令和2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2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	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	4
2	木造軸組工法におけるCLT部分利用の構造設計マニュアル（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	8
3	CLTパネル工法建築物の地震時限界性能把握による接合部簡易化・壁量低減等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	14
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	18
5	スギ心去りログ材に適した乾燥スケジュール等の開発事業	一般社団法人 木のいえ一番協会	22
6	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	一般社団法人 高知県木材協会	32
7	品質・性能の確かな人工乾燥材の安定供給に向けた適正乾燥条件の検討	一般社団法人 全国木材組合連合会	40
8	木製浮き基礎を日本で実用化するための設計及び実証試験	越井木材工業株式会社	48
9	保存処理直交集成板（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	58
10	信州カラマツ210材を用いたNLT技術開発・実証及び信州カラマツ210材普及事業	信州木材認証製品センター	66
11	令和2年度木材製品の消費拡大対策のうち難燃処理木材の野外での需要拡大を図るための防腐・防蟻・塗装等による屋外耐久性向上技術の開発及び難燃等の性能評価	公益社団法人 日本木材保存協会	74
12	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	80
13	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	公益財団法人 国際緑化推進センター（JIFPRO）	90

No	事業	実施団体	掲載頁
14	低コストCLTと土木利用技術の開発	一般社団法人日本ＣＬＴ協会	100
15	令和2年度 合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策のうち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	112
16	建築物で使用したCLTをリユースするための評価方法	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	122
17	鉄骨床梁を併用したCLTパネル耐力壁等の開発	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	130
18	（仮称）「実務者のためのCLT構造設計の手引き」編集事業	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	140
19	広葉樹及び針葉樹大断面構造材の乾燥防耐火試験	福島県木材協同組合連合会	146
20	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	152
21	令和2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建築物の事業性開発	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	160
22	CLT建築物の環境性能の評価とエンドユーザーへの周知	一般社団法人 日本ＣＬＴ協会	168
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	176
24	接着重ね材JAS工場認証のための適正製造基準等の整備	一般社団法人 日本ＢＰ材協会	188
25	難燃薬剤処理LVLを用いた耐火構造の合理化および環境負荷低減の評価	一般社団法人 全国ＬＶＬ協会	194
26	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	一般社団法人 木を活かす建築推進協議会	198

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、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。こうした課題に対応すべく、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適切な施工を図るため、講習を通じて加工･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

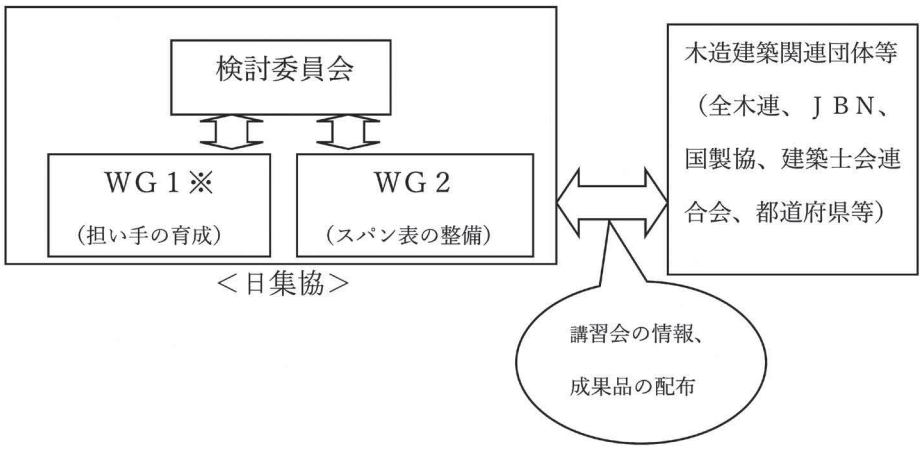
（委員長）	五十田　博	京都大学生存圏研究所 生存圏開発創成研究系教授
	稲田　達夫	（一社）建築鉄骨構造技術者支援協会理事長 元福岡大学工学部建築学科教授
	青木　謙治	東京大学大学院農学生命科学研究科　准教授
	秋野　卓生	匠総合法律事務所　代表社員弁護士
	村田　光司	日本木材加工技術協会　専務理事
	北村　俊夫	㈱木質構造計画ラボ　代表取締役

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㈱　木構造建築部　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担い手の育成（WG１）

（ア）基礎講習の開催

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については、以下のように取り組んだ。

- 国交省告示改正の反映、内容の更なる充実の観点から、講習テキストの検討を行い、改定作業を８月中旬までに終了した（ダウンロード可能）。
- ８月下旬より、日集協のウェブサイト、木造関係団体へのメール、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、基礎講習開催について情報を提供した。
- 80名余りから受講希望が寄せられ、９月下旬より講習テキストを配布した。
- 10月７日、８日に基礎講習をオンライン（事前収録動画の配信）で実施し、８日午後には修了試験問題をウェブに掲載して、10月11日中の答案及びアンケート提出を求めた。

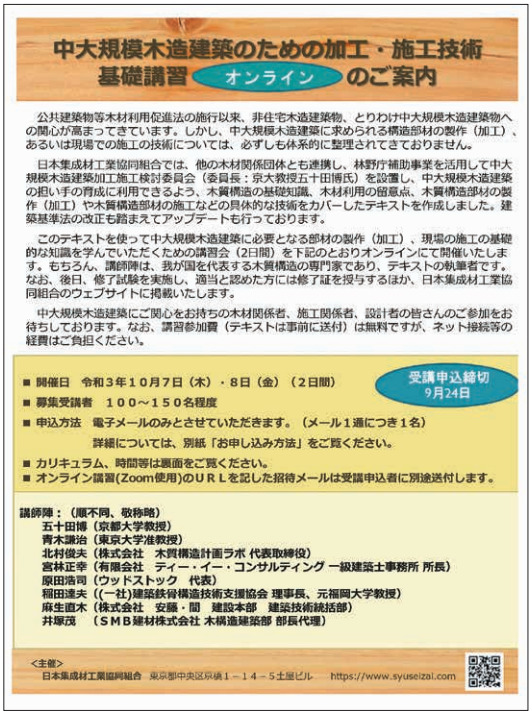
（イ）専門講習の検討

令和４年度以降の実施を念頭に置いて加工・施工の専門講習の内容を検討した。講習の主要テーマである木質構造部材の製作要領書等については、日集協組合員が実際に使用している様式も参考にして、ひな型を検討した。

なお、講習の実施方法など細部については、来年度においてさらに検討することとなった。

②スパン表の整備（WG 2）

昨年度は、事務所、共同住宅及び店舗の床梁スパン表（国産樹種を使用した大断面集成材）及び付随する接合金物の情報を作成しており、今年度は小屋梁スパン表及び付随する接合金物情報を追加で作成した。これによって、一般向けに配布するスパン表の基礎資料が整ったことになる。



中大規模木造建築のための加工・施工技術
基礎講習 オンライン のご案内

公共建築物等木材利用促進法の施行以来、非住宅木造建築物、とりわけ中大規模木造建築物への関心が高まってきています。しかし、中大規模木造建築に求められる構造部材の製作（加工）、あるいは現場での施工の技術については、必ずしも体系的に整理されてきておりません。

日本集成材工業協同組合では、他の木材関係団体とも連携し、林野庁補助事業を活用して中大規模木造建築加工施工検討委員会（委員長：京大教授五十田博氏）を設置し、中大規模木造建築の担い手の育成に利用できるよう、木質構造の基礎知識、木材利用の留意点、木質構造部材の製作（加工）や木質構造部材の施工などの具体的な技術をカバーしたテキストを作成しました。建築基準法の改正も踏まえてアップデートも行っております。

このテキストを使って中大規模木造建築に必要となる部材の製作（加工）、現場の施工の基礎的な知識を学んでいただくための講習会（2日間）を下記のとおりオンラインにて開催いたします。もちろん、講師陣は、我が国を代表する木質構造の専門家であり、テキストの執筆者です。なお、後日、修了試験を実施し、適当と認めた方には修了証を授与するほか、日本集成材工業協同組合のウェブサイトに掲載いたします。

中大規模木造建築にご関心をお持ちの木材関係者、施工関係者、設計者の皆さんのご参加をお待ちしております。なお、講習参加費（テキストは事前に送付）は無料ですが、ネット接続等の経費はご負担ください。

■ 開催日　令和３年１０月７日（木）・８日（金）（２日間）
受講申込締切 9月24日
■ 募集受講者　１００～１５０名程度
■ 申込方法　電子メールのみとさせていただきます。（メール１通につき１名）
詳細については、別紙「お申し込み方法」をご覧ください。
■ カリキュラム、時間等は裏面をご覧ください。
■ オンライン講習(Zoom使用)のＵＲＬを記した招待メールは受講申込者に別途送付します。

講師陣：（順不同、敬称略）
五十田博（京都大学教授）
青木謙治（東京大学准教授）
北村俊夫（株式会社　木質構造計画ラボ 代表取締役）
宮林正幸（有限会社　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）
稲田達夫（(一社)建築鉄骨構造技術支援協会 理事長、元福岡大学教授）
麻生直木（株式会社　安藤・間　建設本部　建築技術統括部）
井塚茂　（ＳＭＢ建材株式会社 木構造建築部 部長代理）

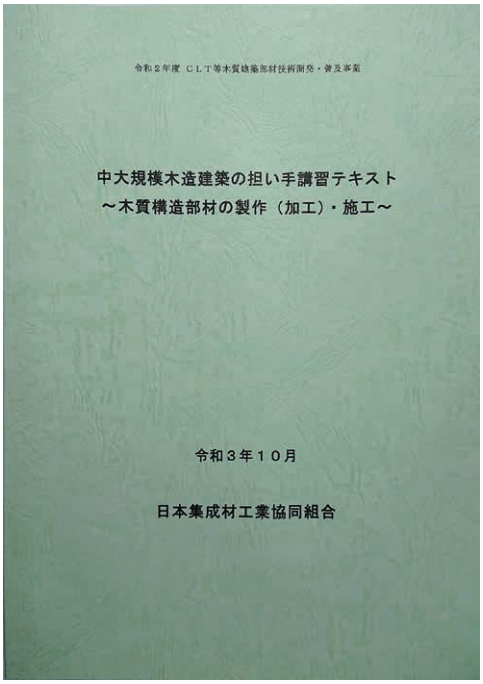
<主催>
日本集成材工業協同組合　東京都中央区京橋１－１４－５土屋ビル　https://www.syuseizai.com

＜基礎講習受講案内＞

カリキュラム（予定）

		1日目 令和３年１０月７日（木）	2日目 令和３年１０月８日（金）
9:30	9:35	開講（五十田）	
9:35	9:40	事務局説明	木質構造部材製作業者の選定、製品計画と工程計画（宮林）
9:40	10:00	木質構造の概要、木質構造材料の種類、部材の接合（青木）	
10:00	10:30		製作要領書（宮林）
10:30	11:00		工場製作（宮林）
11:00	11:30	接合金物の概要（外注製作を含む）（北村）	建方工事及び関連工事会社の選定、施工管理（麻生）
11:30	12:00		現場施工（井塚）
12:00	12:30	休憩	閉講（事務局）
12:30	13:00		
13:00	13:30	防火に関する木材利用の留意点（宮林）	
13:30	14:00		
14:00	14:30	耐久性に関する木材利用の留意点（原田）	16:00（予定）修了試験問題掲示（日集協「担い手サイト」）
14:30	15:00		
15:00	15:30	中大規模木造工事の概要と木材材料調達等の留意点、製品検査（原田）	試験問題の回答はアンケートへの回答とともにメールで日集協へ提出して下さい。（10月11日（月）17時まで）
15:30	16:00		
16:00	16:30	木造建築造建築の施工上の留意点（稲田）	
16:30	17:00		

＜カリキュラム＞



令和２年度 ＣＬＴ等木質建築部材技術開発・普及事業

中大規模木造建築の担い手講習テキスト
～木質構造部材の製作（加工）・施工～

令和３年１０月

日本集成材工業協同組合

＜令和３年度講習テキスト＞

実施した結果

（1）担い手の育成

今年度は計算問題も取り入れ、設問を２問増やし全20問として修了試験を実施したところ、審査の結果、答案提出のあった65名全員が合格となった。12月１日には修了証を送付するとともに、ウェブに修了者名及び修了者の所属企業名を掲載した。

修了者数は、令和元年度73名、令和２年度135名であったことから、通算273名となった。

なお、建築士の受講割合が年々上昇しており、今年度は49%であった。

（2）スパン表の整備

昨年度作成した事務所・共同住宅・店舗の床梁スパン表の詳細と、今年度作成した小屋梁スパン表の詳細を合体して事業報告書に取りまとめた。

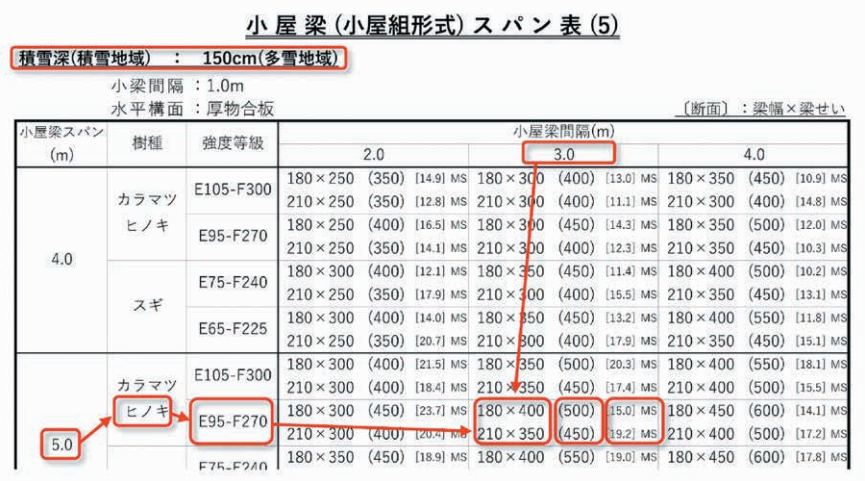
一般向けについては、今年度作成した事業報告書の要約版にあたる技術ダイジェスト（解説書）とスパン表及び接合金物情報のブックレットを来年度作成し、配布する予定である。

（3）成果の普及

担い手の育成については、基礎講習で配信した講義動画につき、年末年始を挟んで約２週間配信した。

日集協のウェブサイト、中大規模木造建築ポータルサイトへの掲載、木を活かす建築推進協議会のメールニュース、日刊木材新聞広告のほか、令和元年度～３年度の受講（希望）者には直接メールを送付して配信情報を伝えた。

動画本数は開講挨拶を含めて全部で11本あったが、延べ視聴者数は312名であった。



小屋梁（小屋組形式）スパン表（5）

積雪深(積雪地域)　：　150cm(多雪地域)

小梁間隔　：1.0m

水平構面　：厚物合板

〔断面〕：梁幅×梁せい

小屋梁スパン(m)	樹種	強度等級	小屋梁間隔(m) 2.0	3.0	4.0
4.0	カラマツ ヒノキ	E105-F300	180×250 (350) [14.9] MS	180×300 (400) [13.0] MS	180×350 (450) [10.9] MS
			210×250 (350) [12.8] MS	210×300 (400) [11.1] MS	210×300 (400) [14.8] MS
		E95-F270	180×250 (400) [16.5] MS	180×300 (450) [14.3] MS	180×350 (500) [12.0] MS
			210×250 (350) [14.1] MS	210×300 (400) [12.3] MS	210×350 (450) [10.3] MS
	スギ	E75-F240	180×300 (400) [12.1] MS	180×350 (450) [11.4] MS	180×400 (500) [10.2] MS
			210×250 (350) [17.9] MS	210×300 (400) [15.5] MS	210×350 (450) [13.1] MS
		E65-F225	180×300 (400) [14.0] MS	180×350 (450) [13.2] MS	180×400 (550) [11.8] MS
			210×250 (350) [20.7] MS	210×300 (400) [17.9] MS	210×350 (450) [15.1] MS
5.0	カラマツ ヒノキ	E105-F300	180×300 (400) [21.5] MS	180×350 (500) [20.3] MS	180×400 (550) [18.1] MS
			210×300 (400) [18.4] MS	210×350 (450) [17.4] MS	210×400 (500) [15.5] MS
		E95-F270	180×300 (450) [23.7] MS	180×400 (500) [15.0] MS	180×450 (600) [14.1] MS
			210×300 (400) [20.4] MS	210×350 (450) [19.2] MS	210×400 (500) [17.2] MS
		E75-F240	180×350 (450) [18.9] MS	180×400 (550) [19.0] MS	180×450 (600) [17.8] MS

＜事業報告書別冊（スパン表）からの抜粋＞

今後の課題・展開等

（1）担い手の育成

令和４年度においては、専門講習の内容を更に詰めて実施に漕ぎつけたい。

（2）スパン表の整理

一般向けの技術ダイジェスト及びスパン表ブックレットを作成し、説明会の開催を実現したい。

事業

木造軸組工法におけるCLT部分利用の構造設計マニュアル（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　東京都中央区東日本橋2-15-5 VORT東日本橋2階

事業目的

CLTは高い剛性を有する施工性に優れた木質材料であり、広く用いられている木造軸組工法の建築物に耐震要素としてCLTを有効かつ効果的に用いることで、木造軸組工法の建築物の設計に自由度を与えることができる。

一方、CLTは高耐力となるため、終局時において柱、土台、梁等の軸組材が曲げ破壊やせん断破壊をしないように定められた設計法に基づき、適切な接合金物を用いて設計、施工を行う必要がある。

CLT実証事業等の展開により、CLTの部分利用による様々な木造建築物が実現されるとともに、高耐力の耐力要素（壁倍率15倍相当）を用いた中大規模木造建築物の構造設計の手引きの検討も進められてきている。

令和2年度においては、これらの技術的知見を活かして、CLT部分利用の各種事例の収集、分析から「木造軸組工法 中大規模木造建築物の構造設計の手引き（許容応力度設計編）」（中大規模グレー本）に準拠して、CLTを耐力壁や水平構面で用いる場合の詳細計算法や接合形式の検討を行い、試案の取りまとめを行った。

本事業は、これらの成果をベースに、CLTを耐力壁や水平構面で用いる場合の接合形式について、施工性等も反映して実験等による追加的な検証を行い「CLT部分利用の構造設計マニュアル（案）」をとりまとめる。

実施した項目

本事業では、学識経験者、構造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1～3について検討、実施した。

1. 構造設計マニュアル案の作成

標準ディティールの整理やモデルプラン計算例をまとめた。

2. CLT真壁構面試験結果と設計式の比較検証

CLTパネルを用いた真壁耐力壁の耐力発現メカニズムについて、構面試験結果の解析的考察に基づき、既往設計式の適用性検証を行った。

3. CLTを用いた水平構面試験の実施

CLT床間接合で、継ぎ目のせん断キー性能の異なる3種類の試験を実施し、水平構面の設計法の検証をした。

実施体制

木造軸組工法におけるCLT部分利用の構造設計マニュアル委員会　名簿

（順不同、敬称略）

委員長	五十田　博	京都大学生存圏研究所 生活圏木質構造科学分野　教授
委　員	河合　直人	工学院大学　建築学部建築学科　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	小林　研治	静岡大学学術院農学領域　生物資源科学科住環境構造学研究室　准教授
委　員	槌本　敬大	(国研)建築研究所材料研究グループ　上席研究員
委　員	中島　昌一	(国研)建築研究所構造研究グループ　主任研究員
委　員	荒木　康弘	国土交通省　国土技術政策総合研究所　建築研究部 基準認証システム研究室　主任研究官
委　員	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
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 木材専門官
協力委員	納富　昭光	国土交通省住宅局建築指導課　課長補佐
協力委員	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
コンサルタント	篠原　昌寿	（株）構造計画研究所
コンサルタント	野田　卓見	（株）構造計画研究所
事務局	（公財）日本住宅・木材技術センター	
事務局	（一社）日本ＣＬＴ協会	

実施した内容

1. 構造設計マニュアル案の作成

- 既往事例の類型からCLTパネルを耐力壁及び水平構面として利用する代表的なディティールについて整理した。
- 既往の設計式をベースとしたCLT耐力壁及び水平構面の設計式を提案し、適用範囲や留意点についてまとめた。
- 3F建て事務所ビルのモデルプランを題材として、構造計算例をまとめた。

2. CLT真壁構面試験結果と設計式の比較検証

CLT真壁耐力壁の水平力に対する抵抗メカニズムはCLTパネルと軸組フレーム間接合部のせん断抵抗に加え、CLTパネルのめり込み抵抗による圧縮筋交い効果が生じる。基本的な抵抗メカニズムは在来軸組工法の真壁と同様であるが、面材が座屈し難く終局耐力が大きいことや、周辺軸組部材負担軽減のためCLTパネル隅角部に切り欠きを設ける場合もあることを想定し、各抵抗要素の評価方法について検証した。

各抵抗要素の応力状態や寄与率については、FEMを用いた増分解析により既往の構面試験結果をトレースし、全体の荷重 - 変形角関係や各部応力の実験結果に基づいて比較検証した。

また耐力壁全体のせん断性能評価式として、既往の「面材張り真壁の詳細計算法」との比較を行い、本設計式が想定する力学モデルのCLT真壁への適用性を検証した。CLTパネルの端部クリアランスを考慮した圧縮筋交い効果や軸組フレームとのせん断接合部の挙動について、実験結果や解析的考察を踏まえ、適切に評価できる式を提案した。

3. CLTを用いた水平構面試験の実施

CLTの継ぎ目をせん断キーで補強した水平構面の設計式について、既往文献を参考に「せん断キー/釘の剛性」比Cによる評価を導入し、構面の剛性評価精度の向上を試みた。

また、せん断キー性能の異なる３種類の試験を実施し、設計提案式の妥当性検証を行った。

【実施した試験体仕様】

①B150-L：合板スプライン性能小｜STS6.5-L85@200

②B150-M：合板スプライン性能中｜STS6.5-L85@100

③B150-H：合板スプライン性能大｜STS6.5-L85@100×２列千鳥

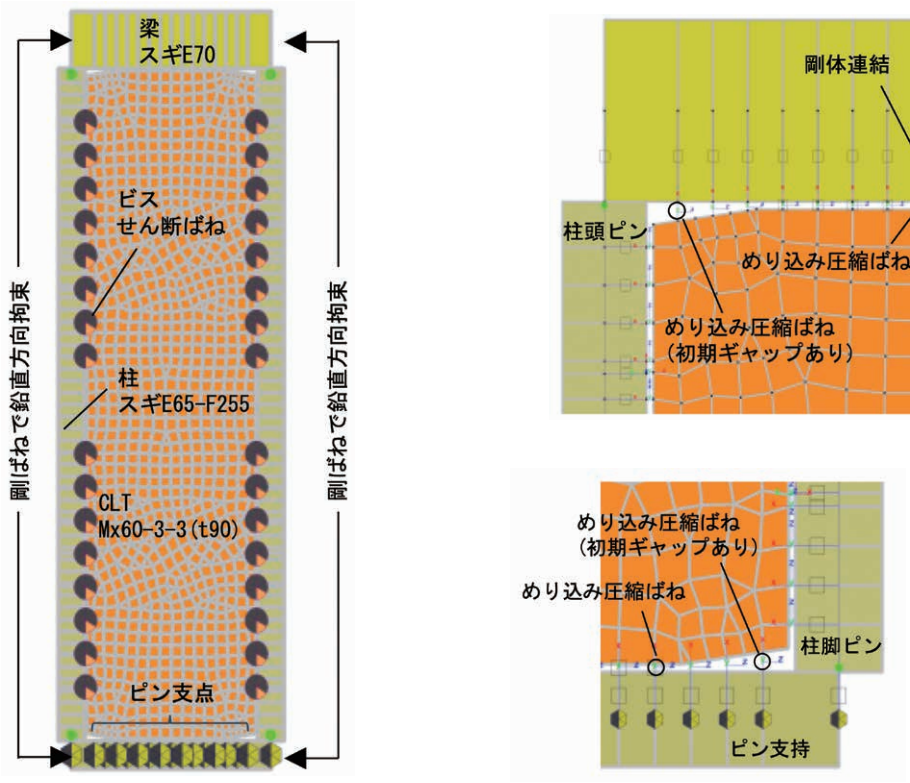


図　CLT真壁構面解析モデル例

表　検討対象の試験体仕様一覧（既往の試験）

試験体記号	FS45-320	FS90-110
鉛直方向標点距離H(mm)	3000	
フレームの内法幅L(mm)	790	775
水平方向標点距離(mm)	910	
柱材	スギ集成材E65-255／120×120	スギ集成材E65-255／奥行120×見付135
添え柱材	スギ集成材E65-255／120×120	
横架材	スギ製材E70／SD15／幅120×せい240	
土台材	ベイマツ製材E110／SD15／120×120	
面材（壁パネル）	スギCLT／Mx60-3-3／A種構成／厚90×786×2820	スギCLT／Mx60-3-3／A種構成／厚90×771×2820
CLTの鉛直方向の向き	強軸方向	強軸方向
フルスレッドビスの種類	HTS9-320	HTS8-110
柱1本へのビス打ち込み本数(本)	16	41
柱の鉛直方向に対するビスの角度	45°、135°	90°

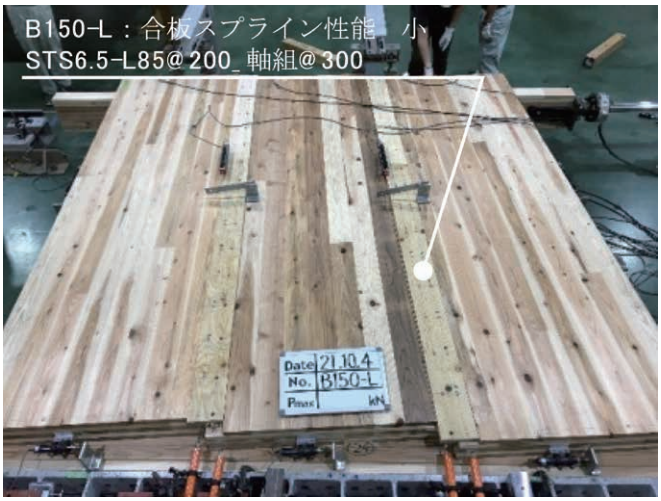


図　CLT水平構面試験体図①B150-L：合板スプライン性能小｜STS6.5-L85@200

図　CLT水平構面試験体図②B150-M：合板スプライン性能中｜STS6.5-L85@100

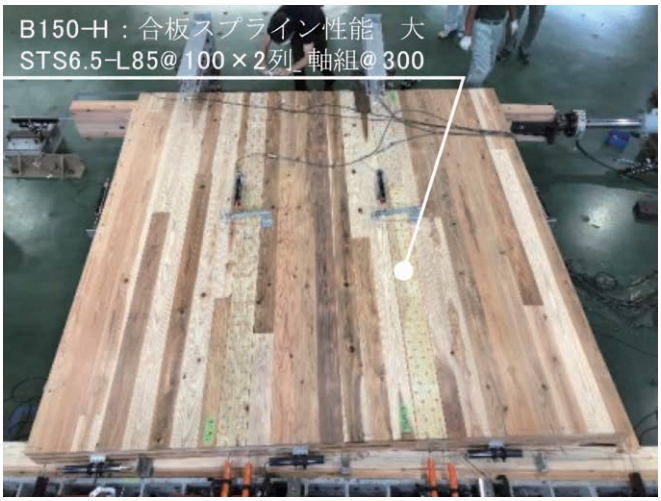


図　CLT水平構面試験体図③B150-H：合板スプライン性能大｜STS6.5-L85@100×2列千鳥

実施した結果

1. 構造設計マニュアル案の作成

CLT部分利用の構造設計マニュアル案としてまとめた。

2. CLT真壁構面試験結果と設計式の比較検証

「面材張り真壁の詳細計算法」において下記の項目に留意して性能値を評価することで、概ね実験値を安全側に評価できた。

- 等価釘性能をCLT-軸組間の接合具性能として読み替える
- 壁体の終局変形角を1/30radで頭打ちとしない
- 圧縮筋交い効果に関する計算式において隅角部の切り欠きを考慮し、面材幅を調整する
- 面材端部のクリアランスや軸組フレームによる拘束条件を適切に考慮し、釘配列諸定数を調整する

3. CLTを用いた水平構面試験の実施

設計提案式の性能評価と実験結果が概ね良く対応しており、提案式の妥当性が確認できた。

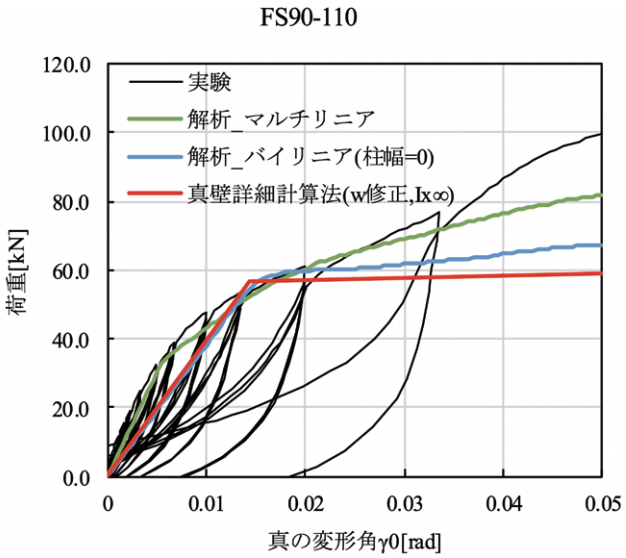
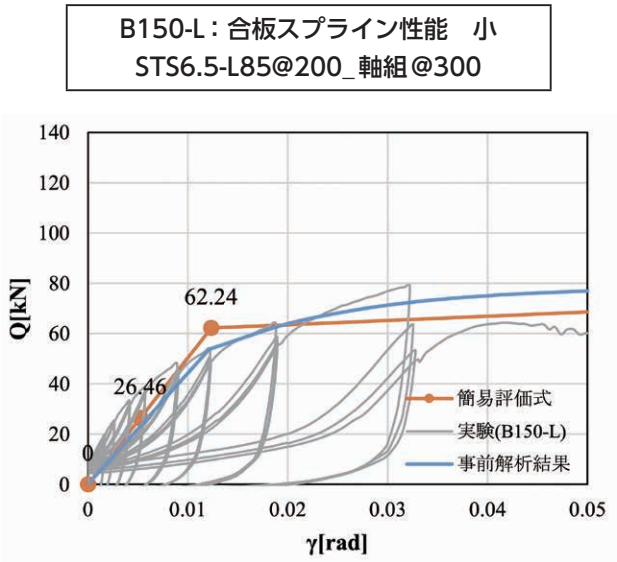
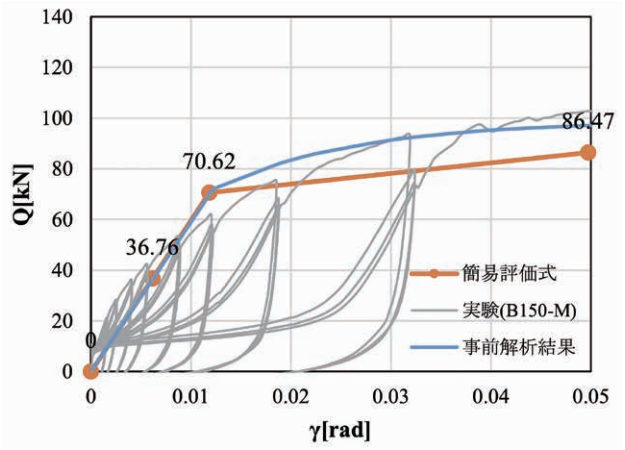


図　CLT真壁構面試験と設計式の比較



B150-M：合板スプライン性能　中
STS6.5-L85@100_軸組@300



B150-H：合板スプライン性能　大
STS6.5-L85@100×2列_軸組@300

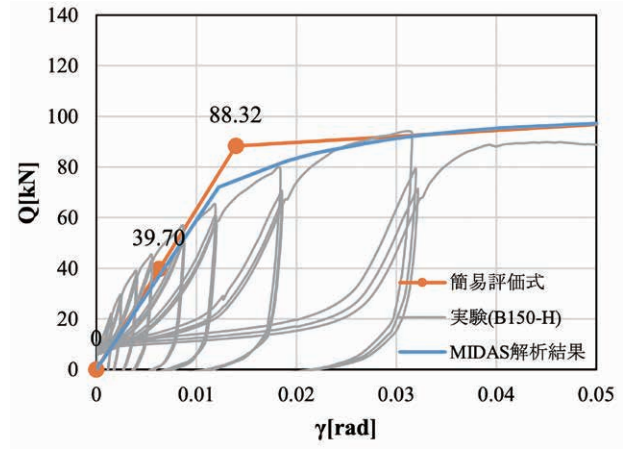


図 CLT 水平構面試と設式の比

今後の課題・展開等

本事業では、CLTを面材とした耐力壁及び水平構面の構造性能について、実験結果や解析結果を基に、適用範囲を限定した上で設計式を提案した。

提案式は接合具の単体性能を基に全体性能を評価するため、ある程度汎用的に運用することが可能であるが、接合具の性能データは今後様々な設計の実状に応じてバリエーションを増やしていくことが重要である。

事業

CLTパネル工法建築物の地震時限界性能把握による接合部簡易化・壁量低減等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無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。
本検討では、このような背景を踏まえ、実験・解析等による倒壊限界の把握と、それに基づく接合部簡易化案・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。本事業ではその初年度として以下の検討を行った。

① 倒壊限界等確認実験
　倒壊限界の直接的確認と倒壊解析手法検証を目的とした振動台実験等。

② 地震倒壊解析手法の構築・検証
　CLTパネル工法建築物に適用可能な地震倒壊解析手法の構築・検証。

③ 耐震基準緩和の方向性検討
　上記の結果に基づく耐震基準緩和の方向性の検討。

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・耐震基準合理化の方向性検討）
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WG（実験の計画・実施・分析）
京都大学、信州大学、建築研究所、国土技術政策総合研究所、日本システム設計

■地震倒壊解析WG（地震倒壊解析手法構築・検証）
京都大学、建築研究所、国土技術政策総合研究所、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・住宅生産課

実施した内容

①倒壊限界等確認実験：検討委員会内に設置した実験実施WGにより以下の実験を行った。

- **CLTパネル工法構面の振動台実験**
  CLTパネル工法構面による2層試験体を対象として実験装置の限界に至る大変形領域における応答性状を確認した（写真1参照）。
- **壁パネル・せん断接合部の限界性能確認実験**
  倒壊限界評価法・倒壊解析手法構築のための基礎的データ収集を目的として、壁パネルの定軸力下水平加力実験（写真2参照）により鉛直荷重支持限界を確認し、接合部の強制回転変位下せん断実験（写真3参照）によりせん断耐力保持限界を確認した。

②地震倒壊解析手法の構築・検証：検討委員会内に設置した地震倒壊解析WGにより、振動台実験に対応する事前解析・事後解析を行った。

③耐震基準緩和の方向性検討：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方向性および今後の課題などについて検討した。

写真1　振動台実験

写真2　定軸力下水平加力実験

写真3　強制回転変位下せん断実験

実施した結果

①倒壊限界等確認実験

- **CLTパネル工法構面の振動台実験**

  震度７級の実地震動記録をさらに増幅した極大地震動を入力した結果、１層の層間変位が60cm程度に達したが、その後壁パネルの傾斜復元力によりほぼ元の位置に復帰した（図１参照）。CLTパネル工法構面の倒壊限界は極めて大きいことが確認された。

- **壁パネル・せん断接合部の限界性能確認実験**

  壁パネルの水平変位が大きくなると圧壊が急速に進行する場合があり（写真４参照）、特に軸力が大きくなる中高層建築物では注意が必要であることが確認された。また、壁パネルの回転変位が大きくなるとせん断接合部の耐力が低下するため、倒壊限界の評価において考慮が必要であることが確認された。

②地震倒壊解析手法の構築・検証：振動台実験に対応する事後解析結果は実験結果に概ね適合し（図２参照）、CLTパネル工法構面の倒壊限界の予測が可能であることが示された。

③耐震基準緩和の方向性検討：上記の結果を踏まえ、低層の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限り、大地震に対する検定は不要であり、壁パネル引張接合部は大幅に簡易化できる可能性が確認された。

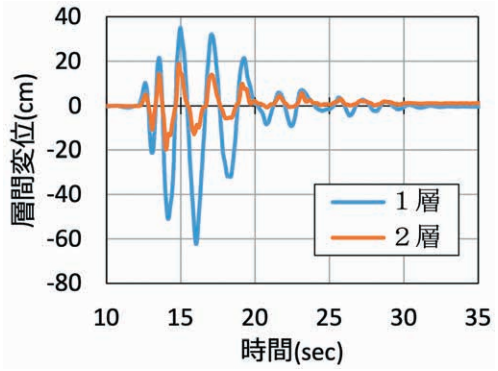


図１　層間変位時刻歴

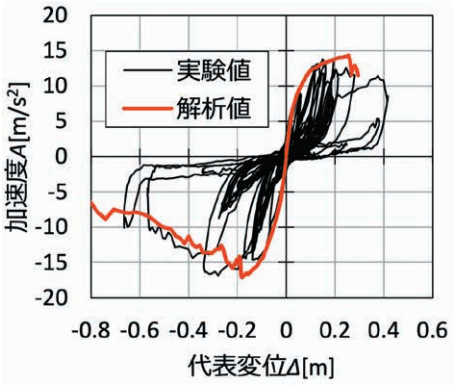


図２　解析結果（例）

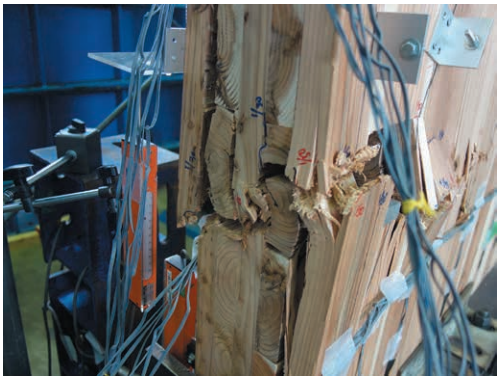


写真４　壁パネル圧壊

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）実架構の倒壊限界の確認：本年度実施した振動台実験の試験体は平面的な単一の鉛直構面によって構成されている。これに対して、直交方向構面も存在する立体的な試験体を用いた倒壊限界確認実験などが必要である。

2）CLT 壁パネル・せん断接合部の先行破壊防止条件：CLT 壁パネルの先行破壊を防止するために、壁パネル負担軸力の上限値、引張接合部終局耐力の上限値などを明らかにする必要がある。せん断接合部の先行破壊を防止するためには、壁パネルの変形角に対する追従性の高い接合部仕様が望まれる。

3）倒壊解析手法の汎用化・高精度化：本年度実施した振動台実験結果、その他の実大実験結果への適合性確保を前提とした倒壊解析手法の汎用化・高精度化が必要である。

これらの課題について次年度以降に引き続き検討を行う予定である。

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 超厚合板の試作試験
② 超厚合板の性能試験
③ 超厚合板の接合部試験
④ 超厚合板の耐力壁試験

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
小松　秀之　　秋田プライウッド株式会社
鈴木　春樹　　秋田プライウッド株式会社
大畑　泰廣　　ホクヨープライウッド株式会社
相澤　秀郎　　西北プライウッド株式会社
畑中　　薫　　セイホク株式会社
阿部　勝浩　　石巻合板工業株式会社
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
薮谷　充浩　　株式会社ノダ
酒井　　徹　　林ベニヤ産業株式会社
黄　　箭波　　湖北ベニヤ株式会社
荒木　裕二　　島根合板株式会社
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 食品製造課 基準認証室
石川　智廣　　農林水産省 大臣官房 食品製造課 基準認証室
高木　　望　　林野庁 木材産業課 木材製品技術室
田ノ上真司　　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
田村　尭大　　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

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 超厚合板の試作試験

原料樹種にスギを用いて単板を調製し、構成要素として用いる単板の動的ヤング係数による選別程度を２水準設定し、製造の可否・難易を検討した。

② 超厚合板の性能試験

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、製造因子と基礎物性の関係を把握した。

③ 超厚合板の接合部試験

超厚合板の面圧特性の測定を行い、製造因子と接合部性能の関係を把握した。

④ 超厚合板の耐力壁試験

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た。

図１　超厚合板の積層状況

図２　曲げ試験風景

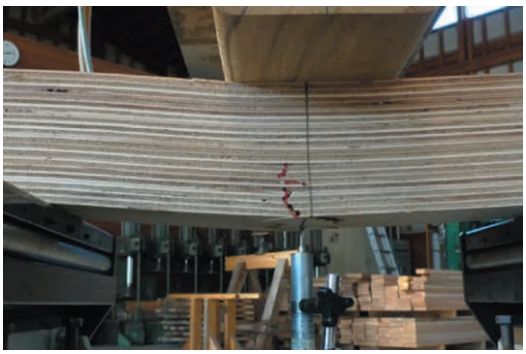


図３　水平せん断試験風景

図４　含水率変化試験片調湿風景

図５　含水率変化測定風景

図６　接合部試験風景

実施した結果

① 超厚合板の試作試験

スギ単板の動的ヤング係数による選別程度を60(tf/cm2)以上、無選別の２水準に設定し、製造の可否・難易を検討した。いずれの単板選別においても製造上は問題なかったが、選別を厳しくすると単板の歩留まりが下がるため、要求性能との兼ね合いで製造条件を設定する必要があることが分かった。

② 超厚合板の性能試験

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。特に、水平せん断性能については単板の選別程度によらず、単板積層材のJAS規格に準じた試験方法で評価可能であることが分かった。

③ 超厚合板の接合部試験

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。得られた成果は、超厚合板を用いた建築物の構造設計の基礎として活用できる。

④ 超厚合板の耐力壁試験

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。

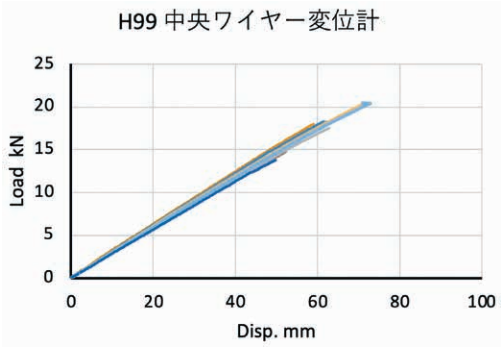


図７　曲げ試験結果の例

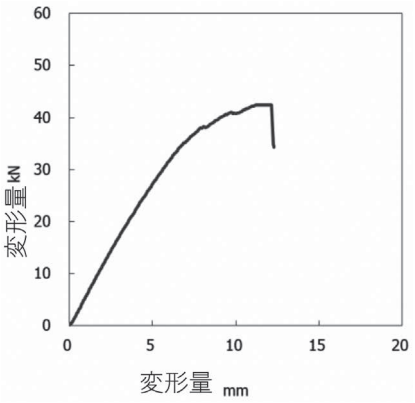


図８　水平せん断試験結果の例

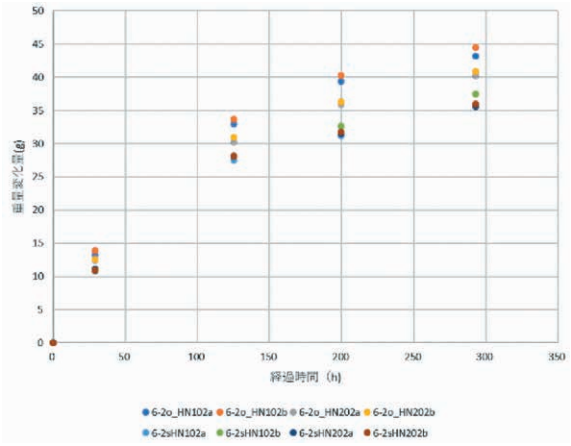


図９　含水率変化試験結果の例

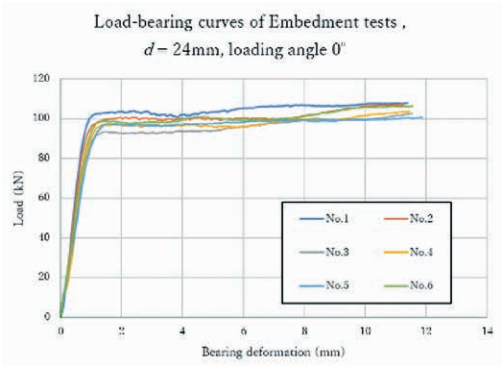


図 10　接合部試験結果の例

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と基礎物性、接合部性能、耐力壁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が可能となり、また、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、要求性能を把握するとともに性能データの蓄積を図ることで、超厚合板の実用化に資することが可能となる。

事業

スギ心去りログ材に適した乾燥スケジュール等の開発事業

● 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

スギを中心とするわが国人工林は、高齢級化・大径材化が進行している。
この大径材を有効活用するためには、国産材比率の低い横架材や羽柄材等への利用拡大など新たな需要創出とともに、生産コストや品質・性能を確保するための技術開発が必要である。

このため、昨年度は、国産材の利用の少ないログ材及び梁・桁にも応用可能な心去り平角の乾燥スケジュールの開発に取り組んだ。
その結果、①スギ心去りログ材（平角）には、高温セット処理後に１か月の天然乾燥を入れたいわゆる大分方式が適していること、②心持ち材に多く使用されている高温セット処理＋中温乾燥は内部割れが多発し、心去り材には適さないことが明らかになった。

今年度は、品質・性能・価格の観点から、よりスギ心去り平角の乾燥に適した乾燥スケジュール等の開発事業を実施した。

実施した項目

本事業のため、乾燥スケジュール等検討委員会を設置し、１～３の調査・試験等を実施した。

１．スギ心去り平角の生産・乾燥コスト等の調査

（1）心去り平角（２丁取り）の製材コスト等の調査

（2）心去り平角の乾燥条件ごとのコスト等の調査

- 乾燥条件① 高温セット処理＋天然乾燥＋２次乾燥
- 乾燥条件② 天然乾燥＋２次乾燥（高温セット処理無し）
- 乾燥条件③ 高温セット処理＋２次乾燥（天然乾燥なし）

２．スギ心去り平角の品質・性能の調査

（1）平角製材品及び乾燥材の品質（等級区分・含水率・内部割れ等）の調査

（2）平角乾燥材の強度性能の調査

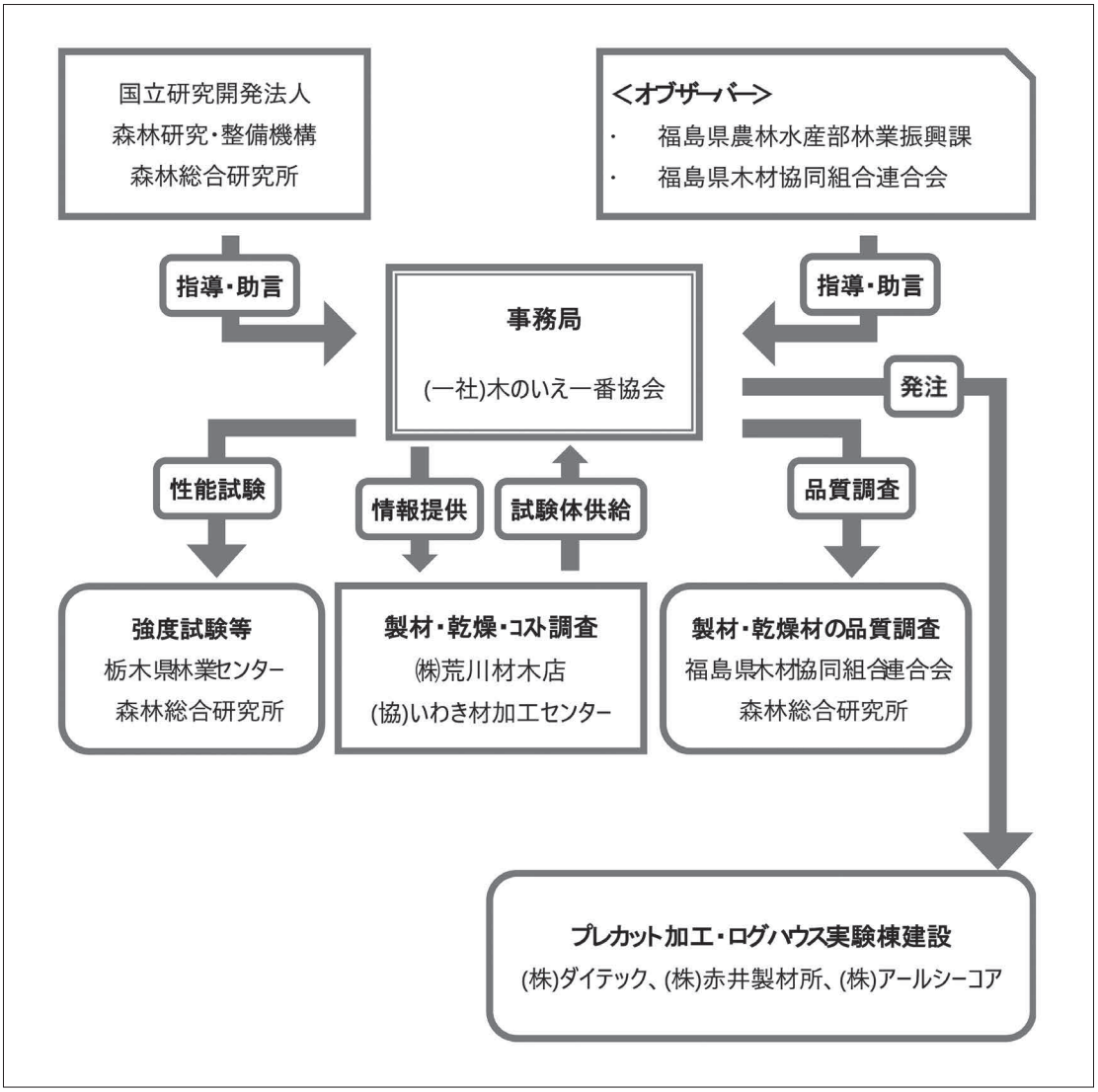
３．ログハウス実験棟の建設

含水率、表面割れ、接合部の浮きなどの経年変化を調査するため、乾燥条件①～③のログ材及び心持ちログ材による実験棟を建設

実施体制

本事業の目的達成のため、研究者、関連機関からなる木材乾燥スケジュール等検討委員会を設置し、事業を推進した。

委員長	渡辺　　憲	（森林総合研究所木材乾燥研究室　主任研究員）
委　員	長尾　博文	（森林総合研究所　構造利用研究領域　研究専門員）
	松村ゆかり	（森林総合研究所　木材機械加工研究室　主任研究員）
	大谷　直希	（栃木県林業センター　木材研究部　主任）
	鈴木　裕一	（福島県木材協同組合連合会　会長、㈱ 赤井製材所　代表取締役）
	荒川　仁弥	（㈶ いわき材加工センター 副理事長、㈱ 荒川材木店　代表取締役）
	倉持　秀一	（㈱ 赤井製材所　ログ＆ティンバー事業部長）
	鈴木　柾司	（㈱ 赤井製材所）
	池田　　均	（(一社) 木のいえ一番協会　技術開発委員長）
	井谷真由美	（㈱ アールシーコア　BESS 事業本部商品開発部　技術開発　主任）
オブザーバー	矢吹　秀明	（福島県　農林水産部　林業振興課長）
	佐藤　　守	（福島県木材協同組合連合会　専務理事）



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乾燥スケジュール等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。

＜試験の手順＞

スギ大径材の調達から、製材・乾燥・グレーディング・挽き直し・仕上げ加工・強度試験・ログ実験棟の建設等の流れは、以下の手順で行った（図１）。

図１　試験の手順

１．スギ心去り平角の生産・乾燥コスト等の調査

(1) 心去り平角（２丁取り）の製材コスト等の調査

スギ大径材１30本（38㎝～42㎝）から､心去り平角（135㎜×215㎜×4000㎜）260本を製材し、歩止り、製材コスト等について調査した（図２）。

(2) 心去り平角の乾燥条件ごとのコスト等の調査

蒸気式乾燥機を用いて、以下の乾燥条件①～③の乾燥試験を実施した（図３、写真１）。蒸煮処理は95℃、8h 共通とした。乾燥条件①は、昨年度実施した乾燥スケジュールの中で最も成果が上がった乾燥方法である。乾燥条件②は、乾燥条件①から高温セット処理を除いたスケジュールであり、高温セット処理が表面割れ等に及ぼす影響を比較した。乾燥条件③は、乾燥期間の短縮、乾燥コスト等の観点から、乾燥条件①から天然乾燥を除き品質・性能等の違いを調査した。

また、乾燥条件①～③ごとの乾燥コストの直接費（エネルギー費等）について調査した。

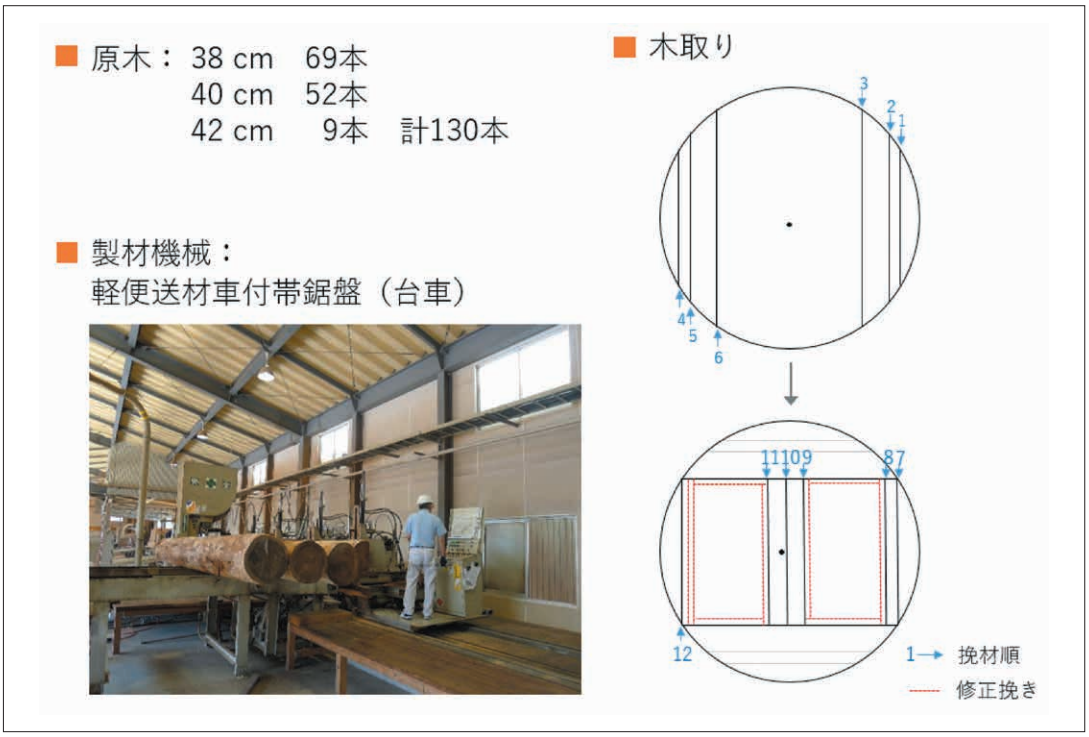


図２　製材試験の概要

図３　心去り平角の乾燥条件

写真１　乾燥試験の風景

2．スギ心去り平角の品質・強度性能の調査

(1) 平角製材品及び乾燥材の品質（等級区分・含水率・内部割れ等）の調査

①乾燥前及び乾燥後にグレーディングマシンを用いて重量及び曲げヤング係数を測定した。なお、乾燥前の平角24本及び乾燥後の60本については反り・曲がりを測定した。

②その後、修正挽き・モルダー加工した210本（乾燥条件①60本、乾燥条件②75本、乾燥条件③75本）について、目視によるJAS格付の甲種構造材Ⅱの等級付けを実施した。

③強度試験用の120本（各乾燥方法ごとに40本）については、モルダー加工後及び曲げ試験時に切片を採取し、全乾法で含水率を測定した。

④内部割れ測定については、モルダー加工後に切片を採取し、横断面内にみられる内部割れの長さを測定し、長さの合計（総長さ）を算出した。また、表面割れの有無を記録した。

(2) 平角乾燥材の強度性能の調査

①平角乾燥材から曲げヤング係数の分布がおおよそ等しくなるように、乾燥条件ごとに40本、合計120本の試験体を選別し、モルダー加工後に曲げ試験に供した。

②曲げ試験は、栃木県林業センターの実大試験機を用いて、以下の方法によって測定を実施した（図4）。

③曲げ試験に先立ち、試験体の内部割れや曲げ試験時のせん断破壊に関連すると推測されるせん断弾性係数を、非破壊試験であるT.G.H法により測定した。

3．ログハウス実験棟の建設

乾燥条件ごとの反り、ねじれ、浮き、割れ等の挙動を確認するため、比較対象として心持ちログ材12本、乾燥スケジュール①16本、乾燥スケジュール②12本、乾燥スケジュール③12本を使用した、平屋建て、延べ床面積9㎡のログハウス実験棟を建設した（写真2）。

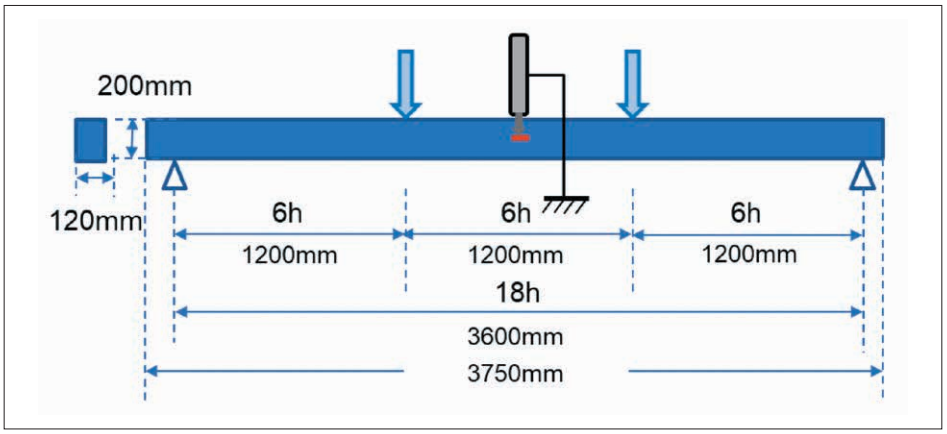


図4　曲げ試験方法

写真2　ログハウス実験棟

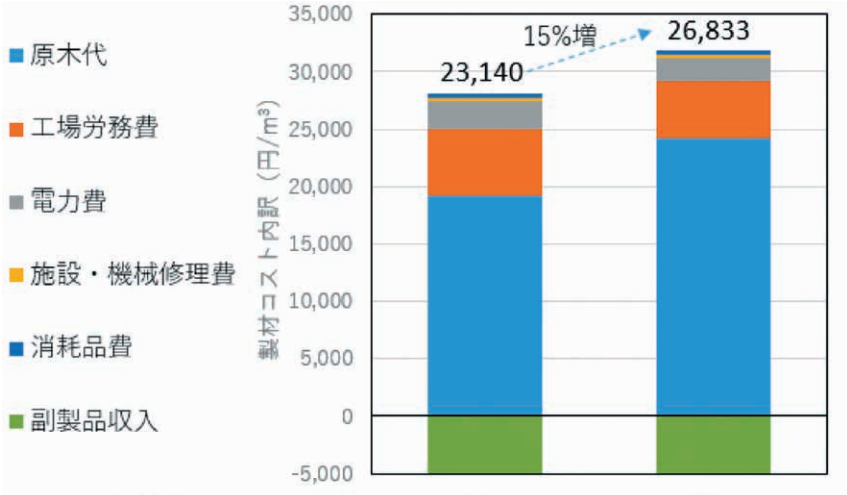
実施した結果

1．心去り平角の生産・乾燥コスト等の調査結果

(1) 心去り平角（２丁取り）の製材コスト等の調査結果

①製材歩止り(粗挽き)は、製品全体で62%、心去り平角のみでは38%であった。

②製材コストは、原木価格が上昇したことにより増加したが、大割工程の生産性向上により原木消費量が増加すると仮定すると、トータルでは15%の増加と試算できた（図５）。



＜前提条件＞	R2	R3
原木消費量（m³/年）	5,500	6,500
原木価格（円/m³）	12,000	15,000
人員（名）	5	5
機械出力（kW）	250	250
歩止り（%）	62.6	62.0

図５　製材コスト試算結果

(2) 心去り平角の乾燥条件ごとのコスト等の調査結果

乾燥スケジュールの各ステップの乾湿球温度から乾燥コスト（直接費）を試算した結果、乾燥条件①、②、③でそれぞれ4860円／㎥、5583円／㎥、6535円／㎥と試算された。

乾燥条件②の乾燥コストは高温セット処理を省略した分、③より低く試算された（図６）。乾燥条件①に比べて②③の乾燥コストが高い原因は、２次乾燥の時間を６日間長くしたことによる。

直接費以外の費用（天然乾燥に必要な土地代や材の搬送等に係る人件費）や機会損失を考慮すると、乾燥条件の違いによるトータルコストの差はかなり縮まると考えられる。

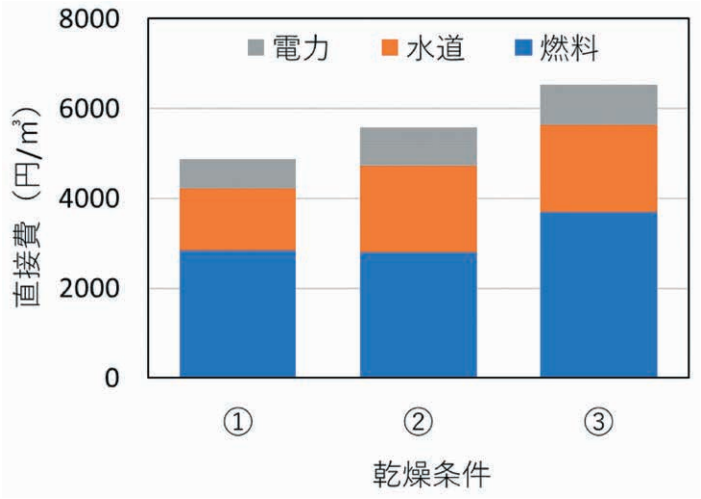


図６　乾燥条件ごとの乾燥コスト（直接費）の試算結果

２．スギ心去り平角の品質・強度性能の調査結果

(1) 心去り平角の品質（等級区分・含水率・内部割れ等）の調査結果

①等級区分調査

人工乾燥・モルダー加工後の平角乾燥材 210 本について、目視等級区分（甲種構造材Ⅱ）を実施した結果、約 70% 以上が２級以上であった。

また、乾燥後の機械等級区分では、E70 が 47%、E90 が 42% であり、これらの合計で約 90% を占めていた。

②寸法変化、反り・曲がり

乾燥による寸法変化は、厚さ方向は平均約 4mm、幅方向は約 6mm であった。製材時に修正挽きを行っているため、製材直後の反り・曲がりは平均２mm程度と小さかった。

人工乾燥後には製材直後よりも増加する傾向があったが、乾燥条件による違いは認められなかった。

③含水率

モルダー加工後の含水率は、各乾燥条件間に顕著な差はみられず、全体的に 20% 前後であった（図７）。乾燥後の強度試験までの養生によって、含水率はさらに平均 6% 低下した。

④表面割れ・内部割れ

乾燥条件間で表面割れが生じた試験体数に有意な差がみられず（表１）、高温セット処理を施さなくても心去り平角では表面割れが生じにくいといえる。乾燥条件③の内部割れ総長さの平均は、①②に比べて２倍以上大きく、天然乾燥によって時間をかけて乾燥することにより内部割れの発生量を低減できることが分かった。

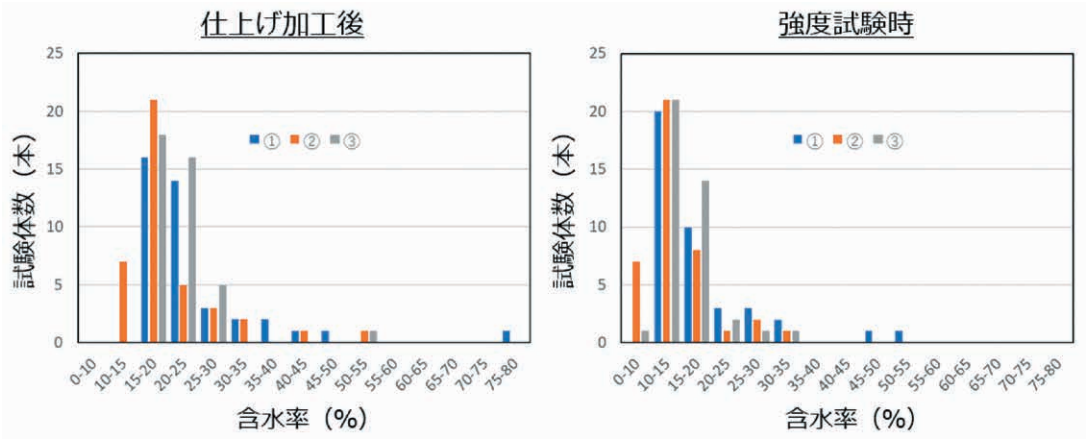


図７　含水率の分布状況

表１　各乾燥条件におけ表面割れの生じた試験体数及び内部割れ総長さ

乾燥条件	表面割れの生じた試験体数（40本中）	内部割れ総長さ（mm）			
		平均	標準偏差	最小	最大
①	8	13.9	26.3	0	106.7
②	9	21.4	30.7	0	109.0
③	7	52.6	51.2	0	154.6

(2) 平角乾燥材の強度性能の調査結果

①曲げ強度

昨年度の試験結果から、心去り平角に適正な乾燥スケジュールと判断された乾燥条件①の曲げ強度と比較して、高温セット処理を省略した乾燥条件②、及び天然乾燥を省略した乾燥条件③のそれぞれの曲げ強度との間に明確な違いは認められなかった（図８）。

②曲げ試験時の破壊形態

曲げ試験時の破壊形態では、乾燥条件によってはせん断破壊が約10%見られたが、いずれの乾燥条件においても曲げ強度は機械等級区分構造用製材の基準強度をほぼ満足していた（図９）。

③乾燥条件による内部割れと曲げ強度との間、また内部割れとせん断弾性係数との間に明確な傾向は認められなかった。

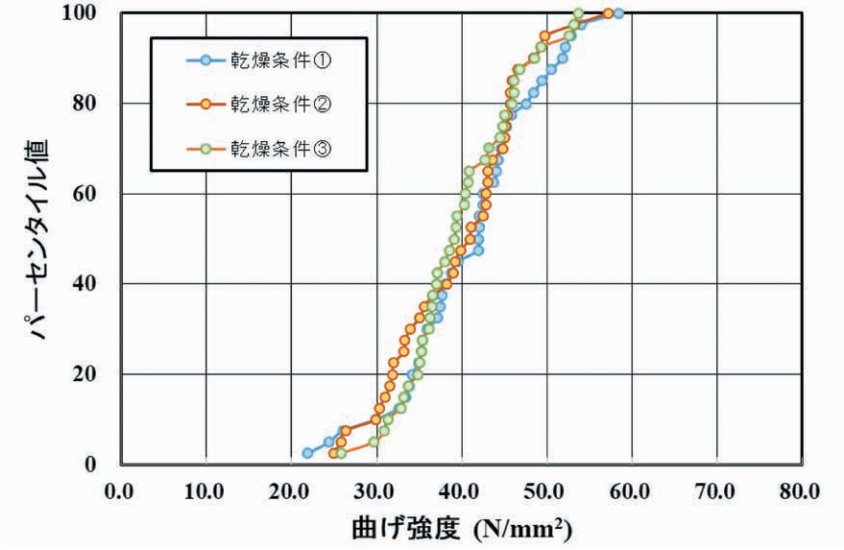


図８　各乾燥条件の曲げ強度の累積頻度曲線

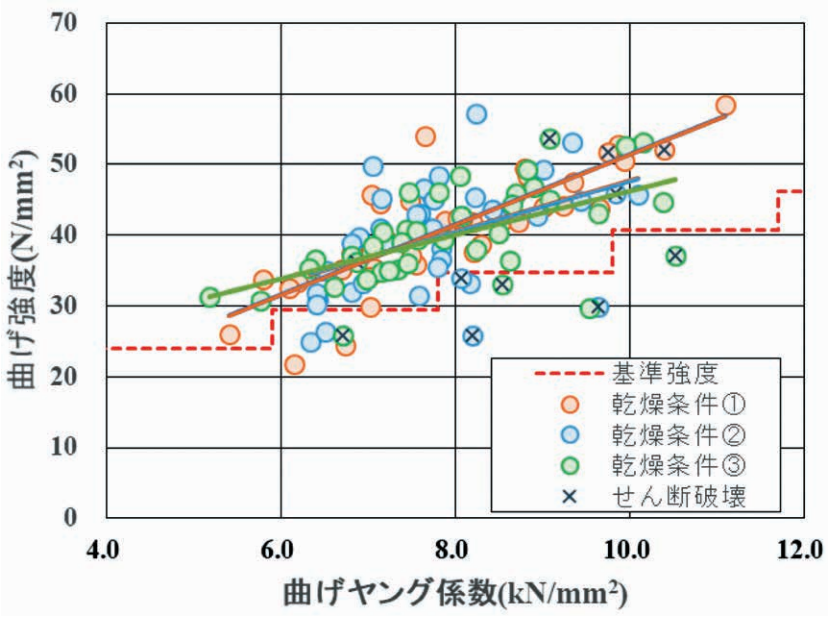


図９　曲げヤング係数と曲げ強度との関係

３．ログハウス実験棟の建設及び経年変化調査

建設時に含水率の測定、表面割れ・木口割れ等の等の調査を行い、今後、セトリング量、実勘合部の浮き・ねじれ、水染み等の経年も含めた経年変化調査を３ヶ月後、１年後、６年後まで年１回を実施する（写真３）。

写真３　ログ材の内部割れ及び実勘合部分

今後の課題・展開等

今回の事業により、現時点でのスギ心去り平角に適した乾燥スケジュールを確認できたが、課題も多く残されている。

1．スギ心去り平角材に適した製材システムの構築

今回の台車による平角の製材では、作業者の平角製材技術の向上もあり、生産性が１５％増加したが、ツインバンドソーによる効率的な製材システムなどの構築が必要と思われる。

2．効率的なスギ心去り平角の乾燥スケジュールの確立

今回実施した３種類の乾燥条件では、曲げ強度に明確な違いは認められず、３種類とも基準強度をほぼ満足した。ただし、天然乾燥を省略した乾燥条件③では、①②に比べ内部割れの量が２倍以上発生しており、基準強度はほぼ満足しているものの、通しボルトを使用するログ材等での用途での検証が必要である。

3．スギ心去りログ材の実用化に向けて

ログハウス実験棟では、乾燥条件①②③のログ材及び比較対象として心持ちログ材を使用し、定期的な調査により心去りログ材の経年変化や優位性等を検証することとしているが、結果を得るには少し時間が必要である。

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

● 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

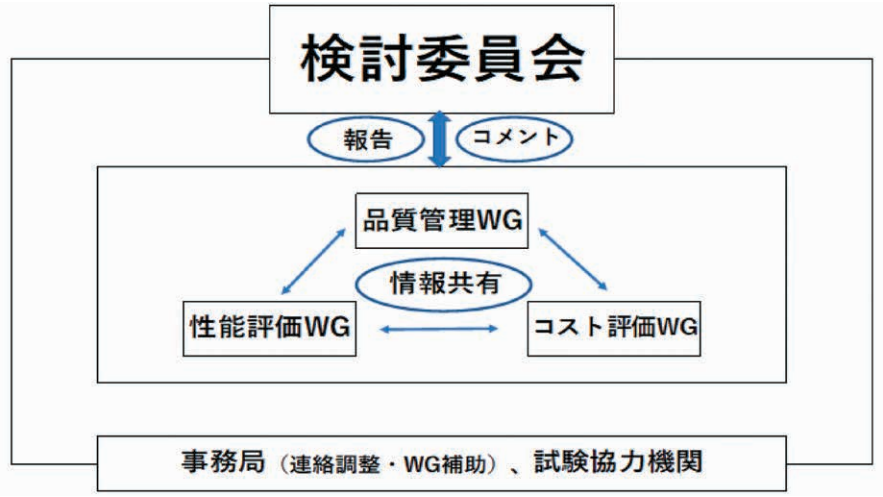
「脱炭素社会の実現に資する等のための建築物等における木材の利用の促進に関する法律（令和３年10月施行）」の成立により、木材利用の推進が益々重要となっている。今後の木材の需要拡大のためには、非住宅建築物や外構材等への利用拡大を図ることが必須であると考えられる。現状では、使用環境に対応した耐久性を保持させるために、各種木材保存剤が使用されているが、生産・加工・施工・廃棄・リサイクルの過程において、環境負荷を軽減するという視点からは、少なからず課題がある。そこで、環境負荷に配慮した木材保存剤として、液体ガラスに着目し、その処理木材の品質とその性能を科学的に検証し、合理的な実用条件を検討する。

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、注入処理材としての諸性能評価を基本として、下記の①～⑤について検討、実施した。

① 液体ガラス処理木材の処理条件と浸透量の関係解明
② 処理仕様と処理材の基本物性評価
③ 処理仕様と処理材の耐久性評価
④ トータルコストの検討
⑤ 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）
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）

青木　弾　（名古屋大学）
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）
和田守通　（(株) eステップ）
樫尾隆仁　（(株) eステップ）
池洋一郎　（(株) ニッコー）
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： 青木　弾、栗﨑　宏、和田守通、樫尾隆仁
性能評価WG： 市浦英明、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 液体ガラス処理木材の処理条件と浸透量の関係解明

①－1 浸潤度（浸透分布）測定のための呈色法の検討

液体ガラスのケイ素等と反応する試薬による呈色法の検討を行った。

①－2 温冷浴法の処理条件と浸透量の関係

温冷浴法による浸透状況（浸透量･分布）、温浴温度と浸透量の関係、冷浴槽内ケイ素含有率について、試験・分析を行った。

①－3 加圧注入法の処理条件と浸透量の関係

加圧注入方法による浸透状況（浸透量・分布）について、試験・分析を行った。

② 処理仕様と処理材の基本物性評価

②-1 温冷浴処理の有無による処理材の硬さ及び寸法安定性

JIS Z2101 に基づき、温冷浴処理後に表面塗装した試験体と表面塗装のみの試験体の表面硬さ及び寸法安定性の試験を行った。

②-2 温冷浴処理による処理材の加工性

テーブル移動式丸鋸盤により、切削消費電力の測定と切断後の被削材のエッジの状態の観察を行った。

③ 処理仕様と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

サンシャインウエザーメーターによる促進耐候試験及び高知城内と高知県立森林技術センター構内での暴露試験を行った。

④ トータルコストの検討

液体ガラス処理木材の処理工程ごとのコスト、認定木材保存剤の処理コスト、維持管理・廃棄処分コストについて検討した。

⑤ 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

試験実施の過程において、実用プラントでは液体ガラスへホウ酸を添加した処理仕様であることが明らかになり、当初試験計画の見直しを行ったが、本概要では当初計画により、実施した結果を原則として報告するもので、見直しも含めた全体的な結果は、成果報告書で報告するものとする。

