

令和2年度 木材製品の消費拡大対策のうち
CLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業

低コストCLTと土木利用技術の開発 事業報告書

令和4(2022)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 基礎試験.....	2
1.2 CLT 板状地盤補強工法の開発	4
1.3 CLT 防雪柵の開発	6
1.4 CLT 敷板の開発.....	8
1.5 CLT 防音・防護柵の開発.....	10
1.6 低コスト CLT の開発	12
1.7 CLT の耐久性付与技術の開発	13
1.8 CLT の燃料利用技術の開発.....	14
2. 事業内容	17
2.1 事業概要.....	18
2.2 事業の背景と目的.....	18
2.3 開発方針(全体方針と開発テーマの分類・定義)	18
2.4 実施体制.....	19
2.5 実施工程.....	22
3. CLT の土木分野での利用に関する事前検討	25
3.1 木材および現行 CLT のメリット・デメリット	26
3.2 国内における CLT についての意向調査.....	30
3.3 海外における CLT 土木利用先行事例の調査.....	31
4. 土木用を想定した CLT の耐久性検証のための基礎試験	35
4.1 背景.....	36
4.2 試験目的	36
4.3 基本方針	36
4.4 実施予定期間	36
4.5 実施場所	38
4.6 試験数量.....	39
4.7 試験共通項目	41
4.8 試験手順.....	44
4.9 地盤環境.....	51
4.10 海水環境	92
4.11 淡水環境.....	99
4.12 基礎試験の継続についての考え方	106

5. CLT の土木利用個別技術の開発	107
5.1 CLT 板状地盤補強工法の開発	108
5.2 CLT 防雪柵の開発	133
5.3 CLT 敷板の開発	142
5.4 CLT 防音・防護柵の開発	158
6. 土木分野における CLT 利用拡大要素技術の開発	169
6.1 低コスト CLT の開発	170
6.2 CLT の耐久性付与技術の開発	189
6.3 CLT の燃料利用技術の開発	191
7. 次年度以降の計画	195
7.1 炭素貯蔵型・開発テーマ	196
7.2 炭素中立型・開発テーマ	196
7.3 リサイクル型・開発テーマ	197
7.4 低コスト CLT の開発	197
7.5 総括的な方向性	197
7.6 展望	198

1 事業成果概要

1.1 基礎試験

1.1.1 実施背景と目的

CLTの耐久性については、これまで建築分野を対象としてきたことから、気中における知見が多く得られている。一方、土木分野では、気中に加え、地盤中、海中、淡水中における環境も想定され、これらについての知見は得られてきていない。

そこで、土木分野におけるCLTの開発を進めるにあたり、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試験を、国内の3つの気候地域で実施する。これにより、開発における個別技術の共通課題を抽出し、開発効率を高める。



写真 1.1-1 キュービック型の供試体



写真 1.1-2 ボード型の供試体

1.1.2 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 1.1-1)
ボード型	:500 mm×1500 mm(淡水試験では 900 mm)×150 mm	48 供試体(写真 1.1-2)
CLTの仕様	:Mx60、スギ、5層5プライ	
使用接着剤	:レゾルシノール系樹脂、水性高分子イソシアネート系樹脂	

1.1.3 供試体の設置

(a) 地盤環境(図 1.1-1、写真 1.1-3)

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)

(b) 海水環境(写真 1.1-4)

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)

(c) 淡水環境(写真 1.1-5)

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)

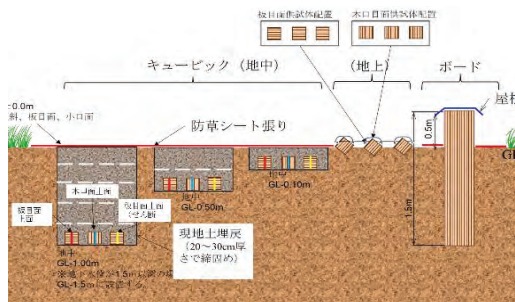


図 1.1-1 地盤環境試験体設置方法イメージ



写真 1.1.3 地盤環境をモデル化した供試体の設置状況



写真 1.1-4 海水環境をモデル化した供試体の設置状況



写真 1.1-5 淡水環境をモデル化した試験の実施状況



写真 1.1-6 ブロックせん断試験の実施状況

1.1.4 実施方法

令和3年度に各供試体設置後、5年を目途に、毎年各試験の供試体を取り出し、以下の項目の結果を設置前の結果と比較することで耐久性を評価する。

- ①供試体各面の撮影と観察
- ②気乾状態と飽和状態における寸法と質量の計測
- ③縦圧縮試験とブロックせん断試験 ※ (写真 1.1-6)

※キュービックより25 mm×25 mm×150 mmのブロックを切り出し、供試体とする。

1.2 CLT 板状地盤補強工法の開発

1.2.1 開発に至った経緯

炭素貯蔵型の CLT 活用方法を検討する中で、木材、あるいは CLT の活用が可能な開発テーマを拾い出し、その中より、木材あるいは CLT を活用することへの適性が高いテーマの抽出を試みた。その結果、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 CLT 板状地盤補強工法について、以下に示す理由により、CLT の活用が有利になると考察した。

①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

地中の地下水位で深では木材は生物劣化しないため、地中利用によりメンテナンスフリーとなることが期待できる。

②環境的に優位であること

木材による炭素貯蔵効果への期待もあり、主たる材料が育成林から得られた木材なので、自然環境に対する調和性が高い。

③利用先が多いこと

平地で構造物を構築する時は、その基礎の多くが軟弱地盤であり、さらに国内のみならず海外での利用も視野に入れると、用途は多数あると推察できる。

④1か所の工事で CLT の大量使用が見込まれること

軟弱地盤対策は1つの現場でも広範囲に行われるのが一般的で、1か所の工事での材料使用量が多くなる。

⑤コスト競争力が見込まれること

軟弱地盤対策に要する工期が他工法に比べて短いと見込まれ、CLT の低コスト化と併せて他工法より優位となる可能性が高い

1.2.2 開発成果の最終イメージ(図 1.2-1)

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 を敷設し、環境負荷の抑制を図りながら、①軟弱地盤上の構造物の安定性確保、②工事中の建設機械等の走行に対する耐性(トラフィカビリティ)の確保、③施工後の不等沈下の抑制、④液状化被害の低減、⑤炭素の大量貯蔵、⑥工期の短縮を図る。

1.2.3 実証施工実験概要(写真 1.2-1)

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

CASE1 : CLT (6,900 mm (または 4,600 mm)×1,150 mm×90 mm)、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 (6,900 mm (または 4,600 mm)×2,300 mm×90 mm)、板状 2 段、未固定

CASE4 : 無対策

※使用 CLT : 3 層 3 プライ、スギ、Mx60、水性高分子イソシアネート系接着剤着剤

1.2.4 今年度確認できた事項(現時点での知見)

①軟弱地盤で対策しない場合に比べて、沈下量を半分程度に低減できる。(図 1.2-2)

②トラフィカビリティを確保できる。(CLT 敷設直後に 10 t トラックが走行可能)

③特殊な重機を使用せずに施工が可能である。

④コストは、現状の CLT の製造方法を踏襲するとやや高く、CLT 製造時の歩留まりの向上、製造工程の簡略化、製品のモジュール化、運搬の効率化などの CLT の製造・運搬等の低コスト化が必須である。(図 1.2-3)

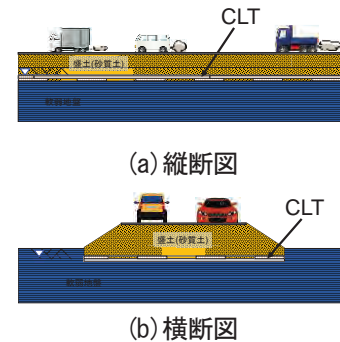


図 1.2-1 CLT 板状地盤補強のイメージ



写真 1.2-1 CLT の敷設状況

⑤CLT 敷設の施工速度が速い。(図 1.2-4)

(所要時間の実績 CASE1:約 2 時間、CASE2:約 7 時間、CASE4:約 1.5 時間)

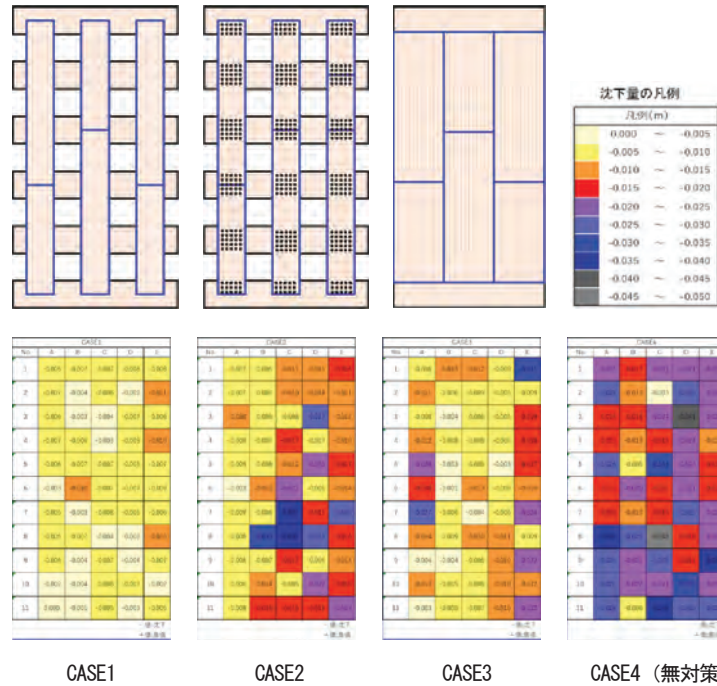


図 1.2-2 各 CASE の CLT 配置(上段)と盛土天端の沈下量の分布(下段)

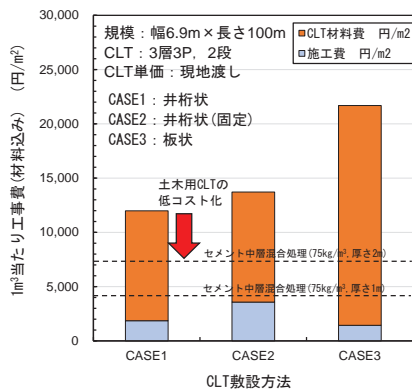


図 1.2-3 コスト比較

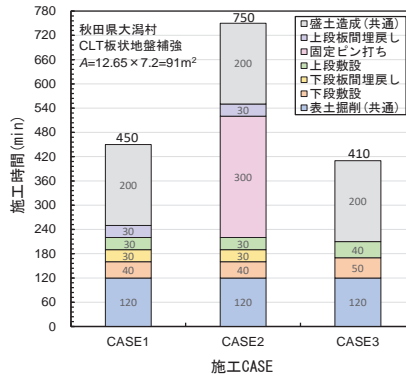


図 1.2-4 施工速度

1.3 CLT 防雪柵の開発

1.3.1 開発に至った経緯

防雪柵は吹雪による道路の視程障害(空气中に浮遊する雪などにより光が散乱・吸収・反射され、光の量が減少して景色が見えにくくなること)や吹きだまりの防止目的で、一般的に道路路肩付近に設置される。環境負荷軽減や景観向上を目的に、間伐材等を利用した木製防雪柵も一部導入されているが、現状では防雪柵のほとんどが鋼材製である。



写真 1.3-1 鋼製防雪柵

(写真 1.3-1)

また、従来の木製防雪柵には、景観との一体感等が評価されながらも、木材の腐朽、接合部の割れ、木部への着雪による吹き溜まりの成長等の課題も存在していた。

(写真 1.3-2)

CLT 防雪柵については、面材料であるための施工性や寸法の安定性等の向上が期待される一方で、着雪については面材料であることが不利に働く可能性があり、表面処理等が必要と考えられる。



写真 1.3-2 木製防雪柵 (別海町)

そこで、屋外実験場での施工実験を行い、CLT 防雪柵の性能を評価した。

1.3.2 実証実験概要

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

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

1.3.3 今年度の実施状況

①CLT に 3 種類の塗料の塗布を実施した。



写真 1.3-3 撥水塗料の塗布



写真 1.3-4 ポリウレアの塗布



写真 1.3-5 ポリウレタン系樹脂塗料の塗布

②木製防雪柵 3 スパンと鋼製防雪柵 3 スパンを設置。1 スパン 4m であるため柵延長は 24m となる。



写真 1.3-6 架台、支柱設置状況



写真 1.3-7 CLT 防雪板設置状況



写真 1.3-8 CLT 防雪板設置完了

③各測定機器を設置し、令和3年12月28日から測定を開始した。



写真 1.3-9 定点カメラ設置状況



写真 1.3-10 定点気象観測機器設置



写真 1.3-11 熱電対設置状況

1.3.4 今年度確認できた事項（現時点での知見）

令和3年12月28日より小樽市での実証施工を開始し、定点カメラにより着雪状況の常時観測と測定を行っている。今後、通年のデータを取得し、鋼製防雪柵と比較検証しながら、CLT防雪柵の性能を評価する予定である。

1.4 CLT 敷板の開発

1.4.1 開発に至った経緯

土木分野の工事・作業現場では、資材搬入路の確保や工事現場の作業床や地盤の保護、また足場の悪い軟弱地盤における重機、重量運搬機の足場確保や重量の地盤への分散などを目的として、鉄板が敷設(仮設)される。この敷鉄板については、各現場にてリース製品が採用されている。

CLT 敷板に、ある程度の腐朽に対する強さや、施工性が確保できれば、比較的短期間の部材交換を想定した CLT の土木利用のひとつの形態として、敷鉄板の代替利用としての可能性が見いだせる。敷鉄板を CLT 敷板で代替することのメリットは、木材の環境保全や周辺環境への輻射熱の緩和、面材料である CLT の施工性や寸法安定性等がある。

1.4.2 耐朽性試験(写真 1.4-1)

地面に直置きした状態における CLT の状態変化を観測することにより、CLT 自体の腐朽に対する強さを評価するため、以下の CLT 試験体(すべて最外層は強軸方向)を各 1 体、3 地点の合計 9 体設置した。

場所	:①北海道旭川市 ②茨城県つくば市 ③熊本県熊本市
設置方法	:長期間地面に直置き
CLT	:スギ・Mx60、長さ 5,995 mm×幅 1,150 mm×厚 90 mm (3 層 3 プライ)
	:スギ・Mx60、長さ 5,995 mm×幅 1,150 mm×厚 120 mm (3 層 4 プライ)
	:スギ・Mx60、長さ 5,995 mm×幅 1,150 mm×厚 150 mm (5 層 5 プライ)

各試験体の木口中央部分に温湿度ロガーを設置して、CLT 設置場所の温度および相対湿度の測定と記録を開始し、定点観測画像の記録も開始した。



写真 1.4-1 CLT 敷板の設置状況(左・旭川市、中：つくば市、右：熊本市)

1.4.3 現場実証試験(写真 1.4-2)

CLT 敷板の使用を想定し、その際の作業性や耐久性等を把握するため、施工現場での実証試験を行った。実証試験に用いる CLT 敷板については、工事現場での施工性や強度性能を比較するために、各 CLT(3 タイプ)について最外層を強軸、弱軸の 2 タイプを設定し、合計 6 タイプの試験体を用いた。

場所	:北海道士別市多寄町(天塩川河川敷)
CLT	:スギ・Mx60、長さ 5,995 mm×幅 1,150 mm×厚 90 mm (3 層 3 プライ) 強軸・弱軸
	:スギ・Mx60、長さ 5,995 mm×幅 1,150 mm×厚 120 mm (3 層 4 プライ) 強軸・弱軸
	:スギ・Mx60、長さ 5,995 mm×幅 1,150 mm×厚 150 mm (5 層 5 プライ) 強軸・弱軸
接着剤	:水性高分子イソシアネート系接着剤(積層接着のみ、幅はぎ接着なし)
輸送方法	:銘健工業株式会社(岡山県真庭市)から、トレーラーシャーシのみ船舶で輸送
確認項目	:①施工性、②走行時、定点作業時の敷板の変形、浮き沈み、破損等の状況、③コスト比較

6 タイプの CLT 試験体を取付作業道と作業ヤードに敷設し、取付作業道の上を約 110 台のダンプトラックが往来し、河川支障木を搬出した。

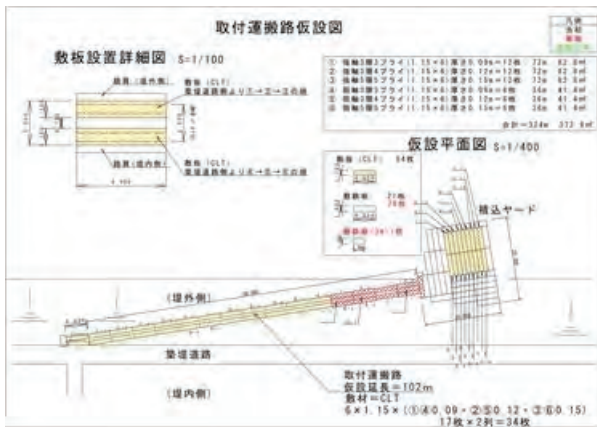


写真 1.4-2 CLT 敷板現場実証試験概要 (左：敷板仮設図、右：仮設状況全景)

1.4.4 今年度確認できた事項 (現時点での知見)

- ①作業時間は、作業員 6 名の条件で、取付運搬路の敷設が合計 3 時間 30 分、積込ヤードの敷設が 6 時間 (CLT 敷板 3 時間、敷鉄板 3 時間) で、合計 9 時間 30 分 (荷下ろし時間も含む) (表 1.4-1)
- ②作業員への聞き取り調査では、今回使用した CLT 敷板は、試験の都合上 3 種類の厚さの敷板を敷設したためにレベル調整に相当な時間を要しているため、仮に同じ厚さの敷板であれば、作業時間が短縮できるとの意見があった。
- ③運搬時のたわみにくさや加工性、敷設時の作業性等を考慮すると、CLT 構成が 3 層 3 プライ強軸で幅 2,000 mm × 長さ 3,500 mm × 厚さ 90 mm の CLT を横置きにして敷設するのが適していると考えられる。
- ④CLT 敷設後、取付作業道を約 110 台のダンプトラックが往来し、約 600 t の河川支障木を搬出したが、搬出作業は滞りなく完了し、建設機械等の走行に対して十分な耐力があることが確認できた。

表 1.4-1 CLT 敷板の種類と CLT の作業時間

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

1.5 CLT 防音・防護柵の開発

1.5.1 開発に至った経緯

CLT を用いた「リサイクル型」土木木製構造物の開発対象を検討する中で、①利用箇所・使用量が多いこと、②構造物としての要求機能が多くないこと、③土木構造物としてのアピール性が高いこと等に注目して、CLT 防護柵の可能性を検証した。「防護柵の設置基準・同解説(令和3年3月)」によると防護柵には、車両用と歩行者自転車用とがある。ここでは強度等の要求水準が比較的low、要求される項目も少ないと推測される歩行者自転車用の防護柵の開発に焦点をあてた。

しかし、コスト検証の時点で、CLT を用いた木製防護柵は既存鋼製防護柵に比べてコスト高になることが推定されたため、通常の防護柵ではなく、遮音機能という付加価値を有する防音・防護柵の開発を目指すこととした。

1.5.2 耐朽性試験(写真 1.5-1)

歩行者・自転車用転落防止を想定し、CLTを防護柵の部材として用いる場合の基本的な耐朽性を把握することを目的として、3か所の試験地にて実大の防護柵による暴露試験を行った。施工時には、打設した鋼管杭(杭長 2,000 mm)の上面に溶接した H 形鋼の支柱の間に、長軸方向が水平になるように CLT を落とし込み、金物により固定して防護柵とした。

場所 :①北海道旭川市 ②茨城県つくば市 ③熊本県熊本市
設置方法 :鋼管杭に溶接した H 形鋼の支柱の間に、CLT を落とし込み、金物で固定
CLT :スギ・Mx60(3層3プライ) 約 10 m² (最外層は強軸方向)

施工後の各試験体(防護柵)の中央部分に温湿度ロガーを設置して、CLT 設置場所の温度および相対湿度の測定と記録を開始し、定点観測画像の記録も開始した。なお、つくば市については施工方法の違い(笠木および設置の有無)による劣化状況の違いについても観察した。



写真 1.5-1 防護柵設置状況 (左:旭川市、中:つくば市、右:熊本市)

1.5.3 遮音性試験(写真 1.5-2)

CLT 遮音防護柵の音響透過損失が NEXCO 設計要領を満たしているか否かの確認・検証を目的として、遮音性能試験を実施した。受音室と音源室の間に CLT 防音・防護柵の試験体を設置し、JIS A 1416「実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法」に基づいて行った。

場所 :茨城県つくば市(安藤ハザマ技術研究所)
設置方法 :H 形鋼の支柱の間に、CLT を落とし込み、金物で固定
CLT :スギ・Mx60(3層3プライ) 約 10 m² (最外層は強軸方向)
仕様 :CASE1 試験体の周囲両面を粘土でシール
CASE2 CASE1+支柱と CLT の隙間を発泡ポリエチレン製のバックアップ材と粘土でシール
CASE3 CASE2+CLT ユニットの積み重ね部分を合板とガムテープで両面をシール

音源スピーカーは、音場ができるだけ拡散するように、また、測定対象の試験体に直接強い音が入射しないような場所に設置した。マイクロホンは、音源室及び受音室で、室境界などから 0.7 m 以上離し、さらに音源室において音源から 1m 以上離れた空間内に、互いに 0.7m 以上離れた 5 点の測定点を設置した。測定は 100~5,000 Hz の周波数帯域について、音源室と受音室の室内平均音圧レベルを算出し、室間音圧レベル差を求めたうえで音響透過損失を算出した。1.5.2 の耐朽性試験と同じ仕様の実大試験体を用い、100~5,000 Hz の周波数帯域について、音源室と受音室の室内平均音圧レベルを算出し、室間音圧レベル差を求めた上で音響透過損失を算出した。



ケース1 音源室試験状況



ケース1 受信室試験状況



ケース2 音源室試験状況



ケース2 支柱(H鋼)隙間のシール状況



ケース3 音源室試験状況



ケース3 積み重ね部分のシール状況

写真 1.5-2 防護柵 遮音性能試験状況

1.5.4 今年度確認できた事項（現時点での知見）

- ①ケース1では、1,000 HzにおいてNEXCO 設計要領の規定を満たしていない結果となった。
これは支柱(H形鋼)とCLTの隙間からの音漏れが大きな要因と考えられる。
- ②ケース2のように支柱(H形鋼)とCLTの隙間をシールすることにより400 Hz、1,000 Hz共にNEXCO 設計要領の規定を満たす結果となった。
- ③ケース3のようにCLTの積み重ね部分の隙間をシールすることで、より遮音効果が高くなることが確認された。

1.6 低コスト CLT の開発

1.6.1 背景および開発目的

CLT は高次加工された木質材料であるため、一般的に土木利用されている丸太や円柱加工材などの木材に比べると高価で、普及の際のネックとなることが予想される。そこで、現在、直交集成板の日本農林規格(JAS 規格)に則って製造されている CLT について、土木用途では影響のない部分での JAS 規格適用の見直しを検討した。仕様を見直すことにより、低次加工あるいは原材料コストや加工コストの低減等を実現し、「土木用 CLT」として再開発し、土木用 CLT の低コスト化を目指した。

1.6.2 今年度実施状況

コストスタディの結果、現在の製造量(9,000 m³/年)から算出される製造費の場合、C材(木材を曲がりなどの形状や用途等により分類した際に、曲がり材であるために木材チップ用などに分類される比較的、原木の買取価格の安い木材)を使用して仕上げ切削を省略することで価格を約 22 %削減でき、工場を 100 %稼働させた場合(30,000 m³/年)ではコストを約 45 %削減できる可能性が示された。

(表 1.6-1)

実際に C 材を用い、ラミナのプレーナー加工を省略した CLT を試験製造した結果、作業性に特に問題ないことがわかった。(写真 1.6-1)

一方、CLT 製造過程でコスト負担が大きいラミナの人工乾燥費(製造コストの 1 割程度)の削減も試み、天然乾燥による製造を行った。その結果、天然乾燥による乾燥期間は約 4 か月要したが、20 %以下まで十分に含水率を下げる事ができた。納期や乾燥期間中のヤード確保は課題だが、天然乾燥は低コスト化に大きく寄与できる可能性が示された。

更に、内層を中心に一部のラミナを省略し、原材料費の削減効果を期待した「空洞を有する CLT パネル」の試験製造を行った結果、製造効率にほとんど影響はなく、製造に掛かる時間は通常の CLT と遜色なかった。5 層 5 プライ CLT の内層 3 層のラミナを一枚おきに省略した CLT の場合は、原材料費(ラミナ)は約 44 %の削減となった。(図 1.6-1)

表 1.6-1 コストスタディの結果

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



写真 1.6-1 ラミナのプレーナー加工を省略して製造したC材利用のCLT



図 1.6-1 内層ラミナを一部省略した5層5プライCLTの層構成

1.6.3 今年度確認できた事項(現時点での知見)

- ①原材料コストについて、「C材利用」と「ラミナの省略」により、大幅に低コスト化できる可能性が示された。
- ②加工コストについて、「天然乾燥」と「ラミナプレーナー加工の省略」および「パネルの仕上げ切削の省略」により、大幅に低コスト化できる可能性が示された。

1.7 CLT の耐久性付与技術の開発

1.7.1 背景及び開発目的

ラミナ段階で水系薬剤により加圧注入処理して製造される CLT は、高い防腐性能が得られる一方でコスト負担が大きく、CLT の土木利用において防腐処理コストが将来的な普及の妨げとなる恐れがある。しかし、最終的に CLT の生分解を前提とする利用方法の場合には、加圧注入などの高度な耐久性付与技術によらず、塗布処理等の安価な手法を用いることで、処理コストの低減が期待できる。そこで、出来る限り低コストで CLT パネルへ必要最低限の耐久性を付与する技術の開発を目指し、製品段階での油系薬剤による保存処理を検証した。

1.7.2 今年度実施状況

本研究の目的が低コストの処理技術開発であることから、CLT 工場における製造工程は一切変更せず、完成した 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しい。そこで本研究では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を検討した。

今年度は難注入性樹種のカラマツとトドマツおよびスギの各 CLT 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。(写真 1.7-1、1.7-2)



写真 1.7-1 クレオソート油による塗布処理



写真 1.7-2 塗布処理後の試験体

1.7.3 今年度確認できた事項(現時点での知見)

結果を以下に示す。(表 1.7-1、図 1.7-1)

塗布処理を行った CLT に使用したラミナはすべて心材であり、表層ラミナの外側面にはインサイジング加工を施した。CLT 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 回に分けて実施した。

各処理前後の重量から付着量を算出し、各樹種とも表面処理の場合には、浸せき処理に比べておおよそ 5~6 割程度の付着量であることがわかった。

表 1.7-1 各材へのクレオソート油の付着量

No.	付着量 (g/m ²)					
	スギ		トドマツ		カラマツ	
	浸漬	表面処理	浸漬	表面処理	浸漬	表面処理
1	875.953	423.957	760.431	406.012	550.695	351.054
2	948.856	520.413	753.701	450.875	541.723	404.890
3	1020.637	469.942	787.349	485.644	577.613	354.419

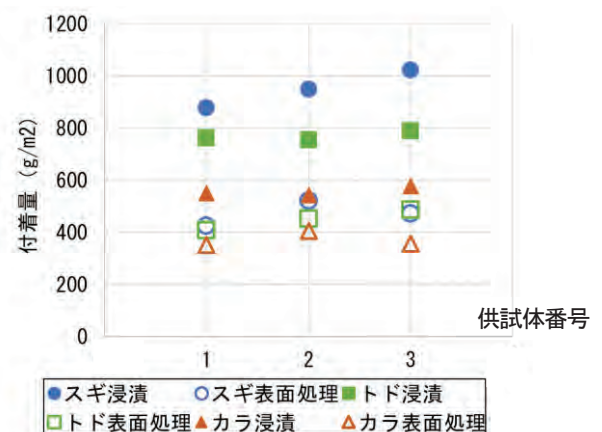


図 1.7-1 各材へのクレオソート油の付着量

1.8 CLT の燃料利用技術の開発

1.8.1 背景及び開発目的

リサイクル型の土木木製構造物は、使用後において木質バイオマス燃料として活用する。(図 1.8-1)



図 1.8-1 森林サイクルから得られる「リサイクル型」木製土木構造物のライフサイクル

土木木製構造物由来の木質燃料のメリットは以下の 3 点である。

- ①石油・天然ガス・石炭という化石燃料の代替効果による CO₂ の排出削減
- ②供用期間の短縮、取替頻度の増加を目的に防腐剤を用いないため、燃焼時の灰分や揮発性ガスがクリーン
- ③屋外供用期間中に、木材に本来含まれている水分の蒸発熱が縮減し、(バイオマス燃料は、変換設備に投入した後、蒸発に奪われる熱量が少ないほどエネルギー効率が上がるので、) 発熱量が上昇し燃料価値が向上

こうしたメリットを生かすためには、木質ボイラにおける燃料のつまり、不安定な出力、着火不良などの故障やトラブルを避ける必要がある。木質ボイラとの相性を決定するのは、CLT 燃料用木質チップの寸法、形状、水分、灰分などの品質項目である。そこで、供用前の CLT 由来の木質チップを対象に、一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会の「燃料用木質チップの品質規格」に沿った品質項目について検証した。

1.8.2 今年度実施状況

防音・防護柵遮音性能試験に用いたものと同仕様の CLT を粉砕機にかけてチップ化した。(写真 1.8-1)

平成 26 年 11 月に一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会により策定された「燃料用木質チップの品質規格」に基づくと、CLT は接着剤成分を含むため、燃料用木質チップの Class 4 となる。(表 1.8-1)

このチップを JIS Z 7302(廃棄物固形化燃料)の方法により分析した。また JIS M 8801(石炭類—試験方法)の方法で粒度分析を行った。

表 1.8-1 燃料用木質チップの品質規格

品質項目	単位	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
原料		幹、全木 末処理工場残材	Class 1 + 灌木・枝葉・末木 欠陥材・板張り材など	Class 2 + 判定枝等 樹皮 末処理リサイクル材	Class 3 + 化学的処理工場残材 化学的処理リサイクル材
チップの種類		切削チップ	切削または破砕チップ		
チップの寸法 P			P16 P26 P32 P45 から選択		
水分 M	w-%	M25 M35 から選択	M25 M35 M45 M55 から選択		
灰分 A	w-% dry ⁽¹⁾	A1.0 ≦1.0%	A1.5 ≦1.5%	A3.0 ≦3.0%	A5.0 ≦5.0%
N(窒素)、S(硫黄)、Cl(塩素)	w-% dry ⁽¹⁾			N≦1.0、S≦0.1、Cl≦0.1	
重金属	mg/kg dry			As≦4.0、Cd≦0.2、Cr≦40、Cu≦30、 ⁽²⁾ Pb≦50、Hg≦0.1、Zn≦200	
異物 ⁽³⁾		含まないこと			

(1) w-% dry—質量パーセント(乾量基準)

(2) As(砒素)、Cd(カドミウム)、Cr(クロム)、Cu(銅)、Pb(鉛)、Hg(水銀)、Zn(亜鉛)

(3) 金属、プラスチック類、泥炭(合成木材、複合木材)、土砂、石など

1.8.3 今年度確認できた事項（現時点での知見）

①粒度分析結果より、CLT から製造したチップの粒度分布は4 mm 未満が約50%を占め、小さなチップで構成されることを確認した。

（これは燃料用木質チップの規格区分より小さいが、これはチップ化用小型粉砕機を用いたためと推測している。大型の粉砕機を用いれば、規格区分内の大きさのチップが得られると考えている。）

②水分、灰分、窒素、硫黄、ヒ素、重金属、その他については規格値を全て下回っており、燃料チップとして問題はないことを確認した。



写真 1.8-1 チップ化用
小型粉砕機

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2年度 木材製品の消費拡大対策のうち CLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業 低コスト CLT と土木利用技術の開発
発注主体	: 木構造振興株式会社
事業実施期間	: 令和3年5月から令和4年2月21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 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年度末までに年間 50 万³m³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、土木用の低コストCLT、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を目的としている。

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年1月に関係省庁連絡会議が令和2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年度から令和7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・定義）

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。

- ①CLT の低コスト化(土木用低コスト CLT の開発)
- ②木材の強みである気候変動緩和機能の強化

CLT の低コスト化については、建築分野に比べて土木分野での要求性能が概ね緩和されることを前提として、市場での競争力を高めることをねらったものである。

また、木材の気候変動緩和機能の強化については、他材料と比べて大きな利点となることを前提として、やはり市場での競争力の強化も視野に入れた。

上記の 2 つのポイントを軸とし、技術開発の流れとしては、当初からハード面とソフト面を並行して検討を進める方針とした。

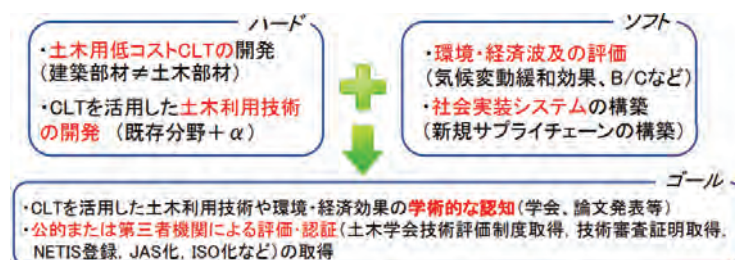


図 2.3-1 技術開発の進め方 イメージ

気候変動緩和機能を活用した土木利用技術については、木材の炭素貯蔵効果を念頭に、「炭素貯蔵型」、「炭素中立型」、「リサイクル型」、の軸に沿って開発テーマを整理し、各テーマ別に(WG 体制で)目指すべき土木利用技術の選定、実用化に向けた試験・実験を行った。

- 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。
- 炭素中立型 : 最終的には構造物の CLT が生分解されることを前提とするが、CLT が生分解されても構造物の機能的には問題ない用途。炭素貯蔵型とリサイクル型の間での利用期間(10~50 年)を目途に十分な機能を発揮できる。場合によっては保存処理材の利用も検討する。
- リサイクル型 : 構造物が必要な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。製造コスト低減と、木材利用量の拡大に寄与するため、防腐未処理を原則とする。さらに、供用後回収可能で、それを化石燃料の代替として活用できる。
(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（体制、委員名、各 WG 実施事項一覧表）

一般社団法人日本 CLT 協会内に学識経験者を委員長とする委員会を設置し、学識経験者と事業者等で委員を構成した。さらに、委員会の下部組織として、開発テーマ別の 3WG を設定した。

また、委員会内には委員の中から、各 WG を統括する主査と幹事で構成する幹事会を設定して、全体方針や進め方などについて、柔軟に見直しのできる体制を構築し、常に委員長・副委員長と相談しながら、事業全体の運営を管理した。

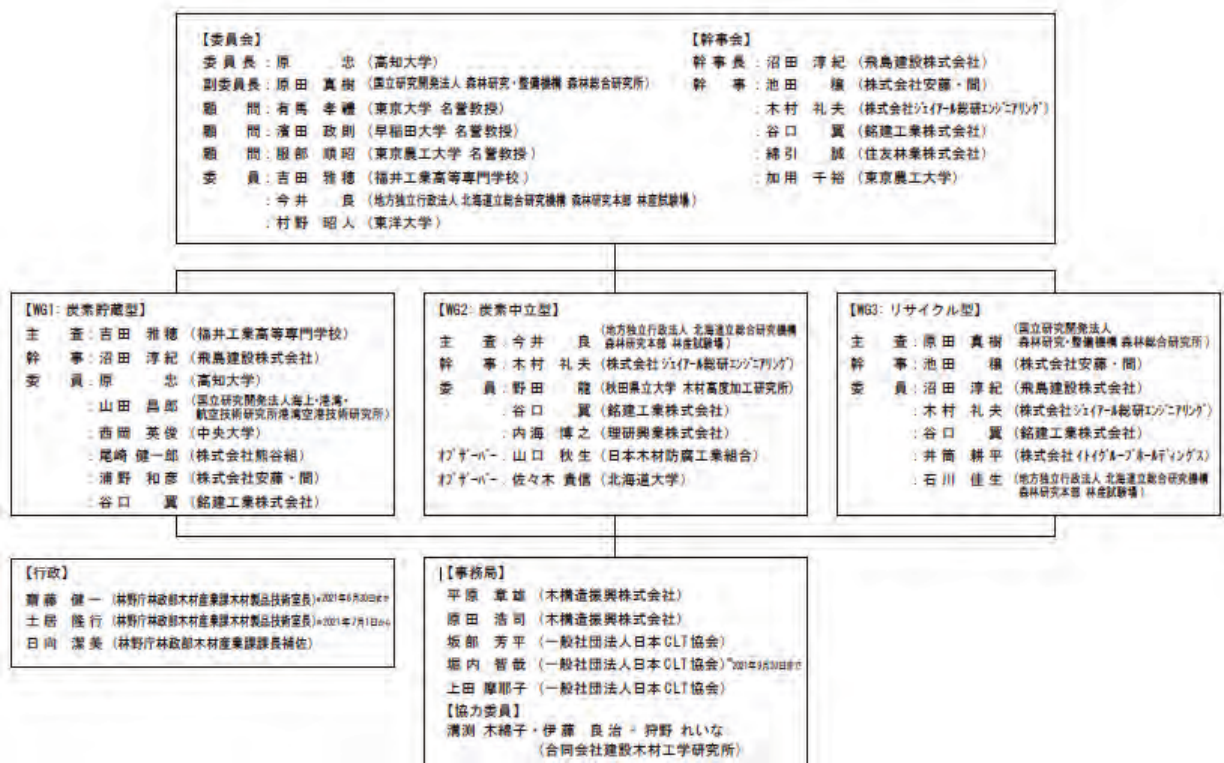


図 2.4-1 委員会・幹事会・各 WG の構成

【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	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	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	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	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	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	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	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	綿引 誠	住友林業株式会社 筑波研究所 副所長
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

【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	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
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

【炭素貯蔵型 WG】

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	原 忠	高知大学 教育研究部自然科学系理工学部門 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	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	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	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

【炭素中立型 WG】

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	内海 博之	理研工業株式会社 環境・新エネルギー開発部 部長
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
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

【リサイクル型WG】

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	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	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	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	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
オブザーバー	菅原 大介	株式会社イトイグループホールディングス 代表取締役

【行政】

行 政	齋藤 健一	林野庁林政部木材産業課 木材製品技術室長(令和3年6月30日まで)
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(令和3年7月1日から)
行 政	日向 潔美	林野庁林政部木材産業課 木材専門官(令和3年9月30日まで) 林野庁林政部木材産業課 課長補佐・木材技術班担当(令和3年10月1日から)

【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	堀内 智哉	一般社団法人日本 CLT 協会(令和3年9月まで)
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	合同会社建設木材工学研究所
協力委員	伊藤 良治	合同会社建設木材工学研究所
協力委員	狩野れいな	合同会社建設木材工学研究所

2.5 実施工程

令和3年5月31日に第1回委員会を開催し、開発テーマ別の3WGを設定し、事業を開始した。

CLTの土木利用を想定した基礎調査を先行して開始し、さらに具体的な開発テーマに基づく試験・実験の計画・実施に着手した。さらに、開発テーマに沿った実証・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。

基礎調査、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。

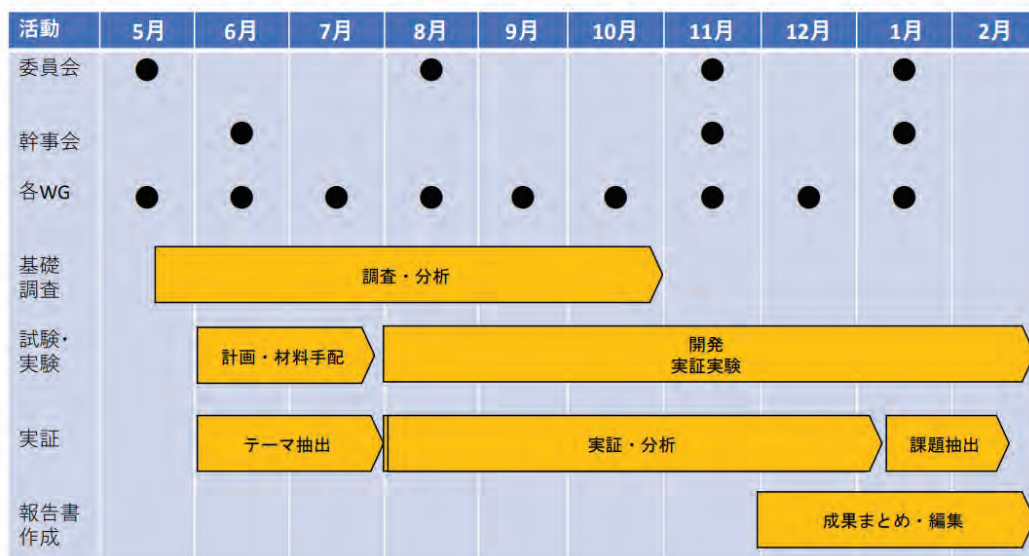


図 2.5-1 年度内の実施工程

工程の詳細を以下に記す。

令和3(2021)年

- 5月19日 第1回炭素貯蔵 WG を開催
- 5月31日 第1回 CLT 土木開発・利用委員会
- 6月18日 第1回幹事会を開催
- 6月25日 第2回炭素貯蔵型 WG を開催
- 7月12日 第1回炭素中立型 WG、リサイクル型 WG を開催
- 7月21日 耐久性 WG 連携会議(基礎試験に関するご意見を伺う会議)を開催
- 7月26日 第3回炭素貯蔵型 WG を開催
- 8月 3日 第2回 CLT 土木開発・利用委員会
服部順昭顧問による講演会「LCAで見えてくる木材製品のカーボンニュートラル！」を開催
- 8月30日 第2回リサイクル型 WG を開催
- 9月 1日 第2回幹事会を開催
- 9月15日 第4回炭素貯蔵型 WG を開催
- 10月11日 炭素貯蔵型WG 有馬孝禮顧問・服部順昭顧問への技術相談会を開催
- 10月14日 第2回炭素中立型 WG を開催
- 10月15日 炭素貯蔵型 板状地盤改良実証試験 試験場草刈り開始(秋田県立大学 敷設試験場)
- 10月25日 炭素貯蔵型 板状地盤改良実証試験、盛土および試験体敷設開始(秋田県立大学 敷設試験場)
- 10月19日 第3回リサイクル型WGを開催
- 10月28日 リサイクル型 敷板試験体設置、防護柵杭設置(北海道旭川市 林産試験場)
- 11月 1日 リサイクル型 防護柵設置完了(北海道旭川市 林産試験場)
- 11月 2日 秋田県立大学敷設試験場現場見学会 ならびに第5回炭素貯蔵型 WG を開催

- 11月 5日 第3回幹事会を開催
炭素貯蔵型 板状地盤改良実証試験 試験体敷設完了(秋田県立大学 敷設試験場)
- 11月 8日 炭素貯蔵型 軟弱地盤環境における基礎試験実施(北海道旭川市 林産試験場)
炭素貯蔵型 板状地盤改良実証試験 測点設置、載荷試験実施(秋田県立大学 敷設試験場)
- 11月11日 第4回幹事会を開催
- 11月12日 第3回 CLT 土木開発・利用委員会を開催
- 11月15日 リサイクル型 敷板作業性実証試験を河川敷河畔で試験施工開始(北海道士別市 天塩川河川敷)
- 11月19日 炭素貯蔵型 海水環境における試験実施(神奈川県横須賀市 港湾空港技術研究所)
- 11月29日 炭素貯蔵型 軟弱地盤環境における基礎試験実施
(広島県三次市 広島県立総合技術研究所 林業技術センター)
- 12月 2日 リサイクル型 敷板現場実証試験、敷設完了 視察、意見交換会を開催(北海道士別市)
- 12月 7日 炭素貯蔵型 淡水環境における試験実施(千葉県野田市 飛鳥建設株式会社 技術研究所)
- 12月14・15日 リサイクル型 防護柵遮音性試験実施(茨城県つくば市 安藤ハザマ技術研究所 試験場)
- 12月17日 リサイクル型 防護柵耐久性試験実施 杭工事(熊本県熊本市 森林総合研究所九州支所 敷地内)
- 12月20日 リサイクル型 敷板試験 試験体設置完了・防護柵耐久性試験 整地
(茨城県つくば市 森林総合研究所 敷地内)
- 12月21日 炭素貯蔵型 軟弱地盤環境における基礎試験実施(宮崎県都城市 宮崎県木材利用技術センター)
リサイクル型 敷板試験・防護柵耐久性試験 試験体設置完了
(熊本県熊本市 森林総合研究所九州支所 敷地内)
リサイクル型 防護柵耐久性試験 杭工事、試験体設置完了
(茨城県つくば市 森林総合研究所 敷地内)

令和 4(2022)年

- 1月 5日 第6回炭素貯蔵型 WG を開催(実施状況の報告と次年度以降の計画打合せ)
- 1月12日 第5回幹事会を開催
リサイクル型 敷板現場実証試験 見学会を開催(北海道士別市 天塩川河川敷)
- 1月18日 第4回リサイクル型 WG を開催
- 1月21日 第3回炭素中立型 WG を開催
- 1月24日 第4回 CLT 土木開発・利用委員会

3 CLTの土木分野での利用に関する 事前検討

3.1 木材および現行 CLT のメリット・デメリット

CLT を土木利用するにあたり、まずはその利用方法についての開発テーマとしては、鉄やコンクリートなどの他の材料を CLT に置換することを基準に考えることになる。そこで、まず CLT へ置換することにより、どのようなメリット・デメリットが生じるのかについて、以下の二段階の構成により整理する。

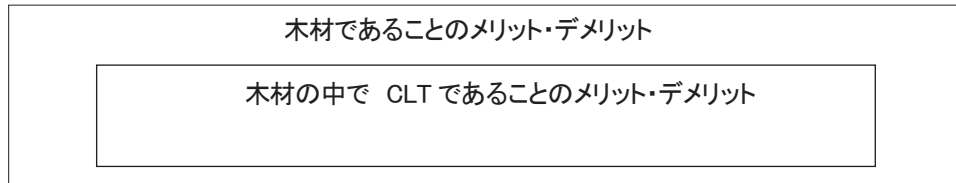


図 3.1-1 CLT のメリット・デメリットの整理イメージ

3.1.1 木材であることのメリット・デメリット

木材であることのメリット・デメリットについて、それぞれに重要な因子を「要因」として抽出し、要因から導かれる「特徴」を考察する。次に、特徴で挙げられた項目について「利用方法」と「課題」を抽出する。

①メリット

要因 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 3. 軽い 4. 熱伝導率が低い 5. 木材炭化できる	利用方法など 2-a デザイン性のある構造物 2-b 組み合わせによる複雑な構造物 3-a 大型重機が使用できない狭隘地での施工、コスト削減 4-a 断熱性材料 5-a 耐火材
特徴 2-a デザイン性のある加工ができる 2-b 使用用途に応じた加工ができる 3-a 取り扱いが容易 4-a 断熱性を高めることができる 5-a 耐火性能が向上する	課題 3 重量衝撃音に不利 4-a 断熱性を担保できるレベルではない

②デメリット

要因 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 3. 含水率が上がると膨張する 4. 乾燥が進むと収縮する	利用方法など 2-a 製品コストが高くなる(定量化が必要)
特徴 2-a 再造林にはコストを要する 3-a 材料が変形する 3-b 接着剤の剥離が生じる可能性がある 4-a 材料が変形し、表面割れが生じる 4-b 接着剤の剥離が生じる可能性がある	課題

3.1.2 CLTであることのメリット・デメリット

CLTであることのメリット・デメリットについて、それぞれに重要な因子を「要因」として抽出し、要因から導かれる「特徴」を考察する。次に、特徴で挙げられた項目について「利用方法」と「課題」を抽出する。

①メリット

<p>要因</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. XY 方向に木材を直交させている 2. 部材はラミナである 3. ラミナの多層構造である 	<p>利用方法など</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 面構造物の構築 1-b 接合部材の低減によるコスト削減 2. 品質や寸法が安定した規格品 (ねらった性能の製品) 3-a 品質や寸法が安定した規格品 (ねらった性能の製品) 3-c 歩留まりの向上、コスト削減、国産材利用量の拡大 3-d 曲げに強い製品 3-e 国産材需要の拡大 3-f 機械加工しやすい製品
<p>特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a XY 方向で強度・剛性にあまり異方性のない面材が得られる 1-b 大断面の面材が得られる 2-a 材料の選択 2-b 節・割れ・腐れ等の欠点を除去(または分散) 2-c 木材内部まで乾燥させることが出来る 3-a ほぼ均質な強度・剛性の面材が得られる 3-b 材料を選択できる 3-c 低グレード材料の使用 3-d 厚みのある材料が得られる 3-e 体積重量が大きくなる 3-f 寸法が一定値である 	<p>課題</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 集成材や無垢材に比べ、軸方向の強度が低い 3-c 機能を優先し、見た目はプライオリティを下げる 3-e 人力での取り回しが難しい

②デメリット

<p>要因</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. XY 方向貼り合わせラミナの大断面の多層構造 	<p>利用方法など</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-ab 製造時エネルギー、環境負荷、コストの増大 1-b 水にぬれた時の耐久性のデータがない 1-c 劣化に対する弱点が増える
<p>特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 乾燥、加工に手間がかかる 1-b 接着剤を使わざるを得ない (耐水性の接着剤も開発されつつある) 1-c 木口面が増える 1-d 保管、在庫にコストを要す 1-e 構造的にオーバースペックなケースが多い 1-f 輸送できない、または輸送コストを要す 1-g 乾燥、加工、接着に手間がかかる 1-h 丸太加工と比較し、歩留まりが低い 	<p>課題</p>

3.1.3 CLT を土木利用することを想定した時に考えるべき特徴

CLT についてのメリット・デメリットを抽出した上で、CLT を土木利用する時に絞って、その際のメリット・デメリットについて、それぞれに導き出される重要な因子を「要因」として抽出し、要因から導かれる「特徴」を考察する。次に、特徴で挙げられた項目について「利用方法」と「課題」を抽出する。

①木材であることのメリットからの考察

<p>要因</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. コンクリートや鉄に比べて軽い 2. 熱伝導率が低い 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 7. 比較的、塩害に強い 8. 経年変化で色が落ち着く 9. 視覚的に自然環境になじみやすい 	<p>利用方法など</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 構造物の重量低減、基礎の簡素化 1-b 工期短縮、コスト削減 (駅舎等施設利用しながら施工可能) 1-c 人工島などへの利用、 地盤補強材料などの自重低減 3. 倉庫内装など 4. コスト削減、GHG 排出削減、エネルギー利用可能 5. 短期的な仮設材への利用、事後撤去処理の省略 6-a 都市部での木材利用による木質 CSS、気候変動緩和への貢献 6-b コンクリート、鉄、プラスチックからの代替による GHG 排出削減 7. 沿岸構造物への適用
<p>特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 構造物の荷重を低減し、基礎への過重負担を減らせる 1-b 施工の取り回しが容易で、重機等を要しない 1-c 海や土中などでは浮かぶ 2. 温度応力が発生しにくい 3. カスケード利用で燃料利用ができる 4. 使用後、自然へ戻すことができる 5. 大気中の二酸化炭素削減 6. 海岸部での使用ができる 7. 圧迫感、人工物感の低減 	<p>課題</p> <ol style="list-style-type: none"> 2. 金属との接続部では金属に結露が生じ、木材の腐朽を誘発する 4. 防耐火が必要な場合がある 5. 生物劣化対策が必要な場合がある 6-a 持続可能な森林経営が必須 6-b 半減期の設定などが未整備

