

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

CLTの土木利用技術の開発と
実用化のための低コストCLT製造技術の検証
事業報告書

令和 5(2023)年 2 月

一般社団法人日本 CLT 協会

目 次

1. 事業成果概要.....	1
1.1 事業スキーム(土木分野における CLT 活用ビジョン)	2
1.2 基礎試験.....	3
1.3 中長期利用を想定した CLT 土木利用 個別技術の開発	6
1.4 繰り返し利用・カスケード型利用を想定した CLT 土木利用 個別技術の開発.....	9
1.5 土木用 CLT の開発	12
2. 事業内容	15
2.1 事業概要.....	16
2.2 事業の背景と目的.....	16
2.3 開発方針(全体方針と開発テーマの分類).....	16
2.4 実施体制.....	17
2.5 実施工程.....	21
3. 土木用を想定した CLT の耐久性検証(基礎試験)	23
3.1 基礎試験概要(背景・目的・基本方針).....	24
3.2 実施状況.....	25
3.3 試験手順.....	38
3.4 地盤環境における試験結果.....	40
3.5 海水環境における試験結果.....	54
3.6 淡水環境における試験結果.....	59
4. 中長期利用を想定した CLT 土木利用 個別技術の開発.....	65
4.1 CLT 水平地盤補強工法の開発.....	66
4.2 CLT プラットフォーム型利用工法の開発.....	87
4.3 CLT 鉛直地盤補強工法の開発.....	108
5. 繰り返し利用・カスケード利用を想定した CLT 土木利用 個別技術の開発	111
5.1 CLT 敷板の開発.....	112
5.2 CLT 防雪柵の開発.....	136
5.3 燃料利用技術の開発.....	156
5.4 CLT 敷板・防護柵の耐朽性の検証.....	159
6. 土木用 CLT の開発.....	169
6.1 実工場ラインにおける実証.....	170
6.2 土木用ラミナの活用技術の開発	175
6.3 省ラミナ CLT の検討および開発.....	188
6.4 土木用 CLT の耐朽性付与技術の開発	197
6.5 土木用 CLT への要求性能	201

7. 次年度以降の展望.....	209
7.1 基礎試験についての展望.....	210
7.2 CLT 土木利用の個別技術についての展望.....	211
7.3 土木用 CLT についての展望.....	213
7.4 総括	214

1 事業成果概要

1.1 事業スキーム（土木分野における CLT 活用ビジョン）

本事業は、令和3(2021)年3月に策定された CLT の更なる利用拡大に向けた新ロードマップの実現を目指し、建築以外の分野での CLT の活用の可能性の一環として、土木分野で活用可能な製品技術の開発を進めるものである。本事業の検討結果が社会にもたらす成果イメージとして、事業の基幹となる「CLT の普及に向けた新ロードマップ」と連携するビジョンを描いている(図 1.1-1)。

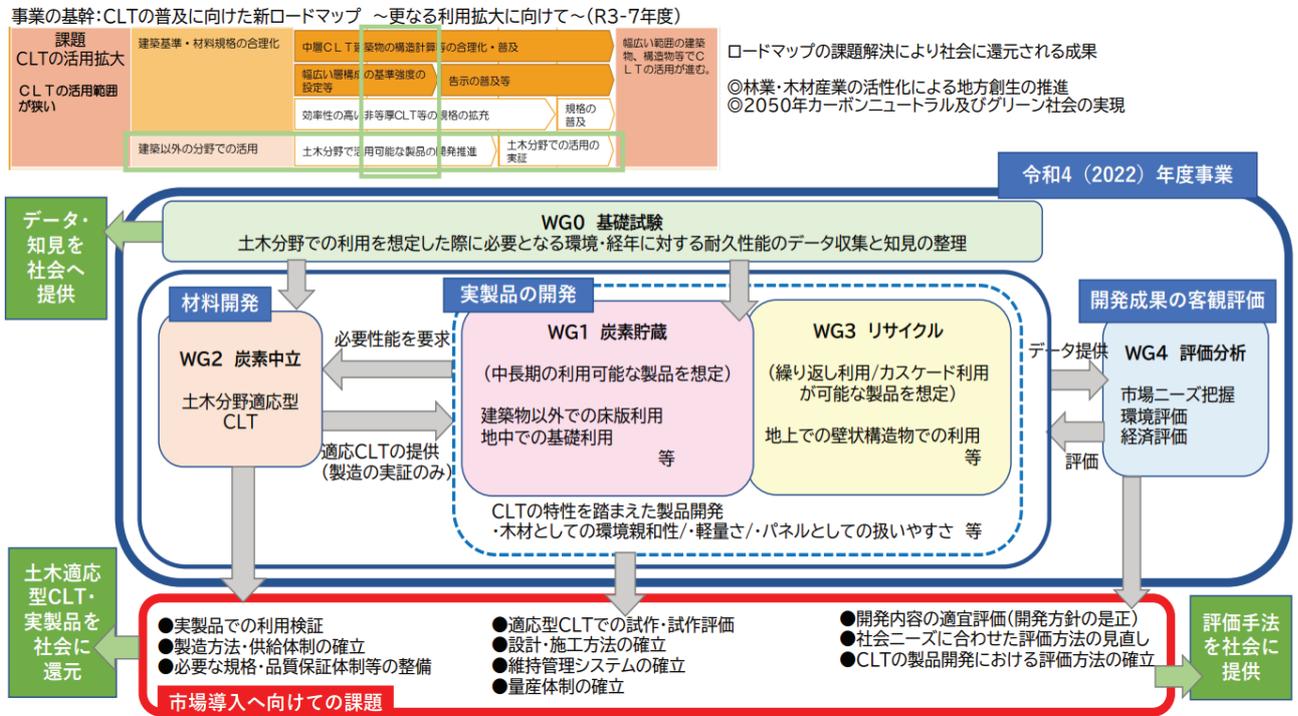


図 1.1-1 土木分野における CLT 活用ビジョン（本事業が社会にもたらす成果のイメージ）

事業のスキームとしては、大きく3つのテーマを設定している。まず、技術開発の基盤として、CLT の土木利用を想定した耐久性等の検証をする「基礎試験」を進める。耐久性等の検証が必要なことから、単年度事業の積み重ねにより、少なくとも5年間程度の期間の観察を継続することを想定している。(本年度は2年目に該当する。)

次に技術開発については、「材料開発」と「実製品の開発」の2つのテーマを並行して進める。材料開発は、土木分野適応型の CLT 開発を目指す。また、実製品については、中長期の利用可能な製品と繰り返し利用のリサイクルを可能とする製品に2分して、それぞれに開発を進める。

さらに、別の事業と連携し、市場ニーズの把握、環境評価、経済評価などの客観的な評価分析も並行して進める。このことにより、単なる技術の検証に終わらせることなく、市場導入・実装技術の社会提供を、早期に実現することが出来ると考えている。

1.2 基礎試験

1.2.1 試験の目的と概要

CLT の耐久性については、建築分野における地上(屋内・屋外)での設置を想定した知見が多く得られている。一方、土木分野では、地上(屋外)に置かれる場合に加え、地盤中、海中、淡水中における耐久性が懸念されるが、これらについての知見はほとんど得られていないのが実情である。

土木分野における CLT の開発を進めるにあたり、地盤、海水、淡水環境における耐久性に関する知見を得るため、令和 3(2021)年度より基礎試験を開始しており、異なる環境下に CLT の供試体を設置し、設置後 5 年を目標として経過観察を続けている。

本年度は、約 1 年経過した供試体について以下の項目を実施した。

- 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 ※

※キュービック型供試体より 25 mm×25 mm×150 mm のブロックを切り出して試験を実施

1.2.2 供試体の仕様

キュービック型	: 150 mm×150 mm×150 mm	1,242 供試体(写真 1.2-1)
横目ボード型	: 500 mm×1500 mm(淡水試験では 900 mm)×150 mm	48 供試体(写真 1.2-2)
CLT の仕様	: Mx60、スギ、5 層 5 プライ	
使用接着剤	: レゾルシノール樹脂接着剤、水性高分子イソシアネート系接着剤	



写真 1.2-1 キュービック型供試体



写真 1.2-2 横目ボード型供試体

1.2.3 供試体の設置

① 地盤環境(図 1.2-1、写真 1.2-3)

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+ 500 mm)、地盤上(GL±0 mm)、地盤中(GL - 100 mm、- 500 mm、- 1,500 mm)

② 海水環境(写真 1.2-4)

設置地点 : 神奈川県横須賀市の港湾空港技術研究所にある海水循環槽を利用
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
(GL±0 mm、-20 mm、-40 mm、-60 mm)

③ 淡水環境(写真 1.2-5)

設置地点 : 千葉県野田市(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- 600 mm)

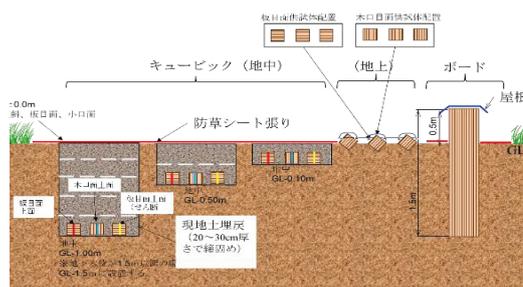


図 1.2-1 地盤環境での設置イメージ



写真 1.2-3 地盤環境での設置状況



写真 1.2-4 海水環境での設置状況



写真 1.2-5 淡水環境での設置状況

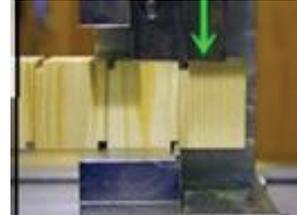


写真 1.2-6 ブロックせん断試験

1.2.4 劣化状況

地盤(亜寒帯・温帯・亜熱帯)・海中・淡水環境の各環境から、設置後に約1年を経過した供試体(キュービック型・横目ボード型)を取出し、割れや腐朽等の劣化状況の観察と強度試験を実施した。

各環境での設置日、取出日(存置期間)を表 1.2-1 に示す。

表 1.2-1 供試体存置期間(1 年目供試体)

環 境	地 盤			海 水	淡 水
	亜寒帯 (北海道旭川市)	温帯 (広島県三次市)	亜熱帯 (宮崎県都城市)	港湾空港研究所 (神奈川県横須賀市)	飛島技術研究所 (千葉県野田市)
存置期間	10 ヶ月 22 日間	10 ヶ月 11 日間	9 ヶ月 18 日間	10 ヶ月 14 日間	10 ヶ月間

供試体を取り出した後、目視観察、写真撮影、割れの測定等を行った。

圧縮試験とブロックせん断試験に用いるキュービック型供試体は、異なる環境下での条件を揃えるため、目標含水率を 60 %として、供試体を水浸させた状態で含水率調整を行った。目標値を 60 %と設定したのは、各環境での含水率を揃えると同時に、繊維飽和点の約 30 %より高く揃えることで、含水率による強度への影響を回避することをねらったものである。

表 1.2-2 劣化の発生状況

環 境	場 所	設置位置	劣化状況 (○:劣化無し ×:劣化あり)			
			接着剥れ	ラミナ割れ	腐朽	虫害
地 盤	亜寒帯 (旭川市)	気中	×小	×中	○	○
		地中	×小	×小	○	○
	温帯 (三次市)	気中	×小	×中	○	○
		地中	×小	×小	○	○
	亜熱帯 (都城市)	気中	×小	×大	×	○
		地中	×小	×小	×	×
海 水	港湾空港研究所 (横須賀市)	常時海中全面接触	○	×小	○	×
		常時海中土中	×小	×小	○	○
		干満帯	×小	×小	○	×
淡 水	飛島技術研究所 (野田市)	気中	×小	×中	○	○
		水中	×小	×中	○	○

各環境の劣化状況の観察結果を表 1.2-2 に示した。いずれの環境においてもラミナの割れが多く、接着剥れは少ない傾向であった。特に海水環境は、他の環境と比較して劣化が少なかった。
腐朽と虫害については、亜熱帯の地盤環境と海水環境のみで生じた。それぞれの劣化の様子を写真 1.2-7 の赤点線(腐朽)と写真 1.2-7、1.2-8 の青点線(虫害)で示す。

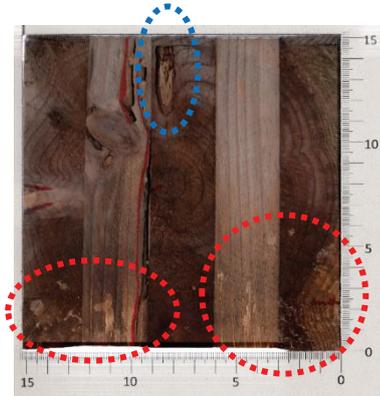


写真 1.2-7 地盤環境(亜熱帯)での腐朽・虫害



写真 1.2-8 海水環境(常時接触)での虫害

1.2.5 圧縮試験

(1)地盤環境

亜寒帯では、縦圧縮強さ、弾性係数については使用する接着剤、設置位置による差はみられなかった。

亜熱帯では、縦圧縮強さは使用する接着剤により差が生じ、レゾルシノール樹脂接着剤を用いた供試体より、水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた供試体の方が低かった。弾性係数は、使用する接着剤、設置位置による差はみられなかった。

(2)海水環境

常時海水に全面接触している供試体は、縦圧縮強さ、弾性係数とも、他の海水環境に比べ半分以下であった。

(3)淡水環境

亜寒帯と同様に、縦圧縮強さについては使用する接着剤、設置位置による差はみられなかった。また、他環境と比較して弾性係数が小さかった。

1.2.6 ブロックせん断試験

ブロックせん断試験は、地盤環境(亜寒帯、温帯、亜熱帯)、淡水環境の供試体から切り出した試験体で行った。接着面のせん断強さはばらつきが大きくなり、環境、接着剤、設置位置による有意差は認められなかった。

1.3 中長期利用を想定した CLT 土木利用 個別技術の開発

1.3.1 CLT 水平地盤補強工法の開発

軟弱地盤上の道路や宅地造成の盛土などの土構造物の基礎として、軟弱地盤上に CLT を敷設する技術 (図 1.3-1) の開発を進め、秋田県大潟村(旧八郎潟)で実証施工実験を行った。既存の工法と比較して以下のメリットを想定し、実証施工での検証を試みた。

- 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

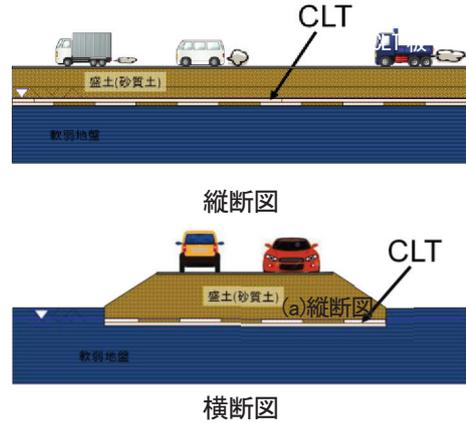


図 1.3-1 CLT 水平地盤補強のイメージ

実証施工では、約 12.7 m×7.2 m の 4 区画の軟弱地盤上に CLT (3 層 3 プライ、スギ、Mx60、水性高分子イソシアネート系接着剤) を敷設して、CLT を使用しない無対策も含めた 4 ケースの盛土を造成した。

- CASE1 : CLT(6.9(or 4.6)×1.15×0.09 m)、井桁状 2 段、未固定
- CASE2 : CLT(同上)、井桁状 2 段、ピン(D19×L150 mm)固定
- CASE3 : CLT(6.9(or 4.6)×2.3×0.09 m)、板状 2 段、未固定
- CASE4 : 無対策

その後、1.5 t 袋のトン袋を 4 袋設置し、動態観測(沈下及び水平変位量の計測)を実施した後(図 1.3-2)、盛土造成から約 9 ヶ月後に、各盛土上にて載荷試験を実施した(図 1.3-3)。

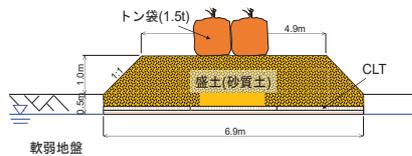


図 1.3-2 動態観測の概要図

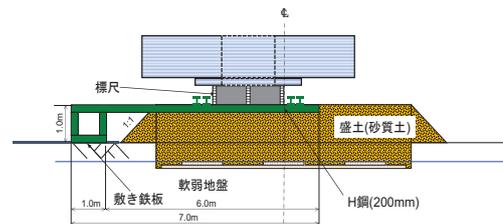


図 1.3-3 載荷試験の概要図

載荷試験の結果はすべり破壊にまでいらず、破壊前の沈下量(270 kN/m² 載荷時)の大きさは、無対策が最も大きく、順に全面、井桁(固定)、井桁(自由)となった。CLT を敷設したケースは、無対策に比較して沈下量が少なくなったが、全体的に沈下量は小さく、その差はかなり小さかった。沈下量が小さかった要因として、盛土の強度が予想以上に大きかったことと考察している(図 1.3-4)。

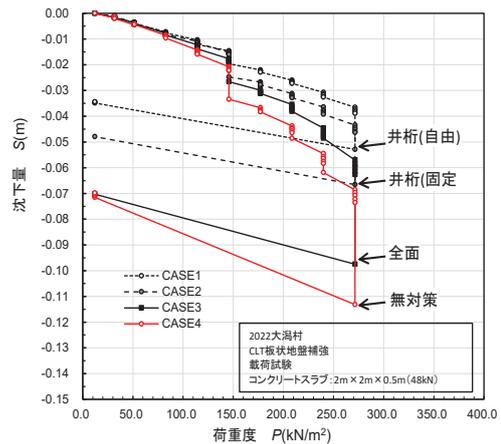


図 1.3-4 CLT 水平地盤補強載荷試験結果

1.3.2 CLT プラットフォームの開発

鉄道施設のプラットフォーム床版として、既存工法の穴あき PC 版の代替に CLT を敷設することを想定して開発を進めた(図 1.3-5)。



図 1.3-5 CLT プラットフォームのイメージ

本年度は、プラットフォームの一部に相当する試験体を屋外に実証施工し、載荷試験を実施した（写真 1.3-1）。試験体は 4 タイプとし、おもな検討項目として①CLT の固定方法、②端面の水切り処理方法による劣化度、③CLT の設置とアスファルト舗装の施工性、④アスファルト舗装した CLT の耐久性と適用性、を想定した。



写真 1.3-1 試験体設置状況

CLT (Mx60, 5 層 5 プライ、スギ サイズ 2.3 m×1.15 m×0.15 m) は、H 形鋼、L 形鋼、コンクリートブロックで作製した架台上に 4 種類の方法で固定した（図 1.3-6）。

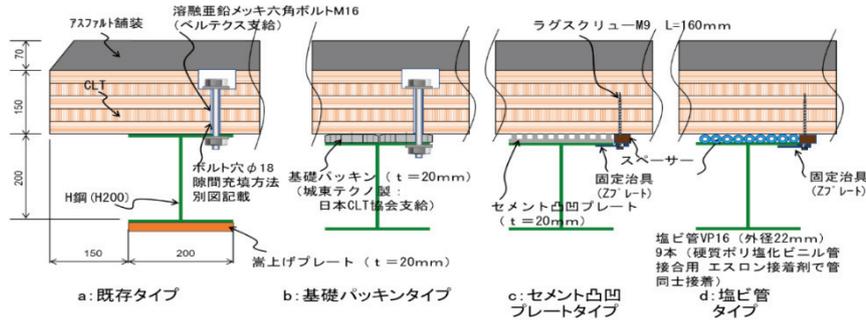


図 1.3-6 固定方法

CLT に取付けた専用吊上げ金具を用いて揚重、架台上に設置した後、アスファルト舗装、CLT 端面の水切り処理等の実証施工を経て、以下の見解を得た。

(1) CLT 固定の施工性と適用性

既存タイプと基礎パッキンタイプについては、ボルト締結の作業性に課題があり、Z プレート取付けには、支持梁 (H 形鋼) との固定方法に課題が見えた。

(2) CLT 設置の施工性と適用性

今回の実証では CLT パネルが小さく軽量であるため、クレーン車を使用せずにフォークリフトで短時間 (5 分程度) での揚重・敷設が可能であった。ただし、実際の施工時の CLT パネルの長さや幅等を踏まえた敷設の施工性については、今後の試験施工でさらに検証する必要がある。

(3) アスファルト舗装の施工性と適用性

CLT へのアスファルト施工 (防水シート+アスファルト舗装) の適用性については問題なかった。

CLT のたわみ量については、電子計測結果の一例を図 1.3-7 に示す。CLT の板の中央部平均変位量の最大値 (両端部変位の平均値を差し引いた値) は 0.65 mm と 0.55 mm であった。

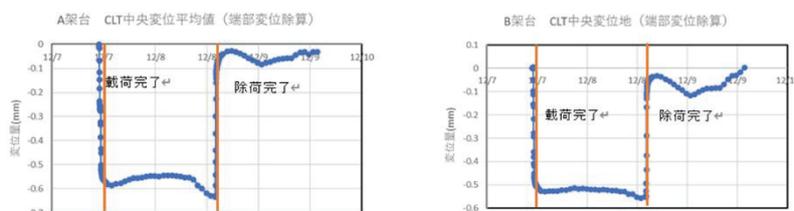


図 1.3-7 CLT プラットフォームの載荷試験結果 (端部変位量を除いた中央たわみ量)

支承部のめり込みは、支承部の変位量を電子計測し、塩ビパイプタイプ以外はほぼ同じ変位 (最大変位 -0.4 mm) となった。塩ビパイプタイプは、最大変位が約 0.2 mm 程度大きくなったが、塩ビパイプのつぶれが目視で確認された。

1.3.3 CLT 鉛直地盤補強工法の開発

層厚 5 m 程度の軟弱な基礎地盤上に、小中規模の建造物の支持力増加対策として、CLT を鉛直に配置する(図 1.3-8) ことを想定し、鉛直地盤補強の効果を確認するため、3 次元 FEM による数値解析を実施した(図 1.3-9)。

補強効果に与える影響因子として、①CLT の剛性(高・中・低)3 ケース、②形状(剛結・非剛結・固化併用)3 ケース、③間隔(密 3 m・粗 6 m)2 ケース、④深度(浅い 5 m・深い 10 m)2 ケース、⑤地盤種別(砂・粘土)2 ケース、⑥外力(静的・鉛直・動的)3 ケースを想定し、合計 216 ケースの比較解析を実施した。

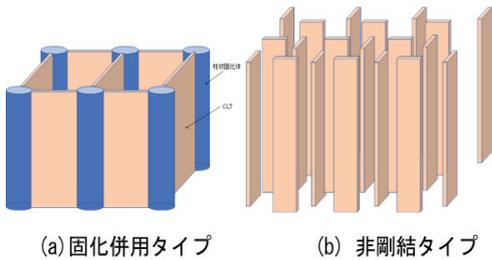


図 1.3-8 鉛直地盤補強のイメージ

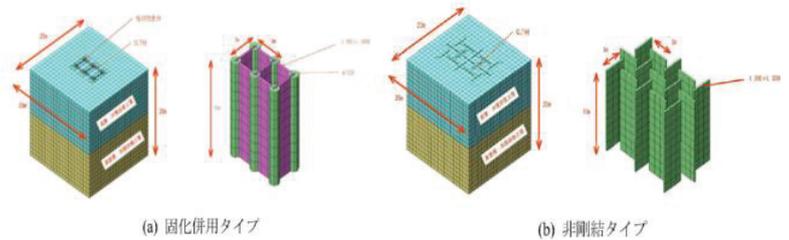
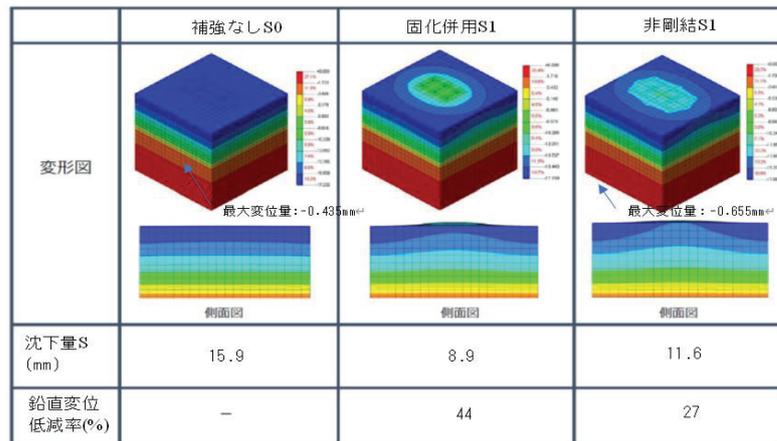


図 1.3-9 解析モデル

解析結果の一例として、図 1.3-10 に変形図コンターを示す。今回の解析から、CLT を鉛直に配置することにより支持力が向上し、鉛直変位量が抑制され、その低減率は無対策と比較して、固化併用タイプが大きいことがわかった。



*沈下量Sはモデル中央位置でのZ方向変位量を示す。
*鉛直変位低減率(%)=1-S1/S0

図 1.3-10 変形図コンター

また、基礎地盤に作用する圧縮応力は、CLT の設置により低減する結果となった。従って、上載荷重は CLT を介して支持層へ伝達されていると考えられ、地盤条件、荷重条件に適応した CLT を鉛直配置することで、支持力向上効果が期待できるものと推定された。

1.4 繰り返し利用・カスケード型利用を想定した CLT 土木利用 個別技術の開発

1.4.1 CLT 敷板の開発

土木作業現場における地盤対策として繰り返し使用(複数の現場での転用)されている鋼製の敷鉄板の代替としての CLT の活用を目指し、工事現場における時限的な使用およびヤードにおける常時敷設による実証試験を実施した(写真 1.4-1)。実際の土木施工現場に設置することにより、実用上の問題点を抽出することをねらい、表 1.4-1 に示す内容で実施した(転用回数は、新材使用を 0 回とする)。

表 1.4-1 CLT 敷板実証試験に関する緒元

現場種別	敷設した CLT の種類別使用枚数 (転用回数)						樹種
	強軸			弱軸			
	3層3プライ	3層4プライ	5層5プライ	3層3プライ	3層4プライ	5層5プライ	
住宅外構	—	—	10(1)	—	—	—	スギ
チップ生産ヤード	—	8(2)	2(2)	—	3(2)	5(1)	スギ
治山工事現場	11(2)	2(2)	—	6(2)	2(2)	—	スギ
林道工事現場	10(0)	—	—	—	—	—	カラマツ
河川工事現場	45(0)	—	—	—	—	—	スギ



写真 1.4-1 CLT 敷板敷設状況の例(左:治山工事現場の例、右:チップ生産ヤードの例)

CLT 敷板の実証試験結果を基に、表 1.4-2 に示す従来技術と比較した。

表 1.4-2 CLT 敷板と従来技術の比較

評価項目	CLT敷板	敷鉄板	プラ製敷板	従来技術と比較したCLT敷板のメリット・デメリット
強度性能	○	◎	△	・ 軟弱地盤、不陸、橋渡しでの使用に制約がある
損傷具合	△	◎	○	・ 表面の損傷と表面と側面の角部が欠けやすい (機能性には問題なし)
耐朽性	△	◎	○	・ 長期間使用した場合に腐朽による影響を受ける可能性あり
輸送	○	△	◎	・ 軽量であるため一度で大量輸送が可能
施工性	○	△	◎	・ 密度が低いため設置地盤への重量対策等の処理が不要 ・ 軽いため施工性がよい
使用时	○	○	○	・ 大きな違いはないが他と比較して軽いため不陸地盤でのハネや車両走行時等に動く場合がある ・ 雨天時や降雪時に滑りにくい
騒音性	◎	△	○	・ 重量物の落下時等の衝撃音が低く静粛性がある
再利用	△	◎	○	・ 使用後の損傷が大きいためリース事業では使用回数に制約がある
冬季の利用	◎	△	○	・ 断熱性が高いため積もった雪が凍りにくい ・ 雪上使用の場合敷板下の雪が溶けにくいため沈降しにくい
価格(単品)	◎	○	◎	・ 単品の製品価格は他と比較して安価

1.4.2 CLT 防雪柵の開発

鋼製防雪柵における着雪による変形や鋼材の腐食等の諸課題を解決するため、CLT による防雪柵の開発を進めた。令和 3(2021)年度に試行的に設置した CLT 防雪柵について、端部からの巻込風の影響を抑制するための鋼製防雪柵(写真 1.4-2)を CLT 防雪柵に隣接して設置すると共に、防雪機能を発揮させるための要ともいえる上部工の仕様(形状、使用材種、樹種、固定方法等)について検討して新設し、基礎的なデータ計測、観察を行った(図 1.4-1)。



写真 1.4-2 新設した鋼製防雪柵(左奥:CLT 防雪柵)

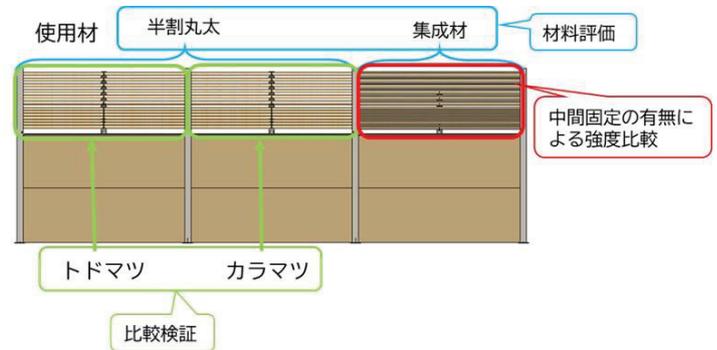


図 1.4-1 CLT 防雪柵における上部構の検討

CLT 防雪柵の実証施工による計測・観察により得られた結果を表 1.4-3 に整理する。

表 1.4-3 CLT 防雪柵に対する検討結果一覧

検討項目	検討結果
着雪量	表面処理による着雪抑制効果について引き続き検討中。
表面温度	鋼製防雪柵との違いは認められていない。計測位置を見直し検討中。
含水率	表面処理の有無による差異が認められ、処理の効果について確認できた。引き続き経過調査中
コスト検証	試算では鋼製防雪柵に対し約 25%高くなる。リサイクル利用効果も含めて検証中。

1.4.3 CLT の燃料利用技術の検証

CLT のリサイクル型利用技術開発において、CLT を木質系資源としたカスケード型の利用サイクルを構築することも重要である。本事業では、木材由来のバイオマス燃料としての利用技術についての技術開発を進めるため、令和 3(2021)年度から 4(2022)年度にかけて、環境条件の異なる 3 か所の工事現場で使用(転用 2 回)された CLT 敷板をチップ化して(写真 1.4-3)、CLT 敷板の切削チップの品質を分析した。



写真 1.4-3 使用済み CLT の切削チップ化の実施状況(令和 4(2022)年 11 月 15 日)

今年度実施した使用実績のある CLT 敷板のチップ化における課題およびチップの品質等は、以下の通りである。

(1) 切削チップ化

CLT 敷板を高压洗浄機で水洗いし、大型チップパーに投入できる大きさに切断した後、35 mmアンダーの切削チップを作成した。通常、土砂や鉄くずなどの混じった建設廃材のチップ化ではハンマーによる破砕チップパーを用いるが、使用済み CLT を高压洗浄機で水洗いすることで、搬送に支障をきたす長尺チップやブリッジ(チップの塊)の形成を抑制することができ、木質バイオマス燃料として形状のよい切削チップが得られた。

(2) 品質

品質規格の基準値(Class4, リサイクル材)を満たしていた。しかし、灰分や微量成分は使用済み CLT の方が未使用 CLT よりも多く含まれていた。これは使用済み CLT に含まれていた土砂等の影響によるものと考えられる。

(3) 発熱量

約 30 wet%の使用済み CLT の低位発熱量(水分の蒸発熱を高位発熱量から差し引いたもの:実際に熱エネルギーとして利用できる熱量)は 3,520 kcal/kg (14,730 kJ/kg) であり、品質規格による針葉樹木部(水分 30 wet%)の低位発熱量である 3,040 kcal/kg (12,800 kJ/kg) より大きかった。この理由としては、CLT の接着剤に含まれる成分や敷板に付着していた土砂等の影響によると思われる。

1.4.4 CLT 敷板・防護柵の耐朽性の検証

CLT 敷板のリサイクル利用を考える上で、材料自体の劣化傾向を把握することは重要である。ここでは、土に常に接する状態で暴露された CLT 敷板単体の劣化傾向を把握すると共に、劣化に影響を与える温湿度を測定することにより、間接的に劣化外力を取得することを目的とする。

約 1 年間の設置に対して、屋外の裸地に直置きした CLT 敷板は、目視では顕著な劣化は認められなかった。また、温度および相対湿度の測定により、敷板としての利用は、相対湿度が相対的に高くなる状況下に置かれると想定される。更に、敷板上面の含水率は、つくば市において、最大 89.0 %～平均 31.1 %～最小 9.5 % (2 月～9 月測定結果)、熊本市において、最大 34.0 %～平均 25.5 %～最小 18.0 % (12 月測定結果)の範囲であった。

保存処理を施していない CLT を防護柵の部材として使用することを考えた場合、縦使いした CLT の材料としての基本的な劣化傾向を把握することは、部材交換サイクルを想定する上でも重要である。そこで、気候の異なる、旭川市、つくば市、熊本市の屋外にスギ CLT による簡易的な防護柵を設置し、目視による表面性状等の観察、CLT 中央部における温湿度の測定および含水率の測定を行っている。

防護柵中心部における温度および相対湿度について、旭川市、つくば市および熊本市で顕著な差異は認められなかった。また、CLT を縦使いする防護柵においては、時間経過による含水率の増加が敷板よりも少なかった。更に、CLT 防護柵の下部に地面との隙間を設けることにより、防護柵下部における含水率の増加を抑え、耐久性向上に寄与できる可能性が示唆された。

1.4.5 成果の普及

繰り返し利用・カスケード型利用を想定した CLT 土木利用 個別技術の開発について、本年度の開発成果を社会に還元し成果を普及させるため、以下の成果報告を行った。

- ①池田穰、「リサイクル型」CLT 遮音・防護柵の遮音機能、令和 4 年度土木学会全国大会 第 77 回年次学術講演会、V-72、2022 年
- ②柴尾幸弘、村井悠、今井良、環境調和型の新たな防雪対策の提案～CLT を利用した防雪柵の研究開発～、ゆきみらい研究発表会、2023 年

1.5 土木用 CLT の開発

1.5.1 実工場ラインにおける実証

JAS 規格で定められたラミナの品質を満たさない材の分類を行い、これらの材をラミナとして用いた土木用 CLT の製造実証を行った。

JAS 規格で定められた品質ごとに、それらを満たさないラミナによる製造上の課題を表 1.5-1 のように整理した。ここで、B 材丸太は一般製材向け丸太のうち比較的曲がり大きい丸太や小径な丸太を指し、C 材丸太は通常チップ・パルプ向けになる枝条部や大曲がりのある丸太を指す。極端に大きな丸身の場合には接着面積が不足する恐れなどがあるが、腐れ、入り皮、虫食い、抜け節については、基本的に問題ないと考えられた。反りや曲がりについては軽微なものであれば接着することができるが、程度が強いものについては量産ラインにおける送材トラブルや接着不良を起こす可能性があるため短尺に切断してフィンガージョイント接合する必要が考えられる。

表 1.5-1 ラミナの状態による分類と製造上の課題整理

	丸身	反り	曲がり	腐れ	入り皮	虫食い	抜け節
B材丸太の挽板	◎	○	○	◎	◎	◎	◎
C材丸太の挽板	○	△	△	◎	◎	◎	◎

- 【凡例】 ◎：製造上問題が発生する可能性が低いと予想できるもの
○：欠点の程度によって問題、もしくは、製造上ひと手間生じる可能性のあるもの
△：製造上ひと手間かかるもの（細かくカットしてFJするなど）

さらに、上記で整理したラミナを用いた製造実験を、実際の工場の量産ラインで行った。その結果、製造工程においては特に不具合は確認されなかった。原木段階から製品段階までにおける歩留まりについて検証したところ、通常ラミナを用いた CLT 製品に比べると 5%程度の歩留まり向上が確認された。

1.5.2 土木用ラミナの活用技術の開発

前項で検証した JAS 規格で定められたラミナの品質に適合しないラミナ以外にも、ラミナの人工乾燥や表面仕上げなどの工程を省略することによって、品質を大きく落とさずに、歩留まりの向上や製造コストの削減の可能性がある。そこで、製造工程を省略して CLT を製造する検討を行った。

(1) 人工乾燥をしない高含水率ラミナの検討

通常の JAS 規格の CLT に用いられる人工乾燥材に比べ、より高い含水率に仕上げた天然乾燥ラミナを用いて CLT の製造を試み、接着性能の検証を行った。用いた天然乾燥ラミナの含水率は 15.6%~22.6% (平均 19.5%) であった。

製造した CLT からはく離試験体を切り出して、減圧加圧処理によるはく離試験を実施した。その結果、接着はく離の発生はみられないか、ごく僅かであることがわかり、含水率が 20%程度であれば十分に JAS の基準を満たす初期接着性能が得られた。

(2) 表面仕上げを省略したラミナの検討

天然乾燥したラミナについて、表面仕上げ(プレーナー掛け)をせずに接着剤を塗布した場合の接着性について検討を行った。その際の圧縮方法を、通常のプレス機でのもの(1.0 MPa、60分)と、真空プレス機を用いたもの(0.1 MPa、60分)と2種類で行った。製造した CLT からはく離試験体を切り出して煮沸処理によるはく離試験を実施した。さらに、接着剤およびプレス機を用いずに鉄釘および木釘を用いた積層化の可能性についても検討を行った。

プレーナー加工した場合は、通常のプレスでははく離は見られなかったが、真空プレスでははく離が認められた。プレーナー加工を行わない場合、プレス方法に関わらず試験前の段階で既に接着不良箇所が確認された。

鉄釘および木釘を用いた積層板について曲げ試験を実施した。その結果、載荷初期からたわみが卓越する挙動がみられ、通常の CLT とは大きく異なる材料となっていることが分かった。

1.5.3 省ラミナ CLT の検討および開発

製造原価の約 6 割をラミナの原材料費が占める CLT では、ラミナの使用量がコストにおよぼす影響が大きい。内層などのラミナの枚数を削減することにより中空部を有する CLT (省ラミナ CLT、図 1.5-1) を製造することができる。この場合でも必要な強度特性が得られればコスト削減や軽量化に貢献できると考えられ、約 2 m × 1 m サイズの 5 層 5 プライ CLT の製造実験を実施した。

省ラミナ CLT の場合、通常の CLT に比べて製造に要する時間を 2 割程度短くすることができた。また、省ラミナ CLT ではラミナの使用量を 26 % ~ 44 % 削減できることが示された。

また曲げ式せん断試験および減圧加圧はく離試験を実施した結果、せん断強度は概ね接着面積に比例し、減圧加圧処理後でもはく離率は JAS の基準を満たしていた。

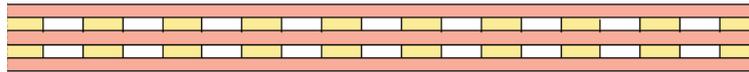


図 1.5-1 省ラミナ CLT の例 (5 層 5 プライの内層 3 層のラミナを半減した側面図)

1.5.4 保存処理技術の性能検証

CLT の土木利用を想定した場合、従来の防腐処理と同程度の処理コストでは、コスト競争力の点で普及の妨げとなる恐れがある。そこで、可能な限り保存処理のコストを縮減させ、CLT パネルに対して必要最低限の耐久性を付与する技術の開発を目指す。

目的が処理コストを縮減した保存処理技術の開発であることから、CLT 工場における製造工程には触れずに、製造された CLT パネル製品の段階で簡易に保存処理できる技術が望まれる。そこで、ラミナを膨潤させない油系薬剤(ナフテン酸銅、クレオソート等)を用いた保存処理技術について検討することとした。その筆頭候補として、インサイジング処理をした材に薬剤を塗布して浸潤させる技術である深浸潤処理を採用した。

これらの処理 CLT を屋外環境に曝露し、その処理効果の観察を行って土木用 CLT の耐朽性付与技術としての可能性を検証した。

1.5.5 土木用 CLT への要求性能

各ワーキンググループで取り組んでいる土木利用技術について、それぞれの用途で必要となる要求性能を把握することを目的に、各ワーキンググループにアンケート調査を実施した。その結果に基づき、欠点を含むラミナを用いた CLT や省ラミナ CLT 等の適用可能性などを検討した。

2 事業内容

2.1 事業概要

本事業の概要を以下に示す。

事業名称	:令和3年度 木材製品の消費拡大対策のうち CLT 建築実証支援事業のうち CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業 CLT の土木利用技術の開発と実用化のための低コスト CLT 製造技術の検証
発注主体	:木構造振興株式会社
事業実施期間	:令和4(2022)年5月から令和5(2023)年2月20日

2.2 事業の背景と目的

わが国の森林は人工林を中心に利用期を迎えており、その豊富な森林資源の活用のために、国産材 CLT を活用した新たな木材需要の創出に期待が寄せられている。こうした中、CLT の幅広く積極的な活用に向けて、平成28(2016)年6月に「CLT 活用促進に関する関係省庁連絡会議」(以下、関係省庁連絡会議)が設置され、国を挙げて CLT の普及に取り組む連携体制が構築された。

関係省庁連絡会議は、令和3(2021)年3月に CLT の更なる利用拡大に向けた「CLT の普及に向けた新ロードマップ～更なる利用拡大に向けて～」(※)を策定した。この新ロードマップでは、令和6(2024)年度末までに年間50万^mの CLT 生産体制を目指す等の数値目標が掲げられ、そのための新たな施策の一つとして、「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、これらの背景を受けて、新ロードマップの目指す姿の実現に向けて立ち上げたものである。具体的には、土木分野に適応する新たな CLT の材料開発、ならびに CLT の新たな土木利用技術の開発・普及に着手し、CLT の利用の可能性を土木分野へ広げることが目的としている。

また、CLT の利用拡大により、木材需要の創出のみにとどまらず、環境改善効果への寄与、土木分野からの国土強靱化による安全安心社会への貢献なども視野に入れている。

- ※平成26(2014)年11月に林野庁と国土交通省が取りまとめた「CLT の普及に向けたロードマップ」を、平成29(2017)年1月に関係省庁連絡会議が令和2(2020)年度末を終期とするマップに見直しをはかった。
- この経緯を受けて、令和3(2021)年度から令和7(2025)年度までの期間でロードマップを策定したもの

2.3 開発方針（全体方針と開発テーマの分類）

本事業は、まず CLT がこれまで活用されてきた建築分野での実績を踏まえ、土木利用としての新たな観点での要求性能の違いに着目し、技術開発のポイントを以下の2点と定めた。

- ①土木分野適応型(土木用)CLT における必要性能の検証と製造方法の確立
- ②早期の社会実装が期待できる CLT の土木利用技術の選択と設計・施工・管理方法の確立

土木用 CLT については、これまでの建築分野で利用されてきた CLT の概念にこだわらず、土木分野での要求性能に適合する CLT を、新たに材料開発すること目指し、土木分野での市場競争力の高い材料とすることが期待される。

また、本事業の成果については、単なる学術研究に終わらず、早期の社会実装を目指していることから、まずは社会的ニーズも高く、かつ技術的に実現の可能性の高い土木利用技術に絞って、土木利用技術の開発を進めることを目指すことが求められる。

上記の2つのポイントを軸とし、事業スキームとしては、技術開発の基盤として、CLT の土木利用を想定した耐久性等の材料の基礎研究を行う「基礎試験」を進めることとした。耐久性等の検証という点で、試験期間を5年間と想定しており、今後も技術開発と並行して、土木分野での CLT の活用を視野に入れた耐久性の検証を継続する。(本年度は2年目に該当する。)

具体的な技術開発については、「材料開発(ポイント①)」と「実製品の開発(ポイント②)」を並行して進める体制とした。実製品の開発においては、中長期の利用可能な製品と、繰り返し利用のカスケード型サイクルを構築できる製品とに2分して、それぞれに開発を進めた。これらの開発テーマの関係を図2.3-1に示す。

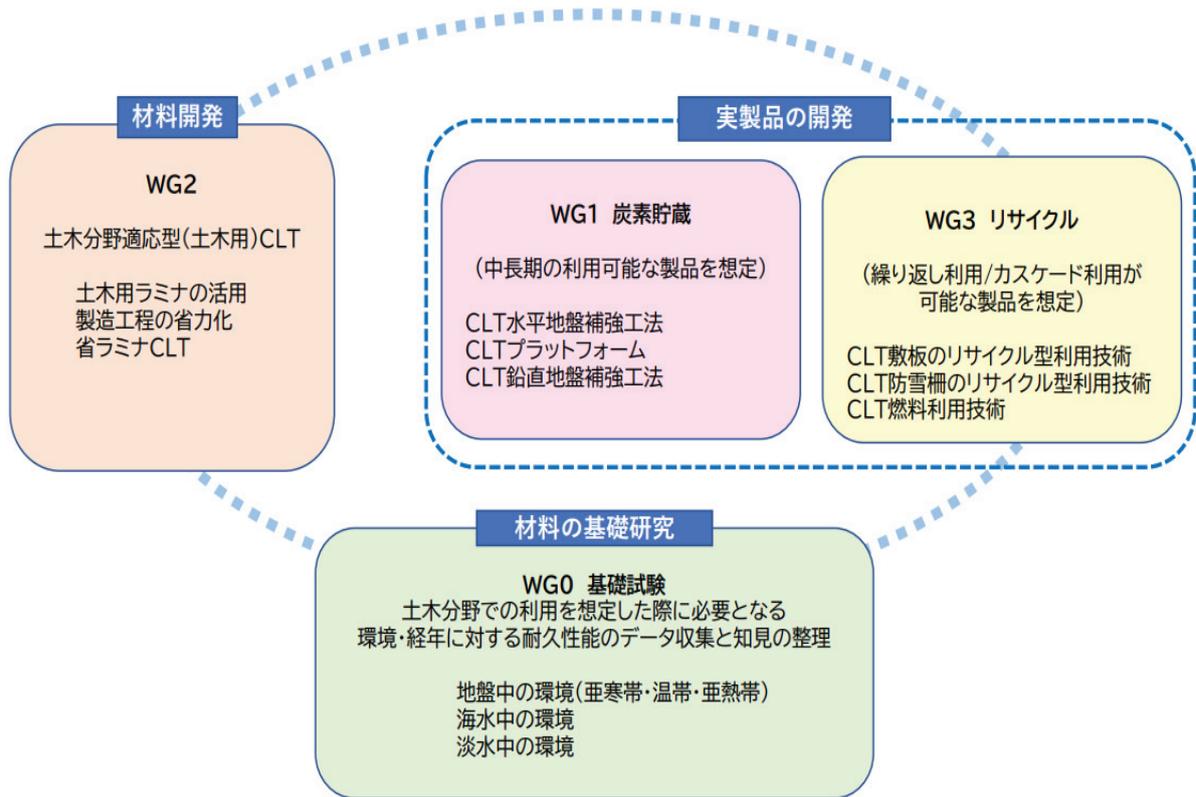


図 2.3-1 本事業で取り扱う開発テーマ

実製品の開発における炭素貯蔵、リサイクルについては、下記をイメージしている。

- 炭素貯蔵型 : 構造物が構造的に長期間劣化せず、人間のライフスパンで考えるとメンテナンス無しで機能が維持できる。構造物が機能を維持する期間は 50 年程度を目安とする。
- リサイクル型 : 構造物として機能を維持できる耐用年数が比較的短く、概ね 10 年程度のもの。基本的に、防腐未処理を原則とし、供用後回収可能で、それを化石燃料の代替として活用することを目指す。(化石燃料代替効果による気候変動緩和機能を強化)

2.4 実施体制

一般社団法人日本 CLT 協会内に委員会を設置し、委員長、副委員長に土木工学、木材工学における学識経験者を迎え、さらに技術顧問として各技術部門におけるわが国の第一人者に委任した。委員は、土木工学、木材工学、環境工学等の幅広い分野の有識者から選任した。委員会の下部組織として、開発テーマ別の 4 作業部会(WG)を設定し、代表する委員を主査として配置し、WG の統括を委任した。

また、全体方針や進め方などの見直しを行い、委員長・副委員長と相談しながら、委員会全体の運営を管理するために、WG の委員の中から選出された幹事で構成される幹事会を設置し、幹事会を代表する幹事長を互選により選出した(図 2.4-1)。

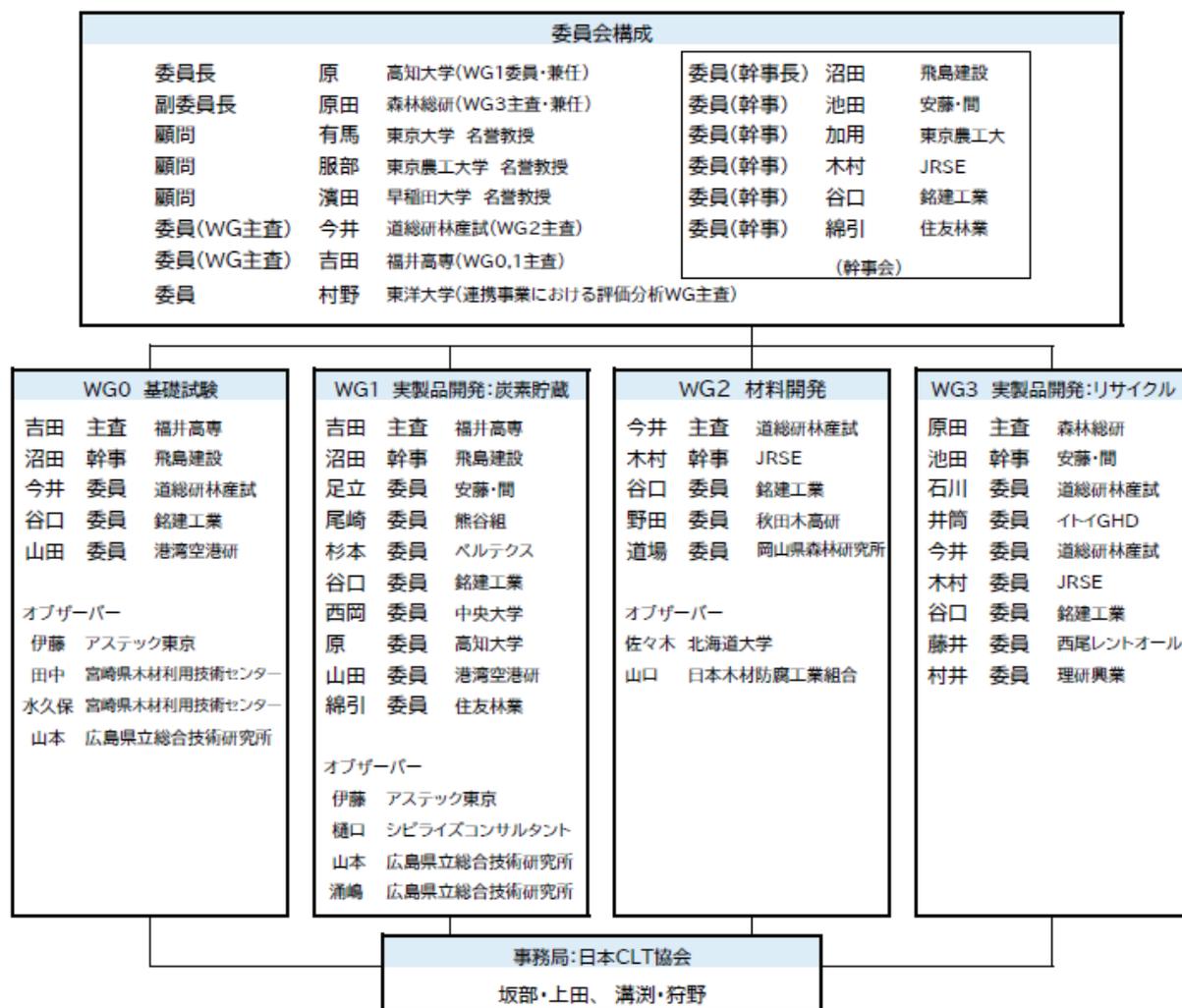


図 2.4-1 委員会・幹事会・各WGの構成

【委員会】 (以下 敬称略・順不同にて 氏名・所属を記載)

委員長	原 忠	高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門 教授
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 木材研究部門 構造利用研究領域長
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	池田 穰	株式会社安藤・間 建設本部 技術研究所 先端・環境研究部 主任研究員
委員	今井 良	地方独立行政法人北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場性能部 主査
委員	加用 千裕	東京農工大学 大学院農学研究院 自然環境保全学部 准教授
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 営業部 部長
委員	谷口 翼	銘建工業株式会社 木質構造事業部 営業部海外営業課
委員	沼田 淳紀	飛鳥建設株式会社 土木事業本部グリーンインフラ開発部 部長
委員	村野 昭人	東洋大学 理工学部都市環境デザイン学科 教授
委員	吉田 雅穂	福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授
委員	綿引 誠	住友林業株式会社 筑波研究所 副所長

【幹事会】

幹事長	沼田 淳紀	飛島建設株式会社 土木事業本部グリーンインフラ開発部 部長
幹事	池田 穰	株式会社安藤・間 建設本部 技術研究所 先端・環境研究部 主任研究員
幹事	加用 千裕	東京農工大学 大学院農学研究院 自然環境保全学部 准教授
幹事	木村 礼夫	株式会社ジェイアール総研エンジニアリング 営業部 部長
幹事	谷口 翼	銘建工業株式会社 木質構造事業部 営業部海外営業課
幹事	綿引 誠	住友林業株式会社 筑波研究所 副所長

【WGO 基礎試験】

主査	吉田 雅穂	福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授
幹事	沼田 淳紀	飛島建設株式会社 土木事業本部グリーンインフラ開発部 部長
委員	今井 良	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場性能部 主査
委員	谷口 翼	銘建工業株式会社 木質構造事業部 営業部海外営業課
委員	山田 昌郎	独立行政法人 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究領域 沿岸環境研究チーム 主任研究官
オブザーバー	伊藤 良治	株式会社アステック東京
オブザーバー	田中 洋	宮崎県木材利用技術センター
オブザーバー	水久保 孝英	宮崎県木材利用技術センター
オブザーバー	山本 健	広島県立総合技術研究所

【WG1 実製品の開発：炭素貯蔵】

主査	吉田 雅穂	福井工業高等専門学校 環境都市工学科 教授
幹事	沼田 淳紀	飛島建設株式会社 土木事業本部グリーンインフラ開発部 部長
委員	浦野 和彦	株式会社安藤・間 建設本部 技術研究所 土木研究部長(令和4年6月まで)
委員	足立 有史	株式会社安藤・間 建設本部 技術研究所 土木研究部長(令和4年7月から)
委員	尾崎 健一郎	株式会社熊谷組 土木事業本部 インフラ再生事業部長
委員	杉本 英俊	ベルテクス株式会社 鉄道営業部(令和4年11月から)
委員	谷口 翼	銘建工業株式会社 木質構造事業部 営業部海外営業課
委員	西岡 英俊	中央大学 理工学部 都市環境学科 基礎・地下構造研究室 教授
委員	原 忠	高知大学 教育研究部自然科学系理工学部 教授
委員	山田 昌郎	独立行政法人 港湾空港技術研究所 沿岸環境研究領域 沿岸環境研究チーム 主任研究官
委員	綿引 誠	住友林業株式会社 筑波研究所 副所長
オブザーバー	伊藤 良治	株式会社アステック東京
オブザーバー	樋口 大介	株式会社シビライズコンサルタント
オブザーバー	山本 健	広島県立総合技術研究所
オブザーバー	涌嶋 智	広島県立総合技術研究所

【WG2 材料開発】

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 林産試験場性能部 主査
幹 事	木村 礼夫	株式会社ジェイアール総研エンジニアリング 営業部 部長
委 員	野田 龍	秋田県立大学 木材高度加工研究所 准教授
委 員	谷口 翼	銘建工業株式会社 木質構造事業部 営業部海外営業課
委 員	道場 隆	岡山県農林水産総合センター 森林研究所 木材加工研究室 専門研究員
オブザーバー	佐々木貴信	北海道大学大学院 農学研究院 基盤研究部門 森林科学分野 教授
オブザーバー	山口 秋生	日本木材防腐工業組合 技術委員長

【WG3 実製品の開発：リサイクル】

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 木材研究部門 構造利用研究領域長
幹 事	池田 穰	株式会社安藤・間 建設本部 技術研究所 先端・環境研究部 主任研究員
委 員	石川 佳生	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場 利用部 研究主幹
委 員	井筒 耕平	株式会社 sonraku 代表取締役 株式会社あんぐらエナジー(イトイグループホールディングス) 取締役
委 員	今井 良	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場性能部 主査
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 営業部 部長
委 員	谷口 翼	銘建工業株式会社 木質構造事業部 営業部海外営業課
委 員	村井 悠	理研興業株式会社 環境・新エネルギー開発部

【行政】

行 政	土居 隆行	林野庁林政部木材産業課 木材製品技術室長
行 政	日向 潔美	林野庁林政部木材産業課 課長補佐(木材技術班担当)
行 政	今井 翔	林野庁林政部木材産業課 木材製品技術室

【事務局】

事 務 局	平原 章雄	木構造振興株式会社 常務取締役
事 務 局	原田 浩司	木構造振興株式会社 客員研究員
事 務 局	坂部 芳平	一般社団法人日本 CLT 協会 専務理事
事 務 局	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	一般社団法人日本 CLT 協会 土木技術開発室 (合同会社建設木材工学研究所)
協力委員	狩野れいな	一般社団法人日本 CLT 協会 土木技術開発室 (合同会社建設木材工学研究所)

2.5 実施工程

令和4(2022)年5月より幹事会を中心に本年度の事業の準備を進め、6月22日に第1回委員会を開催し、4作業部会(WG)を設定し、事業を開始した。

4WGは委員会の指導のもと、各テーマに基づく調査研究を進め、具体的な開発テーマに基づく試験・実験に着手した。さらに、それらの結果も踏まえて実証・分析を進め、年度内の成果としてとりまとめると共に、今後の課題の抽出を行った。

調査、試験・実験、実証の各活動内容の全成果を、本報告書としてとりまとめた。工程の詳細を以下に記す。

令和4(2022)年・令和5(2023)年

委員会・準備会議

5月	31日	第1回 CLT 土木開発・利用委員会 準備会議	対面(CLT 協会)+web会議にて開催
6月	22日	第1回 CLT 土木開発・利用委員会	対面(CLT 協会)+web会議にて開催
9月	21日	第2回 CLT 土木開発・利用委員会 準備会議	対面(CLT 協会)+web会議にて開催
9月	29日	第2回 CLT 土木開発・利用委員会	対面(CLT 協会)+web会議にて開催
12月	12日	第3回 CLT 土木開発・利用委員会 準備会議	対面(CLT 協会)+web会議にて開催
1月	20日	第3回 CLT 土木開発・利用委員会	対面(CLT 協会)+web会議にて開催

幹事会

5月	24日	第1回幹事会	web会議にて開催
8月	9日	第2回幹事会	対面(CLT 協会)+web会議にて開催
12月	12日	第3回幹事会(委員会準備会議と合同開催)	対面(CLT 協会)+web会議にて開催

WG0

8月	24日	第1回会議	web会議にて開催
12月	23日	第2回会議	web会議にて開催

WG1

6月	9日	第1回会議	web会議にて開催
9月	5日	第2回会議	web会議にて開催
11月	9日	第3回会議	web会議にて開催
11月	30日	プラットフォーム試験施工 CLT 設置工事 (広島県三次市)	
12月	1-3日	プラットフォーム試験施工 アスファルト舗装工事 (広島県三次市)	
12月	7-8日	プラットフォーム試験施工 載荷試験 (広島県三次市)	
1月	13日	成果概要の取りまとめ(打合せ)	web会議にて開催
2月	7日	第4回会議	web会議にて開催

WG2

5月	19日	第1回会議	web会議にて開催
9月	5日	第2回会議	web会議にて開催
11月	9日	第3回会議	web会議にて開催
2月	8日	第4回会議	対面(秋田木高研)+web会議にて開催
2月	8日	現地検討会 秋田市立大学木材高度加工研究所 土木用 CLT(木釘接合、真空プレス圧着)の製造工程見学	

WG3

9月	20日	第1回会議	web会議にて開催
11月	14日	現地検討会 占冠村 敷板設置現場見学	
11月	15日	現地検討会 道総研林産試験場 CLT 敷板、防護柵の耐朽試験現場の視察	
11月	16日	現地検討会 防雪柵現場視察・打合せ	

3 土木用を想定したCLTの 耐久性検証（基礎試験）

3.1 基礎試験概要（背景・目的・基本方針）

3.1.1 背景と目的

CLTの耐久性については、建築分野での使用を想定し、地上(屋内・屋外)における設置に関する知見が多く得られている。一方、土木分野では、地上(気中)に置かれる場合に加え、地盤中、海中、淡水中の環境に置かれることも想定されるが、これらについての知見は得られてきていない。

こうした背景を受けて、建築分野では今まで得られてこなかった地盤、海中、淡水環境における耐久性に関する知見を得るため、土木利用を想定したCLTの耐久性に関する基礎データを取得することを目的として、確認試験を行った。

耐久性に関するデータを得るためには、それなりの暴露期間を必要とすることから、令和3(2021)年より5年間の設置を目標として、異なる環境下に2種のCLT供試体(写真3.1-1、3.1-2)を設置して、経過を確認している。



写真 3.1-1 キュービック型 供試体
150 mm × 150 mm × 150 mm



写真 3.1-2 横目ボード型 供試体
500 mm × 1500 mm × 150 mm
淡水環境のみ
500 mm × 900 mm × 150 mm

3.1.2 本年度の基本方針

本年度は、約1年経過した供試体を設置場所から取り出し、以下の項目を実施した。

- 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※

※ブロックせん断試験:キュービック型供試体より25 mm × 25 mm × 150 mm のブロックを切り出して試験を実施

本年度の計測、観察等の結果は、5年間を目途とする耐久性試験の1年目のデータとして取り扱い、昨年度に実施した基準試験結果と比較して、1年目の耐久性を評価する。

3.2 実施状況

3.2.1 実施工程

本年度の実施工程を表 3.2-1 に示す。供試体を取り出した後、圧縮試験とブロックせん断試験に用いるキュービック型供試体は、目標含水率を 60 %として、供試体を水浸させ含水率調整を行ってから、強度試験を実施した。繊維飽和点の約 30 %より高く揃えることで、含水率による強度への影響を回避するための処置であり、この含水率調整に 2~3 週間を要したため、強度試験は令和 4(2022)年 12 月~令和 5(2023)年 1 月に実施した。

表 3.2-1 実施工程

試験環境	試験項目	場所	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月
地盤環境	試験体取出し・ 供試体測定・撮影・強度試験	道総研林業試験場								
		広島県林業技術C								
		宮崎県木材利用技術C								
海水環境	干満帯	港湾空港技術研究所								
	供試体取出し(1回目)・撮影	港湾空港技術研究所	■							
	供試体取出し(2回目)・撮影	港湾空港技術研究所						■		
	常時海中エリア	港湾空港技術研究所								
淡水環境	供試体取出し(1回目)・撮影	飛鳥建設技術研究所				■				
	供試体取出し(2回目)・測定・撮影	飛鳥建設技術研究所						■		
	飽和供試体測定・撮影・強度試験	道総研林業試験場								

3.2.2 実施場所

(1)各環境の所在地

供試体を存置した場所を下記に示す。また、各場所にて実施した試験内容を表 3.2-2 に示す。

1)地盤環境

- ①亜寒帯地域 北海道旭川市 北海道立総合研究機構 森林研究本部 林産試験場(以下 林産試験場)
- ②温帯地域 広島県三次市 広島県総合技術研究所 林業技術センター(以下 広島県林業技術センター)
- ③亜熱帯地域 宮崎県都城市 宮崎県木材利用技術センター

2)海水環境

神奈川県横須賀市 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
(以下 港湾空港技術研究所)

3)淡水環境

千葉県野田市 飛鳥建設株式会社 技術研究所(以下 飛鳥建設技術研究所)

表 3.2-2 実施場所と試験内容

実施場所	基準試験※	地盤環境	海水環境	淡水環境
北海道旭川市 (林産試験場)	○	○		
広島県三次市 (広島県林業技術センター)		○		
宮崎県都城市 (宮崎県木材利用技術センター)		○		
神奈川県横須賀市 (港湾空港技術研究所)			○	
千葉県野田市 (飛鳥建設技術研究所)				○

※基準試験 :令和 3(2021)年度に林産試験場で実施した供試体の初期性能の確認試験
(各環境に存置する前に試験を実施)

(2)各試験地点における供試体設置状況

1) 地盤環境

①林産試験場 供試体設置状況

供試体配置を写真 3.2-1 に示す。

配置状況を図 3.2-1 に示し、本年度の観察対象とした供試体の位置を赤枠で示す。



写真 3.2-1 林産試験場 供試体配置

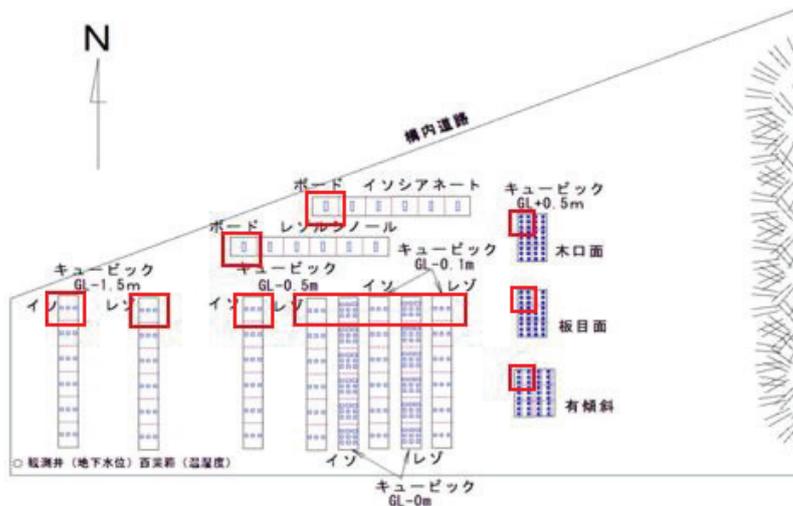


図 3.2-1 林産試験場 配置状況

②広島県林業技術センター 供試体設置状況

供試体配置を写真 3.2-2 に示す。

配置状況を図 3.2-2 に示し、本年度の観察対象とした供試体の位置を赤枠で示す。



写真 3.2-2 広島県林業技術センター 供試体設置



図 3.2-2 広島県林業技術センター 配置状況

③宮崎県木材利用技術センター 供試体設置状況

供試体配置を写真 3.2-3 に示す。配置状況を図 3.2-2 に示し、本年度の観察対象とした供試体の位置を赤枠で示す。



写真 3.2-3 宮崎県木材利用技術センター供試体配置

図 3.2-3 宮崎県木材利用技術センター 配置状況

各地盤環境に共通した供試体設置方法を図 3.2-4~9 に示す。

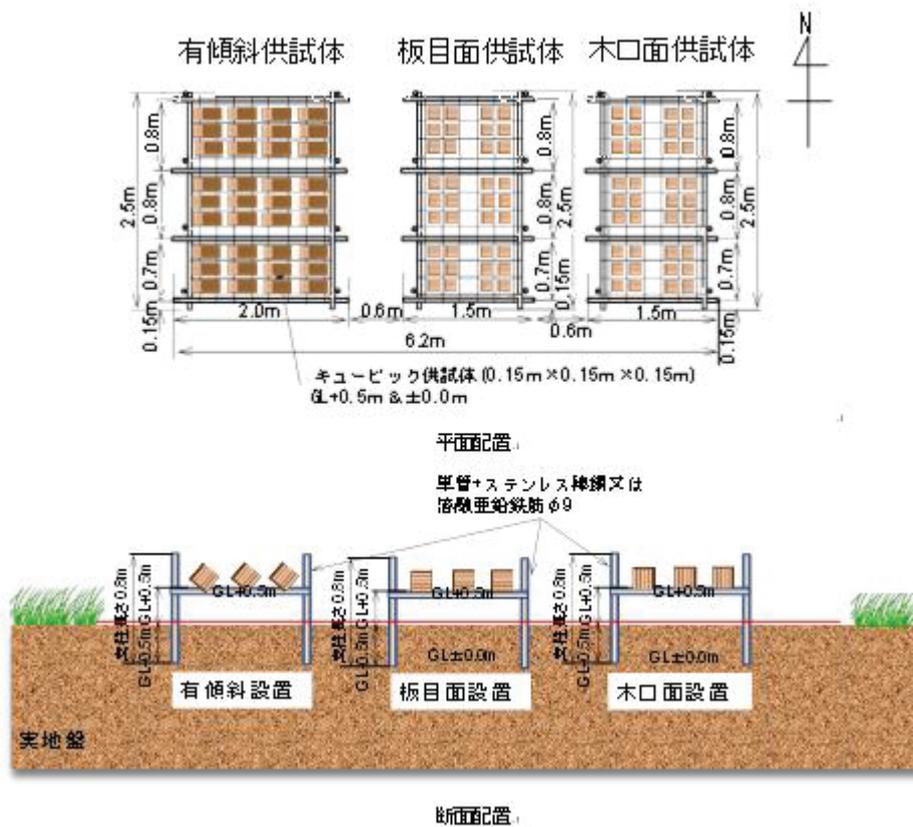


図 3.2-4 キュービック型供試体 地上 50 cm 設置概念図

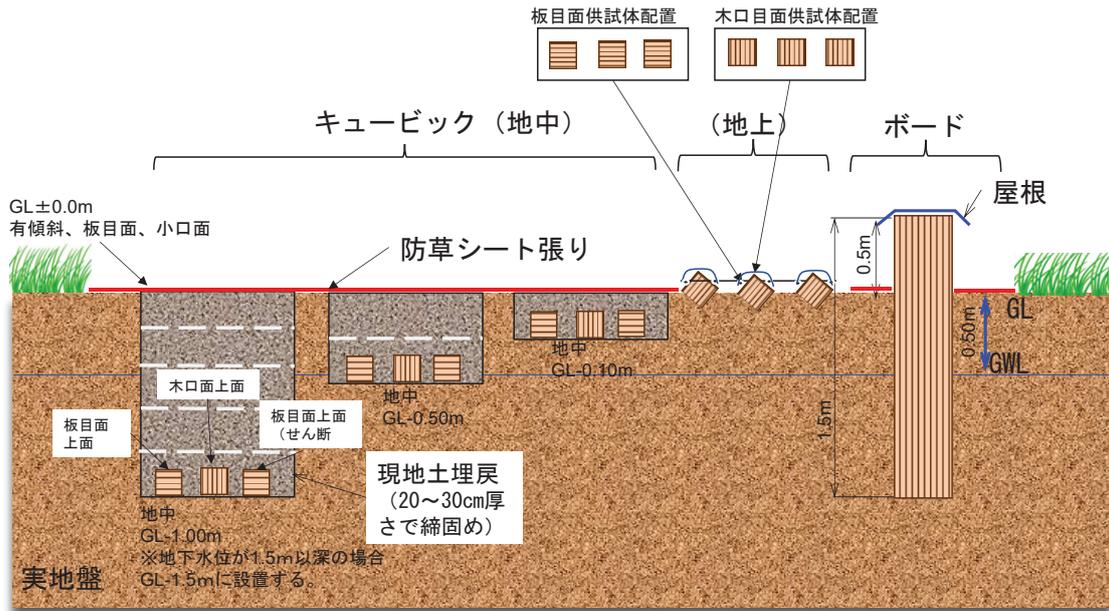


図 3.2-5 横目ボード型供試体 地表・地中設置概念図

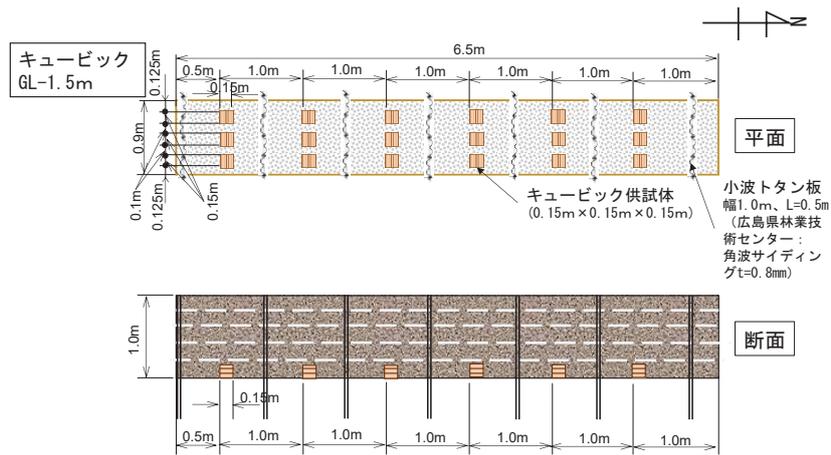


図 3.2-6 キュービック型供試体 地表(GL±1.5 m)設置概念図

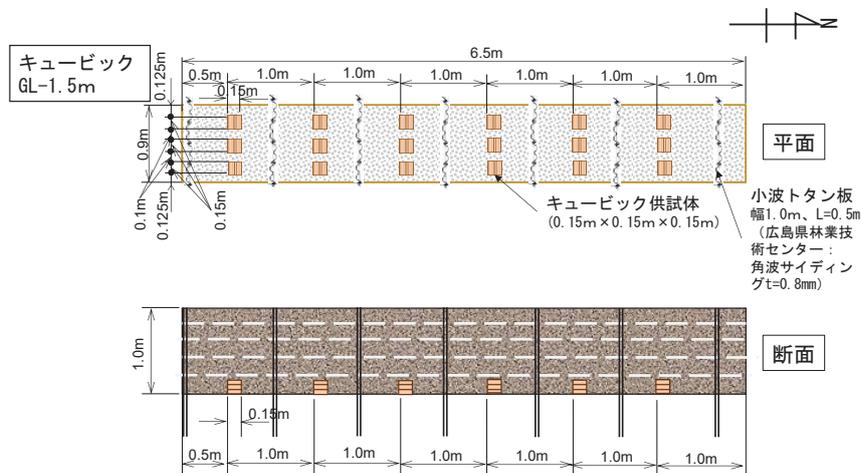


図 3.2-7 キュービック型供試体 GL-0.5 m・GL-0.1 m(土被り厚) 設置概念図

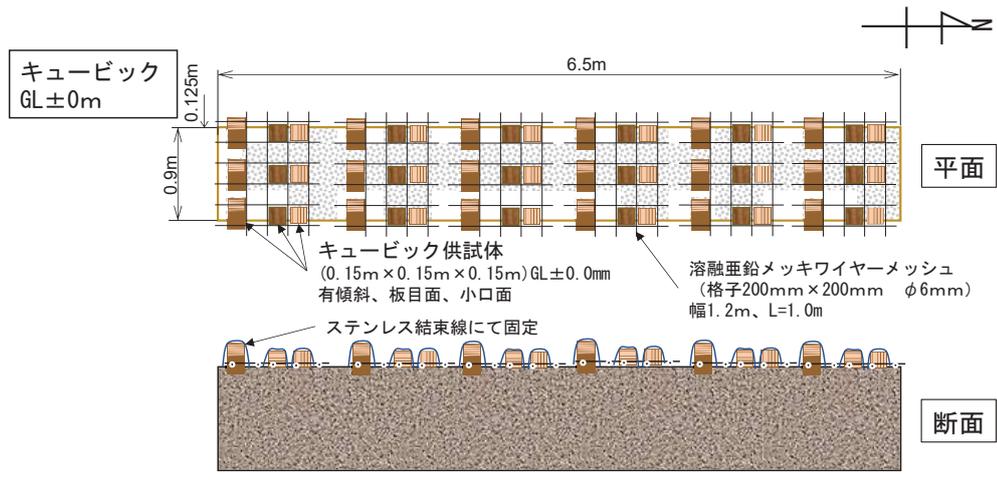


図 3.2-8 キュービック型供試体 GL±0.0 m 設置概念図

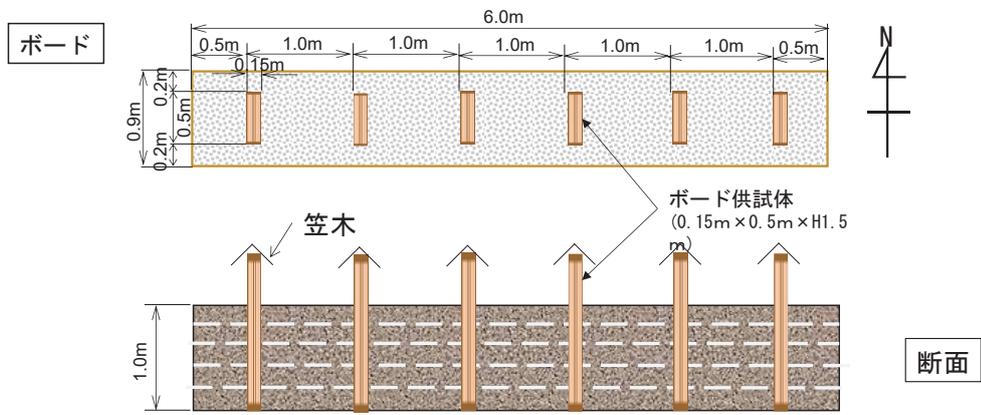


図 3.2-9 横目ボード型供試体 地表・地中設置配置概念図(横断面)