①－１　浸潤度（浸透分布）測定のための呈色法の検討

ケイ素と反応し、呈色する試薬の検討を行ったが、見つけることはできていない。その後、実用プラントでは、液体ガラスへホウ酸が添加されていることがわかり、引き続き、ホウ酸への反応で呈色する試薬の検討を行った。

各種処理液を減圧注入したスギ辺材試験片（20 × 20 × 10mm）にクルクミン 2%エタノール溶液を部分的に滴下した結果を写真－１に示す。左と右の試験片は、クルクミンの黄色のままだが、中央の試験片は赤色に発色した。これにより、ホウ酸添加処理液が浸透した木材はクルクミンによる呈色が可能で、処理液の浸潤度として現場への適用も検討できることがわかった。

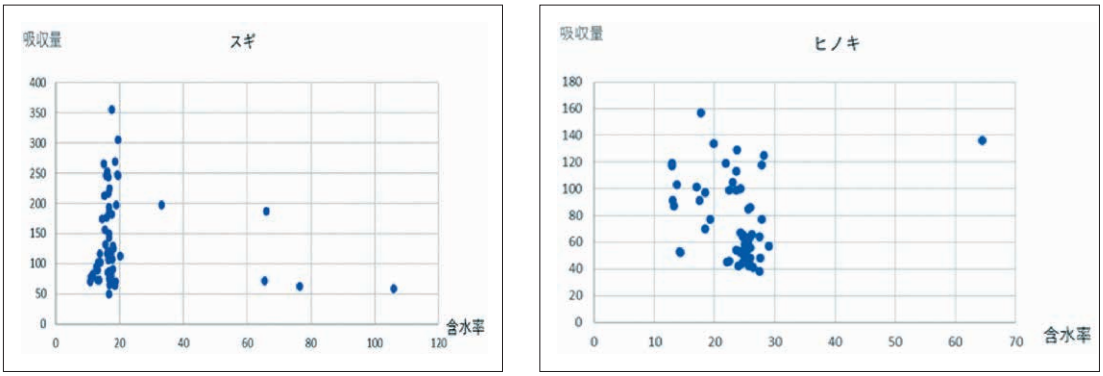
写真－１

ホウ酸添加なし処理液　　ホウ酸添加あり処理液　　無処理

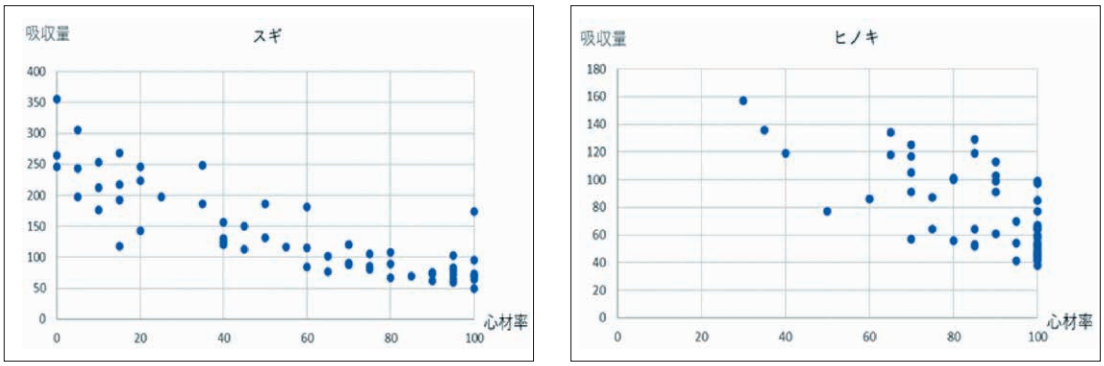
①－２　温冷浴法の処理条件と浸透量（吸収量）の関係

樹種（スギ、ヒノキ）ごとに、含水率と浸透量及び心材率と浸透量の関係を図－１、図－２に示す。温冷浴条件は、温浴 80℃、４時間、冷浴 13 時間、図中の吸収量の単位は kg/m^3 である。

浸透量は、心材率と相関が見られ、心材率が高いほど、少ない傾向があるのに対して、含水率との関係についてはサンプルの含水率分布が狭いため、確認することができなかった。

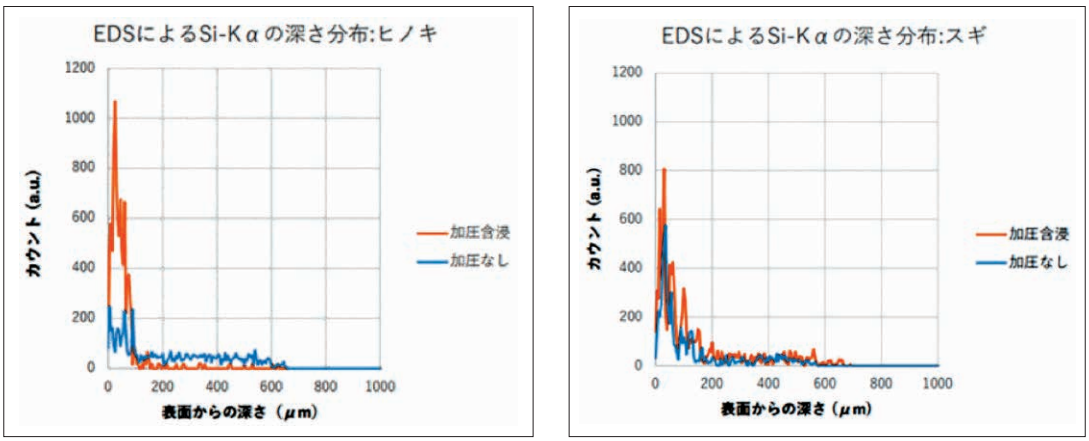


図－１　吸収量と含水率の関係



図－２　吸収量と心材率の関係

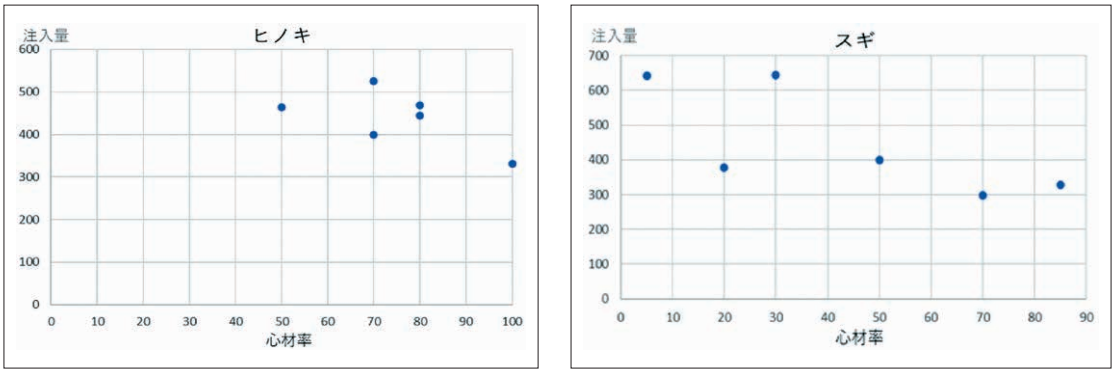
浸透深さに対する測定・分析を行った結果を図－３に示す。
図－３より、ケイ素はスギ及びヒノキとも、表面から600 μｍの深さまでの浸透となっている。



図－３　EDSによるSi-Kαの深さ分布

①－３　加圧注入法の処理条件と浸透量の関係

加圧注入における注入量と心材率の関係を図－４に示す。注入量は300kg/m3以上となり、心材率との関係は、サンプル数が少ないため、確認できなかった。

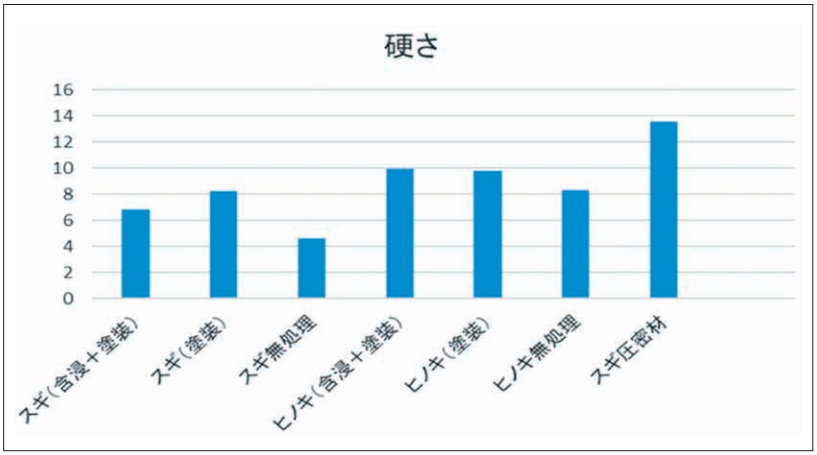


加圧注入条件：減圧 76torr　20分　　加圧 7784torr　５時間

図－４　注入量と心材率の関係

②－１　温冷浴処理の有無による処理材の硬さ及び寸法安定性

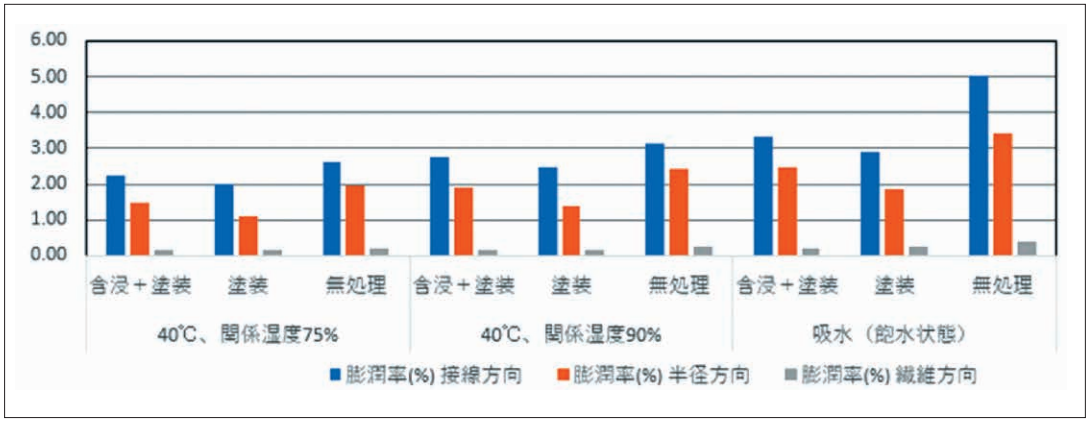
処理材の表面硬さを図－５に示す。スギ、ヒノキとも無処理材よりは、硬くなるが、処理仕様として温冷浴の有無による相違はないと思われる。



測定方法
参照規格：JIS Z2101
島津製作所製　木材硬さ
　試験装置：343-08159
鋼球直径：10mm
押し込み深さ：0.32mm
押し込み速度：0.4mm/min
硬さ＝測定力(N)/10

図－５　処理材の表面硬さ

ヒノキ処理材の寸法安定性を図-6に示す。スギ処理材同様に吸水状態では無処理材が高い膨潤率を示していたが、40℃条件下では無処理材との膨潤率の差は認められないと思われる。

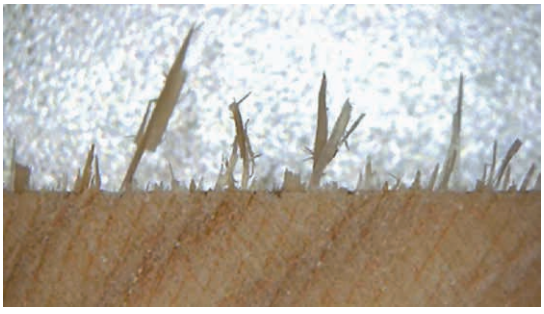


図－６　ヒノキ処理材の寸法安定性

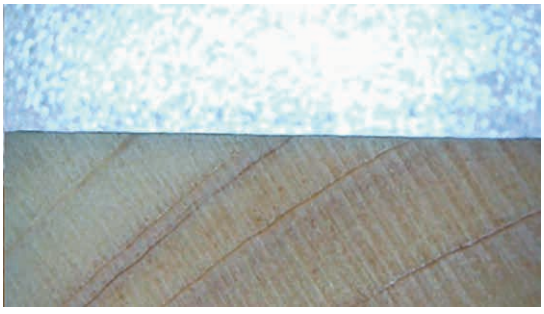
②－２　温冷浴処理による処理材の加工性

切断面のエッジのバリの様子を写真－２に示す。処理材は、バリの発生がなく、バリ取りの必要がなくなる。

写真－２



ヒノキ熱処理材



ヒノキ処理材

③－１　処理材の防腐効力及び防蟻効力試験

JIS K1571-2010、6.1 防腐性能、6.1.1 室内試験、6.1.1.1 注入処理用に従って実施した防腐性能試験結果を表－１に、5.3 防蟻性能、5.3.1 室内試験、5.3.1.1 注入処理用及び 5.3.1.2 表面処理用に従って実施した防蟻性能試験結果を表－２、表－３に示す。いずれも性能基準である平均質量減少率 3% 以下を満たさなかった。

表－１　防腐性能試験結果（注入処理）

試験体	菌種	薬剤吸収量 (kg/m³)	質量減少率（%）		特記事項 (菌糸の状況)
			平均	標準偏差	
処理試験体	オオウズラタケ	818	48	5	正常
無処理試験体	オオウズラタケ	—	49	5	正常

表－２　防蟻性能試験結果（注入処理）

試験体	薬剤吸収量 (kg/m³)	死虫率（%）		質量減少率（%）	
		平均	最小－最大	平均	最小－最大
処理試験体	804	13	9－17	22	18－29
無処理試験体	—	12	9－17	18	17－21

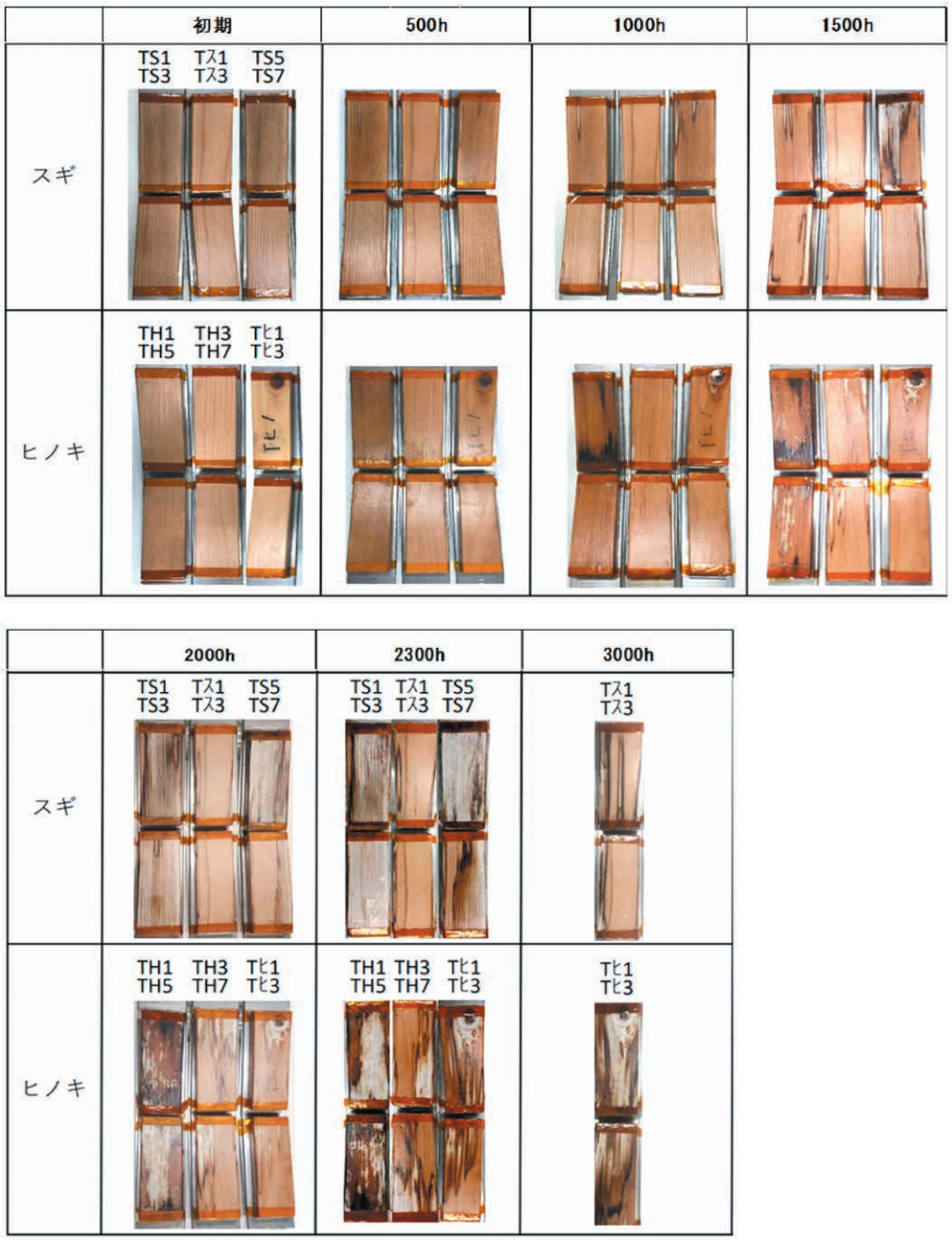
表－３　防蟻性能試験結果（表面処理）

試験体	試料処理量 (g/m²)	死虫率（%）		質量減少率（%）	
		平均	最小－最大	平均	最小－最大
処理試験体		15	12－18	25	21－32
無処理試験体	—	15	12－16	33	27－42

③－２　処理材の耐候性評価試験

サンシャイ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－３に示す。1000時間経過時点でスギ、ヒノキともに変色などの変化が生じた。1500時間経過時でスギ及びヒノキともに、液体ガラスに浸漬した後に塗装処理した試験体以外は、変色などが生じ、2300時間経過時には、ヒノキに、3000時間経過時には、スギに変色が生じ、すべての試験体に変色などの変化が生じた結果となった。塗装技術力レベルが性能向上に大きく関与すると思われる。

写真－３



TS(H)　1 , TS(H) 5
　：　スギ(ヒノキ)　温冷浴法による液体ガラス含浸 ＋ 液体ガラス塗装
TS(H) 3 , TS(H) 7
　：　スギ(ヒノキ)　液体ガラス塗装
Tス(ヒ)1 , Tス(ヒ)3
　：　スギ(ヒノキ)　浸漬による液体ガラス処理 ＋ 液体ガラス塗装

④ トータルコストの検討

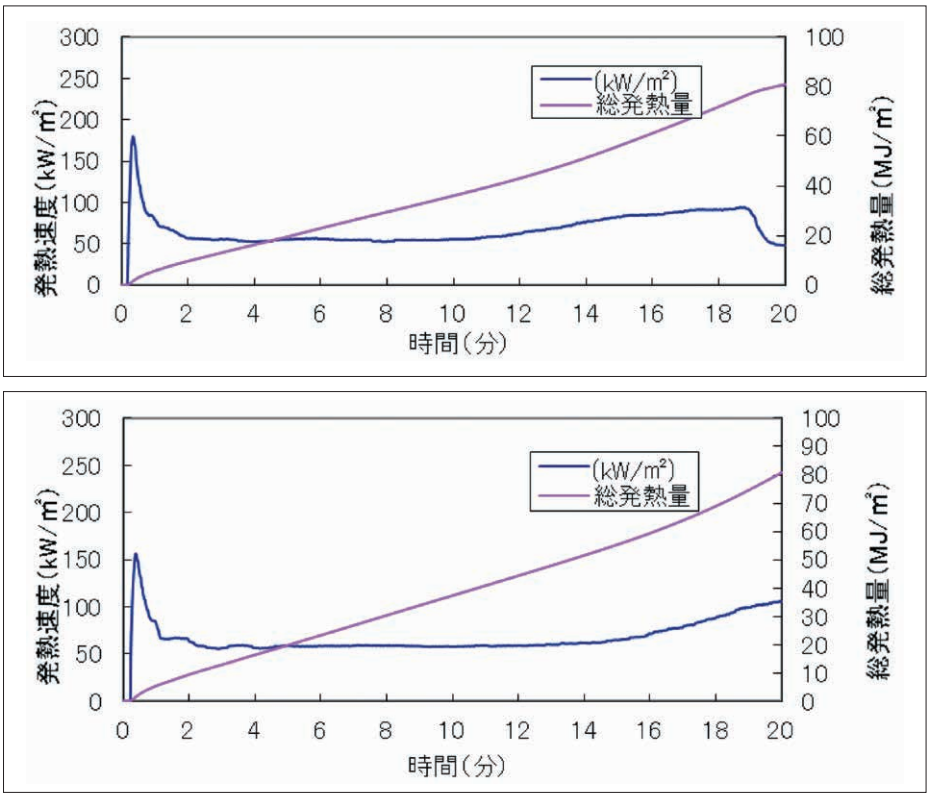
液体ガラス処理木材の処理工程ごとのコストを以下に示す。

- 木ごころ含浸費用　270,000円/m^3（木材・輸送費別途）
- テリオスウッド塗装（木あじシーラー＋木あじ×2＋テリオスウッド）　7,000円/m^2
- テリオスコート塗装（ssプライマー＋テリオスコート）　6,000円/m^2
- レボハード塗装（木あじシーラー＋レボハード＋テリオスウッド）　14,000円/m^2
- ファイアーカット塗装＋テリオスウッド及びテリオスコートが必要　3,000円/m^2

⑤ 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性試験の結果を図－7に示す。

上図がスギ、下図がヒノキで、予備段階での試験で、今後の試験計画の参考となった。



図－7　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

液体ガラス処理木材の諸性能評価について、科学的に検証することができたが、薬剤メー カーが指定する処理仕様では、性能基準を満たさず、諸課題があることが判明した。メーカー仕様のみに限定せず、仕様の自由度を広げて、性能基準をクリアーする処理仕様を見出すことが必要である。

- 液体ガラスの浸透性の問題は、薬剤特性に起因することが大きいと考えられ、市販液体ガラスの他のメーカー薬剤の性能評価と比較検討することも必要と思われる。

- 液体ガラス（各種類を含めて）のみでの処理木材で諸機能を発現することに固執せず、機能向上のための添加剤や市販認定薬剤と液体ガラスとのハイブリッド処理仕様の可能性・実用性を検討することが考えられる。

- トータルコストについては、今回、処理コストに限定したものとなり、維持管理や廃棄も含めた検討が必須である。

事業

品質・性能の確かな人工乾燥材の安定供給に向けた適正乾燥条件の検討

● 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

事業目的

心持ち材の人工乾燥では、100℃超の高温・低湿度条件の乾燥前処理（以下、高温セット処理）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、国内の主要な樹種である、スギ、ヒノキおよびカラマツの心持ち材について、品質・性能の確かな人工乾燥材の安定供給を目的として、割れが少なく強度低下のない適正乾燥条件を検討するとともに、仕上がり含水率のばらつきを少なくするための選別方法や木口シール等による材端部の割れの抑制等について検討した。

実施した項目

1　検討委員会の開催
2　乾燥試験
　2.1　適正乾燥条件の検討
　2.2　乾燥前選別による仕上がり含水率のばらつき抑制効果の検証
　2.3　木口シールが材端部に発生する割れおよび材長方向の含水率分布に及ぼす影響の検討
3　乾燥材の強度試験

実施体制

■有識者　九州大学
秋田県立大学　木材高度加工研究所
国立研究開発法人　森林研究・整備機構　森林総合研究所

■委員　地方独立行政法人　北海道立総合研究機構　林産試験場
栃木県林業センター
長野県林業総合センター
静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター
石川県農林総合研究センター　林業試験場
兵庫県立農林水産技術総合センター　森林林業技術センター
岡山県農林水産総合センター　森林研究所
愛媛県農林水産研究所林業研究センター
大分県農林水産研究指導センター　林業研究部
熊本県林業研究・研修センター
宮崎県木材利用技術センター

以上の委員構成で検討委員会とした。

実施した内容

1　検討委員会の開催

- 令和３年　６月17日　　試験設計・分担確認（オンライン）
- 令和３年11月17日　　進捗状況報告（オンライン併用）
- 令和４年　１月20日　　結果報告、とりまとめの検討（オンライン）

2　乾燥試験

2.1　適正乾燥条件の検討

国産針葉樹の代表であるスギ（心持ち正角、心持ち平角）、ヒノキ（心持ち正角）およびカラマツ（心持ち正角）について、高温セット処理を活用して、割れが少なく強度低下のない適正な乾燥条件を検討した。また、ヒノキ（心持ち正角、心持ち平角）およびカラマツ心持ち正角については、特許技術である100℃未満の中温領域の熱風減圧乾燥についても検討した。

2.2　乾燥前選別による仕上がり含水率のばらつき抑制効果の検証

スギについて、乾燥前のみかけの密度、心材色、ガンマ線等を活用した乾燥前選別が、人工乾燥材の仕上がり含水率のばらつきに及ぼす影響を検討した。

2.3　木口シールが材端部に発生する割れおよび材長方向の含水率分布に及ぼす影響の検討

一部の乾燥条件において、シリコンシーラントによる木口シール等の処理を施し、乾燥材の材端部に発生する割れおよび材長方向の含水率分布に及ぼす影響について検討した。

2.4　割れの測定方法

乾燥材に現れた材面割れは、目視により長さと幅を測定した。また、強度試験体に隣接した部分から採取した含水率測定用試験片について、画像解析ソフトImageJを用いて横断面に現れたすべての割れ（節の割れを除く）の長さを計測した。

3　乾燥材の強度試験

人工乾燥されたスギ・ヒノキ正角（仕上げ断面寸法：105mm×105mm）、カラマツ正角（仕上げ断面寸法：120mm×120mm）、スギ・ヒノキ平角（仕上げ断面寸法：105mm×180mm）について、実大曲げ試験を実施した。なお、各条件の試験体数は原則的に40本以上とした。曲げ試験の荷重条件は、図１に示したように、支点間距離を材せいの18倍とした３等分点４点荷重方式とした。実大曲げ試験の様子を写真１に示した。

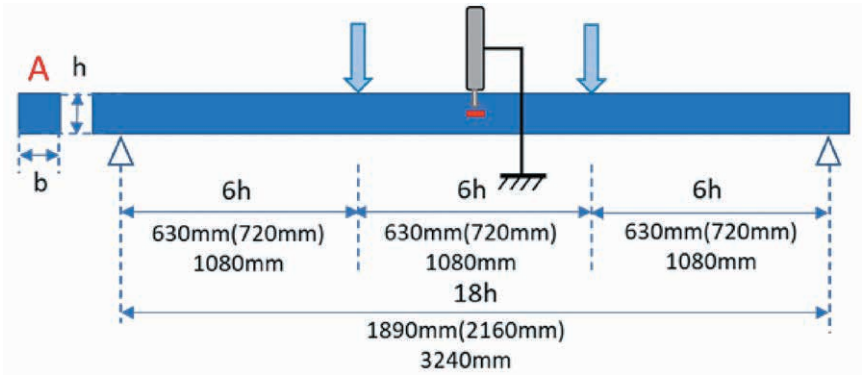


図１　実大曲げ試験方法
（上段の長さ：スギ・ヒノキ正角（カラマツ正角）、下段の長さ：スギ・ヒノキ平角）

写真１　実大曲げ試験の様子（スギ心持ち平角）

実施した結果

1　乾燥試験

表１に乾燥条件の一覧表を示した。スギおよびヒノキは製材の日本農林規格を参考にSD15、カラマツは冬季間の室内の平衡含水率とねじれを考慮し含水率10％を目標に乾燥した。仕上がり含水率は、スギでは10条件のうち７条件、ヒノキでは９条件のうち２条件で平均含水率が15％超となった。カラマツは12条件のうち平均含水率が10％未満となったのは３条件であった（表２～4）。表２と３の変動係数を比較すると、スギはヒノキの２～３倍程度と大きく、仕上がり含水率のばらつきが顕著であった。その中で、100℃未満の中温領域の熱風減圧乾燥により、割れが少なく含水率傾斜も小さなヒノキ心持ち正角および心持ち平角乾燥が生産可能であることが実証され（ヒノキ7、9）、カラマツ心持ち正角に対しても、乾燥スケジュール改良の余地は残されているものの、割れが少なく含水率傾斜の小さい乾燥が実現可能であることを期待される成果が示された。

表１　乾燥スケジュール

スケジュール番号	材種	乾燥日数	蒸煮		ドライングセット		乾燥		再乾燥		備考
		（日）	温度（℃）	時間（h）	温度（℃）	時間（h）	温度（℃）	時間（h）	温度（℃）	時間（h）	
スギ1	心持ち正角	13.8	95	8.7	120	25	90	298.5			
スギ2	心持ち正角	22.5	95	8.7	120	25	90	298.5	90	207	再乾燥開始時に、60℃、70℃、80℃で1時間ずつのステップ含む
スギ3	心持ち正角	3.7	95	8.5	120	24	90	57			
スギ4	心持ち正角	10.1	95	8.5	120	24	90	211			
スギ5	心持ち平角	12.7	95	6.6	120	18	90	281			
スギ6	心持ち平角	12.0	95	6	120	18	90	264			
スギ7	心持ち平角	19.5	95	6	120	18	90	264	90	180	
スギ8	心持ち平角	19.5	100	12	120	20	90	76	90	359	高温セット処理時間に110℃と100℃で1時間ずつのステップを含む
スギ9	心持ち平角	5.3	100	12	120	20	90	96			
スギ10	心持ち平角	21.0	95	8	120	20	90	476			
ヒノキ1	心持ち正角	3.0	95	6.5	120	20	90	46.6			高温セット処理時間に110℃と100℃で1時間ずつのステップを含む
ヒノキ2	心持ち正角	3.9	95	6.5	120	14	90	74			
ヒノキ3	心持ち正角	20.1	70	6.5	－	－	60–70	476			
ヒノキ4	心持ち正角	95.5	95	6	120	12			60	210	再乾燥前に天然乾燥86日実施
ヒノキ5	心持ち正角	30.7	95	6	120	9	60	721			

スケジュール番号	材種	乾燥日数	蒸煮		ドライングセット		乾燥		再乾燥		備考
		(日)	温度(℃)	時間(h)	温度(℃)	時間(h)	温度(℃)	時間(h)	温度(℃)	時間(h)	
ヒノキ6	心持ち正角	8.0	95	6	120	12	90	174			
ヒノキ7	心持ち正角	7.3	90	18	98	24	65-85	133			調湿24時間含む。中温セット処理および乾燥時に減圧併用
ヒノキ8	心持ち正角	5.7	95	10	120	18	90	108			
ヒノキ9	心持ち平角	8.0	90	18	98	30	65-85	145			調湿24時間含む。中温セット処理および乾燥時に減圧併用
カラマツ1	心持ち正角	16.8	95	10	115	18	90	374			乾燥工程には、高温セット処理終了後おおむね1時間あたり−10℃のステップを含む
カラマツ2	心持ち正角	29.0	85	4	110	9	70	682			
カラマツ3	心持ち正角	28.3	85	4	110	9	70	666			
カラマツ4	心持ち正角	27.9	95	3	130	5	70	662			
カラマツ5	心持ち正角	28.4	85	4	105	12	70	665			
カラマツ6	心持ち正角	27.5	95	3	120	10	70	647			
カラマツ7	心持ち正角	28.4	85	4	100	18	70	659			
カラマツ8	心持ち正角	30.3	90	8	110	18	80-90	295	40-50	406	
カラマツ9	心持ち正角	32.7	100	1	110	9	70	156	40-50	618	蒸煮時に加圧、高温セット処理および乾燥時に減圧併用
カラマツ10	心持ち正角	32.5	100	1	110	6	70	156	40-50	618	
カラマツ11	心持ち正角	8.3	75-82	12	97	24	65-70	164			中温セット処理および乾燥時に減圧併用
カラマツ12	心持ち正角	11.6	70-82	14	92-97	24	65-70	240			

注1) 乾燥日数に冷却時間は含まれていない
注2) ドライングセットは高温セット処理または中温セット処理を示す

表２　スギの仕上がり含水率

スケジュール番号	スギ1	スギ2	スギ3	スギ4	スギ5	スギ6	スギ7	スギ8	スギ9	スギ10
平均値	12.0	11.9	18.6	19.2	17.7	25.3	18.6	16.0	19.2	13.9
最小値	7.1	5.9	12.4	9.1	7.9	10.1	7.9	5.9	11.8	7.6
最大値	25.0	28.0	32.3	52.4	42.7	69.2	51.6	49.3	41.0	41.8
標準偏差	3.85	5.76	4.32	8.36	7.68	11.61	10.05	9.51	6.51	8.15
変動係数(%)	32.2	48.6	23.2	43.5	43.5	45.8	54.0	59.3	33.9	58.7

表３　ヒノキの仕上がり含水率

スケジュール番号	ヒノキ1	ヒノキ2	ヒノキ3	ヒノキ4	ヒノキ5	ヒノキ6	ヒノキ7	ヒノキ8	ヒノキ9
平均値	16.2	16.1	12.6	14.3	11.8	12.7	11.9	13.1	9.7
最小値	12.2	13.5	10.5	11.3	9.1	8.5	7.9	10.0	7.8
最大値	19.2	19.6	15.5	16.6	14.7	17.0	16.5	19.2	13.1
標準偏差	1.77	1.26	1.28	1.28	1.08	1.73	2.47	2.40	1.39
変動係数(%)	10.9	7.8	10.2	9.0	9.2	13.6	20.8	18.4	14.3

表４　カラマツの仕上がり含水率

スケジュール番号	カラマツ1	カラマツ2	カラマツ3	カラマツ4	カラマツ5	カラマツ6	カラマツ7	カラマツ8	カラマツ9	カラマツ10	カラマツ11	カラマツ12
平均値	10.3	9.8	10.0	11.3	9.3	11.4	9.6	13.3	10.3	10.4	15.4	15.0
最小値	6.7	7.8	7.1	7.2	6.8	7.4	6.7	8.9	8.3	8.0	11.6	8.3
最大値	14.7	12.4	12.4	16.7	12.2	15.7	12.5	24.8	14.7	12.9	24.5	21.2
標準偏差	2.01	1.27	1.40	2.79	1.42	2.44	1.70	4.05	1.59	1.37	2.92	3.15
変動係数(%)	19.6	12.9	14.0	24.7	15.2	21.5	17.7	30.4	15.4	13.2	19.0	21.0

2　乾燥前選別による仕上がり含水率のばらつき抑制効果の検証

2.1　重量選別に心材率と明度を加えた前選別の可能性（スギ3、4）

今回試験に用いた心材率・明度判定システムは、黒心材を判別するために開発されたシステムであることから、黒心材でないスギの心辺材の境界の判別は現状では難しく、明度を用いて評価を行った（写真2）。仕上がり含水率と明度との相関関係は低いものの、今後、明度の閾値や心材率の計測技術を向上させることで、選別効果の向上が期待される（図2）。

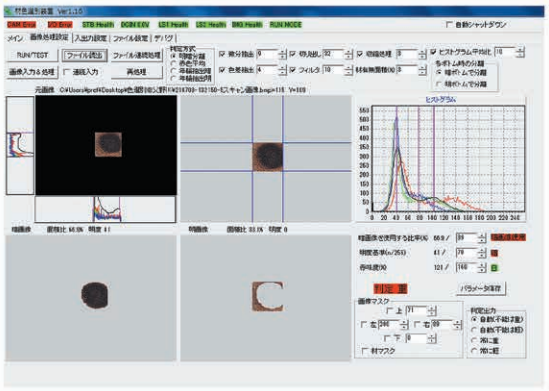


写真2　心材率・明度判定システム画面

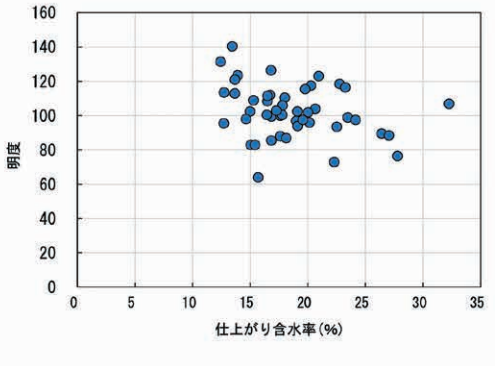


図2　仕上がり含水率と明度との関係（スギ3）

2.2　ガンマ線による密度測定を利用した選別（スギ6、7）

木材の密度測定用に開発されたガンマ線測定装置を用いて、乾燥前の試験体のガンマ線検出量を測定した。ガンマ線検出量は、乾燥前のみかけの密度よりも仕上がり含水率との決定係数が高く、乾燥前選別に有効な指標となりうることが示された（写真3、図3）。

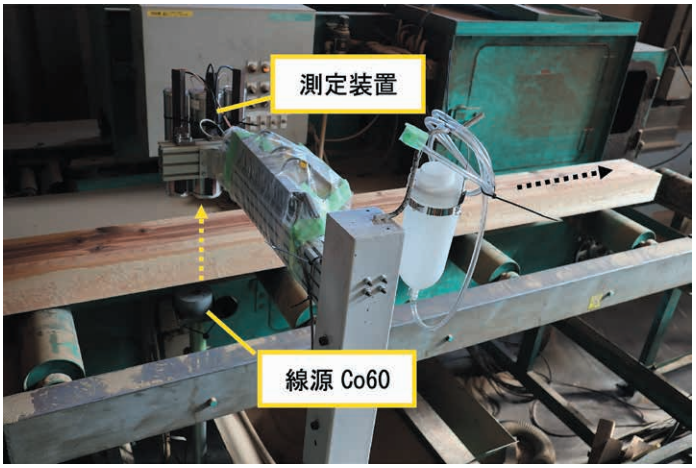


写真3　ガンマ線測定の様子

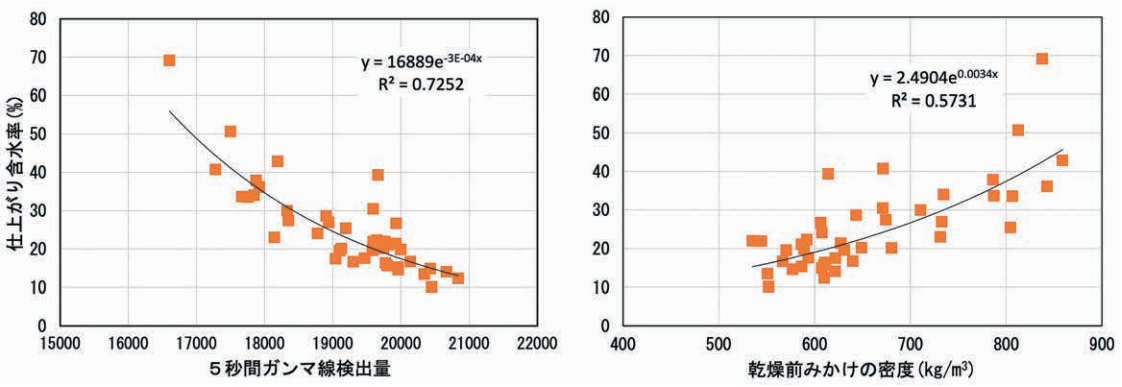


図3　ガンマ線検出量および乾燥前みかけの密度と仕上がり含水率との関係（スギ6）

3　木口シールが材端部に発生する割れおよび材長方向の含水率分布に及ぼす影響

3.1　スギ心持ち平角での検討事例（スギ8、9）

スギ心持ち平角に、①木口のみシール、②木口シール＋アクリル板、③木口シール＋合板、④木口＋材面シール、⑥木口＋材面シール＋アクリル板、⑤木口＋材面シール＋合板、の６種類の方法を試した(写真４)。その結果、図４に示したように、①や④に加えて合板やアクリル板をビス留めするタイプの方が材端部に発生する割れの低減や材長方向の含水率の傾斜の低減に効果的であった。

写真４　木口シールの例（左写真：木口シール＋アクリル板、右写真の左：木口シール＋合板、右写真の右：木口シールのみ）

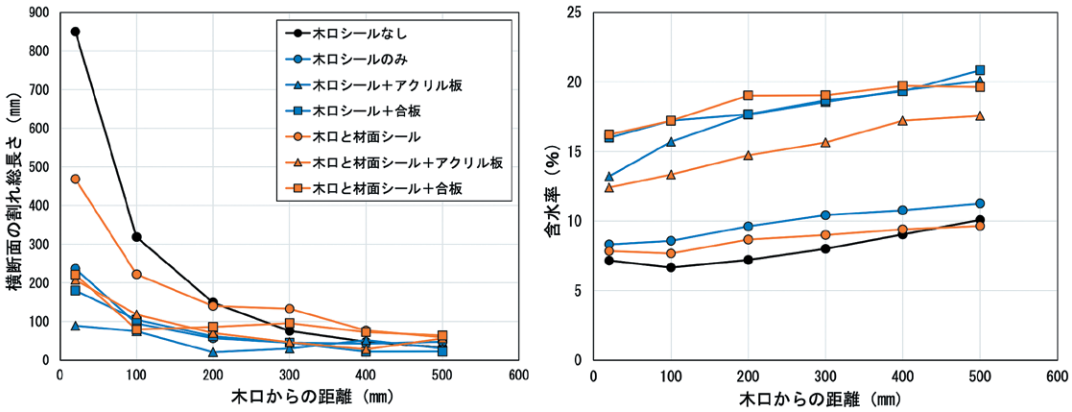


図４　木口シールの違いによる材長方向の横断面の割れ総長さ(左)および含水率(右)の分布(スギ8)

3.2　ヒノキ心持ち正角に対する適用事例（ヒノキ7）

試験体の両木口面の髄付近の部分を除き、木口面と材面15㎝程度をシリコンシーラントでシール(写真５）したヒノキ心持ち正角について、中温領域の熱風減圧乾燥を行った結果、写真６および図５に示したように、割れが少なく、材長方向および横断面内の含水率傾斜も小さな乾燥が可能であった。これは、木口シールだけでなく乾燥方法による効果も現れたものと考えられる。

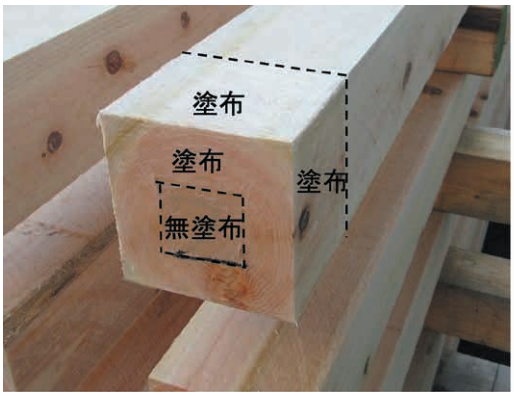


写真５　木口シール方法（ヒノキ7）

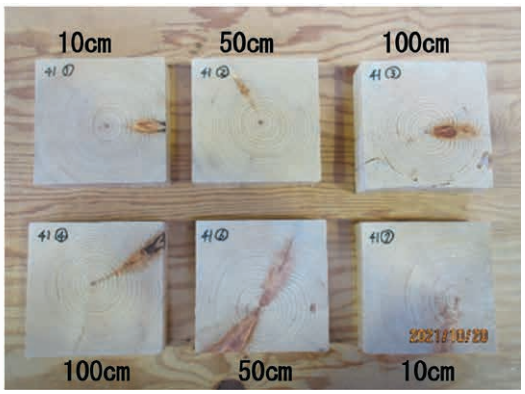


写真６　材長方向の断面内割れの様子(ヒノキ7、数値は木口からの距離)

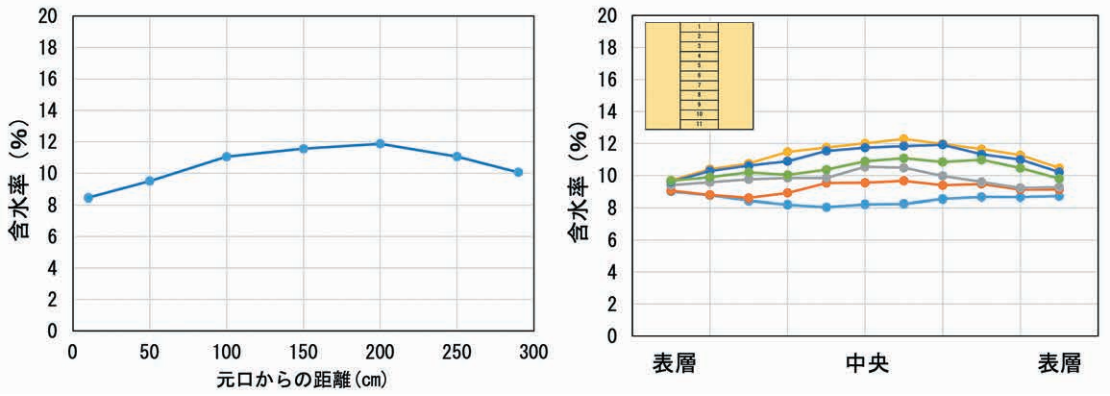


図５　材長方向（左）および断面内（右）の含水率分布（ヒノキ７）

4　強度低下のない適正乾燥条件の検討

①スギ心持ち正角（スケジュール番号：スギ３、４、図６）

人工乾燥前のみかけの密度（重量）によって２グループに選別し、いずれも推奨乾燥条件（高温セット処理:120℃で24時間、人工乾燥温度:90℃）で乾燥した。高密度グループ（211時間）の人工乾燥時間は低密度グループ（57時間）の約４倍にもかかわらず、曲げヤング係数に対する曲げ強度に違いは認められず、基準強度をほぼ満足していた。

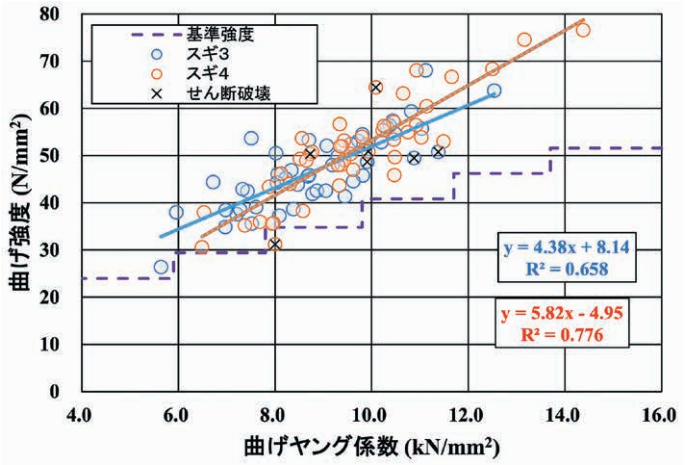


図６　強度試験結果（スギ3,4）

②スギ心持ち平角（スケジュール番号：スギ８、９、図７）

人工乾燥前のみかけの密度（重量）によって２グループに選別し、いずれも推奨乾燥条件（高温セット処理:120℃で18時間、人工乾燥温度:90℃）で乾燥した。高密度グループ（435時間）の人工乾燥時間は低密度グループ（96時間）の約4.5倍にもかかわらず、曲げヤング係数に対する曲げ強度に違いは認められず、基準強度をほぼ満足していた。

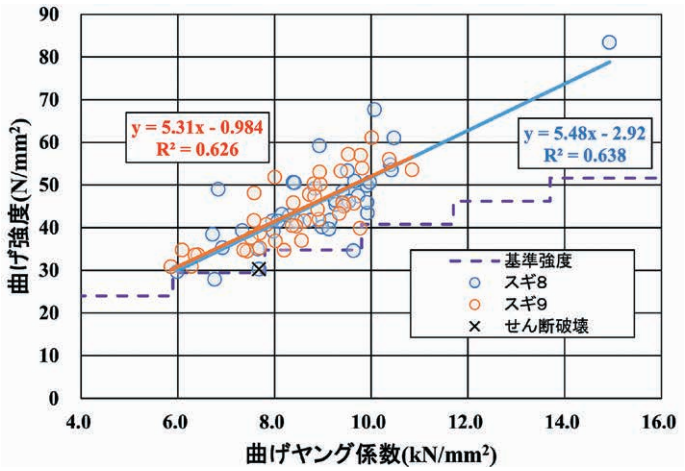


図７　強度試験結果（スギ8,9）

③ヒノキ心持ち正角（スケジュール番号：ヒノキ１～3、図８）

推奨乾燥条件（高温セット処理:120℃で18時間、人工乾燥温度:90℃）の曲げ強度について、高温セット時間を短くした乾燥条件(高温セット処理時間:12時間)および高温セットなしの中温乾燥条件(人工乾燥温度:60-70℃)の曲げ強度と比較したところ、3者の平均値に有意差はなく、基準強度をほぼ満足していた。

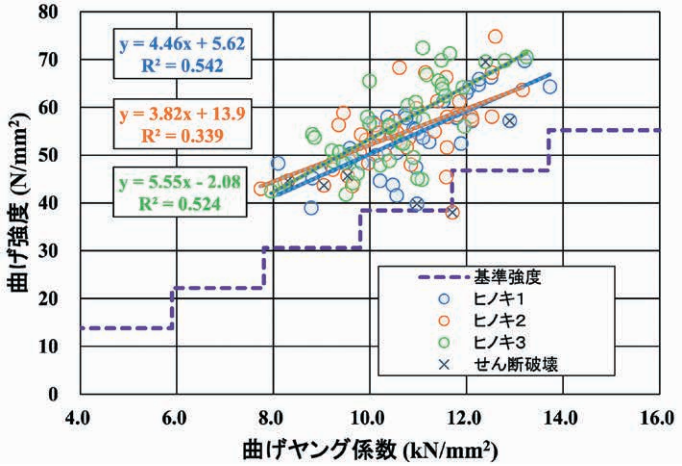


図８　強度試験結果（ヒノキ1~3）

④カラマツ心持ち正角（スケジュール番号：カラマツ１～12、図９）

常圧の蒸気式乾燥機を用いて、高温セット処理の温度や時間を変化させて乾燥試験を行った(カラマツ1-7)結果、乾燥条件によっては曲げ強度の向上は認められたものの、いずれの乾燥条件においても基準強度を満足しない試験体が数多くみられた。一方、圧力操作が可能な乾燥機を用いて、減圧条件下で乾燥された試験体(カラマツ9-12)の曲げ強度は常圧に比べて基準強度を満足する試験体の割合が高く、今後、適正な乾燥条件を見出す可能性が示された。

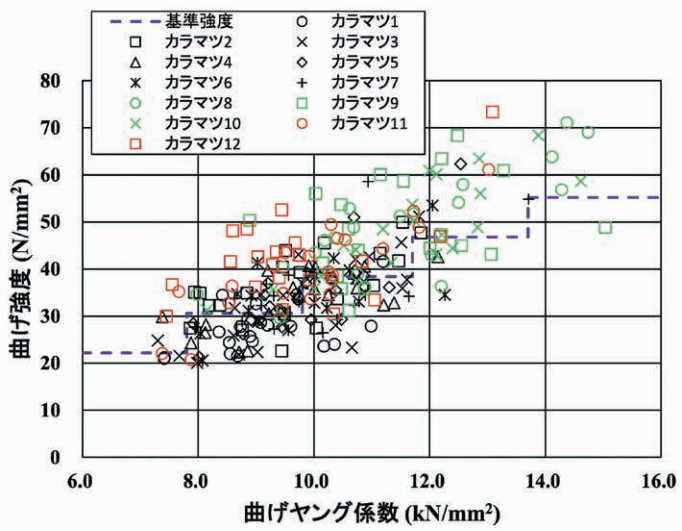


図９　強度試験結果（カラマツ1~12）

今後の課題・展開等

①スギとヒノキについては、既往の知見から得られている高温セット処理を用いた推奨乾燥条件で乾燥した材の強度性能は、基準強度をおおよそ満足していた。心持ち正角を対象として、これまでに得られた成果を冊子等にまとめ、普及していく予定である。

②特許技術である100℃未満の中温領域における熱風減圧乾燥を、ヒノキ心持ち正角、ヒノキ心持ち平角およびカラマツ心持ち正角に適用を試みたところ、ヒノキについては割れが少なく含水率傾斜が小さく、強度的にも問題のない乾燥が可能であることが実証された。カラマツについては、適正な乾燥条件の候補が見つかったことから、引き続き検討を進める必要がある。

③特にスギについては、仕上がり含水率のばらつきを小さくするための選別方法および材端部に発生する割れの抑制技術について引き続き検討する必要がある。

事業

木製浮き基礎を日本で実用化するための設計及び実証試験

● 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使用者の要望に合致し、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

木製浮き基礎工法を日本で実用化するために、昨年度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した。

令和２年および３年の実施内容を下記表1-1に示す。

表 1-1　実施内容

大項目	項目	実施年	内容	協力・関係機関
工法の確立	設計方法	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	要素実験の実施	京都大学 生存圏研究所
		令和２年	丸太載荷試験の実施	(一財)地域地盤環境研究所
		令和３年	**簡易且つ汎用性の高い設計方法の検討**	(株)アルセッド建築研究所/(一財)地域地盤環境研究所
		令和３年	**沈下調整機構の検討**	
	施工方法	令和２年	夢洲でのユニバーサルデザイン対応の実大実験棟(A棟:スギ丸太)の施工	
実用化	大阪・関西万博(仮設建築物)	令和２・３年	夢洲での実大実験棟(A棟:スギ丸太)の設計・施工・**長期計測**	京都大学 生存圏研究所
		令和３年	**夢洲での沈下調整機構を有した実大実験棟(B棟)およびRC基礎(C棟)の設計・施工・長期計測**	京都大学 生存圏研究所
	本設建築	令和２年	小規模試験棟の設計・施工	
	(小規模店舗、等)	**令和３年**	**ユニバーサルデザイン対応の沈下調整機構の検討**	

*太字が本年度実施

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.　設計方法の確立

これまで、日本において、木材を筏組したものを建築物の直接基礎として使用された事例はない。昨年度は、小規模店舗への適用を想定し、試設計・試施工を行った。これを基に、本年度は国内での実用化に向け第三者機関による評価(建設技術審査証明)を取得するための設計方法を検討し、設計上必要と考える室内試験を実施した。

1.1　丸太基礎(木製浮き基礎)における荷重-沈下量関係

丸太基礎にかかる荷重が砕石層を介して、支持地盤(30k N /㎡)へ伝達した際の荷重 - 沈下量関係を室内試験 によって確認した(図 1)。

1.2　沈下調整機構の検討

ニュージーランドにおける木製浮き基礎工法は、沈下した際の調整代を持つジャッキアップ可能な仕様となっている。ただし、床下空間に調整代(基礎束)を設ける為、地表面からフロア面までの高低差が大きくユニバーサルデザインへの対応は困難である。そこで、ユニバーサルデザインへの対応を考慮した沈下調整機構を検討した。

沈下調整機構を有した基礎モデルの小スケール模型(モックアップ)を作成した。モデルは、人力にて調整を行う手動タイプ(図2)と、機械的な自動化を見据えた自動タイプ(図3)の2タイプで検討した。手動タイプは実大実験棟(B棟)にて実際に施工し、ジャッキアップが可能であることを検証した。

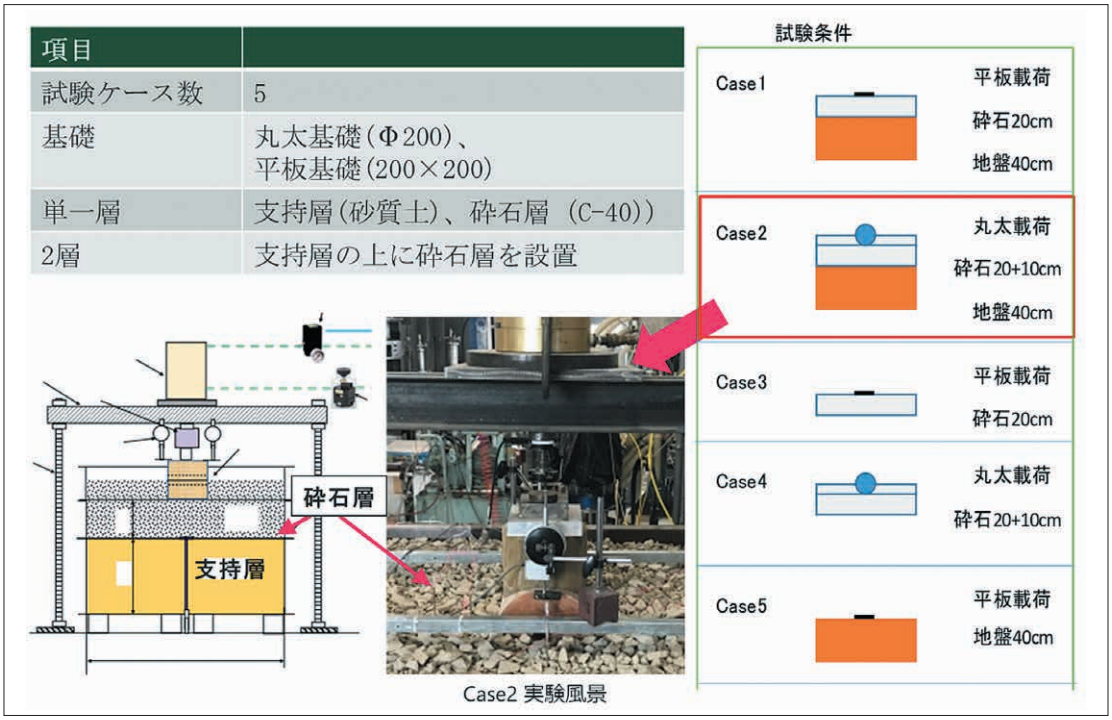


図 1　室内載荷試験条件

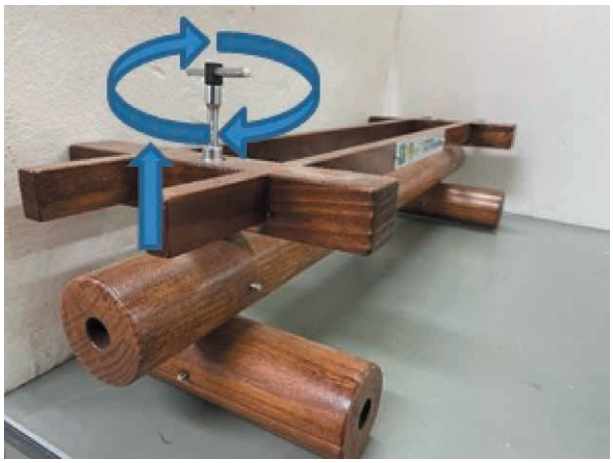


図 2　手動ジャッキアップ模型

図 3　自動ジャッキアップ模型

2. 夢洲での実大実験

2.1 施工・長期計測

昨年度、夢洲で施工した実大実験棟(A棟:スギ丸太基礎＋ユニバーサルデザイン対応の木造軸組工法、小規模店舗仕様)において、2021年2～10月の期間で挙動を確認した(図4,図5)。ワイヤレス沈下センサー(ワイモス、計測ネットサービス)を基礎および地盤に設置し、経時的に沈下量を測定した。ひずみゲージ(東京測器研究所)を丸太基礎の上下位置に貼り付けひずみ量を測定した。

さらに、沈下調整(ジャッキアップ)機構を有した基礎および枠組壁工法の建物を施工し(B棟：図6,図7,図8)、A棟と同様に沈下量とひずみ量を測定した。また、B棟内(床面の半分)にドラム缶を設置し4回に分け水を注ぎ、段階的に載荷した。設計値以上の荷重を床面に与え、過積載状態とした事で強制的に沈下を発生させた。その後、不等沈下が発生した場合におけるジャッキアップ機構の動作・有効性を検証した(図9)。

これらの木製基礎の比較として、小規模店舗を想定したRC基礎(C棟：べた基礎)も施工し、沈下量を測定した。

2.2 夢洲実験棟見学会

本実験は大阪・関西万博開催予定地である大阪市夢洲にて実施した。そのため、多くの方々に興味を持っていただき、実験区域にて見学会を開催した。

日本国際博覧会協会様をはじめ多くの関係者に来ていただき、大変有益なご指摘、ご意見をいただいた。さらに、ご見学時に上述のジャッキアップを実演し、本効果に興味をもっていただいた。

図 4　実大実験棟施工場所

図 5　実験区域全体図

図 6　土工事・地業

図 7　基礎・床組施工

図 8　建物(2×4工法)施工

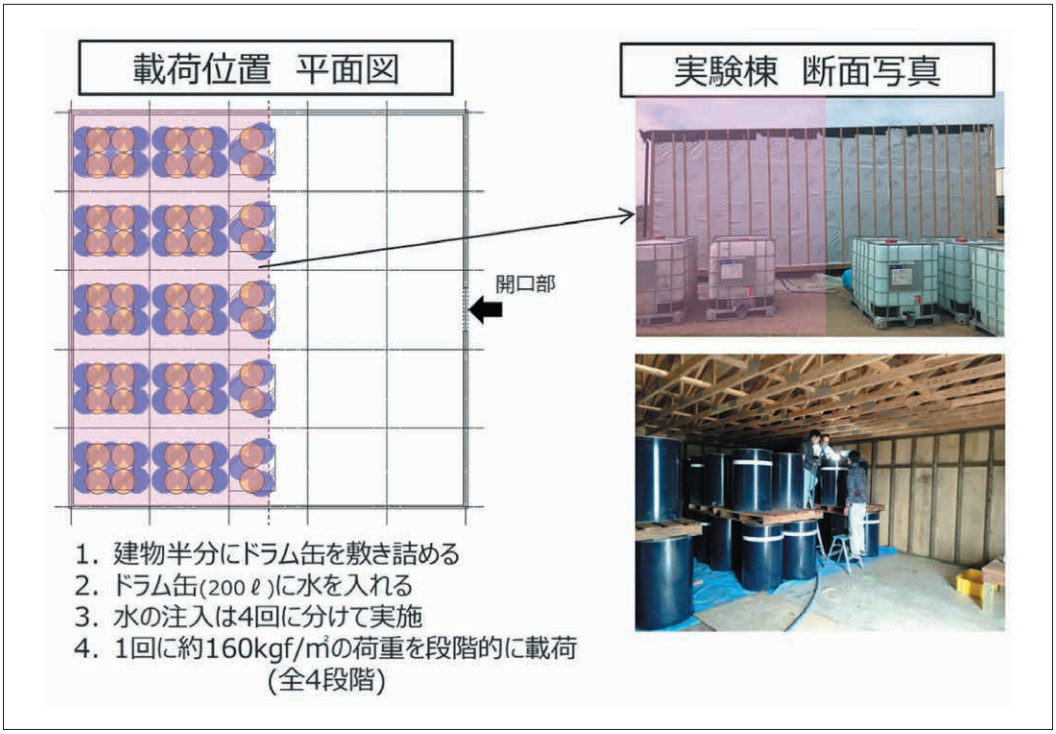


図 9　載荷試験

実施した結果

1　設計方法の確立

1.1 丸太基礎における荷重-沈下量関係

丸太基礎にかかる荷重が砕石層を介して、支持地盤(30k N /㎡)へ伝達した際の荷重 - 沈下量の関係を確認できた(図10)。同様の条件で実施した平板載荷試験および砕石層のない試験結果と比較することで、丸太基礎における特性を把握し、設計方法に反映できた。

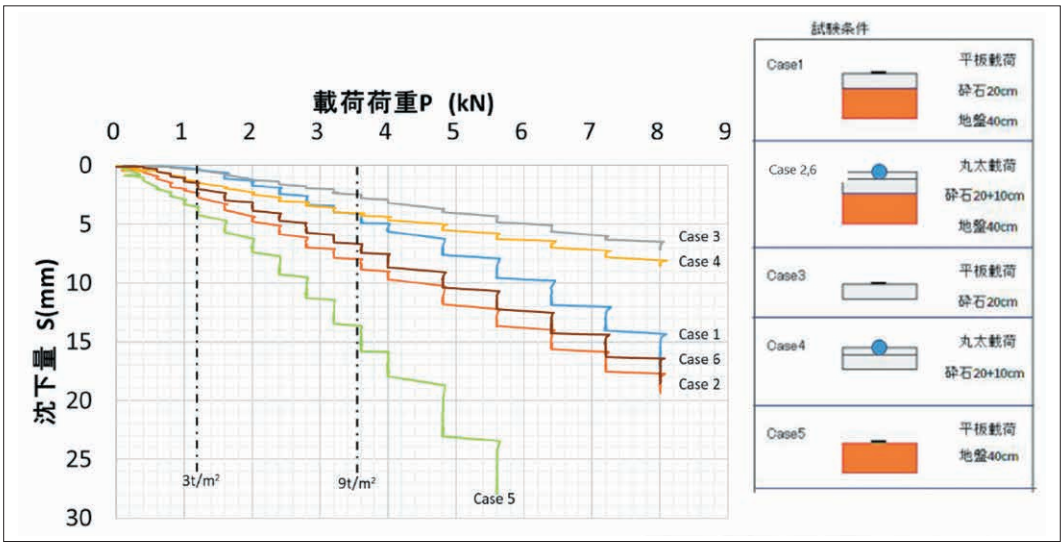


図 10　室内載荷試験結果　荷重-沈下曲線

1.2 沈下調整機構の検討

図2，3の様にモックアップを作成し、沈下調整(ジャッキアップ)機構の有効性や上屋の床構造との納まりなどを確認できた。また、機構の自動化の可能性および調整･改善すべき事項を確認できた。

2　夢洲での実大実験

2.1 施工・長期計測

実大実験棟(A棟)は図５のように仕上げのない躯体だけの建物であり、荷重としては軽量であるが、約８か月間の測定において発生した沈下量はおよそ５～6㎜であった。

実大実験棟(B棟)では、基礎施工後の沈下はなく、建物施工後の沈下量は約3㎜程度であった。段階的な載荷試験においては、以下の事が確認できた。(図11,図12)

① 載荷による即時沈下が発生した

② 載荷エリアと載荷していないエリアとで沈下量に差がある

③ 載荷エリアの中央部が最も沈下していた

RC基礎(C棟：べた基礎)では、基礎施工後の沈下量は約2㎜あった。

このことから、基礎単体の荷重によって発生する地盤の沈下量が、木製基礎に比べRC基礎は大きいことを確認できた。

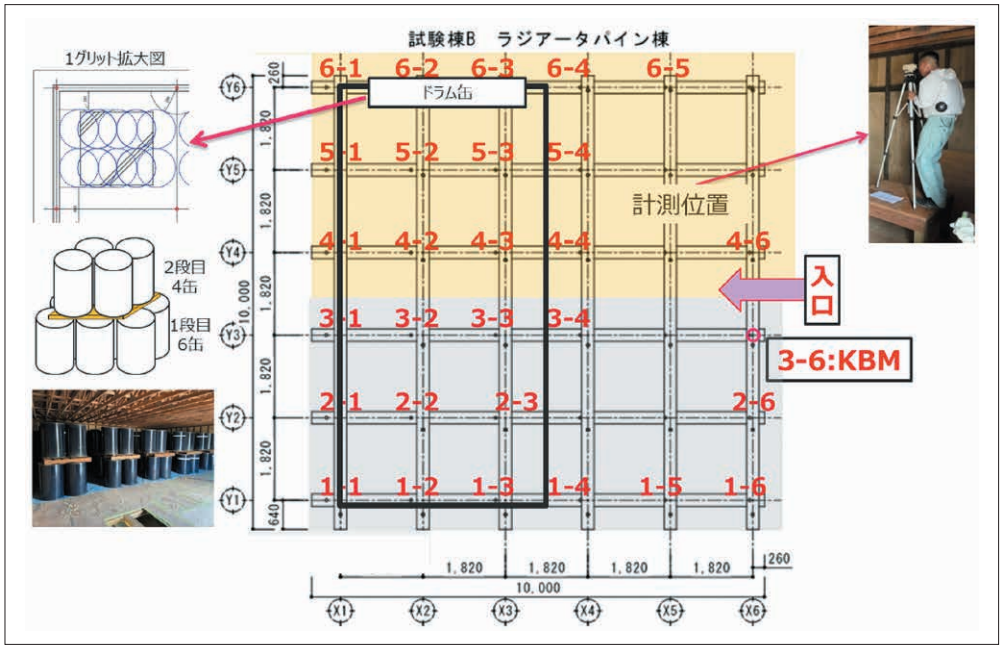


図 11　レベル測定位置

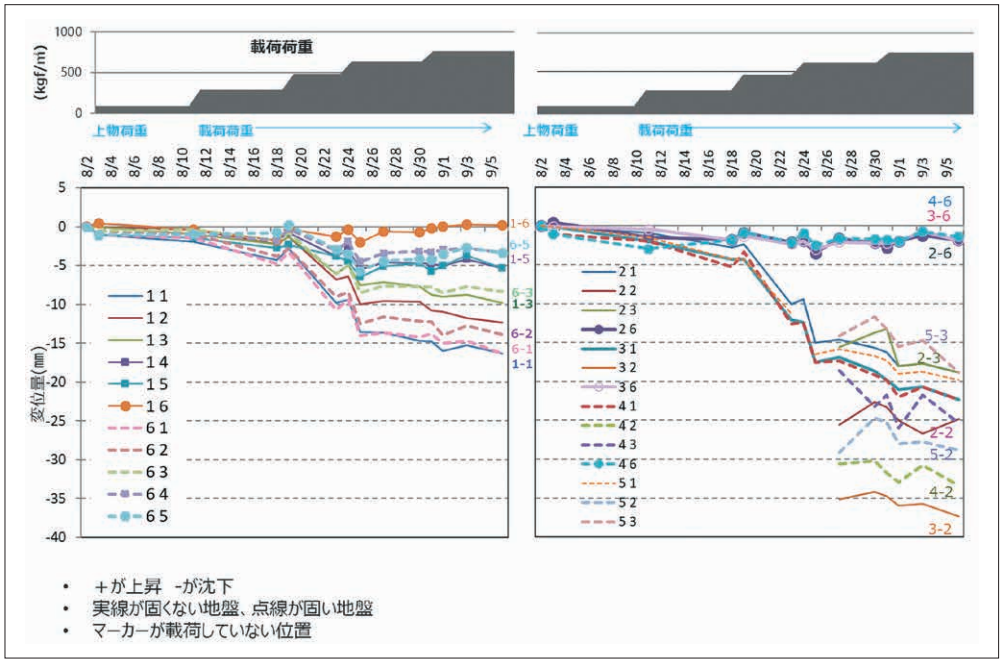


図 11　レベル測定位置

2.2 見学会の開催

メーカー、ゼネコン、設計事務所、学識者の皆様に来ていただき、実大実験棟３棟を見学いただいた。

コロナ下であったため、２回に分けて見学会を開催した。また、そのほかの日程にも分散しご興味くださった方々に随時ご見学いただいた(図 13)。

１回目　9/15　ご来場者数　20人
２回目　10/5　ご来場者数　32人

載荷試験を行った実大実験棟(B棟)においては、荷重物を載せた状態にて沈下調整機構によるジャッキアップを実演し、傾斜した建物を水平へと復元し有効性を示した(図 14)。

また、新聞社にも来ていただき、新聞にも掲載いただいた(図 15)。

図 13　見学会様子

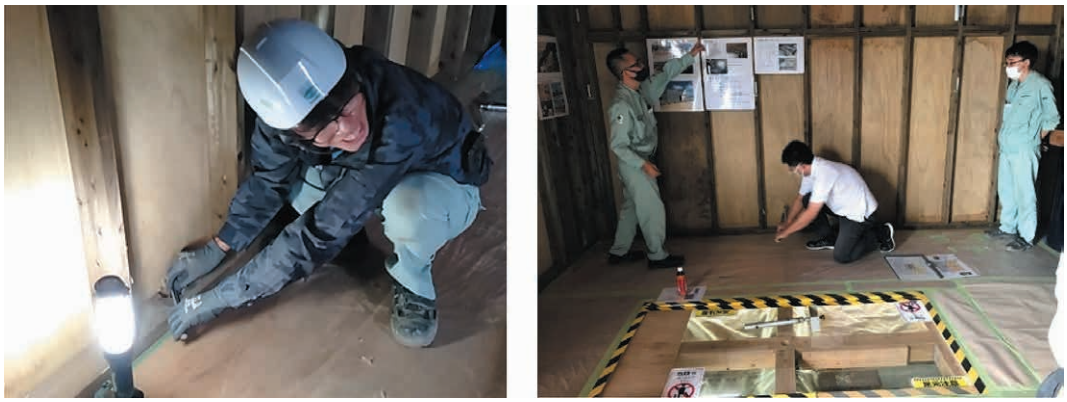


図 14　ジャッキアップ実演　(左:越井社員、右:見学者)

日刊木材新聞

木製浮き基礎、万博開催地で実大実証試験

傾斜の修正が容易、リユースも可

都市土木木材利用促進研究会、越井木材工業

10月1日から発行日が月～金に変わります

堺泉北

基礎工事に木材利用

環境負荷低減　万博での採用目指す

新型コロナウイルス市町村別感染確認

図 15　新聞掲載記事

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

今回実証した試験および施工方法をもとに、設計・施工マニュアルを更新する。各現場における知見を基に随時更新し、施工要領などを含む運用可能な物にする。

● 防腐薬剤処理した丸太基礎の耐久性の検証

これまで実施したステーク試験から耐久性の判断は可能と考えるが、実際に実大材の寸法で耐久性を確認する。

● 自動ジャッキアップモデルの実大化・実用化検討

モックアップにて検討した自動化モデルを基に、機器・機構の選定を行い実物サイズでの検討を行う。自動化の可能性・有効性等を検討する。

実用化

● リユース方法の検討

引き続き夢洲にて、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・木造建物の再利用方法・リユース率を検討する。

● 経時観察

実際に木製浮き基礎を使用していただき、経時変化データおよび実績を得る。

事業

保存処理直交集成板（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

〒107-0052　東京都港区赤坂１丁目9-13　三会堂ビル９階

事業目的

日本木材防腐工業組合では令和元年度林野庁補助事業に取り組み、その中で、現在のCLT建物に耐久性を付与する手法として提案されている通気層を有する構法的な雨水侵入防止策は住宅建物の耐久設計の延長であり中大規模木造建築においては限界がある可能性を示唆した、加えて木造建築の長寿命化、塗装による部材の長寿命化に欠かせない維持管理についても、その重要性への意識が一般的な建物管理者には低く、これに相まってシステム作りも遅れていることを明らかにした。そして、これ等を解決する上で材料であるCLTそのものの耐久性向上が必要であると提案した。しかしながら、保存処理CLTの必要性に関して議論が進まない大きな理由の一つに、CLTパネル工法において利用できる第三者認証された保存処理CLTが供給されていないことが挙げられる。保存処理CLTを第三者認証するためには、製造メーカが指定建築材料の評価を受け国交省大臣認定を取得するか、直交集成板の日本農林規格（以下JAS規格）が保存処理された直交集成板を認定の対象と出来るように改正する必要がある。集成材や単板積層材のJAS規格を保存処理製品が対象と出来るよう改正するにあたり、日本住宅・木材技術センターが運営する優良木質建材認証制度（AQ認証）により認証された製品の使用実績や科学的知見が活用された。平成30年にAQ認証制度に防腐・防蟻処理直交板の規定が追加されたが令和３年10月現在１社に認定されたところである。そこで、本事業では１）保存処理CLTの品質及び材料強度に関するデータ取集を行って、２）使用環境に対応したCLT保存処理への要求性能を把握するとともに、直交集成JAS規格の次回見直し作業において保存処理CLTを認証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CLTの品質及び材料強度に関するデータ収集
(2) 保存処理CLTの規格に求められる品質基準案の作成
(3) 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐候性要求性能把握
(4) 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐久性要求性能把握

