

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

規格化された道産材大断面集成材を活用した 寒冷地用集成ログ壁材の開発事業報告書

令和5年2月

一般社団法人 木のいえ一番協会

目次

はじめに（鈴木委員長）	1
第1章 事業の概要.....	2
1 背景及び目的.....	2
2 寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会の構成	5
3 事業実施体制.....	6
4 事業スケジュール.....	7
5 寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会の開催	8
第2章 事業の実施状況.....	10
1 事業の流れ.....	10
2 寒冷地用集成ログ壁材の製造コスト等調査.....	18
2.1 製造方法	18
2.2 製造コスト等調査方法	30
2.3 製造コスト等の試算結果.....	30
2.4 まとめ.....	30
3 寒冷地用集成ログ壁材の品質・強度性能試験	31
3.1 品質・強度性能試験方法.....	31
3.1.1 減圧加圧剝離試験	32

3.1.2	ホルムアルデヒド放散量試験.....	33
3.1.3	曲げ強度試験.....	34
3.1.4	ブロックせん断強度試験.....	35
3.2	品質・強度性能試験結果.....	37
3.2.1	減圧加圧剥離試験.....	37
3.2.2	ホルムアルデヒド放散量試験.....	39
3.2.3	曲げ強度試験.....	40
3.2.4	ブロックせん断強度試験.....	50
3.2.5	まとめ.....	52
4	省エネ基準に対応したログハウスモデルプランの検討.....	53
4.1	モデルプランの外皮平均熱貫流率（UA 値）等の試算.....	53
4.2	外皮平均熱貫流率（UA 値）等の試算結果.....	54
4.3	まとめ.....	58
第3章	まとめ.....	60
第4章	今後の課題・展開等.....	62

はじめに

「地産地消」という言葉は、農村の食生活改善と地域生産・経済の両立を目指したある事業にあわせて 1980 年代はじめに誕生したようで、意外なことにその歴史は浅い。しかし、いまや農業分野のみならず、地域に存するさまざまな資源、エネルギーの域内利用や消費を促す数多くの取り組みに使われ、耳にするようになった。

はるか遠い昔より、その周辺の野山で産出される土や樹木などの地場資源でなりたってきた「すまい・まちづくり」もまた、広義には「地産地消」の際たるものといえるが、建築をなりわいとしているせいか、永く地域の財産になるべくという願いをこめて「地産地生」と呼びたいところである。それはともかく、過去の度重なる戦乱や災害からの復旧・復興、農業生産地や居住空間の開発・拡大などにより、周辺で利用できる資源量が低下しそれを国外に求めはじめたあたりから、残念ながら建築は「地産地生」とは言えなくなってきた。一方で、いまから数十年以上前の戦後復興期に行われた大規模な植林により、我が国の木材蓄積量はここ数百年のなかで最大となり、すまい・まちを再び「地産地生」し地域の財産にするにはまたとない機会が到来している。貴重な資源をどう活かし、持続可能な資源としてどう未来に継承するか・・緑豊かな主伐期を迎えた森林とともに暮らす我々に課された使命・責任は極めて重い。

2050 年カーボンニュートラル、2030 年度温室効果ガス 48% 排出削減という目標は、現存する省エネルギー、再生可能エネルギーや温暖化ガス吸収技術などを積極的に推進するだけで実現するほど容易なものではない。むしろこれらの実装の壁をブレークスルーする革新的技術をどこまで迅速に開発し定着できるかにかかっている。住宅・建築分野において令和 4 年度は、規制強化と誘導の両輪により、技術の確実な定着と革新を促すため建築物省エネ法や住宅性能表示制度（省エネ関連）の改定、都市の木造化を誘導するため建築基準法の見直しを行うなど、脱炭素社会の実現に向けて大きく舵をきり、加速化した年であった。

わが国の木造建築様式のルーツのひとつに校倉造りが挙げられるが、その構造様式によく似たログハウスが明治初期、森林量が豊富だった北海道で生まれたという史実は極めて興味深い。これまで日本の住宅・建築物の断熱化をリードし、いま我が国の森林蓄積量の十数%を占める北海道を主たる対象として、脱炭素社会の実現に向けて、そして前述したように再び「すまい・まちを地産地生」とするために、省エネルギーと居住環境の質を両立させたエンベロップを有する新たなログハウスを提案する意義はきわめて大きい。本事業の成果が、我が国の半分を占める寒冷地へ、さまざまな用途建築物へ、さらには関連する産業の発展に貢献することを期待したい。

寒冷地用集成ログ壁材開発委検討員会

委員長 鈴木 大隆

第1章 事業の概要

1. 背景及び目的

2050年カーボンニュートラル、2030年度温室効果ガス48%排出削減(2013年度比)の実現に向け、わが国のエネルギー消費量の約3割を占める建築物分野における取組が急務となっている。また、温室効果ガスの吸収源対策の強化を図る上でも、わが国の木材需要の約4割を占める建築物分野における取り組みが求められている。

このため、建築物の省エネ性能の一層の向上を図る対策の抜本的な強化や、建築物分野における木材利用の更なる促進に資する規制の合理化などを講じる「脱炭素社会の実現に資するための建築物のエネルギー消費性能の向上に関する法律等の一部を改正する法律」(以下、この報告書では「建築物省エネ法等」という。)が令和4年6月17日に公布された。

この法改正より、木造住宅・建築物に非常に大きな影響があると考えられるものが二点ある。一つは、2025年度に全ての新築住宅において現行の省エネ基準相当の外皮性能・一次エネルギー性能が義務化されることである。例えば、住宅では表1-1に示すように、現行の省エネ基準の外皮性能(断熱等性能:等級4)に加え、住宅性能表示制度において新たに創設された上位等級(等級5、6)への対応も必要となっている。

表 1-1 住宅性能表示制度における省エネ性能に係る上位等級の創設

外皮平均熱貫流率 (U_A) 及び冷房期の平均日射熱取得率 (η_{AC}) の基準										
等級		地域区分								備考
		1 (夕張等)	2 (札幌等)	3 (盛岡等)	4 (会津若松等)	5 (水戸等)	6 (東京等)	7 (熊本等)	8 (沖縄等)	
等級7 (戸建住宅)	UA	0.20	0.20	0.20	0.23	0.26	0.26	0.26	—	2022年10月1日～ 運用開始
	η_{AC}	—	—	—	—	3.0	2.8	2.7	—	
等級6 (戸建住宅)	UA	0.28	0.28	0.28	0.34	0.46	0.46	0.46	—	
	η_{AC}	—	—	—	—	3.0	2.8	2.7	5.1	
等級5	UA	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.6	—	2022年4月1日～ 運用開始
	η_{AC}	—	—	—	—	3.0	2.8	2.7	6.7	
等級4	UA	0.46	0.46	0.56	0.75	0.87	0.87	0.87	—	2025年度より 義務化
	η_{AC}	—	—	—	—	3.0	2.8	2.7	6.7	
等級3	UA	0.54	0.54	1.04	1.25	1.54	1.54	1.81	—	
	η_{AC}	—	—	—	—	4.0	3.8	4.0	—	
等級2	UA	0.72	0.72	1.21	1.47	1.67	1.67	2.35	—	
	η_{AC}	—	—	—	—	—	—	—	—	

もう一つは、建築物省エネ法改正に伴う建築基準法の改正により構造区分が変わり、一定以下の規模の建築物について建築確認申請時の構造審査を省略する、いわゆる4号特例がなくなり、木造2階建て住宅は2号に区分されることとなる(図1-2)

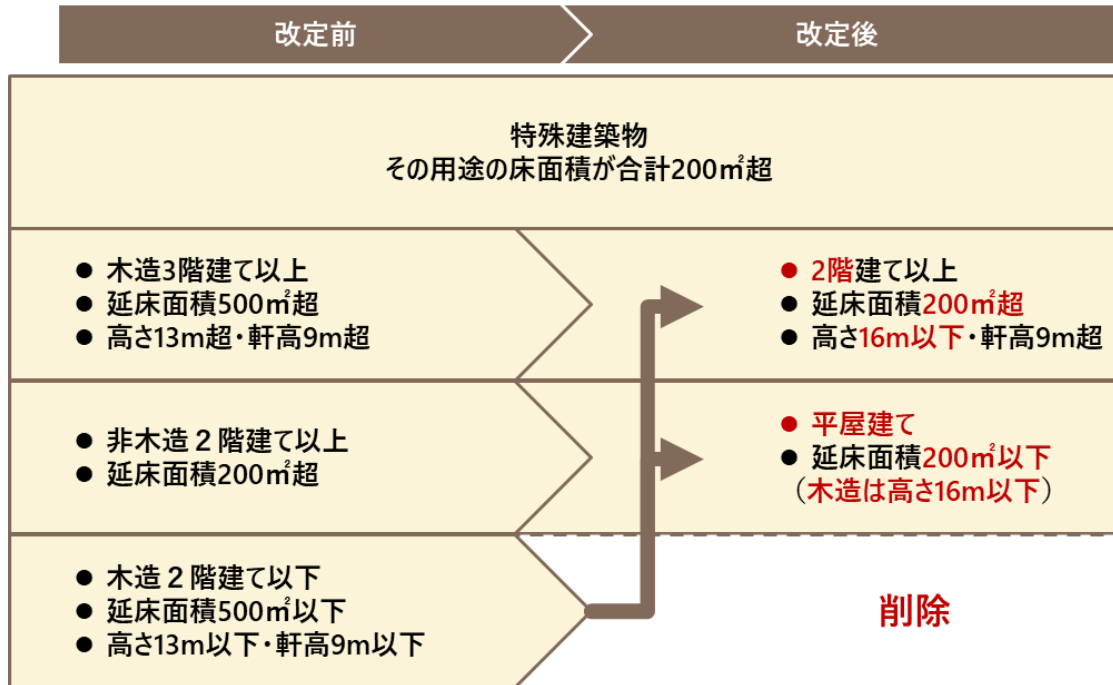


図1-2 建築基準法第6条の改正に係る4号建築物の位置づけの変化

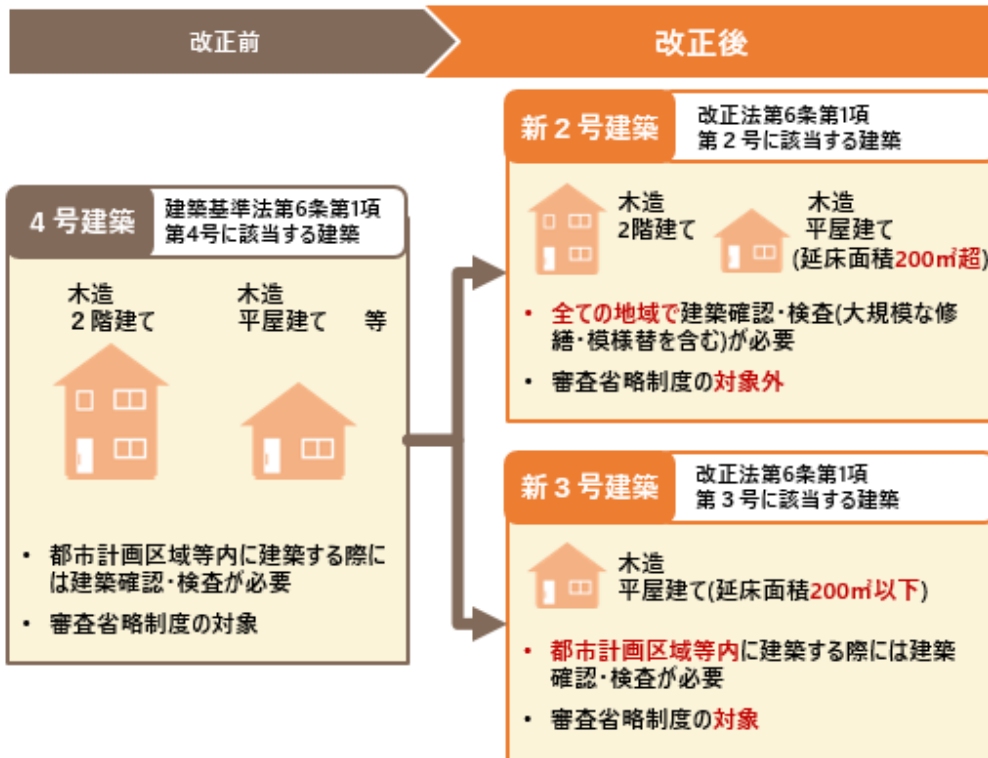
このことにより、木造2階建て住宅の建築確認申請時には、省エネ基準に適合していることを証明する書類とともに、構造計算書、伏図等の必要書類を提出しなければならないこととなる(図1-3)。

今回の建築物省エネ法等の改正に伴い、今後、より高い省エネ住宅・建築物に対して金融面や助成制度で優遇策が講じられることとなっており、その外壁の仕様等はロックウールやグラスウール等の断熱材の使用が主となっている。一方、構造材と外壁・内装材を兼ねるログ壁材は木材に対する顧客のこだわりもあり、必要な断熱性を確保するためには現在以上の厚物の木質材料が必要となる。現状のままでは省エネ基準の最も厳しい1、2地域の北海道等では、木材使用量の最も多いログハウスなどは対応できなくなるだけでなく、道産材の使用量が減少することが懸念される。

また、北海道では戦後造林されたカラマツ、トドマツが利用期を迎えつつあり、梱包材や合板等だけでなく、建築物省エネ法に対応した新たな木質建築部材を開発していく必要がある。

住宅の省エネ性能の評価基準は、住宅の窓や外壁などの外皮性能基準と設備機器等の一次エネルギー消費量基準を指標として建物全体の省エネ性能を評価することになっているが、本事業では寒冷地用ログ壁材の外皮性能基準に特化した開発事業とする。