②木材であることのデメリットからの考察

<p>要因</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 生物劣化を生じる場合があり、性能低価が急激 2. 経年変化で変色する場合がある 3. 燃える 4. 金属との熱伝導率の差が大きい 	<p>利用方法など</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a さらなるコスト高、GHG 排出量増加、環境的に不利となる可能性がある 1-b 敬遠されがちになる 2. 屋外使用時の維持管理方法が確立されていない 3. 防耐火性に関する法規制のクリアが必要な場合がある 4. 劣化リスクが多くなる
<p>特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 用途・性能により保存処理が必要になる 1-b 外部表しでの利用はリスクが高い 1-c メンテナンスが必要になる場合がある 2. 美観を優先する場合は、塗装方法の吟味が必要 3. 耐火対策が必要な場合がある 4. 金属部で結露が生じる 	<p>課題</p>

③CLT であることのメリットからの考察

<p>要因</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 大判の面材料である 2. 工場製品である 3. 塑性化、脆性化しにくい 4. 加工が容易である 5. 林業、木材産業、建設産業を横断する 6. 空気、水、温度、栄養の条件が揃わないと劣化しない 	<p>利用方法など</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 工期短縮、現地プラント不要、コスト削減が可能 1-b 囲う、敷く、重ねる、組み立てる作業が容易 2-a 施工が容易、工期短縮、コスト削減ができる 2-b 規格品の製造、同一形状の規格品工作物（農業水路、防音壁等） 2-c 耐久性の向上、必要性能に合った製品の製造 2-d 低品質材料で歩留まりが上がりコスト削減、環境負荷低減 3-a 仮設材など製品の繰り返し利用が可能（仮設路盤、敷板等） 3-b 道路など繰り返し荷重を受ける構造物への適用 3-c 耐震補強材などへの利用 4-a 設計基準を作りやすい、適用対象を広げやすい、管理が容易 4-b 現場合わせの施工が容易 5. 地方創生への貢献 6-a 本設への適用、長期の仮設利用、多数の繰り返し利用 6-b 長期の炭素貯蔵
<p>特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 接合部を少なく出来る 1-b 木材のみで強度、剛性が均質な面材ができる 1-c 板材料としては、比較的軽量 2-a. 型枠や養生が不要 2-b. 寸法、品質が安定している 2-c. ラミナの配置を工夫できる 2-d. 低品質材の利用ができる 3. 繰り返し荷重への抵抗性が高い（データ蓄積中） 4-a. 長さ、厚さ、幅などの規格を自由に選択できる 4-b. 孔あけ、切断が容易 5. 経済波及効果、雇用創出効果を期待できる 6. 条件が整えば耐久性が高まる 	<p>課題</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 生コンに比べ、現場の立地や運搬経路に制限がかかる 1-b 運搬に大型車が必要になる 1-c 大判は人力で持てないので、重機が必要になる 5. コスト高となる 6. 環境条件を考慮する必要がある

④CLT であることのデメリットからの考察

<p>要因</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 大判の面材料である 2. 新しい材料である 3. 強度はあるが鋼材ほどではない 4. 内層に低品質材を用いることが出来る 5. 接合材が必要になる 6. 接着剤を用いている 	<p>利用方法など</p> <ol style="list-style-type: none"> 2-a 各種土木用のニーズに答えた製品はほとんどない 2-b CLT 自体の原単位が未整備である 6. ライフサイクル GHG を高める
<p>特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> 1-a 部分改修をしにくい 1-b 大規模な一体物は造れない 2-a 設計に必要な情報が未整備である 2-b 施工方法が未確立である 2-c 大量発注に対する支援体制ができていない 4-a 他のエンジニアードと比べ安定性に欠ける 4-b せん断性能が不足するおそれがある 5. 接合部の劣化が弱点になりやすい 6-a 水浸時の耐久性が低い可能性がある 6-b 長期使用で剥離が生じる可能性がある 	<p>課題</p>

3.2 国内における CLT についての意向調査

国内において、CLT 土木利用の実績や可能性を探索するため、多くの森林を有する自治体へのヒアリング並びに可能性やアイデアに関する情報収集を行い、開発テーマの方向性を定める参考事例とした。

調査概要

実施時期 : 令和3年7月
調査対象 : 自治体の水産林務部関係部局

聞き取り内容については、順不同ならびに発言部署の特定をせずに列記する。

- ・ 治山や林道では既に木製土木構造物をかなり利用している（主に丸太材）
- ・ 木製品を CLT に置き換える場合はコスト面での検証が必要（丸太材は現在約2万円/m³）
- ・ 枠工や擁壁などに CLT 活用の可能性がある
- ・ 林道などの埋設管の基礎コンクリートの代替に可能性がある
- ・ 林道にも耐用年数はあり一般的には40年（実際はそれ以上使われる）
- ・ 治山での木材利用は筋工/柵工が比較的多く CLT 利用先としては可能性があるかもしれないが、既に筋工用のログパネル工法もあるのでコストメリットや差別化が必要
- ・ 治山は土地の所有者が事業者とは別なので（市町村など）、所有者の意向が重要
- ・ 治山の場合、構造物に受益者（住民）が居るため、受益者に不利益を与えかねない構造物は採用できない（試験的な施工は困難）
- ・ 森林土木木製構造物施工マニュアル（日本治山治水協会発行）には事例や設計情報が多数掲載されており参考になる
- ・ 残存型枠工は部材の脱落が下流域への害になるため採用が難しい
- ・ コンクリート構造物へ木材により意匠性を付与する工事もかつてあったが、経年による外観の劣化で利用者や近隣住民から不評な実態もある
- ・ 河川などは接着剤や防腐剤などの使用がネックになる場合が多い（魚毒性が無いことをデータで示しても、説得は難しい傾向）
- ・ 森林整備課については、価格面がネックになる可能性（5万円/m²が実現するのなら可能性はあるかも）
- ・ 水叩きは適用可能かもしれないが、従来品で問題がないため代替が難しい状況
- ・ CLT を用いるのであれば、従来品にはない強度メリットを活かしたい
- ・ 橋の床版利用に可能性が感じられる
- ・ 敷板利用については、林道では需要があまりない。
- ・ 災害時などの仮設路盤材としては必要なタイミングで即入手できないと厳しい（即日～翌日など）
- ・ 価格の次には耐久性がネックになる。対象にもよるが20年以上は欲しい。
- ・ 大判パネルのメリットとして、のり面保護工に可能性はあるが、林道の場合 曲線部が多く、板状のメリットを打ち出せない可能性が高い。
（林道の連続する小さなRに沿わせることができる CLT が開発されれば可能性あり）
- ・ 路面排水コンクリートの代用として1.2m×4mの CLT パネル直置きはサイズの的にも可能性ありかもしれない
- ・ 排水管の基礎も可能性があるかもしれない（現状の排水管を置くコンクリートの下の砕石層の代替など）
- ・ 軟弱地盤の場合に大量の砂利を管の基礎の下に入れているので、CLT を浮船のように活用できれば、大量の砂利が不要になるかもしれない
- ・ 基礎部のコンクリートそのものを CLT に置き換える方法にも可能性があるかもしれない。
- ・ 土地所有者が別に存在する治山と違い、林道の場合は自治体が土地を買い取るので、自治体の意向でトライできる可能性がある
- ・ 治山でも堰堤の裏側（山側）の残存型枠であれば可能性があるかもしれない（材の脱落の恐れもないので）

3.3 海外における CLT 土木利用先行事例の調査

北米では、21世紀初頭より地球環境のサステナビリティへの意識の高さなど（※）を契機として、建築の主流が鉄筋コンクリートや鉄骨の建材から Mass Timber に移行している。CLT も高層建築の面構造の要として構造的安定性そして安全性を評価され、木質構造建築の重要な建築材料として認知されている。

その潮流に乗り、近年 CLT の土木分野での研究・開発が急速に進み、橋梁などでの活用が進み、北米を中心に CLT の土木利用の先行事例が報告されている。

※北米での CLT を含む Mass Timber の急速な普及と発展には、主に3つの要因があると言われている。

- ・自然災害をもたらす気候変動への大きな懸念からくる CO2 削減への関心が高まったこと
- ・建築・建設業界と国の行政、研究機関との強い結びつきにより、Mass Timber に向けた法律の改正、仕様基準の見直し、規制緩和などを推進力として Mass Timber の品質向上が進んだこと
- ・産・学・官の支援により充実した教育、研修プログラムがエンジニア、建築家、技術者、施工業者へ提供されていること

そこで本事業での土木 CLT の開発の基礎データとすべく、北米（アメリカ、カナダ）における CLT の動向について、以下の項目の調査を実施した。

- ①CLT の市場動向
- ②CLT 製品の現状
- ③CLT の技術的性能基準
- ④CLT の土木利用に関する法規制
- ⑤CLT の土木分野における設計・施工の考え方
- ⑥CLT の土木分野における施工例

ここでは、土木に関する調査内容を中心に①②⑤⑥について要点を整理する。

3.3.1 CLT の市場動向予測

北米における CLT の市場動向を 1980 年から 2005 年までの市場の実績をもとに、2020 年から 2035 年の期間で予測したものが以下の表である。



図 3.3-1 北米における CLT 需要の年度予測（単位：m³）

急速な市場動向の主な理由は、①現在の市場が本来あるべきレベルより停滞している ②建築基準法の改正に伴う大きな可能性 ③製造工場の拡大に伴う生産量の増加 が挙げられている。

3.3.2 CLT 製品の現状

北米における CLT の製造企業と年間生産能力・樹種について、以下に一覧としている。

表 3.3-1 北米における ANSI/APA PRG-320 基準認定 CLT 製造企業と販売元

会社名	所在地	年間生産能力 (m ³)	材種	製造製品
Structurlam Mass Timber Corp.	Canada British Columbia, Penticton	120,000	ダグラスファー SPF	CLT, 集成材
Nordic Structures	Canada Québec, Montreal	80,000	SPF	CLT, 集成材 I型ジョイスト
SmartLam, LLC	USA Montana, Columbia Falls	100,000	ダグラスファー	CLT, 集成材
Kalesnikoff Mass Timber, Inc.	Canada British Columbia, Thrums	50,000	ダグラスファー ラーチ、SPF、 ヘムロック	CLT, 集成材
Vaagen Timbers	USA Washington, Colville	18,000	ダグラスファー ラーチ、SPF	CLT, 集成材
D.R.Johnson Lumber Co.	USA Oregon, Riddle	80,000	ダグラスファー ラーチ	CLT, 集成材
Element5 Co.	Canada Ontario, St. Thomas	45,000	SPF	CLT, 集成材
Element5 Co.	Canada Québec, Ripon	30,000	SPF	CLT, 集成材
StructureCraft *DLTがメインであり、 CLTは販売のみ	Canada British Columbia, Abbotsford	55,000	ダグラスファー SPF サウザンパイン	CLT, 集成材 LVL, LSL, NLT DLT, GLT
Mercer *KaterraのCLT工場を買収	USA Washington, Spokane Valley	185,000	ダグラスファー ラーチ、SPF	CLT

3.3.3 CLT の土木分野における設計・施工の考え方

北米における CLT の土木利用については、その強度と機械的特性から橋梁のデッキ材を中心に活用が進められようとしている。北米では CLT の土木利用における構造上の長所と短所を以下に整理している。

①長所

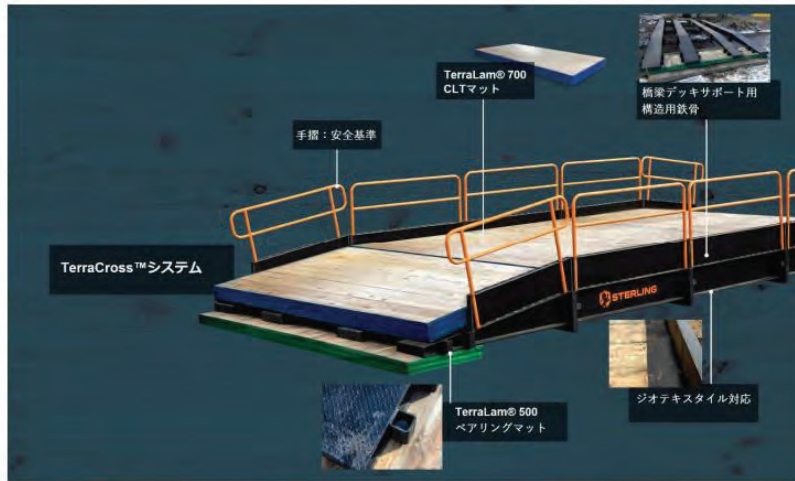
- ・大きな支持面積により荷重が分散され応力度が少なくなること
- ・水平荷重に耐える高いせん断強度があること
- ・壁使用の場合は、軽い自重を利用することで転倒力に対する締結が容易になること
- ・壁使用の場合は、壁平面内の座屈が起こりにくいこと
- ・床使用の場合は在来工法に比べて締結が容易であること
- ・製造工程で木材料（ラミナ）の欠陥や欠点部分を排除でき、材料としての欠陥が少ないこと
- ・接統部分を視覚的に隠すことが可能なので、美的感覚にも優れていること
- ・接合部に隙間がないため、密閉性、熱伝導性、水蒸気拡散性、遮音性、耐火性が向上すること

②短所

- ・曲げることや反らすことが難しく、意匠デザインとして複雑な形状には向かないこと
- ・湿気や水気に弱いため、使用条件を考慮し、建設中や運用中の調湿が必要であること
- ・CLT パネル内の個々のラミナの相互作用が比較的複雑であり、簡略化された構造設計基準式ができるまでは広範な試験と分析が必要となること

3.3.4 CLTの土木分野における施工例

北米におけるCLTの土木分野における施工例として、現場で溝や水辺等など仮設橋が必要な場合に使用できる仮設橋梁の事例を紹介する。構造用スチールで作られたプレハブシステムによる仮設橋の床版としてCLTを活用し、最大100トンの荷重を支えることが可能である。現場へは1回の輸送で搬送が可能であり、経済的かつ環境にも優しいことを利点としている。



TerraCross™システムの種類

	最大負荷	最大スパン	橋の全長
TerraCross™40	100トン	10.6 m	12.2 m
TerraCross™56	65トン	15.2 m	17.0 m



図 3.3-2 仮設橋梁の事例（北米）

4 土木用を想定した

C L Tの耐久性検証のための基礎試験

4.1 背景

CLT が土木用に使用される際に置かれる環境は、従来 CLT が建築物に用いられてきたような、通常の空間に置かれる構造体と異なり、地盤中、海水中、淡水中で用いられることも想定される。CLT の耐久性について、建築利用で遭遇する環境については、知見が蓄積されてきているが、土木分野への適用を考えた場合には、建築用では検討がされてこなかった地盤中などの環境に置かれた CLT の耐久性を基本的な性質として把握する必要がある。これは、本事業で想定される種々の個別技術の開発においても必要とされる。

そこで、土木分野への適用を想定し、気温・湿度・降雨・降雪などの異なる気候下における、CLT の耐久性を検討するために、建築分野で検討されてこなかった地盤中、海水中、淡水中に供試体を設置し、経年変化を把握する。

4.2 試験目的

- ①地盤中における CLT 利用など、CLT の土木分野における利用を想定し、主に建築を対象としてきた耐久性試験では実施してこなかった試験を実施する。
- ②製品や工法開発では数多くできない実証実験を補間する目的で、共通事項について全国の代表的地点で基礎データを取得する。
- ③共通事項として、各地域における CLT 要素の耐久性の基礎データを得る。

4.3 基本方針

- ①主に地盤中で行うこと基本とし、これに、淡水環境、海水環境を加える。
- ②生物劣化（腐朽、蟻害、海虫害）に対する耐久性について検討する。
⇒質量、密度、縦圧縮強さ、弾性係数の計測
- ③CLT の仕様は以下とし、剥離、せん断強さなどの物理的耐久性を検討する。
⇒亀裂長さ、せん断強さ、せん断弾性係数の計測
接着方法：2種類（水性高分子イソシアネート系接着剤、レゾルシノール樹脂接着剤）
（※以下 水性高分子イソシアネート系接着剤の略称を用いる場合は「水ビ」、レゾルシノール樹脂接着剤の略称を用いる場合は「レゾ」という。水ビの略称は、開発当初に「水性ビニルウレタン」と呼ばれていたことによる。また、一部表中で水性高分子イソシアネート系接着剤を「イソ」と表記している。）
幅はぎ：なし
- ④気中の試験においては、色調の変化についても検討する。
⇒写真、スキャナ画像の取得
- ⑤それぞれ基準の強度、または、初期の密度を計測し、それと対比することで劣化程度を計測する。

4.4 実施予定期間

2021 年度～2025 年度 + α

令和 3（2021）年度は、供試体を各試験地に設置し、初期の強度を把握する基準試験を実施した。

令和 4（2022）年以降は、各試験地で経時変化の観察・計測を行う（観察・計測の計画は 4.12 に示す）。5 年間にわたる全体工程と今年度の実施状況をについて、以下に示す（表 4-4-1、表 4.4-2）。

表 4. 4-1 全体工程

項目		2021年	2022年	2023年	2024年	2025年
試験計画		■				
試験準備		■				
基準試験		■				
供試体設置	地盤環境	■				
	海水環境	■				
	淡水環境	■				
観察・計測	地盤環境		■	■	■	■
	海水環境		■	■	■	■
	淡水環境		■	■	■	■

表 4. 4-2 今年度実施状況

項目		2021年						2022年	
		7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
試験計画		■	■	■	■	■	■		
試験準備	候補地選定	■	■	■					
	候補地変更			■	■	■			
供試体作成			■	■	■				
基準試験	(林産試験場)						■	■	
供試体設置	地盤環境 (旭川市)					■	■		
	地盤環境 (三次市)					■	■		
	地盤環境 (都城市)						■	■	
	海水環境 (港湾空港研究所)						■	■	
	淡水環境 (飛鳥建設)							■	■
まとめ							■	■	■

4.5 実施場所（地盤環境，淡水環境，海水環境，位置）

①基準試験（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地盤環境：

- ・亜寒帯地域（旭川市、林産試験場）
- ・温帯地域（三次市、広島県林業技術センター）
- ・亜熱帯地域（都城市、宮崎県木材利用技術センター）

③海水環境（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）

④淡水環境（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 4.5-1 基礎試験実施地点で行う試験

試験実施地点	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 （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）				○

4.6 試験数量

試験数量を以下に示す

表 4.6-1 基準試験供試体内訳

接着剤	供試体タイプ	試験方法	供試体数計
水性高分子イソシアネート系接着剤	キュービック	圧縮試験	5
	キュービック (せん断試験)	ブロック切出し	3
	予備	—	2
		合計数	10
レゾルシノール樹脂接着剤	キュービック	圧縮試験	5
	キュービック (せん断試験)	ブロック切出し	3
	予備	—	2
		合計数	10

表 4.6-2 試験地別の供試体数量

接着剤	供試体タイプ	基準試験	地盤環境			海水環境	淡水環境	合計
			亜寒帯	温帯	亜熱帯	港空研	飛島技研	
水性高分子イソシアネート系接着剤	キュービック	10	165	165	165	23	93	621
	ボード	—	6	6	6	0	6	24
レゾルシノール樹脂接着剤	キュービック	10	165	165	165	23	93	621
	ボード	—	6	6	6	0	6	24

※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

表 4.6-3 地盤環境供試体内訳（各試験地における数量）

接着剤	供試体タイプ	設置位置	ケース数	1 ケース当り供試体数	供試体数計
水性高分子イソシアネート系接着剤	キュービック	GL+0.5m (有傾斜)	6	3	18
		GL+0.5m (平置き/木口)	6	3	18
		GL+0.5m (平置き/板目)	6	3	18
		GL±0m	6	3	18
		GL±0m (平置き/木口)	6	3	18
		GL±0m (平置き/板目)	6	3	18
		GL-0.1m	6	3	18
		GL-0.5m (地下水位面付近)	6	3	18
		GL-1.5m (地下水位以深)	6	3	18
		予備	1	3	3
		合計数			165

レゾルシノール樹脂接着剤	キュービック	WL+0.1m	6	3	18
		WL±0m	6	3	18
		WL-0.075m	6	3	18
		WL-0.15m	6	3	18
		WL-0.5m	6	3	18
		0 予備	1	3	3
	合計数			93	
ボード	WL+0.3m (ボード天端)	6	1	6	

表 4.6-4 海水環境供試体内訳

接着剤	供試体タイプ	設置位置	ケース数	1 ケース当り 供試体数	供試体 数計
水性高分子イソシアネート系接着剤	キュービック	GL±0m	3	1	3
		GL-0.02m	3	1	3
		GL-0.04m	3	1	3
		GL-0.15m	3	1	3
		HWL-1.5m	4	1	4
		HWL-0.1m	4	1	4
		全面海水接触	3	1	3
合計数				23	
レゾルシノール樹脂接着剤	キュービック	GL±0m	3	1	3
		GL-0.02m	3	1	3
		GL-0.04m	3	1	3
		GL-0.15m	3	1	3
		HWL-1.5m	4	1	4
		HWL-0.1m	4	1	4
		全面海水接触	3	1	3
合計数				23	

表 4.6-5 淡水環境供試体内訳

接着剤	供試体タイプ	設置位置 (水面下深度は、 キュービック下面位置)	ケース数	1 ケース当り 供試体数	供試体 数計
水性高分子イソシアネート系接着剤	キュービック	WL+0.1m	6	3	18
		WL±0m	6	3	18
		WL-0.075m	6	3	18
		WL-0.15m	6	3	18
		WL-0.5m	6	3	18
		予備	1	3	3
	合計数			93	
ボード	WL+0.3m (ボード天端)	6	1	6	

レゾルシノール樹脂接着剤	キュービック	WL+0.1m	6	3	18
		WL±0m	6	3	18
		WL-0.075m	6	3	18
		WL-0.15m	6	3	18
		WL-0.5m	6	3	18
		予備	1	3	3
	合計数			93	
	ボード	WL+0.3m (ボード天端)	6	1	6

4.7 試験共通項目

4.7.1 供試体

供試体には以下の2種類の形状のものを用いる。

CLT に用いた接着剤は、水性高分子イソシアネート系接着剤、およびレゾルシノール樹脂接着剤の2種類とした。

(1) キュービック

150 mm×150 mm×150 mm、5層5プライ

(2) ボード

150 mm×500 mm×1,500 mm、5層5プライ

(3) 樹種

スギ

(4) 種別

Mx60

※キュービック GL-1.5mの紐付け: キュービックを地中1.5mから発見しやすくするために、PPバンドを巻き、上下交差部で緩めにホチキス留めした。

※PPバンド: 3色 (赤 (または白): 板目上面、青: 木口上面、黄: せん断用 (板目) 図4.7-1 は板目上面の例)

※GL-0.1m、GL-0.5m、GL-1.5 mの識別用紐付け

供試体設置の間違いを減らすために、平巻テープを地中埋め込み供試体に巻き付ける。配置時に上面がわかるように上面 (木口配置の場合は番号が横から読めるように配置) にテープを十文字に縛り、番号が見えるよう偏らせて縛る。

平巻テープ: 3色 (赤: 板目上面、青: 小口上面、黄: せん断用 (板目): 写真4.7-2)

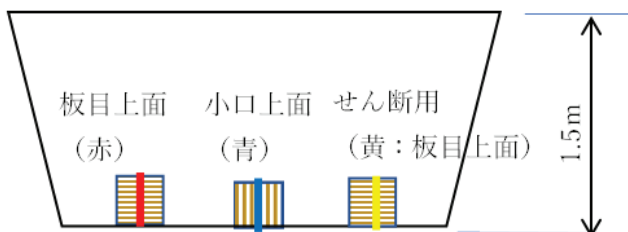


図4.7-1 キュービック GL -1.5 m紐付け配置例



写真4.7-1 キュービック GL -1.5 m紐付け配置例



写真 4.7-2 キュービック平巻テープ取付状況

4.7.2 基準試験計測項目

(1) 気乾状態のキュービック (8 体) について

- ・ 8 体のうち 3 体は飽和後にブロックを切り出す
- ・ 6 面の撮影 (フラットベッドイメージスキャナー (600 dpi 以上) での撮影
: 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撮影
- ・ 気乾質量 (未処理状態)
- ・ 気乾状態寸法 (縦、横、高さ)
- ・ 含水率測定 (携帯型木材水分計 (木材水分計 HM-520/ケツト科学研究所) による含水率)
- ・ 飽和質量 (質量による飽和度推定)
- ・ 飽和状態寸法 (縦、横、高さ)
- ・ キュービックの縦圧縮強さ (飽和状態) (ブロックを切り出すキュービックを除く 5 ケ)
- ・ キュービックの縦圧縮弾性係数 (飽和状態) (ブロックを切り出すキュービックを除く 5 ケ)
- ・ 全乾質量 (ブロックを切り出すキュービックを除く 5 ケ)
- ・ 含水率測定 (JIS Z 2101 「含水率の測定」による含水率) (ブロックを切り出すキュービックを除く 5 ケ)

※全乾状態: JIS Z 2101 「木材の試験方法」の「4 含水率の測定」に示される全乾状態まで乾燥された状態。

気乾状態: 一度乾燥させるなどした後、気乾状態での状態。

湿潤状態: 自然のままの含水状態、供試体を地盤から掘り出すなどした場合は、土などを水洗い後、タオルなどで十分表面の水を拭き取った状態。

飽和状態: 繊維飽和点以上の含水状態とし、誤差も考えられるのでここでは、含水率が 90% 以上と想定される状態とする。

(2) 飽和状態のキュービック 3 体から切り出したブロック (25 mm×25 mm×150 mm) 12 体 (キュービック 3 体×ブロック切り出し 4 か所) について

- ・ 接着面におけるせん断強さ (飽和状態)
- ・ 接着面におけるせん断弾性係数 (飽和状態)

4.7.3 試験前試験計測項目

(1) 試験前のキュービックについて

- ・ 6 面の写真 (カラーインデックスとスケールと供試体番号を同時撮影、供試体が面積の 6 割以上となるように撮影する)
- ・ 気乾質量
- ・ 気乾状態寸法 (縦、横、高さ)

(2) 試験前のボードについて

- ・ 6 面の写真 (カラーインデックスとスケールと供試体番号を同時撮影、供試体が面積の 6 割以上となるように、ただし長手方向は 500 mm 程度ごとに分割する)

4.7.4 試験後試験計測項目

(1) キュービック

(a) 所定の時間を経過したキュービック 3 体について

- ・ 取り出し直後の 6 面の撮影（フラットベッドイメージスキャナー（600 dpi 以上）での撮影
： 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撮影）
- ・ 水洗い後湿潤状態の 6 面の写真（前述同様の仕様、亀裂はマジックで印す）
- ・ 接着層の剥離（亀裂）長さ
- ・ 湿潤質量
- ・ 湿潤状態寸法（縦、横、高さ）
- ・ 含水率測定（携帯型木材水分計（木材水分計 HM - 520 / ケット科学研究所）による含水率）
- ・ 飽和質量（質量による飽和度推定）
- ・ 飽和状態寸法（縦、横、高さ）

(b) 飽和状態となったキュービックの内 2 体について

- ・ キュービックの縦圧縮強さ（飽和状態）
- ・ キュービックの縦圧縮弾性係数（飽和状態）
- ・ 全乾質量
- ・ 含水率測定（JIS Z 2101 「含水率の測定」による含水率）

(c) 飽和状態となったキュービック 1 体から切り出したブロック（25 mm×25 mm×150 mm）4 体（キュービック 1 体×ブロック切り出し 4 か所）について

- ・ 接着面におけるせん断強さ（飽和状態）
- ・ 接着面におけるせん断弾性係数（飽和状態）

(d) 求める事項

- ・ キュービック飽和質量変化率（ $= (\text{基準飽和質量} - \text{試験後飽和質量}) / \text{基準飽和質量}$ ）
- ・ 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（ $= (\text{基準せん断弾性係数} - \text{試験後せん断弾性係数}) / \text{基準せん断弾性係数}$ ）

(2) ボード（所定の時間を経過したボードについて）

- ・ 外観観察
- ・ 取り出し直後のボードの 6 面の写真（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撮影、供試体が面積の 6 割以上となるように、ただし長手方向は 0.50 m 程度ごとに分割する）
- ・ 水洗い後のボードの 6 面の写真（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撮影、供試体が面積の 6 割以上となるように、ただし長手方向は 0.50 m 程度ごとに分割する）
- ・ 接着層の剥離長さ

4.7.5 地盤調査

各地盤は、GL-5 m 程度までの地盤データ※を揃える。

- ・ボーリング柱状図（ N 値、土質分類）
- ・各層ごとの含水比、粒度組成、液塑性限界など

※既存の地盤調査データがない場合は、地盤調査を実施する。

4.7.6 試験期間中の計測

試験期間中は、百葉箱を設置し、以下を計測し試験環境を把握する。

気温・湿度、地下水位の測定間隔は、1 時間ごととした。

- ・気温と湿度（使用機器：温度・湿度データロガー TR-72 wb/（株）T&D 相当品）
- ・地下水位（地盤のみ、使用地下水計：S&DL mini Model 4900（5 m 計）/応用地質（株））
- ・天候と雨量と積雪量（観測方法：アメダスによるデータ）

4.8 基準試験

4.8.1 試験目的

地盤環境、淡水環境および海水環境の各基礎試験におけるキュービック供試体の時間経過後の試験結果と比較するための基準値を求めることを目的とする。

4.8.2 試験概要と数量

供試体の概要は 4.7.1 のキュービック供試体を用いた。水性高分子イソシアネート系接着剤を用いたキュービック供試体 8 体とレゾルシノール樹脂接着剤を用いたキュービック供試体 8 体の合計 16 体である。このうち各 5 体は縦圧縮供試体とし、残り各 3 体から接着性能を調べるためのブロックせん断供試体を各 4 体切り出した。

4.8.3 試験手順

試験は下記の手順により行う。

(1) キュービック供試体の 6 面の撮像

イメージスキャナにより、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する。

(2) 気乾状態の質量の計量および寸法の計測

電子上皿天秤により、気乾状態のキュービック供試体の質量を計量する。また、電子ノギスにより、気乾状態のキュービック供試体の寸法（縦・横・厚さ）を計測する。

(3) 水道水による飽和化および飽和状態の質量の計量

キュービック供試体を室温（10℃～25℃）の水中に浸せきし、0.088 MPa の減圧を 3 時間行って供試体内部の空気を抜き、解圧後 120 時間以上浸漬処理により内部の含水率が 90 % 程度以上（繊維飽和点を確実に超える）となることを目標に吸水させる。

十分に吸水が行われた後に電子上皿天秤により、飽和状態のキュービック供試体の質量を計量する。

(4) 縦圧縮試験

飽和状態のキュービック供試体について、最外層ラミナが加力方向に対して繊維方向になるよう定盤に設置し、100t 試験機により加力し、圧縮破壊により耐力が最大荷重の 80 % を下回るまで加力を行う。また定盤と加圧板間の変位量を変位変換器で取得した。

最大荷重から縦圧縮強さ、0.4 Pmax と 0.6 Pmax の時*の変位差から縦圧縮ヤング係数を算出する。

（※通常は 0.1 Pmax～0.4 Pmax を取ることが多いが飽和供試体のため初期の変形曲線が直線ではなく、比例区間が短いため）

また、高周波式水分計により試験時の表面含水率を計測する。

試験終了後に乾燥機を用いて供試体を全乾させ、全乾質量を計量し、供試体の含水率を算出する。

(5) ブロックせん断試験

飽和状態のキュービック供試体よりブロックせん断供試体を採材する。5層のCLTからなるキュービック供試体には接着層が4層存在するが、その全ての接着層を試験対象とし、各接着層から4体の供試体を採材する。ブロックせん断供試体のせん断を受ける接着面の寸法は25 mm×25 mmとし、構造用集成材の日本農林規格(JAS)に例示されている図4.8-1のような供試体を採材する。(積層方向について、全ての接着層についてのせん断試験については、集成材のJASのみ試験方法が記載されているため、構造用集成材のJASを参照する。)

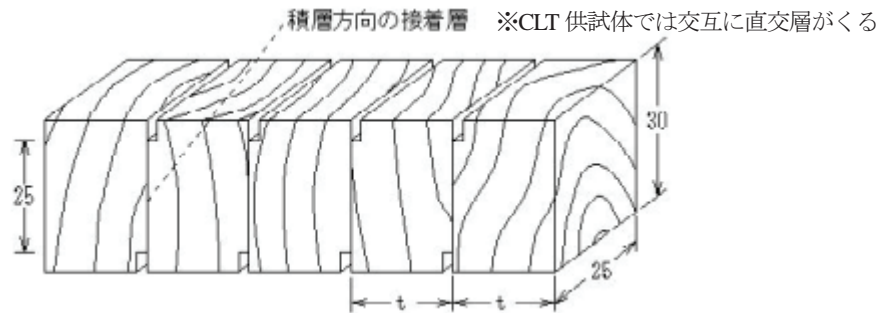


図 4.8-1 参考 集成材 JAS に記載されるブロックせん断供試体 (積層方向連続型)

試験片のせん断面と荷重軸が平行するように設計されたせん断装置を用い、荷重速度毎分約 9,800 N を標準として試験片を破断させ、次の式によりせん断強さおよび木部破断率を求める。

$$\text{せん断強さ (N/mm}^2\text{)} = \text{供試体が破断した時の荷重(N)}/\text{接着面積(mm}^2\text{)}$$

4.8.4 試験実施状況

(1) キュービック供試体の6面の撮像 (写真4.8-1)

キヤノン製複合プリンターMG6130 のイメージスキャナを用いてキュービック供試体の6面について撮像し



写真 4.8-1 キュービック供試体の撮影例 (左: 板目面、右: 強軸側木口面)

た。スキャナの解像度は 600 dpi、A4 サイズの型紙にカラーインデックスとスケールを記載して撮影した。

(2) 気乾状態の質量の計量および寸法の計測

電子上皿天秤により、気乾状態のキュービック供試体の質量を計量し、電子ノギスにより、気乾状態のキュービック供試体の寸法(縦・横・厚さ)を計測した。

(3) 水道水による飽和化および飽和状態の質量の計量

減圧処理を行った後に解圧し、キュービック供試体に錘を乗せて浸漬状態のまま6日間静置した。

水槽からキュービック供試体を取り出し、電子上皿天秤により、飽和状態のキュービック供試体の質量を計量するとともに、木材水分計(株式会社ケツト科学研究所製 HM-540)により表面含水率の計測を行った。

(4) 縦圧縮試験

試験は東京衡機製造所製木材実大強度試験機 WU 1000 を用いて実施した（図 4. 8-2）。加圧方向は、最外層ラミナの繊維方向が縦になるようにして行った。

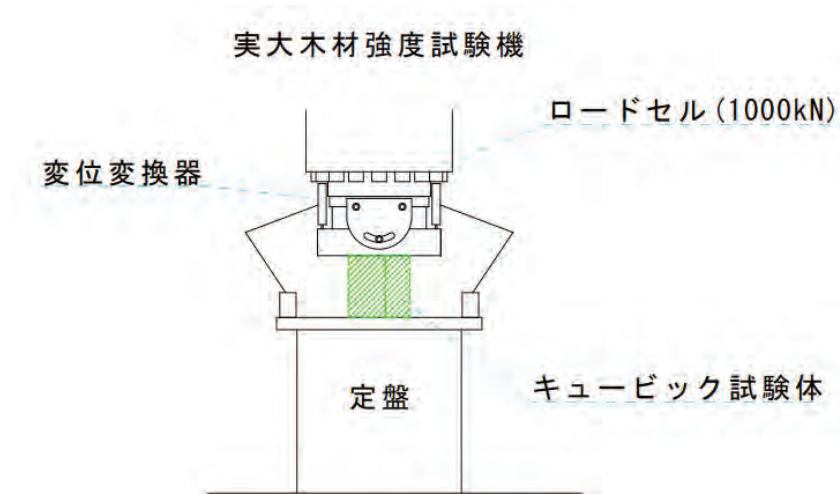


図 4. 8-2 縦圧縮試験

縦圧縮試験の試験状況を写真 4. 8-2 に示す。



写真 4. 8-2 代表的な破壊性状の例（レゾルシノール、169 番）

(5) ブロックせん断試験

試験は島津製作所製木材実大強度試験機 AG-X Plus を用い、椅子型ブロックせん断試験用治具を用いて行った（写真 1. 1-6 ブロックせん断試験を参照）。

4.8.5 今年度基準試験結果まとめ（頻度分布，平均値）

(1) 縦圧縮試験

縦圧縮試験結果を表 4.8-1 に示す。なお、水ビの 166 番は誤って最外層ラミナの繊維方向を荷重方向に対して直交する向きで試験を実施してしまったため、結果から除外した。

高含水率のため、一般的なスギ材に対して縦圧縮強さおよび縦圧縮ヤング係数は共に 6 割程度であった。また、水ビの方がレゾよりも縦圧縮強さで 1 割程度、縦圧縮ヤング係数で 3 割程度低い値を示した。

基準試験結果から、図 4.8-3、図 4.8-4 に接着剤別 縦圧縮強さ及び縦圧縮ヤング係数の分布を示す。

分布図から、水性高分子イソシアネートの縦圧縮強さは、レゾルシノールの 89 %、縦圧縮ヤング係数は同 65 % とともに下回ることが示された。

表 4.8-1 キュービック供試体の縦圧縮試験結果一覧

試験体番号	接着剤	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	面積 mm ²	含水率 %	P _{max} kN	δ _{max} mm	縦圧縮強さ N/mm ²	平均値	P ₆₀ kN	δ ₆₀ mm	P ₄₀ kN	δ ₄₀ mm	縦圧縮ヤング係数 kN/mm ²
166	水性高分子イソシアネート系接着剤	148.1	150.5	151.4	22778.1	128	235.5	7.6	10.3		141.3	6.7	94.2	6.5	1.85
167	水性高分子イソシアネート系接着剤	149.0	150.5	151.5	22793.2	130	279.7	5.2	12.3	11.5	167.8	4.0	111.9	3.8	1.99
168	水性高分子イソシアネート系接着剤	146.8	150.5	151.5	22800.8	131	272.9	7.6	12.0	11.5	163.7	6.2	109.2	6.0	1.33
169	水性高分子イソシアネート系接着剤	150.0	150.1	151.6	22747.6	131	248.7	4.4	10.9	11.5	149.2	2.4	99.5	2.2	1.60
170	水性高分子イソシアネート系接着剤	149.5	150.1	151.7	22770.2	132	251.0	4.8	11.0	11.5	150.6	3.3	100.4	3.1	1.42
平均値		148.8	150.3	151.6	22777.9	131.0	263.1	5.5	11.5		157.9	4.0	105.2	3.8	1.59
標準偏差		1.4	0.2	0.1	24.0	0.8	15.5	1.4	0.67		9.3	1.6	6.2	1.6	0.29
5%下限値		145.0	149.7	151.3	22713.5	128.8	221.4	1.6	9.8		132.9	-0.4	88.6	-0.6	0.80
試験体番号	接着剤	長さ mm	幅 mm	厚さ mm	面積 mm ²	含水率 %	P _{max} kN	δ _{max} mm	縦圧縮強さ N/mm ²	平均値	P ₆₀ kN	δ ₆₀ mm	P ₄₀ kN	δ ₄₀ mm	縦圧縮ヤング係数 kN/mm ²
166	レゾルシノール樹脂接着剤	150.2	148.3	150.7	22348.8	131	294.1	3.9	13.2	12.9	176.4	2.8	117.6	2.6	2.50
167	レゾルシノール樹脂接着剤	150.2	149.8	150.3	22514.9	132	271.3	5.5	12.0	12.9	162.8	4.4	108.5	4.3	2.47
168	レゾルシノール樹脂接着剤	150.2	150.7	150.4	22657.8	128	292.4	5.5	12.9	12.9	175.4	4.3	117.0	4.2	2.60
169	レゾルシノール樹脂接着剤	150.2	149.5	150.5	22499.8	124	301.3	3.9	13.4	12.9	180.8	2.9	120.5	2.8	2.40
170	レゾルシノール樹脂接着剤	150.2	149.0	150.6	22439.4	128	290.9	3.9	13.0	12.9	174.6	2.9	116.4	2.8	2.18
平均値		150.2	149.5	150.5	22492.1	128.6	290.0	4.6	12.9		174.0	3.5	116.0	3.3	2.43
標準偏差		0.0	0.9	0.2	113.3	3.1	11.2	0.9	0.51		6.7	0.8	4.5	0.8	0.16
5%下限値		150.2	147.3	150.1	22213.0	120.9	262.4	2.4	11.6		157.4	1.5	105.0	1.3	2.04

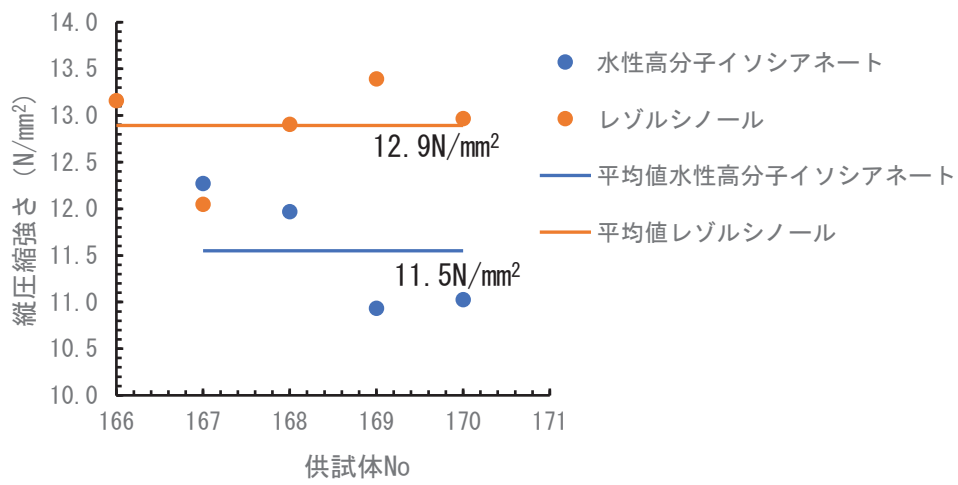


図 4.8-3 接着剤別 縦圧縮強さ

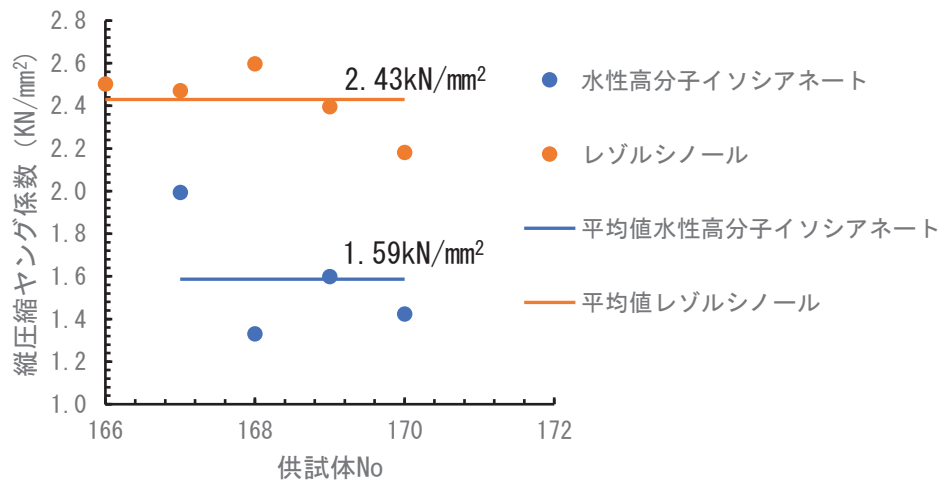


図 4.8-4 接着剤別 縦圧縮ヤング係数

(2) ブロックせん断試験（接着せん断強さ）

試験は、キュービック供試体 3 個からブロックせん断試験用の供試体を各 4 体切り出し、5 層 5 プライの接着層 4 面でのブロックせん断試験を実施し、接着せん断強さを計測した。試験結果から図 4.8-5、図 4.8-6 に接着剤別の接着せん断強さの度数分布を示す。

供試体数は、各接着剤について 48 (3 個×4 体×4 面) ケースであり、水性高分子イソシアネートは 48 体であるが、レゾルシノールは 1 ケースにおいて供試体が変形して試験機に設置できなかったため、総数は 47 体とした。

木部破断率（全接着面積 中における木材部分で壊れた面積）は、100 %であった。

また、一般的なスギ材に対してブロックせん断試験の接着せん断強さは同等であった。

なお、水性高分子イソシアネート、レゾルシノール接着剤に関わらずせん断強さのばらつきが大きかった。

ばらつきの要因として、CLT のラミナの繊維方向の違いによる影響及び高含水率のため、材が水で軟化しており、図 4.8-7 に示すように接着層へのせん断力よりも圧縮で潰される形の変形が生じやすく、モーメントが発生しやすいことによる影響が考えられる。

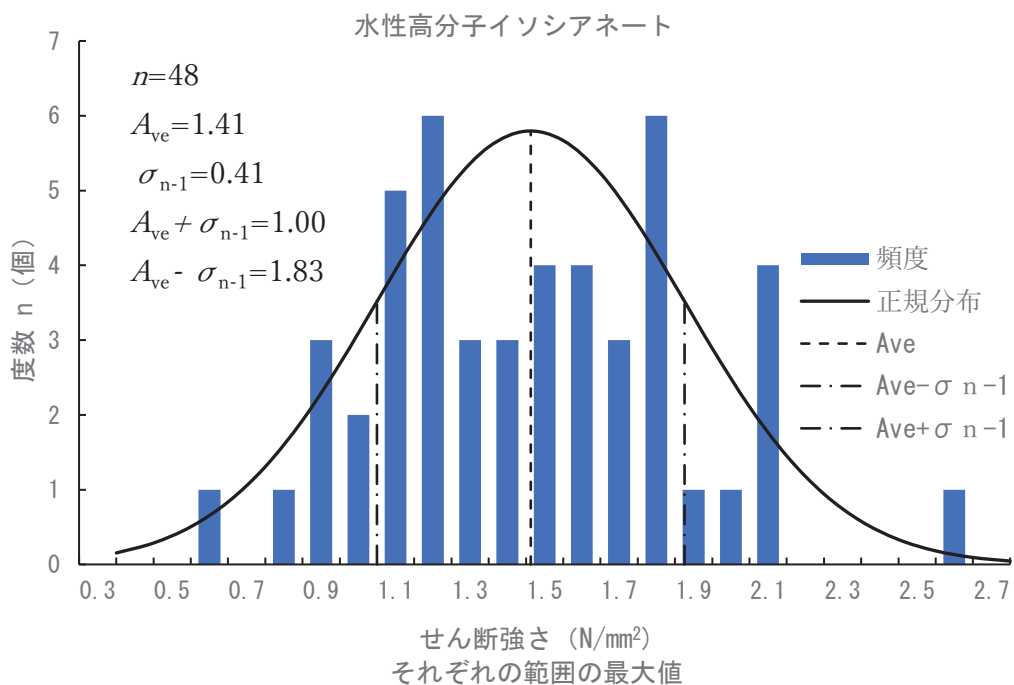


図 4.8-5 ブロックせん断試験結果（接着せん断強さ分布：水性高分子イソシアネート）

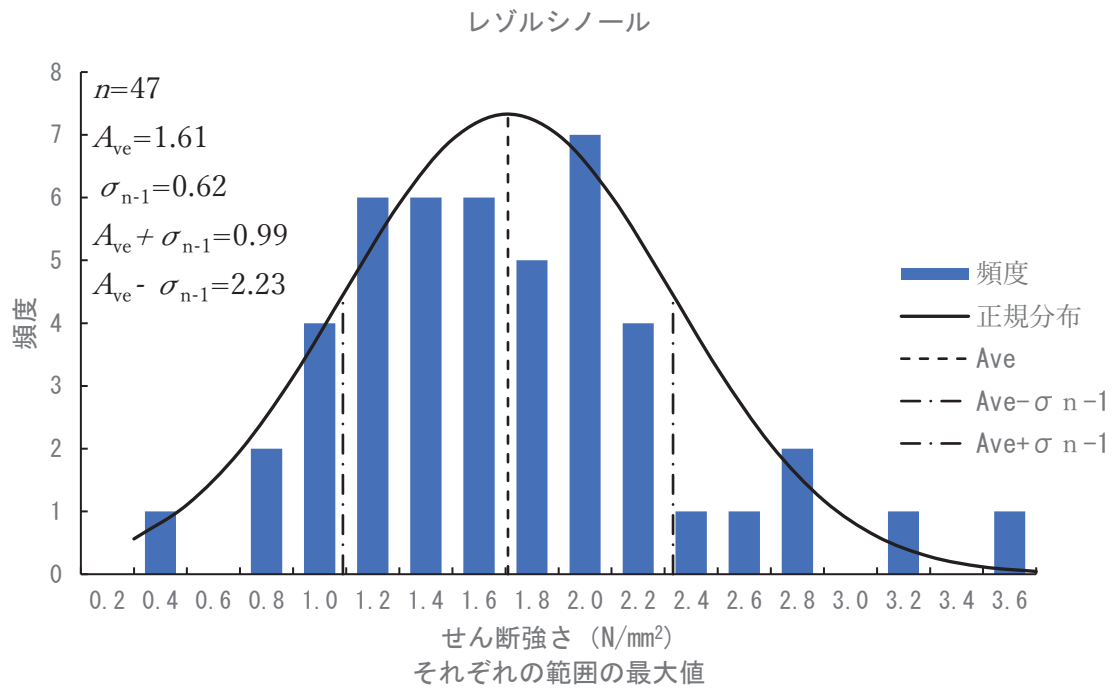


図 4.8-6 ブロックせん断試験結果（接着せん断強さ分布：レゾルシノール）

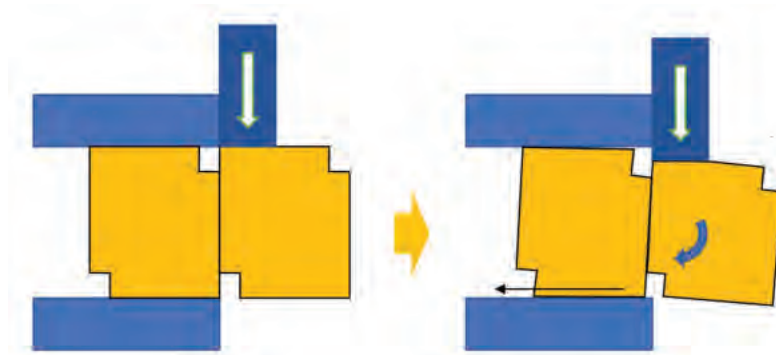


図 4.8-7 高含水率でのブロックせん断試験の変形状況

4.9 地盤環境

4.9.1 試験目的

3つの気候の地域（亜寒帯、温帯、亜熱帯）における地表、地盤中に設置した CLT の耐久性を経年観察・強度測定により求める。また、同じ気候・環境の気中に設置した CLT の耐久性についても同様の経年調査を行う。