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	（関東学院大学建築・環境学部教授）
委　員	石川　敦子	（(国研)森林研究・整備機構森林総合研究所 木材改質研究領域長）
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	小野　　泰	(ものつくり大学 建築学科 教授)
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 主任研究員)
委　員	宮武　　敦	((国研)森林研究･整備機構森林総合研究所 複合材料研究領域チーム長)
委　員	井道　裕史	((国研)森林研究・整備機構森林総合研究所 構造利用研究領域材料接合研究室 室長)
委　員	鈴木　賢人	((国研)森林研究・整備機構森林総合研究所 構造利用研究領域木質構造居住環境研究室 主任研究員)
委　員	槌本　敬大	((国研)建築研究所 材料研究グループ 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	大村　敏行	((独)農林水産消費安全技術センター 規格検査部 商品調査課 主任調査官)
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	増田　莉菜	(林野庁木材産業課 木材製品技術室 住宅資材班)
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CLTの品質及び材料強度に関するデータ収集

グループB：　保存処理CLTの規格に求められる品質基準案の作成

グループC：　使用環境に対応した保存処理CLTへの耐候性要求性能把握

グループD：　使用環境に対応した保存処理CLTへの耐久性要求性能把握

主協力会社等

＊（株）サイプレス・スナダヤ

＊国立開発法人　森林研究・整備機構森総合研究所

＊（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)

実施した内容

(1) 保存処理CLTの品質及び材料強度に関するデータ収集

3種類の保存処理CLTパネルと対照とする無処理CLT、計4種類のCLTパネル（表1）を各条件3枚製造し（図1）、これらから試験体を採材して各種試験に供しデータ収集を行った。CLTに保存処理を施す方法としては、保存薬剤を加圧注入したラミナを用いる方法（ラミナ処理）とCLTパネルに保存薬剤を加圧注入する方法（製品処理）とし、ラミナ処理にはACQとAAC-1、製品処理にはAZNを用いた。原料ラミナは樹種をスギ、寸法を34mm×118mm×4mとし、曲げヤング係数により外層用（8GPa以上）と内層用（3GPa以上8GPa未満）に区分した。ラミナ処理用ラミナにはインサイジングを行った。ラミナは、欠点除去等しながら長さ2m以下に裁断した後、フィンガージョイント（接着剤：メラミン樹脂（使用環境A））により必要長さにたて継ぎし、積層前に断面29mm×105mmに表面切削した。CLTパネルは、異等級構成の5層5プライ、幅2.4m×長さ6m、厚さ145mmとし、積層用接着剤にはレゾルシノール・フェノール樹脂（使用環境A）を用いた。製品処理にあたっては注薬缶のサイズに合わせて2.4m幅のパネルを2mと0.4mに分割して実施した。

強度試験は、日本農林規格（JAS）に規定のある曲げ・積層方向、せん断・積層方向に加えて、基準強度が定められている曲げ・幅方向、圧縮、引張、せん断・幅方向についても実施した。また、接合性能に関しては床同士の接合でよく用いられるスプライン接合と基礎と壁の接合に用いられる引きボルト接合について試験を行った。試験体数は一条件あたり6体を基本とした。

表1　保存処理の概要

保存薬剤	注入対象	インサイジング
無処理	-	なし
ACQ	ラミナ	あり
AAC-1	ラミナ	あり
AZN	製品	なし

図1　製品処理用CLTパネル

(2) 保存処理CLTの規格に求められる品質基準案の作成

保存処理CLTの製造および各種試験を通じて明らかになった製造管理上のポイントや、保存処理された製材や集成材JASに規定される関連項目、優良木質建材認証制度に規定される防腐防蟻処理直交集成板の規格等を参照しながら品質基準案について検討した。

(3) 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐候性要求性能把握

各種保存処理（AAC, ACQ, CUAZ, AZNA, AZN, LPH, 無処理の7種類）および塗装（A～E, 無塗装の6種類）を施した90㎜（厚さ）×290㎜×290㎜のスギCLTを、ものつくり大学（埼玉県）敷地内で垂直および水平暴露し、試験体外観、色差、割れ、重量等を気象条件とともに2週間ごとに記録した。さらに2021年10月からは、ACQ+塗装B、無処理＋塗装B、AZN+塗装C、無処理＋塗装CのCLTを各4体用意し、木口をエポキシ樹脂でシールして垂直および水平暴露に各2体ずつを供して、木口シールによる割れ抑制効果の検討を始めた。

図2　割れ抑制試験

(4) 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐久性要求性能把握

目的：フェイルセーフシステムとしてCLTの保存処理に要求される耐久性能を詳細に把握するため、曝露試験により、ラミナ幅はぎ接着が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。

図３　トリプルレイヤー試験

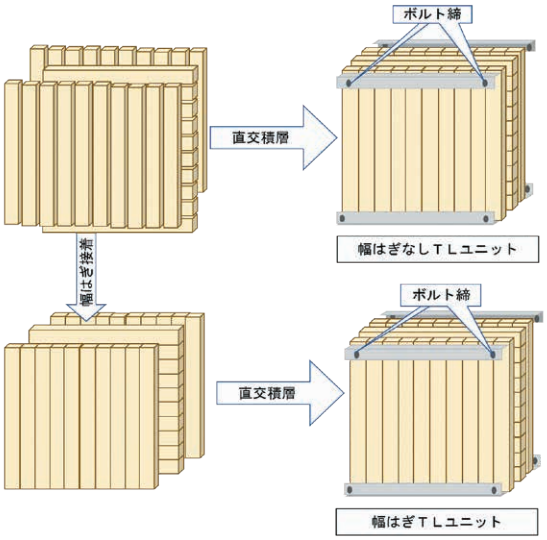


図４　幅はぎ条件が異なるＴＬユニット

方法：①幅はぎ接着がCLTの劣化リスクに及ぼす影響

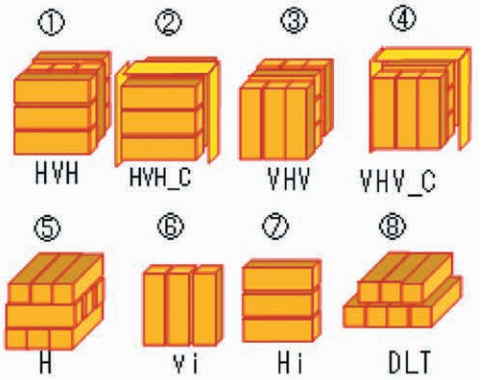
最悪環境、すなわち層間浸水したCLTを想定したトリプルレイヤーユニット(以下TLユニット)を２体作製して屋外曝露実験を行った。TLユニットは、30×30×300㎜の無処理スギ辺材試験材30本を10本ずつ縦横交互に３層直交させてボルトで緊結する。２体のうち１体は、試験材を10枚幅はぎ接着した層を３枚直交させて、ボルト締めした(図4)。作製したTLユニットは、富山木研内（射水市黒河新）に、層の向きを垂直-水平-垂直（VHV）として直立に設置した。曝露は2021年９月から開始し、積雪までの間３～４週間隔で３回、各層の質量を計測し、含水率を算出した。３回の計測で含水率が25%を超えた頻度を指標として、各ユニットの劣化リスクを比較した。

②仕様の異なるTLユニットの劣化リスクの比較

無処理スギ辺材試験材を用いて、層の向きや外皮の有無など仕様の異なる数種TLユニットを作製し、比較対照ユニットとともに2020年７月から17ヵ月間に亘って屋外曝露した。この間、定期的に各試験材を秤量して含水率を測定し、①と同様に含水率25%超を計測した頻度を指標として、各ユニットの劣化リスクを比較した。さらに17ヵ月の曝露後、各試験材の全乾質量を求め、腐朽による質量減少率を算出し、劣化リスクと比較した。

表２　ＴＬユニットの仕様とイメージ図

ユニットNo	置き方	芯層	外皮	記号
①	直立	垂直	なし	HVH
②	直立	垂直	あり	HVH_C
③	直立	水平	なし	VHV
④	直立	水平	あり	VHV_C
⑤　比較	水平	ー	なし	H
⑥　比較	直立単層		なし	Vi
⑦　比較	水平単層		なし	Hi
⑧　比較	ダブルレイヤー		なし	DLT



③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種保存処理TLユニットを作製し、つくば、奈良、富山の3箇所での曝露試験を開始した。2021年11月に曝露1年目の劣化調査を行った。

実施した結果

(1) 保存処理CLTの品質及び材料強度に関するデータ収集

図5に、JASに定める製品の曲げ試験により得られた曲げヤング係数と曲げ強度を示す。曲げヤング係数に関しては保存処理による影響は見られなかったが、曲げ強度についてはラミナ処理で製造された場合無処理と比較して低下することが明らかになった。ただし、これらの現象は製材や集成材でも生じること、今回の試験体の強度等級をMx60-5-5とみなした場合の基準値は満足していることから、一定の強度低下を見込んで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。

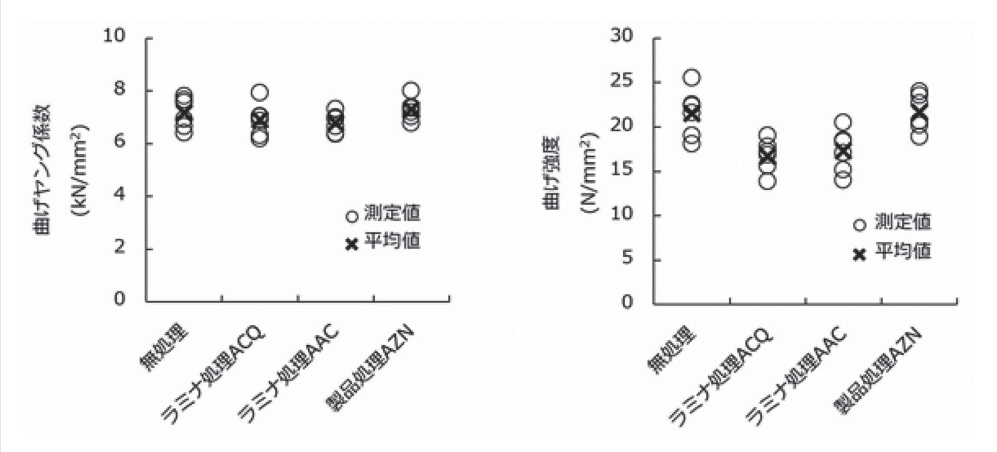


図5　積層方向の曲げ試験結果

(2) 保存処理CLTの規格に求められる品質基準案の作成

表3　必要と考えられる品質基準項目

試験項目	対象	JAS	AQ	ラミナ処理	製品処理
曲げ試験	製品強度	○	○	−	要検討
曲げB試験	ラミナMOE	○		実施	−
曲げC試験/引張試験	ラミナ強度	○		実施	−
せん断試験	製品強度	○		実施	−
接着試験	製品	○	○	実施	実施
寸法	製品	○	○	実施	実施※1
含水率	製品	○		実施	実施※1
浸潤度	製品/ラミナ		○	実施※2	
吸収量	製品		○	実施※3	

※1　要検討　測定方法
※2　要検討　サンプリング位置、基準値など
※3　要検討　サンプリング位置

表3に、直交集成板JASおよび防腐防蟻処理直交集成板AQの主な品質項目を示す。保存処理CLTの品質及び材料強度に関するデータ収集において明らかになった点を勘案しつつ、実施した方が良い項目を「実施」、実施にあたって測定方法の検討が必要なものを「実施※1」、サンプリング位置やそれに伴う基準値について検討が必要なものを「実施※2」、サンプリング位置の検討が必要なものを「実施※3」として示した。

(3) 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐候性要求性能把握

図６に、屋外暴露における各種CLTの色差の変化を示した（色差の値が大きいほど変色が大きい）。無塗装試験体は水平暴露の方が垂直暴露よりも変色が大きかったが、塗装することで変色は抑制され、水平暴露でも垂直暴露と同程度となった。木口シールによる割れ抑制効果については、暴露開始後３か月では明瞭ではなかった。

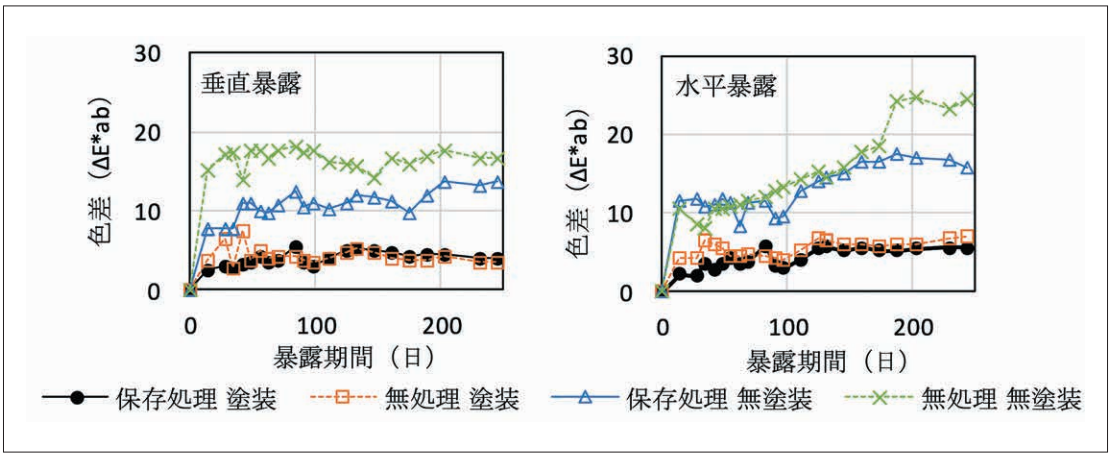


図６　設置条件と保存処理、塗装の有無によるCLTの変色の違い

(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幅はぎ接着がCLTの劣化リスクに及ぼす影響

９月７日の曝露開始から11月20日までの間、含水率は曝露期間とともに増加した（図7）。幅はぎTLの含水率は幅はぎなしTLより低い傾向がみられ、とくに水平に積層した芯層で顕著であった。各層の含水率が25%超となった頻度は、幅はぎなしTLの44%に対し幅はぎTLは22%で、幅はぎ接着により劣化リスクは半減した。

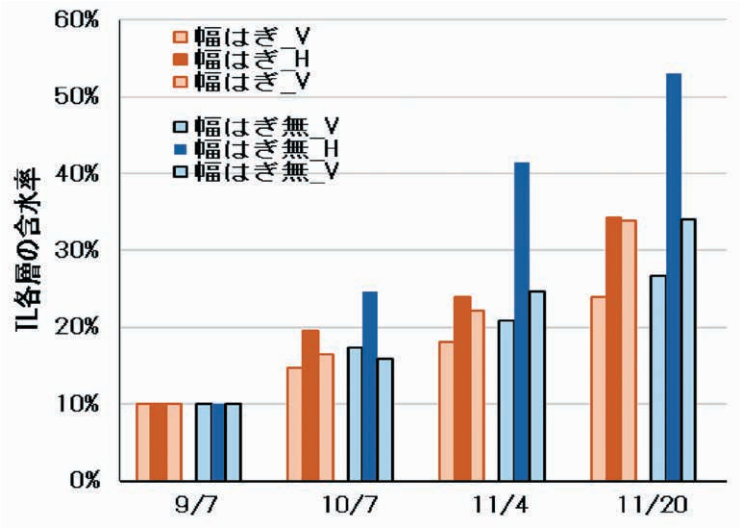


図７　幅はぎTLユニットの各層の含水率推移

②仕様の異なるTLユニットの劣化リスクの比較

各TLユニットの劣化リスクを図８に示した。TLユニットの劣化リスクは、DLTよりも低かったが、単層で曝露した試験材（Hi、Vi）より明らかに高く、不完全な外皮で被覆することによりさらに上昇した。図８には、曝露後の試験材の質量減少率、すなわち実際の腐朽量も示した。各ユニットの劣化リスクは腐朽量とよく一致しており、含水率に基づく劣化リスク見積の妥当性が確認された。

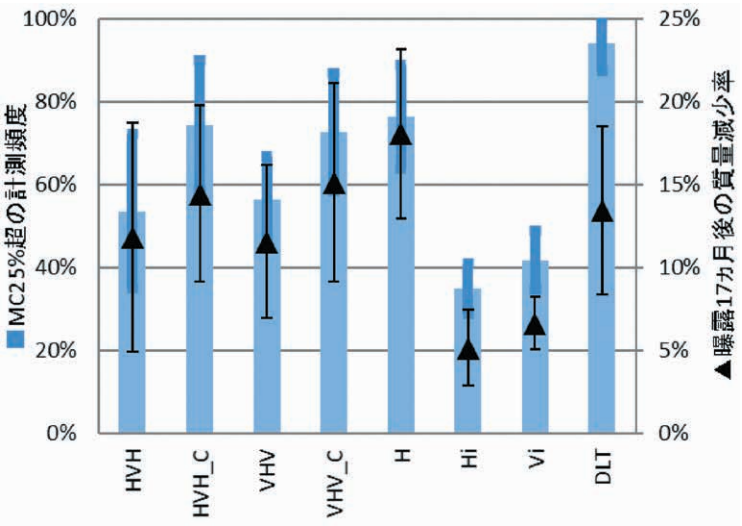


図８　各種ユニットの劣化リスクと実際の腐朽量

③保存処理試験材を用いたTLユニットの劣化調査

令和３年11月の曝露１年目調査の結果、富山試験地のAZ処理TLユニットの30本の試験材中２本に軽微な腐朽（ユニットとしての被害度は0.1）が観察されたが、それ以外の保存処理ユニットは健全であった。一方、無処理スギ辺材処理ユニットでは、腐朽が確実に進行しており（表4）、今後２～３年で保存処理ユニットの優位性を検証できる見込みである。

表４　曝露１年目の無処理TLユニットの被害度

	つくば			富山			奈良		
	腐朽本数	平均値	最大値	腐朽本数	平均値	最大値	腐朽本数	平均値	最大値
全	20/全 30 本	0.7	2	29/全 30 本	1.0	1	29/全 30 本	1.5	2
V 層	3/全 10 本	0.3	1	10/全 10 本	1.0	1	9/全 10 本	1.1	2
H 層	9/全 10 本	1.0	2	10/全 10 本	1.0	1	10/全 10 本	1.7	2
V 層	8/全 10 本	0.8	1	9/全 10 本	0.9	1	10/全 10 本	1.6	2

今後の課題・展開等

(1) 保存処理CLTの品質及び材料強度に関するデータ収集

AQ認証の防腐防蟻処理直交集成板に規定される性能区分２級を目安としてラミナ処理、製品処理の方法で製品を製造し、製造上の課題や強度低下の程度等を明らかにした。今回実施しなかった保存薬剤を用いる場合、インサイジングラミナを用いない場合、２級以外の性能区分を目標とする場合などについて、製造技術および性能評価を行ってデータ蓄積を図る必要がある。

(2) 保存処理CLTの規格に求められる品質基準案の作成

現行の直交集成板JASにAQ認証の防腐防蟻処理直交集成板に規定される性能区分２級に対応した保存処理製品を組み込む場合の品質項目や基準について明らかにした。AQの性能区分２級以外の性能区分についても、CLTを構造物に利用する上で要求される要求性能についてより具体的に明らかにする中で、要求水準に対応したCLT製品の製造技術、性能評価技術について検討・開発する必要がある。

(3) 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐候性要求性能把

使用環境に対応した保存処理CLTへの要求性能を把握するため、屋外暴露における各種CLTの色差の変化を今後も計測する必要がある。

(4) 使用環境に対応した保存処理CLTへの耐久性要求性能把握

CLTの層間浸水時の劣化リスクは、幅はぎ接着や被覆などの仕様によって、影響を受けることを明らかにした。また、含水率に基づく劣化リスク評価が実際の腐朽劣化状況とよく一致することも明らかにした。使用環境に対応した保存処理CLTへの耐久性要求性能を確実に把握するため、CLTの劣化環境や耐久性の評価技術についてさらに詳細に検討するとともに、屋外暴露における保存処理CLT等の劣化進行を今後も計測し、実証データを取得する必要がある。

事業

信州カラマツ210材を用いたNLT技術開発・実証及び信州カラマツ210材普及事業

● 実施団体 ●

信州木材認証製品センター

〒380-8567　長野県長野市中御所岡田30-16

事業目的

信州カラマツ大径材の有効活用に必要な技術開発を進めると共に、枠組壁工法部材の市場の不安定性の解消に協力するため、他地域の国産材では径級やヤング係数からみて対応が難しい断面寸法である210材に着目して、①ＮＬＴ技術開発及び強度や防耐火性能等の実証、②①の成果も含めた信州カラマツ210材の品質・性能に係る普及を図る。

実施した項目

本事業の検討委員会を設置し、以下の性能試験や普及宣伝活動等を行った。

1　信州カラマツ210材によるＮＬＴ技術開発事業

（1）強度性能の検証

- ＮＬＴ実大曲げ強度試験
- 釘せん断試験

（2）防耐火性能の検証

- NLT床版・埋め込み照明を想定した準耐火性能の確認試験

2　信州カラマツ210材の利用推進に向けた普及宣伝

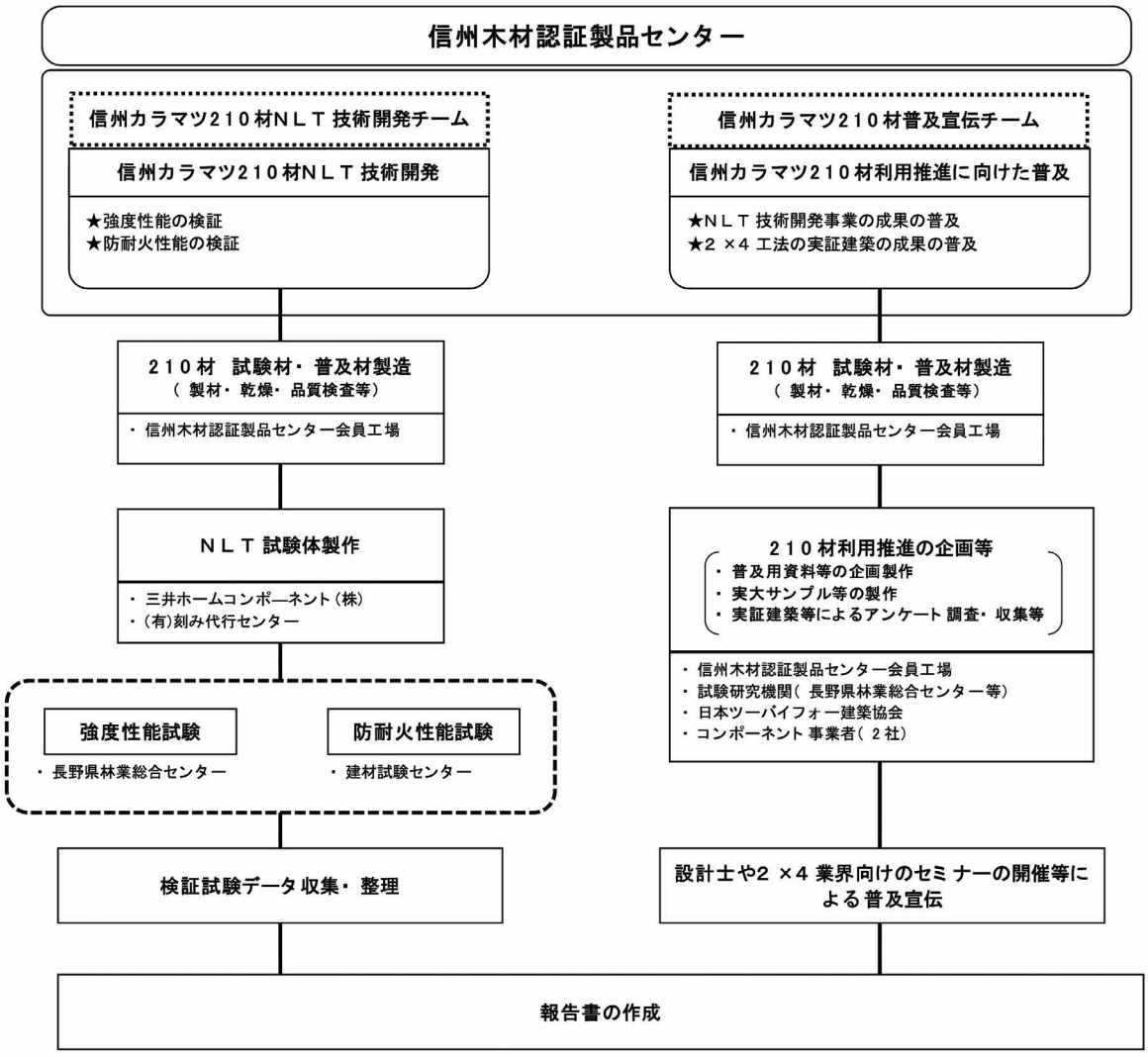
これまでの事業成果を活用して、２×４工法の実証建築の成果の普及宣伝や設計・施工・木材流通等に携わる方を対象に、信州カラマツ２×10材の説明や、具体的な建築設計に利用いただくためのＷＥＢセミナーを開催した。

実施体制

■信州カラマツ210材プロジェクト検討委員会

委員長	今井　信	（長野県林業総合センター 所長）
委　員	小林　保経	（小林木材（株）専務取締役）
委　員	齋藤　健	（齋藤木材工業（株）代表取締役社長）
委　員	鈴木　吉明	（根羽村森林組合 専務理事）
委　員	勝野　智明	（（株）勝野木材 代表取締役社長）
委　員	青木　俊治	（（株）青木屋 代表取締役社長）
委　員	竹腰　博毅	（林友ハウス工業（株）常務取締役）
委　員	芳川　幸一	（長野県森林組合連合会 副参事兼業務部長）
委　員	清野　明	（（一社）日本ツーバイフォー建築協会 技術部会顧問）
委　員	髙田　理彦	（三井ホームコンポーネント（株）生産事業本部）
委　員	橋本　宰	（ウイング（株）常務取締役）
委　員	北村　俊夫	（（株）木質構造計画ラボ 代表取締役）

オブザーバー	宮澤　俊輔（林野庁東北森林管理局長）
技術協力	(一社) 日本ツーバイフォー建築協会
関係省庁	林野庁林政部 木材産業課
	木構造振興 (株)
	林野庁中部森林管理局 森林整備部 資源活用課
	長野県林務部 信州の木活用課 県産材利用推進室
事務局	信州木材認証製品センター
	長野県林業総合センター 木材部



実施した内容

本事業の検討委員会を設置し、それぞれの立場から意見をいただき検討委員会を３回行い、信州カラマツ210材を用いたＮＬＴ技術開発・実証及び信州カラマツ210材普及等を行った。

1　信州カラマツ210材によるＮＬＴ技術開発事業

（1）強度性能の検証

• ＮＬＴ実大曲げ強度試験（3体）

試験は加力方向をNLTの厚さ方向（枠組材の幅方向）とし、３等分点４点荷重法で行った。加力は、実大材曲げ試験機UH-1000kNA（島津製作所）を用い、ストローク変位5mm/minで最大荷重に達するまで加力した。試験体下面のスパン中央及び左右10mm地点の変位を巻込型変位計で測定し、平均値をスパン中央変位とし曲げ弾性係数の算定に供した。

写真　実大曲げ試験

• 釘せん断試験（6体）

試験方法は枠組壁工法建築物構造設計指針に準拠した、いわゆるロケット型試験とし、主材を２本の側材で挟み込み釘留めした試験体を主材の頂部から一方向に圧縮荷重を加えるものとした。ただし、釘の打ち込み方向はNLTの製造の実態に合わせ、一方向から行った。

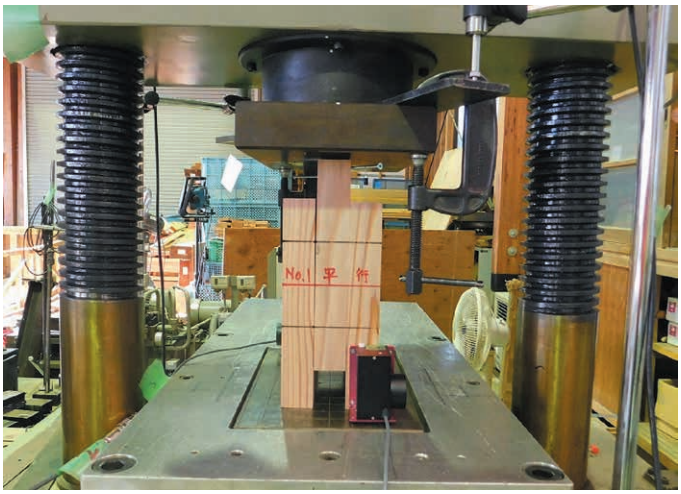


写真　釘せん断試験

（2）防耐火性能の検証

• ＮＬＴ床版・埋め込み照明を想定した準耐火性能の確認試験

１時間準耐火構造の認定を取得したＮＬＴ床版を現し天井として照明等の埋め込みを行った場合の床の準耐火性能を確認する。

天井面から床方向並びにＮＬＴ床版水平方向の防火措置について、１時間加熱の遮炎性・遮熱性を確認した。

試験場所：（一財）建材試験センター中央試験所

試験実施：令和３年10月８日（金）　着火13:36　終了14:46

試験体：　信州カラマツ210-NLT床版に、550ｍｍ×190ｍｍの防火被覆等を取り付けた埋め込み照明を想定した試験体仕様８種を組み込む。また、設備機器等の吊りボルトを取り付ける。NLT以外の木部材は準耐火の大臣認定条件に合わせスギ材とした。

加熱方法：ISO834-1に規定された標準加熱曲線による60分間の加熱

温度測定：炉内温度、試験体の内部温度、試験体裏面温度、ビス周囲の温度を測定

目視観察：試験終了後、各仕様の木材断面を取り出し木材の炭化状況等を確認

2　信州カラマツ210材の利用推進に向けた普及宣伝

①説明会の開催

②ＷＥＢセミナーの開催

実施した結果

1　信州カラマツ210材によるＮＬＴ技術開発事業

（1）強度性能の検証

ＮＬＴ実大曲げ試験、釘せん断試験については下表の結果が得られた。

表　NLT実大曲げ試験結果

試験体No.	最大荷重（kN）	曲げ強さ（N/mm²）	曲げヤング係数（kN/mm²）	破壊形態
1	27.9	18.2	8.65	・荷重点間の曲げ破壊 ・最外層釘接合部のせん断破壊
2	41.0	26.7	10.22	
3	34.6	22.5	12.41	

表　釘せん断試験結果

試験体名	初期剛性k（kN/mm）	降伏耐力Py（N）	試験体名	初期剛性k（kN/mm）	降伏耐力Py（N）
1-P	0.82	1.62	1-V	0.86	1.46
2-P	0.91	1.85	2-V	0.85	1.62
3-P	0.82	2.01	3-V	1.20	1.65
平均値	0.85	1.82	平均値	0.97	1.57
標準偏差	0.05	0.20	標準偏差	0.20	0.10
50%下限値	0.82	1.73	50%下限値	0.88	1.53
設計値	0.61	0.86	設計値	0.61	0.86

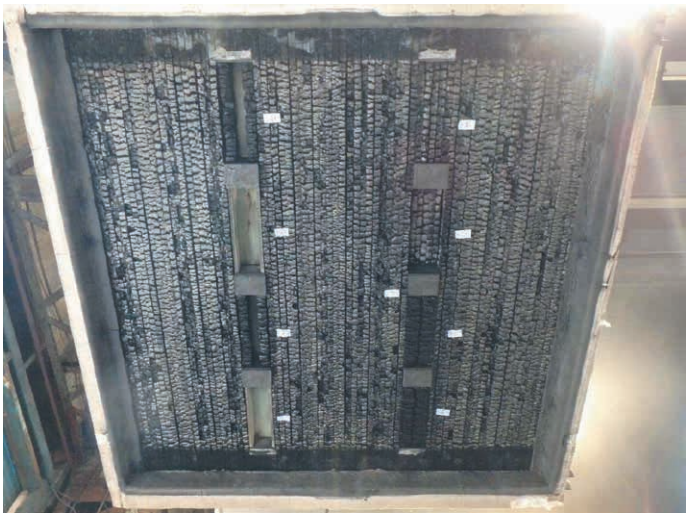
（2）防耐火性能の検証

・ＮＬＴ床版・埋め込み照明を想定した準耐火性能の確認試験

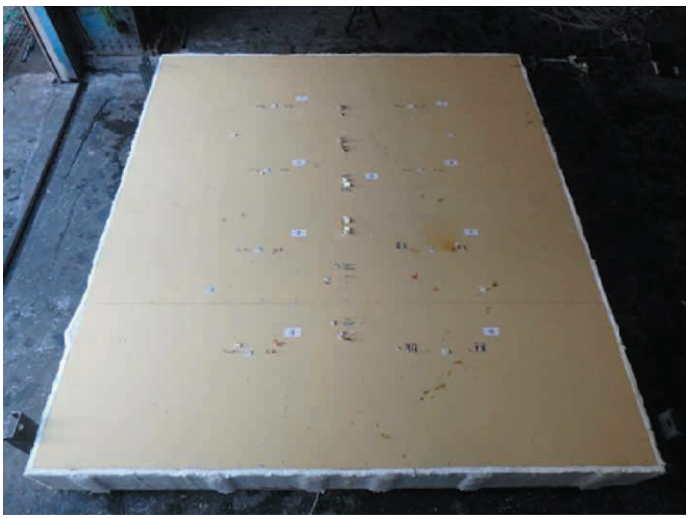
①遮炎性の確認

埋め込み照明を想定した８仕様のいずれも、加熱裏面への炎の噴出を生ずることはなく評価基準に合格していた。

試験前の加熱側の状況



試験後の加熱側の状況



試験後の裏面側の状況

②遮熱性の確認

埋め込み照明を想定した８仕様の加熱裏面最高温度は試験仕様No.3の63℃が最高で、いずれも180K以下であり、遮熱性の評価基準に合格していた。

試験体仕様 （裏面温度測定位置番号）	裏面温度		
	初期温度	最高温度	平均温度
No.1　(91)	34℃	59℃（60 分）	－
No.2　(92)	34℃	54℃（60 分）	－
No.3　(93)	34℃	63℃（60 分）	－
No.4　(94)	33℃	42℃（60 分）	－
No.5　(95)	34℃	41℃（60 分）	－
No.6　(96)	34℃	37℃（60 分）	－
No.7　(97)	34℃	34℃（60 分）	－
No.8　(98)	33℃	33℃（60 分）	－
一般部	33℃ a)	34℃（0 分）	33℃（2 分）
［備考］ 表中の（）内の数値は到達時間を示す。			
注 a) 一般部の初期温度は，裏面温度測定位置番号 99～102 の 4 点の平均値を示す。			

試験体の裏面温度

2　信州カラマツ210材の利用推進に向けた普及宣伝

①説明会の開催

・三井ホーム（株）「稲城・木造マンションプロジェクト」現場見学会・説明会

期　日：令和３年７月７日（水）　13：00～

一般：　　7/5(月)、7/6(火)、7/8(木)、7/9(金)、7/10(土)

メディア関係：7/7(水)

場　所：東京都稲城市百村1625-1　京王相模原線「稲城駅」徒歩４分

・県産材マッチングツアーでの普及活動

長野県内の工務店・建築士を対象とした、地域の山を実際に見て、県産材の良さを知り、地域の製材工場と新たな取引をおこなうきっかけ作りを行うツアーを開催し当センターでは、210材の取組みやスパン表などを参加者へ説明し普及活動を行った。

第１回目　北信地域
　　期　日：令和３年11月19日（金）　9：30～17：00
　　場　所：飯山市文化交流館なちゅら　ほか

第２回目　中信地域
　　期　日：令和３年12月10日（金）　9：00～17：00
　　場　所：松本合同庁舎　ほか

第３回目　南信地域
　　期　日：令和３年12月24日（金）　9：30～17：00
　　場　所：伊那市防災コミュニティセンター　ほか

②ＷＥＢセミナーの開催

・信州カラマツ２×10材設計・施工ＷＥＢセミナー

本セミナーでは、これまでの事業成果や、具体的な建築設計に利用いただくための「信州カラマツ210利用のスパン表」の解説等を行った。

開 催 日：１回目　　令和４年２月15日（火）　10：30～11：30
　　２回目　　令和４年２月17日（木）　10：30～11：30
開催方法：インターネットを利用したオンラインセミナー

今後の課題・展開等

1　信州カラマツ210材によるＮＬＴ技術開発事業

（1）強度性能の検証

今後はＪＡＳ枠組材カラマツ甲種特級材を無作為に組み合わせたＮＬＴを作成し、強度試験を行いたい。

（2）防耐火性能の検証

・ＮＬＴ床版・埋め込み照明を想定した準耐火性能確認試験成果の展開

本試験により、床版に埋め込み照明を設置する際の防火措置について有用な成果を得ることができた。（一社）日本ツーバイフォー建築協会では、試験成果を分析･検討した後、有効な設計仕様を「（仮称）ＮＬＴ技術マニュアル」に記載し、普及を図ることとしている。

2　信州カラマツ210材の利用推進に向けた普及宣伝

信州カラマツ210材の性能を把握し実証的に使用して施工性に問題がないことが確認でき、具体的な建築設計に利用いただくための「信州カラマツ210利用のスパン表」も作成したことから、もっと設計・建築業界等に適切に浸透させるため普及を図ることとしたい。

事業

令和2年度木材製品の消費拡大対策のうち難燃処理木材の野外での需要拡大を図るための防腐・防蟻・塗装等による屋外耐久性向上技術の開発及び難燃等の性能評価

● 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

木質材料の需要を拡大していくためには，非住宅建築物および、外構材への利用拡大を図ることが必須であるが、屋外で使用する為には、難燃、防腐・防蟻性能が求められる。

従ってこれらの処理を施した木材の屋外での劣化を踏まえた各性能を確認する必要がある。

しかし、屋外で暴露した木材を得ることは、相当な年数を必要とすることから、これまでの知見でJIS A 1326：2019の方法を用いて促進劣化させた木材は、屋外劣化３年に相当することが分かっているので、この方法により劣化させた木材と無劣化木材について、難燃性能を確認するためのSBI試験（燃焼試験）と防腐・防蟻性能試験を行い、それぞれの性能を確認した上で、外構材としての利用推進を図ることを目的とする。

実施した項目

１．難燃、防腐・防蟻、塗装処理した木材の性能試験

以下の試験を実施して、各種薬剤処理した木材の性能を確認した。

１）促進劣化試験（JIS A 1326：2019）

２）着火試験（ISO11925-2）

３）ＳＢＩ試験（EN13823）火災伝播試験

４）防腐・防蟻試験（JIS K 1571：2010）

２．委員会および、の開催

以下の２回の委員会と１回の部会を開催した。

１）第１回委員会（2021年６月16日）

事業目的の確認および、試験の実施内容と実施機関、時期等を決定した。

２）第２回委員会（2022年１月25日）

事業内容の実施状況および、各試験の結果が事業報告書概要版で説明し、了解され、最終版の制作に向けて不足する資料等の提供が要請された。

部会（2022年１月24日）

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。

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，当協会参事の今村祐嗣氏を委員長とし、下記委員により委員会を構成して事業を推進した。

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	(東京大学)
	兼松　学	(東京理科大学)
	吉岡英樹	(建築研究所)
	木口　実、毛利喜一	(日本大学)

	上川大輔	（森林総合研究所）
	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）
	早川哲哉	（㈱東京システムパック）
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（６月16日、ZoomによるWEB会議）
事業目的の確認および、試験の実施内容と実施機関、時期等を決定した。

2．促進劣化試験体固定用の枠の製作
㈱ソーケン（草加市）にて、２個（４㎡/個）製作した。

3．促進劣化試験（JIS A 1326：2019）
（一財）建材試験センター中央試験所にて、３種類の試験体の重量を測定した後、試験体を試験体固定用の枠に張り付けて、２回に分けて実施した。
第１回目は、８月25日、第２目は、９月27日に試験を開始、試験期間は、27日間である。

4．着火試験（ISO11925-2）
東京理科大学にて、12月８日、９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。

5．ＳＢＩ試験（EN13823）
（国研）建築研究所にて12月14日～17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。

6．防腐・防蟻試験（JIS K 1571：2010）
（一財）建築研究協会に依頼して実施した。

7．分会開催（2022年１月24日、ZoomによるWEB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（2022年１月25日、ZoomによるWEB会議）
事業内容の実施状況および、各試験の結果が事業報告書概要版で説明し、了解され、最終版の制作に向けて不足する資料等の提供が要請された。

試験木材の材質、寸法および、処理薬剤

試験体区分	A	B	C
試験体の材質	スギ（上小節）		
同上寸法・枚数	長さ1,000㎜×高さ120㎜×厚㎜さ18×20枚		
難燃薬剤処理	○	○	○
防腐・防蟻処理	×	○	○
塗装処理	含浸型	造膜型	造膜型

促進劣化試験実施状況

写真１および、写真２は、試験体の枠への張り付け状態を示す。試験体の前には、散水用の配管が設置、写真１の左側に照射用のランプが見える。

写真１は、奥が試験体区分Ａ、手前の色が濃い試験体が区分Ｂで、いずれも横張り付けした。写真２は、奥が試験体区分Ｃで、手前は。奥から試験体区分Ａ、同Ｃ、同Ｂで、横張り付けでは、下部の試験体は上部の試験体の撒布水の影響を受けることから、その事を考慮して縦張り付とした。

写真１

写真２

ＳＢＩ試験実施状況

以下の写真３～12により示す。

写真３は、試験体を取り付ける枠架台で、中央部が左右直角になっており、その左右に試験体を取り付ける。中央上部の黒ずみは、前回試験時の煤の痕。

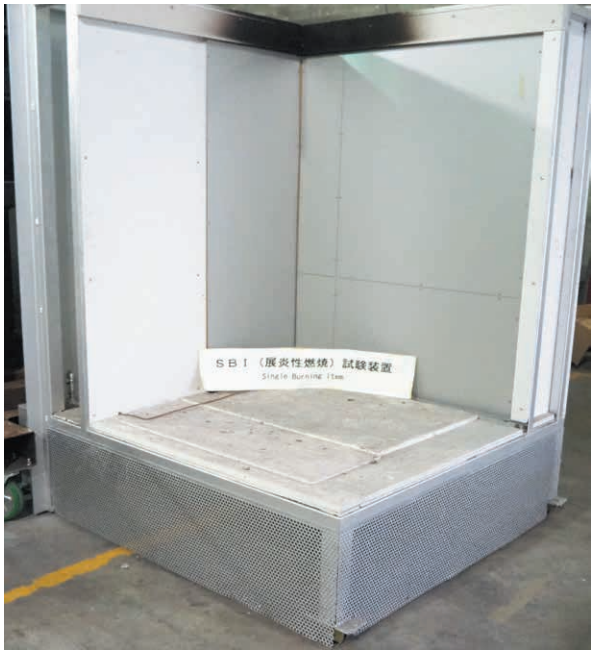


写真３

写真４～６は、試験体区分Ａで、左から設置した状態、燃焼中、試験後の状態を示す。写真４は、試験直前で、下部に火元が見える。

写真４

写真５

写真６

写真７～９は、試験体区分Ｂで、左から設置した状態、燃焼中、試験後の状態を示す。

写真７

写真８

写真９

写真10～12は、試験体区分Ｃで、左から設置した状態、燃焼中、試験後の状態を示す。

写真10

写真11

写真12

実施した結果

ＳＢＩ試験（EN13823）結果

ＳＢＩ試験は、プロパンガスバーナーから発熱速度30kWの火炎により20分間加熱して、発熱速度を測定する試験で、その評価方法は、計算式により火災成長速度および、加熱開始から10分間の総発熱量を求める。

その結果の評価は、欧州建築材料のクラス分け（EN13501-1）に基づいて、火炎反応性能の分類を行い、結果は、以下の通りである。

試験体の区分	A	B	C
総薬剤処理量（kg / 枚）	1.52	2.25	0.55
試験体の質量減量率 ※1	2	0	＋7
火炎反応性能の分類 ※2	B	D	B

※１：促進劣化前・後の質量変化（%）

※２：Ｂクラスとは、不燃と評価される性能で、実大区画火災試験（ISO9705-2）300kW加熱でもフラッシュオーバーは起こらない、不燃材料と評価される。

Ｄクラスとは、100kW　2分加熱でフラッシュオーバーが起きる。

今後の課題・展開等

外構材として使用される木材は、日照時間が長い南面側の劣化が特にひどく、この南向きで３年間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、その結果を基に、外構材として利用する場合には、難燃処理に加え、防腐・防蟻および、塗装処理を施工することが必須であることから、それらを処理した木材の難燃処理、防腐・防蟻性能を確認した。

一方、それらのデータは、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年以上での性能を確認しておく必要がある。

その為には、屋外暴露５年の試験の実施および、屋外試験５年相当にあたる室内促進劣化試験方法を早期に探索する必要がある。

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。その相関関係を知ることは、少ない材料で難燃性能を把握できることになり、併せて調査・研究する必要があり、これらを実施して、その成果を公表していくことが、今後の外構材としての需要拡大につながるものと考える。

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推進が期待されている。しかしながら、非住宅や中高層建築物の中でも、特に大空間を必要とする建築物において、木材は鉄骨に比べて軽量という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．工法評定取得に向けた第３者審査機関へのヒアリング

工法評定取得に向け、第３者審査機関での審査の際、どのような設定項目やデータ等が必要になるか、また、審査にかかる期間がどの程度必要となるかを確認すべく第３者審査機関へのヒアリングを実施した。

2．プレストレスを用いた柱-梁ラーメン接合工法における靭性改善のための検討、実験の実施、結果の評価

昨年度開発した接合工法は実験の結果、母材耐力を超える高物性な剛接合を達成しているものの、回転角が1/30～1/20程度で終局状態に至っており、さらなる靭性の確保が課題として挙げられていた。この課題を解決すべく関係者にて検討を行い、検討内容の妥当性を確認するため実験を実施した。また、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た。

3．既存工法対比のコスト／工期に関する比較検証

既存工法と比較して剛性、耐力が高い接合部であることが実証出来ていたが、コスト／工期においてどの程度優位性があるかの検証が未実施であったため、木造ラーメン接合で一般的に用いられるGIR接合とコスト／工期における比較検証を実施した。

4．経時変化に伴うプレストレス力の低下度合い確認のための試験

工法評定の取得に当たり、長期特性を把握するため経時変化に伴うプレストレス力の低下度合いを確認するための試験（リラクセーション試験）を実施した。

実施体制

■事業主体

総括／経理：帝人株式会社

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

■技術アドバイザー

国立大学法人　高知大学

■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

本事業において、昨年度はプレストレス力を用いた柱-梁のラーメン接合（剛接合）について、接合部の検討並びに実験・評価を行い、完全な剛接合といえる高物性な接合耐力の発現に成功したが、一方で回転角1/20～1/30で母材による終局破壊に至っており、靭性が十分確保出来ていなかった。

また、工法評定取得に向け第３者審査機関との事前相談や、既存工法対比の優位性検証、建築物へ適用する上で必要となる長期特性の把握などが実施出来ていないという課題も残っていた。

上記背景により、今年度は以下の４項目を実施した。

1．工法評定取得に向けた第３者審査機関へのヒアリング

次年度の工法評定取得に向け、第３者審査機関へ本工法の説明を行い、現在取得しているデータや設計方針などを説明した上で、不足しているデータや本工法の設計方針等に関し意見を伺った。

2．プレストレスを用いた柱-梁ラーメン接合工法における靭性改善のための検討、実験の実施、結果の評価

本項目を実施するに当たり、まずは昨年度開発した接合部６種のうち、物性･納まり共に最良であった仕様を基に、靭性改善を図った。

具体的には、以下２点による改良を加えた。

- 緊張材･補強材に複合応力が作用することを避けるため、せん断力を負担させるためのせん断キーを追加
- 接合金物の幅を大きくし、金物が負担する力の割合を増加

上記対応にて試験体を製作し、昨年度同様正負交番載荷による接合部の曲げ試験を実施、結果についての評価・分析を行った。試験体の形状並びに試験状況について図１～図４に示す。

また、後述する第３者審査機関へのヒアリング結果を受け、プレストレスを導入する緊張材は部材全長に渡って配置するのではなく、接合部近傍のみに配置する納まりに変更した実験も行った。試験体の破壊形式は、木母材が短期許容応力度を超えた後に緊張材が降伏するものと、接合部周りが降伏するものの２種類とし、想定した破壊形式に応じ孔位置や緊張材として用いるPC鋼棒の仕様、プレストレス力などをパラメータとした５種類の試験体を設定、試験により検討内容の妥当性および構造特性の評価を行った。各試験体の仕様並びに形状を表１、図５に示す。

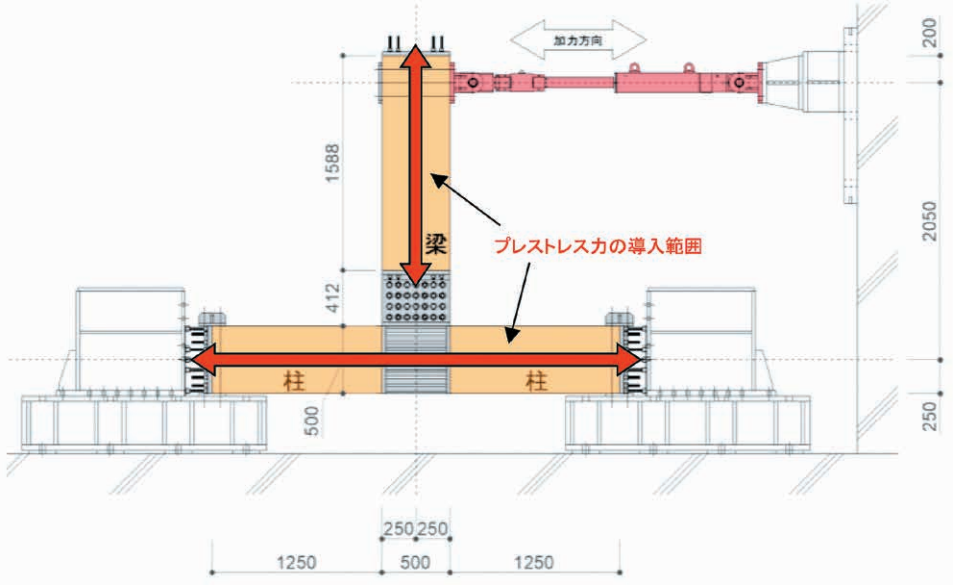


図１　第１回改良試験　試験体姿図

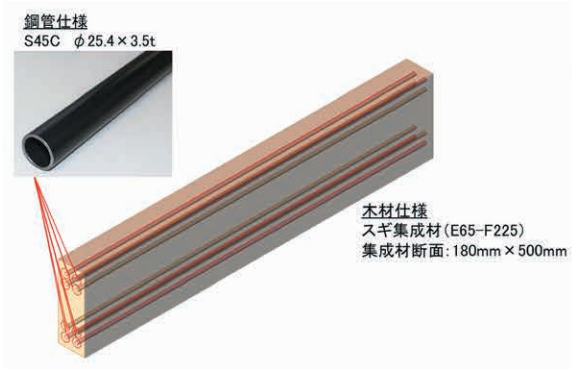


図２　柱部材のアイソメ図

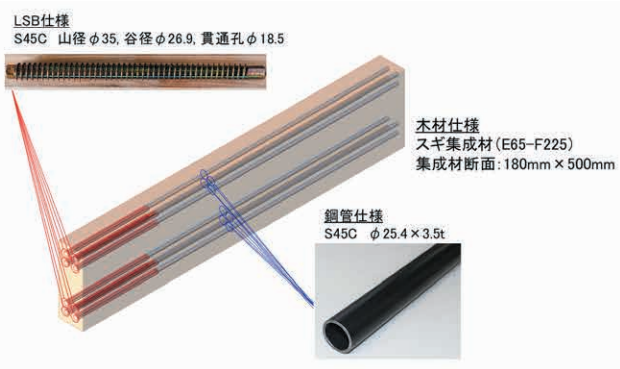


図３　梁部材のアイソメ図

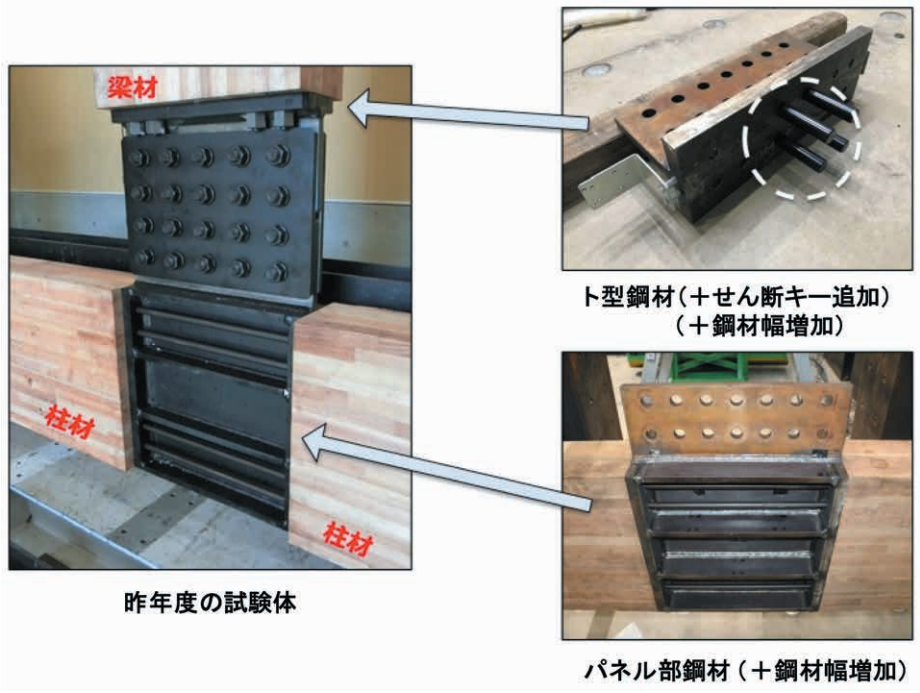


図４　鋼材部の構成（昨年度との相違点）

表１　試験体の仕様

試験体名	集成材	ＬＳＢ		PC鋼棒					想定した破壊形式
	梁成	上下縁距離	2段位置	径	種別	本数	長さ	プレストレス力	
	ｍｍ	ｍｍ	ｍｍ	ｍｍ		本	ｍｍ	kN/本	
試験体 No.1	420	60	120	11	C種１号	8	1350	57	接合部降伏
試験体 No.2	420	60	—	13	B種１号	4	750	95	PC降伏
試験体 No.3	420	120	—	17	B種１号	4	1050	110	接合部降伏
試験体 No.4	480	90	150	11	B種１号	8	750	65	PC降伏
試験体 No.5	480	90	—	13	C種１号	4	750	110	PC降伏

・集成材はスギ集成材（E65-F225）を使用
・LSBは山径Φ35，長さ495ｍｍ（ネジ有効長さ445ｍｍ），S45Cを使用

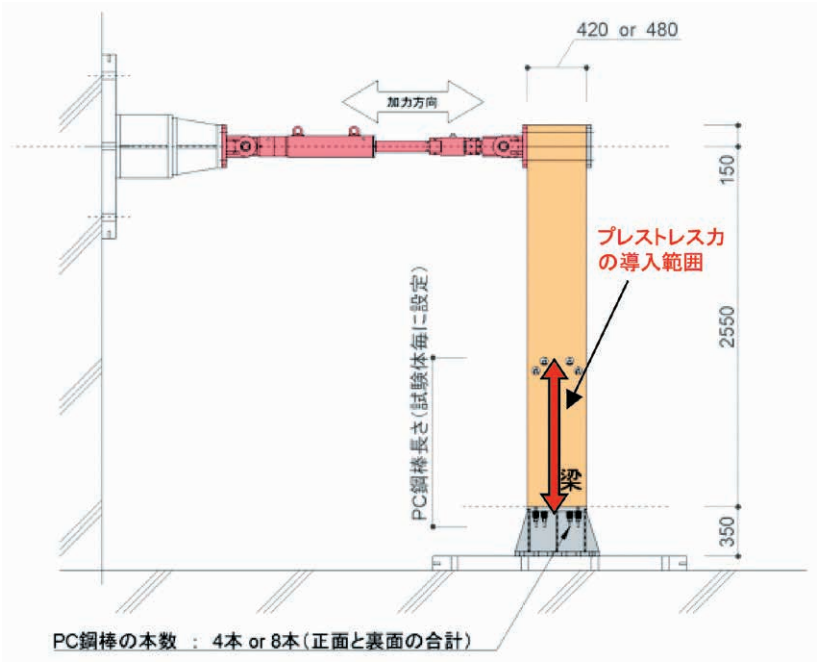


図５　梁曲げ試験　試験体姿図

３．既存工法対比のコスト／工期に関する比較検証

図６～図７に示す３階建て、軒高13m、延べ床面積2,079m2の木造事務所ビルを想定して、一般的なGIR接合工法２例とのコスト比較を行った。

４．経時変化に伴うプレストレス力の低下度合い確認のための試験

一般的に、PC鋼棒やPC鋼線などのPC鋼材に引張応力を与えた際、時間の経過とともにその引張応力が徐々に低下すると考えられており、この現象をリラクセーションという。リラクセーションの低下度合いを把握することで、その低下度合いに応じた緊張力の割り増しをすることにより、リラクセーションが生じても接合部の長期性能には問題が生じないよう対策を講じることが可能となる。こういった背景からリラクセーションの試験を実施した。

リラクセーション試験で実施した具体的な試験体水準を図８に示す。３水準実施した試験体は全て、断面サイズが幅120㎜×高さ210㎜で、１断面当たり400[kN]のプレストレス力を載荷した。No.1およびNo.2には炭素繊維強化集成材 LIVELY WOODを用い、No.3にはスギ集成材（E65-F225）を用いた。また、緊張材は７本よりのPC鋼より線を使用し、No.1およびNo.2にはφ9.3mmのものを８本、No.3にはφ12.7㎜のものを４本使用している。継手位置および全長についても図８に記載している。

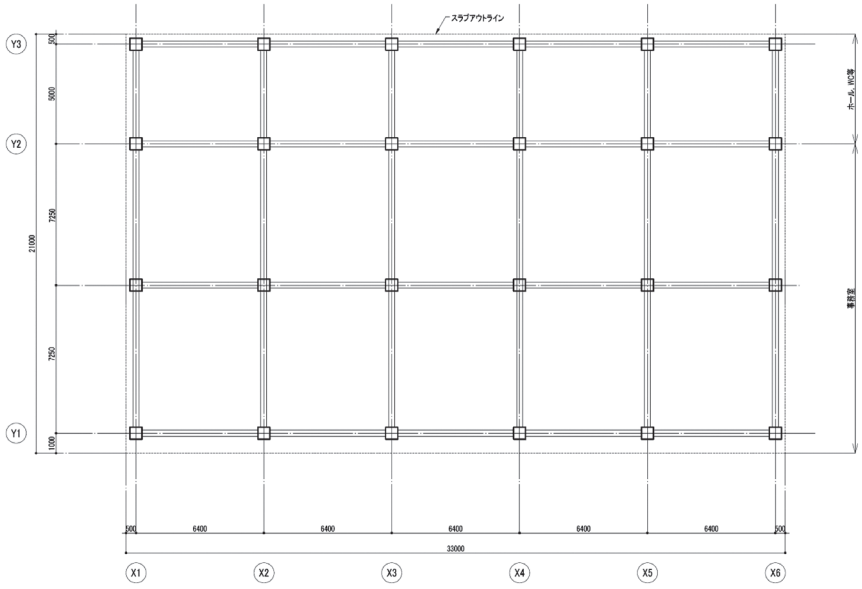


図６　伏図

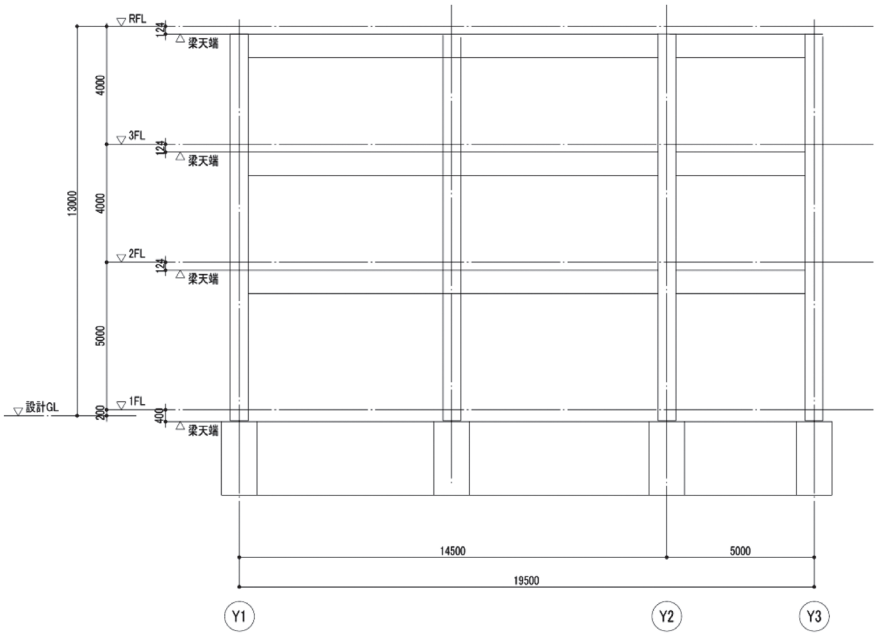


図７　軸組図

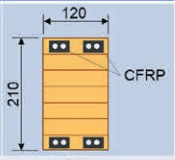
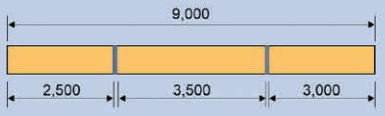
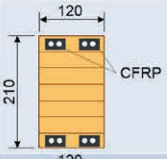
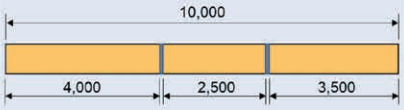
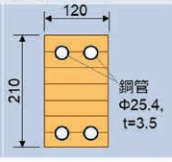
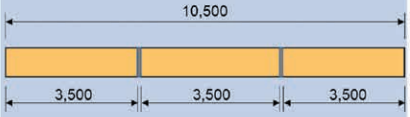
No.	試験体記号／仕様	PS力 [kN/全断面]	断面 [mm]	緊張材仕様	断面構成	継手位置／全長 [mm]
1	LW-U1／LIVELY WOOD	400	幅120×高さ210	PC鋼より線 7本よりΦ9.3 (8本使用)		
2	LW-U2／LIVELY WOOD	400	幅120×高さ210	PC鋼より線 7本よりΦ9.3 (8本使用)		
3	LT-U1／集成材 (E65-F225)	400	幅120×高さ210	PC鋼より線 7本よりΦ12.7 (4本使用)		

図８　リラクセーション試験体仕様

実施した結果

1．工法評定取得に向けた第３者審査機関へのヒアリング

昨年度実施した試験で良好な結果が得られた試験体は、木部材全長にPC鋼棒を挿入して材端でプレストレスを導入している。この場合、この部材は木材とPC鋼棒との複合部材となり、建築基準法施行令第３章第３節に示される木造を構成する部材に該当しない可能性があるという指摘を受けた。

それに対して、接合部金物を取り付けるために端部にのみプレストレスをかける納まりは引きボルト接合、LSB接合、GIR接合と同様端部接手と考えられるため、複合部材とならない可能性がある。

以上から、本工法は物件、設計者、施工者を問わず広く普及することを目標としているため、今年度から木部材端部にのみプレストレスを導入する工法へ変更する方針とした。

2．プレストレスを用いた柱-梁ラーメン接合工法における靭性改善のための検討、実験の実施、結果の評価

柱―梁接合部の曲げ試験に関する試験結果として、M―θ関係と損傷状況をそれぞれ図９、図10に示す。また、昨年度に実施した試験結果を併せて記載した包絡線を図11に示す。

昨年度の試験結果との比較より、今年度に実施した試験体は、剛性面での性能向上が確認されたものの、変形性能・耐力・破壊性状については、昨年度と同様の結果となっており、靭性の確保・木材端部での割裂防止を目的に講じた前述の対策は、期待した効果を発揮しなかった。

上記の試験結果を受け、破壊のメカニズムをより明確なものとするため、梁部材単体での曲げ試験を実施した。試験結果として、試験体のM-θ関係と損傷状況、包絡線を図12～図14に示す。また、構造特性を一覧にまとめたものを表２に示す。

試験体の損傷状況として、試験体No.1では、木母材での曲げ破壊が確認されている。これは、想定した荷重で接合部の降伏が生じず、載荷中に母材の終局耐力を超えた荷重が試験体に作用したことから、断面欠損が生じている箇所より破壊が生じたものと考えられる。また、その他の試験体No.2～No.5では、載荷の過程で緊張材周りの割裂が生じ、終局耐力に達する前に試験が終了している。本試験より得られた知見を以下に示す。

- 今回検討に用いた剛性と耐力の算定式は、各試験体の初期剛性を概ね再現することが可能である。
- 接合部の剛性は、プレストレスが切れて接合部が離間するまでPC鋼棒やLSBに依存せず、剛とみなせる程度である。
- 本工法において、緊張材周りでの割裂を防止するために小口面へのビス打ちや側面からの割裂補強等を行うことで、さらなる靭性・耐力を確保することが出来ると考えられる。

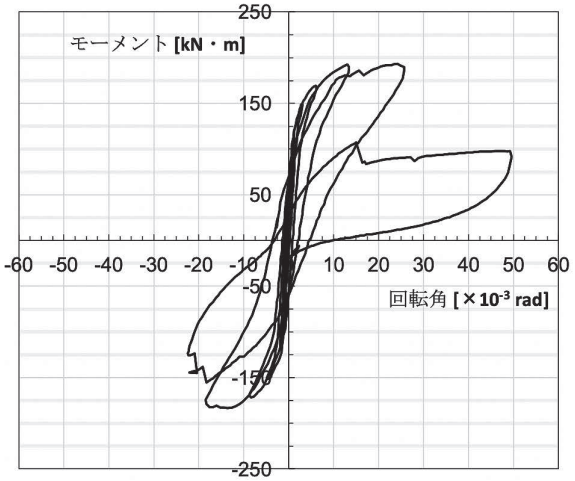


図９　M-θ関係（柱-梁接合部の曲げ試験）

図 10　損傷状況（柱 - 梁接合部の曲げ試験）

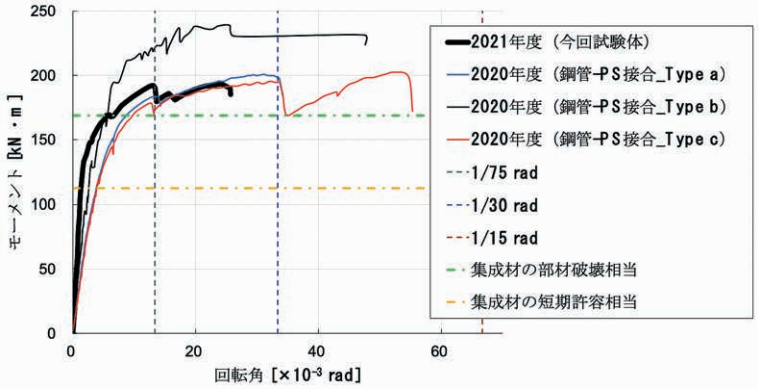


図 11　包絡曲線まとめ（柱 - 梁接合部の曲げ試験）

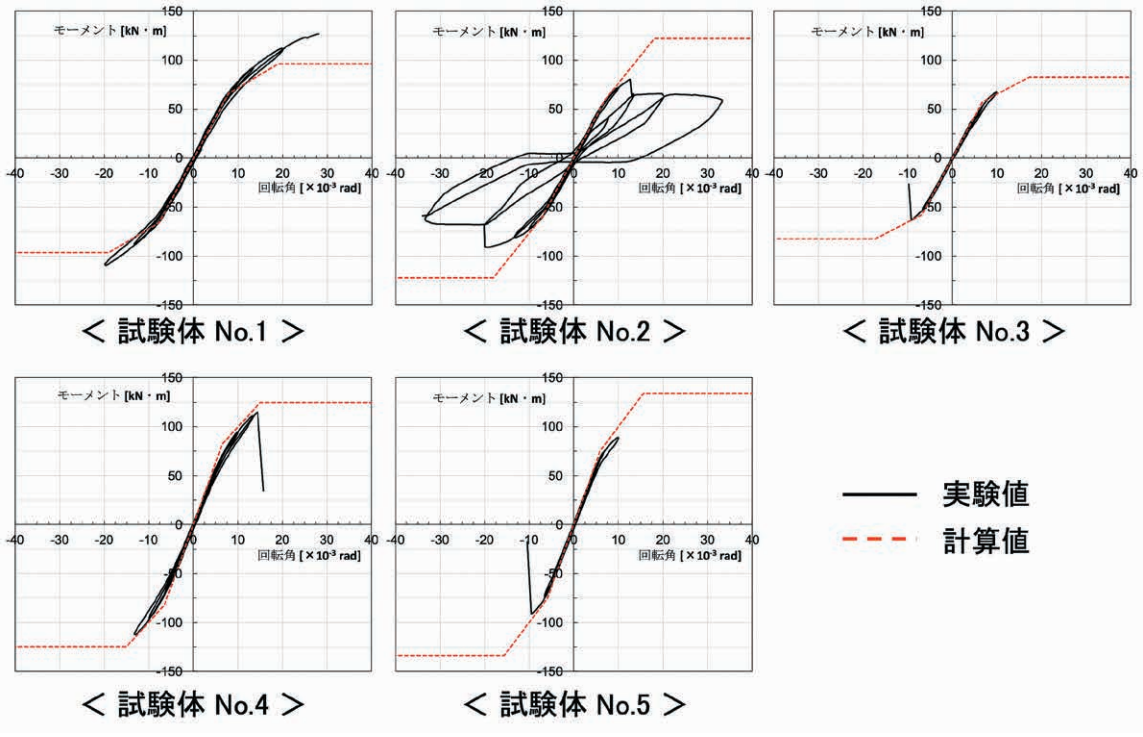


図 12　M-θ関係（梁曲げ試験）

図 13　損傷状況（梁曲げ試験）

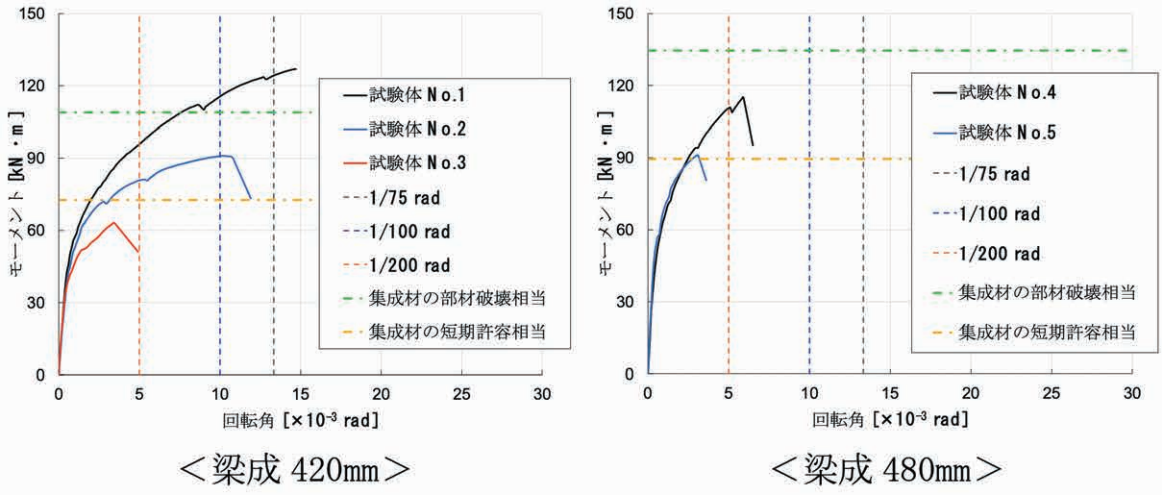


図 14　包絡線まとめ（梁曲げ試験）

表 2．試験体毎の構造特性（梁曲げ試験）

No.	項目	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
1	最大モーメント M_{max} [kN・m]	126.9	91.1	63.2	115.1	91.0
2	初期剛性 K [kN・m/rad.]	40,176	47,507	70,382	70,484	118,350
3	終局モーメント M_u [kN・m]	110.3	83.0	56.1	99.6	80.8
4	降伏変形角 θ_y [rad.]	0.0027	0.0017	0.0008	0.0014	0.0007
5	塑性率 μ	5.35	6.81	6.15	4.60	5.71
6	構造特性係数 D_s	0.32	0.28	0.30	0.35	0.31

3．既存工法対比のコスト／工期に関する比較検証

一般的なGIR工法２例と本工法を比較し得られた知見を以下に示す。

- 本工法は、プレストレスにより木と接合金物が一体化されることで接合部が剛接合とみなせるため剛性が高く、一般的なGIR接合工法に比べ部材断面が小さくなり、材料・加工費用を低く抑えることが出来る。
- 本工法はGIR接合に比べ接合部金物費用は若干割高であるが、GIR接合に比べて特殊性が薄く施工が簡易なため、金物や接合ボルトを含めた建方費用を低く抑えることが出来る。
- GIR接合は接着剤が固まるまでの養生期間に、支保工等の仮設が必要だが、本工法は特別な仮設が不要であり、仮設費用を低く抑えることが出来る。
- GIR接合は接着剤が固まるまでの養生期間を必要とするが、本工法はプレストレスを木材加工工場で導入することが可能で、建方は一般的な木造軸組み工法と同様のため、特別な期間は不要である。
- モデル建物において、本工法はGIR接合に比べ木軸工事費を１割程度低く抑えることが出来た。但し、規模や形状によって結果は異なると考えられるため、事例を増やした精査が必要である。

4．経時変化に伴うプレストレス力の低下度合い確認のための試験

経時変化に伴う緊張材にかかるプレストレス力の引張応力を把握するため、前述の通り、３水準の試験体を用いリラクセーション試験を2021年11月中旬より継続実施しており、現時点までの結果を図15に示す。試験体は、屋外に設置していることから、外気温の影響による張力の変動が見られるが、リラクセーションは初期に大きく、徐々に減少割合が低下している傾向が見られている。

