令和3年度 木材製品の消費拡大対策事業のうち
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

令和3年度 木材製品の消費拡大対策事業のうち
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

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	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	12
3	非住宅低層小規模建築物及び 中規模ビルの木造化モデルの標準化とその普及	公益財団法人 日本住宅・木材技術センター	16
4	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	24
5	製材JASの格付け率向上に資する検査方法案の検討	一般社団法人 全国木材組合連合会 国産材製材協会	30
6	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―	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	36
7	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	46
8	寒冷地域の省エネ基準にも対応した、 JAS国産大径材(240×240㎜)ログハウス外壁の技術開発、 及び中大規模建築などへの活用	一般社団法人日本ログハウス協会	54
9	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Ⅱ）	公益財団法人 国際緑化推進センター （JIFPRO）	62
10	易施工が可能な木質ラーメン接合工法の開発と普及	帝人株式会社 前田建設工業株式会社	74
11	令和3年度木材製品の消費拡大対策のうち 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の開発及び難燃性能の統合的評価	公益社団法人 日本木材保存協会	84
12	CLTパネルのリユースを実施するための性能評価手法の検討	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	92
13	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	102
14	CLTによる持続可能な社会実現に関する普及事業	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	110
15	品質・性能を確保した乾燥材の供給に向けた 技術資料の作成および普及	一般社団法人 全国木材組合連合会	118
16	米国の構造材規格・試験方法に基づく ヒノキ等の構造材の性能検証	一般社団法人 全国木材検査・研究協会	124
17	CLTパネル工法建築物の地震時限界性能把握を踏まえた 耐震基準緩和に関する検討	株式会社日本システム設計 京都大学生存圏研究所	132

No	事業	実施団体	掲載頁
18	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	136
19	広葉樹及び針葉樹大径材の利活用試験 （ケヤキ大断面構造用製材品の乾燥試験）	福島県木材協同組合連合会	148
20	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	160
21	令和3年度木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証事業 のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業 （非等厚ラミナで構成されたCLTの強度データ収集）	一般社団法人 日本CLT協会	170
22	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 ―国産スギ利用ハイブリッドLVL開発と床版開発―	一般社団法人 全国LVL協会	176
23	木ダボ積層材（DLT）の普及に向けた性能評価と普及活動	株式会社長谷萬	184
24	非住宅・中大規模木造建築用の高耐力壁及び 高性能準耐火壁の開発検討（継続）	一般社団法人 木を活かす建築推進協議会	192
25	構造用面材と釘と軸材の組合せによる破壊モードを踏まえた 面材耐力壁の詳細計算法に係る手引きの作成	一般社団法人 木を活かす建築推進協議会	202
26	木製浮き基礎の普及活動	越井木材工業株式会社	210
27	CLTの土木利用技術の開発と実用化のための 低コストCLT製造技術の検証	一般社団法人 日本CLT協会	218
28	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	一般社団法人 中大規模木造プレカット技術協会	234
29	接着重ね材の告示化に向けた検証	一般社団法人 日本BP材協会	248
30	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	株式会社堀江建築工学研究所 東北大学大学院工学研究科	254
31	脱炭素社会に資する簡易な耐火処理を施した 準不燃・難燃材料の開発	銘建工業株式会社	264
32	規格化された道産材大断面集成材を活用した 寒冷地用集成ログ壁材の開発事業	一般社団法人 木のいえ一番協会	274
33	地域材の難燃薬剤処理LVLを用いた 被覆型2時間耐火構造の開発	一般社団法人 全国LVL協会	282
34	国内で生産されるJAS構造用製材（人工乾燥材）の 排出原単位の構築	一般社団法人 全国木材組合連合会	294
35	高出力高周波プレス機を用いた大断面集成材の 製造コスト縮減へ向けた生産システムの技術開発	福島県木造技術開発協同組合	302
36	地域工務店の木材実態調査	一般社団法人JBN・全国工務店協会	308
37	CLT標準ユニットによる 普及型木質系中層ビルのプロトタイプ開発	宮城県CLT等普及推進協議会	314

事業

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

令和元年度に施行された改正建築基準法により、従来の準耐火建築物（45分、60分準耐火）の性能を上回る高性能の準耐火建築物（75分、90分準耐火）の建築が可能となった。このため従来、耐火建築物でなければ建築することができなかった中層建築物をCLTの現し仕上げで建築することも可能となった。

令和３年度においては、CLT建築物による高性能準耐火建築物を設計するための防耐火規制に関する改正告示の追加箇所の解説について検討を加え、CLTを用いた75分準耐火構造の壁・床の貫通部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行った。

令和４年度においては、防火地域・準防火地域内におけるCLTを用いた建築物の防耐火設計方法等の検討を進め、また防耐火試験では、CLT を用いた高性能の耐火建築物・準耐火建築物において防耐火設計上の弱点となりうる「開口部」納まりの詳細を検討・検証を行い、これらをもとに防耐火設計手引き案について取りまとめを行う。

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、改正防耐火規定に基づく内容の整理やCLT建築物への適用の考え方・留意点などを検討した。

2．CLTを用いた開口部等の防耐火試験による性能検証を実施した。

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]

日向　潔美　　林野庁林政部木材産業課木材製品技術室　課長補佐
原口　　統　　国土交通省住宅局参事官（建築企画担当）付　企画専門官（7月まで）

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（7月より）
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

[オブザーバー]
平野　陽子　　株式会社ドットコーポレーション　代表取締役

[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

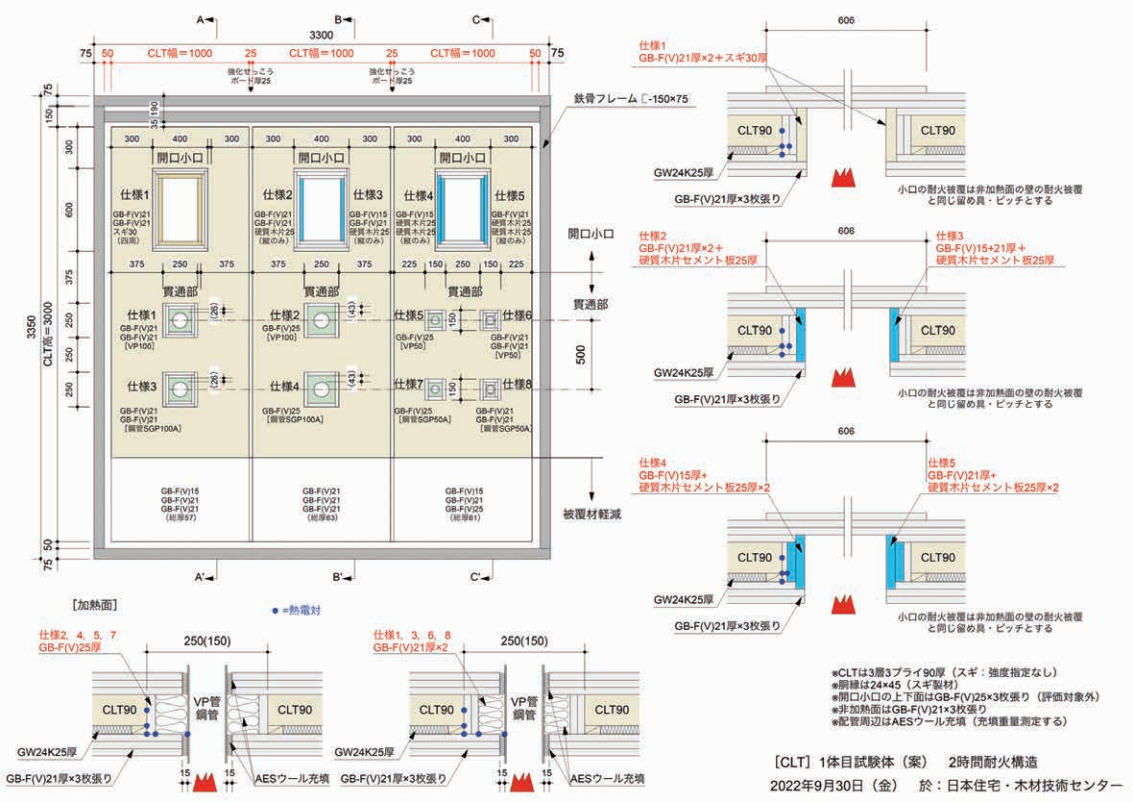
1．検討委員会において、改正防耐火規定に基づく内容の整理やCLT建築物への適用の考え方・留意点などを検討した。

2．CLTを用いた開口部等の防耐火試験による性能検証

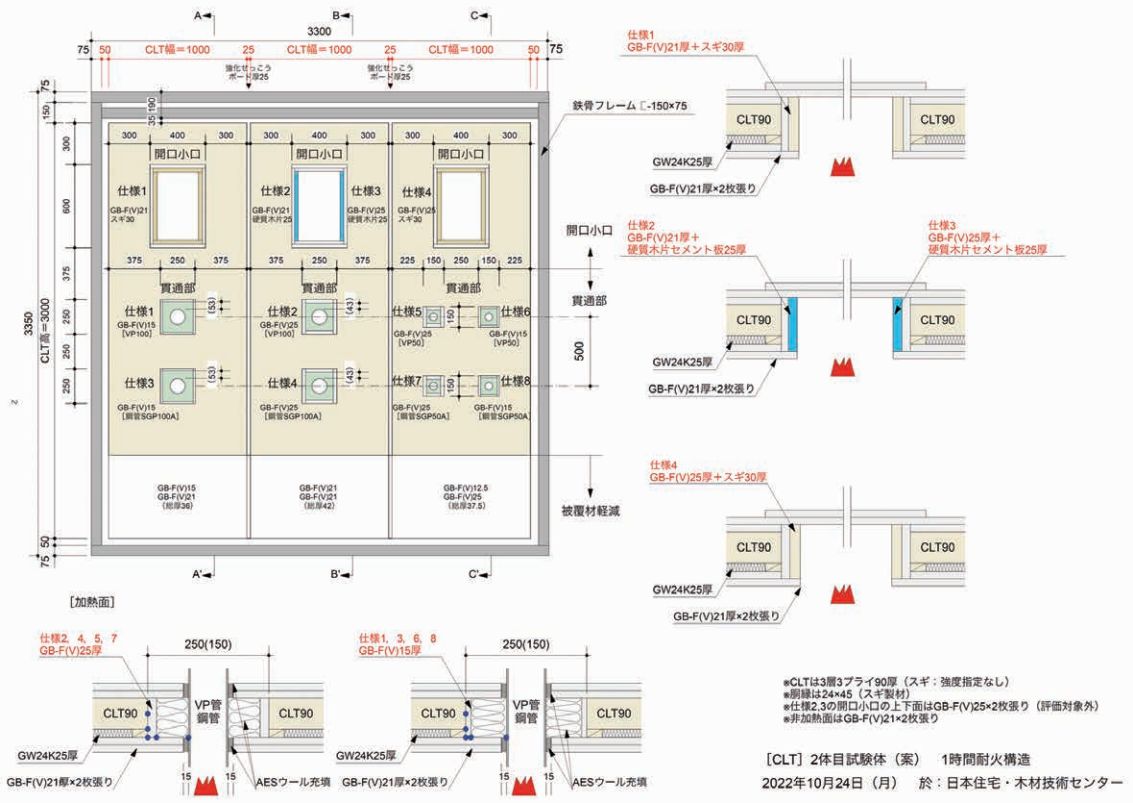
近年の法改正等により、木造中高層建築物の建設が可能となり増えてきている。CLTパネルを利用した中高層建築物も可能になり、CLT協会では大臣認定（外壁2時間耐火構造）を取得して広く普及に努めている。

そこで、CLTを用いた高性能の耐火建築物・準耐火建築物において、防耐火設計上の弱点となりうる開口部・貫通部の納まりの詳細を検討・検証した。

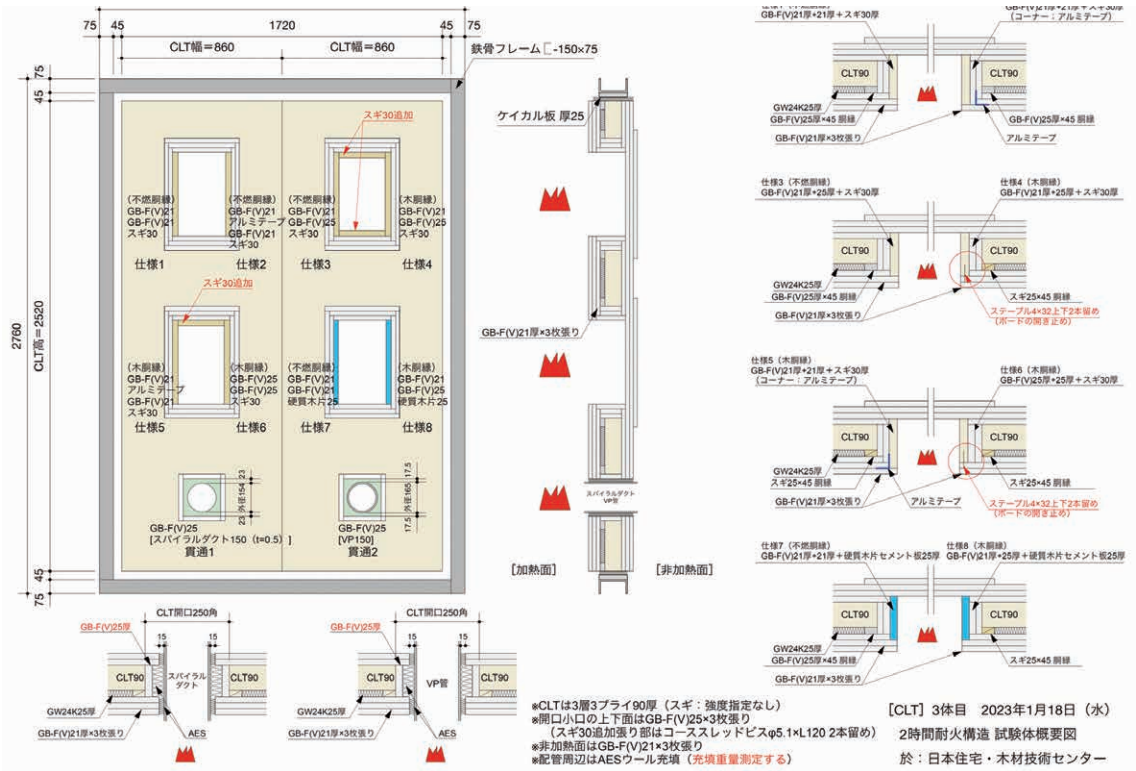
①試験体１　　２時間耐火構造　開口部・貫通部・一般部



②試験体２　　１時間耐火構造　開口部・貫通部・一般部



③試験体３　　２時間耐火構造　開口部・貫通部・一般部



実施した結果

１．改正防耐火規定に基づく内容の整理

用途・規模・地域区分による建築物の例示仕様

用途、規模、地域区分により法の適用条文は異なるものの、告示等で例示される仕様の建築物の適用条件については、これら用途、規模、地域区分の条件が複合している場合が多い。これらの仕様が政令・告示で位置づけられているものを表 1-1 および以下に示す。

1)　規模・地域区分によるもの

1)-①令第 136 条の２第２号ロで示す技術的基準　【準防火地域】

地階を除く階数が３・延べ面積が 500 m2 以下である建築物（令元国交告第 194 号第４）

2)　規模によるもの

2)-①法第 21 条第１項で示す技術的基準　【高さ】

主要構造部を木造とすることができる大規模の建築物（令第 109 条の５第１号）

【高さ・階数の制限がない建築物（令元国交告第 193 号第１第１号）】

・地階を除く階数が４以下の建築物（令元国交告第 193 号第１第２号）

・地階を除く階数が３以下の建築物（令元国交告第 193 号第１第３号）

・地階を除く階数が２以下の建築物（令元国交告第 193 号第１第４号）

3)　用途によるもの

3)-①法第 27 条第１項で示す技術的基準　【用途】

【耐火建築物等としなければならない特殊建築物（平 27 国交告第 255 号第１）ルート B】

4)　用途・規模によるもの

4)-①法第 27 条第１項で示す技術的基準　【木造３階建共同住宅】

木造３階建共同住宅（平 27 国交告第 255 号第１第３号）

4)-②法第 27 条第１項で示す技術的基準　【木造３階建学校】

木造３階建学校（平 27 国交告第 255 号第１第４号）

5)　用途・規模・地域区分によるもの

5)-①法第 27 条第 1 項で示す技術的基準　【防火・準防火地域】

延焼防止建築物等（令和元年国土交通省告示第 194 号第 2）

地階を除く階数が 3 以下・延べ面積が 3000 m^2 以下である建築物で以下の用途のもの

・法別表第 1（い）欄第 1 項・3 項・4 項（物販店舗除く）・事務所等

・法別表第 1（い）欄第 2 項

・物販店舗

・住宅

5)-②法第 27 条第 1 項で示す技術的基準　【木造 3 階建共同住宅、準防火地域】

木造 3 階建共同住宅（平 27 国交告第 255 号第 1 第 3 号）

表 1-1　用途・規模・地域区分による建築物の例示仕様

	用途	規模	地域区分
用途	3)-①		
規模	4)-①, 4)-②	2)-①	
地域区分	1)-①		

用途・規模・地域区分：5)-①, 5)-②

2．CLT を用いた開口部の防耐火試験による性能検証の結果

①試験体 1 と試験体 3 の結果

表 2-1　　2 時間耐火構造・開口部の結果一覧

部位	必要とされる防耐火性能	仕様名	仕様			260℃到達時間（熱電対番号）			炭化の有無	
						胴縁	CLT躯体			
						隅角部	隅角部	小口中央	胴縁	CLT
開口部小口	非損傷性（躯体の燃焼）	1-仕様1	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	185分(1)	201分(2)	到達せず（最高238℃）	あり（燃焼継続）	
					上下枠	189分(5)	189分(6)	到達せず（最高252℃）	あり・下枠（燃焼継続）	
		1-仕様2	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚×2枚＋硬質木片セメント板25mm厚	木製胴縁	縦枠	249分(9)	312分(10)	到達せず（最高182℃）	あり（燃焼継続）	
		1-仕様3	強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚＋21mm厚＋硬質木片セメント板25mm厚	木製胴縁	縦枠	185分(13)	228分(14)	到達せず（最高232℃）	あり（燃え止まり）	
		1-仕様4	強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚＋硬質木片セメント板25mm厚×2枚	木製胴縁	縦枠	199分(17)	263分(18)	到達せず（最高238℃）	あり（燃え止まり）	
		1-仕様5	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚＋硬質木片セメント板25mm厚×2枚	木製胴縁	縦枠	252分(21)	329分(22)	到達せず（最高199℃）	あり（燃え止まり）	
		2-仕様1	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚＋21mm厚＋スギ30mm厚	不燃胴縁	縦枠	-	到達せず（最高222℃）	到達せず（最高195℃）	-	なし（変色）
		2-仕様2	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚＋アルミテープ＋21mm厚＋スギ30mm厚	不燃胴縁	縦枠	-	169分(6)	到達せず（最高215℃）	-	あり（燃え止まり）
		2-仕様3	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚＋25mm厚＋スギ30mm厚	不燃胴縁	縦枠	-	到達せず（最高197℃）	到達せず（最高166℃）	-	なし（変色）
		2-仕様4	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚＋25mm厚＋スギ30mm厚	木製胴縁	縦枠	201分(13)	256分(14)	到達せず（最高156℃）	あり（燃え止まり）	
		2-仕様5	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚＋アルミテープ＋21mm厚＋スギ30mm厚	木製胴縁	縦枠	159分(17)	170分(18)	到達せず（最高227℃）	あり（燃焼継続）	
		2-仕様6	強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚＋25mm厚＋スギ30mm厚	木製胴縁	縦枠	161分(21)	190分(22)	到達せず（最高192℃）	あり（燃焼継続）	
		2-仕様7	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚＋21mm厚＋硬質木片セメント板25mm厚	不燃胴縁	縦枠	-	到達せず（最高195℃）	到達せず（最高155℃）	-	なし
		2-仕様8	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚＋25mm厚＋硬質木片セメント板25mm厚	木製胴縁	縦枠	到達せず（最高226℃）	到達せず（最高190℃）	到達せず（最高131℃）	なし	

◎開口部　＜性能を確保された（CLT躯体に炭化なし）仕様＞ → 4仕様

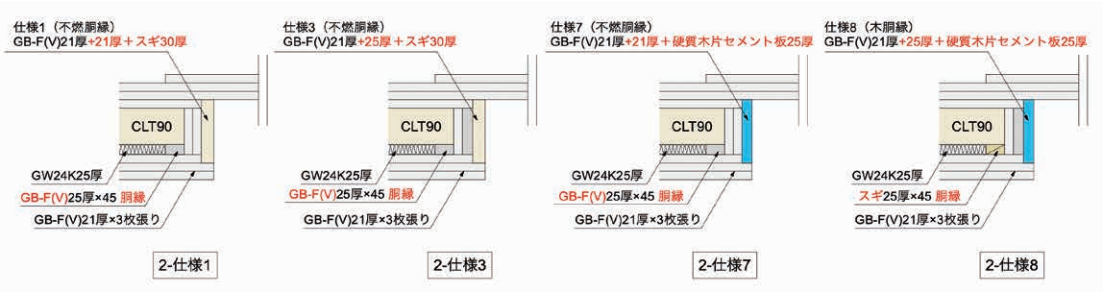


表 2-2　　2時間耐火構造・貫通部の結果一覧

部位	必要とされる防耐火性能	仕様名	仕様			260℃到達時間（熱電対番号）			炭化の有無	
						胴縁	CLT躯体			
						隅角部	隅角部	小口中央	胴縁	CLT
貫通部小口	非損傷性（躯体の燃焼）	1-仕様1	強化せっこうボードGB-F(V) 21ｍｍ厚×2枚+ AESウール充填	VP管（塩ビ）	100A（外寸φ114）	到達せず（最高154℃）	到達せず（最高98℃）	到達せず（最高97℃）	あり（燃え止まり）	なし
		1-仕様2	強化せっこうボードGB-F(V)25ｍｍ厚 + AESウール充填			到達せず（最高195℃）	到達せず（最高112℃）	到達せず（最高90℃）	なし（変色）	なし
		1-仕様3	強化せっこうボードGB-F(V) 21ｍｍ厚×2枚+ AESウール充填	鋼管（SGP）	100A（外寸φ114.3）	到達せず（最高134℃）	到達せず（最高102℃）	到達せず（最高98℃）	なし（変色）	なし
		1-仕様4	強化せっこうボードGB-F(V)25ｍｍ厚 + AESウール充填			到達せず（最高166℃）	到達せず（最高108℃）	到達せず（最高97℃）	なし（変色）	なし
		1-仕様5	強化せっこうボードGB-F(V)25ｍｍ厚 + AESウール充填	VP管（塩ビ）	50A（外寸φ60）	到達せず（最高193℃）	到達せず（最高114℃）	到達せず（最高95℃）	あり（燃え止まり）	なし
		1-仕様6	強化せっこうボードGB-F(V) 21ｍｍ厚×2枚+ AESウール充填			到達せず（最高200℃）	到達せず（最高109℃）	到達せず（最高96℃）	なし（変色）	なし
		1-仕様7	強化せっこうボードGB-F(V)25ｍｍ厚 + AESウール充填	鋼管（SGP）	50A（外寸φ60.5）	到達せず（最高189℃）	到達せず（最高109℃）	到達せず（最高105℃）	なし	
		1-仕様8	強化せっこうボードGB-F(V) 21ｍｍ厚×2枚+ AESウール充填			到達せず（最高147℃）	到達せず（最高104℃）	到達せず（最高98℃）	なし	
		2-仕様1	強化せっこうボードGB-F(V)25ｍｍ厚 + AESウール充填	スパイラルダクト	150A（外寸φ154）	到達せず（最高247℃）	到達せず（最高142℃）	到達せず（最高119℃）	なし	
		2-仕様2	強化せっこうボードGB-F(V)25ｍｍ厚 + AESウール充填	VP管（塩ビ）	150A（外寸φ165）	到達せず（最高244℃）	到達せず（最高198℃）	到達せず（最高119℃）	あり（下部）（燃え止まり）	なし

◎貫通部＜性能を確保された（CLT躯体に炭化なし）仕様＞ → 10仕様（青文字は胴縁に炭化（燃え止まり））

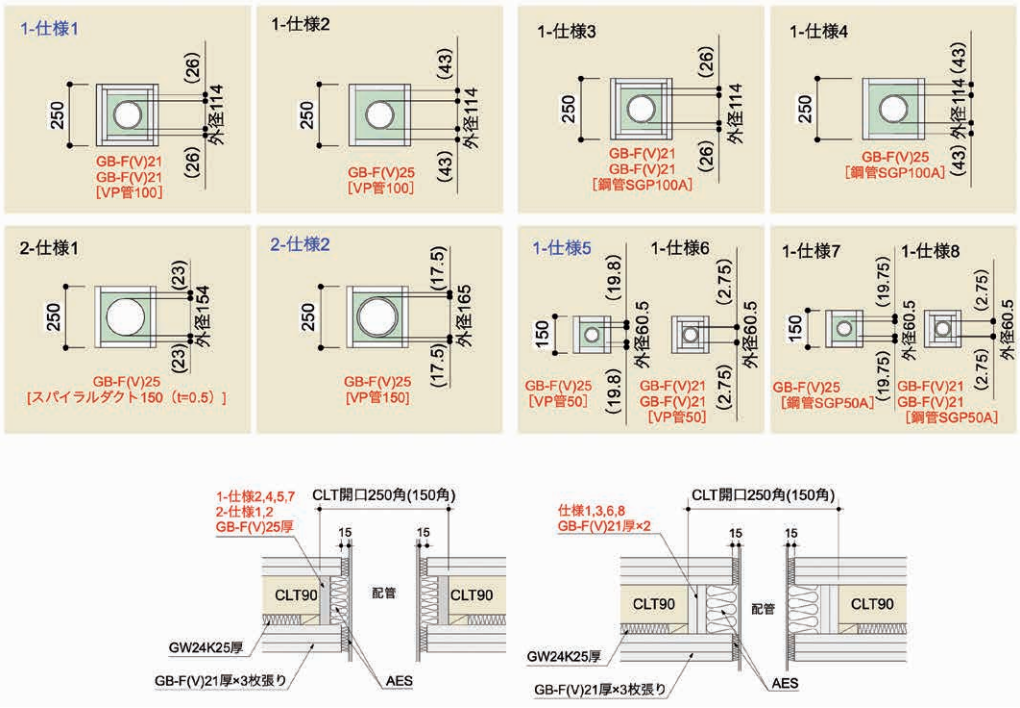
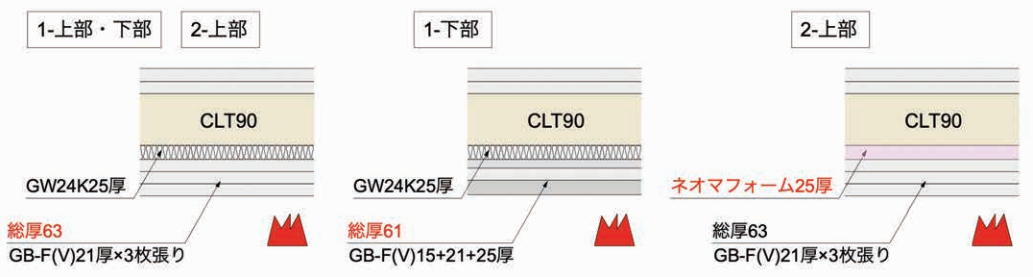


表 2-3　　2 時間耐火構造・一般部の結果一覧

部位	必要とされる防耐火性能	仕様名	仕様		260℃到達時間（熱電対番号）		炭化の有無	
					胴縁表面	CLT躯体表面	胴縁	CLT
一般部	遮熱性 遮炎性 非損傷性	1-下部	被覆総厚57mm 強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚 +21mm厚×2枚	グラスウール 24K25mm厚	175分 (17)	到達せず (最高153℃)	あり (燃え止まり)	
		1-下部	被覆総厚61mm 強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚 +21mm厚+25mm厚		到達せず (最高225℃)	到達せず (最高114℃)	なし	
		1-上部	被覆総厚63mm 強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚 ×3枚		到達せず (最高176℃)	到達せず (最高98℃)	なし	
		1-下部			到達せず (最高204℃)	到達せず (最高127℃)	なし	
		2-上部	被覆総厚63mm 強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚 ×3枚	グラスウール 24K25mm厚	-	到達せず (最高96℃)	-	なし
		2-上部		ネオマフォーム 25mm厚	-	到達せず (最高91℃)	-	なし

◎一般部＜性能を確保された（CLT 躯体に炭化なし）仕様＞ → 3 仕様

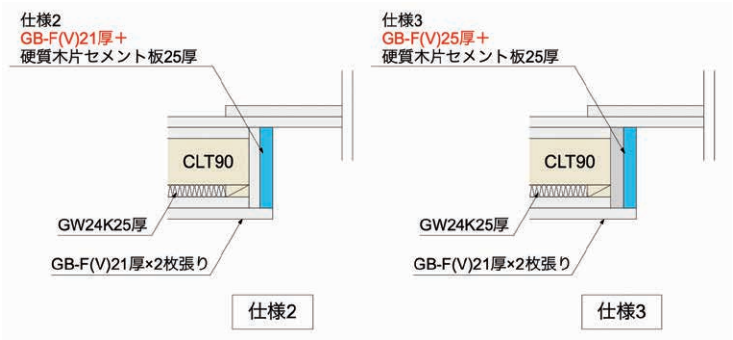


②試験体 2 の結果

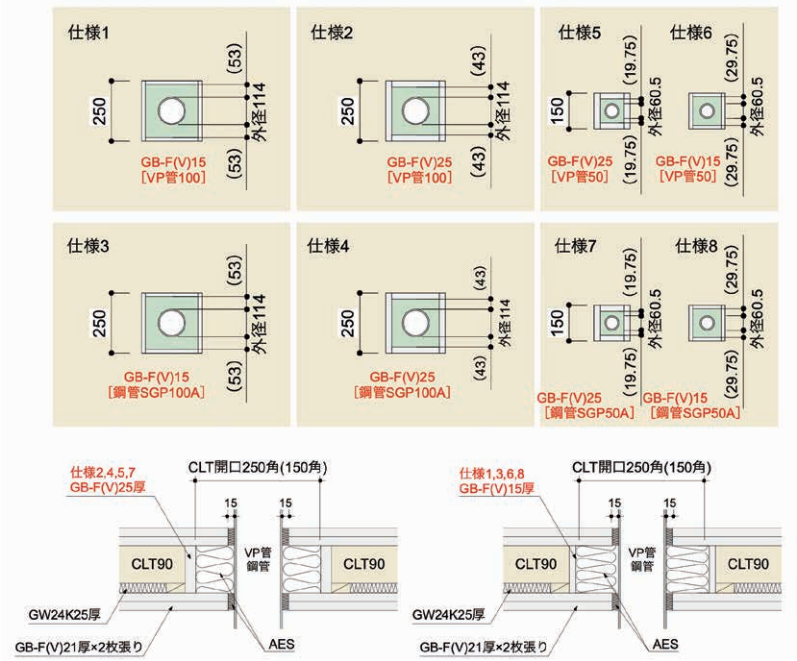
表 2-4　　1 時間耐火構造・開口部・貫通部・一般部の結果一覧

部位	必要とされる防耐火性能	仕様名	仕様			260℃到達時間			炭化の有無	
						胴縁	CLT躯体		胴縁	CLT
						隅角部	隅角部	小口中央		
開口部 小口	非損傷性 (躯体の燃焼)	仕様1	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚 +スギ30mm厚	縦枠		168.5分 (1)	175分 (2)	到達せず (最高214.8℃)	あり (燃焼継続)	
				上下枠		207分 (1)	229.3分 (2)	247.8分 (2)	あり・下枠 (燃焼継続)	
		仕様2	強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚 +硬質木片セメント板25mm厚	縦枠		到達せず (最高200.8℃)	到達せず (最高179.3℃)	到達せず (最高132.5℃)	なし	
		仕様3	強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +硬質木片セメント板25mm厚	縦枠		到達せず (最高171.4℃)	到達せず (最高157.1℃)	到達せず (最高115.5℃)	なし	
		仕様4	強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +スギ30mm厚	縦枠		到達せず (最高190℃)	到達せず (最高160.1℃)	到達せず (最高133.6℃)	あり (燃え止まり)	なし (変色)
				上下枠		221.3分 (1)	257.5分 (2)	289.5分 (2)	あり・下枠 (燃焼継続)	
貫通部 小口	非損傷性 (躯体の燃焼)	仕様1	強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚 +AESウール充填	VP管 (塩ビ)	100A (外寸φ114)	到達せず (最高117.4℃)	到達せず (最高96.3℃)	到達せず (最高88.9℃)	なし	
		仕様2	強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +AESウール充填			到達せず (最高107.3℃)	到達せず (最高95.6℃)	到達せず (最高75.5℃)	なし	
		仕様3	強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚 +AESウール充填	鋼管 SGP	100A (外寸φ114.3)	到達せず (最高112.4℃)	到達せず (最高97.1℃)	到達せず (最高96.2℃)	なし	
		仕様4	強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +AESウール充填			到達せず (最高105.3℃)	到達せず (最高92.6℃)	到達せず (最高80.7℃)	なし	
		仕様5	強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +AESウール充填	VP管 (塩ビ)	50A (外寸φ60)	到達せず (最高110℃)	到達せず (最高96.3℃)	到達せず (最高94.3℃)	なし	
		仕様6	強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚 +AESウール充填			到達せず (最高116.3℃)	到達せず (最高97.6℃)	到達せず (最高95.8℃)	なし	
		仕様7	強化せっこうボードGB-F(V)25mm厚 +AESウール充填	鋼管 SGP	50A (外寸φ60.5)	到達せず (最高114℃)	到達せず (最高97.2℃)	到達せず (最高97.1℃)	なし	
		仕様8	強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚 +AESウール充填			到達せず (最高120.6℃)	到達せず (最高96.9℃)	到達せず (最高95.4℃)	なし	
一般部	遮熱性 遮炎性 非損傷性					胴縁表面	CLT躯体表面			
		下部	被覆総厚36mm 強化せっこうボードGB-F(V)15mm厚+21mm厚			到達せず (最高207℃)	到達せず (最高125.3℃)		なし	
		下部	被覆総厚37.5mm 強化せっこうボードGB-F(V)12.5mm厚+25mm厚			到達せず (最高164.8℃)	到達せず (最高98.6℃)		なし	
		上部	被覆総厚42mm 強化せっこうボードGB-F(V)21mm厚+21mm厚			到達せず (最高126.4℃)	到達せず (最高78.5℃)		なし	
		中部				到達せず (最高120℃)	到達せず (最高96℃)		なし	
		下部				到達せず (最高126.4℃)	到達せず (最高96.9℃)		なし	

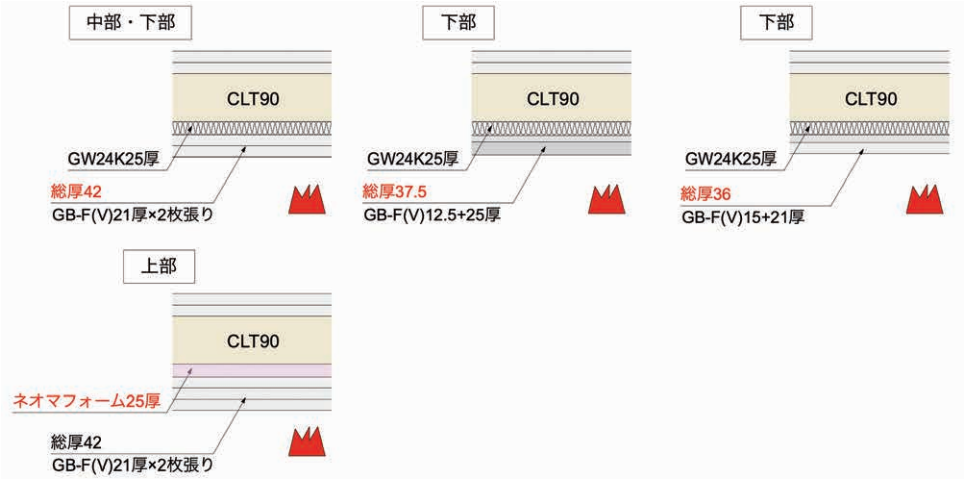
◎開口部　＜性能を確保された（CLT躯体に炭化なし）仕様＞ → 2仕様



◎貫通部　＜性能を確保された（CLT躯体に炭化なし）仕様＞ → 8仕様



◎一般部　＜性能を確保された（CLT躯体に炭化なし）仕様＞ → 4仕様



今後の課題・展開等

本事業では、CLTを用いた開口部等の防火的な措置を実験的に検討し、提案した。

しかし仕様が限定的であるため、設計の実状に応じたバリエーションを今後増やしていくことが重要である。

今後は、本事業で得られた成果をCLTを用いた中大規模木造建築物の防耐火設計手引きに落し込み、設計者、施工者に対して、普及啓蒙をはかっていきたい。

事業

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体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、講習を通じて設計・施工等の担い手（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木質構造、鉄骨造の専門家のご協力により作成し使用している。なお、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について、事務所、共同住宅、店舗などへの利用が進むよう、設計者向けにスパン表と必要となる接合金物のデータを併せて提供することである。中大規模木造建築といっても、決して敷居の高いものではないことを理解していただくための一助となることを期待している。

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（スパン表の整備）において、以下の事項を具体化し、実施した。

2．育成事業等の実施

（ア）担い手の育成

（イ）スパン表の整備

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	㈱木質構造計画ラボ　代表取締役
	麻生　直木	㈱安藤・間　建設本部　建築技術統括部　顧問

井塚　茂　　SMB建材㈱　木構造建設部　部長代理
宮林　正幸　　㈲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　　ウッドストック代表
菅谷　恭浩　　TSコンサルティング

＜敬称略＞

○WG１（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

＜※中大規模木造建築加工施工技術検討委員会＞

（注：修了証は※の名称で発行）

○WG２（スパン表の整備）：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
- WG1（担い手の育成）　　６回開催
- WG2（スパン表の整備）　　５回開催

２．育成事業等の実施

（１）担い手の育成（WG1）

＜専門講習＞

- 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、以下について学んでいただいた。
  ①木質構造部材製作要領書
  ②接合金物製作要領書
  ③建方要領書（木造躯体工事）
- これらは、木造建築関係企業が中大規模木造建築プロジェクトに下請けとして参加する場合、元請けに提出することが求められる資料であるが、木材業界にこれといった雛形がなく、中大規模木造建築で実績のある日集協組合員の意見等も参考にしながらとりまとめたものである。なお、いうまでもなく、ゼネコン等元請け側にも参考となる資料である。
- ８月下旬より、日集協のウェブサイト、基礎講習修了者への個別メール、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）、木を活かす建築推進協議会のメールニュース、日刊木材新聞への広告等を通じて、専門講習開催について情報を提供した。
- 講習は10月21日より11月７日まで開催した。要領書３種類の教材はダウンロードしていただく方式とした。
- 11月２日午後に修了試験問題をウェブに掲載して、11月７日中の答案の提出を求めた。

＜基礎講習（ビデオ配信）＞

- 各社の新人教育等にも活用していただけるよう、８月上旬より、基礎講習の動画についてオンデマンド配信を開始した。（修了試験なし）

（２）スパン表の整備（WG2）

令和２年度に作成した事務所、共同住宅及び店舗の床梁スパン表及び付随する接合金物の情報、令和３年度に作成した小屋梁スパン表及び付随する接合金物の情報を合体して、大断面集成材スパン表にとりまとめた（床梁、小屋梁は国産樹種の大断面集成材）。

ブックレット（CD-ROM付き）の配布やオンライン（オンデマンド）による利用説明会の開催を日刊

木材新聞、林経新聞への広告・関連記事、中大規模木造建築ポータルサイト等を通じて周知を図った。

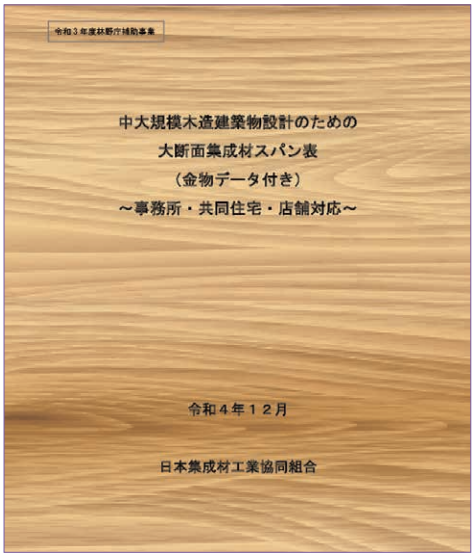
なお、日集協HP内に「中大規模木造建築規模建築物設計支援サイト」を立ち上げ、12月23日より利用説明会動画の配信を開始した。スパン表についてはPDF版を掲載するとともに、CD-ROM付きの冊子を関係行政機関、日本建築士会連合会、日本建築士事務所協会連合会、日集協の構造用集成材製造組合員などに配布した。

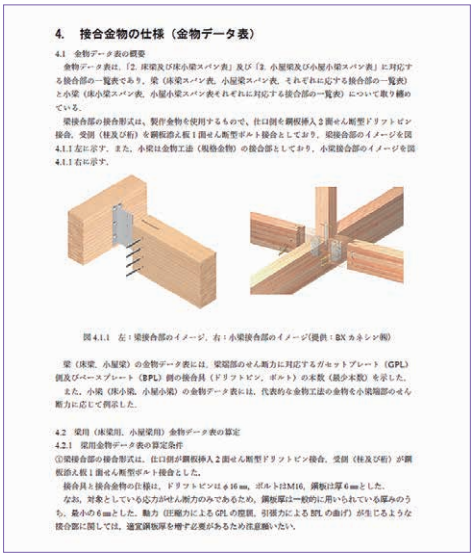
3．事業報告書の作成

今年度の事業実行内容、成果品としての要領書の雛形（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））、試験問題、修了者名簿等を報告書としてとりまとめた。

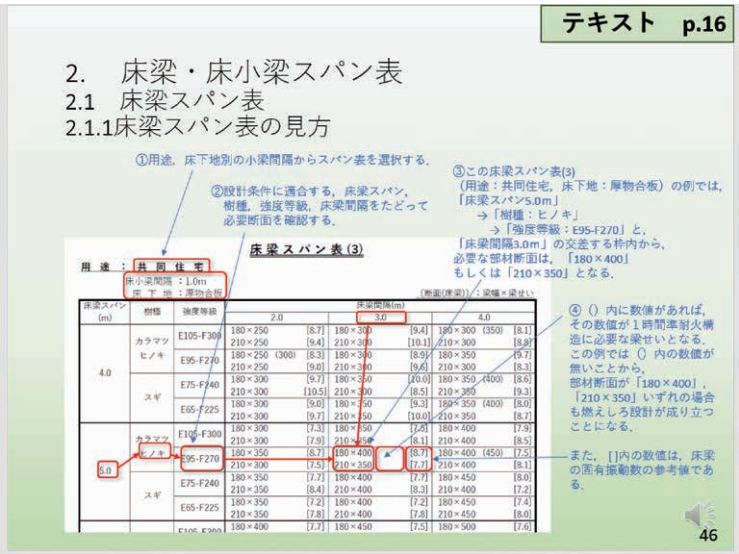
製作要領書（宮林講師）

スパン表ブックレット（宮林主査、菅谷委員、北村委員）

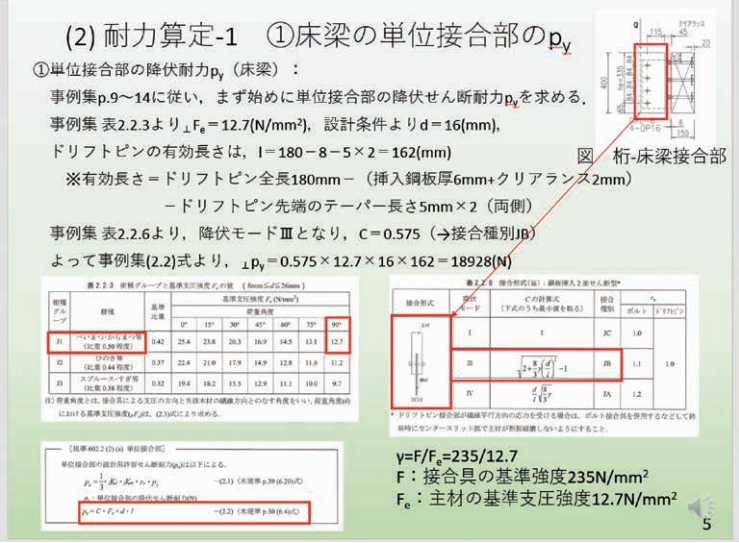




スパン表利用説明会（①スパン表本体の説明：菅谷講師）



スパン表利用説明会（②製作金物の設計例：北村講師）



実施した結果

1．担い手の育成

専門講習については、受講希望者65名のうち、56名が修了試験を受験し、全員合格と判定された。修了者には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ている。

2．スパン表の整備

スパン表利用説明会の動画は、全6本、計3時間30分にわたるものであるが、1月18日現在、アクセス総数は235回となっている。

また、希望者に対するブックレットの配布については、同日現在、118件となっている。

今後の課題・展開等

＜担い手育成＞

利用者の利便性を考え、基礎講習と専門講習の一体的な開催について検討を行う。

＜スパン表整備＞

オンライン利用説明会を継続する。また、スパン表ブックレットの無償配布を継続する。

事業

非住宅低層小規模建築物及び中規模ビルの木造化モデルの標準化とその普及

● 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

事業目的

●令和３年６月に「公共建築物等木材利用促進法」が改正され、「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」が10月１日に成立した。これを契機に林野庁が民間建築物における木材利用をさらに促進するため立ち上げた、「民間建築物等における木材利用促進に向けた協議会（ウッド・チェンジ協議会。経済・建築・木材供給関係者や地方団体等の関係者が一堂に会する官民協議会）の活動を推進することを目的とする。

●コンビニエンスストアや２階建て飲食店等の非住宅低層小規模建築物の多くは、鉄骨ファブリケーターが材料手配から施工計画、建て方までを行うことにより施工の効率化を図っている。一方、主に木造住宅に携わっている地域の工務店等は、非住宅の設計・施工に係る経験が少ない現状にある。このような現状を踏まえ、地域工務店等が非住宅低層小規模建築への取組みを促すために、木造化モデルの標準化、及び木造ファブリケーター（パートナー）を含めた設計・施工体制の検討を行うとともに、それらの普及に取り組む。

●また、ウッド・チェンジ・ネットワーク（平成31年２月に林野庁が立ち上げた「民間建築物等における木材利用促進に向けた懇談会」。令和３年９月に上記の「ウッド・チェンジ協議会」に発展させた。）で作成した中規模ビルの木造化モデルは、提案各社の特長を活かしつつ、ウィズコロナにも対応可能な６つの郊外型事務所ビルとなっている。これらの木造化モデルをベースとして、他の用途（宿泊施設等）も含めた標準的な中規模ビルの木造化モデルの充実を図り、それらの普及に取り組む。

実施した項目

○非住宅低層小規模建築物の木造化モデルの標準化・普及では、汎用性の高い非住宅低層小規模建築物として２階建ての事務所について設計施工体制に配慮した条件の検討を行い、木造化モデル案を作成するとともに、参加メンバーからの提案を募り、木造化モデル案として整理した。さらに、地域工務店等が非住宅低層小規模建築に取り組むことができるよう、木造化モデル案について、木造ファブリケーター（パートナー）導入の観点から、設計施工体制の効率化のスタディを行い、その普及を促すための検討を行った。

○中規模ビルの木造化モデルの標準化・普及では、中規模ビルの木造化モデル案として３階建て事務所ビルの設計概要案を作成するとともに、中規模ホテルの木造化モデル案の提案条件を検討し、参加メンバーから提案を募り、木造化モデル案として整理した。

○以上の取組みに関する普及資料を作成し、セミナーを開催した。

実施体制

関係団体・企業等を参加メンバーとした検討委員会を開催のうえ、事業に取り組んだ。

○非住宅低層小規模建築物の木造化モデルの標準化・普及

委員長：　大橋　好光　（東京都市大学名誉教授）
委　員：　功刀　友輔　（(一社)中大規模木造プレカット技術協会理事）

	藤間　瑛樹	(全国知事会(東京都 政策企画局政策担当課長))
	島倉　慎一	(同上。※第２回検討委員会より藤間委員から交代)
	青木　哲也	((一社)全国工務店協会理事)
	髙橋　雅司	((一社)日本木造住宅産業協会技術開発部長)
	佐藤　弘樹	(日本マクドナルドホールディングス(株)店舗開発本部部長)
	永井　敏浩	(SMB建材(株)木構造事業本部エンジニアリング部長)
	安達　広幸	((株)シェルター常務取締役)
	上田　拓也	(住友林業(株)木材建材事業本部木構造推進室マネージャー)
	小林　道和	((株)竹中工務店木造・木質建築推進本部シニアチーフエンジニア)
	浅井　　透	(東急建設(株)建築事業本部木造推進部専門部長)
	中藤　栄顕	(ポラス(株)経営企画部秘書室長)
	那須　恭介	(三菱地所(株)関連事業推進室)
	松岡　秀尚	(中国木材(株)管理部部長)
	西本　将晴	(銘建工業(株)木質構造事業部)
	小泉しをり	(積水ハウス(株)Ｒ＆Ｄ本部建築商品開発部)
	原田　真樹	((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長)
(行政)	土居　隆行	(林野庁林政部木材産業課木材製品技術室長)
	熊谷　有理	(林野庁林政部木材産業課木材製品技術室課長補佐)
	吹抜　祥平	(林野庁林政部木材産業課木材製品技術室)
	五味　　亮	(林野庁林政部木材利用課建築物木材利用促進官)
	山下　　孝	(林野庁林政部木材利用課課長補佐)
	吉村　麻美	(林野庁林政部木材利用課)
	長岡　達己	(国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室課長補佐)
	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)
(事務局)	金子　　弘	((公財)日本住宅・木材技術センター専務理事)
	大倉　靖彦	((株) アルセッド建築研究所) ほか

○中規模ビルの木造化モデルの標準化・普及

委員長：	山代　　悟	(芝浦工業大学教授)
委　員：	安井　　昇	(早稲田大学大学院理工学研究所招聘研究員)
	山田　　誠	((一社)建築性能基準推進協会)
	田口　　護	((一社)全国木材組合連合会常務理事)
	藤間　瑛樹	(全国知事会(東京都 政策企画局政策担当課長))
	島倉　慎一	(同上。※第２回検討委員会より藤間委員から交代)
	千藤　賢二	(ウッドソリューションネットワーク(農林中央金庫食農法人営業本部))
	末森　憲義	((公社)国際観光施設協会委員(清水建設㈱設計本部))
	関山　泰忠	((公社)国際観光施設協会委員(大成建設㈱設計本部))
	髙橋　雅司	((一社)日本木造住宅産業協会技術開発部長)
	功刀　友輔	((一社)中大規模木造プレカット技術協会理事)
	西田　達生	(中央日本土地建物(株)執行役員設計・技術部長)
	田中　延芳	(ヒューリック(株)顧問)
	永井　敏浩	(SMB建材(株)木構造事業本部エンジニアリング部長)
	榎本　浩之	((株)大林組設計本部構造設計部担当部長)
	安達　広幸	((株)シェルター常務取締役)
	丸谷　周平	(住友林業(株)建築事業部建築企画部部長)
	小林　道和	((株)竹中工務店木造・木質建築推進本部シニアチーフエンジニア)
	浅井　　透	(東急建設(株) 建築事業本部木造推進部専門部長)

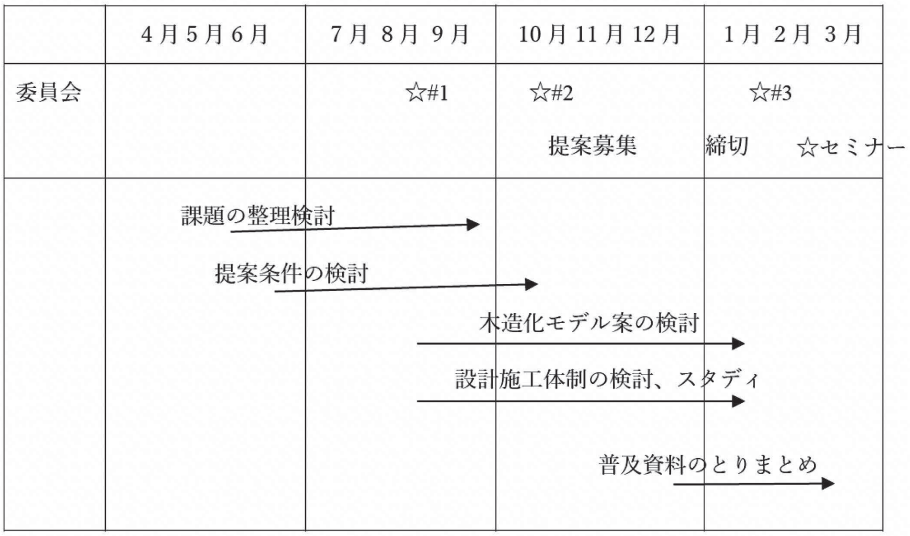
	野村　秀一	(ナイス(株)木造建設事業部部長)
	窪崎　小巻	(前田建設工業(株)設計戦略部チーフアーキテクト)
	青木　周大	(三菱地所(株)関連事業推進室)
	千葉　　聡	((株)久慈設計東京支社長)
	保手濱　敬	(中国木材(株)管理部副部長)
	宮竹　　靖	(銘建工業(株)木質構造事業部部長)
	塚谷　　誠	((株)アキュラホーム商品開発部部長)
	南　　一誠	((株)奥村組技術本部南研究室室長)
	雨宮　浩司	(鈴与建設(株)参与日の出開発室長)
	川中　彰平	((株)三井ホームデザイン研究所施設設計部チーフアーキテクト)
	渋沢　龍也	((国研)森林研究・整備機構森林総合研究所研究ディレクター(木質資源利用研究担当))
(行政)	土居　隆行	(林野庁林政部木材産業課木材製品技術室長)
	熊谷　有理	(林野庁林政部木材産業課木材製品技術室課長補佐)
	吹抜　祥平	(林野庁林政部木材産業課木材製品技術室)
	五味　　亮	(林野庁林政部木材利用課建築物木材利用促進官)
	山下　　孝	(林野庁林政部木材利用課課長補佐)
	吉村　麻美	(林野庁林政部木材利用課)
	長岡　達己	(国土交通省住宅局住宅生産課木造住宅振興室課長補佐)
	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)
(事務局)	金子　　弘	((公財)日本住宅・木材技術センター専務理事)
	中村　朋世	((有)ビルディングランドスケープ一級建築士事務所) ほか

実施した内容

○非住宅低層小規模建築物の木造化モデルの標準化・普及

1、2階建ての非住宅低層小規模建築物の木造化モデルを標準化するための課題の整理、及び木造ファブリケーター（パートナー）を含めた施工体制の整備や地域工務店を支援するための課題とその解決策の検討を行うため、検討委員会を３回開催し、課題解決等に取り組んだ。

（事業スケジュール）



○中規模ビルの木造化モデルの標準化・普及

標準的な中規模ビルの木造モデルの充実を図るため、施主のニーズに対応した中規模ビルの木造化検討における脱炭素社会への対応、木質部材活用の各種効果の顕在化や、耐久性向上や維持管理等の各

種課題について検討するとともに、中規模ビルの木造化モデルに関する普及資料作成について検討するため、検討委員会を３回開催し、課題解決等に取り組んだ。

（事業スケジュール）

実施した結果

〇非住宅低層小規模建築物の木造化モデルの標準化・普及

木造の良さを体感できる木造建築のしつらえ、多様なオフィスレイアウト・規模の事務所への展開が可能な合理的な構造システム、建設地で調達しやすい地域材や国産材の活用、地域工務店等が取り組みやすい材料・加工や施工法を配慮事項として、検討委員会委員等に対し、木造化モデルの提案を募集した。その結果以下の提案があった。

①（一社）全国工務店協会・（一社）中大規模木造プレカット技術協会

②（株）シェルター

③ 積水ハウス（株）

④（株）アルセッド建築研究所

⑤（株）アルセッド建築研究所

〇中規模ビルの木造化モデルの標準化・普及

検討委員会において、普及が期待される、延べ床面積3,000平米以下、地上３階建ての準耐火構造で建築できる、店舗など併設可能なオフィスの標準的な中規模ビルの木造化モデルを作成した。

また、検討員会参加委員に中規模ホテルの木造化モデル提案を募集し、以下の提案があった。

①（株）三井ホームデザイン研究所・SMB 建材（株）
「水平・立面木混構造で実現する木造ホテル」

②（株）大林組
「CLT ユニット工法による準耐火木造ホテル」

③（株）シェルター
「ハイブリッド木構造によるコワーキングスペースのあるホテル」

④ 東急建設（株）

「様々な建築用途に適用可能な木製シャフトをもつ混構造木造ホテルモデル」

⑤ 前田建設工業（株）

「木造リゾートホテル＜WOODCHANGE HOTEL＞計画」

〇中規模ビル・非住宅低層小規模建築物の木造化セミナー

- 2月16日（木）「ウッド・チェンジ協議会　中規模ビル・非住宅低層小規模建築物の木造化セミナー」と題して、中規模ビル及び非住宅低層小規模建築物の木造化に関心のある事業主や工務店等の技術者等を対象にセミナーを実施した。

  セミナーでは、中規模ビル検討委員会において作成した標準的な中規模ビルの木造化モデルや、検討委員会委員等提案の中規模ホテルや非住宅低層事務所の木造化モデル説明を通じて、建物を実現するための多様な材料や構法等を紹介した。セミナーでは延べ約690名の参加者により活発な質疑応答があった。

今後の課題・展開等

脱炭素社会の実現に資するため、民間建築物における木材利用をさらに促進するためには、引き続き非住宅低層小規模建築物や中規模ビルの木造化においても、多様な用途を想定した木造化モデルの更なる充実を図り、事業成果の定着に取り組む必要がある。

事業

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 30㎜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
薮谷充浩　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
田村尭大　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
横江美幸　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
山内一浩　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

実施した内容

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、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を把握した。

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した。

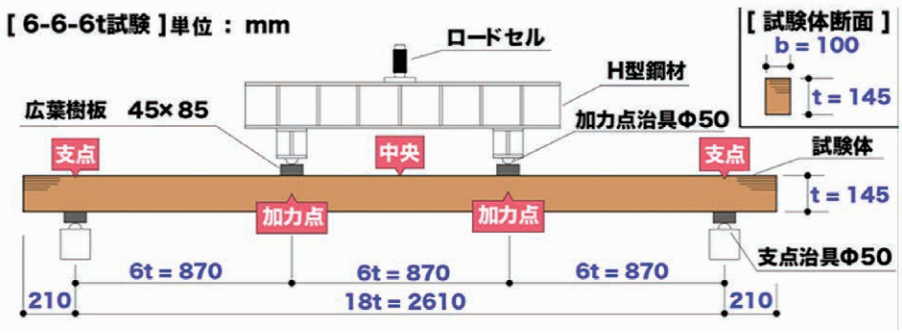


図１　曲げ試験の概要（3等分点4点曲げの場合）

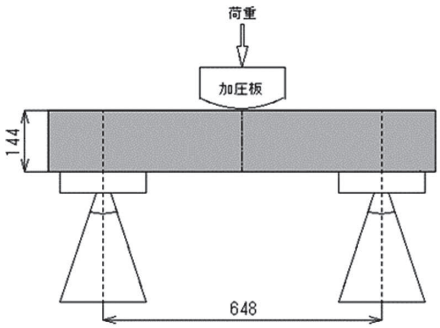


図２　水平せん断試験の概要（スパンが厚さの4.5倍の場合）

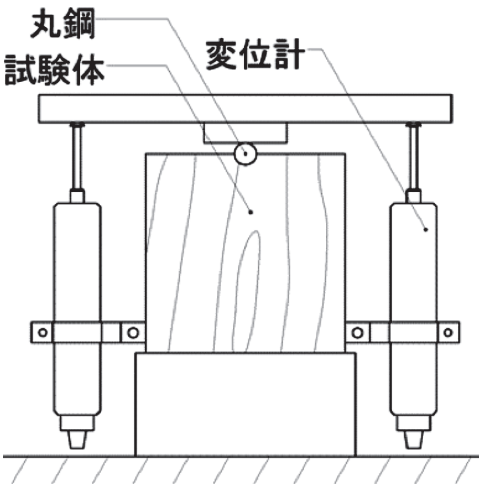


図３　接合部性能試験の概要（支圧試験）

図４　接合部性能試験の概要（二面せん断試験）

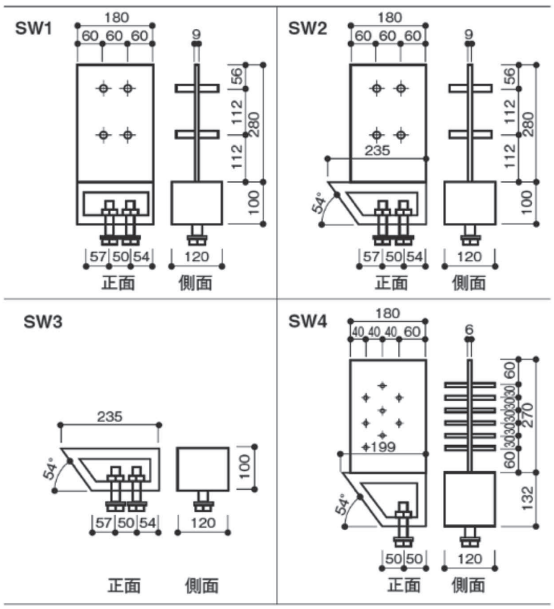


図５　耐力壁の脚部接合仕様

図６　耐力壁試験の概要

実施した結果

①超厚合板の製造因子の検討

スギ単板の動的ヤング係数による選別程度および積層接着方法を変えた試作試験を行い、製造の可否・難易を検討した。いずれの製造条件においても製造上は問題なかったが、製造因子を厳しくすると単板の歩止りや生産性が下がるため、要求性能との兼ね合いで製造因子を設定する必要があることが分かった。

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である曲げ性能、水平せん断性能、接着の程度、含水率変化について実験的検証を行い、製造条件と性能の関係を把握した。曲げ性能については、スギの場合、３等分点曲げによる測定が可能であったが、ヒノキ、カラマツにおいては、せん断破壊が先行するため、試験条件を変更する必要があった。これは、曲げ性能と水平せん断性能の兼ね合いで決まる特性であると考えられた。また、水平せん断性能についても、同様にヒノキ、カラマツにおいてせん断破壊が生じる割合が低くなる傾向が見られ、真のせん断性能を把握する必要があることが分かった。接着の程度については、剥離試験による評価が可能と思われるが、判定の基準についてはさらにデータを蓄積する必要がある。含水率変化については、評価に長期間を要するため、本年度もデータの蓄積を図った。

③超厚合板の接合部性能の把握

超厚合板の面圧特性の測定を行い、製造条件ごとの接合部性能の数値を導出した。支圧強度は、加力方向に対する表層繊維方向の影響を受けず、接合性能が等方性を示すことがわかった。また、接合具径に依らず同程度の支圧強度を示すことも特徴的であったが、定性的な結果であるか更に検討が必要である。また、二面せん断性能については、EYT 式に従うことがわかった。得られた成果は建築物の設計の基礎として活用できる。

④超厚合板の構面としての性能把握

超厚合板の耐力壁について水平せん断試験を行い、構面としての面内剛性について把握し、超厚合板は壁構面として優れた性能を有することが分かった。脚部の接合仕様により耐力性能は異なったが、靭性の高い脚部接合仕様を導出すれば、より超厚合板の性能を活かした構面を実現可能であると考えられる。

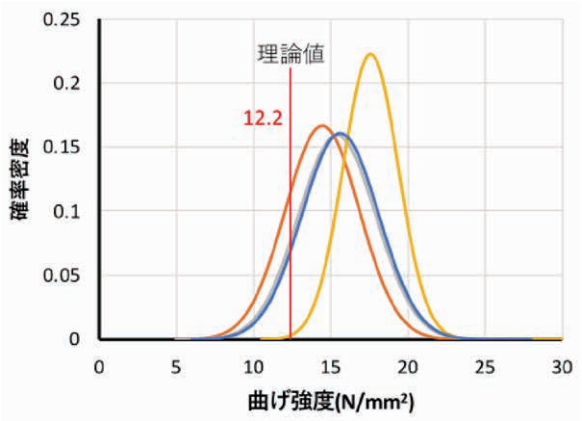


図７　スギの超厚合板の曲げ強度

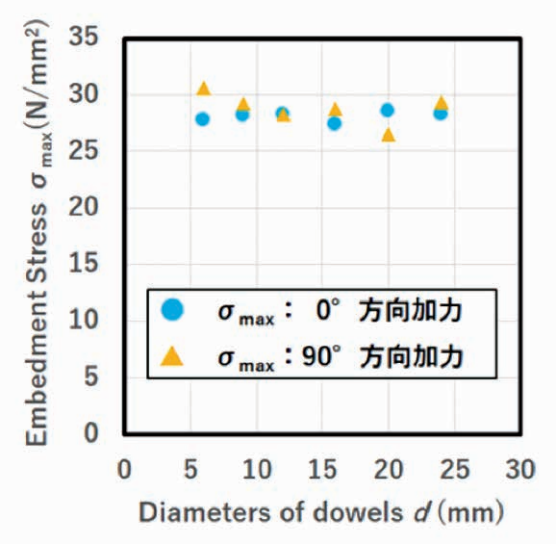


図８　支圧強度の比較

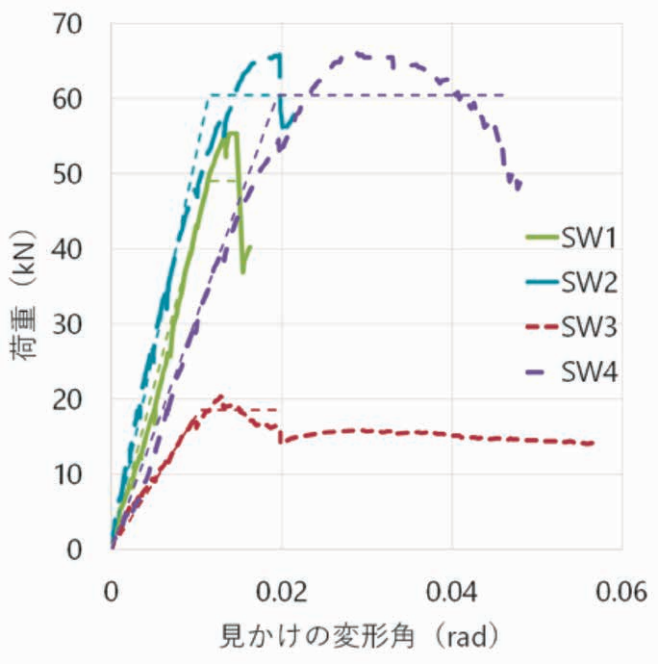


図９　耐力壁の荷重と見かけのせん断変形角の関係

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、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。

事業

製材JASの格付け率向上に資する検査方法案の検討

● 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㈱内

事業目的

現行、製材ＪＡＳの格付け検査のうち含水率の検査は、破壊試験（全乾法）により実施されているが、公的機関等の認定をうけた既存の木材水分計（含水率計）を用いることで、検査機関が試験片を持ち帰ることなく、その場で（非破壊にて）結果を出すことにより、含水率検査をスムーズに行うことが可能となる。

この試験方法が確立されれば、検査する側もされる側も双方にメリットとなる（効率的な作業、森林資源の有効活用等）ことから、日本を代表する主要樹種のうち、既に類似の実験でデータが得られていたスギを除く樹種（ヒノキ、カラマツ、トドマツ、アカエゾマツ）で実験を行い、従来の含水率試験方法と同等の精度が得られるか科学的に検証することを目的とした。

実施した項目

本事業では、有識者、地方公設試験機関、認証機関等からなる検討委員会を設置し、下記の項目について実施した。

1．検討委員会の開催
2．含水率測定試験の実施
- マイクロ波含水率計による含水率測定値及び電圧の測定（５か所／本）
- JAS規格による含水率測定（５か所／本）

実施体制

製材ＪＡＳの格付け率向上に資する検査方法案の検討委員会　名簿（敬称略）

委員長	藤本　登留	九州大学農学研究院環境農学部門
委　員	伊神　裕司	国立研究開発法人　森林研究・整備機構
	渡辺　　憲	国立研究開発法人　森林研究・整備機構
	大橋　義徳	地方独立行政法人　北海道立総合研究機構
	松元　　浩	石川県農林総合研究センター林業試験場
	小澤眞虎人	一般社団法人　全国木材検査・研究協会
	南田　英樹	一般社団法人　北海道林産物検査会
オブザーバー	今村　正輝	独立行政法人　農林水産消費安全技術センター
	山内　一浩	独立行政法人　農林水産消費安全技術センター
	村野　朋哉	国立研究開発法人　森林研究・整備機構
	土橋　英亮	地方独立行政法人北海道立総合研究機構
	松田　洋樹	岡山県農林水産総合センター森林研究所
	山口　健太	長野県林業総合センター木材部
	土居　隆行	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
	横江　美幸	林野庁木材産業課　木材製品技術室

	川原　　聡	農林水産省大臣官房　食品製造課
	田村　尭大	農林水産省大臣官房　食品製造課
	中根　紀章	株式会社　エーティーエー
	杉山　晃広	マイクロメジャー株式会社
事務局	一般社団法人　全国木材組合連合会	
	国産材製材協会	

実施した内容

1　委員会の開催

検討委員会を３回開催し、事業の企画、推進を行った。

2　含水率測定試験

2.1　使用機種

（公財）日本住宅･木材技術センターの認定機種である携帯型のマイクロ波透過型含水率計HM-10（マイクロメジャー（株）製）およびMC-3200EX（(株）エーティーエー製）の２機種を含水率測定試験に使用した。

2.2　試験体の調達

表１に示す通り、ヒノキ、カラマツ、トドマツ、アカエゾマツの正角乾燥材（断面105 mm × 105 mm、材長３～3.65 m、写真１）を調達した。調達時には、なるべく含水率が10～25%の範囲にばらつくように、検量線作成用と含水率の測定精度の検証用に使用する試験体を事前に分けた。

写真１　含水率測定に使用した試験体

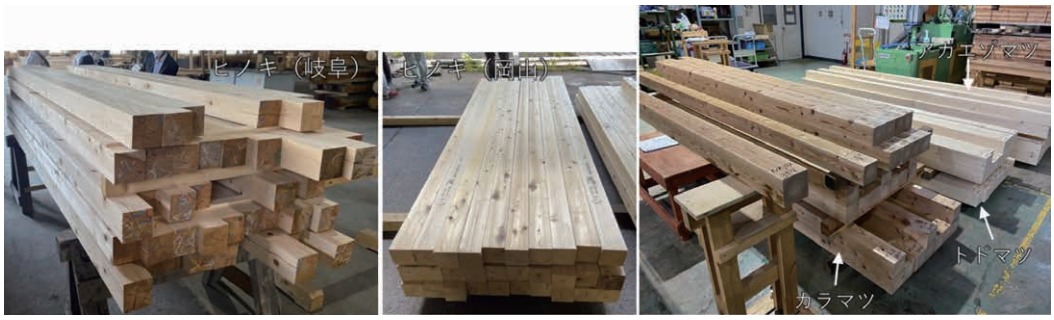


表１　試験体の樹種、産地、木取りおよび試験体数

樹種	産地	木取り	検量線作成	測定精度の検証
ヒノキ	岐阜県	心持ち	10本	30本
	岡山県	心持ち	-	30本
カラマツ	北海道	心持ち	20本	36本
	長野県	心持ち	10本	30本
トドマツ	北海道	心去り	20本	30本
アカエゾマツ	北海道	心去り	20本	30本

2.3　検量線の作成

各樹種に対して１つの検量線を以下の手順で作成した。

①木口付近から切片を１枚採取し（図１)、全乾密度を測定した。全乾密度の平均値を含水率計に入力し、②以降の測定に使用した。

②含水率の測定位置は試験材１本につき５箇所とし、５箇所とも２機種で測定した。

③測定箇所から厚さ 40 mm の切片を切り出し、全乾法による含水率と全乾密度を測定した。
④含水率（HM-10）もしくは減衰電圧（MC-3200EX）と全乾法による含水率の関係を散布図に示し、その直線回帰式を検量線とした。

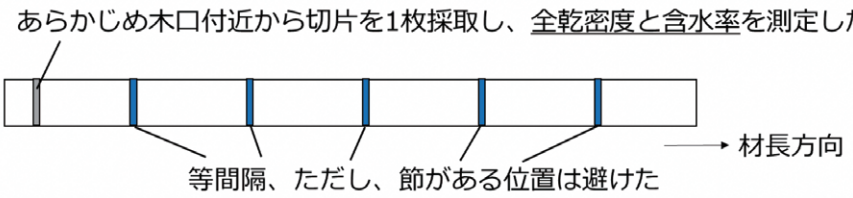


図１　含水率の測定位置

2.4　測定精度の検証

2.3 と同様５箇所の含水率を測定した。その後、測定箇所から厚さ 40 mm の切片を切り出し、全乾法による含水率と全乾密度を測定した。全乾法による含水率と含水率計による値を比較し、測定精度は二乗平均平方根（RMSE：測定誤差が平均でどの程度あるかを表す指標）を用いて評価した。

実施した結果

3　試験結果

3.1　含水率と全乾密度

全乾法による含水率と全乾密度を表２、３に、含水率と全乾密度との関係を図２に示す。ヒノキについては岡山県から調達した試験体の含水率が平均で 8.9% と低く、検量線作成に使用した岐阜県より含水率が低かった。トドマツ、アカエゾマツについては、含水率が 30% を超える試験体が散見され、これらの含水率が高い試験体は検量線作成用の試験体に含めなかった。なお、検量線作成用の試験体の全乾密度はある程度のバラツキがあった。

表２　含水率の測定結果

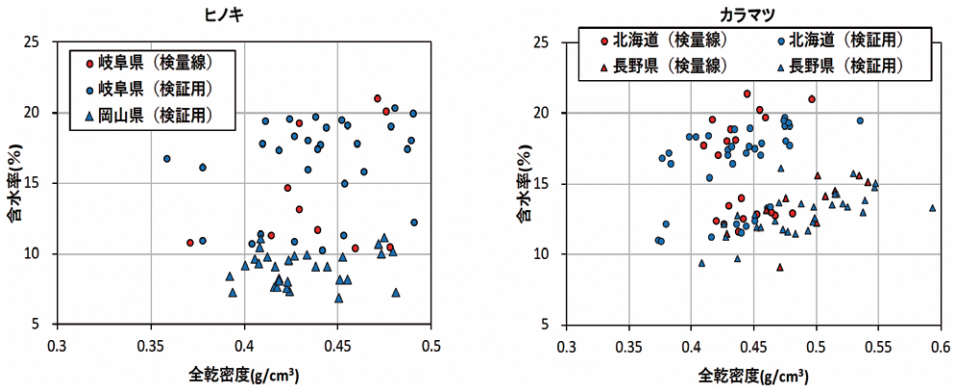
単位(%)

	ヒノキ(岐阜)	ヒノキ(岡山)	カラマツ(北海道)	カラマツ(長野)	トドマツ	アカエゾマツ
n	40	30	56	40	50	50
平均	15.8	8.9	16.2	13.1	21.9	20.9
最小値	10.2	6.9	10.9	9.1	15.8	15.3
最大値	21.0	11.1	21.4	16.1	46.8	36.2
標準偏差	3.5	1.2	3.1	1.7	6.3	4.7

表３　全乾密度の測定結果

単位(g/cm³)

	ヒノキ(岐阜)	ヒノキ(岡山)	カラマツ(北海道)	カラマツ(長野)	トドマツ	アカエゾマツ
n	40	30	56	40	50	50
平均	0.44	0.43	0.44	0.49	0.35	0.36
最小値	0.36	0.39	0.37	0.41	0.29	0.31
最大値	0.49	0.48	0.53	0.59	0.39	0.41
標準偏差	0.03	0.03	0.03	0.04	0.03	0.02



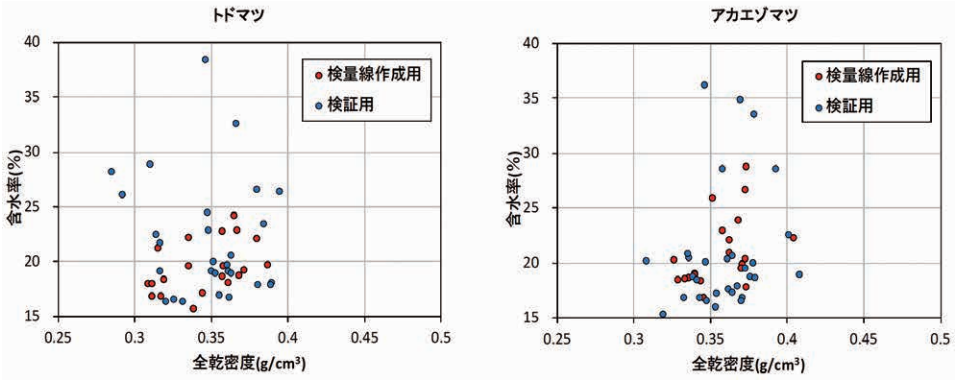


図２　樹種別の含水率と全乾密度の関係

3.2　作成した検量線

含水率（HM-10）もしくは減衰電圧（MC-3200EX）と全乾法による含水率の関係を樹種別に図３～６に示す。いずれの樹種および含水率計においても両者は直線関係にあり、この散布図から求めた直線回帰式を検量線とした。

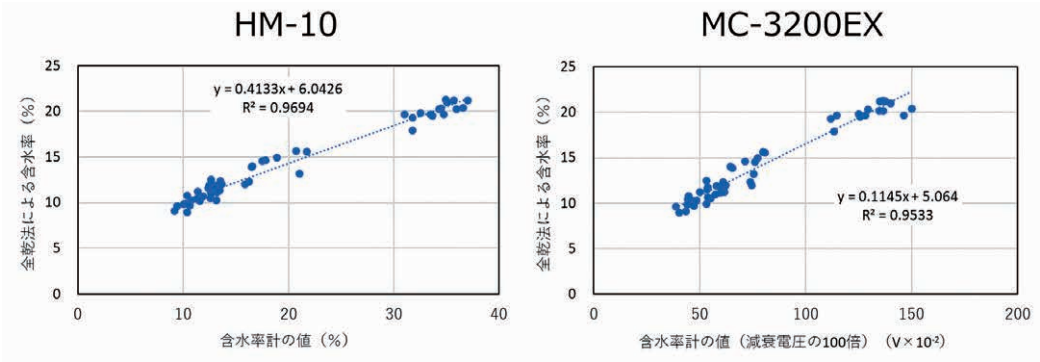


図３　ヒノキにおける含水率（HM-10）、減衰電圧（MC-3200EX）と全乾法による含水率の関係

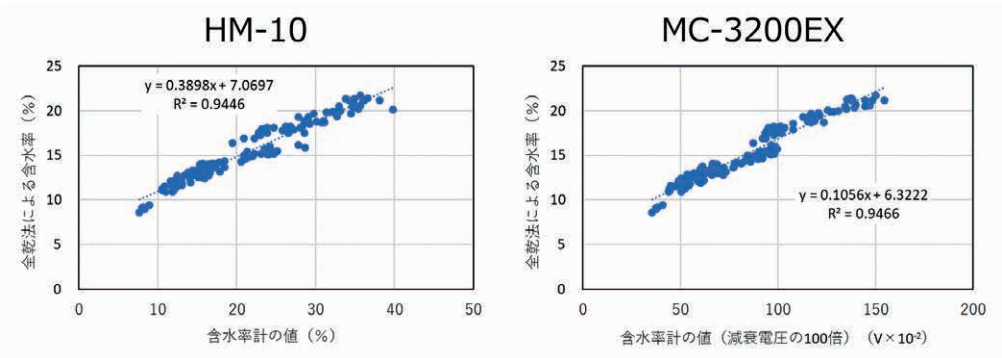


図４　カラマツにおける含水率（HM-10）、減衰電圧（MC-3200EX）と全乾法による含水率の関係

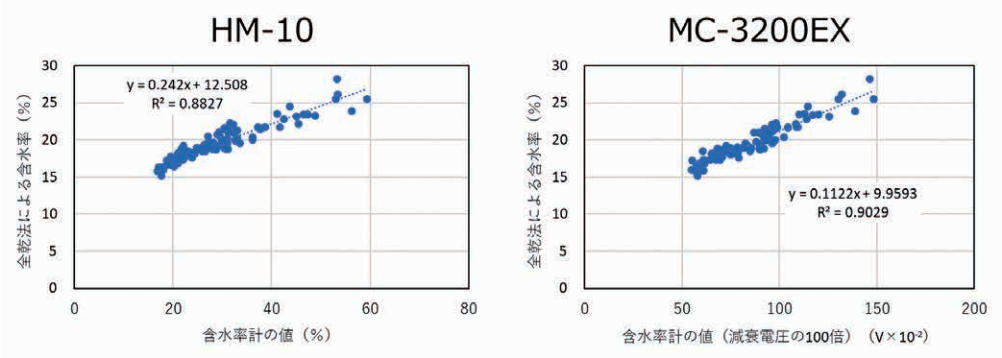


図５　トドマツにおける含水率（HM-10）、減衰電圧（MC-3200EX）と全乾法による含水率の関係

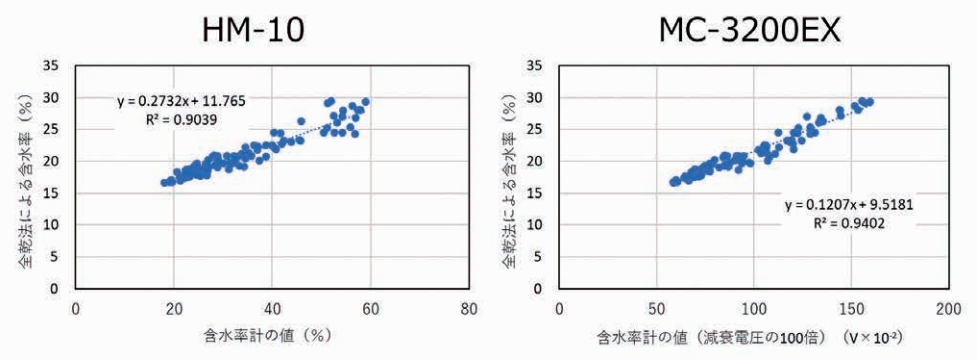


図6　アカエゾマツにおける含水率 (HM-10)、減衰電圧 (MC-3200EX) と全乾法による含水率の関係

3.3　測定精度の検証

図7～11に、含水率計による測定値と全乾法による含水率の関係を樹種別に示す。ヒノキについては検量線作成に使用した岐阜県と検量線作成に含めなかった岡山県とで分けて示した。全乾密度（表3、図2）にはバラツキがみられたものの、RMSEの値から、いずれの樹種も両機種ともに含水率20%以下の範囲において、全乾法との誤差は平均1%程度であった。

昨年度､別事業においてスギを用いた検証においても今回と同等の測定精度が得られていることから、適切に検量線を作成し、含水率範囲を20%以下に限定すれば、ある程度密度にバラツキがあっても正角乾燥材の含水率を高い精度で測定可能であることが検証された。

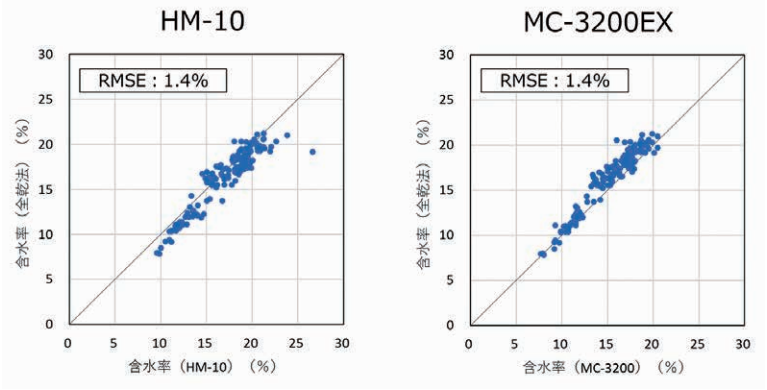


図7　ヒノキ（岐阜県）における含水率計による測定値と全乾法による含水率の関係

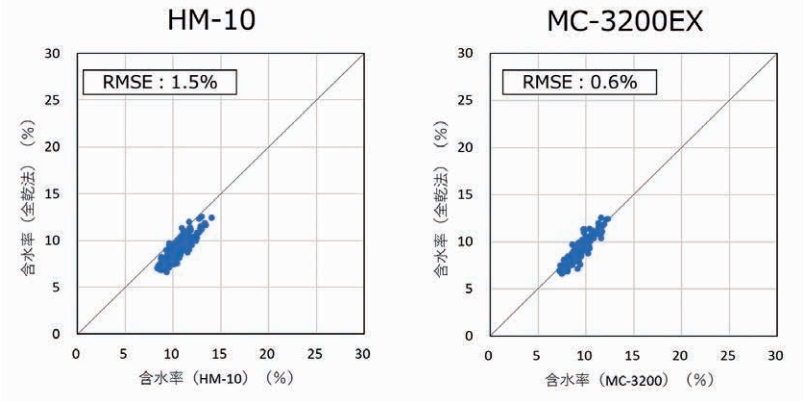


図8　ヒノキ（岡山県）における含水率計による測定値と全乾法による含水率の関係

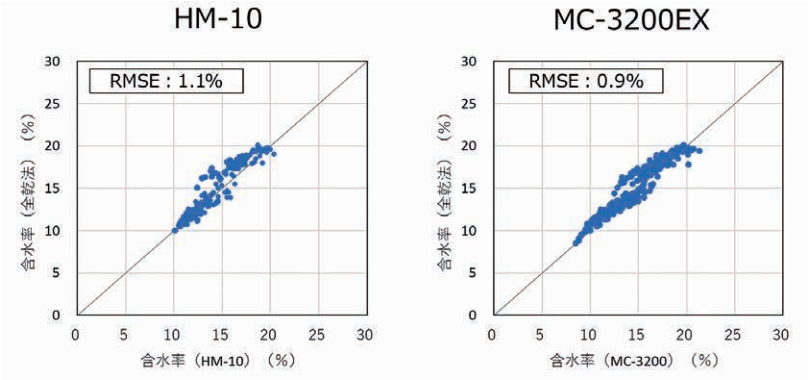


図９　カラマツにおける含水率計による測定値と全乾法による含水率の関係

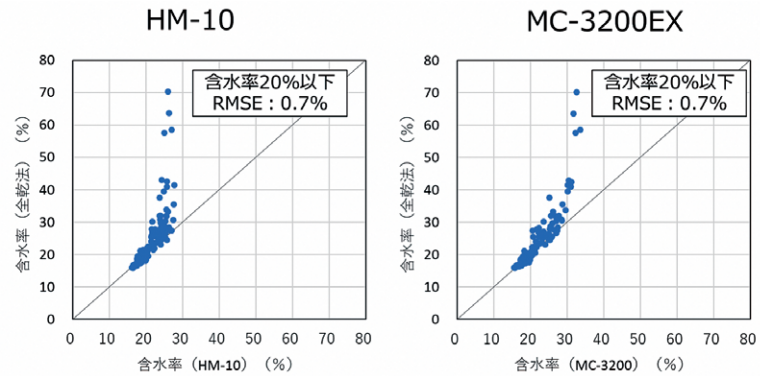


図 10　トドマツにおける含水率計による測定値と全乾法による含水率の関係

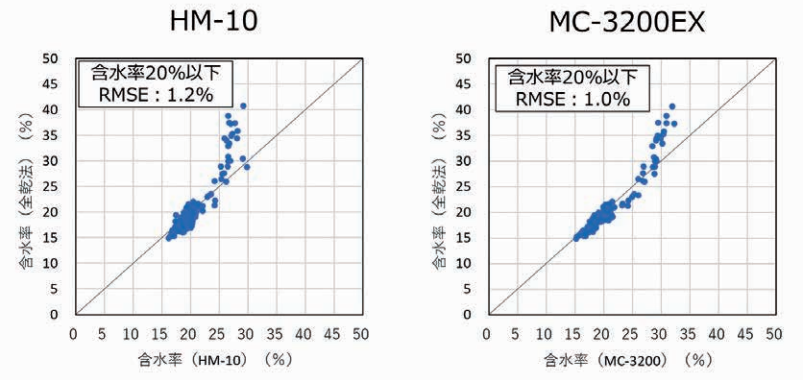


図 11　アカエゾマツにおける含水率計による測定値と全乾法による含水率の関係

今後の課題・展開等

①本事業では 105㎜角の心持ち正角を対象とした。今後は平角や板材など断面の異なる材においても適用可能か検討する必要がある。

②今回は検量線の作成から本測定までさほど時間がかからなかったため、温度補正はほぼ行わなかった。ただし、実際の運用を考えると製材品の温度は季節によって大きく異なるので、含水率計に内蔵の温度補正式が妥当かどうか検討しておいたほうがよいと思われる。

③今回の予備試験において、二方柾の心去り正角で木取りによってマイクロ波の減衰が変化することが確認されたことから、平角（心持ち、心去り）や板材（板目、柾目）を測定する際に木取りによる影響を考慮する必要があるかどうか検討する必要がある。

④携帯型のマイクロ波透過型含水率計は今後の普及が期待される反面、正しい測定方法や適切な検量線の作成が若干難しく、誰でも手軽に扱えるように取扱説明書や装置の改良が望まれる。

事業

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―

● 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

CLTは2013年にJASが制定、2016年に建築基準法告示が公布・施行され、一般利用が開始された。木材があまり使われてこなかった中大規模の建築物などに用いることにより、木材の新たな需要や新しい産業分野の創出に大きな期待が寄せられている。CLTを用いた建築物は2020年3月末で累計594棟建設されており、その中には非住宅と中高層の分野も数多く含まれている。しかしながら、2016年以前に試作的に建設された、床衝撃音対策を施したCLTパネル工法による共同住宅において計測された床遮音性能は、RC造ほどの床遮音性能が得られないことが報告されている。CLTを含め、木造の床はRC造に比べ重量衝撃音で性能が劣ると言われている。そのため、集合住宅やホテル・学校・高齢者施設において木造全般が敬遠されるケースが多い。CLTに関しては、中層建築物や非住宅への応用が求められている事から、重量衝撃音への対策を整備することが、CLT建築物の普及を進めるうえで非常に重要である。

本事業では、CLTパネル工法にて建設した日本建築総合試験所内のCLT遮音実験棟を使用し、床衝撃音を抑制し低減させる設計手法を検討し、RC造と同等な遮音性の得られる仕様を確立させることを目的としている。

本事業は前々年度より継続しており、これまでの2年間に仕上げ材と構造躯体の対策による効果を検証し、2年目にはLH-50、LL-50の水準を達成した。LH-50は日本建築学会適用等級「1級」に相当し、共同住宅等の建物においても推奨できるレベルであり、木造建築物においては極めて優秀な性能ではあるが、高品位なRC造の建物と比較すると未だなお劣るレベルである。したがって本年は、これまでに得られた成果を基に有効な手法の改良および組合せ効果などを検証して更なるCLT床への対策をまとめ、開発目標性能値としてLH―45、LL―45を達成する仕様を目指す。仕様の検討にあたっては施工性やコスト面にも考慮し、成果の普及を妨げることがないよう努める。

実施した項目

1．CLT遮音実験棟を用いた遮音対策の検討

1.1　前年効果の高かった湿式工法（コンクリート打設床）と他の対策法を組み合わせたハイブリッド仕様の検証

1.2　施工性の良い乾式工法（乾式二重床）のさらなる性能向上と低コスト仕様の検証

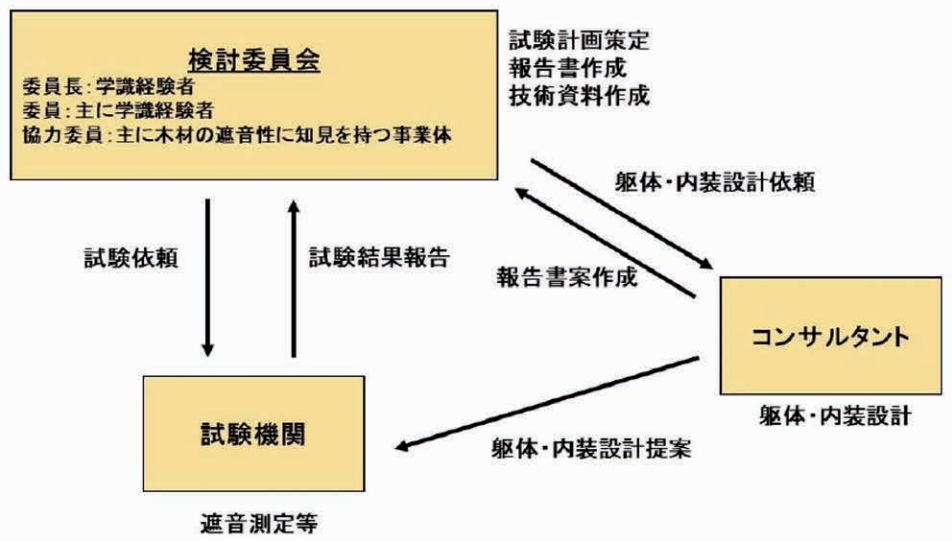
2．感応試験

CLT遮音実験棟を利用した感覚的評価と物理的評価（遮音等級）の相関の確認

実施体制

「CLT床遮音性能向上の研究開発検討委員会」（以下「検討委員会」）を日本CLT協会技術部遮音ワーキング組織を基に立ち上げ、検討委員会を開催し、事業実施内容の検討をおこなった。

【実施体制】



「CLT床遮音性能向上のための研究開発検討委員会」 組織 ※2023年2月7日現在

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 株式在貴社
	高麗　俊	ナイス 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
	黄　羽韓	ロトブラースジャパン 合同会社
	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
協力委員	平光　厚雄	国立研究開発法人 建築研究所
	中村　央	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

コンサルタント	川中　彰平	株式会社 三井ホームデザイン研究所
	佐藤　千春	株式会社 三井ホームデザイン研究所
行　政	福島　　純	林野庁 林政部 木材産業課
事務局	平原　章雄	木構造振興 株式会社
	河合　　誠	一般社団法人 日本CLT協会
	塩崎　征男	一般社団法人 日本CLT協会
	中井　　聡	一般社団法人 日本CLT協会

実施した内容

1．CLT遮音実験棟を用いた遮音対策の検討

CLT遮音実験棟は、一つの実験棟内にＡ棟・Ｂ棟２つの試験室がある。

Ｂ棟は、昨年効果の高かった湿式工法（コンクリート打設床）の仕様をそのままに、他の対策法と組み合わせた「ハイブリッド仕様」を検討し、実験を行った。

Ａ棟は、施工性の良い乾式工法（乾式二重床）による、さらなる性能アップを目指して対策方法を検討し、実験を行った。

Ａ棟・Ｂ棟それぞれの対策法の概要を下の【表－1】【表－2】に示す。

1-1　Ａ棟の対策概要について

- 樹脂発泡体積層マット（t50㎜）
- 乾式二重床Ａ（硬質石膏ボード・二重天井Ａ）
- 乾式二重床Ａ（硬質石膏ボード・樹脂発泡体積層マット・二重天井Ａ）
- 乾式二重床Ｂ（繊維混入押出成形セメント板・二重天井Ｂ）
- 乾式二重床Ｂ（繊維混入押出成形セメント板・二重天井Ｃ）

それぞれの試験仕様の詳細を「表-１」に示す。

（寸法単位：㎜）

<table>
<tr><th>仕様</th><th>２階側</th><th>１階側</th><th>備考</th></tr>
<tr><td>A1</td><td>－</td><td rowspan="2">－</td><td rowspan="11">２階床 CLT パネル両面に耐火被覆

２階床 CLT パネル上
床根太 t12
+強化石こうボード t21×2

２階床 CLT パネル下
天井野縁 t12
+強化石こうボード t21+25</td></tr>
<tr><td>A2</td><td>樹脂発泡体積層マット t50</td></tr>
<tr><td>A3</td><td>－</td><td rowspan="4">石こうボード
二重天井Ａ</td></tr>
<tr><td>A4</td><td>樹脂発泡体積層マット t50</td></tr>
<tr><td>A5</td><td>硬質石こうボード t12.5
＋ 乾式二重床Ａ t219</td></tr>
<tr><td>A5’</td><td>硬質石こうボード t12.5
＋ 乾式二重床Ａ t219
＋ 樹脂発泡体積層マット t50</td></tr>
<tr><td>A6</td><td>硬質石こうボード t12.5
＋ 乾式二重床Ａ t219</td><td rowspan="3">－</td></tr>
<tr><td>A7’</td><td>床根太 t12
+繊維混入押出成形セメント板 t26</td></tr>
<tr><td>A7</td><td rowspan="3">床根太 t12
+繊維混入押出成形セメント板 t26
＋ 乾式二重床Ｂ t190</td></tr>
<tr><td>A8</td><td>石こうボード
二重天井Ｂ</td></tr>
<tr><td>A9</td><td>石こうボード
二重天井Ｃ</td></tr>
</table>

【表－１】Ａ室の対策仕様の相違点一覧

1-2　B棟の対策概要について

- ゴム製マット
- 樹脂発泡体積層マット（t50㎜）
- 直貼り防音フローリング
- ２Ｆ床ジャッキアップ（30㎜）
- ２Ｆ床ジャッキアップ（乾式二重床Ｃ・二重天井Ｃ）

それぞれの試験仕様の詳細を「表-２」に示す。

（寸法単位：㎜）

仕様	２階側	１階側	備考
B2-1	ゴム製マットＡ t50	－	２階床 CLT パネル上 コンクリート t100 +コンクリート t50 +コンクリート t50 ２階床 CLT パネル下 室中央に梁（105×300） を設置 +金物による梁補強
B2-2	ゴム製マットＢ t20		
B2-3	ゴム製マットＣ t15		
B3	樹脂発泡体積層マット t50		
B4	直張り防音フローリング t12.3		
B5	－	+緊結ボルト付近に 鉄板(t30)を挟みこみ	
B6		+緊結ボルト付近に 鉄板(t30)を挟みこみ +石こうボード二重天井Ｃ	
B7	樹脂発泡体積層マット t50		
B8	乾式二重床Ｃ t136		

【表－２】Ｂ室の対策仕様の相違点一覧

上記の対策仕様について、一財）日本建築総合試験所内のCLT遮音実験棟で重量衝撃音レベル（タイヤ衝撃源）、軽量衝撃音レベル（タッピングマシン）、室間音圧レベル差（空気音遮断性能）による測定を行った。

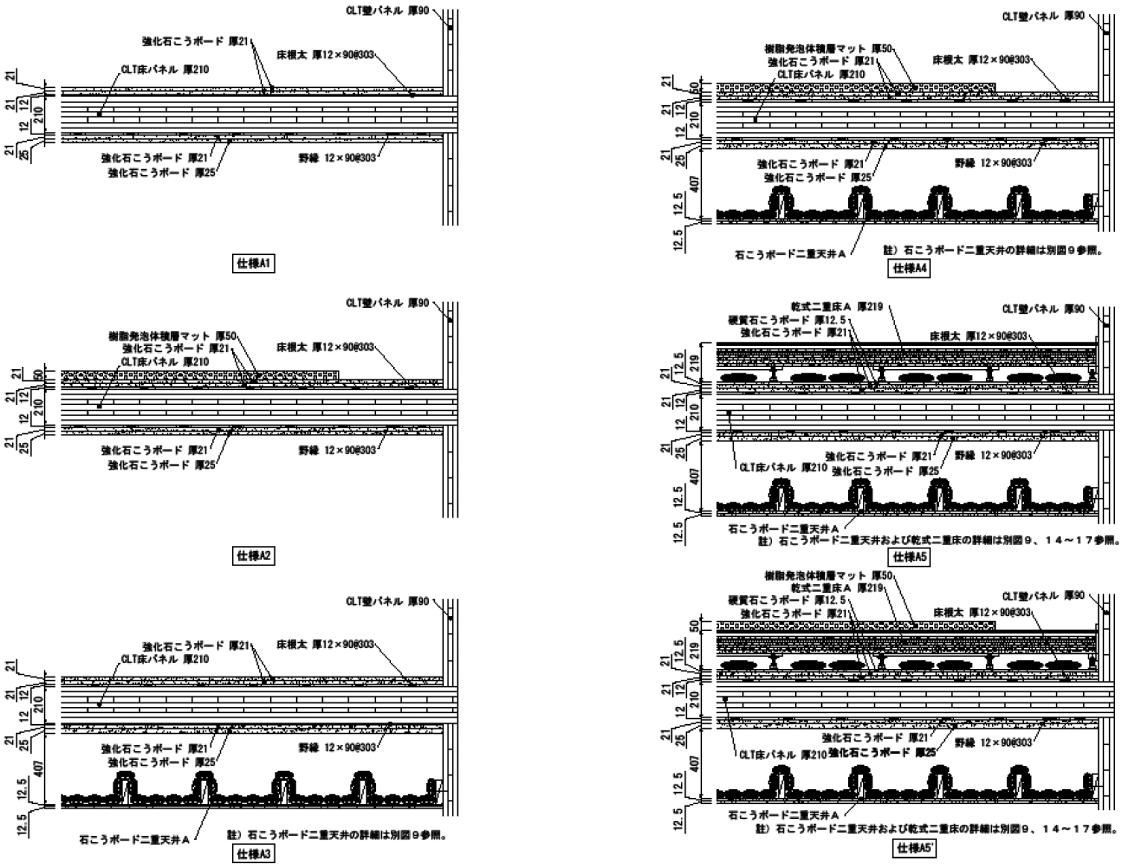
「写真-１～３」参照

それぞれの界床断面図を「別図１～３」に示す。

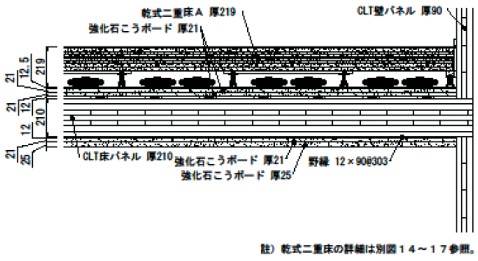
【写真－１】タイヤ衝撃源

【写真－2】タッピングマシン

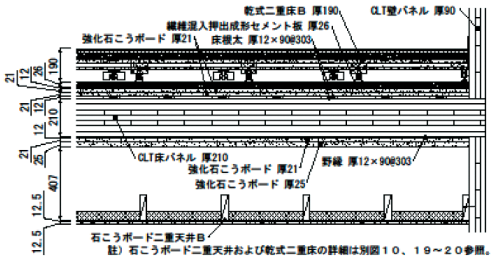
【写真－3】空気音遮断性能測定



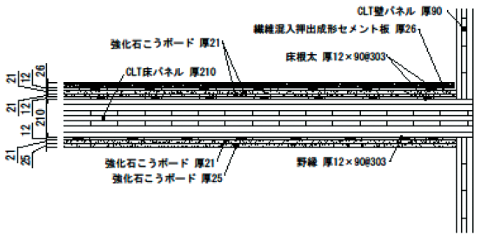
【別図１】　界床断面概要図



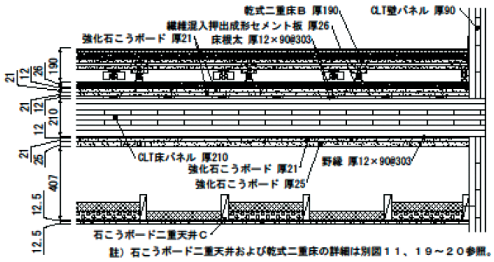
仕様A6



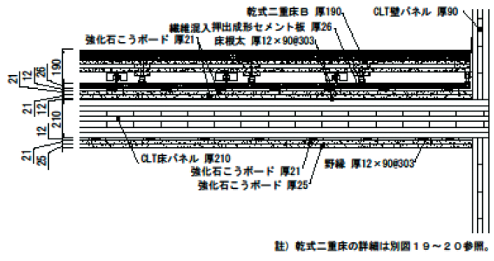
仕様A8



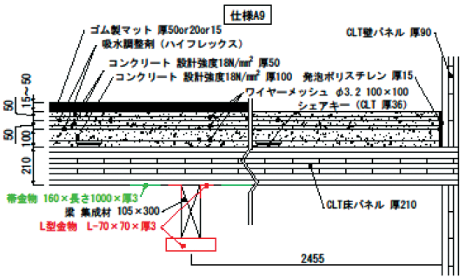
仕様A7'



仕様A9

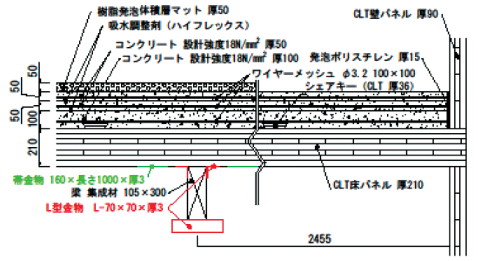


仕様A7

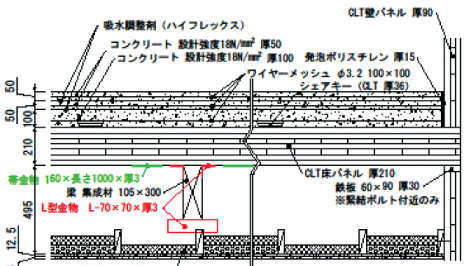


仕様B2-1～B2-3

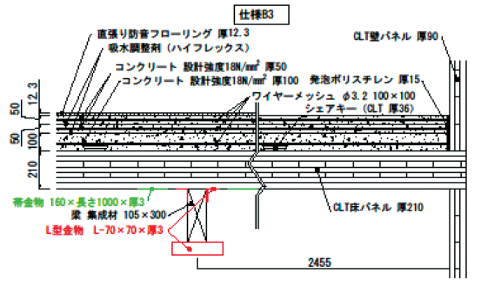
【別図２】 界床断面概要図



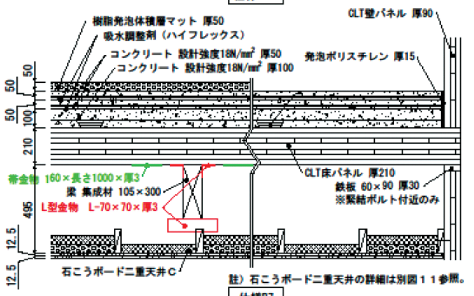
仕様B3



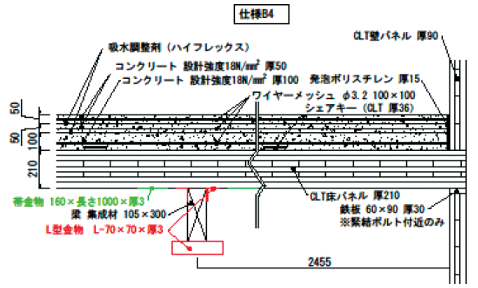
仕様B6



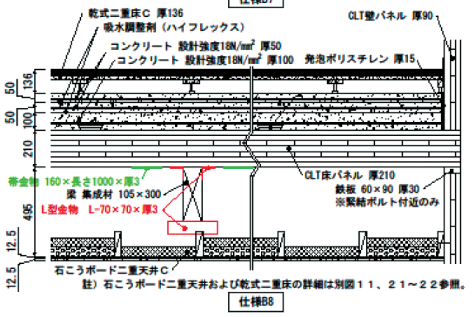
仕様B4



仕様B7



仕様B5



仕様B8

【別図２】 界床断面概要図

2．感応試験

2-1　目的

CLTパネル工法にて建てられた建築物における感応的評価と機械的評価（遮音等級）の相関を確認することは、住宅・非住宅を問わずCLTを用いた建築物を普及させるうえで非常に重要である。

「建築学会 遮音性能基準と設計指針」に記載されている「表示尺度と住宅における生活実感との対応の例」（表-３参照）に照らし合わせてどのような感覚的評価となるかを確認し、より現実的な性能を把握することを目的としている。

遮音等級	低音域の音 重量・柔衝撃源 人の走り回り、飛び跳ね	高音域の音 軽量・硬衝撃 椅子の移動音、物の落下	生活行為 気配での例
L-40	かすかに聞こえるが、 遠くから聞こえる感じ	ほとんど聞こえない	上階で物音がかすかにする程度 椅子を引きずる音は聞こえる 歩行音などがわかる
L-45	聞こえるが、意識することはあまりない	小さく聞こえる	上階の生活が多少意識される状態 スプーンを落とすとかすかに聞こえる 大きな動きはわかる
L-50	小さく聞こえる	聞こえる	上階住居の生活状況が意識される 椅子を引きずる音は聞こえる 歩行音などがわかる
L-55	聞こえる	発生音が気になる	上階住居の生活行為がある程度わかる 椅子を引きずる音はうるさく感じる スリッパ歩行音が聞こえる
L-60	よく聞こえる	発生音がかなり気になる	上階住居の生活行為がよくわかる スリッパ歩行音がよく聞こえる
L-65	発生音がかなり気になる	うるさい	上階住居の生活行為がよくわかる
L-70	うるさい	かなりうるさい	たいていの落下音ははっきり聞こえる 素足でも聞こえる
L-75	かなりうるさい	たいへんうるさい	生活行為が大変よくわかる 人の位置が分かる すべての落下音が気になる たいへんうるさい
L-80	うるさくて我慢できない	うるさくて我慢できない	同上

【表－ ３ 】表示尺度と住宅における生活実感との対応の例

2-2　試験概要

感応試験は11月24日の第４回CLT床遮音性能向上の研究開発委員会開催日において実施し、委員および一般募集参加者22名を被験者とした。被験者はCLT遮音実験棟１階中央付近で椅子に座り、上階で発生させた騒音に対して感応評価を行い、感応試験調査票（別添）を記入する。評価方法については、日本建築学会「建築物の遮音性能基準と設計指針」音環境に対する生活実感（満足度）を参考に調査票を作成している。

被験者は３班に分かれ、順番に班を入れ替えて試験を行った。

〇騒音は表-４に示す５パターンを順番に発生させるが、被験者にはその内容は知らせない。

〇また、３班それぞれに騒音を発生させる順番を変えて行った。

〇評価については、被験者は表-５に示す５段階より選択する形式とした。

〇被験者には「あなたが集合住宅の自宅で雑誌を読んでいる」という設定で評価を行うよう説明している。

〇試験はＡ室、Ｂ室の両方で行い、Ａ室→Ｂ室に移動する班とＢ室→Ａ室に移動する班を交互に行った。

○Ａ室・Ｂ室の対策仕様は、下記の別図を参照。
Ａ室：別図２の仕様Ａ９
Ｂ室：別図３の仕様Ｂ８

①子供の飛び跳ね	体重３０Ｋｇの子供が高さ４０㎝の椅子から飛び降りる衝撃と同程度の衝撃（インパクトボールを高さ１５０ｃｍから自由落下）を再現。
②大人の歩行(スリッパ)	体重７０Ｋｇの大人がスリッパで５ｍ歩行
③大人の歩行（裸足）	体重７０Ｋｇの大人が裸足で５ｍ歩行
④椅子の引きずり	折り畳み椅子を手で３ｍ引きずる
⑤ボールの落下	バスケットボールを高さ５０ｃｍで３回ドリブル

【表－４】騒音一覧

段階１	とても静かな環境でたいへん満足している
段階２	静かな環境でほぼ満足している
段階３	静かな環境とは言えないが、日常生活でそれほどストレスは感じない
段階４	日常生活でストレスを感じるがほぼ我慢できる
段階５	日常生活で高いストレスを感じ転居を考えたい