「建築確認・検査」「審査省略制度」の対象範囲の改正



確認申請時に提出が必要な構造・省エネ関連の図書の追加

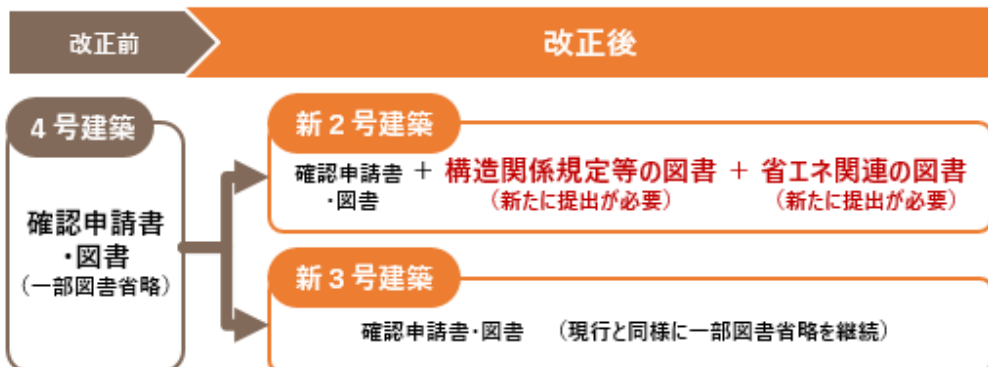


図 1-3 木造2階建て住宅の建築確認・検査、省エネ関連図書等の改正

外壁の外皮機能をクリアする方法としては、①高性能の断熱材の使用、②厚物のムク材、大断面の集成材、CLT、LVL、接着合せ材などの木質材料を使用することが考えられるが、本事業では、想定するモデルログハウスに対応した道産材を使用した規格化された大断面集成材に平板を接着した、寒冷地用集成ログ壁材（250 mm厚）の開発を行うものである。

これにより、省エネ基準の最も厳しい北海道でも新省エネ基準の外皮性能に適合したログハウスの建築が可能となるだけでなく、非住宅での使用や軸組み工法等の他の工法の外壁等としての汎用性も期待される。

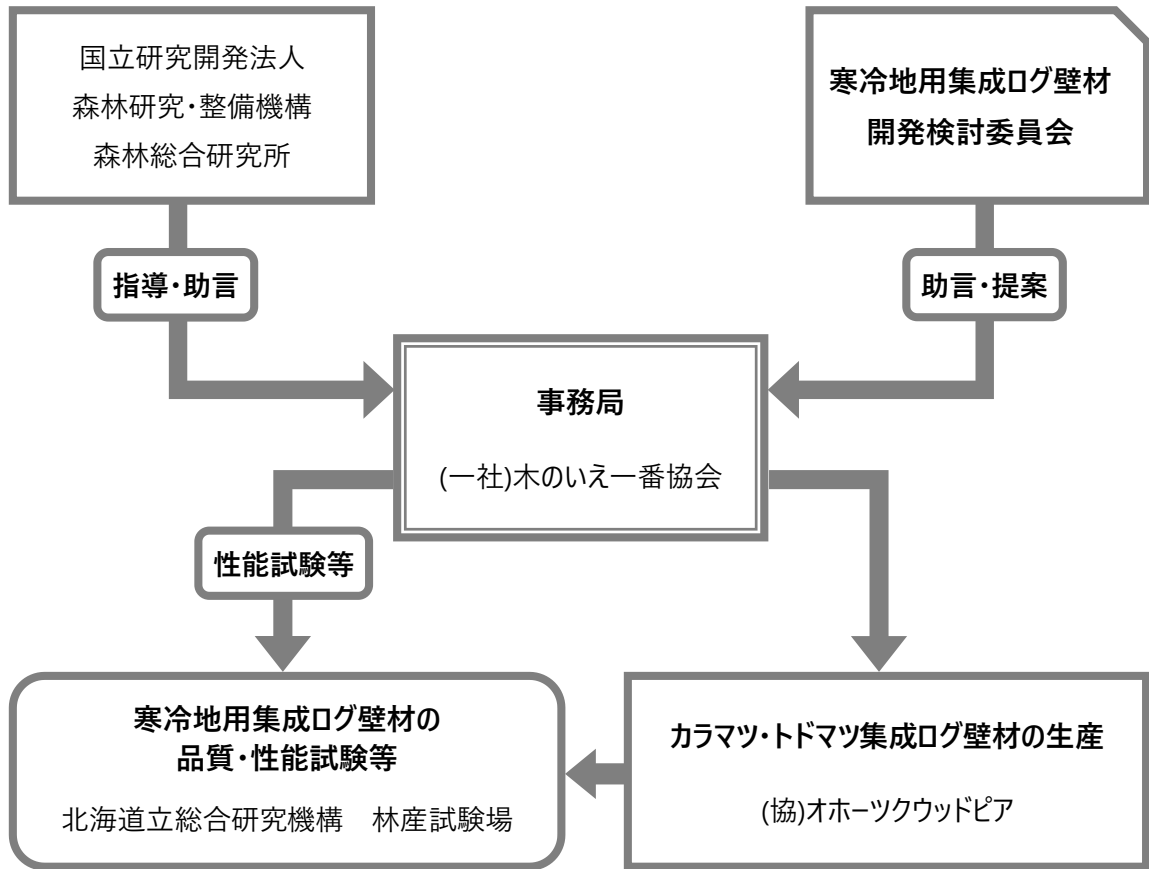
また、利用期を迎えているカラマツ、トドマツの人工林材の木質建材としての新たな需要創出にもつながる。

2. 寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会の構成

区分	氏名	所属
委員長	鈴木 大隆	地方独立行政法人北海道立総合研究機構 理事（研究事業担当）
委員	宮武 敦	森林総合研究所 複合材料研究領域 研究専門員
	杉本 健一	森林総合研究所 構造利用研究領域 木質構造居住環境研究室 室長
	大橋 義徳	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 技術部 生産技術グループ 研究主幹
	中根 幹成	協同組合 オホーツクウッドピア 理事長 物林（株） 北海道グループ長
	五十嵐 賢博	（株）綜建築研究所 代表取締役
	鎌田 広道	（株）アールシーコア BESS 事業本部 商品開発部 生産開発 参事
	池田 均	（一社）木のいえ一番協会 技術開発部長 （株）アールシーコア BESS 事業本部 商品開発部

区分	氏名	所属
オブザーバー	宮崎 淳子	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 技術部 生産技術グループ 主査
	石原 亘	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 技術部 生産技術グループ 研究職員

3. 事業実施体制



4. 事業スケジュール

	令和4年度(2022年)									令和5年(2023)		
	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月		
	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬	上旬 中旬 下旬		
寒冷地用 集成ログ 壁材開発 検討委員 会			第 1 回 (5日)						第 2 回 (9日)			
寒冷地用 集成ログ 壁材開発 生産・加 工コスト等 調査				ラミナの購入 規格型大断面集成の製造 2次接着 仕上げ・モルタル加工								
寒冷地用 集成ログ 壁材品 質・強度 性能調査				曲げ強度調査 ブロックせん断調査 剥離調査 ホルムアルデヒド測定調査								
省エネ基 準に対応 したログハ ウスモデル プランの検 討								モデルプランの検討				
事業報告 書の作成 及び成果 の普及								報告書の作成等				

5. 寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会の開催

検討委員会は2回実施し、主な内容は以下の通りである。

◇ 第1回寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会の開催

○ 日 時：令和4年7月5日（火）、14：00～16：30

○ 場 所：東京都渋谷区神泉町22-2 神泉風来ビル 6F 研修室

○ 参加者：14名（WEB参加3名）

○ 主な内容

- ・住宅・建築物の省エネ化を巡る新たな動き等
- ・寒冷地用集成ログ壁材開発事業計画の説明
- ・森林総合研究所の中長期計画の概要等
- ・ログハウスを巡る最近の動き
- ・道内の木材需給の現況、オホーツクウッドピアの概要、寒冷地用集成ログ壁材（カラマツ、トドマツ）の製造について
- ・寒冷地用集成ログ壁材の性能・強度試験の概要
- ・寒冷地用集成ログ壁材のサブシステムとしての活用、寒冷地ログ壁材を使用した断熱等性能等級4、5、6基準をクリアするモデルの作成等

◇ 第2回寒冷地用集成ログ壁材開発検討委員会の開催

○ 日 時：令和4年12月9日（金）、14：00～16：30

○ 場 所：東京都渋谷区神泉町22-2 神泉風来ビル6F 第一会議室

○ 参加者：13名（WEB参加4名）

○ 主な内容

- ・事業報告書の構成、背景・目的等
- ・寒冷地用集成ログ壁材の製造、コスト等の試算結果
- ・道内のカラマツ・トドマツの需給状況等
- ・寒冷地用集成ログ壁材開発事業の進捗状況、課題等

- ・ 性能・強度試験の実施及び結果について
- ・ 断熱等性能等級 4、5、6 をクリアするログハウスモデルプランの仕様、コストの試算等



第 1 回検討委員会の開催状況



第 2 回検討委員会の開催状況

第2章 事業の実施状況

1. 事業の流れ

まず初めに事業全体の流れを表 1-1 に示す。また、寒冷地用集成ログ壁材の製造～性能・強度調査用試験体の作製までの流れを図 1-1 に示す。オホーツクウッドピアにてカラマツ、トドマツのラミナ及び二次接着用の平板材の調達、乾燥、規格化された大断面集成材の製造、二次接着により成形前ログ壁材のカラマツ 20 本、トドマツ 20 本の製造を行った。その後、性能・強度試験用試験体の実（さね）部分を除いた必要断面積を確保した試験体の切削・加工を行った。この試験体を使用して寒冷地用集成ログ壁材の性能・強度試験を北海道立林産試験場で実施した。また、綜建築研究所にて寒冷地用集成ログ壁材を使用した場合の省エネ性能の等級 4, 5, 6 基準をクリアするモデルプランの検討を行った。

カラマツ、トドマツのラミナ及び二次接着用平板材を道内の製材工場から 360 枚（37×233×4000 mm）調達し、蒸気式乾燥機により含水率 20%以下に乾燥を行った（写真 1-1）。

規格化された大断面集成材（7 プライ、210 mm×210 mm×4000 mm、ノン JAS 製品）については、ログ壁材は大きな曲げ強度等を必要としないことからカラマツ、トドマツとも同一等級構成でスギ集成材の E55-F225 以上とし、外壁として使用環境 A が必要なことから接着剤はレゾルシノールとした（写真 1-2）。

省エネ基準 1、2 地域におけるログ壁材の厚さは 240 mm 必要であるが、効率性等の観点から規格化された大断面集成材の縦使いの両脇に平板材（30×210×4000 mm）を二次接着（接着剤レゾルシノール）してログ壁厚 250mm とし、その製造コスト等を調査した（写真 1-3）。

試験体については、今回、機械プレカットによるログ加工を行わないことから、実部分を除いた断面積を確保したカラマツ 20 本、トドマツ 20 本の試験体（162×250×4000 mm）を製造した（写真 1-4）。試験体のうち、カラマツ、トドマツの試験体各 10 本を使用して減圧加圧剥離試験、ホルムアルデヒド放散量試験、ブロックせん断強度試験を実施し、残り各 10 本を使用して曲げ強度試験を実施した。

減圧加圧剥離試験は、1 試験体から 2 試験片、合計 40 片を採取し実施した（写真 1-5）。ホルムアルデヒド放散量試験は 1 試験体から 1 試験片、計 20 片を採取しアクリルデシケーター法により実施した（写真 1-6）。ブロックせん断強度試験は 1 試験体から一次接着層 2 箇所、二次接着層 4 箇所から実大いす型試験体 120 体を作製して実施した（写真 1-7）。曲げ試験は、曲げ試験体 20 本を作成して強度試験を行った（写真 1-8）。

また、寒冷地用集成ログ壁材を使用し、窓等の外皮性能を変えることにより断熱等性能等級 4、5、6 に対応したモデルプランを検討した。

表 1-1 事業の流れ

工 程	数 量	樹種・調査項目等
1. ラミナ及び平板材の調達・乾燥	360 枚	カラマツ 180 枚、トドマツ 180 枚
2. 大断面集成材の製造（一次接着）	40 本	カラマツ集成材・トドマツ集成材各 20 本、コスト
3. 集成ログ壁材の製造（二次接着）	40 本	大断面集成材に平板を 2 次接着、コスト
4. 性能・強度試験用試験体の作製	40 本	カラマツ・トドマツ各 20 本
5. 性能・強度試験の実施	40 本	減圧加圧剥離、ホルム放散量、曲げ、せん断
5. ログハウスモデルプランの検討	—	省エネ性能等級 4、5、6 に適合する外皮性能等