また、試験開始時点から２か月程しかデータは計測出来ていないものの、現時点までのデータから50年後を推測すると、３水準ともリラクセーション値は凡そ５％前後となる見通しが得られている。

今後、継続的に５年程度データを計測・取得し、得られた結果は本工法においてプレストレス力の初期値を設定する際の調整係数として活用する予定である。

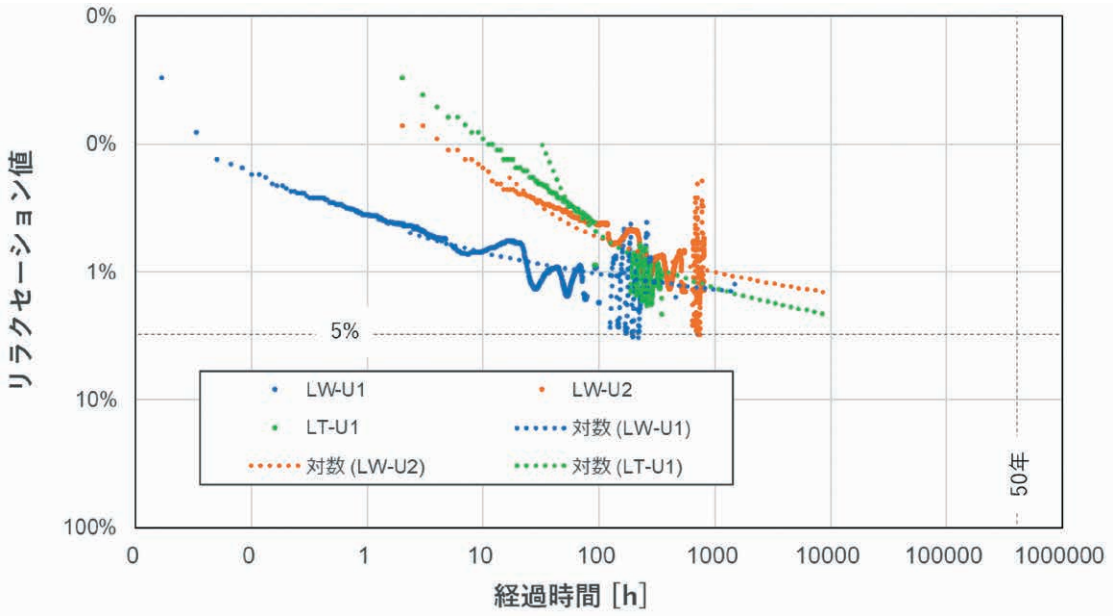


図15　経過時間とリラクセーション値の関係

今後の課題・展開等

- 第３者審査機関へのヒアリング結果を受け、昨年度良好な結果が出た部材全長にプレストレスをかける納まりをやめ、今年度から接合部近傍にのみ緊張材を配置する納まりへと変更したものの、接合部が部材と一体とみなせる程度の高い初期剛性を得た。また、破壊のメカニズムをより明確なものとするべく検討に用いた剛性と耐力の算定式は、各試験体の初期剛性を概ね再現することが可能であった。ただし、接合部耐力は計算結果を大きく上回っており、接合部の降伏前に木母材の破壊が生じたため、接合部近傍の要素試験をさらに多く行い、接合部耐力算定式の精度を上げる必要がある。

- 一方、靭性については想定した値まで伸びず、緊張材周りでの割裂が生じて破壊した。これはせん断力と回転モーメントによる複合応力が取り除ききれていないことに起因すると考えられる。さらなる靭性を確保するためには、小口面へのビス打ち等の割裂補強策が有効と考えられるが、その効果を実験により確認する必要がある。

- 来年度は上記の対応により靭性を向上させつつ、理論式と実際の破壊メカニズムとを整合させることにより、評定取得に向けデータの整備を加速させる。

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

● 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

温室効果ガスインベントリにおいて軟弱地盤改良のための地中利用木材（杭丸太）による CO_2 貯留量を算定可能にするための、腐朽・分解による半減期等のパラメーターの提示等を行う

実施した項目

1．既往文献調査
- （1）海外文献調査
- （2）国内文献調査
- （3）文献のグラフにおけるデータ読み取り

2．地中埋設円柱加工材の掘出し等による調査
- （1）10年間地中に埋設された円柱加工材の掘出し試験
- （2）5年間打設された木杭の堀出し試験
- （3）異なった土質に7.7年間埋設した木片試験

3．深度区分に応じた半減期の提案

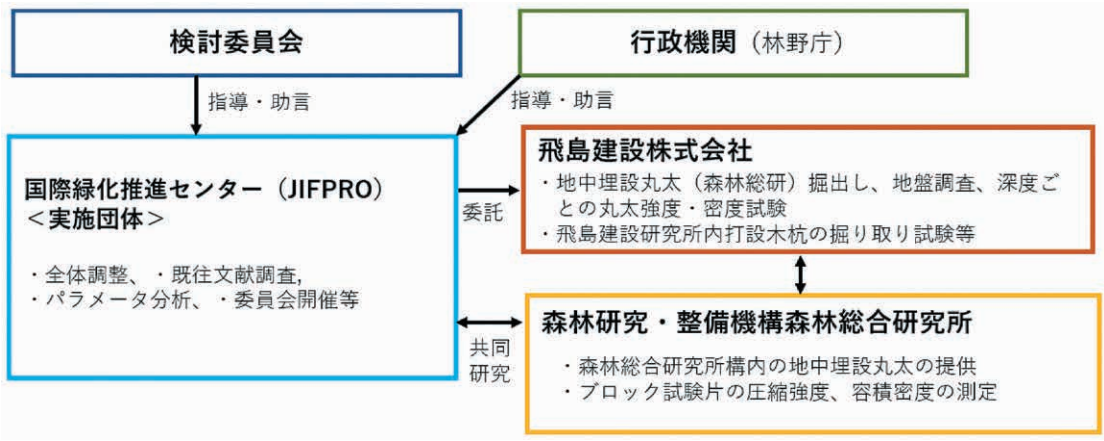
4．ライフサイクルアセスメント（LCA）に関する調査

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
沼田　淳紀	木材活用地盤対策研究会専務理事
服部　順昭	東京農工大学名誉教授

■実施体制



実施した内容

次の活動を実施した。

1．既往文献調査

（1）海外文献調査

国別インベントリ報告書における「その他産業用丸太」や廃棄物埋立て地における埋設木材の取り扱い、木材の貯蔵による炭素貯留に関する文献、ヨーロッパにおける木杭基礎の劣化に関する文献を調査した。

（2）国内文献調査

建築物基礎等の杭丸太の掘出し事例に関する文献、林内における倒木等の腐朽・劣化速度、実験室内における木材腐朽試験に関する文献を調査した。

（3）文献のグラフにおけるデータ読み取り

国内文献中に定量的に示された目視腐朽度、ピロディン貫入量、圧縮強度等に関するグラフを読み取り、データ化を行った。

2．地中埋設円柱加工材の掘出し等による調査

（1）10年間地中に埋設された円柱加工材の掘出し試験

森林総合研究所構内に2011年12月に埋設し、約10年（9年10カ月）経過した3本のスギ円柱加工材を2021年10月に掘り出し、次の試験を行った。

ア．掘出し箇所の地下水位測定も含めた地盤調査
イ．深度ごとの目視腐朽度判定とピロディン貫入量の測定
ウ．3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
エ．深度ごとに短柱を採取し、短柱の圧縮強度及び全乾密度（杭頭部の断面欠損部については質量残存率）を測定。

（2）5年間打設された木杭の堀出し試験

飛島建設（株）技術研究所内に打設して5年間経過した木杭を掘り出し、目視腐朽度判定、縦圧縮試験、含水率試験、全乾密度試験を行った。

（3）異なった土質に7.7年間埋設した木片の試験

塩ビ管に種々の土質を詰めたものに木片を埋設した模型地盤に、水位変動を与えながら7.7年経過した後に、木片を取り出して全乾質量の変化を計測した。

3．深度区分に応じた半減期の提案

上記1、2に基づき　軟弱地盤改良のための地中利用木材（杭丸太）の、地下水位状態に基づく深度区分に応じた半減期を提案した。

4．ライフサイクルアセスメント（LCA）に関する調査

杭丸太のLCAに関して海外及び国内の文献調査を行うとともに、本事業で開発した地中利用木材（杭丸太）の炭素貯留量の半減期を用いて、既存論文データの再計算を行った。

実施した結果

1．既往文献調査

（1）海外文献調査

ⅰ）国別インベントリ報告

各国の国別インベントリ報告書を調べたところ、杭丸太を含むその他産業用丸太を計上する国は少なかったが、オーストラリア、オランダ、米国については算定に含めていた（表1）。

表1　主要国の国別インベントリ報告書における伐採木材（HWP）等の取り扱い

国名	対象	方法	備考
オーストラリア	紙・紙製品、木質パネル、木材製品（木杭等の丸太含む）、SWDS（木質系）	Richards et.al (2007)による独自モデル	木材製品を、寿命により「極めて短期」から「極めて長期」の5カテゴリーに分け、それぞれについてライフスパン、分解割合、分解速度を規定。また木材製品からSWDSプール等への移行も組み込み。
カナダ	製材、木質パネル、その他の無垢材製品、紙・パルプ、燃料用材、工場残材	2006 IPCC ガイドライン（IPCC 2006）	FOD関数を使用。SWDSからのCO2排出は見込まない。
フィンランド	製材及びその他の産業用丸太、木質パネル、パルプ	2006 IPCCガイドライン、	2006IPCCガイドラインによるFOD関数を使用。SWDSの炭素は考慮していない。半減期は、製材35年、木質パネル25年、紙・板紙2年
ドイツ	木質材料（木質パネル）、紙・板紙、製材	2013KP補足（IPCC, 2014）、2006IPCCガイドライン（IPCC, 2006）	埋め立て地の木材に蓄積されている炭素は考慮していない。短伐期施業によるバイオマスは、HWPに報告していない。
オランダ	製材、木質パネル、その他の産業用丸太、紙・板紙	2013 IPCC KP ガイダンス（IPCC, 2014）	半減期は、製材35年、木質パネル25年、その他産業用丸太35年、紙・板紙2年で計算
ノルウェー	製材、木質パネル、紙・板紙	2013 KP補足方法論（IPCC, 2014）に基づくTier 2	FOD関数を使用。半減期はデフォルト値を使用。SWDSからのCO2排出は見込まない。
英国	長期製材、短期製材、パーティクルボード、紙、燃料用材	2006 IPCC ガイドライン（IPCC 2006）	Tier 3、カーボンアカウンティングモデル(CARBINE)を使用。半減期は、製材35年、木質パネル25年、紙2年、燃材は即時排出
米国	・木材製品利用によるHWP（製材、パネル、紙） ・SWDS中のHWP	Skog(2008)によるWOODCARBⅡモデル	一次生産品（製材、木質パネル、紙・板紙）と最終利用分野（住宅等）、SWDSに分ける。

この中で、米国の廃棄物埋め立て地（SWDS）については、埋め立て地に埋設された木質系廃棄物の分解をモデル化し、廃棄物中の炭素貯留量を算定していた（図1）。

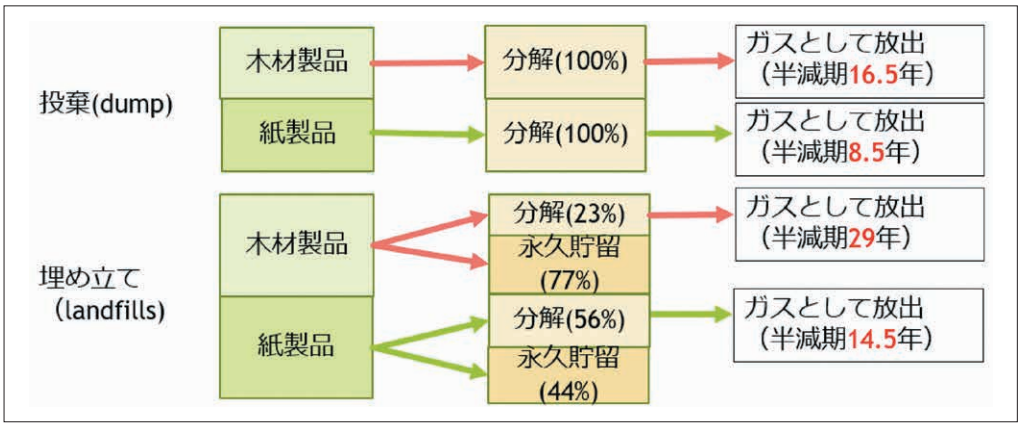


図1　米国のSWDSにおける木材製品の温室効果ガスインベントリにおける取り扱い

ⅱ）ヨーロッパの歴史的建造物木杭基礎の劣化に関する文献

ヨーロッパ、特にオランダ等において歴史的建造物の基礎として、丸太が地下水位下に埋設された嫌気的条件下で建築物基礎として広範に用いられてきており、これら丸太のエロージョンバクテリアによる劣化について多くの既往文献がある。バクテリア劣化は、木杭基礎において広く観察されるが、木材腐朽菌等による腐朽に比べ非常にゆっくりと進むことが示されていた。

（2）国内文献調査と分析

ⅰ）杭試験

我が国における地中木材の腐朽及びそれに伴う質量減少の評価を行っている試験方法としては、図２のような方法がある。

杭試験は、直径の細い短い木杭を野外で打ち込み、定期的に引き抜いて目視腐朽度等を記録するものであり、地下水位上限以浅であると考えられる。

杭試験における既往文献（雨宮ら，1970）から評価したスギ辺材の質量減少の半減期は約11年であった。

また、杭試験の既往文献から解析した強度減少率と容積密度の関係は図３のとおりであった。

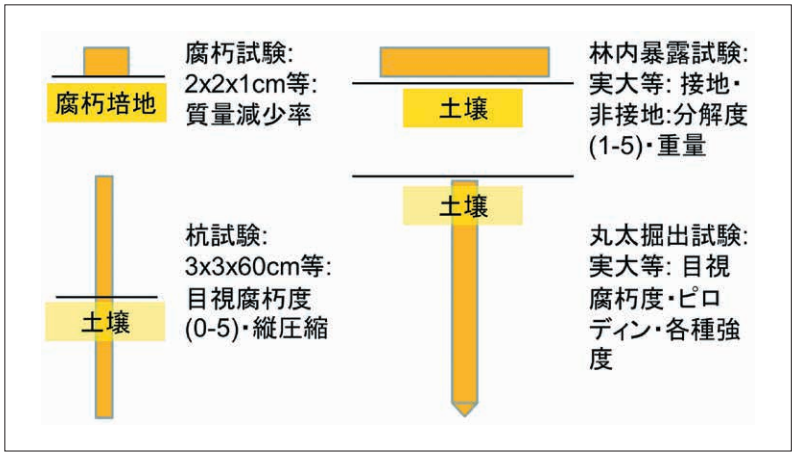


図２　地中木材の腐朽度評価手法

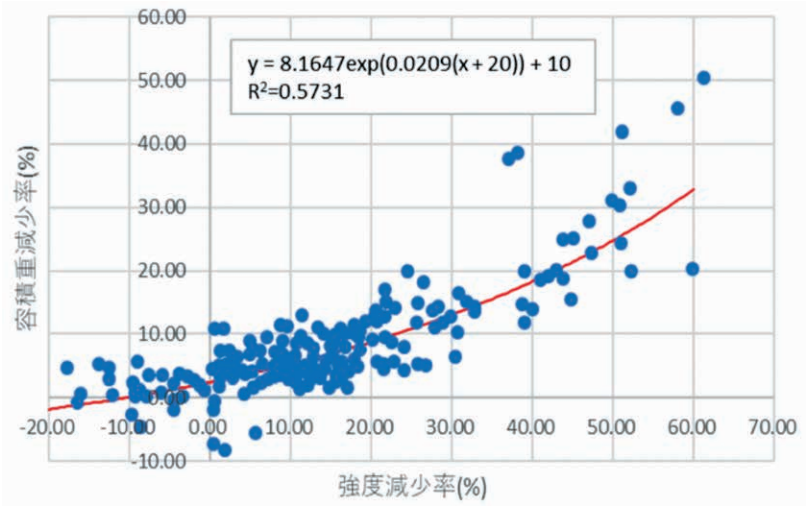


図３　強度減少率と容積密度の関係（雨宮ら1970を再解析）

ⅱ）林内暴露試験

森林吸収源の評価のため林内の倒木等の材密度の経過を報告した既往文献の事例から評価した。これは地表面の倒木等であり、地際部分の腐朽・劣化状況を示す。林内暴露試験における、スギ枯死木の質量減少の半減期は約18年であった（酒井ら，2008）。

ⅲ）腐朽試験

腐朽試験は、実験室内の腐朽培地上で、小ブロックを腐朽させ、質量減少率等を解析するものであるが、腐朽試験の既往文献（遠藤，2016）から評価したカラマツ辺材の質量減少半減期は約10年であった。なお、辺材の腐朽は、心材よりも急速に進むと想定される。

ⅳ）丸太掘出し試験

過去の建築物の基礎支持杭などに用いられた丸太を掘り出して、目視腐朽度、ピロディン貫入量、圧縮強度等を試験した事例が多く存在する。

検討委員会の沼田委員の収集された丸太掘出し試験の既往文献を中心に、杭頭からの深度と目視腐朽度、ピロディン貫入量の関係等を分析した（図4, 5）。

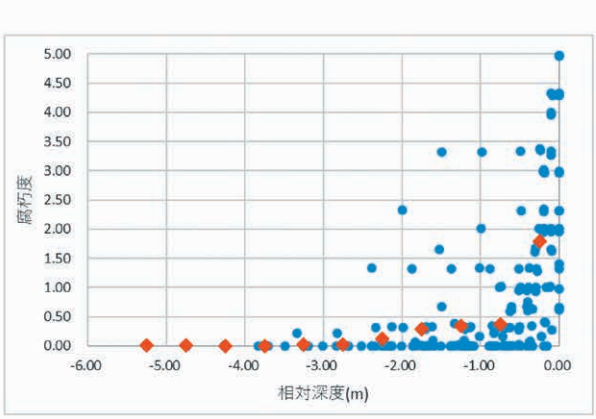


図４　目視腐朽度と相対深度（杭頭からの深度）

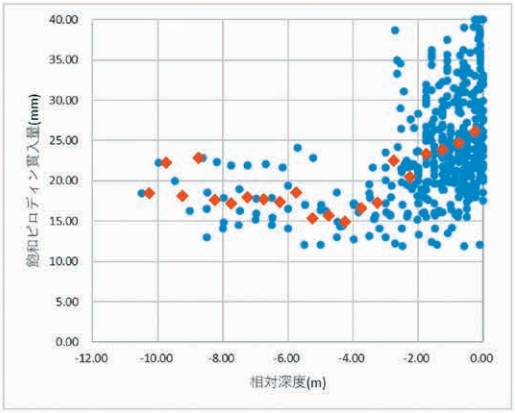


図５　飽和ピロディン貫入量と相対深度

2．地中埋設丸太掘出し等調査

（1）10年間地中に埋設された円柱加工材の掘出し試験

本円柱加工材は、長さ約2.1ｍの円柱加工材を上下に継ぎ、2011年12月に打設したものを、2021年10月に掘り出した。掘り出し時の地盤調査において、地下水位は地表より約-2ｍであった。なお、円柱加工材Ｃの下部材については、打設時に地中の岩等に当たったとみられ、下部が欠損していた。

写真１　掘り出された材（森林総研・原田氏提供）

ⅰ）目視被害度、ピロディン貫入量、短柱の全乾密度、縦圧縮強度

三本の円柱加工材から採取した短柱の、地表からの深度による目視被害（腐朽）度、ピロディン貫入量、全乾密度、縦圧縮強度を図６～９に示す。このように、地下水位－2mより上部において、明瞭な腐朽・劣化を示す結果がみられ、その程度は円柱加工材の上部ほど高かった。

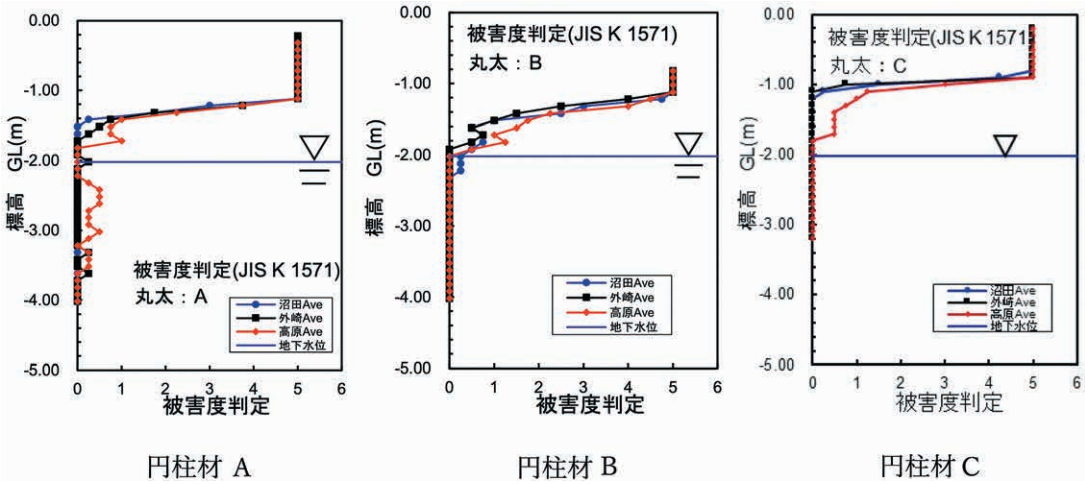


図６　短柱の目視被害度判定

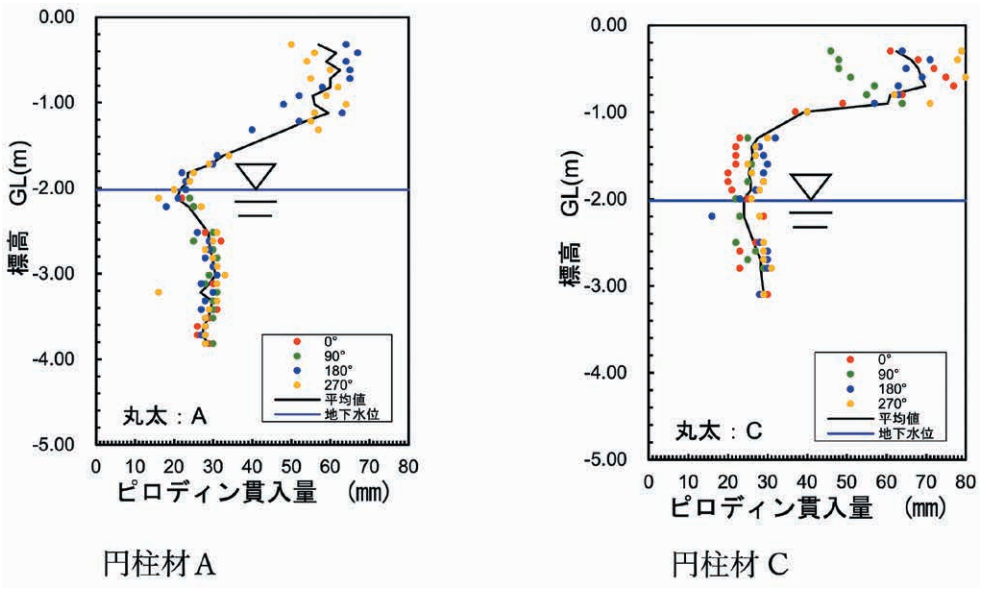


図７　短柱のピロディン貫入量

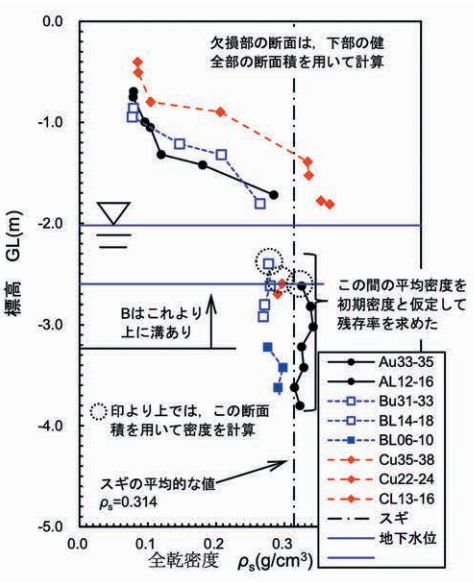


図８　短柱の全乾密度

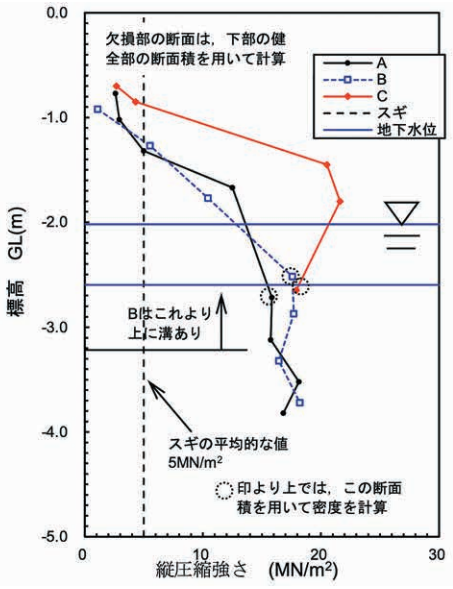


図９　短柱の縦圧縮強度

ⅱ）放射方向の小試験片の容積密度、縦圧縮強度

厚さ 20cm の円盤を、下部円柱材の下端付近（表２，３における円盤の番号１）、下部円柱材の上端付近（番号２）、上部円柱材の断面欠損部直下（番号３）からそれぞれの円柱材ごとに３枚採取した。円盤から、放射方向に２×２×4cm のブロック状の小試験片を放射方向に採取し、圧縮試験と容積密度測定を行うとともに、それと垂直の放射方向に年輪に沿って湾曲した放射方向の厚さ 1cm の割裂試験片を採取し、容積密度を測定した（図 10）。

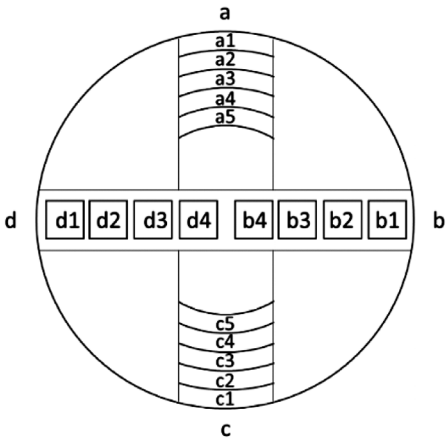


図 10　円盤からの試験片採取位置（森林総研・山下氏作成）

注：b1 ～ b4, d1 ～ d4 は圧縮試験・容積密度測定のための小試験片。
a1 ～ a5, c1 ～ c5 までは容積密度測定のための割裂試験片。

各円盤の圧縮試験、容積密度の平均値を表に示す。

表２　縦圧縮試験片の圧縮強度及び容積密度の３つの円柱材の平均値

縦圧縮小試験片の強度(N/mm²)			
	最外層	最外層-1	最外層-2
1	17.88	19.01	18.68
2	17.16	18.34	18.21
3	11.97	16.00	17.86
2/1	0.96	0.96	0.97
3/1	0.67	0.84	0.96

縦圧縮小試験片の容積密度(kg/m³)			
	最外層	最外層-1	最外層-2
1	288	285	301
2	287	291	295
3	242	276	303
2/1	1.00	1.02	0.98
3/1	0.84	0.97	1.01

注１：「１」は、下部円柱材の下端、「２」は下部円柱材の上端、「３」は上部円柱材の断面欠損部直下。
注２：縦圧縮試験片の「最外層」は図 10 の b1, d1,「最外層 -1」は b2, d2,「最外層 -2」は、b3, d3。

表３　割裂試験片の容積密度の３つの円柱材の平均値

	2/1	3/1
最外層	1.03	0.74
最外層-1	1.04	0.67
最外層-2	1.04	0.85
最外層-3	1.00	0.95
最外層-4	0.96	0.94
最外層-5	1.06	1.04

注１：「2/ 1」は、下部円柱材の上端の値÷下部円柱材の下端の値、「3/1」は上部円柱材の断面欠損部直下の値÷下部円柱材の下端の値。
注２：割裂試験片の「最外層」は、a1, c1,「最外層 -1」は , a2, c2, 以下同様。

上記の結果から、下部円柱材の上端と下端の円盤の比較では明らかな差はなかった。上部円柱材の断面欠損部直下の円盤と下部円柱材下端の円盤の比較では、表面から 3cm までは質量減少が生じていた。

データから、10年経過後で外層3cmが平均25%質量減少し、それより内側は健全であるとすると、断面全体の質量は0.873に減少し、半減期としては約51年となった。

iii) 断面欠損部の質量残存率

円柱材の上部断面欠損部より、高さ10～20cmで断面は不定形の欠損状態のままの試験体を作成し、縦圧縮試験を行った後、全乾質量を測定した。初期時の円柱加工材の直径を20cmとして、基準密度を用いて各試験体の質量残存率を推計した。

質量残存率と、推定された初期の杭頭位置からの深さとの関係を図11に示す。

深度が大きくなると質量残存率が大きくなっているが、これは欠損して細くなった部分から健全な外周面へと太くなっていく状態を表している。

10年経過時の平均質量残存率は0.533となり、指数減衰関数(FOD)から試算すると半減期は約11年となる。(ここで、減衰定数は、

$-\ln(0.533)/10(年)=0.062923$

と計算され、半減期は、$\ln(2)/0.062923 \fallingdotseq 11(年)$となる。)

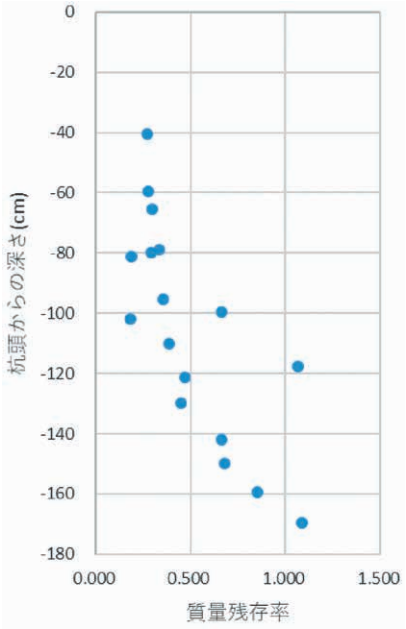


図11　断面欠損部の質量残存率と深度

(2) 5年間打設された木杭の堀出し試験

飛島建設技術研究所構内において打設して5年間経過した木杭を掘り出し、目視被害度、縦圧縮試験、含水率測定、全乾密度測定を行った(写真2)。木杭の全長は1mで、地表より70cm深さまで打設した。地下水位は1m以浅には認められず、地下水位上限以浅である。保存処理を行っていない木杭の質量残存率を示す(図12)。無処理の木杭の質量半減期は、地際以深では1.6～6.4年であった。

写真2　打設した木杭

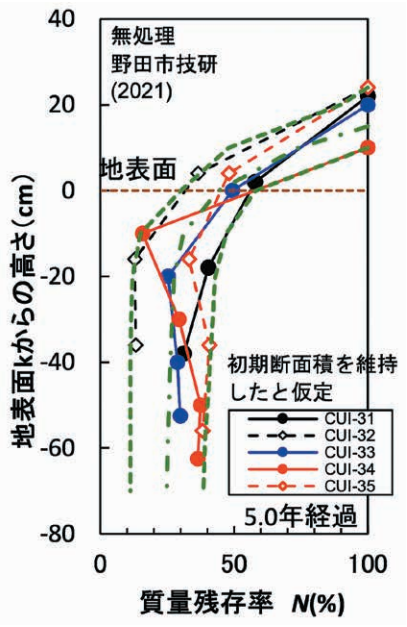


図12　木杭の質量残存率(5年経過後)

(3) 異なった土質に7.7年間埋設した木片試験

飛島建設技術研究所において、異なった土質を充填した塩ビ管に木片を埋設し、7.7年間水位を変動させ、その後に木片を取り出し、質量減少率を調べた。

塩ビ管への木片の埋設、水位の変動については図13, 14のとおりである。

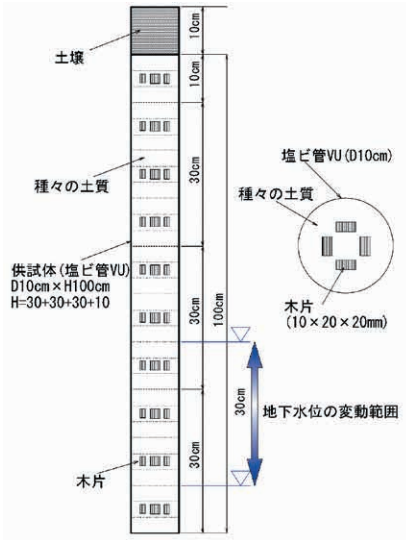


図13　塩ビ管への木片埋設方法

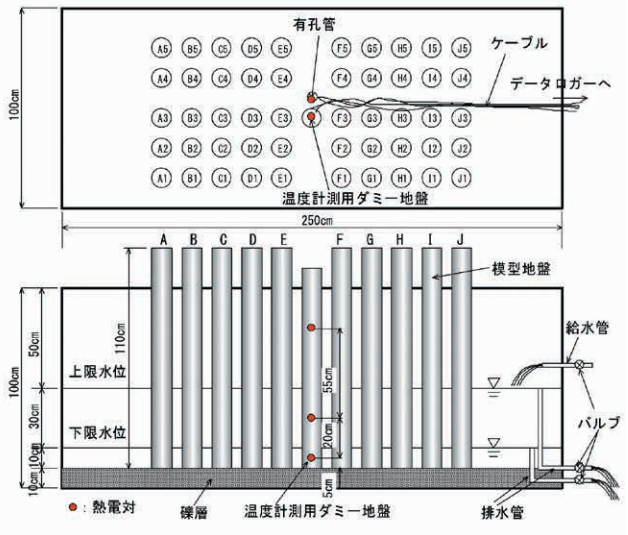


図14　模型地盤模式図と水位変動

土質ごとの、木片の平均質量減少より求めた半減期を表４に示す。

表４　埋設後7.7年（2,828日）経過後の木片の質量残存率より求めた半減期（年）

木片の位置（模型地盤下端からの高さ）H(cm)	A藤森粘土	B函館シルト	C北海道T砂	D豊浦砂	E利根川砂	F砕石	G混合砂	H混合土（無処理）	I混合土（保存処理）	地下水環境
95	60	※	32	24	10	80	30	24	297	上限水位以浅
85	88	62	39	28	8	81	33	30	186	上限水位以浅
75	108	137	80	22	16	104	39	15	227	上限水位以浅
65	※	151	256	16	36	101	69	9	229	上限水位以浅
55	154	∞	∞	25	112	103	91	17	211	上限水位以浅
45	198	∞	∞	38	274	30	188	109	164	上限水位以浅
35	209	∞	∞	99	∞	76	982	93	174	変動域
25	212	∞	∞	114	∞	374	∞	117	185	変動域
15	223	∞	∞	237	∞	55	∞	220	∞	変動域
5	241	∞	∞	213	∞	124	∞	226	476	下限水位以深

3．深度区分に応じた半減期の提案

軟弱地盤改良のための地中利用木材（杭丸太）の炭素貯留は、質量減少に関連したデータや論文が少なく、今後の知見の集積が必要であるが、指数減衰関数（FOD）による腐朽・劣化を前提として、今回調査した範囲内で地下水位状態に基づく深度区分に応じた半減期として次を提案する。

地中利用木材（杭丸太）の腐朽は、地下水位が深く関係しているため、①地下水位上限以浅、②地下水位変動範囲（地下水位上限から下限の間）、③地下水位下限以深の深度区分に分ける。

活動内容の１～２で得られた知見に基づき、各深度区分について次のような半減期を提案する（表５）。

表５　地中利用木材（杭丸太）の炭素貯留モデル

深度区分	① 地下水位上限以浅	② 地下水位変動域	③ 地下水位下限以深
半減期（年）	11	150	∞（永久貯留）
減衰定数	0.06301	0.00462	0

注：減衰定数=ln(2)/半減期

ここで、地下水位上限以浅の半減期11年は、掘り出し丸太の断面欠損部の質量残存率（2-(1)-iii)項）から求めた値であり、既往文献の値とほぼ同じである。また、地下水位変動域の半減期150年は、塩ビ管へ充填した土壌への木片埋設試験における水位変動域の木片のうち、地中で木材が使用される軟弱地盤を想定して、透水性が実際の地盤で想定される土質に埋設された木片の半減期の値（2-(3)項）を用いている。地下水位下限以深では、既往文献や今回掘り出した円柱材で腐朽・劣化がほとんど見られないことから永久貯留とした。

軟弱地盤対策のための地中利用木材（杭丸太）については、基本的に、杭頭を地下水位下限以深になるよう打設され、また地盤の毛管現象による水位上昇もあることから、深度区分の③が当面は保守的(conservative)な評価として適用されることが望ましい。深度区分②の適用や、一部にみられる杭頭部の断面欠損の取り扱いについて、我が国の杭丸太の炭素貯留量として用いるか否かについては、さらなるデータの収集が必要である。

4．ライフサイクルアセスメント（LCA）に関する調査

建築及び土木分野における木材利用のライフサイクルアセスメント（LCA）に関して、国内外の論文や報告書を調査した。特に、本事業のテーマである杭丸太に関するLCAについて調査したところ、ウルグアイの事例（Verdaguerら，2020）では、木造住宅の基礎に木杭が使用されており、その耐用年数は73年と仮定されていた。しかしながら、その他に、杭丸太のLCAに関する情報が記載された論文や報告書は見つからなかった。

一方、国内の杭丸太を対象としてLCAを行った論文として、Kayo and Noda（2018）が公開されているが、その論文では、杭丸太は地中利用では腐朽しない（炭素は永久貯留される）と仮定されていた。そこで、本事業で提案する深度区分に応じた半減期（表5）を用いて、深度区分の適用に関する一定の前提の下での、Kayo and Noda（2018）の論文データの再計算を行った。具体的には、杭丸太の使用予測量（Fig3）を基にして、炭素蓄積変化予測量（Fig4）を再計算し、これに基づき材料代替（Fig 5）とエネルギー代替（Fig6）を合計した気候変動緩和（Fig7）を更新した。その際、炭素蓄積変化の推定手法には、IPCCの2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National GHG InventoriesのVolume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use (AFOLU)のCHAPTER 12: HARVESTED WOOD PRODUCTSに記載されている、Tier 1: “first order decay” method（一次減衰関数を用いた手法）を適用した。

今後の課題・展開等

地中利用木材の質量減少に関連したデータや論文が少なく、今回は限られたデータに基づく調査とパラメーター提案であるため、今後、丸太掘り出し試験の知見集積を行い、深度区分に応じた実際のパラメーター適用方法について、検討を行う必要がある。

また、インベントリ報告では、地中利用を含むその他産業用丸太の使用量の推移に合わせて、より詳細な調査をしていく必要がある。

<引用文献>

雨宮昭二，松岡昭四郎，庄司要作，井上衛，安部寛，内藤三夫 (1970) 浅川実験林苗畑の杭試験 (2) 防腐処理杭の10年間の被害経過．林業試験場研究報告 No.230, 105-142.

遠藤卓 (2016) 木材腐朽の定量的な予測のための数値解析モデルに関する研究、北方建築総合研究所調査研究報告 No.363.

Kayo C. and R. Noda (2018) Climate change mitigation potential of wood use in civil engineering in Japan based on Life-Cycle Assessment. Sustainability 10(2).

酒井佳美，高橋正通，石塚成浩ら (2008) 材密度変化による主要な針葉樹人工林における枯死木の分解速度推定．森林立地 50(2), 153-165.

Vergaguer S.B., C. Llatas C. and L. Moya (2020) Comparative BIM-based Life Cycle Assessment of Uruguayan timber and concrete-masonry single-family houses in design stage. Journal of Cleaner Production 277.

事業

低コストCLTと土木利用技術の開発

● 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2階

事業目的

2021（令和3）年3月、CLT活用推進に関する関係省庁連絡会議においてCLTの更なる利用拡大に向けた新ロードマップが策定され、その中に「土木分野で活用可能な製品の開発推進」が盛り込まれた。本事業はこれを受け、CLTの利用拡大による木材利用量拡大、気候変動緩和への貢献、および国土強靭化による安全・安心社会構築への貢献を視野に入れ、土木用の低コストCLT、並びにCLTの新たな土木利用技術の開発・普及を目的とする。

実施した項目

1．土木分野での利用を想定したCLTの耐久性の基礎試験

これまで建築分野で想定されておらず、土木分野で新たに想定される「地盤中・海中・淡水中環境におけるCLT」について、全国各地における耐久性試験を実施した。

2．CLTを活用した土木利用技術の開発

以下について、実証施工実験を実施し、実用化の可能性についての検証を開始した。

（1）CLT板状地盤補強工法　（2）CLT防雪柵　（3）CLT敷板　（4）CLT遮音防護柵

3．土木用CLTの低コスト化技術の開発

土木分野での利用を想定したCLTの低コスト化を目的に、以下を行った。

（1）土木用を想定した低コストCLTの開発

（2）CLTの耐久性付与技術の開発

（3）CLTの燃焼利用技術の開発

実施体制

【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：吉田 雅穂（福井工業高等専門学校）
：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）

【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）
：木村 礼夫（株式会社ｼﾞｪｲｱｰﾙ総研ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ）
：谷口 翼（銘建工業株式会社）
：綿引 誠（住友林業株式会社）
：加用 千裕（東京農工大学）

【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：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）
：西岡 英俊（中央大学）
：尾崎 健一郎（株式会社熊谷組）
：浦野 和彦（株式会社安藤・間）
：谷口 翼（銘建工業株式会社）

【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（株式会社ｼﾞｪｲｱｰﾙ総研ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ）
委員：野田 龍（秋田県立大学 木材高度加工研究所）
：谷口 翼（銘建工業株式会社）
：内海 博之（理研興業株式会社）
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ：山口 秋生（日本木材防腐工業組合）
ｵﾌﾞｻﾞｰﾊﾞｰ：佐々木 貴信（北海道大学）

【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：沼田 淳紀（飛島建設株式会社）
：木村 礼夫（株式会社ｼﾞｪｲｱｰﾙ総研ｴﾝｼﾞﾆｱﾘﾝｸﾞ）
：谷口 翼（銘建工業株式会社）
：井筒 耕平（株式会社ｲﾄｲｸﾞﾙｰﾌﾟﾎｰﾙﾃﾞｨﾝｸﾞｽ）
：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）

【行政】
齋藤 健一（林野庁林政部木材産業課木材製品技術室長）※2021年6月30日まで
土居 隆行（林野庁林政部木材産業課木材製品技術室長）※2021年7月1日から
日向 潔美（林野庁林政部木材産業課課長補佐）

【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）
堀内 智哉（一般社団法人日本CLT協会）※2021年9月30日まで
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・伊藤 良治・狩野 れいな（合同会社建設木材工学研究所）

実施した内容

1．土木分野での利用を想定したCLTの耐久性の基礎試験

建築分野におけるCLT利用では検討されてこなかった地盤中・海中・淡水中環境におけるCLTの耐久性試験を、気候条件の異なる全国３地点で実施した。

(1) 試験体の仕様

キュービック型：150 mm × 150 mm × 1500 mm、1,242供試体（写真-1）
ボード型：　500 mm × 1500 mm（淡水試験では900 mm）× 150 mm、48供試体（写真-2）
CLTの仕様：　Mx60、スギ、５層５プライ
使用接着剤：　レゾルシノール系樹脂、水性高分子イソシアネート系樹脂

写真-1　キュービック型の供試体

写真-2　ボード型の供試体

(2) 供試体の設置

a) 地盤環境（図-1，写真-3）

設置地点：亜寒帯地域（北海道旭川市）、温帯地域（広島県三次市）、亜熱帯地域（宮崎県都城市）
設置高さ：気中（GL+0.5 m）、地盤上（GL ± 0 m）、地盤中（GL − 0.1 m，− 0.5 m，− 1.5 m）

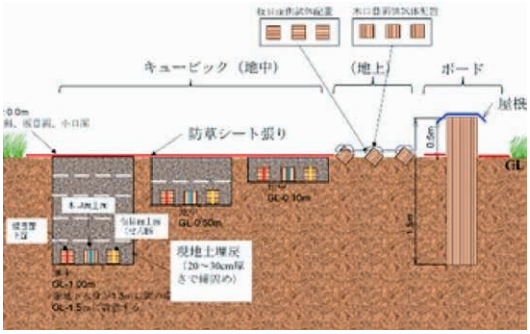


図-1　地盤環境での供試体設置方法イメージ

写真-3　地盤環境をモデル化した供試体の設置状況

b) 海水環境（写真-4）

設置地点：神奈川県横須賀市の港湾空港技術研究所内の海水循環槽
設置高さ：潮の干満帯（上限直下、下限直上）、常時海中、海中内の砂地盤中（GL0 cm，− 2 cm，− 4 cm，− 6 cm）

写真-4　海水環境をモデル化した供試体の設置状況

c）淡水環境（写真-5）

設置地点：千葉県野田市飛島建設（株）技術研究所内の屋外ヤード

設置高さ：気中、水面（下面が水面、中央部が水面、上面が水面）、水中（WL－0.5 m）

写真-5　淡水環境をモデル化した試験の実施状況

(3) 実施方法

2021年度に各供試体設置後、5年を目途に、毎年各試験の供試体を取り出し、以下の項目の結果を設置前の結果と比較することで耐久性を評価する。

①供試体各面の撮影と観察、②気乾状態と飽和状態における寸法と質量の計測、③縦圧縮試験とブロックせん断試験

2．CLTを活用した土木利用技術の開発

土木分野でCLTを活用した場合の木材およびCLTのメリット・デメリットを考慮し、多数のアイディアより具体的な土木利用技術を抽出し、実用化に向けての実証施工実験を開始した。

(1) CLT板状地盤補強工法

a）開発成果の最終イメージ（図-2）

軟弱地盤上の道路や宅地造成地の盛土などの土構造物の基礎として、軟弱地盤上にCLTを敷設し、環境負荷の抑制を図りながら、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　を図る。

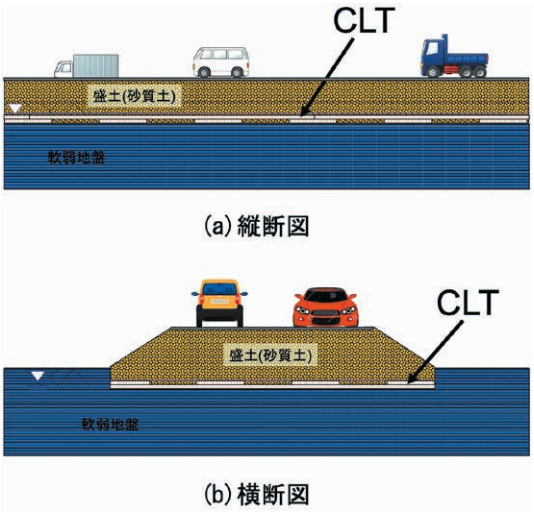


図-2　CLT板状地盤補強のイメージ

b）開発に至った経緯

炭素貯蔵型として、木材とCLTの強みを活かし、弱みを克服するように、多くのアイディアを出し、その中より主に以下の理由で本工法を抽出した。

- 長期的（50年以上）にメンテナンスフリーで使用可能：地中の地下水位以深では木材は生物劣化しない。
- 環境的に優位：木材よる炭素貯蔵効果への期待もあり、主たる材料が育成林から得られた木材なので自然環境に対する調和性が高い。
- 利用先が多い：平地で構造物を構築する時は、その基礎の多くが軟弱地盤であり、国内のみならず海外での利用も考えると、用途は多数あると推察できる。
- 1か所の工事でのCLTの大量使用：軟弱地盤対策は1つの現場でも広範囲に行われるのが一般的で、1か所の工事での材料使用量が多い。
- コスト競争力：軟弱地盤対策に要する工期が他工法に比べて短いと見込まれ、CLTの低コスト化と併せて他工法より優位となる可能性が高い。

c）令和３年度実証施工実験概要

秋田県大潟村（旧八郎潟）の軟弱地盤にて、約12.7 m×7.2 mの区画を４面設け、以下の４ケースの条件でCLTを敷設して盛土を造成し、施工性の確認、盛土と周辺地盤の変形量の計測、想定されるシナリオでのコスト比較などを実施した（写真-6）。

CASE1：CLT（6.9（または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（または4.6）×2.3×0.09 m）、板状２段、未固定
CASE4：無対策
※使用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

写真-6　CLTの敷設状況

(2) CLT防雪柵

a）開発に至った経緯

防雪柵は、吹雪による道路の視程障害や吹きだまりの防止目的で、道路路肩付近に設置される。環境負荷軽減や景観向上を目的に既に間伐材等を利用した木製防雪柵も一部導入されているが、木材の腐朽、接合部の割れ、木部への着雪による吹き溜まりの成長等の課題も存在していた。

CLT防雪柵については、面材料であるための施工性や寸法安定性等の向上が期待される一方で、着雪については面材料であることが不利に働く可能性があり、表面処理等が必要と考えられる。そこで、屋外実験場での施工実験を行い、CLT防雪柵の性能を評価した。

b）本年度の調査項目

防雪柵にCLTを活用する際の課題として、「着雪」、「腐朽」が考えられるため、小樽市の銭函海岸にある屋外実験場にて実証実験を開始した（写真-7、図-3）。

以下に、主な調査項目を示す。

①表面処理の違いによる着雪への影響度を調べるため、CLTに３種類の塗料を塗布し、着雪状況を定点カメラで撮影・観察する。
②表面温度と着雪の関係、周辺環境への輻射熱の緩和への影響度を把握するため、通期で鋼製防雪柵とCLT防雪柵の表面温度、及び現地気象データを計測する。
③含水率と着雪の関係、腐朽への影響度を推定するため、通期で含水率の変化を計測する。

写真-7　CLT防雪柵の設置状況

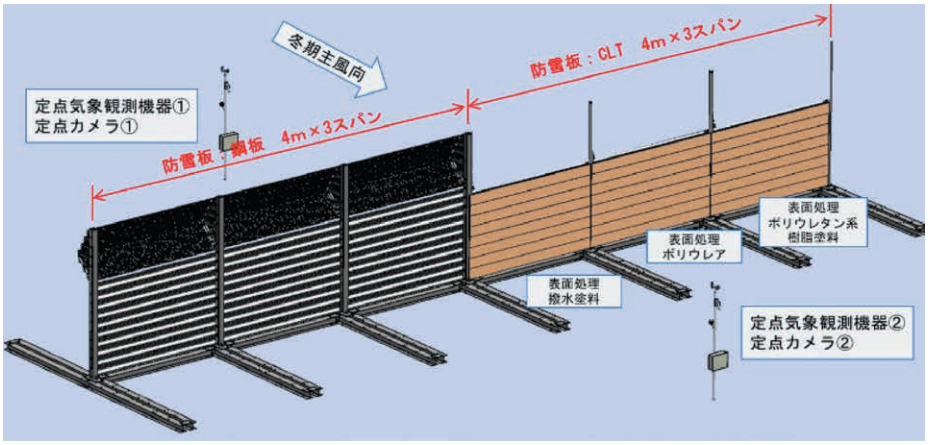


図-3　設置のイメージ

(3) CLT敷板

比較的短期間の部材交換を想定したCLTの土木利用形態として、軟弱地盤にCLTを水平に設置し、作業車両の走行性の確保を目的とする敷鉄板の代替利用を提案した。本年度は、敷板としての可能性を検証するため、CLT敷板施工実験と、地面に直置きした状況でのCLT耐朽性実験を行った。

a) 耐朽性実験（写真-8）

場所　　：①北海道旭川市　②茨城県つくば市　③熊本県熊本市
設置　　：長期間地面に直置きした状態におけるCLTの状態変化を観測
CLT　　：3層3プライ、スギ・Mx60　　強軸　長さ5.995 m×幅1.15 m×厚90 mm
　　：3層4プライ、スギ・Mx60　　強軸　長さ5.995 m×幅1.15 m×厚120 mm
　　：5層5プライ、スギ・Mx60　　強軸　長さ5.995 m×幅1.15 m×厚150 mm
試験項目：①木口中央部分での温度変化、②木口中央部分での相対湿度変化、③定点観測

(a) 旭川市　　(b) つくば市　　(c) 熊本市

写真-8　CLT敷板の設置状況

b) 施工実験（写真-9）

場所　　：北海道士別市多寄町（天塩川河川敷）
CLT　　：3層3プライ、スギ・Mx60、強軸・弱軸　長さ5.995 m×幅1.15 m×厚90 mm
　　：3層4プライ、スギ・Mx60、強軸・弱軸　長さ5.995 m×幅1.15 m×厚120 mm
　　：5層5プライ、スギ・Mx60、強軸・弱軸　長さ5.995 m×幅1.15 m×厚150 mm
接着剤　：水性高分子イソシアネート系接着剤（積層接着のみ、幅はぎ接着なし）
輸送方法：銘建工業株式会社（岡山県真庭市）から、トレーラーシャーシのみ船舶で輸送
確認項目：①施工性、②走行時、定点作業時の敷板の変形、浮き沈み、破損等の状況、③コスト比較

(a)CLT敷設作業の状況

(b)CLT敷設完了

写真-9　CLT敷板施工実験の様子

(4) CLT遮音防護柵

CLTによる歩行者・自転車用転落防止策を提案し、耐朽性と遮音性の確認を目的とし、実大試験体による性能検証試験を実施した。また、施工後の防護柵中央に温湿度ロガーを設置して防護柵周辺の温湿度を記録し、定点観測画像も併せて収録した。

a) 耐朽性実験（写真-10）

場所：①北海道旭川市　②茨城県つくば市
　　③熊本県熊本市

CLT：3層3プライ、スギ、Mx60

写真-10　旭川市の設置状況

b) 遮音性能試験（写真-11）

CLT遮音防護柵の音響透過損失がNEXCO設計要領を満たしているか否かの確認・検証を目的として、遮音性能試験を実施した。

試験体は、H形鋼の支柱でCLTユニットを支える形状（約10 m^2）とし、100～5,000Hzの周波数帯域について、音源室と受音室の室内平均音圧レベルを算出し、室間音圧レベル差を求めた上で音響透過損失を算出した。

写真-11　音響室での遮音性能試験時の設置状況

3．土木用CLTの低コスト化技術の開発

(1) 土木用を想定した低コストCLTの開発

a) 工場の量産ラインを想定したコスト検討

CLT工場の量産ラインを想定して、以下のコスト削減手法を用いて「低コスト土木用CLT」の検討およびコスト試算を行った。

①原材料コストの削減：丸身や腐れのあるC材ラミナを材料として許容した場合のコスト削減効果の検討

②製造コストの削減：現行のJAS規格に基づき製造されている量産ラインにおける、縦継ぎ後の仕上げ加工工程を省略する場合の工程短縮と歩留まり向上によるコスト削減効果の検討

b）腐れを含む原木から生産されるラミナを用いたCLTの製造実験

間伐や主伐の際、立木に合板用として利用不可と判断されるような腐れなどが認められると、その価格は安く抑えられるので、これらの原木を有効活用させることが低コストCLTに繋がる可能性がある。

そこで、合板用として利用不可と判断された、腐れの入ったスギ丸太から以下の方針でCLT（3層3プライ）の製造を試み、製造コストの削減に取り組んだ。

①人工乾燥の工程の省略（天然乾燥）（写真-12）
②プレーナー工程の削減（2回→1回）
③ラミナの節等の欠点除去及び縦継ぎ工程の省略（CLTの寸法を1辺 3～4 m までに限定することで縦継ぎ省略）

写真-12　挽板の天然乾燥

c）構成ラミナを一部省略したCLTの製造実験

丸身を含むC材をラミナに用いる場合、製造されるCLTには多数の空洞が想定され、通常のCLTに比べ接着面積が減る可能性がある。そこで、接着面積を減らすことをねらい、積極的に構成ラミナを省略することにより、空洞を有するCLTの製造実験を行った。また、内層ラミナの接着面積はCLTパネルのせん断性能に影響を有すると考えられるため、せん断試験を実施した（図-4）。

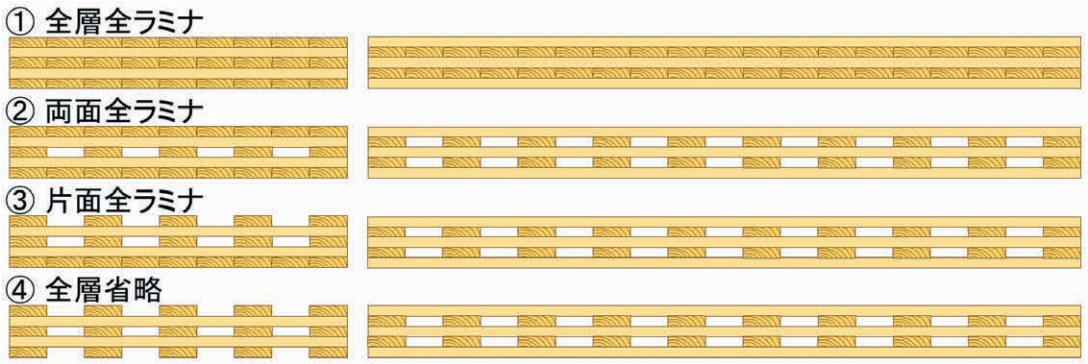


図-4　内層ラミナを省略したCLTの層構成

(2) CLTの耐久性付与技術の開発

ラミナ段階で水系薬剤により加圧注入処理して製造されるCLTは、高い防腐性能が得られる一方でコスト負担が大きい。しかし、最終的にCLTの生分解を前提とする利用方法の場合には、加圧注入などの高度な耐久性付与技術によらず、塗布処理等の安価な手法を用いることで、処理コストの低減が期待できる。そこで、製品段階での油系薬剤による保存処理の有効性を検証した。

a）油系薬剤による保存処理技術の比較検証

油系薬剤　：クレオソート油
検証法　　：クレオソート油による浸せき処理もしくは塗布を行ったCLTを屋外曝露（地面に直置き）
CLT　　：カラマツ、トドマツ、スギ

b）調査項目

①処理（浸せき処理と塗布処理）ごとの薬剤付着量の比較
②処理ごとの薬液浸潤度の測定
③屋外曝露によるCLTの経年変化の観察

(3) CLTの燃料利用技術の開発

a) 開発に至った経緯

「リサイクル型」土木木製構造物は使用後においてバイオマスエネルギーとして活用する（図-5）。

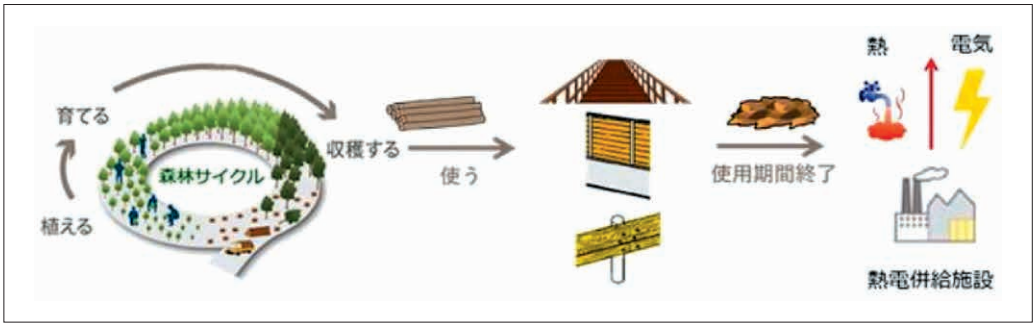


図-5　森林サイクルから得られる「リサイクル型」木製土木構造物のライフサイクル

木製土木構造物由来の木質燃料のメリットは以下の３点である。

①石油・天然ガス・石炭という化石燃料の代替え効果によるCO_2の排出削減

②供用期間の短縮、取替頻度の増加を目的に基本的に防腐剤を用いないことを想定しているため、燃焼時の灰分や揮発性ガスがクリーン

③屋外供用期間中に含水率が下がり、燃焼時の発熱量が上昇するので、燃料としての質が向上

こうしたメリットを生かすためには、木質ボイラにおける燃料のつまり、不安定な出力、着火不良などの故障やトラブルを避ける必要がある。

b) 開発目的

木質ボイラとの相性を決定するのは、CLTから製造される燃料用木質チップの寸法、形状、水分、灰分などの品質項目である。そこで、供用前のCLT由来の木質チップを対象に、一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会の「燃料用木質チップの品質規格」に沿った品質項目を調査した。

実施した結果

1．土木分野での利活用を想定したCLTの耐久性についての基礎試験

北海道旭川市（亜寒帯地域）、広島県三次市（温帯地域）、宮崎県都城市（亜熱帯地域）、神奈川県横須賀市、千葉県野田市（屋外ヤード）の全国各地にて基礎試験を開始した（写真-13）。

写真-13　基礎試験の実施状況

(a) 地盤環境（旭川市）

(b) 地盤環境（三次市）

(c) 地盤環境（都城市）

(d) 海水環境（横須賀市）

(e) 淡水環境（野田市）

2．CLTを活用した土木利用技術の開発

(1) CLT板状地盤補強工法

本年度は、以下を確認した。

- 軟弱地盤で対策しない場合に比べて、沈下量を半分程度に低減できた（図-6）。
- 建設機械等の走行に対して十分な耐力がある（CLT敷設直後に10ｔトラックが走行可能）。
- 特殊な重機を使用せずに施工が可能である。
- コストについては、現状のCLTを用いるとやや高く、CLTの低コスト化は必須である。
- 施工速度は速い（CASE1:約２時間、CASE2：約７時間、CASE4：約1.5時間）。

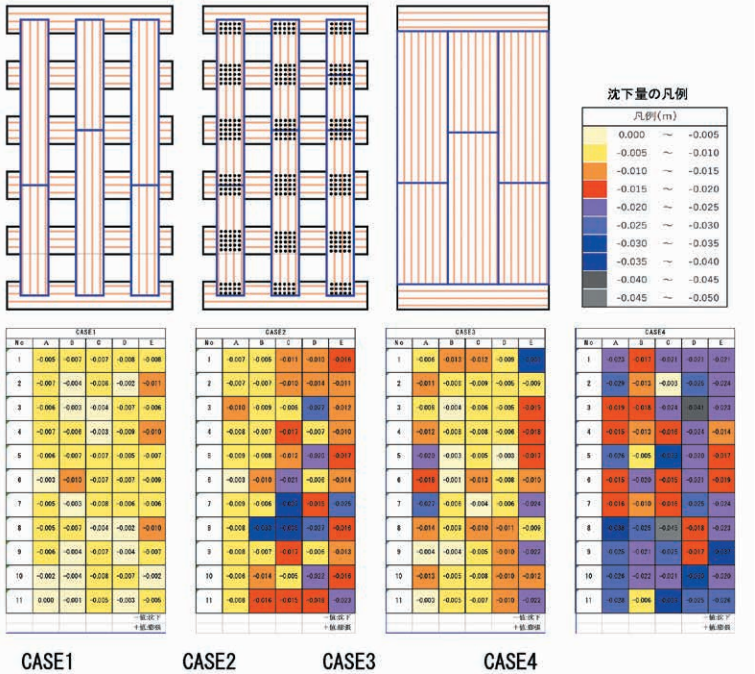


図-6　各CASEのCLT配置（上段）と盛土天端の沈下量の分布（下段）

(2) CLT防雪柵

2021年12月28日より小樽市での実証施工実験を開始し、測定結果（冬期の結果）を取りまとめた。2022年4月1日以降は引き続き夏期の測定を行う予定としている（写真-14）。

写真-14　定点カメラによる観察状況

(3) CLT敷板

- 作業時間は、作業員6名の条件で、取付運搬路の敷設が合計3時間30分、積込ヤードの敷設が6時間（CLT敷板3時間、敷鉄板3時間）で、合計9時間30分（荷下ろし時間も含む）（表-1）。
- 作業員への聞き取り調査で、今回使用したCLT敷板は、試験の都合上3種類の厚さの敷板を敷設したためにレベル調整に相当な時間を要したため、仮に同じ厚さの敷板であれば、作業時間が大幅に短縮できるとの感想があった。
- 運搬時のたわみ難さや加工性、敷設時の作業性等を考慮すると、CLT構成が3層3プライ強軸で幅2,000㎜×長さ3,500㎜×厚さ90㎜のCLTを横置きにして敷設するのが適していると考えられる。
- CLT敷設後、取付作業道を約110台のダンプトラックが往来し、約600ｔの河川支障木を搬出したが、損傷などの問題はなく、建設機械等の走行に対して十分に耐えることができた。

表-1　CLT敷板の種類とCLT敷設の作業時間

		CLT構成	作業時間（分/枚）	枚数	作業時間合計（分）
面取り有り	強軸	3層3プライ	25	1	25
		3層4プライ	28	1	28
		5層5プライ	30	1	30
	弱軸	3層3プライ	25	5	125
		3層4プライ	28	5	140
		5層5プライ	30	5	150
面取り無し	強軸	3層3プライ	20	11	220
		3層4プライ	23	11	253
		5層5プライ	25	11	275
	弱軸	3層3プライ	20	1	20
		3層4プライ	23	1	23
		5層5プライ	25	1	25
合計				54	1314

3．土木用CLTの低コスト化技術の開発

(1) 土木用を想定した低コストCLTの開発

a) 工場の量産ラインを想定したコストスタディ

コストスタディの結果、具体的なコスト削減の可能性が示された（表-2）。

※年間製造量はフル稼働時の製造量（30,000 m^3）、現状での稼働実績（9,000 m^3）の２パターンで試算

表-2　コストスタディ パラメーター　一覧

記号	原材料ラミナの品質	仕上げ切削の有無	年間製造量の想定	現行価格との比較	コスト削減効果	備考
①	A,B材	あり	9,000m^3／年	100.0%	-	建築用JAS製品
②	A,B材	無し	9,000m^3／年	93.6%	-6.4%	
③	C材（低品質）	あり	9,000m^3／年	82.0%	-18.0%	
④	C材（低品質）	無し	9,000m^3／年	78.2%	-21.8%	
⑤	A,B材	あり	30,000m^3／年	77.1%	-22.9%	
⑥	A,B材	無し	30,000m^3／年	70.6%	-29.4%	
⑦	C材（低品質）	あり	30,000m^3／年	59.1%	-40.9%	
⑧	C材（低品質）	無し	30,000m^3／年	55.2%	-44.8%	

b) 腐れを含む原木を原料ラミナとしたCLT製造実験

- C材（低品質）からプレーナー加工を省略して製造したラミナを用いたCLTの製造について、作業性には問題なく、低コスト化の可能性がある。
- CLT製造過程で全体の約１割とコスト負担が大きいラミナの乾燥工程については、天然乾燥で20%以下まで含水率を下げることができ、低コスト化に大きく寄与できる可能性が示された。
- ただし、乾燥期間が長期化（約４か月）することと、乾燥期間中のヤード確保などの課題もある。

C) 構成ラミナを一部省略したCLTの製造実験

- 内層を中心に一部のラミナを省略して製造するCLTは、製造作業面でのダメージはなく、製造に必要な時間は通常のCLTと同等であったことから、原材料費の削減効果が期待できる。
- ５層５プライCLTの内層３層のラミナを一枚おきに省略したCLTの場合、原材料費（ラミナ）は約27%の削減となった。
- ただし、せん断性能は内層ラミナの接着面積に比例して低下した（図-7）。

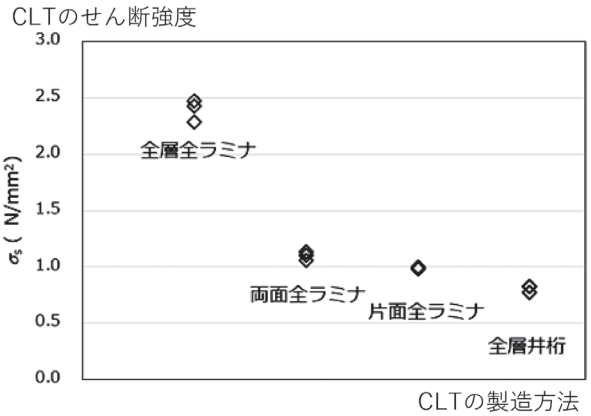


図-7　各CLTの配列状態別せん断強度

(2) CLTの耐久性付与技術の開発

- 各樹種とも表面処理の場合は、浸せき処理に比べて付着量がおおよそ５～６割程度低下することがわかった（図-8）。

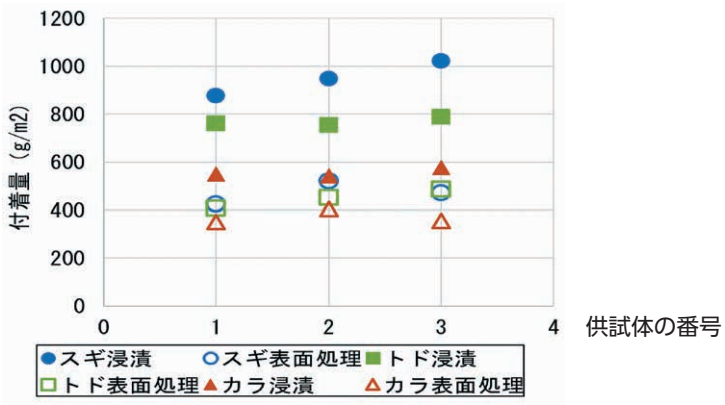


図-8　各CLT材へのクレオソート油の付着量

(3) CLTの燃料利用技術の開発

- CLT（接着剤成分を含むため燃料用木質チップの品質規格としては、Class4 相当の原料）について、粒度分析結果より4mm未満が50%を占める小さなチップであることがわかった。
- 水分、灰分、窒素、硫黄、ヒ素、重金属、その他については規格値を全て下回っており、燃料チップとして問題はなかった。

今後の課題・展開等

①基礎データの継続的な収集

地盤中など土木利用の環境下でのCLTの耐久性は、今後も継続的に基礎データを蓄積する必要がある。

②社会実装の視点にたった土木利用技術開発の選択と集中

本事業ではCLTの土木利用の可能性について、4テーマを挙げて検討を進めた。今後は、①で整備する基礎データも踏まえて、新たな可能性を引続き探索すると共に、ニーズに答える社会実装を念頭に、テーマの選択と集中を行いながら、早期の普及を目指して開発を進める必要がある。

③LCA評価・経済性評価を加えた多角的なテーマの評価

開発テーマの選択と集中には、土木分野の社会的な影響と事業規模が大きいことから、リサイクル利用を含めたLCA評価・経済性評価も加え、多角的な評価を判断指標とする必要がある。

④社会実装システムの整備

本事業では、例えば新規サプライチェーンなど社会実装システムの整備についても対象としていく。

⑤土木用低コストCLTの開発と各テーマとの連携

土木用低コストCLTの開発については、本年度、低コスト化できる可能性が示された。今後は、土木用途における要求性能を明確にし、これを満足しながらコストを削減する方法を検討する必要がある。このためには、利用と製造の両者の連携が重要になる。

今後の展望（総括）

2021年度は、CLTを土木分野に利用拡大するための開発として4件を抽出して実証施工した。限られた期間での結論ではあるが、いずれも利用の可能性が十分あり付加価値の高い結果が得られた。CLTの持つ構造的な特徴や環境的優位性、使用方法の工夫によっては他工法に劣らぬ機能的な付加価値を見出す一方、現在建築材料として利用されているCLTをそのまま土木分野に利用すると、高コストであることが明らかにされた。

引き続き、新たな利用方法の発掘を含めたCLTの土木分野への利用技術の開発を進めつつ、CLTそのものやサプライチェーンを含めた低コスト化技術の開発、環境など多角的な評価方法によるCLTの優位性と弱みの定量化を進め、CLTの土木分野への利用を実現させたい。

事業

令和2年度 合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策のうち 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2階

事業目的

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。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。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、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。

本事業は前年度から継続しており、前年度には幾つかの対策仕様案について効果を検証し、LH－60、LL－55の水準を達成した。本年は、前年度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－50、LL－45を達成する仕様を目指している。

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．内装による対策

1－2．構造躯体による対策

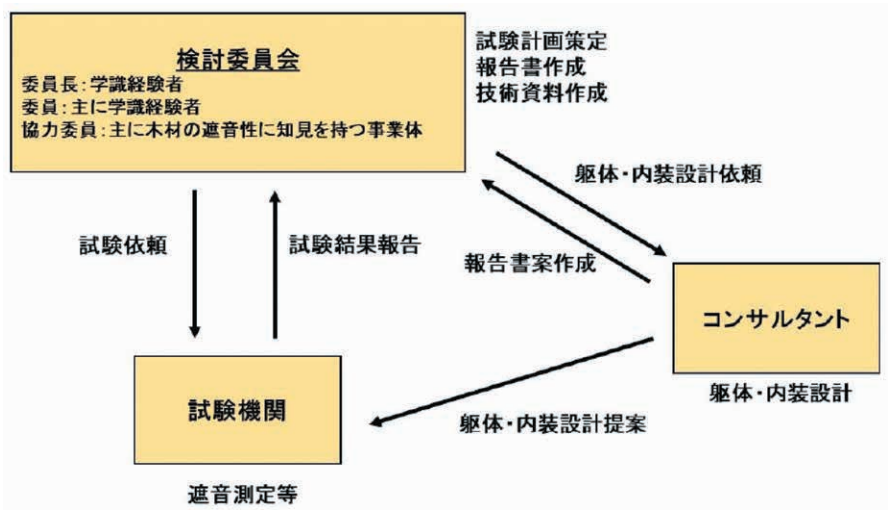
1－3．内装＋構造躯体によるハイブリッド対策

2．実施建物の床遮音測定データの収集

実施体制

「CLT建築物の床遮音性能向上のための研究開発検討委員会」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建築物の床遮音性能向上のための研究開発検討委員会」　組織

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	小田　祐二	ナイス株式会社
	小島　裕孝	日本住宅株式会社
	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
	鈴木　俊男	淡路技建株式会社
	並木　博一	ジャパン建材株式会社
	花井　厚周	株式会社竹中工務店
	真弓　博行	株式会社鴻池組
	森　則理	大建工業株式会社
	守時　秀明	住友林業株式会社
	森本　知宏	銘建工業部式会社
	森原　陽平	銘建工業株式会社
	渡部　充隆	神島化学工業株式会社
	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
協力委員	平光　厚雄	国土交通省国土技術政策総合研究所建築研究部 設備基準研究室
	木戸　準治	株式会社ティアラ 一級建築士事務所
	中村　央	日本乾式遮音二重床工業会
	廣田　誠一	北海道立総合研究機構　北方建築総合研究所
	笠井　祐輔	一般財団法人　日本建築総合試験所
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	増田　莉菜	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
	塩﨑　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