2) 海水環境

海洋環境の試験施設である港湾空港技術研究所の長期暴露試験の施設概要について、図 3.2-10 に断面図、干満サイクルを示す。また、供試体の配置を図 3.2-11 に、設置状況を写真 3.2-4 に示す。本施設では、久里浜湾の海水を取水・排水し、潮の干満・飛沫を再現(2回/日)し、「海中」、「干満帯」、「飛沫帯」等の海水環境を再現することにより、海水への暴露状態の観察を行うことができる。



図 3.2-10 港湾空港技術研究所 長期暴露施設

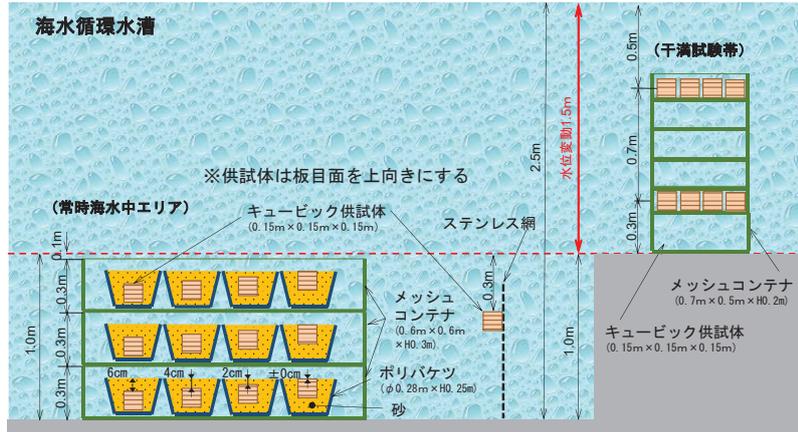


図 3.2-11 海水環境 供試体設置概要図

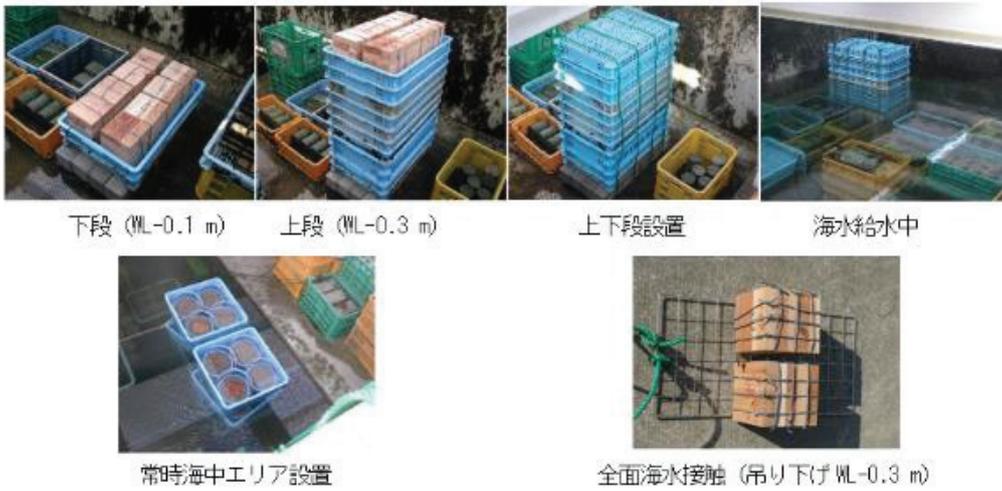


写真 3.2-4 海水環境供試体 設置状況

3) 淡水環境

淡水環境の試験施設である飛鳥建設技術研究所の施設概要について、淡水試験配置図と本年度の観察対象供試体 (赤枠) を図 3.2-12 に示す。また、配置概要を図 3.2-13~14 に、設置状況を写真 3.2-5 に示す。

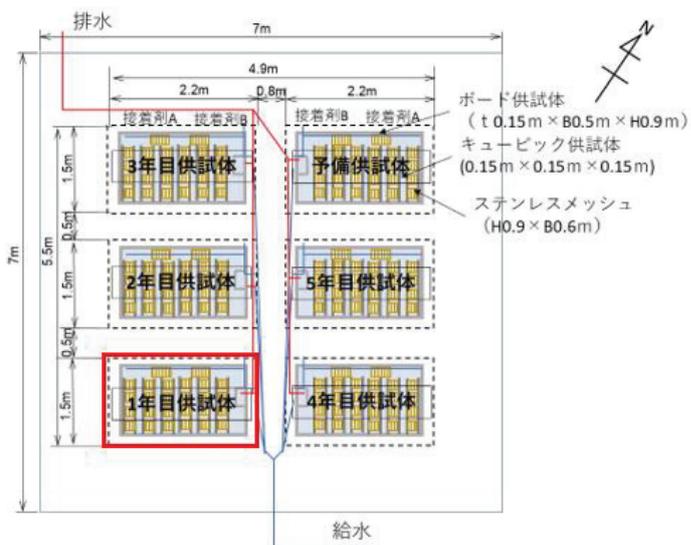


図 3.2-12 淡水環境 供試体配置図



写真 3.2-5 淡水環境供試体配置状況

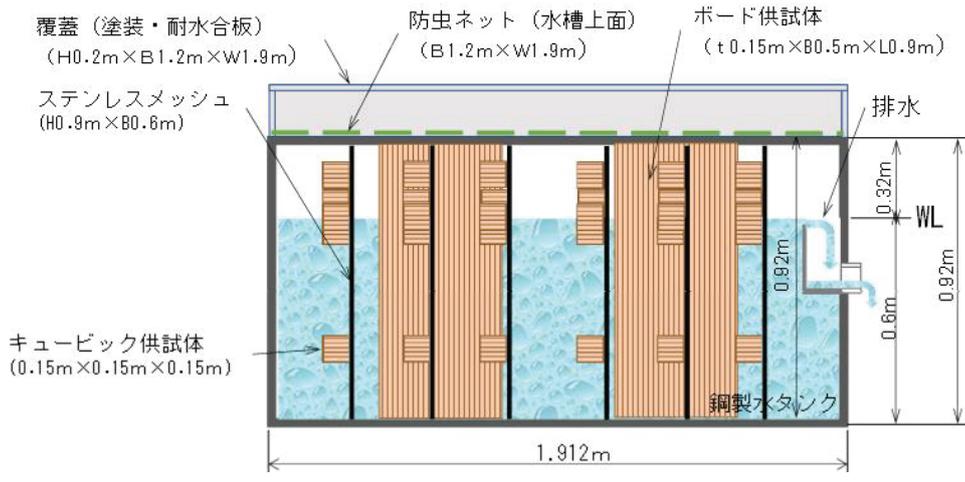


図 3.2-13 淡水試験 供試体設置イメージ(縦断面図)

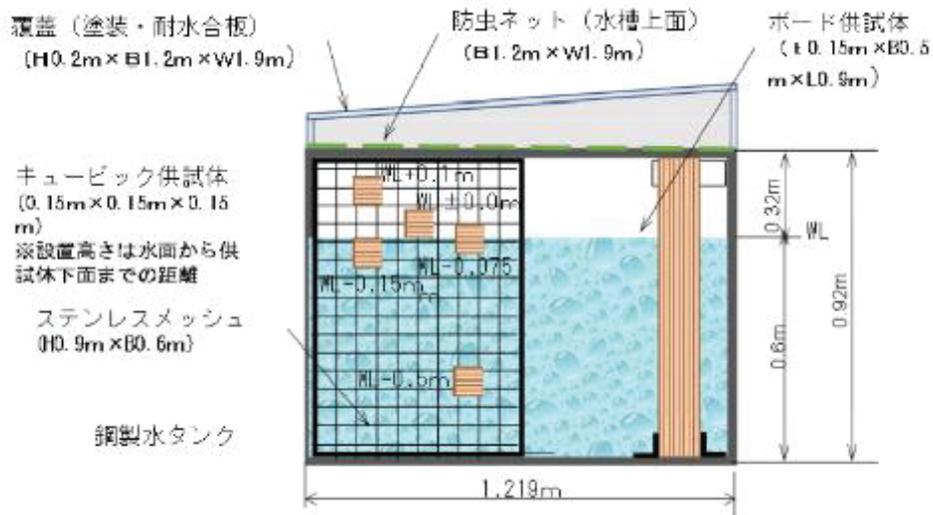


図 3.2-14 淡水環境供試体設置 概要図

(3)各試験地点における環境条件

1) 地盤環境

①林産試験場

林産試験場で計測した温度・湿度と地下水水位を図 3.2-15～16 に、北海道旭川市の気象庁観測データを図 3.2-17 に示す。

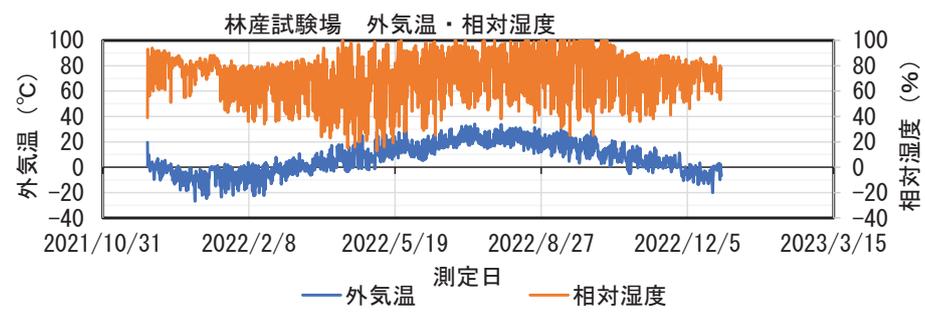


図 3.2-15 林産試験場 温度・湿度データロガー(2022 年 1 月～12 月)



図 3.2-16 林産試験場 地下水位(2022年1月~12月)

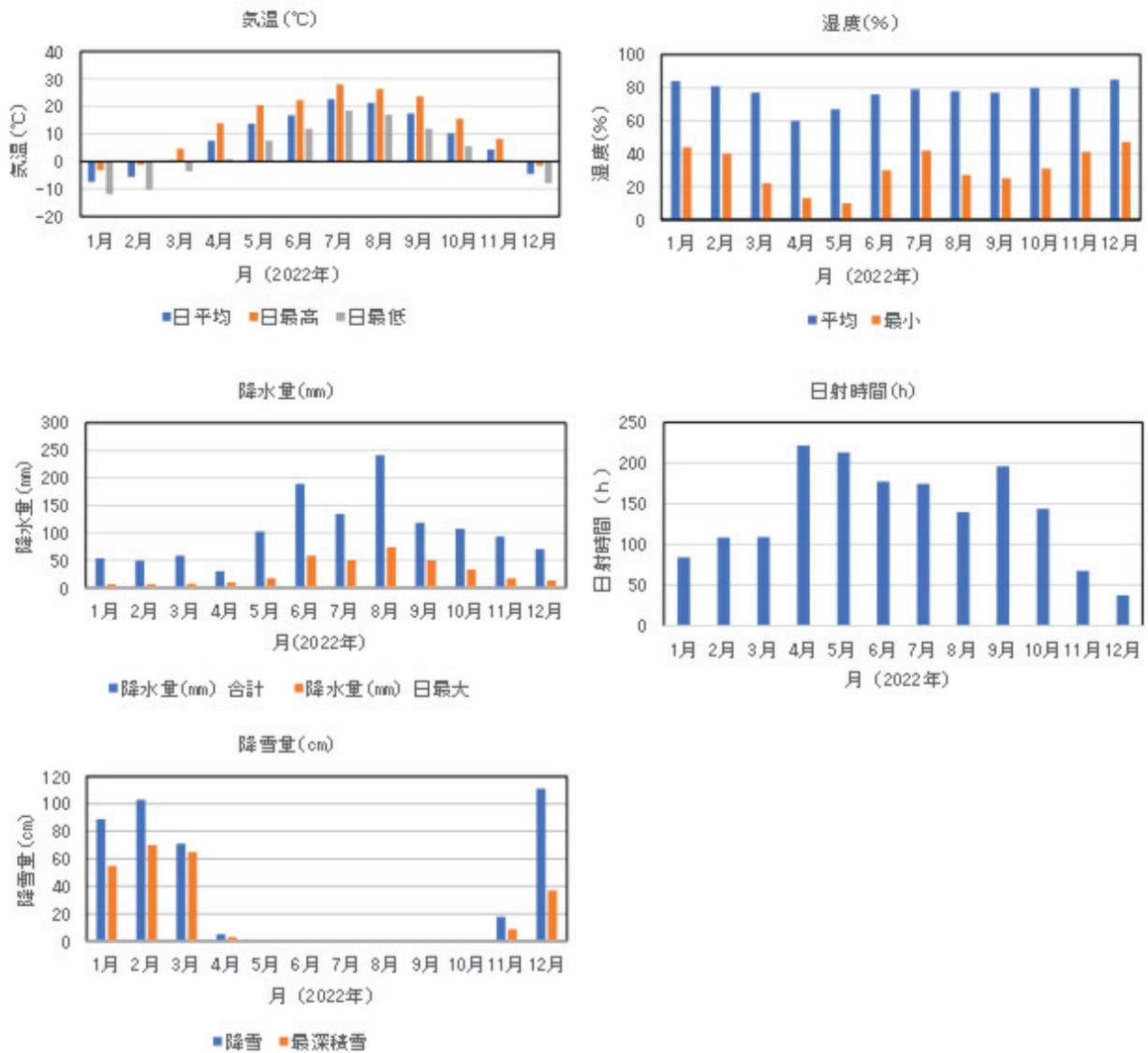


図 3.2-17 旭川市 気象庁データ(2022年1月~12月)

②広島県林業技術センター

広島県林業技術センターで計測した温度・湿度を図 3.2-18 に、広島県三次市の気象庁観測データを図 3.2-19 に示す。地下水水位は、地下水深度が深く、水位計が大気圧を測定しているため欠測とする。

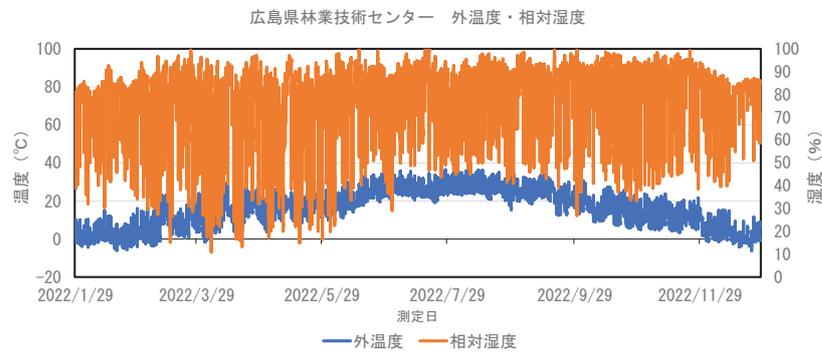


図 3.2-18 広島県林業技術センター 温度・湿度データロガー(2022 年 1 月～12 月)

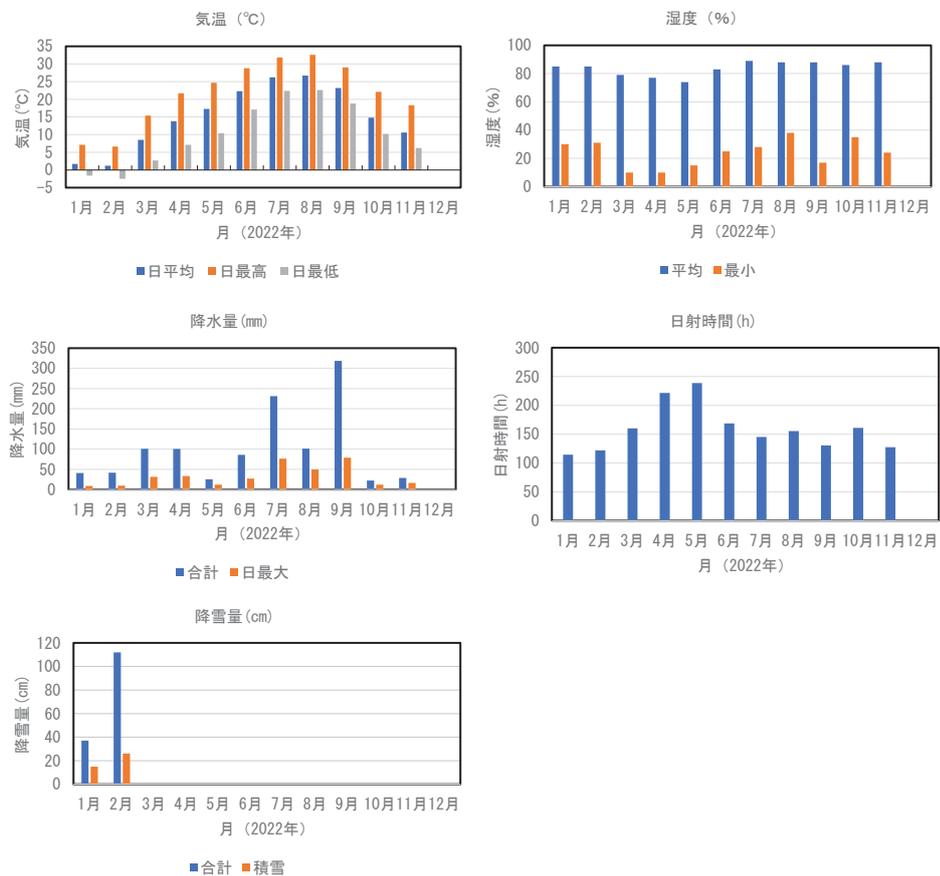


図 3.2-19 三次市 気象庁データ(2022 年 1 月～12 月)

③宮崎県木材利用技術センター

宮崎県木材利用技術センターで計測した温度・湿度、地下水位を図3.2-20～21に、宮崎県都城市の気象庁観測データを図3.2-22に示す。

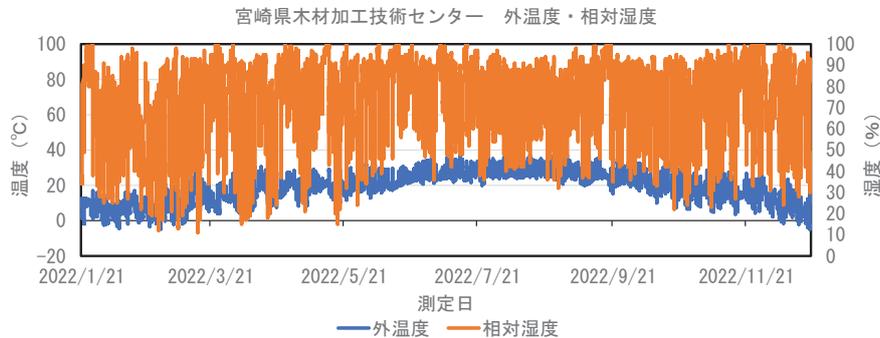


図3.2-20 宮崎県木材利用技術センター 温度・湿度データロガー(2022年1月～12月)



図3.2-21 宮崎県木材利用技術センター 地下水位(2022年1月～12月)

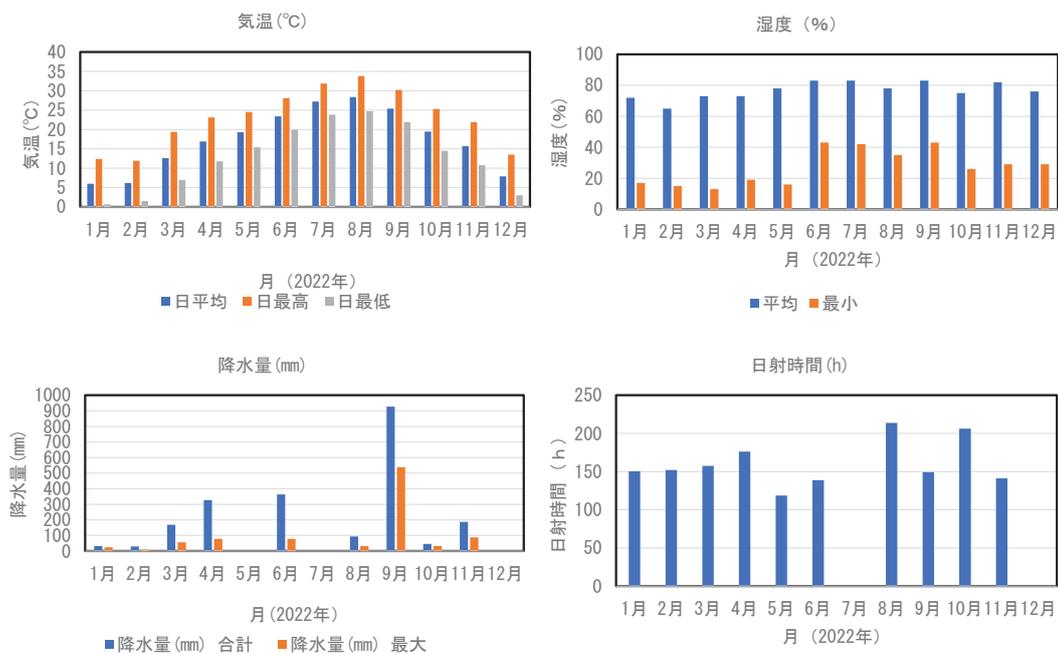


図3.2-22 都城市 気象庁データ(2022年1月～12月)

2) 海水環境

神奈川県横須賀市の気象庁観測データがないため、近隣の三浦観測所、辻堂観測所の気象庁観測データを図 3.2-23 に示す。

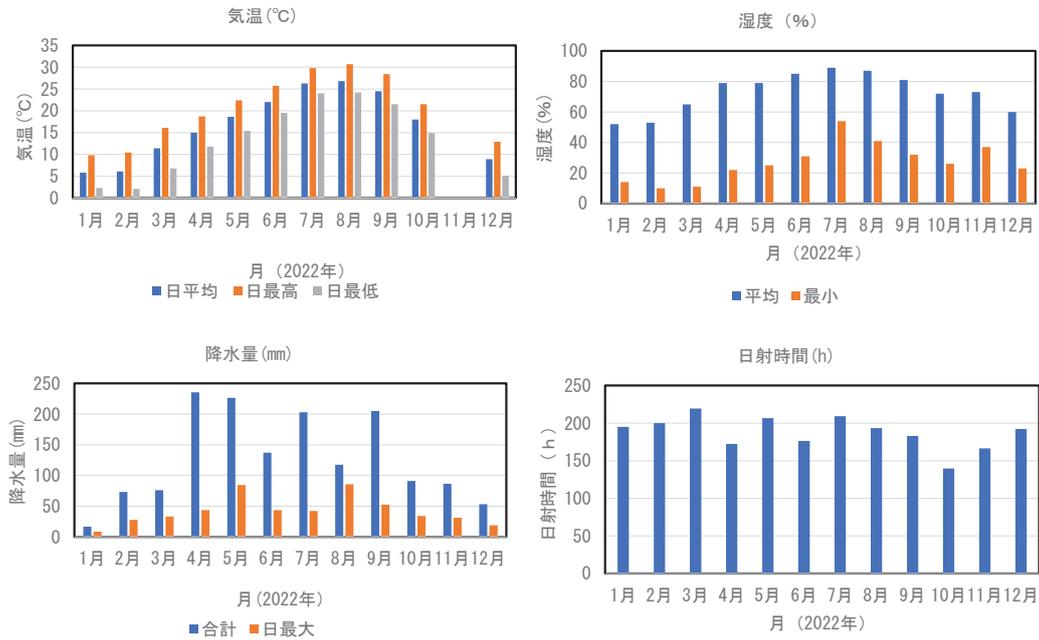


図 3.2-23 三浦市(湿度は辻堂) 気象庁データ(2022年1月～12月)

3) 淡水環境

千葉県野田市の気象庁観測データがないため、近隣の越谷観測所の気象庁観測データを図 3.2-24 に示す。

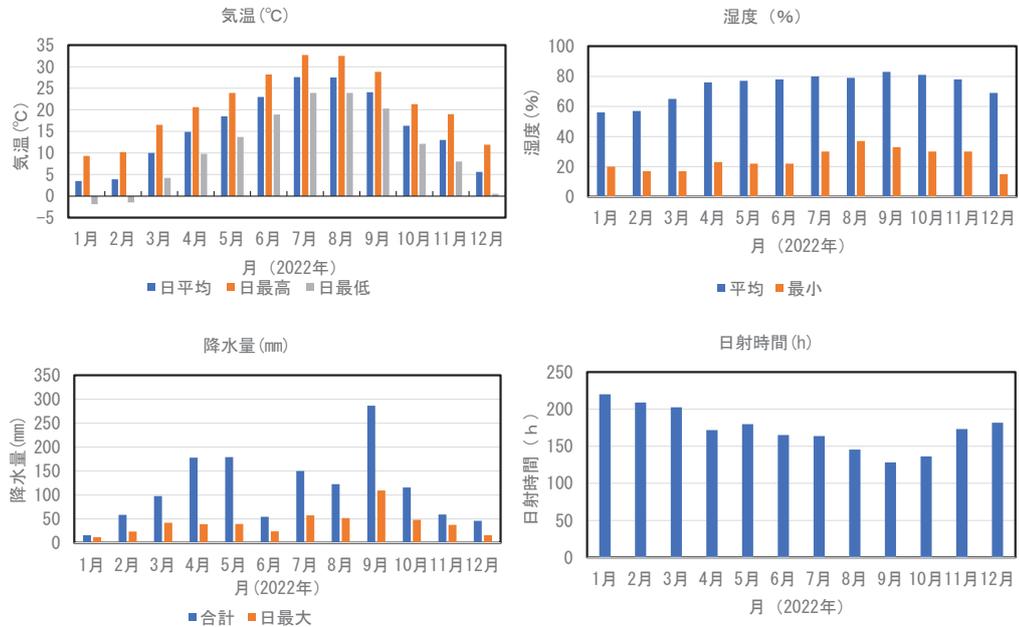


図 3.2-24 越谷市 気象庁データ (2022年1月～12月)

3.2.3 供試体の仕様

供試体の仕様を以下に示す。

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

3.2.4 試験数量

各試験の実施数を表3.2-3～7に示す。

表 3.2-3 令和3(2021)年度実施 基準試験(初期性能確認)の試験数量

接着剤	供試体	試験方法	供試体数
水性高分子イソシアネート系	キュービック	圧縮試験	5
	キュービック(ブロック切出し)	せん断試験	3
	合計		8
レゾルシノール樹脂	キュービック	圧縮試験	5
	キュービック(ブロック切出し)	せん断試験	3
	合計		8

表 3.2-4 令和4(2022)年度実施 試験数量

接着剤	供試体	地盤環境			海水環境	淡水環境	合計
		亜寒帯	温帯	亜熱帯			
水性高分子イソシアネート系	キュービック	162	162	162	23	90	609
	横目ボード	6	6	6	0	6	24
レゾルシノール樹脂	キュービック	162	162	162	23	90	609
	横目ボード	6	6	6	0	6	24

表 3.2-5 地盤環境 設置位置別 試験数量

接着剤	供試体	設置位置	供試体数
水性高分子イソシアネート系	キュービック	GL+0.5m(有斜)	18
		GL+0.5m(平置き/木口)	18
		GL+0.5m(平置き/板目)	18
		GL±0m	18
		GL±0m(平置き/木口)	18
		GL±0m(平置き/板目)	18
		GL-0.1m	18
		GL-0.5m(地下水位面付近)	18
		GL-1.5m(地下水位以深)	18
	合計		162
	横目ボード		6
レゾルシノール樹脂	キュービック	GL+0.5m(有斜)	18
		GL+0.5m(平置き/木口)	18
		GL+0.5m(平置き/板目)	18
		GL±0m	18
		GL±0m(平置き/木口)	18
		GL±0m(平置き/板目)	18
		GL-0.1m	18
		GL-0.5m(地下水位面付近)	18
		GL-1.5m(地下水位以深)	18
	合計		162
	横目ボード		6

表 3.2-6 海水環境 設置位置別 試験数量

接着剤	供試体	設置位置	供試体数
水性高分子イソシアネート系	キュービック	GL±0m (海水中の土中)	3
		GL-0.02m (海水中の土中)	3
		GL-0.04m (海水中の土中)	3
		GL-0.06m (海水中の土中)	3
		HWL-1.2m (干満帯)	4
		HWL-0.5m (干満帯)	4
		全面海水接触	3
	合計	23	
レゾルシノール樹脂	キュービック	GL±0m (海水中の土中)	3
		GL-0.02m (海水中の土中)	3
		GL-0.04m (海水中の土中)	3
		GL-0.06m (海水中の土中)	3
		HWL-1.2m (干満帯)	4
		HWL-0.5m (干満帯)	4
		全面海水接触	3
	合計	23	

表 3.2-7 淡水環境 設置位置別 試験数量

接着剤	供試体	設置位置	供試体数
水性高分子イソシアネート系	キュービック	WL+0.1m	18
		WL±0m	18
		WL-0.075m	18
		WL-0.15m	18
		WL-0.5m	18
	合計	90	
	横目ボード		6
レゾルシノール樹脂※	キュービック	WL+0.1m	18
		WL±0m	18
		WL-0.075m	18
		WL-0.15m	18
		WL-0.5m	18
	合計	90	
	横目ボード		6

※予備としてさらに3体の供試体を用意

3.3 試験手順

3.3.1 5年間で想定した試験全体の手順

供試体の設置を行った令和3(2021)年度から、令和7(2025)年度までの基礎試験の全体手順を、図3.3-1に示す。供試体は、毎年所定の数を取り出し、強度試験、観察等により耐久性を検証する。供試体を各環境に設置する前に実施した基準試験により、材料としての初期性能を既に確認しており、各年に確認した結果を、初期性能と比較して、劣化状況を確認する。

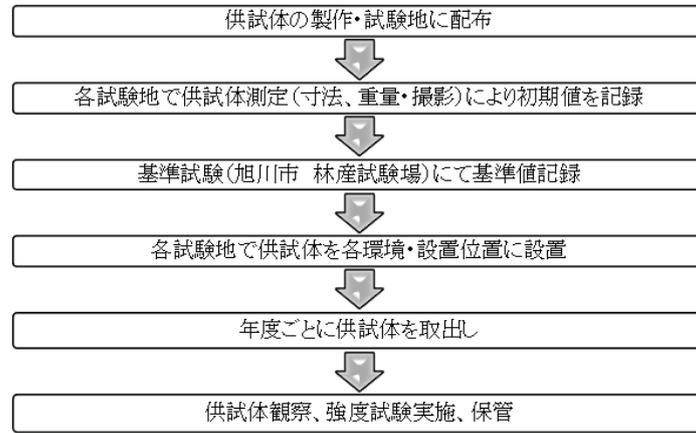


図 3.3-1 5年間に渡る基礎試験の手順

3.3.2 キュービック型供試体の試験手順（1年後の供試体における試験手順）

キュービック型供試体について、本年度に実施する試験手順を図3.3-2に示す。特に重要な手順について、以下に説明する。

(1) 供試体取り出し後の撮影

供試体を取り出した直後の撮影は、供試体の全ての面(6面)を撮影(供試体番号を同時撮影)する。撮影はフラットベッドイメージスキャナー(A4サイズが読み込める600dpi以上)を用いる。

色の経年変化を確認するため、撮影時には、コダックカラーインデックス(多色)とスケールと供試体番号を同時に撮影し、供試体に割れが生じている場合には、マジックでマーキングをして、撮影する。

(2) 含水率の測定

含水率測定は、携帯型木材水分計(木材水分計 HM-520/ケツト 科学研究所)を用いて測定する。

(3) 圧縮試験・ブロックせん断試験の準備(含水率の調整)

圧縮試験とブロックせん断試験に用いるキュービック型供試体は、異なる環境下に置かれていた供試体の条件を揃えるため、目標含水率を60%として、供試体を水浸させ含水率調整を行ってから、強度試験を実施する。目標を60%と設定するのは、繊維飽和点の約30%より高く揃えることで、含水率による強度への影響を回避し、各環境の条件を同一とするためである。

含水率調整を行った状態(本試験では「飽和状態」と称する)で、圧縮試験を実施し、縦圧縮強さ、縦圧縮弾性係数を求める。

(4) ブロックせん断試験

ブロックせん断試験は、飽和状態となったキュービック型供試体3体の内1体から伐り出して、ブロックせん断試験用

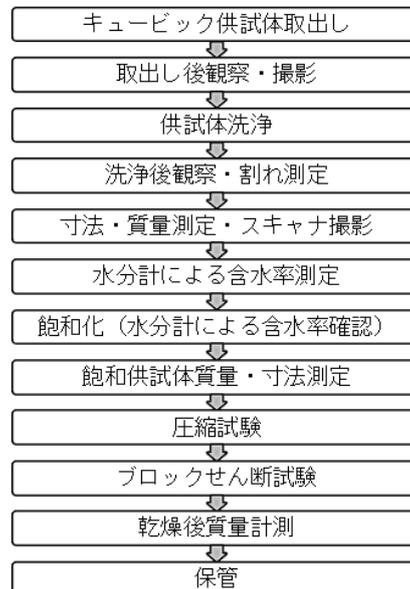


図 3.3-2 キュービック型供試体の手順

の供試体を4体作成する。(35 mm(断面部 25 mm)×25 mm×150 mm)
飽和状態において、接着面におけるせん断強さとせん断弾性係数を求める。

(5)結果の整理

試験の一連の手順を経た後に、以下の数値を求めて、供試体の耐久性を確認する。基準とするのは、令和3(2021)年度に確認した供試体の初期性能とする。

- ・キュービック全乾質量変化率 $= (\text{基準全乾質量} - \text{試験後全乾質量}) / \text{基準全乾質量}$
- ・キュービック縦圧縮強さ変化率 $= (\text{基準縦圧縮強さ} - \text{試験後縦圧縮強さ}) / \text{基準縦圧縮強さ}$
- ・キュービック縦圧縮弾性係数変化率 $= (\text{基準縦圧ヤング係数} - \text{試験後縦圧ヤング係数}) / \text{基準縦圧ヤング係数}$
- ・ブロックせん断強さ変化率 $= (\text{基準せん断強さ} - \text{試験後せん断強さ}) / \text{基準せん断強さ}$
- ・ブロックせん断弾性係数変化率 $= (\text{基準せん断弾性係数} - \text{試験後せん断弾性係数}) / \text{基準せん断弾性係数}$
- ・キュービック飽和質量変化率 $= (\text{基準飽和質量} - \text{試験後飽和質量}) / \text{基準飽和質量}$

3.3.3 横目ボード型供試体の試験手順 (1年後の供試体における試験手順)

横目ボード型供試体について、本年度に実施する試験手順を図3.3-3に示す。

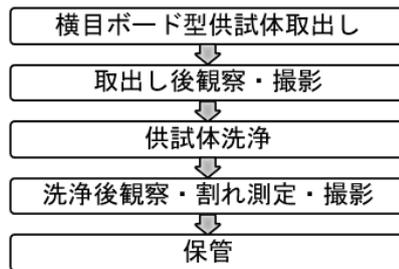


図3.3-3 横目ボード型供試体の手順

3.4 地盤環境における試験結果

3.4.1 供試体の取り出し

(1) 供試体存置期間

地盤(亜寒帯・温帯・亜熱帯)の各環境から、1年目の供試体(キュービック型・横目ボード型)を取出した。各環境での設置日、取出日(存置期間)を表 3.4-1 に示す。

表 3.4-1 地盤環境供試体存置期間(1年目供試体)

環 境	地盤環境		
	亜寒帯 林産試験場	温帯 広島県林業技術センター	亜熱帯 宮崎県木材利用技術センター
設置日	2021年11月13日	2021年12月3日	2021年12月24日
取出日	2022年10月5日	2022年10月14日	2022年10月12日
存置期間	10ヶ月22日間	10ヶ月11日間	9ヶ月18日間

(2) 供試体の取り出し

亜寒帯(林産試験場:旭川市)、温帯(広島県林業技術センター:三次市)、亜熱帯(宮崎県木材利用技術センター:都市)で行った。各環境の取出し状況を写真 3.4-1~3 に示す。

キュービック型供試体の取出しは、各試験地で特に差はなかったが、横目ボード型供試体は、土質の違いにより差がみられた。亜寒帯ではクレーンによる引き抜きが容易であったが、温帯と亜熱帯では、土質が固く付着力も高かったと推定され、引き抜き時に供試体の一部にナイロンスリングの縮まりによる傷がついた。



写真 3.4-1 亜寒帯 林産試験場での 供試体取出し



写真 3.4-2 温帯 広島県林業技術センターでの 供試体取出し



写真 3.4-3 亜熱帯 宮崎県木材技術センターでの 供試体取出し

3.4.2 劣化の発生状況（目視観察結果）

供試体を取り出した後、目視観察、写真撮影、割れの測定等を行った。各環境における劣化の発生の有無について、表 3.4-2 に示す。いずれの環境においてもラミナの割れが多く、接着剥れは少ない傾向であった。

表 3.4-2 劣化の発生状況

環 境	場 所	設置位置	劣化状況（○：劣化無し ×：劣化あり）			
			接着剥れ	ラミナ割れ	腐朽	虫害
地 盤	亜寒帯 (旭川市)	気中	×小	×中	○	○
		地中	×小	×小	○	○
	温帯 (三次市)	気中	×小	×中	○	○
		地中	×小	×小	○	○
	亜熱帯 (都城市)	気中	×小	×大	×	○
		地中	×小	×小	×	×

亜熱帯(宮崎県木材利用技術センター)以外では、腐朽、虫害は見られなかった。

キュービック型供試体、横目ボード型供試体のそれぞれについて、接着剤の仕様にも注目して、目視観察の状況を整理した結果を表3.4-3~4に示す。また、亜熱帯の腐朽、虫害の発生件数を表3.4-5に、発生状況を写真3.4-4に示す。

※イソ供試体：水性高分子イソシアネート系接着剤を用いた供試体

※レゾ供試体：レゾルシノール樹脂接着剤を用いた供試体

表 3.4-3 キュービック型供試体 観察結果

観察項目	亜寒帯	温帯	亜熱帯
	林産試験場	広島県林業技術センター	宮崎県木材利用技術センター
腐朽	無	無	イソ供試体に腐朽4体、及び腐朽の始まりの白化が10体にみられる。
虫害	無	無	イソ供試体に4体発生
その他	無	無	無

表 3.4-4 横目ボード型供試体 観察結果

観察項目	亜寒帯	温帯	亜熱帯
	林産試験場	広島県林業技術センター	宮崎県木材利用技術センター
腐朽	無	無	イソ供試体1体に腐朽がみられる。
虫害	無	無	レゾ供試体1体に発生
その他	無	無	無

表 3.4-5 亜熱帯のCLT 腐朽、虫害発生件数

供試体種別	設置位置	上面向き	劣化状況 (カッコ内は検体数)					
			腐朽		腐朽の始まり		虫害	
			イソ	レゾ	イソ	レゾ	イソ	レゾ
キュービック	GL±0m	有傾斜	0 (3)	0 (3)	3 (3)	0 (3)	0 (3)	0 (3)
		板目	2 (3)	0 (3)	3 (3)	0 (3)	1 (3)	0 (3)
		木口	1 (3)	0 (3)	2 (3)	0 (3)	1 (3)	0 (3)
		合計	3 (9)	0 (3)	8 (9)	0 (3)	2 (9)	0 (3)
	GL-0.1m		1 (3)	0 (3)	1 (3)	0 (3)	1 (3)	0 (3)
	GL-0.5m		0 (3)	0 (3)	1 (3)	0 (3)	1 (3)	0 (3)
	GL-1.5m		0 (3)	0 (3)	0 (3)	0 (3)	0 (3)	0 (3)
	GL+0.5m		0 (3)	0 (3)	0 (3)	0 (3)	0 (3)	0 (3)
横目ボード			1 (1)	0 (1)	0 (1)	0 (1)	0 (1)	1 (1)

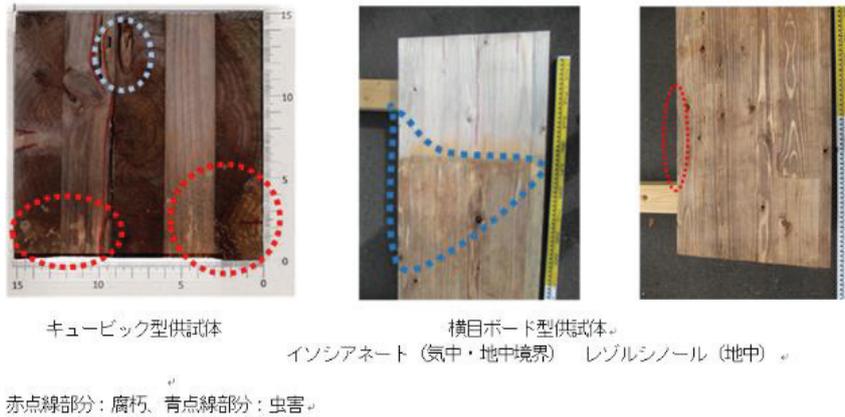


写真 3.4-4 亜熱帯(宮崎県木材利用技術センター)腐朽・虫害の状況

尚、木材の色の変化(シルバーグレイ化)は、全ての試験場の地上部で生じ、地中部は生じなかった。木口部の黒色化も全ての試験場で生じており、差はなかったため、今後の経過観察により確認する。

3.4.3 湿潤密度(キュービック型供試体)

各試験地のキュービック型供試体の湿潤密度を図3.4-1~3に示す。湿潤密度は、接着剤にかかわらず地中GL-0.1m、-0.5m、-1.5mで湿潤密度が高いが、温帯は他の2試験場より低い値である。地下水位が低いため、湿潤密度が高くなかったと思われる。地上部GL+0.5m、±0mは、各試験場ともほぼ同一の値であった。

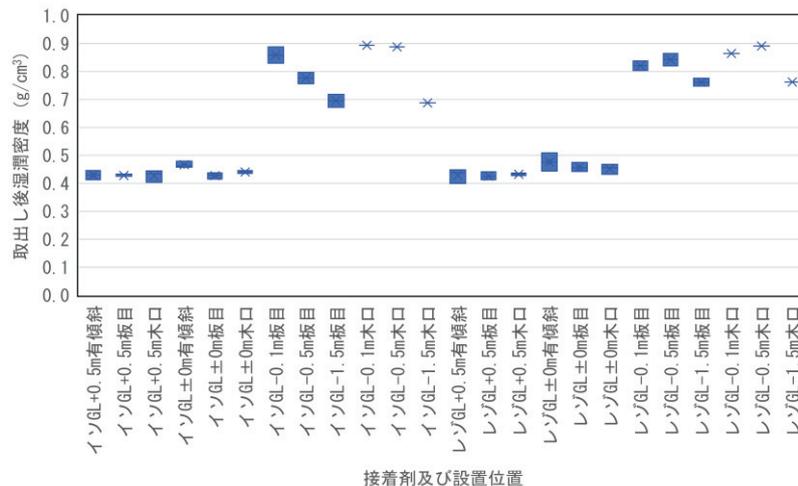


図 3.4-1 亜寒帯(林産試験場)湿潤密度

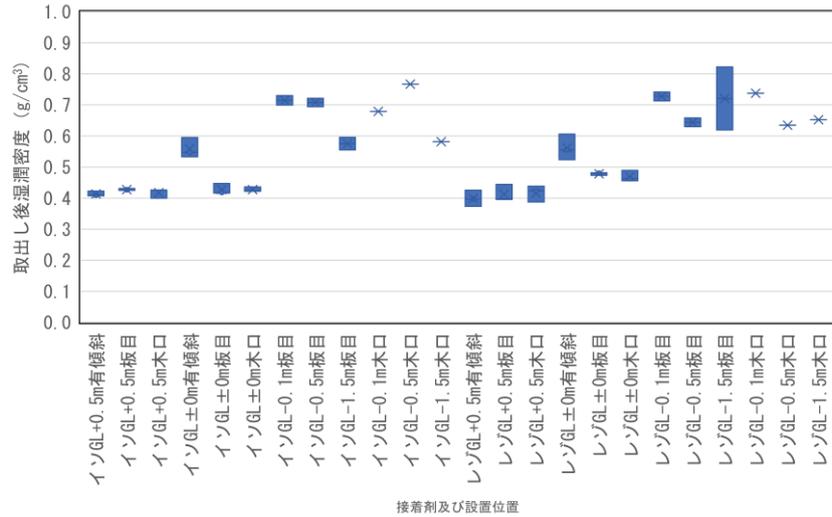


図 3.4-2 温帯(広島県林業技術センター)湿潤密度

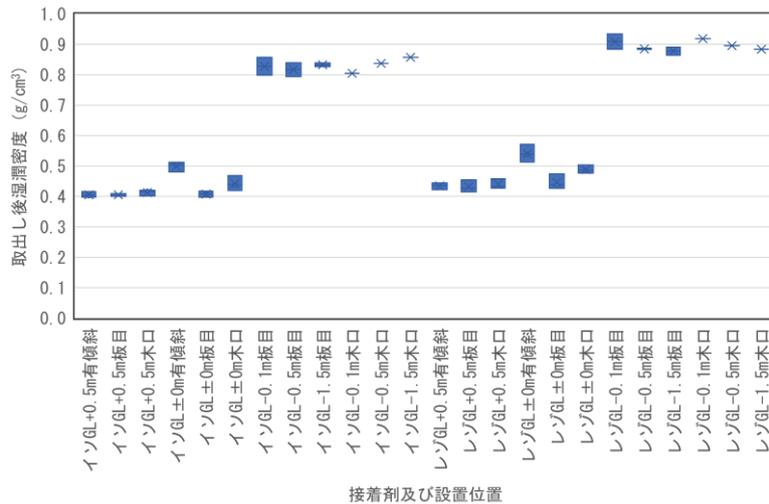


図 3.4-3 亜熱帯(宮崎県木材利用技術センター)湿潤密度

3.4.4 割れの発生

キュービック型供試体の割れ長さ(接着剤別、設置状況別)を図 3.4-4~6 に、横目ボード型供試体の割れ長さを図 3.4-7 に示す。

キュービック型供試体については、全般的にラミナ割れが大半で接着剥れは少なかった。割れの発生は、接着剤、設置位置の影響は無く、海水環境では他の環境に比較して亀裂が少なかった。

横目ボード型供試体の割れも、キュービック型供試体と同様に接着剤にかかわらず、ラミナ割れが大半で接着剥れは少なかった。スギのラミナの割れに対する強度に比べて、接着接合のせん断強度が高いことによると思われる。

亜寒帯（道総研林産試験場）
接着剤別・設置位置別割れ総長さ(mm)

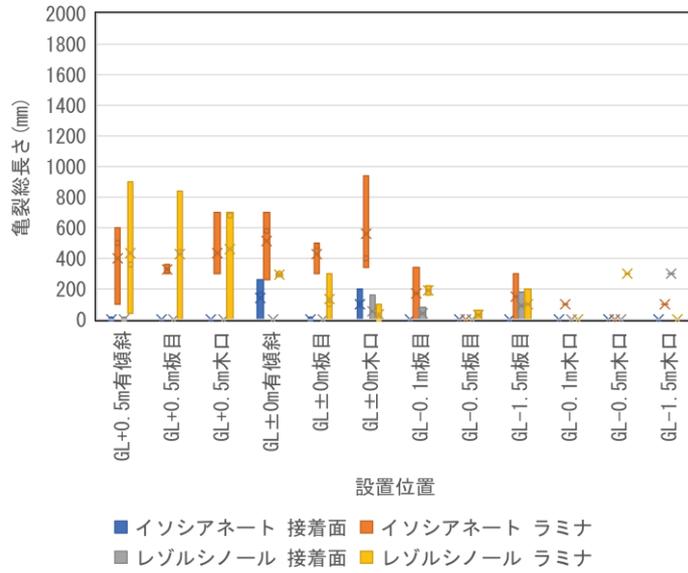


図-3.4-4 亜寒帯:割れ長さ

温帯（広島県林業技術センター）
接着剤別・設置位置別割れ総長さ(mm)

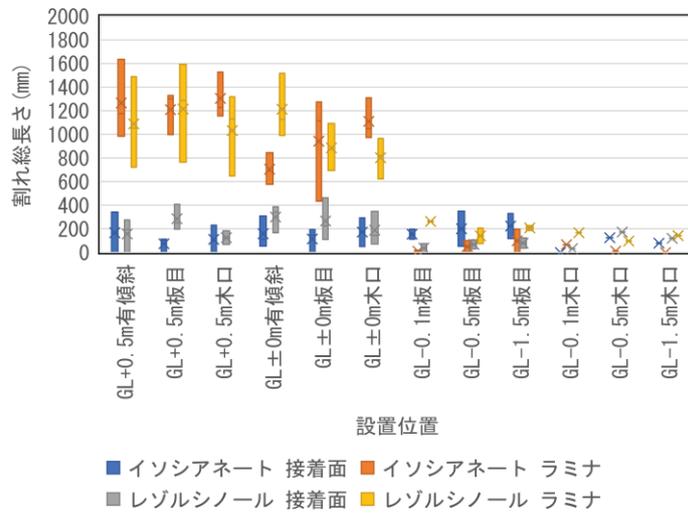


図 3.4-5 温帯:割れ長さ

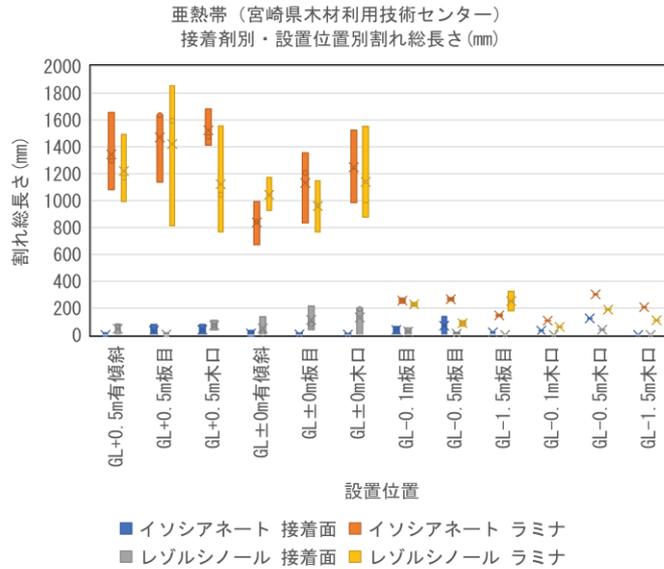


図 3.4-6 亜熱帯:割れ長さ

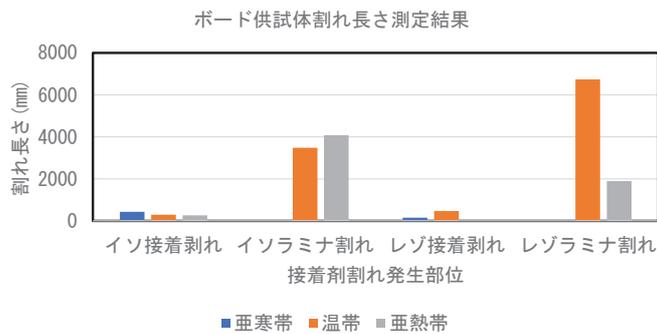


図 3.4-7 ボード割れ長さ

3.4.5 含水率の確認（キュービック型供試体）

各試験地にて、含水率 60%を目指して水浸させ、含水率調整を行った時点でのキュービック型供試体含水率を、図 3.4-8～9 に示す。含水量が上がるに従って、供試体が膨潤して変形が生じたため、含水率の計算は、キュービック型供試体の飽和時質量を、基準試験のキュービック型供試体平均質量で除した計算値とした。

キュービック型供試体表面を、携帯型木材水分計(木材水分計 HM-520 /ケツト科学研究所)により測定した値を同時に示す。ただし、ブロックせん断試験用としたキュービック型供試体については、乾燥質量が計測できないため、圧縮試験に用いた供試体のみでの測定とした。また、亜寒帯(林産試験場)は、飽和質量を欠測しており、本年度はデータを取得できなかった。

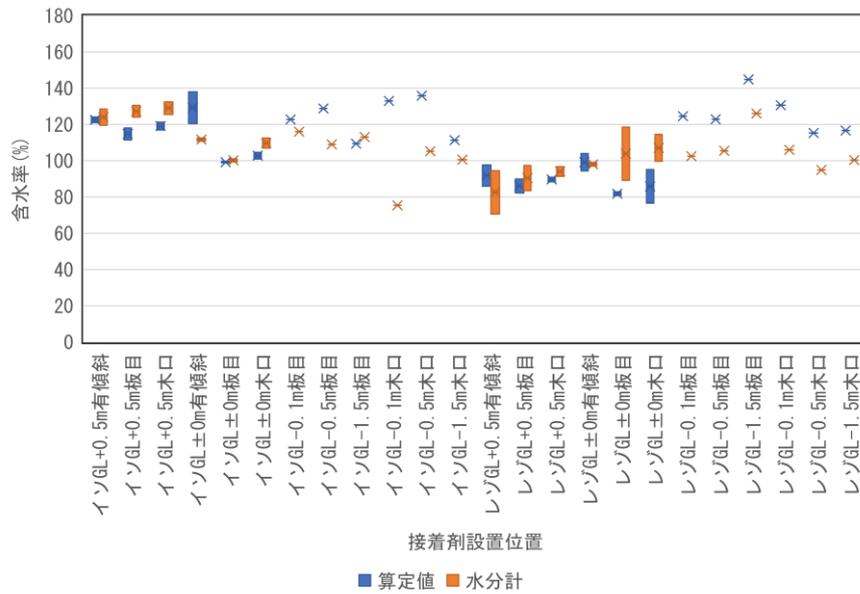


図 3.4-8 温帯:含水率

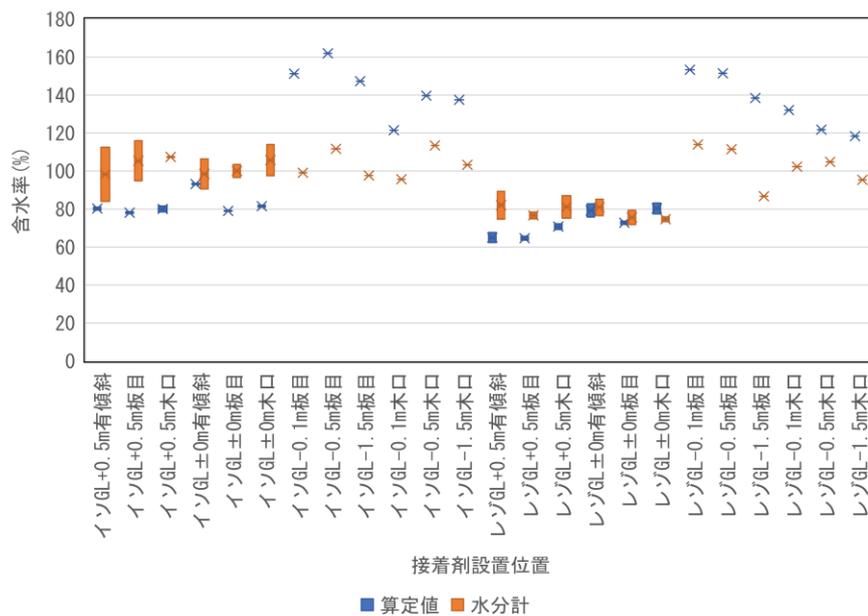


図 3.4-9 亜熱帯:含水率

3.4.6 乾燥密度 (キュービック型供試体)

各試験地にて、キュービック型供試体を、全乾状態(含水率 0%)を目指して乾燥させた時点での乾燥密度を、図 3.4-10~12 に示す。ただし、ブロックせん断試験用としたキュービック型供試体については、乾燥質量が計測できないため、圧縮試験に用いた供試体のみでの測定とした。また、亜寒帯(林産試験場)は、GL-0.1 m、-0.5 m、-1.5 m 木口供試体をブロックせん断試験用に用いたため、他の試験地より対象が少なくなっている。

各試験地の地上部は、地中部の供試体に比較して乾燥密度が低い傾向がある。ただし、本年度は乾燥密度のばらつきがかなり大きく、検体数が少ないことが原因と考えられるため、現時点での判断は難しく、今後の経過観察が必要と考えている。

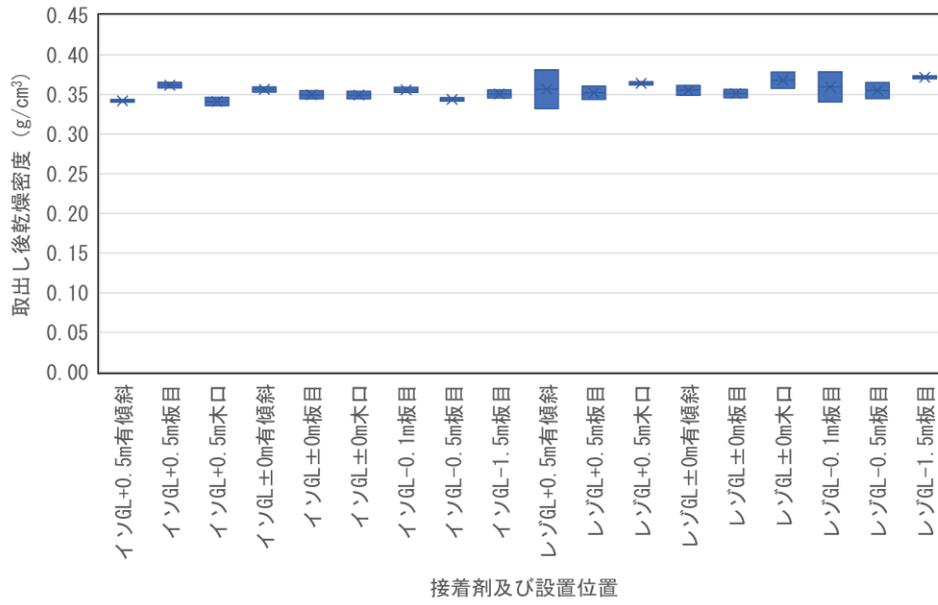


図 3.4-10 亜寒帯:乾燥密度

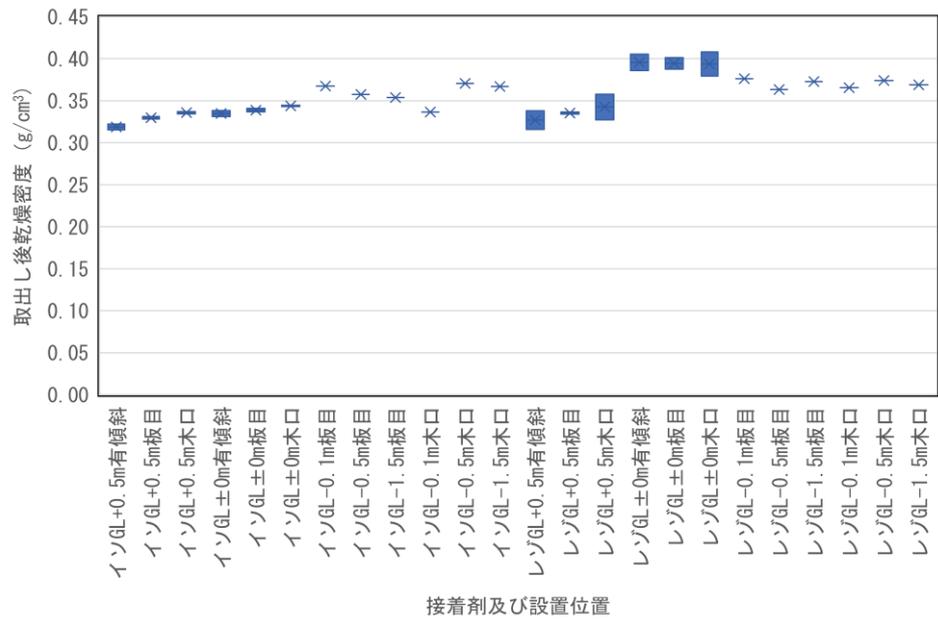


図 3.4-11 温帯:乾燥密度

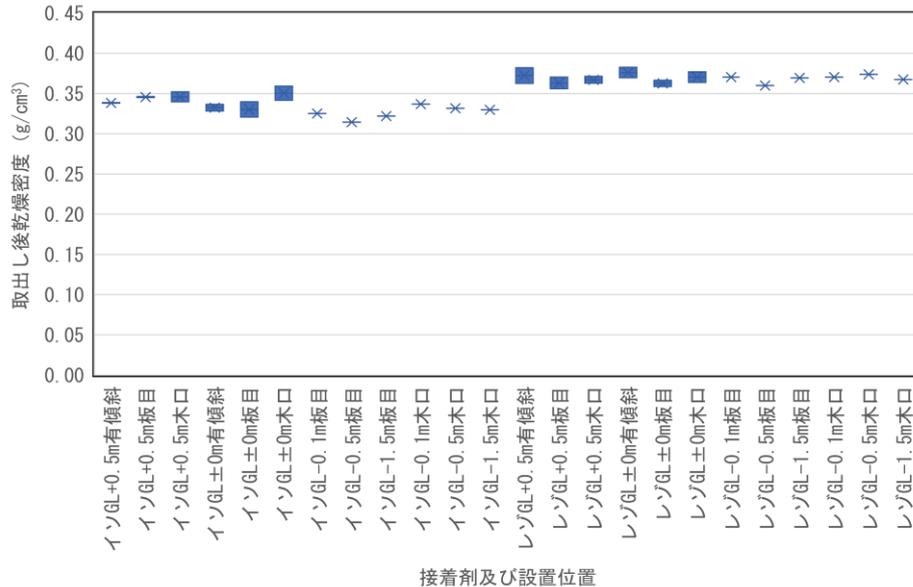


図 3.4-12 亜熱帯:乾燥密度

3.4.7 縦圧縮試験結果 (キュービック型供試体)

各試験地のキュービック型供試体の圧縮試験結果(基準試験を1とした縦圧縮強度比、縦弾性係数比)を、図 3. 4-13～15 に示す。各試験場とも、概ね、供試体の設置位置が気中より地中深度が大きいほど、縦圧縮強さ、縦弾性係数が高くなる傾向が見られる。

縦圧縮強さの基準試験との比較においては、亜寒帯では、設置位置に関わらず、接着剤に関わらず、基準試験とほぼ同等の値となっている。

温帯では、接着剤により、水性高分子イソシアネート系がレゾルシノール樹脂より強い傾向にある。基準試験との比較では、設置位置が浅い供試体は基準試験より 10 %程度弱く、設置位置が地中で深くなるほど強くなり、最も深い位置では 20 %近く基準試験より強くなっている。

亜熱帯では、亜寒帯と同様に接着剤による違いはほぼ見られず、設置位置に関わらず基準試験より弱く、さらに設置位置が地中で深くなるほど弱くなり、最も深い位置では、基準試験より 20 %程度弱くなっている。

縦弾性係数については、亜寒帯では接着剤の違いによる傾向はほぼ見られず、基準試験の 150 %~250 %程度の推移となっている。

温帯では、接着剤により、水性高分子イソシアネート系がレゾルシノール樹脂を上回っている。基準試験との比較では、設置位置が浅い供試体は基準試験より 10 %程度小さく、設置位置が地中で深くなるほど大きくなり、水性高分子イソシアネート系は、最も深い位置では、ほぼ基準試験と同等になる。レゾルシノール樹脂は、最も深い位置でも、基準試験の 80 %程度までにしかっていない。

亜熱帯では、接着剤の違い、設置位置の違いは読み取れないが、いずれにおいても、基準試験の 40 %から 80 %程度となっており、3 つの環境条件の中で、最も基準試験より低下している傾向にある。亜寒帯のみ地下水に接しているが、地下水の影響があるのは GL-1.5 m 設置の供試体のみであると考えられるため、地下水の影響とは考えにくい。この点についても、本年度の時点では、未だ分析するための検体数が少ないことから、今後の経年変化の確認、および、各試験結果を精査して判断する必要がある。

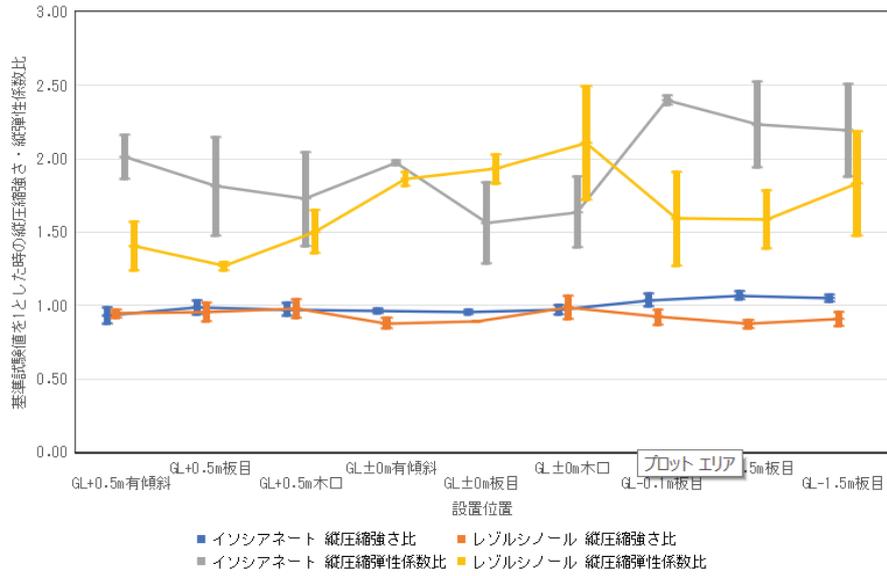


図 3.4-13 亜寒帯:圧縮試験結果

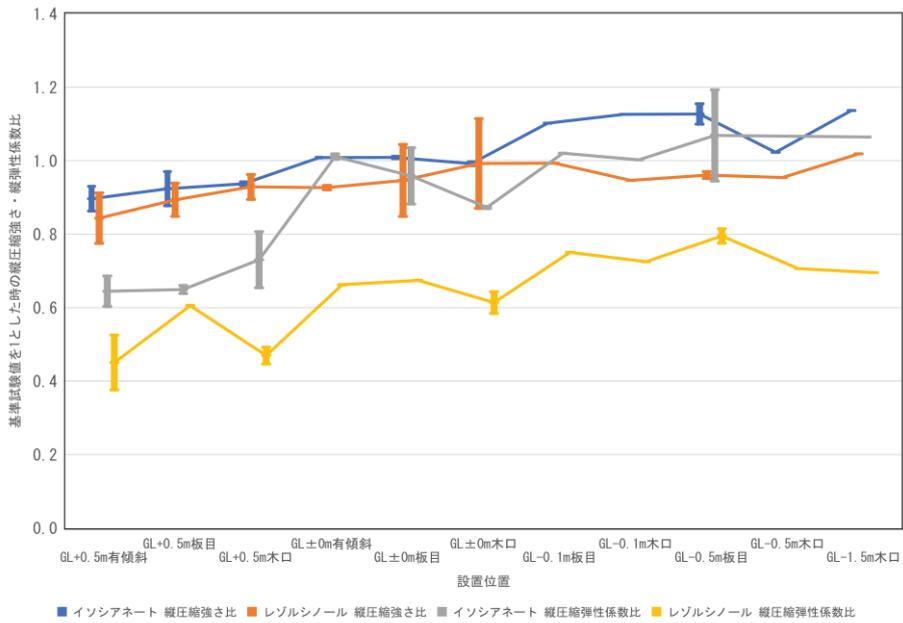


図 3.4-14 温帯:圧縮試験結果

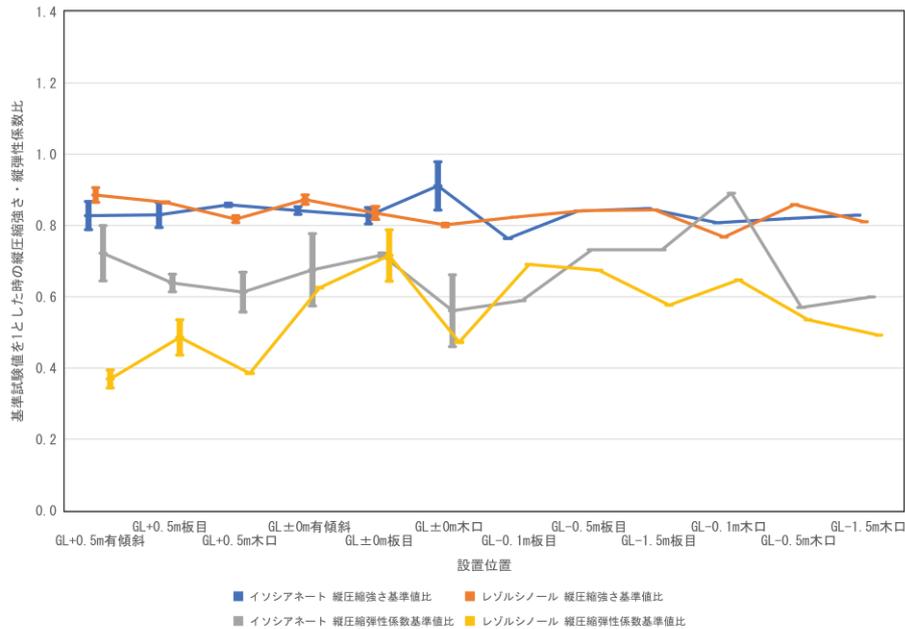


図 3.4-15 亜熱帯:圧縮試験結果

3.4.8 ブロックせん断試験結果（キュービック型供試体）

キュービック型供試体のブロックせん断試験結果(基準試験を1としたせん断強度比)を、図 3.4-16~18 に示す。

設置位置ごとの試験体数は、32 検体(キュービック 2 個×4 試験体×4 面)とした。

ブロックせん断試験の結果のばらつきは、圧縮試験より大きい傾向となっている。

初期性能を確認した基準試験との比較においては、各試験場・各設置位置でせん断強さの平均値は、基準試験の 1.2~1.3 程度となり、20 %~30 %高くなっている。(ただし、加力前後に試験体が崩れたものはせん断強さ比が 0 である。)初期性能より高くなった理由としては、試験方法の変更により、本年度は正確にせん断強度を確認できたことによると考えられる。基準試験として実施したブロックせん断試験では、試験体の固定治具が十分に機能せず、含水率を高めて飽和させた試験体がすべりを生じた。そこで、本年度は治具の改良をはかり、治具と試験体の接着面を、溝と突起で吻合するように計画したので、試験体の滑りが抑制された。このために、せん断強さが高くなったと考えられる。

地中の供試体において、圧縮試験については基準試験より 20 %程度高くなっているが、せん断強さは、設置位置に関わらず値が高いことから、圧縮強さの影響は少ないと思われ、この結果からも、治具の改良によりせん断試験結果が初期性能を上回ったと考えられる。