4.9.2 試験概要と数量

供試体を気中（GL+0.5m）、地表（GL ±0m）、地中（GL-0.1m（土かぶり厚）、GL-0.5m（供試体底面深さ）、GL-1.5m（供試体底面深さ）に設置し、埋め立て後1年経過ごとに供試体掘り出しを行うことを1ケースとして、6ケースを設置した。

供試体の概要は4.7.1のキュービック供試体及びボード供試体を用いた。各試験地の供試体数量は、表4.9-1に示す。水性高分子イソシアネート系接着剤を用いたキュービック供試体と、レゾルシノール樹脂接着剤を用いたキュービック供試体各165体の合計330体（予備供試体除く）である。ボード供試体は水性高分子イソシアネート系接着剤を用いたボード供試体とレゾルシノール樹脂接着剤を用いたボード供試体各6体の合計12体である。

表 4.9-1 各試験地の数量

接着剤	供試体タイプ	設置位置	ケース数	1ケース当り 供試体数	供試体 数計
水性高分子イソシアネート系接着剤	キュービック	GL+0.5 m（有傾斜）	6	3	18
		GL+0.5 m（平置き/木口）	6	3	18
		GL+0.5 m（平置き/板目）	6	3	18
		GL±0 m（有傾斜）	6	3	18
		GL±0 m（平置き/木口）	6	3	18
		GL±0 m（平置き/板目）	6	3	18
		GL-0.1 m（平置き/板目）	6	2	12
		GL-0.1 m（平置き/木口）	6	1	6
		GL-0.5 m（平置き/板目）	6	2	12
		GL-0.5 m（平置き/木口）	6	1	6
		GL-1.5 m（地下水位近傍：平置き/板目）	6	2	12
		GL-1.5 m（地下水位近傍：平置き/木口）	6	1	6
		予備	1	3	3
	合計数				165
	ボード	GL+0.5 m（ボード天端）	6	1	6
レゾルシノール樹脂接着剤	キュービック	GL+0.5 m（有傾斜）	6	3	18
		GL+0.5 m（平置き/木口）	6	3	18
		GL+0.5 m（平置き/板目）	6	3	18
		GL±0 m（有傾斜）	6	3	18
		GL±0 m（平置き/木口）	6	3	18
		GL±0 m（平置き/板目）	6	3	18
		GL-0.1 m（平置き/板目）	6	2	12
		GL-0.1 m（平置き/木口）	6	1	6
		GL-0.5 m（平置き/板目）	6	2	12
		GL-0.5 m（平置き/木口）	6	1	6

		GL-1.5 m (地下水位近傍：平置き/板目)	6	2	12
		GL-1.5 m (地下水位近傍：平置き/木口)	6	1	6
		予備	1	3	3
		合計数			165
	ボード	GL+0.5 m (ボード天端)	6	1	6

※ ケースごとにキュービック供試体1個から4体のブロックせん断供試体を切り出す。

4.9.3 実施地点 (地点, 地盤概要)

試験実施地点は、4.5 実施場所②地盤環境に示す3地点 (・亜寒帯地域 (旭川市、北海道立総合研究機構 林産試験場)、・温帯地域 (三次市、林業技術センター)、・亜熱帯地域 (都城市、宮崎県木材利用技術センター) に供試体を設置した。

(1) 地盤概要

表 4.9-2 に各試験地の地盤概要を示す。

表 4.9-2 試験実施地点の地盤概要

試験実施地点	亜寒帯 (旭川市、北海道立総合研究機構 林産試験場)	温帯地域 (三次市、林業技術センター)	亜熱帯地域 (都城市、宮崎県木材利用技術センター)
地盤概要	<ul style="list-style-type: none"> ・盛土・旧盛土 GL-0~-0.75 m、 火山灰 GL-0.75~-1.80 m、 砂礫 GL-1.80~ ・坑内水位：GL-2.2 m (2021/10/7) ・観測井水位 GL-1.55 m (2021/11/22) <p>供試体埋設場所近隣を調査したが、当該の掘削では、火山灰の下は、粘性土がGL-1.0 m~出現した。(試験場建設前の水田で由来の粘土と推測された)</p> <p>降雨時は、表層まで水位が上がり、水の引きが遅かった。(凍上について)</p> <p>本試験地点の地質調査報告書 (図 4.9-2) から当該地の土質は、含水率が低いことが示されている。横田らの既存研究¹⁾によると旭川市の土の含水率は18.7%と低く、凍上が起きにくいとしており、本試験地では凍上は発生しにくいと考えられる。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・礫質粘土、砂質粘土 GL-0~1.5 m、 泥岩風化 GL-1.50~ ・坑内水位：地下水なし (2021/12/16~17) <p>供試体埋設場所近隣の既存調査結果では、地下水GL-1.4 m程度であったが、本試験での地質調査ではGL-6mで地下水が発見できなかった。本調査では、壤土0~0.5 m、軟岩 (真砂土) がGL-0.5 m~5 m出現した。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・火山灰土 GL-0~-0.79 m、ボラ GL-0.79~ ・坑内水位：GL-2.1 m (1999/2/22~6/10) ・観測井：GL-2.6 m (2021/12/27) <p>供試体埋設場所近隣の調査結果とほぼ水深GL-2.6mが観測井の自然水位となった。掘削では、表層は盛土 (GL0~-0.3 m) で、その下砂質粘土の下は、ボラ (降下軽石) がGL-0.3 m~出現した。</p>
柱状図	図 4.9-1、4.9-2	図 4.9-3	図 4.9-4

(3) 土の含水比試験

土の含水比試験は、土の基本的性質の内、自然状態の含水比を測定するために実施した。試験は、土粒子の密度試験と同じ試料を使用した。

試験結果は、表 4.6 のとおりである。

表 4.6 土の含水比試験結果

調査孔	試料番号	土層区分	採取深度 (m)	土の含水比 W_n (%)
B-No. 1	P-1-1	旧表土	0.65~0.95	37.8
	P-1-2	火山灰層	1.65~1.95	29.3
	P-1-3	砂礫層	2.65~2.95	11.5
	P-1-4		3.65~3.95	9.6
	P-1-5		4.65~4.95	11.2

土の含水比 (W_n) は、土の基本的性質の一つであり、代表的な土の含水比の測定例を表 4.7 に示す。

表 4.7 代表的な土の含水比

土の種類	沖積粘土	洪積粘土	砂質土	関東ローム	泥炭	まさ土	しらす
自然含水比 W (%)	50~80	30~60	10~30	80~150	110~1300	6~30	15~50
土粒子の密度 ρ_s (g/cm ³)	2.5~2.75	2.5~2.75	2.6~2.8	2.7~2.9	1.4~2.3	2.6~2.8	2.3~2.5
湿潤密度 ρ_w (g/cm ³)	1.5~1.8	1.6~2.0	1.6~2.0	1.2~1.5	0.8~1.3	1.5~2.0	1.0~1.7

(「土質試験 基本と手引き 第二回改訂版」地盤工学会, 平成 22 年 3 月より)

表 4.7 によると、今回測定された自然含水比 W_n (%) は、全体に低い値となっている。

図 4.9-2 令和 3 年 CLT 基礎試験地質調査報告書 (クローバーHDF (有)) 抜粋



図 4.9-3 三次市ボーリング柱状図



図 4.9-4 都城市ボーリング柱状図

参考文献

- 1) 横田聖哉、三嶋信雄、三浦清一：地下水位を考慮した実用的な凍上量の設計法、土木学会論文 No.574/VI-36、21-31、1997.9

4.9.4 試験手順

(1) 試験前試験 (キュービック・ボード)

(a) 測定手順

- ①全てのキュービック供試体の6面の画像を取得する。ボード供試体の写真を撮影する(写真4.9-1、写真4.9-2、写真4.9-5)。
- ②全てのキュービック・ボード供試体の気乾状態におけるキュービックの気乾質量を計測する(写真4.9-3)。
- ③全てのキュービック・ボード供試体の気乾状態におけるキュービックの寸法(縦、横、高さ)をそれぞれノギスなどで計測し、寸法と体積を求める(写真4.9-2)。

(b) 報告事項

- ・6面の画像取得または写真
- ・気乾質量
- ・気乾寸法(縦、横、高さ)
- ・気乾体積
- ・気乾密度



写真4.9-1 キュービック供試体画像



写真4.9-2 キュービック供試体画像



写真4.9-3 キュービック供試体質量測定



写真4.9-4 キュービック供試体寸法測定

番号	寸法(mm)			重量(g) 試験前
	厚み	幅(弱軸)	長さ(強軸)	
(例)	150.0	150.0	150.0	1350.0
182 CBm24	150.82	149.36	150.03	1298
183 CBm25	150.74	149.71	150.03	1280
184 CBm26	151.15	148.50	150.08	1254
185 CBm27	150.90	149.41	150.06	1210
186 CBm28	150.73	149.93	150.05	1287
187 CBm29	150.56	149.88	150.09	1373
188 CBm30	150.57	150.59	150.04	1390
189 CBm31	150.72	150.45	150.07	1455
190 CBm32	150.66	149.16	150.06	1438
191 CBm33	150.76	150.13	150.06	1420
192 CBm34	150.83	148.71	150.06	1305
193 CBm35	151.02	149.41	150.11	1373
194 CBm36	150.46	150.15	150.17	1472
195 CBm37	150.45	149.67	149.99	1418
196 CBm38	150.64	149.29	150.02	1417
197 CBi01	150.47	149.71	150.41	1389
198 CBi02	151.03	150.01	150.00	1391
199 CBi03	150.91	149.18	149.98	1410
200 CBi04	150.50	149.19	150.07	1427

図4.9-5 測定記録(広島県林業技術センター抜粋)



写真4.9-5 キュービック供試体イメージスキャナ画像取り込み状況

(2) 試験後試験

(a) キュービック

i) 測定手順

- ①対象年度のキュービックを取り出す。
- ②取り出したキュービックを観察し、6面の写真を撮影する。
- ③水洗いし、表面にコケや土が残らないように洗浄する。
- ④キュービック表面をタオルなどで十分拭き取り、湿潤質量を計測する。
- ⑤洗浄後の状況を観察し、6面の写真を撮影する。
- ⑥接着層の剥離（亀裂）長さを計測する。
- ⑦キュービックを水浸させ、浮き上がらなくなるまで放置して飽和化する。（真空容器に入れた状態で脱気水を流す装置があれば、その装置を用いた方がよい。真空容器に入れることで飽和化の時間を短縮できる。）
- ⑧飽和化後、キュービック表面をタオルなどで十分拭き取り、飽和質量を計測する。
- ⑨立方体を仮定し、キュービックの3軸方向をノギスなどでそれぞれ3箇所計測し、寸法と体積を求める。
- ⑩キュービックの圧縮試験を行う（図4.9-6）。この際、キュービックは両端面のラミナの繊維方向が圧縮方向となるように（ラミナの木口面が載荷版に接するように）設置する。試験手順などは、JIS Z 2101「木材の試験方法」縦圧縮試験を参考にす。なお、圧縮応力を求める時の断面積は、基準試験時の供試体の寸法（150 mm×150 mm）を用いる。

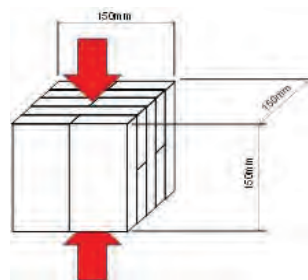


図 4.9-6 圧縮試験

- ⑪圧縮試験が済んだキュービックは、6時間における質量変化量が0.5%以下となるまで十分乾燥する。
- ⑫乾燥したキュービックの乾燥質量を計測する。
- ⑬試験が完了したキュービックは、標本として乾燥状態で保管する。
- ⑭飽和状態のブロックせん断試験用基準試験供試体（接着剤2種類×3個）から板目面に面積25 mm×25 mm、層方向の厚さ150 mmをキュービック供試体1個につき4本切出す（図4.9-7）。切出し位置は、板目面の対角線内側2か所（材端部から10mm内側）、中央部から10mm縦横にずれた位置の4か所とする。ただし板目面にラミナの境界があり、ブロックせん断用供試体の切出し位置がその境界に係る場合は、上記条件の近傍から採取・採取位置を記録する。

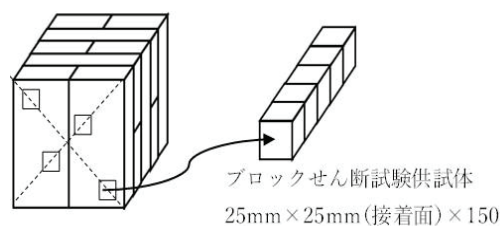


図 4.9-7 ブロックせん断試験供試体

- ⑮ブロックせん断試験を行う。試験方法は、JAS3079 直交集成板 6.4 ブロックせん断試験に準ずるものとする（写真 4.9-6）。また、せん断面は各層接着面に対して行うこととする。
（供試体の寸法は、図 4.9-7 ブロックせん断供試体に示す。）

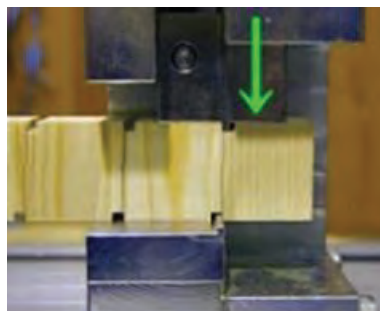


写真 4.9-6 ブロックせん断試験状況¹⁾

ii) 報告事項

①取り出し直後

- ・外観観察
- ・キュービック 6 面の写真

②水洗い後

- ・外観観察
- ・キュービック 6 面の写真
- ・キュービック湿潤質量
- ・接着層の剥離長さ

③気乾後

- ・気乾方法
- ・外観観察
- ・キュービック 6 面の写真
- ・接着層の剥離（亀裂）長さ
- ・寸法（気乾状態、（飽和状態）
- ・湿潤質量、（飽和質量、）気乾質量、乾燥質量
- ・縦圧縮強さ、縦圧縮弾性係数（キュービック 2 ケ）
- ・ブロックせん断強さ、ブロックせん断弾性係数（キュービック 1 ケから 4 ケのブロックを切り出す）
- ・湿潤質量変化率（ $= (\text{初期湿潤質量} - \text{試験後湿潤質量}) / \text{初期湿潤質量}$ ）
（飽和密度変化率（ $= (\text{基準飽和密度} - \text{試験後飽和密度}) / \text{基準飽和密度}$ ））
- ・気乾質量変化率（ $= (\text{基準気乾質量} - \text{試験後気乾質量}) / \text{基準気乾質量}$ ）
- ・乾燥質量変化率（ $= (\text{基準乾燥質量} - \text{試験後乾燥質量}) / \text{基準乾燥質量}$ ）
- ・縦圧縮強さ変化率（ $= (\text{基準縦圧縮強さ} - \text{試験後縦圧縮強さ}) / \text{基準縦圧縮強さ}$ ）
- ・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（ $= (\text{基準せん断弾性係数} - \text{試験後せん断弾性係数}) / \text{基準せん断弾性係数}$ ）

(b) ボード

i) 測定手順

- ①地盤中からボードを取り出す
- ②取り出したボードを観察し、6面の写真を撮影する。
- ③水洗いし、表面にコケや土が残らないようにきれいに洗浄する。
- ④洗浄後の状況を観察し、6面の写真を撮影する。
- ⑤接着層の剥離（亀裂）長さを計測する。
- ⑥気乾状態で乾燥し、標本とする。

ii) 報告事項

- ①取り出し直後
 - ・外観観察
 - ・キュービック6面の写真
- ②水洗い後
 - ・外観観察
 - ・キュービック6面の写真
 - ・キュービック湿潤質量
 - ・接着層の剥離長さ

(3) 供試体の設置方法

(a) 設置手順

- ①試験区画の雑草などを取り除き 12 m×14 m 程度の区画を整地する。
- ②事前に地盤調査を行い、地下水位を把握する。
- ③地下水位観測井（※1 観測井設置方法を参照）を地下水位以深（GL-3.5 m）又は深度 5 m まで設置し、地下水の常時観測を開始する。
- ④地下水位の常時観測は、応用地質 S&DL mini MODEL-4900（バロメータ同時使用）相当品を用いて定期的にデータを採取する。データの測定頻度は、1 時間ごと（9000 回/年程度）とする。
- ⑤各試験場に応じて、地下水位まで掘り込む。ただし、地下水位が GL-1.5 m 以深場合は、地下水面の設置深さを GL-0.5 m とする。地下水を想定した設置深度は GL-1.5 m とする。
- ⑥キュービック、ボードとも掘削に設置した供試体の埋め戻しは、200~300 mm ごとに転圧することとする。転圧方法は、底盤上に設置した供試体が見える状態で埋め戻しをして掘削壁面・供試体間を足踏み（3 往復程度）で転圧し、その後 100 mm 盛土後、足踏み（3 回程度）または 20 kg 程度のプレート（3 回程度）程度の転圧を行う。そのあとは、200~300 mm ごとにプレート（3 回程度）で転圧する。各試験地の転圧回数・機材を表 4.9-3 に示す。
- ⑦釜場排水などで地下水位を低下する。
- ⑧深い深度のものより順次キュービックを設置し、掘削した土で埋め戻す。各ケースは少なくとも 1 m の離間を取る。
- ⑨同様にボードを設置する。ボードは、地表部上面の木口面に雨水がかからないように、屋根を設ける。（屋根の仕様は図中に示す）
- ⑩土を埋め戻す際、空気の道筋などが生じないように十分締固めながら埋め戻す。
- ⑪対象区画は、防草シートを敷設することとする。定期的な草刈りの実施等、試験地の事情により変更は可能とする。
- ⑫区画内または近傍に温湿度計、および、降雪が予想される地点は近傍のアメダスデータの位置を事前確認しデータを採取する。温湿度計が近傍にない場合は、設置する。

表 4.9-3 各試験地の転圧回数・機材

旭川市（道総研 林産試験場）

掘削深度	締固め層厚	締固め機材	回数
GL-1.5m	GL-1.5～1.35m	電動ハンマーランマー	約3往復
	GL-1.35～0.8m	プレートコンパクター60kg	約3往復
	GL-0.8～0m	プレートコンパクター60kg	約5往復
GL-0.5m	GL-0.5～0.35m	足踏み締固め	約5往復
	GL-0.35～0m	プレートコンパクター60kg	約5往復
GL-0.1m (土かぶり厚)	GL-0.35～0.1m	足踏み締固め	約5往復
	GL-0.1～0m	プレートコンパクター60kg	約5往復

三次市（広島県林業技術センター）

掘削深度	締固め層厚	締固め機材	回数
GL-1.5m	GL-1.5～1.35m	足踏み	約5往復
	GL-1.35～1.2m	プレートコンパクター60kg	約3往復
	GL-1.2～0.9m	プレートコンパクター60kg	約3往復
	GL-0.9～0.6m	プレートコンパクター25kg	約3往復
	GL-0.6～0m	プレートコンパクター60kg	約5往復
GL-0.5m	GL-0.5～0.35m	足踏み締固め	約5往復
	GL-0.35～0.15m	プレートコンパクター25kg	約5往復
	GL-0.15～0m	プレートコンパクター60kg	約5往復
GL-0.1m (土かぶり厚)	GL-0.35～0.1m	足踏み締固め	約5往復
	GL-0.1～0m	プレートコンパクター60kg	約5往復

都城市（宮崎県木材利用技術センター）

掘削深度	締固め層厚	締固め機材	回数
GL-1.5m	GL-1.5～1.35m	足踏み	約3往復
	GL-1.35～0.8m	プレートコンパクター45kg	約3往復
	GL-0.8～0m	プレートコンパクター45kg バックホウ 0.22 m ³ (5.2 t)	約5往復 約3往復
GL-0.5m	GL-0.5～0.35m	足踏み締固め	約5往復
	GL-0.35～0.4m	プレートコンパクター45kg	約5往復
	GL-0.4～0m	プレートコンパクター45kg バックホウ 0.22 m ³ (5.2 t)	約5往復 約3往復
GL-0.1m (土かぶり厚)	GL-0.35～0.1m	足踏み締固め	約5往復
	GL-0.1～0m	プレートコンパクター45kg バックホウ 0.22 m ³ (5.2 t)	約5往復 約3往復

※1 観測井設置方法

地盤工学会基準 JGS 1312 観測井による砂質地盤の地下水位測定方法を参照し、地域の事情より変更可能とする。

観測井の構造(図4.9-9)は、内径50~80mm程度のストレーナ付きの塩ビ管を建て込み、周りをフィルター材(ネット巻(PE ネット#25)又は不織布等)で覆い、頂部に保護キャップを設置する。保護キャップは雨水侵入防止ができ、通気性のあるものとする。

地下水位常時観測の設置(例)

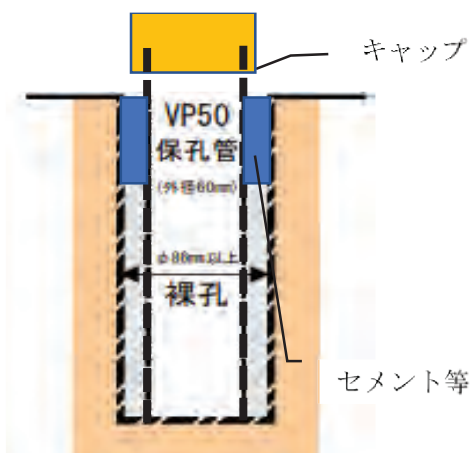


図4.9-9 観測井設置概要

※2 地下水位計測システム(MODEL-4900 S&DL mini)設置概要(図4.9-10)

MODEL-4900 S&DL mini の設置方法は、ワイヤーによる吊下げ方式である。データの回収には、MODEL-4900 S&DL mini を測定孔より引き上げ、地上にてクレードルを接続、データ転送する。

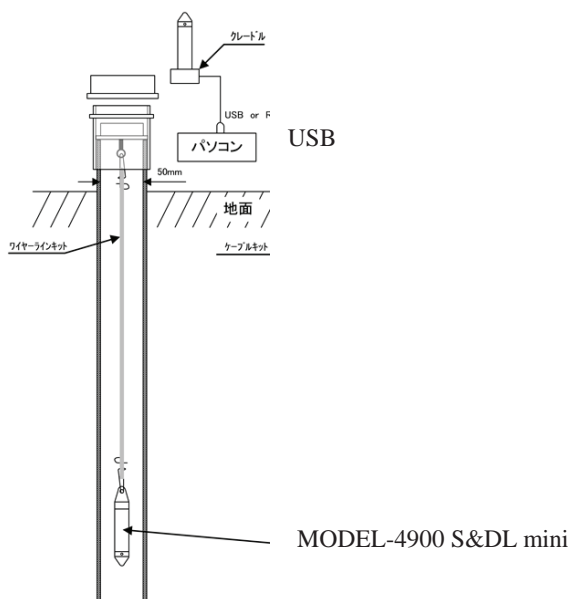


図4.9-10 観測井設置概要

(b) 標準的な試験配置図

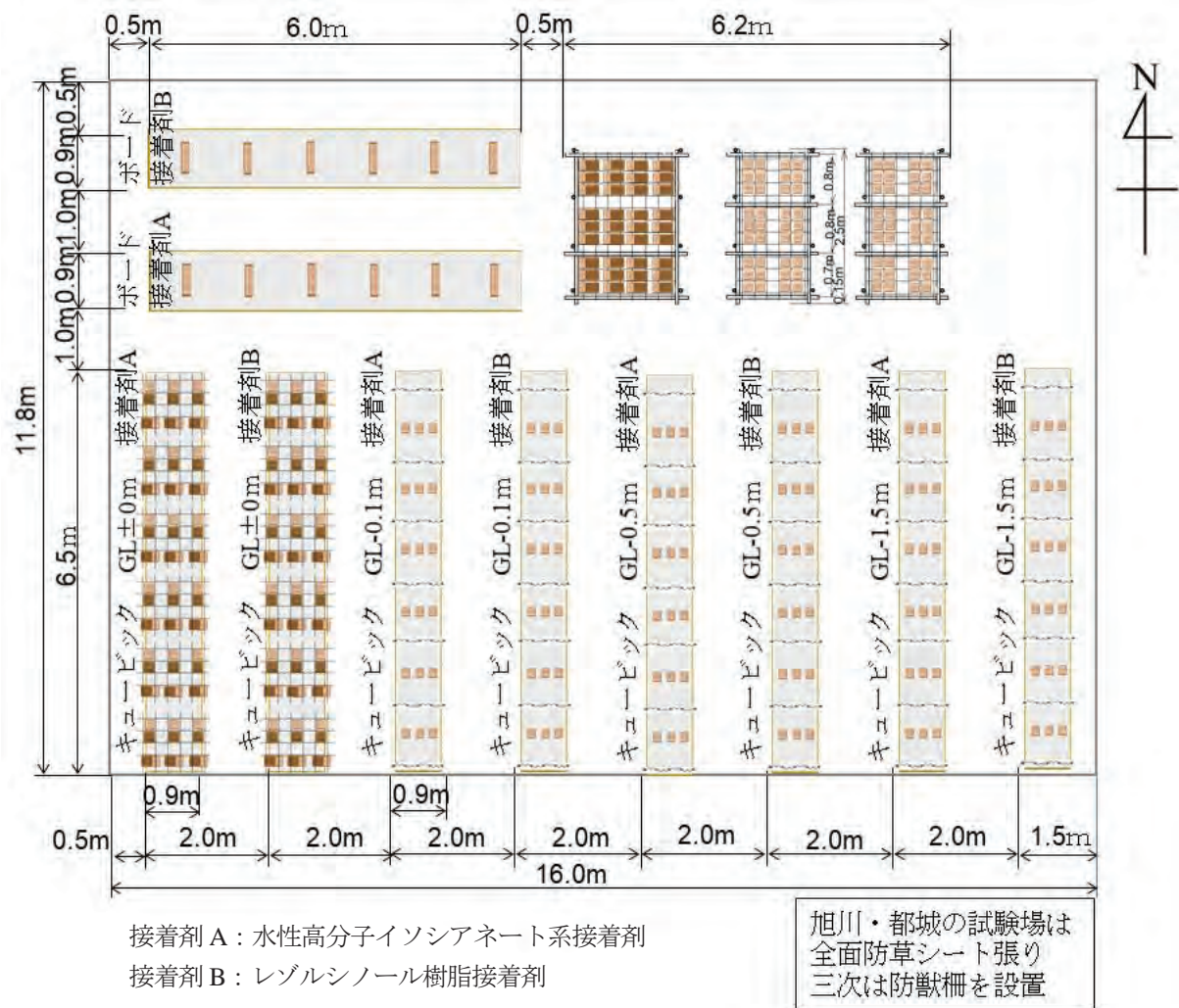
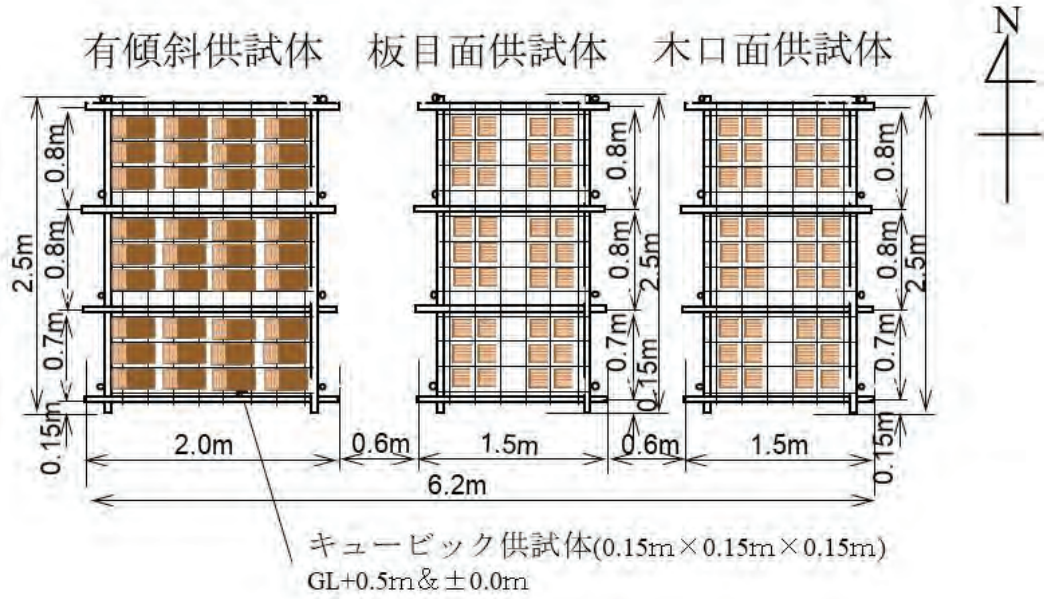
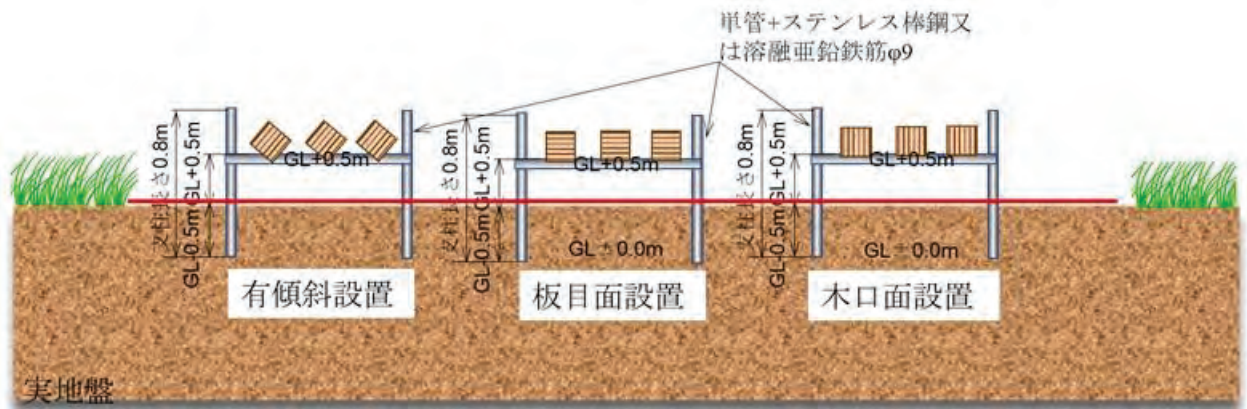


図 4. 9-11 供試体全体平面配置



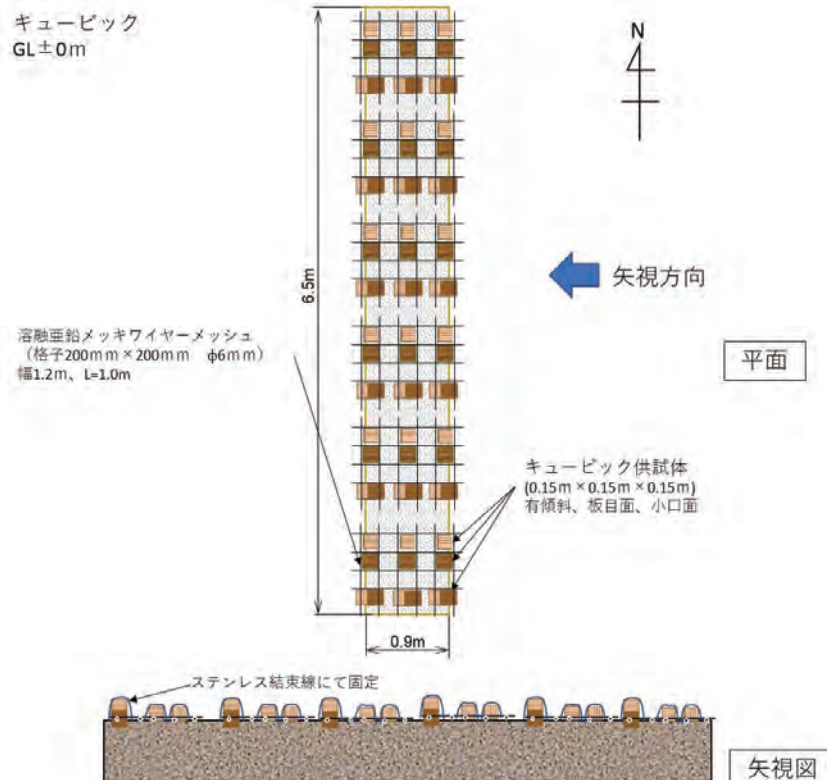
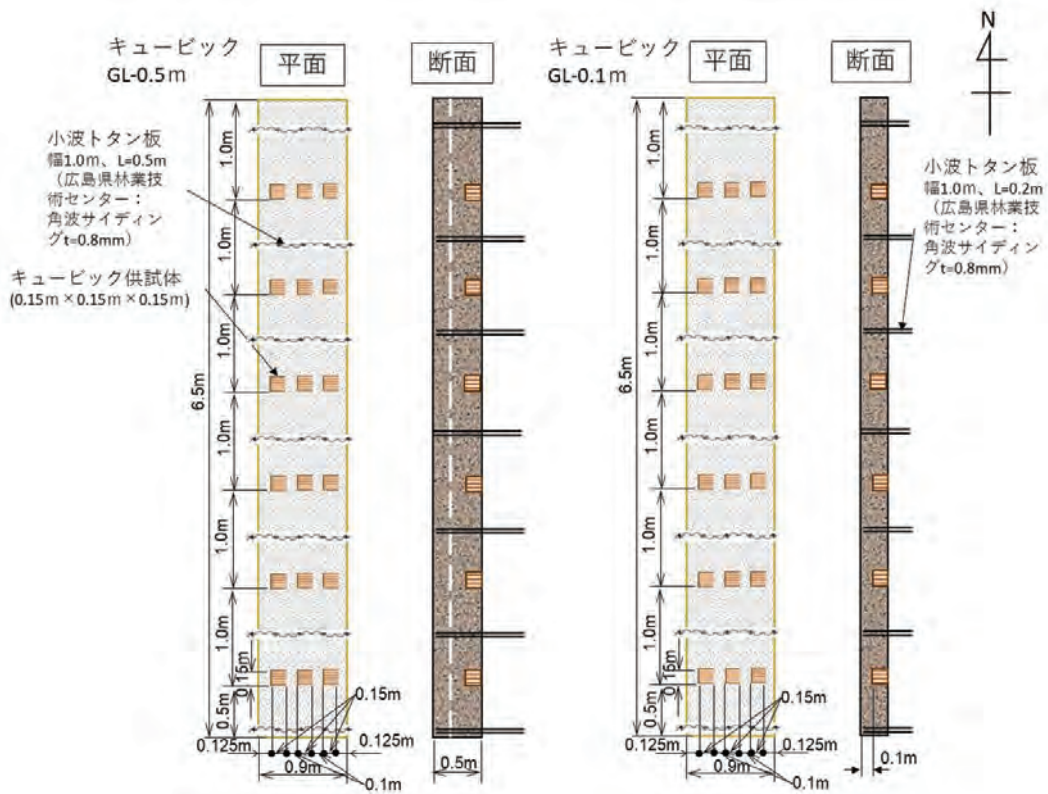
(平面配置)



(断面配置)

図 4.9-12 キュービック地上 50 cm 設置概念図

(GL-0.5 m・GL-0.1 m 配置)



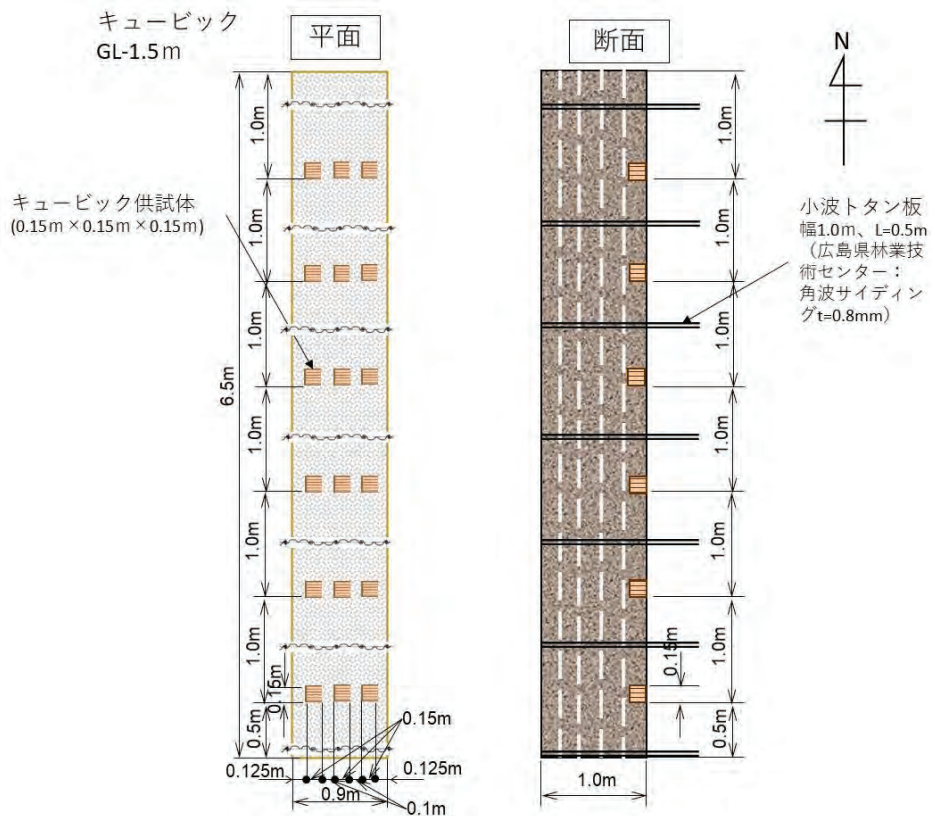


図 4.9-15 キュービック供試体地表 (GL-1.5m) 設置概念図

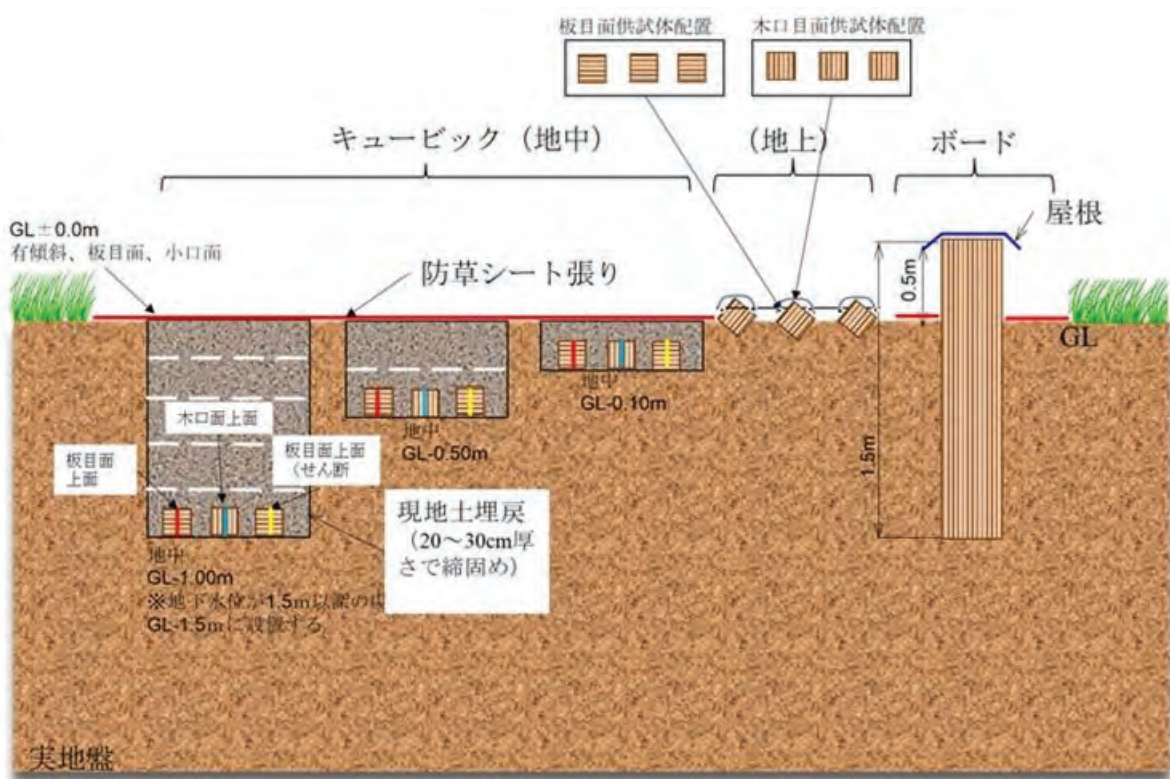


図 4.9-16 地表・地中・ボード設置配置横断面概念図

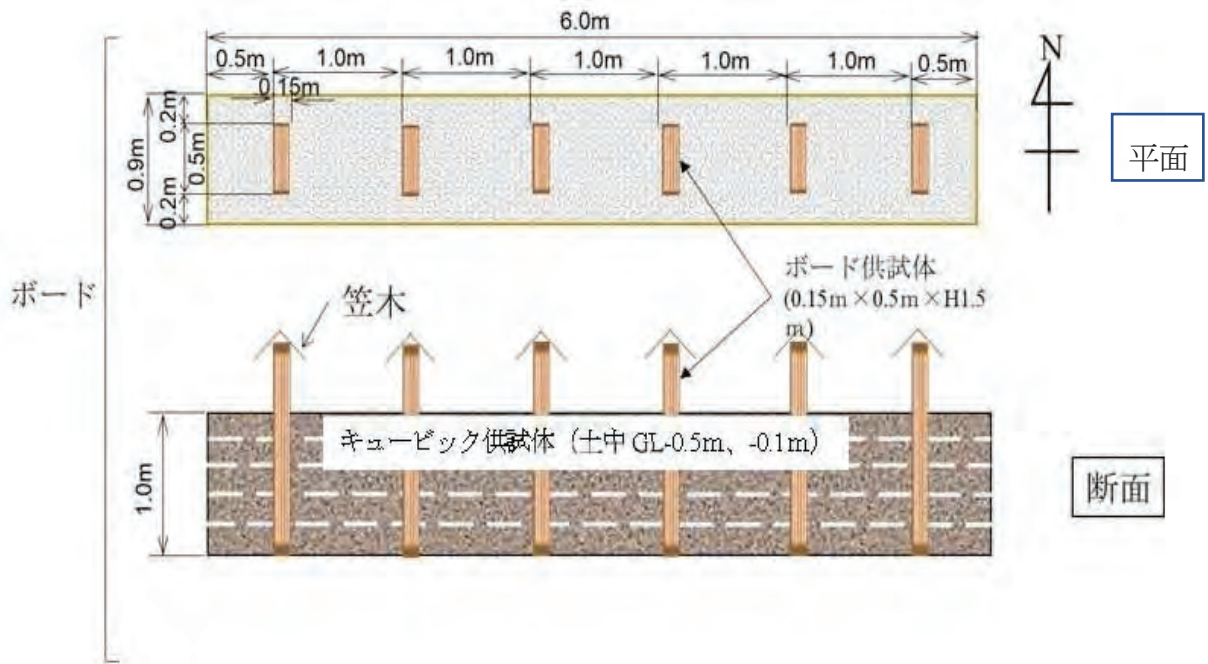


図 4.9-17 ボード供試体設置概念図

※ボード屋根仕様

ボードの屋根は、図のような屋根を取り付けた。

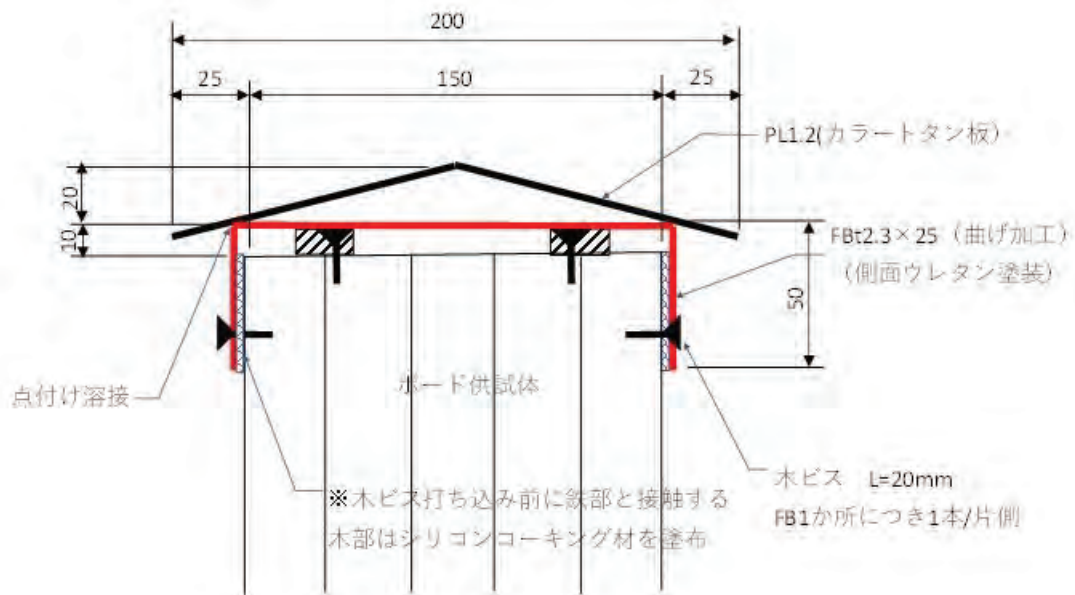


図 4.9-18 ボード供試体屋根設置概念図

参考文献：

- 1) 銘建工業株：ブロックせん断試験説明資料

4.9.5 試験実施状況（配置，設置状況，模式図と写真）

(1) 旭川市

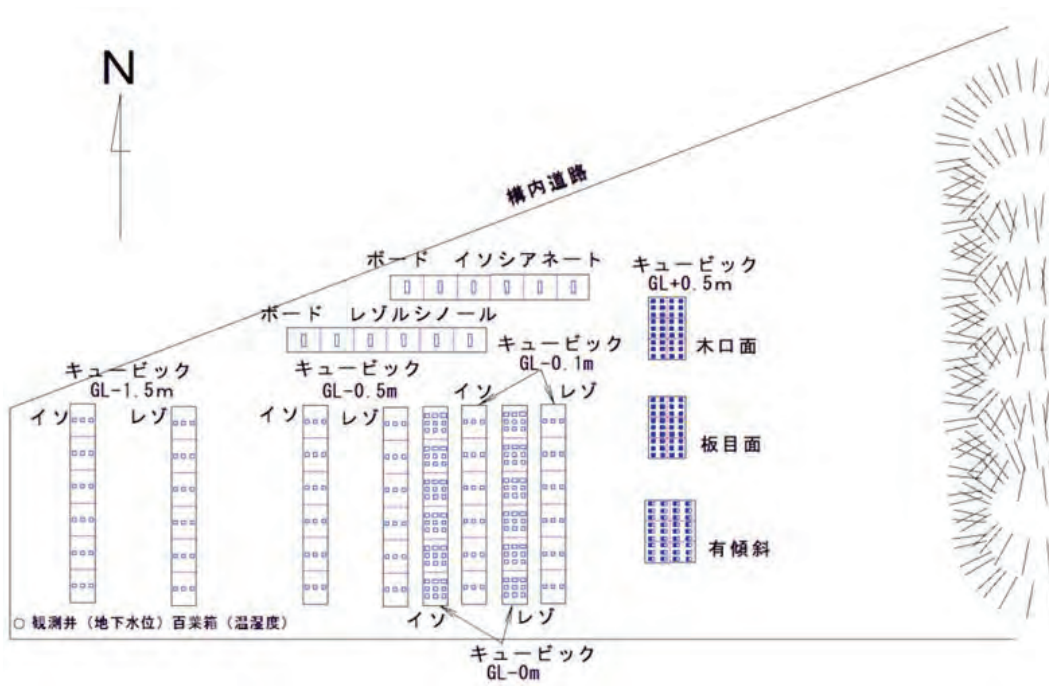


図 4.9-19 旭川市供試体配置図

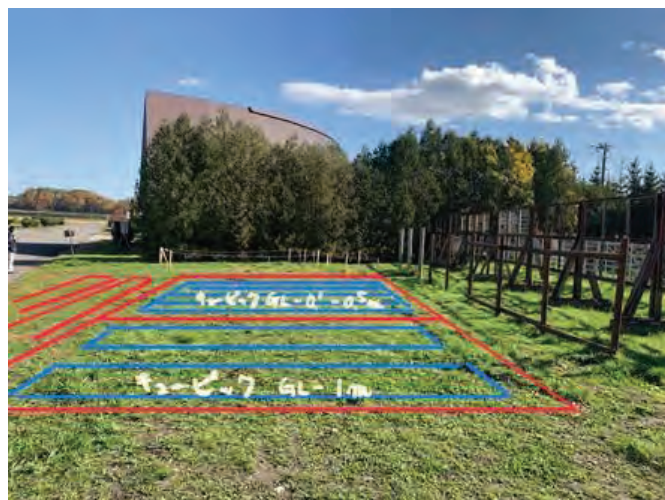


写真 4.9-7 旭川市試験地点



写真 4.9-8 ボード供試体設置（地表～0.5 m：盛土、0.5～1.0 m）



写真 4.9-9 キュービック供試体 GL-0.1 m (被り厚)



写真 4.9-10 キュービック供試体 GL-0.5 m (キュービック供試体底面)



写真 4.9-11 キュービック供試体 GL-1.5 m (キュービック供試体底面)



写真 4.9-12 キュービック供試体 GL+0.5 m (キュービック供試体底面)



写真 4.9-13 旭川市供試体配置全景



写真 4.9-14 ボード供試体屋根設置


表 4.9-4 供試体番号配置 (旭川市)

試験体配置 GL+0.5m

有傾斜

イソ レゾ イソ レゾ

2年目	12	12	3	3	1年目
	15	15	6	6	
	18	18	9	9	
4年目	30	30	21	21	3年目
	33	33	24	24	
	36	36	27	27	
6年目	48	48	39	39	5年目
	51	51	42	42	
	54	54	45	45	



板目

イソ レゾ イソ レゾ

2年目	11	11	2	2	1年目
	14	14	5	5	
	17	17	8	8	
4年目	29	29	20	20	3年目
	32	32	23	23	
	35	35	26	26	
6年目	47	47	38	38	5年目
	50	50	41	41	
	53	53	44	44	

木口

イソ レゾ イソ レゾ

2年目	10	10	1	1	1年目
	13	13	4	4	
	16	16	7	7	
4年目	28	28	19	19	3年目
	31	31	22	22	
	34	34	25	25	
6年目	46	46	37	37	5年目
	49	49	40	40	
	52	52	43	43	


試験体配置 GL-0m

イソシアネート

1年目	63	60	57	62	59	56	61	58	55
2年目	76	59	66	71	68	65	70	67	64
3年目	81	78	75	80	77	74	79	76	73
4年目	90	87	84	89	86	83	88	85	82
5年目	99	96	93	98	95	92	97	94	91
6年目	108	105	102	107	104	101	106	103	100