試験実施機関　一般財団法人　日本建築総合試験所
試験実施場所　一般財団法人　日本建築総合試験所内　CLT遮音実験棟

検討委員会
第1回委員会 令和3年 5月24日　　第2回委員会 令和3年 7月12日
第3回委員会 令和3年 10月04日　第4回委員会 令和3年 12月10日
第5回委員会 令和4年 1月28日

実施した内容

1．CLT遮音実験棟を用いた遮音対策の検討

遮音対策として、1.内装による対策、2.構造躯体による対策、3.内装＋構造躯体によるハイブリッド対策の３分類の対策方法をとりあげ、それぞれの対策効果の高低を、遮音測定の実測結果に基づいて検討した。

各対策案の概要を下記１－１～１－３に示す。また、各試験体仕様の概要図を別図－１～４に示す。

1－1．内装による対策の検討

- 乾式二重床による対策
- 繊維混入押出成形セメント板・乾式二重床と独立二重天井による対策

それぞれの試験仕様の相違点を表－１に示す。

【表－１】

1　内装による対策仕様の相違点一覧　（寸法単位：mm）

仕様	２階側	１階側
A0	－	－
A1-1	乾式二重床Ａ－１ t130	
A1-2	乾式二重床Ｂ t136	
A1-3	乾式二重床Ｃ t150	
A2-1	－	野縁 t45 +1 時間耐火被覆 +独立二重石こうボード天井Ａ
A2-2	床根太 t18+１時間耐火被覆 +床根太 t12+繊維混入押出成形セメント板 t26	
A2-3	床根太 t18+１時間耐火被覆 +床根太 t12+繊維混入押出成形セメント板 t26 +乾式二重床Ｄ t104	
A2-4	床根太 t18+１時間耐火被覆 +床根太 t12+繊維混入押出成形セメント板 t26 +乾式二重床Ｅ t164.5	
A2-5	床根太 t18+１時間耐火被覆 +床根太 t12+繊維混入押出成形セメント板 t26 +乾式二重床Ｆ t190	

1－2．構造躯体による対策の検討・遮音性能確認

- 梁補強（１階受音室の天井側）による対策
- 梁補強＋独立二重CLT天井（１階受音室）による対策
- 梁補強＋独立二重せっこうボード天井（１階受音室）による対策
- CLT浮き床（２階音源室）による対策
- コンクリート打設（２階音源室）による対策
- コンクリート打設＋インナールーム（２階音源室）による対策

それぞれの試験仕様の相違点を表－２に示す。

【表－2】

構造躯体による対策仕様の相違点一覧　　（寸法単位：mm）

仕様	2階側	1階側
B0	―	室中央に梁（105×300）を設置
B1-1		梁補強
B1-2		梁補強 +緊結ボルト付近に鉄板(t30)を挟みこみ
B2-1		梁補強 +緊結ボルト付近に鉄板(t30)を挟みこみ +独立二重CLTパネル天井A
B2-2		梁補強 +緊結ボルト付近に鉄板(t30)を挟みこみ +独立二重CLTパネル天井B
B2-3		梁補強 +緊結ボルト付近に鉄板(t30)を挟みこみ +独立二重CLTパネル天井B（四周隙間GW塞ぎ）
B3		梁補強 +緊結ボルト付近に鉄板(t30)を挟みこみ +独立二重石こうボード天井B
B4-1	CLT浮き床 (CLT t36×3層+GW48K t25×3)	
B4-2	CLT浮き床 (CLT t36×4層+GW48K t25×3)	梁補強
B4-3		
B5-1	コンクリート t100	
B5-2	コンクリート t50 +コンクリート t100	
B5-3	コンクリート t50 +コンクリート t50 +コンクリート t100	
B6	インナールーム +コンクリート t50 +コンクリート t50 +コンクリート t100	

1－3. 内装＋構造躯体によるハイブリッド対策

- 乾式二重床＋インナールームによる対策
- 乾式二重床＋梁補強による対策

それぞれの試験仕様の相違点を表－3に示す。

【表－3】

内装および構造躯体による対策を組合せた仕様の相違点一覧（寸法単位：mm）

仕様	2階側	1階側
A3-1	乾式二重床A－1 t130	インナールーム
A3-2	乾式二重床A－2 t130 （GW有り）	
A3-3	乾式二重床C t150 （制振マット+合板）	
B7		梁補強 +緊結ボルト付近に鉄板(t30)を挟みこみ +独立二重石こうボード天井B

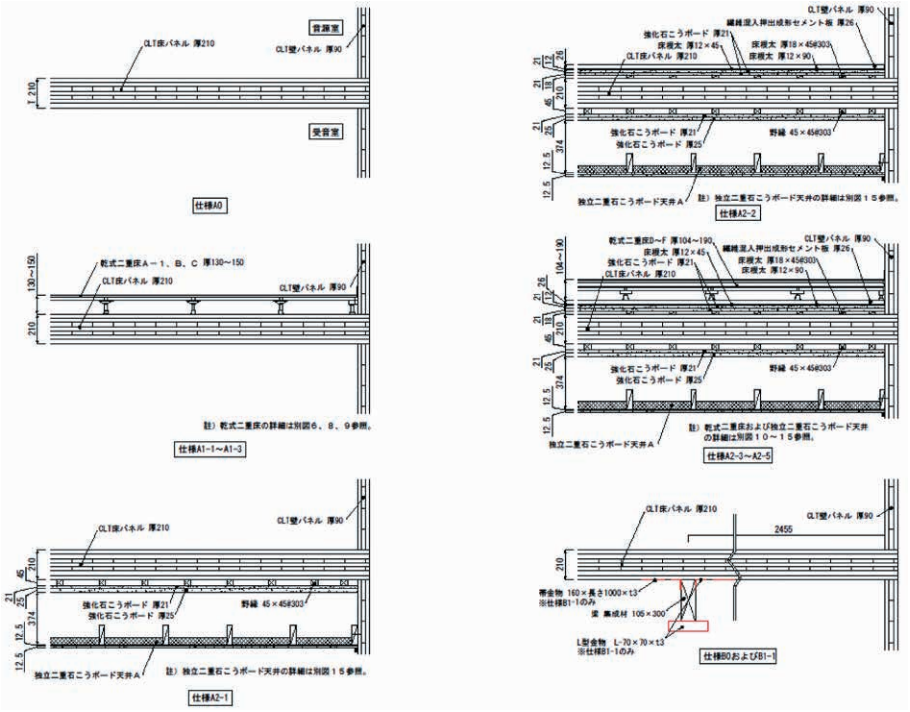
上記の対策仕様について、一財）日本建築総合試験所内のCLT遮音実験棟で重量衝撃音レベル（タイヤ衝撃源）、軽量衝撃音レベル（タッピングマシン）、室間音圧レベル差（空気音遮断性能）による測定を行った。写真－1～3参照

2．実施建物の床遮音測定データの収集

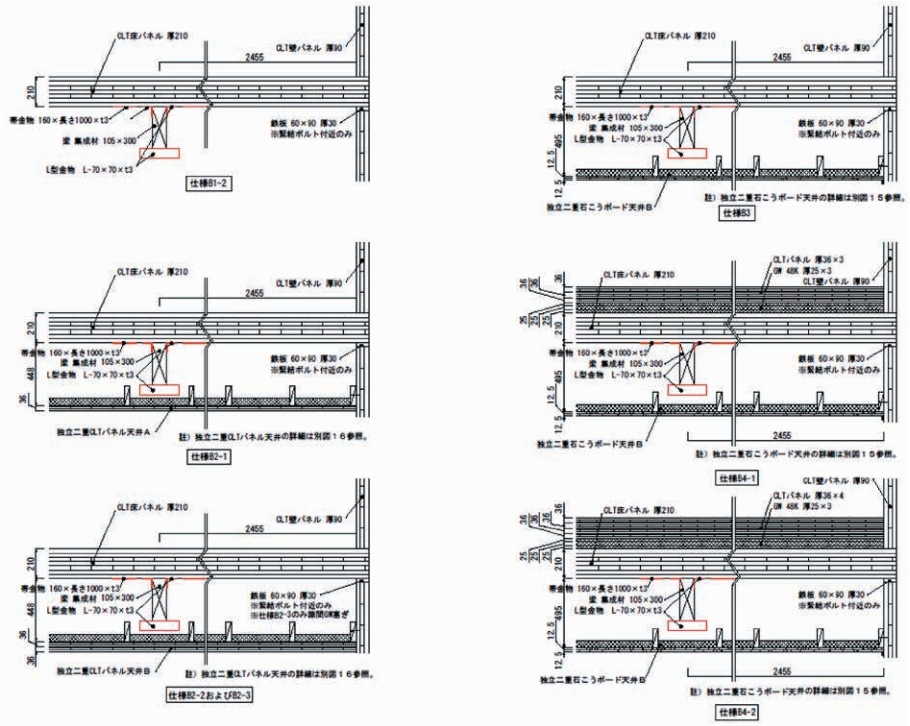
遮音実験棟では様々な遮音仕様について試験ができ、各仕様の相対的な性能を比較検討できるというメリットがある。実際の建物では床とそれを支える壁の組み合わせだけで決まらない要素、例えば受音室の広さと音源室の広さの違いや迂回音がある場合など、様々な要素により遮音性能が決定される。従って遮音実験棟のデータを補完する意味で実施建物における遮音測定データは意味を持っていると考え、遮音実験棟の測定データと比較検討するべく、実施建物の床遮音データを収集した。

本年度は数件の実物件情報を得たが、特許取得予定の物件等により情報公開の許可が得られず、１件の収集にとどまった。

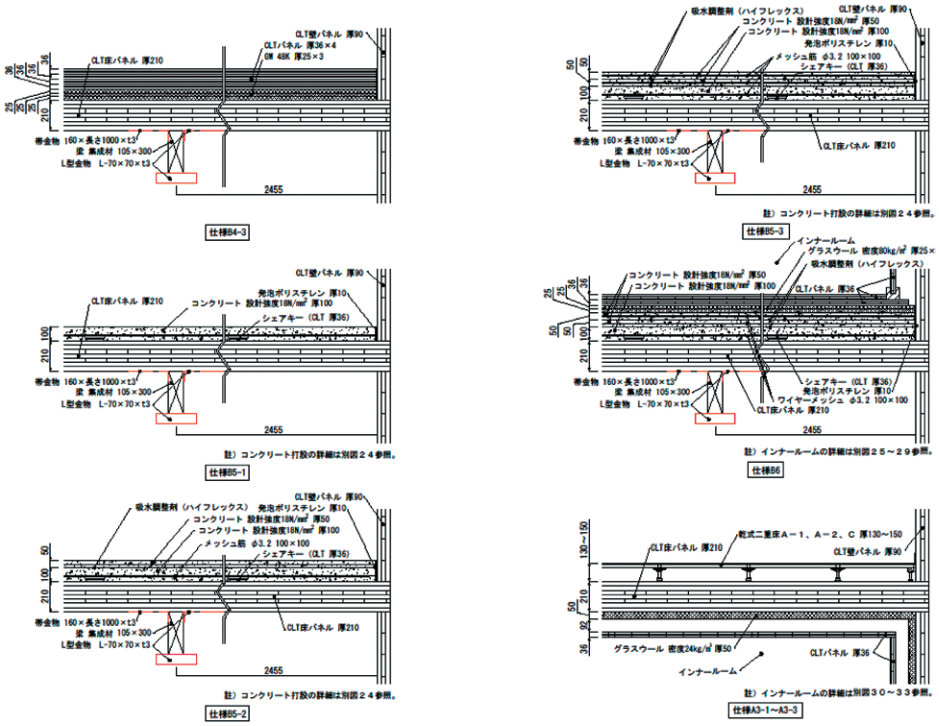
物件名：共同住宅「福島県買取型復興公営住宅整備事業　Ａ棟、Ｂ棟」



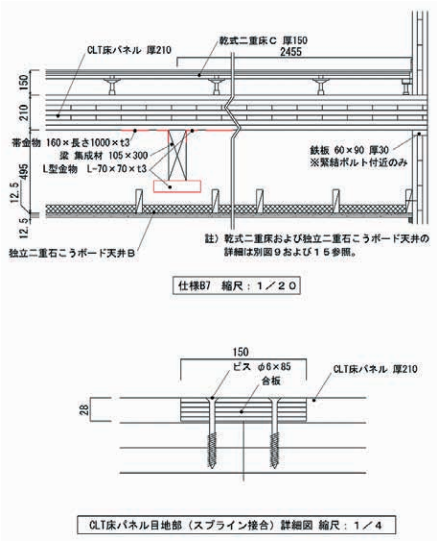
別図１　界床断面概要図



別図２　界床断面概要図



別図３　界床断面概要図



別図４　界床断面概要図

【写真－１】

【写真－2】

【写真－3】

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－4に示す。

本年度は、表－2のB5-3「コンクリート打設（2階音源室）による対策」仕様において、目標である重量衝撃音LH-50レベルを達成した。

また、軽量衝撃音については表－1のA2-5「② 繊維混入押出成形セメント板・乾式二重床と独立二重天井による対策」仕様においてLL-45レベルを達成した。当該仕様においては、重量衝撃音についても昨年を上回るLH-55レベルの結果を得られた。

4－2．実施建物の床遮音測定データの収集

本年度は共同住宅「福島県買取型復興公営住宅整備事業（いわき市下湯長谷地区･北工区）」A棟およびB棟の遮音性能調査報告書を提供いただいた。

界床断面詳細図を別図－5に示す。

当建物はA棟B棟とも床の断面構成は同じで上下の部屋の大きさ位置関係もほぼ同一である。遮音性能は　軽量床衝撃　Lr－40～45　重量床衝撃Lr－70～75（タイヤ）　重量床衝撃　Lr－60～65（ボール）であった。

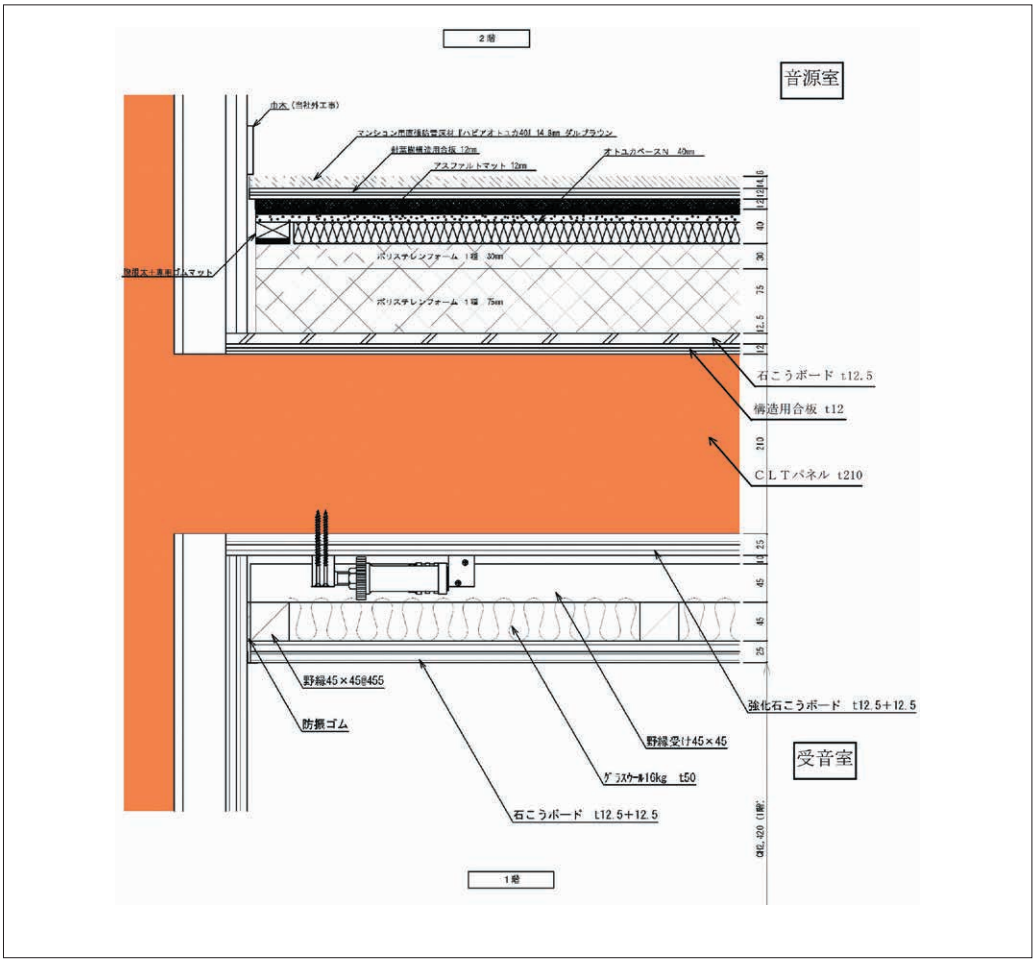
【表－4】

床衝撃音遮断性能・空気音遮断性能の測定結果の概要

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		
A0	Lr-90 相当	Lr-75	Lr-70	Dr-30	2021 年 10 月 4 日
A1-1	Lr-70	Lr-75	Lr-65	Dr-35	2021 年 9 月 28 日
A1-2	Lr-65	Lr-70	Lr-65	Dr-35	
A1-3	Lr-65	Lr-70	Lr-60	Dr-35	2021 年 9 月 22 日
A2-1	Lr-80	Lr-75	Lr-65	Dr-40	2021 年 11 月 16 日
A2-2	Lr-75	Lr-70	Lr-65	Dr-40	2021 年 11 月 22 日
A2-3	Lr-60	Lr-65	Lr-60	Dr-40	2021 年 12 月 23 日
A2-4	Lr-60	Lr-60	Lr-50	Dr-40	2021 年 12 月 21 日
A2-5	Lr-55	Lr-55	Lr-45	Dr-40	2021 年 12 月 2 日
B0	－	Lr-75	Lr-75	－	2021 年 6 月 23 日
B1-1	－	Lr-75	Lr-75	－	2021 年 6 月 24 日
B1-2	Lr-90 相当	Lr-75	Lr-75	－	2021 年 7 月 30 日
B2-1	Lr-75	Lr-70	Lr-60	－	2021 年 8 月 4 日
B2-2	Lr-75	Lr-70	Lr-60	－	2021 年 8 月 6 日
B2-3	Lr-75	Lr-70	Lr-60	Dr-40	
B3	Lr-75	Lr-70	Lr-60	Dr-40	2021 年 9 月 1 日
B4-1	Lr-50	Lr-70	Lr-60	Dr-45	2021 年 10 月 22 日
B4-2	Lr-50	Lr-65	Lr-60	Dr-45	
B4-3	Lr-60	Lr-70	Lr-60	Dr-35	2021 年 10 月 29 日
B5-1	Lr-85 相当	Lr-60	Lr-55	Dr-35	2021 年 11 月 24 日
B5-2	Lr-85 相当	Lr-55	Lr-55	Dr-35	2021 年 12 月 10 日
B5-3	Lr-80	Lr-50	Lr-50	Dr-35	2021 年 12 月 28 日
B6	Lr-50	Lr-65	Lr-55	Dr-50	2022 年 1 月 20 日
A3-1	Lr-55	Lr-70	Lr-65	Dr-55	2021 年 9 月 14 日

註）Lr 等級線は Lr－80 等級線までが JIS に規定されているが、詳細に比較を行うため、規定されていない範囲の性能については「相当」とし、参考として表記した。また、上表内の「－」は測定を実施していないことを示す。

○共同住宅「福島県買取型復興公営住宅整備事業」Ａ棟・Ｂ棟共通



【別図 - 5】

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－50レベル（日本建築学会指針１級レベル）を達成した。しかし、この仕様はCLT床板上にコンクリート打設した仕様であり、一般的なCLT構造の標準仕様とするには課題も多い。

また、共同住宅の遮音性能と見れば、RC造、S造と比べてなお性能が劣ることが考えられる。CLT構造の床遮音性能として限界であるとの知見が一般的になると、建物用途によってはCLT構造での事業計画を躊躇することも考えられる。

設計者に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、さらなる性能アップ目指し、合理的な（コスト、仕様）対策法を提供できるよう検証を継続する必要があると考えている。

また、今回の事業では、実施建物の遮音床測定データの収集も行い、共同住宅「福島県買取型復興公営住宅整備事業」Ａ棟・Ｂ棟の遮音性能調査報告書いただいた。

実際の建物の遮音性能データは、遮音実験棟で行っている測定結果比較し、データを補完する意味で参考になる貴重な資料となるため、継続した資料収集と整理を行う必要があると考えている。

事業

建築物で使用したCLTをリユースするための評価方法

● 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

建築物に使用したCLTのリユースを積極的に推進するため、荷重が載荷される期間が少ないケース（半年程度）を対象として、直交集成板の日本農林規格に示された性能を簡便に確認するための検査方法、性能評価手法を開発、提案する。

リユースの可否を簡易に確認するための方法を示すことができれば、CLTのリユースが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、時限建築や仮設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を長く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事業を進め、実施内容は以下の①～③とした。

①長期載荷試験

床や壁などを構成する構造材として利用したCLTをリユースする場合を想定し、半年間の載荷試験を行った。

②CLTの初期性能と載荷後の材料性能の比較

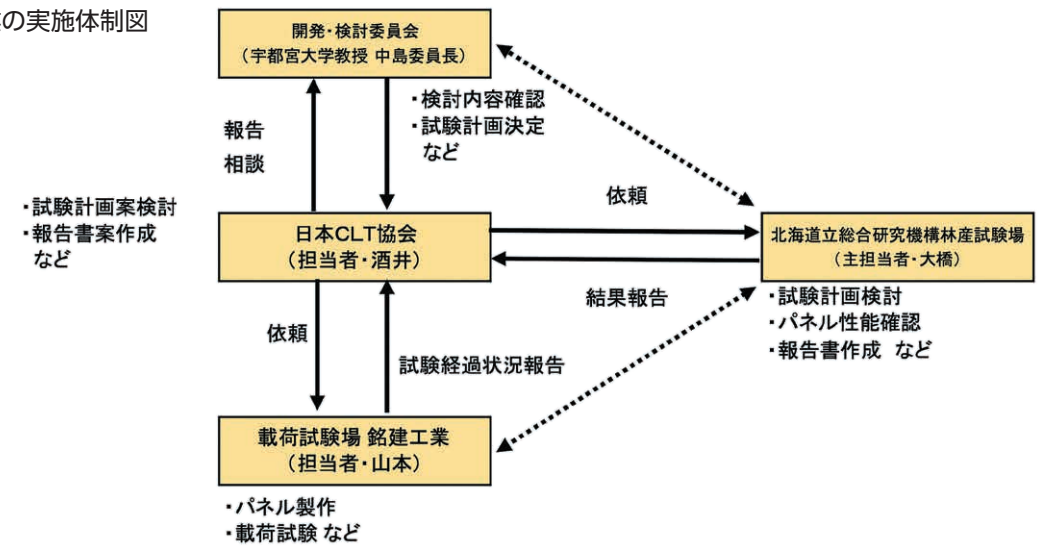
荷重載荷履歴のある試験体（以下、載荷試験体と呼ぶ）および荷重載荷履歴のない試験体（以下、初期試験体と呼ぶ）について強度試験や接着性能試験を行い、荷重載荷前後の強度・弾性係数と接着性能に関する知見を得た。

③簡便な検査手法の提案

接着性能の試験方法（採取方法や寸法形状、加力方向）を検討しながら、簡便に材料性能を評価できる検査手法を検討した。

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・チーム長
	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
	宮﨑　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・研究職員

実施した内容

1. 長期載荷試験

CLTが壁や床等にリユースされることを考慮して、曲げ応力やせん断応力、圧縮応力が生じるように長期載荷試験を行った（写真1～3）。載荷試験は銘建工業の工場内で2021年6月から12月まで約6か月間行った。空調設備のない試験環境であった。

試験用CLTはスギ、5層5プライ（150㎜厚）、強度等級S60、ラミナ寸法30×122㎜、水性高分子－イソシアネート系接着剤によりたて継ぎおよび積層したものを用いた。マザーボード2枚（幅2.4～3.0m×長さ10.7m）から初期試験体、載荷試験体を強軸方向で採材した。載荷試験体は各4体とし、3体を実大強度試験、1体を接着性能試験に供した。

面外曲げおよび面外せん断試験は、試験体幅を300㎜、スパン3000㎜、鉄骨による載荷荷重は365kgとした。面内曲げおよび面内せん断試験は、試験体幅を180㎜、スパン3000㎜、鉄骨による載荷荷重は280kgとした。いずれも載荷荷重はたわみ量がスパン×1/500となるように設定した。

縦圧縮試験は、断面サイズを幅50×厚さ150㎜とし、載荷荷重が大きくなりすぎないように座屈長さ（lk=1000㎜）を設定した。載荷荷重は1体あたり1377kgとした。

写真1　面外試験体の載荷状況

写真2　面内試験体の載荷状況

写真3　縦圧縮試験体の載荷状況

2. CLTの初期性能と載荷後の材料性能の比較

半年程度の設計荷重の載荷の有無がCLTの材料性能に及ぼす影響を解明するため、以下の試験を行った。

2.1　実大サイズの強度試験

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）。初期試験体、載荷試験体ともに各３体とした。

面外せん断試験はスパン750㎜の中央集中３点荷重方式で、面内せん断試験はせん断力一定区間を360㎜とした逆対称４点荷重方式で行った（写真６～7）。面外せん断試験では、初期試験体および載荷試験体を３分割して各９体、面内せん断試験では、初期試験体および載荷試験体を２分割して各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8）。

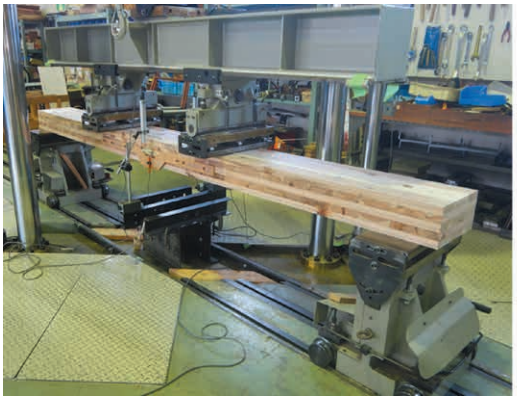


写真４　面外曲げ試験

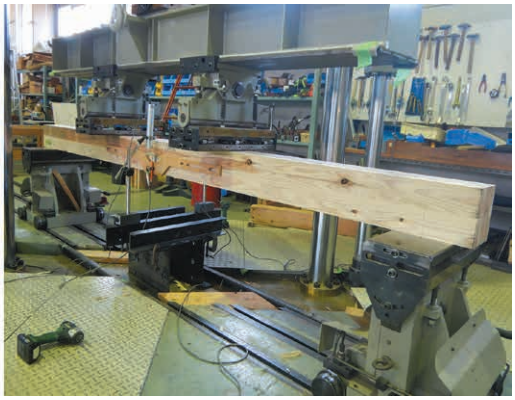


写真５　面内曲げ試験

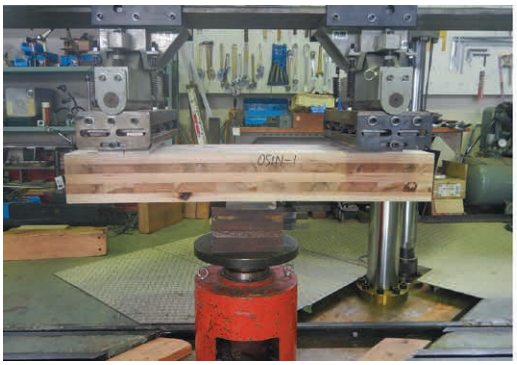


写真６　面外せん断試験

写真７　面内せん断試験

写真８　縦圧縮試験

2.2　小試験片による接着性能試験

初期試験体および載荷試験体から、接着剥離試験片（厚さ150㎜×75×75㎜）およびブロックせ

ん断試験片（接着面積 25 × 25㎜）を採取し、接着性能試験を行った。

接着剥離試験では、JASに基づく減圧加圧処理を行い、剥離率を算出した。ブロックせん断試験では、せん断試験治具を用いて、せん断強度および木部破断率を算出した。

3. リユースCLTの簡便な検査手法の提案

リユースされるCLTの材料性能を検査する上で、CLTに特徴的な直交層の強度性能や接着性能を重点的に調べることが合理的である。それらを実大強度試験ではなく、現行JASで規定されている小試験片による剥離試験やブロックせん断試験を援用しながら、以下の試験条件を検討した。また、現行JASの接着性能評価では、せん断強度を判定しないが、簡便な強度評価のために、ブロックせん断強度の評価方法も検討した。

3.1 剥離試験片のサイズおよび採取方法による影響

載荷履歴のある試験体の接着性能を厳密に評価するため、剥離試験片の寸法（50 × 50㎜・75 × 75㎜・100 × 100㎜）による剥離率への影響を検討した（写真9）。

また、リユースをしようとしているCLTから剥離試験片の採取方法を簡便化する方法として、ホールソーによる円筒くり抜きした後、四角柱試験片を作製することが考えられる。円筒くり抜きの際には、中央にドリル穴が開くため、試験体中央の穴による吸水率や剥離率への影響を検討した（写真10）。

写真9　サイズの異なる剥離試験体

写真10　穴のあいた剥離試験体

3.2 ブロックせん断試験の加力方向および接着面積による影響

載荷履歴のある試験体の強度性能を厳密に評価するため、ブロックせん断試験では、試験片の接着面積（25 × 25㎜・50 × 50㎜・70 × 70㎜）および加力方向（直交方向・45度方向）によるせん断強度への影響を検討した（写真11）。

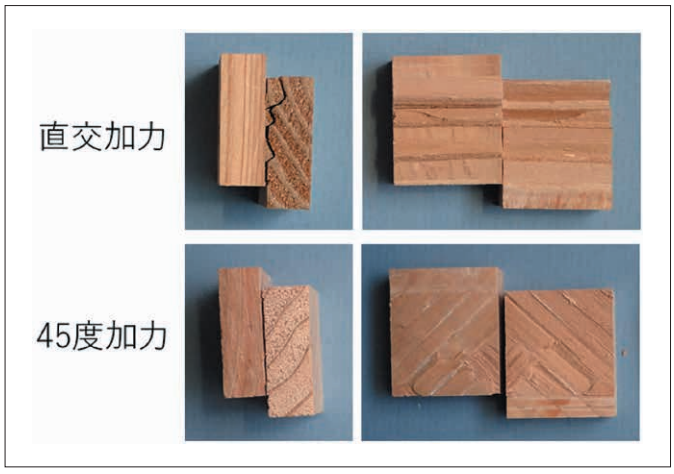


写真11　ブロックせん断試験体

3.3 検査手法の検討

試験結果をもとに、小試験片でも強度性能や接着性能を安定的に評価できる検査手法を検討した。

実施した結果

1. 長期載荷試験

載荷期間にスパン中央のたわみ量と周辺環境の温湿度を計測した。一例として面外曲げ試験の結果を図１に、温湿度を図２に示す。いずれの試験においても、載荷直後の初期変形は約4㎜となり、試験体のヤング係数が同等であることを示した。載荷中は梅雨から夏季を経て冬季に向かって湿度が80%から40%まで低下しているが、クリープ変形は初期に増大してからはさほど進行しておらず、急激な含水率変動が少ない温湿度環境で、地震等の揺れもなく、適切な載荷状態であったことが示唆された。また、除荷直後に初期変形に相当する量のたわみが回復したことも確認された。

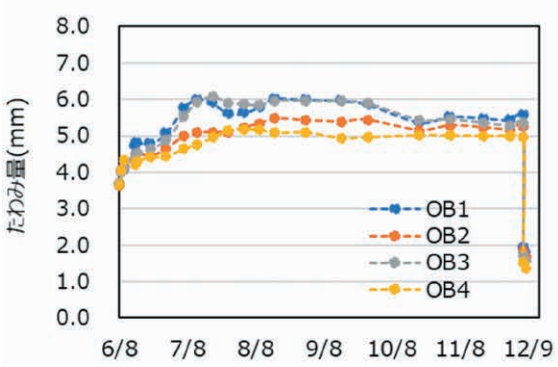


図１　面外曲げ試験のたわみ挙動

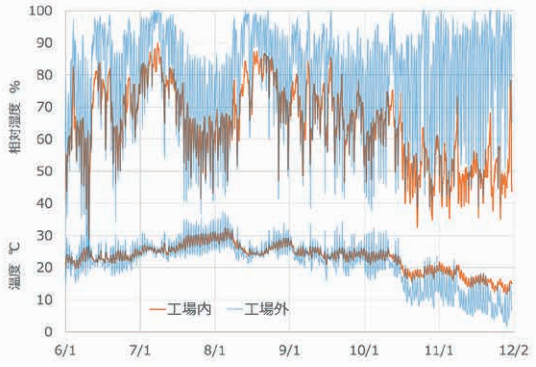


図２　載荷試験環境の温湿度変動

2. CLTの初期性能と載荷後の材料性能の比較

2.1　実大サイズの強度試験

面外曲げ試験と面内曲げ試験の結果を図３～４に示す。いずれも曲げ強度は載荷試験体が初期試験体より低くなったが、破壊要因となった純曲げ区間の引張側にあるラミナのたて継ぎ部や節の入り方が異なること、試験体数も少ないことから、今回の結果で載荷の影響で低下したとまで判断できない。なお、面外・面内ともに曲げ強度の平均値と下限値はそれぞれの基準強度の値を上回った。

面外せん断試験と面内せん断試験の結果を図５～６に示す。いずれもせん断強度は載荷試験体と初期試験体で差は少なく、載荷の有無の影響は見られなかった。面外・面内ともにせん断強度の下限値も基準強度を上回り、設計上も支障なく使用できるものと考えられる。

縦圧縮試験の結果を図７に示す。圧縮強度は載荷による強度低下は見られなかった。圧縮強度の平均値は基準強度の値を上回ったものの、載荷の有無に関わらず、すべての試験体の破壊形態が面内方向への座屈であったことから、面外方向で破壊する試験条件で検証する必要がある。

以上の結果から、加力条件によっては、載荷試験体の強度が初期試験体よりもやや低下したものがあったが、いずれも基準強度を上回った。

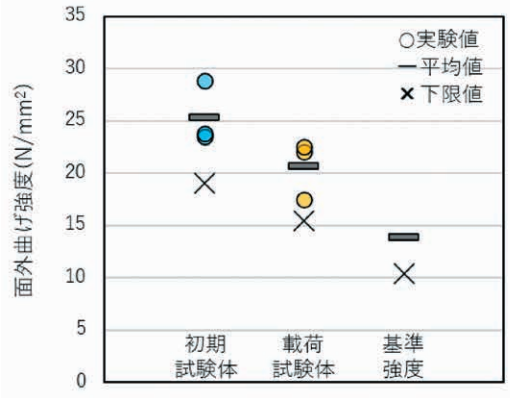


図３　面外曲げ試験結果

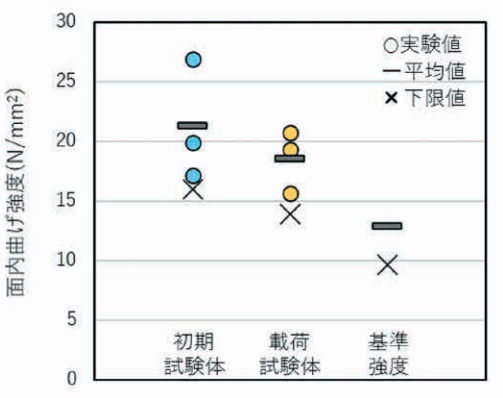


図４　面内曲げ試験結果

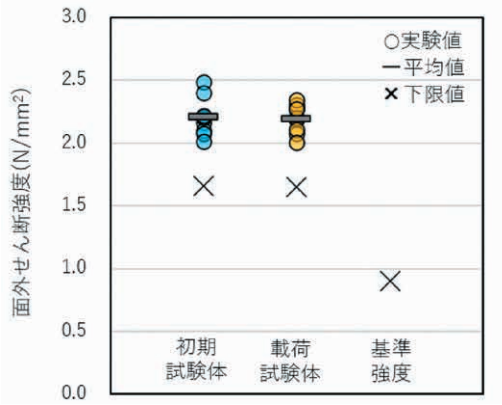


図５　面外せん断試験結果

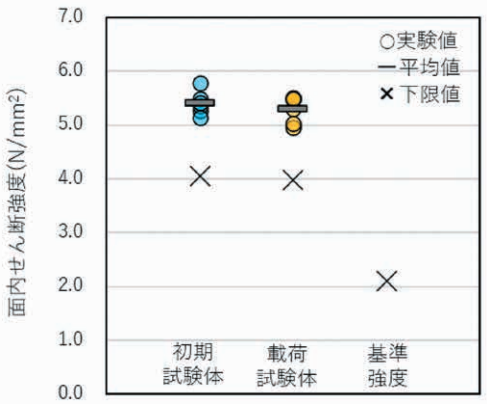


図６　面内せん断試験結果

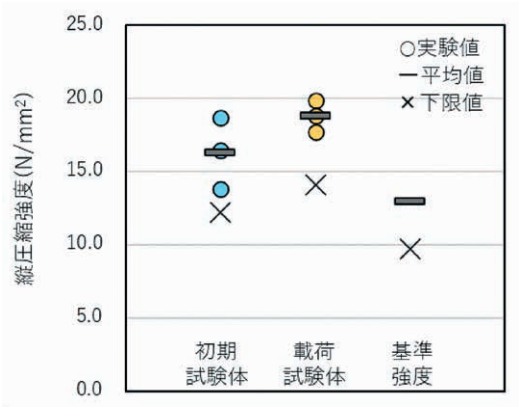


図７　縦圧縮試験結果

2.2　小試験片による接着性能試験

載荷条件の異なるCLTの接着性能について、接着剥離試験の結果を表１に示す。剥離率については、載荷なし（初期・半年）、載荷あり（面外加力・面内加力）のいずれにおいても剥離率に顕著な差は見られなかった。また、剥離率はいずれも低く、JAS基準（10%未満）を満たした。

ブロックせん断試験の結果を図８に示す。ブロックせん断強度は、載荷なし（初期・半年）より載荷後（面外・面内加力）のほうがやや高かった。

以上の結果から、今回の載荷条件では、剥離率の増大やせん断強度の低下は認められず、接着性能への影響はないものと考えられる。

表１　剥離試験結果（載荷条件）

載荷条件	試験片数	剥離率（%）
載荷なし（初期）	11	1.5
載荷後（面外加力）	8	0.7
載荷後（面内加力）	8	0.7
載荷なし（半年後）	4	0.4

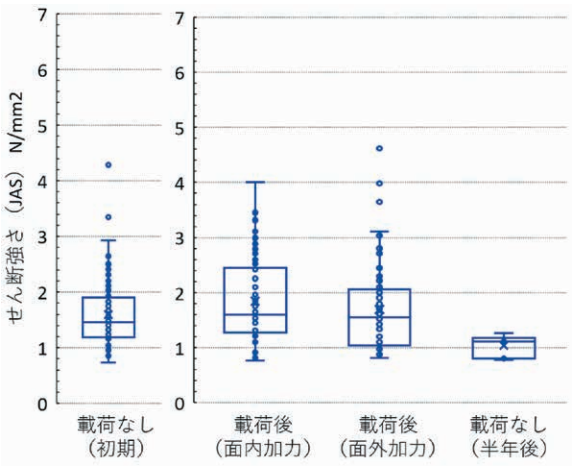


図８　ブロックせん断試験結果（載荷条件）

3. リユースCLTの簡便な検査手法の提案

3.1　剥離試験片のサイズおよび採取方法による影響

剥離試験片のサイズ（50×50㎜・75×75㎜・100×100㎜）による剥離率、円筒くり抜きの際に想定される試験片中央に穴が開いたときの吸水率と剥離率を表２に示す。その結果、試験片サイズが大きい方が剥離率は増大し、安全側評価となること、剥離率を評価するための試験体の寸法としては日本農林規格にも定められている75×75㎜以上で明確な評価を行うことができることが示された。また、穴の有無による影響については吸水率と剥離率ともに小さいと考えられる。

3.2　ブロックせん断試験片の加力方向および接着面積による影響

剥離試験片の接着面積（25×25㎜・50×50㎜・70×70㎜）、加力方向（直交加力・45度加力）によるブロックせん断強度を図９に示す。直交加力および45度加力ともに、接着面積が大きくなるとブロックせん断強度の平均値は低く、変動係数は小さくなる傾向がみられた。接着面に対して節の存在が大きいときに極端に高い強度を示す傾向があるため、接着面積が大きくなり、接着面に占める節の割合が小さくなることでブロックせん断強度への節の影響が低減されたものと考えられる。また、接着面積が50×50 ㎜および70×70 ㎜の試験体では、45度加力の方がブロックせん断強度のばらつきが小さくなる傾向が見られた。

3.3　検査手法の検討

上記の試験結果を踏まえて、CLTをリユースする場合に、リユースの対象とするCLTの接着性能を確認することとした。長期荷重載荷によりラミナ自体の強度が低下していることは考えられるが、荷重継続時間が短期間（１年や半年など）であればその影響は少なく、ラミナ間の接着性能が維持されていれば、強度の著しい低下はないとの判断から上記の確認を行うこととし、検査手法をまとめた（図10）。

表２　剥離試験結果（サイズと穴の有無）

寸法（mm）	剥離率（%）		吸水率（%）	
	穴なし	穴あり	穴なし	穴あり
50×50	0.2	0.2	175.8	171.2
75×75	1.0	1.9	168.2	174.9
100×100	3.1	—	163.9	—

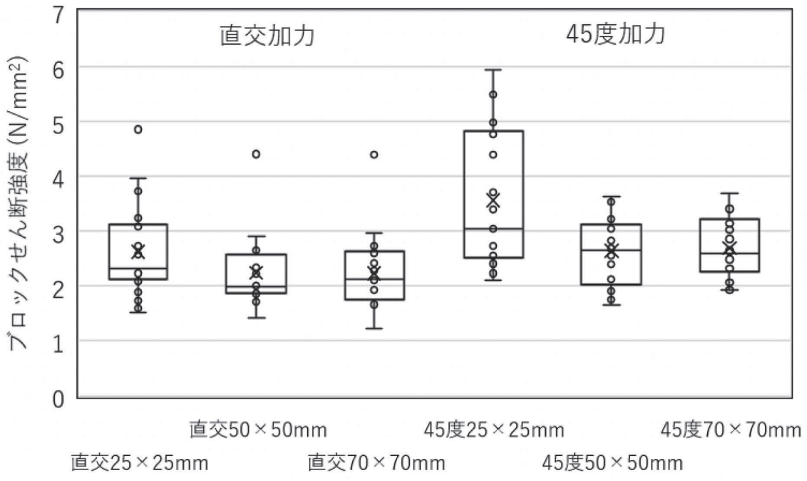


図９　ブロックせん断試験結果（加力方向と接着面積）

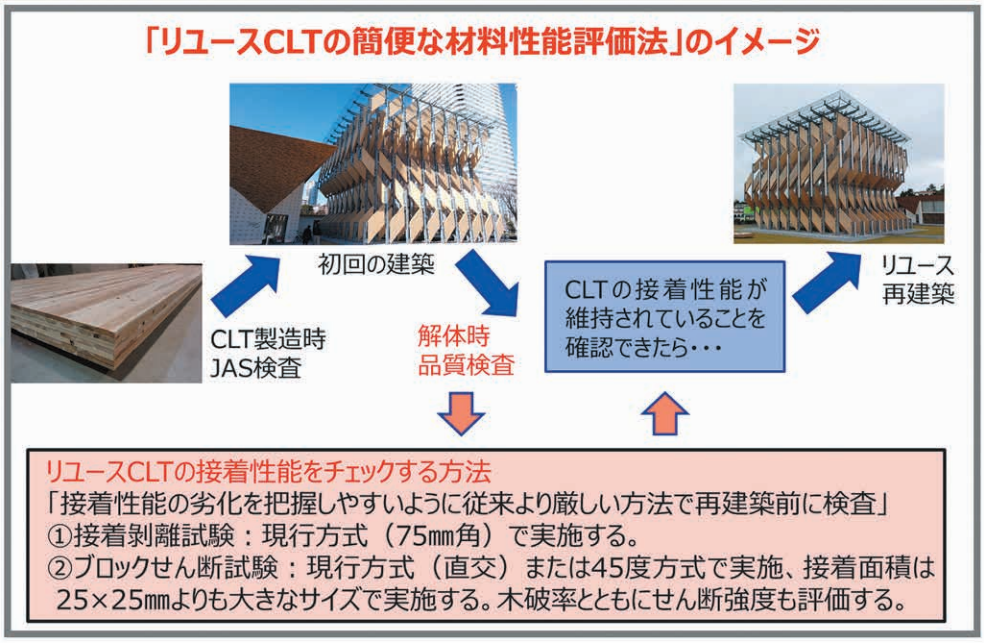


図10　リユースCLTの検査方法のイメージ

今後の課題・展開等

1）載荷履歴が実大CLTの材料性能に及ぼす影響について

- せん断試験体については、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が、曲げ試験体については、面外・面内加力ともに強度低下の傾向が見られた。しかし、今回の試験体数や破壊状況からは載荷履歴が強度に影響するかどうかは判断できなかった。今後は、試験体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くするほかに、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する必要があり、マザーボードから多くの試験体を採取し、たて継ぎ部の入り方が同等となるような試験体を選ぶ必要がある。また、試験体数もより多く設定することが望ましい。
- 縦圧縮試験体については、面外に必ず座屈するように試験体幅を2倍以上とすることが望ましいが、載荷荷重が倍増するため、載荷方法を工夫する必要がある。

2）リユースCLTの簡便な検査手法について

- リユースする前にCLTの強度・接着性能が十分であることを確かめる場合、現行JASと異なる検査方法を採用するときには、①CLT製造時と解体時に両方実施してチェックする、あるいは、②新たに判定基準を設定して解体時のみにチェックする、二通りの考え方がある。リユースを普及させていく点から②が望ましいが、その際には試験片サイズの範囲や判定基準の設定を検討する必要がある。
- 接着剥離試験については、現行サイズ（75㎜角）で実施することとし、新たに判定基準を見直す必要はない。
- ブロックせん断試験については、直交加力よりも45度加力、さらに、接着面積は25×25㎜より大きなサイズで実施するほうがせん断強度のバラツキを抑制し、安定的な評価が可能となる。ブロックせん断試験は、CLTに特徴的な直交層のせん断強度を小試験片でも評価できるのが利点である。直交集成板の日本農林規格の木破率の判断基準に加えて、ブロックせん断試験により接着部のせん断強度を測定し、合わせて判断基準とすることを提案する。そのためには代表的な樹種、層構成、強度等級のCLTについてデータ収集が望ましい。
- ブロックせん断試験のサイズや形状については、民間工場の品質管理用試験機で対応できるかどうかも考慮しながら、検討する必要がある。

事業

鉄骨床梁を併用したCLTパネル耐力壁等の開発

● 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

令和２年度は、平 28 国交告第 611 号の CLT パネル工法で成立するように鉄骨床梁と CLT パネル耐力壁を用いた鉛直構面で構成された集合住宅モデルプランを設計し、モデルプランの代表フレームの構造解析を行った。併せて、構造解析との整合を確認するために、耐力壁性能、接合部性能などを検証するための実験を実施した。結果として解析と実験結果は概ね整合しており、CLT パネルの構造性能を合理的に用いる設計法として展開できる見通しを立てた。

令和３年度は、前年度からの継続として集合住宅モデルプランを構造解析し構成している鉛直構面が成立していること、及び、各部位の接合部設計が問題なく設計可能なことを確認するとともに、CLT パネル耐力壁の構造性能をより有効に機能させることが必要となる事務所ビルモデルプランを設計し、構造解析を実施し構造的の問題なく成立することを確認することにした。

また、事務所の鉛直構面の構成では、高耐力を実現するために CLT を７層７プライとしフラットバーによるテンション材を用いているので、耐力壁の挙動が解析と整合するか確認するための実験、および、さらに高い構造性能を実現するための仕様の開発のためにドリフトピン接合による実験を実施することにした。これら建築物の設計を合理的に可能とする構造システムの開発を行い、住居系でない多用途な中層大規模建築物に対して合理的な設計方法を情報発信することで、CLT パネル利用の拡大と CLT パネル工法の普及を図ることを目的としている。

実施した項目

本事業の検討委員会を設置し、以下の項目の検討を行った。

（1）モデルプランの設計
（2）モデルプランの解析的な検討
（3）接合部設計と実験および耐力壁性能実験、耐火試験
（4）建築コストの検討

実施体制

鉄骨床梁を併用した CLT パネル耐力壁等の開発検討委員会

委員長	五十田　博	京都大学生存圏研究所　生活圏木質構造科学分野　教授
委　員	神谷　文夫	セイホク株式会社　技師長
	小林　研治	静岡大学学術院農学領域　生物資源科学科　准教授
	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
	中島　昌一	国立研究開発法人建築研究所　構造研究グループ　主任研究員
	海老澤　渉	一般社団法人 不動産協会 （三菱地所株式会社　関連事業推進室　CLT WOOD PROMOTION ユニット　統括）
	阿部　裕介	一般社団法人 不動産協会 （三菱地所株式会社　関連事業推進室　CLT WOOD PROMOTION ユニット　主事）

行　政	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　木材技術担当専門職
	納富　昭光	国土交通省住宅局参事官（建築企画担当）付　課長補佐
	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
コンサル	辻　　拓也	京都大学生存圏研究所　生活圏木質構造科学分野　研究員
	古澤　知也	京都大学生存圏研究所　生活圏木質構造科学分野
	都丸　貴文	株式会社ベクトル・ジャパン 設計事業部
	重山　　遊	株式会社ベクトル・ジャパン　設計事業部
	中越　隆道	中越建築設計事務所一級建築士事務所 代表
実験協力	松田　昌洋	信州大学　工学部建築学科　助教
	今村　弘子	信州大学　総合理工学研究科　工学専攻
	古澤　知也	京都大学生存圏研究所　生活圏木質構造科学分野
事務所	平原　章雄	木構造振興株式会社 常務取締役
	坂部　芳平	一般社団法人日本CLT協会 専務理事
	谷口　　翼	一般社団法人日本CLT協会 開発技術部
	宿輪　桃花	一般社団法人日本CLT協会 開発技術部
	金子　　弘	公益財団法人日本住宅・木材技術センター　専務理事兼研究技術部長
	髙橋　秀樹	公益財団法人日本住宅・木材技術センター　技術主任

実施した内容

（1）モデルプランの設計

モデルプランは、令和２年度に設計した比較的耐力壁が多い鉄骨床梁を併用したCLTパネル工法４階建て共同住宅の設計内容を、昨年度の実験結果からより合理的な接合部となるように仕様変更して再設計したモデルプラン、および、高耐力の耐力壁を用いて壁配置を少なくした鉄骨床梁を併用したCLTパネル工法４階建て事務所のモデルプランについて設計を実施した。また、高耐力の耐力壁用いて設計した４階建て事務所のモデルプランと、どの程度コストに違いが生じるかを確認するために、比較用にRC造の４階建ラーメン構造のモデルプランの設計を併せて行った。

（2）モデルプランの解析的な検討

４階建て共同住宅のモデルプラン、４階建て事務所のモデルプランに対して、国交告第611号第八の設計ルート３を適用し、任意立体フレームの弾塑性解析ソフトを用いた3Dモデルによる増分解析を行った。解析結果から、主要な構造部材が問題なく設計が可能でありCLT耐力壁の構造性能を合理的に機能させた設計法として展開できる構造システムであることを確認した。

（3）接合部設計と実験および耐力壁性能実験、耐火試験

接合部設計は、目標性能を保有水平耐力時の耐力壁パネルに生じるせん断応力度が、1.5N/mm2以上となるように実験を行う架構を解析し設定した。実験は、汎用性、設計の容易性を考慮して安価で施工しやすいターンバックルブレースと、断面が要求性能で変更できるフラットバーを用いたテンション材による４階建て事務所のモデルプランで採用している架構システムについて、構造特性確認にための実験を実施した。また、鉄骨床梁の有する靭性を利用した高耐力架構システムを開発するために、H鋼床梁に挿入鋼板を溶接し、鋼板とCLT耐力壁をドリフトピンで接合した架構システムの実験を実施した。また、４階建て以上などで要求される１時間耐火性能を有しているか確認するために、耐火試験を実施し問題にないことを確認した。

①接合部設計と実験および耐力壁性能実験

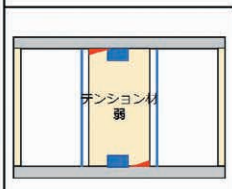
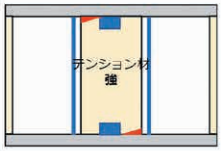
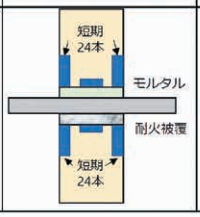
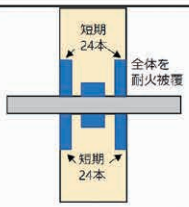
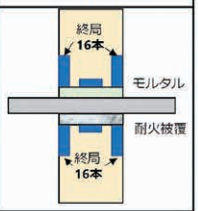
テンション材タイプ		ドリフトピンタイプ		
No.1-テンションロッド	No.2-フラットバー	No.3	No.4	No.5
鉄骨はり：BH-340×225×9×16		鉄骨はり：BH-440×330×12×16		
CLT 210×1500		CLT 210×1500		
テンション材降伏	**鉄骨はり降伏**	鉄骨はり降伏	鉄骨はり降伏	鉄骨はり降伏
面タッチあり	面タッチあり	面タッチなし	**面タッチあり**	面タッチなし
引張：テンション材 圧縮：CLT支圧	引張：テンション材 圧縮：CLT支圧	引張：DP 圧縮：DP、CLT支圧	引張：DP 圧縮：DP、CLT支圧	引張：DP 圧縮：DP、CLT支圧
全体を耐火被覆	全体を耐火被覆	下部モルタル 上部耐火被覆	全体を耐火被覆	下部モルタル 上部耐火被覆
				

図１　試験体イメージ一覧

②耐火試験（品質性能試験）

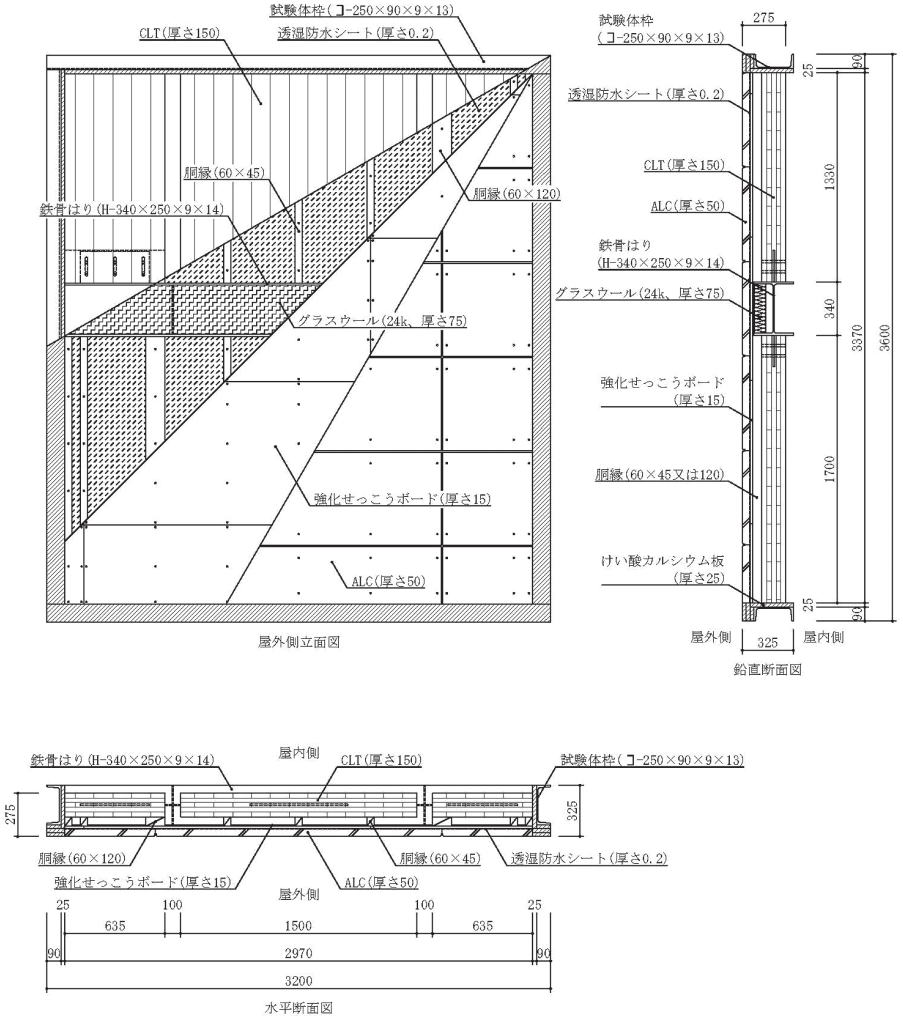


図２　試験概要図

（4）建築コストの検討

鉄骨床梁併用のCLTパネル工法４階建て事務所と同様なプランで設計した４階建てRC造の事務所ビルと、鉄骨床梁併用のCLTパネル工法４階建て事務所ビルの施工コストについての比較を行った。

実施した結果

（1）モデルプランの設計

●鉄骨床梁を併用したCLTパネル工法４階建て共同住宅

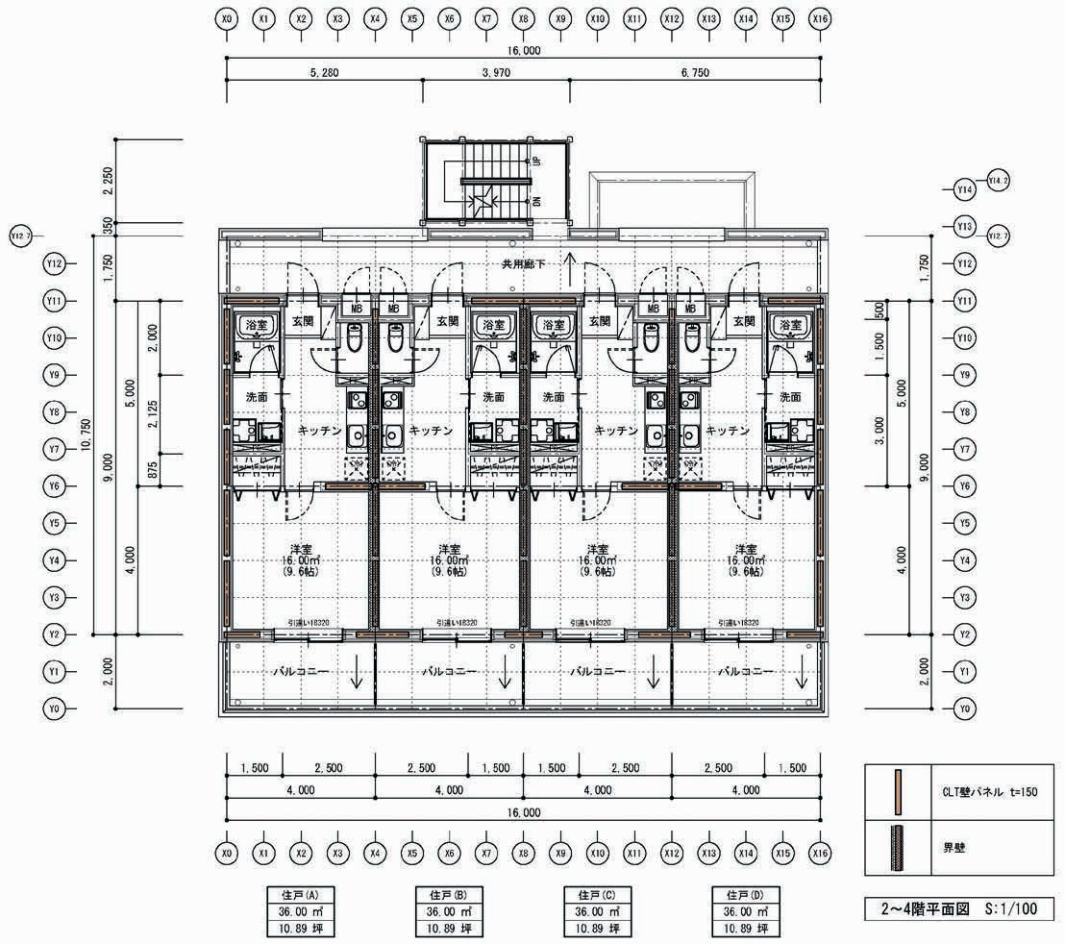


図３　４階建て共同住宅 基準階平面図

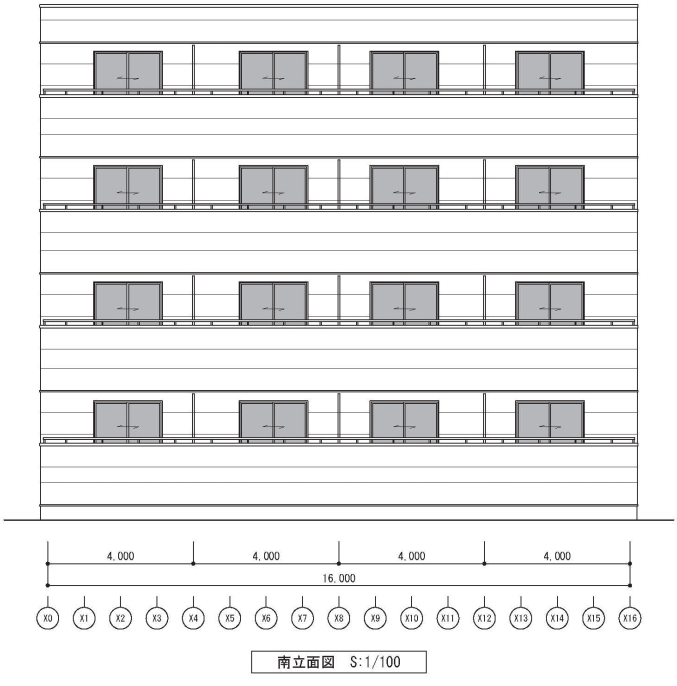


図４　４階建て共同住宅 南立面図

●鉄骨床梁を併用したCLTパネル工法４階建て事務所

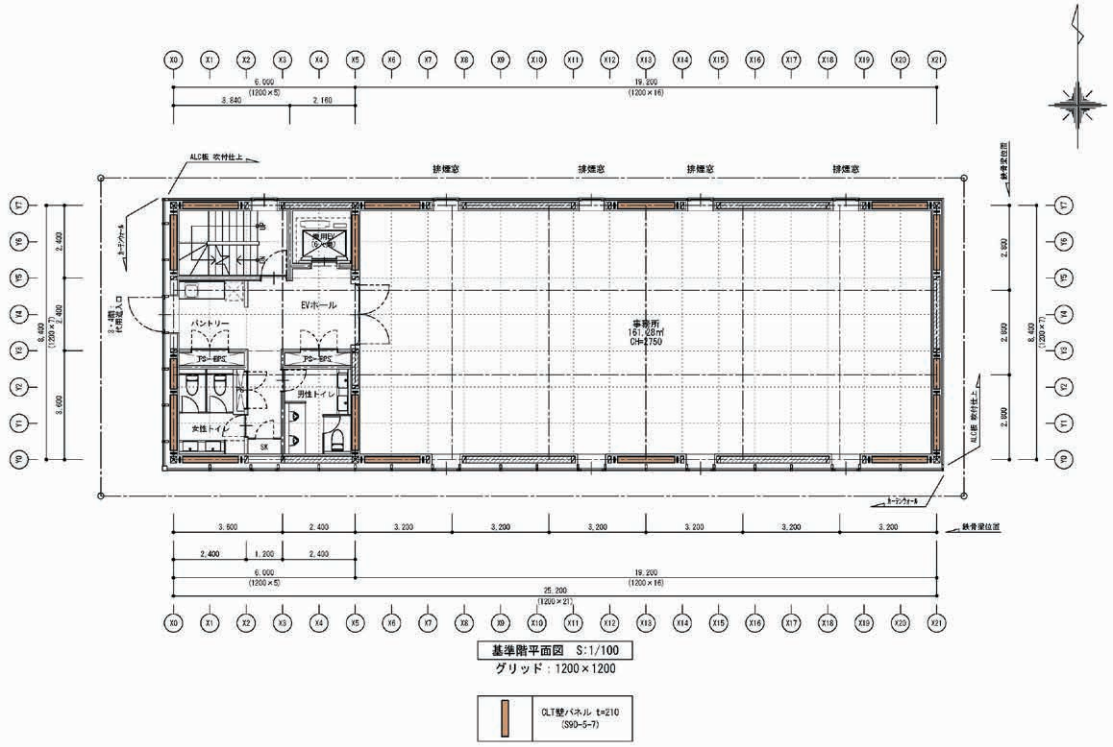


図５　４階建て事務所 基準階平面図

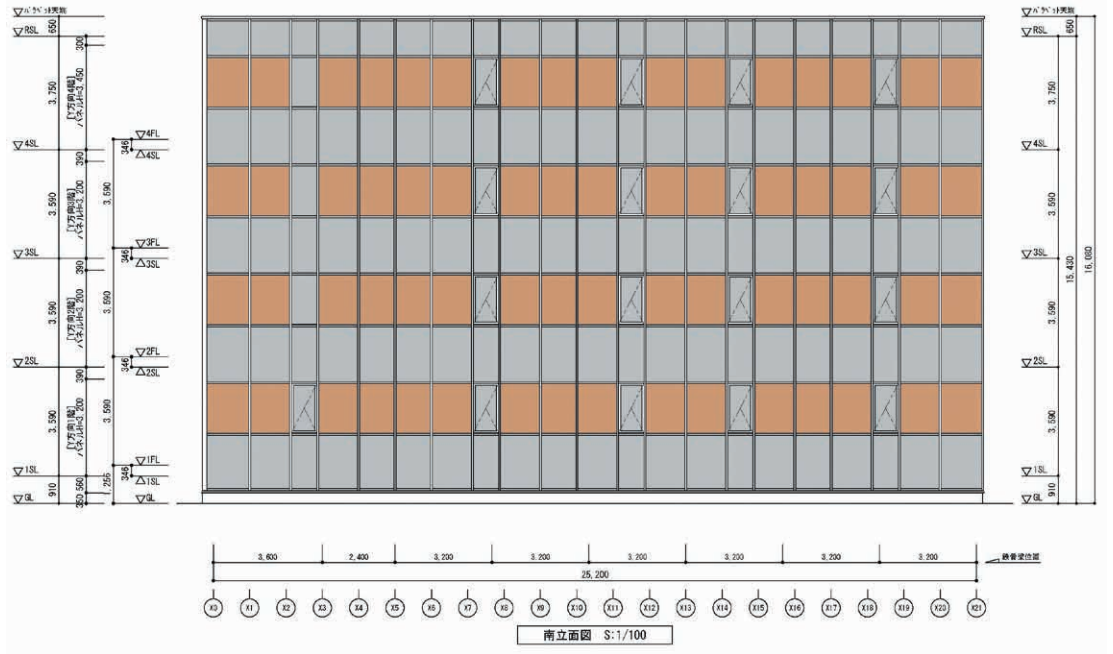


図６　４階建て事務所 南立面図

（2）モデルプランの解析的な検討

●鉄骨床梁を併用したCLTパネル工法４階建て共同住宅の解析結果

表 保有水平耐力 比較表

方向	階	Ds	Fes	Qud(kN)	Qun(kN)	Qu(kN)	Qu/Qun	判定
X+	4	0.52	1.00	1,129.5	587.3	632.0	1.08	OK
	3	0.52	1.00	2,278.6	1,184.9	1,280.0	1.08	OK
	2	0.52	1.00	3,120.5	1,622.7	1,750.0	1.08	OK
	1	0.52	1.00	3,813.1	1,982.8	2,130.0	1.07	OK
X-	4	0.52	1.00	1,129.5	587.3	632.0	1.08	OK
	3	0.52	1.00	2,278.6	1,184.9	1,280.0	1.08	OK
	2	0.52	1.00	3,120.5	1,622.7	1,750.0	1.08	OK
	1	0.52	1.00	3,813.1	1,982.8	2,130.0	1.07	OK
Y+	4	0.75	1.00	1,129.5	847.1	1,890.0	2.23	OK
	3	0.75	1.00	2,278.6	1,708.9	3,810.0	2.23	OK
	2	0.75	1.00	3,120.5	2,340.4	5,220.0	2.23	OK
	1	0.75	1.00	3,813.1	2,859.8	6,380.0	2.23	OK
Y-	4	0.75	1.00	1,129.5	847.1	1,960.0	2.31	OK
	3	0.75	1.00	2,278.6	1,708.9	3,960.0	2.32	OK
	2	0.75	1.00	3,120.5	2,340.4	5,420.0	2.32	OK
	1	0.75	1.00	3,813.1	2,859.8	6,630.0	2.32	OK

上記より，Qu/Qun≧1.0 を満足していることを確認した。

●鉄骨床梁を併用したCLTパネル工法４階建て事務所の解析結果

表 保有水平耐力 比較表

方向	階	Ds	Fes	Qud(kN)	Qun(kN)	Qu(kN)	Qu/Qun	判定
X+	4	0.68	1.00	1,385.2	942.0	1,050.0	1.11	OK
	3	0.68	1.00	2,702.6	1,837.7	2,060.0	1.12	OK
	2	0.68	1.00	3,629.5	2,468.1	2,760.0	1.12	OK
	1	0.68	1.00	4,249.7	2,889.8	3,230.0	1.12	OK
X-	4	0.66	1.00	1,385.2	914.3	1,090.0	1.19	OK
	3	0.66	1.00	2,702.6	1,783.7	2,130.0	1.19	OK
	2	0.66	1.00	3,629.5	2,395.5	2,860.0	1.19	OK
	1	0.66	1.00	4,249.7	2,804.8	3,350.0	1.19	OK
Y+	4	0.55	1.00	1,385.2	761.9	813.0	1.07	OK
	3	0.55	1.00	2,702.6	1,486.4	1,580.0	1.06	OK
	2	0.55	1.00	3,629.5	1,996.2	2,130.0	1.07	OK
	1	0.55	1.00	4,249.7	2,337.3	2,490.0	1.07	OK
Y-	4	0.56	1.00	1,385.2	775.7	812.0	1.05	OK
	3	0.56	1.00	2,702.6	1,513.4	1,580.0	1.04	OK
	2	0.56	1.00	3,629.5	2,032.5	2,120.0	1.04	OK
	1	0.56	1.00	4,249.7	2,379.8	2,490.0	1.05	OK

上記より，Qu/Qun≧1.0 を満足していることを確認した。

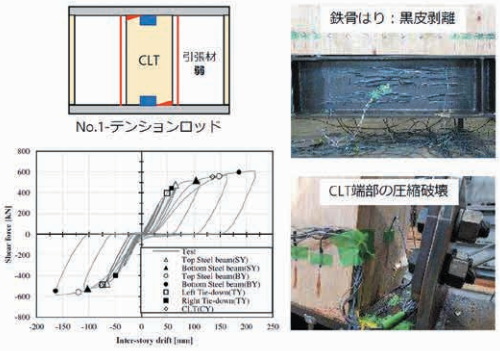
構造部材は、いずれのプランも検定を満足していた。

（3）接合部設計と実験および耐力壁性能実験、耐火試験

①接合部設計と実験および耐力壁性能実験

●テンション材タイプの実験結果

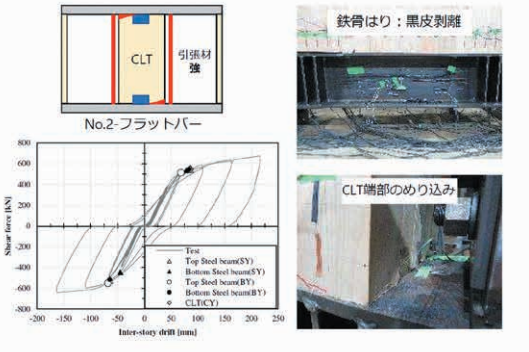
復元力特性：スリップ型　　目標性能：$\tau_u \geqq 1.5N/mm^2$



ロッド降伏
▽
鉄骨はりせん断降伏
▽
鉄骨はり曲げ降伏
▽
CLT圧縮破壊

τ_u=**1.8N/mm²** ≧1.5N/mm²

$\tau_{1/200}$ =**0.43N/mm²**
CLTパネル工法（τ=0.2N/mm²）
の**2.1倍**



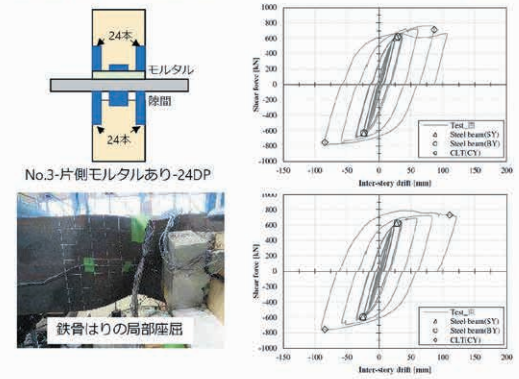
鉄骨はりせん断降伏
▽
鉄骨はり曲げ降伏
▽
CLTめり込み

τ_u=**1.9N/mm²** ≧1.5N/mm²

$\tau_{1/200}$ =**0.36N/mm²**
CLTパネル工法（τ=0.2N/mm²）
の**1.8倍**

●ドリフトピンタイプの実験結果

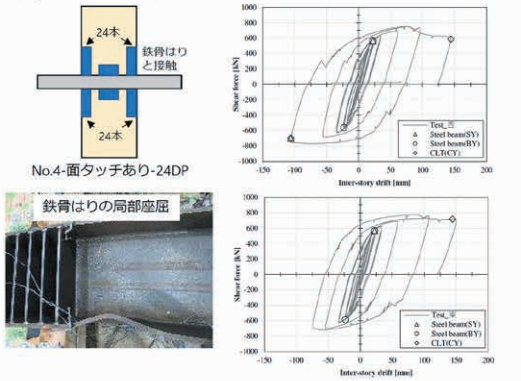
復元力特性：紡錘型　　目標性能：$\tau_u \geqq 1.5N/mm^2$