【表－５】評価項目一覧

遮音実験棟　　感応試験調査票

試験日
名前
職業　会社名　　学校名
現在のお住い　木造　RC造　鉄骨造　その他
戸建住宅　集合住宅
年齢　20歳代　30歳代　40歳代　50歳代　60歳代　70歳代
性別　女性　男性

状況想定　「あなたは集合住宅の自宅で雑誌を読んでいる」想定　　感じられたところに○印を入れてください。

	生活実感の程度	音源	A室 1	A室 2	A室 3	A室 4	A室 5	B室 1	B室 2	B室 3	B室 4	B室 5
段階1	とても静かな環境で満足している											
段階2	静かな環境で ほぼ満足している											
段階3	静かな環境とは言えないが 日常生活でそれほどストレスは感じない											
段階4	日常生活でストレスを感じるがほぼ我慢できる											
段階5	日常生活で高いストレスを感じ転居を考えたい											

【別添】感応試験調査票

【写真４】感応試験下階受音側

【写真５】感応試験上階音源側

実施した結果

4-1　CLT遮音実験棟を用いた遮音対策の検討

それぞれの検討仕様の試験結果について一覧を表-６に示す。

本年度は、Ｂ棟の湿式工法（コンクリート打設床）と他の対策法の組み合わせによる「ハイブリッド仕様」の中で「B3」「B6」「B8」の３仕様において、目標である重量衝撃音LH-45レベルを達成した。

また、Ａ棟の乾式工法においても「A5′」「A9」の仕様で昨年を上回るLH-50レベルを達成している。

軽量衝撃音については、Ａ棟の乾式工法では「A4」「A5′」、Ｂ棟のハイブリッド仕様では「B3」「B7」「B8」の仕様で目標のLL-45レベルを達成した。

特に「B8」の仕様では一般的なフローリング仕上げで、重量衝撃音、軽量衝撃音ともに目標値を達成することができた。

また「樹脂発泡体積層マット」を使用した仕様では、「B7」を除くすべての対策仕様で重量衝撃音、軽量衝撃音ともに大きな低減効果を得た。このマットは、既存の床面に簡易に敷設することが可能なため、施工後に対策可能な二次的な対策法としての使用が期待できると思われる。

仕様	軽量床衝撃音遮断性能 (ﾀｯﾋﾟﾝｸﾞﾏｼﾝ)	重量床衝撃音遮断性能		空気音遮断性能 室間音圧レベル差	調査実施日
		ﾀｲﾔ衝撃源	ｺﾞﾑﾎﾞｰﾙ衝撃源		
A1	Lr-90 相当	Lr-75	Lr-75	Dr-25 相当	2022 年 7 月 8 日
A2	Lr-55	Lr-65	Lr-65	-	
A3	Lr-75	Lr-70	Lr-65	Dr-40	2022 年 7 月 22 日
A4	Lr-45	Lr-65	Lr-60	-	
A5	Lr-55	Lr-55	Lr-45	Dr-40	2022 年 8 月 1 日
A5’	Lr-30	Lr-50	Lr-45	-	2022 年 8 月 3 日
A6	Lr-65	Lr-55	Lr-50	Dr-35	2022 年 8 月 5 日
A7’	Lr-85	Lr-70	Lr-75	-	2022 年 8 月 29 日
A7	Lr-65	Lr-60	Lr-55	Dr-35	2022 年 9 月 2 日
A8	Lr-55	Lr-55	Lr-45	Dr-40	2022 年 9 月 13 日
A9	Lr-55	Lr-50	Lr-45	Dr-40	2022 年 9 月 15 日
B2-1	Lr-55	Lr-55	Lr-60	-	2022 年 8 月 17 日
B2-2	Lr-50	Lr-55	Lr-55	-	
B2-3	Lr-50	Lr-50	Lr-50	-	
B3	Lr-35	Lr-45	Lr-45	-	2022 年 8 月 18 日
B4	Lr-50	Lr-55	Lr-55	-	
B5	Lr-80	Lr-50	Lr-55	Dr-35	2022 年 10 月 19 日
B6	Lr-65	Lr-40	Lr-45	Dr-40	2022 年 10 月 24 日
B7	Lr-35	Lr-50	Lr-45	-	2022 年 10 月 31 日
B8	Lr-40	Lr-45	Lr-40	Dr-45	2022 年 11 月 9 日

【表－６】各試験結果一覧表

4-2　感応試験

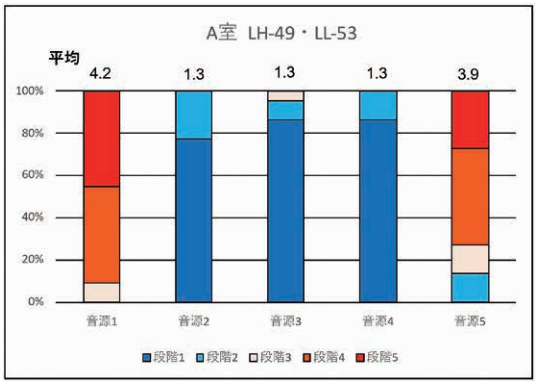
本年度の感応試験は「A9」「B8」の対策仕様で行われ、これまで行ってきた対策仕様の中で、概ね最高レベルの仕様で行われた。

以下、表－４「感応試験　騒音一覧」にある騒音①～⑤を音源１～５として表現する。また音源１と音源５を重量衝撃音系の騒音として「重量衝撃音」と表現する。音源２～４を軽量衝撃音系の騒音として「軽量衝撃音」と表現する。

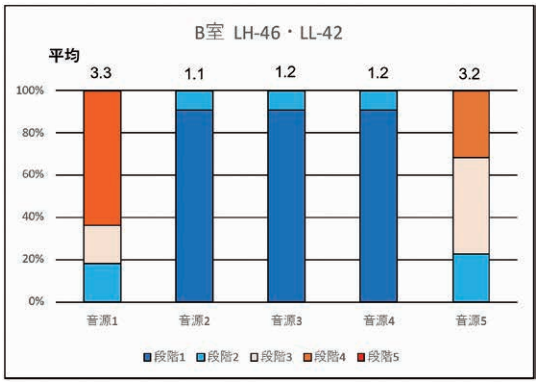
軽量衝撃音については、Ａ室で80％程度の被験者が満足と回答し、Ｂ室では90％近くの被験者が満足する結果となった。「音出しの合図が無ければ、いつ音が出たのかわからなかった」「外の雑踏音の方が大きくよく聞こえなかった」という意見が多く聞かれ、概ね「満足」という評価を裏付けていると思われる。Ａ室とＢ室の比較では数値上ある程度はっきりとした差異が表れたが、物理的評価では、Ａ室のLr-53とＢ室のLr-42では２等級の差があるが、その性能差からすれば実際の感覚的にはそれほどの大きな差には感じられなかった。

一方、重量衝撃音については、Ａ室でLr-49（LH-50等級）、Ｂ室でLr-46（LH-45等級）という数値を得ているが、感応試験ではいまだ満足・ほぼ満足というレベルには達しなかった。Ｂ室の性能でも、日常生活でストレスを感じないというレベルにとどまった。

ただし、2020年から毎年感応試験に参加している被験者からはＡ室・Ｂ室ともに「(前回・前々回より）明らかに改善している」という意見も聞かれた。また「この程度であれば、集合住宅でも採用する可能性がある」という意見もあった。



【別図４】Ａ室評価グラフ



【別図５】Ｂ室評価グラフ

今後の課題・展開等

今回の事業において目標である重量衝撃音LH-45、軽量衝撃音LL-45レベルを達成した。また、施工性の良い乾式工法（乾式二重床）でも重量衝撃音でLH-50のレベルを達成し、RC造の建物に比肩しうる性能を得ることができた。

感応試験でも、軽量衝撃音においては床遮音対策として不利とされているフローリング仕上げで「満足」「概ね満足」という評価を得た。

重量衝撃音では「満足」という評価を得られていないものの、概ね「日常生活においてストレスを感じない」レベルには達したことで、集合住宅や宿泊施設等の建物への採用に光明が見える対策法を提案できると考えている。

設計者にもっと自信をもって設計に取り組んでいただくためには、今回の事業で得た知見を基に、感応性の評価でも「満足」が得られるよう、さらなる対策法についての検証を継続する必要があると考えている。

今後は、これまで行ってきた様々な試験DATA（試験機関・遮音実験棟）を再度整理し、CLT建造物の効果的な遮音対策法についての知見を広く普及し、CLTパネルの採用に繋げていきたいと考えている。

事業

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

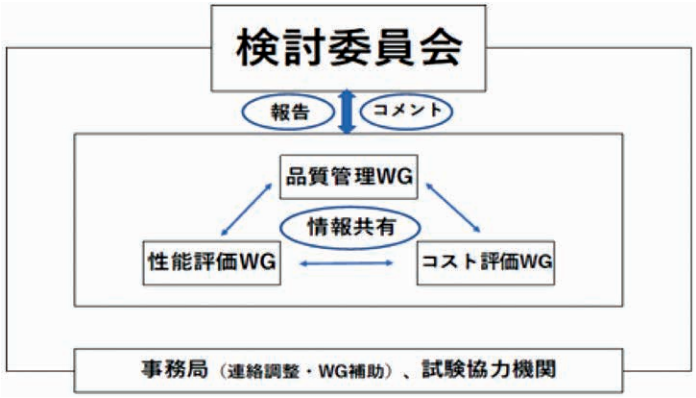
「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（令和３年10月施行)」の成立により、木材利用が益々重要となっている。今後の木材の需要拡大のためには、非住宅建築物や外構材等への利用拡大を図ることが必須であると考えられる。現状では、使用環境に対応した耐久性を保持させるために、各種木材保存剤が使用されているが、生産・加工・施工・廃棄・リサイクルの過程において、環境負荷を軽減するという視点からは、少なからず課題がある。そこで、環境負荷に配慮した木材保存剤として、液体ガラスに着目し、その処理木材の品質とその性能を科学的に検証し、合理的な実用条件を検討する。

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①～⑥について検討、実施した。

①液体ガラス表面処理仕様の検討
②市販木材保存剤と液体ガラスのハイブリッド処理材の処理仕様の検討
③ハイブリッド処理材の耐久性評価
④液体ガラスの基本物性（加工性）
⑤トータルコストの検討
⑥防火性に関する検討

実施体制



検討委員：　市浦英明（高知大学）
堀沢　栄（高知工科大）
番匠谷薫（広島大学名誉教授）
森田秀樹（広島工業大学）

板倉修司（近畿大学）
木口　実（日本大学）
栗﨑　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)）
和田守通（(株) eステップ）
樫尾隆仁（(株) eステップ）
稲本章三（(株) ライフピック）
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： 栗﨑　宏、赤堀裕一、手塚大介、和田守通、樫尾隆仁
性能評価WG： 市浦英明、堀沢　栄、番匠谷薫、森田秀樹、板倉修司
栗﨑　宏、和田守通、樫尾隆仁
コスト評価WG： 和田守道、樫尾隆仁
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液体ガラス表面処理仕様の検討
液体ガラスの種類と組み合わせ及び浸漬や塗布などの処理方法・条件の検討を行った。

②市販木材保存剤と液体ガラスのハイブリッド処理材の処理仕様の検討
市販木材保存剤の選定と市販木材保存処理材に液体ガラスを表面処理するハイブリッド処理材の処理仕様の検討を行った。

③ハイブリッド処理材の耐久性評価
③－１　処理材の防腐効力及び防蟻効力試験
JIS K1571に基づき、防腐性能及び防蟻性能の室内試験を行った。
③－２　処理材の耐候性評価試験
キセノンウエザーメーターによる促進耐候試験や暴露試験を行った。

④液体ガラスの基本物性（加工性）
テーブル移動式丸鋸盤により、切削送り測り速度と消費電力の測定や切断後の被削材のバリ高さの測定を行った。

⑤トータルコストの検討
ハイブリッド処理材についての処理コストの検討を行った。

⑥防火性に関する検討
防火処理仕様の液体ガラス試験体のコーンカロリーメーターによる発熱性試験を行った。

実施した結果

①液体ガラス表面処理仕様の検討

液体ガラスの種類は、以下のとおりである。

- 木ごころ：　含浸用シリカ混合液＝S剤
- 木あじシーラー：　無機ハイブリッド水性シリケート塗料用シーラー剤＝A剤用シーラー
- 木あじ：　無機ハイブリッド水性シリケート塗料＝A剤
- テリオスウッド：　無機・有機複合型コーテイング塗料＝B剤
- ファイアープリペンダー：無公害・防災塗料＝H剤
- テリオスコート：　無機系・常温ホーローコーテイング塗料QH＝D剤(QH)

処理方法・条件は、浸漬、塗布（刷毛・スプレーガン）とした。

②市販木材保存剤と液体ガラスのハイブリッド処理材の処理仕様の検討

市販木材保存剤の選定に当たっては、JIS並びにJAS規格で定められた加圧注入用木材保存剤の中から、無色であること、実用性、コストの視点からAAC系及びAZN系の薬剤を選出し、供試することとした。

市販木材保存剤と液体ガラスのハイブリッド処理材（液体ガラス単体処理材、市販木材保存剤単体処理材も含む）の仕様は表－1のとおりである。

表－1

処理記号	処理仕様
A	液体ガラス（含浸有り）
B	AAC＋液体ガラス（含浸有り）
C	AAC＋液体ガラス（含浸無し）
D	AZN＋液体ガラス（含浸有り）
E	AZN＋液体ガラス（含浸無し）
F	AAC
G	AZN

注）含浸有り無し：木ごころ（S剤）有り無し

③ハイブリッド処理材の耐久性評価

③－1　処理材の防腐効力及び防蟻効力試験

JIS K1571に基づき、防腐性能及び防蟻性能の室内試験を行った。

ハイブリッド処理の防腐・防蟻性能を検討するために、スギ、ならびにヒノキに②で検討したB，Dの処理を施した試験体から試験片を採取して、各室内試験に供した。比較対照は、保存処理のみのF，G処理とした。さらに、防腐・防蟻性能の持続性を検討するため、③―2にて1500時間の促進耐候操作を加えたB，D，F，Gの4処理試験体からも試験片を採取し、各室内試験に供した。

防腐性能試験は、富山県木材研究所と高知大学、防蟻性能試験は近畿大学で実施した。

富山県木材研究所では、促進耐候後試験体の試験開始が遅れたため、培養期間をJIS K1571規定の12週間からJIS Z2101.26規定の約60日間に短縮した。

防腐性能試験の結果は表－2に示した。促進耐候なしの試験体では、B，D試験片の質量減少率は、スギ、ヒノキいずれの材においても3％以下であり、ハイブリッド処理は比較対照の保存処理F，Gと同等の防腐性能を有することを確認した。促進耐候後の試験では、培養期間を短縮したため、コントロールスギ辺材の質量減少率が十分に高いとは言えず、本結果からハイブリッド処理材の防腐効果の持続性を判断することはできなかった。

高知大学では、事業期間内で試験結果が判明するようにするため、培養期間をJIS K1571規定の12週間からJIS Z2101.26規定の約60日間に短縮した。

防腐性能試験の結果を表－３に示した。促進耐候なしの試験体のみの結果であるが、オオウズラタケでは、生育不良により、適当な評価ができず、一方カワラタケでは、ハイブリッド処理材に一定の防腐性能があった。

表－２　ハイブリッド試験体の防腐性能

グループ	保存処理	液体ガラス塗装	樹種	ウェザリングなし 12 週間腐朽				ウェザリング後　8 週間腐朽			
				オオウズラタケ		カワラタケ		オオウズラタケ		カワラタケ	
B_S	AAC	あり	スギ	0.5	±0.3%	-0.3	±0.6%	0.3	±0.5%	0.4	±0.4%
B_H	AAC	あり	ヒノキ	0.1	±0.6%	0.5	±0.4%	0.3	±0.3%	1.3	±0.4%
D_S	AZN	あり	スギ	-1.2	±0.5%	0.2	±0.4%	0.1	±0.3%	0.9	±0.5%
D_H	AZN	あり	ヒノキ	-0.4	±0.7%	0.8	±0.5%	0.1	±0.2%	1.7	±0.3%
F_S	AAC	なし	スギ	-0.4	±0.6%	-0.4	±0.3%	0.2	±0.4%	0.3	±0.2%
F_H	AAC	なし	ヒノキ	-0.1	±0.5%	0.4	±0.2%	0.4	±1.0%	0.8	±0.6%
G_S	AZN	なし	スギ	-1.3	±0.6%	-0.1	±1.0%	0.2	±0.4%	1.2	±0.8%
G_H	AZN	なし	ヒノキ	-0.5	±0.8%	0.6	±0.3%	0.0	±0.0%	1.6	±0.4%
Ctrl	なし	なし	スギ辺材	19.5	±2.9%	14.2	±3.2%	2.8	±1.5%	6.9	±3.2%

表－３　ハイブリッド試験体の防腐性能

グループ	保存処理	液体ガラス塗装	樹種	ウェザリングなし 8 週間腐朽			
				オオウズラタケ		カワラタケ	
B_S	AAC	あり	スギ	1.8	±0.91%	1.4	±0.76%
B_H	AAC	あり	ヒノキ	1.1	±0.49%	1.2	±0.67%
D_S	AZN	あり	スギ	1.4	±0.81%	1.5	±0.40%
D_H	AZN	あり	ヒノキ	2.4	±0.38%	1.8	±0.30%
F_S	AAC	なし	スギ	0.4	±0.54%	0.9	±0.37%
F_H	AAC	なし	ヒノキ	1.5	±0.64%	1.6	±0.82%
G_S	AZN	なし	スギ	2.4	±0.04%	2.3	±0.41%
G_H	AZN	なし	ヒノキ	2.4	±0.24%	1.7	±0.60%
Ctrl	なし	なし	スギ辺材	2.0	±0.47%	7.7	±2.55%

JIS K1571-2010、5.3 防蟻性能、5.3.1 室内試験、5.3.1.1 注入処理用に従って実施した防蟻性能試験結果を表－４、表－５（耐候促進操作なし）ならびに表－６、表－７（耐候促進操作あり）に示す。いずれも性能基準である平均質量減少率 3%以下を満たした。

表－４　防蟻性能試験結果（スギ，耐候促進操作なし）

試験体	死虫率（%）		質量減少率（%）	
	平均	最小－最大	平均	最小－最大
B（モクボー+液体ガラス）	79	53－100	0	0－1
D（AZN+液体ガラス）	68	56－79	0	0－0
F（モクボー）	76	45－100	0	0－1
G（AZN）	70	58－85	0	0－1
スギ辺材無処理試験体	30	26－35	16	12－19

表－５　防蟻性能試験結果（ヒノキ，耐候促進操作なし）

試験体	死虫率（%）		質量減少率（%）	
	平均	最小－最大	平均	最小－最大
B（モクボー+液体ガラス）	54	35－67	0	0－1
D（AZN+液体ガラス）	63	49－83	0	0－0
F（モクボー）	62	40－99	1	1－1
G（AZN）	81	53－100	0	0－1
スギ辺材無処理試験体	30	26－35	16	12－19

表－６　防蟻性能試験結果（スギ，耐候促進操作あり）

試験体	死虫率（%）		質量減少率（%）	
	平均	最小－最大	平均	最小－最大
B（モクボー+液体ガラス）	97	94－100	1	0－1
D（AZN+液体ガラス）	100	100－100	1	1－1
F（モクボー）	51	28－83	1	1－1
G（AZN）	100	100－100	1	1－2
スギ辺材無処理試験体	26	23－29	26	24－28

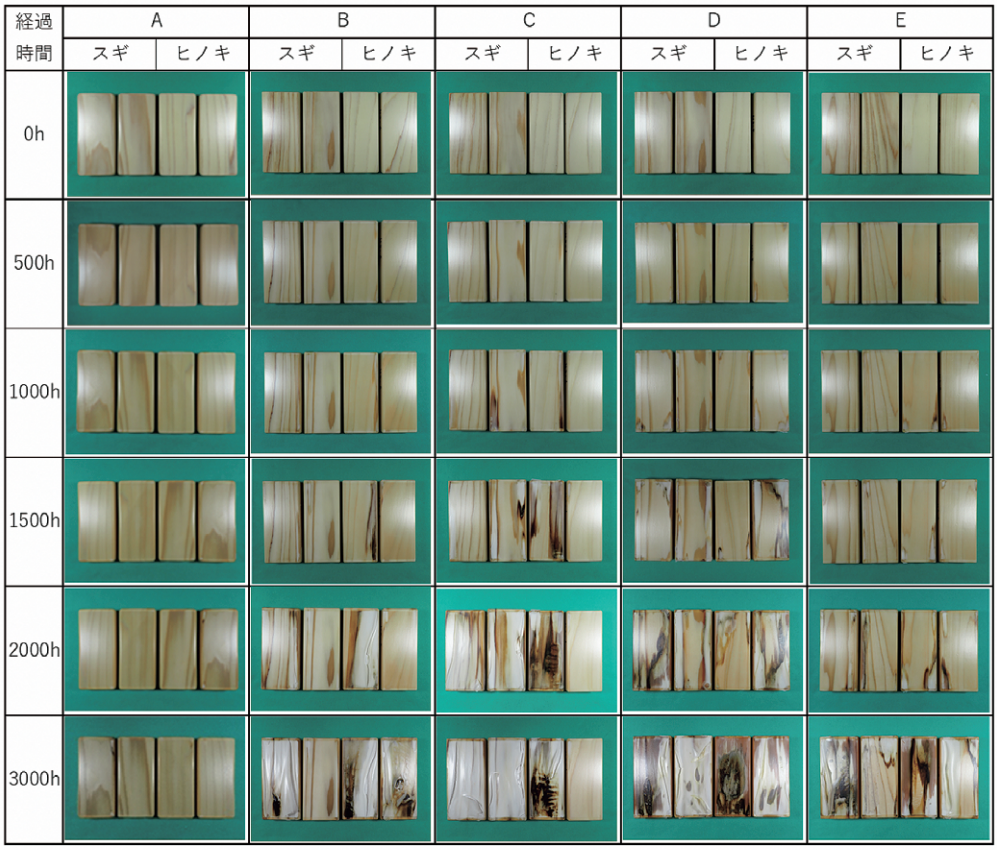
表－７　防蟻性能試験結果（ヒノキ，耐候促進操作あり）

試験体	死虫率（%）		質量減少率（%）	
	平均	最小－最大	平均	最小－最大
B（モクボー+液体ガラス）	79	51－100	1	1－1
D（AZN+液体ガラス）	99	96－100	1	1－1
F（モクボー）	52	38－96	1	1－1
G（AZN）	96	79－100	1	0－1
スギ辺材無処理試験体	26	23－29	26	24－28

③-2 処理材の耐候性評価試験

キセノンウエザーメーターによる促進耐候試験の経過観察の様子を写真－１に示す。処理材Ａは、3000時間経過後においても変化は見られず健全を維持している。処理材Ｃは、1500時間経過時点で、処理材Ｂ及びＤは、2000時間経過時点で、処理材Ｅは3000時間経過時で変色が見られる結果となった。処理材Ａの仕様の特徴は、木あじをスプレーガンで３回塗布していることで、この点が他の処理材とは異なり、耐候性の向上に寄与していると考えられる。

写真－1



処理材の仕様

A：木ごころ含浸・木あじｼｰﾗｰ1回刷毛塗付・木あじ2回塗布後スプレーガンで3回塗布・ﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞｽﾌﾟﾚｰｶﾞﾝにて塗布

B：木ごころ含浸・木あじｼｰﾗｰ1回刷毛塗布・木あじ2回塗布・ﾃﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞ艶消し2回塗布・ﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞｽﾌﾟﾚｰｶﾞﾝで2回塗布

C：木あじｼｰﾗｰ1回刷毛塗布・木あじ2回塗布・ﾃﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞ艶消し2回塗布・ﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞｽﾌﾟﾚｰｶﾞﾝ2回塗布

D：木ごころ含浸・木あじｼｰﾗｰ1回刷毛塗布・木あじ2回塗布・ﾃﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞ艶消し2回塗布・ﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞｽﾌﾟﾚｰｶﾞﾝ2回塗布

E：下地粗し＃180研磨・木あじｼｰﾗｰ1回塗り込み・木あじ2回塗布・軽く＃240研磨・ﾃﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞ艶消し2回塗布・ﾃﾘｵｽｳｯﾄﾞｽﾌﾟﾚｰｶﾞﾝにて厚塗り

④液体ガラス処理．木材の基本物性（加工性）

テーブル移動式丸鋸盤を用いて、チップソーの未摩耗刃と摩耗刃で切断した後のバリの顕微鏡観察とバリ高さの測定を行った。実験と並行して切削消費電力の測定も行った。スギ切断では、写真－２のように未摩耗刃でのバリはスギ未処理材で僅か発生したが、処理材では全く発生しなかった。
摩耗刃でのバリは未処理材・処理材共に刃晩材部にバリが発生するが、刃先摩耗量が大きいほどバリは大きくなった。ヒノキ切断では、写真－３のように未摩耗刃でのバリはヒノキ未処理材で多数発生したが、その大きさはスギ未処理材に比べてかなり大きい。しかし、ヒノキ処理材ではバリは殆ど発生しなかった。ヒノキ未処理材では摩耗刃と未摩耗刃とでバリの発生状況に差は見られなかった。一方、ヒノキ処理材は刃先摩耗量が大きい方が大きいバリが多数発生した。
以上の結果から、未摩耗刃による切断ではスギ処理材・ヒノキ処理材共にバリがほとんど発生しないと言う利点がある。処理材は未処理材より有利であるが、刃先が摩耗するとバリが発生するようになるので、切断作業では刃先が鋭利な切れ味の良いチップソーを使用することが望まれる。

写真２　スギ未処理材と処理材のバリ発生状況
（Ｅｒ：刃先摩耗量）

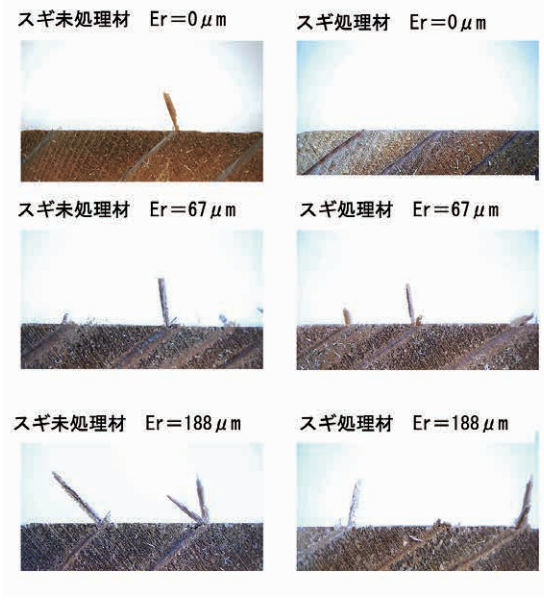
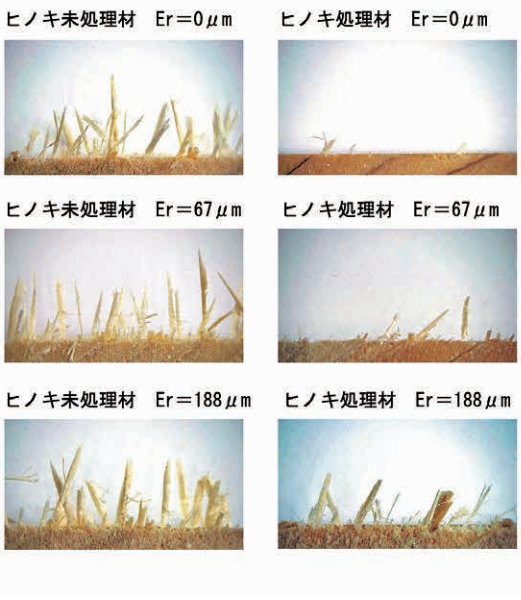


写真３　ヒノキ未処理材と処理材のバリ発生状況
（Ｅｒ：刃先摩耗量）



⑤トータルコストの検討

加圧防腐処理	（モクボーAAC）	設計価格100,000円/㎥	
加圧防腐処理	（AZN）	設計価格130,000円～150,000円/㎥	
液体ガラス塗装	（通常①：壁材等摩耗が発生しない箇所）		
下塗：A剤用シーラー工	（通常①）	1回塗り	1,500円/㎡
中塗：A剤塗装工	（通常①）	2回塗り	2,500円/㎡
上塗：B剤塗装工	（通所①）	1回塗り	4,000円/㎡
			合計 8,000円/㎡
液体ガラス塗装	（床①：摩耗が発生する箇所）		
下塗：A剤用シーラー工	（通常①）	1回塗り	1,500円/㎡
中塗：A剤塗装工	（通常①）	2回塗り	2,500円/㎡
上塗：B剤塗装工	（通所①）	2回塗り	5,000円/㎡
			合計 9,000円/㎡
液体ガラス塗装	（床②：耐候試験A　高耐久型）SP＝スプレーガン		
下塗：A剤用シーラー工	（通常①）	1回塗り	1,500円/㎡
中塗：A剤塗装工	（通常①）	4回SP厚塗り	4,000円/㎡
上塗：B剤塗装工	（通所①）	2回SP厚塗り	6,000円/㎡
			合計 11,500円/㎡

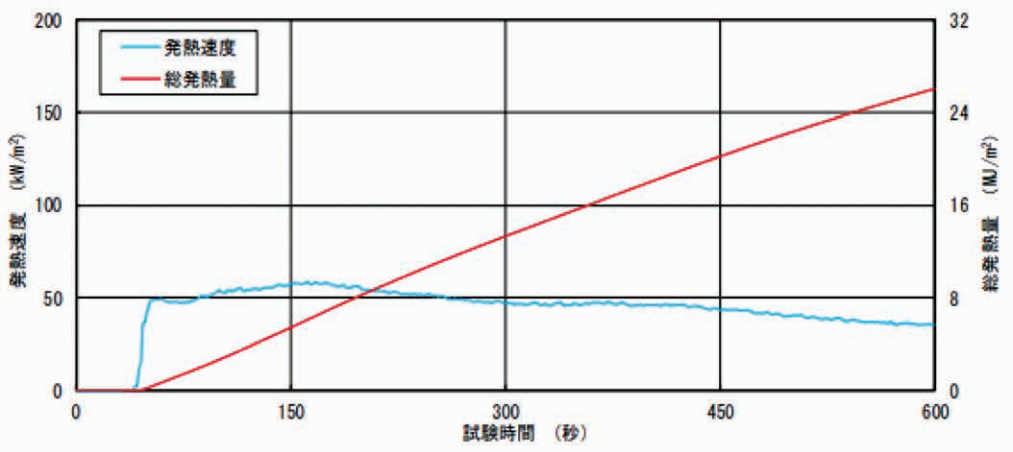
既設改修の場合は剥ぎ取り工・木パテ充填工・カビ除去工・素地調整費等が加算されます。

（例）：　W105×T30×L 4000　県産杉材上小節として　100本
体積1.26㎥（0.0126㎥）・面積108.63㎡（1.086㎡）
W105×T30×L4000　1枚当たり

加圧防腐処理費（AAC）	1,260円/枚
加圧防腐処理費（AZN）	1,638円～1,890円/枚
液体ガラス塗装工　壁①	8,688円/枚
液体ガラス塗装工　床①	9,774円/枚
液体ガラス塗装工　床②	12,489円/枚

⑥防火性に関する検討

コーンカロリーメーターによる発熱試験の結果を図－１に示す。試験体はヒノキ材に液体ガラス（ファイアープリペンダーとテリオスコート）を塗布したもので、難燃性能の基準を満たすことはできなかった。



図－１　コーンカロリーメーターによる発熱性試験

今後の課題・展開等

- 市販認定薬剤と液体ガラスとのハイブリッド処理材の防腐・防蟻性能は、市販認定薬剤単体処理材と同等の性能を有することが確認できたが、耐候性能は、目標とする耐候促進試験における5000時間経過時目視での損傷なしの状態を維持達成することはできなかった。しかし、液体ガラス含浸処理後、厚塗り塗装の試験体は、5000時間経過時でも目視での損傷なしの状態が期待できることになった。このことから、安定的に耐候性能を向上させるために、一つは厚塗り塗装などの物理的な方法が考えられる。さらに、液体ガラスの外的環境要因による歪みを緩和させる液体ガラスの改質などの化学的な方法へのアプローチも意義ある展開であると考えられる。
- 防火性能及び表面硬度（硬さ）性能の向上について、市販製品との比較検討や発熱性試験を行い、防火性能については、基準をクリアーしておらず、また、硬さについては、劣った結果となっているが、今後は、防火性能や硬度性能の向上を期待できる物質と液体ガラスとのハイブリッド処理を検討したい。

事業

寒冷地域の省エネ基準にも対応した、JAS国産大径材(240×240㎜)ログハウス外壁の技術開発、及び中大規模建築などへの活用

● 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

木造の非住宅や中大規模建築物の需要が見込まれていることから、ログハウス外壁においても準耐火構造75分以上の性能が求められている。

また、現在寒冷地では、省エネ基準に対応するためには付加断熱材を使用する必要があるものの、湿気対策が必要なことから、付加断熱材のないログハウス壁の利用が望まれる。さらに、今後省エネ基準がより厳しくなり、断熱等性能等級4から等級5、等級6、等級7を目指す方向性が示されていて、より一層、付加断熱材を使用しない大径材ログハウス外壁の需要が期待されている。

このため、本事業では非住宅や中大規模などの建築物建設の実態に即し、長期許容応力度が発生する荷重を載荷したJAS国産大径材(240×240㎜)のログハウス外壁の75分以上（90分）準耐火性能試験を実施するとともに、大径材のログハウス外壁の省エネ評価を行うこととする。

実施した項目

（1）検討委員会の開催

（2）予備試験

- 大径材のログ材の仕様（樹種、形状等）の選定
- 材料管理（寸法、含水率、密度）の記録作成
- 試験体製作方法の提案（壁を立てた状態での製作）
- 75分準耐火性能（90分加熱）以上を目標としたログハウス外壁の載荷加熱試験

（3）本試験

- 試験体の寸法・含水率等、材料管理の記録作成
- 載荷加熱試験における載荷荷重の新たな提案
- 90分準耐火性能（108分加熱）を目標としたログハウス外壁の載荷加熱試験
  （性能の再現性確認のため2体）

（4）寒冷地ログハウスの省エネ評価

試験材料・試験場所

1．試験材

240mm × 240mmのスギ大径材ログハウス外壁

2．試験場所

（公財）日本住宅・木材技術センター

実施体制

1．検討委員会

委員長	大橋　好光	東京都市大学名誉教授
委　員	安井　　昇	桜設計集団一級建築士事務所
	加來　千紘	桜設計集団一級建築士事務所
	北出　秀樹	日本ログハウス協会　副会長

	池田　　均	日本ログハウス協会	専務理事
	五十嵐賢博	日本ログハウス協会	技術委員長
	安達　博俊	日本ログハウス協会	副技術委員長
	倉持　秀一	日本ログハウス協会	技術委員
	角谷　隆文	日本ログハウス協会	嘱託職員
オブザーバー	原田　憲佑	林野庁木材産業課	
	平原　章雄	木構造振興株式会社	
事務局	辻　　祐司	日本ログハウス協会	

2．実施体制

試験施設	（公財）日本住宅・木材技術センター
試験体組立	（株）東亜理科
試験体製作	（株）赤井製材所

実施した内容

（1）予備試験

大径材のログハウス外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提案をおこなった後、実大の試験体を1体製作し、4）75分準耐火性能を目標としたログハウス外壁の載荷加熱試験を実施した。

1）大径材のログ材の仕様（樹種、形状等）の選定

既往のログハウス外壁の仕様を踏まえ、大径材に適した仕様を選定した。ログ材を240×240mm角のスギ製材とした。

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、含水率を検査し、予備試験に試験体に用いたログ材の含水率については、同じロットから採取したサンプルを全乾法にて測定した。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の性能評価試験で求められる15%以下に定めた。

3）試験体製作方法の提案

従来、実大ログハウス外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を提案した。

4）75分準耐火性能以上を目標としたログハウス外壁の載荷加熱試験

試験は、令和4年11月2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、ログ材のより詳細な燃焼状況を計測するため、試験体の内部温度（25点）を計測した。

載荷荷重については、ログ材の断面（240×240mm）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るため、ログ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新たに提案した。

（2）本試験

前述の予備試験で75分準耐火性能を目標とし見通しを得たことを踏まえ、本試験では、それを超える90分準耐火性能について見通しを得たため、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）90分準耐火性能を目標としたログハウス外壁の載荷加熱試験を2体実施した。

1）試験体の含水率等、材料管理の記録作成

２体分の試験体について、全てのログ材の含水率を高周波により測定した。

2）試験における載荷荷重の提案

実大ログハウス外壁の載荷加熱試験の実施にあたり、建築基準法上、ログハウス外壁（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、積載荷重等を踏まえ、試験荷重の算定方法を提案した。

3）90分準耐火性能を目標としたログハウス外壁の載荷加熱試験

試験は、令和５年１月11日,12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。

（3）寒冷地ログハウスの省エネ評価

ログハウス協会の省エネルギー検討モデル住宅を使い、下記評価手法に基づき省エネ評価６種のパターンを検証し、等級６まではカバーできることを確認した。

評価手法

現況（ログハウス協会会員アンケートに基づく仕様：ログハウス外壁厚114mm）＝等級４(5-7地域)

１．ログハウス外壁厚さを240mmに拡大＝等級４（4地域）

２．断熱部位（屋根、床など）の強化（2段階）＝等級４（1-2地域）

３．開口部性能の強化（B、C、Dの３段階）

断熱部位（屋根、床など）

1-2基準：1-2仕様基準相当（仕様基準の熱貫流率）

強化仕様：等級７レベル外皮相当（U値0.13仕様）

サッシ開口

Ｂ：樹脂サッシ+Low-E複層ガラス　）U値1.3レベル

Ｃ：樹脂サッシ＋両面Low-E３層ガラス）U値0.8レベル

Ｄ：樹脂サッシ＋両面Low-E５層ガラス）U値0.55レベル

実施した結果

（1）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-1に示す。

2）材料管理の記録作成

材料記録の一覧を表-1、材料管理の様子を写真-1に示す。

3）試験体製作方法の提案

試験体製作の様子を写真-2に示す。

3）75分準耐火性能以上を目標としたログハウス外壁の載荷加熱試験

試験結果の概要を表-2,写真-3に示す。試験の結果、75分準耐火性能（90加熱)、90分準耐火性能（108分加熱）いずれの性能も有する結果が得られた。

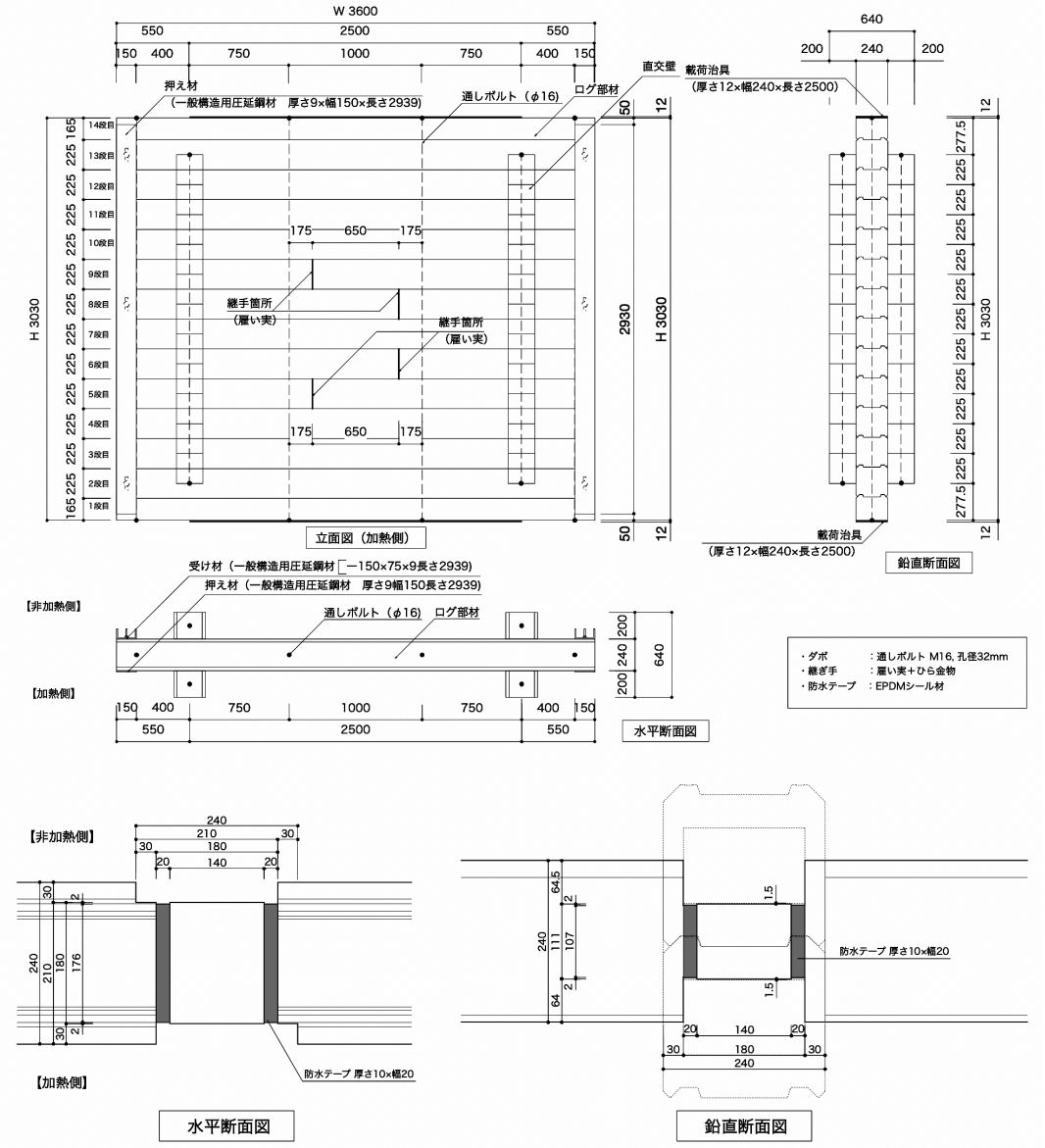


図-1　　大径材によるログハウス外壁仕様の概要（単位:mm）

表-1 予備試験における材料管理一覧表

乾燥温度	気乾密度 (g/cm³)	含水率 (%)	軸材		体積 (cm³)	断面積 (cm²)	断面長辺 a1(mm)	断面短辺 b1(mm)	軸材の長さ1 (mm)	重量2 (g) (11/2)	乾燥前重量(g) (11/10)	乾燥後重量(g) (11/17)	重量2密度 (g/cm³)	乾燥前密度 (g/cm³)	乾燥後密度 (g/cm³)	重量2で含水率(%)	乾燥前重量で含水率(%)
105℃	0.28	11%	ログ材 ①-6	1	498	98	99.30	99.00	50.68	135.69	134.76	122.64	0.272	0.270	0.246	10.641	9.883
				2	496	98	98.94	98.92	50.65	137.44	136.46	124.14	0.277	0.275	0.250	10.714	9.924
				3	502	99	99.78	99.36	50.61	139.88	139.16	126.71	0.279	0.277	0.253	10.394	9.826
				4	502	99	99.99	99.30	50.60	140.88	139.97	127.53	0.280	0.279	0.254	10.468	9.755
				Ave									0.28	0.28	0.25	11	10
105℃	0.36	11%	ログ材 ①-12	1	500	99	99.98	99.33	50.31	189.39	188.64	171.56	0.379	0.378	0.343	10.393	9.956
				2	499	99	99.65	99.39	50.43	187.87	186.81	169.93	0.376	0.374	0.340	10.557	9.934
				3	498	99	99.47	99.15	50.45	161.94	161.23	146.43	0.325	0.324	0.294	10.592	10.107
				4	499	99	99.73	99.28	50.38	172.61	171.38	155.75	0.346	0.344	0.312	10.825	10.035
				Ave									0.36	0.35	0.32	11	10
105℃	0.33	10%	ログ材 ①-62	1	489	100	99.96	99.77	48.99	170.65	169.87	154.61	0.349	0.348	0.316	10.374	9.870
				2	489	100	99.96	99.96	48.98	162.11	161.58	147.12	0.331	0.330	0.301	10.189	9.829
				3	488	100	99.81	99.80	49.01	151.69	150.91	137.04	0.311	0.309	0.281	10.690	10.121
				4	491	100	100.30	99.96	48.95	165.26	164.40	149.60	0.337	0.335	0.305	10.468	9.893
				Ave									0.33	0.33	0.30	10	10
105℃	0.36	15%	雇い実 45×105	1	995	46	103.44	44.14	218	362.26	356.29	315.08	0.364	0.358	0.317	14.974	13.079
				2	997	46	103.05	44.37	218	362.89	357.41	316.05	0.364	0.359	0.317	14.820	13.087
				3	999	46	103.13	44.43	218	359.20	352.60	310.79	0.360	0.353	0.311	15.576	13.453
				Ave									0.36	0.36	0.31	15	13

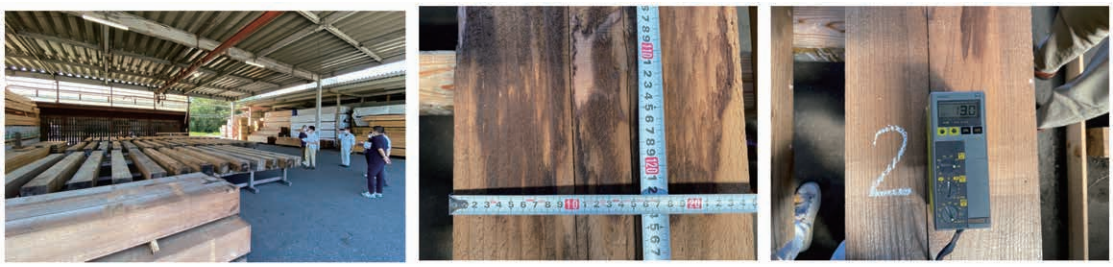


写真-1 材料管理を行う様子
（左から全景、寸法確認、含水率測定）

写真-2 試験体製作の様子
（左：治具による積み上げ、右：積み上げ後の全景）

表-2 予備試験の結果一覧（上段：90分加熱時、下段：試験終了（110分）時）

仕様		実験結果				
断面寸法［mm］	樹種	非損傷性		遮熱性		遮炎性
		最大軸方向収縮量［mm］規定値 30mm	最大軸方向収縮速度［mm/分］規定値 9mm/分	平均温度の最高値［℃］規定値 159℃	最高温度［℃］規定値 199℃	火炎貫通
240×240	スギ	0.40	0.05	25	42	なし
		1.20	0.07	25	42	なし

写真-3 予備試験の様子
（左：試験前の加熱前面、右：試験後の加熱面

（2）本試験

1）試験体の含水率等、材料管理の記録作成

２体分の試験体について、全てのログ材の含水率を高周波により測定した結果、13. 8％と15％以下であることを確認した。

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-2に示す。図-2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に示す。

3）90分準耐火性能を目標としたログハウス外壁の載荷加熱試験

試験結果の概要を表-4, 写真-4,5に示す。試験の結果、２体とも90分準耐火性能（108分加熱）の性能を有し、実用化に向けた大径材のログハウス外壁の仕様を明らかにした。

表-3 試験体の載荷荷重の計算表

❑試験体載荷荷重計算書

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 × 2500 =	300000	[mm2]	
丸太重なり巾	B=	120.0	[mm]	※B≧70mm
最大開口高さ	h=	3030.0	[mm]	※試験体高さ
丸太材圧縮強度	Fc=	17.7	[N/mm2]	
座屈長さ	lk=h=	3030.0	[mm]	
断面2次半径	i=B/3.46 =	34.682	[mm]	※長方形断面
有効細長比	λ=lk/i=	87.4	[mm]	※30<λ≦100
座屈低減係数	η	0.426		※有効細長比λにより決まる係数
圧縮強度	$F_{c\perp}$ = (1/8)・F_c =	2.21	[N/mm2]	
長期許容圧縮応力度	${}_Lf_{c\perp}$ = 1.1・$F_{c\perp}$/3 =	0.81	[N/mm2]	
長期許容座屈応力度	${}_Lf_k$ =η・${}_Lf_{c\perp}$ =	0.346	[N/mm2]	
長期許容座屈荷重（＝載荷荷重量）	N=A・${}_Lf_k$ =	103.76	[kN]	

※材料強度は、平12年建設省告示1452号（木材の基準強度Fc、Ft、Fb及びFs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用いる。

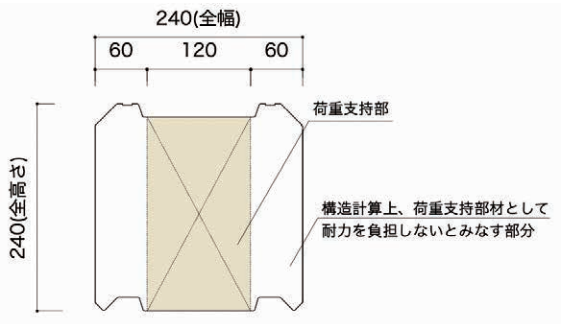


図-2 ログ材における荷重支持部

表-4 本試験の結果一覧（90分準耐火構造・108分加熱）

No.	仕様		実験結果				
	断面寸法 [mm]	樹種	非損傷性		遮熱性		遮炎性
			最大軸組方向収縮量 [mm]	最大軸組方向収縮速度 [mm/分]	平均温度の最高値 [℃]	最高温度 [℃]	火炎貫通
1	240×240	スギ	0.82	0.10	14	19	なし
2			0.98	0.07	16	24	なし

写真-4 本試験（1体目）の様子
（左：試験前の加熱面、右：試験後の加熱面）

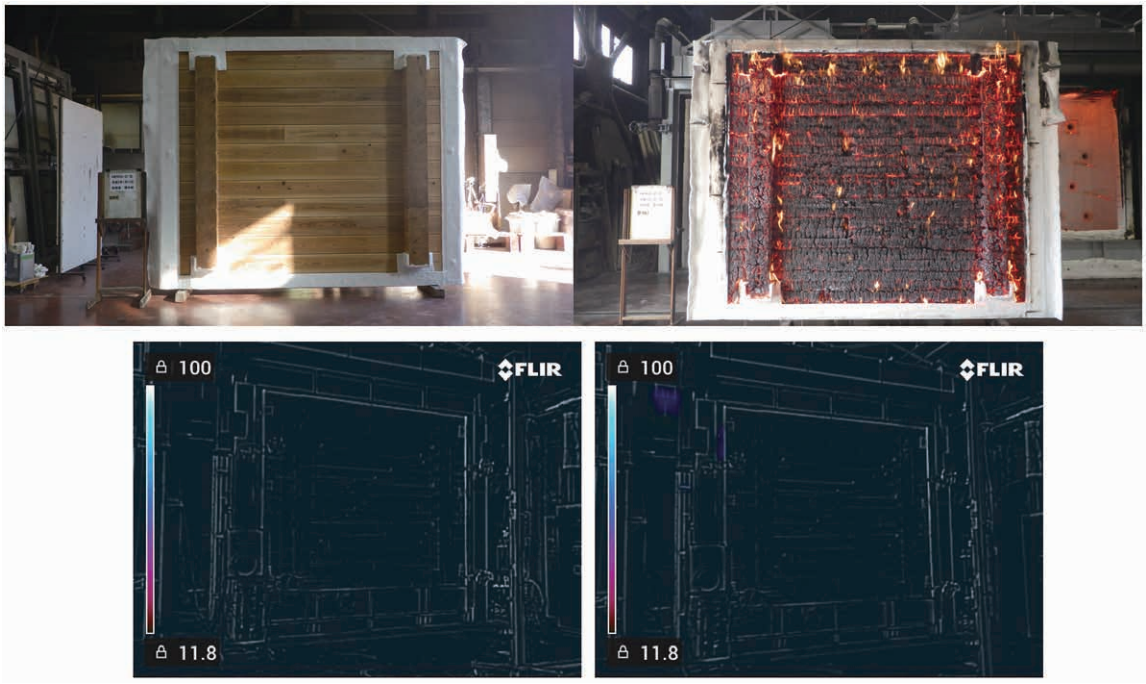


写真-5 本試験（2体目）の様子
（上段：写真／左：試験前の加熱面、右：試験後の加熱面）
（下段：熱映像／左：試験開始時の非加熱面、右：試験終了時（108分加熱）の非加熱面）

（3）寒冷地ログハウスの省エネ評価

外皮計算を行い以下の結果を得た。

ログハウス協会アンケートによるログハウス外壁厚114mmではＵＡ値0.71となるが、ログハウス外壁厚さを240mmとした場合、実現できる外皮性能は、表５の黄色及びベージュ色（UA値0.34以上）で、等級５および４地域以南の等級６であった。３地域以北ではログ厚さを300㎜まで拡大し、開口部サッシを５層Low-Eガラスなどにする必要があることがわかった。

表-5　外皮省エネ計算結果

項目/No.	1	2	3	4	5	6
ログ厚さ	114	240	240	240	240	300
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	0.53	0.46	0.39	0.33	0.28
	前回検討			今回		

凡例：断熱外皮

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
強化仕様	等級7外皮相当

開口部

アンケート	ログ協アンケート相当
B	樹脂+PG　U値1.3レベル
C	樹脂+3層　U値0.8レベル
D	樹脂+5層　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

今後の課題・展開等

１．今後の展開

本事業では、大径材の活用を目的として、スギ製材のログハウス外壁について、当初目標である75分準耐火構造性能を上回る90分準耐火構造の性能があることが確認できた。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、協会会員が使用できる断面形状などに合わせた大臣認定を取得し、実物件に即対応できようにする必要がある。

また、スギ以外の樹種や240×240mm以下の寸法のログ材を使った壁についても、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。

２．普及、PR

会報やホームページでログハウス協会会員及び関係各所に周知を行い、大径材を使用したログハウスの普及推進を図る。

事業

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Ⅱ）

● 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、前年度調査結果を踏まえ、地中利用木材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、使用量把握のための使用実態等に関する調査を実施する。

実施した項目

次の活動を実施した。

1　軟弱地盤強化のために実際に施工された丸太の掘り出し試験

（1）液状化対策として８年前に埋設した丸太の掘出し調査

三重県松坂市において「三重県産材利用による丸太打設液状化対策の実証施工」によりスギ丸太の打設を行い、８年経過した箇所で、丸太長や被覆土処理の有無等の異なる丸太を掘り出し、下記の試験を行った。

ア．地下水位観測
イ．深度ごとの目視被害度判定、ピロディン貫入量を測定
ウ．深度ごとに短柱を採取し、短柱の縦圧縮強度及び容積密度を測定。
エ．３種類の深度より円盤を採取し、放射方向の小試験片の容積密度及び縦圧縮強度を測定

（2）農業用クリーク護岸用丸太として11年前に打設した丸太の調査

佐賀県において、農業用クリークの護岸工事のため県産スギ間伐材を打設し、11年経過した箇所において、佐賀県林業試験場が丸太を引抜き、ピロディン試験等を実施している。

この丸太のサンプルを一部提供いただき、２種類の深度より円盤を採取し、放射方向の小試験片の圧縮強度及び容積密度を測定した。

（3）85年前に埋設した木杭の掘出し調査

東京都大田区において建築物基礎として85年前に設置した木杭の掘出しを行い、下記の試験を行った。

ア．地下水位観測
イ．深度ごとの目視被害度判定、ピロディン貫入量の測定
ウ．樹種鑑定
エ．２種類の深度より円盤を採取し、放射方向の小試験片の容積密度及び縦圧縮強度を測定

（4）10年前に埋設した丸太の掘出し見学会の開催

千葉県木更津市において、液状化現象を防止するために10年前に打設したスギ丸太の健全性を評価するための掘出しを実施するとともに、報道関係者等を集めて見学会を開催した。

2　地中利用木材（丸太）使用実態調査

日本国内における液状化対策や軟弱地盤改良、建築物・構造物基礎としての丸太の使用実態を把握するとともに、国内で利用されている丸太使用量を把握するための方法の検討を行った。具体的には、

（1）地方自治体における丸太利用工法の採用状況及び関連施策の動向の把握とともに、先進的な取り組み事例の調査を行った。

（2）丸太に関する工法協会などの業界団体や民間企業を対象に、丸太の使用実態及び利用動向の調査を行った。

3．前年度成果の学術誌への投稿

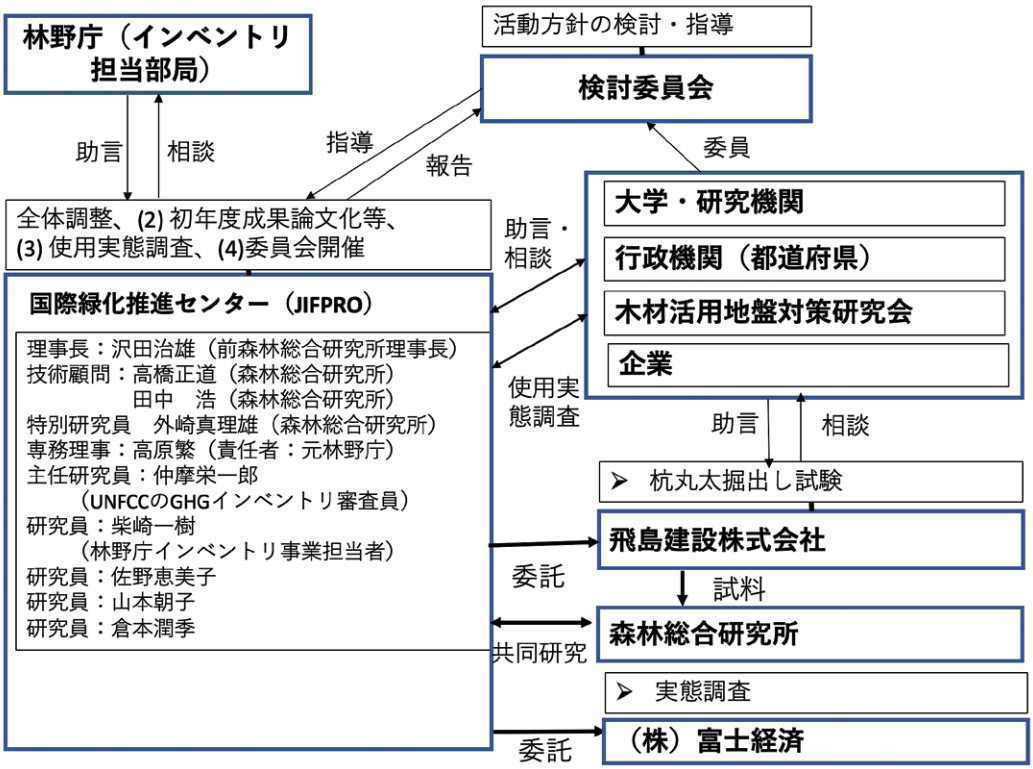
令和３年度事業により実施した「軟弱地盤対策のための地中利用木材のCO_2蓄積量の評価に関する調査」のうち、森林総合研究所円柱加工材の掘り出し試験の結果について、「土木学会論文集」（Japanese Journal of JSCE）に英文投稿を行った。

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准教授
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試験

（1）液状化対策として８年前に埋設した杭丸太の掘出し調査

ア．調査概要

本掘出し調査は、打設後８年経過した下記の丸太施工箇所において行った。

①丸太打設事業：平成 25 年度　森林整備加速化・林業再生基金事業補助金
（地域材新規用途導入促進支援）「三重県産材利用による丸太打設液状化対策の実証施工」
②丸太打設：2014 年５月 13 日～５月 21 日
③実施場所：三重県松阪市の医院敷地内
④掘出し期間：2022 年５月 14 日～５月 18 日
（打設後：8.0 年，2,923 日経過）
⑤使用木材：三重県産スギ丸太（皮剥ぎ丸太）
（ただし，一部皮付き丸太，アカネ材＜スギアカネトラカミキリ被害材＞を含む）
⑥打設目的：液状化対策（LP-LiC 工法）

写真 1 丸太打設時の模様

図１に、8年前に打設した丸太の平面図を示す。図中には、採取し試験に供した丸太位置も併記した。

前年度の森林総合研究所構内の掘出し丸太と異なり、本打設丸太の杭頭部は地表から 0.5m ないし 1m 深さまで打ち込んであり、杭頭上部から地表までを砕石で充填してある（一部の丸太については粘土質の材料で頭部を被覆）（図 2）。

表１に打設した丸太の試験ケースを示す。丸太の生物劣化対策として、丸太頭部に粘土質の被覆土を設置し、空気の遮断を図ったものと、セラミック樹脂で丸太頭部を覆ったものがある。写真２に、丸太を掘出したときの丸太頭部の様子を示す。丸太頭部に 5cm 程度被覆土があり、その上に砕石が充填されている。また、Gのケースは、丸太として皮付きの丸太を用いた。Hのケースは、丸太としてアカネ材を用いたものである。

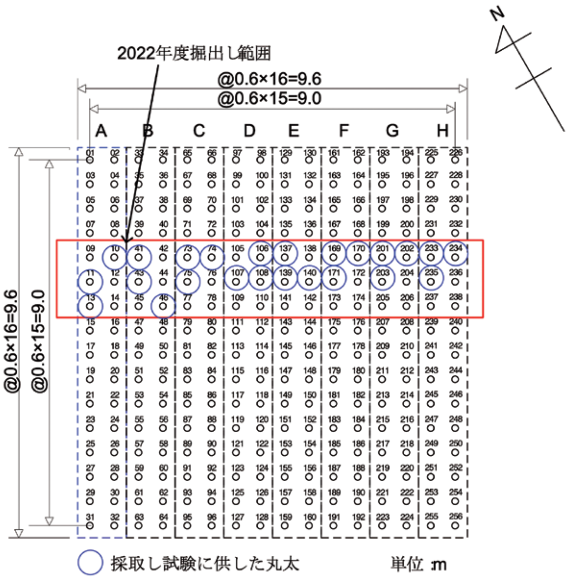


図 1　打設した丸太の平面図（松阪市）

表１　試験ケース

ケース番号	丸太頭部深さ	劣化対策	丸太の種別
A	GL-0.5m	無処理	皮剥ぎ丸太
B	GL-0.5m	頭部被覆土	皮剥ぎ丸太
C	GL-0.5m	ｾﾗﾐｯｸ樹脂被覆	皮剥ぎ丸太
D	GL-1.0m	無処理	皮剥ぎ丸太
E	GL-1.0m	頭部被覆土	皮剥ぎ丸太
F	GL-1.0m	樹脂被覆	皮剥ぎ丸太
G	GL-1.0m	頭部被覆土	皮付き丸太
H	GL-1.0m	頭部被覆土	皮剥ぎｱｶﾈ材

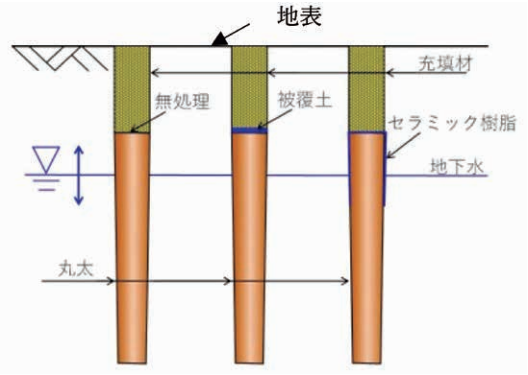


図２ 埋設の状況と丸太頭部の処理

写真２ 丸太の地中での状態

イ．地下水位及び深度ごとの調査結果

図３に，２ケ月間の短い期間であるが，地下水位の観測記録を示す．最大値と最小値から求めた地下水位の変動は，GL-0.18～-1.03mの間で変動しており，平均値はGL-0.56mであった．一時的な上昇や低下を除いた主要な状態で見ると概ねGL-0.4～-0.7mの範囲で変動しているようである．今後，１年間の計測結果を取得し，さらなる検討を行いたい．

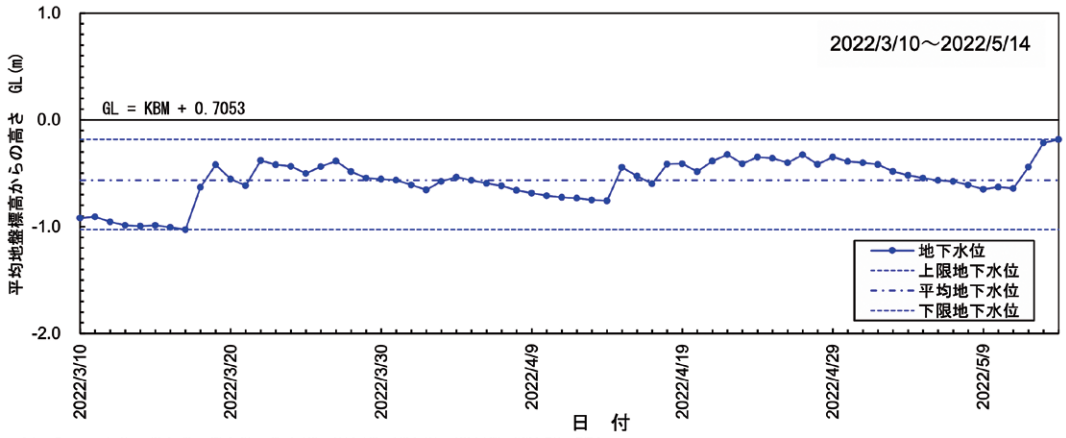


図３　地下水位観測記録（松阪市）

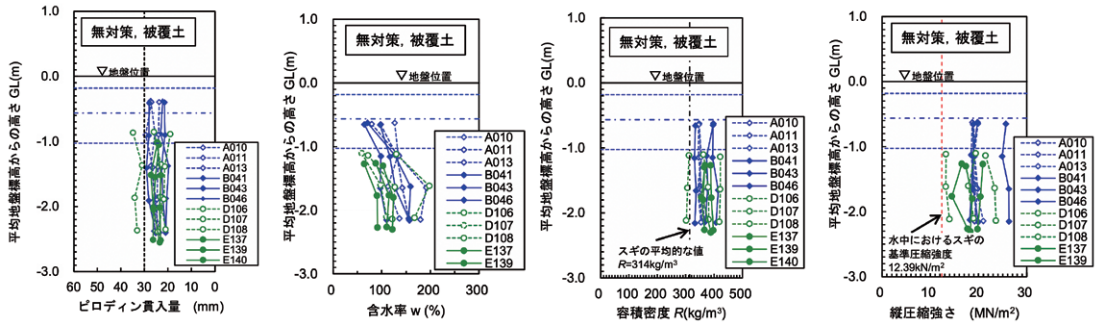


図４　採取した丸太の試験結果（松阪市）
（地下水位は、短期計測結果からの仮の値）

打設した丸太の頭部は、前年度の頭部が地表にあった丸太の掘出しと異なり、いずれも断面欠損は見られなかった。

図４に、A、B、D、Eのケースについて、ピロディン貫入量、含水率、縦圧縮強さ、容積密度の深度分布を示す。丸太の含水率は、GL-1.5m以浅になると地表面に近づくほど低下する傾向が認められ

るが、いずれについても繊維飽和点の含水率30%を大きく上回っている。その他のピロディン貫入量、縦圧縮強さ、容積密度のいずれについても、無対策を含め深度方向に変化するような傾向は認められず、容積密度はスギの平均的な値よりもやや大きく、縦圧縮強さもスギの水中における基準圧縮強さよりも大きい。したがって、丸太頭部が0.5m地表よりも深く設置されている今回の条件では、地下水位より浅い箇所においても、8年程度では劣化が進まず、ほぼ100%初期の炭素を固定し続けていると言える。

ウ．深度の異なった円盤から採取した放射方向の小試験片の容積密度及び縦圧縮強度

掘り出した丸太のうちの4本について、頭部直下（3位置）、それに隣接する頭部から5cm程度（2位置）、さらに、丸太最下部の地下水位下で密度・強度の基準となる位置（1位置）の3種類の深度から円盤を採取した（図5）。

さらに、ぞれぞれの円盤から大きさ50mm(T＜接線＞方向)×10mm(R＜放射＞方向)×30mm(L＜軸＞方向)の容積密度用割裂小試験片を、丸太表面から放射方向にa1～a6, c1～c6のように丸のみで割裂した。また、大きさ20mm(T)×20mm(R)×40mm(L)の縦圧縮試験体を同様にb1～b4, d1～d4のように鋸断により作成した（図6）。

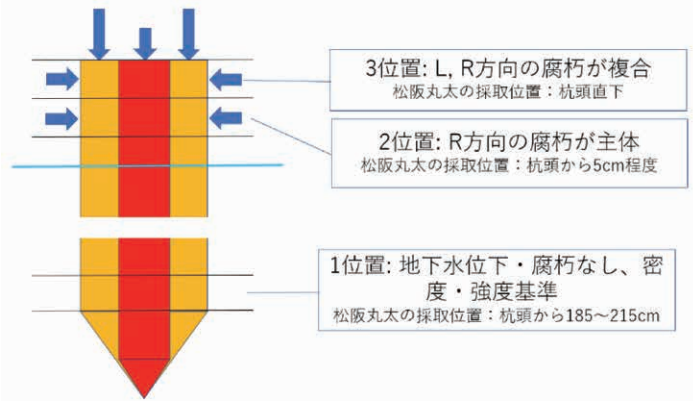


図5 松阪丸太からの円盤の採取

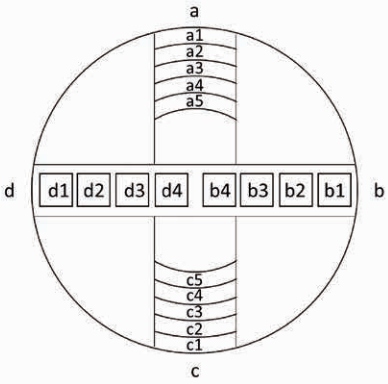


図6 円盤からの小試験片の採取

小試験片の容積密度及び縦圧縮強度の試験結果を表2に示す。このように松阪の丸太では頭部についても、容積密度や圧縮強度の低下は殆どみられなかった（最外層で容積密度が1～3%の低下、縦圧縮強度が4～5%低下）。この結果は、前年度の丸太が地表面に出ていた条件下で打設後10年で頭部の断面欠損が見られた結果と大きく異なっており、丸太頭部が地中に打ち込まれている場合には、同程度の期間でも殆ど劣化していなかった。

表2 松阪丸太の小試験片容積密度及び縦圧縮強度結果

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
3/1	0.986	0.994	1.004	1.007	1.039
2/1	0.988	1.007	1.010	0.997	1.037

圧縮小試験片容積密度比			
	最外層	最外層-1	最外層-2
3/1	0.971	1.006	1.001
2/1	0.977	1.004	1.009

圧縮小試験片強度比			
	最外層	最外層-1	最外層-2
3/1	0.951	0.956	0.986
2/1	0.956	0.987	1.001

(2) 農業用クリーク護岸用丸太として11年前に打設した丸太の調査

佐賀平野には、農業用水のため全長1,500kmにも及ぶクリークが縦横に張り巡らされている。これらのクリークには、法面浸食による背面土の亀裂などが発生しているところがあり、うち幹線420kmについては、「クリーク防災機能保全対策事業」により県産スギ間伐材を用いたクリーク木柵工による護岸工事が実施されてきている（写真3）。

写真3 佐賀クリーク丸太の打設状況

佐賀県林業試験場では、打設後10～11年が経過した木杭を掘り出し、ピロディン試験、応力波伝播速度測定を実施し、スギ木杭の耐久性について調査しており、今回下記供試木（写真4）について、佐賀県林業試験場のご協力により、小試験片を採取し容積密度試験及び縦圧縮試験を実施した。

①丸太打設：2010年
②場所：佐賀市巨瀬町修理田
　巨勢幹線11号
③引抜き：2022年2月7日
　（打設後11年）
④試験用短丸太採取：
　2022年6月

写真4 佐賀県クリーク丸太（★が供試丸太）

クリーク丸太の全長は約4mで、杭頭部20cm程度が、クリークの水面から出ており、それより下部は水中に浸漬している。さらに杭頭から1m弱の部分で、水中から土中に入っている。

容積密度及び縦圧縮強度測定用の小試験片採取のための円盤は、水中の最深部で土中に入る境界付近の杭頭から60～90cm（2位置）、杭頭から350cm以下の杭最下部の密度･強度の基準となる位置（3位置）の2種類の深度から円盤を採取した（図7）。

円盤からの、容積密度及び縦圧縮試験用の小試験片採取の方法は前述の図6のとおりである。

小試験片の容積密度及び縦圧縮強度の試験結果を表3に示す。クリーク丸太において、水中に浸漬している下部の部分では、割裂小試験片では表面から約3cmまで、6～11%の質量減少がみられた。圧縮小試験片では最外層（厚さ2cm）で、容積密度で7%，圧縮強度で11%の減少が見られた。

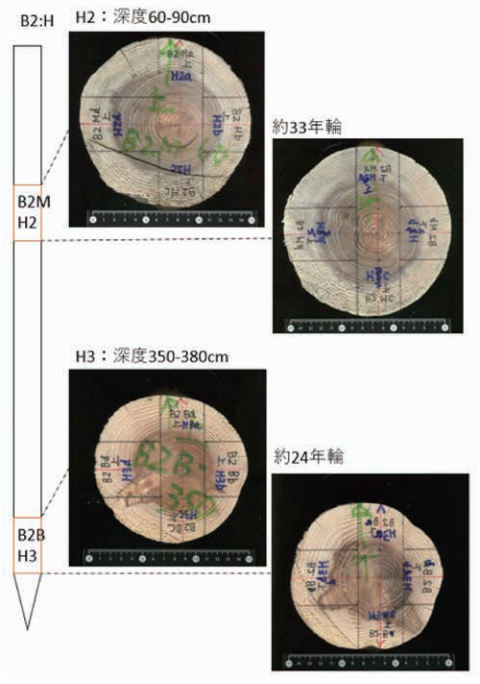


図7 佐賀クリーク丸太の円盤採取

表３ 佐賀クリーク丸太の小試験片容積密度及び縦圧縮強度結果

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
2/3	0.936	0.896	0.898	0.967	0.997

圧縮小試験片容積密度比			
	最外層	最外層-1	最外層-2
2/3	0.932	1.001	0.986

圧縮小試験片強度比			
	最外層	最外層-1	最外層-2
2/3	0.892	1.080	1.079

（3）85年前に埋設した木杭の掘出し調査

ア．調査概要

本掘出し調査は、打設後85年経過した下記の木杭施工箇所において行った。

①木杭打設：1937年頃

②実施場所：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：約85年）

④使用木材：マツ属丸太（森林総合研究所の鑑定による）

⑤打設目的：建築物（鉄筋コンクリート２階建て）支持杭

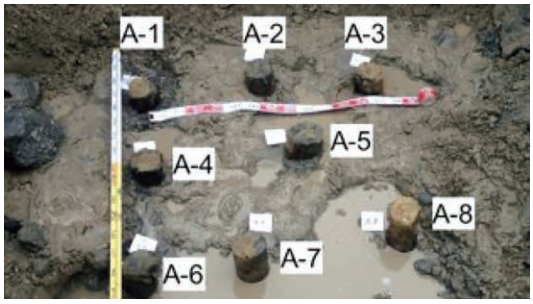


写真5-1 大田区木杭頭部全景

写真5-2 掘出した大田区の木杭

イ．地下水観測記録

図８に、当該地点で観測した地下水位の観測記録を近傍の羽田気象台で観測された日降雨量と合わせて示す。短い観測期間であるが、この間の地下水位は、GL-1.5m程度で安定する傾向があるが、降雨に伴いGL-0.6m程度まで上昇し、GL-0.6～-1.5mの範囲で変動している。

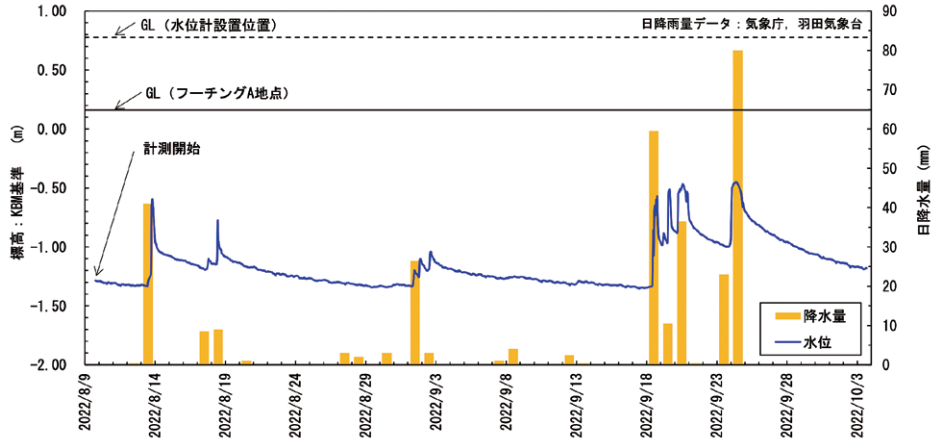


図８　地下水位と日降雨量（大田区南六郷）

ウ．深度方向の調査結果

木杭は、建築物の支持杭であり、写真５に示すように、杭頭部は地中に打ち込まれていた。打設後85年経過しているが、木杭頭部に大きな欠損は見られなかった。

図９に、採取した木杭の被害度の判定結果とピロディン貫入量の深度分布を示す。採取した木杭の表面は、指で押すとやや軟らかい個所もあり、被害度判定では丸太頭部付近で１になるものがあった。しかし、ピロディン貫入量では、深度方向にほぼ一定であり、85年経過しているが、地下水位以深で木杭は健全性を保っている。

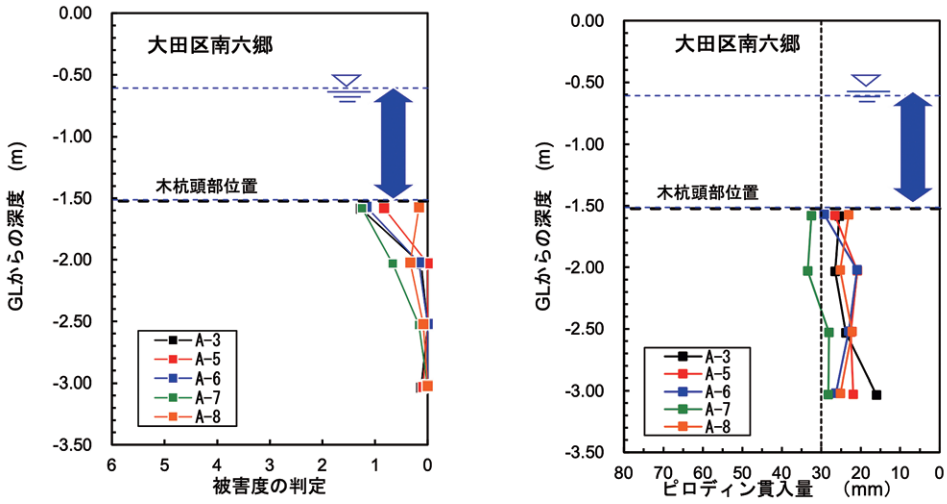


図９　採取した木杭の試験結果（大田区六郷）
（地下水位は、短期計測結果からの仮の値）

エ．放射方向の調査結果

掘り出した木杭のうちの２本について、杭頭にほぼ近接した杭頭から９～20cm（２位置）、さらに、杭頭から１～1.4mで杭最下部の地下水位下で密度・強度の基準となる位置（１位置）の２種類の深度から円盤を採取した（図10）。

円盤からの、容積密度及び縦圧縮試験用の小試験片採取の方法は前に示した図６のとおりである。

大田区木杭の小試験片の容積密度及び縦圧縮強度の試験結果を表４に示す。割裂小試験片及は、杭頭に近接した部分の最外層（厚さ1cm）では、約20%の質量減少が見られたが、それより内側では、質量減少を示す兆候は見られなかった。圧縮小試験片では、杭頭に近接した部分の最外層（厚さ2cm）においても、質量減少を示す兆候は見られなかった。大田区の木杭では、杭頭が建築物基礎に打ち込まれており、このような場合ケースでは、打設後85年経過しても全体として質量減少は殆どみられないと言える。他方、圧縮強度については杭頭に近接した部分で17～25%の強度低下が見られた。

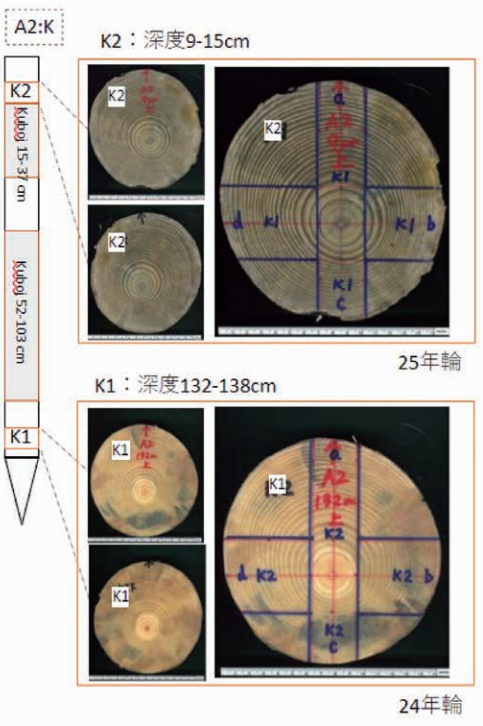


図 10 大田区丸太の円盤採取

表４ 大田区木杭の小試験片容積密度及び縦圧縮強度結果

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
2/1	0.795	1.019	1.008	0.986	0.995

圧縮小試験片容積密度比			
	最外層	最外層-1	最外層-2
2/1	0.995	1.011	-

圧縮小試験片強度比			
	最外層	最外層-1	最外層-2
2/1	0.748	0.828	-

（4）10年前に埋設した丸太の掘出し見学会の開催

千葉県木更津市において、2013年2月8日に丸太を打設し、約10年経過した丸太の掘出し調査の見学会を2022年12月1日（木）13:30～15:00に、報道関係者にも声をかけ実施した。当日は、スタッフを含め36名の参加があり、林野庁からの参加もいただき、丸太の埋設工法や掘出しに関する説明、丸太のCO_2蓄積効果など本事業に関する説明を実施した（写真6）。

以下に、見学会の次第を示す。

1．**挨拶**（13:30～13:45）：
田村琢之　飛島建設(株)土木本部グリーンインフラ部長
熊谷有理　林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐

2．**全体説明**（13:45～14:00）：
「木材地中貯蔵のCO_2蓄積効果の評価に関する国際的な動向と調査の目的」
田中　浩　公益財団法人 国際緑化推進センター　技術顧問
「木更津市で10年前にLP-LiCで施工した丸太の掘出し調査」
沼田淳紀　飛島建設株式会社　土木本部グリーンインフラ部　環境S　部長

3．**個別説明**（14:00～14:30）：
「地中丸太の掘出し状況の説明」
村田拓海　飛島建設株式会社　土木本部グリーンインフラ部　環境S　副主任
「掘出された丸太および過去に採取した地中木材の説明」
沼田淳紀　飛島建設株式会社　土木本部グリーンインフラ部　環境S　部長
「丸太地中利用技術（LP-LiC工法，LP-SoC工法）の説明」
青沼恭輔　木材活用地盤対策研究会　技術委員

4．**質疑応答**（14:30～15:00）：
熊谷有理　林野庁
田中浩　(公財)国際緑化推進センター
沼田淳紀　飛島建設(株)

写真６　見学会の様子（木更津市）

報道では、見学会が以下に掲載された。

建設通信新聞（2022年12月5日）
日刊建設工業新聞（2022年12月5日）
林政ニュース（2022年12月21日）
日刊木材新聞（2022年12月21日）

林政ニュース　2022（令和4）年12月21日　平成6年6月9日第三種郵便物認可　第691号

地方のトピックニュース

10年前に打設した丸太を掘り出すと…「腐朽は確認されず」

飛島建設（株）（東京都港区、第438号参照）と国際緑化推進センター（東京都文京区）は、「丸太打設液状化対策&カーボンストック（LP－LiC）工法」によって約10年前に地中に打ち込んだ丸太の掘り出し調査を千葉県木更津市で行った。12月1日に関係者約40名を集めて見学会を開き、掘り出した丸太は腐朽していないことを確認した。

同工法は、丸太を地中に打ち込み、緩い砂地盤の密度を高めることで液状化現象を防止するもの。調査を行った場所は、合板・LVLメーカーの（株）キーテックの敷地内。5m四方のブロットを設定し、末口直径14cm、長さ4mのスギ丸太64本を2013年2月8日に打ち込んだ。打設した丸太による二酸化炭素（CO_2）固定量は2・77tと計算されている。

調査では、専用アタッチメントを装着した掘削機で、地中に打ち込んだ64本の丸太をすべて回収した。飛島建設の担当者は、「室内実験で丸太の耐久性は確認できていたが、現場で初めて調査することができた。丸太の腐朽はほとんど確認されず炭素貯蔵に有効なことがわかった。今後はより詳細な分析を行い、炭素固定量の変化や強度、細菌の有無などを計測する」と話している。

なお、これまでに同工法が採用された現場は約30件で、さらなる普及に向けて打設プロセスの見直し等によるコストダウンの検討を進めている。また、同工法で丸太を利用しても、現行の地球温暖化対策に関する国際ルールでは炭素固定量が適切に評価されないため、林野庁等と連携して取得したデータをもとに独自の算定方法を確立することも課題にあがっている。

掘り出されたスギの丸太

掘り出し調査の様子

図11 木更津杭丸太掘出し見学会を伝える林政ニュースの記事

2　地中利用木材（丸太）使用実態調査

（1）自治体（都道府県）における丸太（地中利用木材）に対する取組状況

ア．木材利用促進方針の策定について

公共事業における木材利用に関しては「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」に基づき、各自治体が方針・計画を策定している。自治体の方針・計画は、建築を主体としており、公共土木工事での利用に関する記述は少ない傾向にあるが、自治体によっては公共土木工事において木材を利用する工種等を定めている自治体もある。

イ．公共土木工事の設計指針等の策定について

各自治体は、一般土木工事、農林土木工事について「土木工事共通仕様書」を定めており、丸太の利用については、ほぼ全ての自治体において「パイルネット工法」に関する記述がみられる。パイルネット工法は1975年に開発された地盤補強工法である。しかし、比較的近年の工法については盛り込まれておらず、工法の進展に応じた改訂は行われていない状況である。

なお、新潟県、福井県、長野県、佐賀県など一部の自治体については、地盤改良、基礎工事などを想定した丸太の使用について独自の設計指針／マニュアル等を作成している。

ウ．丸太を利用した工事発注状況について

公共土木工事における木杭の利用については、治山・林道、農業土木、公園土木などが圧倒的に多く、工種としては木柵工、筋工、法面保護工、流路工などであり、地盤改良や建築・土木構造物基礎としての丸太（地中利用木材）の施工事例はあまり多くない。丸太の公共事業への導入事例が比較的多い自治体としては、北海道、新潟県、福井県、長野県、佐賀県などが挙げられ、青森県や鹿児島県でも近年の導入事例がみられる。

（2）民間企業による開発工法事例

ア．環境パイル工法

環境パイル工法は、一般的に鋼管杭やセメント杭が使用される基礎杭を、高品質な防腐防蟻処理を施した杭丸太に代替することで、地盤の補強とともに環境対策に貢献できる工法として兼松サステック（株）により開発された。

環境パイル工法の適用施工基準は、住宅を中心とした地上３階以下、延べ2,500m^{2}以下の小規模建築物の地盤改良工事を主として対象としている。使用樹種は殆どがスギを利用している。

イ．丸太打設液状化対策＆カーボンストック（LP-LiC）工法､丸太打設軟弱地盤対策＆カーボンストック工法（LP-SoC）工法

LP-LiC工法は、水で飽和した緩い砂地盤に丸太を打設することにより地盤の密度を増大させることで液状化を防ぐ液状化対策工法であり、一方、LP-SoC工法は、地盤が本来持っている支持力を活かしつつ、不足する支持力を丸太が補うことで構造物を支える、軟弱地盤における構造物基礎の工法であり、飛島建設（株）により開発された。

両工法ともに、比較的小規模な建築物・構造物を対象としており、戸建て住宅のほか、福祉・医療施設などの非住宅施設、堤防の地盤改良工事などの事例がある。使用樹種は限定されないが、カラマツ、スギ、ヒノキの利用が大半となっている。

ウ．QPパイル工法

QPパイル工法は、小規模建築物を対象とした地盤改良工法で、皮むき加工したテーパー上の丸太を圧入し地盤補強材として利用する工法であり、（株）九州パイリングにより開発された。

九州地域で展開されている工法であり、用途としては住宅向けが大半であり、特に戸建て住宅の割合が多い。また、老人福祉施設など低層の公共建築物での利用もみられる。利用樹種は近年ではスギが大半である。

エ．パイルネット工法

パイルネット工法は、軟弱地盤に丸太などを打ち込み、丸太頭部を専用連結材で連結し、サンドマットを造成後、土木安定シートを敷設する地盤補強工法である。1975年の石狩川大洪水に際し河川堤防を緊急に盛土するために開発された。北海道に所在する昭和マテリアル（株）の施工実績が多い。

河川工事の施工実績が多いが、近年では道路工事の事例も増加し、河川・道路関連で実績の９割を占める。使用される樹種はカラマツ、トドマツ、スギなどである。

（3）国内における地中利用木材（丸太）の利用量推計と中長期予測

地方自治体、業界団体や民間企業からの聞き取り等によって2021年度時点での地中利用木材（丸太）の年間利用量及び累計利用量（1970年代から2021年度までの累計）、さらに2025年度及び2030年度における利用量の予測を表５に示す。

2021年度における年間利用量の約90%は住宅基礎としての利用量であり、公共土木事業等への杭丸太の利用比率は少ない。また、中長期予測においても住宅用途が倍増すると見込まれるのに対し、公共土木事業等の用途は横ばいと見込まれている。

一方、累計利用量については、最も古く1975年に開発されたパイルネット工法が、主として公共土木事業に利用されてきた実績が大きいことから、2021年度時点での住宅基礎の累計利用量は約58%となっている。

このように、近年の丸太の利用は、住宅建築等の民間部門が大部分を占めていることから、杭丸太使用量の把握については、主要工法についての丸太利用量を民間部門（工法協会や民間企業）の協力を得て把握していくのが適切であると考えられる。

表５　国内における地中利用木材（丸太）の利用量推計量と中長期利用量予測

＜年間利用量（フロー）＞

（単位：㎥）

	2021年度実績	2025年度予測	2030年度予測
杭丸太利用量合計	33,000	46,000	63,000
住宅用途	30,000	43,000	60,000
公共土木/非住宅用途	3,000	3,000	3,000

富士経済推計

＜1970 年代からの累計利用量（ストック）＞

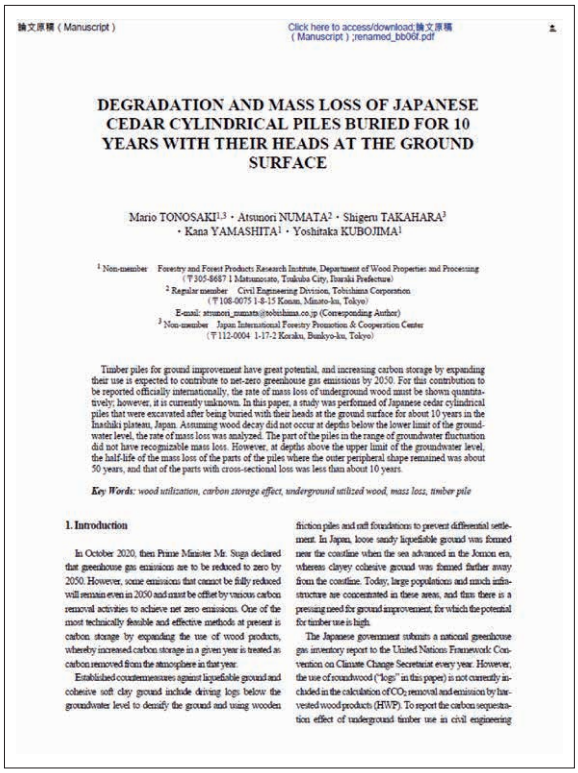
（単位：㎥）

	2021年度実績	2025年度予測	2030年度予測
杭丸太利用量合計	484,000	648,000	931,000
住宅用途	280,000	432,000	700,000
公共土木/非住宅用途	204,000	216,000	231,000

富士経済推計

３．前年度成果の学術誌への投稿

令和３年度事業により実施した「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」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、原稿を作成し、英文翻訳、ネイティブチェックを経て、「土木学会論文集」（Japanese Journal of JSCE）に投稿を行った。本投稿については、2023年１月現在査読中である。



論文原稿（Manuscript）　Click here to access/download:論文原稿（Manuscript）;renamed_bb06f.pdf

DEGRADATION AND MASS LOSS OF JAPANESE CEDAR CYLINDRICAL PILES BURIED FOR 10 YEARS WITH THEIR HEADS AT THE GROUND SURFACE

Mario TONOSAKI[1,3] · Atsunori NUMATA[2] · Shigeru TAKAHARA[3] · Kana YAMASHITA[1] · Yoshitaka KUBOJIMA[1]

[1] Non-member　Forestry and Forest Products Research Institute, Department of Wood Properties and Processing (〒305-8687 1 Matsunosato, Tsukuba City, Ibaraki Prefecture)
[2] Regular member　Civil Engineering Division, Tobishima Corporation (〒108-0075 1-8-15 Konan, Minato-ku, Tokyo)
E-mail: atsunori_numata@tobishima.co.jp (Corresponding Author)
[3] Non-member　Japan International Forestry Promotion & Cooperation Center (〒112-0004 1-17-2 Koraku, Bunkyo-ku, Tokyo)

Timber piles for ground improvement have great potential, and increasing carbon storage by expanding their use is expected to contribute to net-zero greenhouse gas emissions by 2050. For this contribution to be reported officially internationally, the rate of mass loss of underground wood must be shown quantitatively; however, it is currently unknown. In this paper, a study was performed of Japanese cedar cylindrical piles that were excavated after being buried with their heads at the ground surface for about 10 years in the Inashiki plateau, Japan. Assuming wood decay did not occur at depths below the lower limit of the groundwater level, the rate of mass loss was analyzed. The part of the piles in the range of groundwater fluctuation did not have recognizable mass loss. However, at depths above the upper limit of the groundwater level, the half-life of the mass loss of the parts of the piles where the outer peripheral shape remained was about 50 years, and that of the parts with cross-sectional loss was less than about 10 years.

Key Words: wood utilization, carbon storage effect, underground utilized wood, mass loss, timber pile

1. Introduction

In October 2020, then Prime Minister Mr. Suga declared that greenhouse gas emissions are to be reduced to zero by 2050. However, some emissions that cannot be fully reduced will remain even in 2050 and must be offset by various carbon removal activities to achieve net zero emissions. One of the most technically feasible and effective methods at present is carbon storage by expanding the use of wood products, whereby increased carbon storage in a given year is treated as carbon removed from the atmosphere in that year.

Established countermeasures against liquefiable ground and cohesive soft clay ground include driving logs below the groundwater level to densify the ground and using wooden friction piles and raft foundations to prevent differential settlement. In Japan, loose sandy liquefiable ground was formed near the coastline when the sea advanced in the Jomon era, whereas clayey cohesive ground was formed farther away from the coastline. Today, large populations and much infrastructure are concentrated in these areas, and thus there is a pressing need for ground improvement, for which the potential for timber use is high.