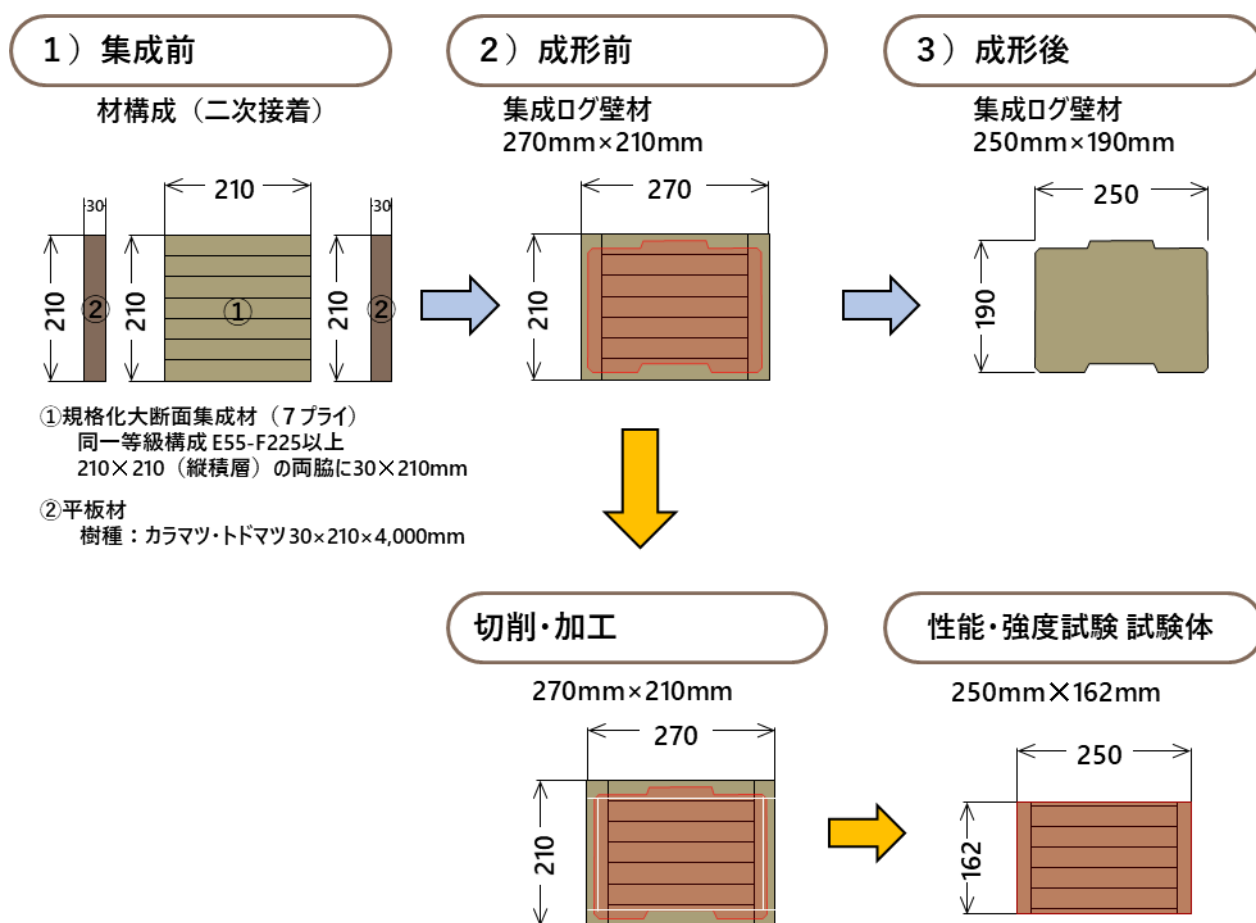


図 1-1 寒冷地用集成ログ壁材の製造～試験体作製までの流れ

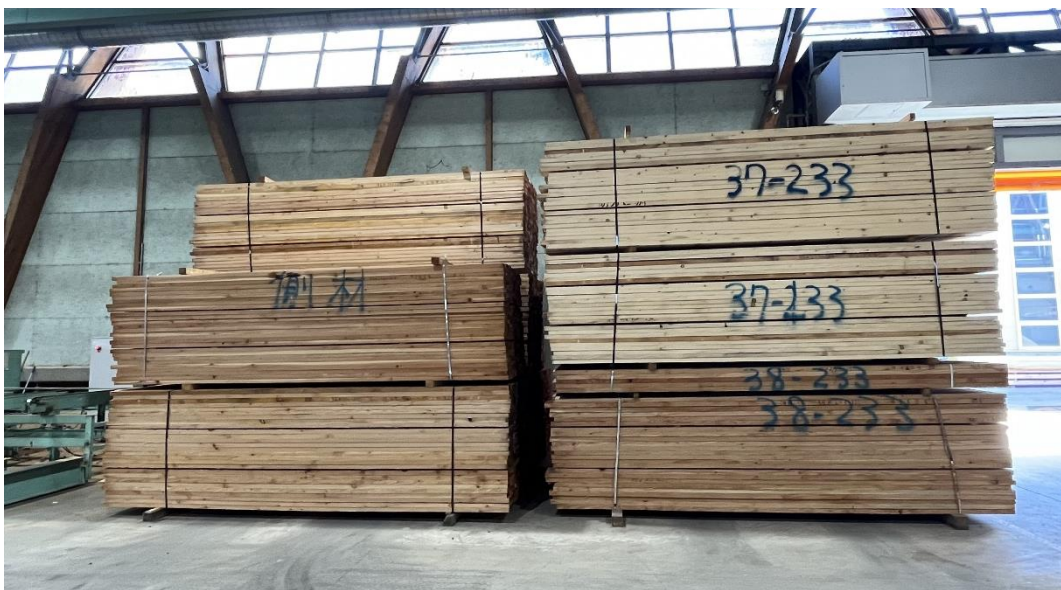


写真 1-1 カラマツ（濃色）・トドマツ（白色）のラミナ及び平板材



写真 1-2 規格化された大断面集成材（上：カラマツ、下：トドマツ）



写真 1-3 二次接着後の寒冷地用集成ログ壁材（左：カラマツ、右：トドマツ）



写真 1-4 切削・加工後の試験体（上：トドマツ、下：カラマツ）



写真 1-5 減圧加圧剝離試験の写真



写真 1-6 ホルムアルデヒド放散量試験



写真 1-7 ブロックせん断強度試験



写真 1-8 曲げ強度試験

2 寒冷地用集成ログ壁材の製造コスト等調査

2.1 製造方法

カラマツ、トドマツのラミナ及び平板材の製材品（生材）は、オホーツクウッドピアが(有) 滝田木材から調達した。ログ壁厚 250 mmを確保するため、小断面集成材（柱等）や中断面集成材（梁・桁）より幅広のもの（37×233×4000 mm）をカラマツ、トドマツそれぞれ 180 本調達した。

次に、ラミナ及び平板材をオホーツクウッドピアの蒸気式乾燥機（エノ産業、EH-100）により 20%以下の含水率に人工乾燥するとともに、ラミナの粗削り前に連続水分計（マイクロメジャー、LB-I）で含水率を測定し、20%以下であることを確認した。

これらのラミナをムラ取りモルダー（飯田工業、M252-4）により厚さ調整を行った後、グレーディングマシン（飯田工業、MEFG-251）による測定（4種類の強度等級区分）、クロスカットソー（菊川鉄工所、OD20）による大節、腐れ等の欠点等の除去、フィンガープラント（太平製作所、C66-AB）によるフィンガージョイント加工・接着（レゾルシノール）、仕上げモルダー（トップスペック、TOPSPEC306 軸）、プルーローラー（飯田工業、PLH-251）によるフィンガージョイント部の強度確認、長さ寸法の調整を行った後、シャワーコーター（庄内機械、M305Y200）によるレゾルシノール塗布、高周波プレス（山本ビニター、CLUEx-150CLT）による積層接着（一次接着）の工程により、規格化された大断面集成材（7プライ、210×210×4000 mm）をカラマツ 20 本、トドマツ 20 本製造した（写真 2.1-1～写真 2.1-12）。

規格化された大断面集成材は主に強度性能も担うことを期待しているものの、横架材ほどの強度を必要としないことからスギの等級構成の E55-F225 以上とした。使用したラミナのヤング係数は L70 以上とし、幅広い等級をランダムに貼り合わせることにした（図 2.1-1）。また、ログ壁は外壁として風雨等にさらされることから接着剤は使用環境 A に必要なレゾルシノールとした。

規格化された大断面集成材 40 本の製造日程は、1日目の午後と翌日の 2 時間程度で仕上がっており、他の集成材製造の作業と並行しながらの作業であることや高周波による積層接着の時間短縮等から、横架材集成材と生産性はあまり変わらないと考えられる。

カラマツ・トドマツの規格化された大断面集成材にそれぞれの樹種の平板材を接着する二次接着は、ログらしい木材の現わしと接着面が内外装に出ないためのものであり、ボルト圧縮装置（自家製）により実施した。大断面集成材 5 本を 4 列に並べそれぞれにモルダー加工後に接着剤を塗布（太平製作所、MX-MV-15-220-S）した平板材（30×210×4000 mm）を両側にセットし、電動エアインパクトレンチやトルククランプ、クランプ（ジグ）等の工具により接着固定した（写真 2.1-13～17）。

最初のカラマツ大断面集成材の二次接着は 7 名体制（手締接着側 5 名、手締装置裏側 2 名）で 1 時間 20 分程度を要したが、2 日目のトドマツ大断面集成材の二次接着は作

業者の慣れもあり 5 名体制で同様の時間で完了した。

林産試験場で実施する性能・強度試験用の試験体（カラマツ 20 本、トドマツ 20 本）は、四面プレーナー（菊川鉄工所、NF-100 4 軸）により実部分を除いた断面積のサイズ（250×162×4000 mm）に加工し、オホーツクウッドピアから林産試験場に搬入した（写真 2.1-18、19）。



写真 2.1-1 蒸気式乾燥機



写真 2.1-2 ラミナ・平板材（乾燥材）

（上段：トドマツ、下段：カラマツ）



写真 2.1-3 連続水分計



写真 2.1-4 ムラ取りモルダー



写真 2.1-5 グレーディングマシンによる強度検査



写真 2.1-6 クロスカットソーによる欠点等の除去



写真 2.1-7 フィンガープラントによるフィンガージョイント加工・接着



写真 2.1-8 仕上げモルダ（右）とブルーローダー（左）



写真 2.1-9 フィンガージョイント接着・仕上げモルダー加工後のラミナ



写真 2.1-10 シャワーコーターによるレジンノール塗布



写真 2.1-11 高周波による積層接着（一次接着）



写真 2.1-12 一次接着後の大断面集成材（左：カラマツ、右：トドマツ）



写真 2.1.13 平板材への接着剤塗布

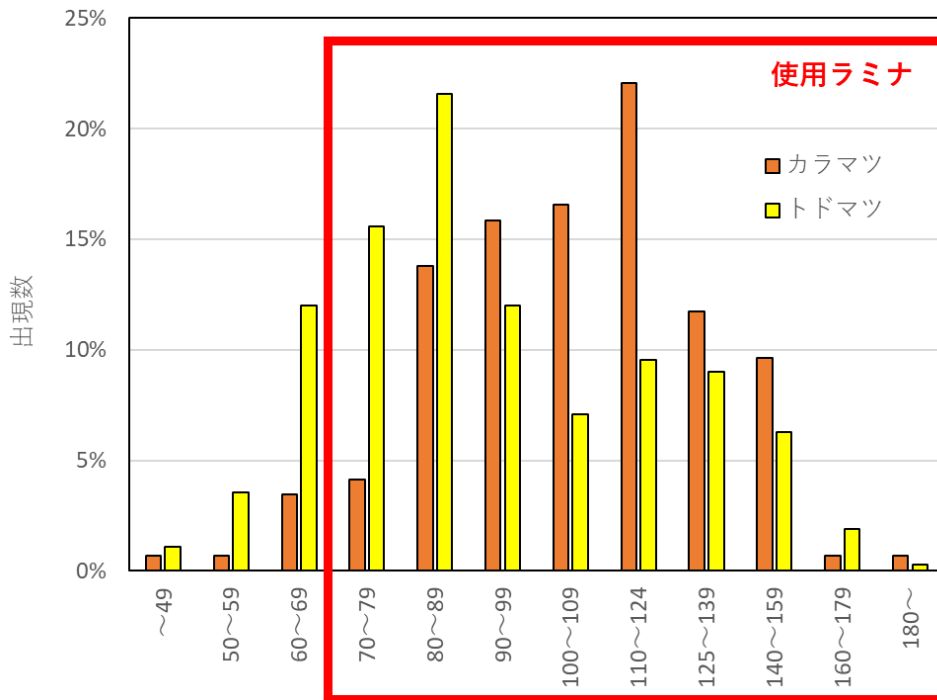


図 2.1-1 使用したラミナのヤング係数の区分と出現率

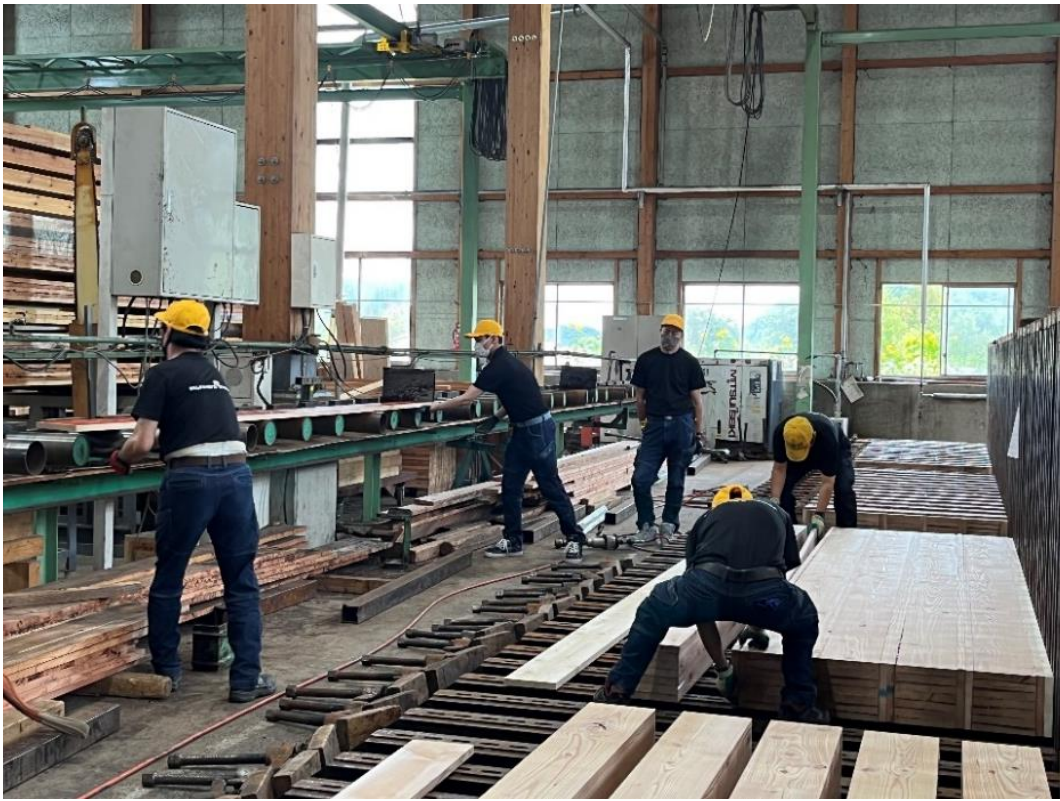


写真 2.1-14 規格化された大断面集成材への平板材のセット

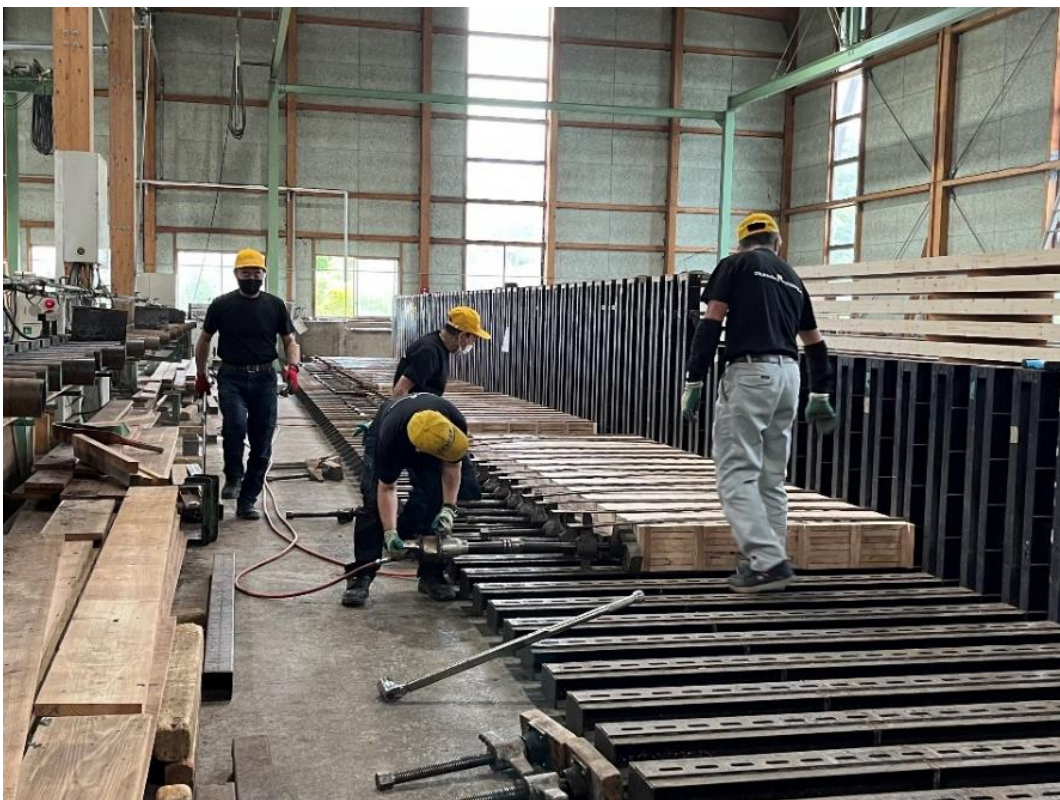


写真 2.1-15 二次接着固定作業（電動エアインパクトレンチ）



写真 2.1-16 二次接着固定完了



写真 2.1-17 寒冷地用集成ログ壁二次接着材（左：カラマツ、右：トドマツ）



写真 2.1-18 四面プレナーによる性能・強度試験用試験体の加工



写真 2.1-19 性能・強度試験用試験体（上段：トドマツ、下段：カラマツ）

2.2 製造コスト等調査方法

寒冷地用集成ログ壁材は省エネ性能等級4に対応する新たな木質建材の開発であり、また、2021年の木材不足・価格高騰のいわゆるウッドショックの影響をまともに受ける中での開発であったことから、(協)オホーツクウッドピア等からの聞き取りによりコスト等を試算した。なお、寒冷地用集成ログ壁材の製造が中断面集成材等の製造と調整を図りながらの間断的な生産となったことから、生産性等については調査が実施できなかった。