鉄骨はりせん断降伏
▽
鉄骨はり曲げ降伏

τ_u=**2.2N/mm²** ≧1.5N/mm²

$\tau_{1/200}$ =**0.74N/mm²**
CLTパネル工法（τ=0.2N/mm²）
の**3.7倍**

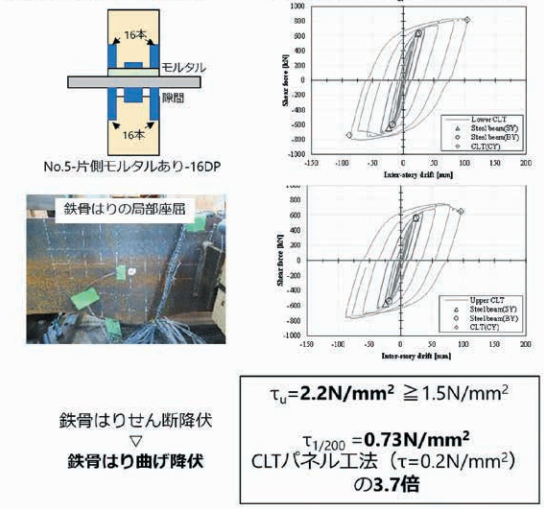


鉄骨はりせん断降伏
▽
鉄骨はり曲げ降伏

τ_u=**2.1N/mm²** ≧1.5N/mm²

$\tau_{1/200}$ =**0.87N/mm²**
CLTパネル工法（τ=0.2N/mm²）
の**4.4倍**

復元力特性：紡錘型　　目標性能：$\tau_u \geqq 1.5N/mm^2$



鉄骨はりせん断降伏
▽
鉄骨はり曲げ降伏

τ_u=**2.2N/mm²** ≧1.5N/mm²

$\tau_{1/200}$ =**0.73N/mm²**
CLTパネル工法（τ=0.2N/mm²）
の**3.7倍**

		No.1 Tension rod	No.2 Flat bar	No.3 Mortar-24DP No mortar	No.3 Mortar-24DP Mortar	No.4 Surface touch-24DP 1-story	No.4 Surface touch-24DP 2-story	No.5 Mortar-16DP No mortar	No.5 Mortar-16DP Mortar
Pmax	kN	610.0	675.9	762.2	760.5	760.7	753.4	743.7	835.6
τ_{max}	N/mm²	1.9	2.1	2.4	2.4	2.4	2.4	2.4	2.7
Py	kN	411.4	437.6	540.6	503.9	504.8	497.9	481.6	544.5
Pu	kN	552.5	594.9	710.7	691.7	697.1	666.6	681.7	770.2
τ_u	N/mm²	1.8	1.9	2.3	2.2	2.2	2.1	2.2	2.4
K	kN/mm	8.2	8.8	27.9	27.9	30.2	31.6	26.8	30.1
Py		411.4	437.6	540.6	503.8	504.8	497.9	481.6	544.5
Pu*0.2/Ds		256.9	276.2	414.7	380.9	482.7	474.7	349.2	412.4
2/3Pmax		406.6	450.6	508.2	507.0	507.1	502.3	495.8	557.0
P(1/150rad)		184.5	164.9	334.1	327.9	346.1	359.5	319.1	357.6
Pa	kN	184.5	164.9	334.1	327.9	346.1	359.5	319.1	357.6
壁倍率		62.8	56.1	113.6	111.5	117.7	122.3	108.5	121.6
$\tau_{1/200}$	N/mm²	0.43	0.36	0.74	0.77	0.87	0.88	0.73	0.83

目標性能
保有耐力時せん断応力度
$\tau_u \geqq 1.5 N/mm^2$
▽
τ_u=**1.8~2.4N/mm²**

CLTパネル工法(一次設計)
τ=0.2N/mm²
▽
$\tau_{1/200}$
テンション材：**1.8~2.1倍**
ドリフトピン：**3.6~4.4倍**

- 従来のCLTパネル工法よりもCLTの性能を発揮させることができた
- テンション材タイプでは2.0倍程度の性能に留まった→初期剛性の確保が重要

実験結果：1/200時のτが低い
1/200時のτがパネル工法の2倍

単位床面積あたりの壁長さ

CLTパネル工法：150mm/m²程度 → テンション材：性能が約2倍→**壁量約1/2**→80mm/m²
→ ドリフトピン：性能が約4倍→**壁量約1/4**→40mm/m²

Type	Specimen		Plasticity rate μ	h_{eq}	D_s (Method①)	D_s (Method②)
Tie-down		No.1	2.29	0.21	0.43	0.25
		No.2	2.29	0.21	0.43	0.25
Drift-pin	No.3	Mortar	3.00	0.42	0.36	0.13
		No mortar	3.27	0.49	0.34	0.11
	No.4	Upper	2.92	0.52	0.28	0.11
		Lower	4.63	0.32	0.29	0.12
	No.5	Mortar	3.99	0.37	0.37	0.12
		No mortar	3.04	0.39	0.39	0.14

方法①による結果：鉄骨造 Ds=0.25 ≦ **ドリフトピン Ds=0.28** ≦ CLTパネル工法 Ds=0.40 ≦ **テンション材 Ds=0.43**

●実験結果の解析的検討

・テンション材タイプ

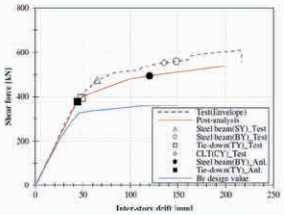
設計値を用いた解析結果＜実験結果　材料特性が基準値よりも高いことが一因
事後解析≒実験結果　実大実験を実施し、適切なパラメータを得る必要がある

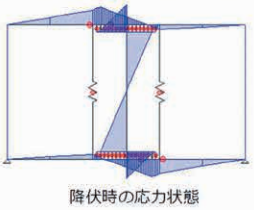
	鉄骨はりの剛性低下率		圧縮バネ		せん断バネ	引張材		
	曲げ性能	せん断性能	kc N/mm3	Fc N/mm2	Ks kN/mm	Py kN	剛性低下率	φ x
No. 1	0. 001	0. 015	15. 4	38. 1	276. 9	420	0. 015	1. 57
No. 2	0. 001	0. 015	25. 8	38. 1	599. 4	–	–	1. 34

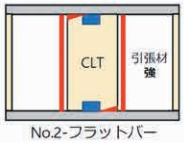
SY：鉄骨はりのせん断降伏（Shear Yield）
BY：鉄骨はりの曲げ降伏（Bending Yield）
TY：タイロッドの引張降伏（Tensile Yield）
CY：CLT端部の圧縮降伏（Compressive Yield）

No.1-テンションロッド

耐力が低い
▽
ロッドの二次剛性
実験の方が高い
（ひずみ硬化の影響）

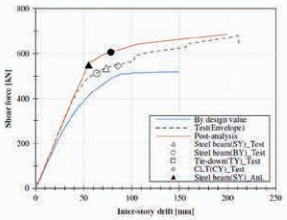


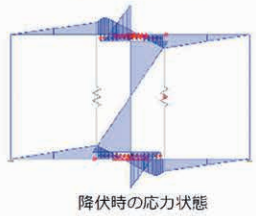

降伏時の応力状態



No.2-フラットバー

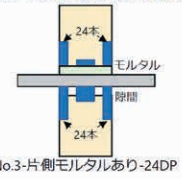
耐力が高い
▽
CLTの圧縮強度が低い
鉄骨はりのせん断耐力が低い



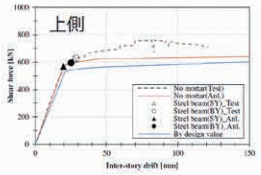

降伏時の応力状態

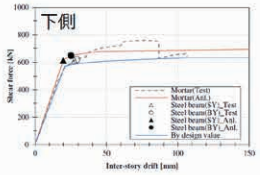
・ドリフトピンタイプ

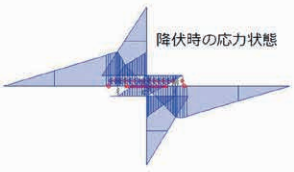
SY：鉄骨はりのせん断降伏（Shear Yield）、BY：鉄骨はりの曲げ降伏（Bending Yield）

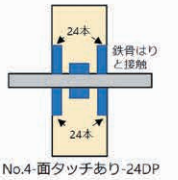


No.3-片側モルタルあり-24DP

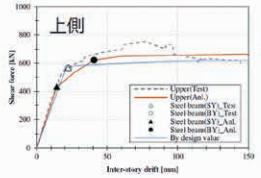


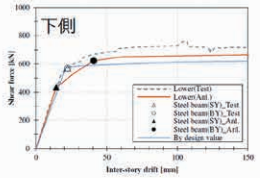


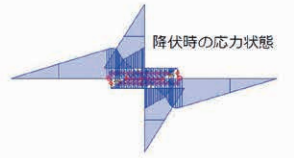

降伏時の応力状態

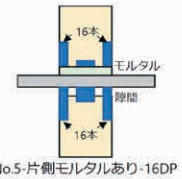


No.4-面タッチあり-24DP

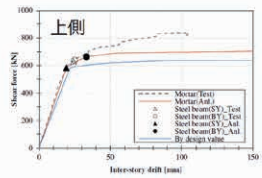


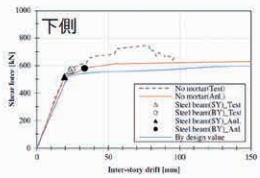


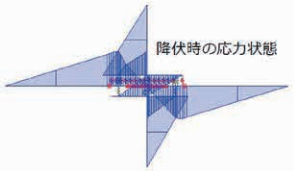

降伏時の応力状態



No.5-片側モルタルあり-16DP






降伏時の応力状態

②耐火試験

試験結果として、裏面温度の最高温度は、98℃となり、規定値209℃を超えることはなかった。また試験後の観察において、被覆材をはがし、内部のCLT の表面を確認したところ、CLT の炭化は認められなかった。

試験結果より、告示の１時間耐火の性能に鉄骨梁をいれたことによる性能の影響はないと確認できた。

（4）建築コストの検討

鉄骨床梁併用のCLTパネル工法４階建て事務所と同様なプランで設計した４階建てRC造の事務所ビルと、鉄骨床梁併用のCLTパネル工法４階建て事務所ビルの施工コストについての比較を行った。

施工コストは同等か、CLTパネル工法が多少高くなると想定されている。

今後の課題・展開等

- 高耐力を有することを実験で確認しているドリフトピン接合による架構システムを用いた中層の設計例を作成する必要がある。
- 構造解析と実験で性能を確認した架構システムは、CLTになじみのない構造設計者でも設計しやすいものであることから、この構造形式を普及させるための課題として以下の２つが課題となる。

①ドリフトピン接合を用いた鉄骨床梁を併用したCLTパネル工法建築物の設計手法の提案、設計に用いるDsなど各種数値の整備

これにより技術力のあるゼネコンや設計事務所が個別建物に対応した多少の実験を追加し、市販の数値解析ソフトによって設計が可能となる。

②鉄骨床梁を併用したCLTパネル工法建築物の設計手法の提案、設計に用いるDsなど各種数値の整備、設計汎用ソフトへの適用

これにより、一般の構造者が設計しやすい環境を整備することができる。

事業

（仮称）「実務者のためのCLT構造設計の手引き」編集事業

● 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

2016年3月、4月にCLTパネル工法を用いた建築物の構造方法の技術基準が、平成28年国土交通省告示第611号として公布・施工された。その後、「2016年公布・施行　CLT関連告示等解説書」、及び、構造設計法などを掲載した「2016年版　CLTを用いた建築物の設計施工マニュアル」が発刊された。これにより設計者は、前記の2つの図書を参考としてCLTパネル工法を用いた建築物の設計を行う状況となったが、発行から現在に至るまで、CLTの設計を習得しようと取り組んだ設計者からは、習得したいが解説や説明の内容が難しいとの意見が、多数、寄せられていた。そこで「CLT関連告示等解説書」の告示第611号の条文、逐条解説部分の補足説明と、解説付きのCLTパネル工法ルート1の構造計算例の解説から構成される参考図書を作成し、技術情報として発信することで、設計者が、前記の2つの図書と併せてCLTパネル工法への理解と設計法の習得に取り組み易い環境を整え、設計者の裾野を拡げること、及び、工法の普及を図ることを目的としている。

実施した項目

本事業では、検討委員会を設置し、以下の項目の検討を行った。

（1）「2016年公布・施工　CLT 関連告示等解説書」の平28国交告示第611号の条文、逐条解説部についての補足説明

（2）3階建て共同住宅モデル設計のルート1構造計算例の解説

実施体制

（仮称）「実務者のためのCLT構造設計の手引き」編集事業検討委員会

委員長	五十田　博	京都大学生存圏研究所　生活圏木質構造科学分野　教授
委　員	青木　謙治	東京大学大学院　農学生命科学研究科　生物材料科学専攻　准教授
	瀧野　敦夫	大阪工業大学　工学部　建築学科　特任准教授
	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
	海老澤　渉	一般社団法人 不動産協会 （三菱地所株式会社　関連事業推進室　CLT WOOD PROMOTIONユニット　統括）
	阿部　裕介	一般社団法人 不動産協会 （三菱地所株式会社　関連事業推進室　CLT WOOD PROMOTIONユニット　主事）
行　政	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
	納富　昭光	国土交通省住宅局参事官（建築企画担当）付　課長補佐
	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
コンサル	中越　隆道	中越建築設計事務所一級建築士事務所　代表

事務所　平原　章雄　木構造振興株式会社 常務取締役
坂部　芳平　一般社団法人日本CLT協会　専務理事
谷口　　翼　一般社団法人日本CLT協会 開発技術部
宿輪　桃花　一般社団法人日本CLT協会 開発技術部
金子　　弘　公益財団法人日本住宅・木材技術センター　専務理事兼研究技術部長
田中　　肇　公益財団法人日本住宅・木材技術センター　技術主任

実施した内容

（1）「2016年公布・施工　CLT 関連告示等解説書」の平28国交告示第611号の条文、逐条解説部分についての補足説明

「2016年公布・施行　CLT 関連告示等解説書」の平28国交告示第611号の条文、逐条解説部分において、分かり難い箇所を抽出し、「2016年版　CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」の記載内容、記載箇所を関連付けて補足説明を作成した。説明には、出来るだけ図を用いてわかりやすい表現となる様に配慮した。

（2）3階建て共同住宅モデル設計のルート1構造計算例の解説

3階建て共同住宅モデル設計のルート1構造計算書を作成し、計算内容でポイントとなる箇所に吹き出しで解説を挿入し、解説付き構造計算書を作成した。また、意匠関連では、平面図、立面図、断面図、矩計図、階段詳細図を作成し、構造関連では、基礎図、基礎リスト、1階床伏図、2階～R階床パネル伏図、1階～4階壁パネル伏図、各通り軸組図を構造計算内容に整合させて作成した。
また、参考資料として、解説をした構造計算例で用いたCLTパネルの基準強度の算定例、「2016年版CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」付録DVDに収録されているルート1の計算例Ⅰにおける水平構面の算定例、及び、設計で参考となるように耐火仕様ごとの各部位の仮定荷重例を作成した。

実施した結果

解説書は、以下の目次構成にて、作成を行った。

- 第1章　ルート1構造設計例解説（表紙含）
- 第2章　設計例の設計図書（意匠図、構造図）
- 第3章　告示の補足説明
- 参考資料

資料1　Mx60-5-5の基準強度、弾性係数等の算定
資料2　燃えしろ60mmの場合のMx60-5-5基準強度、弾性係数等の算定
資料3　Mx60-5-7の基準強度、弾性係数および応力度の算定
資料4　燃えしろ60mmの場合のMx60-5-7基準強度、弾性係数等の算定
資料5　仮定荷重
資料6　設計施工マニュアルDVD設計例Ⅰの水平構面の応力算定例

1-7使用構造材料一覧表

CLTは、製造工場ごとに仕様が異なるため、表1-7-1は、製造工場に確認をして記載することになります。

(1) CLTパネル

表1-7-1 CLTパネル

壁パネル 垂れ壁パネル 腰壁パネル (150mm)	樹種		スギ
	ラミナ	強度等級	Mx60-5-5 (外層:M60A、内層:M30A)
		ラミナ厚	30mm
		ラミナ幅	124mm
	接着剤	縦継ぎ(フィンガージョイント)、積層部分	JISK6806に規定する水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤1種1号
		横はぎ部分	接着無
屋根・床 (210mm)	樹種		スギ
	ラミナ	強度等級	Mx60-5-7 (外層:M60A、内層:M30A)
		ラミナ厚	30mm
		ラミナ幅	124mm
	接着剤	縦継ぎ(フィンガージョイント)積層部分	JISK6806に規定する水性高分子ーイソシアネート系木材接着剤1種1号
		横はぎ部分	接着無

本設計では、壁パネル、垂れ壁パネル及び床・屋根パネルに開口を設けない。
設備用貫通孔などは非耐力壁部分に設ける。

図1 ルート1構造設計例解説 (例)

3-4 施行令第109条の2の2に規定される層間変形角1/150以内の確認

準耐火建築物に該当することから、施行令第109条の2の2の規定を満足していることを確認する。
CLTパネル工法建築物のルート1において、耐力壁の変形クライテリアは、1/150以下である。
よって、検討は下記とする。

λ=1.0の場合、層間変形角は、1/150以内であることから
検定比λ=mの場合の層間変形角は下式となる。
層間変形角=1/(150×m)

告示解説書、設計施工マニュアルには、耐力壁の特定変形角に関して記載はありませんが、ルート1では、耐力壁の特定変形角を1/150以内として設計法が定められています。

表3-3-2 令第109条の2の2の規定における層間変形角の確認

階	方向	各階壁量検定比 λ	層間変形角	判定	
3階	X	1.07	1/ 160	< 1/150	OK
	Y	1.08	1/ 162	< 1/150	OK
2階	X	1.07	1/ 160	< 1/150	OK
	Y	1.08	1/ 162	< 1/150	OK
1階	X	1.07	1/ 160	< 1/150	OK
	Y	1.08	1/ 162	< 1/150	OK

施行令第109条の2の2は、主要構造部を準耐火構造等とした建築物の層間変形角の規定です。この変形角は、防火上有害となる防火被覆材の脱落、損傷、変形等を防止するために規定されています。

図2 ルート1構造設計例解説 (例)

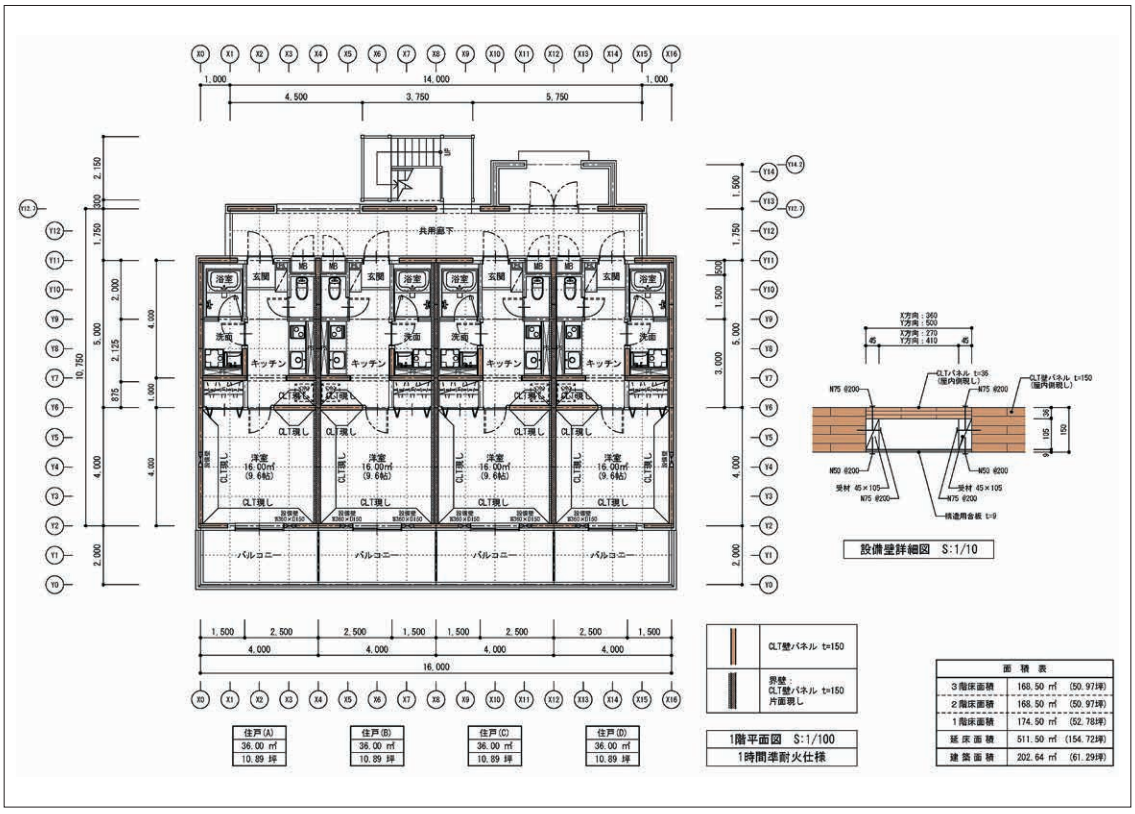


図３　設計例の設計図書　意匠図（例）

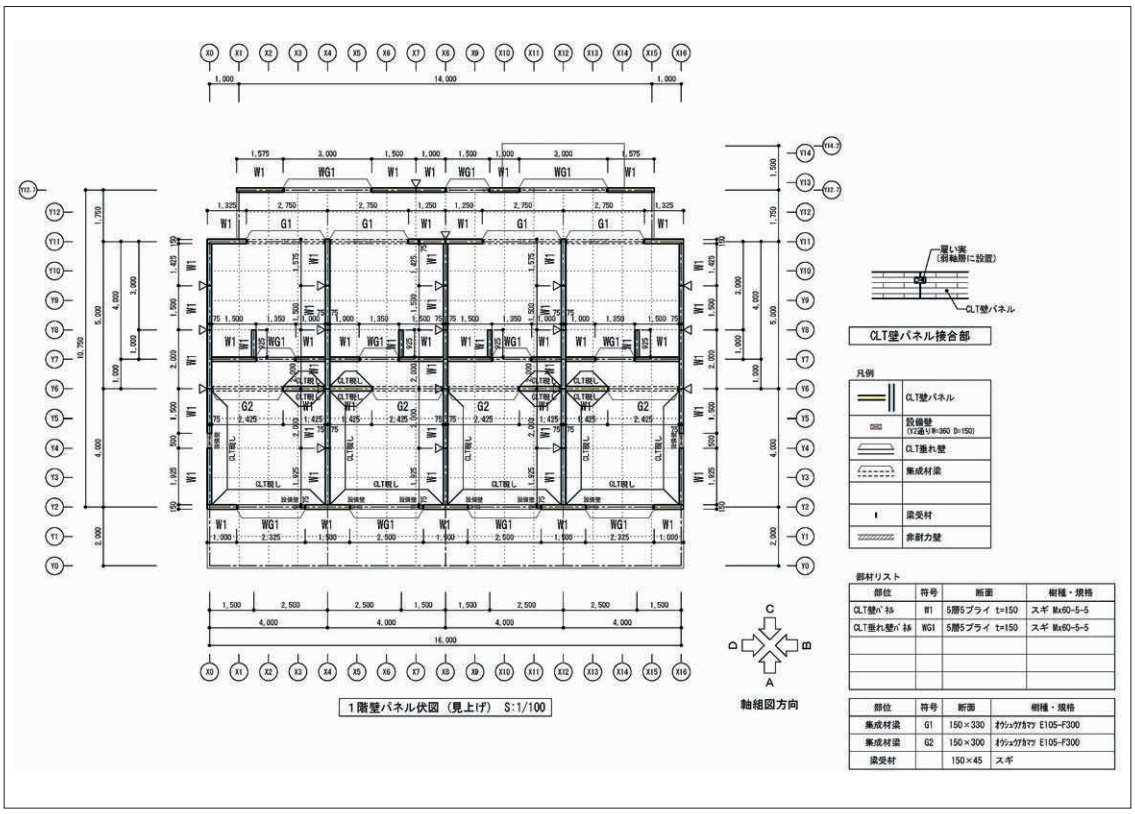


図４　設計例の設計図書　構造図（例）

第 3 章「CLT 関連告示等解説書」、「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」の補足解説

（以下では、上記の図書名称を「告示解説書」、「設計施工マニュアル」と記載します。
また、平成28年国土交通省告示第611号第八　保有水平耐力計算と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算（ルート3）、第九　許容応力度等計算と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算（ルート2）、第十令第82条各号及び令第82条の4に定めるところによる構造計算と同等以上に安全性を確かめることができる構造計算（ルート1）は、第八ルート3、第九ルート2、第十ルート1と記載しています。）

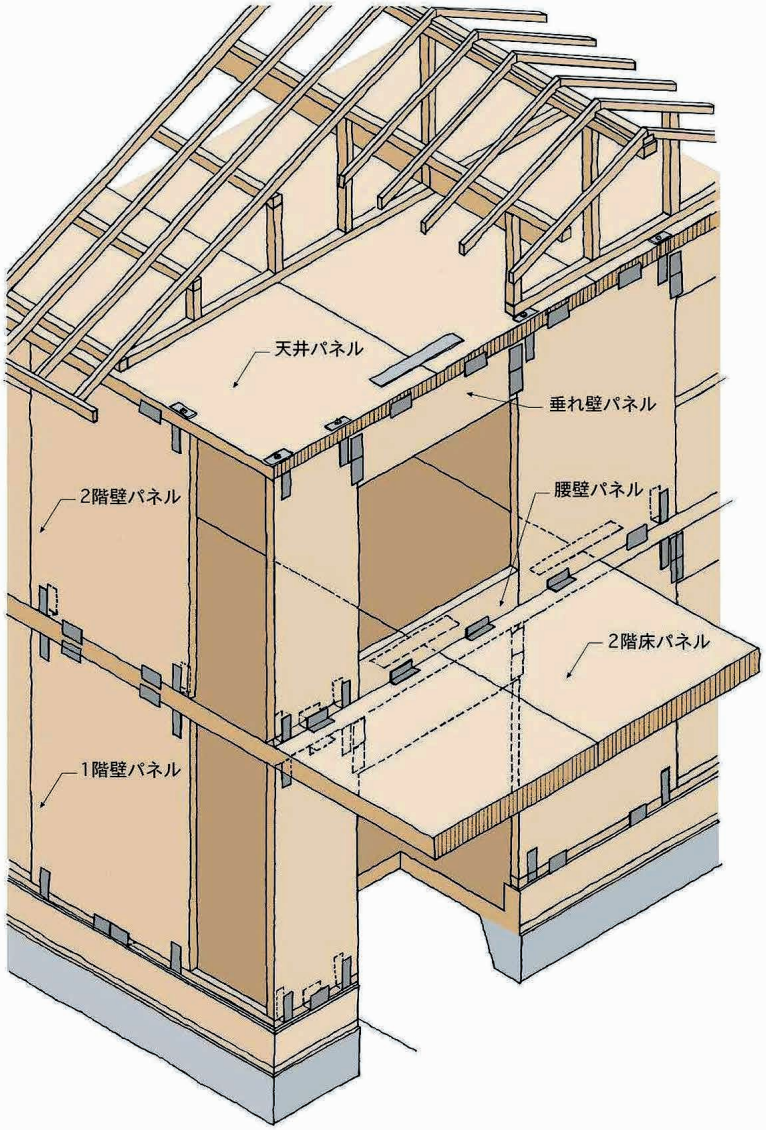


図 1　CLT パネル工法建築物の躯体構成

図５　告示の補足解説（例）

1. 「告示解説書」の「第1章　序章　1.1　CLTパネル工法の概要」の解説

【本文 1】（1.1.2　CLT パネル工法の構造的特徴）

CLT パネルは従来の耐力壁に比べて面内の剛性・耐力が高い。従来の木造建築物では水平変形のほとんどが耐力壁の面内せん断変形として生じるが、CLT パネル工法では壁パネル自体の変形は少なく、建築物の水平変形の大部分は接合部において発生する。そのため CLT パネル工法における接合部には耐力だけではなく変形能力（靭性）も必要となる。

【解説 1】

「従来の耐力壁」とは、木造在来軸組工法で用いられる筋かいによる耐力壁や、構造用合板などを張り付けて構成される耐力壁、および、枠組壁工法で用いられる構造用合板などを張り付けて構成した耐力壁のことです。これらの耐力壁は、昭和56年建設省告示第1100号、平成13年国土交通省告示第1541号において壁倍率が定められており、壁倍率1.0は、短期許容せん断耐力1.96kN/mに相当します。

告示第 1100 号において壁倍率の仕様規定では、上限値を 5.0 倍としているので耐力壁 1m 当りの短期許容せん断耐力は最大 9.8kN/m となります。

上記の耐力壁と比較して、CLTパネルのせん断基準強度は、樹種がスギの場合で最大2.04N/mm^2（※1）であり、CLTパネルの厚さが90mmの場合は、1m当りの短期許容せん断耐力は2/3×2.04×90×1000/1000＝122kN/mとなります。CLTパネルと壁倍率5.0の耐力壁の耐力を単純に比較すると122/9.8＝12倍となります。

ただし、CLT耐力壁においては、CLTパネル部分はほとんど変形せず、パネルが回転（ロッキング）することによりCLTパネル脚部浮き上がりを拘束する接合金物が、作用する荷重により変形していきます。第十ルート1では、この変形のクライテリアを特定変形角1/150radとしているので、この変形角以内でCLTパネル耐力壁の短期許容せん断耐力が定まることになります。したがって、CLT耐力壁の耐力は接合部変形が関係して定まるので、CLTパネル耐力壁と壁倍率5.0の耐力壁との耐力の比は、実際は数倍程度になると想定されます。

「変形能力（靭性）も必要になる」とは、CLTパネル耐力壁が大きな水平力を負担するとき接合部には大きな応力が生じますが、接合部が変形しない場合には生じる応力でいきなり接合部が破壊してしまい建物が倒壊に至ることが考えられます。よって、粘りのある変形能力を有する接合部とする必要があるということです。

※1　面内せん断基準強度 Fs＝2.04 N/mm^2 は、平成 13 年告示第 1024 号の式から算定した値

図6　告示の補足解説（例）

今後の課題・展開等

「2016年公布・施工　CLT 関連告示等解説書」の平28国交告示第611号の条文、逐条解説部分について作成している補足説明は、2016年時点の告示で有り、告示の改正があれば、補足説明の内容を改正に合わせて整合させることが必要となる。

また、計算例解説部分では、ルート1で構造計算内容に改正が行われているなら、既存計算例解説の整合を行うこと、及び、必要に応じて新たな計算例の追加などの対応が必要になる。

事業

広葉樹及び針葉樹大断面構造材の乾燥防耐火試験

● 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

戦後造林されたスギ・ヒノキなどの造林木の成長に伴い、今までは間伐小中径木を中心に利活用が進められてきていたが、主伐期を迎え増加してきている大径材については、加工できる製材工場等が少ないことや価格的にも正しく評価されておらず利活用が進んでいない。さらにケヤキ等広葉樹材については構造材として品質確認（強度・乾燥）の基準規格が明確でなく、建築部材としてはほとんど利用されていない現状にある。

昨年度は当該事業により、スギ36㎝正角材の防耐火試験に取り組み、３、４階建非住宅木造施設の構造材として使用可能であることを確認できた。

そこで今回、広葉樹や針葉樹構造製材品を準防火地域内の３階建て住宅、２階建て以下の事務所・保育園等の柱・梁としての使用可能性を検討するため45分準耐火構造としての性能評価試験を実施した。

実施した項目

１．広葉樹及び針葉樹構造材の防耐火試験

（１）試験材

広葉樹よりも比重が低い基準材料として、スギ製材品を使用した。

①スギ　　21㎝×21㎝×長さ3.338m　　２本正角材（柱材）
②スギ　　18㎝×30㎝×長さ5.8m　　２本平角材（梁材）
③ケヤキ　21㎝×21㎝×長さ3.338m　　１本正角材（柱材）※参考試験

（２）試験方法・場所

（一財）日本建築総合試験所（大阪府池田市）において、長期許容応力度が発生する荷重を積載し、45分準耐火性能試験を実施した。

２．スギ大断面製材品の人工乾燥試験

防耐火性能向上には乾燥時の内部割れの影響が大きな要因となることから、発生抑制に向けた人工乾燥方法を検討した。

（１）試験材

スギ39㎝×39㎝×長さ4m正角材（ラフ材）

（２）乾燥方法

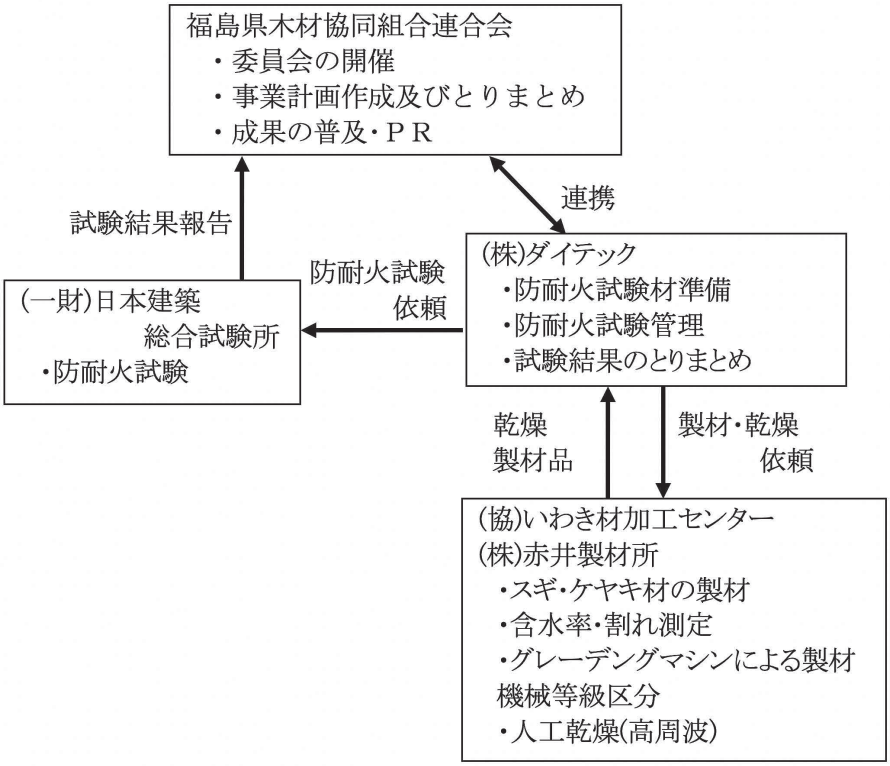
高周波減圧乾燥

実施体制

1．専門委員会

委　員	安井　　昇	桜設計集団一級建築士事務所
	手代木徳弘	福島県林業研究センター
	東納　　充	(株)ヤスジマ
	近藤　雅之	(株)タイムズ・コーポレーション
	鈴木　裕一	(協)いわき材加工センター
	荒川　仁弥	勿来地区木材製材(協)
事務局	佐藤　　守	福島県木材協同組合連合会
	宗形　芳明	同上
	橋本　知子	同上
	鈴木　柾司	(株)赤井製材所

2．実施体制図



実施した内容

1．スギ36㎝正角材75分準耐火性能試験

昨年度実施した当該試験の再試験を４月に追加で実施し、110分まで座屈せず燃焼を継続できたことから、75分及び90分準耐火性能を満たし国土交通大臣の認定を受けることができた。

このことによりスギ36㎝正角材を構造材として防耐火上５階建てまでに使用することが可能となった。

2．広葉樹及び針葉樹構造材の防耐火

本試験はケヤキより比重の小さい基準材料としてスギ正角材及び平角材により試験を行い、ケヤキ材については燃焼状況を確認するため参考までに試験を行った。

（1）スギ正角材（柱材）

①試験材の選定（２本）

高周波減圧乾燥により人工乾燥を行った40本の中から、内部割れ等欠点の少ない２本を選定した。

さらに（協）いわき材加工センターのグレーデングマシンにより含水率及び曲げヤング係数を測定した。

No.	重量（kg）	含水率（%）	強度（Gpa）	曲げヤング係数（E）
2	703	9.8	8.06	90
4	789	12.7	9.76	90

②試験の実施

- ２階建てを想定し、柱にかかる荷重59.0kNを負荷。
- 加熱温度は実際の火災における加熱曲線（ISO標準加熱曲線）に準じて行った。

（2）スギ平角材（梁材）

①試験材

高周波減圧乾燥により人工乾燥を行った12本の中から欠点の少ない２本を選定した。

グレーデングマシンによる測定結果

No.	重量（kg）	含水率（%）	強度（Gpa）	曲げヤング係数（E）
1	1289	13.3	8.37	90

②試験の実施

・２階建てを想定し、梁にかかる荷重4.7kNを３分点２点荷重により負荷。
・加熱温度は実際の火災における加熱曲線（ISO標準加熱曲線）に準じて行った。

（3）ケヤキ正角材（参考試験）

①試験材

ケヤキ正角材21㎝×21㎝×長さ3.338m　１本

- いわき材加工センター所有のグレーデングマシンにより曲げヤング係数を測定し、E-110相当を確認した。
- 高周波減圧乾燥機により人工乾燥を行い、含水率測定試験片により目標含水率15%以下になったことを確認した。

②試験の実施

- ヤング係数が高いケヤキであるため荷重は69.9kNで実施した。
- 加熱曲線についてはスギ正角材（柱材）と同様の条件で実施。

3．スギ大断面製材品の人工乾燥試験

（1）試験材

スギ正角材　　39㎝×39㎝×4m（ラフ材）12本

（2）乾燥方法

（協）いわき材加工センターの高周波減圧乾燥機を用い、人工乾燥時間と欠点発生状況の検討を行った。

試験材

①スギ柱材

②スギ梁材

③ケヤキ柱材

高周波減圧乾燥

グレーデングマシンによる曲げヤング係数の測定

実施した結果

1．広葉樹及び針葉樹構造材の防耐火試験

（1）スギ正角材（柱材）

丸太からの良材適木を選定し、乾燥による内部割れの欠点も少なかったことから、２本の試験体が燃焼時間60分以上座屈せずに試験を継続することができ、良好な結果が得られた。

炭化層が自然の耐火被覆の役割を担い芯部付近に炭化層が広がっても強度を維持できた。燃焼時間45分時点では燃え残り部分一辺14㎝を確保できたと推測した。

（2）スギ平角材（梁材）

平角材は吹き抜け天井などでも使用できるよう４面加熱を行った。

梁も柱同様に良材から、欠点の少ない強度のある材を選木できた。

炭化形成も良好で燃焼時間76分まで継続でき良好な試験結果を得ることができた。

燃焼時間45分時点で120×240の残存部を確保できたと推測した。

１本目の試験は予定通り実施できたが、２本目は含水率が基準より４%高く２月10日の予定日に実施不可となってしまった。

※現在、適切な試験体を選別調整し、３月21日に２本目の燃焼試験を実施予定。

（3）ケヤキ正角材

試験材の内部に割れ等の欠点が少なかったことから、75分まで燃焼を継続することができた。

スギに比べて燃焼スピードが比較的遅く、燃焼中も炭化層の形成がしっかりしていたため、内部温度の上昇が抑えられたと思われる。

推測ではあるが、燃焼時間45分時点では燃え残り部分一辺14㎝を確保できたと推測した。

（4）総括

広葉樹大径材はこれまで乾燥が難しく、建築構造材として普及が進まなかった。

高周波減圧乾燥を主とした新たな乾燥方法の開発により内部欠点の少ない広葉樹乾燥が可能となった。今後出材が増えてくる広葉樹大径材の利活用に向け、今回の燃焼試験の結果により大臣認定を取得し、基準強度を用いて準耐火建築に使用できる見通しを得ることができた。

これによって今後、無垢材を使って防耐火建築物へ新たな樹種の提案が可能となることが大きな成果である。

スギ柱材燃焼後

スギ梁材燃焼後

ケヤキ(左)・スギ(右)柱材燃焼試験後断面

スギ梁材燃焼試験後断面

2．スギ大断面製材品の人工乾燥試験

最終含水率20%を目標に、乾燥日数を14日間とした。

乾燥機内の製材品設置場所により乾燥ムラが見られた。下部に水が落ちることから一般的に含水率が高い傾向となった。

蒸気高温セット乾燥を実施しなかったことから、表面割れは少し発生したが内部割れはほとんど発生しなかった。

今後の課題・展開等

1．広葉樹及び針葉樹構造材の防耐火性能

今回の45分準耐火性能試験結果から、広葉樹及び針葉樹各樹種のJAS無等級材を3階建て住宅及び2階建て非住宅へ使用できることを確認出来た。

このことにより、各樹種の寸法・長さ別構造人工乾燥材の在庫を確保し、各種建築物に即対応できる体制を構築する必要がある。

2．県産材の防耐火性能普及・PR

これまで行ってきた防耐火試験の結果を活用し、県産材の防耐火性能の体系化により利用者への普及に取り組む。

3．人工乾燥による材の内部割れの発生と影響

大断面製材品の防耐火性能の向上には内部割れが大きな影響を及ぼすことが今回の試験結果から明らかとなった。

現在、大断面製材品の人工乾燥については、表面割れを抑制するため蒸気による高温セット乾燥を乾燥初期に数時間行うことが一般的となっている。しかし、セット乾燥では材の内部割れが発生し易いことから、針葉樹・広葉樹それぞれの寸法ごとにセット乾燥時間による発生状況の把握と、高周波減圧乾燥との適正な組み合わせ時間などを検討し、人工乾燥方法の確立を図る必要がある。

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

低層系非住宅建築物の木造化はまだ十分でない。今後の国産材の需要喚起も念頭に、汎用性が高く中大規模木造において採用しやすいCLT高倍率耐力壁や、高倍率の耐力壁を２階以上に設置する際に使用できる階上用高耐力柱脚金物等を対象として、木質構造の諸要素技術の開発や技術資料の拡充に取り組む。今年度は、国産材CLT等木質建築部材技術開発事業では軸組工法に36㎜厚の国産材CLTを利用した15倍真壁耐力壁、国産材CLT15倍率耐力壁等の高倍率耐力壁を２階以上に使用する場合の柱頭柱脚金物を開発する。また、普及事業では、開発事業で開発した国産材CLT15倍真壁耐力壁、及び階上用柱頭柱脚金物の報告書・試験成績書を協会ホームページで公開し、非住宅木造建築物における国産材CLTの利用普及を行う。

以上の事業実施により低層系非住宅建築物の一層の木造化を図る。

実施した項目

ア．各種検討委員会とサブワーキング等を開催し、以下の事業を行った。

イ．国産材CLT等木質建築部材技術開発事業

イ.1　軸組工法CLT15倍真壁現わし耐力壁の開発

非住宅木造軸組工法建築物での国産材CLTの利用拡大を目的とし、軸組工法に36㎜の国産材CLTを利用した壁倍率15倍の真壁現わし耐力壁を開発した。

イ.2　階上用高耐力柱頭柱脚金物の開発

階上に国産材CLT15倍耐力壁やその他高倍率耐力壁を使用した場合に生じる柱の引抜き、及び梁へのめり込みの両方に対応し、柱内部に納まる上階柱脚と下階柱頭に取り付ける金物を開発した。

ウ．国産材CLT等木質建築部材技術の普及事業

開発事業の経過、結果について、報告書の作成、発表資料の作成を行った。また、開発した部材の試験成績書を協会ホームページで公開することで、非住宅木造建築物の発注者、設計者、施工者が使用出来るようにし、国産材CLTを利用した非住宅木造建築物の普及に努めた。

実施体制

実施事業		担当ワーキング	ワーキング責任者
イ　国産材CLT等木質建築部材技術開発事業	ｲ.1 軸組工法CLT15倍真壁耐力壁の開発	構造ワーキング	稲山正弘（東京大学教授）
	ｲ.2 階上用高耐力柱頭柱脚金物の開発	構造ワーキング	稲山正弘（東京大学教授）
ウ　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

ア. 低層、中層系中大規模の木造軸組工法における国産材CLTの利用拡大を念頭に、軸組工法に36㎜の国産材CLTを利用した壁倍率15倍の真壁現わし耐力壁や階上用高耐力柱頭柱脚金物について、開発担当者によるサブワーキング委員会を開催し、仕様や詳細の検討を重ねた。

イ.1　軸組工法CLT15倍真壁現わし耐力壁の開発：

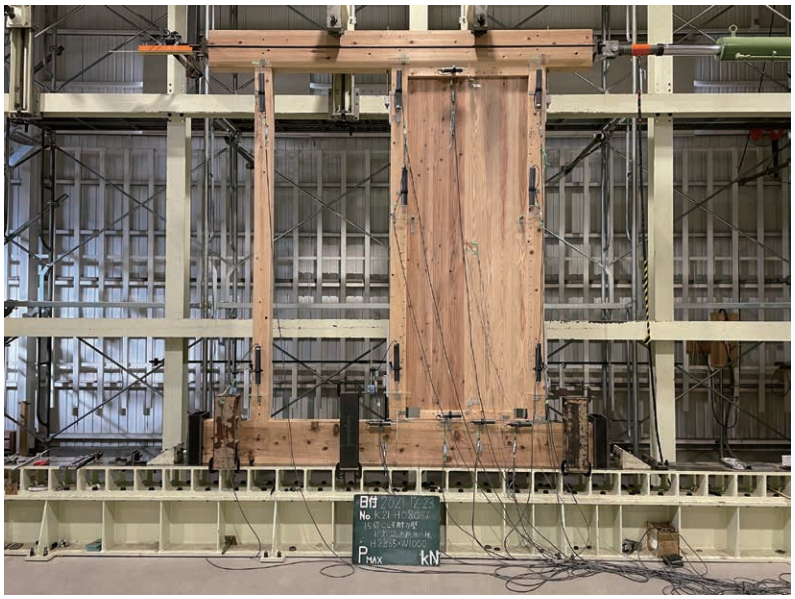
36㎜の国産材CLTを利用し、真壁で現わしにできる形状かつ、15倍の壁倍率を目標とした仕様確定、破壊性状の確認のため、予備試験を６体行った。予備試験の結果から、試験体形状を確定し、壁倍率を算出するために1P耐力壁３体と、イ.2で開発した階上用柱脚金物を採用した1P耐力壁めり込み補強仕様３体、計６体の本試験を実施して、CLT耐力壁の試験成績書を作成した。

イ.2　階上用高耐力柱頭柱脚金物の開発：

所定の引抜耐力とめり込み防止措置を併用する金物の開発を行った。引抜力に対して、柱脚プレートを介した斜めビス留めの高耐力金物で対応し、めり込み防止措置として、プレート下の横架材に構造用ビスを設けめり込み補強とした仕様を検討した。柱脚金物の形状を選定するための引張試験を11体行った。引張試験の結果から、柱脚プレートの材質、形状、ビスの本数を確定した。めり込み補強に関して横架材に構造用ビスを打ち込み、プレートで圧縮する試験を行った。スギ集成材、カラマツ集成材、スギ製材でビスの長さ、本数をパラメータとして、17仕様各３体、計51体の圧縮試験を行い、構造用ビスによるめり込み補強の効果を確認した。斜めビス高耐力金物を引張試験６体の本試験を行い、試験成績書を作成した。

ウ. 開発事業の結果報告書の作成、結果発表のための資料を作成した。開発事業の試験成績書を協会ホームページにアップロード、公開した。

CLT15倍耐力壁試験



柱脚金物引張試験

構造用ビスめり込み補強試験

実施した結果

イ.1　軸組工法CLT　15倍真壁現わし耐力壁の開発：

• 1P仕様：

正負交番繰り返し加力で３体の試験を行った。耐力壁の短期基準耐力を決定する４指標は、Pyが59.34～62.38kN、(0.2/Ds)Puが42.57～50.14kN、2/3Pmaxが67.62～72.28kN、1/150rad時が40.28～44.47kNで、1/150radが決定要因となり、短期基準せん断耐力P0は41.12kNとなった。壁倍率換算で20倍相当となった。引き切り時の破壊性状は、中柱のねじ接合部の割裂破壊、CLT欠きこみ部のせん断破壊、右柱脚部圧縮による繊維破壊などが見られた。

• 1Pめり込み補強仕様：

土台を横架材に見立て、120×300のすぎ製材とし、φ９×280、８本の構造用ビスを柱脚プレート下に打ち込み１P仕様同様に正負交番繰り返し加力で３体の試験を行った。Pyが59.15～64.24kN、(0.2/Ds)Puが45.91～48.48kN、2/3Pmaxが66.79～71.17kN、1/150rad時が42.10～46.31kNで、1/150radが決定要因となり、短期基準せん断耐力P0は42.48kNとなった。壁倍率換算で21倍相当となり1P仕様と変わらない結果となった。ビスによるめり込み補強の効果が確認された。引き切り時の破壊性状は、右柱脚部の下梁へのめり込みのほか、1P仕様同様の破壊性状が見られた。

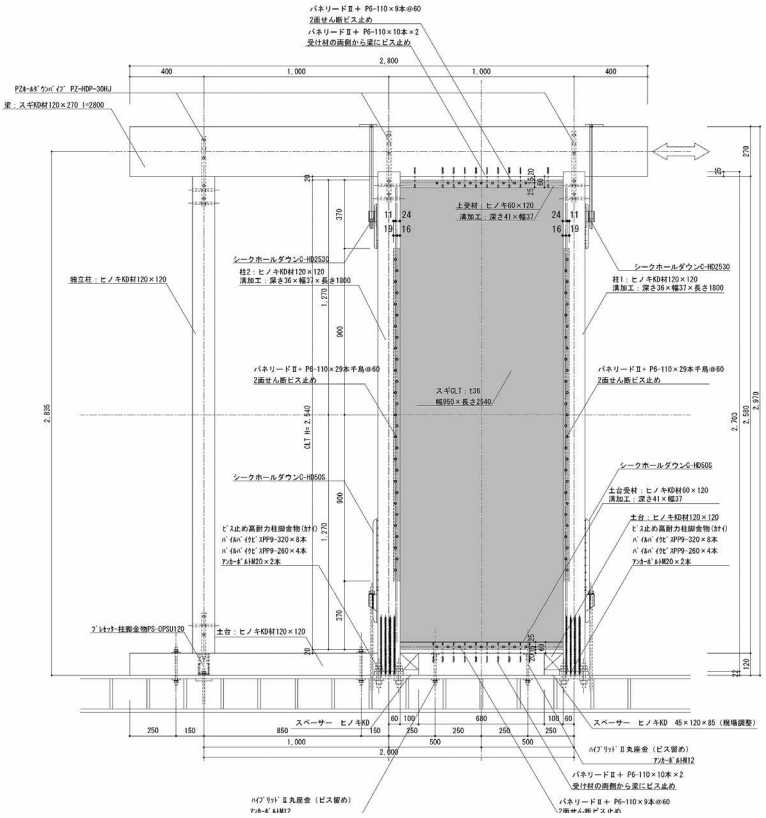
イ．2　階上用高耐力柱頭柱脚金物の開発

120×120ヒノキ製材に22㎜SN490Bのプレートを介して、構造用ビスを斜め打ちとした。単調加力１体、１方向繰り返し加力６体の試験を行った。単調加力は、同仕様の予備試験の結果を採用した。Pyが159.43～168.39kN、2/3Pmaxが163.09～171.05kNで、2/3Pmaxが決定要因となり、短期基準接合耐力は、159.24kNとなった。最終的な破壊性状は、プレートの変形を伴いながら、引張によるビスの破断が見られた。

構造用ビスによるめり込み補強について、ビス６本で補強する仕様では降伏耐力がスギ集成材で補強なし76～93kNが、補強後202～226kN，カラマツ集成材で補強なし111～136kNが、補強後341～352kNに向上した。初期剛性がスギ集成材で補強なし21～22kN/㎜が、補強後54～63kN/㎜，カラマツ集成材で40～50kN/㎜が、補強後103～116kN/㎜に向上した。破壊モードはビスの押し込み・ビスの座屈・木材の圧縮破壊の３つが確認された。圧縮面積が150mm×120mm，ビス長さが280mmのスギでは，ビス６本仕様と８本仕様で降伏耐力（約210kN）がほぼ同じであり，破壊モードがビスの押し込みから木材の圧縮に移行した。カラマツ試験体でもビス４本まではビスの座屈破壊，６本は木材の圧縮とビス座屈の複合破壊になった。

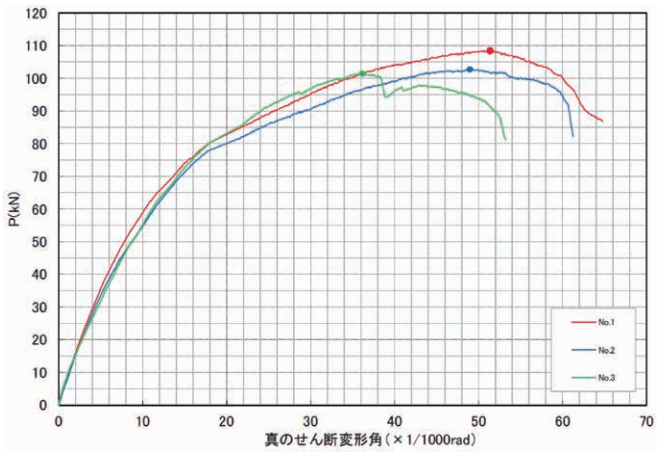
ウ．国産材CLT等木質建築部材技術の普及事業：

開発事業の結果報告書の作成、結果について発表するための資料を作成した。開発事業の試験成績書を協会ホームページにアップロード、公開した。

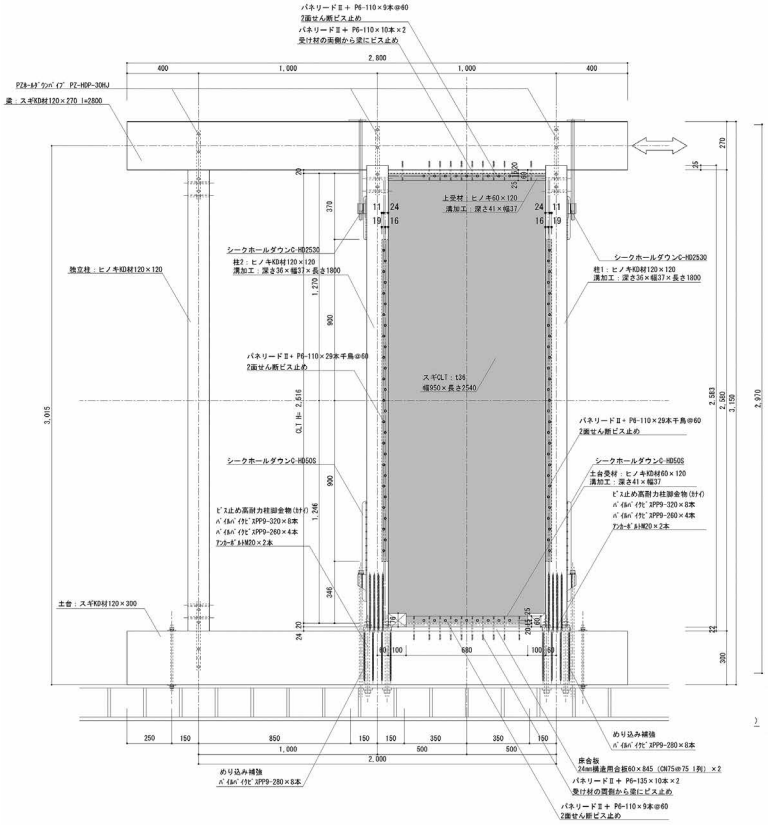


◀36㎜CLT真壁１P仕様：36㎜のCLTを柱に加工されたL＝1800の溝と、上下の受け材に加工された溝に差し込み、構造用ビスにて留め付けて真壁納まりとした。柱脚金物はイ.2で開発した金物を使用し柱勝ちとした。

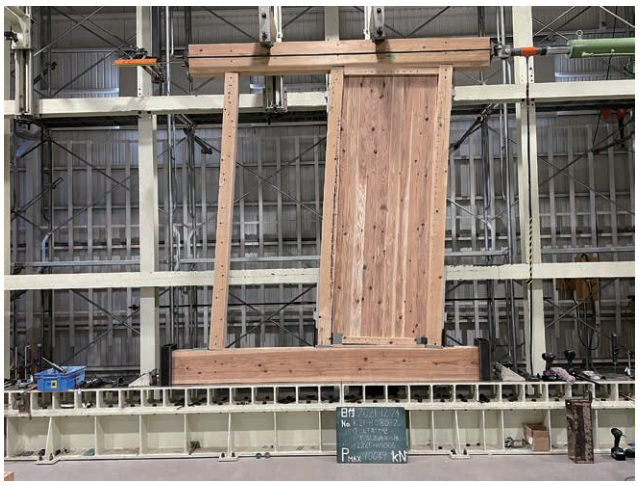
▲36㎜CLT真壁１P仕様の面内せん断試験：最終加力時の様子



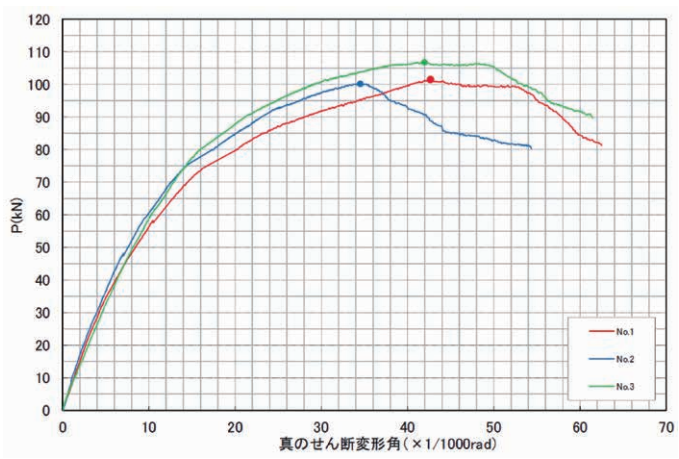
▲36㎜CLT真壁１P仕様の面内せん断試験：試験結果　荷重―変形角関係



◀36㎜CLT真壁１Ｐめり込み補強仕様：
土台を120×300のスギ製材とし、めり込み補強のビスを柱脚プレート下に打った。

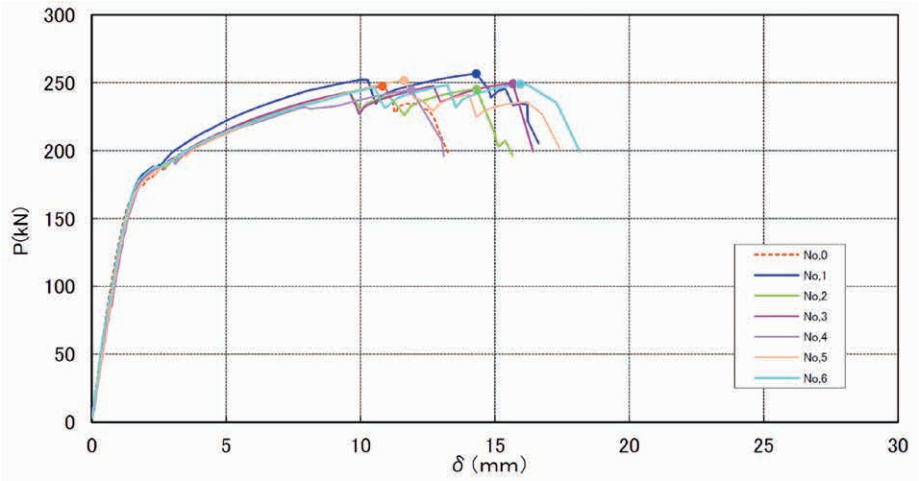


▲36㎜CLT真壁１Ｐめり込み補強仕様の面内せん断試験：最終加力時の様子



▲36㎜CLT真壁１Ｐめり込み補強仕様の面内せん断試験：試験結果　荷重―変形角曲線の包絡線

▲階上用高耐力柱頭柱脚金物：破壊性状



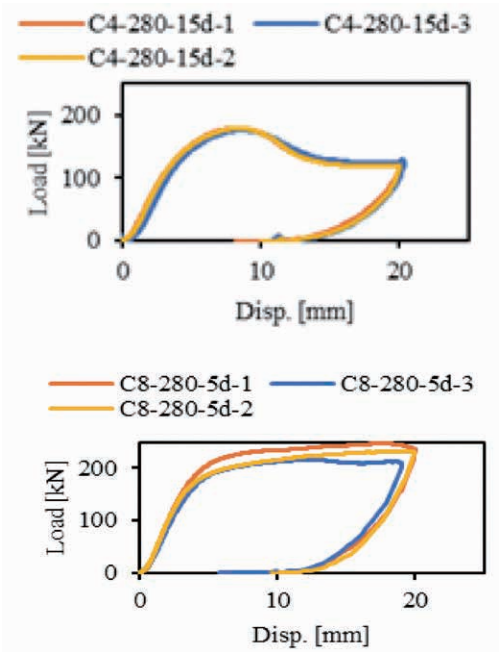
▲階上用高耐力柱頭柱脚金物の引張試験：試験結果　荷重―変位曲線の包絡線

(a) 木材の圧縮:C8-280-5d

(b) ビスの押抜:C2-280-15d

(c) ビスの座屈:L6-280-75d

▲構造用ビスによりめり込み補強された集成材の圧縮試験：試験結果　破壊性状



▲構造用ビスによりめり込み補強された集成材の圧縮試験：
試験結果　荷重変位関係（スギ，ビス４本および８本各３体）

今後の課題・展開等

今年度において開発に取り組んだ、36㎜CLT真壁耐力壁、階上用高耐力柱頭柱脚金物は次年度以降に、ホームページ上での公開を前提とした、標準図の整備を行う予定である。また実際に設計や施工を行う際の手順や組立・建方要領、注意点等の詳細を解説したマニュアルを作成し、技術資料の拡充と、一層の普及を図る。

事業

令和2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建築物の事業性開発

● 実施団体 ●

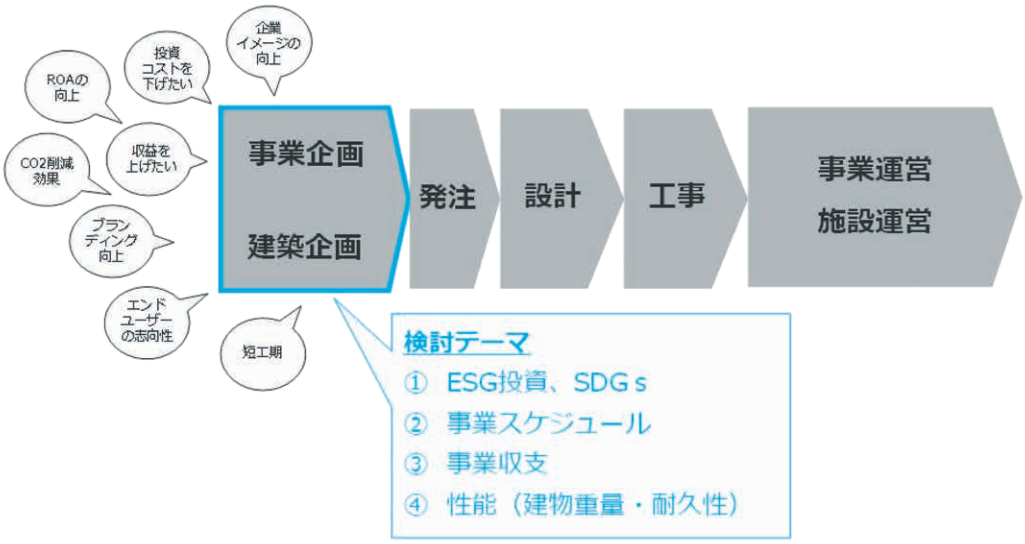
一般社団法人 日本CLT協会

〒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

これまでCLTパネル工法における性能や施工、躯体工事費については多くの調査・研究がなされ、低層の居住専用住宅の木質構造の採用は進んできているが、４階建て以上の建物でのCLT使用はほとんど見られないのが現状である。
そこで、デベロッパー等が不動産事業の実施を判断する際にどのような検討を行っているのかを調査し、CLT等の木質材料が使用されるために必要な諸データ・情報を整理し取り纏めることを目的とする。

本事業の検討領域と検討テーマ



実施した項目

本事業では、検討委員会とワーキング・グループを設置し、まずCLT等の木質構造や木質材料を使用する際にデベロッパー等が何を求めているのかをインタビューにより調査・検討した。その結果、本来検討する予定だった内容（コスト、工期、建物重量、耐久性（リスク、メンテナンス）、ESG 投資（SDGs、グリーンボンド））をより広く捉えることが必要と考え、以下の４項目について調査・検討を行った。

①デベロッパー等がESG投資、SDGs関連へ取り組む際の課題と、それに対するCLT使用の効果と可能性、国内外の動向を調査・整理
②CLT使用による、基本構想から竣工後の運営段階までの事業スケジュール全体への影響について、他構法と比較検討を含めた調査
③CLT使用による、建設コストだけでなく運営収益を含めた事業収支全体への影響について事例調査、他構法との建設コストの比較検討
④RC造、S造と比較した場合の耐久性・耐震性・遮音・防耐火等の性能、CLTが使用された場合の歩掛りと市場規模の試算

実施体制

CLT建築物の事業性開発検討委員会、ワーキング・グループ

■委員長

追手門学院大学 基盤教育機構 准教授	青島啓太

■委員

東京大学 工学系研究科建築学専攻 特任准教授	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

■行政

林野庁 木材産業課 課長補佐	日向潔美
林野庁 木材産業課 木材専門官	増田莉菜

■ワーキング・グループ委員

レンドリース・ジャパン株式会社	平川正毅
銘建工業株式会社	中島　洋
一般財団法人 日本不動産研究所	西岡敏郎
株式会社農林中金総合研究所	安藤範親
三井不動産株式会社	芝　康行

■オブザーバー

三井不動産株式会社	須田英男
一般財団法人日本不動産研究所	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、ワーキング・グループを設置し、委員の方々から意見をいただくとともに、国内外の事例について調査及びデベロッパー等関係者へのインタビュー調査を行った。

①デベロッパー等は気候変動対策や脱炭素に向けた取り組みが経営課題となっている中で、木質材料やCLT等の木質構造が使用されるために必要な情報の整理、国内外の動向についての事例調査、インタビュー調査を実施した。

②工程に関する既往研究の整理、モデルプランによる他構法との事業スケジュールの比較検討を実施した。また、木質構造採用の意思決定時期と木質材料の使用量の関係性、調達期間や必要なプレイヤーの参画時期など生産プロセスを整理することで、CLTを使用するための事業スケジュール全体について明確にした。

③建設コストに関する既往研究の整理、モデルプランによるCLT建築物とRC壁式構造との建設コスト比較を実施した。また、CLT等の木質構造採用による運営収益を含めた事業収支全体への影響を調査した。

④デベロッパー等が共同住宅事業や賃貸オフィス事業で検討している性能項目及び木質構造に対して不安を感じている性能項目をインタビューにて調査し、該当項目に関する既往研究の整理を行った。また、事業性検討の際に必要となる床面積当たりの木材使用量について、複数の事例から歩掛りの試算を行い、その歩掛りを用いて市場規模について試算を実施した。

これらの概要をまとめ、デベロッパー及び企業経営層向けにパンフレットを制作する。

各テーマにおける検討の方向性

報告書テーマ	検討の方向性	インタビュー結果（議事録一部抜粋）
ESG投資 SDGｓ ｸﾞﾘｰﾝﾎﾞﾝﾄﾞ	**ESG投資等の潮流の中で、木質を採用する効果の明確化** ①国内のESG投資やSDGs等の動向整理 ②木質採用のメリットの明確化 ③LCCO2の削減効果の定量的な整理	・各社、SBTにおけるスコープ3の達成に向けて躍起になっている。SBTを申請すると、スコープ3のカーボンニュートラルも実現する必要があり、そのためには建材をつくるときに必要となったCO2、建築時のCO2排出量を限りなく0に近づける必要がある。 ・今後は環境アセットではないものを選ぶリスクが大きくなるのではと考えた。グループの社長が世界中を廻って若いスタッフにインタビューを行った。20代、30代では、環境に関する感度が50代とは違ってきており、20代、30代が選ぶワークプレイスはこれまでと異なってくるのではないかと考えた。 ・森林の蓄積量が多くなっており、森林資源の循環を生む取り組みが必要ということを伝えている。このままだとこの国に住めなくなるという話も出てきており、今後デベロッパーが各地域に対して何ができるかということを伝えなければならない。CO2の固定量は算出しやすいが、どの程度木造化したらどの程度のCO2削減量になるのかが算出しづらい。そうした基準が公から明確に示されると良い。
事業スケジュール（工期）	**事業全体（企画、設計、製材発注、許認可、建設、竣工後）のスケジュールでの検討が必要** ①合理的な工期短縮に向けたポイント整理 ②テナントリーシングとの関係 ③デメリット（工期が長くなる工種）の有無 ④他構法との比較 ⑤事業スケジュールにおけるマイルストーンの整理	・企画から施工まで社内で一括して行っており、その中で木造に特化した協力会社（ティンバーコントラクター）と連携する形が主流と思う。ティンバーコントラクターとアーキテクトファームやエンジニアリングが連携することで、早期かつシームレスに製造工程に入ることができている形と思う。
事業収支（コスト）	**建設工事費のみではなく、事業収支全体でのコスト検討が必要** ①CLT採用による事業収支全体（運営収益、運営費用、初期投資費）への影響の明確化 ②他構法との比較 ③概算工事費算出に必要な情報整理	・木を多く使用した場合、賃料が高く取れる、空室期間が短くなる、「良質の」テナントが入る、キャップ・レートが低く評価できるといった情報が提供できれば有用と考える。またコストについても「高くなる」という印象があるようなので、どの程度コストが高くなるかをライフサイクル全体で示すことができれば良い。
性能に関する特長（建物重量、耐久性）	**不明確な点の明確化が必要** ①性能面における不明確要素の明確化 ②木質採用における歩掛りと市場規模	・木の採用にあたっては、耐震性や耐久性等の性能を満たすことが施工者側で確約できる必要がある。RC造・S造では長年の蓄積された実績があり、同じレベルへCLTや木造が追いつくには、まだ時間がかかるのではないかと考えている。 ・電気・空調関係で配管が梁貫通できないこと、また、大スパンにできないため、居室内に柱が出てくるので、梁柱をよけて配管をまわす必要があることが課題となっている。

※下線部は継続的な調査を要する検討項目

①ESG

国内大手デベロッパーのカーボンニュートラルへの取り組みに関する調査結果

デベロッパー	CO2削減量に関する目標	SBT認定取得 (2021.11現在)	RE100加盟 (2021.11現在)	TCFD賛同表明 (2021.10現在)
A社	2019年度比で、GHG排出量を2030年度までに30%削減、2050年度までにネットゼロ	●	●	●
B社	CO2排出量（Scope1+2+3）を2017年度比で2030年までに35%削減、2050年までに87%削減	●	●	●
C社	-	-	-	●
D社	・事業拠点における床面積あたりのCO2排出量を、2030年度までに、2005年度比で30%削減。 ・保有する不動産ポートフォリオにおける床面積あたりのCO2排出量を、2030年度までに、2005年度比で30%削減	●	●	●
E社	・Scope1・2および3（カテゴリ1・11）の排出量を、総量で2019年度比、2030年までに35%削減。 ・Scope1・2および3（カテゴリ1・11）の排出量を、総量で2019年度比、2025年までに15%削減。	●	-	●
F社	CO2排出量2025年までに40%、2030年までに45%、2050年までに100%削減（基準年：2013年）	-	●	●

※SBT：SBT（Science Based Targets）は、パリ協定が求める水準と整合した、5年～15年先を目標年として企業が設定する温室効果ガス排出削減目標。

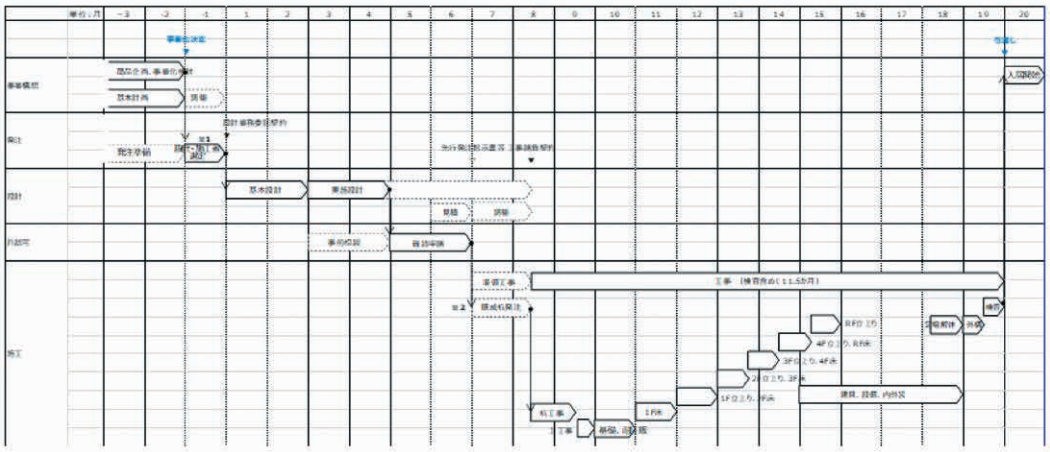
※RE100：Renewable Electricity 100%の略。事業で使用する電力を100%再エネ化することを目標とする企業連合。

※TCFD：気候関連財務情報開示タスクフォース（Task Force on Climate-related Financial Disclosures）。TCFDは、企業等に対し気候変動関連リスク及び機会に関する項目として、ガバナンス、戦略、リスク管理、指標と目標について情報開示することを推奨している。