The Japanese government submits a national greenhouse gas inventory report to the United Nations Framework Convention on Climate Change Secretariat every year. However, the use of roundwood ("logs" in this paper) is not currently included in the calculation of CO_2 removal and emission by harvested wood products (HWP). To report the carbon sequestration effect of underground timber use in civil engineering

図 12　投稿論文原稿

今後の課題・展開等

地中利用木材（丸太または木杭）の質量減少に関する本年度の調査からは、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、頭部が地表にない場合には、質量減少（劣化）が殆どみられないとの結果が得られた。本年度の結果からは、このような施工条件下では丸太はCO_2蓄積に関し永久貯留と考えても良いことが示唆されるが、さらなる丸太掘出し試験の知見集積や地下水位観測を行うことが必要である。

また、インベントリ報告に必要な丸太使用量の把握のためには、主要工法を取り扱っている工法協会や民間企業の協力を得て、継続的なモニタリング（使用量把握）を行っていくことが必要であると考えられる。

事業

易施工が可能な木質ラーメン接合工法の開発と普及

● 実施団体 ●

帝人株式会社
〒791-8536　愛媛県松山市西垣生町 2345

前田建設工業株式会社
〒102-0072　東京都千代田区飯田橋 3-11-18 飯田橋 MK ビル

事業目的

近年、国産木材の活用が望まれており、これまで木材利用が低位であった非住宅や中高層建築物などの分野で木造化が推進されることが期待されている。しかしながら、非住宅や中高層建築物中でも、特に大空間を必要とする建築物において、木材は鉄骨材に比べて軽量であるメリットがある一方で、以下のような技術的課題が存在している。

1．６mを超えるロングスパンの部材（集成材）を製造できる工場が限られており、かつ、建設現場で容易に梁同士を継ぐことが困難。
2．梁 - 柱の接合において、鉄骨造対比、容易にラーメン構造を形成することが難しく、耐力壁などの耐震要素を必要とする。

そこで、我々は、物性の高い木質ラーメン構造を、建設現場で容易に実現できることを目的とした部材ならびに工法の開発に着手した。

実施した項目

1．予備試験

昨年度に実施した実験結果から脆性破壊の原因を推定し、それを実証するための梁曲げ試験を行った。脆性破壊は「接合部の曲げおよびせん断余裕度の不足」に起因すると考え、これをパラメータとするためにPC鋼棒の径およびせん断シャフトの本数を試験体毎に変えた。

2．パラメトリック試験（本試験）

予備試験の結果から、脆性破壊の原因は予備試験時に推測していたものとは別であることが判明したため、新たな脆性破壊の原因として「LSB周りの割裂余裕度の不足」を考え、再度梁曲げ試験（本試験）を行った。これをパラメータとするために、PC鋼棒の径を試験体毎に変えた。

なお、予備試験、パラメトリック試験ともに、実験結果に関し結果の分析並びに構造特性値の算出を実施している。

3．設計式の妥当性検証

昨年度の実施で得られた剛性と耐力に関する設計式とパラメトリック試験の結果を比較し、設計式の妥当性を検証した。

4．品質管理（製造、施工）方法の検討

本年度は、集成材の下穴加工および金物の取り付け方法について重点的に検討を行った。

実施体制

■事業主体

総括：帝人株式会社

経理：前田建設工業株式会社

部材の設計／製作：帝人株式会社

接合部の設計、実験の実施：前田建設工業株式会社

■事業協力

木質部材の製作：清水木材株式会社

金物部材の製作：株式会社ストローグ

実施した内容

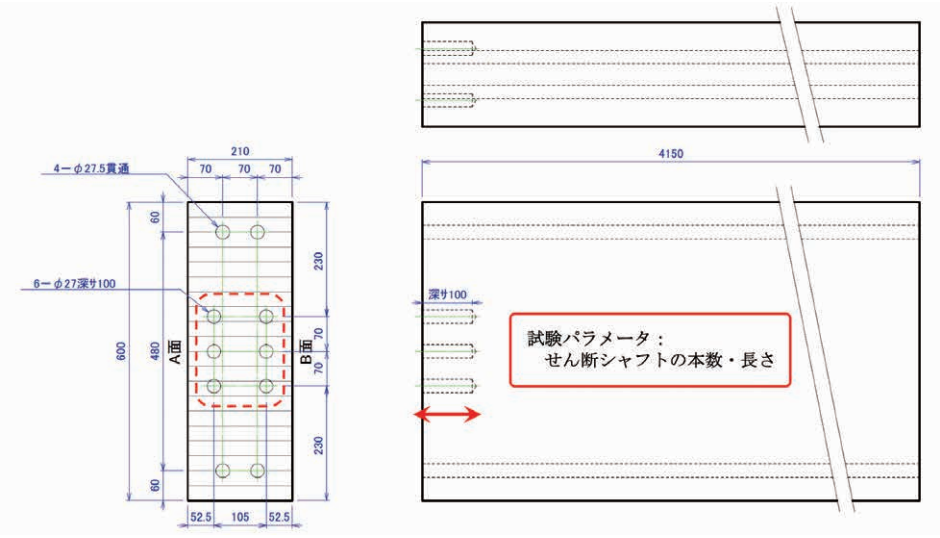
1．予備試験

昨年度に実施した実験結果から脆性破壊の原因を推定し、それを実証するための梁曲げ試験を行った。脆性破壊は「接合部の曲げおよびせん断余裕度の不足」に起因すると考え、これをパラメータとするためにPC鋼棒の径およびせん断シャフトの本数を試験体毎に変えた。なお、本試験における曲げ余裕度は「接合部の木材の圧縮降伏による終局曲げ耐力÷接合部のPC鋼棒の引張降伏による終局曲げ耐力」と、せん断余裕度は「せん断シャフトの短期許容せん断力÷接合部の曲げ降伏時のせん断力」と定義している。

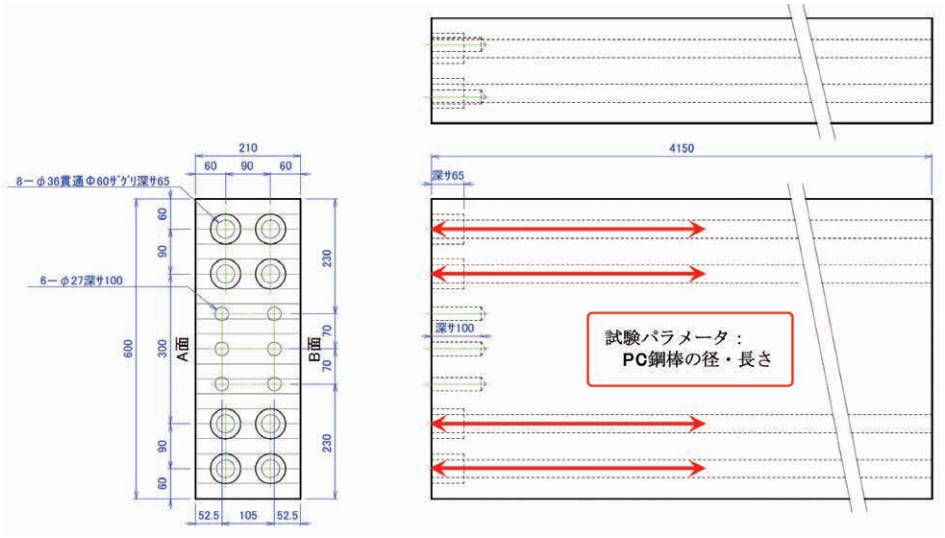
試験体は全部で8体用意し、木材はスギ集成材（E65-F225）を使用し、断面（600×210 mm）と長さ（4150 mm）はすべての試験体で共通とした。試験パラメータとして、試験体1-1～1-3はPC鋼棒径、試験体2-1～2-5はせん断シャフトの本数と長さをパラメータとして設定した。ここで、木材形状について図1に、各試験体の仕様について、表1に示す。

試験体のセットアップは、図2に示すように木材と固定治具に対して所定の軸力を導入することで一体化させた試験体を、PLを介して反力床に固定した後、水平方向へ強制変位を与えるため、自由端となっている木材端部を載荷ジャッキで接続している。

載荷は、変形角1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30 rad. を各1サイクルで正負交番載荷し、最後に押切り方向への単調載荷を行った。



(a) 試験体1 -1 ～ 1-3



(b) 試験体 2-1 ～ 2-5

図 1．木材形状（予備試験）

表 1．試験体の仕様（予備試験）

試験体名	母材余裕度目標値（実数値）	せん断余裕度目標値（実数値）	集成材				PC鋼棒					LSB			せん断シャフト		
			樹種	材長	梁幅	梁成	材種	径	上下合計本数	長さ	初期緊張力	径	短期付着力	埋め込み長さ	径	長さ	合計本数
				mm	mm	mm		mm	本	mm	kN/本	mm	kN/本	kN/本	mm	mm	本
1-1	2.00 (1.77)	2.00 (1.46)	スギ E65-F225	4150	210	600	B種1号	9.2	8	650	45	45	90	600	27	100	3本x2列
1-2	1.50 (1.49)	2.00 (1.02)	スギ E65-F225	4150	210	600	B種1号	11	8	650	70	45	125	600	27	100	3本x2列
1-3	1.25 (1.10)	2.00 (0.73)	スギ E65-F225	4150	210	600	B種1号	13	8	1200	95	45	175	600	27	100	3本x2列
2-1	2.00 (3.21)	2.00 (2.68)	スギ E65-F225	4150	210	600	B種1号	9.2	4	500	45	35	90	445	27	100	3本x2列
2-2	2.00 (3.21)	1.50 (1.97)	スギ E65-F225	4150	210	600	B種1号	9.2	4	500	45	35	90	445	27	100	2本x2列
2-3	2.00 (3.21)	1.00 (1.26)	スギ E65-F225	4150	210	600	B種1号	9.2	4	500	45	35	90	445	27	100	1本x2列
2-4	2.00 (3.21)	0.50 (0.63)	スギ E65-F225	4150	210	600	B種1号	9.2	4	500	45	35	90	445	27	50	1本x2列
2-5	2.00 (3.21)	0.00 (0.00)	スギ E65-F225	4150	210	600	B種1号	9.2	4	500	45	35	90	445	-	-	0本x0列

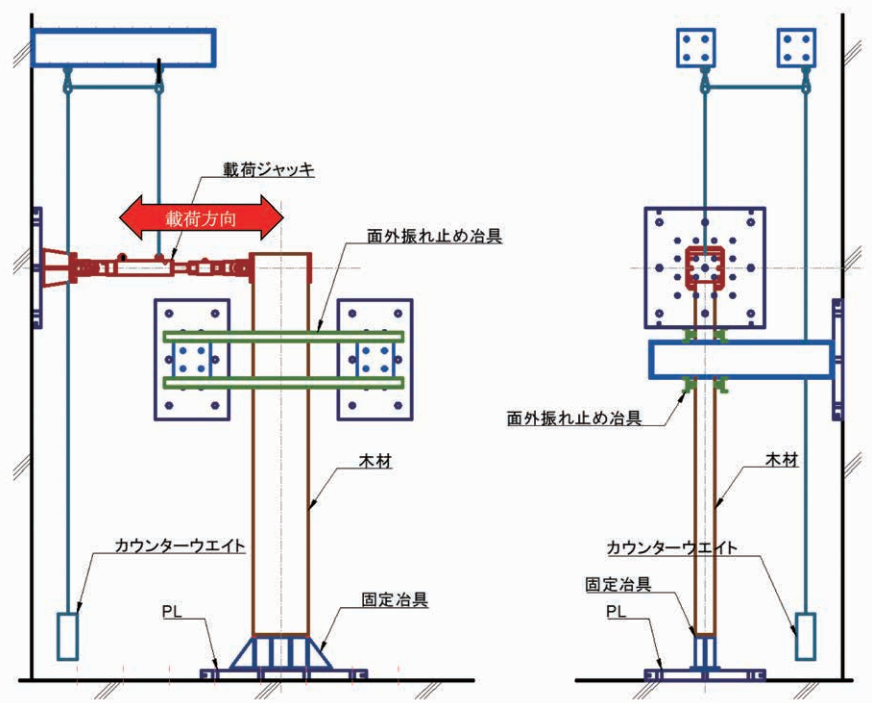


図 2．試験体セットアップ（予備試験）

2．パラメトリック試験（本試験）

予備試験の結果から、脆性破壊の原因は予備試験時に推測していたものとは別であることが判明したため、新たな脆性破壊の原因として「LSB周りの割裂余裕度の不足」を考え、再度梁曲げ試験（本試験）を行った。なお、本試験における割裂余裕度は「LSBの短期許容付着力÷PC鋼棒の破断耐力」と定義している。これをパラメータとするために、PC鋼棒の径を試験体毎に変えた。また、木材加工と施工時の品質管理方法の簡易化のために、LSB・PC鋼棒設置箇所に必要となる下穴長さを短くした木材を用いて、断面欠損の有無についても試験のパラメータとした。

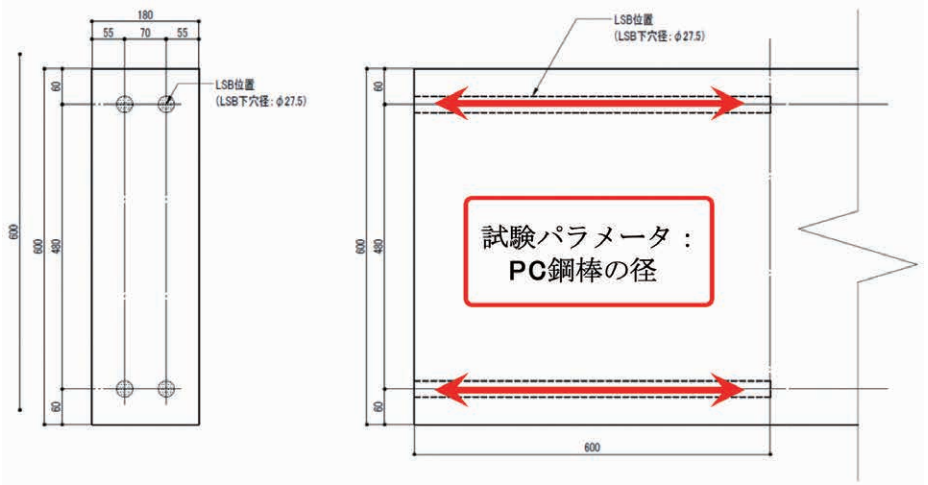
試験体は全８体用意した。木材は１にて使用したものと概ね同様の仕様となるが、以下の２点を１と変更した。

①幅を210mmから180mmへ30㎜小さくした

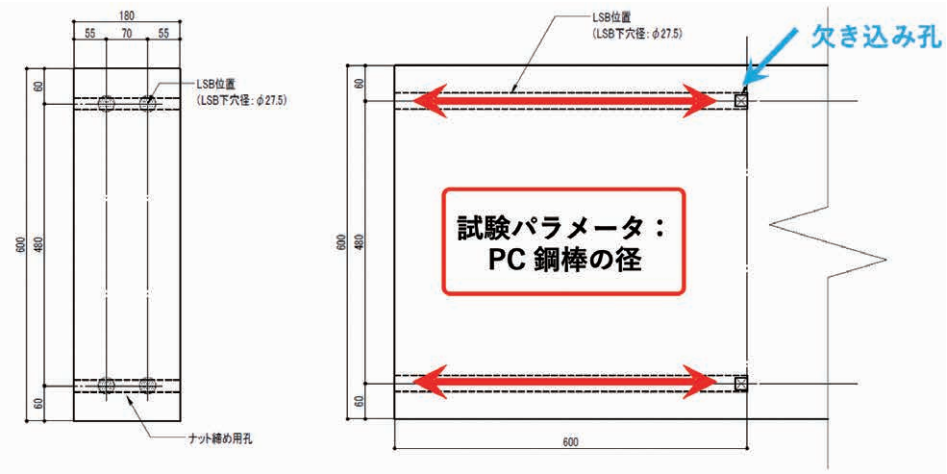
②全長に渡って加工していた下穴の加工範囲を、端部から600mmまでの範囲のみとした

ここで、木材仕様について図３に示す。試験体3-1～3-4は施工状況を確認するための欠き込み孔を設けず、試験体4-1～4-4は欠き込み孔を設けた。また、各試験体でPC鋼棒径が異なるものを配置することで、せん断余裕度を調整し、事前に破壊形状を予測した。試験体仕様を表２に示す。

試験体のセットアップおよび載荷方法については１と同様に実施した。実際の試験状況について図４に示す。



(a) 試験体 3-1 ～ 3-4



(b) 試験体 4-1 ～ 4-4

図３．木材形状（本試験）

試験体名	割裂余裕度（短期付着力÷破断耐力）		欠損	集成材				PC鋼棒						LSB		
				樹種	材長	梁幅	梁成	材種	径	上下合計本数	長さ	初期緊張力	破断軸力	径	埋め込み長さ	短期付着力
	目標値	実数値	mm		mm	mm	mm		mm	本	mm	kN/本	kN/本	mm	mm	kN/本
3-1	1.25	1.39	無	スギ E65-F225	4150	180	600	B種1号	9.2	4	500程度	45	72	35	445	100
3-2	1.00	0.97	無	スギ E65-F225	4150	180	600	B種1号	11	4	500程度	70	103	35	445	100
3-3	0.75	0.70	無	スギ E65-F225	4150	180	600	B種1号	13	4	500程度	95	143	35	445	100
3-4	0.50	0.41	無	スギ E65-F225	4150	180	600	B種1号	17	4	500程度	165	245	35	445	100
4-1	1.25	1.39	20 x 20	スギ E65-F225	4150	180	600	B種1号	9.2	4	500程度	45	72	35	445	100
4-2	1.00	0.97	20 x 20	スギ E65-F225	4150	180	600	B種1号	11	4	500程度	70	103	35	445	100
4-3	0.75	0.70	20 x 20	スギ E65-F225	4150	180	600	B種1号	13	4	500程度	95	143	35	445	100
4-4	0.50	0.41	20 x 20	スギ E65-F225	4150	180	600	B種1号	17	4	500程度	165	245	35	445	100

表２．試験体の仕様（本試験）

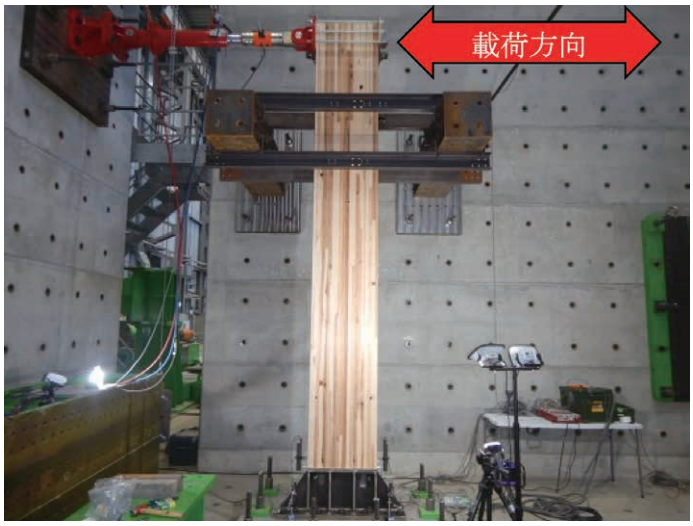


図４．試験状況（本試験）

３．設計式の妥当性検証

梁端部の力のつり合いから導出した理論式について、剛性と耐力を実験値と比較することで妥当性を検証した。１と２の試験結果としてM-θ関係を図９に示し、ここに理論式を用いて算出した設計値を追記した。なお、試験体3-4、4-4については、試験準備段階のPC鋼棒への軸力導入にてLSBの引き抜けが生じたため、正側のみの片振幅にて漸増載荷を行った。

４．品質管理（製造、施工）方法の検討

予備試験および本試験の試験体を用い、集成材の下穴加工および金物の取り付け方法について検討を行った。集成材の下穴加工については、これまでは集成材製造前のラミナに対して部材の全長に渡り行っていたが、集成材の製造工場が限定されるため、集成材製造後の端部のみに設ける案を考え、施工可能であるか検討を行った。また、金物の取り付け方法については、これまではPC鋼棒はLSB施工後に取り付けていたため、PC鋼棒のナット締め用の欠き込み孔が必要であったが、LSBにPC鋼棒を挿入した状態でLSBを施工すればこの欠き込み孔は不要となるため、この案が施工可能であるか検討を行った。

実施した結果

１．予備試験

試験結果に関し、損傷状況、包絡線、構造特性係数等の算出結果をそれぞれ図５、図６、表３に示す。

損傷状況については、全ての試験体でPC鋼棒ネジ部での破断が生じていたが、試験体1-3についてのみ木材端部でのめり込み変形を確認した。このことから今回の試験体の破壊形式は全てPC鋼棒の破断であり、昨年度のような木材の破壊による脆性破壊は生じていないといえる。また、包絡線を見てもバイリニア型であり、構造特性係数も平均すると0.30程度であるため、靭性の高い接合部であると考えられる。

なお、脆性破壊の原因は「曲げ及びせん断余裕度の不足」に起因すると考え本試験のパラメータを設

定したが、全ての試験体で木材の破壊は生じなかったことから、原因は別にあると考えれるため、本試験にて別のパラメータを設定し、再度脆性破壊の原因を探った。

(a)PC鋼棒の破断・変形　　(b) 木材端部でのめり込み変形

図５．損傷状況（予備試験）

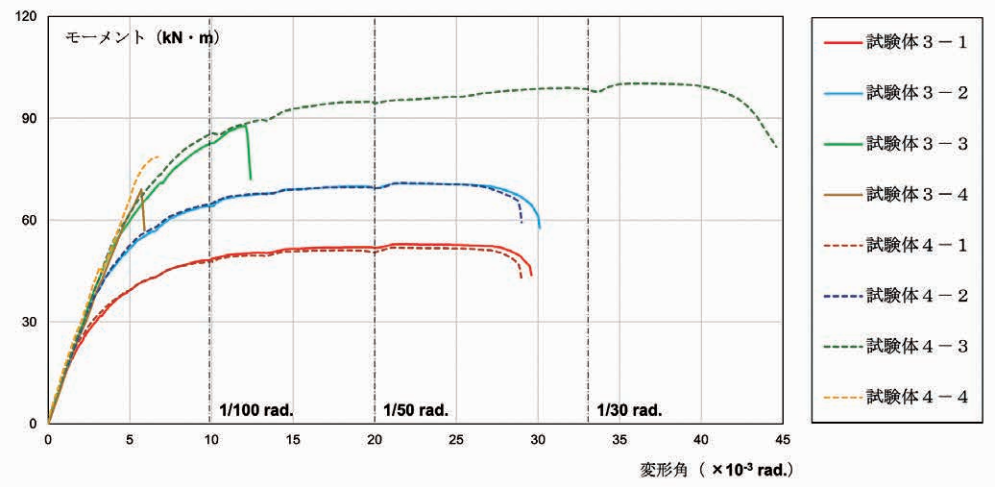


図６．包絡線まとめ（予備試験）

表３．各種特性値の算出結果（予備試験）

	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1	4-2	4-3	4-4
初期剛性 K（kN・m/rad.）	10258	12082	13374	13067	11549	12132	12165	13505
折れ点変位 θv（×10^{-3} rad.）	4.88	5.56	5.80	4.86	4.24	5.56	7.79	ー
終局モーメントMu（kN・m）	50.0	67.2	77.5	63.5	49.0	67.4	94.7	ー
塑性率 μ	6.1	5.4	2.1	1.2	6.8	5.2	5.7	ー
構造特性係数 Ds	0.30	0.32	0.55	0.84	0.28	0.33	0.31	ー

２．パラメトリック試験（本試験）

試験結果に関し損傷状況、包絡線、構造特性係数等の算出結果をそれぞれ図７、図８、表４に示す。

損傷状況については、PC鋼棒径がφ9.2、φ11と比較的細径のものとなる試験体3-1、3-2、4-1、4-2については、PC鋼棒ネジ部での破断が生じていた。その他の試験体については、緊張材周りでの割裂が生じたことを確認した。昨年度の試験体は今回設定した割裂余裕度が１程度または１よりやや下回っていたため、これが原因であると推測される。また、施工用に設けた断面欠損の有無による破壊形式および包絡線に大きな違いは見られなかったため、今回のケースにおいては断面欠損の有無による影響はほとんど無いと考えられる。

(a)PC 鋼棒の破断状況　　(b) 緊張材周りでの割裂

図７．損傷状況（本試験）

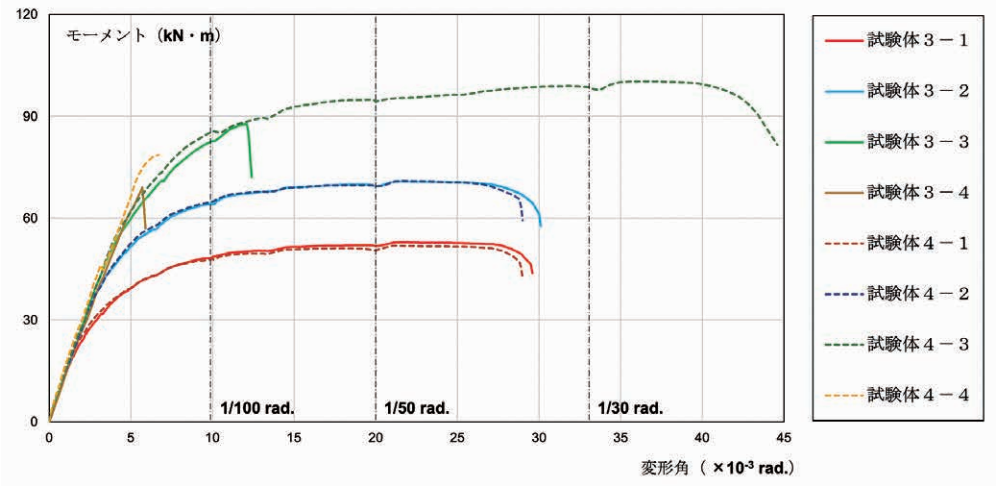


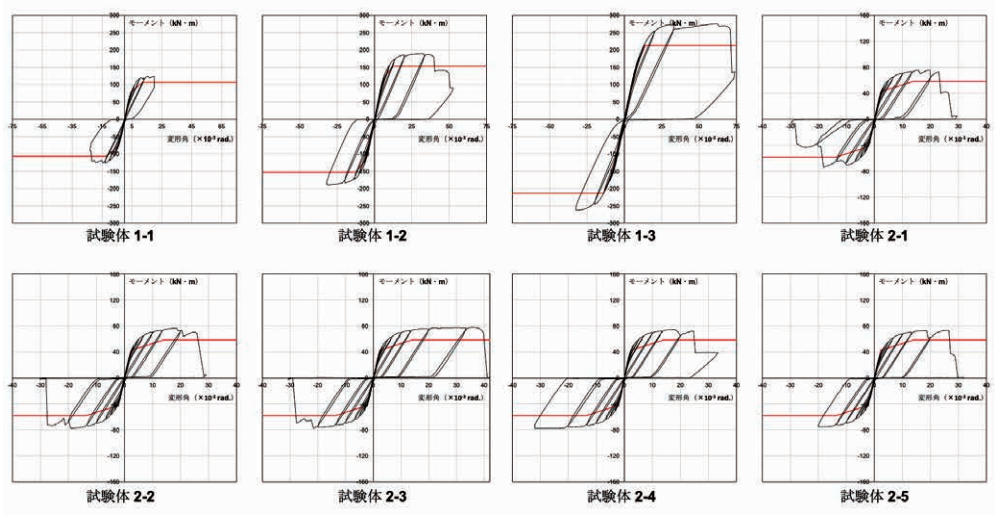
図８．包絡線まとめ（本試験）

表４．各種特性値の算出結果（本試験）

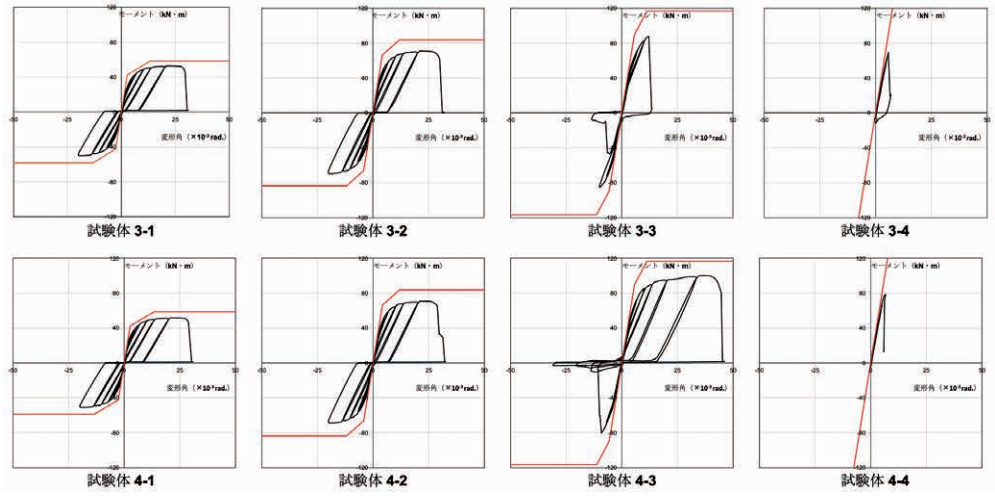
	3-1	3-2	3-3	3-4	4-1	4-2	4-3	4-4
初期剛性 K（kN・m/rad.）	10258	12082	13374	13067	11549	12132	12165	13505
折れ点変位 θv（×10^{-3} rad.）	4.88	5.56	5.80	4.86	4.24	5.56	7.79	ー
終局モーメントMu（kN・m）	50.0	67.2	77.5	63.5	49.0	67.4	94.7	ー
塑性率 μ	6.1	5.4	2.1	1.2	6.8	5.2	5.7	ー
構造特性係数 Ds	0.30	0.32	0.55	0.84	0.28	0.33	0.31	ー

３．設計式の妥当性検証

実験値と設計値の比較として、M-θ関係を図９に示す。図９より、理論式により剛性の評価は精度よく再現できているが、耐力については予備試験ではやや低めに、本試験ではやや高めに評価している結果となった。原因の一つとしてPC鋼棒の材料強度のバラツキが考えられるが、今後他の原因についてもより詳細に分析する必要がある。



(a) 予備試験



(b) 本試験４

図９．設計値と実験値の比較（M-θ関係）

４．品質管理（製造、施工）方法の検討

・集成材の下穴加工

→集成材製造後に端部のみに下穴を設ける案にて試験体の施工を行ったが、今回のケースに関しては問題なく施工することができた。これにより、加工可能な集成材製造工場が増えるため、コスト削減に繋がると考えられる。

・金物の取り付け方法

→LSB にPC 鋼棒を挿入した状態でLSB を施工する案にて試験体の施工を行ったが、今回のケースに関しては問題なく施工することができた。これにより、木材の断面欠損が低減されるため、木材破壊のリスクを小さくすることができると考えられる。

今後の課題・展開等

●予備試験および本試験について

昨年度試験の脆性破壊の原因究明および靭性向上を目的として、試験体のパラメータを設定し、予備試験および本試験を行った。脆性破壊の原因は「割裂耐力の不足」と考えられ、これを改善したことにより構造特性係数は0.30程度と靭性を大きく向上することができた。よって、本工法を実用化するために必要な木材、LSB,PC鋼棒の強度バランスを設定できたと言える。一方、今回の結果は限定された木材断面・金物仕様のものであるため、工法評定を取得するためには、より多くのパラメータを設定し試験をする必要がある。

●設計式の妥当性検証について

昨年度と同様に、剛性については試験結果を精度よく評価することができたが、耐力については昨年度とは異なり、ややばらつく結果となった。原因の一つとしてPC鋼棒の材料強度のバラツキが考えられるが、次年度はPC鋼棒の材料強度の確認とPC鋼棒に作用する荷重値の計測の他、他の要因についても検証を行う必要がある。

●品質管理（製造、施工）方法の検討について

本年度は、集成材の下穴加工および金物の取り付け方法について重点的に検討を行った。集成材の下穴加工については集成材製造後に端部のみに下穴を設ける案を、金物の取り付け方法についてはLSBにPC鋼棒を挿入した状態でLSBを施工する案を考え、それぞれ予備試験および本試験の試験体を用いて、試験施工を行ったが、両案とも問題なく施工することができた。これにより、コスト削減や構造性能の向上が見込まれる。一方、予備試験および本試験と同様に、今回の結果は限定された木材断面・金物仕様のものであるため、様々なパターンでも適用可能か否か検証していく必要がある。

事業

令和3年度木材製品の消費拡大対策のうち 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の開発及び難燃性能の統合的評価

● 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

木材製品の需要を拡大していく為には、非住宅建築物やエクステリヤ等の外構材での利用を促進していくことが必須である。一方、屋外で使用する場合は、長期間の難燃、防腐、防蟻性能が求められるが、これまでに屋外暴露3年に相当する室内試験方法（JIS A 1326：2019）は確立しているので、今後は、5年10年という長期間屋外暴露させた木材の状態把握と同等な劣化度合い得られる室内試験方法を策定する必要がある。

本事業では、長期的（目標10年）な難燃性能の維持を化学的データにより明らかにすることであるが、これまでに実施した、燃え広がり試験JIS A 1310：2019やSBI試験（EN13823）の燃焼試験では、多くの木材を必要とすることから、少量で比較的短時間で試験できる方法を探索することも必須である。

今回は、難燃薬剤4製品について、少ない材料で燃焼試験が実施できる表面火炎伝播試験（ISO5658-2）と低発熱コーンカロリーメーター試験（ISO5660-4）を室内試験方法で劣化させた木材に対して実施して、それぞれの難燃処理薬剤の性能とこれまでに実施した燃焼試験との相関性を確認して、難燃処理薬剤の外構材への採用を図り、以って、木材製品の需要拡大を図ることを目的とする。

実施した項目

1．難燃薬剤処理木材の難燃性能試験

1）促進劣化試験（JIS A 1326：2019）
2）表面火炎伝播試験（ISO5658-2）
3）低発熱コーンカロリーメーター試験（ISO5660-4）
4）難燃薬剤溶脱試験（促進劣化試験（JIS A 1326：2019）による）

2．委員会および、部会の開催

1）第1回委員会（2022年5月12日）
2）第2回委員会（2023年2月7日）
1）第1回部会（2022年7月27日）
2）第2回部会（2023年2月7日）

実施体制

公益社団法人日本木材保存協会に事務局を置き，当協会の今村祐嗣参事を委員長とし、下記委員により委員会を構成して事業を推進した。

また、部会を組織して、実施する試験内容の精査と結果について検討し、委員会に報告した。

委員会

委員長：　今村祐嗣（京都大学名誉教授）
委　員：　鮫島正浩（東京大学名誉教授）
　　野口貴文、吉岡英樹（東京大学）
　　兼松学（東京理科大学）
　　木口実、毛利喜一（日本大学）

上川大輔（森林総合研究所）
趙玄素、西尾悠平（建築研究所）
早川哲哉（㈱東京システムパック）
杉山和正（㈱プラセラム）
山口秋生、内藤俊介（越井木材工業㈱）
手塚大介、五十嵐盟（兼松サステック㈱）
須貝与志明、茂山知己（㈱ザイエンス）

部会

部会長：　上川大輔（森林総合研究所）
部会員：　大宮喜文（東京理科大学）
杉山和正（㈱プラセラム）
福田泰孝（ベターリビング）
道田　涼（㈱オーシカ）
山口秋生（越井木材工業㈱）
高瀬　椋（森林総合研究所）
事務局：　鈴木昭，山本幸一，小林理恵

実施した内容

1．第１回委員会（５月12日、オンライン会議）

事業目的の確認および、試験の実施内容と実施機関、時期等の概要を決定した。

2．第１回部会（2022年７月27日）（対面とオンライン会議）

委員会で試験内容の概要が示された事を受けて、具体的な実施内容を決定し、事務局に実施を指示した。

3．促進劣化試験体固定用の枠の製作

㈱ソーケン（草加市）にて、３体（４㎡/体）分を製作した。

4．促進劣化試験

1）表面火炎伝播試験用

（一財）建材試験センター中央試験所にて、難燃薬剤処理した４種類の試験材料の重量を測定した後、11月10日（実施期間は27日間）より、試験材料を試験体固定用の枠に縦に取り付けて実施した。なお、促進劣化前の重量は、試験材料提供者により測定されている。

2）難燃薬剤溶脱試験（促進劣化試験（JIS A 1326：2019）による）用

同所にて、１種類の難燃薬剤処理した試験体について、処理薬剤の脱落状況を確認する為、12月９日、１月11より、試験前重量を測定した後、試験を開始した。

5．表面火炎伝播試験

（一社）電線総合技術センター（JECTEC）において１月10日～14日　に実施した。なお、促進劣化を行わなかった木材についても実施した。

6．低発熱コーンカロリーメーター試験

㈱東京システムパックにて、１月11日～18日に実施した。
試験は、促進劣化を行わなかった試験体についても実施した。

7．第２回分会開催（2023年２月７日、対面とオンライン会議）

事業報告書の内容と今後の取り組み課題を検討し委員会に提案した。

8．第２回委員会（2023年２月７日、オンライン会議）

事業の実施状況および、各試験の結果が事業報告書概要版で説明し、了解された。最終版の制作に向けて、内容、体裁及び誤字脱字を確認して製本する。

試験材料の仕様等

試験材料は、全てスギの無垢材とし、寸法（㎜）は、長さ1,000、幅120、厚さ18で、各６枚を促進劣化した。

図１は促進劣化試験装置概要図で、試験体の左面を劣化させるもので、図２は試験体の取付け状況を示し、４種類６枚の試験材料を左から試験機号K、Z、ka、Pの順に縦に取り付けた。写真１は劣化促進試験の内、乾燥過程を示し、

写真２は、薬剤溶脱試験（促進劣化試験（JIS A 1326：2019）による）用材料の枠への取り付け過程で、横取り付けとした。写真３は、表面火炎伝播装置と燃焼試験中で、写真４はラージコーン試験装置と燃焼試験である。

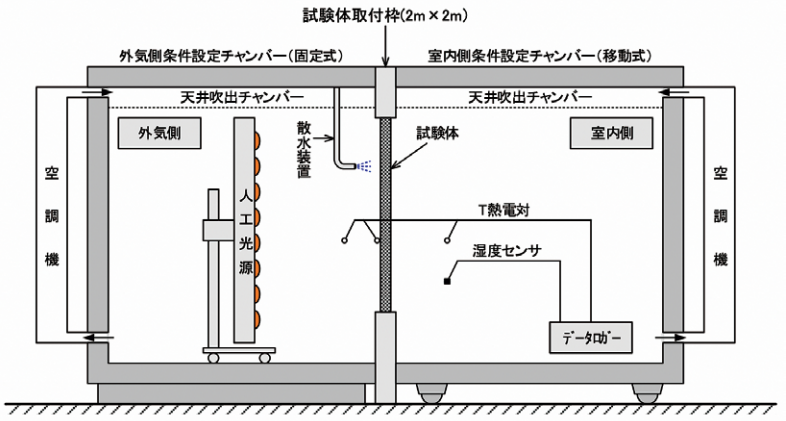


図１促進劣化試験装置概要図

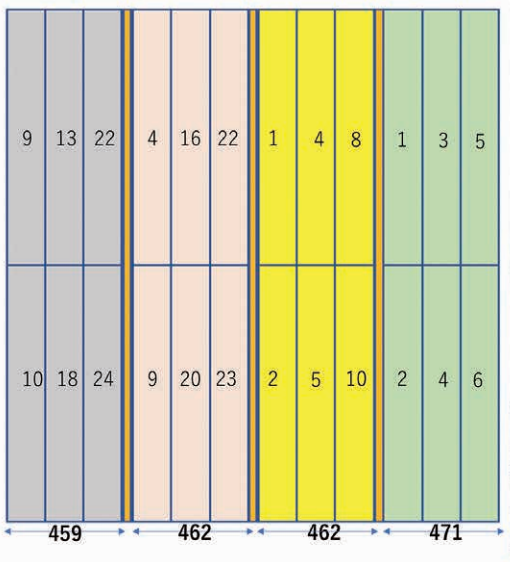


図２ 試験材料取り付け位置図

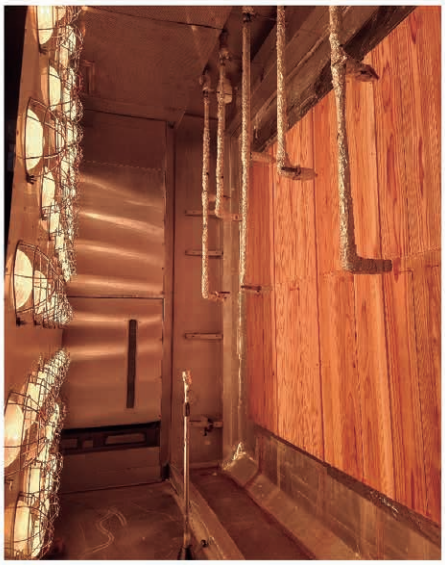


写真１ 促進劣化試験

写真２ 薬剤溶脱試験材料の枠取り付け過程

写真３　火炎伝播試験（ISO5658-2）装置と燃焼試験

写真４　ラージコーン試験装置と燃焼試験

実施した結果

○表面火炎伝播試験結果

試験体	難燃薬剤の吸収量 (kg/m³)	CFE (kW/m²)	火炎伝播距離 (mm)	Qsb (MJ/m²)
K 促進劣化有り横張	124	16.8	410	0.484
促進劣化無し横張		50.0	0	N.C.
Z 促進劣化有り横張	130	50.3	50	N.C.
促進劣化無し横張		34.9	270	0.428
Ka 促進劣化あり横張	182	39.9	230	0.563
促進劣化無し横張		50.2	80	N.C.
P 促進劣化有り横張	473	50.0	0	N.C.
促進劣化無し横張		50.0	0	N.C.
無処理横張 1		6.8	530	0.553
無処理横張 2		8.0	510	0.611

N.C.：計算不可(Not Calculable)

火炎伝播距離は、吸収量に比例してることは、当然の結果であった。なお、Zについては、K、Ka と比べ逆転した結果となったが、試験では４秒未満で鎮火した場合は、測定の対象外としているので、この結果である。Pでは、難燃剤の吸収量が多かった為、促進劣化後の材料でも難燃性能を維持した。

図３、４は、試験材料の試験期間中の表面温度の変化を時系列で示し、表面温度は散水により下がり、乾燥過程で上昇することが分かる。

写真５、６は、いずれも燃焼して炭化したように見えるが、写真６の促進劣化無しの試験材料では、着火していない。

写真８～11は、促進劣化試験結果で、試験後の表面の一部分で、全てで何らかの影響を受けていた。

○低発熱コーンカロリーメーター試験結果（単位：20分・MJ/m²）

	K	Z	K a	P	スギ無処理
総発熱量	※	※	10	6	※
最高発熱速度	85	175	110	80	180

※ 20 MJ/m²スケールオーバー

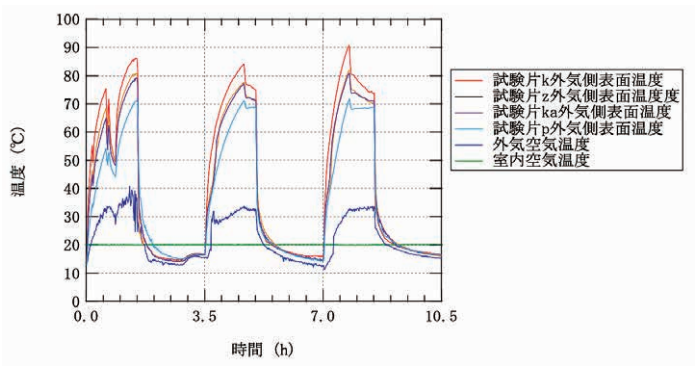


図３試験材料外気表面温度（スタート時～10.5時間）

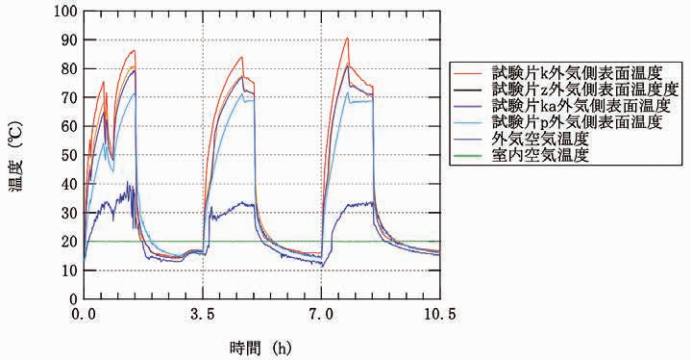


図４試験材料外気表面温度（619.5～終了時）

写真５　促進劣化有り横(K)

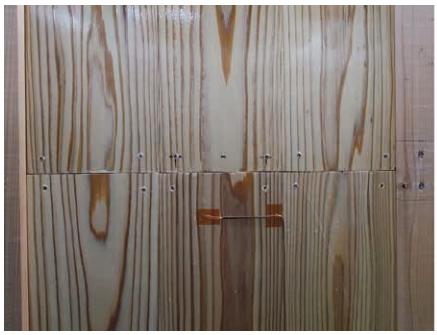
写真６　促進劣化無し横(K)

写真７　無処理スギ横

a) 促進劣化試験前

b) 促進劣化試験後

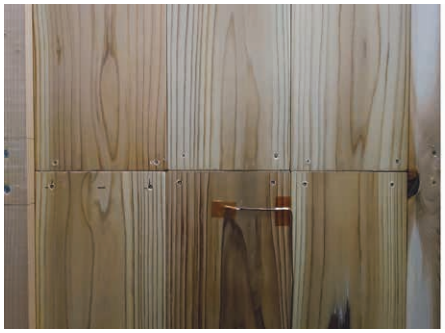
写真８　促進劣化試験前後の試験体表面外観（材料記号k）



a) 促進劣化試験前

b) 促進劣化試験後

写真９　促進劣化試験前後の試験体外観（材料記号Z）



a) 促進劣化試験前　　b) 促進劣化試験後

写真 10　促進劣化試験前後の試験体外観（材料記号 ka）

a) 促進劣化試験前　　b) 促進劣化試験後

写真 11　促進劣化試験前後の試験体外観（材料記号 P）

今後の課題・展開等

外構材として使用される木材の劣化は、日照時間が長い南面側が特にひどく、この南向きで３年間屋外暴露させた難燃処理木材の劣化と促進劣化試験（JIS A 1326：2019）で劣化させた木材の劣化の相関は明らかになっている。

この度の事業では、実用場面では、難燃、防腐・防蟻処理して塗装処理を施工されると思われるが、難燃と塗装処理した材料について、試験した２種類の実験結果が、これまでに実施した燃焼試験のデータを基に、相関関係を確認したところ、今回は認められたので、さらに確認試験を実施して、相関関係を確立していく必要がある。

一方、室内暴露試験は、屋外暴露３年相当までであり、今後、外構材として需要を拡大していくためには、屋外暴露５年以上での劣化の確認と同等に劣化させることの出来る室内試験方法を確立する必要がある。

その為には、先ずは、屋外暴露５年の試験に着手する必要があるが、一方で例えば、試験サイクルを180 回以上で実施して、先行して３年以上の劣化状態を把握する為の調査・研究をする必要がある。

また、燃焼試験にはいくつかの種類が有り、必要とする試験体の量は大きく異なる。その為、それらの試験結果を調査して、少ない材料で試験できる方法との相関関係を調査することも重要な課題となる。

事業

CLTパネルのリユースを実施するための性能評価手法の検討

● 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

建築物に半年間使用した CLT のリユースを可能とするため、建築物の構造部材として荷重が半年間載荷された CLT を対象として、強度性能に影響がないか検討するとともに、リユース前に材料性能を簡便に確認するための検査方法を開発、提案する。

リユースの可否を簡易に確認できる方法を示すことができれば、CLT のリユースを円滑に行うことができるようになる。リユースという新たな手法が浸透することにより、仮設建築や時限建築などの用途が広がることも期待できる。

また、建築物に使用される木材のライフサイクルにおいても、リユースの手法が整えば、CLT を長期に使用し続けることができ、森林において吸収した二酸化炭素を長く固定することができる。

実施した項目

検討委員会を設置して、昨年度に得られた知見と課題をもとに、以下の①～③の項目を実施した。

①屋内環境における長期載荷試験

仮設建築においてCLTが壁や床等に半年間使用される状況を想定して、強度性能に影響を及ぼすかどうか調べるために、半年間の載荷試験を行った。昨年度の結果では、曲げ試験では面外・面内加力ともに強度低下の傾向が見られたが、試験体数が少なく、ばらつきも大きかったため、再度検証することとした。せん断試験では面外・面内加力ともに載荷による強度低下は見られなかったため、今年度は実施しなかった。縦圧縮試験では載荷による強度低下は見られなかったが、すべての試験体が面内方向に座屈破壊したため、今年度は壁部材として想定される面外方向に座屈破壊するように試験体寸法を調整して再度検証することとした。

②半年間の載荷履歴が材料性能に及ぼす影響の検討

昨年度に引き続き、半年間の載荷履歴のある試験体（以下、載荷試験体と呼ぶ）と載荷履歴のない試験体（以下、無載荷試験体と呼ぶ）を対象に実大強度試験を行い、載荷履歴が材料強度に及ぼす影響を調べた。今年度は、強度のばらつきを抑えるために、ラミナのヤング係数の範囲を狭めるとともに、試験体の純曲げ区間に配置されるたて継ぎ部の位置や個数を制御した試験体を用意した。

③リユースCLTの簡便な検査方法の検討

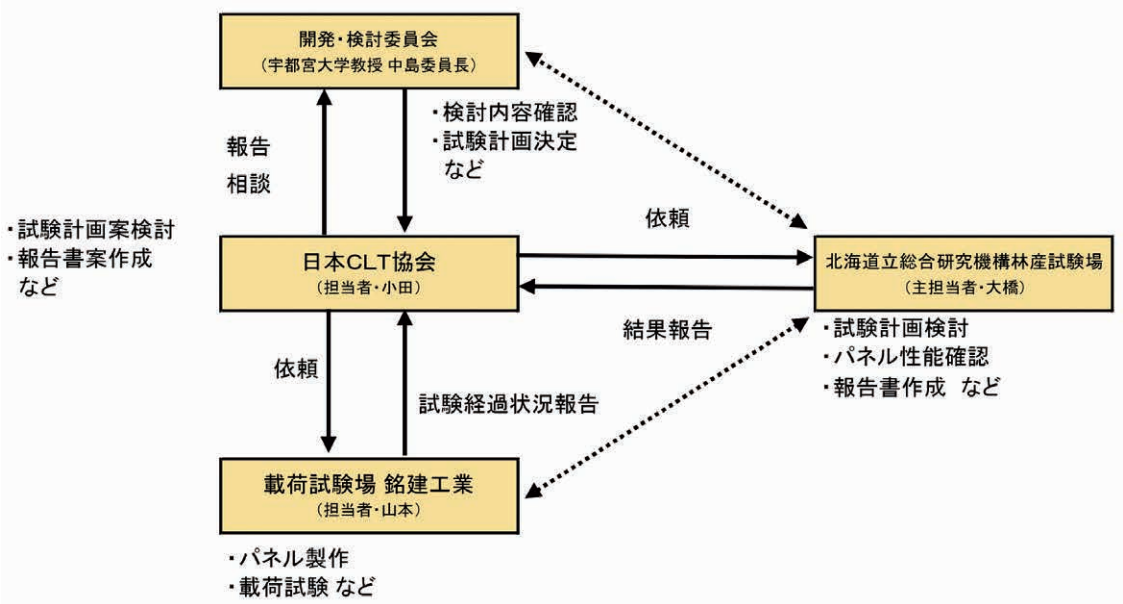
CLTはラミナを直交積層していることが最大の特徴であり、施工期間の短期的な水掛かりや供用期間の温湿度変動により、含水率変動と膨潤収縮が生じると、直交層付近の接着層付近に内部応力が生じることが想定される。当然ながら、供用中には積載荷重や外力によって許容応力度以下の応力も生じる。仮設建築として供用した後、リユースする場合には、それらの応力履歴がCLTの材料性能を低下させていないことを確かめる必要がある。CLTの材料性能は多岐にわたるが、構造材料としての特徴を考慮しながら、検査方法の簡便さやリユースの効率性を求める場合、直交層付近の接着性能および直交層のせん断強度について、応力や含水率変動の影響が大きいと考えられる部位から小試験片を採材して接着剥離試験およびブロックせん断試験で検査すればよいと考えられる。

次に、リユースCLTの接着性能やせん断強度を検査する実施方法については、まずはCLTの製造時と解体時の性能を比較して判断する方法が考えられる。しかしながら、製造時の性能を遡求することは現状の製造ロットの品質管理や施工管理体制では実施困難である。そこで、適正に製造されたCLTが保有する初期性能の判定基準を設定し、解体時においてもその基準をクリアすれば、載荷履歴を受けても十分な性能が維持されているものとして、リユースしてよいと判断できる。

以上の考えに基づいて、昨年度は、種々の条件で接着剥離試験とブロックせん断試験を行った。接着剥離試験については、種々の試験片サイズや採取方法を試みたが、現行サイズ（75㎜角）と判定基準をそのまま採用するのが妥当であることが確かめられた。ブロックせん断試験については、種々の試験片サイズや加力方法を試みたところ、直交加力よりも45度加力、せん断面積は25×25㎜より大きなサイズで実施するほうがせん断強度を安定的に評価できることが明らかとなった。しかし、現行規格では、ブロックせん断試験の判定基準が木破率しか定められていないため、今年度は、種々の材質のスギラミナを用いてブロックせん断試験を行い、強度基準値の設定を検討することとした。

実施体制

事業の実施体制図



【CLTリユース委員会】

委員長	中島　史郎（国大）	宇都宮大学　教授
委　員	森　　拓郎（国大）	広島大学　准教授
	宮武　　敦（国研）	森林研究・整備機構　森林総合研究所　研究専門員
	宮本　康太（国研）	森林研究・整備機構　森林総合研究所　室長
	大橋　義徳（地独）	北海道立総合研究機構　林産試験場　研究主幹
	宮崎　淳子（地独）	北海道立総合研究機構　林産試験場　主査
	高梨　隆也（地独）	北海道立総合研究機構　林産試験場　研究主任
事務局	坂部　芳平、中越　隆道、小田　祐二、谷口　翼	（一社）日本CLT協会

実施した内容

1.　屋内環境における長期載荷試験

仮設建築においてCLTが壁や床等に使用される状況を想定して、半年間の長期載荷試験を行った。載荷試験は岡山県真庭市にある銘建工業の工場内で、空調設備のない試験環境で約６か月間（2022年６月～12月）行った。

試験用CLTはスギラミナ（断面寸法は30×122㎜）と水性高分子-イソシアネート系接着剤を用いて製造されたものであり、５層５プライ（150㎜厚）、強度等級S60とした。試験体はマザーボード４枚（幅3.0m×長さ4.0m）から無載荷試験体、載荷試験体を強軸方向に採材した。試験体間の強度のばらつきを抑えるために、曲げ試験の荷重点間のすべての強軸方向ラミナにたて継ぎが配置されるように留意して製造と採材を行った。

面外曲げ載荷試験は、試験体幅300㎜、スパン3000㎜とし、鉄骨による載荷荷重は長期許容曲げ応力度に相当する873kgとした（写真1）。面内曲げ載荷試験は、試験体幅180㎜、スパン3000㎜とし、鉄骨による載荷荷重は長期許容曲げ応力度に相当する490kgとした（写真2）。たわみ制限により設定した昨年度よりも荷重レベルを大きくするために鉄骨を増量した。

縦圧縮載荷試験は、昨年度の結果を踏まえて、面内方向に座屈しないように試験体幅を２倍の100㎜とした。面外方向の細長比は23.1、座屈長さは1000㎜とし、載荷荷重は試験体１体あたり2754kgとした。地震等の横揺れが起きても倒壊せずに自立するような鉄骨フレームを組み立てて、４体の柱状試験体に載荷した。昨年度より試験体断面が大きくなったために鉄骨を増量した（写真3）。

写真１　面外方向載荷試験

写真２　面内方向載荷試験

写真３　縦圧縮載荷試験

2.　半年間の載荷履歴が材料性能に及ぼす影響の検討

半年間の載荷試験体と無載荷試験体を対象に実大強度試験を行った。面外曲げおよび面内曲げ試験は、スパン3000㎜の３等分点４点荷重方式で行った（写真４～5）。無載荷試験体および載荷試験体ともに各６体とした。縦圧縮試験は、両端を試験体の面外方向のみに回転するようなピン条件で行った（写真6）。無載荷試験体および載荷試験体ともに各４体とした。

いずれの試験においても、無載荷試験体は載荷試験体と同一環境に半年間静置し、強度試験はどちらも同じ時期に実施した。

写真４　面外曲げ強度試験

写真５　面内曲げ強度試験

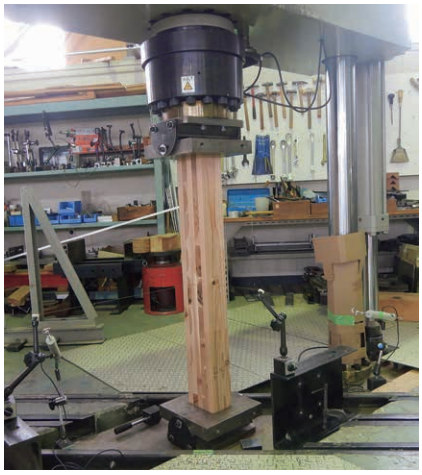


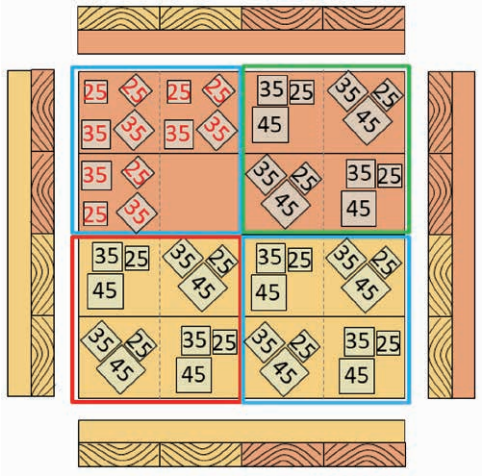
写真６　縦圧縮強度試験

3.　リユースCLTの簡便な検査方法の検討

3.1　ブロックせん断試験の試験条件と強度基準値の検討

ブロックせん断試験の強度判定基準を検討するため、種々の材質のラミナを用いたブロックせん断試験を行った。

スギCLTを代表する基準値を求めるために、ブロックせん断試験片は、できるだけ幅広い材質のラミナを組み合わせる必要があるが、実大CLTから採材すると、ラミナの材質を詳細に把握することが難しくなる。とりわけ、ブロックせん断強度は密度の影響が大きく、特にスギは産地によって密度が異なるため、複数の産地からラミナを調達した。ヤング係数と密度を厳密にコントロールしながら、図１に示すような直交積層モデル試験体（2層・約45㎝角・ラミナ厚30㎜）を製作し、種々の条件でブロックせん断試験片を採取した。試験片のパラメータを以下に示す。



※図中の寸法値はせん断面積の大きさを示す
※橙色ラミナは木表面、黄色ラミナは木裏面で接着している

図１　直交積層モデル試験体と
ブロックせん断試験片の採材図

- スギ産地＝北海道産・東北産・中国地方産・南九州産
- ラミナ材質＝ヤング係数・密度
- せん断面積＝25×25㎜・35×35㎜・45×45㎜
- 加力方向＝直交方向・45度方向

ブロックせん断試験は、写真7に示す試験治具を用いてイス型試験片により行った。写真8では、直交加力と45度加力の破断面の違いを示しており、前者では木部のローリングシア破壊が生じやすいのに対して、45度加力では接着層に近い部分での木破が生じやすくなる。昨年度の結果より、得られるせん断強度は、45度加力のほうが高く、ばらつきが小さくなること、せん断面積が25㎜角よりも50㎜角のほうが低く、ばらつきも小さくなることが明らかとなっている。一方、リユースCLTの検査をCLT工場で実施する場合には、工場が保有する試験設備の加力容量や加力治具のサイズ、試験片を製作する労力なども考慮しなければならない。今年度は、現行多用されている25㎜角のほか、35㎜角と45㎜角で検討を行った。

写真7　ブロックせん断試験

写真8　せん断破壊の様子

3.2　検査方法の提案

昨年度と今年度の試験結果をもとに、小試験片でもCLTの強度性能や接着性能を安定的に評価できる検査方法を検討し、概要をとりまとめた。

実施した結果

1.　屋内環境における長期載荷試験

載荷期間に計測した工場内の温湿度を図2に、高周波式含水率計による含水率、スパン中央のたわみ量の一例を図3～4に示す。昨年度と同様に、載荷後の梅雨から夏季を経て湿度が80%近くまで上昇した後、秋季から冬季に向かって湿度が40%まで低下したが、クリープ変形は初期に増大してからさほど進行しなかった。また、除荷直後には初期変形に相当する量のたわみが回復することも確かめられた。昨年度と同様に今年度も、急激な

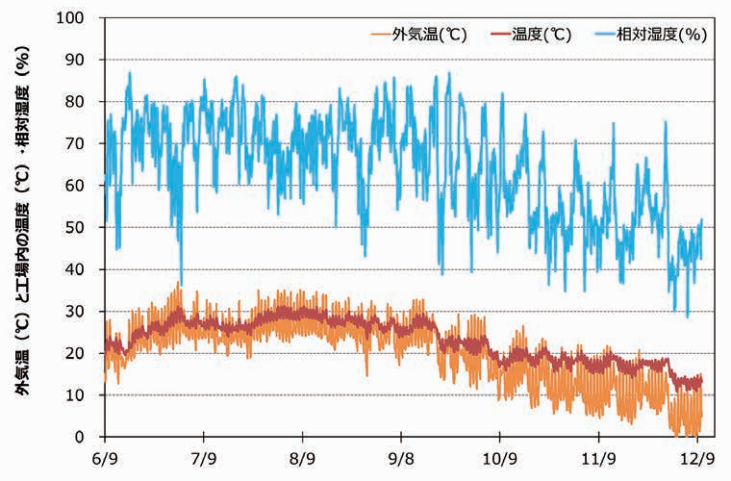


図2　載荷試験環境における温湿度の変動

含水率変動が少ない温湿度環境であり、地震等の揺れもなく、適切な載荷状態が維持されていたことが確かめられた。

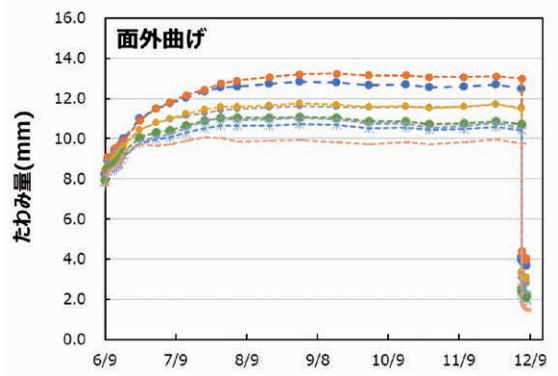


図３　高周波式含水率の変動
（面外曲げ試験）

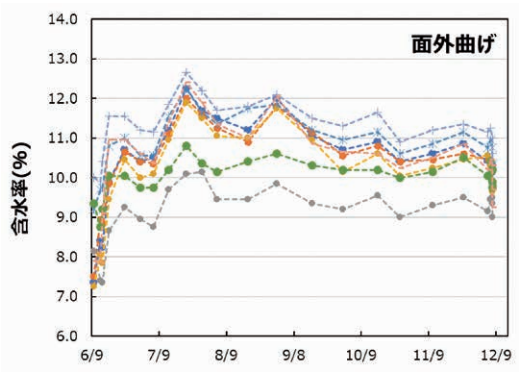


図４　スパン中央のたわみ量の挙動
（面外曲げ試験）

2.　半年間の載荷履歴が材料性能に及ぼす影響の検討

面外曲げおよび面内曲げ強度試験の結果を表１および図５～６に示す。曲げ強度の平均値で比較すると、面外・面内ともに載荷試験体は無載荷試験体と同等以上であり、昨年度よりも長期載荷の荷重レベルが大きくなったが、半年間の載荷による影響は認められなかった。なお、今年度は、たて継ぎが試験体の中央部に集中するように製造したため、すべての試験体で荷重点間に配置されたたて継ぎで破壊し、曲げ強度は昨年度より低い値を示したが、面外・面内ともに下限値が基準強度を上回った。

縦圧縮試験の結果を表１および図７に示す。今年度は、試験体幅を昨年度の２倍に広げたため、１体を除いて面外方向の座屈で破壊した。載荷の有無を平均値で比較すると、載荷試験体は無載荷試験体とほぼ同等であり、半年間の載荷による影響は認められなかった。

以上の結果から、面外曲げ、面内曲げ、縦圧縮強度は、半年間の載荷履歴があっても影響を受けず、低下しないことが明らかとなった。

表１　面外曲げ・面内曲げ・縦圧縮試験の結果

	面外曲げ				面内曲げ				縦圧縮	
	載荷なし		載荷あり		載荷なし		載荷あり		載荷なし	載荷あり
	強度	*E*	強度	*E*	強度	*E*	強度	*E*	強度	強度
	N/mm^2	kN/mm^2	N/mm^2	kN/mm^2	N/mm^2	kN/mm^2	N/mm^2	kN/mm^2	N/mm^2	N/mm^2
平均値	18.5	5.74	18.6	6.07	15.1	4.33	16.9	4.67	18.5	19.0
標準偏差	3.0	0.22	2.4	0.14	1.0	0.30	1.1	0.13	0.6	0.3
変動係数	16.2%	3.9%	12.7%	2.4%	6.5%	7.0%	6.8%	2.7%	3.1%	1.5%
5%下限値	13.9		14.0		11.3		12.6		13.8	14.3
計算平均値	13.9		13.9		13.0		13.0		13.0	13.0
計算下限値	10.4		10.4		9.7		9.7		9.7	9.7

※*E*：見かけの曲げヤング係数

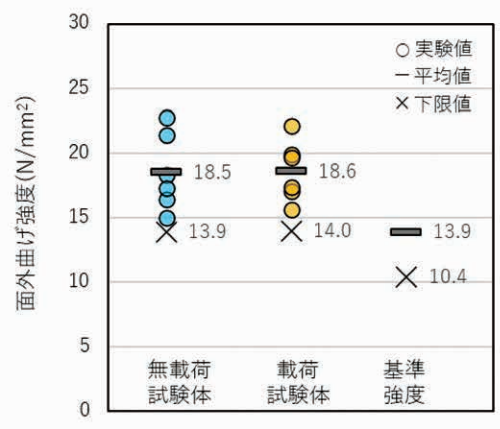


図５　面外曲げ試験結果

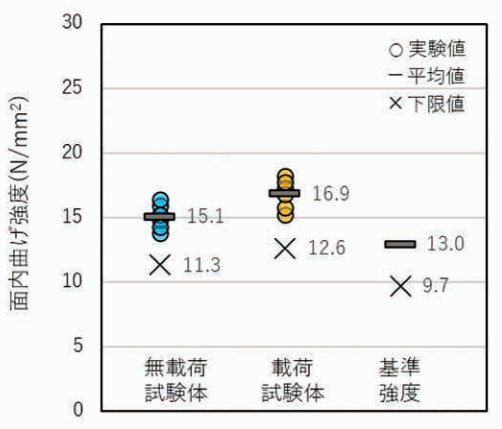


図６　面内曲げ試験結果

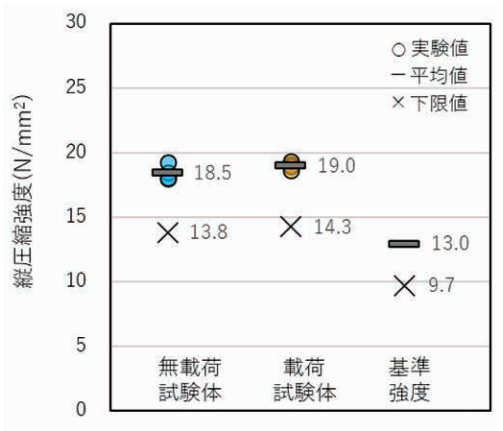


図７　縦圧縮試験結果

3.　リユースCLTの簡便な検査方法の検討

3.1　ブロックせん断試験の試験条件と強度基準値の検討

ブロックせん断試験の結果について、４つのラミナ産地を統合して表２および図８に示す。まず、せん断面積の違いについては、直交加力の25㎜角を除いて、平均値やばらつきに顕著な差は見られなかった。ブロックせん断試験では、せん断面に節が存在すると高い強度を示す傾向があるため、25㎜角のようにせん断面積が小さいと節の影響が大きくなり、ばらつきが大きくなると考えられる。35㎜角と45㎜角では得られる強度の平均値やばらつきに顕著な差はなく、せん断面積としては破壊荷重と試験片サイズの小さな35㎜角が妥当であると考えられる。

次に、加力方向の違いについては、昨年同様、45度加力のほうが直交加力よりもせん断強度が高く、ばらつきも小さくなった。また、図９に示すように試験片密度との関係は、45度加力のほうが高い相関を示した。直交加力の場合、隣接するラミナ２層のうち、せん断加力に対して繊維方向が90度となるラミナのローリングシアによって強度が決まるのに対して、45度加力の場合、繊維方向に対して45度で抵抗する上、隣接ラミナ２層で荷重を分担するため、ばらつきも抑えられると考えられる。

今回の結果から強度基準値を設定する上では、直交集成板の基準強度との関係も考える必要がある。建築基準法が定める基準強度のうち、積層方向のせん断強度（面外せん断強度）については、ラミナの横引張強度をもとにスギでは0.9N/㎟と定められている。直交加力によるブロックせん断強度は、直交層ラミナのローリングシア破壊によるものであり、積層方向のせん断強度が想定する破壊形態に近い。今回の試験結果（表２）においても、産地や密度に関わらず、すべての試験片が0.9N/㎟を上回っており、直交加力の35㎜角および45㎜角の統計的下限値（0.88）とほぼ同等でもあることからも強度基準値として妥当と考えられる。一方、45度加力によるブロックせん断強度は、ねじりせん断

強度に近い値が得られるとの報告もあるが、幅方向のせん断強度（面内せん断強度）との関連づけはなされていない。

以上より、ブロックせん断試験の強度基準値としては、直交加力と35㎜角サイズで試験をしたときに0.9 N/㎟と設定することとした。

表２　ブロックせん断試験結果（４産地の合計）

ブロックせん断強度 (N/mm²)						
加力方向	直交			45度		
サイズ	25㎜角	35㎜角	45㎜角	25㎜角	35㎜角	45㎜角
試験体数	216	216	216	216	216	216
最大値	11.02	5.88	5.86	8.23	9.21	9.39
平均値	2.74	2.65	2.76	4.03	4.14	3.87
最小値	1.12	1.02	1.00	1.87	1.63	1.72
標準偏差	1.30	1.03	1.09	1.36	1.47	1.35
変動係数	48%	39%	40%	34%	35%	35%
5%下限値	0.49	0.88	0.88	1.69	1.62	1.55

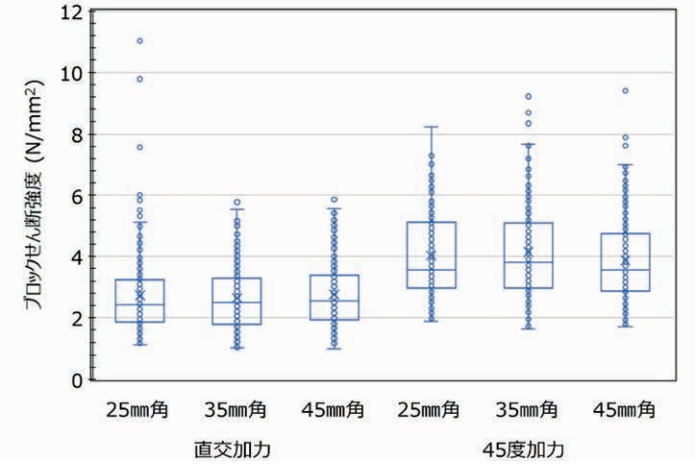


図８　ブロックせん断強度（４産地の合計）

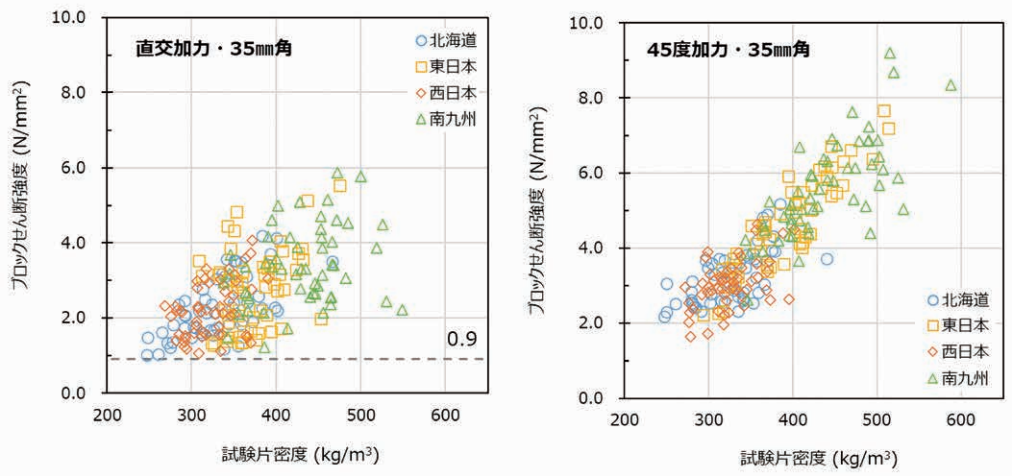


図９　ブロックせん断強度と試験片密度の関係（35㎜角）

3.2　検査方法の提案

昨年度と今年度の検討結果を踏まえて、リユースCLTの接着性能や強度性能を簡便かつ効率的に評価する検査方法をまとめた（図10）。以下の２つの方法により直交層付近の接着性能とせん断強度を検査することとした。

①接着性能：直交集成板の日本農林規格で定められている接着剥離試験に準拠し、75㎜角の試験片を採取して、屋内環境を想定した減圧加圧処理を行い、接着層の剥離率を算出する。全ての直交接着層の剥離率が10％を超える場合、または同一接着層の剥離率が40％を超える場合は構造部材としてのリユースを控える。

②強度性能：直交集成板の日本農林規格で定められているブロックせん断試験に準拠し、せん断面積を35×35㎜として直交加力試験を行い、せん断強度と木部破断率を算出する。せん断強度が0.9N/㎟未満の場合、または木部破断率が70％未満の場合は構造部材としてのリユースを控える。

なお、今回の検査方法を適用できるリユースCLTとは、以下の条件に合致したCLTのみである。

①屋内の乾燥環境で使用されたCLT

②許容応力度以下となる設計荷重で半年間供用されたCLT

③スギCLT

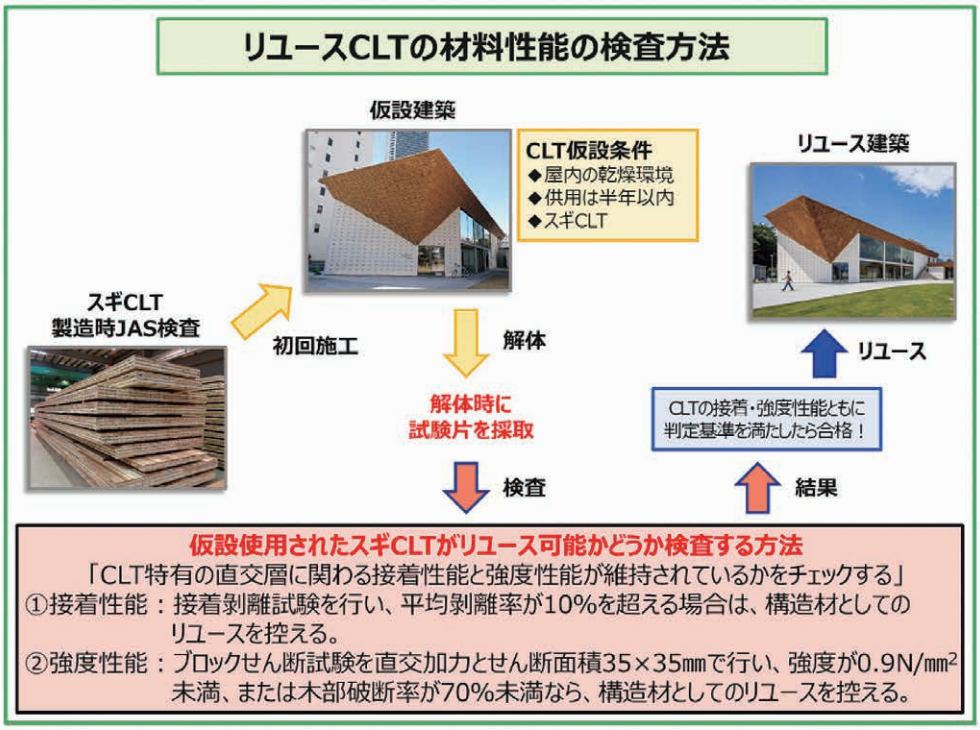


図10　リユースCLTの材料性能の検査方法のイメージ図

今後の課題・展開等

1）半年間の載荷履歴がCLTの材料性能に及ぼす影響について

◆本事業で得られた結果は、使用環境として屋内の乾燥環境を想定したものであり、あくまで今回の試験条件と同様な条件で施工されたCLTに適用できるものである。

◆今後は、今回とは異なる利用条件においても載荷履歴が材料に及ぼす影響度を明らかにすることができれば、リユース対象となるCLTを広げることができ、リユースの促進とCLTの有効活用が期待される。

2）リユースCLTの簡便な検査方法について

◆本事業でまとめた検査方法は、あくまで、今回の検討条件と同様な条件で施工されたCLTに適用できるものである。

◆本検査方法は、日本CLT協会が仮設建築で使用したCLTのリユースを想定して独自に検討したものである。検査の詳細な実施方法（試験片の採材位置、抜き取り数など）、検査の実施体制や管理体制については今後、協会を中心に検討していく予定である。

事業

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

日本木材防腐工業組合では昨年に引き続き、現在のCLT建物に耐久性を付与する手法の検証や維持管理のためのシステム作りが遅れていることを指摘し、これ等を解決するにはCLTの耐久性向上が必要であると提案した。そして、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事及び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討することに加えて、加圧注入処理CLTの日本農林規格に資する資料を収集・整備に取り組んできた。その結果、CLTがこれまでにない寸法の木質材料ある事、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技術を確立するとともに、その性能を保証するために必要なとなる品質検査項目に対して、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保存処理耐久性要求性能把握を行って、直交集成板JAS規格の次回見直し作業において保存処理CLTを対象とする改正とそのJAS製品に与えられる基準強度へのスムーズな反映に資することを目的とする。

実施した項目

本事業では下記の(1)～(4)について調査及び製作・試験を行った。

事業実施内容

(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) CLT等を用いた実使用建物の調査

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、耐久性調査に携わった関係機関、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　木質改質研究領域 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（ものつくり大学 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	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	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	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（(一社) 日本CLT協会顧問)
委　員	平松　　靖（(国研) 森林研究・整備機構森林研究所　複合材料研究領域 領域長）
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	山内　一浩（(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　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・研究技術部 主任)
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 木材製品調査班 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 課長補佐)
オブザ	平原　章雄（木構造振興(株)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ワーキンググループを設けて事業を推進した。

グループA：保存処理条件の異なる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・木材技術センター等の意見を聞き実施する。

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基準案
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する。

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、ものつくり大学、日本木材防腐工業組合委員等で実施する。

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
富山県農林水産技術センター、日本木材防腐工業組合委員等で実施する。

主協力会社等
＊(株) サイプレス・スナダヤ
＊(国研) 森林研究・整備機構　森林総合研究所
＊(株) ハセベ
＊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) 保存処理条件の異なる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CLTに求められる各種品質データ及びJAS製品に与えられるCLT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：CLTに保存処理を施す方法として「ラミナ処理（保存薬剤を注入したラミナを用いる方法）」と「製品処理（CLTパネルに保存薬剤を注入する方法）」を対象として、それぞれの方法で保存処理CLTを試作し適正製造条件について検討した。「ラミナ処理」では、製造試験データがないCUAZ処理ラミナを用いてCLTを試作しその強度及び接合性能についてデータ収集を図るとともに、インサイジング処理の影響についても検討した。「製品処理」については、保存処理CLTに要求される品質を満たすための適正な処理条件を湿式処理（ACQ、CUAZ、AAC）、乾式処理（AZN）それぞれに対して検討した。試験には曲げヤング係数で外層用（8kN/mm^{2}以上）と内層用（2.5以上8kN/mm^{2}未満）に区分した注入時寸法34mm×118mm×4mのスギラミナを用いた。ラミナは2mに裁断後フィンガージョイントにより所定の長さにたて継ぎし、断面29mm×105mmに仕上げた後、積層接着した。用いた接着剤は使用環境A用で、たて継ぎ用はメラミン樹脂、積層用はレゾルシノール・フェノール樹脂である。

「ラミナ処理」の試験においては、5層5プライ、145mm(厚)×2400mm(幅)×6000mm(長)のCLTパネルを、インサイジング有無の2条件各2体，計4体試作した。これらから、積層方向及び幅方向の曲げとせん断、圧縮の強度試験体を各6もしくは3体採取し各強度性能を、また、スプライン接合と引きボルト接合試験体各6体を試作し接合性能を評価した。

「製品処理」に関しては、注入処理されたCLTパネルを乾燥させて含水率や寸法ムラを基準値以下にすることが求められる。しかしながら、従来の注入条件ではその実現が困難であり、より最適な処理条件を明らかにする必要がある。そこで、本事業では注入条件と注入量、乾燥時間、浸潤度等の関係について把握するための試験に取り組んだ。「製品処理」については、29mm×105mm×300mmのラミナ、3層3プライの小パネル（203mm×300mm）と実大パネル（0.9m×3m）を用いて検討した。

(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

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：保存処理CLTの製造及び性能評価を通じて明らかになった製造管理のポイントや保存処理CLTの品質についてとりまとめた。

(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。R4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：使用環境に対応したCLT保存処理への要求性能のうち構法的耐久対策のバックアップとして要求耐久性能を明らかにする。

方法：曝露試験により、ラミナ接着がCLTの劣化リスクへ及ぼす影響、ならびにCLT保存処理の有効性を検討する。

① 接着がCLTの劣化リスクに及ぼす影響

構法的耐久対策に支障を来したCLT壁体を想定し、トリプルレイヤーユニット（以下TL

ユニット）を作製して屋外曝露試験を行った。TLユニットの基本仕様は、30×30×300㎜の無処理スギ辺材ラミナ10本からなる層を3層直交させ、緊結固定する。防水対策が破綻して壁体の層内へ雨水が浸入する状況を想定し、ラミナは接着せずにボルトで緊結する。2020年度は、基本仕様のTLユニットを屋外曝露して含水率を計測し、CLT場合の劣化リスクを検討した。さらに、接着が劣化リスクに及ぼす影響を検討するために2021年度は幅はぎした3層を直交にボルト緊結したTLユニット、2022年には幅はぎ3層を直交で積層接着して健全なCLTに近いTLユニットを作製し、接着していない基本仕様のTLユニットとともに、富山木研内（射水市黒河新）にて直立曝露試験を開始した。曝露期間中、定期的にユニットの質量を計測して含水率を算出し、浸水に起因する劣化リスクを検討した。

② **保存処理試験材を用いたTLユニットの劣化調査**

2020年11月に、AAC、AZNA、AZN、ACQ、CUAZ、LPHの6種類の保存処理スギ辺材ラミナを用いて、基本仕様のTLユニットを作製し、つくば、奈良、富山の3箇所で直立曝露試験を開始した。2022年10～11月に曝露2年目の劣化調査を行った。

(5) CLT等を用いた実使用建物の調査

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、中規模木造建物の実例を調査し課題を抽出した。

物件名：A/森林総合研究所九州支所、B/九州地区 高校事務棟

標記の物件については、建物竣工直後とA/5年後・B/9年後についてそれぞれ現地調査を実施し、建物に使われた工法の特徴と経年変化について比較検討した。

実施した結果

(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

ラミナ処理CLTの強度性能に関して、図1に曲げ・積層方向の強度試験から得られた曲げヤング係数と曲げ強度を示す。インサイジング処理の影響は曲げヤング係数に関しては見られなかったが、曲げ強度は平均値で16%ほど低下することがわかった。ただし、今回試作したCLTパネルの強度等級をMx60-5-5とみなした場合、その基準値は上回っていることから、一定の強度低下を見込んだ上でJAS基準を満たす製品を製造することは可能であると考えられる。

製品処理の適正注入条件を明らかにするにあたり、通常の「減圧＋加圧」処理に加えて、「減圧のみ」、「加圧のみ」の処理手順も検討対象として圧力や処理時間を変更し、注入量、乾燥時間、浸潤度等を測定した。ラミナを用いた予備試験により、「減圧＋加圧」では圧力を低くし処理時間を短くしても一定の注入量となってしまうこと、「減圧のみ」の場合は注入量を減少させることはできるがバラツキが大きいこと、「加圧のみ」の場合は圧力と処理時間を調節することで注入量を減少させるとともにバラツキも抑えられることがわかった。これらの試験結果に基づいて、小パネルを用いて「加圧のみ」の注入試験を実施したところ、湿式では圧力0.3～0.5MPa/処理時間10分、乾式では圧力0.8MPa/処理時間1～3分で200kg/m^{3}前後の注入量が得られることがわかった。そして、この時の浸潤度は木口からの距離が50mmの断面では全断面でほぼ100%だが290mmの断面では減少した。

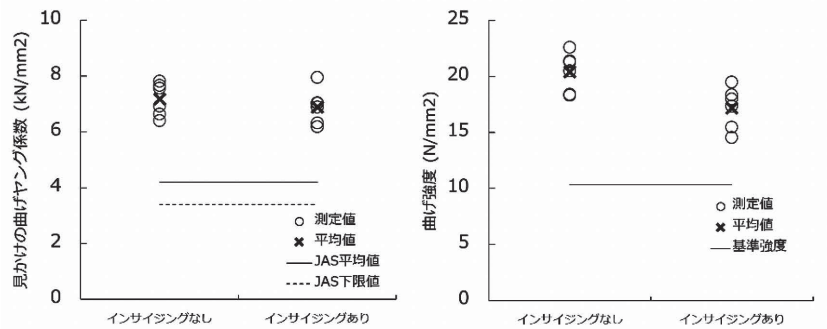


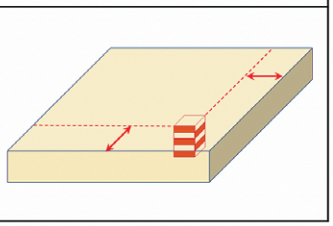
図1　ラミナ処理（CuAZ）CLTの曲げ性能に及ぼすインサイジングの影響

(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

表1に現行の林産物JASあるいはAQ認証において保存処理に関する性能区分とその浸潤度・吸収量の基準をまとめて示す。主として土台等の軸材料を対象としてきた従来の体系で、大判の面材料であるCLTを評価しようとすると、これらの品質の製品を安定して製造・供給する適正条件は必ずしも確立されていないといった問題に突き当たる。この問題を解決する方法として、浸潤度を評価する箇所を現行の製品の中央ではなく、端部からの任意の距離の箇所とすることを提案する。格付け検査や品質管理、あるいは、建築物の耐久設計に応じた性能区分の明確化などの課題については引き続き検討する必要があるが、この体系に対応した適正な注入処理条件は(1)の課題で一定の目途がたてられた。

表1　新しい保存処理等級の概念

				K1	K2	K3	K4	K5	
浸潤度	JAS表示								
	JAS：K2	製材/D1			○				辺材部の80%＋材面から深さ10mmまでの心材部の20%
		製材/D2			○				辺材部の80%＋材面から深さ10mmまでの心材部の80%
		CLT			○				
	AQ：2種	CLT				○			断面の80%＋材面から深さ10mmまでの80%
	JAS：K3	製材／集成材				○			辺材部の80%＋材面から深さ10mmまでの心材部の80%
		単板積層材／合板				○			断面の60%＋材面から深さ10mmまでの80%
		CLT				○			
	JAS：K4	製材/D1					○		辺材部の80%＋材面から深さ10mmまでの心材部の80%
		製材/D2（90mm以下）					○		辺材部の80%＋材面から深さ15mmまでの心材部の80%
		製材/D2（90mm超え）					○		辺材部の80%＋材面から深さ20mmまでの心材部の80%
		CLT					○		

吸収量	処理対象位置もしくは試験片採取位置			JAS表示					
	方法	表層(mm)	端・縁からの距離(mm)						
	加圧	10mm	材中央	K1	K2	K3	K4	K5	
新設吸収量浸潤度	加圧	10	500	K1-500	K2-500	K3-500	K4-500	K5-500	
	加圧	10	50	K1-50	K2-50	K3-50	K4-50	K5-50	
	深浸潤？	10	5	K1-5	K2-5	K3-5	K4-5	K5-5	
	塗布	10	0.5	K1-0.5	K2-0.5	K3-0.5	K4-0.5	K5-0.5	

(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

屋外暴露中の質量変化は、木口シールをした試験体では木口シールをしなかったCLTよりも緩やかで、木口シールによって水の侵入が抑制されたと考えられた（図2）。暴露期間がさらに長くなると、劣化の抑制効果が顕著になる可能性がある（表2）。

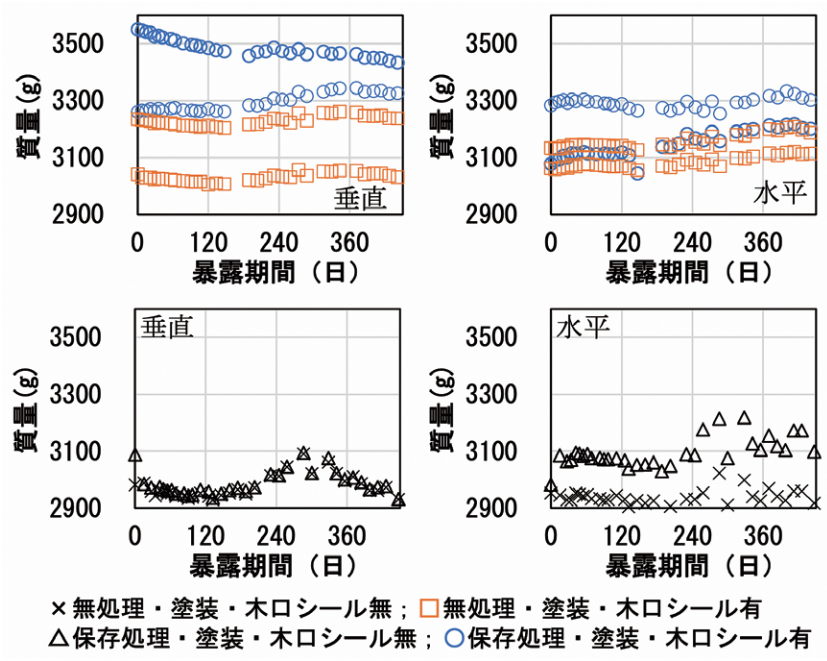


図2 CLTの屋外暴露における質量変化

表２　保存処理後に塗装したCLTの屋外暴露による外観変化の例

暴露条件	垂直		水平	
木口シール	無	有	無	有
暴露前				
11 か月				

(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 接着がCLTの劣化リスクに及ぼす影響

幅はぎTL曝露試験における２年間の含水率推移を図３に示す。劣化リスク比較するため、全14回の含水率測定において25%以上を計測した頻度を算出すると、接着していない基本仕様TL2体の71%、79%に対し、幅はぎTLでは50%であった。幅はぎ接着は層内への浸水を抑制して劣化リスクを低減する効果が期待される。

幅はぎ３層接着TLの含水率推移を図４に示す。曝露期間が２か月と短いため計測回数が少なく、更に富山の冬季は多雪多雨であるため、いずれのユニットも含水率が高い状態が続いており、含水25%の計測頻度はいずれも100%で劣化リスクに差はみられていない。

② 保存処理試験材を用いたTLユニットの劣化調査

2022年10～11月の暴露２年目調査の結果、AAC、AZNA、AZN処理TLユニットの一部試験材に軽微ながら腐朽が見られたが、ユニットとしての平均被害度はいずれも0.1以下でほぼ健全であった。一方無処理スギ辺材ユニットでは、３試験地とも全試験材に腐朽が発生し、平均被害度は最も低いつくばで2.0、富山と奈良では2.7、3.0となりおおむね耐用限界に達していた。(表３)

以上のように、２年間のTLユニット曝露試験において、６種類の保存処理はいずれも高い防腐性能を示した。

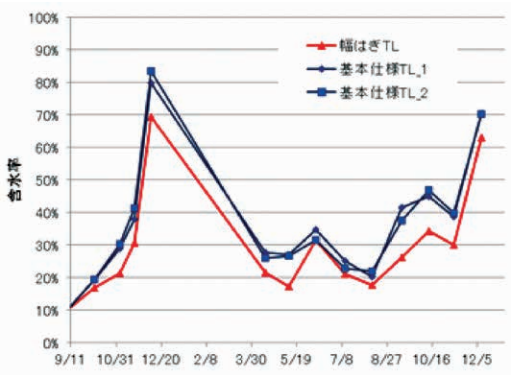


図３　幅はぎTLユニットの暴露試験(２年目)

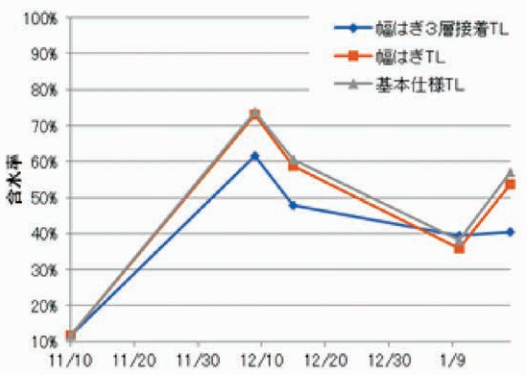


図４　幅はぎ３層TLユニットの暴露試験(２か月)

表３　保存処理 TL 暴露試験における無処理ユニットの腐朽（２年目）

試験地	つくば			富山			奈良		
	腐朽率	平均値	最大値	腐朽率	平均値	最大値	腐朽率	平均値	最大値
全層	100%	2.0	3	100%	2.7	4	100%	3.1	4
外層	100%	1.4	2	100%	2.8	3	100%	2.4	3
芯層	100%	2.7	3	100%	2.9	4	100%	3.5	4
外層	100%	1.8	2	100%	2.4	3	100%	3.3	4

(5) CLT 等を用いた実使用建物の調査

劣化調査の結果、建物 A/ については築年数も比較的浅く、構造上主要な部分（躯体）である CLT が屋外側に露出することなく外装材で覆われた構造形式であることもあり、建物全体として劣化はほとんど確認されなかった。(写真１)。

一方 B/ については構造上主要な部分である接着合わせ材を接合した壁柱（壁パネル）の外側に通気層と保存処理木製外装材が設けられているが、外装材の経年劣化が認められ、維持管理が必要な状況であった。(写真２)。

写真１　建物 A 外観の経年変化（左：2018 年５月／右：2022 年 11 月）

写真２　建物 B 外観の経年変化（左：2013 年 12 月／右：2022 年 11 月）

今後の課題・展開等

保存処理 CLT の普及を目標として、その製造技術の確立、性能評価、規格化に取り組み、以下の成果と残された課題を得た。

(1) 保存処理 CLT の製造技術に関して、ラミナ処理については強度性能データを整備することができた。製品処理については、適正な注入条件に目途をつけることができたが、乾燥条件については引き続き検討する必要がある。

(2) 保存処理 CLT の規格化に関して、浸潤度の評価位置を任意とする評価体系を提案したが、格付け検査や品質管理の具体的な手順等については引き続き検討する必要がある。

(3) 保存処理CLTの耐候性要求性能に関して、塗装や木口の保護による影響を、設置角度との関係も含め検討した。今年度は１～２年間という比較的短期間の結果であり、変色や割れ等の劣化については今後も検討を要する。

(4) 保存処理CLTの耐久性要求性能に関して、最悪状態のCLT壁体をモデル化したTLユニット曝露試験を行い、幅はぎ接着による劣化リスクの低減の可能性を示した。また、短期的ではあるが、ラミナの保存処理の有効性も確認されている。保存処理CLTの長期的な耐久性能を的確に把握するには、曝露試験調査を継続して、実証データを蓄積していく必要がある。

(5) 非住宅中層・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、維持管理や交換がしにくい規模の建物ほど建築計画の配慮が求められるほか、構造躯体にはより耐久性の高い保存処理技術の確立が必要である。同時に規格化も急がれる。

事業

CLTによる持続可能な社会実現に関する普及事業

● 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

昨年度実施した「CLT 建築物の事業性開発」では、CLT 等の木質材料がデベロッパー等に採用されるために必要な情報（①ESG 投資、SDGs、②事業スケジュール、③事業収支、④性能に関する特徴）について調査を行い、事業報告書及びパンフレットとして取り纏めた。

ESG 投資や SDGs における CLT の有効性は、建設プロジェクトにおける木質化の方針決定を行う民間企業の経営者層あるいは環境関連事業部門及び自治体の意思決定者等（以下、意思決定者等）に十分に届いていないのが実情である。

本事業では、昨年度の事業成果等をもとにして、意思決定者等に向けて CLT 採用による CO_2 削減効果や技術開発・コスト等の事業性検討に必要な情報を伝える資料を作成し、普及策を実施する。

実施した項目

本事業の検討委員会を設置、普及策を検討し実施した。また、木造・木質構造の建築物の普及に関わる先進事例の調査を行った。

①普及策の検討

- 委員の方々から意見を頂き、普及策の検討を行った。

②普及策の実施

- 昨年度のパンフレットの解説会及び Wood City Sweden の取り組みを紹介するワークショップの開催

  ※ Wood City Sweden：スウェーデンにおける産官学の連携による木造建築物の振興団体
- 上記の参加者へのアンケート
- 昨年度パンフレットをもとにした WEB サイトの制作・公開
- WEB サイトに掲載するコンテンツの制作
- WEB サイトの効果測定

③木造・木質構造の建築物の普及に関わる先進事例の調査

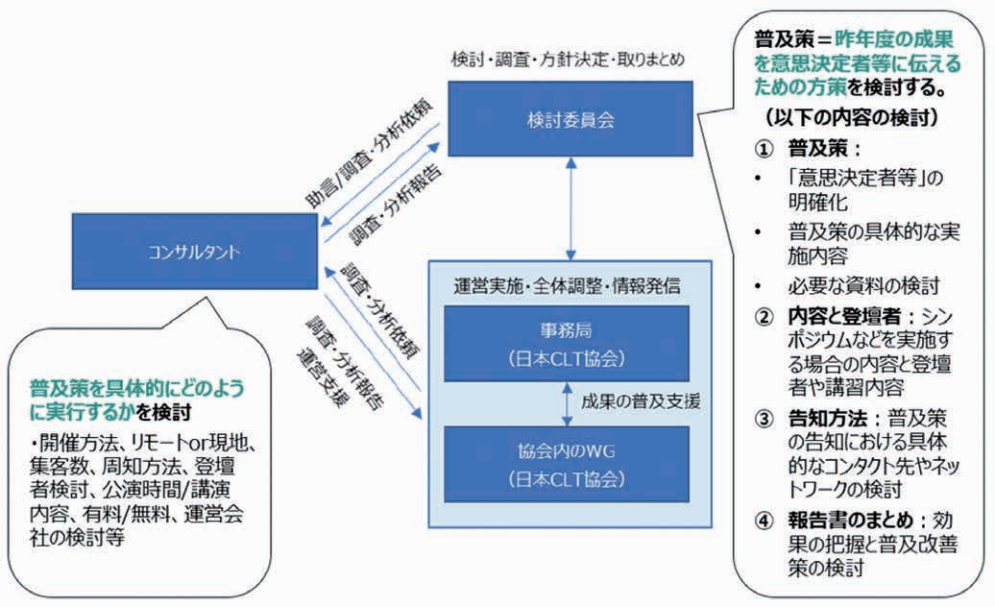
木造・木質構造の建築物をアセット対象とするアセットマネジメント会社等へのインタビュー

実施体制

CLT 建築物の事業性開発検討委員会

■委員長	追手門学院大学 文学部人文学科 准教授	青島啓太
■委員	東京大学大学院 工学系研究科建築学専攻 准教授	権藤智之
	チャルマーズ工科大学 建築土木工学部 研究員	後藤　豊
	一般社団法人高知県木材協会 専務理事	小原　忠
	高知県木材産業振興課 課長	大石　尚
	一般財団法人日本不動産研究所研究部 上席主幹	西岡敏郎

	株式会社竹中工務店 木造・木質建築推進本部 シニアチーフエンジニア	小林道和
■行政	林野庁 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐	日向潔美
	林野庁 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐	福島　純
	林野庁 木材産業課 木材専門官	巻田和丈
■オブザーバー	一般財団法人日本不動産研究所 REA-Tech 研究開発グループ	大浦悠都
■コンサルタント	株式会社山下 PMC	
■事務局	木構造振興株式会社　一般社団法人日本 CLT 協会	



実施した内容

本事業の検討委員会を設置し、委員の方々から意見を頂き普及策を実施した。実施項目毎の具体的な実施内容を以下に示す。

①昨年度のパンフレットの解説会及びWood City Swedenの取り組みを紹介するワークショップの開催

●開催概要

【名称】　『CLTによる持続可能な社会実現に関する普及事業』
第1部：「サステナビリティ経営のためのCLT活用ハンドブック」解説
第2部：もり・まち・ひとの交差点～森林・木造建築の北欧先進国「スウェーデン」「Wood City Swedenの取り組み」《ワークショップ》

【日時】　2022年11月18日（金）15：00～18：10

【主催】　一般社団法人日本CLT協会

【開催方式】　オンライン会議 ビデオコミュニケーションシステム（Zoomウェビナー）

【会場】　ROOFLAG 賃貸住宅未来展示場

【参加者】　Wood City Sweden担当者　Jessica Becker氏、
CLT で地方創生を実現する首長連合（24名）、
林野庁、（一社）日本CLT協会 代表理事 中島浩一郎、
本事業委員他

②昨年度のパンフレットをもとにしたWEBサイトの制作・公開

「サステナビリティ経営のためのCLT活用ハンドブック（以下、パンフレットと示す）」の内容を紹介するWEBサイトを制作した。

【WEBサイトURL】https://clta.jp/sustainability_mgmt/

●WEBサイトに掲載したコンテンツの制作

1） Wood City Swedenのワークショップの動画制作

「Wood City Sweden(Trästad Sverige)の取り組み」の動画を制作し、WEBサイト上で公開した。（WEBサイト参照）

Wood City Sweden のワークショップの動画

2） 昨年度パンフレットの解説動画の制作

「CLT解説動画（4分でわかる！なぜ今、CLT！？）」の動画を制作し、WEBサイト上で公開した。（WEBサイト参照）

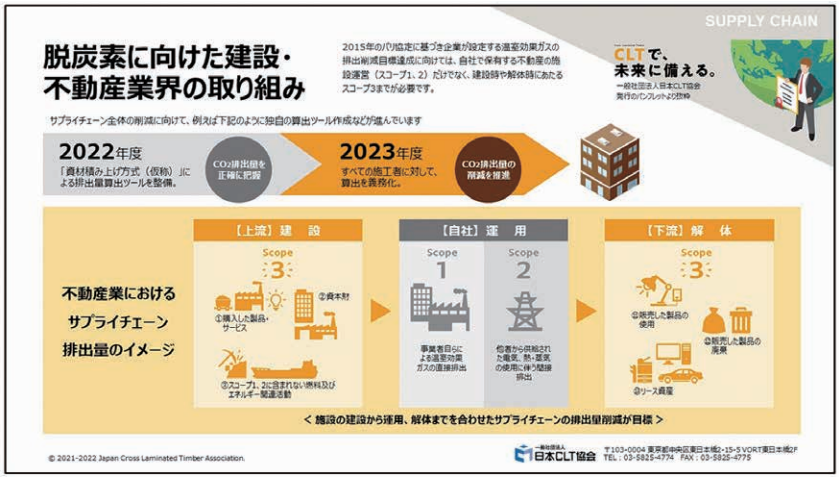
昨年度パンフレットの解説動画

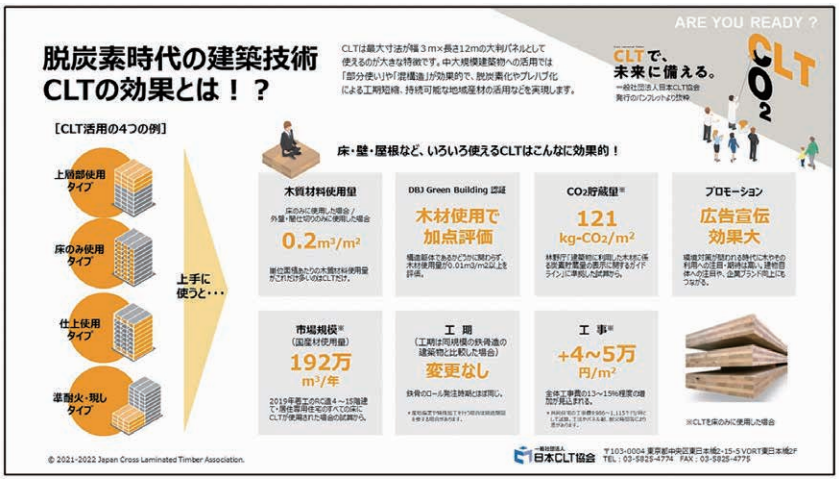
3)　昨年度パンフレットの要約版の制作

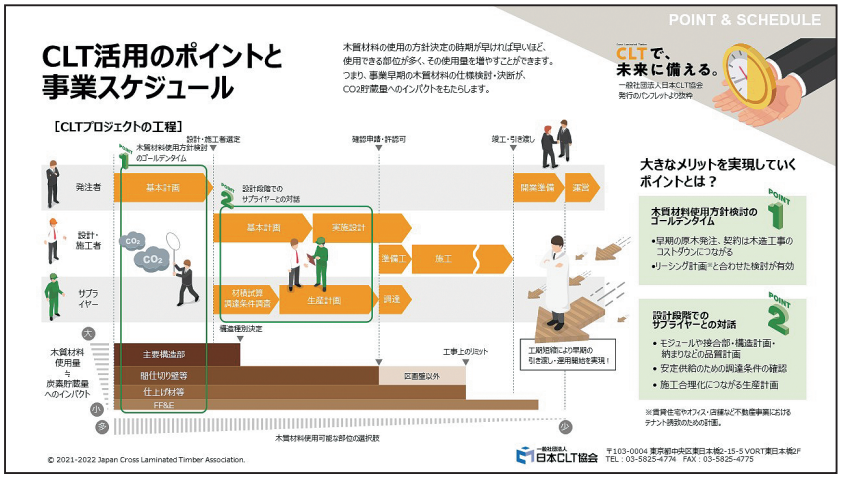
制作したWEBサイト上から、以下の３点の資料をダウンロードができるようにした。（WEBサイト参照）

- パンフレットのPDFデータ
- パンフレットの内容を要約した「パンフレット要約版」のPDFデータ
- プレゼンテーション等の資料として利用できるPowerPointデータ

昨年度パンフレットの要約版







●WEBサイト立ち上げの広告

立ち上げたWEBサイトの情報を意思決定者等に効率的に届けるため、Facebookを用いたWEB広告配信を行った。

【配信面（媒体）】 Facebook
【時間・曜日】 常に表示
【配信期間】 2022年12月5日～2023年1月7日
【地域】 日本全国
【年齢】 25～65歳以上
【性別】 すべての性別
【言語】 日本語
【ターゲット】 役職　代表取締役・オーナー経営者・HRなど

WEBサイト立ち上げの広告

●取り組みの効果測定

WEBサイトや制作した動画へのアクセス状況をGoogle Analyticsを用いて集計し、取り組み効果の測定を行った。

③木造・木質構造の建築物の普及に関わる先進事例の調査

木造・木質構造の建築物をアセット対象とするアセットマネジメント会社の「メルディア・アセットマネジメント株式会社」及び「ケネディクス株式会社」、また、木造住宅の発展に向け、国産材の安定コストと安定供給のための流通モデルの構築に取り組む「一般社団法人日本木造分譲住宅協会」を対象にヒアリング調査を行った。

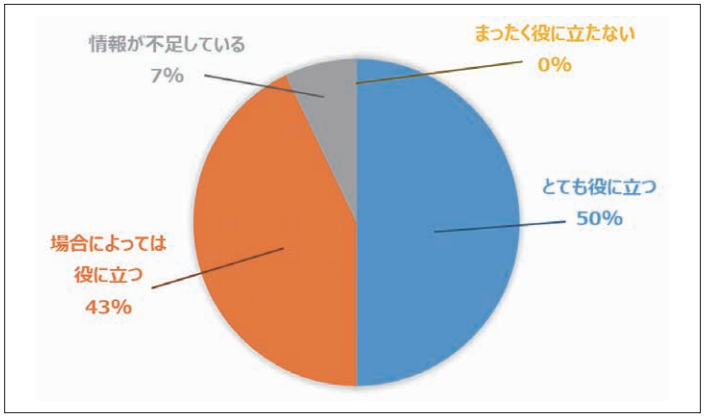
実施した結果

①昨年度のパンフレット解説会及びワークショップ

2022年11月18日に開催した「サステナビリティ経営のためのCLT活用ハンドブック」解説会及び「Wood City Swedenの取り組み」ワークショップでは、参加者であるCLTで地方創生を実現する首長連合に対してアンケートを実施した。その結果、パンフレット解説の内容に関して、9割以上の方が実際にCLT等の木質材料の利用促進を図る上で役立つと捉えていることや実務上パンフレットの内容で不足している情報・データを抽出することが出来た。また、ワークショップでのWood City Swedenの取り組み紹介を受けて、9割の方が日本における木造建築の発展とCLT等木質材料利用促進の参考になったと回答しており、回答者の全員が日本国内においてWood City Sweden同様のコミュニティを形成することに意義を感じていること等がわかった。

昨年度のパンフレットの解説会及びWood City Swedenの取り組みを紹介する
ワークショップの参加者である、CLTで地方創生を実現する首長連合に対するアンケート回答

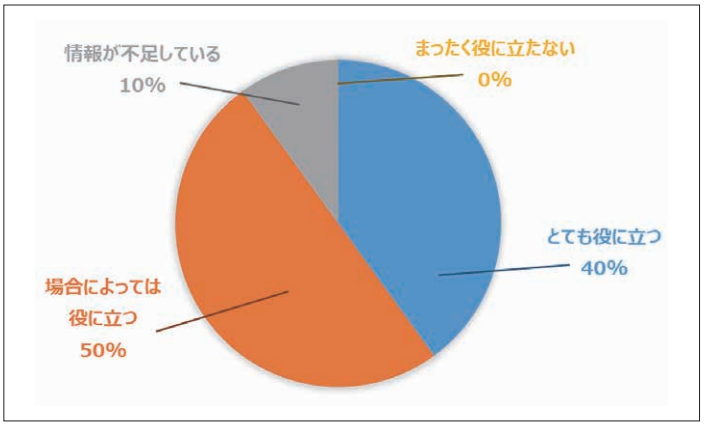
●『パンフレット「サステナビリティ経営のためのCLT活用ハンドブック」解説が、実際にCLT等の木質材料の利用促進を図る上で役立つかどうか』に対するアンケート回答



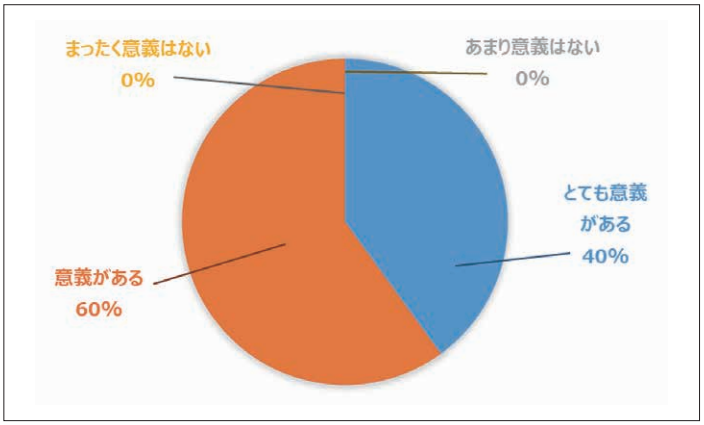
●『パンフレット「サステナビリティ経営のためのCLT活用ハンドブック」を実務で使用する際に不足している情報・データは』に対するアンケート回答

- CLTとは何かの簡単な説明
- CLTのみの単価情報、CLTを生産できる工場一覧
- CLTの生産工場がどこにあるか又はCLT工法の取扱店等の情報
- CLTの調達先の情報
- P4に「木材利用を考えていかないと、この国には住めなくなってしまう」と不動産業界のコメントがありましたが、CLT建築物（木造）への木材利用が山側（素材生産者）の経営支援に繋がる取り組みであることを盛り込めると良いかと思いました。
- 木材利用促進法の改正しかり、都市の木造化ばかりが注目されていますが、山側の労働者不足は喫緊の課題であり、都市木造化（非住宅等）の需要が高まるなか、山側の素材生産者が増えないと、材料である丸太の供給はできません。
- これまで行政も、長きに渡りあの手この手で山側の支援をしてきましたが、未だに労働者の所得向上（底上げ）が実現できていない状況があります。人不足解消のため、ICT化も導入されつつありますが、まだまだ追いついていない状況です。
- CLTの利用促進等が山側の労働者不足解消にも繋がることや成功事例などがあれば、サステナビリティの観点から、もう少しフォーカスされるような工夫や仕組みがあると良いような気がいたしました。
- また、非住宅の場合、CLTに限らず木造建築物の設計が出来る人材がまだまだ育っていないと思いますので、設計者や工務店関係者への講習会等を引き続き積極的に行うことなども盛り込めれば良いかと思いました。

●『Wood City Swedenの取り組みを伺って、日本における木造建築の発展とCLT等木質材料利用促進の参考になったかどうか。』に対するアンケート回答



●『日本において同様のコミュニティを形成することに意義はあるか。』に対するアンケート回答



②WEBサイトの開設

CLT 採用による事業性検討に必要な情報を発信するための基盤を整備することができた。また、CLTの解説動画やパンフレットのダウンロードページなど、CLTに関する各種コンテンツを充実させることで、意思決定者等の関心を引き出し、情報に容易にアクセスできる環境を整えた。さらに、WEBサイトのFacebook広告の配信も実施し、情報の効果的な普及に努めた。

以下に、各種取り組みの成果をまとめる。

■WEBサイトの閲覧状況

【集計期間】　2022年11月16日～2023年1月15日
【閲覧数】　2,824回

■「CLT解説動画（4分でわかる！なぜ今、CLT！？）」動画の閲覧状況

【集計期間】　2022年11月16日～2023年1月15日
【再生回数】　69回

■パンフレット及びパンフレット要約版のダウンロード数

【集計期間】　2022年11月16日～2023年1月15日
【パンフレットダウンロード数】　86回
【パンフレット要約版ダウンロード数】　PDF版 34回、PowerPoint版 38回

■WEBサイトの広告閲覧状況

【配信期間】　2022年12月5日～2023年1月7日

【総表示回数】　429,177回　　【平均表示回数】　12,623回/日

【総クリック数】　550回　　【平均クリック数】　16.2回/日

【クリック率】　0.13%（総クリック数/総表示回数）

③木造・木質構造の建築物の普及に関わる先進事例の調査

木造・木質構造の建築物をアセット対象とするアセットマネジメント会社のである、メルディア・アセットマネジメント株式会社及びケネディクス株式会社へのヒアリングの結果、いずれも投融資家からはカーボンニュートラルやSDGs、ESGの観点からは評価を得ているものの、木造に対する耐久性や耐震性、建物価値の保持等に対するネガティブな印象が根強くあり、資金調達が容易でない点が課題として挙げられた。特に、税法上と実際の減価償却耐用年数には乖離がある為、木造であっても十分な耐久性を有することを示すために、評価機関のエンジニアリングレポート（ER）を発行する等の対応が取られていた。

一般社団法人日本木造分譲住宅協会へのヒアリングの結果、同協会では、国産材の新たな流通モデル構築の他、林業の人材不足への対応のための人事支援及び伐採会社の設立、苗木の寄付活動等の多岐にわたる活動を行っており、会員は建築戸数の多い首都圏を中心に36社が入会、国産材の推進を考える企業や円安の状況等の情勢から不安を抱えている企業などから多くの入会希望が集まっていることがわかった。特にCLTに関しては、需要は十分にあるものの木材加工会社や施工者の不足等、サプライチェーンが十分に整備されていないことや価格面等に課題を感じていることがわかった。

今後の課題・展開等

スウェーデンの民間企業や行政などの関係者の横の連携を担う組織である「Wood City Sweden」と「CLT で地方創生を実現する首長連合」のワークショップを開催した。参加者へのアンケートの結果、民間や行政等の関係者を横断して情報連携や施策の検討を行う組織を評価する声が多くあった。CLTの情報提供に関する仕組みを構築し、木質化への支援体制を発展強化に向けて、日本国内で同様の取り組みを検討することには意義があることが分かった。

また、昨年度のパンフレットの内容については、役に立つと評価する割合がアンケート回答者の90%をしめていた。一方で、情報が不足していると回答のあった中には、コストを超える事業上の優位性についての根拠などを求める声があった。CLT建築物の事業性向上に寄与する情報の蓄積も望まれる。

事業

品質・性能を確保した乾燥材の供給に向けた技術資料の作成および普及

● 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 6 階

事業目的

心持ち材の人工乾燥では、100℃超の高温・低湿度条件の乾燥処理（以下、「高温セット処理」という。）を採用する工場が多い。しかし、処理条件やその後の乾燥条件によっては、内部割れの発生や熱劣化による強度性能の低下に対する懸念を建築関係者から指摘される場合がある。

そこで、本事業では、人工乾燥材の利用者（プレカット、工務店、建築関係者等）に対し人工乾燥材に求められる品質・性能に関するアンケート調査を実施し、その調査結果を踏まえ、これまでに実施した事業で得られた調査及び試験結果を整理するとともに、適正な乾燥条件に関する普及啓発資料を作成し、本事業に参加する委員が所属する機関の所在地等において、人工乾燥材生産事業者に対して成果の普及を図ることを目的とする。

実施した項目

1　検討委員会の開催

2　アンケート調査の実施

2．1　アンケート項目の検討

2．2　アンケート調査の実施（プレカット、工務店等）

2．3　アンケート結果の分析

3　普及資料の作成

4　普及資料を活用した説明会等の開催

実施体制

■委員

藤本登留	九州大学大学院農学研究院
川井安生	秋田県立大学木材高度加工研究所
原田真樹	国立研究開発法人森林研究・整備機構　森林総合研究所
渡辺　憲	国立研究開発法人森林研究・整備機構　森林総合研究所
長尾博文	国立研究開発法人森林研究・整備機構　森林総合研究所
松元　浩	石川県農林総合研究センター

河崎技術士事務所

北海道立総合研究機構林産試験場

栃木県林業センター

静岡県森林・林業研究センター

長野県林業総合センター

兵庫県立農林水産技術総合センター

愛媛県農林水産研究所

熊本県林業研究・研修センター
大分県農林水産研究指導センター林業研究部
宮崎県木材利用技術センター
国立研究開発法人森林研究・整備機構　森林総合研究所
に所属する木材乾燥に関する職員・研究員で検討委員会を構成した。

実施した内容

1　検討委員会の開催

- 令和４年６月14日　　事業計画・分担確認（オンライン併用）
- 令和４年11月８日　　アンケート結果報告　普及資料案の検討（オンライン併用）
- 令和５年２月10日　　結果報告、とりまとめの検討（オンライン併用）

2　アンケート調査の実施

2．1　調査実施期間

令和４年８月８日～令和４年10月５日

2．2　調査実施機関

北海道立総合研究機構林産試験場
栃木県林業センター
石川県農林総合研究センター
静岡県森林・林業研究センター
長野県林業総合センター
兵庫県立農林水産技術総合センター
愛媛県農林水産研究所
熊本県林業研究・研修センター
大分県農林水産研究指導センター林業研究部
宮崎県木材利用技術センター
河崎技術士事務所
（一社）全国木材組合連合会

2．3　調査対象

全国および11道県（北海道、栃木県、長野県、静岡県、石川県、兵庫県、岡山県、愛媛県、熊本県、大分県、宮崎県）のプレカット会社117社、住宅供給会社875社に対してアンケート調査を実施した。

ただし、プレカット会社は、木材調達を主に自社で行う会社等を調査対象とし、賃加工を主として実施する会社等は調査対象から除外した。

また、住宅供給会社は、木造の戸建住宅を主として軸組構法で施工する会社を対象とした。

2．4　主な調査項目（プレカット会社および住宅供給会社共通）

- 施工戸数（加工棟数）
- 木造戸建住宅の構法、接合部の工法
- 軸組構法で使用している木材（柱、梁に使用している製材等の樹種）
- 人工乾燥材に要求する含水率（柱、梁）
- 現在使用している人工乾燥材の含水率（柱、梁）
- 表面割れについてどこまで許容できるか（柱、梁）
- 木口面の割れについて、どこまで許容できるか（柱）

3　普及資料の作成

普及資料は、アンケート調査結果の概要のほか、令和２年度と３年度に実施した調査および強度試験の結果を事例シートとして掲載し、作成した。

また、普及資料は、今後の普及活動や事業者の参考に資するよう全木連ホームページからダウンロードできる形で提供することとした。

4　普及資料を活用した説明会等

作成した普及資料を利用し、技術資料作成に携わった各道県試験場において、事業者等に対する説明会や情報提供等を行った。

実施した結果

1．アンケート調査の結果

プレカット会社から72社（回収率：64.9%）、住宅供給会社から202社（回収率：23.4%）の回答を得た。

今回調査したプレカット会社は、加工棟数が年間100～5,000戸の会社がほとんどを占めていた。住宅供給会社は、年間50戸以下の会社が多く、年間５戸以下の会社の割合が最も多い結果となった。

製材の使用割合について図１に示す。柱の製材・集成材の使用割合について、プレカット会社は、主として製材を使用する会社と主として集成材を使用する会社とに二極化する傾向を示したが、集成材のみ、もしくは製材のみを使用する会社も一定数見られた。住宅供給会社は、製材のみを使用する会社が圧倒的に多かった。梁の製材・集成材の使用割合について、プレカット会社は、製材を80～89%使用する会社の割合が最も多かったものの、使用割合については様々であった。住宅供給会社は、柱と同様に、製材を使用している会社が多くの割合を占めた。一方、プレカット会社および住宅供給会社とも、製材をまったく使わない会社も一定数あった。

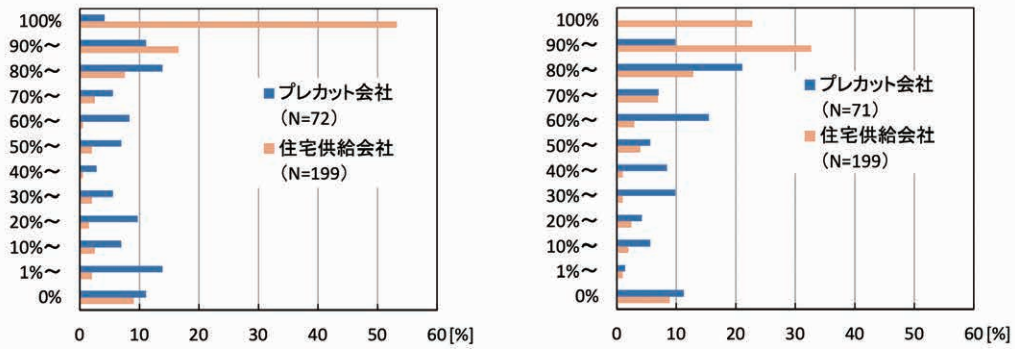


図１　製材の使用割合（左：柱、右：梁）

最もよく使われる製材の樹種について図２に示す。プレカット会社、住宅供給会社とも、柱に使用される製材の樹種はスギが最も多く、次にヒノキが多かった。梁に使用される製材の樹種はベイマツが最も多く、次にスギが多かった。特に、住宅供給会社ではスギを梁に使う割合が高かった。

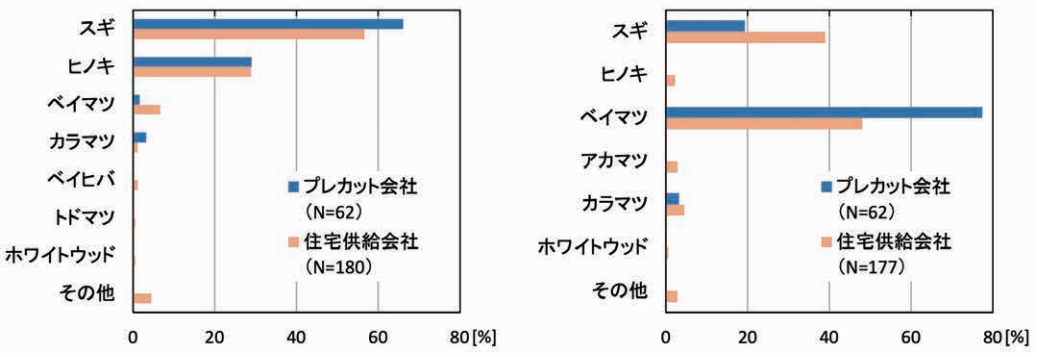


図２　最もよく使われる製材の樹種（左：柱、右：梁）

柱および梁に要求される含水率について図３および図４に示す。プレカット会社、住宅供給会社のいずれの会社についても、要求される含水率の下限値は15%、上限値は20%とする回答が多かった。

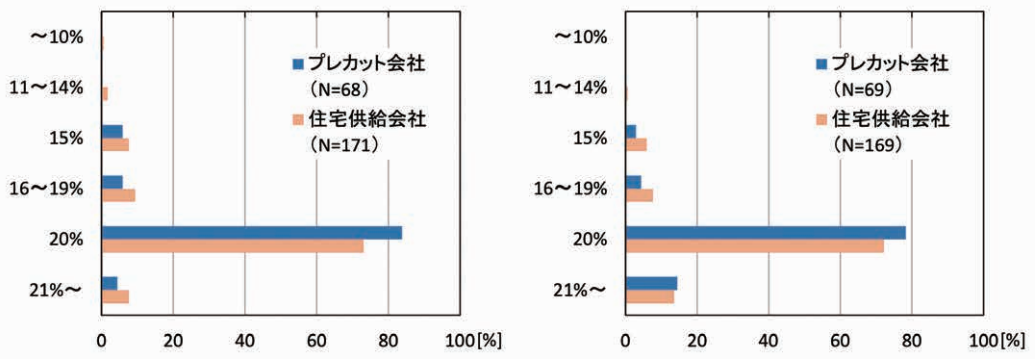


図３　要求される含水率の上限値（左：柱、右：梁）

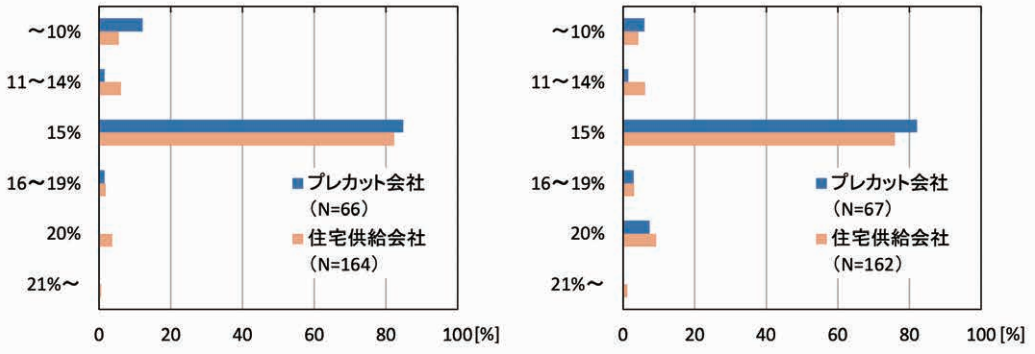


図４　要求される含水率の下限値（左：柱、右：梁）

実際に使用されている部材の含水率について図５に示す。柱、梁はいずれも含水率15～20%の回答がほとんどを占めており、使用されている部材の含水率は要求される含水率の範囲内におおよそ収まっているという回答がほとんどであった。住宅供給会社は、プレカット会社に比べ、含水率15%を使用しているという回答が多かった。特に、柱では半数以上の会社が含水率15%の製材を使用していた。