2.3 製造コスト等の試算結果

寒冷地用集成ログ壁材の製造コストは主にラミナや接着剤等の材料費、エネルギー費、人件費、設備の償却費等から構成されるが、製造コストの調査方法で述べたように生産性等の調査ができなかったことから、規格化された大断面集成材(一次接着)の製造費、平板材を二次接着した寒冷地用集成ログ壁材の製造費コストを試算(価格等は2022年3月時点のもの)した。また、一次接着コスト及び二次接着コストには、ラミナ及び平板の材料費を含む。なお、カラマツ、トドマツのラミナの単価等は樹種による違いはないものとして試算した(表2.3-1)。

表 2.3-1 寒冷地用集成ログ壁材等の製造コストの試算結果

製造工程	(円/㎡)
一次接着コスト(大断面集成材の製造)	311,600
二次接着コスト(大断面集成材+平板材)	88,200
合計	399,800

2.4 まとめ

寒冷地用集成ログ壁材のコスト(399,800円/㎡)が他の同等の品質等を有する代替材に比べコストが高いかどうかの単純比較はできないが、一般的に流通しているスギ乾燥製材品(120×120×3000mm)の133,600円/㎡、スギ集成管柱(105×105×3000mm)の111,900円/㎡(いずれも2022年3月時点)に比べると割高感が強い。これは、寒冷地における省エネ性能等級を確保するための必要コストと考えられるが、①ラミナの手当て時がウッドショックにより価格が最も高騰した時期であったこと、②大径材からしか採取できない幅広のラミナ(幅233mm)はコスト高となること、③木の現わしやログらしさを出すために規格化された大断面集成材に平板材を二次接着することによりコストが増したこと、④試作品であったことから作業工程に手間がかかったことなどが考えられる。

なお、令和4年12月時点のラミナ価格による一次接着(大断面集成材)コストは、立法当たり20万円の半ばで生産可能となっている。

3. 寒冷地用集成ログ壁材の品質・強度性能試験

3.1 品質・強度性能調査方法

カラマツ及びトドマツ寒冷地用集成ログ壁材各 20 体、合計 40 体の試験体（幅 250 mm × せい 162 mm × 長さ 4000 mm）について、性能・強度調査を実施した（図 3.1-1）。

また、各試験体からの試験片は図 3.1-2 のように採取した。

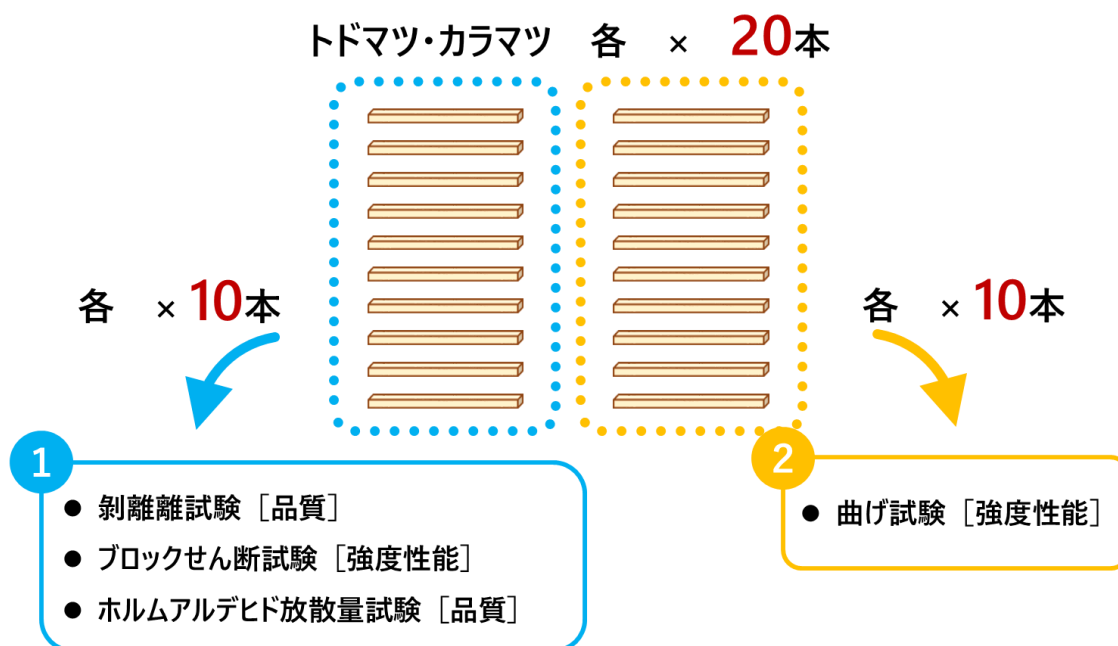


図 3.1-1 試験体から各試験片の採取方法

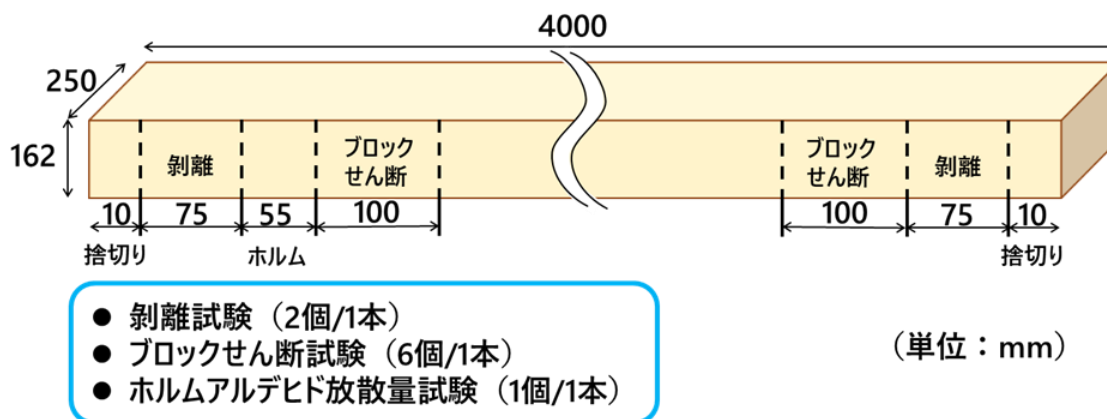


図 3.1-2 試験片の採り方

3.1.1 減圧加圧剥離試験

カラマツ及びトドマツ寒冷地用集成ログ壁材各 10 本の試験体から採取した試験片について、集成材の日本農林規格における減圧加圧剥離試験（使用環境 A）に準じて令和 4 年 9 月 28 日～11 月 8 日に試験を行った。試験片は、各試験体の両端部の 10 mm 以上内側の部分から木口断面寸法をそのままにして、長さ 75 mm の試験片を 2 片作製（写真 3.1.1-1）、枝番を-1、-2 とし、40 試験片の初期重量を測定した。①室温水中に試験片を浸漬し 0.085MPa で 5 分間減圧した後、0.51±0.03MPa で 1 時間加圧する処理（写真 3.1.1-2）を 2 回行った。②試験片を水中から取り出し 70±3°C の乾燥機に入れ（写真 3.1.1-3）、試験片の重量が初期の 100～110% になるまで乾燥した。③①～②を 2 回繰り返した。試験片の両木口面における剥離の長さを測定し、剥離率及び同一接着層における剥離の長さの合計を算出した。なお、剥離の隙間が 0.05 mm 以上で剥離長さが 3 mm 以上のものを測定した。また、干割れ、節等による木材の破壊、節が存在する箇所のはがれは剥離とみなさなかった。剥離率は以下の式に従って算出した。

$$\text{剥離率 (\%)} = (\text{両木口面の剥離の長さ}) / (\text{両木口面の接着層の長さの合計}) \times 100$$

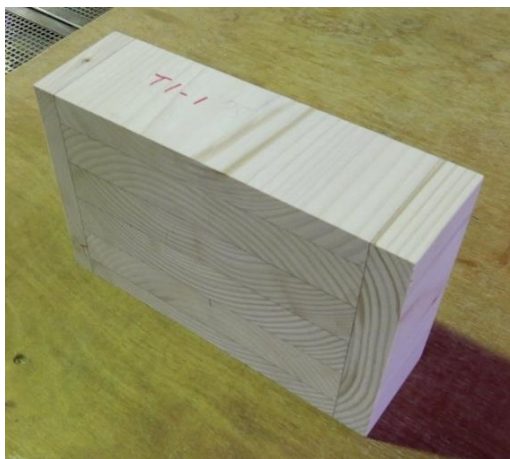


写真 3.1.1-1 剥離試験片



写真 3.1.1-2 減圧加圧処理の様子



写真 3.1.1-3 試験片の乾燥

3.1.2 ホルムアルデヒド放散量試験

カラマツ及びトドマツ寒冷地用集成ログ壁材各 10 本の試験体から 1 本当たり 1 試験片を作製し、集成材の日本農林規格のホルムアルデヒド放散量試験（デシケーター法）に準じて令和 4 年 9 月 28 日～11 月 1 日に試験を行った。試験片は、試験体の長さ方向の端部より 140 mm 離れた箇所から木口寸法をそのままにして、両木口を除いた表面積が 450 cm²（図 3.1.2-1）となるよう採取した。試験片の両木口面にホルムアルデヒドを透過しないアルミニウム製テープを貼り付けて密封し、試験片を 1 本ずつポリエチレン製のチャック付き袋に入れて密封し、温度 20°C の室内で 1 日以上養生した。内容量およそ 40L のアクリル製デシケーターの底の中央部に 20mL の蒸留水を入れた内径 57 mm、高さ 50mm のポリプロピレン製捕集水浴機を置き、その上にステンレス製金網に乗せた試験片を設置した。試験容器を温度 20°C 条件下で 24 時間放置して試験片が放散するホルムアルデヒドを蒸留水に吸収させて試料溶液とした。また、試験片を入れない状態で上記の操作を行い、これをバックグラウンド溶液とした（写真 3.1.2-1）。

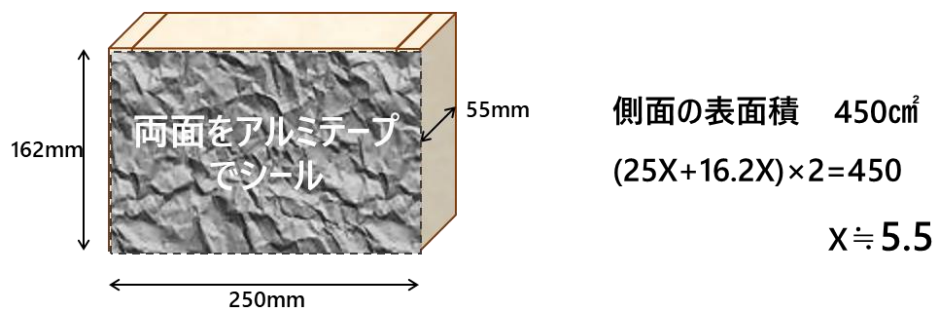


図 3.1.2-1 ホルムアルデヒド放散量調査の試験片



写真 3.1.2-1 左：試験片の測定、右：バックグラウンド測定

試料溶液 5mL を 15mL 共栓付き試験管に取り、次にアセチルアセトン-酢酸アンモニウム溶液を加えて栓をして混合した。この試験管を 65°Cの温水中で 10 分間加温した後、室温になるまで冷却した。この溶液を吸収セルに取り、水を対照として波長 412 mmの吸光度を分光光高度計（日立製作所、U-2001）を用いて測定した。その後、予め作成した検量線を用いて試験片のホルムアルデヒド濃度を算出した。

3.1.3 曲げ強度試験

カラマツ及びトドマツ寒冷地用集成ログ壁材の試験体（以下それぞれカラマツ試験体、トドマツ試験体と称する）各 10 本について、木材実大強度試験機（東京衡機製造所、WU1000）を用いて令和 4 年 9 月 28 日～10 月 17 日に曲げ試験を行った。試験体の記号は K がカラマツ、T がトドマツで、これらの記号の後に個別番号（1～10）を書き添えた。曲げ試験の前に試験体の密度を測定した。曲げ試験は支点間スパンを厚さの 18 倍である 2916 mm、荷重点間距離を厚さの 4 倍である 648 mmとした 4 点荷重法により行った（図 3.1.3-1）。荷重は容量 200kN のロードセルを用いて計測し、分解能 1/100 mm、ストローク 100 mmのひずみゲージ式変位変換器を用いてスパン中央部の両側面でスパン中央たわみを計測した（写真 3.1.3-1、写真 3.1.3-2）。クロスヘッドの移動速度は 10 mm/分とし、曲げ強度と曲げヤング係数を算出した。また、曲げ試験終了後の試験体の非破壊部から含水率測定用の試験片を切り出し、全乾重量法により含水率を測定した。

