理由に規格外扱いされており、規格外ラミナを用いてもCLTの場合は欠点が分散されるため強度にあまり影響しなかったためと考えられる。一方、真空プレスはJAS規格よりも高い値となった。

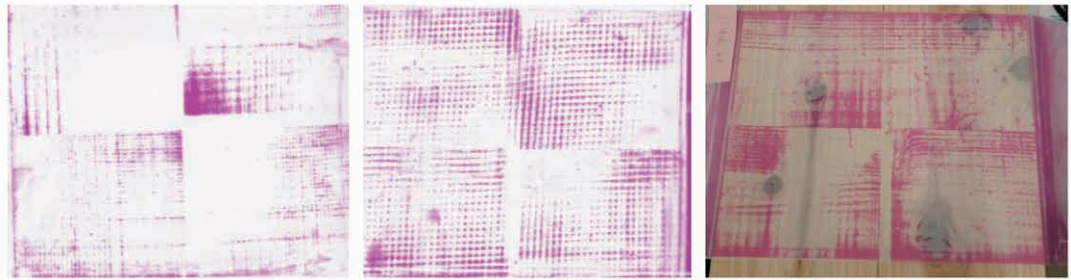


写真-17 圧力分布の様子 (左から通常 (平滑)、表面に凹凸あり、節あり)

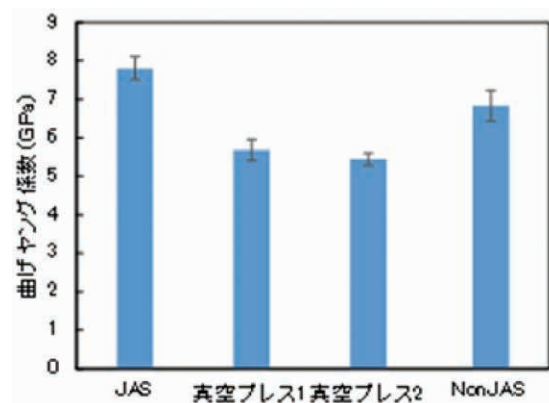


図-8 曲げヤング係数

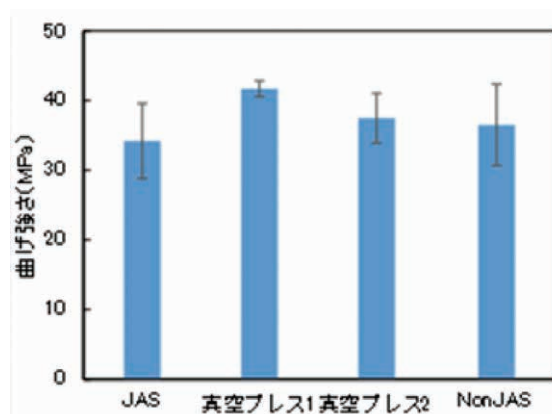


図-9 曲げ強さ

2-5 木釘や木ネジを用いた機械的接合CLTの検討

木釘釘結CLTの曲げヤング係数はJASの1/10程度であったが、たわみを許容する特徴があると言える。曲げ強さはJASの1/3程度であった。また曲げ強さの下限値は10.6 MPaであった。

木ネジの簡易圧縮CLTについては、曲げヤング係数および曲げ強さはJASの7割程度であった。ただし使用したラミナの反りや曲がりが大きかったため、木ネジ圧縮中でも最大で2 mm程度の隙間が生じた箇所もあり、また塗布した接着剤が圧縮不足で十分にラミナ全体に拡がらなかったことが強度性能に与えた影響は小さくないと考えられ、継続検討が必要である。圧縮圧力については2-4と同様に、凹凸の影響により全面に均一に圧力は掛かっていなかった。PURを用いたにも関わらず不均一になったのは、ラミナの反りやねじれを点で押さえる木ネジでは矯正できなかったためと考えられる。

2-6 JAS規格外ラミナを用いたCLTの製造試験

天然乾燥している随を含むラミナの中から無作為に抽出し、全乾法により含水率を算出した。その結果、ラミナの含水率は16~21 %程度の範囲に収まっており、土木用CLTとして使用には問題がないことが分かった。

ヒノキ小径木の直材からラミナを製材したので、製材したラミナには大きな曲がりや反りはみられなかった。そのため、幅方向の仕上げ工程を省略しても、CLTの隣り合うラミナの隙間は2~3 mm程度と大きくなかった（最大約8 mm）。この隙間は、外層の断面欠損となり強度低下の懸念はあるが、この程度であれば大きな問題はないと思われた。

丸身ラミナは、工場での製造時に、ラインに並べると散ける場合があること、また持ち上げるときにバキュームに吸い付かない場合があることなど、留意すべき事項があるが、製造自体には大きな問題はなかった。

曲げ強さは、No.1が約37 N/mm²、No.2は約40 N/mm²であった。また、すべて天然乾燥のヒノキのみで製造したNo.3の曲げ強さは約55 N/mm²であった。破壊形態については、No.1およびNo.2が1体を除きせん断破壊したのに対し、No.3はすべて曲げ破壊した。これは内層にスギを用いたNo.1とNo.2ではヒノキに比べて強度が低いスギでローリングシア破壊が生じたためと考えられる。

疲労試験の結果を図-10に示す。めり込み変形を除いた最大荷重時と最小荷重時の中央たわみの差はほとんど変化がないことから、10万回の繰り返し荷重に対して耐荷性能の低下は認められないと言える。

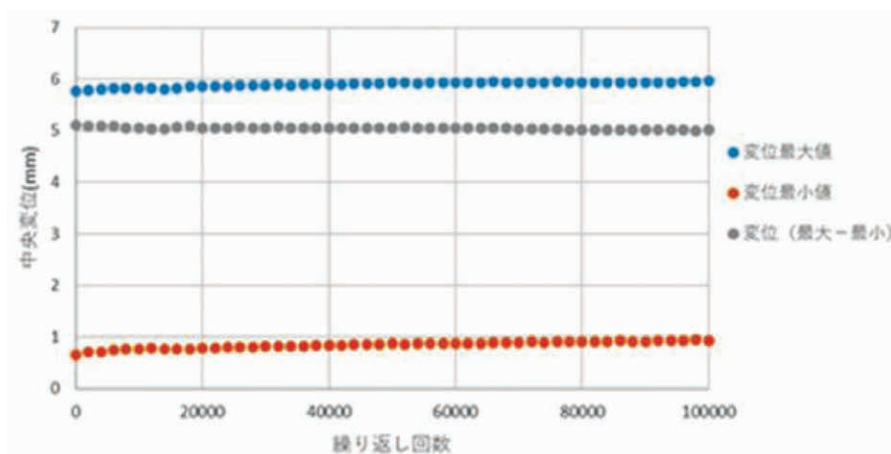


図-10 疲労試験の中央変位の変化 (No.3)

3. CLTの土木利用技術の開発

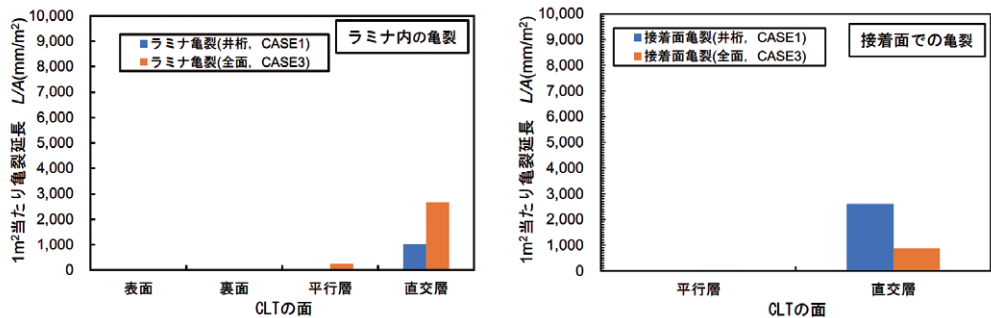
3-1 CLTを用いた軟弱地盤対策の検証

(1) 水平地盤補強

軟弱地盤上に敷設し、1.5mの盛土による上載圧下で約2年経過したCLTを掘り出し調査を行い、以下の点が明らかになった。

- ・腐朽や蟻害などの生物劣化は認められない。
- ・CLTの表面と裏面には亀裂はほとんど認められない(図-11)。
- ・側面には亀裂や剥離が確認され、特に直交層に多く確認された(図-11)。
- ・掘り出したCLTの断面形状から、強軸方向と弱軸方向で異なった膨張が確認され、これによりCLT内には内部応力の発生が考えられる。強軸方向のCLTに両面から拘束されているラミナでは、亀裂や剥離はあまり生じないが、直交層の弱軸方向の片面が接着により拘束され、反対側が解放されているラミナでは亀裂が多数確認された(図-12)。
- ・さらに、弱軸方向のラミナに亀裂が生じない場合は、強軸方向のラミナに亀裂が発生すること確認された(図-12)。
- ・掘り出したCLTの曲げ試験より、ヤング率も曲げ強さもCLTの適合基準値以上であり、剛性や強度の低下は認められない(図-13)。

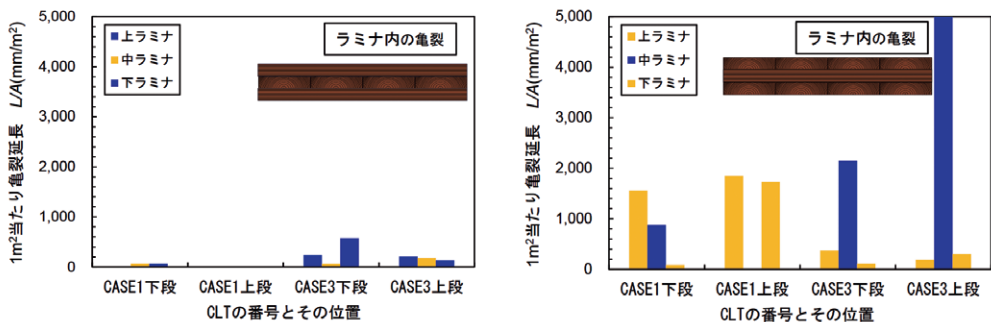
以上より、実験の限りでは、少なくとも数年というオーダーでは軟弱地盤対策の材料としてCLTを十分使用可能であるが、将来的に不安を残すCLTに亀裂を生じさせないようにするには、生材を用いて湿潤による膨張を減らす、内部応力を解放できるように接着剤を用いず面的な接合を避け物理的な接合を考えるなどの工夫も考える必要がある。このような工夫は、CLT制作時の省エネ化やコスト低減にも繋がるのが期待できる。今後、基礎試験結果や評価分析の結果と合わせて検討していく。



(a) ラミナ内1m²当りに生じた亀裂

(b) 接着層1m²当りに生じた剥離

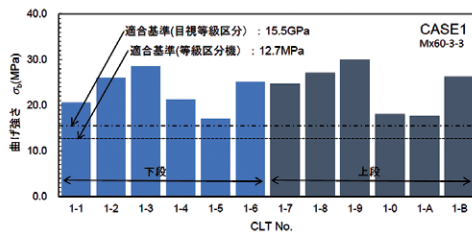
図-11 水平地盤補強に使用したCLTに生じた亀裂と剥離



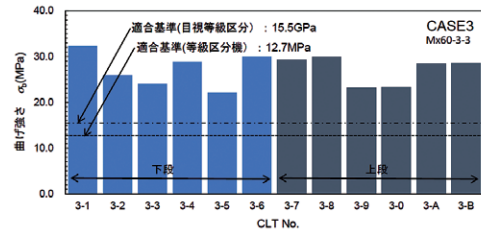
(a) 平行層1m²当りに生じた亀裂

(b) 直交層1m²当りに生じた亀裂

図-12 水平地盤補強に使用したラミナ内の各位置における亀裂の発生



(a)CASE1



(b)CASE3

図-13 水平地盤補強に使用したCLTの曲げ強さ

(2) 鉛直地盤補強

- 全5パターンにおいて、浮き上がり防止治具を設置することで、CLT圧入による施工が可能であることを確認した。
- 貧配合スラリーの場合、施工完了2時間で、浮き上がり防止治具を撤去することができた（写真-18a）。水和反応により、原地盤の強度を回復し、地盤の抵抗力により、CLTが浮き上がらなかったと考えられる。
- 一方で、水掘りの場合、施工完了5時間後ではCLT材が浮き上がり、5日後では浮き上がり防止治具を撤去することができた（写真-18b）。セメントを添加しなかったため、原地盤の強度がある程度回復し、時間が経過するにつれて掘削時の流動性が低減したため、CLTが浮き上がらなかったと考えられる。



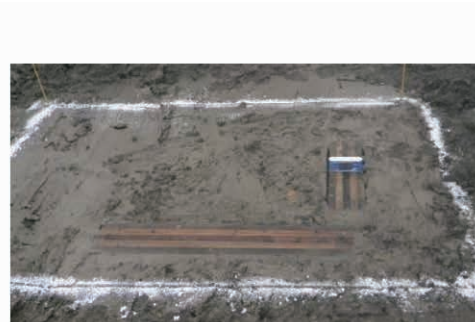
(a) セメント固化材使用 (パターン②)



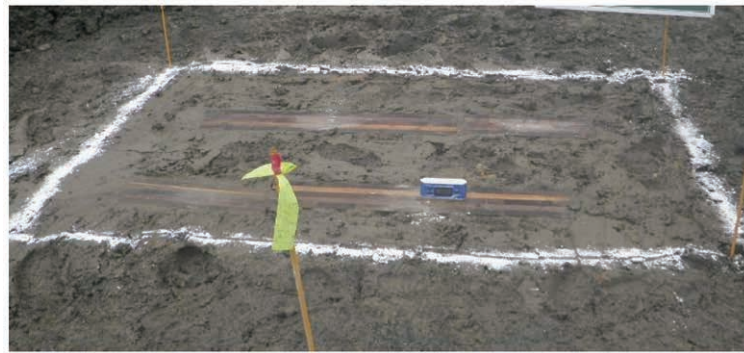
(b) 水掘り (パターン①)



(c) セメント固化材使用 (パターン③)



(d) セメント固化材使用 (パターン④)



(e) セメント固化材使用 (パターン⑤)

写真-18 鉛直補強で施工した後のCLTの状況

3-2 CLT 敷板の開発

(1) 施工性・使用感の把握結果

実証試験現場とCLT敷板の概要、敷設枚数等について整理する。

1) 土木工事現場の車両待機所【小樽市】(スギ・ヒノキ混合、18枚)

トンネル工事現場から発生した土砂を搬出するダンプの一時待機所の地盤保護のため、敷設された敷鉄板の一部にCLT敷板を敷設した(写真-19a)。

本実証現場では、CLT敷板(スギ・ヒノキ混合で強度等級区分なし)と敷鉄板を併用しており、各敷板の規格サイズが異なることから、レベルや境目を調整するための採石の敷き込みやスペーサーの挿入などの作業が必要であった。また、JAS製品よりも安価な強度等級区分のないCLTを使用したことによる施工性の違いは見られなかったことから、製品単価を減額することが可能となる。

2) 発電施設の建築工事現場【土別市】(スギ、転用1回目、25枚)

発電施設の建築工事現場の地盤保護のために敷設した(写真-19b)。本実証現場で使用したCLT敷板は、昨年度に河川工事現場で使用したもので、転用回数1回目(2回目の使用)であったが、敷設作業や使用する上での支障はなかった。

3) チップ保管庫の作業ヤード【厚真町】(カラマツ、転用1回目、10枚)

熱電供給システム(CHP)にチップを供給するための保管庫にトラックから降ろしたチップをホイールローダによって搬入するためのヤードに敷設した(写真-19c)。本実証現場で使用したCLT敷板は、昨年度に林道工事現場で使用したCLT敷板(カラマツ)を転用(2回目の使用)したものであったが、敷設作業や使用する上での支障はなかった。



(a)

(b)

(c)

写真-19 敷設後の利用状況・敷設後の様子

(2) 施工性・耐久性向上策の検討

1) 敷設時の吊上金物

施工性向上策として、昨年度開発したCLT敷板を掴むアタッチメントは、敷設現場に重機（グラブプル）が必要であったため、より汎用的なバックホーやユニック車による作業を可能とする“吊上金物”を開発した（写真-20）。敷設作業の工程にCLT敷板に吊上金物を取り付ける作業が追加されるが、全体の工程に大きな影響はなく、施工性の問題はなかった。



写真-20 吊上金物

2) 敷設後のズレ止め接合具・端部保護フレーム

敷設後にCLT敷板のズレや移動が生じないように、スリングベルトを用いた接合具を試作した（写真-21）。また、これまでの実証試験結果から、CLT敷板の端部（コーナー部分）の破損が顕著であったことから、端部を保護するために溶融亜鉛メッキを施したL型鋼によりCLT敷板の周囲を保護するフレームを試作した（写真-22）。

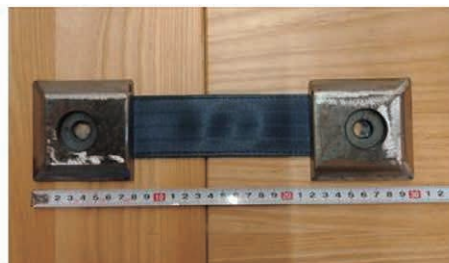


写真-21 吊上金物とワイヤーによる敷設作業とCLT敷板のズレ止め接合具



写真-22 端部保護フレーム

(3) 曲げ強度試験

CLT敷板の転用やリサイクルのタイミングの判断基準を設定するため、曲げ強度試験によって使用後のCLT敷板の曲げ強さやたわみ量を把握した（写真-23）。



写真-23 曲げ強度試験の様子

(4) トレーサビリティシステムの実証

RFIDタグをCLT敷板へ取付け（写真-24）、敷設時や回収時にRFIDリーダー（写真-25）でタグを読み取り、各種情報（製造者、製造日、使用開始日、終了日、使用者、使用場所など）をPCへ入力することで、CLT敷板の使用履歴を把握することが可能なトレーサビリティシステムを構築した。

(5) 温湿度測定

実証試験を実施している発電施設の建築工事現場において、CLT敷板と敷鉄板の表面から0.3mと1.5mの高さの温湿度を測定した（写真-26）。温度はCLT敷板の方が1～2℃程度低く、湿度はCLT敷板の方が2～3%程度高かった。

(6) 腐朽度の把握

CLT敷板の腐朽度を把握するため、未使用と敷設済みのCLT敷板をピロディンによって測定した（写真-27）。



写真-24 CLT敷板へ取付けたRFIDタグ



写真-25 RFIDリーダー



写真-26 温湿度測定



写真-27 腐朽度測定

3-3 CLTプラットフォームの開発

(1) モデルプラットフォームの製作

モデルプラットフォームの製作後、表面変状については、素地区画において約1か月程度で灰色化が進行することが確認できた。一方、その他の区画では、現時点では目立った変状・変形・反りは確認されていない。

滑り抵抗については、いずれもC.S.R（滑り抵抗係数）推奨値0.4以上であることを確認した（表-5）。

(2) 载荷試験（曲げ強さ・たわみ量等）

载荷試験の結果、曲げ強さとたわみ量ともに、安全側で問題ないことを確認した（図-14）。

ボルト固定については、ほとんど影響が生じないことを確認した。従って、ボルト固定について

は、上部歩行時等のずれ止め防止程度として取り扱うことが可能と考えている。

表-5 滑り性試験結果表 (C.S.R値)

表面の状態	区画①	区画②	区画③	区画④
清掃	0.833	0.783	0.797	0.882
水+ダスト散布	0.568	0.546	0.515	0.625

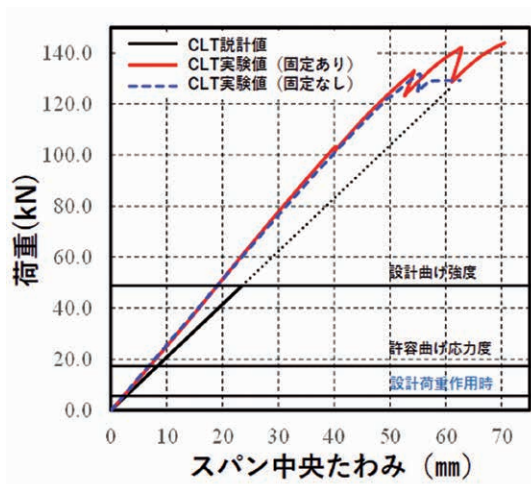


図-14 載荷試験による荷重変位曲線

3-4 CLT防雪柵の開発

(1) 風洞実験

可視化実験では、視程障害発生の防止ができ、鋼製防雪柵と同等以上の結果が確認された。PIV解析では、鋼製防雪柵にて吹き上げの終端部から巻き込むような流れが確認されたが、CLT防雪柵には見受けられなかった。堆積実験では、防雪柵を設けない場合と比較して道路上への吹き溜まりの発生が確認されないため両防雪柵とも効果に大きな差が無いことを確認した (写真-28)。

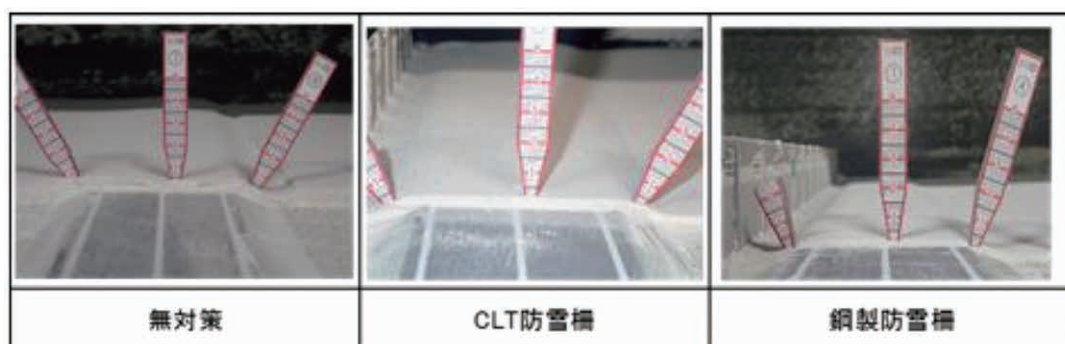


写真-28 堆積実験結果

(2) CLT防雪柵の公道施工

風洞実験の結果を踏まえて、2023年12月に延長60m、20スパンのCLT防雪柵を北海道中標津町の公道へ設置した。

3-5 開発成果の公开发表

CLT敷板については、国土交通省の「新技術情報システム」に「CLT mat」として登録した（登録番号：HK-230014-A）。その他学会、展示会の発表概要を表6にまとめた。

表-6 对外発表の概要

分類	日時	名称	発表内容
学会発表	2023年9月14日	土木学会全国大会	「リサイクル型」CLT敷板の土木工事現場における敷設
展示会	2023年11月9日～10日	ハイウェイトテクノフェア2023	CLT防雪柵
	2024年1月10～11日	2024ふゆトピア・フェアin北広島	
	2023年11月8日～10日	鉄道技術展2023	CLTプラットフォーム

今後の課題・展開等

1. 土木分野におけるCLTの耐久性能の検証

本年度は、各種条件での2年間暴露後の結果を得た。前年度には顕著ではなかった生物劣化が観察される等、新たな現象を捉えることができた。また、力学的性能の一つである圧縮強度および圧縮ヤング係数は暴露期間が長くなるに従って低下したが、その傾向には地域差が認められた。今後さらに暴露することにより、本年度得られた結果が定常的なものか否かについて確認する必要がある。

2. 土木用CLTの開発

令和3年度から本年度までの土木用CLTの開発検討で、建築用と比較してより多くの原材料が使用できること、製造歩留りの向上や製造工程全体の電力使用量の削減が可能であること、実際のCLT工場の製造ラインでの製造が可能であることが確認された。

また、コストスタディでは、これまで検討した土木用CLTの製造方法について、最新の製造歩留まりや製造原価を反映した試算を行い、11種類のコスト削減効果を示した。

本事業で並行して技術開発を進めている各土木利用技術について、それぞれの要求性能を定量的に評価し、その適用可能性等を検討し、適用可能な利用技術に関しては、適用する土木用CLTを用いた実証実験を行い、土木用CLTの早期実装化について検証したい。

3. CLTの土木利用技術の開発

3-1 CLTを用いた軟弱地盤対策の検証

(1) 水平地盤補強

少なくとも2年程度の短期間であれば、CLT自体は軟弱地盤対策の材料として使用可能であることが検証された。ただし、CLT内に湿潤による内部応力の発生が考えられ、今後基礎試験結果や環境評価結果と連携した検討と対策が必要である。盛土下にCLTを設置することによる安定性の強化などの力学的な特性は、さらなる検討が必要であり、用途が類似する敷板開発との連携も必要と考える。

(2) 鉛直地盤補強

鉛直地盤補強は、施工の実施可能性を確認した。今後さらに、載荷試験による鉛直補強効果の数値化、数値解析や実験による地震や大雨時の影響の検討、合理的な施工方法への改良（圧入中の安全なCLT固定方法、位置調整方法、浮き上がり防止方法等）、CLTの配置方法の検討などが必要である。

3-2 CLT敷板の開発

設置現場での使用を継続し、目視による使用感確認、撤去作業方法検討、接合具・端部保護フレームの機能確認、ピロディン試験による腐朽度確認などを行う。

その上で使用後のCLT敷板の曲げ強度試験による実測値を測定し、使用前の強度理論値と比較し、現場で簡便に転用回数の限界を推定する方法を検討する。

トレーサビリティシステムについては、システム構成、機能、インターフェイス等を検討する。

また、事業への展開を視野に入れた体制整備、土木現場や屋外イベントなどでの試行リリースについても検討を行う。

3-3 CLTプラットフォームの開発

2023年度に設置したモデルプラットフォームの暴露試験の継続調査を進め、プラットフォームの設計検討に必要な曲げ強さ・たわみ量等に関して、既存の指針に代わる最適な設計法を検討する。また、鉄道会社と協働して、鉄道駅へのCLTプラットフォーム設置を計画する。

3-4 CLT防雪柵の開発

北海道中標津町公道に試験設置したCLT防雪柵について耐候性などの試験を継続すると共に、防雪柵のCLT固定方法などの施工方法や、景観性を向上させるためのCLT表面塗装手順について改良を進める。

3-5 開発成果の公開発表

今後は、これまでの成果、あるいは今後進めていく課題への検証等を進め、得られた成果を広く社会に公開・還元し、早期の実装化を担う事業者の発掘・育成が重要になる。そこで、敷板・防雪柵・プラットフォームそれぞれについて、国内外の展示会等の場を利用して積極的にPR活動を推進する。

アカマツ大径材を活用した構造部材の 製造技術及び強度特性の検証

● 実施団体 ●

けせんプレカット事業協同組合

〒029-2311 岩手県気仙郡住田町世田米字田谷 27-2

事業目的

大径化の進むアカマツを安定供給及び強度特性の両面において合理的な構造部材として活用するため、アカマツの資源量と材質を考慮して強度等級区分に関する欠点や変形を低減させる製材・乾燥方法を検討すると共に、その方法で製造した製品の強度特性を検討し、アカマツを構造部材として需要拡大するために必要な製品の品質を検証する。

実施した項目

1. 事業検討委員会の開催

有識者及び実務者による事業検討委員会は年3回を目途として開催し、本事業の全体計画並びに進捗状況を議論すると共に、調査・試験方法等について、本事業の具体的な実施内容を検討した。

2. 調査及び試験

(1) 資源量及び材質調査

アカマツの資源量の精査、丸太状態での材質調査を東北地方の素材生産団体の協力を得ながら実施した。

(2) 製造技術の検証試験

径級、ヤング係数が明らかなアカマツ丸太を対象に、木取り及び乾燥方法を検討するため、採材する材種として枠組壁工法構造用製材の寸法型式204及び206の2つの規定寸法を設定し、製材方法、乾燥方法の違いが強度等級区分に関する欠点や反り、曲がりなどの変形を低減させる効果を検証した。

(3) 強度特性試験

目視等級の決定因子、欠点の出現頻度、動的ヤング係数の測定などの非破壊評価を実施すると共に、曲げ、縦圧縮、縦引張り荷重による破壊試験を行い、強度特性の検討に必要なデータを収集した。

3. 強度特性検討部会の実施

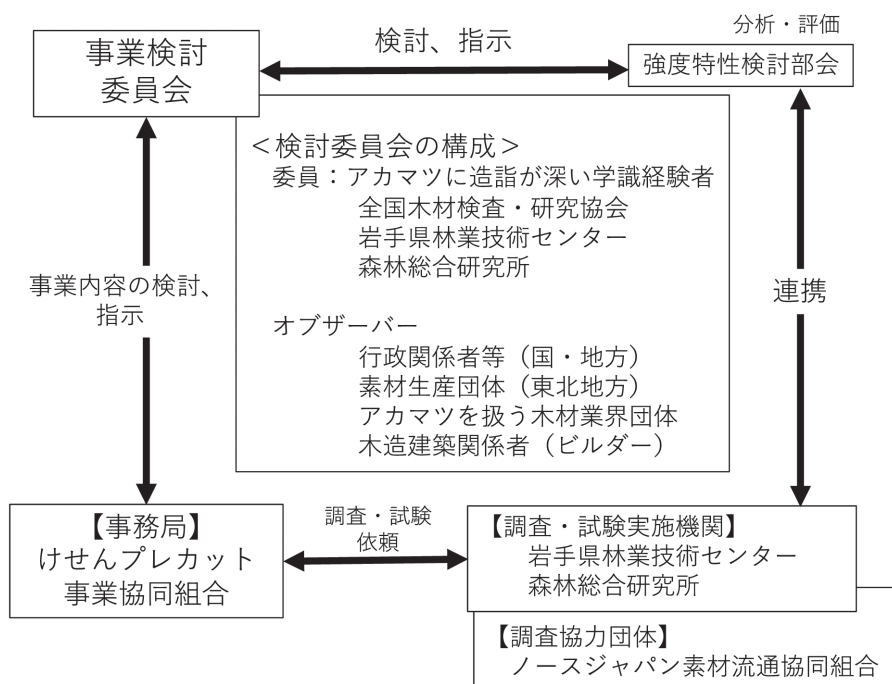
事業検討委員会の下に強度特性検討部会を設置し、調査・試験実施機関と連携しながら、強度特性に関する分析・評価を行なった。また、「2. (3) 強度特性試験」で実施困難あるいは追加検討が必要な強度試験を行なった。なお、検討部会の運営は、森林総合研究所に委託した。

4. 事業報告書の作成及び成果の普及

本事業の成果を報告書として取り纏めた。また、得られた成果は学・協会等を通じて公開すると共に、強度特性に関する部分は、日本農林規格の構造用製材に関する基準を検討するための基礎資料として関係機関に提供できるようにデータ整備をした。

実施体制

【実施体制】



【事業検討委員会】

委員長	山崎真理子（名古屋大学）
委員	井道 裕史（森林総合研究所）
委員	加藤 英雄（森林総合研究所）
委員	小島瑛里奈（森林総合研究所）
委員	山口 晃輔（岩手県林業技術センター）
委員	佐藤 雄一（全国木材検査・研究協会）
委員	泉田十太郎（けせんプレカット事業協同組合）
オブザーバー	高木 望（林野庁 木材産業課）
オブザーバー	立花 紀之（林野庁 木材産業課）
オブザーバー	川原 聡（農林水産省 食品製造課）
オブザーバー	田村 堯大（農林水産省 食品製造課）
オブザーバー	平原 章雄（木構造振興株式会社）
オブザーバー	貝守 昭弘（木構造振興株式会社）

実施した内容

1. 事業検討委員会の開催

第1回事業検討委員会は、2023年5月22日（月）にオンライン形式で開催し、事業の全体概要を委員に説明すると共に、資源量及び材質調査の実施方法と製造技術の検証試験の具体的内容を検討した。また、事務局が提案した事業の全体スケジュールを検討し、10月までは主に資源量及び材質調査と製造技術の検証試験に取り組むこととし、10月から強度特性試験を開始することにした。

第2回事業検討委員会は、2023年10月23日（月）にオンライン形式で開催し、事業の経過状況を確認すると共に、これまでに実施して得られた試験結果の概要として、5月に実施したアカマツ丸太の測定結果、製材試験及び乾燥試験の結果を検討した。また、過去に実施したアカマツ枠組材の強度データの収集状況を元に、本事業で実施する強度試験の項目と本数を検討した。

第3回事業検討委員会は、2024年1月11日（木）にオンライン形式で開催し、事業の経過状況のうち特に強度試験の結果を中心に検討すると共に、成果概要集の記載内容及び事業報告書の取り纏め方針

と具体的進め方を検討した。また、翌週の1月17日（水）に岩手県林業技術センターにおいて実施した曲げ及び縦引張り試験の破壊形態の確認を事業検討委員会の現地検討会として実施することにした。

2. 調査及び試験

(1) 資源量及び材質調査

a. 統計資料に基づく資源量調査

全国及び岩手県内を対象にアカマツの資源量を調査した。また、近年のアカマツの需要状況を整理した。

b. 材質調査

アカマツ丸太を対象に、素材のJASで規定する縦振動法によるヤング係数と音速によるヤング係数との関係を検討した。

(2) 製造技術の検証試験

枠組壁工法構造用部材の寸法型式204及び206を対象に、製材試験及び乾燥試験を実施した。製材試験については、径級が28cmから54cmの丸太を対象に、同一丸太から同一の寸法型式を採材することとし、歩留まりの違いを検証した。また、乾燥試験については、寸法型式204及び206とも、乾球最高温度90℃乾燥日数約5日で、乾燥過程で中間蒸煮するグループ（中間蒸煮あり）と中間蒸煮しないグループ（中間蒸煮なし）を設定し、その効果を検証した。

(3) 強度特性試験

強度特性検討部会（森林総合研究所に委託）と連携し、過去に行われたアカマツ枠組材の強度データを収集するとともに、寸法型式204の曲げ試験、縦圧縮試験、縦引張り試験を実施した。実施した試験体数は次の通り。

曲げ試験：323体、縦圧縮試験：772体、縦引張り試験：707体



写真1 材質調査でアカマツ丸太の音速を測定している様子

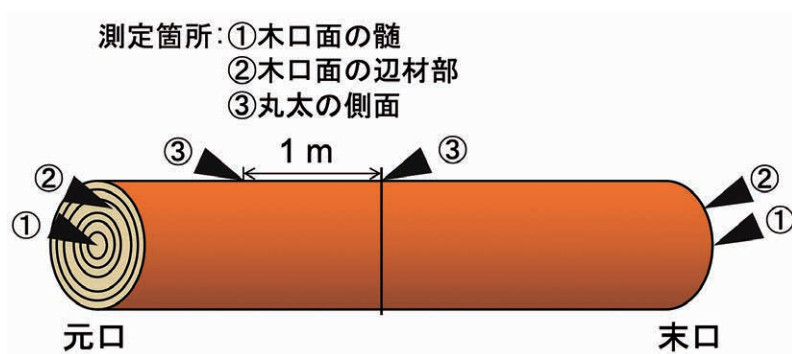


図1 アカマツ丸太の音速を測定した箇所



写真2 製材試験の様子



写真3 乾燥試験終了後の試験体

(ピンク：中間蒸煮あり、白ラベル：中間蒸煮なし、左列：204、右列：206)

2. (1)a 資源量調査

国内の人工林アカマツの資源量は、林野庁の統計資料によれば、20,047万 m^3 で国内の人工林スギの資源量に対して約1割程度だった。また、最も多いのは、岩手県の4,178万 m^3 で、次いで福島県の2,116万 m^3 、島根県の1,466万 m^3 であり、これ以外の都道府県では1,000万 m^3 未満だった。

次に、岩手県の令和4年におけるアカマツの素材生産量は22.7万 m^3 で、その内訳は製材用が1.9万 m^3 、合板用が14.0万 m^3 、木材チップ用が6.8万 m^3 であり、素材生産量に占める割合は合板が最も高く6割強だった。そのため、アカマツの構造材としての利用状況は、主に岩手県内の合板メーカーによる構造用合板であると考えられ、構造用材としての供給は極めて限定的であると言える。

2. (1)b 材質調査

アカマツの資源量が最も多い岩手県で採材したアカマツ丸太130本を対象に、素材のJASで規定する丸太のヤング係数（縦振動法によるヤング係数）を測定した結果、平均9.67kN/mm²（標準偏差1.30kN/mm²）だった。また、はい積み状態の丸太80本を対象に丸太のヤング係数推定を検討した結果、2次の固有振動数を用いれば、素材のJASで規定する丸太のヤング係数を評価しやすいことが分かった。一方、音速で素材のJASで規定する丸太のヤング係数を推定するには、今回検討したセンサの配置方法では難しいことが分かった。なお、得られた成果の一部は、日本木材加工技術協会第41回年次大会（福岡）で、「はい積み時におけるアカマツ丸太のヤング係数評価」と題して発表した。

2. (2) 製造技術の検証

製材試験において、1本の丸太から同一寸法の寸法型式を採材した場合、寸法型式204より206の方が歩留まりは良かった。この理由として、寸法型式204では背板部分からの同一寸法の寸法型式を採材すると、採材できない部分が多く発生するため、この対策としては、別の材種を採材すれば可能であることが改めて確認できた。

乾燥試験において、反りや曲がりの変形について、中間蒸煮をしたグループの方が、枠組壁工法構造用製材のJASの甲種2級の基準値を満足する割合は高く、その傾向は寸法型式204の反りで顕著だった。また、中間蒸煮が強度特性に影響しないことが確認できた。

2. (3) 強度試験

過去に実施したアカマツ枠組材の強度試験のデータ収集を行なった結果、長野県林業総合センターが実施したものと大東建託（株）が実施したものがあり、いずれも試験体1体ごとの個別データとして収集することができた。

次に、収集した強度データの内訳を元に、本事業で実施する強度試験の項目と本数を検討した結果、曲げ試験、縦圧縮試験、縦引張り試験を実施することとし、森林総合研究所では、772体の縦圧縮試験と386体の縦引張り試験、岩手県林業技術センターでは、曲げ試験と縦引張り試験をそれぞれ200体実施することにした。また、強度試験する試験体を対象に目視等級の欠点因子、欠点の出現頻度、動的ヤング係数の測定を合わせて実施した。

収集した強度データ、製造試験の検証に用いた試験体の強度データ、本事業で実施した強度データは、強度特性値ごとにプールし、基本統計量を算出した結果、アカマツの寸法型式204の見かけの曲げヤング係数の試験体数は492体でその平均値は、9.32kN/mm²、標準偏差は2.18kN/mm²だった。また、今回本事業で得られたアカマツの寸法型式204の曲げ強さの試験体数は323体でその平均値は、43.9N/mm²、標準偏差は19.2N/mm²、縦圧縮強さの試験体数は772体でその平均値は、35.5N/mm²、標準偏差は9.7N/mm²、縦引張り強さの試験体数は707体でその平均値は、26.0N/mm²、標準偏差は14.1N/mm²だった。なお、大径材から寸法型式204を採材した時の強度低下に特に影響する節の欠点としては、柁目板の狭い面を貫通する節であり、実際の品質管理ではこれを見逃さないようにする必要あると考えられる。また、アカマツから寸法型式204を採材した時に強度特性値が低い傾向を示した材の節の欠点は、心持ち材の輪生節の部分であり、これを如何に低減するか

が実際の製造で検討することが重要であると考えられる。

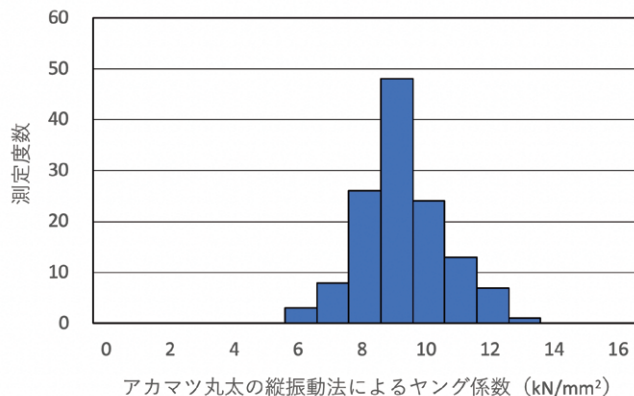


図2 アカマツ丸太の縦振動法によるヤング係数のヒストグラム (n=130)
(平均値: 9.67kN/mm²、標準偏差: 1.30kN/mm²)

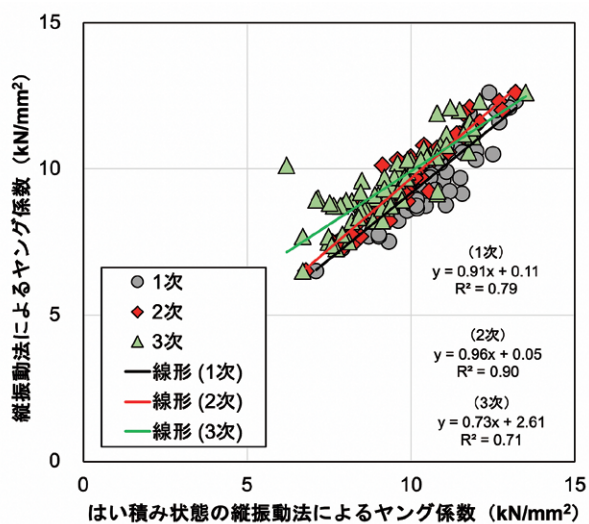


図3 はい積み状態の縦振動法によるヤング係数と素材のJASで規定する方法で測定した縦振動法によるヤング係数との関係 (n=80)

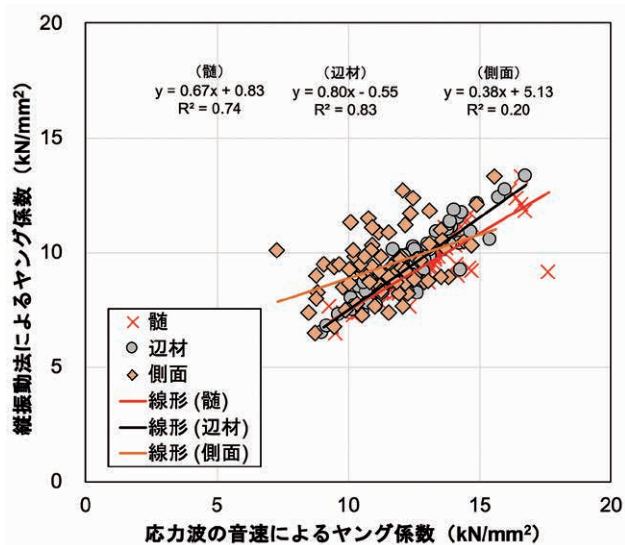


図4 応力波の音速によるヤング係数と素材のJASで規定する方法で測定した縦振動法によるヤング係数との関係 (n=80)

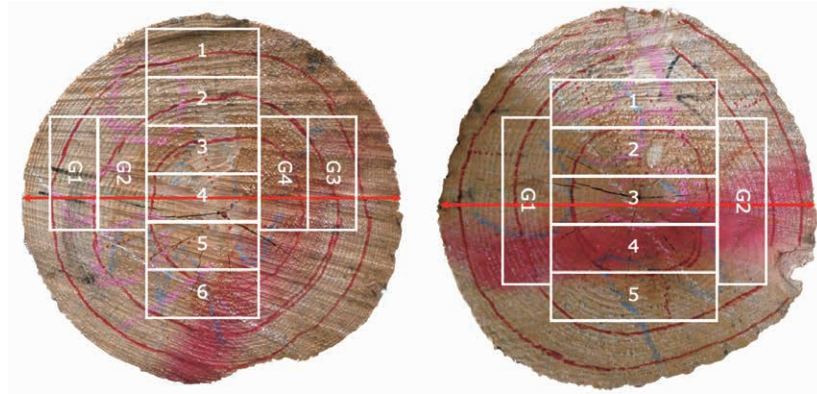


図5 同一の末口径での検討した採材パターンの例（末口径34cmの場合）
左：寸法型式204、右：寸法型式206

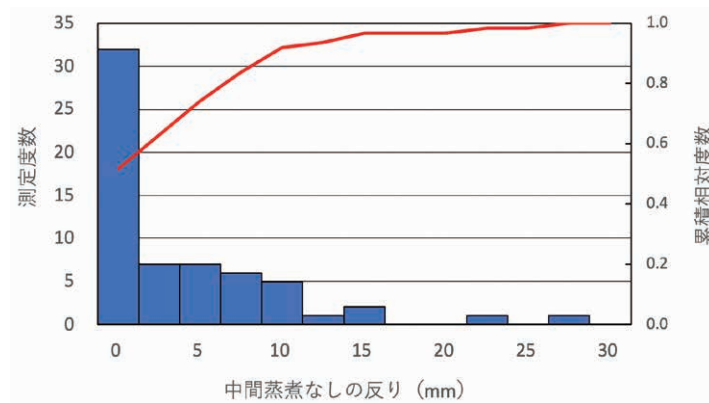
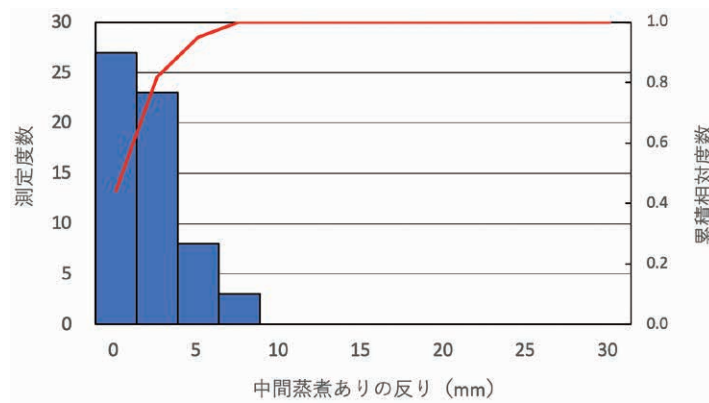


図6 乾燥試験した寸法型式204の反りのヒストグラム
（上：中間蒸煮あり、下：中間蒸煮なし）

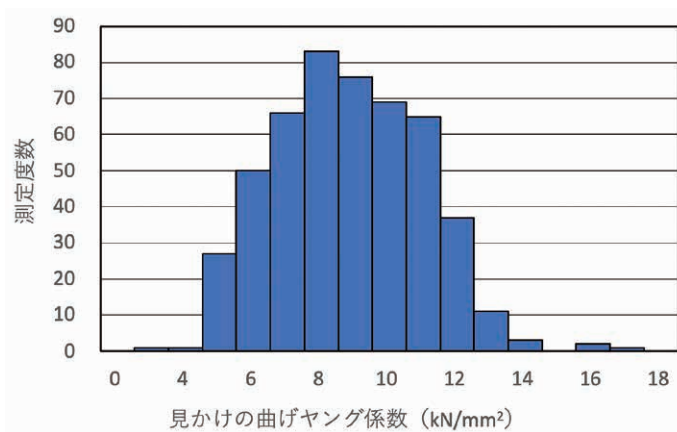


図7 アカマツ204の見かけの曲げヤング係数のヒストグラム (n=492)
(平均値：9.32kN/mm²、標準偏差：2.18kN/mm²)

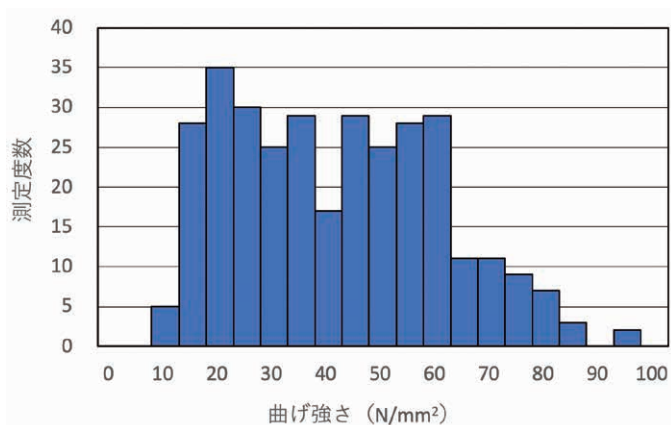


図8 今回得られたアカマツ204の曲げ強さのヒストグラム (n=323)
(平均値：43.9N/mm²、標準偏差：19.2N/mm²)

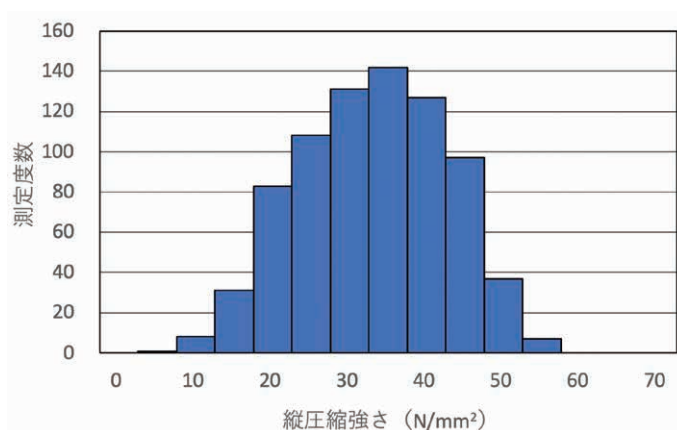


図9 今回得られたアカマツ204の縦圧縮強さのヒストグラム (n=772)
(平均値：35.5N/mm²、標準偏差：9.7N/mm²)

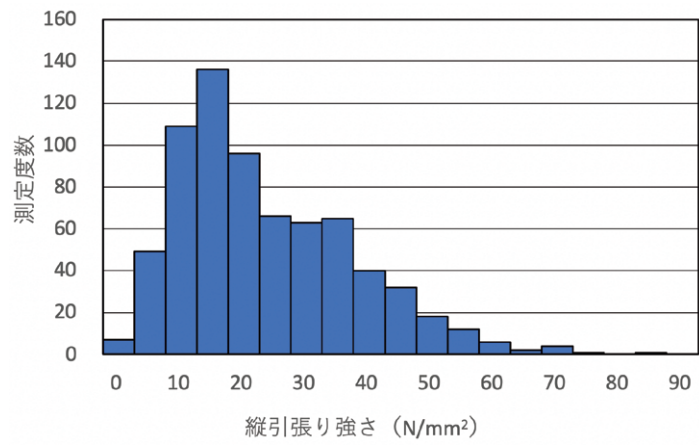


図 10 今回得られたアカマツ 204 の縦引張り強さのヒストグラム (n=707)
 (平均値：26.0N/mm²、標準偏差：14.1kN/mm²)



写真 4 柁目板の引張り破壊に関与した狭い面を貫通する節

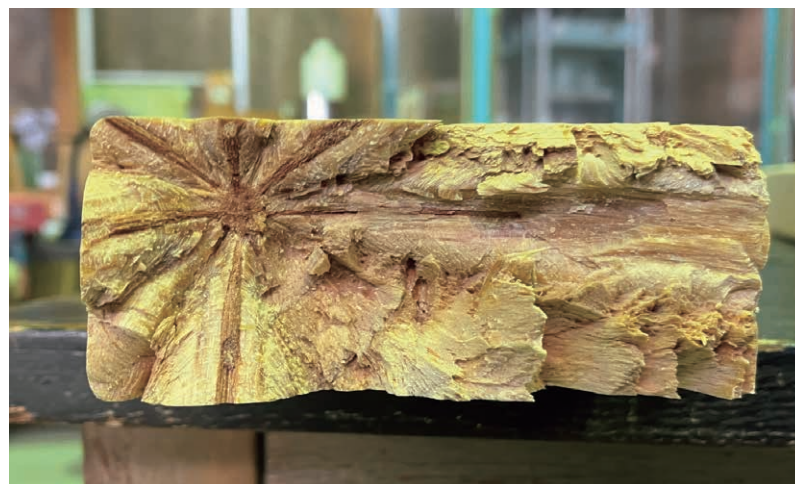


写真 5 アカマツの引張り破壊に関与した心持ち材の輪生節

今後の 課題・展開 等

アカマツ大径材を活用した構造部材としての今後の課題は、標準的なスギのヤング係数では対応が困難とされる現行の枠組壁工法の横架材として利用可能な寸法型式210のような幅広板の製造技術及び強度特性の検証が必要である。また、丸太を供給する素材生産側とそれを加工する木材産業並びに加工した製品を購入する実需者との情報共有を図り、丸太の価格を最大化できる連携体制を構築できるような展開に発展させる必要がある。

アカマツ大径材を活用した構造部材の製造技術及び強度特性の検証

難燃薬剤処理木材の屋外での需要拡大を図るための 屋外耐久性向上技術および難燃性能の統合的継続評価と相関性の確認

● 実施団体 ●

公益社団法人 日本木材保存協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門4-2-5 第3松坂ビル8階

事業目的

木質材料の需要拡大には、非住宅建築物や外構材への利用拡大を図ることが必須である。それには類焼や上階延焼などが生じぬよう配慮が必要であり、難燃処理木材の使用はその主要な解決法となる。ただし、その難燃処理木材は屋外で長期間使用しても一定以上の難燃性能が維持されなければならない。このような屋外使用による性能低下を短期間で検証する方法として、これまでにJIS A 1326およびJIS A 1310による方法が確立されている。まずはこれによる製品評価体制の確立が一つの目標となるが、将来的にはより少量の試験体に対する促進劣化および燃焼試験にて適切に劣化後の防火性能を評価する方法を確立したい。

昨年度、小型の燃焼試験法として火炎伝播試験（ISO5658-2）等を見出したが、試験体数は少なく、試験体数を増やして、その相関性に間違いがないことを確認していく。また、これらでの試験結果と、実火災に近い状況での延焼性との関係性を整備していく必要があるため、今年度は小型の燃焼試験に加え建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310）による評価も実施する。これらにより、難燃薬剤処理木材の耐候性の評価手法を整備することで適切に性能を評価した実製品の流通に繋げ、外構材としての木材利用拡大を図ることを目的とする。

実施した項目

1. 難燃薬剤処理した木材の性能試験

以下の試験を実施して各種難燃薬剤処理した木材の性能を確認するとともに、燃焼試験種相互の関係性を検証した。

- 1) 促進劣化試験（JIS A 1326:2019）
- 2) 建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310:2019）
- 3) 火炎伝播試験（ISO5658-2）
- 4) 低発熱コーンカロリメーター試験（ISO/TS 5660-4）
- 5) 屋外暴露試験
- 6) 紫外線劣化を加味した促進劣化試験

2. 委員会および部会等の開催

【事業の協力体制】

令和3年度補正事業に続き、公益社団法人日本木材保存協会に事務局を置き、今村祐嗣氏を委員長とし、表1の参画者で事業委員会を形成し事業を推進した。また、同協会内に部会を組織し（表2）、本事業で実施する試験結果について検討し、委員会へ報告した。

実施体制

表1 事業参画者の一覧

	氏名	所属
委員長	今村 祐嗣	京都大学 名誉教授、公益社団法人日本木材保存協会 参事
委員(主査)	上川 大輔	国立研究開発法人 森林整備・研究機構 森林総合研究所
委員	鮫島 正浩	東京大学名誉教授、公益社団法人日本木材保存協会 参事
委員	藤井 義久	京都大学 名誉教授、公益社団法人日本木材保存協会 会長
委員	野口 貴文	東京大学
委員	吉岡 英樹	東京大学
委員	兼松 学	東京理科大学
委員	木口 実	日本大学
委員	毛利 嘉一	日本大学
委員	西尾 悠平	国立研究開発法人 建築研究所
委員	高瀬 棕	国立研究開発法人森林整備・研究機構森林総合研究所
委員	山本 幸一	国立研究開発法人森林整備・研究機構 森林総合研究所
委員	佐野 正洋	一般社団法人 電線総合技術センター
委員	早川 哲哉	(株)東京システムバック
委員	杉山 和正*	(株)プラセラム
委員	山口 秋生*	越井木材工業(株)
委員	内藤 俊介	越井木材工業(株)
委員	手塚 大介*	兼松サステック(株)
委員	五十嵐 盟*	兼松サステック(株)
委員	須貝 与志明*	(株)ガイエンス
委員	茂山 知己*	(株)ガイエンス
オブザーバー	高木 望	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室
事務局	片桐 芳男	公益社団法人 日本木材保存協会
	鈴木 昭	
	小林 理恵	

表2 難燃部会委員の構成

	氏名	所属
部会長	上川 大輔	国立研究開発法人森林整備・研究機構 森林総合研究所
委員	高瀬 棕	
委員	杉山 和正	(株)プラセラム
委員	山口 秋生	越井木材工業(株)
委員	道田 諒	(株)オーシカ
委員	大宮 喜文	東京理科大学
委員	福田 泰孝	一般財団法人 ベターリビング
委員	五十嵐 盟	兼松サステック(株)
委員	茂山 知己	(株)ガイエンス
事務局	片桐 芳男	公益社団法人日本木材保存協会
	鈴木 昭	
	小林 理恵	

【役割分担】

難燃薬剤処理試験体の作製は、委員会での仕様に基づき、(株)プラセラム、越井木材工業(株)、兼松サステック(株)、(株)ガイエンスで行った。

①難燃薬剤処理木材の屋外での経年的評価に関しては、促進劣化試験 (JISA1326:2019) は建材試験センター (委託試験)、屋外暴露試験は日本大学で試験を行った。②難燃性能の評価に関しては、火炎伝播試験 (ISO5658-2) は電線総合技術センター (委託試験)、低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4) は東京システムバック、燃えひろがり試験 (JISA1310:2019) は建築研究所で行った。

難燃薬剤処理試験体の仕様や試験結果の解析に関する検討及び結果の取り纏めは、事業推進委員会において行った。(図1)

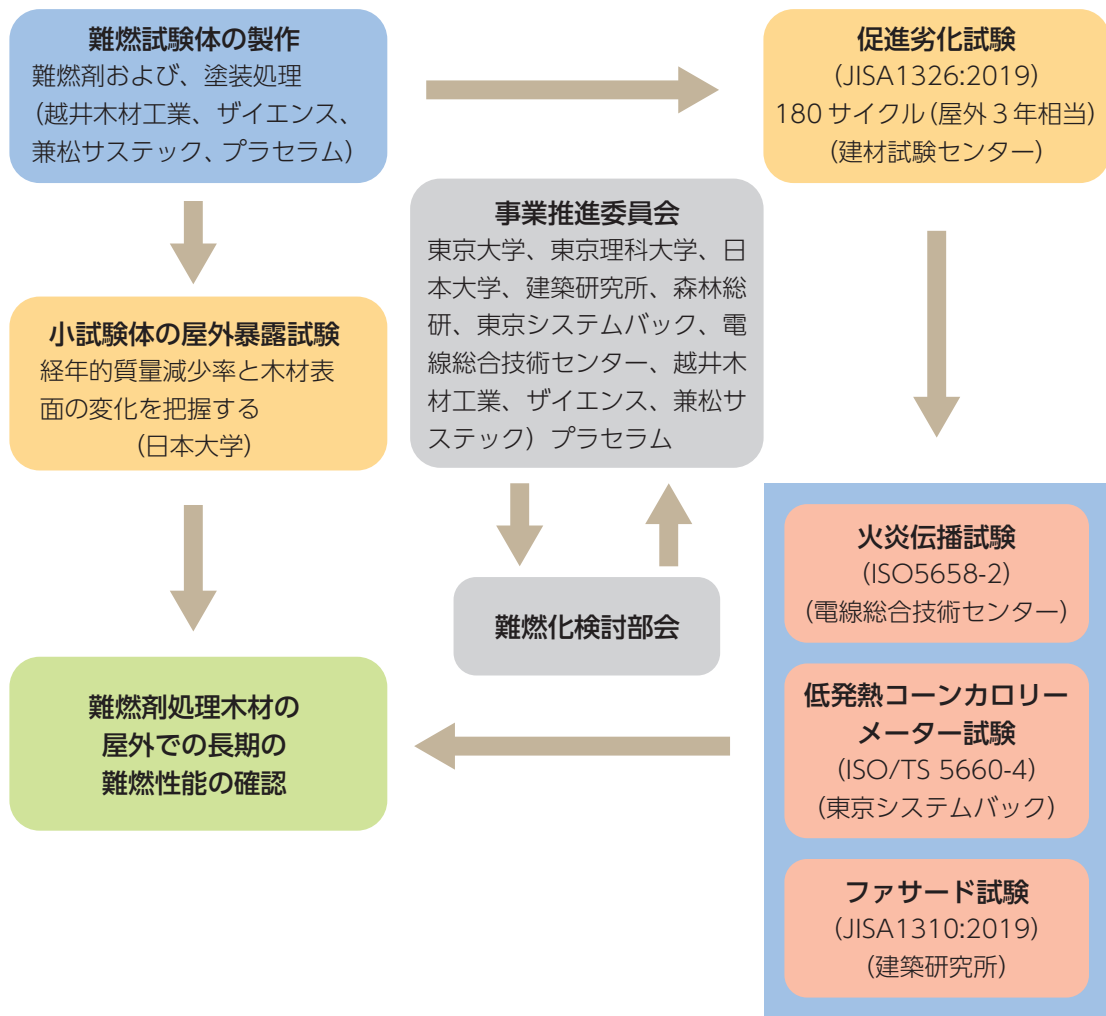


図1 事業の実施体制

実施した内容

- 第1回部会 (2023年5月8日、対面とオンライン会議)**
委員会に向け、事前に部会にて事業内容、方法、実施機関、時期等の概要を検討した。
- 第1回委員会 (2023年6月8日、対面とオンライン会議)**
事業の目的の確認および試験の実施内容、実施機関、時期、経費等の概要を決定した。
- 試験体作製に係る委員^(※)による打合せ (2023年6月15日 17:00～19:00 対面にて開催)** 各種試験に供する試験体の作製等を確認した。

4. 委員会幹部打合せ（2024年1月17日 10:00～12:00 オンラインにて開催）

事業成果の概要を確認した。

5. 第2回委員会（予定）（2024年2月8日、対面とオンライン会議）

事業の実施状況および各試験の結果を確認し、課題の抽出、今後の研究方針などについて討議する。事業報告書の作成に向け必要な作業を確認する。

6. 各種試験の実施

・促進劣化試験（JIS A 1326:²⁰¹⁹）

（一財）建材試験センター中央試験所にて、難燃処理した試験材料（1種）について促進劣化による薬剤溶脱状況の確認および各燃焼試験用の劣化後試験体の作製を目的に、JIS A 1326:²⁰¹⁹による促進劣化試験を実施した（実施期間8月28日～12月20日（2セット分））（写真1）。



写真1 促進劣化試験（JIS A 1326:²⁰¹⁹）

・紫外線劣化を加味した促進劣化試験

森林総合研究所にて、試験方法を検証するために難燃処理木材（4種）を対象に試験を開始した（10月～）。

・屋外暴露試験

日本大学にて、2020年度より屋外暴露試験に供していた試験体を回収し、重量等を計測。2021年度より開始していた屋外暴露のグループに1種追加した（10月）。

・建築ファサードの燃えひろがり試験（JIS A 1310:²⁰¹⁹）

（国研）建築研究所にて、促進劣化試験（JIS A 1326:²⁰¹⁹）後の難燃処理木材（2種）について、その燃えひろがり性状を確認するため実施した（12月20・21日）（写真2）。

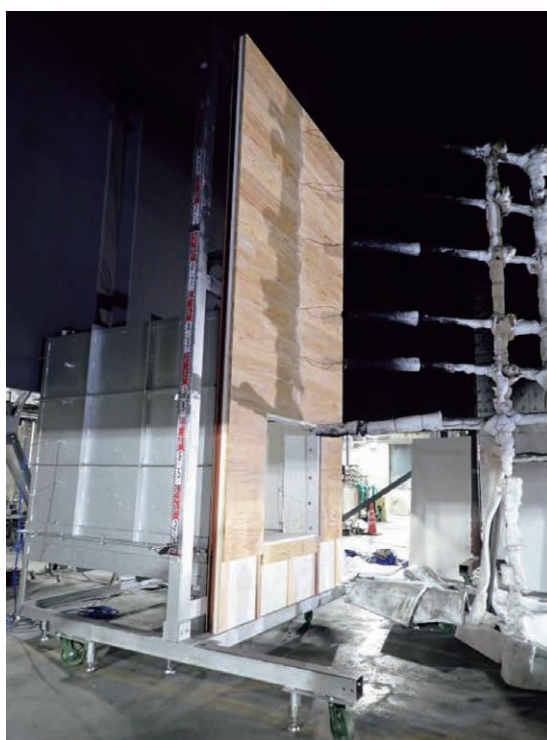


写真2 建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310:2019)

・火炎伝播試験 (ISO5658-2)

(一社) 電線総合技術センター (JECTEC) にて、促進劣化試験 (JIS A 1326:2019) 後の難燃処理木材 (3種) および低濃度難燃処理木材 (1種) について実施した (12月25日)。

・低発熱コーンカロリメーター試験 (ISO/TS 5660-4)

(株) 東京システムバックにて、促進劣化試験 (JIS A 1326:2019) 後の難燃処理木材 (1種) および低濃度難燃処理木材 (1種) について実施した (12月26日)。

表3 各試験での試験体仕様

試験	No.	薬剤	塗装	備考
促進劣化 (JIS A 1326)	I	ホウ酸・リン酸アンモニウム系	造膜型ウレタン系	
	II	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	
ファサード試験 (JIS A 1310)	I'	ホウ酸・リン酸アンモニウム系	造膜型ウレタン系	促進劣化後
	II'	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	促進劣化後
火炎伝播試験	I'-V	ホウ酸・リン酸アンモニウム系	造膜型ウレタン系	縦張り、促進劣化後
	II'-V	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	縦張り、促進劣化後
	II'-H	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	横張り、促進劣化後
	III-V	リン酸アミノ系	オイルステイン系	縦張り、低濃度薬剤注入
低発熱コーンカロリメーター 試験	II'	リン・窒素系	造膜型ウレタン系	促進劣化後
	III	リン酸アミノ系	オイルステイン系	低濃度薬剤注入

基材はいずれもスギ (上小節)。NO.のダッシュ付きは、付いていないものの促進劣化後を示す。

実施した結果

- 促進劣化試験 (JIS A 1326:2019) を実施し、ファサード試験に供する劣化後試験体を作製するとともに、促進劣化前後の材内薬剤量の減少量を計測した。その結果、試験体 I については重量減少率 7.8%、試験体 II については 5.4% 程度であった。
- 上記 JIS A 1326:2019 にて促進劣化させた 2 試験体について、建築ファサードの燃えひろがり試験 (JIS A 1310:2019) を実施し、燃焼性状を明らかにした。開口上部 2,000mm での最高温度は I' で 337℃、II' で 360℃ であり、いずれの劣化後試験体も、無処理の木材外装 (同 568℃) と比較して十分に燃焼性が抑制されていることが分かった (図 2,3,4)。

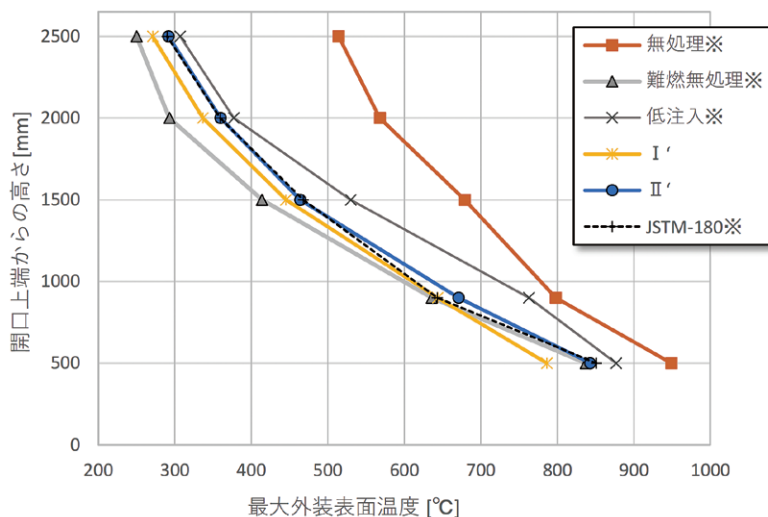


図 2 ファサード試験結果 仕様ごとの最大外装表面温度分布

注) 凡例の※付きのデータは、文献 (中村ら、建築学会技報 25(60)、2019.06 のデータ、リン酸アミノ樹脂系 (難燃処理※: 164kg/m³、低注入: 51kg/m³、JSTM-180: 102kg/m³) のもの

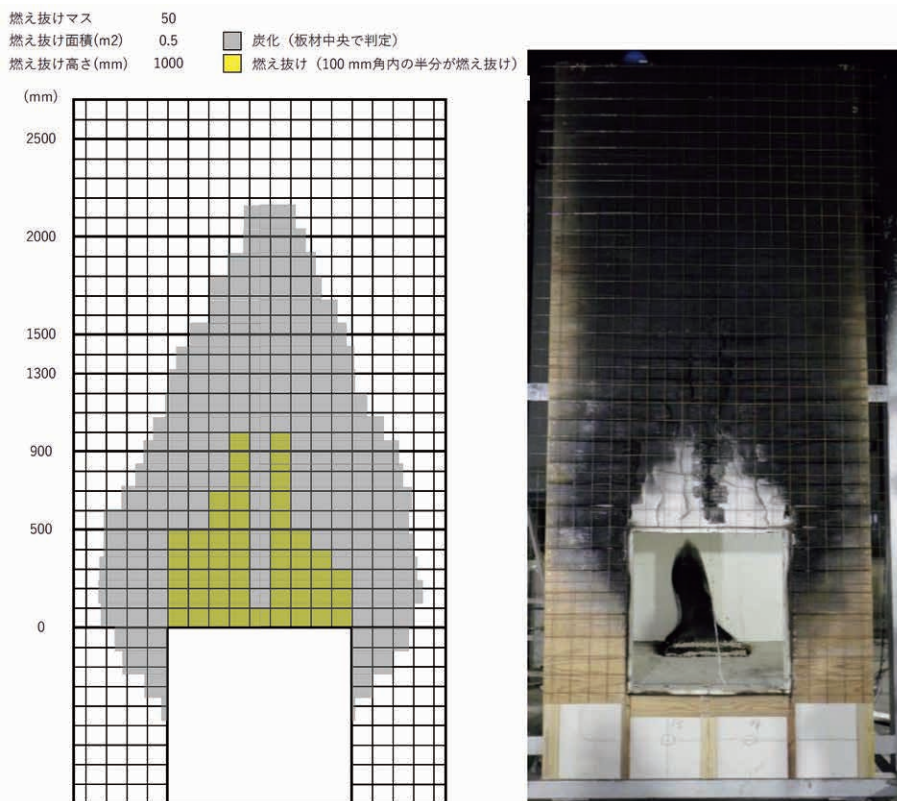


図 3 ファサード試験後の写真と燃え抜け・炭化状況 (試験体: I')

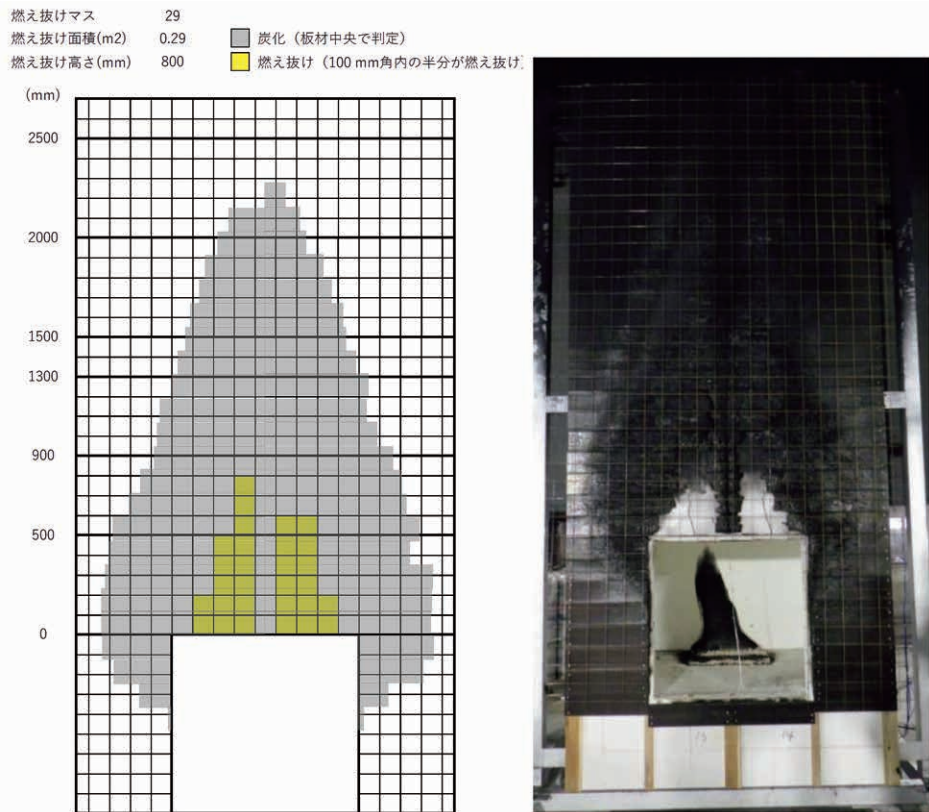


図4 ファサード試験後の写真と燃え抜け・炭化状況 (試験体：Ⅱ')

- ファサード試験に供した劣化後試験体および、既往の研究にてファサード試験に供した低濃度難燃薬剤注入材を再現した試験体について火炎伝播試験 (ISO5658-2) を実施し、それぞれの火炎伝播性状を明らかにした (表4)。
- 今年度促進劣化させたⅡ'の劣化後試験体および、上記低濃度難燃薬剤注入材について低発熱コーンカロリーメーター試験 (ISO/TS 5660-4) を実施し、加熱強度50kW/m²、試験時間30分の条件下で燃焼性状を明らかにした (表5)。

表4 火炎伝播試験結果

試料名	CFE [kW/m ²] ^{※1}	火炎伝播距離 [mm]	Qsb [MJ/m ²] ^{※2}
I'-V	49.8	70	N.C.
II'-V	48.9	120	N.C.
II'-H	17.1	410	0.75
III-V	35.1	270	42.94

※1 CFE: 消火時の臨界熱流束

※2 Qsb: 持続燃焼のための平均熱量、N.C.: Not Calculable

【観察事項】

- I'-V 試験開始後3秒で着火、継続的に燃焼せず55秒消火。
- II'-V 試験開始後3秒で着火、継続的に燃焼せず24秒消火。
598秒、50mm付近で再着火したが、火炎は伝播せず。
- II'-H 試験開始後3秒で着火、横方向へ火炎が伝播し102秒消火。
- III-V 試験開始後4秒で着火、50mmほどまで到達し、パイロットバーナー付近で着火/消火を繰り返す。
950秒、膨張した試験片表面の裂け目で燃焼。
1430秒、加熱強度が強い側から2番目の試験片が落下。
2073秒、先端消火し試験終了。

火災伝播試験の結果、縦張りの試験体については昨年度の結果と整合性のとれたものであったが、II'-Hについては着火直後に表面の塗膜が燃え進み、短時間でその大部分は消炎する、という経緯となった。ごく短い間だけの燃え広がりをどう判定するかは今後の課題の一つである。

表5 低発熱コーンカロリメーター試験結果(30分間)

試験体	総発熱量 [MJ/m ²]	最高発熱速度 [kW/m ²]	裏面に達する 亀裂の有無	200kW/m ² を 超す燃焼時間
II' 1	17.5	213.4	なし	初期に短時間
2	15.8	194.9	なし	なし
3	15.3	217.3	なし	初期に短時間
平均	16.2	208.5		
III 1	41.4	52.4	あり	なし
2	46.5	57.6	あり	なし
3	49.0	53.3	あり	なし
平均	45.6	54.4		

低発熱コーンカロリメーター試験の試験結果は、II'において着火直後の大きな発熱が見られたが短時間であり、総発熱量では概ね材内に含まれる薬剤量に対応した順当な結果となった。

今後の
課題・展開
等

外構材に難燃処理木材を用いた場合の耐候性、劣化後の性能を評価する方法として、促進劣化試験(JIS A 1326:2019)を行ったうえで建築ファサードの燃えひろがり試験(JIS A 1310:2019)を実施する方法、および劣化後の試験体に対するより小型の試験体の燃焼性を評価する数種の燃焼試験を実施してきた。ファサード試験は現状で最も実火災での外壁の燃焼性を適切に評価できる方法であるが、現状では不燃材料等の性能評価の運用体制に組み込まれていないため、今後その体制づくりが必要となっている。

耐候性の性能評価の最終的な理想は、小型の試験体に対する促進劣化および小型の燃焼試験により評価するものであるが、それにはファサード試験と小型燃焼試験との性能値の対応をさらに調査する必要があるほか、合否の判定ラインとなる値を見定める必要がある。これまでの研究より、外壁の燃焼性は比較的少量の難燃薬剤でもかなり低減されることが分かっており、今後、薬剤量が少ない試験体についてのファサード試験、小型燃焼試験のデータをさらに検証する必要がある。

また、塗膜により難燃薬剤の溶脱を抑制する製品については、紫外線劣化を加味した促進劣化試験方法が必要であり、屋外暴露による劣化の測定と合わせこれも今後さらに取り組んでいく課題としている。

木材の保存処理性能の試験方法の JAS化のための妥当性検証事業

● 実施団体 ●

公益社団法人 日本木材保存協会

〒105-0001 東京都港区虎ノ門4-2-5 第3松坂ビル8階

事業 目的

製材、集成材、合板およびLVLのJASでは、保存処理製品の品質基準として、性能区分に応じた浸潤度と吸収量が規定されている。このうち吸収量の試験（測定）方法は、木材保存剤の有効成分が多岐にわたるため、試料調製や機器分析を含め、多様化している。そのため、JASにおける保存処理性能の試験方法の記載が、かなりのボリュームを占めるため規格書としてアンバランスで使い難いものとなっている。また、従来よりも精度や効率性に優れる測定方法が開発されているが、現行では各種材料のJASに吸収量の試験方法が記載されており、その反映に時間を要することになり、格付け検査の効率化の妨げとなっている。

本事業では、これらの課題を解決する方法として、吸収量の測定方法を“試験方法のJAS”として新たに制定することを最終目的とし、“試験方法のJAS”に求められている国際的なプロトコルに従った室間共同試験を用いた妥当性の検証を行う。

実施した 項目

食品分野のJASにおける室間共同試験は、IUPAC（国際純正・応用化学連合）のガイドラインに準拠して行われている。木材保存分野の室間共同試験の事例について国内外の調査を行ったところ、AWPA（米国木材保存協会）ではASTM E691（参考資料 [1]）に準拠した検証が行われていることを確認した。そこで、本事業でもASTM E691 準拠した室間共同試験を実施した。現在、JASの対象となっている木材保存剤の有効成分を4つのグループに分け（表1）、概ね1年度につき1グループの有効成分を目標に室間共同試験を用いて妥当性を検証することとした。本年度は、グループ1に属する有効成分についての検証を実施した。また、本事業の実施内容の確認、進捗状況の確認、成果のとりまとめを目的とした委員会を開催した。

表1 対象とする有効成分のグループ分け

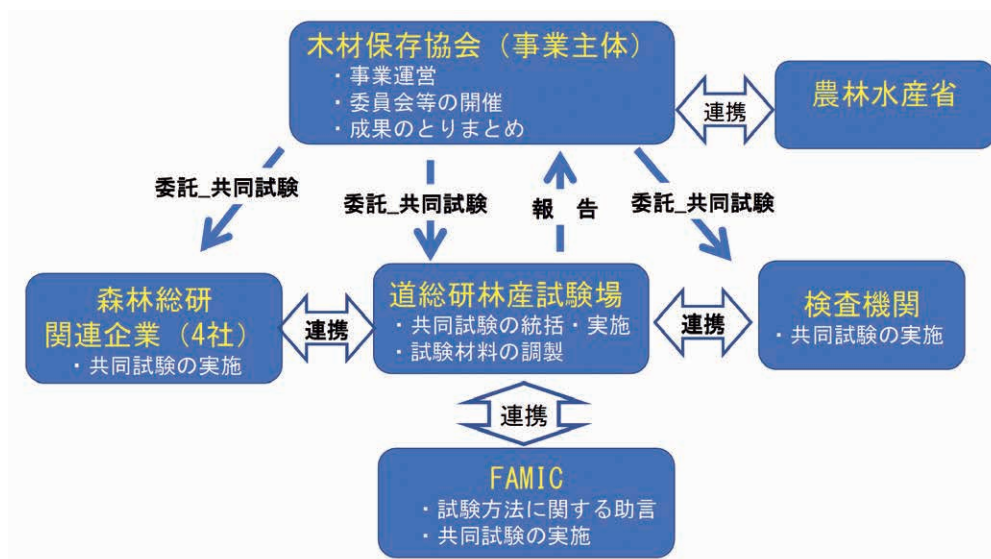
グループ	有効成分の種類	有効成分
1	第四級アンモニウム化合物	ジデシルジメチルアンモニウムクロリド（DDAC）
		N-アルキルベンジルジメチルアンモニウムクロリド（BKC）
		N,N-ジデシル-N-メチル-ポリオキシエチル-アンモニウムプロピオネート（DMPAP）
2	トリアゾール/ ネオニコチノイド化合物	シプロコナゾール
		テブコナゾール
		イミダクロプリド
3	ピレスロイド化合物	シラフルオフェン
		ペルメトリン
4	銅/亜鉛/ほう素化合物	銅
		亜鉛
		ほう素

実施体制

1. 委員会の開催
2. 試験（吸収量の測定）方法に関する手順書の作製
3. 配布用試料の作製
4. 室間共同試験の実施
5. データの解析による精度指標の整理と妥当性の確認

本事業は公益社団法人日本木材保存協会に事務局を置く、下記の構成員による委員会を組織し、下図に示した協力体制により実施した。

委員長	鮫島 正浩	東京大学名誉教授	日本木材保存協会 参事
副委員長	藤井 義久	京都大学名誉教授	日本木材保存協会 会長
委員（主査）	宮内 輝久	（地独）北海道立総合研究機構	林産試験場
委員	祇園紘一郎	（一社）全国木材検査・研究協会	
委員	南田 英樹	（一社）北海道林産物検査会	
委員	小関 真琴	（公財）日本合板検査会	
委員	関澤外喜夫	日本木材防腐工業組合	
委員	佐野 敦子	（公財）日本住宅・木材技術センター	
委員	神原 広平	（国研）森林整備・研究機構	森林総合研究所
委員	山本 幸一	（国研）森林整備・研究機構	森林総合研究所
委員	五十嵐 盟	兼松サステック（株）	
委員	池田 学	（株）ガイエンス	
委員	久保 友治	（株）コシイプレザービング	
委員	西澤 翔太	大日本木材防腐（株）	
委員	森田 珠生	越井木材工業（株）	
オブザーバー	川原 聡	農林水産省 新事業・食品産業部	食品製造課
オブザーバー	今村 正輝	（独）農林水産消費安全技術センター	規格調査部 規格調査課
オブザーバー	松永 浩史	（国研）森林整備・研究機構	森林総合研究所
オブザーバー	青木 謙治	東京大学大学院 農学生命科学研究科	准教授
オブザーバー	高木 望	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室	
オブザーバー	立花 紀之	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室	
事務局	片桐 芳男	（公社）日本木材保存協会	
事務局	鈴木 昭	（公社）日本木材保存協会	
事務局	小林 理恵	（公社）日本木材保存協会	



室間共同試験の主目的は、対象とする測定方法について、ある分析者がある試験室で測定を行った場合に得られる測定値にどれだけのばらつきが生じるかを評価すること、すなわち測定方法の精度を評価することである。室間共同試験により得られる測定値は、図1のような変量モデル式に基づいて解析される。 μ (真値) は室内共同試験で得られた測定値の総平均により推定される。試験室間の標準偏差 σ_L と試験室内の標準偏差 σ_r は、それぞれ後述の方法により算出される“室間の標準偏差 (S_L) ”と“併行標準偏差 (S_r) ”で推定される。これらの値から、ある分析者がある1試験室で1回の測定を行った時の測定値のばらつきにあたる σ_R の推定値として、“室間再現標準偏差 (S_R) ”が算出される。

室間共同試験では、複数試験室が複数の試料について測定方法の手順書に従った測定を行い、得られた結果からその測定方法の精度指標として S_L , S_r , S_R が算出される。そして、これらの結果を基に試験方法の妥当性が評価される (図2は室間共同試験のイメージ)。

本事業では、ASTM E691に準拠した室間共同試験により吸収量の測定方法の精度指標を取得し、その結果を基に測定方法の妥当性を検証することを目的とした下記の内容を実施した。

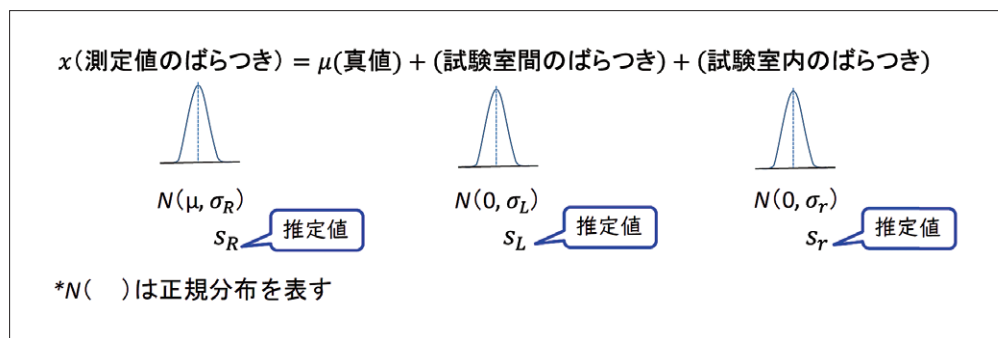


図1 室間共同試験で得られる結果の変量モデル (参考資料 [5] を基に作図)

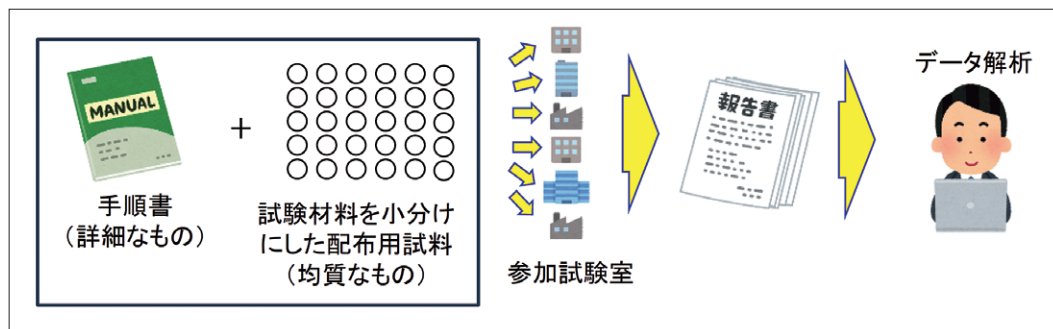


図2 室間共同試験のイメージ

1. 委員会の開催

- 1) 2023年5月10日 10:00～12:00 対面およびオンラインにて開催
事業目的の確認、実施内容および実施時期の概要を決定した。
- 2) 2024年1月17日 10:00～12:00 オンラインにて開催
事業成果の概要の確認 (委員会幹部のみの参加)
- 3) 2024年2月7日 10:00～12:00 対面およびオンラインにて開催予定
事業の実施状況および各試験の結果を確認し、課題の抽出、今後の研究方針などについて討議する。事業報告書の作成に向け必要な作業を確認する。

2. 試験 (吸収量の測定) 方法に関する手順書の作成

参考資料 [2] と [3] を基に、DDAC およびBKCの吸収量の測定方法の手順書を作成し、室間共同試験に参加する試験室に配布した。また、必要に応じて手順書の補足資料を作成し配布した。試験

方法の手順は下記のとおりである。

- ①配布用試料 1g に対し、40mL のギ酸-メタノール (3 : 100, v/v) を用いて超音波抽出 (3 時間) を行う。
- ②超音波抽出後、シリンジフィルターを用いてろ過し、抽出溶液を得る。
- ③同じ配布用試料から 1g を 2 回取り、平均含水率を求める。
- ④抽出溶液の一部を取り、オレンジ II と DDAC または BKC のイオンペア化合物を水-クロロホルム系で液液分配し、クロロホルム相に転溶したイオンペア化合物の吸光度 (485nm) を測定することで DDAC および BKC を定量する。
- ⑤平均含水率を用いて全乾換算することで、配布用試料 1g に含まれる DDAC および BKC の量 (mg) を求め、吸収量の測定結果とする。

3. 配布用試料の作製

現行の JAS で規定されている木材保存剤のうち、DDAC を有効成分とするものには AAC-1, BAAC, AZNA, ACQ-2 があるが、配布用試料に用いる試験体の加圧注入処理には AAC-1 を用いた。一方、BKC を有効成分とする木材は ACQ-1 のみであることから、これを用いた。均質な処理 (薬剤の浸透) を得るため、処理に供する試験体はある程度の大きさにカットしたものをを用いた。また、加圧注入処理に用いる試験体にはいくつかの樹種を混在させた (表 1)。

JAS で規定されている性能区分 K2 ~ K4 (BKC は K5) までを包含するように、5 段階の有効成分の濃度レベルを設定し、加圧注入処理を実施した。複数存在する DDAC を含む薬剤は薬剤毎に濃度レベルが異なるが、すべての薬剤の性能区分を包含するように 5 段階の濃度レベルを設定し、AAC-1 を用いた加圧処理を行った。試験体には濃度レベルに対応するマテリアル名を付した (表 1)。

処理後の試験体のある程度の大きさに裁断し、目開き 2mm のふるいを通すようにカッター式ミルで粉碎した (写真 1)。各マテリアルの粉碎物を、それぞれ 55 本のねじ口式ガラス瓶に小分けにしたものを配布用試料とした。ひとつのマテリアルにつき、配布用試料 55 本のうちから 10 本を無作為に抽出し、均質性の評価に用いた。なお、吸収量は処理材の単位体積当たりに含まれる有効成分量として表されるが、室間共同試験で用いた配布用試料が粉体であることから、測定結果は単位重さ当たりの有効成分量 (mg/g) として求めることとした。

均質性の評価は食品分野の試験方法の JAS 等で用いられている “IUPAC の技能試験のハーモナイズドプロトコル” に従って実施した。各マテリアルで抜き出した 10 本の配布用試料について、1 本当たり併行 2 回の測定を実施し、一元配置分散分析 (危険率 5%) によって均質性を確認した。

表 1 処理試験体の情報

有効成分	マテリアル名	樹種	濃度レベル	処理時の形状
	マテリアル 1	スギ(辺材)	<K2(BAAC 想定)	断面 25×25, 長さ 200 mm
	マテリアル 2	スギ	<K2(AAC 想定)	断面 25×80, 長さ 200 mm
DDAC	マテリアル 3	ベイマツ	K2~K3	断面 25×80, 長さ 200 mm
	マテリアル 4	ベイツガ	K3~K4	断面 25×80, 長さ 200 mm
	マテリアル 5	スギ(辺材)	K4<	断面 30×30, 長さ 300 mm
	マテリアル 6	ヒノキ	<K2	断面 105×105, 長さ 50 mm
	マテリアル 7	ベイツガ	K2~K3	断面 105×105, 長さ 50 mm
BKC	マテリアル 8	ベイツガ	K3~K4	断面 105×105, 長さ 50 mm
	マテリアル 9	スギ	K4~K5	断面 105×105, 長さ 32 mm
	マテリアル 10	スギ	K5<	断面 105×105, 長さ 32 mm