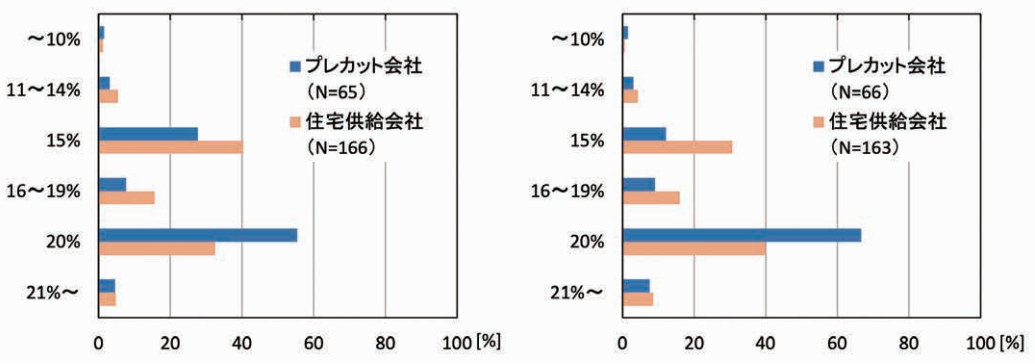


図５　実際に使用されている部材の含水率（左：柱、右：梁）

柱、梁について、許容できる表面割れについて図６および図７に示す。割れの長さについて、プレカット会社は、住宅供給会社に比べて、材長に対して1/4以下と回答した会社の割合が多かった。一方、割れの幅について、住宅供給会社は、目に見える割れや1mm程度までといった、プレカット会社よりも厳しい基準を選択する会社が多い傾向を示した。梁は、柱に比べて、割れの長さと幅のいずれについても、許容される範囲が広い傾向を示した。柱と同様に、梁の表面割れの長さについては、プレカット会社の方が厳しいが、幅は住宅供給会社の方が厳しい回答をした割合が多いという傾向を示した。

許容できる木口面の割れ（内部割れ）の大きさを写真１の画像を示して質問した。プレカット会社が許容できる割れの程度は④～⑥の回答が多く、住宅供給会社が許容できる割れの程度は③、④の回答が多い傾向を示した。プレカット会社よりも住宅供給会社の方が、木口面の割れに対して厳しいという傾向を示した（図８）。

以上のアンケート調査結果から、人工乾燥材（製材）に求められる品質は、含水率が１５～２０%、表面割れは材長に対して 1/4 以下、割れ幅は 3㎜以下、木口面の割れ（内部割れ）は内部割れ総長さがおよそ 150mm（写真１の④）以下であるということが明らかになった。

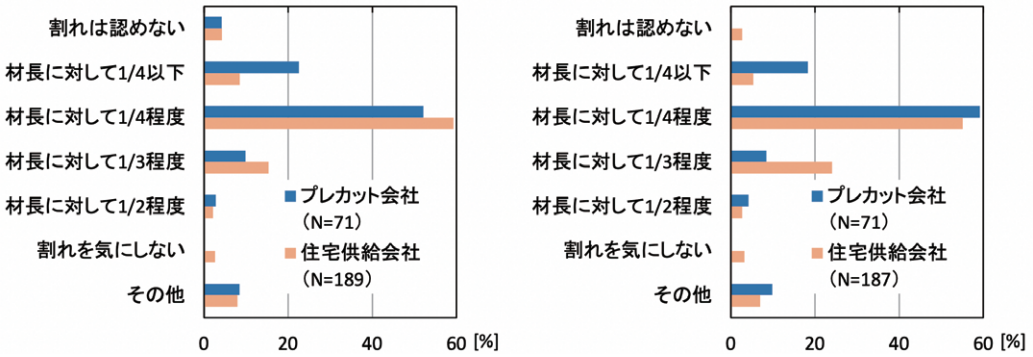


図６　許容できる表面割れの長さ（左：柱、右：梁）

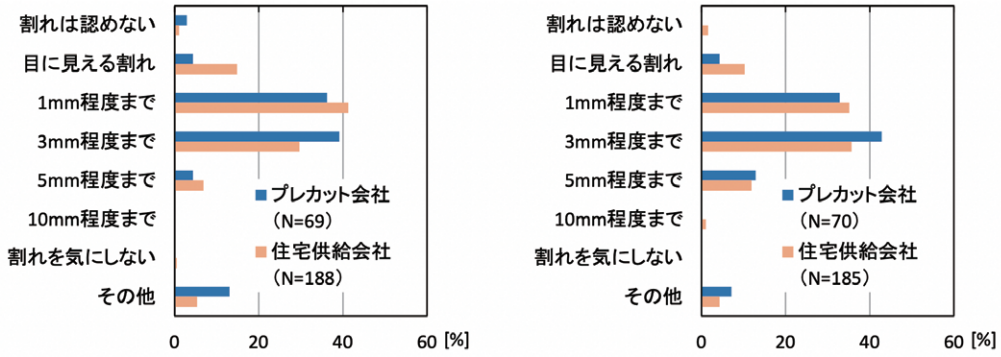


図７　許容できる表面割れの幅（左：柱、右：梁）

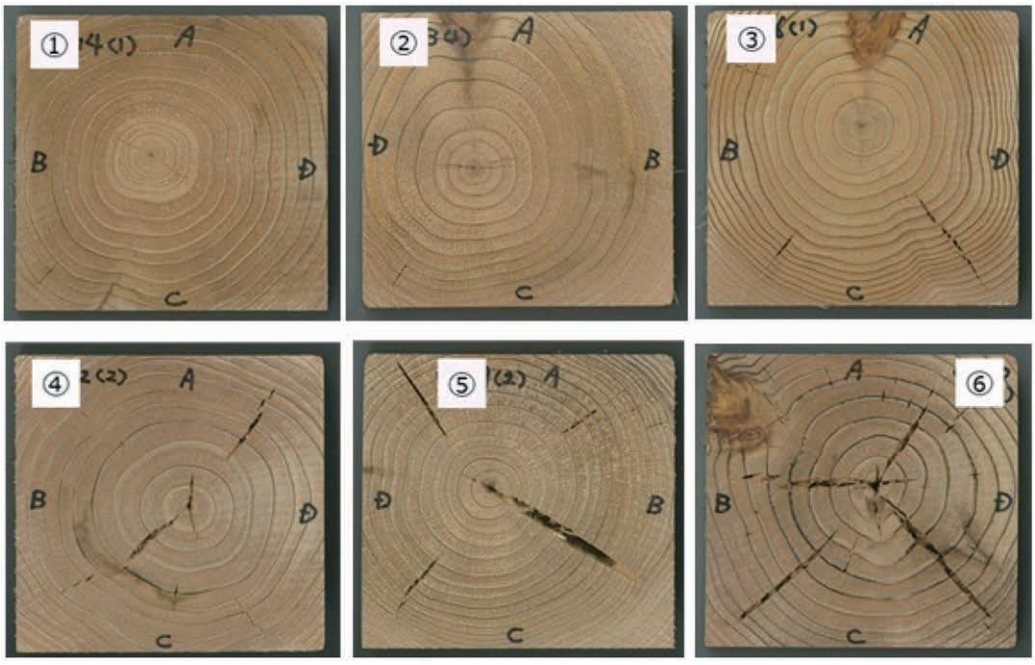


写真１　アンケート調査票に用いた木口面の割れ（内部割れ）の画像

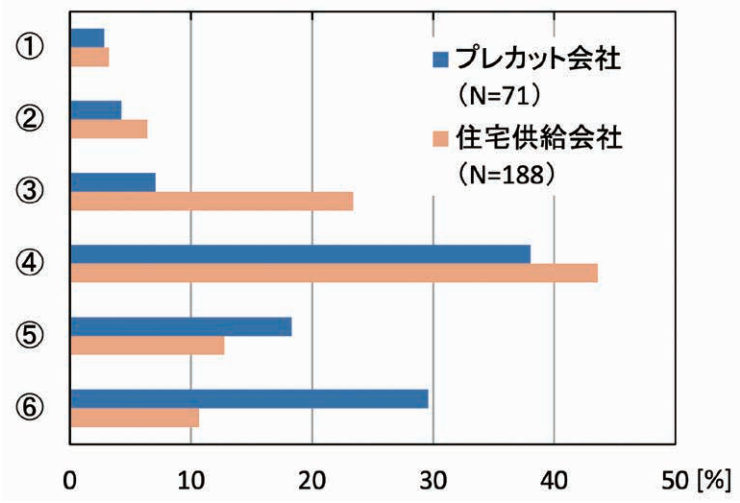


図８　許容できる内部割れ

２．普及資料の作成

普及資料の構成は、「１．人工乾燥材（製材）に対するニーズ」（アンケート調査結果）、「２．乾燥スケジュール事例」とした。乾燥スケジュールの事例は、スギは７事例、ヒノキは４事例を示した。

乾燥スケジュール事例は乾燥スケジュールの一覧表とともに、１事例ごとに見開きで事例シートを作成した。事例シートは、「乾燥スケジュール」、「内部割れの発生状況と含水率」、「強度試験結果」、「各乾燥条件における曲げ強度の比較および基準強度との比較」、「試験結果からみえること」の構成とした（写真２）。

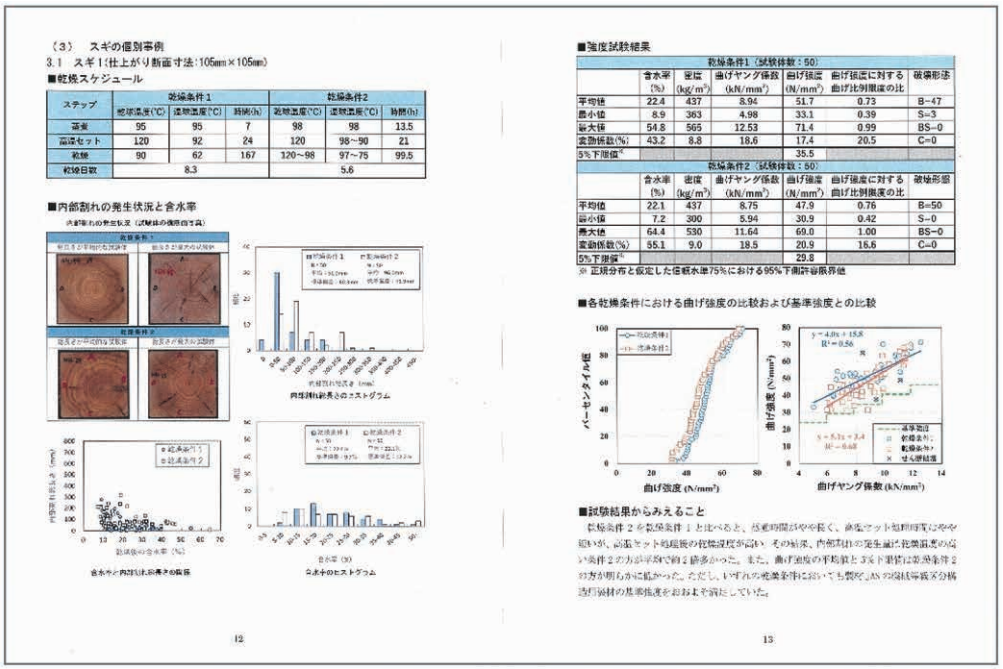


写真２　事例シートの例（見開きイメージ）

今後の課題・展開等

本事業ではスギおよびヒノキについて適正な乾燥条件に関する普及資料を作成した。今後は、各地で開催される講習会等の場で、本普及資料を活用して適正な乾燥スケジュールの普及を進めていく必要がある。

事業

米国の構造材規格・試験方法に基づく ヒノキ等の構造材の性能検証

● 実施団体 ●

一般社団法人 全国木材検査・研究協会

〒100-0014　東京都千代田区永田町2-4-3 永田町ビル6階

事業目的

米国の構造材の規格やこれに適用される試験方法は、北米で発展し、現在では国際的な事実上の標準の基礎となっているものが多い。本事業では、我が国の構造材の品質・性能が米国の規格や試験方法に基づいた場合どのように評価されるかを、米国の木材検査機関や木材試験機関の専門家を日本に招聘して日本国内で検証すると共に、性能検証の技術指導を受け、米国での構造材の設計強度（我が国の基準強度に相当）の獲得や米国等での消費拡大のための手法開発を行う。

我が国の国産樹種には、米国で設計強度が与えられていないため、米国内の木造住宅や木造建築物の構造材として利用することができない。この現状を克服し、構造材として利用が可能となる設計強度が与えられれば、米国への木材輸出を促進することが期待される。

実施した項目

本事業の検討委員会を設置し、以下について検討・実施した。

1. 米国の構造材規格・試験方法の分析

米国の構造材の規格や格付規則、規格や規則に適用される標準的な試験方法、試験結果を受けた設計強度の獲得までの手順について、米国で設計強度を得るためという視点から、米国木材検査機関、米国試験機関の協力の下で分析した。

2. ヒノキ試験材の全国規模の収集

北米の同属樹種の既存データが活用可能なヒノキについて、米国で設計強度を得るためという想定で、米国の標準的な試験方法に基づき試験材の全国規模の収集を行い、課題を把握・分析した。

3. ヒノキ試験材の米国検査機関等との性能検証

上記2.により全国規模で収集したヒノキ試験材を、米国木材検査機関の専門家等と共に、米国の構造材の規格と格付規則に基づき等級判定して、性能を検証した。また、我が国の規格・試験方法等に照らした性能の比較検証を行った。

4. スギ試験材の米国検査機関等との基礎的試験

北米に同属樹種がないため米国で既存データが活用できないスギについて、基礎的試験を日本で実施する手法について、米国木材検査機関の専門家の技術指導を受け、試験手法の実践を試みた。

実施体制

1. 次の有識者による検討委員会を設置し、技術的課題の検討及び技術指導を受けた。

委員長	加藤英雄	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所材料接合研究室主任研究員
委　員	井道裕史	国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所材料接合研究室長

委　員　　尾方伸次　　公益財団法人日本合板検査会
専務理事

2. 次の米国関連機関による技術指導及び日本企業の円滑な協力のもと、事業を実施した。

米国木材検査機関　Pacific Lumber Inspection Bureau, PLIB
パシフィック木材検査機関
（Donald DeVisser 顧問）

米国試験機関　Oregon State University, OSU
オレゴン州立大学
（Arijit Sinha 木材複合材料センター長、准教授）

協力企業　株式会社サイプレス・スナダヤ
（砂田雄太郎 代表取締役専務）
協和木材株式会社
（石黒孝則 塙工場長）

実施した内容

1. 米国の構造材規格・試験方法の分析

米国の構造材の規格や格付規則、また、それらに適用される標準的な試験方法とその結果に基づき与えられる設計強度の運用までの手順について、国産樹種を対象とするという視点から、米国木材検査機関（PLIB）、米国試験機関（OSU）の協力の下で分析した。

米国では、木造住宅や木造建築物の構造材として使用できる製材品は、米国の針葉樹製材の規格（American Softwood Lumber Standard, ASLS）の下、米国の木材検査機関の格付規則（National Grading Rule, NGR）により等級判定された2,000本程度の試験材を、米国に本部があるASTMインターナショナルのASTM規格で定めた標準試験方法に基づき、米国の試験機関が実施した強度試験で許容特性値を評価することが必要不可欠である。そして、これ従って与えられる設計強度が、米国内における木造住宅や木造建築物の構造設計に用いることができることになっている。そのため、まず、これらの規格・方法について分析した。

2. ヒノキ試験材の全国規模の収集

北米の同属樹種の既存データが活用可能なヒノキについて、米国で設計強度が与えられるという想定で、米国の標準的な試験方法に基づき試験材の全国規模の収集を行い、その課題を把握・分析した。

許容特性値を評価するための強度試験に供試する構造材（Dimension Limber）を、ASTM規格のD1990（許容特性値を評価するための目視等級区分構造用製材の実大試験）で定められたサンプリング方法と米国木材検査機関の運用手法に基づき、寸法型式204、206及び208毎に、米国の木材検査機関の格付規則に基づく等級のSelect Structural及びNo.2を、それぞれ最小単位で240本（表1）、総数で最小1,440本の試験体を選定する必要があった。また、試験体の採材候補地は、我が国の森林資源現況調査結果（林野庁統計）に基づき地域的な偏りがなく森林資源現況を反映するように系統的に必要とする最小試験体数を米国木材検査機関が必要としていることから（表2）、これらの技術的課題を分析した。

表1　米国木材検査機関が示したヒノキの許容特性値評価に必要な最小試験体数

		寸法型式		
		204	206	208
等級	SS	240	240	240
	No.2	240	240	240

表２　米国木材検査機関が必要とする１つの寸法型式に対する地域別の最小試験体数

		試験体の収集地域				
		北日本	中部地方	中国地方	四国地方	九州地方
等級	SS	16	60	72	40	52
	No.2	16	60	72	40	52

3. ヒノキ試験材の米国検査機関等との性能検証

上記 2. によりヒノキの森林資源現況を反映して収集した材を、米国木材検査機関の専門家が、米国の構造材の規格と格付規則に基づき等級判定を行い、強度試験用の試験体を選別するとともに、選別した材の材面品質を評価する上で効果的なデジタル技術による性能検証を行った。また、米国木材検査機関の専門家の選別基準と枠組壁工法構造用製材の JAS 規格との主な違いを検証した。更に、国際標準となっている木材の強度特性評価手法をはじめ木質構造の性能検証の手法の習得、並びに、米国での構造材の消費拡大の手法開発に必要な性能検証を、米国試験機関（OSU）の専門家の来日の機会を捉えて試みた。

4. スギ試験材の米国検査機関等との基礎的試験

北米に同属樹種がないため米国で既存データが活用できないスギについて、基礎的試験を日本で実施する手法について、米国木材検査機関の専門家の技術指導を受け、試験手法の実践を試みた。

具体的にはスギの許容特性値を評価するには、乾燥・未乾燥材比率（Ratio of Dry and Green Clear Wood Properties）を得る必要がある点の理解や日本国内で試験し同比率を得る手法について、米国木材検査機関の専門家の技術指導を受け、指導内容に即し強度試験を実施した。

実施した結果

1. 米国の構造材規格・試験方法の分析

米国の構造材の規格や格付規則、規格や規則に適用される標準的な試験方法、試験結果を受けた設計強度の獲得までの手順について、米国で設計強度を得るためという視点から、米国木材検査機関（PLIB）、米国試験機関 (OSU) の協力の下で分析した。その結果、次のように整理した。

米国では、木造住宅や木造建築物の構造材（Dimension Lumber）として使用できる製材品は、米国の民間団体である米国製材規格委員会（American Lumber Standard Committee, ALSC) が，米国商務省の連邦規則（Procedure for the Development of Voluntary Product Standards of the U.S. Department of Commerce) に従い，製材品の規格・品質基準を標準化することを目的に作成した針葉樹製材規格（American Softwood Lumber Standard, ASLS）に基づき定めた構造材格付統一規則 (National Grading Rule for Dimension Lumber , NGR) で格付けする必要があった。また、この格付けは、米国木材検査機関の指導に基づき、材面の節、穴、目まわり、割れ、貫通割れ、繊維方向の傾斜、丸身、腐れなどの材質、毛羽立ち、逆目ぼれなどの加工上の欠点、反り、曲がり、寸法などの形状など、外観上から得られる目視情報に基づき行われていた。

米国の木造住宅や木造建築物の構造設計に用いる設計強度（Design Value）が与えられるには、米国の幅広い産業分野で標準試験方法等を定めている ASTM 規格で定められた強度試験の結果から許容特性値（Allowable Property）を評価する必要があった。また、強度試験を実施するに当たり、試験体の系統的な収集や強度試験そのものに参照される ASTM 規格には次のものがあった。なお、これらの詳細な点において、我が国の試験手法や評価方法と一部異なるものがあることを把握した。

①D143: Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber、無欠点小試験体の標準試験方法

②D198: Standard test methods of static tests of lumber structural sizes、構造用製材の静的荷重試験の標準的な方法

③ D1990: Standard practice for establishing allowable properties for visually-graded

dimension lumber from in-grade test of full-size specimens、目視等級区分構造用製材の許容特性値の標準的な評価

④ D2395: Standard Test Methods for Density and Specific Gravity (Relative Density) of Lumber and Wood-based Materials、木材・木質材料の密度・比重に関する標準的な試験方法

⑤ D245: Standard Practice for Establishing Structural Grades and Related Allowable Properties for Visually Graded Lumber、構造的な等級に関係付けられた目視等級区分構造用製材の許容特性値の標準的な評価

⑥ D2555: Standard Practice for Establishing Clear Wood Strength Values、無欠点試験体の強度特性値を評価するための基準

⑦ D4442: Standard Test Methods for the Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-based Materials、木材及び木質材料の含水率測定に関する標準的な試験方法

⑧ D4761: Standard Test Methods for Mechanical Properties of Lumber and Wood-based Structure Materials、木材及び木質材料の力学的特性に関する標準的な試験方法

2. ヒノキ試験材の全国規模の収集

北米の同属樹種の既存データが活用可能なヒノキについて、米国で設計強度を得るためという想定で、米国の標準的な試験方法に基づき試験材の全国規模の収集を行い、課題を把握・分析した。

強度試験のための試験体の系統的な収集手法を定めている標準試験方法の ASTM D1990 では、試験

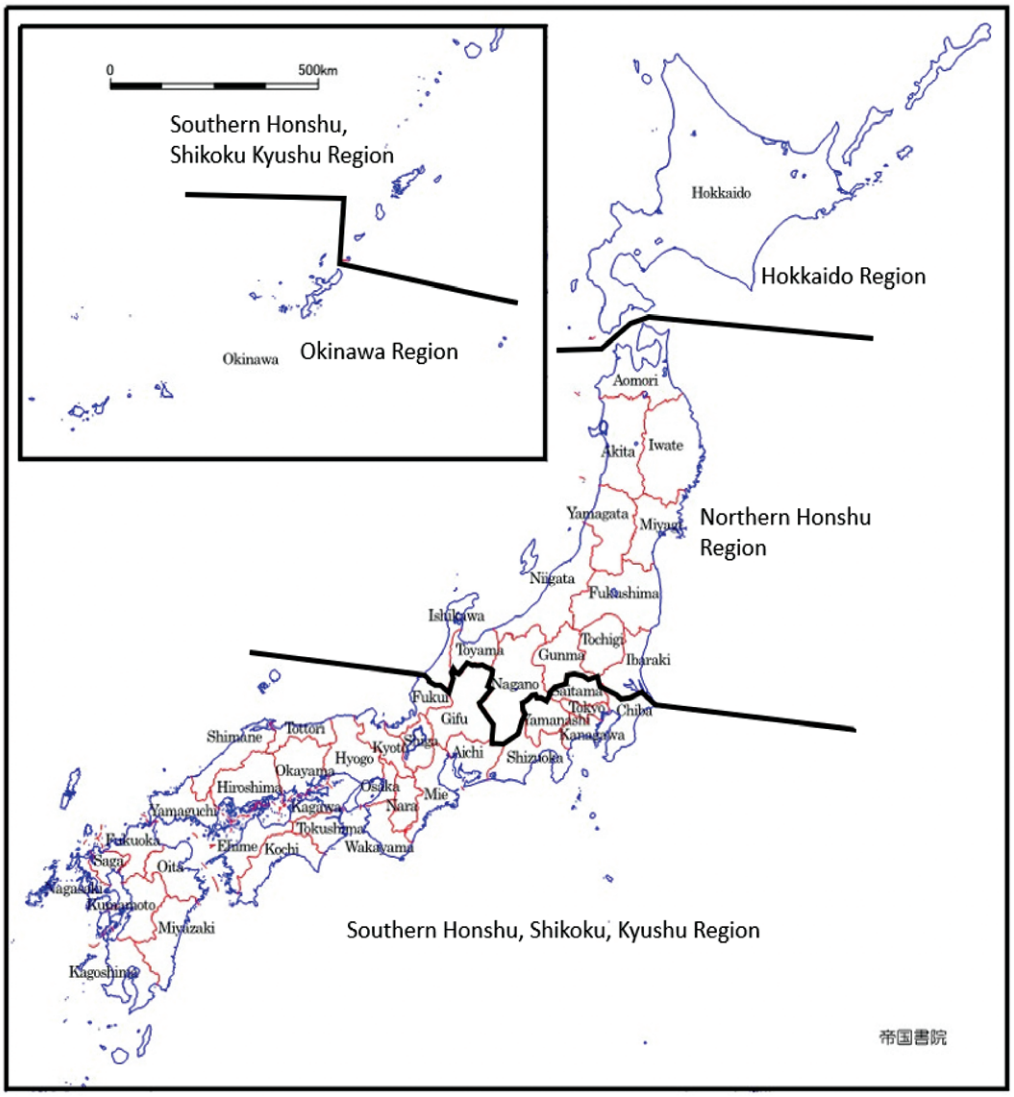


図 1　ヒノキ試験材の地域区分計画

表３　ヒノキ試験材の地域別収集計画表（１寸法型式・等級当たり）

Hinoki growing stock grouping and proposed prefectures that collect test samples

	Prefecture	Volume per prefecture (unit: thousand m3)	Volume per group of prefectures (unit: thousand m3)	The percentage (unit %)	The number of test samples per cell	Remark
1	Hokkaido	0	0	0	0	
2	Aomori	13				
3	Iwate	640				
4	Miyagi	1,291				
5	Akita	4				
6	Yamagata	15				
7	Fukushima	5,301				
8	Ibaraki	7,360				
9	Tochigi	12,231	50,597	6.8	16	
10	Gunma	5,443				
11	Niigata	11				
12	Toyama	57				
13	Ishikawa	1,016				
14	Nagano	17,215				
	Northern Honshu (Kyowa Mokuzai Co Ltd)	50,597				
15	Saitama	5,655				
16	Chiba	2,469				
17	Tokyo	2,250				
18	Kanagawa	4,763				
19	Fukui	1,236				
20	Yamanashi	11,214	186,510	25.2	60	
21	Gifu	55,792				
22	Shizuoka	38,513				
23	Aichi	15,999				
24	Mie	28,564				
25	Shiga	6,957				
26	Kyoto	13,098				
27	Osaka	2,539				
28	Hyogo	28,640				
29	Nara	17,449				Insect damage
30	Wakayama	41,676				Insect damage
31	Tottori	9,972	218,045	29.5	71 -> 72	
32	Shimane	24,708				
33	Okayama	31,689				
34	Hiroshima	27,569				
35	Yamaguchi	33,803				
36	Tokushima	9,852				
37	Kagawa	2,170	122,434	16.6	40	
38	Ehime	38,800				
39	Kochi	71,612				
40	Fukuoka	19,866				
41	Saga	9,481				
42	Nagasaki	19,855				
43	Kumamoto	39,589	161,399	21.8	52	
44	Oita	20,433				
45	Miyazaki	19,828				
46	Kagoshima	32,347				
	Southern Honshu, Shikoku, Kyushu (Cypress Sunadasya Co Ltd)	688,388	688,388	93.2	224	
47	Okinawa		0	0	0	
	Total	**738,985**	**738,985**	**99.9 -> 100**	**240**	

Remarks:

1. The data is the processed version of 'The current state of forest resources, 2017' (Forestry Agency, Ministry of Agriculture, Forestry ahd Fisheries, Japan, in Japanese).
2. Prefectures colored in yellow are the proposed prefectures that collect test samples.
3. Transaction is difficult in Nara and Wakayama due to insect damage.
4. Numbers per the group are approximate and may be slightly up or down, but the total number is equal or more than 240.

体の収集本数は、等級がSelect Structural及びNo.2の２等級に対して、寸法形式が204、208、210毎に試験体の最小本数を365本（最小の総数2,190本）としているが、米国の数州程度の面積である場合は、最小本数を200本以上（同1,200本以上）としてよいことを把握した。

米国木材検査機関では、欧州材の強度試験の場合、当該国の面積を考慮し最小240本として運用したことから、今回のヒノキについては同様に最小240本（同1,440本）とし、我が国での製造の現状から３寸法型式を204、206、208とすることとし、ヒノキの地域区分計画（図１）、試験材の地域別収集計画（１寸法型式・等級当たり）（表３）を作成し、寸法型式別・等級別・地域別の試験材の最小収集本数計画を、米国木材検査機関の専門家と共に作成した（表４）。

米国木材検査機関では特に節を試験材の等級決定因子としていたが、材幅の大きい型式寸法208で、節を等級決定因子とするNo.2の試験材の収集が、通常の方法では１％程度しか見込めず、極めて難しいと想定されたため、通常は構造材の製造の対象とならない原木をあえて集荷し、節を等級決定因子とするNo.2の試験材の製造を優先させた。また、一部の208を、節の位置を狙って再割りし、204、206のNo2.を製造した。

試験候補材の製造の技術的難易度が高いため、本協会との密接な技術的連携の下で課題に対応できる協力工場として、北日本で協和木材株式会社、それ以外の４地域で株式会社サイプレス・スナダヤを協力工場とした。

原木を地域毎に収集し、寸法型式・等級・地域毎に必要な試験候補材を製造し、事前に等級判定し、その結果を受けて一部について再割りを行うまでの期間としては極めて短期間となり、技術的に難易度の高い事業となったが、広域な地域からの原木の集荷に経験があり、試験材の製造に円滑に対応できる株式会社サイプレス・スナダヤ、協和木材株式会社の２協力工場により、全国規模の約4,000本の試験候補材の収集が可能となった。

表４　試験材の寸法型式別・等級別・地域別の品質評価・等級判定本数

協力工場		協和木材	サイプレス・スナダヤ				
地域		北日本	中部	中国	四国	九州	計
204	Select Structural	30(16)	21(60)	32(72)	38(40)	60(52)	181(240)
	No.2	30(16)	70(60)	80(72)	50(40)	60(52)	290(240)
206	Select Structural	24(16)	45(60)	30(72)	49(40)	56(52)	204(240)
	No.2	24(16)	63(60)	77(72)	49(40)	56(52)	269(240)
208	Select Structural	20(16)	45(60)	85(72)	45(40)	55(52)	250(240)
	No.2	22(16)	65(60)	75(72)	45(40)	55(52)	262(240)
計		150 (96)	309 (360)	379 (432)	276 (240)	342 (312)	1,456 (1,440)

注：数値は米国木材検査機関（PLIB）専門家と米国の格付規則により品質評価した後に選定した本数。(　)内の数値は収集を計画した最小本数。

3. ヒノキ試験材の米国検査機関等との性能検証

米国木材検査機関（PLIB）の専門家２名を本年７月後半の２週間日本に招聘し、上記2.で収集した寸法型式204，206，208で等級がSelect structural及びNo.2の５地域ごとの試験候補材約4,000本を対象に、米国の基準に即した等級判定を通じ性能検証を行うとともに（表２、写真１）、米国の構造材としての性能検証の技術・手法の実地紹介と技術指導を受けた。また、米国木材検査機関の専門家が判定した試験体のうち、北日本で選別した寸法形式204及び206の材面品質のデジタル技術による評価の性能検証について、材面品質の評価に必要な外観上から得られる目視情報のデジタル化は十分可能であること、専門家の判定の際に記入されたマークが判別に影響を及ぼす可能性があることが明らかとなった（図２、３）。

性能検証の過程で、等級判定に係る材面の品質の見方は、我が国の枠組壁工法構造用製材のJAS規格と類似しているものの、一部に異なるものがあることを把握し、JAS規格（枠組壁工法構造用製材）と米国の基準の主な違いについて整理した（表５）。

また、日本の協力工場（２工場）の原木から最終製品までの製造設備と品質管理手法の実地調査、米

国での消費拡大についての意見交換を行った。その結果、製造･品質管理については良好と判断された。また、米国でヒノキの消費拡大を進めるための要素として、設計強度の明確化、色沢、耐久性及び香りの広報が提起された。

米国試験機関（OSU）の専門家の来日の機会を捉え、上記内容の検証を国内で行った。消費拡大のため、設計強度に加え、接合強度や枠組みした際の強度の明確化が提起された。

写真１　米国木材検査機関（PLIB）専門家による等級判定

表５　JAS 規格（枠組壁工法構造用製材）と米国の基準の主な違い

項目	JAS規格	米国の基準
材縁の節の定義	材縁から、材縁の節の許容値の1/6以内にある節	節の端が材縁に接している節
材縁の節と中央の節の許容値	材縁の節・中央の節と別々に固有の許容値を設定	材縁から中心線に向けて、許容値は比例し変化して増加
同一断面上の複数の節	（規定なし）	同じ断面上に複数の節がある場合、その合計は中心線上の節の許容値を超えない
（参考：集中節）	（同様）	（同様）

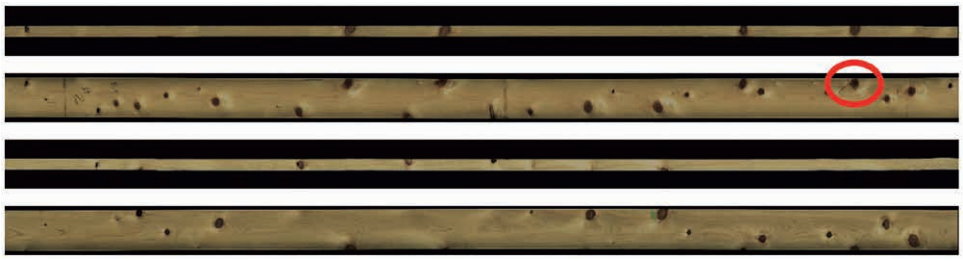


図２　材面品質の評価を検証するために用いたデジタルデータの一例

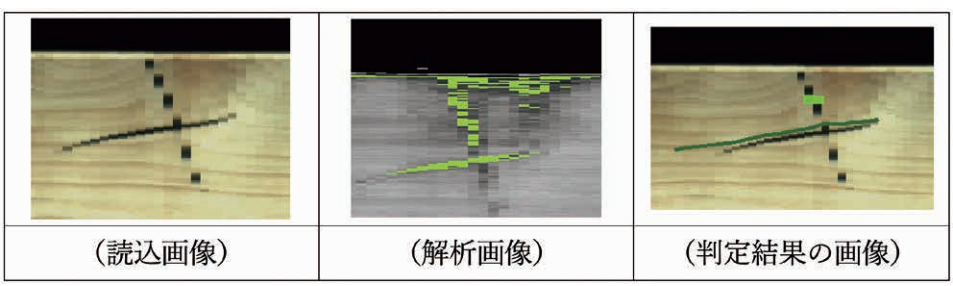


図３　図２の赤丸部分の検証結果

4. スギ試験材の米国検査機関等との基礎的試験

北米に同属樹種がないため米国で既存データが活用できないスギについて、基礎的試験を日本で実施する手法について、米国木材検査機関の専門家の技術指導を受け、試験手法の実践を試みた。

含水率は構造材の強度とヤング係数に影響するため、許容特性値を評価するに当たり、乾燥状態と未乾燥状態でそれぞれの小試験体による強度から乾燥・未乾燥比率（Ratio of Dry and Green Clear Wood Properties）を算出する必要があるが、スギについては米国に既存データがなく、また植物防疫上の観点から未乾燥状態のままで米国に試験体を輸送することはできないことから、日本国内でこの試験を実施し、同比率を得ることが不可欠であることを把握した。また、米国木材検査機関の専門家が日本国内の試験設備に関する実地調査を行った結果、この試験はつくばの森林総合研究所が適切と判断された。そのため、スギの乾燥・未乾燥比率を算出するために必要な強度試験は、米国木材検査機関の専門家の技術指導の元、材料の調達から試験結果を得るまでの手順を森林総合研究所で担当することとし、材料の調達モデルとして東北地域を設定し、必要とする採材方法、試験体の加工手順、強度試験の進め方を検討した。結果として、試験体を採材する丸太形状は、材長3m、末口径は26cmが適当であり、そこから厚さ12cm、幅24cmの平角を採材し、次いでそれを幅及び材長の幾何的中心で再割りして材長１m、断面寸法12cmの心去り正角を１本の丸太から４本採材することが、その後行う試験体の搬送、加工、未乾燥状態の維持に適切であることが分かった。なお、１本の丸太から得られた４本のうち２本を未乾燥状態、もう２本を乾燥状態の強度試験を採取するように含水状態の管理を行うことにした。ただし、森林総合研究所で含水状態を管理するためのスペースには限りがあり、地域別から試験体を採材する時期、乾燥状態の試験体を作製するための手順については、引き続き検討する必要があることが明らかとなった。

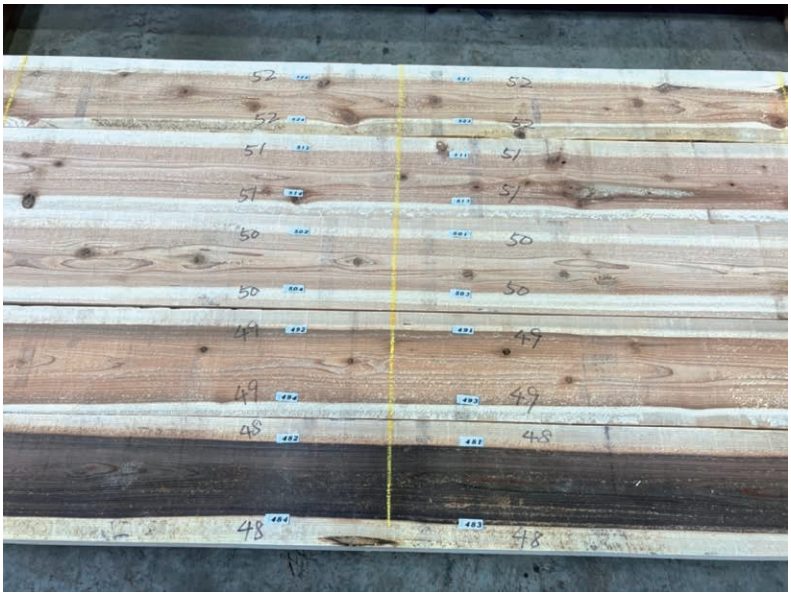


写真２　スギの基礎的試験に用いるための採材方法（丸太５本分の例）

今後の課題・展開等

米国において、構造材として必要な許容特性値を得るための強度試験を行い、同特性値をもとに米国で構造材として使用するための設計強度（我が国の基準強度に相当）を得る。また接合強度等の強度特性を得る。ヒノキの取組を参照し、スギについても同様の取組を行い、米国で設計強度を得る。

これらにより、我が国の構造材の性能評価の国際標準化を進め、スギ・ヒノキの米国等への輸出拡大を促進する。

事業

CLTパネル工法建築物の地震時限界性能把握を踏まえた耐震基準緩和に関する検討

● 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

京都大学生存圏研究所
〒611-0011　京都府宇治市五ケ庄

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）が大きい。これが倒壊限界を伸ばし、その影響は階数が少なく壁パネル幅が大きいほど顕著になると考えられる。したがって、特に低層CLTパネル工法建築物では、倒壊限界を把握することにより耐震基準を緩和でき、接合金物なども簡易なものとできる可能性が高い。

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年間を想定する。本事業ではその２年目として以下の検討を行った。

① **倒壊限界等確認水平加力実験**
倒壊限界の直接的確認と倒壊解析手法検証のための静的水平加力実験。

② **地震倒壊解析による倒壊限界の把握**
震度７級地震動に対する倒壊限界と、その保証条件に関する検討。

③ **耐震基準緩和の内容検討**
上記の結果に基づく耐震基準緩和内容の検討。

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

■実験実施・解析WG（実験の計画・実施・分析、地震倒壊解析）
京都大学、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

①倒壊限界等確認水平加力実験

検討委員会内に設置したWGにより実施した。試験体はW1、A10N、A10Kの３種類とした（写真１参照）。W1の構成・仕様は令和３年度に実施した振動台実験と同じである。A10N、A10Kは長辺方向を２構面とした箱型試験体であり、A10Nは２階腰壁無し、A10Kは２階腰壁有りである。鉛直構面を構成するCLTパネルと接合部は平28国交告第611号による小幅パネル架構・ルート１の規定に適合するものとした。水平構面はW1ではMx60-7-7、210mm厚のCLTパネルであるのに対して、A10N、A10Kでは断面90×210mmの集成材と構造用合板による床組とした。また、いずれも実建物を想定した重量となるように、各水平構面の上に錘を載せた。倒壊限界に相当する大変形を与えることができる加力装置を構築し、水平耐力が０になるか、または加力装置の限界に至るまで加力した。

写真１　倒壊限界等確認水平加力実験の実験装置・試験体

②地震倒壊解析による倒壊限界の把握

検討委員会内に設置したWGにより、既往の木造建築物の地震倒壊応答解析プログラムを用いたパラメトリック解析を行った。そこでは、対象をA10Nと同様の架構で層数を２～４としたもの（A10Nモデル）、およびW1と同様の架構で層数を２～５としたもの（W1モデル）の２種類とし、モデルを構成するバネ要素等の特性は既往の知見と上記実験結果に基づいて設定した。入力はJR鷹取NS（1995）を含む震度７級実地震動とした。

③ 耐震基準緩和内容の検討

上記の結果を踏まえ、検討委員会において耐震基準緩和の内容および今後の課題などについて検討した。

実施した結果

①倒壊限界等確認水平加力実験

W1の倒壊限界状態は壁パネル頂部の局部座屈を伴う圧壊および上下の対角を中心とした面外回転であった（写真２左参照）。A10Nでは梁の折損、垂壁の袖壁へのめり込みなどが生じたが明確な倒壊限界は確認されず、加力装置の限界に達した時点を倒壊限界状態とした（写真２中央参照）。A10Kの倒壊限界状態はW1と同様に壁パネル上下の対角を中心とした面外回転であった（写真２右参照）。倒壊限界状態における１層の層間変位はW1で919mm（1/3.26rad）、A10Nで791mm（1/3.79rad）、A10Kで754mm（1/3.98rad）であった。

試験体重量を現行ルート１で許容される上限値W_a（=Q_a/0.2、Q_a：現行ルート１の耐力壁許容水平耐力）とした場合の等価１自由度系の加速度A-代表変位Δ関係を図１に示す。W1については令和３年度振動台実験によるA-Δ関係と概ね一致している。同図には震度７級実地震動群の加速度応答スペクトルS_a-変位応答スペクトルS_d関係の包絡線を併記した。いずれ試験体もA-Δ関係は包絡S_a-S_d関係と交点を持っており、震度７級地震動に対して倒壊しない可能性を示している。

②地震倒壊解析による倒壊限界の把握

パラメトリック解析では建物重量をパラメータとした。その結果分析に当たり4,5層架構のW_aは

3層架構と同様の方法で算定できるものとした。A10Nモデルでは、接合部がルート1仕様の場合に、2層架構では建物重量がW_a以下であれば倒壊は生じないこと、3,4層架構ではW_aの1.5倍程度までは倒壊は生じないこと、および2,3層架構について引張接合部の耐力・変形能力をルート1仕様の1/3とすると倒壊限界重量はむしろ増加することなどが確認された。W1モデルでは、水平構面がCLTパネルであることにより倒壊限界重量はA10Nモデルより大きいことなどが確認された。

③耐震基準緩和内容の検討

上記の結果に基づき、CLTパネル工法建築物では、壁パネル・せん断接合部の破壊が生じないことを条件として、2層架構では建物重量がW_a以下、3～5層架構ではその1.5W_a程度以下であれば、大地震に対する検定は不要であること、および壁パネル引張接合部は簡易化できることなどが確認された。

これを踏まえて、小幅パネル架構について、倒壊防止の観点から、ルート1では、3層架構について建物重量上限値をW_a'（≒1.5W_a）に更新でき、4,5層架構について3層架構と同様の方法でW_a'を算定できること、および建物重量がW_a'以下であれば、ルート2では終局耐震性能確保のための応力割増しは不要であり、ルート3では構造特性係数D_sを緩和できることなどが検討された。

写真2　最大変形時の損傷状態

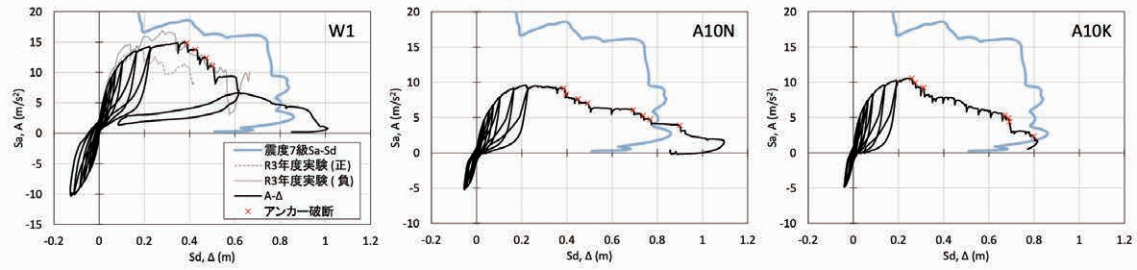


図1　実験結果（等価1自由度系のA-Δ関係）

今後の課題・展開等

具体的な耐震基準緩和案・接合部簡易化案の提示に向けて次のような課題がある。

1）**垂壁-壁接合部の曲げ抵抗の確実性の確認**：小幅パネル架構の倒壊限界は、前述の傾斜復元力のほかに垂壁-壁接合部のめり込みによる曲げ抵抗が寄与している。今回の実験では床組梁の折損後も曲げ抵抗が維持されたが、要素実験の追加等によりその確実性を確認する必要がある。その結果によっては、同接合部の特性を修正してパラメトリック解析を再度行う必要もあり得る。

2）**CLT壁パネルの先行破壊防止条件**：令和3年度事業においてCLT壁パネルの鉛直支持力保持限界変形角に関する検討を行った。この知見等をパラメトリック解析結果に反映してCLT壁パネルの先行破壊防止を含めた倒壊限界を検討する必要がある。

3）**せん断接合部の先行破壊防止条件**：令和3年度事業においてせん断耐力を保持できる限界浮上り量

に関する検討を行ったが、今回のパラメトリック解析では引張接合部を簡易化する場合にそれを超える浮上りが生じている。これに対応するためには浮上りに対する追従性の高いせん断接合部の検討が必要である。

4）中地震に対する損傷防止を考慮した耐震基準緩和案の検討：本年度までの検討では震度7級地震動に対する倒壊防止を条件とした大地震に対する耐震基準緩和を主な対象としている。このほかに中地震に対する損傷防止を条件とした検討が必要である。

これらの課題について次年度以降に引き続き検討を行い、耐震基準緩和案の提示に向かう予定である。

事業

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
〒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１～４について検討、実施
技術資料作成委員会……下記の５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. CLTパネル工法の設計、施工実務者等に対するアンケート
3. 低層小規模建築物向けの接合金物のプロトタイプの開発
4. 接合金物のプロトタイプ素案の検証、規格案のまとめ
5. 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	森　　拓郎	広島大学大学院　先進理工系科学研究科　准教授
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	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	山崎　義弘	(国研)建築研究所　材料研究グループ　主任研究員
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	(国研)建築研究所　材料研究グループ　主任研究員
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	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

■技術資料作成委員会／CLT設計施工マニュアル編集委員会 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	京都大学　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	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　上席研究員
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

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. CLTパネル工法の設計、施工実務者等に対するアンケート

関係団体等の協力を得て、CLTパネル工法の設計、施工実務の経験者等に対して、CLTパネル工法において用いられているCLTパネルの層構成、材寸、工具等の状況のほか、意匠性、施工性等の観点も踏まえた接合金物の合理化に関するアンケートを行った。

3. 低層小規模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整理した。

4. 接合金物のプロトタイプ素案の検証、規格案のまとめ

4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。

5. 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。

実施した結果

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値計算式を参考に、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引張接合部の目標性能を算出した。

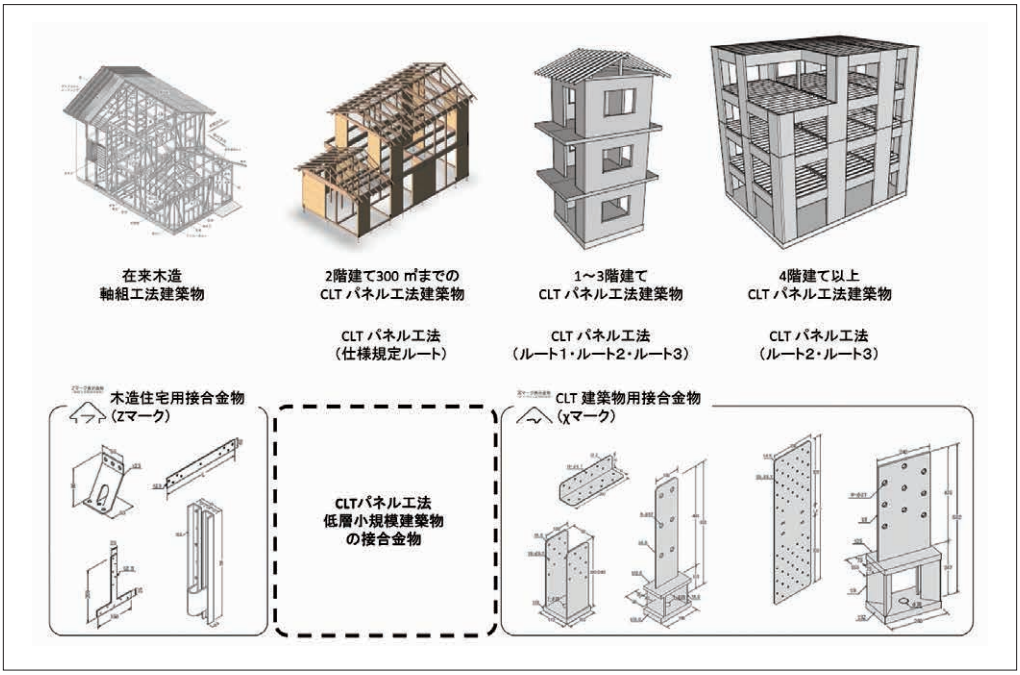


図１　検討対象の建物イメージと接合金物

平屋建て　または　２階建ての２階部分

$N=A_1\times B_1\times D/j-L$

この式において、
A_1：当該壁の壁倍率
B_1：周辺部材による押さえ効果を表す係数
L：鉛直荷重による押さえ効果を表す係数
D/j：応力中心間距離の補正係数(=1.27)

２階建ての１階部分

$N=(A_1\times B_1+ A_2\times B_2)\times D/j-L$

この式において、
A_1：当該壁の壁倍率
B_1：当該階の周辺部材による押さえ効果を表す係数
A_2：当該壁に連続する２階壁の壁倍率
B_2：２階の周辺部材による押さえ効果を表す係数
L：鉛直荷重による押さえ効果を表す係数
D/j：応力中心間距離の補正係数(=1.27)

周辺部材による押さえ効果を表す係数Ｂ

			隅壁（出隅）	その他
平屋 2/2階	頭部	B_1	0.5	0.5
	脚部	B_1	0.8	0.5
1/2階	頭部	B_2	0.8	0.5
		B_1	0.5	0.5
	脚部	B_2	0.8	0.5
		B_1	0.8	0.5

鉛直荷重による押さえ効果を表す係数Ｌ

		隅壁（出隅）	その他
平屋 2/2階	頭部	0.4	0.6
	脚部	0.4	0.6
1/2階	頭部	1.0	1.6
	脚部	1.0	1.6

図２　N値計算式及び係数

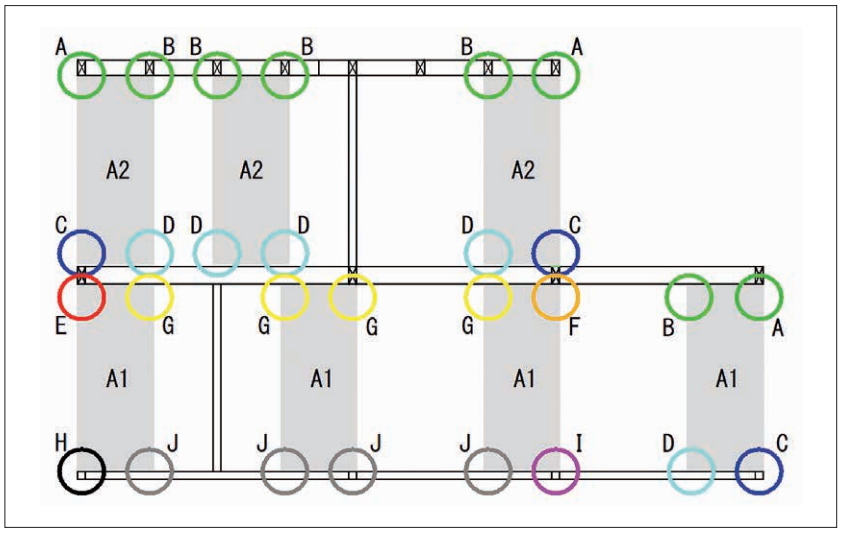


図３　２階建てモデルによる壁接合部の仕口

表１　引張接合部の目標性能（平屋部分又は最上階）

		平屋部分又は最上階		平屋部分又は最上階	
		A 出隅	B その他	C 出隅	D その他
2階の鉛直荷重による抑え効果	L2	0.4	0.6	0.4	0.6
1階の鉛直荷重による抑え効果	L1	-	-	-	-
2階の曲げ戻し係数	B2	0.5	0.5	0.8	0.5
1階の曲げ戻し係数	B1	-	-	-	-
2階の壁倍率	A2	-	-	-	-
応力中心間距離の補正係数	D/j	1.27	1.27	1.27	1.27
モデルプランの必要壁倍率	壁倍率A2	接合部耐力 (kN)	接合部耐力 (kN)	接合部耐力 (kN)	接合部耐力 (kN)
	1.0	1.2	0.2	3.3	0.2
	1.5	2.9	1.9	5.9	1.9
	2.0	4.6	3.5	8.6	3.5
	2.5	6.3	5.2	11.3	5.2
	3.0	8.0	6.9	14.0	6.9
	3.5	9.6	8.6	16.7	8.6
	4.0	11.3	10.3	19.4	10.3
	4.5	13.0	11.9	22.1	11.9
	5.0	14.7	13.6	24.8	13.6
	5.5	16.4	15.3	27.5	15.3
	6.0	18.0	17.0	30.1	17.0
	6.5	19.7	18.7	32.8	18.7
	7.0	21.4	20.3	35.5	20.3

表２　引張接合部の目標性能（２階建ての１階）

		2階建ての1階			2階建ての1階		
		E 上階：出隅 当階：出隅	F 上階：出隅 当階：出隅以外	G 上階：出隅以外 当階：出隅以外	H 上階：出隅 当階：出隅	I 上階：出隅 当階：出隅以外	J 上階：出隅以外 当階：出隅以外
2階の鉛直荷重による抑え効果	L2	-	-	-	-	-	-
1階の鉛直荷重による抑え効果	L1	1	1.6	1.6	1	1.6	1.6
2階の曲げ戻し係数	B2	0.8	0.8	0.5	0.8	0.8	0.5
1階の曲げ戻し係数	B1	0.5	0.5	0.5	0.8	0.5	0.5
2階の壁倍率	A2	5	5	5	5	5	5
応力中心間距離の補正係数	D/j	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27	1.27
モデルプランの必要壁倍率	壁倍率A1	接合部耐力 (kN)	接合部耐力 (kN)	接合部耐力 (kN)	接合部耐力 (kN)	接合部耐力 (kN)	接合部耐力 (kN)
	1.0	25.0	21.8	11.7	27.0	21.8	11.7
	1.5	26.6	23.5	13.4	29.7	23.5	13.4
	2.0	28.3	25.1	15.1	32.3	25.1	15.1
	2.5	30.0	26.8	16.7	35.0	26.8	16.7
	3.0	31.7	28.5	18.4	37.7	28.5	18.4
	3.5	33.4	30.2	20.1	40.4	30.2	20.1
	4.0	35.0	31.9	21.8	43.1	31.9	21.8
	4.5	36.7	33.5	23.5	45.8	33.5	23.5
	5.0	38.4	35.2	25.1	48.5	35.2	25.1
	5.5	40.1	36.9	26.8	51.2	36.9	26.8
	6.0	41.8	38.6	28.5	53.9	38.6	28.5
	6.5	43.4	40.3	30.2	56.5	40.3	30.2
	7.0	45.1	41.9	31.9	59.2	41.9	31.9

2. CLTパネル工法の設計、施工実務者等に対するアンケート

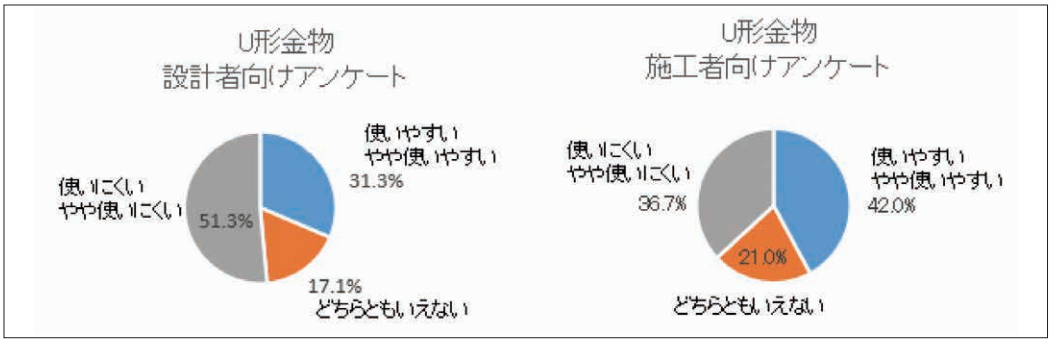
2.1　アンケート調査の概要

調査名　　：「CLTパネル工法用金物の開発、合理化検討」に関するアンケート調査
調査方法　：Webフォームによるアンケート
調査期間　：2022年8月17日～2022年9月9日
対象者　　：CLTを利用した建築物の設計、施工の経験者
　　：CLT協会のWGメンバー
　　：「CLTパネル工法用金物の開発、合理化検討」委員会の委員
　　：「CLTパネル工法用金物の開発、合理化検討」委員会のWGメンバー

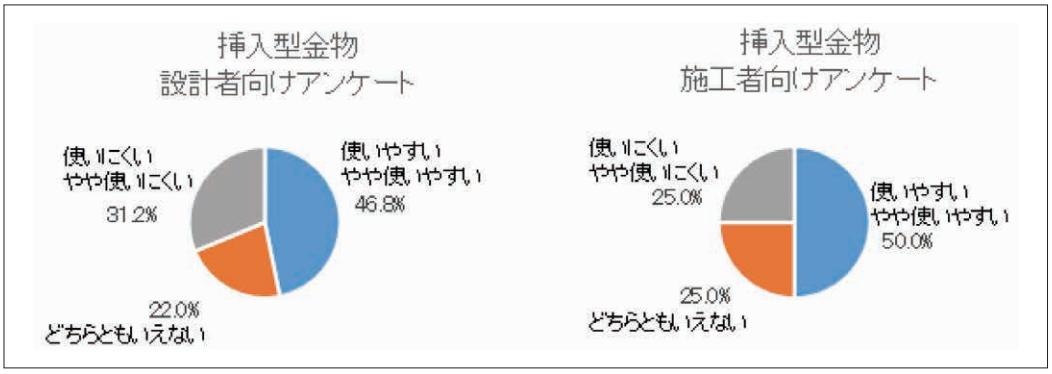
アンケート依頼先の件数：　259件
アンケート回収件数　　：　113件
アンケート回収率　　：　43.62%

2.2　アンケート結果の概要

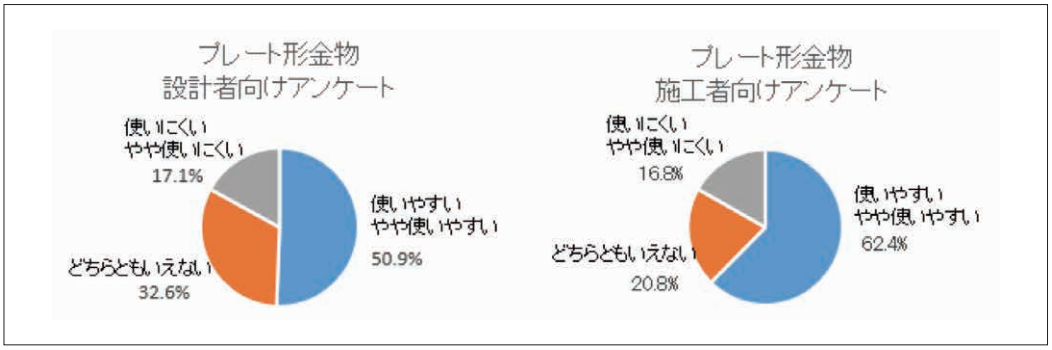
2.2.1　クロスマーク表示金物：U形金物について「どのように感じているか」



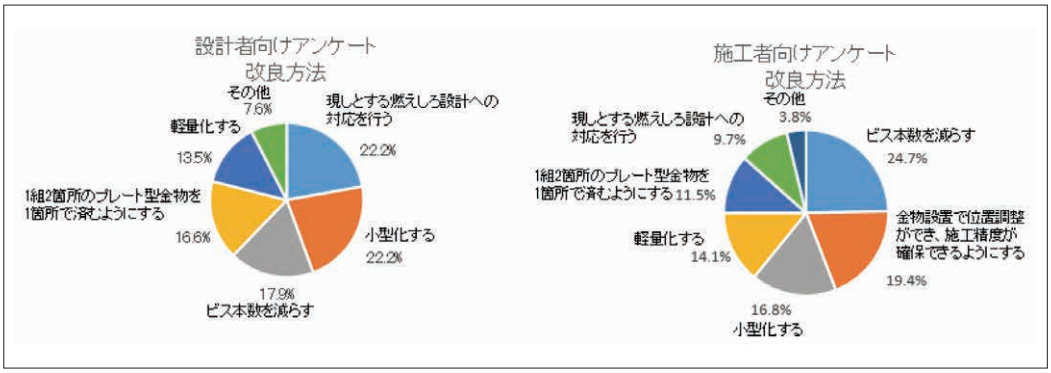
2.2.2　クロスマーク表示金物：挿入型金物について「どのように感じているか」



2.2.3　クロスマーク表示金物：プレート形金物について「どのように感じているか」



2.2.4　クロスマーク表示金物：「どのような改良がされたらよいか」



2.2.5　アンケート結果から示唆された金物開発、改良で考慮してほしいこと

①低価格への対応

ⅰ）軽量化、小型化して、鋼材量、ビス本数などを少なくする。（施工容易性に共通）

ⅱ）溶接などは極力少なくし、金物製作の効率を高める。

ⅲ）金物形状は、安価で施工が容易なプレート形金物をできるだけ採用する。

ⅳ）CLTの現し設計に対応するために、室内に露出しない取付けができる金物とする。

②施工容易性への対応

ⅰ）施工精度が容易に出せるように位置調整の可能な形状とする。

ⅱ）金物を配置することで、内装下地材、サッシなどを納めるために追加材などが生じない様にする。

ⅲ）金物を配置するにあたり、断熱性能、気密性能を満たすために無理な納まりとならない様にする。

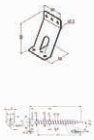
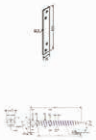
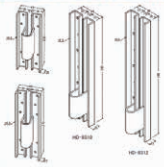
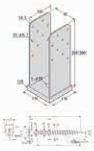
ⅳ）金物を２つ配置して一組で用いるのではなく、金物１つ１箇所の使用で対応する。

3. 低層小規模建築物向けの接合金物のプロトタイプの開発

金物の現し対応、周辺部材との取り合い、CLT側加工の有無、施工性、金物の製造コストなどの評価項目を設定し、目標性能に対応する引張金物およびせん断金物を整理した。

表３　引張金物比較表　壁－基礎、壁－土台（その１）

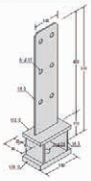
引張金物比較表　壁-基礎、壁-土台

壁-基礎 壁-土台	プレート L型金物	プレート 平型金物	ホールダウン	プレート U型金物
現し対応	×	×	△ ※木口面を隠す場合は可	×
イメージ				
土台対応	土台有り：○ 土台無し：×	土台有り：○ 土台無し：×	土台有り：○ 土台無し：○	土台有り：○ 土台無し：○
CLT加工	◎ 加工なし	◎ 加工なし	◎ 加工なし	○ 座金部分切り欠き
製造コスト	◎	◎	△～○	×
施工性	○	○	○	△ ビス本数が多い？
目標耐力 ～10kN	L型金物① STS・C65×2本：5kN程度 鋼材量：159g	ひら金物SM-15S STS・C65×2本：4kN程度 鋼材量：272g	-	-
目標耐力 ～30kN	-	-	今年度実施 HD-S22C（スギで22kN） STS・HC90×8本：20kN程度 鋼材量：1855g HD-S29C（スギで29kN） STS・HC90×10本：25kN程度 鋼材量：2118g	TB-90（縮小版①） STS・C65×12本：30kN程度 鋼材量：3437g
目標耐力 ～50kN	-	-	HD-8S10（ヒノキで50kN） STS8・HC90×10本：30～40kN?? 鋼材量：2746g HD-8S12（ヒノキで59kN） STS8・HC90×12本：30～40kN?? 鋼材量：3141g	TB-90 STS・C65×18本：50kN程度 鋼材量：3964g
目標耐力 50kN以上	-	-	-	-

※青字は既存のZマーク金物
※橙字は既存のCマーク金物
※緑字は既存のXマーク金物
※鋼材量はアンカーボルトを除いて試算

表４　引張金物比較表　壁－基礎、壁－土台（その２）

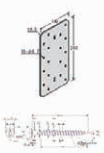
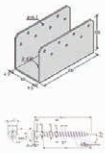
引張金物比較表　壁-基礎、壁-土台

壁-基礎 壁-土台	パイプ金物 土台タイプ	パイプ金物 BOXタイプ	鋼板挿入金物
現し対応	○	○	○
イメージ			
土台対応	土台有り：○ 土台無し：×	土台有り：× 土台無し：○	土台有り：× 土台無し：○
CLT加工	○ パイプ・DPの先穴加工	△ パイプ・DPの先穴加工 BOX部分切り欠き	△ DPの先穴加工 挿入鋼板のスリット加工 BOX部分切り欠き
製造コスト	◎	×	×
施工性	○	○	○
目標耐力 ～10kN	ほぞパイプ①（短ほぞ） DP(φ12)1本：6～10kN程度 鋼材量：335g	-	-
目標耐力 ～30kN	-	BOXパイプ① DP(φ12)2本：15kN程度 鋼材量：3332g BOXパイプ② DP(φ12)4本：30kN程度 鋼材量：3766g	TB-DP(縮小版①) DP(φ16)2本：25kN程度 鋼材量：4001g
目標耐力 ～50kN	-	-	TB-DP(縮小版②) DP(φ16)4本：50kN程度 鋼材量：4680g
目標耐力 50kN以上	-	-	TB-DP DP(φ16)6本：75kN程度 鋼材量：5359g

※青字は既存のZマーク金物
※橙字は既存のCマーク金物
※緑字は既存のXマーク金物

表５　せん断金物比較表　壁-基礎、壁-土台（その１）

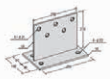
せん断金物比較表　壁-基礎、壁-土台

壁-基礎 壁-土台	プレート 平型金物	プレート U型金物	パイプ金物 壁-土台
現し対応	×	×	○
イメージ			
土台対応	土台有り：○ 土台無し：×	土台有り：○ 土台無し：○	土台有り：○ 土台無し：×
CLT加工	◎ 加工なし	○ 座金部分切り欠き	○ パイプ・DPの先穴加工
製造コスト	○	○	◎
施工性	○	○	○
目標耐力 ～10kN	SP(縮小版①) STS・C65×4本：10kN程度 鋼材量：830g	-	ほぞパイプ①（短ほぞ） DP(φ12)1本：10kN程度 鋼材量：264g
目標耐力 ～20kN		SB-90(縮小版①) STS・C65×6本：18kN程度 鋼材量：1395g	ほぞパイプ②（長ほぞ） DP(φ12)1本：15kN程度 鋼材量：510g
目標耐力 ～30kN	SP STS・C65×9本：26kN 鋼材量：1694g	-	-
目標耐力 30kN以上	-	SB-90 STS・C65×14本：47kN 鋼材量：2825g	-
終局時の浮き上がり 追従性	×	×	○

※青字は既存のZマーク金物
※橙字は既存のCマーク金物
※緑字は既存のXマーク金物
※鋼材量はアンカーボルトを除いて試算

表６　せん断金物比較表　壁-基礎、壁-土台（その２）

せん断金物比較表　壁-基礎、壁-土台

壁-基礎 壁-土台	鋼板挿入金物 壁-土台	鋼板挿入金物 壁-基礎	鋼棒挿入 壁-基礎
現し対応	○	○	○
イメージ			
土台対応	土台有り：○ 土台無し：×	土台有り：× 土台無し：○	土台有り：○ 土台無し：○
CLT加工	△ DPの先穴加工 挿入鋼板のスリット加工	△ DPの先穴加工 挿入鋼板のスリット加工	○ 先穴加工
製造コスト	○	×	×
施工性	○	△	×
目標耐力 ～10kN	-	-	-
目標耐力 ～20kN	-	-	-
目標耐力 ～30kN	SP-DP(縮小版①) DP(φ16)3本：26kN程度 鋼材量：2674g	-	D32(1本) 許容耐力：27kN程度 鋼材量：5064g
目標耐力 30kN以上	-	SB-5DP20(t210) DP(φ20)5本：166kN→○○kN程度 鋼材量：4772g	-
終局時の浮き上がり 追従性	×	×	○

※青字は既存のZマーク金物
※橙字は既存のCマーク金物
※緑字は既存のXマーク金物

4. 接合金物のプロトタイプ素案の検証、規格案のまとめ

今回性能試験を実施したのは、Cマーク表示金物とZマーク表示金物として規格化している下記のホールダウン金物４製品である。下記に金物の形状及び試験結果を示す。

①HD-S22C

試験体名称：S22C
使用金物：HD-S22C
使用ビス：STS・HC90×8本

破壊性状
・母材外層ラミナの割裂
・ビスの曲げはほとんど見られない
・金物の損傷も概ねなし

試験結果
主材：スギ　CLTt90　Mx60-3-3
基準耐力T_0=19.1kN

既往実験の結果
主材：スギ　204×3材合わせ 89×114
降伏耐力Py=22.6kN

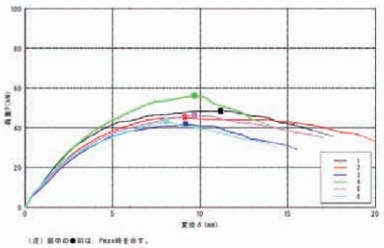
試験体１

試験体３

試験体１

試験体４

試験体３



（注）図中の●印は、P_{max}時を示す。

表１　耐力算定のための基礎資料

試験体 記号	番号	加力方向	降伏時 荷重 P_y (kN)	降伏時 変位 δ_y (mm)	$2/3P_{max}$時 荷重 (kN)	$2/3P_{max}$時 変位 (mm)	P_{max}時 荷重 (kN)	P_{max}時 変位 (mm)
S22C	0	単調	28.2	2.9	27.7	2.9	41.6	13.3
	1	一方向繰返し	29.2	2.6	32.3	3.1	48.5	11.2
	2		26.3	2.6	30.1	3.2	45.2	9.1
	3		24.1	2.7	27.7	3.3	41.6	9.2
	4		32.8	3.1	37.4	3.8	56.1	9.7
	5		26.8	2.9	30.8	3.6	46.2	9.7
	6		23.5	2.3	28.8	3.3	43.2	8.1
	平均		27.1	2.7	31.2	3.4	46.8	9.5
	標準偏差		3.45	0.28	3.44	0.26	5.14	1.02
	変動係数		0.127		0.110			
	ばらつき係数		0.703	—	0.743	—	—	—
	短期基準引張耐力 P_{sa} (kN)		19.1		23.2			

（注）短期基準引張耐力（P_{sa}）は、降伏耐力P_y又は$2/3P_{max}$の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値のうち小さい方とし、□に示した値である。

②HD-S29C

試験体名称：S29C
使用金物：HD-S29C
使用ビス：STS・HC90×10本

破壊性状
・母材外層ラミナの割裂
・ビスの曲げはほとんど見られない
・金物の損傷も概ねなし

試験結果
主材：スギ　CLTt90　Mx60-3-3
基準耐力T_0=28.6kN

既往実験の結果
主材：スギ　204×3材合わせ 89×114
降伏耐力Py=29.7kN

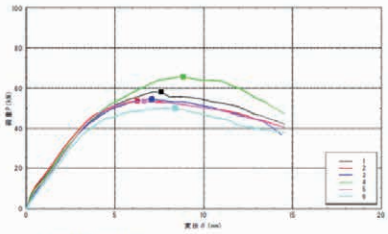
試験体１

試験体６

試験体１

試験体４

試験体６



（注）図中の●印は、P_{max}時を示す。

表２　耐力算定のための基礎資料

試験体 記号	番号	加力方向	降伏時 荷重 P_y (kN)	降伏時 変位 δ_y (mm)	$2/3P_{max}$時 荷重 (kN)	$2/3P_{max}$時 変位 (mm)	P_{max}時 荷重 (kN)	P_{max}時 変位 (mm)
S29C	0	単調	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	1	一方向繰返し	37.4	2.9	38.7	3.1	58.1	7.6
	2		31.4	2.2	35.6	2.6	53.4	6.3
	3		37.0	2.9	36.3	2.9	54.4	7.1
	4		39.9	3.1	43.7	3.6	65.5	8.9
	5		40.4	3.2	35.7	2.8	53.5	6.6
	6		34.1	2.9	33.3	2.8	49.9	8.4
	平均		36.7	2.9	37.2	3.0	55.8	7.5
	標準偏差		3.45	0.35	3.61	0.35	5.43	1.02
	変動係数		0.094		0.097			
	ばらつき係数		0.780	—	0.773	—	—	—
	短期基準引張耐力 P_{sa} (kN)		28.6		28.8			

（注）短期基準引張耐力（P_{sa}）は、降伏耐力P_y又は$2/3P_{max}$の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値のうち小さい方とし、□に示した値である。

③HD-8S10

試験体名称：8S10
使用金物：HD-8S10
使用ビス：STS8・HC90×10本

破壊性状
・母材外層ラミナの割裂
・ビスの曲げはほとんど見られない
・金物の損傷も概ねなし

試験結果
主材：スギ　CLTt90　Mx60-3-3
基準耐力T_0=29.3kN

既往実験の結果
主材：ヒノキ製材　120角
基準耐力T_0=51.8kN

試験体 1

試験体 1

試験体 1

試験体 3

試験体 4

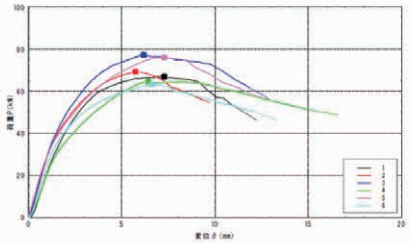


表3　耐力算定のための基礎資料

試験体 記号	番号	加力方向	降伏時 荷重 P_y (kN)	降伏時 変位 δ_y (mm)	$2/3P_{max}$時 荷重 (kN)	$2/3P_{max}$時 変位 (mm)	P_{max}時 荷重 (kN)	P_{max}時 変位 (mm)
8S10	0	単調	29.5	1.2	35.4	1.6	53.1	4.1
	1	一方向繰返し	36.4	1.7	44.5	2.3	66.8	7.3
	2		36.5	1.4	46.1	2.0	69.1	5.8
	3		41.4	1.5	51.4	2.2	77.1	6.2
	4		32.3	1.7	43.0	2.7	64.5	6.4
	5		39.4	1.6	50.6	2.5	75.9	7.3
	6		35.0	1.5	41.9	2.0	62.9	6.6
	平均		36.8	1.6	46.3	2.3	69.4	6.6
	標準偏差		3.21	0.13	3.95	0.28	3.91	0.60
	変動係数		0.087		0.085			
	ばらつき係数		0.797	—	0.801	—	—	—
	短期基準引張耐力 P_{sa} (kN)		29.3		37.1			

（注）短期基準引張耐力（P_{sa}）は、降伏耐力P_y又は$2/3P_{max}$の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値のうち小さい方とし、□に示した値である。

④HD-8S12

試験体名称：8S12
使用金物：HD-8S12
使用ビス：STS8・HC90×12本

破壊性状
・母材外層ラミナの割裂
・ビスの曲げはほとんど見られない
・金物の損傷も概ねなし

試験結果
主材：スギ　CLTt90　Mx60-3-3
基準耐力T_0=29.1kN

既往実験の結果
主材：ヒノキ製材　120角
基準耐力T_0=59.0kN

試験体 1

試験体 5

試験体 1

試験体 4

試験体 3

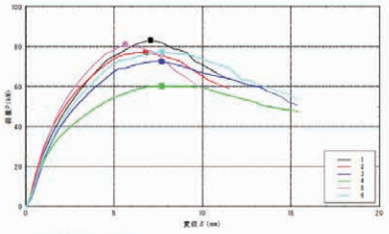


表4　耐力算定のための基礎資料

試験体 記号	番号	加力方向	降伏時 荷重 P_y (kN)	降伏時 変位 δ_y (mm)	$2/3P_{max}$時 荷重 (kN)	$2/3P_{max}$時 変位 (mm)	P_{max}時 荷重 (kN)	P_{max}時 変位 (mm)
8S12	0	単調	44.1	1.9	51.2	2.3	76.8	6.5
	1	一方向繰返し	41.5	1.8	55.3	2.8	83.0	7.1
	2		40.2	1.5	51.3	2.3	76.9	6.8
	3		37.2	1.8	48.3	2.7	72.5	7.7
	4		31.4	1.6	40.1	2.6	60.2	7.7
	5		43.6	1.7	54.0	2.3	81.0	5.6
	6		39.8	1.9	51.3	2.7	77.0	7.7
	平均		39.0	1.7	50.1	2.6	75.1	7.1
	標準偏差		4.25	0.15	5.45	0.22	8.16	0.83
	変動係数		0.109		0.109			
	ばらつき係数		0.745	—	0.745	—	—	—
	短期基準引張耐力 P_{sa} (kN)		29.1		37.3			

（注）短期基準引張耐力（P_{sa}）は、降伏耐力P_y又は$2/3P_{max}$の平均値に、それぞれのばらつき係数を乗じて算出した値のうち小さい方とし、□に示した値である。

試験結果まとめ

○今回実施したＣマーク表示金物(HD-S22C、HD-S29C)は、概ね目標性能を満足する結果が得られた。一方でＺマーク表示金物(HD-8S10、HD-8S12)は、既往の実験結果に対して耐力が低い傾向が確認された。

○いずれの試験体も主な破壊性状はCLT外層ラミナの割裂であり、ビスの損傷が小さかった。金物の基準耐力をビス１本あたりに換算すると以下の通り。

φ6.5仕様(Cマーク表示金物)：８本で2.39kN/本、10本で2.86kN/本

φ8.0仕様(Zマーク表示金物)：10本で2.93kN/本、12本で2.43kN/本

以上より、ビス径が太くなることによる耐力上昇はあまり見られない。

○φ8.0仕様(Zマーク表示金物)で耐力が上がらない要因としては、ビスの性能を十分に発揮する前に、ラミナの割裂耐力で決定されていることが考えられる。

○既往実験では、樹種がヒノキであったこと、主材が120角の製材でビスの縁距離が大きかったことにより、今回の結果よりも高い耐力が得られたと考えられる。

○上記を踏まえ、目標耐力30kN以上の金物をホールダウン形式の金物で目指す場合の改善案としては、ビス径を小さくして、本数を増やすことなどが考えられる。

5. 技術資料の作成

(1) CLT 関連告示の改正内容の反映

CLTの材料強度を定める告示（平成13年国交告第1024号）において、７層７プライに係る曲げ及びせん断の基準強度が追加されるとともに、CLTパネル工法を用いた建築物に係る構造方法の技術基準を定める告示（平成28年国交告第611号）において、ルート１の水平耐力に耐力壁脚部の転倒モーメントを基準とした方法の追加、ルート２が適用可能な建築物の規模の拡大（３階以下⇒６階以下）及び応力割増係数の合理化、ルート３の構造特性係数の合理化等の構造方法に関する技術的基準の合理化がなされたことから、その内容を反映して、分かりやすい解説を加えた。

(2) CLTパネル工法の構造計算手法の合理化等に関する解説

CLT パネル工法の構造計算手法について、(1) の合理化の検討内容を反映して、分かりやすい解説を加えた。

(3) 設計施工マニュアル等の拡充

(1) から (2) の成果をもとに、設計施工マニュアル案等の内容の拡充を行った。

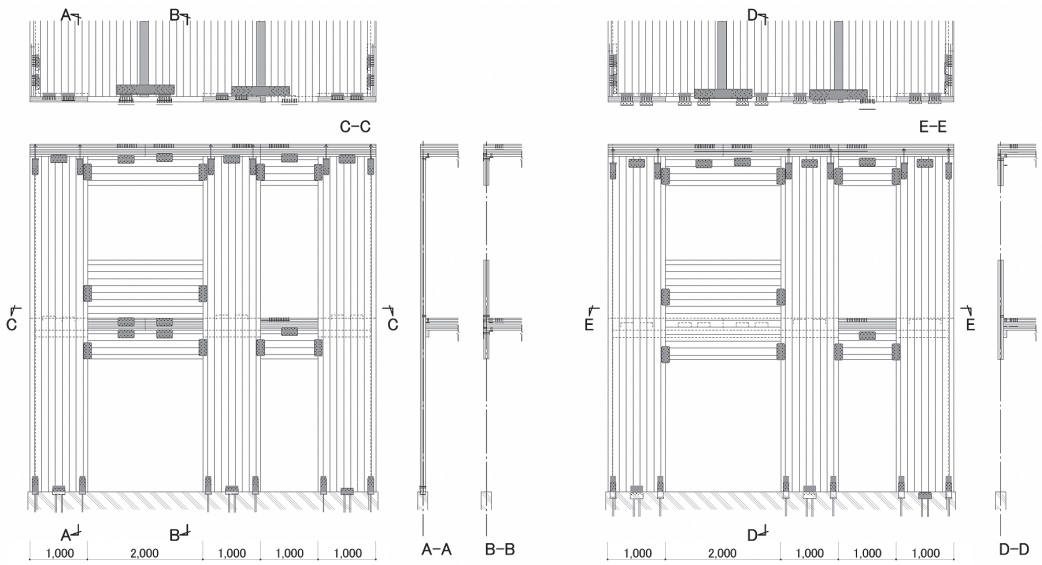


図４　通し壁架構の追加

今後の課題・展開等

今年度の検討として、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パネル工法の設計、施工実務者等に対するアンケートに基づいて、低層小規模建築物向けの接合金物のプロトタイプの開発に向け、引きボルト方式の金物をCLTパネル木口側に用いた場合の検討を行なった。

引きボルト方式の金物をCLTパネル木口側に用いた場合、ラミナ木口を避けてビス打ちを行った場合でも、30㎜幅のラミナにビスが打たれると割裂を生じやすく、通常の平にビス打ちをした場合に比べ、接合部の引張耐力が低下することが明らかとなった。特にビスの径が8mmと大きい場合にその傾向が顕著であった。このことを理解して用いれば危険な設計とはならないが、実務を考えるとより大きな許容耐力を有する引張金物の開発が望まれる。改良の方向としては、割裂防止策を講じる、細めのビスで本数を増すなどの方法が考えられる。

また、低層建築物用の金物としては、この引きボルト方式の金物の改良とともに、今年度検討が見送られたホールダウン金物以外の形式の引張金物や、せん断金物などについては今後の課題である。一方、今年度は低層建築物用の金物についての検討から着手したが、中高層のCLTパネル工法建築物用の金物についても同様に検討を展開し、効率的な接合方法の開発に繋げることが求められている。

こうした検討に際しては、構造設計の合理化に繋がるアウトプットが得られるよう、最新の知見、例えば別事業で行われているCLTパネル工法建築物の地震時限界性能把握を踏まえた耐震基準緩和に関する検討で得られる知見等も参照しつつ、検討を進める必要があると思われる。

事業

広葉樹及び針葉樹大径材の利活用試験（ケヤキ大断面構造用製材品の乾燥試験）

● 実施団体 ●

福島県木材協同組合連合会

〒960-8043　福島県福島市中町５番18号

事業目的

大径材から製材した無垢大断面製材品の利活用を進めるため、昨年度にはスギの21cm～39cmの正角材と18cm×30cmの平角材を対象に高周波減圧乾燥装置により人工乾燥試験を行い、割れ等の欠点の少ない乾燥を行うことができた。

そこで今年度は主として家具用材や寺社仏閣の柱材として活用されてきたケヤキ材を一般建築用の構造材として使用することを目的に、スギと同様に高周波減圧乾燥による適正な人工乾燥方法に取り組んだ。

実施した項目

検討委員会を開催し、下記項目の実施方法を検討し、各種試験を行った。

1．ケヤキ大断面構造用製材品の人工乾燥試験

協同組合いわき材加工センターの高周波減圧乾燥装置による適正な乾燥方法を検討した。

2．ケヤキ大断面構造用製材品の曲げ強度試験

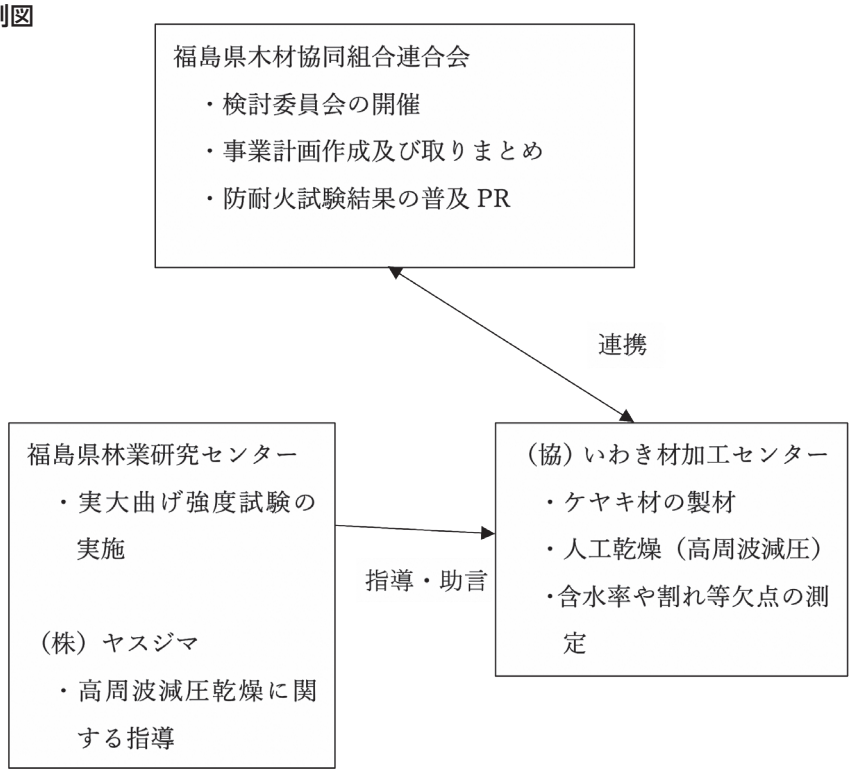
福島県林業研究センターの実大強度試験装置により、曲げヤング係数を測定した。

実施体制

1．検討委員会

委　員	安井　　昇	桜設計集団一級建築士事務所
	山田　憲明	山田憲明構造事務所
	明神　光幸	株式会社ヤスジマ
	手代木徳弘	福島県林業研究センター
事務局	前田　　洋	福島県木材協同組合連合会
	鈴木　裕一	協同組合いわき材加工センター
	荒川　仁弥	同上
	宗形　芳明	同上
	鈴木　柾司	同上

2．実施体制図



実施した内容

1．ケヤキ大断面構造用製材品の人工乾燥試験

（1）試験材

ケヤキ	21cm	正角材	長さ	3m、4m	8本
	26cm	正角材	長さ	3m、4m	32本
	27cm	正角材	長さ	3m、4m	8本
	31cm	正角材	長さ	4m、6m	4本

（2）乾燥方法

（協）いわき材加工センターの所有している高周波減圧乾燥装置（容量10㎥）によりケヤキ材の適正な乾燥方法を検討した。

【乾燥スケジュール】

①1回目の乾燥

- 高周波減圧乾燥のみ　11日間実施

50度～60度の室温で高周波による5分加熱、5分休止のサイクルで乾燥した。後半は材温上昇が早く加熱が自動停止した為、2分加熱5分休止のサイクルで実施し、冷却時間を確保し温度管理を行った。

②2回目の乾燥

- 高周波減圧乾燥のみ　12日間実施

50度～60度の室温で高周波による5分加熱、5分休止のサイクルで乾燥した。後半は材温上昇が早く加熱が自動停止した為、1回目よりも材温冷却時間を長めに設定し2分加熱8分休止のサイクルで実施し、冷却時間を確保し温度管理を行なったことから時間が少し延長した。

2．ケヤキ大断面構造用製材品の曲げ強度試験

（1）試験材

人工乾燥により含水率20%以下となった次のケヤキ製材品を供試した。

21cm　正角材　長さ3m　6本

26cm　正角材　長さ4m　6本

（2）試験場所及び方法

福島県林業研究センター（郡山市）の実大強度試験装置により曲げヤング係数を測定した。

日程：2022年12月15日、16日実施

実施した結果

1．第1回目の乾燥試験

（1）試験材

ケヤキ26cm正角材　長さ3m,4m　32本

写真1　試験材

写真2　高周波減圧乾燥装置

（2）乾燥スケジュール（条件）

高周波減圧乾燥のみ11日間実施

50度～60度の室温で高周波による5分加熱、5分休止のサイクルで乾燥した。後半は材温上昇が早く加熱が自動停止した為、2分加熱5分休止のサイクルで実施し冷却時間を確保し温度管理を行なった。

（3）乾燥後の測定

①全乾法による含水率測定

乾燥後２本の試験材から含水率測定用試験片を幅30mmにカットし、さらに厚さ50mmで５分割し、含水率を測定した。

表１　試験材の含水率

試験材 NO. 1		試験材 NO. 2	
試験片番号	含水率（%）	試験片番号	含水率（%）
1-1	20. 5	2-1	13. 4
1-2	21. 5	2-2	17. 4
1-3	24. 0	2-3	18. 7
1-4	19. 2	2-4	15. 6
1-5	14. 0	2-5	13. 3
平均	19. 8	平均	15. 7

２本の試験材とも材の中心部（NO.1-3、NO.2-3）の含水率がやや高い傾向にあったが、平均するといずれも目標としていた含水率20%以下となっていた。

②曲り、反り

試験材全てで顕著な曲り反りは見られなかった。

（JAS　乙種構造材の基準で全試験材が１級（0.2%以下）であった。）

③割れ

ア．木口割れ

表２　木口割れの状態調査

割れの状態	本数	最大長及び幅
元口のみ発生	7	111cm, 13mm
末口のみ発生	10	60cm, 15mm
両木口で発生	5	70cm, 8mm
割れなし	7	なし
	29	

ほぼ全ての材で乾燥前から発生していた木口割れが材の表面割れへと進行していたが、その長さは最大で111cm割れ幅13mmでそのほかの材では50cm以下であり、建築時の加工の際に小口カットするので利用上問題ないと思われる。

スギやヒノキと比較するとケヤキは材面割れが起りにくく、乾燥による木口割れもそれほど進まずに割れの長さは短い印象だった。

木口面で認められる貫通割れは３本の試験材で発生していたがその長さは13cm～34cmにとどまり、３本とも針葉樹におけるJAS乙種構造用製材の１、２級材であった。

写真３　木口割れ

写真４　木口貫通割れ

イ．材面割れ

　木口割れとは関連しない単独での材面割れは２本の試験材で認められたが、長さが50cm以下で割れ幅も1mm以下と小さく建築時の加工上問題ないと思われる。

写真５　材面割れ

④材内部の欠点

　乾燥後の材内部の欠点を把握するため、木口割れのない材と比較的大きな木口割れの材の２本を厚さ50mmに板割りし、５枚の板材裏・表の各種欠点を調査した。

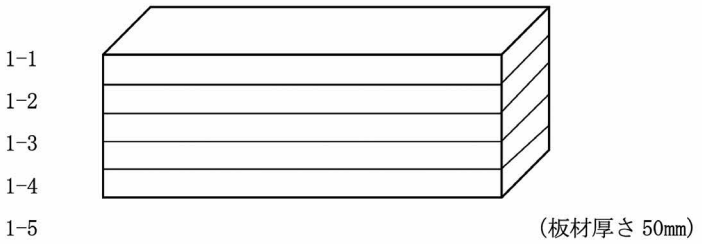


図１　内部割れ調査板材

ア．木口割れのない材

- 材内部（５枚の板材全て）にも割れは認められなかった。
- 節が多数認められ、最大節径12cmであった。
- 虫穴が大きなものも含め多数認められ、最大長さ18cmであった。

写真６　調査板材

写真７　大きな虫穴

イ．木口割れの大きな材

- 木口割れが材内部にも認められた
- 木口割れとは関連しない内部割れは中心部で長さ 50cm 幅 1mm で確認した１ヵ所のみであった。
- 木口割れのない材と同様に虫穴が多数認められた。

写真８　調査板材

写真９　木口割れから内部割れへの状況

２．第２回目の乾燥試験

（１）試験材

ケヤキ　21cm 正角材　長さ 3m、4m　８本
　　27cm 正角材　長さ 3m、4m　８本
　　31cm 正角材　長さ 4m、6m　４本
　　計 20本

（２）乾燥スケジュール（条件）

高周波減圧乾燥のみ 12日間 実施

50度～60度の室温で高周波による５分加熱、５分休止のサイクルで乾燥した。後半は材温上昇が早く加熱が自動停止した為、１回目よりも材温冷却時間を長めに設定し２分加熱８分休止のサイクルで実施し冷却時間を確保し温度管理を行なった。

（３）乾燥後の測定

①全乾法による含水率測定

第１回目の乾燥同様､乾燥後２本の21cm正角試験材から含水率測定用試験片を幅30mmにカットし、さらに厚さ50mmで５分割し含水率を測定した。

表３　試験材の含水率

試験材№3		試験材№4	
試験片番号	含水率（%）	試験片番号	含水率（%）
3-1	14.7	4-1	12.8
3-2	18.7	4-2	13.2
3-3	18.0	4-3	13.4
3-4	18.3	4-4	13.3
3-5	15.1	4-5	12.5
平均	16.9	平均	13.0

１回目を参考に乾燥スケジュールを検討した結果、１回目の乾燥よりも安定して含水率20%以下をクリアできた。１回目同様に中心部はやや含水率が高い傾向にあった。

②曲り、反り

長さ3m、4m材は曲り、反りとも認められなかったが長さ6m 31cm正角材の２本のうち１本で曲りがあったが、矢高7mm（0.1％）と小さく針葉樹におけるJAS乙種構造材の選別基準では１級材であった。

③割れ

ア．木口割れ

木口割れの長さ等、その状態を20本の試験木で調査した。

- 第１回目の乾燥と同様、乾燥前の木口割れが材の表面割れへと進行していたが、その長さは31cm正角材の１本での148cm割れ幅6mmを除けば、全ての材で50cm以下と利用上問題のない割れであった。

表４　木口割れの状態調査

試験材	割れの状態	本数	最大長及び幅
21cm	元口のみ発生	3	35cm、4mm
正角	末口のみ発生	2	25cm、5mm
	両木口で発生	2	42cm、8mm
	割れなし	1	なし
27cm	元口のみ発生	2	15cm、5mm
正角	末口のみ発生	1	50cm、7mm
	両木口で発生	4	48cm、13mm
	割れなし	1	なし
31cm	元口のみ発生	0	なし
正角	末口のみ発生	1	18cm、2mm
	両木口で発生	1	148cm
	割れなし	2	
		20	

- 木口面で認められる貫通割れは21cm正角材で２本、27cm正角材で４本　合計６本に発生していたが、その長さは6cm～29cmであり、利用上問題とならない程度であった。

イ．材面割れ

21cm正角材の１本で長さ35cm 割れ幅1mm、31cm正角材の１本で長さ90cm 割れ幅6mmの材面割れが認められた。

３．曲げ強度試験

（１）ケヤキ正角材の曲げ強度試験

ケヤキ正角材の強度性能を把握するため、乾燥試験を終了した試験材の中から21cm正角材　長さ３m ６本、24cm～25cm正角材　長さ４m ６本を県林業研究センターの実大強度試験装置により曲げ強度性能の測定を行なった。

写真 10　実大強度試験実施状況

表 5　21cm 正角材の曲げ試験結果

NO	材長 mm	材幅 mm	材厚 mm	重量 kg	曲げヤング係数 KN/mm2	E
1	3128	215	215	113.00	12.69	E130
2	3320	214	214	123.38	11.90	E130
3	3060	215	215	99.95	9.87	E110
4	3833	213	213	133.72	11.54	E110
5	3953	208	210	117.71	12.75	E130
6	3997	209	221	130.56	10.12	E110
平均					11.48	

表 6　24cm 正角材の曲げ試験結果

NO	材長 mm	材幅 mm	材厚 mm	重量 kg	曲げヤング係数 KN/mm2	E
1	4229	248	244	196.62	9.42	E90
2	4014	242	238	182.13	9.46	E90
3	4010	255	255	200.45	10.70	E110
4	3968	252	253	193.50	7.74	E70
5	4023	244	243	190.70	10.27	E110
6	3923	261	260	199.43	8.30	E90
平均					9.32	

- 21cm　正角材の平均曲げヤング係数 11.48KN/mm^2 に対して 24cm ～ 26cm 正角材では 9.32KN/mm^2 と低い値であった。

- 曲げヤング係数が一番低い値であった 24cm 正角材の NO.4 の加圧面を 90 度回転して曲げヤング係数を測定したところ 9.02KN/mm^2・E90 となり、性能が向上した。

（2）ケヤキ芯去り材の曲げ強度測定（参考）

参考までに試験材を半割りにした芯去り材で同様に曲げヤング係数を測定したところ17.01KN/mm^{2}と高い値となった。

写真11　ケヤキ芯去り材（154mm×125mm）実施状況

表7　芯去り材測定結果（参考）

NO	材長 mm	材幅 mm	材厚 mm	重量 kg	曲げヤング係数 KN/mm2	E
1	3866	125	154	59.46	17.01	E150

今後の課題・展開等

1．高周波減圧乾燥によるケヤキ構造材の人工乾燥

ケヤキ材は家具用材として板材での利用が今でも主流ではあるが、古くから寺社仏閣などでは大断面の構造材が高級材として使われてきた。

今後供給量増加が見込まれるケヤキ大径材を一般建築材として利活用を進めるためには大断面構造用材の乾燥が課題となることから、今回高周波減圧乾燥による人工乾燥試験を行い、短期間で乾燥時に生じる欠点の少ない乾燥材の供給が可能となった。特に乾燥に伴う割れの発生については乾燥前の木口割れが進行し、乾燥によりやや長くなってくるが、利用上問題になるほどではなかった。さらに新たな材面割れの発生はほとんど確認できなかった。高周波減圧乾燥装置による構造材の乾燥については、まだ始まったところであり、今後スギ等の針葉樹を含め効率的で適切な乾燥方法を検討していくこととしている。

2．ケヤキ内部の欠点

人工乾燥後、正角材を板割りにし材内部の欠点について調査したところ、内部割れはほとんどなかったが広葉樹特有の多くの虫穴や節が認められた。

このため、大径材については板材として利用するよりも、素材の直径に合わせた大断面の構造材に製材することにより材面における節等の欠点が少なくなり、付加価値の高い製材品の供給が可能となる。

3．ケヤキ材の強度性能

ケヤキ材はスギ材に比べて比重が大きく、曲げヤング係数も大きかった。しかし材の硬さによりたわみ量が少なく粘りが少なかったことから、繊維が切断されるような破壊となった。

なおケヤキ構造材を柱使いの部材として用途を考えていく上で、今後実大縦圧縮試験を行うこととしている。

4．ケヤキ芯去り材との強度比較

今回、参考までにケヤキ芯去り材で曲げ試験を行なったところ、曲げヤング係数が芯持ち材の 1.5 倍以上もあり、芯去り平角や芯去り正角材を梁や桁として構造用に利用することも検討していきたい。

事業

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

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30分耐火構造壁の耐火性能検証を行った。構成材料はJAS集成材並びに製造過程で副産物として産出されるチップなどを混ぜ合わせた木質系セメント板等は不燃性があり燃え止まり層としての利用の可能性に着目した。これらを組み合わせた構成による30分耐火構造非耐力壁の性能検証実験を行う。木材由来の耐火構成材料により複合的にCo2固定可能な耐火壁の開発を目的とする。

■耐火外壁材として想定される個所

- 耐火建築物における外壁の延焼のおそれのある部分以外に位置する非耐力壁
- 階数制限なし（但し、メンテナンスを考慮した主に中低層を想定）
- 敷地境界線との距離の確保の困難な都市部においても、窓先空地や公園に面していたり、中庭や敷地内空地、その他広い前面道路に面するなど、該当部位は少なくない

実施した項目

検討委員会を設置し木質外壁材の耐火性能について検討及び検証を行った。

試験方法：30分耐火構造（非耐力壁）

ISO834標準加熱曲線に準じた30分加熱実験

試験項目各種バリエーション検討

- 耐火方式（燃え止まり型、被覆型）
- 積層方式を含む基材構成（接着性能せん断ブロック試験）
- 目地構成
- 留付け方法

（1）接着性能検証（せん断ブロック試験）

（2）耐火構造壁（非耐力）30分耐火性能の性能確認試験

試験体名称：木質材料表張/硬質木片セメント板裏張・木質材料裏張/鉄骨下地

小型試験3回、実大試験2回の燃焼試験を行った

第1回加熱実験	令和4年 8月17日	日本住宅・木材技術センター
小型試験①	試験体寸法：1,200 × 1,200 8体（4体同時加熱、マスクパネル使用）	
第2回加熱実験	令和4年11月4日	日本住宅・木材技術センター
小型試験②	試験体寸法：1,200 × 1,200 8体（4体同時加熱、マスクパネル使用）	
第3回加熱実験	令和4年12月12日	日本住宅・木材技術センター

実大試験①	試験体寸法：3,300 × 3,350 2層材＋3層材（2仕様同時加熱）	
第4回加熱実験	令和5年 1月24日	日本住宅・木材技術センター
小型試験③	1,200 × 1,200　4コマ（2種類） 2体（2体同時加熱、マスクパネル使用）	
第5回加熱実験	令和5年 1月25日	日本住宅・木材技術センター
実大試験②	試験体寸法：3,300 × 3,350 集成材単体＋3層材（2仕様同時加熱）	

実施体制

【事業主体】一般社団法人日本WOOD.ALC協会	
代表者	坂本雄三（代表理事・東京大学名誉教授）
事務局 運営・連絡・執行管理／会計管理	松浦薫 （協会事務局長・所属：協和木材（株））

指示／諮問／助言／回答取り纏めを行う

【検討委員会】専門委員を配置し技術的助言		
役割（専門）	氏　名	所　属
委員長（環境性能）	坂本雄三	日本WOOD.ALC協会
委　員（防耐火）	安井昇	桜設計集団一級建築士事務所
委　員（意匠設計）／WG統括	高橋隆博	（株）アトリエ秀
委　　員（意匠設計）	小泉治	（株）日本設計
【委員会構成員協会会員企業】ワーキングスキム		
部門／役割	氏　名	所　属
実務者（製造事業者）	佐川廣興	協和木材（株）
実務者（製造事業者）／事務局	松浦薫	協和木材（株）
実務者（開発事業者）／企画設計	佐藤雅友	装建工業（株）
実務者（販売施工事業者）	前田力	（株）ヤマムラ
実務者（販売事業者）	宮代博幸	ナイス（株）
実務者（販売事業者）	吉川正勝	ジャパン建材（株）
実務者（販売事業者）／記録	安達祐	ジャパン建材（株）
実務者（販売事業者）／記録	金内馨	ジャパン建材（株）
実務者（製造事業者）	小坂勇治	（株）中東
実務者（製造事業者）	嘉本誠悟	（株）中東

実施した内容

（1）接着性能検証（せん断ブロック試験）

1．接着性能確認

①工場での接着プレス方式

外部表しでの利用を想定し使用環境Aの接着剤レゾシノールを選択

②せん断ブロック試験

JAS集成材同様のせん断ブロック試験を行った。

（2）燃焼試験検証（構成素材のバリエーションによる検討）

1．基材構成選定

木材と組み合わせる選定基材は,耐火木造で多く採用される一般流通建築材料より選定した。

a．硬質木片セメント板　　b．窯業系サイディング

c．強化石膏ボード　　d．ケイ酸カルシウム板

表1

試験体No	構成	試験体No	構成
1－1	・集成板　25㎜ ・不燃処理木材　30㎜ ・集成板　25㎜	1－2	・無垢材　30㎜ ・不燃処理木材　30㎜ ・無垢材　30㎜
2－1	・集成板　25㎜ ・硬質木片セメント板 25㎜ ・集成板　25㎜	2－2	・集成板　25㎜ ・窯業系サイディング 16㎜ ・集成板　25㎜
3－1	・集成板　25㎜ ・強化石膏ボード　21㎜ ・集成板　25㎜	3－2	・集成板　25㎜ ・強化石膏ボード 12.5㎜ ・集成板　25㎜
4－1	・木材　15㎜ ・強化石膏ボード　12.5㎜ ・集成板（2x4 ラミナ使用）89㎜ ・強化石膏ボード　21㎜	4－2	・強化石膏ボード　21㎜ ・集成板（2x4 ラミナ使用）89㎜ ・強化石膏ボード　12.5㎜ ・無垢　15㎜

2．燃焼試験

小型試験①　基材の違い（燃え尽き層、燃え止まり層）

小型試験②　目地の違い及び留付けビスの影響

実大試験③　基材及び目地、留付け方法の違い
（2層タイプ、3層タイプ）その他、留付けビスの影響
～①②の結果を踏まえた基材目地による実大燃焼試験

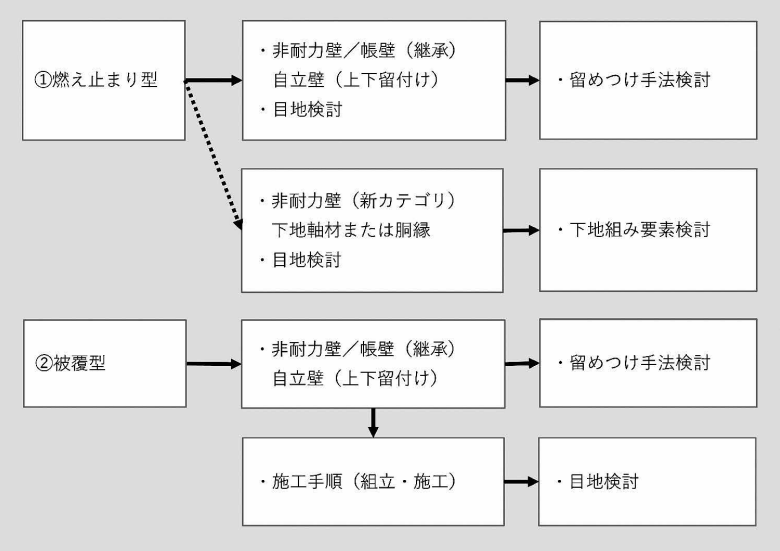
小型試験④　基材の積層方式（接着材別、燃え尽き層厚さ別）

実大試験⑤　基材及び目地、留付け方法の違い
（集成材単体タイプ、3層タイプ）

- 胴縁方式の燃焼試験…… 1回
- カーテンウォール方式の燃焼試験…… 1回

耐火仕様構成の考え方を整理し検討を行った。分類整理を図Ⅰに示す。

図Ⅰ



■小型試験①　場所：日本住宅・木材技術センター2022年8月17日

写真1

写真2

写真3

写真4

■小型試験②　場所：日本住宅・木材技術センター2022年11月25日

写真5

写真6

写真7　ビス金属板の燃焼影響確認

写真8　ビス金属板の燃焼影響確認

■実大試験①

場所：日本住宅・木材技術センター2022年8月17日

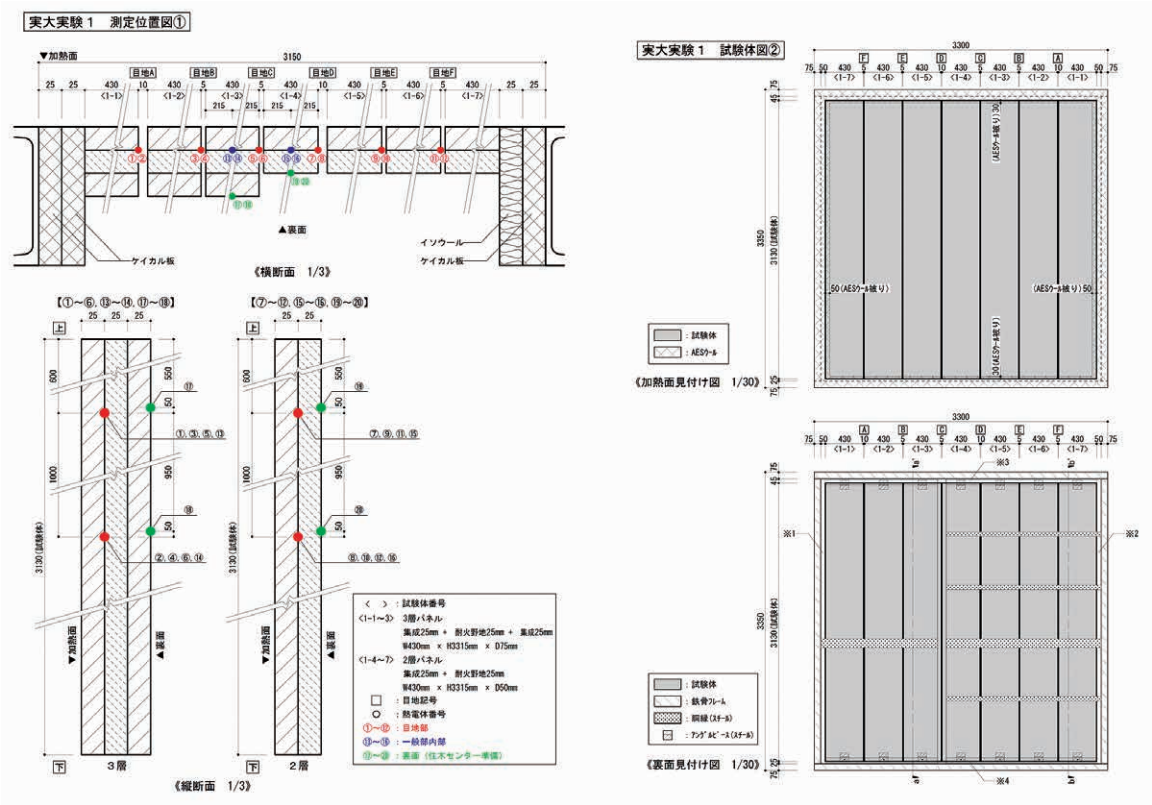


図１水平断面　　図２　縦断面図

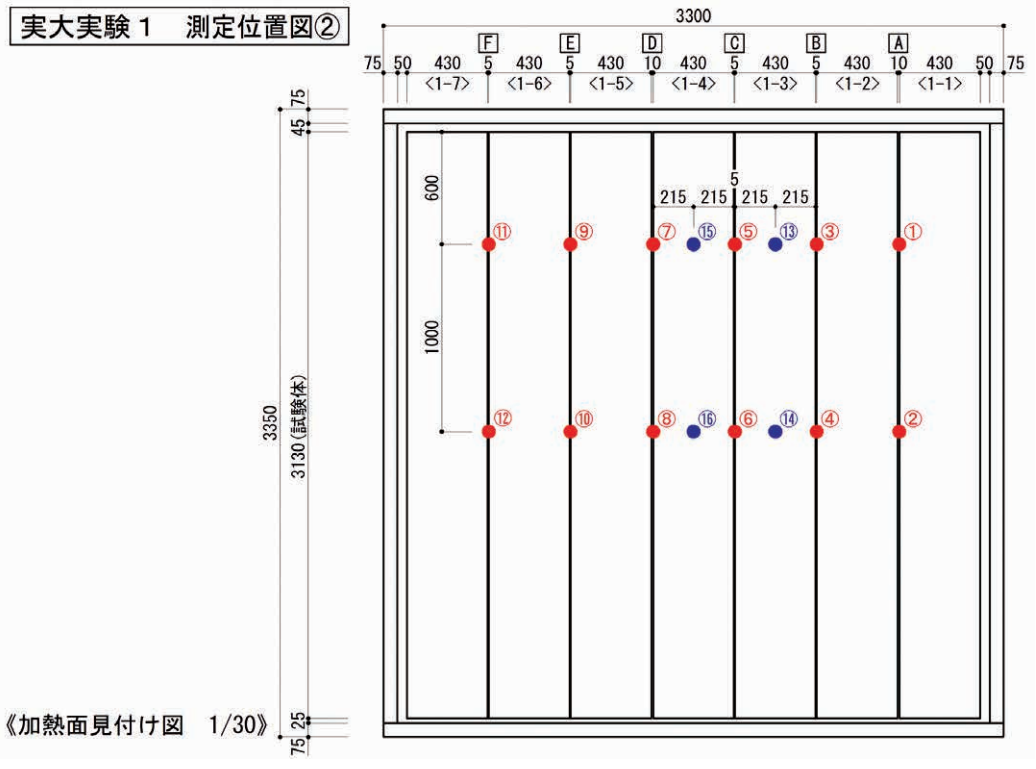


図３　熱電対位置図

写真９

写真10（左３層、右２層）

写真11（カーテンウォール方式）

写真12（胴縁方式）

写真13

写真14（３層目地間）

実施した結果

1．実大燃焼試験結果

- 検討した各目地部の火炎貫通は見られなかった
- 加熱面の熱電対計測点温度は概ね200℃以下であった
- 材の容積比熱の違いと推測するが、燃え尽き層が燃え残った（表層25㎜木材）
- 留付けビス部の燃焼影響の違いの確認ができた