レゾルシノール

木口	63	60	57	62	59	56	61	58	55
板目	76	59	66	71	68	65	70	67	64
有傾斜	81	78	75	80	77	74	79	76	73
木口	90	87	84	89	86	83	88	85	82
板目	99	96	93	98	95	92	97	94	91
有傾斜	108	105	102	107	104	101	106	103	100




試験体配置 GL-0.1m

イソシアネート

1年目	115	112	109
2年目	124	121	108
3年目	133	130	127
4年目	142	139	136
5年目	151	148	145
6年目	160	157	154

レゾルシノール

木口	115	112	109
板目	124	121	108
有傾斜	133	130	127
木口	142	139	136
板目	151	148	145
有傾斜	160	157	154




試験体配置 GL-0.5m

イソシアネート

1年目	116	113	110
2年目	125	122	119
3年目	134	131	128
4年目	143	140	137
5年目	152	149	146
6年目	161	158	155

レゾルシノール

木口	116	113	110
板目	125	122	119
有傾斜	134	131	128
木口	143	140	137
板目	152	149	146
有傾斜	161	158	155



試験体配置 GL-1.5m

イソシアネート

1年目	117	114	111
2年目	126	123	120
3年目	135	132	129
4年目	144	141	138
5年目	153	150	147
6年目	162	159	156

せん断 木口 板目
板目

レゾルシノール

1年目	117	114	111
2年目	126	123	120
3年目	135	132	129
4年目	144	141	138
5年目	153	150	147
6年目	162	159	156

せん断 木口 板目
板目



試験体配置

ボード

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目
イソシアネート	□ 176	□ 177	□ 178	□ 179	□ 180	□ 181
レゾルシノール	□ 176	□ 177	□ 178	□ 179	□ 180	□ 181



(2) 三次市



写真 4.9-15 三次市試験地点



図 4.9-20 三次市試験地点供試体配置図



写真 4.9-16 キュービック供試体 GL-0.1m (かぶり厚)



写真 4.9-17 キュービック供試体 GL-0.5m (キュービック供試体底面)



写真 4.9-18 キュービック供試体 GL-1.5m (キュービック供試体底面)



写真 4.9-19 ボード供試体



写真 4.9-20 キュービック供試体 GL±0m

写真 4.9-21 キュービック供試体 GL+0.5m

試験体配置 GL-1.5m

レゾルシノール

6年目	337	340	343
5年目	328	331	334
4年目	319	322	325
3年目	310	313	316
2年目	301	304	307
1年目	292	295	298

板目 木口 せん断
板目

イソシアネート

6年目	337	340	343
5年目	328	331	334
4年目	319	322	325
3年目	310	313	316
2年目	301	304	307
1年目	292	295	298

板目 木口 せん断
板目



試験体配置

ボード

	6年目	5年目	4年目	3年目	2年目	1年目
レゾルシノール	□ 352	□ 351	□ 350	□ 349	□ 348	□ 347
イソシアネート	□ 352	□ 351	□ 350	□ 349	□ 348	□ 347



(3) 都城市

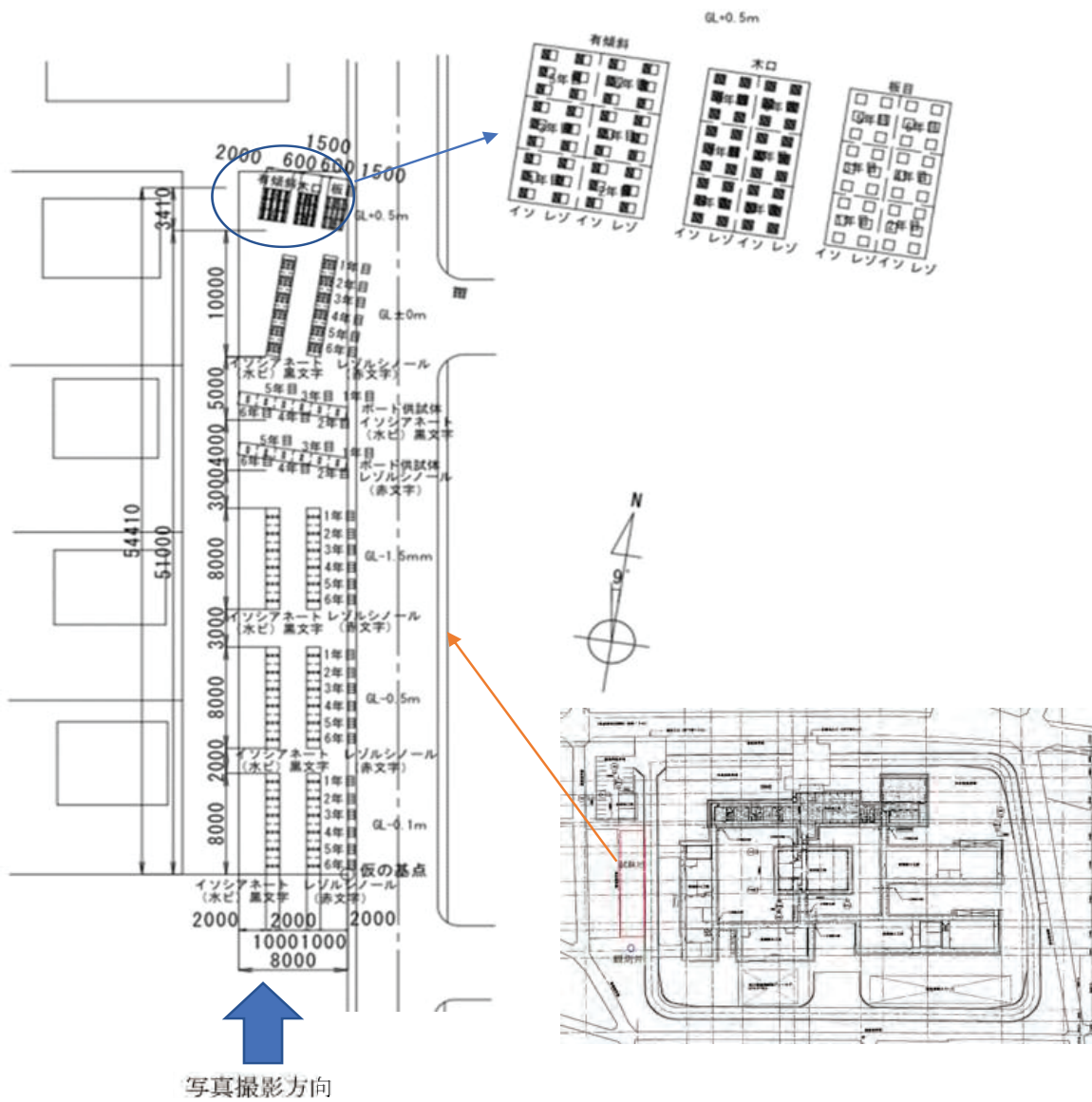


図 4.9-21 都城市試験地点供試体配置図



写真 4.9-22 都城市試験地点



写真 4. 9-23 キュービック供試体 GL-0.1m (かぶり厚)



写真 4. 9-24 キュービック供試体 GL-0.5m (キュービック底面)



写真 4. 9-25 キュービック供試体 GL-1.5m (キュービック供試体底面)



写真 4. 9-26 ボード供試体

写真 4. 9-27 キュービック供試体 GL±0m



写真 4. 9-28 キュービック供試体 GL+0.5m

写真 4. 9-29 観測井

写真 4. 9-30 百葉箱

表 4.9-6 供試体番号配置 (都城市)

試験体配置 GL+0.5m

有傾斜


イソ レゾ イソ レゾ

364	364	355	355
367	367	358	358
370	370	361	361
382	382	373	373
385	385	376	376
388	388	379	379
400	400	391	391
403	403	394	394
406	406	397	397

2年目 1年目

4年目 3年目

6年目 5年目



板目

イソ レゾ イソ レゾ

363	363	354	354
366	366	357	357
369	369	360	360
381	381	372	372
384	384	375	375
387	387	378	378
399	399	390	390
402	402	393	393
405	405	396	396

2年目 1年目

4年目 3年目

6年目 5年目

木口

イソ レゾ イソ レゾ

362	362	353	353
365	365	356	356
368	368	359	359
380	380	371	371
383	383	374	374
386	386	377	377
398	398	389	389
401	401	392	392
404	404	395	395

2年目 1年目

4年目 3年目

6年目 5年目

試験体配置 GL-0m

イソシアネート

415	412	409
414	411	408
413	410	407
424	421	418
423	420	417
422	419	416
433	430	427
432	429	426
431	428	425
442	439	436
441	438	435
440	437	434
451	448	445
450	447	444
449	446	443
460	457	454
459	456	453
458	455	452

1年目

2年目

3年目


4年目

5年目

6年目

レゾルシノール

415	412	409	木口
414	411	408	板目
413	410	407	有傾斜
424	421	418	木口
423	420	417	板目
422	419	416	有傾斜
433	430	427	木口
432	429	426	板目
431	428	425	有傾斜
442	439	436	木口
441	438	435	板目
440	437	434	有傾斜
451	448	445	木口
450	447	444	板目
449	446	443	有傾斜
460	457	454	木口
459	456	453	板目
458	455	452	有傾斜



試験体配置 GL-0.1m

イソシアネート

467	464	461
476	473	470
485	482	479
494	491	488
503	500	497
512	509	506

1年目

2年目

3年目

4年目

5年目


6年目

レゾルシノール

467	464	461
476	473	470
485	482	479
494	491	488
503	500	497
512	509	506

せん断 木口 板目

せん断 木口 板目



試験体配置 GL-0.5m

イソシアネート

468	465	462
477	474	471
486	483	480
495	492	489
504	501	498
513	510	507

1年目

2年目

3年目

4年目

5年目


6年目

レゾルシノール

468	465	462
477	474	471
486	483	480
495	492	489
504	501	498
513	510	507

せん断 木口 板目

せん断 木口 板目



試験体配置 GL-1.5m

	イソシアネート			レゾルシノール		
1年目	469	466	463	469	466	463
2年目	478	475	472	478	475	472
3年目	487	484	481	487	484	481
4年目	496	493	490	496	493	490
5年目	505	502	499	505	502	499
6年目	514	511	508	514	511	508
	せん断	木口	板目	せん断	木口	板目
	板目			板目		



試験体配置 ボード

	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	6年目
レゾルシノール	□ 518	□ 519	□ 520	□ 521	□ 522	□ 523
イソシアネート	□ 518	□ 519	□ 520	□ 521	□ 522	□ 523



4.9.6 今年度地盤環境試験結果まとめ

(1)旭川市（初期値，頻度分布，平均値，温度・湿度観測結果）

図 4.9-22、図 4.9-23、図 4.9-24 にキュービック供試体、ボード供試体の初期値寸法・質量測定結果から求めたキュービック供試体・ボード供試体の気乾密度分布を示す。

キュービック供試体、ボード供試体とも気乾密度は、水性高分子イソシアネートの供試体が、レゾルシノールの供試体より小さい結果となった。

図 4.9-25 に気温・湿度、図 4.9-26 に観測井の水位・水温を示す。水位の値がマイナスとなっており、観測井の水位センサーが測定期間の一部で地下水面上になったことが考えられ、2022年1月13日に水位センサーをGL-3.7mに設置した。水位変化は、当初GL-1.55m（11/22）から最大0.25m低下し、2022/1/10から水位が上昇している。

図 4.9-27 にアメダス降雨量・積雪量、図 4.9-28 に気象庁天候を示す。

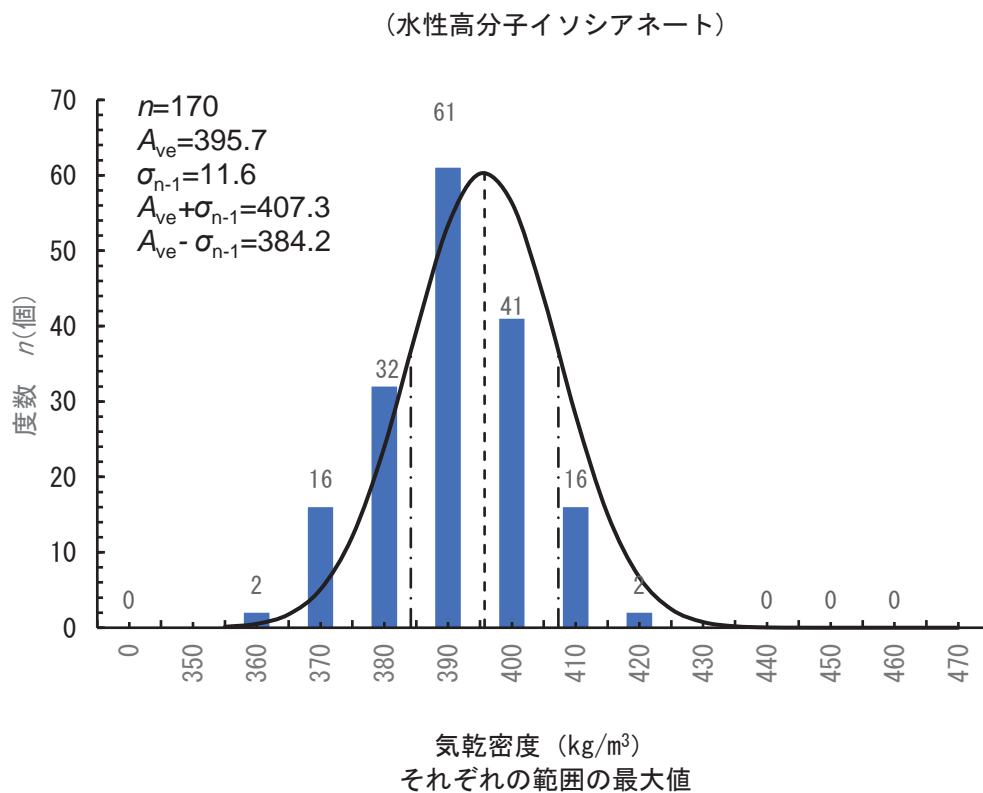


図 4.9-22 キュービック供試体 気乾密度分布（旭川市）

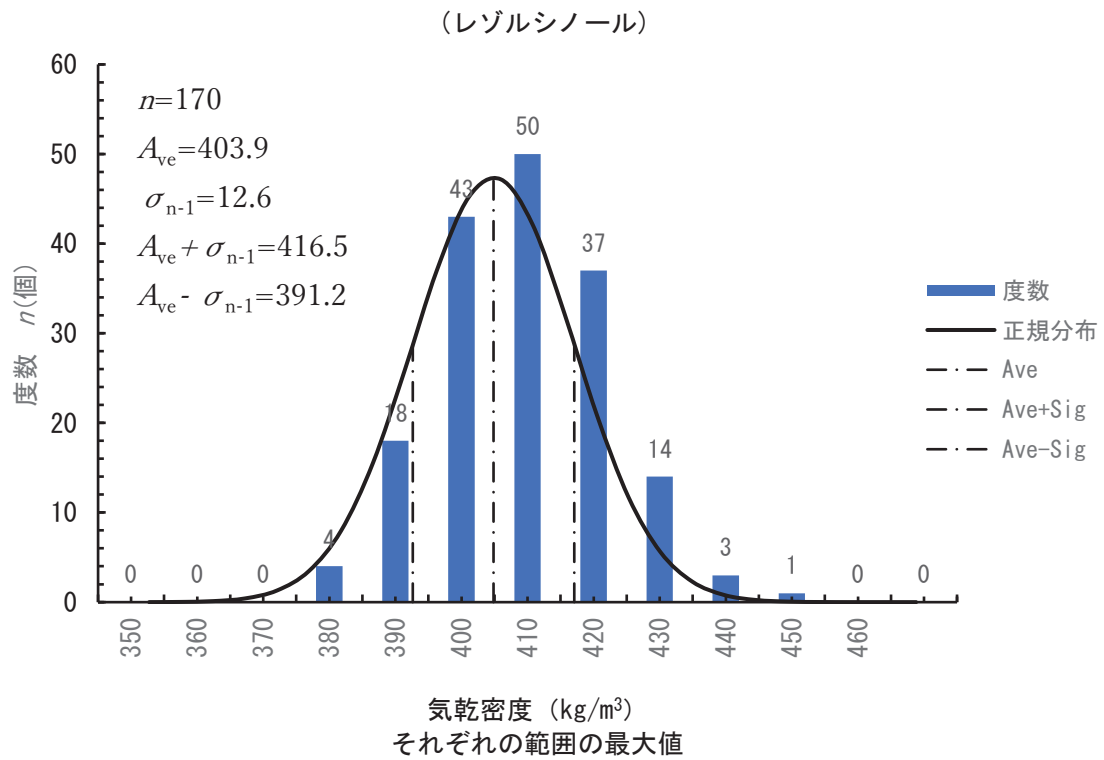


図 4.9-23 キュービック供試体 気乾密度分布 (旭川市)

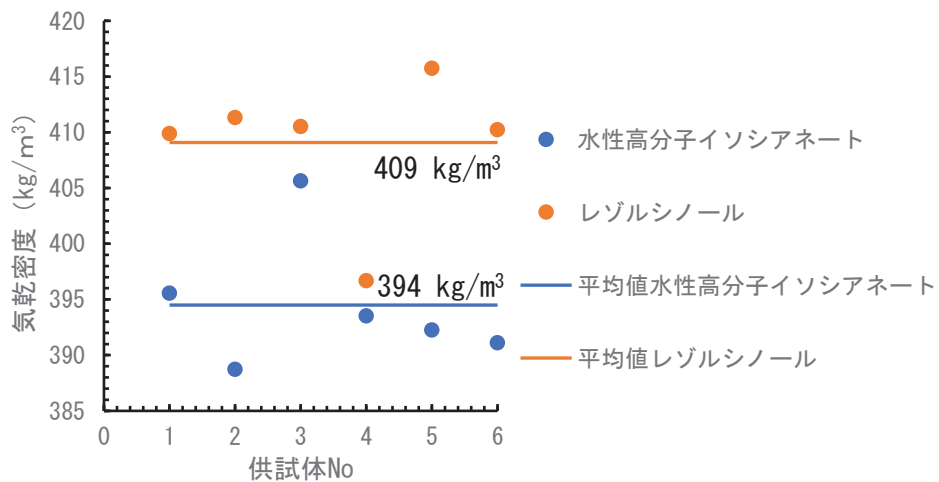


図 4.9-24 ボード供試体 気乾密度分布 (旭川市)

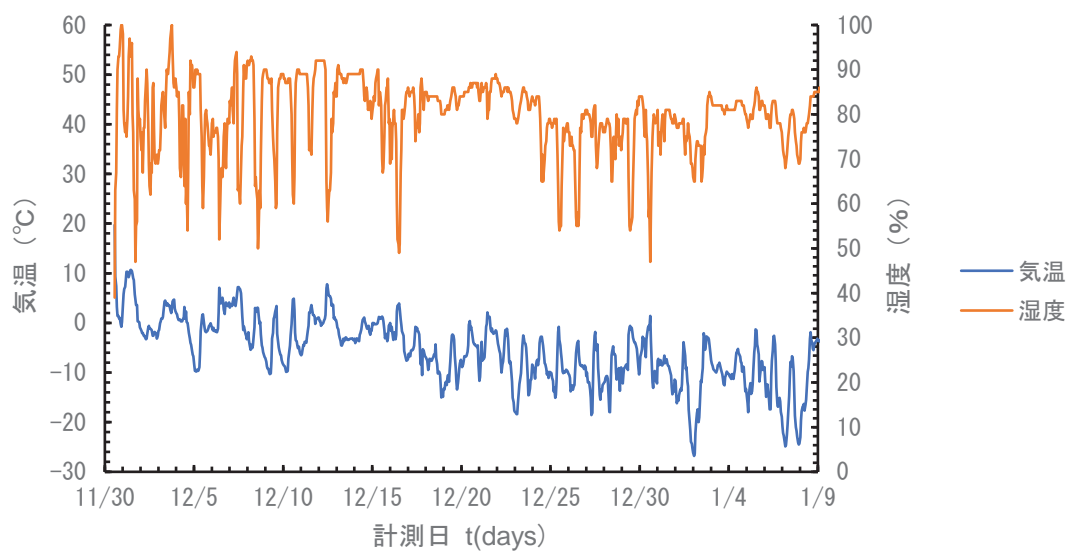


図 4.9-25 気温・湿度（旭川市）令和3年11月—令和4年1月

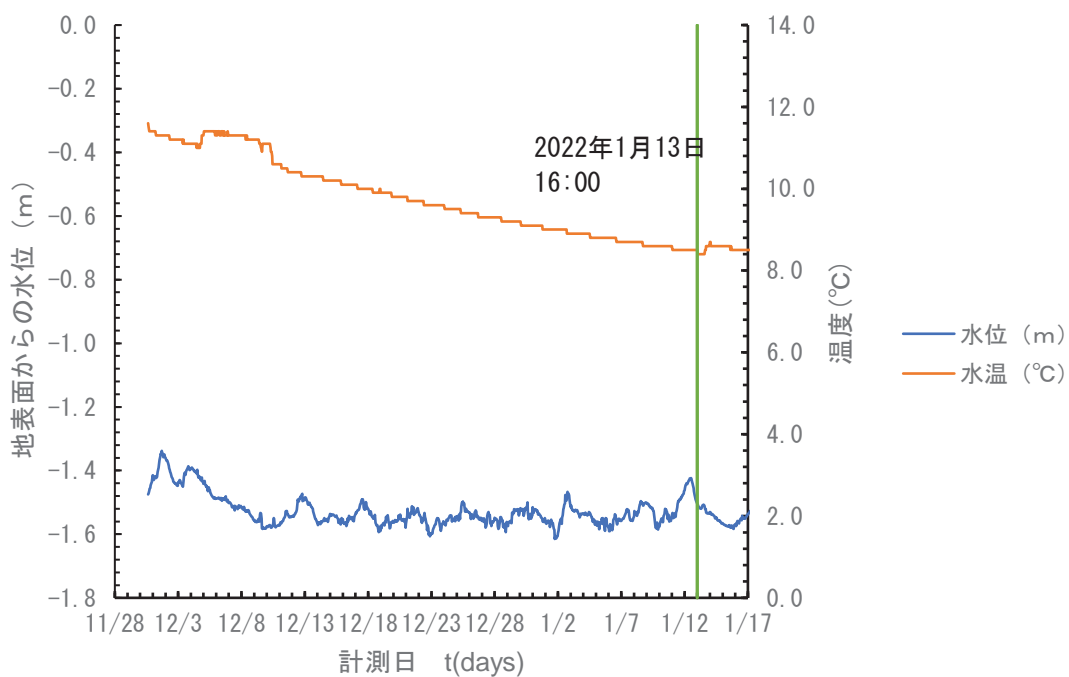


図 4.9-26 水位変動・水温（旭川市）令和3年11月—令和4年1月

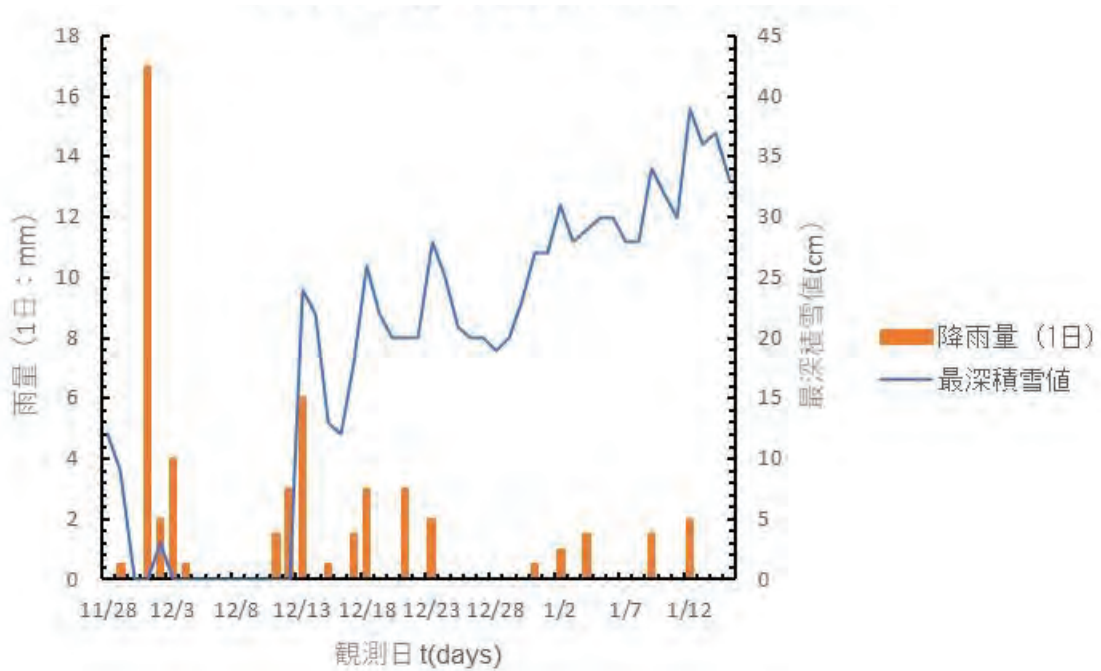


図 4.9-27 アメダス降雨量・積雪量（旭川市）令和3年11月—令和4年1月

天候（旭川市）

旭川（道北）の過去の天気(実況天気・2021年12月・2022年1月) - 日本気象協会 tenki.jp

日付	11/28	11/29	11/30	12/1	12/2	12/3	12/4	12/5	12/6	12/7
天候										
日付	12/8	12/9	12/10	12/11	12/12	12/13	12/14	12/15	12/16	12/17
天候										
日付	12/18	12/19	12/20	12/21	12/22	12/23	12/24	12/25	12/26	12/27
天候										
日付	12/28	12/29	12/30	12/31	1/1	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6
天候										
日付	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	
天候										

図 4.9-28 気象庁天気（旭川市）

(2)三次市

図 4.9-29、図 4.9-30、図 4.9-31 にキュービック供試体、ボード供試体の初期値寸法・質量測定結果から求めたキュービック供試体・ボード供試体の気乾密度分布を示す。

キュービック供試体、ボード供試体とも気乾密度は、水性高分子イソシアネートの供試体が、レゾルシノールの供試体より小さい結果となった。

図 4.9-32 に気温・湿度計測結果を示す。観測井の水位・水温は、設置時に地下水が確認できなかったため、欠測とした。

図 4.9-33 にアメダス降雨量・積雪量を示す。三次市観測点には降雪データがないため、近傍の大朝町の積雪データを用いた。降雪量図 4.9-34 に気象庁天候を示す。

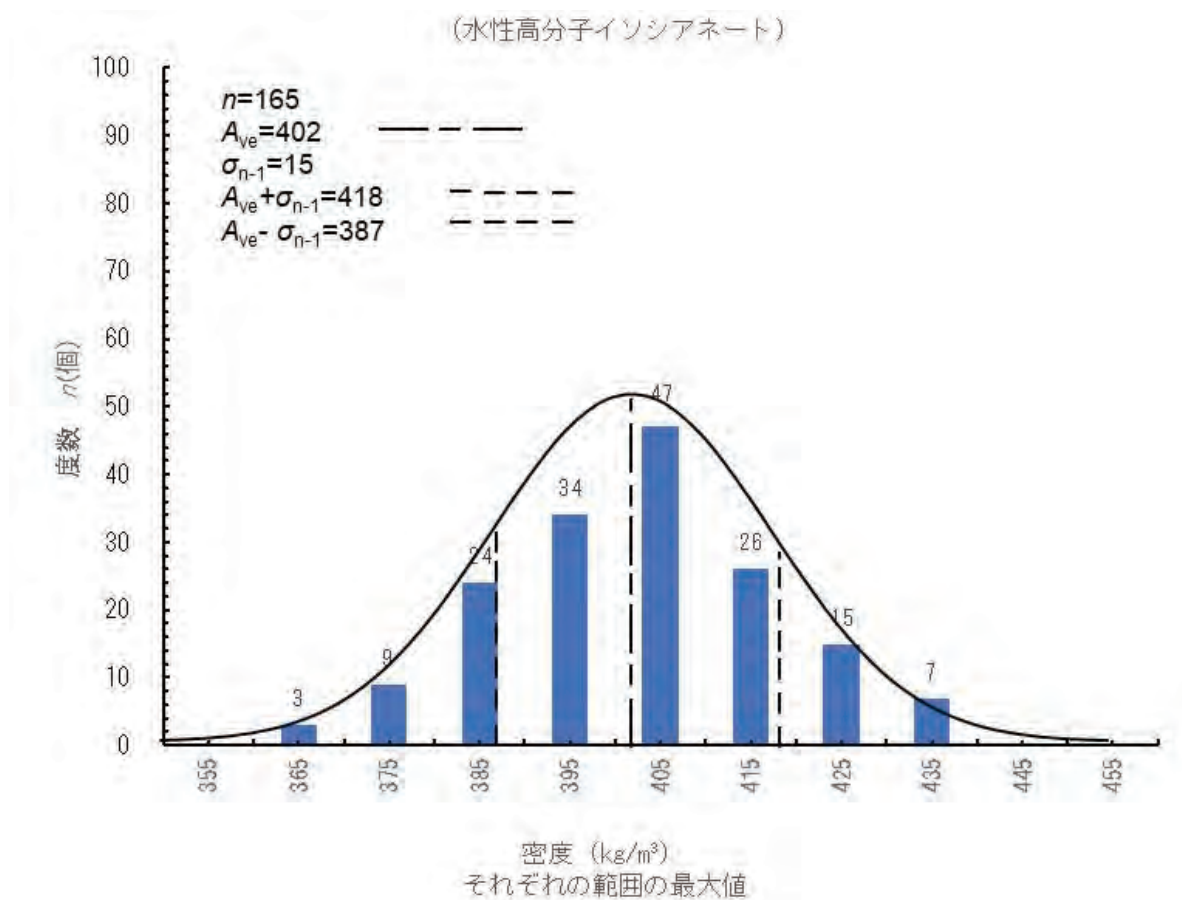


図 4.9-29 キュービック供試体 気乾密度分布 (三次市)

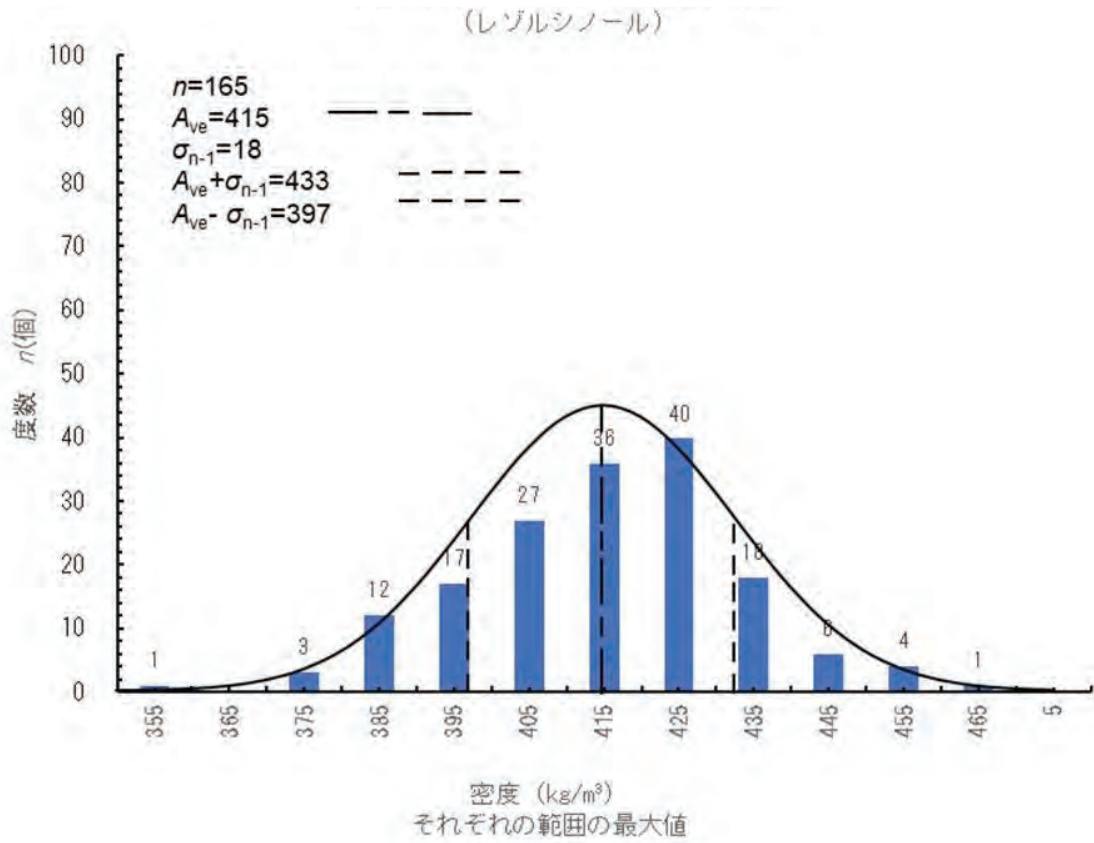


図 4.9-30 キュービック供試体 気乾密度分布 (三次市)

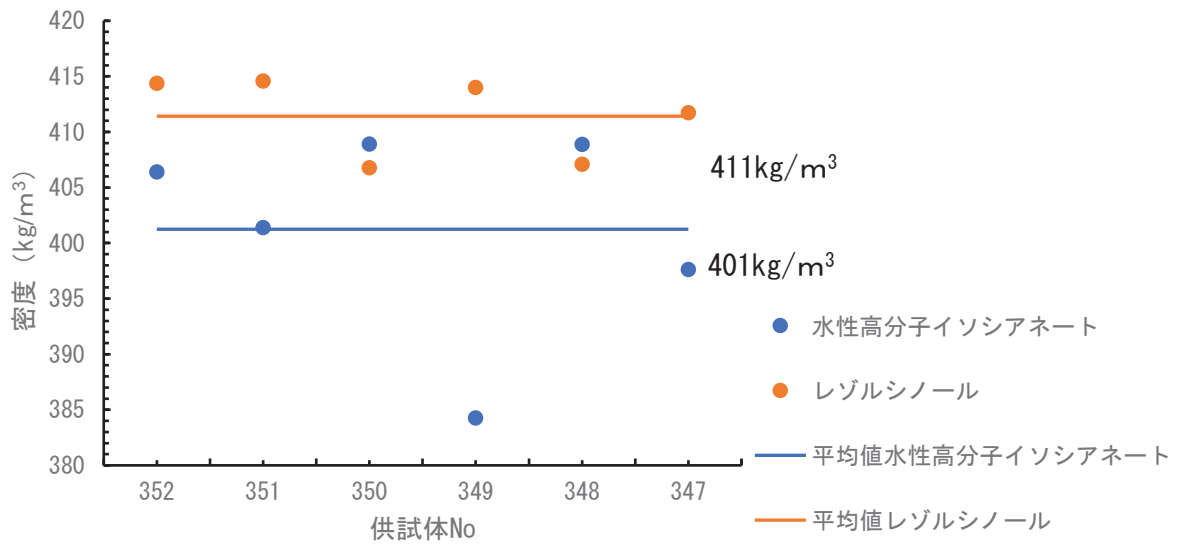


図 4.9-31 ボード供試体 気乾密度分布 (三次市)

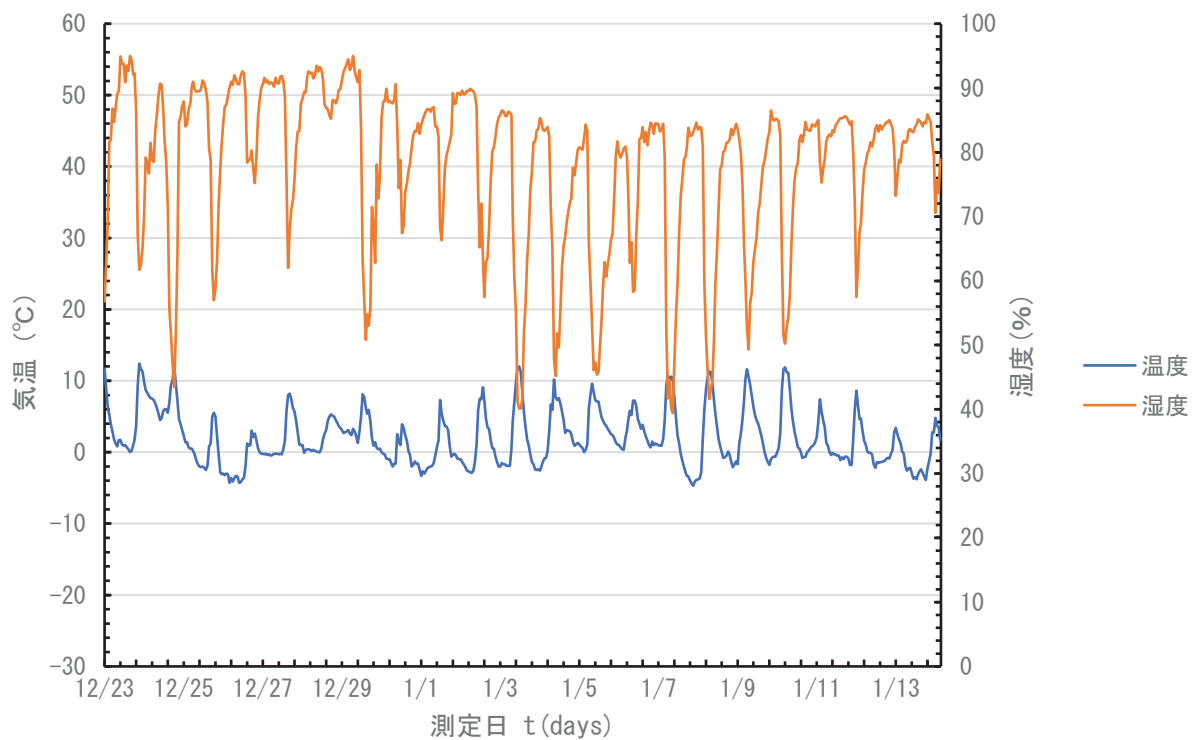


図 4.9-32 気温・湿度（三次市）令和3年12月—令和4年1月

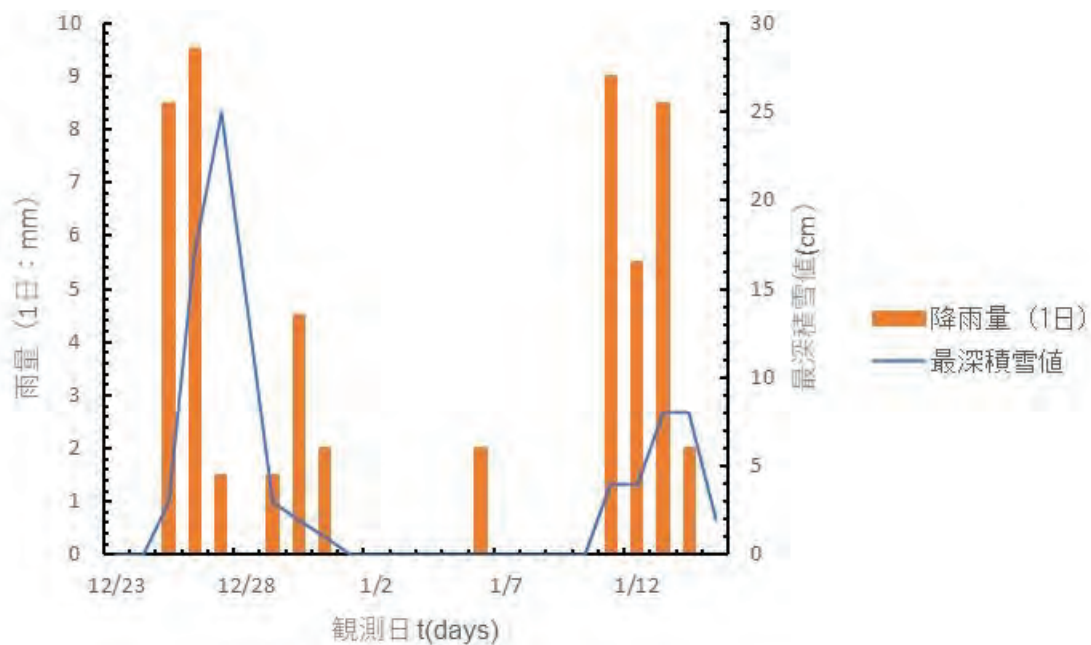


図 4.9-33 アメダス降雨量（三次市）・積雪量（大朝町）令和3年12月—令和4年1月

天候（広島市）

広島（広島市）の過去の天気(実況天気・2021年12月・2022年1月) - 日本気象協会 tenki.jp

























日付	12/23	12/24	12/25	12/26	12/27	12/28	12/29	12/30	12/31	1/1
天候										
日付	1/2	1/3	1/4	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10	1/11
天候										
日付	1/12	1/13	1/14	1/15						
天候										

図 4.9-34 気象庁天候（三次市）

(3) 都城市

図 4.9-35、図 4.9-36、図 4.9-37 にキュービック供試体、ボード供試体の初期値寸法・質量測定結果から求めたキュービック供試体・ボード供試体の気乾密度分布を示す。

キュービック供試体、ボード供試体とも気乾密度は、水性高分子イソシアネートの供試体が、レゾルシノールの供試体より小さい結果となった。

図 4.9-38 に気温・湿度、図 4.9-39 に観測井の水位・水温を示す。水位は、当初 GL-2.6m で、2022/1/5～2022/1/13 の間に 0.05 m 低下している。図 4.9-40 にアメダス降雨量・積雪量を示す。図 4.9-41 に気象庁天候を示す。

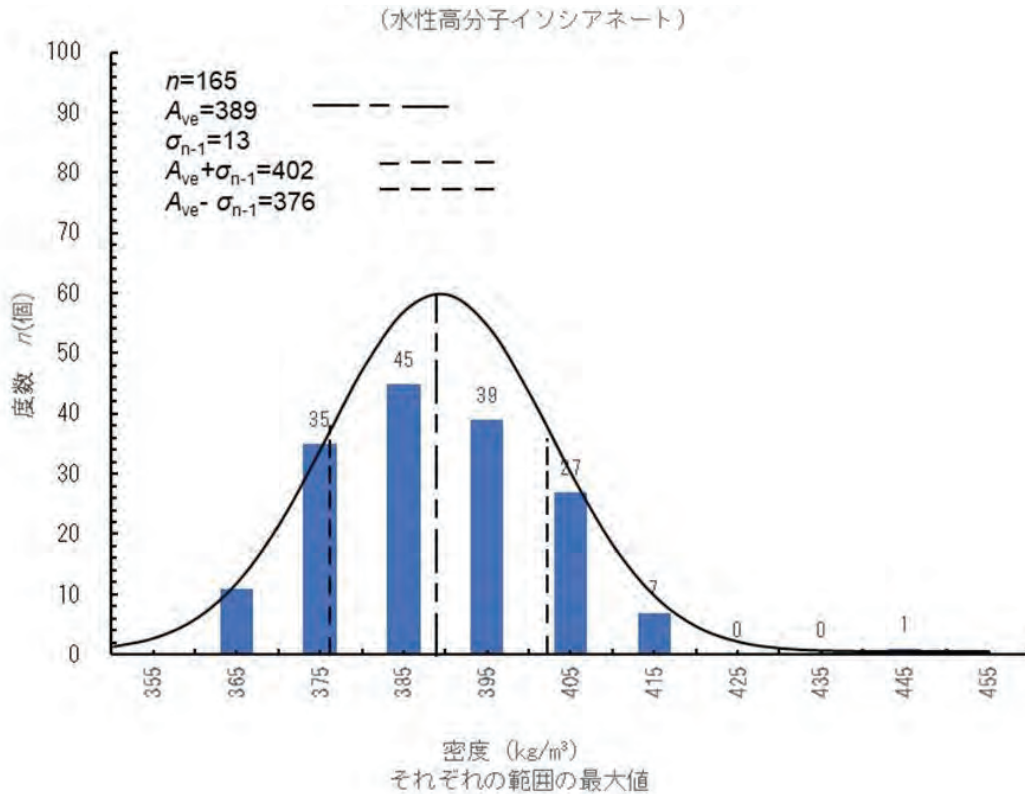


図 4.9-35 キュービック供試体 気乾密度分布 (都城市)

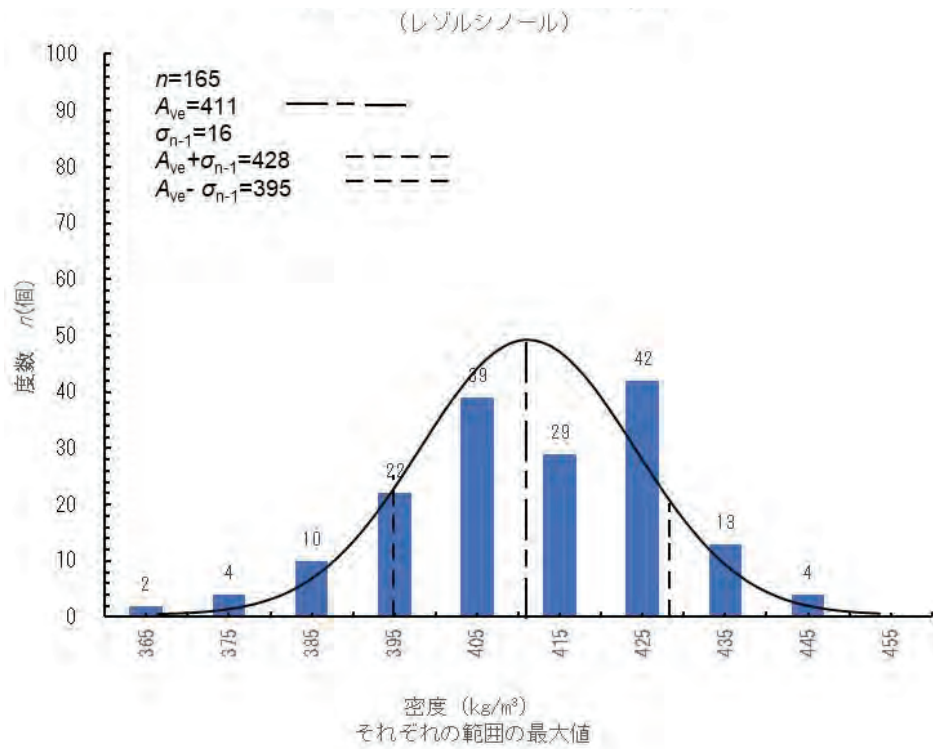


図 4.9-36 キュービック供試体 気乾密度分布 (都城市)

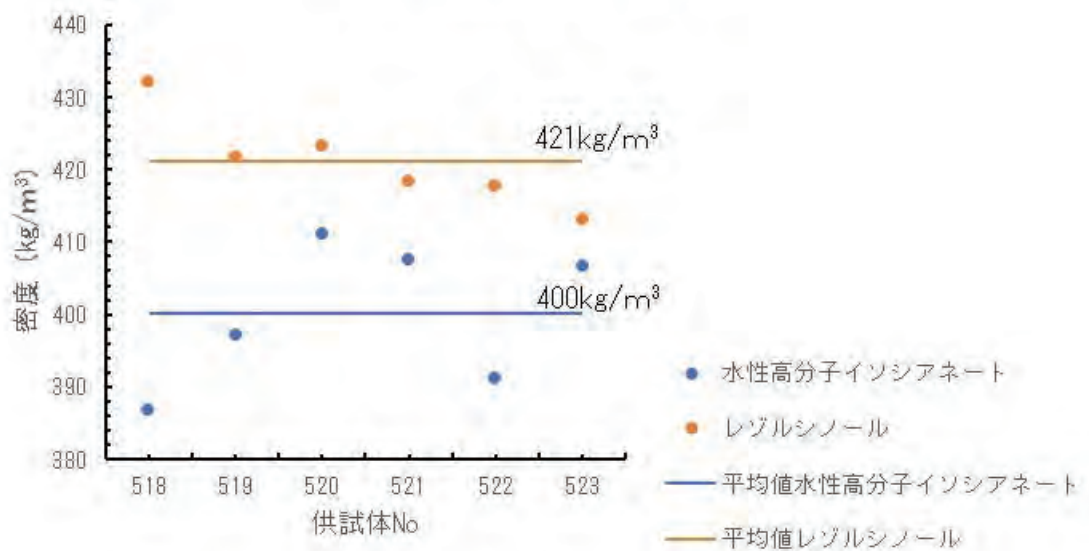


図 4.9-37 ボード供試体 気乾密度分布 (都城市)