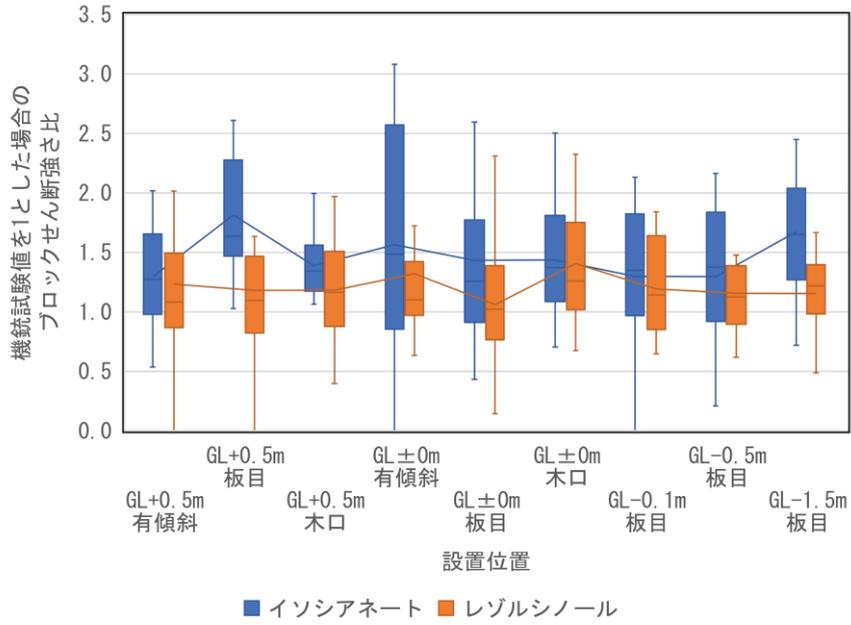


図 3.4-16 亜寒帯:ブロックせん断縮試験結果

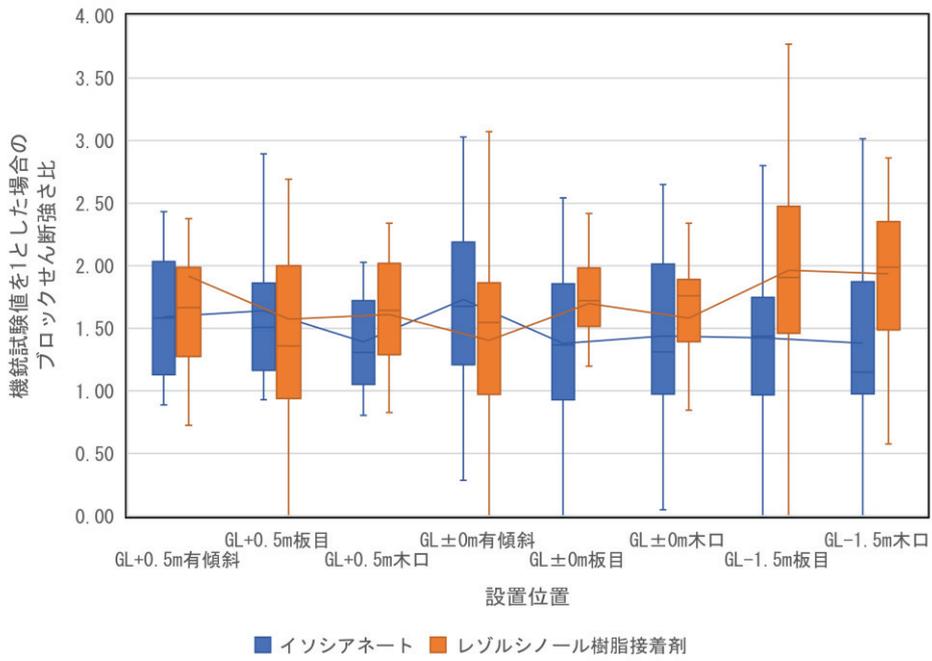


図 3.4-17 温帯:ブロックせん断縮試験結果

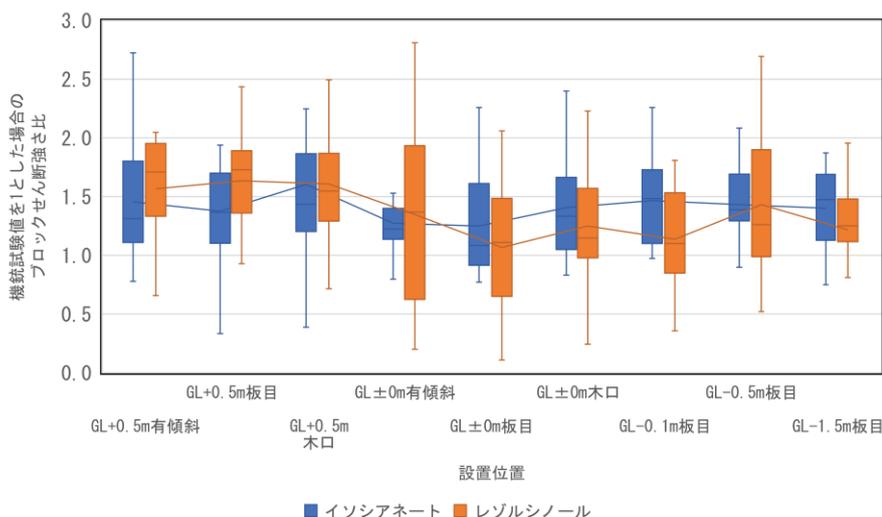


図 3.4-18 亜熱帯:ブロックせん断縮試験結果

3.4.9 1年経過後の地盤環境における試験結果と考察のまとめ

(1) 試験結果

- CLT の腐朽や虫害に対する劣化は、本試験期間では亜熱帯(宮崎県木材利用技術センター)のみで生じ、その他の試験場は劣化が観察されなかった。
- 割れ長さは、試験場・供試体形状(キュービック型・横目ボード型)にかかわらず、接着面の割れよりもラミナ割れが大半であった。レゾルシノール樹脂接着剤供試体は、水性高分子イソシアネート系接着剤供試体より、ラミナ割れの総長が大きくなる傾向にあった。
- 各試験地とも、縦圧縮強さは基準試験と同等であった。一方で、縦弾性係数は基準試験より低く、特に亜寒帯では、1/2 以下であった。縦圧縮強さ、縦弾性係数、とも温帯では設置位置が地中になり低くなるにつれて高くなったが、亜寒帯、亜熱帯では、設置位置の影響はなかった。

(2) 考察

- ラミナ同士の接着性については、接着剥がれが少なく、ブロックせん断試験で強さの低下がみられないことから、水分による接着強さへの影響は少ないと思われる。
- ラミナの割れは、接着面の割れよりも多く、割れの総長さは、水性高分子イソシアネート系接着剤供試体よりレゾルシノール樹脂接着剤供試体が長かった。したがって、接着力の低下は少なく、むしろ水分による影響が相対的に低いとされるはレゾルシノール樹脂接着剤を用いた方が、接着力を維持し変形しないため、含水率の上昇によるラミナの変形を接着部が拘束し、ラミナに割れを生じさせやすくしたと推定される。
- 縦圧縮強さは、基準試験結果より高いものもあったが、ばらつきも考えられ、今後の継続的な計測が必要である。
- 各試験地ともに、乾燥密度には差が生じていないことから、現段階では成分脱落は生じていないと思われる。今後の経年変化も踏まえて検討が必要である。

3.5 海水環境における試験結果

3.5.1 供試体取り出し状況(キュービック型供試体)

(1)供試体存置期間

海水環境の各設置位置から1年目のキュービック型供試体を取り出した。各環境での設置日、取出日(存置期間)を表3.5-1に示す。

表 3.5-1 供試体存置期間(1年目供試体)

場 所	港湾空港技術研究所(横須賀市)
設置日	2021年12月24日
取出日	2022年11月7日
存置期間	10ヶ月14日間

(2)供試体の取り出し

海水環境(港湾空港技術研究所)の取出し状況を写真3.5-1に示す。干満帯、常時海水中(全面海水接触)の供試体は、供試体全面に土のように虫害の糞で被われているものがあったが、設置上での問題は見られなかった。

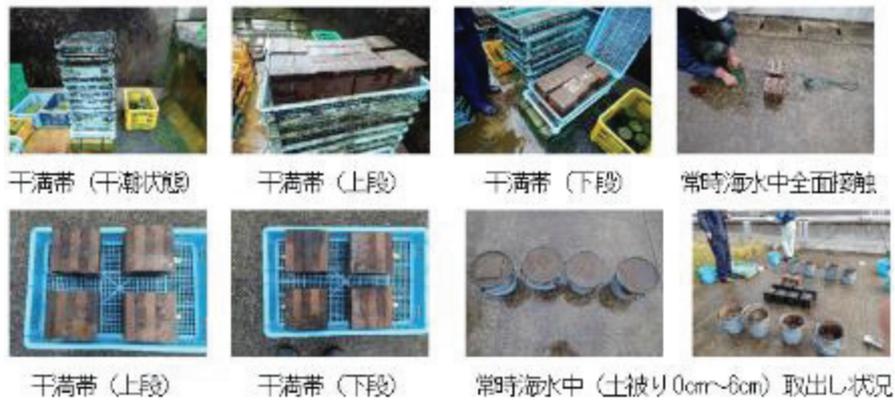


写真 3.5-1 海水環境供試体取出し

3.5.2 供試体の目視観察結果(キュービック型供試体)

海水環境の目視観察結果を表3.5-2に示す。虫害の発生状況を写真3.5-2に示す。

全てのキュービック型供試体の腐朽発生は確認されなかった。虫害(写真3.5-2の青点線)は全面海水接触及び干満帯(下段)のイソシアネート系接着剤、レゾルシノール樹脂接着剤のいずれも確認され、それ以外は確認されなかった。

表 3.5-2 キュービック型供試体 観察結果

観察項目	常時海水中				全面海水接触	干満帯	
	土中(土被り)					上段	下段
	0cm	2cm	4cm	6cm			
腐朽	無	無	無	無	無	無	
虫害	無	無	無	無	イソ・レゾ 両供試体に発生	イソ・レゾ 両供試体に発生	
その他	無	無	無	無	無	無	



写真 3.5-2 海水環境での虫害発生状況

3.5.3 供試体の湿潤密度(キュービック型供試体)

海水環境の湿潤密度を図 3.5-1 に示す。各設置位置の検体数は各接着剤 1 体である。常時海水中全面海水接触の供試体が、他の設置位置より 20%程度密度が高くなっていることの原因について、供試体が常時全面海水と接触しているためか、虫害によるものかについては、今後の経過観測により判断する。

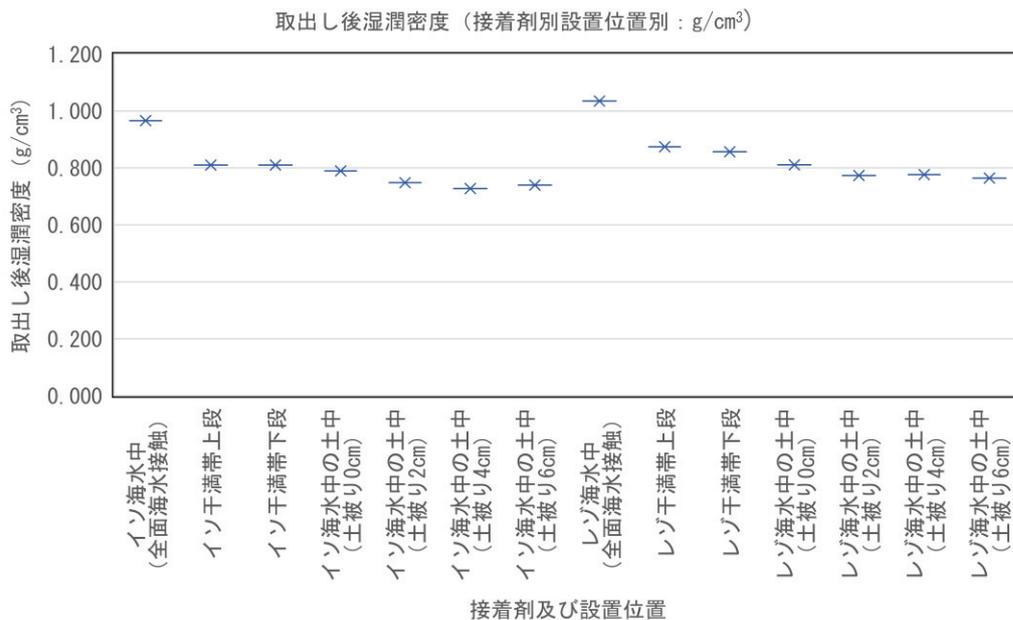


図 3.5-1 海水環境(港湾空港技術研究所)湿潤密度

3.5.4 割れの発生(キュービック型供試体)

海水環境の割れ長さを図 3.5-2 に示す。各設置位置の検体数は各接着剤 1 体である。地盤環境・淡水環境より割れが少ないが、湿潤密度が他の環境より高く変形しやすいことが影響したことも考えられる。

また、常時海水中全面海水接触の供試体は割れがなく、レゾルシノール樹脂接着剤供試体は土中の検体で接着剥れ、ラミナ割れが発見されている。水性高分子イソシアネート系接着剤供試体はレゾルシノールより少ないが、ラミナ割れ、接着剥れは生じている。

海水環境（港湾空港技術研究所）
 接着剤別・設置位置別割れ総長さ（mm）

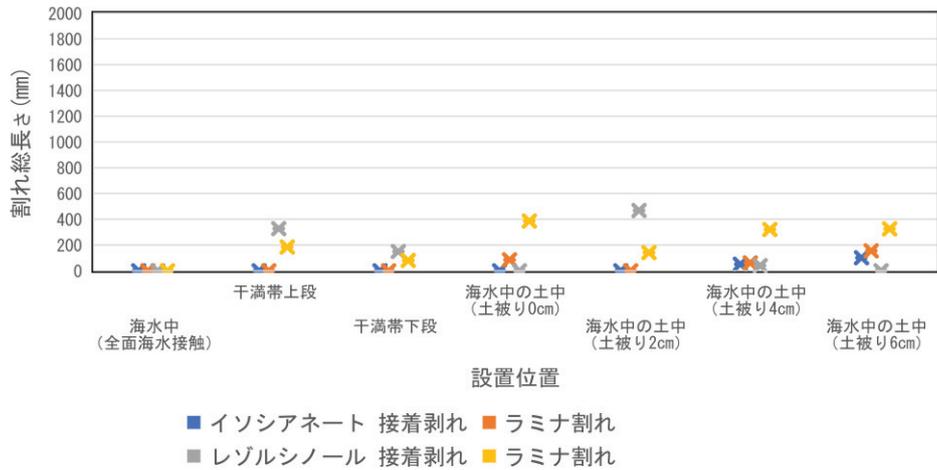


図 3.5-2 海水環境:割れ総長さ

3.5.5 含水率(キュービック型供試体)

海水環境の供試体について、含水率 60%を目指して水浸させ、含水率調整を行った時点でのキュービック型供試体含水率、および参考として湿潤時(海水槽からの取出し直後)の含水率を図 3.5-3 に示す。各設置位置の検体数は各接着剤 1 体である。

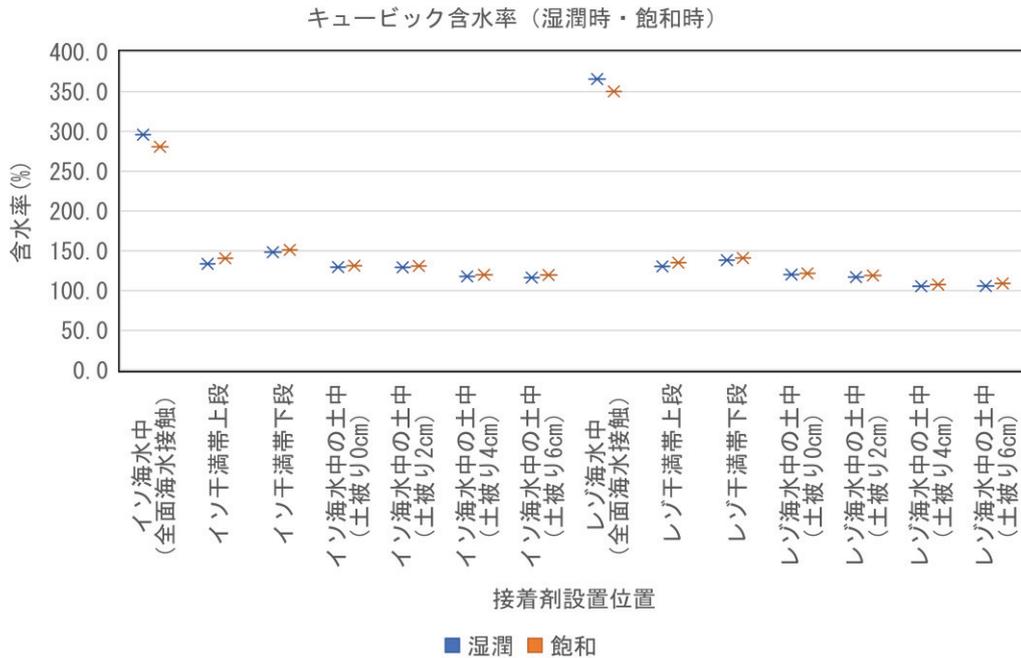


図 3.5-3 海水環境:含水率

3.5.6 乾燥密度(キュービック型供試体)

海水環境の供試体乾燥密度を図 3.5-4 に示す。常時海中全面海水接触供試体のみ他の供試体の 15~20%程度密度が低いが、虫害によるものかは、供試体を切断して虫害の状況を調べる必要がある。各設置位置の検体数は各接着剤 1 体である。

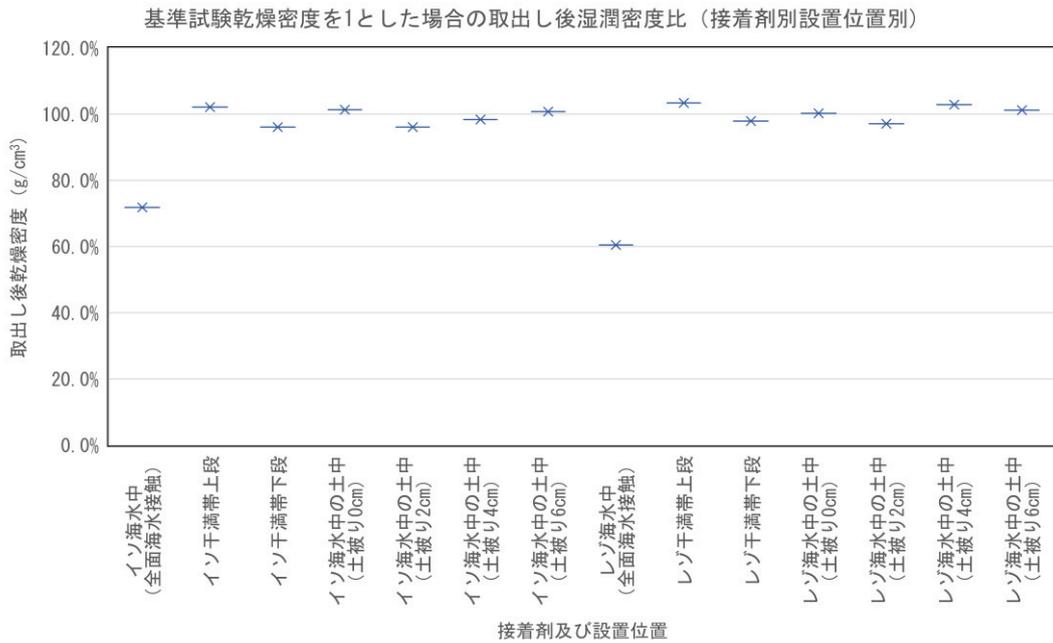


図 3.5-4 海水環境:乾燥密度

3.5.7 縦圧縮試験結果(キュービック型供試体)

海水環境の供試体縦圧縮試験結果(基準値を1とした場合の縦圧縮強さ・縦弾性係数比)を図 3.5-5 に示す。各設置位置の検体数は各接着剤1体である。

常時海水中全面海水接触の供試体の縦圧縮強さ、縦弾性係数が、他の設置位置の 20%~30%程度となっている。乾燥密度と合わせて、虫害による影響を切断面の調査で確認することが必要である。

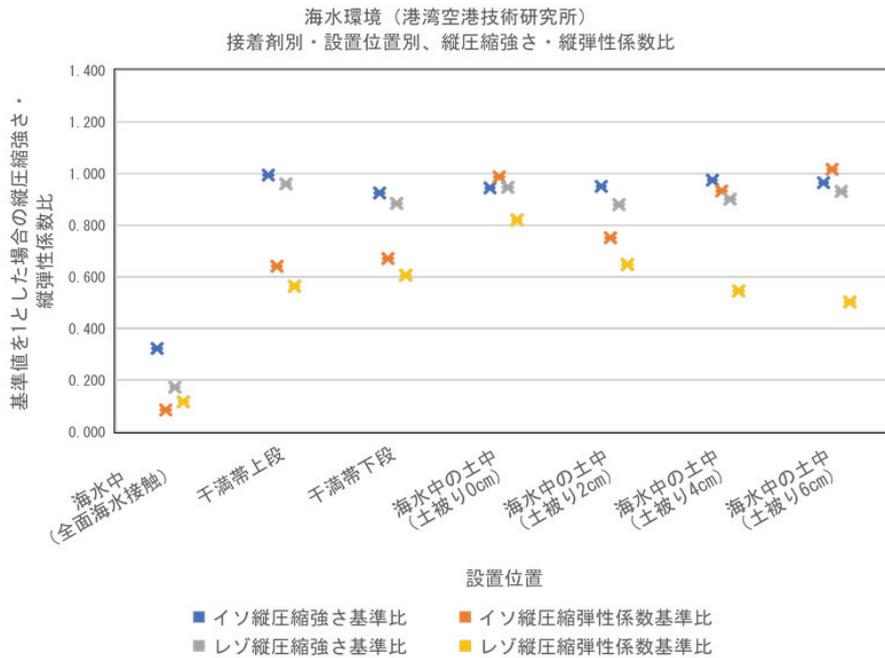


図 3.5-5 海水環境:縦圧縮試験結果

3.5.8 1年経過後の海水環境における試験結果と考察のまとめ(キュービック型供試体)

(1) 試験結果

- ・腐朽は観察されなかったが、常時海水中全面海水接触の供試体と干満帯の下段供試体は、水性高分子イソシアネート系、レゾルシノール樹脂のいずれの接着剤とも虫害が観察された。
- ・レゾルシノール樹脂接着剤供試体は水性高分子イソシアネート系接着剤供試体より割れが多かった。
- ・常時海水中の供試体の土中に設置した供試体は、土被り0 cm であっても虫害は観察されなかった。
- ・常時海水中全面海水接触の供試体以外は、縦圧縮強さが基準試験と同等であり、縦弾性係数比は基準試験の 0.5 ~
- ・0.8 となり、地盤環境より高い値となった。
- ・常時海水中全面海水接触の供試体は、縦圧縮強さ比が 0.2~0.3、縦弾性係数比が 0.1 程度であり、他の環境の供試体より低かった。

(2) 考察

- ・海水環境における割れは他の地盤や淡水環境より少ないが、両接着剤とも、接着割れとラミナ割れが同程度は観察された。他の環境と同様に
- ・地盤環境と同様に、レゾルシノール樹脂接着剤供試体は水性高分子イソシアネート系接着剤供試体より割れが多かった。これは、前述の通り、レゾルシノール樹脂接着剤による接着が 1 年経過しても強いために、木材の変形に対して変位拘束し、ラミナの割れを発生させたと考えられる。
- ・虫害による影響の考察については、今後、供試体切断面の観察などにより更なる調査が必要である。

3.6 淡水環境における試験結果

3.6.1 供試体取り出し状況(キュービック型供試体、横目ボード型供試体)

(1) 供試体存置期間

淡水環境の各環境から1年目の供試体(キュービック型・横目ボード型)を取出した。各環境での設置日、取出日(存置期間)を表3.6-1に示す。

表 3.6-1 供試体存置期間(1年目供試体)

場 所	飛鳥建設技術研究所(野田市)
設置日	2022年1月14日
取出日	2022年11月14日
存置期間	10ヶ月間

(2) 取出し状況

淡水環境供試体(キュービック型・横目ボード型)の取出し状況を写真3.6-1に示す。

地下水を利用したことにより、地下水の栄養分等に起因するアオミドロが発生し、取出し直後は試験体に藻が付いている状況であった。このため、一時的にアオミドロによって排水管が詰まり排水が止まり、気中設置のWL+0.1mの供試体が水没するアクシデントが生じた。

また、キュービック型供試体は、ステンレスメッシュとステンレス線(0.9mm)で設置高さ、深度を固定したが、供試体の膨潤等によりステンレス線が供試体に食い込む部分があり、一部、食い込み跡が残った。



写真 3.6-1 淡水環境供試体取出し

3.6.2 供試体の目視観察結果(キュービック型供試体、横目ボード型供試体)

淡水環境の目視観察結果(腐朽、虫害の発生件数)を表3.6-2に示す。淡水環境では、腐朽、虫害は見られなかった。また、木材の色の変化(シルバークレー化)も生じていない。これは、水槽全面に架けた屋根により紫外線が当たらなかったためと思われる。木口部の黒色も全ての試験場で生じており、差はない。今後の経過観察にて比較を行う。

表 3.6-2 淡水環境供試体 観察結果

観察項目	キュービック			横目ボード	
	気中 (WL+0.1m)	水面 (WL±0m、 -0.075m)	水中 (WL-0.15m、 0.5m)	気中	水中
腐朽	無	無	無	無	無
虫害	無	無	無	無	無
その他	無	無	無	無	無

3.6.3 湿潤密度(キュービック型供試体)

淡水環境の湿潤密度を図 3.6-1 に示す。接着剤の種類にかかわらず、水中に供試体が設置されている場合には、浸潤が進むと思われるが、気中(WL+0 cm)も水中と同等の密度となっている。これは、水面に接している供試体の下面から、水分が吸い上げられていたことに起因すると思われる。

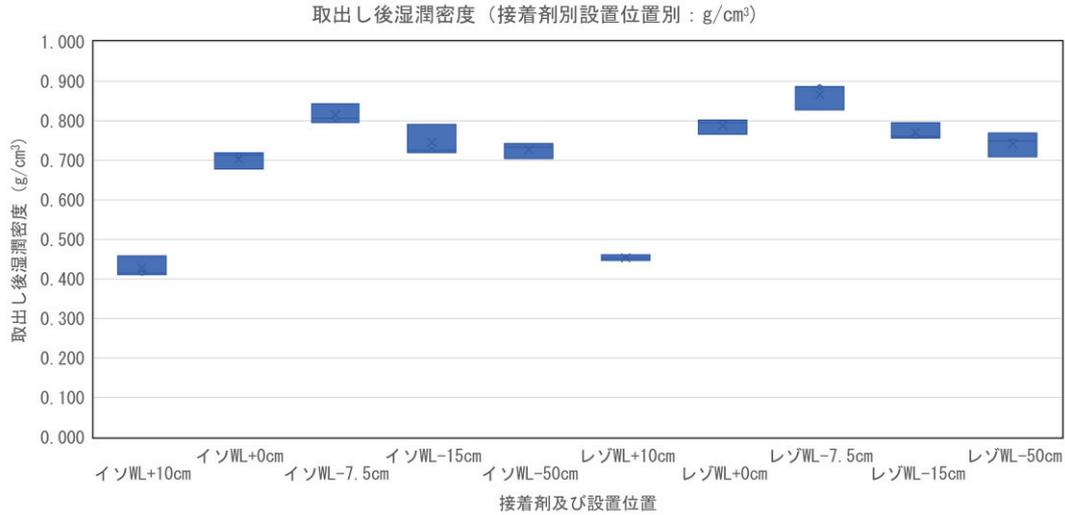


図 3.6-1 淡水環境:湿潤密度

3.6.4 割れの発生(キュービック型, 横目ボード型)

淡水環境のキュービック型供試体割れ長さを図 3.6-2 に示す。割れの発生は、海水環境の 2 倍程度であるが、地盤環境より少なくなっており、湿潤密度(取出し時)が高いことに起因すると考えられる。

淡水試験の横目ボード型供試体の割れ長さを図 3.6-3 に示す。割れは、おもに水中で発生している。地盤環境と同様にレゾルシノール樹脂接着剤供試体のラミナ割れが多い。レゾルシノール樹脂接着剤と割れの関係については、今後の経過観察に基づき、高湿度の環境下での使用の可否も含め、考察が必要である。

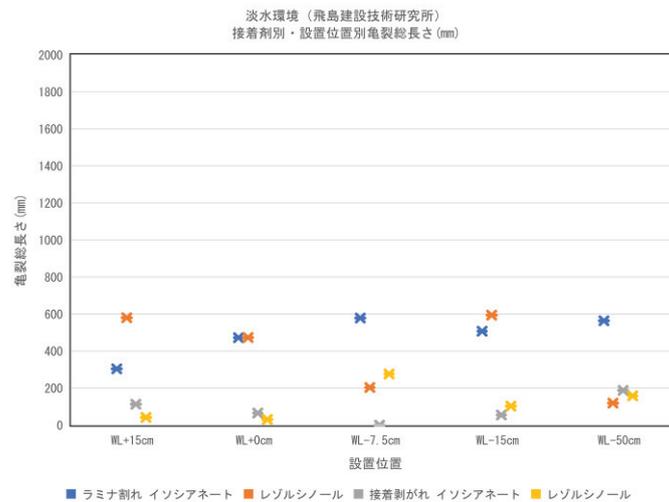


図 3.6-2 淡水試験:キュービック型供試体割れ長さ

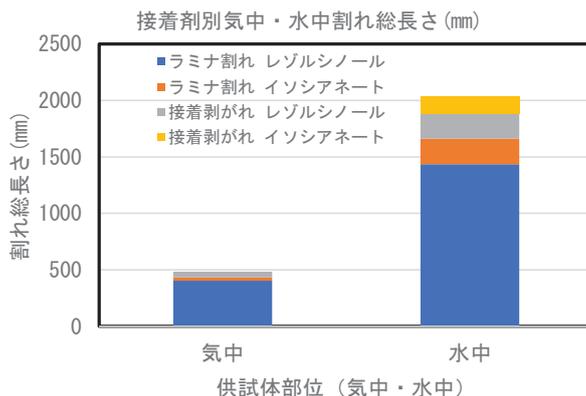


図 3.6-3 淡水試験 ボード割れ長さ

3.6.5 飽和後の含水率(キュービック型供試体)

淡水環境の飽和時含水率及び参考として湿潤時(水槽からの取出し後)の含水率を図 3.6-4 に示す。

地盤環境では湿潤質量から算定した値と水分計から計測した表面含水率計の値が、近似していたが、淡水環境では表面含水率計の値が低くなった。

算定値で評価するとイソシアネート供試体が含水率の高い傾向がある。ばらつきが大きいので、設置位置による差は評価しにくく、海水環境とは逆の結果となっており、今後さらなる調査が必要である。

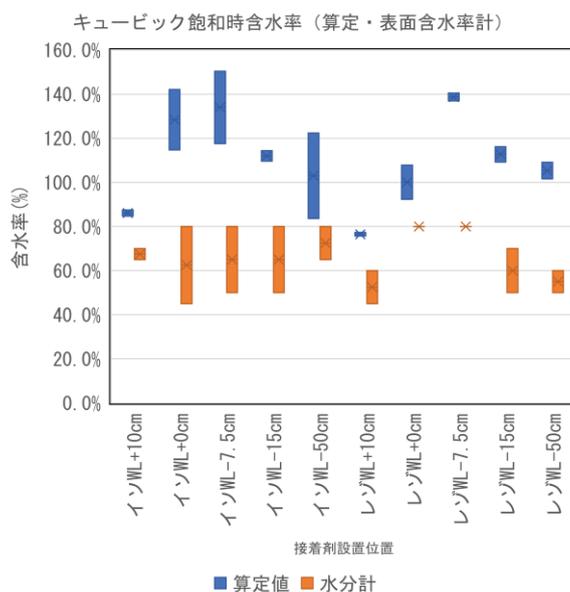


図 3.6-4 淡水試験 含水率

3.6.6 乾燥密度(キュービック型供試体)

淡水環境の乾燥密度を図 3.6-5 に示す。乾燥密度のばらつきが大きくなっているのは、水性高分子イソシアネート系接着剤供試体の WL±0 cm、-7.5 cm、-15 cm、-50 cm、レゾルシノール樹脂接着剤供試体 WL-15 cm、-50 cm である。

また、気中の供試体より水中の供試体が、比較的、乾燥密度が高い傾向にある。

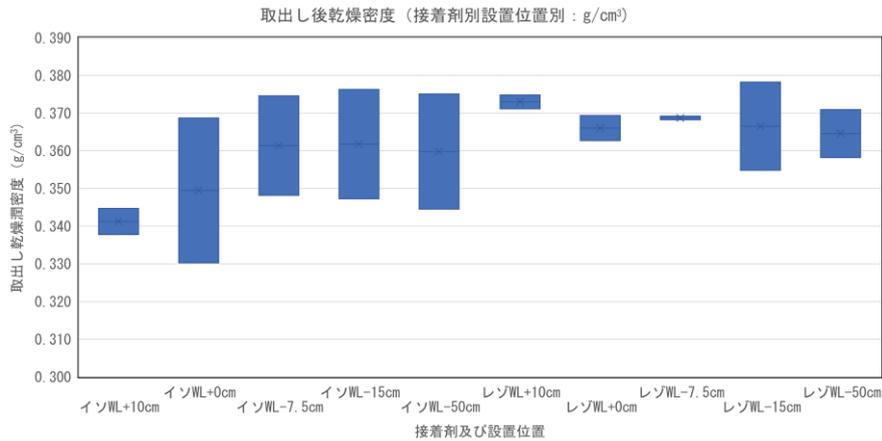


図 3.6-5 淡水試験 乾燥密度

3.6.7 縦圧縮試験結果(キュービック型供試体)

淡水環境の縦圧縮試験結果を図-3.6-6 に示す。

水性高分子イソシアネート系接着剤の方がレゾルシノール樹脂より数値が高い傾向にあるが、縦圧縮強さは、おおむね、基準試験と同等である。

縦弾性係数については、レゾルシノール樹脂で基準試験の 150 %となっている。水性高分子イソシアネート系については、バラつきは大きい傾向にあるが、200 %から 350 %までとなっており、いずれも帰順試験より、かなり高い値となっている。縦弾性係数は、接着剤の仕様に問わず、いずれの設置位置でも、ほぼ一定となっていることから、基準試験との関係において、何らかの相関関係があるとも考えられ、今後の経過観察で解明する必要がある。

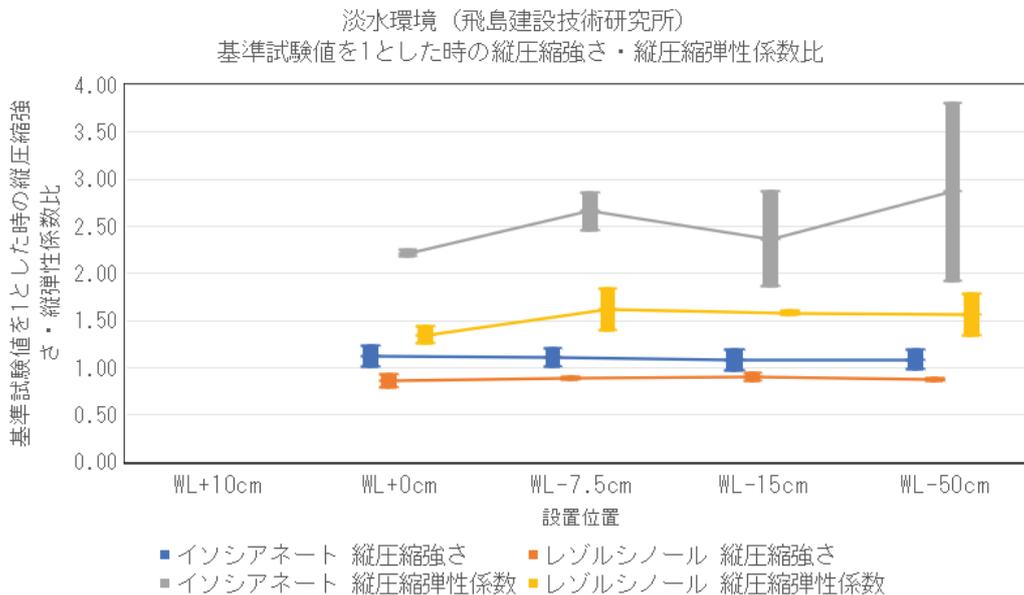


図 3.6-6 淡水環境 圧縮試験結果

3.6.8 ブロックせん断試験結果(キュービック型供試体)

淡水試験のブロックせん断試験結果を図 3.6-7 に示す。

初期性能を確認した基準試験の値に対する淡水環境の供試体のせん断強さ比は、ばらつきが大きい傾向にはあるが、設置位置、接着剤種類に関わらず、ほぼ 1.2 倍程度となっており、地盤環境と似た傾向を得た。

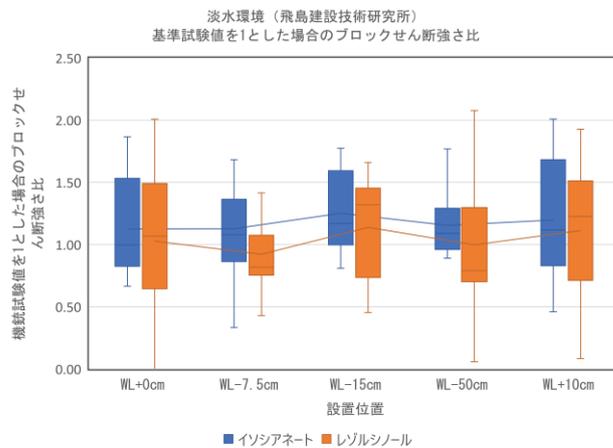


図 3.6-7 淡水環境 ブロックせん断試験結果

3.6.9 試験結果のまとめと考察(淡水環境：キュービック型供試体、横目ボード型供試体)

(1) 試験結果

- キュービック型、横目ボード型供試体ともに劣化は見られなかった。
(水槽内で発生したアオミドロによる劣化影響はなかった。)
- キュービック型供試体の割れは、他の環境と同様の傾向を示し、レゾルシノール樹脂接着剤供試体は、水性高分子イソシアネート系接着剤供試体と比べて、割れが多い傾向にあった(割れの総長さが長かった)。他の環境との比較において、割れの総長さは地盤環境より少なく、海水環境より多かった。
- 横目ボード型供試体の割れは、地盤環境より少ないが、接着剤の種類による傾向は、キュービック型と同様になり、レゾルシノール樹脂接着剤供試体は、水性高分子イソシアネート系接着剤供試体より割れが多い(割れの総長さが長い)結果となった。
- 他の環境と同様に、水性高分子イソシアネート系接着剤供試体は、同じ設置位置のレゾルシノール樹脂接着剤供試体より、乾燥密度が低い傾向があった。
- 縦圧縮強さは、ばらつきが大きかったが、基準試験および地盤環境の値とほぼ同等であった。
- 縦弾性係数は、地盤環境の亜寒帯と同等となり、その他の環境より低い傾向があった。
- 他の環境では縦圧縮強さが低いものは、縦弾性係数も低いという傾向がみられたが、気中(WL+10 cm)の水性高分子イソシアネート系接着剤供試体の縦圧縮強さ及び縦弾性係数は、異なる傾向を示した。
(縦圧縮強さは淡水環境の他の設置位置より低くなったが、縦弾性係数は高くなった。)
- ブロックせん断試験は、おおむね地盤環境と同等の値であった。

(2) 考察

- 供試体の割れが地盤環境より少なかった理由は、気中の供試体については水槽の屋根で閉塞され、常に湿度が高い環境であったことに起因すると考えられる。水中に設置された供試体については、海水環境同様に湿潤した状況により、割れが生じにくかったと考察する。
- 海水環境と淡水環境の割れにくさの差について、今後経過観察により検討を行う。

4 中長期利用を想定した C L T 土木利用 個別技術の開発

4.1 CLT 水平地盤補強工法の開発

4.1.1 開発成果の最終イメージ

軟弱地盤上の道路や宅地造成の盛土などの土構造物の基礎として、軟弱地盤上に CLT を敷設する(図 4.1-1)。木質材料を用いることによる環境への配慮というメリットにとどまらず、既存工法と比較して、以下のメリットがあると想定している。

- ①軟弱地盤上の構造物の安定性確保
- ②工事中のトラフィックビリティの確保
- 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

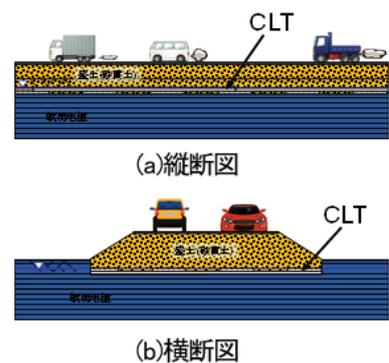


図 4.1-1 CLT 水平地盤補強のイメージ

4.1.2 開発背景

木材の炭素貯蔵効果とは、樹木が光合成により大気中から吸収した CO_2 を、木材として炭素を固定し、伐採して木材製品として使用されている間も、その炭素を固定し続けることである。木材が燃焼や腐朽しない限り、大気中に CO_2 が放出されず炭素を貯蔵し続けるので、CLT の土木利用においても、特別な維持管理をせずに 50 年以上利用できる技術があれば、炭素を貯蔵することが可能になる。

そこで、50 年以上の期間、利用し続けることの可能な利用技術を抽出するため、空気に触れない環境(水中や地盤中など)を想定し、さらに以下の項目を条件として考慮しつつ、利用方法を検討した。

- ・長期的(50 年以上)にメンテナンスフリーで使用可能であること
- ・環境的に木材を利用することが優位と判断されること
- ・多くの利用先が想定されること
- ・1 箇所でも大量に使用できる可能性が高いこと
- ・既存の工法とのコスト競争があること、あるいはコスト競争できる可能性があること
- ・類似技術が少ないこと
- ・技術的なハードルが低いこと(早期の社会実装を目指すため)
- ・法的な制約が少ないこと

以上の検討から抽出されたのが、地下水位以深の地盤中で CLT を水平に配置する「CLT 水平地盤補強」の利用技術である。表-4.1-1 に、「CLT 水平地盤補強」を想定した場合の、木材、および、CLT としてのメリット・デメリットを示す。主要なメリットは、以下のように整理される。

- ・地盤中の地下水位以深での使用により、生物劣化のリスクを解消し、半永久的に使用できる
- ・軟弱地盤を対象とするため、市場規模が大きいこと(海外を視野に入れば、市場はさらに拡大)
- ・適用先として、道路や宅地を想定すると、一か所の現場での使用量が大きい
- ・施工性のよさ(早さ、簡易さ)が期待でき、また、対象が地盤対策であるため、特に環境優位性が評価されることを踏まえると、既存工法との競争力があると考えられる
(CLT の低コスト化を図ることで、さらに競争力が高まる)
- ・比較的容易な設計法が想定される
- ・土木の土構造物に適用することで、使用上の法的な制約が少なくなる可能性がある

表-4.1-1 CLT 水平地盤補強の木材および CLT のメリット・デメリット

	M or D	項目	要因	評価	コメント
木材	メリット	木材であるが故の	1. 基本的に木材が持つメリットを引き継ぐ	-	
			2. 加工が容易	○	孔明けなど現地加工を容易に実施可能
			3. 軽い	◎	大量運搬が可能。取り扱いが容易。
			4. 熱伝導率が低い	○	寒冷地の凍上で有利
			5. 木材炭化できる	-	
	CLTとすることによる	1. XY方向に木材を直交させている	◎	板としての機能を期待できる	
		2. 部材はラミナである	-		
		3. ラミナの多層構造である	-		
	デメリット	木材であるが故の	1. 基本的に木材が持つデメリットを引き継ぐ	-	
			2. 持続可能性を考慮すると再造林が必要	◎	事業が成立すれば川上にお金が流れる
3. 繊維飽和点以下の範囲では含水率が上がると膨張する			◎	地盤内では膨張が有効	
4. 乾燥が進むと収縮する			◎	地盤内では問題とならない	
CLTとすることによる			1. XY方向貼り合わせラミナの断面の多層構造	○	XY方向に均質化される
CLT	メリット	木材であるが故の	1. コンクリートや鉄に比較し軽い	○	施工時の取り回しが容易
			2. 熱伝導率が低い	○	寒冷地の凍上で有利
			3. 調湿効果がある	-	
			4. 燃える	-	
			5. 生物劣化する	-	
			6. 炭素を貯蔵する	◎	地中利用で長期利用が可能となり炭素貯蔵が可能となる
			7. 比較的腐害に強い	○	沿岸近くなどで有利
			8. 経年変化で色が落ち着く	-	
			9. 視覚的に自然環境に馴染みやすい	-	
	CLTとすることによる	1. 大判の面材である	◎	板状構造を活用できる	
		2. 工場製品である	○	品質が確保できる	
		3. 塑性化、脆性化しにくい	○	地震時などの想定外の外力に対して有利	
		4. 加工が容易である	○	孔明けなど現地加工を容易に実施可能	
		5. 林業、木材、建設産業にまたがる	○	土木事業に適合する。	
		6. 空気、水、温度、栄養の条件が揃わなければ劣化しない	◎	地下水以深の利用で、長期利用が可能となる	
		1. 生物劣化を生じる場合があり性能低下が急激	◎	地盤中の地下水位以深に設置することで生物劣化の心配を克服できる	
		2. 経年変化で変色する場合がある	-		
		3. 燃える	◎	地中で使用することで燃焼の心配を克服できる	
デメリット	木材であるが故の	4. 金属とでは熱伝導率が大きく異なる	-		
		CLTとすることによる	1. 大判の面材である	◎	むしろ大判が有利
		2. 新しい材料である	-		
		3. 強度はあるが鋼材ほどではない	○	大きな強度はそれほど必要とならない	
		4. 内層に低品質材を用いることができる	◎	低コスト化を可能にする	
		5. 接合材が必要になる	△	接合が必要な場合には接合材を使用せざるを得ない	
		6. 接着剤を用いている	△	地盤中の地下水位以深で使用するためそれに耐える接着剤が物理的な接着が必要	

メリットに対して：◎大いに活用、○活用、-対象外

デメリットに対して：◎かなり克服、○ある程度克服、△克服できない、-対象外

4.1.3 実証施工実験の計画・目的

従来、CLT が建築用に用いられる際には、地上(気中)で用いられているが、本開発では地盤中で用いられることを想定するため、地盤中に CLT を水平状に設置した状態での耐久性、構造安全性等を検証することを目的として、載荷試験を実施する。

4.1.4 実証施工実験の概要

実証施工は、秋田県大潟村(旧八郎潟)の軟弱地盤にて実施した。約 12.7 m×7.2 m の 4 区画に CLT を敷設し、盛土を造成して載荷試験を行った。

(1)実施場所

実施場所は、秋田県立大学木材高度加工研究所の協力を得て、秋田県大潟村アグリイノベーション教育研究センター(秋田県南秋田郡大潟村字大潟 6-5)の敷地内とした(図 4. 1-2)。

大潟村は、約 1 万年の時間をかけて誕生した水深 4~5 m の汽水湖(八郎潟)を、昭和 32(1957)年から始まった「八郎潟干拓事業」により、昭和 52(1977)年に新たに生まれた 17,229 ha の村である。干拓地であるため、地盤は極めて軟弱で、水平成層構造、かつ均質と推察され、軟弱地盤を想定した CLT 水平地盤補強工法の実証施工に適していると考えた。

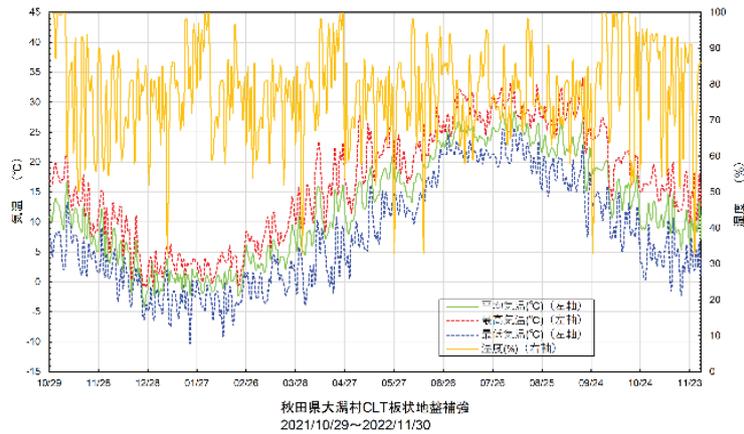


図 4.1-2 実証施工実験 実施場所

(2)実験地の環境条件

①温度・湿度観測結果

図 4.1-3 に実験地の気温と湿度の変化を示す。令和 3(2021)年からの平均気温の推移をみると、令和 3(2021)年 10 月下旬に 10℃程度であったが、同年 12 月上旬には 10℃以下の日が多くなり、0℃を下回るまで下がり、令和 4(2022)年 2 月下旬より上昇し始め、同年 6 月には 25℃程度まで上昇し、同年 9 月下旬より始めている。湿度は、年間概ね 50%~80%で変動し、高い時は 100%、低い時には 35%程度となっている。



計測機器：(株)ティアンドディ T&D 社製 温度・湿度データロガーTR-72nw(おんどとり)

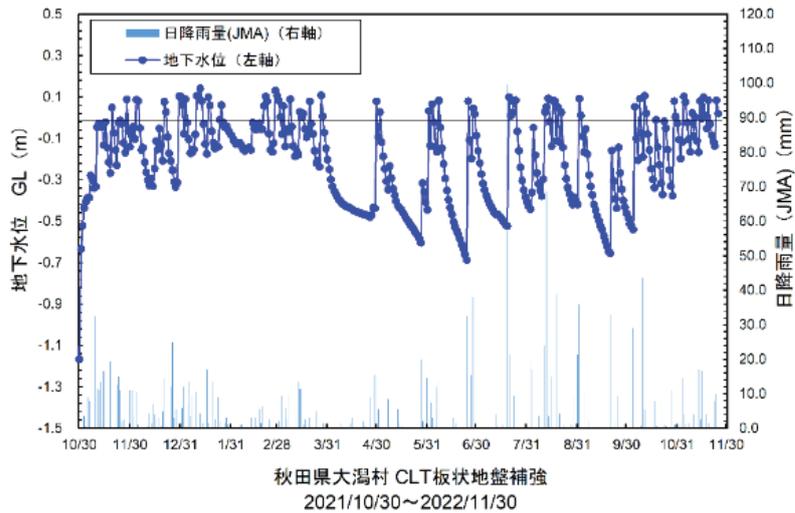
図 4.1-3 気温と湿度の観測記録

②降雨・地下水位観測結果

図 4.1-4 に地下水位の観測記録を示す。

2 台の水位計を気中(百葉箱内)と地下水位以深の固定点に設置し、それぞれ圧力を計測し、気圧補正を行い、地下水位を求めた。地下水位は、観測井を設置した令和 3(2021)年 10 月下旬には GL-1.2 m 程度であったが、同年 11 月 9 日に地表面付近まで上昇し、その後 GL-0.5 m から地表付近で変動している。地下水位が、地表面より高くなるのは、観測井の塩ビ管が地表面より高いためである。若干、地下水位が被圧地下水位となり得る可能性がある。

また、気象庁データの大潟の日降雨量を併記した。降雨があると地下水位は地表面近くまで上昇するが、降雨がなくなると、最小で GL-0.7 m 程度まで下がることから分かる。



観測に用いた水位計 : 応用地質(株)社製 小型絶対圧水位計 S&DL Model-4900(10m 計)

図 4.1-4 地下水位と日降雨量の観測記録

(2)地盤調査

実証実験を行う CASE1~CASE4 の近傍の場所で地盤調査(コーン貫入試験)を実施した。地盤調査(コーン貫入試験)結果を、図 4.1-5 に示す。GL-5.0 m 程度まではコーン貫入抵抗は、ほぼ 0 MPa であるが、それ以深は、徐々にコーン貫入抵抗が増加している。

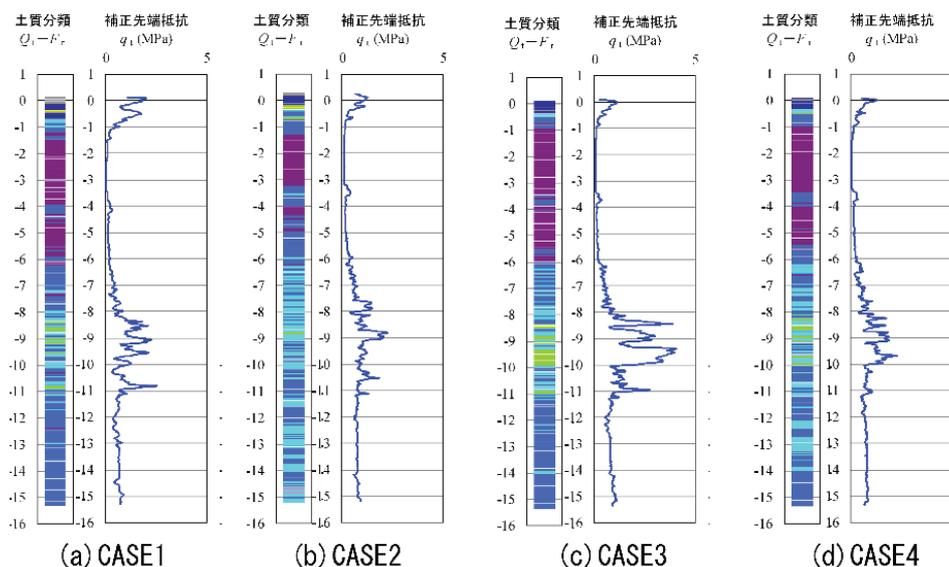


図 4.1-5 地盤調査(コーン貫入試験)結果

4.1.5 実証施工実験の計画

(1)全体フロー

実験は以下の手順で進めた(図 4.1-6)。

- ①各ケースの盛土の上部中央に、1.5 t/袋のトン袋を4袋設置(図 4.1-7)
- ②動態観測(沈下および水平変位量計測)
- ③盛土造成後、約9ヶ月経過後に、各盛土上に2.0m×2.0m×0.5mのRCスラブを作り、1.6tの敷鉄板を積み上げ、載荷試験を実施(図 4.1-8)
- ④スラブ側面に設置した標尺を読み取り、沈下量を計測

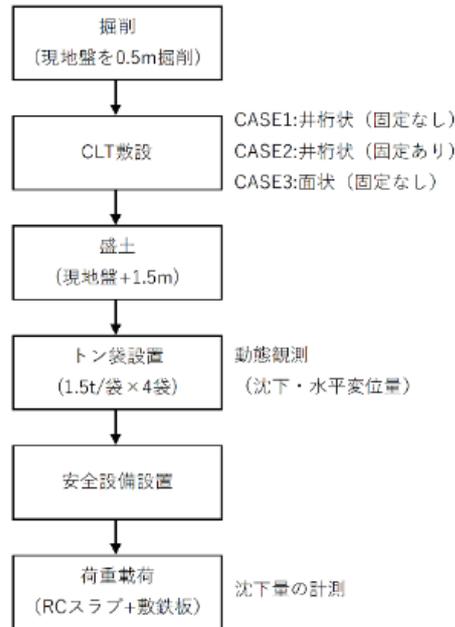


図 4.1-6 実証施工実験のフロー

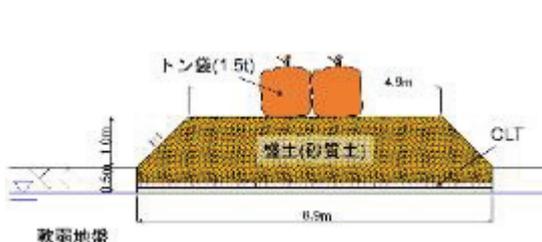


図 4.1-7 動態観測の概要図

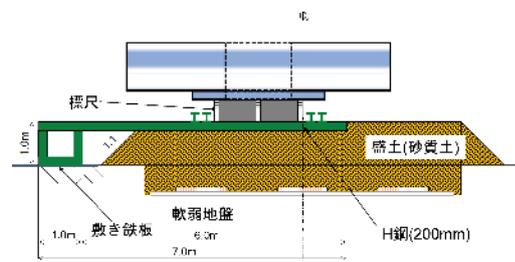


図 4.1-8 載荷試験の概要図

(2)CLT 設置ケース (試験体)

CLT の試験体は、以下の4ケースで計画した(図 4.1-9)。

- | | |
|------------------|--------------------------|
| CASE1 :井桁状(固定なし) | 1.15 m×6.9 m×2 段(3層3プライ) |
| CASE2 :井桁状(固定あり) | 1.15 m×6.9 m×2 段(3層3プライ) |
| CASE3 :面状(固定なし) | 2.30 m×6.9 m×2 段(3層3プライ) |
| CASE4 :無対策 | |

いずれも、原地盤を0.5m程度掘り込み、そこを基盤に高さ1.5mの盛土を造成した。CASE4の無対策では、基盤より直接盛土材を投入し、盛土を造成した。CASE3は基盤に直接CLTを強軸方向が直行するように2段敷設した。CASE1とCASE2は、CLTの使用量を半分に減らすため、CASE3で用いたCLTの幅を半分に、井桁状に2段敷設した。CASE1はCLTを単純に2段重ね、CASE2は井桁の交点でピンを用いて互いが滑らないよう固定した。

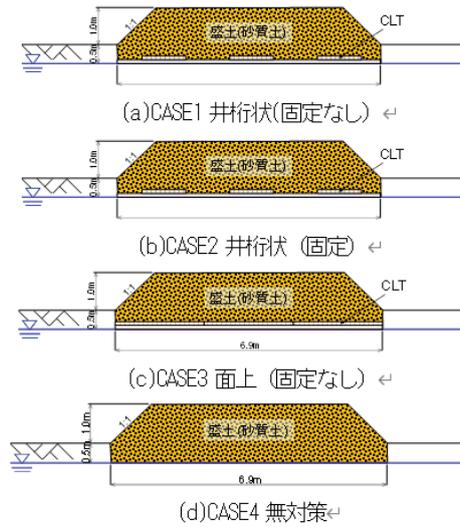
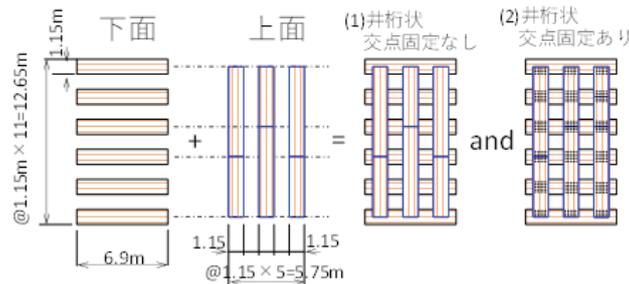


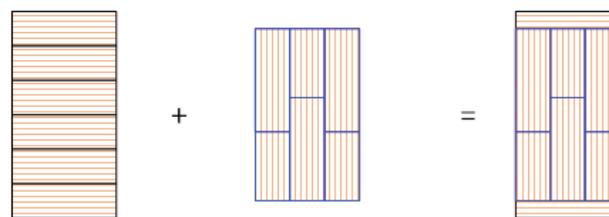
図 4.1-9 CLT 水平地盤補強 実証施工の 4 ケース(断面図)

使用した CLT の概要を以下に示し、CASE1～CASE4 の平面図を図 4.1-10 に示す。

- 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
 寸法 : 6.9m×1.15m×0.09m(18 枚=9 枚×2 ケース)
 4.6m×1.15m×0.09m(6 枚=3 枚×2 ケース)、



(a)CASE1 & CASE2 井桁状(固定なし&固定)



(b)CASE3 面状 (固定なし)

図 4.1-10 各ケースの CLT の配置 (平面図)

CLT の固定に使用したピンの仕様を以下に示す。

- 種類 : 丸鋼(SR235)
 寸法 : 径 19mm×長さ 150mm(360 本 =4 行×6 列×12 箇所 +4 行×3 列×6 箇所)

(3)配置

CASE1～CASE4を図4.1-11のように配置した。

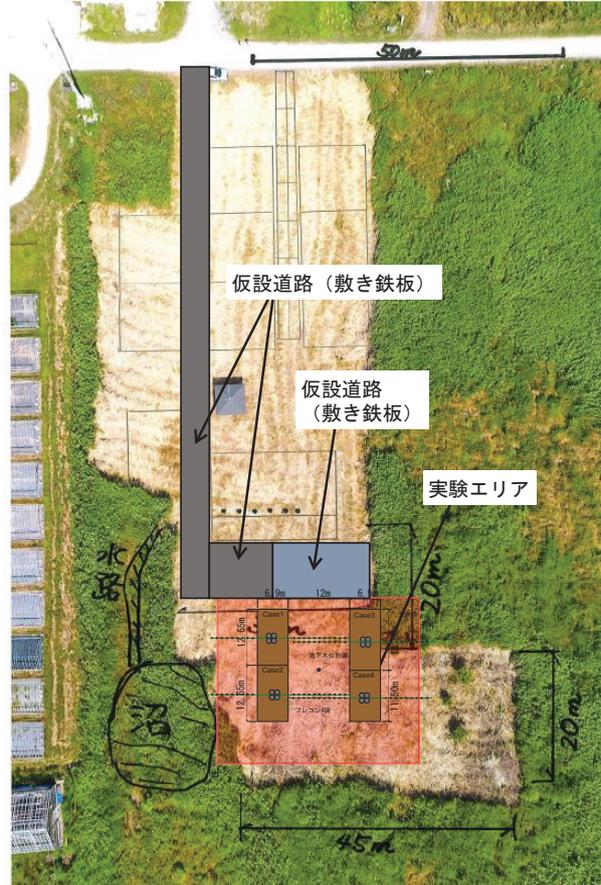


図 4.1-11 実験配置図

(4)実施概略工程

実施予定期間は、令和3(2021)年度～令和7(2025)年度とし、本年度に実施した概略工程を図4.1-12に示す。

分類	項目 / 年度	2021	2022	2023	2024	2025
実大実験	施工準備	-				
	CLT設置	-				
	盛土作成	-				
	載荷				
	沈下・変位計測				
	地盤調査		-			
	載荷試験		-			
	解体撤去				-	
	経年後CLT調査					-
	低コストCLT開発		-			
低コストCLT開発	低コストCLT製作		-			
	要素実験			-		
設計施工法構築	設計法構築			-		
	施工法構築				-	
実証実験	実施地点の選定				
	実証実験計画策定			-		
	実施地点地盤調査				-	
	設計、施工計画				-	
	実証施工					-
第三者評価	計測				
	第三者評価				-	
	NETIS登録申請					-

図 4.1-12 令和4(2022)年度 概略工程

(5)動態観測

盛土造成後、盛土上部には1 m 間隔の格子状の測量杭を設置し、盛土の周囲には盛土直交方向に1 m 間隔に測量杭を設置し、各点のXYZ 方向の初期値を計測した。

その後、各ケースの盛土中央部に、1.5 t袋のトン袋を4 袋設置し、動態観測(沈下および水平変位量計測)を開始し、所定期間が経過した後に、各測量杭の計測を行った(図 4. 1-13)。

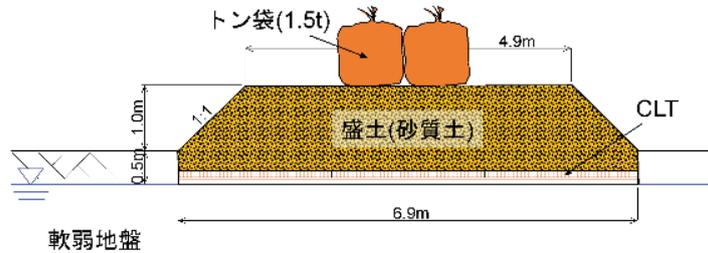


図 4.1-13 動態観測時の試験体の状況

(6)載荷試験

盛土造成後、約 9 ヶ月経過後に、各盛土上にてすべり破壊が生じるように盛土天端に荷重を載荷し、載荷試験を実施した(図 4. 1-14)。

具体的には、盛土上に 2.0 m×2.0 m×0.5 m の RC スラブを作り、1.6 t の敷鉄板を積み上げ、スラブ側面に設置した標尺を読み取り沈下量の計測を行った。この際、すべり破壊が生じ、敷き鉄板が崩れないように、H 形鋼にてフレームを組み、所定以上の沈下が生じた場合には、フレームが敷き鉄板を支える構造とし、安全対策とした。

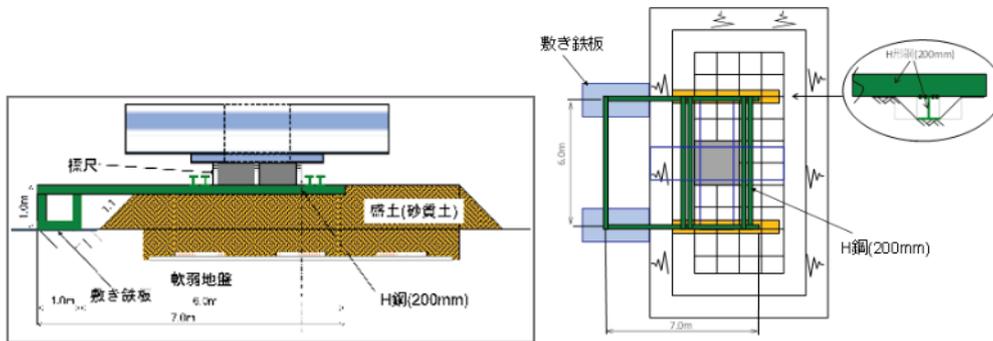


図 4.1-14 載荷試験の概要図

4.1.5 動態観測結果

(1)観測状況

動態観測の状況を写真 4. 1-1 に示す。沈下および水平変位量は、盛土天端および盛土周辺の測量杭により計測を行った。測量杭の配置、および杭番号を図 4. 1-15 に示す。盛土の縦断方向は、概ね東西を向いている。



写真 4.1-1 動態観測の観測状況

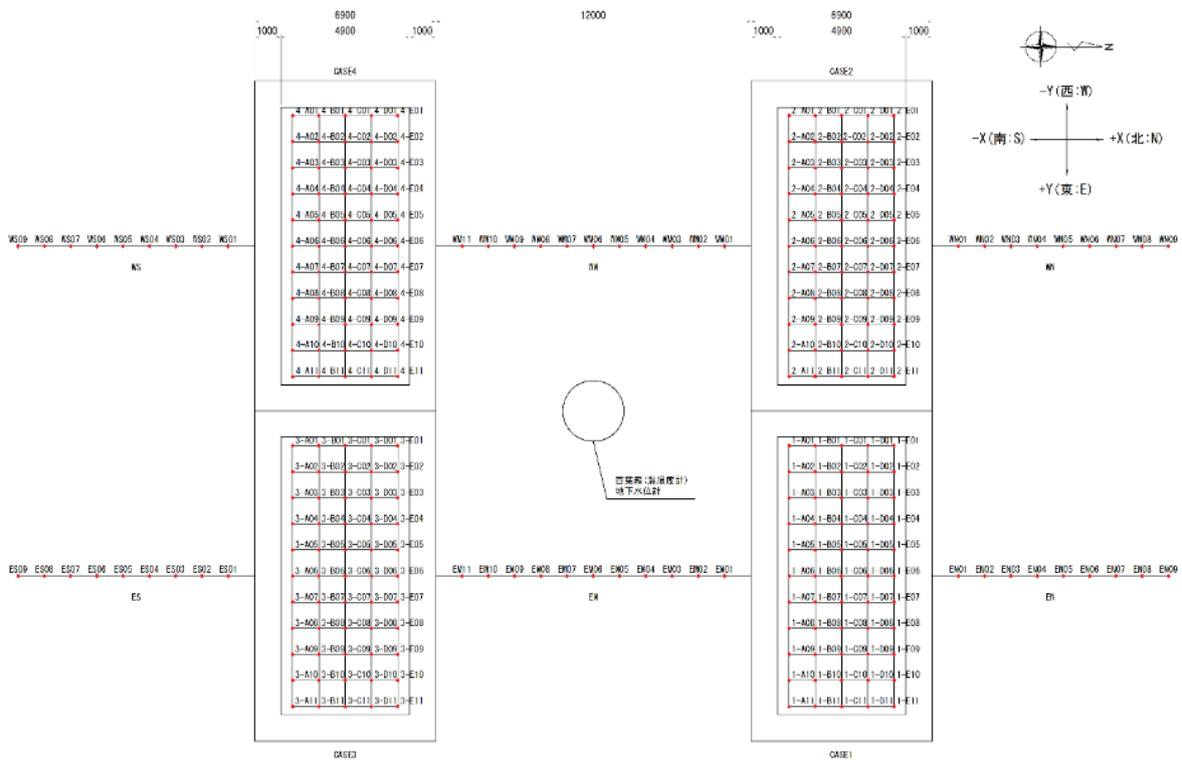


図 4.1-15 測量杭および杭番号平面図

(2) 盛土天端沈下量

図 4.1-16 に盛土天端の各代表点(A06、C06、E06)における沈下量の経時変化を示す。ここで、271 日目のデータは、敷き鉄板による載荷試験実施後の値である。一般的に CLT を敷設した地点の方が、無対策よりも沈下量が少ない傾向が認められた。しかし、部分的に無対策よりも CLT を敷設した方が大きな沈下量となっているところもあり、その差も当初予定よりもかなり小さい。また、トン袋を各盛土の中央付近に載荷(約 6t)したが、いずれのケースにおいても、沈下が顕著に盛土中央付近に集中するといった傾向は認められない。

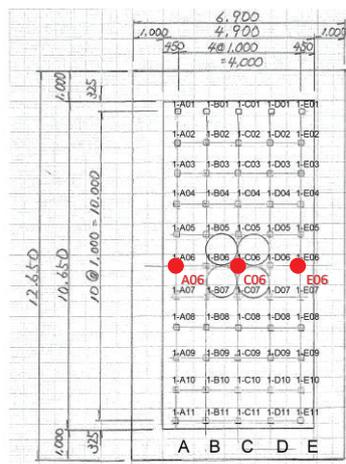
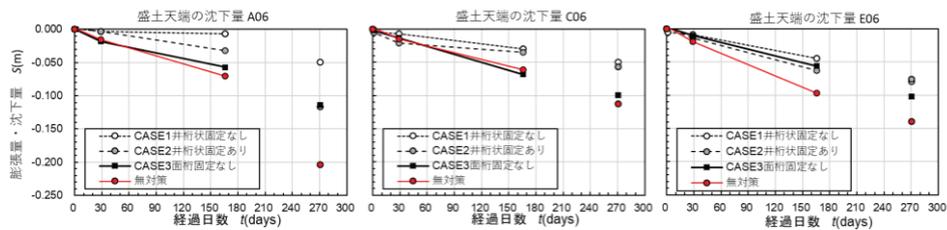


図 4.1-16 盛土天端 代表点における沈下量の経時変化

図 4.1-17～図 4.1-19 に盛土天端絶対沈下量(載荷直後・30 日後・166 日後)の 3 ケースを示す。

盛土天端絶対沈下量 22/11/11時点

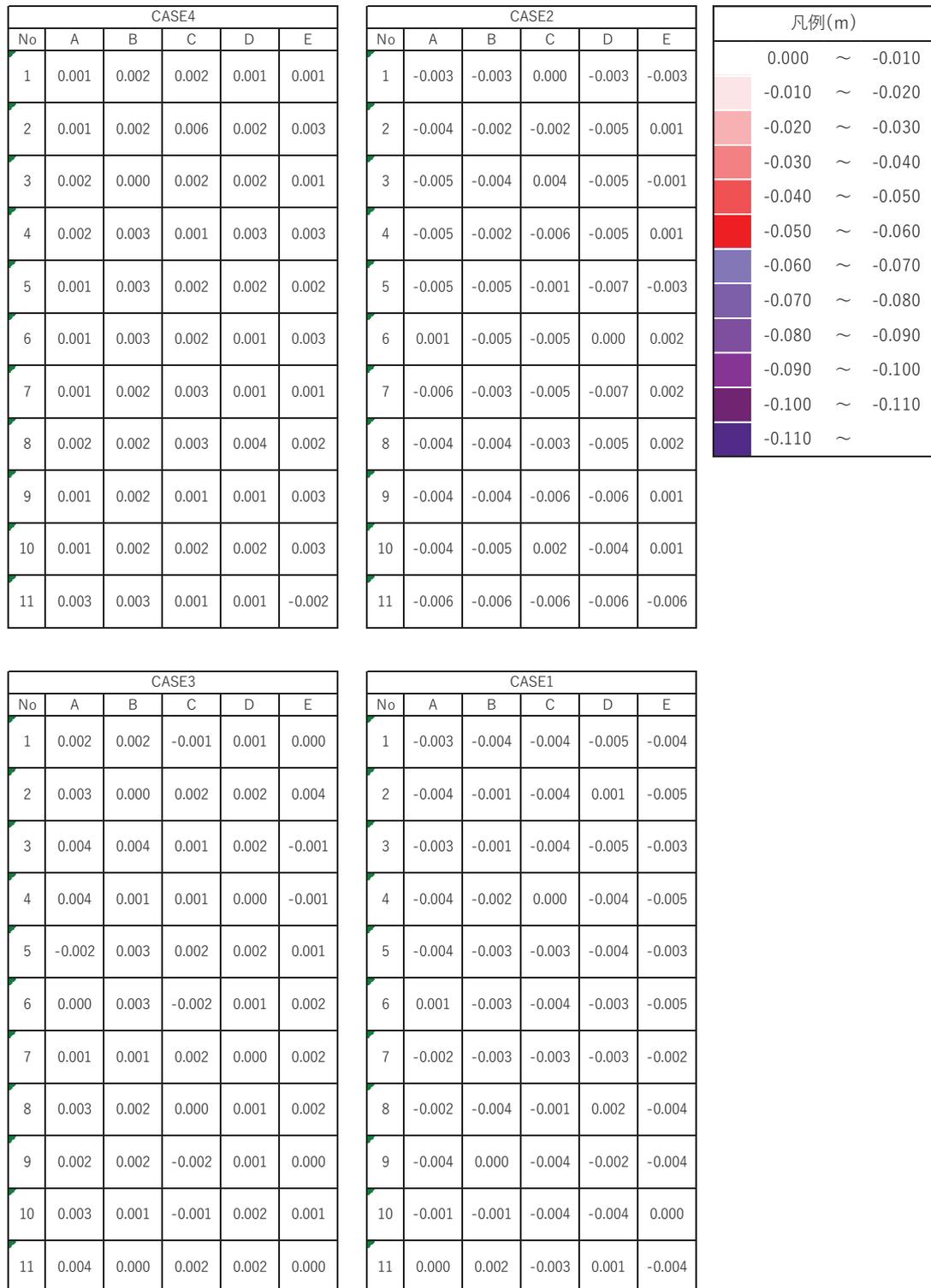


図 4.1-17 盛土天端 絶対沈下量(載荷直後)

盛土天端絶対沈下量 22/12/10時点

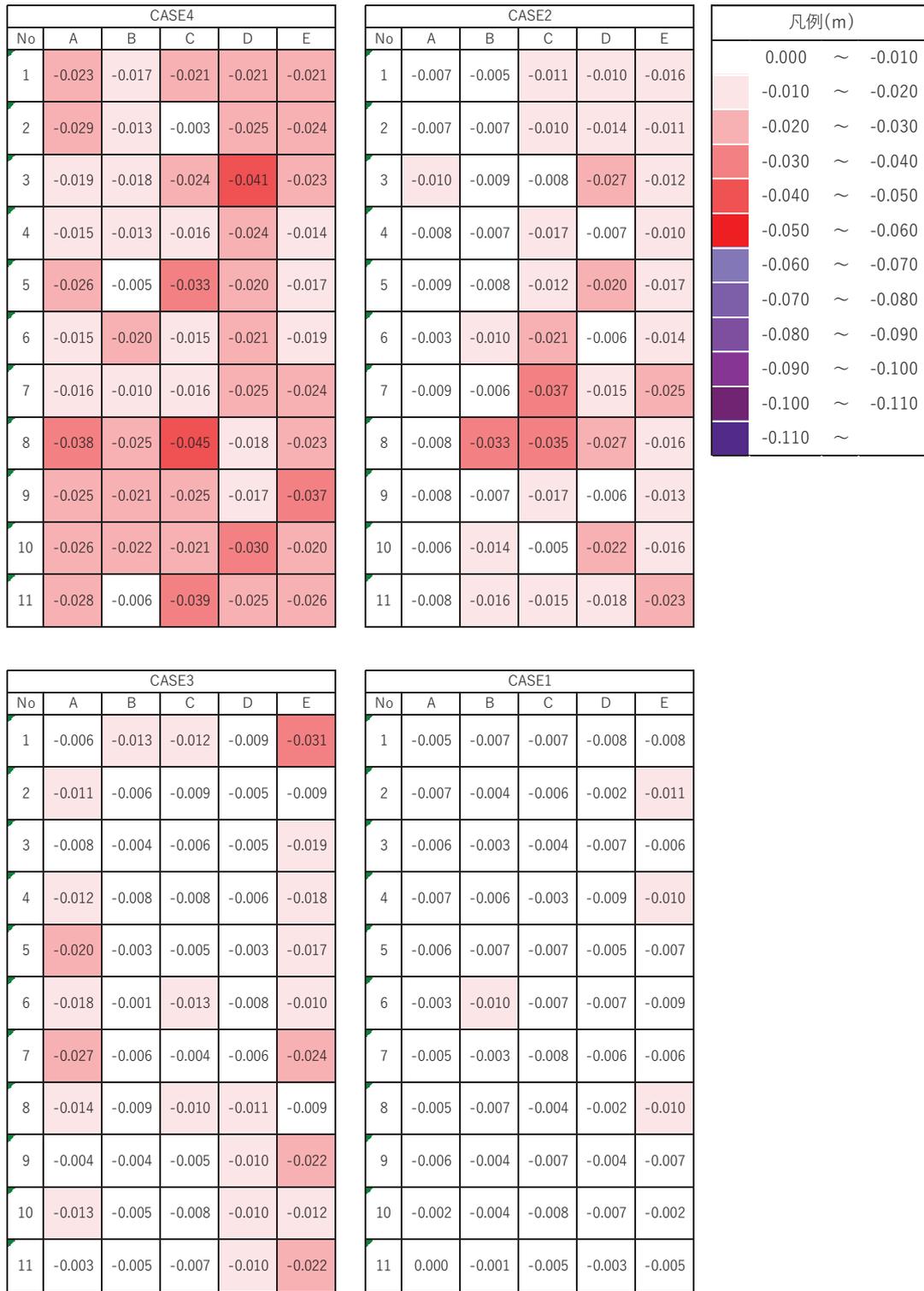


図 4.1-18 盛土天端 絶対沈下量(30日後)