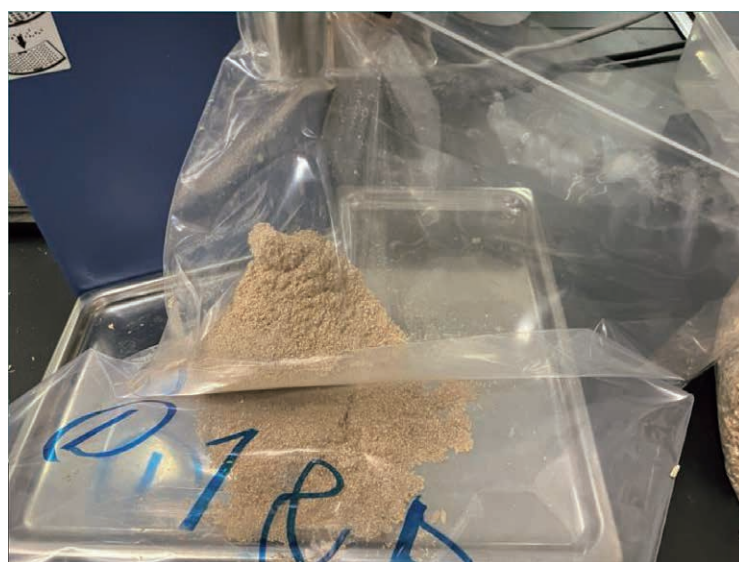


写真1 粉砕前（上）および粉砕後（下）の試験体

4. 室間共同試験の実施

参加試験室（参加試験室数は7）には、マテリアル毎に無作為に抽出された3本の配布用試料を配布した（薬剤毎に15本（3本×5濃度レベル））。濃度非明示でランダムな番号を付した状態で送付された配布用試料について、各試験室で手順書に従った測定が実施され、測定結果は所定の様式により報告された。

5. データの解析による精度指標の整理と妥当性の確認

各試験室から報告された測定結果について、あるマテリアルの配布用試料についての測定結果を x_{ij} （試験室 i における j 番目の結果）とし、下記の①～⑩を求めた。また、各試験室の結果についてマンデルの検定統計量 k （下記⑥）と h （下記⑦）を求めた。 k と h の危険率0.5%の棄却限界値により外れ値を検出し、外れ値を除いた試験室で再計算し、最終的な結果とした。なお、下記の式で n は併行回数を、 p は計算に用いた試験室数を示す。

- ① 試験室 i の平均(\bar{x}_i) = $\sum_j x_{ij} / n$
- ② 試験室 i の標準偏差(S_i) = $\sqrt{\sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 / (n - 1)}$
- ③ 試験室の平均の平均(\bar{x}) = $\sum_i \bar{x}_i / p$,
- ④ 試験室の平均の標準偏差($S_{\bar{x}_i}$) = $\sqrt{\sum_i (\bar{x}_i - \bar{x})^2 / (p - 1)}$
- ⑤ 併行標準偏差(s_r) = $\sqrt{\sum_i S_i^2 / p}$
- ⑥ 試験室 i のマンデルの k $k_i = S_i / S_r$
- ⑦ 試験室 i のマンデルの h $h_i = (\bar{x}_i - \bar{x}) / S_r$
- ⑧ 室間の標準偏差(S_L) = $S_{\bar{x}_i}^2 - S_r^2 / n$
- ⑨ 室間再現標準偏差(S_R) = $\sqrt{S_r^2 + S_L^2}$
($S_{\bar{x}_i}^2 - S_r^2 / n$ が負の場合は0とする)
- ⑩ 併行許容差 = $2.8 \times S_r$
- ⑪ 室間再現許容差 = $2.8 \times S_R$

ここで、上記のうちいくつかの数値について説明を加える。

⑦併行標準偏差 (s_r): 併行条件*で得られた分析値又は測定結果の標準偏差

* 併行条件とは同一と見なされる試料の分析において、短時間に、同じ分析者が、同じ試験室で同じ機器を用いて、同一の試験・測定項目について同じ分析法を用いて、独立した分析値・測定結果を得る観測条件。

⑨室間再現標準偏差 (s_r): 再現条件**で得られた分析値・測定結果の標準偏差。

**再現条件とは同一と見なされる試料の分析において、異なる分析者が、異なる試験室で異なる機器を用いて、同一の試験・測定項目について同じ分析法を用いて、独立した分析値・測定結果を得る観測条件。

⑩併行許容差: 併行条件で得られた2つの測定結果の差が、この値を超えると、危険率5%で有意差ありと判定される。

⑪室間再現許容差: 再現条件で得られた2つの測定結果の差が、この値を超えると、危険率5% (両側) で有意差ありと判定される。

[参考資料]

- [1] ASTM E691-23: Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method (2023)
- [2] (公社)日本木材保存協会, CLT 等新製品・新技術利用促進事業のうち耐久性等品質向上事業成果報告書, 平成27年2月 (2015).
- [3] 宮内輝久ら, 保存処理木材中に含まれるDDACの定量分析方法の効率化, 木材保存, 42(6), 303 - 308 (2016)
- [4] Thompson, M., et al., The International Harmonized Protocol for the proficiency testing of analytical chemistry laboratories, Pure Appl. Chem., 78 (1),145-196 (2006)
- [5] 安井明美 編集委員長ほか. 食品分析法の妥当性確認ハンドブック: 最新版, サイエンスフォーラム (2010)

1. 配布用試料の作製

配布用試料の均質性の確認のために行った測定のうちDDACの結果を図3に示す。これらの結果について一元配置分散分析（危険率5%）による均質性を評価したところ、DDACとBKCのすべてのマテリアルについて、均質性が確認された。また、配布用試料の調製に使用した処理材の密度から吸収量（kg/m³）を算出したところ、概ね想定した濃度レベルであることを確認した。

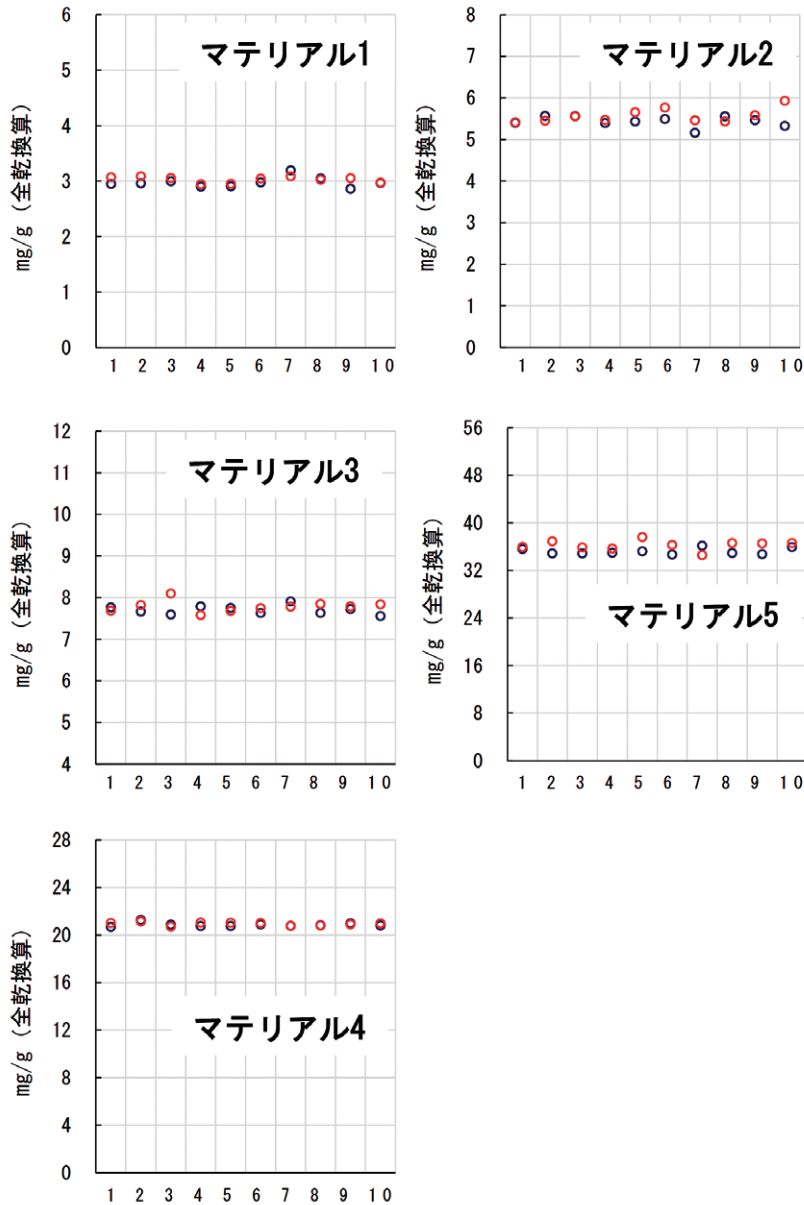


図3 均質性の確認のための測定結果（DDAC）

*横軸の数字は便宜的につけた配布用試料番号それぞれ併行2回の測定結果を表示

2. 室間共同試験の結果と妥当性の評価

各試験室から報告された測定結果のうちDDACの結果を図4に示す。これらの測定値について、外れ値（外れ試験室）の検出を行った。ASTM E691ではASTMではマンデルの*k*と*h*が外れ値の検討に用いられる。マンデルの*k*と*h*は各試験室について算出され、前者は試験室内のばらつきについて、特定の試験室に異常な傾向が認められるかどうか、後者は測定結果が大きく異なる試験室があるかどうかの目安となる。ASTM E691では*k*と*h*について危険率0.5%の棄却限界値が示されており、本

検討でもこの棄却限界値を適用したところ、DDACの場合はマテリアル4の k で（図4の試験室6の測定値）、BKCの場合はマテリアル6の k と7の h で棄却限界値を超える試験室が1つ確認された、今回の検討では、外れ値に該当する試験室の結果を除外し、最終的な結果を算出した。

外れ値を除く試験室の結果から算出した、DDACの測定値に関する解析結果を表2に、BKCの測定値に関する解析結果を表3に示した。DDACとBKCのいずれの場合も、最も濃度の低いマテリアル（マテリアル1と6）の SR が高い傾向にあり、それ以外では概ね良好な値が得られた。そこで、低濃度の場合の測定精度の向上を図るため、測定方法の一部を変更しマテリアル1と6再測定を行ったところ改善が認められた。以上の結果から、今回検討したDDACとBKCの測定方法は概ね妥当であると結論付けた。

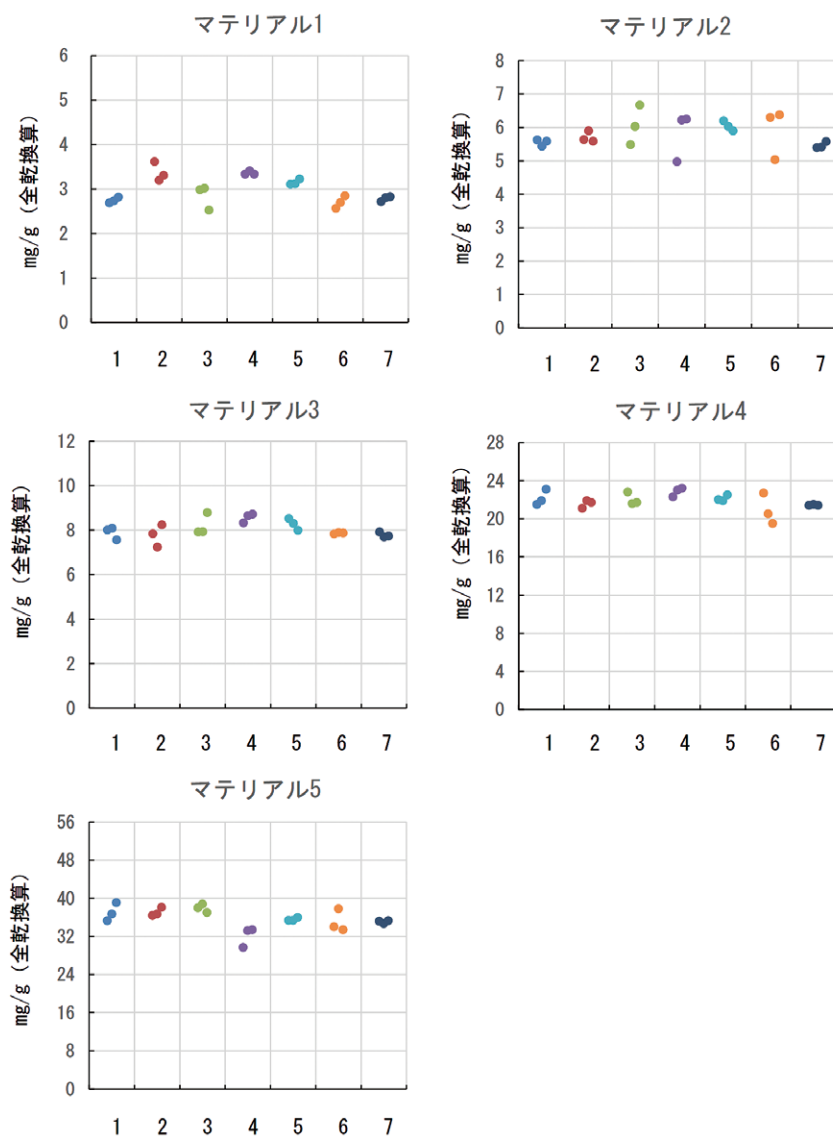


図4 室間共同試験の結果 (DDAC)

*横軸の数字は便宜的につけた試験室の番号で、それぞれ併行3回の分析結果を表示

表2 DDACの測定方法の精度指標

マテリアル	1	2	3	4	5
採択された試験室数	7	7	7	6	7
③平均値 mg/g	3.00	5.79	8.05	22.0	35.7
⑦併行標準偏差 S_p , mg/g	0.15	0.46	0.32	0.52	1.49
⑧室間再現標準偏差 S_R , mg/g	0.32	0.46	0.40	0.66	2.28
⑨併行許容差 mg/g	0.42	1.30	0.89	1.46	4.18
⑩室間再現許容差 mg/g	0.89	1.30	1.12	1.84	6.40

表3 BKCの測定方法の精度指標

マテリアル	6	7	8	9	10
採択された試験室数	6	6	7	7	7
③平均値 mg/g	1.79	3.20	5.79	7.99	15.1
⑦併行標準偏差 S_p , mg/g	0.09	0.18	0.31	0.41	0.68
⑧室間再現標準偏差 S_R , mg/g	0.31	0.19	0.46	0.52	0.74
⑨併行許容差 mg/g	0.26	0.50	0.87	1.14	1.91
⑩室間再現許容差 mg/g	0.86	0.53	1.29	1.46	2.08

今後の
課題・展開
等

今年度の事業では、4つのグループに分けた木材保存剤の有効成分のうちの1つのグループの有効成分の測定方法について、ASTM E691に準拠した室間共同試験を行い、その妥当性の検証を行い、おおむね妥当であるという結論を得た。この検証結果は、現在進められている“製材のJAS”の改正作業において、より効率的な吸収量の測定方法をJASに追加するための基礎資料として活用されており、検査機関における格付け業務の効率化に貢献している。国際的なガイドラインに準拠した木材保存剤の測定方法の妥当性の検証事例は、前述のAWPAの事例以外ほとんどなく、我が国においては初の試みであったが、産学官が連携した実施体制を構築することができ、大変有用な成果を得ることができた。

本事業の最終目的は、吸収量の測定方法を“試験方法のJAS”として新たに制定することであることから、現在検証作業中のDMPAPに続き、グループ2～4の有効成分についても同様の検証を進める必要がある。これらについても順次検証を進め、得られる成果を国内外で広く公表し、我が国の保存処理木材・木質材料の信頼性の高さをアピールすることで、国際的な需要拡大に貢献することも期待される。しかし、今年度の事業での経験により、手順書の作成や配布用試料の調製などを含めた室内共同試験の実施には、多大な時間と労力を要することが分かり、残りの検証を効率的に実施するためには、実験環境を含め実施体制を強化する必要がある。

CLTパネルの標準化・規格化開発検討事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本CLT協会

〒103-0004 東京都中央区東日本橋 2-15-5 VORT 東日本橋 2階

事業目的

CLTパネルの寸法の仕様が建物毎に異なることにより、工場の生産能力はあるが個別対応に追われて製造量を増やすことが難しい状況となっており、このことが、CLTパネル普及の障害の一因になっている。CLTパネルを規格化し、かつ、多様な建築物に規格パネルが標準的に用いられるような状況となれば、合理的なCLTの製造と供給を行うことができ、CLTの普及促進につながる。したがって、CLTパネルの寸法を規格化することは、重要な課題と言える。協会内に設置されたWGでは、工場の製造、運搬の効率を考慮したパネル寸法、及び、建物用途ごとの設計・施工に適したパネル寸法等を考慮した、普及促進に寄与するパネルの規格化に向けて検討を進めてきた。また、検討を進める中で、規格パネルの具体的な適用例を示すことが必要との結論に至り、年間一定量の施工面積のある鉄骨造建築物を対象として、既存床仕様に対して優位性のあるCLT規格パネルを用いた床仕様を示すことにより、事業目的であるCLTの普及を図ることにした。

また、企画支援等の相談窓口には、鉄骨造建築物の耐震壁等としてCLTパネルを現し仕様で利用したいとの問合せが多数寄せられていることから、本事業では、鉄骨造建築物の床・壁にCLTパネルを用いた標準化・規格化の開発を行い、具体的な設計例等を示すことで、CLTの利用促進を図ることを目的とした。

実施した項目

本事業は、学識経験者、設計実務者等により構成される検討委員会を設置し、直下に設置したシステム開発小委員会とプロトタイプ開発小委員会で検討されたCLTパネルの規格化・標準化案をまとめた。併せて各小委員会では、以下の検討事項について検討を行った。

- ① 鉄骨造建築物にCLTを床に用いた設計システムの開発
- ② CLTを利用した鉄骨造建築物のプロトタイプ開発検討

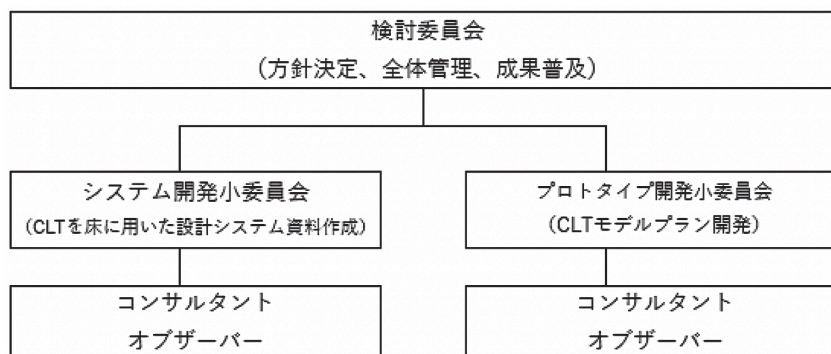


図1 委員会及び小委員会の設置図

令和5年度 CLTパネルの標準化・規格化開発検討事業

標準化・規格化開発検討事業委員会

(順不同、敬称略)

委員長	松村 秀一	早稲田大学理工学術院総合研究所
委員	稲山 正弘	東京大学大学院 農学生命科学研究科
	五十田 博	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
	福本 晃治	岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域
	青島 啓太	追手門学院大学 文学部
	荒木 康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部
	辻 拓也	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
	大倉 靖彦	株式会社アルセッド建築研究所
	川原 重明	株式会社木質環境建築
	安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所
行政	福島 純	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室 課長補佐
	増井 僚	林野庁林政部木材産業課木材製品技術室 建築用木材担当専門職
コンサルタント	伊藤 一哉	株式会社EP & B
	栗田 紀之	建築環境ワークス協同組合
事務局	平原 章雄	木構造振興株式会社
	一般社団法人 日本CLT協会	

令和5年度 CLTパネルの標準化・規格化開発検討事業

システム開発小委員会

(順不同、敬称略)

委員長	五十田 博	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
委員	福本 晃治	岡山大学 学術研究院環境生命自然科学学域
	荒木 康弘	国土交通省国土技術政策総合研究所 建築研究部
	辻 拓也	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野
	安東 真吾	銘建工業株式会社
	山本 哲	銘建工業株式会社
	原田 貴透	銘建工業株式会社
	桐野 昭寛	山佐木材株式会社
	砂田雄太郎	株式会社サイプレス・スナダヤ
	梅森 浩	大成建設株式会社
	小林 道和	株式会社竹中工務店
	福島 一夫	株式会社竹中工務店
	海老澤 涉	三菱地所株式会社
コンサルタント	栗田 紀之	建築環境ワークス協同組合
事務局	一般社団法人 日本CLT協会	

令和5年度 CLTパネルの標準化・規格化開発検討事業

プロトタイプ開発小委員会

(順不同、敬称略)

委員長	稲山 正弘	東京大学大学院 農学生命科学研究科
主査	大倉 靖彦	株式会社アルセッド建築研究所
委員	青島 啓太	追手門学院大学 文学部
	石塚 正和	株式会社アルセッド建築研究所
	川原 重明	株式会社木質環境建築
	小林 道和	株式会社竹中工務店
	田中 哲也	田中哲也建築構造計画

深川 礼子 株式会社 ofa
 宮竹 靖 銘建工業株式会社
 安井 昇 桜設計集団一級建築士事務所
 コンサルタント 伊藤 一哉 株式会社 EP & B
 事務局 一般社団法人 日本CLT協会

実施した
内容

① CLTパネルの規格化・標準化検討

これまでの協会内でのWGの成果および様々なモジュラーコーディネーション等を元に検討を行い、パネル寸法案を提示した。各小委員会では、提示されたパネル寸法案を大規模建築物の床、中層建築物の壁・床での適用の可否を検討し、それぞれシステムの開発およびプロトタイプ設計を行った。

② 鉄骨造建築物にCLTを床に用いた設計システムの開発

CLTに不慣れな設計者でも鉄骨造の床構面に規格化されたCLTを用いた設計ができるよう、設計・資材調達・工事施工について設計者向けの床設計システムを検討し、床のCLTを現しで設計可能な準耐火構造口-1による床システムの設計方法の開発を行い、試設計を用いた「(仮称)鉄骨造の床にCLTの規格パネルを用いる設計・施工ガイドブック」を作成した。そのガイドブック中で、合成スラブとCLT床システムを各性能で比較することで、CLTを用いた場合のメリットを整理した。

また、CLTを用いた床構面を構成する場合において、鉄骨造の梁にCLT床を固定する際の固定・接合パターンについて、設計容易性、施工性、経済性などを考慮して、実用化・実装に向けた課題などを整理し提案をした。

③ CLTを利用した鉄骨造建築物のプロトタイプ開発検討

壁に規格化したCLTを現しで利用した鉄骨造の建築物を設計検討した。特に、需要が高いと想定される密集市街地(防火地域)の中層建築物かつ木造建築物に不慣れな設計者、施工者がこれまでの設計・施工方法に導入しやすいモデルプラン開発を行った。プロトタイプとして、狭小地に建築される耐火構造の5階建てビルと設定し、用途は1階店舗、2~5階貸事務所を想定した。鉄骨造とCLTの接合部や耐火構造での納まり等の詳細な検討をし、意匠図、構造図、詳細図を提示した。また、モデルプランについての構造計算や積算を行い、合理的なCLTパネルの利用方法を併せて検討した。

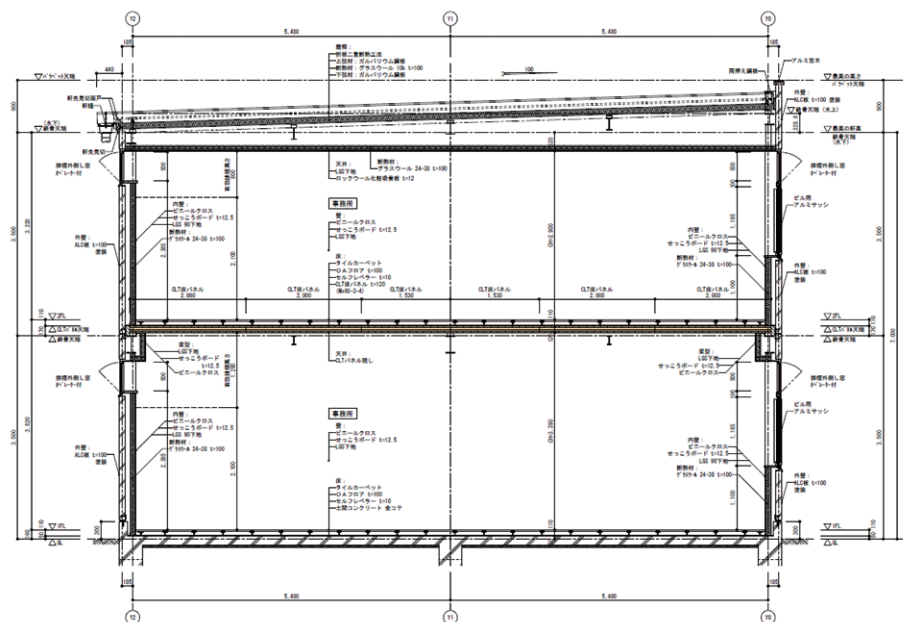


図2 CLT床を用いた試設計の矩計図(意匠図)

耐火要件の整理

		耐火建築物			準耐火建築物		その他建築物		
		耐火構造	政令で定める技術的基準に適合 耐火性能検証法	準耐火構造	政令で定める技術的基準に適合 外壁耐火構造 不燃構造				
規定条文	建築基準法	法第2条第九号の2イ(1)	法第2条第九号の2イ(2)	法第2条第九号の3イ	法第2条第九号の3ロ		—		
	施行令、告示	令第107条 H12 建告 1399	令第108条の3	令第107条の2 H12 建告 135	令第109条の3 第一号	令第109条の3 第二号	—		
通称		ルートA	ルートB ルートC	イ準耐	ロ準耐1号 (旧イ準耐)	ロ準耐2号 (旧ロ準耐)	その他建築物 (はだか木造)		
地域による制限 (法61条)	防火地域内	制限なし (一部のルートCを除く)			2階建て以下、100㎡以下		建設不可		
	準防火地域内				3階建て以下、1,500㎡以下		建設不可		
用途による制限 (法27条)	特殊建築物以外 (事務所等)				4階建て以下	75分準耐火 3,000㎡以下		建設不可	
					3階建て以下	3,000㎡以下 200㎡未満		建設不可	
	店舗				3階建て	3,000㎡以下		建設不可	
					2階建て	3,000㎡以下		3,000㎡以下、 2階・同用途 500㎡未満	
	共同住宅	平屋	木三共仕様 3,000㎡以下		建設不可				
		3階建て	3,000㎡以下		3,000㎡以下、 2階・同用途 300㎡未満				
	2階建て	3,000㎡以下		3,000㎡以下					
	平屋	3,000㎡以下		3,000㎡以下					

※ 高さ16mを超える建築物、延焼防止建築物については記載省略
 ※ 鉄骨造であっても、床(令109条の4対象)にCLT(可燃材料)を用いる場合は、法第21条の対象。規模による制限(法21条)は「特殊建築物以外」欄と同じ。

図3 「ロ準耐1号」を採用する考え方



図4 プロトタイプの外観

実施した結果

① CLTパネルの規格化・標準化検討

本事業での検討の結果、規格パネルを以下の3種類とする。

- 壁：幅2.0m×長さ4.0m (3.0m)
- 床：幅1.0m×長さ6.0m
幅2.0m×長さ6.0m

② 鉄骨造建築物にCLTを床に用いた設計システムの開発

- 規格パネル寸法を用いたCLT床システムの「(仮称)鉄骨造の床にCLTの規格パネルを用いる設計・施工ガイドブック」を作成した。
- 合成スラブとCLT床システムのそれぞれの資材製造時のCO₂排出量の概算値を比較した結果、試算単体全体ではCLT床システムは合成スラブよりもCO₂排出量が低くなった。

- 合成スラブとCLT床システムのそれぞれをコスト試算し比較した結果、CLT床システムは合成スラブよりも多少コストが高くなったが、上記のとおり、CLT床システムの方がCO₂の排出量が低く、また、長期に渡り炭素固定をすることができる結果となっている。このことは、継続的に日本の森林資源を活用していくことを可能にするシステムと捉えることができ、社会、環境に配慮したシステムとして位置付けられる。
- 鉄骨造の床構面にCLTを用いる場合の合理化案を鉄骨造梁とCLT床の固定・接合部ディティールや実用化・実装に向けた課題などを整理し提案をした。

③ CLTを利用した鉄骨造建築物のプロトタイプ開発検討

規格CLTパネル寸法を壁に用いた鉄骨造建築物のプロトタイプを設計し、その意匠図、構造図、詳細図等設計図一式を作成、公開した。

CLTの利用を検討している事業者、設計者への規格化CLTパネルの適用参考事例として提示し、以下の事項と併せて今後のCLTの普及推進の一助とした。

- 耐火構造建築物でのCLTを利用するメリットの一つである壁での現わし仕様を提示した（内壁の35%）。
- 床構面全面にCLTを利用した。
- コストの提示を行った。

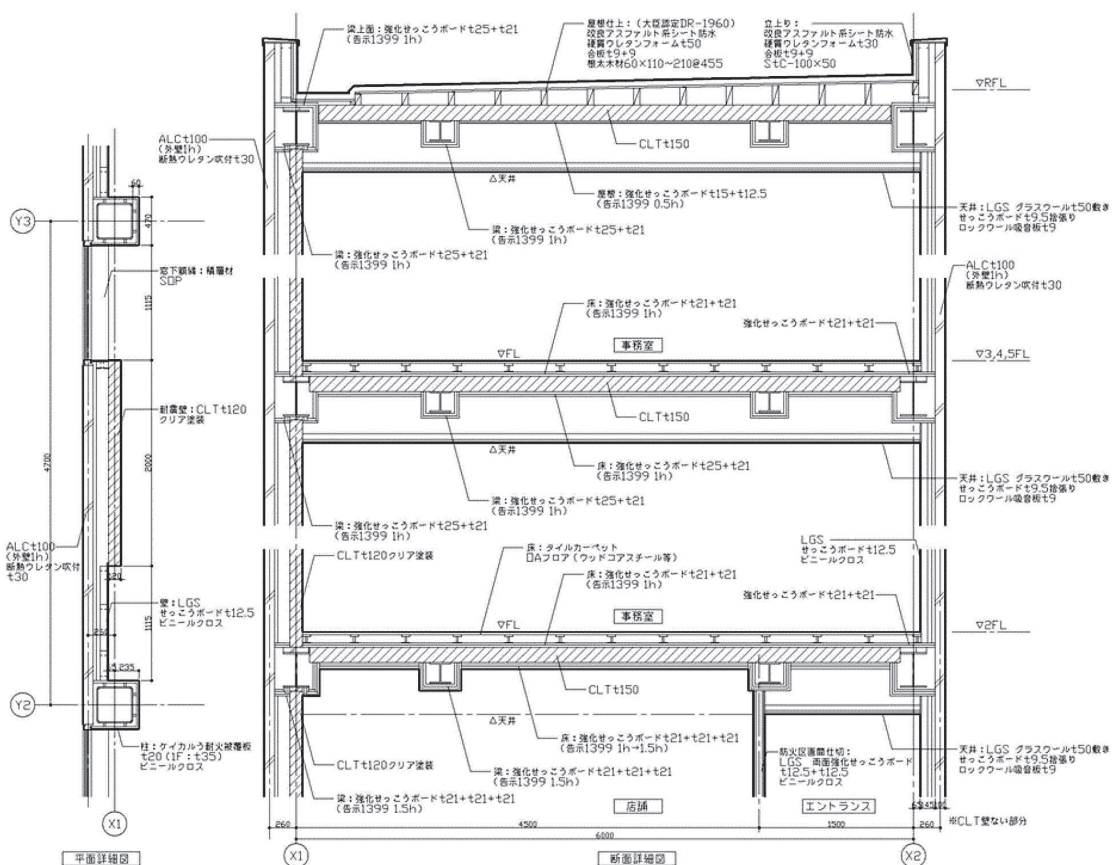


図5 プロトタイプの断面詳細図

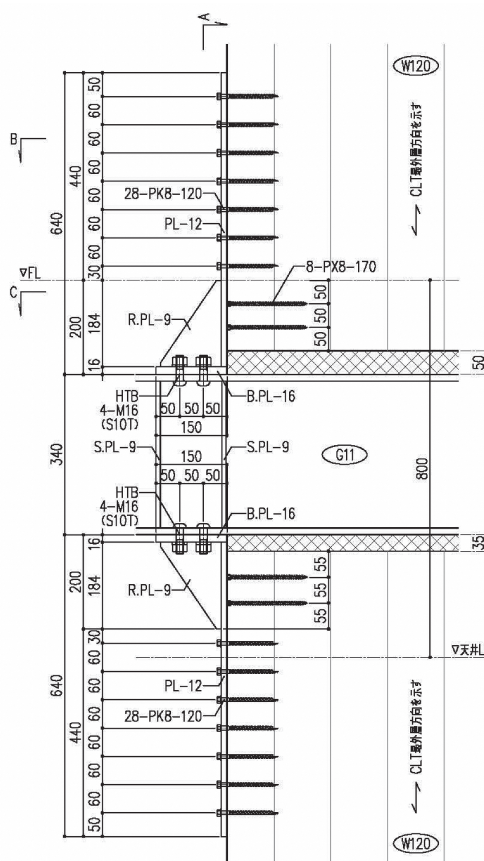


図6 プロトタイプCLT-鉄骨梁結合部

今後の 課題・展開 等

本事業において、CLTパネルの量産化の妨げとなっている多品種小ロット型の生産状況を少なからず解消するため、規格パネルサイズを提案した。今後の展開としては、今回の提案したパネルの周知を図るための普及手段の検討と実践が必要である。

標準化・規格化検討の過程で作成されたシステムの開発とプロトタイプ設計を公開し、CLTの普及促進に向けて情報発信を行う。しかし、それぞれの小委員会で検討した内容は、さらなる以下の合理化の余地が残っており、今後検討を行う必要がある。

鉄骨造にCLTを床に用いたシステム開発の提案は一例に過ぎず、他にも多様な仕様が存在するため、さらなる接合部の合理化の検討や施工性の向上の検討が必要な課題としてある。

今回検討したプロトタイプ設計では、壁に規格パネルを採用した。床については、国内のCLT製造工場生産が可能な様々なパネルを組み合わせたが、より合理的な平面計画の検討が必要である。さらに規格パネルを普及するためには、防耐火等に係る接合部のディテール等の検証や建設地域等に適用するためのヴァリエーション等の検討が必要となる。

中大規模木造建築用の木製開口部の開発検討

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本木製サッシ工業会

〒107-0052 東京都港区赤坂 2-2-19 アドレスビル5階

事業目的

平成30年の建築基準法改正により、従来の耐火構造に加え、高性能の準耐火構造を用いて木造現し仕上げで各種の中大規模建築物を建築することが可能となった。これらに用いる建築物における木製などの外壁開口部（窓、扉）では、従来よりも遮炎+延焼抑制性能などの向上（現行性能（20分間）+ β の時間分）が必要であるとともに、設計ニーズに基づく開閉機能の多様化に合わせた開発検討も必要であると考えられる。

このため、これまでに4種（FIX窓、片引き窓、横すべり出し窓、たてすべり出し窓）の木製窓について加熱試験が行われ、30分超（主に45分間）の遮炎性を確認するとともに、汎用性の高い木製窓の仕様について標準化、告示化の検討を行っているところである。

令和5年度においては、上記4種の木製窓について、建築物の高い位置に設置されることを想定した動風圧性能（気密性、水密性、耐風圧性等）の把握を行うとともに、新たな開閉機構（ドレーキップ）についても動風圧性能の調査や予備的な加熱試験を行う。

実施した項目

木造建築関連団体の（一社）日本木造住宅産業協会、（一社）日本ツーバイフォー建築協会、（一社）JBN・全国工務店協会と連携して、以下の事業を行う。

- ・中層用木製開口部に係る検討課題の抽出、各種性能の調査
- ・各種試験（気密性、水密性、耐風圧性、遮炎性等の各種性能把握）

実施体制

この事業を実施するに当たり、学識経験者、関連業界等による下記委員会を設置し、事業計画、成果の検討などを行うとともに、委員会の傘下として中層用木製開口部開発WGを設けた。

◆中層用木製開口部開発委員会（順不同・敬称略）

委員長	小見 康夫	東京都市大学 建築都市デザイン学部 建築学科 教授
委員	信太 洋行	東京都市大学 都市生活学部 都市生活学科 准教授
	大橋 好光	東京都市大学 名誉教授
	山崎慎一郎	株式会社山崎屋木工製作所 代表取締役
	逢坂 達男	（一社）日本木造住宅産業協会 技術開発委員長
	坂口 晴一	（一社）日本ツーバイフォー建築協会 技術部長
	鈴木 晴之	（一社）JBN・全国工務店協会 理事
行政	吹抜 祥平	林野庁 林政部 木材産業課 住宅資材班 住宅資材技術係長（～令和5年6月）
	松田 涼	林野庁 林政部 木材産業課 住宅資材班 住宅資材技術係長（令和5年7月～）
コンサル	高田 峰幸	（一社）木を活かす建築推進協議会 研究主査
事務局	平原 章雄	（一社）日本木製サッシ工業会

◆中層用木製開口部開発WG(順不同・敬称略)

主査	小見 康夫	(前述)
委員	信太 洋行	(前述)
	大橋 好光	(前述)
	山崎慎一郎	(前述)
	高橋 風人	アルス株式会社 代表取締役社長
オブザーバー	大野 吉昭	(一財) ベターリビング つくば建築試験研究センター 主席試験研究役
	潘 文斌	東京都市大学大学院総合理工学研究科 建築・都市専攻 修士学生
	橋本 乗源	東京都市大学 建築都市デザイン学部 建築学科 学部生
コンサル	高田 峰幸	(一社) 木を活かす建築推進協議会 研究主査
事務局	平原 章雄	(一社) 日本木製サッシ工業会

実施した
内容

1) 中層用木製開口部に係る検討課題の抽出、各種性能の調査

以下の項目について、検討・調査などを行った。

- ①外力（風圧力、地震力）に対して
- ②火災に対して
- ③断熱性について

その他、窓（特に木材）に害を及ぼす外的要因についてや、窓に係る試験法について調査した。

2) 各種試験（気密性、水密性、耐風圧性、遮炎性等の各種性能把握）

横すべり出し窓、たてすべり出し窓、FIX窓、片引き窓の防火窓については、窓枠外寸法が以前実施した加熱試験において最大のものを動風圧試験に供するとともに、新たに45分間目標遮炎性能を有するよう断面設計を行ったドレーキップの開閉形式の窓（窓枠外寸法を最大としたいもの）を加えることとする。各動風圧試験の目標性能は、中大規模建築物に設置されることを勘案して、気密性は「A-4（最高ランク）」、水密性は「W-4（中高層ビル相当）」、耐風圧性は「S-5」及び「S-7」（いずれもRC造住宅相当）とした。表1に試験体仕様一覧を、図1に試験に供した窓の屋外側姿図を示す。

表1 動風圧試験、試験体仕様一覧〔単位：mm〕

開閉形式	窓枠外寸法	ガラス寸法 (見え掛かり寸法)	目標性能		
			気密性 (JIS A 1516)	水密性 (JIS A 1517)	耐風圧性 (JIS A 1515)
横すべり出し窓	W938×H938	W726×H726 (700×700)	A-4	W-4	S-5 及び S-7
たてすべり出し窓	W838×H1,738	W626×H1,526 (600×1,500)	A-4	W-4	S-5 及び S-7
ドレーキップ (内開き内倒し窓)	W1,200×H2,100	W1,008×H1,908 (982×1,882)	A-4	W-4	S-5 及び S-7
FIX窓	W1,316×H2,516	W1,226×H2,426 (1,200×2,400)	A-4	W-4	S-5 及び S-7
片引き窓*	W1,862×H2,430	可動側 W826×H2,226 (800×2,198)	A-4	W-4	S-5 及び S-7
備考(各試験体共通)	<p>◆窓障子：カラマツ集成材 ◆押縁：カラマツ無垢材</p> <p>◆ガラス仕様*</p> <ul style="list-style-type: none"> ・二層ガラス（ドレーキップ以外）：フロート板ガラス 5mm-空気層 16mm-Low-E フロート板ガラス 5mm、アルミスペーサー ・三層ガラス（ドレーキップ）：フロート板ガラス 5mm-空気層 16mm-フロート板ガラス 3mm-空気層 16mm-Low-E フロート板ガラス 5mm、アルミスペーサー <p>(同等ガラス=耐熱結晶化ガラスと同強度・同厚であるフロート板ガラス) (※加熱試験を実施済みまたは実施予定であるため)</p> <p>◆ガラスまわり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下部通し：けい酸カルシウム板 9 mm厚 (※加熱試験と材質は同、厚さは若干異なる) ・上・側部：加熱発泡材は、ドレーキップ以外は無し (※動風圧試験では無関係の位置にあるため) ・押縁固定ビス：φ3.5×L55mmのもの、@300mm (※加熱試験と同) ・L金物：L-17×17×0.5mmのもの、通し (※ただし、ドレーキップの動風圧試験のみ、動風圧試験では結果に左右されない位置にあるため、またその後の加熱試験体用にガラスの入れ替えを容易にするため、無し) ・シーリング材：防火シーリングを兼ねた (耐熱性を有する) もの (※加熱試験と同) <p>◆加熱発泡材：障子側部も無しとし、木部の溝加工も行わない (動風圧試験では結果に左右されない位置にあるため)。ただし、ドレーキップについては、動風圧試験後に加熱試験を予定するため、加熱発泡材・木部の溝加工も有り</p> <p>◆塗装：水性塗料の使用を想定して、無し</p> <p>◆窓の配置：窓と周壁の試験面は面一とする。ただし、横すべり出し窓については、目地を試験面の見込み面に設けた仕様とし、かつ窓と壁の取合い部 (側部) からの浸水を確認する。</p> <p>※ [片引き窓]：SUS0.3mm は屋外側表面には被せない (※30 分間防火戸、45 分間防火戸として確認するとともに、動風圧試験では外しても結果に影響しないものと判断)</p>				

ドレーキップについては、動風圧試験に供した建具を使用し、ガラス等を入れ替えた上で、これまでの防火窓の開発検討において遮炎性により劣る側であった、押縁側からの加熱を行うこととする。図2に、試験体仕様一覧を示す。

表2 加熱試験、試験体仕様一覧〔単位：mm〕

開閉形式	窓枠外寸法	ガラス寸法 (見え掛かり寸法)	目標性能
ドレーキップ(内開き内倒し窓)	W1,200×H2,100	W1,008×H1,908 (982×1,882)	45分間* (押縁(屋内)側加熱)
備考	<p>◆ガラス仕様</p> <ul style="list-style-type: none"> ・三層ガラス：耐熱結晶化ガラス 5mm-空気層 16mm-フロート板ガラス 3mm-空気層 16mm-Low-E 耐熱結晶化 5mm、アルミスペーサー <p>◆ガラスまわり</p> <ul style="list-style-type: none"> ・下部通し：けい酸カルシウム板 9 mm厚 ・上・側部：加熱発泡材、幅 30mm ・押縁固定ビス：φ3.5×L55mmのもの ・L金物：L-17×17×0.5mmのもの、通し ・シーリング材：防火シーリングを兼ねた (耐熱性を有する) もの 		

※余裕度を見れば約1割増しの50分間

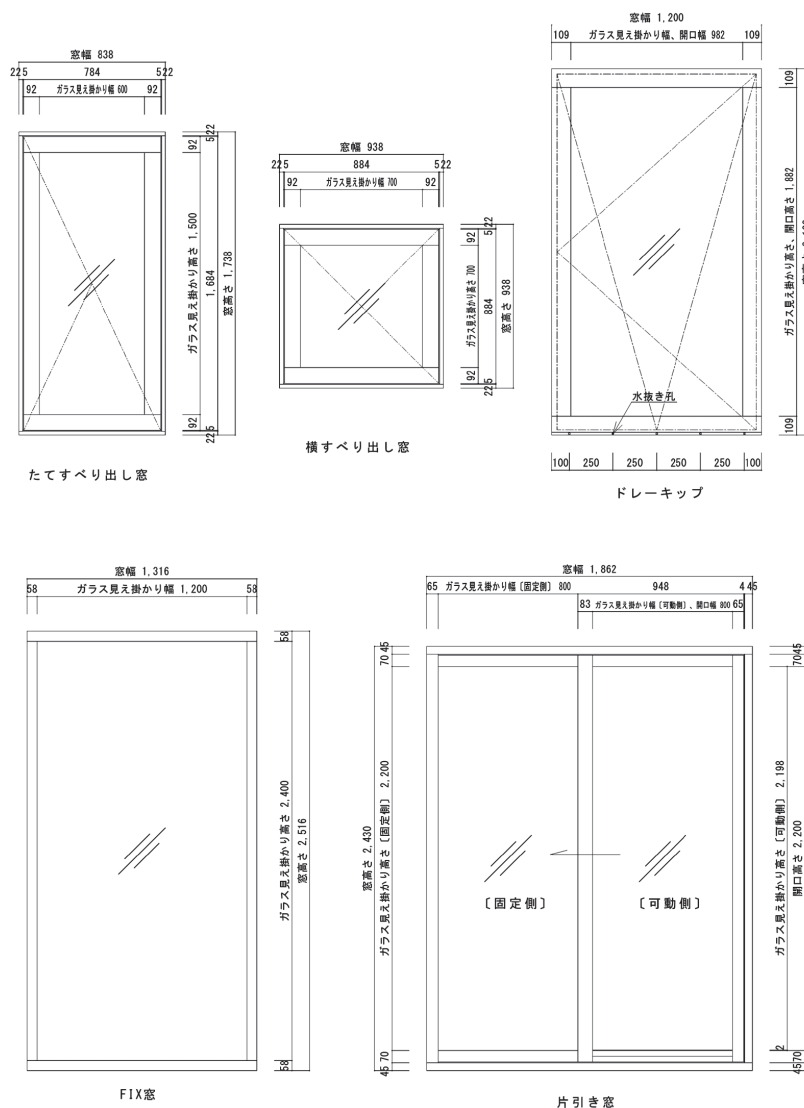


図1 試験に供した窓の屋外側姿図〔単位：mm〕

実施した結果

1) 中層用木製開口部に係る検討課題の抽出結果、各種性能の調査結果

以下の項目について、検討・調査などを行った概略を示す。

①外力（風圧力、地震力）に対して

風圧力に対しては、建築物が建てられる場所、高さ、窓の面積などによって異なるが、耐風圧性の目標値の検討において、最低でもS-5（4階建てを想定したRC造住宅相当）は必要であると考えられる。また地震力に対しては、建物の揺れに対して、窓枠に外力が加わらないよう窓まわりに適切な隙間を設けることや、ガラス側部に外力が加わらないようガラスまわりに適切な隙間を設けることがベターであると考えられる。

②火災に対して

主に特定準耐火建築物に使用される場合に必要とされる20分間を超える防火設備について、建物の規模、用途、火災室の仕様などに応じた告示の設計式等により確認した。

4階建ての木造建築物のモデルにおいて、 α （火災温度上昇係数）が大きくなる木材現しの室がいくつかあり、かつ火災室の準不燃材料が天井のみ、火災室の天井にSPを設けず（100㎡区画）、かつ外壁側にひさし等の出による上階延焼抑制措置を行わない場合は、上階延焼を起こす可能性のある位置に設置する外壁開口部に限り45分間防火設備が必要となることを試算した。

③断熱性について

試験体に供した木製サッシは、省エネの地域区分に応じて、現行の省エネ基準では二層ガラス、三層ガラスとも全地域に対応、現行の誘導基準（将来的に省エネ基準となる予定）では二層ガラスは4以上の温暖な地域用、三層ガラスは全地域用であることを確認した。

④その他の事項（主に、窓（特に木材）に害を及ぼす外的要因）

窓（特に木材）に害を及ぼす主な外的要因として、日射や温度変化、水（水分）、ひょうなどが挙げられ、施工、維持管理に関して木製サッシメーカーのマニュアルに従うことが望まれる。また窓に係る試験法として、動風圧試験（水密性、気密性、耐風圧性）、加熱試験（遮炎性）以外にも、断熱性（JIS A 4706/4710）、遮音性（JIS A 1416）、遮熱性（JIS A 1493/2103）、結露防止性（JIS A 1514）、ガラスの耐衝撃性（JIS R 3109:2018）などがあることを調査した。

2) 各種試験結果

表3に、動風圧試験に供した試験体の試験結果を示す。以下の結果より、試験に供した仕様については、横すべり出し窓、FIX窓は、気密性(A-4)・水密性(W-4)・耐風圧性(S-7)、たてすべり出し窓は、気密性(A-4)・水密性(W-4)・耐風圧性(S-5（ただし、S-7は減圧中に窓が開き不合格）)と、当初の目標性能をクリアした。一方、ドレーキップは、気密性(A-4)・水密性(枠外への流れ出しが発生し、W-4未満)・耐風圧性(S-5)、片引き窓は、気密性(A-4)・水密性(枠外への流れ出しが発生し、W-4未満)・耐風圧性(加圧中、可動部下角（ガイドローラー付近）に破壊が生じ、S-5未満)と、当初の目標性能をクリアできなかった。

表3 動風圧試験に供した試験体の試験結果〔単位：mm〕

開閉形式	窓枠外寸法	ガラス寸法 (見え掛かり寸法)	試験結果		
			気密性 (JIS A 1516)	水密性 (JIS A 1517)	耐風圧性 (JIS A 1515)
横すべり出し窓	W938×H938	W726×H726 (700×700)	A-4 合格	W-4 合格	S-5 及び S-7 いずれも合格
たてすべり出し窓	W838×H1,738	W626×H1,526 (600×1,500)	A-4 合格	W-4 合格	S-5 合格、 S-7 不合格
ドレーキップ(内開き内倒し窓)	W1,200×H2,100	W1,008×H1,908 (982×1,882)	A-4 合格	W-4 不合格	S-5 合格
FIX窓	W1,316×H2,516	W1,226×H2,426 (1,200×2,400)	A-4 合格	W-4 合格	S-5 及び S-7 いずれも合格
片引き窓	W1,862×H2,430	可動側 W826×H2,226 (800×2,198)	A-4 合格	W-4 不合格	S-5 不合格

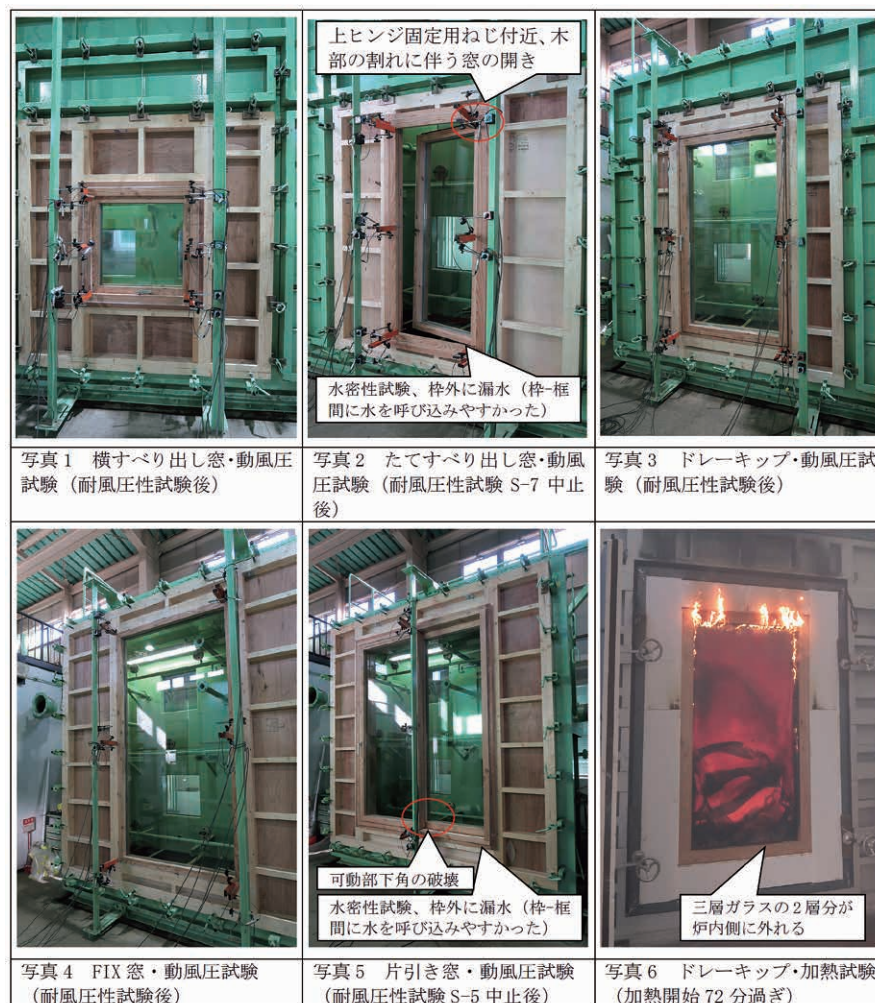
表4に、加熱試験に供した試験体の試験結果を示す。以下の結果より、試験に供した仕様の押縁（屋内）側加熱については、木部の赤熱・炭化の進行とともにガラス保持が困難になり、ガラスと框の取り付け部より炎が出現したため、加熱終了とした。なお遮炎性は60分間であり、目標性能に達した。

表4 加熱試験に供した試験体の試験結果〔単位：mm〕

開閉形式	加熱面	窓枠外寸法	ガラス寸法 (見え掛かり寸法)	火炎貫通等時間	遮炎性*
ドレーキップ(内開き内倒し窓)	押縁(屋内)側	W1,200×H2,100	W1,008×H1,908 (982×1,882)	72分01秒	60分間

*火炎貫通時間が60分を超えたため、(遮炎性) = (火炎貫通等時間) / 1.2 で算出

各窓の動風圧試験、加熱試験の試験状況を、写真1～6に示す。



3) これまでの成果の取りまとめ

令和元年度～5年度にかけて、これまでに試験に供した試験体について、成果が得られた開閉形式を表5に取りまとめる。なお、動風圧試験では、各開閉形式で【大】の寸法の窓を選定したが、【小】の寸法の窓を選定したとしても、建具やガラスの断面構成を変えないなどの条件を満足すれば、安全側の判断ができるものとする。また表6に、本事業の試験結果を受けて、今後の成果に向けての改善案の取りまとめ一覧を示す。

表5 これまでの成果の取りまとめ一覧〔単位：mm〕

開閉形式	窓枠外寸法	ガラス寸法 (見え掛かり寸法)	遮炎性 〔加熱試験〕	気密性 (JIS A 1516)	水密性 (JIS A 1517)	耐風圧性 (JIS A 1515)
横すべり出し窓	【小】 W690×H438	【小】 W426×H276 (400×250)	屋外側・屋内側とも 45 分間	/	/	/
	【大】 W938×H938	【大】 W726×H726 (700×700)	屋外側・屋内側とも 45 分間	A-4	W-4	S-7
たてすべり出し窓	【小】 W438×H690	【小】 W276×H426 (250×400)	屋外側・屋内側とも 45 分間	/	/	/
	【大】 W838 ×H1, 738	【大】 W626×H1, 526 (600×1, 500)	屋外側・屋内側とも 45 分間	A-4	W-4	S-5
FIX 窓	【小】 W316×H316	【小】 W226×H226 (200×200)	屋外側・屋内側とも 45 分間	/	/	/
	【大】 W1, 316 ×H2, 516	【大】 W1, 226×H2, 426 (1, 200×2, 400)	屋外側・屋内側とも 45 分間	A-4	W-4	S-7

表6 本事業の試験結果を受けた、今後の成果に向けての改善案の取りまとめ一覧〔単位：mm〕

開閉形式	窓枠外寸法	ガラス寸法 (見え掛かり寸法)	遮炎性 〔加熱試験〕	気密性 (JIS A 1516)	水密性 (JIS A 1517)	耐風圧性 (JIS A 1515)
たてすべり出し窓	【大】 W838 ×H1, 738	【大】 W626×H1, 526 (600×1, 500)	屋外側・屋内側とも45分間	A-4	W-4	S-5 合格 (→閉鎖機構の変更によりS-7目標)
ドレーキップ	【大】 W1, 200 ×H2, 100	【大】 W1, 008×H1, 908 (982×1, 882)	屋内側60分間 (→屋外側加熱の実施)	A-4	気密材の追加により W-4 目標	S-5 合格 (→S-7の実施)
片引き窓	【小】 W1, 862* ×H902	【小】 可動側 W826×H696 (800×670)	屋外側・屋内側とも45分間			
	【大】 W1, 862* ×H2, 430	【大】 可動側 W826×H2, 226 (800×2, 198)	屋外側・屋内側とも45分間	A-4	可動部を内動型から外動型に変更しW-4目標	ガイドローラーを中央寄りに変更しS-5目標

※: 加熱試験では、加熱面によってW1,262又はW1,362に縮小(屋外側・屋内側横並べて同時加熱)

今後の
課題・展開
等

これまでに5種の開閉形式の加熱試験、動風圧試験を行い、試験結果だけでなく試験時の観察状況を通じて様々な知見を得た。次年度以降に向けて、主に開閉形式ごとの検討課題について以下に示す。

- 共通 : カラマツ以外の樹種のニーズ調査、加工機に応じた別の断面形状の検討(必要に応じて、加熱試験、動風圧試験)
- 横すべり出し窓、FIX窓 : (共通と同)
- たてすべり出し窓 : 耐風圧性でS-7を目指すための、開閉金物の組み合わせの再検討
- ドレーキップ : 気密材の配置の再検討
- 開き窓 : 片外開き窓、両外開き窓の仕様検討(加熱試験時の弱点となりやすい、丁番及びそのまわりにも注意)
- 引き窓 : 引き違い窓、片引き窓の仕様検討(加熱試験時の弱点となりやすい召し合わせ部や、窓閉鎖時の状況によっては水密性等の弱点部に注意)
- 窓・壁取り合い部の仕様、窓取り付け方法の調査

令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用木材供給力強化対策事業のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業

(国産材を用いた非等厚ラミナ構成CLTの製造技術に関する検討)

● 実施団体 ●

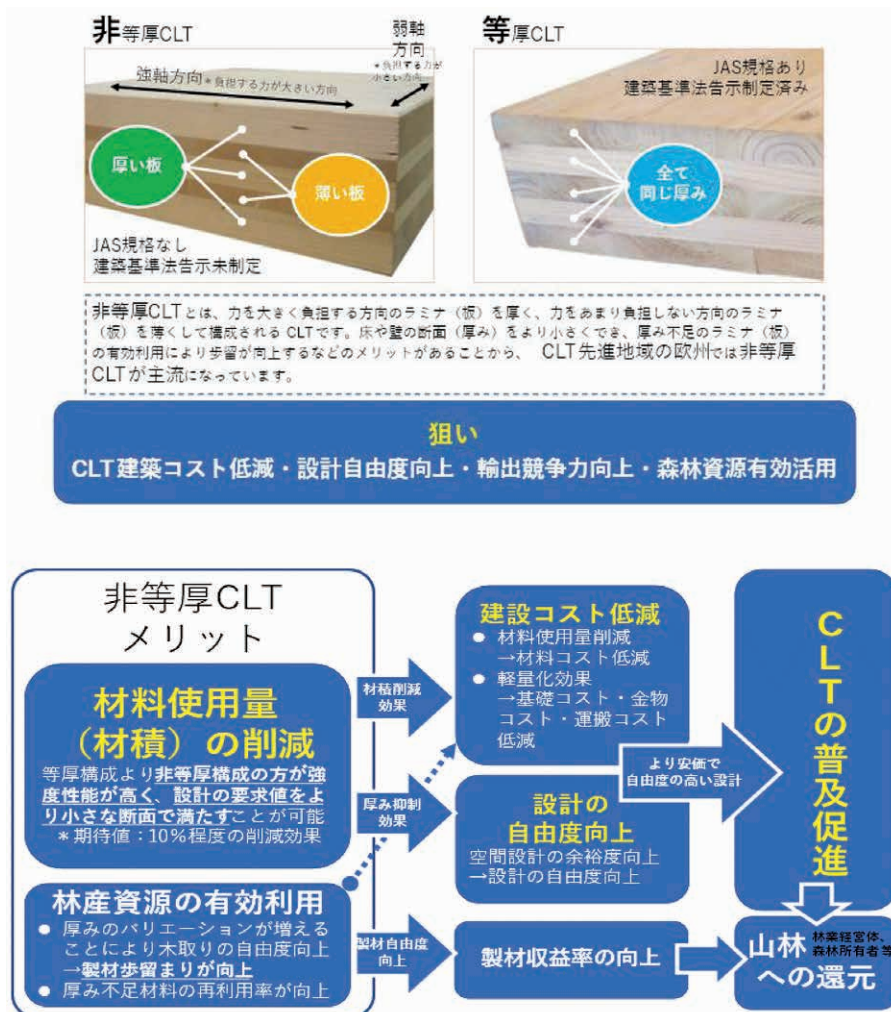
一般社団法人 日本CLT協会

〒103-0004 東京都中央区東日本橋 2-15-5 VORT 東日本橋 2F

事業目的

現在、「JAS3079 直交集成板の日本農林規格」(以下、JAS3079とする)においては、直交集成板(CLT)を構成する各ラミナの厚さは等厚であることとされている。一方、CLT製造時の原料の歩留まり向上やCLTを用いた建築物の設計の自由度向上を図るために、強軸方向の強度性能を効率的に向上させることが出来る、異なる厚さ(非等厚)のラミナで構成されたCLT(以下、非等厚ラミナCLTとする)の開発を推進する必要がある。今年度は、異なる厚みのラミナ(20mm・30mm・40mm)について、曲げヤング係数など様々な試験を実施し、非等厚CLTのJAS3079への反映を念頭に、事業計画に基づき非等厚ラミナ検証データを取得する。

本事業では、非等厚ラミナで構成されるCLTの規格化を進めることにより、CLT建築コストの低減、CLT建築の普及拡大を目指すと共に、CLT普及拡大を通じて森林資源の有効活用と炭素ストックの増加を目指す。



実施した
項目

① 委員会の編成および開催

日本CLT協会を事務局として森林総合研究所による試験・評価協力体制の下、有識者による委員会を編成して非等厚ラミナで構成されるCLTの検討委員会を開催した。

第一回委員会：2023年 7月24日

第二回委員会：2024年 2月 2日

② 国産材を使用した非等厚構成CLTの製造の課題整理

③ ラミナ製造試験および評価

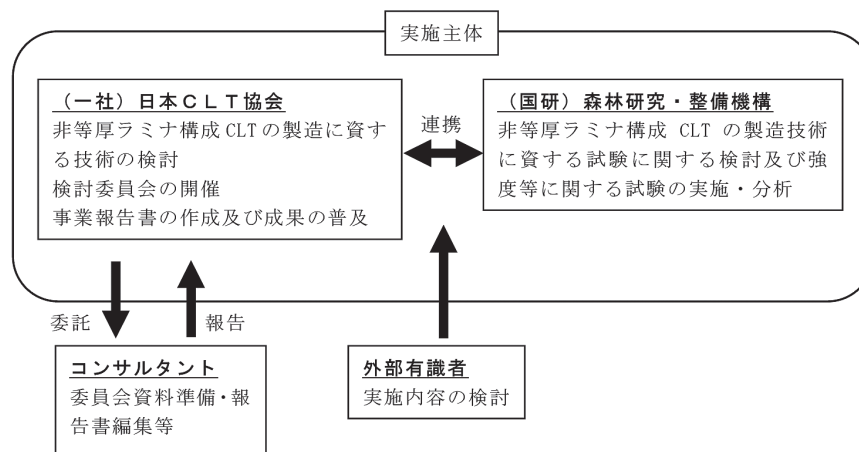
厚さ20mmおよび40mmのラミナの製造試験を実施し、強度性能を評価した。

実施
体制

(一社)日本CLT協会を代表者とし、(国研)森林研究・整備機構との共同で事業を実施する。業務分担は以下のとおり。

事業内容	(一社)日本CLT協会	(国研)森林研究・整備機構
事業の進行管理	○	
検討委員会の開催・運営	○	
製造試験の実施	○	
強度試験の実施		○
成果報告書のとりまとめ	○	

[実行体制図]



[検討委員会名簿]

委員長	安村 基	静岡大学名誉教授
委員	河合 直人	工学院大学建築学部建築学科教授
	青木 謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科准教授
	槌本 敬大	(国研) 建築研究所上席研究員
	尾方 伸次	(公財) 日本合板検査会専務理事
	神谷 文夫	セイホク(株) 技師長
	荒 康弘	国土技術政策総合研究所主任研究官
	秋山 信彦	国土技術政策総合研究所主任研究官

オブザーバー	杉原 伸一	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付	
	甲斐 菜月	国土交通省住宅局参事官 (建築企画担当) 付	
	川原 聡	農林水産省新事業・食品産業部食品製造課基準認証室	
	福島 純	林野庁木材産業課木材製品技術室	
	巻田 和丈	林野庁木材産業課木材製品技術室	
	高木 望	林野庁木材産業課木材製品技術室	
	山内 一浩	(独) 農林水産消費安全技術センター	
	平原 章雄	木構造振興 (株) 常務取締役	
	伊藤 一哉	株式会社 E P & B	
	事務局	坂部 芳平	一般社団法人日本 CLT 協会 専務理事
		安東 真吾	一般社団法人日本 CLT 協会 事務局長
		西妻 博康	一般社団法人日本 CLT 協会 総務企画部
		谷口 翼	一般社団法人日本 CLT 協会 開発技術部
平松 靖		(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域	
渋谷 龍也		(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究ディレクター	
原田 真樹		(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域	
宮本 康太		(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域	
宮武 敦	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域		

実施した 内容

スギ、ヒノキラミナ製造試験

①曲げヤング係数の測定

仕上げ厚さを 20mm、30mm、40mm とするための原料のスギ、ヒノキラミナ (ラフ) について、直交集成板の JAS に示される曲げ B 試験を実施し、曲げヤング係数を測定した。

厚さの異なるラミナ (ラフ) の曲げヤング係数の分布に大きな差はなく、スギでは 8~9kN/mm² の出現頻度が高く、ヒノキでは 11~13kN/mm² の出現頻度が高かった。



写真 曲げ B 試験用のスギラミナ (ラフ) の一部



写真 ヒノキ・スギラミナ（ラフ）の曲げB試験の実施状況

曲げB試験実施後、厚さムラを取り除くために粗取切削を行った後、等級区分機を用いてラミナ（粗取後）の曲げヤング係数を測定した。

曲げB試験、等級区分機で測定した曲げヤング係数は高い相関を示した。



写真 等級区分機投入前のヒノキ、スギラミナ（粗取後）

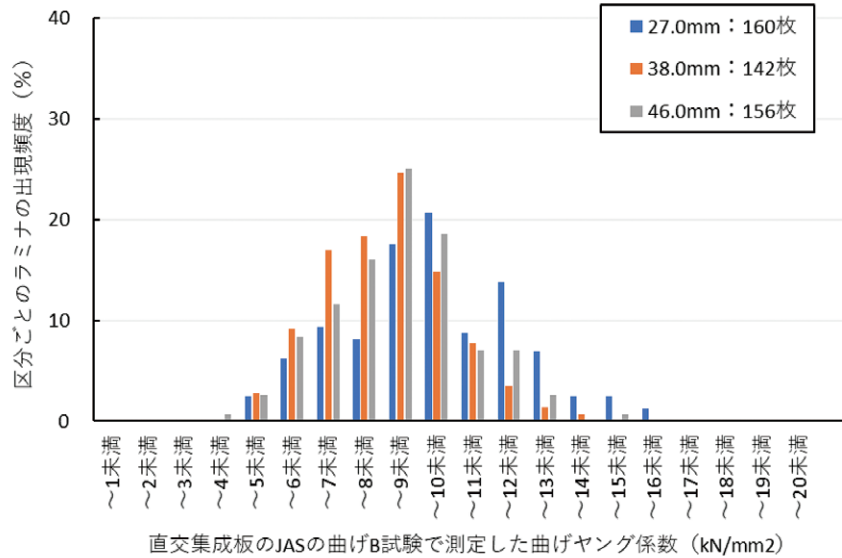
ラミナ（粗取後）を、大きな節等を取り除きつつ長さ約1200mmに切断し、ラミナ（ラフ）の曲げヤング係数の順にフィンガージョイントによってたて継ぎし、長さ4000mmのラミナ（仕上げ）を作成した。これらについて縦振動法によるヤング係数を測定した。

フィンガージョイント加工後のラミナ（仕上げ）のヤング係数の分布についても厚さによって大きな差はなく、スギでは8～10kN/mm²の出現頻度が高く、ヒノキでは13～14kN/mm²の出現頻度が高かった。

【スギ】

直交集成板のJASの曲げB試験で測定した厚さの異なるラミナ（ラフ）の曲げヤング係数の分布

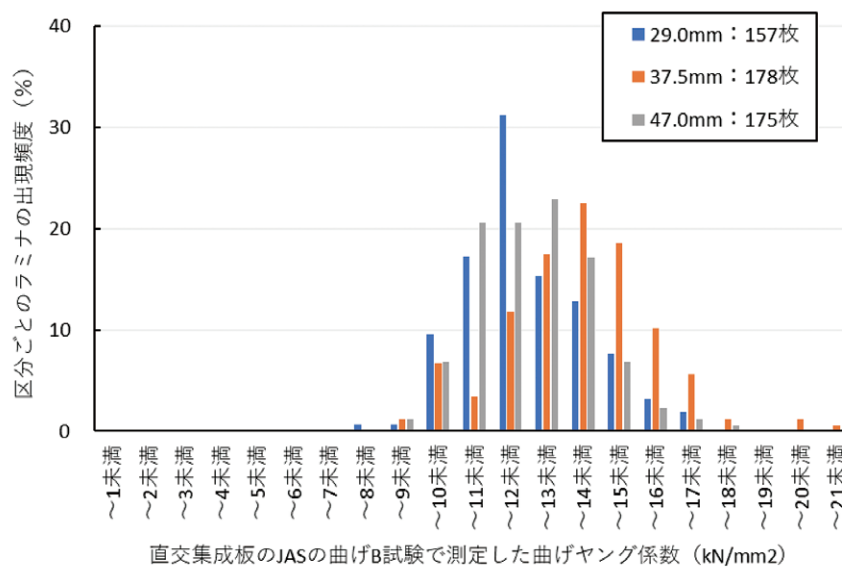
ラミナ（ラフ）寸法： 厚さ27mm、幅112mm、長さ3000mm
 厚さ38mm、幅113mm、長さ3000mm
 厚さ46mm、幅146mm、長さ3000mm



【ヒノキ】

直交集成板のJASの曲げB試験で測定した厚さの異なるラミナ（ラフ）の曲げヤング係数の分布

ラミナ（ラフ）寸法： 厚さ29mm、幅114mm、長さ3000mm
 厚さ37.5mm、幅113mm、長さ3000mm
 厚さ47mm、幅145mm、長さ3000mm



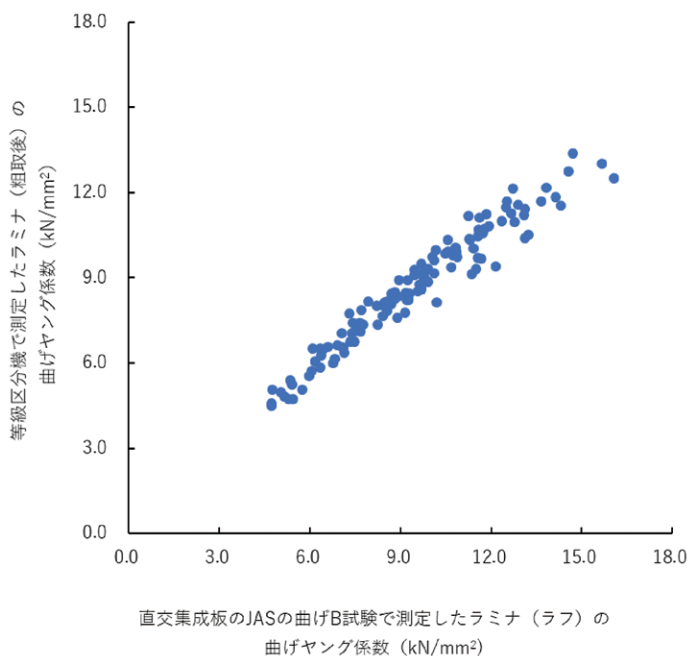
【スギ】

直交集成板のJASの曲げB試験で測定した厚さの異なるラミナ（ラフ）の曲げヤング係数と等級区分機で測定したラミナ（粗取後）の曲げヤング係数の関係（枚数130枚）

ラミナ（ラフ）寸法：厚さ27mm、幅112mm、長さ3000mm

ラミナ（粗取後）寸法：厚さ23mm、幅109mm、長さ3000mm

等級区分機での測定は、ラミナ（ラフ）を粗取切削して厚みムラを取り除いて実施



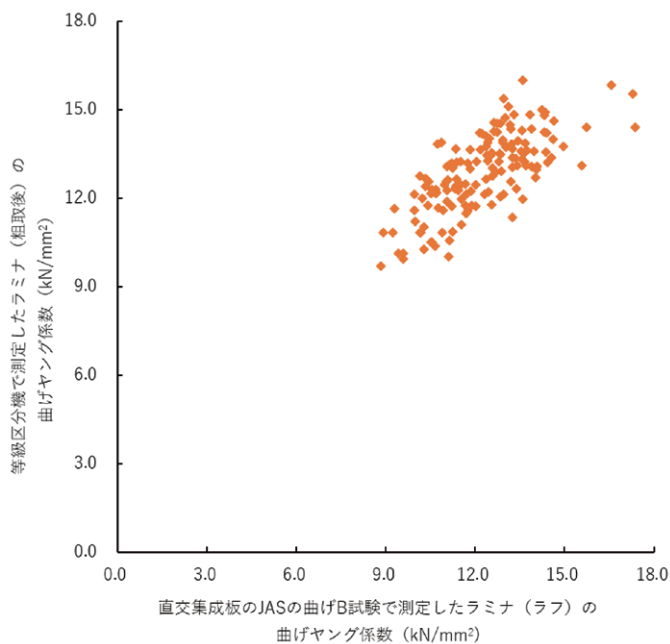
【ヒノキ】

直交集成板のJASの曲げB試験で測定した厚さの異なるラミナ（ラフ）の曲げヤング係数と等級区分機で測定したラミナ（粗取後）の曲げヤング係数の関係（枚数130枚）

ラミナ（ラフ）寸法：厚さ47mm、幅145mm、長さ3000mm

ラミナ（粗取後）寸法：厚さ43mm、幅143mm、長さ3000mm

等級区分機での測定は、ラミナ（ラフ）を粗取切削して厚みムラを取り除いて実施



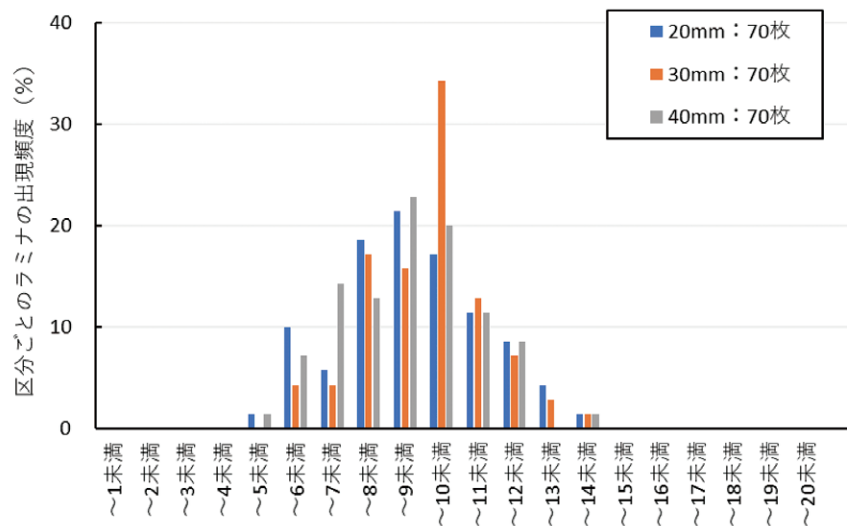
【スギ】

縦振動法で測定したフィンガージョイントラミナ（仕上げ）のヤング係数の分布

ラミナ（ラフ）寸法： 厚さ20mm、幅105mm、長さ4000mm

厚さ30mm、幅105mm、長さ4000mm

厚さ40mm、幅140mm、長さ4000mm



縦振動法によるフィンガージョイントラミナ（仕上げ）のヤング係数の区分 (kN/mm²)

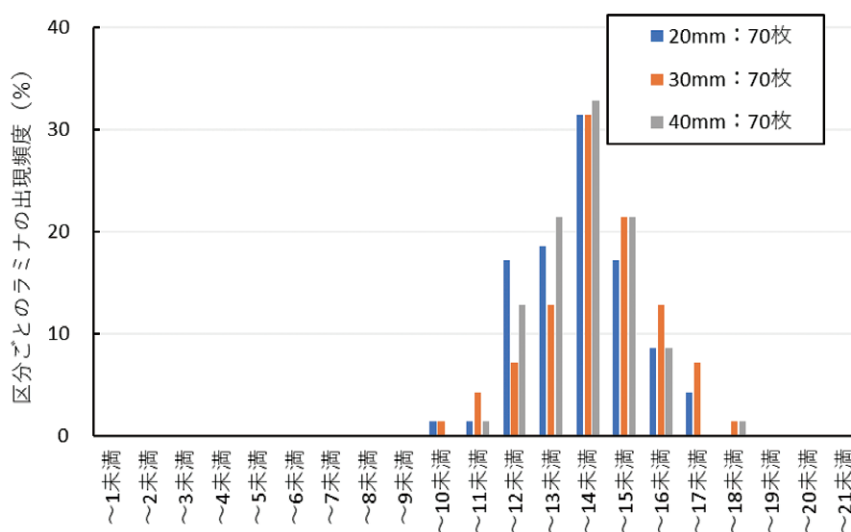
【ヒノキ】

縦振動法で測定したフィンガージョイントラミナ（仕上げ）のヤング係数の分布

ラミナ（ラフ）寸法： 厚さ20mm、幅105mm、長さ4000mm

厚さ30mm、幅105mm、長さ4000mm

厚さ40mm、幅140mm、長さ4000mm



縦振動法によるフィンガージョイントラミナ（仕上げ）のヤング係数の区分 (kN/mm²)

**今後の
課題・展開
等**

本年度事業により製造試験を実施した20mm、30mm、40mmラミナの強度性能を評価し、非等厚ラミナCLTの想定用途と層構成の組み合わせおよびその有効性を検討する。また、非等厚CLTパネルの各種実験により性能を検証し、試験結果は委員会にて討議、承認をいただく。

木ダボ積層材 (DLT) の普及に向けた 性能評価と普及活動

● 実施団体 ●

株式会社長谷萬

〒135-0047 東京都江東区富岡 2-11-6

事業 目的

今後の木材利用拡大を図るうえで、非住宅用途の大規模木造建築や、木造以外の鉄骨造、鉄筋コンクリート造での木材利用の道筋が求められる。

これまでに実施した DLT-コンクリート合成材 (DLT-CC) の基礎的な性能検証を基に、DLT-コンクリート合成材 (DLT-CC) の実用化を視野に性能検証を進め、DLT の用途拡大による木材の利用拡大を図る。

DLT-コンクリート合成 (DLT-CC) により、以下の効果、性能向上が見込める。

- ① 床剛性の向上； コンクリート合成床版として高い床剛性の確保が可能で、床のたわみや振動を軽減し、水平混構造が図れる。
- ② 居住性能の向上； コンクリートとの合成により、木床版単独では困難であった低音域の遮音性能が向上する。
- ③ 耐火性の向上； 不燃材のコンクリートと合成により、床上面側からの火熱に対する耐火性能が向上する。
- ④ 環境性能の向上； 従来の鉄筋コンクリート床版に対し、床断面の約 2/3 が木材に置き換えられるため、CO₂ を大幅に削減できる。
- ⑤ 広い汎用性； DLT に限らず、大径材や CLT とのコンクリート合成の実用化にも寄与できる。

実施した 項目

① シアコネクタのせん断試験

DLT とコンクリートの複合化では、木材とコンクリートの層間の応力伝達機構としてのシアコネクタが重要である。本事業ではシアコネクタを複数タイプ選択しせん断試験実施した。

② DLT-CC の実大曲げ試験

予備試験の結果をふまえ、シアコネクタを 2 種類選択し、実際に DLT-コンクリート合成材 (DLT-CC)、集成材-コンクリート合成材 (T-CC) の剛性床版を製作し、面外の曲げ試験を行い、木-コンクリート合成材の構造性能を確認した。

③ コンクリート染み出し汚れの防止効果の確認

DLT への接合具の施工性、コンクリート打設時のモルタルなどの染みだし、外観の汚染について、コンクリート界面の仕様を変え確認した。

検討委員会（敬称略）

委 員 長	宮田雄二郎	法政大学 デザイン工学部 建築学科 准教授
委 員	網野 禎昭	法政大学 デザイン工学部 建築学科 教授
	花井 厚周	株式会社竹中工務店 エンジニアリング本部 木造・木質建築推進本部 副本部長
	飯田 智裕	株式会社竹中工務店 エンジニアリング本部 木造・木質建築推進本部 技術グループ チーフエンジニア
	平松 靖	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 領域長
	大木 文明	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 積層接着研究室 研究員
	小林 慧	群馬県 環境森林部 林業振興課 県産木材振興係 主任
	長谷川泰治	株式会社社長谷萬 代表取締役社長
オブザーバー	立花 紀之	林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 木材専門官
	齋藤 平	林野庁 木材産業課 木材製品技術室 木材製品調査班 企画調整係長
	井道 裕史	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 材料接合研究室長
	鈴木 賢人	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 主任研究員
	宮武 敦	(国研) 森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域 研究専門員
	上里 和夢	株式会社宮田構造設計事務所
	平原 章雄	木構造振興株式会社 常務取締役
事 務 局	鈴木康史、小林辰美（株式会社社長谷萬）	

実 施 主 体	株式会社社長谷萬
製 材 供 給	小井土製材株式会社
DLT製造・加工	株式会社長谷川萬治商店
試 験 体 製 作	株式会社ネクサス、他
試 験 実 施	国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所
試 験 補 助	株式会社ネクサス

① シアコネクタのせん断試験

シアコネクタのせん断耐力確認試験を実施した。

シアコネクタには1) ラグスクリュー (LS)、2) スクリュービス (SC)、3) プレート (LP)、4) ノッチ (NN)、5) ノッチ+ラグスクリュー (NL) を選択。

コンクリートとの境界面を透湿防水シート (S)、合板 (P) の2仕様とし、主材;コンクリート、側材;スギ38mm×140mm 5層のスギDLT (D)、スギ集成材 (G) で各仕様によるせん断耐力と剛性を確認した。

試験体の基本形状と試験体の仕様、種類を図1、表1に示す。

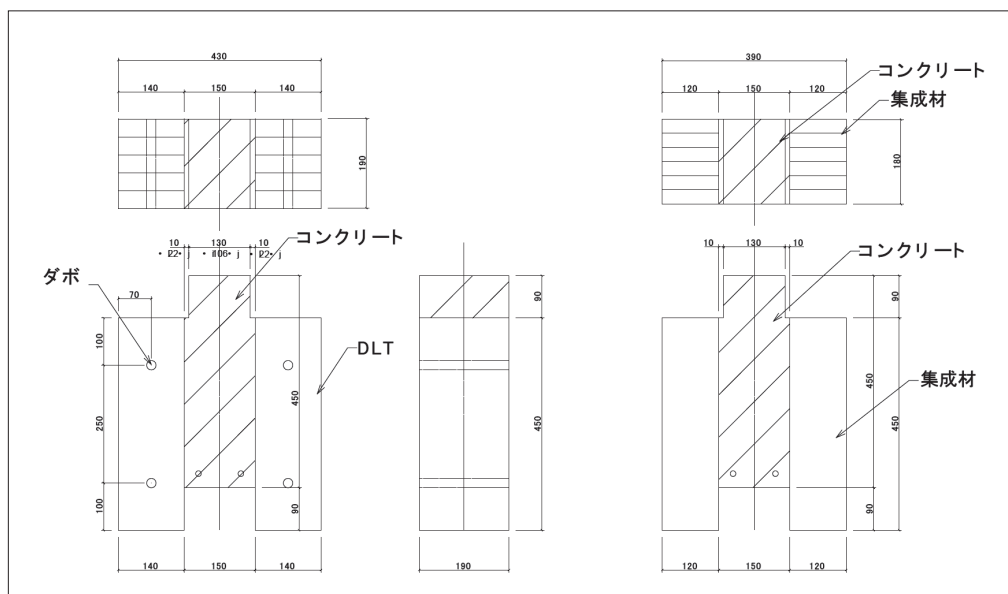


図1 試験体の基本形状

表1 試験体 記号、種類

記号	側材	シアコネクタ	保護層
D-LS-S	DLT	ラグスクリュー	透湿防水シート
D-LS-P	DLT	ラグスクリュー	型枠合板 (t12)
D-SC-S	DLT	スクリュービス	透湿防水シート
D-SC-P	DLT	スクリュービス	型枠合板 (t12)
D-PL-S	DLT	L型有孔鋼板+スクリュービス	透湿防水シート
D-NN-S	DLT	ノッチ	透湿防水シート
D-NL-S	DLT	ノッチ+ラグスクリュー	透湿防水シート
G-LS-S	集成材	ラグスクリュー	透湿防水シート
G-SC-S	集成材	スクリュービス	透湿防水シート
G-PL-S	集成材	L型有孔鋼板+スクリュービス	透湿防水シート
G-NN-S	集成材	ノッチ	透湿防水シート
G-NL-S	集成材	ノッチ+ラグスクリュー	透湿防水シート

③ コンクリート染み出し汚れの防止効果の確認

1) 接合具の施工性の確認

DLTとコンクリートの界面を無処理、透湿防水シート貼り、合板貼りでシアコネクタ（ビス、ラグスクリュー）を施し、施工性を確認した。

コンクリート打設前後の状況を示す。

無処理仕様

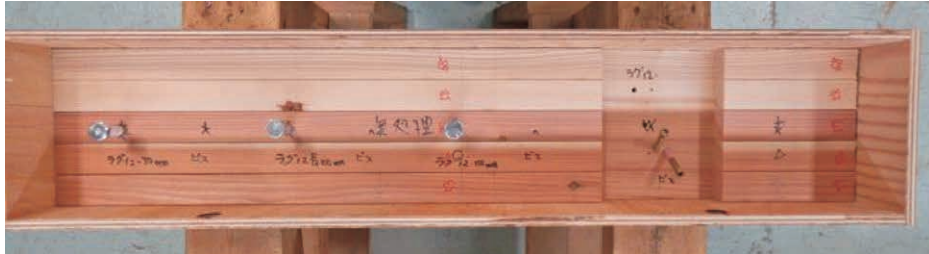


写真1 打設前の状況（無処理）



写真2 脱型時の側面（無処理）

2) 境界面の仕様による染み出しの確認

DLTとコンクリートの界面を無処理と透湿防水シート貼り条件で、シアコネクタ（スクリュービス、ラグスクリュー、ノッチ加工）を施した試験体にコンクリートを打設。コンクリート硬化後に試験体を解体し、ノッチ加工部へのコンクリートの充填、界面仕様の差による木部へのコンクリートの染み出し、汚染の有無を確認した。

透湿防水シート仕様



写真3 打設前の状況（透湿防水シート仕様）



写真4 脱型時の側面（透湿防水シート仕様）

① シアコネクタのせん断試験

せん断試験の結果を表 3、表 4 に示す。

表 3 力学的特性値一覧 (DLT 平均値)

試験体	K(0_Py) (kN/mm)	K(0.1_0.4) (kN/mm)	Pp (kN)	δp (mm)	Py (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Pu (kN)	δv (mm)	μ	Ds	Pmax (kN)	$\delta \max$ (mm)
D-LS-S	4.48	6.58	4.71	0.57	6.80	1.53	30.00	10.26	2.31	13.09	0.20	11.10	26.79
D-LS-P	4.61	5.86	5.55	0.82	7.42	1.66	30.00	11.33	2.54	12.52	0.21	12.56	17.44
D-SC-S	2.21	2.07	6.32	2.30	7.53	3.45	30.00	13.09	5.98	5.11	0.33	14.31	29.90
D-SC-P	2.32	2.16	7.39	3.20	7.96	3.60	30.00	14.74	6.68	4.73	0.35	16.05	19.61
D-PL-S	2.15	1.70	7.50	3.25	8.16	3.91	30.00	15.42	7.37	4.18	0.37	16.66	28.98
D-NN-S	120.48	172.84	57.89	0.43	66.12	0.55	4.56	99.12	0.83	5.49	0.32	115.08	3.41
D-NL-S	85.21	141.21	64.56	0.69	67.63	0.79	11.03	108.54	1.26	9.00	0.28	119.26	4.33

表 4 力学的特性値一覧 (集成材平均値)

試験体	K(0_Py) (kN/mm)	K(0.1_0.4) (kN/mm)	Pp (kN)	δp (mm)	Py (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Pu (kN)	δv (mm)	μ	Ds	Pmax (kN)	$\delta \max$ (mm)
G-LS-S	6.84	8.76	5.48	0.45	7.64	1.12	28.53	11.88	1.75	16.48	0.18	12.68	15.48
G-SC-S	2.79	2.64	7.61	2.26	8.86	3.27	30.00	16.03	5.93	5.28	0.33	17.45	28.56
G-PL-S	4.09	2.94	9.52	2.37	10.05	2.66	29.62	19.35	5.11	6.17	0.31	21.03	23.35
G-NN-S	113.72	172.04	56.61	0.44	61.40	0.54	2.81	96.72	0.84	3.36	0.42	107.49	2.25
G-NL-S	93.08	148.79	62.41	0.62	68.98	0.74	4.09	104.83	1.14	3.58	0.41	117.84	2.83

試験体の破壊状況例 (NLタイプ) を写真 5 に示す。

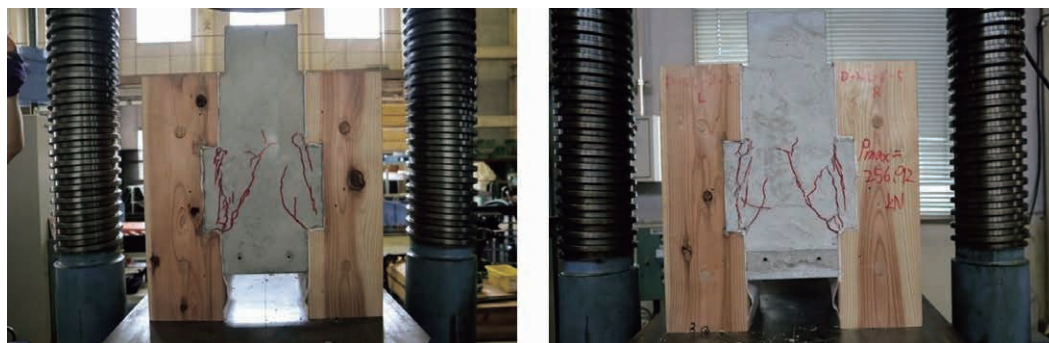


写真 5 最終破壊形状 (D-NL-S-5)