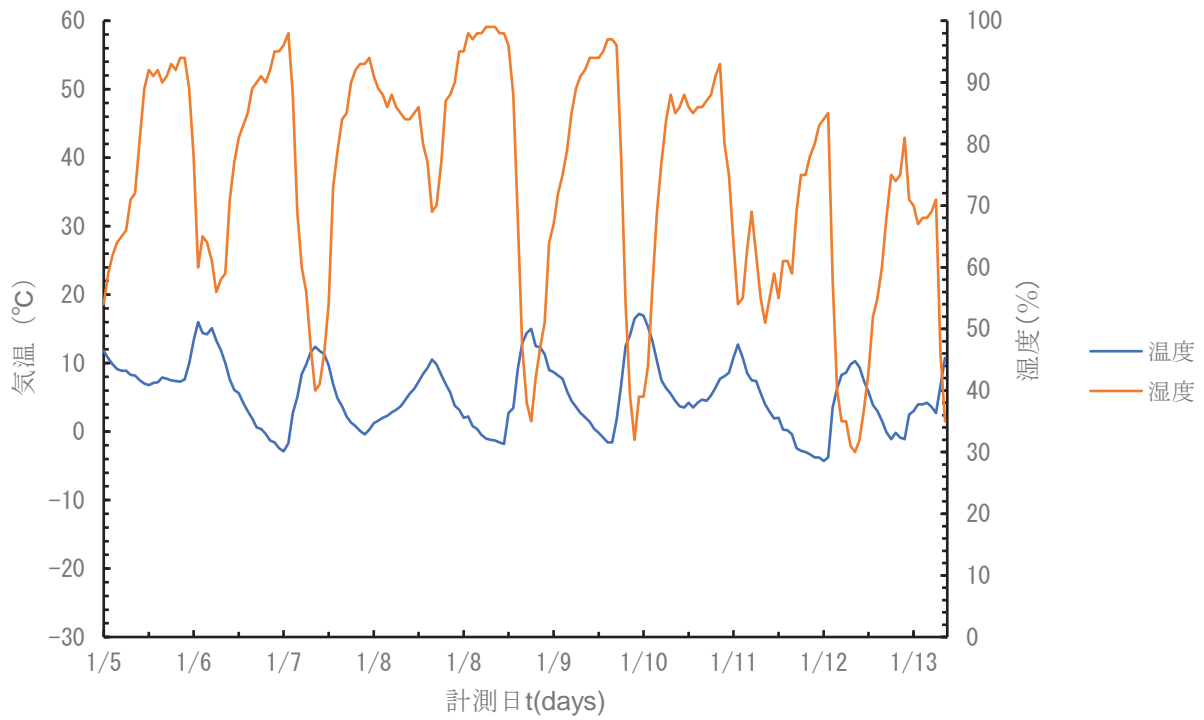


図 4.9-38 気温・湿度（都城市）令和4年1月

水位変動・水温（2022.1.5～2022.1.13）

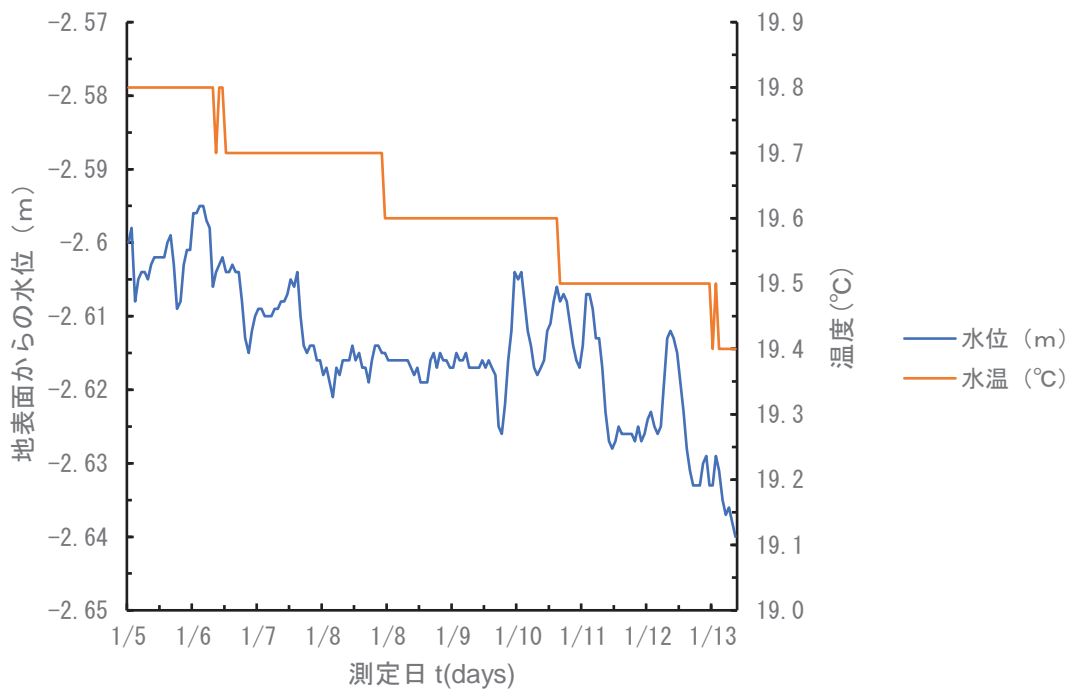


図 4.9-39 水位変動・水温（都城市）令和4年1月

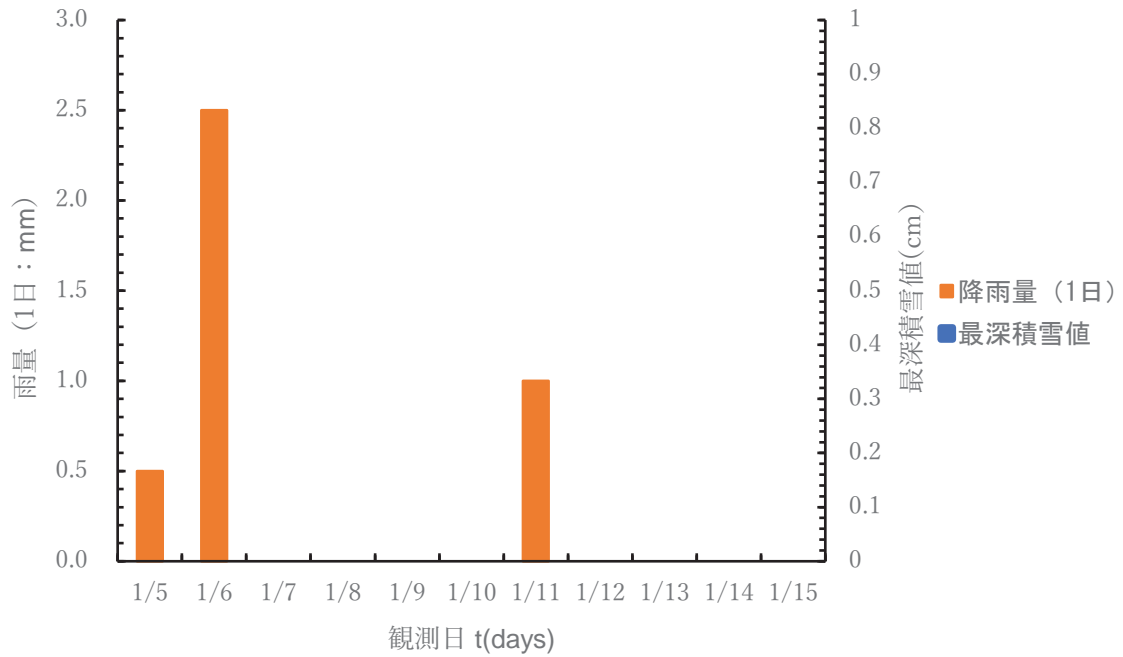


図 4.9-40 アメダス降雨量・積雪量（都城市）令和4年1月

天候（都城市）

都城（宮崎県）の過去の天気(実況天気・2022年1月) - 日本気象協会 tenki.jp

日付	1/5	1/6	1/7	1/8	1/9	1/10
天候						
日付	1/11	1/12	1/13	1/14	1/15	
天候						

図 4.9-41 気象庁天候（都城市）

4.10 海水環境

4.10.1 試験目的

CLTの海洋施設、港湾施設などでの利用を想定して、海水環境における耐久性を調査する。

4.10.2 試験概要と数量

海水環境試験では、港湾空港技術研究所の海水循環槽を利用し、常時海中エリアでの常時海水に浸漬する環境と、潮の干満の繰り返し環境を再現する干満帯での試験を実施した。

常時海中エリアでは、試験場近傍の久里浜湾海岸から採取した砂にキュービック供試体を異なる4つの深さ(深度0mm、20mm、40mm、60mm)に埋め込んだものと、海水に直接暴露するものを設置した。干満帯は、浸漬時間の変化を捉えるため、異なる2つの深さにキュービック供試体を設置した、

供試体の概要は4.7.1のキュービック供試体を用いた。供試体数量は、既出の表4.6-4 海水環境供試体内訳に示す。

(常時海水中) 土かぶり厚4ケース(0mm、20mm、40mm、60mm)×接着剤2ケース×経年3ケース
+ 全面海水と接触(接着剤2ケース×経年3ケース) = 30供試体

(干満帯) 干出時間2ケース(6時間/日、12時間/日)×接着剤2ケース×経年4ケース=16供試体。合計46体。



図 4.10-1 港湾空港技術研究所 長期暴露施設

4.10.3 実施地点(地点, 地盤概要)

試験実施地点は、4.5 実施場所③海水環境に示す横須賀市、港湾空港技術研究所の長期暴露施設の海水循環槽に供試体を設置した(図4.10-2、図4.10-3)。



図 4.10-2 港湾空港技術研究所 長期暴露施設 (google マップより抜粋)

4.10.4 試験手順

(1) 干満帯試験

(a) 供試体の設置

- ・プラスチックメッシュコンテナ(700 mm×500 mm×H200 mm)を図 4.10-4 の左上の図及び写真 4.10-1 に示すように重ねて、海水中に浮き出さないよう浮力計算 (図 4.10-3) を行い、プラスチックコンテナをコンクリート角材 (100 mm×100 mm×長さ 400 mm) にビニールロープで固定した。
- ・下の段のキュービック供試体 (8 個 : 4 ケース (1 ケース : 設置から 1 年経過ごとに取り出す設定) ×1 個/ケース×接着剤 2 種類) が干潮時水位 (LWL) から LWL+0.3 m (キュービック供試体上面) に設置した。
- ・上の段にはキュービック供試体 (8 個 : 4 ケース (1 ケース : 設置から 1 年経過ごとに取り出す設定) ×1 個/ケース×接着剤 2 種類) が LWL+1.0 m となるよう設置した。
- ・プラスチックコンテナとキュービック供試体は、供試体が湿潤して膨張した場合に固定している線により破損することのないよう、ビニール被覆銅線で結び付けて固定した。
- ・海水循環槽の海水位は、久里浜湾の海水をポンプで揚水・排水し、図 4.10-1 に示すように干満差 1.5 m を 1 日 2 回の干満を繰り返す。

(b) 観察

年 2 回, 全供試体⇒水洗い⇒観察⇒写真撮影(プラスチックメッシュコンテナに取り付けた状態での状況撮影)
⇒再設置

(c) 計測 (4 年目)

年 1 回, 干満帯 4 供試体 (2 深度×接着剤 2 種類) 取出し⇒観察⇒写真撮影⇒飽和化($w \geq 30\%$ 以上)⇒寸法計測⇒圧縮試験⇒乾燥⇒乾燥質量⇒標本

(2) 常時海水中エリア試験

(a) 供試体の設置

- ・海水による浮力でキュービック供試体が、浮き上がらないように、土の付着力を考慮した浮力計算 (図 4.10-3) を行い、ダミー供試体で土中からの浮き上がりがないことを確認して、キュービック供試体を 1 週間以上水道水に浸漬してから設置して、17~20 日間水道水に浸漬してから設置した。
- ・ポリバケツ($\phi 0.28\text{m} \times \text{H}0.25\text{m}$)に久里浜湾海岸 (写真 10.4-3) の砂を入れ、キュービック供試体の土被りが、0 mm、20 mm、40 mm、60 mm になるように調整したもの 4 個を 3 ケース (1 ケース : 設置から 1 年経過ごとに取り出す設定) ×接着剤 2 種類 計 24 個準備した (写真 10.4-2)。
- ・プラスチックメッシュコンテナ (600 mm×600 mm×深さ 300 mm) 6 個それぞれに上記ポリバケツをケースごと 4 個ずつ積めた。
- ・ポリバケツ 4 個を詰めたケースごとのプラスチックメッシュコンテナは、接着剤種類ごとにプラスチックメッシュケースを 3 段積み重ねて、常時海水中エリアに 2 列に並べた (写真 10.4-4)。
- ・常時海水中にステンレスメッシュにキュービック供試体上面が WL-0.3m となるようにナイロンロープで括り付け、ステンレスメッシュを海中に縦に沈めた (写真 10.4-5)。

(b) 計測 (3 年目まで)

年 1 回, 常時海水中エリア 10 供試体取出し⇒観察⇒写真撮影⇒飽和化($w \geq 30\%$ 以上)⇒寸法計測⇒圧縮試験⇒乾燥⇒乾燥質量⇒標本

CLTスギ供試体1個当たり			
寸法			
厚さ	15	cm	(測定値または仮定値を入力)
幅	15	cm	(測定値または仮定値を入力)
長さ	15	cm	(測定値または仮定値を入力)
体積	3375 cm ³		
気中重量	1243	gf	(測定値または仮定値を入力, 気乾1243~1484, 1週間水道水浸漬後1820等)
水の密度	1.03	g/cm ³	(淡水:1.00, 海水:1.03を入力)
浮力	3476	gf	(= 34.06725 N)
重力	1243	gf	(= 12.1814 N)
浮力-重力	2233	gf	(= 21.88585 N)
重しの密度	2.3	g/cm ³	(鋼材:7.8, コンクリート:2.3を入力)
水中での重し1cm ³ 当たりの重力-浮力	1.27 gf/cm ³		
重しの必要体積	1758.465 cm ³		
重しの気中での必要重量	4044.469 gf =	4.044469 kgf	
		↓	干満帯と全面海水接触の供試体は, 2個当たりコンクリート10×10×40cm角柱(約9kgf)を1個使用することにした。
土中埋設の場合の側面の表面積	900 cm ²		
浮上しないために必要な側面での付着応力	2.481389 gf/cm ²	(=	243.1761 N/m ²)
<p>久里浜海岸採取土の場合, 気乾状態のダミー供試体は浮上したが, 1週間水道水に浸漬し重量1820gの時点で浮上しなくなったので, 付着応力は170N/m²程度と推測される。</p> <p>↓</p> <p>土中埋設供試体24個は, 1週間以上水道水に浸漬してから設置することにした。17~20日間水道水に浸漬してから設置した結果, 浮上しなかった。</p>			

図 4. 10-3 キュービック供試体浮力計算

4. 10. 5 試験実施状況（配置，設置状況，模式図と写真）

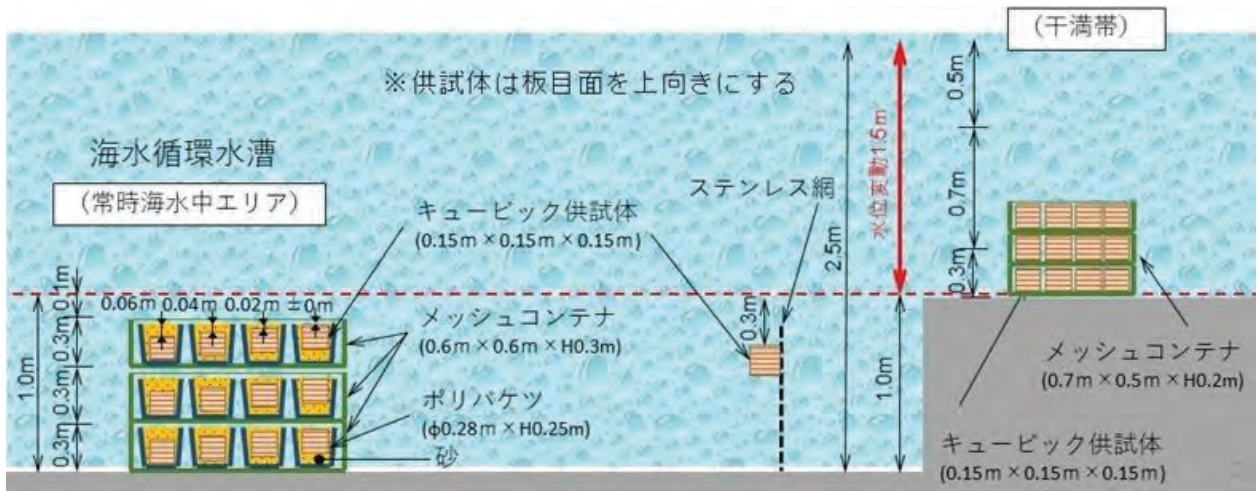


図 4. 10-4 海水海中試験供試体設置イメージ（断面図）

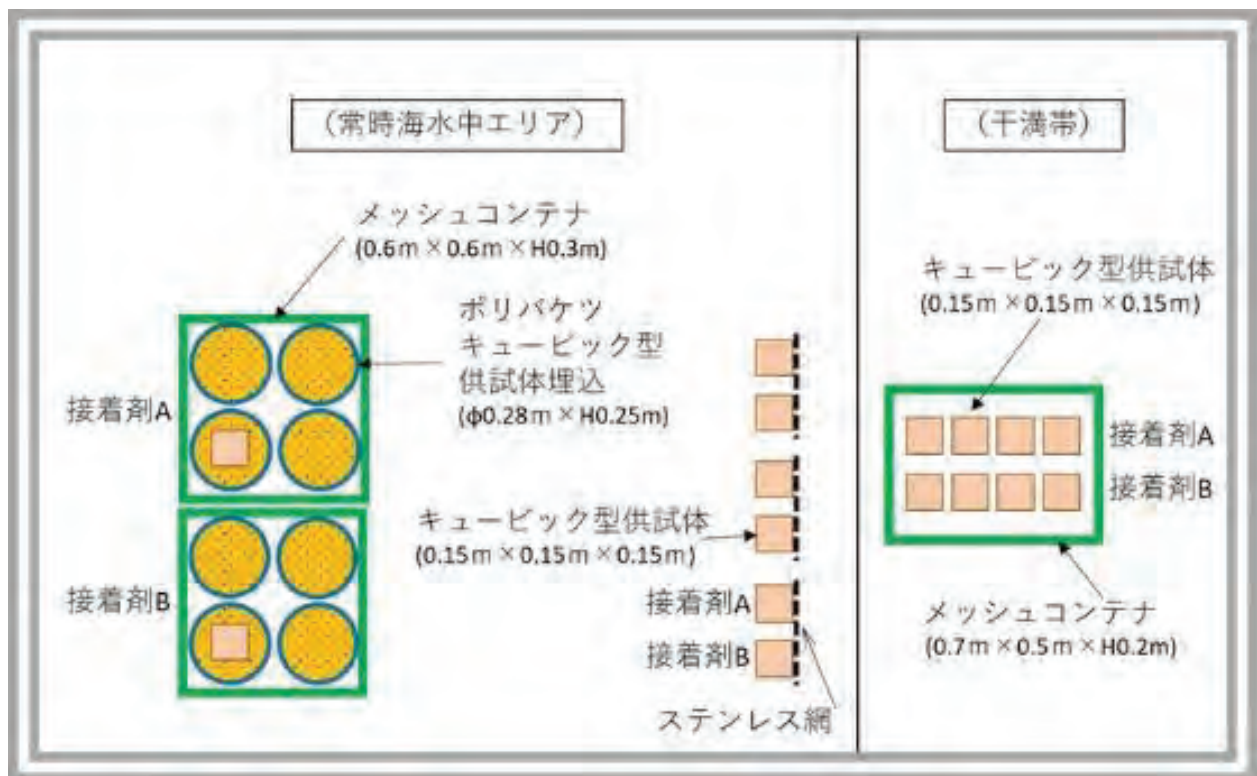


図 4. 10-5 海水海中試験供試体設置イメージ（平面図）



下段 (WL-100 mm)



上段 (WL-300 mm)



上下段設置



海水給水中

写真 4. 10-1 干満帯 (供試体設置状況)



被り厚 0 mm



被り厚 20 mm



被り厚 40 mm



被り厚 60 mm

写真 4. 10-2 常時海中エリア (供試体作成状況)



土砂採取場所 (久里浜湾海岸)



土砂採取場所から港湾空港研究所撮影

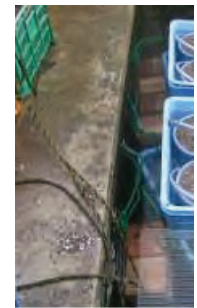
写真 4. 10-3 常時海中エリア (土砂採取場所)



写真 4. 10-4 常時海中エリア設置



写真 4. 10-5 全面海水接触 (吊り下げWL-300 mm)



4.10.6 今年度海水環境試験結果まとめ（頻度分布, 平均値, 観測結果）

図4.10-6にキュービック供試体（水性高分子イソシアネート、レゾルシノール）の初期寸法・質量測定結果から求めたキュービック供試体の気乾密度分布を示す。

キュービック供試体、ボード供試体とも気乾密度は、水性高分子イソシアネートの供試体が、レゾルシノールの供試体より低い結果となった。

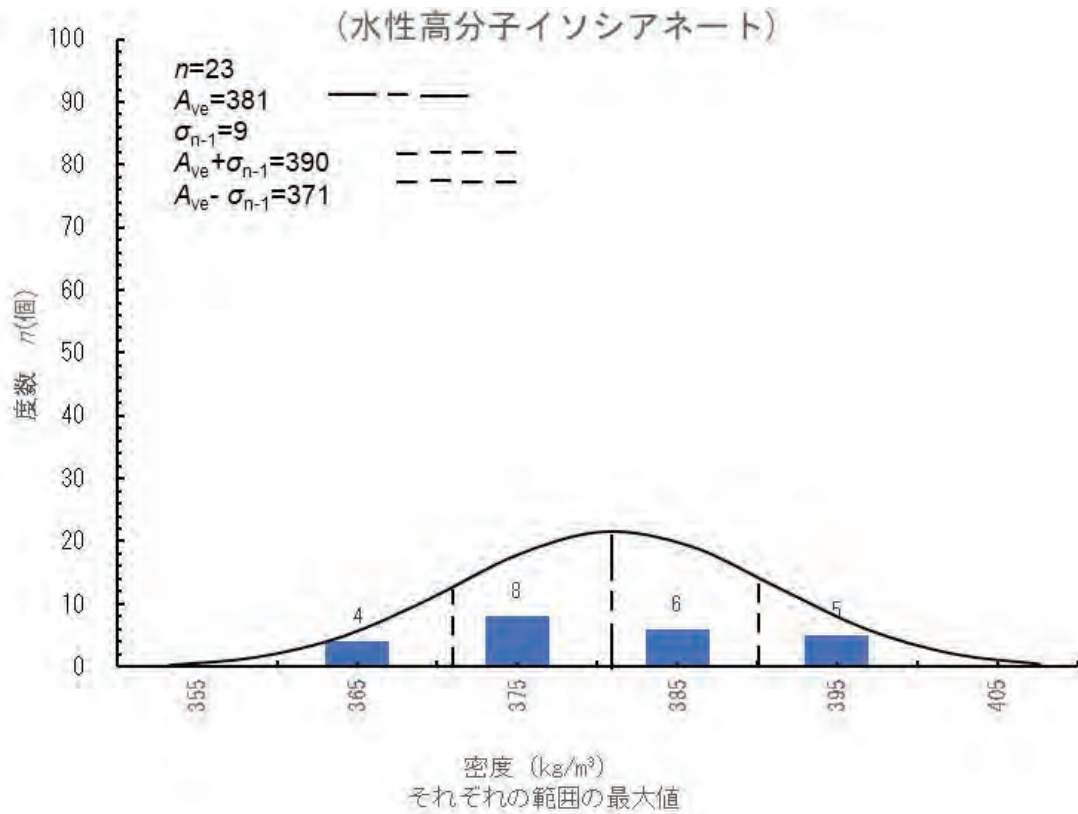


図4.10-6 キュービック供試体密度分布（海水環境）

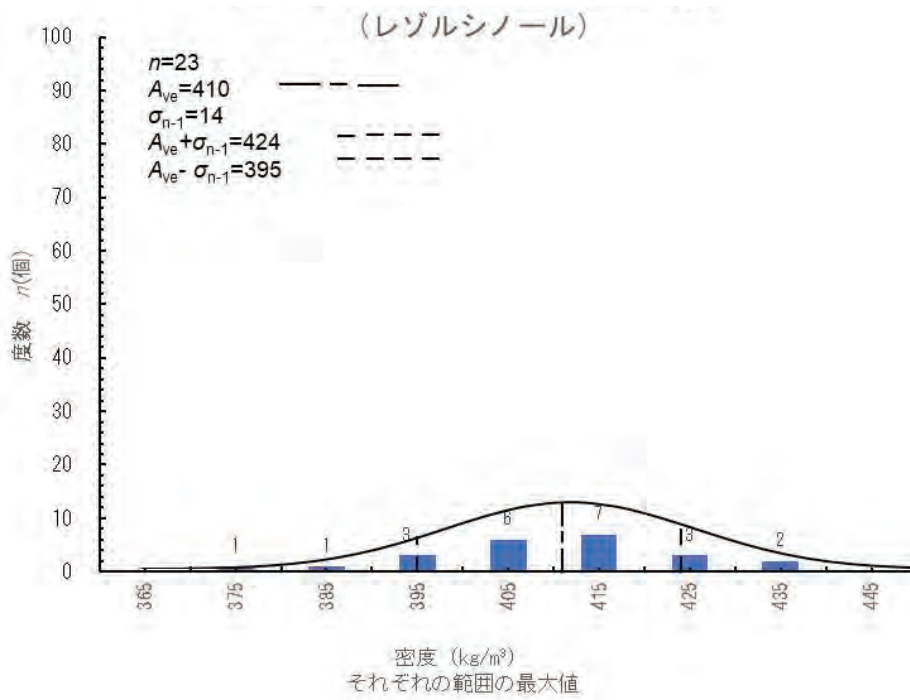


図 4.10-7 キュービック供試体密度分布 (海水環境)

4.11 淡水環境

4.11.1 試験目的

CLT の河川、湖沼や水利施設などでの利用を想定して、淡水上空の気中、水中、大気と淡水の境界部での CLT の耐久性を調査する。

4.11.2 試験概要と数量

鋼製水槽 (2 m³) を常時給水し水位を常時 600 mm に設定できるよう排水口を設けたものに、キュービック供試体をステンレスワイヤーメッシュ 2 枚に挟み込んだ供試体 (水面上 0.1 m、水面直上 (WL ± 0 m キュービック供試体底面)、水面直下 (WL - 0.15 m キュービック供試体底面)) を設置した。ボード供試体は、水槽に金具を設置して、固定した。

供試体の概要は 4.7.1 のキュービック供試体及びボード供試体を用いた。

供試体数量は、既出の表 4.6-5 淡水環境供試体内訳に示す。水性高分子イソシアネート系接着剤を用いたキュービック供試体とレゾルシノール樹脂接着剤を用いたキュービック供試体各 93 体の合計 186 体 (予備供試体除く) である。ボード供試体は、水性高分子イソシアネート系接着剤を用いたボード供試体とレゾルシノール樹脂接着剤を用いたボード供試体各 6 体の合計 12 体である。

4.11.3 実施地点 (地点, 地盤概要)

試験実施地点は、4.5 実施場所④淡水環境に示す千葉県野田市、飛島建設 (株) 技術研究所に供試体を設置した。

図 4.11-1 に示す場所のコンクリートスラブ (7,000 mm × 7,000 mm × 厚さ 200 mm : 図 4.11-2) 上に水槽を設置した。

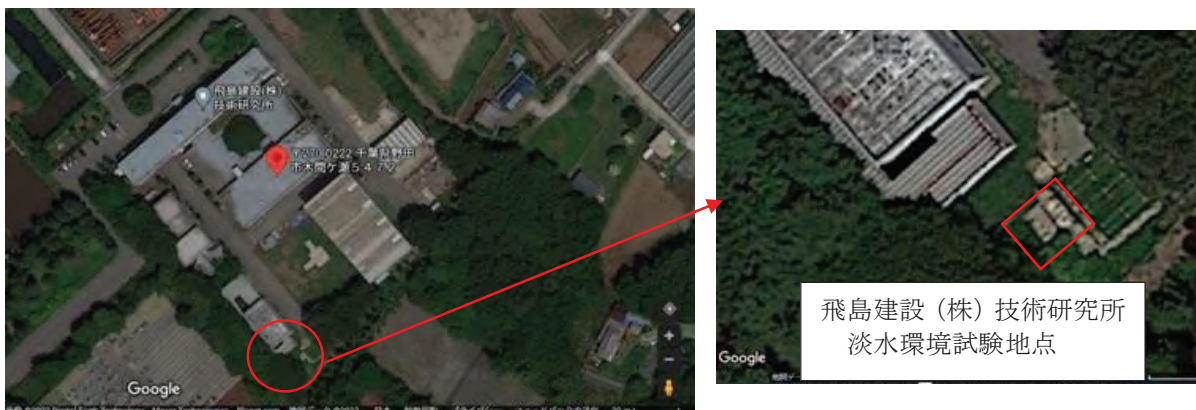


図 4.11-1 飛島建設 (株) 技術研究所 淡水環境試験地点 (google マップより抜粋)



図 4.11-2 コンクリートスラブ上に水槽を置いた状況

4.11.4 試験手順

(1) 供試体設置

(a) 水槽の加工

- ・水槽 (2m³ : 内法 1,800 mm×1,070 mm×深さ 914 mm/東京機材工業(株)製) を 6 槽用いた。
- ・水槽内部に水位が 600 mm になるように排水口を加工・設置 (図 4.11-5) した。
- ・給水は、6 槽の水中部に給水口を設け、ホース (内径 19 mm) にて分岐することとした。
- ・排水は、6 槽の排水口外にホース (内径 25 mm) を接続し、雨水マンホールに排水できるようにした。
- ・ボード供試体を固定する金具を水槽に取り付けた。

(b) キュービック供試体

- ・キュービック供試体は 5 深度 (気中 (WL+0.1 m : キュービック供試体底面)、水面直上 (WL ±0 m : キュービック供試体底面)、水面直下 (WL -0.15 m : キュービック供試体底面)、水中 2 深度 (WL -0.1 m、WL -0.5 m : キュービック供試体底面) を 2 枚のステンレスワイヤメッシュ (材質 : SUS304 : ワイヤ径 φ3.2 mm 及び 5 mm×幅 600 mm×高さ 900 mm/目明き (100 mm×100 mm)) にステンレス針金で固定した (以下、ワイヤメッシュ供試体という)。
- ・ステンレスワイヤメッシュ供試体は、3 体×接着剤 2 種類で水槽 1 槽に設置する。

(c) ボード供試体

- ・水槽に取り付けた金具にボードを取り付けた。

(2) 観察

試験前試験を行い、キュービック供試体、ボード供試体の寸法・質量を測定、スキャナーによる画像データ取り込みまたは写真撮影を行った。

(a) 試験前のキュービック供試体・ボード供試体について

- ・6 面の画像データ (カラーインデックスとスケールと供試体番号をイメージスキャナで取り込み

(b) 試験中のキュービック供試体・ボード供試体について

- ・年 2 回、淡水中から全供試体を引き揚げて、ワイヤメッシュに設置したキュービック供試体及び金具に固定されたボード供試体を写真撮影する。

(c) 試験後試験のキュービック供試体・ボード供試体について

- ・対象年度の供試体が入った水槽を排水し、キュービック供試体、ボード供試体を引き揚げて、キュービック供試体はワイヤメッシュから取り外し、イメージスキャナで画像を取り込み、ボード供試体は写真撮影する。

(3) 測定

(a) 試験前のキュービック供試体・ボード供試体について

- ・気乾質量
- ・気乾状態寸法 (縦, 横, 高さ)

(b) 試験後試験のキュービック供試体・ボード供試体について

- ・飽和質量
- ・飽和状態寸法 (縦, 横, 高さ)
- ・圧縮強度

4.11.5 試験実施状況（配置，設置状況，模式図と写真）

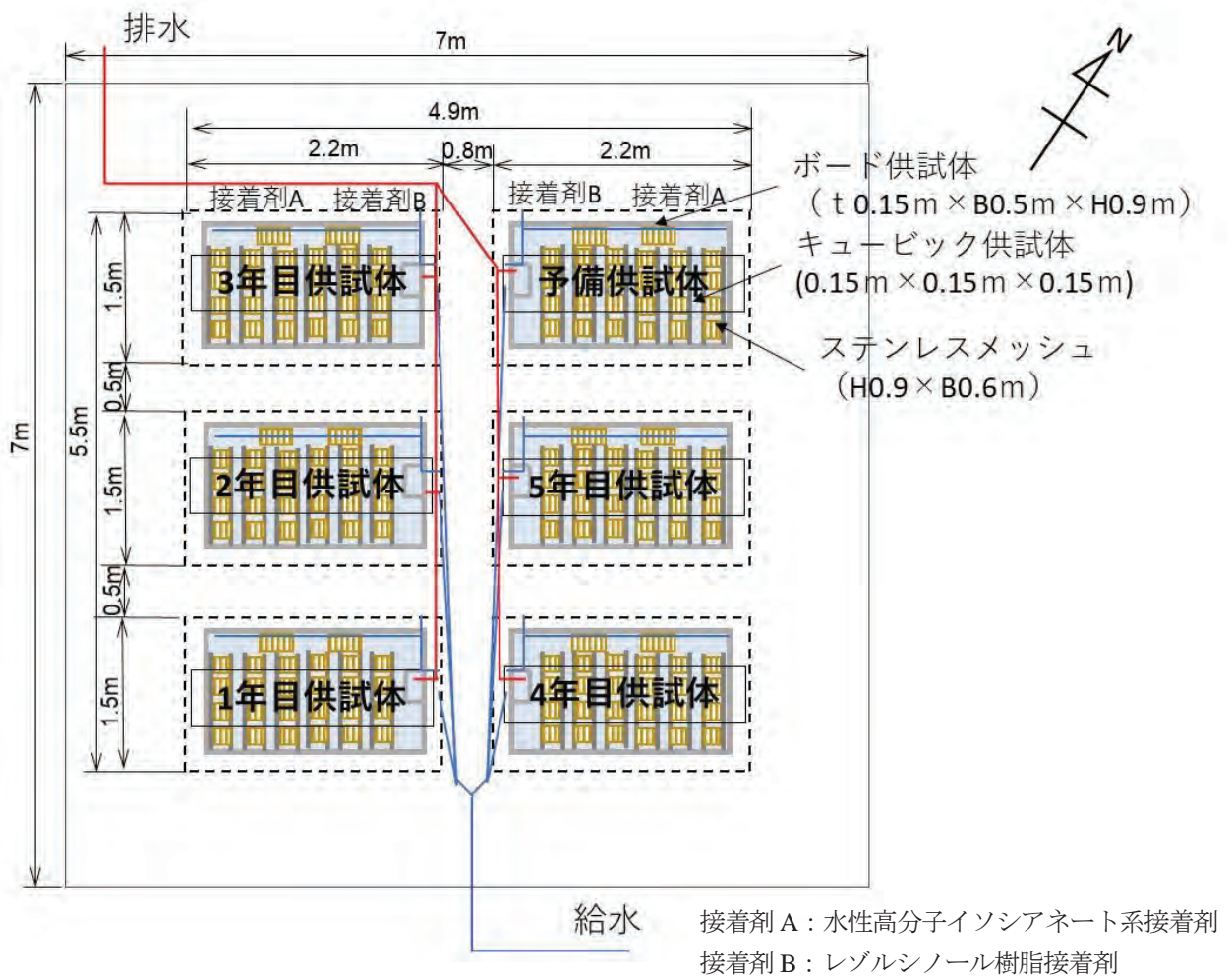


図 4.11-4 淡水環境試験供試体設置イメージ（平面配置図）

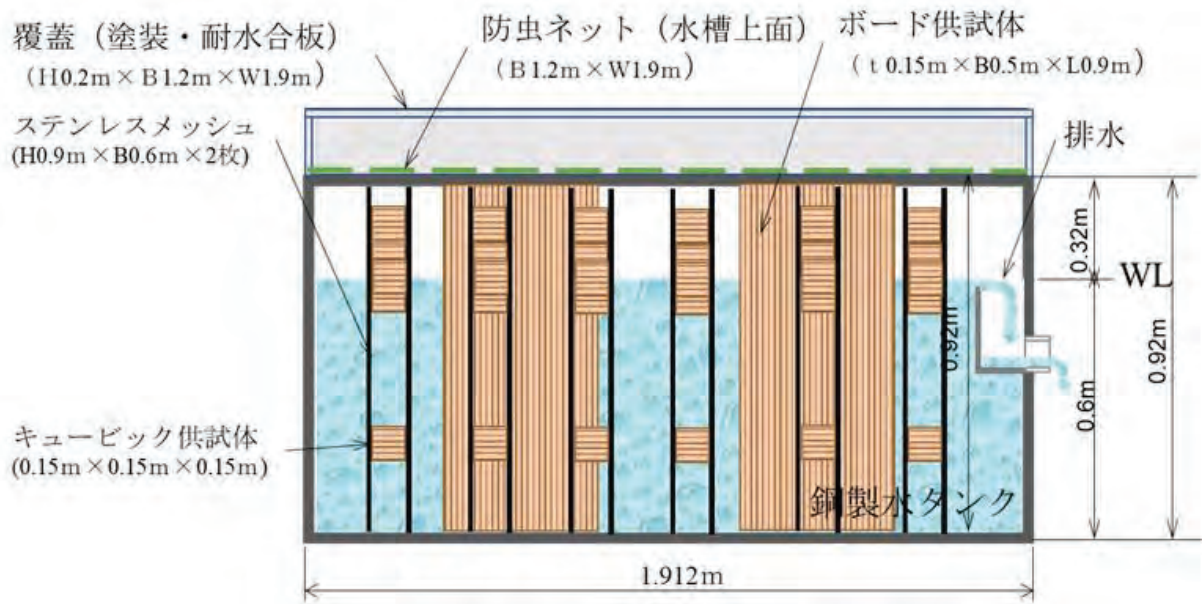


図 4.11-5 淡水試験供試体設置イメージ（縦断面図）

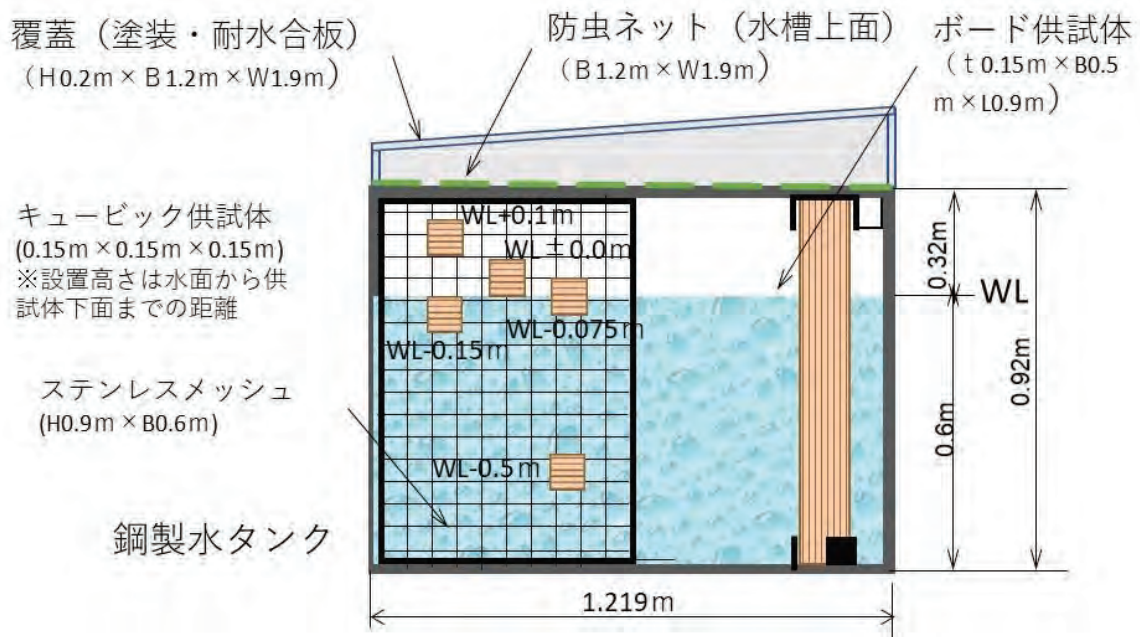


図 4.11-6 淡水環境試験供試体設置イメージ（横断面図）



設置完了

写真 4.11-3 水槽内供試体設置状況



ボード供試体設置完了



上：排水口 下：給水口

写真 4.11-4 給排水部



写真 4.11-5 給排水ホース経路



給水出口は排水口反対側にホース配置

写真 4.11-6 槽内給水ホース



写真 4.11-7 注水開始



写真 4.11-8 満水 (水位 60cm)



写真 4.11-9 供試体浸漬状況



写真 4.11-10 排水状況



写真 4.11-11 全体配置状況

4.11.6 今年度淡水環境試験結果まとめ（頻度分布, 平均値, 観測結果）

図4.11-7、図4.11-8、図4.11-9にキュービック供試体、ボード供試体の初期値寸法・質量測定結果から求めたキュービック供試体・ボード供試体の気乾密度分布を示す。

キュービック供試体、ボード供試体とも気乾密度は、水性高分子イソシアネートの供試体が、レゾルシノールの供試体より小さい結果となった。

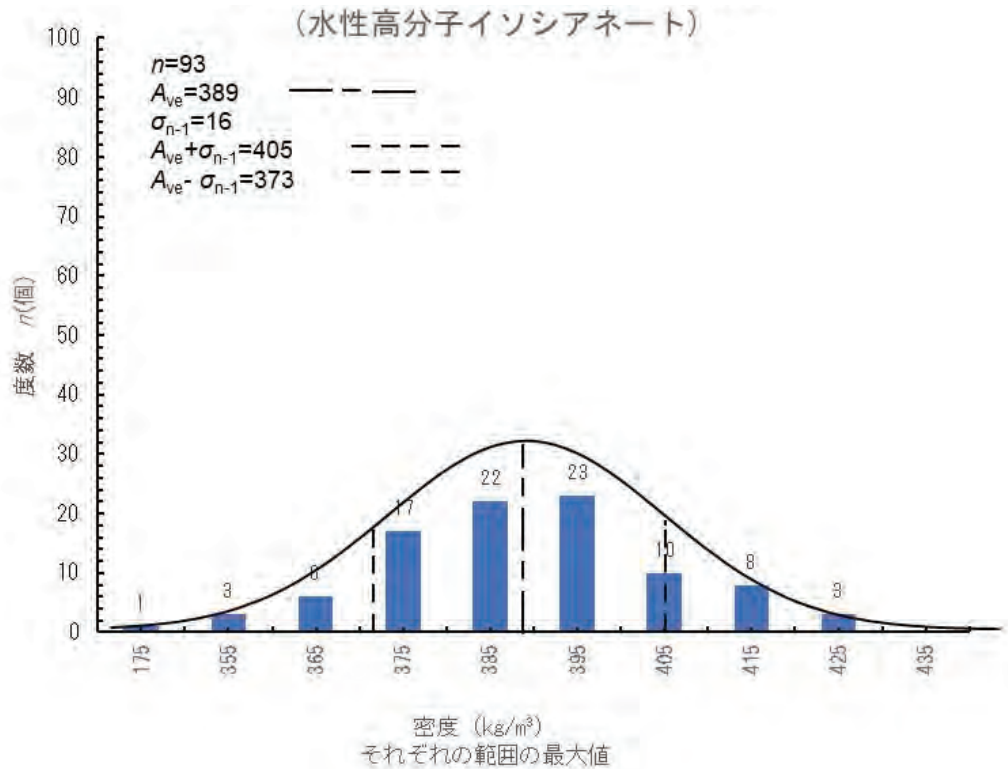


図4.11-7 キュービック供試体密度分布（淡水環境）

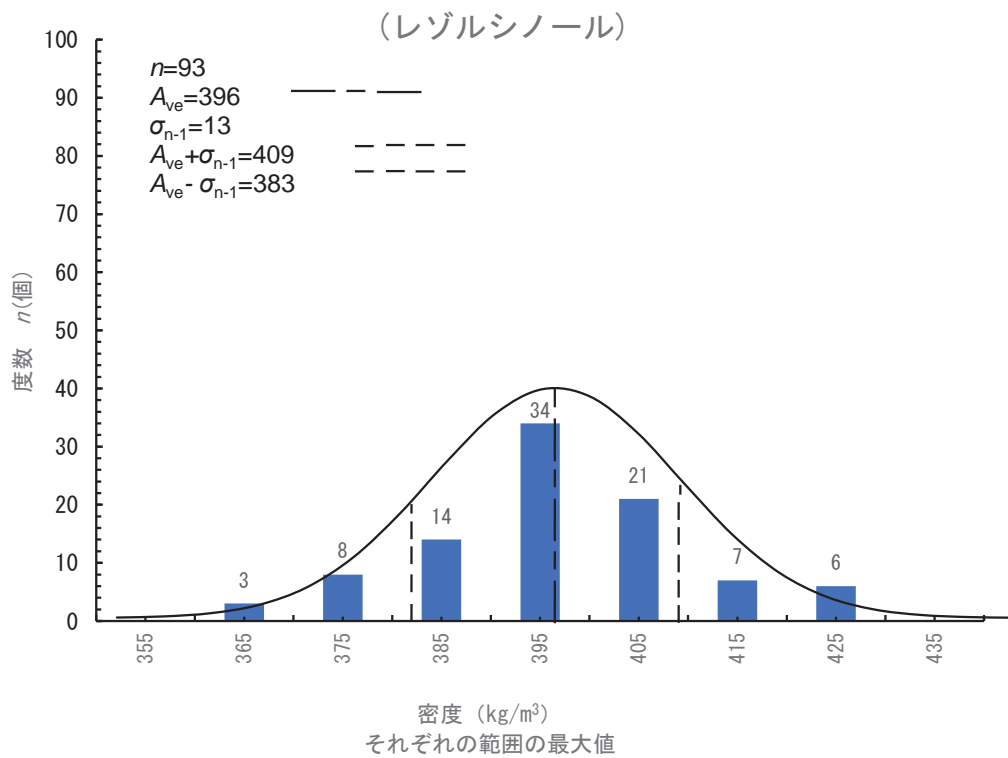


図 4.11-8 キュービック供試体密度分布 (淡水環境)

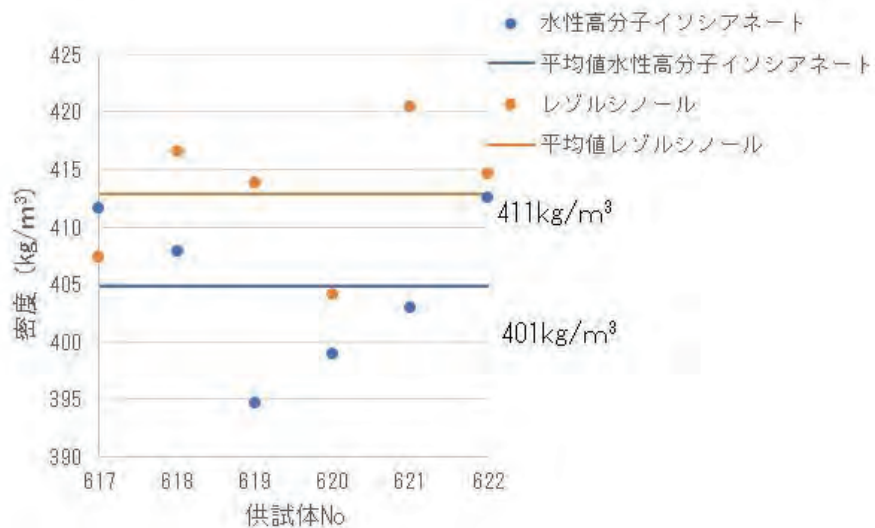


図 4.11-9 ボード供試体密度分布 (淡水環境)

5 CLTの土木利用個別技術の開発

5.1 CLT 板状地盤補強工法の開発

5.1.1 開発に至った経緯

木材や CLT の弱みを克服し、強みを活用でき、炭素貯蔵となるように、特別な維持管理をせずに 50 年以上利用できる使用方法を考えた。長期利用するために、水中など酸素がない環境、または、気中で水に触れない環境を考え、実現性も考慮し多数の提案から具体的な土木利用技術を抽出し、さらに、以下の項目について検討した。

- ・長期的（50 年以上）にメンテナンスフリーで使用可能
- ・環境的に優位
- ・多くの利用先が想定される
- ・1 つの工事現場において、大量に使用できる可能性が高い
- ・他工法とのコスト競争がある
- ・類似技術が少ない
- ・技術的なハードルが低い
- ・法的な制約が少ない

このような検討により、地下水位以深の地盤中で CLT を板状に用いることを想定し「CLT 板状地盤補強」についてのアイデアを抽出した。

この工法の類似工法として、中層混合処理工法などが考えられる。

また、表 5.1-1 に、「CLT 板状地盤補強」を想定した場合の、木材、および、CLT としてのメリット・デメリットの評価を示す。主要なメリットとして以下が上げられる。

- ・地盤中の地下水位以深で使用すれば、生物劣化を生じないので、半永久的に使用できる。
- ・軟弱地盤は至る所に存在し、構造物構築の際にはその対応が必要なことが一般的で、また、特に海外を視野に入れば市場は実情ほぼ無限にある。
- ・適用先として道路や宅地を想定すると、一度に使用する量が大きい。
- ・施工の容易さ速さ環境の優位性を考慮し、さらに CLT の低コスト化を図ることで、他工法と勝負できる可能性がある。
- ・比較的容易な設計法で実施できる可能性が高い。
- ・土木の土構造物に適用することで、制約が少なくなる可能性がある。

表 5. 1-1 「CLT 板状地盤補強」の木材およびCLTのメリット・デメリットの評価

木材	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	○	孔開けなど現場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	
CLT	メリット	CLTとすることによる	1. 木材炭化ができる	◎	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	—			
CLT	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	
	メリット	木材であるが故の	CLTとすることによる	1. XY方向貼り合わせラミナの犬断面の多層構造	○	XY方向に均質化される
			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. 比較的塩害に強い	○	沿岸近くなどで有利	
CLTとすることによる	メリット	1. 大判の面材料である	◎	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	○	孔開けなど現場加工を容易に実施可能		
デメリット	木材であるが故の	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	◎	地下水位深の利用で、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	◎	地盤中の地下水位に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		
		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. 大判の面材料である	◎	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	△	接合材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	△	地盤中の地下水位に深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

5.1.2 CLT 板状地盤補強の使用目的

主に軟弱地盤上の土構造物に対して、代表される被害を文献 1)を参考に、図 5.1-1 に示す。このような課題に対して、一般的な対策目的を文献 2)を参考に以下に示す。この中でも、CLT 板状地盤補強が対象とする目的を○印で示す。

- ・沈下の促進・抑制 (LP-SoC 工法※ との併用で補足)
 - 安定性の確保
 - ・周辺地盤の変形の抑制(例えば丸太を使用する LP-SoC 工法との併用などで補足可能)
 - 液状化による被害の抑制
 - トラフィカビリティの確保

※LP-SoC 工法=Log Piling Method for Soft Ground and Carbon Stock

(丸太打設軟弱地盤対策&カーボンストック工法)

丸太を地盤に打設し、丸太の周面摩擦力と先端支持力によって、軟弱地盤を補強する工法であり、木材を地中で地盤補強材として長期使用することにより、地中での長期の炭素貯蔵を実現することが可能