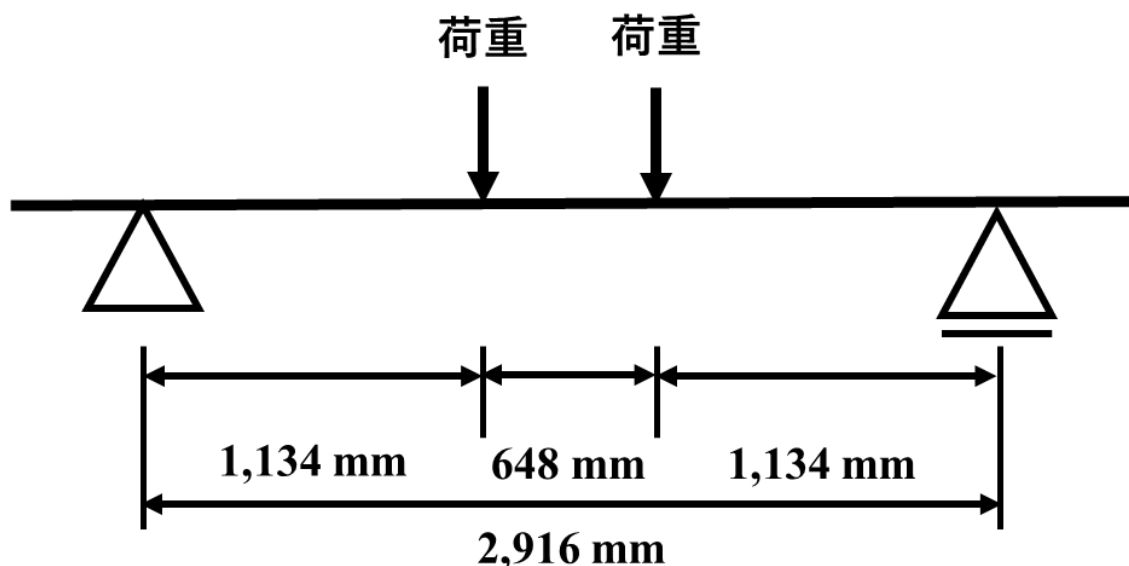


図 3.1.3-1 曲げ試験方法



写真 3.1.3-1 曲げ試験の様子（カラマツ）

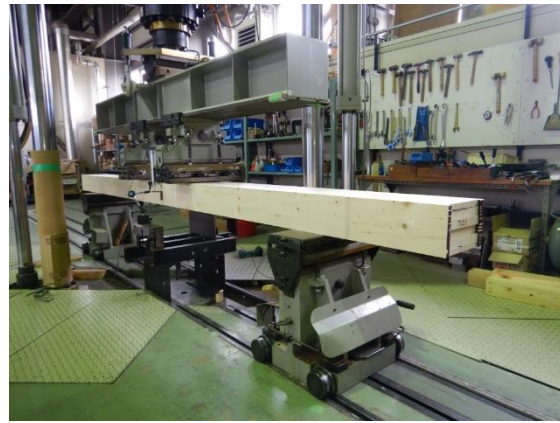


写真 3.1.3-2 曲げ試験の様子（トドマツ）

3.1.4 ブロックせん断強度試験

ブロックせん断試験片は、カラマツ及びトドマツ寒冷地用集成ログ壁材各 10 本の試験体の両端部より 6 片/本の断試験片（二次接着部 4 片、一次接着部 2 片）、計 120 片を採取した（図 3.1.4-1）。試験片の寸法形状は集成材の日本農林規格によるもの（図 3.1.4-2）とし、20℃相対湿度 65%環境下で養生した後、試験に供した。ブロックせん断試験は、令和 4 年 9 月 28 日～11 月 1 日に万能試験機（島津製作所、AG-10kNXplus）を用いてクロスヘッドスピード 1 mm/min とし集成材の日本農林規格に準じてブロックせん断試験を行い（写真 3.1.4-1）、せん断強さを算出した。試験片破断後、破断面について方眼シートを用いて観察し、接着層の木部破断率（木破率）を 5%単位で計測した（写真 3.1.4-2）。なお、試験に先立って試験片の寸法及び重量を測定し、試験時の気乾密度を求めた。

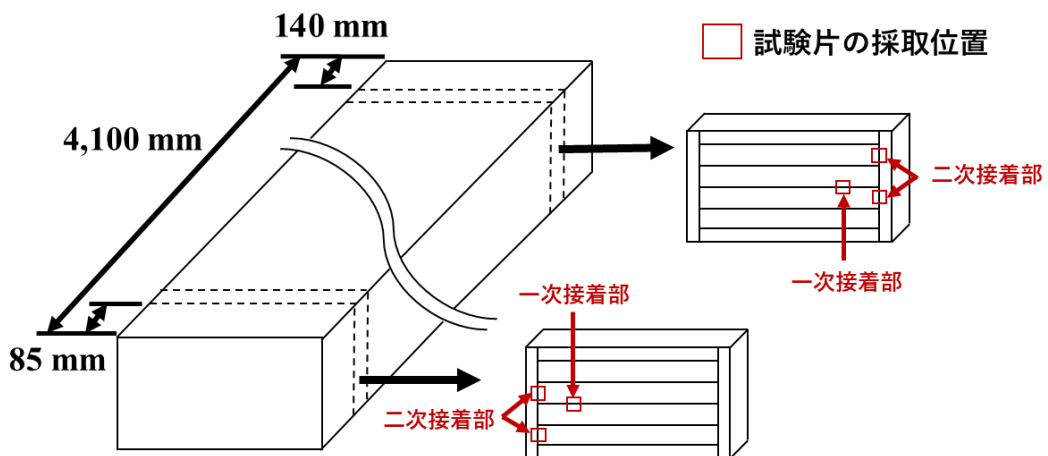


図 3.1.4-1 試験片の採取位置

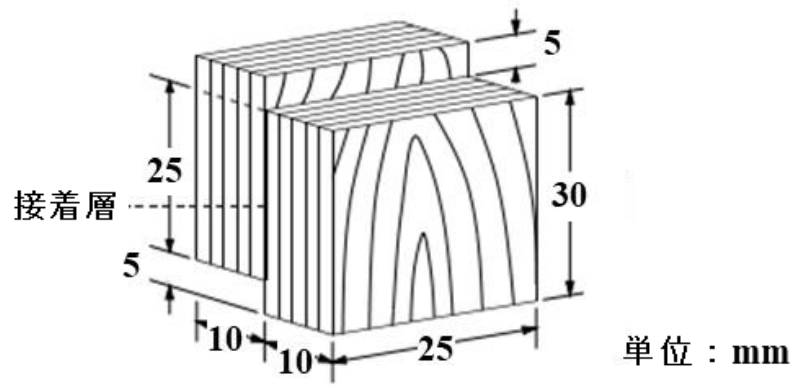


図 3.1.4-2 ブロックせん断試験片



写真 3.1.4-1 ブロックせん断試験の様子

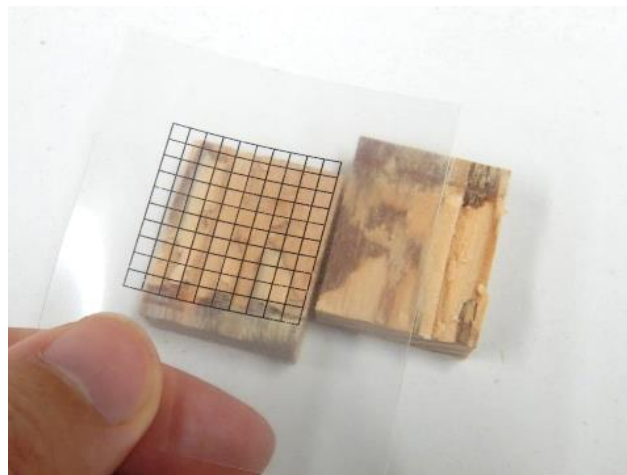


写真 3.1.4-2 木破率の測定の様子

3.2 品質・強度性能試験結果

3.2.1 減圧加圧剝離試験

JAS 規格では、試験体の接着層長さの合計に対する全剝離長さの合計が 5% 以下、かつ、一接着層の長さに対する剝離長さの合計が 1/4 以下であることが求められる。そして、全試験体のうち 90% 以上がこの基準を満たす必要がある。

今回の試作品は、標準断面集成材（今回は 210mm×210mm を使用）の側面に二次接着で新たにひき板を積層接着する製造工程を特徴とすることからその二次接着層を評価対象とし、二次接着層長さの合計（本試験では 648mm）に対する剝離長さの合計が 5%（本試験では 32mm）以下、かつ、一接着層の長さ（本試験体では 162mm）に対する剝離長さの合計が 1/4（本試験体では 41mm）以下であることを基準とした。その成績を樹種別に合格数/試験体数として表 3.2.1-1 に示す。また、測定結果をカラマツ集成材は表 3.2.1-2、トドマツ集成材は表 3.2.1-3 に示す。

表 3.2.1-1 試験結果のまとめ 合格数/試験体数

カラマツ	18/20
トドマツ	19/20

この結果、今回試作したカラマツ集成材では 20 体中 18 体が、また、トドマツ集成材では 20 体中 19 体が基準を満たすことが確認された。このことから、今回の製造工程のように標準断面集成材の側面に二次接着で新たにひき板を積層接着する製造工程自体には問題ないと考えられた。ただし、カラマツ集成材にあっては、一次接着層において剝離率が高くなる傾向が観察された。一次接着製品の側面にひき板を二次接着することで促進処理中の集成材内部に生じる寸法変化が通常の場合と異なってくることが考えられるが、それが一次接着層の剝離を促進する可能性も捨てきれない。製品の接着耐久性なども視野に入れて引き続き検討する必要がある。

表 3.2.1-2 カラマツ集成材の二次接着層の剥離試験結果

	1		2		剥離率		最大剥離長	
	S1	S2	S1	S2	(%)	判定	(mm)	判定
K1-1	3	12		11	4.0	○	12	○
K1-2	7	5			1.9	○	7	○
K2-1	5	4	3		1.9	○	5	○
K2-2	7	7		5	2.9	○	7	○
K3-1	10	10			3.1	○	10	○
K3-2	12		11		3.5	○	12	○
K4-1			9	7	2.5	○	9	○
K4-2	6			32	5.9	×	32	○
K5-1					0.0	○	0	○
K5-2		5			0.8	○	5	○
K6-1	10	19			4.5	○	19	○
K6-2		11			1.7	○	11	○
K7-1				43	6.6	×	43	×
K7-2		9		21	4.6	○	21	○
K8-1					0.0	○	0	○
K8-2		7		7	2.2	○	7	○
K9-1			8		1.2	○	8	○
K9-2			3	3	0.9	○	3	○
K10-1					0.0	○	0	○
K10-2			7		1.1	○	7	○

表 3.2.1-3 トドマツ集成材の二次接着層の剥離試験結果

	1		2		剥離率		最大剥離長	
	S1	S2	S1	S2	(%)	判定	(mm)	判定
T1-1			6	23	4.5	○	23	○
T1-2		12	7		2.9	○	12	○
T2-1					0.0	○	0	○
T2-2	4		5		1.4	○	5	○
T3-1					0.0	○	0	○
T3-2			12		1.9	○	12	○
T4-1				9	1.4	○	9	○
T4-2	5				0.8	○	5	○
T5-1		11			1.7	○	11	○
T5-2	42	3	4		7.6	×	42	×
T6-1				3	0.5	○	3	○
T6-2		8	24		4.9	○	24	○
T7-1	12	11		6	4.5	○	12	○
T7-2				6	0.9	○	6	○
T8-1					0.0	○	0	○
T8-2	17				2.6	○	17	○
T9-1					0.0	○	0	○
T9-2	5	11			2.5	○	11	○
T10-1			17		2.6	○	17	○
T10-2	17		3	4	3.7	○	17	○

3.2.2 ホルムアルデヒド放散量試験

表 3.2.2 にホルムアルデヒド放散量試験によるホルムアルデヒド濃度の測定結果を示す。この結果、今回試作したカラマツ集成材、トドマツ集成材ともに JAS の F☆☆☆☆ の基準：平均値 0.3mg/L 以下、最大値 0.4mg/L 以下を満たす水準の製品であることが確認された。

表 3.2.2 ホルムアルデヒド放散量試験結果

No.	ホルムアルデヒド濃度 (mg/L)	
	カラマツ	トドマツ
1	0.1	0.2
2	0.1	0.2
3	0.1	0.2
4	0.1	0.1
5	0.1	0.2
6	0.1	0.2
7	0.1	0.1
8	0.1	0.1
9	0.1	0.1
10	0.2	0.1
平均	0.1	0.2
最大	0.2	0.2

3.2.3 曲げ試験

カラマツ試験体及びトドマツ試験体の曲げ試験結果を、それぞれ表 3.2.3-1 及び表 3.2.3-2 に示す。

表 3.2.3-1 カラマツ試験体の曲げ試験結果

No.	密度 kg/m ³	P_{max} kN	E_m kN/mm ²	MOR N/mm ²	モード	要因	含水率 %
K01	542	73.9	11.65	38.4	曲げ	FJ	10.7
K02	521	63.3	10.80	32.9	曲げ	FJ	11.1
K03	580	68.5	11.20	35.5	曲げ	FJ/K	10.4
K04	551	43.7	10.39	22.6	曲げ	FJ	13.0
K05	544	61.6	11.16	31.9	曲げ	K	11.7
K06	550	56.4	11.60	29.3	曲げ	KM	11.1
K07	536	79.1	11.61	41.0	曲げ	FJ	10.6
K08	544	72.2	11.12	37.5	曲げ	K	9.9
K09	583	63.8	11.06	33.0	曲げ	FJ	10.8
K10	556	60.3	10.21	31.1	曲げ	FJ	10.4
平均	551	64.3	11.08	33.3			11.0
最小	521	43.7	10.21	22.6			9.9
最大	583	79.1	11.65	41.0			13.0
標準偏差	19	10.0	0.496	5.2			0.9
変動係数	3.4%	15.6%	4.5%	15.6%			7.9%
下限値	511	43.2	10.04	22.36			9.2

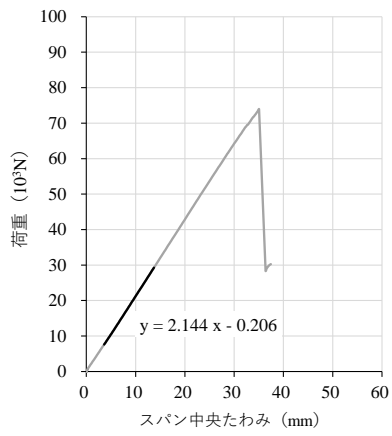
* 記号は曲げ破壊線の起点を示す。FJ：フィンガージョイント，K：節，KM：節（節周りの目切れ），判別が難しい場合は併記。