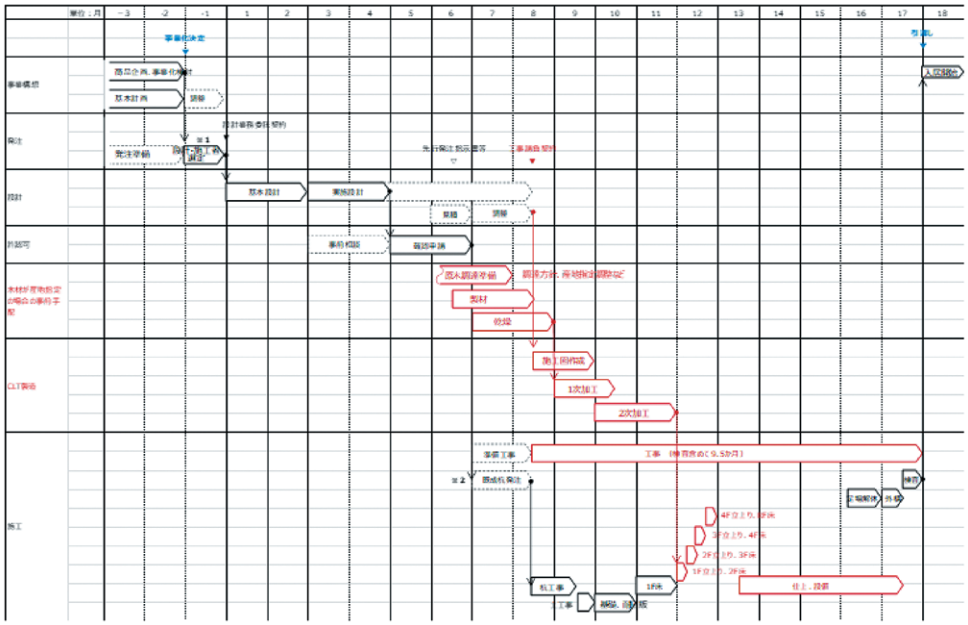
②事業スケジュール

地上４階建ての共同住宅のモデルプランを基に、RC壁式構造とCLTパネル工法それぞれのモデルスケジュールを作成し比較検討を行った。

RC造



CLT造



③事業収支

CLTパネル工法とRC壁式構造での工事費比較

項目			CLTパネル工法			RC壁式構造		
			金額[円]	坪単価[円/延坪]	構成比[%]	金額[円]	坪単価[円/延坪]	構成比[%]
A	建築工事費		118,167,592	720,974	74.3%	117,327,112	715845.71	74.3%
	A-1 直接仮設		3,490,145	21,294	2.2%	4,563,385	27,842	2.9%
	A-2 土工		806,124	4,918	0.5%	1,115,676	6,807	0.7%
	A-3 地業		130,060	794	0.1%	20,790,900	126,851	13.2%
	A-4 躯体工事 小計		57,340,808	349,852	36.1%	48,752,716	297,454	30.9%
		・CLT躯体工事	48,078,390	293,340	30.2%	0	0	0.0%
		・鉄筋	948,500	5,787	0.6%	5,372,920	32,782	3.4%
		・コンクリート	7,332,784	44,739	4.6%	29,718,194	181,319	18.8%
		・型枠	981,134	5,986	0.6%	13,661,602	83,353	8.6%
	A-5 仕上げ工事 小計		56,400,455	344,115	35.5%	42,104,435	256,891	26.6%
B	電気設備工事費		4,978,000	30,372	3.1%	4,978,000	30,372	3.2%
C	設備工事（屋外）給排水		705,539	4,305	0.4%	705,539	4,305	0.4%
D	設備工事（屋内）給排水		1,210,776	7,387	0.8%	1,210,776	7,387	0.8%
E	昇降機設備		4,415,400	26,940	2.8%	4,415,400	26,940	2.8%
	直接工事費 合計		129,477,307	789,977	81.4%	128,636,827	784,849	81.4%
F	共通仮設費		3,689,748	22,512	2.3%	3,664,449	22,358	2.3%
G	現場管理費		8,763,328	53,468	5.5%	8,715,783	53,177	5.5%
H	一般管理費		17,063,932	104,112	10.7%	16,977,256	103,583	10.7%
	工事費合計（税抜き）		158,994,315	970,069	100.0%	157,994,315	963,968	100.0%
消費税相当額（10%）			15,899,432	97,007		15,799,432	96,397	
	工事費合計（税込み）		174,893,747	1,067,076		173,793,747	1,060,365	

※CLT/RC＝ 1.006

実施した結果

多くの既往研究や事例について、デベロッパー等が事業性を検討する際に使用される形式で再整理することができた。これにより、デベロッパー等の経営層から担当者の理解促進、CLT使用のための情報が整った。

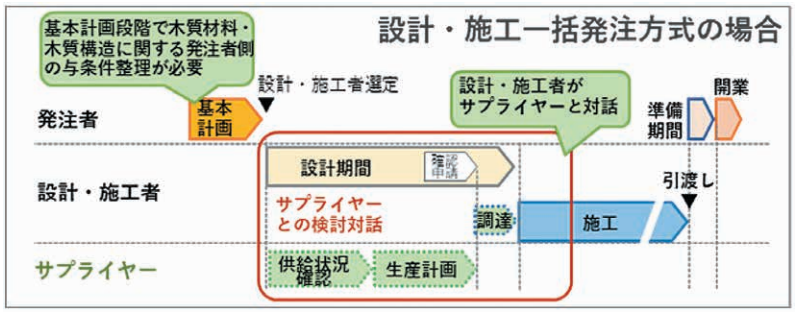
①ESG投資、SDGs

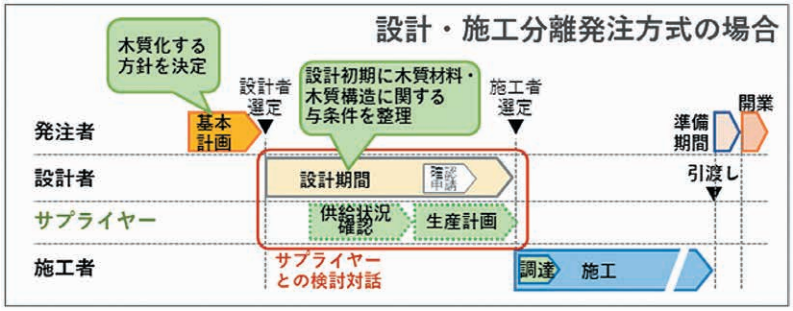
デベロッパー等が気候変動対策や脱炭素に向けた取り組みを行うために、建築物の木質材料の使用は検討をすべき重要な要素であることがわかった。ただし、現在ではCLT使用による環境に関するメリットを定量的に示すことができないため、普及に至っていない。統一された基準や計算方法の確立が求められていることが明らかとなった。

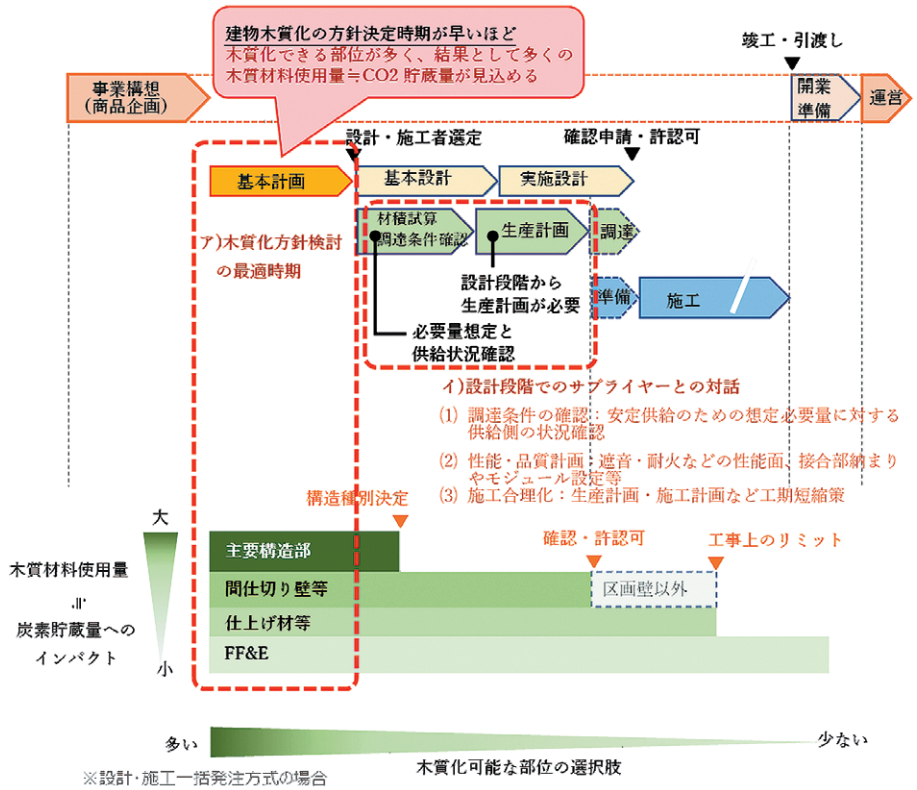
②事業スケジュール

CLTの調達期間については、産地指定をしなければ、S造における鉄骨ロール発注と概ね同じと考えられることがわかった。木材の調達及び合理的な設計のためには、設計段階において供給見通しの確認と施工性の検討を実施するサプライヤーの参画が必要であり、そうした情報提供や技術協力ができる技術者の育成が望まれていることがわかった。

事業スケジュールと発注手法



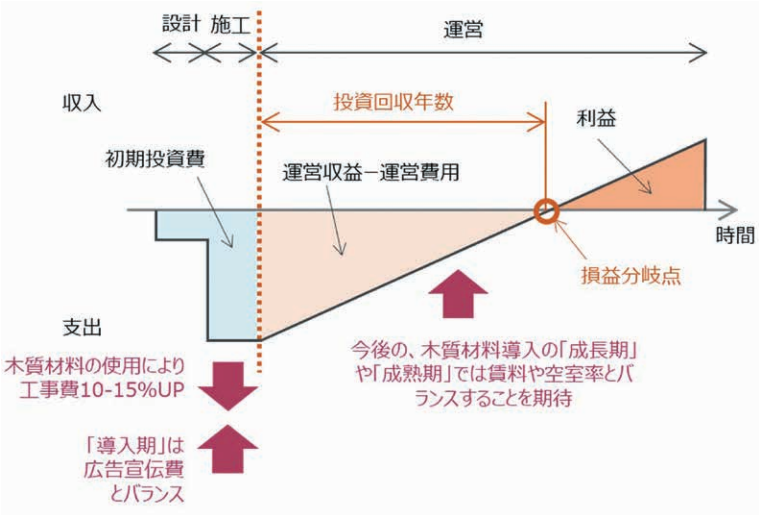




③事業収支

3階建て共同住宅をモデルケースとしてCLT造とRC造で建設コスト比較を行ったところ、工事費全体ではほぼ同額となった。また、建物の一部を木質構造とした事例調査では、建設コストの増加率は10-15%であり、事業収支全体でバランスが取れる範囲であることがわかった。また、適切に木質材料を使用すれば、竣工後の修繕費、維持管理費についてもRC造やS造と同程度であることがわかった。

木質構造の使用と運営収益の関係については事例が少ないため定量的に示されていないが、今後の情報蓄積が望まれている。



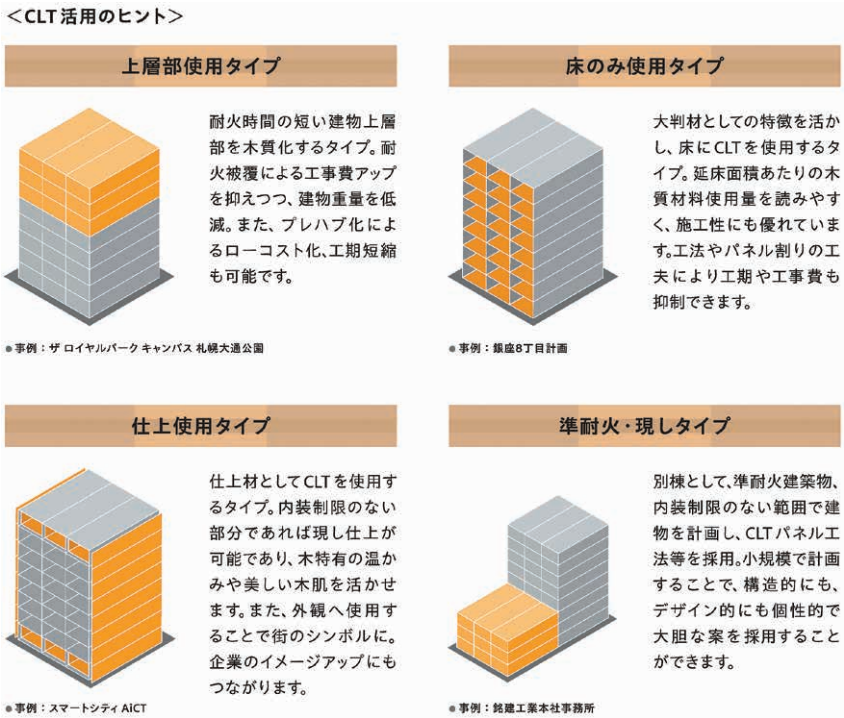
④性能に関する特長（建物重量、耐久性）

木質構造に積極的に取り組んでいる設計者、施工者には技術開発、実績が蓄積されており、性能に関して他構法と比べて遜色ないことが明らかとなった。

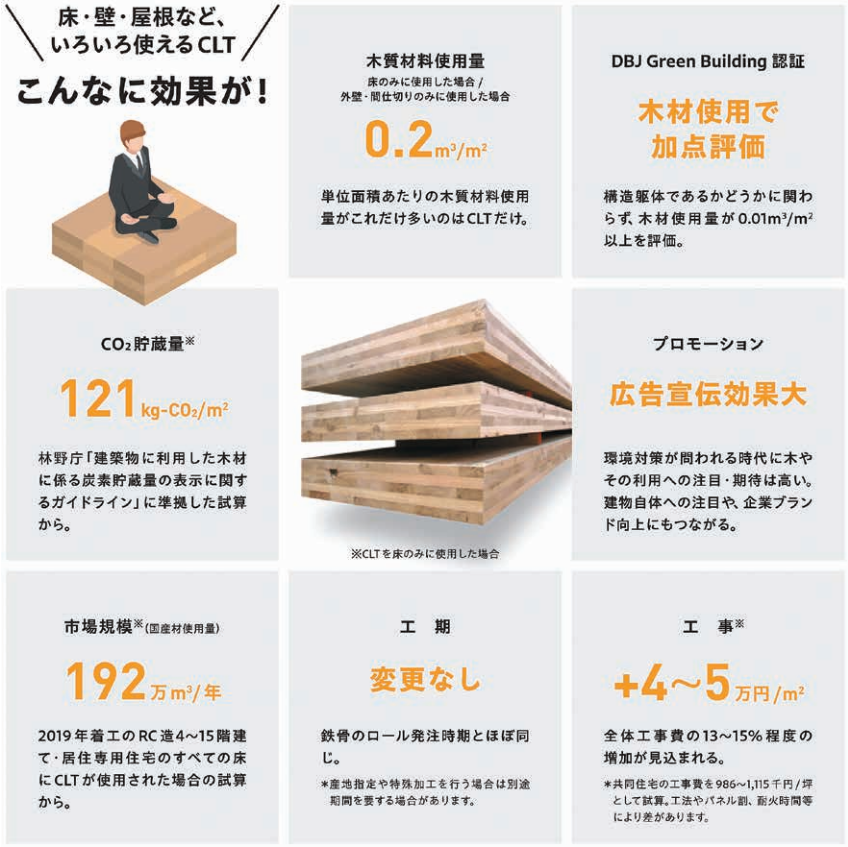
まだ木質構造に関して実績のない設計者、施工者が多いことから、標準化の推進、技術のオープンソース化による裾野を広げる活動が求められている。

また、4階建て以上の建築物においては、建物全体を木質構造とするのではなく、CLTの特長を活かせる部分に取り入れることが、事業収支上もバランスが取りやすいことがわかった。これらの結果をデベロッパー及び企業経営層向けにまとめ、パンフレットを制作した。1,000部印刷し、順次配布する予定。

CLTの特長を活かし、事業収支のバランスも考慮した使用パターン例



CLTを使用した場合のシミュレーション
床のみや壁のみの部分採用であってもこれだけの効果があることが明らかとなった。



今後の課題・展開等

現在、CLT等の木質材料及び木質構造が注目されているのは気候変動対策や脱炭素の側面であり、デベロッパー等において、この分野に関する意思決定権は建築技術者ではなく、経営層やESG推進部門にある。

よってCLTを従来の建材の一つとして訴求するのではなく、気候変動対策や脱炭素へ寄与する選択肢の一つとして様々な企業の経営層に認識してもらうことが、普及の鍵になることがわかった。

本年度の調査内容について、経営層向けに継続した普及活動が必要である。

また、環境の側面に関するCLTの有効性を定量的に示すことが求められており、建設時CO_2排出量等に関する統一された基準や計算方法の確立が期待されている。

また事業収支においては、運営開始以降の収益性に関しては実例が少なく、情報も公開されないため、デベロッパー等にとっては不確定要素と捉えられている。CLT建築物の収益性に関する情報の蓄積も望まれている。

事業

CLT建築物の環境性能の評価とエンドユーザーへの周知

● 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

持続可能な開発・社会への推進には環境により優しい資源である木材の有効性を周知し、その利用を促進する必要がある。そのためにCLT建築物のLCA(Life cycle assessment)を実施し、環境負荷量を定量的に評価する。さらに、同一仕様の他工法建築物と比較することで、CLT建築物の環境性能の優位性を明確にする。これらの情報をエンドユーザーに伝える資料として取り纏め、CLT建築物の普及を促進することを目的とする。

実施した項目

本事業の検討委員会を設置し､以下のスケジュールに従ってCLT建築物のLCA(Life cycle assessment)を実施、他工法との比較と評価を行った。また、これらの結果をより多くのユーザーに周知できるよう資料を作成した。

1）検討委員会および作業部会（以下WGとする）を開催し、対象となる建築物の仕様・プランを第1回検討委員会で検討・決定した。
2）設計事務所に、検討委員会で承認された建築物の仕様・プランを元にした意匠設計図書・構造設計図書を依頼した。
3）積算事務所に完成した設計図書類を送付し、積算を依頼した。
4）CLT関連等の材積量、施工人工関連の積算は事務局で行った。
5）設計事務所で作成された図書と積算結果をLCAコンサルタントに渡し、部材数量の算出や原単位、環境の定量評価を依頼した。
6）環境影響評価の結果の検討・まとめを検討委員会で行い、報告書を作成した。また、算出結果をエンドユーザーへ周知する資料などの作成も同時に行った。

実施体制

委員長	中島　史郎	宇都宮大学地域デザイン科学部　教授
委員	小原　　忠	一般社団法人高知県木材協会　専務理事
	小林　謙介	県立広島大学生物資源科学部生命環境学科　准教授
	中越　隆道	中越建築設計事務所一級建築士事務所　代表
	中野　勝行	立命館大学政策科学部　准教授
	西岡　敏郎	一般財団法人日本不動産研究所業務部　上席主幹
	渡邉須美樹	株式会社木構研　代表取締役
コンサルタント	瓦口　泰一	株式会社アーキテック・コンサルティング　代表取締役社長
オブザーバー	大浦　悠都	一般財団法人日本不動産研究所
	三森麻里子	株式会社アーキテック・コンサルティング

事務局	坂部　芳平	一般社団法人日本CLT協会　専務理事
	河合　　誠	一般社団法人日本CLT協会　顧問
	森田　　聖	一般社団法人日本CLT協会　業務推進部
	上田摩耶子	一般社団法人日本CLT協会　業務推進部

実施した内容

1）本事業の検討委員会において、LCAを実施するプラン・仕様を実施し、決定した。

- CLT建築物とRC建築物を同一プランで検討する。
- 木の現しを多用するため、3階建て共同住宅を選んだ。軒高9m以下のルート1計算とする。
- プランは長期優良住宅認定基準に適合する設計とする。それに伴い、建築物運用期間は100年とした。
- 積算の際にコストも算出し、2021年1月時点の価格を適用する。
- 本事業のライフサイクルの試算範囲を決定する。
- 本事業ではLCAの温室効果ガス排出量および建設時のコストを検討する。

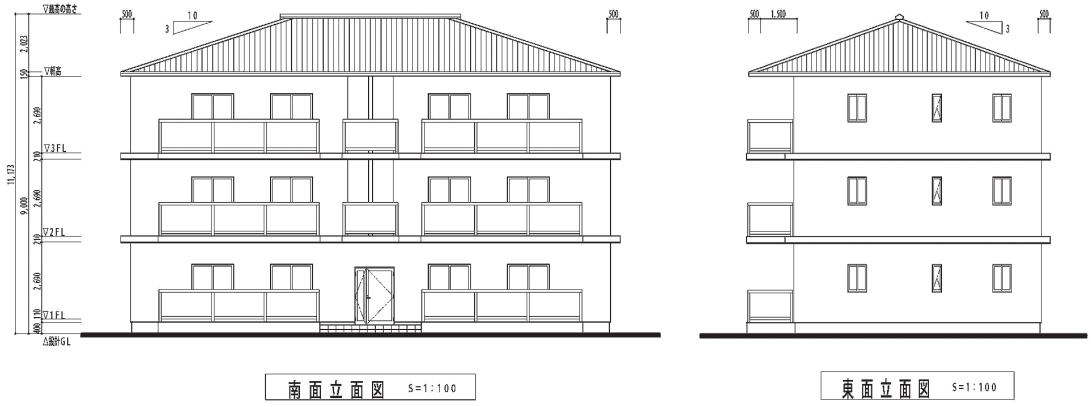


図1　検討プランの立面図

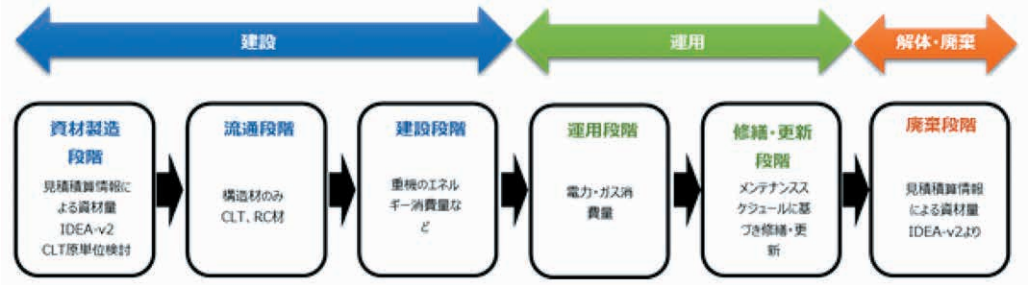
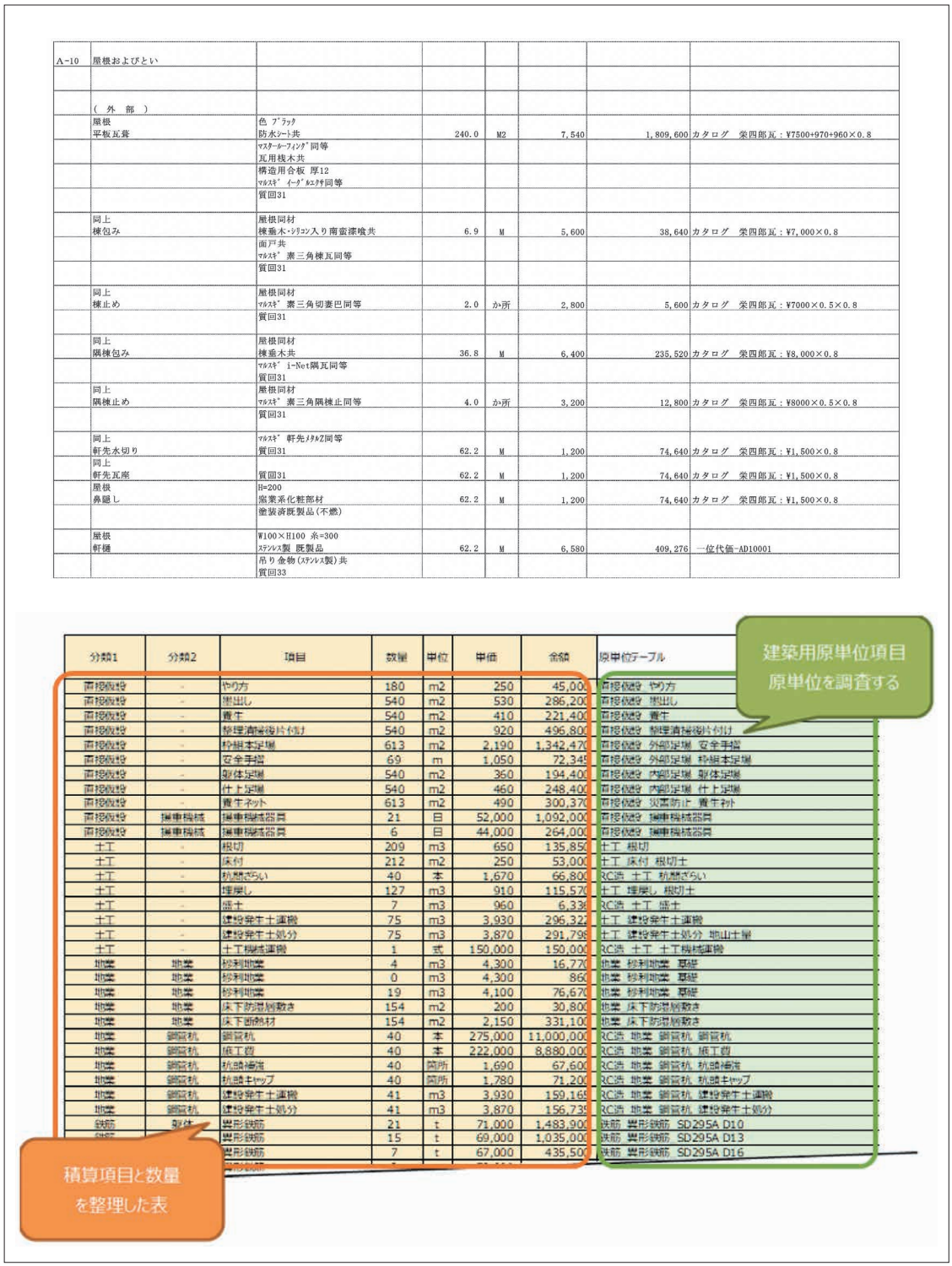


図2　本事業におけるライフサイクル試算範囲

2）CLT建築物の木造部分以外の部材とRC建築物全体の積算を積算事務所で行った。CLTの躯体等木造部分の部材及び施工・設備関係の人工数、コスト等の算定は事務局で行った。



A-10	屋根および とい						
	（ 外 部 ）						
	屋根 平板瓦葺	色 ﾌﾞﾗｯｸ 防水シート共	240.0	M2	7,540	1,809,600	カタログ 栄四郎瓦：¥7500+970+960×0.8
		ﾏｽﾀｰﾙｰﾌｨﾝｸﾞ同等 瓦用桟木共					
		構造用合板 厚12 ﾏﾙｽｷﾞ ｲｰｸﾞﾙｸﾞﾘ同等					
		質回31					
	同上 棟包み	屋根同材 棟垂木・ｼﾘｺﾝ入り 南蛮漆喰共	6.9	M	5,600	38,640	カタログ 栄四郎瓦：¥7,000×0.8
		面戸共 ﾏﾙｽｷﾞ 素三角棟瓦同等					
		質回31					
	同上 棟止め	屋根同材 ﾏﾙｽｷﾞ 素三角切妻巴同等	2.0	か所	2,800	5,600	カタログ 栄四郎瓦：¥7000×0.5×0.8
		質回31					
	同上 隅棟包み	屋根同材 棟垂木共	36.8	M	6,400	235,520	カタログ 栄四郎瓦：¥8,000×0.8
		ﾏﾙｽｷﾞ i-Net隅瓦同等 質回31					
	同上 隅棟止め	屋根同材 ﾏﾙｽｷﾞ 素三角隅棟止同等	4.0	か所	3,200	12,800	カタログ 栄四郎瓦：¥8000×0.5×0.8
		質回31					
	同上 軒先水切り	ﾏﾙｽｷﾞ 軒先ﾒﾀﾙZ同等 質回31	62.2	M	1,200	74,640	カタログ 栄四郎瓦：¥1,500×0.8
	同上 軒先瓦座	質回31	62.2	M	1,200	74,640	カタログ 栄四郎瓦：¥1,500×0.8
	屋根 鼻隠し	H=200 窯業系化粧部材	62.2	M	1,200	74,640	カタログ 栄四郎瓦：¥1,500×0.8
		塗装済既製品（不燃）					
	屋根 軒樋	W100×H100 糸=300 ｽﾃﾝﾚｽ製 既製品	62.2	M	6,580	409,276	一位代価-AD10001
		吊り金物（ｽﾃﾝﾚｽ製）共 質回33					

分類1	分類2	項目	数量	単位	単価	金額	原単位テーブル
直接仮設	-	やり方	180	m2	250	45,000	直接仮設 やり方
直接仮設	-	墨出し	540	m2	530	286,200	直接仮設 墨出し
直接仮設	-	養生	540	m2	410	221,400	直接仮設 養生
直接仮設	-	整理清掃後片付け	540	m2	920	496,800	直接仮設 整理清掃後片付け
直接仮設	-	枠組本足場	613	m2	2,190	1,342,470	直接仮設 外部足場 安全手摺
直接仮設	-	安全手摺	69	m	1,050	72,345	直接仮設 外部足場 枠組本足場
直接仮設	-	躯体足場	540	m2	360	194,400	直接仮設 内部足場 躯体足場
直接仮設	-	仕上足場	540	m2	460	248,400	直接仮設 内部足場 仕上足場
直接仮設	-	養生ネット	613	m2	490	300,370	直接仮設 災害防止 養生ネット
直接仮設	揚重機械	揚重機械器具	21	日	52,000	1,092,000	直接仮設 揚重機械器具
直接仮設	揚重機械	揚重機械器具	6	日	44,000	264,000	直接仮設 揚重機械器具
土工	-	根切	209	m3	650	135,850	土工 根切
土工	-	床付	212	m2	250	53,000	土工 床付 根切土
土工	-	机際ざらい	40	本	1,670	66,800	RC造 土工 机際ざらい
土工	-	埋戻し	127	m3	910	115,570	土工 埋戻し 根切土
土工	-	盛土	7	m3	960	6,336	RC造 土工 盛土
土工	-	建設発生土運搬	75	m3	3,930	296,322	土工 建設発生土運搬
土工	-	建設発生土処分	75	m3	3,870	291,798	土工 建設発生土処分 地山土量
土工	-	土工機械運搬	1	式	150,000	150,000	RC造 土工 土工機械運搬
地業	地業	杭利地業	4	m3	4,300	16,770	地業 杭利地業 基礎
地業	地業	杭利地業	0	m3	4,300	860	地業 杭利地業 基礎
地業	地業	杭利地業	19	m3	4,100	76,670	地業 杭利地業 基礎
地業	地業	床下防湿層敷き	154	m2	200	30,800	地業 床下防湿層敷き
地業	地業	床下断熱材	154	m2	2,150	331,100	地業 床下防湿層敷き
地業	鋼管杭	鋼管杭	40	本	275,000	11,000,000	RC造 地業 鋼管杭 鋼管杭
地業	鋼管杭	施工費	40	本	222,000	8,880,000	RC造 地業 鋼管杭 施工費
地業	鋼管杭	杭頭補強	40	箇所	1,690	67,600	RC造 地業 鋼管杭 杭頭補強
地業	鋼管杭	杭頭キャップ	40	箇所	1,780	71,200	RC造 地業 鋼管杭 杭頭キャップ
地業	鋼管杭	建設発生土運搬	41	m3	3,930	159,165	RC造 地業 鋼管杭 建設発生土運搬
地業	鋼管杭	建設発生土処分	41	m3	3,870	156,739	RC造 地業 鋼管杭 建設発生土処分
鉄筋	配筋	異形鉄筋	21	t	71,000	1,483,900	鉄筋 異形鉄筋 SD295A D10
		異形鉄筋	15	t	69,000	1,035,000	鉄筋 異形鉄筋 SD295A D13
		異形鉄筋	7	t	67,000	435,500	鉄筋 異形鉄筋 SD295A D16

図３　積算表

3）資材製造段階、流通段階、建設段階、修繕・更新段階、廃棄段階の温室効果ガス排出量については、積算資料より資材数量・人工数および重機を用いる工事費用などを整理し、IDEA Ver.2.3における原単位データベースと紐づけて算定した。一方、運用段階におけるエネルギーの使用量については、「建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律（建築物省エネ法）」における住宅の省エネルギー基準の算定基準である一次エネルギー消費量算定方法より、エネルギー消費量を算出した。

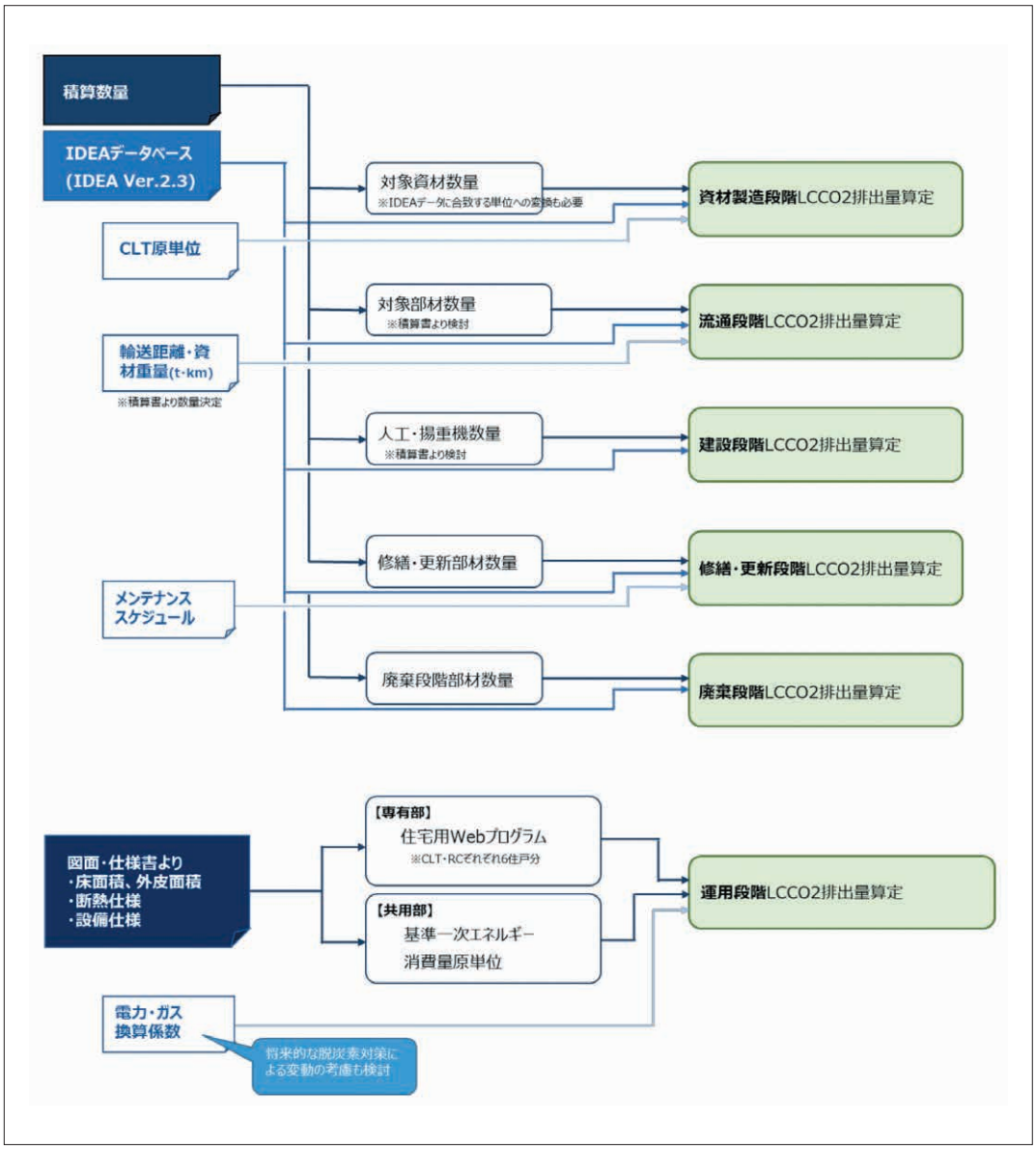


図４　LCA算定フロー

４）本事業で得られたデータや結果をまとめ、デベロッパー、不動産関連業界等へ周知する資料を作成した。

実施した結果

■建設時段階の温室効果ガス排出量

資材製造における温室効果ガス排出量をみると、CLT建築物で278 t-CO_2eq 、RC建築物で357 t-CO_2eq となった。躯体材料については、RC建築物のコンクリートにおける排出量とCLT建築物におけるコンクリートとCLTパネルによる排出量の差は約100 t-CO_2eq となった。RC建築物においては鉄筋及び鋼管杭による排出量が大きい。また、流通（輸送）に関する排出量としては、CLT建築物で20.9 t-CO_2eq 、RC建築物で16.5 t-CO_2eq となり、CLT建築物の方が大きかった。人工（人・サービス）と建設機械の試算結果は参考値として扱う。

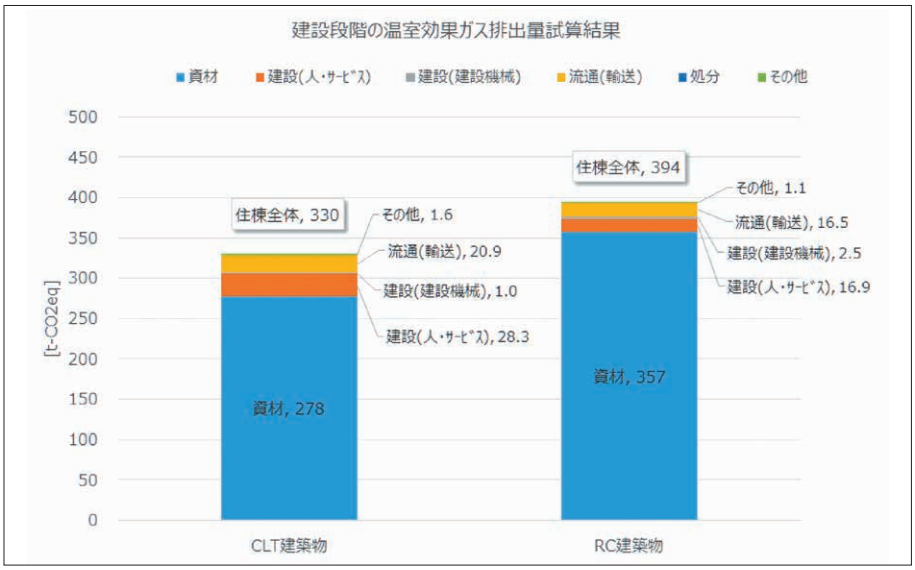


図５　建設時の温室効果ガス排出量試算結果

■修繕・更新段階の温室効果ガス排出量

検討委員会で決定した修繕・更新スケジュールに基づいたライフサイクルにおける温室効果ガス排出量の総計は、CLT建築物で 280.5 t-CO_2eq 、RC建築物で 264.9 t-CO_2eq となった。

表１　修繕・更新スケジュール

分類	項目	材質・仕様等	10年	15年	20年	25年	30年	35年	40年	45年	50年	55年	60年	65年	70年	75年	80年	85年	90年	95年	100年
屋根	平葺・マスタールーフィング	改質アスファルト									交換										
	合板、垂木、瓦桟	木材									交換										
	樋・集水器	塩化ビニル					交換						交換						交換		
	漆喰	消石灰					詰直し						詰直し						詰直し		
	鼻隠し	ケイカル板　塗装		塗装						塗装							塗装				
	鼻隠し	ケイカル板					交換						交換						交換		
	水切り	ステンレス					交換						交換						交換		
	透湿防水シート	ポリエチレン			交換				交換				交換				交換				
	防水テープ	ブチルテープ			交換				交換				交換				交換				
	水切り(一階土台違具間)	アルミ			交換				交換				交換				交換				
庇・軒・樋	硬質木片セメント板	木片、セメント					交換						交換						交換		
	シート塗布併用防水			塗り直し			塗り直し			塗り直し			塗り直し				塗り直し		塗り直し		
	勾配材	木材					交換						交換						交換		
	捨て板金	亜鉛鉄板			交換				交換				交換				交換				
	鼻隠し	ケイカル板					交換						交換						交換		
バルコニー	硬質木片セメント板	木片、セメント				交換				交換					交換				交換		
	シート塗布併用防水			塗り直し			塗り直し			塗り直し			塗り直し				塗り直し		塗り直し		
	柱・横材・面材・勾配	木材								交換									交換		
	水切り	亜鉛鉄板			交換				交換				交換				交換				
	金物、ビス・ネジ	鉄、ステンレス								交換									交換		
	笠木	アルミ								交換									交換		
	樋・集水器	塩ビ　塗装					交換						交換						交換		
	建具取り合い,ｼｰﾘﾝｸﾞ	変成シリコーン		塗装			塗装			塗装			塗装			塗装			塗装		
床	合板フローリング	ポリエチレン発泡体、合板	貼替		貼替		貼替		貼替		貼替		貼替		貼替		貼替		貼替		
	合板、ﾊﾟｰﾃｨｸﾙﾎﾞｰﾄﾞ、巾木等	木材									交換										
	支持脚	プラスチック・ゴム									交換										
	遮音マット	特殊非加硫ゴム									交換										
天井・壁内装	ビニールクロス貼り　天井	塩ビ、パルプ					貼替					貼替					貼替				
	廻り縁　天井	塩ビ					貼替					貼替					貼替				
	ビニールクロス貼り　壁	塩ビ、パルプ					貼替					貼替					貼替				
	コーナービート　壁	塩ビ					貼替					貼替					貼替				
	ビニールクロス貼り　開仕切り壁	塩ビ、パルプ					貼替					貼替					貼替				
建具	サッシ	アルミ樹脂複合							交換								交換				
	金物・ドア・カーテンレール	アルミ、ステンレス							交換								交換				
	窓ガラス、ドアガラス	-							交換								交換				
	網戸	ポリプロピレン							交換								交換				
	木製・木材・合板	木材							交換								交換				
	樹脂シート・オレフィンシート	-							交換								交換				
	アルミドア・金具	アルミ							交換								交換				
階段室	モルタル	モルタル							塗り直し												
	シート防水	アスファルト系		貼替			貼替		貼替			貼替			貼替				貼替		
	タイル	磁器質				貼替			貼替				貼替					貼替			
	硬質木片セメント板	木片、セメント							交換										交換		
エントランス	タイル	磁器質				貼替			貼替				貼替					貼替			
	モルタル	モルタル							塗り直し												

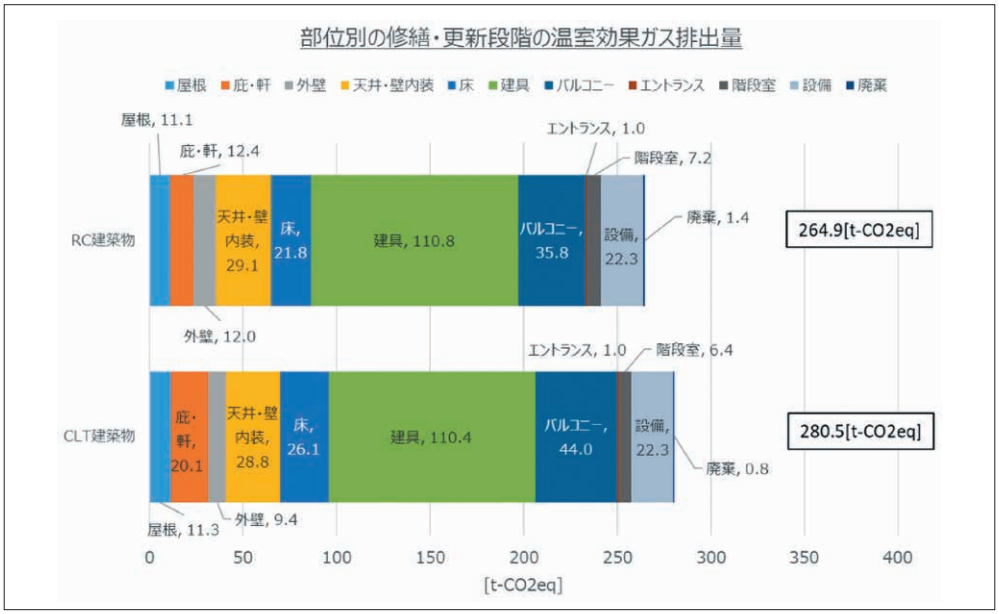


図６　修繕・更新段階の温室効果ガス排出量

■廃棄段階の温室効果ガス排出量

解体廃棄段階の温室効果ガス排出量の算定の範囲としては、解体時に廃棄処理が必要なものに対して行う。リユース・リサイクルされる場合は、次の段階の資材利用に関する排出量として考え、本試算では算入しなかった。

また、修繕・更新時における廃棄処理の排出量についても同様に算定した。

表２　廃棄段階の温室効果ガス排出量

【CLT建築物　廃棄時排出量】

分類		項目	資材詳細	数量	単位	廃棄の手法	排出量 [kg-CO2eq]
コンクリート工事		止水板	塩ビ製	7	m	埋め立て	0.063
ＣＬＴ躯体工事		基礎パッキング	長尺/KP-L120/厚20	143.4	m	産廃→汚泥	1.4114
屋根工事		棟包み	屋根同材/棟垂木･シリコン入り南蛮漆喰共	6.9	m	埋め立て	0.4869
		竪樋	φ100/硬質カラー塩ビ管（VP）/掴み金物共	54.5	m	埋め立て	0.6686
		呼樋	φ100/L＝1950/硬質カラー塩ビ管（VP）/掴み金物共	4	箇所	埋め立て	0.0957
		屋根工事	W100×H100/糸＝300/ステンレス製/既製品	62.2	m	埋め立て	0.7254
バルコニー		FRP防水	補修面	2.4	m2	焼却	12.6314
		シート塗布併用防水	木毛セメント板面/WOATW-DR3同等	48	m2	焼却	197.0496
		シート塗布併用防水	CLT面/WOATW-DR3同等	21.6	m2	焼却	77.3041
		シート塗布併用防水	WOATW-DR3同等	36	箇所	焼却	47.2919
		FRP防水	モルタル面/トップコート仕上	24	m2	焼却	126.3138
		FRP防水	W150×H20/糸＝190/モルタル面	20	m	焼却	19.9997
		取合シーリング	20×10/変成シリコン系	282	m	焼却	98.1224
		取合シーリング	15×10/変成シリコン系	33	箇所	焼却	8.7684
		軒樋	硬	40.2	m	埋め立て	0.0801
		呼樋	φ100/L＝550/硬質カラー塩ビ管（VP）/掴み金物共	2	箇所	埋め立て	0.0135
		竪樋	硬	12.2	m	埋め立て	0.0439
		集水器	自在ドレン付/硬	2	箇所	埋め立て	0.0115
庇工事		シート塗布併用防水	木毛セメント板面/WOATW-DR3同等	56	m2	焼却	229.8912
天井工事		PB2重貼	厚12.5＋12.5/クロス下	369	m2	埋め立て	44.8837
		PB2重貼	厚12.5＋12.5/クロス下	29	m2	埋め立て	3.5274
		PB2重貼	厚12.5＋12.5（不燃）/クロス下	36.5	m2	埋め立て	4.4397
床工事	2,3階床	遮音マット	厚8/置床面	217	m2	埋め立て	36.5957
	2,3階床	フローリング	厚12/置床面	24	m2	焼却	0.3812
	2,3階床 トイレ・洗面	フローリング	厚12/置床面	20	m2	焼却	0.3177
	2,3階床 遮音マット面	フローリング	厚12/遮音マット面	217	m2	焼却	3.4468
	1階床	フローリング	厚12/置床面	152	m2	焼却	2.4143
	1階床 トイレ・洗面	フローリング	厚12/置床面	9	m2	焼却	0.143
小屋組工事		石膏ボード	厚12.5	83.5	m2	埋め立て	5.0783
内壁		PB貼	厚12.5/クロス下	149	m2	埋め立て	9.0619
		PB貼	厚12.5（不燃）/クロス下	62.3	m2	埋め立て	3.789
		PB貼	厚12.5/家具裏	8.8	m2	埋め立て	0.5352
		PB貼	厚12.5（不燃）/家具裏	10.7	m2	埋め立て	0.6508
		PB2重貼	厚12.5＋12.5/クロス下	289	m2	埋め立て	35.1528
キッチン		PB貼	厚12.5（不燃）/家具裏	3.3	m2	埋め立て	0.2007
		PB貼	厚12.5（不燃）/キッチンパネル下	13.5	m2	埋め立て	0.821
建具		引違い窓	W1655×H2028/防火設備	12	箇所	埋め立て	6.0884
		引違い窓	W782.5×H900/防火設備	12	箇所	埋め立て	1.2775
		引違い窓	W1655×H1100/防火設備	12	箇所	埋め立て	3.3024
		引違い窓	W400×H900/防火設備	6	箇所	埋め立て	0.3265
合計							983

（表２のつづき）

【RC建築物　廃棄時排出量】

分類	項目	資材詳細	数量	単位	廃棄の手法	排出量 [kg-CO2eq]
コンクリート工事	止水板	塩ビ製	7	m	埋め立て	0.063
屋根工事	軒樋	W100×H100/糸＝300/ステンレス製/既製品	62.2	m	埋め立て	0.7254
	竪樋	φ100/硬質カラー塩ビ管（VP）/掴み金物共	49.3	m	埋め立て	0.6048
	棟包み	屋根同材/棟垂木･シリコン入り南蛮漆喰共	6.9	m	埋め立て	0.4869
	呼樋	φ100/L＝550/硬質カラー塩ビ管（VP）/掴み金物共	2	箇所	埋め立て	0.0135
	呼樋	φ100/L＝1950/硬質カラー塩ビ管（VP）/掴み金物共	6	箇所	埋め立て	0.1435
外壁	打継目地シーリング	20×15/ポリウレタン系	76.4	m	焼却	70.1342
	誘発目地シーリング	20×15/ポリウレタン系	160	m	焼却	146.8779
	取合シーリング	φ60/10×10/変成シリコン系	12	箇所	焼却	0.5698
	アクリル樹脂吹付	補修面/エスケー化研/ツーキコートタイル同等	436	m2	選別,埋め立て	7.0606
	断熱材	厚30 硬質発泡ｳﾚﾀﾝ吹付	468	m2	埋め立て	5.0526
建具	引違い窓	W1900×H1900/防火設備	12	箇所	埋め立て	6.0884
	引違い窓	W900×H900/防火設備	12	箇所	埋め立て	1.2775
	引違い窓	W1900×H1100/防火設備	12	箇所	埋め立て	3.3024
	引違い窓	W400×H900/防火設備	6	箇所	埋め立て	0.3265
床工事　床	フローリング	厚12/置床面	393	m2	焼却	6.2424
トイレ･洗面	フローリング	厚12/置床面	29	m2	焼却	0.4606
内壁	PB貼	厚12.5/クロス下	682	m2	埋め立て	41.4779
	耐火間仕切	45形/強化PB/厚12.5＋12.5/両面	17.5	m2	埋め立て	2.1286
キッチン	PB貼	厚12.5/家具裏	9.4	m2	埋め立て	0.5717
	PB貼	厚12.5/キッチンパネル下	6.4	m2	埋め立て	0.3892
合計						294

■運用段階の温室効果ガス排出量

昇降機を含む共用部と住戸部における温室効果ガスの年間推定排出量は、CLT建築物で21.6 t-CO_2eq/年 、RC建築物で23.6 t-CO_2eq/年 となった。

表３　運用(エネルギー使用量)における温室効果ガス排出量

	二次エネルギー			一次エネルギー換算				CO2排出量		
	電力 (住戸) [kWh/年]	電力 (共用) [kWh/年]	ガス(住戸) [㎥/年]	電力 (住戸) [MJ/年]	電力 (共用) [MJ/年]	ガス (住戸) [MJ/年]	合計 [MJ/年]	電力 [t-CO2eq/年]	ガス [t-CO2eq/年]	**合計 [t-CO2/年]**
CLT住棟	23,624	1,761	2,310	230,570	17,187	103,962	351,720	15.1	6.5	**21.6**
RC住棟	27,280	1,761	2,310	266,253	17,187	103,962	387,402	17.2	6.5	**23.8**

■建設コストについて

CLT建築物とRC建築物の建設コストを算出した。両者の差が予想よりもそれほど差がみられなかった。

表４　建設費用

	CLT 建築物（円）	RC 建築物（円）
直接工事費	122,582,992	121,742,512
共通費	29,517,008	29,357,488
設備工事費	6,894,315	6,894,315
計（税抜）	158,994,315	157,994,315

■100年間のライフサイクルにおける温室効果ガス排出量

本事業で試算した温室効果ガス排出量の総計は図８の通りである。建設段階の排出量については、資材製造と輸送に関する排出量を含む。結果として、CLT建築物で2,740 t-CO_2eq、RC建築物で3,016 t-CO_2eqとなり、CLT建築物は、RC建築物と比較してライフサイクル温室効果ガス排出量を約9%、276 t-CO_2eq削減できるという結果になった。

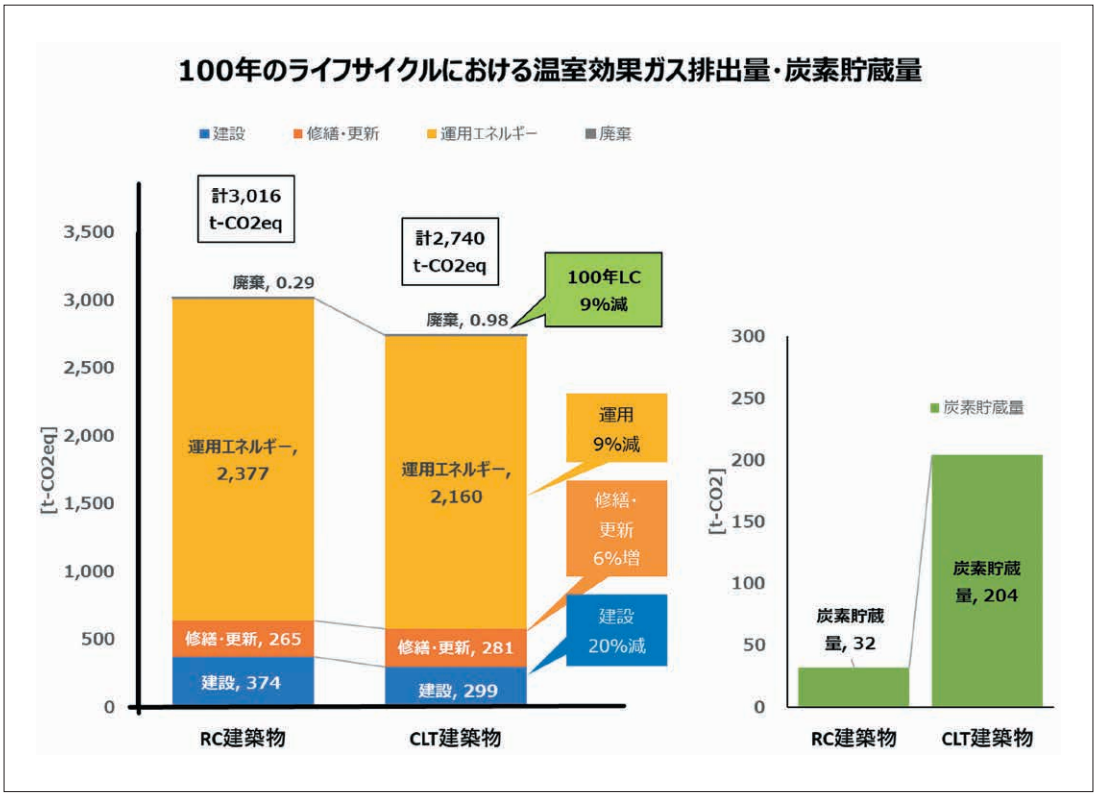


図７　ライフサイクルにおける温室効果ガス排出量、炭素貯蔵量

■まとめ

SDGｓの目標達成やＥＳＧ投資等のため、世界で木造建築物に注目が集まっている。また、国内の森林の健全な循環を促すために木材の建築物利用は必要である。その中で、多量の国産材を使用するCLTは中高層建築物の建材として期待されているが、本事業での試算の結果、温室効果ガスの発生を抑制できることが分かった。

本事業では、長期優良住宅の基準で設計されたCLT建築物とRC建築物を100年使用した場合のLCA試算を行った。その結果、建設段階や運用段階、廃棄段階でCLT建築物では温室効果ガス（二酸化炭素）の排出量はRC建築物よりも少なくなったが、更新・修繕段階ではRC建築物のほうが少なかった。また、建設コストはほぼ同額となり、コスト面においてもCLT建築物がRC建築物とほぼ遜色ないことが分かった。

今後の課題・展開等

本事業の結果から、CLT建築物は、長期間利用するための防水対策等、木造特有の対策が必要となり、更新・修繕段階で温室効果ガス排出量が多くなっていることが判明した。今後、木造建築物が普及していく過程で、維持保全のための技術が向上することが期待される。

本事業の試算結果は一つのプランに基づくものであり、仕様や算出方法によって算出値が異なることが考えられるが、今後もデータの積み重ねが行われ、温室効果ガスの抑制に木造建築物が有効であることが明確になると思われる。

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

これまでDLTの構造面での性能評価を進め、耐火性能が要求されない戸建て住宅や低層木造建築物でDLTの活用を推進し実績が増えつつある。DLTによる木質感があふれる室内空間の良さ、施工性の良さから、住宅用途や非住宅木造での利用が始まっている。

写真1　スギDLT　基本タイプ

DLTのさらなる利用領域の拡大のため、非住宅用途の中大規模木造建築や、木造以外のS造やRC造でのDLT利用の道筋が求められるが、そうした中大規模木造等への適用で必要となるDLTの防火性能の検証は国内未実施で、DLTの防火性能は把握できていない。

建築基準法では、防火地域や準防火地域などの地域区分、規模（階数や高さ、延べ面積）や用途に応じて異なる防火性能の基準が要求され、耐火建築物または準耐火建築物としなければならないと規定している。建築基準法の改正により大規模木造建築物に係る防火制限が合理化され、また2021年10月の「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」施行に伴い木造建築物の増加、それに伴う木造建築物への防火性能要求が高まると推測される。

準耐火建築物で構造部を木材現わしとする場合、準耐火構造の構造方法を定める告示で梁や柱などの構造材は燃えしろ設計が必要となるが、集成材やCLT等の接着による積層材と異なり、製材を木ダボで積層するDLTは燃えしろ設計にそぐわない。また、積層材の隙間からの燃えひろがりや燃え抜け、木ダボの燃焼などの懸念もある。こうしたDLTの特徴をふまえた防火性能の検証が、DLT利用拡大の観点で必要といえる。そこで本事業ではDLTの加熱試験を行い、実際にDLTを燃やしDLTの防火性能の検証・確認を行う。

実施した項目

本事業では以下の取り組みを行った。

（1）小型試験炉での加熱試験（無載荷加熱の予備試験）
（2）水平炉での加熱試験（載荷加熱の本試験）

実施体制

製材業者、大学・研究機関と連携し、以下の体制の検討委員会で検討を進めた。（敬称を省略）

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）
	大貫　肇	（物林株式会社 新事業推進部 部長）
	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）
	深町尚子	（群馬県森林環境部）
	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 林政部 木材産業課 課長補佐）
	熊谷有理	（林野庁 林政部 木材産業課 木材専門官）
	松本陽子	（林野庁 林政部 木材産業課 木材専門官）
	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. 小型試験炉での加熱試験（無載荷加熱の予備試験）

小型試験炉で1m × 2m程度の試験体にて無載荷加熱試験を実施した。

1.1　試験目的

以下の項目についてDLTの防火性能を確認する。

- 積層材の隙間からの燃え込みの有無（遮炎性能の検証）
- 積層材の燃焼性状の確認（遮熱性能の検証、炭化速度の検証）
- 木ダボの燃焼の有無（非損傷性の検証）

1.2　試験概要

試験体の仕様

試験体は1,400㎜(W) × 2,400㎜(L)のDLT床。DLTパネルの組立精度、経年変化によるラミナ間の隙間の拡大を想定し、試験体には予め3mm、5mmの隙間を設けた。

表 1　小型加熱炉　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	スギ	ヒノキ	スギ
DLT 構成材	38×140	30×105	30×105	30×105
隙間	あり	あり	あり	あり
床上合板	構造用合板　厚 12 ㎜			なし
加熱時間	60 分	45 分	45 分	45 分

1.3　試験方法

1）加熱方法

有効加熱範囲　1,000㎜×2,000㎜の（一財）ベターリビング小型加熱炉（写真 2）にて、(一財)ベターリビング制定 「防耐火性能試験・試業務方法書」に規定する標準加熱曲線に沿うよう制御しながら加熱を行った。

写真 2　小型加熱炉　側面

2. 水平炉での加熱試験（載荷加熱の本試験）

2.1　試験目的

小型試験炉での加熱試験の結果をふまえ、(一財）建材試験センターの水平炉で 2m × 4m 程度の試験体による荷重載荷加熱試験により DLT パネルが準耐火構造の性能を有するか確認する。

2.2　試験概要

1）試験体の仕様

試験体は 2,000㎜（W）× 4 ,000㎜（L）、スパン 3.9m の DLT 床構造とし、試験体には予め 4mm の隙間を設け、上面には構造用合板 12mm の上貼りを設けた。試験体は表 2 の 2 体とした。

表 2　試験体の仕様一覧

	試験体A	試験体B
樹種	スギ	スギ
構成材寸法	38×140	30×105
平均含水率	12.0%	11.7%
平均比重	0.358	0.339
隙間　4mm	有り	有り
上貼り合板12mm	有り	有り
試験体寸法	2,056×4,050	2,044×4,050
スパン	3,900mm	3,900mm

2）試験体

DLTは天井現わしの床構造や屋根構造としての使用を想定し、下面からの加熱のみを想定した。試験体姿図を図 1、図 2に示す。

試験体は載荷加熱による木ダボの影響の有無を確認するため、スパン中央部に木ダボ貫通部を設けている。

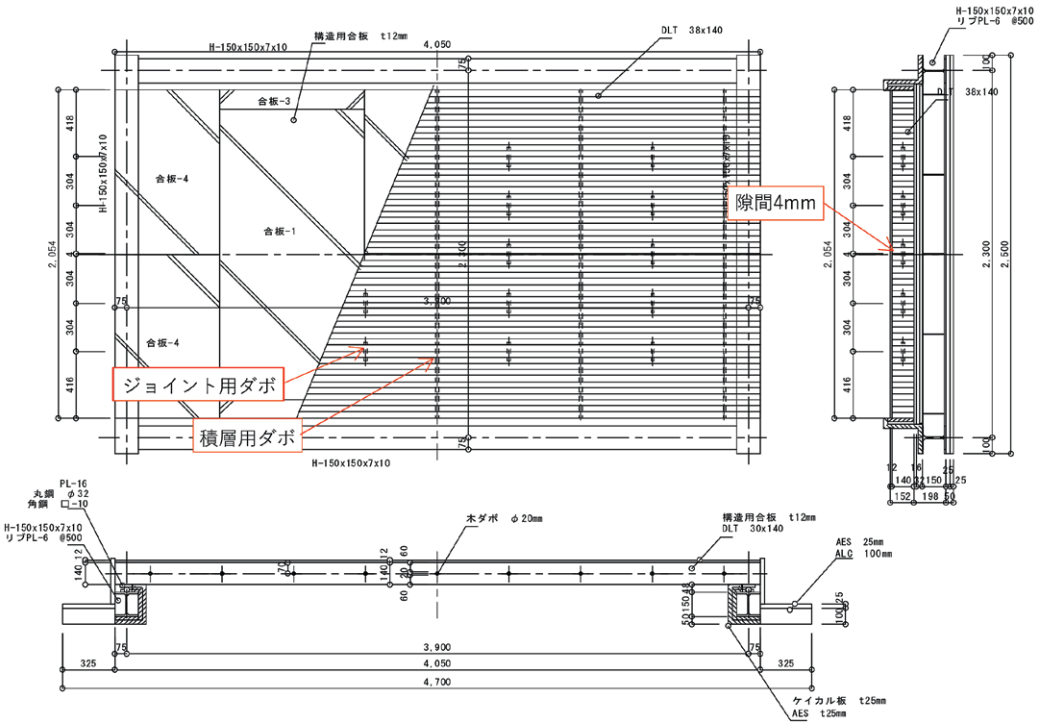


図 1　試験体Ａ姿図

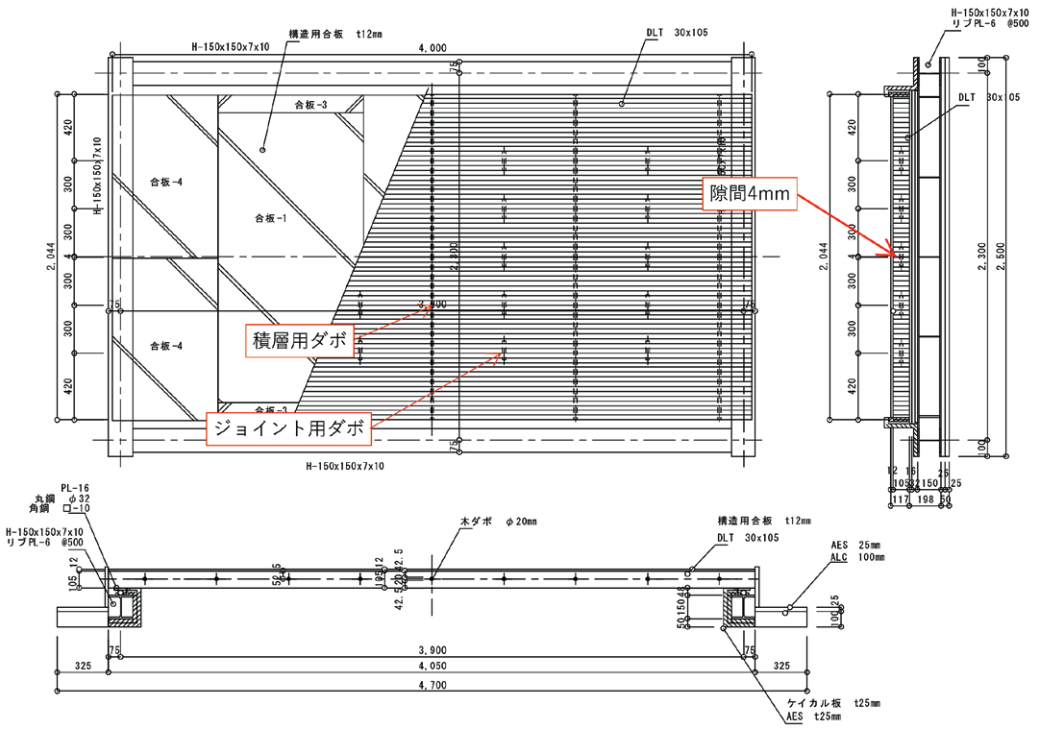


図 2　試験体Ｂ姿図

2.3　試験方法

1）加熱方法

試験は(一財)建材試験センター制定　「防耐火性能試験・試業務方法書」に規定する標準加熱曲線に沿うよう制御しながら加熱を行った。。

試験体は図 3に示す加熱炉にて、加力治具により断面に長期許容応力度に相当する応力度が生じるように載荷しながら試験した。

試験体Ａで使用した 38 × 140 は枠組壁工法構造用製材サイズであるが、枠組壁工法構造用材（JS Ⅱ：スギ）甲種２級の基準強度（19.5N/mm^2）ではなく、作用荷重が大きく危険側となる針葉樹構造用製材（スギ）の甲種２級の基準強度（25.8N/mm^2）を採用した。

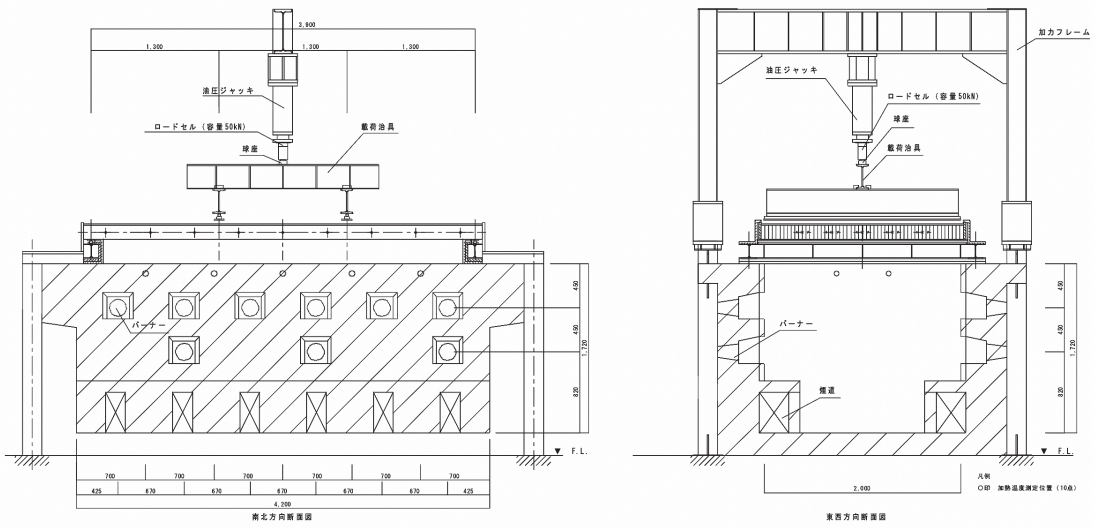


図 3　加熱炉概要図

2）測定項目

①加熱温度

②内部温度、合板表面温度、裏面温度

③たわみ量

写真 3　試験体　パネル組立完了

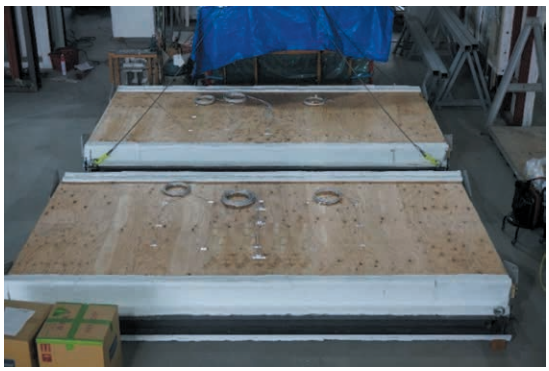


写真 4　断熱材取り付け完了

実施した結果

1. 小型試験炉での加熱試験（無載荷加熱の予備試験）

1.1 試験結果

試験実施　　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

試験日　　8月18日　　試験体A、試験体B

　　8月19日　　試験体C、試験体D

試験結果を表３に示す。

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	スギ	ヒノキ	スギ
DLT 構成材		38×140	30×105	30×105	30×105
床上合板		構造用合板　厚 12 ㎜			なし
加熱時間		60 分	45 分	45 分	45 分
260℃を超えた時間（加熱開始からの経過時間）（分）	20 ㎜	25, 29, 51.5	—	—	—
	20.5 ㎜	—	24, 28, 28	31, 33	18, 28, 29
	40 ㎜	29, 49, 50	—	—	—
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	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	31℃		32℃	33℃	35℃
	裏面温度（最高）	58℃（加熱45分時）	61℃（60 分）【制限値：211℃】	60℃（45 分）【制限値：212℃】	53℃（45 分）【制限値：213℃】	73℃※（45 分）【制限値：215℃】
	裏面温度（平均）	42℃（加熱45分時）	47℃（60 分）【制限値：171℃】	40℃（45 分）【制限値：172℃】	39℃（45 分）【制限値：173℃】	41℃（44 分 30 秒）【制限値：175℃】

※試験体 D は合板上貼りがなく炉内貫通の状態であることから、材長方向隙間部で測定した裏面温度 全20点のうち３点は参考値とし、遮炎性の判定及び裏面温度制限値の適用除外とした。

写真５　試験状況

写真６　脱炉状況

2. 水平炉での加熱試験（載荷加熱の本試験）

2.1 試験結果

試験実施　　一般財団法人建材試験センター　中央試験所

試験日　　12月21日　試験体A（60分加熱）

12月23日　試験体B（45分加熱）

試験体Aは載荷加熱　60分を実施した。試験体Bでは試験開始37分経過時に荷重維持が困難になり始めたため、安全性を考え試験場判断により試験を中止した。試験結果を表4に示す。

試験体Aの温度測定結果を図 4～図 7に、試験体Bの温度測定結果を図 8～図 11に示す。

表 4　試験結果

			試験体 A	試験体 B
樹種			スギ	スギ
DLT 構成材			38×140	30×105
床上合板			構造用合板　厚 12 mm	
スパン（mm）			3,900mm	
載荷荷重※1（kN）			94.6kN	52.6kN
加熱時間			60 分	37 分
260℃を超えた時間（加熱開始からの経過時間）（分）		20 mm	33, 40, 43	—
		20.5mm	—	21, 22, 27
		40 mm	54, 57	—
		42.5mm	—	35
最大たわみ量（mm）			111.3 mm（60 分 00 秒） 【制限値：271.6mm】	128mm（加熱 37 分時） 【制限値：362.2mm】
最大たわみ速度（mm/分）※2			–	11.9mm/分（加熱 37 分時） 【制限値：16.1mm/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（加熱 37 分時）
	非加熱側へ 10 秒を超えて継続する発炎の有無		なし	なし（加熱 37 分時）
	火炎が通る亀裂等の損傷の発生の有無		なし	なし（加熱 37 分時）
遮熱性	初期温度		17℃	15℃
	裏面温度（最高）		63℃ （加熱 51 分時）	62℃（60 分 00秒） 【制限値：197℃】	114℃（加熱 37 分時） 【制限値：195℃】
	裏面温度（平均）		27℃ （加熱 45 分時）	28℃（60 分 00 秒） 【制限値：157℃】	29℃（加熱 37 分時） 【制限値：155℃】