各試験体のP- δ 曲線（全体、初期）を図3に示す。

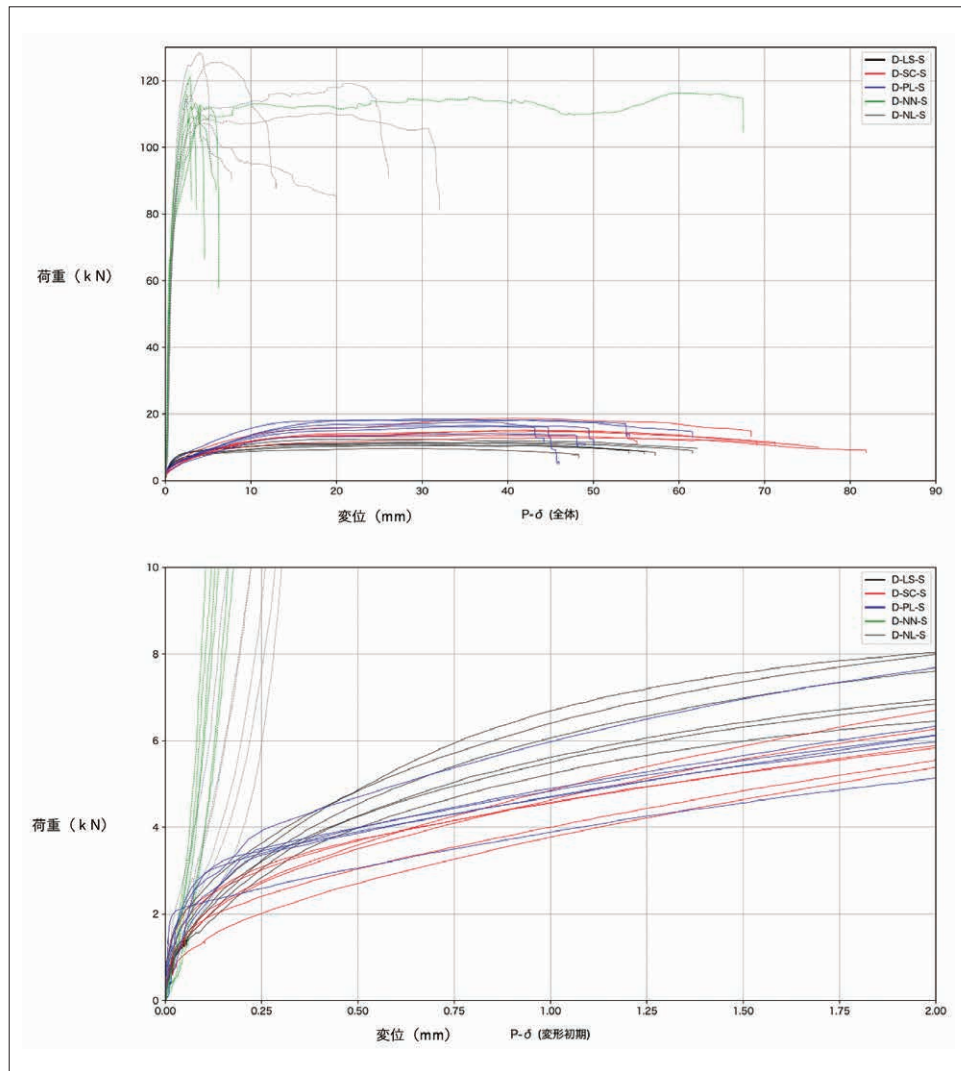


図3 コネクタのP- δ 曲線（全体、初期）

② DLT-CC実大梁の曲げ試験

曲げ試験の結果を表5に示す。

表5 力学的特性値一覧

試験体	K(0_Py) (kN/mm)	K(0.1_0.4) (kN/mm)	Pp (kN)	δp (mm)	Py (kN)	δy (mm)	δu (mm)	Pu (kN)	δv (mm)	μ	Ds	Pmax (kN)	δmax (mm)
D-SC-S-1	1.07	1.09	31.69	28.71	35.6	33.3	84.5	57.85	54.11	1.56	0.69	66.29	84.05
D-SC-S-2	1.06	1.07	32.82	28.27	41.59	39.13	94.76	63.57	59.81	1.58	0.68	72.26	92.51
D-SC-S-3	1.03	1.06	34.98	31.78	43.53	42.09	100.48	66.65	64.45	1.56	0.69	74.2	99.46
平均	1.06	1.07	33.16	29.59	40.24	38.17	93.25	62.69	59.46	1.57	0.68	70.92	92.01
D-NL-S-1		1.75	66.49	39.52			54.65					74.83	54.45
D-NL-S-2		1.61	63.14	41.81			53.15					74.84	52.91
D-NL-S-3		1.79	62.09	37.23			46.89					74.46	46.68
平均		1.71	63.91	39.52			51.56					74.71	51.35
G-SC-S-1	1.47	1.28	32.89	21.9	34.2	23.32	85.38	64.65	44.08	1.94	0.59	75.05	77
G-SC-S-2	1.54	1.34	29.77	18.58	31.98	20.8	68.81	58.71	38.19	1.8	0.62	69.35	67.38
G-SC-S-3	1.43	1.2	30.83	21.31	31.46	22	73.18	58.49	40.9	1.79	0.62	70.02	72.42
平均	1.48	1.27	31.16	20.6	32.55	22.04	75.79	60.61	41.06	1.84	0.61	71.47	72.27
G-NL-S-1		1.82	71.23	39.56			39.82					71.24	39.57
G-NL-S-2		1.78	75.14	42.59			43.11					75.14	42.6
G-NL-S-3		1.71	69.53	43.38			43.92					69.54	43.39
平均		1.77	71.97	41.84			42.28					71.97	41.85

試験状況を写真 6 に示す。

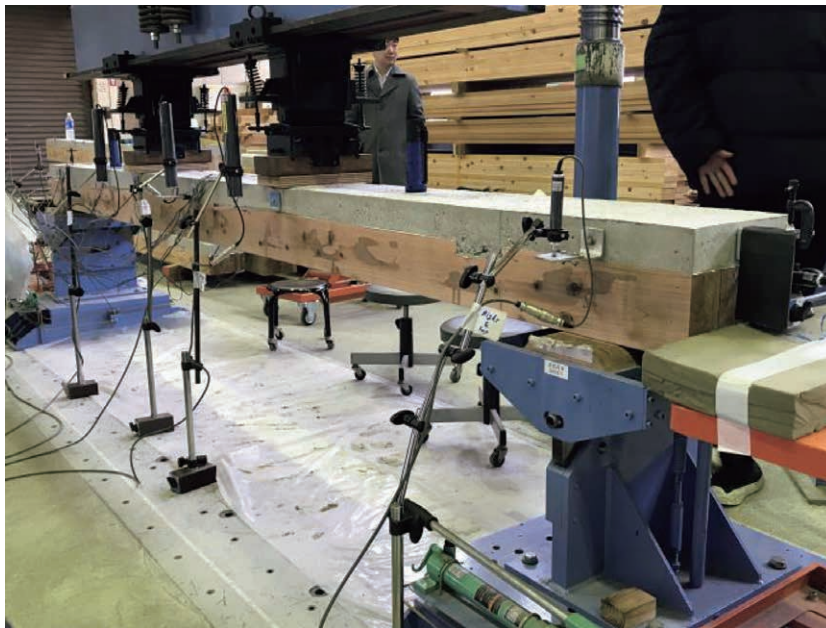


写真 6 試験状況

各試験体の P- δ 曲線を図 4、図 5 に示す。

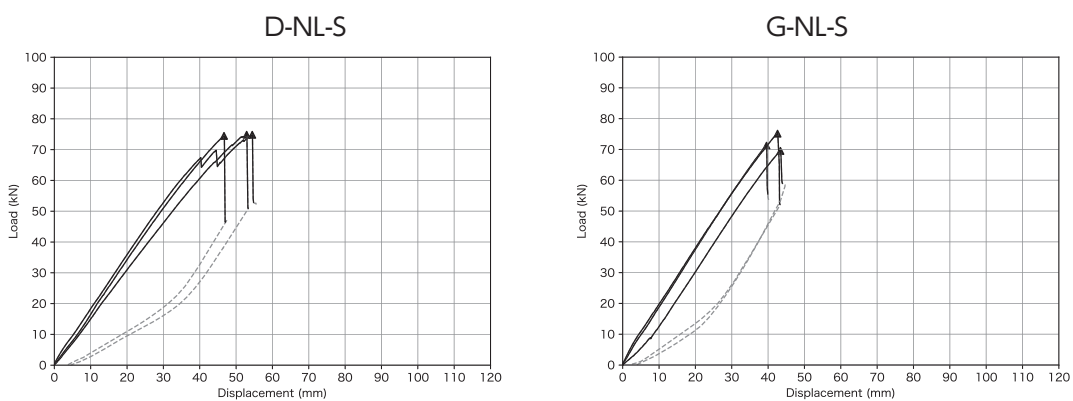


図 4 試験体 D-NL-S、G-NL-S P- δ 曲線

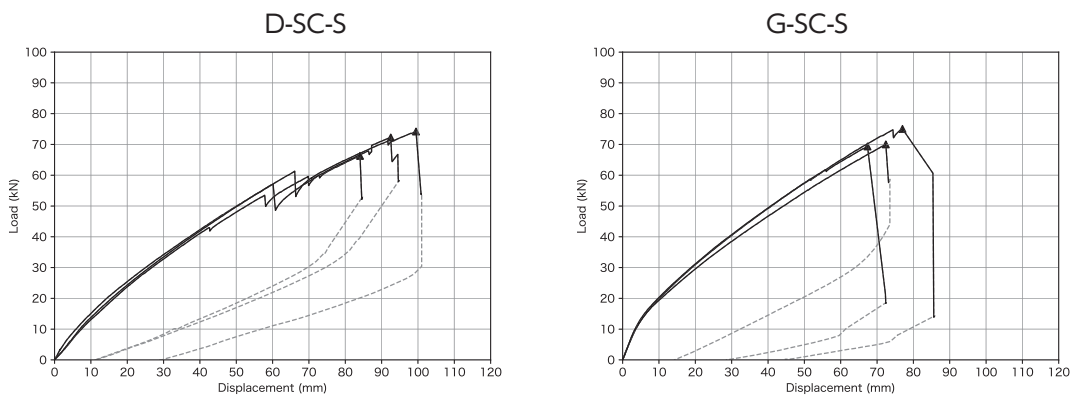


図 5 試験体 D-SC-S、G-SC-S P- δ 曲線

③ コンクリート染み出し汚れの防止効果の確認

- 無処理仕様でも下面までの染み出しや汚染は確認できなかったが、下面側を木材現わしとする場合では、境界面の適切な処理が必要である。
- 透湿防水シート仕様でも、ノッチ部へのコンクリート充填が確認できたが、不透明な透湿防水シートではノッチ部のコーナーや、接合具とラミナとの位置関係の目視確認が難しいことから、透明性を有するシートの使用が望ましいと考える。

解体後のラミナ外観を写真 7、写真 8 で示す。



写真 7 解体ラミナの状況 (無処理)



写真 8 解体ラミナの状況 (透湿防水シート仕様)

今後の
課題・展開
等

① DLT-CCの利用拡大に向けた課題

1) シアコネクタの改良とせん断性能の確認

シアコネクタが木-コンクリート複合材の層間のせん断変形、剛性に影響する。さらに改良したシアコネクタによるせん断試験を通じシアコネクタの最適化が必要と考える。

2) 長尺材活用に向けた構造性能の確認

本事業では一般流通材4mを使用したことで、ノッチ型シアコネクタは両端部に1カ所しか設置できなかった。長尺材の活用促進のためノッチ型シアコネクタを複数設置したロングスパン材で曲げ試験、クリープ試験等を実施し効果の確認が必要と考える。

3) 木-コンクリート合成材の評価法の確立

曲げ試験体はトラス法により耐力を求めた。トラス法では概略設計に適しているが、DLT-CCの普及のため評価方法の検証・確立が求められる。

② DLT-CC 今後の展開

1) 単体のDLTに比べ、コンクリート合成により高い曲げ性能が確認された。木材活用と炭素蓄積の観点から、鉄骨造やRC造のコンクリートスラブ床構造にDLT-CCの活用が期待される。

2) シアコネクタのせん断性能はDLTだけでなく、製材や丸太材、太鼓材でも活用が可能で、木-コンクリート合成床版は大径材の利用拡大に寄与すると考えられる。

3) コンクリートとの合成により、平面的な混構造が可能となる。副次的な効果として、床構造で必要な遮音性能、耐火性能の向上も期待できる。

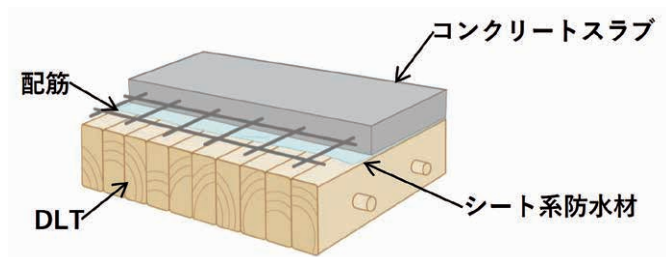


図6 木-コンクリート合成部材のイメージ図

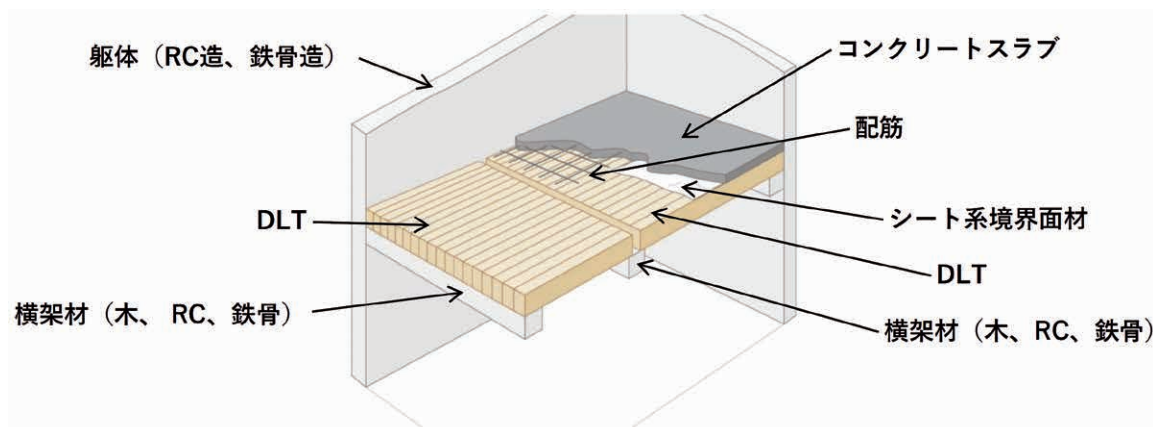


図7 木-コンクリート合成床版活用のイメージ図

中大規模木造建築のための加工・施工技術 普及検討事業

● 実施団体 ●

日本集成材工業協同組合

〒104-0031 東京都中央区京橋1-14-5 土屋ビル2階

事業 目的

今後、木材需要の拡大を図っていくためには、中大規模建築物や非住宅分野での木材利用の拡大が必要である。公共建築物等木材利用促進法の施行以降、中大規模木造建築物は増えてきたが、これらの建築物の設計、施工等に精通している技術者等が不足しており、また、これらの建築を担い得る事業者の情報も整備されていないことが大きな課題となっている。こうした状況を踏まえ、本事業は以下の2つの目的をもって実施している。

第1の目的は、中大規模木造建築物の建築促進を図るため、講習を通じて接合部の加工・施工（＝現場での建方）等の担い手（技術者・技能者）の育成を図るとともに、修了者の公表を通じて、担い手及び担い手の所属する企業の「見える化」を図ることである。講習では、中大規模木造建築規模に求められる最新の部材加工技術、現場施工技術を扱った技術マニュアルとも呼ぶべきテキストを作成し、使用している。鉄骨造を参考にして、精度基準案を示しているのもこの講習テキストの大きな特徴であり、講習修了者の活躍を通じて de facto standard となることを切に期待している。

第2の目的は、構造用大断面集成材の利用が進むよう、設計者向けに技術情報を提供し、支援することである。令和4年度より、事務所、共同住宅、店舗に対応した大断面スパン表と接合金物のデータを併せて提供しているが、大断面集成材を使用した設計の一助となるような技術情報を引き続き検討し提供することとしている。

実施した 項目

1. 検討委員会の開催等

検討委員会において事業計画を検討・決定し、それを受けてWG1（担い手の育成）及びWG2（設計支援）において、具体的な取組内容を検討した。

2. 育成事業等の実施

WG1 及びWG2 の取組内容

(ア) 担い手の育成 (WG 1)

- ・総合講習の実施、修了試験の実施、修了者の公表等

(イ) 設計支援 (WG 2)

- ・集成材柱許容耐力表及び梁端部（仕口側）の接合部仕様の作成
- ・「準耐火構造（集成材建築物）における接合部の防火設計の手引き」の改訂作業
- ・大断面スパン表利用説明会の動画配信

3. 事業報告書の作成及び成果の普及

実施体制

●中大規模木造建築のための加工・施工技術普及検討委員会委員

(委員長) 五十田 博	京都大学生存圏研究所 生存圏開発創成研究系教授
稲田 達夫	(一社) 建築鉄骨構造技術者支援協会理事長 元福岡大学工学部建築学科教授
青木 謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科 准教授
秋野 卓生	匠総合法律事務所 代表社員弁護士
村田 光司	日本木材加工技術協会 専務理事
北村 俊夫	(株)木質構造計画ラボ 代表取締役
麻生 直木	(株)安藤・間 建設本部 建築技術統括部 顧問
井塚 茂	SMB建材(株) 木構造建設部 部長代理
宮林 正幸	(有)ティー・イー・コンサルティング一級建築士事務所所長
原田 浩司	ウッズストック代表
菅谷 恭浩	T S コンサルティング

<敬称略>

●WG 1 (担い手の育成) :

五十田 (主査)、稲田、青木、秋野、村田、北村、麻生、井塚、宮林、原田、菅谷

<敬称略>

●WG 2 (設計支援) :

宮林 (主査)、菅谷、北村 <敬称略>

実施した内容

1. 検討委員会の開催等

- ・検討委員会 2回開催
- ・WG 1 (担い手の育成) 2回開催
- ・WG 2 (設計支援) 4回開催

2. 育成事業等の実施

(1) 担い手の育成 (WG 1)

- ・令和元年度より3年度までは、木質構造の基礎知識、中大規模木造建築に求められる加工・施工の知識・技術を広くカバーする基礎講習を開催した。
- ・令和4年度は、この基礎講習修了者を対象に、専門講習をオンライン (オンデマンド) で開催し、木質構造部材製作要領書、接合金物製作要領書、建方要領書 (木造躯体工事) について学んでいただいた。
- ・今年度 (令和5年度) は、基礎講習、専門講習ともオンデマンドで受講が可能であることから、受講者の利便性を考慮して、「総合講習」として一体的に開催することとした。8月上旬より、日集協のウェブサイト、業界紙への広告掲載、中大規模木造建築ポータルサイト (日本住宅木材技術センター) 等を通じて、総合講習の開催について情報を発信した。
- ・8月25日に修了試験問題を掲載することを事前にアナウンスし、9月3日中の解答及びアンケートの提出を求めたところ、18名の方々に修了試験に挑戦していただいた。

中大規模木造建築の加工施工技術・総合講習

令和5年度 林野庁補助事業

中大規模木造建築に関心をお持ちの方、
どなたでも無料で受講できます！

開催方法：講義の動画はオンデマンド
(いつでもどなたでも視聴可能)

**オンデマンド
開催！**

<https://www.syuseizai.com/hrd/>
動画もテキストも修了試験・修了者名簿も上記サイトに掲載します

①内容：基礎編 木質構造の基礎知識、木質構造部材の製作(加工)、
中大規模木造建築物の施工
専門編 木質構造部材製作要領書、接合金物製作要領書、
建方要領書(木造躯体工事)

②テキスト等：上記URLよりダウンロード可能
冊子(無料)希望者は以下のお問合せフォームに、
住所・氏名・テキスト希望と書いて下さい
<https://www.syuseizai.com/contact>

③修了試験：希望者のみ。解答の提出(メール)が受験申し込み
試験問題掲載日：8月25日(金)午後(時間未定)
解答提出期限：9月3日(日)

お問合せは日本集成材工業協同組合まで(電話03-6271-0591)



(令和5年8月7日付 日刊木材新聞)

(2) 設計支援 (WG2)

<① 大断面スパン表について>

- 令和4年度に作成した大断面スパン表(金物データ付き)については引き続き、ブックレットを配布するとともにオンデマンドで利用説明会を動画配信した。
- 6月2日、この大断面スパン表は従来にない極めて先進的なものとして、公益社団法人 日本木材加工技術協会の第68回加工技術賞を受賞した。

<② 新たな取組について>

- 今年度の新たな取組としては、大断面等の集成材の利用に資するよう、「集成材柱の許容耐力表と梁端部(仕口側)の接合部仕様一覧表」を検討した。
- 昨年度の大断面スパン表は、事務所、共同住宅、店舗という3つの用途を前提にして、床梁の長さに応じて、必要となる梁の断面サイズ、接合部のスペック等を得られるものであったが、今回は柱の断面サイズ、座屈長さに応じて、許容圧縮耐力が得られるような技術資料になっている。
- 接合部については、今年度、梁端部(仕口側)のデータを整備しており、柱(受け側)のデータについては、来年度整備する予定である。

1. 集成材柱の許容耐力と梁端部の接合部仕様の算定

構造用集成材を使用した柱材の許容耐力表と標準的な大断面集成材梁の許容せん断耐力に対応する梁端部（仕口側）接合部の接合具配置を取りまとめた接合部仕様一覧表を作成した。

1.1 集成材柱許容耐力の算定条件

関連する告示の規定に従い、集成材柱の座屈許容応力度を求め、柱の断面積から集成材柱の許容圧縮耐力を算出する。

1.1.1 集成材の強度等級と樹種

①集成材の強度等級

短辺が150mm～300mmは対称異等級構成集成材、短辺が105mmと120mmは同一等級構成集成材とする。

②集成材の樹種

樹種は〔カラマツ、ヒノキ、オウシュウアカマツ〕、〔カラマツ、ヒノキ〕、〔スギ〕の3種類とする。

1.1.2 集成材柱の断面寸法

①対称異等級構成集成材は、短辺が150mm、180mm、210mm、240mm、300mmの5種類とし、長辺は正角材が短辺と同寸法、平角材は250mm～950mmで50mmピッチの15種類で算定した。

②同一等級構成集成材の短辺は105mmと120mmとし、長辺は正角材が短辺と同寸法、平角材は150mm～450mmで30mmピッチの11種類とした。

1.1.3 許容耐力表の算出条件① 基準強度と許容応力度

(省略)

② 集成材柱の許容圧縮耐力

圧縮材の座屈許容応力度を求め、柱の断面積から集成材柱の許容圧縮耐力を算出する。柱の座屈長さは、強軸方向に座屈する場合として、2.5m～9.0m、0.5mピッチの14種類の座屈長さで強軸方向の許容応力度を算出した。又、柱の中間部には弱軸方向の座屈防止部材を配置する前提で、弱軸方向の座屈長さを求め、強軸方向の場合と同じピッチの長さで弱軸方向の座屈許容応力度を算出する。

③ 横架材のめり込み耐力

横架材が柱上部に乗る場合や土台勝ち納まりの場合を考慮して、告示に規定するめり込みに対する許容応力度と支圧面積から横架材のめり込み耐力を算出する。めり込みに対する基準強度は、樹種は告示で規定する〔アカマツ、ベイマツ他〕、〔カラマツ、ヒノキ他〕、〔スギ、オウシュウアカマツ、エゾマツ、トドマツ他〕の3樹種で算出した。又、横架材のめり込み耐力が集成材柱の許容圧縮耐力を下回る場合を想定して、めり込み防止用補強プレートのサイズの計算例も示した。

1.2 梁端部（仕口側）接合部の接合具配置と許容せん断耐力の算定

(省略)

2. 集成材柱許容耐力表

2.1 適用範囲

図 2.1.1 に示すような、圧縮力のみを負担する集成材柱の許容耐力表を作成する。

柱材は正角断面に加え平角断面も検討するため、断面強軸側、弱軸側それぞれの許容耐力を計算する。

計算に使用する座屈長さ (L) は、図 2.1.1 に示すそれぞれの横架材間距離 (L強, L弱1, L弱2) とする。

- 座屈長さ (L) : 2.5m ~ 9.0m (0.5m ピッチ)
- 柱の細長比 : 150 以下 (令 43 条第 6 項による)
- 強度等級 (樹種名) :

[対称異等級構成材]

E105-F300 (カラマツ, ヒノキ,
オウシュウアカマツ)

E95-F270 (カラマツ, ヒノキ)

E75-F240 (スギ)

E65-F225 (スギ)

[同一等級構成材]

E105-F345 (カラマツ, オウシュウアカマツ)

E95-F315 (カラマツ, ヒノキ)

E65-F255 (スギ)

柱短辺 : 105mm, 120mm, 150mm, 180mm,
210mm, 240mm, 300mm

柱長辺 : 50mm ピッチ (柱短辺 150, 180, 210,
240, 300 mm)

30 mm ピッチ (柱短辺 105, 120mm)

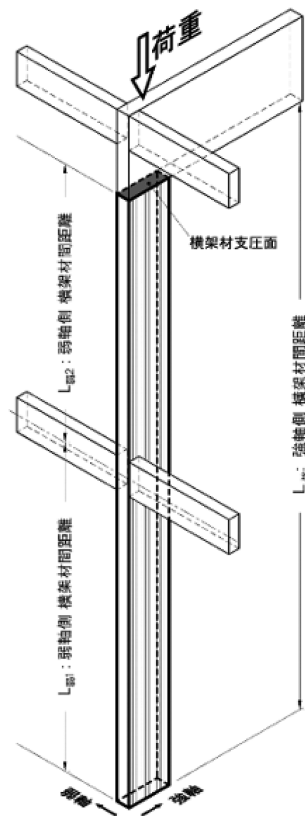


図 2.1.1 圧縮力を受ける集成材柱概略

2.7 集成材柱 許容耐力表の見方 その 1 [柱の断面から長期許容耐力を探す場合]

集成材柱 許容耐力表 (16)

強度等級	樹種	断面寸法 (mm)	座屈長さ (m)										縦架材のめり込み耐力 (kN)										
			2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0		7.5	8.0	8.5	9.0						
E75-F240	スギ	180	縦架材	171.40	151.31	131.22	111.13	91.04	70.96	50.87	30.78	10.69	40.18	34.67	29.16	23.65	18.14	12.63	7.12	145.80	126.36	97.20	
			横架材	190.44	168.12	145.80	123.48	101.16	78.84	56.52	34.20	11.88	41.37	35.86	30.35	24.84	19.33	13.82	8.31	162.00	143.40	124.80	
		200	縦架材	275.73	256.95	238.17	219.39	196.65	173.91	151.17	128.43	105.69	82.95	60.21	37.47	14.73	45.22	39.71	34.20	28.69	202.50	175.50	148.50
			横架材	238.05	216.15	194.25	172.35	150.45	128.55	106.65	84.75	62.85	40.95	19.05	48.15	42.64	37.13	31.62	26.11	210.00	190.50	171.00	
		250	縦架材	348.30	322.10	295.90	269.70	243.50	217.30	191.10	164.90	138.70	112.50	86.30	60.10	33.90	51.72	45.21	38.70	32.20	243.00	210.00	180.00
			横架材	285.66	252.18	218.70	185.22	151.74	118.26	84.78	51.30	17.82	49.08	43.57	38.06	32.55	27.04	21.53	16.02	105.00	94.50	84.00	
	300	縦架材	420.33	406.35	392.37	378.39	364.41	350.43	336.45	322.47	308.49	294.51	280.53	266.55	252.57	238.59	224.61	210.63	196.65	262.50	245.50	228.50	
		横架材	333.27	304.21	275.15	246.09	217.03	187.97	158.91	129.85	100.79	71.73	42.67	13.61	47.41	41.90	36.39	30.88	25.37	210.00	195.00	180.00	
	400	縦架材	554.40	524.40	494.40	464.40	434.40	404.40	374.40	344.40	314.40	284.40	254.40	224.40	194.40	164.40	134.40	104.40	74.40	324.00	289.00	254.00	
		横架材	458.40	428.40	398.40	368.40	338.40	308.40	278.40	248.40	218.40	188.40	158.40	128.40	98.40	68.40	38.40	8.40	24.40	270.00	240.00	210.00	
	450	縦架材	622.40	582.40	542.40	502.40	462.40	422.40	382.40	342.40	302.40	262.40	222.40	182.40	142.40	102.40	62.40	22.40	12.40	330.00	295.00	260.00	
		横架材	522.40	482.40	442.40	402.40	362.40	322.40	282.40	242.40	202.40	162.40	122.40	82.40	42.40	2.40	2.40	2.40	2.40	270.00	240.00	210.00	

・ 設定条件 : 柱断面 [180 × 400], 座屈長さ [強軸 : 7.5m, 弱軸 : 3.5m]
樹種・強度等級 [スギ E75-F240] の場合

【表より読み取る】

長期許容耐力 : 291.60kN (有効細長比 : 67.3)

【追加計算】

・ 他荷重時の許容耐力の計算

・ 長期積雪時 (多雪地域) : $291.60 \times 1.3 = 379.08\text{kN}$

・ 短期積雪時 : $291.60 \times 1.6 / 1.1 = 424.15\text{kN}$

・ 短期 : $291.60 \times 2.0 / 1.1 = 530.18\text{kN}$

・ 柱の許容耐力同等のめり込み防止用補強プレートの検討 (横架材樹種 : カラマツ)

・ 長期 : $291.60 / 280.8 \times 400 = 415.3 = 180 \times 420$ 程度

・ 長期積雪時 (多雪地域) : $379.08 / (280.80) \times 400 = 540 = 180 \times 540$ 程度

・ 短期積雪時 : $424.15 / (280.80 \times 2.0 / 1.5) \times 400 = 453.2 = 180 \times 460$ 程度

・ 短期 : $530.18 / (280.80 \times 2.0 / 1.5) \times 400 = 566.4 = 180 \times 570$ 程度

- ① 樹種・強度等級, 短辺長を選ぶ
- ② 長辺長を選ぶ
- ③ 強軸側座屈長さより, 強軸側の耐力を調べる
- ④ 弱軸側座屈長さより, 弱軸側の耐力を調べる
- ⑤ 強軸側, 弱軸側を比較して 小さい方の値を許容耐力とする
- ⑥ 耐力の右側にある値が 有効細長比となる
- ⑦ 柱の許容耐力同等のめり込み防止用補強プレートの検討する。めり込み耐力が許容耐力を下回る場合, 割りかえしてめり込み防止用補強プレートの断面を決める。

3. 梁の仕口側接合部の接合具配置とせん断耐力の一覧表

3.1 梁の仕口側接合部の接合具配置とせん断耐力の一覧表の概要

梁の仕口側接合部の接合具配置とせん断耐力の一覧表（以降、梁仕口側接合部一覧表）は、梁の樹種、短辺、長辺をパラメータとして接合具種別ごとに、接合具配置とせん断耐力をまとめたものである。接合形式は鋼板挿入2面せん断型ドリフトビン接合とする。対象とする梁接合部のイメージを図3.1.1に示す。

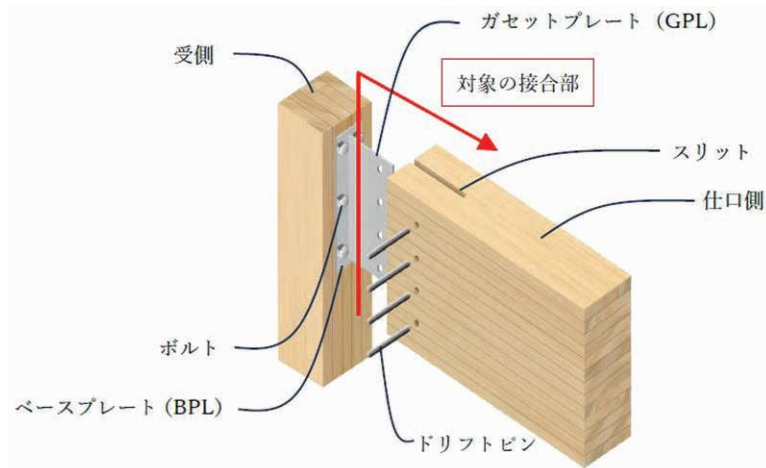


図3.1.1 梁接合部のイメージ

3.3.1 梁仕口側接合部一覧表

鋼板挿入2面せん断型ドリフトビン接合（PL-6/スリット幅8）繊維直角方向の短期許容せん断耐力 カラマツ/E105-F300-E95-F270 単位:kN														
短辺 150 (mm)														
接合具種別	200				250				300				P _s	
	m	n	N	P _s	m	n	N	P _s	m	n	N	P _s		
	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(接合具1本あたりのせん断耐力)	
DP12,n=1 ^{※1}	3	1	3	19.98	4	1	4	26.64	5	1	5	33.30	6.66	
DP12	3	2	4	26.64	4	2	5	33.30	5	2	7	46.61	6.66	
DP16	2	1	2	20.95	2	2	3	31.42	3	2	4	41.89	10.47	
DP20	1	1	1	15.49	2	1	2	30.98	2	1	2	30.98	15.49	
長辺 (mm)														
接合具種別	350				400				450				P _s	
	m	n	N	P _s	m	n	N	P _s	m	n	N	P _s		
	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(接合具1本あたりのせん断耐力)	
DP12	6	2	8	53.27	7	2	9	59.93	8	2	11	73.25	6.66	
DP16	4	2	5	52.36	5	2	6	62.84	6	1	6	62.84	10.47	
DP20	3	1	3	46.47	3	1	3	46.47	4	1	4	61.96	15.49	
長辺 (mm)														
接合具種別	500				550				600				P _s	
	m	n	N	P _s	m	n	N	P _s	m	n	N	P _s		
	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(繊維に直角方向の本数)	(繊維に平行方向の本数)	(JCIにならない接合具本数)	(NIに対するせん断耐力)	(接合具1本あたりのせん断耐力)	
DP12	9	2	12	79.91	10	2	14	93.23	11	2	15	99.89	6.66	
DP16	6	2	7	73.31	7	2	8	83.78	8	2	9	94.26	10.47	
DP20	5	1	5	77.45	5	1	5	77.45	6	1	6	92.94	15.49	

<③ 防火設計の手引き（パンフレット）の改訂>

- 担い手育成の講習テキストや、大断面スパン表の利用説明会動画において引用している「準耐火構造（集成材建築物）における接合部の防火設計の手引き」（日集協）（平成22年度国交省事業成果、平成24年3月発行）について、最近の建築基準法や告示の改正を反映させるべく、改訂作業を行った。

1. 担い手の育成

総合講習については、18名が修了試験に受験し、全員合格と判定された。

修了者には11月上旬、修了証を送付するとともに、日集協ウェブサイトにおいて、氏名を勤務先企業名とともに公表した。

講習テキストは、年度初めより12月末までに11部を郵送した。

なお、担い手育成の動画は、令和5年4月1日～12月31日において384回の閲覧があった。

また、令和6年1月11日・12日に開催されたモクコレ2024において、日集協ブースを設置し、講習テキストを30部あまり配布することができ、好評であった。

中大規模木造建築加工施工技術 総合講習修了者名簿

令和5年11月

講習名	修了年月	番号	氏名	所属企業情報			
				企業名	所在地	電話番号	URL
総合講習	令和5年9月	1	豊後 雄大	株式会社タツミ	新潟県	0258-66-5517	https://www.tatsumi-web.com/
"	"	2	佐藤 陽子	藤寿産業株式会社	福島県	024-944-7550	https://toju.co.jp/
"	"	3	岩野 守博	セブン工業株式会社	岐阜県	0574-28-7800	http://www.seven-gr.co.jp
"	"	4	北川 浩司	株式会社中東	石川県	0761-58-0100	https://chuto.jp/
"	"	5	片山 雄一	株式会社タツミ	新潟県	0258-66-5517	https://www.tatsumi-web.com/
"	"	6	渡邊 真之	鋭建工業株式会社	岡山県	0867-44-2695	https://www.meikenkogyo.com/
"	"	7	渡辺 茂	セブン工業株式会社	岐阜県	0574-28-7800	http://www.seven-gr.co.jp
"	"	8	田中 健司	三井ホーム株式会社	東京都	03-3242-3151	https://www.mokuken.mitsuhome.co.jp/
"	"	9	新屋 拓海	山佐木材株式会社	鹿児島県	0994-31-4141	https://www.woodist.co.jp
"	"	10	上口 康志	株式会社中東	石川県	0761-58-0100	https://chuto.jp/
"	"	11	高島 章	株式会社 ビスダックジャパン	大阪府	072-361-8880	https://www.visdac.co.jp/
"	"	12	原野 康夫	株式会社タツミ	新潟県	0258-66-5517	https://www.tatsumi-web.com/
"	"	13	元谷 貴行	株式会社中東	石川県	0761-58-0100	https://chuto.jp/
"	"	14	高本 誠悟	株式会社中東	石川県	0761-58-0100	https://chuto.jp/
"	"	15	永川 敏宏	山佐木材株式会社	鹿児島県	0994-31-4141	https://www.woodist.co.jp
"	"	16	井崎 裕太	山佐木材株式会社	鹿児島県	0994-31-4141	https://www.woodist.co.jp
"	"	17	安田 一博	セブン工業株式会社	岐阜県	0574-28-7800	http://www.seven-gr.co.jp
"	"	18	南 勝大	株式会社中東	石川県	0761-58-0100	https://chuto.jp/

(注) 総合講習は、従来の基礎講習と専門講習（基礎講習修了者のみ受講）を併せた内容です。

https://www.syuseizai.com/hrd/doc/2023_intensive_course_list.pdf

(参考) 修了者の推移

基礎講習	令和元年度	(対面)	73名
//	2	(オンライン)	135名
//	3	(オンデマンド)	65名
専門講習	4	(オンデマンド)	56名
総合講習	5	(オンデマンド)	18名
通算			347名

2. 設計支援

スパン表ブックレットは年度初めより12月末までに12部を郵送した。

また、設計支援の動画は、令和5年4月1日～12月31日において232回の閲覧があった。

モクコレ2024では、40部あまりを配布することができ、これも好評であった。

なお、「準耐火構造（集成材建築物）における接合部の防火設計の手引き」の改訂版は近々配布予定である。



今後の
課題・展開
等

(1) 担い手の育成

- 講習テキストの改訂（現行テキストは令和3年10月発行）
- 総合講習のオンライン開催

(2) 設計支援

- 集成材柱の許容耐力表及び梁端部（仕口側）の接合部仕様一覧表について、柱（受け側）の接合部の仕様の追加の検討
- 大断面スパン表のオンライン利用説明会の開催及びブックレットの配布

国内で生産されるJAS構造用集成材の 排出原単位の構築事業

● 実施団体 ●

日本集成材工業協同組合

〒104-0031 東京都中央区京橋1-14-5 土屋ビル2階

事業 目的

近年、脱炭素社会の実現に向けて、木材利用への関心と期待が高まっており、特に建築分野においては、建築物への木材利用がもたらす環境負荷削減効果をライフサイクル・アセスメント（以下、LCAという）を用いて定量的に評価する取組が広がりつつある。

こうした中において、構造用集成材は住宅から非住宅木造建築まで広く使用されているが、LCAに必要な構造用集成材の「原単位」（1m³当たりの製造に係る温室効果ガス（以下、GHG）を始めとする環境負荷物質の排出量）については、個別の調査研究事例が若干数存在するものの、我が国の代表性と信頼性を備えた原単位は整備されておらず、他工法と同じレベルで評価を行うには、その構築が不可欠である。

本事業では、国内で生産されるJAS構造用集成材のLCA原単位を構築するためのデータ収集等を実施して代表値を確定し、建築分野で構造用集成材が適切に評価される環境を整備することにより、構造用集成材利用の拡大と利用による環境貢献の主張に資することを目的とする。

実施した 項目

- 1 集成材に特化した調査票の作成とそれによる集成材工場の現地調査
- 2 データ収集及び荷重平均による環境負荷量の算出と分析

実施 体制

日本集成材工業協同組合に設置する検討委員会において、本事業を推進した。

(委員長)	服部 順昭	東京農工大学 名誉教授
(委員)	中野 勝行	立命館大学 政策科学部 准教授
	宮武 敦	森林総合研究所複合材料研究領域 研究専門員
	尾方 伸次	(公財)日本合板検査会 専務理事
(オブザーバー)	熊谷 有理	林野庁木材産業課木材製品技術室 課長補佐
	松田 涼	林野庁木材産業課木材製品技術室 係長
(事務局)	清水 邦夫	日本集成材工業協同組合 専務理事
	宮林 正幸	(有)ティー・イー・コンサルティング一級建築士事務所所長
	宮崎 昌	(一社)サステナブル経営推進機構 コンサルティング事業部 部長
	山岸 健	(一社)サステナブル経営推進機構 LCAエキスパートセンター センター長
	小出 理博	(一社)サステナブル経営推進機構 LCAエキスパートセンター LCA コンサルティング事業室 室長
	今後 舞	(一社)サステナブル経営推進機構 LCAエキスパートセンター LCA コンサルティング事業室 研究員

実施した
内容

＜算定にあたっての条件および方法＞

LCAは、①目的と調査範囲の設定、②インベントリ分析、③影響評価（インパクト評価）、④解釈の4つの段階で構成されている（図1）。算定にあたっての条件及び方法を表1に、構造用集成材工場における一般的な生産システムのフロー図及び本事業で設定したシステム境界（原材料調達～工場出荷準備）を図2に示した。

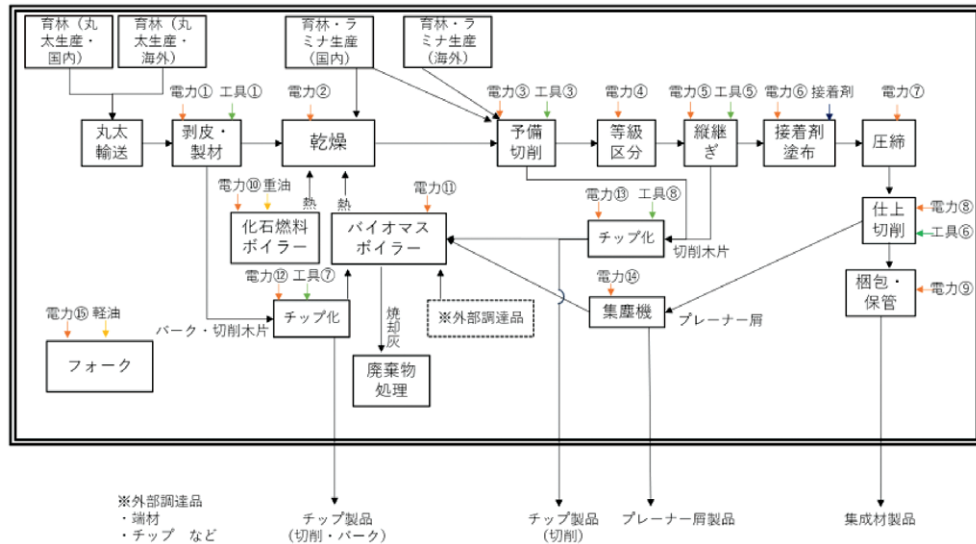
① 目的と調査範囲の設定	LCAをどのような目的で実施するのかを明らかにし、対象の範囲や機能単位、対象とするライフサイクルのステージ（システム境界）などの前提条件や制約条件を明確にする段階。
② インベントリ分析	ライフサイクルにおける各ステージにおける環境負荷データ（インプットデータ、アウトプットデータ）を調査し、ライフサイクル全体での環境負荷を計算する段階。
③ 影響評価（インパクト評価）	インベントリ分析で得られた結果を、地球温暖化、大気汚染などといった環境影響項目（環境へのインパクトカテゴリ）に分類し、各項目に環境への影響度を評価する段階。
④ 解釈	インベントリ分析や影響評価から得られた結果を基に、環境に与える影響や改善点をまとめる段階。

図1 LCAの枠組み

表1 算定にあたっての条件及び方法

No.	条件項目	算定条件
1	目的	JAS 構造用集成材の排出原単位構築
2	評価対象製品	JAS 構造用集成材
3	機能単位	集成材製造後の集成材 1m ³ あたりの GHG 排出量
4	評価範囲	原材料調達～工場出荷準備
5	配分方法	全乾質量と価格による配分を実施。配分の方針については以下の通り。 <ul style="list-style-type: none"> ● ボイラープロセスに関するもの（重油、焼却灰処理）等は集成材製品の入力とする ● 工場全体にかかるプロセス（集塵機やフォークリフトの使用）は各製品に配分する ● 細分化して収集できない電力は各製品に配分する ● バイオマスボイラーに投入されるバイオマス（パーク、チップ、おが粉等）については集成材製品製造のために消費されるため、配分係数設定の際には当該バイオマスは集成材製品製造の負担とする
6	データの平均方法	加重平均（JAS 構造用集成材の出荷量を用いて実施）
7	インベントリ分析方法	積み上げ法 ※インベントリ分析用原単位は原則として、LCI データベース IDEA ver.3.1 を使用
8	環境影響評価手法	対象環境影響領域は気候変動とし、インベントリ分析結果から得られた温室効果ガス（CO ₂ 、CH ₄ 、N ₂ O）の排出量に、IPCC 第5次評価報告書の100年値である地球温暖化係数（GWP）を乗じたものを足し合わせ、二酸化炭素換算量として温室効果ガス排出量（単位は kg-CO ₂ eq）を算出

図2 JAS 構造用集成材工場における一般的な生産システムのフロー図及びシステム境界



1 集成材に特化した調査票の作成とそれによる集成材工場の現地調査

算定に関わるデータ提供の可否等についてアンケートを実施し、対象製品である国内で生産された JAS 構造用集成材の生産量がそのシェアにおいて 50% 以上になるように協力可能な工場の中から 12 工場（8 社）を選定した。

予め調査票を工場担当者に送付し、委員会の委員から一人以上と LCA チームで構成される調査団を構成して、現地調査を実施した。調査では趣旨説明、生産ラインの見学、調査票へのデータ記入について具体的な打合せを行い、後日、提供データの信頼性向上のための作業を工場担当者 と LCA チームとで実施した。使用した調査票の一部を図3に示す。

得られたデータから工場ごとに配分を行い（全乾質量配分及び価格配分）、国内で生産された JAS 構造用集成材 1m³ 製造に係る活動量を算出した。算出した活動量を JAS 構造用集成材出荷量で加重平均し、国内代表値として算出した。

国内で生産されるJAS 構造用集成材のインベントリデータ記入シート

番号	調査工程	分類	樹種名	産地	単位	出荷地	輸送手段	平均燃費率(%)	輸送回数/年	燃り際の有無	中継地	輸送手段	平均燃費率(%)	輸送回数/年	燃り際の有無
ラミナ製造		国産丸太の樹種・産地と調達量 (同じ樹種で産地が複数ある場合は、代表的な2箇所を記入して下さい。)			m ³										
		輸入丸太の樹種・産地と調達量 (同じ樹種で産地が複数ある場合は、代表的な2箇所を記入して下さい。)			m ³										
		消費電力量(製造工程の内訳が分かれば記入)			kWh										
		ラミナ乾燥用熱源と消費量													

本シートの記入箇所凡例

- ←この色のセルに数値又は文字を記入して下さい。
- ←この色のセルはリストから該当する項目を選んで下さい。
- ←この色のセルは自動で数値や文字が入力されます。
- ←背景が無色のセルには、誤入力を防ぐために、保護を掛けています。

全ての項目で行を追加する場合、「校閲」の「シート保護の解除」をクリックし、当該行をコピーして下さい。

図3 データ収集に用いた調査票（一部抜粋）

2 データ収集及び荷重平均による GHG 排出量の算出と分析

項目1で得られた活動量データ（国内代表値）にLCI（ライフサイクルインベントリ）データベースIDEA ver.3.1に搭載された原単位を乗じて温室効果ガス排出量を算定した。

実施した結果

1 集成材に特化した調査票の作成とそれによる集成材工場の現地調査

本項では国内で生産されるJAS構造用集成材1m³製造までの活動量の日本平均となる計算結果を示す予定だが、12工場から収集したデータの精査が完了出来ていない。そのため、計算及び評価の結果については最終報告書を参照いただきたい。なお、計算結果については、JAS構造用集成材の出荷量を用いて加重平均し、配分方法別（全乾質量・価格）に示す予定である。

本項で得られた活動量に本事業での使用が許諾されたLCIデータベースIDEA ver.3.1に搭載された原単位を乗じて温室効果ガス排出量を算定する。

2 データ収集及び荷重平均によるGHG排出量の算出と分析

前項で算定した活動量に、LCIデータベースIDEA ver.3.1に搭載された原単位を乗じて温室効果ガス排出量を算出した結果、定性的ではあるが、工場によって傾向が異なるものの、原材料（ラミナ）の調達やエネルギー（電力）、接着剤の使用によるGHG排出量が大きいことが確認できている。このような寄与率の高い活動から軽減対策を講じることで、効果的な温室効果ガス排出の低減が期待される。

本事業によって我が国を代表する信頼性の高い国内生産JAS構造用集成材の排出原単位の構築が可能となった。これにより、例えば木造建築物の環境負荷をより信頼性高く定量的に算定することが可能となり、投資家や施主が集成材を始めとする木材の利用による温室効果ガス排出量削減について適切に理解できるようになること、さらには環境優位性の側面支援によるJAS構造用集成材の普及拡大につながることを期待される。

今後の課題・展開等

今後の課題・展開等について以下に整理した。

本事業で構築した排出原単位の活用に向けては、調査結果の学術論文などによる公表を踏まえて、我が国で最も多用されているIDEA原単位データベースへの採用を目指す。採用されて初めて、木造建築物のLCAによる環境負荷の評価が、鉄骨造や鉄筋コンクリート造の建築物と同じ土俵で行えるようになり、より環境負荷の少ない選択・行動につながることを期待される。

構築した排出原単位については、個社だけの活用で終わらせるのではなく、構造用集成材業界全体として受け止め、必要な対策を講ずるなど、木材産業におけるカーボンニュートラル達成に向けた取り組みを積極的に推進していきたい。なお、その際、調査結果から明確になるホットスポット（温室効果ガスの排出量が多い工程等）について、業界として環境負荷低減に向けて効果的な施策を立てられるよう、LCAの専門機関等の協力を仰ぐことも検討したい。また、今後に向けては、データ更新を適時適切に行えるよう財政支援の継続・拡充を関係方面に訴えていきたい。

●今後の課題

- ▶ 現場レベルでの算定結果の活用・普及拡大
- ▶ 業界としての取り組み推進
 - ◆ 対応すべき課題の洗い出し、対応策の検討と実施
 - ◆ 必要に応じ、サプライチェーン関係者を含むステークホルダー間での連携推進

●今後の展開

- ▶ 算定結果の公表・活用
 - ◆ 論文発表
 - ◆ 既存データベースへの搭載

軟弱地盤対策のための地中利用木材の CO₂蓄積量の評価に関する調査(フェーズⅢ)

● 実施団体 ●

公益財団法人 国際緑化推進センター (JIFPRO)

〒112-0004 東京都文京区後楽 1-7-12 林友ビル5F

事業 目的

地球温暖化防止のための炭素貯留対策として期待される軟弱地盤対策としての地中利用木材（丸太または木杭）について、令和2年度及び3年度補正事業の調査結果を踏まえ、地中利用木材（以下「杭丸太」という）の更なる掘出し調査による炭素貯留量評価の検討等を行うとともに、使用量把握等のための継続実態調査を実施する。

実施した 項目

次の活動を実施した。

1. 軟弱地盤強化等のために実際に施工された杭丸太の掘り出し調査

(1) 84年以上前に支持杭として設置された杭丸太の掘り出し調査（大田区）

昨年度掘り出した東京都大田区において建築物基礎として84年以上前に設置した杭丸太について、昨年実施した深度ごとの目視被害度判定及びピロディン貫入量の測定に加え、下記試験を行った。

- ア. 土質調査
- イ. 現地における地下水位観測および周辺地域における地下水観測記録の収集
- ウ. 深度ごとの短柱強度（縦圧縮強度等）の測定
- エ. 深度ごとの短柱と円盤の容積密度（木材の乾燥状態における質量/木材の体積）の測定
- オ. 半減期の推定
- カ. 樹種鑑定

(2) 10年前に液状化対策のため打設した杭丸太の掘り出し調査（木更津）

昨年度見学会を実施し掘り出した、液状化対策のために打設した木更津市の杭丸太について、次の調査を行った。

- ア. 地盤調査
- イ. 掘出した杭丸太の深度ごとの目視被害度判定、ピロディン貫入量の測定
- ウ. 深度ごとの短柱の強度（圧縮強度等）の測定
- エ. 深度ごとの短柱と円盤の容積密度の測定
- オ. 樹種鑑定

(3) 約100年前に構造物基礎として打設された杭丸太の掘り出し調査（墨田区）

墨田区の建設工事に伴い実施された埋蔵文化財発掘調査で発見された、大正時代以前に施工されたと考えられる杭丸太について、以下を実施した。

- ア. 深度ごとの短柱強度（縦圧縮強度等）の測定
- イ. 深度ごとの短柱と円盤の容積密度の測定
- ウ. 半減期の推定

工. 樹種鑑定

2. 軟弱地盤強化等のために実際に施工された杭丸太の小ブロック試験

軟弱地盤対策等のために実際に施工され掘り出された次の丸太について、異なった深度から切り出した円盤から、放射方向に小ブロック試験片を採取し、圧縮強度試験及び容積密度の測定を行った。

- ア. 10年前に液状化対策のために打設した丸太（木更津市）
- イ. 約100年前に建築物支持杭として打設した丸太（墨田区）
- ウ. 85年前に橋脚基礎として打設した丸太（小浜市）

3. 杭丸太の使用実態調査

昨年度実施した、杭丸太の使用実態調査を踏まえ、杭丸太の施工を行っている4団体・企業（木材活用地盤対策研究会、環境パイル(S)工法協会、九州パイルング、昭和マテリアル）を対象に、杭丸太の使用量把握のための調査を実施した。具体的には、次の事項を調査した。

- (1) 対象工法による年間実績推移（年間施工件数/木材利用量, 2010～2022年度）
- (2) 木材利用量実績に基づく炭素固定量の推計
- (3) 建築物建て替え時等における既存打設杭丸太の引き抜き実態
 - ア. 既存杭丸太の引き抜きの有無と具体的事例や実態
 - イ. 既存杭丸太引き抜きの判断基準、対応方法や考え方

4. これまでの成果の学術誌への投稿

令和2年度補正事業の結果のうち、森林総合研究所に打設された円柱加工材の掘り出し試験の結果について、「土木学会論文集」(Journal of JSCE)に英文投稿を行い、査読・修正を経て掲載された。また、令和3年度補正事業の結果のうち、8年前に液状化対策で打設した丸太（松坂）の結果を「土木学会論文集（特集号）」に投稿し掲載が決まった。

5. 情報交換・情報発信

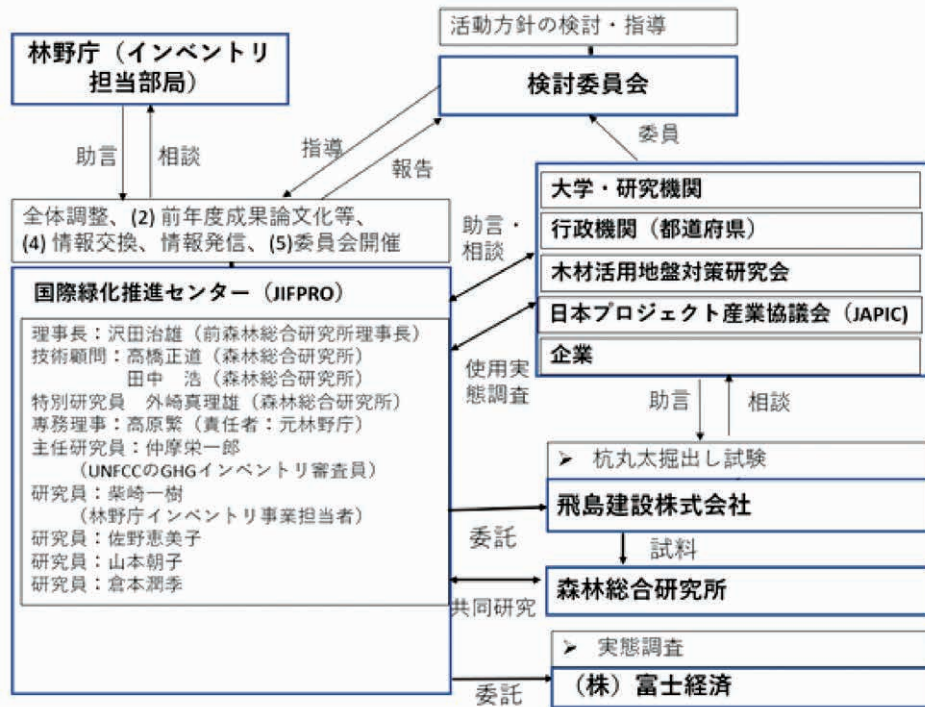
杭丸太の炭素蓄積効果について、一般社団法人日本プロジェクト産業協議会（JAPIC）を通じた情報発信を行うとともに、科研費による研究プロジェクトとの連携により2024年1月に高知市で開催された「地中木材利用に関するシンポジウム」に参画し、本事業の結果発表を行った。

実施体制

■検討委員会（敬称略、50音順）

天野 正博（座長）	早稲田大学大学院名誉教授
加用 千裕	東京農工大学農学研究院教授
服部 順昭	東京農工大学名誉教授
沼田 淳紀	高知大学客員教授

■実施体制



実施した結果

1. 軟弱地盤強化のために実際に施工された杭丸太の掘り出し調査

(1) 84年以上前に支持杭として設置された杭丸太の掘り出し調査 (大田区)

昨年度掘り出した東京都大田区において建築物基礎として打設した杭丸太(写真1)の概要は次のとおり。

- ① 杭丸太打設：1938年11月3日以前
- ② 掘出し場所：東京都大田区南六郷
- ③ 掘出し期間：2022年10月17日～10月21日 (打設後：84年以上)
- ④ 使用樹種：マツ属丸太(森林総合研究所の鑑定による。アカマツと考えられる。)



写真1 大田区の掘出し杭丸太

ア. 土質

GL-0.5m、GL-1.0m、GL-1.8mから採取した土質の粒度組成は、図1に示す通りであり、シルト質砂、または、粘土質砂であった。

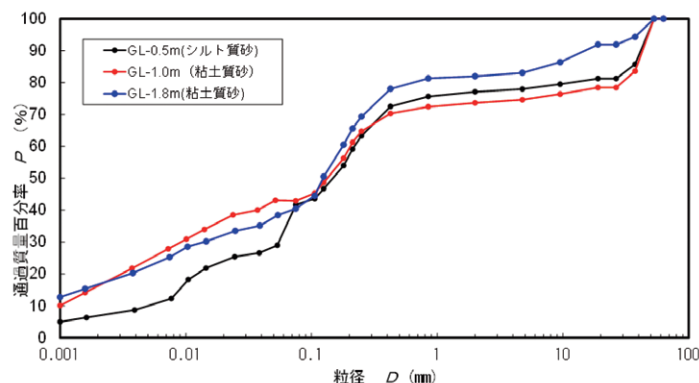


図1 大田区丸太掘出し箇所地表付近の土の粒度組成

イ. 地下水位観測

2022年8月9日から2023年12月8日までの観測地下水位と頻度分布は、図2の通りであり、平均地下水位はGL-1.431mであり、杭丸太は近年においてはほとんどが地下水位で深であったと考えられる。なお、この掘出し調査地点周辺では、1970年代頃まで地下水位はかなり低下しており、当該地点においても現在よりも8m程度以上低下していたと考えられる。周辺の地域の地下水の概要を表1に示す。

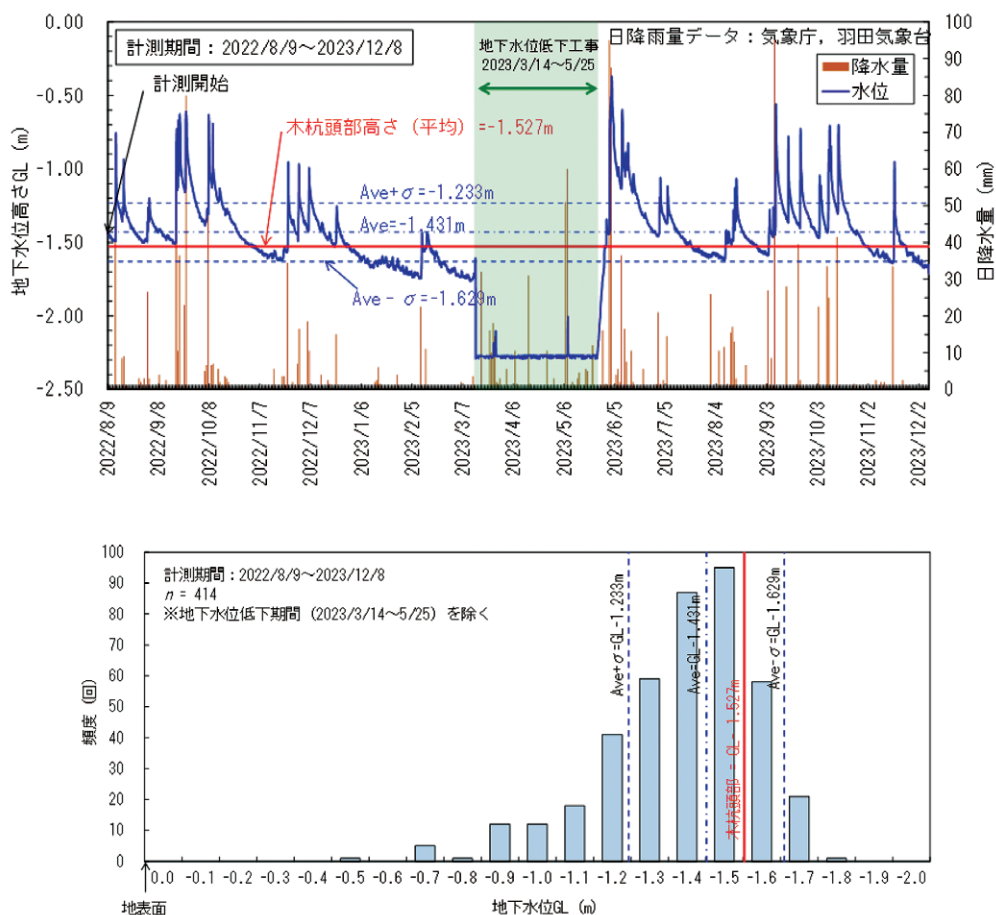


図2 大田区丸太掘出し箇所の地下水位観測記録と地下水位の頻度分布

表1 大田区南六郷周辺の地下水位観測記録の概要

地点	① 最低地下水位 EL (m)	② 最近の平均的 な地下水位 EL (m)	①-② 最低地下水位の現在の 地下水位からの高さ (m)	出典
品川区八潮一丁目1-2 大井その1	-14.2(1973)	2.8	-17.0	東京都港湾局：東京湾地盤沈下及び地下水位観測調査結果、2021
大田区城南島五丁目地先 大井その2	-6.7(1973)	1.2	-7.9	
調布市調布ヶ丘三丁目 調布第2 調布第4	-3.9(1978) -8.9(1974)	22.5 23.3	-26.4 -32.2	東京都土木技術支援・人材育成センター：令和3年地盤沈下調査報告書、2022
川崎市六郷	-22.4(1964)	-4.5	-17.9	長沼信夫：多摩川下流低地における地下水の揚水量と水位変動、駒澤大学文学部研究紀要、57, pp.41-51, 1999

ウ. 深度ごとの短柱強度（縦圧縮強度）

大田区丸太の深度ごとの縦圧縮強度は図3のとおりであり、アカマツの水中における基準強度と同程度かそれよりも低かった。

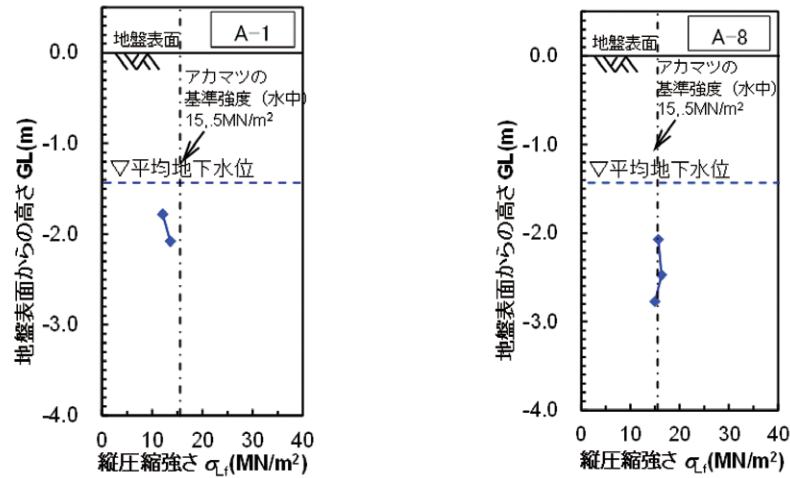


図3 大田区丸太の深度別縦圧縮強度

エ. 深度ごとの容積密度

大田区杭丸太の深度ごとの容積密度は図4のとおりであった。全体的に平均地下水位以深であっても、アカマツの平均的な容積密度より低かった。

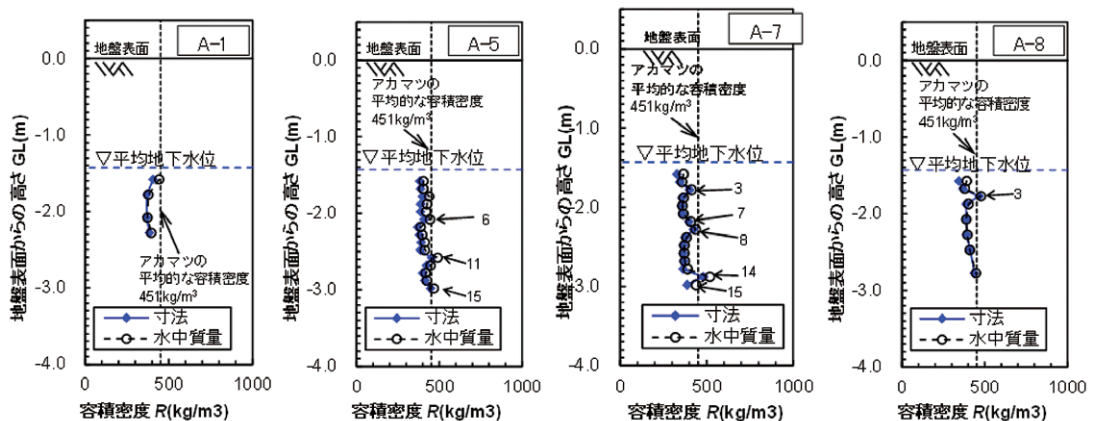


図4 大田区杭丸太の深度別容積密度

オ. 半減期の推定

図5に、杭丸太の初期の容積密度をアカマツの平均的な値の451kg/m³とし、計測された容積密度より求めた残存率を示す。さらに、残存率より各杭丸太の質量減少に対する半減期を推定した。

推定された質量減少に対する半減期の推定値を表2に示す。求められた半減期は、295～712年であった。80年以上の設置期間、杭丸太の全長が地下水低下により地下水位より浅い位置にあったと考えられ、このような環境においても杭丸太は劣化の進行はかなり遅く、長い半減期が得られた。

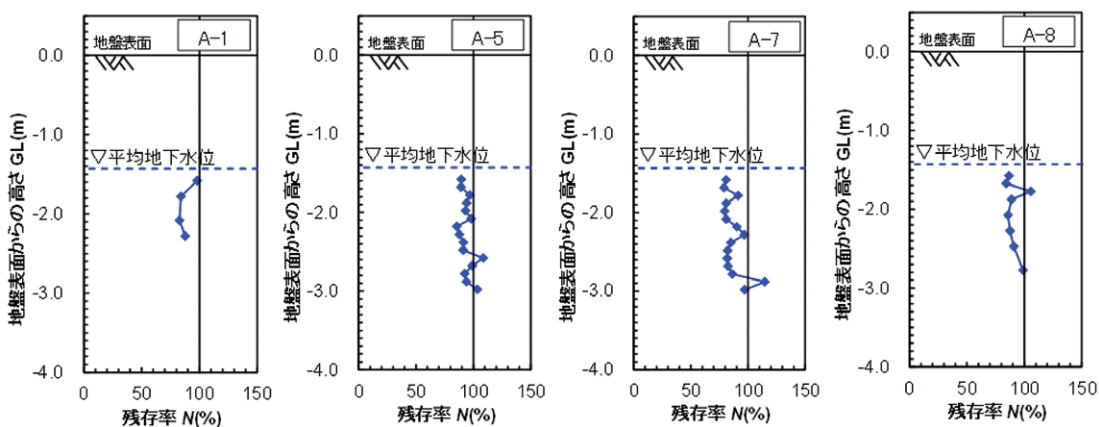


図5 大田区杭丸太の深度別残存率

表2 大田区杭丸太の各丸太の質量減少に対する半減期の推定値

丸太 No.	杭丸太 1本あたりに換算した 残存率 N(%)	杭丸太 1本あたりに換算した 半減期 HL(years)
A-1	85.4	370
A-5	92.1	712
A-7	82.1	295
A-8	90.5	583

(2) 10年前に液状化対策のため打設した杭丸太の掘出し調査（木更津市）

昨年度見学会を実施し掘り出した液状化対策のために打設した木更津市の杭丸太（写真2）の概要は次のとおり。

- (ア) 杭丸太打設：2013年2月8日
- (イ) 掘出し場所：千葉県木更津市
- (ウ) 掘出し期間：2022年11月28日（打設後9.8年）
- (エ) 使用樹種：カラマツ（森林総合研究所の鑑定による）

ア. 地盤調査結果

木更津市での杭丸太の掘出し箇所における土質区分の調査結果を図6に示す。



写真2 木更津市における杭丸太の掘出し

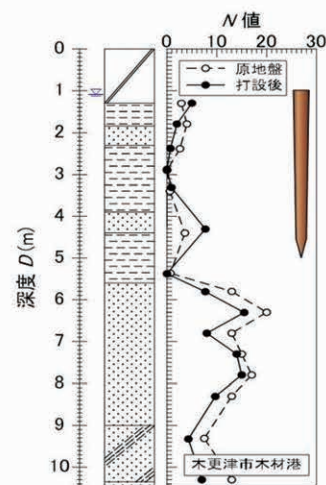


図6 木更津掘出し箇所の地盤調査結果

イ. 深度ごとの目視被害度判定、ピロディン貫入量

木更津市杭丸太の深度ごとの目視被害度判定は図7、ピロディン貫入量は図8のとおりであり、目視においても簡易な定量的な値においても殆ど劣化は認められない。

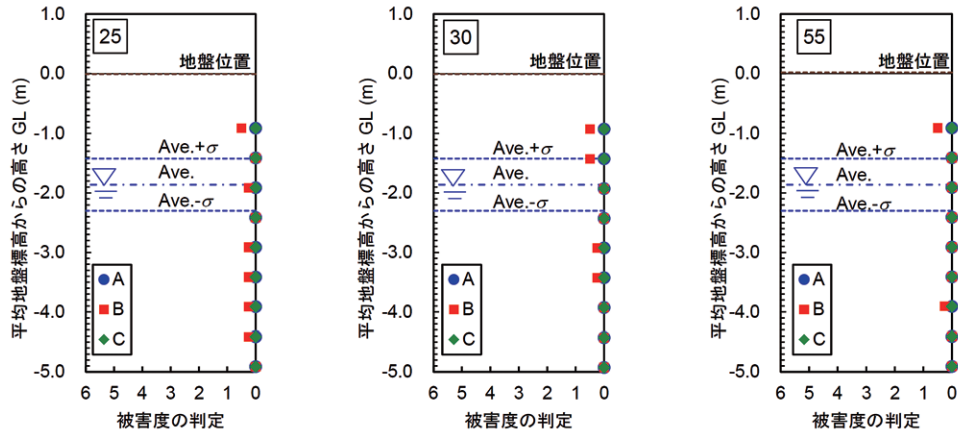


図7 木更津市杭丸太の深度別目視被害度判定結果

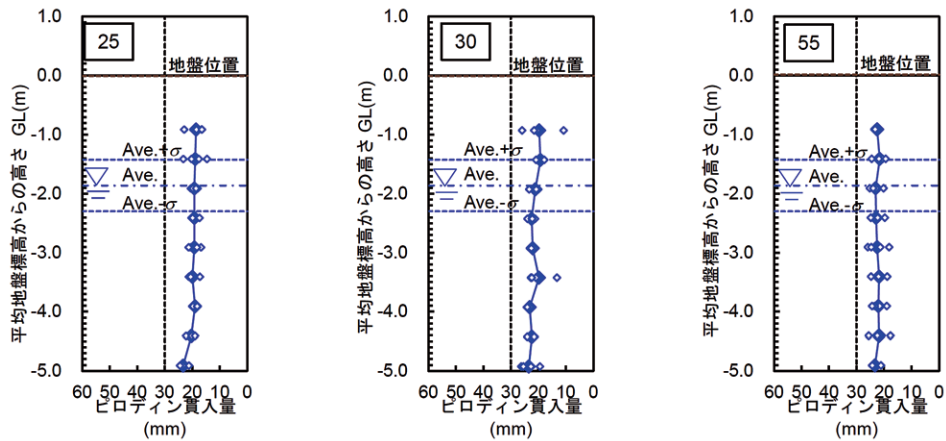


図8 木更津市杭丸太の深度別ピロディン貫入量

ウ. 深度ごとの縦圧縮強度

木更津市杭丸太の深度ごとの短柱の縦圧縮強度は図9のとおりであり、いずれもカラマツの水中における基準強度よりかなり大きい。

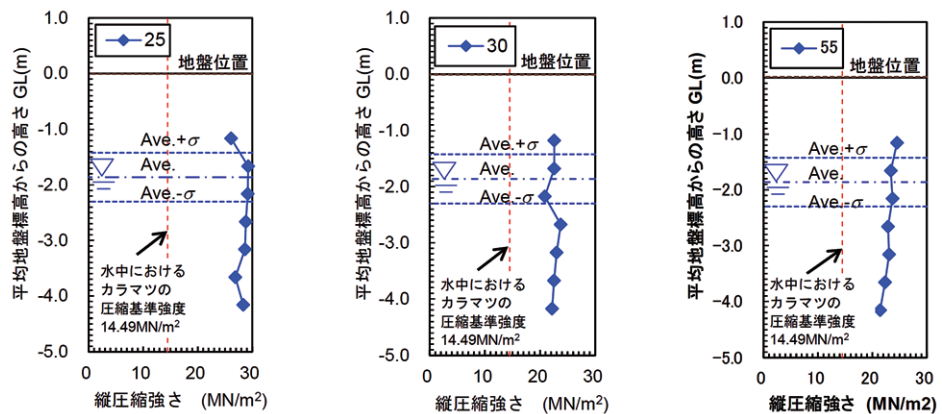


図9 木更津杭丸太の深度別縦圧縮強度

オ. 深度ごとの短柱と円盤の容積密度

木更津市杭丸太の深度ごとの短柱と円盤の容積密度を図10に示す。カラマツの平均的な容積密度とほぼ等しいかやや大きく、深度による質量減少は認められない。

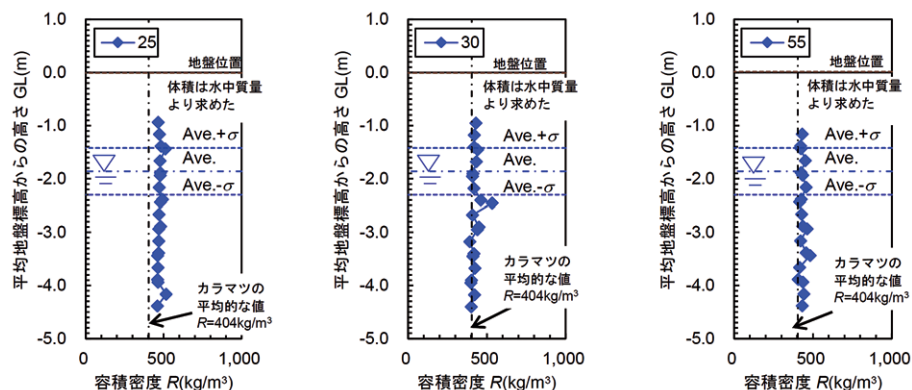


図10 木更津市杭丸太の深度別容積密度

カ. 深度ごとの短柱と円盤の残存率

調査時観測された地下水位より深い位置（-1.9m以深）における容積密度の平均値を初期の容積密度とし、各深度の杭丸太の残存率を図11に示す。地下水位以浅の部分もあるが、ほぼ100%であり、深度による変化も認められない。したがって、現段階で求められる半減期は、∞だとと言える。

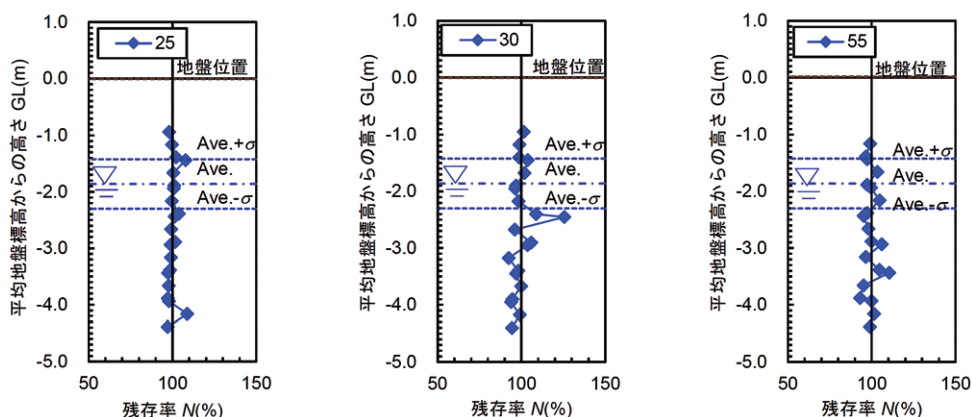


図11 木更津市杭丸太の深度別短柱と円盤の残存率

木更津市の杭丸太は、液状化対策として、近代の知見を得て劣化についても対策が行われ砂地盤に打設したものであるが、このような杭丸太は打設後10年経過しても杭頭部を含め劣化は全く認められず、質量を十分に維持したと言え、大田区南六郷の調査結果を踏まえると、今後数十年経過しても残存率が急激に減少することは考えにくく、このような最近の工法を用いた場合には、半減期はほぼ∞に近いと考えられる。

(3) 約100年前に構造物基礎として打設された杭丸太の掘り出し調査（墨田区）

墨田区の埋蔵文化財発掘調査で発見された大正時代以前に施工されたと考えられる杭丸太（写真3）の概要は次の通り。

- (ア) 杭丸太打設：大正時代以前と想定されている
- (イ) 掘り出し場所：東京都墨田区横川
- (ウ) 掘り出し時期：2022年3月6日（打設後、約100年）
- (エ) 使用樹種：マツ属丸太（森林総合研究所の鑑定による）（アカマツと考えられる）

ア. 深度ごとの目視被害判定、ピロディン貫入量

墨田区横川の杭丸太の深度ごとの目視被害判定は図12, ピロディン貫入量は図13のとおりであり、被害度は目視においては最大2程度であるが、ピロディン貫入量は30mmを超えるものもあり、特にA5の杭丸太で30mmを超えるものが多かった。



写真3 墨田区横川における杭丸太の状況

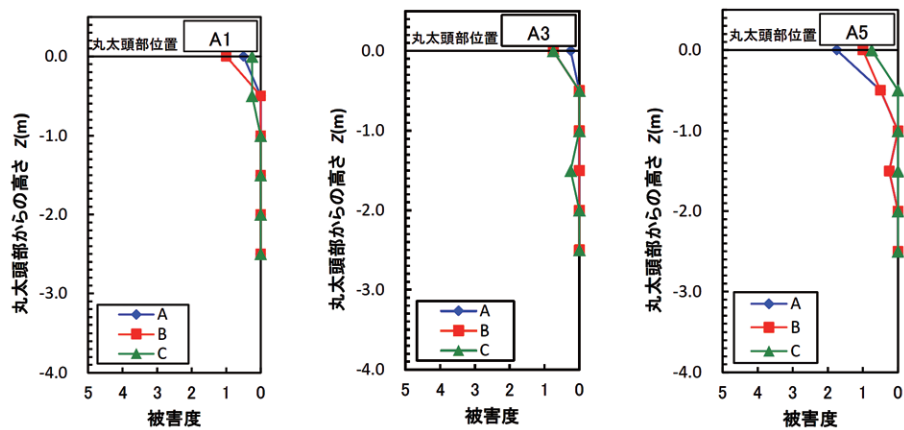


図12 墨田区杭丸太の深度別目視被害度

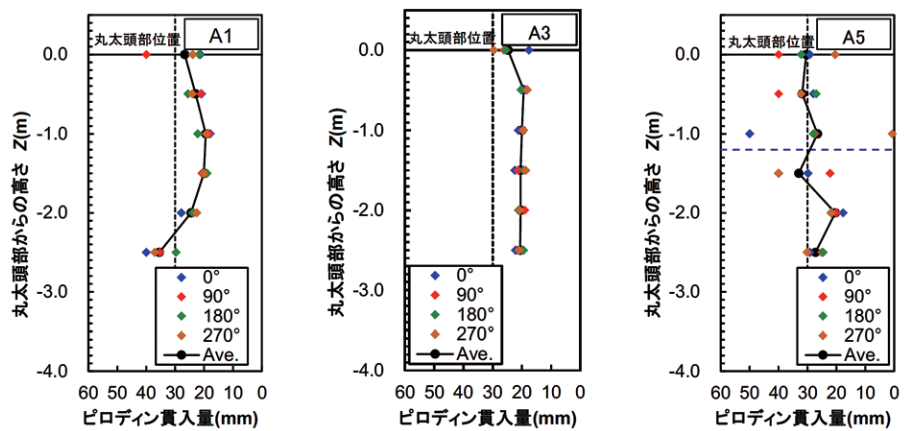


図13 墨田区杭丸太の深度別ピロディン貫入量

イ. 深度ごとの縦圧縮強度

墨田区杭丸太の深度ごとの短柱の縦圧縮強度は図14のとおりであり、いずれもアカマツの水中における基準強度よりかなり小さく100年の間に劣化が進行したと考えられる。

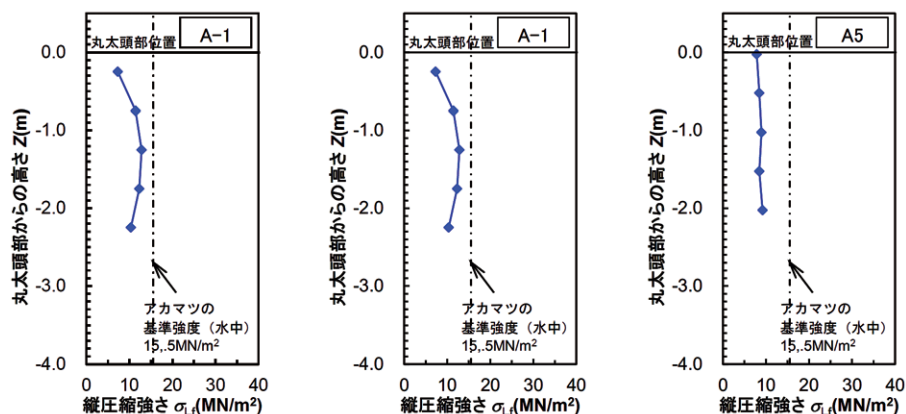


図14 墨田区杭丸太の深度別縦圧縮強度

ウ. 深度ごとの短柱と円盤の容積密度

墨田区杭丸太の深度ごとの短柱と円盤の容積密度を図15に示す。アカマツの平均的な容積密度よりも低いものが多く、特にA5では低い。A5では、大きな値を示す個所(1、3、7、13)があるが、これらはいずれも節部である。

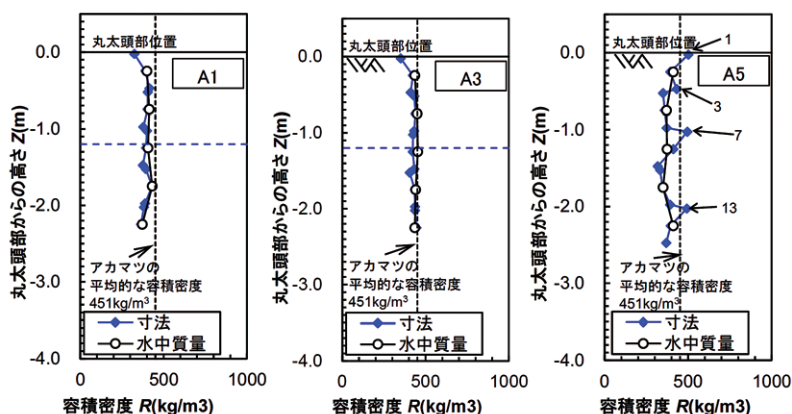


図15 墨田区杭丸太の深度別容積密度

エ. 深度ごとの短柱と円盤の残存率

アカマツの平均的な容積密度 451kg/m^3 を初期値と仮定し残存率を求めた。深度別残存率を図16に示す。残存率の計算では、節部は除いた。深度による傾向は少なく、全体的に100%より小さくなっている。

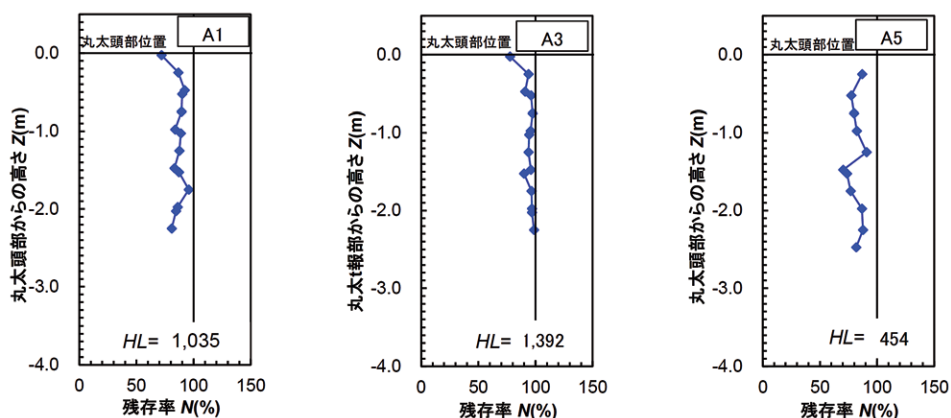


図 16 墨田区杭丸太の深度別短柱と円盤の残存率

ウ. 半減期の推定

設置期間を100年、初期の容積密度をアカマツの平均的な値として半減期を求めた結果を表3に示す。A1とA3は、1,000年を超えるが、最も低いA5で454年であった。墨田区は過去には地下水の汲み上げで、長期間にわたりかなり地下水位が低下しており、このような環境下でも半減期は大きな値を示すことがわかる。

表 3 墨田区杭丸太の質量減少の半減期

丸太 No.	杭丸太 1本あたりに換算した 残存率 N(%)	杭丸太 1本あたりに換算した 半減期 HL(years)
A1	93.5	1,035
A3	95.1	1,392
A5	85.8	454

2. 軟弱地盤強化等のために実際に施工された杭丸太の小ブロック試験

軟弱地盤強化等のために実際に施工された木更津丸太、墨田区丸太、小浜市丸太の異なった深度から円盤を採取し、小ブロック試験を行った。各丸太の打設後の経過年、樹種、杭長、試験片採取深度を表4に示す。

表 4 小ブロック試験のための杭丸太に関する諸データ

	打設年	経過年	打設目的	樹種鑑定	長さ	試験片採取深度 (cm)		
						3	2	1
木更津	2013年	10年	液状化対策	カラマツ (Larix属)	4m	杭頭	91-180	327-384
墨田区横川	1926年頃	約100年	建築物基礎	マツ (Pinus属)	3m	—	13-34	221-225
小浜	1938年	85年	橋脚基礎	マツ (Pinus属)	8m	70-120	330-430	610-730

また、異なった深さから採取した円盤から図17に示すように放射方向に圧縮試験体と割裂容積密度試験体を採取した。

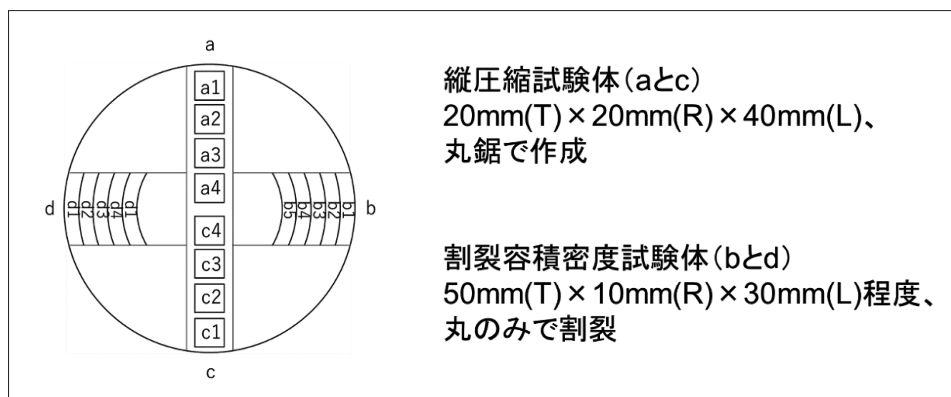


図17 円盤からの小ブロック試験体採取方法

以下に各丸太ごとの試験結果を示す。

(1) 10年前に液状化対策のために打設した杭丸太（木更津市）

木更津市の丸太については、3カ所の深度から試験片を採取した。各深度における丸太断面の状況の例を図18に示す。

小ブロック試験体の容積密度（表5）からは、地下水位より下の深度1（杭先端部）及び深度2、地下水より上の深度3（杭頭部）のいずれにおいても、丸太最外層も含めた容積密度の違いは認められず、打設10年間で、杭頭部でも質量減少は認められなかった。一方、縦圧縮強度（表6）を見ると、地下水位より上の深度3（杭頭部）の最外層では、強度低下している可能性が認められ、劣化が始まっている可能性がある。

表5 木更津丸太の小試験体容積密度

圧縮小試験片容積密度比				
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3
2/1	1.027	1.053	1.035	1.075
3/1	0.995	1.049	1.048	1.158

圧縮小試験片容積密度(kg/m ³)			
	最外層	最外層-1	最外層-2
1	456	422	373
2	467	440	414
3	472	435	409

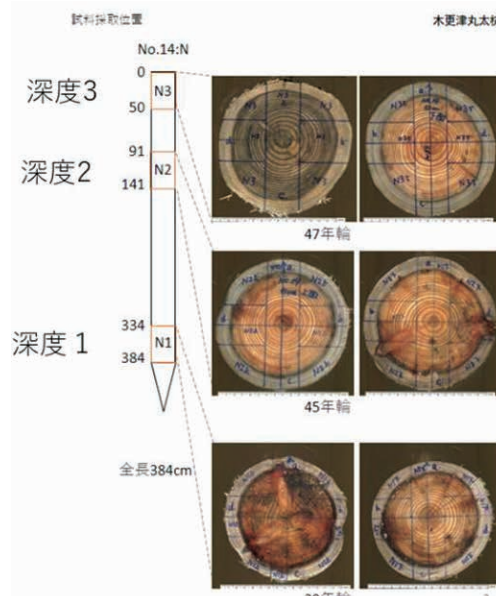


図18 木更津丸太からの円盤採取例

表6 木更津丸太の小試験体縦圧縮強度

圧縮小試験片強度比			
	最外層	最外層-1	最外層-2
2/1	0.997	1.044	1.163
3/1	0.939	1.010	1.053

(2) 約100年前に建築物支持杭として打設した杭丸太（墨田区）

墨田区の杭丸太（写真4）については、杭先端（深度1）と杭頭近く（深度2）の2ヶ所の深度から試験片を採取した。各深度における丸太断面の状況の例を図19に示す。



写真4 墨田区丸太の掘出し状況

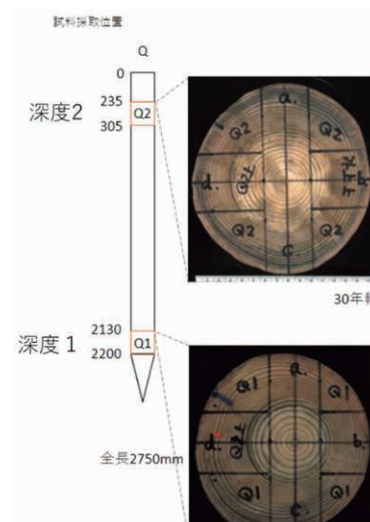


図19 墨田区丸太からの円盤採取例

墨田区の小試験体の容積密度（表7）は、深度や内外層の別によらず、本来のアカマツ容積密度（451kg/m³）に比べ小さすぎる値であった。このことにより、深度によらず杭全体が外層から劣化している可能性がある。全体が劣化している原因としては、過去（1970年以前）には、前述したように地下水位が大きく低下しており、丸太全体が地下水位より上にあつたと考えられる。