2．せん断ブロック試験　計測データ

表２

No.			寸法		荷重(N)	せん断強さ (MPa又はN/mm2)	木部破断率 (%)
硬質木片セメント板	表	①－1	31.23	31.47	5,550	5.6	100
硬質木片セメント板	表	①－2	31.50	31.08	4,500	4.6	100
硬質木片セメント板	表	①－3	30.16	31.39	5,550	5.9	100
硬質木片セメント板	裏	②－1	31.40	31.57	4,150	4.2	100
硬質木片セメント板	裏	②－2	31.28	31.33	4,850	4.9	100
硬質木片セメント板	裏	②－3	30.32	31.40	4,150	4.4	100

写真15　硬質木片セメント板部で破断

■小型試験②データ

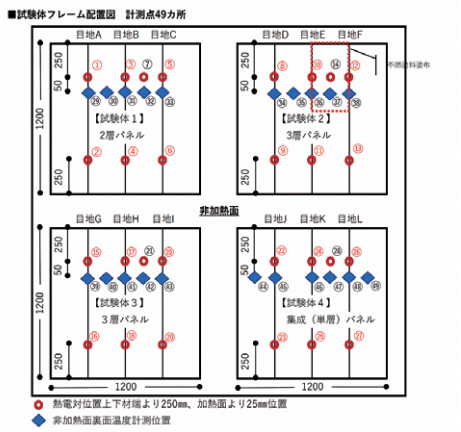


図４　熱電対計測点位置図

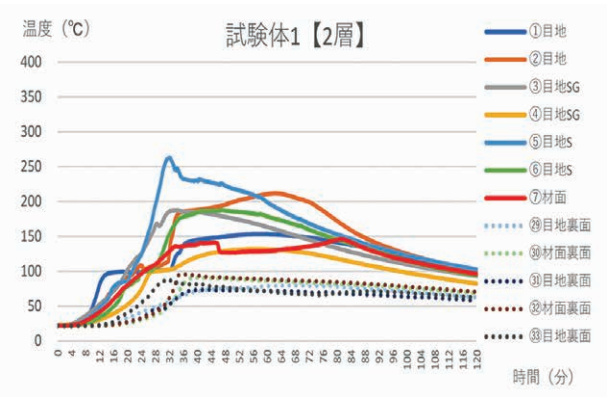


図５　試験体１（２層）

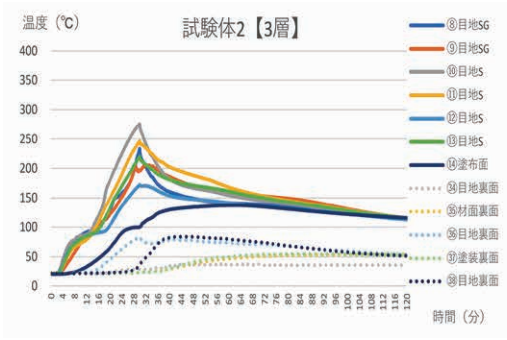


図６　試験体２（３層）

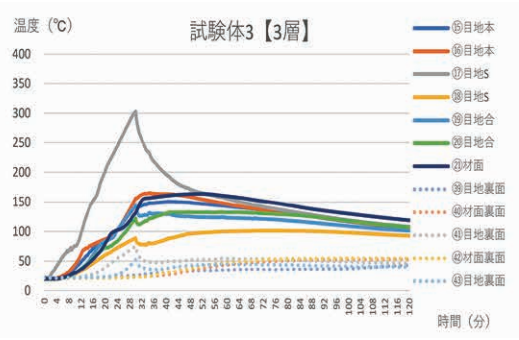


図７　試験体３（３層）

■実大燃焼試験データ（１回目）

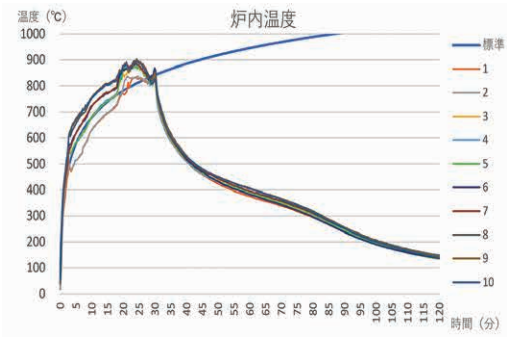


図８　炉内温度

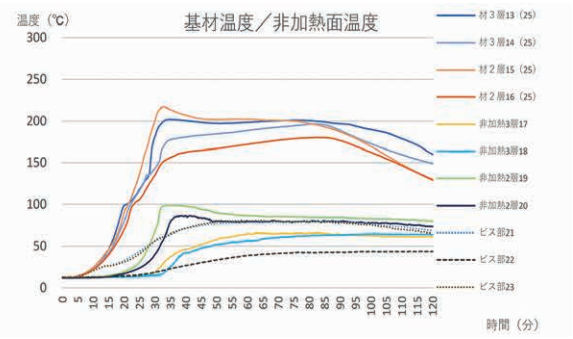


図９　基材温度

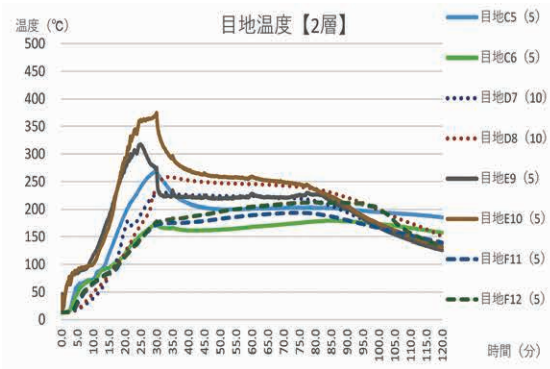


図10　目地部温度（２層）

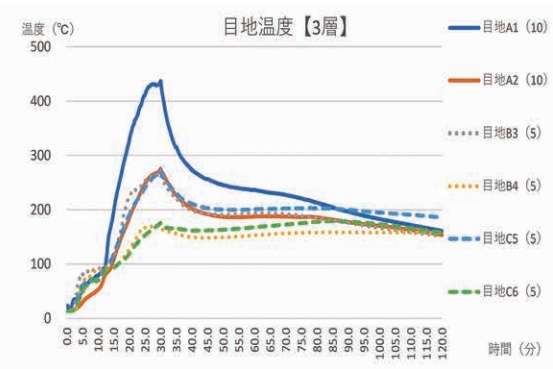


図11　目地部温度（３層）

今後の課題・展開等

本事業では、性能評価機関並びに防耐火関係の有識者へのヒアリング結果、1時間・2時間耐火材の開発事例はあるが底辺のスタートラインである木質材料30分耐火性能の知見データが業界的にないことがわかり段階的に性能検証を進めることができた。30分加熱90分以上放置の加熱条件において、燃焼が自然に停止し30分耐火構造の要求性能を満たす仕様を明確にした。

構成基材試験体仕様1-1・1-2（芯材不燃処理木材）、2-1硬質木片セメント板との組み合わせについて有効である事が確認できた。目地巾では小さい方が燃え込みの影響が少ないことが確認できた。（5㎜巾で良い傾向）

■今後の課題、展開等

- 生産性の良い製品、製造コストの低減検討
- 安全性を考慮した施工方法の検討（容易な施工）
- 工法、取付け方法や収まりの検討（工事費低減に寄与）
- メンテナンスが容易な仕様の検討
- 実用的な商品化に向けた検討
- 総合的な性能の検討（強度、水密性、耐久性、デザイン性）

【ケーススタディ - 1】ファサード計画モデル例

企画デザインイメージ：株式会社アトリエ秀（高橋隆博）

用途地域、規模にとらわれずに木質化が可能
耐火建築物で使用可能な木質外壁材の利用提案（ただし延焼線に係らない非耐力壁）
防耐火及び耐久性向上のポイントは軒庇や袖壁などによる設計計画配慮

構造：4階建てRC造／建物用途：賃貸ビル（商業ビル）
設計のポイント：

1．『軒セットバック壁』により雨がかりの軽減・耐久性向上、メンテナンス性向上
2．外壁カバーリング・外断熱による内部木表しで外皮性能向上
3．天井不燃化で内装制限緩和（居室）
4．主要構造部である外壁の木質化
　構造耐力上主要部分は高耐久・主要構造部は更新可能な利用方法という考え方

企画デザインイメージ：株式会社アトリエ秀（高橋隆博）

【ケーススタディー 2】ファサード計画モデル例／大規模建築での利用提案

企画デザインイメージ：株式会社日本設計（小泉治）

大規模建築での利用提案
用途地域、規模にとらわれずに木質化が可能
耐火建築物で使用可能な木質外壁材の利用提案（ただし延焼線に係らない非耐力壁）

設計のポイント：5階建てRC造／賃貸ビル

1．延焼のおそれのある部分に該当しない、外壁部への利用提案
　バルコニー内部への設置となるため、木現しのまま利用可能
2．階層毎に階間で発生する防火区画高さ900㎜に関しては床面で取り、階層の中で発生する水平区画については壁で取ることで、非耐力壁の30分が可能
3．木現しであるがバルコニーを持つことで、メンテナンス性の向上
4．都市部での木質感のある外観が実現できる

事業

令和3年度木材製品の消費拡大対策のうちCLT建築実証事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業

（非等厚ラミナで構成されたCLTの強度データ収集）

● 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

非等厚ラミナで構成されたCLTは、その材料強度性能をより合理的に発揮できることから、次のような建築上のメリットが期待される。

①建築における CLT 材料コストの低減

強軸方向のラミナ厚さを厚くし弱軸方向のラミナ厚さを薄くすることで、CLTの厚さを変えずに強度性能を向上することができる。また、構造上求められる耐力を等厚ラミナ構成のCLTに比べて薄いCLTで得ることができる。これにより、等厚ラミナ構成に比べてCLTの使用材積を減じることができ、建築におけるCLT材料コストを低減することができる。実物件を題材とした簡易構造検証では、弱軸方向のラミナを薄くしても構造性能を満たし、CLT使用材積を壁で87～89%、床で89～90%まで減じることができるという試算結果が得られた（日本CLT協会 製造・加工WG 非等厚CLTサブWG検証）。

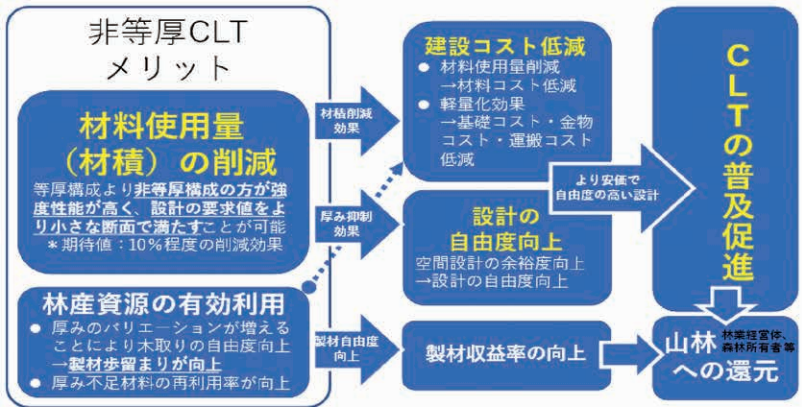
②建築設計における自由度の向上

非等厚ラミナCLTによりCLTの厚さをより薄くすることで、空間設計の自由度を向上させ、収まりに関わる制約を小さくすることができる。

③材料輸送に関わるコストおよび二酸化炭素排出量の低減

輸送コストは重量・材積に比例するため、非等厚ラミナCLTによる使用材積削減効果は輸送コスト削減にもつながる。また、輸送に関わる二酸化炭素排出量を削減することができる。

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CLTで構成されるCLTの検討委員会を開催した。

第一回委員会：2022年7月7日

第二回委員会：2022年11月22日

第三回委員会：2023年1月17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。

④欧州調査

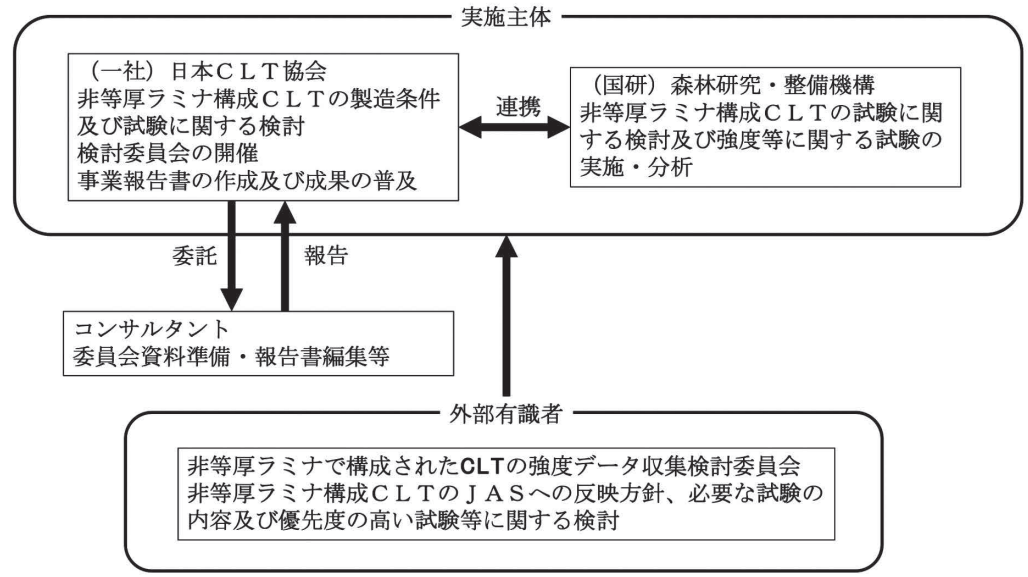
欧州における非等厚ラミナ構成CLTの現状と普及の背景について調査した。

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
	荒木　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	納富　昭光	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
	日向　潔美	林野庁木材産業課木材製品技術室
	福島　　純	林野庁木材産業課木材製品技術室　（新任）
	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
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
	小田　祐二	一般社団法人日本CLT 協会 業務推進部
	谷口 翼	一般社団法人日本CLT 協会 開発技術部

実施した内容

①委員会の編成及び開催

（1）第一回委員会

非等厚ラミナ構成CLTの規格化方針を検討。現行のパネル工法で認められているラミナ厚さの範囲（24mm~26mm）では有効な非等厚ラミナCLTが構成しにくい点、および上記範囲を超えるラミナで構成されたCLTの強度性能は等厚ラミナにおいても強度試験データの収集・分析が十分でない点、を鑑み、先ずはラミナ厚さ20mmおよび40mmの等厚ラミナで構成されるCLTの強度試験データを収集・分析することとした。

（2）第二回委員会

スギラミナを対象にして、ラミナ試験体および20mm、30mm、40mmの厚さのラミナで構成される等厚ラミナ構成CLTの仕様、試験項目、試験体数について協議。

（3）第三回委員会

厚さ20mm、30mm、40mmのラミナ製造試験結果の報告および試験内容・結果に関する質疑応答。

②国産材を使用した非等厚CLTの製造の課題整理

③ラミナ製造試験及び評価

ラミナの試験体の仕様詳細を定め、ラミナの製造試験を実施。曲げヤング係数の測定結果を集計し、内層用・外層用に区分する閾値を決定。併せて製造上の課題について整理。

④欧州調査

非等厚ラミナ構成CLTが主流となっている欧州において、非等厚ラミナ構成CLTが生まれた経緯・目的、現行のラミナ厚さの種類に集約された経緯、ラミナの仕様詳細、CLTの用途別層構成（主たる構成）、標準化・規格化動向などについて調査。

スギラミナ試験体：20mm × 115mm × 2800/3000mm

スギCLT試験体

実施した結果

ラミナ製造試験

①曲げヤング係数の測定結果

ラミナ厚さ20mm、30mm、40mmの試験体に対し、それぞれ1回目の測定結果に基づき内装用ラミナと外装用ラミナの閾値を定め、2回目の曲げヤング係数の測定を行い、外層用ラミナ、内層用ラミナに区分した。

閾値は次の通り。

ラミナ厚さ	内層用	外層用	使用しない
20mm	2.5以上8.5未満	8.5以上13.0未満	13.0以上
30mm	3.0以上8.5未満	8.5以上13.5未満	13.5以上
40mm	3.0以上8.5未満	8.5以上12.0未満	12.0以上

（各厚さの測定結果は補足資料のグラフ及び表を参照）

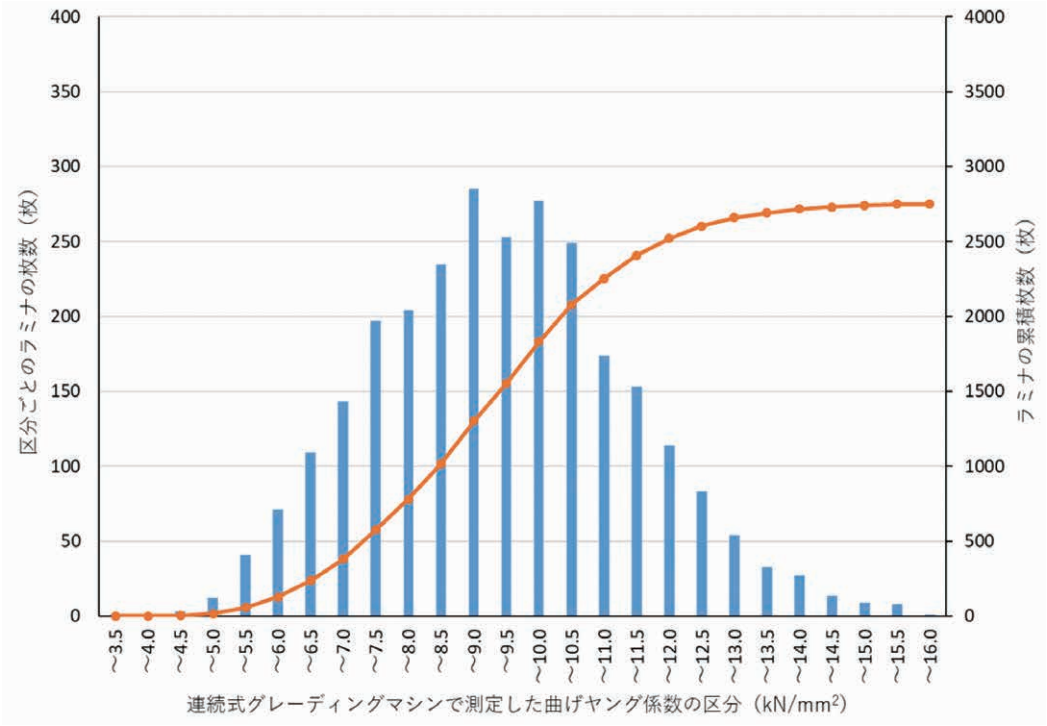
②製造上の課題

モルダー加工については問題なく４面の加工を行うことができるが、幅が狭いため、CLTの製造のために加工する枚数が多く、CLTの製造効率は低くなることが明らかになった。

今回のCLTの製造試験においては、ラミナの幅は、弱軸を構成するラミナとして最小の基準であるラミナの厚さの3.5倍の70mmに設定した。しかしながらCLTの製造を考えた場合、通常製造しているラミナと同幅、あるいはそれ以上のラミナを用いることが、製造の効率化のためには適切であると考えられた。また、同じ幅であっても、厚さ30mmのラミナに比べて厚さ20mmのラミナの重量は3分の２と軽い。その軽さに対応できるように製造ラインの改修も必要な場合があると考えられた。

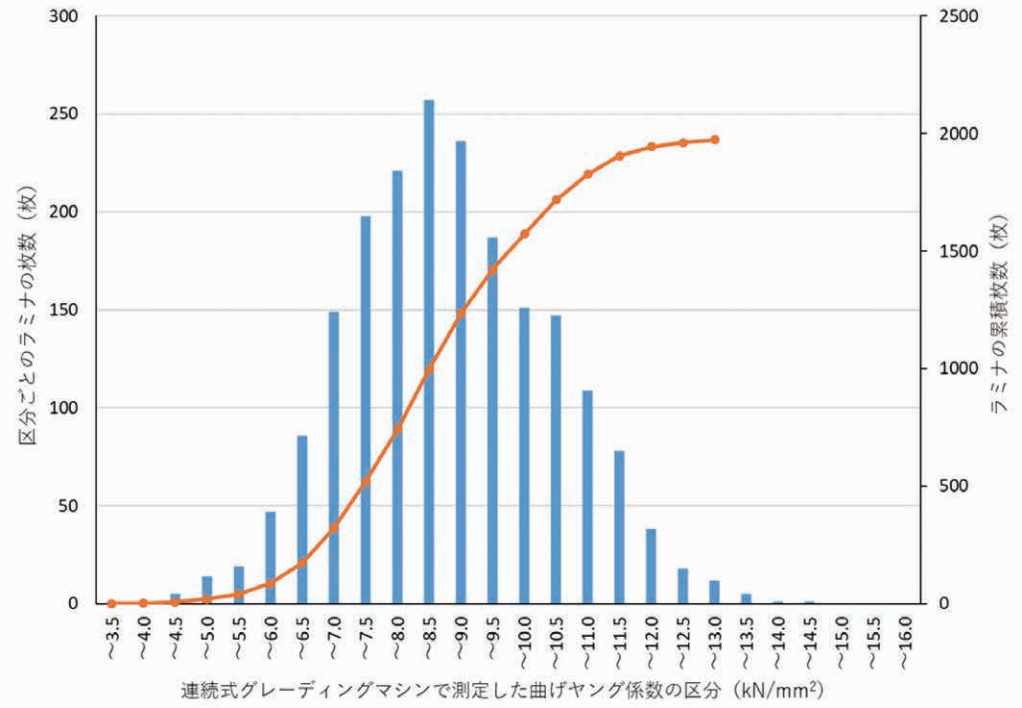
【ラミナ厚さ20mm】

連続式グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数の分布（２回目）～ラミナ寸法:厚さ26mm、幅80mm、長さ3000mm



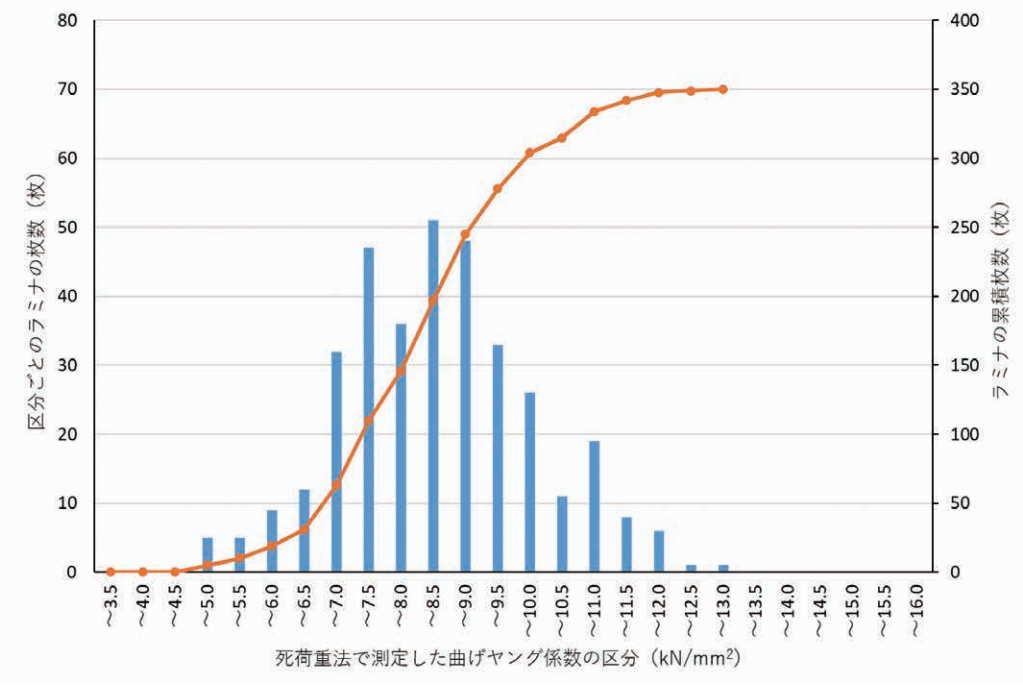
【ラミナ厚さ 30mm】

連続式グレーディングマシンで測定した曲げヤング係数の分布（1 回目）～ラミナ寸法：厚さ 33mm、幅 118mm、長さ 4000mm



【ラミナ厚さ 40mm】

死荷重法で測定した曲げヤング係数の分布（1 回目）～ラミナ寸法：厚さ 43mm、幅 143mm、長さ 3000mm



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ラミナにより構成される等厚ラミナ CLT の強度性能を測定・評価し、20mm 厚または 40mm 厚の等厚で構成される CLT の強度特性を明らかにする。

並行して、ラミナ厚さ 20mm、30mm、40mm で構成される非等厚ラミナ 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。

事業

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

―国産スギ利用ハイブリッドLVL開発と床版開発―

● 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、梁端部接合部強度等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。

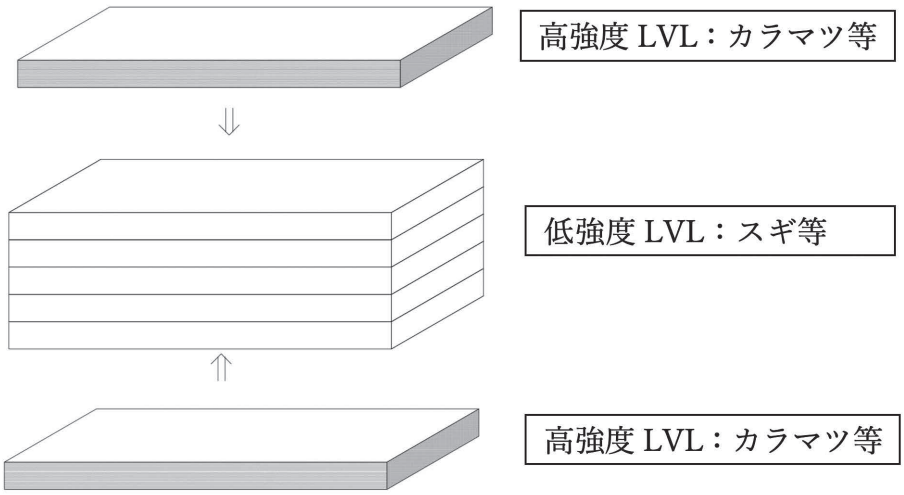


図1　ハイブリッドLVL横架材　（イメージ）

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30mm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

ハイブリッドLVLの製造と強度性状検討
広葉樹LVLの製造と強度性状検討
梁-梁　接合部の強度性状検討

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

接着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
戸田正彦	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30mmの１次ラミナLVLとして、一番生産量の多いスギLVL（内層）、カラマツLVL（外層）を選択した。（写真1-1～1-5、図2、表１） 断面寸法は図２に示すよう幅105mm、はりせい150mm、300mm、450mmの３種類とした。材長は、JASの曲げ試験スパンを確保できる4Mから9M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とし、外層40%、内層60%とすると100E相当のハイブリッドLVLが得られることを事前に計算で確認した。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算出し組み合わせを決定、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・せん断性能試験を行った。梁-梁接合部の在来仕口接合部試験も同時に実施し、ハイブリッドLVLの性能を確認した。高強度が期待できる広葉樹として北海道産のシラカンバとダケカンバを選択した。単板を接着積層し、強度性能を確認した。（写真1-6）

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、塗布する辺の大小などを変えて試験を実施、床倍率で13倍から19倍の性能を確認した。その中で、性能とコストのバランスがよく、汎用性の高い仕様を決定し、３体ずつ試験を実施した。（図４、写真2-1）

面材寸法を幅910mm×長3640mm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した。（図５、写真2-2）

上記の組み合わ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、接着有り無しの仕様を設定して接合部性能を検証した。(写真 2-3 ～写真 2-4)

詳細計算法の面内せん断試験体（図 4 ～図 5、写真 2-1 ～写真 2-2)
梁：スギ集成材 E65、カラマツ LVL120E　120mm 角
面材寸法　幅 910mm ×高 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：φ 6 ×長 90mm ＠ 75、＠ 150
面材接着剤：ウレタン系接着剤

図 3 に示すような躯体で LVL 厚板の水平構面を構成する。

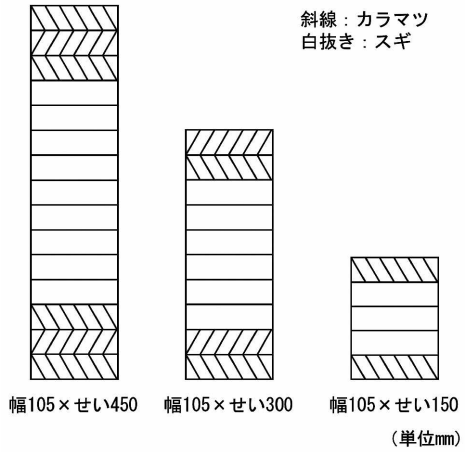


図 2　種構成および断面構成

表 1　試験体寸法

積層数	幅	梁せい	試験体（長さ mm × 本数）			
	mm	mm	曲げ	せん断	実大 BS	接合部
5ply	105	150	4500x8	1100x9	150x18	
10ply		300	6700x9			900x7x3
15ply		450	9000x8			

写真 1-1　LVL ラミナの動的ヤング測定

写真 1-2　２次接着

写真 1-3　ハイブリッドLVL（はりせい450）

写真 1-4　ハイブリッドLVL

写真 1-5　接合部試験

国産広葉樹LVLの開発

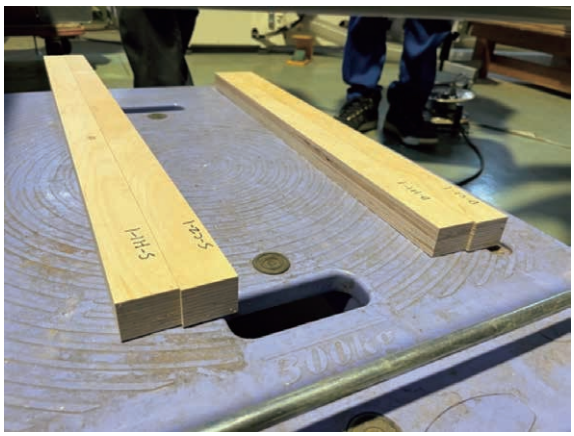


写真 1-6　広葉樹LVL（左：シラカンバ、右：ダケカンバ）

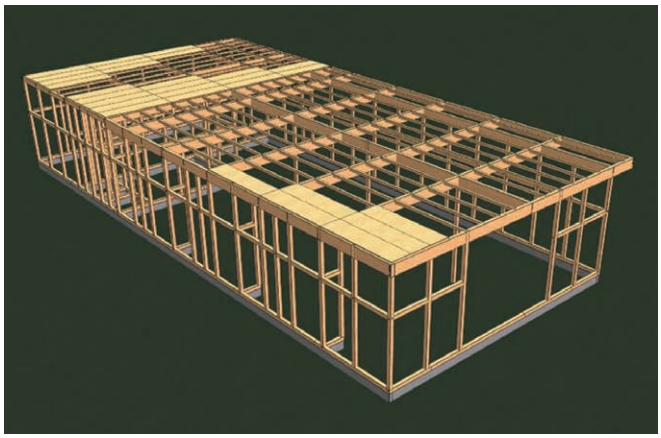


図３　厚板LVLの床板イメージ

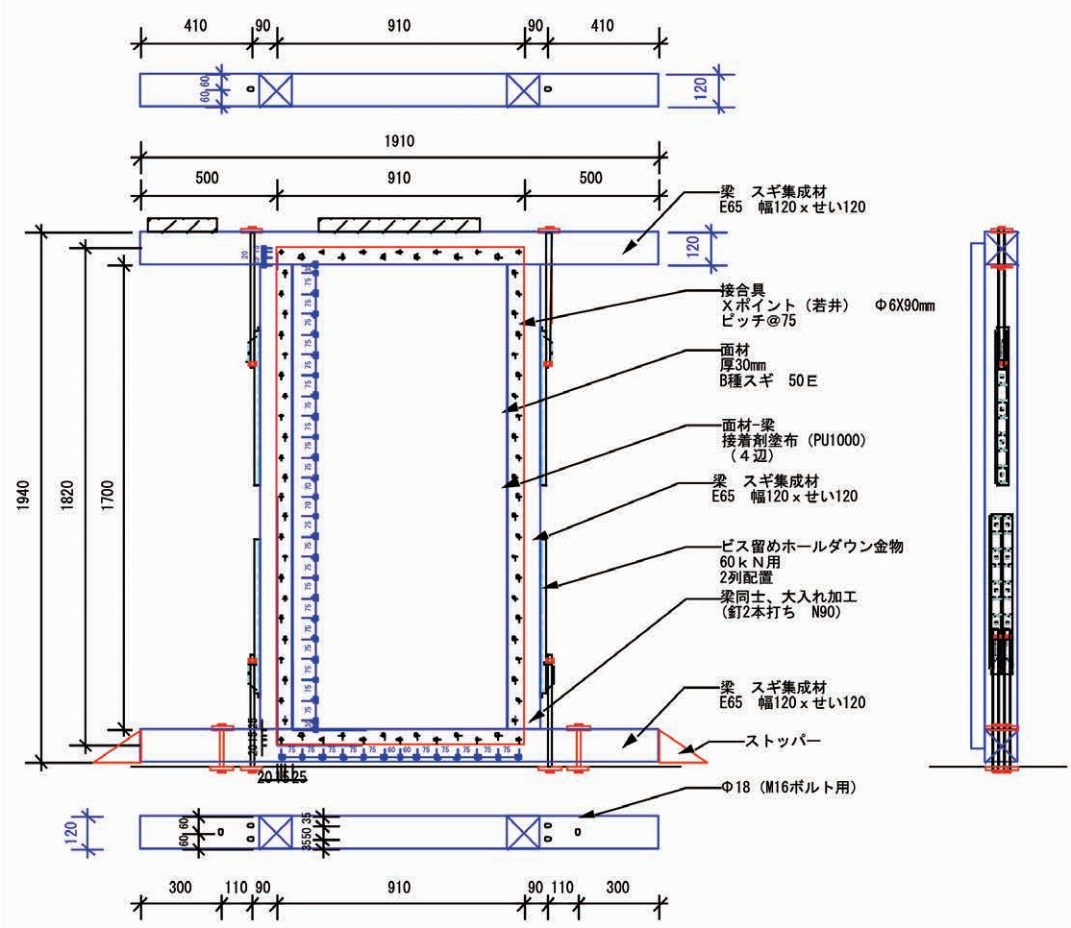


図４　詳細計算法試験体

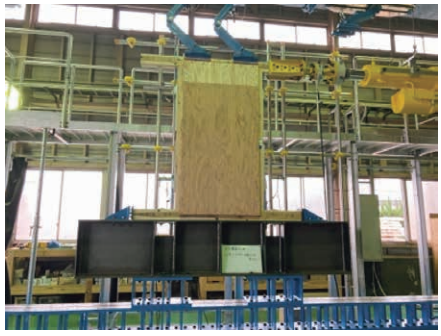


写真 2-1　詳細試験法試験体

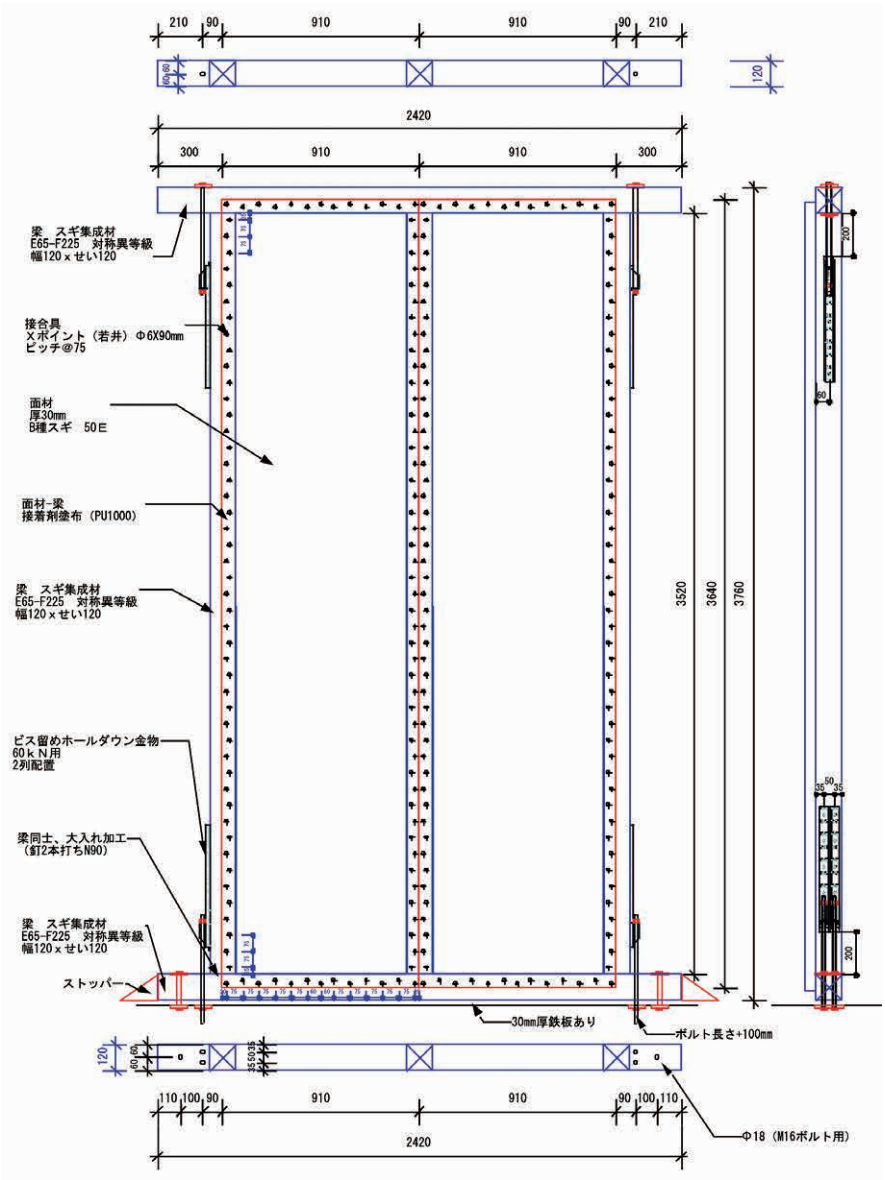


図５　実大サイズ試験体

写真 2-2　実大サイズ試験体

写真 2-3　ビスの 1 面せん断試験
（島根技術センター）

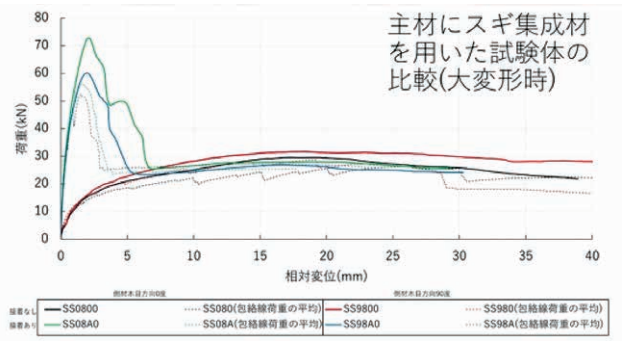


写真 2-4　荷重変位曲線の一例

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 1-7 ～ 写真 1-8 に示した。曲げヤング係数は、どの梁せいでもおおむね 120E 相当以上の数値となった。一次ラミナのヤング係数を用いた算定値は試験から得られた実測値と比較して概ね近い値が得られた。接合部性能は、本文執筆時は実施中である。

国産広葉樹 LVL の製造・強度試験の結果、シラカンバ及びダケカンバともに 140E 以上の性能を確認した。(写真 1-9)

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、ビス間隔、接着あり、接着なし等の仕様により差が確認した。(図 6、写真 2-5 ～ 写真 2-7)

面材を接着した仕様でも、比較的靭性が確保された曲線となった。実大試験は接着なしせん断耐力 21.0kN、接着有せん断耐力 36.5kN（HD 金物位置の柱脚の破壊）である。接着ビス接合部のせん断性能のデータを取得した。

写真 1-7　曲げ破壊

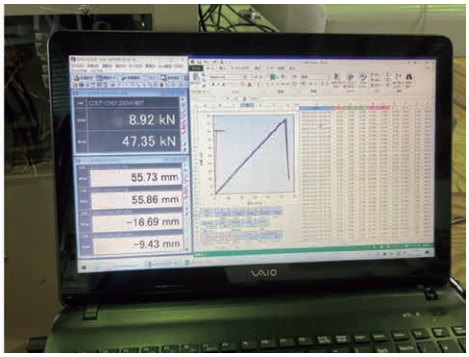


写真 1-8　荷重変異曲線

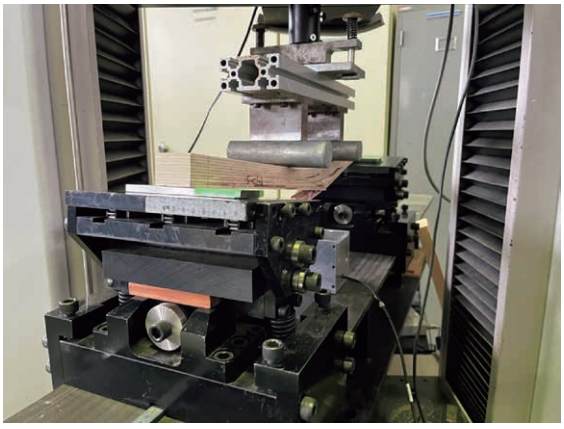


写真 1-9　広葉樹 LVL 試験

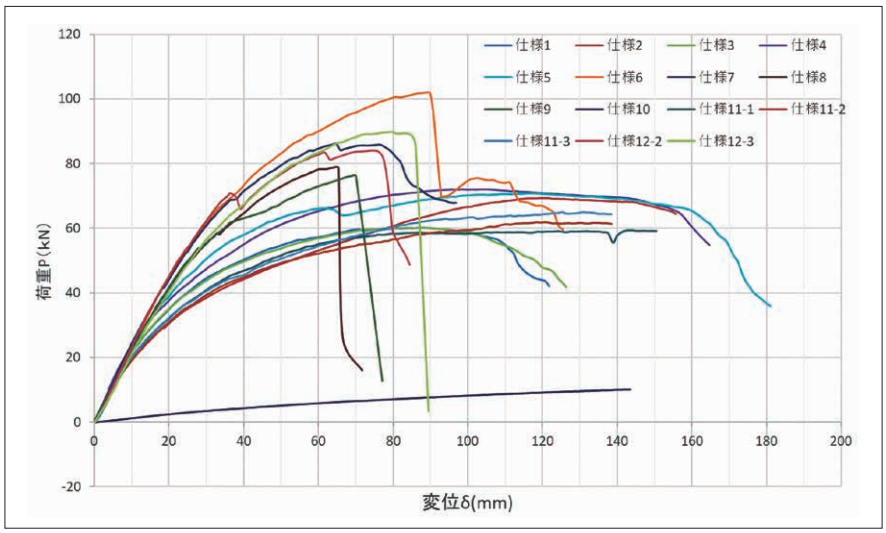


図６　水平構面試験結果

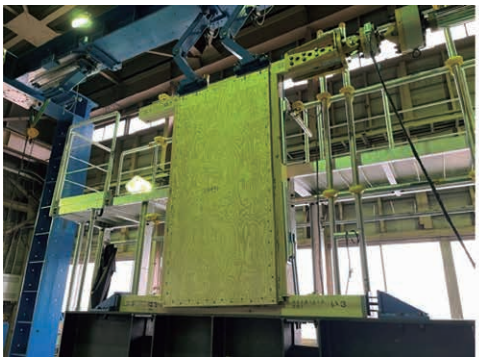


写真 2-5　試験後（接着有）

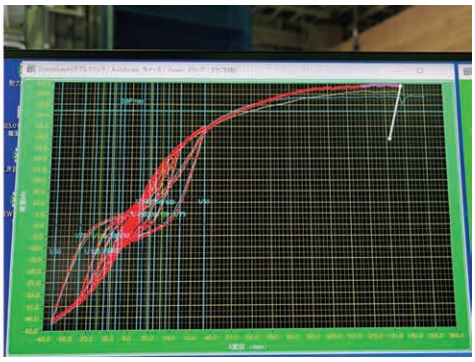


写真 2-6　荷重変位曲線（接着無）

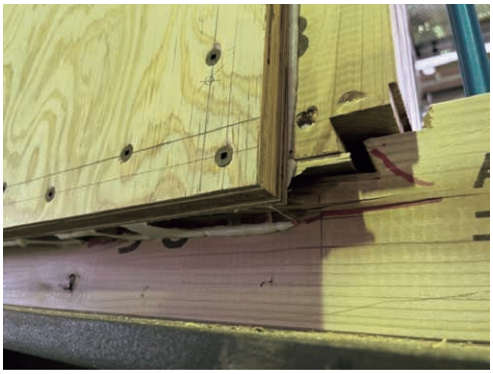


写真 2-7　破壊（接着有り）写真

今後の課題・展開等

１．国産スギ利用ハイブリッドLVL開発

内層と外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み合わせを探る。各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規格化を目指していきたい。部材の長期・短期荷重、クリ-プ等のデータを収集する。

国産広葉樹LVLにおいても性能の検証を行い、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・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。

事業

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

木ダボ積層材（DLT）は、木ダボで板材等を積層した面材である。

これまでにDLTの構造性能、音響性能、防火性能の性能評価を進め、現在は防火性能要求が無い低層木造建築物の床や屋根構造でDLTの利用が進んでいる。

「木材利用促進法」の施行に伴い、建築増加が期待される非住宅木造建築や、中大規模木造建築物、木造準耐火建築物でDLTの普及・利用拡大と、内装木質化におけるDLTの利用拡大に向け、本事業では以下の取り組みを行った。

① DLT壁構造の加熱試験

DLT壁構造（外壁）の載荷加熱試験で45分準耐火構造　壁の性能を有するか、検証することで、他のマスティンバー材と同様に準耐火建築物における壁（外壁）でのDLT活用の道筋をつける。

② 吸音DLTの音響性能試験

これまでの取組みで、1m×1m程度のDLTで加工形状、吸音材を変えた場合の吸音DLTの吸音性能を検証している。本事業では実大居室の壁にDLTを適用し、実大居室での吸音DLTの吸音性能を確認する。

実施した項目

① DLT壁構造の加熱試験

1）予備試験（無載荷加熱試験）

1.2m×1.2mの試験体　4体を同時に加熱（無載荷加熱）する試験を実施した。

2）本試験（載荷加熱試験）

3.5m×3mの試験体でDLT壁に金属サイディング仕様（ガルバリウム鋼板t0.35mm）とした外壁側加熱と、DLT現わしとした室内側加熱の2仕様で載荷加熱試験を実施した。

② 吸音DLTの音響性能試験

2.73m×2.73m　室内高さ2.2mの実大居室の壁面の1面を吸音DLT仕様とし、吸音DLTの有無による音環境の差異を計測した。

実施体制

事業実施主体： 株式会社 長谷萬
技術指導： 桜設計集団一級建築士事務所
法政大学デザイン工学部
製材供給： 小井土製材株式会社
製造加工： 株式会社長谷川萬治商店
試験体製作： 株式会社東亜理科（防火試験）
試験実施： 公益財団法人日本住宅・木材技術センター（加熱試験）
株式会社リオン、株式会社ベル開発（音響性能試験）

以下の体制で検討委員を構成し、検討を進めた。（敬称省略）

委員長： 安井　昇　（桜設計集団一級建築士事務所 代表）
委員： 網野　禎昭　（法政大学デザイン工学部建築学科 教授）
宮田雄二郎　（法政大学デザイン工学部建築学科 准教授）
花井　厚周　（株式会社竹中工務店　木造・木質建築推進本部 副部長）
小井土義治　（小井土製材株式会社　代表取締役社長）
原田　寿郎　（森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究専門員）
野中　峻平　（一般財団法人ベターリビング　つくば建築試験研究センター）
河野　博紀　（一般財団法人建材試験センター　中央試験場）
小林　慧　（群馬県　環境森林局 林業振興課 県産木材振興係　主任）
長谷川泰治　（株式会社長谷萬 代表取締役社長）
オブザーバー： 高木　望　（林野庁木材産業課　課長補佐）
熊谷　有理　（林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室　木材専門官）
横江　美幸　（林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室木材製品調査班　企画係長）
平原　章雄　（木構造振興株式会社 常務取締役）
宮城県CLT 等普及推進協議会

実施した内容

① DLT壁構造の加熱試験

1）予備試験（無載荷加熱試験）

公益財団法人日本住宅・木材技術センター　壁炉にて、1.2m (W) × 1.2m (H) の試験体４体（表1）を同時に無載荷加熱　45分を実施した。図1、2に試験体４体より代表的な試験体A、試験体Dの姿図を示す。

表１　壁炉　４つ枠試験体の仕様

	試験体A	試験体B	試験体C	試験体D
樹種	スギ			
加熱面	室内側	室内側	室内側	外壁側
ＤＬＴ構成材	30×105 30×120	30×105 30×120	30×105	30×105
柱仕様	105×105 105×120	105×105 105×120	120×120, 120×150	105×105
構造用分板	あり　t12㎜	なし	あり　t12㎜	あり　t9㎜, t12㎜
加熱時間	45分			

外壁の仕様：金属サイディング（ガルバリウム鋼板0.35mm）、縦胴縁t15mm、
透湿防水シート、構造用合板下地、9mm、12mm

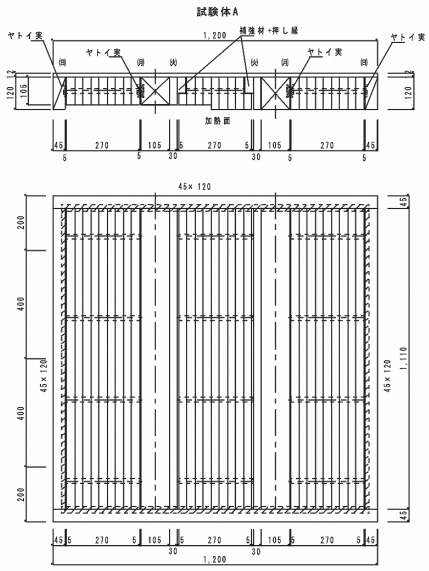


図 1　試験体Ａ　姿図

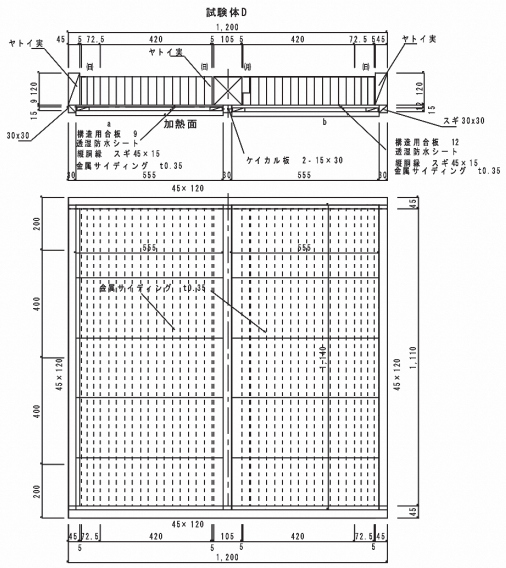


図 2　試験体Ｄ　姿図

2）本試験（載荷加熱試験）

公益財団法人日本住宅・木材技術センター　壁炉にて、3.5m (W) × 3m (H) の試験体２体（表 2）の載荷加熱　45分を実施した。図3、４に試験体Ａ、Ｂの姿図を示す。

表 2　試験体の仕様一覧

	試験体A	試験体B
ＤＬＴ構成材	樹種：スギ　断面：厚さ30ｍｍ以上、厚さ105ｍｍ以上 種類：JASに規定する針葉樹構造用製材　乙種2級同等品	
平均含水率	13.29%（15%以下）	
試験体寸法	3,500㎜（W）×3,000㎜（H）	
柱寸法・仕様	断面：105×105	
	種類：スギ構造用集成材　JAS　E65F255同一等級構成　使用環境C	
加熱面	金属サイディング（外壁側）	DLT（内壁側）
外壁仕様	ガルバリウム鋼板 t0.35mm 縦胴縁　45×15@450 透湿防水シート	室内側加熱では設置を省略
下地合板	構造用合板12mm	
柱被覆材	スギ製材　105mm（W）×15mm（t）	
座屈拘束材	DLT組立柱	
載荷荷重量	25.68（kN）	

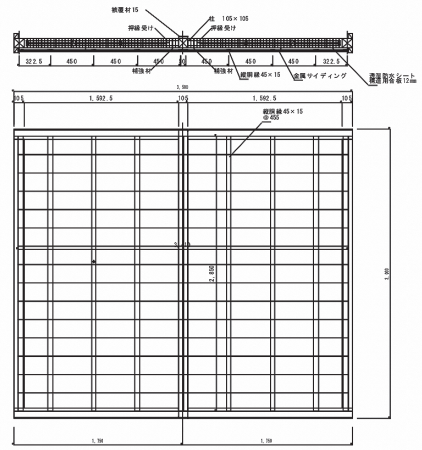


図 3　試験体Ａ　姿図

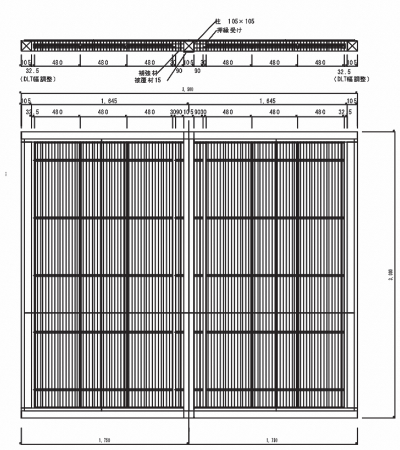


図 4　試験体Ｂ　姿図

② 吸音DLTの音響性能試験

2.73m × 2.73m　室内高さ 2.2m の実大居室を 2 室用意。壁面　A面を合板仕様と吸音DLT仕様とし、音環境を計測した。

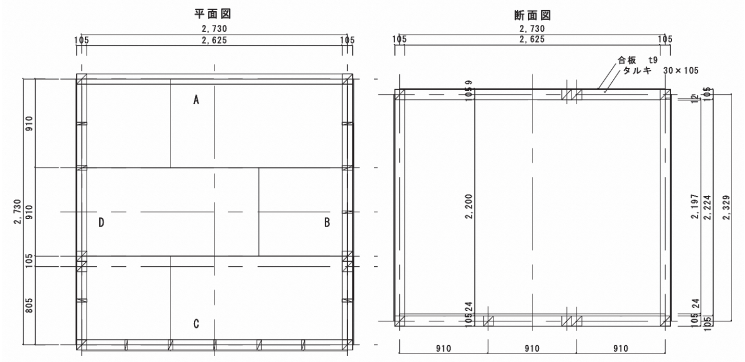


図 5　実大居室　平面図・断面図

写真 1　実大居室外観

写真 2　吸音パネルA内観

実施した結果

① DLT壁構造の加熱試験

1）予備試験（無載荷加熱試験）

試験実施　　公益財団法人日本住宅・木材技術センター

試験日　　令和4年9月21日

試験結果を表 3に試験体A、Dの木材内部温度を図 6、図 7に示す。

加熱終了後、脱炉・消火まで約10分経過した。

表 3　試験結果

		試験体A	試験体B	試験体C	試験体D
樹種		スギ			
裏面合板		厚12㎜	なし	厚12㎜	厚9、12㎜
金属サイディング		なし	なし	なし	あり
加熱面		室内側	室内側	室内側	外壁側
加熱時間		45分			
260°Cを超えた時間（加熱開始からの経過時間）（分）	20.5mm	15.75分	15.25分	14.25分	—
	42.5mm	39.25分	38.25分	41.25分	—
遮炎性	非加熱側へ10秒を超えて継続する火炎の噴出の有無	なし	あり（25 分 49 秒）	なし	なし
	非加熱側へ10秒を超えて継続する発炎の有無	なし	なし	なし	なし
	火炎が通る亀裂等の損傷の発生の有無	なし	なし	なし	なし
遮熱性	初期温度	23°C	24°C	23°C	23°C
	非加熱面の最高温度	60°C（合板裏面温度）	697°C※（木材裏面温度）	51°C（合板裏面温度）	65°C（木材裏面温度）
		【規定値：初期温度＋180°C】			
	内部の最高温度	829°C（木材内部温度）	737°C（木材内部温度）	759°C（木材内部温度）	856°C（合板表面温度）

※試験体Bは合板がなく炉内貫通の状態であるため、温度は参考値とし遮炎性の判定及び裏面温度制限値の適用除外とする。

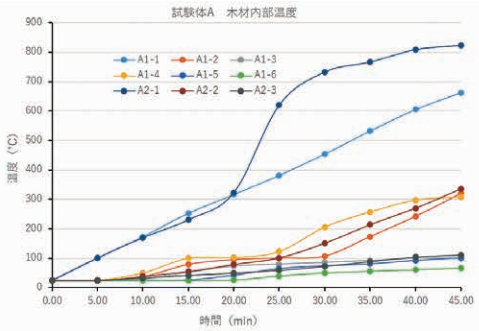


図 6　試験体Ａ　木材内部温度

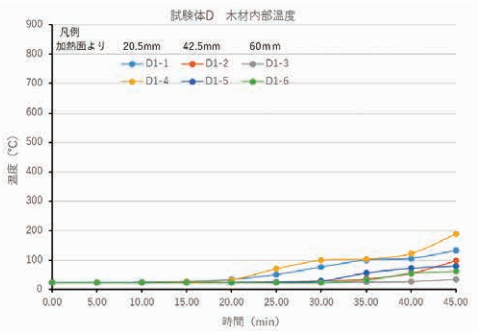


図 7　試験体Ｄ　木材内部温度

写真 3　試験前

写真 4　脱炉後

2）本試験（載荷加熱試験）

試験実施　　公益財団法人日本住宅・木材技術センター

試験日　　令和４年12月26日　　試験体Ａ（45分載荷加熱）

令和４年12月27日　　試験体Ｂ（45分載荷加熱）

試験結果を表 4 に木材内部温度を図8、図10に、載荷荷重と変位量を図9、図11に示す。

表4より､金属サイディング側加熱、DLT側加熱とも遮熱性、遮炎性、非損傷性が確認された。なお、試験体Ａで加熱開始約５分経過後に非加熱面から煙の漏出があり､23分頃に漏出部を耐火接着剤で埋めて試験を継続した。

加熱終了後、脱炉・消火まで試験体Ａは約９分、試験体Ｂは約10分経過した。

表 4　試験結果

			試験体A	試験体B
載荷荷重（kN）			25.68kN	
加熱時間			45分	
DLT、柱の内部温度が260°Cを超えた時間（加熱開始からの経過時間）		20.5mm	39.0分、40.25分	25.75分、29.0分
		30mm	–	–
非損傷性	初期高さ　（*h*）		3,000mm	
	最大軸方向収縮量		0.22mm	0.37mm
			【規定値：h/100（㎜）】	
	最大軸方向変位速度		0.01mm/分	0.03mm/分
			【規定値：3*h*/1000（mm/分）】	
遮炎性	非加熱側へ10秒を超えて継続する火炎の噴出の有無		なし	なし
	非加熱側へ10秒を超えて継続する発炎の有無		なし	なし
	火炎が通る亀裂等の損傷の発生の有無		なし	なし
遮熱性	初期温度		11°C	13°C
	非加熱面の最高温度		57°C（DLT裏面温度）	15°C（合板裏面温度）
			【規定値：初期温度＋180°C】	
	内部の最高温度		895°C（合板表面温度）	821°C（柱と被覆材の界面温度）

※　試験体Aでは煙漏出部を耐火接着剤で埋めており参考とする。

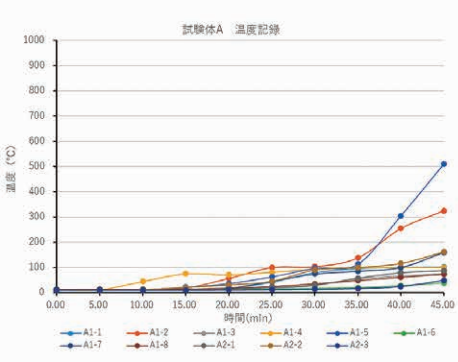


図 8　試験体Ａ　DLT、柱内部温度

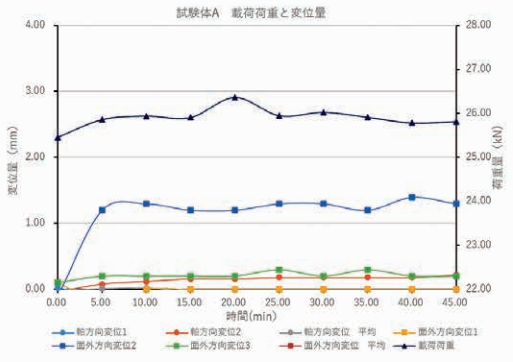


図 9　試験体Ａ　載荷荷重と変位量

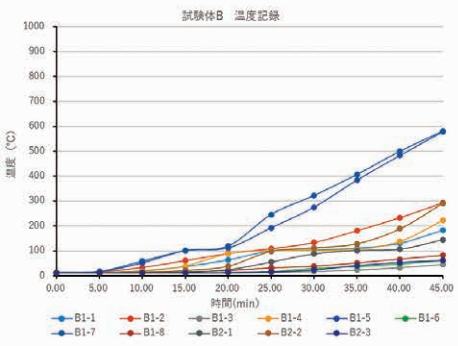


図 10　試験体Ｂ　DLT・木材内部温度

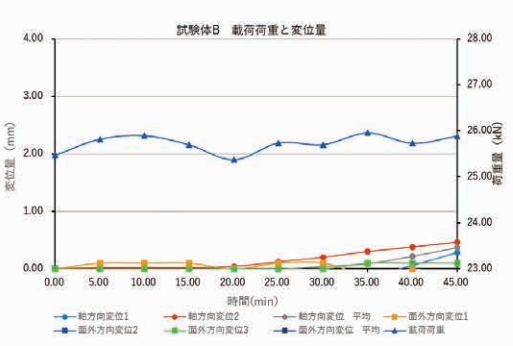


図 11　試験体Ｂ　載荷荷重と変位量

写真 5　試験体Ａ加熱面

写真 6　試験体Ａ　脱炉後 加熱面

写真 7　試験体Ｂ加熱面

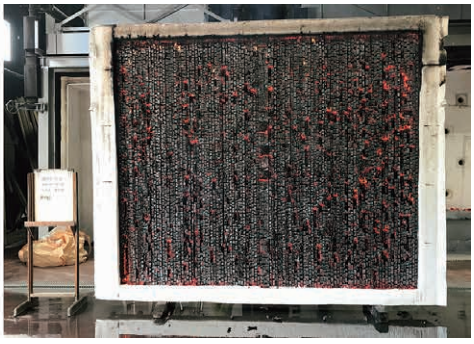


写真 8　試験体Ａ　脱炉後 加熱面

② 吸音 DLT の音響性能試験

試験日	令和４年９月30日
試験場所	（株）長谷萬館林事業所 2F
測定実施	株式会社リオン

実大居室での測定結果を図 12 に示す。

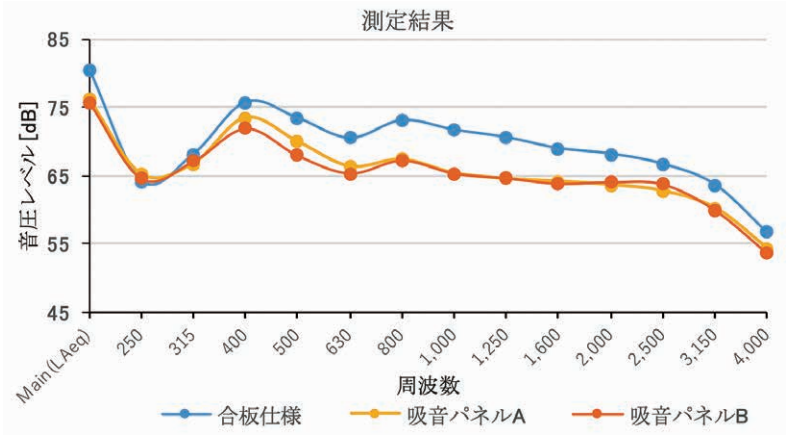


図 12　実大居室での測定結果

• 合板仕上げに対して、吸音パネルA、吸音パネルBは、約3～6dB程度の音圧レベルの減少が確認された。
3 dB の減少とは音量が約 3/4 に減少、6dB の減少とは音量が約 1/2 に減少することを意味します。

写真 9　実大居室　測定状況

今後の課題・展開等

今後、DLT を公共建築物や都市部における木造建築物等で利用拡大を図る上での課題を挙げる。

DLT の利用拡大に向けた課題

本事業の実施試験の結果を踏まえ、今後、公共建築物や都市部における木造建築物等で DLT の利用拡大を図る上で、解決が必要な課題を挙げる。

1）DLT の防火性能の確実性の確認

• 載荷加熱試験で、外壁側加熱の試験体で非加熱面から煙の漏出があった。これは試験体組立時の、DLT ラミナの反りにより生じたわずかな隙間から、煙が漏出した。火炎貫通までに至っていないが、建物外部で火災があり延焼した際に、居室内に煙が漏出しては安全避難が困難となる。防火性能要求がある場合、DLT 製造における製作精度の確保・向上、およびラミナ同士の密着の保持、接合部における通気止め材等の設置・挿入が必要と考えられる。
• 本事業では、外壁仕上げ材を防火性能（遮熱性）が低い金属板仕上げとした。外壁材の仕様によって防火性能が変わることから、外壁仕様を変えた防火性能確認が必要である。
• 本事業では柱には木被覆材と座屈補強材とを組合せた結果、外壁側加熱、室内側加熱とも柱の垂直方向変位量がわずかで、座屈補強の効果が確認できたが、柱に木被覆を施すことは意匠上のデメリッ

トがある。意匠面も満足できる最適な組み合わせの確認が課題となる。

2）吸音材の多様性の検討

- 吸音の効果は居室の気積に対する面積、居室の用途や形状、音の種類、吸音材の種類により効果が変わることから、実際に適用した居室での調査の積み重ねは必要となる。
- 本事業で性能確認した吸音DLT では不織布製の吸音材を使用した。不織布吸音材は軽量で扱いやすいが、防火性能と吸音性能の両方を有するロックウールのような吸音材の検討も必要と考える。

DLT の活用について

- 本事業の実施結果より、柱の木被覆材とDLT 座屈拘束との組合せることで、外壁を金属サイディング仕様、室内側をスギ30 × 105DLTの現わし仕様とした外壁で、45 分準耐火構造　壁と同等の性能を確認できた。
- 今回使用した外壁材は、金属板を折り曲げただけで防火性能を有していないため、外壁材の仕様やDLT 壁の厚さにより、さらに高い防火性能を付与することが可能と考えられる。
- DLT の隙間などの課題の改善をすれば、DLT 壁の準耐火構造の大臣認定取得は可能といえ、今後、関連団体や事業者等が大臣認定を取得することで、**下図**で示すような木造準耐火建築物で室内側のDLT を現しとする外壁構造への活用が期待できる。

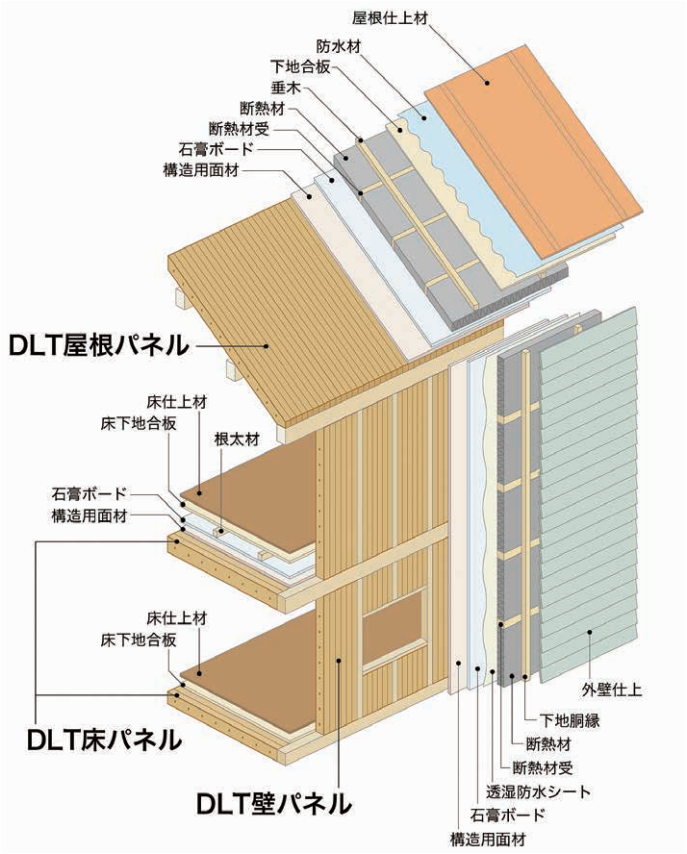


図 13　DLT の活用例

- 本事業で実施した外壁や吸音仕様のDLT 壁は、木造軸組み工法の壁構造に簡単に適用が可能である。木造軸組み工法にDLT 壁を適用する場合、常時鉛直荷重を受けないことから、DLT 壁の構成ラミナには無等級材の活用が可能である。
- 内装に関して、基準法改正により内装規定が適用される居室であっても、天井を準不燃材料以上とするなど対応策を講ずることで壁面を木造壁 (DLT) とすることができる (H12 建設省告示第 1439 号)。既存のオフィスビルなどの内装木質化の手段としてDLT や吸音DLT の活用が期待される。
- 吸音DLT の吸音の効果は居室の気積に対する面積により効果が変わるため、吸音DLT の設置面積が増えるほど吸音効果の増加が期待できる。

事業

非住宅・中大規模木造建築用の高耐力壁及び高性能準耐火壁の開発検討（継続）

● 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

昨年度からの継続で、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)高耐力壁の要素を組み込んだ、耐火建築物相当を想定した1時間を超える準耐火性能を有する壁（高性能準耐火壁）や(4)20分間を超える上階延焼抑制防火設備の、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

- 構造用面材及び釘の選定
- 耐力壁試験（タイロッド式及び柱脚固定式）：耐力壁の面内せん断試験
- 耐力壁の解析モデルの提案

(2) 接合金物

- 1階用及び中間階用の柱頭柱脚金物の開発、引張・圧縮試験など

(3) 高性能準耐火壁

- 1時間及び75分間準耐火性能を目標とした、高耐力壁に使用した厚物の構造用面材を下張りとし、厚さの遮熱効果分だけ防火被覆材を薄くした間仕切壁の載荷加熱試験など

(4) 上階延焼抑制防火設備

- 45分間遮炎性能を目標とした、防火窓の加熱試験

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	成瀬　友宏	（国立研究開発法人 建築研究所 防火研究グループ長）
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	青木　哲也	（一般社団法人 JBN・全国工務店協会 理事 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）

■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　　足立　　剛（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）

■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〔高耐力壁、接合金物など〕
桜設計集団一級建築士事務所〔高性能準耐火壁、上階延焼抑制防火設備など〕

■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、全層カラマツ構造用合板の両面張りで、昨年度の土台側受け材が加力中に見込み面から留めたビスに沿って割裂を生じたため、留め方を変更した仕様（場合によっては土台側受け材の寸法変更を含む）並びに高耐力が期待できる厚物のパーティクルボード、MDF 両面張りの仕様から決定した。試験体仕様の一覧を表-1 に示す。

耐力壁試験は、いずれも面内せん断試験（梁の曲げ戻しが期待できる、2P の躯体の片方に構造用面材を張った試験体仕様）により実施した。加力は、真のせん断変形角（γ_0）制御で 1/600、1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50、1/30rad で、同一ステップ 3 回（1/30rad のみ 1 回）の正負交番載荷とした。試験の状況を写真-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. 30	No. 32	No. 33	No. 34
試験体の目標耐力		40kN/m（真）			50kN/m（真）
壁仕様		床勝ち大壁〔タイロッド式〕			
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（全層ｶﾗﾏﾂ）	MDF	ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ	MDF
	厚さ	18mm			
	詳細	特類 2 級	密度 0.7g/cm^3 相当		
	両 or 片面	両面			
	接合具	CNZ75 @100mm×2 列千鳥	CNZ65 @100mm×2 列千鳥	CNZ65 @100mm×2 列千鳥	CNZ65 @75mm×2 列千鳥
壁面材と床面材の隙間		30mm			
床仕様		床勝ち			
壁長さ×壁高さ		910mm×3800mm			
柱、中桟		断面：120mm×120mm、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）〔※ﾋﾞｽ：千鳥留め〕			
桁		断面：120mm×360mm、樹種：ヒノキ集成材（E105-F300）			
面外たわみ防止		試験体下部に、たわみ防止材＋ローラー有り			

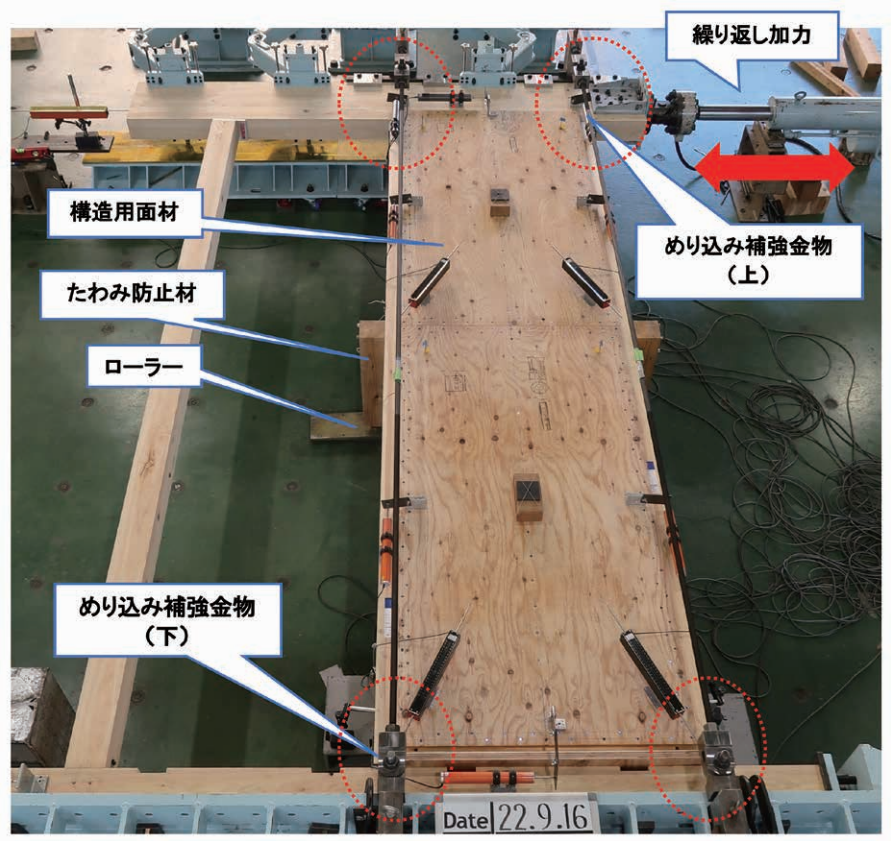


写真-1　試験体の設置状況〔高耐力壁〕

2）後期試験

後期試験は、前期試験において脆性的な破壊にならずに終局を迎えた仕様に基づき選定した。加力は、タイロッド式では前期試験と同様、柱脚固定式では、見かけのせん断変形角（γ）制御で1/450、1/300、1/200、1/150、1/100、1/75、1/50radで、同一ステップ3回の正負交番載荷とした。試験体仕様の一覧を表-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. 30-2, 3	No. 35-1	No. 36-1, 2, 3	No. 38
試験体の目標耐力		40kN/m(真)	40kN/m(真)	40kN/m(真)	35kN/m(見かけ)
壁仕様		床勝ち大壁〔タイロッド式〕			床勝ち大壁〔柱脚固定式〕
柱頭仕様		めり込み補強金物(ほぞパイプ仕様)			めり込み補強金物(ほぞパイプ仕様)+HD金物
柱脚仕様		めり込み補強金物			柱脚金物(HD-09)
壁面材	面材種類	構造用合板（全層ｶﾗﾏﾂ）	MDF	MDF	構造用合板（全層ｶﾗﾏﾂ）
	厚さ	18mm			
	詳細	特類2級	密度0.7g/cm^{3}相当		特類2級
	両or片面	両面			
	接合具	CNZ75 @100mm×2列千鳥	タテ：CNZ75 @100mm×2列千鳥 ヨコ：CNZ75 @100mmⅠ列	タテ：CNZ75(L=65mm) @100mm×2列千鳥 ヨコ：CNZ75(L=65mm) @100mmⅠ列	CNZ75 @100mm×2列千鳥
壁面材と床面材の隙間、床仕様、壁長さ×壁高さ、柱、中桟、土台、間柱、土台側受け材、桁、面外たわみ防止：前期試験と同					

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

本事業における解析モデルの構築、各要素と試験の相関（一例）を図-1に示す。各要素の特性は、要素試験（構造用面材、釘、下地などの単体、接合部加力試験）、金物接合部試験、材料の規格値などから設定した。

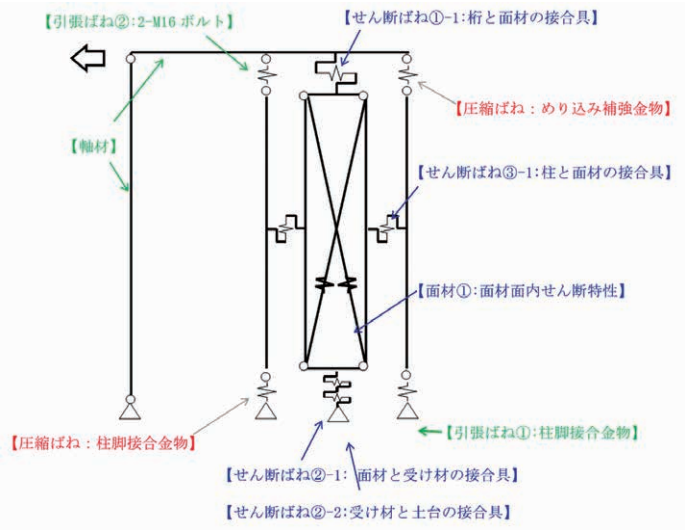


図-1　大壁仕様の解析モデル概要

（2）接合金物

1）4,5層用柱脚・中間階金物の引張試験、梁受のせん断試験

1階用の柱脚金物（1仕様）を柱に固定した試験体（各2体）並びに中間階用の柱頭柱脚金物（1仕様）を柱に固定した試験体及び柱・桁に固定した試験体を、試験装置に専用治具等で固定して設置した。試験体仕様の概要を図-2に示す。

載荷方法は、事前の単調載荷試験（各1体）より降伏変位δ_yを得た後、δ_yの1/2、1、2、4、6、8…倍の順に一方向繰り返し加力（各1体）とした。

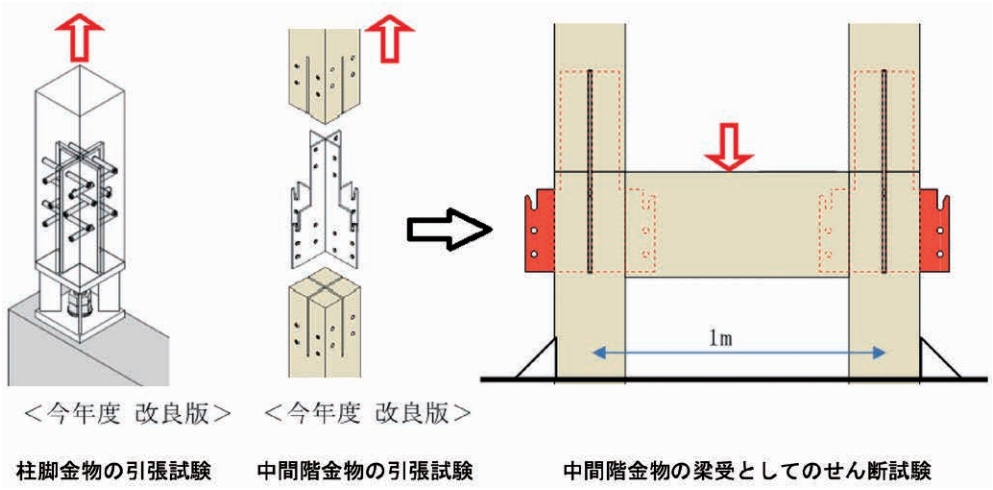


図-2　試験体仕様の概要〔4,5層用柱脚・中間階金物〕（単位：㎜）

2）めり込み補強金物の引張・圧縮試験

めり込み補強金物（4仕様）を供して、柱・土台に固定した試験体を、試験装置に専用治具等で固定して設置した。試験体仕様の概要を、図-3に示す。

載荷方法は、事前の単調載荷試験（各１体）より降伏変位 δ_y を得た後、δ_y の 1/2、1、2、4、6、8…倍の順に一方向繰り返し加力（各６体）とした。

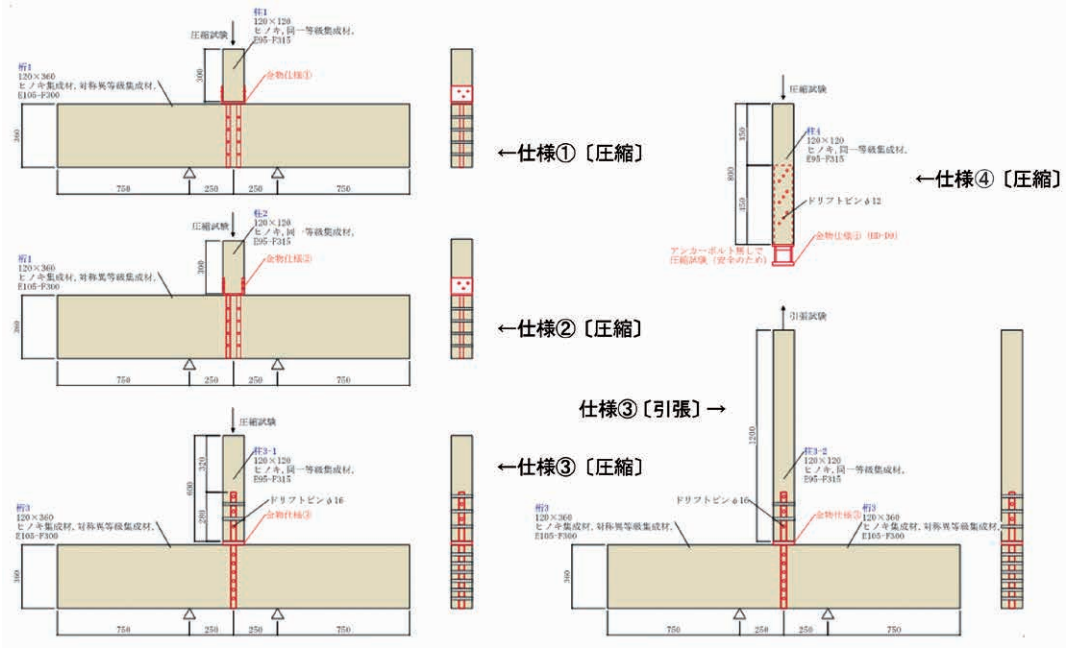


図-3　試験体仕様の概要〔めり込み補強金物〕（単位：mm）

(3) 高性能準耐火壁

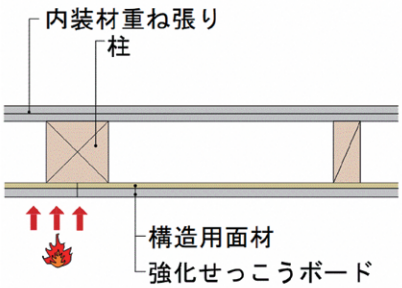
1）比較実験（木質系構造用面材の検討）

強化せっこうボード被覆の下張りに、高耐力壁の試験体に供したことのある３種の構造用面材（全層スギの構造用合板 24mm、パーティクルボード 18mm、MDF18mm）について、同時加熱による比較実験を行った。試験方法は、（公財）日本住宅・木材技術センターの防耐火性能試験・評価業務方法書に準じた加熱を実施した。

2）実大実験（防火被覆の低減可能）（断面の概要を図-4 に示す。）

1）比較実験の結果より選定した構造用面材を供して、１時間性能及び 75 分間性能〔90 分間加熱〕を目標とした間仕切壁仕様を載荷加熱した。

なお試験方法は、（公財）日本住宅・木材技術センターの防耐火性能試験・評価業務方法書に準じたものとし、柱１本に対して載荷を継続しながら加熱を実施した。試験体の加熱炉設置状況を写真-2 に示す。



【1 時間目標性能仕様】
- **内装材：せっこうボード（厚さ 12.5×2 枚）**
- **柱、中桟（105×105）**
- **構造用面材：比較実験により決定**
- **強化せっこうボード（厚さ 12.5）**

【75 分間目標性能仕様】
- **内装材：強化せっこうボード（厚さ 15×2 枚）**
- **柱、中桟（120×120）**
- **構造用面材：比較実験により決定**
- **強化せっこうボード（厚さ 15）**

図-4　試験体仕様の断面の概要〔高性能準耐火壁〕（単位：mm）

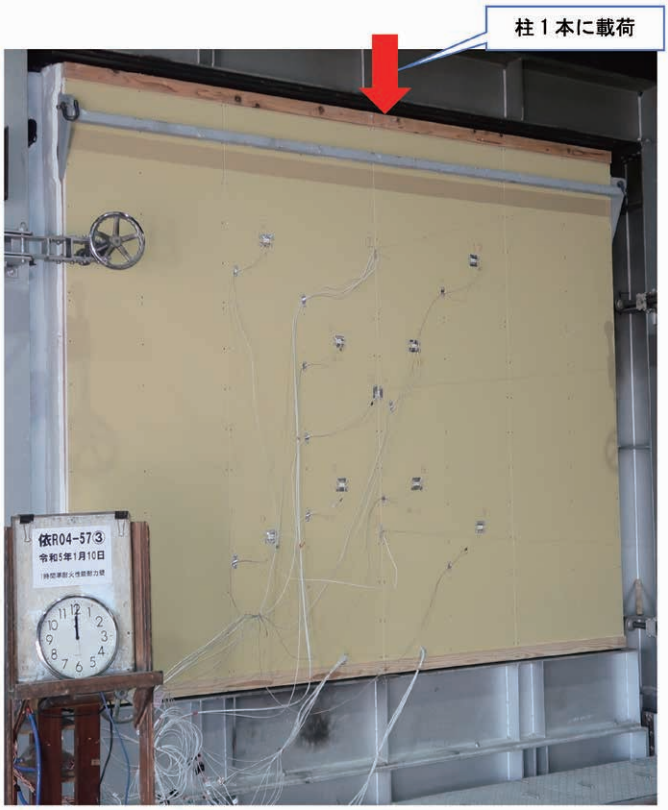


写真-2　試験体の加熱炉設置状況〔高性能準耐火壁〕

(4) 上階延焼抑制防火設備

耐熱結晶化ガラスを用いたLow-E複層ガラスによる、横すべり出し窓及びたてすべり出し窓の木製サッシ〔樹種：カラマツ〕について、過去に選定した仕様・試験結果などと対照しながら、昨年度の加熱試験に供した、FIX窓、片引き窓と同様、ガラス廻りを遮炎補強した試験体を選定した。試験体仕様の一覧を表-3に示す。

試験方法は、（公財）日本住宅・木材技術センターの防火設備遮炎・準遮炎性能試験・評価業務方法書に準じて加熱を実施した。各試験体の周壁設置状況を写真-3に示す。

表-3　試験体仕様の概要（上階延焼抑制防火設備）（単位：mm）

実験No.	試験体No.	開口形式	加熱面	ガラスサイズ（露出面）	押縁	屋外側金属覆い
1	A	横すべり出し窓	屋内(押縁)側	【小】W426×H276（400×250）	L金物+木材	なし
	B		屋外(非押縁)側			
	C	たてすべり出し窓	屋内(押縁)側	【小】W276×H426（250×400）		
	D		屋外(非押縁)側			

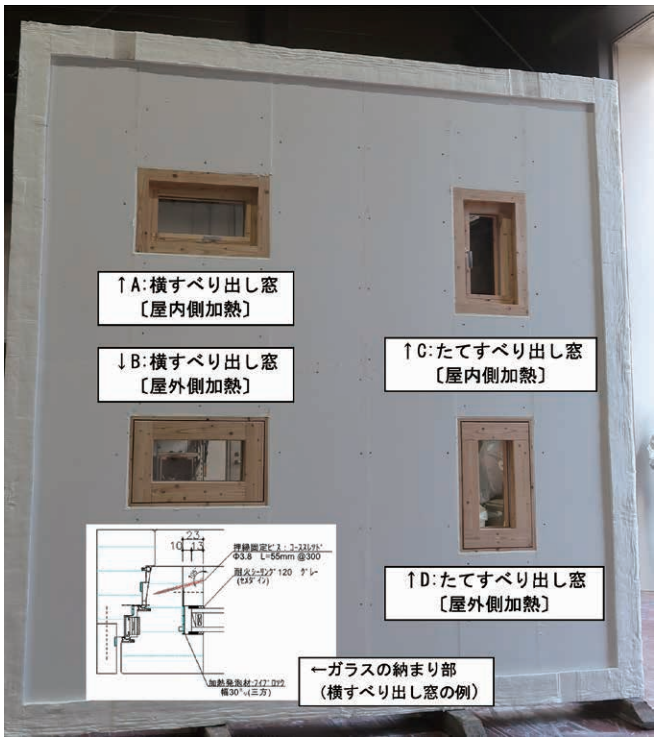


写真-3　各試験体（4窓）の周壁設置状況〔上階延焼抑制防火設備〕

実施した結果

(1) 高耐力壁

1体のみ試験実施した分の結果の一覧を表-4に、3体の試験実施した分の結果の一覧を表-5に示す。No.30については、前期試験では土台側受け材が見込み面のビス間で割裂することなく、主に釘の引き抜けで終局を迎え、目標性能に達したため、後期試験において2体目以降を実施した。

No.32,33,34については、前期試験では目標性能に達したものの、主に釘の破断や中桟に供した木材の割裂で終局を迎えた。そのため、後期試験では、まずはNo.35で釘間隔を間引いた仕様で加力を行ったものの、釘の破断等は相変わらず生じた。その結果を受けて、CNZ75の長さをL=65mmにカットしたNo.36を試験に供し、主に釘の引き抜けで終局を迎えたことが確認できたため、引き続き2体目以降を実施した。ただし目標性能には若干満たなかった。

またNo.38については、加力中に柱脚固定部の柱の割裂が卓越し（高耐力壁を狙うほど柱の柱脚金物が納まる加工量が多くなることで）、1/30rad前の繰り返し加力中に破断し、目標性能には若干満たなかった。

なお、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については、図-5に示すように初期の変形ついては整合することが確認された。試験では柱脚接合金物部での柱割裂があり、そこまで再現するに至っていない。

表-4　試験結果の一覧（高耐力壁、1体試験実施分）

項目＼試験体 No.	No. 32	No. 33	No. 34	No. 35	No. 38
決定因子	降伏耐力 Py	終局耐力 $0.2Pu\sqrt{(2\mu-1)}$		降伏耐力 Py	終局耐力 $0.2Pu\sqrt{(2\mu-1)}$
壁長 1m あたりの短期基準せん断耐力 P_0(kN/m)	47.7（真）	52.6（真）	59.6（真）	45.6（真）	31.3（見かけ）

表中、いずれの試験体もばらつき係数、低減係数は乗じていない

表-5　試験結果の一覧（高耐力壁、３体試験実施分）

試験評価＼試験体 No.		No. 30	No. 36
P_{max}(kN)		平均 117.1	平均 57.8
①	降伏耐力 P_y(kN)	平均 62.0 (②0.968)	平均 32.9 (②0.967)
	終局耐力 $0.2P_u\sqrt{(2\mu-1)}$ (=D_s) (kN)	平均 62.5 (②0.951)	平均 41.3 (②0.996)
	最大耐力の 2/3P_{max}(kN)	平均 78.1 (②0.963)	平均 38.5 (②0.984)
	真の変形角 1/150rad 時の耐力 P_{150}(kN)	平均 59.4 (②0.953)	平均 35.9 (②0.987)
③ (=min(①×②)) 50%下限値(kN)		56.6	31.8
④壁長 1m あたりの短期基準せん断耐力 P_0 (=③/0.91(kN/m))※		62.2 (真)	35.0 (真)

表中、②はばらつき係数、※“0.91”は柱芯間隔、なお、いずれの試験体も低減係数は乗じていない

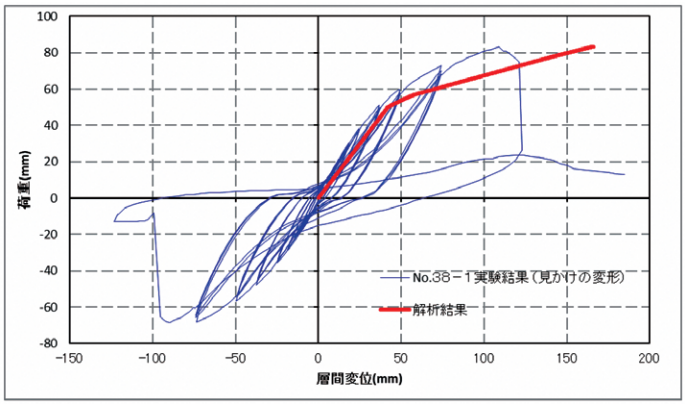


図-5　実測値と解析結果の比較（試験体No.38）

(2) 接合金物

1) 4,5層用柱脚・中間階金物の引張試験、梁受のせん断試験

試験結果の一覧を表-6に示す。

いずれの試験体も目標耐力を満足する結果となった(ばらつき、低減係数は乗じていない)。破壊性状はドリフトピン位置での木部割裂となった。

2) めり込み補強金物の引張・圧縮試験

試験結果の一覧を表-7に示す。

いずれの仕様も目標耐力を満足する結果となった(低減係数は乗じていない)。破壊性状は金物の木部へのめり込み、桁材の割れ等が見られた。

表-6　試験結果の一覧（4,5層用金物）

部位	試験評価（1体）		
	短期基準耐力※ (kN)	←min{①, ②}	
		①降伏耐力 Py (kN)	②2/3Pmax (kN)
1階用	408	408	409
中間階用	302	302	330
中間階用（梁受け）	165	165	194

※片側繰返し載荷１体の値（低減係数は乗じていない）

表-7　試験結果の一覧（めり込み補強金物）

部位	試験評価（6 体）		
	短期基準耐力※ (kN)	←min{①, ②}	
		①降伏耐力 Py の 5%下限値(kN)	②2/3Pmax の 5%下限値(kN)
仕様①〔圧縮〕	210.13	210.13	260.13
仕様②〔圧縮〕	198.13	198.13	258.81
仕様③〔圧縮〕	187.95	187.95	215.60
仕様③〔引張〕	73.45	73.45	85.05
仕様④〔圧縮〕	298.2	—	298.2

※いずれの試験体も低減係数は乗じていない。

(3) 高性能準耐火壁

1) 比較実験

加熱中の構造用面材や柱などの温度上昇の経過、また 90 分間の加熱後の柱の炭化状況などを勘案して、実大実験の加熱側下張りの仕様を以下に決定した。

- 1 時間準耐火目標性能仕様では、パーティクルボード 18mm（裏面温度上昇は MDF18mm の方が早いが、さほど差が見られなかったため）
- 75 分間準耐火間目標性能仕様では、構造用合板 24mm（裏面温度上昇は MDF18mm の方が早いが、さほど差が見られなかったため）

2) 実大実験

加熱終了時の状況を、表-8 に示す。1 時間目標性能仕様の試験体は、中桟の座屈抑制等もあり、目標の 1 時間準耐火性能を得た。75 分間目標性能仕様の試験体は、昨年度の試験では目標性能時間には若干達せず、柱と同寸の中桟を加熱側下張り・上張りの横目地に当たるよう設けたが、強化せっこうボードの亀裂の発生や脱落等がより早期に発生し、目標の 75 分間準耐火性能は得られなかった。

表-8　試験結果の一覧（高性能準耐火壁）

試験体記号		加熱時間	性能時間	加熱終了時の状況（加熱炉からの火熱を直接受ける材料の状況）
間仕切壁	1 時間目標性能仕様	71 分間	60 分間	69 分 30 秒、壁の座屈及び非加熱面縦目地に赤熱確認〔間柱の一部炭化消失のため〕（加熱中に強化せっこうボードの脱落（崩落）、構造用面材の炭化消失あり）
	75 分間目標性能仕様	73 分間	60 分間	72 分、壁の座屈と、72 分 45 秒、座屈に伴う非加熱面横目地からの火炎出現（加熱中に強化せっこうボードの脱落（崩落）、構造用面材の炭化消失あり）

表中、（準耐火）性能（を有する）時間は、①加熱開始から 60 分迄に座屈・燃え抜け等に至った場合はその時間、②60 分超 72 分迄に至った場合は 60 分間、②72 分超で至った場合は、その時間を 1.2 で除した時間とした。

(4) 上階延焼抑制防火設備

試験結果の一覧を表-9 に示す。ガラス廻りの遮炎補強が有効に働き、木部の炭化消失等でガラスが支えられなくなったことによって、火炎が出現した。なお、ガラスサイズのより大きなもの（ガラス廻りの遮炎補強が今年度試験分よりも若干劣る仕様）でも過去に目標性能（50 分間超にガラス廻りからの火炎出現）を達成しており、同様の結果を得た。

表-9　試験結果の一覧（上階延焼抑制防火設備）

実験 No.	試験体 No.	開口形式	加熱面	ガラスサイズ（露出面）	火炎貫通時間※
1	A	横すべり出し窓	屋内(押縁)側	【小】W426×H276 (400×250)	>80 分
	B		屋外(非押縁)側		>80 分
	C	たてすべり出し窓	屋内(押縁)側	【小】W276×H426 (250×400)	>80 分
	D		屋外(非押縁)側		79 分 55 秒
参考（令和元年度試験実施）	開口部-4	横すべり出し窓	屋内(押縁)側	【大】W726×H726 (700×700)	>54 分
	開口部-3		屋外(非押縁)側		>55 分
	開口部-4	たてすべり出し窓	屋内(押縁)側	【大】W626×H1526 (600×1500)	53 分 09 秒
	開口部-3		屋外(非押縁)側		53 分 58 秒

※”＞●分”とは、各実験の加熱終了時（加熱開始から●分時）まで火炎が貫通しなかったことを示す。

今後の課題・展開等

(1) 高耐力壁

今年度の事業でも昨年度に引き続き、ヒノキを使って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。その中で挙がった（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）
- 各材料の寸法設定
- 施工性
- 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、層数１～３及び層数５の１階用・中間階用柱頭柱脚金物の開発、検討などを行ってきた。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。

- 柱頭・柱脚部などのめり込み、割裂対策の確立（高耐力壁と共通）
- 複数の応力を同時に受ける場合の接合金物部の性状確認

(3) 高性能準耐火壁

今年度の事業では、間仕切壁２仕様で１時間準耐火性能が見込める結果を得たものの、75 分間準耐火性能が見込める結果は強化せっこうボード 15㎜張りでは得られなかった。今後の主な検討課題を、以下に示す。

- 木質系面材を考慮した防火被覆のスリム化の可能性の追求、施工性
- １時間及び 75 分間準耐火性能仕様のニーズ

(4) 上階延焼抑制防火設備

今年度の事業では、試験体に供した横すべり出し窓、たてすべり出し窓の仕様とも、45 分間遮炎性能が見込める結果を得た。今後の主な検討課題を、以下に示す。

- カラマツ以外の樹種（スギ、ヒノキなど）
- 防火性以外の窓としての水密性、耐風圧性などのある開閉形式の選定

事業

構造用面材と釘と軸材の組合せによる破壊モードを踏まえた面材耐力壁の詳細計算法に係る手引きの作成

● 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

非住宅・中大規模木造建築物に必要とされる高性能な耐力壁の仕様を検討するため、構造用面材や接合具などの選定、開発など行い、構造用面材・接合具・下地の要素ごとの加力試験を行う。合わせて、要素実験の結果（試験値、破壊モードなど）に基づき、各パラメータの組み合わせによる詳細計算を行い、面材耐力壁のせん断試験の結果との適合性を検証する。最終目標としては、面材耐力壁の詳細計算法を解説する手引き案を作成する。

実施した項目

1. 検討委員会、構造用面材部会、接合具部会等の開催
2. 面材張り耐力壁に関する既往資料の収集整理
3. 構造用面材、下地、接合具の組み合わせによる要素実験の実施
4. 高性能の耐力壁に使用される、構造用面材の規格化、接合具の開発など

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構造用面材、接合具それぞれの実務に携わる２つの部会を設けた。

■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	神谷文夫（セイホク株式会社）
委　員	金井邦夫（木造住宅接合金物協会 会長）

■構造用面材部会（※敬称略・順不同）

主　査	大橋好光（前述）
委　員	青木謙治（前述）
委　員	神谷文夫（前述）
委　員	石川広資（株式会社ノダ）
委　員	服部和生（日本ノボパン工業株式会社）
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）

■接合具部会（※敬称略・順不同）

主　査	大橋好光（前述）
委　員	落合　陽（前述）
委　員	金井邦夫（前述）

委　員　　野田　徹（アマテイ株式会社）

■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、木造住宅接合金物協会、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

一般社団法人 木を活かす建築推進協議会

実施した内容

1. 高性能の耐力壁に使用される厚物面材（構造用面材）について

厚物の構造用パーティクルボードや構造用MDFなどの新しい構造用面材について、製造の可能性、規格の内容等を検討した。あわせて、構造用合板について、1級合板の製造、面材樹種や厚みを特定した規格の内容等を検討した。

2. 接合具について

高倍率の耐力壁に水平せん断力が加わった際に、構造用面材に接合具がパンチングアウトを防ぐために、釘頭の大きなものなどを試作するとともに、製造の可能性、業界横断的な規格を検討した。

3. 要素実験について

構造用面材、柱・梁等の軸材や受け材（下地）、これらを接合する釘等の接合具（試作した釘を含む）等の組み合わせによる以下の要素実験を行い、その破壊モードを検証、整理した。

(1) 釘の一面せん断試験
(2) 釘の軸材に対する引抜き試験
(3) 釘頭の貫通力試験
(4) 釘胴部の面材へのめり込み試験
(5) 釘胴部の軸材へのめり込み試験
(6) 釘の曲げ試験
(7) 面材の面内せん断試験

上記（1）～（7）に列記される要素実験の一覧を、図-1に示す。

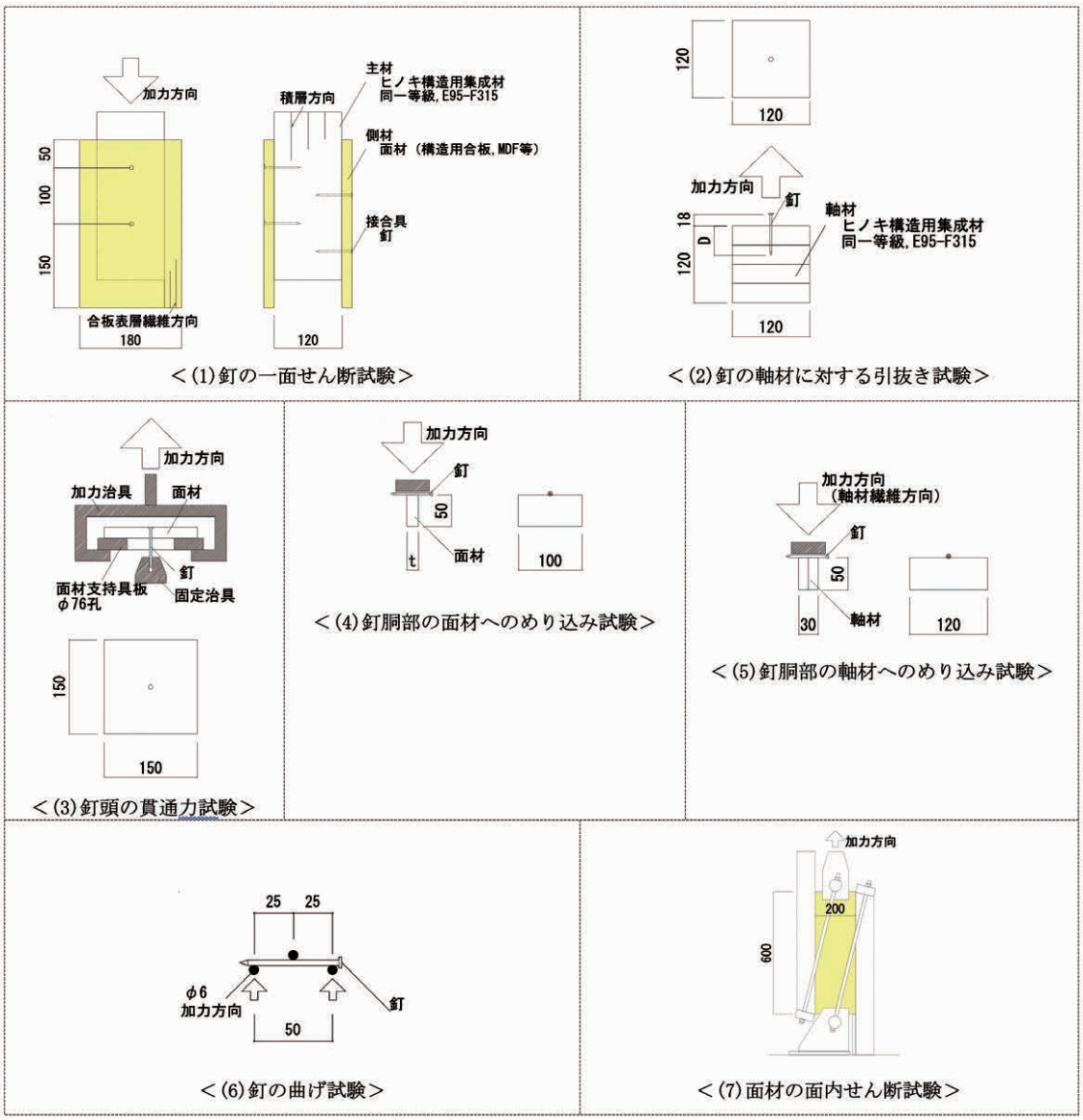


図-1　要素実験の一覧

実施した結果

1. 高性能の耐力壁に使用される厚物面材（構造用面材）について

(1) 厚物面材の開発

木質系ボード（MDF, パーティクルボード）の厚物構造用面材の規格案として、現行 JIS に規定される密度と同等（0.70g/cm3 程度）の 18㎜厚を用意した。

2. 接合具について

(1) 釘頭の大きい釘等の試作

面材の開発のほかに、釘頭の大きい釘や長さの短い釘であれば、釘の一面せん断試験や耐力壁試験における引抜け破壊が期待できる。以下２つの点から表-1 に示す釘を試作した。

（ア）市場流通している釘打ち機で打てる釘頭最大径

各業界へのヒアリングの結果、市場流通している釘や釘打ち機について以下の内容が確認された。

- 市場流通している釘打ち機は、釘頭径が 8.8mm 程度までは対応できることがわかった。
- また、市場流通している CNZ75（CN75）の連結釘の釘頭径は、JIS 公差の下限側で作られることが多い（上限寄りであると釘打ち機に納まらないことがあるため。）

→以上より、市場流通の釘打ち機で最大限対応できる、市場品より釘頭の大きい釘の試作を行った（試作①〔CNZ65 型 釘頭 8.1〕、②〔CNZ75 型 釘頭 8.3〕、⑤〔CNZ75 型 長さ 65〕）。

（イ）胴部径より製造可能な釘頭最大径

製造の観点から、釘の胴部径に対し 2.55 倍程度の頭部径の釘が製作可能であることがわかった。

→以上より、胴部径に応じて製造可能な、市場品より釘頭の大きい釘の試作を行った（試作③〔CNZ75 型 釘頭 9.1〕、④〔CNZ90 型 釘頭 10〕）。

表-1　JIS 規格の釘仕様と開発目標の釘仕様の比較（接合具）

	JIS釘（±10%）					本事業の目標									
						胴部径による釘の製造可能範囲					現行釘打ち機の適用範囲				
	-10%	中央値	+10%	胴部径	頭部厚さ		-5%		+5%	↓製造可能釘頭径	↓釘頭径／胴部径	-5%		+5%	↓釘打ち可能釘頭径
CNZ65	6.43	7.14	7.85	3.33	1.5	試作① CNZ65型 釘頭8.1	7.7	8.1	8.5	8.5	2.55	ー	7.9	8.3	8.7	8.8
						面積比	1.43	1.29	1.17			面積比	1.51	1.35	1.23	↑同銘種での製造可能な胴部径を超える
						周長比	1.20	1.13	1.08			周長比	1.23	1.16	1.11	
CNZ75	7.13	7.92	8.71	3.76	1.7	試作③ CNZ75型 釘頭9.1	8.6	9.1	9.6	9.6	2.55	試作② CNZ75型 釘頭8.3	7.9	8.3	8.7	8.8
						面積比	1.47	1.32	1.20			面積比	1.22	1.10	1.00	
						周長比	1.21	1.15	1.10			周長比	1.11	1.05	1.00	
CNZ90	7.87	8.74	9.61	4.11	1.9	試作④ CNZ90型 釘頭10	9.5	10.0	10.5	10.5	2.55	ー	7.9	8.3	8.7	8.8
						面積比	1.46	1.31	1.19	↑CN65,75と同じ比率で設定		面積比	1.01	0.90	0.82	
						周長比	1.21	1.14	1.09			周長比	1.00	0.95	0.90	
試作⑥ CNZ75型 長さ65	7.13	7.92	8.71	3.76	1.7											