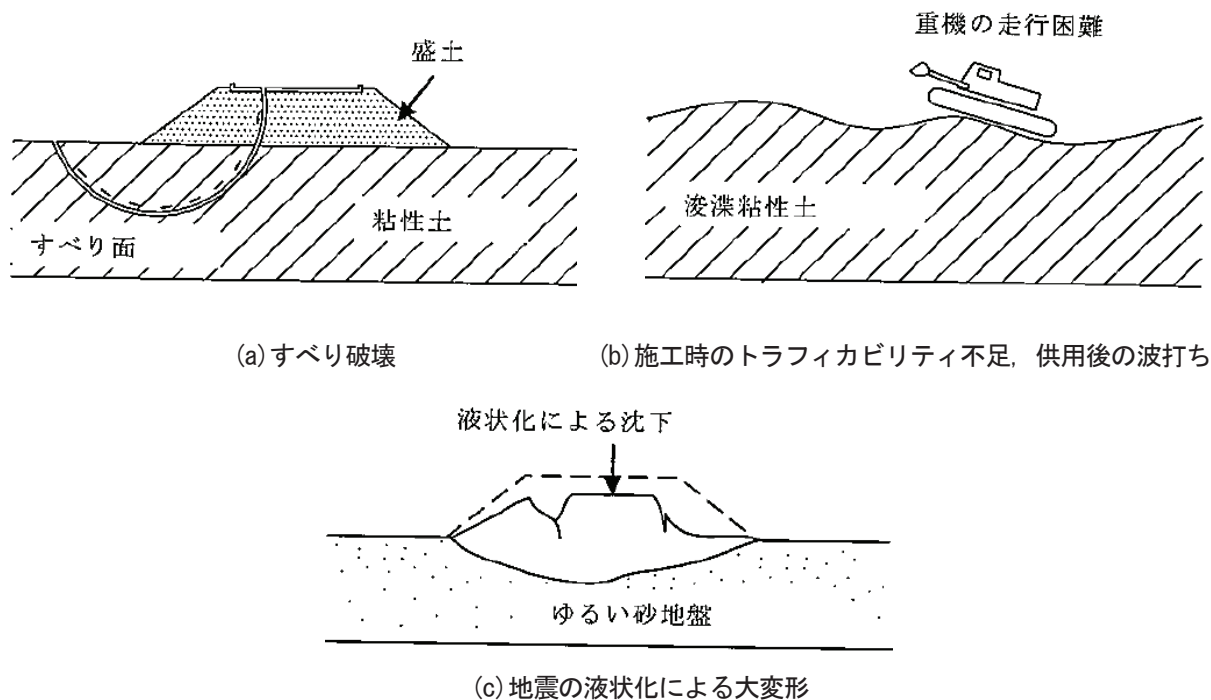


図 5.1-1 本工法で対象とする軟弱地盤で想定される被害¹⁾

5.1.3 開発概要と今年度実施概要

(1) 開発概要

図 5.1-2 に、CLT 板状地盤補強の軟弱地盤上の道路への適用イメージを示す。
以下に、この概要を示す。

対象：盛土（道路、鉄道、水路、宅地造成 他）などの軟弱地盤対策

目的：・安定性の確保

・トラフィカビリティの確保

適用範囲：地下水位+毛管水頭が GL-1.5 m 程度以浅の軟弱地盤

予想される強み：・施工が速い（リニューアルなどにも使用可能）

・確実にトラフィカビリティを得られる

・不陸が生じにくい

・環境との調和性が高い

・液状化被害の低減効果が期待できる

・現況復旧しやすい（⇒カスケード利用が可能）

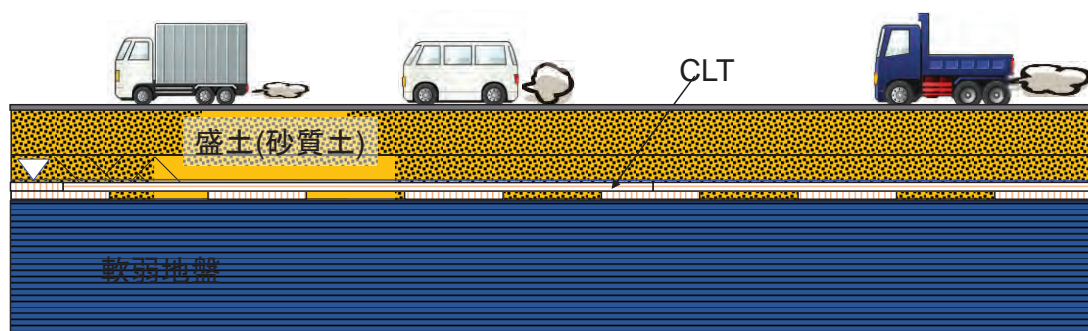
予想される弱み：・材料コストが高い（一般的なところは不利）

・形状の自由度が低い

凡そのコスト目標：(10,000 円/m² 以下（材料を含む工費）今後再検討していく）

(2) 今年度実証概要

現状の CLT を用いて、実際の軟弱地盤において実大規模の実証施工を行い、実施の可能性、施工性、対策効果の確認、CLT の耐久性、温室効果ガス削減効果・LCA（WG4 との連携）について検討を行う。なお、実験の規模は、土地改良事業計画設計基準農道（農林水産省）H17.3 改定³⁾に示される、「1.5 車線農道：幅員 2.5 m」「2.0 車線農道：幅員 5.5 m（内歩道部 0.7 m + 0.7 m）」を参考にした。



(a) 縦断面図



(b) 横断面図

図 5.1-2 CLT 板状地盤補強のイメージ

5.1.4 実証施工実験

(1) 目的（括弧内は実施予定年度）

- ・施工性の検討（令和3年度）
- ・沈下および不等沈下の検討（令和3年度より開始）
- ・すべり安定性の検討（令和4年度）
- ・周辺地盤への影響の検討（令和4年度）
- ・耐久性（劣化，接着性の低下）（令和7年度）
- ・LCA分析（WG4との連携による）

(2) 実施場所

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）で実施した。図5.1-3に、実施場所を示す。

大潟村は、約1万年の時間をかけて誕生した水深4~5m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」により水が排水され、昭和52（1977）年に17,229haの新しく生まれた大地である⁴⁾。このため干拓地の地盤は、きわめて軟弱で水平成層構造かつ均質と考えられる。そこで、この地を選んで実験を行うこととした。

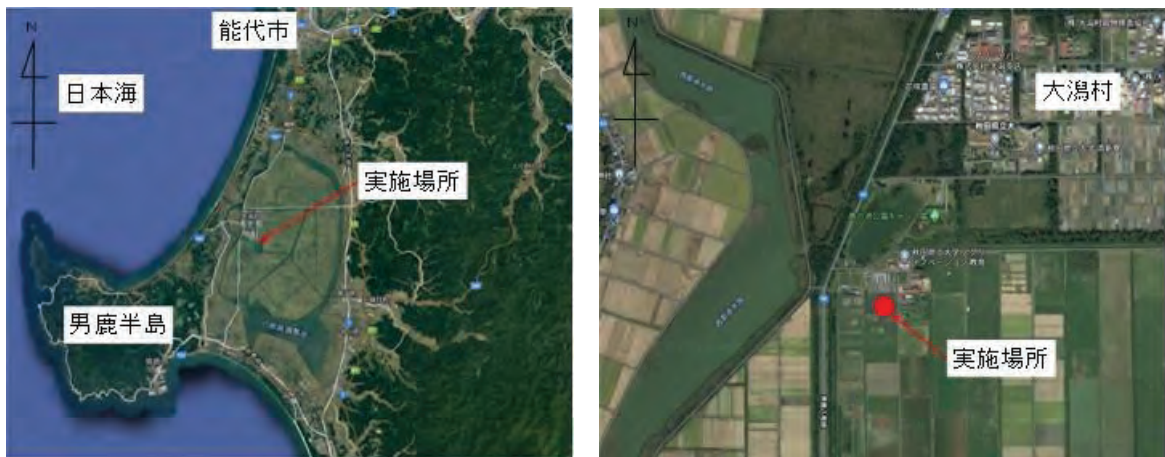


図 5.1-3 実証施工実験実施場所

(3) 実施概略工程

実施予定期間：令和3（2021）年度～令和7（2025）年度

今年度実施した概略工程を図5.1-4に示す。

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月
概略検討	■							
詳細検討	■							
実験計画		■						
CLT準備			■					
現場準備				■				
CLT・盛土施工					■			
計測杭設置 初期計測					■			
トン袋載荷					■			
計測					■			
2021年度 まとめ						■		

図 5.1-4 令和3年度 概略工程

(4) 実証施工実験ケース

実験は、以下の4ケースを実施した。

CASE 1 : 井桁状 (固定なし)	1.15 m × 6.9 m × 2 段 (3 層3 プライ)
CASE 2 : 井桁状 (固定あり)	1.15 m × 6.9 m × 2 段 (3 層3 プライ)
CASE 3 : 面状 (固定なし)	2.30 m × 6.9 m × 2 段 (3 層3 プライ)
CASE 4 : 無対策	

いずれも、原地盤を 0.50 m 程度掘り込み、そこを基盤に基盤より高さ 1.5 m の盛土を造成した。CASE4 の無対策では、基盤より直接砂を投入し、盛土を造成した。CASE3 は、基盤に直接 CLT を強軸方向が直交するように 2 段敷設した。CASE 1 と CASE 2 は、CLT の使用量を半分に減らすために、CASE 3 で用いた CLT の幅を半分にして、井桁状に 2 段敷設した。CASE 1 は、CLT を単純に 2 段重ね、CASE 2 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。

用いた CLT の概要を以下に示す。

- ・層数 : 3 層 3 プライ
- ・樹種 : スギ
- ・種別 : Mx60
- ・接着剤 : 水性高分子イソシアネート系接着剤
- ・寸法 : 6.9 m × 1.15 m × 0.09 m (18 枚 = 9 枚 × 2 ケース)、
4.6 m × 1.15 m × 0.09 m (6 枚 = 3 枚 × 2 ケース)
6.9 m × 2.3 m × 0.09 m (9 枚)、4.6 m × 2.3 m × 0.09 m (3 枚)

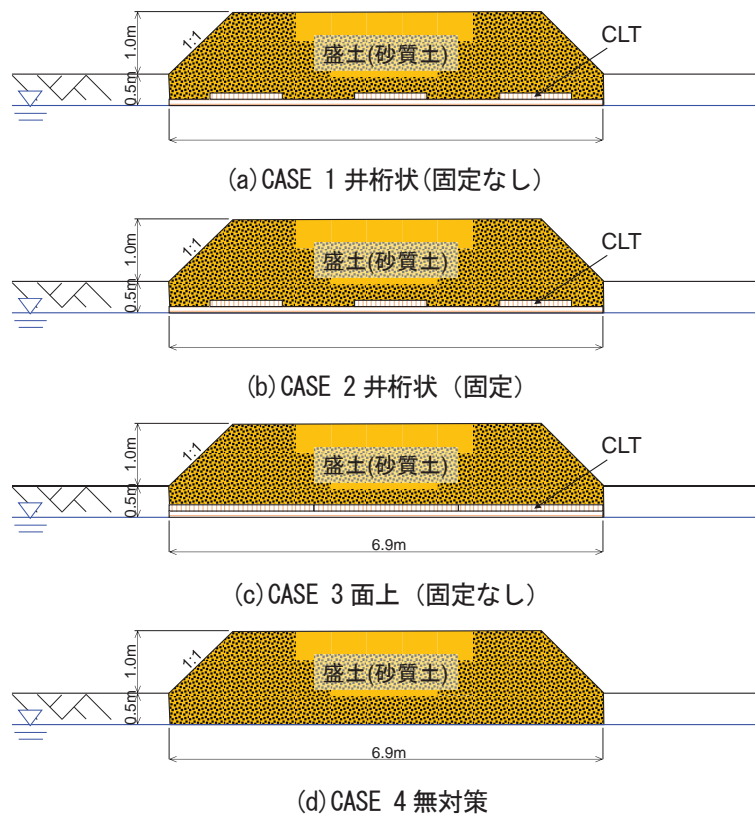
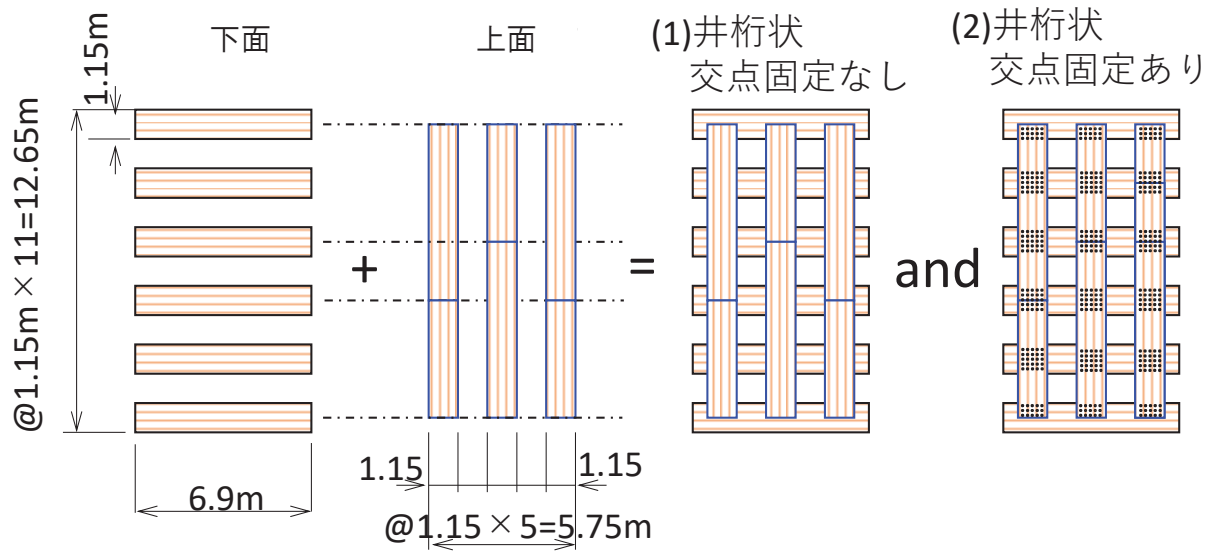
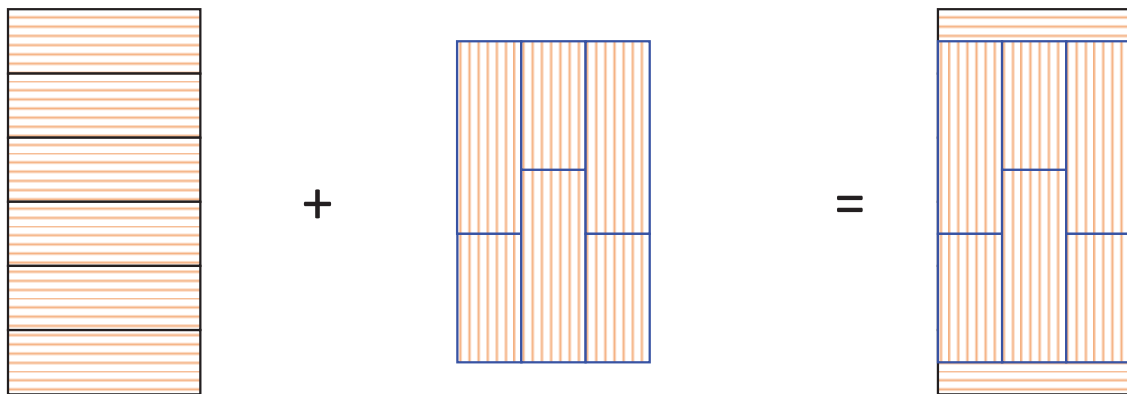


図 5.1-4 CLT 板状地盤補強実証施工実験ケース (断面図)



(a) CASE 1 & CASE 2 井桁状(固定なし&固定)



(b) CASE 3 面状(固定なし)

図 5.1-5 CLT 板状地盤補強実証施工実験における各ケースの CLT の配置 (平面図)

固定のピンは、丸鋼を用いた。丸鋼の仕様を以下に示す。

- ・種類：丸鋼 SR 235
- ・寸法：径 19 mm × 長さ 150 mm (360 本 = 4 行 × 6 列 × 12 個所 + 4 行 × 3 列 × 6 個所)

(5) 実施状況

写真 5.1-1 (その1) ~ (その6) に、実証施工実験の状況を示す。



(a) 施工前の様子

(a)に、施工前の様子を示す。施工前は、高さが1.5～2.0 m程度の雑草が生い茂っていた。写真は、雑草を刈った状況である。



(b) 施工面までの地盤の掘削状況

(b)に、掘り込みの状況を示す。最初に表土を剥ぎ、次にバックホウ（コマツ PC 200）で0.5 m程度掘削し、平らな基盤面を作製した。



(c) 掘削土の運搬

(c)に、掘削した土の運搬状況を示す。掘削した土は、ゴムクローラーキャリア（日立建機、EG 70R）で約20 m運搬した。



(d) 掘削の完了

(d)に、掘削が完了した基盤面の様子を示す。当初地下水水位は、地表付近を想定したが、多量の出水はなかった。写真で水溜りができているのは、降雨によるものである。基盤面は、地盤の低い西側（写真奥側）は酸化が想定される褐色を呈し、東側（写真手前側）は還元色の青灰色を呈していた。

写真 5.1-1 CLT 板状地盤補強実証施工実験
実施状況（その1）



(e) 水位計観測井の設置状況

(e)に、水位観測井の設置状況を示す。観測井は、塩ビ管の2重管式になっている。外側の塩ビ管を圧入した後に、不織布で覆った内管を設置し、内管と外管の間は、砂利を投入した。



(f) 水位計観測井と百葉箱の設置状況

(f)に、百葉箱の設置状況を示す。高さ1.1mの高さに、扉が真北を向くように設置した。



(g) 百葉箱の内側の状況
(水位計バロメータ, 温度・湿度計)

(g)に、百葉箱の内側を示す。気圧測定用の水位計のバロメータ (応用地質(株)社製 小型絶対圧水位計 S&DL Model-4900(10 m 計))、温度・湿度計 ((株)T & D 社製温度・湿度データロガー TR-72nw (おんどとり)) を設置した。



(h) 水位計の投入状況

(h)に、水位計の設置状況を示す。水位計は、内管に所定の深度となるように設置した。

写真 5.1-1 CLT 板状地盤補強実証施工実験
実施状況 (その2)



(i) CLT の搬入状況

(i)に、CLT の搬入状況を示す。運搬は、22 t トレーラー1 台で全数、岡山県真庭市の銘建工業より運ばれた(片道 1,053 km)。荷卸しは、25 t 吊りラフタークレーン(加藤製作所、SR-250 R)を使い、CLT を4 点で吊り上げた。



(j) 井桁状の CLT 敷設状況

(j)に、井桁状の CLT の敷設状況を示す。荷下ろしと同様にラフタークレーン SR-250 R を用いて、4 点吊りで行った。



(k) CLT 間への砂の投入状況

(k)に、1 段目 CLT 間への砂の投入状況を示す。ラフタークレーン SR-250 R によりバケットを吊り、そこに砂を入れて所定の位置に投入した。



(l) CLT 間砂層の締固め状況

(l)に、CLT 間の砂層の締固め状況を示す。締固めは、タンパーを用いた。

写真 5. 1-1 CLT 板状地盤補強実証施工実験
実施状況(その3)



(m) 井桁状 2 段目の CLT 敷設状況

(m)に、井桁状の CLT の 2 段目の敷設状況を示す。



(n) 井桁状 CLT ラグスクリューによる仮固定状況

(n)に、CLT を固定する場合のラグスクリューによる CLT の仮止め状況を示す。



(o) 井桁状 CLT 孔開けとピン打ちの状況

(o)に、井桁状の交点におけるピン止め状況を示す。径 19 mm のドリルで孔を開けて、に径 19 mm の丸鋼をハンマーにて打ち込んだ。



(p) 盛土材料の投入状況

(p)に、盛土材料の投入状況を示す。2 段目の CLT を敷設後、ダンプにて砂の投入を行った。

写真 5. 1-1 CLT 板状地盤補強実証施工実験
実施状況 (その 4)



(q) 盛土の造成状況 (CASE1 部)

(q)に、盛土の造成状況を示す。締固めは、バックホウ(約 20 t)にて4回転圧とした。CLT 敷設直後より 10 t のダンプトラックが容易に進入可能であり、トラフィカビリティは良好である。

盛土材料運搬料は、以下の通りである。

CASE 1 + CASE 2 = 322 m³

CASE 3 + CASE 4 = 433 m³



(r) 面状 CLT 2 段目敷設状況 (CASE3)

(r)に、面状の CLT 敷設状況を示す。基盤作製後直ちに CLT を敷設していただけなので、施工はかなり速い。



(s) 盛土上測量杭設置状況

(s)に、盛土上に設置した測量杭の状況を示す。盛土上に、1 m 間隔で杭を設置した。



(t) 盛土周囲地盤測量杭設置状況

(t)に、盛土周囲に設置した測量杭の状況を示す。盛土に直行する方向に 1 m 間隔で設置した。

写真 5. 1-1 CLT 板状地盤補強実証施工実験
実施状況 (その 5)



(u) 測量杭計測状況

(u)に、測量杭の変位測定状況を示す。



(v) 測量杭レベル計測状況

(v)に、沈下量測定状況を示す。



(w) トン袋載荷後測量杭計測状況

(w)に、トン袋載荷後の測量杭の変位測定状況を示す。
各トン袋の質量は以下のとおりである。

CASE 1 : $1.5 + 1.5 + 1.4 + 1.5 = 5.9 \text{ t}$

CASE 2 : $1.4 + 1.4 + 1.5 + 1.5 = 5.8 \text{ t}$

CASE 3 : 約 6 t

CASE 4 : 約 6 t



(x) 雨水排水対策，盛土完成状況

(x)に、排水性を向上させるために盛土上に雨樋、盛土のり面に波板を設置し排水対策を行った。盛土の完成状況を示す。

写真 5. 1-1 CLT 板状地盤補強実証施工実験
実施状況（その6）

(6) 実証施工まとめ

(a) 温度湿度観測結果

図 5.1-6 に、令和 3 年 10 月 29 日 11:09 から 12 月 10 日 13:29 までの気温と相対湿度の変化を示す。計測は、以下を用いて実施した。

(株)ティアンドディ T & D 社製温度・湿度データロガー TR-72 nw(おんどり)

気温は、10 月下旬に 10 °C 程度であったが 12 月上旬には 10 °C 以下の日が多くなり、0°C を下回るまで下がっている。湿度は、11 月上旬まで 100 % となる日もあったが、それ以降は 50~80 % に下がっている。

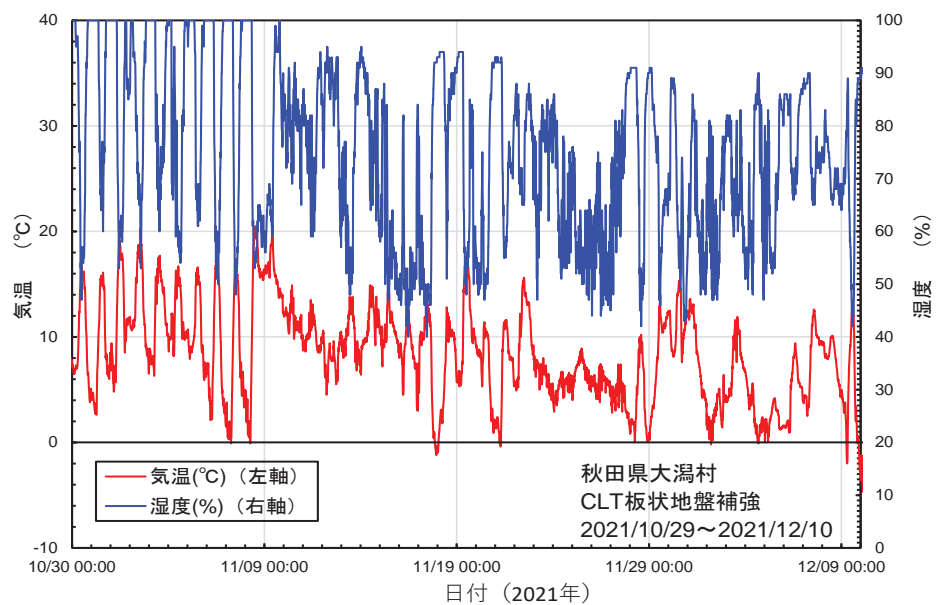


図 5.1-6 気温と湿度の観測記録（令和 3 年 10 月から 12 月）

(b) 地下水位観測結果

図 5.1-7 に、令和 3 年 10 月 30 日から 12 月 10 日までの地下水位の観測記録を示す。観測に用いた水位計は、以下である。

応用地質(株)社製 小型絶対圧水位計 S&DL Model-4900(10 m 計)

この 2 台の水位計を気中(百葉箱内)と地下水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 10 月下旬には GL-1.2 m 程度であったが、11 月 9 日には地表面付近まで上昇し、その後 GL-0.3 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くなっているためである。若干、地下水位が被圧地下水となっている可能性がある。

この図には、気象庁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 GL-0.3 m 程度まで下がることわかる。

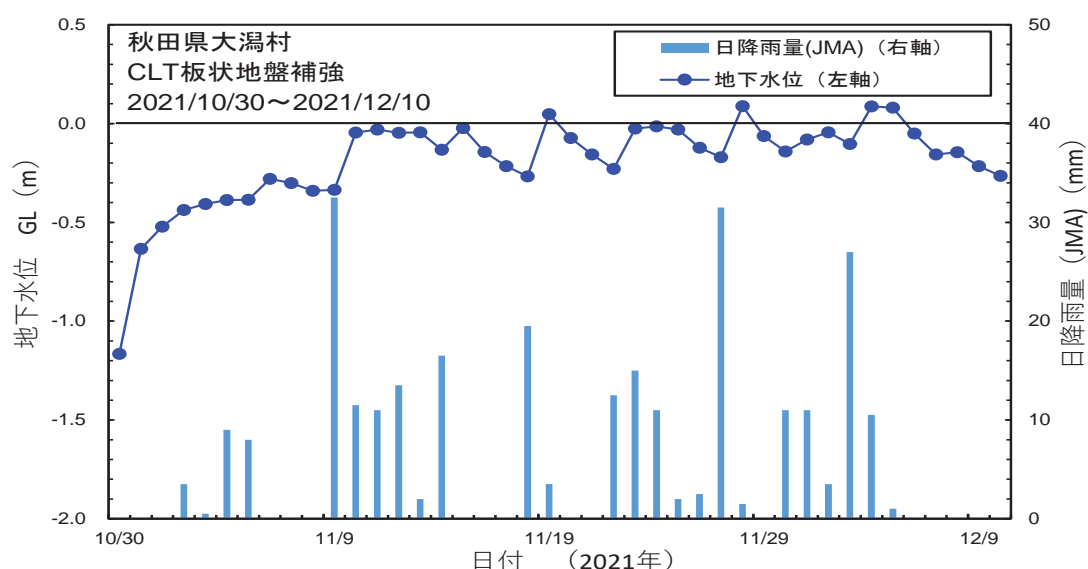


図 5.1-7 地下水位と日降雨量の観測記録 (令和 3 年 10 月から 12 月)

(c) 沈下と変位観測結果

図 5.1-8 に、盛土天端および盛土周囲地盤の測量杭の配置と杭番号を示す。盛土の縦断方向は、ほぼ東西を向いている。

図 5.1-9 に、盛土天端の各代表点 (C01、C03、A06、C06、E06、C09、C11) における沈下量の経時変化を示す。CASE 1～CASE 3 の CLT を敷設した地点では、概ね沈下量は 10 mm 程度であるが、無対策では 20 mm を超える場合も多く、CLT を敷設した地点の方が、沈下量が少ない傾向が認められる。

図 5.1-10 に、31 日経過した令和 3 年 12 月 10 日時点における盛土天端の沈下量分布図を示す。無対策では 20mm を超えるものが多いのに対し、CLT を敷設した CASE 1～CASE 3 で沈下量が少なくなることが認められ、特に CASE1 (井桁状、固定なし) では沈下量が少ない。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、沈下が明らか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 5.1-11 に、盛土天端における変位ベクトル図を示す。CASE 1 と CASE 3 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 CASE 1 の変位量が小さい傾向がある。

ただし、これらの観測結果はまだ約 1 ヶ月が経過したばかりなので、今後継続的に計測する必要がある。

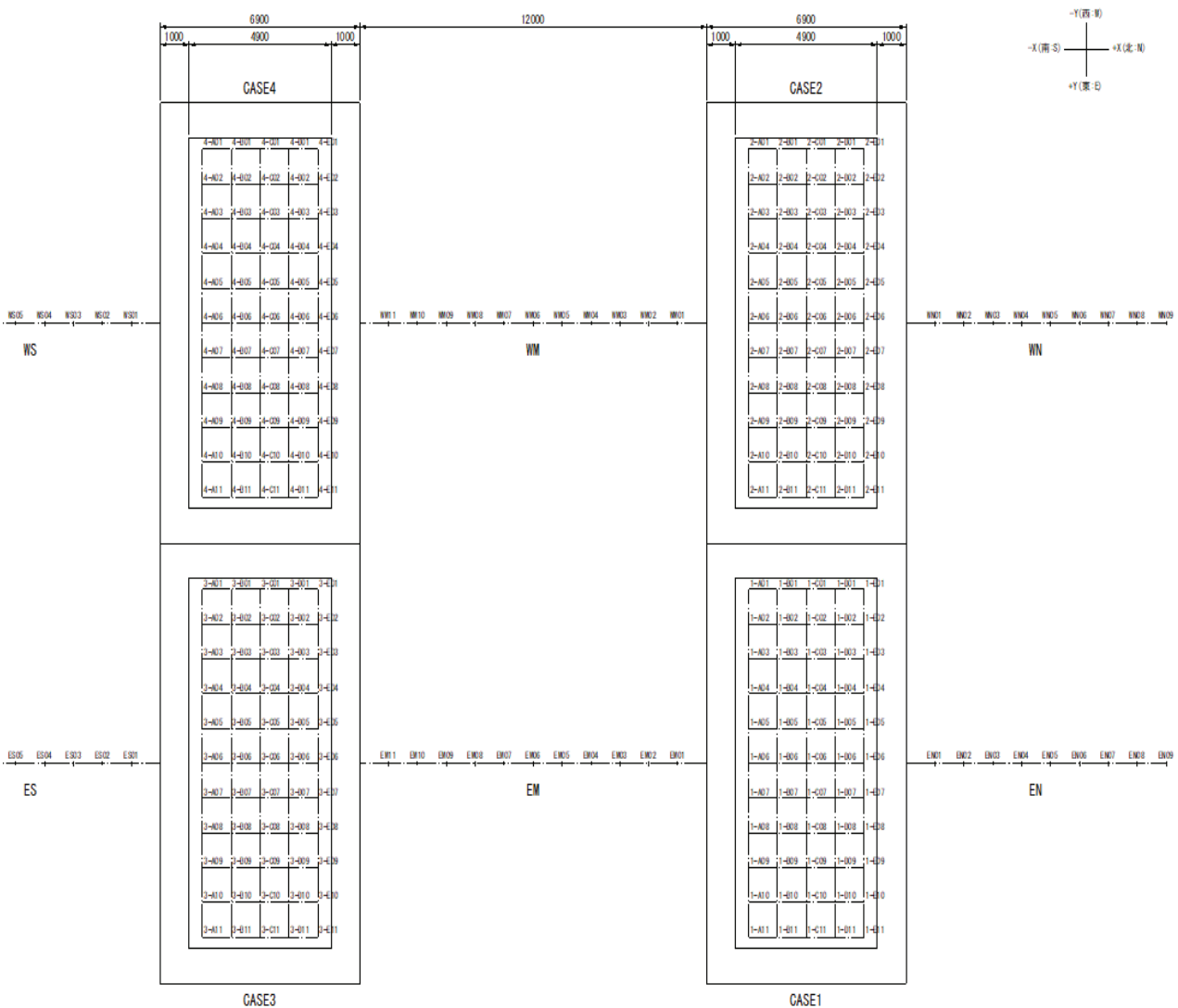
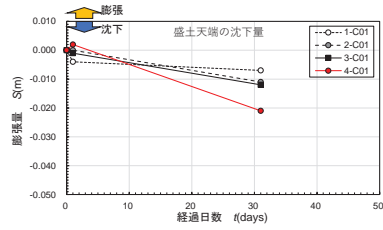
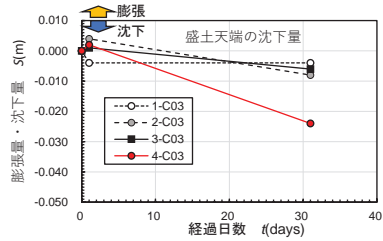


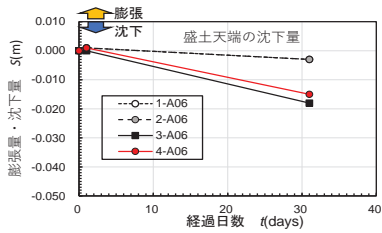
図 5.1-8 盛土天端および盛土周囲地盤の測量杭配置と杭番号



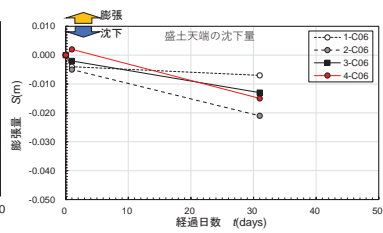
(a) C01



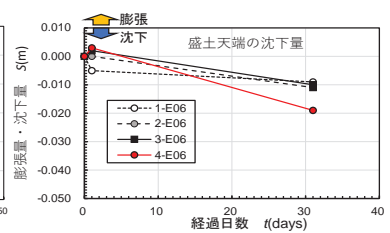
(b) C03



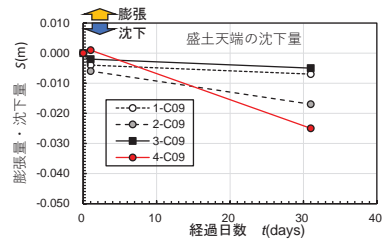
(c) A06



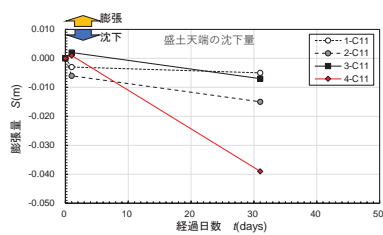
(d) C06



(e) E06

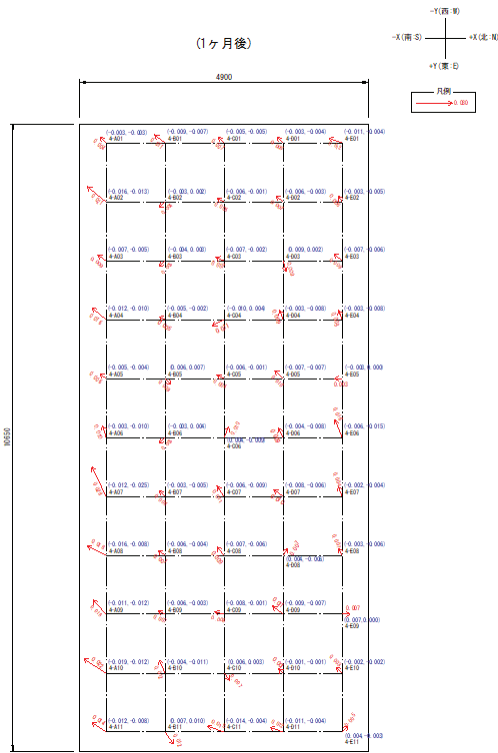


(f) C09

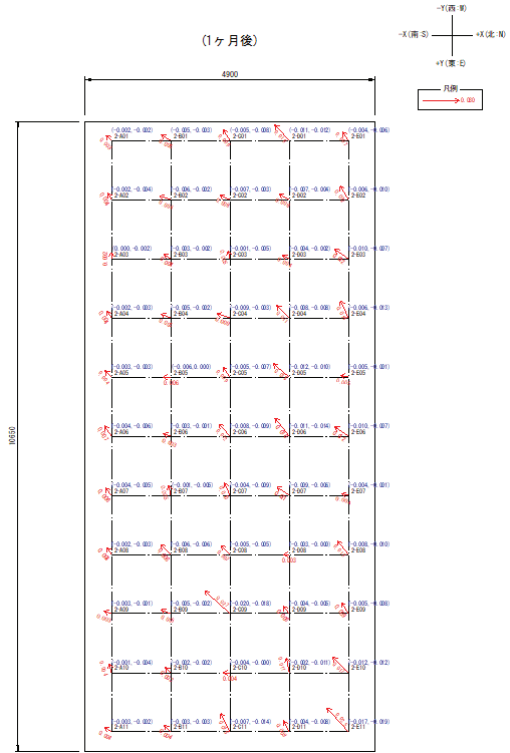


(g) C11

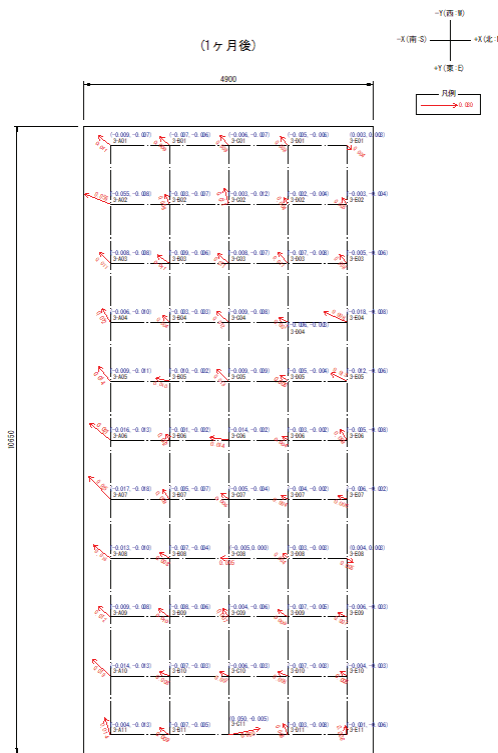
図 5. 1-9 盛土天端各代表点における沈下量の経時変化 (令和3年11月から12月)



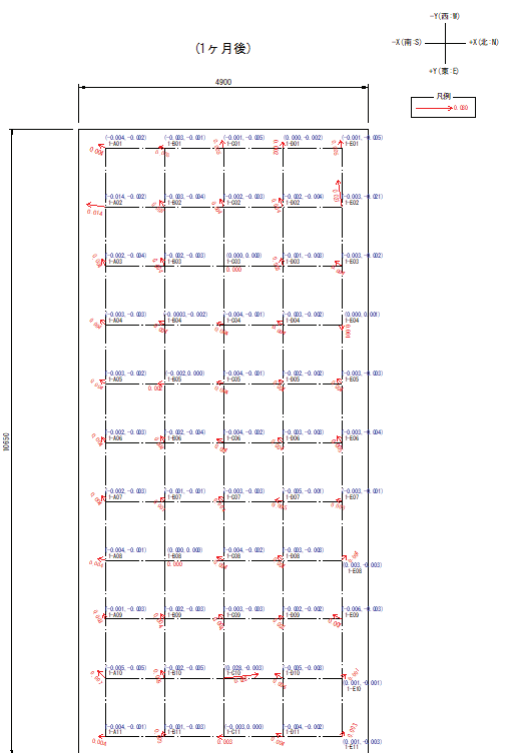
(a) CASE 4



(b) CASE 2



(c) CASE 3



(d) CASE 1

単位 : m

図 5.1-11 盛土天端の変位ベクトル (令和3年12月10日(31日経過)時点)

図 5.1-12 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、令和3年11月9日から12月10日の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 5.1-13 に、盛土周囲地盤における変位ベクトルを示す。盛土の北側を含め、全体的に南西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は認められない。

また、約1ヶ月間の計測なので、今後さらに継続的に計測を行う必要がある。

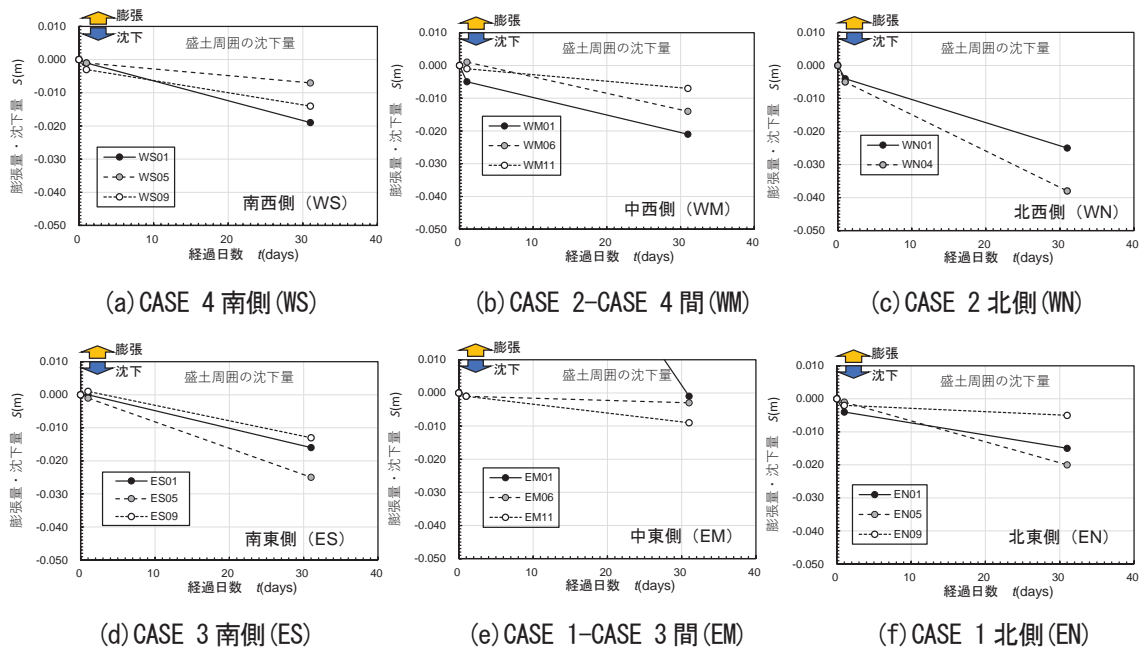


図 5.1-12 盛土周囲地盤の代表点における沈下量の経時変化（令和3年11月9日から12月10日）

(d) 施工歩掛

図 5.1-14 に、各 CASE の施工に要した施工時間を示す。いずれも、各 CASE の対象面積は 91m²である。各 CASE および他工法と共通である表土掘削と盛土造成を除くと、各ケースの CLT 敷設に要した時間は、以下となる。

- CASE 1 : 130 min (2.17 hr)
- CASE 2 : 430 min (7.17 hr)
- CASE 3 : 90 min (1.50 hr)

CLT 固定を行う CASE 2 で 7.17 hr とやや時間を要すが、いずれも 91 m²の地盤補強を実施するのに 1 日以下であり、固定を行わない CASE 1 と CASE 3 では 3 hr 以内であり、かなり施工速度は速いといえる。

表 5.1.1-2 に、本実証施工で得られた歩掛りを示す。重機としては、0.7 m³ バックホウ、キャリアダンプ、25t ラフタークレーンを用いた。作業員は、オペレータを除き世話役 1 人と普通作業員 2 人～4 人を要した。

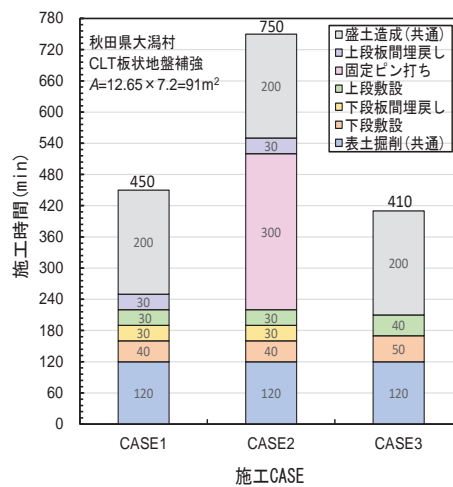


図 5.1-14 各ケースの施工時間

表 5.1-2 CLT 板状地盤補強の実証施工における歩掛り

		CASE1 (井桁状：固定なし)	CASE2 (井桁状：固定あり)	CASE3 (面状：固定なし)	備考
表土掘削	施工重機	0.7m ³ BH(1台), キャリアDP(1台)	0.7m ³ BH(1台), キャリアDP(1台)	0.7m ³ BH(1台), キャリアDP(1台)	各CASE共通
	施工人工	BHオペ1人, DPオペ1人, 世話役1人, 普通作業員2名	BHオペ1人, DPオペ1人, 世話役1人, 普通作業員2名	BHオペ1人, DPオペ1人, 世話役1人, 普通作業員2名	各CASE共通
	施工時間	120(分)	120(分)	120(分)	各CASE共通
CLT下段敷設	施工重機	25tRC(1台)	25tRC(1台)	25tRC(1台)	
	施工人工	RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員4人	RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員4人	RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員4人	
	施工時間	40(分)	40(分)	50(分)	
下段板間埋戻し	施工重機	0.7m ³ BH(1台), 25tRC(1台)	0.7m ³ BH(1台), 25tRC(1台)	-	
	施工人工	BHオペ1人, RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員3人	BHオペ1人, RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員3人	-	
	施工時間	30(分)	30(分)	0(分)	
CLT上段敷設	施工重機	25tRC(1台)	25tRC(1台)	25tRC(1台)	
	施工人工	RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員4人	RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員4人	RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員4人	
	施工時間	30(分)	30(分)	40(分)	
固定ピン打ち	施工重機	-	-	-	
	施工人工	-	世話役1人, 普通作業員4人	-	
	施工時間	-	300(分)	0(分)	
下段板間埋戻し	施工重機	0.7m ³ BH(1台), 25tRC(1台)	0.7m ³ BH(1台), 25tRC(1台)	-	
	施工人工	BHオペ1人, RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員3人	BHオペ1人, RCオペ1人, 世話役1人, 普通作業員3人	-	
	施工時間	30(分)	30(分)	0(分)	
盛土造成	施工重機	25tRC(1台), 0.7m ³ BH(1台), DP(1台)	25tRC(1台), 0.7m ³ BH(1台), DP(1台)	25tRC(1台), 0.7m ³ BH(1台), DP(1台)	各CASE共通
	施工人工	BHオペ1人, DPオペ1人, 世話役1人, 普通作業員2人	BHオペ1人, DPオペ1人, 世話役1人, 普通作業員2人	BHオペ1人, DPオペ1人, 世話役1人, 普通作業員2人	各CASE共通
	施工時間	200(分)	200(分)	200(分)	各CASE共通
施工時間合計		450(分)	750(分)	410(分)	

BH : バックホウ、DP : ダンプ、RC : ラフタークレーン

(e)コスト比較

図 5.1-15 に、各ケースの施工費を示す。幅 6.9 m×延長 100 m、0.5 m 掘り込み、盛土 1.5 m を造成することを仮定し、今回の実証施工のコストを参考に補強面積 1 m²あたりの材料込みの施工費を試算した。図中には、比較のために厚さ 1 m および 2 m のセメントによる中層混合処理の試算値も併記した。床掘をそれぞれの深さ分行い、超軟弱地盤用のセメントを 1 m³あたり 75 kg 添加することを想定した。積算は、「国土交通省土木工事積算基準」による施工パッケージ型積算方式（直接工事費=材料費+労務費）で算出した。

CLT を用いた場合には、材料コストがかなり大きいことがわかる。そこで、CLT の使用を板状から井桁状に変えることで、材料コストを半分にするのができ低コスト化が図られ、井桁状の CASE1 と CASE2 が低コストとなっている。CLT を固定する場合、作業手間が大きくなり、CASE2 では施工費が CASE1 の倍近くになる。トータルでは、CASE1 が最も安いのが 10,000 円/m²を上回り現状では割高である。

厚さ 2 m のセメント中層混合処理は、7,200 円/m²程度であり、今後主に CLT の低コスト化を図り、これに近づけていく必要がある。

今後さらに、類似の地盤対策工法と比較検討を行い、コストを含めたメリット・デメリットの比較を行う必要がある。

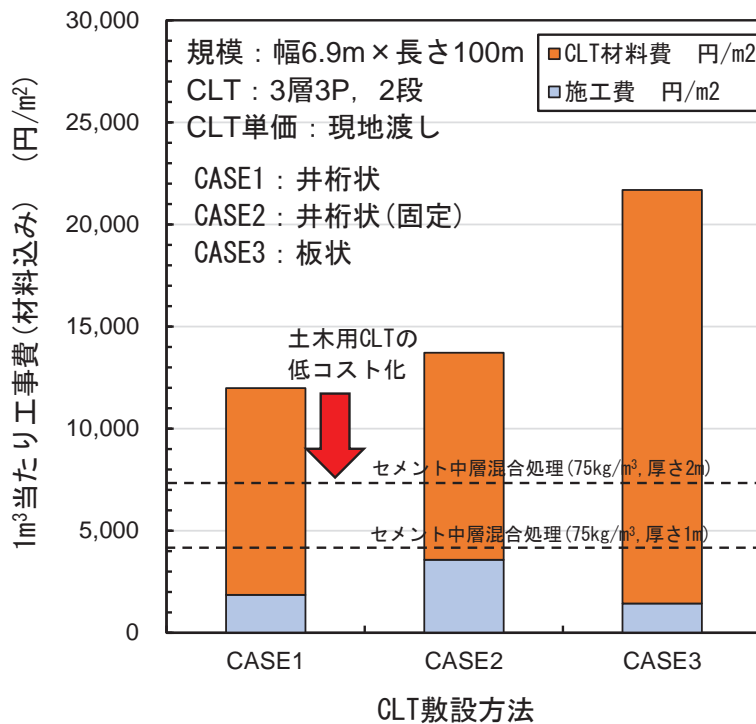


図 5.1-15 CLT 板状地盤補強実証施工実験コスト比較

(7) 実証施工実験より得られた本工法の利点と課題

実証施工実験より得られた利点と課題をまとめると以下の通りである。

(a) 利点

- ・施工がかなり速い。約 90 m² 施工する場合で、CLT の敷設に要した概略の時間は以下であった。
井桁状で無固定：約 2 時間
井桁状でピン固定：約 7 時間
面状で無固定：約 1 時間半
- ・トラフィカビリティを確実に得られる。(CLT を敷設した直後より、10t トラックが容易に侵入できた。)
- ・CLT を敷設後は、上に大量の盛土を行わなくても、トラックなどの走行が可能となる。
- ・工事の際、特殊な重機が不要であり、比較的、施工が容易である。
- ・セメント混合処理で生じるセメントと軟弱地盤土質の相性など気にすることなく、安定的に軟弱地盤対策を実施できる。
- ・今後の検証が必要であるが、施工後維持管理が不要となる可能性が高い。
- ・現時点では、無対策に比べ沈下量を半分程度に抑制できている。
- ・現時点では、CLT を固定した場合と未固定の場合で発生する変位や沈下量に大きな差は認められず、CLT を未固定で施工できる可能性が高い。
- ・木材の保存処理剤を使用しないので、周辺環境へ影響を与えずに炭素貯蔵ができる可能性が高い。
- ・セメントなどで改良体を構築するわけではないので、供用後現況復旧が可能であり、時限的な構造物へ使用できる。

(b) 今後の課題

- ・現状の CLT を用いた場合には、既存のセメント中層混合処理より高コストであり、特に土木用の CLT として、補強面積 1 m² 当たり 4,000 円程度 (運搬費込み) の低コスト化を図る必要がある。
- ・今後、載荷試験や地盤調査などにより CLT を敷設した盛土の安定性に関する調査や、長期観測による沈下や不動沈下に関する調査、地盤中における CLT の耐久性の確認を行う必要がある。
- ・CLT の低コスト化のために、CLT 板状地盤補強の仕様に適合した CLT 製造工程の省略、材料歩留まりの向上、他の土木用途に用いる CLT と合わせた寸法統一等によるモジュール化、運搬効率の向上などが必要である。
- ・CLT 板状地盤補強工法の設計法と施工法の構築と、その第三者評価の取得や国土交通省などへの技術登録を行う必要がある。

5.2 CLT 防雪柵の開発

5.2.1 開発に至った経緯

防雪柵は吹雪による道路の視程障害（空气中に浮遊する雪などにより光が散乱・吸収・反射され、光の量が減少して景色が見えにくくなること）や吹きだまりを防止する為の構造物であり、一般的に道路路肩付近に設置する。標準的なサイズは柵高 4 m、スパン長 4 m であり、柱と防雪板で連結した構造となっており、道路によっては数 km に渡り対策を行う。主要部材は全て鋼材で、腐食防止の溶融亜鉛めっき処理を行い、物理的耐久性を高めている。耐用年数は、地域差はあるものの一般的には 30 年程度である。発注元は、NEXCO、国土交通省、地方自治体、JR であり、30-40 km/年程度の発注実績がある。