圧縮小試験体の容積密度から、杭断面全体の容積密度は376kg/m³と推計された。アカマツの本来の容積密度451kg/m³を初期密度と仮定し、打設後の経過年数を100年とすると丸太全体の質量減少半減期は380年と評価される。

表7 墨田区丸太の小試験体容積密度

割裂小試験片容積密度(kg/m ³)					圧縮小試験片容積密度(kg/m ³)			
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3		最外層	最外層-1	最外層-2
1	284	304	333	340	1	312	328	
2	339	387	390	416	2	403	397	385

(3) 85年前に橋脚基礎として打設した杭丸太（小浜市）

小浜市の丸太（写真5）については、杭先端（深度1）、中間（深度2）、杭頭近く（深度3）の3ヶ所の深度から試験片を採取した。各深度における丸太断面の状況の例を図20に示す。



写真5 小浜市の橋脚基礎丸太

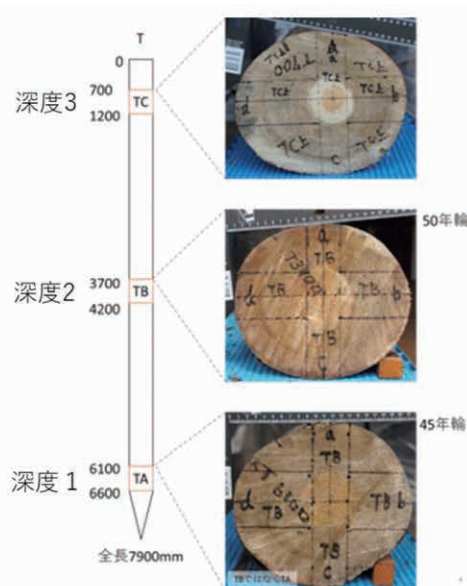


図20 小浜市丸太からの円盤採取例

小浜市の割裂小試験体の容積密度を見ると、深度1（杭先端付近）に対し、深度2（中央部）の容積密度がやや高かった。また、深度3（杭頭近く）の最外層は明らかに質量減少していた（表8）。一方、圧縮小試験体の容積密度を見ると（表9）、深度3（杭頭近く）での容積密度の低下は見られず、質量減少は割裂小試験体の厚さである最外層1cmのみに見られた。

小浜市の丸太は、橋脚基礎杭であるため、通常、杭頭は河川水面下にあると考えられるが、杭頭部付近の最外層の質量減少の理由として、河川水面低下時に、橋脚直下の杭頭部付近の土壌の地下水位も低下していた可能性が考えられる。

他方、縦圧縮強度を見ると（表9）、杭頭近くでは明らかな強度低下が見られ、劣化が始まっていることが示唆された。

本試験結果から、杭頭部付近の最外層1cmが打設後85年で質量比0.855に質量減少すると仮定すると、杭頭部付近の質量減少半減期は2,100年と評価された。

表8 小浜市丸太の割裂小試験片容積密度

割裂小試験片容積密度比						
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3	最外層-4	最外層-5
2/1	1.048	1.063	1.057	1.072	1.064	1.063
3/1	0.855	0.984	0.987	0.970	1.045	1.009

表9 小浜市丸太の圧縮小試験片の容積密度と縦圧縮強度

圧縮小試験片容積密度比					圧縮小試験片強度比			
	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3	最外層	最外層-1	最外層-2	最外層-3
2/1	1.027	1.053	1.035	1.075	0.979	1.033	1.045	1.095
3/1	0.995	1.049	1.048	1.158	0.708	0.827	0.887	1.206

(3) これまでの小ブロック試験のまとめ

杭頭部を地下水面下まで打ち込む実際の施工条件下で埋設した杭丸太掘出し結果の半減期等の分析について、昨年度の結果も含めてまとめると表10のとおりである。なお、杭頭部が地表面にあった森林総合研究所構内に埋設された円柱加工材及び杭頭部が水面上に露出している佐賀県のクリーク丸太については施工条件が異なるので本表からは除いている。

表10 実際の施工条件下で埋設された杭丸太の半減期等の分析まとめ

埋設場所	目的	樹種	経過年	半減期等
松坂市	液状化対策	スギ	8年	杭頭部でも質量減少なし
木更津市	液状化対策	カラマツ	10年	杭頭部でも質量減少なし
大田区	建築物支持	アカマツ	80年	丸太全体の半減期 510年（過去に地下水位低下）
小浜市	橋脚基礎	アカマツ	85年	杭頭部半減期 2,100年
墨田区	建築物支持	アカマツ	約100年	丸太全体の半減期 380年（過去に地下水位低下）

3. 杭丸太使用実態調査

本調査は、昨年度調査に引き続き、杭丸太の炭素蓄積量を国家インベントリ報告として気候変動枠組条約（UNFCCC）事務局に報告するための丸太使用量の把握等のさらに具体的な調査として、環境パイル工法、LP-LiC/LP-SoC工法、QPパイル工法、パイルネット工法を対象に下記の調査を行った。

- ① 杭丸太4工法別の施工実績・丸太使用量の把握
- ② 丸太使用量実績に基づく炭素固定量の推計
- ③ 杭丸太の引き抜き実態の把握（特に、建築物解体等に伴う杭丸太の取扱い）

(1) 主要工法の施工実績・丸太使用量

主要4工法の施工実績及び丸太使用量の推移を図21に示す。対象となる工法のうちパイルネット工法を除く3工法については、おおむね2010年以降に施工が始まった現代的工法であり、特に2010年から2018年にかけて施工実績は急速に伸びた。

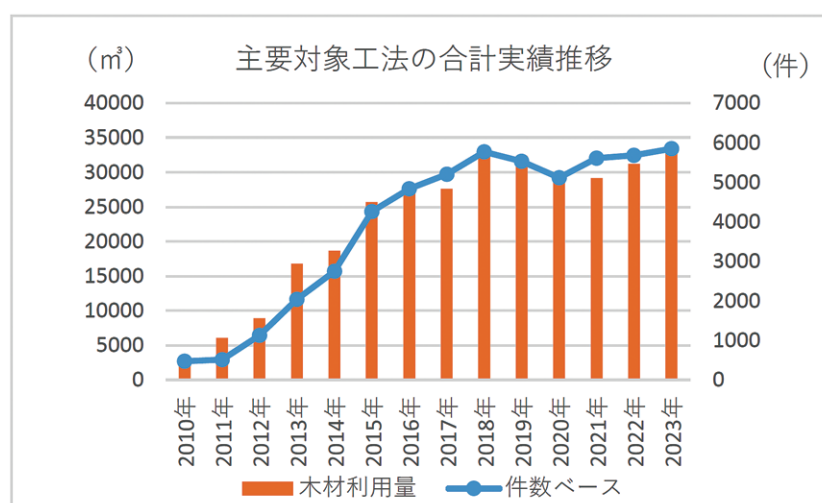


図21 主要4工法の施工実績及び木材利用量の推移

木材（丸太）利用量の樹種別内訳は表11のとおりである。用いられている樹種はスギが全体の90%以上を占めており、また全て国産材が使用されている。

表 11 主要4工法の木材（丸太）使用量の樹種別内訳（単位：千m³）

	2011～ 15	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	計
スギ	73.89	26.96	26.94	32.08	31.53	27.79	28.19	30.51	229.77
その他樹種（※）	5.56	0.70	0.70	1.11	0.88	1.46	1.00	0.76	17.25
計	79.44	27.69	27.64	33.19	32.41	29.25	29.18	31.27	247.02
※その他樹種はカラマツ、ヒノキ、トドマツ									

（2）丸太使用実績に基づく炭素固定量計算

前項の丸太使用実績に基づき、杭丸太による炭素固定量の計算を行った。前提として、主要4工法による丸太打設は地下水位以下または防腐処理を行い打設することが基本であること、また、これまでの掘出し調査でも10年程度で質量減少が認められた事例がないことから、地中での質量減少はないと仮定した。また、次項に説明するように現時点では杭丸太の引き抜きも発生していないと仮定した。

炭素固定量の算定式は次のとおりである。

$$\text{炭素蓄積量 (t)} = \text{材積 (m}^3\text{)} \times \text{容積密度 (ton/m}^3\text{)} \times \text{炭素含有率}$$

ここで：容積密度は、スギ（0.31）、ヒノキ（0.41）、カラマツ（0.4）、トドマツ（0.32）
炭素含有率は、針葉樹の0.51とした。

容積密度を用いるのは、丸太打設の際、伐倒した丸太を剥皮し、乾燥させずに打設するためである。なお、環境パイル工法は薬剤注入のため繊維飽和点まで乾燥させるが、繊維飽和点までは乾燥による収縮がないため、容積密度を用いることが適当である。

算定の結果を表12に示す。杭丸太による炭素の蓄積量は2021年の単年では約4.7千炭素トンであり、これは同年の我が国のHWP（丸太利用は定常状態として計算）の変化量（2021年は吸収量）の1.07%に相当する。

杭丸太の2011年から2021年までの累計蓄積量や約41千炭素トンで、HWPの年間変化量（吸排出量）の累計の3.53%となる。このように杭丸太はほぼ永久貯留とみなせるので炭素蓄積量の累積効果が高い。

表 12 杭丸太の炭素蓄積量とHWPとの比較

	2021年	2011～2022年累計
杭丸太炭素蓄積量（炭素トン）	4,658	40,785
対HWP比（%）	1.07	3.53

また、杭丸太のHWPへの年別の寄与度を、図22に示す。HWPは、年により変化量が排出となる年と吸収となる年があるが、寄与度の意味としては、HWPが排出となる年については、杭丸太の固定量がHWPの排出を何%削減するか、HWPが吸収となる年については、杭丸太の固定量がHWPの吸収量を何%増加させるかを示す比率であり、どちらの場合も温暖化防止に寄与することとなる。

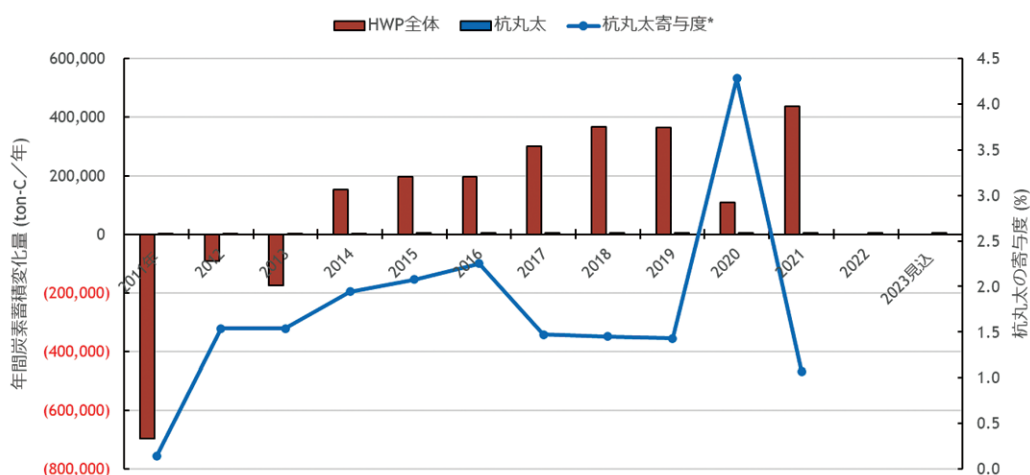


図 22 HWPの年別変化量、杭丸太の年別固定量と対HWP寄与度

(3) 杭丸太の引き抜き実態の把握

杭丸太については、建築物の際の建て替えの際に引き抜きが発生する可能性がある。引き抜かれた杭丸太は、排出となるので、インベントリ報告上引き抜き量を把握することがあることから、本調査を実施した。

工法ごとの聞き取りの概要は次のとおりである。

ア. 環境パイル工法

- ・自社施工による引き抜きの実績はない。
- ・将来的な杭丸太の取扱いについては検討中。基本的には、地盤の強度を確認するための載荷試験を実施し、地盤強度に問題があれば、地盤補強対策のとして、場合によっては木杭を引き抜くことはあり得る。

イ. LP-LiC工法/LP-SoC工法

- ・これまでに杭丸太を引き抜いた具体的事例はない。
- ・考え方として、建て替え等の場合、強度試験（載荷試験や貫入試験）を行い、強度的に問題がなければ通常は引き抜くことはないが、杭丸太が邪魔になるケースや原状回復の必要があるケースのみ、例外的に引き抜くことになる。

ウ. QPパイル工法

- ・これまで杭丸太を引き抜いた事例はない。
- ・引き抜きに対応するため、専用の機材等は準備しているが、これまで引き抜きの要望を受けるケースはなかった。今後もそれほどニーズはないとみているが、法的な規制の動向によっては引き抜きが必要になる可能性もある。

エ. パイルネット工法

- ・引き抜き実績としては、例外的に引き抜きを前提とした施工を行うケースがあり、具体的には、鉄道工事の仮線敷設工事で仮線撤去後に原状回復として引き抜きを行った事例が2件ある。
- ・河川堤防や道路、線路の地盤の強化のための工法であり、建築物の建て替えなどが発生せず、引き抜きは前提としていない。

このように杭丸太の引き抜きについて、環境パイル工法、LP-LiC/LP-SoC工法、QPパイル工法については、施工が開始されて年数が浅く、建築物の建て替え等が発生していない状況と考えられ、引き抜きの事例は見られない。また、パイルネット工法は、建築物対象ではなく建て替えが発生し

ないため、引き抜きは前提としていないが、例外的に仮設工事の現状復旧で引き抜きが行われたことはある。

将来的には、建築物の建て替え等に伴う引き抜きが発生する可能性はあると考えられる。

4. これまでの成果の学術誌への投稿

令和2年度補正事業の結果のうち、森林総合研究所円柱加工材の掘り出し試験の結果について、「土木学会論文集」(Journal of JSCE) に英文投稿を行い、査読・修正を経て次のとおり掲載された。

Tonosaki, M., A. Numata, S. Takahara, K. Yamashita, Y. Kubojima (2023) Degradation and Mass Loss of Japanese Cedar Cylindrical Piles Buried for 10 Years with their Heads at the Ground Surface, Journal of JSCE, 11(1), 22-00315

https://www.jstage.jst.go.jp/article/journalofjsce/11/1/11_22-00315/_article/-char/ja

また、令和3年度補正事業の結果のうち、8年前に液状化対策で打設した丸太（松坂）の結果を「土木学会論文集（特集号）」に投稿し、次のとおり掲載が決まった。

沼田淳紀, 村田拓海, 外崎真理雄, 高原繁: 8年前に液状化対策で打設した丸太の掘出し現地調査, 木材工学論文集, 土木学会, 2024. (掲載予定)

5. 情報交換・情報発信

杭丸太の炭素蓄積効果について、「HWP長期大量利用によるカーボンキャプチャーを創出する木材地中利用事業の推進」と題し、一般社団法人日本プロジェクト産業協議会（JAPIC）を通じた政策提言を行った（図23）

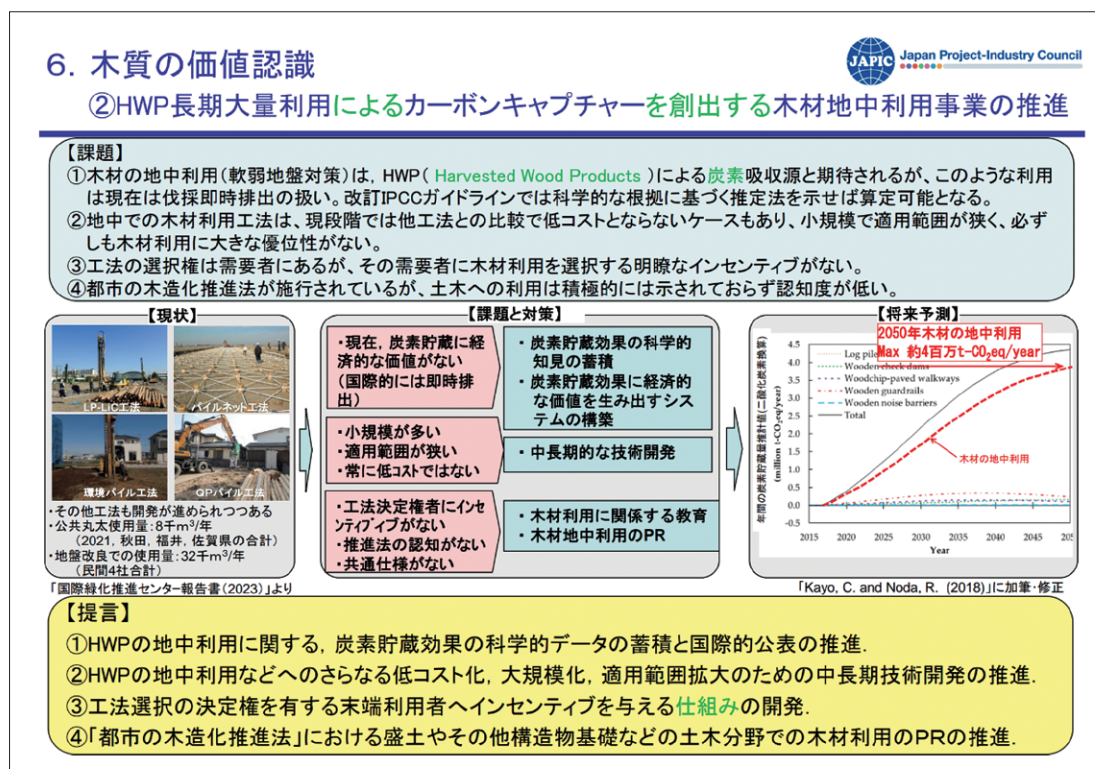


図23 JAPICを通じた杭丸太利用推進の提言

また、科研費による研究プロジェクトとの連携により下記シンポジウムに参画し、本事業の成果発表と意見交換を行った。

「木材利用シンポジウム 2024 in 高知 ～木材の地中利用の促進～」

日時：2024年1月22日（月） 13時～17時

場所：高知大学メディアホール（高知市曙町）

- 講演 （基調講演） 地中木材利用の環境的意義と課題
外崎 真理雄氏（森林総合研究所）
- （講演1） 丸太を使った液状化対策とその後の丸太の調査
沼田 淳紀氏（ソイルウッド）
- （講演2） 地盤改良丸太の地下環境における生物劣化
堀澤 栄氏（高知工科大学）
- （講演3） 軟弱地盤上の佐賀平野における木材の土木利用報告
～クリーク護岸などへの木材活用の歴史と課題～
宮副 一之氏（株式会社九州構造設計）
- （講演4） 地中埋没した木杭の振動現象の解明
久保島 吉貴氏（森林総合研究所）

今後の
課題・展開
等

地中利用木材（杭丸太）の質量減少に関する本年度の調査では、昨年度に引き続き、建築物等の基礎や軟弱地盤改良のための一般的な施工条件である、丸太頭部が地中一定の深さにまで打設された杭丸太の掘出し試験を行った。また、インベントリ報告のための杭丸太使用量の把握、引き抜きの実態のための使用実態調査、杭丸太の炭素蓄積効果に関する情報発信を行った。これらを踏まえ、今後の展開・課題として次のことを予定している。

- これまでの掘出し試験等を踏まえ、インベントリ報告のための杭丸太の炭素固定量算定案の作成とさらなる課題の抽出
- 実際の施工条件下で埋設された杭丸太のさらなる掘出し試験による知見の集積
- インベントリ報告のための杭丸太使用量把握のための体制構築
- 今後発生する可能性のある杭丸太の引き抜きに関する更なる調査

CLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド型 木造構造システムの性能評価と構造設計法

● 実施団体 ●

株式会社 堀江建築工学研究所

〒151-0071 東京都渋谷区本町1丁目52-2 Kビル4F

国立大学法人 東北大学工学研究科

〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6

事業目的

令和4年度の本事業「CLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド型木造構造システムの開発」で開発したCLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド構造システムを対象として、非木造建築が主流である中層集合住宅やオフィスなどを木質系建築構造で実現するための技術を開発する。

実施した項目

非木造建築が主流である中層集合住宅やオフィスなどを木質系建築構造で実現するための以下の研究を行う。

- ① CLT-鉄骨接合部及び構造システムの構造性能評価
- ② 構造解析法及び構造設計法の検討
- ③ 構造設計パンフレットの作成と普及広報

実施体制

全体委員会	<p>主査：前田匡樹（東北大学）</p> <p>幹事：迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所）</p> <p>委員：太田勤，清原俊彦，高橋愛，尾畑徹，土田敏行，永島佑衣，（㈱堀江建築工学研究所），松本直之，後藤豊（東北大学），田畑正紀（宮城県森林組合連合会），千葉賢史（宮城県水産林政部），勝田幸仁朗（物林㈱），安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所），並木直子（元・㈱ユーメディア）</p>
研究開発WG	<p>主査：前田匡樹（東北大学）</p> <p>幹事：松本直之（東北大学）</p> <p>委員：迫田丈志，太田勤，清原俊彦，尾畑徹（㈱堀江建築工学研究所），後藤豊，Ahmad Ghazi ALJUHMANI，津田和輝，高橋里菜，鈴木陽平，山本暁（東北大学），村西大介（BXカネシン㈱）</p>
構造設計WG	<p>主査：迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所）</p> <p>幹事：尾畑徹（㈱堀江建築工学研究所）</p> <p>委員：太田勤，清原俊彦，高橋愛，土田敏行，永島佑衣（㈱堀江建築工学研究所），前田匡樹，松本直之，後藤豊（東北大学），山内一彦（㈱SA設計）</p>
広報普及WG	<p>主査：並木直子（元・㈱ユーメディア）</p> <p>幹事：千葉賢史（宮城県水産林政部）</p> <p>委員：勝田幸仁朗（物林㈱），安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所），田畑正紀（宮城県森林組合連合会），迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所），前田匡樹，松本直之（東北大学）</p>
事務局	福井和代（㈱堀江建築工学研究所），堀亜紀子（東北大学）

実施した
内容

1. CLT-鉄骨接合部及び構造システムの構造性能評価
 - 1.1 接合部要素実験による接合部の構造性能評価法と構造解析モデル
 - 1.2 CLT壁の部分架構実験による構造性能評価法の検討
2. 構造解析法及び構造設計法の検討
 - 2.1 構造解析法
 - 2.2 構造設計法
3. 構造設計パンフレットの作成と普及広報
 - 3.1 リーフレットの作成
 - 3.2 成果報告会の企画

実施した
結果

1. CLT-鉄骨接合部及び構造システムの構造性能評価

1.1 接合部要素実験による接合部の構造性能評価法と構造解析モデル

CLT-ボルト接合部の破壊モード（めり込みやボルト降伏が先行〔靱性型〕、またはせん断破壊が先行〔脆性型〕）の推定方法を確立し、靱性的かつ耐力の高い接合方法での剛性、耐力、終局変形の評価方法を提案することを目的として、接合部要素実験を実施した。実験の主要なパラメータはボルト径と端空き距離とした（表1）。各ボルト径に対してL（長：めり込み先行）、B（境界）、S（短：せん断先行）の3種類の端距離を設定した。CLTパネル（Mx60 3-3、スギ）2枚の間に接合ボルト（高強度ボルト）1本と加力用鋼板を設置し、正負交番繰り返し加力を行った。

主要な荷重変形関係と破壊状況を図1、特性値を表2に示す。

φ30の太径ボルトでは、L試験体ではめり込み降伏が先行し、最外層の端抜けせん断破壊を経て、直交層の曲げ破壊に至った。荷重は最大耐力到達後、部分的なせん断破壊を経て7割前後の耐力を維持した。S試験体ではせん断破壊が先行した。履歴はスリップ型の特性を示した。

他方、φ16の細径ボルトを使用する場合は、L試験体ではボルトの曲げ降伏の後、ラミナのめり込み降伏、ロープ効果による耐力の上昇が確認された。降伏耐力は50kN程度であるがロープ効果の影響が大きく最大荷重は240kNに達した。最終的に座金と接触する箇所を含む3か所でボルトが降伏し破壊に至った。端距離の短い場合はせん断破壊が先行した。ボルト降伏後、履歴ループはスリップから逆S字に近いふくらみを持つ形となった。

破壊モードの分類は想定した指標で可能であることが確認された（図2）。

実験に基づきφ30（CLT降伏型）、φ16（ボルト降伏型）の靱性型仕様の場合の剛性、耐力、変形を推定する計算手法を提案した（図3）。弾性床土の梁理論¹⁾に基づく弾性剛性とEYT¹⁾式に基づく降伏荷重をもとに、平行層・直交層のラミナが順に降伏することを想定し、剛性・耐力を推定する力学モデルを構築した。

表1 試験体一覧（繊維傾斜角0度を抜粋）

試験体 シリーズ	パネル厚さ	ボルト径	端空き距離	端空き径比	径長比	試験体 数
	t mm	Φ mm	Ln mm	Ln/Φ	Φ/2t	
I30-L-0	90	30	150	5	0.167	3
I30-B-0			120	4		
I30-S-0			75	2.5		
I24-L-0		24	150	6.25	0.133	
I16-L-0		16	190	11.88	0.089	
I16-B-0			84	5.25		
I16-S-0			40	2.5		

表2 実験結果の構造特性値 (各シリーズ0度のL・Sを抜粋)

試験体 シリーズ	初期剛性	降伏耐力	最大耐力	降伏変位	時変位	最大耐力 時変位	終局変位
	K_i kN/mm	P_y kN	P_{max} kN	δ_y mm	$\delta_{P_{max}}$ mm	$\delta_{P_{max}}$ mm	δ_u mm
I30-L-0	44.3	134.2	143.2	4.9	1.5	1.5	74.4
I30-S-0	49.5	53.5	77.7	1.3	0.8	0.8	30.8
I24-L-0	41.8	121.7	176.5	4.2	1.4	1.4	67.5
I16-L-0	19.0	49.7	240.5	3.6	1.0	1.0	63.7
I16-S-0	25.1	22.8	97.7	1.0	0.6	0.6	30.3

(各値は3体の平均値)

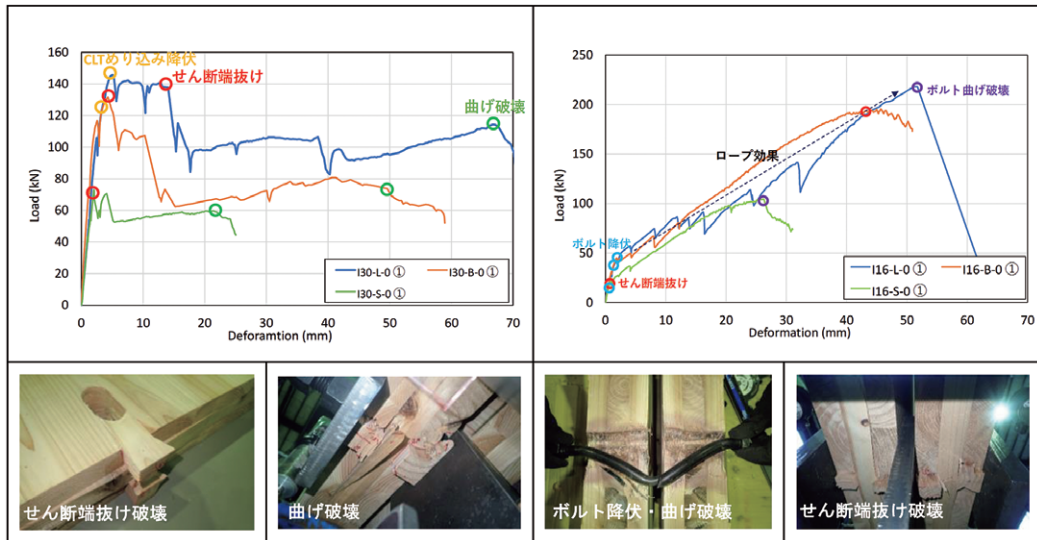


図1：荷重変形関係（包絡線）と破壊の進行：（左）φ30太径ボルト，（右）φ16細径ボルト

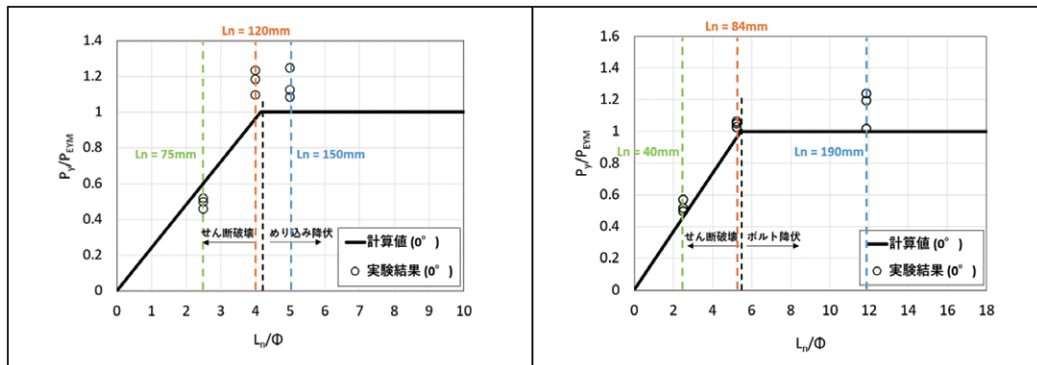


図2 Ln/φの指標による破壊モードの分類：（左）φ30太径ボルト，（右）φ16細径ボルト

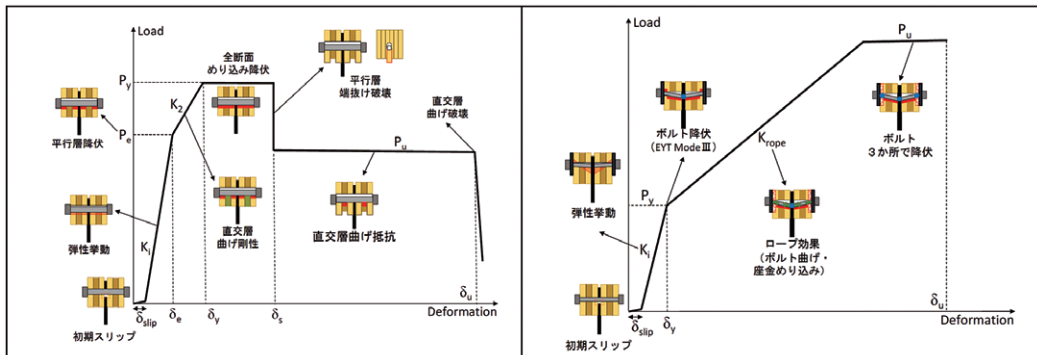


図3 靱性型仕様の骨格曲線推定：（左）φ30太径ボルト（L），（右）φ16細径ボルト（L）

1.2 CLT壁の部分架構実験による構造性能評価法の検討

解析、及び1.1の接合部要素実験を踏まえて、壁脚部のCLTパネルを再現した実大架構実験により性能を確認した。壁幅・接合部本数をパラメータとして表3に示す試験体について、静的交番加力試験（0.125%～3%、もしくは最大耐力より8割低下、以降引ききり）を行い、水平力を作用させた。試験体詳細を図4に示す。

・壁幅による違い

図5に荷重変形関係、破壊性状を示す。破壊に至るまでの挙動については、すべての試験体で、接合用鋼板とボルトのスリップが確認され、その後CLTのめり込みによって抵抗した。その後の破壊性状は壁幅によって異なることが確認された。F1.2-4では、要素実験と同様の挙動を示し、ボルト下のCLT平行層が端抜け破壊することで耐力が低下する（1.3%時）が、その後CLTの直交層が抵抗を続けることで、靱性を保った。一方、F2.1-4、F3.0-4では、最大耐力に達した後、CLT接合部で集合破壊が生じ、大幅に耐力が低下した。これは、CLT平行層とCLT直交層で同時に破壊が生じるため、脆性的な破壊となった。直交層での破壊は1.1要素実験では確認されなかった破壊性状であり、今後の検討が必要である。また、壁性能については、全ての試験体で最大平均せん断応力度は1MPaを超え、初期剛性・最大耐力は、壁幅が広くなるにつれて大きくなることが確認できた。平均せん断応力度は壁幅には影響されない。

・接合部本数による違い

破壊に至るまでの挙動・破壊性状は同様の結果を示した。耐力は接合部本数が増えると大きくなり、最大平均せん断応力度は大きくなるものの、剛性は接合部本数が増加しても大きな差は確認されなかった。解体後の写真を比較すると、接合部本数が6本の試験体はボルトによるCLTのめり込み痕があまり見られない（図5）ことから、CLTのめり込み降伏が生じる前に集合破壊が生じたと考えられる。

・予測との比較

事前解析（1.1の接合部性能を適用）と比較すると、接合部本数が4本の試験体では耐力はほぼ同等に発揮され、壁幅による初期剛性の上昇についても確認できた。一方、接合部本数増加による剛性増加や、耐力増加は予想より小さいことが確認された。これは先述の通り、接合部6本のうち、すべてがめり込み降伏していないことが原因であると考えられる。

表3：試験体一覧

試験体名	F1.2-4	F2.1-4	F2.1-6	F3.0-4
壁幅(m)	1.2	2.1	2.1	3.0
接合部本数(本)	4	4	6	4

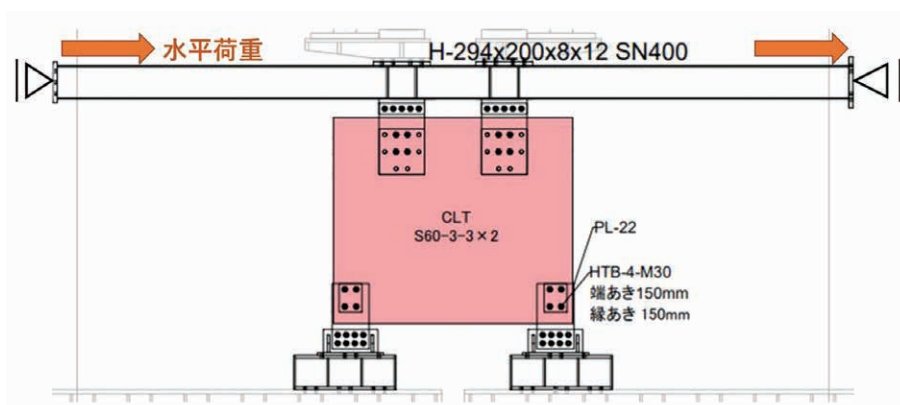


図4 試験体および加力方法の概要 (F2.1-4)

表4：各試験体実験結果

試験体名	F1.2-4	F2.1-4	F2.1-6	F3.0-4
初期剛性(kN/mm)	12	37	29	67
最大耐力(kN)	276.3	556.8	657.7	620.3

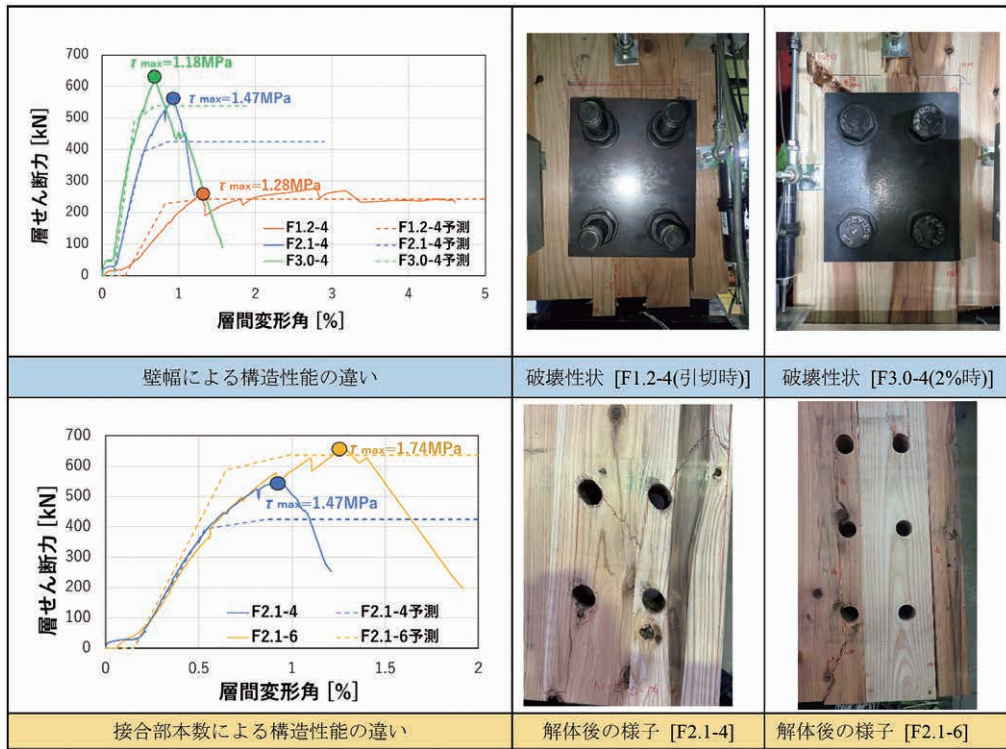
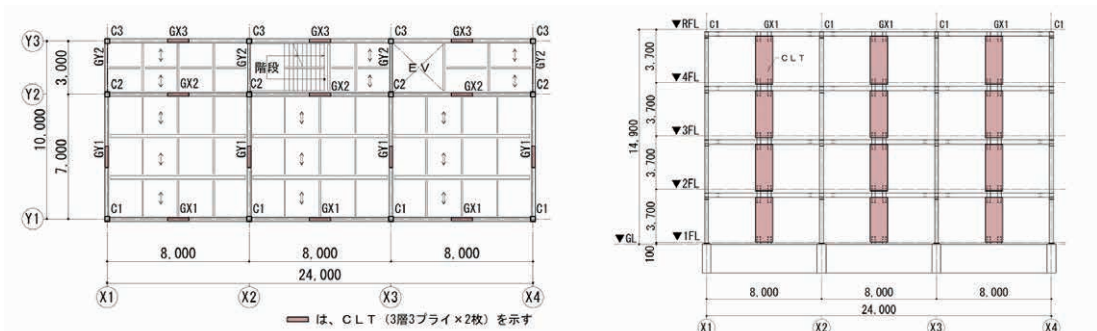


図5 架構実験の結果概要

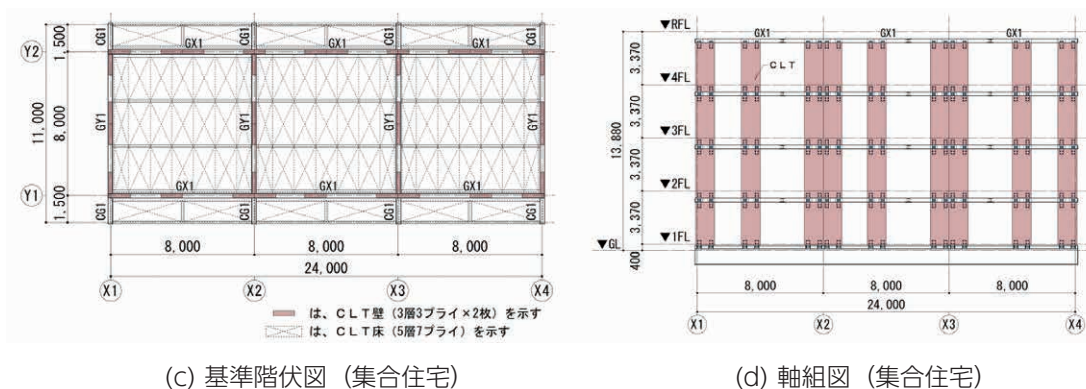
2. 構造解析法及び構造設計法の検討

前章の知見をもとに、CLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド型木造構造システムを用いた建物の構造解析法及び構造設計法の検討を行った。検討に用いる建築物は、事務所タイプ、集合住宅タイプで、建物規模は地上4階建て、延べ床面積約1,000㎡（各階約10m×25m）とした。事務所タイプは、鉛直力を鉄骨柱はりラーメン架構、水平力をCLT耐力壁と鉄骨柱はりラーメン架構により支持する。集合住宅タイプは、鉛直力、水平力をともにCLT耐力壁によって支持する（図6）。CLTパネルの接合部と部分架構の構造性能を踏まえ、その剛性と耐力、変形性能を鉄骨架構と組合せることで、中地震時の剛性を高く損傷防止し、大地震時には鉄骨梁降伏により靱性能の高い構造システムを実現している。これらの構造性能を確認するための構造解析法としては、荷重増分解析法を適用した。また、建物の耐震安全性を検証する構造設計法としては、建築基準法告示に定められた限界耐力計算法を適用した。



(a) 基準階伏図（事務所）

(b) 軸組図（事務所）



(c) 基準階伏図 (集合住宅)

(d) 軸組図 (集合住宅)

図6 検討対象建築物の概要

表5 建物の重量及び保有水平耐力 (事務所タイプ, X方向)

階	Wi (kN)	ΣWi (kN)	Ai	Qu	Ci(1/100)	応答値 R
4F	1,337.3	1,337.3	1.712	1,319.8	0.98	1/123
3F	1,499.9	2,837.2	1.363	2,230.1	0.78	1/47
2F	1,505.1	4,342.3	1.160	2,903.7	0.66	1/31
1F	1,502.7	5,845.0	1.000	3,371.3	0.57	1/43

表6 建物の重量及び保有水平耐力 (集合住宅タイプ, X方向)

階	Wi (kN)	ΣWi (kN)	Ai	Qu	Ci(1/100)	応答値 R
4F	1,261.9	1,261.9	1.761	1,472.3	1.16	1/167
3F	1,617.3	2,879.2	1.376	2,624.6	0.91	1/89
2F	1,617.3	4,496.2	1.164	3,466.2	0.77	1/46
1F	1,602.9	6,099.1	1.000	4,042.0	0.66	1/81

2.1 構造解析法

解析モデルでは、CLT壁は柱置換モデルとし、CLT壁と等価な曲げ・せん断・軸剛性と、1章の接合部性能と等価な曲げばね、せん断ばねを頂部と脚部に配置した。

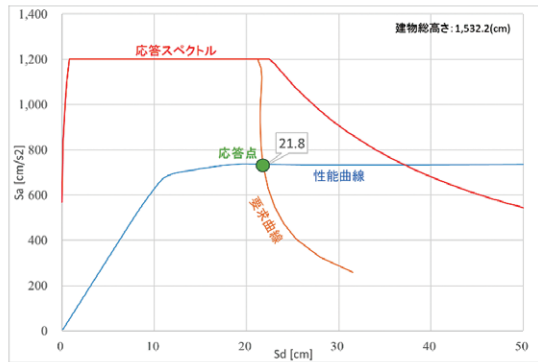
各建物について、静的荷重増分解析を行い、建物の層せん断力-層間変形角関係を得た(図7)。一次設計時(許容応力度時)の層間変形角は、事務所タイプが1/210、集合住宅タイプが1/294で、制限1/200を満たすとともに、1/100時点での保有水平耐力はベースシア係数換算で事務所タイプが0.57、集合住宅タイプが0.66となった。表5及び表6には建物の重量と1/100時点の保有水平耐力を示す。

2.2 構造設計法

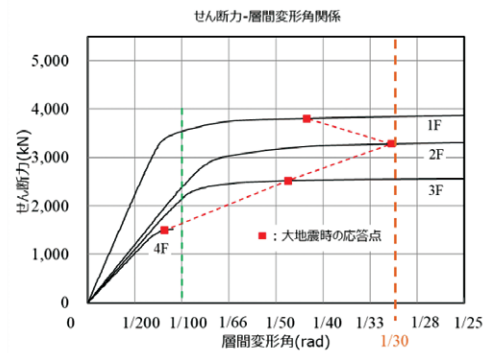
建物の耐震安全性を確認するために、限界耐力計算法を適用した。要求曲線は、告示に定められた極めて稀に発生する地震時の工学的基盤のスペクトルに対して、第2種地盤を想定した略算Gsを用い1,200galの告示スペクトルとし、安全限界変位は木造告示による1/30を満足させることを目標とした。また、振動の減衰による加速度の低減率Fhの算定における γ は $\gamma=0.2$ とした。

解析の結果、事務所タイプは、一次設計時の層間変形角 $1/210 \leq 1/200$ および部材の応力は許容応力以下であること、極めて稀に発生する地震時の層間変形角が1/31であることを確認した。集合住宅タイプは、一次設計時の層間変形角 $1/294 \leq 1/200$ および部材の応力が許容応力以下であること、極めて稀に発生する地震時の層間変形角が1/46であることを確認した。

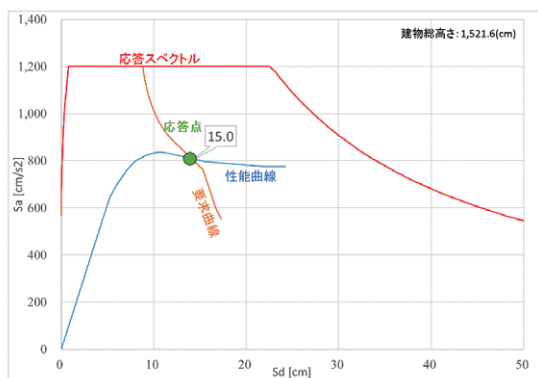
以上より、本構造システムの実現可能性を実務的な建物架構の条件下で検証することができた。



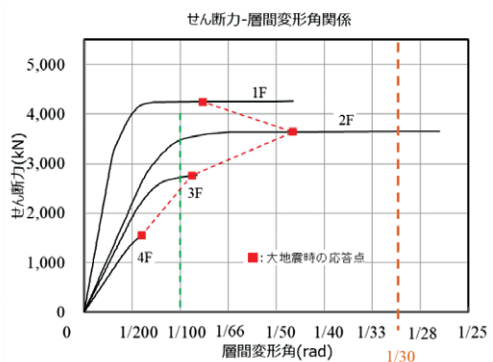
(a) 限界耐力計算の結果（事務所）



(b) 大地震時の応答点（事務所）



(c) 限界耐力計算の結果（集合住宅）



(d) 大地震時の応答点（集合住宅）

図7 検証結果の概要

3. 構造設計パンフレットの作成と普及広報

3.1 リーフレットの作成



図8 リーフレットの構成

本プロジェクトの成果を公表し、普及啓発につなげるためのリーフレットを作成した。ハイブリッド構造システムの狙いと特徴、優れた環境性能の事例を示すことで、木造建築と言えば住宅が中心だった以前とは異なり、中高層の建物にも木造建築を取り入れることへの期待感を持てる内容とした。また、実験・解析により検証された内容を盛り込み、構造システムの特徴を簡潔に紹介した。

3.2 成果報告会の企画

本事業の成果を周知するための成果報告会を企画し、令和6年2月16日に仙台メディアテークにて開催した（予定）。案内先は、宮城県CLT等普及推進協議会の会員（約170団体）に加えて、宮城県内外の自治体の建築関係部署、建築事業者などとした。

今後の 課題・展開 等

本プロジェクトでは、中層建築の木質化普及に資する合理的な構造システムとして、昨年度に提案した鉄骨とCLTのハイブリッド構造システムを対象に、CLTパネルと鉄骨梁の接合部の要素実験、及び、CLT壁の部材実験を行った。その結果、様々なパラメータが、破壊性状や耐力・剛性などの構造性能に及ぼす影響を明らかにし、構造設計法を確立するための情報を得ることができた。また、4階建て事務所タイプ、集合住宅タイプの試設計建物について、保有水平耐力と限界耐力計算法により構造性能を確認し、必要性能を満足できることを確認した。以上の検討内容を整理し、宮城県をはじめとする構造技術者などにその魅力と性能を広く伝えるためのパンフレットを作製するなど広報も行った。

今後、提案したハイブリッド構造システムを様々な建築に適用し、普及させていくためには、以下の課題について引き続き研究開発を続けていくことが必要である。

① CLT-鉄骨接合部及び構造システムの構造性能評価

- (1) 接合部の設計法：接合部に必要な性能（剛性・耐力・変形性能・エネルギー吸収能）に応じて、使用するボルト径や本数、鋼板のサイズを設定するための設計法の確立。
- (2) CLT壁パネルの設計法：建築の用途や目標耐震性能に応じて、鉄骨梁降伏先行型に加えて、CLT壁パネル（接合部）降伏型や、強度型架構など、様々な構造計画を実現するための架構実験データの蓄積と構造計画の確立。
- (3) 床の構造システム：提案構造システムを活用する床の構造システムの検討。

② 構造解析法及び構造設計法

- (1) 本構造システムの耐震性能を評価するための、接合部を含むCLT壁パネルの挙動や破壊性状を適切にとらえ、靱性能や限界変形をシミュレーションできる解析モデルの検討。
- (2) 一般の実務構造設計者が構造設計を行うことができるように、荷重増分解析から応答値を確認できる構造解析ソフトの提案。限界耐力計算で必要となる部材や架構の減衰性能を設定するための基本的な考え方の整理。
- (3) 本構造システムを実装する建物の設計。

これらにより、本ハイブリッド構造システムが普及することで、都市木造建築により低炭素社会の実現に貢献することが期待できる。

参考文献

- 1) 一般社団法人 日本建築学会：「木質構造設計基準・同解説-許容応力度・許容耐力設計法-」，2006年
- 2) 後藤豊，峯岸新，高橋里菜，Ahmad Ghazi Aljuhmani，津田和輝，前田匡樹，松本直之，迫田志文，尾畑徹，CLTパネルと鉄骨を用いたハイブリッド構造システムによる中層都市木造建築の開発（その1）～（その5）提案するハイブリッド構造システムの基本構成，日本建築学会大会学術講演梗概集（近畿），pp447-456，2023.9

品質・性能を確保した乾燥材の供給に向けた技術、 及び基本的乾燥技術の普及

● 実施団体 ●

一般社団法人 全国木材組合連合会

〒100-0014 東京都千代田区永田町2-4-3 永田町ビル6F

日本木材乾燥施設協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2-2-19 アドレスビル5F 木構造振興株内

事業目的

非住宅、中高層建築物等において、国産材を利用した木造化、木質化の動きが急激に拡大している中で、品質・性能が明確な人工乾燥材の安定供給が課題となっている。

本事業においては、品質・性能が確保された適正な乾燥条件を人工乾燥材生産事業者に普及するものであり、乾燥材生産工場等が自信をもって市場に供給でき、かつ建築関係者も安心して使用できる人工乾燥材の安定生産、信頼性向上に努めることを目的とした。

実施した項目

1. 検討委員会の開催

有識者、公設林試等による検討委員会を年2回開催した。

2. 講習会の実施

(1) 講習会を3回開催（Web併用）

- ① 名古屋 10月 5日 ポートメッセなごや
- ② 福岡 11月15日 TKP博多カンファレンスセンター
- ③ 東京 12月12日 木材会館

(2) 流通や加工業者等との意見交換の実施

名古屋会場での同時開催。

実施体制

検討委員会名簿（敬称略）

委員長	藤本登留	(大)九州大学農学研究院 環境農学部門サステナブル資源科学講座 准教授
委員	渡辺 憲	(国研)森林総合研究所 木材研究部門 木材加工・特性研究領域木材乾燥研究室 主任研究員
	松元 浩	石川県農林総合研究センター林業試験場 資源開発部 石川ウッドセンター 主任研究員
	河崎弥生	河崎技術士事務所 所長
オブザーバー	高木 望	林野庁木材産業課 課長補佐
	立花紀之	林野庁木材産業課 木材専門官
	印出 晃	ヒルデブランド株式会社 代表取締役
	田中秀幸	オーアイ・イノベーション株式会社 代表取締役
事務局	安永正治	(一社)全国木材組合連合会 常務理事
	貝守昭弘	日本木材乾燥施設協会 事務局長

実施した
内容

1. 事業委員会の開催

本事業の全体計画（講習内容の検討、意見交換会内容の検討、アンケート内容の検討）について検討するとともに、進捗状況報告等について本事業の具体的な実施内容を検討、実施した。

- ① 第1回 令和5年6月9日（火） 9:30～11:30
ミーティングスペースAP 東京八重洲12C
- ② 第2回 令和6年1月16日（火） 15:00～17:00
TKP新橋カンファレンスセンター12G

2. 講習会の実施

(1) 概要

人工乾燥材生産事業者等に対し、令和3年度助成事業（林野庁補助事業）（一社）全国木材組合連合会により作成された「品質・性能を確保した乾燥材の供給に向けた技術資料」をもとに適正な推奨乾燥条件の普及、及びよりよい乾燥材をつくるために重要な木材乾燥に関する初歩的基本技術を説明する講習会を3回開催した。

(2) 内容

- ① 講演名：「今さらだけど 木材乾燥の基本 ～品質の確かな人工乾燥材の生産に向けて～」
- ② 開催日、講師
 - ア 令和5年10月5日（木） 名古屋（ポートメッセなごや）
 - 話題1：「木材乾燥に必要とされる基本技術を改めて振り返る」
講師 河崎技術士事務所 所長 河崎 弥生 氏
 - 話題2：「品質の確かな人工乾燥材の生産にむけて」
講師 石川県農林総合研究センター 林業試験場
石川ウッドセンター 主任研究員 松元 浩 氏
 - イ 令和5年11月15日（水） 福岡（TKP博多カンファレンスセンター）
 - 話題1：「木材乾燥に必要とされる基本技術を改めて振り返る」
講師 河崎技術士事務所 所長 河崎 弥生 氏
 - 話題2：「品質の確かな人工乾燥材の生産にむけて」
講師 九州大学農学研究院環境農学部門 准教授 藤本登留 氏
 - ウ 令和5年12月12日（火） 東京（木材会館）
 - 話題1：「木材乾燥に必要とされる基本技術を改めて振り返る」
講師 河崎技術士事務所 所長 河崎 弥生 氏
 - 話題2：「品質の確かな人工乾燥材の生産にむけて」
講師（国研）森林総合研究所 木材研究部門 木材加工・研究領域
木材乾燥研究室 主任研究員 渡辺 憲 氏

講習会 各会場の実施写真



写真1 名古屋会場



写真2 福岡会場



写真3 東京会場①



写真4 東京会場②

3. 流通や加工業者等との意見交換の実施

名古屋会場での同時開催として、日本木材青壮年団体連合会会員（人工乾燥材生産業者のみだけでなく、流通・加工業者、設計士等）と意見交換を行い、幅広くよりよい人工乾燥材の普及を目的として、木材乾燥に関するパネルディスカッションを開催した。

(1) テーマ：「川上から川下まで連携することによりできることの模索」

(2) パネリスト

素材生産	(株)吉本 専務取締役	由井 正宏 氏
製材工場	(株)山共 代表取締役	田口 房国 氏
プレカット	瑞穂木材(株) 専務取締役	宮崎 淳貴 氏
工務店	(有)土倉製材所 専務取締役	土倉 宜也 氏
乾燥施設メーカー	ヒルデブランド(株) 代表取締役	印出 晃 氏

コーディネータ

河崎技術士事務所 所長 河崎 弥生 氏



写真5 意見交換①



写真6 意見交換②

実施した
結果

1. 参加人数

3会場合計で、836名の参加があった。
会場ごとは、以下の表に示す。

会場名	日付	参加場所			合計	
		会場	Web (YouTube)			
			当日参加	オンデマンド視聴	Web計	
名古屋	10月5日	107	58	62	120	227
福岡	11月15日	56	46	72	118	174
東京	12月12日	56	59	320	379	435
	計	219	163	454	617	836

※会場参加者＝講師、事務局を除く

※Web (オンデマンド視聴) = 各会場開催終了後、1週間限定
接続総回数 (重複視聴者あり)

※Web (YouTube) 視聴申込総数 558名

2. 評価 (概要)

参加者にアンケートを実施し、3会場で173件の回答を得た。

回答のうち、約71%の非常に満足またはやや満足であり (表1)、そのうち、話題1の講演内容について約47% (表2①)、話題2 (表2②) の講演内容について約40%の参加者が実務に活かせる内容であったと全体的に好評であった。

表1 3会場における満足度調査

項目	回答数	比率
①非常に満足	66	38.2%
②やや満足	58	33.5%
③普通	36	20.8%
④やや不満	3	1.7%
⑤不満	0	0.0%
未回答	10	5.8%
合計	173	

表2① 話題1に対する講演内容について

項目	回答数	比率
①よく理解できた	90	52.0%
②実務で活かせる知識が得られた	82	47.4%
③実務で活かせる知識ではなかった	8	4.6%
④理解できなかった	6	3.5%
⑤既に知っている内容であった	16	9.2%
⑥期待した内容とは違った	5	2.9%
未回答	4	2.3%
合計	211	

表2② 話題2に対する講演内容について

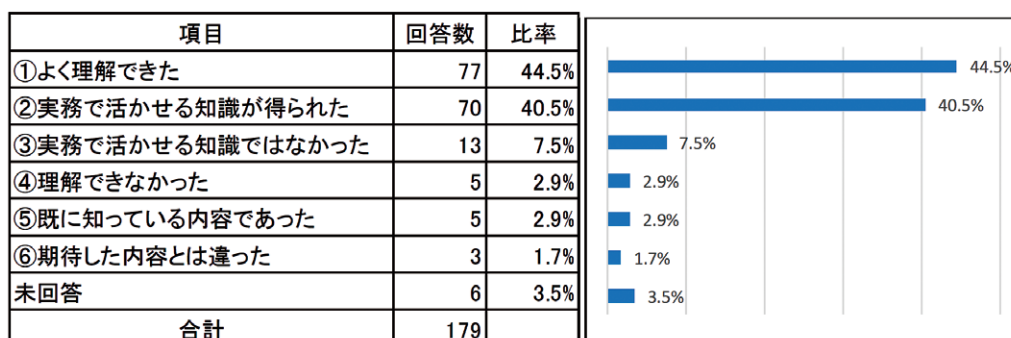
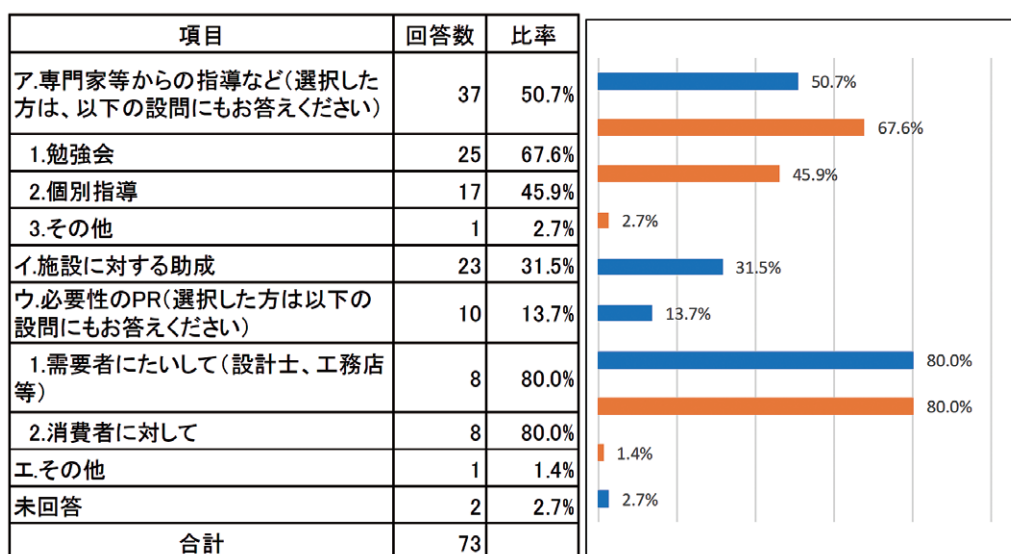
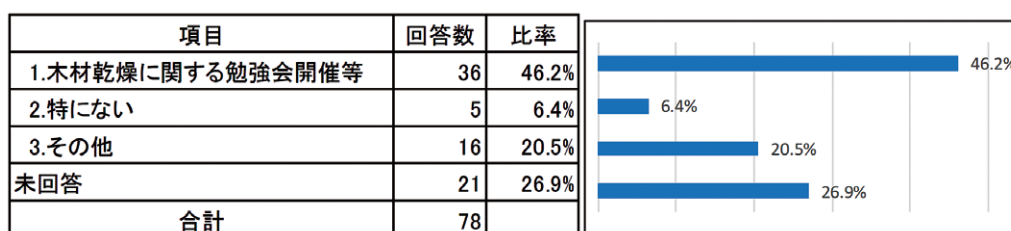


表3 製材工場の方が人工乾燥を行う上で今後必要と感じている内容



※グラフのオレンジ色は、設問に対する追加質問のため分けている

表4 人工乾燥材を取り扱う上で製材工場以外の方が必要とする内容



1. 今後の課題

(1) 参加者からはおおむね好評であったが、令和7年4月より改正建築基準法が施行されるにともない品質の確かな人工乾燥材の生産が重要となっていることがあらためて確認できた。人工乾燥に関する勉強会等開催の要望が多かった。

(2) 参加者より要望の多かった内容

アンケートや会場での質疑内容から、特に多かった内容を以下に示す。

- ① 広葉樹の乾燥
- ② 木材乾燥の基礎（基本）の勉強会
 - ア 業界関係者に向けた初歩的なこと
 - イ 一般消費者向け（人工乾燥材の必要性など）
- ③ 実務者向け（個別対応）
品質やスケジュール管理などについて

トドマツ枠組材の強度データ収集

● 実施団体 ●

一般社団法人 全国木材組合連合会

〒100-0014 東京都千代田区永田町2-4-3 永田町ビル6F

国産材製材協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2-2-19 アドレスビル5F 木構造振興構内

事業目的

2020年改正時の枠組材 JAS 原案作成検討委員会樹種群検討WGにおいて、樹種群に対応した強度特性値を検討するには、実大材の強度データに基づくのが適当であるとの考えが示された中、小試験体の強度データで樹種群が設定されているトドマツについて、実大材の強度試験を実施し、トドマツの樹種群検討に必須な強度データを収集することを目的とした。

実施した項目

1. 事業委員会の開催

有識者、地方公設試、認証機関、木材関係団体等による事業委員会を年3回開催した。

2. 強度試験の実施

(1) 試験体調達・品質評価

(2) 強度試験

- ① 曲げ試験
- ② 縦引張試験
- ③ 縦圧縮試験

実施体制

トドマツ枠組材強度データ収集事業委員会名簿（敬称略）

委員長	青木 謙治	東京大学 大学院農学生命科学研究科 生物材料科学専攻 木質材料学研究室 准教授
委員	加藤 英雄	(国研) 森林総合研究所 木材研究部門 構造利用研究領域 材料接合研究室 主任研究員
	松本 和茂	(地独) 北海道立総合研究機構森林研究本部 林産試験場 性能部長
	大橋 義徳	(地独) 北海道立総合研究機構森林研究本部 林産試験場技術部生産技術グループ 研究主幹
	南田 英樹	(一社) 北海道林産物検査会 事務局長
オブザーバー	内田 敏博	北海道木材産業協同組合連合会 副会長
	清野 明	(NPO) 建築技術支援協会 技術アドバイザー
	高木 望	林野庁木材産業課 課長補佐
	立花 紀之	林野庁木材産業課 木材専門官
	川原 聡	農林水産省大臣官房 新事業・食品産業部 食品製造課 規格専門官
事務局	田村 堯大	農林水産省大臣官房 新事業・食品産業部 食品製造課 係長
	安永 正治	(一社) 全国木材組合連合会 常務理事
	貝守 昭弘	国産材製材協会 事務局長

実施した
内容

1. 事業委員会の開催

本事業の全体計画及び進捗を検討すると共に、試験方法等について本事業の具体的な実施内容の検討、実施した。

- ① 第1回 令和5年 5月16日 (火) Web併用
- ② 第2回 令和5年12月15日 (金) Webのみ
- ③ 第3回 令和6年 1月22日 (月) Web併用

2. 強度試験の実施

(1) 試験体調達・品質評価

実施した試験の種類と試験体の概要を表1に示す。

試験体の調達は、道内4箇所（道北、道央、道東、道南）の製材工場から、寸法形式、等級、本数に偏りが生じないように行った。等級の判定については、北海道林産物検査会の担当者が各工場の製品の品質評価（格付け）を行い、該当する等級の製品を試験体として選別した（写真1）。

曲げ試験体、引張試験体については、各工場が製造した材長3650mm又は3000mmの母材から所定の材長を切り出した。寸法形式210の曲げ試験体については、上記4社のうちの1社から材長4800mmの材料を入手した。圧縮試験体については、母材から曲げ試験体を切り出した残りの部分から採取した。

表1 強度試験の種類と試験体の概要

試験	寸法形式	等級	本数	材長
曲げ	204	2級	240	1802mm
		特級	240	1802mm
	206	2級	160	2720mm
		特級	160	2720mm
	210	2級	150	4630mm
		特級	150	4630mm
引張	204	2級	240	2001mm
		特級	240	2001mm
	206	2級	160	2460mm
		特級	160	2460mm
圧縮	204	2級	240	225mm
		特級	240	225mm
	206	2級	160	325mm
		特級	160	325mm



写真1 各製材工場における試験体の選別作業

(2) 強度試験

① 曲げ試験

曲げ試験はエッジワイズで行い、スパン（支点間距離）を材せい（長辺）の18倍の3等分点4点荷重方式とした。そのため、寸法型式204のスパンは1602mm、モーメント一定区間は534mm、寸法型式206のスパンは2520mm、モーメント一定区間は840mm、寸法型式210のスパンは4230mm、モーメント一定区間は1410mmとした。加力は、寸法形式206及び210については油圧式強度試験機（東京衡機製造所、曲げ容量200kN）を、寸法形式204についてはインストロン型万能試験機（エー・アンド・デイ、曲げ容量100kN）を用いて行い、ロードセルで荷重を計測した。たわみの計測は、スパン中央部に設置した変位計によって全スパンに対するたわみを測定した。また、寸法形式206及び210では、試験中に試験体が倒れる恐れがあるため、ラテラルサポートを使用した。開始から最大荷重に達するまでの時間はすべての試験体で1分以上であった。

② 縦引張試験

縦引張試験は、宮崎県木材利用技術センターにて実大引張試験機を用いて行った。寸法形式204では片側把持部の長さを455mm、チャック間距離を材幅（89mm）の12.2倍（1090mm）とし、寸法形式206では片側把持部の長さを600mm、チャック間距離を材幅（140mm）の9倍（1260mm）とした。破壊した試験体のうち、チャック内で破断した試験体はデータから除外した。

③ 縦圧縮試験

試験体の材長は、寸法型式204では225mm（ $\lambda = 20.5$ ）、寸法型式206では325mm（ $\lambda = 29.6$ ）とし、短柱縦圧縮試験を行った。加力は、油圧式強度試験機（東京衡機製造所、圧縮容量1000kN）を用いて行い、ロードセルで荷重を計測した。加圧部分の鋼板はピン支承とし、強軸方向に破壊するように鋼板の回転方向が試験体の材幅と平行になるように加力した。

曲げ試験体については荷重点間、縦引張り試験体についてはチャック間、縦圧縮試験体については全長区間において、JAS規格にしたがって節を測定した。

各供試材の試験後に未破壊部分から採取した試験片を用いて、全乾法により含水率を測定した。

含水率測定用試験片を用いて、全乾状態にする前にJAS規格に規定されている方法に準じて平均年輪幅を測定した。

各試験の様子を写真2～4に示す。

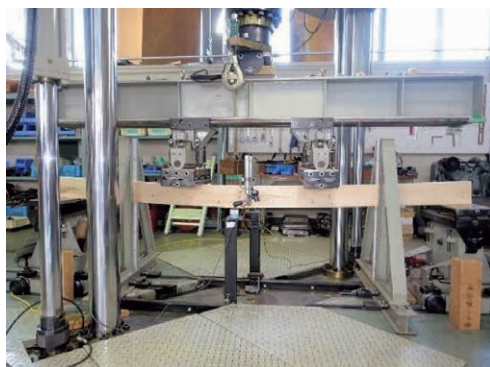


写真2 曲げ強度試験



写真3 縦引張強度試験



写真4 縦圧縮強度試験

実施した結果

(1) 試験体調達・品質評価

北海道林産物検査会の担当者が行った品質評価において、2級と判定された試験体の等級決定因子を表2に示す。トドマツは比較的「あて」の多い樹種といわれており、寸法形式204、206とも「あて」が2番目に多い決定因子となっているのが特徴的である。また、トドマツは枯れ落ちずに残った細い枝が小さな死節となる場合が多く、これらは穴（不健全な節）とみなされるため、複数の小さな死節により等級が下がるものが目立った。

表2 2級試験体の等級決定因子ごとの枚数

204			206		
全体	480	(%)	全体	322	(%)
材縁の節	139	29.0	穴	90	28.0
あて	92	19.2	あて	69	21.4
材縁の集中節	66	13.8	割れ	83	25.8
穴	54	11.3	くされ	41	12.7
割れ	49	10.2	材縁の節	22	6.8
くされ	42	8.8	材縁の集中節	7	2.2
中央の節	15	3.1	反り	4	1.2
曲り	8	1.7	入皮	2	0.6
ねじれ	6	1.3	中央の節	1	0.3
反り	3	0.6	中央の集中節	1	0.3
虫	2	0.4	虫	1	0.3
目離れ	2	0.4	丸み	1	0.3
貫通割れ	1	0.2			
丸み	1	0.2			

(2) 強度試験

曲げ試験の結果を表3に、縦引張試験の結果を表4に示す。

試験体の密度の相対度数分布を図1に示す。寸法形式204、206ともに2級の密度が特級よりも高くなっている。これは、あてにより2級と判定されたものが多かったことによると考えられる。曲げヤング係数の相対度数分布を図2に、寸法形式204曲げ試験体の密度と曲げヤング係数の関係を図3に示す。一般に密度とヤング係数との間には比較的高い相関がみられるが、ここでは2級のばらつきが大きくなっており、あての影響が覗える。

曲げ強さの相対度数分布を図4に、累積度数分布を図5に示す。寸法形式204では特級と2級の強度

の違いがはっきり表れたが、寸法形式 206 ではその差は小さかった。寸法形式 206 は節が決定因子となり 2 級となるものが少なかったため、2 級と特級の強度に大きな差がでなかったと考えられる。また、寸法形式 204 と寸法形式 206 を比較すると、特級では寸法形式 206 の方が強度が低くなっており寸法効果がみられるが、2 級では逆に寸法形式 206 の方が強度が高くなっている。これについても、寸法形式 206 は節が決定因子となり 2 級となるものが少なかったことによると考えられる。

引張強さの相対度数分布を図 6 に、累積度数分布を図 7 に示す。引張強さにおいても、曲げ強さと同様の傾向が見られた。

表 3 曲げ強度試験結果

試験	断面形式	材長 (mm)	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	E_{fr} (GPa)	E_b (GPa)	σ_b (MPa)	time (m:s)	MC (%)	ARW (mm)
曲げ	204	1802	2 級	240	403 9.3%	10.0 29.0%	9.6 15.9%	36.4 39.5%	3:42 38.0%	11.3 6.9%	3.9 27.4%
			特級	252	375 8.0%	10.7 14.4%	10.1 12.8%	45.0 25.5%	4:28 33.3%	11.4 6.6%	3.9 24.8%
	206	2720	2 級	162	396 8.4%	10.4 12.9%	10.3 12.5%	40.7 31.5%	6:52 32.1%	11.2 6.3%	4.3 27.5%
			特級	162	374 8.3%	10.4 13.9%	10.5 12.5%	44.0 29.1%	7:24 31.9%	11.0 5.4%	4.3 24.0%

E_{fr} : 打撃音法による動的ヤング係数、 E_b : 曲げヤング係数、 σ_b : 曲げ強さ、time : 試験時間、MC : 含水率、ARW : 平均年輪幅、各特性値は平均値で下段は変動係数

表 4 引張強度試験結果

試験	断面形式	材長 (mm)	等級	試験体数	密度 (kg/m ³)	E_{fr} (GPa)	σ_t (MPa)	time (m:s)	MC (%)	ARW (mm)
引張	204	2001	2 級	240	403 8.5%	10.4 12.8%	24.6 36.5%	2:25 27.7%	11.3 6.4%	3.7 21.7%
			特級	255	372 7.7%	10.3 14.4%	31.1 31.6%	2:39 23.6%	11.4 5.4%	3.7 21.5%
	206	2460	2 級	160	389 7.3%	10.3 11.9%	27.3 34.1%	2:45 39.3%	11.4 6.1%	4.0 22.3%
			特級	179	373 7.2%	10.5 13.2%	29.9 32.3%	3:04 37.7%	11.4 6.9%	4.0 22.3%

E_{fr} : 打撃音法による動的ヤング係数、 σ_t : 引張強さ、time : 試験時間、MC : 含水率、ARW : 平均年輪幅、各特性値は平均値で下段は変動係数

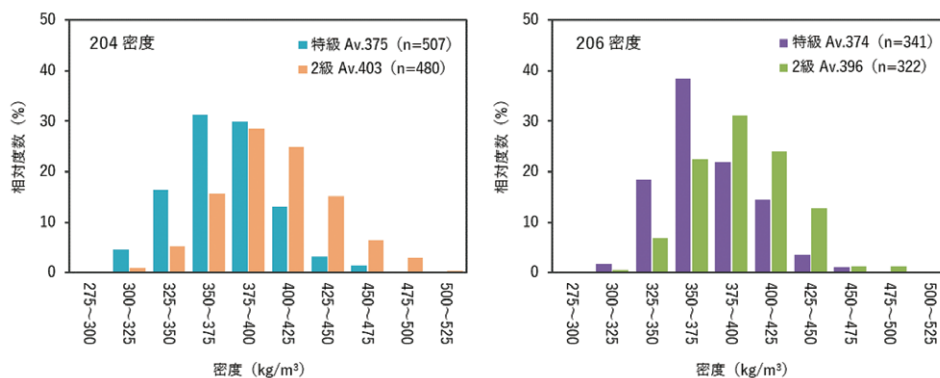


図 1 試験体の密度の相対度数分布

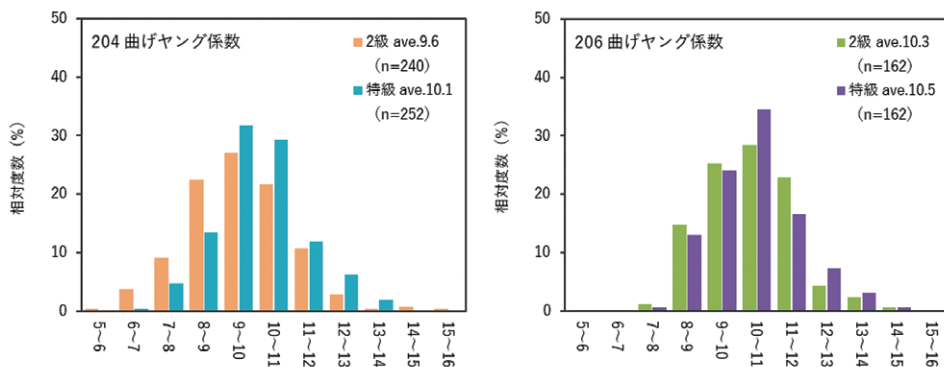


図2 曲げヤング係数の相対度数分布

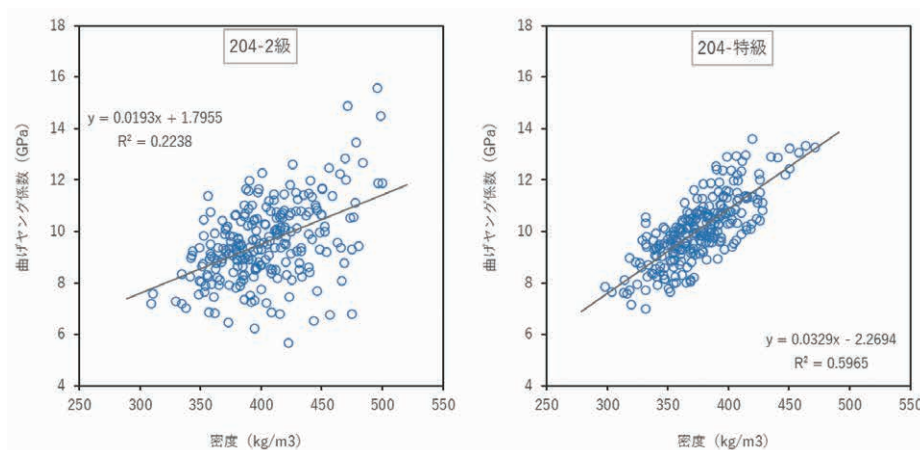


図3 204曲げ試験体の密度と曲げヤング係数の関係

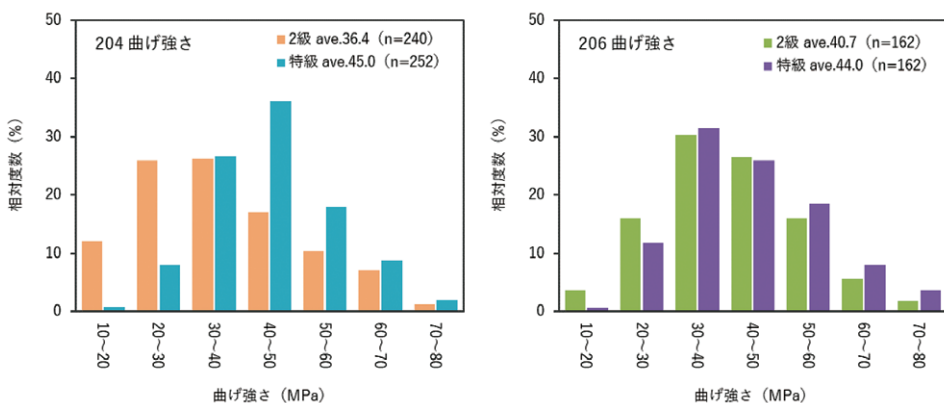


図4 曲げ強さの相対度数分布

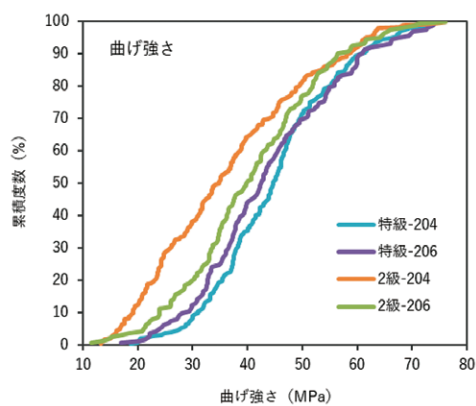


図5 曲げ強さの累積度数分布

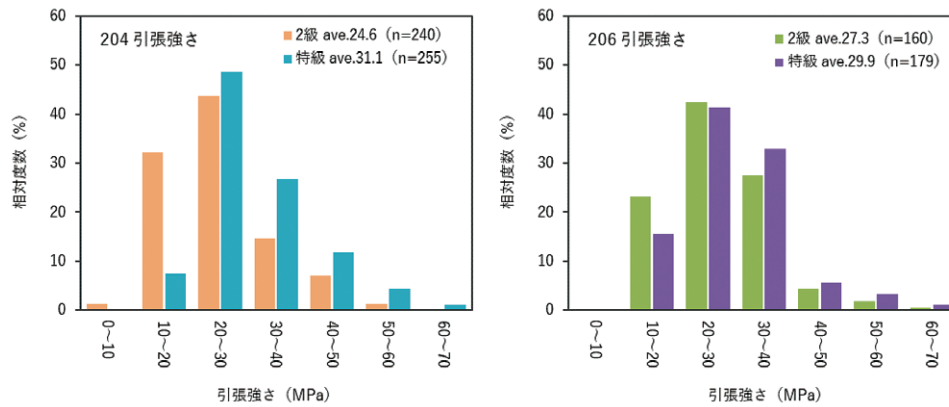


図6 引張強さの相対度数分布

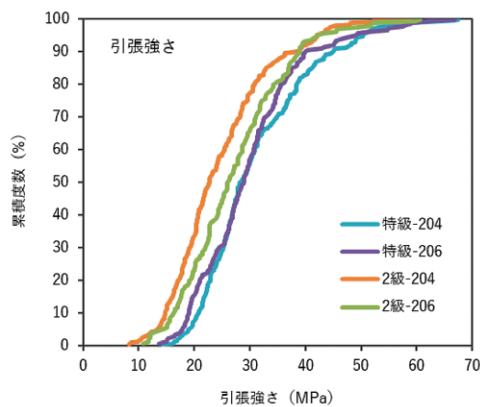


図7 引張強さの累積度数分布

今後の
課題・展開
等

1. 本事業で強度試験の実施による成果をデータ集として取りまとめると共に、得られた強度データの解析結果については、「枠組壁工法構造用製材および枠組壁工法構造用たて継ぎ材の日本農林規格」の基準検討の基礎資料として関係機関等に提供する。

2. JAS600 樹種区分改正にともなう確認が必要な事項

枠組壁工法建築物の構造計算においては、樹種ごとに以下の事項の数値を確認することが求められており、その数値は「枠組壁工法建築物構造計算指針」に記載され、広く構造設計者ならびに確認検査機関において利用されている。

よって、JAS600号の改正と同時に確認がなされることにより、円滑な利用が図られることとなる。また、平12建告第1452号（基準強度）の改正も同時に公布・施行されたい。

- ① 基準弾性係数
- ② 構造計算における接合部等の強度

省エネ基準及び中大規模建築物に対応した ログハウス建築部材の技術開発事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本ログハウス協会

〒107-0052 東京都港区赤坂2-2-19 アドレスビル1F

事業 目的

1. 省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材（JAS）の技術開発

2019(平成31)年に制定された接着合せ材のJASについて、いわゆる建築物省エネ法改正に伴う省エネ基準の強化に対応した実用性の高い規格のものを製造することを目標に課題とその解決策を検討し、それに必要な試験等を行う。

2. 省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

令和3年度補正事業では寒冷地域に対応しつつ、付加断熱材を用いずに所定の断熱性能を確保しうる大径材ログハウス壁の技術開発を行った。本事業では、他の省エネ地域に対応した、180mm×195mmの大径材ログハウス壁の準耐火性能等を確認し、大径材ログハウス壁の全国的な普及を図る。

実施した 項目

1. 省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発

(1) 検討委員会の開催

① 検討事項：当初のJAS制定の際の試験内容等の整理と、海外も含めた接着合せ材（ラミネートログ）の需給動向や協会会員の意向（アンケート調査）の把握、加工・供給体制、実用性を高めるための技術的課題とそのための試験方法や全体計画の作成等

② 検討スケジュール

令和5年6月7日	第1回委員会
令和5年8月31日	WG・ログハウス加工工場見学
令和5年9月25日	第2回委員会
令和5年12月14日、19日	接着合せ材工場見学・曲げ実験見学
令和6年1月22日	第3回委員会

(2) 試験の実施

梁・桁等で使用する、A種の継ぎ手ありの接着合せ材の開発を目的とし、ラミナの継ぎ手の構造性能確認試験を令和5年12月に鹿児島県工業技術センターにて実施。

断面形状は、ラミネートログのラミナとして一般的な幅50mm×せい160mmの矩形形状とし、継ぎ手の加工は新たに形状および加工方法を決定。

試験体パラメータを継ぎ手の有無、樹種としてスギおよびヒノキとした4種×20本の計80体について、曲げ試験を実施。

2. 省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

(1) 検討会の開催

① 検討事項：試験を行う木材の大きさ、断面形状、スギ、ヒノキ等の樹種の決定、対象地域での口

グハウスの省エネ評価の実用化に向けた検討等

② 検討スケジュール

令和5年11月8日：第1回委員会

令和5年12月6日：第2回委員会

令和6年1月26日：第3回委員会

(2) 試験等の実施

①対象地域でのログハウスの省エネ評価

外皮計算用のモデルプランを設定し、各地域区分ごとに検討を行った。

②防火試験

省エネ評価を踏まえた大きさ（180mm×195mm等）の大径材ログハウス壁の75（90）分の準耐火性能試験を実施（予備試験2体：スギ1体・ヒノキ1体、本試験2体：スギ2体）

予備試験 令和5年12月6日（スギ1体）、14日（ヒノキ1体）

本試験 令和6年1月11日、24日（スギ2体）

実施
体制

1. 省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発

委員長に平松 靖（(国研) 森林総合研究所）、委員に宮武 敦（(国研) 森林総合研究所）、宮本 康太（(国研) 森林総合研究所）、槌本 敬大（(国研) 建築研究所）、高岡 繭子（構造担当）、倉持 秀一（(株) 赤井製材）、尾ノ上竜次（(株) はやし林業）、板垣 悟（(公財) 日本合板検査会）、池田 均（(株) アールシーコア）オブザーバーに川原 聡（農林水産省）、田村 堯大（農林水産省）、高木 望（林野庁）、立花 紀之（林野庁）、山内 一浩（(独法) 農林水産消費安全技術センター）、平原 章雄（木構造振興（株））、事務局として当協会技術委員。

2. 省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

委員長に大橋 好光（東京都市大学名誉教授）、委員に五十嵐賢博（(株) 綜建築研究所）、若槻 泰介（(株) 綜建築研究所 省エネ）、オブザーバーに高木 望（林野庁）、立花 紀之（林野庁）、佐藤 章（(公財) 日本住宅・木材技術センター）、平原 章雄（木構造振興（株））、大室 直也（スタジオバウム）、事務局として当協会技術委員。

実施した
内容

1. 省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発

(1) 接着合せ材のアンケート

全会員に接着合せ材のアンケートを行った。

(2) ラミナの継ぎ手の構造確認試験

継ぎ手の有無と樹種（スギ、ヒノキ）をパラメータとした曲げ試験を計画し、鹿児島県工業技術センターにて実施した。

- ・試験体の断面形状は、ラミネートログのラミナとして一般的な幅50mm×せい160mmの矩形形状とし、長さは3,900mmとした。
- ・樹種はスギとヒノキとし、各々について継ぎ手なしと継ぎ手ありの20体ずつ、計80体とした。
- ・試験体の製作は株式会社はやし林業が行った。
- ・木材は個体差が大きいため、材料によるばらつきをなるべく減らすべく、同じ原木から採取した挽板より、継ぎ手なしとありの試験体を製作した。
- ・材面等の品質管理は現行JASのA種と同等とした。
- ・含水率についても現行JASと同様に15%以下とし、含水率の計測は、高周波木材水分計(HM9-

WS25 型、認定番号：1-19-001) によって計測した。

- 本試験では継ぎ手の有無をパラメータとしているため、グレーディングを揃える必要はないが、全て計測して記録および管理を行った。
- ラミナのグレーディングは打撃法により行った。測定機材は別途実施した直接加力によるヤング係数と比較し、適宜校正を実施しているものである。
- 加力試験では曲げ強度と曲げヤング係数、破壊性状を取得。

2. 省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

(1) 対象地域でのログハウスの省エネ評価

モデルプランにて、地域区分ごとに外皮計算を行った。

(2) 検査関係

- 試験材料の検査
材料検査：材料の節やヒビやかかけの検査を行った。
令和5年9月28日
- 製品検査：ログ加工後の寸法の検査を行った。
令和5年11月7日
令和5年12月11日

(3) 予備試験

大径材のログ壁の開発を目的とし、1) 大径材のログ材の仕様（樹種、形状、等）の選定、2) 材料管理記録の作成、3) 試験体の施工方法の決定後、実大の試験体を2体製作し、4) 75分準耐火性能を目標としたログ壁の載荷加熱試験（スギ1体・ヒノキ1体の計2体）を実施した。

1) 大径材のログ材の仕様（樹種、形状等）の選定

ログ壁の仕様を踏まえ、大径材に適した仕様を選定した。ログ材は対象地域でのログハウスの省エネ評価より180mm×195mm角（スギ・ヒノキ）とした。

2) 材料管理の記録作成

加工前の木材の形状、ひび割れや節等の状態、加工後の寸法精度と材料重量を検査した。なお、乾燥には、減圧高周波式乾燥機を使用して、目標含水率を防耐火試験・評価業務方法書に求められる15%以下に定めた。

3) 試験体製作方法

従来、実大ログ壁の試験体を製作するにあたっては、ログ材を寝かし帯締めしながら組み上げる方法が用いられていたが、ログ材の断面が大きく、寝かしたままでの帯締めが難しいと考えて、実建物の施工方法に則し、治具を用いて縦積みする方法とした。

4) 75分準耐火性能を目標としたログ壁の載荷加熱試験

試験は、令和5年12月6日、14日に（公財）日本住宅・木材技術センターの載荷加熱の耐火炉にて実施した。試験方法は、性能評価機関における「防耐火性能試験・評価業務方法書（準耐火等性能試験方法）」に則し、非損傷性は壁の軸方向の変位量及び速度、遮熱性は壁の裏面温度、遮炎性は目視観測により判断した。

載荷荷重については、ログ部材の断面（180mm×195mm）に応じた長期許容荷重では、建物の設計で用いる実態荷重と比較して大きくなりすぎるため、実態に即した荷重とすべく、ログ部材の一部を荷重負担する部分として考えた荷重計算方法を採用した。

(4) 本試験

本試験では、1) 試験体の含水率等、材料管理の記録作成、2) 試験における載荷荷重の提案をお

こない、3) 75分準耐火性能を目標としたログ壁の載荷加熱試験を2体(スギ)実施した。

1) 試験体の材料重量管理の記録作成

2体分の試験体について、全てのログ材の重量を測定した。

2) 試験における載荷荷重の設定

実大ログ壁の載荷加熱の試験にあたり、建築基準法上、ログ壁(丸太組構法壁)は3階建てまでの階数に制約されることを踏まえ、実建物の固定荷重、積載荷重等から、試験荷重を設定した。

3) 75分準耐火性能を目標としたログ壁の載荷加熱試験

試験は、令和6年1月11日、24日に、予備試験と同じ(公財)日本住宅・木材技術センターの載荷加熱の耐火炉にて実施した。試験方法については、性能評価機関における「防耐火性能試験・評価業務方法書(準耐火等性能試験方法)」に則して、非損傷性は壁の軸方向の変位量及び速度、遮熱性は壁の裏面温度、遮炎性は目視観測により判断した。また載荷荷重については、前述の2)の内容にて実施した。

実施した結果

1. 省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発

(1) 接着合せ材のアンケート

アンケート結果を表1-1に示す。

表1-1 接着合せ材の実態と今後の需要調査のアンケート(抜粋)

(1) 接着合せ材(ラミネートログ)を使用した建物についてお答えください。
① 延べ建設棟数: 0棟~3500棟
② ラミネートログを最初に使った建設年: 1993年(2010年が最多)
(2) 接着合せ材(ラミネートログ)の形状について
① ログの幅: 70mm~210mm(19種)
③ ログの高さ: 169mm~270mm(12種)