：市場流通している釘打ち機で施工可能
：市場流通している釘打ち機では施工困難

3. 要素実験について

構造用面材と釘と軸材を組み合わせた各要素実験の試験仕様一覧を表-2 に示す（試験概要図は図-1 を参照）。

(1) 釘の一面せん断試験

厚物面材（構造用合板〔全層カラマツ〕18mm 厚、MDF18mm 厚、パーティクルボード 18mm 厚）・軸材〔ヒノキ集成材〕・釘（CNZ65,CNZ75,CNZ65 型 釘頭径 8.1mm,CNZ75 型 釘頭径 8.3mm, CNZ75 型 長さ 65mm）の組み合わせについて、一面せん断試験を行った。図-2 に荷重変形関係を示す。

釘頭を大きくしたり、釘長さを短くすることで釘の引抜けの傾向がみられる荷重変形関係となった。

(2) 釘の軸材に対する引抜き試験

軸材〔ヒノキ集成材〕・釘（CNZ65,CNZ75）の組み合わせについて、面材厚 18mm 厚を想定した軸材への打ち込み深さによる釘の引抜き試験を行った。図-3 に荷重変形関係を示す。

胴部径、打ち込み深さにより引抜耐力が高くなることを確認した。

(3) 釘頭の貫通力試験

面材（構造用合板〔全層カラマツ〕18mm 厚、MDF18mm 厚、パーティクルボード 18mm 厚）・釘（CNZ65,CNZ75,CNZ65 型 釘頭径 8.1mm,CNZ75 型 釘頭径 8.3mm,CNZ75 型 釘頭径 9.1mm）の組み合わせについて、釘頭の貫通力試験を行った。図-4 に荷重変形関係を示す。

木質ボード系は最大荷重を迎えて荷重が低下するまでの過程について安定した結果となった。それに比べ構造用合板はややばらついた傾向であるが、構造用合板の層構成や節によるものと考えられる。

(4) 釘胴部の面材へのめり込み試験

面材（構造用合板〔全層カラマツ〕18mm厚、MDF18mm厚、パーティクルボード18mm厚）・釘（CNZ65,CNZ75）の組み合わせについて、釘胴部の面材へのめり込み試験を行った。図-5に荷重変形関係を示す。

構造用合板に対しては、ややばらつきがみられた。これ節の影響によるものと考えられる。

(5) 釘胴部の軸材へのめり込み試験

軸材〔ヒノキ集成材〕・釘（CNZ65,CNZ75）の組み合わせについて、釘胴部の軸材へのめり込み試験を行った。図-6に荷重変形関係を示す。

胴部径によりめり込み剛性・耐力が高くなることを確認した。

(6) 釘の曲げ試験

試作を行った釘（CNZ65,75と同径、同鋼種）の曲げ試験を行い、その性能を確認した（図-7）。胴部径により曲げ剛性が高くなることを確認した。

(7) 面材の面内せん断試験

面材の面内せん断試験結果（せん断強度、せん断弾性係数）を図-8、表-3に示す。荷重-ひずみ曲線はばらつきの大きい結果となった。せん断剛性はいずれの面材も一般的な構造用合板に比べ高い結果となった。

表-2 各種試験の試験仕様一覧

(1)釘の一面せん断試験

試験体記号	側材（面材）	加力に対する面材の繊維方向	接合具（くぎ）
Sa-3	MDF 18mm厚	—	CNZ65
Sa-4	MDF 18mm厚	—	CNZ75
Sb-3	MDF 18mm厚	—	CNZ65型 頭径8.1
Sb-4	MDF 18mm厚	—	CNZ75型 頭径8.3
Sd-2	MDF 18mm厚	—	CNZ75型 長さ65
Sa-1	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	平行	CNZ65
Sa-2	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	平行	CNZ75
Sb-1	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	平行	CNZ65型 頭径8.1
Sb-2	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	平行	CNZ75型 頭径8.3
Sd-1	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	平行	CNZ75型 長さ65
Sa-5	パーティクルボード 18mm厚	—	CNZ65
Sa-6	パーティクルボード 18mm厚	—	CNZ75
Sb-5	パーティクルボード 18mm厚	—	CNZ65型 頭径8.1
Sb-6	パーティクルボード 18mm厚	—	CNZ75型 頭径8.3
Sd-3	パーティクルボード 18mm厚	—	CNZ75型 長さ65

主材は120×120、ヒノキ、同一等級構造用集成材を使用

(2)釘の引抜き試験

試験体記号	軸材	接合具（くぎ）	打ち込み深さ(mm)
Wa-1	同一等級構造用集成材　E95-F315	CNZ65	47.0
Wa-2	樹種：ヒノキ　120×120	CNZ75	59.9

(3)釘頭のめり込み貫通試験

試験体記号	面材	接合具（釘）	頭部径(mm)
Pa-3	MDF 18mm厚	CNZ65	7.14
Pa-4	MDF 18mm厚	CNZ75	7.92
Pb-3	MDF 18mm厚	CNZ65型 頭径8.1	8.10
Pb-4	MDF 18mm厚	CNZ75型 頭径8.3	8.30
Pc-2	MDF 18mm厚	CNZ75型 頭径9.1	9.10
Pa-1	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	CNZ65	7.14
Pa-2	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	CNZ75	7.92
Pb-1	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	CNZ65型 頭径8.1	8.10
Pb-2	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	CNZ75型 頭径8.3	8.30
Pc-1	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	CNZ75型 頭径9.1	9.10
Pa-5	パーティクルボード 18mm厚	CNZ65	7.14
Pa-6	パーティクルボード 18mm厚	CNZ75	7.92
Pb-5	パーティクルボード 18mm厚	CNZ65型 頭径8.1	8.10
Pb-6	パーティクルボード 18mm厚	CNZ75型 頭径8.3	8.30
Pc-3	パーティクルボード 18mm厚	CNZ75型 頭径9.1	9.10

(4)面材に対するくぎの胴部めり込み試験

試験体記号	面材	接合具（釘）	胴部径(mm)
La-1	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	CNZ65	3.33
La-2	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	CNZ75	3.76
La-3	MDF 18mm厚	CNZ65	3.33
La-4	MDF 18mm厚	CNZ75	3.76
La-5	パーティクルボード 18mm厚	CNZ65	3.33
La-6	パーティクルボード 18mm厚	CNZ75	3.76

(5)軸材に対するくぎの胴部めり込み試験

試験体記号	軸材	接合具（釘）	胴部径(mm)
Lb-1	同一等級構造用集成材　E95-F315	CNZ65	3.33
Lb-2	樹種：ヒノキ　120×120	CNZ75	3.76

(6)釘の曲げ試験

試験体記号	接合具（くぎ）	胴部径(mm)
Ba-1	CNZ65	3.33
Ba-2	CNZ75	3.76

(7)面材の面内せん断試験

試験体記号	面材
Ply-1	構造用合板　全層カラマツ18mm厚
M-1	MDF 18mm厚
PB-1	パーティクルボード 18mm厚

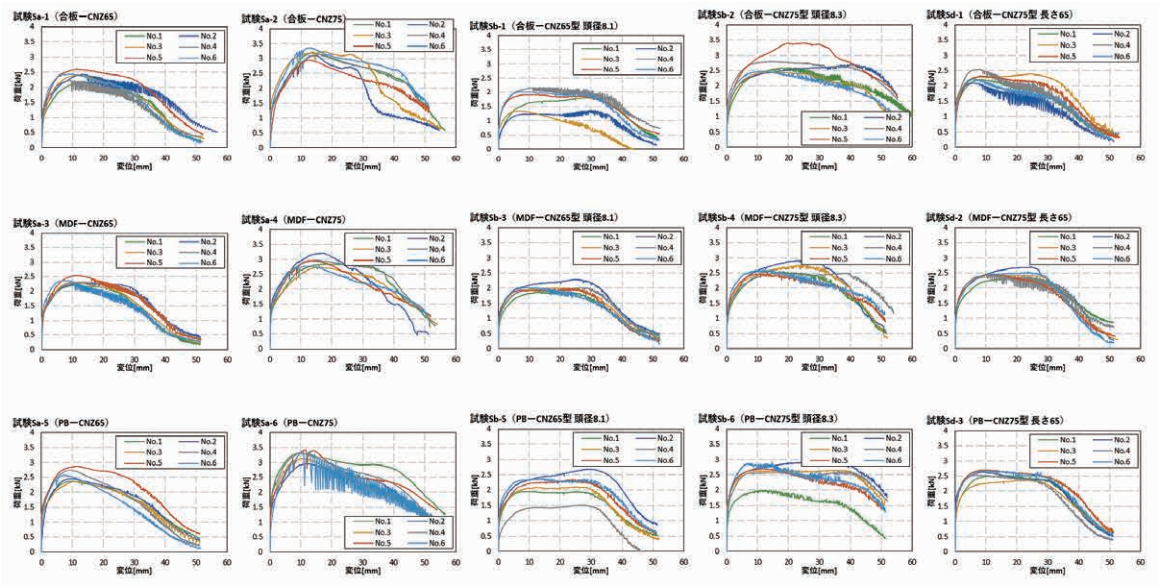


図-2　釘の一面せん断試験結果概要［釘１本あたり］

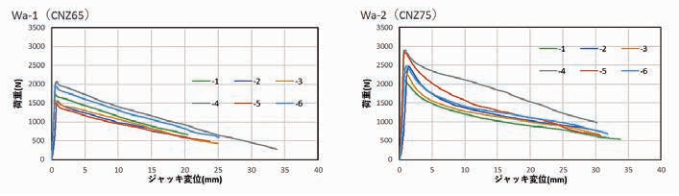


図-3　釘の引抜き試験結果概要

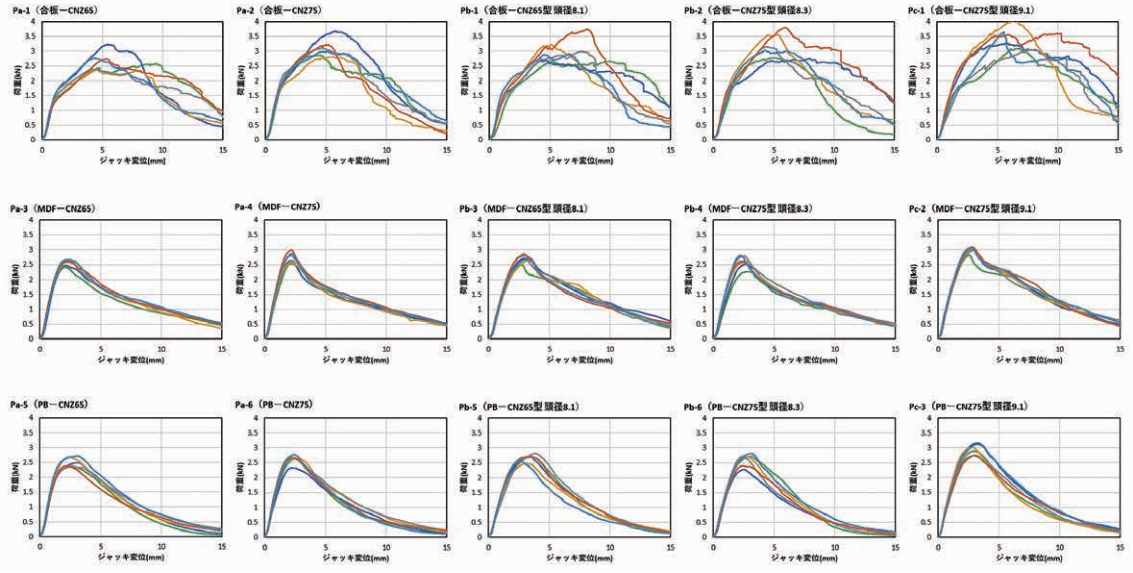


図-4　釘頭の貫通力試験

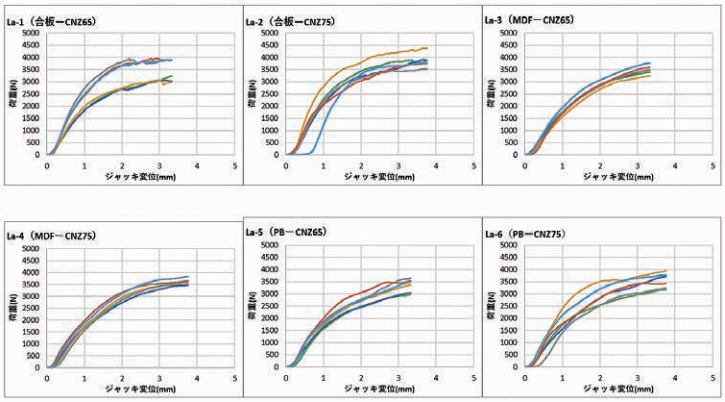


図-5　釘胴部の面材に対するめり込み試験

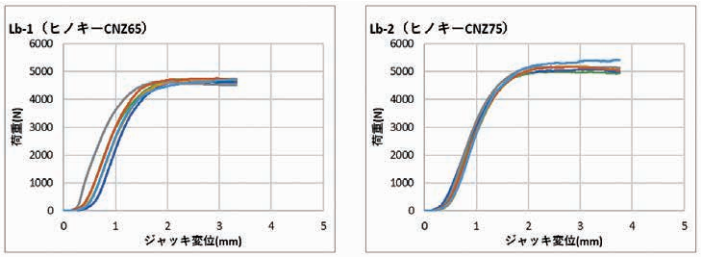


図-6　釘胴部の軸材に対するめり込み試験結果概要

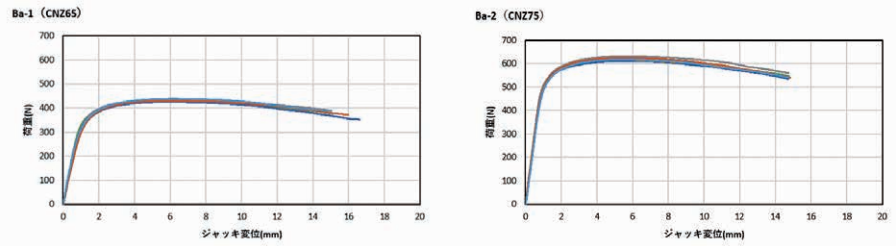


図-7　釘の曲げ試験結果概要

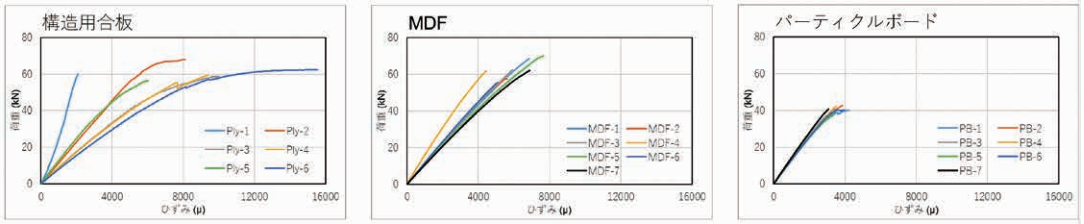


図-8　面材の面内せん断試験結果概要

表-3　面材の面内せん断性能

試験体記号	面材	密度 平均 (g/cm3)	せん断弾性係数 平均 (kN/mm2)	せん断強さ 平均 (N/mm2)
Ply	構造用合板　全層カラマツ18mm厚	0.55	1.15	5.63
M	MDF 18mm厚	0.71	1.07	5.80
PB	パーティクルボード 18mm厚	0.71	1.23	3.77

今後の課題・展開等

1. 要素実験について
・試作した釘、面材を組み合わせた要素実験を実施、その性能を確認した。
・さらに今回選定した以外の軸材の樹種（スギやカラマツ等）、組み合わせなどについても要素実験を行い必要なデータを蓄積していき、特性・破壊性状を精査する必要があると考える。

2. 構造用面材の開発・規格化について
・高性能の耐力壁用に、厚物の木質ボード（MDF、パーティクルボード）について、現行 JIS と同等の密度での製造が可能であることを確認した。
・さらに今回選定したもの以外の寸法についても要素実験を行い、必要なデータを蓄積していき、厚物の規格化に向けて製造管理項目、各種性能値などを精査する必要があると考える。

3. 接合具の開発・規格化について
・高性能の耐力壁用に、市場品よりも釘頭の大きい釘等を製造可能であることを確認した。
・釘打ち機は、現時点で釘頭径が 8.8mm 程度までは対応できことがわかり、8.8mm 程度を超える釘頭径のものについては、釘打ち機も併せての開発が必要と考える。
・さらに今回選定した以外の寸法についても要素実験を行い必要なデータを蓄積していき、規格化に向け釘頭径や釘長さなど、高性能の耐力壁用に適切な寸法を精査する必要があると考える。

4. 要素実験に基づく耐力壁の面内せん断実験について
・要素実験で実施した釘、面材、軸材と同じ組み合わせによる耐力壁試験を行い、木造軸組工法の許容応力度設計（以下,グレー本）に示される釘の一面せん断性能算定手法を適用し、要素実験により得た一面せん断特性との比較検証を行う必要があると考える。

5. 新しい部材を用いた面材耐力壁の詳細計算法の手引き案の作成について
・グレー本に示される面材耐力壁の詳細計算法は、耐力壁試験から求めた釘接合部の一面せん断特性値を用いるが、モデル式が想定する破壊状況（釘の引抜け破壊）と実際の破壊状況との不一致が見受けられる。そのため、この事業で実施した要素実験により得た一面せん断性能に基づいた詳細計算法の確立に向け検証を試みる必要があると考える。

事業

木製浮き基礎の普及活動

● 実施団体 ●

越井木材工業株式会社

〒559-0026　大阪府大阪市住之江区平林北１丁目２番158号

事業目的

建築現場では少子高齢化、熟練工の不足および人手不足による省力化、工期短縮、解体・廃棄費用の減少が求められている。ニュージーランドにおいて、一般的に使用されている木製浮き基礎工法は組立工法のため、施工・解体が容易かつ安価である。そのため、木製浮き基礎工法は施工業者の要望に合致し、既存工法に対してコスト競争力があると考える。また、炭素固定能力のある木材を再利用可能な形で利用していく事は、限りある資源の有効活用および循環利用を実現し、人および生物（森林）を救うことが可能である。加えて、炭素を固定した木材は再生産でき、再利用および多様なカスケード型の利用が可能である。

本事業は国産材の新しい用途として、日本国内で木製浮き基礎工法を普及させることを目的とした。

実施した項目

木製浮き基礎を日本で実用化するために、昨年・一昨年の実施内容を踏まえ、本年度は継続的かつ新規的な内容を実施予定である。令和２～４年の実施内容を下記表に示す。

実施年	実施内容	協力・関係機関
令和２年	通常地盤での設計方法の検討	（株）アルセッド建築研究所
令和２年	小実験棟の設計・施工	
令和２年	要素実験の実施	京都大学 生存圏研究所
令和2,3年	丸太載荷試験の実施	（一財）地域地盤環境研究所
令和2, 3, 4年	汎用性の高い設計方法の検討	（株）アルセッド建築研究所
		（有）山辺構造設計事務所
		（一財）ベターリビング
令和４年	実大基礎材における耐久性・維持管理方法の検討	（一財）建築研究協会
令和４年	木製基礎と上物の納まりの検討	TTT Products Limited（ニュージーランド）
令和４年	木製基礎材の加工・芯抜き・接合部等の加工方法の検討	木材加工会社、各製材所、森林組合、等
令和2, 3, 4年	夢洲での実験棟A(スギ丸太：ユニバーサルデザイン対応),B(ラジアータ パイン：沈下調整対応)の設計・施工・長期計測・解体・再利用方法の検討、実物件の長期計測	京都大学 生存圏研究所
令和3, 4年	ユニバーサルデザイン対応の沈下調整機構の検討	TTT Products Limited
令和４年	普及・宣伝活動	

実施体制

本事業の目的達成のため学識経験者、関連機関から構成する委員会を発足させ事業を推進した。

■都市土木木材利用促進研究会

役職	氏名	所属
委員長	東畑　郁生	関東学院大学　客員教授
委　員	今村　祐嗣	京都大学　名誉教授
委　員	五十田　博	京都大学生存圏研究所　教授
委　員	岩崎　好規	一般財団法人 地域地盤環境研究所
委　員	諏訪　靖二	諏訪技術士事務所
委　員	笹村　欽也	株式会社東畑建築事務所
委　員	大倉　靖彦	株式会社アルセッド建築研究所
委　員	藤井　俊逸	株式会社藤井基礎設計事務所
委　員	松尾　浩樹	大成建設株式会社
委　員	梅森　　浩	大成建設株式会社
委　員	木村　礼夫	株式会社ジェイアール総研エンジニアリング
委　員	彦坂　　勉	株式会社大林組
委　員	田中　尚寛	田中手帳株式会社
委　員	三宅　英隆	一般社団法人 大阪府木材連合会
委　員	神谷　直秀	株式会社コシイプレザービング
委　員	越井　　潤	越井木材工業株式会社
委　員	松本　義勝	越井木材工業株式会社
委　員	山本　　宏	越井木材工業株式会社

＊オブザーバーとして下記の方々にもご参加、ご助言をいただきました。
久世　直哉（(一財）ベターリビング）
佐藤　健太（長野森林組合）
江上　貴司（(株）セブン&アイ・ホールディングス）
平原　章雄（木構造振興（株））

実施した内容

1.1　汎用性の高い設計方法の検討

日本において、本工法の設計・施工した事例がない。そこで、国内での実用化の為に関係法令への適合性(耐久性・設計方法)を確認し、昨年度末に建設技術審査証明を申請した。

1.2　実大基礎材における耐久性・維持管理方法の検討

現在、防腐処理した供試体(30 × 30 × 600㎜)を約25年間、野外防腐性能試験(JIS K 1571:2010)に準じて評価した結果がある。しかし、本供試体は実寸大の丸太基礎と比較すると材積あたりの表面積率が大きいため、実大材と比べ溶脱性が大きいと思われる。そこで、実際に則した耐久性及び劣化傾向(薬剤の溶脱性等)を検証するため、実寸大の丸太基礎を用いて薬剤溶脱率および表面からの腐朽度を確認した(図 1)。試験場所は、鹿児島県日置市吹上浜の松林とした。同地は温暖な気候によりシロアリや腐朽菌による劣化リスクが比較的高く、野外試験地として多くの公的機関や企業が試験を行っている場所である。

図 1　鹿児島県日置市吹上浜　耐久性試験

1.3　丸太基礎と上物の納まりの検討

これまでの実大実験棟の施工において、上物が木造建物の場合における納まりを検討し実証してきた。そこで、本年度は本工法の適応性を広げるべく上物が他の構造形式（軽量鉄骨、仮設ユニットハウス、大型の木造建物等）を採用している場合の納まり案を作成し、実寸大のモックアップを基に、接合部の有効性を検討した（図 2）。

図 2　小規模試験モデル　モックアップ試験

1.4　木製基礎材の加工・芯抜き・接合部等の加工方法の検討

木製基礎に用いる丸太は、円柱・芯抜き・接合部の切り欠き等の加工が必要である。各加工方法は既存の設備を用いて実施をしているため、改良(製造コストの縮減)の余地がある。そこで、本工法における基礎丸太の加工コストを縮減するために、より効率的な加工方法や形状・加工機械を検討するため、本基礎工法の丸太に適した円柱加工機、芯抜き加工機の設計を行った。

1.5　実物件の長期計測

昨年度、夢洲で現場作業員事務所として再利用･再施工した実大実験棟B(現場作業員詰所)において、長期的な変化(ひずみ・沈下量)の観察を継続して行った(図 3)。また、丸太の含水率・腐朽程度を定期的に測定した。

現在、本工法の普及活動を行う中でお引き合いをいただき、実際に施工した物件(2022年3月竣工)がある。用途は、茅葺屋根の軒を補強する補助柱を支える基礎である。本基礎の経時変化をレベル測量によって把握した。

図 3　実物件の経時観察・長期計測

1.6　宣伝活動

本工法を日本にて普及させるために、(公社) 日本木材加工技術協会による木材加工技術賞に応募し、第67回木材加工技術賞を受賞した。第40回の記念年次大会にて受賞講演および工法モデル・カタログを設置し、来場者に対して本工法を広く紹介した (図 4左)。

また、(一社)日本ウッドデザイン協会によるウッドデザイン賞2022に応募し、優秀賞（林野庁長官賞）ライフスタイルデザイン部門を受賞した (図 4右)。

環境展示会「エコプロ2022」内にて開催された、ウッドデザイン賞表彰式ならび受賞作品の展示会に、同様のモデルとカタログを設置の上、工法の説明動画を上映し来場者に対して本工法を紹介した。加えて、受賞報告のプレスリリースをWeb上で配信し、会場に来場されなかった方やその他、報道関係者も含む不特定多数に対しても広報活動を行った。

図 4　左:木材加工技術賞　右:ウッドデザイン賞(優秀賞)受賞

実施した結果

1.1　汎用性の高い設計方法の検討

建設技術審査証明の取得のため、継続して活動している。第1回目(1/26)、第2回目(3/9)の日程で、審査委員会にて審査をしていただく予定である(通常、計3回の委員会により審査･承認される)。

1.2　実大基礎材における耐久性・維持管理方法の検討

9/14～16に試験材の設置、10/24,25日に初期値を測定した(図 5)。

図 5　耐久性試験 初期値測定

1.3　丸太基礎と上物の納まりの検討

弊社敷地内にて小規模試験モデルを設置し、荷重をかけて沈下量を測定した。結果、一般的な積載荷重に対して、沈下等不具合が起きないこと、ジャッキアップ可能であることを検討し、委員会にて委員の方々にも実際に体験して頂きジャッキアップ機構の効果を確認した(図 6)。本基礎の使用を検討くださる方々や企業に本工法を紹介し、導入を検討している上物構造物に合わせて個々に基礎図面を作成し、見積り・提案を行った。

図 6　載荷条件下でのジャッキアップ

1.4　木製基礎材の加工・芯抜き・接合部等の加工方法の検討

機械メーカーと相談をし、本基礎丸太にあった機械を設計・図面化し、費用試算した。

1.5　実物件の長期計測

大阪市夢洲地区の現場作業員詰所 (図 7) および新潟県柏崎市高柳町の陽の楽屋において、定期的な計測を実施し、現状基礎丸太材において腐朽の進行が全くないことおよび沈下や劣化による不具合の発生が起きていないことを確認した。

図 7　夢洲実験棟設置後約 1 年（現場詰所）

1.6　宣伝活動

『エコプロ 2022』内にて開催された「ウッドデザイン賞 2022」受賞作品展示により、他業種の方々への本工法の紹介および実際に使用を検討したいという方々と名刺交換をさせていただいた。また、用意したパンフレットはおよそ 90 部配布できた (図 8) 。

図 8　エコプロ 2022　木製浮き基礎展示ブース

今後の課題・展開等

工法の確立

●設計・施工マニュアルの更新

現在申請している建設技術審査証明の内容および小規模モデル等での試験施工にて検証した内容を踏まえ、設計・施工マニュアルを更新する。

●防腐薬剤処理した丸太基礎の耐久性の検証

定期的(2回/年)に試験体の劣化状態を経時的に確認する。5年後に掘り起こし、実寸大での曲げ試験を実施し強度低下が無いか確認する。

実用化・普及活動

●リユース方法の検討

引き続き夢洲地区にて、生きばらし した実大実験棟(B棟)を再建築することで、基礎部材・木造建物の再利用方法・リユース率を検討する。

●経時観察

解体した建物は、夢洲地区内の他の場所にて、現場詰所として利用予定である(2023/02～2024/05)。引き続き、基礎の挙動、基礎丸太の劣化状況を経時的に計測する。

●木製浮き基礎の提案

仮設および本設の建築物として本基礎を使用していただくように、引き続き広く普及活動を行う。本工法のメリットや理念に共感頂き、導入を検討して下さる方々に対して、具体的な提案(設計案・納まり案・見積案・確認申請のサポートなど)を引き続き行う。実現に向けて共に歩めるパートナーと一緒に、本基礎工法を採用した建築物の実物件化を検討する。

事業

CLTの土木利用技術の開発と実用化のための低コスト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2階

事業目的

令和3（2021）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では、「土木分野で活用可能な製品の開発推進」が盛り込まれた。こうした背景を受け、当協会では昨年度より「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、市場導入に不可欠な土木利用でのCLTの低コスト化の可能性を探ってきた。

本事業では、それらの検討結果を受けて、土木分野で活用可能なCLT製品を開発することとした。

具体的には、土木分野において市場ニーズが高いと推測されるCLTの用途を推定し、土木用CLTと実装技術の提案を行い、早期の製品化・市場導入を目標とした。

実施した項目

1．土木分野でのCLTの活用を想定した材料性能の検証

劣化において過酷な条件と推察される土木分野における利用方法を想定し、CLT等木質材料の耐久性能を検証するために屋外・地盤中・水中（海水・淡水）暴露試験等を行い、基礎データを取得した。

2．CLTの土木利用技術の開発

社会インフラのポテンシャルの大きさに着目して、その機能に応じたCLTの土木利用に向けた技術開発を進めた。特に木材の炭素貯蔵効果や、リサイクルや木材のカスケード利用等も視野に入れ製品化・市場化に取り組んだ。社会性、環境優位性、経済性など、幅広く市場導入の意義を実大実験などから検証し、早期に社会実装が期待される技術を見極めながら開発を進めた。

3．土木用CLTの開発

土木用途における要求性能を明確にし、土木分野での使用に適切でかつ効率的なCLTの製造技術を検証した。 具体的には、2.で開発を進める利用技術と連携しながら、製品からの要求性能とCLTが確保すべき必要性能との関係を明確化した。

図-1に本事業で想定する土木分野におけるCLTの活用方法とWGとの関係、図-2に委員会とWGの委員構成を示す。

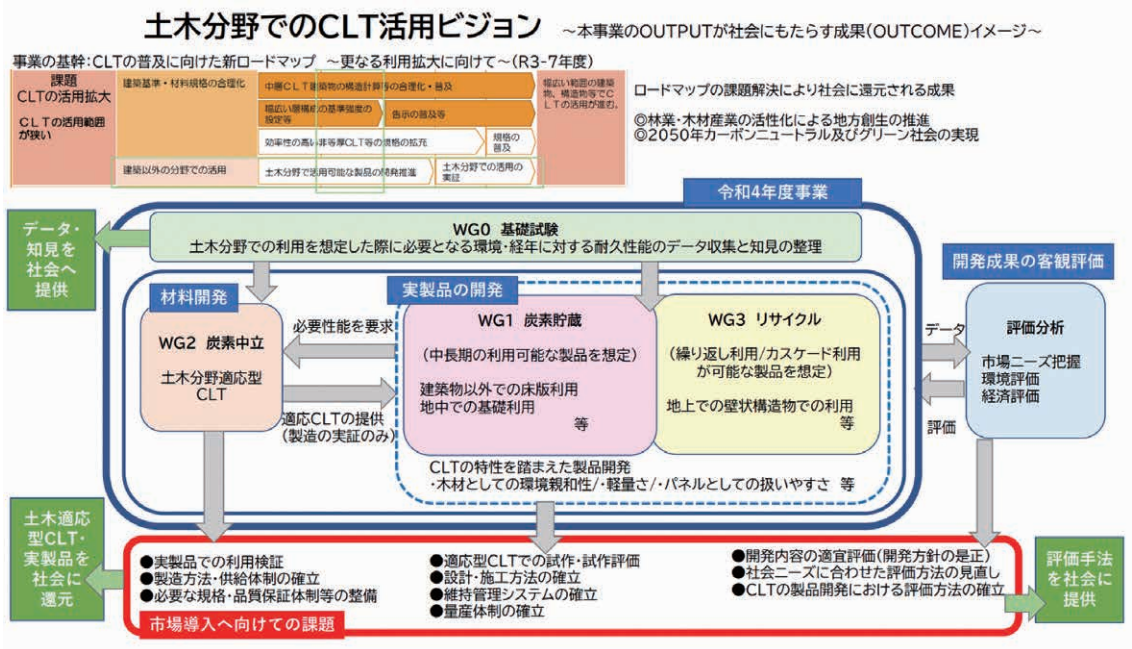


図-1 土木分野でのCLT活用ビジョン（本事業が社会にもたらす成果イメージ）

実施体制

（敬称略・同役職内五十音順にて記載）

【委員会】
委員長：原　忠（高知大学）
副委員長：原田真樹（国立研究開発法人森林研究・整備機構 森林総合研究所）
顧　問：有馬孝禮（東京大学 名誉教授）
顧　問：濱田政則（早稲田大学 名誉教授）
顧　問：服部順昭（東京農工大学 名誉教授）
委　員：今井　良（地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場）
：村野昭人（東洋大学）
：吉田雅穂（福井工業高等専門学校）

【幹事会】
幹事長：沼田淳紀（飛島建設株式会社）
幹　事：池田　穣（株式会社安藤・間）
：加用千裕（東京農工大学）
：木村礼夫（株式会社ジェイアール総研エンジニアリング）
：谷口　翼（銘建工業株式会社）
：綿引　誠（住友林業株式会社）

【WG0：基礎試験】
主査：吉田雅穂（福井工業高等専門学校）
幹事：沼田淳紀（飛島建設株式会社）
委員：今井　良（地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場）
：谷口　翼（銘建工業株式会社）
：山田昌郎（国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所）
オブザーバー
：伊藤良治（株式会社アステック東京）
：田中　洋（宮崎県木材利用技術センター）
：水久保孝英（宮崎県木材利用技術センター）
：山本　健（広島県立総合技術研究所）

【WG1：炭素貯蔵型】
主査：吉田雅穂（福井工業高等専門学校）
幹事：沼田淳紀（飛島建設株式会社）
委員：足立有史（株式会社安藤・間）
：尾崎健一郎（株式会社熊谷組）
：杉本英俊（ベルテクス株式会社）
：谷口　翼（銘建工業株式会社）
：西岡英俊（中央大学）
：原　忠（高知大学）
：山田昌郎（国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所港湾空港技術研究所）
：綿引　誠（住友林業株式会社）
オブザーバー
：伊藤良治（株式会社アステック東京）
：樋口大介（株式会社シビライズコンサルタント）
：山本　健（広島県立総合技術研究所）
：涌嶋　智（広島県立総合技術研究所）

【WG2：炭素中立型】
主査：今井　良（地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場）
幹事：木村礼夫（株式会社ジェイアール総研エンジニアリング）
委員：谷口　翼（銘建工業株式会社）
：野田　龍（秋田県立大学）
：道場　隆（岡山県農林水産総合センター）
オブザーバー
：佐々木貴信（北海道大学）
：山口秋生（日本木材防腐工業組合）

【WG3：リサイクル型】
主査：原田真樹（国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所）
幹事：池田　穣（株式会社安藤・間）
委員：石川佳生（地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場）
：井筒耕平（株式会社イトイグループホールディングス）
：今井　良（地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場）
：木村礼夫（株式会社ジェイアール総研エンジニアリング）
：谷口　翼（銘建工業株式会社）
：藤井敬三（西尾レントオール株式会社）
：村井　悠（理研興業株式会社）

【行政】
土居隆行（林野庁林政部 木材産業課 木材製品技術 室長）
日向潔美（林野庁林政部 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐）
今井　翔（林野庁林政部 木材産業課 木材製品技術室）

【事務局】
平原章雄（木構造振興株式会社）
原田浩司（木構造振興株式会社）
坂部芳平（一般社団法人日本CLT協会）
上田摩耶子（一般社団法人日本CLT協会）
【協力委員】
溝渕木綿子・狩野れいな
（合同会社建設木材工学研究所）

図-2 委員会ならびにWGの構成

実施した内容

1．土木分野でのCLTの活用を想定した材料性能の検証

地盤・海水・淡水の各環境に設置したキュービック型（写真-1）と横目ボード型（写真-2）のCLT供試体の耐久性を検証した。

CLT供試体は、Mx60（材質：スギ）の５層５プライを用い、接着剤は２種類（レゾルシノール樹脂接着剤、水性高分子イソシアネート系接着剤）で比較した。

写真-1　キュービック型供試体
（150 mm × 150 mm × 150 mm）

写真-2　横目ボード型供試体
（500 mm × 1500 mm × 150 mm
淡水は 500 mm × 900 mm × 150 mm）

1－1　各環境下での劣化状況の確認

地盤（亜寒帯・温帯・亜熱帯）・海水・淡水環境の各環境から、設置後約１年を経過した供試体（キュービック・横目ボード）を取り出し、割れや腐朽等の劣化状況の観察と強度試験を実施した。各環境における存置期間を表-1に示す。

表-1　供試体存置期間（1年目供試体）

環　境	地　盤			海　水	淡　水
場　所	亜寒帯	温帯	亜熱帯	港湾空港研究所	飛島技術研究所
	（北海道旭川市）	（広島県三次市）	（宮崎県都城市）	（神奈川県横須賀市）	（千葉県野田市）
存置期間	10ヶ月22日間	10ヶ月11日間	9ヶ月18日間	10ヶ月14日間	10ヶ月間

（1）試験方法

取り出した後に目視観察、写真撮影、割れの測定等を行った。

圧縮試験とブロックせん断試験に用いるキュービック型供試体は、異なる環境下での条件を揃えるため、目標含水率を60%として、供試体を水浸させた状態で含水率調整を行ってから、強度試験を実施した。（繊維飽和点の約30%より高く揃えることで、含水率による強度への影響を回避し、各環境の条件が同一となる。）

経年劣化していない初期状態のCLTの試験結果を基準として、暴露（存置）期間約１年の材料強度の変化を調べた。

2．CLTの土木利用技術の開発

土木分野においてCLTを活用した場合のメリットとデメリットを整理し、早期の社会実装の点で可能性の高い６つの具体的なテーマについて、技術開発を進めた。

2－1　CLT水平地盤補強工法

（1）開発成果の最終イメージ

軟弱地盤上の道路や宅地造成の盛土などの土構造物の基礎として、軟弱地盤上にCLTを設置する（図-3）。既存の工法と比較して、①軟弱地盤上の構造物の安定性確保、②工事中のトラフィカビリティの確保、③施工後の不等沈下の抑制、④液状化被害の低減、⑤炭素の大量貯蔵、⑥工期の短縮のメリットが生じると想定している。

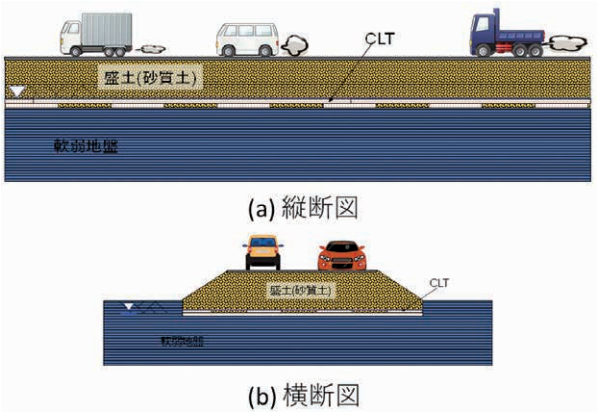


図-3　CLT水平地盤補強のイメージ

（2）実証施工現場での載荷試験

秋田県大潟村（旧八郎潟）において実証施工実験を行った。約12.7 m×7.2 mの4区画の軟弱地盤上にCLT（3層3プライ、スギ、Mx60、水性高分子イソシアネート系接着剤）を敷設して盛土を造成し、以下の4ケースにて載荷試験を実施した。

CASE1：　CLT(6.9(or 4.6)×1.15×0.09 m)、井桁状2段、未固定
CASE2:　CLT(同上)、井桁状2段、ピン（D19×L150 mm）固定
CASE3：　CLT(6.9(or 4.6)×2.3×0.09 m)、板状2段、未固定
CASE4：　無対策

載荷試験は、まず盛土造成直後から各ケースの盛土上中央部に、1.5 t/袋のトン袋を4袋設置し、沈下と水平変位の動態観測を実施した（図-4）。

次に盛土造成の約9ヶ月経過後に、盛土上にRCスラブを設置し、1.6tの敷き鉄板を荷重として積み上げ、最終的に約1,000 kN（約270 kN/m^2）まで載荷し、スラブ側面に設置した標尺より沈下量を計測した（図-5）。

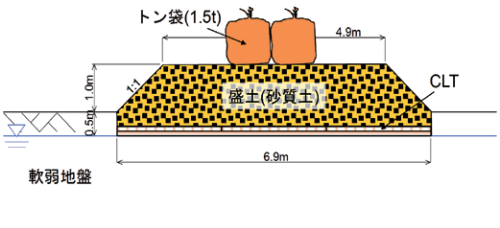


図-4　載荷試験の概要図

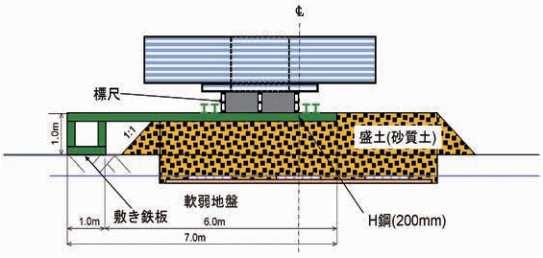


図-5　載荷試験の概要図

2－2　CLTプラットフォーム

（1）開発成果の最終イメージ（図-6）

鉄道施設のプラットフォーム床版として、既存工法の穴あきPC版の代替にCLTを敷設する。

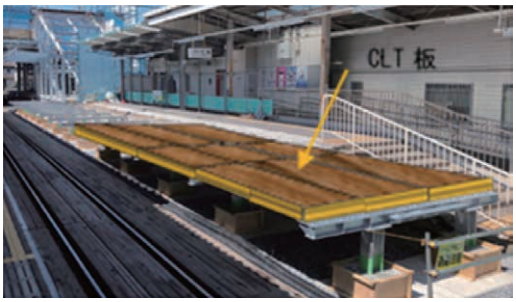


図-6　プラットフォームのイメージ

（2）実証施工実験

駅のプラットフォームをイメージして４試験体を屋外に実証施工し、載荷試験を実施した（写真-3）。

検討内容は、①CLTの固定方法による固定と治具へのめり込み量、②端面の水切り処理方法による劣化度、③CLTの設置とアスファルト舗装の施工性、④アスファルト舗装したCLTの耐久性と適用性、である。

CLT（5層5プライ、スギ、Mx60、水性高分子イソシアネート系接着剤、寸法2.3 m × 1.15 m × 0.15 m）はH形鋼（H200 溶融亜鉛メッキ品）、L形鋼、コンクリートブロックで作製した架台上に４種類の方法で固定した（図-7）。

４種類のプラットフォーム完成後に、CLTの時間経過に伴う劣化による変形量と固定具へのめり込み量を把握するために載荷試験を行った。

CLT吊り上げ・敷設　アスファルト舗装準備　ハンドローラー転圧　CLT試験体設置

写真-3　試験体設置状況

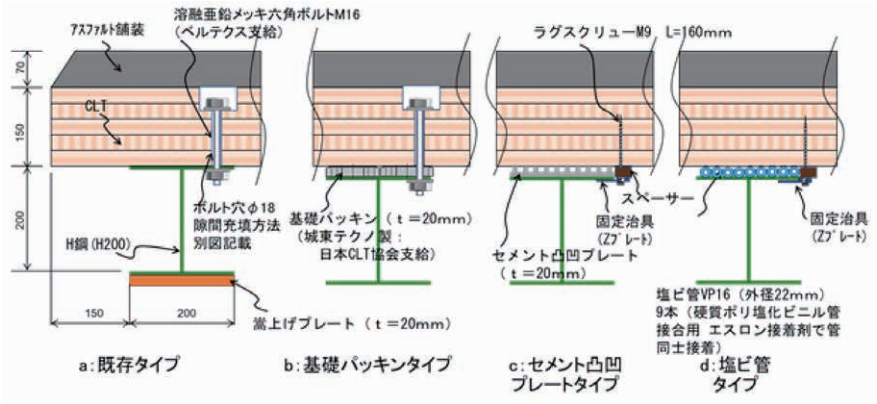


図-7　固定方法

2－3　CLT鉛直地盤補強工法

（1）開発成果の最終イメージ

層厚５ｍ程度の軟弱な基礎地盤上に小中規模の構造物の支持力増加対策として、CLTを鉛直に配置する（図-8）。

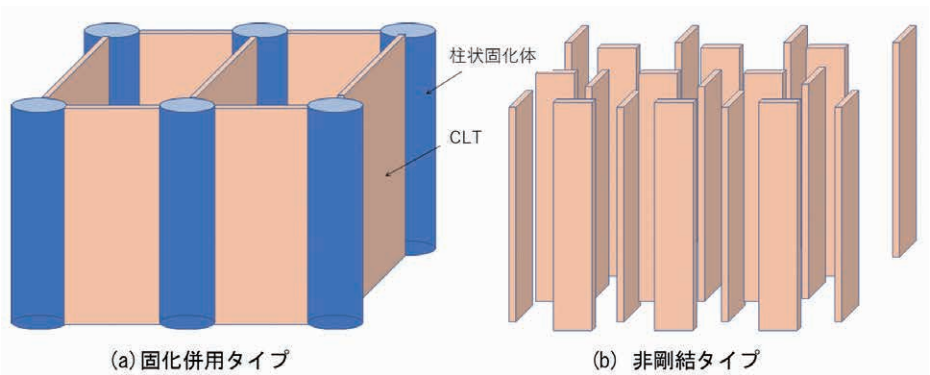


図-8　鉛直地盤補強のイメージ

（2）調査項目

鉛直地盤補強の効果を確認するため、図-9に示す解析モデルを用いて３次元FEMによる数値解析を実施した。

補強効果に与える影響因子として、① CLTの剛性３ケース、② 形状３ケース、③ 間隔２ケース、④ 深度２ケース、⑤ 地盤種別２ケース、⑥ 外力３ケースの６項目を設定し、合計216ケースの比較解析を実施した。

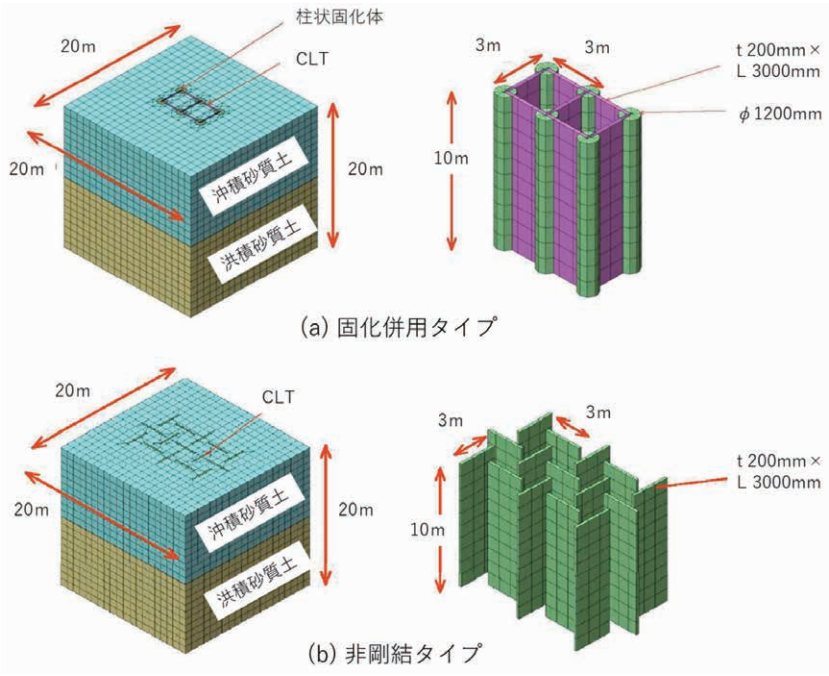


図-9　解析モデル

2－4　CLT敷板のリサイクル型利用技術

土木作業現場における地盤対策として、繰り返し使用（複数の現場での転用）されている鋼製の敷鉄板の代替としてのCLTの活用を目指し、工事現場における時限的な使用およびヤードにおける常時敷設による実証試験を実施した（写真-4）。実際の土木施工現場に設置することにより、実用上の問題点を抽出することをねらい、表-2に示す内容で実施した（転用回数は、新材使用を０回とする）。

写真-4　CLT敷板敷設状況の例（左：治山工事現場の例、右：チップ生産ヤードの例）

表-2　CLT敷板実証試験に関する緒元

現場種別	敷設したCLTの種類別使用枚数（転用回数）						樹種
	強軸			弱軸			
	3層3プライ	3層4プライ	5層5プライ	3層3プライ	3層4プライ	5層5プライ	
住宅外構	—	—	10(1)	—	—	—	スギ
チップ生産ヤード	—	8(2)	2(2)	—	3(2)	5(1)	スギ
治山工事現場	11(2)	2(2)	—	6(2)	2(2)	—	スギ
林道工事現場	10(0)	—	—	—	—	—	カラマツ
河川工事現場	45(0)	—	—	—	—	—	スギ

2－5　CLT防雪柵のリサイクル型利用技術

鋼製防雪柵における着雪による変形や鋼材の腐食等の諸課題を解決するため、CLTによる防雪柵の開発を進めた。昨年度に試行的に設置したCLT防雪柵について、端部からの巻込風の影響を抑制するための鋼製防雪柵をCLT防雪柵に隣接して設置すると共に、防雪機能を発揮させるための要ともいえる上部工の仕様（形状、使用材種、樹種、固定方法等）について検討して新設し、基礎的なデータ計測、観察を行った。

写真-5　新設した鋼製防雪柵（左奥：CLT防雪柵）

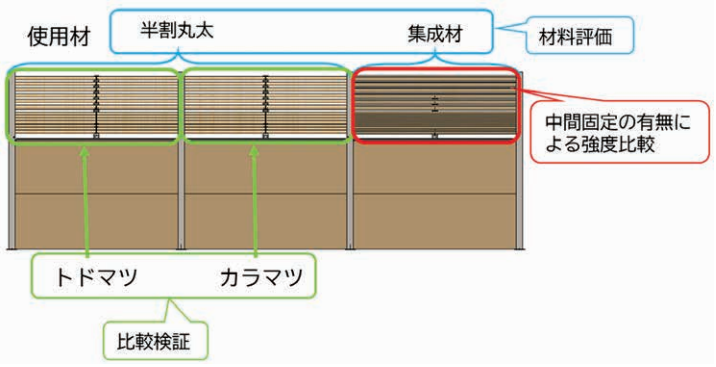


図-10　CLT防雪柵における上部工の検討

2－6　CLT燃料利用技術

CLTのリサイクル型利用技術開発において、CLTを木質系資源としたカスケード型の利用サイクルを構築することも重要である。本事業では、木材由来のバイオマス燃料としての利用技術についての技術開発を進めるため、令和3（2021）年度から4（2022）年度にかけて、環境条件の異なる3か所の工事現場で使用（転用2回）されたCLT敷板を洗浄して切削チップ化して、CLT敷板の切削チップの品質を分析した。さらに、昨年度に実施した未使用のCLT敷板の切削チップの品質との比較検証を行った。

写真-6　使用済みCLTの切削チップ化の実施状況（令和4(2022)年11月15日）

3．土木用CLTの開発

3－1　土木用CLTの生産技術の開発

（1）土木用ラミナの仕様検討

従来の建築向けCLTは、「直交集成板の日本農林規格（JAS）」でラミナの品質が厳格に定められており、規格を満たさない材の多くは安価に取引されチップや燃料に利用されている。しかし、土木用途は建築とは異なり表面品質や美観は重視されず、また、使用環境が湿潤である場合が多いために、出荷時に低含水率である必要性も小さい。従って、JAS規格を満たさない安価なラミナを土木用ラミナとして活用できれば、資源の有効活用や製品の低コスト化が期待できる。

そこで、ラミナの品質基準に適合しない材料の分類を行い、製造上の課題を整理した（図-11）。また、歩留まりや製造コストに影響のあるラミナの表面仕上げや人工乾燥などの工程省略についても検討を行った。

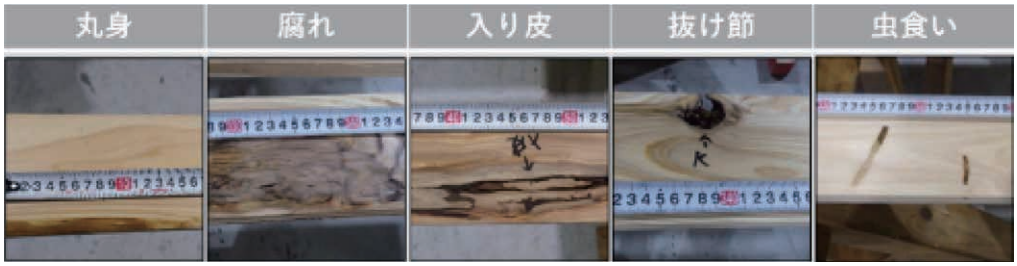


図-11　ラミナの状態による分類

（2）土木用CLTの製造実験

前項で整理した土木用ラミナを用いて、実際の量産ラインでの土木用CLTの製造を想定し、検証実験を実施した。土木用ラミナとは、建築向けCLTに仕上げられたラミナ（厚さ30 mm）のうち、品質の基準により弾かれたラミナを想定している。それらのラミナは製造後に集材し、一定期間保管されることが想定されるので、再度仕上げ切削することを視野に入れ、厚さ26 mmのラミナを用いた。

今回用いたラミナに含まれているのは、丸身、腐れ、入り皮、抜け節、虫食いである。これらのラミナを用いて4,050 mm × 2,884 mm × 78 mmの3層3プライCLT（Mx60）を実際の工場の量産ラインにて製造した。

写真-7　土木用ラミナのみで製造したCLT

（3）構成ラミナを一部省略したCLT（省ラミナCLT）の製造実験

一般的に建築用材に掛かる曲げ応力は主として最外層のラミナが負担しており、曲げ負荷を受けるCLTの内層ラミナが負担する荷重は相対的に小さくなる。そこで、曲げ応力が支配的な使用状況では、内層のラミナの枚数を一部省略して内部に中空部を有するCLTでも十分な性能が得られる可能性がある。また、ラミナの枚数が削減されることで軽量化とコスト削減にも貢献できる可能性がある。

そこで、構成ラミナを一部省略したCLTの製造実験を行った。令和3（2021）年度に実施した力

ラマツラミナを用いた予備実験製造実験では、特に不具合は確認されなかったが、通常のCLTに比べるとラミナの配置に若干の手間が発生した。そこで、製造方法に改良を試み、スギを用いて同様に省ラミナCLT（2,000 mm × 1,000 mm × 150 mmの5層5プライ（Mx60））の製造実験を行った。

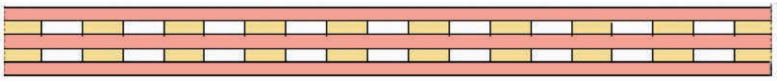


図-12　内層の一部ラミナを省略した省ラミナCLTの例（側面図）

3－2　土木用CLTの耐朽性付与技術の開発

薬剤を用いた深浸潤処理技術は、建築用土台などに用いられる保存処理技術である。この技術は難注入性のカラマツ材などにも必要十分な薬液を浸透させるものであり、加圧注入処理に比べて処理に掛かるエネルギーが小さいため処理の低コスト化も期待できる。一方、屋内環境向けの技術であり、屋外環境における処理効果についてはまだ十分に明らかにされていない。

そこで、深浸潤処理したCLTを屋外環境に暴露して処理効果の観察を行い、土木用CLTの耐朽性付与技術としての可能性を検証した。

実施した結果

1．土木分野でのCLTの活用を想定した材料性能の検証

（1）劣化状況

各環境の劣化状況の観察結果を表-3に示す。いずれの環境においてもラミナの割れが多く、接着剥れは少ない傾向であったが、特に海水環境は他の環境と比較して劣化が少なかった。

腐朽と虫害については、亜熱帯の地盤環境と海水環境のみで生じた。それぞれの劣化の様子を写真-8と写真-9の赤点線（腐朽）、青点線（虫害）で示す。

表-3　劣化の発生状況

環　境	場　所	設置位置	劣化状況（○：劣化無し　×：劣化あり）			
			接着剥れ	ラミナ割れ	腐朽	虫害
地　盤	亜寒帯（旭川市）	気中	×小	×中	○	○
		地中	×小	×小	○	○
	温帯（三次市）	気中	×小	×中	○	○
		地中	×小	×小	○	○
	亜熱帯（都城市）	気中	×小	×大	×	○
		地中	×小	×小	×	×
海　水	港湾空港研究所（横須賀市）	常時海中全面接触	○	×小	○	×
		常時海中土中	×小	×小	○	○
		干満帯	×小	×小	○	×
淡　水	飛島技術研究所（野田市）	気中	×小	×中	○	○
		水中	×小	×中	○	○

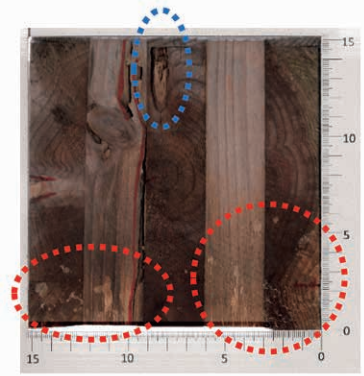


写真-8　亜熱帯：腐朽、虫害

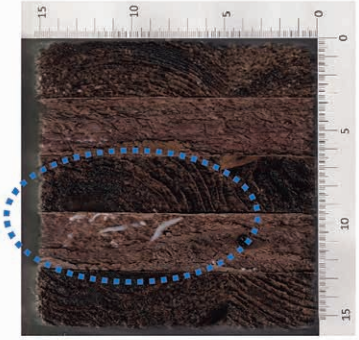


写真-9　海水中常時接触：虫害

（2）圧縮試験

1）地盤環境

亜寒帯では、縦圧縮強さ･弾性係数については使用する接着剤･設置位置による差はみられなかった。

亜熱帯では、縦圧縮強さは使用する接着剤により差が生じ、レゾルシノール樹脂接着剤を用いた供試体より水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた供試体の方が低かった。弾性係数は、使用する接着剤・設置位置による差はみられなかった。

2）海水環境

常時海水に全面接触している供試体は、縦圧縮強さ、弾性係数とも他の海水環境に比べて半分以下であった。

3）淡水環境

亜寒帯と同様に、縦圧縮強さについては使用する接着剤・設置位置による差はみられなかった。また、他環境と比較して弾性係数が小さかった。

（3）ブロックせん断試験

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。接着面のせん断強さは、ばらつきが大きくなり、環境・接着剤・設置位置による有意差は認められなかった。

2．CLTの土木利用技術の開発

2－1　CLT水平地盤補強工法

載荷試験の結果はすべり破壊にまでいたらず、破壊前の沈下量（270kN/m^{2}載荷時）の大きさは、無対策が最も大きく、順に全面、井桁（固定）、井桁（自由）となった。CLTを敷設したケースは、無対策に比較して沈下量が少なくなったが、全体的に沈下量は小さく、その差はかなり小さかった。沈下量が小さかった要因としては、盛土の強度が想定以上に大きかったことと考察している（図-13）。

動態観測（9ケ月）による不同沈下の発生量は、無対策が大きく、CLTを敷設したケースがやや少なかったが、その差はかなり小さかった。

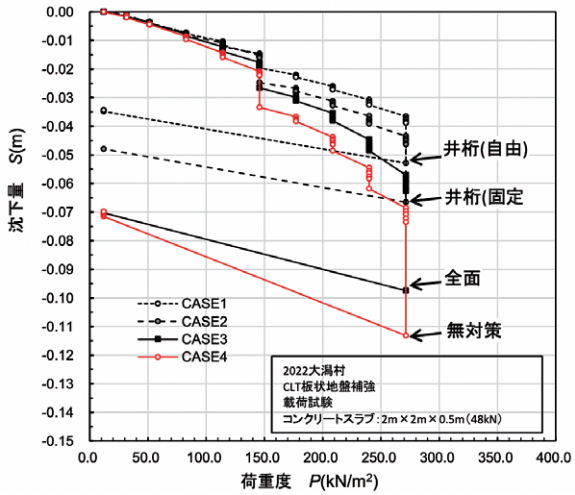


図-13　CLT水平地盤補強載荷試験結果

2－2　CLTプラットフォーム

（1）実証施工

CLTに取付けた専用吊上げ金具を用いて揚重、架台上に設置した後、アスファルト舗装、端部防水処置を行った実証施工を経て、以下の見解を得た。

1）CLT固定の施工性と適用性

既存タイプと基礎パッキンタイプについては、ボルト締結の作業性に課題があり、Zプレート取付けには支持梁（H形鋼）との固定方法に課題がみえた。

2）CLT設置の施工性と適用性

CLTが軽量であるため、クレーン車を使用せずにフォークリフトで短時間（5分程度）での揚重・敷設が可能であった。ただし、今回設置した試験体の長さと幅等から、敷設の施工性については、今後の試験施工でさらに検証する必要がある。

3）アスファルト舗装の施工性と適用性

CLTへのアスファルト施工（防水シート＋アスファルト舗装）の適用性については問題なかった。

（2）たわみ量計測結果

電子計測よる計測結果の一例を図-14に示す。CLT板の中央部平均変位量の最大値（両端部変位平均値を差し引いた値）は、0.65 mmと0.55 mmであった。

支承部のめり込みについては、支承部の変位量を電子計測し、塩ビパイプタイプ以外は、ほぼ同じ変位（最大変位－0.4 mm）となった。一方、塩ビパイプタイプは、上記と比較して最大変位が約0.2 mm程度大きい結果となったが、塩ビパイプのつぶれが目視で確認された。

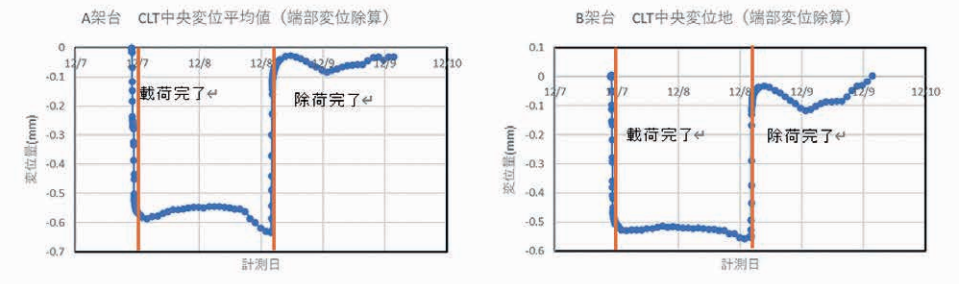


図-14　CLTプラットフォームの載荷試験結果（端部変位量除算した中央たわみ量）

2－3　CLT鉛直地盤補強

解析結果の一例として図-15に変形図コンターを示す。

CLTを鉛直に配置することにより、支持力が向上して鉛直変位量が抑制され、その低減率は無対策と比較して、固化併用タイプの対策効果が大きかった。

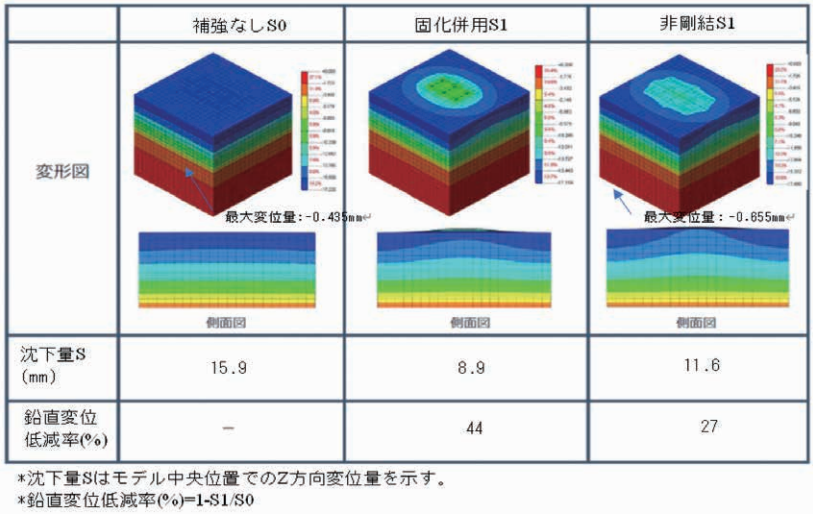


図-15　変形図コンター

また、基礎地盤に作用する圧縮応力はCLTの設置により低減する結果となった。従って、上載荷重はCLTを介して支持層へ伝達されていると考えられ、地盤条件、荷重条件に適応したCLTを鉛直配置することで、支持力向上効果が期待できるものと推定された。

2－4　CLT敷板のリサイクル型利用技術

CLT敷板の実証試験結果を基に、従来技術と比較した結果を表-4に示す。

表-4　CLT敷板と従来技術の比較

評価項目	CLT敷板	敷鉄板	プラ製敷板	従来技術と比較したCLT敷板のメリット･デメリット
強度性能	○	◎	△	・軟弱地盤、不陸、橋渡しでの使用に制約がある
損傷具合	△	◎	○	・表面の損傷と表面と側面の角部が欠けやすい（機能性には問題なし）
耐朽性	△	◎	○	・長期間使用した場合に腐朽による影響を受ける可能性あり
輸送	○	△	◎	・軽量であるため一度で大量輸送が可能
施工性	○	△	◎	・密度が低いため設置地盤への重量対策等の処理が不要 ・軽いため施工性がよい
使用時	○	○	○	・大きな違いはないが他と比較して軽いため不陸地盤でのハネや車両走行時等に動く場合がある ・雨天時や降雪時に滑りにくい
騒音性	◎	△	○	・重量物の落下時等の衝撃音が低く静粛性がある
再利用	△	◎	○	・使用後の損傷が大きいためリース事業では使用回数に制約がある
冬季の利用	◎	△	○	・断熱性が高いため積もった雪が凍りにくい ・雪上使用の場合敷板下の雪が溶けにくいため沈降しにくい
価格（単品）	◎	○	◎	・単品の製品価格は他と比較して安価

2－5　CLT防雪柵

CLT防雪柵の実証施工による計測・観察により得られた結果を表-5に整理する。

表-5　CLT防雪柵に対する検討結果一覧

検討項目	検討結果
着雪量	**表面処理による着雪抑制効果について引き続き検討中。**
表面温度	**鋼製防雪柵との違いは認められていない。計測位置を見直し検討中。**
含水率	**表面処理の有無による差異が認められ、処理の効果について確認できた。引き続き経過調査中**
コスト検証	**試算では鋼製防雪柵に対し約 25%高くなる。リサイクル利用効果も含めて検証中。**

2－6　CLT燃料利用技術

（1）切削チップ化

CLT敷板を高圧洗浄機で水洗いし、大型チッパーに投入できる大きさに切断した後、35 mmアンダーの切削チップを作成した。通常、土砂や鉄くずなどの混じった建設廃材のチップ化ではハンマーによる破砕チッパーを用いるが、使用済みCLTを高圧洗浄機で水洗いすることで、搬送に支障をきたす長尺チップやブリッジ（チップの塊）の形成を抑制することができ、木質バイオマス燃料として形状のよい切削チップが得られた。

（2）品質

品質規格の品質基準値（Class4，リサイクル材）を満たしていた。しかし，灰分や微量成分は使用済みCLTの方が未使用CLTよりも多く含まれていた。これは使用済みCLTに含まれていた土砂等の影響によるものと考えられる。

（3）発熱量

約30 wet%の使用済みCLTの低位発熱量（水分の蒸発熱を高位発熱量から差し引いたもの：実際に熱エネルギーとして利用できる熱量）は3,520 kcal/kg（14,730 kJ/kg）であり、品質規格による針葉樹木部（水分30 wet%）の低位発熱量である3,040 kcal/kg（12,800 kJ/kg）より大きかった。この理由としては、CLTの接着剤に含まれる成分や敷板に付着していた土砂等の影響によると思われる。

3．土木用CLTの開発

3－1　土木用CLTの生産技術の開発

土木用途を想定した新たな仕様・製造方法に基づくCLTの試作を行った結果、以下の主要な知見を得た。

（1）土木用ラミナの仕様検討

1）欠点の分類と整理

欠点を含むラミナの分類を行い、欠点の種別に製造上の課題を整理した（表-6）。なおB材丸太は、一般製材向けのA材丸太のうち比較的曲がりが大きい丸太や小径な丸太を指し、C材丸太は、通常チップ・パルプ向けになる枝条部や大曲がりのある丸太を指す。

表-6　欠点の分類と製造上の課題整理

	丸身	反り	曲がり	腐れ	入り皮	虫食い	抜け節
B材丸太の挽板	◎	○	○	◎	◎	◎	◎
C材丸太の挽板	○	△	△	◎	◎	◎	◎

【凡例】　◎：製造上問題が発生する可能性が低いと予想できるもの
○：欠点の程度によって問題、もしくは、製造上ひと手間生じる可能性のあるもの
△：製造上ひと手間かかるもの（細かくカットしてFJするなど）

丸身については極端に大きな丸身の場合には接着面積が不足する恐れなどがあるが、腐れ、入り皮、虫食い、抜け節については、基本的に製造時に問題は発生しないと推察された。

反りについては軽微なものであれば接着時の圧締力により接着することができるが、程度が強いものは量産ラインにおける送材トラブルや接着不良を起こす可能性があるため、短尺に切断してフィンガージョイント接合（以下、ＦＪ）する必要がある。

曲がりについては並列するラミナ間に隙間が生じることから、最終製品として隙間をどの程度まで許容できるかによる。また、曲がりの程度が大きなものは反りと同様に短尺に切断してＦＪとする必要がある。

2）ラミナの表面仕上げおよび人工乾燥の有無による接着性の検討

天然乾燥したラミナについて、表面仕上げ（プレーナー掛け）をせずに接着剤を塗布した場合の接着性について検討を行った。その際の圧締方法を、通常のプレス機でのもの（1.0 MPa、60分）と、真空プレス機を用いたもの（0.1 MPa、60分）と２種類で行った。

プレーナー掛けして通常のプレスで圧締した場合は天然乾燥ラミナでも問題なく積層接着できた。一方、プレーナー掛けしないラミナの場合は接着剤の使用量が増え、圧締方法に関わらず、解圧後に未接着部と思われる隙間が多数確認された（図-16）。

図-16　ラミナの仕上げ切削の有無による積層接着試験の結果

3）天然乾燥ラミナの接着性の検討

人工乾燥を行わずに天然乾燥により含水率を下げたラミナを用いた接着性能試験を行った。

天然乾燥したラミナ全量について含水率を計測した（平均含水率19.5%）。3種類の接着剤を用いて3層3プライのCLT試験体（300 mm×300 mm×90 mm）を製造し、減圧加圧はく離試験を実施したが、はく離はほとんど確認されなかったことから、いずれの試験体も問題なく製造できることが検証された（図-17）。

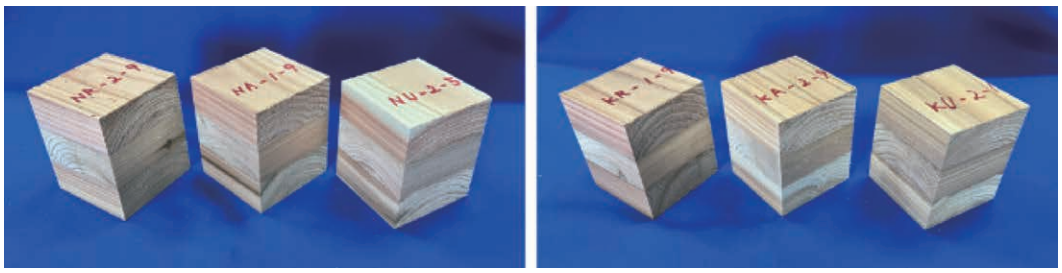


図-17　天然乾燥ラミナおよび人工乾燥ラミナで製造したCLTから切り出したはく離試験体
（N:天然乾燥、K:人工乾燥、R:レゾルシノール樹脂系接着剤、
A:水性高分子イソシアネート系接着剤、U:ポリウレタン樹脂系接着剤）

（2）土木用CLTの製造実験

欠点を含むラミナを用いた製造実験を、実際の工場の量産ラインで行った。

製造工程においては特に不具合は確認されなかった。

また、原木段階から製品段階までにおける歩留まりについて検証したところ、通常ラミナを用いたCLT製品に比べ7%程度の歩留まりの向上が確認された。

（3）構成ラミナを一部省略したCLT（省ラミナCLT）の製造実験

省ラミナCLT（2,000 mm×1,000 mm×150 mmの5層5プライ）を手作業により製造した。特に不具合もなく製造することができた。

治具の改良により、ラミナをスムーズに配置できるようになったため、製造開始から圧締開始までの所要時間が前年度から2割程度削減された。

3－2 土木用CLTの耐朽性付与技術の開発

CLTに以下の工程で深浸潤処理し耐朽性付与を試みた結果、問題なく処理を行うことができた。製造したCLT（スギ、5層5プライ、2,400 mm×6,000 mm×150 mm、レゾルシノール樹脂系接着剤）には、表裏面に現れる面に配置されるラミナにのみインサイジング処理を行ったものを用いた（図-18）。

製造したCLTから1,000 mm×1,995㎜の試験体を4枚切り出して深浸潤処理を行った。

今後、融雪後に屋外環境にて曝露試験を実施する予定である。

図-18　インサイジング処理されたラミナ（左）と深浸潤処理の様子（右）

今後の課題・展開等

令和4(2022)年度は、短期間ではあるが基礎試験において種々の環境下へ設置が想定されるCLTの劣化状況を把握することができた。その結果、試験開始後約1年しか経過していないため、生物劣化は海水中を除き、ほとんど認められていないが、ラミナ間のはく離やラミナ自身の割れといったCLTに起因する劣化が少なからず発生していることが確認された。従って、今後CLTを土木活用していくに当たっては、用途に応じて適切な配慮が必要になる。

土木構造物は供用年数が建築構造物に加えて長期間となるため、基礎試験を継続しデータを集積することで、定量的かつ具体的な評価が可能であり、課題の解決には長期的な視野に基いたデータの集積と先行研究などとの比較が肝要である。

今後も基礎試験を継続し、長期のデータを収集・分析することで、建築分野とは環境課が大きく異なる土木分野におけるCLT活用の場合の基本的な仕様を示していくことが可能になる。

CLTを用いた構造物では、水平地盤補強、プラットフォーム、敷板、防雪柵について具体的な施工検証を進め、さらにリサイクル利用の可能性を検討した。その結果、従来の土木資材を用いる方法に比べ、運搬性や耐雪性に優れるのみならず、トラフィカビリティの向上、短期間の設置が可能になるなど施工面におけるCLTの優位性を具体的なデータにより証明することができた。さらに、合板に比べ強度の大きい材料の利用により、荒れた路地や施工環境の劣る山間部の施工が可能であり、繰り返し使用によるコストパーフォーマンスにも優れることが明らかになった。これにより、地盤改良、施設整備、敷材などの幅広い分野において、既存材料に対する土木利用におけるCLTの優位性を示すとともに、それぞれの実際の場面での条件を想定することにより実用化への課題がより明確化された。

これらについては、さらなる現地実験や数値解析などの複数の手法により、具体的な課題解決を進め解決策を構築すると同時に、明らかになった課題を適切に回避し、既存の材料にないCLTの優位性を前面に押し出しながら、普及拡大の方策を検討することも必要である。

土木分野での利用を想定した土木用CLTの製造への取り組みにおいては、今年度の検証により、製造が可能であること、建築用と比較してより多くの木材が原料として使用できること、製造時間短縮や歩留まりの向上など必要となる項目が具体化された。今後、これらの仕様と実際の構造物への適用性を考慮しながら、建築で使用されてきたCLTの仕様にこだわらない、新たな土木用CLTの開発と普及を目指していきたい。

古代より伝承された「築土構木」の精神を引き継ぎ、現代のニーズやCLTなどの近代の技術が応用されるためには、継続した取り組みが極めて重要である。以上の各項目に関する評価・分析を継続することにより、低コスト型の土木用CLTの特徴がより明確になり、実用化に資する構造物がより具体的に整理される。加えて、定量性を持った結果の例示や論文執筆、広報などが必要である。

一連の調査研究活動から，より信頼性の高い結果が社会に周知され、豊富な我が国の森林資源を活用した21世紀にふさわしい環境配慮型の新たな土木技術の第一歩になることを期待している。

事業

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

〒417-0801　静岡県富士市大渕2410-1

事業目的

令和２年度補正予算事業にて開発した、国産材CLTを利用した真壁表し15倍耐力壁の1P仕様、階上用柱頭柱脚金物の利用拡大を目的とし、2PのCLT連続壁の耐力壁を開発する。また中層木造建築物が設計されることが想定して、高倍率の耐力壁が上下階に何層か並んだ連想耐力壁の引張力に耐えることができる、150×240、150×300の柱に設置可能で200kNを超える引抜耐力を有し、表し可能な小口ビス留め柱脚金物を開発する。

また、20mスパンを想定した国産材JISトラスのために必要な継手仕口の開発を行う。

実施した項目

本事業の検討委員会を設置し、以下の国産材CLT等木質建築部材技術の開発を行った。

① 国産材CLT15倍真壁現わし連続耐力壁の開発
② 鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物の開発
③ 20m超スパン対応JIS仕様トラスの継手仕口の開発

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倍真壁現わし連続耐力壁の開発	構造ワーキング	稲山正弘（東京大学教授）
	② 鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物の開発	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仕様トラスの継手仕口の開発	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）

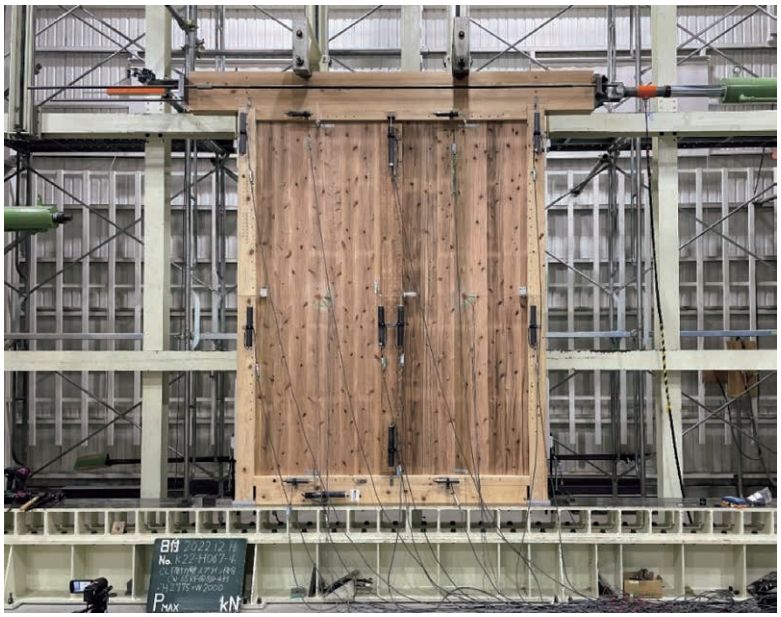
実施した内容

① 国産材CLT15倍真壁現わし連続耐力壁の開発

昨年度壁倍率20倍という性能が確認されたCLT真壁耐力壁について、１Pの壁と同程度の性能を目的とし、壁を連続配置した２P の耐力壁の仕様の検討および性能確認をおこなった。耐力壁は２枚のCLT パネルを突き付け、その境界部に重なるように細長い材（以下スプライン）を裏から留め付け作製する仕様とした。

スプライン部に斜めビスを使用した壁を２体、垂直ビスを使用した壁を３体の計５体の壁について、

「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年版）」に準じ壁試験を行い、各耐力壁の基準せん断耐力を算出した。



▲国産材CLT15倍真壁現わし連続耐力壁　試験設置状況

② 鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物の開発

昨年度行った柱を表わしで使用できる、柱小口から鋼板を当て、木質構造用ねじで斜めに留めつける鋼板斜め留め高耐力柱脚金物を拡張し、3層高強度耐力壁が連続した場合を想定した柱脚にかかる引張力に対して、目標降伏耐力Py=265kN、最大耐力Pmax=424kNとした仕様と、4層高強度耐力壁が連続した場合を想定した目標降伏耐力Py=360kN、最大耐力Pmax=540kNとした仕様の2仕様について、柱脚接合部の引張試験を行った。柱はスギ同一等級構成集成材E65-F255採用し、座屈を考慮して、150×240、150×300の断面寸法とした。木質構造用ねじは9φ320mmとし、柱脚金物はSN490Bのプレートを基本した。目標耐力が達成するよう予備試験を行い、形状、木質構造用ねじの本数、アンカーボルトの本数、径を検討した。本試験では、鋼板（SN490B）19mmをダブルベースとし、ウエブは鋼板（SN490B）9mmを溶け込み溶接してボックス型とした。Py265kN仕様は、アンカーボルトM20（SNR490B）4本、斜めビスはΦ9-L=320を24本とし、Py360kN仕様は、アンカーボルトM22（SNR490B）4本、斜めビスはΦ9-L=320を32本とし、「木造軸組工法住宅の許容応力度設計（2017年版）」に準じ、単調引張加力試験を1体、繰り返し引張試験を6体ずつ行い、柱脚接合部の短期基準耐力を算出した。

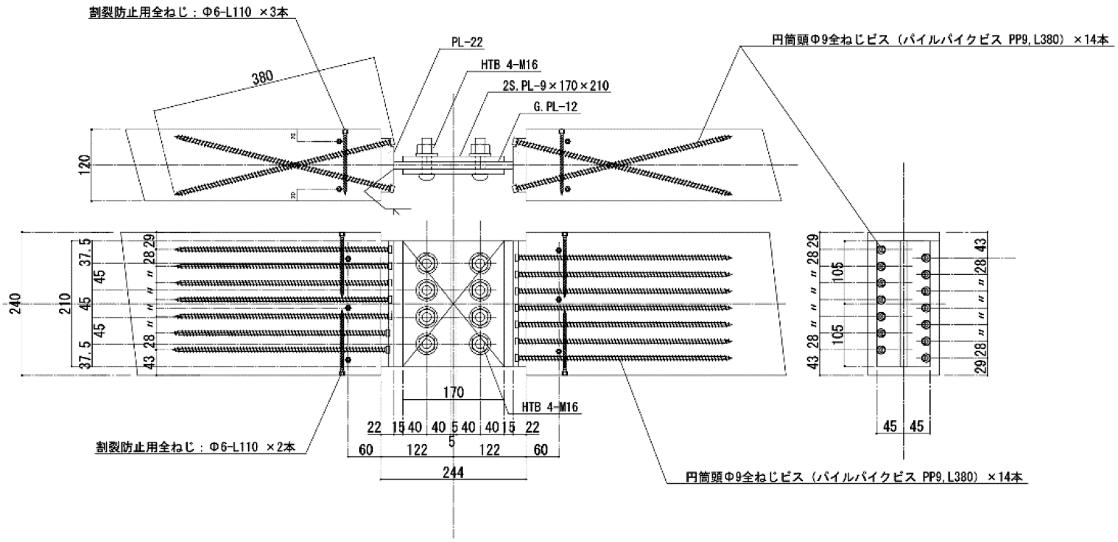
▲鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物　試験設置状況

③ 20 m超スパン対応 JIS 仕様トラスの継手仕口の開発

JIS A 3301:2015 木造校舎の構造設計標準（日本規格協会、文部科学省）に例示仕様として示された最大スパンが約 11m内外の木造トラスを、国産材を用いて 20mを超えるスパンの屋根に適用できるようにするために、より高い耐力を有する接合部として、上弦材（登り梁）と下弦材（陸梁）の接合部である合掌尻仕口の改良案を考案し、要素実験により力学的特性を把握した。具体的には、JIS 仕様の三角ホゾ嵌合接合を応用し、上弦材を上下２段重ねにして、三角ホゾ嵌合嵌合部を２つ設けたより高い仕様の合掌尻の要素実験を実施して、20mスパンの屋根荷重に相当する応力を負担することが可能であることを確認した。また、同時に、陸梁の引きボルト式継手に代わる、より高い耐力を有する陸梁の引張継手として、高力ボルトによる鋼板の２面せん断接合を併用した、斜めビス打ち引張継手を考案して要素引張実験を行い、合掌尻と同様に、接合部の力学的特性や破壊性状を把握した。

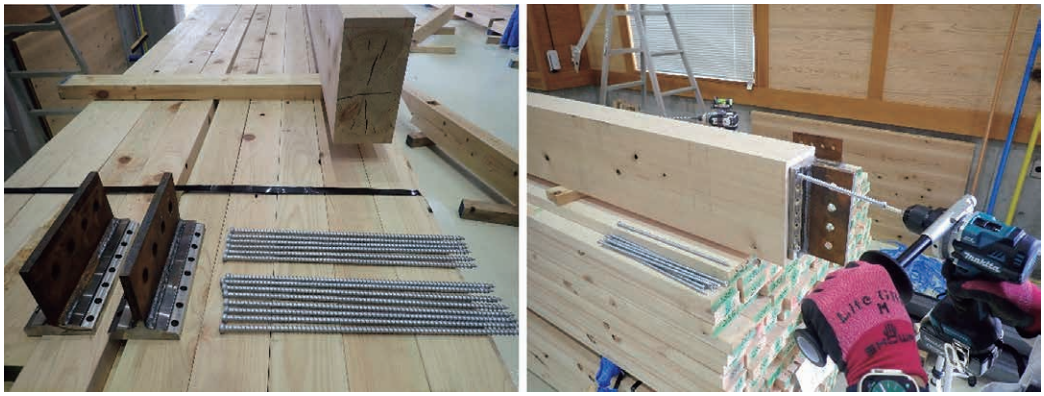
最終的に、要素実験で力学的特性を確認した上記の２つの接合部を用いて、20m スパンのトラスの縮小サイズとして、10.6m スパンの山形トラスの実大試験体を用いた木造トラスの静的加力実験を実施した。試験体の上弦材（登り梁）には二段重ねの 120 × 240mm スギ製材、下弦材（陸梁）には 120 × 240mm のヒノキ製材を用いた。その結果、今回考案した、２段重ね三角ホゾ嵌合接合による合掌尻の接合部と、斜めビス打ち引張継手が、一般的な軽い屋根で、垂直積雪量が 30cm 程度の地域で用いる、2m間隔で配置する 20m スパンの JIS 仕様に準じた山形木造トラスの接合部に用いることが可能であることを確認した。

▲２段重ね三角ホゾ嵌合接合による合掌尻接合部の開発：要素実験の様子

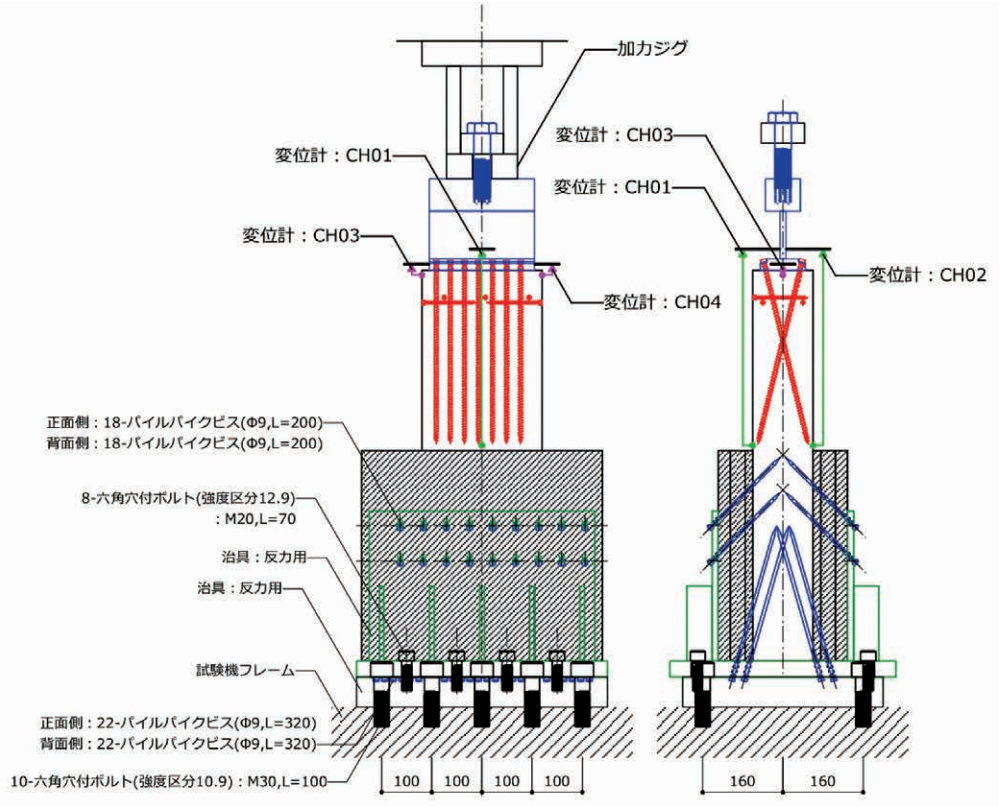


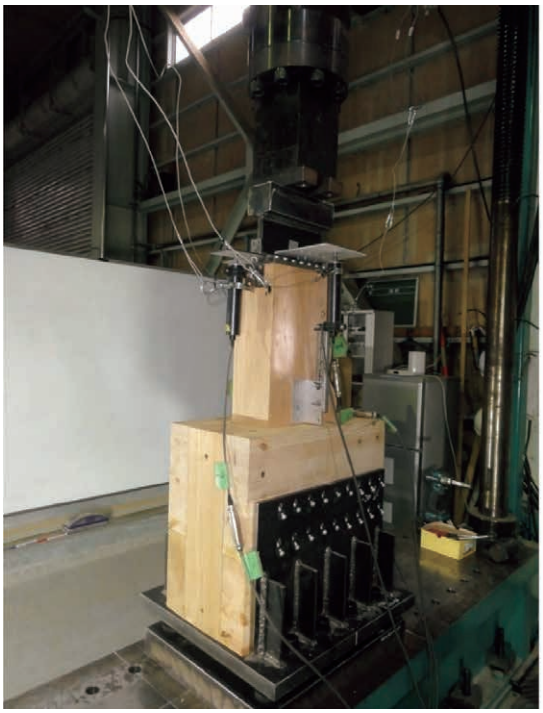
▲斜めビス打ち引張継手 詳細図

▲トラス下弦材に用いた斜めビス打ち引張継手



▲斜めビス打ち引張継手：接合金物と取付状況





▲斜めビス打ち引張継手の開発：継手引張実験 実験概要図（上）
および加力状況（下）

▲2段重ね三角ホゾ嵌合接合による合掌尻接合部と、斜めビス打ち引張継手を用いた、10.6mスパンの山形トラスの実大試験体を用いた木造トラスの静的加力実験

実施した結果

① 国産材CLT15倍真壁現わし連続耐力壁の開発

・斜めビス仕様（計2体）

全ねじビスを斜め打ちしてスプライン接合した耐力壁で1体の壁試験を行った。耐力壁の短期基準耐力を決定する4指標は、Pyは76.19kN、(0.2/Ds)Puは44.10kN、2/3Pmaxは93.83kN、1/150rad時が75.95kNとなり、基準せん断耐力は(0.2/Ds)Puで決定した。この試験体は施工時に面材とスプラインの間に隙間が生じたことが原因で耐力が上がる前にスプラインが外れてしまったため、2体目は引き寄せ効果のある垂直ビスを併用させた仕様で壁試験を行った。その結果、スプライン接合の剛性が高すぎたためにスプライン部での変形がほとんど起こらず、壁がロッキング変形を起こし軸組での破壊が生じた。Pyは115.48kN、(0.2/Ds)Puは74.79kN、2/3Pmaxは127.51kN、1/150rad時が87.95kNで、基準せん断耐力は(0.2/Ds)Puで決定した。壁の性能は上がったものの、軸組の破壊が耐力の決定要因であることをふまえると、これ以上の性能の向上は期待できず、また脆性的で危険な破壊性状だったため、残りの試験では垂直ビスを用いて試験をおこなった。

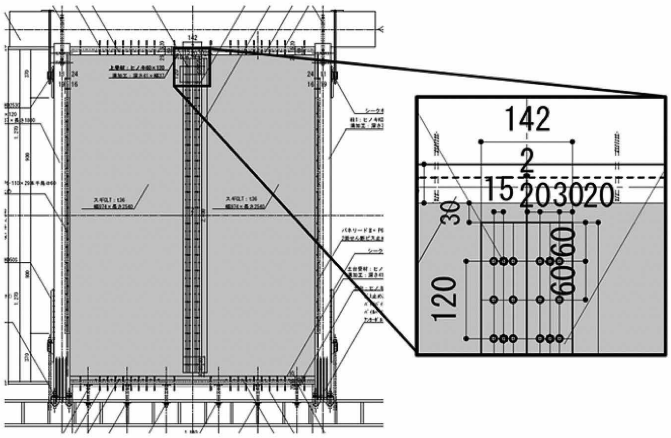
・垂直ビス仕様（計3体）

垂直ビスを用いてスプライン接合した耐力壁で壁試験を行ったところ、1体目は、Pyは85.22kN、(0.2/Ds)Puは66.81kN、2/3Pmaxは115.31kN、1/150rad時は81.79kNとなり、基準せん断耐力の決定要因は(0.2/Ds)Puとなった。引き切り時の破壊性状はスプラインの中央部のビスが引き抜け、破断し、スプラインが面材から外れる様子が見られた。

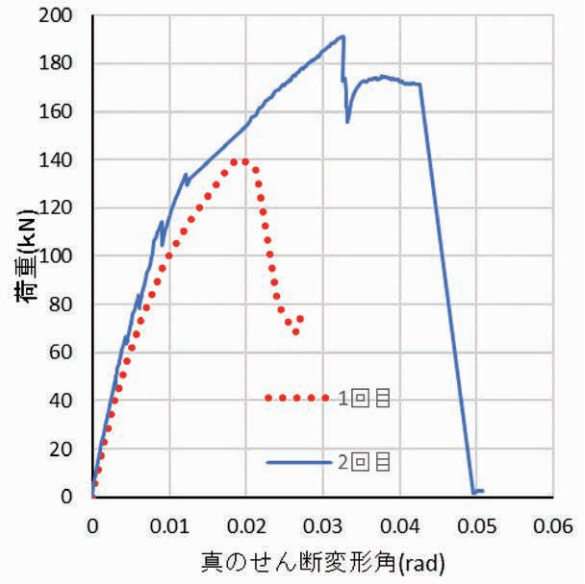
2体目はスプラインのビスの本数を増やすことで、Pyは91.35kN、(0.2/Ds)Puは69.33kN、2/3Pmaxは120.62kN、1/150rad時は81.99kNとなった。基準せん断耐力は(0.2/Ds)Puで69.33kNと決まり、目標とした壁倍率20倍には届かないものの、昨年度に1体の試験を行った壁の中央に柱を配置した耐力壁（基準せん断耐力=71.09kN）と同程度の性能が得られた。また、中央に柱を入れる仕様ではCLTは柱の溝にはめ込まれているために面外変形が抑えられるのに対し、スプライン仕様では面外変形が起き、またその変形が耐力低下の主要因となることが分かった。

3体目の壁では、面材とスプライン材の離れを抑制するためM8ボルトをスプライン部に追加した。その結果、面外変形は抑えられたもののボルトによりスプライン部の剛性が過大となり引き切り試験時に柱で脆性的な破壊が生じたため、壁の靭性が低くなった。Pyは93.71kN、(0.2/Ds)Puは

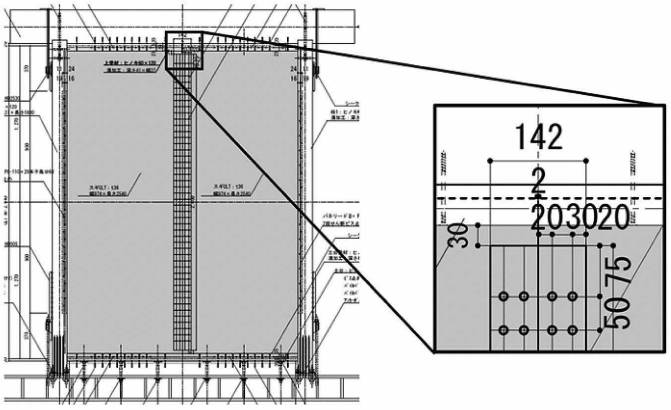
56.54kN、2/3Pmaxは119.99kN、1/150rad時は73.98kNとなり、基準せん断耐力は(0.2/Ds)Puで56.54ｋＮと決定した。



▲CLT真壁耐力壁斜めビス仕様(2体目)：
斜めビスは60㎜ピッチで39本×4列、右から上、下、上、下の方向に打った。
垂直ビスは120㎜ピッチで20本×2列配置した。

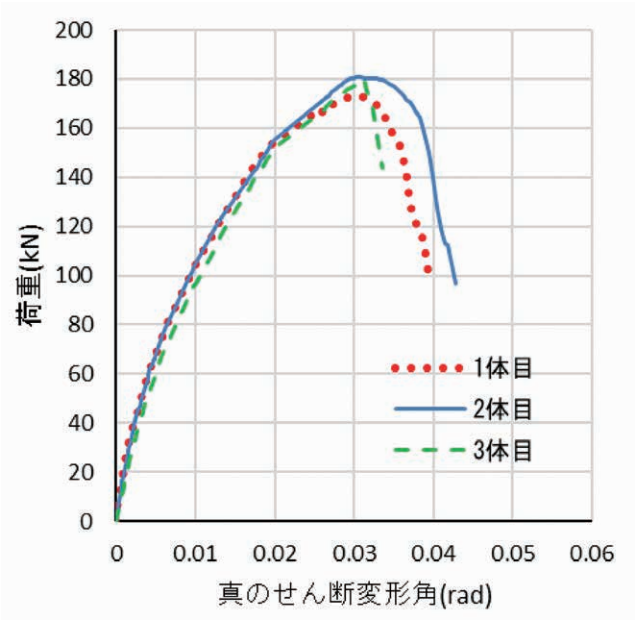


▲CLT真壁耐力壁斜めビス仕様の面内せん断試験：試験結果　荷重－変形角曲線
点線：1体目(斜めビスのみ)1体目)　実線：2体目(斜めビスと垂直ビスを併用した仕様)



▲CLT真壁耐力壁垂直ビス仕様(2体目)：ビスを50㎜ピッチで46本×4列配置した。

▲CLT真壁耐力壁垂直ビス仕様(2体目)の面内せん断試験：最終加力時の様子
壁中央でCLTが面外方向にたわみ、スプラインが面材から外れた

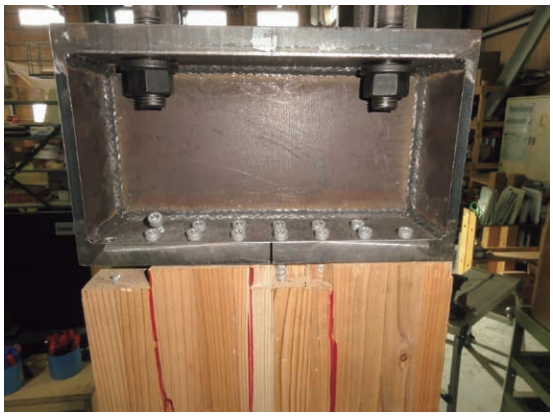


▲CLT真壁耐力壁垂直ビス仕様の面内せん断試験：試験結果　荷重－変形角曲線
点線：1体目、実線：2体目

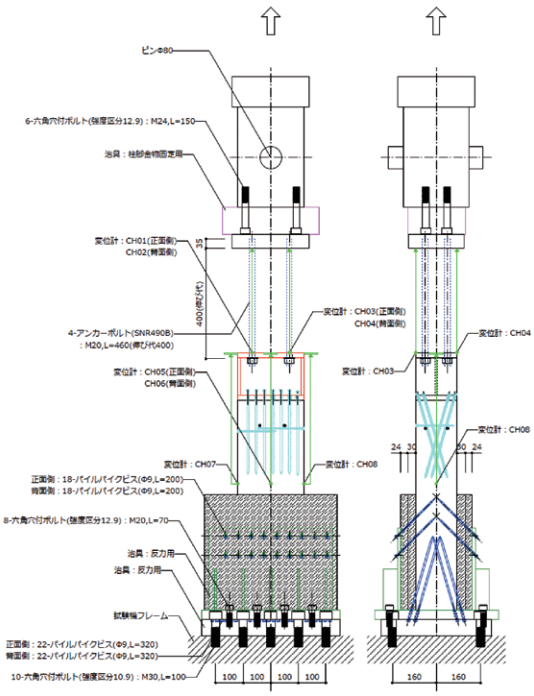
② 鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物の開発

予備試験では、アンカーボルトの座掘による欠損が大きく、柱が座掘と斜めビスに囲われた部分で引張せん断破壊し、目標の耐力に達しなかった。ダブルベース仕様で行った本試験では、目標降伏耐力Py=265kN、最大耐力Pmax=424kN、柱150×240の仕様で、Pyの平均が353kN、2/3Pmaxの平均が372kNとなり、短期基準耐力は、Pyが決定要因となり、ばらつき係数を考慮して348kNとなった。アンカーボルトの伸びと破断で決まり安定した性能が確認できた。目標降伏耐力Py=360kN、最大耐力Pmax=540kN、柱150×300の仕様は、Pyの平均が433kN、2/3Pmaxの平均が422kNとなり、短期基準耐力は、2/3Pmaxが決定要因となり、ばらつき係数を考慮して372kNとなった。700kNに達する前に柱小口に斜めに留めた木質構造用ねじに囲われた部分が引張、せん断破壊し最大耐力となった。目標耐力より12kN大きい性能が確認できた。

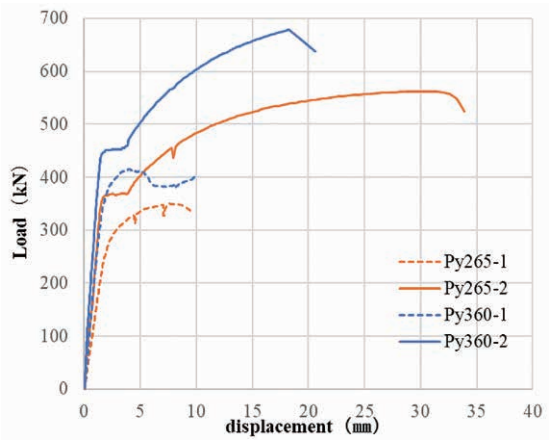
▲Py265kN仕様　ボルト破断



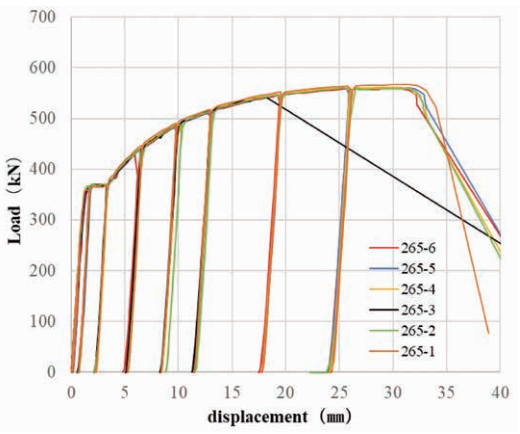
▲Py360kN仕様　柱引張せん断破壊

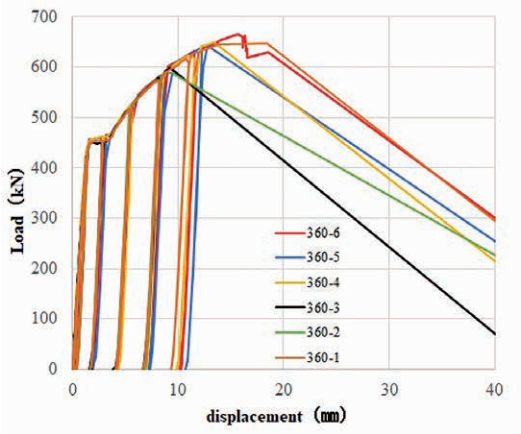


▲鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物　試験体図



▲鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物
予備試験結果　荷重-変位曲線





▲鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物
目標耐力260kN仕様　本試験結果　荷重-変位曲線

		Pmax	2/3Pmax	Py	Pu	δmax	δy	δv	δu	μ	K
		最大荷重	最大荷重×2/3	降伏耐力	終局耐力	最大荷重時の変位	降伏変位	完全弾塑性モデルの降伏点変形角	終局変位	塑性率(δu/δv)	剛性
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	–	[kN/mm]
No.	1	567	378	351	516	61.3	2.43	3.58	68.1	19.0	144
	2	560	373	357	510	53.1	2.50	3.58	65.7	18.4	143
	3	542	361	353	473	36.4	2.69	3.60	36.4	10.1	131
	4	561	374	351	512	52.7	2.53	3.70	66.3	17.9	139
	5	560	374	354	512	61.5	2.82	4.07	66.1	16.2	126
	6	559	372	354	509	51.8	2.95	4.24	64.5	15.2	120
平均値(Ave)	–	558	372	353	505	52.8	2.65	3.79	61.2	16.2	134
標準偏差(sd)	–	8.5	5.7	2.2	16.2	9.14	0.20	0.29	12.20	3.29	9.8
変動係数(cv)	–	0.015	0.015	0.006	0.032	0.173	0.076	0.076	0.199	0.203	0.073
ばらつき係数		0.96	0.96	0.99	0.92	0.95	0.98	0.98	0.94	0.94	0.98
95%下限値(k=2.336)	=Ave・(1-k・cv)	538	359	348	467	–	–	–	–	–	–
50%下限値(k=0.297)	=Ave・(1-k・cv)	–	–	–	–	50.1	2.59	3.71	57.6	15.2	131
Po 短期基準耐力	2/3Pmax,Py の各下限値の最小値	–	–	348	–	–	–	–	–	–	–

▲目標耐力265kN仕様　特性値一覧

		Pmax	2/3Pmax	Py	Pu	δmax	δy	δv	δu	μ	K
		最大荷重	最大荷重×2/3	降伏耐力	終局耐力	最大荷重時の変位	降伏変位	完全弾塑性モデルの降伏点変形角	終局変位	塑性率(δu/δv)	剛性
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	–	[kN/mm]
No.	1	672	448	433	603	34.3	2.69	3.75	48.0	12.8	161
	2	647	431	437	583	36.9	2.94	3.93	36.9	9.4	149
	3	590	393	426	518	17.9	2.76	3.36	18.8	5.6	154
	4	598	399	426	521	18.6	2.86	3.50	18.6	5.3	149
	5	649	433	437	560	26.8	2.77	3.54	26.8	7.6	158
	6	643	429	438	552	25.5	2.92	3.68	25.5	6.9	150
平均値(Ave)	–	633	422	433	556	26.7	2.82	3.63	29.1	7.9	153
標準偏差(sd)	–	32.2	21.5	5.7	33.4	7.82	0.10	0.20	11.42	2.81	5.2
変動係数(cv)	–	0.051	0.051	0.013	0.060	0.293	0.035	0.055	0.393	0.354	0.034
ばらつき係数		0.88	0.88	0.97	0.86	0.91	0.99	0.98	0.88	0.89	0.99
95%下限値(k=2.336)	=Ave・(1-k・cv)	558	372	419	478	–	–	–	–	–	–
50%下限値(k=0.297)	=Ave・(1-k・cv)	–	–	–	–	24.3	2.79	3.57	25.7	7.1	152
Po 短期基準耐力	2/3Pmax,Py の各下限値の最小値	–	372		–	–	–	–	–	–	–

▲目標耐力360kN仕様　特性値一覧

③ 20 m超スパン対応 JIS 仕様トラスの継手仕口の開発

- **2段重ね三角ホゾ嵌合接合による合掌尻接合部の開発：**

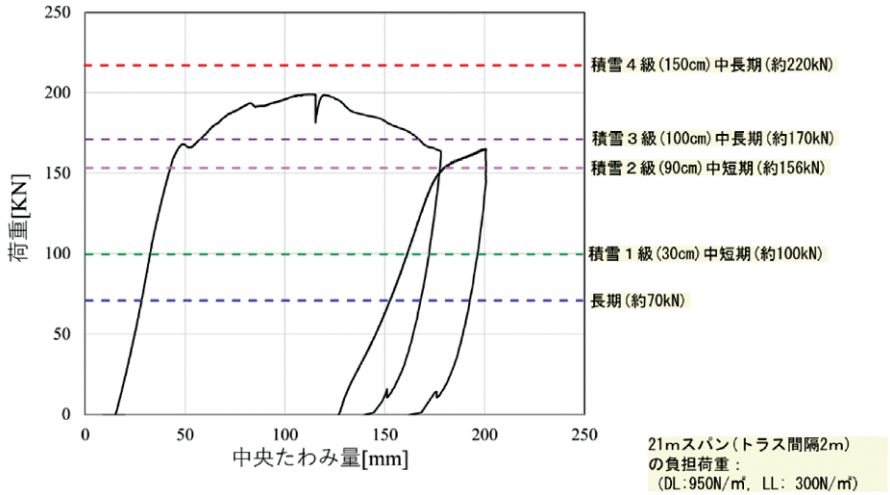
  要素実験では、150kNを超えたあたりから著しく合掌尻のすべりが進行し、最大荷重が約200kNとなった後、中央たわみが200㎜に達して試験を終了した。一般的な軽い屋根で、垂直積雪量が30cm程度の地域で用いる、2m間隔で配置する20mスパンの屋根荷重に相当する荷重（約100kN）時には合掌尻での目立った破壊は生じていないことを確認した。

- **斜めビス打ち引張継手の開発：**

  要素実験では、6体平均で、最大荷重Pmaxは約470kNとなり、降伏耐力Pyは約250kNとなった。主な破壊性状は、木口の割裂や、ビスの曲がり、破断である。ばらつきを考慮した結果、接合部の短期基準耐力Poは207kNとなり、JIS仕様の引きボルト式継手を上回る高耐力の引張継手であることを確認した。

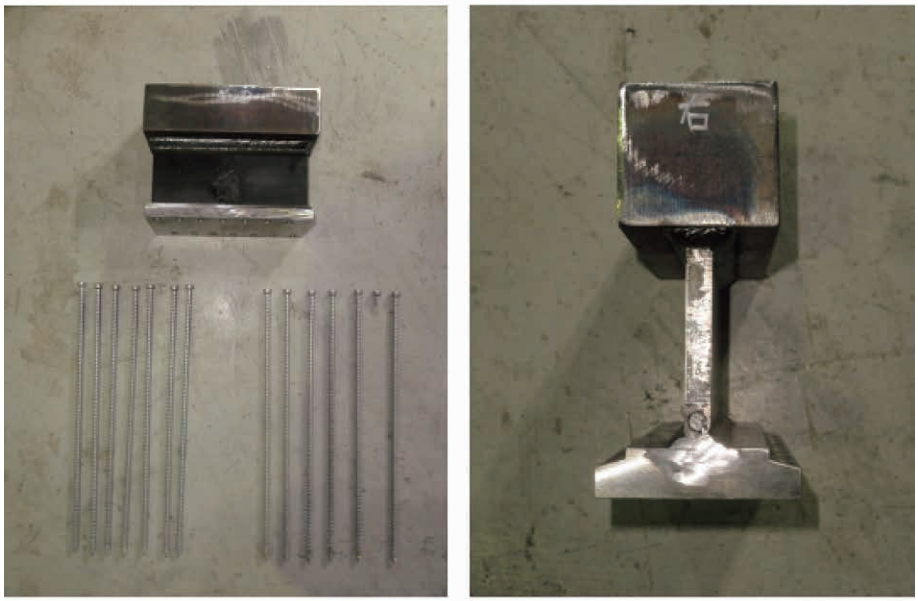
- **2段重ね三角ホゾ嵌合接合による合掌尻接合部と、斜めビス打ち引張継手を用いた、10.6mスパンの山形トラスの実大試験体を用いた木造トラスの静的加力実験：**