表 3.2.3-2 トドマツ試験体の曲げ試験結果

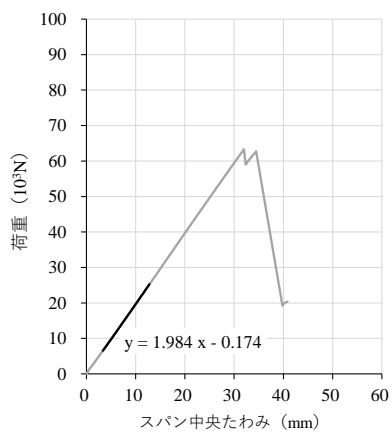
No.	密度 kg/m ³	<i>P</i> max kN	<i>E</i> m kN/mm ²	MOR N/mm ²	モード	要因	含水率 %
T01	387	69.6	9.93	36.2	曲げ	N	10.8
T02	406	95.9	10.46	49.8	曲げ	N	11.2
T03	359	60.2	8.23	31.2	曲げ	N	11.1
T04	372	67.8	9.50	35.1	曲げ	FJ	8.7
T05	404	77.7	9.13	40.3	曲げ	FJ	11.8
T06	383	81.9	9.28	42.6	曲げ	FJ	10.4
T07	400	78.4	9.45	40.6	曲げ	K	12.9
T08	389	80.1	9.59	41.5	曲げ	N	10.7
T09	381	80.9	9.77	41.6	曲げ	FJ	10.1
T10	396	75.8	10.15	39.2	曲げ	N	9.4
平均	388	76.8	9.55	39.8			10.7
最小	359	60.2	8.23	31.2			8.7
最大	406	95.9	10.46	49.8			12.9
標準偏差	15	9.6	0.61	5.0			1.2
変動係数	3.8%	12.5%	6.4%	12.5%			11.1%
下限値	357	56.6	8.26	29.30			8.2

* 記号は曲げ破壊線の起点を示す。FJ：フィンガージョイント，K：節，N：無欠点部。

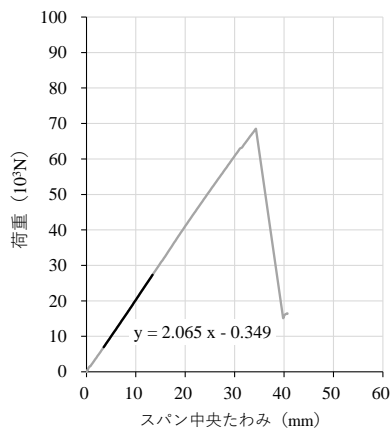
カラマツ試験体、トドマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真を、それぞれ図 3.2.3-1、3.2.3-2 に示す。



(a) K01

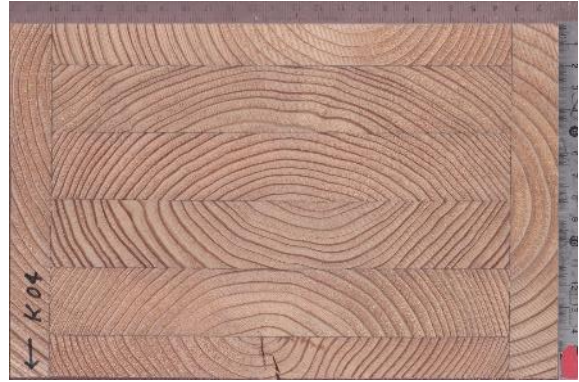
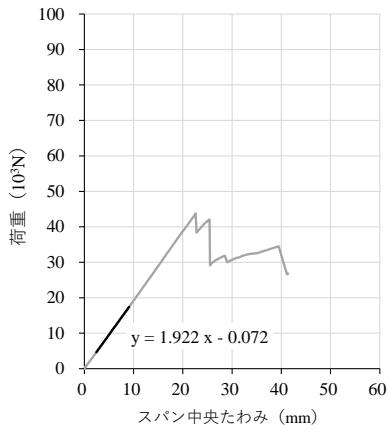


(b) K02

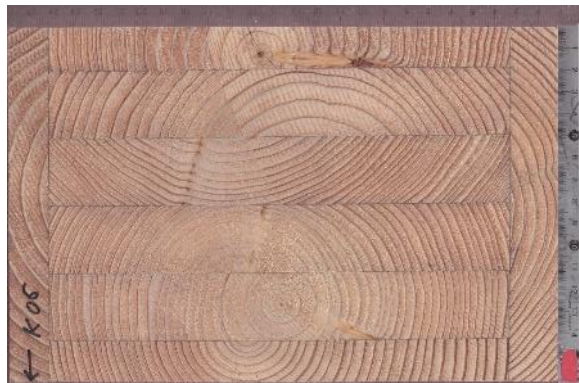
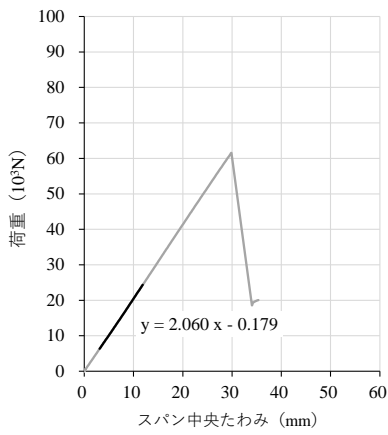


(c) K03

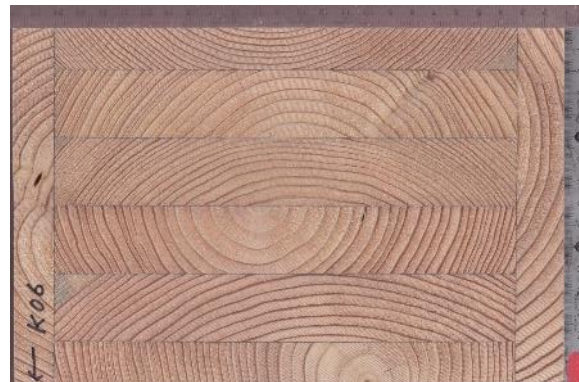
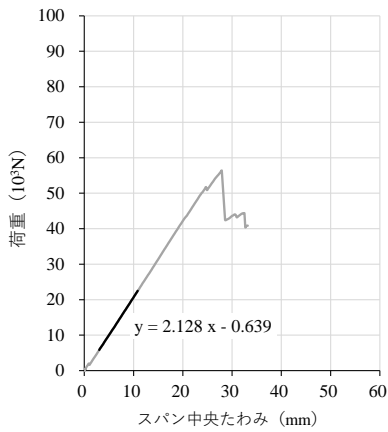
図 3.2.3-1 カラマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真 (その1)



(d) K04

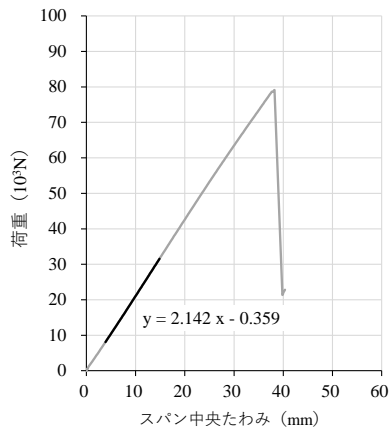


(e) K05

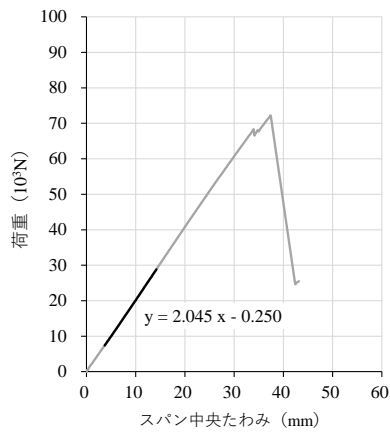


(f) K06

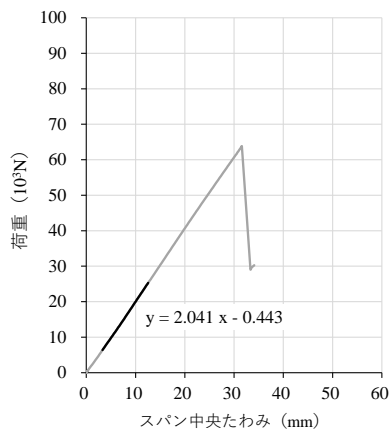
図 3.2.3-1 カラマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真 (その2)



(g) K07

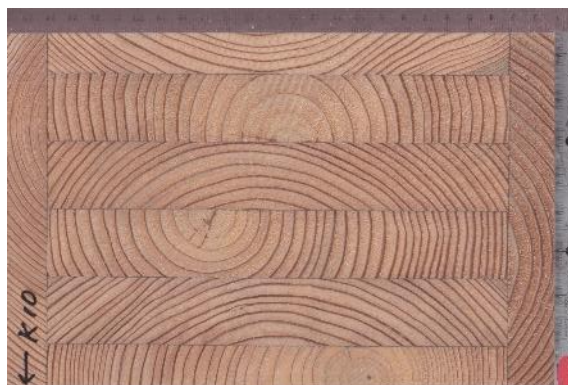
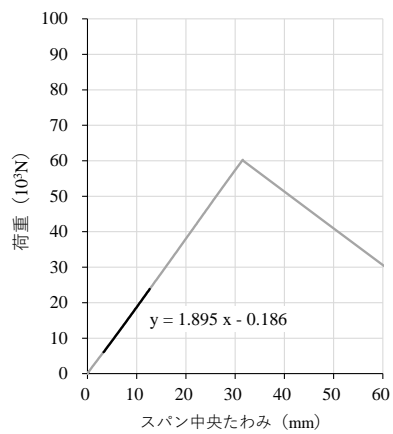


(h) K08



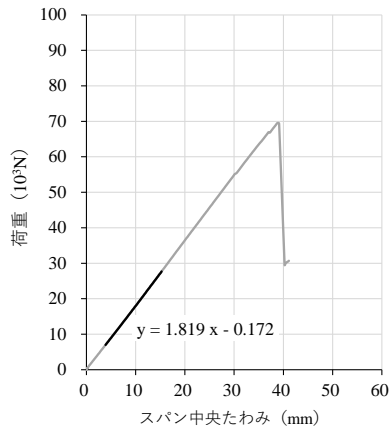
(i) K09

図 3.2.3-1 カラマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真 (その3)

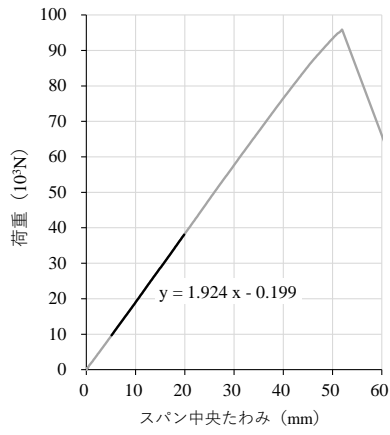


(j) K10

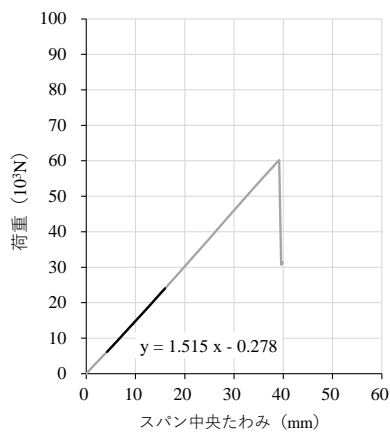
図 3.2.3-1 カラマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真（その4）



(a) T01

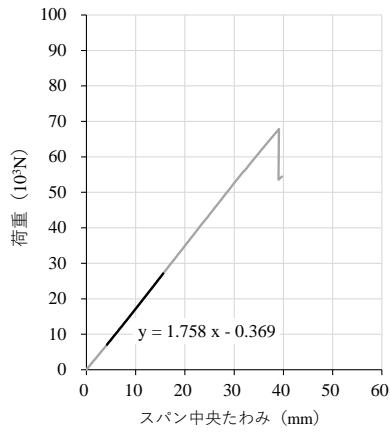


(b) T02

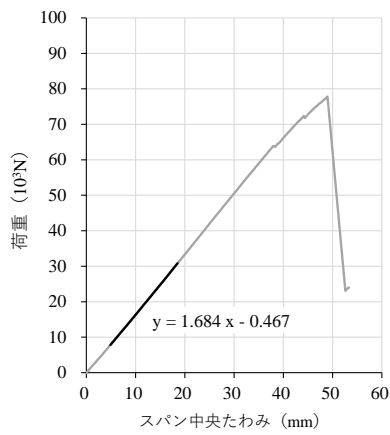


(c) T03

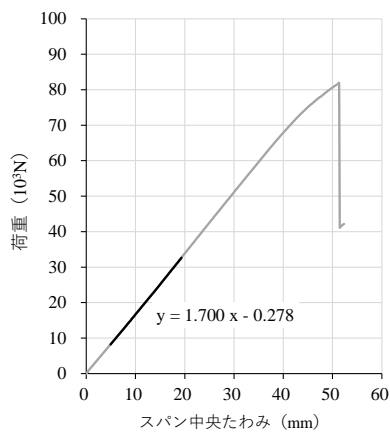
図 3.2.3-2 トドマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真 (その1)



(d) T04

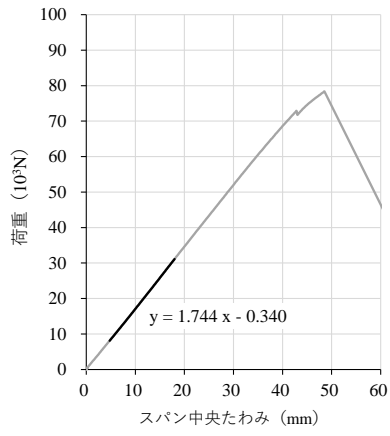


(e) T05

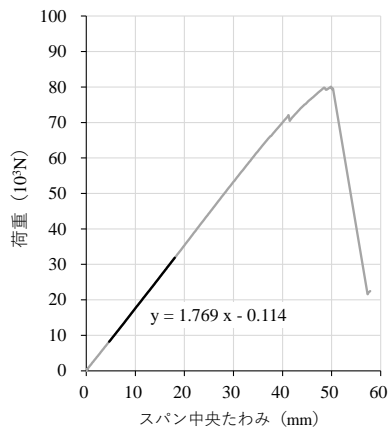


(f) T06

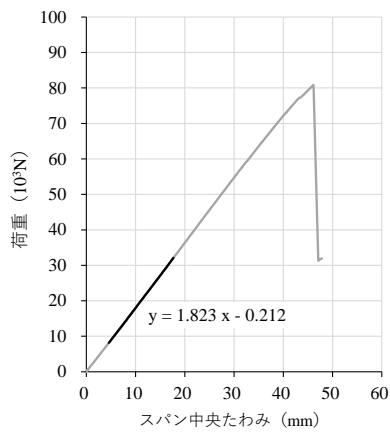
図 3.2.3-2 トドマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真 (その2)