(2) ラミナの継ぎ手の構造確認試験

試験方法、試験体を図1-1に、試験データを図1-2に示す。

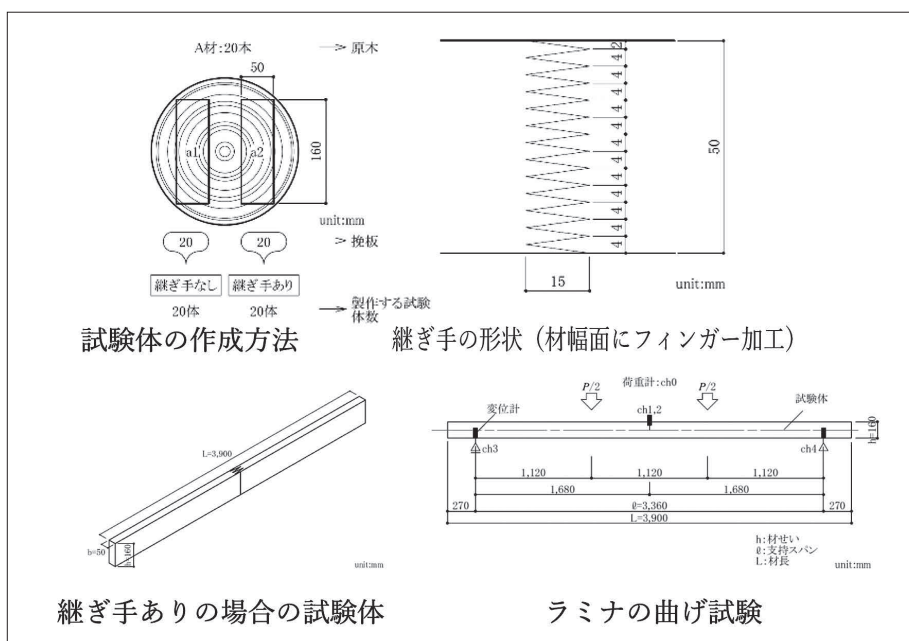


図1-1 試験方法、試験体



下端の節



上端の節



下端の節 (大きめ)



引張側



下端の継ぎ手



目まわり



継ぎ手



継ぎ手の接着状態

図 1-2 破壊性状写真

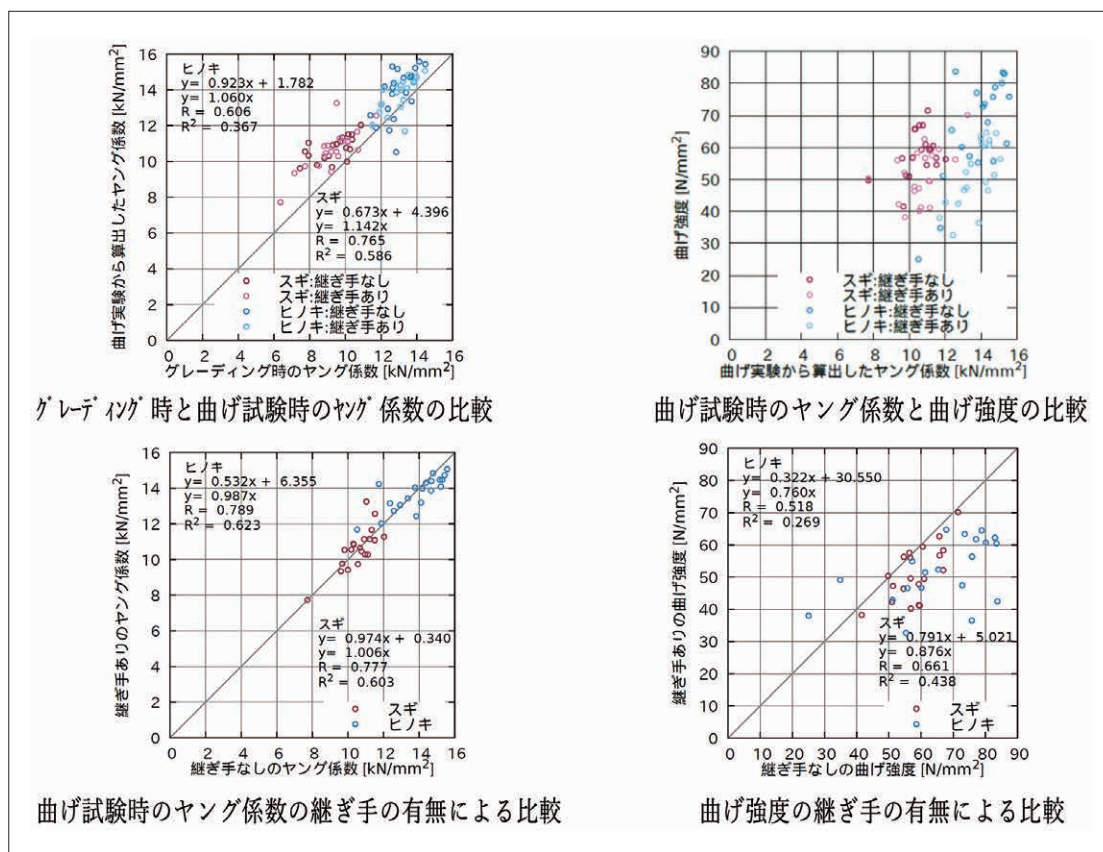


図 1-3 試験データ

2. 省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発

(1) 対象地域でのログハウスの省エネ評価

各地域区分ごとの外皮計算結果を表 2-1 に、モデルプランを図 2-1 に示す。UA 値は最高で 0.37 (5 地域以南の断熱性能等級 6) を確認した。

表 2-1 地域区分ごと、断熱仕様ごとの外皮計算結果

項目/No.	1	2	3	4	5	6
ログ厚さ	114	180	180	180	180	180
断熱外皮	アンケート	アンケート	1-2基準	1-2基準	強化仕様	強化仕様
開口部	アンケート	アンケート	アンケート	B	C	D
UA値	0.71	0.59	0.52	0.44	0.38	0.37

凡例: 断熱外皮	開口部
アンケート: ログ協アンケート相当	アンケート: ログ協アンケート相当
1-2基準: 1-2仕様基準相当	B: 樹脂+PG LIXIL「EW」U値1.3レベル
強化仕様: 等級7外皮相当	C: 樹脂+3層 LIXIL「EW」U値0.8レベル
	D: 樹脂+5層 LIXIL「レガリア」U値0.55レベル

地域別断熱性能等級別 住宅の所要UA値	等級	1地域	2地域	3地域	4地域	5地域	6地域	7地域	備考
4	0.46	0.46	0.56	0.75	0.87	0.87	0.87	義務化	
5	0.40	0.40	0.50	0.60	0.60	0.60	0.60	ZEH	
6	0.28	0.28	0.28	0.34	0.46	0.46	0.46	HEAT20 G2	
7	0.20	0.20	0.20	0.23	0.26	0.26	0.26	HEAT20 G3	

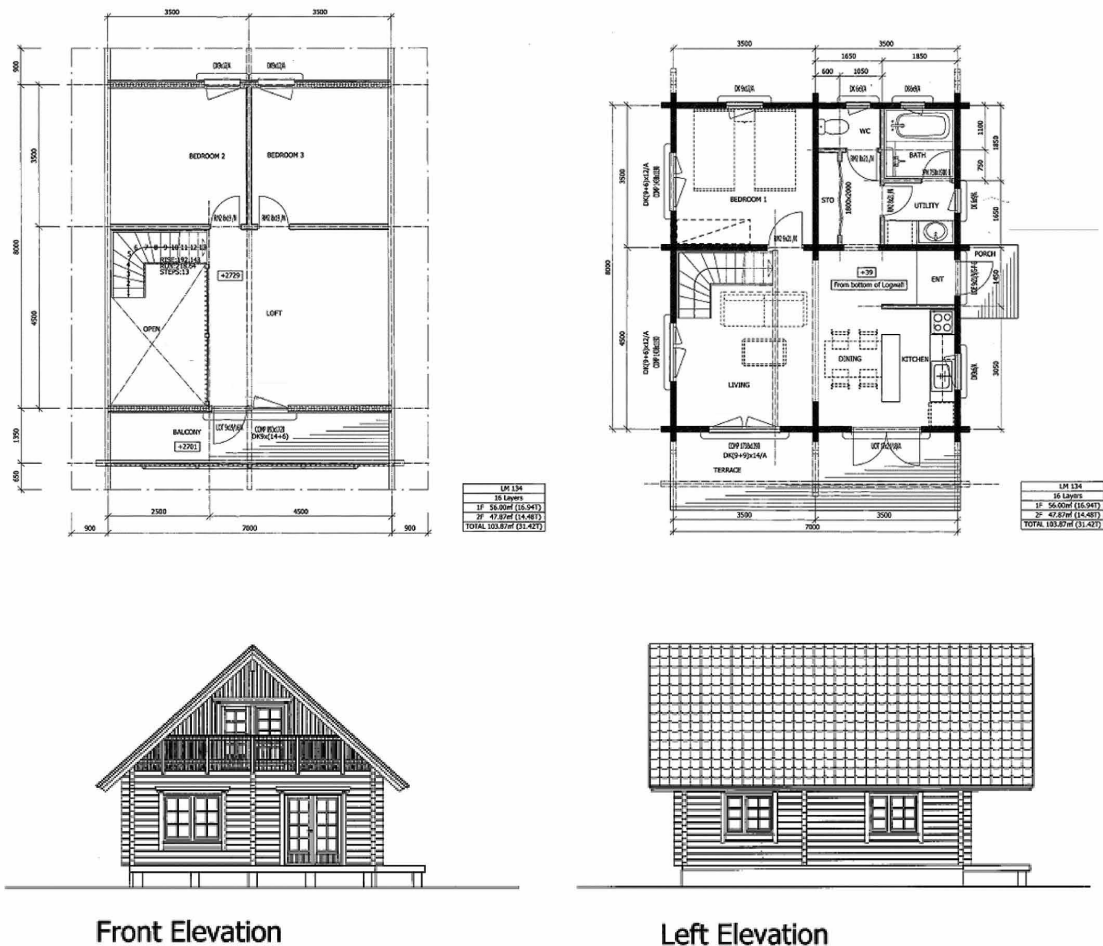


図 2-1 外皮計算に用いたモデルプラン

(2) 検査関係

- 試験体のログ材の仕様を確認した。

(3) 予備試験

- 1) 大径材のログ材の仕様（樹種、形状等）の選定
ログ材の仕様概要を図 3-1 に示す。
- 2) 材料管理の記録作成
- 3) 試験体製作方法の提案
試験体製作の様子を写真 1-1 に示す。
- 4) 75分準耐火性能を目標としたログ壁の載荷加熱試験
 - 試験体のログ材の仕様を確認した
 - 試験の結果、スギ 88分加熱（載荷荷重 130.13kN）およびヒノキ 108分加熱（載荷荷重 103.76kN）を確認する結果が得られた。

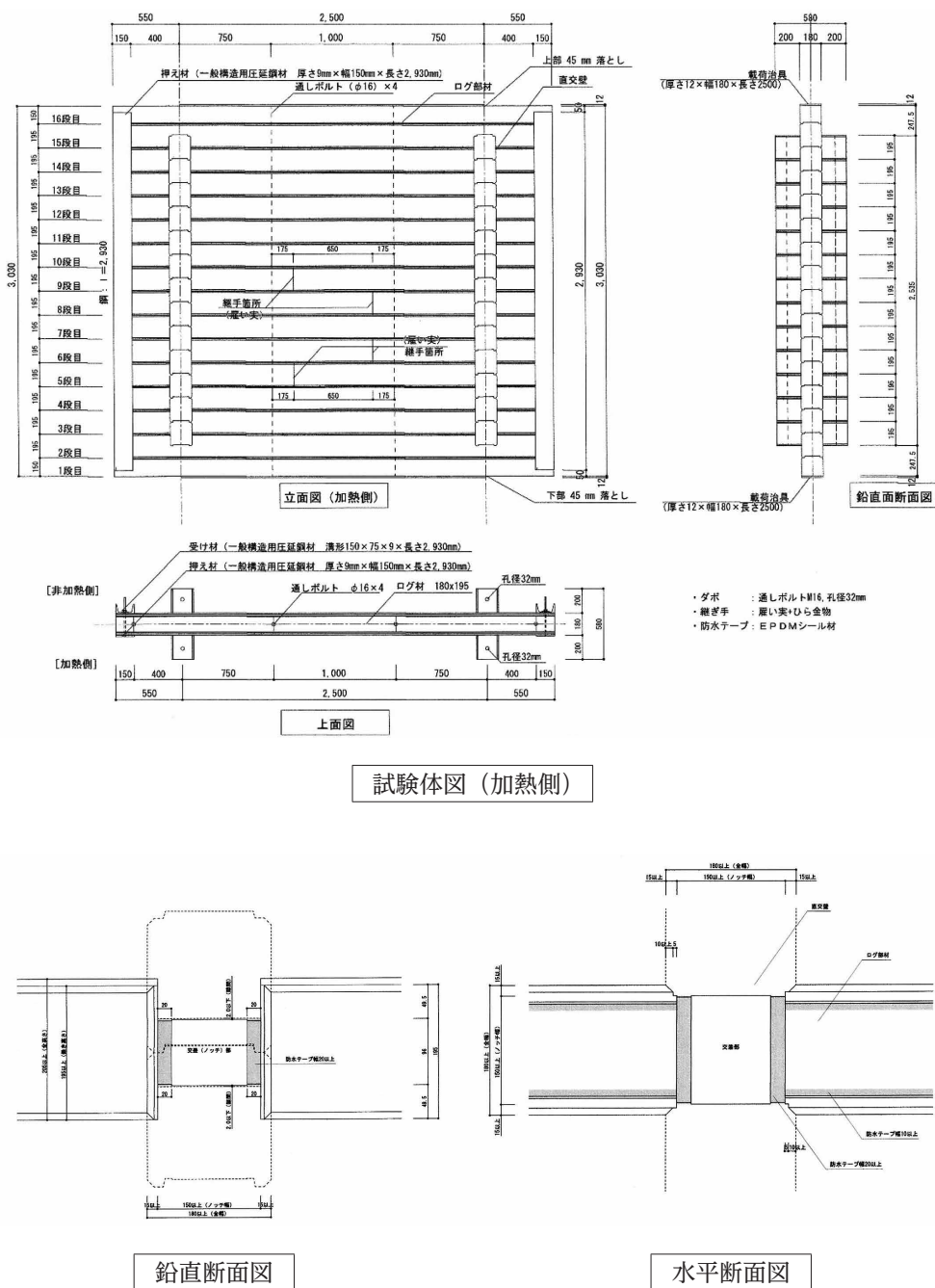


図3-1 ログ材の仕様概要



(4) 本試験

- 1) 試験体の材料管理の記録作成
- 2) 試験における載荷荷重の提案

ログ材の断面における荷重支持部を図4-1に示す。図4-1の断面形状に対し実建物の実体に応じた荷重計算表を表3-1に示す。

- 3) 75分準耐火性能を目標としたログ壁の載荷加熱試験

- 試験体のログ材の仕様を確認した。
- 試験結果の概要を表4-1、写真1-2に示す。2体とも75分準耐火性能（90分加熱 載荷荷重103.76kN）の性能を確認できた。

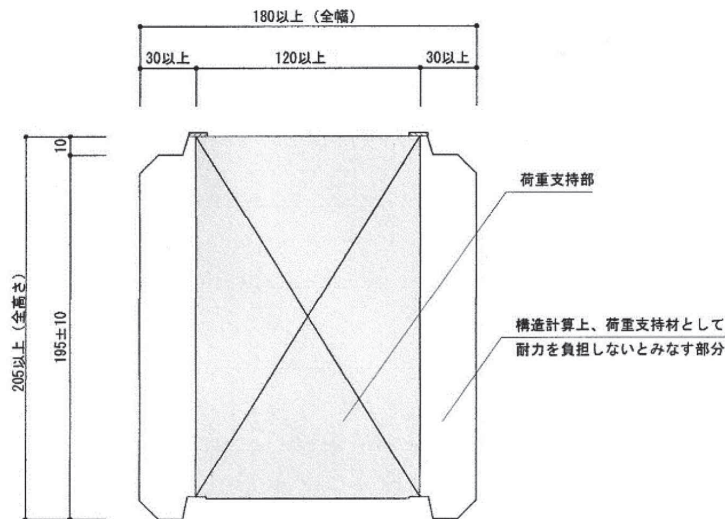


図4-1 ログ材の断面における荷重支持部

表3-1 荷重計算表

試験体の載荷荷重量の算出			
試験に用いる載荷荷重量は、構造耐力上主要な部分である丸太組構法壁について、平成13年国土交通省告示第1024号（木材のめりこみ及び圧縮材の座屈の許容応力度等）に基づき（但し、前面横圧縮の材料強度は、圧縮に対する基準強度に0.125を乗じて得た数値とする）、次の表に示す各式から求めた長期許容座屈荷重を採用した。			
項目	記号・数値等	数値	単位
荷重支持部面積	$A = 120 \times 2500 =$	300000	[mm ²]
丸太重なり巾	$B =$	120.0	[mm]
最大開口高さ	$h =$	3030.0	[mm]
丸太材圧縮強度	$F_c =$	17.7	[N/mm ²]
座屈長さ	$l_k = h =$	3030.0	[mm]
断面2次半径	$i = B/3.46 =$	34.682	[mm]
有効細長比	$\lambda = l_k/i =$	87.4	[mm]
座屈低減係数	$\eta =$	0.426	
圧縮強度	$F_{c,l} = (1/8) \cdot F_c =$	2.21	[N/mm ²]
長期許容圧縮応力度	$f_{c,l} = 1.1 \cdot F_{c,l} / 3 =$	0.81	[N/mm ²]
長期許容座屈応力度	$f_k = \eta \cdot f_{c,l} =$	0.346	[N/mm ²]
長期許容座屈荷重 (= 載荷荷重量)	$N = A \cdot f_k =$	103.76	[kN]

※A=幅(荷重支持部幅)×長さ
 ※荷重支持幅とした。告示411号より、B≧70mm
 ※試験体高さとした
 ※普通構造材 針葉樹IV類の場合
 ※試験体高さとした
 ※長方形断面の場合
 ※30<λ≦100
 ※有効細長比λにより決まる係数

※材料強度は、平12年建設省告示1452号（木材の基準強度 F_c 、 F_t 、 F_b 及び F_s を定める件）に基づき、木構造設計基準・同解説[日本建築学会編]に記載されている、木材の繊維方向の圧縮応力度に0.125の係数を乗じて許容横圧縮応力度に変換したものをを用いる。



写真 1-2 本試験の様子 1 体目（左：試験前、右：試験後 ともに加熱側）

表 4-1 载荷加熱試験結果の概要

1 体目スギ	90分
2 体目スギ	90分

今後の
課題・展開
等

1. 省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材の技術開発では、構造試験を通して下の課題が見えてきた。

- (1) 継ぎ手の加工について、フィンガージョイントの先端の隙間の確保および圧縮方法の改善と品質管理規定の確立。
- (2) 節の制御（節径比、位置、除去）についての検討。その際、継ぎ手ありの接着合せ材 A 種の開発の方向性について、再認識が必要である。性能とコストのどちらを重視して開発するか。
- (3) 接着合せ材とした時の継ぎ手の配置間隔についての規定の設定。

以上の課題を克服した上で、次年度の試験として本年度と同様の規模感（ただし、試験体の製作にはより厳しい品質管理が必要になってくるため費用がかかると思われる。）として、以下を提案する。

- (1) 性能を確認するために、試験体数を増やして同じラミナの曲げ試験を実施する。本年度の結果と比較して上記の課題が改善されたことを確認する。特に節による影響について改善しているかに着目する。
- (2) 同じ原木から採取したラミナ材と接着合せ材を製作して同様に曲げ試験を実施し、基礎データを取得する。特に接着合せ材の結果をラミナの結果と比較することで、破壊性状や曲げ強度に関して合せて接着することによる効果があるのか確認する。

省エネ基準に対応した実用性の高い国産接着合せ材（JAS）の利用促進には、曲げ試験などの構造試験と共に建築物に使用するのに不可欠である接着合せ材の防火性能を確認する試験が必要と考えられる。

2. 省エネ基準に対応し中大規模建物にも使用できる大径材ログハウス壁の技術開発では、大径材の活用を目的として、スギ製材のログ壁について、75分（90分）準耐火構造の検討を行った。これにより、防火地域内の3階建て以下の住宅（延べ面積 200㎡以下）、3階建て以下の事務所や2階建て以下の店舗・保育所（延べ面積 3000㎡以下）などが設計可能となる。

今後は、設計マニュアル等を整備して普及していきたい。

また、スギ以外の樹種（桧材など）や 180mm × 195mm 以下の寸法のログ材を使った壁や断面形状を変えた壁についても、75分準耐火性能の検討を進めて、郊外だけでなく市街地に適した安全性を有するログハウスを提案していきたい。

MSRたて継ぎ材による新需要創出事業

● 実施団体 ●

ツーバイフォー建築における国産木材活用協議会

〒113-0033 東京都文京区本郷3丁目17-14 HONGOU 桜ビル1階 NPO 法人建築技術支援協会内

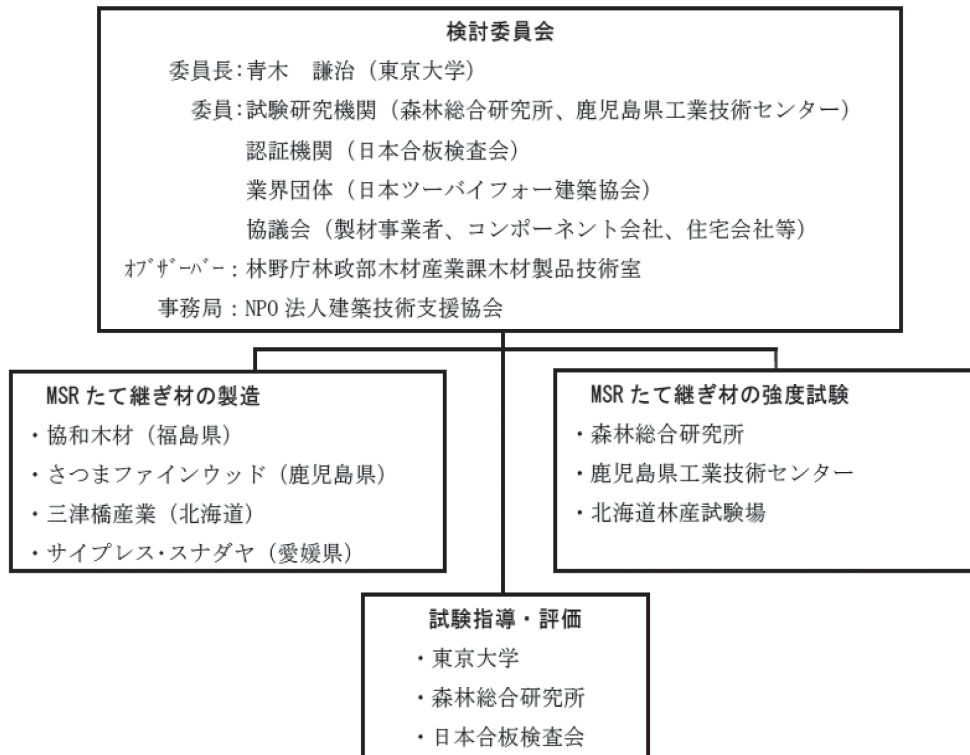
事業目的

スギの新たな需要として、ツーバイフォー工法におけるMSRたて継ぎ材に着目し、甲種2級品のうちEの値が上位30%程度以上で構成される206たて継ぎ材を製作・強度試験を行い、昭49農告第600号及び平12建告第1452号と照合することにより、MSRたて継ぎ材としての強度性能を確認する。併せて、ヒノキ・トドマツのたて継ぎ材の強度性能を確認する。

実施した項目

- (1) 竣工した3階建て建築物等の構造計算書から、要求される木材の強度の確認。
- (2) 206MSRたて継ぎ材の強度試験を実施し、MSR等級との照合。
- (3) 通常生産で目視等級区分する枠組材からMSR枠組材を選別することにより目視等級区分する枠組材のヤング係数分布が変化する割合に関する検討。
- (4) 生産者側及び需要者側に対する普及方策の検討と成果の公表。
- (5) 新たにJAS認証の取得を希望する製材事業者が円滑に取得できるように、評価機関への情報提供と意見交換。

実施体制



実施した
内容

(1) 構造計算における考察

ツーバイフォー工法による竣工した建築物から6件を抽出し、構造材をSPFからスギに変更した場合の構造計算における影響が小さいことを確認した。

(2) 強度試験

未仕上げ材を全量、グレーディングマシーンでEを計測した後、以下の樹種及びEの構成によるMSRたて継ぎ材の強度試験を実施した。

表1 樹種構成、試験体数及び試験項目一覧

樹種	Eの構成		試験 体数	強度試験		
				圧縮	曲げ	引張
スギ	KY1	E9.0以上	30	—	○	○
	KY2	E6.9以上 8.3未満	30	—	○	○
	SF1	E8.3以上	30	—	○	○
	SF2	E6.9以上 8.3未満	30	—	○	○
ヒノキ	E11.0以上		28	○	○	○
トドマツ	E9.7以上		28	○	○	○

寸法規格：206（38mm×140mm）長さ：3m

試験機関：森林総合研究所（引張試験）

鹿児島県工業技術センター（スギ・ヒノキ曲げ、ヒノキ圧縮）

北海道林産試験場（トドマツ曲げ・圧縮）

(3) MSR 枠組材を選別した後の目視等級区分する枠組材のヤング係数への影響について正規分布モデルにより考察した。認証取得を行う製材事業者においては本考察を活用していくこととした。

(4) 国産製材の普及方策として以下を製作した。

- 国産枠組壁工法構造用製材利用のリーフレット作成
- 設計者向け構造計算実務資料の作成

(5) 4回の検討委員会ならびに、公開試験により生産事業者、認証機関及び学識経験者と有意義に情報交換をすることができた。

試験状況



写真1 曲げ試験（北海道林産試験場） 写真2 圧縮試験（鹿児島県工業技術センター）

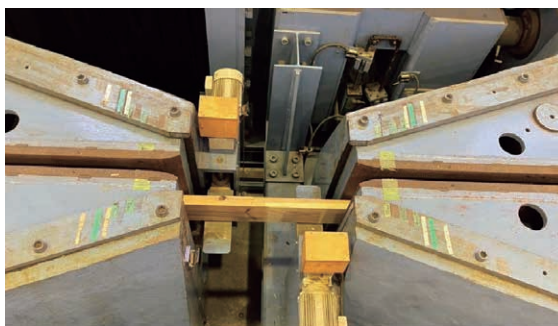


写真3 引張試験 (森林総合研究所)

実施した
結果

(1) 強度試験結果

以下に E9.0 以上及び E8.3 以上で構成されたスギたて継ぎ材の強度試験結果を示す。

表2 曲げ試験結果 (E9.0 以上)

スギ 206 KY-1	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げヤング (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
最小値	36.2	7.9	0.32	8.8
平均値	47.7	9.1	0.35	9.6
最大値	61.0	10.3	0.39	10.4

表3 引張試験結果 (E9.0 以上)

スギ 206 KY-1	引張強度 (N/mm ²)	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)
最小値	22.0	357	8.9
平均値	37.0	390	9.5
最大値	44.2	434	10.2

表4 曲げ試験結果 (E8.3 以上)

スギ 206 SF-1	曲げ強度 (N/mm ²)	曲げヤング (kN/mm ²)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)
最小値	30.4	7.3	0.35	12.7
平均値	43.2	8.7	0.39	13.5
最大値	52.3	10.7	0.43	14.8

表5 引張試験結果 (E8.3 以上)

スギ 206 SF-1	引張強度 (N/mm ²)	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)
最小値	22.8	418	12.3
平均値	33.7	451	13.4
最大値	42.2	500	15.0

また、ヒノキ・トドマツのたて継ぎ材の強度試験を同様に実施したところ、高い強度性能を有することも確認された。

(2) MSR等級の推計

強度試験結果に基づき、スギMSRたて継ぎ材としての等級区分を推計した。

- E9.0以上で構成したたて継ぎ材にあつては1650Fb-1.3E、E8.3以上で構成したたて継ぎ材にあつては1500Fb-1.2Eと推計される。

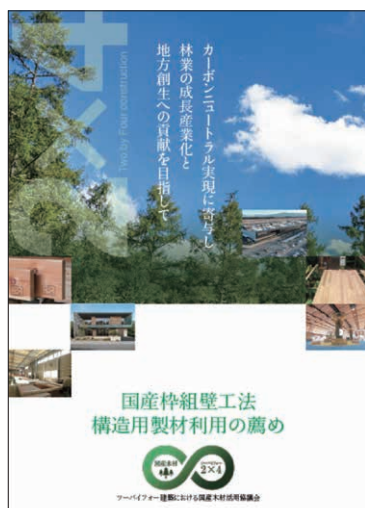
表6 206MSRたて継ぎ材等級と目視等級の強度比較

206 たて継ぎ材	基準強度 (N/mm ²)				基準弾性係数 (kN/mm ²)
	Fc	Ft	Fb	Fs	
1650Fb-1.3E	16.8	15.0	24.0	1.8	8.9
1500FB-1.2E	15.6	13.2	22.2		8.2
スギ甲種特級*	15.0	13.4	23.8		8.0
スギ甲種2級*	15.0	10.2	16.3		6.8

※寸法調整係数後（圧縮 0.96、引張 0.84、曲げ 0.84）

(3) リーフレットの作成

リーフレット及び設計者向け構造計算実務資料の作成



今後の
課題・展開
等

まとめ

- (1) 今回の事業においては、スギ甲種2級製材の中からヤング係数の高い製材をある一定の基準で抽出し、それをたて継ぎとすることで、甲種2級より高い強度特性を有することが確認できた。たて継ぎ材の特徴は、2～4 mの材長が主流の日本の素材供給事情を変えることなく4 mを超える長尺材やフィート材の製造が可能なことである。今後は、ヤング係数に基づく選別技術とたて継ぎ材技術を組み合わせることにより、横架材へのスギの利用の取り組みが進んでいくことを期待したい。
- (2) 構造計算におけるスギ製材を考察したところ、現在広く利用されているSPF甲種2級製材と比較してスギ甲種2級製材であっても補強（例：2枚合わせ等）を有する箇所は少ないことが報告されている。そこで、「リーフレット（国産製材利用の薦め）」や「構造設計者向け解説資料」を作成した。次年度以降、需要者向けセミナー等で有効に活用されることにより、広くスギ製材の普及が進んでいくことに期待したい。

木質系材料30分耐火構造非耐力壁の開発事業

● 実施団体 ●

一般社団法人日本WOOD.ALC協会

〒135-0016 東京都江東区東陽 5-30-13 東京原木会館（協和木材内）

事業目的

本事業では、木質材料 JAS 集成材等 + 木質由来の建材を組み合わせた国産材 30 分耐火構造壁の開発事業を進める。一般市場において建築物の外壁は、スタンダード商品として採用されている軽量発泡コンクリートや押出成形セメント板などは、主要構造部の非耐力壁（構造上の耐力を負担させない使い方）として利用されている。それらは、単体材料のみの性能で成立しているわけではなく塗料や目地材（水密性・耐火性・耐久性）など複合的に検討された建築材料・利用方法が確立されている。容易性を追求し合理化がすすめられた材料であり先駆的に開発されたものである。中大規模木造建築だけでなく S 造や RC 造のオフィスビルやマンション等の公共・民間建築に広く木材利用を促進するためにはこれらの建築材料と同等程度に採用しやすくコスト競争力にも優れた技術情報の整備が必要である。

中でも 30 分耐火木質材料は現在、該当する木質材料がないため、その空隙を埋めるべきと考える。当協会は、昨年度の実証事業の結果を踏まえ、その中から有力候補を選定し継続事業として実用化を目指す。都市部で木造木質化に取り組まれていない 30 分耐火木質材料を開発し広く国産材の普及需要拡大を目指す。

実施した項目

■木質系材料による 30 分耐火構造外壁の開発

木材と一般に流通する不燃系木質面材を組み合わせることで、前者を燃え尽き層、後者を燃え止まり層と位置付け、各々の特性を活かしたハイブリッドの外壁材の開発を行う。

検討委員会を設置し燃え止まり性能による非耐力壁の構成を協議、断熱性向上も視野に入れた構成を検討する。留付け方法・水密性も考慮した目地構成を検討し、性能評価試験を進める。

- (1) 委員会の開催
- (2) 燃焼予備実験
- (3) 性能評価試験
- (4) 補足データ収集
 - ・曲げ性能試験
 - ・ねじ保持力試験

実施体制

日本 WOOD.ALC 協会に設置する開発委員会・構成員において、本事業を推進した。

(順不同、敬称略)

I 委員会		
委員長	坂本雄三（代表理事）	WOOD.ALC 協会（東京大学名誉教授）
委員 (統括)	安井 昇	安井昇（桜設計集団）
	前田 力（理事）	WOOD.ALC 協会（株式会社ヤマムラ）
	小泉 治	株式会社日本設計

委員	永井香織	日本大学 生産工学部建築工学科教授
	長野麻子	株式会社モリアゲ
Ⅱ 構成員（ワーキングスキム）		
実務者	高橋隆博（理事）	WOOD.ALC 協会（株式会社アトリエ秀）
	佐藤雅友（理事）	WOOD.ALC 協会（装建工業株式会社）
	吉川正勝（理事）	WOOD.ALC 協会（ジャパン建材株式会社）
	遠藤雅宏（理事）	WOOD.ALC 協会（ナイス株式会社）
	宮代博幸	ナイス株式会社
	金内 馨	ジャパン建材株式会社
	小坂勇治	株式会社中東
	嘉本誠悟	株式会社中東
	佐川和佳子	協和木材株式会社
	加藤規行	ニチハ株式会社
	伊藤通浩	ニチハ株式会社
オブザーバー	鈴木康史	株式会社長谷川萬治商店
	山崎 悠	オート化学工業株式会社
	稲積克彦	株式会社エービーシー商会
	須川涼太	株式会社日東
	寺澤正広	シネジック株式会社
	平原章雄	木構造振興株式会社
	原田憲佑	林野庁木材産業課
実務者（事務局）	松浦 薫	協和木材株式会社
試験機関	佐藤 章	（公財）日本住宅・木材技術センター
	庄司秀雄	（一財）建材試験センター
	試験体製作	石田和樹

実施した内容

■スケジュール

項目／月	05	06	07	08	09	10	11	12	01	02
委員会		●				●	●	●		●
WG	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
予備実験						●				
施工検証										●
試験体図作成				●	●					
試験体製作					●	●				
性能評価試験							●	●		
曲げ試験									●	
まとめ									●	●

(1) 委員会開催

検討委員会を5回開催し、事業の企画、推進を行った。

(2) 燃焼予備実験

試験体製作／ナイスプレカット木更津工場

試験体組立／東亜理科埼玉第一工場

1 試験体の製作

試験体の構成は、昨年の実証実験を踏まえ委員会にて表1に示す仕様とした。1液性のウレタン樹脂接着貼りによる糊付け塗布方法、塗布量検証、仮止めビス打ち検証選定、基材製作の試作検討をすすめ燃焼試験体の製作を行った。目地構成については、よりシンプルかつ防耐火有効な素材組合せによる目地巾を絞り込むための実験を行った。

表1

名称	仕様
3層パネル	長さ3,380mm×厚65mm×幅450mm
表層木材	樹種：スギ（含水率15%以下）厚さ20mm 集成材2仕様 ・レゾルシノール樹脂接着剤（ソリット45mmラミナ10プライ） ・水性高分子イソシアネート系接着剤／FJ部：酢酸ビニル樹脂系接着剤（27mmラミナ18プライ） FJ数は、燃焼試験で不利な仕様1ピース当たり約10カ所以上
芯材	硬質木片セメント板（JIS A 5404）厚さ25mm
接着剤	ウレタン樹脂接着剤 塗布量600 g/m ²
仮固定具	仮固定ねじ（基材接着時の仮止め）φ3.8×60
目地材	① バックアップ材：AESウール（100kg相当）ロール規格品 幅5mm×奥行35mm、幅15mm×奥行35mm、幅15mm×奥行35mm ② 表面材：軟質ウレタンフォーム 幅5mm×奥行15mm、幅15mm×奥行15mm（2種類） 乾式目地テープ（透湿）／圧縮加工素材（施工後膨張）
取付金物	ゼットクリップ 幅50×長さ115 板厚6mm

2 燃焼実験

各部位の性能を確認し性能評価試験の仕様選定を行った。

燃焼予備試験／於：（公財）日本住宅・木材技術センター

① 確認項目

- ・30分加熱で表層木材は燃え尽きるのかどうか。（スギ集成板厚さ20mm）
- ・面外変形計測 燃焼時、燃焼後の材料変形確認
- ・目地構成、性能の確認 目地巾（5mm、15mm）
- ・表層集成板接着材の違いを検証（燃え込みの違い）

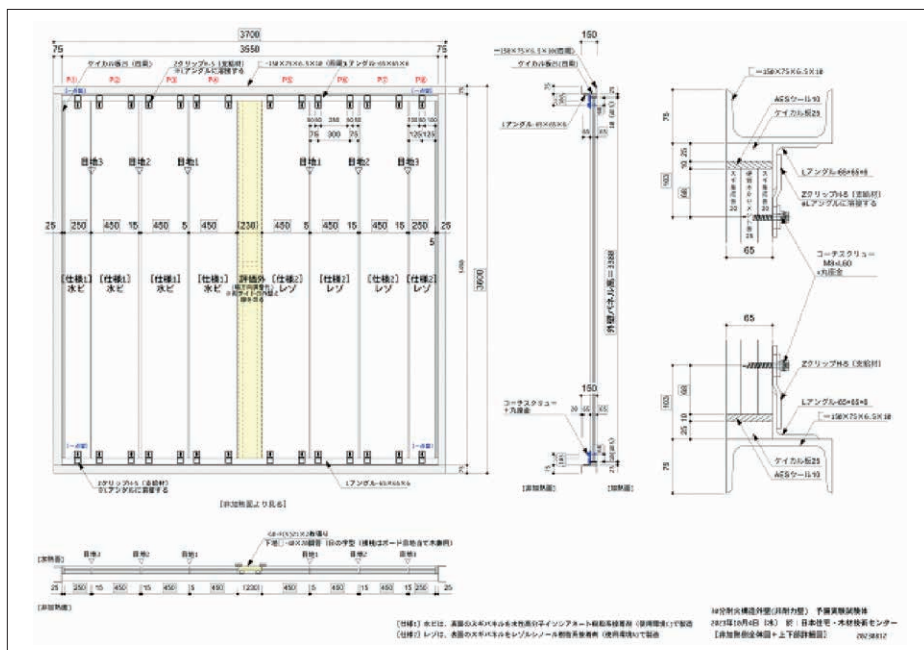


図1 試験体図 燃焼実験

(3) 性能評価試験

1 試験体の仕様選定協議

委員会において、燃焼実験の結果を委員会で協議を行い有効な仕様選定を進めた。(表2) 20mmの表層集成板の燃え残り残存があることから、無垢板の組合せも可能と判断し、新たな利用方法の創出として大径材の利用付加価値向上に資する幅広板2枚貼りを選定に加え需要家の選択肢を持たせ供給事業者共に広がりのある仕様で行った。

評価試験体基材製作/ナイスプレカット木更津工場

評価試験体組立/東亜理科埼玉第一工場

2 性能評価試験

構造名：両面集成板張/硬質木片セメント板/鉄骨下地外壁

性能評価試験2体/於：(公財) 日本住宅・木材技術センター

表2

名称	仕様
3層パネル	長さ 3,380mm×厚 65mm×幅 450mm
表層木材 (2仕様)	樹種：スギ(含水率15%以下) ① 集成材：巾450mm、厚20mm 接着剤：水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤 FJ部：酢酸ビニル樹脂系接着剤(27mmラミナ18プライ) 集成材 JAS基準 ② 無垢板 225mm 2枚貼り、厚20mm
芯材	硬質木片セメント板(JIS A 5404) 厚さ25mm
接着剤	ウレタン樹脂接着剤 塗布量 600 g/m ²
仮固定具	仮固定ねじ(基材接着時の仮止め) φ 3.8×60
目地材	① バックアップ材：AESウール(100kg相当) ロール規格品 幅15mm×奥行35mm ② 表面材：軟質ウレタンフォーム 幅15mm×奥行15mm 乾式目地テープ(透湿)/圧縮加工素材(施工後膨張)
取付金物	ゼットクリップ 幅50×長さ115 板厚6mm

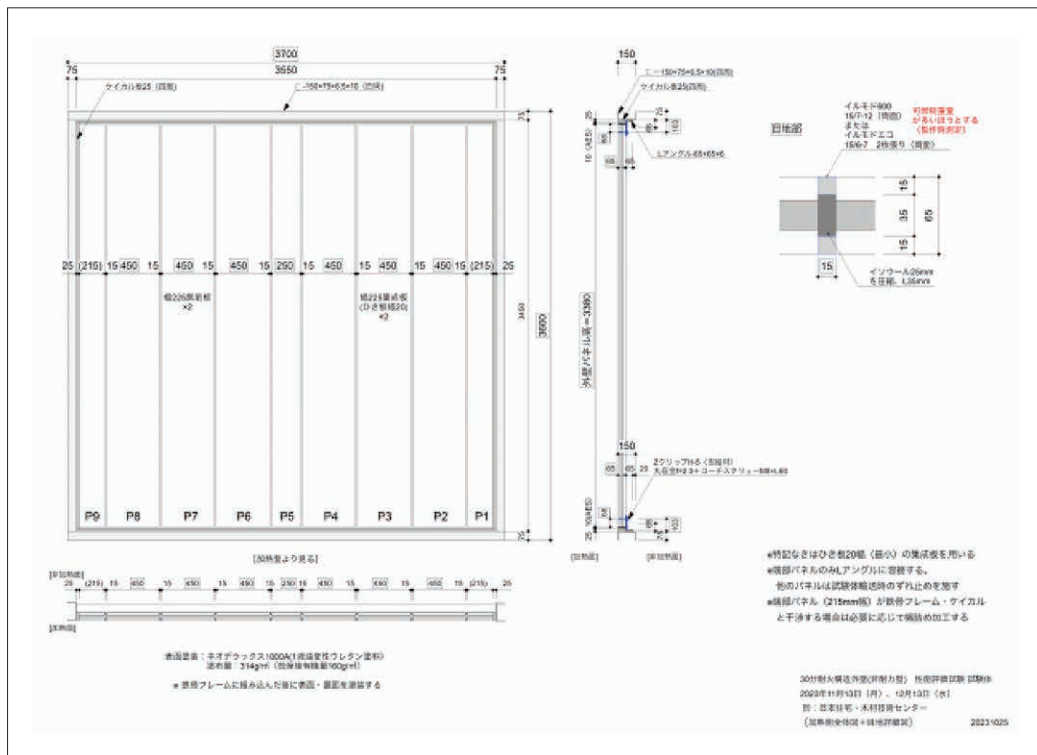
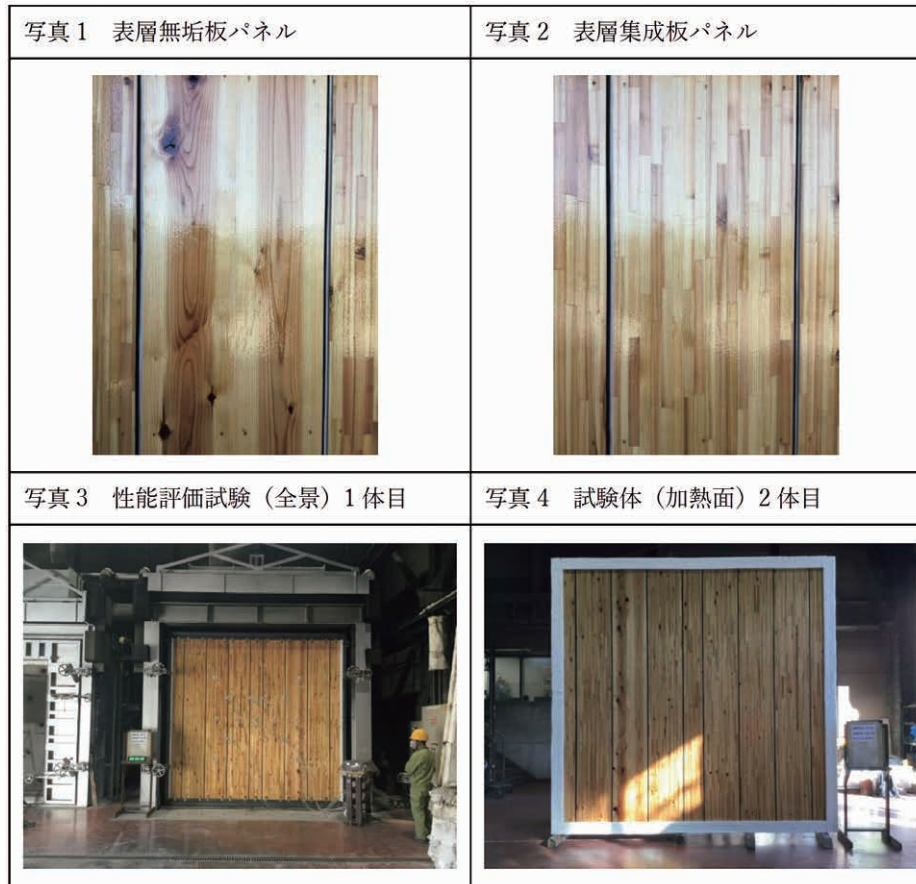


図2 試験体図 性能評価試験

実施した
結果

(4) 補足データ収集 曲げ性能実験／於：(一財) 建材試験センター

・3層構成パネルの基礎性能把握

基礎性能把握項目として、非耐力壁の耐風圧設計指標データ蓄積

JIS A 1414-2 試験 6体 3,640mm×65mm×450mm

3等分点による曲げ性能試験

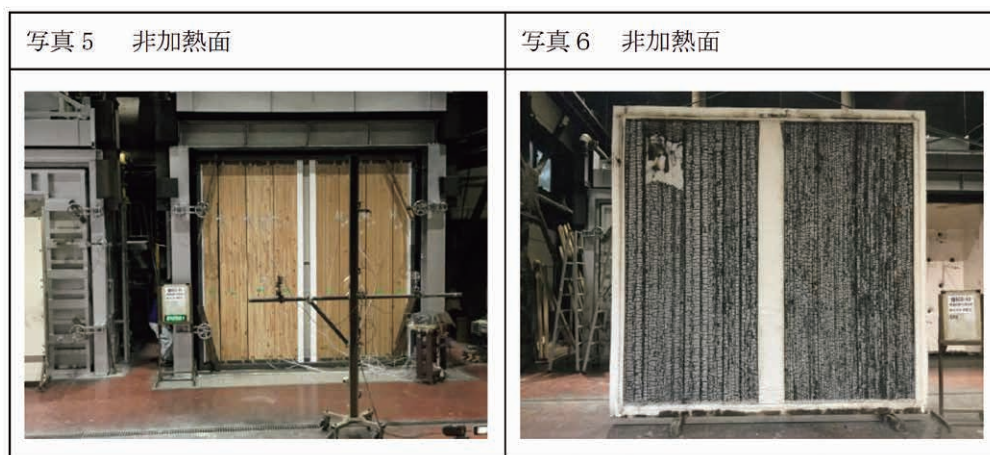
(1) 燃焼予備実験／於：(公財) 日本住宅・木材技術センター

360分(6時間)脱炉一酸化炭素濃度0点を一定時間経過継続判断とした。

30分耐火性能を満足できる結果で終了となった。

①予備実験で得られた項目

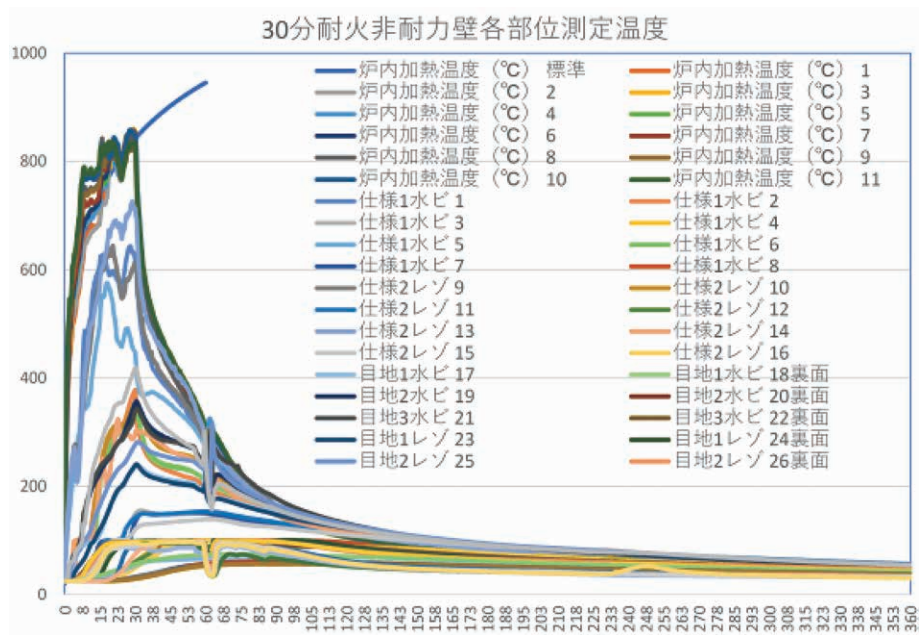
- ・30分加熱で表層木材は燃え尽きるのかどうか。(表層木材20mm)
表層木材は燃え尽きないで燃え止まり。(一部脱落はあった)
- ・面外変形計測 燃焼時、燃焼後の材料変形確認……………24.2mm
- ・目地構成、性能の確認 目地巾(5mm、15mm)……………表3、写真9
目地内部への燃え込み損傷は見られなかった。
- ・表層集成板接着材の違いを検証(燃え込みの違い)……………写真10
接着層部へ沿って燃え込み、ラミナ厚による亀裂の大きさに違い



1 各部位熱電対温度計測データ

表3

	一般部非加熱側				目地部非加熱側 水ビ			目地部非加熱側 レゾ		
	水ビ		レゾ		目地1	目地2	目地3	目地1	目地2	目地3
No	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
終了時	38.0	36.9	38.1	37.1	33.6	35.1	30.9	34.1	33.5	30.5
Max	59.4	61.0	56.5	56.5	97.5	95.5	89.5	98.3	97.9	97.1



2 面外変形

材料変位計測 2カ所（変形に対する目地構成材のサイズ選定指標を把握）

加熱中加熱側へ面内変形 Max 12.5mm 放置終了時点へ面外変形 Max 24.2mm

3 燃焼実験解体検証／於：株式会社東亜理科（埼玉第1工場）



(2) 性能評価試験

屋内面からの加熱は、壁が両面对称であることから屋外面からの加熱と同等の遮炎性を有するものとして試験省略と判断に至り 2 体での性能評価試験が行われた。30分耐火性能を満足する結果となった。

1 遮熱性（試験体の非加熱面温度上昇）

全測定点の最大値は 180 (K) 以下、かつ平均の最高値は 140 (K) 以下であること。

試験体 (A) 全測定点の最高値は 82 (K)、平均の最高値は 41 (K) であった。試験体 (B) 全測定点の最高値は 82 (K)、平均の最高値は 41 (K) であった。

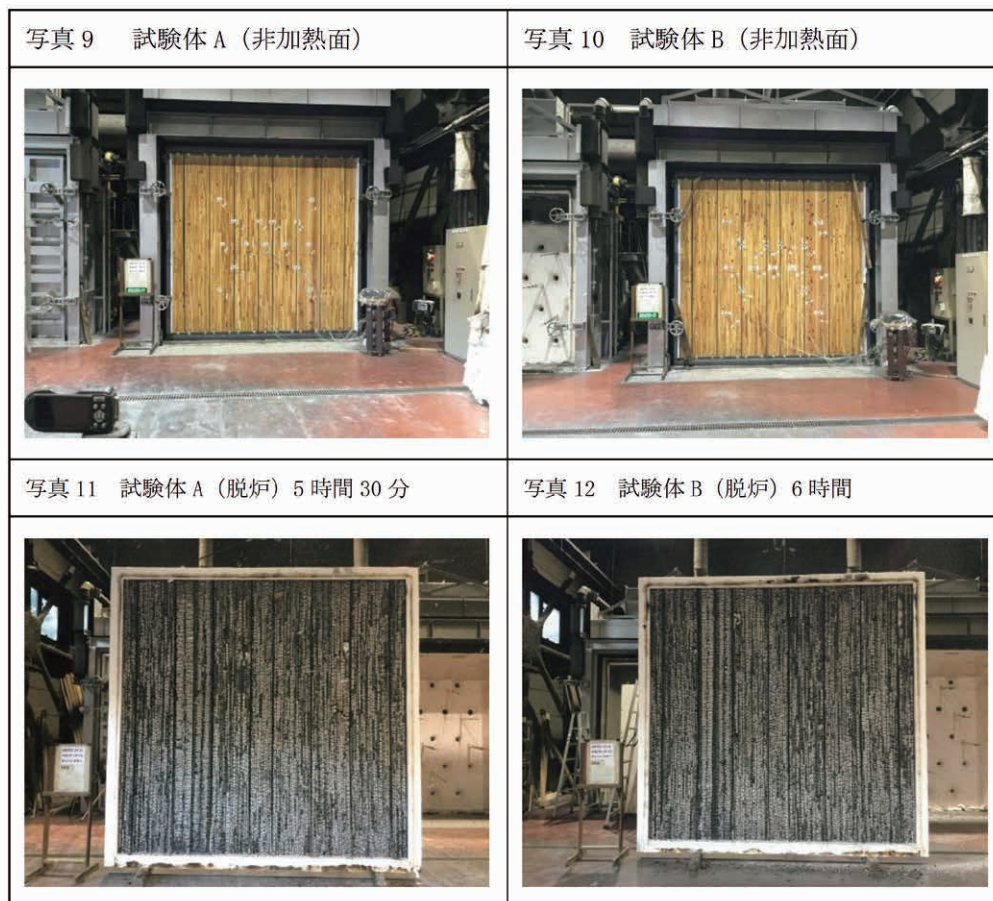
2 遮炎性（非加熱側（面））の状況

10秒を超えて継続する火炎の噴出がないこと。

10秒を超えて継続する発炎がないこと。

火炎が通る亀裂等の損傷がないこと。

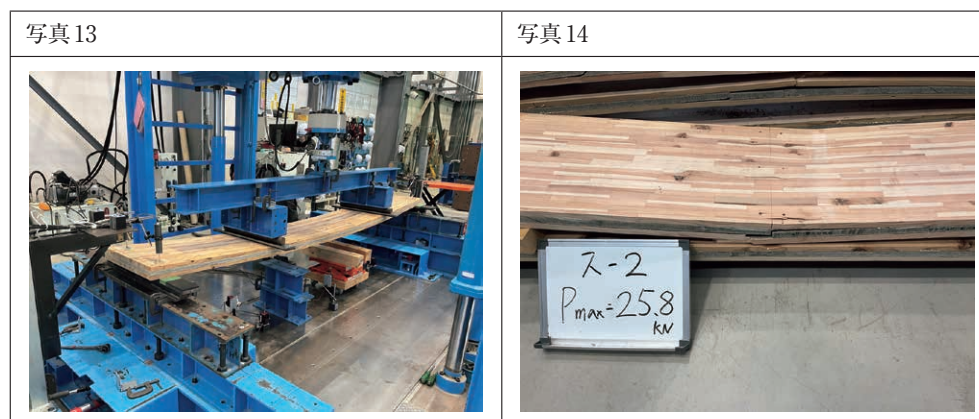
試験体（A）、（B）2体ともに確認されなかった。



(3) 曲げ試験 JIS A 1414-2 / 於：（一財）建材試験センター

製作試験体は、燃焼予備試験の試作試験体で行われた。

- 表層木材：レゾルシノール樹脂接着剤……………3体
- 表層木材：水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤……………3体



【今後の展開見通し】

本事業では、ALCや押出成形セメント板のように、鉄骨造や鉄筋コンクリートの構造躯体に非耐力壁として取り付けるカーテンウォール外壁を、「木材と木質系材料」のみでつくことを目標に、耐火性能や曲げ性能など、外壁に必要とされる諸性能について、並行して、技術開発、性能把握した。今回目標とした耐火性能は、「30分耐火構造」であり、都市部、都市近郊によらず、建物の延焼のおそれのある部分以外の外壁に適用可能となる。耐火構造の外壁を「木材と木質系材料」のみの構成で実現した先例はおそらくなく、今後の木造防耐火の技術開発のブレークスルーとなる取り組みであったと自負している。

今後、下記の項目について、継続的に取り組んで、都市の木造化、木質化に貢献したい。

1. 「木質系材料による30分耐火構造外壁」の開発について、外壁性能の検証を目的とした曲げ試験を実施（2024年1月24日実施 於：（一財）建材試験センター）等の検証作業を経た後、本年7月頃までを目途として、実際の使用に耐えうるよう、当協会としての施工指針の整備を行います。
2. 「木質系材料による30分耐火構造外壁」のパネル製作要領および施工要領の策定も本年9月頃までを目途として整備を進め、国土交通大臣認定取得を待って協会理事各社の協力を得て、建築士、製材・集成材等の素材生産者、パネル製造者及び副資材関係メーカー、施工者向けの講習会（座学および実地研修）を実施し、本件開発の普及活動を展開します。
3. 普及展開に合わせて、協会は着実に設計・施工要領が順守されていることを確認し得るよう管理体制を構築します。
4. より広くS造、RC造の建築物に使えるよう「木質系材料による30分耐火構造外壁」の開発を通じて得られた知見を元に「木質系材料による1時間耐火構造間仕切壁（非耐力壁）」の開発に取り組みます。

【課題】

1. (パネル生産設備)

今回開発した木質系材料による30分耐火構造外壁パネルは専用の生産設備は不要であり、パネル製作に必要な建屋（空間）、電動ドリルドライバと丸鋸があれば誰でも素材を入手できパネル製作が可能です。また素材生産についても既存の製材・集成材・硬質木片セメント板メーカーで製造される素材や接着剤、耐火被覆材等の副資材を使用する為、特殊な設備は不要となっています。また施工についても既存のECP、ALCまたは内装工業者が無理なく対応し得るものとしております。

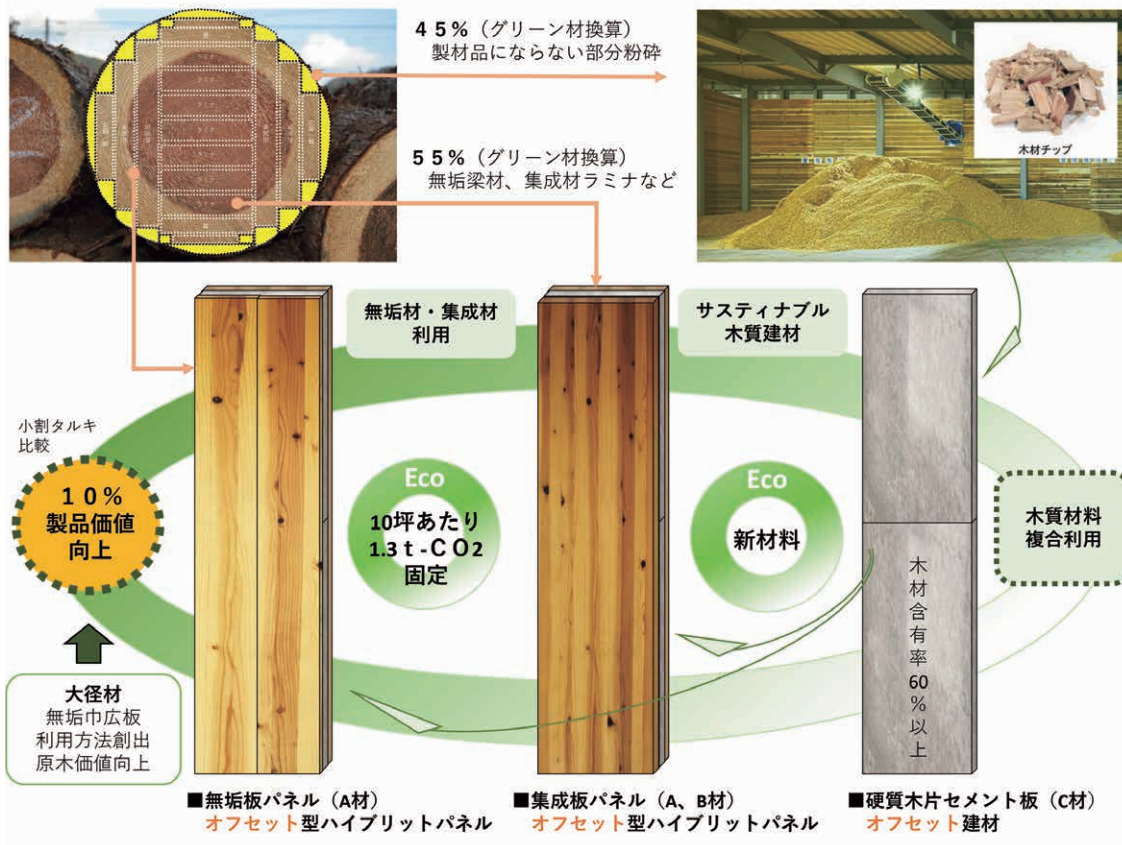
しかし、今後S造やRC造での本開発成果の普及が進むとすれば大量生産に向けたパネル製造ラインの検討も視野に入れなくてはならないと考えており、協会ではパネル生産設備のモデルについても協会内のプレカット会社等と協力して検討を進めたいと考えております。

2. (意匠面での利用範囲の拡大)

本開発成果の3層パネルで使用される木材の部位は原木丸太のA材からD材まで全てを1枚の3層パネルの中で使用することを可能としています。（3層パネルイメージ図）

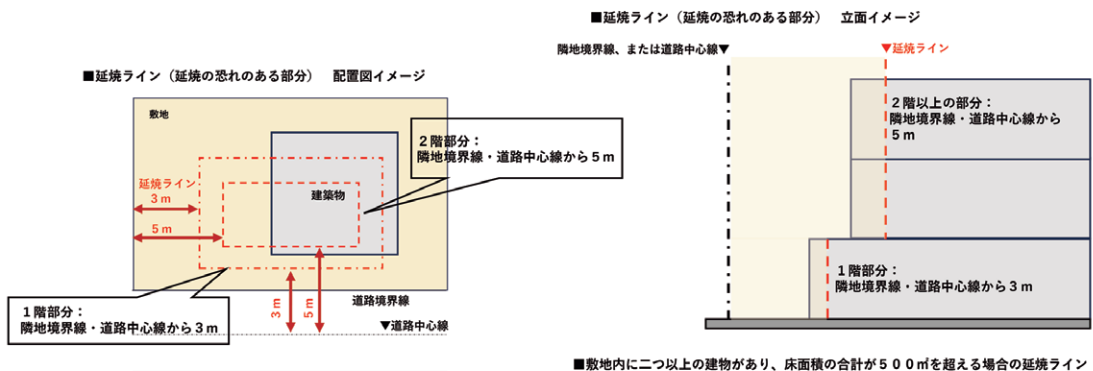
つまり、3層の表面にはA材やB材を、中層にはC材、D材をチップとして使い、裏面にはB材やC材を使うという構成を採ることが可能となっています。特に「見せる部分」である表面材には意匠として単に板目・柾目を用いるだけでなく様々な意匠を凝らすことのできる可能性があると考えています。今後、建築家の皆様から広くアイデアを集められるよう更なる開発を進めて行くことが課題となっています。

■ 3層パネルイメージ図



【30分耐火】延焼ラインが外れた部分の非耐力壁

- 隣地境界線
- 道路中心線
- 敷地内に2つ以上の建物があり、床面積の合計が500㎡を超える場合、外壁同士の間中心線



- 緩和規定
- 延焼ライン (延焼のおそれのある部分) には、防火上有効な部分に対する緩和規定があります。
- ・都市計画公園
 - ・広場
 - ・川、水面
 - ・耐火構造の壁これらに類する部分

単板積層材を用いた横架材及び床材の国産材比率の向上

— 国産ハイブリッドLVL開発と長尺LVL床版開発 —

● 実施団体 ●

一般社団法人 全国LVL協会

〒136-0082 東京都江東区新木場 1-7-22 新木場タワー 8F

事業目的

1. 国産スギ利用ハイブリッドLVL開発

国産材を利用して輸入材と同等の高強度部材を確保することを目的として、内層に低強度LVLを、外層に高強度LVLを配置したハイブリッドLVLの開発を行った。(図1)ハイブリッドLVLの製造技術の確立、曲げヤング係数・強度等の曲げ性能の検証、クリープ性能等のデータを収集した。昨年度の引き続き、各性能試験のデータを収集した。また、外層の高強度構造材として期待される国産広葉樹のLVLを製造し、強度性能を検証した。将来的にハイブリッドLVLをJASに入れることを視野に入れ、規格化の際の問題点を検証した。

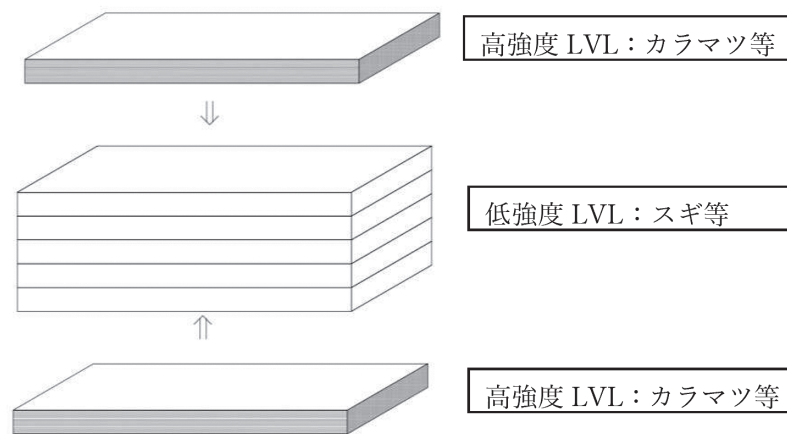


図1 ハイブリッドLVL横架材 (イメージ)

2. LVLを面材とした水平構面LVL床版開発

住宅から中大規模木造建築の水平構面の面材は厚物構造用合板を使用するのが一般的である。LVLは柱・梁等の軸材だけでなく、比較的薄い、厚み21mmから75mmの直交層を入れた面材(B種)も製造することができる。薄く幅広で、かつ4M以上の長尺が可能な特徴を生かし、合板より長く、CLTより薄いLVLで、高剛性かつ施工性のよい水平構面を構成できると考え、水平構面剛性の検討を行った。

実施した項目

国産スギ利用ハイブリッドLVL開発と床版開発について、以下の2項目を実施した。

1. 国産スギ利用ハイブリッドLVL開発

- シラカンバLVLの製造
- シラカンバ、カラマツ ハイブリッドLVLの製作、
実大曲げ試験、せん断試験、接着試験 (北海道林産試験場)

- シミュレーション用データ収集のため、LVLラミナの引張試験、曲げ試験（縦、横使い）、せん断試験
- クリップ試験

2. LVLを面材とした水平構面LVL床版開発

- LVL厚板を面材とした水平構面の面内性能検討
- 実大サイズ水平構面面内性能検証
- ビス接合の一面せん断性能検証

実施体制

1. 国産スギ利用ハイブリッドLVL開発

- JAS改正委員会
 - 中島史郎 宇都宮大学 <委員長>
 - 宮本康太 森林総合研究所
 - 平松 靖 森林総合研究所
 - 尾方伸次 日本合板検査会
 - 板垣 悟 日本合板検査会
 - 小関真琴 日本合板検査会
 - 大橋義徳 北海道林産試験場
 - 古田直之 北海道林産試験場
- 会員会社

2. LVLを面材とした水平構面LVL床版開発

- 構造利用委員会
 - 稲山正弘 東京大学 <委員長>
 - 河村 進 島根県産業技術センター
 - 早崎洋一 建材試験センター
- 会員会社

実施した内容

1. 国産スギ利用ハイブリッドLVL開発

ハイブリッドLVLの製造と強度性状を検討するにあたり、厚み30mmの1次ラミナLVLとして、一番蓄積量の多いスギLVL（内層）と高強度のカラマツLVL（外層）、シナカンバ（外層）（北海道産広葉樹）を選択した。（写真1-1～1-8、図2、表1）断面寸法は図2に示すよう幅105mm、梁せい120mm、300mmの2種類とした。

北海道産シラカンバの原木からLVLへの製造は実際の生産ラインで試作しました。単板からLVLへの一次接着は無選別で接着し、シラカンバLVL小試験体の試験により、曲げ性能は「110E-440FHV」、せん断性能は「65V-55H」の結果が出た。（写真1-9）

材長はJASの曲げ試験スパンを確保できる長さ6Mとした。想定したヤング係数はスギLVLで60E、カラマツLVLで120E、シナカンバLVLで120Eとし、外層40%、内層60%とした。昨年度の引継ぎ、国産広葉樹シラカンバLVLの製造及び性能試験を行った。製造はキーテックの木更津工場で行った。

重量・打撃音伝播速度測定により動的ヤング係数を測定して、レゾルシノール樹脂で2次接着して試験体とした。北海道立総合研究機構林産試験場にて曲げ・せん断・接着性能及びクリップ試験を行った。クリップ試験については、ハイブリッドLVLのクリープ性能を確認するため、カラマツ集成材E105、カラマツLVL120Eと同時にクリップ試験を行う。

また、ハイブリッドLVLのシミュレーションを計算するため、ラミナの引張性能等のデータを収集した。

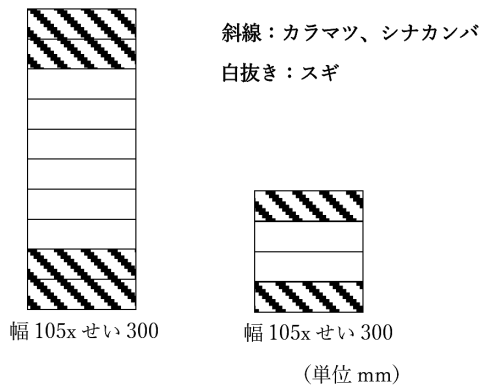


図2 樹種構成および断面構成

表1 試験体寸法

外層樹種	積層数	幅 mm	梁せい mm	試験体 (長さ mm × 本数)	
				実大せん断	実大曲げ
カラマツ	10ply	105	300	-	6000 x 9
	4ply		120	720 x 9 660 x 9	2400 x 9
シラカンバ	4ply		120	720 x 9 660 x 9	2400 x 9

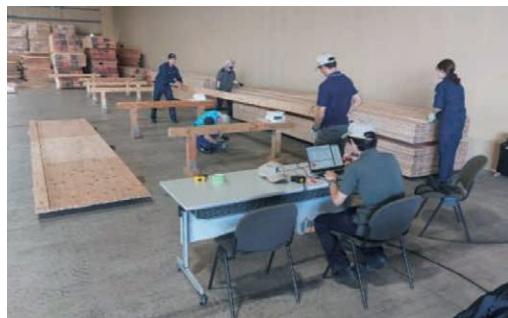


写真1-1 LVLラミナの打撃ヤング係数の測定



写真1-2 ハイブリッドLVLの製造作業

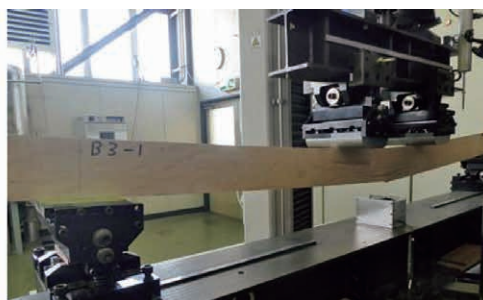
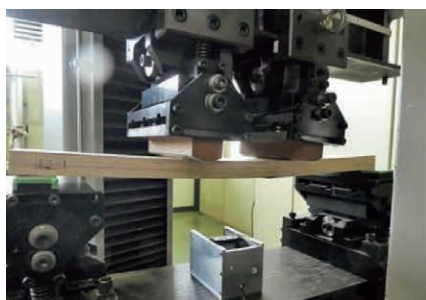


写真1-3 LVLの曲げ試験 (左：平使い、右：縦使い)



写真1-4 LVLの引張試験

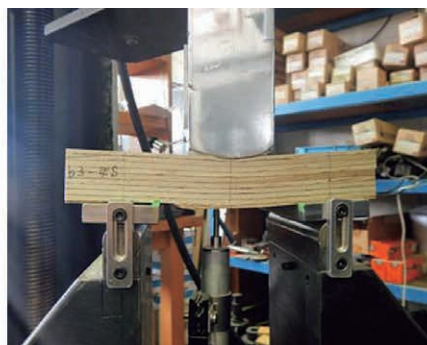


写真1-5 LVLの水平せん断試験



写真1-6 実大曲げ試験 (左：10層平使い、右：4層縦使い)

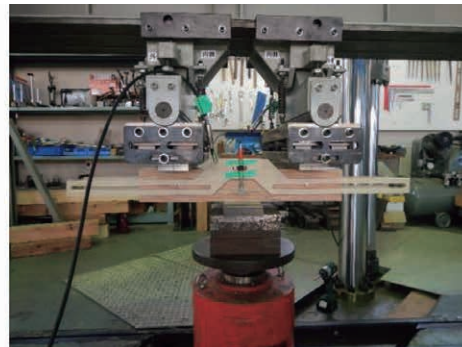
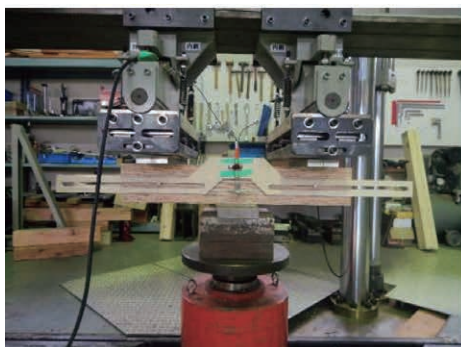


写真1-7 実大せん断試験 (左：4層平使い、右：4層縦使い)



写真 1-8 曲げクリープ試験の载荷状況

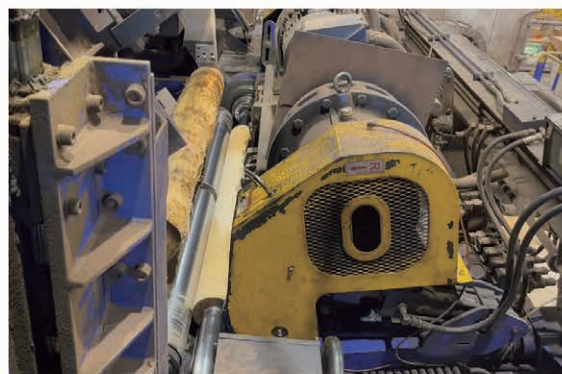


写真 1-9 北海道産シラカンバLVLの製造

2. LVLを面材とした水平構面 LVL床版開発

試験体仕様としてLVLの厚み・樹種、ビスの種類、ビスピッチ、接着剤の有り無し等を変えて試験を実施、床倍率で7倍から10倍程度の性能を確認した。面材寸法を幅1820mm×長2730mm及び幅1820mm×長4095mmと実施工サイズに近い仕様で面内せん断試験を実施、詳細計算法試験との性能の差異を確認する。(図3、図4)

上記の組合せの接合部試験を実施して、ビス1本あたりの性能を確認した。同一寸法の2種類のビスの性能を確認し、性能が弱い方のビスを試験体仕様として採用した。繰り返し加力とし、面材の方向、接着有り無し仕様を設定して接合部性能を検証した。(図5)

詳細計算法の面内せん断試験体 (図3～図4、写真2-1～写真2-2)

梁：スプルース集成材 E95 105mm角

面材寸法 幅910×長1820mm

面材 (B種LVL)：スギ50E (厚30mm)、カラマツ80E (厚50mm)、ラジアータパイン80E (厚50mm)

接合ビス：CN75@75、 $\phi 5.5 \times L75 @ 150$

面材接着剤：ウレタン系接着剤

実大サイズ試験については2月建材試験センター (西日本) にて行う予定。

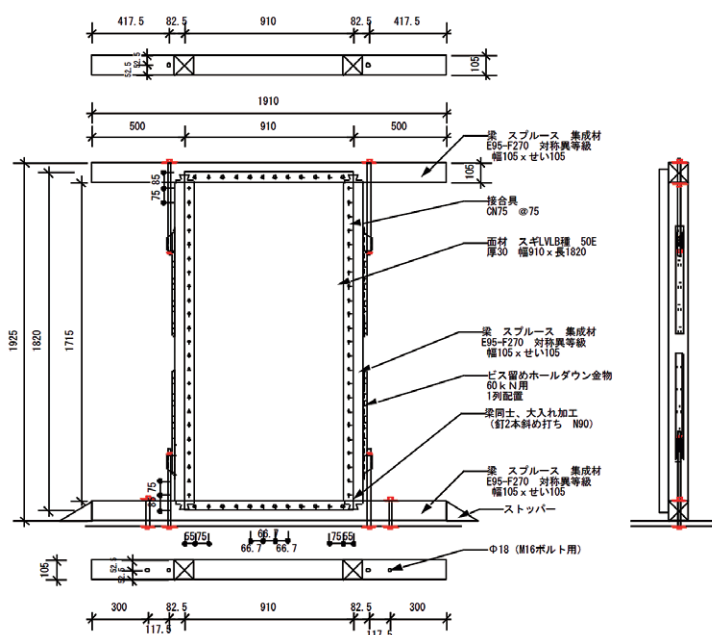


図3 詳細計算法試験体



写真2-1 水平構面試験状況

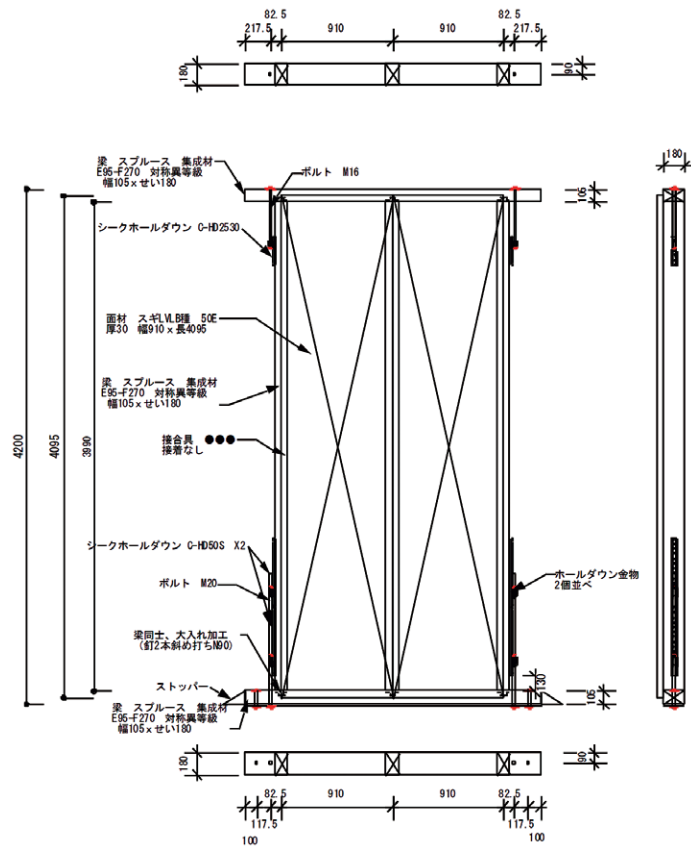


図4 実大サイズ試験体

荷重変位曲線(30mm厚さLVL)

※接合具1本あたり

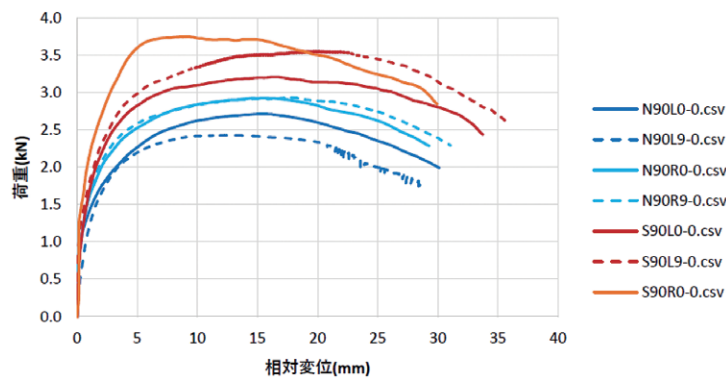


図5 ビスの荷重変位曲線一例

実施した結果

1. 国産スギ利用ハイブリッドLVL開発

実大曲げ試験の一例を写真1-10～写真1-11、図6に示した。曲げヤング係数は、概ね120E相当以上の数値となった。実大せん断試験の一例を写真1-12～写真1-13に示した。国産シラカンバを使用したハイブリッドLVLの曲げ・せん断性能はカラマツとほぼ同等の120E相当以上の性能が出た。国産広葉樹LVLの製造・強度試験の結果、無選別単板で、ラミナ試験によりヤング係数は120Eの性能を確認した。



写真1-10 実大曲げ試験
(外層カラマツ10層平使い)



写真1-11 実大曲げ試験
(外層シラカンバ4層縦使い)

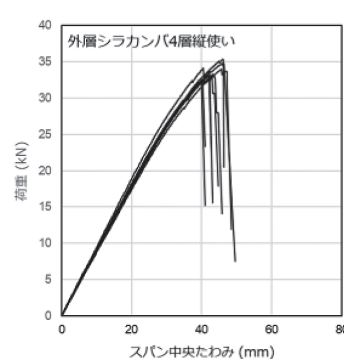
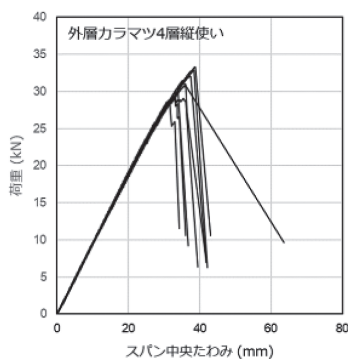
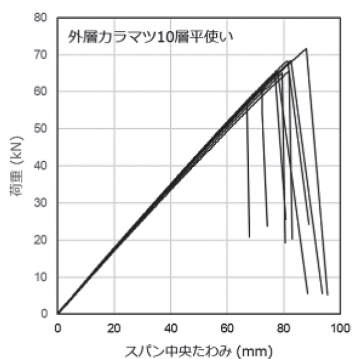


図6 実大曲げ試験の荷重変位関係 (左: 外層カラマツ10層平使い、
中: 外層カラマツ4層縦使い、
右: 外層シラカンバ4層縦使い)



写真1-12 実大せん断試験
(外層カラマツ4層平使い)

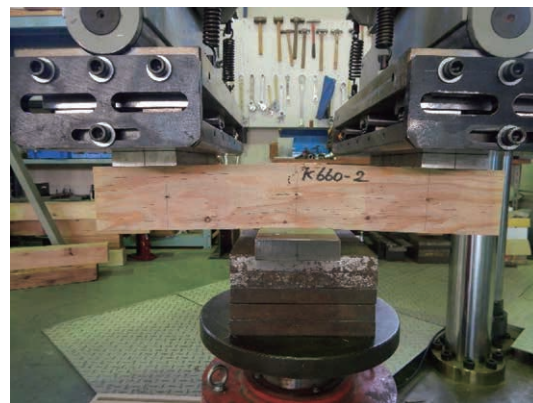


写真1-13 実大せん断試験
(外層カラマツ4層縦使い)

2. LVLを面材とした水平構面LVL床版開発

LVL厚板を用いた水平構面試験の各仕様の結果、相当床倍率はフレーム耐力差し引いたで約7倍～10倍程度であった。(写真2-2～写真2-3、図7)

実大水平構面試験については、相当床倍率は9倍～11倍程度であった。(写真2-4、図8)

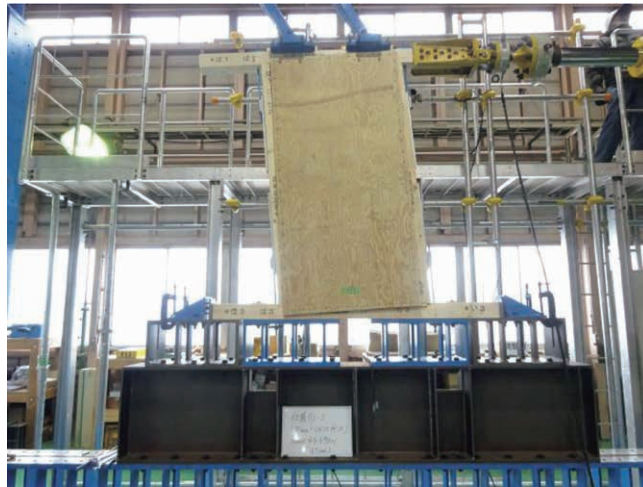


写真2-2 水平構面試験後



写真2-3 破壊写真

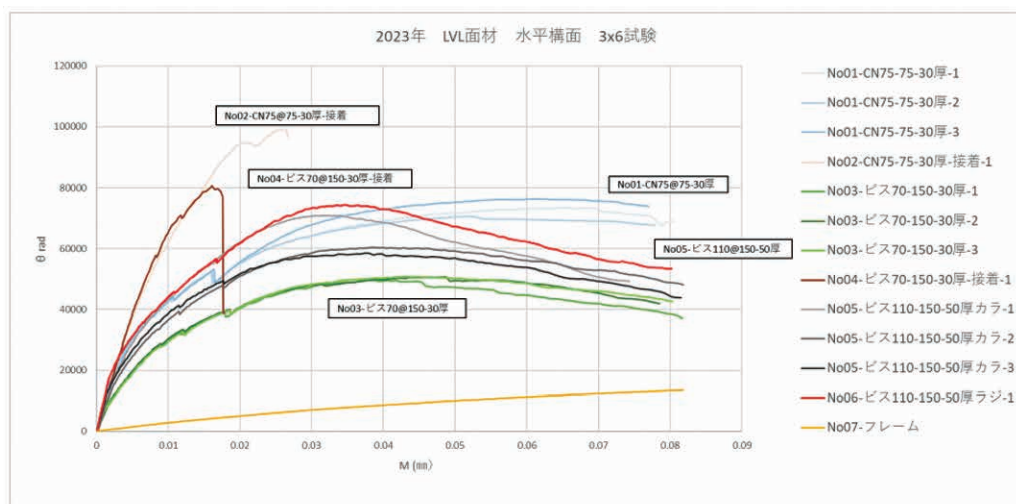


図7 各仕様包絡線比較 (フレームを差し引いた後)



写真 2-4 実大水平構面試験

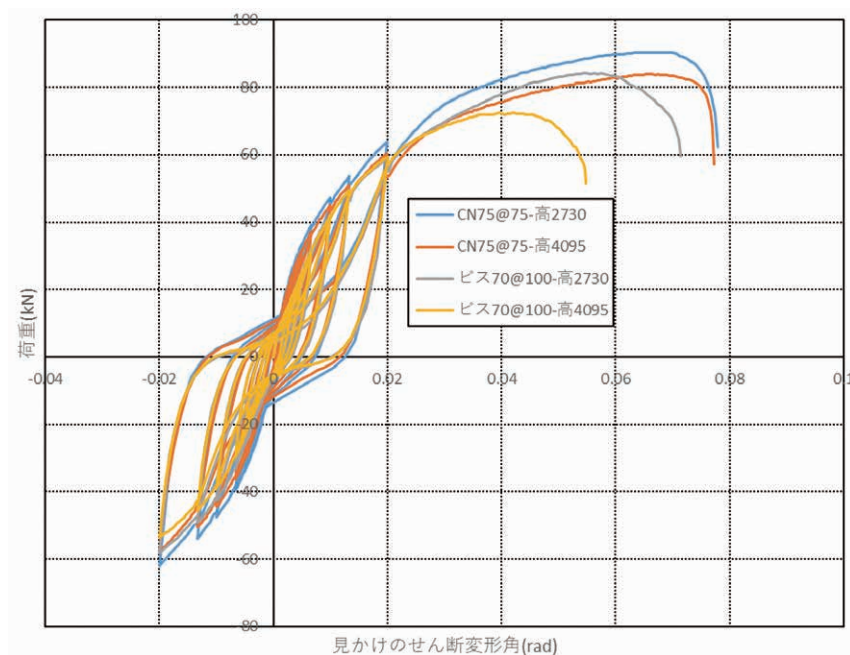


図 8 実大試験包絡線比較

今後の
課題・展開
等

1. 国産スギ利用ハイブリッドLVL開発

外層と内層に他の配置した材料の検証を行い、流通とコストのバランスがとれた組合せを探る。認証機関との意見交換を行い、他の樹種の性能を検証してデータを取得し、JAS規格化・製品化を目指していく。部材の物性値の確認、データを収集する。特に実物大の引張と圧縮試験と実施することで、JASと基準強度の取得につなげる必要がある。

国産広葉樹LVLにおいても、性能の検証を確認し、材料の流通と合わせて需要を開拓していきたい。

2. LVLを面材とした水平構面LVL床版開発

住宅及び中大規模建築向けに床・屋根版としての厚板LVLを構造設計、意匠設計、施工者に周知していく。また、施工性・汎用性しやすい仕様を開拓していく。

次年度は、屋根版の検証することでスギLVL(B種)の更なる利用拡大につなげる。

地域材の難燃薬剤処理LVLを用いた 被覆型耐火構造の開発

● 実施団体 ●

一般社団法人 全国LVL協会

〒136-0082 東京都江東区新木場 1-7-22 新木場タワー 8F

事業 目的

令和4年度に実施した耐火構造（柱）の被覆仕様を踏まえた仕様で性能評価試験を実施し、90分および120分の耐火構造大臣認定を取得する。具体的には、被覆材である難燃薬剤処理スギLVLの被覆厚を90mm（90分耐火）および120mm（120分耐火）とし、難燃薬剤の含浸量を上げること検討する。LVLは単板をフェノール樹脂で接着しているのでラミナで構成される集成材、CLT等に比べて、燃え方が進んだ時に炭化層が落下しにくい。LVLは燃え方が非常に安定しており被覆材として炭化速度を計算しやすい。

実施した 項目

●90分耐火構造柱（大断面）性能確認試験

日時：2023/5/25

場所：日本建築総合試験所（大阪）

目的：90分耐火の被覆仕様（隅部）検討

●90分耐火構造柱（小・超大断面）性能確認試験

日時：2023/7/28

場所：日本建築総合試験所（大阪）

目的：90分耐火の被覆仕様（隅部・平部）検討

●90分・120分耐火構造柱（小断面）性能評価試験

日時：2023/12月～2023/2月

場所：日本建築総合試験所（大阪）

目的：予備試験で確認した被覆仕様での性能評価

●被覆材（役物）の製作試作

日時：2023/12月～2023/2月

場所：集成材メーカー

目的：効率的な被覆材製作の確認

実施 体制

平成22年から、LVL協会は技術部会に防耐火委員会を設置して研究・開発活動を続けている。防耐火委員会では内装材としての難燃薬剤処理LVL準不燃材料の開発・認定取得、LVL厚板壁の準耐火構造開発、LVL梁を使用した床や屋根の構造開発・耐火構造認定を取得した。難燃薬剤処理LVLを被覆とした1時間耐火構造（柱・梁）の大臣認定を取得している。

腰原 幹雄	東京大学 <委員長>
安井 昇	桜設計集団一級建築士事務所
山代 悟	ビルディングランドスケープ一級建築士事務所
成瀬 友宏	国立研究開発法人建築研究所
鈴木 淳一	国立研究開発法人建築研究所
水上 点晴	国土技術政策総合研究所
板垣 直行	秋田県立大学
坂田涼太郎	坂田涼太郎構造設計事務所
鍋野 友哉	鍋野友哉アトリエ / TMYA
藤田 和彦	藤田K林産技術士事務所
橋本 由樹	日本ツーバイフォー建築協会
高木 郷	日本木造住宅産業協会
小宮 祐人	日本建築総合試験所