  静的加力実験では、最大荷重Pmaxは約163～197kNとなった。今回考案した2段重ね三角ホゾ嵌合接合による合掌尻の接合部と、斜めビス打ち引張継手を、一般的な軽い屋根で、垂直積雪量が30cm程度の地域で用いる、2m間隔で配置する20mスパンのJIS仕様に準じた山形木造トラスに用いることが可能であることを確認した。



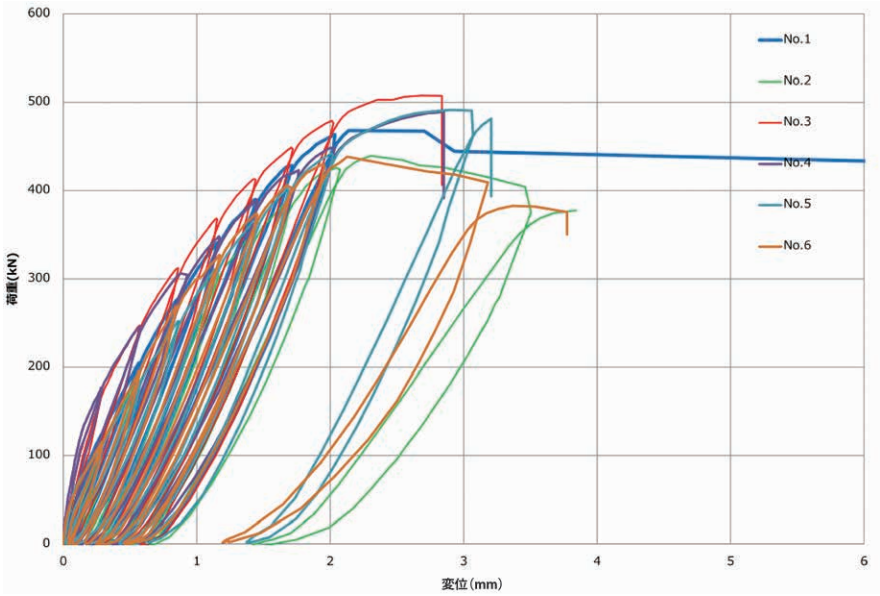
▲2段重ね三角ホゾ嵌合接合による合掌尻接合部の開発：
合掌尻要素実験　試験体(上)および 荷重―中央たわみ関係(下)

木口割裂　　木口割裂



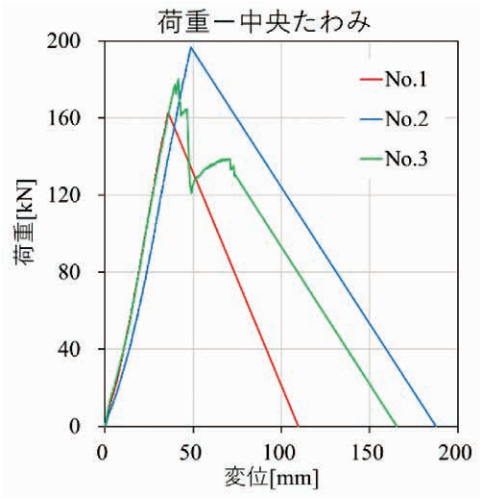
ビスの曲がりと破断　　縦板の曲がり

▲斜めビス打ち引張継手の開発：継手引張実験　試験体の破壊状況



		Pmax	2/3Pmax	Py	Pu	δmax	δy	δv	δu	μ	K
		最大荷重	最大荷重×2/3	降伏耐力	終局耐力	最大荷重時の変位	降伏変位	完全弾塑性モデルの降伏点変形角	終局変位	塑性率(δu/δv)	剛性
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	–	[kN/mm]
No.	1	468	312	248	441	2.1	0.73	1.30	2.9	2.3	341
	2	439	293	233	405	2.3	0.77	1.34	3.8	2.9	301
	3	508	338	253	459	2.7	0.60	1.09	2.8	2.6	420
	4	489	326	239	425	2.9	0.53	0.95	2.9	3.0	447
	5	491	328	289	466	2.9	1.03	1.66	3.2	1.9	280
	6	438	292	256	406	2.1	0.79	1.26	3.8	3.0	322
平均値(Ave)	–	472	315	253	434	2.5	0.74	1.27	3.2	2.6	352
標準偏差(sd)	–	28.8	19.2	19.6	26.3	0.35	0.17	0.24	0.46	0.44	67.0
変動係数(cv)	–	0.061	0.061	0.078	0.061	0.141	0.233	0.192	0.142	0.167	0.190
ばらつき係数		0.857	0.857	0.819	0.859	0.958	0.931	0.943	0.958	0.950	0.943
95%下限値 (k=2.336)	=Ave・(1-k・cv)	405	270	207	372	–	–	–	–	–	–
50%下限値 (k=0.297)	=Ave・(1-k・cv)	–	–	–	–	2.4	0.69	1.20	3.1	2.5	332
Po 短期基準耐力	2/3Pmax,Py の各下限値の最小値	–	–	207	–	–	–	–	–	–	–

▲斜めビス打ち引張継手の開発：継手引張実験の実験結果
荷重－変形関係（上）および 特性値一覧（下）



特定荷重	項目	No.1	No.2	No.3	平均
70 kN ※1	荷重 (kN)	70.25	69.98	70.41	70.21
	スパン中央たわみ (mm)	17.2 (1/616)	21.4 (1/495)	17.3 (1/613)	18.6
100 kN ※2	荷重 (kN)	100.55	100.42	100.60	100.52
	スパン中央たわみ (mm)	23.1 (1/459)	28.0 (1/379)	23.1 (1/459)	24.7
150 kN ※3	荷重 (kN)	150.55	150.33	150.22	150.37
	スパン中央たわみ (mm)	33.0 (1/321)	38.2 (1/277)	33.4 (1/317)	34.9
最大荷重	荷重 (kN)	162.75	196.71	180.29	179.92
	スパン中央たわみ (mm)	35.8	48.8	41.8	42.1
初期剛性 ※4	(kN/mm)	4.21	3.66	4.12	4.00
破壊部位および破壊性状		陸梁ー斜材 接合部での箱孔付近の欠損部からの陸梁の引張破断	合掌尻近傍での仕口の箱孔付近の欠損部からの 陸梁の曲げ破壊	合掌尻の仕口の箱孔付近の欠損部からの陸梁の引張破断後、曲げ破壊	

※1：長期荷重時（金属板葺き同等の軽い屋根で、スパン21mのトラスを2m間隔で配置した想定）
※2：一般区域で垂直積雪量30cm程度の中短期積雪荷重時（JIS A3301-2015の荷重条件1級に相当）
金属板葺き同等の軽い屋根に3日間程度、積雪30cmの荷重が載る想定
※3：一般区域で垂直積雪量90cm程度の中短期積雪荷重時（JIS A3301-2015の荷重条件2級に相当）
金属板葺き同等の軽い屋根に3日間程度、積雪90cmの荷重が載る想定
※4：0.1Pmaxと0.4Pmaxの間のスパン中央のたわみの傾きから算出。

▲2段重ね三角ホゾ嵌合接合による合掌尻接合部と、斜めビス打ち引張継手を用いた、10.6mスパンの山形トラスの実大試験体による木造トラスの静的加力実験：荷重―中央たわみ関係曲線（上）および 試験結果一覧（中）、破壊部の状況（下、No.3 試験体）

今後の課題・展開等

国産材CLT15倍真壁現わし連続耐力壁：スプライン接合の仕様でCLT2P仕様と同等の耐力を確認できた。実設計で使用できるように、短期基準せん断耐力を算定するための性能試験を行う。

鋼板斜めビス留め高耐力柱脚金物：標準図、マニュアルを作成して、協会HPに掲載し広く使用できるようにする。また、木材繊維方向に斜めに打った木質構造用ねじ単体の繊維方向引張試験を行い、斜め留め木質構造用ねじの繊維方向引張性能を確認し、計算で算出できるようにする。

20m超スパン対応JIS仕様トラスの継手仕口：標準図、マニュアルを作成して、協会HPに掲載し広く使用できるようにする。

事業

接着重ね材の告示化に向けた検証

● 実施団体 ●

一般社団法人 日本BP材協会

〒105-0012　東京都港区芝大門一丁目３番２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。これまで、工場認証を実施するための例として製造工程を示した「接着重ね材の製造マニュアル（案）」を作成し、昨年度は品質管理試験に必要とされる「モデル化試験」の評価方法の検討をしたうえで「接着重ね材の適正製造基準（案）」の作成を行った。

本年度は、これらの過程で得た現行規格の問題点を整理し、日本農林規格の改正案を作成し、実運用までの展望を改めて整理する。

実施した項目

①接着重ね材の日本農林規格の問題点の整理

問題点の整理として、実績のある木質材料と比較し、製造上品質が担保されない可能性のある項目について精査し、JAS規格の改正の要否も含めて検討を行った。

②接着重ね材の日本農林規格改正案の作成

①の検討結果を踏まえ、JAS規格改正案の作成を行った。

③品質管理試験の検証

①の結果より、剥離試験の試験方法の検証が必要と考えられたことから、検証試験を実施し、品質確保に必要な基準と、実状の確認を行った。

実施体制

■R4年接着重ね材JAS検討委員会

委員長	大橋　好光	（東京都市大学　名誉教授）
委　員	小野　　泰	（ものつくり大学　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	尾方　伸次	（公益社団法人日本合板検査会　専務理事）
委　員	板垣　　悟	（公益社団法人日本合板検査会　認証部長）
委　員	田上　　誠	（株式会社織本構造設計　主任）
委　員	中村　勝博	（株式会社JWBP　代表取締役）
委　員	片嶺　　隆	（株式会社工芸社・ハヤタ　BP・TKS事業部　本部長）
委　員	今井　　信	（長野県林業総合センター　木材部長）
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　木質構造居住環境研究室　室長）
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　上席研究員）
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）

■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
アルファ工業株式会社
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, 作業WGを別途設け実施した。

実施した内容

①接着重ね材の日本農林規格改正に関する検討

接着重ね材の日本農林規格にて、他の木質材料とのJAS規格の品質で異なる箇所について改めて検討し、委員会での審議にて回答の検討を実施した。検討項目としては以下となっている。

- 品質管理項目のうち各種剥離試験の検査方法
- 含水率の基準
- 曲がりの基準値
- 寸法の許容差の考え方
- 製材ラミナの強度性能
- 材面の節径比
- その他製品構成

②接着重ね材の日本農林規格改正（案）の作成

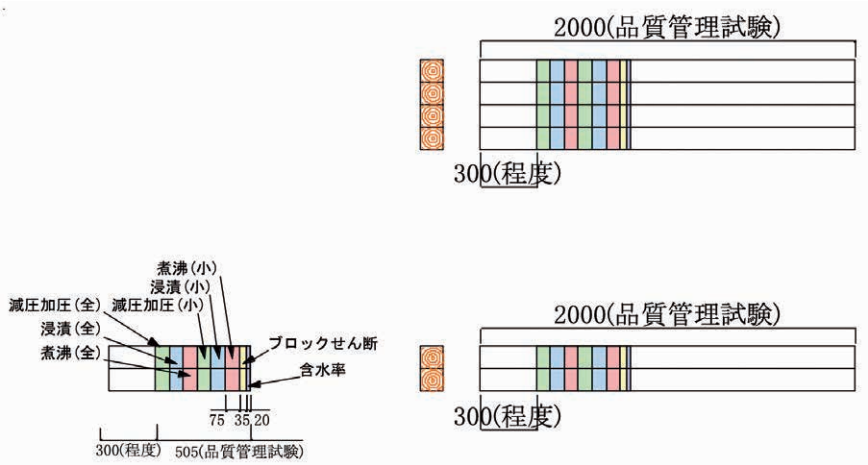
①の結果を踏まえ、日本農林規格の規格改正案を作成し、改正内容と方針について取りまとめた。

③接着重ね材の品質管理試験とその検証

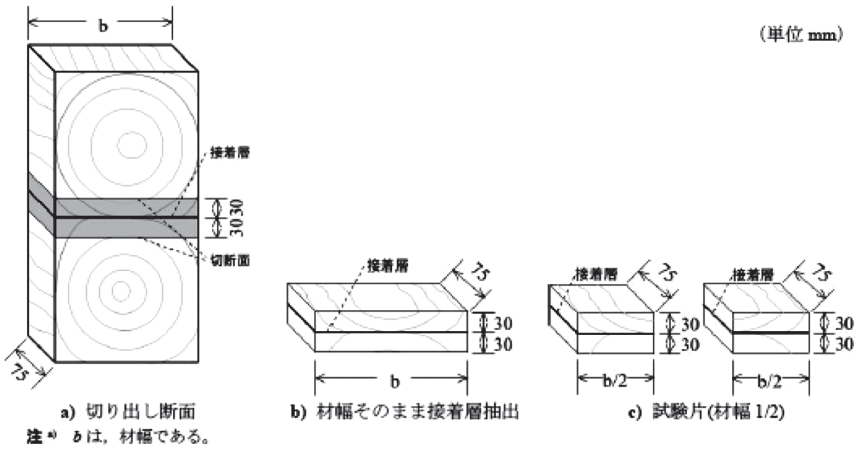
品質管理試験のうち、剥離試験を主として試験を実施し、現行の規格の抽出方法と集成材等と同様の試験体での結果の比較を実施した。

表 1. 各種試験項目

樹種	接着剤	幅	せい	段数	幅段数	長さ	体
スギ	レゾルシノール	120	120	2	1	2000	3
	イソシアネート	120	120	2	1	2000	3
	エポキシ樹脂	120	120	2	1	2000	3
	レゾルシノール	120	120	4	1	2000	3
	イソシアネート	120	120	4	1	2000	3
	エポキシ樹脂	120	120	4	1	2000	3
ヒノキ	レゾルシノール	120	120	2	1	2000	3
	イソシアネート	120	120	2	1	2000	3
	エポキシ樹脂	120	120	2	1	2000	3
	レゾルシノール	120	120	4	1	2000	3
	イソシアネート	120	120	4	1	2000	3
	エポキシ樹脂	120	120	4	1	2000	3
カラマツ	レゾルシノール	120	120	2	1	2000	3
	イソシアネート	120	120	2	1	2000	3
	エポキシ樹脂	120	120	2	1	2000	3
	レゾルシノール	120	120	4	1	2000	3
	イソシアネート	120	120	4	1	2000	3
	エポキシ樹脂	120	120	4	1	2000	3



■小試験片の抽出方法(接着重ね材の方法)



■全断面試験片の抽出方法（集成材の方法）

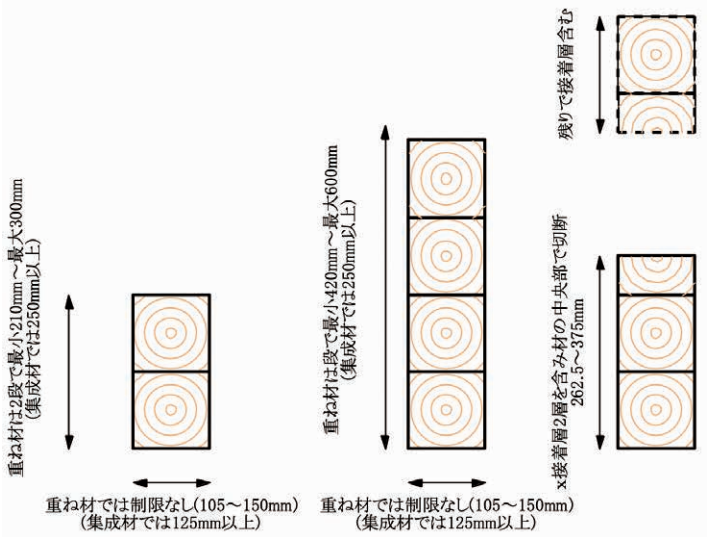


図1．試験片の抜き取り方法

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検討

各種検討結果のうち、一部を示す。

・寸法の許容差の考え方

寸法の許容値は、大断面の材を作成することを基準として規格作成をしていたことから、集成材の許容差の大断面集成材と同等として設定されていた。しかし、集成材と同等の製品として扱うために、同じ断面では同じ許容差に収まるよう中断面の許容差を追加し、下図に示す許容差とした。なお、小断面に含まれる製品寸法はないことから、小断面接着重ね材は定義しないこととした。

表2．寸法の許容差

現行の許容差

区分	表示された寸法と測定した寸法との差
短辺	±1.5mm以下
長辺	±1.5%以下かつ±5mm以下
材長	±5mm以下

改定案の許容差

区分			表示された寸法と測定した寸法との差
短辺	大断面		±1.5mm以下
	中断面		+1.5mm，-0.5mm
長辺	大断面		±1.5%以下かつ±5mm以下
	中断面	300mm以下のもの	+1.5mm，-0.5mm
		300mmを超えるもの	±0.5%（ただし、+0.5mm，-0.3mmを超えないこと。）
材長			±5mm以下

・製材ラミナの強度性能

JAS規格内では製材ラミナの強度試験を実施しないことから規格内での記載は行われないものとなっていた。しかし、製材ラミナは、集成材のラミナのように積層接着するエレメントであること

から、強度性能の考え方を改めて整理して設定し、性能をJAS規格内または適正製造基準内に明記することとした。性能案を以下に示す。

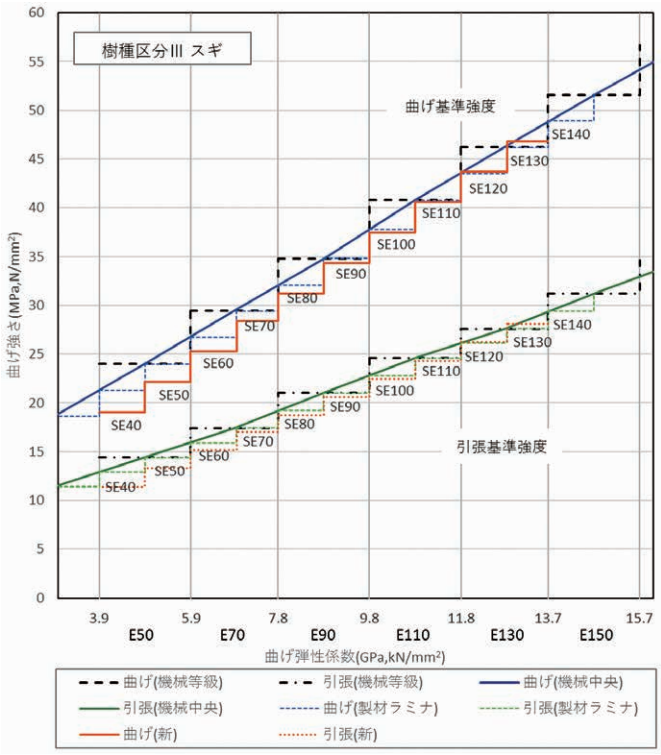
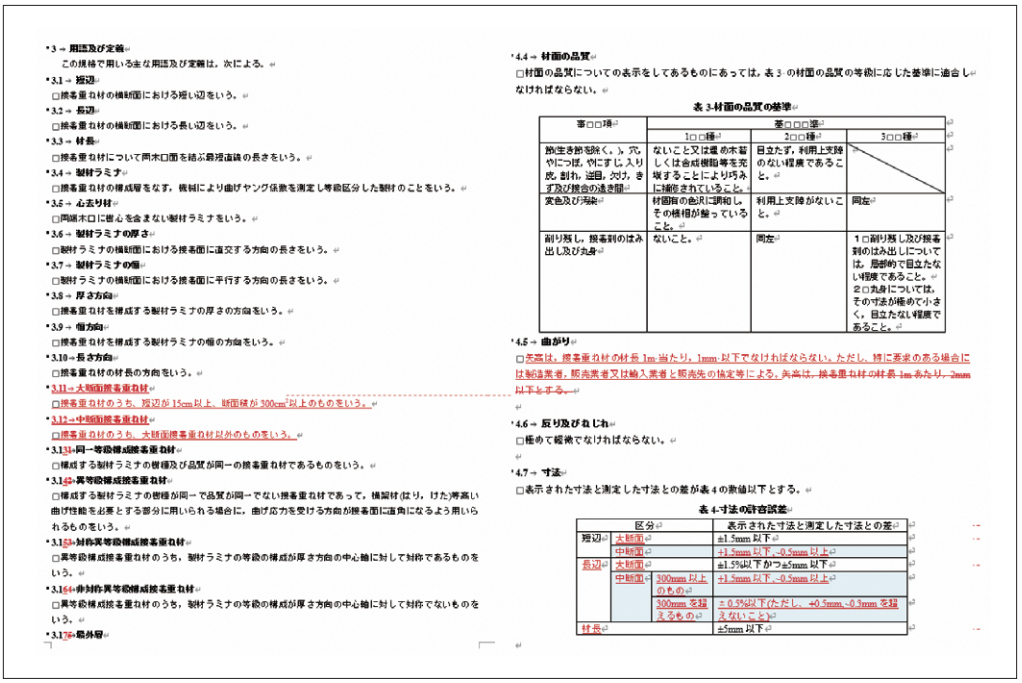


図2. 他のエレメントと製材ラミナの強度性能の位置づけ(スギ)

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。



3 → 用語及び定義
この規格で用いる主な用語及び定義は，次による。
3.1 → 短辺
□接着重ね材の横断面における短い辺をいう。
3.2 → 長辺
□接着重ね材の横断面における長い辺をいう。
3.3 → 材長
□接着重ね材の横断面における長い辺をいう。
3.4 → 製材ラミナ
□接着重ね材の構成層をなす，機械により曲げヤング係数を測定し等級区分した製材のことをいう。
3.5 → 心去り材
□同心木口に樹心を含まない製材ラミナをいう。
3.6 → 製材ラミナの厚さ
□製材ラミナの横断面における接着面に直交する方向の長さをいう。
3.7 → 製材ラミナの幅
□製材ラミナの横断面における接着面に平行する方向の長さをいう。
3.8 → 厚さ方向
□接着重ね材を構成する製材ラミナの厚さの方向をいう。
3.9 → 幅方向
□接着重ね材を構成する製材ラミナの幅の方向をいう。
3.10 → 長さ方向
□接着重ね材の材長の方向をいう。
3.11 → 大断面接着重ね材
□接着重ね材のうち，短辺が15cm以上，断面積が300cm²以上のものをいう。
3.12 → 中断面接着重ね材
□接着重ね材のうち，大断面接着重ね材以外のものをいう。
3.13 → 同一等級構成接着重ね材
□構成する製材ラミナの樹種及び品質が同一の接着重ね材であるものをいう。
3.14 → 異等級構成接着重ね材
□構成する製材ラミナの樹種が同一で品質が同一でない接着重ね材であって，横架材(はり，けた)等高い曲げ性能を必要とする部分に用いられる場合に，曲げ応力を受ける方向が接着面に直角になるよう用いられるものをいう。
3.15 → 対称異等級構成接着重ね材
□異等級構成接着重ね材のうち，製材ラミナの等級の構成が厚さ方向の中心軸に対して対称であるものをいう。
3.16 → 非対称異等級構成接着重ね材
□異等級構成接着重ね材のうち，製材ラミナの等級の構成が厚さ方向の中心軸に対して対称でないものをいう。
3.17 → 脂外層

4.4 → 材面の品質
□材面の品質についての表示をしてあるものにあっては，表3の材面の品質の等級に応じた基準に適合しなければならない。

表3-材面の品質の基準

事□□項	基□□□準		
	1□□種	2□□種	3□□種
抜生き節を除く。)，穴，やにつぼ，やにすじ，入り皮，割れ，逆目，欠け，きず及び接合の通き間	ないこと又は埋め木着しくは合成樹脂等を充塡することにより汚み に補修されていること。	目立たず，利用上支障のない程度であること。	
変色及び汚染	材固有の色沢に調和しその模様が整っていること。	利用上支障がないこと。	同左
削り残し，接着剤のはみ出し及び丸身	ないこと。	同左	1□□削り残し及び接着剤のはみ出しについては，局部的で目立たない程度であること。2□□丸身については，そのすじが極めて小さく，目立たない程度であること。

4.5 → 曲がり
□矢高は，接着重ね材の材長1m当たり，1mm以下でなければならない。ただし，特に要求のある場合には製造業者，販売業者又は輸入業者と販売先の協定等による。矢高は，接着重ね材の材長1m当たり，2mm以下とする。

4.6 → 反り及びねじれ
□極めて軽微でなければならない。

4.7 → 寸法
□表示された寸法と測定した寸法との差が表4の数値以下とする。

表4-寸法の許容誤差

区分		表示された寸法と測定した寸法との差
短辺	大断面	±1.5mm以下
	中断面	+1.5mm以下，-0.5mm以上
長辺	大断面	±1.5%以下かつ±5mm以下
	中断面 300mm以上のもの	+1.5mm以下，-0.5mm以上
	300mm未満のもの	±0.5%以下(ただし，+0.5mm，-0.3mm未満とならないこと)
材長		±5mm以下

図3. 改定案抜粋

③接着重ね材の品質管理試験とその検証

品質管理試験での結果の一例を示す。これらの結果を踏まえ、試験方法について検証を進める予定である。

図４．全断面と小試験片試験体（例）

今後の課題・展開等

〔JAS実運用に向けた取り組み〕

①JAS規格改正に向けた取り組み

本年度実施した結果を踏まえJAS規格改正に向けて、製品品質を確保できるよう追加検証として曲がりや狂いの生じた製材の適切な接着方法、製品性能の確立や、改正のための手続き等を進める。

②JAS工場認証の取得の手続きの検証

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。また、認証に向けて、「製造マニュアル案」や「適正製造基準案」の更新を行い、結果を報告する。

〔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、必要に応じたデータの作成や取り纏め、報告を実施する。

④中大規模木造に向けた防耐火認定の取得及び告示化に向けた取り組み

接着重ね材の防耐火認定の取得や告示化に向けた基礎的データの取得を進める設計手法の整備が中大規模木造に利用する際の必須事項となる。

〔JAS告示改正に向けた取り組み〕

⑤幅方向接着の性能検証

④の燃えしろ断面を確保するには、２次接着による拡張を検討する必要がある。今後の利用範囲拡大のために、性能の検証及び製造・管理方法の確立を目指す。

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

● 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1-52-5

東北大学大学院工学研究科
〒980-8579　宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6

事業目的

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造化するための建築構造のプロトタイプとして構想した，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，① CLTパネルと鉄骨架構の接合金物や構造システムの研究開発，および② 構造解析・構造設計法の検討を行う。

実施した項目

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た

① CLT パネルと鉄骨架構の接合金物や構造システムの研究開発
② 構造解析・構造設計法の検討
③ 中層集合住宅およびオフィスを木造化するための建築構造のプロトタイプの提案

実施体制

全体委員会	主査：前田匡樹（東北大学）
	幹事：迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所）
	委員：太田勤，清原俊彦，尾畑徹（㈱堀江建築工学研究所），松本直之，後藤豊（東北大学），荒昌樹（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（㈱ユーメディア）
研究開発WG	主査：前田匡樹（東北大学）
	幹事：松本直之（東北大学）
	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，峯岸新，津田和輝，髙橋里菜（東北大学），村西大介（BXカネシン㈱）
構造設計WG	主査：迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所）
	幹事：尾畑　徹（㈱堀江建築工学研究所）
	委員：太田勤，清原俊彦，髙橋愛，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）
広報普及WG	主査：並木直子（㈱ユーメディア）
	幹事：千葉賢史（宮城県水産林政部）
	委員：勝田幸仁朗（物林㈱），安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所），荒昌樹（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）
事務局	福井和代（㈱堀江建築工学研究所），堀亜紀子（東北大学）
オブザーバー	秋竹壮哉（㈱奥村組）

実施した内容

① CLT接合部および構造システムの技術の開発

1-1　ハイブリッド構造システムの検討，1-2　接合部の構成と抵抗機構，
1-3　接合部要素実験，1-4　部分架構実験による性能確認

② 構造解析モデルと構造設計例（プロトタイプ）の作成

2-1　構造基本設計，2-2　法適合検討，2-3　架構の詳細検討

③ 構造設計リーフレットの作成と普及広報

3-1　広報リーフレットの作成，3-2　成果報告会の開催

実施した結果

1．CLT 接合部および構造システムの技術の開発

1-1　CLTパネルと鉄骨架構によるハイブリッド構造システムの概要

建築着工面積が多いが木造率の低い，中層（4階～6階建）建築の木造建築を対象として，ハイブリッド型木造建築のプロトタイプ開発を行った。図1に示すように，事務所（鉄骨フレームタイプ）と集合住宅（鉄骨梁タイプ）の2種類を想定した。

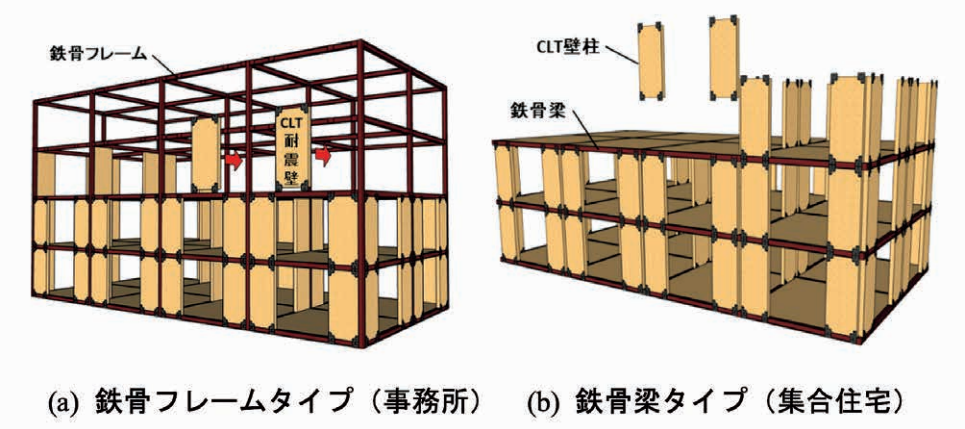


図1　開発対象の構造システム

構造性能のイメージを図2に示す。事務所タイプは，鉄骨架構の中に耐震壁としてCLTパネルを用いる。鉄骨ブレースを剛性・耐力の高いCLTパネルで置換するような構造形式で，構造設計は基本的に鉄骨架構として行い，保有水平耐力計算の鉄骨架構の構造特性係数Ds=0.35～0.4程度を目標とするとともに，CLTパネルの剛性を活かして，短期時（1/200でC_0=0.2）を満足させ，鉄骨量の削減を目指した。

集合住宅タイプはCLTを壁柱として使用し，梁・床組を鉄骨架構とした。構造計算はCLTパネル工法として行うが，鉄骨梁も曲げ降伏させることで，靭性やエネルギー吸収能力を期待し，構造特性係数Ds=0.45程度を目標とした。

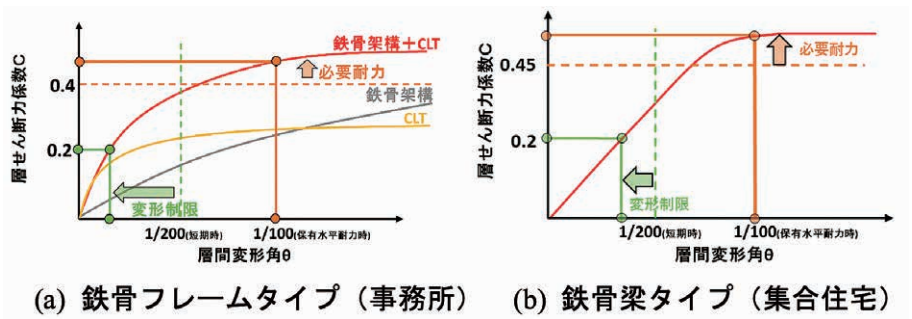


図2　各システムの構造性能のイメージ

1-2　CLTパネル―鉄骨梁接合部の構成と抵抗機構

本事業では，CLTパネルと鉄骨梁の接合部とし て，図３に示すような，鋼板とボルトによる新しい接合部を開発した。２枚のCLTパネルで挟み込んだ鋼板をボルト（HTB）でCLTパネルに固定し，鉄骨梁にもウェブ，または，ガセットプレートにHTB摩擦接合する。

鋼板－ボルト－CLTパネル間の応力伝達は，基本的に支圧であり，図４に示すように，ボルトのCLTへのめり込み，または，引張力Tに沿ったCLTのせん断破壊で耐力が決まる。本事業では，脆性的なせん断破壊を防ぎ，CLTへのめり込み破壊となるパラメータLn，Φ，tを1-3の実験により決定した。

鉄骨架構とCLTパネルを接合することで，図５に示すように，水平力が作用した時にCLTパネル四隅に作用する引張・圧縮力とせん断力に抵抗する機構となる。

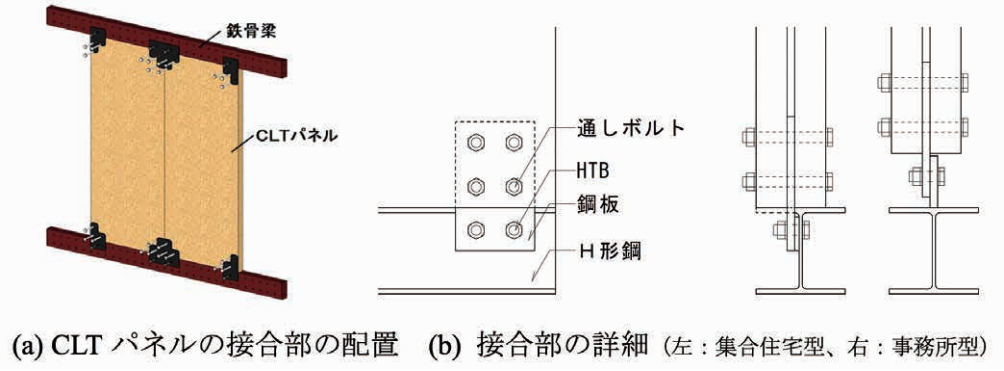


図３　接合部の基本構成と集合住宅型・事務所型のディテール

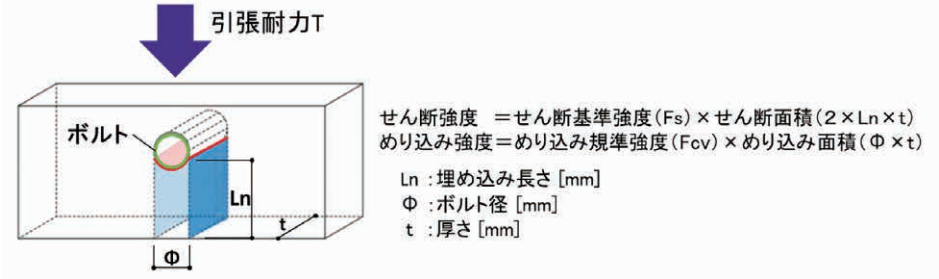


図４　接合部の作用応力に対する基本的な抵抗機構

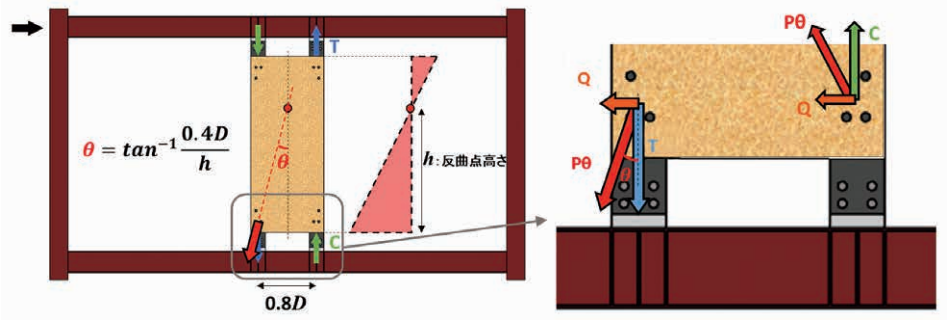


図５　壁におけるボルト接合部の抵抗機構

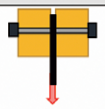
1-3　接合部要素実験

接合部に使用するボルト１本当たりの性能を調べるために要素実験を行った。実験のパラメータは，表１に示すように木材繊維傾斜方向と裏当て板の有無とした。CLTパネル２枚の間に接合ボルト１本と加力用鋼板を設置し，鉛直下向きの単調載荷試験を実施した。

実験結果の荷重－変形関係と破壊状況を図６に示す。荷重－変形関係を完全弾塑性モデルに置換して評価した構造特性値を表２に示す。終局耐力（平均）はどの繊維角度でも100kN超，最大は０度で130kNに達した。概ね変位2~3㎜付近で降伏（めり込みによると推定される）した。繊維方向0°では30㎜付近まで，最も靭性が少ない60°方向でも14mm程度まで，最大耐力の８割を維持した。終局状態の破壊モードは，CLTラミナのせん断端抜けであった。

2021年に実施したCLTパネルの圧縮試験（文献１）の下限値を用いて算定した構造設計用ボルト接合部強度（表３）は，実験値の下限値に対して概ね安全側に評価できることが確認できた。

表１　試験体一覧

No.	試験体名	接合タイプ	CLTパネル厚さ t	ボルト直径 φ	縁単距離 L_n	繊維角度 θ	L_n/Φ	t/φ	裏当て板	試験体数	模式図
			mm	mm	mm	°					
1	I30-5-0	挿入型	90〔2枚〕	30	150	0	5	3.0	なし	3	
2	I30-5-0-P					0			あり		
3	I30-5-30					30			なし		
4	I30-5-60					60			なし		
5	I30-5-90					90			なし		

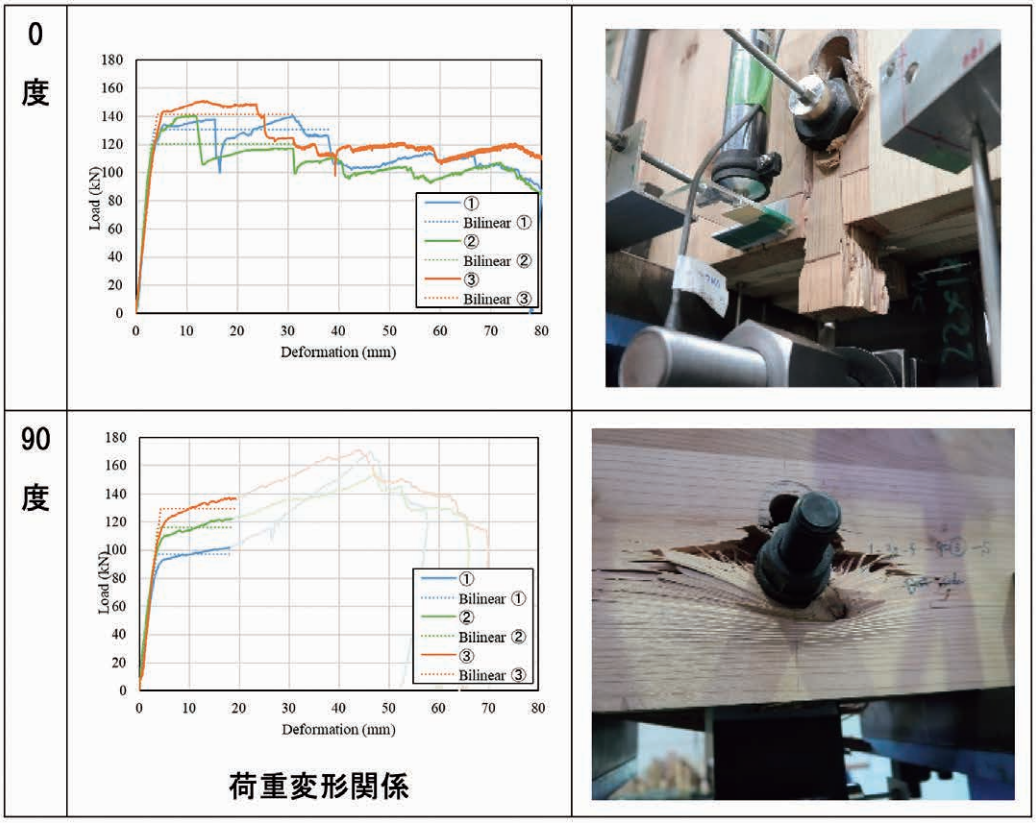


図６　ボルト要素実験の結果

表２　実験結果の構造特性値一覧

	初期剛性		短期許容耐力		終局耐力		終局変位	
	K		P_0		P_u		δ_u	
	kN/mm		kN		kN		mm	
	平均	50% 下限	平均	5% 下限	平均	5% 下限	平均	5% 下限
I30-5-0-P	37.5	36.3	95.9	83.3	131.0	104.1	33.3	23.3
I30-5-30	48.7	48.4	74.0	55.5	114.5	85.9	17.4	13.0
I30-5-60	35.4	32.3	71.6	52.1	103.6	92.6	14.1	1.5
I30-5-90	30.6	29.7	80.5	49.8	114.4	72.9	18.8	17.2

表３　設計用構造特性値

設計用構造特性値	繊維傾斜角度	初期剛性	短期許容耐力	終局耐力	終局変位
		K	P_0	P_u	δ_u
	°	kN/mm	kN	kN	mm
2021材料試験〔下限値〕を用いた計算	0	31.0	67.0	100.4	33.3
	90	22.6	45.7	68.6	

1-4　部分架構実験による性能確認

解析および1-3 要素実験を踏まえて，各タイプの１階部分を再現した実大架構実験により性能を確認した。静的交番加力試験（0.125% ~ 3%，以降引ききり）とし，水平力を作用させるとともに，長期鉛直荷重および上階壁脚部からのモーメントも作用させた。試験体詳細を図７に示す。

事務所タイプ：

水平せん断力は3%変形時で最大約1050kNに達した。変形に伴い，鉄骨梁の降伏，ボルト接合部の亀裂が確認され，最終的にはボルトの端抜け（3%以降），ラミナ継手の引張破壊が発生し（5%時），荷重が低下した。事前の解析的検討と比較すると，鉄骨柱梁とCLT壁を含む架構全体の初期剛性，最大耐力はおおむねよい精度で実験結果と対応した。

集合住宅タイプ：

水平せん断力は3%変形時で最大380kNに達した。変形に伴い，ボルト接合部の亀裂，鉄骨梁のせん断降伏が確認され最終的にはボルトの端抜け（3%以降）によって荷重が低下した。事前解析（1-3の接合部性能を適用）と比較すると，耐力はほぼ同等に発揮されたが，0.25%以降の剛性の低下が顕著であった。初期摩擦の影響や各部の変形の影響を考慮する必要がある。

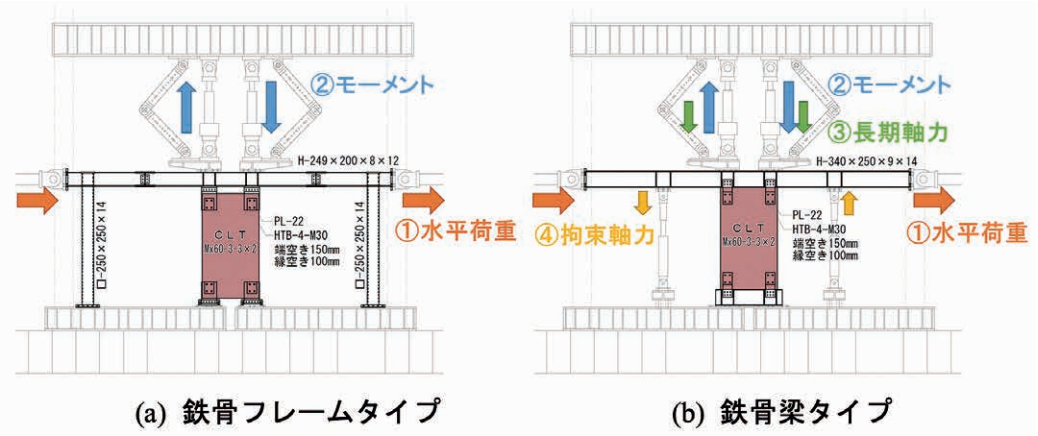


図７　試験体および加力方法の概要

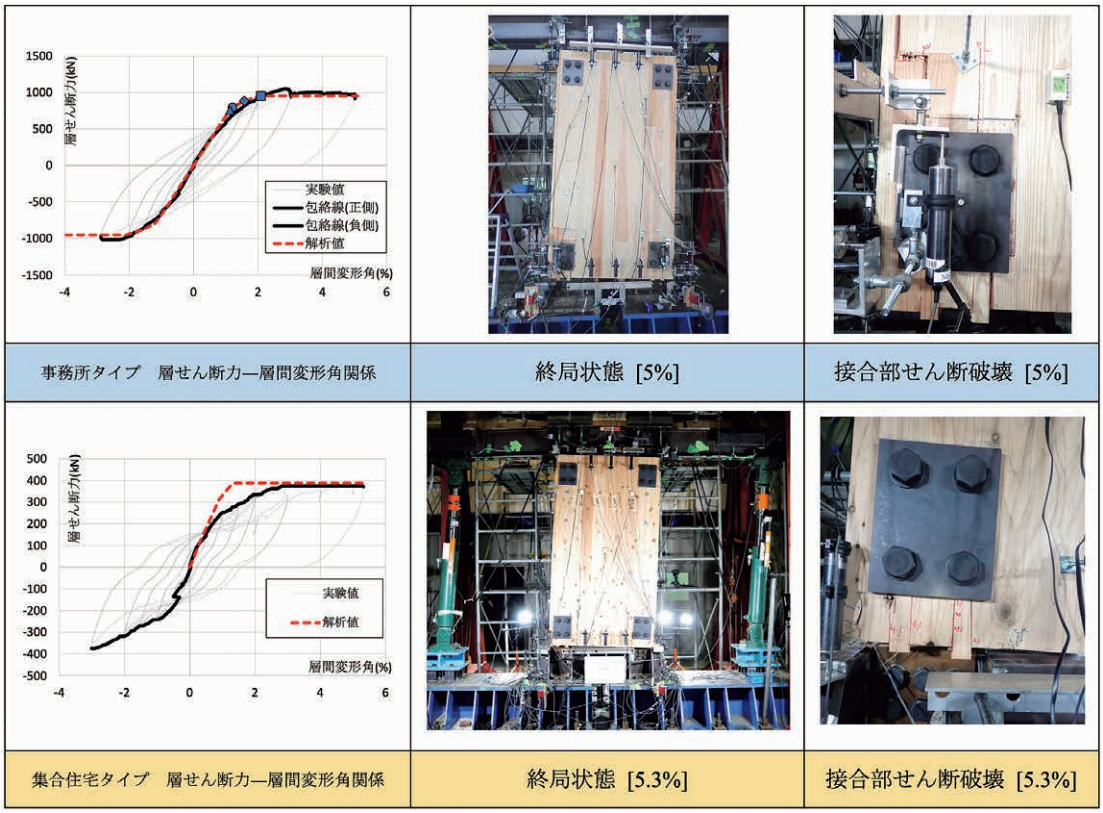


図８　架構実験の結果概要

２．構造設計例と構造解析モデルの作成

前章の知見をもとに，構造設計例および構造解析モデルを作成し検証した。事務所ビル，集合住宅タイプとも，建物規模は地上４階建て，延べ床面積約1000㎡（各階約10m×25m）として設計した。

2-1　構造基本設計

(1) 事務所タイプ（鉄骨柱＋CLT壁＋鉄骨ばり）

事務所タイプで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。一次設計（許容応力度時）の最大層間変形角の制限1/200を満たすとともに，二次設計（保有水平耐力時）の耐力は，CLT壁と鉄骨柱はりラーメン架構が50%ずつ負担することを目標とした。目標のベースシア係数（C_b）は，鉄骨造の告示のDsを参照し，CLT壁は筋かいの種別C，鉄骨柱はりの種別はAまたはB，かつ$\beta_u > 0.5$と仮定し，$C_b = 0.4$とした。崩壊メカニズムは，１階柱脚またはCLT壁脚の曲げヒンジと，２階より上階の鉄骨はりの曲げヒンジによる全体崩壊形を想定した。

(2) 集合住宅タイプ（CLT壁＋鉄骨ばり）

集合住宅タイプでは鉛直力，水平力をともにCLT耐力壁によって支持する。許容応力度時の最大層間変形角の制限1/200を満たし，保有水平耐力時の耐力はCLT壁ですべてを負担する。目標のベースシア係数（C_b）は，CLT構造告示のDsを参照し，$C_b = 0.4 \sim 0.75$の間で設定した。崩壊メカニズムは，１階CLT壁脚の曲げヒンジと２階より上階の鉄骨はりの曲げヒンジによる全体崩壊形とした。

2-2　法適合検討

モデル建物の法適合性の検討として防耐火規定，構造規定を整理した。

(1) 防耐火規定

事務所タイプは，防火および準防火地域に建設されることを想定し，耐火建築物とした。この場合CLT壁には鉛直荷重を負担させないため，耐火被覆は不要である。集合住宅タイプは，CLT構造

で４階建てとの想定から耐火建築物となり，CLT 壁には耐火被覆が必要となる。

(2) 構造規定

事務所タイプは，CLT 壁に水平力を負担させている鉄骨造となる。構造計算ルートは，高さが 13m を超え延べ面積 500㎡以上であるため，鉄骨造のルート２またはルート３となる。集合住宅タイプでは，CLT 壁が鉛直力と水平力をともに負担するため，CLT パネル工法と鉄骨造の併用構造となる。CLT 壁の仕様は H28 国交告第 611 号を満たす必要がある。

2-3　架構詳細設計と構造解析

各タイプについて，架構の詳細設計を行い，静的荷重増分解析により構造性能を検証した。

(1) 事務所タイプ（鉄骨柱＋CLT 壁＋鉄骨ばり）

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。一次設計の結果，柱はりおよび CLT パネルが許容応力度以下であること，層間変形角 1/200 を満足することを確認した。また，二次設計の結果，目標とするベースシア係数 $C_b = 0.4$ の保有水平耐力を有する結果となった。

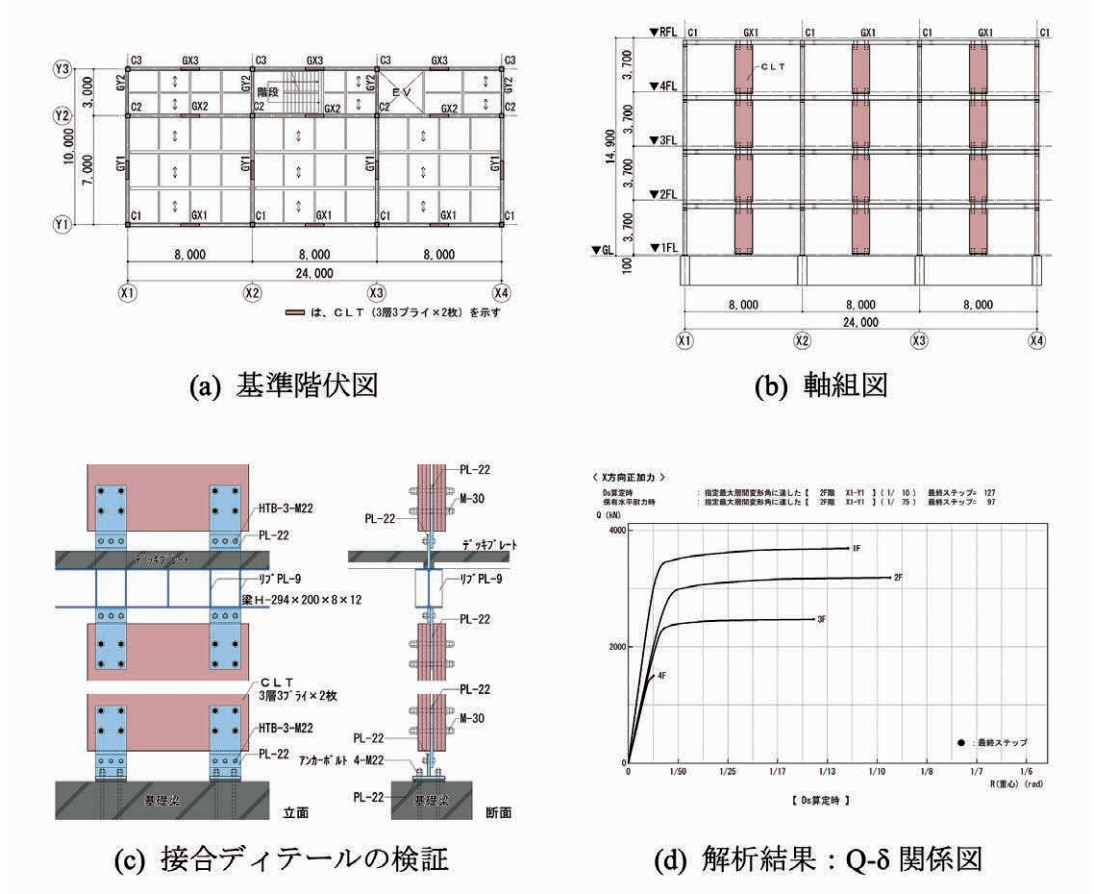


図９　事務所タイプ　設計案および解析結果の概要

(2) 集合住宅タイプ（CLT 壁＋鉄骨ばり）

CLT 壁は柱置換とし，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。一次設計の結果，柱梁および CLT パネルが許容応力度以下であること，層間変形角 1/200 を満足することを確認した。二次設計の結果，目標とするベースシア係数 $C_b = 0.4 \sim 0.75$ の保有水平耐力を有する結果となった。

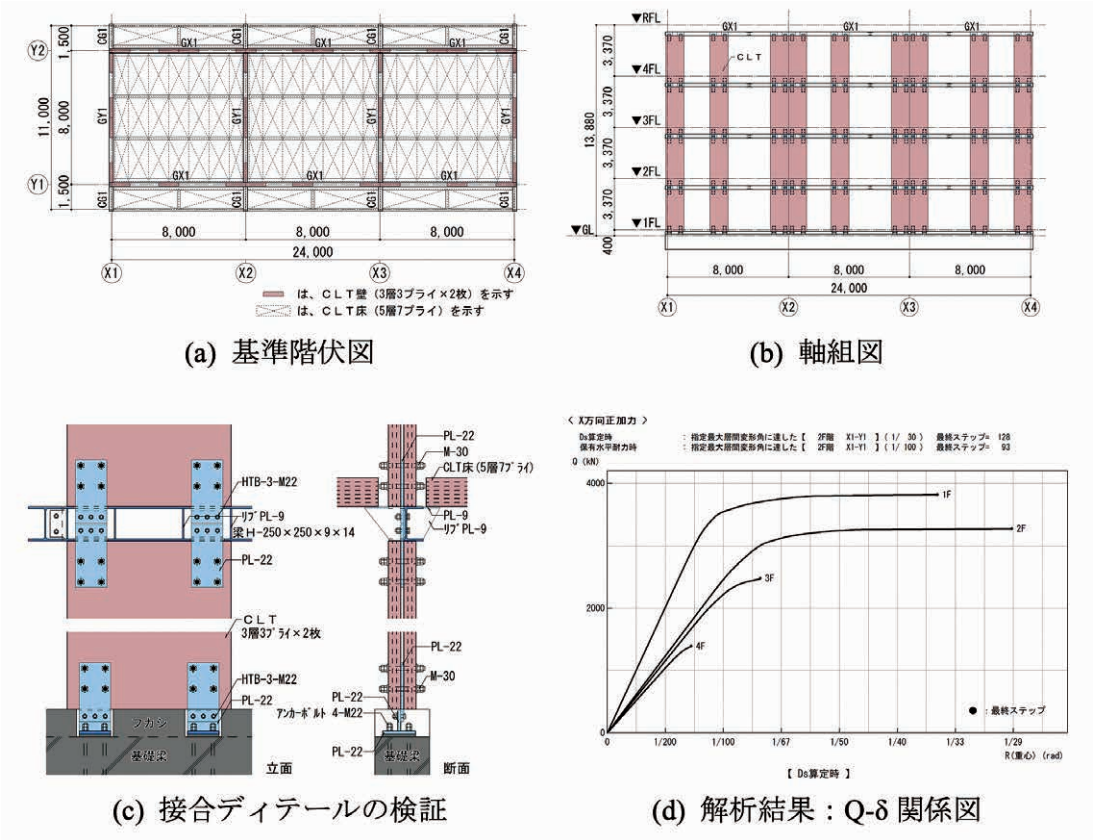


図 10　集合住宅タイプ　設計案および解析結果の概要

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。

3．構造設計リーフレットの作成と普及広報

3-1　リーフレットの作成

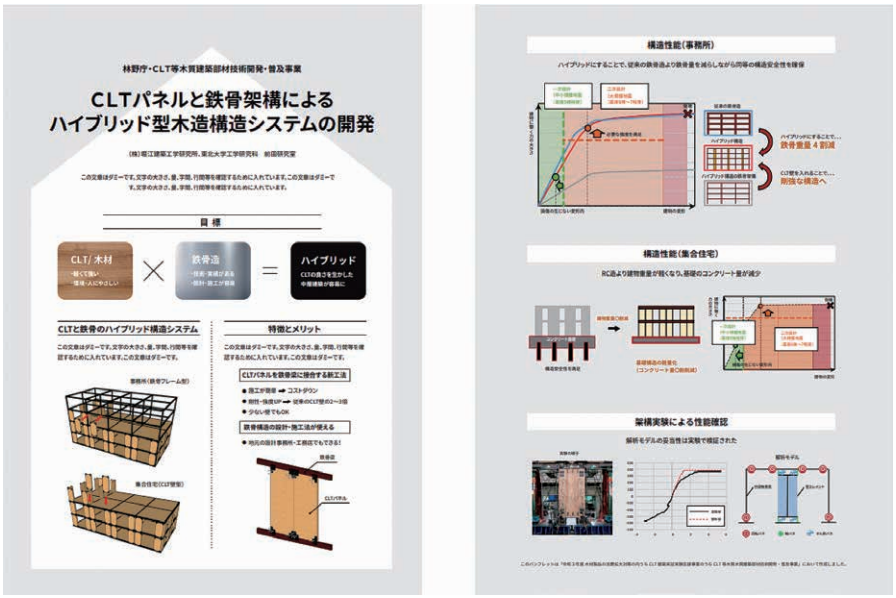


図 11　リーフレットの構成

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，事務所・集合住宅の各プロトタイプの特徴を整理し，実験・解析によ

り検証された内容を盛り込み，構造システムの特性を簡潔に紹介する内容とした。

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５年２月７日に仙台メディアテークにて開催した。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

4. まとめと今後の課題・展開

本プロジェクトでは，非木造中層建築の木造化の普及に資する合理的な構造システムとして，鉄骨とCLTのハイブリッド構造システムを考案し，その基盤となるCLT－ボルト接合部や，CLT壁と鉄骨による架構の水平せん断性能を実験的に明らかにした。さらに，それらの結果を用いた建物の構造プロトタイプと，その解析モデルを構築し，法適合性の検討も含めて，その実現可能性を定量的に示した。上記の基礎的な検討内容を整理し，魅力を伝えるための広報も試みた。

提案した構造システムにより，おおむね企図したCLTの高耐力・高剛性を活かせることは確認ができたが，今後，これを実際の建築に適用し，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 構造システム開発

(1) 接合部の改良および一般化：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基礎実験データの蓄積と設計法の確立

(2) 架構の構造計画の一般化：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 構造解析モデルと構造設計法

(1) 本構造システムの耐震性能を評価するため，挙動や破壊性状を正確にとらえ，解析プログラムでシミュレーションを行うための解析モデルの検討。特に，新しい構造システムである接合部の解析モデルの確立。

(2) 一般の実務構造設計者が容易に構造設計を行うことができるようにするための，一貫構造計算プログラムなどで使用できる構造解析モデルの提案。保有水平耐力計算で必要となる部材ランクおよび構造特性係数Dsを設定するための基本的な考え方の整理。

(3) 本構造システムを普及させるための多様なプロトタイプ設計例の充実

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）CLT壁と鉄骨梁によるハイブリッド構造システムの開発　その２　CLT壁水平加力試験の計画，Ahmad Ghazi Aljuhmani，厚澤瑛人，峯岸新，津田和輝，後藤豊，前田匡樹，日本建築学会大会学術講演梗概集（北海道），pp447-448，2022.9

事業

脱炭素社会に資する簡易な耐火処理を施した準不燃・難燃材料の開発

● 実施団体 ●

銘建工業株式会社

〒717-0013　岡山県真庭市勝山1209

事業目的

脱炭素社会に資する建設分野の取り組みとして、木材利用の促進が求められている。これは、建設分野のCO_2排出量削減のみならず、サステナビリティな社会形成をもたらす取り組みとして、近年注目を集めている。しかし、建築物の木質化には、火災に対する安全性確保の観点から、主要構造部であれば相応の耐火被覆を施すこと、非構造部材であれば不燃化する等が必要になる。

そこで、本試験による準不燃・難燃材料の開発により、これまで木質材料が現しで使用できなかった耐火建築物や内装制限がかかる特殊建築物等の共用部分等に現しで見せられる木質壁等の採用が可能となり、更に中高層のビル物にも利用可能な商品開発のベース素材となりうる。これによりこれまで木質材料が現しで使用できなかった部分に対して木質化が出来、更なる木材需要創出が期待できる。

実施した項目

本事業では、隔週に１回の定例会で関係者間の進捗報告ならびに情報共有をおこない、下記の１～４について検討、実施した。

１．不燃木材・難燃薬剤の調査及び選別

既存の不燃木材及び難燃薬剤を調査し、コスト、保有性能、入手可否やメーカーヒアリングの結果から、総合的に判断し選別した。

２．難燃性能の高い薬剤を選定するためのコーンカロリーメーター試験（CCM実験①－１）

選定した難燃薬剤に対し、基材をスギ木材としたコーンカロリーメーター試験を実施し、総発熱量、最大発熱速度及び着火時間をもとに、同一コスト帯で難燃性能が高いと推察される薬剤の順位付けをおこなった。

３．選定した難燃薬剤メーカーへのヒアリング

CCM実験①－１により選定した３薬剤の各メーカーに対し、ヒアリングを実施し、さらに難燃性能を向上させる施策を検討した。

４．インサイジング処理基材で準不燃・難燃性能を確認するためのコーンカロリーメーター試験（CCM実験①－２）

インサイジング処理木材を基材としたコーンカロリーメーター試験を実施することで、簡易な塗布方法で建築基準法上の準不燃材料あるいは難燃材料の基準を満たせるか検証をおこなった。

実施体制

■事業主体

銘建工業(株)木質構造事業部

■事業協力

試験体製造：　銘建工業(株)CLT工場
試験機関：　前田建設工業(株)ICI総合センター
不燃薬剤メーカー：　各メーカー

実施した内容

1．不燃木材・難燃薬剤の調査及び選別

建物内側の木質系材料の不燃化に向けて、既存の不燃木材及び難燃薬剤を調査した。主な調査項目は、商品名（企業名）、基本性能、主成分、大臣認定の有無、商品の特徴、使用実績、費用等である。調査した不燃木材及び難燃薬剤に対しては、カタログやHP、メーカーへのメールヒアリング等から収集したコスト、保有性能、入手可否と、の結果から総合的に判断し、次項のコーンカロリーメーター試験に用いる材料を選別した。

2．難燃性能の高い薬剤を選定するためのコーンカロリーメーター試験（CCM実験①－1）

本項目を実施するにあたり、前項目で選別した材料を用いるが、後述する選定結果を受け、総じてコスト高だった不燃木材は除くこととし、比較的安価な難燃薬剤を用いることとした。表1に選別した難燃薬剤を示す。本項目では、選別した8薬剤を塗布したスギ基材に対し、コーンカロリーメーター試験をおこない、総発熱量、最大発熱速度及び着火時間をもとに、同一コスト帯で難燃性能が高いと推察される薬剤の順位付けをおこなった。

試験体一覧を表2に示す。試験体は、難燃薬剤及び塗布量を変数とした計17体であり、メーカー規定の塗布量における基本性能や単価を併記している。難燃薬剤は同一メーカー品も含め、8薬剤とした。塗布量は、メーカー規定の塗布量をもとに算定した㎡単価を、500円程度で統一した場合の塗布量を標準塗布量としており、標準塗布量及びその2倍量の2水準を変数とした。なお、比較のため難燃薬剤を塗布していない仕様も含めた。使用する基材は、国産スギ材の100mm×100mm×t=20mmとした。コーンカロリーメーター試験は図1に示す前田建設工業株式会社ICI総合センター保有のコーンカロリーメーター試験装置を用いて実施され、試験方法はISO 5660-1（2002-12-15）に準拠した。

順位付けをおこなうにあたり、判断基準は以下の通りとした。

1）10秒以上継続して着火しない
2）10秒以上継続して最大発熱速度200kW/㎡を超えない
3）試験開始からの総発熱量が8MJ/㎡以下

また、試験終了は上記判断基準をいずれか1つ超過してから1分経過時とした。

表1　選別した難燃薬剤

No.	名称	メーカー	主成分
1	a 薬剤	A 社	リン酸塩
2	b 薬剤	B 社	ホウ酸系複合材
3	c 薬剤	C 社	リン系
4	d 薬剤	D 社	ホウ酸系
5	e 薬剤	E 社	リン・窒素化合物
6	f-1 薬剤	F 社	リン・窒素化合物
7	f-2 薬剤	F 社	無機系化合物
8	g 薬剤	G 社	ウレタン塗料

図１　コーンカロリーメーター試験装置
（前田建設工業株式会社 ICI総合センター保有）

表２　試験体一覧（CCM実験①－１）

試験体番号	薬剤名称 （メーカー）	薬剤基本性能 メーカー規定塗布量	単価 （円/kg）	塗布量 (g/㎡)	㎡単価 （円/㎡）
①-1-1-1	a 薬剤 A 社	準不燃（認定有） 40g/㎡	12,000 （15kg 購入時）	40	480
①-1-1-2				80	960
①-1-2-1	b 薬剤 B 社	難燃 200g/㎡	6,000 （20kg 購入時）	80	480
①-1-2-2				160	960
①-1-3-1	c 薬剤 C 社	難燃 下塗り 150g/㎡ 上塗り 150g/㎡	7,000 （20kg 購入時）	35＋35	490
①-1-3-2				70＋70	980
①-1-4-1	d 薬剤 D 社	難燃 150 g/㎡	3,500 （20kg 購入時）	150	515
①-1-4-2				300	1,030
①-1-5-1	e 薬剤 E 社	防炎 100g/㎡	2,000 （想定概算）	250	500
①-1-5-2				500	1000
①-1-6-1	f-1 薬剤 F 社	防炎 200g/㎡	2,000 （20kg 購入時）	250	500
①-1-6-2				500	1,000
①-1-7-1	f-2 薬剤 F 社	防炎 250g/㎡	2,000 （20kg 購入時）	250	500
①-1-7-2				500	1,000
①-1-8-1	g 薬剤 G 社	防炎 下塗り 120g/㎡ 上塗り 60g/㎡	1,670 （20kg 購入時）	200＋100	501
①-1-8-2				400+200	1,002
①-1-無	木材のみ				

3．選定した難燃薬剤メーカーへのヒアリング

CCM実験①－１により選定した３薬剤の各メーカーに対し、ヒアリングを実施した。ヒアリングにより把握したい項目は以下の通りとした。

- 難燃性能を発揮するメカニズムについて
- 難燃性能を向上させる手段/製品はあるか
- 薬剤開発の体制/状況について

各メーカーとのヒアリングを以て、さらに難燃性能を向上させる施策を検討し、２回目のコーンカロリーメーター試験に臨むこととした。

4．インサイジング処理基材で準不燃・難燃性能を確認するためのコーンカロリーメーター試験（CCM実験①－２）

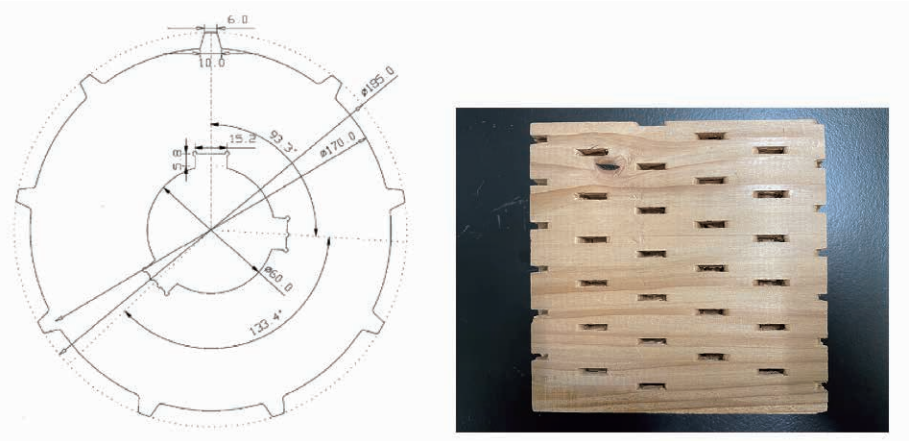
本項目を実施するにあたり、前項目におけるメーカーヒアリングの結果から、インサイジング処理木材に難燃薬剤を塗布した試験体を用いたコーンカロリーメーター試験を実施することとなった。本項目では、CCM実験①－１により選定したメーカーの薬剤に対し、インサイジング処理木材を基材としたコーンカロリーメーター試験を実施することで、簡易な塗布方法で建築基準法上の準不燃材料あるいは難燃材料の基準を満たせるか検証をおこなった。

試験体一覧を表３に示す。試験体は、難燃薬剤及び塗布量を変数とした９仕様とした。また試験の信頼性確保のため、試験体数N=3で実施した。使用する基材は国産杉材100mm×100mm×33mmで、一般的に薬剤が浸透しづらいとされる芯材を選別した。また加熱面表面にインサイジング処理を施した。インサイジングの仕様として、刃形（厚・幅・深さ）=2.5mm×10mm×8mmであり、インサイジング孔の表面密度は3,373個/㎡である。図２にインサイジング仕様の詳細として刃詳細図及びパターン図を示す。難燃薬剤はCCM実験①－１で選定した薬剤の他、同メーカーの高難燃性を持つ薬剤を一部（試験体：①-2-2-1, ①-2-2-2, ①-2-3-1, ①-2-3-2）含んでいる。難燃薬剤の塗布量はCCM実験①－１標準塗布量と同量及び700g/㎡の２水準とした。標準塗布量は刷毛１回塗り、700g/㎡は刷毛２回塗りとし、刷毛２回塗りの場合は１回目と２回目の間に１日乾燥期間を設けた。塗布後は最低１週間の乾燥時間を設けた。なお、比較のため難燃薬剤を塗布していない仕様も含めた。

CCM実験①－２における判定基準は、防耐火性能試験・評価業務方法書（建材試験センター・2021年７月）における発熱性試験方法に準拠した以下とする。

１）試験開始から要求時間※まで総発熱量が8MJ/㎡以下
２）試験開始から要求時間※まで10秒以上継続して最大発熱速度200kW/㎡を超えない
３）試験開始から要求時間※まで防火上有害な裏面まで貫通する亀裂及び穴がない
※…難燃材料の場合：５分、準不燃材料の場合：10分

また、試験時間は最低５分としたが、５分経過以降は上記判定基準のいずれか１つが超過するまで継続し、超過してから１分で試験終了とした。



(a) インサイジング刃詳細　　(b) パターン図

図２　インサイジング仕様詳細

表３　試験体一覧（CCM実験①－２）

番号	試験体名	薬品名称	メーカー	塗布量
No.0	①-2-1-0	薬剤塗布なし	－	—
No.1	①-2-1-1	e 薬剤	E 社	250g/㎡
No.2	①-2-1-2			700g/㎡
No.3	①-2-2-1	d+ 薬剤	D 社	150g/㎡
No.4	①-2-2-2			700g/㎡
No.5	①-2-2-3	d 薬剤		150g/㎡
No.6	①-2-3-1	f-1+ 薬剤	F 社	250g/㎡
No.7	①-2-3-2			700g/㎡
No.8	①-2-3-3	f-1 薬剤		250g/㎡

実施した結果

１．不燃木材・難燃薬剤の調査及び選別

結果として、不燃木材は 23 社 27 材料、難燃薬剤は 26 社 32 薬剤を調査した。コスト、保有性能、入手可否から総合的に判断し選別を行った。選別した結果は表１である。まず、コスト面において、不燃木材は総じてコスト高であったため候補から外れた。不燃木材は大量生産可能という点で加圧注入方式が主流だが、設備費用が上乗せされる分コストがかさむことから、汎用的かつ安価な木質系材料を目指す本開発とはターゲットが異なる点で採用を見送った。保有性能においては、難燃性能はもちろんのこと、無色透明であることや、耐久性や防腐 / 防蟻性があることなどが加点要因として、候補を選別した。今後、建材開発によって新製品が出てくることも想定されることから、継続して調査を行っていくこととした。

２．難燃性能の高い薬剤を選定するためのコーンカロリーメーター試験（CCM実験①－１）

CCM実験①－１における試験結果一覧を表４に、加熱前後の試験体状況を表５に、着火時間の比較を図３に、総発熱量 - 試験時間関係を図４に示す。

判断基準１）着火に関して、開始から 20 秒程度で全試験体において着火が確認され、各試験体における有意な差は認められなかった。判断基準２）最大発熱速度に関して、g 薬剤を除いた試験体において 200kW/㎡を下回っており、特に d 薬剤、e 薬剤、f-1 薬剤は他試験体に比べ値が小さい傾向にあった。判断基準３）総発熱量に関しては、判断基準１）超過によって実験を終了したため実験時間が短く、17 体中 15 体が 8MJ/㎡に達していなかった。そのため、総発熱量においては、着火後の試験時間に応じてほぼ線形に増加すると図４をもとに仮定し、全ての試験体で総発熱量 8MJ/㎡に達したと想定した時の試験時間を結果から類推した。図５に概念図を、図６に想定の総発熱量 8MJ/㎡時の試験時間の比較を示す。図６より、e 薬剤、f-1 薬剤、d 薬剤の順で優位性を確認することができた。

以上、判断基準１）～３）を総合し、CCM実験①－１における難燃性能の高い薬剤の順位は、e 薬剤（E 社）、f-1 薬剤（F 社）、d 薬剤（D 社）となった。

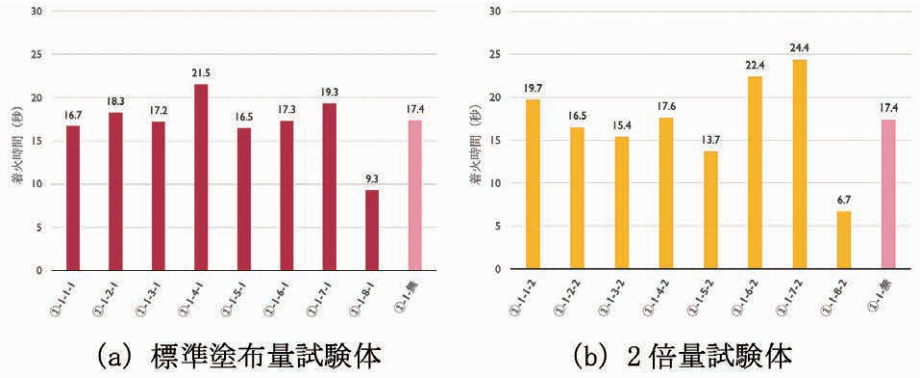
表４　試験結果一覧（CCM実験①－１）

試験体番号	薬剤名称（メーカー）	塗布量（g/㎡）	試験時間（秒）	着火時間（秒）	総発熱量（MJ/㎡）	最大発熱速度（kW/㎡）
①-1-1-1	a薬剤 A社	40	49	16.7	3.5	139.91
①-1-1-2		80	67	19.2	4.44	133.88
①-1-2-1	b薬剤 B社	80	56	18.3	3.85	136.54
①-1-2-2		160	75	16.5	4.95	114.14
①-1-3-1	c薬剤 C社	35＋35	72	17.2	6.19	155.48
①-1-3-2		70＋70	79	15.4	6.99	170.58
①-1-4-1	d薬剤 D社	150	50	21.5	2.52	109.75
①-1-4-2		300	80	17.6	5.24	115.31
①-1-5-1	e薬剤 E社	250	78	16.5	3.74	75.7
①-1-5-2		500	77	13.7	3.84	78.38
①-1-6-1	f-1薬剤 F社	250	83	17.3	5.34	118.33
①-1-6-2		500	78	22.4	4.16	91.84
①-1-7-1	f-2薬剤 F社	250	86	19.3	6.36	160.07
①-1-7-2		500	84	24.4	6.1	174.52
①-1-8-1	g薬剤 G社	200＋100	161	9.3	13.35	235.2
①-1-8-2		400+200	70	6.7	9.36	261.63
①-1-無	木材のみ		90	17.4	7.1	120.73

表５　加熱前後の試験体状況

試験体番号	①-1-1-1		①-1-2-1	
薬剤名称	a薬剤		b薬剤	
	加熱前	加熱後	加熱前	加熱後
加熱前後の状況				
試験体番号	①-1-3-1		①-1-4-1	
薬剤名称	c薬剤		d薬剤	
	加熱前	加熱後	加熱前	加熱後
加熱前後の状況				

試験体番号	①-1-5-1		①-1-6-1	
薬剤名称	e薬剤		f-1薬剤	
加熱前後の状況	加熱前	加熱後	加熱前	加熱後
試験体番号	①-1-7-1		①-1-8-1	
薬剤名称	f-2薬剤		g薬剤	
加熱前後の状況	加熱前	加熱後	加熱前	加熱後



(a) 標準塗布量試験体　　(b) 2 倍量試験体

図 3 着火時間比較（CCM 実験①－ 1）

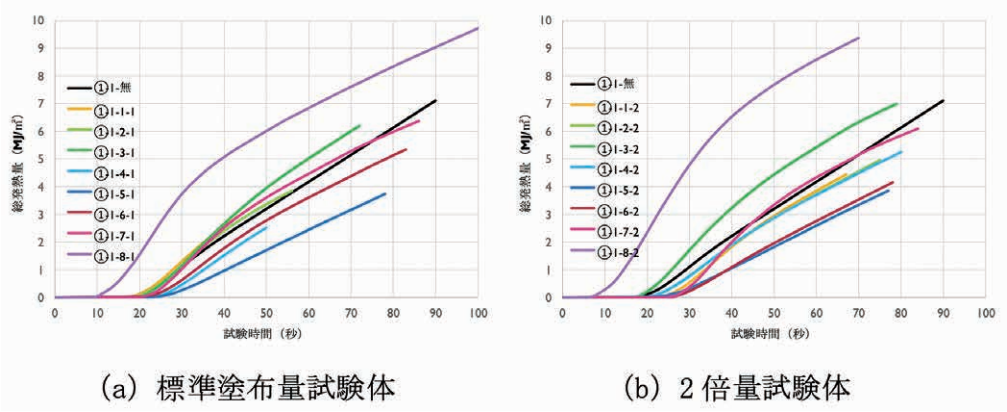


図 4　総発熱量 - 試験時間関係（CCM 実験①－ 1）

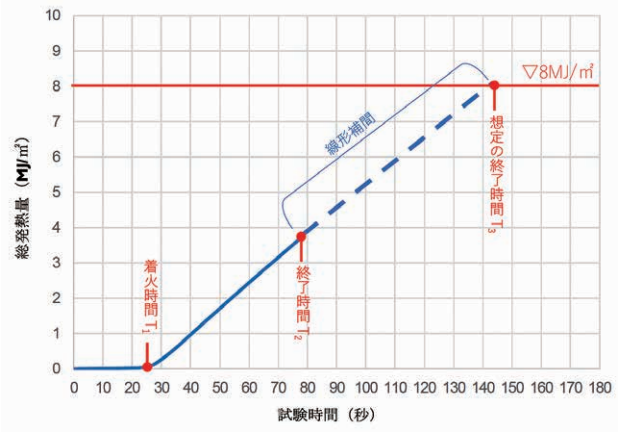
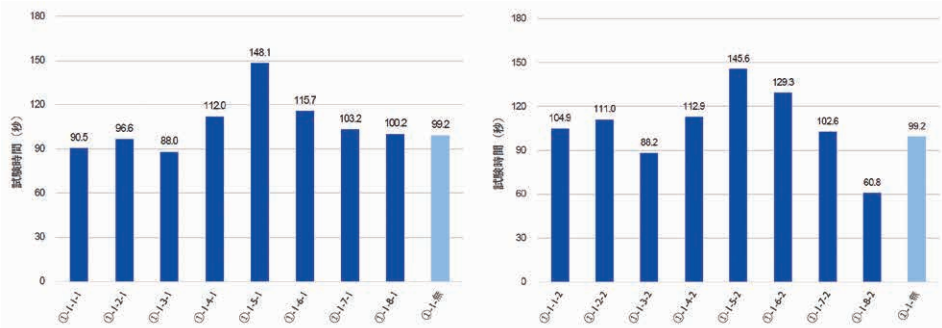


図５　想定される8MJ/㎡時の試験時間T3導出の概念図



（a）標準塗布量試験体　　（b）２倍量試験体

図６　想定される総発熱量8MJ/㎡時の試験時間の比較（CCM実験①－１）

３．選定した難燃薬剤メーカーへのヒアリング

CCM実験①－１によって選定した３薬品の各メーカーに対し、ヒアリングを実施した結果は以下の通りである。

- E薬剤（E社）及びf-1薬剤（F社）はリン・窒素系であり、D薬剤（D社）はホウ酸系である。
- 難燃性能を向上させる手段として、基材にインサイジング処理を施し薬剤浸透量を増加させる、薬剤の濃度を上げる、添加剤を混合する、不燃塗料による増膜、温冷浴法で浸透させる、などが挙げられた。
- 難燃性能を向上させた製品としてd+薬剤（D社）、f-1＋薬剤（F社）がある。

以上を踏まえ、コスト検証等を経て、第２回コーンカロリーメーター試験では、インサイジング処理基材を用いた難燃薬剤の性能検証を行うこととした。

４．インサイジング処理基材で準不燃・難燃性能を確認するためのコーンカロリーメーター試験（CCM実験①－２）

CCM実験①－２における試験結果一覧を表６に、総発熱量8MJ/㎡到達時間を図７に、最大発熱速度を図８に示す。表６に示す結果にはN=3それぞれの値と平均を記している。図７より、いずれの試験体においても、準不燃材料の判定基準10分を満足するものはなかった。ただし、①-2-3-2（f-1＋薬剤、F社）に関して、総発熱量8MJ/㎡に到達した時間が平均296秒となり、難燃材料の判定基準５分相当の結果を得た。同一薬剤における塗布量の違いで、顕著な差が表れたも①-2-3-2のみであった。例えばd薬剤は、塗布量150g/㎡と塗布量700g/㎡で到達時間に平均５秒しか差がないことから、難燃薬剤が内部まで十分に浸透できていない可能性がある。今後の展開として、さらに内部へ浸

透させる手段を検討する必要がある。図８より、いずれの試験体においても最大発熱速度200kW/㎡を下回った。また、図９に総発熱量8MJ/㎡到達時間のCCM実験①－１との比較を示す。本実験とCCM実験①－１における比較対象は、①-2-1-1と①-1-5-1（e薬剤）、①-2-2-3と①-1-4-1（d薬剤）、①-2-3-3と①-1-6-1（f-1薬剤）であり、CCM実験①－１においては想定の8MJ/㎡到達時間である。いずれの試験体についても本試験が前回試験より下回っており、インサイジング処理基材は無処理基材と比べ、同量の薬剤を塗布した場合には難燃性が低下することが分かった。インサイジング処理基材は、加熱を受ける表面積がインサイジング処理によって無処理基材よりも増加したことにより、同量の薬剤を塗布した場合ではかえって難燃性を下げることに繋がると考えられる。

表６　試験体一覧（CCM実験①－２）

試験条件				試験結果			
番号	試験体名	使用薬剤	塗布量	試験時間	総発熱量	最大発熱速度	総発熱量8MJ/m²到達時間
				sec	MJ/m²	kW/m²	sec
No.0	①-2-1-0	薬剤塗布なし	—	368/315/321	33/26/27	156/132/156	76/90/85
				Ave:335	Ave:29	Ave:148	Ave:84
No.1	①-2-1-1	e薬剤	250g/㎡	328/330/332	18/19/20	99/115/123	140/130/122
				Ave:330	Ave:19	Ave:112	Ave:131
No.2	①-2-1-2		700g/㎡	379/340/332	19/20/17	99/131/111	151/131/142
				Ave:350	Ave:18	Ave:114	Ave:141
No.3	①-2-2-1	d+薬剤	150g/㎡	318/323/325	26/24/22	147/139/135	85/99/105
				Ave:322	Ave:24	Ave:140	Ave:96
No.4	①-2-2-2		700g/㎡	320/334/380	24/24/23	135/138/149	98/105/100
				Ave:335	Ave:24	Ave:140	Ave:101
No.5	①-2-2-3	d薬剤	150g/㎡	339/329/329	24/25/31	138/133/167	94/96/82
				Ave:345	Ave:27	Ave:146	Ave:91
No.6	①-2-3-1	f-1+薬剤	250g/㎡	339/329/329	16/20/20	87/107/113	174/130/127
				Ave:332	Ave:19	Ave:102	Ave:144
No.7	①-2-3-2		700g/㎡	415/484/507	14/13/13	55/42/48	239/323/326
				Ave:469	Ave:13	Ave:48	Ave:296
No.8	①-2-3-3	f-1薬剤	250g/㎡	311/391/317	24/30/21	127/149/131	94/90/103
				Ave:340	Ave:25	Ave:136	Ave:96

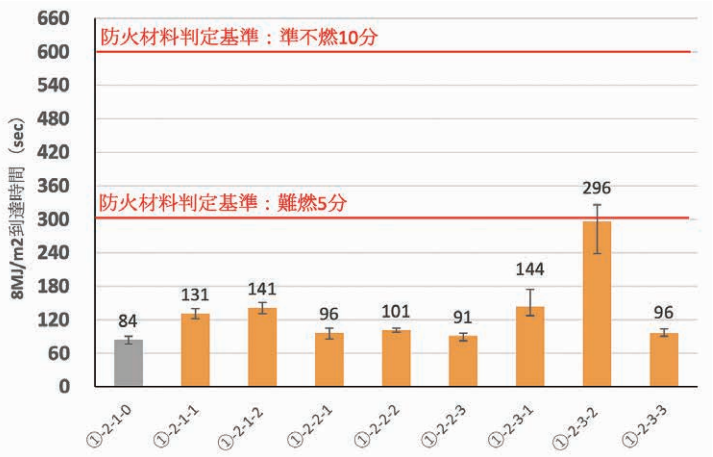


図７　各試験体の総発熱量8MJ/㎡到達時間（CCM実験①－２）

図８　各試験体の最大発熱速度（CCM実験①－２）

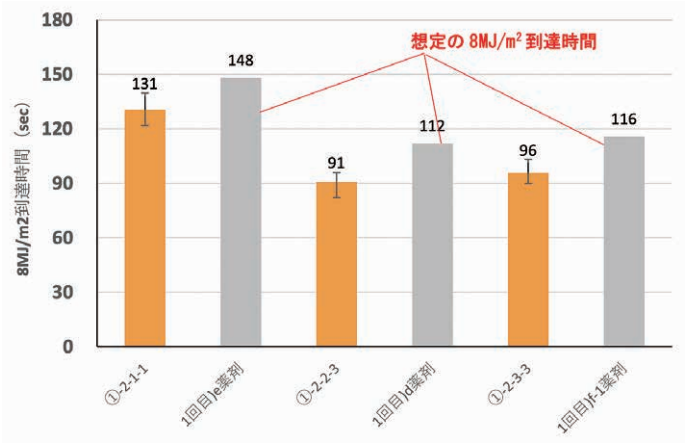


図９ CCM実験①－１とCCM実験①－２の比較（総発熱量8MJ/㎡到達時間）

今後の課題・展開等

- 市販の難燃薬剤を、簡易な処理方法（インサイジング処理）を用いた木材に塗布することにより、建築基準法における難燃材料基準相当の性能を有するという結果を、一部の薬剤で確認できた。
- 一方、その他の薬剤に関しては、塗布量を変えたにも拘わらず難燃性能に変化が見られなかったことから、いずれの薬剤においても基材に十分に浸透していない可能性が示唆された。更なる難燃性の確保のため、薬剤が基材に浸透する厚さを試験により明らかにし、より薬剤を浸透させる手法を考案する必要がある。
- 薬剤を浸透させる手法として、インサイジング刃形の変更や孔密度の増加、養生時間期間の変更、添加物の混合、不燃塗料による増膜、等が挙げられる。
- 来年度は上記の対応により、薬剤量を増やしつつ木材内部へ浸透させることで、準不燃材料・難燃材料の開発を推進する。

事業

規格化された道産材大断面集成材を活用した寒冷地用集成ログ壁材の開発事業

● 実施団体 ●

一般社団法人 木のいえ一番協会

〒150-0045　東京都渋谷区神泉町 22-2　神泉風來ビル 2F

事業目的

2050年カーボンニュートラルの実現に向け建築物省エネ法等が改正され、2025年度に全ての新築住宅において現行の省エネ基準相当の外皮性能・一次エネルギー性能が義務化される。また、建築確認申請時の木造２階建て住宅のいわゆる４号特例がなくなり、今後、北海道（１、２地域）でのログハウスの建築が難しくなることが懸念される。

このため、道産材を使用した規格化された大断面集成材に平板を接着した寒冷地用集成ログ壁材（250㎜厚）を開発するとともに、現行の省エネ基準の外皮性能（断熱等性能：等級４）に加え、住宅性能表示制度において新たに創設された上位等級（等級５、６）対応の仕様やコスト等についても検討した。本事業は、非住宅での使用や他の工法の外壁等としての汎用性が期待されるだけでなく、利用期を迎えているカラマツ、トドマツの新たな需要創出にもつながる。

実施した項目

本事業のため、寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会を設置し、１～３の調査・試験等を実施した。

１．寒冷地用集成ログ壁材の製造コスト等調査

- 製造コスト等の調査

２．寒冷地用集成ログ壁材の品質・強度試験

- 減圧加圧剥離試験
- ホルムアルデヒド放散量試験
- 曲げ強度試験
- ブロックせん断強度試験

３．省エネ基準に対応したログハウスモデルプランの検討

- モデルプランにより１、２地域における断熱等性能等級４、５、６に適合する外皮性能の仕様、差額等について検討

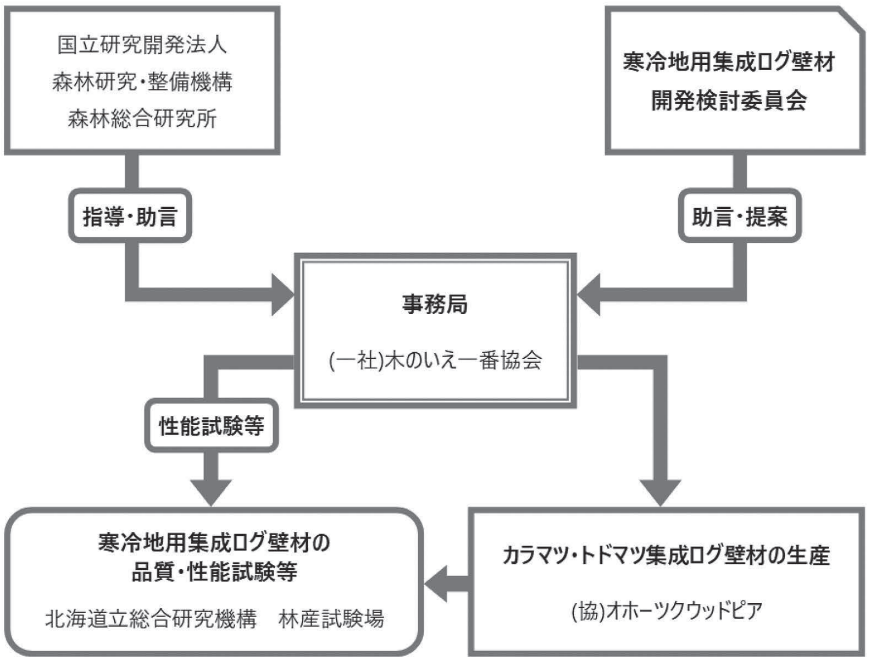
実施体制

本事業の目的達成のため、研究者、関係機関等からなる寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会を設置し、事業を推進した。

委員長	鈴木　大隆	（北海道立総合研究機構　理事（研究事業担当））
委　員	宮武　　敦	（森林総合研究所　複合材料研究領域　研究専門員）
	杉本　健一	（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　室長）
	大橋　義徳	（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）
	中根　幹成	（㈱ オホーツクウッドピア　理事長、物林㈱ 北海道グループ長）

五十嵐賢博　(㈱ 綜建築研究所　代表取締役)
鎌田　広道　(㈱ アールシーコア　BESS 事業本部　商品開発部　生産開発　参事)
池田　　均　((一社) 木のいえ一番協会　技術開発部長、㈱ アールシーコア　BESS 事業本部　開発部)

オブザーバー　宮﨑　淳子　(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　主査)
石原　　亘　(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　研究職員)



実施した内容

＜委員会の開催＞

以下の事業を実施するための寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会を設置し、それぞれの立場からご意見等をいただく委員会を２回開催した。

＜事業の流れ＞

寒冷地用集成ログ壁材の開発事業の流れは表１の手順で行い、集成ログ壁材の製造は図１のように行った。

表１　寒冷地用集成ログ壁材開発事業の流れ

工　　程	数　量	樹種・調査項目等
１．ラミナ及び平板材の調達・乾燥	360 枚	カラマツ 180 枚、トドマツ 180 枚
２．大断面集成材の製造（一次接着）	40 本	カラマツ集成材・トドマツ集成材各 20 本、コスト
３．集成ログ壁材の製造（二次接着）	40 本	大断面集成材に平板を 2 次接着、コスト
４．性能・強度試験用試験体の作製	40 本	カラマツ・トドマツ各 20 本
５．性能・強度試験の実施	40 本	減圧加圧剥離、ホルム放散量、曲げ、せん断
６．ログハウスモデルプランの検討	—	省エネ性能等級４、５、６に適合する外皮性能等

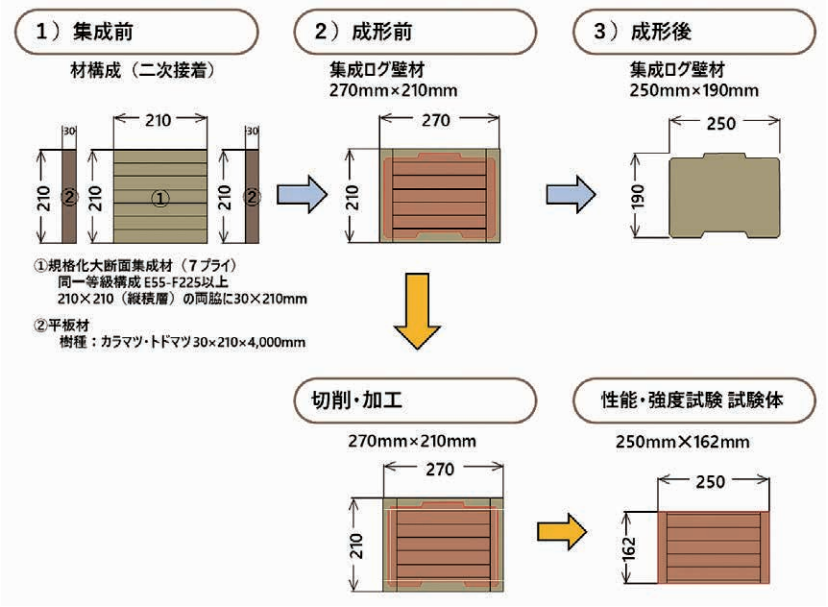


図１　寒冷地用集成ログ壁材の製造～試験体作製

１．寒冷地用集成ログ壁材の製造コスト等調査

まず、カラマツ及びトドマツの大断面集成材（同一等級構成、７プライ、スギのE55-F225相当、210×210×4000㎜、ノンJAS）を各20本製造（一次接着）した（写真１）。

次に、大断面集成材に同樹種の平板材をボルト圧締装置により接着（二次接着）して寒冷地用集成ログ壁材を製造し（写真２）、それぞれの製造コストを調査した。

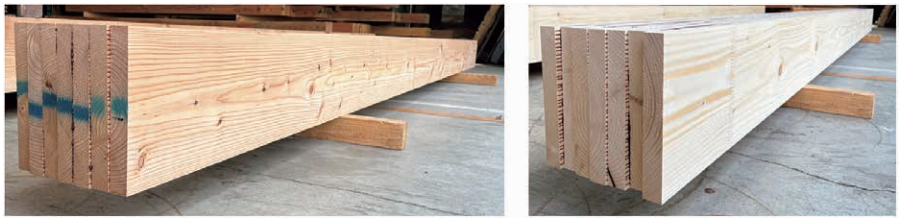


写真１　規格化された大断面集成材（左：カラマツ、右：トドマツ）

写真２　二次接着後の寒冷地用集成ログ壁材（左：カラマツ、右：トドマツ）

2．寒冷地用集成ログ壁材の品質・強度試験

(1) 減圧加圧剥離試験

カラマツ及びトドマツの寒冷地用集成ログ壁材各10本の試験体から採取した試験片（2個／本）について、集成材の日本農林規格における減圧加圧剥離試験（使用環境A）に準じて試験を行った。

(2) ホルムアルデヒド放散量試験

カラマツ及びトドマツの寒冷地用集成ログ壁材各10本の試験体から採取した試験片（1個／本）について、集成材の日本農林規格のホルムアルデヒド放散量試験（デシケーター法）に準じて試験を行った。

(3) 曲げ強度試験

カラマツ及びトドマツの寒冷地用集成ログ壁材各10本の試験体について、集成材の日本農林規格に準じて木材実大強度試験機を用いて4点荷重法により曲げ強度試験を行った。

(4) ブロックせん断強度試験

ブロックせん断試験片は、カラマツ及びトドマツの寒冷地用集成ログ壁材各10本の試験体の両端より6片／本、計120片を採取し、集成材の日本農林規格のブロックせん断試験に準じてせん断強さを算出するとともに、接着層の木部破断率（木破率）を計測した。

3．省エネ基準に対応したログハウスモデルプランの検討

ログハウスモデルプラン（図2）を基本に、1、2地域における断熱等性能等級4、5、6に適合するためのそれぞれの外皮性能の仕様及び差額等を試算した。

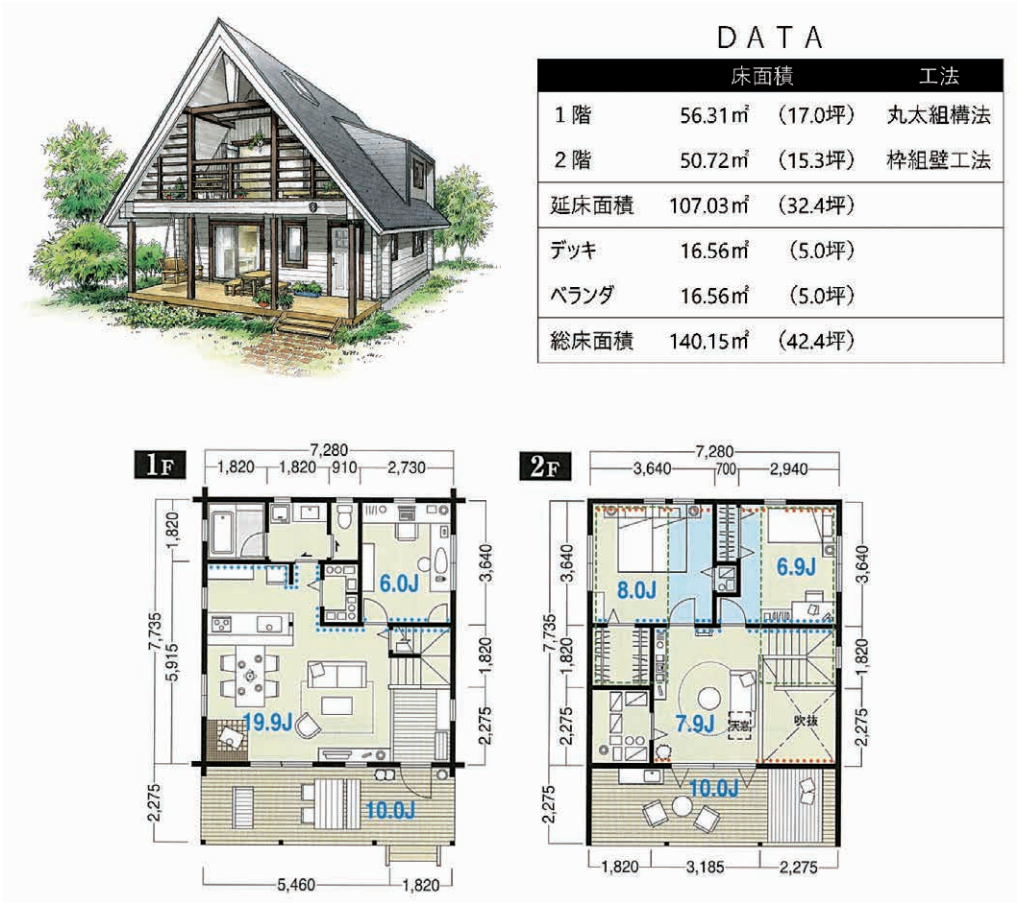


図2　ログハウスモデルプランの概要

実施した結果

1．寒冷地用集成ログ壁材の製造コスト等調査結果

寒冷地用集成ログ壁材の製造コストは、一次接着（規格化された大断面集成材）が311,600円／㎥、二次接着が88,200円／㎥、合計399,800円／㎥と試算された（表２）。

2．寒冷地用集成ログ壁材の品質・強度試験結果

(1) 減圧加圧剥離試験

寒冷地用集成ログ壁材の特徴である二次接着を評価対象としたところ、カラマツ、トドマツとも合格率の基準（90％以上）を満たすことが確認され（表３）、製造工程自体には問題ないと考えられる。

(2) ホルムアルデヒド放散量試験

カラマツ、トドマツの集成ログ壁材ともに、JASのF☆☆☆☆の基準（平均値0.3㎎/L以下、最大値0.4㎎/L以下）を満たす水準の製品であることが確認された（表４）。

(3) 曲げ強度試験

カラマツ、トドマツの寒冷地用集成ログ壁材試験体とも要求性能である強度等級E55-F225の曲げ性能を満たすことが確かめられた（表５、６）。

(4) ブロックせん断強度試験

カラマツ、トドマツとも二次接着部のせん断強さ及び木破率はJAS規格に適合する水準であった（表７）。

3．省エネ基準に対応したログハウスモデルプランの検討

ログ壁厚を240㎜にすることにより、2025年度から義務化となる性能等級４の外皮性能に適合でき、小屋組壁、屋根、開口部等の断熱性能を向上させることで性能等級５、６にも適合できることが分かった。また、性能等級４から５に適合するためには約72万円のコストが、性能等級６にするためには約295万円のコストが必要と試算された（表８）。

表２　寒冷地用集成ログ壁材の製造コストの試算

製　造　工　程	コスト（円／㎥）
一次接着（大断面集成材の製造）	３１１，６００
二次接着（大断面集成材＋平板材）	８８，２００
合　計	３９９，８００

表３　減圧加圧剥離試験（二次接着層）　合格数／試験体数

カラマツ	18/20
トドマツ	19/20

表４　ホルムアルデヒド放散量試験

	ホルムアルデヒド濃度（mg/L）	
	カラマツ	トドマツ
平均	0.1	0.2
最大	0.2	0.2

表５　カラマツの曲げ強度試験結果

	密度 kg/㎥	*P* max kN	*E* m kN /㎟	MOR N/㎟	含水率 %
平均	551	64.3	11.08	33.3	11.0
最小	521	43.7	10.21	22.6	9.9
最大	583	79.1	11.65	41.0	13.0
標準偏差	19	10.0	0.496	5.2	0.9
変動係数	3.4%	15.6%	4.5%	15.6%	7.9%
下限値	511	43.2	10.04	22.36	9.2

※ *P* max：最大荷重、*E* m：曲げヤング係数、MOR：曲げ強さ

表６　トドマツの曲げ強度試験結果

	密度 kg/㎥	*P* max kN	*E* m kN /㎟	MOR N/㎟	含水率 %
平均	388	76.8	9.55	39.8	10.7
最小	359	60.2	8.23	31.2	8.7
最大	406	95.9	10.46	49.8	12.9
標準偏差	15	9.6	0.61	5.0	1.2
変動係数	3.8%	12.5%	6.4%	12.5%	11.1%
下限値	357	56.6	8.26	29.30	8.2

表７　ブロックせん断強度試験結果

樹種	カラマツ		トドマツ	
項目	強さ N/mm^2	木破率 %	強さ N/mm^2	木破率 %
平均値	12.2	98.5	8.6	99.9
最小値	7.1	90.0	4.1	95.0
最大値	15.3	100.0	10.9	100.0
標準偏差	1.9	3.0	1.3	0.8
変動係数	15.4%	3.1%	15.3%	0.8%
5%下限値	8.8	92.9	6.2	98.4
合格数	39/40	40/40	39/40	40/40
JAS基準値	強さ：7.2N/mm^{2}以上 木破率：65%以上		強さ：6.0N/mm^{2}以上 木破率：65%以上	
合格率	90%以上		90%以上	

表８　性能等級ごとの外皮仕様及びその差額

部　位		モデルプラン			
		ベーシック	モデルプラン1	モデルプラン2	モデルプラン3
	建材 / UA値	**0.56**	0.44	0.4	0.28
ログ壁	ログ	厚101	厚240	厚240	厚240
小屋組壁	断熱材	HGW16K 厚89	←	HGW16K 厚140	HGW48K 厚140
	付加断熱材	－	－	－	XPS3bA 厚140
	壁下地材	2×4材	←	2×6材	2×6材＋胴縁2×8材
屋根	断熱材	HGW16K 厚89	←	HGW48K 厚180	HGW48K 厚240
	付加断熱材	XPS3bA 厚20	←	XPS3bA 厚30	XPS3bA 厚30
	たるき	2×8材	←	←	2×12材
床	断熱材	XPS3bA 厚50	←	XPS3bA 厚180	XPS3bA 厚180
	付加断熱材	XPS3bA 厚30	←	←	←
基礎	断熱材	XPS3bA 厚100	←	←	←
開口部	サッシ	樹脂ｻｯｼ+low-e PG	←	←	樹脂ｻｯｼ+low-e トリプル
	サッシ	樹脂ｻｯｼ+low-e PG	←	←	樹脂ｻｯｼ+low-e トリプル
	天窓	ﾍﾞﾙｯｸｽ ﾙｰﾌｳｨﾝﾄﾞｳ	←	←	←
	ドア	断熱玄関ドア スタンダード	←	←	断熱玄関ドア ハイグレード
差額（ログ除く）		¥0	¥0	¥716,236	¥2,946,462

今後の課題・展開等

本事業により、寒冷地用集成ログ壁材が１、２地域で義務化される省エネ基準の外皮性能に対応できる見通しがつくとともに、道産材の新たな需要創出の可能性も確認されたが、問題も残された。

１．寒冷地用集成ログ壁材の製造コストの縮減

寒冷地用集成ログ壁材の製造コストは、幅広のラミナを使用したこと、二次接着があることなどから割高感があり、今後は、規格化された大断面集成材の一層の普及、二次接着を必要としない大断面集成材（210×270×4000㎜）の平使い（幅方向）等によるコスト縮減を検討していく必要がある。

２．新たな寒冷地用ログ壁材の開発

今回の事業は、2025年度からの省エネ基準に最も早く対応できる可能性の高い大断面集成材を対象としたが、１、２地域の省エネ基準に対応できる接着合せ材、製材品等の開発も検討する必要がある。

事業

地域材の難燃薬剤処理LVLを用いた被覆型2時間耐火構造の開発

● 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

当協会ではすべて木材で構成された難燃薬剤処理LVL被覆の1時間耐火構造（柱・梁）の大臣認定を保有し、数々の物件に採用されている。近年の中高層建築の純木造化のニーズの高まりにより、5階建て以上の建築で必要な2時間耐火構造の要望が多い。そこで、本事業では2時間耐火構造のうち、まず柱について大臣認定の取得を目的とした。柱については2時間耐火の性能を過去に検討しており、その実績をベースに開発を行った。

中高層建築では木表しの耐火部材としても、内装制限に対応するべく表面を防火材料とする必要がせまられる場合が多い。被覆材である難燃薬剤処理LVLは準不燃相当の性能を持つことは過去に確認しているが、認定を取得していないので表しの防火材料として設計に提案できない現状がある。そこで、本事業では被覆材の準不燃認定の取得も目的とした。

実施した項目

LVL被覆耐火構造について、以下の2項目を実施した。

2時間耐火構造（柱）

当協会技術部会の防耐火委員会で被覆および目地を検討し、日本建築総合試験所で2時間耐火予備試験を行った。その仕様をもとに大臣認定をとるための性能評価試験を日本建築総合試験所で実施した。

予備試験

柱（小断面210角）：1体
柱（大断面600角）：1体
柱（大断面500角）：1体

性能評価試験

柱（大断面500角）：1体

LVL被覆材の準不燃認定取得

難燃薬剤を含浸した木材の防火材料の認定を取得するにあたり、事前に薬剤含浸量の材内のばらつきを確認する必要がある。製品最大サイズの試験含浸を何度か実施し、薬剤含浸量を確認した上で、性能評価試験に臨んだ。

難燃薬剤処理LVLにおける薬剤含浸量の材内ばらつきデータ取得
発熱性試験
性能評価試験（2月以降実施予定）

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　点睛	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

２時間耐火構造（柱）（写真1-1 ～ 写真1-4）

被覆仕様を決めるため予備試験を実施した。当初、表面には意匠性と、炭化速度が比較的ゆるやかな無処理LVLを採用した。試験の結果、狙った効果が得られず、荷重支持部材が一部炭化、または加熱を止めても燃え続ける仕様もあり、最終的に被覆材は薬剤処理LVLのみとした。

柱　小断面（210角）：1体　（図1～2）
被覆仕様１：処理LVL厚60mm＋無処理LVL厚40mm（板目２面、積層２面）
被覆仕様２：処理LVL厚90mm＋無処理LVL厚15mm（積層４面）

柱　大断面（600角）：1体（図3～5）
被覆仕様１：処理LVL厚90mm＋無処理LVL厚30mm（板目４面）
被覆仕様２：処理LVL厚90mm＋無処理LVL厚30mm（積層４面）