(g) T07

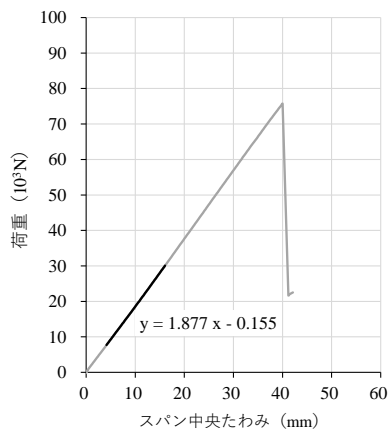


(h) T08



(i) T09

図 3.2.3-2 トドマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真 (その3)



(j) T10

図 3.2.3-2 トドマツ試験体の荷重-スパン中央のたわみ関係及び試験体の断面写真（その4）

試験体の曲げ性能について以下に考察する。

試験体に求められる曲げ性能は、製材でいえば、製材の日本農林規格（2019年8月15日改正）における JAS1083-04（製材：機械等級区分構造用製材）の等級 E50（曲げヤング係数の平均値 3.9 kN/mm² 以上 5.9 kN/mm² 未満）相当以上である。これと同等の構造用集成材は、集成材の日本農林規格（平成19年9月25日農林水産省告示第1152号全部改正。以下、「集成材の JAS 規格」と略）における同一等級構成集成材（4層以上）の E55-F225 であるので、試験体の強度等級はこれと同じか上回る必要がある。同一等級構成集成材（4層以上）E55-F225 の曲げヤング係数の平均値は 5.5 kN/mm²、下限値は 4.5 kN/mm²、曲げ強さは 22.5 N/mm² である。

カラマツ試験体の曲げ試験結果は、表 3.2.3-1 に示すように Em（曲げヤング係数）の平均値 11.08 kN/mm²、下限値 10.04 kN/mm²、MOR（下限値）22.36 N/mm² である。Em は強度等級 E105-F345 の曲げヤング係数（平均値 10.5 kN/mm²、下限値 9.0 kN/mm²）を上回っているが、MOR（下限値）に関しては強度等級 E55-F225 の曲げ強さ 22.5 N/mm² に寸法調整係数 0.93 をかけた値の 20.9 N/mm² をやや上回る結果となった。ここでの寸法調整係数は、厚さ方向の辺長（162 mm）が 150 mm 超 200 mm 以下であるので表 26「寸法調整係数」における 0.93 である。なお、カラマツ試験体の MOR（下限値）は強度等級 E55-F225 の1つ上位の強度等級 E65-F255 の曲げ強さ（25.5 N/mm² に 0.93 をかけた 23.7 N/mm²）には及ばなかった。

なお、今回の試験体製造においては、JAS 規格において製造が許されている強度等級よりも低い集成材でよいため、第2章の「2.1 製造方法」に述べたように、規定よりも低いヤング係数に区分されたラミナも使用され、さらにラミナ配置もランダムに行われたため、最外層に低い等級のラミナが配置され、曲げ強さが低くなった可能性が考えられる。

トドマツ試験体の曲げ試験結果は、表 3.2.3-2 に示すように E_m (曲げヤング係数) の平均値 9.55 kN/mm²、下限値 8.26 kN/mm²、MOR (下限値) 29.3 N/mm² である。 E_m 及び MOR は強度等級 E95-F315 の曲げヤング係数 (平均値 9.5 kN/mm²、下限値 8.0 kN/mm²)、曲げ強さ 31.5 N/mm² に 0.93 をかけた 29.3 N/mm² とほぼ同等であった。

以上より、今回の試験体は、カラマツ、トドマツともに、要求性能である強度等級 E55-F225 の曲げ性能を満たすことが確かめられた。ただし、今回の試験体は規定よりも低い等級のラミナを使用しており、さらに二次接着も特殊な方法で行われており、JAS 規格品とは製造条件が異なることに留意が必要である。

3.2.4 ブロックせん断強度試験

ブロックせん断試験の成績を剥離試験と同様に集成材と側板の接着層 (二次接着部) を対象として表 3.2.4-1 に示す。二次接着部のブロックせん断強さ及び木破率はいずれの集成材も JAS 規格に適合する水準であった。

表 3.2.4-1 ブロックせん断試験結果

樹種	カラマツ		トドマツ	
	強さ N/mm ²	木破率 %	強さ N/mm ²	木破率 %
平均値	12.2	98.5	8.6	99.9
最小値	7.1	90.0	4.1	95.0
最大値	15.3	100.0	10.9	100.0
標準偏差	1.9	3.0	1.3	0.8
変動係数	15.4%	3.1%	15.3%	0.8%
5%下限値	8.8	92.9	6.2	98.4
合格数	39/40	40/40	39/40	40/40
JAS基準値	強さ：7.2N/mm ² 以上 木破率：65%以上		強さ：6.0N/mm ² 以上 木破率：65%以上	
合格率	90%以上		90%以上	

参考として、表 3.2.4-2 にカラマツ集成材、表 3.2.4-3 にトドマツ集成材の測定結果を示す。

表 3.2.4-2 カラマツ集成材の測定結果

試験体番号	気乾密度 kg/m ³	せん断強さ (N/mm ²)	木破率 (%)
K1-1-1	572	12.42	100
K1-1-2	626	14.73	100
K1-2-1	604	14.11	100
K1-2-2	651	13.00	100
K2-1-1	482	10.26	95
K2-1-2	465	9.56	100
K2-2-1	470	10.64	100
K2-2-2	479	10.56	100
K3-1-1	489	11.40	90
K3-1-2	571	12.51	100
K3-2-1	499	11.87	100
K3-2-2	566	13.06	100
K4-1-1	564	12.55	100
K4-1-2	494	10.56	100
K4-2-1	523	11.89	100
K4-2-2	581	13.58	95
K5-1-1	443	10.49	95
K5-1-2	507	10.00	100
K5-2-1	497	12.15	100
K5-2-2	538	12.30	90
K6-1-1	454	12.80	95
K6-1-2	527	7.07	100
K6-2-1	554	14.38	100
K6-2-2	477	11.07	100
K7-1-1	486	11.98	100
K7-1-2	508	10.86	95
K7-2-1	460	8.82	100
K7-2-2	502	9.42	100
K8-1-1	540	12.48	100
K8-1-2	505	12.21	100
K8-2-1	538	15.01	100
K8-2-2	538	14.03	95
K9-1-1	579	15.35	100
K9-1-2	633	14.34	100
K9-2-1	635	14.64	100
K9-2-2	620	15.01	100
K10-1-1	537	13.38	100
K10-1-2	588	11.89	100
K10-2-1	614	13.99	100
K10-2-2	519	12.84	90
平均		12.23	

表 3.2.4-3 トドマツ集成材の測定結果

試験体番号	気乾密度 kg/m ³	せん断強さ (N/mm ²)	木破率 (%)
T1-1-1	390	9.11	100
T1-1-2	345	7.51	100
T1-2-1	379	8.08	100
T1-2-2	408	10.14	100
T2-1-1	351	8.49	100
T2-1-2	380	9.92	100
T2-2-1	430	9.89	95
T2-2-2	357	8.27	100
T3-1-1	376	9.05	100
T3-1-2	376	8.47	100
T3-2-1	398	8.06	100
T3-2-2	379	7.67	100
T4-1-1	364	7.80	100
T4-1-2	365	8.20	100
T4-2-1	457	10.67	100
T4-2-2	373	7.52	100
T5-1-1	414	9.11	100
T5-1-2	396	9.33	100
T5-2-1	447	10.25	100
T5-2-2	417	10.86	100
T6-1-1	418	8.59	100
T6-1-2	399	8.70	100
T6-2-1	365	8.43	100
T6-2-2	352	8.43	100
T7-1-1	338	6.95	100
T7-1-2	355	7.10	100
T7-2-1	351	9.98	100
T7-2-2	363	8.63	100
T8-1-1	387	9.01	100
T8-1-2	383	9.36	100
T8-2-1	372	8.27	100
T8-2-2	430	7.64	100
T9-1-1	359	10.16	100
T9-1-2	397	8.04	100
T9-2-1	394	10.25	100
T9-2-2	395	7.54	100
T10-1-1	348	6.20	100
T10-1-2	363	4.05	100
T10-2-1	351	9.01	100
T10-2-2	366	7.58	100
平均		8.56	

3.2.5 まとめ

今回試作した集成材は集成材 JAS に捉われずに試作したものであるが、丸太組構法の構造材としての要求性能に合致するかどうか、集成材 JAS に規定される各種性能試験を行ってその適合の可能性について検討した。その概要を表 3.2.5 にまとめて示す。

表 3.2.5 試作した集成材の品質

	カラマツ集成材	トドマツ集成材
減圧加圧剥離試験	適※ ¹	適
ホルムアルデヒド放散量試験	適※ ²	適※ ²
曲げ試験	適※ ³	適
ブロックせん断試験	適	適

※1：二次接着層について、※2：F☆☆☆☆として、※3：E55-F225 として

今回試作したカラマツ集成材、トドマツ集成材ともに、丸太組構法に用いる部材として当初設定した接着性能、ホルムアルデヒド放散量、曲げ性能に対する要求性能は満たすことができると考えられた。

なお、カラマツ集成材については、以下の 2 点について留意しておく必要がある。

- 1) 集成材の側面にひき板を二次接着することが製品の長期的な接着性能に与える影響については、引き続き検討する余地がある。
- 2) 集成材 JAS に規定されていない低等級のラミナを併用することが曲げ性能に与える影響が大きいことが示唆されたことから、より適正な製造条件について引き続き検討する必要がある。

4 省エネ基準に対応したログハウスモデルプランの検討

4.1 モデルプランにおける外皮平均熱貫流率（UA 値）等の試算

1、2 地域における断熱等性能等級 4、5、6 に対応したログハウスの外皮性能等を検討するため、1 階はログ壁厚 101 mm の丸太組構法、2 階は枠組壁（2×4）工法で延べ床面積約 107 m² のログハウスをモデルプランとした（図 4.1-1）。



DATA		
	床面積	工法
1階	56.31㎡（17.0坪）	丸太組構法
2階	50.72㎡（15.3坪）	枠組壁工法
延床面積	107.03㎡（32.4坪）	
デッキ	16.56㎡（5.0坪）	
ベランダ	16.56㎡（5.0坪）	
総床面積	140.15㎡（42.4坪）	

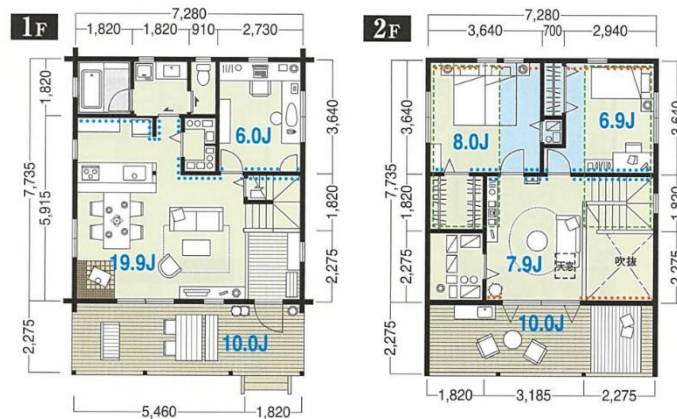


図 4.1-1 ログハウスモデルプランの概要

モデルプランの設計仕様に沿って、部位（壁、窓、ドア、天井、屋根、床、基礎）ごと、断熱仕様ごとに面積を計算し、部位によって定められた計算方法に従い熱貫流率（U値）、熱損失量、外皮面積を算出した上で、各部位の熱損失量の合計を外皮面積で除した次の式により、外皮平均熱貫流量（UA値）を算出した。

$$U_A = \left(\sum_i (A_i \times U_i \times H_i) + \sum_j (L_j \times \varphi_j \times H_j) \right) / A_{env}$$

	外皮平均熱貫流率 (W/m ² K)
A_i	外皮の部位（一般部位又は開口）i の面積 (m ²)
U_i	外皮の部位（一般部位又は開口）の熱貫流率 (W/m ² K)
H_i	外皮の部位（一般部位又は開口）の温度差係数
L_j	熱橋及び土間床等の外周部 j の長さ (m)
φ_j	熱橋及び土間床等の外周部 j の線熱貫流率 (W/mK)
H_j	熱橋及び土間床等の外周部 j の温度差係数
A_{env}	外皮の部位の面積の合計 (m ²)

また、断熱等性能等級 4、5、6 の外皮平均熱貫流量（UA 値）0.46、0.4、0.28 に適合するための各部位の熱貫流率、熱損失量等について試算した。さらに、差額の算出にあたっては、積算資料ポケット版等による令和 4 年 4 月の積算単価（サッシ、ドアについてはメーカー公示価格）を参考に、ログ壁を除く壁、開口部等の仕様を変更することにより仕様ごとに掛かり増しとなる差額（増額分）について試算した。

4.2 外皮平均熱貫流率（UA 値）等の試算結果

基本モデルであるモデルプラン・ベーシック、断熱等性能等級 4 に適合するモデルプラン 1、断熱等性能等級 5 に適合するモデルプラン 2、断熱等性能等級 6 に適合するモデルプラン 3 の外皮平均熱貫流率の試算結果を表 4.2-1～4.2-4) に示す。

表 4.2-1 モデルプラン・ベーシックの外皮平均熱貫流率計算表

部位	外皮面積	基礎長さ		熱貫流率	熱損失量
外壁 G-L-1-1(ログ壁)	69.68		1.00	0.92	64.1056
外壁 G-S-1-1	52.15		1	0.5	26.075
窓	19.99		1	1.40	28.07995
天窓	0.76		1	2.18	1.6568
ドア	1.98		1	1.27	2.5146
天井					
屋根	74.71		1	0.22	16.4362
床	47.1		0.7	0.33	10.8801
土間床等	9.21				
基礎(外気側)		6.17	1	0.35	2.1595
基礎(床下側)		6.17	0.7	0.35	1.51165
合計	275.58				153.4194
					0.556715
外皮平均熱貫流率 UA値					0.56