実施した 内容

1. 90分耐火柱 予備試験（柱炉）（図1）

日時：2023/5/25

場所：日本建築総合試験所（大阪）柱炉

目的：90分耐火の被覆仕様（隅部）検討（大断面）

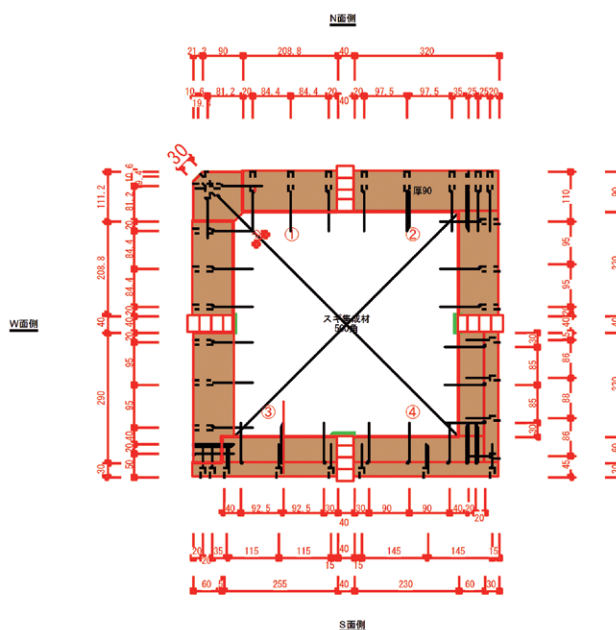


図1 試験体断面

2. 90分耐火柱 予備試験（水平炉）（図2）

日時：2023/7/28

場所：日本建築総合試験所（大阪）水平炉

目的：90分耐火の被覆仕様検討 小断面・超大断面

大きな断面での性能を確認するための、柱炉での大断面検討は、炉内での試験体が占める割合が大きく試験体表面がバーナーに近いなど実際の火災状況より厳しい評価になることが言及されている。本試験では寸法拡大仕様でいずれ必要になる水平炉での超大断面(450mm×1250mm)と小断面(180mm角)での被覆検討を同時に行った。新しい試みとして超大断面は流通部材断面を接着ビス留めた断面とした。

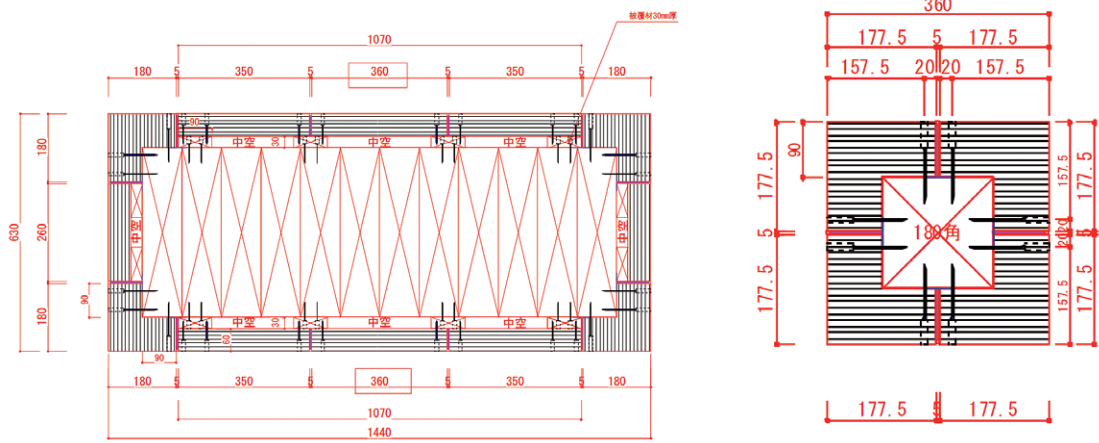


図2 試験体断面

3. 耐火被覆材 難燃薬剤処理 LVL 薬剤含浸 (写真1)

日時：2023/8月

場所：茨城県

目的：性能評価試験用耐火被覆材製作

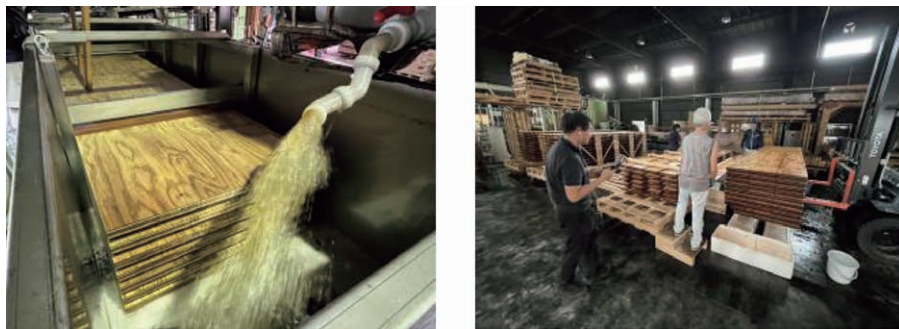


写真1 スギLVLへの難燃薬剤含浸と重量測定

4. 90分耐火柱 (小断面) 性能評価試験 (図3)

日時：2023/12/4、2024/1/24

場所：日本建築総合試験所 (大阪) 柱炉

目的：大臣認定取得のための耐火試験 耐火被覆は予備試験の結果を踏まえて隅部を役物で被覆した仕様とした。

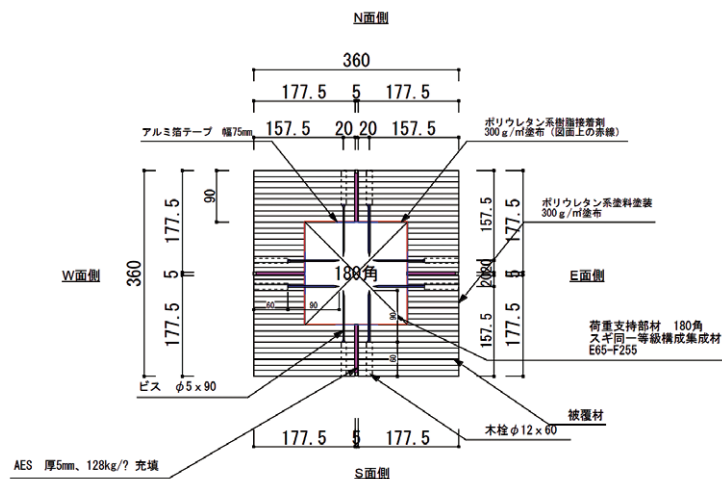


図3 試験体断面

5. 120分耐火柱（小断面）性能評価試験（図4）

日時：2024/2/1、3月

場所：日本建築総合試験所（大阪）柱炉

目的：大臣認定取得のための耐火試験 耐火被覆は90分と同じく隅部を役物で被覆した仕様とした。

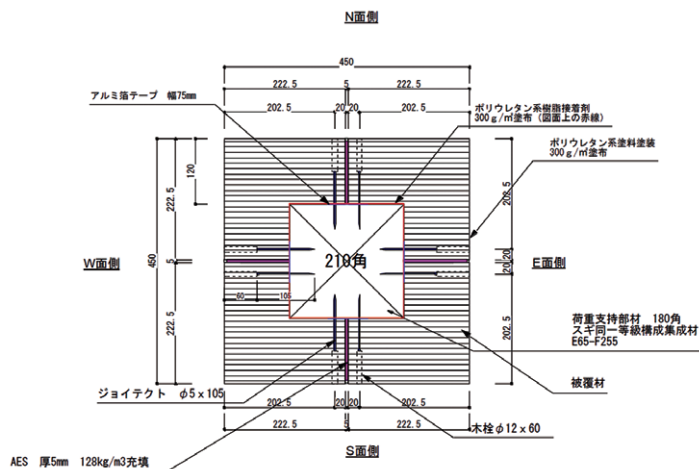


図4 試験体断面

6. 被覆材（役物）の製作試作

場所：2次接着可能な大断面集成材工場

目的：荷重支持部材柱の隅部を被覆する役物（写真2）の、より安易な方法での製造試作



写真2 被覆材役物

実施した結果

1. 90分耐火柱 予備試験（柱炉）（写真3、図5）

難燃薬剤処理 LVL 被覆 90mm 厚で隅部を完全にカバーした部位の最大温度は開始後 534 分で 172 度であった。720 分以降の温度推移をみると温度が乱高下していたが、直下に放置中に燃焼が見られた被覆仕様が配置されており、影響されないよう一時的に観察窓から放水したり、熱電対を測定するケーブルが赤熱の影響を受けて温度があがってしまった可能性が高い。脱炉後の断面を確認したところ該当部位の荷重支持部材に炭化は認められなかった。



写真3 耐火試験前後

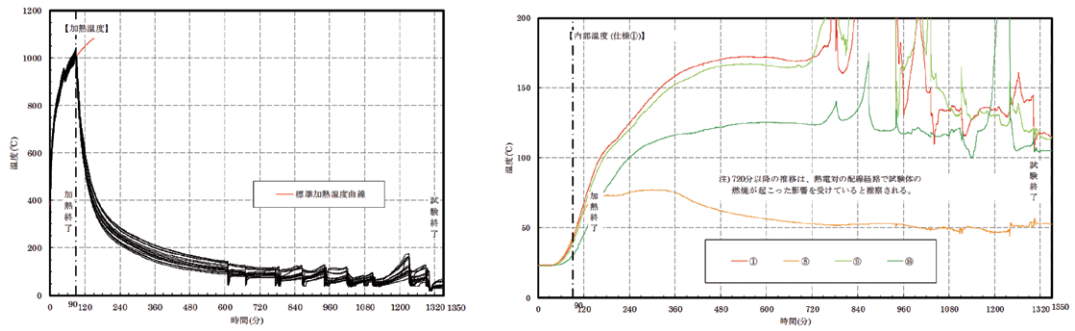


図5 温度変化

2. 90分耐火柱 予備試験 (水平炉) (写真4、図6)

超大断面の隅部を役物で被覆した仕様の隅部の内部温度は最大で188度、小断面で隅部を役物で被覆した仕様は最大で190度程度であった。放置中に赤熱した仕様が隣に配置されており、途中で放水しながら測定を続け脱炉ごの断面を確認したところ、該当部位の荷重支持部材に炭化は認められなかった。



写真4 耐火試験前後

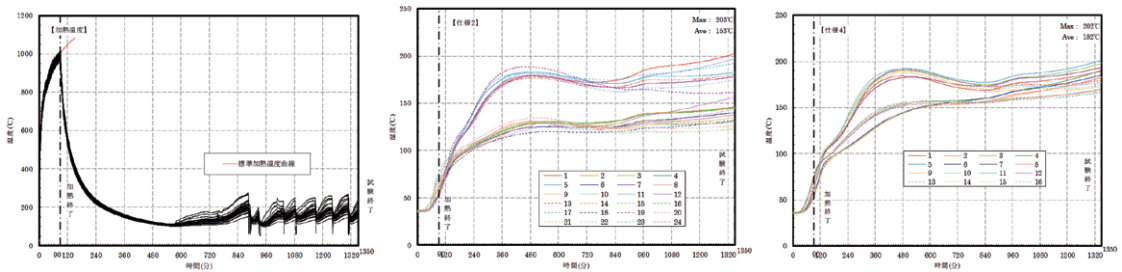


図6 温度変化

3. 耐火被覆材 難燃薬剤処理 LVL 薬剤含浸

難燃薬剤含浸量 135kg/m³～155kg/m³

4. 90分耐火柱 (小断面) 性能評価試験 (写真5、図7)

1体目はすべての内部温度が下がり、荷重支持部材に炭化は無く合格の判断となった。隅部の最大温度は155度であった。2体目も同様の結果となり、小断面柱の認定番号取得が確定した。



写真5 耐火試験前後

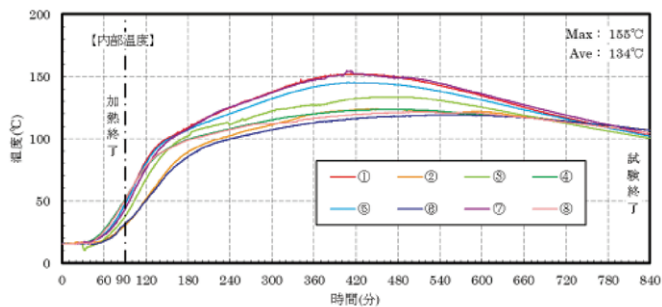
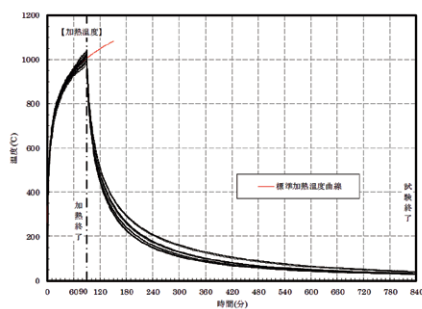


図7 温度変化

5. 120分耐火柱（小断面）性能評価試験（写真6、図8）

90分耐火と同じく隅部を役物で被覆した仕様とした、1体目はすべての内部温度が下がり、荷重支持部材に炭化は無く合格の判断となった。隅部の最大温度は90分試験時より低い135度であった。2体目は3月に実施予定である。



写真6 耐火試験前後

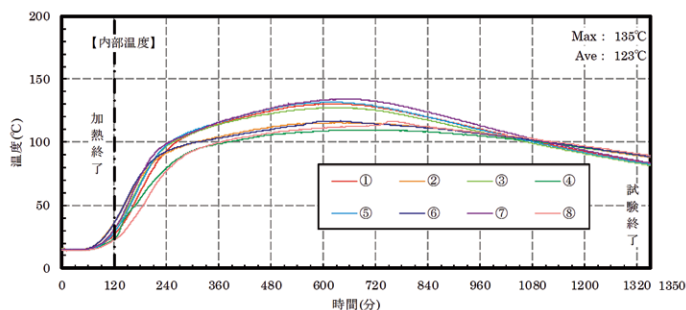
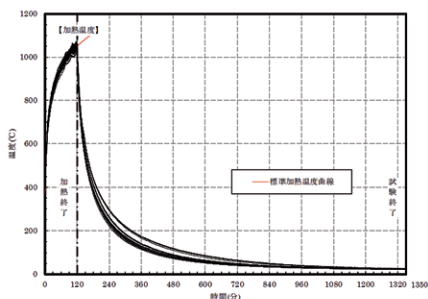


図8 温度変化

今後の 課題・展開 等

今年度の小断面に続いて大断面柱の性能評価試験を受けて認定番号を取得することで、既に取得済みの1時間耐火構造と合わせ4階建から9階建の建築物の下層部の耐火柱として運用できるようになる。被覆材表しの場合今年度取得した準不燃認定の運用も同時に可能になり、内装制限がかかった場合でも対応が可能である。また、純木造のみならず床・梁をRC造・S造とし、柱のみ耐火木造とした建築物で効果的に木材を表し、二酸化炭素固定に貢献する。

今後、木材をより多く使用できる自由設計の耐火構造を考えたお施主さん、設計者、施工者への工法の周知を進めていく。また他耐火構造との接合部の耐火被覆方法を確立する必要がある。

CLTパネル工法建築物の倒壊限界を考慮した 耐震基準策定に関する検討

● 実施団体 ●

株式会社日本システム設計

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-9-5

京大大学生存圏研究所

〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

事業目的

CLTパネル工法建築物については既往の震災・振動台実験等における倒壊事例がないため倒壊限界が不明であり、耐震基準は限定的な知見に基づく安全側の評価とならざるを得ない。

CLTパネル工法ではCLT壁パネルの面内剛性・面内耐力が従来の木質耐力壁構造に比べて高いため、鉛直荷重による押え込み効果（傾斜復元力）が大きく、それが倒壊限界を伸ばすと期待できる。一方、CLTパネル工法において標準的とされる小幅パネル架構では層崩壊を避けて、上下に連続する壁列全体が傾斜する全体崩壊形とすることが構造計画の基本となっている。この場合は傾斜復元力が減少するが、垂壁・腰壁・壁間の曲げ抵抗がそれを補い、その効果は階数が多いほど大きいことが令和3,4年度事業により確認されている。したがって、このようなメカニズムを明らかにし、倒壊限界を把握することにより耐震基準を緩和できる可能性がある。

本事業では、このような背景の下で令和3年度に実施した実大振動台実験、令和4年度に実施した実大水平加力倒壊実験から得られた成果等を踏まえ、それに引き続いて実験・解析等による倒壊限界の把握と、それに基づく耐震基準緩和案の提示を目的とする。

実施した項目

本検討の実施期間は3年間を想定している。本事業ではその3年目として以下の検討を行った。

1) 壁パネル・接合部の設計用性能の検討

- 1.1) 壁端せん断接合部の回転変位下水平せん断実験
- 1.2) 垂壁・壁接合部の水平加力（面内曲げ）実験
- 1.3) 接合部の設計用性能の設定
- 1.4) CLT壁パネルの先行破壊防止条件の設定
- 1.5) 中層建築物の部材・接合部仕様の検討

2) 耐震基準案の検討

- 2.1) 耐震基準案の骨子
- 2.2) 倒壊限界に対して必要な安全率の検討
- 2.3) 上限重量 W_U の検討
- 2.4) 許容水平耐力 Q_a の検討
- 2.5) 耐力限界に及ぶ A- Δ 関係算出方法の検討
- 2.6) 不倒壊判定方法の検討

3) 耐震基準案の効果と妥当性の確認

実施
体制

■事業主体（事業企画）

日本システム設計、京都大学生存圏研究所

■検討委員会（全体統括・耐震基準合理化の内容検討）

工学院大学、京都大学、東京大学、建築研究所、国土技術政策総合研究所、日本建築構造技術者協会、日本CLT協会、日本住宅・木材技術センター、構造計画研究所、銘建工業、日本システム設計

■耐震基準検討・実験実施WG（実験の計画・実施・分析、地震倒壊解析）

京都大学、工学院大学、信州大学、建築研究所、国土技術政策総合研究所、構造計画研究所、日本システム設計

■行政・協力

林野庁林政部 木材産業課

国土交通省住宅局 建築指導課

実施した
内容

以下の検討を実施した。

1) 壁パネル・接合部の設計用性能の検討

性能検証が不十分な接合部および中層建築物用接合部を対象とした要素実験等により終局状態に及び構造性能を確認した。

1.1) 壁端せん断接合部の回転変位下水平せん断実験(図1)

壁パネルに回転変位が生じた状態における壁端せん断接合部の終局耐力を確認した。

1.2) 垂壁-壁接合部の水平加力（面内曲げ）実験(図2)

垂壁-壁接合部のモーメント-回転角関係、および回転角が生じた状態における垂壁端せん断接合部の終局耐力を確認した。モーメント耐力および終局変形角のいずれも令和4年度の水平加力倒壊実験に基づく推定値を下回った。

1.3) 接合部の設計用性能の設定

垂壁-壁接合部の水平加力実験によるモーメント耐力および終局変形角が令和4年度の推定値を下回ったことを踏まえて、令和4年度の水平加力倒壊実験の倒壊限界状態(図3)近傍における残存水平耐力に寄与していた可能性のある垂壁-壁接合部以外の耐力要素を、適切と考えられる範囲で最大限に考慮することとして、垂壁-壁接合部の水平加力実験によるモーメント-変形角関係を再度推定した。その結果として、終局変形角は1.2)垂壁-壁接合部の水平加力（面内曲げ）実験の結果にほぼ一致したが、モーメント耐力はそれよりやや大きかった(図4)。

1.4) CLT壁パネルの先行破壊防止条件の設定

令和3年度の壁パネル破壊実験の結果に基づいて、曲げ破壊防止条件として弾性検定 $\gamma_e = N/(A \cdot F_c) + M/(Z \cdot F_b)$ を1.0以下とすること、せん断破壊防止条件として平均せん断応力度 $\tau = Q/A$ を 2.0N/mm^2 以下とすることとした。ここで、 N 、 M 、 Q は軸応力、曲げ応力、せん断応力、 A 、 Z は断面積、断面係数、 F_c 、 F_b は圧縮、曲げの基準強度である。

1.5) 中層建築物の部材・接合部仕様の検討

静的増分解析等に基づく検討により、4,5階建てに対応するためには壁パネルはS90-5-5(150mm厚)以上、壁-基礎引張接合部はM24(ABR490)以上、壁-壁引張接合部はM27(ABR490)以上の耐力が必要であること、および接合部の構成を現実的なものとするためには、クロスマーク金物等のビス打ち接合に代えて、鋼板挿入ドリフトピン接合等の標準化が望まれることを確認した。

2) 耐震基準案の検討

2.1) 耐震基準案の骨子

ルート1相当として、下記のクライテリアを設定する。最終的には、これらは一つのクライテリアにまとめられると考えられる。

- 現行ルート1と同様に垂壁・腰壁の数に応じて算定する許容水平耐力 Q_a が $C_0 = 0.2$ の地震層せん断力以下。
- 建物総重量が垂壁・腰壁の数に応じて算定する上限重量 W_U 以下。

Q_a と W_U は倒壊応答解析パラメトリックスタディ (以下「パラスタ」) によりあらかじめ設定する。 W_U は倒壊応答解析において不倒壊となる最大負担重量とする。 Q_a は、倒壊応答解析の結果を参照して下記を満足する最小値とする。

- 等価1自由度系の加速度 $A \leq A_y$
- CLT 壁パネルの応力度 \leq 短期許容応力度
- 層間変形角 $\leq 1/150$ (耐火要件が無ければ $1/120$)

ここで、 A_y は降伏加速度 (弾性限加速度) であり、木造耐力壁の許容耐力評価における降伏耐力 P_y と同様の方法で求める。

ルート3相当として、下記のクライテリアを設定する。

- 増分解析等により等価1自由度系の加速度 (水平耐力) が0となる (耐力限界) までの加速度 A -代表変位 Δ 関係を求める。
- A - Δ 関係に基づき、2.2 項の安全率を考慮した地震動に対して倒壊しないことを確認する (不倒壊判定)。
- Lv1 (稀) 地震に対して、ルート1の Q_a と同じクライテリアを満足する。

2.2) 倒壊限界に対して必要な安全率の検討

Lv2 (極稀) 地震時の応答変位を倒壊限界時変形の $1/1.5$ 倍以下とすることとして、上限重量 W_U を設定する際、およびルート3の不倒壊判定の際に想定する地震動の加速度をLv2地震の $\sqrt{1.5}$ 倍とする。

2.3) 上限重量 W_U の検討

現行ルート1の規定を満足する小幅パネル架構 (CLT床版) を対象として、パラスタにより W_U の値を検討した。垂壁-壁接合部のモーメント-変形角関係は垂壁-壁接合部の水平加力実験結果 (図2) とした。結果として、現行ルート1による負担可能重量に対する W_U の比率は、各階に腰壁の無い架構について、1層架構: 2.0以上、2層架構: 1.6、3層架構: 1.8、4層架構: 2.0以上であり、2階以上に一定量の腰壁がある場合は、2層架構: 1.8、3層架構: 1.8であった。なお、4層架構は現行ルート1の対象外であるが、参考として算出した。また、これらは本稿執筆時の値であり、今後の検討により調整する可能性がある。これは次項の Q_a についても同様である。

2.4) 許容水平耐力 Q_a の検討

前項パラスタの倒壊応答解析結果を参照し、2.1項に示す Q_a 評価用クライテリアを満足することを条件として Q_a の値を検討した。結果として、現行ルート1による許容水平耐力に対する Q_a の比率は、各階に腰壁の無い架構では1.1~1.6程度であったが、2階以上に一定量の腰壁がある場合は1.9~2.3程度となった。

2.5) 耐力限界に及ぶ A - Δ 関係算出方法の検討

一般に、静的な増分解析により耐力限界に及ぶ A - Δ 関係を算出するのは困難である。本事業では、漸増する加速度を1方向に作用させた時刻歴応答解析 (動的Pushover) により耐力限界に及ぶ A - Δ 関係を算出することとした。動的Pushoverにおいても幾何学的非線形性や鉛直荷重の影響 ($P \cdot \delta$

効果)を考慮する必要がある。それに対応可能な解析ソフトとしてwallstatがあるが、それ以外のソフトでも対応可能であれば設計者の選択肢が広がる。この点に着目して、市販の汎用構造解析ソフトによっても動的Pushoverが可能であることを確認した。

2.6) 不倒壊判定方法の検討

限界耐力計算の背景理論に基づき、地震動の応答スペクトルと建物の減衰性等によって定まる必要耐力曲線が、耐力限界に及ぶA- Δ 関係(保有性能曲線)と交点を持つことを基準として、不倒壊判定方法を構築することとした。そこでは、保有性能曲線の劣化勾配に応じて減衰性を調整することなどを検討した。

3) 耐震基準案の効果と妥当性の確認

ルート1相当の耐震基準案に基づいて、2層および3層のモデル建物を対象とした動的Pushoverにより耐震基準案の効果と妥当性について検討した。そこでは、2.1項に示す Q_a 評価用クライテリアを満足する建物重量の上限值を求め、その状態において不倒壊判定を満足すること等を検討した。

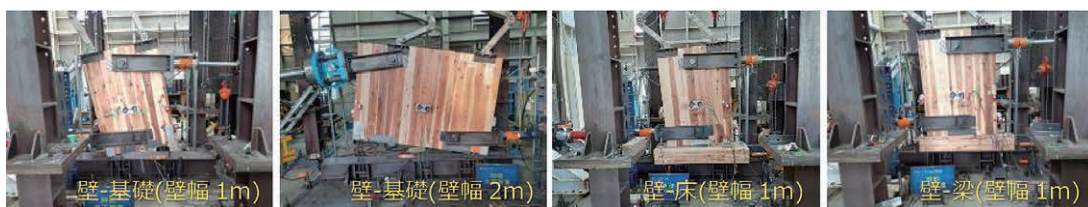


図1 壁端せん断接合部の回転変位下水平せん断実験

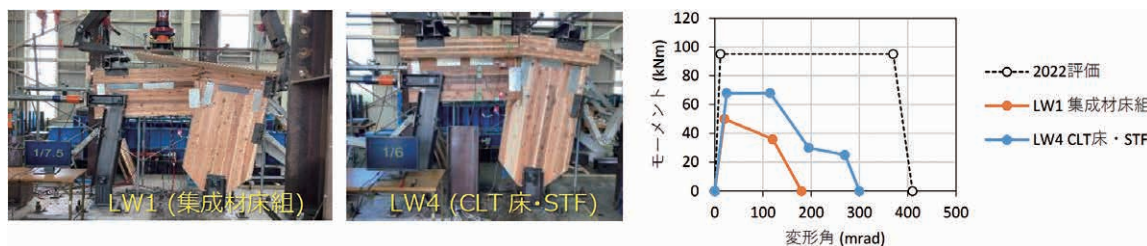


図2 垂壁-壁接合部の水平加力実験



図3 水平加力倒壊実験(令和4年度)の倒壊限界状態

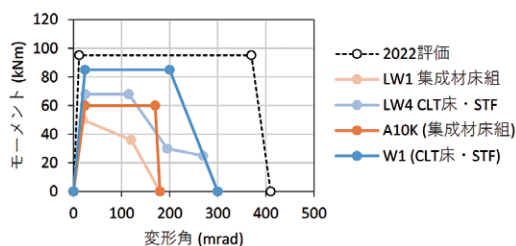


図4 垂壁-壁接合部のモーメント-変形角関係の再推定

実施した結果

本事業では、CLTパネル工法の標準的架構である小幅パネル架構を対象とし、令和3,4年度の検討結果を踏まえて、倒壊限界の把握と、それに基づく耐震基準緩和案について検討した。

ルート1相当の耐震基準案として、倒壊限界を考慮した許容水平耐力 Q_a と上限重量 W_U について検討した。CLT床版かつ2階以上に一定の腰壁が存在する場合の Q_a は、現行ルート1に規定される値に対して1.9~2.3倍程度となった。同じくCLT床版かつ2階以上に一定の腰壁が存在する場合の W_U は、現行ルート1に規定される許容水平耐力に基づく負担可能重量に対して、2層架構で1.6倍、3層架構で1.8倍となった。これらの値は、倒壊限界に対して一定の安全率を考慮したうえで設定されており、ルート1の許容耐力は、CLT床版かつ2階以上に一定の腰壁が存在することを条件として、現行規定の少なくとも1.5倍程度に緩和できる可能性がある。また、4層架構の W_U は現行ルート1規定を準用して求めた負担可能重量の2.0倍以上となっており、令和4年度と同様に階数が多いほど倒壊限界に対する余裕が大きくなることが確認された。

ルート3相当の耐震基準案として、耐震基準の骨子を示すとともに、その過程で必要となる「耐力限界に及ぶA-Δ関係算出方法」、「不倒壊判定方法」について検討した。

今後の課題・展開等

倒壊限界を把握し、倒壊限界に対する安全率を明示的に考慮することにより、誰もが納得できる耐震基準が構築できるとともに、現行の耐震基準を緩和できる可能性が高い。それを確実にするための課題として以下のようなものがある。

1) 垂壁・腰壁・壁接合部のモーメント抵抗性能の確実化

垂壁・腰壁・壁接合部のモーメント抵抗性能(モーメント-回転角関係)は倒壊限界に及ぼす影響が大きい。一方で、本事業の検討では、実大架構実験に基づく推定値と要素実験結果が異なるほか、垂壁・腰壁高さとの関係、ばらつきの程度・因子など未解明な点が多い。実験数増加、垂壁・腰壁高さ等の実験パラメータの拡大等を踏まえて知見を拡充する必要がある。

2) 接合部の簡易化

昨年度の検討では、壁上下端引張接合部の耐力・変形能力が小さくなくても倒壊頻度はほとんど増加しないという結果が得られている。本年度は垂壁・腰壁・壁接合部のモーメント抵抗性能を再推定したため、その状態でも同様の結果となるかは定かではないが、接合部簡易化の余地は残されている。

2) ルート1以外の複雑架構

耐力壁が上下に連なる壁列とならない場合などの複雑な架構に対する検討が十分ではない。本事業の検討では、ルート3相当の耐震基準案において、建物ごとに動的Pushoverと不倒壊判定を行うことで、それはカバーできるものとしたが、複雑な架構の場合にも、その方法で部材・せん断接合部の先行破壊等が適切に考慮されるかについて知見を蓄積する必要がある。

3) 現行耐震基準の検討方法との連続性

現行ルート1の許容水平耐力は主に静的増分解析パラスタ結果に基づいて設定されている。また、現行ルート3では静的増分解析Pushoverが前提となっている。一方、本事業では動的解析(倒壊応答解析・動的Pushover)に基づいて検討している。架構・部材・接合部の応力変形について両者の整合性・連続性、あるいは差異とその理由を確認しておく必要がある。

4) 中層建築物

実用的な中層建築物とするためには、CLT壁パネルは5層5プライ(150mm厚)以上とし、接合部は鋼板ビス打ちに代えて鋼板挿入ドリフトピン等とする必要がある。1)で述べたように、3層3プライに限っても、垂壁・腰壁・壁接合部のモーメント抵抗性能は未解明な部分が多いことが明らかとなっ

たため、本事業では中層建築物を主要な検討対象から除外した。しかし、階数が多いほど倒壊限界に対する余裕度が大きくなる傾向が確認されており、中層建築物についても倒壊限界の把握と耐震基準緩和について検討を継続する必然性は高い。

5) 実架構の倒壊限界の確認(実大振動台実験)

2層以下のモデル試験体の実験および部材・接合部の要素実験、それらを踏まえた解析的検討を踏まえて倒壊限界を検討しても、その確実性に対する不安を完全に払拭することはできない。確実性と大多数の理解を得るためには実大振動台実験による検証が望まれる。

接着重ね材JAS規格改定に関する調整と追加検証

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本BP材協会

〒105-0004 東京都港区港区新橋6丁目3番4号

事業目的

「接着重ね材の日本農林規格」は農林水産省告示として制定されているが、まだ工場認証の審査及びその実施、建築基準法告示化の検討が進んでいないのが実状である。

昨年度までの事業にて接着重ね材のJAS規格の問題点が整理されたことで、製品品質に関する事項の規格改定への目途が立った。今年度は、規格改定への調整に加え、検証が不足している製品検査でNGが生じる製材ラミナの曲がり等諸条件を整理し、製材検査から製品試験まで行うことで、これらの因果関係を検証し安定した品質の製品供給を目指す。

実施した項目

① 接着重ね材の日本農林規格改正のための追加検証

昨年度の事業で解決できなかった部分や、強度性能、品質管理の考え方について再度整理を行い、既往の試験の分析等を実施した。

② 接着重ね材の日本農林規格改正案の作成

「① 追加検証」の結果を踏まえ、JAS規格改正案の作成を行った。

③ 接着重ね材の接着条件に関する追加検証

接着不良の生じる原因となる可能性のある製材ラミナの管理条件として、「曲がり」や「ねじれ」の条件とその接着性能の確認、最終的な製品の性能や接着状態について検証試験を実施した。

実施体制

■ R5年接着重ね材 JAS 検討委員会

委員長 大橋 好光 (東京都大学 名誉教授)

委員 小野 泰 (ものづくり大学 技能工芸学部建設学科 教授)

委員 中島 史郎 (宇都宮大学 地域デザイン科学部建築都市デザイン学科 教授)

委員 板垣 悟 (公益社団法人日本合板検査会 認証部長)

委員 小池 直樹 (長野県林業総合センター 研究員)

委員 片嶺 隆 (株式会社工芸社・ハヤタ 専務取締役)

委員 田上 誠 (株式会社織本構造設計 グループ長補佐)

委員 中村 勝博 (株式会社 JWBP 代表取締役)

委員 杉本 健一 (国立研究開発法人 森林総合研究所 構造利用研究領域 領域長)

委員 加藤 英雄 (国立研究開発法人 森林総合研究所 構造利用研究領域 材料接合研究室 主任研究員)

委員 宮武 敦 (国立研究開発法人 森林総合研究所 研究専門員)

委員 槌本 敬大 (国立研究開発法人 建築研究所 材料研究グループ グループ長)

委員 荒木 康弘 (国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官)

■アドバイザー

松本 寿弘（信州木材認証製品センター 事務局長）

吉田 孝久（信州木材認証製品センター）

■オブザーバー

谷口晋二郎（アルファ工業株式会社 マネージャー）

芳賀 大成（アルファ工業株式会社）

堀川恵巳子（堀川 建築・造形 計画）

独立行政法人 農林水産消費安全技術センター

独立行政法人 農林水産消費安全技術センター 神戸センター

■官公庁

林野庁、農林水産省、国土交通省

■事務局

一般社団法人日本BP材協会 事務局

以上の委員構成で検討委員会を、また検討WGを別途設け事業を実施した。

実施した 内容

① 接着重ね材の日本農林規格改正のための追加検証

昨年度からの継続審議内容として、下記項目について再度検討を行うことで改正内容を再検証した。

・製材ラミナの強度性能

製材ラミナの強度と区分について再度確認したうえで、スギ・ヒノキ・カラマツの3樹種のヤング係数及び各種強度を新たに設定し、運用時の品質管理方法も含めた条件を整理することで、製品の安全性を確保できるよう検討した。

・製材ラミナの材面の品質の再確認

製材ラミナの性能保証のために、材面の品質とヤング係数・強度の管理を行うこととして整理したが、集成材ラミナの各種材面品質との比較検証を実施した。また、③にて試験・検証を実施した曲がりやねじれ等、接着に影響が出ない条件についても検証を行った。

・製品構成と強度性能

既往の製品の強度性能の設定と理論式の妥当性確認のために検討を行った。

・製材ラミナ、製品の品質管理手法の検証

接着試験の頻度、製材ラミナの性能保証のための試験及び製品の性能確保のための試験について、改めて整理した。

② 接着重ね材の日本農林規格改正案の作成

上記結果を踏まえ、日本農林規格の規格改正案を作成し、改正内容と方針について取りまとめた。

③ 接着重ね材の接着条件に関する追加検証

接着に直接影響する材面品質の諸条件を整理し、集成材ラミナと比較して制御が厳しくなると考えられる「曲がり」及び「ねじれ」の状態について図1のようなフローにて試験・検証することとした。曲がり・ねじれの規格上の制限を表1に示した。規定より大きい曲がり・ねじれ及びそれがないものと比較検証を行うこととし、曲がりはスギ材、ねじれはカラマツ材にて図2に示した抽出方法にて製材ラミナを抽出し、接着重ね材の120角2段重ねを製造する過程にて測定を行った。測定手法は図3に示した感圧紙、ひずみゲージ及びロードセルのキャリブレーションを行うことで、初期からの圧力変化及び残留ひずみの状態について測定することとし、測定器は図4のように配置した。また、製造した製品の接着性能と強度性能の確認に加え、マッチングした製材の試験も行うことで製品強度への影響についても追加で検証することとして図5の試験を実施した。

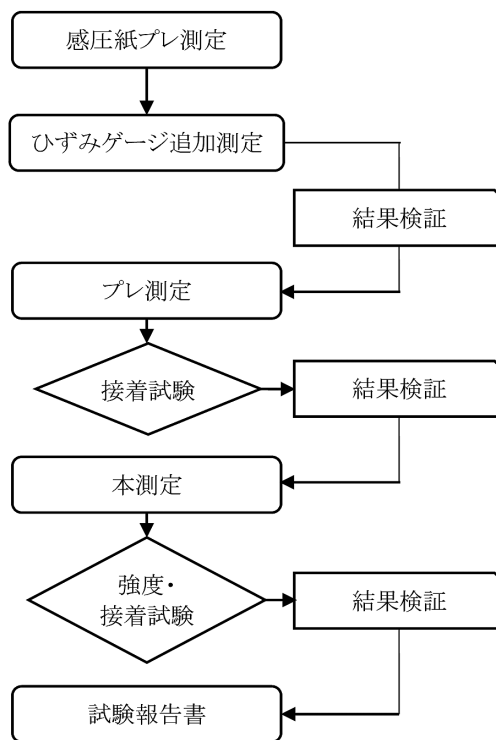


図 1. 試験フロー

表 1. 曲がり・ねじれの制限 (規格及び試験設定値)

■曲がり

	JAS 接着重ね材 (改正案)	JAS 接着重ね材 (現行)	JAS 機械等級区分製材
製材(ラミナ)	0.2%以下	0.2%以下	0.5%以下
製品	0.1%以下	0.2%以下	—

■ねじれ

	JAS 接着重ね材基準 (改正案)	JAS 集成材	JAS 機械等級区分製材
製材(ラミナ)	利用上支障ないこと	極めて軽微であること	利用上支障ないこと
製品	極めて軽微であること	極めて軽微であること	—

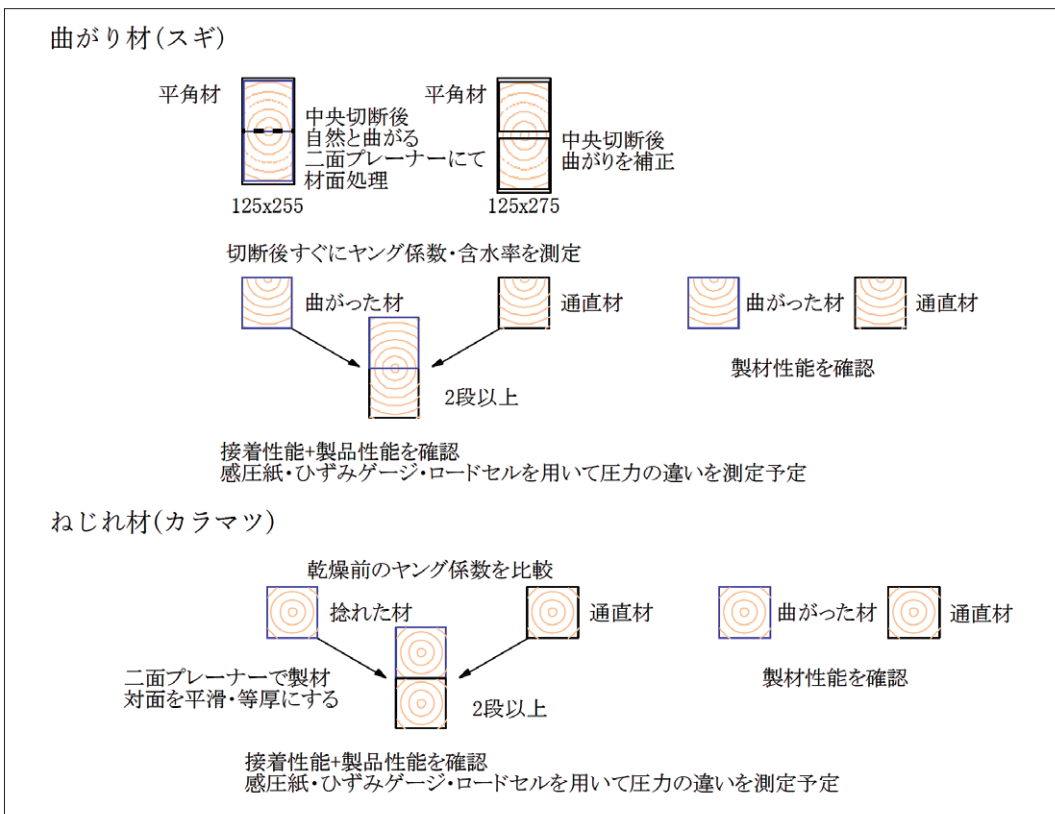


図2. 本試験体の抽出方法

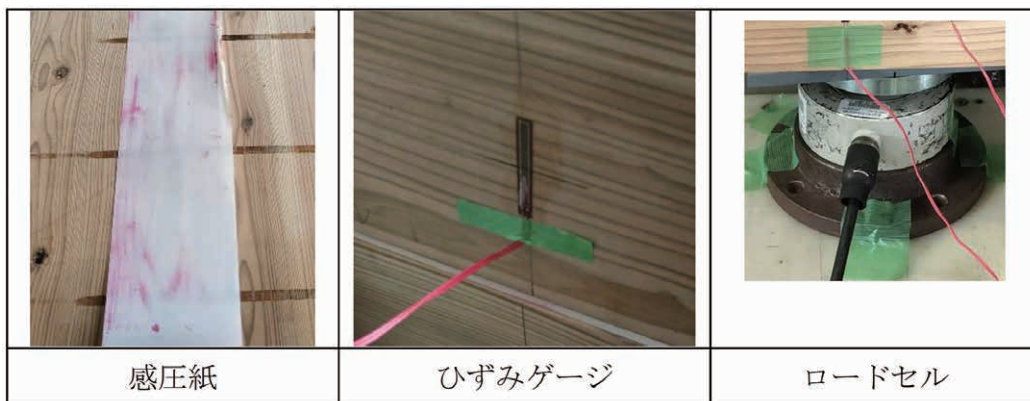


図3. 測定手法

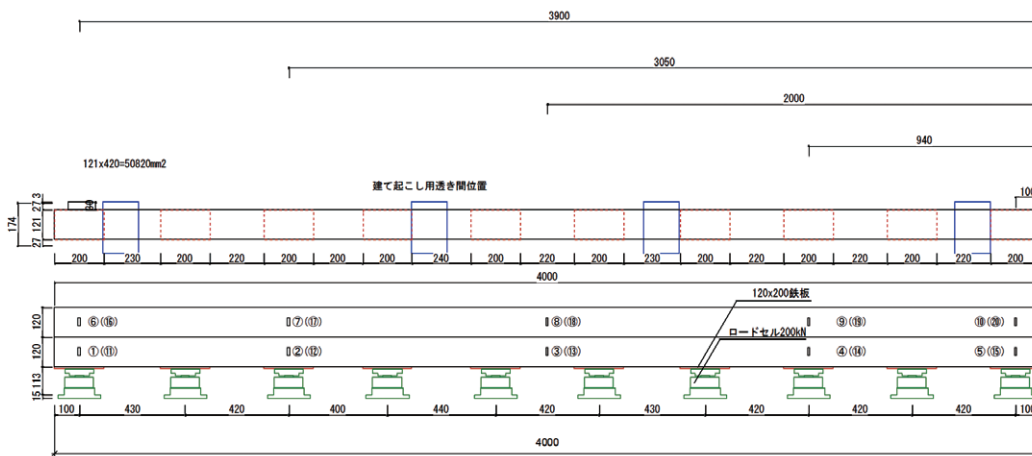


図4. 測定方法

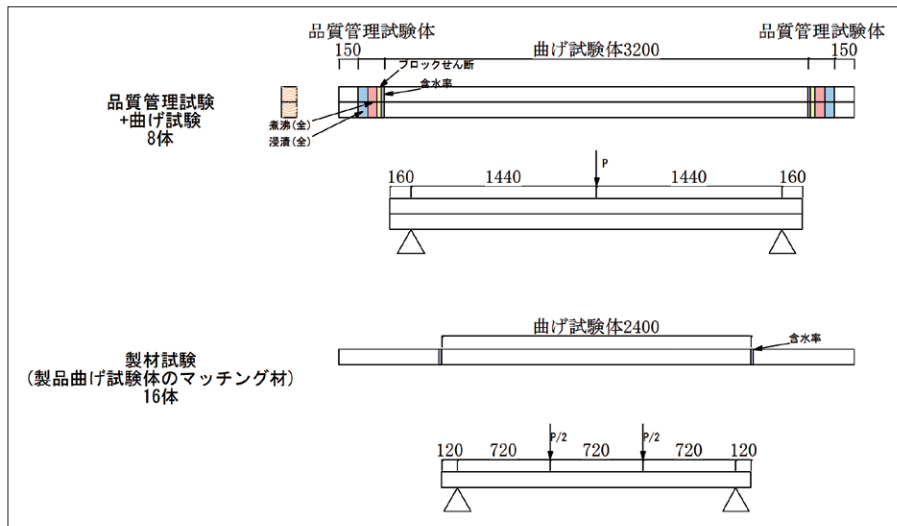


図5. 本試験抽出方法と実施内容

実施した
結果

① 接着重ね材の日本農林規格改正に関する追加検討

各種検討結果のうち、一部を示す。

・製材ラミナの性能評価

現行の接着重ね材のJASでは、製材ラミナはヤング係数と材面品質で性能を定義しており、強度は理論式で製品性能を算出する際のみ利用していた。しかし、製材ラミナの強度は、機械等級区分製材のヤング係数の半分の区分に対し、曲げ強度の下限値として青破線、引張強度は $0.6 \times$ 曲げ強度として緑破線として設定していた。新規に設定した製材ラミナの強度性能であるオレンジ線は、当初想定していた青や緑の破線とほぼ変化がない結果となっているが、一部下がる樹種もみられた。

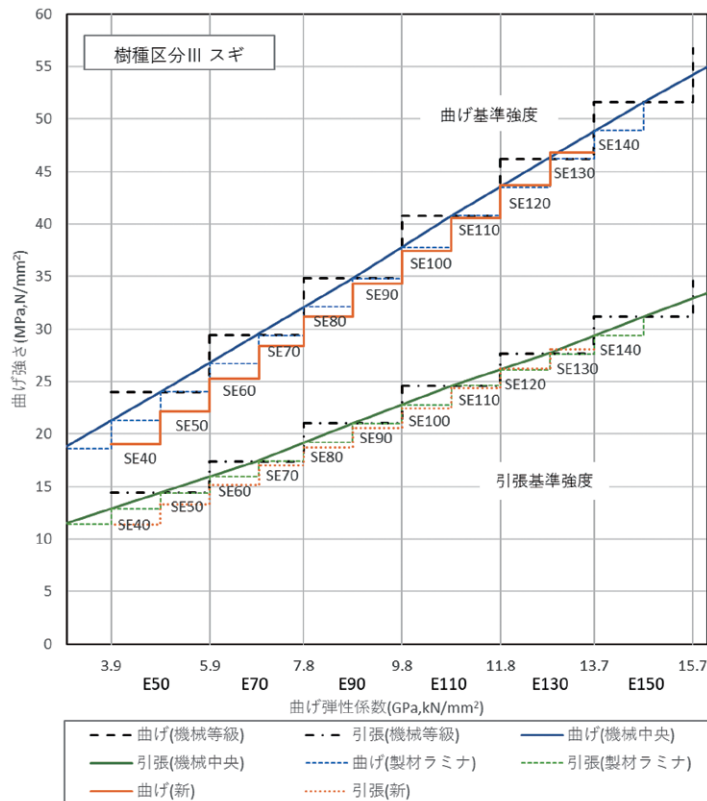


図6. 製材ラミナの強度性能の位置づけ(スギ)

・製品構成と強度性能

製品構成と強度性能の設定を行うにあたり、理論値の妥当性の検証として、既往の試験の再分析を実施した。製品及び製品を構成する製材ラミナの強度性能のデータが少なかったことから、シミュレーションにより仮想製材ラミナを作成し、仮想ラミナから構成した仮定の接着重ね材のヤング係数・曲げ強度性能の分布を実際の試験結果と比較して検証を行った。製材ラミナ、製品共におおむね評価できる結果であったが、製品の試験結果が仮想製品の理論値と比べて高い強度を示しており、これらの原因究明を行ったうえで製品構成とその強度性能を設定することとした。

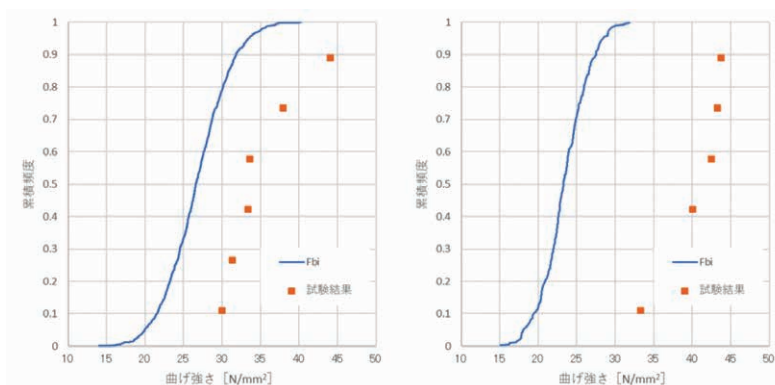


図7 製品強度の試験結果と仮想ラミナから求めた理論値の比較

② 接着重ね材の日本農林規格改正案の作成

改正案を作成した。改正する項目の一部(案)を抜粋して示す。製材ラミナの強度性能及び管理方法については、以下の方法にて進めたいと考えている。

4.8.3 製材ラミナの品質の基準

4.8.3.1 強度性能

- a) 等級区分された製材ラミナの全ての曲げヤング係数が表6の左欄に掲げる等級に応じ、それぞれ同表の右欄に掲げる数値以上でなければならない。
- b) a)に加えて表B.3により抜き取られた試料ラミナが次の1), 2)及び3)又は1), 4)及び5)の要件に適合しなければならない。
 - 1) 製材ラミナ曲げ試験の結果、その値が表6のそれぞれの機械区分による等級に対応する曲げヤング係数の欄に掲げる数値以上であること。
 - 2) 製材ラミナ曲げ試験の結果、その平均値が表6のそれぞれの機械区分による等級に対応する曲げ強さの平均値の欄に掲げる数値以上であること。
 - 3) 製材ラミナ曲げ試験の結果、その95%以上の曲げ強さの下限値が表6のそれぞれの機械区分による等級に対応する曲げ強さの下限値の欄に掲げる数値以上であること。
 - 4) 引張り試験の結果、その平均値が表6のそれぞれの機械区分による等級に対応する引張り強さの平均値の欄に掲げる数値に表7の試験片の幅方向の辺長の区分に対応する係数の欄に掲げる数値を乗じて得た数値以上であること。
 - 5) 引張り試験の結果、その95%以上の引張り強さの下限値が表6のそれぞれの機械区分による等級に対応する引張り強さの下限値の欄に掲げる数値に表7の試験片の幅方向の辺長の区分に対応する係数の欄に掲げる数値を乗じて得た数値以上であること。

表6—等級区分機による区分製材ラミナの強度性能の基準

機械区分による等級	曲げヤング係数 GPa 又は 10 ³ N/mm ²		曲げ強さ MPa 又はN/mm ²						引張り強さ MPa 又はN/mm ²					
			スギ		ヒノキ		カラマツ		スギ		ヒノキ		カラマツ	
	下限	平均	下限	平均	下限	平均	下限	平均	下限	平均	下限	平均	下限	平均
SE40	4.0	4.5	19.0	30.2	-	-	-	-	11.4	18.1	-	-	-	-
SE50	5.0	5.5	22.1	33.3	-	-	-	-	13.3	20.0	-	-	-	-
SE60	6.0	6.5	25.2	36.5	18.3	31.9	8.1	23.7	15.1	21.9	11.0	19.1	4.9	14.2
SE70	7.0	7.5	28.4	39.6	22.2	35.8	12.3	27.8	17.0	23.8	13.3	21.5	7.4	16.7
SE80	8.0	8.5	31.2	42.4	25.7	39.3	16.0	31.5	18.7	25.4	15.4	23.6	9.6	18.9
SE90	9.0	9.5	34.3	45.5	29.6	43.2	20.1	35.6	20.6	27.3	17.8	25.9	12.1	21.4
SE100	10.0	10.5	37.4	48.7	33.5	47.1	24.2	39.8	22.5	29.2	20.1	28.3	14.5	23.9
SE110	11.0	11.5	40.6	51.8	37.4	51.0	28.4	43.9	24.3	31.1	22.5	30.6	17.0	26.3
SE120	12.0	12.5	43.7	54.9	41.3	55.0	32.5	48.0	26.2	32.9	24.8	33.0	19.5	28.8
SE130	13.0	13.5	46.8	58.0	45.2	58.9	36.6	52.1	28.1	34.8	27.1	35.3	22.0	31.3

図8. 改定案抜粋 (製材ラミナの強度性能)

③ 接着重ね材の品質管理試験とその検証

製材ラミナの曲がり(12mm/4m=0.3%)の測定結果を示す。初期と残留ひずみから、接着面に多くのひずみが生じているものと考えられるが、プレスによる材中央部の側面へのはらみ出しのひずみも影響していることから直接の変換は難しい結果となった。測定した製品から抽出した試験体で行った接着試験の結果では剥離は発生していないことが確認できたことから、圧縮によって接着面が当たらなかったねじれの状態を除いて十分接着性能が担保されることが分かった。JAS規格内の制限の修正は行わず、製造基準等での注意喚起とすることとした。

表2. ロードセルの測定結果(曲がり材)

接着時	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
最大荷重(kN)	56.93	56.83	58.37	60.38	59.76	56.91	57.51	58.39	58.31	55.66
最大応力(N/mm ²)	1.49	1.11	1.18	1.19	1.15	1.11	1.12	1.15	1.15	1.48

表3. ひずみゲージの測定結果(曲がり材)

接着時	1	2	3	4	5
最大応力時ひずみ上(×10 ⁻⁶)	6437.08	7728	13096.3	8702.72	8267.46
最大応力時ひずみ応力(N/mm ²)	1.87	2.24	3.80	2.52	2.40
最大応力時ひずみ下(×10 ⁻⁶)	2229	6612.74	3315.02	3944.88	6792.32
最大応力時ひずみ応力(N/mm ²)	0.65	1.92	0.96	1.14	1.97
除荷時ひずみ上(×10 ⁻⁶)	832.24	1549.22	2780.54	718.78	1190.6
除荷時ひずみ応力(N/mm ²)	0.24	0.45	0.81	0.21	0.35
除荷時ひずみ下(×10 ⁻⁶)	894.28	2307.64	1528.26	1057.9	2067.5
除荷時ひずみ応力(N/mm ²)	0.26	0.67	0.44	0.31	0.60

※ET=290N/mm²とした場合

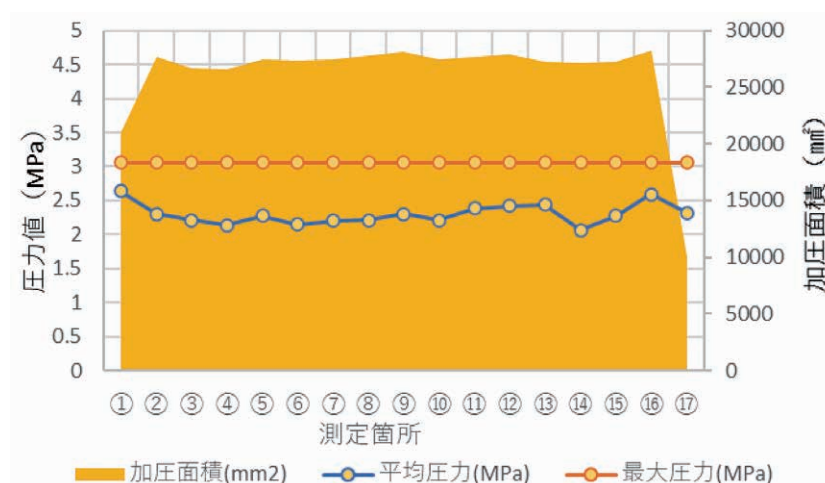


図9. 感圧紙による測定結果(曲がり材)

今後の
課題・展開
等

〔JAS実運用に向けた取り組み〕

① JAS規格改正に向けた取り組み

昨年度、本年度実施した結果を踏まえ JAS 規格改正に向けて製材強度の検証及び製品性能の算定、品質管理手法の評価のための検証を進める。合せて各種規準やマニュアルの更新を行ったうえで、適切な時期に JAS 規格改正のための手続き等を実施したい。

② JAS工場認証の取得の手続きの検証

製品製造拠点を追加することが急務となっている。JAS工場の第1号を目指し、認証に関して製造工場の補助を行う。

〔建築基準法告示改正に向けた取り組み〕

③ 接着重ね材の建築基準法告示改正に関する追加検証

接着重ね材の建築基準法告示改正に向けて、必要に応じデータの作成や取り纏め、追加試験の実施等を行う。

〔JAS告示改正に向けた取り組み〕

④ 二次接着製品の検証

中大規模木造で求められる2方向ラーメン構造や燃え代を考慮した設計を行うにあたり、接着重ね材も二次接着の検証を進めることで製品の認知度向上や普及促進が見込まれる。

CLTパネル工法用接合金物の開発、合理化 検討事業

● 実施団体 ●

公益財団法人 日本住宅・木材技術センター

〒136-0075 東京都江東区新砂3-4-2

一般社団法人日本CLT協会

〒103-0004 東京都中央区東日本橋2-15-5VORT 東日本橋2F

事業 目的

CLTパネル工法による低層小規模建築物から中高層建築物の効率的な生産体制と普及促進を図るため、CLTの層構成や建築物の様々な規模、架構形式に対応した効率的な接合形式について実験と解析を通して検証し、既存の接合金物の合理化に加え、新たな接合方法の開発検討を行う。

また、CLTパネル工法に関する各種の技術開発の成果を「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」等に反映していくため、技術資料の作成を行う。

実施した 項目

本事業では、学識経験者、設計実務者等により構成される下記の委員会を設置した。

接合金物委員会……………下記の1～3について検討、実施

技術資料作成委員会……………下記の4について検討、実施

1. CLTパネル工法の架構形式、接合部位による合理的な接合形式、耐力条件の整理
2. 3階建て以下の建築物向けの接合金物のプロトタイプの開発
3. 接合金物のプロトタイプ素案の検証、規格案のまとめ
4. 技術資料の作成

実施 体制

■CLTパネル工法用接合金物の開発、合理化検討 接合金物委員会

委員長	河合 直人	工学院大学 建築学部建築学科 教授
委員	五十田 博	京都大学 生存圏研究所生活圏木質構造科学分野 教授
委員	松田 昌洋	信州大学 工学部 建築学科 助教
委員	中川 貴文	京都大学 生存圏研究所生活圏木質構造科学分野 准教授
委員	山崎 義弘	東京工業大学 科学技術創成研究院多元レジリエンス研究センター 准教授
委員	槌本 敬大	(国研)建築研究所 材料研究グループ 上席研究員
委員	中島 昌一	(国研)建築研究所 構造研究グループ 主任研究員
委員	荒木 康弘	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 基準認証システム研究室 主任研究官
委員	秋山 信彦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室 主任研究官
委員	貞広 修	(一社)日本建築構造技術者協会 木質系部会主査
委員	竹内 章博	(一社)日本建設業連合会 標準化・規格化サブWT委員
委員	金井 邦夫	木造住宅接合金物協会 会長
委員	向井 昭義	(公財)日本住宅・木材技術センター 理事兼試験研究所長
委員	飯島 敏夫	(公財)日本住宅・木材技術センター 参与兼認証部長
委員	鈴木 圭	木構造振興(株) 主任研究員

■ CLTパネル工法用接合金物の開発、合理化検討 接合金物WG

主査	五十田 博	京都大学 生存圏研究所生活圏木質構造科学分野	教授
委員	山崎 義弘	東京工業大学 科学技術創成研究院多元レジリエンス研究センター	准教授
委員	中島 昌一	(国研)建築研究所 構造研究グループ	主任研究員
委員	秋山 信彦	国土交通省 国土技術政策総合研究所 建築研究部 評価システム研究室	主任研究官
委員	潮 康文	木造住宅接合金物協会	
委員	向井 昭義	(公財)日本住宅・木材技術センター	理事兼試験研究所長
委員	飯島 敏夫	(公財)日本住宅・木材技術センター	参与兼認証部長
委員	鈴木 圭	木構造振興(株)	主任研究員

■ 構造設計小委員会

主査	河合 直人	工学院大学 建築学部建築学科	教授
委員	五十田 博	京大大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野	教授
委員	中川 貴文	京大大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野	准教授
委員	三宅 辰哉	(株)日本システム設計	代表取締役
委員	槌本 敬大	(国研)建築研究所 材料研究グループ	グループ長
委員	荒木 康弘	国土技術政策総合研究所 建築研究部	主任研究官
委員	貞広 修	(一社)日本建築構造技術者協会	
委員	鈴木 圭	木構造振興(株)	主任研究員

■ 材料・耐久性設計小委員会

主査	中島 史郎	宇都宮大学 地域デザイン科学部 建築都市デザイン学科	教授
委員	中川 貴文	京大大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野	准教授
委員	槌本 敬大	(国研)建築研究所 材料研究グループ	グループ長
委員	中島 昌一	(国研)建築研究所 構造研究グループ	主任研究員
委員	石川 敦子	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 木材改質研究領域	領域長
委員	平松 靖	(国研)森林研究・整備機構 森林総合研究所 複合材料研究領域	領域長

■ 施工マニュアル小委員会

主査	松留慎一郎	職業能力開発総合大学校	名誉教授
委員	志手 一哉	芝浦工業大学 建築学部 建築学科	教授
委員	武藤 正樹	(国研)建築研究所 建築生産研究グループ	上席研究員

実施した 内容

1. CLTパネル工法の架構形式、接合部位による合理的な接合形式、耐力条件の整理

CLTパネル工法による2階建て延べ面積300㎡未満の低層小規模建築物から、6階建て程度の中層建築物を対象とした、架構形式、接合部位における接合形式、耐力条件等に関する既往の設計図書、実験データ等の文献調査を行い、それぞれのケースにおける合理的な接合形式（長ビス接合、ドリフトピン接合等）、それぞれの耐力条件等について整理した。

2. 3階建て以下の建築物向けの接合金物のプロトタイプの開発

CLTパネル工法による2階建て延べ面積300㎡未満の低層小規模建築物及び3階建て以下の建築物を対象とする架構形式、用いるCLTパネルの層構成、耐力条件等の要求性能、みえがかり等の意匠性、施工性等の条件を整理し、要求性能を満たし、施工性が高く低コストな接合金物のプロトタイプ素案について開発した。

3. 接合金物のプロトタイプ素案の検証、規格案のまとめ

2のプロトタイプ素案について、構造試験等による性能検証、施工性の確認等を行い、接合金物の規格案をとりまとめた。

4. 技術資料の作成

CLTパネル工法に関する各種の技術開発の成果を「CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」等に反映していくため、学識者、設計実務者等からなる技術資料作成委員会を設け、普及促進のための普及技術資料を作成した。

1. CLTパネル工法の架構形式、接合部位による合理的な接合形式、耐力条件の整理

2階建て延べ面積300㎡未満の低層小規模建築物を対象として、在来軸組構法のN値計算法を参考に、水平力が加わった時のCLTパネル工法の壁パネルの端部に必要とされるせん断接合部の目標性能を算出した。

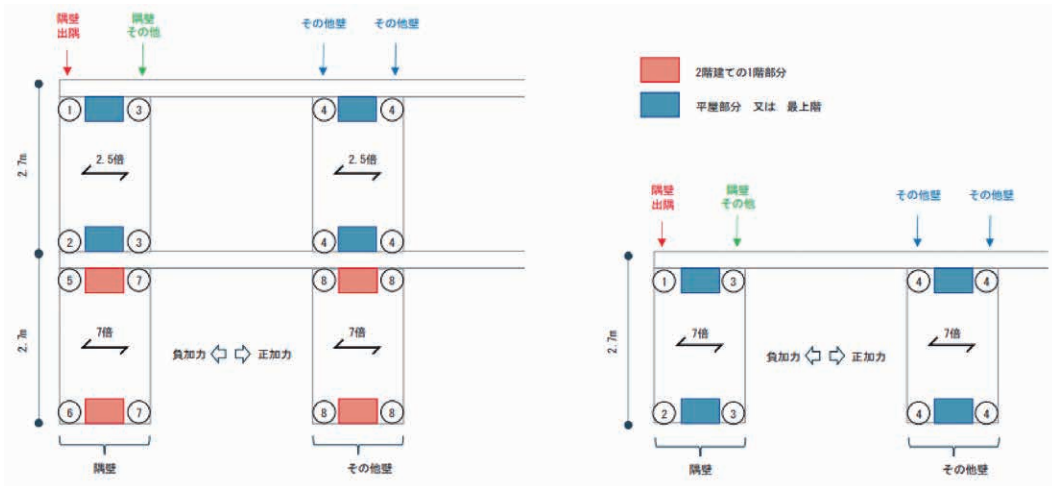


図 1 せん断接合部の凡例

表 1 壁単位長さあたりせん断接合部の必要終局耐力まとめ

壁倍率上限	2階建ての1階部分	平屋建て又は最上階
7.0倍	20~30kN/m	15~25kN/m

4階建てから6階建て程度の中層建築物を対象として、ルート2以上の構造計算ルートで使用できる金物の耐力条件等を整理した。また、建物規模、架構形式、接合部位に応じた必要耐力を検討した。

表2 構造計算ルートに応じて要求される引張接合部仕様

建物規模	構造計算ルート	接合部仕様		
		耐力壁 - 基礎	上下階の耐力壁相互 耐力壁 - 床版	耐力壁 - 小屋組 耐力壁 - 屋根版
2階建て 延床面積 300㎡ 程度未満	仕様規定 (検討中)	上限壁倍率 : 7倍 N値計算による必要耐力を満足させる。 ※R4年度事業から継続検討中		
3階建て以下	ルート1	A. Bolt M16 ABR490 (JIS B 1220) 有効長さ 40cm 以上 終局引張耐力 86kN 以上	A. Bolt M20 ABR490 (JIS B 1220) 有効長さ 20cm 以上 終局引張耐力 135kN 以上	終局引張耐 力 25kN 以上
6階建て以下	ルート2	仕様 Rf	終局変形 4cm 以上	終局変形 2cm 以上
		最大 Rf	伸び率 10%以上	伸び率 10%以上
60m 以下	ルート3	仕様 Ds	終局変形 4cm 以上	終局変形 2cm 以上
		最大 Ds	—	—
	限界耐力計算	—	—	—

2. 3階建て以下の建築物向けの接合金物のプロトタイプの開発

2階建て以下の仕様規定用の5種類の金物、3階建て以下のルート1用の2種類の金物を開発した。

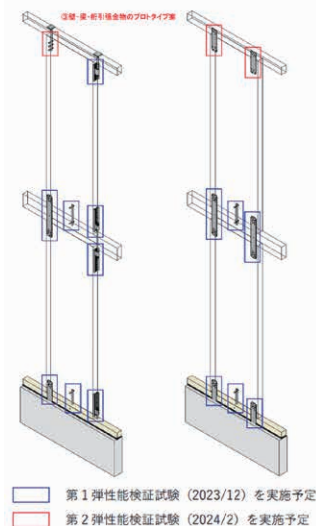


図3 イメージ図

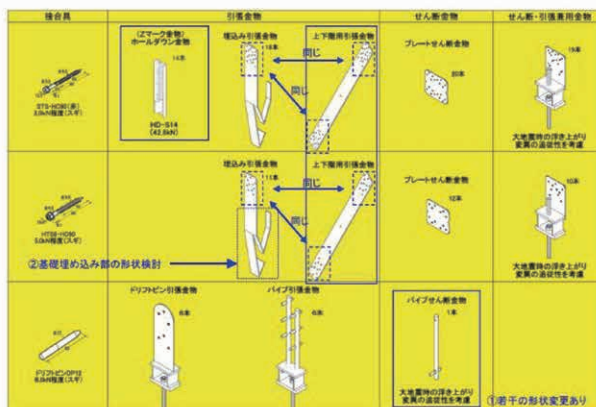


図4 住宅用CLT金物の開発案

○2階建て延べ床面積 300㎡未満の低層小規模建築物用 (仕様規定)

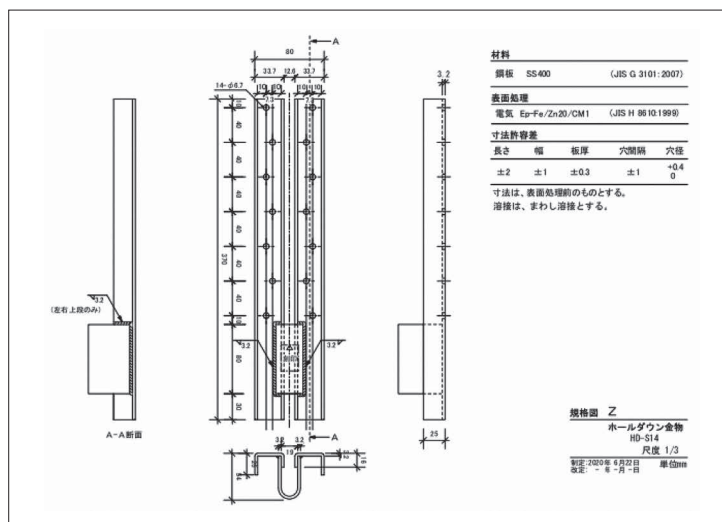


図5 ホールダウン金物HD-S14姿図

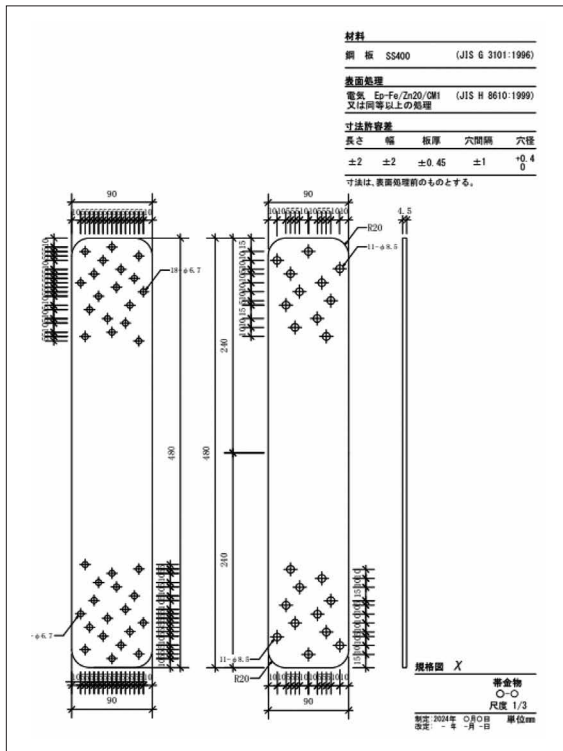


図6 上下階接合用帯金物姿図

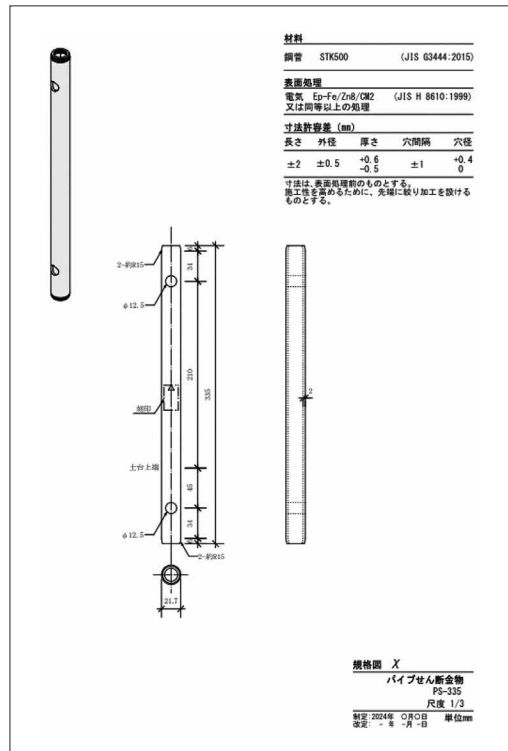


図7 パイプせん断金物姿図

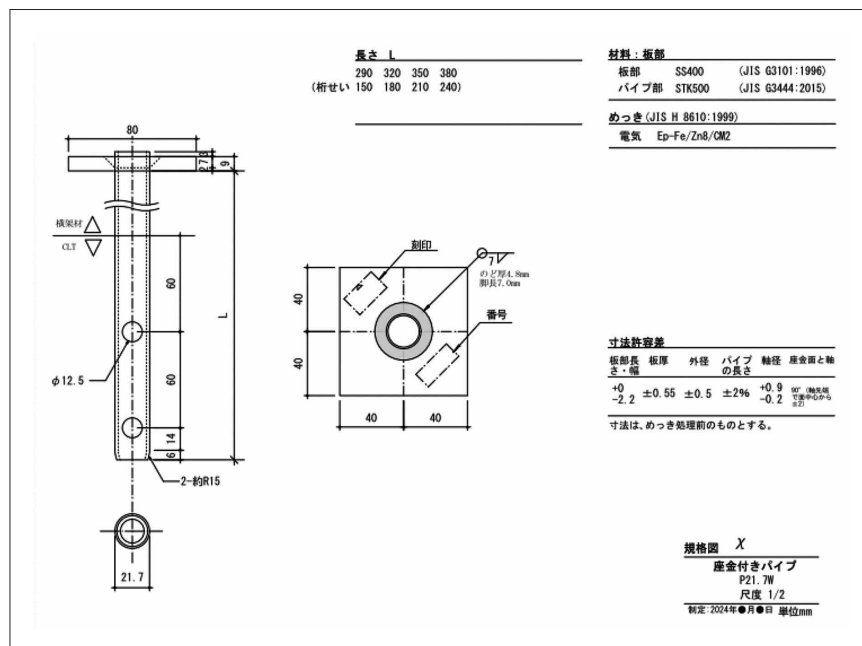


図8 座付きほぞパイプ姿図

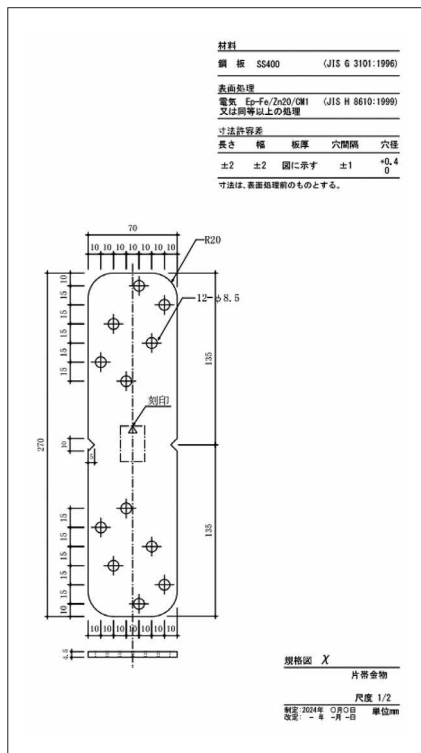


図9 片帯金物姿図

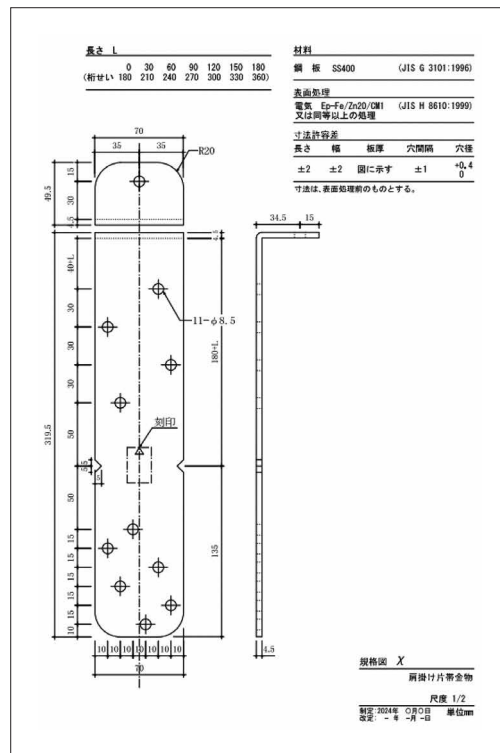


図10 肩掛け片帯金物姿図

○3階建て以下のルート1用の金物

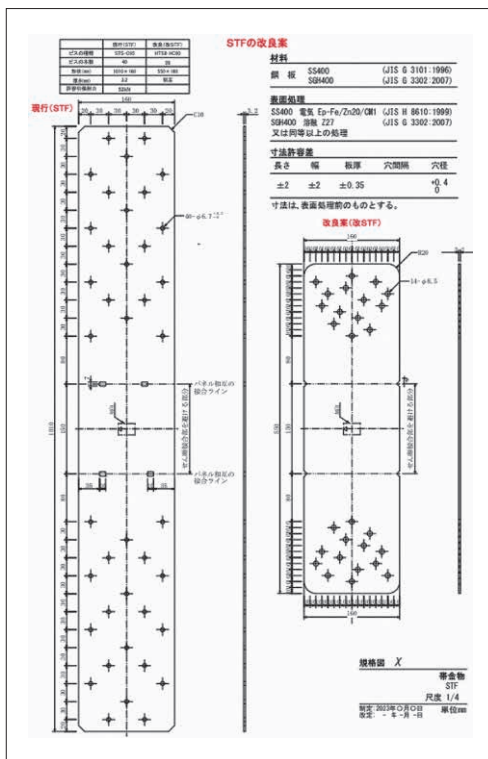


図11 Xマーク金物 STF改姿図

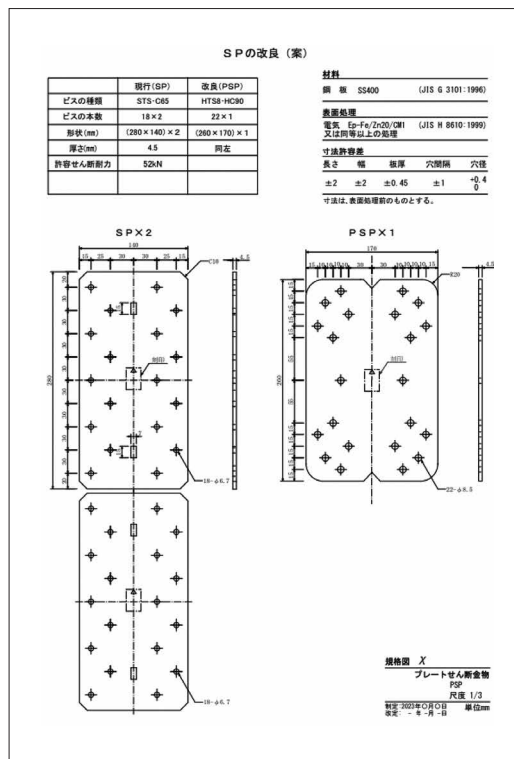


図12 Xマーク金物 SP改姿図

3. 接合金物のプロトタイプ素案の検証、規格案のまとめ

○2階建て延べ床面積300㎡未満の低層小規模建築物用（仕様規定）

今年度の第一弾性能試験として、実施した3種類の概要及び試験結果を示す。

No.	1	2	3
試験体名称	ホールダウン金物	帯金物	パイプせん断金物
使用金物	HD-S14	帯金物	PS-335
種別	仕様規定(2階建て用)	仕様規定(2階建て用)	仕様規定(2階建て用)
部位	壁-基礎、壁-壁、壁-梁・桁	壁-壁	壁-土台・梁・桁
金物図			
試験体イメージ			
加力方法	1方向繰り返し	1方向繰り返し	正負交替載荷
試験体数	1	2	1
予備	6	6(Φ8.0)+2(Φ6.5)	6
計	8	12	8

図13 第1弾性能検証試験一覧

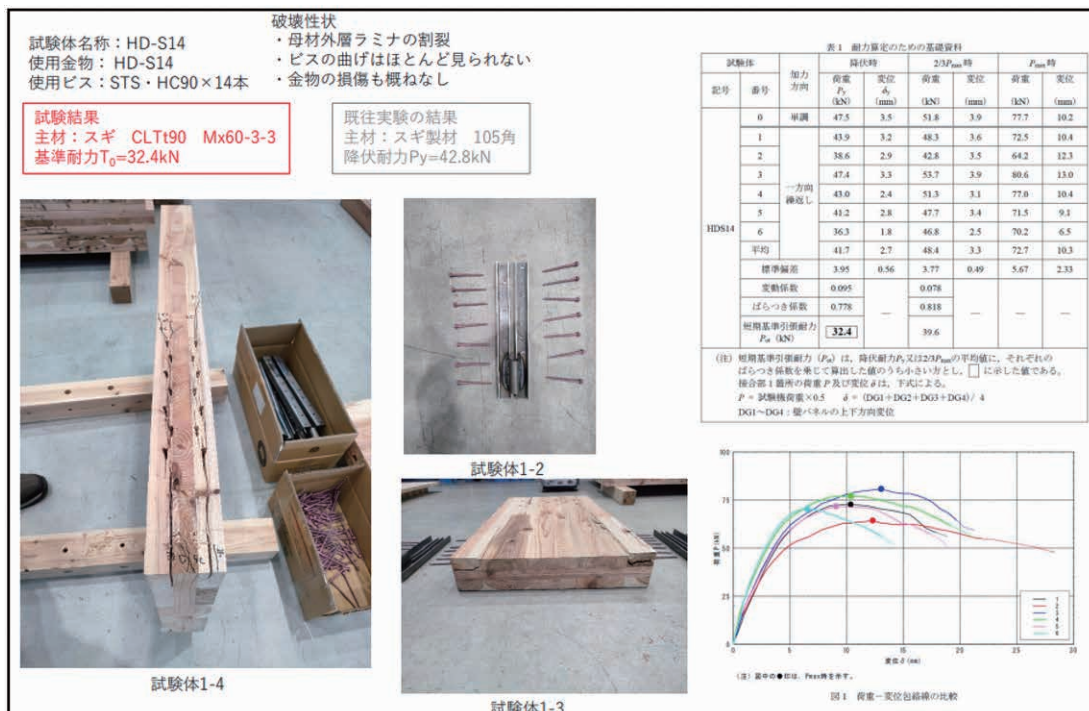


図14 ホールダウン金物HD-S14試験結果（速報）

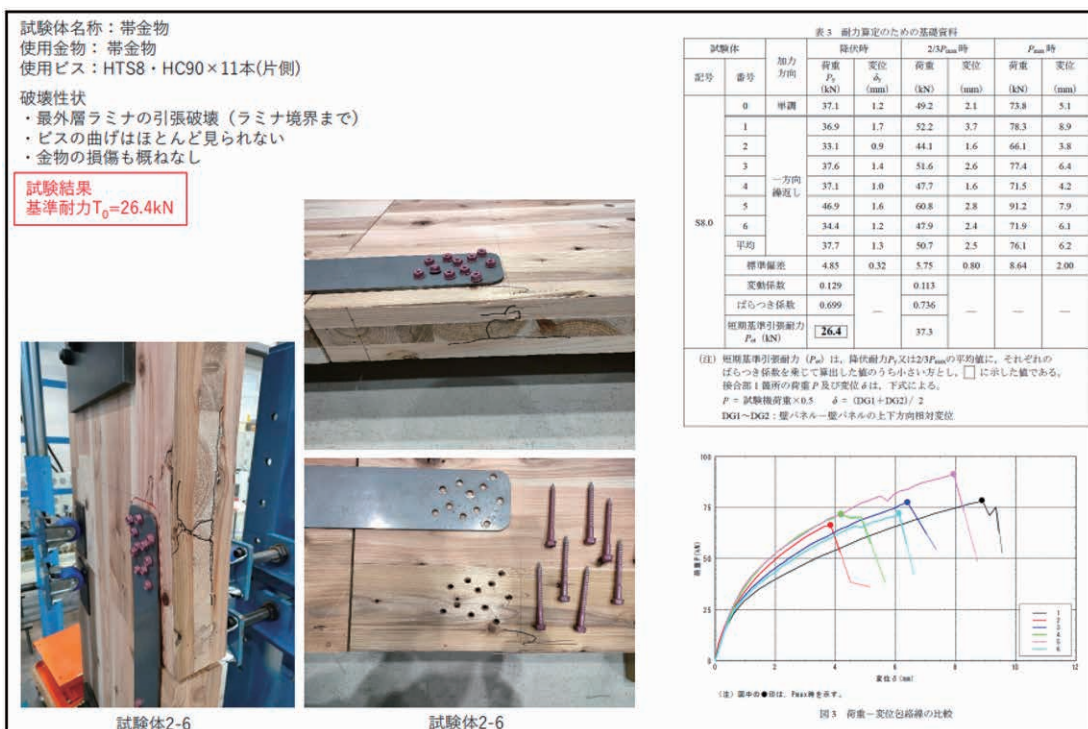


図15 上下階接合用帯金物試験結果 (速報)

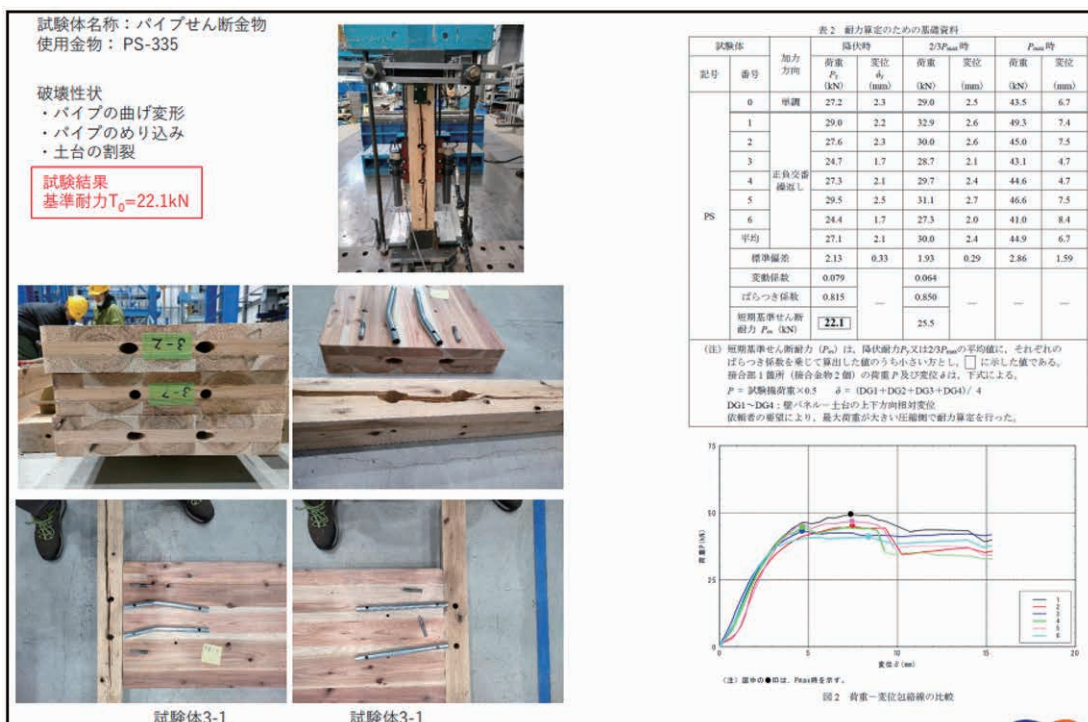


図16 パイプせん断金物試験結果 (速報)

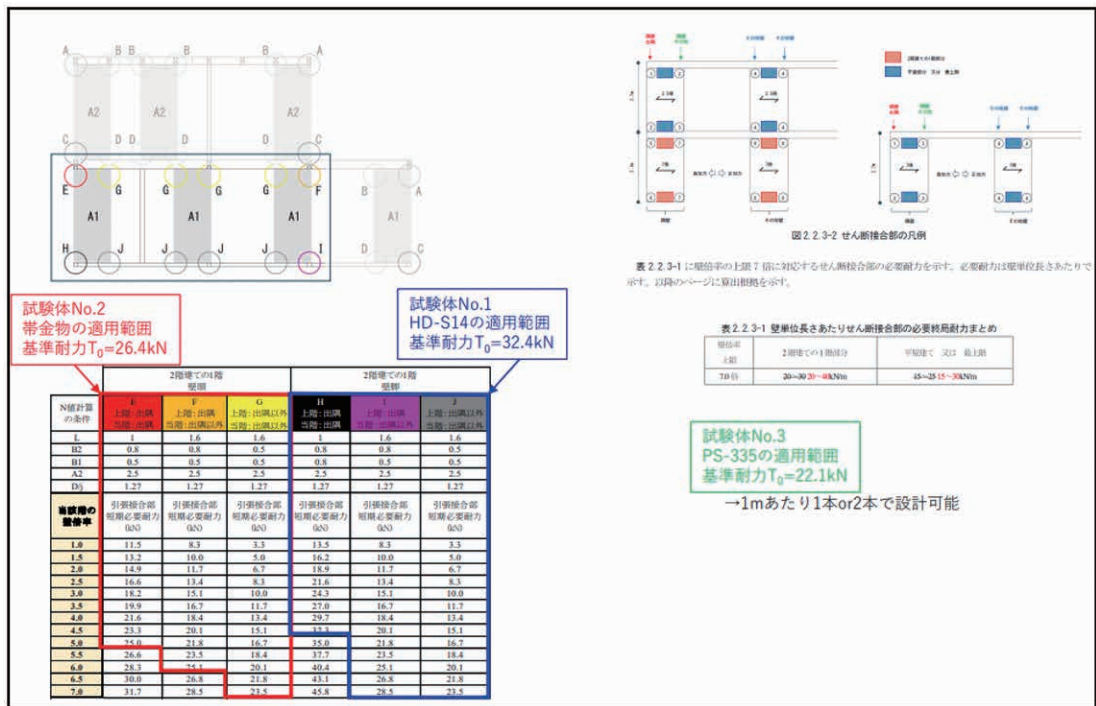


図17 第1弾検証試験金物の使用範囲

第一弾性能試験で実施した3種類の金物については、一部の高耐力仕様を除き、概ね目標耐力をカバーできる性能を発揮した。いずれの試験体も鋼材の変形が小さく、木材側の破壊が支配的である。

第二弾性能試験は、令和6年1月29日～2月6日に実施予定である。

まとめ

- 延べ面積300㎡未満の低層小規模建築物向けせん断接合部について、耐力の発現確率を考慮に入れた必要性能を確認した。
- 構造計算ルート2で設計される6階建てまでの中層建築物の接合部について、告示の要求仕様を整理し、架構形式ごとに目標耐力を確認した。
- 低層小規模建築物向け接合部の素案を検討し、接合部の性能検証試験を実施した。CLTパネルの平面に用いるプレート金物はビス施工の改善を図り、径8mmの太径ビスを採用して本数の低減を図った。また、パイプを用いたせん断金物は終局時の壁パネルの浮き上がりを考慮し、必要長さ等を検証した。いずれも一部の高耐力仕様を除き、概ね目標耐力をカバーできる性能を発揮した。

今後の課題・展開等

今年度は3階建てまでの低層小規模建築物向け金物について、施工実務者アンケート結果に基づいて素案の検討と性能検証試験を実施した。ホールダウン及びプレート形式の金物で得られた接合耐力は大部分の接合箇所目標耐力を満足する一方で、最終破壊性状が母材破壊となっているため、今後ビスや鋼材の仕様を下げてさらに金物を合理化できる可能性がある。また、壁倍率7倍相当の最大性能を発揮するために一部の引張接合部ではさらなる高耐力が求められる。プレートやホールダウン以外の形式も今後開発が望まれる。