盛土天端絶対沈下量 22/4/26時点

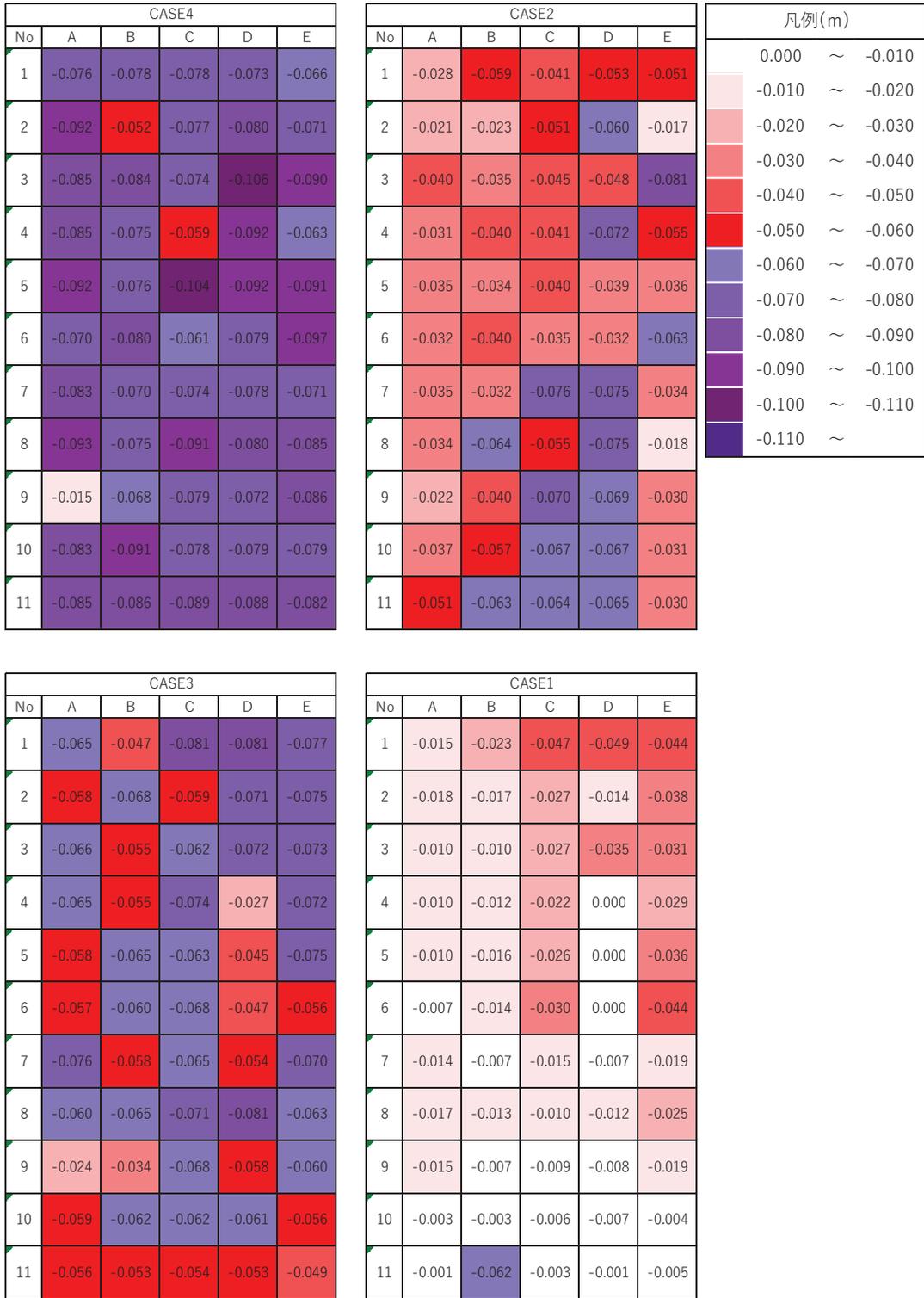


图 4.1-19 盛土天端 絶対沈下量(166 日後)

図 4. 1-20～図 4. 1-22 に盛土天端相対沈下量(不等沈下量)(載荷直後・30 日後・270 日後)の 3 ケースを示す。

盛土天端不動沈下量 22/11/11時点
(平均沈下量差分)

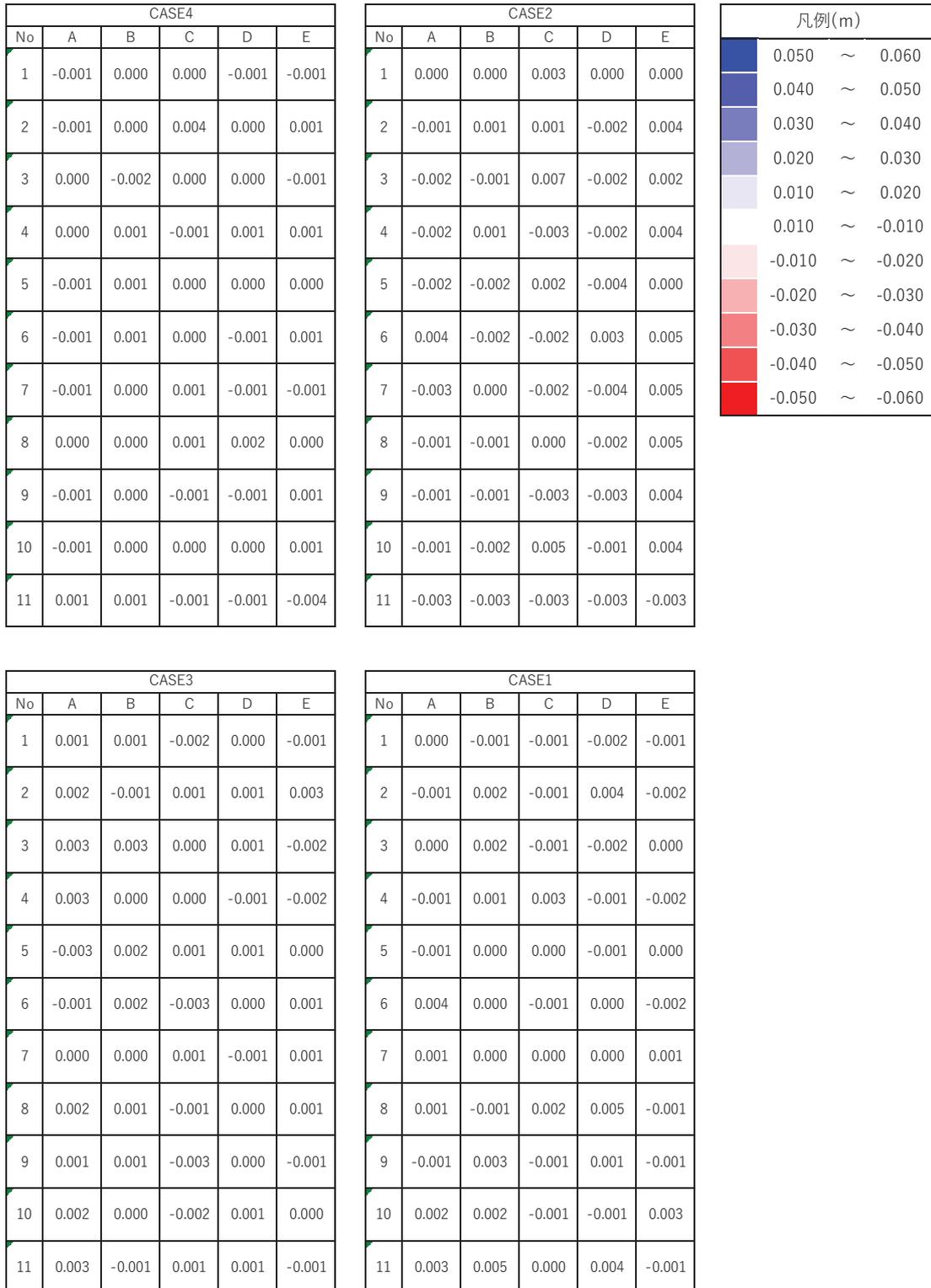


図 4.1-20 盛土天端 相対沈下量(不等沈下量)(載荷直後)

盛土天端不動沈下量 22/12/10時点
(平均沈下量差分)

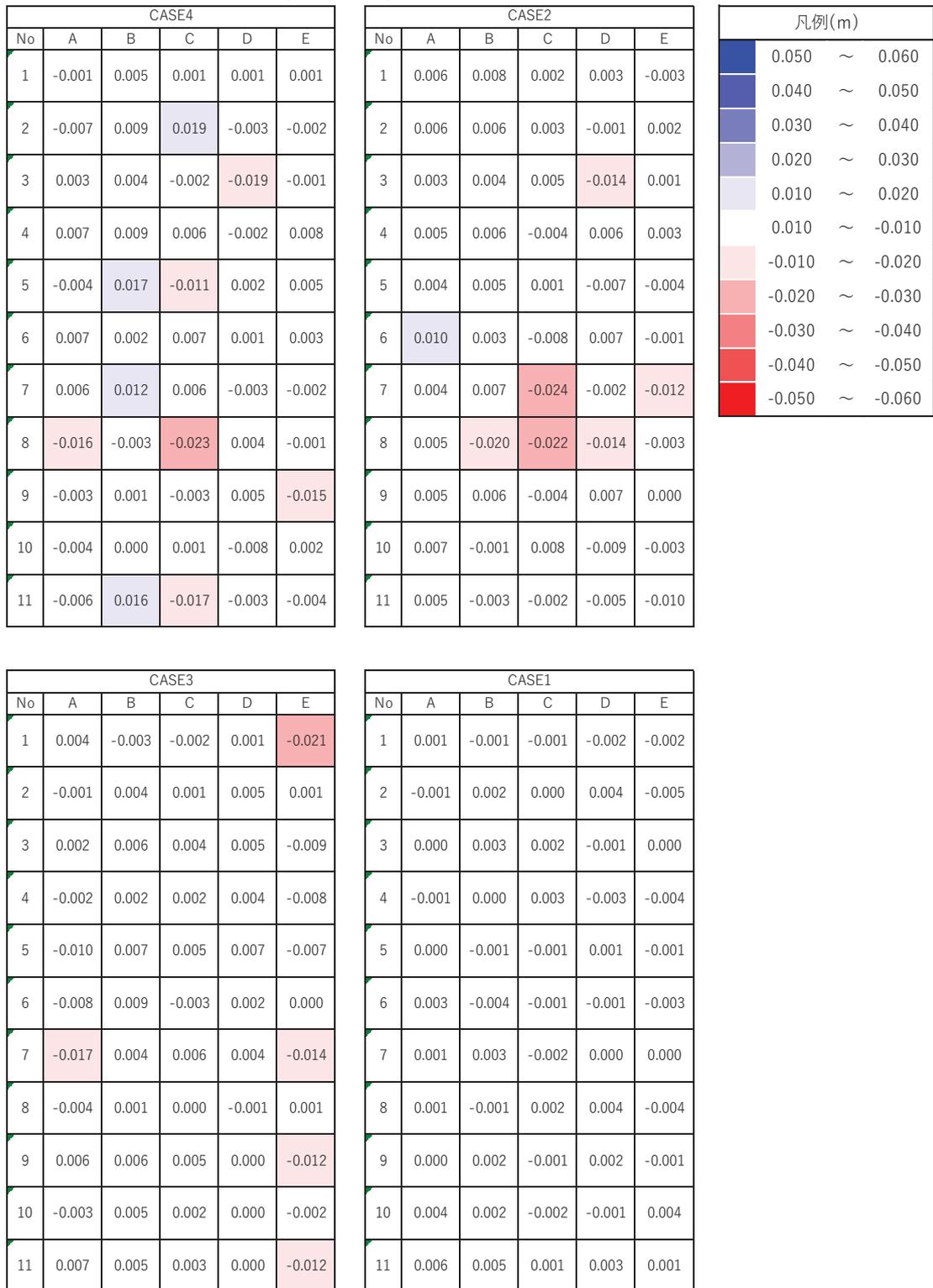


图 4.1-21 盛土天端 相对沈下量(不等沈下量)(30 日後)

盛土天端不動沈下量 22/4/26時点
(平均沈下量差分)

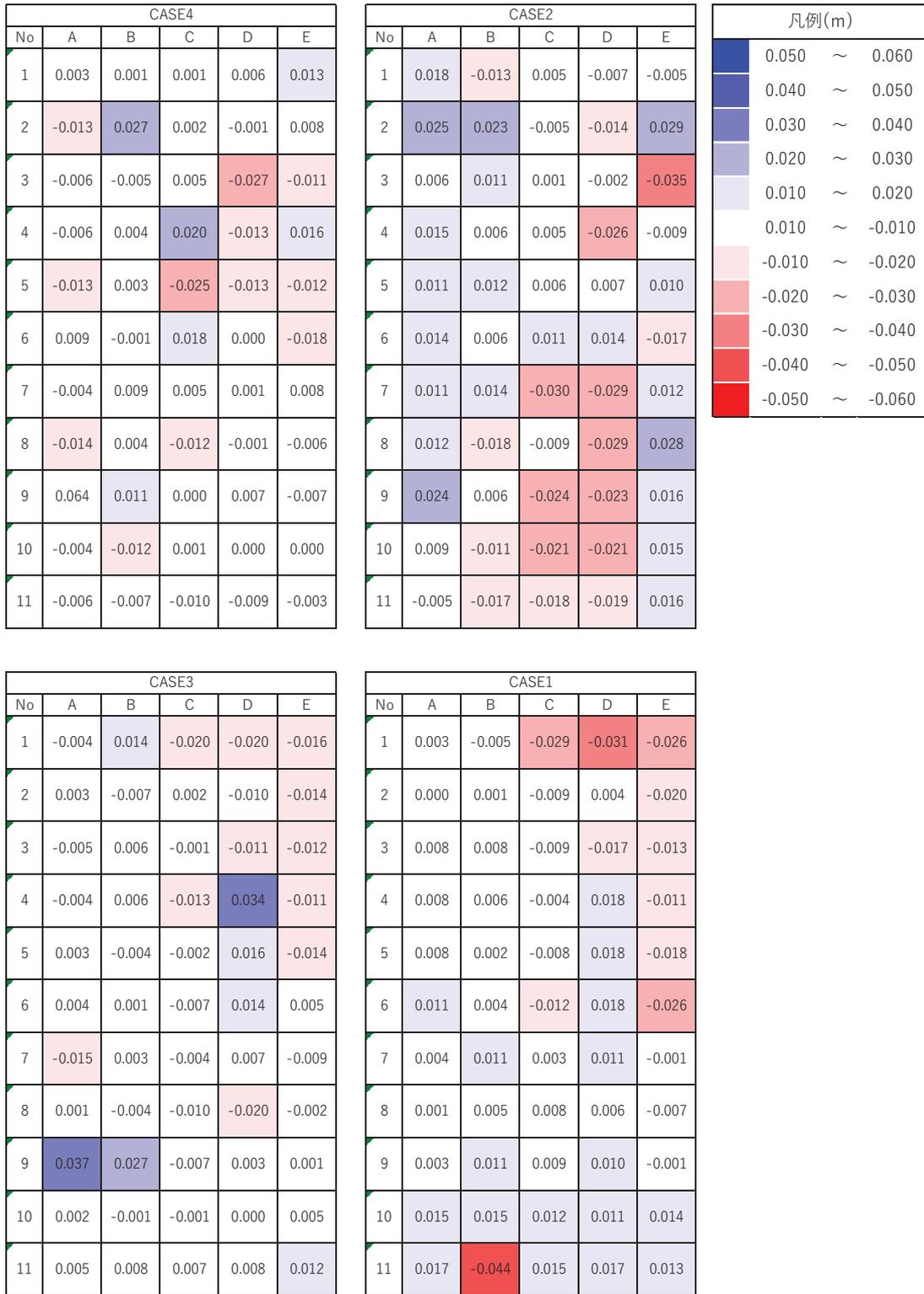


图 4.1-22 盛土天端相对沈下量(不等沈下量)(166 日後)

(3) 盛土天端変位量

図 4.1-23 に、盛土天端における変位図を示す。それぞれ凡例の最初の数字が CASE 番号である。CASE1 と CASE3 は下段と上段の CLT を特に止めていないが、他と比べて大きな変位が生じる傾向は、現段階では認められない。むしろ井桁状で固定がない CASE1 の変位量が小さい傾向がある。

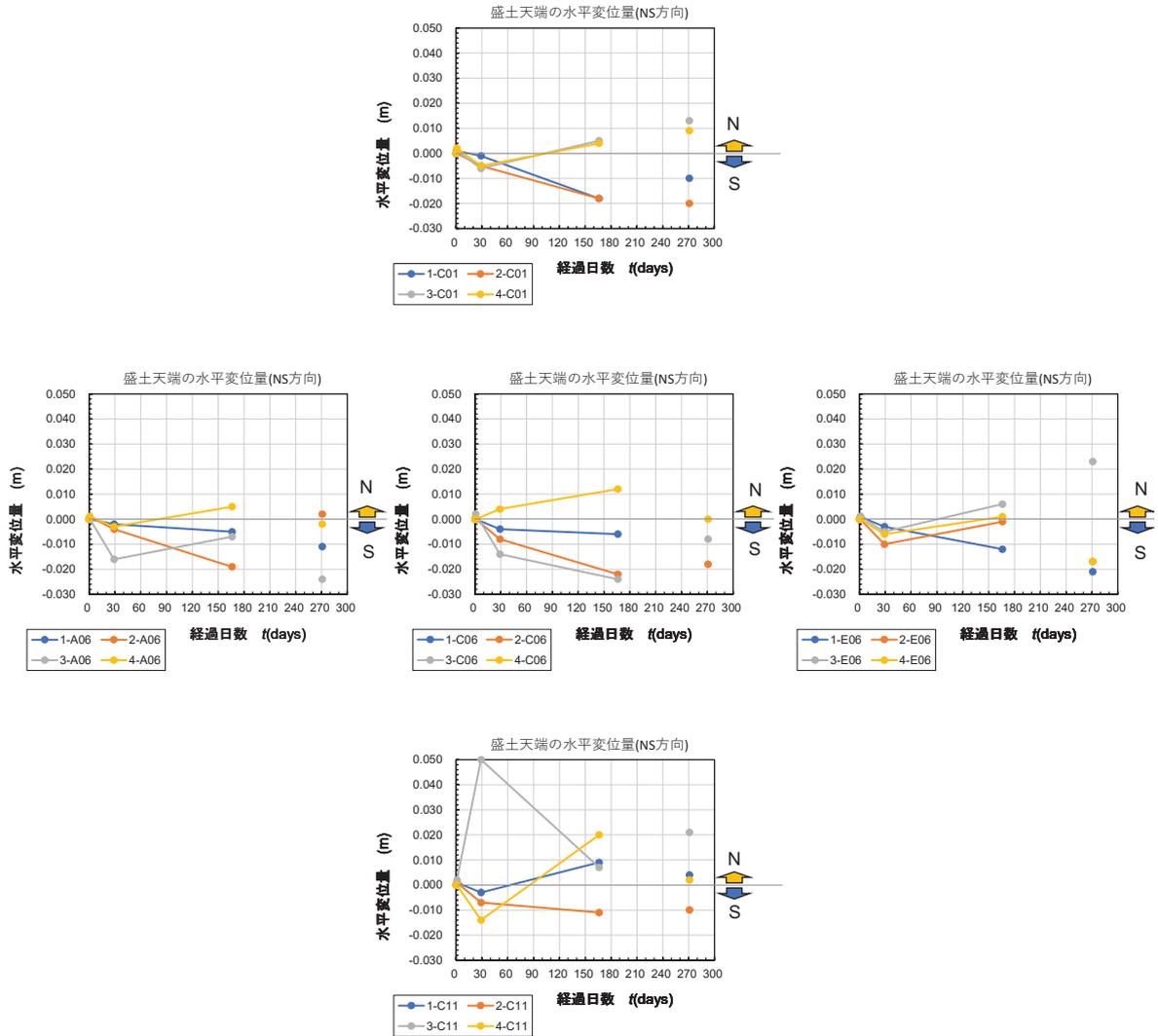


図 4.1-23 盛土天端の変位

(4) 周辺地盤沈下量

図 4.1-24 に盛土周囲地盤の代表点(EN01、EN05、EN09、EM01、EM06、EM11、ES01、ES05、ES09、WN01、WN04、WM01、WM06、WM11、WS01、WS05、WS09)における、沈下量の経時変化を示す。盛土から最も離れた地点における沈下量が小さい傾向が認められるが、盛土に最も近い地点の沈下量が最も大きいわけではなく、5 m 程度離れた地点における沈下量が最も大きくなる場合も認められる。

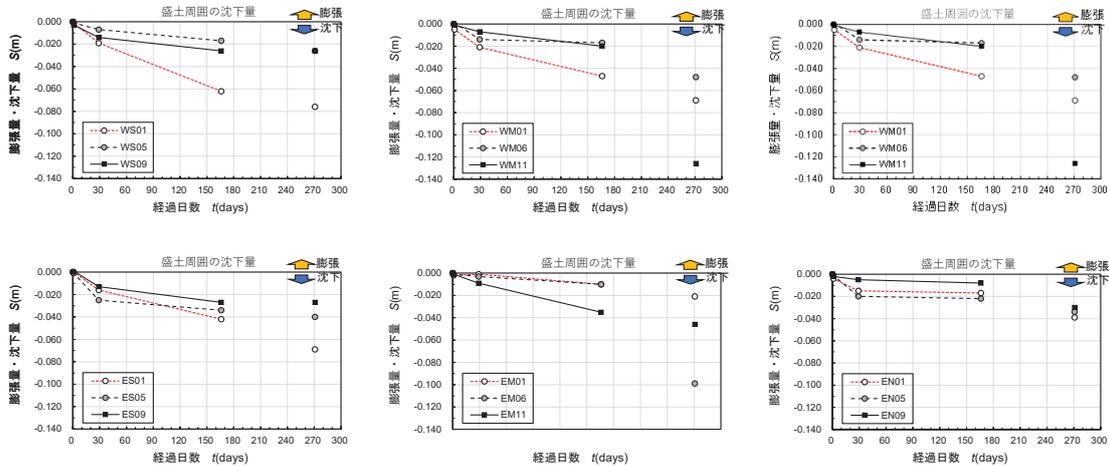


図 4.1-24 盛土周囲地盤の代表点における沈下量の経時変化

(5) 周辺地盤変位量

図 4.1-25 に盛土周辺地盤における変位図を示す。盛土の北側を含め、全体的にやや南側に変位している傾向が認められる。一方盛土近傍で大きな変位が発生するといった傾向は明瞭に認められない。

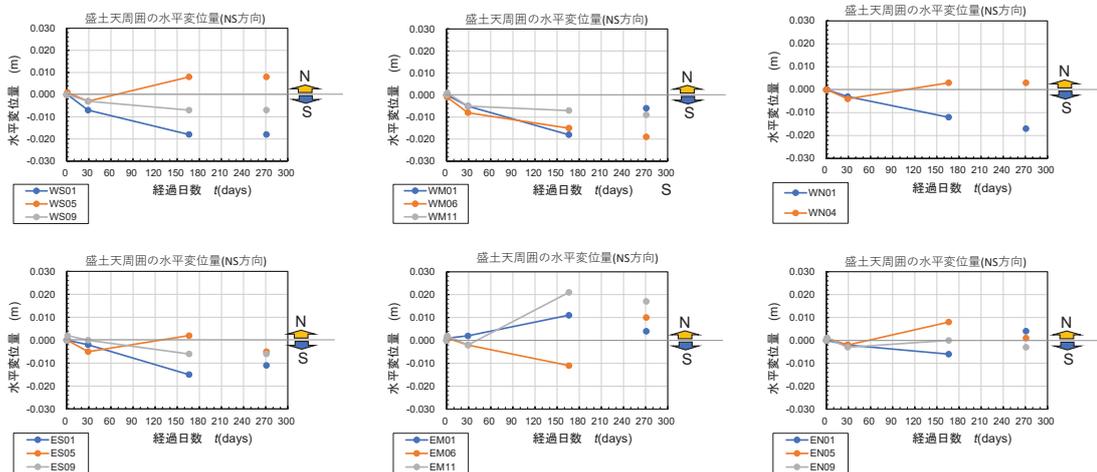


図 4.1-25 盛土周囲地盤の各点の変位図

4.1.6 載荷試験結果

(1) 載荷試験状況

載荷試験の状況を写真 4.1-2、写真 4.1-3 に示す。



写真 4.1-2 載荷状況



写真 4.1-3 最終荷重段階(1085.5kN、271.4kN/m²)

(2) 載荷試験結果

実証施工ならびに載荷試験から、以下の知見を得た。

載荷試験では、すべり破壊にまでいたらず、破壊前の沈下量(270 kN/m² 載荷時)は、沈下量の大きなものから無対策、前面、井桁(固定)、井桁(自由)となり、CLT を敷設したケースは無対策に比較し、沈下量が少なくなったが、全体的に沈下量は小さく、その差は当初予定よりかなり小さかった。沈下量が小さかった要因として、盛土の強度が予想以上に大きかったことが考えられる。また、沈下量は各ケース共に時間の経過とともに増加していることがわかる。(図 4.1-26、図 4.1-27)

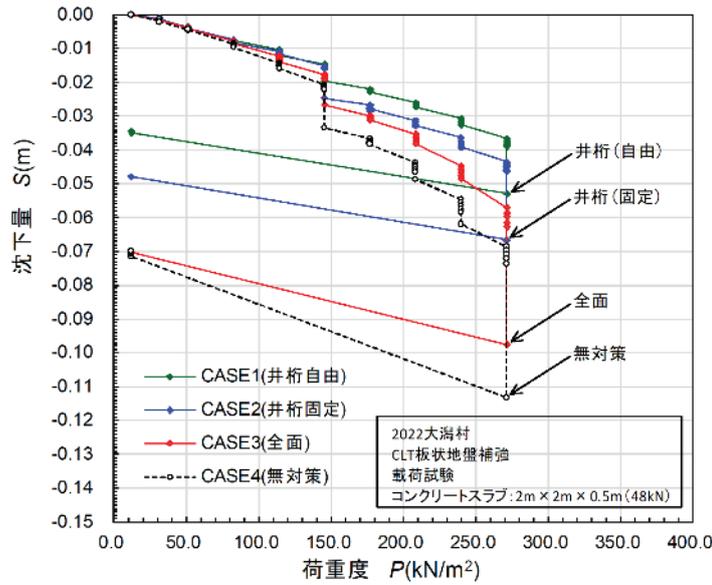


図 4.1-26 CLT 水平地盤補強 載荷試験結果(荷重と沈下量の関係)

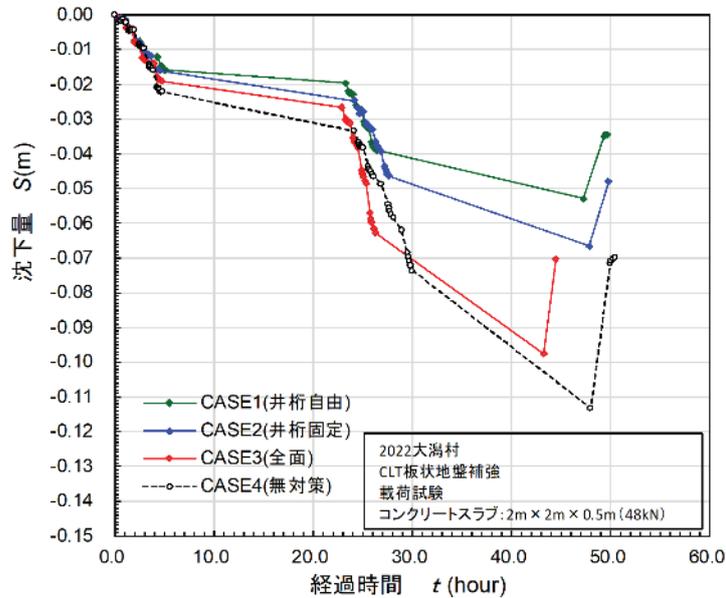


図 4.1-27 CLT 水平地盤補強 載荷試験結果(経過時間と沈下量の関係)

(3)円弧すべり計算

事前検討として、載荷試験に用いる荷重強度の算定を行うため、各ケースで円弧すべり検討を行い、安全率 $F_s=1.0$ となる荷重強度の算定を行った。円弧すべり検討に用いた地盤物性値を下記に示す。

- 原地盤(CLT の下方) γ =19.6 kN/m³, C=0 kN/m², ϕ 44°
- 盛土材(CLT の上方) γ =19.6 kN/m³, C=0 kN/m², ϕ 44° (現地盤と同等)
- CLT のせん断強さ τ =2.97 N/mm²(3層3プライ、Mx60の平均せん断強さ)

図 4.1-28、図 4.1-29 に検討結果を示す。

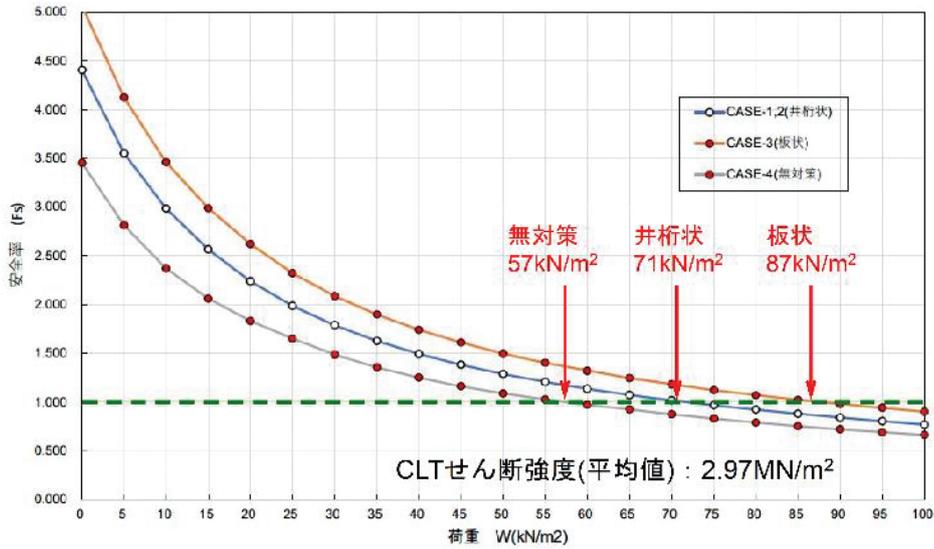


図 4.1-28 円弧すべり 検討結果(載荷荷重と安全率)

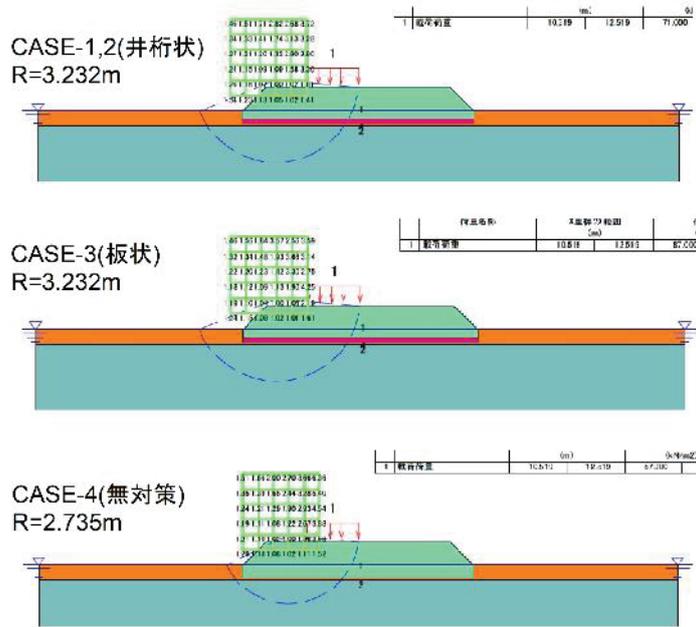


図 4.1-29 円弧すべり 検討結果(載荷荷重と安全率)

検討の結果、板状(87 kN/m²)、井桁状(71 kN/m²)、無対策(57 kN/m²)の結果が得られた、しかし、実際の载荷試験では载荷荷重 $q=270 \text{ kN/m}^2$ を载荷しても、すべり破壊に至らないことから、盛土の強度が予想以上に大きかったことが考えられる。そこで、盛土材に C(粘着力)を考慮し、载荷荷重 $q=270 \text{ kN/m}^2$ を载荷した場合の安全率 $F_s=1.0$ となる C(粘着力)を求める。図 4.1-30 に検討結果を示す。

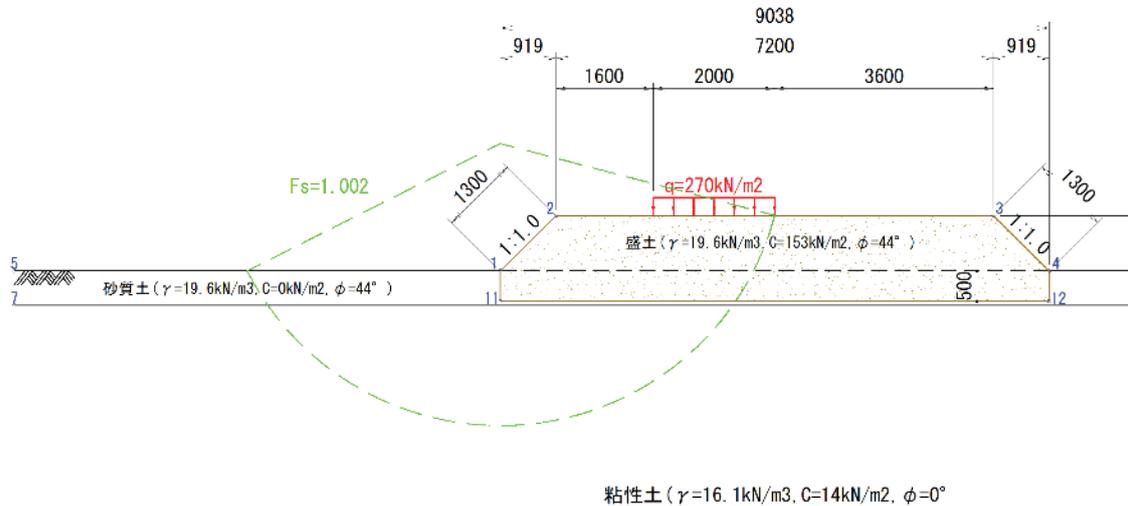


図 4.1-30 円弧すべり検討結果

4.1.7 検討結果のまとめ

以上より、CLT 水平地盤補強の実際の適用にあたっては、現段階では、安定性と不応沈下について CLT を使用することの明確な優位性の結論を得るに至っていないので、一般的な道路盛土など重要度の高い構造物への適応については、更なるデータの蓄積が必要であると考察される。

一方、トラフィカビリティを得られる、特殊な重機は不要、施工速度が速いといった優位性が得られており、撤去し現状復旧が必要である軟弱地盤上の博覧会、長期工事の仮設用道路盛土、さらには、恒久であっても急速施工を要する箇所、当面は、安定性検討や不同沈下の検討を必要としない箇所への適用が考えられる。

4.2 CLT プラットフォーム型利用工法の開発

4.2.1 CLT プラットフォーム開発成果の最終イメージ

主に鉄道におけるプラットフォーム床版を対象として、穴あき PC 版などの代替に CLT を敷設する(図 4.2-1)。CLT を使用することで、施工性の向上を図りコスト削減を目指す。また、鉄道・運輸機構のホームページ¹⁾で紹介されている地球温暖化対策等の環境に配慮した駅づくりで木材を使用することと合致し、材料代替省エネルギー効果と炭素貯蔵効果により気候変動緩和への貢献を合わせて目指す。



図 4.2-1 プラットフォームのイメージ

4.2.2 開発背景

今後、鉄道関連ではホームドアの新設などに伴い、多くのプラットフォームの改修工事が計画されている。現在、プラットフォームの床板は、現場打コンクリートのほか穴あき PC 板などが用いられ、重量が大きいと、制限の多い構内での施工にも関わらず大きな吊り上げ装置が必要となっている。一方、CLT は、既存プラットフォームの材料(コンクリート等)とほぼ同等の強度を有し、重量が小さいため、構内におけるプラットフォーム設置工事を大きな吊り上げ装置を使わずに容易に施工できる可能性があり、コスト削減にも繋げられる。

4.2.3 実験の目的

駅のプラットフォームを念頭に、CLT を屋外に設置し、以下の知見を得るため試験を開始した。

- ・CLT の固定方法による適正の観察、CLT の固定治具へのめり込み量と全体の変位量のデータ取得
- ・水処理方法による劣化度の観察
- ・CLT の設置およびアスファルト舗装の施工性と適用性の観察
- ・アスファルト舗装した CLT の耐久性と適用性の観察

4.2.4 実験概要

(1) 実施場所

実施場所は以下とする。

広島県総合技術研究所 林業技術センター 三次高平施設(広島県三次市十日市町 168-1:図 4.2-2 参照)

CLT 設置から測定期間中の温度・湿度を、実験場の温度、湿度データロガーによる計測結果は、図 4.2-23 に示す。降水・降雪の気象庁データ(三次観測所、最深積雪・降雪は大朝観測所のデータ)を図-4.2-3 に示す。

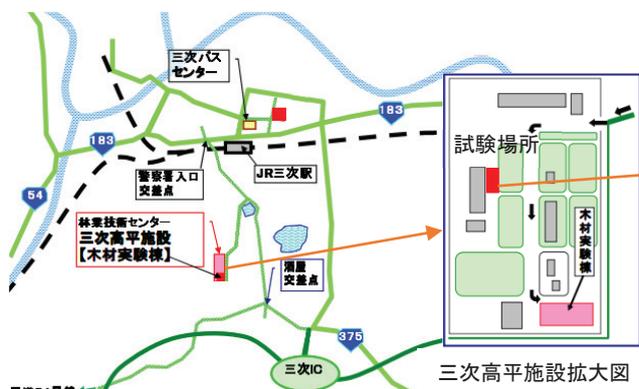


図 4.2-2 試験地概要

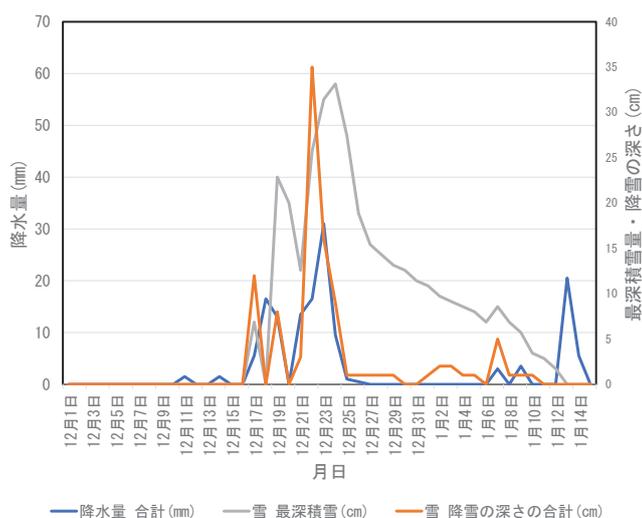


図 4.2-3 三次市気象記録(日降雨量:三次観測所、最深積雪・降雪の深さ:大朝観測所)
 最深積雪：1日の積雪深の値の中で最大の値、降雪の深さ：毎正時の降雪の深さを1日分合計した値¹⁾

(2)実験の全体フロー

実験の全体フローを図 4.2-4 に示す。

各段階の計画は、図 4.2.4 のカッコ内に示す項にて説明する。

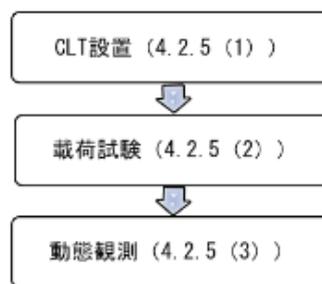


図 4.2-4 実験の全体フロー

(3)実験ケース

本実験の各ケースの水処理方法、固定方法を表 4.2-1 に示す。固定方法、水処理方法に使用した材料は(4)に、具体的な納まりは、4.2.5 に後述する。

試験体は、CLT の運搬効率を考慮して(車両幅からの考察で 2.3 m を単位として)、CLT の幅を 1.15 m とした。敷設は、2 架台に各 2 枚、計 4 枚を敷設した。

架台	板	水処理方法 (端面処理)	固定方法		
			支持金具	固定金具	座ぐり部 浸水防止
A	1	①無処理	a: 既存タイプ	ボルト	1.無処理
			b: 基礎パッキンタイプ	ボルト	
	2	②: 切り欠き	a: 既存タイプ	ボルト	3.モルタル充填
			b: 基礎パッキンタイプ	ボルト	
B	1	③:SUS 板(全面)	c: セメント凸凹プレートタイプ	Zクリップ+コーチスクリュー	/
			d: 塩ビ管タイプ	Zクリップ+コーチスクリュー	
	2	④: SUS (上端)	c: セメント凸凹プレートタイプ	Zクリップ+コーチスクリュー	
			d: 塩ビ管タイプ	Zクリップ+コーチスクリュー	

表 4.2-1 各実験ケースにおける固定方法

1) CLT と架台の固定方法

固定方法は、上面からの漏水や支持梁間の結露による劣化について、既存の工法である PC 板のボルト固定と同様の方法での固定方法を含めた以下の 4 タイプの固定方法を試み、劣化状況を確認する。

- ・A 架台西側 a タイプ : 支持梁と CLT にボルト穴を穿孔し、上面からボルトを貫通し締結・固定する。
- ・A 架台東側 b タイプ : a タイプの支持梁間の結露防止のため木造住宅の土台に用いる基礎パッキンを挟み込む。固定方法は、a タイプ同様ボルト固定する。
- ・B 架台西側 c タイプ : 支持梁間の結露防止のため、凸凹形状で CLT との接触面積を半分にし、通気性を高めた高靱性セメント(有機繊維混練)のセメント凸凹プレートを、支持梁と CLT の間に挟み、固定金具は、CLT 下面からのコーチスクリュー打ち込みとし、支持梁フランジに PC 板の固定で用いられている Z クリップを挟み込んで固定した。
- ・B 架台東側 d タイプ : 支持梁間の結露防止のため、CLT との接触面積を少なくして通気性を高め、かつ、熱伝導率が小さく、比熱が大きい塩ビ管を支持梁フランジ幅に配置して CLT の間に挟み、固定金具は、c タイプと同様のコーチスクリュー+Z クリップで固定した。

2) 水処理方法

上面からの落水による CLT の側面の劣化を評価するため、CLT の車両走行を想定した側面(南北面)に、以下の水切り処理を行った。

- ・A 架台に敷設した CLT の A-1 南端面:CLT の切断加工状態を無処理とし、落水がかかりやすい状態
- ・A 架台に敷設した CLT の A-2 北端面:逆勾配の切り CLT 端面全面を覆い落水を防ぎ、端面にはステンレスを密着させず結露防止を図った。
- ・B 架台に敷設した CLT の B-2 北端面:ステンレス板を CLT 端面上角部に張り出した水処理で、A-2 の CLT 上面隅角部で懸念される落水による浸漬防止を図った。

座ぐり部の浸水防止は、ボルト固定の A 架台 A-1,A-2 に以下の 4 方法で座ぐり部の劣化を比較する。

- ・無処理:座ぐりをした状態のまま、処理を行わない。
- ・木栓塞ぎ:ボルト座ぐり、ボルト穴への浸水抑止とアスファルトと亀裂抑制シートの陥没による損傷防止のため、座ぐり部のボルト頭までの厚さ分の杉板をはめ込み、木工ボンドで固定する。
- ・モルタル充填:PC 板の座ぐり部納まりと同様にモルタル詰めを行う。
- ・コーキング:窓枠等の漏水防止に用いられる変成シリコンコーキングを座ぐり部に充填する。

3) 共通事項

全てのケースにおいて、以下の事項を共通とする。

- ・駅のプラットフォームは、表面がアスファルト舗装され雨水が直接CLTにあたらず通気性が高く、かつ、裏面も被覆などされないが、雨水があたらず通気性が高いので、このような環境条件を再現した。
- ・CLT の東西側の端面はポリマーセメント塗布防水処理とし、東西側からの腐朽の影響がないように設定した。
- ・CLT 上面は、駅プラットフォームの表面仕上げ相当のアスファルト舗装(厚さ 7 cm)を全面に行った。
- ・架台の支持梁、固定金具は、鉄道工事で用いられる溶融亜鉛メッキ仕上げのものを用いた。

(4) 実験数量

1) CLT ・ 架台

CLT と架台については、以下とする。

- CLT : 2.3 m × 1.15 m × 0.15 m (Mx60, 5 層 5 プライ, スギ) 数量 4 枚
- 支持梁 : H 鋼 H-200 × 200 × 8 × 12 溶融亜鉛メッキ品 数量 4 本
- 倒れ止め : 等辺山形型鋼 L-50 × 50 × 6 錆止め塗装 電子計測支持梁兼用 数量 4 本
- 支持台 : コンクリートブロック(高さ 1,200 mm × 幅 750 mm × 奥行 600 mm) 数量 8 台

2) 支持金具

- a. 既存タイプ: 無

- b.基礎パッキンタイプ:基礎パッキン(城東テクノ(株)製 KP-L150 寸法:長さ 911 mm、幅 150 mm、厚さ 20 mm
材質:プレオレフィン樹脂+炭酸カルシウム) 数量2枚
- c.セメント凸凹プレートタイプ:セメント凸凹プレート(バルテクス(株)製 特注品 寸法:幅 200 mm、長さ 500 mm、
厚さ 20 mm(溝部幅 19 mm、深さ 5 mm、材質:高強度繊維補強コンクリート HS モルタル P10) 数量4枚
- d.塩ビ管タイプ:塩ビ管(VP16 外径 22mm 厚さ 2.7 mm 長さ 2.0
m)9本を硬質ポリ塩化ビニル管接合用 エスロン接着剤で管同士並列に接着 数量1枚

3)固定金具

- aタイプ用固定金具:六角ボルト M16(溶融亜鉛メッキ HDZ35 L=170 mm) 数量 8本
丸ワッシャー(メッキ HDZ-A t4.5 mm×φ 50 mm×φ 18 mm:座ぐり部) 数量 8枚
丸ワッシャー(メッキ HDZ-A t3.2 mm×φ 50 mm×φ 18 mm :H 鋼フランジ下面) 数量 8枚
緩み止めナット M16 数量 8個
- bタイプ用固定金具:六角ボルト M16(溶融亜鉛メッキ HDZ35 L=190 mm) 数量 8本
丸ワッシャー(メッキ HDZ-A t4.5 mm×φ 50 mm×φ 18 mm:座ぐり部) 数量 8枚
3)丸ワッシャー(メッキ HDZ-A t3.2 mm×φ 50 mm×φ 18 mm:H 鋼フランジ下面) 数量 8枚
緩み止めナット M16 数量 8個
- cタイプ、dタイプ用固定金具:Zクリップ(株)日東製 H-10 溶融亜鉛メッキ HDZT 49 幅 50 mm、厚さ 6 mm、
段差 10 mm L=170 mm 図 4.2-5) 数量 8枚×2タイプ 16枚
コーチスクリュー:3/8" L=150 mm 溶融亜鉛メッキ) 数量 8本×2タイプ 16本
高さ調整プレート(支持梁フランジ厚さ、支持金具厚さ補填用:2種類 1組)
Zクリップ用高さ調整プレート A(溶融亜鉛メッキ HDZT77(SS400)PL9-50 mm×55 mm 数量 8枚
Zクリップ用高さ調整プレート B(溶融亜鉛メッキ HDZT77(SS400)PL12-50 mm×55 mm 数量 8枚
- aタイプ、bタイプの座ぐり部浸水防止:
 - ①無処理:材料無
 - ②木栓塞ぎ:木栓(スギ) t=16 mm 数量2枚
酢酸ビニル樹脂系エマルジョン形接着剤 少量
 - ③モルタル充填:プレミックス無収縮モルタル(デンカ(株)製 プレタスコン TYPE-
1) 59 mL×2カ所 118 mL
 - ④コーキング:コニシ(株)製 変成シリコンシーラント BHS 59 mL×2カ所 118 mL

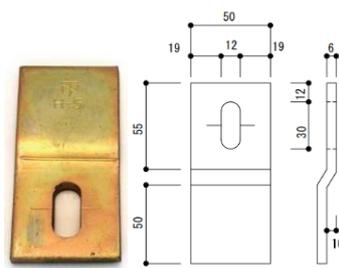


図 4.2-5 Zクリップ

4)アスファルト舗装

- アスファルト舗装:再生密粒度アスファルト混合物 AC13R:厚さ 70 mm
- 亀裂抑制シート:サミーシート(ニチレキ(株)製)
- 亀裂抑制シート用プライマー:カチコート MX(ニチレキ(株)製)

(5)配置

CLT の配置を図 4.2-6 に示す。

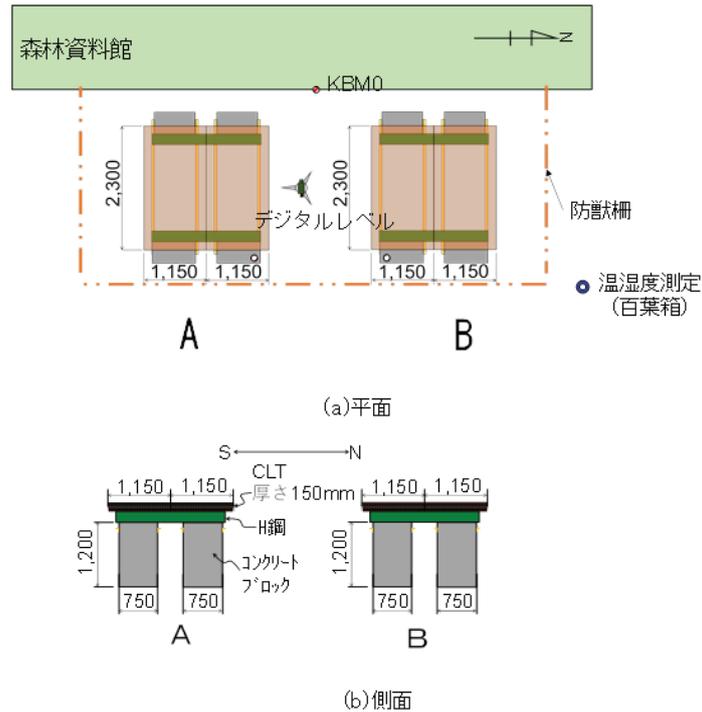


図 4.2-6 CLT 配置図

(6)実施概略工程及び全体工程

令和 4(2022)年度の実施工程(表 4. 2-2) 、ならびにプラットフォーム開発の全体工程(表 4. 2-3) を以下に示す。

表 4.2-2 令和 4(2022)年度実施工程

実施項目	期 間
CLT 架台設置	2022 年 11 月 19 日～12 月 25 日
CLT 到着	2022 年 11 月 29 日
CLT ボルト穴穿孔・水切り取付	2022 年 11 月 29 日
CLT 設置・アスファルト舗装・東西端面塗布防水	2022 年 11 月 30 日
載荷試験 (載荷、載荷後 24 時間存置、除荷、除荷後 24 時間存置)	2022 年 12 月 7 日～12 月 9 日
動態観測 (日程は以下に示す)	2022 年 12 月 15 日～2023 年 1 月 20 日
動態観測日程：載荷後 1 週間目 (12/15)、2 週間目 (12/22)、3 週間目 (12/28)、4 週間目 (1 ヶ月目：1/5)、6 週間後 (1.5 ヶ月目：1/20)、8 週間後 (2 ヶ月目：2/2)、(観測予定 4 ヶ月目)	

表 4.2-3 全体工程表²⁾

実施内容	2021 年度	2022 年度	2023 年度	2024 年度	2025 年度
アイデア出し	←→				
プラットフォーム屋外設置 劣化、水処理データ取得開始		←→			
要素試験・力学試験			←→		
設計法、他工法比較			←→		
実証施工 (実構造物への適用)				←→	
第三者評価				←→	

4.2.5 実験手順と方法

(1)実験手順:

実施工程(表 4.2-2)に記載の通り、以下の項目の(1)CLT 設置(架台設置、CLT 設置)、(2)載荷試験(載荷、載荷後 24 時間存置、除荷、除荷後 24 時間存置)、(3)動態観測(載荷後 1 週間目、2 週間目、3 週間目、4 週間目(1 ヶ月目)、6 週間後(1.5 ヶ月目)、(観測予定 2 ヶ月目、4 ヶ月目))で行う。

(2)CLT の設置 (仕様、設計)

CLT 設置(平面、立面・正面、立面・側面)を図 4.2-7~9、固定方法及び舗装(断面、固定金具配置、ボルト座ぐり詳細)を図 4.2-10~12、水処理(端面処理詳細、平面配置)を図 4.2-13、14、使用機材を表 4.2-4 に示す。

- CLT 設置で作業性について、CLT 敷設、ボルト固定と Z クリップ+コーチスクリュー固定の比較、座ぐり処理を確認した。
- 駅プラットフォーム床のアスファルト舗装を CLT に施工するにあたり北海道大学 教授 佐々木貴信様からのヒアリング結果を参考にして施工した。

表 4.2-4 設置機材

作業区分	機材種類	メーカー名	型式
CLT 揚重	フォークリフト	(株)小松製作所	FD30
アスファルト揚重	バックホウ	(株)クボタ	U40-6 キャノピー仕様
アスファルト転圧	プレートコンパクター	三笠産業(株)	MVC-75H
アスファルト転圧	ハンドガイドローラー	酒井重工業(株)	HV61ST

(3)CLT 設置手順

1)架台設置

架台は、コンクリートブロック 8 個を試験場所(森林資料館前)のアスファルト舗装上の定位置に設置し、支持梁をコンクリートアンカーで固定した。

2)CLT ボルト穴穿孔、水切り取付

A-1、2CLT は、広島県林業技術センター木材実験棟内でボルト孔(φ 18 貫通)穿孔とボルト座ぐり(深さ 30mm、直径 50mm)を行った。

B-1、2CLT はステンレス板水切りの取付を行った。

3)CLT 敷設

CLT の敷設(写真 4.2-1)は、CLT をフォークリフトで木材実験棟から試験場所まで運搬し、実験場所にて CLT 吊り上げ金具を CLTA-1~B-2 にコーチスクリューで取付け、フォークリフトの爪にナイロンスリング 2 本を架けて揚重し、架台の支持梁上に設置した。

4)CLT 固定

CLT 敷設後、固定方法 A-1 は、CLT 穿孔部にボルトを入れ、西側支持梁とボルト穴位置合わせを行い、上下に 1 人ずつ配置し、固定して座ぐり部の処理(1 は無処理、2 は木栓塞ぎ)を行った。

固定方法 A-2 は、東側支持梁と CLT の間に基礎パッキンを挟み込み、ボルトで固定して座ぐり部の処理(3 はモルタル充填、4 はコーキング)を行った。

固定方法 B-1 は、西側支持梁と CLT 間にセメント凸凹プレートを挟み込み、Z クリップ+コーチスクリューで固定した。コーチスクリューは CLT 下面に 1 名、金具抑え 1 名の計 2 名で施工した。

固定方法 B-2 は、東側支持梁と CLT の間に並列に接着連結した塩ビ管 9 本支持梁上に敷いて挟み込み、ボルトで固定した。

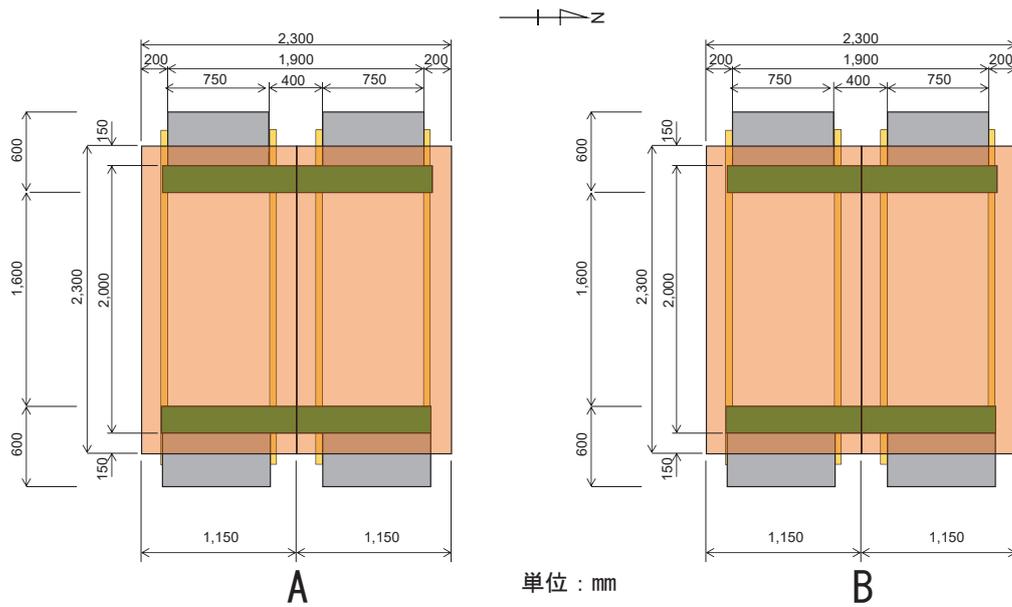


図 4.2-7 CLT 平面図

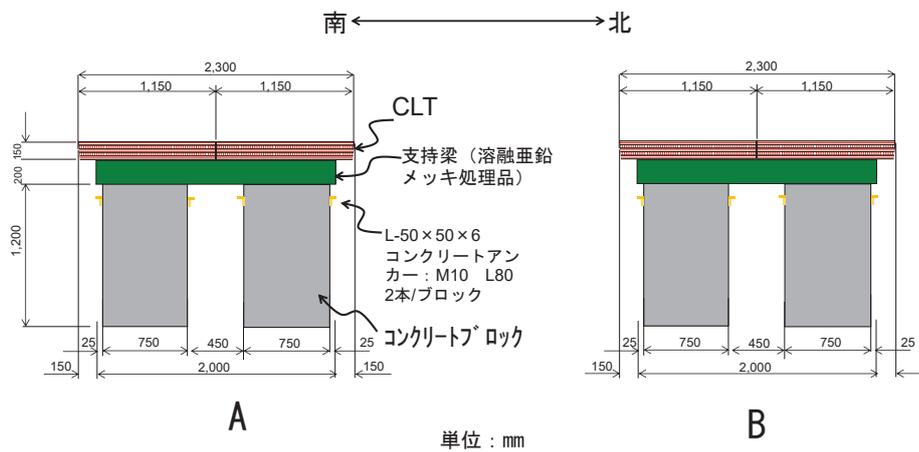


図 4.2-8 CLT 立面図(正面)

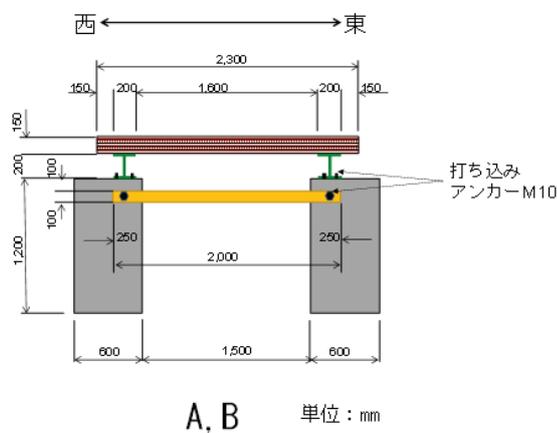


図 4.2-9 CLT 立面図(側面)

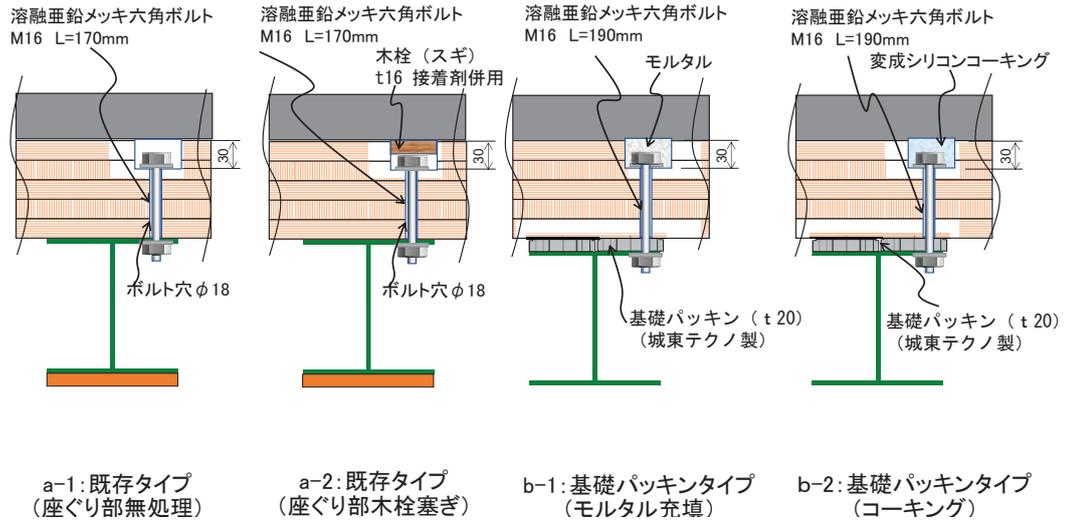


図 4.2-12 ボルト座ぐり部詳細図

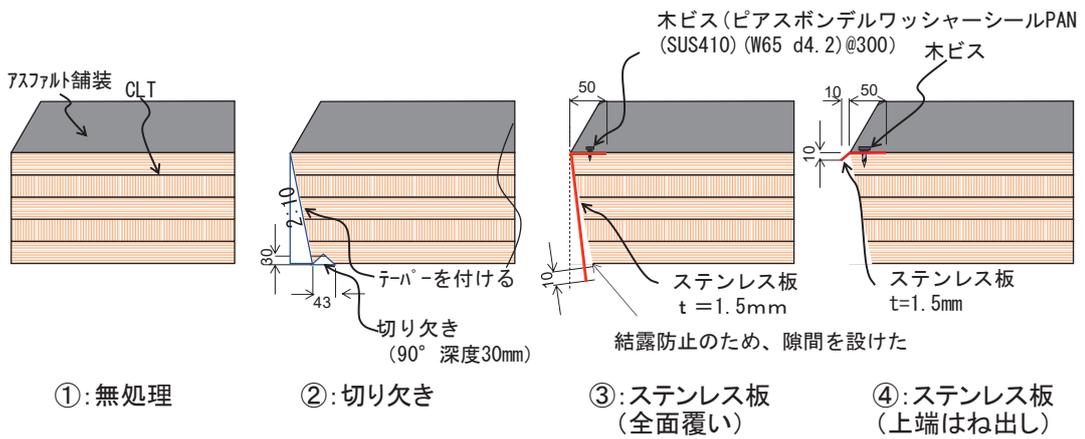


図 4.2-13 水処理端面処理詳細図

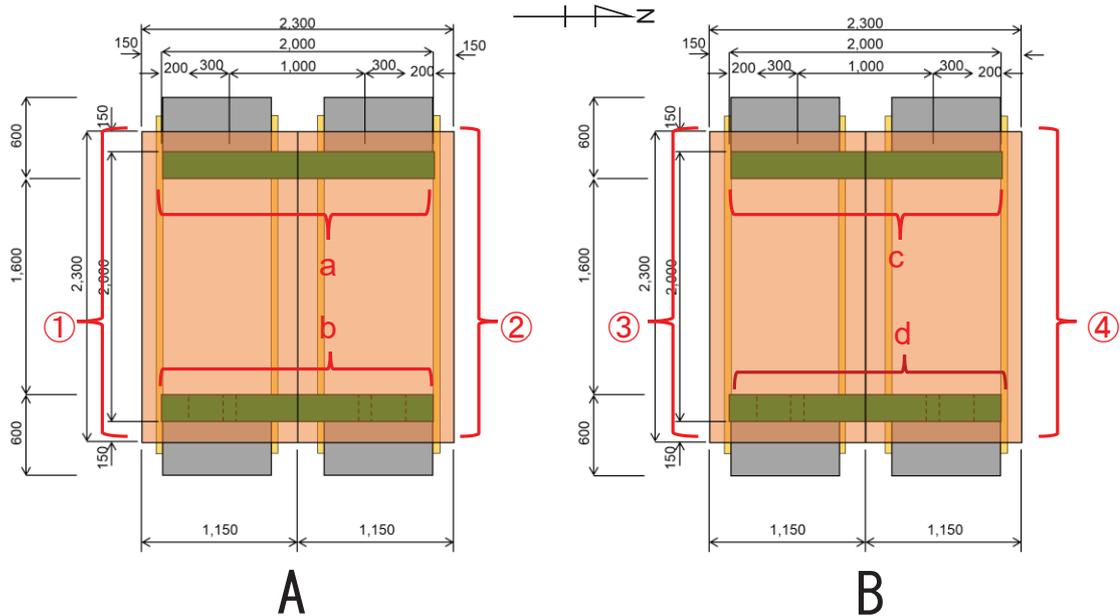


図 4.2-14 水処理・固定方法平面配置図

(2) 載荷試験

1) 目的

載荷試験の目的は、CLT の時間経過による変形量の把握、ならびに各 CLT 固定法による劣化にともなう CLT へのめり込み量の把握とする。

2) 試験実施日程

年に 2 回(5 月、11 月)の実施とし、本年度は 1 回(12 月 7～9 日)のみ、実施した。

3) 載荷荷重

群衆荷重(鉄道構造物等設計標準・同解説-コンクリート構造物—H16/4 鉄道総合技術研究所(編集)、国土交通省鉄道局(監修))を参考に、載荷荷重(図 4.2-15、4.2-16)を計算した。

載荷荷重 : 載荷 $0 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow 10 \text{ kN/m}^2$ 、除荷 $10 \text{ kN/m}^2 \Rightarrow 0 \text{ kN/m}^2$

4) 載荷除荷試験手順

載荷除荷試験は、以下の手順で進めた。

- ① 660 kg の大型土嚢(以下、フレコン)を 16 袋準備し、各袋の質量を計測する。
($6.6 \text{ kN} \times 8 \text{ 袋} / (2.3 \text{ m} \times 2.3 \text{ m}) = 10 \text{ kN/m}^2$)
- ② 各袋の質量は 658 kg～661 kg のため、同一質量として載荷では区別せず使用する。
- ③ 電子測定用のデータロガー・変位計をセットする。(図 4.2-17、4.2-18)
- ④ 載荷前の初期値を電子計測とは別にレベル計測した上で、変位計のゼロ点を設定し、電子測定を開始する。
(計測頻度 1 回/分)
- ⑤ A 架台、B 架台に各 8 袋(2 段積、計 16 袋)のフレコンをクレーンで揚重し、載荷する。(図 4.2-15、4.2-16)
- ⑥ 電子計測(計測頻度 1 回/分)は継続したまま、載荷直後の変形量をレベル測定する。
- ⑦ 載荷前、載荷中、載荷後～24 時間後を、電子計測で変位計測する。
(載荷直後～0.5 時間(計測頻度 1 回/1 分)、～1.5 時間(1 回/10 分)、～24 時間(1 回/60 分)、以降 24 時間毎)
- ⑧ 載荷後変位量の最終値をレベル計測する。
- ⑨ 載荷したフレコンをクレーンで揚重し、除荷する。
- ⑩ 除荷前、除荷中、除荷後～24 時間後を、電子計測で変位計測する。
(除荷後～0.5hr(計測頻度 1 回/1 分)、～1.5 時間(1 回/10 分)、～24 時間(1 回/60 分)、以降 24 時間毎)
- ⑪ 除荷直後の変位量をレベル計測する。

⑫電子計測で用いたデータロガー、および変位計を取り外す。

5)測定機器

測定機器は、以下を用いた。

電子計測

データロガー:TDS-150((株)東京測器研究所製) 数量1 台

チャンネルユニット FSW-10((株)東京測器研究所製) 数量3 台

変位計:高感度変位計 CDP-50((株)東京測器研究所製:測定範囲 0~50 mm) 数量24 本

マグネットスタンド・延長ケーブル 数量24 組

レベル計測

デジタルレベル:SDL30((株)ソキア製) 数量1 台

バーコードスケール:RAB コードスケール BSS30((株)ソキア製) 数量1 本

6)揚重機

クレーンは、トラッククレーン TS-75M((株)タダノ:定格総荷重 4.9 t×3.5 m)を用いた。

(3)動態観測

1)目視観察

観察頻度は年に2回(5月, 11月(載荷試験前))とする。ただし、本年度は、1回(11月, 載荷試験前)の実施とした。観察時に写真撮影を行い、撮影箇所は固定部、アスファルト表面、CLT 裏面、CLT 側面(4辺)とする。

2)長期変形量計測

計測頻度は年に2回(5月, 11月)とする。ただし、本年度は、載荷試験前、および、載荷後1週間目、2週間目、3週間目、1ヶ月後(4週間目)、1.5か月後(6週間)、2ヶ月後、4ヶ月後とした。

計測方法は、デジタルレベル・バーコードスケールによる計測(以下、レベル計測)とし、デジタルレベルで計測不可の場合、目視によるレベルの目盛り読み取り測定を併用する。

3)測定機器

測定機器は、以下とする。

デジタルレベル:SDL30((株)ソキア製) 数量1 台

バーコードスケール:RAB コードスケール BSS30((株)ソキア製) 数量1 本

(4) 気象観測

観測項目は温度、湿度とし、頻度は1時間に1回とする。計測は電子計測とし、以下の機材を用いる。

温度・湿度計測器:おんどとり TR-73U(T&D 製)

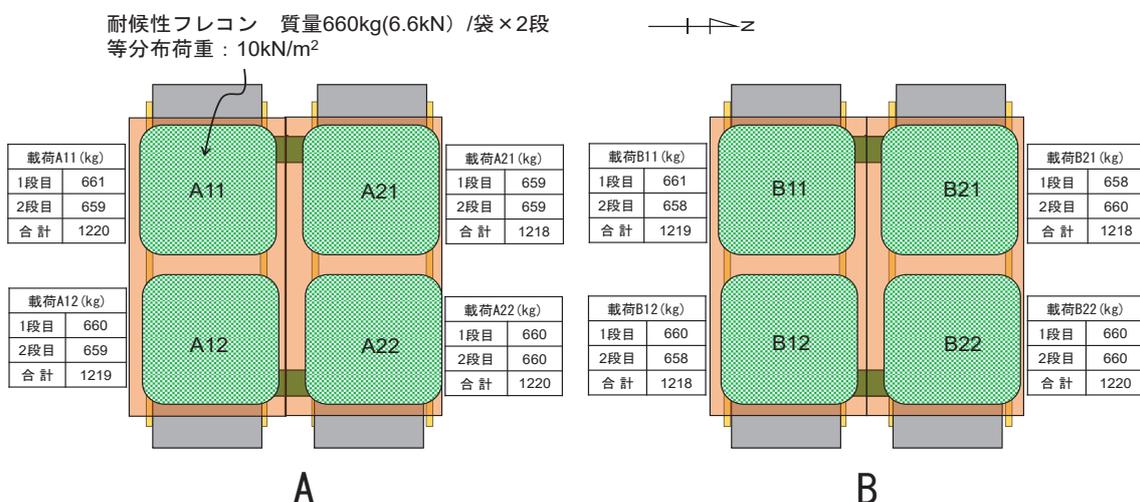


図 4.2-15 載荷平面図

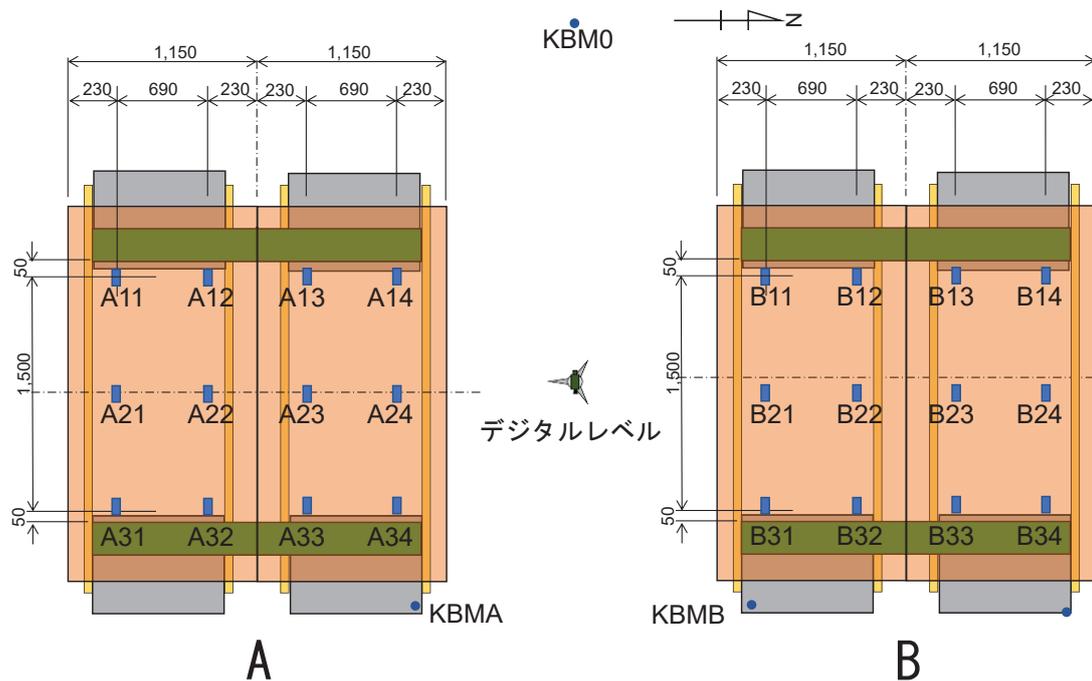


図 4.2-18 変位計測点位置と番号の平面図

4.2.6 プラットフォームの施工状況

(1) CLT 敷設の施工性

CLT 敷設の施工状況を写真 4.2-1 に示す。CLT 吊り上げは、軽量なためにフォークリフトでの設置が可能で、支持金具は CLT 設置後にフォークリフトの爪で押し上げて差し込むことで位置合わせが容易であった。