鋼製防雪柵の課題を整理すると下記となる。

1. 融雪剤で腐食しやすい。
2. 鉄は熱伝導率が高いため下記は温度が上昇し、真夏では最大 60 °C まで上がる。周辺環境への輻射熱の要因となる。
3. 鋼材製造時の高炉稼働により、CO₂ 排出量が多い。
4. コロナによる影響を受け鋼材価格が高騰している。

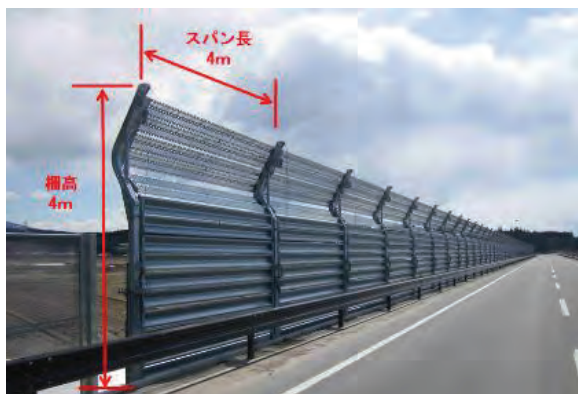


写真 5.2-1 鋼製防雪柵



写真 5.2-2 木製防雪柵（別海町）

過年度に実施した木製高性能防雪柵の開発事業（平成 16 年度 農林水産省研究高度化事業、理研興業株式会社、北海道、林業試験場、林産試験場、防災科学技術研究所との共同研究）で得られた木製高性能防雪柵の課題点としては下記が挙げられる。

1. スギ材は強度が低いので強度が求められる構造物には不向きであること
2. カラマツ製材は堅く強度があり構造物には適すが、割れやねじれが発生しやすいこと
3. 木製防雪板の変形発生による固定ボルト接合部の破損のおそれ
4. 防雪柵に着雪して吹き溜まりが成長することによる防雪柵周りの雪の飽和

従来の木製防雪柵には半割丸太や単板を使用していたが、これを CLT にすることにより従来の木製防雪柵の課題である割れや変形を解決できるのではと考え、開発を開始した。



写真 5.2-3 木製防雪柵（福島県）



写真 5.2-4 木製防雪柵（福島県）

5.2.2 CLT 使用目的

1. 材質を鉄から木に変えることによる周辺環境への輻射熱の緩和
2. 林業の活性化
3. 見た目の柔らかさや高級感等、ドライバーに対する道路イメージの向上
4. 森林環境の保全や木材リサイクル等,SDGs への合致
5. 環境や SDGs を根底に CLT の利用促進をテーマに企業イメージアップ



図 5.2-1 CLT 防雪柵イメージ図

5.2.3 開発概要と今年度実施概要

防雪柵の防雪板として CLT の活用を検討して課題を抽出する。

今年度は CLT 防雪柵を 3 スパン、鋼材防雪柵を 3 スパン設置して、CLT への着雪状況の観察、表面温度測定による鉄と木の周辺環境への輻射熱の影響度の把握、含水率測定を実施する。

5.2.4 実証施工

(1) 目的

防雪柵に CLT を活用する際に想定される課題として、着雪、吸水、腐朽が考えられるため、下記確認を行う。

1. CLT に 3 種類の塗料を塗布し着雪状況を観察して、着雪防止のための最適な表面処理を選定する。
2. 一年を通じて定期的に鋼材防雪柵と CLT 防雪柵の温度変化を計測し、周辺環境への輻射熱の影響度を把握する。
3. 含水率変化を計測する。

(2) 実施概略工程

表 5.2-1 実施概略工程

	令和3年11月	12月	令和4年1月	2月	3月
試験柵設置	▶				
試験、データ整理			▶		
WG2 報告書作成			▶		
最終報告書作成					▶

(3) 実施場所

理研興業株式会社 屋外実験場（小樽市銭函3丁目51番地21）にて実施する。



写真 5. 2-5 屋外実験場の場所

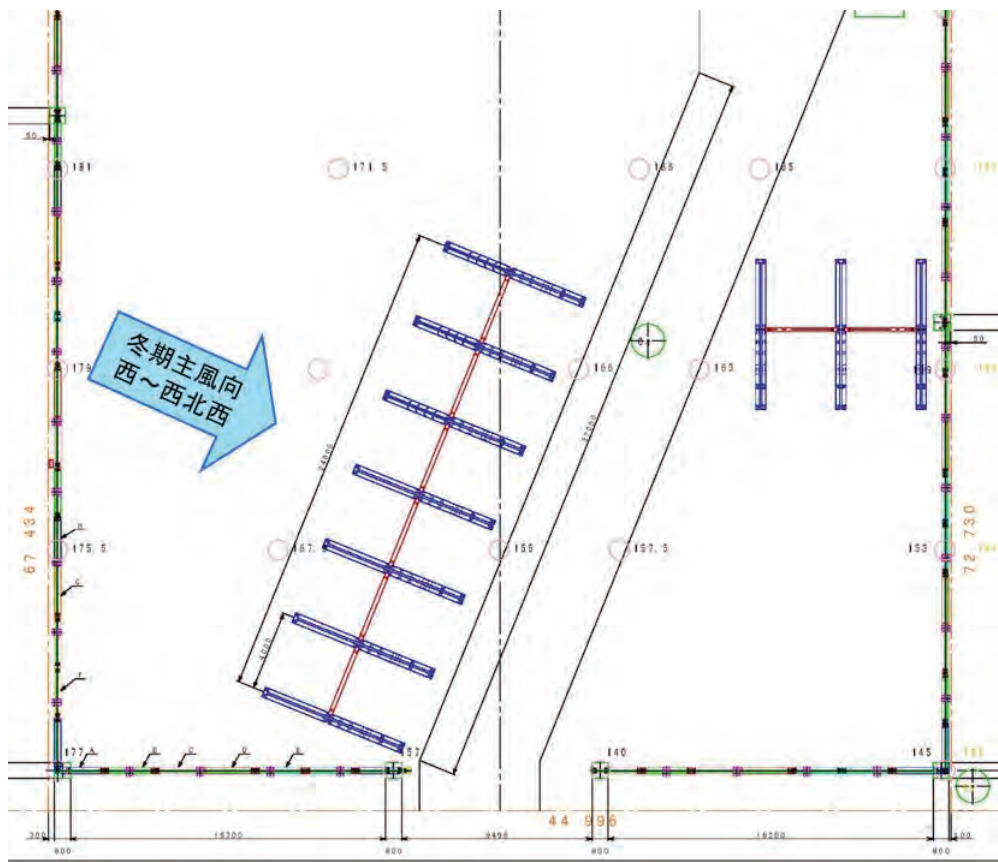


図 5. 2-2 実施計画図

(4) 試験方法

CLTの防水、防腐、着雪防止のため、撥水塗料、ポリウレア、ポリウレタン系樹脂塗料の3種類の塗料を塗布し、下記6項目を測定する。これらのデータをリンクさせて、着雪する条件、雪が落ちる条件を把握する。

試験体はカラマツ CLT Mx90-3-3 (A種構成)、幅3970mm×高さ1300mm×厚さ60mmを上下2段構成で3スパン分、計6枚である。塗布量は撥水塗料が450 g/m²、ポリウレアが450 g/m²、ポリウレタンが800 g/m²である。

項目① 定点カメラ2台による防雪板の表面観察(風上側、風下側)。

15分間隔で静止画、動画(10秒間)を撮影。

項目② 定点気象観測機器2セットによる周辺の風向、風速、気温、積雪深測定(風上側、風下側)。

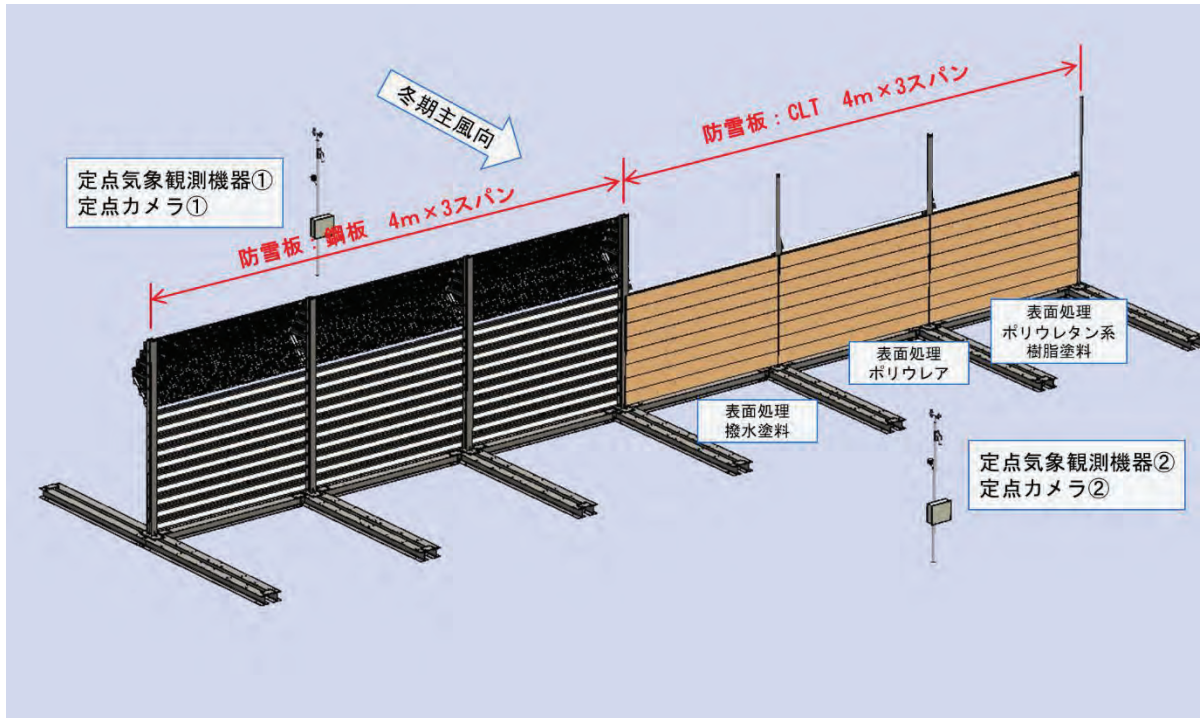


図 5.2-3 実験①②イメージ図

項目③ 熱電対+データロガーによる防雪柵の表面温度測定。(各スパンの風上側、風下側)

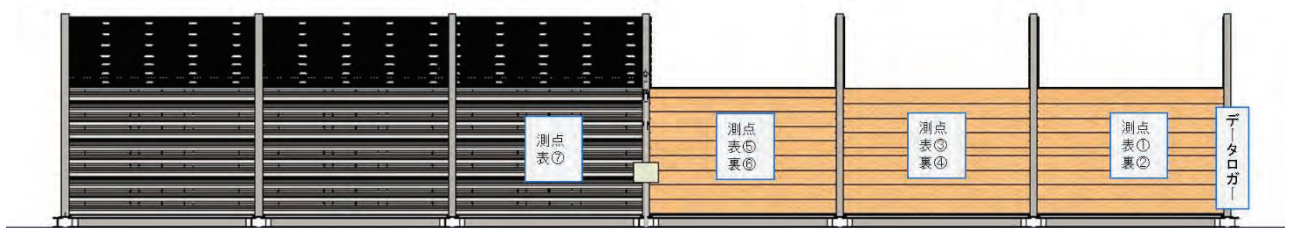


図 5.2-4 実験③イメージ図

項目④ CLTパネルの含水率測定(定期的)。(各ラミナの風上側、風下側)

項目⑤ 小型試験体の浸せきによる含水率変化の観察。

項目⑥ 小型試験体の強度試験(曲げ試験、めり込み試験)。

(5) 実施状況

①CLT の塗装状況

撥水塗料、ポリウレタ、ポリウレタン系樹脂塗料の3種類の塗料を各スパン上段側の3枚の全面に塗布し、下段の3枚は比較用として無塗装とする。各CLTの設置箇所は下図の通りである。

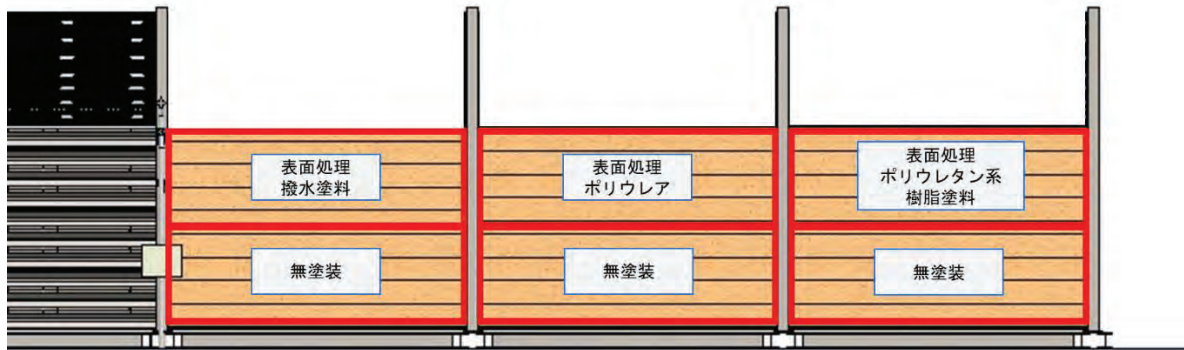


図 5.2-5 各CLTの配置図（風下側から見て）

各塗料の塗装状況については下記写真の通りである。

a. 撥水塗料



写真 5.2-6 塗布準備



写真 5.2-7 塗布作業



写真 5.2-8 塗布終了（小型試料）

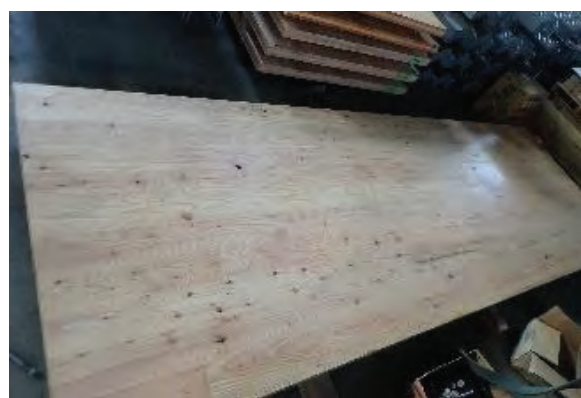


写真 5.2-9 塗布終了（防雪板）

b. ポリウレア



写真 5. 2-10 塗布準備 (A 液)



写真 5. 2-11 塗布準備 (B 液)



写真 5. 2-12 塗布作業 (防雪板)



写真 5. 2-13 塗布終了 (小型試料)

c. ポリウレタン系樹脂塗料



写真 5. 2-14 ポリウレタン系樹脂塗料

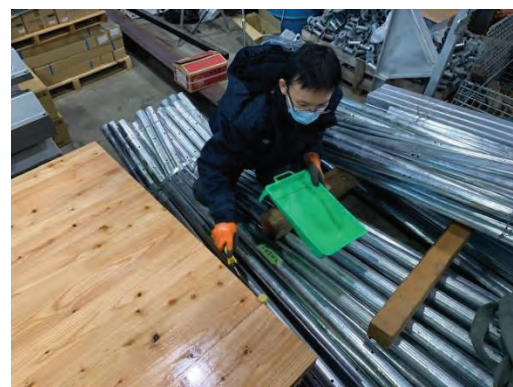


写真 5. 2-15 塗料作業 (ローラー)



写真 5. 2-16 塗布終了 (防雪板)

②防雪柵の設置状況



写真 5.2-17 架台、主柱設置



写真 5.2-18 CLT 防雪板設置状況



写真 5.2-19 CLT 防雪板設置状況



写真 5.2-20 CLT 防雪柵設置完了

(6) 実証施工まとめ

令和3年12月28日より実験①②③を開始した。令和4年3月31日時点までの測定結果で冬期の結果を取りまとめ、令和4年4月1日以降は引き続き夏期の測定を行う。



写真 5.2-21 実験①定点カメラ（風下側）
設置状況



写真 5.2-22 実験①定点カメラ（風上側）
設置状況



写真 5. 2-23 実験②定点観測機器（風下側）
設置状況



写真 5. 2-24 実験②定点観測機器（風上側）
設置状況



写真 5. 2-25 実験③データロガー設置状況



写真 5. 2-26 実験③熱電対設置状況

5. 2. 5 今後の展開

①各実験

夏期も実験を継続し、木製防雪柵と鋼製防雪柵の温度比較による周辺環境への輻射熱への影響度を検証する。

②詳細設計

防雪柵の上端に忍び返し誘導板を設置することで防雪柵の機能が向上することから、忍び返し誘導板部の詳細設計を行う。開発局型吹止柵（国土交通省北海道開発局の吹止式の防雪柵の標準仕様であり、忍び返し部が一体化している防雪柵）については、忍び返し部の詳細設計を行う。

③実験用防雪柵の延長数の追加

着雪による影響を調査する目的で防雪柵を設置するので、柵の端部で発生する強風域を考慮する必要がある。強風により着雪が起きにくい傾向があり、出るからである。その範囲は水平方向に 12m 程度とされているので、今期の実験条件である 24m の全体柵延長（図 5. 2-6）では、雪が付きやすい観察範囲を確保できない可能性がある。従って、全体柵延長は 36m 以上とすることが望ましい。（鋼製 12m + 木製 12m + 鋼製 12m）（図 5. 2-7）。今期は予算の都合上、24m の条件で実験を行うが、来期は鋼製防雪柵を 12m 延長して、全体柵の総長 36m で実験を行う予定である。

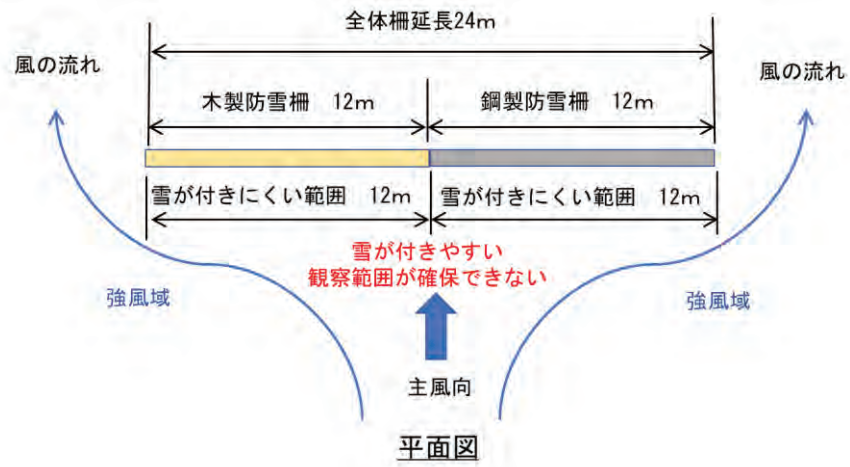


図 5.2-6 実験模式図（今期）

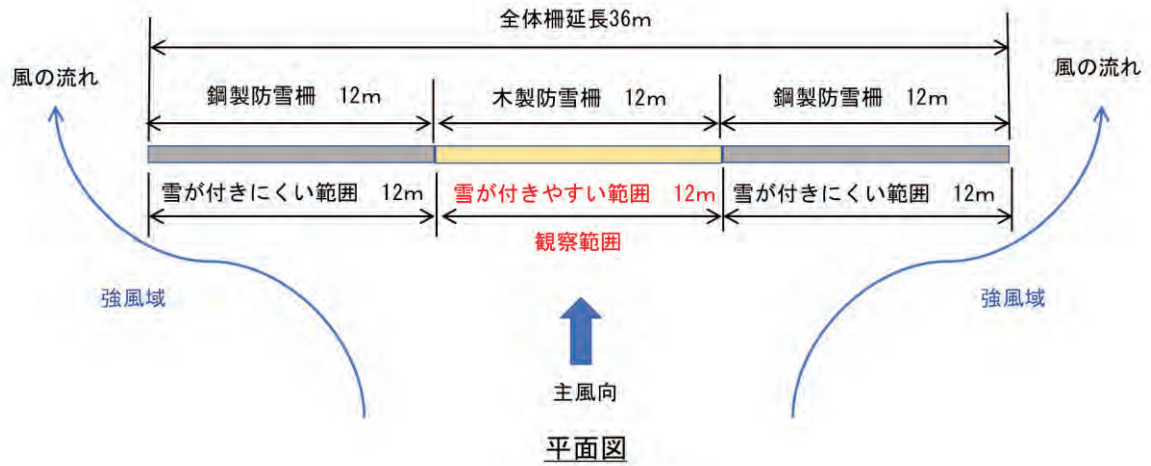


図 5.2-7 実験模式図（来期）

5.3 CLT 敷板の開発

5.3.1 開発に至った経緯

リサイクル型ワーキングにおいては、比較的短期間の部材交換を想定した CLT の土木利用形態を検討している。その過程で、CLT の使用形態として、水平方向に寝かせる場合と鉛直方向に立てて使う場合とに大きく分けて検討することにした。前者の寝かせて使う場合は敷板としての利用を、また、立てて使う場合については防護柵として使うことを想定して検討を進めることとした。

5.3.2 CLT 使用目的

軟弱土壌地盤における土木施工現場においてはこれまで、作業車両の進入及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。この敷鉄板を CLT で代替することを目的とするものである。

CLT は敷鉄板と比較して密度が低いことから同じ量を搬入する場合でも総重量が軽減できるため、運搬における燃料消費を軽減でき、ひいては土木施工における CO2 排出量の軽減を図ることができると考えられる。また、複数回敷板として使用した後に燃料用材として供給してエネルギー代替としても用いると同時に、新たな CLT を製造することにより国産材の需要循環にも貢献できるものと考えられる。

5.3.3 開発概要と今年度実施概要

本研究では、敷板としての使用を想定した場合の CLT に対する耐久性と作業性を評価することを目的とする 2 種類の試験を実施する。まず耐久性を評価する試験では、CLT を地盤の上に長期間直置きして暴露し、材料自体の時間的変化を評価する。また、作業性を評価する試験では、実際の土木施工現場において敷板として CLT を実際に使用してその作業性の検証を行う。

上記の試験を実施することにより、CLT を敷板として使用する際の実用性と基本的な耐久性を把握できることが期待される。

5.3.4 耐朽性試験

(1) 目的

敷板として使用される CLT は地面に直置きされることがほとんどであり、長期間湿潤状態の地盤上に置かれることが想定される。本試験では、この最も過酷な条件として永続的に地面に直置きした状態における CLT の状態変化を観測することにより、CLT 自体の耐久性について評価する。

(2) 実施概略工程

長さ 5,995 mm×幅 1,150 mm のスギ CLT (Mx60、3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライ、いずれも強軸) を試験対象とした。これらの試験体 (繰返し数 1 体) を 3 か所 (旭川、つくば、熊本) を設置場所として地面に直置き設置した。設置した各試験体の木口中央部分に温湿度ロガーを設置して CLT 設置場所の温度および相対湿度の測定を開始した。

(3) 実施場所

- A) 地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 林産試験場敷地内 (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 実験住宅敷地内 (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 九州支所敷地内 (熊本県熊本市中央区黒髪 4 丁目 11 番 16 号)

(4) 実験ケース

- A) 旭川市における実施状況 (写真 5.3-1)

設置予定箇所についてあらかじめ整地作業を行ったうえで、トレーラートラックから荷下ろしした (令和 3 年 10 月 28 日) CLT 試験体をフォークローダーによって長軸方向を南北軸に合わせて設置した。なお、荷下ろしと並行して試験体の初期重量を測定した (令和 3 年 11 月 1 日)。設置した試験体の北側木口面中央に温湿度ロガー (オンセット社製、HOBO Pro v2、測定間隔: 1 時間) およびタイムラプスカメラ (Brinno 社製、フル HD タイムラプス コンストラクションパック BCC2000、測定間隔: 30 分) を設置し、温湿度および設置

場所の状況確認を開始した（令和4年1月5日）。



CLT敷板設置場所の整地作業



設置作業後のCLT敷板



CLT敷板の設置作業



設置作業後のCLT敷板

写真 5. 3-1 CLT 敷板試験体の設置行程（旭川市）

B) つくば市における実施状況（写真 5. 3-2）

設置予定箇所の除草及び整地を行い（令和3年12月20日）、CLT試験体の荷下ろしと同時に重量測定を行い、ラフタークレーンによって長軸方向を東西軸に合わせて設置した（令和3年12月22日）。設置した試験体の東側木口面中央に温湿度ロガー（オンセット社製、HOBOPRO v2、測定間隔：10分）およびタイムラプスカメラ（Brinno社製、フルHDタイムラプス コンストラクションパック BCC2000、測定間隔：30分）を設置し、温湿度および設置場所の状況確認を開始した（令和3年12月22日）。

C) 熊本市における実施状況（写真 5. 3-3）

設置予定場所の整地を行った後、CLT試験体を長軸方向を南北軸に合わせて設置した（令和3年12月21日）。設置した試験体の北側木口面中央に温湿度ロガー（オンセット社製、HOBOPRO v2、測定間隔：1時間）およびタイムラプスカメラ（Brinno社製、フルHDタイムラプス コンストラクションパック BCC2000、測定間隔：30分）を設置し、温湿度および設置場所の状況確認を開始した（令和4年1月7日）。



設置場所の整地



敷板の吊り下げと重量測定



敷板の仮接地



設置完了状況

写真 5.3-2 CLT 敷板試験体の設置行程（つくば市）



写真 5.3-3 CLT 敷板試験体の設置完了状況（熊本市）

(5)実施状況

旭川およびつくばに設置した試験体の初期重量を表 5. 3-1 に示す。また、つくばにおける CLT 敷板試験体北側木口周辺の温湿度測定結果を図 5. 3-1 に示す。

表 5. 3-1 CLT 敷板試験体の初期重量および、みかけの密度

設置場所	CLT 寸法 (単位 : mm)	初期重量 (kg)	みかけの密度 (kg/m ³)
旭川市	5995×1150× 90	225. 5	363
	5995×1150×120	353. 6	427
	5995×1150×150	400. 7	387
つくば市	5995×1150× 90	248. 5	400
	5995×1150×120	335. 0	405
	5995×1150×150	417. 0	403

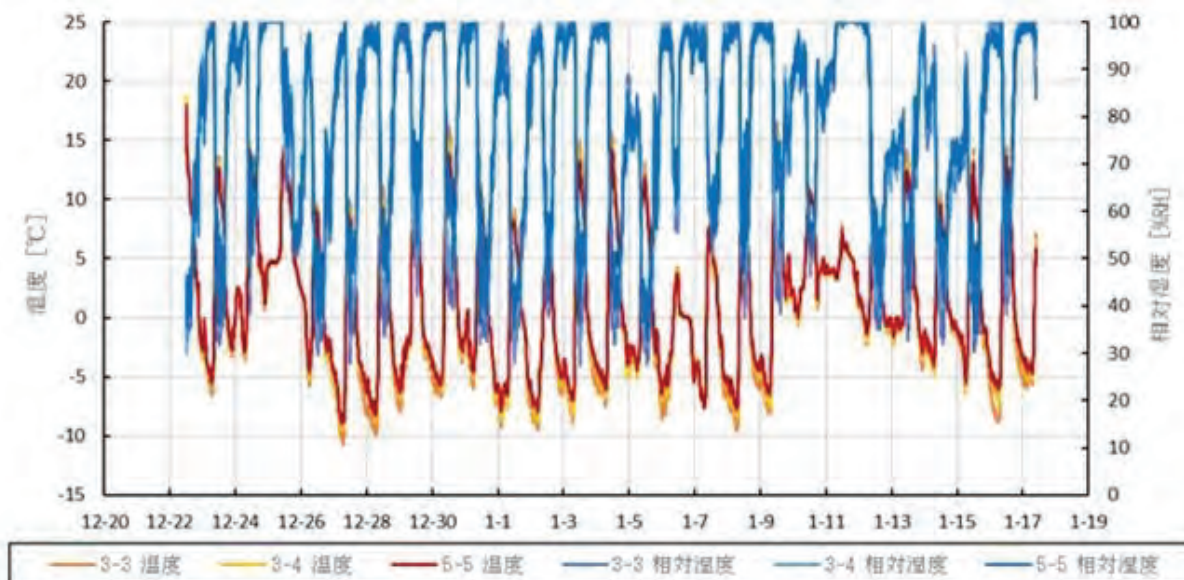


図 5. 3-1 CLT 敷板試験体北側木口面周辺の温度および相対湿度測定結果

註) 3-3 : 3 層 3 プライ、3-4 : 3 層 4 プライ、5-5 : 5 層 5 プライ

(6)まとめ

3 種類のスギ CLT (Mx60、長さ 5.995m×幅 1.15m×厚さ 90mm・120mm・150mm、強軸、各 1 枚) を旭川市、つくば市、熊本市に設置し、温湿度および定点観測画像の記録を開始した。

(7)課題

委員会において指摘のあった転がり摩擦係数の測定および静音性の評価方法について、試験方法や調査依頼先等について現在調査中であり、測定については令和 4 年度以降に実施する予定である。

5. 3. 5 現場実証試験

(1)目的

土木分野における CLT 活用のため、従来未利用だった低質ラミナの活用、新たなラミナ構成を用いた既存の JAS に囚われない低コスト CLT 開発と、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。

本試験では、工事・作業現場で資材搬入路の確保や工事現場の作業床や地盤の保護、足場の悪い軟弱地などで重機、重量運搬機の足場確保、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。

(2) 実施概略工程

工事・作業現場等で利用されている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、施工現場での実証試験を行い、敷鉄板と比較検証し、そのメリット・デメリットを明らかにする。これらの現場実証試験を踏まえ、敷鉄板の代替として製品化を図るための CLT 敷板の仕様を検討する。

現場実証試験の項目を表 5.3-2 に示しており、CLT 敷板の仕様検討と実証試験の①～⑨の項目について実施する。

仕様検討は、①CLT の仕様と②CLT の加工、③吊り具等の各種仕様について検討する。②の CLT の加工については、加工作業に伴う作業性試験として、作業時間を測定する。

実証試験のうち作業性試験は、④CLT 敷板のトレーラー等の運搬車両への荷積みと同車両からの荷下ろし事の作業性を把握する試験と、⑤CLT 敷板を現場で敷設する際の作業性試験として、それぞれの作業時間を測定するとともに、作業員への聞き取り調査を実施する。

⑥CLT 敷板を用いた現場での作業環境試験については、CLT 敷板上の気温や敷設時等の騒音を測定する。

実証試験のうち耐久性試験は、⑦走行時、定点作業時試験として、ダンプトラック走行時やバックホーが乗った時の敷板の動き、車両の滑り、段差の影響、敷板の変形、浮き沈み、破損等の状況を観察するとともに、作業員への聞き取り調査を実施する。また、⑧繰り返し試験は、本年度の工事現場での実証試験が終了した後の損傷や CLT 敷板を繰り返し使用する際に必要となる小石の除去や洗浄等の掛かり増し作業を把握する。

なお、⑨耐朽性試験については、“5.3.4 耐朽性試験”で実施する定点に長期的に設置した状態での試験と異なり、現場で CLT 敷板を繰り返し使用した後の経年変化（腐れ、退色）などを把握する。

表 5.3-2 現場実証試験の項目

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	①CLTの仕様	
	②CLTの加工	
	③吊り具等	
CLT敷板の 実証試験		④荷積み、荷下ろし作業試験
	作業性試験	⑤敷設作業試験
		⑥作業環境試験
	耐久性試験	⑦走行時、定点作業時試験
		⑧繰り返し試験
	⑨耐朽性試験	

(3) 実施場所

CLT 敷板の実証試験現場は、図 5.3-2 に示す北海道士別市の市街地から約 10 km 北部に位置する士別市多寄町の天塩川河川敷である。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、木材を粉砕（チップ化）処理するものである。）同工事現場内の取り付け運搬炉（伐倒後の樹木を運搬するダンプトラックが走行す

る通路)とグラブでダンプトラックに積載する積込ヤードにおいて CLT 敷板の実証試験を実施した。CLT 敷板の敷設場所を写真 5.3-4 に示す。

令和3年11月15日から仮設工事の準備を開始し、1ヶ月程度で河川支障木の搬出を終了した。



写真 5.3-4 CLT 敷板設置場所

図 5.3-2 実証試験現場の位置図

(4) 実験ケース

CLT 敷板の現場実証試験のうち、CLT 敷板の仕様検討は、以下のとおり実施した。

- ① CLT の仕様は、マザーボードの状態現場近くの加工施設へ輸送し、その後、工事現場に輸送する工程となるため、輸送時の積載効率を考慮したサイズを検討した。
- ② CLT の加工と③ 吊り具等については、現場でのトラックからの荷下ろしや積み込み、また、施工の際の移動を考慮し、バックホー等による吊り下げを可能とする CLT への加工やそれに伴う吊り具について検討するとともに、CLT 加工時の作業時間を測定した。
- ④ CLT 敷板の荷積み荷下ろしに伴う作業試験は、CLT 敷板のトレーラーへの荷積みと同車両からの荷下ろしの際の作業時間を測定した。
- ⑤ CLT 敷板の敷設に伴う作業試験は、CLT 敷板を図 5.3-4 に示したとおり敷設する際の作業時間を測定した。
- ⑥ CLT 敷板を用いた現場での作業環境試験については、CLT 敷板上の気温や敷設時等の騒音を測定する事を想定しており、次年度以降実施する。
- ⑦ 走行時、定点作業時試験として、ダンプトラック走行時やバックホーが乗った時の敷板の動き、車両の滑り、段差の影響、敷板の変形、浮き沈み、破損等の状況を観察するとともに、作業員への聞き取り調査を実施した。
- ⑧ 繰り返し試験は、本年度の工事現場での実証試験が終了した後の損傷や CLT 敷板を繰り返し使用する際に必要となる小石の除去や洗浄等の掛かり増し作業を把握する事を想定しており、次年度以降実施する。
- ⑨ 耐朽性試験は、本年度の工事現場での実証試験が終了した後、CLT 敷板を繰り返し使用した後の経年変化（腐れ、退色）などを次年度以降に確認する。

(5) 実施状況

今年度実施した各種検討内容と試験内容は以下のとおりである。

①CLT の仕様は、マザーボード（以下、MB）の輸送方法と積載効率を考慮したサイズを検討した。

銘建工業(株)で製造可能なスギ材による CLTMB の標準的なサイズは、幅 3,000 mm、長さ 12,000 mm、厚さ 90~270 mm である。なお、CLT を土木利用する場合、JAS 基準が存在しないため、JAS 基準を満たさない丸みを有するラミナ、等厚ではないラミナ、仕上げ切削しないラミナ等の使用や強度区分をしない CLT でも Non-JAS 製品として使用可能であるが、工場の製造ラインや製造工程等から勘案し、ラミナ断面寸法が幅 122 mm×厚さ 30 mm とし、強度区分は Mx60 とした。使用する接着剤は、接着剤は水性高分子イソシアネート系接着剤で、接着は積層接着のみとし、ラミナの幅方向の接着（幅はぎ接着）は行わない仕様とした。また、銘建工業株式会社の CLT 製造工場がある岡山県真庭市から、施工現場の北海道士別市までの輸送方法としては、最寄りの港までトレーラーで運び、トレーラーシャーシのみ船舶で輸送する方法と、20ft の JR コンテナでの輸送方法が考えられるが、今回は輸送日程等の都合により、高額となるトレーラーシャーシのみ船舶で輸送した。

CLT 敷板 1 枚のサイズは、トレーラーシャーシの積載可能寸法（幅 2.3m、長さ 12m）を考慮した積載効率と、銘建工業(株)における MB のサイズ（長さ 12m×幅 2.41m）からの製造歩留まりを考慮し、図 5.3-3 に示すとおり、幅 1,150 mm、長さ 5,995 mm とした。

CLT 構成は、工事現場での施工性や強度性能を考慮し、3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライの各構成の最外層を強軸、弱軸とする 6 タイプとした。

現場実証試験に用いた CLT 敷板の各タイプのサイズと数量を表 5.3-3 に示す。



図 5.3-3 CLTMB から CLT 敷板を製造する際の加工図 (mm)

表 5.3-3 現場実証試験に用いた CLT 敷板の各タイプの仕様と数量

強軸	幅(m)	長さ(m)	厚さ(m)	容積(m ³)	面積(m ²)	比重	重量(t/枚)	枚数	総容積(m ³)	総面積(m ²)	総重量(t)
3層3プライ	1.15	5.995	0.09	0.620	6.894	0.4	0.25	12	7.45	82.73	2.98
3層4プライ	1.15	5.995	0.12	0.827	6.894	0.4	0.33	12	9.93	82.73	3.97
5層5プライ	1.15	5.995	0.15	1.034	6.894	0.4	0.41	12	12.41	82.73	4.96
合計								36	29.78	248.19	11.91

弱軸	幅(m)	長さ(m)	厚さ(m)	容積(m ³)	面積(m ²)	比重	重量(t/枚)	枚数	総容積(m ³)	総面積(m ²)	総重量(t)
3層3プライ	5.995	1.15	0.09	0.620	6.894	0.4	0.25	6	3.72	41.37	1.49
3層4プライ	5.995	1.15	0.12	0.827	6.894	0.4	0.33	6	4.96	41.37	1.99
5層5プライ	5.995	1.15	0.15	1.034	6.894	0.4	0.41	6	6.20	41.37	2.48
合計								18	14.89	124.10	5.96

強軸+弱軸 合計	幅(m)	長さ(m)	厚さ(m)	容積(m ³)	面積(m ²)	比重	重量(t/枚)	枚数	総容積(m ³)	総面積(m ²)	総重量(t)
3層3プライ	5.995	1.15	0.09	0.620	6.894	0.4	0.25	18	11.17	124.10	4.47
3層4プライ	5.995	1.15	0.12	0.827	6.894	0.4	0.33	18	14.89	124.10	5.96
5層5プライ	5.995	1.15	0.15	1.034	6.894	0.4	0.41	18	18.61	124.10	7.45
総合計								54	44.67	372.29	17.87

使用した CLT 敷板は合計 54 枚で、総容積 44.67 m³、総面積 372.3 m²、総重量 17.87 t である。これらの CLT 敷板の各仕様の敷設枚数を図 5.3-4 に示す「取付運搬路仮設図」のとおり、河川堤外側（築堤道路より河川方向）の取付運搬路と積込ヤードである。

強軸は 3 種の CLT 構成を各 12 枚ずつ合計 36 枚の敷板を使用し、高い耐荷重を要すると想定される「積込ヤード」に 18 枚、「取付運搬路」に 18 枚設置した。また、弱軸は 3 種の CLT 構成を 6 枚ずつ

つ合計 18 枚の敷板を使用し、取付運搬路に 17 枚設置した。

②CLT の加工と③吊り具等については、現場でのトラックからの荷下ろしや積み込み、また、施工の際の移動を考慮し、バックホー等により 1 枚の CLT 敷板を吊り下げるための加工と、端部の破損を防止するために表面の 4 辺に面取り加工を行った。

CLT 敷板は MB を加工することとし、高性能な加工機械を有しない工場でも電動工具等で加工可能な方法とした。また、CLT 敷板の搬送については、上記の施工時に 1 枚ずつ運ぶために加工し、さらにトラックからの荷下ろしや積み込み時に複数枚を一度に処理するため、2 種の吊り具を試作した。CLT 敷板の加工の様子を図 5.3-5、5.3-6 に、2 種の吊り具を図 5.3-7、5.3-8 に示す。

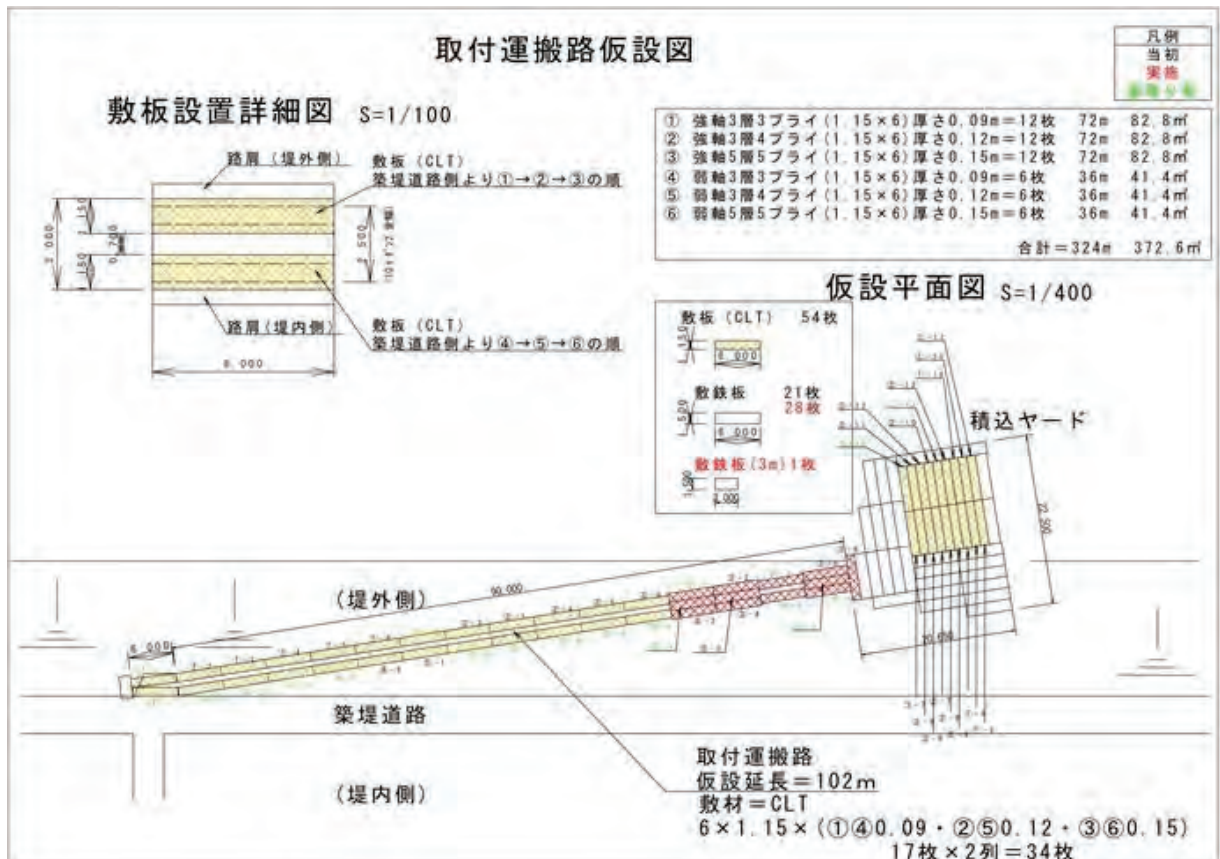


図 5.3-4 実証試験現場の取付運搬路 仮設図

表 5.3-5 CLT 敷板の加工時間（面取り加工無し）

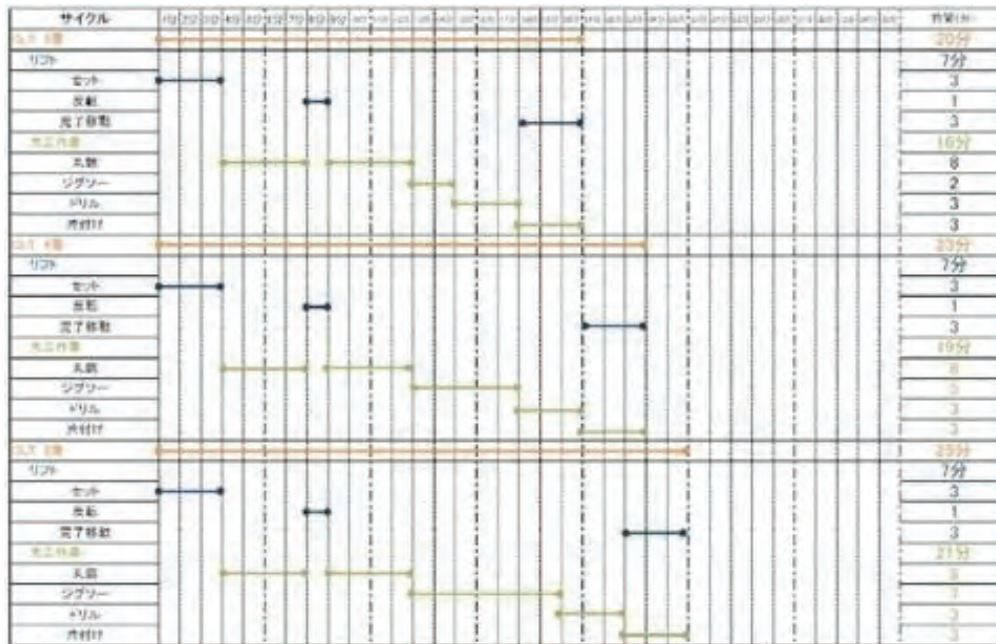


表 5.3-6 CLT 敷板の面取りの有無と CLT 構成別の作業時間

	CLT構成	作業時間 (分/枚)	枚数	作業時間合計 (分)
面 取 り	3層3プライ	25	1	25
	3層4プライ	28	1	28
	5層5プライ	30	1	30
有 り	3層3プライ	25	5	125
	3層4プライ	28	5	140
	5層5プライ	30	5	150
面 取 り 無 し	3層3プライ	20	11	220
	3層4プライ	23	11	253
	5層5プライ	25	11	275
面 取 り 無 し	3層3プライ	20	1	20
	3層4プライ	23	1	23
	5層5プライ	25	1	25
合計			54	1314

④荷積み荷下ろしについては、CLT 製造工場から 22 t トレーラーと船舶によって輸送された CLT 敷板を加工工場で荷下ろしする際の作業時間を測定した。図 5.3-5 に、22 t トレーラーの荷姿と荷下ろし作業の様子、作業時間の測定結果を示す。今回の現場実証試験に使用する CLT 敷板 54 枚は、2 台のトレーラーによって輸送し、1 台目に 36 枚、2 台目に 18 枚積載しており、荷姿図の青色の積み荷は、混載の積み荷を示す。荷下ろし作業は、フォークリフトを使用し数枚ずつまとめて下ろした。

荷下ろしの作業時間は、下記のとおり 1 台目が 30 分間、2 台目が 15 分間であった。

なお、今回運搬した CLT 敷板は厚さが異なる CLT を混載した状態ではあるが、上記のとおりトレーラー 1 台あたり、最大 36 枚でその際の合計面積は、248.18 m² (6.894 m²×36 枚) である。一方敷鉄板の場合は、重量によって枚数が制約され、トレーラー 1 台あたり、最大 10 枚でその際の合計面積は、92.93 m² (9.293 m²×10 枚) で、CLT 敷板の約 37.4 %であった。



図 5.3-5 CLT 敷板の荷下ろし作業

次に、加工工場から実証試験現場まで CLT 敷板を輸送する際の 10 t トラックへの荷積み作業の様子を写真 5.3-9、5.3-10 に示す。10 t トラックは加工工場から実証試験現場までの 27.5 km を 3 往復し、54 枚の CLT 敷板を輸送した。荷積みにはフォークリフトを使用し作業時間は、2 回目と 3 回目が 30 分、1 回目が 15 分で合計 1 時間 15 分であった。

- ⑤ CLT 敷板を図 5.3-4 に示すとおりに敷設する際の作業時間を測定した。
 CLT 敷板の敷設の様子については写真 5.3-11～5.3-18 に示す。



写真 5.3-9 荷積み作業



写真 5.3-10 荷積み作業



写真 5.3-11 CLT 敷板の荷下ろし作業



写真 5.3-12 CLT 敷板の荷下ろし作業



写真 5.3-13 CLT 敷板の敷設



写真 5.3-14 CLT 敷板の敷設作業



写真 5.3-15 段差解消のため採石の敷設



写真 5.3-16 敷設後の CLT 敷板 (取付運搬路)



写真 5.3-17 敷設後の CLT 敷板 (積込ヤード)



写真 5.3-18 敷設後の CLT 敷板 (全景)

CLT 敷板の敷設作業時間の測定結果は、取付運搬路の敷設時間が合計 3 時間 30 分で、積込ヤードの敷設時間が 6 時間（CLT 敷板 3 時間、敷鉄板 3 時間）で、合計 9 時間 30 分であった。なおこの作業時間は、輸送トラックからの荷下ろし時間も含んだ時間である。また、敷設の作業には輸送トラックのほか、CLT 敷板の移動と敷板の段差を解消するための採石による整地を行うためのバックホーを使用し、作業員 6 名によって行われた。また、作業員への聞き取り調査では、今回使用した CLT 敷板は、試験の都合上 3 種類の厚さの敷板を敷設したため、レベルを調整する際に相当な時間がかかっている。仮に同じ厚さの敷板であれば、作業時間が短縮できるとの意見があった。

⑥ CLT 敷板を用いた現場での作業環境試験については、CLT 敷板上の気温や敷設時等の騒音を測定する事を想定しており、次年度以降実施する。

⑦ 走行時、定点作業時試験として、ダンプトラック走行時やバックホーが乗った時の敷板の動き、車両の滑り、段差の影響、敷板の変形、浮き沈み、破損等の状況を観察するとともに、作業員への聞き取り調査を実施した。

CLT 走行時、定点作業時の様子を 写真 5.3-19～5.3-22 に示す。



写真 5.3-19 取付運搬路上の走行時の様子



写真 5.3-20 取付運搬路上の走行時の様子



写真 5.3-21 積込ヤードでの作業の様子



写真 5.3-22 積込ヤードでの作業の様子

CLT 敷板による取付作業道を走行したダンプトラックの運転担当者と現場代理人への聞き取り調査を実施し、以下の意見が得られた。

ダンプトラックの運転担当者は、敷鉄板より滑らない印象であり、CLT 敷板でも弱軸の方がさらに滑らない印象であるとの見解を示した。

また、現場代理人は積雪時に歩行した感触について、滑りにくさの順序は、弱軸>強軸>鉄板 であったとの見解を示した。

現状の敷鉄板での施工の場合、冬季に滑り止めの目的で焼き砂を散布することがあるが、鉄板上では砂が定着しないため滑り止め効果が低いという課題がある。しかし、CLT 敷板の場合は、焼き砂がめり込

むため、滑り止め効果が持続しやすいとの見解も得られた。

さらに、CLT 敷板は見た目にも非常にきれいな施工である印象であるとの意見も得られた。

⑧繰り返し試験は、本年度の工事現場での実証試験が終了した後に実施する。

⑨CLT 敷板の耐朽性試験は、本年度の工事現場での実証試験が終了した後に実施する。

上記、④～⑧のそれぞれの試験等について、既存の敷鉄板と比較検証する。

(6) まとめ

今年の CLT 敷板の現場実証試験は、上記報告のとおり銘建工業株式会社で製造したスギ材による CLTMB を使用した。CLT 構成は、工事現場での施工性や強度性能を考慮し、3層3プライ、3層4プライ、5層5プライの各構成の最外層を強軸、弱軸とする6タイプとした。これらの CLTMB54 枚を 22t トレーラーで船舶により北海道士別市に輸送し、電動工具等で加工するとともに、1枚ずつ運ぶための加工と、トラックからの荷下ろしや積み込みを想定した複数枚を一度に運ぶための2通りの吊り具を試作した。加工した CLT 敷板を士別市多寄町の河川工事現場（事業面積 4,000 m²）へ 10t トラックで輸送し、バックホーと作業員により取付作業道と作業ヤードに敷設した。