※1　載荷荷重には加熱治具　4.12kN を含む。

※2　最大たわみ速度はたわみ量が L/30 を超えるまで適用しない

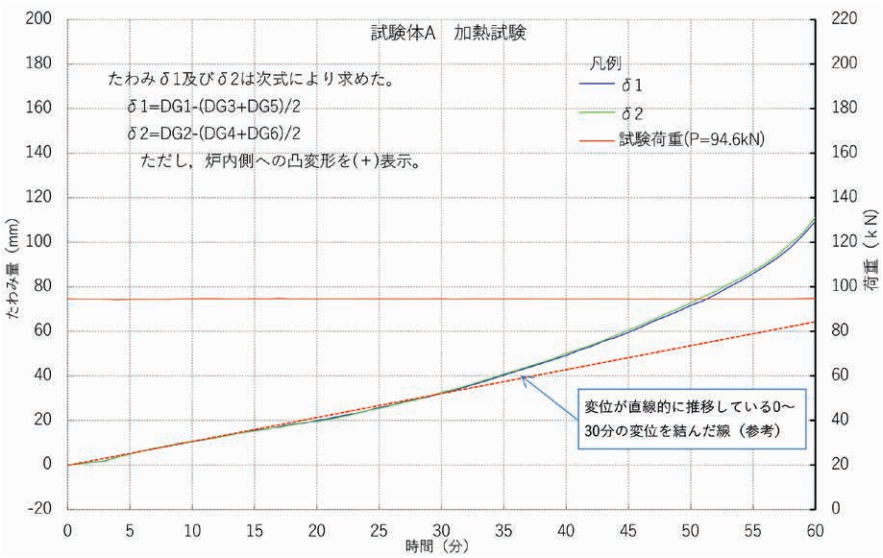


図 4　試験体Ａ　荷重 - 変位測定結果

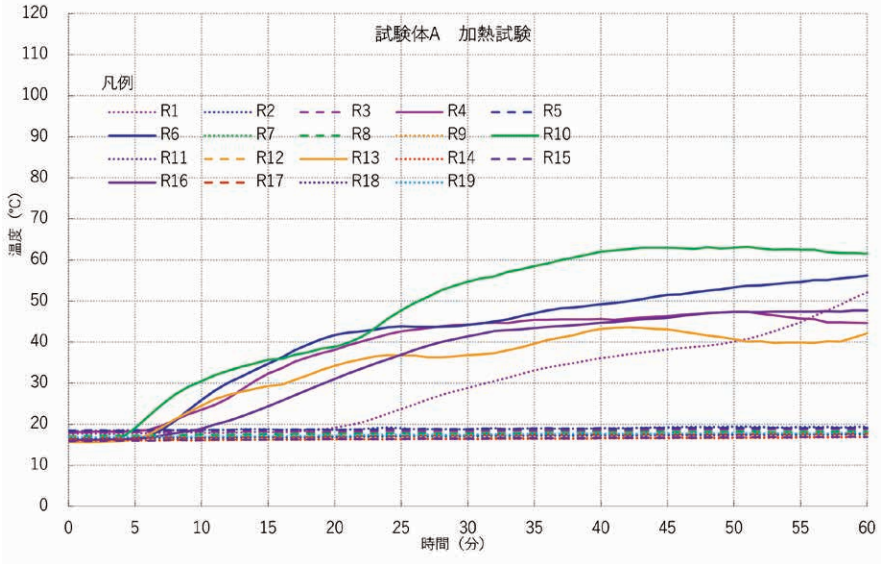


図 5　試験体Ａ　合板裏面温度測定結果

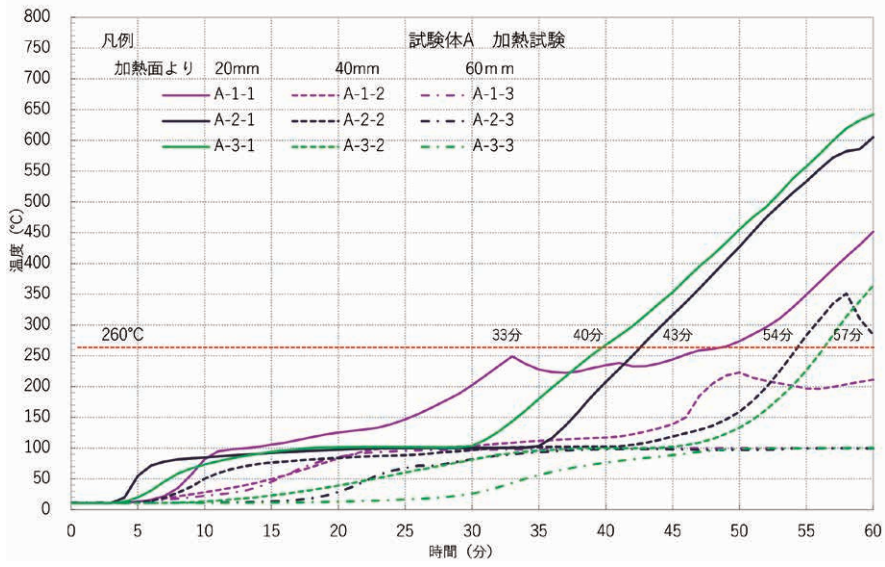


図 6　試験体Ａ　内部温度測定結果

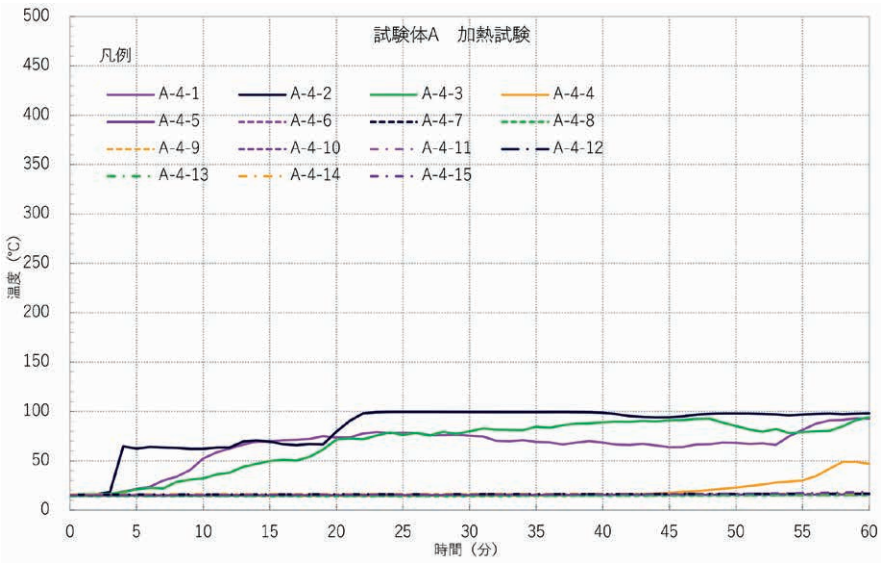


図 7　試験体 A　合板表面温度測定結果

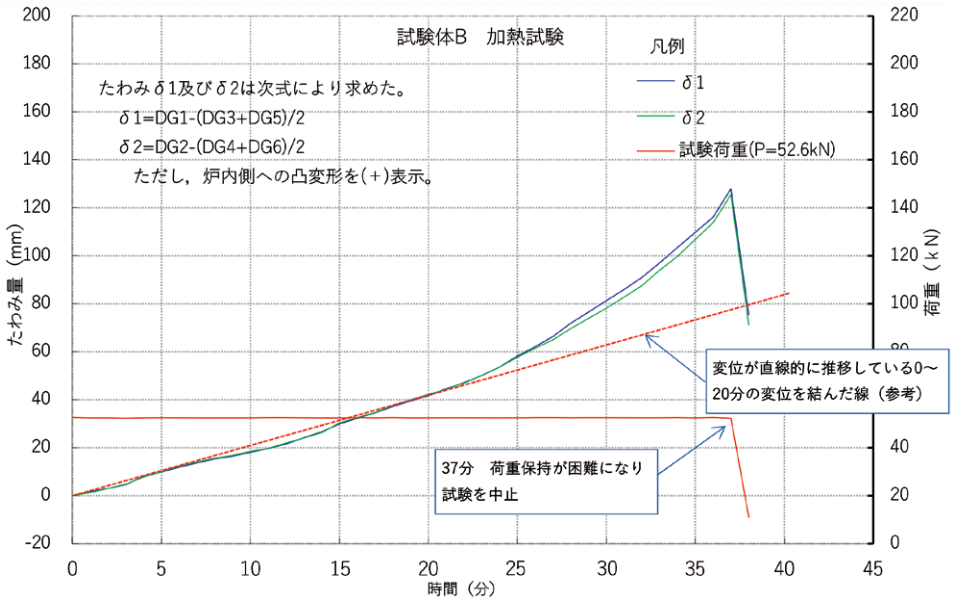


図 8　試験体 B　荷重 - 変位測定結果

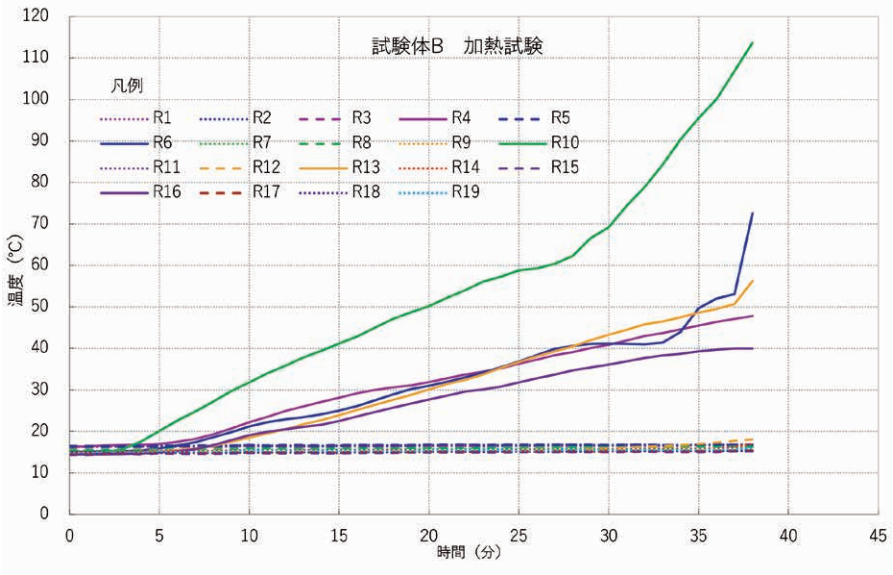


図 9　試験体 B　裏面温度測定結果

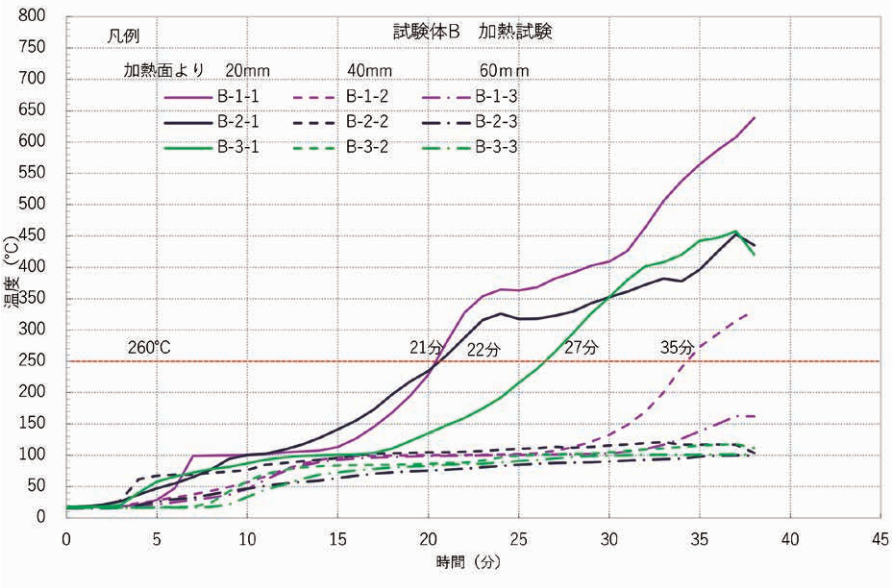


図 10　試験体Ｂ　内部温度測定結果

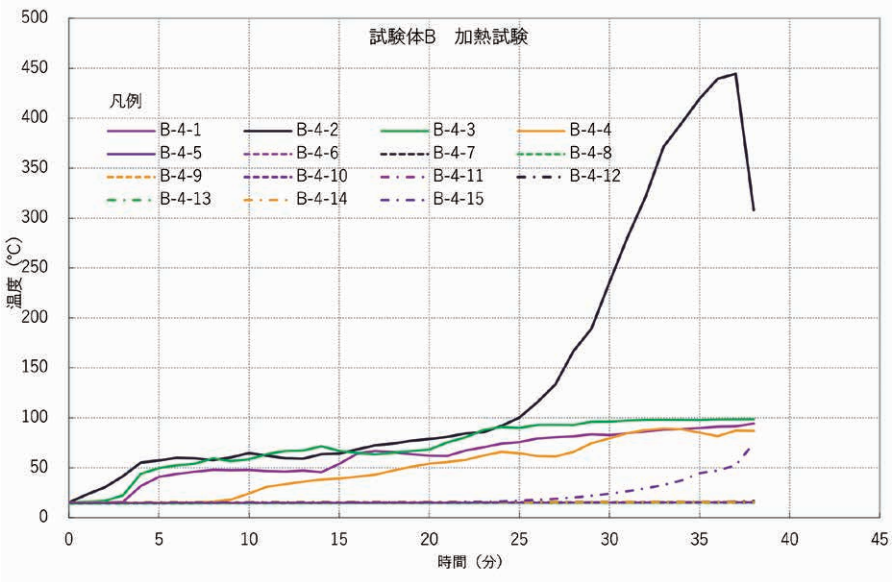


図 11　試験体Ｂ　合板表面温度測定結果

DLTの防火性能について

- **試験体Ａ**　スギ38×140DLT　スパン3.9mは、60分載荷加熱試験にて最大たわみ量は規格値以下、非加熱側への炎の噴出がみられず、裏面温度の上昇も規制値以下であり遮炎性、遮熱性が確認された。この結果よりスギ38×140DLTは60分　準耐火構造　床と同等の性能を有すると推測される。

- **試験体Ｂ**　スギ30×105DLT　スパン3.9mは、45分加熱載荷加熱のところ37分時点で荷重保持が困難になり試験を中止した。スギ30×105DLTは45分準耐火構造床の性能を有することが確認できなかったが、経過状況から30分準耐火構造　屋根と同等の性能を有すると推測される。

- スギ30×105DLTでは、45分準耐火構造床の性能が確認できなかったが、今回の結果を参考に、必要な断面せいとすることで45分準耐火構造 床の性能確保できる可能性も十分にある。

写真 7　載荷加熱試験　加熱炉全景

写真 8　試験体設置状況

写真 9　脱炉状況

写真 10　試験体Ａ　残存断面（スパン中央）

写真 11　試験体Ａ　残存断面の観察
（隙間部分拡大）

写真 12　試験体Ｂ　残存断面（スパン中央）

写真 13　試験体Ｂ　残存断面の観察（隙間部分）

今後の課題・展開等

1）DLTの防火性能面の課題

- 今回はDLT「床」での耐火性能を検証したが、DLTは現わしの「壁」としても使用できることから、DLT壁構造で45分準耐火構造や、60分準耐火構造の検証ができれば、より利用拡大が図れると考えられる。

- 原木伐採長さは4mまでが主流であることから、本事業では最大スパンを3.9mとした。一方、製材の丸太は長さ6mまでは一般的に可能である。中大規模木造での利用拡大を図るためには、大径木を活用し、６mなどのロングスパンDLTの検討・検証があると、DLTの利用拡大が図れると考えられる。

- 今回は明らかになっていない45分準耐火構造床の性能を満たすラミナの断面せいでの検証ができれば、より利用し易くなると考えられる。

- スギ38×140DLT　スパン3.9mは、60分準耐火構造　床の性能を満たすことが確認された。巾が38mmのツーバイ材サイズだけでなく、幅30mmの製材寸法をふまえたDLTで60分準耐火構造床としての性能を有するか確認すれば、より材料選択の幅が広がることが見込まれる。

2）DLT の活用・今後の展開について

- スギ38×140DLT　スパン3.9mは、60分準耐火構造　床と同等の性能を有することが確認できた。スギ30×105DLT　スパン3.9mは、試験の経過状況より30分　準耐火構造屋根と同等の性能を満たすことが確認できた。今回の検証を踏まえれば、DLTの準耐火構造の大臣忍耐取得は可能といえる。今後、団体や事業者等が大臣認定を取得すれば、準耐火木造建築でのDLT現しの床構造や屋根構造での活用が期待できる。

- DLT は木ダボだけで接合し積層するため、強度特性は構成するラミナの木材強度に由来する。ラミナの節やねじれ、反り、曲がりは燃焼性に影響することから、DLT を構造用途で使用する場合では、素材の品質が明確な JAS 材の利用が望ましいといえる。

- 製造に大規模な製造設備が不要なDLTは中小製材事業者による生産に適している。DLTに防火性能を付与することで、より利用拡大が図れ、大径材活用とあわせて、地域分散型の生産が期待できる。

事業

接着重ね材JAS工場認証のための適正製造基準等の整備

● 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」はH31年１月に日本農林規格が制定されたが、まだJAS工場認証が実施されていない。一昨年度には、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行った。本年度は実際の工場認証時に必要な製造工程・品質管理を示した適正製造基準を作成し、初期試験内容の整備、及び初期試験を実施することで、JAS工場認証の実施までの道筋を整備する。また、一般建築材料として運用するためのJASの基準強度等の告示化に向け、国土交通省から指摘された内容の検討を実施する。

実施した項目

①適正製造基準(案)の作成

接着重ね材の適正製造基準の作成を行った。各種寸法規定、製造内容、初期試験と妥当性の検証等を実施し、接着重ね材の品質を担保するための工程について取りまとめた。

②初期試験の実施

初期試験を実施し、製品の品質管理試験の性能確認方法の検証を行った。

モデル試験　10体，樹種：スギ，区分：E75-F210種別：対称異等級構成

品質管理試験　試料３体

③告示化指摘事項に対する検討

告示化の検討に伴い国土交通省よりいただいている指摘事項について、ヒアリング及び検討を実施し、回答の作成を行った。

実施体制

■R3年度接着重ね材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　一浩　（公益社団法人日本合板検査会　認定部長）
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事業部長）
委　員　今井　　信　（長野県林業総合センター　木材部長）
委　員　宮武　　敦　（国立研究開発法人　森林総合研究所　複合材料研究領域　チーム長）
委　員　長尾　博文　（国立研究開発法人　森林総合研究所　構造利用研究領域　研究専門員）
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）

■R3年度接着重ね材JAS検討WG

委員長　大橋　好光　（東京都市大学　名誉教授）
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）

■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　検査員）

■オブザーバー

谷口　晋二郎　（アルファ工業株式会社　技術主任）
堀川　恵巳子　（堀川　建築・造形　計画）
大村　敏幸　（独立行政法人 農林水産消費安全技術センター 仙台センター 規格検査課　主任調査官）
山内　一浩　（独立行政法人 農林水産消費安全技術センター 規格検査部 商品調査課　専門調査官）

■官公庁

林野庁、農林水産省

■事務局

一般社団法人日本BP材協会　事務局
畠山　雄一、佐々木　滋樹、橋田　登、花井　勉、山根　光

実施した内容

①適正製造基準（案）の作成

製造マニュアル（案）、他のJAS製品における適正製造基準を参考に、「接着重ね材の日本農林規格」の性能を担保するための適正製造基準（案）の作成を行った。各種項目で、製材ラミナ、製品の特徴を考慮した製造工程での各種規準について検討し、また、安定した性能を担保するための品質管理に関する検討を実施した。

②初期試験の実施

適正製造基準に記載された初期試験（下表）のうち、製造工程に準じて製造された製品の品質管理試験として、以下に示す試験体の製造および製品の試験を行った。製品試験は、（ⅰ）製品実断面、（ⅱ）製品を切断した試料、（ⅲ）モデル化として製品せいを規定寸法（300mm）に縮小した試料の中から選択する形となるが、BP材は材せい方向に大きな断面となることから、（ⅲ）の試験方法を採用した。製材ラミナは、製材ラミナ時点でのヤング係数・品質を測定してからモデルラミナを作成し積層接着した、5段重ねのモデル試験体とした。なお、接着材には、JAS規格に規定されたレゾルシノール樹脂を用いて行いた。

モデル試験　10体，樹種：スギ，区分：E75-F210，種別：対称異等級構成
品質管理試験　試料3体

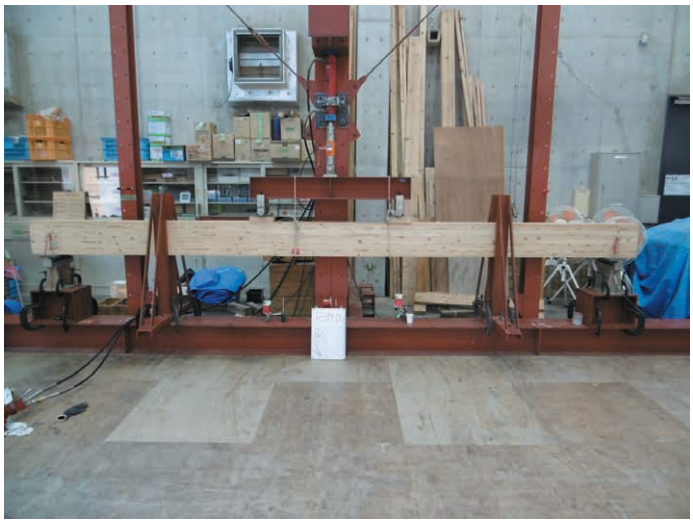
表．各種試験項目

検査及び試験の項目	初期試験	全数検査	抜き取り試験	製造記録
製材ラミナの曲げ試験	7.2.1		7.4.1	
製材ラミナの曲げ破壊試験	7.2.2			
接着重ね材の曲げ試験	7.2.3		7.4.2	
接着重ね材のブロックせん断試験	7.2.4		7.4.3	
接着重ね材の浸せきはく離試験	7.2.5		7.4.4	
接着重ね材の煮沸はく離試験	7.2.6		7.4.5	
接着重ね材の減圧加圧はく離試験	7.2.7		7.4.6	
接着重ね材の含水率試験	7.2.8		7.4.7	
接着重ね材のホルムアルデヒド放散量試験			7.4.8	
製材ラミナの目視検査		7.3.1		
製材ラミナのヤング係数測定		7.3.2		
接着重ね材の製造記録				7.5

図．曲げ試験と品質管理試験

③告示化指摘事項に対する検討

接着重ね材の告示化に伴い、寸法基準や製品基準に関する事項、JAS規格内容で他の木質材料と異なる箇所について指摘事項をいただいており、ヒアリング、委員会での審議にて回答を検討した。



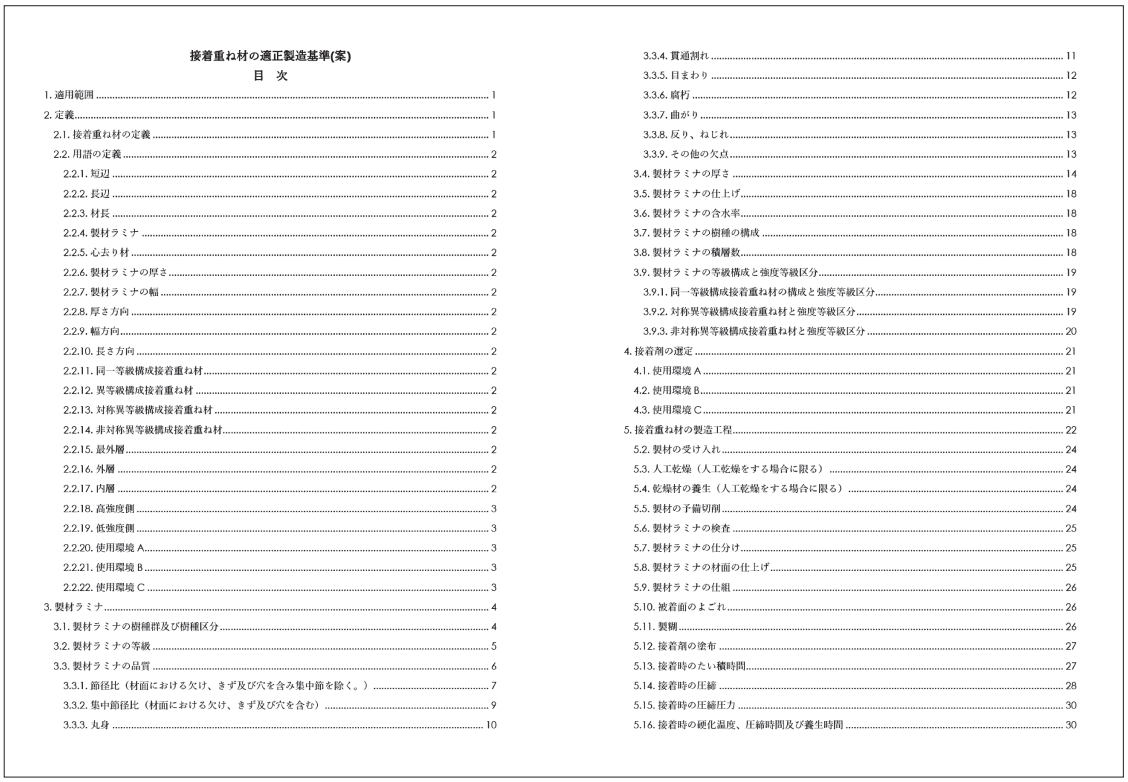
図．試験体設置写真

図．破壊性状の代表例

実施した結果

①適正製造基準(案)の作成

接着重ね材の日本農林規格に該当する接着重ね材を製造するための基準として、「接着重ね材の適正製造基準(案)」を作成した。目次は以下の項目となっている。本基準(案)を作成したことで、製造から認証までの流れが概ね整った。



接着重ね材の適正製造基準(案)

目　次

1. 適用範囲 1
2. 定義 1
2.1. 接着重ね材の定義 1
2.2. 用語の定義 2
2.2.1. 短辺 2
2.2.2. 長辺 2
2.2.3. 材長 2
2.2.4. 製材ラミナ 2
2.2.5. 心去り材 2
2.2.6. 製材ラミナの厚さ 2
2.2.7. 製材ラミナの幅 2
2.2.8. 厚さ方向 2
2.2.9. 幅方向 2
2.2.10. 長さ方向 2
2.2.11. 同一等級構成接着重ね材 2
2.2.12. 異等級構成接着重ね材 2
2.2.13. 対称異等級構成接着重ね材 2
2.2.14. 非対称異等級構成接着重ね材 2
2.2.15. 最外層 2
2.2.16. 外層 2
2.2.17. 内層 2
2.2.18. 高強度側 3
2.2.19. 低強度側 3
2.2.20. 使用環境A 3
2.2.21. 使用環境B 3
2.2.22. 使用環境C 3
3. 製材ラミナ 4
3.1. 製材ラミナの樹種群及び樹種区分 4
3.2. 製材ラミナの等級 5
3.3. 製材ラミナの品質 6
3.3.1. 節径比（材面における欠け、きず及び穴を含み集中節を除く。） 7
3.3.2. 集中節径比（材面における欠け、きず及び穴を含む） 9
3.3.3. 丸身 10
3.3.4. 貫通割れ 11
3.3.5. 目まわり 12
3.3.6. 腐朽 12
3.3.7. 曲がり 13
3.3.8. 反り、ねじれ 13
3.3.9. その他の欠点 13
3.4. 製材ラミナの厚さ 14
3.5. 製材ラミナの仕上げ 18
3.6. 製材ラミナの含水率 18
3.7. 製材ラミナの樹種の構成 18
3.8. 製材ラミナの積層数 18
3.9. 製材ラミナの等級構成と強度等級区分 19
3.9.1. 同一等級構成接着重ね材の構成と強度等級区分 19
3.9.2. 対称異等級構成接着重ね材と強度等級区分 19
3.9.3. 非対称異等級構成接着重ね材と強度等級区分 20
4. 接着剤の選定 21
4.1. 使用環境A 21
4.2. 使用環境B 21
4.3. 使用環境C 21
5. 接着重ね材の製造工程 22
5.2. 製材の受け入れ 24
5.3. 人工乾燥（人工乾燥をする場合に限る） 24
5.4. 乾燥材の養生（人工乾燥をする場合に限る） 24
5.5. 製材の予備切削 24
5.6. 製材ラミナの検査 25
5.7. 製材ラミナの仕分け 25
5.8. 製材ラミナの材面の仕上げ 25
5.9. 製材ラミナの仕組 26
5.10. 被着面のよごれ 26
5.11. 製綱 26
5.12. 接着剤の塗布 27
5.13. 接着時のたい積時間 27
5.14. 接着時の圧締 28
5.15. 接着時の圧締圧力 30
5.16. 接着時の硬化温度、圧締時間及び養生時間 30
5.17. 接着重ね材の整形加工 31
6. 仕上げ 32
6.1. 仕上げ寸法 32
6.2. 直角度 33
6.3. 曲がり、反り及びねじれ 33
6.4. 接着重ね材の外観等級 34
7. 接着重ね材の検査及び試験 35
7.1. 検査及び試験の概要 35
7.2. 初期試験 35
7.2.1. 製材ラミナの曲げ試験 36
7.2.2. 製材ラミナの曲げ破壊試験 46
7.2.3. 接着重ね材の曲げ試験 48
7.2.4. 接着重ね材のブロックせん断試験 52
7.2.5. 接着重ね材の浸せき剥離試験 53
7.2.6. 接着重ね材の煮沸剥離試験 54
7.2.7. 接着重ね材の減圧加圧剥離試験 54
7.2.8. 接着重ね材の含水率試験 54
7.3. 全数検査 56
7.3.1. 製材ラミナの目視検査 56
7.3.2. 製材ラミナのヤング係数の測定 56
7.3.3. 製材ラミナの保証荷重検査 57
7.4. 抜き取り試験 58
7.4.1. 製材ラミナの曲げ試験 58
7.4.2. 接着重ね材のブロックせん断試験 58
7.4.3. 接着重ね材の浸せき剥離試験 58
7.4.4. 接着重ね材の煮沸剥離試験 58
7.4.5. 接着重ね材の減圧加圧剥離試験 59
7.4.6. 接着重ね材の含水率試験 59
7.4.7. 接着重ね材のホルムアルデヒド放散量試験 59
7.5. 接着重ね材の製造記録 63

図．適正製造基準(案)の目次

②初期試験の実施

曲げ試験結果を下図及び表に示す。また、製材ラミナの構成から製品の場合とモデル試験体の場合、心持ち材を想定して心材と辺材のヤング係数に 2GPa 差を設けた場合の計算結果を合わせて示す。

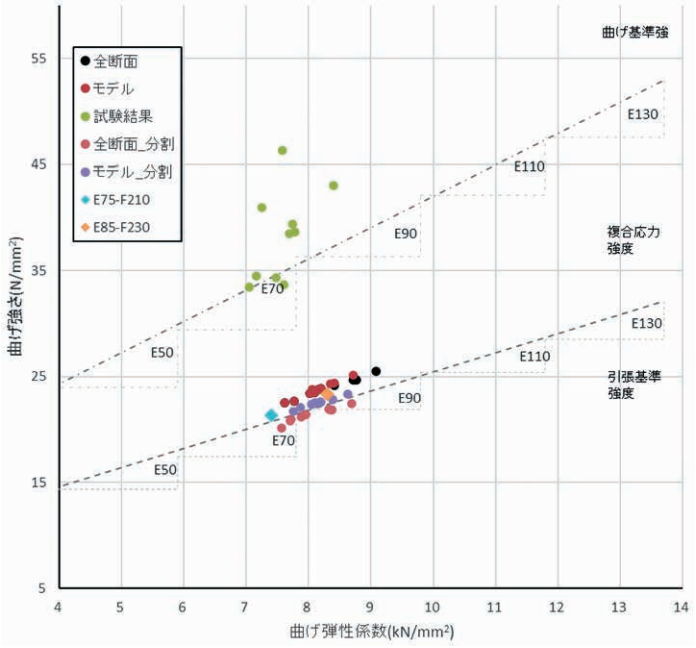


図. モデル試験結果

表. モデル試験結果と計算結果

	試験結果		計算結果							
			全断面		モデル		全断面_分割		モデル_分割	
	E GPa	F MPa	E GPa	F MPa	E GPa	F MPa	E GPa	F MPa	E GPa	F MPa
1	7.16	34.52	7.61	22.53	7.61	22.53	7.71	20.83	7.76	21.70
2	7.69	38.48	7.77	22.66	7.77	22.66	7.56	20.15	7.86	22.06
3	7.48	34.36	8.03	23.40	8.03	23.40	7.72	20.97	8.05	22.33
4	7.57	46.34	8.09	23.49	8.09	23.49	7.88	21.21	8.12	22.44
5	7.04	33.46	8.16	23.79	8.16	23.79	7.95	21.39	8.18	22.59
6	7.25	40.96	8.20	23.83	8.20	23.83	7.96	21.41	8.20	22.61
7	7.74	39.43	8.42	24.14	8.06	23.79	8.32	21.91	8.10	22.53
8	7.60	33.67	8.72	24.65	8.36	24.31	8.35	21.83	8.11	22.48
9	7.78	38.63	8.77	24.71	8.42	24.37	8.37	21.86	8.38	22.82
10	8.40	43.01	9.09	25.48	8.72	25.13	8.69	22.44	8.63	23.31

以上結果より、製材時のヤング係数で選別した製材ラミナからモデル試験体を作成しても十分な強度を確保することが可能であることが確認できた。

縮小したモデル試験体での評価は、実断面と比べて必要材長が短くなり、曲げ区間に欠点が減少する可能性があることから、強度に対して何らかの低減係数を考慮して評価する必要がある。今後さらに検討を進める必要がある。

③告示化指摘事項に対する検討

指摘事項に対する回答案を作成し、第３回委員会にて承認を得、指摘事項回答の提出を行った。

今後の課題・展開等

〔JAS実運用に向けた取り組み〕

①JAS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、製造工場の認証取得のための補助を行う。また、認証に当たって、検査項目・内容の分析・検証を行う。

〔建築基準法告示改正に向けた取り組み〕

②基準強度の告示化に関する追加検証

基準強度の告示化に向け、試験データの不足箇所については強度性能確認試験の実施が要求される可能性がある。

③中大規模木造に向けた防耐火認定の取得および告示化に向けた取り組み

接着重ね材は、中大規模木造に利用されることが多い。この特徴は製材を積層接着した材料であり、接着性能が担保されていれば、製材の燃え代設計が可能と考えられるが、その認定については整備がされていない。そこで、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も必須事項となる。

〔JAS告示改正に向けた取り組み〕

④幅方向接着の性能検証

③の燃えしろ断面を確保するには、幅方向の2次接着を検討する必要がある。今後のJAS化のためにその性能の確認及び管理方法の確立を目指す。

事業

難燃薬剤処理LVLを用いた耐火構造の合理化および環境負荷低減の評価

● 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、単板積層材（以下、LVL）を中大規模耐火建築物用の構造部材及び耐火被覆材として使用するために1 時間耐火構造の開発を行い国産材の需要開発を行ってきた。木質耐火構造の1 時間耐火構造の大臣認定まで完結したものの、設計や施工における知見やデータが乏しいことを否めない。また、純木による耐火構造を実現可能にしながら、グリーン政策に合致する環境負荷低減の評価において定量分析ができておらず、具体的な数値を強く訴えることができていない。この二つの課題を解決するために、耐火構造の各取合部分等の実験等と環境負荷低減に関する定量的な評価を行う。

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。

●被覆材の難燃薬剤処理LVLのLCA評価

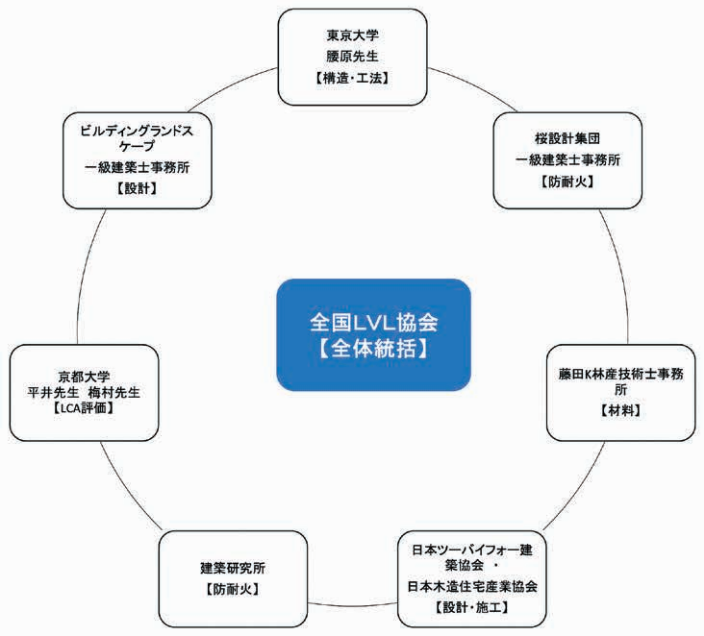
過去の木質材料のLCAの研究成果と耐火集成材の研究成果を参考にし、LVL協会が開発してきた材料との分析と当時と違う観点からの評価を追加・発展させることを目標とした。環境負荷低減の見える化を推進することで、LVLの製造工程における原材料の調達に係るエネルギー使用量、丸太の産地および工場までの輸送手段、製造工程におけるエネルギー使用量、製造時の廃棄物・副産物・排水の発生量および処理方法、メンテナンス時の廃棄物発生量、薬剤処理などのCO_2排出量を評価した。

●難燃薬剤処理LVL被覆耐火構造の接合部の耐火性能検証

耐火構造大臣認定を取得しているはりと柱について、これらの部材同士の取り合い部、これらの部材と他の耐火構造部材の取り合い部、これらの部材と非耐火部材との取り合い部について、耐火性能上弱点とならない納まりやディテールを検討、耐火試験を行って検討した。

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LVLを使用した準不燃材料の開発・認定取得、LVL壁の準耐火構造開発・耐火認定、LVLを使用した床や屋根の構造開発・耐火構造認定を取得してきた。今年度は、LVL被覆耐火構造の合理化と環境負荷低減の評価を行い、全体会議で内容の検討を行うことでより信頼性の高い結果を追求した。



東京大学（腰原教授）、桜設計集団一級建築士事務所、国土技術政策総合研究所防火基準研究室＋建築研究所防火研究グループ、ビルディングランドスケープ一級建築士事務所、藤田Ｋ林産技術士事務所、日本ツーバイフォー建築協会・日本木造住宅産業協会、京都大学（平井教授・梅村教授）、全国ＬＶＬ協会（事業主体）、ＬＶＬ協会会員会社

実施した内容

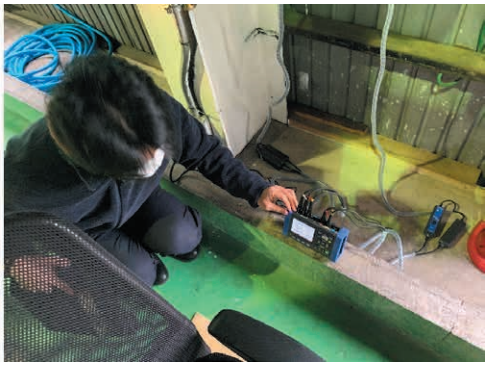
●難燃薬剤処理ＬＶＬのＬＣＡ評価

難燃薬剤処理ＬＶＬのCO_2排出量は、通常のＬＶＬ製造でのCO_2排出量に、含浸工程（減圧・加圧）での電力消費量、乾燥工程での電力消費量（扇風機・温度制御）および燃料消費量（ボイラー）、難燃薬剤製造でのCO_2排出量、含浸工場およびＬＶＬ工場間の輸送にかかる燃料消費、を加えることで評価した。

ＬＶＬ製造工程の検証

難燃薬剤処理工程の検証

乾燥工程の検証



消費電力測定

●難燃薬剤処理LVL被覆耐火構造の接合部の耐火性能検証

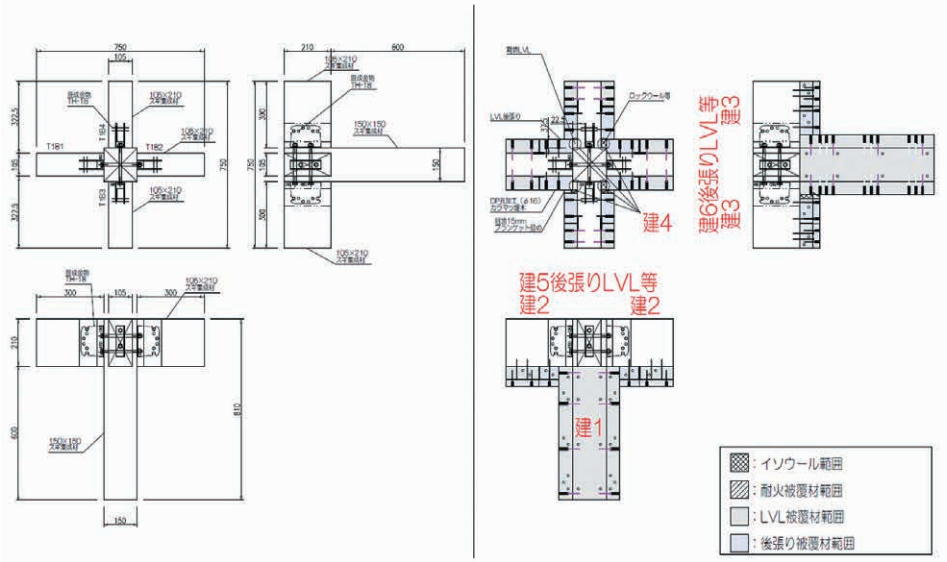
- 柱梁接合部の被覆材料と目地の検討
  目地については、難燃薬剤処理LVL同士、難燃薬剤処理LVLと告示の石膏ボード被覆同士において、平部・入隅・出隅部について、現場で生じる施工誤差を吸収でき、かつ耐火性能を確保できる仕様を検討した。
- LVL構造と非耐火部材との取り合いの検討
  耐震壁、耐震ブレース、雑壁等、梁貫通との取り合い部について、また鉄骨造とLVL被覆柱との取り合いについて耐火性能を検討した。
- 被覆納まりを検証した納まり図の提案
  耐火性能を検証した接合部のやり方を図示した設計提案資料を作製した。

難燃薬剤処理含浸

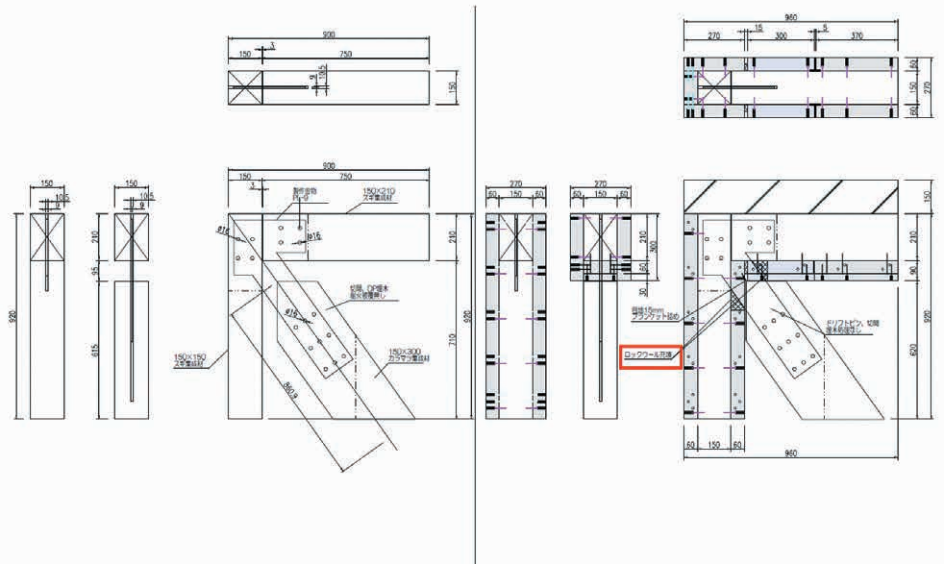
2次接着した難燃薬剤処理LVL

耐火接合部試験体

耐火接合部試験体



耐火接合部図面例



耐火接合部図面例

実施した結果

●**難燃薬剤処理LVLのLCA評価**

難燃薬剤処理LVLのCO_2排出量を検証し、石膏ボードの既存の値と比較した。材料単体で評価したところ、難燃薬剤処理LVLは石膏ボードより多い結果となった。CO_2固定の効果を入れると石膏ボードと同等で評価できる。

●**難燃薬剤処理LVL被覆耐火構造の接合部の耐火性能検証**

難燃薬剤処理LVL同士、薬剤処理LVLと石膏ボード被覆との目地について、ロックウールや耐火シーラントを使用し、施工誤差を吸収できる目地の耐火性能を検証した。また、非耐力部材との取り合いについても、耐火性能を検証した。

接合部耐火試験後

接合部耐火試験後

今後の課題・展開等

●**難燃薬剤処理LVLのLCA評価**

難燃薬剤処理LVLのCO_2排出量を使用してのLVL被覆耐火建築物の評価、石膏ボード被覆木造耐火建築物との比較、他耐火構造（S造・RC造）との比較。

●**難燃薬剤処理LVL被覆耐火構造の接合部の耐火性能検証**

難燃薬剤処理LVL被覆耐火構造は木造躯体に製材・集成材・LVLすべて使えることが特徴であり、本事業で得た成果を利用して、LVL被覆耐火構造、およびLVL被覆と石膏ボード被覆を併用した木造耐火建築物の設計支援と販売促進を行う。

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

● 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、仕様の検討、検証などを行った。

実施した項目

（1）高耐力壁

・設計上の目標耐力の設定：層数1～3の最下階では40kN/m（真のせん断変形角評価、以下「真」という）（運用する壁倍率で約15倍相当程度）、層数4～5の最下階では60～80kN/m（真）（運用する壁倍率で約25倍相当程度）

・耐力壁の要素試験：くぎ、構造用面材の一面せん断試験

・耐力壁試験（タイロッド式）：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

・設計上の目標耐力の設定：1階柱脚で380～440kN、中間階で280～320kN（いずれも短期引張）

・層数5の1階用及び中間階用の柱頭柱脚金物〔各1種、計2種〕の開発、引張試験

（3）高性能準耐火壁

・目標を75分間準耐火性能として、外壁、間仕切壁の載荷加熱試験

（4）上階延焼抑制防火設備

・目標を45分間遮炎性能として、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実務に携わる2つの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	稲山正弘（東京大学大学院農学生命科学研究科 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（(一社) 日本木造住宅産業協会 技術開発委員長）
委　員	坂口晴一（(一社) 日本ツーバイフォー建築協会 技術部長）
委　員	青木哲也（(一社) 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（(一社) 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　　稲山正弘（前述）
委　員　　高橋雅司（(一社）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（(一社）中大規模木造プレカット技術協会 理事）
委　員　　足立　剛（(一社）JBN・全国工務店協会 中大規模木造委員会委員）

■防火設備等開発検討WG（※敬称略・順不同）

主　査　　成瀬友宏（前述）
委　員　　高橋　済（アイエヌジー株式会社 代表取締役）

■オブザーバー、行政

（公財）日本住宅・木材技術センター、林野庁木材産業課、国土交通省住宅局参事官（建築企画担当）付、国土交通省 国土政策総合研究所、木構造振興株式会社　など

■コンサルタント

（株）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）要素試験（くぎの一面せん断試験）

主に引き抜け破壊で終局を迎える仕様を前期試験の試験体に選定するため、図-1に示すように、柱の両側に側材（構造用面材）2枚を面材1枚当たりくぎ2本留めとし、くぎにせん断力が加わるよう柱部に加力した。

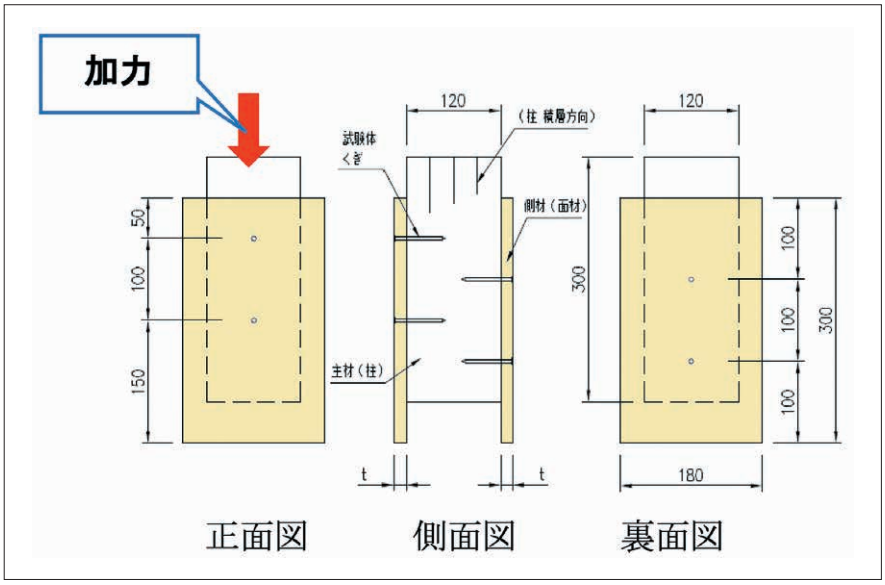


図-1　試験体図の概要

2）前期試験

前期試験は、要素試験において望ましい終局を迎えた仕様から決定した。試験体仕様の一覧を、表-1に示す。

耐力壁試験は、前期試験と後期試験とも面内せん断試験（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（γ0）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）

パラメータ＼試験体No.		前期試験（4仕様各1体）			
		No. ２３	No. ２４	No. ２５	No. ２６
試験体の目標耐力		40kN/m（真）			
壁仕様		大壁			
柱頭仕様		めり込み補強金物（ほぞパイプ仕様）			
柱脚仕様		めり込み補強金物			
壁面材	面材種類	構造用合板（全層ｶﾗﾏﾂ）	構造用合板（全層ﾋﾉｷ）	構造用合板（全層ｶﾗﾏﾂ）	MDF
	厚さ	18mm			
	詳細	特類1級相当			密度0.7g/cm^3
	両or片面	両面			
	接合具	CNZ65@100mm×2列千鳥		CNZ75@100mm×2列千鳥	CNZ65@200mm×2列千鳥
中桟		断面：120mm×120mm、樹種：ヒノキ集成材（E95-F315）			なし
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			
桁		断面：120mm×360mm、樹種：ベイマツ集成材（E120-F375）			
土台		断面：150mm×120mm、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）			
柱		断面：120mm×120mm、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）			
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			

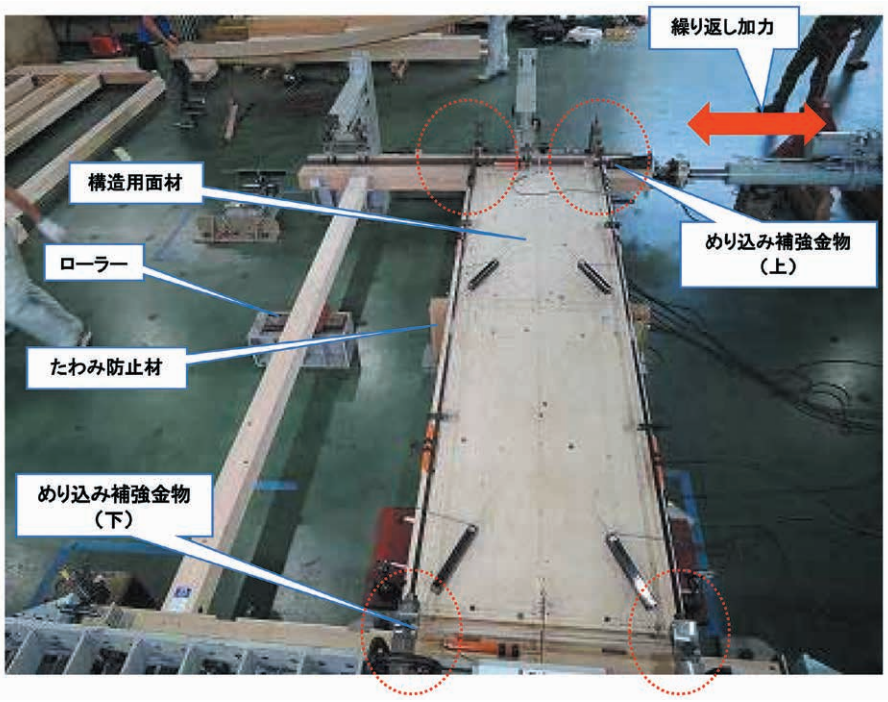


写真-1　試験体の設置状況

3）後期試験

後期試験は、前期試験において主にくぎの引き抜け、くぎ頭のめり込みにより脆性的な破壊にならずに終局を迎え、かつ現行の規格のある No.23～25 の仕様に基づき選定した。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）

（※表中、下線部は前期試験から変更された箇所）

パラメータ＼試験体 No.		後期試験（3 仕様各 3 体）		
		No. ２７	No. ２８	No. ２９
試験体の目標耐力		40kN/m(真)		
壁仕様		大壁		
柱頭仕様		めり込み補強金物(ほぞパイプ仕様)		
柱脚仕様		めり込み補強金物		
壁面材	面材種類	構造用合板（全層ｶﾗﾏﾂ）	構造用合板（全層ﾋﾉｷ）	構造用合板（全層ｶﾗﾏﾂ）
	厚さ	18mm		
	詳細	特類 1 級相当		
	両 or 片面	両面		
	接合具	CNZ65@100mm×2 列千鳥		CNZ75@100mm×2 列千鳥
中桟		断面：120mm×120mm、樹種：ヒノキ集成材(手配の都合上、E105 以上)		
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		
桁		断面：120mm×360mm、樹種：ﾋﾉｷ集成材(E105-F300)		
土台		断面：150mm×120mm、樹種：ﾋﾉｷ集成材（中桟と同）		
土台側受け材		断面：120mm×90mm、樹種：ヒノキ集成材		
柱		断面：120mm×120mm、樹種：ヒノキ集成材		
間柱		断面：120mm×45mm、樹種：ﾋﾉｷ集成材(中桟と同)		
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		

4）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-2 に示す。各要素の特性は、要素試験（くぎ、構造用面材の一面せん断試験）、金物接合部試験、材料の規格値などから設定した。

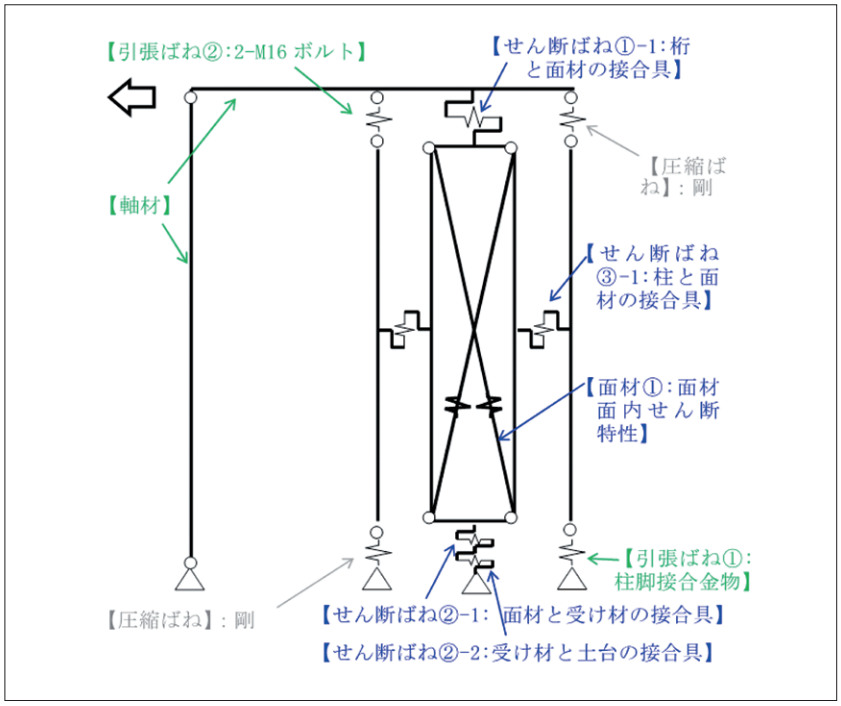


図-2　大壁仕様の解析モデル概要

（2）接合金物

１階用、中間階用の柱頭柱脚金物（それぞれ１仕様）を供して、柱に固定した試験体（各６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より降伏変位 δｙを得た後、δｙの 1/2、1、2、4、6、8…倍の順に一方向繰り返し加力とした。

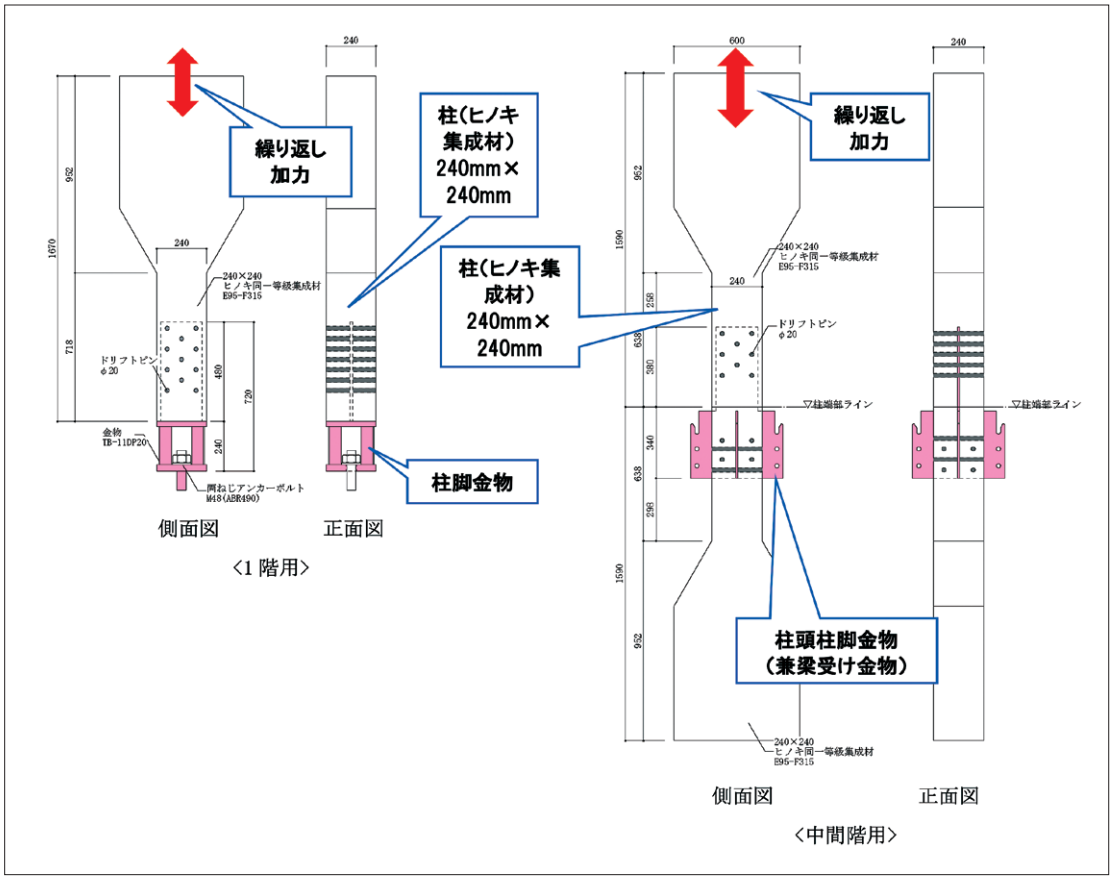


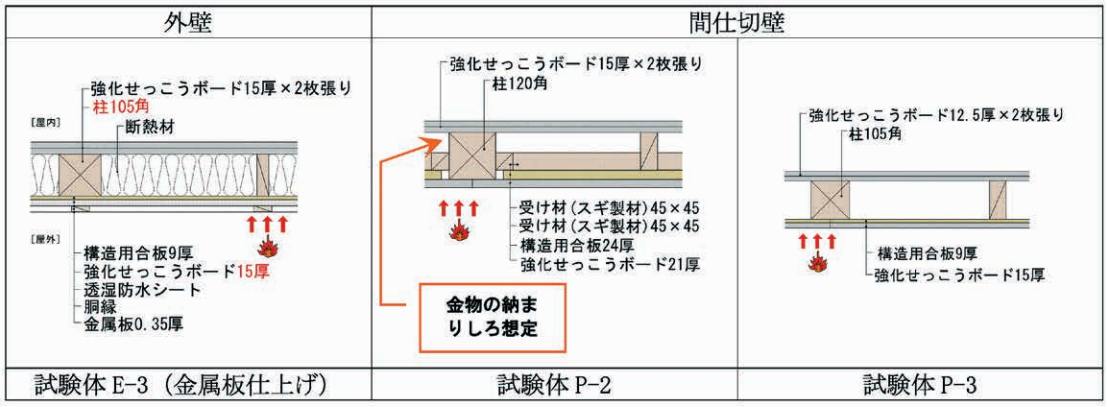
図-3　試験体仕様の概要（接合金物）（単位：㎜）

（3）高性能準耐火壁

試験体の加熱側の被覆は、外壁では汎用性のある材料として鋼板を用いた仕様、間仕切壁では強化せっこうボード（P-2 は 21㎜厚,P-3 は 15㎜厚）と構造用合板 24㎜厚を組み合わせた仕様、非加熱側の被覆は既往の報告で 75 分間準耐火性能を得た仕様を選定した。各試験体の断面の概要を表-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。

表-3　試験体仕様の概要（高性能準耐火壁）（単位：㎜）



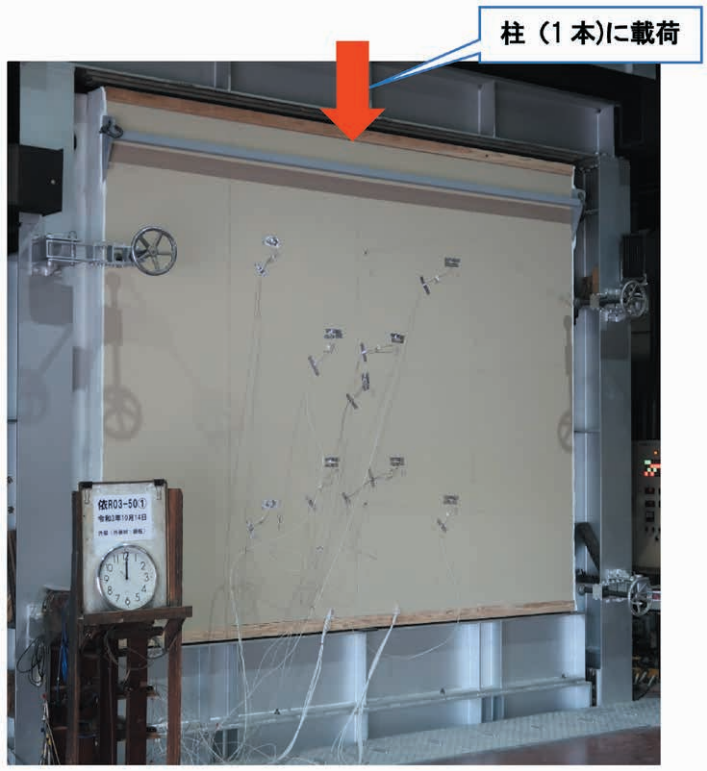


写真-2　試験体の加熱炉設置状況（高性能準耐火壁）

（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､FIX 窓及び片引き窓（閉鎖時引き寄せガイド付）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、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-4、試験体の概要を図-4 に示す。

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て加熱を実施した。各試験体の加熱炉設置状況を写真-3 に示す。

表-4　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	FIX 窓	屋内(押縁)側	【中】W726×H726（700×700）	L 金物 +木材	なし
	B		屋外(非押縁)側			
2	C		屋内(押縁)側		ケイカル板 +木材	
	D		屋外(非押縁)側			
↓A～D で、A が遮炎性に最も劣る結果を得たため、屋内(押縁)側を加熱面に選定						
3	E	FIX 窓	屋内(押縁)側	【小】W226xH226（200×200）	L 金物 +木材	なし
	F			【中】W726×H726（700×700）		
	G			【大】W1226×H2426（1200×2400）		
4	H			【小】W226xH226（200×200）	ケイカル板 +木材	
	I			【中】W726×H726（700×700）		
	J			【大】W1226×H2426（1200×2400）		
5	K	片引き窓	屋内(押縁)側	【小】W826×H696（800×670）	L 金物 +木材	SUS 厚 0.3
	L		屋外(非押縁)側			

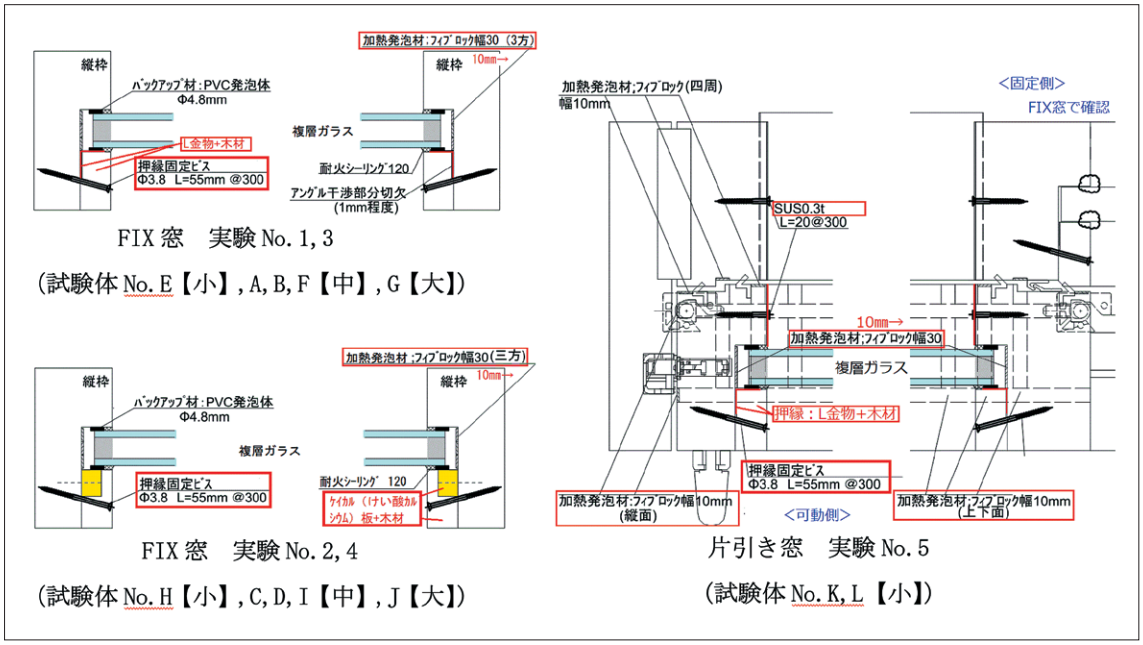


図-4　各試験体の遮炎補強〔主に赤囲い〕（上階延焼抑制防火設備）

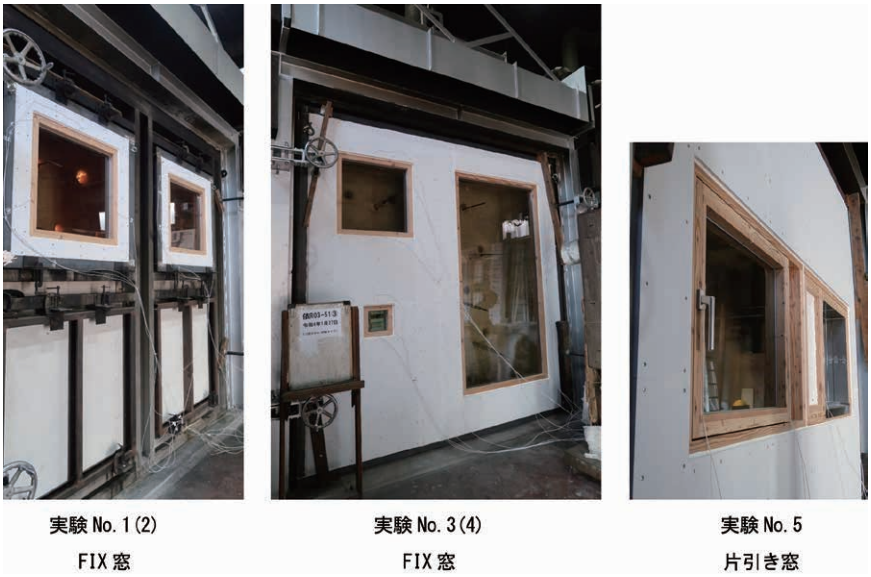


写真-3　各試験体の加熱炉設置状況（上階延焼抑制防火設備）

実施した結果

（1）高耐力壁

1）要素試験（くぎの一面せん断試験）

要素試験での各試験体（6体）の破壊状況は、以下のとおりであった（特記のない場合、残りは引き抜け破壊の試験体数）。

＜前期試験に採用＞

- 構造用合板18mm(全層カラマツ)(CNZ65、CNZ75)：全て引き抜け破壊
  →それぞれ、前期試験のNo.23，25
- 構造用合板18mm(全層ヒノキ)(CNZ65)：1体パンチングアウト
  →前期試験のNo.24
- MDF18mm（CNZ65）：4体パンチングアウト（過去の文献では、全て引き抜け破壊）
  →前期試験のNo.26

＜前期試験に不採用＞

- 構造用MDF9mm(NZ50)、構造用パーティクルボード9mm(NZ50)、MDF15mm(CNZ65)、構造用合板18mm(全層ヒノキ)(CNZ75)：全てパンチングアウト
- 構造用合板15mm(全層カラマツ、全層ヒノキ)(CNZ65)：5体パンチングアウト

2) 前期試験

試験結果の一覧を表-5に示す。前期試験では、構造用合板仕様についてはいずれも目標性能に達した。MDF仕様が目標性能に達しなかったのは、接合具間隔が構造用合板仕様よりも広いことが要因である。

表-5　試験結果の一覧（高耐力壁、前期試験）

試験体No.	No. ２３	No. ２４	No. ２５	No２６
決定因子	降伏耐力 P_y			
壁長1mあたりの短期基準せん断耐力 P_0(kN/m)	44.8（真）	44.6（真）	55.6（真）	25.8（真）

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

3) 後期試験

試験結果の一覧を表-6に示す。後期試験では、いずれも目標性能に達した。いずれの試験体も、1/30rad変形後に、主に受け材、中桟に供した木材の割裂により終局を迎えた。また、中桟等の強度区分が上がったことで、低減係数を入れても前期試験よりも高い短期基準せん断耐力の値となった。

表-6　試験結果の一覧（高耐力壁、後期試験）

試験評価＼試験体No.		No. ２７	No. ２８	No. ２９
P_{max}(kN)		平均80.1	平均81.9	平均97.8
①	降伏耐力 P_y(kN)	平均45.7 (②0.984)	平均46.0 (②0.976)	平均53.2 (②0.992)
	終局耐力 $0.2P_u\sqrt{(2\mu-1)}$ (=D_s) (kN)	平均48.1 (②0.963)	平均58.7 (②0.987)	平均69.9 (②0.990)
	最大耐力の 2/3P_{max}(kN)	平均53.4 (②0.984)	平均54.6 (②0.996)	平均65.2 (②0.989)
	真の変形角1/150rad時の耐力 P_{150}(kN)	平均54.5 (②0.988)	平均51.7 (②0.986)	平均60.9 (②0.991)
③（=min(①×②)）50%下限値(kN)		45.0	44.9	52.8
④壁長1mあたりの短期基準せん断耐力 P_0（=③/0.91(kN/m)）※		49.5 (真)	49.3 (真)	58.0 (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

4) 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

3)で試験を実施したNo.27-1の仕様を解析した結果、図-6に示すように、概ね整合することが確認された。

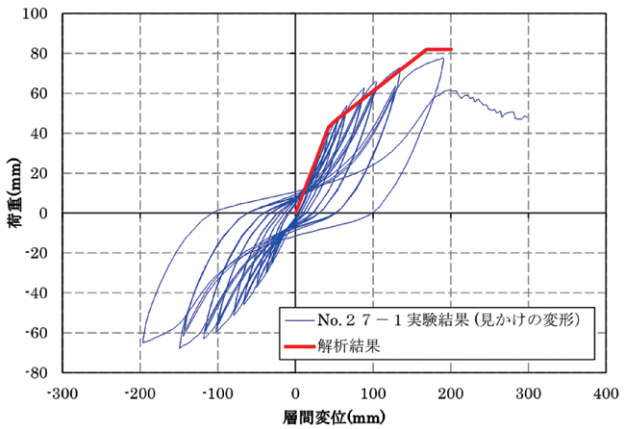


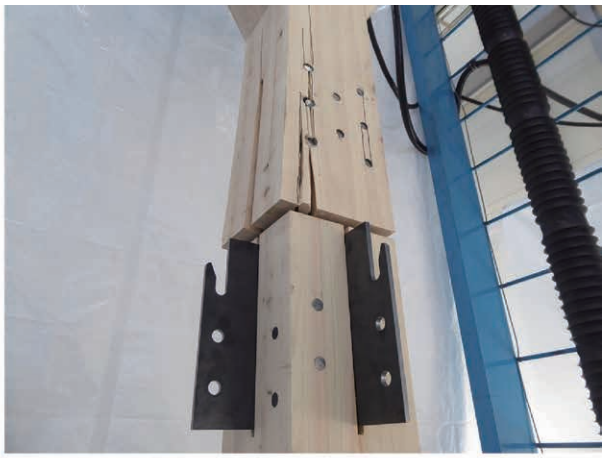
図-6　実測値と解析結果の比較（No.27-1）

（2）接合金物

試験の実施状況を写真-4、試験結果の一覧を表-7に示す。短期基準耐力（引張）は、1階用で380～440kN、中間階用で280～320kN目標に対して、いずれの金物もやや不足する結果であり、じん性等が確保できるような接合部設計の再検討が必要となった。

なお、各試験体の破壊状況については、1階用は溶接部の切れが6体中3体、ドリフトピン位置での木部破断が6体中3体あり、中間階用は6体全てドリフトピン位置での木部破断であった。

1階用



中間階用

写真-4　試験の実施状況（接合金物）

表-7　試験結果の一覧（接合金物）

部位	試験評価		
	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)
1階用	347	348	347
中間階用	234	234	339

※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

加熱終了時及び脱炉後の状況を、表-8及び写真-5で示す。E-3, P-2の試験体は、目標の75分間準耐火性能を得た。一方、P-3の試験体は、目標性能時間には若干達しなかった。これは、加熱中（45分後過ぎから）に強化せっこうボードの脱落（崩落）が起き、燃焼中の構造用合板があらわしとなったことが要因である。

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）
外壁　E-3		93分間	76分間	92分30秒、壁の座屈（加熱終了時も鋼板の脱落なし）
間仕切壁	P-2	100分間	82分間	100分30秒、壁の座屈（加熱終了時も強化せっこうボードの脱落なし）
	P-3	87分間	71分間	86分30秒、壁の座屈（加熱中に強化せっこうボードの脱落（崩落）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。

試験体 E-3（金属板仕上げ）	試験体 P-2	試験体 P-3
外壁	間仕切壁	

写真-5　加熱終了、脱炉後の加熱側の状況（高性能準耐火壁）

（4）上階延焼抑制防火設備

試験結果の一覧を表-9に示す。なおFIX窓については、実験No.1，2の試験結果をもって、実験No.3，4の試験体の加熱面〔屋内（押縁）側〕を選定し、いずれも目標の45分間遮炎性能（また、1割の余裕度を含めた50分間遮炎性能）を達成した。片引き窓（実験No.5）についても、ガラスサイズのより大きなものでも過去に目標性能を達成しており、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	押縁	屋外側金属覆い	火炎貫通時間※
1	A【中】	FIX 窓	屋内(押縁)側	L 金物 +木材	なし	57 分 49 秒
	B【中】		屋外(非押縁) 側			84 分 02 秒
2	C【中】		屋内(押縁) 側	ケイカル板 +木材		74 分 25 秒
	D【中】		屋外(非押縁) 側			73 分 00 秒
3	E【小】	FIX 窓	屋内(押縁) 側	L 金物 +木材	なし	>67 分
	F【中】					>67 分
	G【大】					66 分 06 秒
4	H【小】			ケイカル板 +木材		>65 分
	I【中】					>65 分
	J【大】					62 分 52 秒
5	K【小】	片引き窓	屋内(押縁) 側	L 金物 +木材	SUS 厚 0.3 mm	50 分 48 秒
	L【小】		屋外(非押縁) 側			>98 分

※ ”> ●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）主な課題を、以下に示す。

- 脆性的な破壊をしない市場流通品の材料、仕様の追加調査
- 要素試験からの検討（仕様の追加や解析モデルのための元データ）
- 施工性に関する課題
- 実設計に向けて課題、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
- めり込み補強金物の改良

（3）高性能準耐火壁

今年度の事業では、外壁、間仕切壁各１仕様で75分間準耐火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。

- (1) 高耐力壁の試験体に供した下地での、仕様の追加
- 木質系面材を考慮した防火被覆のスリム化

（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FIX窓、片引き窓の仕様とも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。

- FIX窓、片引き窓以外の開閉形式（開き窓、すべり出し窓など）
- カラマツ以外の樹種（スギ、ヒノキなど）

令和2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 4 年 3 月発行
編集　木構造振興株式会社