また、6階建てまでの中層建築物に向けた金物の耐力条件等を確認した。

今後は施工実務者アンケート結果も踏まえて具体的に接合形式を検討し、合理的な接合金物の開発を進める必要がある。

グラウトジョイントを用いたCLTパネル工法 引張接合部の汎用性拡大に関する検討

● 実施団体 ●

株式会社 日本システム設計

〒103-0013 東京都中央区日本橋人形町2-9-5

事業目的

CLT壁パネルは6～10層程度の中高層建築物にも適用可能な構造材料であるが、そのような架構を所定の構造要件を満足するように成立させるには、壁パネルと他部材をつなぐ接合部に相応の剛性・耐力・塑性変形能力が必要となる。申請者らはこの点に関し、CLT壁パネルを用いた鉄骨梁勝ち架構に適用することを前提として、鉄筋コンクリート造(以下「RC造」)において確立している鉄筋継手技術であるスリーブジョイントを応用した接合部(以下「既往接合部」)を開発し、実験を踏まえて構造性能、施工性を検証するとともに、品質管理基準も立案している。

しかしながら、既往接合部は7プライ・210mm厚の壁パネル、M36(ABR490)のボルトを前提としており、建築物需要のボリュームゾーンと考えられる4,5層程度の中層建築物に適用するにはやや過剰な仕様である。本事業では、本接合システムの本格的な社会実装を目指し、中層建築物に適した仕様として、150mm厚の壁パネル、M27(ABR490)以下のボルトおよびD25(SD345)以下の異形鉄筋を前提として既往接合部と同様の接合部(以下「新接合部」)開発に関する検討を行った。

実施した項目

下記の項目を実施した。

- ① 架構・接合部構成の仮定
- ② ボルト径・鉄筋径上限値の検討
- ③ オリジナルスリーブの設計
- ④ スリーブ接合の構造性能・グラウト充填性の確認
- ⑤ CLTグラウト接合の要素実験
- ⑥ 新接合部のバリエーション展開、開発対象の絞り込み
- ⑦ 新接合部の性能確認実験
- ⑧ 新接合部を用いた架構のプラン対応力の確認

実施体制

■事業主体(事業企画)

株式会社日本システム設計

■グラウトジョイント研究会(全体統括、検討・実験の計画・実施、検討・実験結果の評価)

近畿大学、日本プライススリーブ株式会社、銘建工業株式会社、株式会社エヌ・シー・エヌ、株式会社日本システム設計

■行政・協力

林野庁林政部 木材産業課

① 架構・接合部構成の仮定

架構の構成は、4,5階建ての中層建築物に対応可能であることを前提として、CLT壁パネルにS90-5-5(150mm厚)、鉄骨梁にH-300×150×6.5×9(SN400)を用いたCLTパネル工法・鉄骨梁勝ち架構とした。新接合部として、RC造の鉄筋継手に用いる既製品スリーブを用いた接合部(以下「スリーブ接合」)およびグラウトモルタルを介して直接CLT壁パネルにボルト・異形鉄筋を定着する接合部(以下「CLTグラウト接合」)の2種類とした(図1)。

スリーブ接合については、既製品スリーブにボルト・ナットを定着することを標準とし、アンカーボルト等の施工誤差吸収を目的として、スリーブ内径に対するナットのクリアランスを確保するために丸ナットを採用した。そのほか、異形鉄筋をアンカーとする場合も検討対象とした。

CLTグラウト接合については、定着性を確保するためにCLTへのグラウト部分に「こぶ」を設けることとし、数値計算によりその形状を検討した。なお、壁-鉄骨梁については、ベースプレートを有するボルト・鉄筋を高力ボルトにより梁フランジに固定することとした。

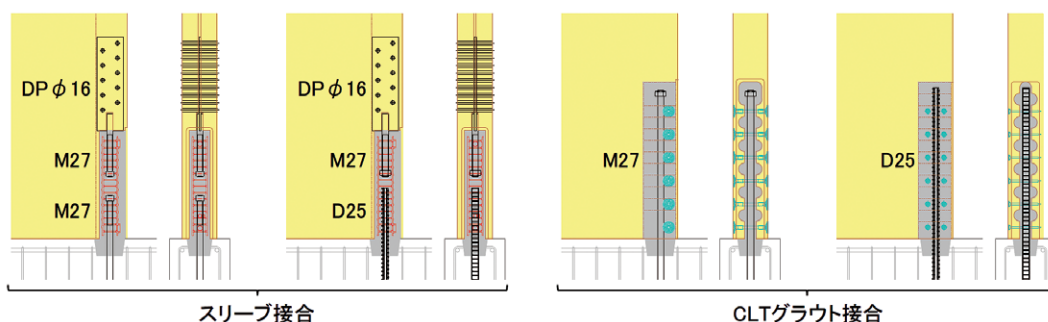


図1 新接合部の全体構成(壁-基礎接合部)

② ボルト径・鉄筋径上限値の検討

新接合部を用いたCLT壁パネル端接合面の終局曲げ耐力が、CLT設計施工マニュアルによるCLT壁パネルの終局面内曲げ耐力を上回らないことを条件として、ボルト径・鉄筋径(終局引張耐力)の上限値をM27(ABR490)およびD25(SD345)とした。

③ オリジナルスリーブの設計

既往接合部に用いたスリーブおよび既製品スリーブの材料・形状を参考としてオリジナルスリーブの材料・形状を設定し、三次元ソリッドモデルを用いた非線形FEM解析によって構造性能を確認した(図2)。

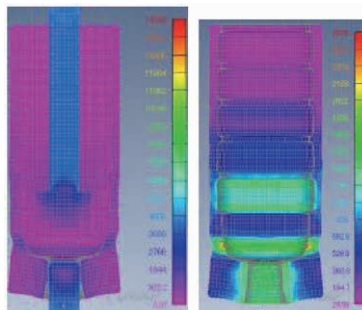


図2 オリジナルスリーブのFEM解析(ボルト引張力1400kN時)

④ 実験1：スリーブ接合の構造性能・グラウト充填性の確認

既製品スリーブにボルト・ナットを定着する場合の構造性能とグラウト充填性を実験等によって確認した(図3)。実験パラメータはボルト径(M20/M24/M27)、ナット形状(六角/丸)、ナット個数(0/1/2/3, 丸ナットのみ)等とし、ボルトの材質は定着性能確認のために強度区分10.9とするほか、

ボルトの塑性化が定着性能に及ぼす影響を確認するために ABR490 を加えた。結果として、ナット個数 0 の場合を除きボルト・鉄筋の降伏耐力 T_y はもとより、破断耐力 T_b を上回る引張耐力を有すること、およびボルト・ナットを定着する場合を含めてグラウト充填性に問題は無いことを確認した。

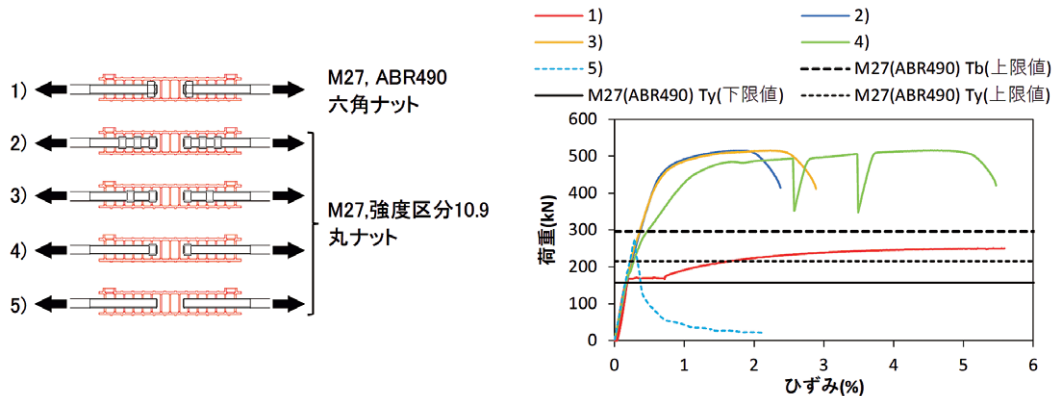


図3 実験1：スリーブ接合の構造性能の確認(一部)

⑤ 実験2：CLT グラウト接合の要素実験

定着部の「こぶ」を1個とした試験体の引張実験を行った(図4)。実験パラメータは鋼棒(M27, 強度区分 8.8/D25, SD345)、CLT 開き止め(ボルト M12/ビス 8φ)とした。

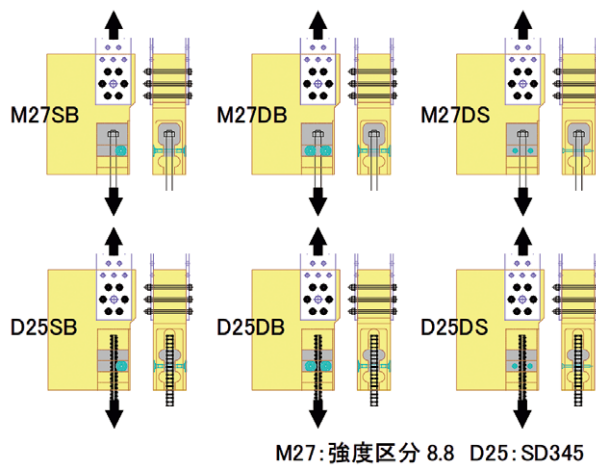


図4 実験2：CLT グラウト接合の要素実験試験体

⑥ 新接合部のバリエーション展開、開発対象の絞り込み

実験1, 2の結果に基づいて新接合部の詳細な構成を設定した(図1)。スリーブ接合について、ボルト・鉄筋の先行破断を保證できる定着性能確保を前提として、実験1の結果に基づいて丸ナットの個数は1とした。CLT グラウト接合については、実験2の結果に基づいてボルト・鉄筋の先行破断を保證できる「こぶ」の数を6個とした。

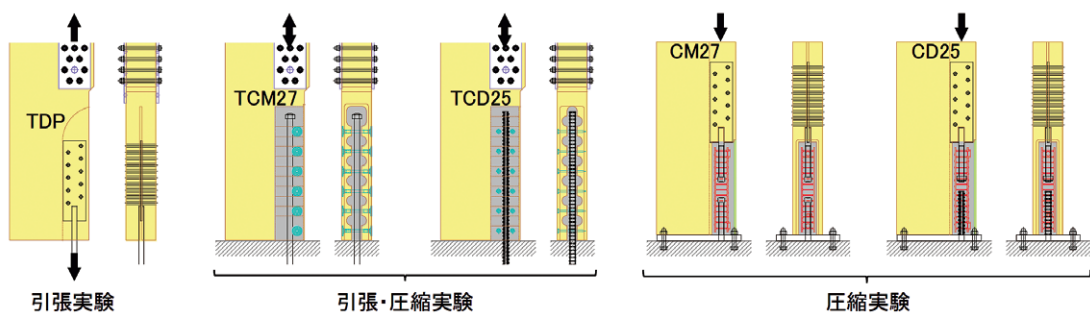


図5 実験3：新接合部の性能確認実験試験体(一部)

⑦ 実験3：新接合部の性能確認実験

⑥で設定した新接合部を対象として、引張実験、圧縮実験、せん断実験等(図5)により構造性能を確認した。スリーブ接合に用いる鋼板挿入ドリフトピン接合(TDP)についてもボルト・鉄筋の破断耐力 T_b を上回る性能であることを確認した。CLTグラウト接合のうちボルトM27を用いるもの(TCM27)はグラウトモルタルに割裂が生じて、所定の性能を満足しなかった。異形鉄筋を用いるもの(TCD25)については鉄筋が降伏して安定した荷重変形履歴となった(図6)。

圧縮実験のうちスリーブ接合の終局耐力は試験機の最大能力(1000kN)を越えること、CLTグラウト接合(CM27, CD25)の終局耐力は800kN程度であること、およびいずれも終局耐力に達するまでほぼ弾性を維持することを確認した。

これら以外に、壁-基礎接合部の水平せん断実験により、スリーブ接合の終局せん断耐力は試験機の最大能力(200kN)を越えること、CLTグラウト接合の終局せん断耐力は130kN程度であること、およびいずれも終局耐力に達するまでほぼ弾性を維持することを確認した。また、RC造基礎梁に定着したフック付き異形鉄筋アンカー(D25, SD345)の引張実験により10%程度の伸び能力があることを確認した。

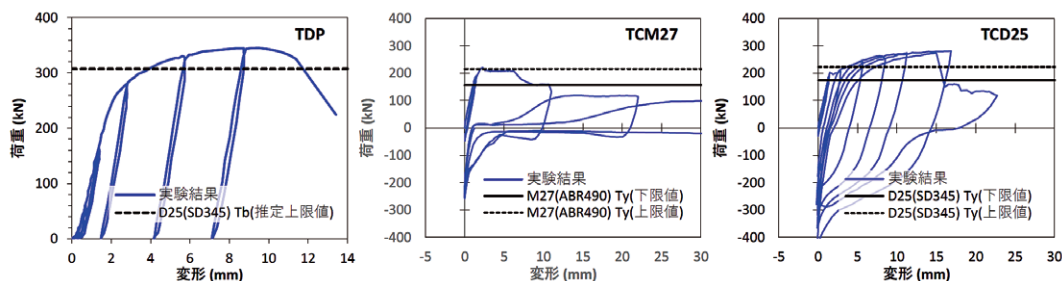


図6 実験3：新接合部の性能確認実験の結果(一部)

⑧ 新接合部を用いた架構のプラン対応力の確認

プラン対応力の評価として、標準的と考えられる5階建て集合住宅プラン(図7)に本構法を適用し、実験1～3の結果に基づいて設定した接合部の設計用性能を持って構造計算を行い、成立性および問題点等を確認した。結果として、短期許容水平耐力時および保有水平耐力時の耐力壁の平均水平耐力はそれぞれ77kN/m、170kN/mとなり、所定の構造設計要件を満足することを確認した。

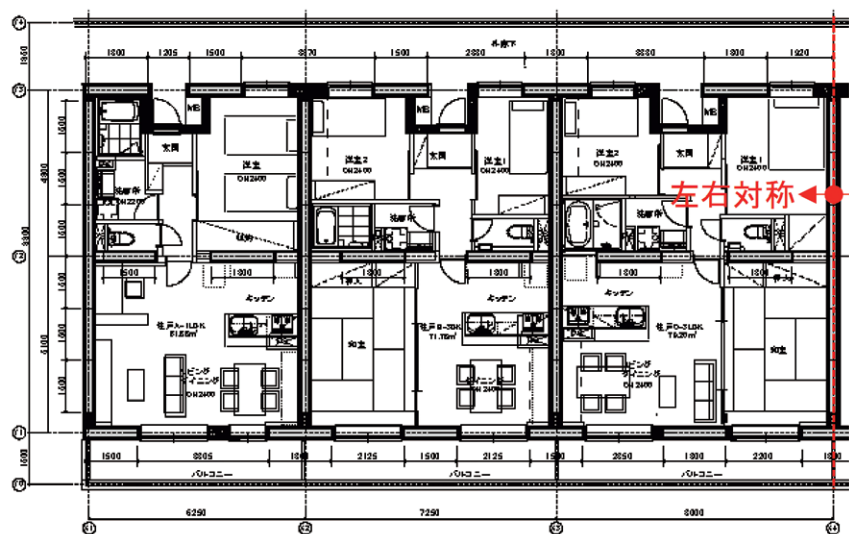


図7 構造試設計の対象プラン(総5階建て)

▶ スリーブ接合

• 引張力・圧縮力に対して

終局引張耐力はボルト (M27,ABR490)・鉄筋 (D25,SD345) の上限破断耐力を上回り、ボルト・鉄筋の先行降伏を保証するうえで十分な性能である。ボルト (ABR490) を用い、定着部先端にのみ六角ナットまたは丸ナットを設ける場合はスリーブ内の定着部分にも塑性化が生じ、塑性変形能力が向上する。また、引張力による塑性化後に圧縮力が作用する場合は、スリーブ内のグラウトモルタルがボルトの圧縮座屈を拘束し、下記の異形鉄筋を用いたCLTグラウト接合同様に安定した荷重変形履歴となる可能性がある。圧縮力に対しては1000kNを越える終局耐力を有する。

• 水平せん断力に対して

壁-基礎接合部については、基礎梁天端に深さ75mmの凹みを設け、その部分に充填されたモルタルがシアキーとして機能することにより、今回の実験では終局せん断耐力は200kN超となった。構造試設計では併せて摩擦抵抗(摩擦係数0.3)による耐力増加を考慮したところ、保有水平耐力時の水平せん断力は終局せん断耐力以下となり、別途せん断接合部を設ける必要が無いことが確認された。壁-梁、壁-床接合部に作用する水平せん断力については、計算上はグラウトモルタル接触面の支圧耐力で抵抗でき、同様にせん断接合部は不要といえる。

▶ CLTグラウト接合

• 異形鉄筋定着の場合

異形鉄筋 (D25,SD345) を用いる場合は鉄筋の先行降伏が確認されるとともに、紡錘形に類似の安定した荷重変形履歴を示し、従来の引張接合部に比べてエネルギー吸収能力・減衰性が高い。水平せん断力に対する終局耐力は130kN程度であるが、上記と同様に摩擦抵抗を考慮すればせん断接合部は不要といえる。

• ボルト定着の場合

ボルト (M27,ABR490) を用いる場合はグラウトモルタルに割裂が生じて、所定の性能を満足しなかった。

• 異形鉄筋アンカーの伸び能力

フック付き異形鉄筋アンカー (D25,SD345) の伸び能力は10%程度であり、ボルト (ABR490) と同等の塑性変形能力がある。異形鉄筋アンカーはスリーブ接合、CLTグラウト接合のいずれに対しても適用性が高く、それらを組み合わせることによるローコスト化が期待できる。

• 構造試設計

短期許容水平耐力時および保有水平耐力時の耐力壁の平均水平耐力はそれぞれ77kN/m、170kN/mであり、ここで設定した架構と接合方法は5階建て集合住宅プランに対応できる。

**今後の
課題・展開
等**

今後の課題・展開として下記の項目が挙げられる。

▶ スリーブ接合

- 終局圧縮耐力・終局せん断耐力の実験確認
- 壁-梁接合部、壁-床接合部の構造性能の実験確認
- オリジナルスリーブによる接合部のコンパクト化、およびオリジナルスリーブを用いた壁-梁接合部ディテールの設定。

▶ CLTグラウト接合

- 異形鉄筋を用いる場合の終局引張耐力の実験確認

▶ その他

- 架構構成の標準化・一般化
- 施工性検証（既往接合部では検証済み）
- コスト検証
- 集成材構造等への応用

グラウトジョイントを用いたCLTパネル工法引張接合部の汎用性拡大に関する検討

中高層木造建築物(4階以上)における 用途別内装木質化促進等検討事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 木のいえ一番協会

〒150-0033 東京都渋谷区猿楽町10-1 マンサード代官山6F

事業目的

2050年カーボンニュートラルの実現に向け、製造時のエネルギー消費量が少なく、大量の炭素を長期間貯蔵する建築分野における木材利用の拡大を図る必要があり、木材利用推進のための建築基準の合理化やCLT・防耐火大断面集成材などの技術開発も進められている。

また、SDGsやESG投資、ウェルビーイング等を重視する施主の増加を背景に、都市部を中心に木造化・木質化を重視する中高層木造建築物が増加してきている。

これらの中高層木造建築物では建築基準法の規定により壁、天井等に木材を使用する上で制限が課せられており、内装制限の適用・対応方法、工夫点等についてヒアリングによる実態調査を行った。

また、国土交通大臣の個別認定を受けた木質防火材料も増加してきているが、その主な業種をみると木材製品製造業に加え、家具、内装工事業、ゼネコン、印刷業など多岐にわたっており、業界の全体像が見えにくい状況にある。

このため、本事業では、これまで接点の少なかった中高層木造建築業界と木質防火材料製造業界との内装木質化に係る情報交換のプラットフォーム化に資するとともに、国産材の需要拡大に寄与することを目的とする。

実施した項目

1. 中高層木造建築物における内装制限及び緩和措置等の整理
2. 木質防火材料の種類と現状等の調査
3. 中高層木造建築物における内装木質化等の実態調査
4. 中高層木造建築物における内装木質化の課題等の検討

実施体制

本事業を実施するに当たり、学識経験者、関連業界等による中高層木造建築物における内装木質化促進等検討委員会を設置し、事業を推進した。

委員長	大橋 好光	(東京都市大学名誉教授・(一社)木を活かす建築推進協議会 理事長)
委員	恒次 祐子	(東京大学 大学院 農学生命科学研究科 教授)
	原田 寿郎	(森林総合研究所 木材改質研究領域 研究専門員)
	上川 大輔	(森林総合研究所 木材改質研究領域 防耐火担当チーム長・ (公社)日本木材保存協会 木質材料の難燃化等検討部会 部会長)
	槌本 敬大	(建築研究所 材料研究グループ長)
	大倉 靖彦	(株)アルセッド建築研究所 代表取締役 副所長)
	山口 克己	(株)アルセッド建築研究所 統括)
	山口 秋生	(日本木材防腐工業組合 技術委員長・越井木材工業(株) 技術開発室長)

- 井上順一郎（（一社）日本インテリアプランナー協会東京 副会長・イン+デザイン 主宰）
池田 均（（一社）木のいえ一番協会 技術開発委員長・(株) アールシーコア BESS 事業本部 商品開発部）
オブザーバー 松田 涼（林野庁 木材産業課 住宅資材技術係長）
平原 章雄（木構造振興株式会社）

実施した内容

1. 中高層木造建築物における内装制限及び緩和措置等の整理

建築基準法や国土交通省告示、文献等を参考に整理した。

2. 木質防火材料の種類と現状等の調査

中高層木造建築物の内装木質化を行う場合、告示等による制限緩和はあるものの、一般的には内装制限の適用除外となっている床や床から1.2m以下の壁の木質化が、国土交通大臣の個別認定を取得した木質防火材料を使用することとなる。

ここでの木質防火材料は、「建築基準法に基づく構造方法等の認定に係る帳簿等」（2000年4月1日～2023年6月17日）の内装材に使用される明細区分の「一般」のもので、かつ表面に木材、単板等が現わしで使用されているものとする。

本帳簿により、木質防火材料の認定区分（木質不燃材料、木質準不燃材料、木質難燃材料）、防火性能付与方法（含浸系、基材系、塗装系）等について調査分析した。

3. 中高層木造建築物における内装木質化等の実態調査

「中大規模木造建築物データベース」やサステナブル建築物等先導事業（木造先導型）事業報告書等より、内装木質化されている4階以上の中高層木造建築物の候補案を作成し第1回委員会等に諮った。

その後、施主4社、設計・施工関係7社に内装木質化実態調査の依頼文書等を送付し、施主2社・4建築物、設計・施工関係6社・9建築物について了解を得た。

それぞれの会社に対し、①建物の物件情報（建物名称、所在地、竣工年、用途、構造・階数、延べ面積等）、②内装木質化情報（室用途・階、部位、材料・仕上げ、内装制限の適用・対応方法等）等のヒアリングシートを作成し、事前に送付してもらった上で10月・11月に面談によるヒアリングを行った。

4. 中高層木造建築物における内装木質化の課題等の検討

また、内装木質化での工夫点や課題と思われること（技術面、維持管理面等）などについてヒアリングし、整理した。

実施した結果

1. 中高層木造建築物における内装制限及び緩和措置等の整理

中高層木造建築物の内装制限は、その用途・条件とそれぞれに求められる防火材料レベルが規定されている一方、代替の火災安全対策や特定の条件の下で安全性を担保しつつ木材等を用いる方法も規定されている（表1-1）。

2. 木質防火材料の種類と現状等の調査

(1) 木質防火材料

内装制限に関する内装の仕上げ材料に要求される「防火材料」には、①国土交通大臣が定めた建築基準法における防火材料で「告示仕様」のものと、②国土交通大臣が個別に認定した「個別認定」のものがあり、木質防火材料は全て個別認定が必要である。

告示仕様の防火材料のうち防火性能の高い順に、不燃材料（不燃性能が20分以上継続）、準不燃材料（不燃性能が10分以上継続）、難燃材料（不燃性能が5分以上継続）の3種類がある。

同様に個別認定の木質防火材料もその防火性能に応じて木質不燃材料、木質準不燃材料、木質難燃材料に分類され、また、防火性能付与の方法によって、①含浸系、②基材系、③塗装系に分類される（表1-2）。

表 1-1 内装制限の緩和措置等

	条件※1	対象部位※2		対象条文等
		壁	天井	
①	床および床上1.2m以下の壁や窓枠等（一部の用途を除いた居室）	※1		令第128条の5
②	難燃または準不燃材料の大臣認定を取得した木材	○	○	令第128条の5
③	壁と天井の見付面積の1/10以下の範囲	○	○	建築物の防火避難規程の解説（JCBA）
④	天井を準不燃材料とした居室（難燃材料が要求されている部分のみ）	○		H12年建告第1439号
⑤	天井を準不燃材料とし、スプリンクラー設備等を設置した建築物の部分	○		R2国交告第251号三号
⑥	防火設備（要遮炎性能）および間仕切壁によって100㎡以下に区画された天井高さ3m以上の居室（一部の用途を除く）	○	○	R2国交告第251号一号
⑦	スプリンクラー設備等を設置した延べ面積500㎡以下の建築物における避難階または避難階の直上階で、屋外への避難が容易な建築物の部分（一部用途を除く）	○	○	R2国交告第251号二号
⑧	スプリンクラー設備等と排煙設備を設置した建築物の部分	○	○	R2国交告第251号四号
⑨	火気近傍を特定の不燃措置した火気使用室	○		R2国交告第225号
⑩	避難安全検証法により安全性を検証した建築物の部分	○	○	令第128条の6 令第129条、令第129条の2

※1 床上1.2m以下の範囲

表 1-2 木質防火材料の防火性能の付与方法

区分	防火性能の付与方法
含浸系	リン酸やホウ酸などの不燃性の薬液を製材品、LVL等に加圧注入して木質内部まで浸透させたもの
基材系	火山性ガラス質複層板などの不燃材料の基材に単板等を表面に貼ったもの
塗装系	木材に不燃効果のある塗料を塗布したもの

(2) 木質防火材料の個別認定の状況

2000年から現在までの木質防火材料の個別認定の状況は、認定者数328者、認定品目数895件となっており、以下のことが確認できた（表1-3）。

- ① 認定事業者の主な業種は、製材・防腐木材・フローリング等の木材製品製造業の他に家具製造、建材製造、内装工事、ゼネコン、印刷業など非常に多様
- ② 認定事業者を地域別にみると、東京都、大阪府、愛知県、福岡県、北海道など、消費地に近く古くから木材製造業等が発達している地域に多く分布
- ③ 個別認定品目では、木質不燃材料（69%）、木質準不燃材料（22%）、木質難燃材料（9%）の順
- ④ 防火性能付与の方法別では、基材系（70%）、含浸系（29%）、塗装系（1%）の順となっており、含浸系と塗装系は針葉樹製材品が、基材系ではオーク、メイプル、チェリーなどの広葉樹が主要樹種

表1-3 木質防火材料の個別認定状況

認定区分	認定者数	認定品目数			
		含浸系	基材系	塗装系	計
木質不燃材料	188	71	549	—	620
木質準不燃材料	91	138	52	6	196
木質難燃材料	49	52	27	—	79
合計	328	261	628	6	895

(3) 木質防火材料の個別認定数の推移

以下のことが確認できた（図1-1）。

- ① 2000年の改正建築基準法により防火材料認定も性能規定になったことから2001年度に個別認定が増加
- ② 2006・2007年度は都市型ホテルの建設ラッシュ等により高級内装材料としての需要が進んだこと
- ③ 最近では、木造建築に係る基準の合理化等による非住宅での木造化・木質化が進んでいることから多様な業種からの個別認定が増加

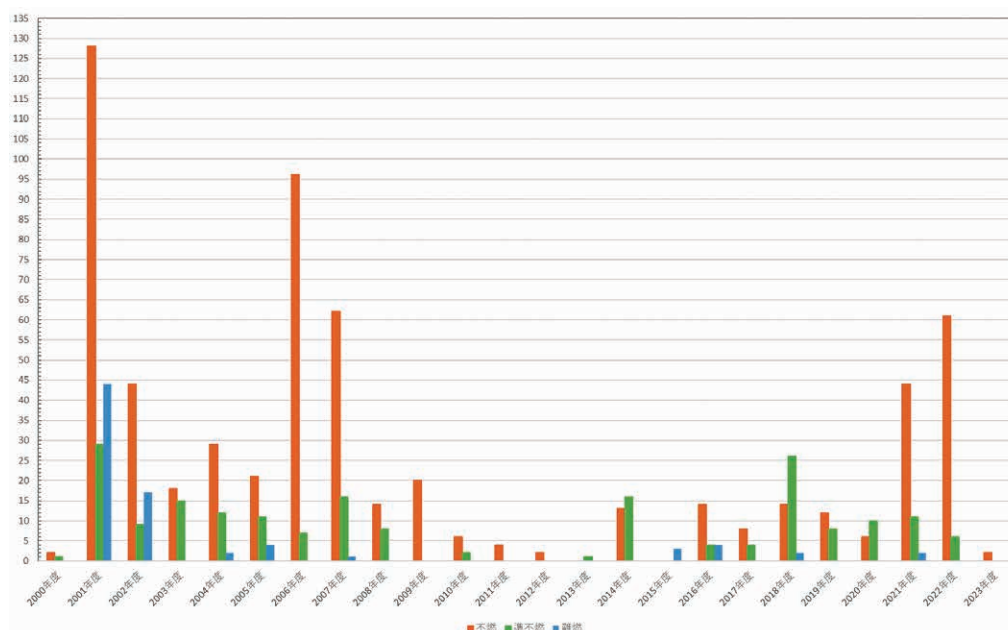


図1-1 木質防火材料の種類別・個別認定数の推移

(4) 木質防火材料の生産量の動向

木質防火材料全体の生産量を把握することは困難であるが、防火木材利用推進会議の資料によると、東京オリンピック・パラリンピックの需要が落ち着いたことなどから令和元年度以降減少傾向で推移

2. 中高層木造建築物における内装木質化等の実態調査

ヒアリング調査対象建物の概要は表 2-1 の通りである。

これらの中高層木造建築物では、主たる用途以外にも階によって多様な用途に使用されているが、SDGs等の観点に加え心理面、身体面、学習面、生産性等への内装木質化による効果を期待し、表 1-1 の内装制限の緩和措置等を活用した内装木質化に取り組んでいる。

表 2-1 ヒアリング調査対象建築物の概要

用途	件数	構造	建物の階数									
			4	5	6	7	8	9	10	11	12	
事務所・店舗	2	混構造 (SRC造+木造)								1		
		純木造				1						
商業施設	2	混構造 (S造+木造)	1									
		混構造 (S造+木造)										1
銀行	1	混構造 (RC造+木造/平面)	1									
研修所	2	純木造									1	
		混構造 (S造+木造/平面)			1							
ホテル	2	混構造 (S造+木造)										1
		混構造 (RC造+木造/立面)									1	
共同住宅 (社宅3)	4	混構造 (S造+木造/立面)								1		
		混構造 (RC造+木造/平面)	1									
		混構造 (RC造+S造+木造)										1
		混構造 (RC造+木造/平面)		1								
計	13		3	1	1	1	0	0	0	2	2	3

(1) 事務所・店舗

- ① 内装制限に沿った石こうボード等の告示仕様の非木質防火材料の使用
- ② 個別認定の木質防火材料による壁、天井の木質化<表 1-1 ②>
- ③ 天井に木質準不燃材料を使用し、壁を無垢材等で木質化<表 1-1 ④> (写真 1-1)



写真 1-1 天井は木質準不燃材料（塗装系）、壁は製材品

(2) 商業施設

- ① スプリンクラー設備と排煙施設を設置し壁、天井を防火未処理材で木質化<表 1-1 ⑧> (写真 1-2)



写真 1-2 スプリンクラー設備等による壁、天井の木質化

(3) 銀行

- ① 避難安全検証法による壁、天井を防火未処理材で木質化<表 1-1 ⑩> (写真 1-3)

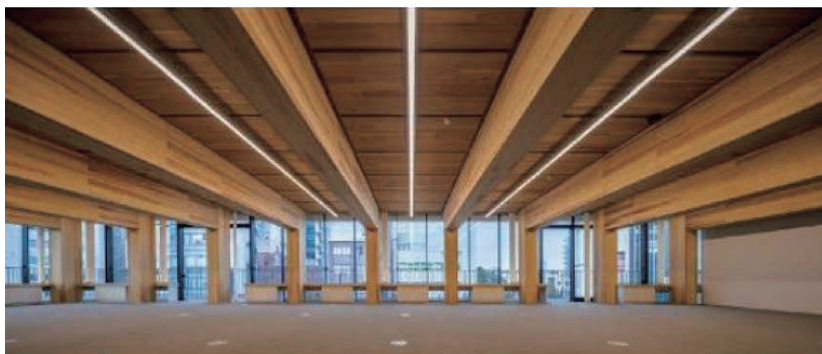


写真 1-3 避難安全検証法による壁、天井の木質化

(4) 研修所

- ① 避難安全検証法による壁、天井の防火未処理材による木質化<表 1-1 ⑩> (写真 1-4)
 ② 天井と壁の見付面積の 1/10 以下の範囲にすることにより壁、天井を防火未処理材による木質化<表 1-1 ③>
 ③ 告示適用による天井不燃化による壁の制限の免除

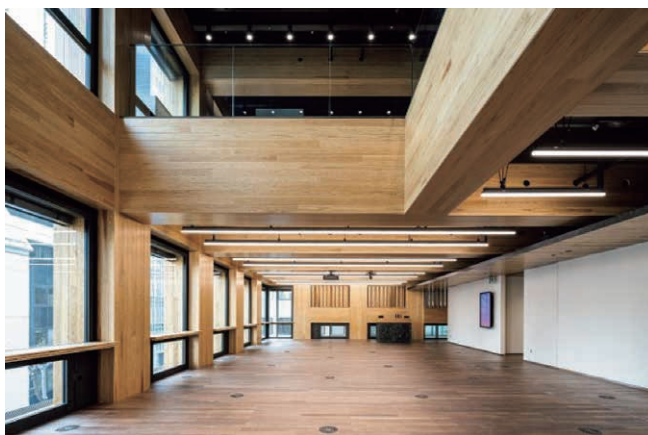


写真 1-4 避難安全検証法による壁、天井の木質化

(5) ホテル

- ① 防火設備（要遮炎性能）および間仕切壁によって 100㎡以下の区画された天井高さ 3m 以上の居室にすることによる壁、天井の防火未処理材による木質化<表 1-1 ⑥>（写真 1-5）
- ② 天井と壁の見付面積の 1/10 以下の範囲にすることにより壁、天井を防火未処理材による木質化<2-2 ③>



写真 1-5 防火設備等により 100㎡以下の区画することによる壁の木質化

(6) 共同住宅

- ① 天井と壁の見付面積の 1/10 以下の範囲にすることにより壁、天井を防火未処理材による木質化<2-2 ③>
- ② 防火設備（要遮炎性能）および間仕切壁によって 100㎡以下の区画された天井高さ 3m 以上の居室にすることによる壁、天井の防火未処理材による木質化<表 1-1 ⑥>（写真 1-6）



写真 1-6 防火設備等により 100㎡以下区画することによる壁の木質化

今後の課題・展開等

本事業で、木質防火材料及び中高層木造建築物における用途別内装木質化等の実態把握等は緒に就いたばかりであり、様々な課題が残されていることが確認された。

1. 木質防火材料

<課題>

- ① 告示仕様の防火材料に比べ、特に薬剤の注入量が多くなる木質不燃材料の製造コストが高い
- ② 含浸系の木質防火材料では薬剤が木材の表面に噴出する白華現象が意匠面等での課題
- ③ 供給者業者の主たる業種が多様であることからその実態等が把握しにくい状況

<今後の展開>

- ① 今回の調査は構造方法等の認定に係る帳簿等による分析等を行ったが、さらに木質防火材料供給業者へのヒアリング等が必要

2. 中高層木造建築物の内装木質化

<課題>

- ① 施工時における養生の手間軽減や木質構造部材との取り合いなど技術的対応方法の整理
- ② 中高層木造における内装制限緩和の重要方策である避難安全検証法の評価合理化、木造耐火建築における部分木造の認定基準等の整備、スプリンクラー設置による内装制限の運用合理化
- ③ コストに見合う価値を提供するための木材料の特性維持、利用方法等の適切化
- ④ 木材の特徴とそのエビデンス、維持管理対策等に関する情報の充実化・提供

<今後の展開>

- ① 今回の実態調査は、6業者、13建築物に対する面談ヒアリングによる実態把握であったが、今後とも中高層木造建築物が増加する中、さらなる実態把握等が必要
- ② 木質防火材料供給業者と中高層木造建築物設計業者等がそれぞれの製品の特長や需要動向、施工方法等についてお互いに情報過疎の状況にあり、情報のプラットフォーム化の推進が必要

「CLTを用いた中大規模鋼木混合構造建物用制震壁」の性能改善、及び 構造設計の合理化・容易化に向けた設計支援システムの構築と成果の普及促進

● 実施団体 ●

山佐木材株式会社

〒893-1206 鹿児島県肝属郡肝付町前田972番地

事業目的

山佐木材は平成24年以来非住宅中大規模建築物への木材活用促進を目的として、柱梁は鉄骨造とし床・壁にはCLT等の木質パネルを用いた鋼木混合構造建築システムの開発に取り組んで来た。令和元年度には、木構造振興より「CLTを用いた木質パネル制震壁の開発」を助成事業として受託することにより、CLT等の中大規模建築物への適用と普及促進に努めて来た。

本年度はその延長として、令和元年度に開発した木質パネル制震壁の性能の改善を図るとともに、木質パネル制震壁を用いた建物を設計するための構造設計支援ツールの整備を行うことを、本事業の主な目的としている。

実施した項目

本事業では以下の各項目を実施した。

① 制震壁システムの性能改善のための構造実験の実施。

- ・構造実験は、要素試験・予備試験・実大試験に分けて実施した。
- ・要素試験は、LSBの引き抜き性能の把握のために行った試験である。
- ・予備試験は、接合部金物の仕様を適宜調整した場合の、制震壁システムの性能改善効果を把握するために行った試験である。
- ・実大試験は、実際の建物に搭載可能な大型の試験体について、制震壁システムのトータル性能の確認のために実施した試験である。

② 構造設計ツールの見直し・改修の実施。

- ・構造設計ツールとしては、精解法と簡便法の2つの方式を準備した。
- ・精解法は、接合部バネを解析モデルに直接組み込むことにより、制震壁を忠実にモデル化した解析法である。
- ・簡便法は、接合部バネを解析モデルに直接組み込むことなく構造設計を可能とし、例えば市販の「構造一貫ソフト等」でも容易に扱えるようにモデル化した解析法である。
- ・実験結果に基づいて、構造計算用の制震壁性能評価ツールを作成した。
- ・5階、10階、20階建てのモデル建物について試設計を行い、木質パネル制震壁が適切に制震効果を発揮しているかを検証した。
- ・精解法、簡便法を用いて試設計を行いその解析結果の比較を行った。

③ 制震壁システムと構造設計ツールの普及に向けた取組

- ・中大規模鋼木混合構造建物をテーマとしたシンポジウム等を関連団体と共同で開催し、中大規模鋼木混合構造技術の普及促進に努めた。
- ・「制震壁システムの利用マニュアル」を作成し、構造設計実務者を対象とした説明会を開催することにより、技術の普及促進に努めた。

実施体制

- 幹事会社： 山佐木材（株）
- 関連団体： 超高層ビルに木材を使用する研究会
（一社）建築鉄骨構造技術支援協会（略称 SASST）
- 協力会社： （株）トーネジ、松尾建設（株）、（株）三菱地所設計
- 協力研究機関： 鹿児島大学（塩屋・倉富研究室）
鹿児島県工業技術センター
- 検討委員会
 - 委員長： 稲田達夫（山佐木材顧問）
 - 学識経験者： 五十田博（京都大学生存圏研究所教授、木質構造）
中島史郎（宇都宮大学教授、木質材料）
田村和夫（元千葉工業大学教授、構造設計）
増田浩志（宇都宮大学教授、鋼構造）
倉富 洋（鹿児島大学工学部建築学科准教授）
 - 民間団体： 麻生直木（（株）安藤・間）
海老沢涉（（株）三菱地所設計）
村上勝英（（株）日建設計）
山崎 心（（株）インフォメディア）
 - 事業者： 有馬宏美（山佐木材（株））
桐野昭寛（同上）
小松賢司（同上）

実施した内容

1. 開発した木質パネル制震壁

(1) 対象とする建物の構成

- ・ 柱・梁： 鉄骨構造
- ・ 床・制震壁： 木質パネル（CLT等）

(2) 木質パネル制震壁の構成

- ・ 木質パネル： CLT（直交集成板）
- ・ 接合金物： 冷間成形角型鋼管
- ・ 接合具： LSB（ラグスクリーューボルト）

2. 木質パネル制震壁の性能確認

(1) 性能確認実験の実施

木質パネル制震壁の有効性を検証するため、要素試験、予備試験及び実大試験を実施した。



図1) 制震壁のイメージ図

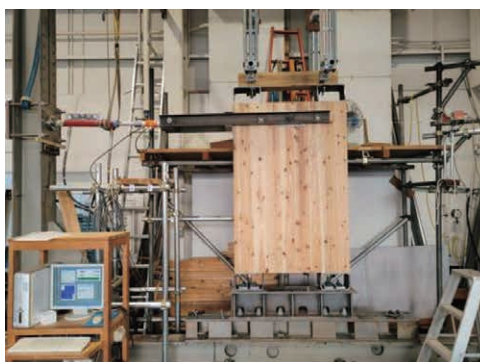


図2) 予備試験全景

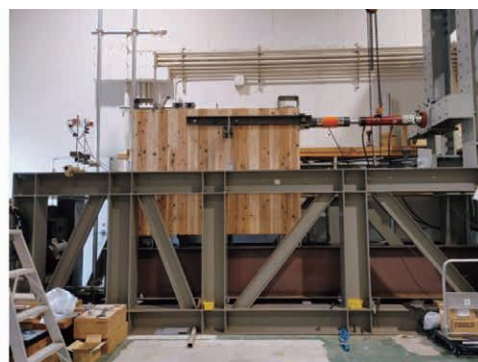


図3) 実大試験全景

3. 鋼木混合構造建物の構造設計支援ツールの整備

(1) 構造設計の基本方針

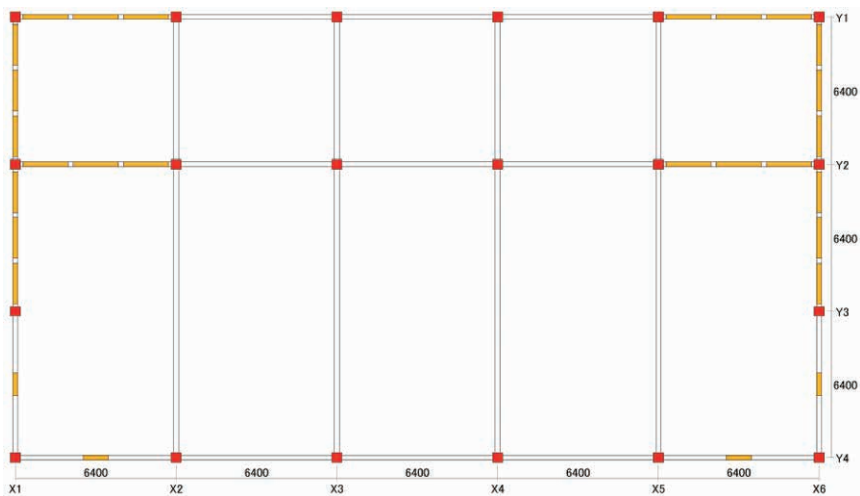
- ① 建築基準法が要求する最低限の耐震性能は鉄骨フレームのみでカバーする。
- ② 木質パネル制震壁を設置することにより、鉄骨フレームには殆ど損傷が生じない高い耐震性能を確保する。(損傷制御設計)

(2) 設計支援ツールの要件

- ① 保有耐力計算プログラムにより、上記(1)①②の確認を行う
- ② 振動応答解析を行うことにより、上記(1)②(損傷制御設計)が成立していることを確認する。

(3) 試設計による耐震安全性の立証

- 対象建物の床伏図 (黄色部分が木質パネル制震壁)



- 対象とする構造モデルと各モデルの一次固有周期

	制震壁なし		制震壁あり	
	X方向	Y方向	X方向	Y方向
5階建てモデル	0.861	0.823	0.474	0.552
10階建てモデル	1.291	1.282	0.78	0.866
20階建てモデル	2.587	2.611	1.485	1.645

- 検討に用いた地震波名と最大加速度

地震波名	最大加速度 (gal)	備考
ISK006 (富来)	2678	能登半島地震の観測波 (K-NET) よりダウンロード
ISK003 (輪島)	1496	
JMA-KOBE	822	阪神淡路大震災の観測波
EL CENTRO NS	500	超高層ビルの設計でよく用いられる観測波

実施した結果

1. 実験結果

試験結果としては、

- ① 荷重変形関係については、本制震壁は紡錘形のエネルギー吸収能力の大きな振動特性を有することが確認できた。
- ② 木質パネル制震壁の最大制震力については、200kNを超える性能が、また繰り返し载荷を行うことにより、十分な累積変形能力を有することが確認できた。

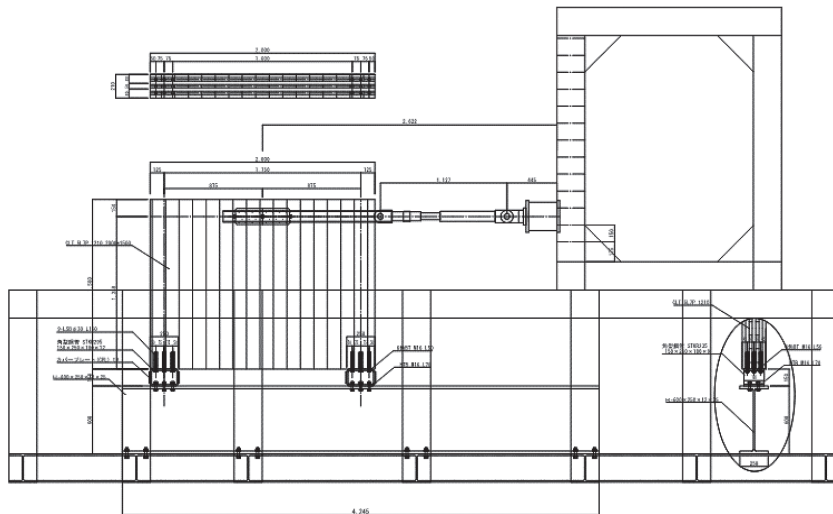


図4) 実大実験用試験体・試験装置概要

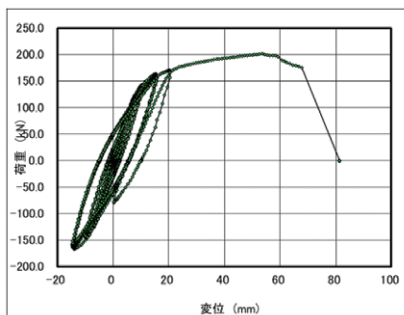


図5) 荷重変形関係

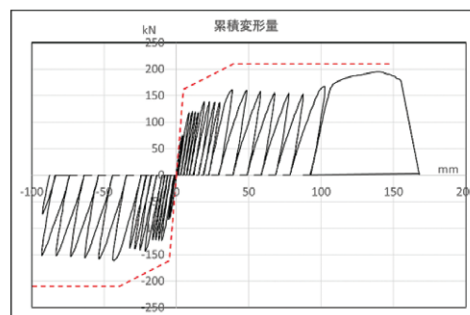


図6) 累積変形

2. 試設計による耐震安全性の確認

- (1) 保有耐力計算を行うことにより、構造設計の基本方針を満足していることを確認した。

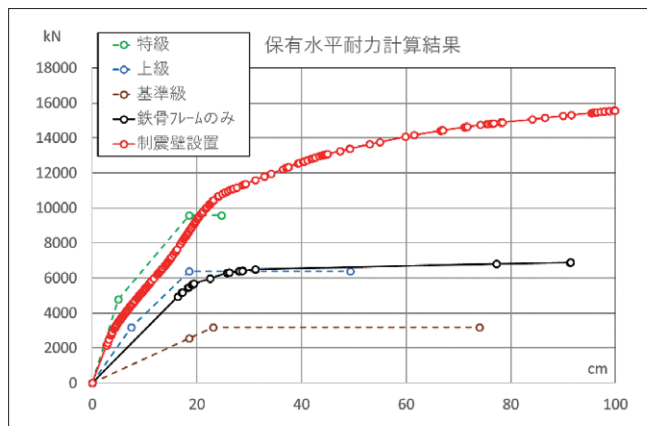
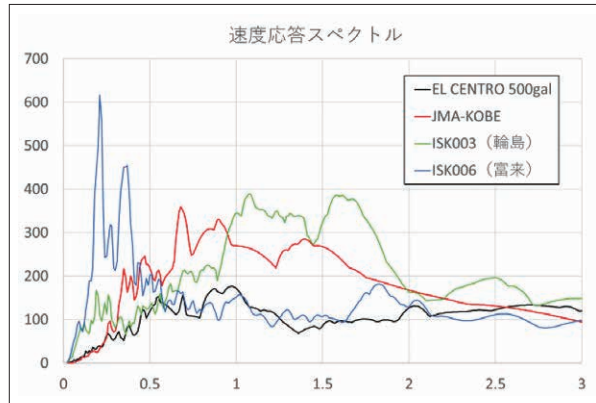


図7) 保有水平耐力計算結果（4階建てモデルX方向1階）

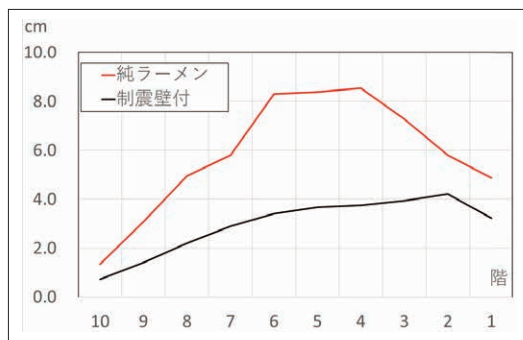
(2) 振動応答解析を行うことにより損傷制御設計が成立していることを確認した。



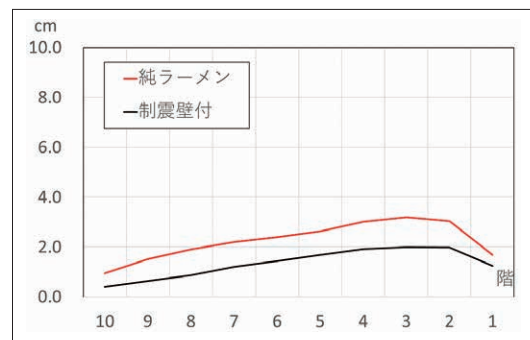
● 10階建てモデルに対する検討

層間変形

ISK003 輪島

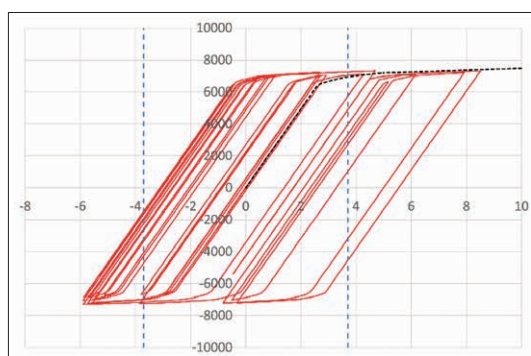


(参考) EL CENTRO 500gal

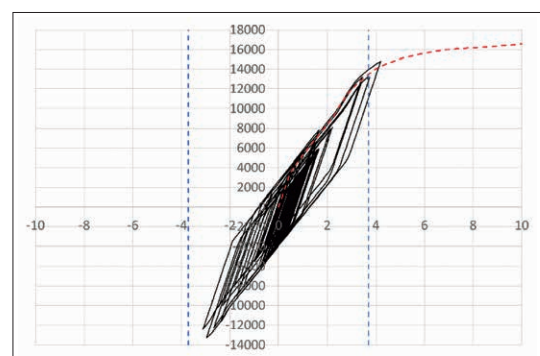


ISK003 輪島の応答値

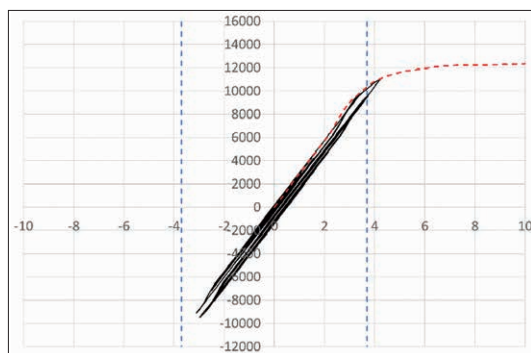
鉄骨フレーム (4F)



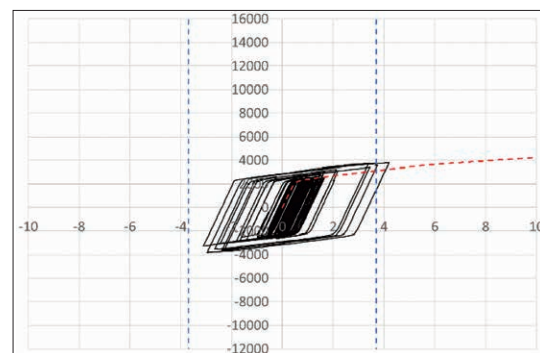
制震壁設置フレーム (2F)



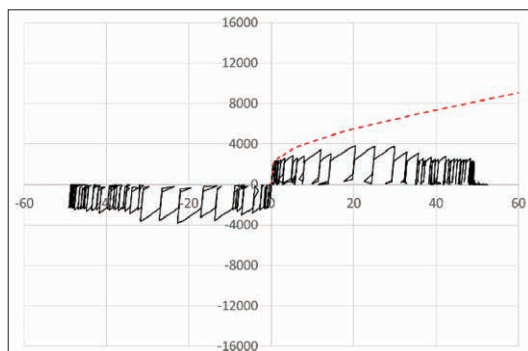
鉄骨フレーム要素 (2F)



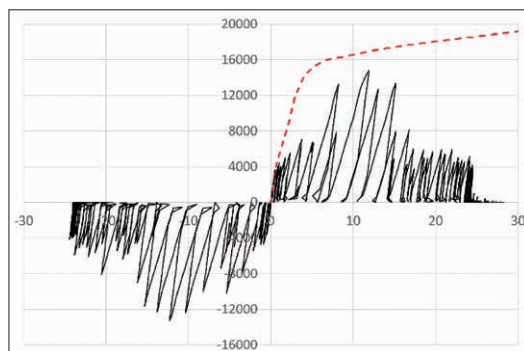
制震壁要素 (2F)



累積変形（制震壁要素、2F）



変形（フレーム全体、2F）



●結果

今回開発した木質パネル制震壁を用いることにより、建物全体の振動が抑制され、振動応答値は許容変形内に留まる。また、鉄骨フレーム要素は塑性化していないことが確認できる。（損傷制御設計）この現象は、5階建て、10階建て、20階建ての各モデル建物について全ての検討用地震波に対し満足していることを確認している。

(3) 精解法と簡便法の整合性の確認

モデル建物について、精解法と簡便解法で保有耐力計算を行った場合の比較を示す。両者はよく整合していることが確認できた。

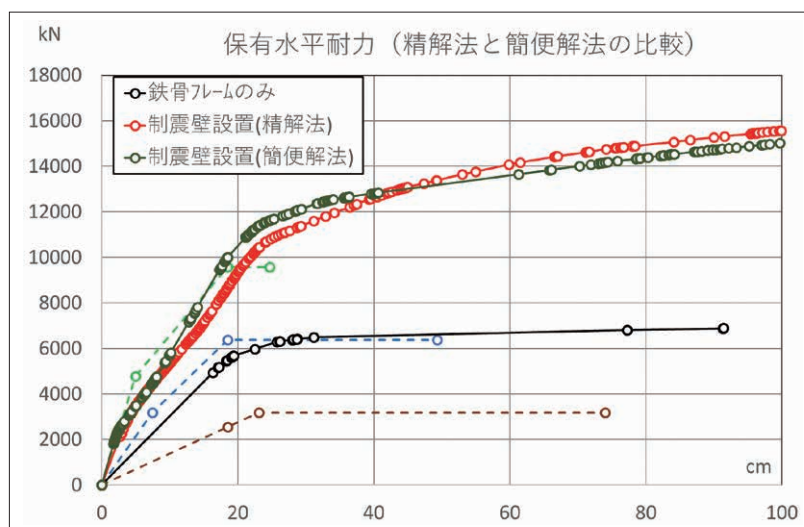


図8) 精解法と簡便解法の計算結果の比較

3. 事業の成果の普及に向けた取り組み

(1) 中大規模鋼木混合構造建物をテーマにしたシンポジウムの開催

テーマ： 「普及段階が見えてきた中大規模鋼木混合構造建築」

日時： 2023年10月26日（木） 14時00分より

会場： 福岡大学中央図書館 多目的ホール

プログラム ① 開会挨拶・補助事業報告 稲田達夫（山佐木材（株））

② 基調講演 村上 勝英氏（（株）日建設計）

③ パネルディスカッション

参加者数： 75名



図9) シンポジウム全景

(2) 構造設計者を対象とした事業成果報告会の開催

日時： 2024年1月29日（月） 14:00～16:00

会場： アルカディア市ヶ谷（私学会館）6階「阿蘇」

- ① 助成事業の概要 山佐木材(株)技術開発室室長 桐野昭寛
- ② 実験結果の概要 同上 主任 小松賢司
- ③ 試設計について 同上 顧問 稲田達夫

参加者数： 55名

今後の 課題・展開 等

平成24年以来、林野庁等の助成事業を受託することにより、中大規模鋼木混合構造建物の床の木質化、壁の木質化について取り組んで来た。これらの開発は既に最終段階にあり、今年度の課題が達成されたことにより、一連の開発は一段落したものと考えている。

今後は、構造設計者等に対し今年度開発が完了した「木質パネル制震壁」の実建物への適用を働きかけることにより、中大規模鋼木混合構造建物の普及・促進に貢献することが主な活動目標となると考えている。

高層木造を実現する強度・剛性に優れた 積層圧密木質部材の開発

● 実施団体 ●

株式会社 竹中工務店

〒136-0075 東京都江東区新砂 1-1-1

地方独立行政法人北海道立総合研究機構 林産試験場

〒071-0198 北海道旭川市西神楽 1 線 10 号

事業目的

本事業は、木造が進む高層の非住宅建築への適用を目的として、積層圧密技術を用いた強度の高い大断面集成材の開発を行うものである。実際に 18 階程度の高層建築物が木造で設計されるようになっているが、柱断面が 2 × 2m ほどにもなり、国内最大級のプレス機を用いても製造できないサイズとなるなど、構造用木材が持つ強度と寸法の限界に達しつつある。また、大規模な木造建築プロジェクトを国産材で計画する場合、強度の高い良質なカラマツ材の調達が必須であるが、産出する地域が限られること、強度を必要とする合板等の需要が集中すること、ウッドショック以降価格が高止まりを続けていることから、非住宅建築分野における木造普及の障壁となりつつある。そこで、本事業では次の課題解決を目指して技術開発を行う。

1. 供給量が豊富で安価なスギ材を高強度化することで、リーズナブルでカラマツ以上の強度を持つ中高層木造向け木質材料を実現する
2. 低密度かつ比較的ヤング係数が高く、圧密効果の高いトドマツを用いて高層・超高層木造向け木質材料（ベイマツ、ダフリカカラマツ以上）を実現する
3. 大断面集成材での利用を想定した、接着等の集成化技術の開発、既存の集成材生産プロセスの利活用による低コスト化を実現するとともに、高強度なラミナ材としての部材設計技術を整備する

実施した項目

検討委員会を設置し、委員より助言を得ながら、以下の項目を実施した。

① 圧密ラミナの製作および基本物性・接着試験・強度試験

1 枚ないし複数の板材を積層して圧密を行う製造技術を用いてスギ、トドマツの圧密材（圧密ラミナ）を製作し、接着性能試験や強度試験（曲げ、軸圧縮、せん断）を実施するとともに、圧密しないラミナとの比較も行った。

② 圧密ラミナを用いた集成材の試作および強度試験

圧密ラミナを用いて小断面集成材の設計・試作を行うとともに、接着性能試験と強度試験（曲げ、軸圧縮、せん断）により種々の材料性能を評価した。

③ 圧密ラミナの品質等、製品化における課題の整理

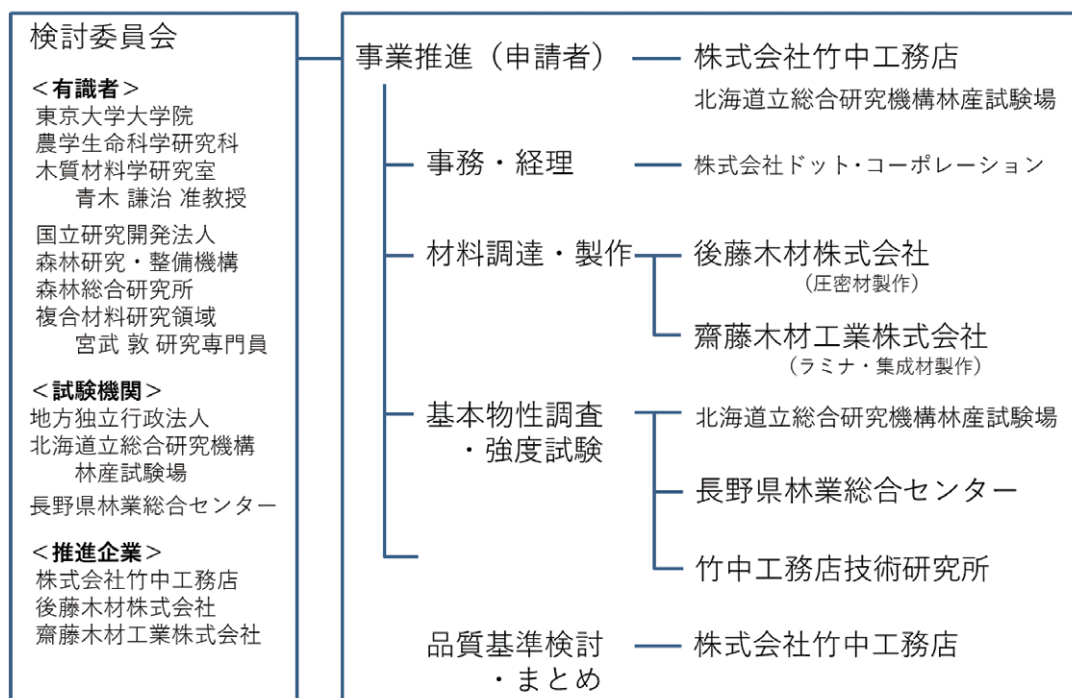
上記で得られるデータをもとに、高強度集成材に用いるラミナとして、樹種、積層数、強度、製作方法などについて最適条件を検討した。また、次年度以降の開発に向けて、最終的な利用方法（使用する建物の規模、部位など）をイメージした上で、建物として要求される構造性能を整理し、材料として担保しなければいけない品質および製品化における課題の整理を行った。

④ 圧密集成材のコスト評価

当事業が目標とする技術・製品について、製造時のコスト構成や、想定する製品価格について概略検討を行った。また、市場規模の想定や、製品価格の目標など将来的な普及シナリオについても検討した。

実施体制

事業の実施体制図



実施した内容

① 圧密ラミナの製作および基本物性・接着試験・強度試験

スギおよびトドマツの製材（元材）を用いて圧密ラミナを試作した。元材1枚を圧密する方法（単層圧密）のほか、節周辺の割れを生じにくくするため2枚ないし3枚を積層接着してから圧密を行う方法（2層圧密または3層圧密）を採用した。圧密工程の圧縮率は厚さ比で50%とした。製作フローを図1に示す。

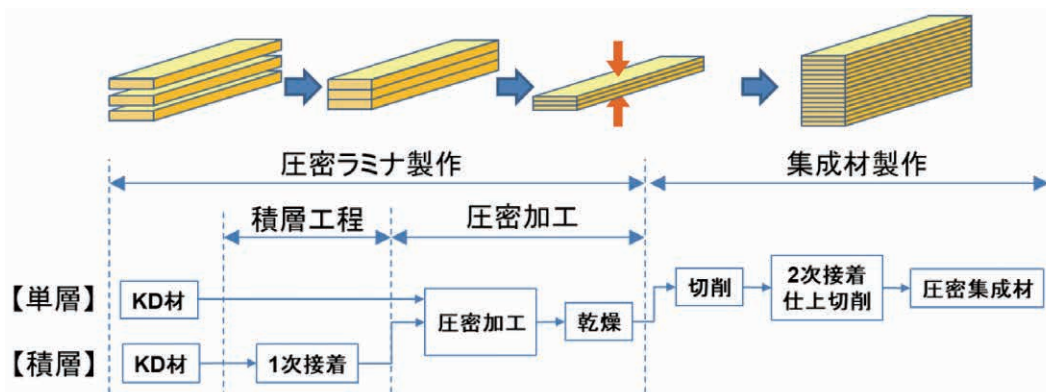


図1 圧密集成材の製作フロー

元材は人工乾燥と仕上げ切削された製材とした。断面寸法は単層圧密用が48×105mm、2層圧密用が37×105mm、3層圧密用が26×105mmとした。スギは岐阜県内、トドマツは北海道内の製材工場から調達し、いずれも圧密材として適している心去り材のみとした。圧密前の元材は全数を製材 JAS による目視区分で評価するとともに、密度と打撃ヤング係数を測定した（写真1）。打撃ヤング係数は1kN/mm²ごとに区分し、出現分布を考慮しながら、元材試験体、圧密ラミナ試験体、集成材試験体の組み合わせを決定した。2層圧密と3層圧密ラミナは、ヤング係数が近いものどうしをレゾルシノール樹脂接着剤で積層接着した上で圧密した。圧密後にも打撃ヤング係数を測定し、圧密前後の基礎物

性の変化を把握した。試験数は元材試験体と圧密ラミナ3種のいずれにおいても各20本を選抜し、それぞれから曲げ・圧縮・せん断試験体、積層圧密ラミナからは一次接着性能試験片を採取した。

元材および圧密ラミナの強度試験（曲げ、圧縮、せん断）を行った（写真2）。曲げ試験は、スパンをラミナ厚さの18倍とした3等分点4点荷重方式で行った。圧縮試験は、試験体長さを厚さの6倍として行った。せん断試験は、厚さ20～30×幅25mmの試験片を切り出して逆対称4点曲げ方式で行い、加力方向は平使いまたは縦使いの2種類とした。

また、積層圧密ラミナの一次接着性能を評価するため、接着剥離試験を行った（写真3）。接着剥離試験片（幅95×厚さ30×長さ75mm）を採取し、JASに基づく減圧加圧処理を行い、剥離率を算出した。



写真1 ラミナの基礎物性の測定作業

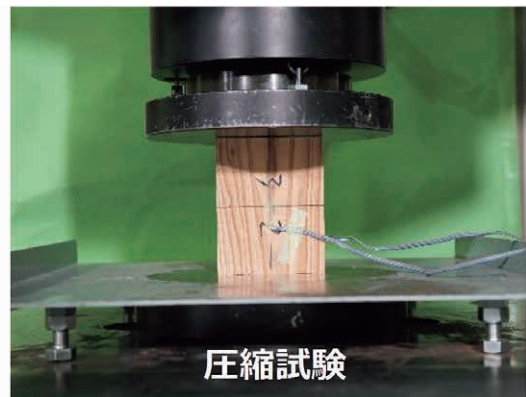


写真2 圧密ラミナの強度試験

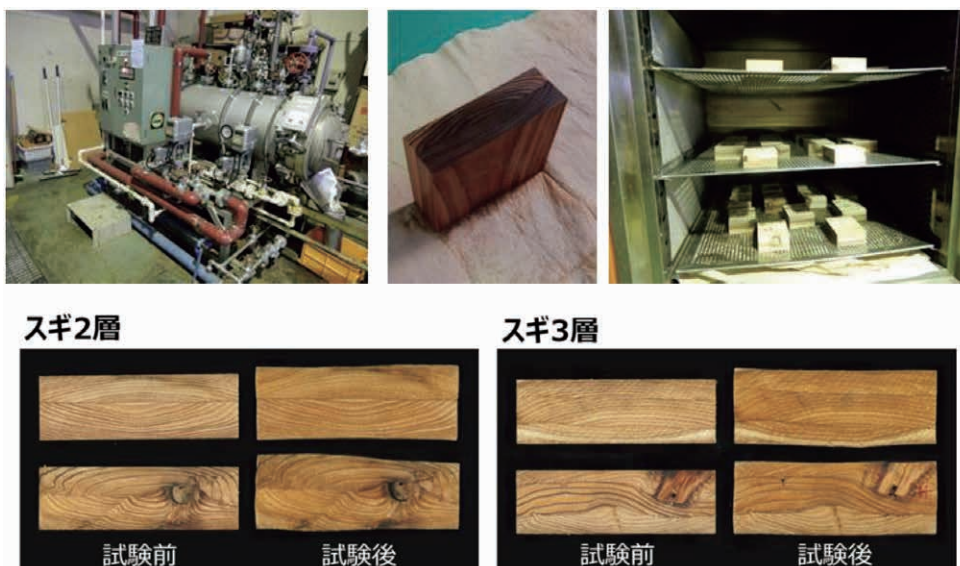


写真3 2層および3層圧密ラミナの接着剥離試験

② 圧密集成材の試作および強度試験

スギおよびトドマツ圧密材を用いて小断面集成材を試作した。断面寸法は幅85×せい120mmとし、単層圧密ラミナ（厚さ20mm）は6プライ、2層および3層圧密ラミナ（厚さ30mm）は4プライ、比較用の非圧密ラミナ（厚さ30mm）も4プライとした。ラミナは元材のヤング係数の区分が同一のものどうしを組み合わせ、打撃ヤング係数の測定値の大きいものを外層に配置しながら、レゾルシノール樹脂接着剤で集成接着した。なお、たて継ぎは行っていない。集成材の試作数は各8本とし、曲げ・圧縮・せん断・接着性能試験体を採取した。

圧密集成材の強度性能を評価するため、実大強度試験を行った（写真4）。実大曲げ試験は、スパン2160mm（せいの18倍）、荷重点スパン480mm（せいの4倍）の4点荷重方式で行った。実大圧縮試験は、試験体長さを510mm（幅の6倍）として行った。実大せん断試験は、スパン480mm（せいの4倍）の中央集中荷重方式で行った。

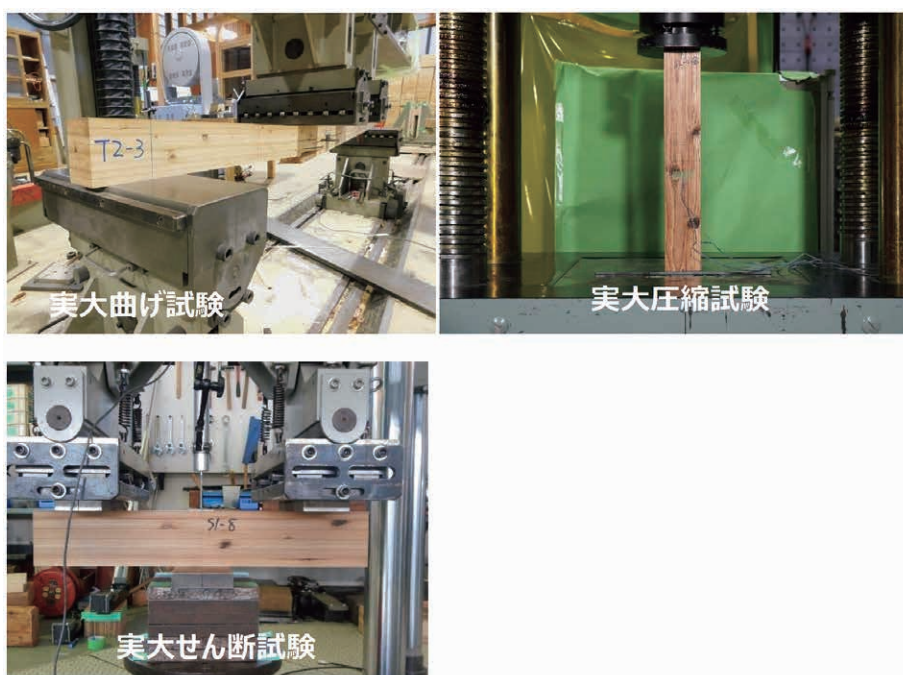


写真4 圧密集成材の実大強度試験

また、集成材の二次接着性能を評価するため、接着剥離試験を行った（写真5）。接着剥離試験片（幅85×せい120×長さ75mm）を採取し、JASに基づく減圧加圧処理を行い、剥離率を算出した。

③ 圧密ラミナの品質等、製品化における課題の整理

①、②の試験調査に基づき、高層木造で使用される耐火集成材柱に適する条件について、樹種、積層数、強度、製作方法などの分析・検討を行った。

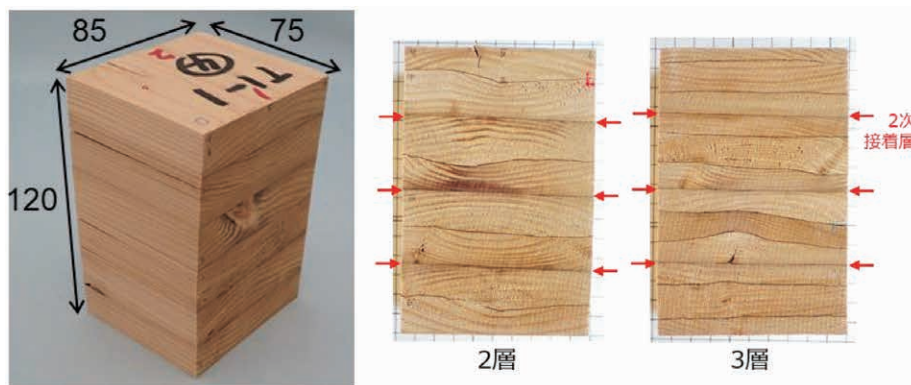


写真5 圧密集成材の接着剥離試験

④ 圧密集成材のコスト評価

高層木造に使用する耐火部材（柱）への適用を想定し、当該技術を用いた場合の製品コストと、従来製品のコストを比較した。

また、製作工程毎のコスト歩掛を算出し、コスト構成や将来的なコスト低減シナリオに関する概略検討を行った。

実施した結果

① 圧密ラミナの製作および基本物性・接着試験・強度試験

圧密ラミナの圧密前後の密度と打撃ヤング係数の結果を表1および図2に示す。密度とヤング係数の圧密前後の変化率はスギで1.84～1.99倍、トドマツで1.95～2.03倍となり、圧縮率（厚さ比50%）に応じて密度や剛性が向上することが確かめられた。

表1 ラミナにおける圧密前後の基礎物性測定結果比較

	スギ単層						スギ2層						スギ3層					
	密度 (kg/m ³)			打撃ヤング係数 (kN/m ²)			密度 (kg/m ³)			打撃ヤング係数 (kN/m ²)			密度 (kg/m ³)			打撃ヤング係数 (kN/m ²)		
	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比
平均値	390	737	1.89	9.0	16.6	1.84	392	770	1.97	8.9	16.9	1.89	384	764	1.99	9.6	18.7	1.95
最小値	319	591		5.8	10.3		312	628		5.5	10.0		318	680		5.7	12.1	
最大値	456	855		13.1	24.2		513	931		13.1	24.0		479	898		14.0	27.7	
標準偏差	27	48		1.6	3.1		34	57		1.5	3.1		31	46		1.6	3.3	
変動係数	6.9%	6.5%		17.6%	18.7%		8.8%	7.4%		17.2%	18.3%		8.0%	6.1%		16.7%	17.9%	
試験体数	75	75		75	75		116	58		116	58		168	56		168	56	

	トド単層						トド2層						トド3層					
	密度 (kg/m ³)			打撃ヤング係数 (kN/m ²)			密度 (kg/m ³)			打撃ヤング係数 (kN/m ²)			密度 (kg/m ³)			打撃ヤング係数 (kN/m ²)		
	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比	圧密前	圧密後	比
平均値	379	743	1.96	10.7	21.6	2.02	394	769	1.95	11.4	22.3	1.97	395	783	1.98	11.6	23.5	2.03
最小値	310	593		8.0	15.0		315	671		7.5	16.8		337	699		8.2	18.0	
最大値	449	891		13.7	27.2		500	924		15.7	31.7		515	924		15.6	31.5	
標準偏差	26	54		1.3	2.7		32	53		1.5	3.1		35	51		1.5	2.9	
変動係数	6.8%	7.3%		12.1%	12.3%		8.1%	6.9%		13.3%	14.0%		8.8%	6.5%		13.1%	12.2%	
試験体数	80	80		80	80		128	64		128	64		174	58		174	58	

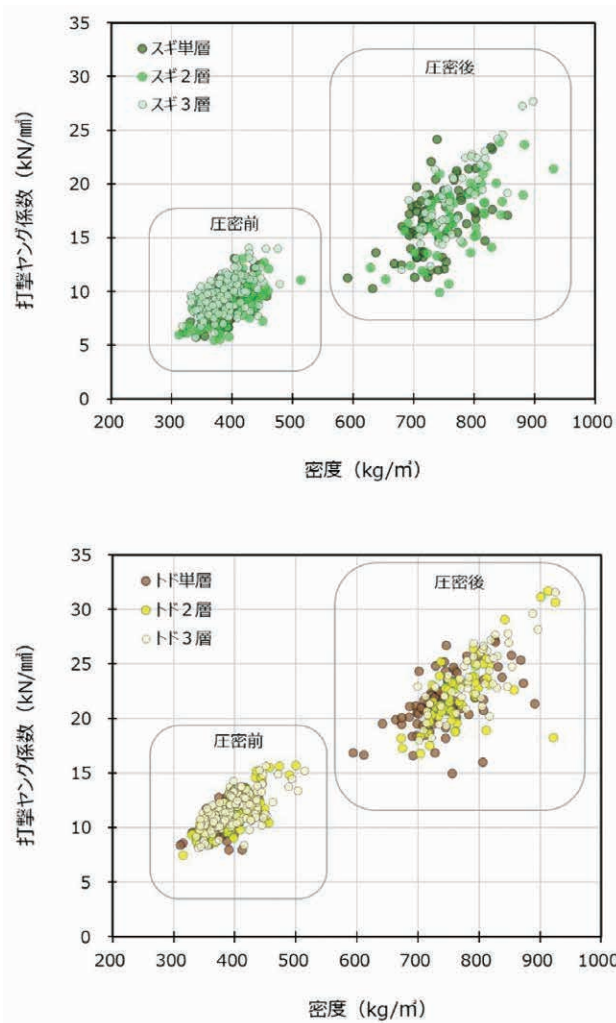


図2 圧密前と圧密後のラミナの基礎物性

積層圧密ラミナの一次接着の剥離試験結果を表2に示す。樹種と積層数によらず、剥離率はJAS基準値(5%)より小さく、良好な接着性能であること、一次接着後に圧密しても接着性能に支障がないことが確かめられた。

元材および圧密ラミナの強度試験結果を図3～6に示す。曲げ試験ではヤング係数が圧縮率に応じて向上するものの、曲げ強さは積層圧密タイプで向上効果が小さい傾向が見られた。圧縮試験ではヤング係数、強度ともに圧縮率に応じて向上しており、曲げ試験に比べてバラツキも小さい傾向が見られた。せん断試験では、平使いより縦使いの圧密効果が高くなること、荷重条件によってはせん断強度と接合性能の異方性に留意すべきことが示唆された。

表2 2層および3層圧密ラミナの一次接着性能試験結果

樹種	積層数	剥離率 (%)	密度 (kg/m ³)		吸水率 (%)		寸法変化率 (%)		
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	厚さ	幅	長さ
スギ	2層	0.6	745	90	76.8	16.8	112	101	100
	3層	0.3	738	45	75.7	7.7	111	101	100
トド	2層	0.9	778	53	61.7	11.4	109	100	100
	3層	0.4	770	66	64.6	10.9	109	100	100

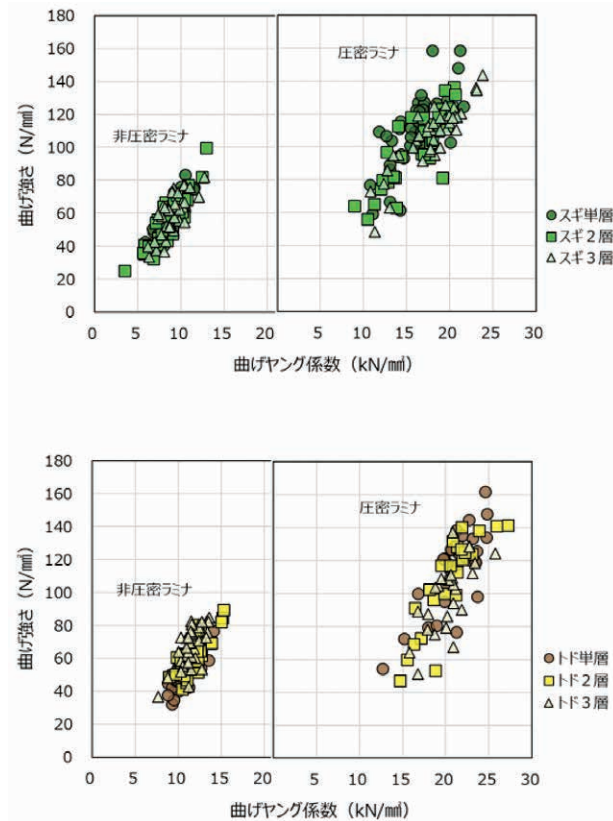


図3 ラミナの曲げ試験結果

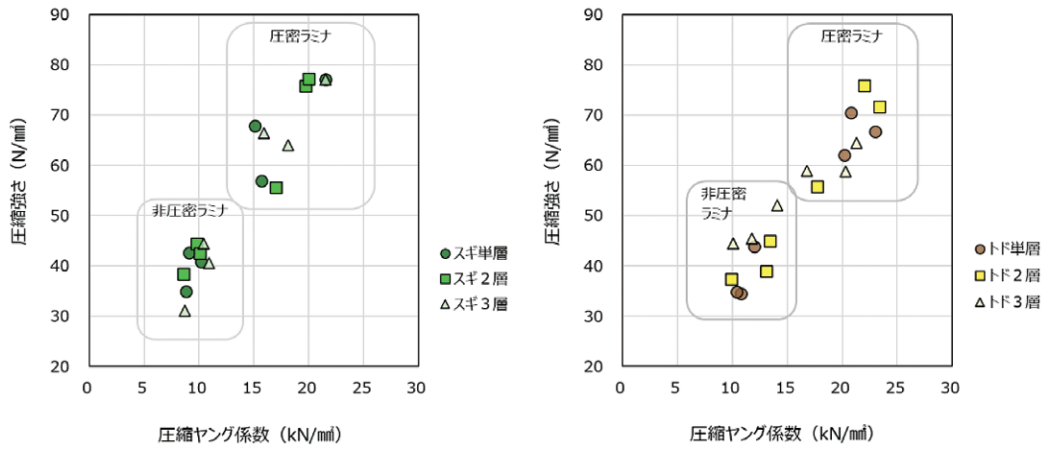


図4 ラミナの圧縮試験結果

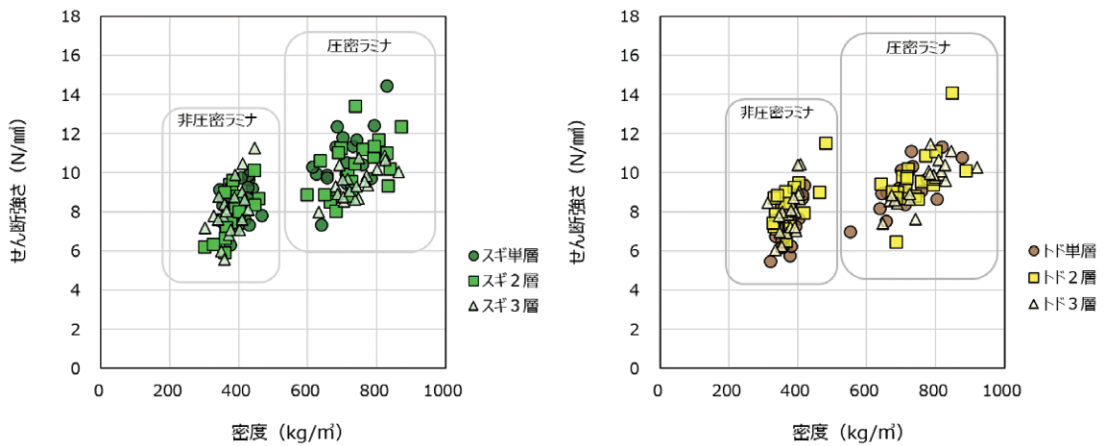


図5 ラミナのせん断試験結果(平使い)

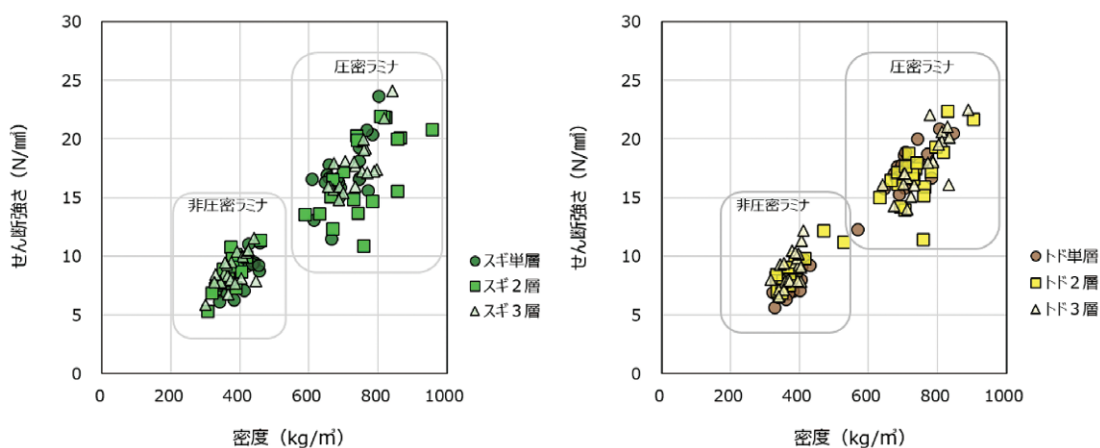


図6 ラミナのせん断試験結果(縦使い)

③ 圧密集成材の試作および強度試験

試作した集成材の二次接着の剥離試験結果を表3に示す。樹種と積層数によらず、剥離率はJAS基準値(5%)より小さく、良好な接着性能であることが確かめられた。ちなみに、非圧密との比較では、圧密集成材の吸水率が半分以下と少ないものの、高さ方向の寸法変化率は大きくなる傾向が示された。

圧密集成材の強度試験結果を図7～9に示す。実大曲げ試験ではラミナ試験と同様にヤング係数よりも曲げ強さの圧密効果が低く、バラツキも大きい結果となった。実大圧縮試験ではラミナ試験と同様にヤング係数、強度ともに圧密効果が高かった。実大せん断試験では平使いしか行っていないが、圧密効果は多少認められたが、圧縮性能ほどではなかった。

表3 圧密集成材の接着性能試験結果

樹種	積層数	剥離率 (%)	密度 (kg/m ³)		吸水率 (%)		寸法変化率 (%)		
			平均値	標準偏差	平均値	標準偏差	高さ	幅	長さ
スギ	単層	0.5	714	33	72.2	7.0	113	—	100
	2層	0.0	760	25	68.9	3.4	113	102	100
	3層	0.0	748	37	69.9	5.2	110	101	100
	非圧密	2.1	397	24	151.2	13.1	101	103	100
トド	単層	0.0	714	45	60.5	6.3	105	100	100
	2層	0.0	746	42	61.4	7.3	107	101	100
	3層	0.0	758	43	61.1	4.7	108	101	100
	非圧密	1.2	386	20	154.1	14.3	100	102	100

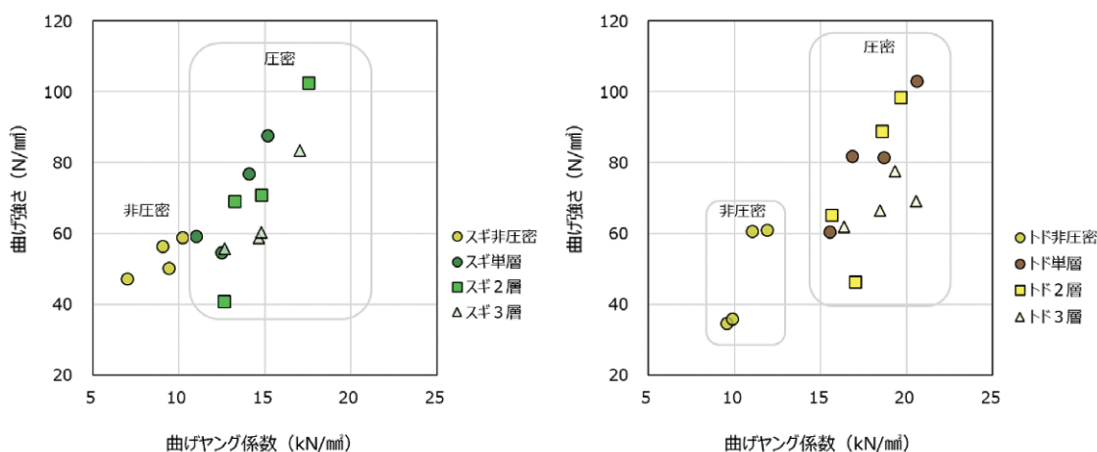


図7 圧密集成材の曲げ試験結果

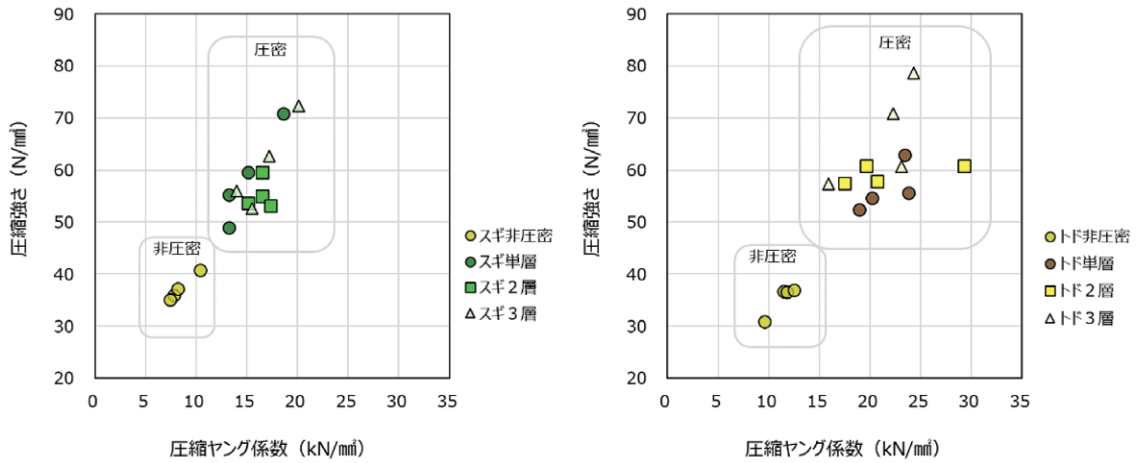


図8 圧密集成材の圧縮試験結果

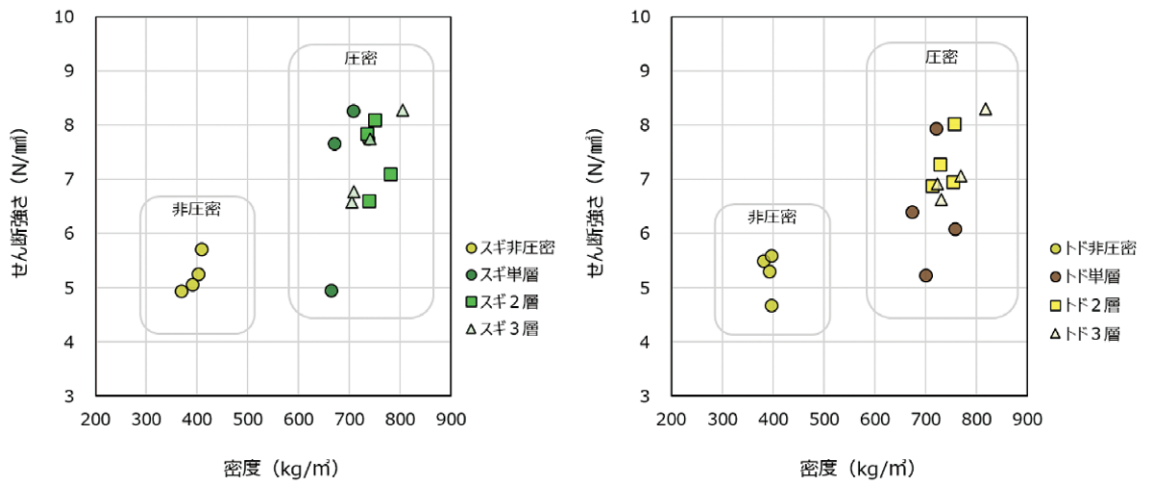


図9 圧密集成材のせん断試験結果

圧密集成材の力学特性のまとめを表4、非圧密に対する圧密集成材の平均値の比を図10に示す。力学特性のうち、曲げ強さやせん断強さでは非圧密に対する比がさほど高くないものの、曲げヤング係数や柱部材として重要となる圧縮強さや圧縮ヤング係数では圧密効果が高いことが示された。