(2) 支持金具の施工性

支持金具の施工性については、以下のとおりの結果となったが、比較的、基礎パッキンが施工しやすかった。

- 既存タイプは直付けでありボルトを通す場所がわかりやすい。
- 基礎パッキンタイプは、基礎パッキンがボルトを通す部分が広く空いているためボルトが通しやすい。
- セメント凸凹プレートタイプは、有機繊維の練り込まれた高靱性セメント製品であるが、落下等による破損の不安があり、運搬等に手間取った。
- 塩ビ管タイプは市販の塩ビ管を並列に接着剤で製作したもので、運搬で接着剥れによる破損が懸念され、運搬に手間取った。
- セメント凸凹プレートタイプ、塩ビ管タイプは試作のため、ボルト穴を設けていないため、Z クリップ+コーチスクリューによる固定を行ったが、固定作業については、以下の固定具の施工性に記載した。

(3) 固定金具の施工性

固定金具の施工性は以下に記載のとおり、Z クリップ+コーチスクリューによる固定方法が、上向きの打ち込み作業と金具を支える作業になるため、作業のしやすさを重視した改善が必要である。また、舗装振動によると思われる CLT 水平移動を抑止することが必要であるが JR の工事では上向き溶接作業が認められていないことから、Z クリップを支持梁に直接溶接する作業を行う事が出来ず、溶接以外の滑り止め対策が必要である。その他、施工性に関して得られたおもな内容を以下に示す。

- ボルトによる固定は上面でのボルト押しさえとフランジ下面での上向きのナット締め付けのため 2 人工必要である。
- H 形鋼フランジ下からのナット締め付けのため、フランジ間で使える締結機器(トルクレンチ等)での作業となり、機材が限定される。

- Zクリップ+コーチスクリューは下面からコーチスクリューを上向き打ち込みになり、ハンマードリルを押し付けながらの作業のため、Zクリップ;厚さ調整プレートの位置保持とコーチスクリュー打ち込みの2人工が必要であった。
- ボルト固定では、CLTの設置でボルト位置合わせに時間がかかるが、Zクリップ+コーチスクリューは後から敷設後の締結のため、位置決めの手間は少ない。
- アスファルト舗装の振動でZクリップ+コーチスクリューのCLTB-1、2は水平方向に数mmのずれが生じた。ボルトによる固定では、ずれが生じなかった。Zクリップ+コーチスクリューの固定方法では支持梁フランジと金具の摩擦でのみ固定されており、溶接等の滑り止め対策が必要である。



写真 4.2-1 CLT 設置状況

4.2.7 載荷試験結果

(1)電子計測による変位

電子計測による計測結果を図 4.2-19 に示す。変位測定状況(電子計測、レベル計測)を写真 4.2-2 に示す。CLT 板の中央部平均変位量は、両端部変位平均値を差し引いた最大値が、A 架台 0.65 mm、B 架台 0.55 mm であった。

推定値と比較するため、「2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」(以下、「マニュアル」と呼ぶ)に準じて計算した中央のたわみ量は、2.2 mm と算定された。さらに、「H30 年度林野庁委託事業 CLT 等新たな木質部材利用推進・定着委託事業 CLT 強度データ収集 成果報告書」(以下、「H30 年報告書」と呼ぶ)の係数に基づき計算した変位量は 0.85 mm となった。これらの計算値は、今回の試験結果の変位量とほぼ一致した。ただし、今回は対象試験体数が少ないため、今後、継続的に試験を続けて、検証を進める必要がある。

変位量の挙動では、載荷直後に変位が緩やかに増加し、その後、24 時間載荷中に変位量が減少し、除荷直前には載荷時より増加する傾向が見られた。特に A12、13、22、23、B12、22、23 が顕著であり、CLT 同士の接合部分(B13 を除く)の西側と中央の変形が大きかった。ただし、載荷試験時の観察では変化は見い出せず、また、動態観察でも差が見られなかった。この要因として、CLT 同士の接合部や、森林資料館の陰になることの影響が考えられるが、これらが変形に及ぼす影響については、継続的に検証を続ける必要がある。

(2)支承部のめり込みについて

支承部の電子計測による変位量を図 4.2-19 の端部変位に示す。在来タイプ(A11~A14)、b 基礎パッキンタイプ(A31~A34)、c セメント凸凹プレートタイプ(B11~B14)は、ほぼ同じ変位(最大変位-0.4 mm)となり、めり込み量の計算値 0.01 mm の 40 倍程度となっている。

また、塩ビ管タイプは、上記 3 タイプと比較して 0.2 mm 程度(最大変位-0.6 mm)大きかったが、目視でも観察できる程度に塩ビ管のつぶれが生じていたので、塩ビ管の変形量によるものと推察できる。載荷試験の載荷荷重は、CLT の基準強度の 1/10 程度であり、変位量が小さかったが、支持金具の塩ビ管タイプは変形が大きく、実用化した場合、CLT 間で変位差による段差が発生する可能性がある。

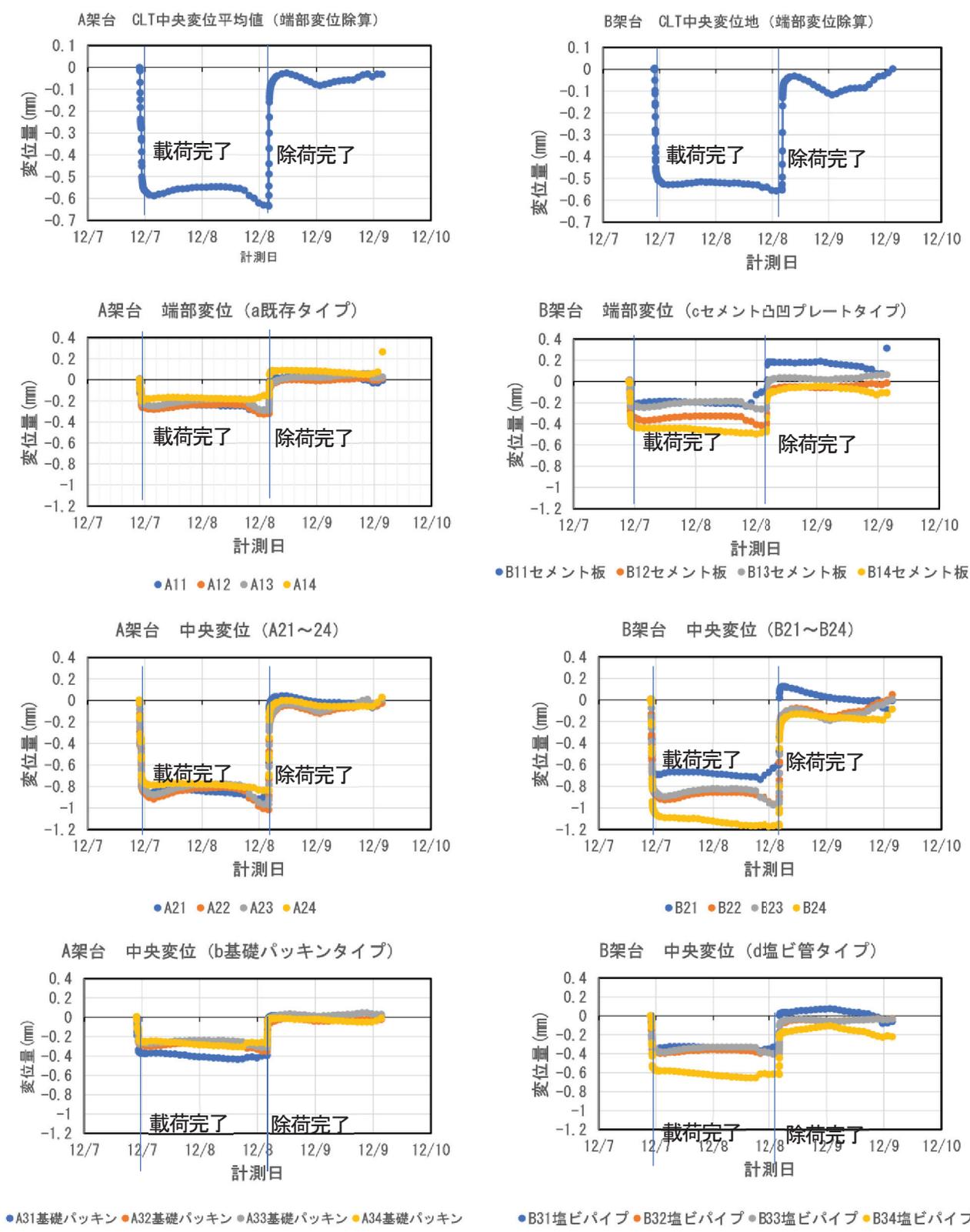


図 4.2-19 CLT プラットフォームの載荷試験結果(電子計測)

(3) 載荷試験による応力・たわみ計算

載荷試験における CLT の基準強度に対する安全率を求めて、載荷時の載荷状態の評価を行う。さらに、実測値と計算値の比較により CLT のたわみ量、めり込み量を評価する。

マニュアルの計算方式及び係数を用いて算定した場合、計算で求めたたわみ量は実測値の 2 倍以上の値となったが、H30 年報告書のヤング係数等を用いて計算した場合、実測と計算によるたわみ量が、ほぼ一致した。

以下、1) にマニュアルによる計算、2) に H30 年報告書による計算を示す。

1) 「2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル」の曲げヤング係数、せん断弾性係数による算定

a) 設計条件

- 荷重条件: 砂袋による載荷(等分布荷重)
- 強度等級: Mx60-5-5
- CLT 厚さ H: 150 mm
- 基準強度(マニュアルによる値)
 - 曲げ F_b : 10.37 N/mm²
 - せん断 F_s : 0.9 N/mm²
 - めり込み F_{cv} : 6.0 N/mm²
- 長期許容強度(基準強度 $\times 1.1/3$)
 - 曲げ f_b : 3.80 N/mm²
 - せん断 f_s : 0.33 N/mm²
 - めり込み f_{cv} : 3.0 N/mm²(めり込みのみ: 基準強度 $\times 1.5/3$)
- ヤング係数(マニュアルによる値)
 - 曲げ E: 4.72 kN/mm² (4720 N/mm²)
 - せん断 E_s : 0.027 kN/mm² (27 N/mm²)
- せん断弾性係数 G: 27.9 N/mm²
- せん断応力分布係数 β : 1.257
- めり込み剛性 K60(Mx60)

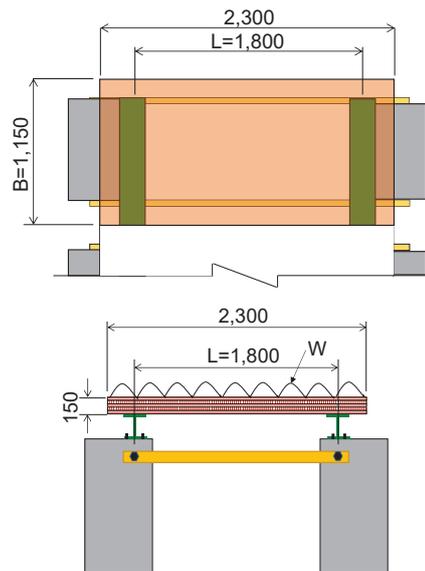


図 4.2-20 計算概念図

(平成 25 年度 林野庁補助事業木材利用技術整備等支援事業 CLT の普及のための総合的データの収集・蓄積および検討 成果報告書)

- $K_{c,90}$: 3.80 N/mm³
- 応力検定荷重: 10000 N/m² (0.01 N/mm²): 4.2.5 (2)3 載荷荷重に示す 10 kN/m² (群衆荷重 5kN/m² の 2 倍)
- たわみ検定重量: 10000 N/m² (0.01 N/mm²): 応力検定荷重を用いる。
- CLT 幅 B: 1150 mm (図 4.2-20 参照)
- スパン L: 1800 mm (図 4.2-20 参照)
- 応力検定等分布荷重 W (応力検定荷重 $\times B$): 11.50 N/mm
- たわみ検定等分布荷重: 11.50 N/mm: 応力検定等分布荷重 W を用いる。

b) 諸量の計算

- 断面二次モーメント

$$I = B \cdot H^3 / 12 = 1150 \times 150^3 / 12 = 323437500 \text{ mm}^3$$
- 断面係数

$$Z = B \cdot H^2 / 6 = 1150 \times 150^2 / 6 = 4312500 \text{ mm}^2$$
- 断面積

$$A = B \cdot H = 1150 \times 150 = 172500 \text{ mm}^2$$
- 曲げモーメント (CLT 中央部の最大曲げモーメント)

$$M = (W \cdot L^2) / 8 = (11.5 \times 1800^2) / 8 = 4657500 \text{ N} \cdot \text{mm}$$
- 曲げ応力度

$$\sigma_b = M/Z = 4657500/4312500 = 1.08 \text{ N/mm}^2$$

•曲げ安全率

$$F_b/\sigma_b = 10.37/1.08 = 9.60 \text{ (OK)}$$

•せん断力 (CLT 支持点の最大せん断力)

$$Q = WL/2 = 11.5 \times 1800/2 = 10350 \text{ N}$$

•せん断応力度

$$\sigma_s = Q/A = 10350/172500 = 0.06 \text{ N/mm}^2$$

•せん断安全率

$$F_s/\sigma_s = 0.9/0.06 = 15 \text{ (OK)}$$

c)たわみ量の計算

•CLT 中央変位量 (CLT 中央部の曲げたわみ+せん断たわみ)

$$\delta = \delta_b + \delta_s = 1.03 + 1.22 = 2.25 \text{ mm}$$

ここで、

$$\delta_b = 5 * w * L^4 / (384 * E * I) = 5 \times 11.5 \times 1800^4 / (384 \times 4720 \times 323437500) = 1.03 \text{ mm}$$

$$\delta_s = \beta * w * L^2 / (8 * G * A) = 1.257 \times 11.5 \times 1800^2 / (8 \times 27.9 \times 172500) = 1.22 \text{ mm}$$

d)めり込み量の計算

•支持金具長さ L_s : 1000 mm (セメント凸凹プレートの長さ 500 mm × 2 枚分)

•支持金具幅 W_s : 200 mm (セメント凸凹プレートの幅)

•支持点面積

$$A_s = L_s \times W_s = 1000 \times 200 = 200000 \text{ mm}^2$$

•めり込み量

$$\delta_{\text{sink}} = Q * A_s / K_c, 90 = 10350 / 200000 / 3.80 = 0.01 \text{ mm}$$

2) H30 年度林野庁委託事業「CLT 等新たな木質部材利用推進・定着委託事業 (国による開発) (CLT 強度データ収集) 成果報告書」の曲げヤング係数、せん断弾性係数による算定

a)設計条件

•荷重条件: 砂袋による載荷 (等分布荷重)

•強度等級: Mx60-5-5

•CLT 厚さ H : 150 mm

•基準強度 (マニュアルによる値)

$$\text{曲げ } F_b: 10.37 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{せん断 } F_s: 0.9 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{めり込み } F_{cv}: 6.0 \text{ N/mm}^2$$

•長期許容強度 (基準強度 × 1.1/3)

$$\text{曲げ } f_b: 3.80 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{せん断 } f_s: 0.33 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{めり込み } f_{cv}: 3.0 \text{ N/mm}^2 (\text{めり込みのみ: 基準強度} \times 1.5/3)$$

•ヤング係数 (30 年報告書による値)

$$\text{曲げ } E: 7.687 \text{ kN/mm}^2 (7687 \text{ N/mm}^2)$$

H30 年度林野庁委託事業「CLT 等新たな木質部材利用推進・定着委託事業 (国による開発) (CLT 強度データ収集) 成果報告書

$$\text{せん断 } E_s: 0.028 \text{ kN/mm}^2 (28 \text{ N/mm}^2: \text{ラミナ目視の数値})$$

•せん断弾性係数 G : 169 N/mm^2 (H30 年報告書による値)

•せん断応力分布係数 β : 1.257 (non)

•めり込み剛性 K_{60} (Mx60)

(平成 25 年度 林野庁補助事業木材利用技術整備等支援事業 CLT の普及のための総合的データの収集・蓄積および検討成果報告書)

$$Kc,90=3.80\text{N/mm}^3$$

- 応力検定荷重: 10000 N/m^2 (0.01 N/mm^2): 4.2.5 (2)3 載荷荷重に示す 10 kN/m^2 (群衆荷重 5 kN/m^2 の 2 倍)
- たわみ検定重量: 10000 N/m^2 (0.01 N/mm^2): 応力検定荷重を用いる。
- CLT 幅 B: 1150 mm (図 4.2-20 参照)
- スパン L: 1800 mm (図 4.2-20 参照)
- 応力検定等分布荷重 W: 11.50 N/mm
- たわみ検定等分布荷重: 11.50 N/mm : 応力検定等分布荷重 W を用いる。

b) 諸量の計算

- 断面二次モーメント

$$I=B\cdot H^3/12=1150\times 150^3/12=323437500\text{ mm}^3$$

- 断面係数

$$Z=B\cdot H^2/6=1150\times 150^2/6=4312500\text{ mm}^2$$

- 断面積

$$A=B\cdot H=1150\times 150=172500\text{ mm}^2$$

- 曲げモーメント (CLT 中央部の最大曲げモーメント)

$$M=(W\cdot L^2)/8=(11.5\times 1800^2)/8=4657500\text{ N}\cdot\text{mm}$$

- 曲げ応力度

$$\sigma_b=M/Z=4657500/4312500=1.08\text{ N/mm}^2$$

- 曲げ安全率

$$F_b/\sigma_b=10.37/1.08=9.60(\text{OK})$$

- せん断力 (CLT 支持点の最大せん断力)

$$Q=WL/2=11.5\times 1800/2=10350\text{ N}$$

- せん断応力度

$$\sigma_s=Q/A=10350/172500=0.06\text{ N/mm}^2$$

- せん断安全率

$$F_s/\sigma_s=0.9/0.06=15(\text{OK})$$

c) たわみ量の計算

- CLT 中央変位量 (CLT 中央部の曲げたわみ+せん断たわみ)

$$\delta=\delta_b+\delta_s+\delta_{\text{sink}}=0.63+0.20+0.01=0.85\text{ mm}$$

ここで、

$$\delta_b=5\cdot w\cdot L^4/(384\cdot E\cdot I)=5\times 11.5\times 1800^4/(384\times 7687\times 323437500)=0.63\text{ mm}$$

$$\delta_s=\beta\cdot w\cdot L^2/(8\cdot G\cdot A)=1.257\times 11.5\times 1800^2/(8\times 169\times 172500)=0.20\text{ mm}$$

- 支持金具長さ L_s : 1000 mm (セメント凸凹プレートの長さ $500\text{ mm}\times 2$ 枚分)

- 支持金具幅 W_s : 200 mm (セメント凸凹プレートの幅)

- 支持点面積

$$A_s=L_s\times W_s=1000\times 200=200000\text{ mm}^2$$

- めり込み量

$$\delta_{\text{sink}}=Q\cdot A_s/Kc,90=10350/200000/3.80=0.01\text{ mm}$$

4.2.8 動態観測結果

目視観察による CLT の動態観測結果 (レベル測定: 目視) を図 4. 2-21、動態観測結果 (レベル測定: デジタルレベル) を図 4. 2-22 に、計測状況を写真 4. 2-2 に示す。変位量が微量となることが予想されたこともあり、デジタルレベルによる変位量測定を行ったが、標尺への光の当たり方により計測ができない箇所があったので、標尺を直接目視でも読み取った。

載荷時の変位量は、ほぼ計算値と一致したが、除荷後も端部・中央部のいずれの個所も±1 mm 程度の変位が生じた。ただし観察上は、降雪による端部の湿潤化がみられる程度で、変形について特筆すべき顕著な変形は観察できなかった。変形を生じさせている原因については、今後継続する測定結果も踏まえた検討が必要である。

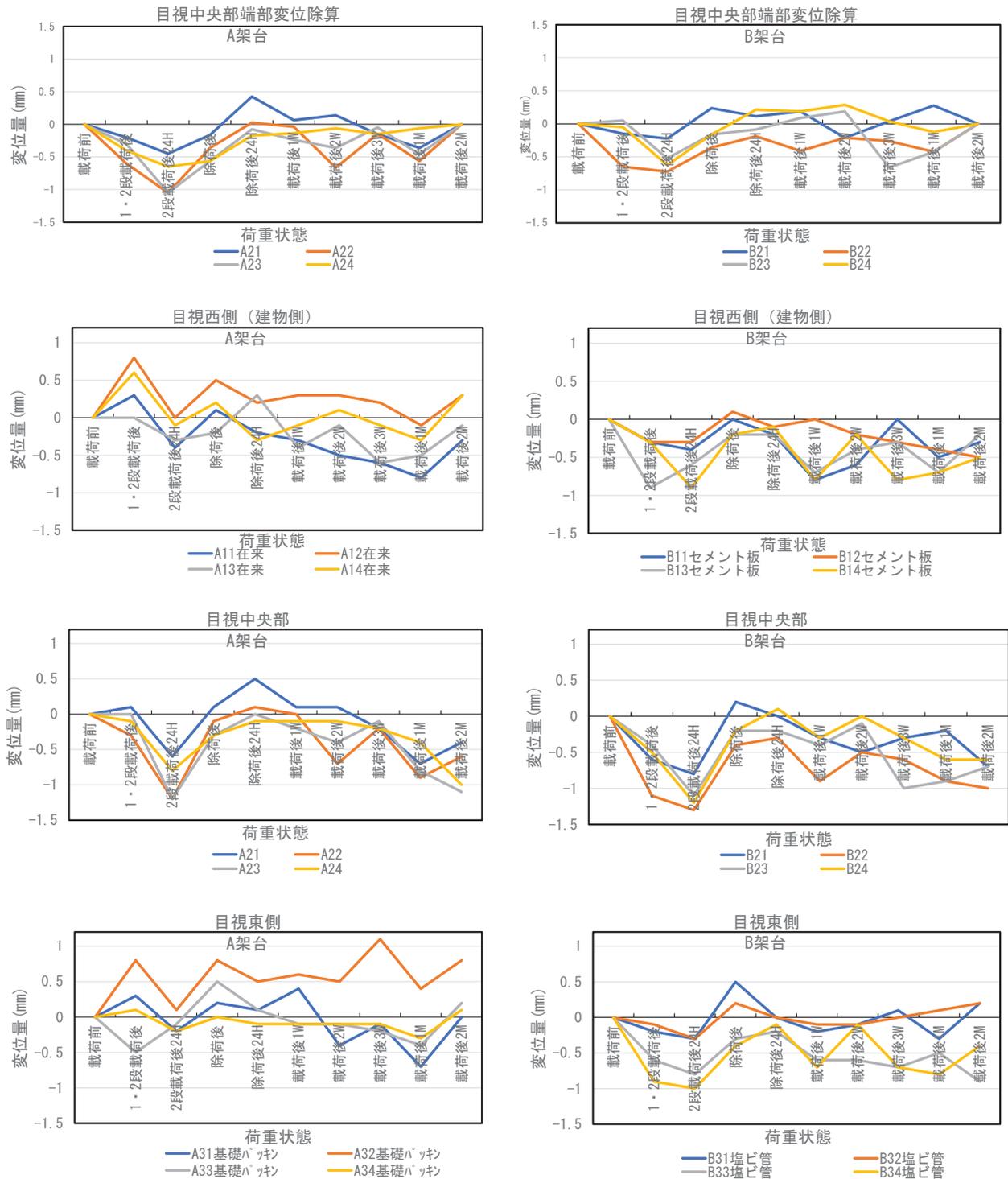


図 42-21 CLT プラットフォームの動態観測(レベル計測:目視)

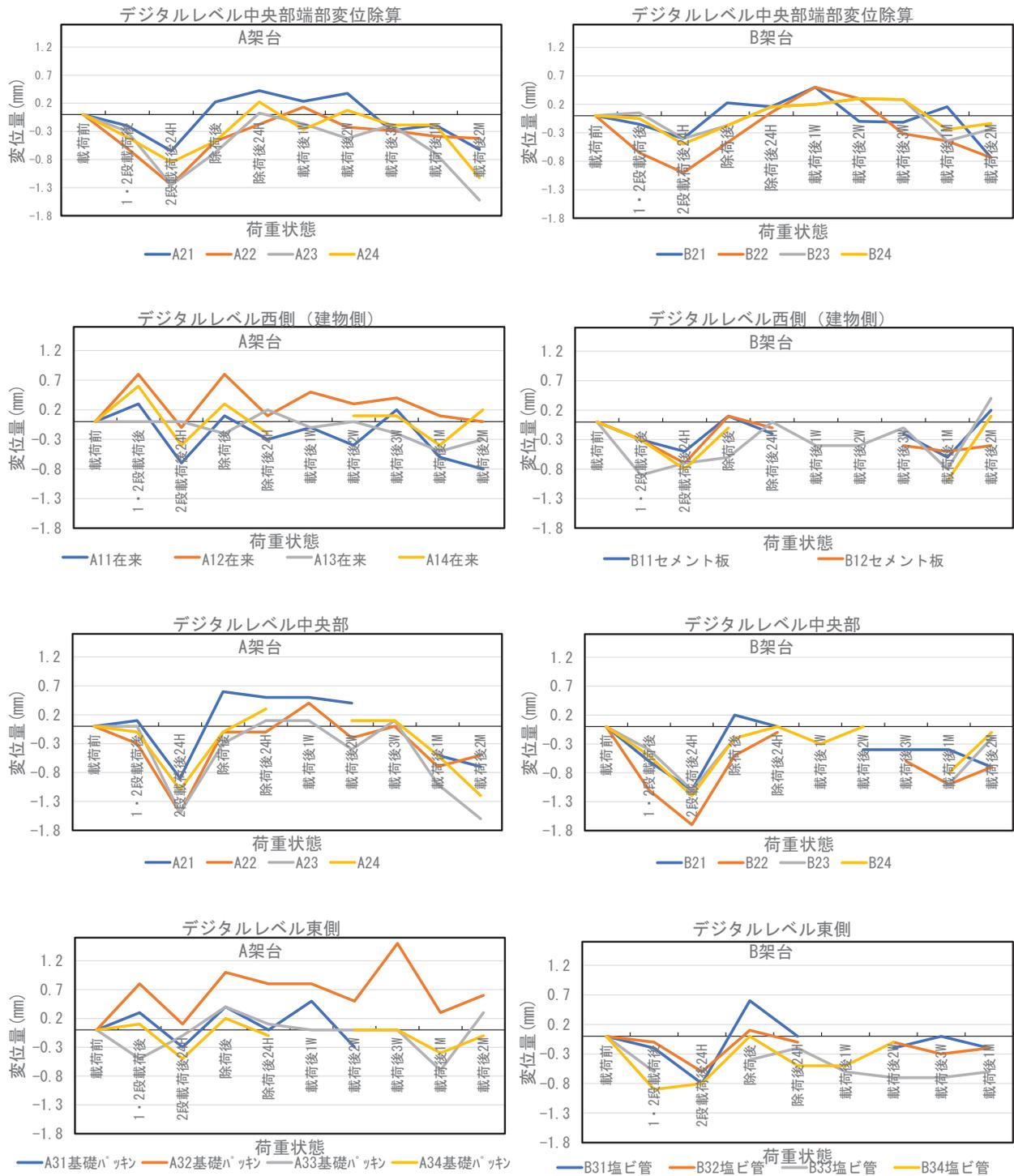


図 4.2-22 CLT プラットフォーム動態観測(レベル計測:デジタルレベル)



写真 4.2-2 載荷、除荷、たわみ量計測の状況

4.2.9 施工時間についての考察

今回の CLT 設置の施工時間については、以下に示すようにプラスの要素、マイナスの要素が混在していることから、従来のプラットフォームの工事と比較した的確な評価は難しかった。従って、今後、施工検証を重ねて工数の計測を継続し、評価する必要がある。

〈施工時間についてプラスの要素(施工時間を短縮する方向の要素)〉

- CLT が軽量であり、クレーン車を使用せずにフォークリフトでの揚重・敷設が可能であった点
- 今回の施工検証モデルが実際のプラットフォームと比較して、小規模である(支持梁の間隔も短い)点
- 既存の駅構内の施工で障害になる既存の柱、線路等がなかった点

〈施工時間についてマイナスの要素(施工時間を長くする方向の要素)〉

- 施工者に経験がなく手間取った点
- 床面のアスファルト舗装面積が小さく、振動ローラー(ハンドガイドローラー)での作業となり、転圧時のこまめな方向転換等により、大きな面積への転圧に比べて、単位面積当たりの作業性が悪かった点

4.3 CLT 鉛直地盤補強工法の開発

4.3.1 開発成果の最終イメージ

4.1 で既述した水平地盤補強工法と対照的に、鉛直方向に CLT を用いる地盤補強工法での利用技術を検討する。

層厚 5m 程度の軟弱な基礎地盤上に、小・中規模の構造物の支持力増加対策として、CLT を鉛直に配置するものであり、イメージ図を図 4.3-1 に示す。

CLT を柱状固化体で固定した「固化併用タイプ」、また、各 CLT が拘束されず、1 枚ずつ自立している「非剛結タイプ」の 2 タイプを想定している。

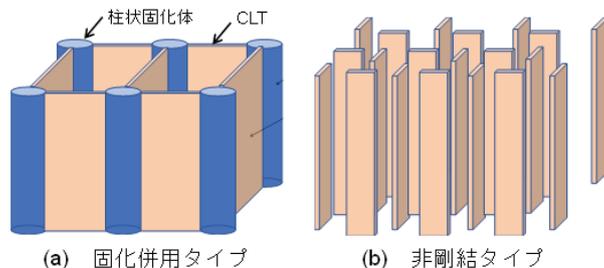


図 4.3-1 CLT 鉛直地盤補強工法のイメージ

4.3.2 開発経緯

4.1 で既述した水平地盤補強工法が CLT を水平方向に敷設するのに対し、地盤内に鉛直方向に設置し、建屋の支持力増加や地震時の地盤変位の抑制、さらには液状化対策としての効果を期待するものである。

CLT のパネル形状と高強度の特質を活かし、地中連続壁を模擬した固化工法との併用、また、丸太による地盤補強を模擬した非剛結タイプの 2 種類を考案した。さらに、CLT の軽量さから施工性を向上させると共に、地盤環境の負荷低減や脱炭素社会への貢献も期待できると考えている。

4.3.3 数値解析

鉛直地盤補強の効果を確認するため、図 4.3-2 に示す解析モデルを用いて 3 次元 FEM による数値解析を実施した。補強効果に与える影響因子として下記の 6 項目を設定し、比較解析を実施した。

- ① CLT の剛性(高、中、低)3 ケース
- ② 形状(剛結、非剛結、固化併用)3 ケース
- ③ 間隔(密 3m、粗 6m)2 ケース
- ④ 深度(浅い 5m、深い 10m)2 ケース
- ⑤ 地盤種別(砂、粘土)2 ケース
- ⑥ 外力(静的(鉛直)、動的)3 ケース

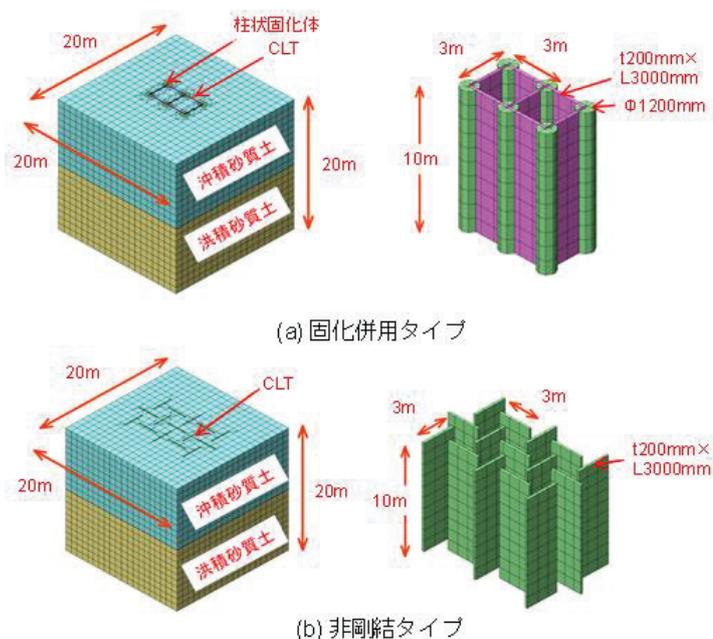


図 4.3-2 解析モデル

数値解析において採用する材料定数は、表 4.3-1 による。

また、載荷条件については静的解析とし、下記の条件を採用した。

- ・載荷範囲: 地表面全面
- ・載荷方向: 鉛直下向き
- ・載荷重: 等分布荷重、 $q=10 \text{ kN/m}$

表 4.3-1 地盤条件による定数

地層	平均N値	γ_t kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	粘着力 c kN/m ²	内部 摩擦角 ϕ 度	変形係数 E kN/m ²	G0 kN/m ²	Vs s/m	ポアソン比 ν	
							ρVs^2		初期応力	地震応答
沖積砂質土	5.0	18.0	19.0	0.0	25.0	14,000	33,900	136	0.33	0.300
洪積砂礫	50.0	20.0	21.0	0.0	46.0	140,000	183,500	300	0.33	0.400
柱状改良体	-	18.0	19.0	1470.0	0.0	1,029,000	-	-	0.33	0.400

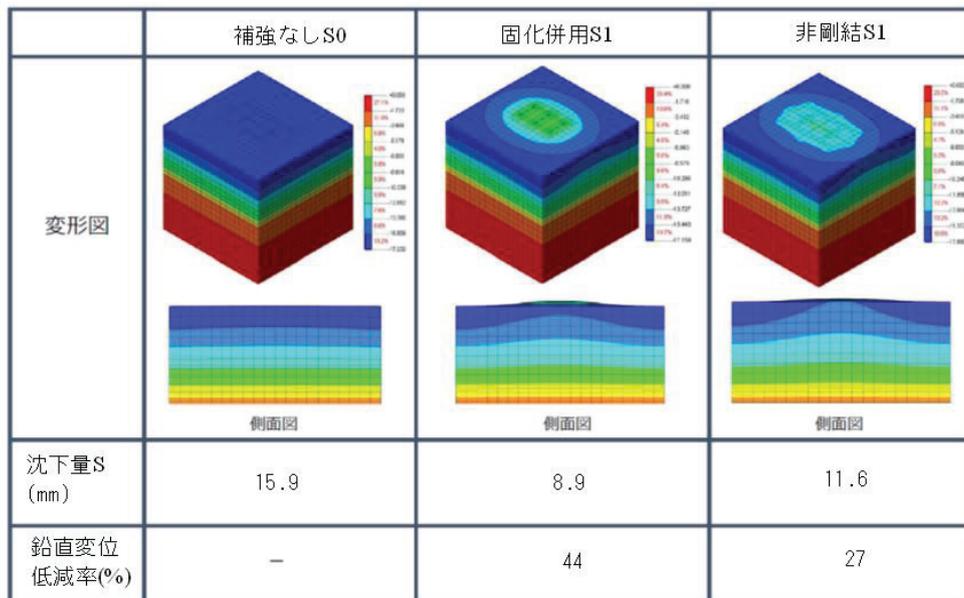
- ※1 $\gamma_{sat} = \gamma + 1$ とする。
- ※2 沖積砂質土層および洪積砂礫層の内部摩擦角は $\sqrt{20N+15}$ にて算出。
- ※3 沖積砂質土層および洪積砂礫層の変形係数は $2800N$ (N :平均N値)にて算出。
- ※4 沖積砂質土層のVsは道示より $80N^{1/3}$ にて算出。
- ※5 洪積砂礫層のVsは一般的に基盤層と判断できる基準のVs = 300m/sとする。
- ※6 柱状改良体の γ は沖積砂質土と同値とする。
- ※7 柱状改良体の設計圧縮強度 q_u は 30 kgf/cm^2 (2940 kN/m^2)とする。
- ※8 柱状改良体の粘着力は $q_u/2$ にて算出。
- ※9 柱状改良体は $E50 = (350 \sim 600)q_u$ の関係から、 $350q_u$ として算出。
- ※10 初期応力におけるポアソン比は静止土圧係数0.5に対応するものとして0.33とする。
地震時は一般的な数値より設定。(砂質土: 0.25~0.35、粘性土: 0.35~0.50)

4.3.4 解析結果

解析結果として図 4.3-3 に変形図および沈下量コンター、図 4.3-4 に鉛直方向圧縮応力コンターを示す。

CLT を鉛直に配置することにより、支持力が向上して鉛直変位量が抑制され、その低減率は無対策と比較して、固化併用タイプが 44%、非剛結タイプが 27%であり、固化併用タイプの対策効果が大きかった。

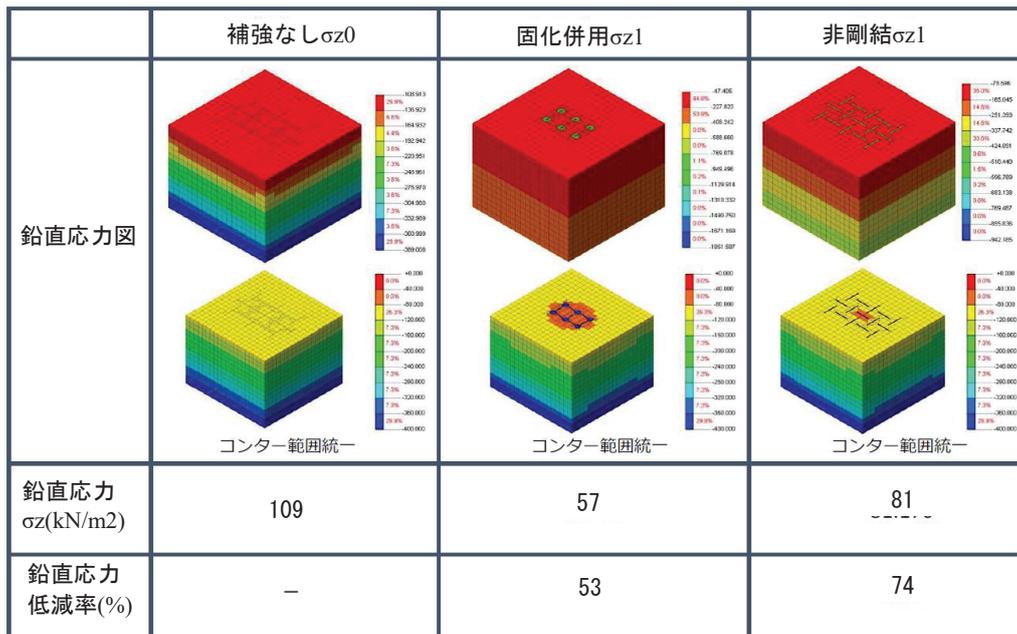
また、基礎地盤に作用する圧縮応力は CLT の設置により低減していることから、上載荷重は CLT を介して支持層へ伝達されていると考えられる。従って、地盤条件、荷重条件に適応した CLT を鉛直配置することで、支持力向上効果が期待できる。



*沈下量Sはモデル中央位置でのZ方向変位量を示す。

*鉛直変位低減率(%)= $1-S1/S0$

図 4.3-3 変形図及び沈下量コンター



鉛直応力 σ_z は地表面から5m位置におけるモデル中央部の圧縮応力を示す。

*鉛直応力低減率(%)=1- σ_z1/σ_z0

図 4.3-3 鉛直方向 圧縮応力コンター

参考文献

- 1) 鉄道・運輸機構:環境に配慮した駅づくり (<https://www.jrft.go.jp/construction/technology/station.html>)
- 2) 札幌管区气象台:雪に関する用語解説

5 繰返し利用・カスケード利用を想定した
CLT土木利用 個別技術の開発

5.1 CLT 敷板の開発

5.1.1 工事現場での実証試験

(1)開発概要

土木現場では作業車両の進入および通行における走行性の確保を目的として、敷鉄板が使用されてきた。

本事業による当該項目は、この敷鉄板を CLT で代替することを目的とした、新たな「CLT 敷板」を開発するものである。

(2)目的

土木分野における CLT の活用を促進するため、従来未利用だった低質ラミナの活用や、既存の JAS に囚われない新たなラミナ構成を用いた低コスト CLT と、大判パネル形状等の CLT の強みを活かした土木利用技術を開発する。

本章では、工事・作業現場で資材搬入路の確保や工事現場の作業床、地盤の保護、足場の悪い軟弱地での重機の足場確保など、重量を地盤に分散させる目的で敷設(仮設)される敷鉄板を対象とし、その代替として CLT を使用した場合の「CLT 敷板」の課題や改良策等を把握し、敷板としての機能を有した土木用製品としての可能性を探ることを目的とする。

(3)工程

敷鉄板の代替として CLT 敷板を使用した場合の作業性や耐久性等を把握するため、工事現場での実証試験により CLT 敷板と敷鉄板とを比較検証し、そのメリット・デメリットを明らかにする。これらの実証試験を踏まえ、敷鉄板の代替として製品化を図るための CLT 敷板の仕様と利用方法を検討する。

本年度の実証試験は、昨年示した表 5.1-1 中のイ～リの項目のうち、主にハ、ホ、ヘ、チの 4 項目について実施する。

表 5.1-1 実証試験の項目

検討・試験	検討・試験項目	具体的な試験項目
CLT敷板の仕様検討	イ CLTの仕様	
	ロ CLTの加工	
	ハ 吊り具等	
CLT敷板の実証試験	作業性試験	ニ 荷積み、荷下ろし作業試験 ホ 敷設作業試験 ヘ 作業環境試験
	耐久性試験	ト 走行時、定点作業時試験 チ 繰返し試験
	リ 耐朽性試験	

表中の「CLT 敷板の仕様検討 ハ 吊り具等の検討」として、施工時の作業を軽減するための治具を新たに検討する。

「CLT 敷板の実証試験 ホ 敷設作業試験」として、昨年度の検討結果を反映した新たなサイズのスギ材による CLT 敷板とカラマツ材による CLT 敷板の敷設作業時の状況について、作業員への聞き取り調査を実施する。

「CLT 敷板の実証試験 ヘ 作業環境試験」については、CLT 敷板上の滑り抵抗と衝撃音を測定し、敷鉄板と比較する(本検討結果については、5.1.2 滑り抵抗と床衝撃音の検証において報告する)。

「CLT 敷板の実証試験 チ 繰返し試験」として、昨年度使用した CLT 敷板を転用した場合の使用感等について、作業員への聞き取り調査により、初期に使用した時と比較した時の状況を把握する。

上記ハ、ホ、ヘ、チの 4 項目について実施する実証試験は、転用回数を重ねた場合の CLT 敷板の状況を把握するため、昨年度使用した CLT 敷板を転用した場合と、昨年度の実証試験を踏まえてサイズ等を改良し、本年度新たに製造した CLT 敷板によって実施する。

実証試験の試験場所と実証期間、CLT 敷板の仕様別の数量(枚数)と、樹種、サイズ、製造工場、および転用回数等をまとめた資料を表 5.1-2 に示す。

表 5.1-2 実証試験の概要(転用した CLT 敷板)

令和 3 年度作成 CLT 敷板

□ は実証試験“実施中”の CLT 枚数 転用回数 0 回目 1 回目 2 回目

試験内容と試験場所	実証期間												CLT 敷板の数量						樹種	サイズ (幅×長×厚)	備考				
	年 2021 月 11 12	2022											2023			強軸	弱軸					合計			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	3層3PLY	3層4PLY	5層5PLY	3層3PLY	3層4PLY	5層5PLY			
①土別市多寄町現場	22日→	3日														12	12	12	6	6	6	54	スギ	銘建工業 ※弱軸は、幅と長さ寸法が逆転	
②和寒町現場		7日→22日														12	12		6	6		36			
③住宅外構		28日→																10				10			
④チップ生産ヤード		19日→														8	2		3	5	18				
⑤トマム治山工事現場		15日→ 31日														11	2		6	2	21				
破損		●														1	1				1				
○ストック																1	1		1	1	4				
合計枚数																12	12	12	6	6	6	54			

昨年度は、54 枚の CLT 敷板を製造し、表中「①土別市多寄町現場」に記載のとおり、令和 3(2021)年 11 月 22 日から令和 4(2022)年 2 月 3 日までの 73 日間に渡り、実証試験を行った。その際の CLT 敷板のサイズ、強軸・弱軸、層構成、樹種、製造工場等については、表のとおり。

表中①で使用した 54 枚の CLT 敷板のうち、36 枚を表中「②和寒町現場」に、10 枚を表中「③住宅外構」において転用した。なお、②は令和 4(2022)年 2 月 7 日から 3 月 22 日までの 43 日間、③は令和 4(2022)年 3 月 28 日から現在も設置中である。

表中「④チップ生産ヤード」において 18 枚の CLT 敷板の転用試験を行った。その内訳は、表中②で使用した 36 枚のうち 13 枚が 2 回目の転用、表中①で使用した 5 枚の CLT 敷板が 1 回目の転用である。その際の CLT 敷板のサイズ、強軸・弱軸、層構成等については、表のとおり。

表中「⑤トマム治山工事現場」において、表中②で使用したうちの 22 枚について 2 回目の転用を行ったうち、1 枚は使用中に破損した。その他、表中①で使用したうちの 4 枚がストックとして保管されている状況である。

本年度は、表 5.1-2 の②～⑤の実証試験結果を取りまとめる。

さらに、本年度新たに製造した CLT 敷板として、昨年度検討した新たなサイズのスギ材による CLT 敷板とカラマツ材による CLT 敷板の実証試験の試験場所と実証期間、CLT 敷板の仕様別の数量(枚数)と、樹種、サイズ、製造工場等を表 5.1-3 に示す。

表 5.1-3 実証試験の概要(新規に製造した CLT 敷板)

令和 4 年度作成 CLT 敷板

□ は実証試験“実施中”の CLT 枚数 転用回数 0 回目 1 回目 2 回目

試験場所	実証期間												CLT 敷板の数量						樹種	サイズ (幅×長×厚)	備考					
	年 2021 月 11 12	2022											2023			強軸	弱軸					合計				
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	3層3PLY	3層4PLY	5層5PLY	3層3PLY	3層4PLY	5層5PLY				
⑥占冠村林道工事現場		15日→ 20日														10						10	カラマツ	3層3PLY : 1,200×3,000×90	OWP	
⑦上土別町河川工事現場		2日→											28日				29						29/45	スギ	3層3PLY : 2,000×3,500×90	銘建

本年度新たに製造し、実証試験を行ったのは、表 5.1-3 のとおり、表中「⑥占冠村林道工事現場」の道産材のカラマツ材による CLT 敷板で、サイズは(3 層 3PLY:1,200 mm×3,000 mm×90 mm)である。本 CLT 敷板は、令和 4(2022)年 9 月 15 日に林道工事現場に 10 枚敷設し、12 月 20 日頃まで使用した。

さらに昨年度の実証試験の検討結果を踏まえて作業の効率化と輸送の際のトラックへの積載を考慮した新たなサイズ(3 層 3PLY:2,000 mm×3,500 mm×90 mm)によるスギ材の CLT 敷板を製造し、表中「⑦上土別町河川工事現場」において、45 枚の CLT 敷板の実証試験を行っている。

本年度は、表 5.1-3 の⑥、⑦の実証試験結果を取りまとめる。

(4)実施場所

令和 3 年度に作成した CLT 敷板(表 5.1-2 中の①～⑤)と、本年度作成した CLT 敷板(表 5.1-3 中の⑥、⑦)の実施場所を以下のとおり示す。

①土別市多寄町現場

昨年度の実証試験現場である土別市多寄町現場は、北海道土別市の市街地から 10 km 程 北に位置する北海道

士別市多寄町の天塩川河川敷で、国土交通省 北海道開発局 旭川開発建設部 名寄河川事務所の発注による「国土強靱化対策工事 天塩川改修工事の内 名寄河川事務所管内樋門補修外工事」で、株式会社イトイ産業が受注した工事現場である。当該工事は、河川支障木を伐倒し現場から運び出した後、木材を粉碎(チップ化)処理するものである。同工事現場のうち、伐倒後の樹木を運搬するダンプトラックが走行するための取り付け運搬路とグラブでダンプトラックに積載する積込ヤードが CLT 敷板の実証試験現場である。

CLT 敷板の敷設場所を図 5.1-1、写真 5.1-1 に示す。本年度は、この現場で使用した CLT 敷板を繰り返し利用した場合の使用感等について、初期に使用した時と比較した状況を作業者への聞き取り調査によって把握した。



図 5.1-1 実証試験現場の位置図



写真 5.1-1 CLT 敷板設置場所

②和寒町現場

和寒町現場は、北海道上川郡和寒町の市街地から 7～8 km 程 北に位置する風連別川河川敷で、北海道旭川建設管理部士別出張所の発注による「風連別川外特対改修工事(冬)」で、株式会社イトイ産業が受注した工事現場である。当該工事は、河川整備工事であり、ダンプトラックが走行するための取り付け運搬路が CLT 敷板の実証試験現場である。CLT 敷板の敷設場所を図 5.1-2、写真 5.1-2 に示す。



図 5.1-2 実証試験現場の位置図



写真 5.1-2 CLT 敷板設置場所

③住宅外構

住宅外構は、北海道岩見沢市内にある一般住宅の外構に敷設しており、外構のスペースに合わせてサイズを加工している。CLT 敷板の敷設状況を図 5.1-3、写真 5.1-3 に示す。

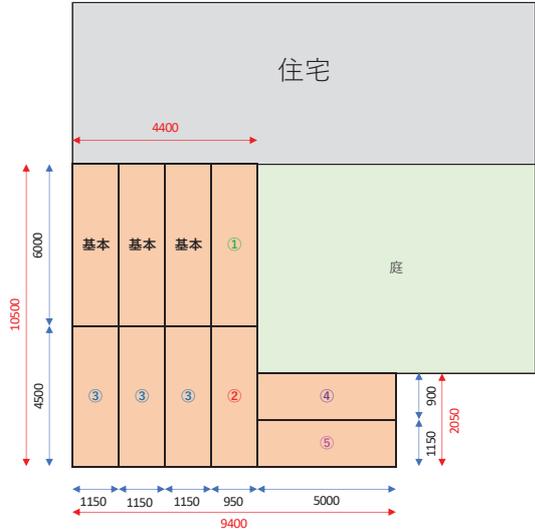


図 5.1-3 実証試験現場の配置図



写真 5.1-3 CLT 敷板設置場所

④チップ生産ヤード

チップ生産ヤードは、北海道士別市朝日町から 7～8 km程 東に位置する登和里地区で、(株)イトイグループホールディングの関連会社である(株)あんぐらエナジーが伐採木・立木を集積し、木質バイオマスボイラー用の燃料としてチップ化するためのヤードとなっている。伐採木・立木を破碎するためのチップパー機が作業するためのエリアが CLT 敷板の実証試験現場である。CLT 敷板の敷設場所を図 5.1-4、写真 5.1-4 に示す。



図 5.1-4 実証試験現場の位置図



写真 5.1-4 左:CLT 敷板設置場所、右:チップヤード入り口の看板

⑤トマム治山工事現場

トマム治山工事現場は、北海道占冠村から28～29 km程北東に位置するトマムリゾートを抜けた先に位置しており、北海道上川総合振興局の発注による「トマムスキー場地先 復旧治山工事その 2」で、株式会社イトイ産業が受注した工事現場である。当該工事は、「平成 30 年 北海道胆振東部地震 被災地産木材」を使用した木製治山ダムを施工する工事であり、バックホーが作業するヤードや、ダンプトラックが走行する運搬路が CLT 敷板の実証試験現場である。CLT 敷板の敷設場所を図 5.1-5、写真 5.1-5 に示す。

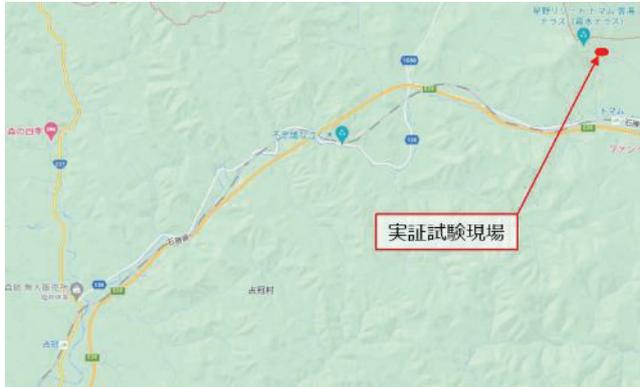


図 5.1-5 実証試験現場の位置図



写真 5.1-5 CLT 敷板設置場所

⑥占冠村林道工事現場

占冠村林道工事現場は、北海道占冠村から9～10 km程南に位置する林道工事現場で、北海道上川総合振興局の発注による「林業生産基盤整備道アリサラップ支線双珠別工区開設工事」で、株式会社川端組が受注した工事現場である。当該工事によるダンプトラックやバックホーが走行するための道路が CLT 敷板の実証試験現場である。CLT 敷板の敷設場所を図 5.1-6、写真 5.1-6 に示す。



図 5.1-6 実証試験現場の位置図



写真 5.1-6 CLT 敷板設置場所

⑦上士別町河川工事現場

「上士別町河川工事現場」は、北海道士別市の市街地から12～13 km程南に位置する河川整備工事現場で、国土交通省北海道開発局旭川開発建設部名寄河川事務所の発注による「天塩川維持工事の内 川南樋門外改良工事」で、株式会社イトイ産業が受注した工事現場である。ダンプトラック等が走行する運搬路が CLT 敷板の実証試験現場である。CLT 敷板の敷設場所を図 5.1-7、写真 5.1-7 に示す。



図 5.1-7 実証試験現場の位置図



写真 5.1-7 CLT 敷板設置場所

(5)実施ケース

CLT 敷板の実証試験は、前項(4)実施場所の②～⑤は、転用回数を重ねた CLT 敷板の状況を把握するため、②、③は転用回数 1 回、④は、36 枚のうち 13 枚が 2 回目の転用、5 枚が 1 回目の転用、⑤は、全て 2 回目の転用による実証試験を行い、CLT 敷板を繰り返して利用した場合の作業性や使用感等について聞き取り調査を行った。

前項(4)実施場所の⑥は、北海道産カラマツ材による CLT 敷板による作業性や使用感等について、聞き取り調査を行った。

前項(4)実施場所の⑦は、昨年度の実証試験を踏まえてサイズ等を改良し、本年度新たに製造した CLT 敷板による実証試験により、作業性や使用感等について、聞き取り調査を行った。

- i) 昨年度実施した①士別市多寄町現場と本年度実施した⑤トマム治山工事現場は、同様の現場代理人が担当していることから、新規利用時と転用時の違いについて聞き取り調査を行った。
- ii) ②和寒町現場については、昨年度行った実証試験であるが、報告書作成後の試験であったため、現場代理人への作業性と使用感の聞き取り調査について報告する。
- iii) ③住宅外構については、同一地点で長期間使用した場合の CLT 敷板の状況を把握するため、2 回転用の実証試験を継続中である。
- iv) ④チップ生産ヤードについては、重機(チップパー機など)の作業ヤードで長期間使用した場合の状況を把握するため、1 回転用と 2 回転用の CLT 敷板の実証試験を継続中である。
- v) ⑥占冠村林道工事現場については、①～⑤、⑦を施工した(株)イトイ産業と異なり、施工現場の地元企業である(株)川端組が施工しており、現場代理人への作業性と使用感の聞き取り調査を行った。
- vi) ⑦上士別町河川工事現場については、昨年度検討した新たなサイズの CLT 敷板であり、現場代理人への作業性と使用感の聞き取り調査を行った。

(6)実施状況

i)昨年度実施した①と本年度実施した⑤の実証試験現場における聞き取り調査の実施状況

本年度実施した⑤の実証現場は、土砂流出防備保安林^{*}であり、木製治山ダムを施工することにより土砂の流出を防ぐ工事である。本工事では、22枚のCLT敷板を使用しており、その内訳は、表5.1-2に示すとおり、強軸の3層3PLYが11枚、同3層4PLYが3枚、弱軸の3層3PLYが6枚、同3層4PLYが2枚であり、それ以外に敷鉄板も使用し、これらを工事の進捗状況によってレイアウトを変更しながら施工している。当初から2回目、最終までのCLT敷板等の敷設レイアウトを図5.1-8~11に示す。

※下流に重要な保全対象がある地域で土砂流出の著しい地域や崩壊、流出のおそれがある区域において、林木及び地表植生、その他の地被物の直接間接的作用によって、林地の表面侵食及び崩壊による土砂の流出を防止(林野庁ホームページより)

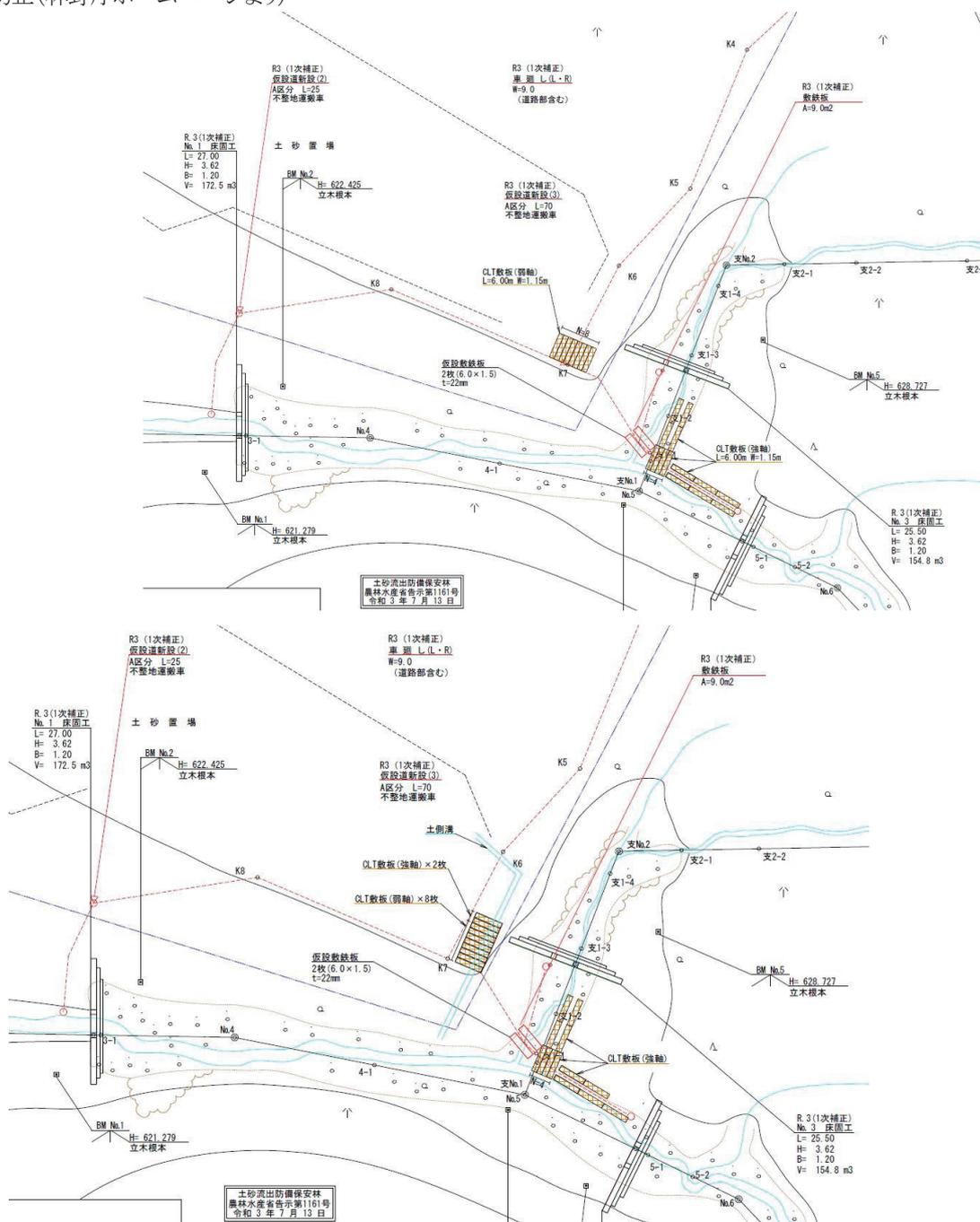


図 5.1-9 CLT 敷板等の敷設レイアウト(2 回目変更)

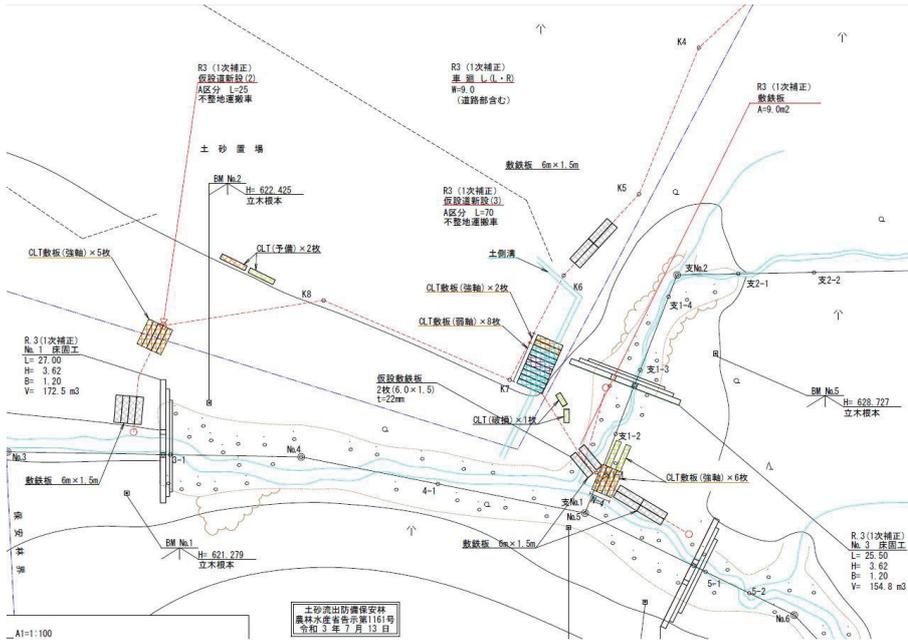


図 5.1-10 CLT 敷板等の敷設レイアウト(最終)



図 5.1-11 CLT 敷板等の敷設レイアウト(2 回目)の様子

当初のレイアウトから 2 回目の変更点は、バックホーによる採石の積み込みヤード部分のスペースを確保するためのものである。

2 回目のレイアウトから最終の変更点は、工区拡大によりヤード数を増加するためのものである。

CLT 敷板は、主に河川の合流地点に配置されており、バックホーを使用して当初のレイアウトから変更する際に、CLT 敷板どうしが重なった状態で持ち上げたことにより、強軸 3 層 4PLY が 1 枚破損している。

本実証試験現場は、昨年度実施した①士別市多寄町現場と同様の現場代理人が担当していることから、CLT 敷板の新規利用時と転用時の違いや敷鉄板との違いについて聞き取り調査を行った。聞き取り調査によって把握した荷受け作業、運搬、荷下ろし作業、敷設作業、使用感などの比較結果は以下のとおりである。

荷受け作業 : 昨年の現場と同様の作業性だが敷鉄板より清掃時間がかかる。

運搬 : 昨年と同様の運搬性だが、基本は高積みになるので CLT 敷板に付着した木、石、土砂などの落下に気を使わなくてはならない。

荷下ろし作業 : 昨年と同様の作業性であるが、今年転用した CLT 敷板は初めから汚れているため、気を使う必要がない。

敷設作業 : 昨年と同様の作業性だが敷板の強度は下がっていると思うので破損に対しての気配りが必要であった。

使用感 : 昨年使用した敷板のほうが、表面が粗目になっているため滑りにくい印象であった。しかし強度が低下している印象があるので使用場所に考慮しなくてはならなかった。

その他 : 昨年使用した弱軸の敷板の中には、中心付近で折れて破損してしまうものもあった。使用後の点検・清掃が大事であるとする。

昨年度の現場は、車路は主にダンプトラックが走行し、ヤードはバックホーによる河川支障木の積み込みを行っていたため、特に車路に敷設した CLT 敷板の損傷は、それほど大きくなかった。本年度の現場は、ヤードに運び込まれた採石をバックホーによってクローラードンプに積み込む際（写真 5.1-8 左）や、クローラードンプが車路を走行する際（写真 5.1-8 右）、また、作業場所の変更に伴う敷板のレイアウト変更の際等に CLT 敷板を激しく損傷することとなった。



写真 5.1-8 左:バックホーが採石を積み込む様子、右:クローラードンプが車路を走行する様子

昨年度の 1 回目の使用と本年度の転用時の使い勝手の差異について聞き取りによって把握した。

昨年度は、CLT 敷板にかき込みと穴開け加工を施し、そこにアイボルトを挿入してスリングで吊り下げて敷設作業等を行っていたが、1 回目の使用時後には、その穴に土砂が混入して、アイボルトが挿入できない箇所もあったため、今回はバックホーのバケットに着いている突起（写真 5.1-9 中の赤丸部分）に CLT 敷板を引っかけて、1 枚ずつ敷設したところ、土砂混入の影響はなかった。



写真 5.1-9 バケットに付けられた突起

次に、レイアウト変更時に破損した CLT 敷板と損傷の激し

い CLT 敷板の写真を示す(写真 5.1-10)。

いずれも、表面のラミナが削り取られて木屑が散乱している状況となっており、特に角の部分欠けている。

破損・損傷した CLT 敷板の継続使用の可否について、半分に折れて破損した CLT 敷板は、他の CLT 敷板とサイズが異なるため、車路に並べて継続使用することは困難である。一方、表面や角の部分削られている CLT 敷板については、敷板としての機能への影響は特になく、使用上の問題はなかったとのことである。

重機の移動や可動により、敷板がずれて隙間が空くため、バックホーによって定期的に CLT を移動させて隙間を解消する作業が必要となる。このため、CLT 敷板どうしを連結する仕組みが必要であると考えられるが、今回の現場のように、レイアウト変更が度々必要な場合は、連結の付け外しが容易な仕組みが必要である。



写真 5.1-10 左:破損した CLT 敷板



右:表面の損傷が激しい CLT 敷板

実証試験現場の工事が終了し、回収してきた CLT 敷板は、施工業者の(株)イトイ産業の敷地内に保管されている。回収した CLT 敷板は、表面や角部に損傷や汚れなどが見られるものの、敷板としての機能的な問題はないとのことであった(写真 5.1-11)。しかし、一部損傷が激しい CLT 敷板については、チェンソーで幅を短く切断した上で、チップパー機によって燃料用チップを製造し再利用する(写真 5.1-12、13、14)。また、転用後の CLT 敷板を他の現場でさらに転用する場合は、高圧洗浄機などで泥汚れや砂利を洗い落として利用する。

カスケード利用する際の工程は、使用後の CLT 敷板を回収後、転用が出来ないと判断したものをストックしておき、



写真 5.1-11 回収した CLT 敷板



写真 5.1-12 損傷が激しい CLT 敷板



写真 5.1-13 チッパー機によって破碎される CLT 敷板



写真 5.1-14 チッパー機による破碎の様子

一定量たまった後にチェンソーで幅を半分に切断した上で、チッパー機(Wood Hacker MEGA540DL、緑産(株))で破碎する。CLT 敷板(幅 1,150 mm×長 5,995 mm×厚 90 mm)1 枚をチェンソーによって半分に切断した 2 枚をチップ化する時間は、チェンソーの作業時間が 5 分、グラップルでチッパー機へ投入する時間が 1 分、チッパー機で破碎する時間が 1 分であった。今後、チップ化に伴う経費や CLT 敷板に小石等が付着した状態で破碎することによるチッパー機の刃物への損傷具合などについて検証する必要がある。

ii) ②の実証試験現場における作業性と使用感の聞き取り調査の実施状況

今年実施した②の実証現場は、「風連別川外特対改修工事(冬)」の河川整備工事である。本工事では、36 枚の CLT 敷板を現場に搬入しており、内訳を表 5.1-2 に示す。強軸の 3 層 3PLY が 12 枚、同 3 層 4PLY が 12 枚、弱軸の 3 層 3PLY が 6 枚、同 3 層 4PLY が 6 枚である。そのうち、27 枚(幅 3 列×長さ 9 列)の CLT 敷板を使用している。本実証試験現場の代理人に実施した聞き取り調査結果は、以下のとおりである。

- ・弱軸 CLT 敷板のノンスリップ効果に期待して、タイヤが乗る両端に弱軸、中央に強軸の CLT を配置している。(写真 5.1-15~16)。
- ・弱軸の方がノンスリップ効果はあると思われる。
- ・現場への搬入は、1 台のトラックによって 1 回で運んだ(敷鉄板の場合は、7 枚程度/回)。
- ・CLT 敷板をトラックから降ろす際は、専用金物(吊り具)を使用して 5 枚程度ずつ降ろし、現場の道路脇に一時的に保管した後、敷設作業を行った。
- ・専用金物は、強度的に弱く、繰り返しの使用により外側に広がってしまう。
- ・敷設の際は、吊り金具(アイボルト)とワイヤーによる敷設を行う予定であったが、CLT の穴が潰れて吊り金具が抜ける恐れがあったため、グラップルで 1 枚ずつ敷設した(写真 5.1-17)。
- ・現場工事中のトラックダンプ等の走行車数は、4 台/日程度である。
- ・弱軸の CLT 敷板は、強度的に弱いと感じるが、浮いた状態でなければ問題ないと思う。
- ・CLT 敷板の両端を支点とし、中央部が浮いた状態で使用する際に、中央部がたわむ場合は、敷鉄板と同様に中央部に土嚢などを置くことで対応できると思う。
- ・河川工事の場合、環境への配慮から、融雪剤を使うことが出来ないため、敷鉄板と比較して敷板の表面が凍りにくい CLT 敷板のほうが滑りにくいと思う。
- ・CLT 敷板上の除雪は、除雪車のバケットが引っかかることによる破損を避けるため、前進ではなくバックで行う。
- ・敷鉄板に比べ、CLT 敷板と路面の段差解消のための砂利等ですり合わせる作業が手間取った(写真 5.1-18)。
- ・今回は直線道路への施工であったがカーブの場合は施工が大変になると思われる。
- ・撤去の際は、敷設作業と同様にグラップルで 1 枚ずつ掴んで、道路脇に積む作業を行った。
- ・輸送トラックの運転手が、ユニックを使って、道路脇に積まれた CLT 敷板をスリングで吊り下げて積み込む。これは、敷鉄板と同様の作業である。

- ・現場で敷板の不足が生じた場合に備えて、現場付近に CLT 敷板を保管してある(写真 5.1-19)。
- ・撤去時に、CLT の裏側に雪が付着していると、トラックに重ねて積んだ時に滑って荷崩れする可能性があるため、裏側の着雪を確認しながら作業を行った。
- ・搬入の際は、滑り防止のために CLT の間にクッション材を挟んでいる(写真 5.1-20)。



写真 5.1-15 CLT 敷板敷設現場



写真 5.1-16 CLT 敷板上を車両が走行する様子



写真 5.1-17 CLT 敷板の吊り具挿入部



写真 5.1-18 CLT 敷板の段差箇所



写真 5.1-19 現場に搬入した未使用の CLT 敷板



写真 5.1-20 運搬時に挟んでいるクッション材

iii) ③の実証試験現場である住宅外構において長期間使用した場合の状況把握の実施状況

本年度実施した住宅外構の実証試験現場で使用した CLT 敷板の内訳は、表 5.1-2 に示すとおり、強軸の 5 層 5PLY が 10 枚である。また、住宅外構のスペースに合わせるため、次のとおりサイズ変更を行った。その内訳は、950 mm×5,995 mm×1 枚、950 mm×4,500 mm×1 枚、1,150 mm×4,500 mm×3 枚、900 mm×5,000 mm×1 枚、1,150 mm×5,000 mm×1 枚、そして、サイズ変更しない CLT 敷板(1,150 mm×5,995 mm)は 3 枚である(図 5.1-3 参照)。敷設当時と現在の様子は、以下の写真 5.1-21、22 のとおり、冬期間は雪の下に埋もれている状況である。今後も引き続き CLT 敷板の破損、腐朽等の状況について経過観察を行っていく。



写真 5.1-21 敷設当時の CLT 敷板の様子



写真 5.1-22 雪に埋もれた CLT 敷板の様子

iv) ④の実証試験現場であるチップ生産ヤードで長期間使用した場合の状況把握の実施状況

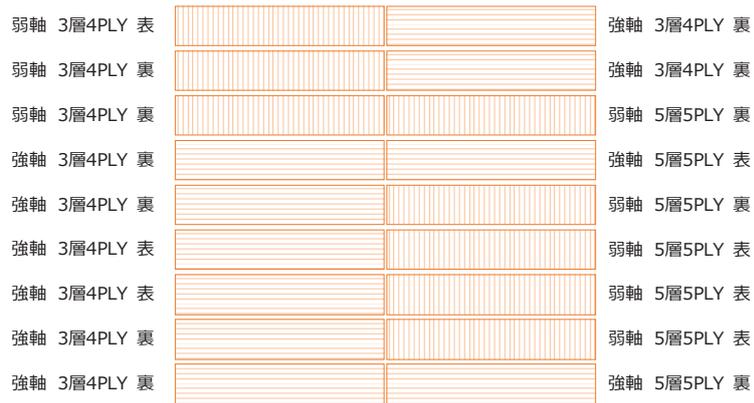
本年度実施したチップ生産ヤードの実証試験現場で使用した CLT 敷板の内訳は、表 5.1-2 に示すとおり、強軸の 3 層 4PLY が 8 枚、5 層 5PLY が 2 枚、弱軸の 3 層 4PLY が 3 枚、5 層 5PLY が 5 枚の合計 18 枚である。そのうち弱軸の 5 層 5PLY のみ転用回数 1 回で、その他は転用回数 2 回目である。敷設当時と約 5 ヶ月後の CLT 敷板の様子は、写真 5.1-23、24 のとおりである。また、レイアウトを図 5.1-12 に示す。



写真 5.1-23 敷設当時の CLT 敷板の様子



写真 5.1-24 敷設から約 5 ヶ月後の様子



道路側

図 5.1-12 チップ生産ヤードに敷設した CLT 敷板のレイアウト

本実証試験現場の作業者への聞き取り調査の結果を以下に示す。

- 吊り具を挿入するためのかき込みが、土砂等によって埋もれている状況である(写真 5. 1-25)。
- CLT 敷板に採石等が食い込んでいる状況であるため、リース事業で転用する際にはある程度の洗浄が必要であると考えられる(写真 5. 1-26)。
- 敷設している地盤が不陸であるため、CLT 敷板が馴染まず段差が生じてしまう(写真 5. 1-27)。
現状の段差であれば作業に大きな支障はないが、これ以上大きな段差が発生した場合には、何らかの対策が必要となる。
- CLT 敷板の表面に、重機走行による傷や欠けなどの損傷があるが、作業に大きな支障はない(写真 5. 1-28)。



写真 5.1-25 吊り具を挿入する欠き込み



写真 5.1-26 CLT 敷板に食い込んだ碎石等



写真 5.1-27 CLT 敷板の段差



写真 5.1-28 重機による CLT 敷板表面の損傷

v) ⑥の実証試験現場における作業性と使用感の聞き取り調査の実施状況

本年度実施した⑥の実証現場は、「林業生産基盤整備道アリサラップ支線双珠別工区開設工事」の林道工事である。本工事では10枚のカラマツ製 CLT 敷板を使用しており、表 5.1-2 に示すとおり、全て強軸の3層 3PLY である。