柱　大断面（500角）：1体　（図6～7）
被覆仕様：処理LVL厚120mm（目地１か所）

性能評価試験　大断面（500角）：1体　（図8）
被覆仕様：処理LVL厚120mm（目地２か所）

２時間耐火構造（柱）

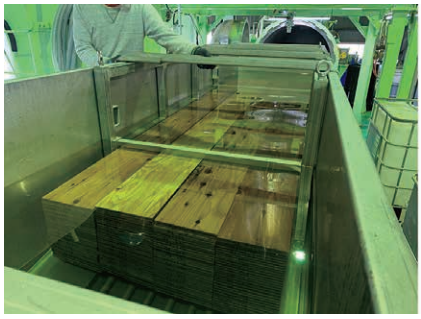


写真1-1　難燃薬剤含浸

写真1-2　重量測定

写真 1-3　難燃薬剤処理 LVL

写真 1-4　試験体製作

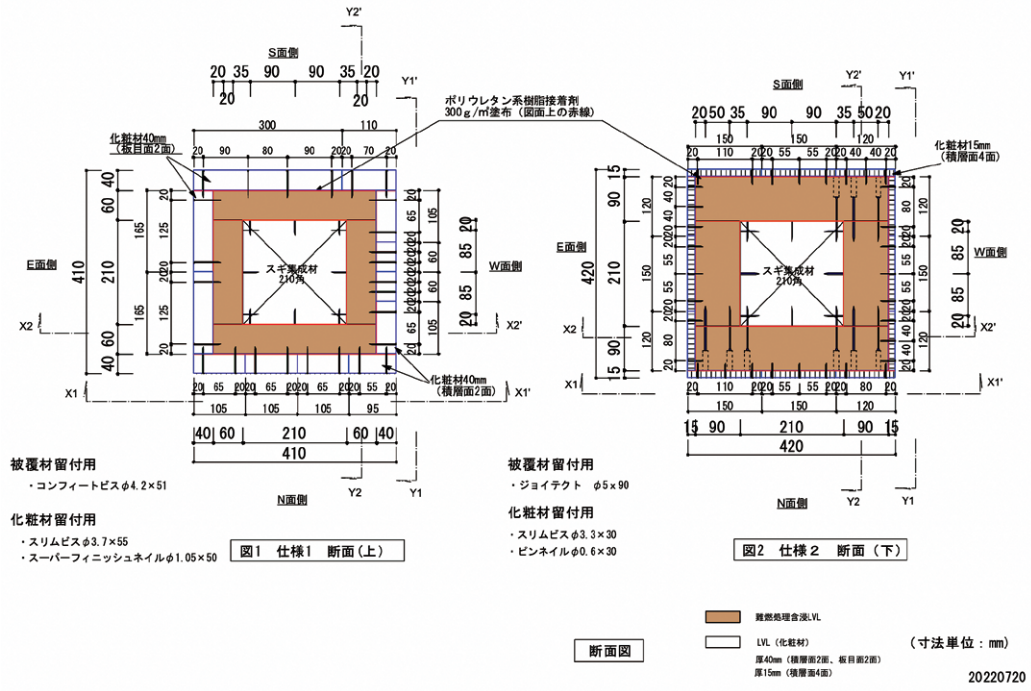


図 1　予備試験 210 角　断面

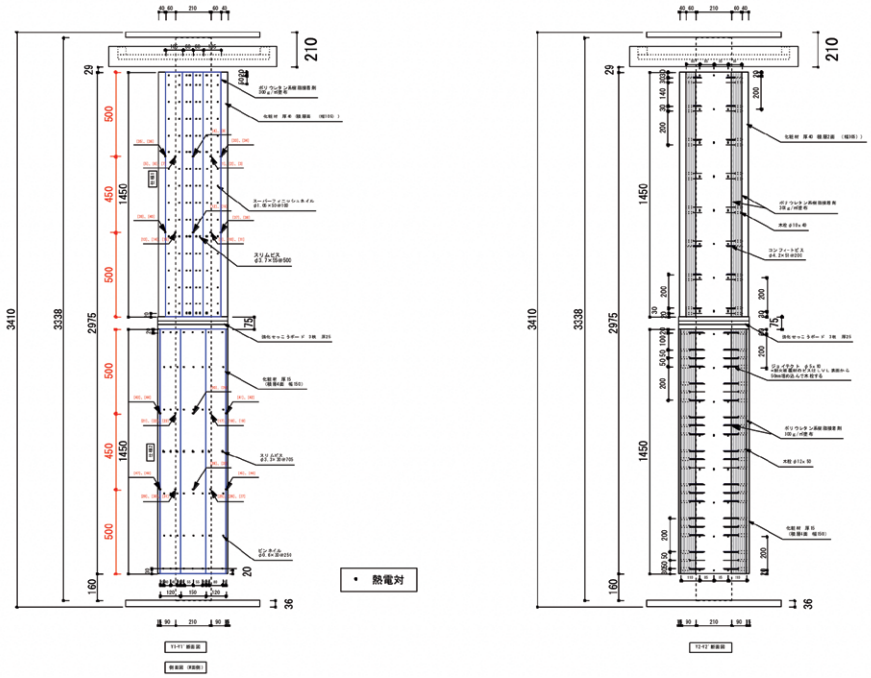


図 2　予備試験 210 角　側面図

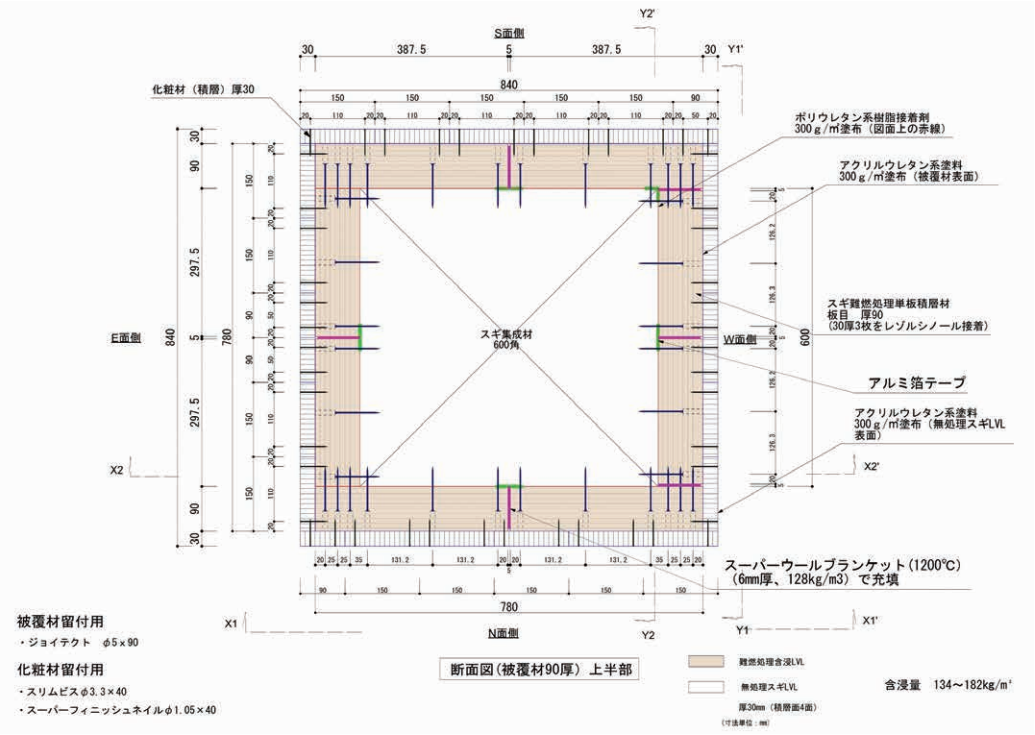


図３　予備試験　600角　断面図（上半部）

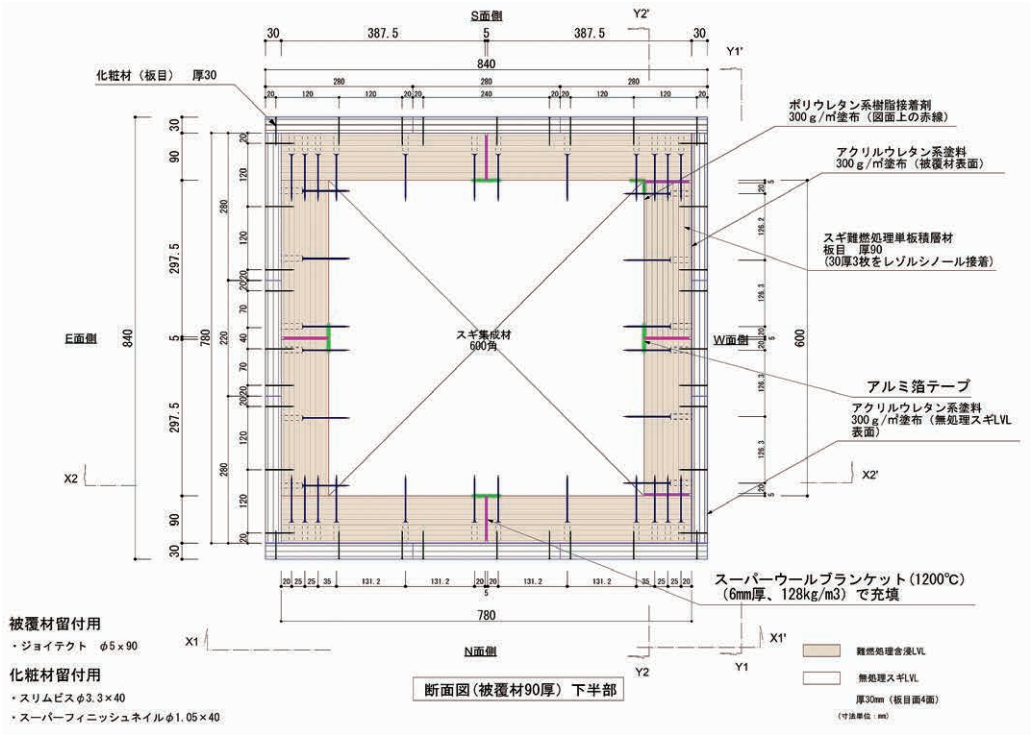


図４　予備試験600角　断面図（下半部）

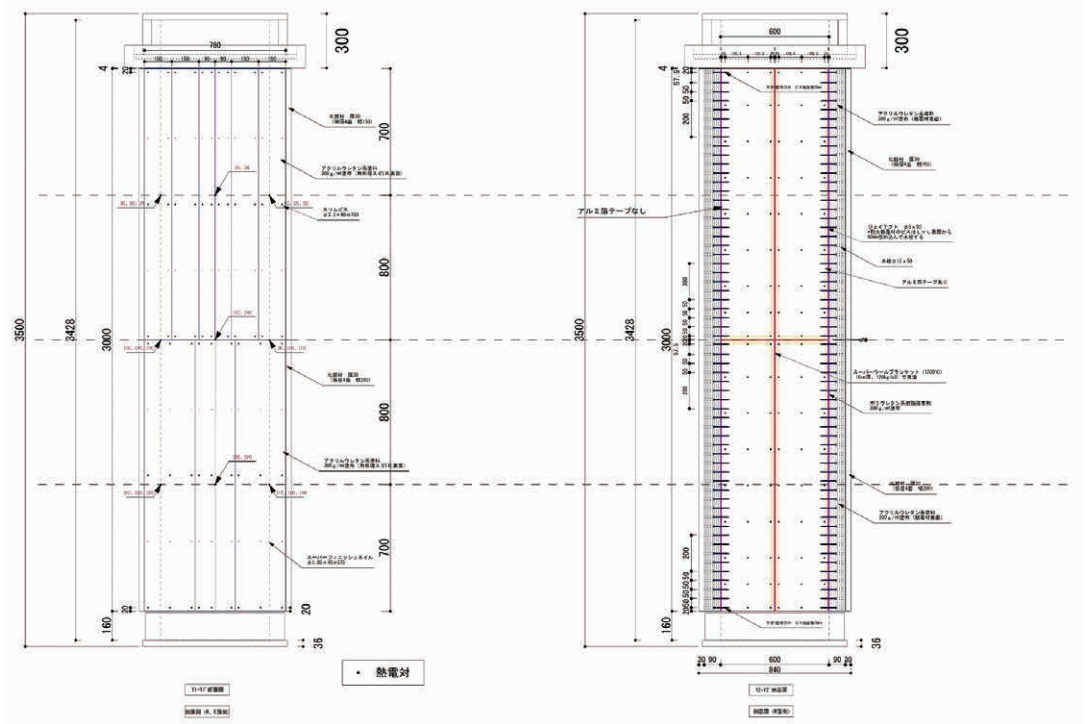


図5　予備試験600角　側面図

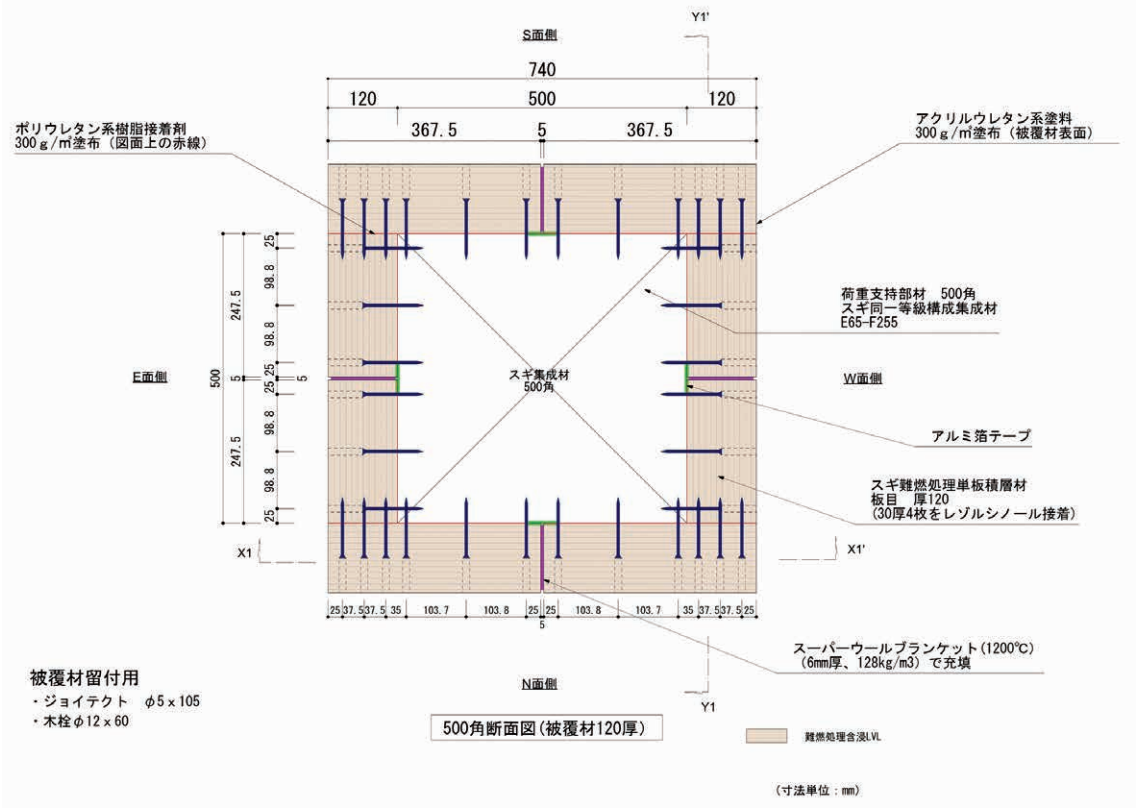


図6　予備試験500角　断面図

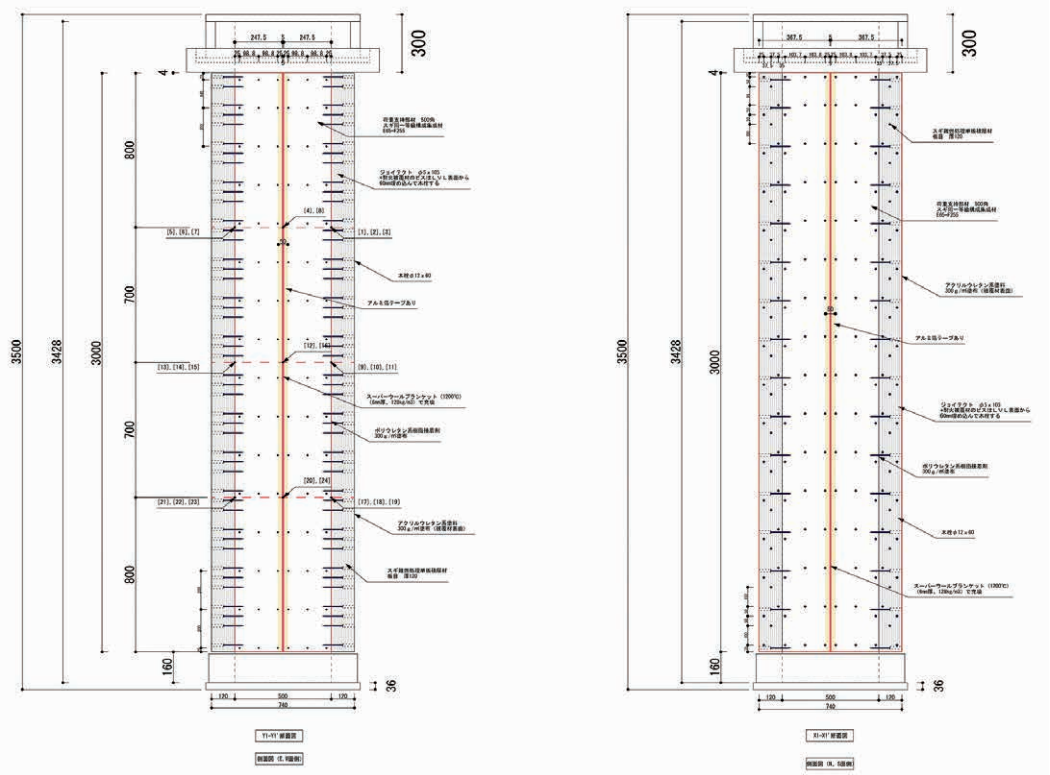


図７　予備試験500角　側面図

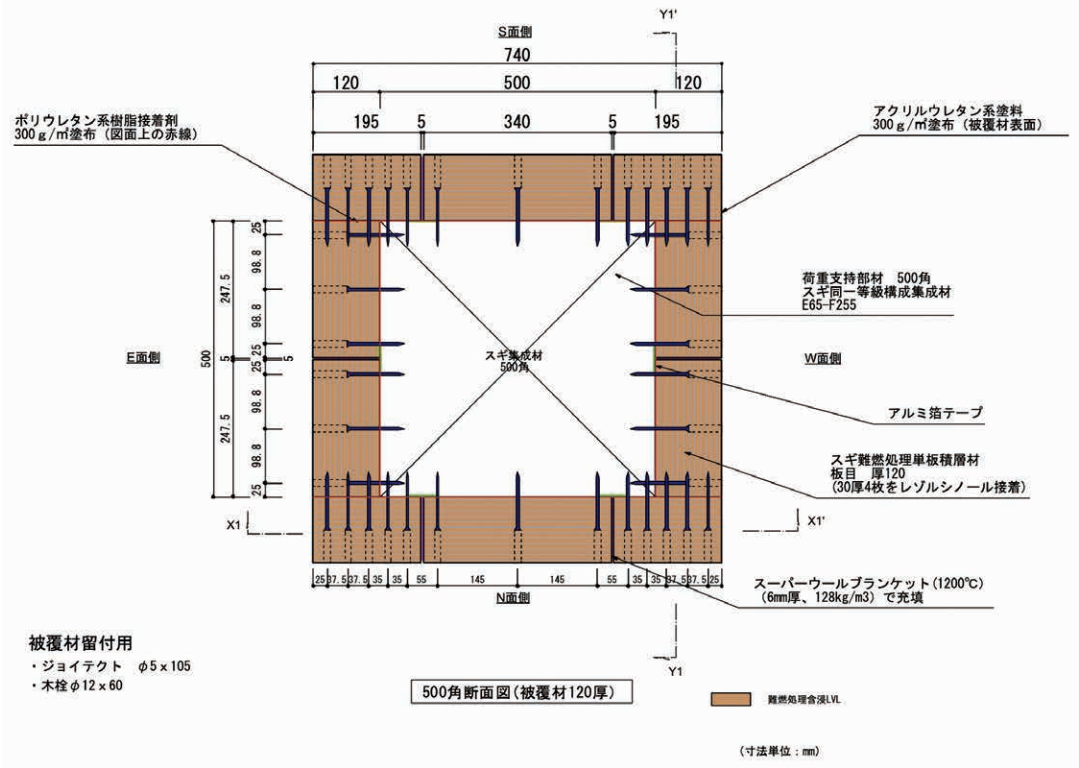


図８　500角　性能評価試験（予定）　断面図

被覆材の準不燃認定取得（写真 2-1 ～ 写真 2-4）

薬剤含浸量のばらつきを測定するため、製品最大サイズの厚 30mm ×幅 910mm ×長 4000mm に難燃薬剤を含浸、乾燥後に 100mm 角の小試験体を切りだし、絶乾重量を測定することにより薬剤含浸量のばらつきを確認した。

難燃薬剤処理 LVL における薬剤含浸量の材内ばらつきデータ取得
発熱性試験
性能評価試験（2 月以降実施予定）

LVL 被覆材の準不燃認定取得

写真 2-1　最大サイズ含浸

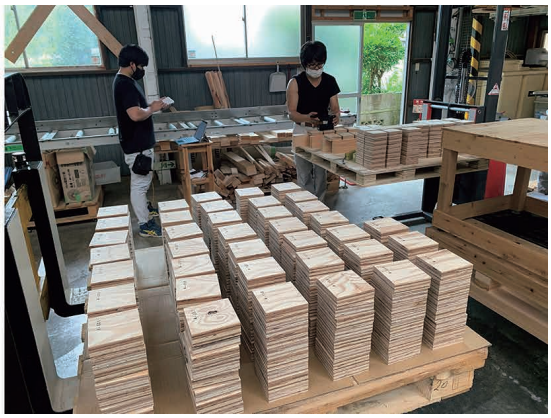


写真 2-2　切り出した試験体

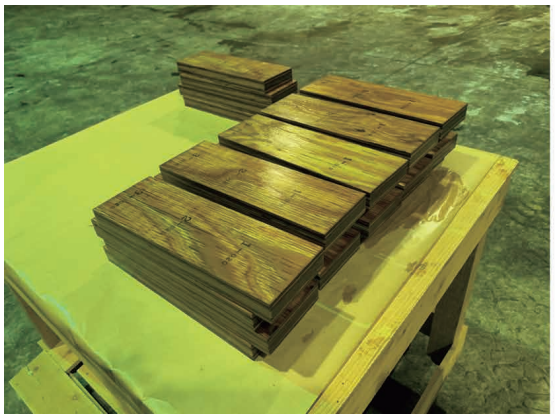


写真 2-3　小試験体含浸

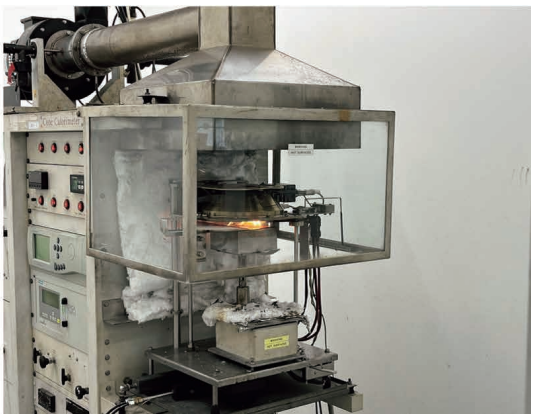


写真 2-4　発熱性試験

実施した結果

2 時間耐火構造（柱）

実施した結果、被覆材の一部で温度が下がらず赤熱が確認された。被覆材の幅が大きく加熱中の収縮により亀裂が入った可能性が考えられた。そこで被覆材の目地を多く設けて寸法変化を吸収、耐火性能を安定させる仕様とした。
（写真 1-5 ～ 写真 1-16）

被覆材の準不燃認定取得

薬剤含浸量のばらつきを測定するため、製品最大サイズの厚 30mm ×幅 910mm ×長 4000mm に難燃薬剤を含浸、乾燥後に 100mm 角の小試験体を切りだし、絶乾重量を測定することにより薬剤含浸量のばらつきを確認した（図 2-1）。幅 910mm だとばらつきが大きく、過剰な含浸量を設定することにな

るので、幅を455mmに減じて再度最大サイズ製品の含浸を行い、ばらつきを確認した。このデータをもとに耐火構造での最小含浸量を満たす管理値を設定し、性能評価試験に臨んだ。性能評価試験の前に、設定管理値を想定して小試験体に難燃薬剤含浸し、発熱性試験を行って7.2MJ以下と準不燃の性能を満たすことを事前に確認した。(写真2-5)

2時間耐火構造（柱）

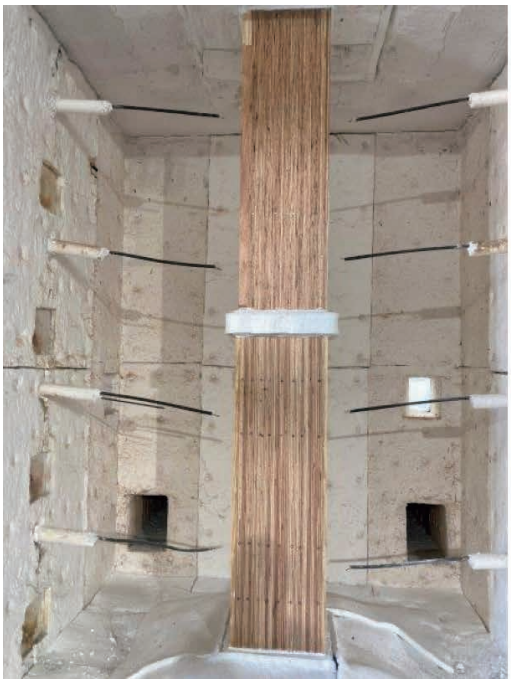


写真1-5　210角試験前

写真1-6　210角　試験後

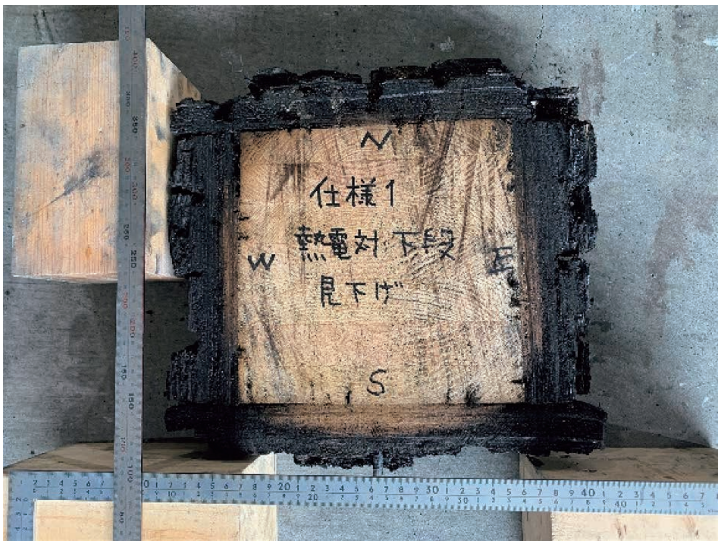


写真1-7　210角　断面

写真 1-8　600 角試験前

写真 1-9　600 角試験後

写真 1-10　600 角　断面

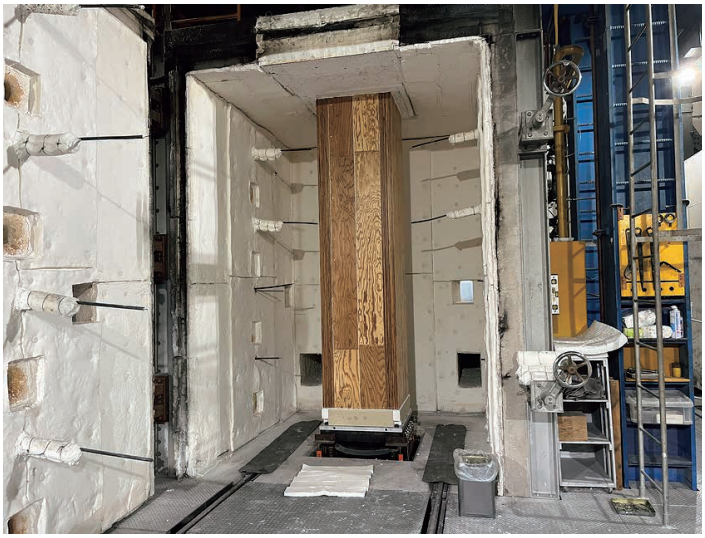


写真 1-11　500 角試験前

写真 1-12　500 角試験後

写真 1-13　500 角　断面　一部炭化

写真 1-14　500 角（性能評価）　試験前

写真 1-15　500 角（性能評価）　試験後

写真 1-16　500 角（性能評価）　断面　一部炭化

被覆材の準不燃認定取得

薬剤含浸量のばらつきを測定するため、製品最大サイズの厚30mm×幅910mm×長4000mmに難燃薬剤を含浸、乾燥後に100mm角の小試験体を切りだし、絶乾重量を測定することにより薬剤含浸量のばらつきを確認した（図2-1）。幅910mmだとばらつきが大きく、過剰な含浸量を設定することになるので、幅を455mmに減じて再度最大サイズ製品の含浸を行い、ばらつきを確認した。このデータをもとに耐火構造での最小含浸量を満たす管理値を設定し、性能評価試験に臨んだ。性能評価試験の前に、設定管理値を想定して小試験体に難燃薬剤含浸し、発熱性試験を行って7.2MJ以下と準不燃の性能を満たすことを事前に確認した。（写真2-5）

準不燃材料認定取得（厚30mm）

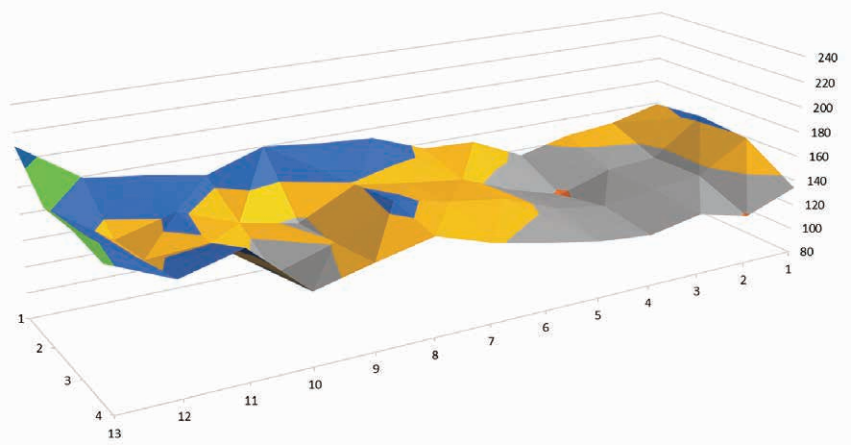


図2-1　含浸量分布（一例）

写真2-5　発熱性試験後の試験体

今後の課題・展開等

２時間耐火柱の認定を取得した際には中高層建築での採用に向けて、既に取得済みの１時間耐火構造と合わせ、木材をより多く使用できるオープンな耐火構造を考えるお施主さん、設計者、施工者への工法の周知を進めていく。

２時間耐火柱の試験成果に基づく、一部の性能不足等、LVL被覆２時間耐火構造の性能の再確認、原因究明等が必要である。

今後、２時間耐火構造（柱、梁）、他耐火構造との接合部の耐火被覆の性能確認などの課題があり、２時間耐火性能を確認していく。

事業

国内で生産されるJAS構造用製材（人工乾燥材）の排出原単位の構築

● 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6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、ライフサイクル・アセスメント（以下、LCA）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で使用される製材の『原単位』（1㎥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、実際の調査に基づくデータが整備されておらず、他資材と比べた製材の優位性を十分に示すことが難しい状況となっている。

本事業では、国産材のJAS構造用製材の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構造用製材の普及拡大に資することを目的とした。

実施した項目

【1】アンケートによる実態調査

【2】LCA調査

（1）製材工場の現地調査

（2）工場からのデータ収集及び分析

実施体制

本事業を実施するに当たり、学識経験者、関連業界等による検討委員会を設置し、事業計画の策定、成果の検討等を行った。

■検討委員会

役職	氏名	所属
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
	貝守　昭弘	国産材製材協会　事務局長
	小澤　眞虎人	一般社団法人全国木材検査・研究協会　専務理事
オブザーバー	熊谷　有理	林野庁林政部木材産業課　木材製品技術室 課長補佐
	吹抜　祥平	林野庁林政部木材産業課　木材製品技術室 住宅資材技術係長
事務局	田口　護	一般社団法人全国木材組合連合会　常務理事
	黒江　健二	一般社団法人全国木材組合連合会　主査
	宮﨑　昌	一般社団法人サステナブル経営推進機構 コンサルティング事業部　部長代理

事務局	山岸　健	一般社団法人サステナブル経営推進機構 LCA エキスパートセンター　統括室室長
	小出　理博	一般社団法人サステナブル経営推進機構 LCA エキスパートセンター　主任研究員
	矢野川　紘斗	一般社団法人サステナブル経営推進機構 コンサルティング事業部　副主任研究員

実施した内容

【1】アンケートによる実態調査

製材工場の実態調査のため、木材SCM支援システム『もりんく』登録業者より「人工乾燥処理構造用製材」及び「機械等級区分構造用製材」事業者を対象として、WEBサイト上でのアンケート調査を実施した。アンケートの主な設問は次の通り。

- 乾燥用ボイラーの燃料について：石油系、木質系、併用
- 利用割合の高い燃料について※上記併用選択者：石油系、木質系
- 主に製材される樹種について※複数回答可：スギ、ヒノキ、その他
- 構造用製材の年間出荷量について：1万㎥以上、1万㎥未満

このアンケート調査の結果から、製材工場を乾燥用ボイラー燃料の種類や構造用製材の年間出荷量を規模別等により分類し、LCA調査の結果が代表性を確保できるよう製材工場を抽出し調査協力が得られた１５の製材工場でLCA調査を実施した。（アンケート調査の詳細は５．実施した結果に記載）

【2】LCA調査

LCA は基本的に、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おり（図 1）、本項では①について述べた後、次項にて②～④について述べる。

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などをまとめる段階。

図 1 LCAの枠組み

算定にあたっての条件及び方法を表 1に、システム境界を図 2に示した。

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 構造用製材（人工乾燥材）の排出原単位構築
2	評価対象製品	JAS 構造用製材（人工乾燥材）（相当品※を含む）
3	機能単位	製材後製品 1㎥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	絶乾重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。 ● 配分対象としないもの ▶ 刃物は各製品の入力とする ▶ ボイラープロセスに関するもの（重油、焼却灰処理）等は製材製品の入力とする ● 配分対象とするもの ▶ 工場全体にかかるプロセス（集塵機・ポンプ / フォーク）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 ● 配分係数の設定 バイオマスボイラーに投入されるバイオマス（バーク、チップ、おが粉等）については製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製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 構造用製材（相当品※を含む）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 ※丸太の排出原単位については以下の文献を引用 Nakano K., Shibahara N., Nakai T., Shintani K., Komata H., Iwaoka M., Hattori N.(2018): Journal of Cleaner Production, 170（1）,1654-1664
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_2O）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_2eq）を算出

※ JAS 認定工場で生産されたものの認証材として販売されなかった構造用製材

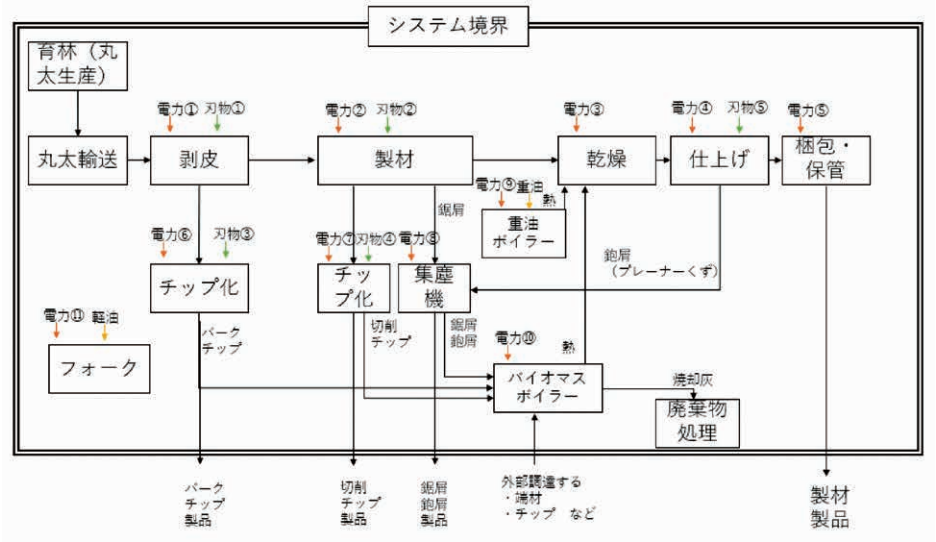


図 2　システム境界

本調査の実施内容は以下の通りである。

（1）製材工場の現地調査

計15社の工場（令和３年度事業分を含む）の製品生産ラインを現地確認し、排出原単位構築に必要なデータの収集等について工場担当者へのヒアリングを行った。製材工場で生産される国産材のJAS構造用製材（人工乾燥材）について、生産規模や生産ライン、木材乾燥方法、熱源が様々であることから、効率よくかつ代表性を確保した調査を実施することが求められる。そのため、調査対象は、ＪＡＳ構造用製材（人工乾燥材）の認証工場の類型化を行った上で、そのうち比較的生産量が大きい工場から選定することとした。なお、国内で生産されるＪＡＳ構造用製材（人工乾燥材）のうち、国産材格付量における15工場の合計格付量が50％以上を占めることが確認できたことから、本事業の成果には代表性がある。※格付量は一般社団法人全国木材検査・研究協会及び一般社団法人北海道林産物検査会の2019年度統計より

樹種については、木材乾燥方法に大きな差がなく、代表的とされるスギ・ヒノキを対象とした。製品生産ラインを確認した上で、事前に提供したデータ収集シートに必要なデータを記入する際の方針などについて摺り合わせと記入依頼を行った。その際に使用したデータ収集シートを図 3に示す。

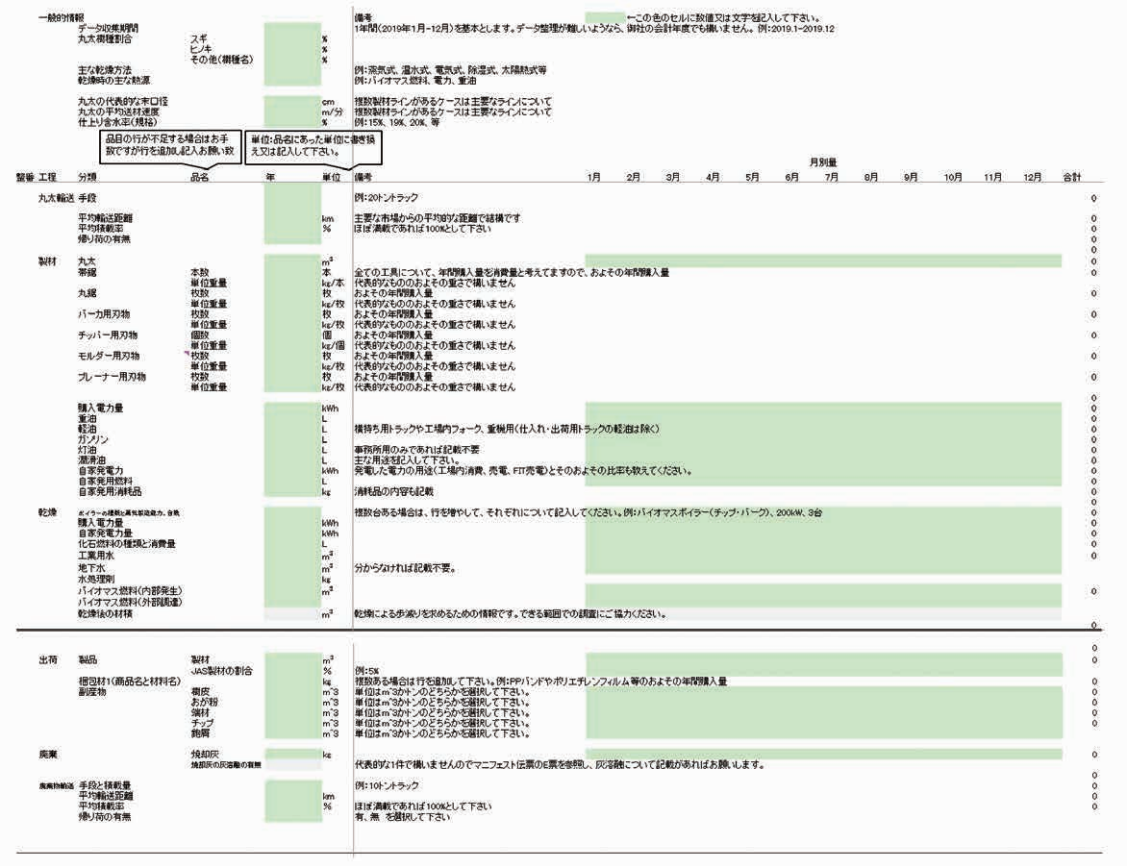


図 3　データ収集シート

得られたデータから事業者ごとに配分を行い（絶乾質量配分及び価格配分）、JAS構造用製材（人工乾燥材）1m^{3}製造に係る活動量を算出した。算出した活動量をJAS構造用製材（人工乾燥材）出荷量で加重平均し、国内代表値として算出した。

（2）工場からのデータ収集及び分析

（1）で調査した工場について、排出原単位の構築に必要なデータを収集及び分析し、国内で生産されるJAS構造用製材（人工乾燥材）の排出原単位を計算した。なお、企業機密情報保護の観点から各

社のデータは公開せず、調査対象とした工場の加重平均値を採用した。

また、収集するデータの対象期間は原則、令和３(2021)年の木材価格の高騰（いわゆるウッドショック）の影響を受けていない令和元年(2019)年１～12月の１年間としたが、設備更新や市況の影響を鑑みて、工場が通常操業している状態での１年間でも良いものとした。

実施した結果

【1】アンケートによる実態調査

アンケート調査の結果は下表の通り。

◆有効回答数：60工場（／計198工場）

◆乾燥用ボイラーの燃料

燃料の種類	回答数	割合
石油系	21	35.0%
木質系	10	16.7%
石油系／木質系併用	29	48.3%
合計	60	100.0%

◆利用割合が高い燃料 ※乾燥用ボイラーの燃料で併用を選択した工場

燃料の種類	回答数	割合
石油系	7	24.1%
木質系	22	75.9%
合計	29	100.0%

◆製材品生産量と燃料の相関　※(　)は占有率

生産量(/㎥)	燃料の種類			小計
	石油系		木質系	
	単独	併用	単独	
1万以上	1（1.7%）	7（11.7%）	5（8.3%）	13（21.7%）
1万未満	20（33.3%）	22（36.7%）	5（8.3%）	47（78.3%）
合計	21（35.0%）	29（48.3%）	10（16.7%）	60（100.0%）

◆主に製材される樹種 ※複数回答あり

樹種	回答数	割合
スギ	48	53.3%
ヒノキ	34	37.8%
その他	8	8.9%
合計	90	100.0%

アンケートの結果から次の傾向が分かった。

- 燃料の種類は、石油系/木質系燃料の併用が最も多く、次いで石油系単独、木質系単独となった。
- 石油系/木質系燃料の併用では、木質系燃料の利用割合が高かった。
- 生産量と燃料の相関では、石油系単独のほとんどが１万㎥未満に偏っていた。
- 製材される樹種は、スギ、ヒノキが大半を占めている。

▶ 上記アンケート結果を踏まえ、調査対象の15工場を選定した。

【2】LCA調査

（1）製材工場の現地調査

表2に国内で生産されるJAS構造用製材（人工乾燥材）1m³製造に係る活動量の計算結果を配分方法別（絶乾質量・価格）に示した。なお、表中の数値はJAS構造用製材（人工乾燥材）（相当品※を含む）の出荷量を用いて加重平均した結果である。

本結果に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定する。結果は次項（2）に示す。

※JAS認定工場で生産されたものの認証材として販売されなかった構造用製材

表2　JAS構造用製材（人工乾燥材）1m³製造に係る活動量（暫定値）

※輸送以外の項目

項目	項目名（IDEA ver.3.1）	単位	活動量	
			絶乾質量	価格
丸太生産	丸太	m3	1.4.E+00	1.9.E+00
マテハン・製品輸送	軽油の燃焼エネルギー	MJ	4.8.E+01	6.4.E+01
製材	電力, 日本平均, 2018年度	kWh	6.7.E+01	8.9.E+01
製材	灯油の燃焼エネルギー	MJ	8.1.E-03	1.2.E-02
乾燥	A重油の燃焼エネルギー	MJ	5.6.E+01	5.6.E+01
乾燥	工業用水道	m3	2.2.E-01	2.2.E-01
乾燥	上水道	m3	2.8.E-01	2.8.E-01
乾燥	廃木材の燃焼エネルギー	MJ	4.7.E+03	4.7.E+03
消耗品	潤滑油 (グリースを含む)	L	8.2.E-02	1.1.E-01
消耗品	水加ヒドラジン, ケタジン合成	kg	3.4.E-02	3.4.E-02
消耗品	合板・木材加工機械用刃物	kg	2.4.E-02	3.3.E-02
消耗品	ポリプロピレン	kg	3.1.E-02	3.1.E-02
消耗品	梱包資材, HDPE袋	kg	9.3.E-02	9.3.E-02
消耗品	外装用ライナ, 段ボール原紙	kg	1.4.E-03	1.4.E-03
産廃処理	産廃処理サービス, 燃え殻	kg	1.0.E-01	1.0.E-01
産廃処理	産廃処理サービス, 木くず	kg	1.1.E-02	1.1.E-02

表3　JAS構造用製材（人工乾燥材）1m³製造に係る活動量（暫定値）

※輸送に関わる項目

項目	項目名（IDEA ver.3.1）	単位	活動量	
			絶乾質量	価格
丸太	トラック輸送サービス, 20トン車, 積載率100%	tkm	9.4.E+01	1.2.E+02
	トラック輸送サービス, 15トン車, 積載率100%	tkm	2.1.E+01	2.9.E+01
	トラック輸送サービス, 10トン車, 積載率100%	tkm	9.3.E+00	1.3.E+01
	トラック輸送サービス, 10トン車, 積載率75%	tkm	1.9.E-03	4.5.E-03
	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率100%	tkm	8.4.E-01	1.4.E+00
	軽油の燃焼エネルギー	MJ	0.0.E+00	0.0.E+00
消耗品	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率_平均	tkm	5.0.E-02	5.0.E-02
廃棄物（焼却灰）	トラック輸送サービス, 10トン車, 積載率100%	tkm	1.4.E-02	1.4.E-02
	トラック輸送サービス, 10トン車, 積載率_平均	tkm	3.5.E-03	3.5.E-03
	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率100%	tkm	9.9.E-03	9.9.E-03
	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率50%	tkm	2.9.E-03	2.9.E-03
	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率_平均	tkm	9.5.E-03	9.5.E-03
	トラック輸送サービス, 2トン車, 積載率100%	tkm	1.0.E-02	1.0.E-02
	トラック輸送サービス, 2トン車, 積載率50%	tkm	3.3.E-05	3.3.E-05

（2）工場からのデータ収集及び分析

（1）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、国内で生産されるJAS構造用製材（人工乾燥材）の排出原単位は、暫定値ではあるが、絶乾質量配分で89kg-CO_2eq/m^3、価格配分で116kg-CO_2eq/m^3であった。引き続き、データの精査を行い、最終の検討委員会で協議し数値の確定を行うこととする。

製材品の単価はチップやおが粉に比べて高く、価格配分することによって製材品への配分率が高くなり、排出原単位も大きくなった。また、全体のGHG排出量の割合として、丸太の生産、電力が最も大きく、それらを合計すると7割を超える割合を占めた。このような寄与率の高い活動から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可能になると考えられる。

表4　生産工程別・主要項目別の温室効果ガス排出量（暫定値）

項目	項目名（IDEA ver.3.1 ※）	温室効果ガス排出量（kg-CO2eq/m3）		温室効果ガス排出量の割合	
		絶乾質量	価格	絶乾質量	価格
丸太生産	丸太	28	38	32%	33%
マテハン・製品輸送	軽油の燃焼エネルギー	4	5	4%	4%
製材	電力, 日本平均, 2018年度	38	50	43%	43%
製材	灯油の燃焼エネルギー	0	0	0%	0%
乾燥	A重油の燃焼エネルギー	5	5	5%	4%
乾燥	工業用水道	0	0	0%	0%
乾燥	上水道	0	0	0%	0%
乾燥	廃木材の燃焼エネルギー	4	4	5%	4%
消耗品	潤滑油 (グリースを含む)	0	0	0%	0%
消耗品	水加ヒドラジン, ケタジン合成	0	0	0%	0%
消耗品	合板・木材加工機械用刃物	0	0	0%	0%
消耗品	ポリプロピレン	0	0	0%	0%
消耗品	梱包資材, HDPE袋	0	0	0%	0%
消耗品	外装用ライナ, 段ボール原紙	0	0	0%	0%
産廃処理	産廃処理サービス, 燃え殻	0	0	0%	0%
産廃処理	産廃処理サービス, 木くず	0	0	0%	0%
丸太	トラック輸送サービス, 20トン車, 積載率100%	7	9	7%	7%
	トラック輸送サービス, 15トン車, 積載率100%	2	2	2%	2%
	トラック輸送サービス, 10トン車, 積載率100%	1	1	1%	1%
	トラック輸送サービス, 10トン車, 積載率75%	0	0	0%	0%
	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率100%	0	0	0%	0%
	軽油の燃焼エネルギー	0	0	0%	0%
消耗品	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率_平均	0	0	0%	0%
廃棄物（焼却灰）	トラック輸送サービス, 10トン車, 積載率100%	0	0	0%	0%
	トラック輸送サービス, 10トン車, 積載率_平均	0	0	0%	0%
	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率100%	0	0	0%	0%
	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率50%	0	0	0%	0%
	トラック輸送サービス, 4トン車, 積載率_平均	0	0	0%	0%
	トラック輸送サービス, 2トン車, 積載率100%	0	0	0%	0%
	トラック輸送サービス, 2トン車, 積載率50%	0	0	0%	0%
合計		89	116	100%	100%

本事業によって我が国を代表する信頼性の高い国産材のＪＡＳ構造用製材（人工乾燥材）の排出原単位を構築した。これにより、他材料と環境負荷を定量的に比較することが出来る。消費者がものを選ぶ際の新たな指標となり、また、投資家や施主、そのニーズを受けた建築事業者が木材利用による二酸化炭素の排出削減効果を適切に定量評価することできるようになるため、JAS製材をはじめとする国産材製品の普及拡大が期待出来る。また、調査結果から課題を明白にすることで、今後業界として環境負荷低減に向けて取り組まなければならない方向性を示すことが出来た。

今後の課題・展開等

今後の課題・展開等について図 4 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、論文発表・既存データベースへの搭載等により誰しもが利用することのできる情報とすることがまずは重要であり、そのための継続した取り組みが必要である。

また、排出原単位を個社だけの活用で終わらせるのではなく、地域での面的な活用も視野に事業者を支援することで、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加速させていきたい。

- **今後の課題**
  - ▶ 現場レベルでの算定結果の活用・普及拡大
  - ▶ 地域レベルでの取り組み推進
    - ◆ 地域の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
    - ◆ 地域レベルでの取り組みを推進するための人材育成
- **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

図 4　今後の課題・展開等

事業

高出力高周波プレス機を用いた大断面集成材の製造コスト縮減へ向けた生産システムの技術開発

● 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

中大規模木造施設の建設に用いられる大断面集成材は、ほとんどが一品生産の特注品であり、量産化できる程の市場が形成しきっていないため、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。一方で、都市部の木造化や高層木造ビル計画に代表されるように、近年、民間の施設計画でも木造化、木造との混構造を選択されるケースが増え、急激に市場が拡大し始めている状況である。
そのような中、改めて大断面集成材の活用拡大が期待される。コスト高の大きな要因である「積層接着」に掛かる時間の短縮、生産効率の向上に向け、従来の国内高周波プレス機よりも高出力の能力を有した巾広対応の高周波プレスを用いて、大断面集成材の製造コスト縮減の取組を行う。

これまで国内でも高周波プレスによる構造用集成材の生産は行われてきたが、集成材製品で巾 150mm 程度までの生産機が主流であった。
福島県浪江町が国産・県産材の需要拡大を目指し公設民営事業として整備した福島高度集成材製造センター（FLAM 事業）では、国内初の大断面集成材の量産工場モデルとして、巾広の集成材製品も含めて積層接着時間を大幅短縮することを目的に、巾 240mm までプレスが可能となる最大出力 200kw タイプの高周波プレスが導入された。

図 1：高出力タイプの高周波プレス機

＜高出力高周波プレス機の仕様＞
発振器出力：200kw
最大製品サイズ：240 × 1250mm × 12000mm
(プレス 1 回転あたりのサイズ：240 × 1250mm × 6000mm)
接着剤：レゾルシノール、メラミン、水ビ
樹種：針葉樹全般

これまでの取組み実績で、ベイマツ、オウシュウアカマツ等、外国産材については、巾広材まで安定して生産できることを確認できている。

一方で、国産材の代表であるスギ材については、テーブル試験での接着性能への問題はなかったものの、特に巾200を超える巾広サイズについては水分バラつきが多いことで、水蒸気放出による割れが発生しやすい問題等がある。それらの問題を解決し、巾広材および国内で最も生育量の多いスギ材を大断面集成材として、大量生産・短納期生産を可能とする高周波プレスでのプログラム構築を行うことで、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）接着剤の違いによる比較試験の実施
3）試料用の試験体の製作
4）高周波プレス機でのプレス実証試験
5）接着性能試験

実施体制

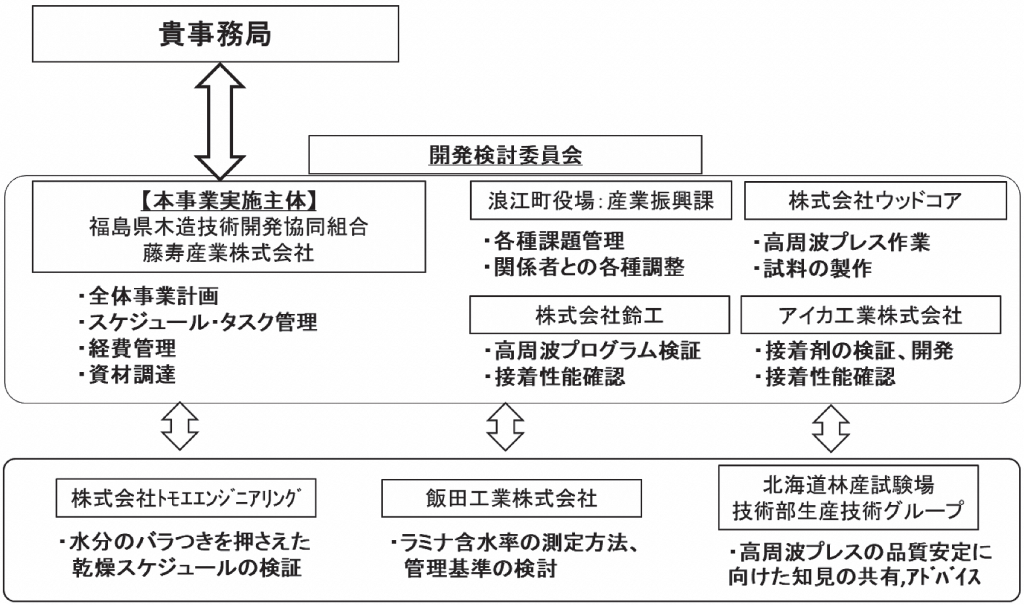
＜事業推進＞

福島県木造技術開発協同組合（幹事会社）
株式会社ウッドコア
藤寿産業株式会社
浪江町役場
株式会社鈴工
アイカ工業株式会社

＜技術指導、支援＞

飯田工業株式会社（ラミナ選別用マイクロ波水分計）
株式会社トモエエンジニアリング（乾燥機メーカー）
北海道林産試験場（高周波プレス）

＜体制図＞



実施した内容

1）開発検討会の開催：6月27日

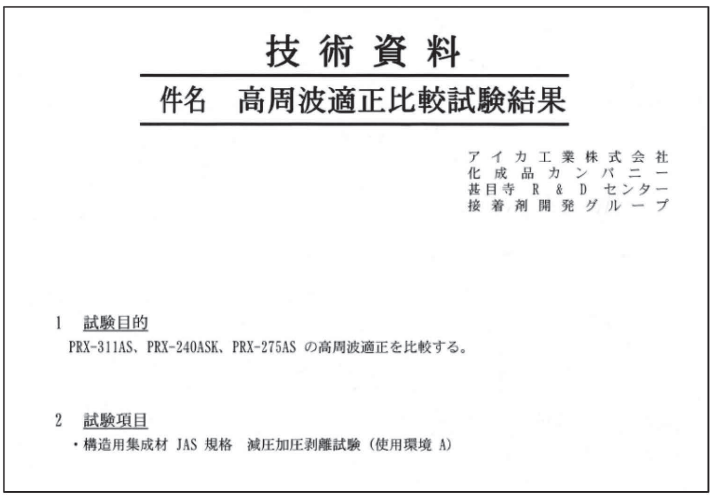
ラミナ乾燥、ラミナ選別基準、接着剤、プレス作業時における留意点、高周波印加プログラム構成の考え方、などの各観点について、それぞれの知見から意見交換を行い、検証を行うべきポイントの洗い出しを行った。

2）高周波プレスメーカー、高周波プレスユーザーへのヒアリング：7～8月

開発検討会で上がった事項に加えて、機械メーカー側およびユーザー側の4社へ追加のヒアリングや確認検証を行った。特にスギラミナの乾燥状態、また高周波プログラム構成、養生が重要ポイントであることを確認した。

3）高周波適性が異なる接着剤の比較検証：7～8月

アイカ工業社にて、高周波プレス向けの3種類の接着剤について、印加時間の違いによる接着性能の比較検証実験を行った。テーブル試験として性能の違いが見てとれたため、実大集成材、特に巾広集成材の実際のプレス実証時に高周波適性が異なる接着剤がどのような影響を及ぼすのか、検証を行うこととした。



技術資料

件名　高周波適正比較試験結果

アイカ工業株式会社
化成品カンパニー
甚目寺R&Dセンター
接着剤開発グループ

1　試験目的
PRX-311AS、PRX-240ASK、PRX-275AS の高周波適正を比較する。

2　試験項目
・構造用集成材 JAS 規格　減圧加圧剥離試験（使用環境 A）

図2：接着剤の比較試験

4）スギ原木の調達、集成材の製作：9～10月

福島県産のスギ原木を調達し、ラミナへ製材、ラミナ乾燥を行い、高周波プレス運転検証用の巾広ラミナの製作を行った。

特にラミナ乾燥状態が最も高周波プレスの品質安定度に影響を与えることが見えてきたため、含水率のターゲット、高温or中温乾燥、また乾燥機の種類の異なる4パターンの乾燥を行うこととした。

図3：ラミナの乾燥

5）技術者来日下での高周波プレス運転実証：11月14～19日

【テーマ1】：スギラミナの乾燥状態違いによる検証

→乾燥工程の異なる試験ラミナを段取りし、6M（1度押し）の場合と9M（2度押しが発生する場合）についてスギの水蒸気放出が発生する頻度などの検証を行った。

→プレス前にラミナ毎の含水率確認を行った上で、水分分布の違い、組み合わせ方法の違いによる影響の確認を行った。

図3：プレス前の含水率の確認

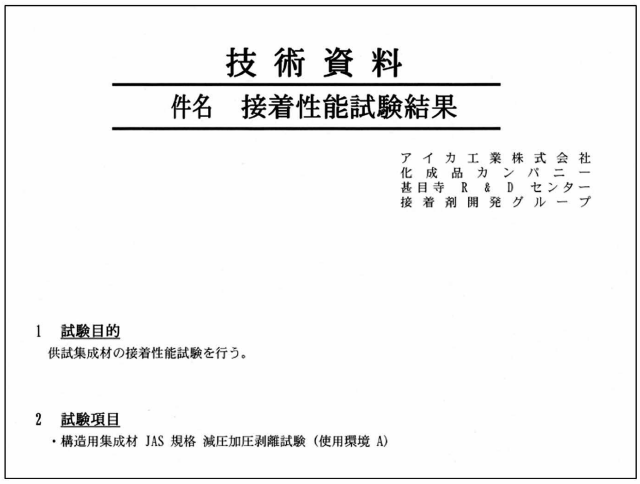
【テーマ2】：接着剤の変化に伴う検証

→高周波への反応適性の異なる接着剤タイプを扱い、高周波印加プログラムや接着性能への影響の違いを検証した。

図4：高周波プレス後のスギ集成材

6）高周波プレス継続運転検証、接着剤性能試験：12～1月

→運転検証を行った集成材について、アイカ工業社にて接着性能試験を行った。



技術資料

件名　接着性能試験結果

アイカ工業株式会社
化成品カンパニー
基目寺R&Dセンター
接着剤開発グループ

1　試験目的

供試集成材の接着性能試験を行う。

2　試験項目

・構造用集成材 JAS 規格 減圧加圧剥離試験（使用環境 A）

→継続してプレス運転検証を行い、スギ材のサイズの異なり、またカラマツ、ヒノキ、オウシュウアカマツなど他の樹種についても安定化向けた検証・確認作業を行った。

実施した結果

高出力の特長を生かしつつ、また高出力ゆえの課題を克服し、国産集成材の代表であるスギ材について、巾広材（～巾240)、長尺材（～12Mまで）についても短納期でのプレスが実現できるようになった。

・人工乾燥時のラミナのターゲット含水率

→水分のバラつき抑制のためやや過乾燥が望ましいが、接着剤および接着の機構を考えると、低すぎることでも木材接着へ悪影響を与えることから、7～10%が良いとの見解で結論付けた。

→水蒸気放出現象の起きやすさとしては

高温乾燥10% ＜ 中温乾燥8% ＜＜ 中温乾燥10%

・ラミナ毎、ラミナ単位での含水率管理

→従来の乾燥スケジュールで乾燥されたラミナについて、ラミナ選別時の水分計による含水率管理を厳格化したが、高周波プレスへの品質安定化への影響は少なく、ラミナ乾燥のスケジュール調整で行うべきとの結論となった。

・高周波プレス向けの接着剤について

→高周波プレスに用いられる接着剤は、高周波への反応を良くするために伝導性を良くしたタイプが用いられるが、高出力タイプの場合、あまり伝導性を上げすぎると、高周波のかかる程度、電流値を機械的にコントロールしにくくなる現象が発生する。

そういった部分で出力値に合わせた微調整が必要になるが、今回の事業を通して、本プレスに適当な接着剤を選定することができた。

・高周波プレスの印加プログラムについて

→従来の高周波プレス機では徐々に出力値を上げていくプログラムであったが、高出力タイプでは、含水率のバラつきが少ないラミナであれば、最初から高い出力値で設定し、短時間で一気に接着層の温度を上げることで、接着作業を終えることができる。

具体的には、巾広200を超える12Mのスギ集成材でも、15分以内での積層接着作業完了が可能となった。

→従来の高周波プレスでは、高周波プログラム構成の区分として

「スギ」と「その他（カラマツ、ヒノキ、オウシュウアカマツ)」

の2パターンが主流であったが､高出力タイプでは高周波掛かり程度の細かな調整が必要となり、少なくとも、

「スギ」､「ヒノキ」､「カラマツ」「オウシュウアカマツ」など樹種別に近い区分で高周波プログラムの作成が必要となり、その構築を行った。

・クーリング時間の活用について

→水蒸気発散が多いなど、現象が発生した際には、クーリング期間＝高周波印加せずにプレス継続を上手く活用することで品質安定化を図ることができた。

今後の課題・展開等

●高出力高周波プレスが、十分国内のスギ材およびレゾルシノールを用いた大断面集成材へも適応できることが確認できた。

一方で、短納期化、プレスの短時間化を目指し、高周波を高出力で印加をするほど、含水率管理、高周波印加プログラム、材温・気温などに関する日々の管理を鋭敏に行う必要が出ることを実感した。

さらなる品質安定化、短納期化へ向けて接着剤メーカー、高周波プレス機械メーカー、乾燥機メーカー、さらには木材乾燥や木材接着の専門家とタッグを組み、継続的に検証、改善活動を行っていく必要がある。

　またヨーロッパの大断面メーカーにも本プレスが導入されている集成材メーカーが多く（数十）存在するが、その大半が積層接着用としてメラミン接着剤が活用されている。高周波プレスとの相性がよくコントロールしやすい、取扱実績多数、さらなる短納期かつ量産を実現しているということも有り、日本でのメラミン接着剤の活用にも期待したいと感じるところである。

事業

地域工務店の木材実態調査

● 実施団体 ●

一般社団法人JBN・全国工務店協会

〒104-0032　東京都中央区八丁堀3-4-10 京橋北見ビル東館6階

事業目的

現在、国産材の安定的な需要確保のための課題抽出や、その問題に対する解決策の具体的な提案を行っていくことは、拡大造林期に造成した木材活用の出口づくりとして重要になっているが大手や一部県の工務店等を対象にした調査に限られているため、木材不足・ウッドショックへの緊急的対応するために、地域工務店の木材実態調査を行う。

実施した項目

本事業の委員会を設置し、以下の項目について実施を行った。

①地域工務店における木材利用実態調査

住宅分野における木材の利用状況については、以前JBNが平成27年、28年に国産材に関する実態調査を行いました。その後、コロナ禍やウッドショックを経て変化した、工務店の住宅における国産材の利用実態、国産無垢材のメリット・デメリットなどについて、アンケート調査を実施した。

②木材利用実態調査報告会の実施

上記の木材利用実態調査の調査結果の報告と調査に協力頂いた、三重大学　生物資源学部教授　中井毅尚 氏と林野庁　木材産業課　木材製品技術室長　土居 隆行 氏と委員によるパネルディスカッションを行い、国産無垢材等の利用拡大のための課題や木材供給不安定・ウッドショックへの対応を討論をオンラインにて実施しました。

実施体制

川上の林業生産事業体（日本林業経営者協会）、川中の製材工場（日本木材青壮年団体連合会）、川下の工務店等の住宅事業体（JBN・全国工務店協会）が一同で協議し、検討委員会を設置した。委員会の構成メンバーは以下の通りである。

委員会

川下側（JBN・全国工務店協会　国産材委員会）

田辺工業株式会社	代表取締役	田邉 喜範 氏
株式会社長谷萬	代表取締役　執行役員社長	長谷川　泰治氏
東京中央木材市場株式会社	代表取締役社長	飯島　義雄 氏
木村木材工業株式会社	代表取締役	木村　司 氏

川中側（日本木材青壮年団体連合会）

株式会社第三木材	代表取締役	島田　直政 氏

川上側（日本林業経営者協会　青年部）

有限会社内山林業	内山 総太郎 氏
吉田本家山林部	吉田正木 氏

また、木材利用実態調査を行う上で、調査票の作成や集計や報告書の作成など以下の方々にご協力頂いた。

調査票作成：三重大学	生物資源学部教授	中井 毅尚 氏
調査票集計：株式会社 山田事務所	代表取締役	山田賢 氏
報告書作成：日本林業経営者協会	専務理事	池田 直弥 氏

実施した内容

本事業の検討委員会を設置し、10月から11月にかけてJBN会員を対象に地域工務店における木材利用実態調査を行った。木材利用実態調査は回答が110件の回答から、国産無垢材等の利用拡大のための課題や木材不足・ウッドショックへの対応について検討を実施した。

また、実態調査の事業結果報告会を1月20日（金）オンラインで開催した。

報告会は120名ほどの参加申込があり、第1部では木材利用実態調査の結果報告、第2部では今後の木材利用についてパネルディスカッションを行った。

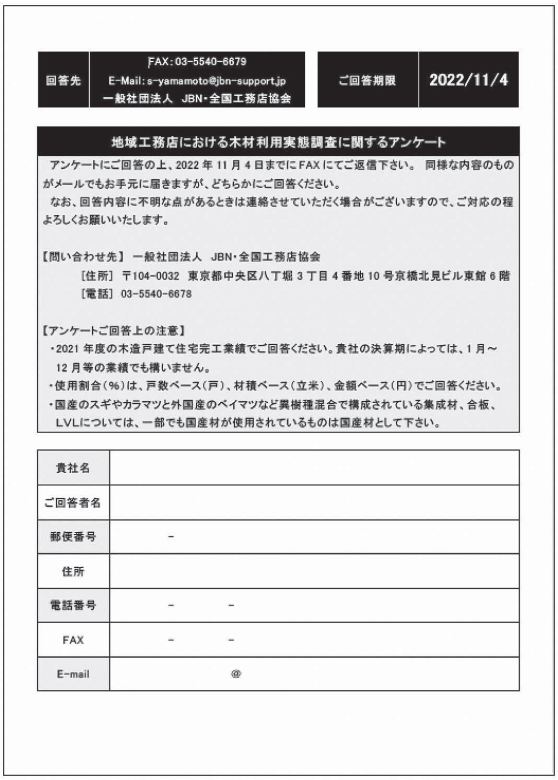
第1部の調査報告では、本事業の委員長である滋賀県の田辺工業株式会社　代表取締役社長の田邉喜範 氏から報告を頂いた。

第2部のパネルディスカッションでは、パネリストとして田邉委員長と調査票の作成にご協力頂いた、三重大学 生物資源学部教授 中井毅尚 氏の登壇と林野庁から木材産業課木材製品技術室長の土井隆行氏にパネリストとして登壇頂き、産官学の視点から国産材の利用促進について議論を行った。

・検討委員会　開催風景

（対面とオンラインの併用形式で委員会を実施）

・木材利用実態調査のアンケート用紙



回答先	FAX：03-5540-6679 E-Mail：s-yamamoto@jbn-support.jp 一般社団法人　JBN・全国工務店協会	ご回答期限	2022/11/4

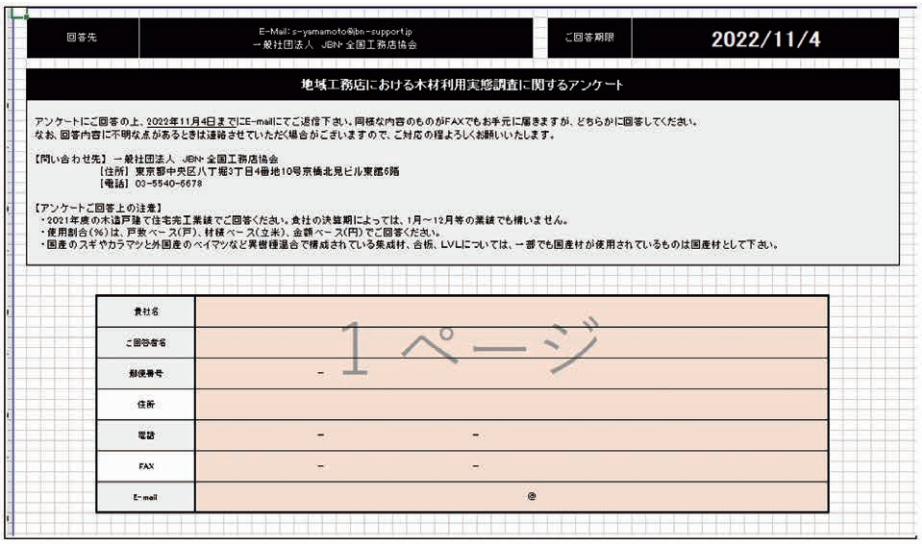
地域工務店における木材利用実態調査に関するアンケート

アンケートにご回答の上、2022 年 11 月 4 日までに FAX にてご返信下さい。 同様な内容のものがメールでもお手元に届きますが、どちらかにご回答ください。
なお、回答内容に不明な点があるときは連絡させていただく場合がございますので、ご対応の程よろしくお願いいたします。

【問い合わせ先】 一般社団法人　JBN・全国工務店協会
［住所］ 〒104-0032　東京都中央区八丁堀 3 丁目 4 番地 10 号京橋北見ビル東館 6 階
［電話］ 03-5540-6678

【アンケートご回答上の注意】
・2021 年度の木造戸建て住宅完工業績でご回答ください。貴社の決算期によっては、1 月～12 月等の業績でも構いません。
・使用割合（%）は、戸数ベース（戸）、材積ベース（立米）、金額ベース（円）でご回答ください。
・国産のスギやカラマツと外国産のベイマツなど異樹種混合で構成されている集成材、合板、LVLについては、一部でも国産材が使用されているものは国産材として下さい。

貴社名	
ご回答者名	
郵便番号	-
住所	
電話番号	- -
FAX	- -
E-mail	@



回答先	E-Mail：s-yamamoto@jbn-support.jp 一般社団法人　JBN・全国工務店協会	ご回答期限	2022/11/4

地域工務店における木材利用実態調査に関するアンケート

アンケートにご回答の上、2022年11月4日までにE-mailにてご返信下さい。同様な内容のものがFAXでもお手元に届きますが、どちらかに回答してください。
なお、回答内容に不明な点があるときは連絡させていただく場合がございますので、ご対応の程よろしくお願いいたします。

【問い合わせ先】 一般社団法人　JBN・全国工務店協会
【住所】 東京都中央区八丁堀3丁目4番地10号京橋北見ビル東館6階
【電話】 03-5540-6678

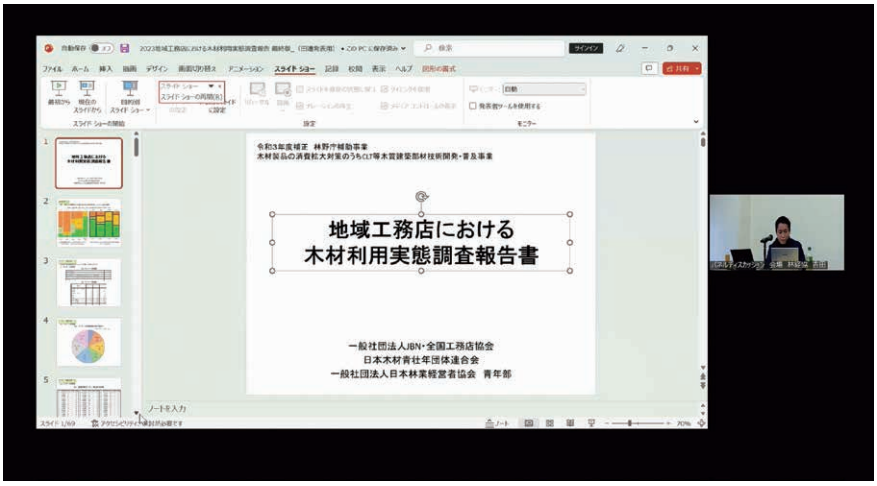
【アンケートご回答上の注意】
・2021年度の木造戸建て住宅完工業績でご回答ください。貴社の決算期によっては、1月～12月等の業績でも構いません。
・使用割合（%）は、戸数ベース（戸）、材積ベース（立米）、金額ベース（円）でご回答ください。
・国産のスギやカラマツと外国産のベイマツなど異樹種混合で構成されている集成材、合板、LVLについては、一部でも国産材が使用されているものは国産材として下さい。

貴社名	
ご回答者名	
郵便番号	-
住所	
電話	- -
FAX	- -
E-mail	@

1ページ

手書きで回答してFAXで返答する紙様式とPCで回答してメールで返答するExcel様式の２種類を用意した。

・報告会開催風景



（第１部報告会開催風景）

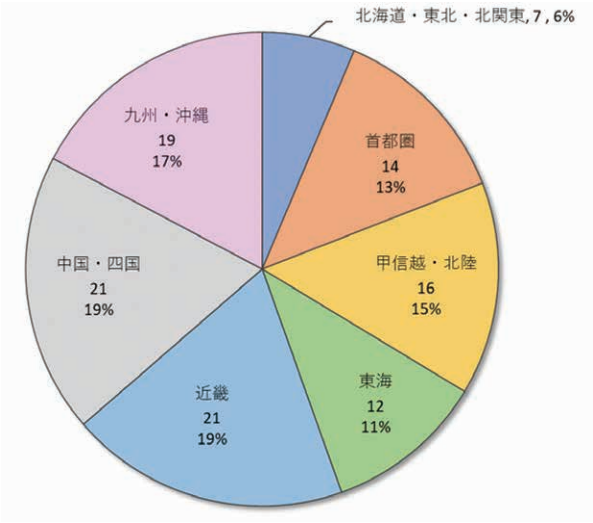
（第２部パネルディスカッション開催風景）

実施した結果

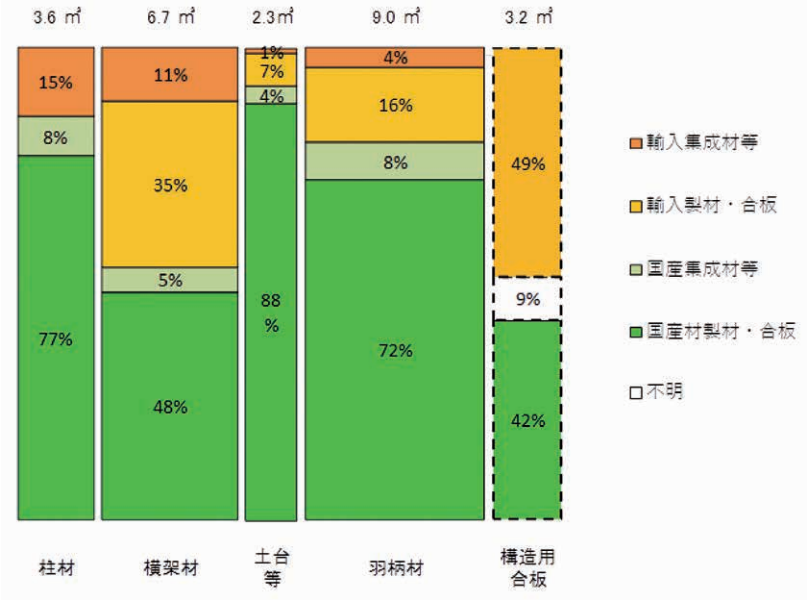
住宅分野における木材の利用状況は、大手・中堅住宅 会社や、一部県での調査に限られていたが、在来工法（戸建）では50棟／年未満の工務店等でシェア６割近くを占めている。今回、地域工務店を対象にした木材利用実態調査を行えることにより、大手と異なった国産材の利用実態を把握することができた。調査の結果からウッドショックを経て、地域工務店の国産材の利用拡大に取り組みたいとの意見が全体の60％を占める結果となった。また22％の工務店はウッドショックを経て国産材の利用が増加したと数値が得られた。

データの中に73％の工務店は国産材の利用が変わらなかったと回答があったが、今まで国産材の多く利用していた工務店はその他変らなかったとの裏返しのデータと推測される。地域工務店を中心により高い国産材利用が進んでおり、今回の調査により、さらにその傾向が強まっていることがうかがえる。

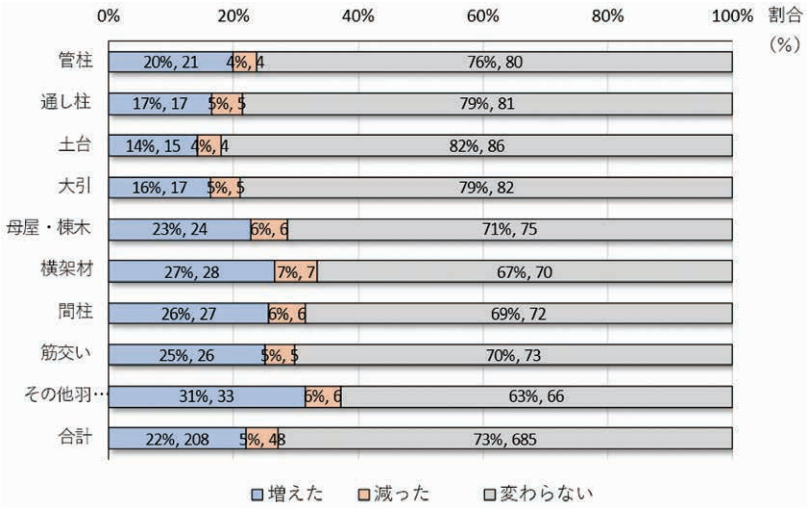
○アンケート回答事業者の地方別区分



• 地域工務店の木材実態調査



• ウッドショックによる国産材利用の増加について



今後の課題・展開等

- 各都道府県の木材使用率を今回調査したことで、地域によって担っている地域材の量が把握でき、国産材を使用率が低い地域については今後、山や製材工場の見学会を実施し、国産木材の理解を広める活動を行っていく。また地域の工務店がその地域の材木屋さんや山側の人たちと連携していくことが木材の安定供給でき良質な木造住宅を供給できる仕組みづくりや繋がりを作っていくことが必要である。また消費者に対しても、国産材の価値をどのように伝えてくかを考えていく。同じように消費者にも森林見学ツアーを開催して、山側の人間がどのように木を育ててきたのかなどをレクチャーや、製材所の見学で、丸太がどのように製品になっていくか理解を深めてもらう。生産者の生の声を聴くことにより、安心して自分の家に使われる木材がどのようなものかを理解できることがある。理解していただくことで、その消費者が感じた価値が木材の価格が上昇分を上回ることを見出すことで、国産材の価値が出てくる。

- 地産地消の推進、地球にやさしいイメージがあるという理由で国産材を使う理由の回答があり、木材利用による脱炭素社会の実現、カーボンニュートラルからカーボンマイナスを目指していく。そのためには、木材を使ったら植える、植栽による再造林を増やしていかなければならない。再造林を増やしていくためには、川上・川中・川下のすべて事業者が連携をして持続的に木材を生産していき、国産材を利用していく必要がある。

- 国産材を使わない理由の回答結果から、品質や寸法が不揃いであるとの意見があるので、JAS規格材の普及を促進するべき課題がある。

事業

CLT標準ユニットによる普及型木質系中層ビルのプロトタイプ開発

● 実施団体 ●

宮城県CLT等普及推進協議会

〒980-0011　宮城県仙台市青葉区上杉２丁目4-46 宮城県森林組合連合会内

事業目的

東北大学・前田研究室、堀江建築工学研究所及び宮城県CLT等普及推進協議会が連携して開発を進めている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、２タイプの中層木造建築のモデルを設定し、意匠・構造・設備の実施設計まで作成して、CO_2固定量・排出量の試算（LCA）、サプライチェーンとトレーサビリティを含む材料調達や施工の合理化の検討及び建設コストの試算を行い、仙台市内などの地方都市でもニーズのある木質系ハイブリッド中層ビルのプロトタイプ建築を開発し、その結果を民間施設や公共施設の木造化を図る。

実施した項目

本事業では、全体委員会、基本計画・基本設計・実施設計WG、施工開発WG、普及広報WG及び事務局を設置し、以下の項目の検討を行なった。

① 事務所と集合住宅のCLTプロトタイプ建築の設計
② 構造と施工法及びLCAと建設コストに関する比較検証
③ 普及広報のためのパンフレットの作成

実施体制

全体委員会

委 員 長：　安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所）
副委員長：　早坂陽（㈱構建築設計事務所）
委　　員：　山内一彦（㈱エスエー設計）、齋藤健太郎（㈲ガルボ空間工房）、出井弘介（㈱デイ・アーキテクツ）、藤田渉（RefiL合同会社）、勝田幸仁朗（物林㈱）、並木直子（㈱ユーメディア）、前田匡樹、松本直之、後藤豊（東北大学）、迫田丈志（㈱堀江建築工学研究所）、千葉賢史（宮城県 林業振興課）、荒昌樹（宮城県森林組合連合会）

基本計画・基本設計・実施設計WG

主　　査：　安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所）
幹　　事：　山内一彦（㈱エスエー設計）
委　　員：　早坂陽（㈱構建築設計事務所）、齋藤健太郎（㈲ガルボ空間工房）、出井弘介（㈱デイ・アーキテクツ）、藤田渉（RefiL合同会社）、勝田幸仁朗（物林㈱）、前田匡樹、松本直之、後藤豊、津田和輝（東北大学）、迫田丈志、尾畑徹（㈱堀江建築工学研究所）

施工開発WG

主　　査：　勝田幸仁朗（物林㈱）
幹　　事：　早坂陽（㈱構建築設計事務所）
委　　員：　村田恭輔（㈱村田工務所）、秋竹壮哉（㈱奥村組）、杉浦洋一（セルコホーム㈱）、安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所）、山内一彦（㈱エスエー設計）、松本直之、後藤豊、津田和輝（東北大学）

普及広報WG

主　　査：　並木直子（㈱ユーメディア）
幹　　事：　千葉賢史（宮城県 林業振興課）
委　　員：　荒昌樹（宮城県森林組合連合会）、勝田幸仁朗（物林㈱）、安達揚一（㈱SPAZIO建築設計事務所）、前田匡樹、松本直之、後藤豊（東北大学）

事務局

千葉賢史（宮城県 林業振興課）、荒昌樹、日野円、小松朋永（宮城県森林組合連合会）

実施した内容

① 事務所と集合住宅のCLTプロトタイプ建築の設計

1.1 事務所の意匠設計、1.2 集合住宅の意匠設計、1.3 プロトタイプ建築と在来工法の構造設計・構造計算、1.4 電気・設備設計、1.5 法適合検討

② 構造と施工法及びLCAと建設コストに関する比較検証

2.1 施工方法検討、2.2 建設コスト比較検証、2.3 LCA比較検証

③ 普及広報のためのパンフレットの作成

3.1 広報パンフレットの作成、3.2 成果報告会の企画

実施した結果

1　事務所と集合住宅のCLTプロトタイプ建築の設計

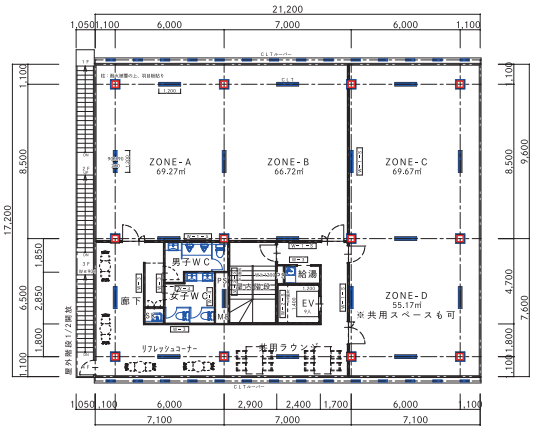
1.1　事務所（鉄骨架構＋CLT壁）の意匠設計

開発中のCLTハイブリッド構造システムのうち、鉄骨架構とCLT壁による構造を対象として、4階建て事務所ビルのプロトタイプを試設計した。都市部を中心とした木造建築の普及への加速を目指し、仙台市の中心市街地を対象として、耐火構造となることを前提とした。概要は以下である。

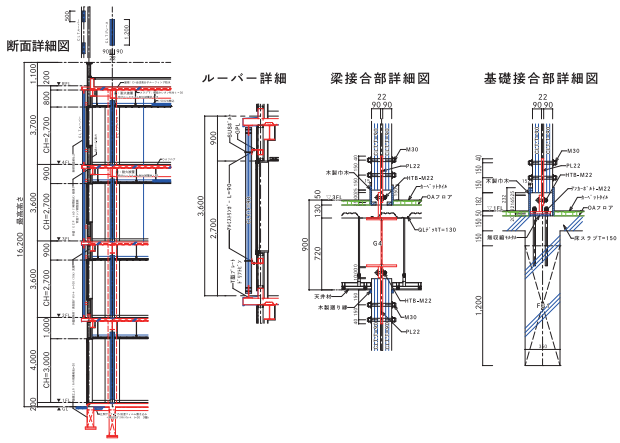
＜建築概要＞
構造規模：鉄骨造+CLT耐震ブレース構造　地上4階建て
各階床面積：364.64㎡（110.30坪）
延床面積：364.64㎡×4層＝1458.56㎡（441.21坪）
建築面積：430.64㎡（130.26坪）

事務所プロトタイプの設計は、従来の鉄骨構造のラーメン構造にCLT耐震壁を配置して、構造軽減化を図ることの可能なハイブリッド構造を活かし、事務機能を担保しつつこれからの健康的で快適な事務空間を目指した計画としている。事務空間は、フレキシブルな活用ができるよう間仕切り壁は最低限とし、入居テナントによる間仕切り変更を可能とした。昇降機能や水回りのコア空間をやや偏心した位置に配することで、まとまった専有の事務空間ができる一方、少し距離を取った共有ラウンジが生まれリフレッシュできるプランとした。内装は、木のあたたかみを感じられるよう、CLT壁現しや羽目板を使用した。外部は、CLTのルーバーを施し、木肌を現して外観に木質感を与え、内部からも見えるルーバーは、窓から差し込む日差しを程よく遮り、木陰のような心地よさを感じる事務空間とした。

分かったことは、各スパン間に配置したCLT壁が建築の木質化を図り、従来の無機質な事務空間を一変させた。また、鉄骨柱が25%減、鉄骨梁が40%減と構造断面を小さくできたことにより、平面的には、多少ではあるが家具等の配置の自由度が増し、断面的には、階高が低くできることでコストに寄与すると同時に、斜線制限や高さ制限など法的条件に対して有利に働くことが確認できた。



基準階平面図



矩計図

外観パース

内観パース

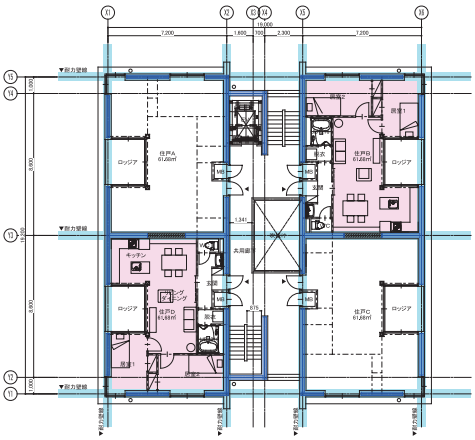
1.2　集合住宅（CLT壁＋鉄骨梁）の意匠設計

開発中のCLTハイブリッド構造システムのうち、CLT壁と鉄骨梁床による構造を対象として、4階建て集合住宅のプロトタイプを試設計した。都市部を中心とした木造建築の普及への加速を目指し、仙台市の中心市街地を対象として、耐火構造となることを前提とした。概要は以下である。

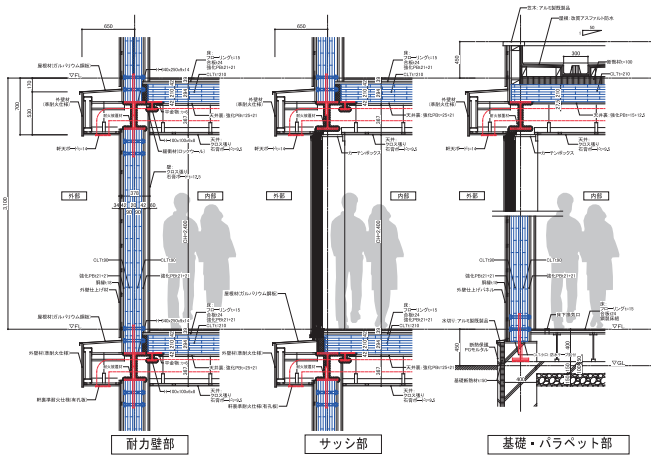
＜建築概要＞
構造規模：CLT壁パネル＋鉄骨梁＋CLT床パネル構造　地上4階建て
基準階床面積：319.40㎡（96.61坪）
延床面積：1,289㎡（389.92坪）
建築面積：364.80㎡（110.35坪）

集合住宅プロトタイプの設計は、市街地建設を想定し、4階建て程度かつ、耐火構造を条件に検証した。特徴は、CLT外周構造壁＋鉄骨臥梁＋CLT床板のハイブリッド構造である。1住戸をCLT構造壁と床で覆い1ユニットとし、これを連続させる建物構造を形成する考えから検討を進めた。平面計画は、多様な敷地条件にも適合でき、全方位から採光確保と風通しが可能なユニットとなるよう、共用中廊下式の東西4住戸配置とした。上下左右対称の平面計画は、構造バランスにも配慮し、各住戸の中心付近の耐力壁のない部分に屋外空間・ロッジアを設けて健康的な住環境を成している。また、1ユニットごとに耐力壁区画であることから、間仕切り壁は、非構造壁となり容易に可変できるメリットがある。外観は、断面計画の特徴を表現する意匠となっている。CLT構造壁と給排気口を内包する床・天井張出しがリズミカルに繰り返し、耐力壁以外の部分を全面サッシにするなど素材区分を明瞭化した立面構成としている。このプロトタイプは、ユニット単位構成であり、敷地の形状、広さなどの違いによっても平面計画の自由度が高く、様々な条件にも対応が可能である。

分かったことは、1ユニットのCLT構造壁が双方向に大きい7.2m×9.2mの広い床面積を確保でき、家族構成やニーズの変化にも対応できるプランニングの自由性と可変性が認められた。法的条件の整理により、CLT壁を現しにして木肌のあたたかみを感じる木質空間を得られる。CLT板は、断熱性能が高く仙台市内では断熱材不要で、付加断熱しだいではZEH基準値になり住環境に優れる。



基準階平面図



矩計図

外観パース

内観パース

1.3　プロトタイプ建築と在来工法の構造設計・構造計算

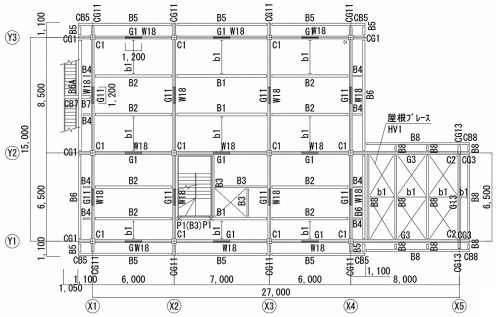
試設計を行ったハイブリッド構造システムの事務所及び集合住宅について、構造解析を行い、必要な部材断面や材料などの検定を行い、必要な構造性能を確保できることを確認した。

これらの試設計建築の基本平面プランを変えず、同等の構造性能を有する従来の構造形式による構造設計も行い、部材断面などを比較した。求めた部材断面などの一覧を次表に示す。

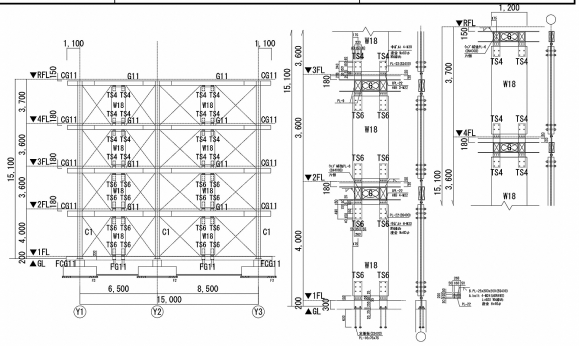
CLT壁を用いた事務所ビル・集合住宅のプロトタイプについて、在来型の構造と比較した結果、分かったことは、事務所ビルは、S造では耐力だけではなく層間変形角制限(1/200)を満足させるために柱・梁断面を大きくする必要があるのに対して、CLTハイブリッドではCLT壁が地震時水平力を分担し建物剛性の向上にも寄与するため、鉄骨柱・梁断面を小さくすることができた。

集合住宅のWRC造はX方向の壁量が少ないことや壁で囲まれた面積が60㎡を超えることから壁式構造にもかかわらず保有水平耐力の計算が必要となる。CLTハイブリッドは梁がS造で耐力・剛性が大きく金物耐力も大きいことから現在普及しているCLTパネル工法よりCLT壁量が少なくて済む。X方向は戸境壁の一部を在来木軸壁としてCLT壁量を減らして崩壊形を調整し、Y方向はプラン上壁が多く耐力が高いため崩壊形にこだわらずDs＝0.75相当の耐力を確保する設計とした。

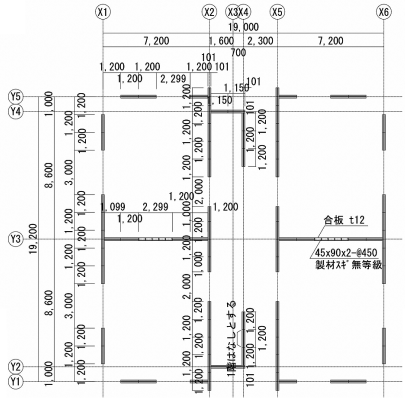
	事務所		集合住宅	
	CLT ハイブリッド	S造	CLT ハイブリッド	WRC造
基礎	RC 直接基礎（布基礎）地耐力 200kN/㎡		RC 直接基礎（布基礎）地耐力 200kN/㎡	
柱	□-300×300×12~19	□-350×350×12~22	—	—
壁	CLT Mx60-3-3 (t=90) ×2		CLT Mx60-3-3 (t=90) ×2	RC (t=220,180)
大梁	SH-450×200×9×16	H-588×300×12×20	H-340×250×9×14	RC 300-350×600
床(1 階)	RC (t=150)		RC (t=150)	
床(2-4 階)	合成デッキコンクリート山上 80 (t=130)		CLT Mx60-5-7 (t=210)	RC (t=150)
屋根(R 階)	合成デッキコンクリート山上 80 (t=130)		CLT Mx60-5-7 (t=210)	RC (t=150)



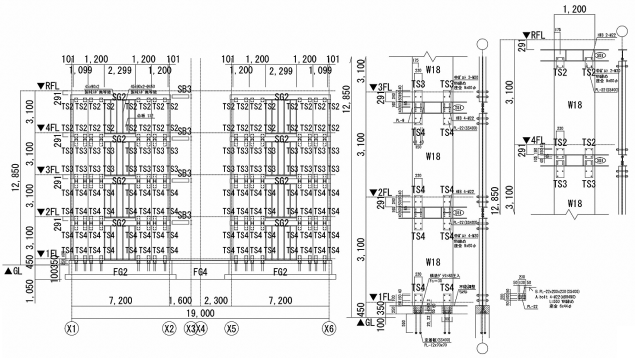
事務所：CLT ハイブリッド基準階伏図



事務所：CLT ハイブリッド代表軸組図



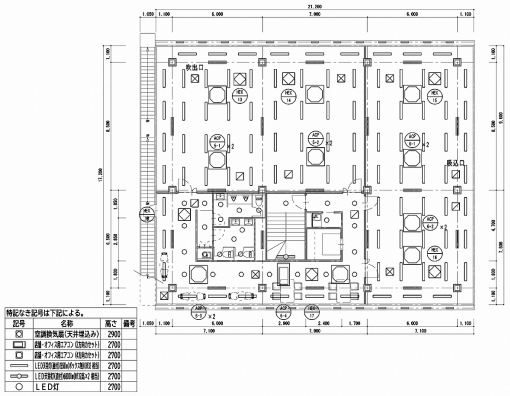
集合住宅：CLT ハイブリッド基準階伏図



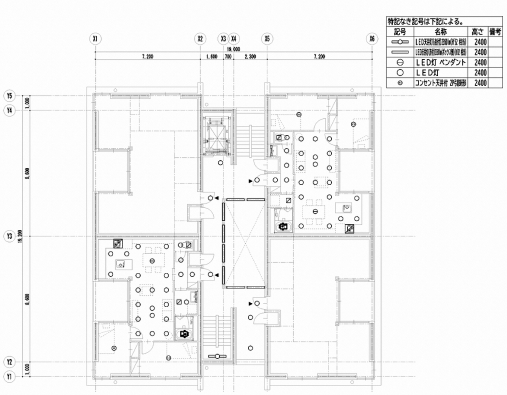
集合住宅：CLT ハイブリッド代表軸組図

1.4　電気・設備設計

CLT ハイブリッド構造による事務所と集合住宅のプロトタイプ建築について、電気設備図と空調換気設備図を作成して意匠設計図と照合し、全体計画の整合性を確認した。機器類に関しては、省エネ性能を重視し、事務所ではLED 照明器具、空冷ヒートポンプエアコン、熱交換形換気扇を優先採用した。また、集合住宅ではLED 照明器具、３室同時換気機器を採用した。



事務所基準階：電気設備・空調換気設備図



集合住宅基準階：電気設備・換気設備図

事務所は、年間熱負荷係数BPIｍをクリアし、一次エネルギー消費量が基準BEIｍをクリアできる機器選定をし、建物の省エネ性能の向上を目指した。

集合住宅に関して、省エネ基準地域区分５地域にて、断熱等級５をクリアする断熱材を選定した結果、CLTハイブリッド構造の場合、木質構造の断熱性の良さもあり、外壁、床には断熱材を付加することはなく、屋根のみに断熱材を配置するだけにとどまった。また、一次エネルギー消費量も基準BEIをクリアしていることも前提としている。

1.5　法適合検討

1.5-1　設計条件　事務所　集合住宅　共通

地域地区（都市計画区域・近隣商業地域・防火地域）

1.5-2　事務所　耐火建築

規模：各階250㎡×４階建て　床面積1,000㎡程度

構造：CLT＋S造ハイブリッド

基礎：RC　柱：鉄骨　梁：鉄骨　床：合成スラブ(S+RC)　ブレース:CLT

各部項目	耐火仕様	断熱仕様	断熱等級	備考
耐火被覆	1時間耐火	-	-	4階建て
屋根	合成スラブ(S+RC)	吹付硬質ウレタンフォーム A種1　t=30	※	※一次エネルギー消費量により判定
壁	t90×2 (ブレースのため不要)	高性能グラスウール10K　t=100	※	※一次エネルギー消費量により判定
床 (2階以上)	合成スラブ(S+RC)	-	※	※一次エネルギー消費量により判定

柱、梁の耐火被覆：1時間耐火　ロックウール吹付t25

1.5-3　集合住宅　耐火建築

規模：各階250㎡×４階建て　床面積1,000㎡程度

構造：CLT＋S造ハイブリッド

基礎：RC　耐力壁：CLT　梁：鉄骨　床：CLT

各部項目	耐火仕様	断熱仕様	断熱等級	備考
耐火被覆	1時間耐火	-	-	4階建て
屋根	CLT t210 ⇒PBD21×2 両面	押出法ポリスチレンフォーム保温板３種　t＝100	等級５	
壁	CLTt90×2 ⇒PBD21×2 両面	-	等級５	
床 (2階以上)	CLTt210 PBD21×2 両面	-	等級５	

梁の耐火被覆：1時間耐火　ロックウール吹付t25

2　構造と施工法及びLCAと建設コストに関する比較検証

2.1　施工方法検討

試設計を行ったCLTハイブリッド構造とした提案モデルと、従来構造の事務所ビル及び集合住宅における施工について比較検討を行い、集合住宅はRC造と提案モデル、事務所はS造と提案モデルにて比較した。

現場工期については、事務所モデルにおいてCLT＋S造のハイブリッドになっていることから、現場での工程はほぼS造と同等と考えるが、集合住宅の提案モデルは、現場作業や養生がかかるRC造との比較のため、3か月程度の工期短縮が期待できると考える。現場工期短縮は都市部において計画地面積での制限、搬入路等、現場での施工条件が工法選定に重要な要素ともなることから、本試案は工期についても優位性が高いと考える。

• 現場工程での概略比較

2.2　建設コスト比較検証

試設計を行ったCLTハイブリッド構造と、比較用の従来構造の事務所ビル及び集合住宅について、構造部での概算施工費を積算し比較した。

概算施工費の算出においては、以下の仮定や前提条件で行った。

① 設備機器・内外建具・内装仕上材などの非構造部材は、ハイブリッド構造・従来構造で概ね共通とし算定範囲外とし、構造部材の比較を基とする。

② 使用する資材量は、1.3で求めた部材断面に基づいた。

③ 工事費用は設計金額、直接工事費での概算算定とした。

算定の結果を次表に示す。

種別	No.	構造種類	土・地業工事	コンクリート工事	型枠工事	鉄筋工事	鉄骨工事	CLT工事	合計	構造部での比較
集合住宅	集①	既存モデル（RC造）	9,647,500	17,122,900	35,521,590	21,896,607	–	–	84,188,597	1.00
	集②	提案モデル（CLT+S造）	7,182,500	4,229,050	3,407,820	5,080,330	114,309,110	153,139,110	287,347,920	3.41
事務所	事①	既存モデル（S造）	8,332,800	9,195,800	5,126,760	9,083,890	95,896,233	–	127,635,483	1.00
	事②	提案モデル（CLT+S造）	8,332,800	9,195,800	5,126,760	9,083,890	107,872,515	14,346,240	153,958,005	1.21

集合住宅では、RC造1.0に対し提案モデル3.41である。CLT造は建物重量が軽いため基礎工事が小規模となり大幅な低減（－26%）となるが、一方では鉄骨及びCLT工事がRC造に対しコスト高となり、RC造に対し提案モデルが大幅なコスト増となった。

事務所ビルでは、S造1.0に対し提案モデル1.21である。建物重量は提案モデルとほぼ同じであるため基礎工事に関わる工種においてはS造と同じとした。鉄骨ブレースをCLT壁に置換することで、コストアップとなり構造全体での比較において約20%増となった。今後、CLT工事において、効率を踏まえた工法等の改良によりコストダウンが図られることで、S造のコストに近づくことが期待される。

2.3　LCAの検証

試設計を行ったCLTハイブリッド構造と、比較用の従来構造の事務所ビル及び集合住宅について、以下の仮定や前提条件で、環境負荷を比較した。

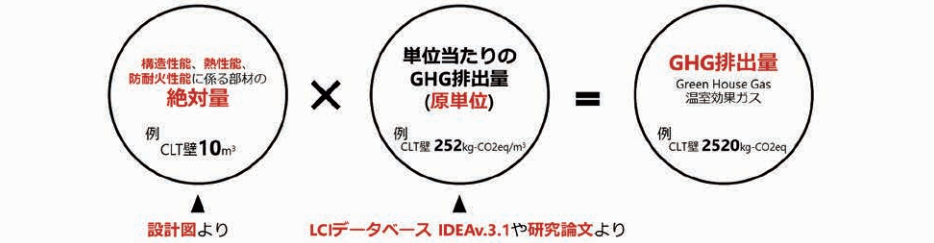
比較する際の共通条件は、同等の耐震性能、防耐火性能、省エネルギー性能をもつ建物とした。これに応じて環境負荷計算に算入した部材は、それらの性能を担保するために必要なCLT、鋼材（高炉

法による製造)、鉄筋コンクリート、石膏ボード、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-CO_2eq/延床面積m^2)とした。設計条件は、ここまでの検討に合わせて、仙台市市街地を想定し、防火地域、頑丈な地盤と設定した。そのため4つの建物の基礎形式は共通して布基礎としている。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、研究論文や産業技術総合研究所のLCIデータベースIDEAv3.1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。

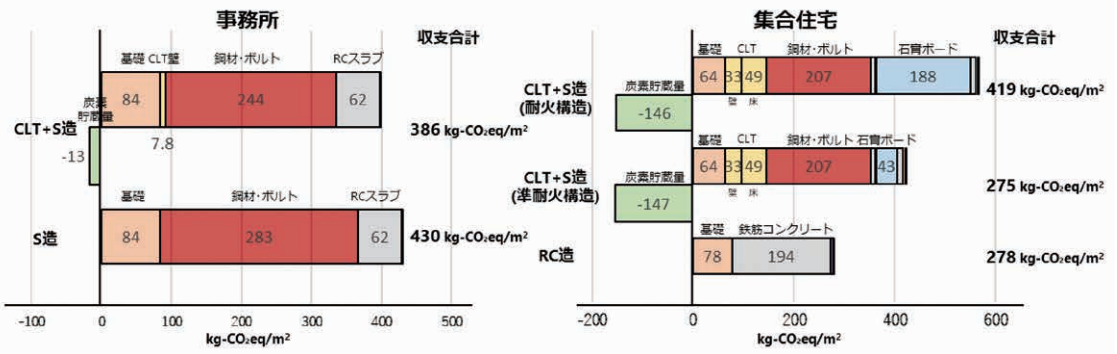
GHG排出量（プラス）と炭素貯蔵量（マイナス）を合算した収支は、事務所についてCLT+S造が386kg-CO_2eq/m^2(GHG排出量399kg-CO_2eq/m^2、炭素貯蔵量14kg-CO_2eq/m^2)、S造が430kg-CO_2eq/m^2となった。一方、集合住宅は、CLT+S造が419kg-CO_2eq/m^2 (GHG排出量565kg-CO_2eq/m^2、炭素貯蔵量146kg-CO_2eq/m^2)、RC造が278kg-CO_2eq/m^2となった。材料別のGHG排出量の内訳を併せた計算結果を下図に示す。

この結果から、本事業におけるCLTと鉄骨を組み合せた構造形式では、事務所、集合住宅ともに鉄骨による環境負荷の割合が最も大きいことがわかる。また、耐火要件について、防火地域を想定した集合住宅では、石膏ボードの環境負荷は鋼材に次ぐ排出量である。仮に同様の構造形式と平面図で、準防火地域における3階建ての設計を想定すると、石膏ボードによる排出量が約77%削減でき、環境負荷の収支はRC造よりも優位な結果となった。一方で、事務所では、今回設定した設計条件ではCLT耐震壁に耐火性能は求められない。そのため、建物規模と用途地域の条件により、より高い耐火性能が求められる場合、CLTに軸力が作用しない耐震壁として設計する方針は、環境負荷の観点からは有効である。

本項目では、防火地域、地盤が頑丈という条件の下、CLTハイブリッド構造と従来の構造について、環境負荷の比較を行った。その結果、事務所ではS造よりCLT+S造が優位に、集合住宅ではCLT+S造よりRC造が優位となった。この結果は、地盤や防耐火性能などの設計条件で変わり、CLT+S造が優位な場合とそうでない場合があることがわかった。なお、防耐火性能を持たせることによる環境負荷の増加に関しては、CLT建築だけではなく、木質構造構法全体に当てはまることは留意すべきである。



GHG排出量の算定方法



GHG排出量の算定結果

3　普及広報のためのパンフレットの作成

3.1　パンフレット制作

本事業の成果を公表し，普及啓発につなげるためのパンフレットを制作した。海外の事例による中層木造建築の紹介、本構法を用いて設計したプロトタイプ案の紹介、県内の事業者や材料による施工の可能性などを簡潔にまとめた。制作したパンフレットは順次配布するとともに、電子データを協議会HPにおいて公開する。

制作したパンフレット

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５年２月７日にせんだいメディアテークにて開催した。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、宮城県内外の建設業者などとした。

今後の課題・展開等

CLTハイブリッド構造システムを用いた４階建ての事務所及び集合住宅それぞれ１棟のプロトタイプを試設計し、多面的な検討を行った結果、以下の課題が明らかとなった。

（1）宮城県仙台市の中心市街地（防火地域・準防火地域）を建設地と想定したため、事務所は「耐火構造建築物」扱いとなり、石膏ボードなど耐火被覆が必要となり、従来型RC造やS造と比較してコスト高となった。郊外に社屋を求める社会情勢もあることも踏まえ、今後は、地方都市の郊外に建設する郊外型プロトタイプの開発も行い検証する必要がある。

（2）構造面では、鉄骨梁ヒンジ先行形に限らず、多様な崩壊形に対する構造計画や、構造計算における構造特性係数Ｄｓの設定が望まれる。また、宮城県内で製造可能な小幅CLTパネル（幅1200mm）を一体化して大判化する接合金物の併用による施工やコスト削減等の検討も必要と思われる。

（3）上記を踏まえた、より効率的なCLTパネルや接合部の工法の改良、施工法の検討により、従来型S造と競争力のある施工コストの実現のための検討が必要である。

（4）さらに、CLT+S造の構造システムの最適化により、鋼材の量を低減し、環境負荷を低減することが挙げられる。本検証では、資材製造から建設段階まで考慮したが、今後は運用・改修、解体・廃棄段階も含めたライフサイクル全体にわたる環境負荷を考慮すべきである。さらに、都市中高層木造一般について、防耐火性能の要件と技術の指針を、建設産業全体で議論を行い、見直していくことが期待される。

次年度以降、検討を継続することで、以下につなげていくことが期待できる。

(1) CLT＋S造ハイブリッド構法の優位性を活かした「モデルプランと標準設計」の確立。
(2) 地方都市にある地元工務店の技術や加工生産でも建設可能な「施工マニュアル等」の制作。
(3) 木造建築に関心のある潜在的な事業者（発注者や施工者に応える「木造建築講習会や広報展示イベント等」の企画と開催による都市木造建築の普及拡大 。

令和3年度 木材製品の消費拡大対策事業のうち
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 5 年 3 月発行
編集　木構造振興株式会社