本プロジェクトでは、スギ圧密材ではカラマツ集成材（E95・E105）、トドマツ圧密材ではベイマツ集成材（E120・E135）やダフリカカラマツ集成材（E135・E150）を超える高強度集成材の開発を目指している。表4の特性値のうち、柱部材として重要な圧縮ヤング係数に着目すると、スギ圧密集成材はベイマツ、トドマツ圧密集成材はダフリカカラマツを上回る可能性が示されている。

表4 圧密集成材の強度試験結果まとめ（平均値と非圧密に対する比）

	密度		曲げヤング係数		曲げ強さ		圧縮ヤング係数		圧縮強さ		せん断強さ	
	kg/m ³	比	kN/mm ²	比	N/mm ²	比	kN/mm ²	比	N/mm ²	比	N/mm ²	比
スギ非圧密	398	1.00	8.9	1.00	53.1	1.00	8.5	1.00	37.2	1.00	5.2	1.00
スギ単層	694	1.74	13.2	1.48	69.6	1.31	15.0	1.78	58.7	1.58	7.2	1.37
スギ2層	765	1.92	14.6	1.63	70.9	1.33	16.4	1.93	55.4	1.49	7.4	1.41
スギ3層	754	1.89	14.8	1.66	64.5	1.21	16.7	1.98	60.9	1.64	7.3	1.40
トド非圧密	395	1.00	10.6	1.00	48.0	1.00	11.4	1.00	35.3	1.00	5.3	1.00
トド単層	716	1.81	17.9	1.69	81.7	1.70	21.6	1.90	56.4	1.60	6.4	1.22
トド2層	732	1.85	17.7	1.68	74.7	1.56	21.8	1.92	59.2	1.68	7.3	1.38
トド3層	752	1.90	18.7	1.77	68.8	1.43	21.4	1.89	66.9	1.89	7.2	1.37

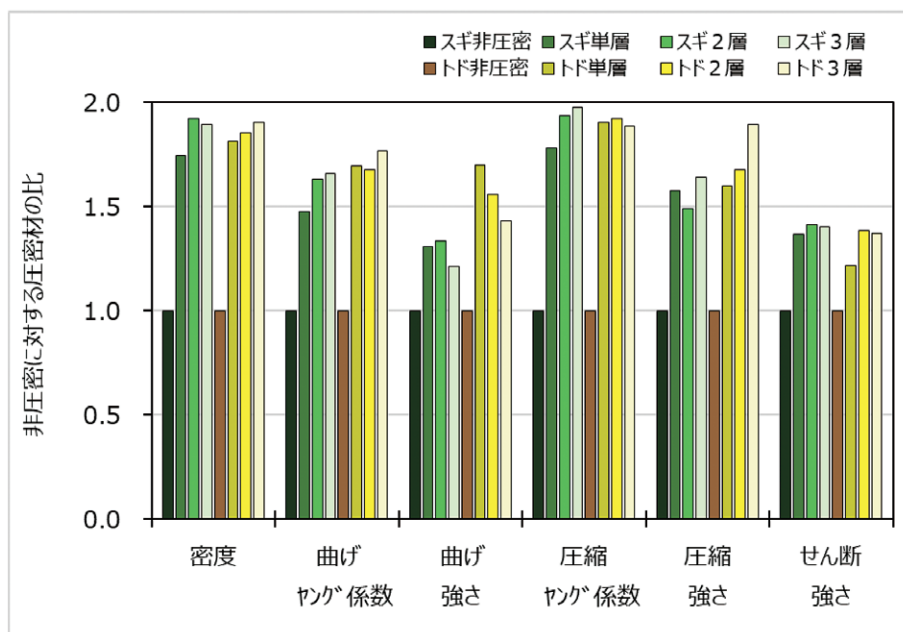


図10 圧密集成材の力学特性の比較（非圧密に対する比）

④ 圧密ラミナの品質等、製品化における課題の整理

上記で得られるデータをもとに、高強度集成材に用いるラミナとして、樹種、積層数、強度、製作方法などについて優位性や注意点を表5に整理した。また、次年度以降の開発に向けて、最終的な利用方法（使用する建物の規模、部位など）をイメージした上で、建物として要求される構造性能を整理し、材料として担保しなければいけない品質および製品化における課題の整理を行った。

表5 圧密ラミナの品質等、製品化における課題整理

ラミナ	元材			圧密ラミナ（50%圧縮）				圧密集成材			
	厚さ	乾燥の容易さ	心持材の利用	厚さ	積層接着作業	圧密時割れ発生	圧密の均質さ	集成作業	材料歩留	強度	コスト
単層	48 mm	△	×	20 mm	◎	△	○	△	○	○	◎
2層	37 mm	○	×	30 mm	△	○	△	○	○	◎	△
3層	26 mm	◎	△	30 mm	×	◎	△	○	△	◎	△

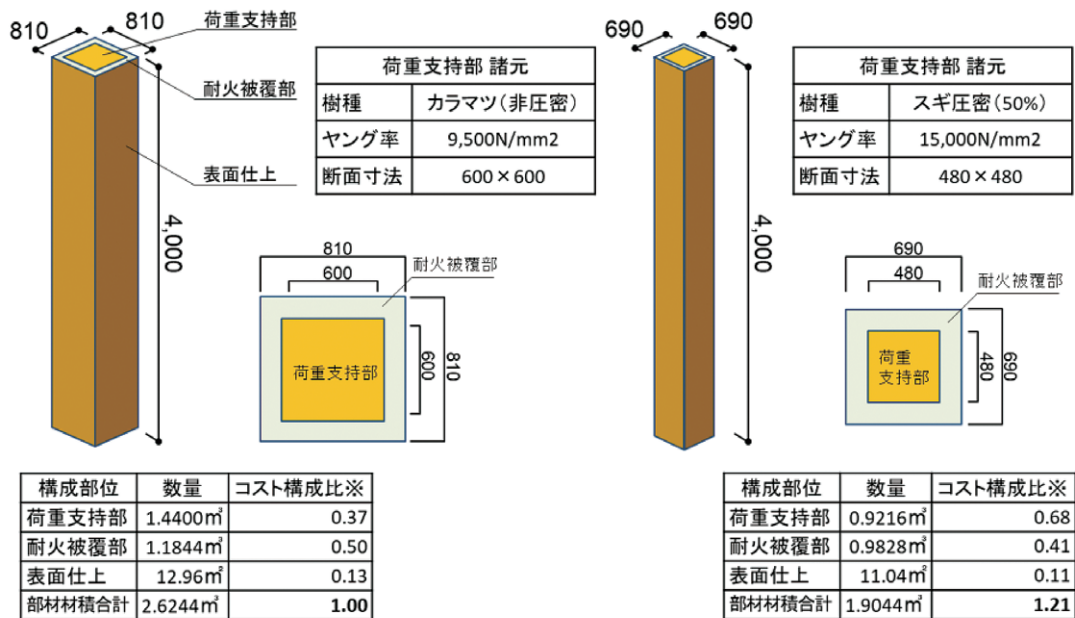
⑤ 圧密集成材のコスト評価

高層建築物の柱断面設計では、軸変形および部材断面積を小さくする必要があり、よりヤング係数の高い集成材を採用することにメリットがある。また、耐火時間に応じた一定の被覆厚さが必要なため、荷重支持部の断面が小さくなることで耐火被覆の表面積とコスト削減にもなり、製品コストの減縮に大きく貢献する。そこで、高層木造建築物の下層柱の耐火集成材を想定し、荷重支持部に圧密集成材を採用する場合のコスト試算を行った。

まずは、単層、複層（2層、3層）の圧密ラミナの製作コスト並びにそれらを用いた圧密集成材の製作コストを算出し、圧密しないカラマツ集成材の場合と比較した。スギの場合、圧密集成材（単層圧密50%）の1㎡あたりの単価は、圧密しない集成材の2.88倍となるものの、同一性能の集成材柱1本あたりのコストでは、断面縮小効果により1.82倍まで下がった。また、トドマツの場合、1㎡あたりの単価は3.06倍になるものの、柱1本あたりのコストでは1.35倍にまで下がる結果となった。

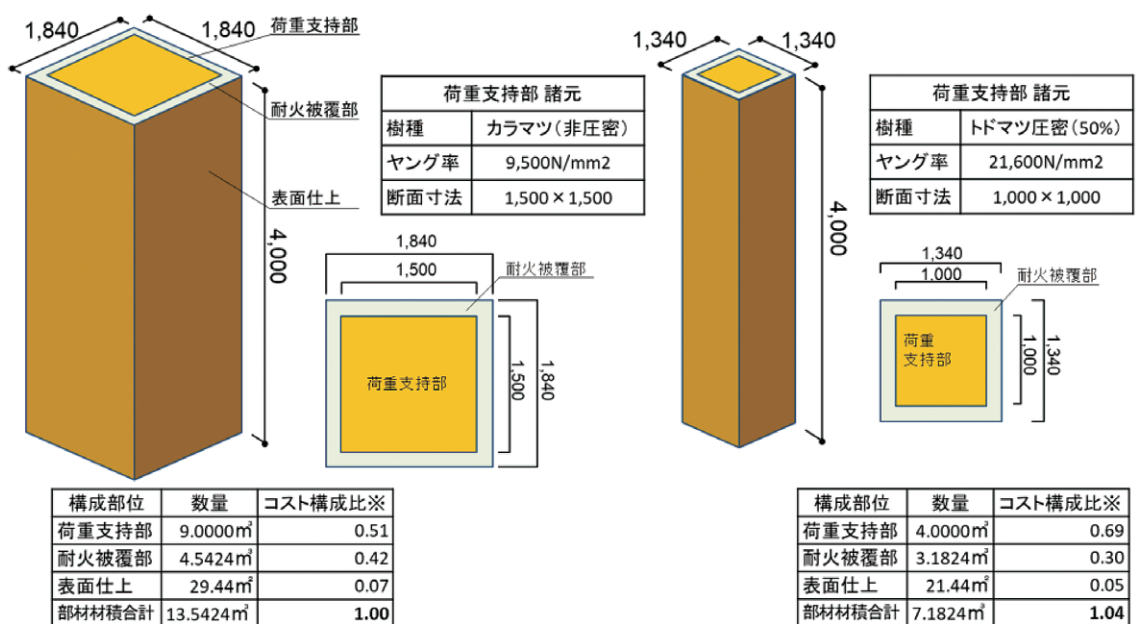
次に、高層木造建築物の下層柱の耐火集成材としてのコスト試算を行った。スギについては、12階建て建築物の1階の耐火集成材柱に単層圧密ラミナを使用した場合の計算結果を図11に示す。圧密しないカラマツ集成材（E95）を使用した場合に比べて柱辺長（耐火被覆含む）が約15%縮小し、製

品コストは1.21倍となった。これは、圧密ラミナを使用する荷重支持部断面積（材積）が約64%になるとともに、耐火被覆部の表面積も減少して製作コストが低下したことによる。また、20階建て建築物の1階の耐火集成材柱に単層圧密ラミナを使用した場合の計算結果を図12に示す。圧密しないカラマツ集成材に比べて柱辺長が約25%縮小し、製作コストは1.04倍となり、ほぼ同等のコストで柱断面積を大幅に抑制できる可能性が示された。



※コスト構成比:カラマツ(非圧密)の製品価格を1としたときの部位毎の価格比

図11 耐火集成材柱の製作コスト比較（12階建高層木造1階柱の場合）



※コスト構成比:カラマツ(非圧密)の製品価格を1としたときの部位毎の価格比

図12 耐火集成材柱の製作コスト比較（20階建1階柱（3時間耐火）相当の場合）

以上の成果から、スギやトドマツに圧密技術を応用することで従来の国産材では到達できなかった高強度な集成材が製造可能になること、さらには、高層木造建築物の耐火柱部材としてリーズナブルなコストで大幅に部材断面を減縮できることが明らかとなった。

本成果を踏まえて、圧密集成材を柱部材として想定した場合の将来的な普及シナリオのロードマップを図13に示す。現在、20階建クラスの超高層木造建築物の検討が始まっており、資源が豊富なスギ等の国産材で高強度な木造部材を実現できる圧密集成材への期待は高い。国産材の新たな需要創出と都市木造の推進へ向けて、建築材料としての実用化のための技術開発とデータ整備を継続する予定である。

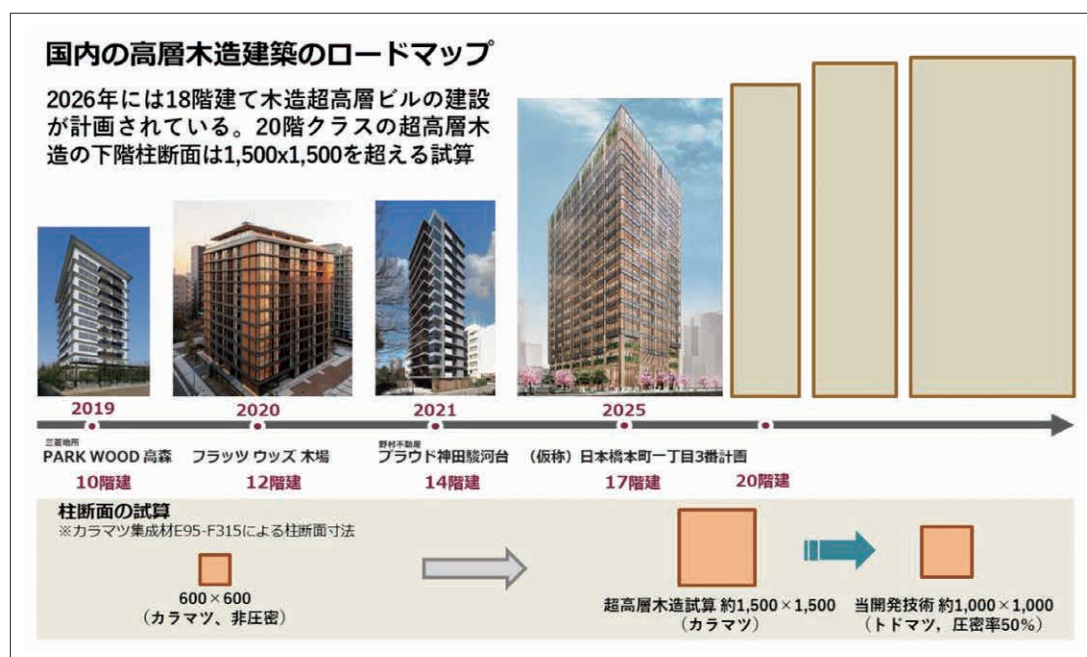


図13 将来的な普及シナリオのロードマップ

今後の
課題・展開
等

1. 製作歩留、品質の向上・安定化を考慮した製作コストの把握と削減
2. たとえばスギ2×6材など、一般流通材を使用することによる低コストな品質管理技術の開発と普及化の検討
3. 全国のスギを対象とした、圧密特性（圧密加工によって得られる各物性値（弾性率、機械的強度（曲げ、せん断、圧縮））の傾向把握と、圧密材の品質に関する知見の集積
4. 耐火部材での利用を想定した場合の、含水率、温度に対する形状安定性、クリープ性状
5. ラミナフィンガージョイントの性能確認
6. 部材接合部・仕口部の破壊性状の把握と、接合部の開発

大断面集成材等の生産時における積層接着工程の短時間化に向けた開発・製作検証

● 実施団体 ●

福島県木造技術開発協同組合

〒963-0724 福島県郡山市田村町上行合字西川原 35

事業目的

近年、多くの計画が進む大規模・高層木造施設の建設に用いられる大断面集成材等の大型部材は、ほとんどが受注生産の特注品であり、量産化・短納期化が難しいため、RC造やS造に対して価格競争力を発揮できにくい側面がある。コスト高の要因である「積層接着」における生産性向上を目的に集成材・CLT製造メーカー、接着剤メーカーとともに、常温接着作業時間の短縮化に向けた取り組みを行う。大断面集成材の「積層接着」工程の生産性向上、作業時間短縮化として、高周波プレスを用いた生産を行うケースも出てきているが、寸法・形状が複雑・特殊なパターンの集成材、部材が大型化する中で必要となる集成材の二次接着部材、およびCLT生産等においては、高周波接着が難しいケースもあり、コールドプレス、レゾルシノール接着剤を用いた常温接着が一般的に行われている。



図1：大断面集成材のプレス設備例

このレゾルシノール接着剤の常温接着においては、接着性能発現のために最低8時間～半日以上、プレス圧縮・養生の必要があり、プレス機1機あたり一日1回転、2シフトを組んでも2回転の出来高が限界となり、量産・短納期対応が難しい現状がある。そのため大型部材が多数用いられるプロジェクトにおいては、度々、生産設計上のボトルネックとなるケースが多い。

本事業では、これらコールドプレスでの接着が求められる大断面集成材等の大型部材生産時の、常温接着時間の短縮に向けた取り組みを行い、生産性向上・短納期生産を実現することで、コスト競争力のある非住宅木造施設の拡大を推進する。

実施した項目

- 1) 開発検討会の開催
- 2) 接着作業検証、性能試験の試験計画
- 3) 盛夏時の接着性能試験の実施
→ 藤寿産業郡山工場及びオーシカ社技術研究所にて接着性能試験
- 4) 厳冬期の接着性能試験の実施
→ 藤寿産業郡山工場及びオーシカ社技術研究所にて接着性能試験
→ 合板検査会にてホルムアルデヒド試験を実施

実施体制

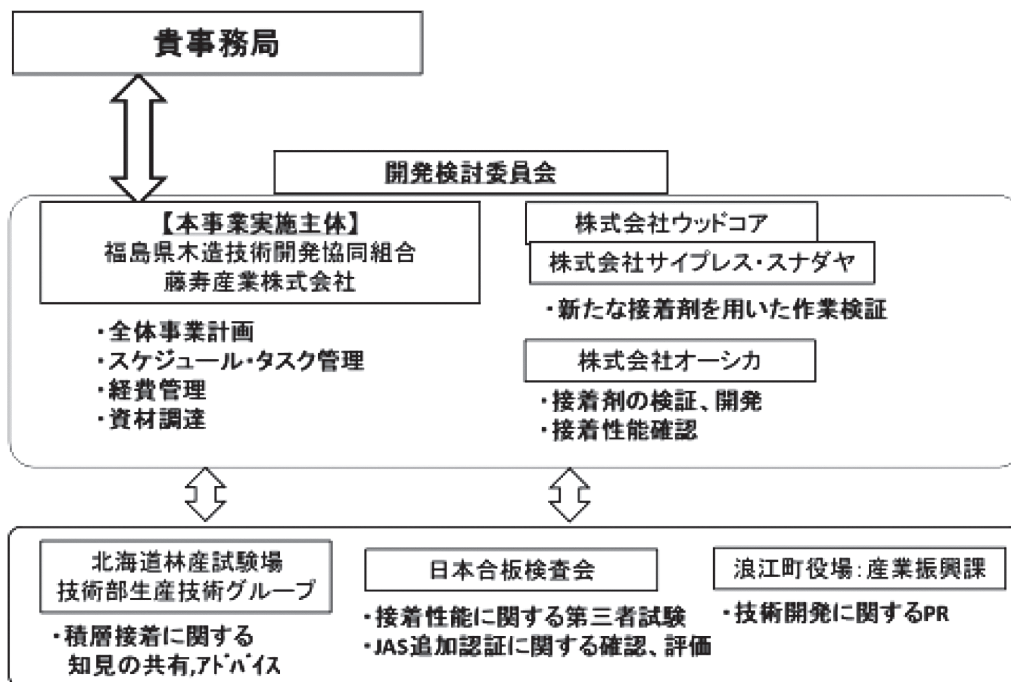
<事業推進>

- 福島県木造技術開発協同組合（幹事会社）
- 藤寿産業株式会社
- 株式会社ウッドコア
- 株式会社サイプレス・スナダヤ
- 株式会社オーシカ

<技術指導、支援>

- 北海道林産試験場（集成材の積層接着に関する支援）
- 日本合板検査会（JAS追加認証に関する確認、評価）
- 浪江町役場

<体制図>



1) 開発検討会の開催：7月10日

大断面集成材メーカー（藤寿産業、ウッドコア）、集成材・CLT メーカー（サイプレス・スナダヤ）、接着剤メーカー（オーシカ）、北海道林産試験場（技術部生産技術グループ）、にて開発検討委員会として、レゾルシノール接着機構、接着作業、塗布方式、硬化条件などの整理を行うとともに、接着剤メーカーにて開発を進めた硬化時間短縮を目指したレゾルシノール系接着剤の条件整理を行った。

- ゲル化時間と実際のアッセンブリタイムの目安
- 季節によるプレス圧縮時間の目安
- 硬化剤の仕様や性能検証（テーブル試験）の必要性
- 作業性に関する注意事項
- 今年度、試験を実施する試験時期と試験方法

OSHIKA		Oshika Technical Data			C-76326
Title 短時間圧縮用レゾルシノール樹脂系接着剤 ディアノールD-4330Wについて					
1. 用途・特徴					
ディアノールD-4330Wは構造用集成材接着用のレゾルシノール・フェノール樹脂接着剤であり、これまでの製品と比べ、低温での短時間圧縮が可能です。					
2. 一般性状					
主剤 一般性状（代表値）					
	ディアノール D-300W	ディアノール D-4320	ディアノール D-4330W	測定条件	
不揮発分	56%	53%	53%	135°C×1時間蒸発残分	
粘度	9.0Pa・s	5.5Pa・s	5.5Pa・s	BH型粘度計 23°C 20rpm	
pH	9.0	8.9	9.1	pHメーター 23°C	
ゲル化時間 (40°C)	10分	16分	8分	主剤/硬化剤(DL-900) =100/30	

図3：短時間圧縮用レゾルシノールの性状

2) 接着性能試験の試験計画：7月

2-1) 開発検討委員会での議論を経て試験計画の立案を行った。

(開発接着剤の仕様・条件)

- レゾルシノール・フェノール接着剤で低温・短時間タイプとして製品開発を行った品番がD4330。
- 15°Cより暖かい日に使う「Aタイプ」と寒い日に使う「Wタイプ」を開発。
- アッセンブリタイム（接着剤塗布～プレス圧縮まで）については、AタイプもWタイプも15分以内が目安
- テーブル試験で使用環境Aの性能を確認済み。
その際の条件は、硬化剤は液状硬化剤、塗布方式はロールコーター。
- 先行検証として、CLTでは、既に実大試験を実施しており、10分程度の堆積時間で作業を終え、いずれもJAS規格の接着性能を確認できている。



図4：短時間圧縮用レゾルシノール製品

上記を踏まえて、試験検証として

- 盛夏（8月上旬）と厳冬時（1月下旬）に実大サイズでの検証が必要。
 - 盛夏時は、作業時間が確保できずに乾燥接着とならないのかどうか。
 - 厳冬時は、短時間圧縮で接着性能が発現するのかどうか
- カラマツも未検証のため、検証が必要
- プレス圧縮時間の目標として4時間を目安として、試験検証を実施することとした

2-2) 新たなレゾルシノール接着剤について JAS 認証工場で活用するためのSTEPを日本合板検査会に確認を行った。

- オーシカ社で既に JAS 集成材への使用として認められているレゾルシノール・フェノール共縮合タイプの「ディアノール」の品番の改良商品であるため、接着剤自体の試験は不要
- 本接着剤を利用する際の品質基準書を整理すること
- サンプル試験体を製作し、集成材の接着性能確認に関する物理試験（減圧加圧剥離試験 等）を実施し工場側で性能を確認すること
- ホルムアルデヒド試験を合板検査会に委託して行うことを実施し、「変更届」申請が承認されれば、開発接着剤を集成材の JAS 認証工場での取り扱い可能であることを確認した。

3) 盛夏時の接着性能試験の実施

3-1) D4330のAタイプの盛夏時の検証として8月7日に二次接着プレス作業を藤寿産業の郡山工場内にて行った。

プレス圧縮時間をパラメータにスギ大断面集成材で比較試験を行った。

<試験条件>

製造日	2023年8月7日（月）
雰囲気、材料温度	30℃
被着材・構成	スギ集成材(10ply) 厚150mm×幅300mm×長さ5700mm(1層目) スギ集成材(10ply) 厚120mm×幅300mm×長さ6000mm(2~4層目) スギ集成材(10ply) 厚150mm×幅300mm×長さ5700mm(5層目) ・5ply
接着剤	D-4330A/DL-880 (M3051651) = 100/30
塗布量	327g/m ² 塗布量の目標設定は 320±10 g/m ²
含水率	7.0~8.0%
堆積時間	15分
圧縮圧力	面圧：1.0 MPa
圧縮時間	2時間、3時間、4時間、
試験片採取位置	試験体両端（左側及び右側）部分より1片ずつ 計2片採取



図5：二次接着作業

- 乾燥接着にならないかどうかの確認として、5ブロックの二次接着（1.8㎡×4面への接着剤塗布）作業を行った。
- 接着剤圧縮～プレス圧縮作業としては12～15分程度であったが、接着剤を木材に塗付してから、張り合わせるまでの圧着時間（オープンアッセンブリタイム）は、3～4分程度であった。
- 試料として接着剤塗布作業開始時にビーカーに採取した混合後接着剤のゲル化が始まるまでの時間としては、8～9分程度であった。



図6：接着剤のゲル化

3-2) 試験片をカットし、集成材 JAS 規格に準じた接着性能物理試験をオーシカ社、藤寿産業社にて実施した。



図7：接着性能試験の試験片

4) 厳冬期の接着性能試験の実施

4-1) D4330のWタイプの厳冬期の検証として1月24～26日に二次接着プレス作業を藤寿産業の郡山工場内にて行った。

<試験条件>

製造日	①D300とD用硬化剤	2024年1月24日（水）
	②D300と液状硬化剤	2024年1月25日（木）
	③D4330と液状硬化剤	2024年1月26日（金）
雰囲気温度、材料温度		5～6℃
被着材構成	スギ集成材	150×300×4000mm(10Ply)2ブロックを二次接着し300×300×4000mmを同時に2体分製作
	カラマツ集成材	150×300×4000mm(10Ply)2ブロックを二次接着し300×300×4000mmを同時に2体分製作
塗布量		350g/m ²
含水率		8～10%
堆積時間		9～11分
圧縮圧力		1.0MPa
圧縮時間	①D300とD用硬化剤	4時間と8時間
	②D300と液状硬化剤	4時間と6時間
	③D4330と液状硬化剤	4時間と6時間

- 開発した接着剤と従来の接着剤の性能の比較として3パターン、樹種2パターン、プレス圧縮時間2パターンの12パターンの条件にて比較検証を行った。
- 柱サイズを想定し、150×300×4000mm(10Ply)2ブロックを二次接着し300×300×4000mmを同時に2体分製作した。
- 接着剤圧縮～プレス圧縮作業としては11分程度であったが、接着剤を被着材に塗付してから、張り合わせるまでの接着時間（オープンアッセンブリタイム）は、3～4分程度であった。
- 試料として接着剤塗布作業開始時に採取した配合後接着剤のゲル化が始まるまでの時間としては、12～15分程度であった。

4-2) 試験片をカットし、集成材 JAS 規格に準じた接着性能物理試験をオーシカ社、藤寿産業社にて実施した。合わせて日本合板検査会への委託試験としてホルムアルデヒド放散量試験を実施した。



図9：カットした試験片




1) 盛夏期（8月7日接着作業）の接着性能試験の結果は以下の通り。

- ・減圧加圧剥離試験
- ・ブロックせん断

において、JAS規格基準を満たした良好な結果となった。

<試験結果>

株式会社オーシカ
中央研究所

	検印	検印	検印	作成
C-78845				

**レゾルシノール系樹脂接着剤ディアノールD-4330Aでの
スギ構造用集成材 接着性能試験結果について**

1. 経緯・目的
貴社工場にてレゾルシノール樹脂系接着剤ディアノールD-4330A/液状硬化剤DL-880を使用し試験製造しましたスギ構造用集成材について、2次接着部分の接着試験を行いましたので、結果をご報告いたします。
性能確認試験として、集成材の日本農林規格に記される構造用集成材の減圧加圧剥離試験（使用環境A）、ブロックせん断試験を行いました。

2. 結論
試験の結果、全ての条件で、良好な結果が得られました。概要を以下に、詳細は次頁以降に示します。

表 試験結果一覧

堆積時間	圧縮時間	D-4330A			
		減圧加圧剥離試験		ブロックせん断試験	
		剥離率 (%)	適合率 (%)	せん断強さ (MPa)	木部破断率 (%)
15分	2時間	0.0	100	7.5	100
	3時間	0.0	100	6.6	100
	4時間	0.0	100	7.8	100



図8：接着性能試験後の試験片（木破）

4.1 減圧加圧剥離試験

接着剤	圧縮時間	堆積時間	15分	
		試験片採取位置	左側	右側
D-4330A	2時間	各接着層の1層目	0 - 0	0 - 0
		剥離長さ2層目	0 - 0	0 - 0
		(mm)3層目	0 - 0	0 - 0
		4層目	0 - 0	0 - 0
		剥離率(%)	0	0
		総平均(%)	0	
	3時間	各接着層の1層目	0 - 0	0 - 0
		剥離長さ2層目	0 - 0	0 - 0
		(mm)3層目	0 - 0	0 - 0
		4層目	0 - 0	0 - 0
		剥離率(%)	0	0
		総平均(%)	0	
	4時間	各接着層の1層目	0 - 0	0 - 0
		剥離長さ2層目	0 - 0	0 - 0
		(mm)3層目	0 - 0	0 - 0
		4層目	0 - 0	0 - 0
		剥離率(%)	0	0
		総平均(%)	0	

4.2 ブロックせん断試験

接着剤	圧縮時間	堆積時間	15分			
		試験片採取位置	左側		右側	
			せん断強さ (MPa)	木部破断率 (%)	せん断強さ (MPa)	木部破断率 (%)
D-4330A	2時間	1層目	6.8	100	7.9	100
		2層目	7.6	100	6.8	100
		3層目	7.5	100	7.5	100
		4層目	6.9	100	9.4	100
		平均	7.2	100	7.9	100
		総平均	7.5		100	
	3時間	1層目	5.6	100	7.4	100
		2層目	6.8	100	8.0	100
		3層目	8.2	100	4.9	100
		4層目	6.4	100	5.5	100
		平均	6.8	100	6.4	100
		総平均	6.6		100	
	4時間	1層目	6.5	100	9.9	100
		2層目	7.6	100	6.9	100
		3層目	9.5	100	7.2	100
		4層目	7.4	100	7.4	100
		平均	7.8	100	7.9	100
		総平均	7.8		100	

2) 厳冬期（1月24～26日接着作業）の接着性能試験の結果は別途報告

- 盛夏時においては、2時間、3時間、4時間いずれの試験試料とも良好な接着性能の結果となり、プレス圧縮時間の目標値4時間に対して、大幅にプレス時間を短縮できる可能性が示された。
- 一方、夏季はゲル化時間が作業中の実測からも10分未満ということで、塗布方法や作業時間は限定されるものと想定される。今回の検証作業からは以下の通り。

→ グルーエクストルーダーによる塗布

ロールコーターやスプレー塗布などで表面均一に塗布するわけではなく、ラーメン状に塗布されることで、被着材（木材）が圧着させたときに接着剤が木材表面に一面に広がることとなり、乾燥接着を防いでいるといえる。

→ スタティックミキサータイプ

混合直後から反応・硬化がどんどん進んでいくため、塗布直前に混合塗布するスタティックミキサータイプでの混合が必要であると考える。

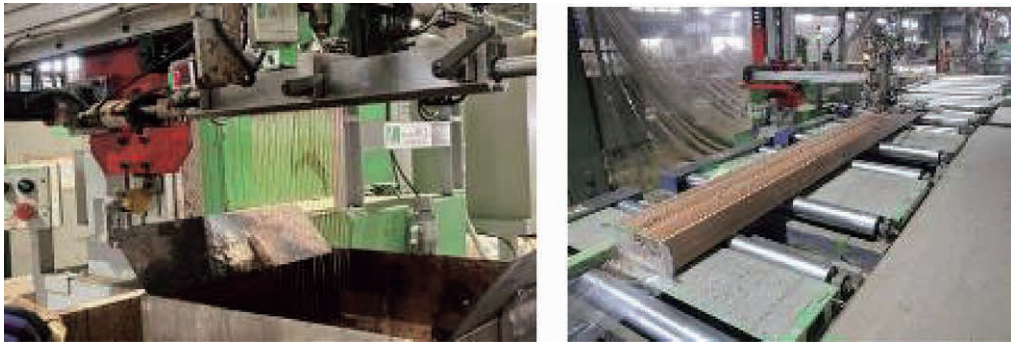


図9：スタティックミキサー、グルーエクストルーダーでの接着剤塗布

→ オープンアッセンブリタイム5分以内。プレス圧縮までのアッセンブリタイム（オープン＋クローズ）15分以内。

今回の検証からは、夏場で5分以内のオープンアッセンブリタイム（接着剤を木材に塗付してから張り合わせるまでの圧着時間）が必要であると想定される。

- 厳冬期（1月24～26日接着作業）の接着性能試験の結果も踏まえながら、短時間圧縮向けレゾ仕様作業手順、品質管理基準を取り纏めの上、JAS認証の追加作業を進めていく。
合わせて夏場では1シフト+ α の作業時間で、プレス3回転できる可能性も示されたため、一日あたりの生産性向上に向けた作業手順を確立する。
- 一次接着作業については、接着層、接着面積が多くなることを踏まえると現状のゲル化時間では乾燥接着になるリスクが大きい。引き続き、硬化促進のスピードと、作業性のバランス確保に向けた調整が必要と思われる。
- 本開発製品を使った量産使用に向けては、接着剤メーカーの生産・供給体制の調整が必要で現時点では必要量の密な情報連携が必要。また現行接着剤製品よりも使用期間が短いことや、長期保管による粘度上昇などに留意が必要でいずれも受け入れ確認および使用前確認が必要である。

中層建築を対象とした性能、施工費、LCAなどの指標に基づくCLT等木造建築の企画・設計支援ツールの開発

● 実施団体 ●

宮城県CLT等普及推進協議会

〒980-0011 仙台市青葉区上杉2丁目4-46 宮城県森林組合連合会内

事業目的

多くの地方都市で需要が見込まれ標準的事例となる複数案の木造モデル建築の試設計と検証・評価を行って「企画・設計支援ツール」を開発し、これを広く公開し、企画・計画を検討している発注者や設計者が容易に木構造建築を選択可能とする。支援ツールは、設計と条件からチャート方式で適正な工法・構造システム、設計・施工の手法、建築環境、建設費比較などが簡単に導かれ、民間建築や公共建築において木造木質化普及の加速を図る。

実施した項目

1. 事務所、共同住宅、老人ホーム、商業施設、学校の木造モデル建築の試設計（設計支援ツール）
2. 用途、規模、環境、建設コストの条件整理とLCA環境性能の指標化
3. 普及広報のためのパンフレット作成と配布を通じて潜在的な木造建築需要の普及広報

実施体制

全体委員会

委員長： 安達揚一（株）SPAZIO 建築設計事務所

副委員長： 早坂陽（株）構建築設計事務所

委員： 折原はる（株）構建築設計事務所、山内一彦（株）井口構造設計事務所、藤田渉（Refil 合同会社）、出井弘介（株）デイ・アーキテクト、齋藤健太郎、中居友美（有）ガルボ空間工房、勝田幸仁朗（物林株）、秋竹壮哉（株）奥村組、村田恭輔（株）村田工務所、前田匡樹、後藤豊、松本直之、津田和輝、鈴木陽平、山本暁（東北大学）、日野円、小松朋永（宮城県森林組合連合会）

設計WG

主査： 安達揚一（株）SPAZIO 建築設計事務所

副主査： 出井弘介（株）デイ・アーキテクト、藤田渉（Refil 合同会社）

委員： 早坂陽（株）構建築設計事務所、山内一彦（株）井口構造設計事務所、齋藤健太郎（有）ガルボ空間工房

評価WG

主査： 早坂陽（株）構建築設計事務所

副主査： 勝田幸仁朗（物林株）

委員： 秋竹壮哉（株）奥村組、村田恭輔（株）村田工務所、安達揚一（株）SPAZIO 建築設計事務所、山内一彦（株）井口構造設計事務所、藤田渉（Refil 合同会社）、出井弘介（株）デイ・アーキテクト、齋藤健太郎（有）ガルボ空間工房

L C A： 前田匡樹、後藤豊、松本直之、津田和輝、鈴木陽平、山本暁（東北大学）

普及広報WG

主査： 齋藤健太郎（有）ガルボ空間工房

副主査： 中居友美（株）ガルボ空間工房、折原はる（株）構建築設計事務所

委員： 安達揚一（株）SPAZIO 建築設計事務所、早坂陽（株）構建築設計事務所、出井弘介（株）デイ・アーキテクト

事務局： 日野円、小松朋永（宮城県森林組合連合会）

実施した内容

1. 事務所、共同住宅、老人ホーム、商業施設、学校の木造モデル建築の試設計。(設計支援ツール)
 - 1.1 意匠設計 1.2 構造設計 1.3 イメージパース作成
2. 用途、規模、構造、環境、建設コストの条件整理とLCA環境性能の指標化。
 - 2.1 用途別法適合検討 2.2 構造材と仕様の比較 2.3 断熱材と防湿材の選定
 - 2.4 構造別コスト算出と比較 2.5 LCAの検証 2.6 指標に基づく評価
3. 普及広報のためのパンフレット作成並びに発注者（自治体や企業）と設計者・施工者への配布。
 - 3.1 企画・設計支援ツールとしてのパンフレット作成 3.2 成果報告会の企画と開催

実施した結果

1. 地方都市で需要が見込まれる用途別木造モデル建築の試設計
 - 1.1 事務所（CLT壁柱+在来梁工法）のモデル建築試設計

住居専用地域系以外どこでも建築可能な用途。

想定立地は中心市街地以外。構造規模は木造3階建て3,000㎡以下に設定。

事務所モデルの設計は、CLTの柱壁と在来工法の梁による木造ハイブリット構造とし、木造大空間の構造計画軽減化、および事務機能を担保した健康的で快適な事務空間を目指した。間取りは水廻りと共有部を一箇所にまとめて事務スペースを広く確保したシンプルなものとし、間仕切り壁を最低限の配置にすることでテナントによってフレキシブルに間仕切り変更が可能となっている。

設計支援ツール「事務所」

①基本情報選択

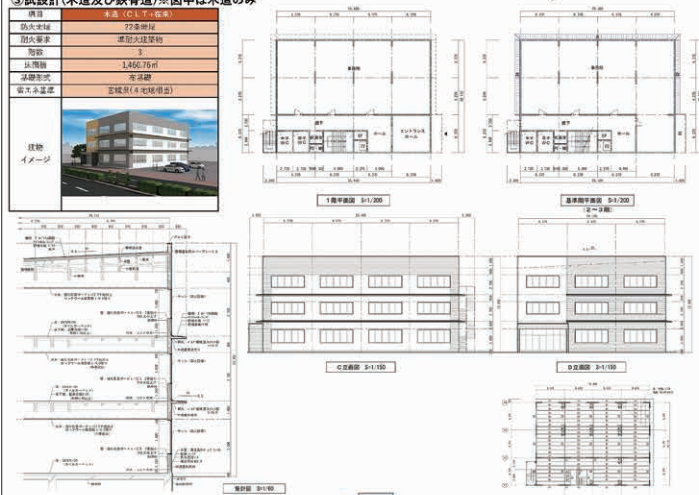
建築火災種	400㎡以下	500㎡超	1500㎡以下	1500㎡超
4階以上	Aグループ			
3階	Bグループ 単層木造建築物 一定の柱間基準による	Cグループ 単層木造建築物 一定の柱間基準による	Dグループ 耐火建築物	
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火性能が必須	Cグループ 単層木造建築物 一定の柱間基準による	Dグループ 耐火建築物	

※「高さ10m以下かつ面積が200㎡以下」もしくは「延床面積200㎡以下かつ延床面積が200㎡以下」のいずれかを満たすものは、Aグループに分類される。ただし、耐火建築物は、建築基準法第100条第1項第1号に該当する場合は、Aグループに分類される。また、耐火建築物は、耐火性能が異なる場合は、Bグループに分類される。また、耐火建築物は、耐火性能が異なる場合は、Cグループに分類される。

②設計条件及び構造検討

項目	木造（CLT+在来）	鉄骨造
防火地域	法22条地域	法22条地域
耐火要求	単層木造建築物	単層木造建築物
階数	3	3
床面積	500㎡~1,500㎡以下	500㎡~1,500㎡以下
基礎形式	中央礎	中央礎
壁工法基準	空城制(4坪柱配置)	空城制(4坪柱配置)

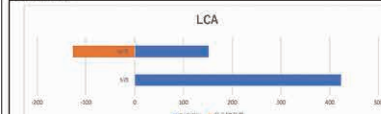
↓ 試設計開始 ↓




↓ 評価結果 ↓

④評価結果

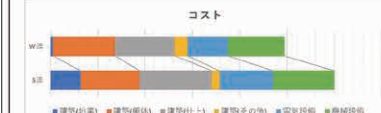
LCA



工務



コスト



項目	木造（CLT+在来）	鉄骨造
初期投資	鉄骨造に比べて初期投資が少く、CO2削減できる。	鉄骨造に比べて初期投資が多くなり、CO2削減できない。
維持管理	木材は劣化や虫害対策が必要だが、定期的なメンテナンスで済む。	鉄骨造は劣化や虫害対策が必要だが、定期的なメンテナンスで済む。
耐用年数	木造は劣化や虫害対策が必要だが、定期的なメンテナンスで済む。	鉄骨造は劣化や虫害対策が必要だが、定期的なメンテナンスで済む。
施工	鉄骨造は現場での施工が必要で、工期が長くなる。	鉄骨造は現場での施工が必要で、工期が長くなる。
コスト	鉄骨造に比べて初期投資が少く、CO2削減できる。	鉄骨造に比べて初期投資が多くなり、CO2削減できない。

CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

339

1.2 共同住宅（CLTパネル工法）のモデル建築試設計

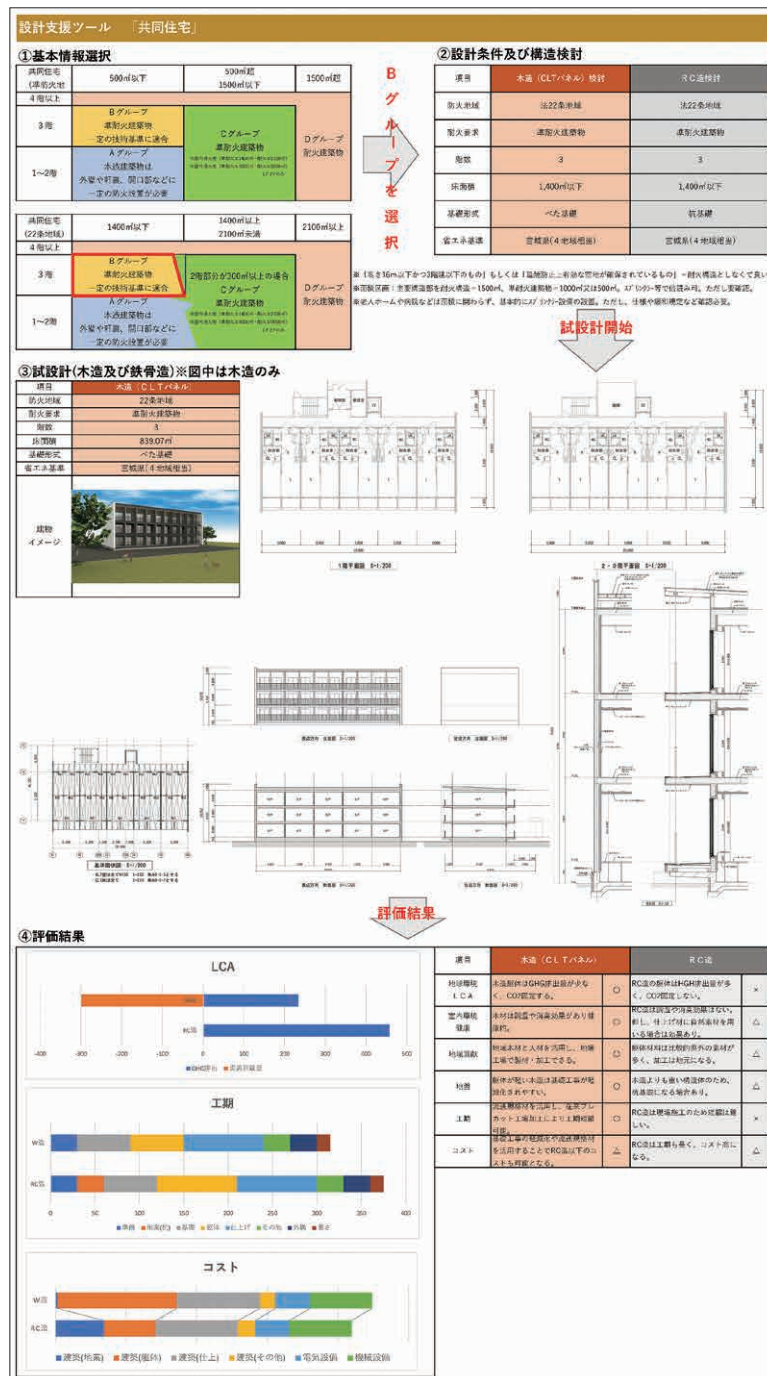
工業専用地域以外どこにでも建築可能な用途。

想定立地は中心市街地以外。構造規模は木造3階建て2,100㎡以下に設定。

各種検討しやすいように、木造・RC造共に同じプランで、且つ、標準的な平面形状とし試設計を行った。

各住戸の設備配管及びダクトは、天井裏のスペースを利用するように設計した。また、バルコニーの奥行きを大きく確保することで日よけの機能を兼ねている。

木造CLTパネル工法では1階の床は在来の床組としているが、壁と2階以上の床及び屋根はCLTパネルを採用した。

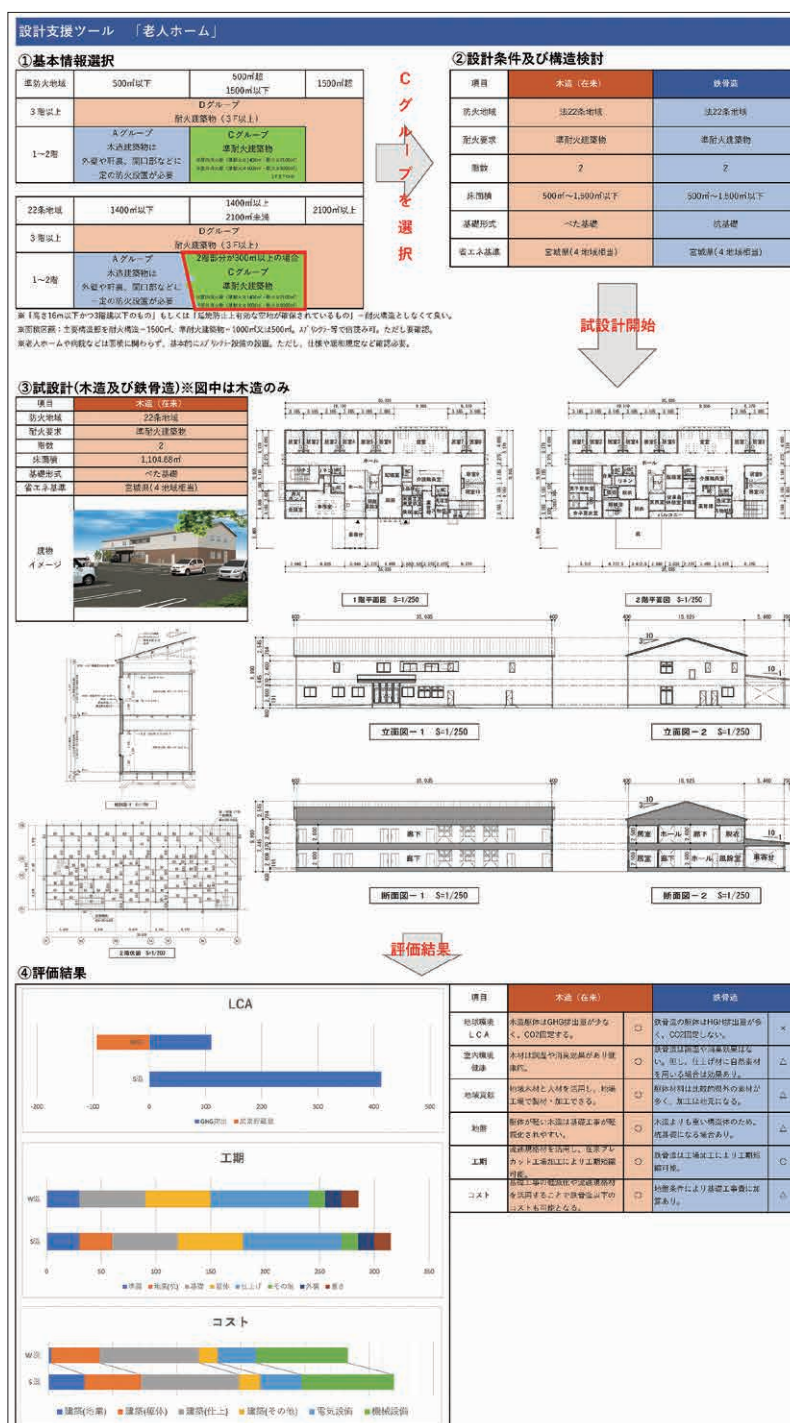


1.3 老人ホーム（在来軸組工法）のモデル建築試設計

工業専用地域以外どこにでも建築可能な用途。

想定立地は中心市街地以外。構造規模は木造2階で2,100㎡以下に設定。

老人ホームモデルの設計は、木造で最もスタンダードな在来軸組工法とすることで、個室や特有の設備室など、居室数の多い本施設にとって施工・構造計画ともに取り掛かりやすい空間を目指した。老人ホームは需要が高く木質化の普及が見込まれ、かつ木質のあたたかみのある空間は利用者にポジティブな効果をもたらす。より多く木質化していくことを目指し、必要居室を有しながらも建築規模による耐火要求を抑えられるよう床面積が過剰にならない計画とした。



1.4 商業施設（在来軸組工法（トラス梁））のモデル建築試設計

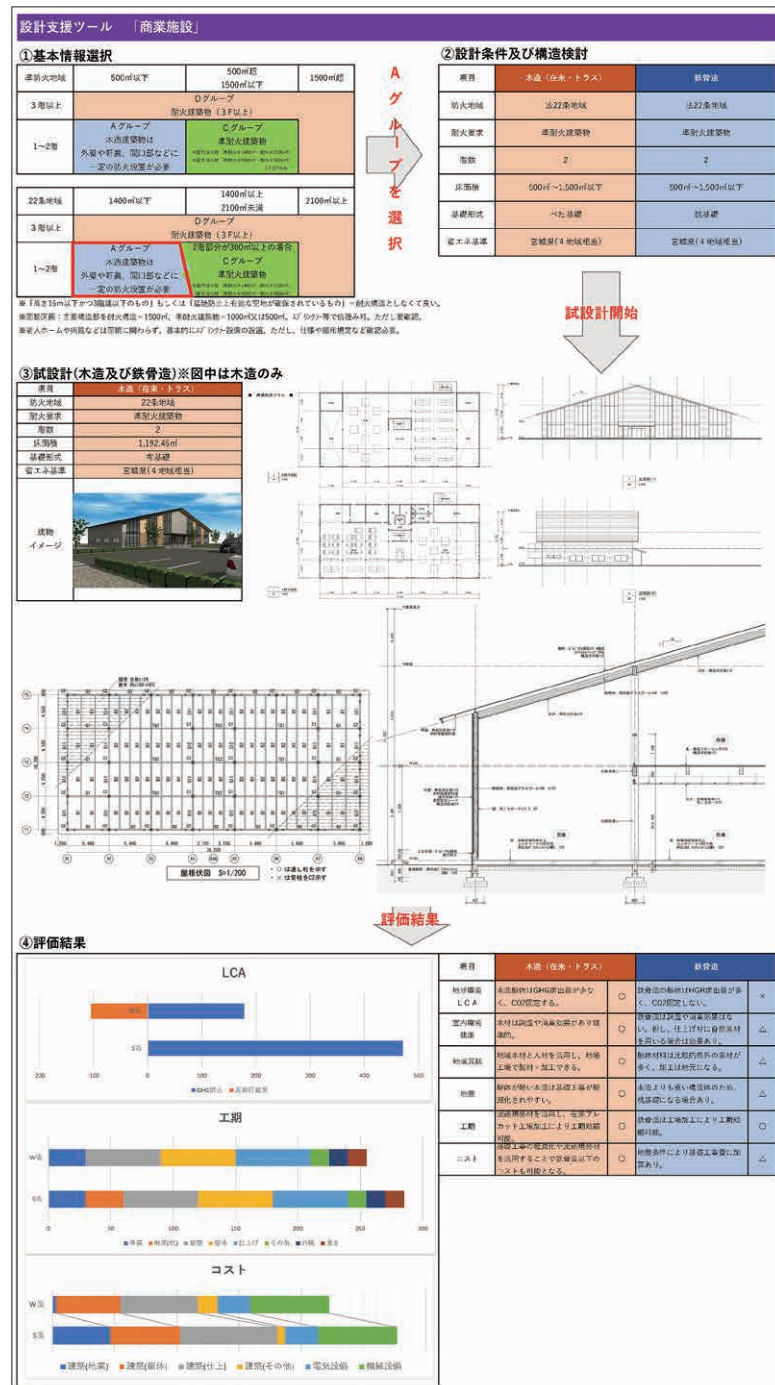
業種業態によるが、住居専用地域系以外どこにでも建築可能な用途。

想定立地は中心市街地以外。構造規模は木造2階建て1,500㎡以下に設定。

今回の試設計において、商業施設はロードサイドにある物産館を想定した。よって、1階もしくは2階建てが適切であると考えた。その中で広く木造の可能性を検討するため、2階建てプランとし、その規模を検討した。

商業施設は広い空間を必要とするため、なるべく内部に柱を配置しない在来工法一部トラス構造を用いた。基本的な構造は木造在来工法であるため、比較的容易に建築が可能となっている。

また比較検討のため、商業施設の特徴より鉄骨造との比較を行っている。



1.5 学校（在来軸組工法（高耐力壁）JIS標準設計）のモデル建築試設計

工業地域、工業専用地域以外どこにでも建築可能な用途。
 想定立地は中心市街地以外。構造規模は木造2階建て3,500㎡以下に設定。

学校は小学校、中学校、（校舎棟）を想定して試設計しています。8.0×8.0mのモジュールを基本に設計した。木造は3分割にし、鉄筋コンクリート造の階段室を2つ挟むことで、耐火要求を軽減している。2階建て普通教室6+2教室として計画。

木造の工法は在来軸組み工法（構耐力壁）JIS標準設計を採用した。
 比較設計としてRC造 耐力壁付ラーメン工法とした。

設計支援ツール「学校」

① 基本情報選択

準防火地域	500㎡以下	500㎡超 1500㎡以下	1500㎡超
3層以上	型枠組架材（3F以上）		
1-2階	Aグループ 木造構造物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の耐火性能が必要	Bグループ 耐火木造構造物	Cグループ 耐火木造構造物 <small>（耐火性能：耐火等級1級相当）</small>

22条地域	2000㎡以下	2000㎡以上 6000㎡以下	6000㎡以上
3層以上	型枠組架材（3F以上）		
1-2階	Aグループ 木造構造物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の耐火性能が必要	Bグループ 耐火木造構造物 <small>（耐火性能：耐火等級1級相当）</small>	Cグループ 耐火木造構造物 <small>（耐火性能：耐火等級2級相当）</small>

※「高さ16m以下かつ階高以下のも」もしくは「延焼防止上有効な空地が確保されているもの」→耐火性能として高く、採算割戻し：主要構造部を耐火性能=1500㎡、準耐火性能=1000㎡又は500㎡、A/Fリフト等で削減可能。ただし実確認。採算割戻しは防火性能に依存する。基本的にA/Fリフト=2階の削減。ただし、住居や福祉施設など確認必要。

② 設計条件及び構造検討

項目	木造（高耐力壁）	RC造
準防火地域	準22条地域	準22条地域
耐火要求	準耐火木造構造物	準耐火木造構造物
階数	2	2
床面積	2,000㎡～3,000㎡以下	2,000㎡～6,000㎡以下
基礎形式	単、べた基礎	柱基礎
管工系基準	管工系（4.0階程度）	管工系（4.0階程度）

試設計開始

評価結果

④ 評価結果

LCA

工期

コスト

項目	木造（高耐力壁）	RC造
初期費用	木造はRC造より初期費用が少なく、CO2削減する。	RC造の初期費用はRC造よりも、CO2削減しない。
室内環境	木造は気候や湿度調整が容易で、自然素材を使用しているため健康に良い。	RC造は気候や湿度調整が難しく、健康に良いとは言えない。
地域貢献	地元産材を使用し、地域経済を活性化させる。	RC造は地元産材を使用せず、地域経済に貢献しない。
耐震	RC造は地震に強いが、木造も十分な耐震性能を確保している。	RC造は地震に強いが、木造も十分な耐震性能を確保している。
工期	木造はRC造よりも工期が短い。	RC造は工期が長い。
コスト	木造はRC造よりもコストが安い。	RC造はコストが高い。

CLT等木質建築部材技術開発・普及事業

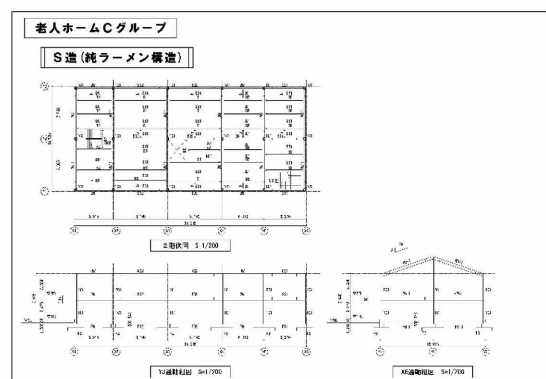
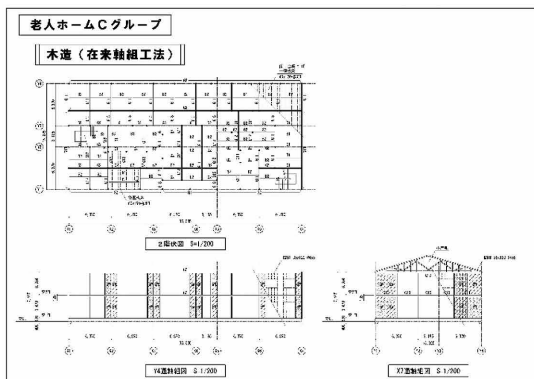
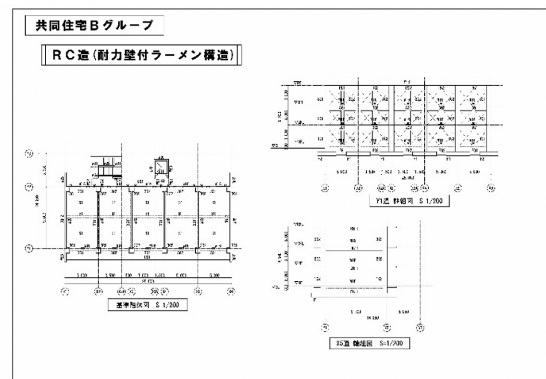
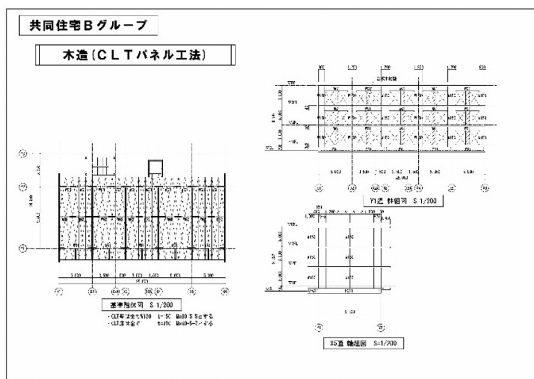
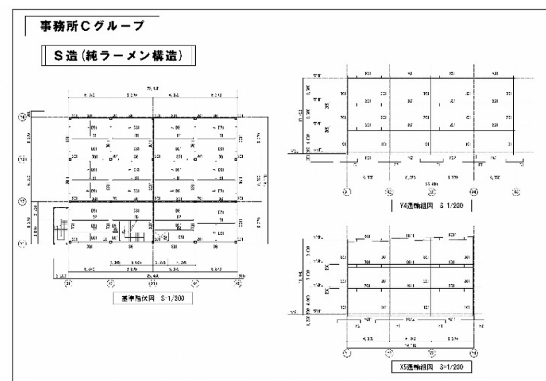
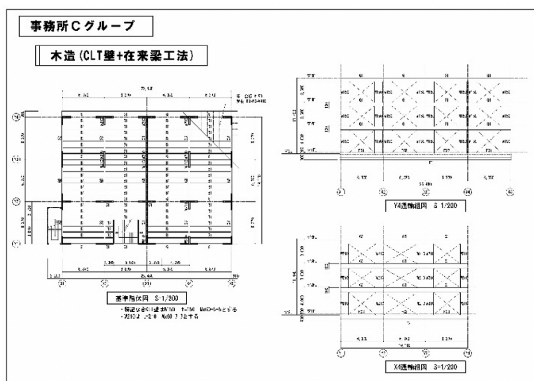
343

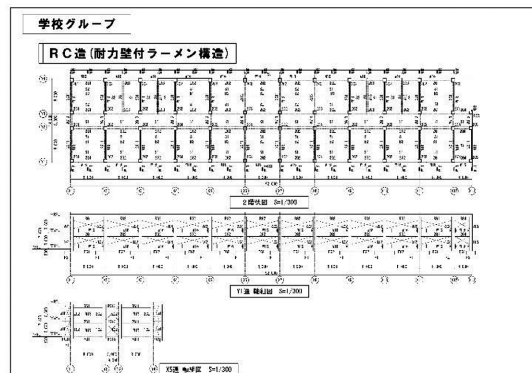
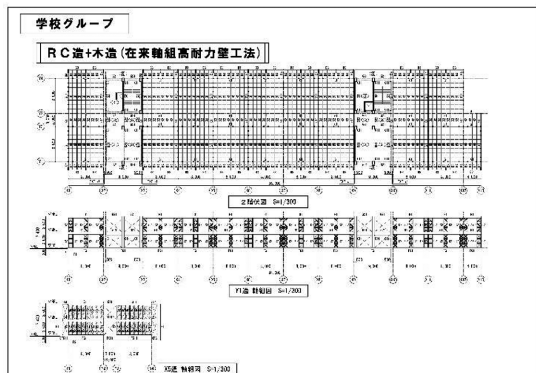
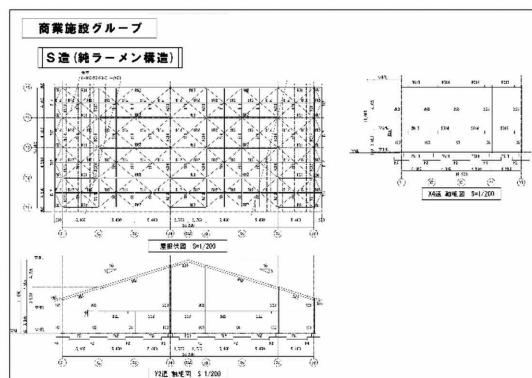
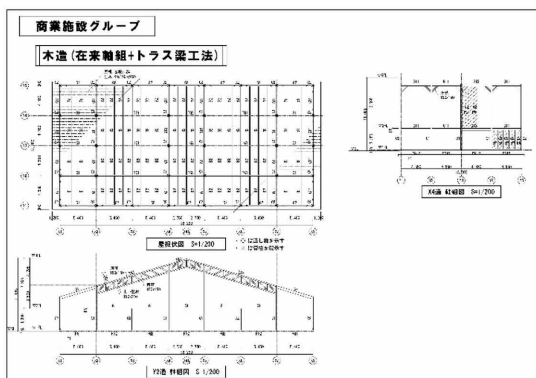
1.6 木造モデル建築の構造設計図

5用途の木造及びコスト・LCA比較するS・RC造の試設計を行った。

建設地は宮城県内市街地を想定し、設計用積雪深は、山間部を除く県内市街地を概ねカバー出来る75cmとした。基礎は直接基礎とし、木造の建物重量が小さいことや、極力多くの地盤に対応できるように地耐力は100kN/m²と控え目に設定した。但し、石巻・大崎地方などS造2階建程度でも30～50mの杭を打っている地域もあることから、木造に比べ建物重量の大きいS・RC造は、地盤の悪い場合として杭長30mと仮定して杭基礎の試設計も行った。

木造の構造形式は、用途別に適切な構造形式を選択し、事務所・共同住宅はCLT工法で事務所は壁のみCLTとした。老人ホーム・商業施設・学校は在来軸組工法を基本とし、コスト・LCAの違いを見るために商業施設はトラス梁、学校はJIS標準設計の高耐力壁を採用した。





2. 条件整理とLCA環境性能の指標化

2.1 木造モデル建築試設計のための用途別法適合検討

用途：①事務所 設計支援ツール

事務所 (準防火地域)	500㎡以下	500㎡超 1500㎡以下	1500㎡超
4階以上	Dグループ 耐火建築物		
3階	Bグループ 準耐火建築物 一定の技術基準に適合	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物

事務所
(22条地域)

事務所 (22条地域)	2000㎡以下	2000㎡超 3000㎡以下	3000㎡超
4階以上	Dグループ 耐火建築物		
3階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物

※「高さ16m以下かつ3階以下のもの」もしくは「延焼防止上有効な空地が確保されているもの」=耐火構造としてよい。
※適用範囲：主要構造部を耐火構造=1500㎡、準耐火建築物=1000㎡又は500㎡、27/39等等で確認可。ただし要確認。
※老人ホームや病院などは面積に関わらず、基本的に27/39等での設置。ただし、仕様や経年経定など確認必要。

用途：②共同住宅 設計支援ツール ※特殊建築物

共同住宅 (準防火地域)	500㎡以下	500㎡超 1500㎡以下	1500㎡超
4階以上	Dグループ 耐火建築物		
3階	Bグループ 準耐火建築物 一定の技術基準に適合	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物

共同住宅
(22条地域)

共同住宅 (22条地域)	1400㎡以下	1400㎡超 2100㎡未満	2100㎡以上
4階以上	Dグループ 耐火建築物		
3階	Bグループ 準耐火建築物 一定の技術基準に適合	2階部分が300㎡以上の場合 Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物

※「高さ16m以下かつ3階以下のもの」もしくは「延焼防止上有効な空地が確保されているもの」=耐火構造としてよい。
※適用範囲：主要構造部を耐火構造=1500㎡、準耐火建築物=1000㎡又は500㎡、27/39等等で確認可。ただし要確認。
※老人ホームや病院などは面積に関わらず、基本的に27/39等での設置。ただし、仕様や経年経定など確認必要。

用途：③老人ホーム 設計支援ツール ※特殊建築物

老人ホーム (準防火地域)	500㎡以下	500㎡超 1500㎡以下	1500㎡超
3階以上	Dグループ 耐火建築物 (3F以上)		
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物

老人ホーム
(22条地域)

老人ホーム (22条地域)	1400㎡以下	1400㎡超 2100㎡未満	2100㎡以上
3階以上	Dグループ 耐火建築物 (3F以上)		
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	2階部分が300㎡以上の場合 Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物

※「高さ16m以下かつ3階以下のもの」もしくは「延焼防止上有効な空地が確保されているもの」=耐火構造としてよい。
※適用範囲：主要構造部を耐火構造=1500㎡、準耐火建築物=1000㎡又は500㎡、27/39等等で確認可。ただし要確認。
※老人ホームや病院などは面積に関わらず、基本的に27/39等での設置。ただし、仕様や経年経定など確認必要。

用途：④商業施設 設計支援ツール ※特殊建築物

物販店 (準防火地域)	500㎡以下	500㎡超 1500㎡以下	1500㎡超
3階以上	Dグループ 耐火建築物 (3F以上)		
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物

物販店
(22条地域)

物販店 (22条地域)	1400㎡以下	1400㎡超 2100㎡未満	2100㎡以上
3階以上	Dグループ 耐火建築物 (3F以上)		
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	2階部分が500㎡以上の場合 Cグループ 準耐火建築物	Dグループ 耐火建築物

※「高さ16m以下かつ3階以下のもの」もしくは「延焼防止上有効な空地が確保されているもの」=耐火構造としてよい。
※適用範囲：主要構造部を耐火構造=1500㎡、準耐火建築物=1000㎡又は500㎡、27/39等等で確認可。ただし要確認。
※老人ホームや病院などは面積に関わらず、基本的に27/39等での設置。ただし、仕様や経年経定など確認必要。

用途：⑤学校 設計支援ツール ※特殊建築物

学校 (準防火地域)	500㎡以下	500㎡超 1500㎡以下	1500㎡超
3階以上	Dグループ 耐火建築物 (3F以上)		
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物 ※2F以下 ※耐火建築物=1000㎡又は500㎡ ※3F以下 ※耐火建築物=1000㎡又は500㎡ ※4F以下 ※耐火建築物=1000㎡又は500㎡ ※5F以下	

学校 (22条地域)	2000㎡以下	2000㎡以上 6000㎡未満	6000㎡以上
3階以上	Dグループ 耐火建築物 (3F以上) ※3階建て、主要構造部を1時間耐火建築物→準耐火建築物可 (イ準耐火建築物に換る) ※併せて3000㎡以内ごとに防火壁 (90分) で区画すること、1000㎡以上の区画区画も必要。		
1~2階	Aグループ 木造建築物は 外壁や軒裏、開口部などに 一定の防火設置が必要	Cグループ 準耐火建築物 (≦2000㎡) ※2F以下 ※耐火建築物=1000㎡又は500㎡ ※3F以下 ※耐火建築物=1000㎡又は500㎡ ※4F以下	

※「高さ16m以下かつ3階建て以下のもの」もしくは「延焼防止上有効な空室が確保されているもの」=耐火構造として良い。
 ※避難区画：主要構造部を耐火構造=1500㎡、準耐火建築物=1000㎡又は500㎡。2F以下等で従来可。ただし要確認。
 ※老人ホームや療養所などは厳格に問わらず、基本的に2F以下設備の設置。ただし、仕様や層の指定など確認必要。

2.2 木造とS造・RC造の構造材と仕様の比較 コスト・LCA比較 仕様書

用途			木造	比較する構造
事務所	構造形式	CLT壁柱+在来梁工法		S造 純ラーメン構造
	使用材料	コンクリート：Fc21 鉄筋：SD345 SD295 柱：CLT t150 スキ [®] Mx60-5-5 集成材 カマツ E105-F300 大梁：集成材 カマツ E105-F300 小梁：集成材 カマツ E105-F300 雑材：製材 スキ [®] E70 スキ [®] 無等級材 床：構造用合板 t50 (超厚合板)		コンクリート：Fc24 鉄筋：SD345 SD295 柱：角形鋼管 BCR295 大梁：SN400B 小梁：SS400 床：合成テックコンクリート(Fc21)
	基礎	地盤良	直接基礎 (布基礎)	直接基礎 (独立基礎)
地盤悪		—	杭基礎 (既成コンクリート杭埋込工法)	
共同住宅	構造形式	CLTパネル工法		RC造 耐力壁付ラーメン構造
	使用材料	コンクリート：Fc21 鉄筋：SD345 SD295 壁：CLT t150 スキ [®] Mx60-5-5 小梁：集成材 カマツ E105-F300 雑材：製材 スキ [®] E70 スキ [®] 無等級材 床：CLT t210 スキ [®] Mx60-5-7		コンクリート：Fc24 鉄筋：SD345 SD295 床：コンクリートスラブ [®] t180
	基礎	地盤良	直接基礎 (ベタ基礎)	直接基礎 (独立基礎)
地盤悪		—	杭基礎 (既成コンクリート杭埋込工法)	
老人ホーム	構造形式	在来軸組工法		S造 純ラーメン構造
	使用材料	コンクリート：Fc21 鉄筋：SD345 SD295 柱：製材 スキ [®] E70 梁：集成材 カマツ E105-F300 製材 スキ [®] E70 雑材：製材 スキ [®] E70 スキ [®] 無等級材 床：構造用合板 t15		コンクリート：Fc24 鉄筋：SD345 SD295 柱：角形鋼管 BCR295 大梁：SN400B 小梁：SS400 床：合成テックコンクリート(Fc21)
	基礎	地盤良	直接基礎 (ベタ基礎)	直接基礎 (独立基礎)
地盤悪		—	杭基礎 (既成コンクリート杭埋込工法)	
商業施設	構造形式	在来軸組工法 (トラス梁)		S造 純ラーメン構造
	使用材料	コンクリート：Fc21 鉄筋：SD345 SD295 柱：製材 スキ [®] E70 梁：集成材 カマツ E105-F300 製材 スキ [®] E70 雑材：製材 スキ [®] E70 スキ [®] 無等級材 床：構造用合板 t24		コンクリート：Fc24 鉄筋：SD345 SD295 柱：角形鋼管 BCR295 大梁：SN400B 小梁：SS400 床：合成テックコンクリート(Fc21)
	基礎	地盤良	直接基礎 (布基礎)	直接基礎 (独立基礎)
地盤悪		—	杭基礎 (既成コンクリート杭埋込工法)	

学校	構造形式	在来軸組工法(高耐力壁)JIS標準設計	RC造 耐力壁付ラーメン構造
	使用材料	コンクリート：Fc21 鉄筋：SD345 SD295 柱：製材 スギ E70 梁：集成材 カマツ E105-F300 製材 スギ E70 雑材：製材 スギ E70 スギ無等級材 床：構造用合板 t24	コンクリート：Fc24 鉄筋：SD345 SD295 床：コンクリートスラブ t150
	基礎	地盤良 直接基礎（布、ベタ基礎） 地盤悪 —	直接基礎（布基礎） 杭基礎（既存コンクリート杭埋込工法）

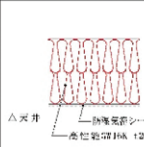

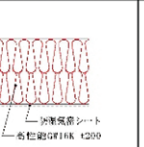
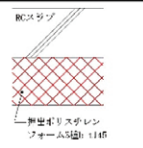
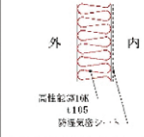
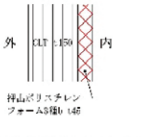
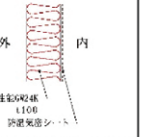
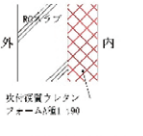


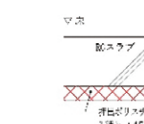
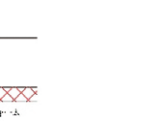
- ・直接基礎地耐力は100kN/m²とする。木造は杭基礎の検討を行わない。
- ・杭基礎建物の数量は、直接基礎の数量に単純に杭数量を加算するのみとし、基礎フーチング数量の修正は行わない。

2.3 木造とS造・RC造の断熱材と防湿材の選定

今回、構造別による断熱材の比較を行うにあたって、建築物全体での外皮平均熱貫流率UA値を求めるのは建築プランにより大きく異なってくるため、各部位（屋根、外壁、床）ごとの熱貫流率により求めた。

部位	構造	断熱材	厚さ	比較	熱貫流率	熱抵抗値	熱伝導率	厚さ	躯体	躯体厚	室内側	外気側
屋根・天井	W	高性能グラスウール16K	200 mm	100%	0.18542	5.263158	0.038	0.2			0.09	0.04
	CLT	押出法ポリスチレンフォーム3種b	115 mm	102%	0.182244	5.357143	0.028	0.115	0.12	0.15	0.09	0.04
	S	高性能グラスウール16K	200 mm	100%	0.18542	5.263158	0.038	0.2			0.09	0.04
外壁	RC	押出法ポリスチレンフォーム3種b	145 mm	100%	0.185106	5.272321	0.028	0.145	1.6	0.15	0.09	0.04
	W	高性能グラスウール16K	105 mm	100%	0.34327	2.763158	0.038	0.105			0.11	0.04
	CLT	押出法ポリスチレンフォーム3種b	45 mm	103%	0.332542	2.857143	0.028	0.045	0.12	0.15	0.11	0.04
床	S	高性能グラスウール24K	100 mm	101%	0.341556	2.777778	0.036	0.1			0.11	0.04
	RC	吹付け硬質ウレタンフォームA種1	90 mm	99%	0.343695	2.759559	0.034	0.09	1.6	0.18	0.11	0.04
	W	押出法ポリスチレンフォーム3種b	75 mm	100%	0.348606	2.678571	0.028	0.075			0.15	0.04
床	CLT	押出法ポリスチレンフォーム3種b	75 mm	100%	0.348606	2.678571	0.028	0.075			0.15	0.04
	S	押出法ポリスチレンフォーム3種b	45 mm	99%	0.350767	1.700893	0.028	0.045	1.6	0.15	0.15	1
	RC	押出法ポリスチレンフォーム3種b	45 mm	99%	0.350767	1.700893	0.028	0.045	1.6	0.15	0.15	1

<LCA評価仕様：躯体・断熱材・耐湿>

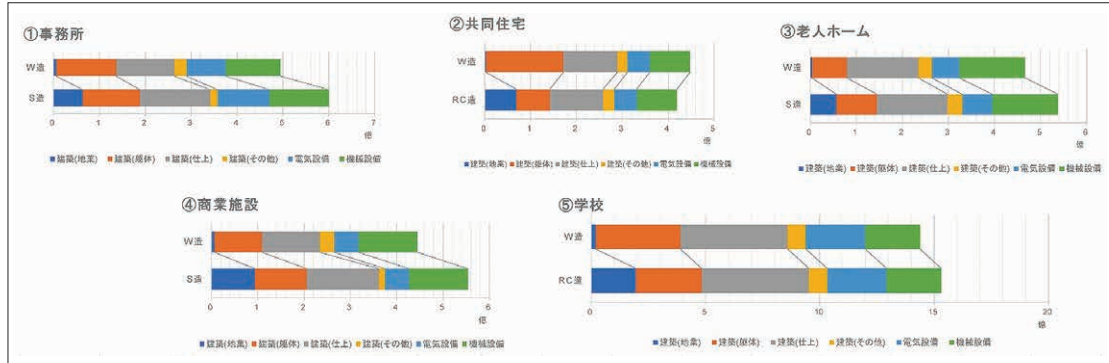
	<木造>		<非木造>	
	W ・骨組等 ・老人ホーム ・商業施設 ・学校	CLT・共同住宅	S ・骨組等 ・老人ホーム ・商業施設	RC ・居住住宅 ・学校
屋根				
外壁				
床下				

2.4 構造別コスト算出と比較

試設計では、建築(地業・躯体・仕上・その他)・電気設備・機械設備を設計ごとに概算を作成し比較した。

地盤条件について木造は杭不要。RCやS造は杭が必要(30m)とした。

各試設計においてコストは木造タイプが抑えられるが、共同住宅は床もCLT210を採用したためRCのほうが有利になった。設計によっては、同額程度の可能性がある。



2.5 LCAの検証

試設計を行った5つの建物に対して、木造と比較用のRC造またはS造について、以下の仮定や前提条件で、環境負荷を比較した。

比較する際の共通条件は、同等の耐震性能、防耐火性能、省エネルギー性能をもつ建物とした。これに応じて環境負荷計算に算入した部材は、それらの性能を担保するために必要な木質材料、鋼材(高炉法による製造)、鉄筋コンクリート、断熱材などの材料である。環境負荷の評価指標は、それらの部材が、資材製造、輸送、建設段階で排出するGHG(Green House Gas)排出量と炭素貯蔵量(単位は二酸化炭素換算値kg-CO₂eq/延べ床面積m²)とした。設計条件は、ここまでの検討に合わせて、仙台市内を想定し、法22条地域で頑丈な地盤または軟弱な地盤を想定して検討した。RC造、S造に対して、頑丈な地盤の場合には直接基礎、軟弱な地盤の場合は杭基礎とし、木造の場合は全て直接基礎とした。GHG排出量は、対象の部材の絶対量と単位当たりのGHG排出量の積で求められる。部材の絶対量は設計図書より、単位当たりのGHG排出量は、研究論文やLCIデータベースIDEA Ver3.3(2023/04/15)(国立研究開発法人 産業技術総合研究所 安全科学研究部門 IDEAラボ)より算出した。設計図面のみでは算定しきれない部分、特に建設段階で関わる環境負荷の計算では、プロジェクト内で十分な協議を持ったうえで、可能な限り現実に則した仮定を設定した。なお、本検討において石膏ボードは、木造では耐火部材として、RC造・S造には仕上げ材として同量使用するものとして、環境負荷計算には含めていない。

GHG排出量(プラス)と炭素貯蔵量(マイナス)を合算した収支GHG排出量の結果を以下の表に示す。また、材料別のGHG排出量の内訳を併せた計算の例として事務所・共同住宅の結果を下図に示す。この結果から、鉄骨や鉄筋コンクリート、基礎による環境負荷の割合が大きいことがわかる。また、地盤条件が頑丈な地盤か軟弱な地盤かによる基礎形式の違いによる環境負荷への影響も大きい。そのため、鉄骨や鉄筋コンクリートの使用量が少なく、また、建物重量が軽い木造は基礎を簡易化できるため、環境負荷の観点からは木造で建設する方が優位性があるといえる。

表 GHG排出量の算定結果

	基礎	GHG排出量 炭素貯蔵量 収支				基礎	GHG排出量 炭素貯蔵量 収支				
		[kg-CO ₂ eq/m ²]					[kg-CO ₂ eq/m ²]				
事務所	木造 CLT壁柱+在来梁工法)	直接基礎	151	126	26	商業施設	木造 在来軸組工法)	直接基礎	178	104	74
	S造 純ラーメン構造)	直接基礎	400	-	400		直接基礎	427	-	427	
		杭基礎	423	-	423		杭基礎	470	-	470	
共同住宅	木造 CLT/パネル工法)	直接基礎	234	298	-64	学校	木造 (在来軸組工法 (高耐力壁) JIS標準設計)	直接基礎	228	110	118
	RC造 耐力壁付ラーメン構造)	直接基礎	410	-	410		直接基礎	433	-	433	
		杭基礎	457	-	457		杭基礎	492	-	492	
老人ホーム	木造 在来軸組工法)	直接基礎	110	93	16						
	S造 純ラーメン構造)	直接基礎	386	-	386						
		杭基礎	413	-	413						

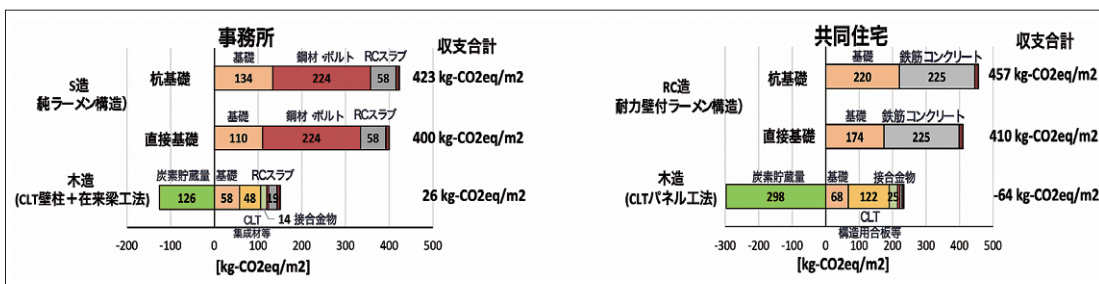
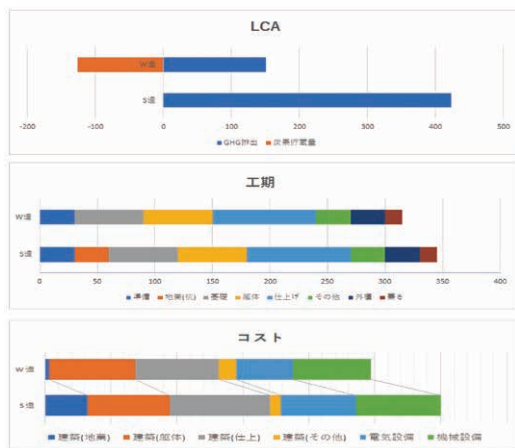


図 材料別GHG排出量の算定結果 (左図：事務所、右図：共同住宅)

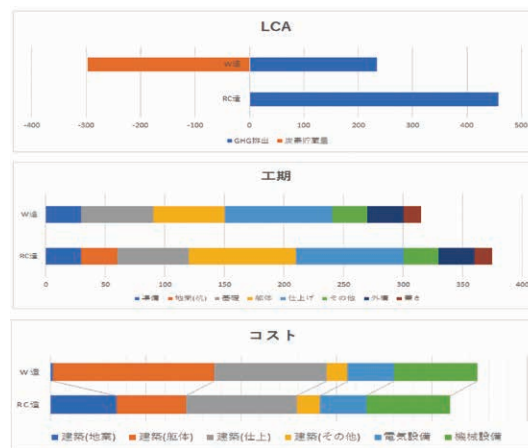
2.6 木造とS造・RC造の指標に基づく評価

評価基準・指標は、意匠設計と構造設計の試設計を基にLCA・地盤・工期・コストの指標等を選び出し、その結果とした以下の比較図を作成する。

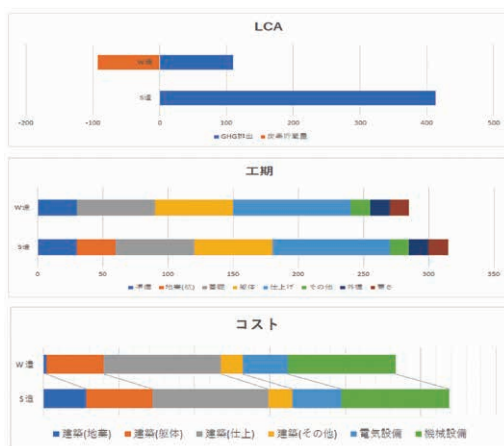
①事務所



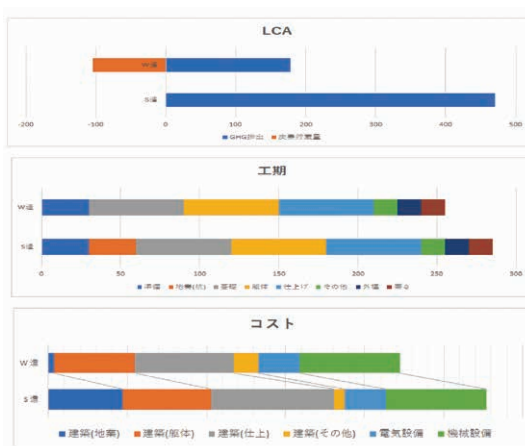
②共同住宅



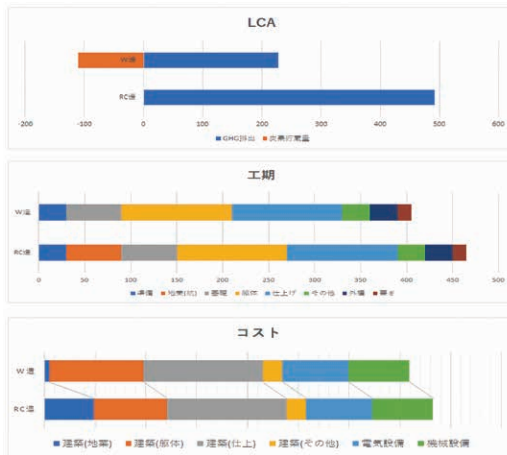
③老人ホーム



④商業施設



⑤学校



3. 普及広報のためのパンフレット作成

3.1 企画・設計支援ツールとしてのパンフレット作成

本事業の成果を公表し普及広報を目的にパンフレットを制作。



3.2 成果報告会の開催

本事業の成果を周知するための成果報告会を企画し、令和6年2月16日、せんだいメディアテークにて開催。案内先は、宮城県CLT等普及推進協議会の会員（約170団体）に加え、宮城県内の発注者（自治体等）と建築関係者（設計事務所・建設業者）など。

今後の 課題・展開 等

地方都市の郊外地で需要が見込まれる5つの建築用途を法22条地域と準防火地域の立地（防火地域を除く）を想定して木造在来工法及びCLT壁構造を基に試設計しS造とRC造と比較検討した結果、以下のことが明らかになり今後の課題も抽出された。

1. 郊外地の準防火地域・法22条地域を建設地とした場合、コストや環境負荷に関わる耐火構造制限や消防設備設置基準を受けずに需要が見込める一定規模の木造モデル建築が整理され「企画・設計支援ツール」にまとめることができた。
2. 仙台市郊外の平野部等が立地の場合は比較的地盤が弱く地盤補強や杭基礎が必要条件となるが、躯体が軽い木造建築の場合には階数・規模にもよるが直接基礎の可能性が高く、工期短縮やコスト軽減にも優位性が認められた。
3. 建築性能に係る躯体・断熱材・防湿材のLCA評価は、耐火被覆制限を受け難い対象地域に軽い木造建築で建設すると、材料製造、輸送、建設段階の環境負荷の観点からは優位性があることが分かった。
4. 条件を広げた一方、指標化しやすく構造制限内の建築規模としているために用途ごとに階数や面積がある程度限定された木造モデル建築になっている。条件設定を超える計画の場合には個別の検討が必要。
5. また、木造建築は、地元資源の地場産材を地元製材工場で加工し地元の技術者・人材の力でつくることが可能で、維持管理のためにも身近な地域の人材や森林組合との連携体制を図ることも求められる。
6. パンプ制作した「企画・設計支援ツール」を広く公開し配布するとともに、建築を計画している発注者等の問合せ先として建築相談室等の窓口を設ける等、今後は発注者支援も検討することが必要と思われる。

令和4年度 木材製品の消費拡大対策及び国内森林資源活用・建築用
木材供給力強化対策事業のうちCLT建築実証支援事業

CLT 等木質建築部材 技術開発・普及事業

— 成果概要集 —

令和6年3月発行
編集 木構造振興株式会社