CLT 敷板のサイズは、CLT メーカーの歩留まりが最も高くなるサイズ(1,200 mm×3,000 mm×90 mm)とした。また、今回の現場は簡易アスファルト舗装仕上げの林道であったため、これまでのように、採石等で CLT 敷板の厚さによる段差を解消することが出来ないため、トラックの乗り上げを考慮して端部にスロープ加工を施した(図 5.1-13)。スロープ加工は、CLT メーカーが所有する加工機械(HUNDEGER 社 K2i)の丸鋸を傾斜させて加工可能な角度である 30 度で 1,200 mm の面に加工し、直列で敷設する際に段差が生じないように両端を互い違いに加工した。さらに、CLT 敷板の敷設レイアウトは、車路に対して横置き(7 枚) + 縦置き(3 枚)とした。

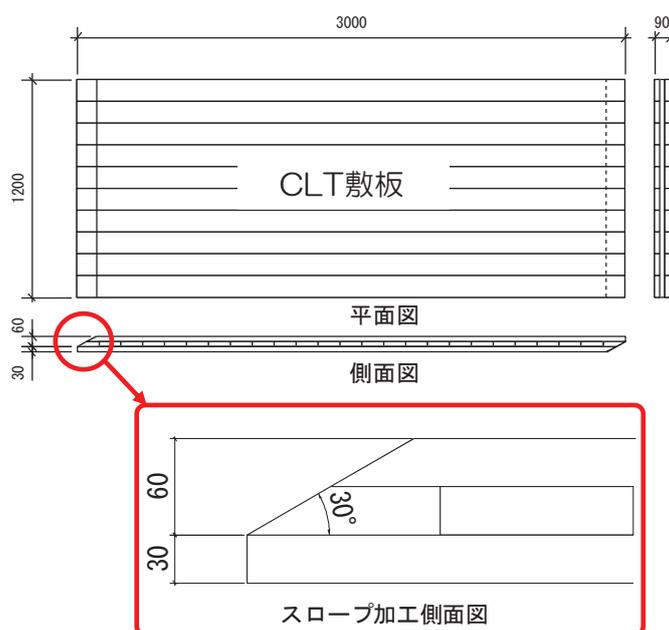


図 5.1-13 カラマツ製 CLT 敷板の図面

林道工事現場でのカラマツ CLT 敷板の敷設作業の様子を写真 5.1-29～32 に示す。

最大積載量 7.4 t の平ボディトラックで 10 枚の CLT 敷板を運送搬入し(写真 5.1-29)、その後、現場に在中しているバックホーによって、敷設現場の手前から敷設した(写真 5.1-30)。敷設後の様子を写真 5.1-31 に示す。

敷設現場は、簡易アスファルト舗装されており、道路の幅方向に緩やかな水勾配が付けられているため、敷設作業中にバックホーが既設の CLT 敷板に乗った際に端部が浮いていたことによって、一部折れて破損してしまった。

当初、進入箇所(写真 5.1-31 手前)にスロープ加工を施した端部を向けた 3 枚の CLT 敷板を縦置きにして、そこから先は、ノンスリップ性能に期待するとともに、敷板の間に段差解消のための採石の敷き込みが不要となるように CLT 敷板を運搬路の進行方向に対して横置きにした。しかし、上述の破損(写真 5.1-32)が発生したため、これを防ぐためにレイアウトを変更した(写真 5.1-33、34)。なお、レイアウト変更後の写真は敷設から約 2 ヶ月経過している状況であるため、CLT 敷板の表面や角部が傷んでいる状況が伺える。ただし、これらの損傷は現場で使用する上での支障は全くないとのことであった。

当初、CLT 敷板間の段差による車両の脱輪を解消するため横置きに並列で敷設したが、レイアウトの変更により縦置きに直列で敷設しても、トラックや重機が脱輪することはなかった。本現場での実証試験で始めてカラマツ材による CLT 敷板を使用した。これまで使用してきたスギ材と比較して、使用感や作業性の違いはないものと考えられる。



写真 5.1-29 カラマツ製 CLT 敷板の搬入



写真 5.1-30 バックホーによる敷設作業



写真 5.1-31 敷設後の CLT 敷板



写真 5.1-32 敷設時の割れの発生(上)と
角部の破損(下)



写真 5.3-33 レイアウト変更後の CLT 敷板



写真 5.3-34 CLT 敷板上を重機が走行する様子

vi) ⑦の実証試験現場における作業性と使用感の聞き取り調査の実施状況

本年度実施した⑦の実証現場は、「天塩川維持工事の内 川南樋門外改良工事」の河川工事である。本工事では、29枚のCLT敷板を使用しており、表5.1-2に示すとおり、全て強軸の3層3PLYで、サイズは昨年度の実証試験を踏まえて、トラックでの運搬効率や現場作業性、ノンスリップ性を考慮して検討した2,000mm×3,500mm×90mmとし、これを車路に対して横向きに配置して使用した。また、作業性の向上を図るため、これまでのユニックで吊り下げて敷設する方法ではなく、グラップルで掴んで敷設する方法について検討した。

敷設作業は、グラップルの先端に本工事のために設計・製作したアタッチメントを取り付けて、現場に積んである CLT 敷板を 1 枚ずつ掴んで敷設した(写真 5.1-35)。アタッチメントは、実証試験を行った(株)イトイ産業によって新たに開発したものであり、CLT 敷板を掴む動作と敷設後の CLT 敷板を引きずって移動する動作を行う必要があることから、掴むための L 型の形状やマグネットの使用など様々な工夫がされている(写真 5.1-36)。



写真 5.1-35 施工の様子



写真 5.1-36 開発したアタッチメント

作業性を評価するため、CLT 敷板の敷設作業に要した時間を施工面積で除して、1 m²あたりの作業時間を把握し、これまでの実証試験結果と比較した(表 5.1-4)。

表 5.1-4 CLT 敷板の敷設作業の比較

実証試験現場種別	種類	敷設用途	サイズ			枚数	総面積 (m ²)	作業時間 (分)	1m ² あたりの 作業時間(分)
			幅(m)	長さ(m)	面積(m ²)				
R3年度 河川工事現場	CLT敷板 (R03 年度版)	運搬路	1.150	5.995	6.9	34	234.4	210	0.896
		積込ヤード	1.150	5.995	6.9	20	137.9	180	1.305
	敷鉄板		1.500	6.000	9.0	28	252.0	180	0.714
R4年度 河川工事現場	CLT敷板 (R04 年度版)	運搬路	2.000	3.500	7.0	29	203.0	210	1.034

比較した実証試験は、表 5.1-2 の①士別市多寄町の河川工事現場における運搬路と積込ヤードでの敷設作業と、同現場における積込ヤードでの敷鉄板の敷設作業である。

本年度の CLT 敷板 1 m²あたりの作業時間は 1.034 分であり、昨年度の運搬路に施工した CLT 敷板の 1.15 倍、積込ヤードに施工した CLT 敷板の 0.79 倍、同積込ヤードに施工した敷鉄板の 1.45 倍となり、昨年度の積み込みヤードへの CLT 敷板よりも作業時間は短縮されるものの、昨年度の運搬路への CLT 敷板や、積み込みヤードへの敷鉄板の敷設作業と比較し、CLT 敷板の作業時間は短縮されなかった。

しかし、昨年度の CLT 敷板や敷鉄板の敷設作業に係る作業員数は、敷板を吊り下げるためのバックホーの運転手 1 名と、吊り下げられた敷板の位置決めを行う作業員 2 名の合計 3 名の作業員が必要であるが、本年度の作業は、グラップルの運転手 1 名で行うことが可能であった。さらに、本年度の作業は、吊り荷付近での作業が不要であるため、安全性の面でも優位性があると考えられる。

本年度版の CLT 敷板は、運搬路の走行方向に対して直交方向に敷設することが可能なサイズであることから、昨年度版の CLT 敷板のように、隙間を採石で埋める作業が不要であることと、ノンスリップ効果が期待できると考えられる。

本実証試験現場において、昨年度の CLT 敷板や敷鉄板と比較した場合の違いについて聞き取り調査を行った。

聞き取り調査によって把握した荷受け作業、運搬、荷下ろし作業、敷設作業、使用感などの比較結果は以下のとおりである。

- 荷受け作業 : 敷板サイズが運搬車の横幅サイズになっているため荷受けしやすかった。
- 運搬 : 運搬車の横幅サイズになっているため荷物の固定がしやすい。
- 荷下ろし作業 : 敷板が運搬車荷台の横方向に並んでいないので荷卸ししやすい。
- 敷設作業 : 横断方向に段差無く設置できるので作業しやすい。
- 使用感 : 昨年度の CLT 敷板と比較し、今回のサイズの方が敷板間の間詰がいらないので良い。
- その他 : 今回の現場は盛土部分に設置しているため盛土の沈下により若干バタツキがある。

本年度新たに開発したグラップルの先端に取り付けるアタッチメントの使用感などについて、聞き取り調査を行った。

聞き取り調査によって把握したメリット、デメリットや改善点等は以下のとおりである。

○メリット

- ・挟み込む部分が自立式(振り子)になっているため敷板をつかみやすい。
- ・グラップルメーカー IWAFUJI の GS-90 若しくは GS95 を所有していればアタッチメントを装着できるので、汎用性が高いと思われる。
- ・アタッチメントがあるため一人での作業が可能になった。
(作業員がいなくて良いので安全性の向上と人手不足の対策になっている。)
- ・アタッチメントのつかみ部分に滑り防止が付いているので冬期間でも安心して使用できる。
- ・振り子式のつかみ部分がマグネットにより直立固定するため敷いた敷板の間を引き離す事ができて良い
- ・CLT の厚さに応じて、アタッチメントの挟み込み厚を変更できるので使用しやすい。
- ・挟み込む部分が自立式(振り子)になっているため、幅の狭い・広いにかかわらず安全に挟み込む事ができる(許容範囲 1,100 mm~2,200 mm)。

○デメリットと改善点

- ・アタッチメントの敷板を挟み込む部分の強度を少し高めてほしい。
- ・アタッチメントのはさみ部分のマグネットの力をもう少し高めてほしい(重機の振動でマグネットから離れてしまう)。
- ・アタッチメントの重量が重いので、装着・脱着時の工夫改善がほしい。

(7)まとめ

上記報告のとおり、本年度は、昨年度使用した CLT 敷板の転用による実証試験と、昨年度の実証試験を踏まえて、新たなサイズや樹種によって製造した CLT 敷板による実証試験を行った。

転用の実証試験は、2 回転用まで実施し、損傷の激しい CLT 敷板については、転用後のチップ燃料としてのカスケード利用の検証を行った。また、新たなサイズ(2,000 mm×3,500 mm×90 mm)による実証試験では、CLT 敷板専用のグラップルに取り付けるアタッチメントを開発した。さらに、本年度はじめて北海道産のカラマツ材を使用し、北海道のメーカーによって CLT 敷板製造した。そして、CLT 敷板を始めて扱う施工業者によって実証試験を行った。従って、本年度は継続的に使用する現場も含めて、6 箇所の現場で様々な実証試験を行った。

なお、本年度実施した現場実証試験によって把握した経費と作業時間やそれに伴う燃料使用量等は、本事業の WG4へ情報提供し、二酸化炭素排出量とコスト試算等の環境影響評価や経済性評価を実施している。なお、各評価については、今後、CLT 敷板のリース事業のモデルを設定して試算することとした。

11月14～16日に「CLT 土木利用 WG3 現地検討会」を実施し、16名の関係者が出席した。視察会の様子を写真 5.1-37～45 に示す。



写真 5.1-37 占冠村林道工事現場



写真 5.1-38 基礎試験現場 視察



写真 5.1-39 チップ生産ヤード



写真 5.1-40 回収後の敷板保管場所



写真 5.1-41 (株)イトイ GHD にて



写真 5.1-42 CLT 敷板のチップ化



写真 5.1-43 上士別町河川工事現場



写真 5.1-44 理研興業(株)にて



写真 5.1-45 CLT 防雪柵試験施工現場

(8)課題

本年度の各現場で行った CLT 敷板の敷設作業の実証試験の際に抽出された課題は、以下である。

- ①今回の実証試験で CLT 敷板を転用した際には、2 回目の転用まで、特に支障なく使うことが出来たが、使うことが出来ない場合の指標が必要であると考えられる。指標については、自社((株)イトイ産業)で使用する場合とリース事業で使用する場合とは、異なる可能性があるため、これを明らかにすることが課題である。
- ②CLT 敷板のリース事業を展開するためには、回収した敷板のメンテナンス方法や保管方法等が課題である。
- ③現段階で実証試験を行っている CLT 敷板は、昨年度から転用している 6 タイプと、本年度製造したスギ材、カラマツ材の 2 タイプである。いずれの CLT 敷板も各 CLT メーカー(銘建工業(株)、(協)オホーツクウッドピア)で効率よく製造することが可能なサイズとしているが、今後は、現場の状況に応じたサイズが必要となるケースが想定されるため、CLT マザーボードからの効率的な製造サイズによるバリエーションをさらに増やす必要がある。
- ④敷設する地盤の状況によって、CLT 敷板の敷設する向きを考慮する必要がある。例えば本年度検証した「占冠村の林道工事」の簡易アスファルト舗装のように、道路の横断方向に水勾配が付けられている場合や、不陸の大きな地盤の場合は、敷板が浮いてしまうような方向や位置で敷設することには留意する必要がある。また、軟弱な地盤に敷設する際には敷板の上に積載する重量によっては、曲げによる破損が想定されることから、耐荷重を把握する必要がある。
- ⑤本年度の占冠村の林道工事における現場からのコメントで、カーブしている現場での施工について、今回の曲

率程度であれば、対応可能であるが、これ以上曲率が大きなカーブの場合は、何らかの工夫が必要である、とのことであった。

- ⑥敷鉄板と比較して、厚さが(高さ)が大きいため、車両が乗り上げやすいように CLT 敷板にスロープ加工を施したが、この加工によるコストアップと現場での段差への対応にかかる経費についての費用対効果の検証が必要である。
- ⑦敷設作業の効率化を図るため、グラップルに取り付けるアタッチメントを開発したが、リース事業等により自社((株)イトイ産業)以外の施工業者が使用する場合は、吊り具など他の作業方法でも対応可能な工夫が必要である。
- ⑧アタッチメントの敷板を挟み込む部分の強度とアタッチメントのはさみ部分のマグネットの力を高める必要がある。また、アタッチメントの重量が重いため、装着・脱着時の工夫改善が必要である。
- ⑨CLT 敷板上での作業環境を把握するため、温湿度を測定し敷鉄板と比較する必要がある。
- ⑩実証試験の際に CLT 敷板にズレが生じるケースが見られたため、敷板どうしを接合するための工夫が必要である。海外の先行事例では、接合具によって連結しているケースも見られる。
- ⑪実証試験の際に CLT 敷板の角部分の損傷が激しかった。これを防ぐための方策として、海外の先行事例では、鋼製の枠の中に CLT 敷板を組み込んでいる事例がみられる。また、この鋼製枠を互いに連結することで、上記⑩の CLT 敷板のズレも解消することが可能となっている。ただし、海外の先行事例の詳細については不明であるため、今後、海外での先進事例を調査し、CLT の土木利用に関する実態や海外既製品が有するノウハウに日本への適用可能性とともに、CLT 敷板の取引形態や価格構成等のビジネスモデルについて把握する必要がある。
- ⑫破損や損傷によって敷板としての機能を満たすことが出来なくなるケースとともに、長期間使用した場合には、木材の腐朽によって、その機能が発揮できなくなるケースも想定されるため、非破壊による強度試験等により、残存強度を把握しその指標を明らかにする必要がある。
- ⑬リース事業等による転用を想定した場合、使用履歴を把握するためのトレーサビリティシステム(IC タグなど)を活用した利用システムの検討が必要である。
- ⑭WG4 における CLT 敷板と敷鉄板の環境影響評価や経済波及効果等の試算結果を参照し、環境面や経済性の面で CLT 敷板が有意となるような CLT 敷板の開発と利用する上でのビジネスモデルについて検討する必要がある。

5.1.2 CLT 敷板の滑り抵抗

(1) 開発概要

CLT 敷板と従来の敷鉄板との比較において、CLT 敷板の優位性と考えられる静粛性を定量的に明らかにするために、CLT 敷板と敷鉄板の滑り抵抗を測定した。

(2) 目的

滑り性試験の原理は、図 5.1-13 のように重り、バネなどにより鉛直荷重を載荷した滑り試験片を斜め上方に引っ張る試験で、人の歩行開始時に蹴り出すステップを想定している。

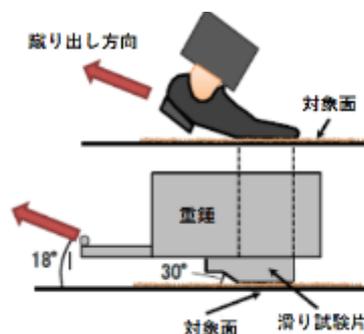


図 5.1-13 滑り試験機の原理¹⁾

この試験で得られる値は滑り抵抗係数(CSR: Coefficient of Slip Resistance)と呼ばれ、人が歩いた時の感覚を数値化したものとされる。CSR 値は0~1の範囲で値が小さいほど滑りやすい。試験方法は、「高分子系張り床材試験方法(17)滑り性試験」として JIS A 1454 で規格化されている。

路面の滑り抵抗性を示す指標としてはこの他、英国で開発された BPN(British Pendulum Number)がある。これは走行車両の安全性を担保する性能要件とされ、路面が濡れた状態の自動車の走行速度 30 マイル(約 50 km/h)の横滑り摩擦係数と相関があるといわれている。本来、BPN は車道に対する性能試験であり、CSR 値との相関性は確認されていない。また測定方法、基準値とも ISO、JIS 規格に上がっていない。

路面の滑り抵抗性を測定する機器にはこれら以外に、路面滑り測定車を用い、路面とタイヤの滑り摩擦係数を測定する方法もある。道路構造令では走行速度 40~60 km/h の湿潤状態の路面の滑り摩擦係数が定められている。

敷鉄板と CLT 敷板の滑りにくさを比較するにあたっては、通常の車両の走行が想定されないこと、測定方法が JIS 規格にあり、測定方法も比較的容易であることから滑り性試験による CSR 値を採用することにした。

(3) 工程・試験ケース・実施状況・実施場所

令和 4(2022)年 8 月 3 日に、北海道士別市の株式会社イトイ産業の敷地内で、CLT 敷板と敷鉄板の滑り抵抗係数(CSR)を JIS A 1454 に沿って測定した。表 5.1-5 の仕様の CLT 敷板(強軸方向と弱軸方向)と敷鉄板に関して、それぞれ乾燥状態と水道水を散布した湿潤状態の表面について測定した。測定状況を写真 5.1-44 に示す。

表 5.1-5 CLT 敷板と敷鉄板の仕様

供試体番号	供試体仕様
①	CLT 敷板強軸方向: 厚さ90mm 幅1.8m 長さ2.74m 面積4.9m ²
②	CLT 敷板弱軸方向: 厚さ90mm 幅1.8m 長さ2.74m 面積4.9m ²
③	CLT 敷板強軸方向: 厚さ120mm 幅1.25m 長さ7.87m 面積 9.8m ²
④	CLT 敷板弱軸方向: 厚さ120mm 幅1.25m 長さ7.87m 面積 9.8m ²
⑤	敷鉄板: 幅1.5m 長さ3m 面積4.5m ²
⑥	敷鉄板: 幅1.5m 長さ6m 面積9m ²



写真 5.1-44 CSR の測定状況 (CLT 敷板強軸方向の測定)

(4) まとめ

試験結果を、表 5.1-6 と図 5.1-14、15 に示す。これらより、結果を以下に考察する。

- CLT 敷板の方が、敷鉄板より滑りにくい。
 - CLT 敷板の場合、湿潤状態の方が乾燥状態よりも滑りにくい。逆に、敷鉄板の場合、乾燥状態の方が湿潤状態よりも滑りにくい。
 - 強軸方向と弱軸方向の CLT 敷板の CSR 値には大きな差がみられなかった。
- (一社)日本建築学会では、「履物を履いて動作する床、路面」の CSR 値が、0.4 以上であることを推奨している²⁾。今回の測定値は全てこの値よりも大きく滑りにくさの基準を満たしている。

表 5.1-6 CSR 測定値

供試体番号	回数	CSR測定値						
		1	2	3	4	5	平均	SD
①	乾燥	0.83	0.82	0.82	0.83	0.81	0.82	0.01
	湿潤	0.85	0.87	0.88	0.85	0.84	0.86	0.02
②	乾燥	0.77	0.77	0.76	0.77	0.77	0.77	0.00
	湿潤	0.85	0.83	0.85	0.86	0.84	0.85	0.01
③	乾燥	0.72	0.72	0.71	0.72	0.71	0.72	0.01
	湿潤	0.82	0.80	0.82	0.83	0.82	0.82	0.01
④	乾燥	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	0.75	0.01
	湿潤	0.86	0.84	0.85	0.87	0.86	0.86	0.01
⑤	乾燥	0.72	0.71	0.71	0.70	0.70	0.71	0.01
	湿潤	0.67	0.67	0.64	0.66	0.67	0.66	0.01
⑥	乾燥	0.68	0.67	0.66	0.67	0.66	0.67	0.01
	湿潤	0.62	0.63	0.64	0.61	0.61	0.62	0.01

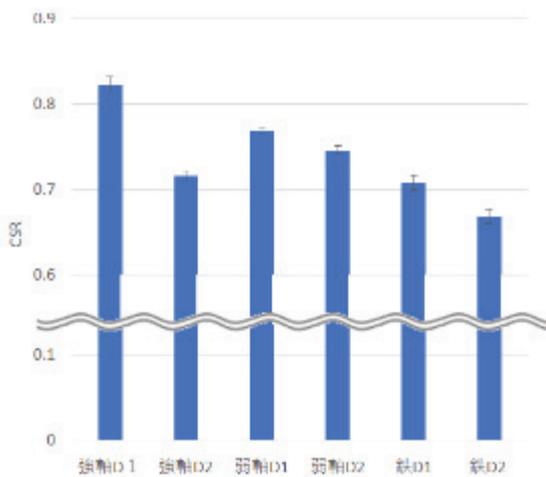


図 5.1-14 乾燥状態の CSR

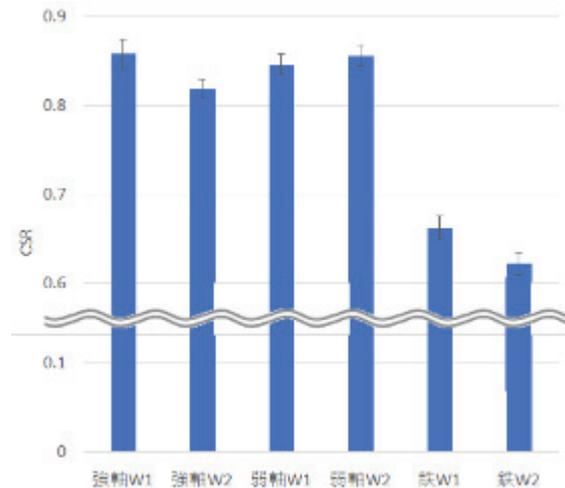


図 5.1-15 湿潤状態の CSR

(5) 課題

今回の CSR 値の測定対象は、使用していない CLT 敷板と敷鉄板であった。測定結果をみると、強軸方向と弱軸方向の CLT 敷板の CSR 値には、大きな差がみられなかった。しかし、実際に工事現場で使用している CLT 敷板においては、現場関係者から「表面が弱軸方向の CLT 敷板の方が、強軸の敷板よりも滑りにくい」、という感想が得られている。これを定量的に明らかにするには、使用済み CLT 敷板について、強軸部分と弱軸部分での CSR 値を比較する必要がある。

(6) 参考文献

- 1) 常松直志、長谷川淳也、中原大磯、歩行者系舗装路面のすべり抵抗に関する評価、土木学会第 65 回年次学術講演会、V-059、117-118、2010
- 2) 一般社団法人 日本建築学会材料施工委員会内外装工事運営委員会 床工事 WG、床の性能評価方法の概要と性能の推奨値(案)、2008

5.1.3 従来技術との比較

実証試験現場において、CLT 敷板と敷鉄板との違いについて聞き取り調査を行った。聞き取り調査によって把握した敷鉄板と比較した CLT 敷板のメリットとデメリットは以下のとおりである。

○メリット

- ・木材の温かみがあり、現場の景観が良い。
- ・作業車の通過時(ダンプトラック)の騒音が静かな印象である。
- ・敷板上の温度が低い(真夏)涼しい感じがある。熱中症対策にもなる。
- ・断熱性が良いので積雪上に敷いても敷板が沈下しにくい。
- ・重量が敷鉄板より軽いため運搬コスト削減と現場の工程短縮につながっている。
- ・敷鉄板と比較して CLT 敷板は、加工(切断)して良いのであれば、現場合せで細かな部分にも設置できると思うので良いと考える。
- ・冬期間に焼砂を撒いた際、木目に食い込んでくれるために、滑り止め効果が高い。

○デメリット

- ・強度が弱いので、取扱いに気配りが必要である。
- ・厚みがあるため、重ね敷ができない。
- ・清掃が大変である。
- ・水を含んでしまうので、水気が多い場所では使用しにくい。
- ・段差処理がしにくい。
- ・比重が軽いため、水気が多い場所では安定しにくい。
- ・設置場所の不陸処理に、手間がかかる。

これまで開発した CLT 敷板の実証試験等によって把握したメリットやデメリットについて、従来技術(敷鉄板・プラ製敷板)と比較する(表 5.1-7)。

表 5.1-7 CLT 敷板と従来技術との比較

No. 評価項目	CLT敷板	敷鉄板	プラ製敷板	従来技術と比較したCLT敷板のメリット・デメリット
1. 強度性能	○	◎	△	・軟弱地盤、不陸、橋渡しでの使用に制約がある
2. 損傷具合	△	◎	○	・表面の損傷と表面と側面の角部が欠けやすい(機能性には問題なし)
3. 耐朽性	△	◎	○	・長期間使用した場合に腐朽による影響を受ける可能性あり
4. 輸送	○	△	◎	・軽量であるため一度で大量輸送が可能
5. 施工性	○	△	◎	・密度が低いため設置地盤への重量対策等の処理が不要 ・軽いため施工性がよい
6. 使用時	○	○	○	・大きな違いはないが他と比較して軽いため不陸地盤でのハネや車両走行時等に動く場合がある ・雨天時や降雪時に滑りにくい
7. 騒音性	◎	△	○	・重量物の落下時等の衝撃音が低く静粛性がある
8. 温湿度環境	◎	△	○	・想定(今後の測定により再考)
9. 再利用	△	◎	○	・使用後の損傷が大きいためリース事業では使用回数に制約がある
10. 冬季の利用	◎	△	○	・断熱性が高いため積もった雪が凍りにくい ・雪上使用の場合敷板下の雪が溶けにくいいため沈降しにくい
11. 価格(単品)	◎	○	◎	・単品の製品価格は他と比較して安価
12. 価格(リース時)	○	◎	◎	・想定(今後の試算により再考)
13. 経済波及効果	◎	△	△	・想定(今後の試算により再考)
14. 環境優位性	◎	△	△	・想定(今後の試算により再考)

表中の評価項目ごとに、CLT 敷板と従来技術(敷鉄板・プラ製敷板)を比較し、その評価を◎、○、△で表した。

ただし、本評価は主観的なものであり、定量的な裏付けに基づくものではない。また、プラ製敷板(商品名:こうじばん)については、本事業では実証試験を実施していないため、使用者等からの聞き取り調査等に基づいて評価している。

評価項目「1. 強度性能」は、敷鉄板が最も優れており、軟弱地盤や不陸が生じている現場や橋渡しする使用については CLT 敷板が破損する可能性があるためデメリットであると考えられる。

評価項目「2. 損傷具合」は、実証試験で明らかになったとおり、機能性には問題がないものの表面の損傷と表面と側面の角部が欠けやすい状況であり、従来技術と比較してデメリットであると考えられる。

評価項目「3. 耐朽性」は、耐朽性試験や実証試験では、未だそれほど長期使用していないため、CLT の腐朽は確認されていないが、防腐処理を行っていないため、屋外で長期間使用した場合には、必ず腐朽による影響を受ける可能性があり従来技術と比較してデメリットであると考えられる。

評価項目「4. 輸送」は、敷鉄板と比較し軽量であるため、輸送トラック 1 台で大量に積載することが可能であることから大きなメリットであると考えられる。

評価項目「5. 施工性」は、敷鉄板では軟弱地盤に設置する際に重量対策等の処理が必要であるが、CLT 敷板は密度が低いいためこの処理が不要となることからメリットであると考えられる。また、軽量であるため施工性がよいことについてもメリットであると考えられる。

評価項目「6. 使用時」は、いずれの敷板についても、大きな違いはないが CLT 敷板は他と比較して軽いため不陸地盤でのハネや車両走行時等に動く場合がある一方で、雨天時や降雪時に滑りにくいといったことがメリットであると考えられる。

評価項目「7. 騒音性」は、CLT 敷板と敷鉄板を床衝撃音の試験によって比較した結果、約 10 dB程、CLT 敷板の方が低かったため、重量物の落下時等の衝撃音が低く静粛性があることからメリットであると考えられる。

評価項目「9. 再利用」は、CLT 敷板の使用後の損傷が激しいためリース事業では使用回数に制約がありデメリットであると考えられる。

評価項目「10. 冬季の利用」は、CLT 敷板の実証試験現場での聞き取り調査の結果から、断熱性が高いため積もった雪が凍りにくいことや、雪上使用の場合に敷板下の雪が溶けにくいいため沈降しにくいことが明らかになったため、メリットであると考えられる。

評価項目「11. 価格(単品)」は、CLT 敷板が 16,500 円/m²程度(実勢価格)であり、敷鉄板が 19,160 円/m²(建設物価 2022 年 10 月)、プラ製敷板(商品名:こうじばん)が 15,500 円/m²であった。

評価項目「8. 温湿度環境」、「12. 価格(リース時)」、「13. 経済波及効果」、「14. 環境優位性」は、今後の試算等によって再考する必要があるが、現時点で想定される評価を記載した。

5.2 CLT 防雪柵 の開発

5.2.1 防雪柵上部形状の検討

(1) 開発概要

CLT 防雪柵上部の固定方法の検討、並びに設置及び使用材の選定を検証する。

(2) 目的

CLT 防雪柵の上部(屈曲部)において、板を固定するための鋼製部材を検討、設置することで、課題点を確認するとともに、設置後の防雪効果を検証する。

また、板の使用材が確立されていないことから、異なる樹種、表面処理の有無及び固定方法を比較することで、適した材を選定する。

(3) 工程

表 5.2-1 CLT 防雪柵上部に関する工程表

項目 \ 月	2022/6	2022/7	2022/8	2022/9	2022/10	2022/11	2022/12	2023/1	2023/2	2023/3
詳細設計				(10日)						
資材手配					(60日)					
CLT上部設置						(3日)				

(4) 実施場所

設置場所は理研興業株式会社 屋外試験場(小樽市銭函3丁目 51 番地 21)とし、写真 5.2-1 に示す。



写真 5.2-1 理研興業(株) 屋外試験場

(5) 試験ケース

① 鋼製部材の検討

鋼製部材については、屈曲部の板を固定するための部材(端部固定材及び中間固定材)形状並びに、板を固定する中間固定材を支持する部材(以降、支持部材)の形状検討を行う。

板を固定する部材については、防雪柵上部に使用する全ての板の固定用穴位置を、幅が広い面に開けるよう統一することにしたが、取付向きが設置位置によって異なるため、板にあった形状を検討する。

支持部材については、コスト面を考慮して、垂直部に設置する CLT を活用し強度を担保する方法を検討する。

② 板の検証

板の検証は異なる樹種、形状及び表面処理の有無を検証することで、CLT 防雪柵として、適した材を選定するために実施する。

板は細長い部材を並べて板と板との間に風が流れる空間を設ける必要がある。そのため、今回については心材を使用した半割丸太と集成材を使用して、適した形状を比較する。同程度のサイズに設定するため、半割丸太はφ100mm(100mm×50mm)、集成材は105mm×45mmのサイズにて実施する。

半割丸太は2mの材料を2本並べることで1スパン当たりの材料として使用し、強度の確認を実施する。また、カラマツとトドマツの2種を用意し、樹種の違いによる腐朽等の確認も実施する。

集成材については4mの材料で実施するが、強度検証のため、半分の材料については中間固定を実施し、その

他は主柱との固定のみとした。樹種はカラマツを使用している。

その他の検証として、それぞれの材料にウレタン系塗料による表面処理のしたものとし、表面処理の有無による腐朽状態も確認する。

防雪柵の上部のイメージを、図 5. 2-1 に示す。

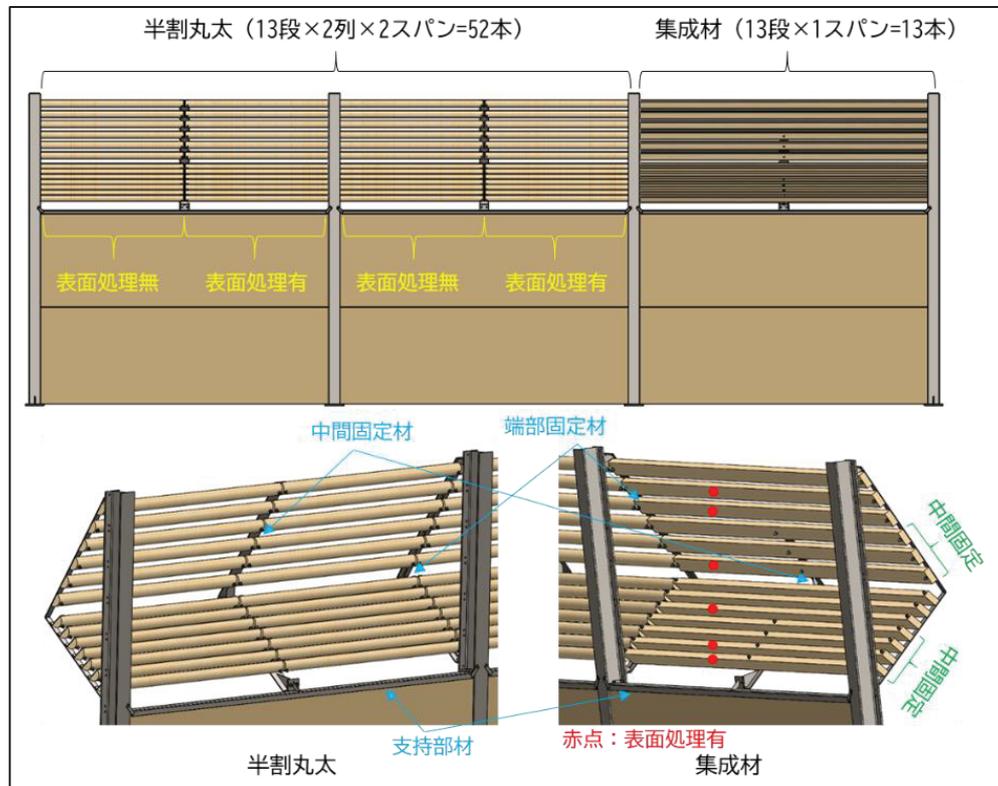


図 5.2-1 CLT 防雪柵 上部内訳

(6) 実施状況

① 鋼製部材の検討

部材の検討については、3DCAD (Solidworks) を用い検証した。

板と板の間に一定の空間を設け、防雪効果を発揮させる形状にするため、屈曲部の下部については面積の小さい面を、上部については面積の大きい面を風が当たる向きに設置できるよう検討した。

板の形状を上下部ともに同形状にしているため、下部の取付部については、アングル材を設けることで異なる取付向きでの設置を行えるようにした(図 5. 2-2)。

中間固定材についても、同様に屈曲形状にしたが、集成材の部材については検証方法に合わせ、短い形状とした(図 5. 2-3)。

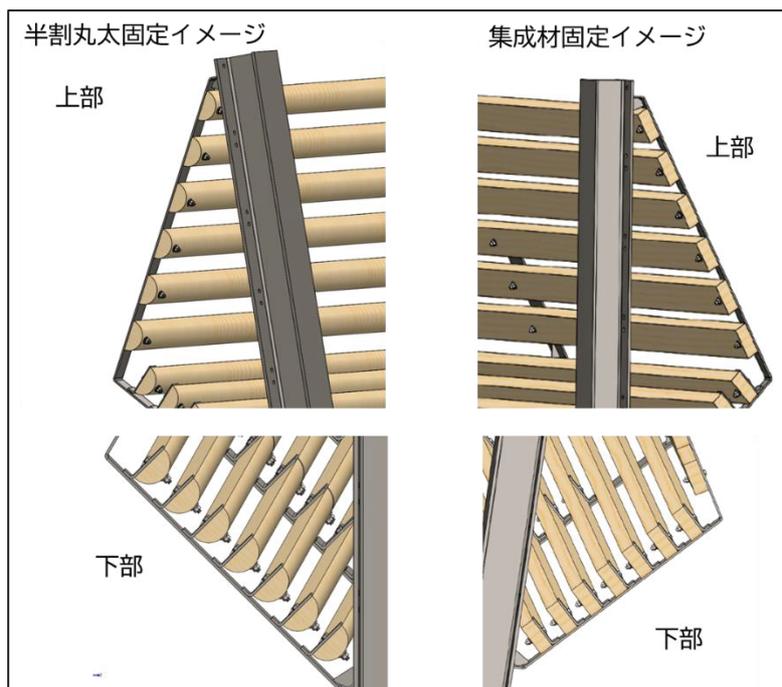


図 5.2-2 CLT 防雪柵 端部固定材 (3D イメージ)

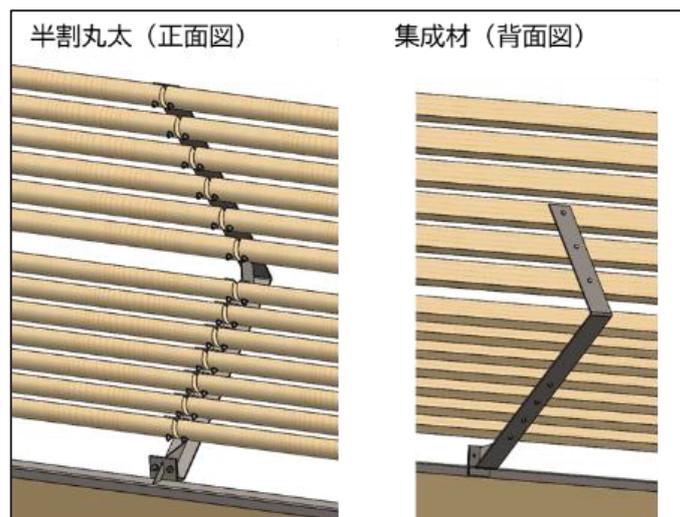


図 5.2-3 CLT 防雪柵 中間固定材 (3D イメージ)

支持部材については溝形状の鋼材を使用し、防雪柵の垂直部に設置する CLT 材の上端に被せる形状とし、使用する鋼材を最小減にすることで、低コスト化を考えた形状とした (図 5.2-4~5.2-5、写真 5.2-2)。

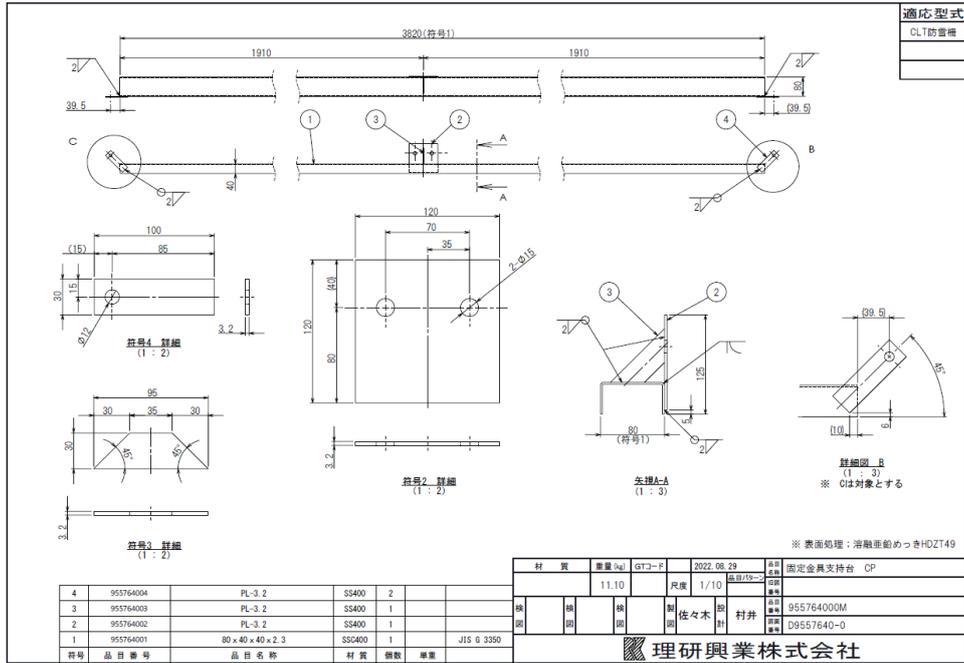


図 5.2-4 支持部材の製作図

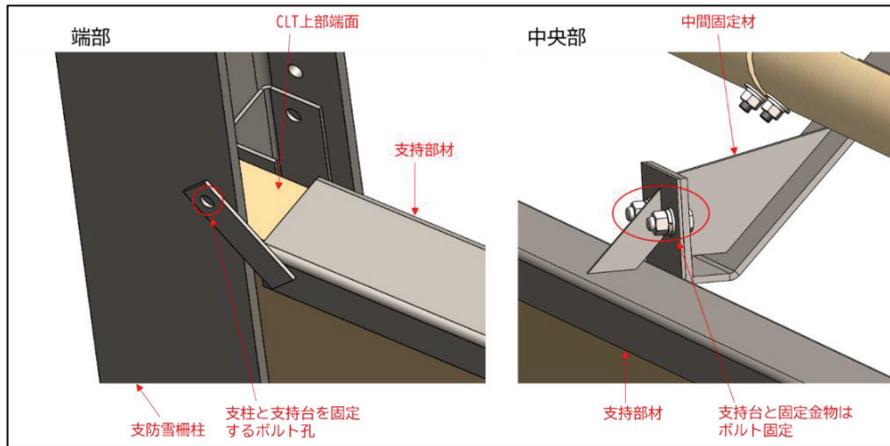


図 5.2-5 支持部材の固定要領(3D イメージ)



写真 5.2-2 鋼製部材を設置した状況

② 板の検証

板の適用可否に関する検証は、本年度の冬期間のフィールド検証にて実施するため、評価データは今後解析する。そのため今回は設置に関する実施状況を報告する。

実際に設置する材料は写真 5. 2-3～5. 2-5 となり、設置方法は、はしごを使用した人力にて設置を実施した。



写真 5.2-3 集成材

(上段:表面処理無 下段:表面処理有)



写真 5.2-4 半割丸太(カラマツ)
左:表面処理有 右:表面処理無



写真 5.2-5 半割丸太(トドマツ)
左:表面処理有、右:表面処理無



写真 5.2-6 上部設置後

(7) まとめ

板として使用する材料の評価については上述のとおり、現在検証中であるため、今後評価をまとめることになる。その他の評価としては、固定方法が単純な孔加工のみであったため、コスト面や腐朽条件としては適した形状であったと考えられる。

一方、鋼製部材の検討については下部の板を固定する際、板との隙間が狭いために、ナットをボルトに固定するのに苦労した状況が確認された(図 5. 2-7)。



写真 5.2-7 下部の取付状況

(8)課題

下部の取付状況に課題点が見つかったことから板の固定金具に改善の必要性が確認された。現状の形状では、ナットをボルトに通すことが難しいとともに、電動工具も使用できないことから施工効率が悪いとともに、施工時におけるボルト類の落下、紛失が懸念される。

5.2.2 着雪量等通年観測データの解析

(1)開発概要

- ①昨年度設置した試験場における CLT 防雪柵の延長上に鋼製防雪柵 3 スパンを追加設置する。
- ②防雪柵の表面温度及び含水率計測、風向風速計測、着雪検証、積雪調査を行い解析する。

(2)目的

- ①昨年度の検証結果を確認したところ、CLT 防雪柵端部に何も設置していないことが原因で、乱れた雪の着氷、及び堆積状況が確認された。CLT 防雪柵の延長上に鋼製防雪柵を3スパン追加設置し、CLT 防雪柵が鋼製防雪柵に挟まれる配置とすることで、端部の風の影響を無くし、より正確なデータを取得することを目的とする。
- ②昨年度から実施しているデータを精査することで、防雪性能及び外的要因における CLT への影響を解析する。

(3)工程

設置工程を表 3. 5-2 に、解析に必要なデータの取得予定を表 5. 2-3 に示す。

表 5.2-2 鋼製防雪柵設置工程

項目 \ 月	2022/6	2022/7	2022/8	2022/9	2022/10	2022/11	2022/12	2023/1	2023/2	2023/3
現地計画	(15日)									
資材手配		(50日)								
整地作業			(4日)							
柵設置 (鋼製)			(10日)							
計測器設置						(1日)				

表 5.2-3 解析に必要なデータ取得工程

項目 \ 月	2022/6	2022/7	2022/8	2022/9	2022/10	2022/11	2022/12	2023/1	2023/2	2023/3
表面温度計測										→
含水率計測										→
風向風速計測										→
着雪検証										→
積雪調査										→

(4)実施場所

実施場所を、理研興業株式会社 屋外試験場(小樽市銭函3丁目 51 番地 21)とする。

(5)試験ケース

鋼製防雪柵は、令和 4(2022)年 9 月に設置を完了した(写真 5. 2-8)。



写真 5.2-8 設置した鋼製防雪柵

計測について使用する計測装置は、気象観測器(風向風速計、温度計及び積雪深計)、含水率計、熱電対温度計(表面温度測定)、及びセンサーカメラを使用する。

それぞれの確認方法については次の内容にて実施する。

①表面温度計測

CLT 及び鋼製防雪柵の表面に熱電対を設置し、その熱電対から得られたデータをデータロガー(写真 5. 2-9)より入手する。計測したデータにより鋼製防雪板と CLT 防雪板の比較及び、表面処理の有無による違いを検証する。

実施期間は、令和 4(2022)年 1 月からとし、計測終了予定期間を令和 5(2023)年 3 月までとする。



写真 5.2-9 データロガー

②含水率計測

CLT 表面に含水率計(写真 5.2-10)を当てて含水率を計測する。表面処理の有無の違いを確認し、腐朽に対しどの CLT が適しているのか検証する。含水率計測は1回/月で計測を実施し、1種類当たり5回計測を実施し、平均値を取る。



写真 5.2-10 含水率計

③風向風速計測

風向風速計、温度計及び積雪深計から構成される気象観測器(写真 5.2-11)を用いて、周辺の気象観測を行う。吹雪時における適切な風向であるか、また、風向を確認することで、CLT が受ける雨の状況も検証する。

本年度では CLT 防雪柵付近の風の減衰効果も確認する。

実施期間は令和4(2022)年1月～令和5(2023)年3月までを予定する。



写真 5.2-11 気象観測器

④着雪検証

センサーカメラ(写真 5.2-12)を設置し、冬期間の防雪柵を撮影しそのデータから雪の付着状況を確認する。CLT への着雪を確認することで、着雪による防雪性能の低下が発生する可能性を検証する。

撮影期間は令和4(2022)年1月～4月(終了)、令和4(2022)年12月～令和5(2023)年4月の2回とする。



写真 5.2-12 センサーカメラ

⑤積雪調査

センサーカメラで撮影した画像、現地調査並びに積雪深計にて防雪柵周辺の積雪状況を調査する。撮影期間は令和4(2022)年1月～4月(終了)、令和4(2022)年12月～令和5(2023)年4月の2回とする。

⑥目視確認

CLT 表面の目視確認を行い、表面状況を確認する。

(6)実施状況

表面温度計測、含水率及び風向風速計測については昨年度より継続しており、本年度の着雪検証及び積雪調査は現在継続している。

(7)まとめ

昨年度に得られた知見に、本年度実施の検証結果を加え、現在までの計測結果をまとめる。

①表面温度計測

表面温度は、通年計測を実施しているが、データ量が多いため、本報告においては、季節及び天候の違いによる傾向をまとめる。



図 5.2-6(左)、図 5.2-7(右)冬期風上(風下)側における表面温度(晴天)2022/1/19



図 5.2-8(左)、図 5.2-9(右) 冬期風上(風下)側における表面温度(雪天)2022/2/22



図 5.2-10(左)、図 5.2-11(右) 夏季風上(風下)側における表面温度(晴天)2022/7/3



図 5.2-12(左)、図 5.2-13(右) 夏季風上(風下)側における表面温度(雨天)2022/8/16

図 5.2-6 及び図 5.2-7 は風上側、風下側における冬季晴天時の表面温度を示す。また、図 5.2-8 及び図 5.2-9 は冬季雪天時の表面温度を表している。晴天時を確認すると、日照が当たっている時間は外気温よりも高い温度を示しており、雪天時には外気温と同程度の表面温度だったことが分かる。このデータの内容では、CLT 毎による大きな違いは確認されない。

次に、図 5.2-10 及び図 5.2-11 は風上側、風下側における夏季晴天時の表面温度を示す。また、図 5.2-12 及び図 5.2-13 は夏季雪天時の表面温度を表している。こちらも冬季と同様、日照が出ている時間は表面温度が高くなり、高い時には 50℃ 近くまで上昇することが確認された。また、雨天時の太陽が出ていない時間帯においては外気温と同程度になることが分かった。こちらも CLT 毎での大きな違いは見られなかった。

これらのデータを確認したところ、鋼製防雪板が CLT よりも低い温度を示す日が多くあった。日光が当たりやすい時間帯では、木材よりも鋼材の方が一般的に高くなる傾向があるが、それと異なる値であった。原因を調べたところ、鋼製防雪板の温度測定に用いている熱電対の設置方法が、板と支柱を挟むように設置していた。支柱は厚い鋼材を用いているため、温度上昇の妨げになり CLT よりも温度が上がらなかった可能性が高いことが分かった。そのため、令和 4 (2022) 年 9 月 14 日より、新たに設置した鋼製防雪柵に設置し、CLT と近い条件での温度計測を実施した。

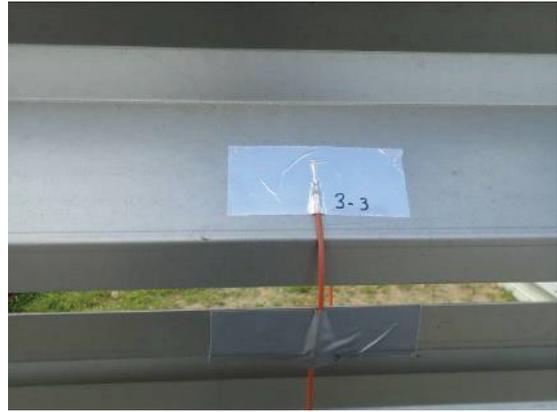


写真 5.2-13,写真 5.2-14 鋼製防雪板に設置した熱電対(温度計測器)

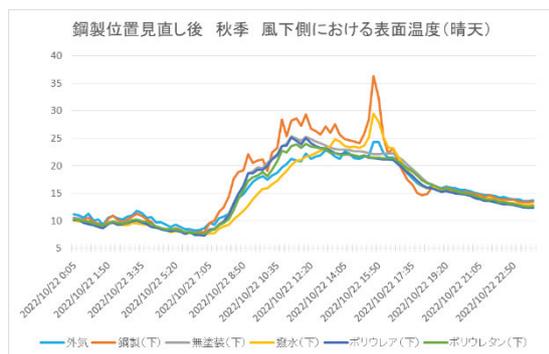


図 5.2-14(左),図 5.2-15(右)秋季風上(風下)側における表面温度(晴天)2022/10/22

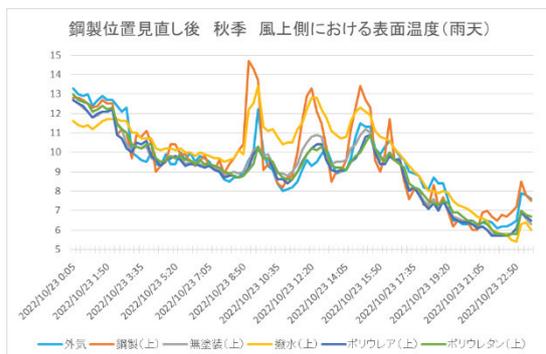


図 5.2-16(左),図 5.2-17(右)秋季風上(風下)側における表面温度(雨天)2022/10/23

図 5.2-14 及び図 5.2-15 は風上側、風下側における秋季晴天時の表面温度を示す。また、図 5.2-16 及び図 5.2-17 は秋季雨天時の表面温度を表している。これまでに検証した方法とは異なり、晴天時及び雨天時いずれも CLT よりも高い温度を示すことが確認された。

新たに設置した位置での検証はまだ実施して間もないため、引き続きデータを回収し、詳細な検証を実施していく。

②含水率計測

計測のタイミングは、

- ・暫く雨が降っていない時期
- ・前日または早朝に雨が降った時期

の双方で実施することで、CLT の乾燥状態と湿潤状態での含水率を調査した。計測結果を次のグラフにまとめる。

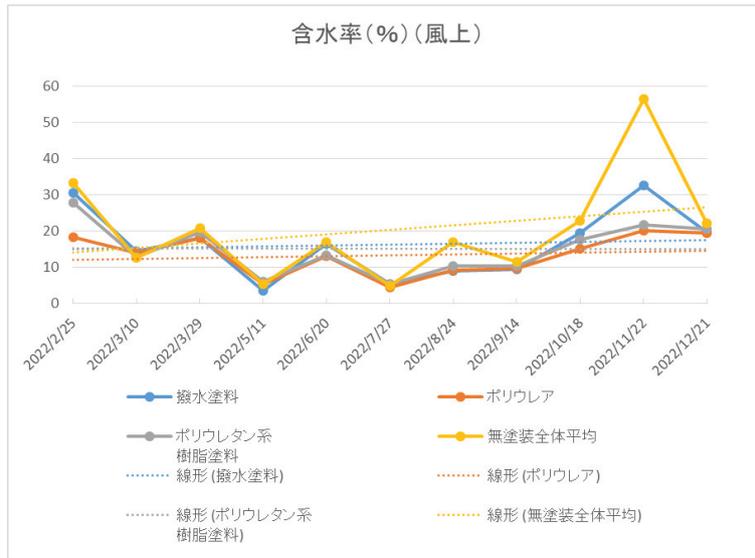


図 5.2-18 CLT の表面含水率(風上側)

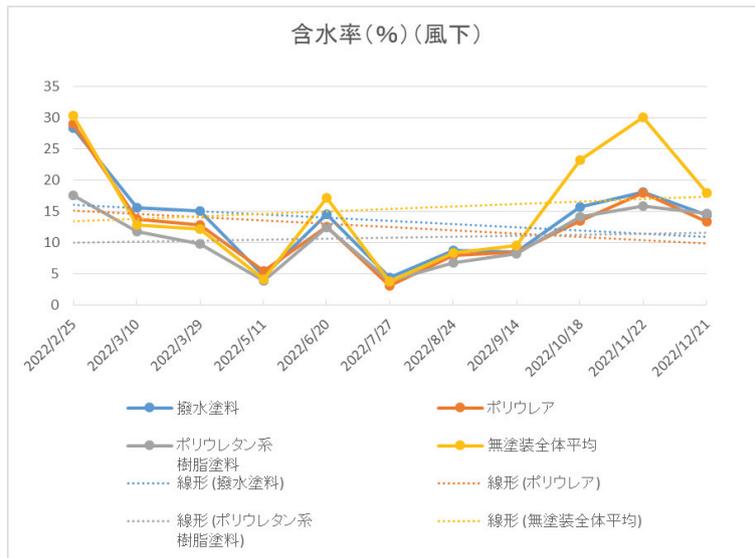


図 5.2-19 CLT の表面含水率(風下側)

表 5.2-4 無塗装の含水率を1とした場合の割合

	無塗装	撥水塗料	ポリウレシア	ポリウレタン塗料
風上	1	0.85	0.77	0.85
風下	1	0.96	0.88	0.78

図 5.2-6 及び図 5.2-7 はそれぞれ風上側と風上側の含水率をまとめたものである。表 5.2-4 はこれまで計測したデータにおいて、無塗装時の含水率を1とした場合、表面処理を行った CLT の低減割合を示す値となる。表面処理済みの CLT は表面処理剤で処置をしたものである、表面処理剤は、撥水塗料、ポリウレシア及びポリウレタン(樹脂)塗料と表記してある。表面処理無しその他、それぞれの含水率を分かりやすくなるよう、近似線を表示している。

いずれも含水率の高い順番から無塗装>撥水塗料>ポリウレタン樹脂塗料≒ポリウレシアとなった。ポリウレタン塗料とポリウレシアは風上側がポリウレタン樹脂塗料、風下側はポリウレタンが高い数値を示した。

また、乾燥状態においてはいずれも近い数値を示す結果となったが、湿潤時においては、無塗装が最も高い数値

を示し、最大で 60%に近い値を示した。

一方、表面処理済みの CLT を解析すると、いずれも湿潤状態だと表面無塗装と比較して低い値を示したが、撥水塗料が他の表面処理剤と比べ高い数値を示した。

環境条件にもよるが、含水率が高い状態が続くと、腐朽の進行が早まる可能性が高いことから、今回評価した表面処理剤を使用することで腐朽の進行を低減する効果が期待できることが確認できた。

③風向風速計測

吹雪発生時における風向きを検証した。

今回の検証においては地吹雪が発生する可能性がある、1時間ごとにおける平均風速 8 m/s 以上の風速が発生した際の回数を纏めその際の風向をグラフにまとめた。

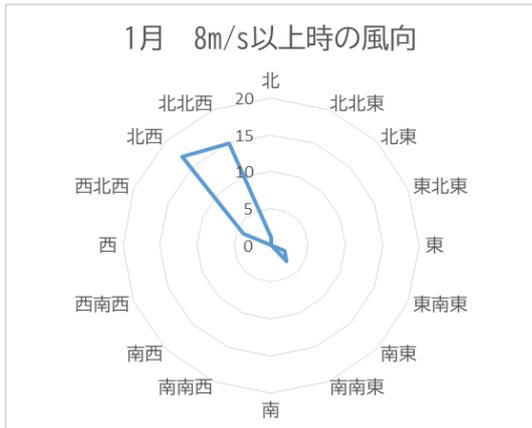


図 5.2-20 1月の風向(8m/s以上)



図 5.5-21 2月の風向(8m/s以上)

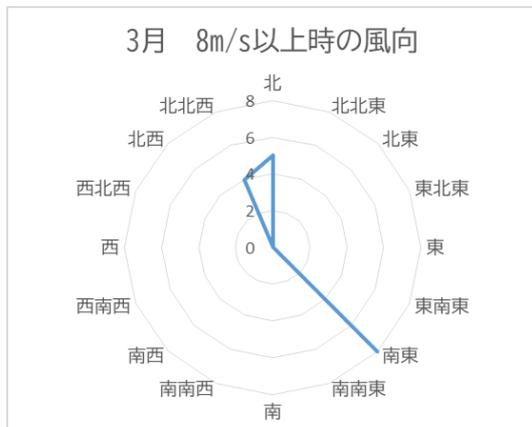


図 5.2-22 3月の風向(8m/s以上)

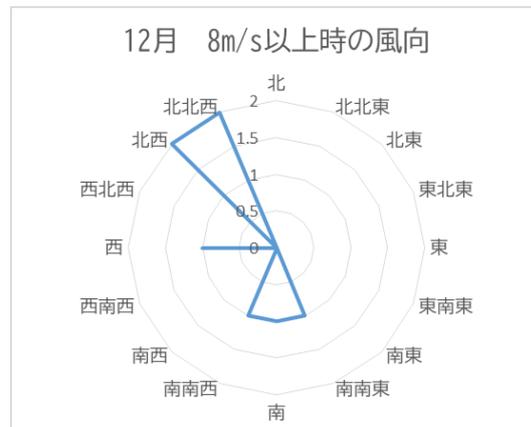


図 5.5-23 12月の風向(8m/s以上)

図 5.2-20～図 5.2-23 のグラフは冬期間での風向を示したものである。いずれの月も北西～北北西の風向を多く示す結果となった。今回設置した防雪柵は北西の向きが垂直になるような設置をしているため、若干の斜風はあるが、鋼製防雪柵を設置したことで、斜風の影響は低減していると考えられる。

次に月毎における風向(全日数)データを示す。

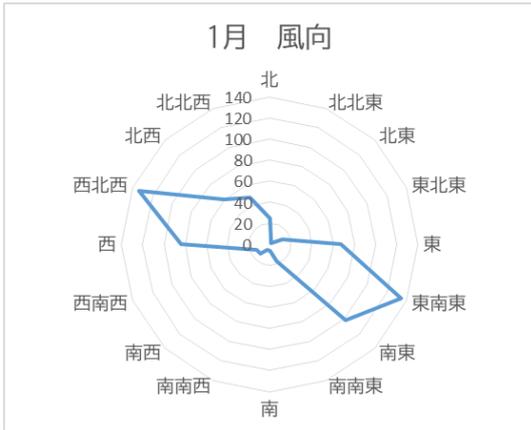


図 5.2-24 1月の風向(全日数)

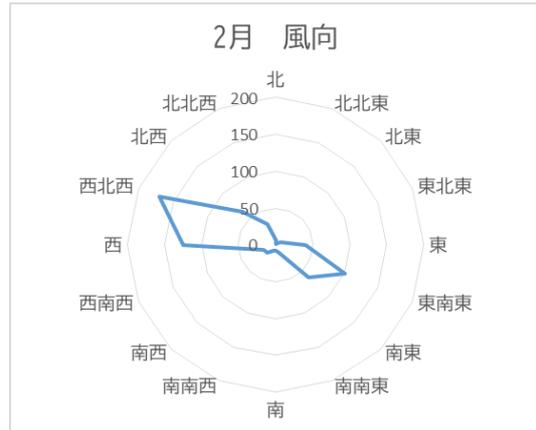


図 5.5-25 2月の風向(全日数)

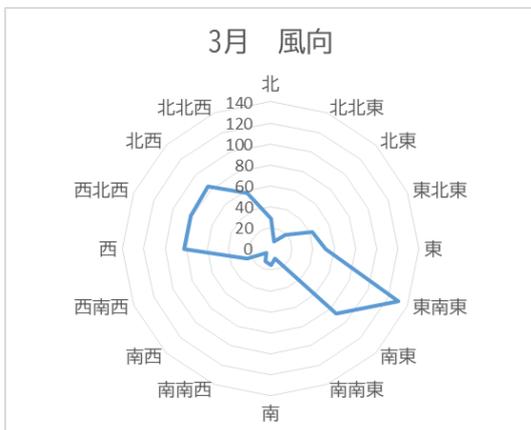


図 5.2-26 3月の風向(全日数)

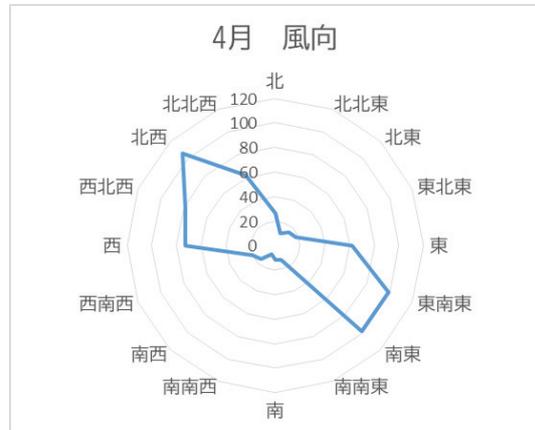


図 5.5-27 4月の風向(全日数)

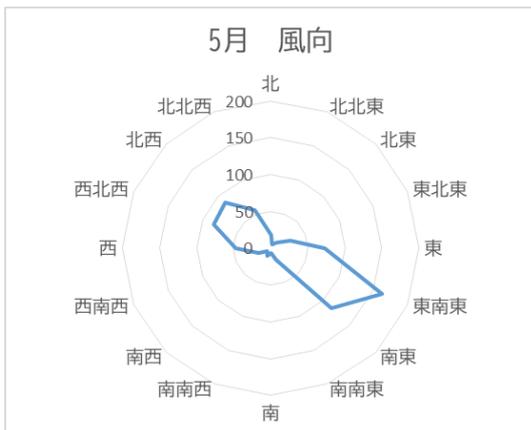


図 5.2-28 5月の風向(全日数)

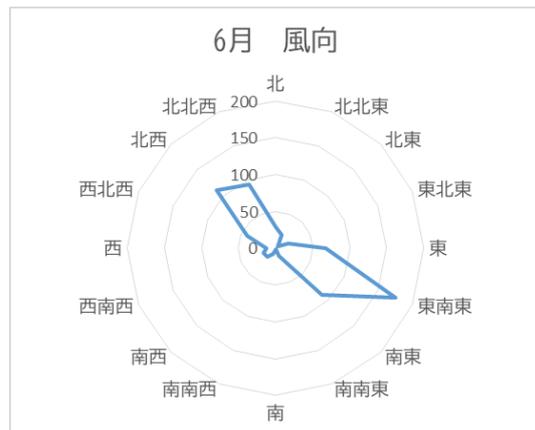


図 5.5-29 6月の風向(全日数)

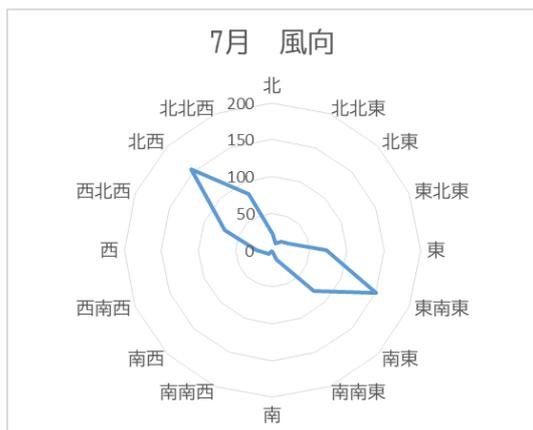


図 5.2-30 7月の風向(全日数)

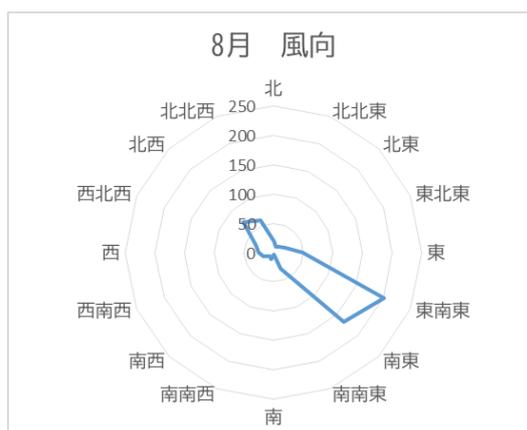


図 5.5-31 8月の風向(全日数)

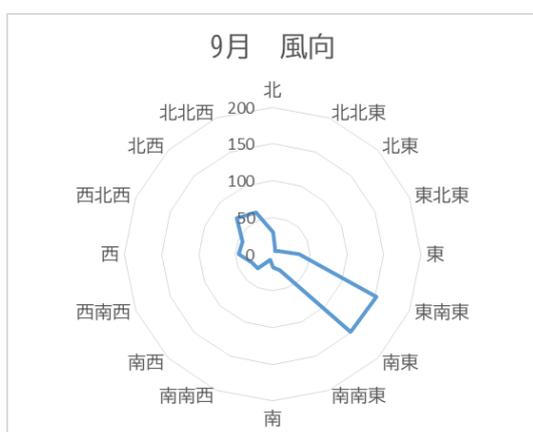


図 5.2-32 9月の風向(全日数)

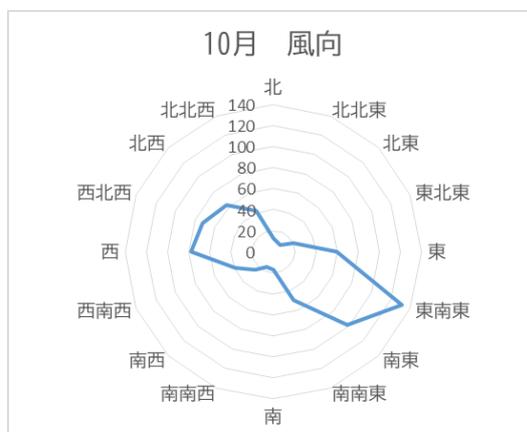


図 5.5-33 10月の風向(全日数)

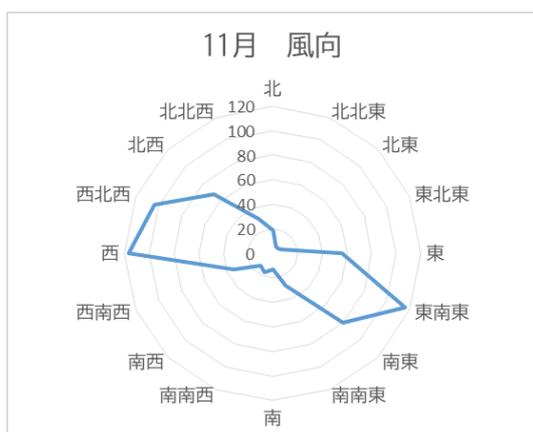


図 5.2-34 11月の風向(全日数)

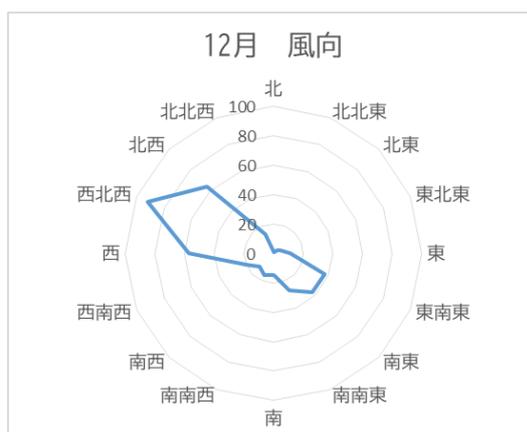


図 5.5-35 12月の風向(全日数)

冬季における地吹雪発生時においては、前述で述べるとおり北西に近い風が多かったが、全日数のデータを解析したところ、南東及び北西からの風はどの月においても多いことが確認出来た。CLT 防雪柵の設置向きが南東及び北西に近い向きに設置していることから、雨が降った際に着雨する可能性が高いことが確認された。条件としては悪条件での検証であるため、引き続き検証を行うことで、雨風による腐朽状態を確認していく。

この他に CLT 防雪柵付近の風の減衰状態も確認することとしているが、こちらは現在実施中であるため、報告は後日を予定している。

④着雪検証

本年度の着雪検証は現在、モニタリング中であるため、昨年度実施した内容を主にまとめる。モニタリングデータが多いため、着雪した際の状況を抜粋してまとめる。



写真 5.2-15 2022/1/12 AM7:30 風上側



写真 5.2-16 2022/1/2 PM11:00 風上側



写真 5.2-17 2022/1/1 AM7:30 風下側



写真 5.2-18 2022/1/1 PM16:30 風下側

風上側の写真は、令和4(2022)年1月12日に撮影された画像である。

下段の表面処理をしていない CLT については着雪が見られなかった。表面処理をしている上段の CLT については着雪が確認されたが、早朝の段階で一部落下した状態が確認でき、その後、正午付近の時間帯にはほとんどの着雪が落下していることが確認された。

続いて風下側についてだが、表面処理を行っていない下段の CLT については、こちらも着雪がほとんど確認出来なかった。上段についてはこちらも風上側同様着雪が確認された。特に、ポリウレタン樹脂塗料を表面処理した CLT については多くの着雪が確認された。昨年度実施した検証においては、CLT 防雪柵端部から巻込む風が発生したため、ポリウレタン樹脂塗料のみ多くの雪が着雪されたことが判明している。端部巻込みの影響を受けない部分についての着雪は風上側よりも軽微であることが確認された。

今回の結果から、表面処理を行った CLT に関しては一定の着雪が確認されたものの、防雪効果が阻害されるような大きな着雪は確認されていない。

一方で、表面処理を行っていない下段の CLT については着雪がほとんど見られなかった。理由として考えられるのは、付着した雪が水となって、CLT 内部へ進入または流れ落ちた可能性が考えられる。木材は熱伝導率が低いことから CLT の内部に蓄えられた熱が表層に伝わることで、CLT に直接触れた雪が水になったことが考えられる。これが要因かどうかは判断が難しいが、冬期における含水率についても表面処理を行っていない CLT が一番高い値を示した。

今年の検証については、雪が降った日が少ないため、評価自体は出来ていないが、現在までにおいて、著しい着雪は確認されていない。



写真 5.2-19 2022/12/16 AM11:00 風上側



写真 5.2-20 2022/12/14 AM13:30 風下側

⑤積雪調査

本年度の積雪は現在、モニタリング中であるため、昨年度実施した内容を主にまとめる。

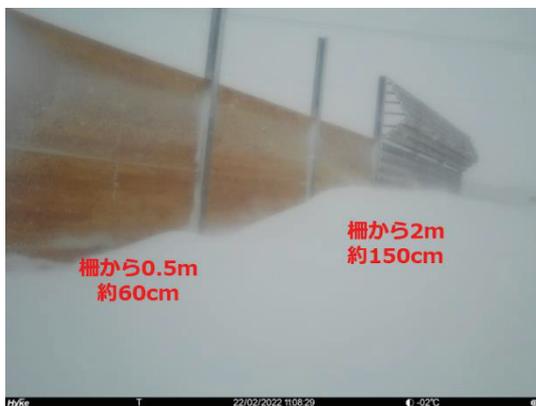


写真 5.2-21 2022/2/23 風上側



写真 5.2-22 2022/2/22 風上側



写真 5.2-23 2022/1/10 風下側

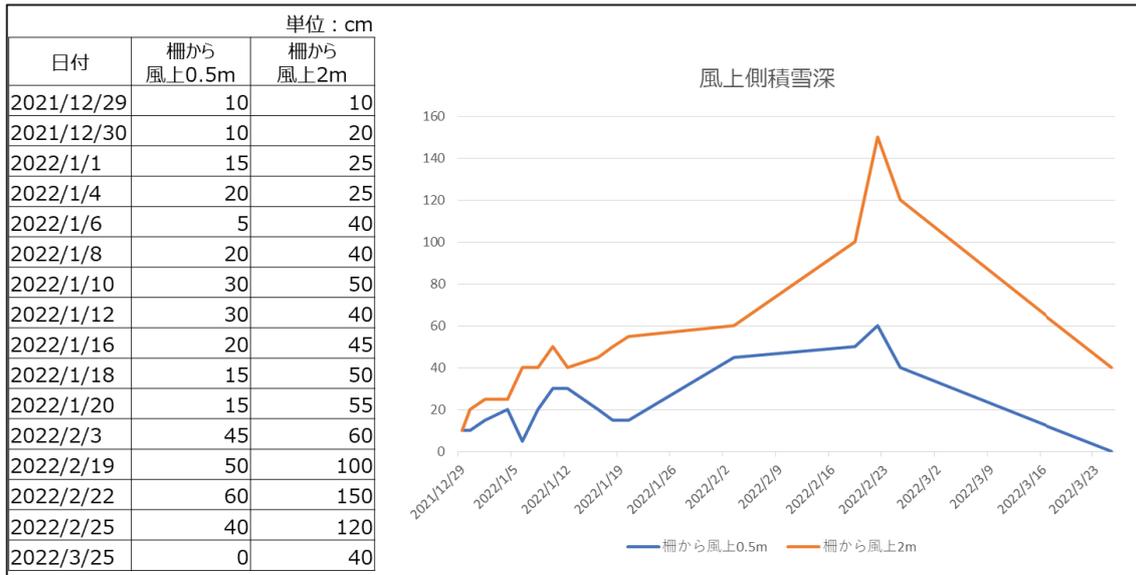


図 5.2-36 風上側における積雪深

写真 5. 2-18 と写真 5. 2-19 は風上側の積雪状況を撮ったものである。

いずれも近い時期での様子となるが、柵延長が短いことや斜風の影響で、一部の場所で積雪状況が著しく多くなっていることが確認された。その他の状況としては、鋼製防雪柵と類似した積雪状況が確認されたことから、防雪柵として一定の効果があることが期待できる。