表 4.2-2 モデルプラン1 (断熱等性能等級4 適合) の外皮平均熱貫流率計算表

部位	外皮面積	基礎長さ		熱貫流率	熱損失量
外壁 G-L-1-1(ログ壁)	69.68		1.00	0.45	31.356
外壁 G-S-1-1	52.15		1	0.5	26.075
窓	19.99		1	1.40	28.07995
天窓	0.76		1	2.18	1.6568
ドア	1.98		1	1.27	2.5146
天井					
屋根	74.71		1	0.22	16.4362
床	47.1		0.7	0.33	10.8801
土間床等	9.21				
基礎(外気側)		6.17	1	0.35	2.1595
基礎(床下側)		6.17	0.7	0.35	1.51165
合計	275.58				120.6698
					0.437876
外皮平均熱貫流率 UA値					0.44

表 4.2-3 モデルプラン2 (断熱等性能等級5 適合) の外皮平均熱貫流率計算表

部位	外皮面積	基礎長さ		熱貫流率	熱損失量
外壁 G-L-1-1(ログ壁)	69.68		1.00	0.45	31.356
外壁 G-S-1-1	52.15		1	0.34	17.731
窓	19.99		1	1.40	28.07995
天窓	0.76		1	2.18	1.6568
ドア	1.98		1	1.27	2.5146
天井					
屋根	74.71		1	0.17	12.7007
床	47.1		0.7	0.33	10.8801
土間床等	9.21				
基礎(外気側)		6.17	1	0.35	2.1595
基礎(床下側)		6.17	0.7	0.35	1.51165
合計	275.58				108.5903
					0.394043
外皮平均熱貫流率 UA値					0.4

表 4.2-4 モデルプラン 3（断熱等性能等級 6 適合）の外皮平均熱貫流率計算表

部位	外皮面積	基礎長さ		熱貫流率	熱損失量	
外壁 G-L-1-1(ログ壁)	69.68			1.00	0.45	31.356
外壁 G-S-1-1	52.15			1	0.13	6.7795
窓	19.99			1	0.8	15.992
天窓	0.76			1	2.18	1.6568
ドア	1.98			1	0.9	1.782
天井						
屋根	74.71			1	0.13	9.7123
床	47.1			0.7	0.16	5.2752
土間床等	9.21					
基礎(外気側)		6.17		1	0.35	2.1595
基礎(床下側)		6.17		0.7	0.35	1.51165
合計	275.58					76.22495
						0.276598
外皮平均熱貫流率 UA値						0.28

次に、モデルプラン・ベーシックを基本に、断熱等性能等級 4、5、6 の外皮性能平均熱貫流率（UA 値）に適合するために必要な外皮性能の仕様、及び各 UA 値を確保するために必要な差額（増額分）について試算した（表 4.2-5）。

表 4.2-5 断熱等性能等級ごとの外皮仕様及びその差額（増額分）

部 位	建材 / UA値	モデルプラン				当該部位の面積 (㎡)	備 考
		ベニシック 0.56	モデルプラン1 0.44	モデルプラン2 0.4	モデルプラン3 0.28		
ログ壁	ログ 厚101□		厚240□	厚240□	厚240□	69.68	壁面積㎡あたり価格(材)
小屋組壁	断熱材	HGW16K 厚89	←	HGW16K 厚140 ¥688/㎡	HGW48K 厚140 ¥3,799/㎡	52.15	壁面積㎡あたり価格(材)
	付加断熱材	-	-	-	XPS3bA 厚140 ¥4,732/㎡	52.15	壁面積㎡あたり価格(材)
屋根	壁下地材	2×4材□	←	2×6材 ¥3,151/㎡	2×6材+胴縁2×8材 ¥10,996/㎡	52.15	壁面積㎡あたり価格(材)
	断熱材	HGW16K 厚89	←	HGW48K 厚180 ¥5,029/㎡	HGW48K 厚240 ¥5,476/㎡	74.71	屋根面積㎡あたり(材)
床	付加断熱材	XPS3bA 厚20	←	XPS3bA 厚30 ¥338/㎡	XPS3bA 厚30 ¥338/㎡	74.71	屋根面積㎡あたり(材)
	たるき	2×8材	←	←	2×12材 ¥932/㎡	74.71	屋根面積㎡あたり(材)
基礎	断熱材	XPS3bA 厚50□	←	XPS3bA 厚180 ¥4,394/㎡	XPS3bA 厚180 ¥4,394/㎡	47.1	床面積㎡あたり(材)
	付加断熱材	XPS3bA 厚30□	←	←	←	47.1	床面積㎡あたり(材)
開口部	断熱材	XPS3bA 厚100	←	←	←	-	-
	サッシ	樹脂サッシ+low-e PG ¥0/㎡	←	←	樹脂サッシ+low-e トリプル ¥47,874/㎡	14.15	窓面積㎡あたり(材)
天窓	サッシ	樹脂サッシ+low-e PG ¥0/㎡	←	←	樹脂サッシ+low-e トリプル ¥47,874/㎡	5.84	窓面積㎡あたり(材)
	パルックス	ルーフワイド□	←	←	←	0.76	窓面積㎡あたり(材)
ドア	断熱玄関ドア スタンダード ¥0/㎡	←	←	←	断熱玄関ドア ハイグレード ¥367,580/㎡	1.98	ドア面積㎡あたり(材)
ログ壁	ログ	¥0	¥0	¥0	¥0	69.68	単価の差額×面積
小屋組壁	断熱材	¥0	¥0	¥35,879	¥198,118	52.15	単価の差額×面積
	付加断熱材	¥0	¥0	¥0	¥246,774	52.15	単価の差額×面積
屋根	壁下地材	¥0	¥0	¥164,325	¥573,441	52.15	単価の差額×面積
	断熱材	¥0	¥0	¥283,823	¥409,112	74.71	単価の差額×面積
床	付加断熱材	¥0	¥0	¥25,252	¥25,252	74.71	単価の差額×面積
	たるき	¥0	¥0	¥0	¥69,630	74.71	単価の差額×面積
基礎	断熱材	¥0	¥0	¥206,957	¥206,957	47.1	単価の差額×面積
	付加断熱材	¥0	¥0	¥0	¥0	47.1	単価の差額×面積
開口部	大引き材	¥0	¥0	¥0	¥0	-	-
	-	¥0	¥0	¥0	¥0	-	-
天窓	サッシ	¥0	¥0	¥0	¥671,898	14.15	単価の差額×面積
	サッシ	¥0	¥0	¥0	¥277,307	5.84	単価の差額×面積
ドア	天窓	¥0	¥0	¥0	¥0	0.76	単価の差額×面積
	ドア	¥0	¥0	¥0	¥267,973	1.98	単価の差額×面積
差額(ログ壁除く)						¥0	¥0
差額(ログ壁除く)						¥716,236	¥2,946,462
差額(ログ壁除く)						面積×単価の差額(㎡)の合計	

4.3 まとめ

ログハウスモデルプランを基本に、2025年度からの省エネルギー基準への適合化に向けて、1、2地域における外皮性能基準の適合するための仕様等を検討したところ、以下の知見が得られた（表4.2-5、表4.3-1）。

- (1) モデルプラン・ベーシック：ログ壁厚が101mmのベーシックの外皮平均熱貫流率（UA値）は0.56であり、3地域には適合するが、1、2地域で義務化される断熱等性能等級4のUA値0.46には適合できない。
- (2) モデルプラン1：ベーシックの開口部の仕様はそのままにログ壁厚を250mmにするとUA値は0.44となり、1、2地域で断熱等性能等級4（義務化）に適合できる。ベーシックに比べて寒冷地用集成ログ壁材と101mmログ壁材の差額が経費の増加分となる。
- (3) モデルプラン2：断熱等性能等級5に適合するためには、ログ壁厚に加え、モデルプラン1の小屋組壁、屋根、床の断熱性能向上により基準を達成できた。ベーシックに比べログ壁を除いて約72万円の増額となった。
- (4) モデルプラン3：断熱等性能等級6に適合するためには、ログ壁に加え、モデルプラン2の小屋組壁、屋根、床、開口部の断熱性能をさらに向上することにより基準を達成できた。また、ベーシックに比べログ壁を除いて約295万円、モデルプラン2に比べ約223万円の増額となった。なお、モデルプランとZEH基準等との関係を表4.3-1に示す。

表 4.3-1 モデルプラン等とZEHとの関係

	ログ厚mm	開口部	断熱部位	UA値	ZEH	等級6ZEH超
ベーシック	101	現況	現況 1地域	0.56	4地域	不可
モデルプラン1	240	現況	現況 1地域	0.44	3地域	5地域以南
モデルプラン2	240	現況	仕様基準1地域	0.4	1-2地域	5地域以南
モデルプラン3	240	0.8	0.13/仕様基準	0.28	1地域	1地域

注：ZEH（ゼッチ）とは、国の進める Net Zero Energy House（ネット・ゼロ・エネルギー・ハウス）の略称であり、断熱性能、省エネ性能、創エネ（太陽光発電等）により年間の一次消費エネルギー量をおおむねゼロにする住宅である。ZEH基準は断熱等性能等級5に該当し、よりハイグレードなZEH+（ゼッチプラス）の1、2地域のUA値は0.30である。

第3章 まとめ

2025 年度に全ての新築住宅において現行の省エネ基準相当の外皮性能・一次エネルギー性能が義務化になり、省エネ基準の最も厳しい 1、2 地域でのログハウス建設が厳しくなる中、道産材を使用した寒冷地用集成ログ壁材を開発し、製造コストや品質・性能、断熱等性能等級への適合の検討を行った結果、以下の知見が得られた。

1. 寒冷地用集成ログ壁材の製造コスト

カラマツ、トドマツの規格化された大断面集成材（同一等級構成、7 層、210×210×4000 mm）の縦使いの両脇に平板を二次接着したログ加工前の寒冷地用集成ログ壁材（270×210×4000 mm）製造コストを試算した。

- 1) 寒冷地用集成ログ壁材の製造コストは、一次接着（大断面集成材）が 311,600 円/m³、二次接着が 88,200 円/m³、合計 399,800 円/m³と試算された。
- 2) 北海道地域での断熱等性能等級に適合するため、ログ壁厚 240 mmを確保するための必要コストではあるが割高感は否めない。これは、①ウッドショックによりカラマツ、トドマツの価格が最も高騰した時期であったこと、②幅広のラミナはコスト高になること、二次接着コストが必要なことなどのためと考えられる。なお、令和 4 年 12 月時点のラミナ価格による一次接着コストは 20 万円半ば/m³で可能となっている。

2. 品質・強度性能

カラマツ、トドマツ寒冷地用集成ログ壁材のさねを除いた試験体各 20 本（幅 250 mm×せい 162 mm×4000 mm）について、品質・強度性能について検討した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 減圧加圧剥離試験については、寒冷地用集成ログ壁材の特徴である二次接着を評価対象とした。カラマツ、トドマツ集成材の二次接着部では JAS 基準を満たすことが確認され、標準集成材の側面にひき板を二次接着する製造工程自体には問題ないと考えられる。ただし、一次接着層において剥離率が高くなる傾向が観察されたことから、二次接着工程が一次接着層に与える製品の接着耐久性なども視野に入れて引き続き検討する必要がある。
- 2) ホルムアルデヒド放散量試験では、カラマツ、トドマツ試験体ともに JAS の F☆☆☆☆を満たす水準であることが確認された。
- 3) 曲げ強さ試験の結果、カラマツ、トドマツ試験体ともに、要求性能である JAS 規格の同一等級構成集成材（4 層以上）の E55-F225 の曲げ性能を満たすことが確認

された。

- 4) ブロックせん断試験の結果、カラマツ、トドマツ試験体ともに、二次接着部のブロックせん断強さ及び木破率は JAS 規格に適合する水準であった。

3. 省エネ基準に対応したログハウスモデルプラン

ログハウスモデルプラン・ベーシック（1階：ログ壁厚 101 mm、2階：2×4 工法、延べ床面積：107 m²）を基本に、1、2 地域における断熱等性能等級 4、5、6 に適合するためのそれぞれの外皮性能（外皮平均熱貫流量・UA 値）の仕様及び差額（増額分）を試算した結果、以下の知見を得た。

- 1) モデルプラン・ベーシックでは、3 地域の断熱等性能等級 4 には適合するが、1、2 地域で求められる断熱等性能等級 4（義務化）には適合できない。
- 2) モデルプラン・ベーシックのログ壁厚を 240 mmにしたモデルプラン 1 では、1、2 地域の断熱等性能等級 4 に適合可能であり、ログ壁（101 mm→240 mm）の差額がコスト増となる。
- 3) モデルプラン 1 の小屋組壁、屋根、床の断熱性能をグレードアップしたモデルプラン 2 では、断熱等性能等級 5 に適合可能であり、ベーシックに比べ約 72 万円（ログ壁のコストを除く。）の増額となった。
- 4) モデルプラン 2 の外壁、屋根、床、開口部の断熱性能をさらにグレードアップしたモデルプラン 3 は断熱等性能等級 6 に適合が可能であり、ベーシックに比べ約 295 万円の増額となった。

第4章 今後の課題・展開等

本事業により、カラマツ、トドマツを使用した寒冷地用集成ログ壁材が1、2地域における2025年度に義務化される省エネ基準等に対応できる見通しがつくとともに、道産材の新たな需要創出等の可能性も確認されたが、一方で課題も残された。

1. 寒冷地用集成ログ壁材の製造コストの縮減

寒冷地用集成ログ壁材の製造コストは、幅広のラミナを使用したこと、二次接着があることなどから割高感があり、今後は、規格された大断面集成材の一層の普及、二次接着を必要としない大断面集成材（210×270×4000 mm）の平使い（幅方向）等によるコスト縮減を検討していく必要がある。

2. 新たな寒冷地用ログ壁材の開発

今回の事業は、2025年度からの省エネ基準の義務化に最も早く対応できる可能性の高い大断面集成材を対象としたが、1、2地域の省エネ基準に対応できる接着合せ材、製材品等の開発も検討する必要がある。

ひろげよう、木と暮らす文化を。

木のいえ一番!

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

規格化された道産材大断面集成材を活用した
寒冷地用集成ログ壁材の開発事業報告書

令和5年2月

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 神泉風来ビル 2階

TEL. 03-5790-6360 Email. info@kinoie-1ban.or.jp

※ 令和5年3月20日以降、以下に事務所を移転します。

〒150-0033 東京都渋谷区猿樂町 10-1 マンサード代官山 6階

TEL. 03-5990-4947 Email. info@kinoie-1ban.or.jp