風下側についてはこちらも、斜風や端部巻込み風による影響で一部の場所で積雪が多い状況が確認出来た。こちらについては防雪柵としての再現性は芳しくない結果となった。

⑥目視確認

令和 4(2022)年 4 月 28 日に目視確認をした段階では、表面処理の有無に関わらず大きな違いは確認できなかった。その後、8 月 23 日に確認したところ、表面処理を行っていない CLT(下段)は色が褪せていることが確認された。

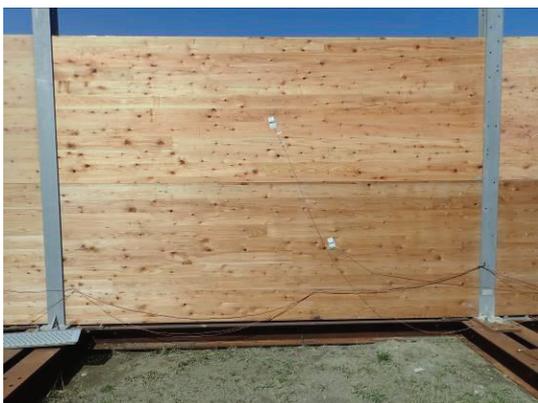


写真 5.2-24 2022/4/28 CLT 表面



写真 5.2-25 2022/8/23 CLT 表面

一方で、表面処理を行った CLT(上段)については、これまでのところ大きな変化が確認されていない。このことから、表面処理を実施することで、CLT を良好な状態に保持できる可能性が高いことが確認された。



写真 5.2-26 2022/12/21 CLT 表面

その他の確認事項として、表面処理剤についてはポリウレアについては令和 4(2022)年 9 月の時点で、CLT の節目や継ぎ目付近から割れや剥離が発生したことが確認された。他の表面処理剤ではこの様な状態は確認されていないため、引き続き調査を行う必要がある。



写真 5.2-27(左)写真 5.2-28(右) ポリウレアの割れ及び剥離

(8)課題

昨年度から実施している検証については、本年度の段階で修正を実施しているため、計測に関する課題は現状のところない。また、CLT 防雪柵としての評価については今冬での検証となるため、課題点の確認については後日実施となる。

5.2.3 従来技術との比較

これまでの開発内容から、従来技術(鋼製防雪柵)と CLT 防雪柵を比較しデメリット、メリットを表でまとめる。

表 5.2-5 鋼製防雪柵と CLT 防雪柵の相対比較

	CLT 防雪柵	鋼製防雪柵
コスト	△※1	○
防雪性能	—※2	○
施工性	○	△
強度	○※3	○
環境保全	○	△

※1.防雪柵としてのコストを比較した場合、リサイクル等は考慮していない

※2.本年度実施内容により精査するため現状不明

※3.CLT のみでの強度については、昨年度の検討にて問題ないことを確認済みである。

上部構造(屈曲部)を含めた強度の検証は、今後確認を進める。

5.2.4 PR 啓発

令和5(2023)年2月9日 ゆきみらい研究発表会において、本事業で得られた成果の論文発表を行った。今後は、早期の実装化を実現するため、広く社会への情報発信にも目を向け、市場での認知度をたかめていく必要があると考えている。

5.3 CLT 燃料利用技術の検証

5.3.1 開発概要

CLT 敷板および防雪柵は比較的短期間で部材交換し、使用後は木質バイオマス燃料としてカスケード活用することを想定している。これにより化石燃料の代替えとしての CO₂ の排出削減効果などのメリットが得られる。ここでは CLT 廃材の木質バイオマス燃料としての性能を調査した。

5.3.2 目的

昨年度は、ガーデンシュレッダー小枝粉碎機により未使用の CLT 敷板の切削チップの品質を分析した。本年度は使用済み CLT 敷板を未利用材などの木質バイオマス燃料生産に実際に使用されている大型チップパーでチップ化し、形状、発熱量、粒度分布、品質を調べた。

5.3.3 工程・試験ケース・実施状況

(1)チップの製造

チップ化に使用した CLT 敷板は、昨年度から本年度にかけて工事現場3カ所(転用 2 回)で使用した CLT 敷板である。チップ化する前に工事現場にて付着した大きな石等を除去した後、高圧洗浄機で水洗いし、チップパーに投入できる大きさに切断した。これをグラブでクローラー自走式の大型チップパー(Wood Hacker MEGA540DL、RYOKUSAN 製)に投入した。投入された材はチップパーの切削ローターでチップ化され切削ローターの後段に設置された内蔵スクリーンにより 35 mm アンダーの切削チップとして吐き出される。一連の実施状況を写真 5. 3-1 に示す。



写真 5.3-1 チップ化の実施状況

(2) 発熱量

発熱量は、水分とも関係している。水分が 35 wet%程度まで下がると、通常のボイラ で良好な燃焼状態を示すといわれている。今回の使用済み CLT 敷板のチップの水分は 29.1 wet%であり、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」¹⁾(以下、品質規格)では M35 (準乾燥チップ ≤26-35 wet%)に区分された。

また高位発熱量(燃料中の水分の蒸発熱を含む発熱量)は、4,970 kcal/kg (20,800 kJ/kg)、低位発熱量(水分の蒸発熱を高位発熱量から差し引いたもの:実際に熱エネルギーとして利用できる熱量)は 3,520 kcal/kg (14,730 kJ/kg)であった。品質規格によると針葉樹木部の水分 30 wet%における高位発熱量は、3,450 kcal/kg (14,500 kJ/kg)、低位発熱量は 3,040 kcal/kg (12,800 kJ/kg)である。今回得られた使用済み CLT 敷板の発熱量はこれより大きかった。この理由としては、CLT の接着剤に含まれる成分や CLT 敷板に付着していた土砂等の影響によると思われる。

(3) 粒度分布

湿量基準の粒度分布を図 5. 3-1 に示す。

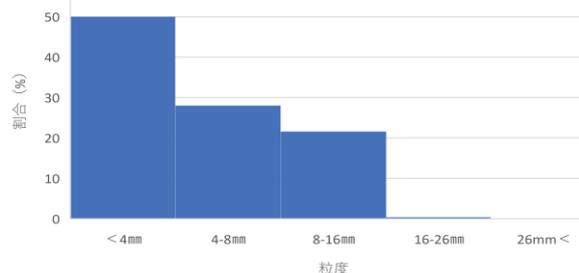


図 5.3-1 チップの粒度分布

(4) 品質

本年度に実施した使用済み CLT 敷板の分析値について、昨年度行った未使用 CLT 敷板との比較、品質基準値との照合を行った(表 5.3-1)。

表 5.3-1 未使用 CLT 敷板チップと使用済み CLT 敷板チップの分析値

分析項目	単位	値 ¹⁾		品質基準値 (Class4) ²⁾
		未使用 CLT	使用済み CLT	
全水分	%	9.3	29.1	M35(準乾燥チップ) ($\leq 26-35\%$)
灰分	%	0.4	2.2	A5.0 $\leq 5.0\%$
窒素(N)	%	0.11	0.12	≤ 1.0
硫黄(S)	%	<0.01	0.02	≤ 0.1
塩素(Cl)	%	<0.01	<0.01	≤ 0.1
ヒ素(As)	mg/kg	<0.1	0.1	≤ 4.0
カドミウム(Cd)	mg/kg	<0.1	<0.1	≤ 0.2
全クロム(Cr)	mg/kg	<10	<10	≤ 40
銅(Cu)	mg/kg	<1	3	≤ 30
鉛(Pb)	mg/kg	<5	<5	≤ 50
水銀(Hg)	mg/kg	<0.01	<0.01	≤ 0.1
亜鉛(Zn)	mg/kg	1.0	2.0	≤ 200

1) 全水分は、湿量基準の値、他の項目は、乾量基準での値

2) 品質規格における原料が化学処理リサイクル材の基準

(4) 実施場所

令和 4(2022)年 11 月 15 日、北海道士別市朝日町の株式会社イトイ産業敷地内で、チップ化を行った。得られたチップの発熱量、粒度分析および品質については、いずれも JIS 規格に準拠して測定した。

(5) まとめ

(a) チップの製造

通常、土砂や鉄くずなどの混じった建設廃材のチップ化では、ハンマーによる破砕チップパーを用いる。しかし破砕チップは、搬送に支障をきたす長尺チップやブリッジ(チップの塊)の形成が比較的多い。使用済み CLT を高圧洗浄機で水洗いすることで、長尺チップやブリッジの形成が比較的少なく、木質バイオマス燃料として品質のよい切削チップが得られた。

(b) 発熱量

使用済み CLT 敷板は、リサイクル材(品質規格の定義では「建築部材等に使用后、再資源化された木質資源」)であり、乾燥しているため、未利用木材由来のバイオマス燃料よりも、発熱量が高い可能性を確認した。

(c) 粒度分布

チップパーのスクリーンは 35 mm であるが、すべて 16 mm 未満のチップで、4 mm 未満が 50.0 %と微細なチップが得られた。品質規格の最小寸法(P16)では 4 mm から 16 mm のチップが 80 %以上、4 mm 未満が 10 %未満、16 mm から 32 mm が 10 %未満であるが、この寸法区分からは外れていた。

(d) 品質

使用済み CLT においても、未使用 CLT と同様に、品質規格の品質基準値(Class4, リサイクル材)を満たしていた。

しかし、灰分、硫黄(S)、ヒ素(As)、銅(Cu)、亜鉛(Zn)は、使用済み CLTの方が未使用 CLTよりも多く含まれていた。これは、使用済み CLT に含まれていた土砂等の影響によるものと考えられる。

(6) 課題

使用済み CLT 敷板を、リサイクル材として木質バイオマス燃料に使える可能性を確認した。使用済み CLT 敷板には品質規格範囲内の微量成分が含まれているものの、リサイクル木材として乾燥設備もいらず、(低位)発熱量も未利用材より高い特徴がある。

なお CLT敷板のリサイクル利用を想定する事業においては、熱電併給事業者の持つボイラ等の仕様に適したチップが必要であり、個別に検討する必要がある。

(7) 参考文献

- 1)一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会, 燃料用木質チップの品質規格, 2014

5.4 CLT 敷板・防護柵の耐朽性の検証

5.4.1 CLT 敷板の耐朽性の検証

(1) 開発概要

CLT 敷板単体の劣化傾向を把握するため、屋外の地盤上に直に設置した CLT 敷板について、その劣化傾向を観察するとともに、劣化外力の指標となる温湿度の測定を行った(測定継続中)。

(2) 目的

CLT 敷板のリサイクル利用を考える上で、材料自体の劣化傾向を把握することは重要である。ここでは、土に常に接する状態で暴露された CLT 敷板単体の劣化傾向を把握すると共に、劣化に影響を与える温湿度を測定することにより、間接的に劣化外力を取得することを目的とする。

(3) 工程 (試験方法)

旭川市においては、令和3(2021)年10月28日、つくば市においては同年12月22日、熊本市においては同年12月21日に、長さ5995mm×幅1150mmのCLT敷板(スギ・3層3プライ、3層4プライ、5層5プライ)を裸地上に設置(直置き)して暴露を開始した。各場所におけるCLT敷板の長手方向は、旭川市では南北方向、つくば市では東西方向、熊本市では南北方向である。

暴露開始と同時に、各CLTの長手方向端部側面(板材での木口面に相当)中央部(幅および厚さの中心部)に温湿度ロガー(Onset Computer Corporation、HOBO Pro v2・U23-001A)を設置し、温湿度測定を開始した。設置面は、旭川市は北面、つくば市は東面、熊本市は北面とした。試験体を地面に直置きにしているため、上記ロガー本体およびセンサー部の地表面からの距離は、およそ厚さ方向の1/2の距離(3層3プライで45mm、3層4プライで60mm、5層5プライで75mm)となる。測定間隔は、旭川市と熊本市は1時間、つくば市は10分とした。旭川市および熊本市で測定間隔を長くした理由は、実験担当者(森林総研・原田)が随時収録できないためである。測定間隔を長くすることにより、収録スパン、すなわち、記録データ容量がロガー内のメモリ容量の限界に達するまでの期間を長くした。

つくばに設置した敷板については、不定期に表面9箇所の含水率を高周波容量型木材含水率計(株式会社ケット科学研究所、HM520)で測定した(図5.4-1)。含水率計の設定は、密度をスギ、測定深さを30mmとした。なお、熊本市に設置した敷板についても、令和4(2022)年12月16日に同じ含水率計により、含水率を測定した。



図 5.4-1 CLT 敷板の含水率測定位置

(4) 実施場所

- 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:北海道旭川市西神楽1線10号
- 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 本所:茨城県つくば市松の里1
- 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 九州支所:熊本県熊本市中央区黒髪4-11-16



写真 5.4-1 CLT 敷板の設置状況(旭川市)

左:設置当初(令和3(2021)年10月28日)

右:約1年後(令和4(2022)年11月15日)



写真 5.4-2 CLT 敷板の設置状況(つくば市)

上段:設置当初(令和3年12月24日、左:3層3プライ、中:3層4プライ、右:5層5プライ)
 下段:約1年後(令和4年12月19日、左:3層3プライ、中:3層4プライ、右:5層5プライ)



写真 5.4-3 CLT 敷板の設置状況(熊本市)

左:設置当初(令和4(2022)年1月7日)、右:約1年後(令和4(2022)年12月16日)

(5) 実験ケース

実験パラメータは設置場所:3箇所、CLTの種類:3種類、繰り返し数:1のため、実験ケースとしては9通りとなる。

(6) 実施状況

敷板木口面における温度(気温)および相対湿度の測定結果を図5.4-2~5.4-4に示す。なお、熊本市に設置した温湿度ロガーは設置してから数日後にカラスの被害(持ち去り)にあったため(その後、支所職員の捜索により回収でき、元の位置に再設置後、持ち去り防止策を講じた)、一部のデータを欠測している。

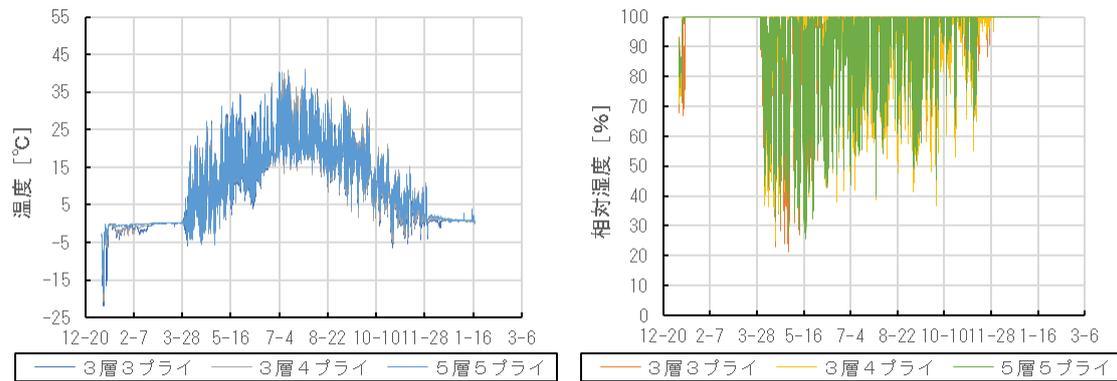


図 5.4-2 CLT 敷板端面における温湿度測定結果(旭川市)
測定期間:令和4年1月5日14:00~令和5年1月17日13:00、測定間隔:1時間

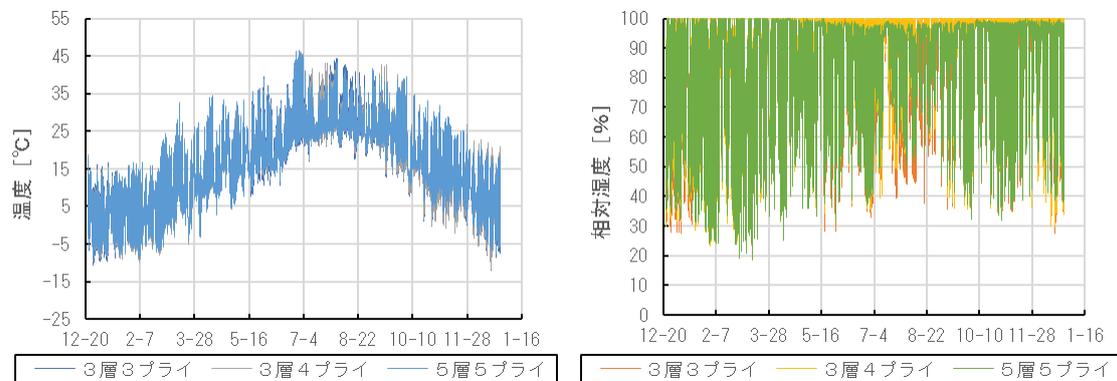


図 5.4-3 CLT 敷板端面における温湿度測定結果(つくば市)
測定期間:令和3年12月22日12:00~令和4年12月27日15:40、測定間隔:10分

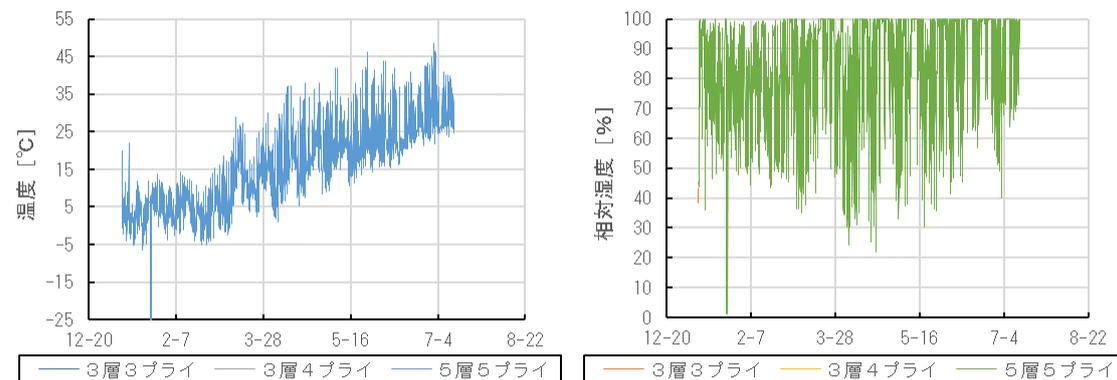


図 5.4-4 温湿度測定結果(熊本市)
測定期間:令和4(2022)年1月7日15:00~12月16日13:55、
欠測期間:令和4(2022)年7月13日5:00~12月16日13:55、測定間隔:1時間

全体的な傾向としては、いずれの地域においても、気温および相対湿度ともに、日変動と季節変動とが認められる。

旭川市における温度は、令和 4(2022)年 7 月 30 日 14:00 に最高温度 41.1 °C、令和 4(2022)年 1 月 7 日 23:00 に最低温度-22.0 °Cを示した。

つくば市においては 6 月 30 日に最高温度 46.6 °C、令和 4(2022)年 12 月 19 日 6:30 に最低温度-12.0 °Cを記録し、相対湿度は季節を問わず 70 %以上を記録することが多かった。

熊本市の測定値は欠損期間が長かったため、比較できる期間が短いですが、7 月の最高温度はつくば市とほぼ同等であったが、1 月～2 月にかけての最低気温が 0 °C付近であり、つくば市より高くなった。相対湿度はつくば市と同様、1 月から 7 月まで季節を問わず 70 %以上を示すことが多かった。相対湿度については、(3)でも述べたとおり、ログーの設置位置がほぼ地表面であったこと、試験体設置場所について、特に草刈り等をしなかったため、雑草等による空気の停滞や地表面からの水分蒸散が抑制されたこと等により、比較的高い相対湿度を示したと考えられる(写真 5.4-4)。実際の敷板としての利用においては 1 年間設置し続ける可能性は低いと考えられるが、季節を問わず地表面近くは湿度が高く、CLT にとっては劣化しやすい環境であることが明らかとなった。

このように、CLT 敷板については、相対湿度が高い環境にさらされる時間が長いこと、また、敷板としての使用は、上面における雨水の滞留を招きやすいと考えられることから、材料自体の含水率が増加する懸念がある。そこで、つくば市については 2 月、5 月、9 月の 3 回、熊本市に設置した試験体については 12 月に上面の含水率を測定した。

つくば市に設置した試験体については、2 月(設置後約 2 ヶ月)において、最大 16.5 %～平均 11.9 %～最小 9.5 %、5 月(同、約 5 ヶ月)では最大 36.5 %～平均 22.4 %～最小 14.5 %、9 月(同、約 9 ヶ月)最大 89.0 %～平均 58.9 %～最小 34.5 %であった。設置後時間が経過するに従って含水率の上昇が認められた。ただし、3 回目の測定時は降雨直後(測定時には降雨なし)であったこと、敷板側面からの雑草が敷板上面を覆っていたため、より含水率が高くなったものと考えられる。つくば市の試験体は、12 月に雑草を除去したため、今後含水率が低下していく可能性も考えられる。一方、熊本市に設置した敷板の含水率は、12 月(設置後約 1 年)最大 34.0 %～平均 25.5 %～最小 18.0 %であった。

計測器の設定から、今回測定した含水率は、おおよそ最外層ラミナ 1 層分の平均値であると考えられる。測定値を見る設置後含水率が増加し、木材腐朽等の起因となるような、含水率 30 %以上を示す箇所が多くなっている。

これに対し、目視による観察では、3 箇所に設置したつくば市および熊本市の敷板については、令和 4(2022)年 12 月現在、日射による光劣化および表層の微細な割れ等は認められるものの、顕著な劣化は認められていない。



写真 5.4-4 温湿度ログーの設置状況
上:つくば市、下:熊本市

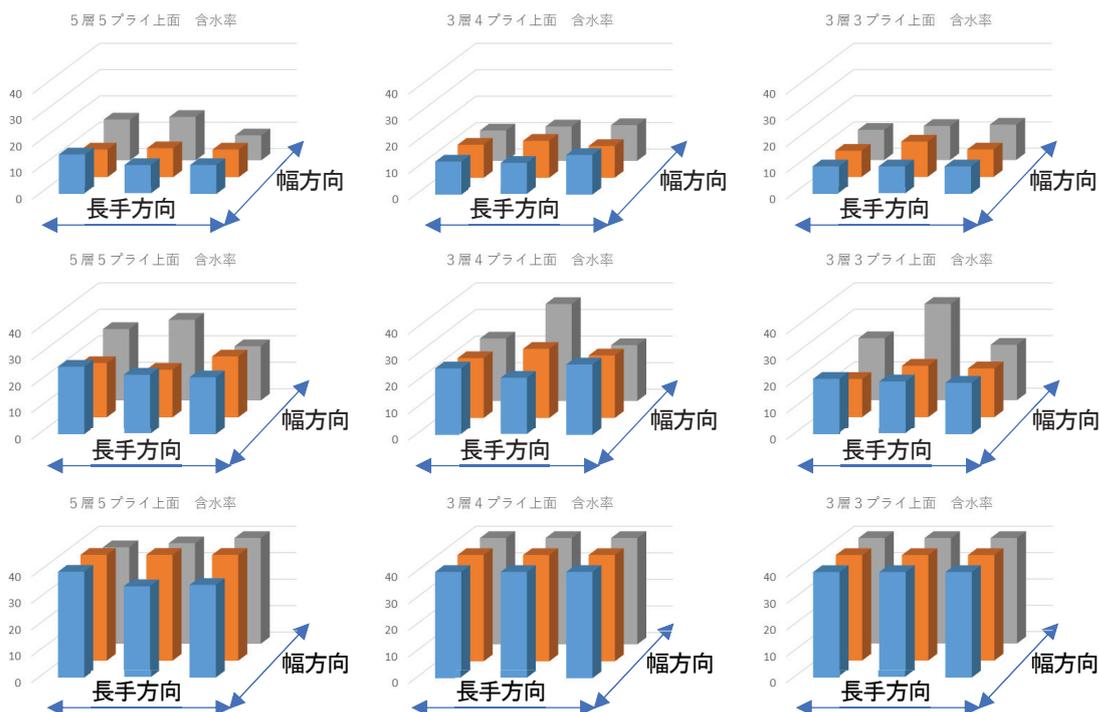


図 5.4-6 CLT 敷板上面の含水率測定結果(つくば市)
 上段:令和 4 年 2 月 25 日 16:05 測定、中段:5 月 17 日 14:32 測定、下段:9 月 9 日 9:23 測定

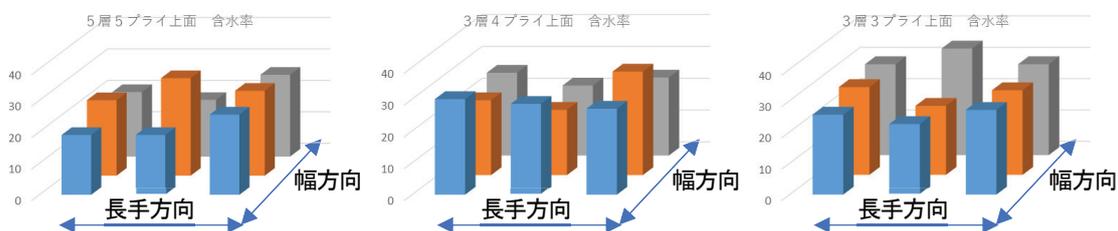


図 5.4-7 CLT 敷板上面の含水率測定結果(熊本市、令和 4 年 12 月 16 日 15:11 測定)

非破壊的手法による敷板の強度性能を推定するための方法として、敷板の端部をハンマーにより打撃し、それに対する敷板の応答加速度を敷板隅角部(打撃点側)、敷板中心(長軸方向および幅方向の中心点)および中心点と端部の中間点(長軸方向および幅方向の 1/4 分位点)に設置した加速度ピックアップによって測定し、得られた共振周波数から T.G.H.法¹⁾により CLT 敷板の曲げヤング係数(MOE)を推定する方法について検討した。つくばに設置したスギ 3 層 3 プライの CLT 敷板の MOE は 5.74 GPa(等価断面法による計算値:5.78 GPa)、同じく 5 層 5 プライの CLT 敷板の MOE の計算値は 12.87 GPa(同:4.73 GPa)となった。推定値の精度には検討の余地があり、これはセンサーの設置位置および設置方法等を検討することにより改善されるものと考ええる。本方法を基本として更に MOE の経時変化を追跡する。

(7) まとめ

敷板としての利用は、相対湿度が相対的に高くなる状況下に置かれると想定されるが、屋外の裸地に直置きした CLT 敷板については、目視では顕著な劣化は認められなかった。

また、敷板上面の含水率は、つくば市において、最大 89.0%～平均 31.1%～最小 9.5%(2 月～9 月測定結果)、熊本市において、最大 34.0%～平均 25.5%～最小 18.0%(12 月測定結果)の範囲となった。

(8) 課題

CLT 敷板周辺の温湿度、劣化状況および非破壊的な手法による MOE 等、今後も継続的なデータの蓄積が必要である。

(9) 参考文献

- 1)(公財) 日本住宅・木材技術センター: 構造用木材の強度試験マニュアル、pp.69-71、2011 年 3 月

5.4.2 CLT 防護柵の耐朽性の検証

(1) 開発概要

昨年度、旭川市、つくば市、熊本市の屋外に設置したスギ CLT による簡易的な防護柵について、目視による表面性状等の観察、CLT 中央部における温湿度の測定および含水率の測定を行った。

(2) 目的

保存処理を施していない CLT を防護柵の部材として使用することを考えた場合、縦使いした CLT の材料としての基本的な劣化傾向を把握することは、部材交換サイクルを想定する上でも重要である。そこで、気候の異なる、旭川市、つくば市、熊本市の屋外にスギ CLT による簡易的な防護柵を設置し、目視による表面性状等の観察、CLT 中央部における温湿度の測定および含水率の測定を行っている。

(3) 工程

各地域における CLT 防護柵は、地面に鉛直に施工した H 形鋼のウェブ部分に CLT を落とし込む形式で施工した(旭川市: 令和 3(2021 年 10 月 28 日、つくば市: 同年 12 月 22 日、熊本市: 同年 12 月 21 日)。

施工後、H 形鋼の間に落とし込んだ CLT の中央部(長さおよび高さの中心)に温湿度ロガー(®Onset Computer Corporation、HOBO Pro v2・U23-001A)を固定し、CLT 近傍の温湿度の測定を開始した。測定間隔は、旭川市および熊本市では 1 時間、つくば市で 10 分とした(測定間隔が異なる理由は、CLT 敷板に対する測定間隔と同じ理由)。

また、つくば市の試験体について 3 回(2/25、5/17、9/9)、熊本市について 1 回(12/16)、高周波容量型木材含水率計(株式会社ケツト科学研究所、HM520)により表面含水率を測定した。測定箇所は、CLT 版の隅角部、長さ方向中央部の上下端と温湿度ロガーの近傍上下、長さ方向端部(支柱近傍)の高さ方向中央部の計 10 点とした。

(4) 実施場所

- a) 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: 北海道旭川市西神楽 1 線 10 号
- b) 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 本所: 茨城県つくば市松の里 1
- c) 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所 九州支所: 熊本県熊本市中央区黒髪 4-11-16

(5) 実験ケース

旭川市、つくば市、熊本市に笠木がなく、下部に隙間のない(直置き)タイプの防護柵を設置した。なお、つくば市にのみ、縦置きした CLT の上面に H 形鋼による笠木を設置し、かつ CLT と地面との間に 10 cm の隙間を設けた、耐久性に考慮したタイプも併せて設置した。

(6) 実施状況

旭川市、つくば市、熊本市に設置した CLT による防護柵の状況を写真 5.4-5~5.4-7 に示す。本年度末において、旭川市の防護柵は設置してから 17 ヶ月、つくば市および熊本市の防護柵は 15 ヶ月経過することになる。



写真 5.4-5 CLT 防護柵(旭川市)

左: 施工直後(令和 3(2021)年 10 月 28 日)、右: 施工後約 1 年(令和 4(2022)年 11 月 15 日)



写真 5.4-6 CLT 防護柵(つくば市)

上: 施工直後(令和 3(2021)年 12 月 24 日)、下: 施工後約 1 年(令和 4(2022)年 12 月 19 日)

○: 温湿度ロガー、①~⑩: 含水率測定箇所



写真 5.4-7 CLT 防護柵(熊本市)

左: 施工後約 1 ヶ月(令和 4(2022)年 1 月 7 日)、右: 施工後約 1 年(令和 4(2022)年 12 月 16 日)

○: 温湿度ロガー、丸囲み数字: 含水率測定箇所

写真からも分かるように、紫外線等による表面の光劣化は認められるものの、その他の性能低下につながるような顕著な劣化は観察されていない。

次に、つくば市および熊本市に設置した CLT 防護柵中央部の温湿度測定結果を図 5.4-8~5.4-10 に示す。

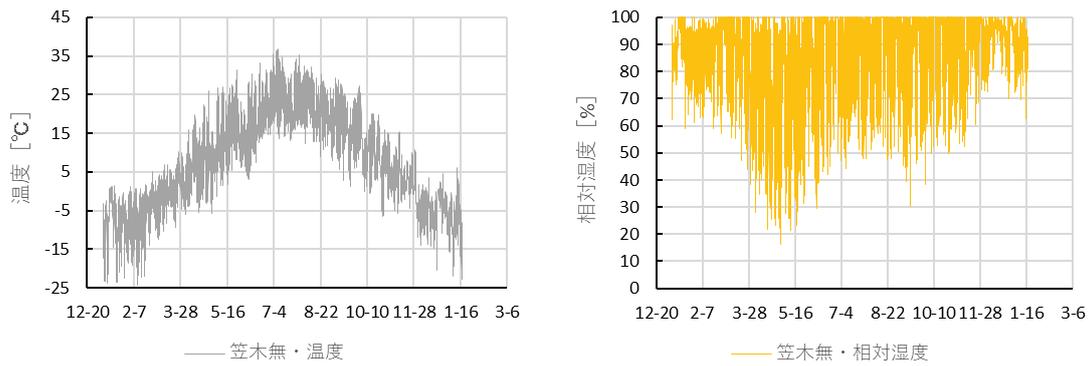


図 5.4-8 CLT 防護柵中央部周辺の温湿度測定結果(旭川市)
測定期間: 令和 3(2021)年 12 月 22 日 15.40~令和 4(2022)年 12 月 27 日 15.40、測定間隔: 10 分

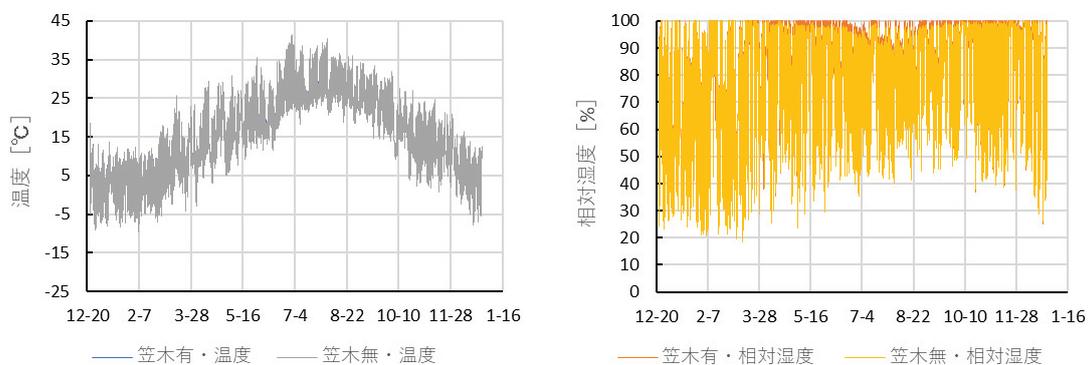


図 5.4-9 CLT 防護柵中央部周辺の温湿度測定結果(つくば市)
測定期間: 令和 3(2021)年 12 月 22 日 15.40~令和 4(2022)年 12 月 27 日 15.40、測定間隔: 10 分

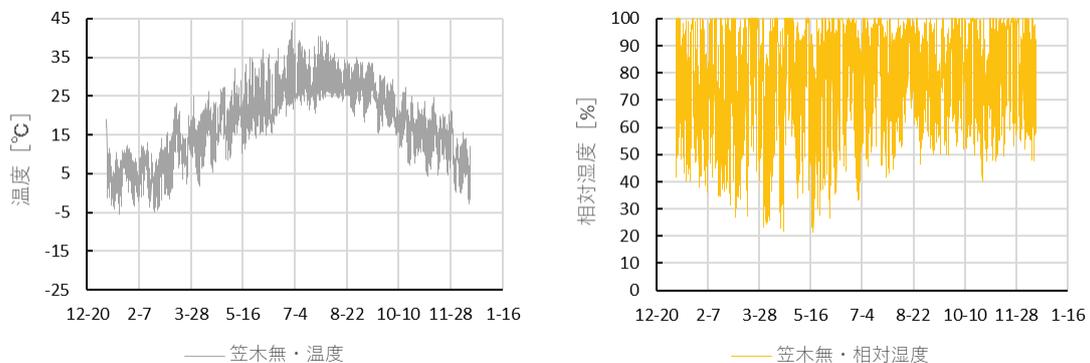


図 5.4-10 CLT 防護柵中央部周辺の温湿度測定結果(熊本市)
測定期間: 令和 4(2022)年 1 月 7 日 13:00~令和 4(2022)年 12 月 16 日 13:00、測定間隔: 1 時間

得られた温度および相対湿度の最大値、平均値、最小値を表 5.4-1 に示す。平均値を 3 地域で比較すると、温度については、旭川市<つくば市≤熊本市となり、相対湿度については、つくば市≤熊本市<旭川市となった。旭川市は、雪の中に温湿度ロガーが埋設される期間が他の 2 地域よりも長いいため、相対湿度の平均値が高くなったものと思われる。

つくば市において検討している笠木および下部隙間の有無による温湿度の差異については、ロガー設置位置が笠木および下部から離れていること、笠木の幅が CLT の厚さとほぼ同等で軒の出がなく、屋根効果が期待できないことから、温度および相対湿度に有意な差異は認められなかった。

表 5.4-1 CLT 防護柵の温度および相対湿度測定結果

設置場所	防護柵の仕様	測定期間 上段～下段	温度[°C]			相対湿度[%]		
			最大	平均	最小	最大	平均	最小
旭川市	笠木無・下部隙間無	R4/01/05 14:00 R5/01/17 13:00	36.7	6.72	-24.4	100	86.5	16.3
つくば市	笠木無・下部隙間無	R3/12/22 15.40	41.4	14.6	-9.68	100	77.9	18.5
	笠木有・下部隙間有	R4/12/27 15.40	40.6	14.6	-9.55	100	79.5	19.2
熊本市	笠木無・下部隙間無	R4/01/07 13:00 R4/12/16 13:00	44.1	17.3	-5.43	100	79.1	21.4

また、CLT 防護柵表面の含水率測定結果を、図 5.4-11～5.4-12 に示す。

CLT を横使いする敷板と比較して、縦使いする防護柵の場合は、設置後時間が経過しても含水率の増加割合が少なく、劣化の危険性が高くなるとされている 30 %以上を示す測定点数が少なかった。また、設置位置(つくば市と熊本市)による違いもみとめられなかった。

一方、つくば市における防護柵の仕様による差異については、下部の測定点(③、⑦、⑩)について、下部隙間有について隙間無よりも含水率が低くなっており、防護柵下部に隙間を設けることによる劣化低減効果の可能性が示唆された。

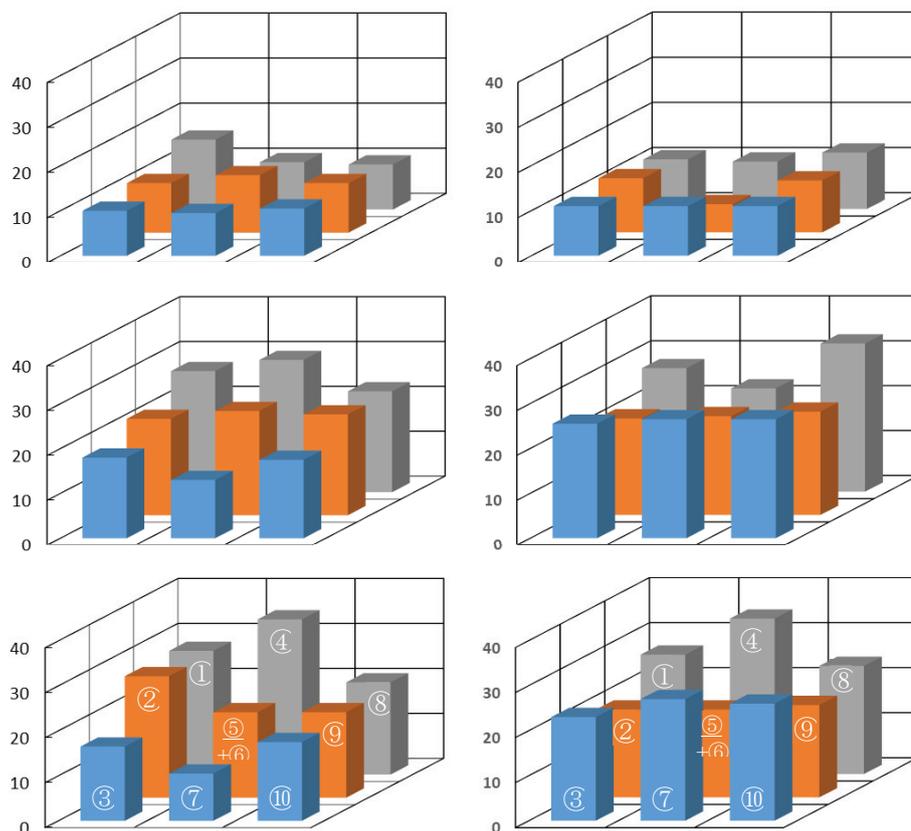


図 5.4-11 CLT 防護柵の含水率測定結果(つくば市)

左: 笠木有・下部隙間有、右: 笠木無・下部隙間無

上段: 令和 4(2022)年 2 月 25 日測定、中断: 同年 5 月 17 日測定、下段: 同年 9 月 9 日測定

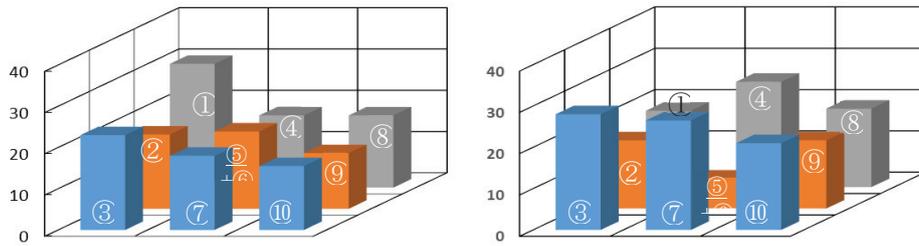


図 5.4-12 CLT 防護柵の含水率測定結果(熊本市)
 笠木無・下部隙間無、令和 4(2022)年 12 月 16 日測定、左:南面、右:北面

(7) まとめ

防護柵中心部における温度および相対湿度について、つくば市と熊本市で顕著な差異は認められなかった。

CLT を縦使いする防護柵においては、時間経過による含水率の増加が敷板よりも少なかった。

CLT 防護柵の下部に地面との隙間を設けることにより、防護柵下部における含水率の増加を抑え、耐久性向上に寄与できる可能性が示唆された。

(8) 課題

引き続き、温度、相対湿度、含水率に関する経時変化および劣化性状の観察を継続する必要がある。

6 土木用CLTの開発

6.1 実工場ラインにおける実証

6.1.1 土木用ラミナの仕様検討

従来の建築向け CLT は、「直交集成板の日本農林規格(平成 25 年 12 月 20 日農林水産省告示第 3079 号)」(以下「JAS 規格」という。)でラミナの品質が厳格に定められており、品質基準を満たさない材の多くは、安価に取引されチップや燃料に利用されている。しかし、土木用途は建築とは異なり、人が直接触れるケースは少ないため表面が平滑である必要性は小さく、表面品質や美観は重視されない。また、使用環境が湿潤である場合が多いため、出荷時に低含水率である必要性も小さい。従って、JAS 規格を満たさない安価なラミナを土木用ラミナとして活用できれば、資源の有効活用や製品の低コスト化が期待できる。そこで、JAS 規格におけるラミナの品質基準に適合しない材料の分類を行い(図 6.1-1)、製造上の課題を整理した。(以下 JAS 規格におけるラミナの品質基準に適合しないラミナを「土木用ラミナ」と称する。)

さらに、製造工程の省略についても検討し、ラミナの表面仕上げの工程を省略する製造実証を試み、ラミナ材料の歩留まりの向上や製造コストの減少の可能性を検証した。



図 6.1-1 土木用ラミナの分類

6.1.2 製造実証仕様

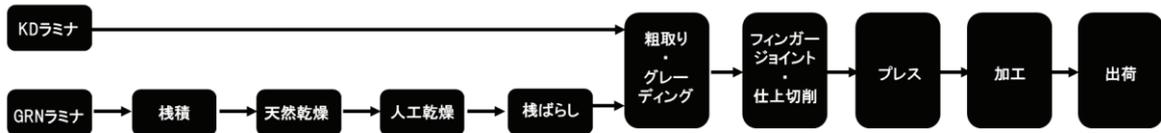
製造実証を行った 3 つの仕様について、表 6.1-1 に整理した。実証仕様 1 及び実証仕様 3 は、一般製品の製造フローに対して、使用するラミナ材のみを変更した。また、実証仕様 2 は、フィンガージョイント後の仕上げ切削のみを変更(省略)した。実証仕様 1 及び実証仕様 3 の製造フローを図 6.1-2、実証仕様 2 の製造フローを図 6.1-3 に示す。

表 6.1-1 土木用 CLT 製造実証仕様の整理

	【実証仕様 1】 土木用ラミナのみを用いた仕様	【実証仕様 2】 仕上げ切削工程を省略した仕様	【実証仕様 3】 土木用ラミナ+樹種が混在する仕様
JAS 規格におけるラミナの品質基準	適合しない(土木用ラミナ)	適合する(一般製品のラミナ)	適合しない(土木用ラミナ)
状態の分類	丸身、腐れ、入り皮、抜け節、虫食い	JAS 規格に適合する品質	JAS 規格に適合しない品質
樹種	スギ	スギ	スギ、ヒノキ、トドマツ
接着剤仕様	水性高分子インシアンネット系接着剤(使用環境 B 一般製品と同じ条件)		
幅はぎ接着	なし		
層構成・等級	3 層 3 プライ、異等級構成 Mx60		
ラミナ厚	26 mm(※注 1)	33 mm(※注 2)	30 mm
ラミナ幅	103 mm	122 mm	122 mm
製品厚	78 mm(26 mm×3 層)	99 mm(33 mm×3 層)	90 mm(30 mm×3 層)
MB 寸法	幅 2884×長 4050 mm		
含水率	15 %以下(一般製品と同じ条件)		
グレーディング	全数計測(一般製品と同じ条件)		
製造工程	一般製品と同じ条件	FJ 後の仕上げ切削工程のみ省略	一般製品と同じ条件

※注 1 :厚み 30 mm のラミナとして使用できなかったラミナを、もう一度切削して使用することを想定し、26 mm 仕上げに設定

※注 2 :FJ(フィンガージョイント)後の仕上げ切削工程を省略するため 33 mm 仕上げに設定



※KD材:Kiln Dry 材の意味で人工乾燥を行って所定の含水率まで乾燥させた材料をいう。

※GDN材:Green lumber. 含水率19%以上のものを指し、未乾燥材のこと。

図 6.1-2 実証仕様 1 及び実証仕様 3 の製造フロー(一般製品と同じ条件)

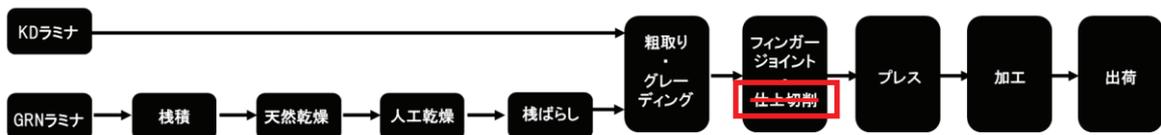


図 6.1-3 実証仕様 2 の製造フロー(仕上げ切削を省略)

6.1.3 製造実証

(1) 実証仕様 1 : 土木用ラミナのみを用いた仕様

製造実証にあたり、集材した土木用ラミナをナンバリングし(写真 6.1-1)、各欠点の位置や大きさ、CLT パネルのラミナの配列を記録した(図 6.1-4)。また、実証仕様 1 で製造した CLT パネルを写真 6.1-2 に示す。

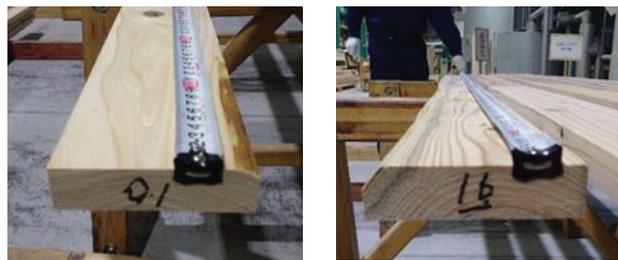


写真 6.1-1 ナンバリングした土木用ラミナ

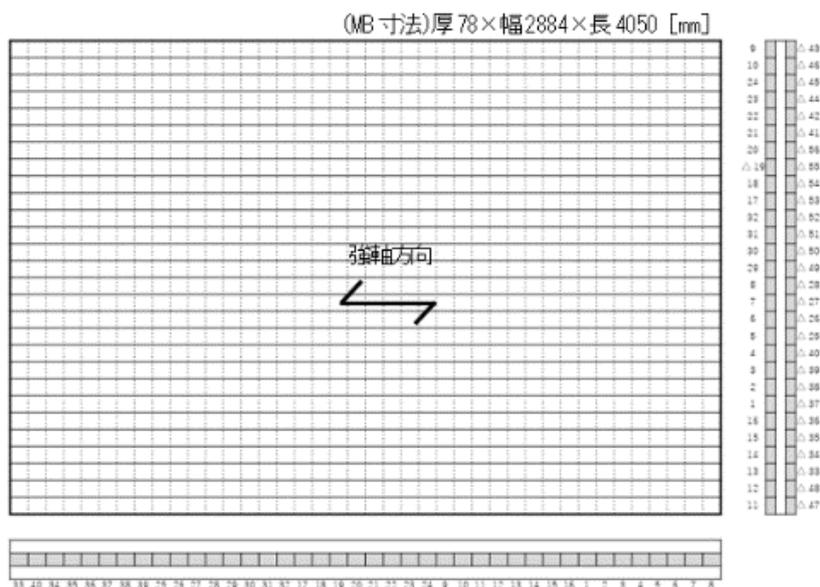


図 6.1-4 CLT パネル製造時のラミナ配列



写真 6.1-5 実証仕様 3 で製造した CLT パネル

6.1.4 接着性能の確認

実証仕様 1～3 までの CLT パネルから接着性能を確認するため、各仕様 4 体ずつ試験体を採取し、減圧加圧はく離試験及びブロックせん断試験により接着性能を確認した。それぞれの試験結果を表 6. 1-2 に示す。

ブロックせん断試験の結果は、実証仕様 1 及び 3 については、4 体全てで木材破断率 100 % となり、実証仕様 2 の 1 体のみ、木材破断率が JAS 規格で定める基準値を下回った。

減圧加圧はく離試験の結果は、実証仕様 1 は 4 体とも、JAS 規格で定める基準に適合したが、実証仕様 2 は 4 体のうち 2 体、実証仕様 3 は 4 体のうち 1 体のはく離率が、JAS 規格で定める基準を下回った。

実証仕様 2 の仕上げ切削工程を省略した仕様の接着性能については、写真 6. 1-3、6. 1-4 に示した通り、フィンガージョイント部の目違いを切削せずに、積層面を接着・圧縮し CLT を製造するため、フィンガージョイント部の目違いが接着性能に影響を与えた可能性が高いと考えられる。

表 6.1-2 減圧加圧はく離試験、ブロックせん断試験結果一覧
JAS 規格に対する適・不適

仕様	試験 体数	減圧加圧はく離試験		ブロックせん断試験	
		はく離率[%]	適/不適	木破率[%]	適/不適
実証仕様 1	1 体目	0.00	適	100	適
	2 体目	0.00	適	100	適
	3 体目	3.70	適	100	適
	4 体目	6.30	適	100	適
実証仕様 2	1 体目	24.67	不適	100	適
	2 体目	8.17	適	90	適
	3 体目	0.00	適	65	不適
	4 体目	11.17	不適	100	適
実証仕様 3	1 体目	10.83	不適	100	適
	2 体目	0.00	適	100	適
	3 体目	0.00	適	100	適
	4 体目	3.50	適	100	適

6.1.5 歩留まりの検証

JAS 規格品を製造する場合の製造歩留まり(2021 年集計実績値)、実証仕様 1～3 までの製造段階における歩留まりを表 6. 1-3 に示す。また、各実証仕様による歩留まりの改善値を、表 6. 1-4 に整理する。

JAS 規格品を製造する場合の原木から製品までの製造歩留まりと比較し、実証仕様 1 は 5.37 %、実証仕様 2 は 5.43 %、実証仕様 3 は 1.53 %の製造歩留まりの改善が見込めることが分かった。これは昨年度の事業で推定した改善値と同程度となっており、本年度事業における製造実証により、それらの検証も行うことができた。

表 6.1-3 各仕様における製造歩留まり

(右上) JAS 規格品を製造する場合の製造歩留まり(2021 年集計実績値)

(左上) 土木用ラミナのみを用いた仕様(実証仕様 1)の製造歩留まり

(右下) 仕上げ切削工程を省略した仕様(実証仕様 2)の製造歩留まり

(左下) 土木用ラミナかつ樹種が混在する仕様(実証仕様 3)の製造歩留まり

製造工程	工程毎の歩留まり	歩留まり(原木～製品)	歩留まり(ラミナ～製品)
原木(丸太)	100%	100%	
↓			
原板(ラミナ)	56%		100%
↓			
粗取り(グレーディング)	89%		
↓			
縦継ぎ、仕上げ切削	87%		
↓			
プレス(積層接着)	99%		
↓			
製品(サード)	100%	42.93%	76.66%

製造工程	工程毎の歩留まり	歩留まり(原木～製品)	歩留まり(ラミナ～製品)
原木(丸太)	100%	100%	
↓			
原板(ラミナ)	63%		100%
↓			
粗取り(グレーディング)	89%		
↓			
縦継ぎ、仕上げ切削無	87%		
↓			
プレス(積層接着)	99%		
↓			
製品(サード)	100%	48.29%	76.66%

製造工程	工程毎の歩留まり	歩留まり(原木～製品)	歩留まり(ラミナ～製品)
原木(丸太)	100%	100%	
↓			
原板(ラミナ)	56%		100%
↓			
粗取り(グレーディング)	89%		
↓			
縦継ぎ、仕上げ切削無	98%		
↓			
プレス(積層接着)	99%		
↓			
製品(サード)	100%	48.35%	86.35%

製造工程	工程毎の歩留まり	歩留まり(原木～製品)	歩留まり(ラミナ～製品)
原木(丸太)	100%	100%	
↓			
原板(ラミナ)	58%		100%
↓			
粗取り(グレーディング)	89%		
↓			
縦継ぎ、仕上げ切削無	87%		
↓			
プレス(積層接着)	99%		
↓			
製品(サード)	100%	44.46%	76.66%

表 6.1-4 各実証仕様における製造歩留まりの改善値

仕様	製造歩留まり (原木～製品)[%]	改善値 [%]
JAS 規格品	42.93 %	-
実証仕様 1	48.29 %	5.37 %
実証仕様 2	48.35 %	5.43 %
実証仕様 3	44.46 %	1.53 %

6.1.6 まとめ

本年度の製造実証では、JAS 規格を満たさないラミナを利用し、安価なラミナを土木用ラミナとして活用することで、土木用 CLT の製造実証を行った。同時に歩留まりや製造コストに影響のあるラミナの表面仕上げの工程省略について検討を行った。

製造実証では、実証仕様 1～3 について実工場ラインでの製造工程上の不具合は発生せず、土木用 CLT の量産化体制を視野に入れた製造方法の可能性を実証できた。

一方、実証仕様 1 及び実証仕様 3 では、欠点部が接着性能に与える影響は少ない結果となったが、実証仕様 2 のみ、フィンガージョイント部の目違いが接着性能に影響を与える結果となり、接着性能やせん断性能を要求される用途として使用する場合には更なる検討が必要である。この点においては、JAS の接着性能の基準には適合しないが、性能に見合った使用用途の場合は、使用上の問題は生じないと考えられる。実証仕様 2 では、一般的な JAS 規格製品を製造する場合に比べ、今回の検証で最も歩留まり改善率が高いため、用途を限定した場合には低コスト化に寄与できるものと期待できる。

6.2 土木用ラミナの活用技術の開発

CLTを土木構造物へ展開する場合、建築材料とは要求性能が異なると考えられ、また、大量に使用することなどから、コストダウンへの期待もより大きいものがある。そのため、土木用途に適した品質・仕様と価格とのバランスを踏まえた「土木用 CLT」の開発が求められる。

価格を抑える方策として、①原材料価格の低い材料を用いる、②原材料価格を抑える、③製造工程の簡略化により価格を抑える等が考えられるが、②の場合、森林の経営管理の点で、山元への還元を圧迫するために好ましくない。また、①については前節で検討を行っている。

そこで、本節では③に焦点を当てて、歩留まりや製造コストに影響のあるラミナの人工乾燥や表面仕上げなどの工程省略について検討を行った。

6.2.1 人工乾燥をしない高含水率ラミナの検討

直交集成板の日本農林規格(以下、JAS)において、直交集成板(以下、CLT)の含水率は15%以下と規定されており、ラミナは木材乾燥機によって人工乾燥させるのが一般的である。しかし、土木用途におけるCLTについては、屋外での使用が想定されることやコスト低減の観点から、含水率の高い天然乾燥ラミナの使用が期待されるが、実用に供するには高含水率ラミナの接着性能を明らかにする必要がある。

本項では、天然乾燥ラミナを使用したCLTについて、接着性能の検証を行った結果を報告する。

(1) ラミナの調整

試験片(CLT)の製作にあたり、銘建工業(株)(岡山県)において天然乾燥されたスギラミナ(37×119×3,000 mm)を使用した。ラミナの天然乾燥期間は、令和4(2022)年7月～10月下旬の約4か月であった。

長さ3,000 mmのラミナから、1,400 mm長さのラミナを2本採取した。片方を天然乾燥ラミナ(以下、ADラミナ)、もう片方をコントロールとして、含水率10%を目標に人工乾燥させたラミナ(以下、KDラミナ)とした。写真6.2-1にラミナの人工乾燥の様子を示す。使用したラミナは全て“板目木取り”で、樹心を含むもの(心持ち材、心掛かり材)は用いなかった。1,400 mm長さのラミナ(KDラミナ、ADラミナ)を、プレーナーにより断面寸法31×100 mmに調整し、含水率測定用試験片(長さ20～30 mm)を1片、長さ298 mmのラミナを3枚採取した。長さ298 mmのラミナは、両木口面から100 mm以上内側から採取した。以上より、エンドマッチングされたラミナ(長さ298 mm)を6枚用意し、これより試験用の小型CLTの製作を行った。なお、ADラミナについては木口面からの乾燥が懸念されるため、長さ方向の切断は接着の前日または当日に行った。ここまでの作業(ラミナの採取、エンドマッチング)の流れを図6.2-1にまとめる。

含水率測定用試験片より、全乾法によって含水率を測定したところ、ADラミナの含水率は15.6%～22.6%(平均19.5%、標準偏差1.5%)、KDラミナの含水率は9.1%～10.5%(平均9.8%、標準偏差0.3%)であった。



写真 6.2-1 ラミナの人工乾燥の様子

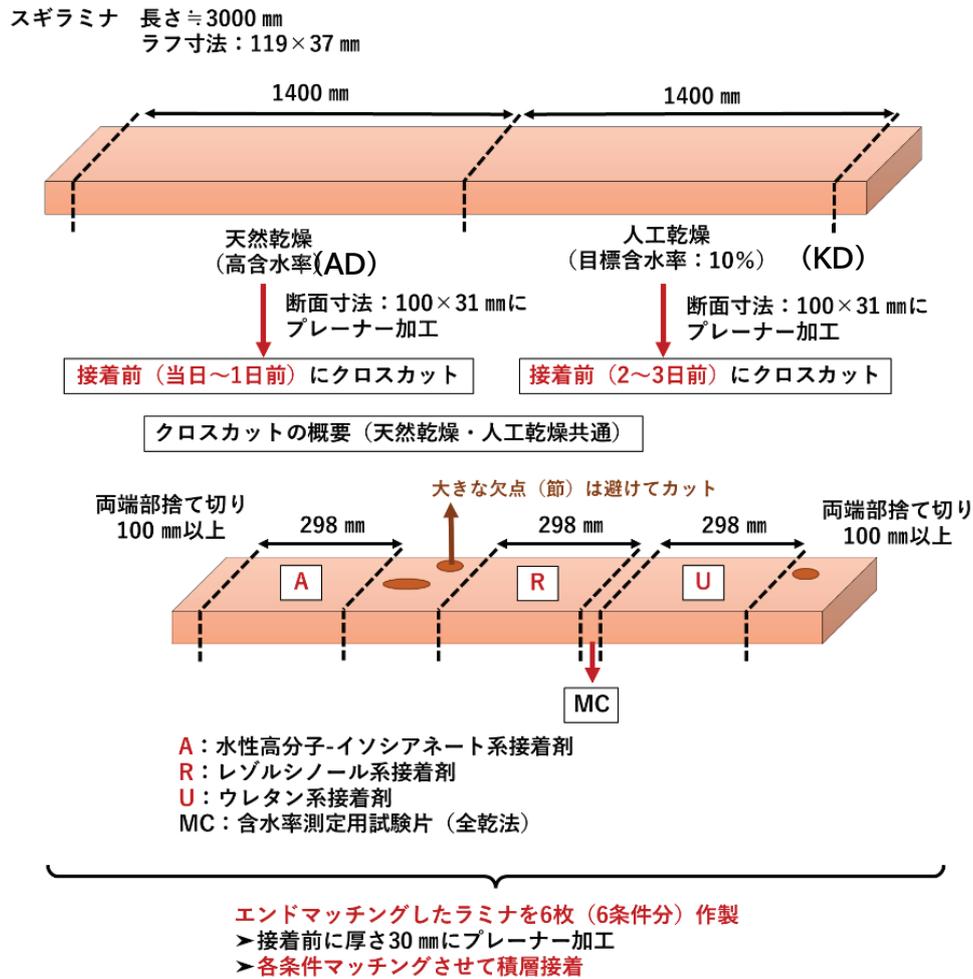


図 6.2-1 ラミナの採取・エンドマッチングの概要

(2) CLT の製作

長さ 298 mm のラミナを用い、小型の CLT を製作した。ラミナは(接着)直前にプレーナーで厚さを 30 mm に調整した。CLT は 300 mm×300 mm、3 層 3 プライ(厚さ 90 mm)とした。

CLT に使用した接着剤には 3 種類(水性高分子イソシアネート系接着剤(以下、API)、レゾルシノール樹脂系接着剤(以下レゾルシノール系)、一液型ポリウレタン樹脂接着剤(以下ウレタン系))を用意した。各接着剤の圧縮条件等を表 6.2-1 に示す。圧縮時、気温が概ね 20°Cとなるよう、プレスの近傍にヒーターを配置した。試験体の条件は全 6 条件(ラミナの含水率 2 種類×接着剤 3 種類=6 条件)であり、各条件 2 体ずつ CLT を作製した。各条件で使用したラミナはエンドマッチングさせており(図 6.2-1)、各 CLT におけるラミナの条件(木取り等)は可能な限り揃えた。

CLT の製作の様子を写真 6.2-2 に示す。

表 6.2-1 CLT の接着条件

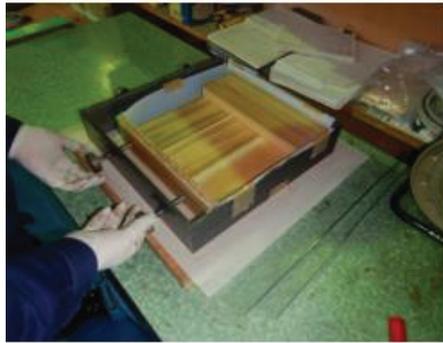
接着剤	API	レゾルシノール系	ウレタン系
塗布量 [g/m ²]	230	230	180
圧縮圧力 [MPa]	0.8	0.8	0.8
圧縮時間 [時間]	17	1	17



接着前プレーナー



接着剤塗布



積層



圧締

写真 6.2-2 CLT の製作の様子

(3) 減圧加圧はく離試験

CLTを製作後に養生(20°C・65%環境下にて2週間以上)させ、その後、各CLTより接着試験片(75×75 mm)を3体ずつ作製した。試験片の採取位置を図 6.2-2 に、試験片の例を写真 6.2-3 に示す。なお、はく離試験(減圧加圧処理)前に試験片の状態を目視にて確認したところ、はく離および割れは確認できなかった。

はく離試験および評価は JAS に規定されている減圧加圧はく離試験に則って実施した。JAS における屋外利用を想定した使用環境 A の試験方法に従い、減圧加圧処理は2回実施した。

写真 6.2-4 に減圧加圧はく離試験の様子を示す。

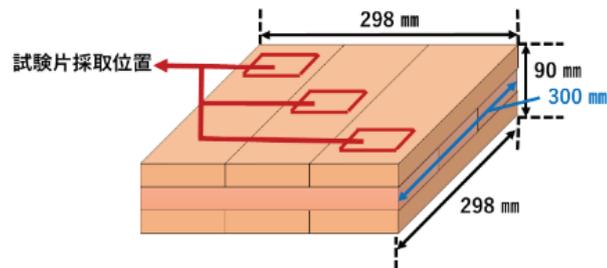


図 6.2-2 試験片の採取位置



AD ラミナを使用した CLT より作製した試験片
(左から、レゾルシノール系、API、ウレタン系)



KD ラミナを使用した CLT より作製した試験片
(左から、レゾルシノール系、API、ウレタン系)

写真 6.2-3 作製した試験片の例



減圧加圧処理(注水工程)



減圧加圧処理(乾燥工程)



はく離状況の観察

写真 6.2-4 減圧加圧はく離試験の様子

(4) 試験結果

はく離試験結果を表 6.2-2 に示す。各条件とも、接着はく離の発生はみられないか、ごく僅かであった。また、JAS の基準で不適合と判定された試験片はなかった。結果より、天然乾燥ラミナについても、含水率が 20%程度で JAS の基準を満たす初期接着性能が得られたことから、天然乾燥ラミナを用いたスギ CLT を土木利用できる可能性が示唆された。ただし、環境によっては、ラミナの含水率変化による寸法変化やそれに伴う接着層への負荷が懸念されるため、使用環境に応じて求められる耐久性の有無を確認した上で使用すべきであると考えられる。

表 6.2-2 はく離試験の結果

乾燥条件	ADラミナ			KDラミナ		
	API	レゾルシノール系	ウレタン系	API	レゾルシノール系	ウレタン系
平均剥離率 [%]	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0
(標準偏差)	0.0	0.2	0.0	0.0	0.1	0.0
最大剥離率 [%]	0.0	0.7	0.0	0.2	0.3	0.0
JAS不適合 試験片数	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6	0/6

6.2.2 表面仕上げを省略したラミナの検討

(1) 土木用 CLT の製造方法の検討

(a) 材料

間伐や主伐の際、伐採木に腐れ等が認められると安価となりやすい。これら安価材の利用価値を上げ、かつ安価材を土木材料として利用可能とするため、腐れの入ったスギ丸太を用いて、挽板の状態で約 11 か月間屋外および屋内にて自然乾燥後、土木用 CLT に供した。接着剤には水性高分子イソシアネート系接着剤(光洋産業(株)製)を用いた。

(b) 製造方法

CLT(3 層 3 プライ)の製造はラミナ幅およびラミナ含水率別に 2 回に分けて行った。使用したラミナは、1 回目はグレーディングを行わず無作為に抽出し、2 回目は縦振動法により求めた動的ヤング率を基に強度区分 M90A に相当するラミナを用いた。製造パターンは表 6. 2-3 および表 6. 2-4 に示す通りである。CLT の寸法はすべて 300 mm×1,800 mm とし、厚さはプレーナー加工を行ったものは 90 mm である。接着剤の塗布は 1 回目の製造ではプレーナー加工の有無に関わらず全面に塗布できるよう手作業で、2 回目の製造では接着剤塗布量を一定にするため、電動ローラーを用いて行った。

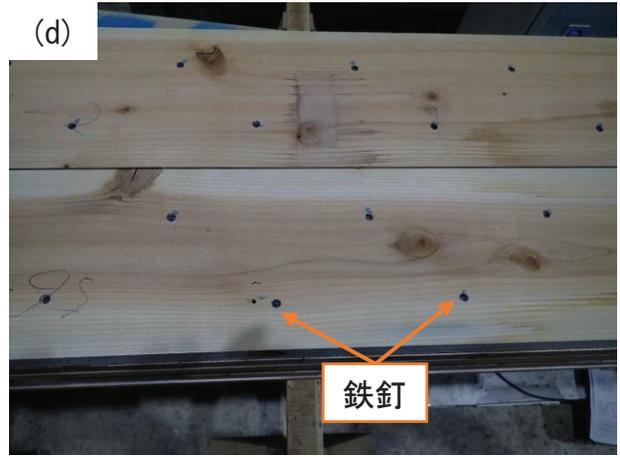
圧縮条件は、プレスでは 1.0 MPa、60 分、真空プレスでは 0.1 MPa、60 分とした。鉄釘は幅 150 mm のラミナに対して釘長 50 mm、2 列千鳥配置で 1 層につき 24 本を高圧釘打機で打込んだ。木釘は \square 45 mm×45 mm、長さ 55 mm に加工したニセアカシアを使用し、鉄釘に使用した高圧釘打機に治具を取り付けて、各層のラミナの交点に 1 本打ち込んだ。製造の様子を写真 6. 2-5 に、製造後の様子を写真 6. 2-6～写真 6. 2-9 に示す。

表 6.2-3 製造条件(1 回目、ラミナ幅 150 mm)

名称	プレーナー加工	ラミナ厚 (mm)	ラミナ表面含水率 (%)	圧縮方法	接着剤塗布量 (g/m ²)	枚数	備考
プレス あり	あり	30	15%以下	プレス	228.6	2	
プレス なし	なし	34~38	20%以下	プレス	407.9	2	
真空 なし	なし	34~38	20%以下	真空プレス	362.0	2	
鉄釘 なし	なし	34~38	20%以下	鉄釘止め	296.1	2	

表 6.2-4 製造条件(2 回目、ラミナ幅 100 mm)

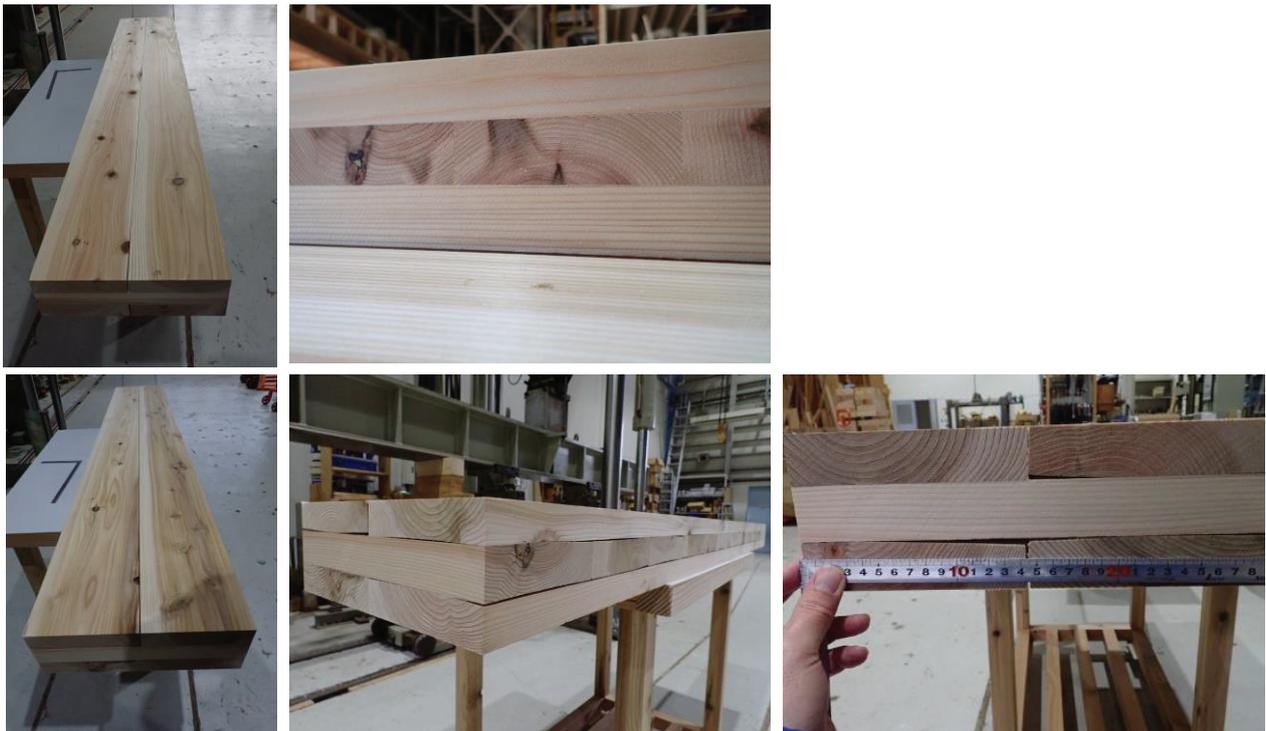
名称	プレーナー加工	ラミナ厚 (mm)	ラミナ含水率	圧縮方法	接着剤塗布量 (g/m ²)	枚数	備考
プレス あり AD	あり	30	気乾状態	プレス	185	2	
真空 あり AD	あり	30	気乾状態	真空プレス	185	2	
木釘 あり AD	あり	30	気乾状態	木釘止め	なし	2	



(a)プレス、(b)真空プレス、(c)(d)鉄釘、(e)(f)木釘
写真 6.2-5 CLT 製造の様子



写真 6.2-6 製造した CLT(プレス)(上段:プレーナー加工あり、下段:なし)



(上段:プレーナー加工あり、下段:なし)

写真 6.2-7 製造した CLT(真空プレス)



写真 6.2-8 製造した CLT(鉄釘)



写真 6.2-9 製造した CLT(木釘)

(c) 曲げ試験

i) 試験方法

上記で製造した CLT を試験体として用い、寸法、重量および縦振動法による動的ヤング率を求めた後、曲げ試験を行った。試験は木材実大強度試験機 (WU-100H TK18A、(株)東京衝機製造所) を用いて、支点間距離 1,600 mm、荷重点間距離 600 mm とした 3 等分点 4 点荷重法で行った(写真 6.2-10)。

試験体数は、製造条件ごとに各 2 体、測定項目は荷重およびたわみとし、たわみはスパン中央部両側面の中立軸位置の変位を 2 つの変位計(東京測器研究所、DP-500C)により計測し、その平均値をたわみ量とした。試験体の高さはプレーナー加工を行わない試験条件のうち、プレスおよび真空プレスは 100 mm に統一した。その他、プレーナー加工を行った試験条件は 90 mm、鉄釘は製造時の仕上がり寸法のままとした。



写真 6.2-10 曲げ試験の様子

ii) 試験結果

曲げ試験より得られた荷重－変位関係図を図 6.2-3 に、圧縮方法および表面仕上げ別の曲げヤング係数と曲げ強さの関係を図 6.2-4 に示す。

真空プレスの場合、プレーナー加工を行うとプレスと類似した挙動を示す一方、プレーナー加工なしでは最大荷重が大幅に低下した。鉄釘および木釘は載荷初期からたわみが卓越する挙動がみられ、通常の CLT とは大きく異なる材料となっていることが分かる。曲げに対する抵抗力は、両圧縮方法ともに層間に配された釘のせん断抵抗に左右されるため、釘の本数によって挙動は変化すると考えられる。

プレスおよび真空プレスによる表面仕上げの有無で比較すると、両圧縮方法ともにプレーナー加工を省略することで曲げヤング係数、曲げ強さともに低下した。特に真空プレスでは大幅な低下がみられた。真空プレスの場合、圧縮力がプレスの 1/10 以下と小さいため、圧縮に伴う接着面の出来が強度性能に大きく依存することが推察される。

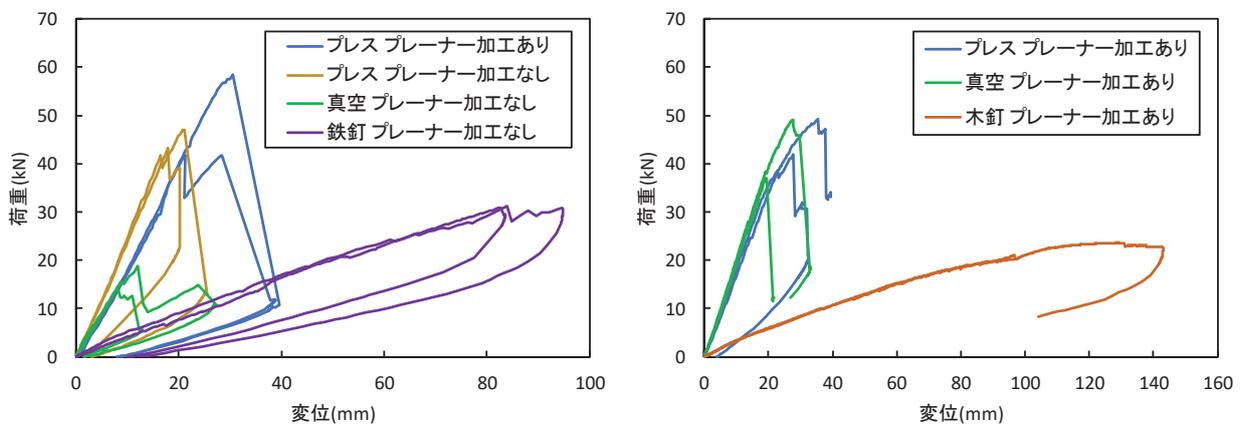
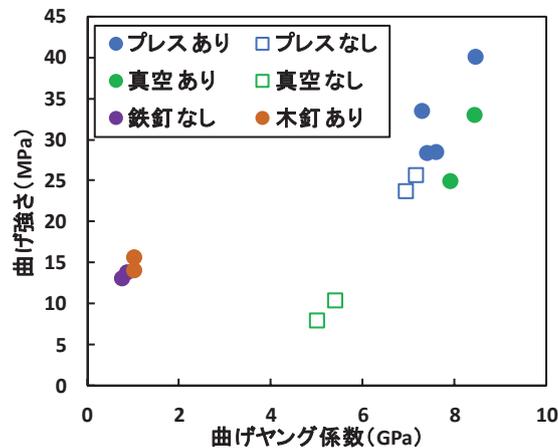


図 6.2-3 荷重－変位関係図 (左:1 回目、ラミナ幅 150 mm、右:2 回目、ラミナ幅 100 mm)



※あり:プレーナー加工あり、なし:プレーナー加工なし

図 6.2-4 条件別曲げヤング係数と曲げ強さの関係

(d) 煮沸はく離試験

煮沸はく離試験はプレス(プレーナー加工あり・なし)と真空プレス(プレーナー加工あり・なし)を対象に、各 CLT の両側から 1 体ずつ、計 2 体の試験片を切り出し、繰り返回数 1 回で行った。試験片の寸法は、1 回目に製造した CLT では全周(幅 300 mm×高さ 90 mm または 100 mm)を、2 回目に製造した CLT では日本農林規格(JAS3079、直交集成板)に基づき 75 mm×75 mm で行った。試験条件および結果を表 6.2-5、図 6.2-5 に、真空プレスの試験体の様子を図 6.2-6、図 6.2-7 に示す。

プレス(プレーナー加工あり)では、全周で行った場合は試験後に一定のはく離がみられたが、JAS 規格に準じて行

った試験では 2 試験体ともにはく離は見られなかった。真空プレス(プレーナー加工あり)では、両試験体ともに試験前のはく離は見られなかったが、試験後には特に試験体 1 で多くのはく離が認められた。試験体 1 では接着剤を塗布後、真空状態にするまでに時間を要したことが原因であると考えられ、接着剤塗布後、速やかに真空状態を確保できた試験体 2 のはく離率は低かった。プレーナー加工を行わない場合、プレスでは試験前のはく離率が高く、接着不良箇所が多く現れた。真空プレスではプレスよりも多くの接着不良箇所が認められ、試験体 1 では 80 %近いはく離率となった。このことから、真空プレスは通常のプレスに比べてラミナ表面の平滑さが接着性に大きく左右されると言える。

表 6.2-5 煮沸はく離試験の結果

圧縮方法	プレーナー加工	試験体寸法	剥離率 (%)			
			試験体1		試験体2	
			試験前	試験後	試験前	試験後
プレス	あり	全周	0.0	18.8	0.0	11.1
プレス	あり	75mm角	0.0	0.0	0.0	0.0
プレス	なし	全周	19.5	17.7	33.0	42.7
真空プレス	あり	75mm角	0.0	33.0	0.0	4.3
真空プレス	なし	全周	79.0	74.8	44.4	81.1

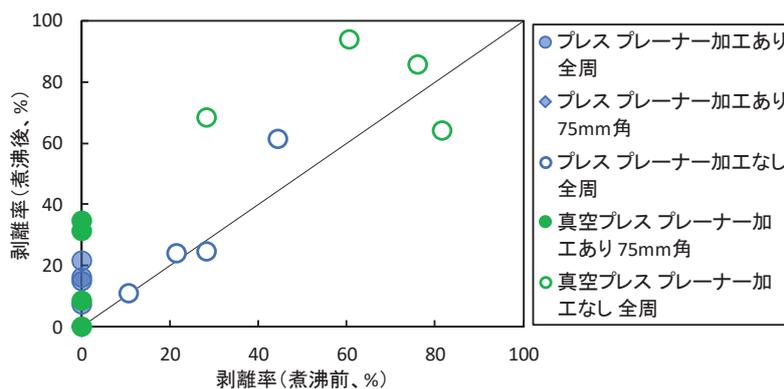


図 6.2-5 煮沸はく離試験結果

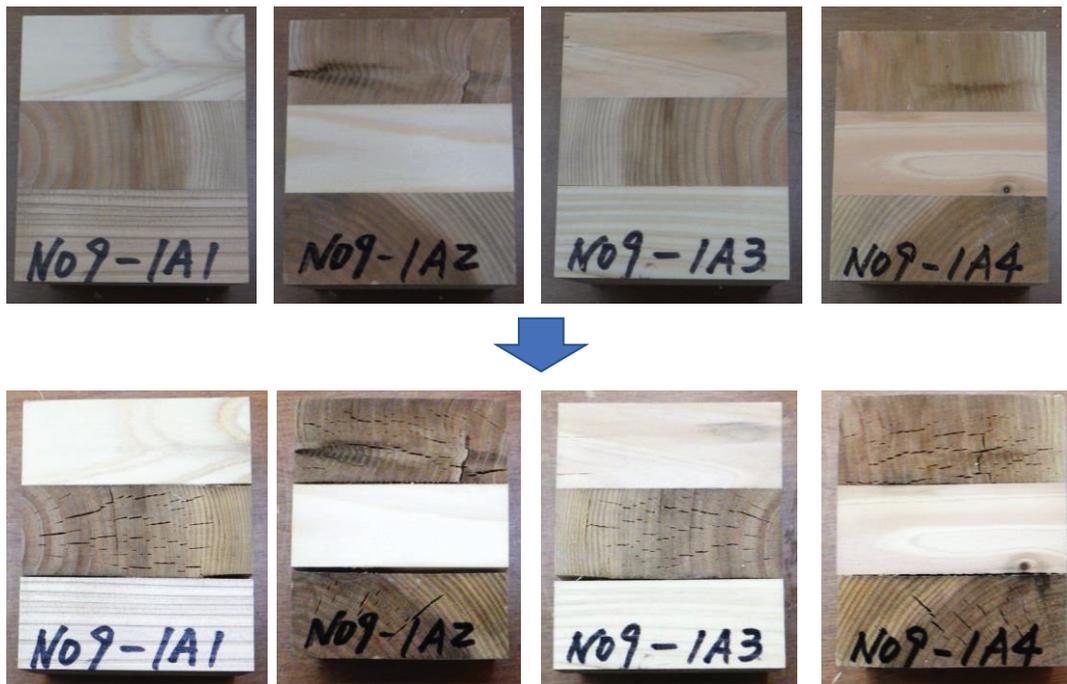


図 6.2-6 煮沸はく離試験(真空プレス、プレーナー加工あり)

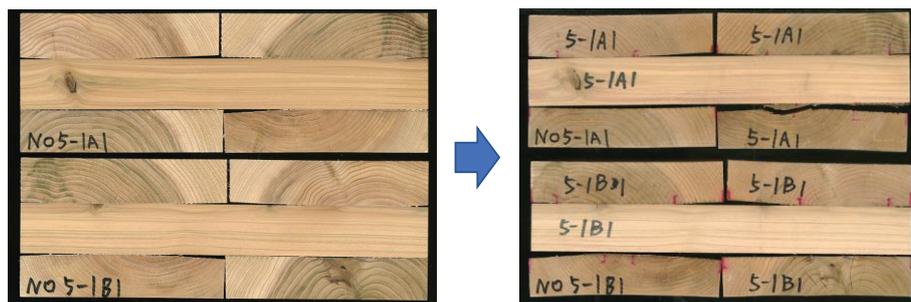


図 6.2-7 煮沸はく離試験(真空プレス、プレーナー加工なし)

(2) 土木用 CLT (大判) の製造試験

土木用 CLT の製造方法として可能性の見出せた真空プレスおよび木釘接合を対象に、1.9 m×1.9 m 四方の土木用 CLT を製造した。

(a) 材料

真空プレスでは、スギラミナ(幅 100 mm、長さ 1,920 mm)の KD 材(プレーナー加工あり)を用い、接着剤には水性高分子イソシアネート系接着剤(光洋産業(株)製)を用いた。木釘接合では、スギ土木用ラミナ(幅 100 mm、長さ 1,900 mm 以上)の気乾材(自然乾燥、プレーナー加工なし)を用い、接着剤は使用しなかった。

(b) 土木用 CLT の製造

真空プレスでは、農業用ポリシート(農ポリ)、クッションマットを敷いた上にラミナを重ね、それらを農ポリ、クッションマットで包んだ後、真空状態にした。圧縮条件はこれまでと同様、0.1 MPa、60 分とした。木釘接合では、木釘はこれまでと同様、45 mm 角、長さ 55 mm のニセアカシア製を使用し、高圧釘打機に治具を取り付けて、各層のラミナの交点に 1 本打ち込んだ。打ち込み箇所数は各層 361 箇所(計 722 箇所)であった。木釘の打ち込みは先穴なしで始めたが、全長打込めない、割裂する等の打ち込み不良となる割合が高かったため、途中から先穴(φ3 mm、L38.5 mm)を施した後、木釘の打ち込みを行った。

(c) 試験結果

土木用 CLT の製造の様子を図 6.2-8、写真 6.2-11 に、製造後の様子を写真 6.2-12 に示す。真空プレスでは農ポリ、エアークッションで包んだ際の空気漏れを抑えるため、CLT の 4 隅にエアークッションを取り付けたところ、上手く真空状態にできることが分かった。包む作業自体も簡単のため、真空プレスでの製造は大判サイズになっても容易に行えることが分かった。使用する材料は真空ポンプ、ホース、農ポリ、クッションマット等と安価かつ少量のため、初期投資費用を抑えて土木用 CLT を製造できる。また、各材料の取り扱いが容易でハンドリングが良いことが分かった。

木釘接合では、打ち込み自体は容易に行えるものの、打ち込み箇所数が多く、想定以上に作業時間がかかった。特に、打ち込み不良となった場合、釘打機に取り付けた治具のメンテナンスが必要で、本試験では 40 回以上のメンテナンスを行った。メンテナンス時間は 1 回につき平均 4~5 分を要し、その結果、製造に要する時間を大幅に増加させる結果となった。メンテナンスを必要とする打ち込み不良の割合は、先穴なしで 14.8 %、先穴ありで 6.3 %であった。木釘接合に使用する材料は、ポータブル発電機、高圧釘打機(木釘用治具含む)、木釘のみであり、材料点数としては最も少なく、真空プレスと同様、初期投資費用を抑えて土木用 CLT を製造できることが分かった。また、いずれの材料も持ち運び可能なため、現場(オンサイト)での作業が可能である。一方で、打ち込み不良に伴うメンテナンス時間が増加するため、如何に打ち込み不良を減らして作業性を向上させるか、という点が課題となる。

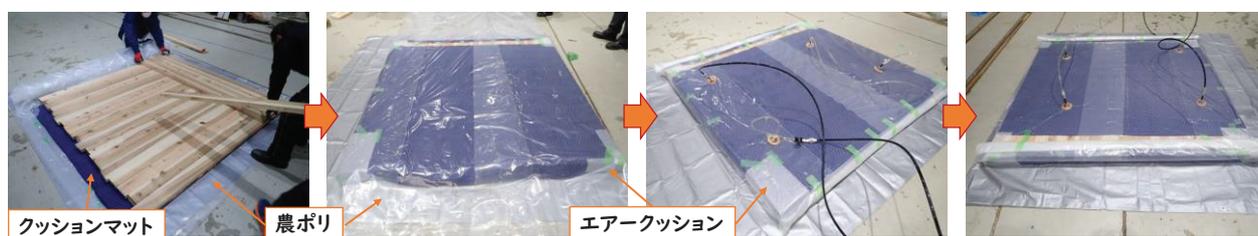


図 6.2-8 真空プレスでの土木用 CLT の製造の様子



写真 6.2-11 木釘での土木用 CLT の製造の様子



写真 6.2-12 完成した土木用 CLT(左:真空プレス、右:木釘)

6.3 省ラミナ CLT の検討および開発

6.3.1 開発目的

建築用の CLT は、製造原価の約 6 割をラミナの原材料費が占めていることから、ラミナの使用量を減らすことができれば、CLT のコスト削減に効果があると考えられる。一般的に外力による曲げ応力は主として最外層のラミナが負担しており、内層ラミナの強度は重要視されない。つまり曲げ応力が支配的な使用方法では、内層ラミナの枚数を省略して中空部を有する CLT でも十分な強度特性が得られる可能性がある。また、ラミナの枚数が削減されることで軽量化にも貢献できる可能性がある。

そこで、前年度には各層のラミナを間引きしてラミナの使用量を削減した CLT (以下、省ラミナ CLT) を考案し、カラマツ材を用いた製造試験および強度試験を実施した(写真 6.3-1)。本年度は、スギ材を用いた省ラミナ CLT の効率的な製造方法を検討し、製造試験を実施した。また、製造した省ラミナ CLT の強度性能および接着性能試験を実施した。



(1) 両面全ラミナ

(2) 片面全ラミナ



(3) 全層省ラミナ

写真 6.3-1 前年度製造したカラマツ省ラミナ CLT

6.3.2 省ラミナ CLT の製造

スギのたて継ぎラミナ(L90、断面寸法 107 mm 幅×30 mm 厚)を用いて、3 パターンの省ラミナ CLT(内層 3 層のラミナを 1 枚おきに間引きしたもの(両面全ラミナ)、内層 3 層と外層 1 面のラミナを 1 枚おきに間引きしたもの(片面全ラミナ)、全層のラミナを 1 枚おきに間引きしたもの(全層省ラミナ)を製造した。また、比較として通常の CLT(以下全層全ラミナ)を製造した。いずれも積層数は 5 層とし、すべての層を直交積層した。各 CLT は 1 体ずつ製造した。

図 6.3-1~4 に製造時のラミナ寸法および配置を、写真 6.3-2 に製造風景を示した。

省ラミナ CLT の製造では、間引きした層のラミナを揃えるために、ラミナ幅と同じ幅のスペーサーを用意した。前年度のカラマツ省ラミナ CLT の時は、ラミナを配置する都度、スペーサーをラミナ間に挟んでいたが、本年度は四方に配置

された側圧板にスペーサーを固定し、スペーサーの間にラミナを落とし込むだけで配置できるよう工夫した。各ラミナの長さは、スペーサーを挟み込むために 40 mm 長くした。両面全ラミナ、片面全ラミナでは、外層ラミナの一部がスペーサーと干渉するため、スペーサーが挿入される場所のラミナ長さを 2,033 mm (107 mm×19 枚)とした。

接着剤は、水性高分子-イソシアネート系接着剤(主剤 PI-5340、硬化剤 H-50、(株)オーシカ)を使用した。主剤 100 部に対して硬化剤 15 部を配合し、十分に混合した。塗布量は 200 g/m²であった。接着剤を塗布したラミナを上記のとおり積層した後、0.8 MPa で 50 分間圧縮した。なお、プレスのゲージ圧を算出する際、ラミナの配置を考慮して圧縮面積を算出した。全層全ラミナでは、CLT 全面を圧縮面積とし、3 タイプの省ラミナ CLT では、長尺ラミナと短尺ラミナが交わる部分を圧縮面積とした(図 6.3-5)。

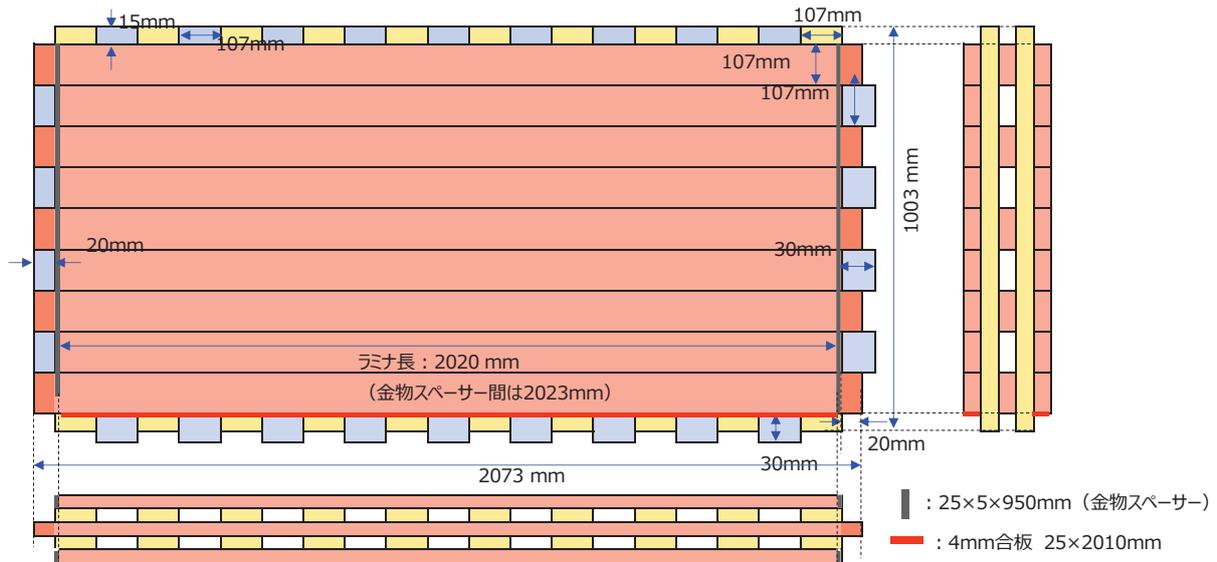


図 6.3-1 両面全ラミナのラミナ寸法および配置

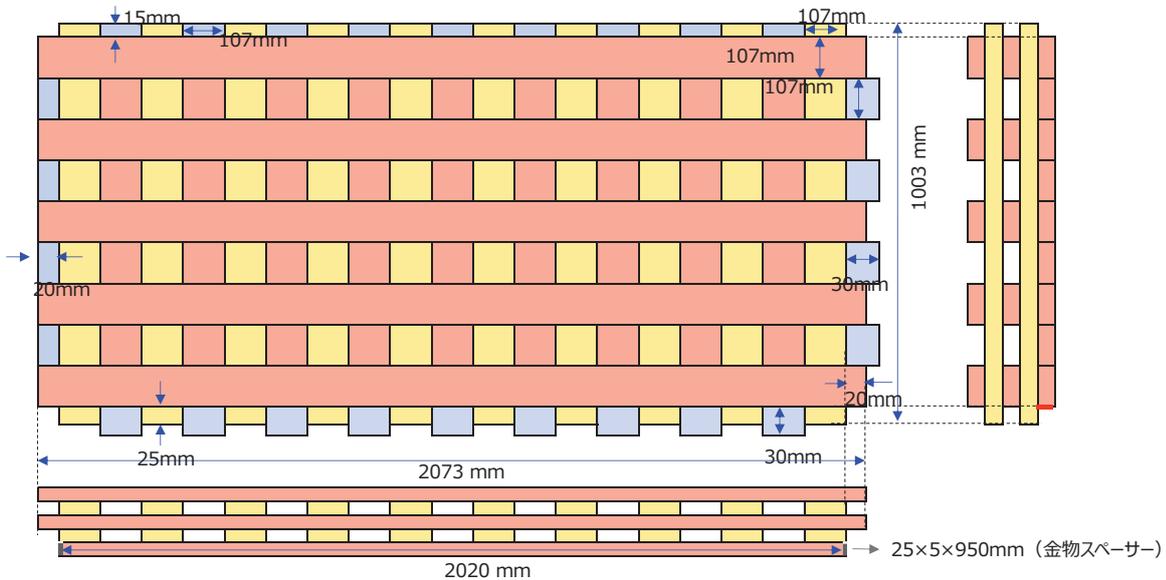


図 6.3-2 片面全ラミナのラミナ寸法および配置

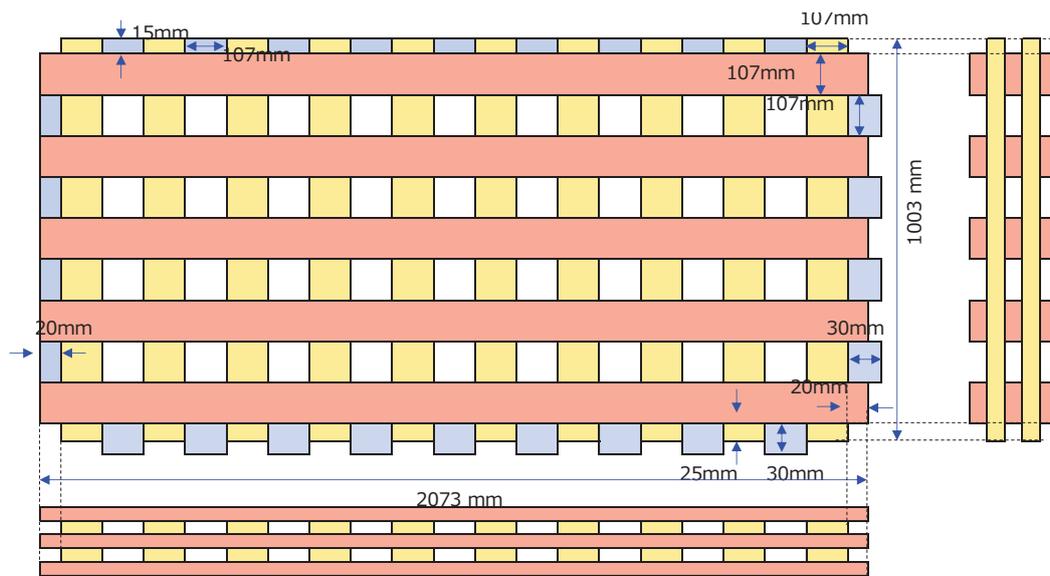


図 6.3-3 全層省ラミナのラミナ寸法および配置

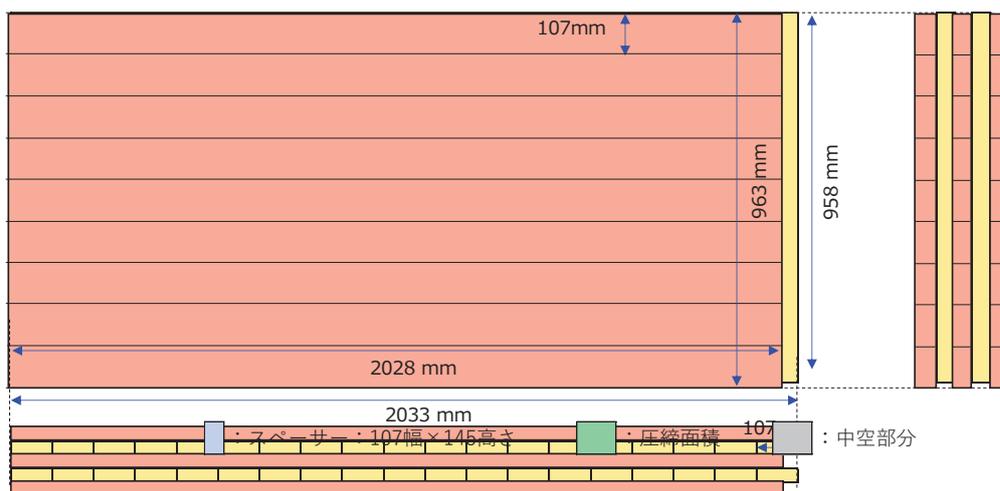
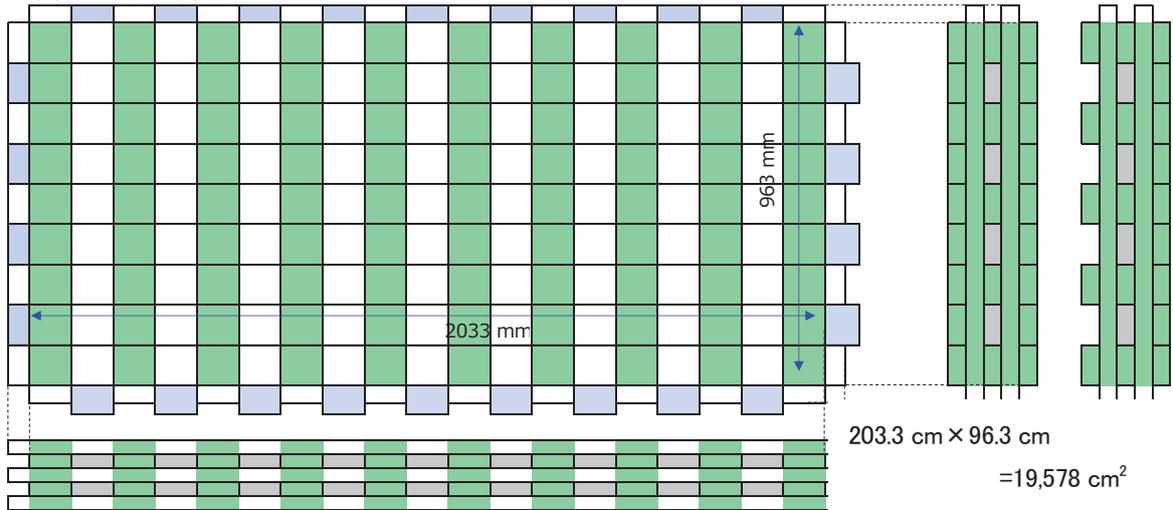


図 6.3-4 全層全ラミナ(通常の CLT)のラミナ寸法および配置

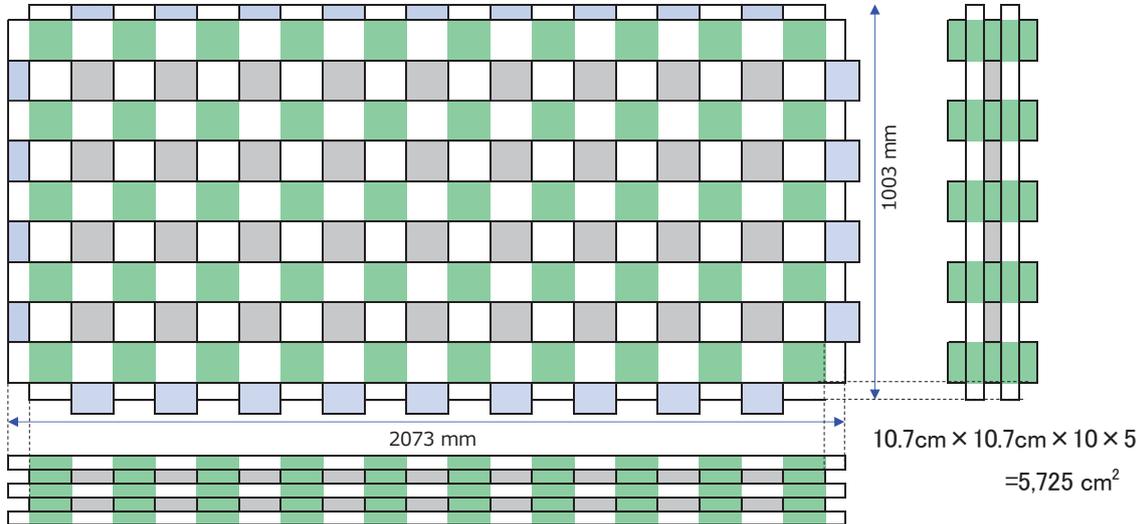


写真 6.3-2 省ラミナ CLT の製造風景

①② 両面全ラミナ、片面全ラミナ



③ 全層省ラミナ



■ : スペース : 107幅 × 145高さ ■ : 圧縮面積 ■ : 中空部分

④ 全層全ラミナ (通常のCLT)

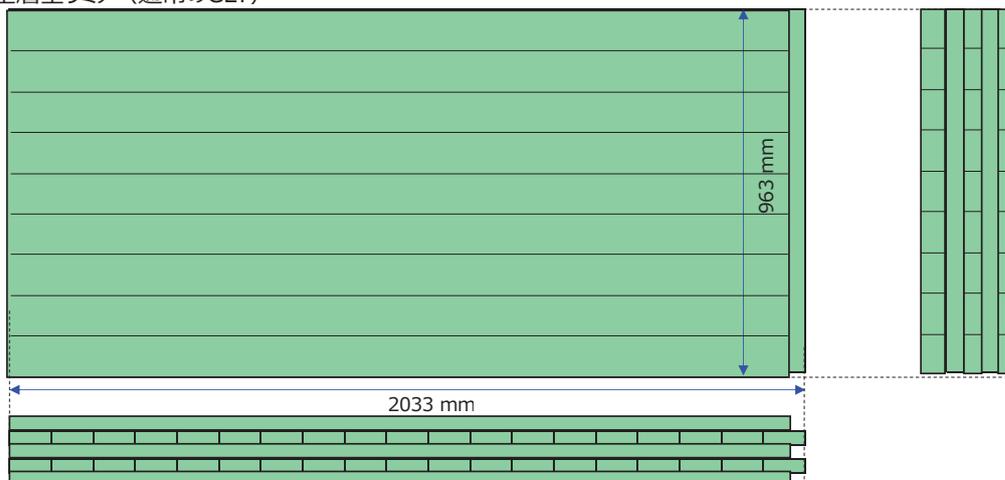


図 6.3-5 各 CLT におけるゲージ圧を算出するために設定した圧縮面積

省ラミナ CLT の製造試験を行った結果、スペーサーを側圧板に固定したことで、前年度よりもラミナを効率よく整列させることができた。製造に要する時間は、前年度は通常の CLT と同程度だったが、本年度は 2 割程度短くなっており、製造効率が向上した。

また、表 6.3-1 に各 CLT について、配置したラミナ数と使用したラミナの材積および通常の CLT である全層全ラミナに対する材積比を示す。前年度のカラマツと同様に、全層全ラミナで使用したラミナの材積と省ラミナ CLT で使用したラミナの材積を比較すると、両面全ラミナにおけるラミナ使用量は全層全ラミナの 74 %、全層井桁は 56 %であり、省ラミナ CLT ではラミナの使用量を 26 %～44 %削減できることが示された。

表 6.3-1 省ラミナ CLT の各層のラミナ数と使用したラミナの材積

		各層のラミナ数（下から）					材積 m ³	④に対する 材積比 %
		1 層目	2 層目	3 層目	4 層目	5 層目		
省ラミナ CLT	①両面全ラミナ	9	10	5	10	9	0.216	74
	②片面全ラミナ	9	10	5	10	5	0.190	65
	③全層省ラミナ	5	10	5	10	5	0.164	56
通常 CLT	④全層全ラミナ	9	19	9	19	9	0.293	100

6.3.3 省ラミナ CLT のせん断強度試験

(1) 試験体

厚さ 30 mm、幅 107 mm のカラマツラミナを用いて、強軸方向 2,033 mm、弱軸方向 963 mm の 5 層 5 プライ CLT を製作した。ラミナ配置数の条件は、平行層外層引張側、平行層外層圧縮側、平行層内層、直交層の 4 パターンを設定した(表 6.3-2)。以下、ラミナが全数配置されることおよびその層を全ラミナ、全ラミナ層、ラミナが半数配置されることおよびその層を半ラミナ、半ラミナ層と呼称する。各条件で 1 枚ずつパネルを製作し、製作した CLT パネルより平行層が対称に 3 列配置されるよう、幅 214 mm、長さ 2,033 mm の試験体を各パネルより 3 体製作した。

表 6.3-2 試験体製造条件

名称	平行層外層引張側	平行層外層圧縮側	平行層内層	直交層
両面全ラミナ	全ラミナ	全ラミナ	半ラミナ	半ラミナ
片面全ラミナ	全ラミナ	半ラミナ	半ラミナ	半ラミナ
全層省ラミナ	半ラミナ	半ラミナ	半ラミナ	半ラミナ
全層全ラミナ	全ラミナ	全ラミナ	全ラミナ	全ラミナ

(2) 試験方法

試験前に試験体の寸法と重量を測定し、密度を算出した。試験は東京衡機製造所製木材実大強度試験機 WU1000 を用いて行った。

荷重条件は支点間スパン (L) を 1,498 mm、荷重点間スパンを 642 mm とした対称 4 点荷重法とした。このとき、せん断力一定区間となる支点から荷重点までの距離 (a) は 428 mm となり、この長さの試験体材せいに対する割合は 2.85 倍となる。荷重 (P) は容量 200 kN のロードセルを用いて、支点間スパン中央たわみ (σ_1) は分解能 1/100 mm、ストローク 100 mm、加圧板内側端点間 (中央 442 mm 区間) で測定したたわみ (σ_2) は分解能 1/500 mm、ストローク 25 mm のひずみゲージ式変位変換器を用いてクロスヘッドの移動速度は 4 mm/min. とした。得られた結果より、見かけの曲げヤング係数 E_m 、真の曲げヤング係数 E_b 、せん断弾性係数 G 、せん断強度 σ_s を以下の式により算出した。

$$E_m = \frac{a(3L^2 - 4a^2)\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_t} \quad (1)$$

$$E_b = \frac{3as^2\Delta P}{4bh^3\Delta\delta_b} \quad (2)$$

$$G = \frac{\frac{ka}{2bh}}{\frac{\Delta\delta_t}{\Delta P} \frac{a(3L^2 - 4a^2)}{4E_bbh^3}} \quad (3)$$

$$\sigma_s = \frac{3P_{max}}{4bh} \quad (4)$$

ここで、 a : 支点から荷重点までの距離 (428 mm)、 L : 支点間スパン (1,498 mm)、 b : 試験体幅、 h : 試験体材せい、 ΔP : 比例減における上限荷重と下限荷重の差、 $\Delta\sigma_t$: ΔP に対応する支点間スパン中央たわみ、 s : 荷重点間内の変位量測定区間の長さ (442 mm)、試験体幅、 $\Delta\sigma_b$: ΔP に対応する荷重点間中央たわみ、 k : 形状係数 (1.2)、 P_{max} : 最大荷重。
 曲げ試験終了後の試験体から含水率測定用の試験片を切り出し、全乾重量法によって含水率を測定した。



図 6.3-6 試験の様子

(3) 試験結果

結果を表 6.3-3、表 6.3-4、図 6.3-7 に、試験体の代表的な破壊形態を図 6.3-8 に示す。全層省ラミナ試験体の一部と全層全ラミナ試験体では直交層のローリングシアー破壊および、平行層引張側のフィンガージョイント部や節を起点とする曲げ破壊を伴いながら破壊に至った。そのほかの仕様ではすべての試験体が直交層のローリングシアー破壊を示した。また、せん断強さは、ラミナを間引きした層の数が増えるに従い低下したが、せん断強さの低下は接着面積におおむね比例しており、結果は想定どおりであった。

表 6.3-3 試験結果 (全試験体の結果)

仕様	No.	E_m	E_b	G	σ_s	破壊形態	MC
		kN/mm ²	kN/mm ²	kN/mm ²	N/mm ²		
両面 全ラミナ	1	2.97	3.84	0.12	0.74	せん断	7.9
	2	2.93	3.63	0.14	0.78	せん断	8.1
	3	2.87	3.38	0.17	0.80	せん断・曲げ	7.9
片面 全ラミナ	1	2.22	3.35	0.06	0.77	せん断	8.3
	2	2.28	3.23	0.07	0.75	せん断	8.3
	3	2.20	2.74	0.10	0.73	せん断	8.2
全層 省ラミナ	1	1.79	2.16	0.10	0.61	せん断	8.6
	2	1.82	2.34	0.07	0.58	せん断	8.6
	3	1.74	2.06	0.10	0.63	せん断	8.3
全層 全ラミナ	1	4.89	7.21	0.14	1.78	せん断・曲げ	8.8
	2	4.57	4.98	0.50	1.57	せん断・曲げ	9.1
	3	4.64	5.22	0.38	1.80	せん断・曲げ	8.6

E_m : みかけの曲げヤング係数、 E_b : 真の曲げヤング係数、 G : せん断弾性係数、 σ_s : せん断強度、MC: 含水率

表 6.3-4 試験結果(平均値及び変動係数)

仕様	E_m (kN/mm ²)		E_b (kN/mm ²)		G (kN/mm ²)		σ_s (N/mm ²)	
	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数	平均値	変動係数
両面全ラミナ	2.92	1.3%	3.62	5.1%	0.14	15.5%	0.77	0.6%
片面全ラミナ	2.23	1.4%	3.11	8.5%	0.08	23.6%	0.75	0.8%
全層井桁	1.78	1.8%	2.19	5.4%	0.09	13.6%	0.61	1.5%
全層全ラミナ	4.70	2.9%	5.80	17.2%	0.34	44.4%	1.71	0.3%

E_m : みかけの曲げヤング係数、 E_b : 真の曲げヤング係数、 G : せん断弾性係数、 σ_s : せん断強度

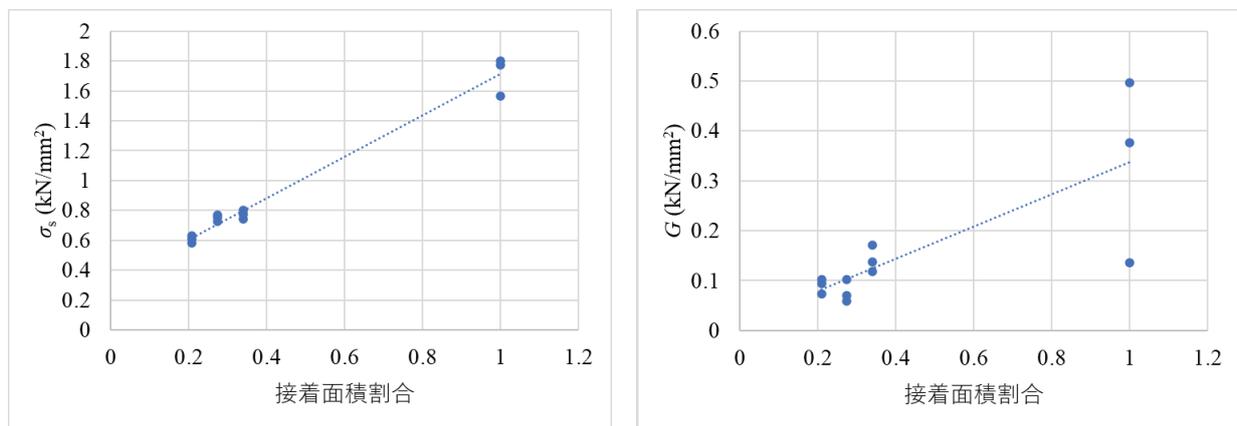


図 6.3-7 試験結果のプロット
(G : せん断弾性係数、 σ_s : せん断強度)



図 6.3-8 代表的な破壊形態

6.3.4 減圧加圧はく離試験

(1) 方法

①～④の直交集成板から厚さはそのまま、75 mm × 75 mm のはく離試験片を作製した。①・②は積層数が5層と2層の部分から試験片を採取し、③・④は全ての試験片の積層数が5層である。それらの試験片を直交集成板の日本農林規格¹⁾(JAS)に準じた使用環境 A を対象とした減圧加圧はく離試験に供した。室温水中に試験片を浸漬し、0.085 MPa で5分間減圧後、0.51 ± 0.03 MPa で1時間加圧を2回繰り返す。試験片を水中から取り出して70 °C ± 3 °Cの乾燥機に入れ、試験片の重量が初期の100～110 %になるまで乾燥した。この処理を2回繰り返す。試験片の4側面の接着層に生じたはく離の長さを測定し、次の式によりはく離率を算出した。

$$\text{はく離率(\%)} = \frac{\text{4側面における直交接着層のはく離長さの合計}}{\text{4側面における直交接着層の長さの合計}} \times 100$$

(2) 結果

減圧加圧はく離試験結果を表 6.3-5 に示す。すべての製造条件において、JAS の基準(はく離率 10 %、合格率(基準値に適合した試験片の割合)90 %)をクリアしていた。

表 6.3-5 減圧加圧はく離試験結果

		はく離率(%) 平均値	基準 適合数	試験片数	合格率 %
両面全ラミナ	2層	1.7	12	12	94%
	5層	4.3	5	6	
片面全ラミナ	2層	2.6	6	6	92%
	5層	5.7	5	6	
全層省ラミナ	5層	0.4	6	6	100%
全層全ラミナ	5層	2.2	11	12	92%

(3) 参考文献

- 1) 農林水産省: 直行集成板の日本農林規格 JAS3079 (2019年8月15日改正)

6.4 土木用 CLT の耐朽性付与技術の開発

昨年度は、難注入性樹種のカラマツとトドマツおよびスギを用いて作成した CLT 試験体(3層3プライ、厚さ 90 mm×幅 420 mm×長さ 800 mm)に対し、クレオソート油による浸せき処理もしくは表面処理(塗布)を行い、薬剤の付着量の比較を行った。本年度は、ナフテン酸銅を用いた場合の付着量の比較、クレオソート油で処理された CLT 試験体とナフテン酸銅で処理された CLT 試験体における薬剤の浸透(浸潤)状態の比較を行った。さらに、これらの方法で処理された CLT の性能を評価する一環として、屋外暴露試験を開始した。

その他、屋内用に用いられる有機溶剤ベースの薬剤(深浸潤処理用薬剤)を用いた処理の効果を把握するため、実大に近い大きさで製造した 5 層 5 プライのスギ CLT (厚さ 150 mm、幅 1000 mm、長さ 1995 mm 程度)に対し薬剤処理を実施した。

6.4.1 試験方法

昨年度と同じく、試験体 CLT の製造に使用したラミナはすべて心材で、表層ラミナの外側面にはインサイジング加工を施した。また、接着剤にはレゾルシノール系樹脂接着剤を用いた。浸せき処理は減圧処理なしで浸せき時間 60 分、塗布処理はローラー塗を2回に分けて実施し、各処理前後の重量から付着量を算出した。さらに、処理後の CLT を長さ方向の中央で切断し、表裏面から内部 10 mm までの範囲の面積に対して薬剤の浸潤面積が占める割合を表す浸潤度(%)を確認した。

6.4.2 薬剤の付着量

昨年度のクレオソート油を用いた場合の結果と合わせて、ナフテン酸銅の付着量の結果を図 6.4-1 に示す。いずれの樹種においても、浸漬処理によるクレオソート油の付着量は、表面処理による付着量よりも高い傾向が認められたが、ナフテン酸銅の場合はそのような傾向は認められなかった。また、クレオソート油の浸漬処理を除くと、同一樹種の付着量は同程度であった。

クレオソート油の浸漬処理は、枕木等の処理に用いている注薬缶で実施した。通常、枕木の加圧処理には、薬剤の木材への浸透を促すため、60℃程度に加温されたクレオソート油が用いられている。注薬缶には、薬液タンクに貯蔵したクレオソート油が供給されるが、貯蔵されたクレオソート油は予備的に加温されている。今回の浸漬処理の場合も、この予備的に加温されたクレオソート油を用いており、その温度は約 45℃であった。一方、クレオソート油の塗布処理、ナフテン酸銅を用いた浸漬処理、塗布処理では常温の薬剤を用いて実施した。これらの点から、浸漬処理に用いたクレオソート油の温度が高かったことが、他の処理よりも高い付着量を示した要因のひとつであると考えられた。

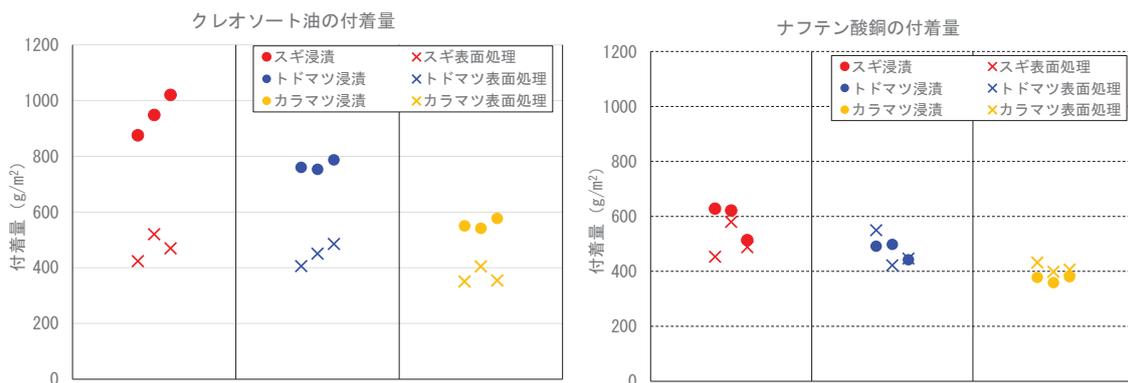
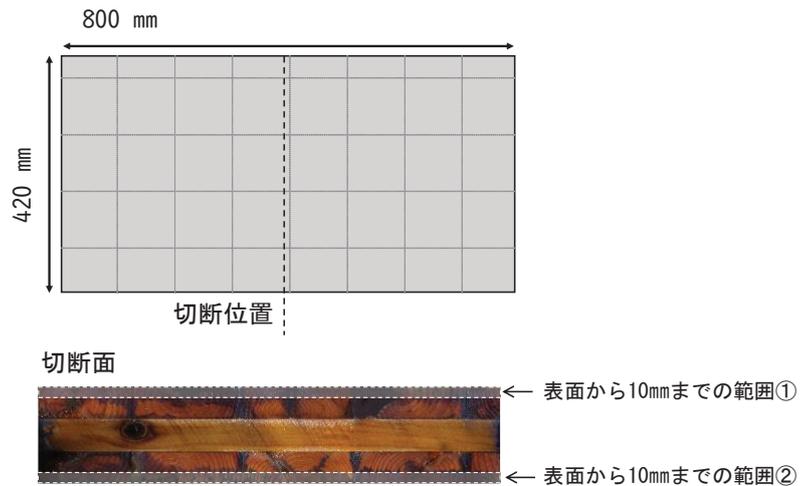


図 6.4-1 クレオソート油およびナフテン酸銅の付着量

6.4.3 浸潤度の評価

処理を行った CLT 試験体を長さ方向に対する中央で切断し、その断面のうち表裏面から 10 mm の範囲についての浸潤度を評価した(図 6.4-2)。浸潤度の結果を図 6.4-3 に示す。クレオソート油を用いた場合には、やや不明瞭であるが、スギを用いた CLT 試験体の浸潤度が、他の CLT 試験体よりも高い浸潤度を示す傾向にあった。前述のように、いずれの樹種においても、クレオソート油を用いた浸漬処理の付着量は他の処理よりも高い傾向が認められたが、浸潤度ではそのような傾向は認められなかった。ナフテン酸銅の場合の浸潤度はスギ>トドマツ>カラマツの順であり、樹種による浸透性の違いを反映するものであった。スギの場合、ナフテン酸銅の方がクレオソート油よりも浸潤度が高く、その値も 90 % を超えていた。また、薬剤の浸潤は表層から一様に広がっており(写真 6.4-1)、インサイジングにより安定した浸潤が得られることが確認された。



表面から10mmまでの範囲①と②それぞれについて、薬剤が浸潤した面積が全面積に占める割合(%)を算出。

図 6.4-2 浸潤度の測定方法

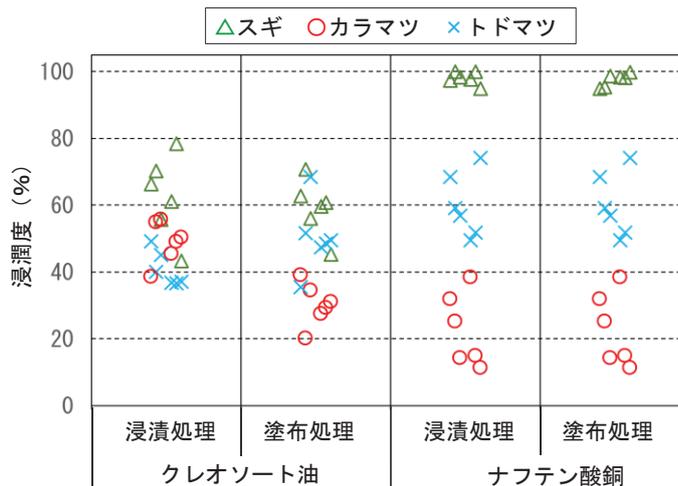


図 6.4-3 表裏面から 10 mm までの範囲の浸潤度



浸漬処理



塗布処理

写真 6.4-1 ナフテン酸銅で処理したスギ CLT 知見体の中央断面(黒(濃灰)色部分が薬剤浸潤部分)

6.4.4 浸漬処理および塗布処理した試験体の屋外曝露試験

前述と同様の方法で作成した CLT 試験体(3層3プライ、厚さ 90 mm×幅 280 mm×長さ 280 mm)に、前述と同じ薬剤・処理方法を用いて処理を施したものを屋外曝露用の CLT 試験体とした。これらの処理材とともに対照として無処理の CLT 試験体を林産試験場内の曝露試験地に設置した(表裏面を上下とし、地面に直置きした)。スギ、カラマツ、トドマツのそれぞれについて、無処理、クレオソート油処理(浸漬処理、塗布処理)、ナフテン酸銅処理(浸漬処理、塗布処理)を 6 体ずつ曝露した(写真 6.4-2)。今後、目視等による評価による調査を行い、各処理の効果を評価する予定である。



写真 6.4-2 林産試験場内の曝露試験地に設置された CLT 試験体

6.4.5 深浸潤処理の検討

深浸潤処理用薬剤による処理に用いる CLT の製造およびラミナへのインサイジング処理は、銘建工業(株)CLT 工場で行った。最外層に配置されるラミナについて、出来上がりの CLT の表裏面に現れる面にのみインサイジング処理を行ったもの(写真 6.4-3)を用いて CLT を製造した(スギ、Mx60A、5層5プライ、約 2,400 mm×6,000 mm)。レゾルシノール樹脂系接着剤とした。ここから幅 1,000 mm×長さ 1,995 mm の試験体を切り出し。このうち 4 枚を薬剤処理に供した。

深浸潤処理は、群馬県伊勢崎市の株式会社ザイエンス 中央研究所にて実施した(写真 6.4-4)。塗布による処理を行い、処理前後の重さの変化から付着量を求めた(平均 436 g/m³)。処理後の試験体は旭川に移送された後、林産試験場内にて屋外曝露する予定である。



図 6.4-3 インサイジング処理の様子(左)とインサイジング処理されたラミナ(右)



図 6.4-4 深浸潤処理用薬剤を用いた塗布処理の様子

6.5 土木用 CLT への要求性能

6.5.1 各 WG へのアンケート調査

本委員会の WG では、土木分野における CLT 利用に関する様々な検討を行っている。各 WG で実施している主な検討内容を表 6.5-1 に示す。

表 6.5-1 各 WG の取組

WG	検討内容	概要
WG1	水平地盤補強	軟弱地盤上に盛土などを構築する際に地盤上に配置する補強材
WG3	防雪柵	風雪などから交通を防護する柵
	敷板	重機等の安全走行を確保するために、地盤上に設置する板材
	遮音・防護柵	交通騒音の遮断や歩車道の境界に用いる壁や柵

WG2 は、土木用 CLT として、建築用の CLT で用いられるラミナとは異なるラミナの利用や、従来とは異なるラミナの配置などの検討を行っている。表 6.5-2 に WG2 で取組んだ土木用 CLT のタイプについて整理した。

表 6.5-2 WG2 で取組んだ土木用 CLT の概要

記号	土木用 CLT のタイプ	概要
O	省ラミナ CLT	CLT を構成するラミナの一部を省略した CLT
D	土木用ラミナ CLT	節や丸み、腐れ、虫食いなどの欠点を有するラミナを使用した CLT
W	高含水率ラミナ CLT	ラミナ製造時に人工乾燥工程を省略したラミナを使用した CLT
R	表面仕上げ省略ラミナ CLT	表面仕上げ工程を省略したラミナを使用した CLT

これらの土木利用技術に対して、WG2 では必要となる要求性能を把握することを目的に、アンケート調査を実施した。アンケートの内容を図 6.5-1 に、アンケート調査結果を図 6.5-2～5 に示す。

表 6.5-3 にアンケート調査結果の総括を示した。

表 6.5-3 アンケート調査結果の総括

WG	検討内容	省ラミナ CLT	土木用ラミナ CLT	表面仕上げ省略ラミナ CLT	高含水率ラミナ CLT
WG1	水平地盤補強	○	○	◎	◎
WG3	防雪柵	○	○	○	○
	敷板	○	○	◎	○
	遮音・防護柵	○	○	○	○

表中の「○」は、使用環境や使用性、耐久性などに注意することで、提案する土木用 CLT の適用が可能であると考えられるケースを示し、「◎」については使用上の制約がほぼなく、利用することで逆にメリットのあるケースを示す。

アンケート調査結果から判断すると、各 WG で検討している土木利用技術に対して、土木用 CLT の対応が可能であると考えられる。また、強度面などを精査する必要があるが、地盤で使用する水平地盤補強や敷板については、高含水率ラミナ CLT、表面仕上げ省略ラミナ CLT は要求性能に合致している。特に敷板では表面仕上げ省略 CLT を用いることで、車両の走行時のスリップの発生を抑制できる可能性もある。

WG2では非住宅部門での使用を想定したCLTの低コスト化をトライアルしています。各WGにおかれましては、用途の開発に御尽力されておられますが、それらの用途に合ったCLTのスペックを確認したく、以下の確認票を作成しました。用途が複数ある場合は、以下のコピーして使用してください。

WG-	記入日	Date	2022/8/9			
用途						
性 能	要求性能の目安				備 考	
強度	1	2	3	4	5	
強度のばらつき	1	2	3	4	5	
外観	1	2	3	4	5	
密実性	1	2	3	4	5	
表面平滑性	1	2	3	4	5	
耐久性（耐用年数）	1	2	3	4	5	
仕上がり寸法のばらつき	1	2	3	4	5	
おおよその形状寸法	1	2	3	4	5	
※ 5 をJAS材とする						

図 6.5-1 各 WG に依頼した土木用 CLT に関するアンケート調査内容

WG-1	記入者	沼田淳紀	Date	2022/8/17	
用途 板状地盤補強					
性能	要求性能の目安	備考			
強度	5	特に、引張強度が必要です。現在は、せん断強度（CLTの面外方向）を期待した設計も考えていますので、大きければ大きいほどありがたいです。面同士のせん断強度が影響するのか今後の課題です。			
強度のばらつき	4				
外観	1				
密実性	3	高い密度が必要か？密度のバラつき、節などの存在は許容できるか？という意味でしょうか？その意味は、低い密度でも強度があればOKです。節は気になりません。			
表面平滑性	1				
耐久性（耐用年数）	5	基本的に地下水位以深での使用を考えているので、普通の木材であれば耐久性は問題にならないと考えています。			
仕上がり寸法のばらつき	2	定量的なことを言える状況ではありませんが、少なくとも現状のような精度は不要です。			
おおよその形状寸法		現在3プライを基本に考えています。幅と長さは、運搬可能であれば大きい方が効率的だと考えています。			
その他		乾燥や保存処理は不要です。			
ラミナ同士が接着剤ではなく物理的に滑りにくくなっているとよいです。					
ラミナ同士は施工しやすさを考えると接着しているとよいですが、ある程度以上の拘束圧下に存在することになるので、施工後は木タボ（鉄だと錆びてしまうように思います）のようなもので物理的に接着しているとよいのではと考えています。					
		CLTのタイプ			
		0 (省ラミナ)	D (欠点ラミナ)	R (プレーナ省略)	W (高含水率)
		○	○	◎	◎
具体的な必要強度の検討が必要ではあるが、省ラミナ、欠点ラミナ、プレーナ省略、高含水率ラミナすべてのタイプの適用が可能である。					

図 6.5-2 アンケート調査結果(WG1)

WG-3	記入者	北林産試 今井良	Date	2022/8/24								
用途 防雪柵に用いるCLT												
性能	要求性能の目安	備考										
強度	3	設計風速50m/sとした場合の風荷重1,845N/m ² を前提に、1枚当たりのCLT材を4000mm×650mmとした場合、かかる等分布荷重1,199N/mを許容できる強度を必要とします。										
強度のばらつき	3											
外観	2											
密実性	2	強度が担保できれば問題ありません。										
表面平滑性	3	表面塗装において影響が出ない程度であれば問題ありません。										
耐久性（耐用年数）	4	耐用年数約20年であるが、この年数に拘わらず傷んだら交換する、もしくは傷む前に交換して木質バイオマス燃料として二次利用する										
仕上がり寸法のばらつき	4	鋼製の支柱に固定するため、ある程度の精度は必要だと考えています。										
おおよその形状寸法	4000mm×650mm×60mm											
CLTのタイプ												
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">O (省ラミナ)</td> <td style="width: 25%;">D (欠点ラミナ)</td> <td style="width: 25%;">R (プレーナ省略)</td> <td style="width: 25%;">W (高含水率)</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> <td>○</td> </tr> </table>					O (省ラミナ)	D (欠点ラミナ)	R (プレーナ省略)	W (高含水率)	○	○	○	○
O (省ラミナ)	D (欠点ラミナ)	R (プレーナ省略)	W (高含水率)									
○	○	○	○									
<p>壁体に作用する風荷重に対応できれば、他の性能に対する制約は少ないため、すべてのタイプの適用が可能である。 風荷重を直接受けるCLTの表層（フェイス・バック）は密実である必要があるが、中間層（コア）は省ラミナの適用が可能である。</p>												

図 6.5-3 アンケート調査結果(WG3_①)

WG-3	記入者	北林産試-石川佳生	Date	2022/8/22								
用途 敷板にもちいるCLTパネル												
性能	要求性能 の目安	備考										
強度	3	11t車が乗って破損しない程度であれば問題ありません（接地した状態で使用し、空間が生じるような橋梁のような使用は想定していません）										
強度のばらつき	2	一定の範囲内であれば問題ありません										
外観	1	全くこだわりません										
密実性	1	一定の強度が担保されていれば問題ありません										
表面平滑性	1	耐スリップ性を考慮すると、むしろ、平滑でないほうが良いかもしれません										
耐久性（耐用年数）	2	3～4回程度転用することが可能な耐久性があれば良い										
仕上がり寸法のばらつき	2	輸送時、施工時に影響がない範囲であれば多少のばらつきは許容できます										
おおよその形状寸法	幅2,000×長3,500×厚90（mm）											
CLTのタイプ												
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td style="width: 25%;">O (省ラミナ)</td> <td style="width: 25%;">D (欠点ラミナ)</td> <td style="width: 25%;">R (プレーナ省略)</td> <td style="width: 25%;">W (高含水率)</td> </tr> <tr> <td>○</td> <td>○</td> <td>◎</td> <td>○</td> </tr> </table>					O (省ラミナ)	D (欠点ラミナ)	R (プレーナ省略)	W (高含水率)	○	○	◎	○
O (省ラミナ)	D (欠点ラミナ)	R (プレーナ省略)	W (高含水率)									
○	○	◎	○									
<p>具体的な必要強度の検討が必要ではあるが、省ラミナ、欠点ラミナ、プレーナ省略、高含水率ラミナすべてのタイプの適用が可能である。 特にプレーナ省略タイプは、車両走行時の耐スリップ性へ貢献できる可能性がある。また、強度の検討を行う際には、施工時または運搬時のケースを加える必要がある。</p>												

図 6.5-4 アンケート調査結果(WG3_②)

WG- 3	記入者 森林総研 原田真樹	Date 2022/8/24	
用途 遮音・防護柵にもちいるCLTパネル			
性能	要求性能の目安	備考	
強度	5	設計強度：垂直荷重590N/m以上、水平荷重390N/m以上（「防護柵の設置基準」における転落防止と横断防止を設計目的とするP種の場合）、風荷重3.0kN/m ² （遮音壁の基準による）。強度の保証が必要という点で5（JAS材）。	
強度のばらつき	3	ユニットの両端部（支柱に取り付く部分）については、強度のばらつきがあると接合部の設計ができない。その他の部分（例えば中央部分）については、防護柵の場合は上記の強度以上であればばらつきがあっても問題ないと考えるが、遮音機能を付加する場合は均質でないと制御が困難である。	
外観	1	遮音・防護柵を設置する場所によって変わるが、景観施設等でなければ外観は問題ないと考える。	
密実性	3	「密実性」をラミナ間の隙間と仮定すると、防護柵の場合は欠点となる。逆に遮音壁の場合は吸音材を装填する等に使えるためプラスの効果となる。	
表面平滑性	1	遮音・防護柵については、表面平滑性に対する要求は低いと考えられる。ただし、表面加工がラフであると、水が停留しやすく、排ガスの油煙等も沈着しやすいため、部材の交換時期が早まる可能性は考慮すべきである。	
耐久性（耐用年数）	5	遮音・防護柵のビジネスモデルのシナリオにおける最適な交換時期があると思われる。現時点では長い方がよいと考える。	
仕上がり寸法のばらつき	3	長さについては現場での切断も比較的容易であると考えられることから問題ないと考えるが、厚さについては、支柱に入らない場合は削る作業が必要となるが、これは切断と比較して手間が掛かる。従って、厚さ方向については仕上がり寸法のばらつきは小さい方がよい。	
およその形状寸法	6000（長さ）×1150（巾）（強軸）×90（厚さ）		
CLTのタイプ			
0 （省ラミナ）	D （欠点ラミナ）	R （プレーナ省略）	W （高含水率）
○	○	○	○
壁体に作用する荷重に対応できれば、すべてのタイプの適用が可能である。 風荷重を直接受けるCLTの表層（フェイス・バック）の状態には使用上の配慮が必要なる。			

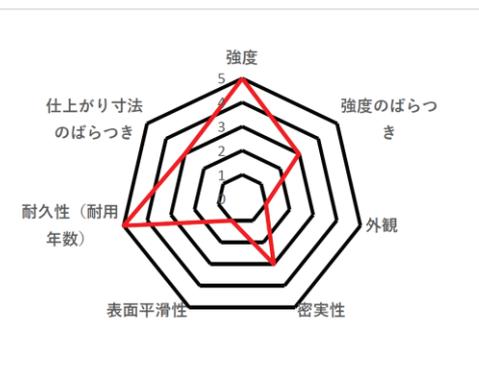


図 6.5-5 アンケート調査結果(WG3_③)

6.5.2 土木分野で CLT を使用する場合の考え方

土木分野で CLT を実際に使用する場合には、安全性、経済性などを総合的に判断する必要があるため、適切に設計を行う必要がある。そこで、各 WG で実施している土木分野での CLT の使用について参考となる図書や指針等を表 6.5-4 に整理した。

土木用 CLT に特化した強度や物性値などの諸定数は、今後、実験などの結果を考慮して設定する必要があるが、当面は表中の参考図書や指針、既存の類似構造物での設計方法、および建築の分野で用いられている諸値を参考に計画・設計を行うことを提案する。

表 6.5-4 土木分野で CLT を使用する場合の参考資料

WG	検討内容	参考図書や指針
WG1	水平地盤補強	道路土工—軟弱地盤対策工指針 道路土工 仮設構造物工指針
	プラットホーム	鉄道構造物等設計標準(公財 鉄道総合技術研究所) 乗換跨線橋設計指針 (公財 鉄道総合技術研究所)
WG3	防雪柵	道路吹雪対策マニュアル(平成 23 年 3 月 独立行政法人 土木研究所 寒地開発研究所)
	敷板	道路土工 仮設構造物工指針
	遮音・防護柵	防護柵の設置基準・同解説

7 次年度以降の展望

7.1 基礎試験についての展望

本年度の基礎試験の実施により、対象は短期間であるが、種々の環境下へ設置が想定される CLT の劣化状況を把握することができた。その結果、試験開始後約 1 年しか経過していないため、生物劣化は海水中を除きほとんど認められていないが、CLT に起因する劣化(ラミナ間のはく離やラミナ自身の割れ等)については、少なからず発生していることが確認された。

本年度は、令和 3(2021)年度に土木領域を想定した環境条件下に設置した各供試体の 2 年目の状況確認であったが、土木構造物は、建築構造物に比較して供用年数が長期間となる場合が多いため、促進劣化試験等も視野に入れ、少なくとも 5 年程度の期間を目指し、今後も継続観察を行う必要がある。継続してデータを集積し、中長期のデータを収集・分析することで、建築分野とは環境条件が大きく異なる土木分野における CLT 活用の場合の基本的な仕様を示していくことが可能になる。

また、ある程度のデータが揃った段階で、先行研究などとの比較による考察も併行して進め、各環境下での CLT の利活用における耐久性について、定量的かつ具体的な評価体系を構築することも検討したい。

7.2 CLT 土木利用の個別技術についての展望

CLT を用いた構造物では、水平地盤補強、プラットフォーム、敷板、防雪柵について具体的な施工検証を進め、さらにリサイクル利用の可能性を検討した。その結果、従来の土木資材を用いる方法に比べて、運搬性や耐雪性に優れることが確認された。また、トラフィカビリティの向上、短期間の設置が可能になるなど、施工面における CLT の優位性を具体的なデータにより証明することができた。

さらに、合板に比べ強度の大きいCLTの材料性能を活かして、荒れた路地や施工環境の劣る山間部の施工が可能であり、繰り返し使用によるコストパフォーマンスにも優れることが明らかになった。これにより、地盤改良、施設整備、敷材などの幅広い分野において、既存材料に対する土木利用における CLT の優位性を示すとともに、それぞれの実際の場面での条件を想定することにより、実用化への課題がより明確になった。

これらについては、さらなる現地実験や数値解析などの複数の手法により、具体的な課題解決を進め、解決策を構築する必要がある。

例えば、CLT 防雪柵では、風洞実験により、着雪状況等のシミュレーションを実施し、実際の道路への設置に向け、工程および防雪機能の確認を行う。

CLT 敷板では、本年度の実証施工の過程で、すべり抵抗について、表面が弱軸方向の CLT 敷板の方が強軸よりも滑りにくいという施工者の感想が得られた。これらを定量的に証明するため、使用済み CLT 敷板について強軸部分と弱軸部分での CSR 値（すべり抵抗係数）を確認し、その結果を CLT 敷板の仕様に反映させる。

また、すべての個別技術について、現状で明らかになった課題の解決策を検討するばかりではなく、課題を適切に回避する視点も必要であると考えている。課題を回避する方向性を模索することで、既存の材料にない CLT の優位性を前面に押し出しながら、新たな CLT の土木利用の普及拡大方策を検討することも可能である。

CLT の土木利用においては、単に実装化する技術開発のみではなく、繰り返し利用・カスケード型利用を想定した CLT 土木利用のリサイクルシステムの構築も重要な視点である。その点では、CLT 敷板等の耐朽性の検証は、今後も重要なテーマとなる。次年度以降も屋外暴露した CLT 敷板周辺の温湿度計測および定期観測を継続実施し、劣化状況および MOE（暴露マージン：リスク評価の指標）の経時変化について、非破壊的な手法によるデータの蓄積を図る。

また、地上での水平型の設置となる CLT 敷板に対して、鉛直型の設置となる CLT 防雪柵等について、温度、相対湿度、含水率に関する経時変化および劣化性状の観察も継続実施する。

さらに、CLT 防雪柵については、カスケード型利用の最終段階として木質バイオマス燃料のためのチップ化を視野に入れ、耐朽性を高める為に、水が浸透しないようポリウレアで表面処理した CLT からの切削チップ化を実証する。ポリウレア表面処理 CLT の切削チップについては、発熱量、粒度、品質分析等を試みて、カスケード型利用の可能性を探る。

以下に、参考として、多くの面で CLT 土木利用技術としての開発に期待のかかるCLT敷板について、実証試験結果から抽出された課題等を踏まえた次年度以降の計画を提示する。

<CLT敷板の次年度以降の計画>

- ① CLT 敷板の転用時の指標について、自社（(株)イトイ産業）使用とリース事業での使用の違いを検討する。
- ② CLT 敷板のリース事業展開に向け、回収した敷板のメンテナンス方法や保管方法等を検討する。
- ③ 現場状況に応じた CLT 敷板のサイズバリエーションについて、CLT マザーボードから効率的に製造可能な方法を検討する。
- ④ CLT 敷板の敷設後の破損を防ぐため、耐荷重について検討する。
- ⑤ 曲率の小さなカーブへの施工時の対応方法について検討する。
- ⑥ CLT 敷板へのスロープ加工によるコストアップと、現場での段差への対応にかかる経費について検討する。
- ⑦ CLT 敷板の荷下ろしや施工する際の方法について、本年度はグラップル専用のアタッチメントを開発し、効率的かつ安全な作業を実施することが可能であることを検証した。次年度以降は、グラップルを所有しない現場での荷下ろしや設置作業を想定し、ユニック付きトラックやバックホーによる CLT 敷板の吊り下

げ方法を検討する。

- ⑧ 木製の CLT 敷板と鋼製の敷鉄板では、夏季の高い気温時における作業環境が大きく異なることが想定されるため、次年度以降は、各敷板の表面温度測定し作業環境の違いを把握する。
- ⑨ 本年度実施した実証試験の際に発生した CLT 敷板どうしのズレを解消するため、次年度以降は、CLT 敷板の連結方法について検討する。
- ⑩ 本年度実施した実証試験から、使用時や使用後の損傷が表（上）面の角部分に顕著に見られたため、次年度以降は、CLT 敷板の上面から側面にかかる角部分の強化方法について、その必要性とともに検討する。
- ⑪ これまで実施してきた耐朽性試験に供する CLT 敷板について、外観からの腐朽や損傷が見られないことから、次年度以降は、非破壊試験による強度性能（残存強度）を定期的に測定し、経年劣化による強度性能の変化を把握する。
また、本年度までに実証試験に供した CLT 敷板の一部について、次年度以降は破壊試験による強度性能（残存強度）を把握する。
- ⑫ 本年度実施した CLT 敷板の転用による実証試験から、リース事業等を想定した場合には CLT 敷板 1 枚 1 枚の使用履歴を把握することが必要であると想定された。次年度以降は、CLT 敷板の使用履歴を継承するためのシステムとして、IC タグ等を CLT 敷板毎に取り付け、そのタグに使用履歴を入力することでクラウド上での情報共有を可能とするトレーサビリティシステムについて検討する。
- ⑬ CLT 敷板の繰り返し利用（転用）時における損傷具合と使い勝手を把握し、リース事業を想定したビジネスモデルについて検討する。
- ⑭ 本年度実施した滑り抵抗係数（CSR 値）試験において、CLT 敷板（新品）の方が敷鉄板よりも滑りにくいことが明らかになった。次年度以降は、転用後の表面が粗く損傷した CLT 敷板と新品とを比較するとともに、実証試験では明らかに違いがあった強軸方向と弱軸方向での使用感（弱軸のほうが滑りにくい）が、滑り抵抗係数（CSR 値）試験では大きな違いがなかったことから、試験方法を含め改めて検証する。
- ⑮ 海外での先進事例を調査し、CLT の土木利用に関する実態や海外既製品が有するノウハウの日本への適用可能性とともに、CLT 敷板の取引形態や価格構成等のビジネスモデルについて把握する。
- ⑯ CLT 敷板の転用を繰り返し、敷板としての使用限界に達した後にチップ化し、燃料としてカスケード利用するまでのビジネスモデルの検証を行う。即ち、敷板としての使用限界の判断基準を設定したうえで、チップ化に伴う経費等を試算し、ビジネスモデル全体の採算性の確保が可能となる条件を把握する。

7.3 土木用 CLT についての展望

土木分野での利用を想定した土木用 CLT の製造への取り組みにおいては、本年度の検証により、製造が可能であること、建築用と比較してより多くの木材が原料として使用できること、製造時間短縮や歩留まりの向上の可能性があることなどが確認された。今後は実際の構造物への適用性を考慮しながら、建築で使用されてきた CLT の仕様にこだわらない、新たな土木用 CLT の開発と普及を目指す。

具体的には、土木用ラミナ、あるいは土木用 CLT について本年度実施した各要素技術について、下記の項目を重点的に検討する。

- ① 積層接着に許容できる含水率の検討
- ② 許容できるラミナ品質(欠点、表面仕上げ、等)の検討
- ③ 土木用 CLT に適した接着剤および圧縮手法(接合具含む)の検討

さらに、既存の建築用 CLT の仕様にこだわらず、例えば内層のラミナを部分的に省略する省ラミナ CLT 等の有効な利用先を検討し、実現性の高い技術については実証実験を行い、早期の実用化に向けて検証を行う。

土木用 CLT の耐久性検証としては、これまで2年間で実施した保存処理 CLT の暴露試験体について、引き続き経過観察を行うと共に、環境負荷を考慮した保存処理技術についての検討も進める。

そして本事業で並行して技術開発を進めている土木利用技術について、それぞれの要求性能を定量的に評価し、検討を進めている土木用 CLT の適用可能性などを検討し、適用可能な利用技術については、適応する土木用 CLT を用いた実証試験を行い、土木用 CLT の早期実装化について検証する。

また、製造体制の確立も重要な検討課題になるため、国内の全 CLT 工場および木材加工工場における土木用 CLT (省ラミナ CLT 含む)の製造可能性について調査を行い、国内全土に対応出来る製造体制の確立を目指す。

7.4 総括

古代より伝承された「築土構木」の精神を引き継ぎ、現代のニーズや CLT などの近代の技術が応用されるためには、継続した取り組みが極めて重要である。7.1 から 7.3 で挙げた各項目に関する評価・分析を継続することにより、CLT の土木利用技術の方向性がより明確になり、実用化に資する構造物がより具体的に整理されることが期待される。

また、今後は、技術開発結果を社会に還元する視点に基づき、定量性を持った結果の例示や論文執筆、開発成果の広報活動なども重要になる。一連の調査研究活動から、より信頼性の高い結果を社会に周知することにより、豊富なわが国の森林資源を活用した 21 世紀にふさわしい環境配慮型の新たな土木技術の第一歩を刻むべく、今後も本事業を継続させてゆきたいと考えている。