敷設後、12月2日時点では、取付作業道を約 110 台のダンプトラックが往来し、約 600 t の河川支障木を搬出した。最終的には 1,000t の伐採木と伐根を処分する予定である。また、これまでに現場の除雪は 6 回程度実施しているとのことであった。なお、今年度実施した現場実証試験によって把握した輸送・施工過程における材料・燃料使用量等については、今後、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する計画としている。

また、12月2～3日に「CLT 敷板等実証試験現場の視察及び意見交換会（視察会）」を開催した。視察会の様子を写真 5.3-23～5.3-26 に示す。また、主な意見交換内容を以下に示す。

Q：除雪で CLT が削れたことはあるか？

A：削れている。一方で、ダンプが走るだけなら削れない。

Q：今回の現場の他に、CLT 敷板を利用する次の工事予定はあるか。

A：予定している。令和3年度中の工事現場であり、令和4年2月頃の現場になる。



写真 5.3-23 CLT 敷板実証試験の意見交換会
(林産試験場)



写真 5.3-24 CLT 敷板実証試験現場の
工事概要看板



写真 5.3-25 CLT 敷板実証試験現場の視察



写真 5.3-26 CLT 敷板視察後の意見交換会

(7) 課題

①CLT 敷板のサイズに関する課題

今回の実証試験から、運搬時のたわみにくさや加工性、敷設時の作業性を考慮すると、CLT 構成が 3 層 3 プライ強軸で幅 2,000 mm×長さ 3,500 mm×厚さ 90 mm の CLT を横置きにして敷設するのが適していると考えられるため、このサイズに近いものを高い歩留まりで製造可能なサイズについて検討する必要がある。

②CLT 敷板の加工に関する課題

CLT MB を敷板として利用するため、輸送時や敷設時に必要であると想定される CLT 敷板の加工や吊り具等の試作を行った。CLT 敷板の加工の際に抽出された課題は、以下のとおりである。

加工作業は、大工 1 名により丸鋸、ジグソー、ドリル等の電動工具を用いて行ったため、CLT 敷板 1 枚あたり、20～30 分程度の時間を要していることから、作業時間の短縮が必要であると考えられる。加工作業の短縮については、加工方法の簡略化や木材加工機械の導入によって大幅に作業性が向上されると考えられるが、木材加工機械本体の費用が高額であることから、加工に要する費用と加工性、生産量、CLT 敷板の転用回数等を考慮した検討を行う必要がある。

今回使用した CLT 構成 3 層 3 プライ、3 層 4 プライ、5 層 5 プライの各構成で、最外層を強軸、弱軸とする計 6 タイプのうち、弱軸の 3 層 3 プライが敷設の際に 1 枚で吊り下げた場合のたわみが大きく、CLT の加工箇所から破損する可能性が高いと考えられた。

③CLT 敷板の実証試験から得られた課題

まず、輸送工程、荷下ろし、荷積みの際の課題として、CLT 敷板を積載したトレーラーが到着した際に、積荷の一部にずれが生じていた。

改善方法としては、運搬時に使用する輪木（りんぎ）を最小限にしてベタ置きすることや数枚ごとにラッシングすることにより、ズレの抑制とともに、搬送量の増加やトレーラーへの積み込みと荷下ろしの効率化、また、コンテナを利用した場合にはバンニング/デバンニングの効率化が図られると考えられた。輪木の高さがフォークリフトの爪根元の厚さより小さめであったため、荷下ろしの際に CLT 敷板の間に爪がはさまることが多かった。これについては、フォークリフトに薄い爪に対応することで、改善可能と考えられた。

次に、敷設作業の際に抽出された課題として、CLT 敷板は厚みがあるため、走行車両や作業車量の脱輪を防ぐために採石による整地が必要となった。

この作業は、敷鉄板には不要な作業であるため、これに伴う作業時間の増加と採石等の資材が新たに必要となることから、これらがコストアップの要因となると考えられた。

最後に、使用時（走行時、作業時）の際に抽出された課題として、外側に敷設される CLT 敷板の端部は、重機のキャタピラや除雪の際の重機のバケットにより、破損するケースが見られたため、大きな面取り加工を施す必要があると考えられた。

尚、作業者の意見として、走行時は敷鉄板よりも CLT 敷板の方が滑らない印象であるとの意見が得られた。さらに、CLT 敷板の最外層のラミナの方向は、走行方向に対して直交方向（今回の敷設では弱軸の CLT）である方が滑りにくい印象であるとの意見が得られた。

これらの聴き取り結果に加えて、走行時の試験と運搬時のたわみにくさなどを考慮すると、強軸の CLT を走行方向に対して直交方向に配置することが有効と考えられた。

5.3.6 低コスト CLT へ向けた提案

CLT 敷板の原型となる CLT MB のサイズについては、CLT 製造工場での歩留まりと、CLT 敷板の実証試験から敷設作業の効率化が図れるサイズとする必要がある。また、輸送面では、例として 20 t トレーラー1 車で輸送可能な CLT 敷板と敷鉄板を比較すると、1 車あたりの輸送枚数が約 3.6 倍、面積比では約 2.7 倍 CLT 敷板の方が多く積載可能であることから、製造時の歩留まりとともに、積載効率や敷板の転用回数、輸送距離等を考慮した場合の総合的な低コスト化について検討する必要がある。

CLT 敷板の加工時の試験で得られた結果から、荷積みや積み下ろし作業の効率化を図りつつ、さらなる加工形状の簡略化が必要である。特に CLT 敷板をバックホーで吊り下げて行う荷下ろし作業と敷設作業については、見直しが必要であると考えられた。例えば、CLT 敷板をグラップルで直接掴んでトラック等から積み下ろしを行い、そのまま敷設作業を行うことで、CLT 敷板を吊り下げるための加工が不要となるため、加工形式の簡略化による低コスト化が可能となると考えられる。ただし、この場合、吊り具を使用する今回の運搬方法と比べて、グラップルで掴んだ CLT 敷板が滑り落ちる危険性が高まることが想定されるため、グラップルで掴んだ際の落下防止のための工夫や細工により、安全性を確保する必要がある。また、敷設時や回収時には、CLT 敷板どうしの隙間にグラップルの爪を入れ込んで掴む必要があるため、それを容易にするための加工を施す必要がある。

5.3.7 今後の展開

CLT 敷板の現場実証試験のうち、CLT 敷板の仕様検討は、今年度実施した実証試験結果を踏まえ、次年度以降の計画を以下のとおり想定している。

①輸送時、敷設作業を考慮し、効率的な CLT マザーボードのサイズを検討する。

②CLT 敷板の加工

③吊り具等の仕様は、現場でのトラックからの荷下ろしや積み込み、また、施工の際の移動等の作業時間圧縮のための仕様について検討する。

CLT 敷板の現場実証試験のうち、CLT 敷板の実証試験は、今年度実施した河川工事に伴う土木工事と同様の他の現場での検証を実施するとともに、治山工事の現場をフィールドとし、次年度以降の計画を以下のとおり想定している。

④CLT 敷板の荷積み荷下ろしに伴う作業試験は、今年度の実証試験結果を踏まえ、CLT 敷板のトレーラーへの荷積みと同車両からの荷下ろしの際の作業時間を測定し、その改善策を検討する

⑤CLT 敷板を現場で敷設する際の作業性試験は、今年度の実証試験結果を踏まえ、CLT 敷板を敷設する際の作業時間を測定し、その改善策を検討するとともに、既存の敷鉄板と比較検証する。

⑥CLT 敷板を用いた現場での作業環境試験は、敷板上の気温や敷設時等の騒音を測定する。

⑦走行時、定点作業時試験として、ダンプトラック走行時やバックホーが乗った時の敷板の動き、車両の滑り、段差の影響、敷板の変形、浮き沈み、破損等の状況を観察するとともに、作業員への聞き取り調査を実施した。

⑧繰り返し試験は、本年度の工事現場での実証試験が終了した後の損傷や CLT 敷板を繰り返し使用する際に必要となる小石の除去や洗浄等の掛かり増し作業を把握する。

⑨CLT 敷板の耐朽性試験は、本年度の工事現場での実証試験が終了した後、CLT 敷板を繰り返し使用した後の経年変化（腐れ、退色）などを把握する。

上記、④～⑧のそれぞれの試験等について、既存の敷鉄板と比較検証する。

5.4 CLT 防音・防護柵の開発

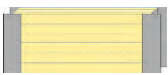





5.4.1 開発に至った経緯

(1) 開発対象とねらい

CLT を用いた「リサイクル型」土木木製構造物の開発対象を検討する中で、①利用箇所・使用量が多いこと、②構造物としての要求機能が多くないこと、③土木構造物としてのアピール性が高いことといった視点から防護柵を上げた。「防護柵の設置基準・同解説(令和3年3月)」⁹⁾によると防護柵には、車両用と歩行者自転車用とがある。ここでは強度等の要求機能が少ない、後者の開発に焦点をあてた。

次に既存の防護柵と仕様やコストを比較すると表 5.4-1 に示すように、CLT を用いた木製防護柵は、丸太を用いた既存木製防護柵よりコスト高になることが予想された。さらに丸太を用いた既存木製防護柵は、既存鋼製防護柵より 3~5 倍のコスト高であることが分かった。これらのことより少しでもコスト高を抑えるために、板状の CLT の特性を生かし、既存防護柵にない遮音機能を付与させた防音・防護柵の開発を目指すこととした。

表 5.4-1 既存防護柵（木製と鋼製）と CLT 防護柵の比較

名称	イメージ	仕様	単価(材工)	備考
CLT 防護柵		大きさ: 厚さ×幅×スパン(mm) =125(CLT+H鋼)×1,115×3,000	材のみ30,400(円/3m)	・歩行者自転車用柵P種に準拠 ・CLTスギM×60 3層3プライ (90×1150×3000):
歩道用横断防止柵(標準型)E	◇3段ビーム型 	・大きさ: 厚さ×外径・幅×スパン(mm) =2.3×42.7×3,000 ・重さ: 11.5kg/m	13,920(円/3m)	・支柱建込込みの単価4,640(円/m)×3m(スパン)=13,920(円/スパン) ・支柱仕様: 厚3.2×外径Φ60.5×標高800 メーカー: 朝日スチール工業、JFE建材、神鋼建材工業、積水樹脂 ・他に門型、パネル型、縦格子型、ネット型有
転落防止柵(標準型)E	◇縦格子型 	・大きさ: 厚さ×外径・幅×スパン(mm) =2.3×950×3,000 ・重さ: 14.6kg/m	22,800円/3m	・支柱建込込みの単価7,600(円/m)×3m(スパン)=(22,800円/スパン) ・支柱仕様: 厚3.2×外径Φ60.5×標高1,100 メーカー: 朝日スチール工業、JFE建材、神鋼建材工業、積水樹脂、日鉄建材 ・他に4段ビーム型、ネットビーム型、ネット型有
ハイブリッド木柵		・H=0.8m、1.1m ・3段横ビームΦ90mm ・スパン1,500mm	58,980円/3m	・支柱建込込み ・単価(19,660円/?)=14,100円/mから松横3段ビーム型加圧防腐処理JISA9002+4,620円/mプレキャストコンクリートブロック+940円/m(ビーム設置) ・開発会社: 株式会社不?? 材
間伐材丸太安全防護柵		・H=1.1m ・3段横ビームΦ100mm ・スパン2,000mm	65,385円/3m	・支柱建込込み ・単価(21,795円/?)内材料費(横木+支柱)19,900円/m ・開発会社: 株式会社イーエムシー
木製歩行者・自転車用防護柵		・H=1.17m ・3段横ビームΦ60mm ・スパン2,000mm	53,437円/3m	・支柱・横木: スギまたはヒノキ、丸棒加工、防腐処理 ・支柱用取付継手: 鉄板 ・横木用取付継手: 鋼製 ・基礎ブロック: プレキャストコンクリートブロック ・100mあたり1,781,240円(材工)

(2) 参考文献

1)防護柵の設置基準・同解説/ボラードの設置便覧(令和3年3月), 公益社団法人日本道路協会, 2021, 246p.

5.4.2 CLT の使用目的

CLT に期待するのは、歩行者自転車用柵としての強度と防音壁としての遮音機能である。さらに使用後には木質バイオマス燃料として活用する。

5.4.3 開発概要と今年度実施概要

(1) CLT の仕様

防護柵の厚みは 100 mm 以下のものが多い。そのため CLT の仕様として、厚さが 90 mm である 3 層 3 プライの CLT を選択した。CLT の JAS（日本農林規格）に関する強度等級は Mx60、樹種はスギとした。

(2) CLT の初期強度

「防護柵の設置基準・同解説(令和 3 年 3 月)」による歩行者自転車用柵としての設計強度は、垂直荷重 590 N/m 以上、水平荷重 390 N/m 以上（転落防止と横断防止を設計目的とする P 種）である。ここで①垂直荷重については、弱軸方向の短期圧縮許容応力度、②水平荷重については、積層方向の短期せん断許容応力度とし、直交集成版の許容応力度と材料強度に関する平成 13 年国土交通省告示第 1024 号¹⁾に沿って算出すると、①=2.6 N/mm²、②= 0.6 N/mm²となった（ラミナ等級外層 M60A、同内層 M30A の場合）。

これより 3 層 3 プライの CLT 1 m あたり垂直荷重 =2.6 N/mm²×1,000 mm×90 mm=234,000N>590N、水平荷重=0.6 N/mm²×1,000 mm×90 mm=54,000 N>390 N となり、設計強度を満たすことを確認した。今後耐久性試験により強度の変化を確認する予定である。

(3) 実験内容

防音・防護柵を想定した長さ 2 m、高さ 1.2 m の 3 層 3 プライ（厚さ 90 mm）CLT を国内 3 カ所に屋外設置し、令和 3 年度より耐久性試験を開始した。また 3 層 3 プライ（厚さ 90 mm）CLT の遮音性能を室内実験で調査した。

(4) 参考文献

- 1)平成 13 年国土交通省告示第 1024 号（最終改正 平成 30 年国土交通省告示第 1324 号）,特殊な許容応力度及び特殊な材料強度を定める件, 2001, 36p.

5.4.4 耐朽性試験

(1) 目的

防護の構造要素として CLT を用いる場合、部材交換の直前まで要求性能が満足されていないなければならない。ところが CLT を防護柵として使用する、すなわち鉛直方向に立てて使用する場合の耐朽性について、実大レベルで検証された例はほとんどない。そこで本研究では、歩行者・自転車用転落防止策を想定し、CLT を防護柵の部材として用いる場合の基本的な耐朽性を把握することを目的とし、簡易的な仕様で施工された CLT を屋外暴露してその時間的な性状変化を観測する。

(2) 実施概略工程

防護柵設置予定地に鋼管杭（杭長 2 m）を打設し、その上面に溶接した H 形鋼の間に、スギ CLT（強軸）を長軸方向が水平になるように落とし込み、クロスマーク金物により固定して防護柵とした。施工後の防護柵中央に温湿度ロガーを設置して防護柵周辺の温湿度を記録する。また、定点観測画像も併せて収録する。

(3) 実施場所

長さ 3m×幅 1.15m×厚さ 90mm のスギ CLT（強軸、3 層 3 プライ）による防護柵を以下の 3 か所に設置した。

- A) (地独) 北海道立総合研究機構 林産試験場敷地内（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 実験住宅敷地内（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 九州支所敷地内
(熊本県熊本市中央区黒髪 4 丁目 11 番 16 号)

なお、B) (つくば市) のみ、笠木を設け、かつ、地盤との間隔も確保して耐朽性を高くした仕様の防護柵を対照試験体として設置した。

(4) 実験ケース

防護柵としての利用を想定し、地面に打設した鋼管杭 3 本の杭頭に H 形鋼を支柱として溶接し、支柱の間に幅 3,000 mm×高さ 1,150 mm×厚さ 90 mm のスギ CLT (3 層 3 プライ) 各 1 枚を設置した試験体を作成し、森林総合研究所つくば本所敷地内に設置した。また、地面に打設した鋼管杭 2 本の杭頭に H 形鋼を支柱として溶接し、支柱の間に幅 3,000 mm×高さ 1,150 mm×厚さ 90 mm のスギ CLT (3 層 3 プライ) 1 枚を設置した試験体を作成し、九州支所敷地内に設置した。

上記防護柵試験体について、CLT の北面中央に温湿度ロガー (オンセット社製、HOBO Pro v2) を設置して定期的に CLT 周辺部の温湿度を記録するとともに、タイムラプスカメラ (Brinno 社製、フル HD タイムラプス コンストラクションパック BCC 2000) による設置場所 (全景) の定期的な画像撮影を実施し、劣化外力および劣化状況を定期的に確認する。

(5) 実施状況

A) 旭川市における実施状況

防護柵においては CLT を鉛直に立てて固定する必要がある。そのための支柱を施工した (図 5.4-1)。支柱は、設置予定地に打設した鋼管杭 (φ165.2×長さ 2,000 mm) の上面に防さび加工を施した H 形鋼を溶接したものとした。H 形鋼の距離 (芯・芯間) は 3,005 mm とした。

上記 H 形鋼の間に CLT (スギ Mx60・3 層 3 プライ、幅 3,000 mm×高さ 1,150 mm×厚さ 90 mm) を落とし込み、クロスマーク金物 (四角穴付きタッピンねじ: STS・C65、片側 6 本×左右) によって固定した (写真 5.4-1、令和 3 年 11 月 1 日)。設置方向は、CLT の長軸方向が東西となるようにした。支柱間距離 3,005 mm に対しては、CLT の落とし込みが若干困難であり、重機で押し込む必要があった。

防護柵施工後約 2 ヶ月後に CLT の北面中央に温湿度ロガー (オンセット社製、HOBO Pro v2) を設置し、CLT 周辺の温湿度記録を開始した (測定間隔: 1 時間)



図 5.4-1 CLT 防護柵支柱 (H 形鋼) の施工 (旭川市)



CLTの搬入



施工後のCLT防護柵



H型鋼支柱へのCLTの取り付け



施工後のCLT防護柵

写真 5. 4-1 CLT による防護柵の設置作業（旭川市）

B) つくば市における実施状況（写真 5. 4-2、5. 4-3）

つくば市の防護柵については、令和3年12月20日に試験体設置予定場所の整地、同21日にCLT防護柵支柱用の鋼管杭（長さ2m）の打設を実施した。つくば市では、2タイプの防護柵を設置するため、3本の支柱を施工した。



鋼管杭打設



鋼管杭打設



支柱溶接



施工完了

写真 5. 4-2 鋼管杭および支柱の施工行程（つくば市）



CLT 端部の加工



CLT 端部の面取



施工完了

写真 5. 4-3 防護柵の施工行程（つくば市）

設置した防護柵の図面を図 5.4-1 に示す。一方のタイプは CLT を地面に接するまで落とし込み、CLT 正面に特に雨水防止対策を施さないものであり、他方のタイプは、CLT と地面との間に高さ 100 mm の硬質ゴムを挟み、地面との距離を 100 mm 開け、さらに支柱間に C 形鋼を笠木として設置することにより、耐朽性を高くした。笠木とした C 形鋼の先穴加工位置の点から笠木を施した防護柵の支柱間距離（芯・芯間）を 3,000 mm とし、一方、笠木を施工しない方の防護柵の支柱間距離（芯・芯間）は 3,010 mm とした。

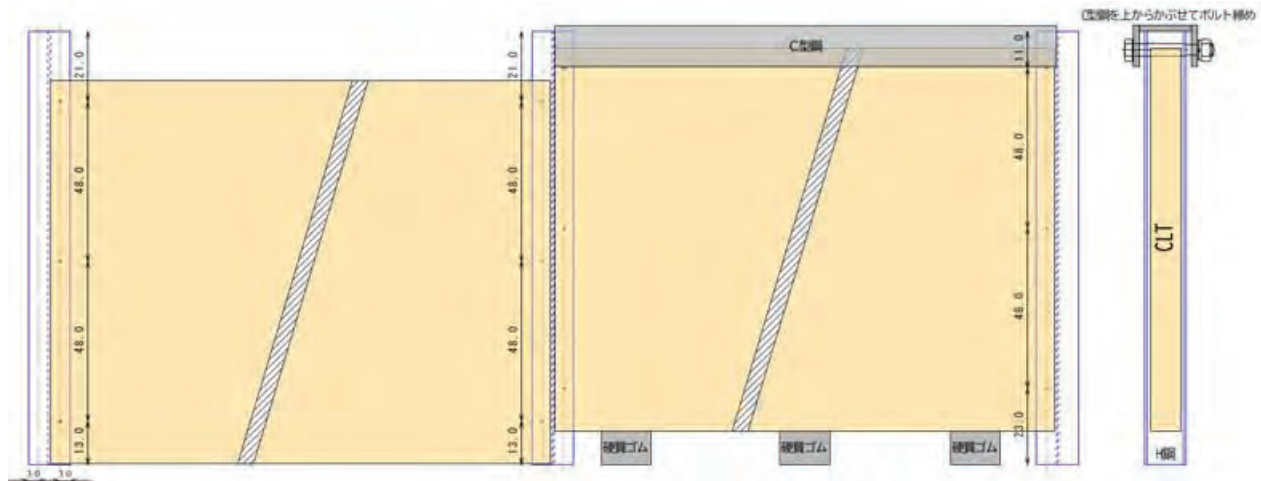


図 5.4-1 防護柵の概要図

上記により施工した支柱の間に CLT（スギ Mx60・3 層 3 プライ、幅 3,000 mm×高さ 1,150 mm×厚さ 90 mm）を落とし込み、防護柵を施工した。笠木をつけたタイプについては、支柱間距離 3,000 mm に対して CLT の両側を約 5 mm ずつ削りさらに面取りをする必要があった。また、笠木を設けないタイプについては、支柱間距離 3,010 mm に対してこちらも CLT の両端を削り、面取りをすることで施工することができた。いずれのタイプも CLT の長軸が東西方向となるように設置した。施工後、CLT の北面中央に温湿度ロガー（オンセット社製、HOBO Pro v2）を設置して CLT 周辺の温湿度の記録を開始した。測定間隔は 10 分とした。

C) 熊本市における実施状況（写真 5.4-4）

熊本市の防護柵については、12 月 17 日に防護柵用鋼管杭の打設を実施し、12 月 21 日に CLT 試験体の搬入及び設置・施工を実施した。また、令和 4 年 1 月 7 日に試験体北面中央へ温湿度ロガー（オンセット社製、HOBO Pro v2）を設置し、CLT 周辺の温湿度記録を開始した（測定間隔：1 時間）。



写真 5.4-4 防護柵施工直後（左）及びセンサー設置後の状況（右）（熊本市）

旭川およびつくばに設置した試験体の初期重量を表 5. 4-2 に示す。また、つくばにおける CLT 防護柵試験体北側中央周辺の温湿度測定結果を図 5. 4-2 に示す。

表 5. 4-2 防護柵用 CLT の初期重量およびみかけの密度

設置場所	CLT 寸法 (単位 : mm)	初期重量 (kg)	みかけの密度 (kg/m ³)
旭川市	3000×1150× 90	129. 1	416
つくば市	3000×1150× 90	128. 0	412
	3000×1150×120	124. 0	399

註) つくば市における初期重量はいずれも、端面・面取り加工後の値

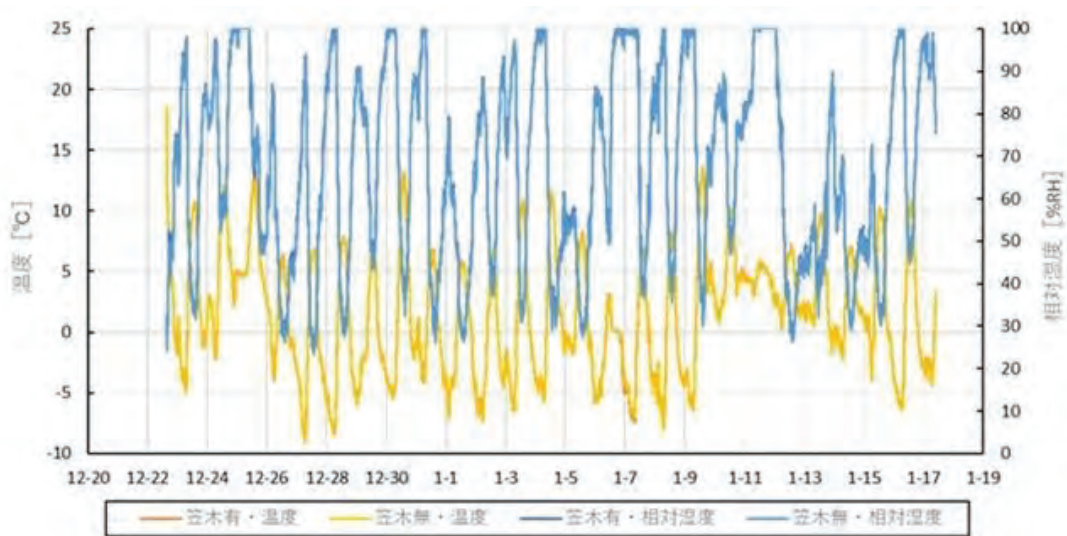


図 5. 4-2 防護柵用 CLT 周辺の温度および相対湿度収録結果一例 (つくば市)

(6) まとめ

スギ CLT (Mx60、3 層 3 プライ) による歩行者・自転車用転落防止柵の耐朽性を評価することを目的として実大試験体を用いた暴露試験を開始した。試験体は旭川市、つくば市、熊本市の 3 か所に設置した。設置後より試験体周辺の温湿度および設置場所の定点画像記録を開始し、劣化状況の関連を検討する。なお、つくば市については施工方法の違い (スギ木および設置の有無) による劣化状況の違いについても検討する。

(7) 課題

熊本市の試験体については重量測定が困難で、裏面の観察のみとなる可能性がある。

5. 4. 5 遮音性能試験

(1) 目的

防音・防護柵を構成する 3 層 3 プライの CLT の音響透過損失が NEXCO 設計要領第 5 集 遮音壁設計要領¹⁾ (中心周波数 400 Hz の音響透過損失 25 dB 以上かつ中心周波数 1,000 Hz の音響透過損失 30 dB 以上) を満たしているか否かを JIS (日本産業規格) A1416 「実験室における建築部材の空気音遮断性能の測定方法」に沿って確認・検証する。

なお、これまで建築物の壁の空気音遮断性能の検証としては、5 層 5 プライの CLT の音響透過損失のデータは存在しているが、3 層 3 プライについては新たに試験性能が確認されることとなった²⁾。

(2) 実施概略工程

図 5.4-3 に測定システム概略平面図を示す。受音室と音源室の間に試験体を設置した。試験体は、防音・防護柵を構成する CLT ユニット (2,000 mm×400 mm×90 mm) を想定し、支柱 (H 形鋼) で CLT ユニットの支えた形の試験体約 10 m² を作成した。

音源スピーカーは、音場ができるだけ拡散するように、また、測定対象の試験体に直接強い音が入射しないような場所に設置した。マイクロホンは、音源室及び受音室で、室境界などから 0.7 m 以上離れ、さらに音源室において音源から 1 m 以上離れた空間内に、互いに 0.7 m 以上離れた 5 点の測定点を分布させる。測定は 100 ~ 5,000 Hz の周波数帯域について、音源室と受音室の室内平均音圧レベルを算出し、室間音圧レベル差を求めたうえで音響透過損失を算出した。

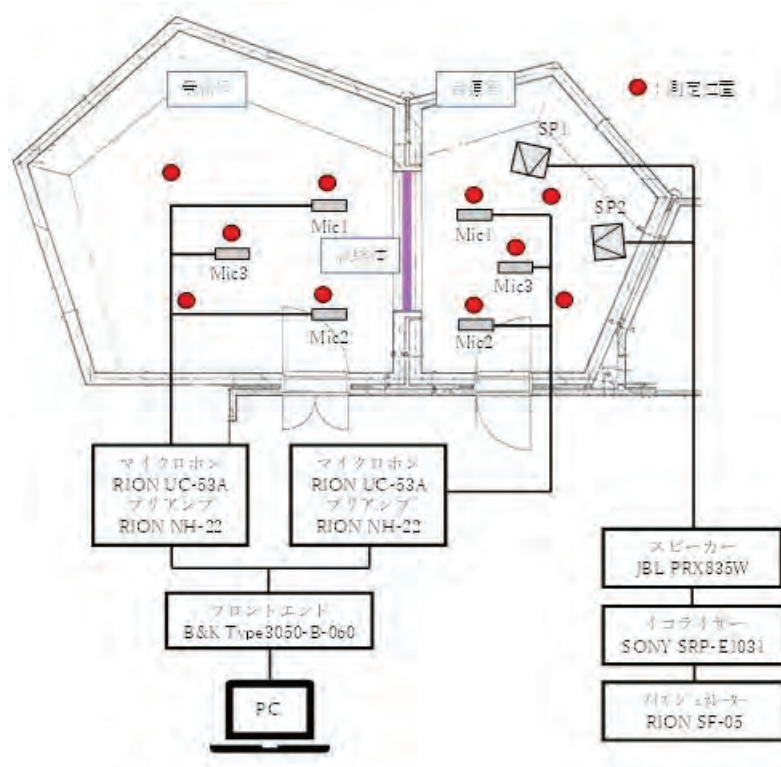


図 5.4-3 測定システム概略平面図

(3) 実施場所

安藤ハザマ技術研究所 (所在地: 茨城県つくば市苅間 515-1) にて令和 3 年 12 月 14 日・15 日に行った。

(4) 実験ケース

図 5.4-4 に示すように 3 つのケースでそれぞれの音響透過損失を求めた。ケース 1 は試験体の周囲両面を粘土でシールした。ケース 2 は周囲に加えて支柱 (H 形鋼) と CLT の隙間を発泡ポリエチレン製のバックアップ材と粘土でシールした。ケース 3 は周囲と支柱 (H 形鋼) との隙間のシールに加えて、CLT ユニットの積み重ね部分を合板とガムテープで両面をシールした。

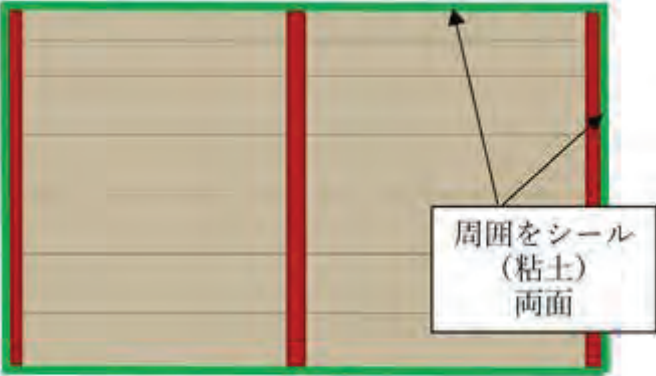
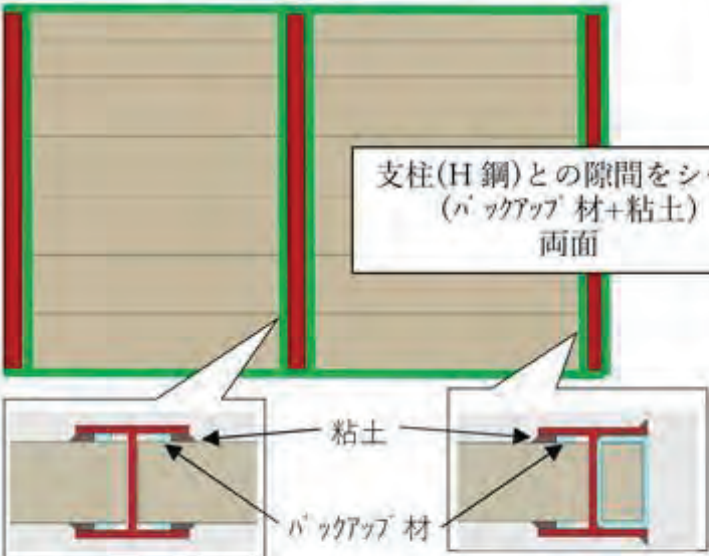
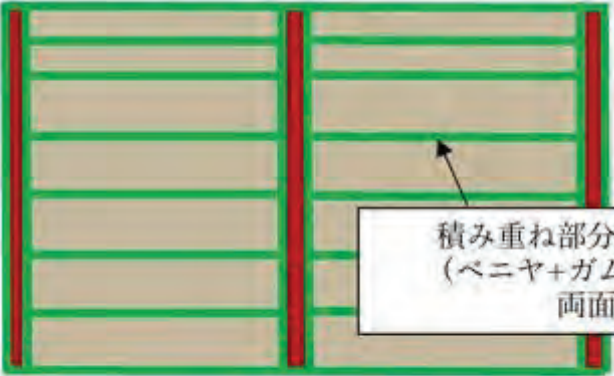
ケース	シール状況 — : シール位置
ケース 1	<p>シール位置：周囲</p>  <p>周囲をシール (粘土) 両面</p>
ケース 2	<p>シール位置：周囲+支柱(H鋼)との隙間</p>  <p>支柱(H鋼)との隙間をシール (バックアップ材+粘土) 両面</p> <p>粘土</p> <p>バックアップ材</p>
ケース 3	<p>シール位置：周囲+支柱(H鋼)との隙間+積み重ね部分</p>  <p>積み重ね部分をシール (ベニヤ+ガムテープ) 両面</p>

図 5.4-4 試験ケース

(5) 実施状況

試験状況を写真 5.4-5 に示す。



ケース 1 音源室試験状況



ケース 1 受音室試験状況



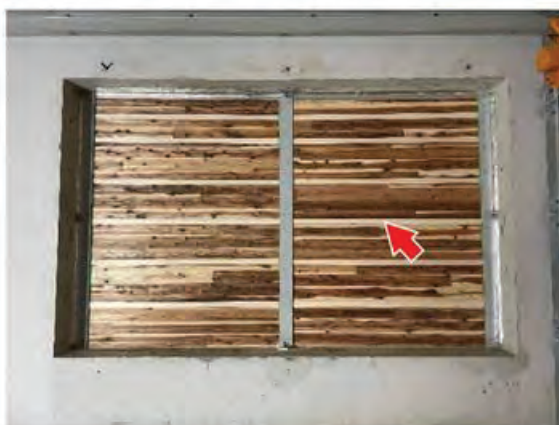
ケース 2 音源室試験状況



ケース 2 支柱(H 鋼)隙間のシール状況



ケース 3 音源室試験状況



ケース 3 積み重ね部分のシール状況

写真 5.4-5 試験状況

(6) まとめ

試験結果を表 5.4-3 に示す。ケース 1 では、1,000 Hz において NEXCO 設計要領の規定を満たしていない結果となった。支柱 (H 形鋼) と CLT の隙間からの音漏れが大きな要因と考えられる。

ケース 2 の支柱 (H 形鋼) と CLT の隙間をシールした試験状況では、400 Hz、1,000 Hz 共に NEXCO 設計要領の規定を満たす結果となった。さらにケース 3 のように CLT の積み重ね部分の隙間をシールすることで、より遮音効果が高くなることが確認された。

表 5.4-3 音響透過損失試験結果

ケース	音響透過損失* (dB)	
	400Hz	1000Hz
ケース 1	26.3	17.0
ケース 2	29.7	37.1
ケース 3	29.8	37.6
NEXCO 設計要領	25dB 以上	30dB 以上

*1/3 オクターブバンドによる値

(7) 課題

本試験では、防音・防護柵を構成する CLT ユニット (2,000 mm×400 mm×90 mm) を想定し、支柱 (H 形鋼) で CLT ユニートを支えた。この場合遮音壁のデフォルトの基準となっている NEXCO 設計要領第 5 集遮音壁設計要領の基準を満たすためには少なくとも支柱と CLT ユニットとの間に隙間を生じない設計としなければならない。

(8) 参考文献

- 1)東日本高速道路株式会社, 中日本高速道路株式会社, 西日本高速道路株式会社, 設計要領第五集 遮音壁, 2021.
- 2)田中学, 笠井祐輔, 村上剛士, 川谷翔二, 河合誠, CLT パネルを用いた壁の空気音遮断性能に関する検討, pp. 22-30, GBRC Vol.43, No.2, 一般財団法人日本建築総合試験所, 2018.

5.4.6 低コスト CLT へ向けた提案

今回用いた CLT は、JAS における 3 層 3 プライ、強度等級 Mx60 (ラミナ等級: 外層 M60A, 内層 M30A)、樹種区分 S4 (スギ)、使用環境 A であった。これを用いた CLT 防音・防護柵 (歩行者自転車用柵) に関して要求される初期強度や遮音機能は、基本的には満たされることが確認できた。

初期強度については、P 種歩行者自転車用柵に必要な垂直荷重と水平荷重を比較したところ、今回用いた CLT は両荷重とも必要荷重より大幅に大きかったため、これより強度の低い CLT を用いることは可能と思われる。

また遮音機能については、支柱と CLT 間の音漏れを防ぐ必要はあるものの、基本的には CLT の厚さで決まるものであり、現行の最も薄い 3 層 3 プライ (厚さ 90 mm) でも NEXCO の基準をみたすことが確認できた。このことより厚さ 60 mm 程度の、さらに薄い CLT を用いることも可能かもしれない。

しかしこうした規格外の CLT は、量産しなければ低コストに繋がらないため、土木用に共通した CLT の検討が望まれる。

5.4.7 今後の展開

次年度以降は以下の項目を検討する予定である。

- ・耐久性試験の継続
- ・防音・防護柵 (歩行者自転車用柵) の実施設計とそれに基づく試作
- ・CLT 防音・防護柵への吸音機能付与
- ・「リサイクル型」土木木製構造物のビジネスモデル

参考文献

- 1) 地盤工学会：地盤改良の調査・設計と施工-戸建て住宅から人工島まで， p.7， 2013.
- 2) 日本道路協会：道路土工， 軟弱地盤対策工指針， 2021
- 3) 農林水産省：土地改良事業計画設計基準 農道（農林水産省） H17.3 改定， 2005
- 4) 秋田県大潟村：大潟村ジオガイド

6 土木分野における CLT利用拡大要素技術の開発

6.1 低コスト CLT の開発

6.1.1 開発背景

CLT は高次加工された木質材料であるため、林道や治山分野で活用されている一般的な土木向けの丸太や円柱加工材などの木材価格と従来の建築向けの CLT とを価格で比較すると、立米価格で 5 倍近い開きがある。もちろん、価格設定は対象用途によって上下するものではあるが、一般的には、この価格差が普及の際のネックとなることが予想される。

価格差については、CLT の製造時に要求される品質や規格の厳格さも大きな影響を与えている。しかし、現在制定されている直交集成材の日本農林規格（CLT の JAS 規格）には、土木用途には重要ではない品質の項目も多数存在しているため、それらを適用外とすることによって、原材料価格や製造コストを大幅に削減できる可能性がある。

そこで、JAS 規格に準じて製造する点を一度見直し、土木用途を想定した上で可能な限りの低次加工、あるいは材料や加工方法の見直しにより、非 JAS の「土木用 CLT」として再開発し、低コスト化を図る必要がある。

6.1.2 開発目的

低コスト CLT を実現するためには、①安価な原材料を用いる、②原材料価格そのものを抑える、③製造コストを下げる、といったことが考えられる。②の場合、山元への還元が小さくなるため、森林・林業の健全な循環を視野に入れると好ましい方策とは言えない。そこで、①および③を中心に低コスト CLT の開発を進め、そのときの CLT としての精度はどの程度かを把握することを目的とする。

6.1.3 今年度実施状況

(1) C 材活用と仕上げ切削工程省略によるコストメリットの検証

銘建工業株式会社 CLT 工場の量産ラインで製造が可能な「低コスト土木用 CLT」の検討及びコスト試算を行い、現行の建築用 JAS 製品との価格差を示す。

今年度は、丸身や腐れのある C 材ラミナを原材料とした場合の「原材料コスト削減効果」と、仕上げ切削工程を一部省略することの「製造コスト削減効果」について検討を行った。

(a) C 材ラミナの原材料価格

現行の建築用 JAS 製品を製造する場合、主に A 材もしくは B 材のラミナを集材し原材料としているが、これに丸身や腐れがある C 材を混ぜ、丸身や腐れを許容して原材料とすることでコストの削減を図る。C 材の原材料価格は、A、B 材と比較して 65 %程度の価格のため、原材料コストを最大で 35 %程度削減できると予想される。

本検討では、C 材のみを使用した場合のコストを試算するが、実際に製造を行う場合は、A、B 材と C 材をミックスすることも可能となる。

(b) 仕上げ切削工程を省略する場合の製品歩留まりの検証

現行の CLT の JAS 製品を製造する場合の工程は以下である。

- ①原木（丸太）
- ②原板（ラミナ）
- ③粗取り切削、グレーディング
- ④縦継ぎ、仕上げ切削
- ⑤積層接着（プレス）

上記の工程では、②のラミナ寸法は厚 36 ×幅 132 mm、③のラミナ寸法は厚 33 ×幅 124 mm、④のラミナ寸法は厚 30 ×幅 122 mm となるが、このうち④の縦継ぎ後の仕上げ切削を省略し、ラミナの削り代を小さくして、製品の歩留まりを向上させる。この場合、積層接着前のラミナ寸法は厚 33 ×幅 124 mm となる。

令和 2 年の製造実績より、仕上げ切削工程を省略する場合の製品歩留まりの理論値を推定する。

図 6.1-1 および図 6.1-2 のとおり、現行の CLT の JAS 製品を製造する場合の、ラミナから CLT 製品の歩留まりは 76.7 %、仕上げ切削工程を省略する場合の、ラミナから CLT 製品の歩留まりの理論値は 87.2 % と推定した。この数値は推定理論値のため、コストスタディでは、前者の歩留まりを 75 %、後者の歩留まりを 85 %として試算を行った。

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)	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%		原木(丸太)	100%	100%	
↓	↓	↓		↓	↓	↓	
原板(ラミナ)	56%		100%	原板(ラミナ)	56%		100%
↓	↓		↓	↓	↓		↓
粗取り(グレーディング)	89%			粗取り(グレーディング)	89%		
↓	↓			↓	↓		
縦継ぎ、仕上げ切削	87%			縦継ぎ、仕上げ切削無	99%		
↓	↓			↓	↓		
プレス(積層接着)	99%			プレス(積層接着)	99%		
↓	↓			↓	↓		
製品(サポード)	100%	42.93%	76.66%	製品(サポード)	100%	48.85%	87.23%

図 6.1-1 製造歩留まり(令和2年実績)

図 6.1-2 製造歩留まり理論値(仕上げ切削無し)

(c) コストスタディ

コストスタディの結果を表 6.1-1 に、それぞれのコスト試算の計算過程を表 6.1-2~6.1-9 (価格は非表示) に示す。

年間製造量の想定は、製造費を算出するために、2021 年の年間製造量の設定値である 9,000 m³ と、本来の年間製造キャパシティである 30,000 m³ の 2 パターンの製造費を設定し、製品価格の試算を行った。

現在の製造量から算出される製造費の場合、仕上げ切削の有無だけでは価格は 93.6 % と 6.4 % 程度の差であるが、C 材を使用して仕上げ切削を行わない場合は 78.2 % となり、21.8 % 削減できる試算となった。

また、工場を 100 %稼働させた場合の製造費とした場合、現行と同じ建築用の JAS 製品を製造する場合でも 77.1 %、C 材を使用して仕上げ切削を行わない場合は 55.2 % となり、44.8 % 削減できる試算となった。

表 6.1-1 コストスタディ パラメーター一覧

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

表 6.1-2 ①コスト試算 (A, B材、仕上げ切削あり、製造量 9,000 m³/年)

樹種	構成	製品厚	プライ数	ラミナ厚	歩留 (Gラミナ)	Gラミナ	乾燥費	製造費	成型 加工費	MB原価	現行価格との差	備考
杉	90 (3-3)	90	3	30	0.75	*	*	*	*	*	100%	
	120 (3-4)	120	4	30								
	150 (5-5)	150	5	30								
	210 (5-7)	210	7	30								
	210 (7-7)	210	7	30								
	270 (9-9)	270	9	30								

表 6.1-3 ②コスト試算 (A, B材、仕上げ切削無し、製造量 9,000 m³/年)

樹種	構成	製品厚	プライ数	ラミナ厚	歩留 (Gラミナ)	Gラミナ	乾燥費	製造費	成型 加工費	MB原価	現行価格との差	備考
杉	99 (3-3)	99	3	33	0.85	*	*	*	*	*	93.6%	
	132 (3-4)	132	4	33								
	165 (5-5)	165	5	33								
	231 (5-7)	231	7	33								
	231 (7-7)	231	7	33								
	297 (9-9)	297	9	33								

表 6.1-4 ③コスト試算 (C材、仕上げ切削あり、製造量 9,000 m³/年)

樹種	構成	製品厚	プライ数	ラミナ厚	歩留 (Gラミナ)	Gラミナ	乾燥費	製造費	成型 加工費	MB原価	現行価格との差	備考
杉	90 (3-3)	90	3	30	0.75	*	*	*	*	*	82.0%	
	120 (3-4)	120	4	30								
	150 (5-5)	150	5	30								
	210 (5-7)	210	7	30								
	210 (7-7)	210	7	30								
	270 (9-9)	270	9	30								

表 6.1-5 ④コスト試算 (C材、仕上げ切削無し、製造量 9,000 m³/年)

樹種	構成	製品厚	プライ数	ラミナ厚	歩留 (Gラミナ)	Gラミナ	乾燥費	製造費	成型 加工費	MB原価	現行価格との差	備考
杉	99 (3-3)	99	3	33	0.85	*	*	*	*	*	78.2%	
	132 (3-4)	132	4	33								
	165 (5-5)	165	5	33								
	231 (5-7)	231	7	33								
	231 (7-7)	231	7	33								
	297 (9-9)	297	9	33								

表 6.1-6 ⑤コスト試算 (A, B材、仕上げ切削あり、製造量 30,000 m³/年)

樹種	構成	製品厚	プライ数	ラミナ厚	歩留 (Gラミナ)	Gラミナ	乾燥費	製造費	成型 加工費	MB原価	現行価格との差	備考
杉	90 (3-3)	90	3	30	0.75	*	*	*	*	*	77.1%	
	120 (3-4)	120	4	30								
	150 (5-5)	150	5	30								
	210 (5-7)	210	7	30								
	210 (7-7)	210	7	30								
	270 (9-9)	270	9	30								

表 6.1-7 ⑥コスト試算 (A, B材、仕上げ切削無し、製造量 30,000 m³/年)

樹種	構成	製品厚	プライ数	ラミナ厚	歩留 (Gラミナ)	Gラミナ	乾燥費	製造費	成型 加工費	MB原価	現行価格との差	備考
杉	99 (3-3)	99	3	33	0.85	*	*	*	*	*	70.6%	
	132 (3-4)	132	4	33								
	165 (5-5)	165	5	33								
	231 (5-7)	231	7	33								
	231 (7-7)	231	7	33								
	297 (9-9)	297	9	33								

表 6.1-8 ⑦コスト試算 (C材、仕上げ切削あり、製造量 30,000 m³/年)

樹種	構成	製品厚	プライ数	ラミナ厚	歩留 (Gラミナ)	Gラミナ	乾燥費	製造費	成型 加工費	MB原価	現行価格との差	備考
杉	90 (3-3)	90	3	30	0.75	*	*	*	*	*	59.1%	
	120 (3-4)	120	4	30								
	150 (5-5)	150	5	30								
	210 (5-7)	210	7	30								
	210 (7-7)	210	7	30								
	270 (9-9)	270	9	30								

表 6.1-9 ⑧コスト試算 (C材、仕上げ切削無し、製造量 30,000 m³/年)

樹種	構成	製品厚	プライ数	ラミナ厚	歩留 (Gラミナ)	Gラミナ	乾燥費	製造費	成型 加工費	MB原価	現行価格との差	備考
杉	99 (3-3)	99	3	33	0.85	*	*	*	*	*	55.2%	
	132 (3-4)	132	4	33								
	165 (5-5)	165	5	33								
	231 (5-7)	231	7	33								
	231 (7-7)	231	7	33								
	297 (9-9)	297	9	33								

(2) 腐れを含む原木を原料ラミナとした CLT の製造試験

間伐や主伐の際、伐採木に腐れ等が認められた場合、その混入割合によって合板用、エネルギー・チップ利用、林地残材のいずれかに判断される。合板用としての利用が不可と判断された場合、立木価格は安価となるため、これらの材を有効活用させることが低コスト CLT に繋がる可能性がある。そこで、合板用として利用不可と判断された、腐れの入ったスギ丸太を用意し、CLT の製造を進めた。

(a) 製造コスト削減の試み

CLT の製造工程は、丸太のだら挽き、ラミナ製造、人工乾燥、プレーナー、節等の欠点除去、フィンガージョイント、プレーナー仕上げ、接着を経て完成となる。この製造工程を一部簡略化できれば、低コスト化に繋がる。また、歩留りの向上にも繋がる可能性がある。

例えば、①人工乾燥を行わない、② 2 回行うプレーナー工程を減らす、③ CLT の寸法を 1 辺 3~4 m までに限定させ、節等の欠点除去およびフィンガージョイント工程を省略する、といったことが考えられる。ただし、③の場合は節等の欠点が除去できないため、ユーザー側はこれを許容しなければならない。

また、工場での製造パターンを簡略化し、1 日当たりの製造量を減らさないようにするには、プライ数を限定することも方策の一つである。

本年度では、CLT 製造工程をいかに簡略化できるか、また、そのときの問題点を洗い出すため、上記①~③について検討を行った。なお、プライ数は 3 層 3 プライのみとした。

(b) 試験体の概要

用意したスギ立木の諸元を表 6.1-10 に示す。スギ丸太は秋田市太平地区の県有林にあり、樹齢は約 55 年生である。40 年生のときに間伐を実施し、その際すでに腐れが発生していることを確認していた林分である。この林分より立木 8 本、2 m 造材で計 94 本の丸太を用意した。(写真 6.1-1)

表 6.1-10 スギ立木の諸元

立木番号	胸高直径 (cm)	樹高 (m)	枝下高 (m)	丸太本数 (本)	製材本数 (本)
A	24	21.4	16.3	10	6
B	28	25.4	19.1	12	8
C	42	29.8	18.5	14	10
D	26	27.1	20.2	11	6
E	48	25.3	18.8	12	9
F	34	26.2	21.5	10	6
G	20	25.0	16.8	11	3
H	32	31.1	17.5	14	11
合計				94	59



写真 6.1-1 2m 造材したスギ丸太

(c) 丸太 寸法・重量・FFT 測定

2m に造材した丸太材の諸元を表 6.1-11 に示す。材積、密度、動的ヤング率は各立木の丸太本数の平均値である。また、スギ丸太材の密度と動的ヤング率の関係を図 6.1-3 に示す。

表 6.1-11 スギ丸太材の諸元

立木番号	丸太本数 (本)	材積 (m ³)	密度 (kg/m ³)	動的ヤング率 (GPa)
A	10	0.053	599.8	6.84
B	12	0.070	645.2	8.33
C	14	0.140	615.3	8.03
D	11	0.066	510.1	8.24
E	12	0.092	571.9	7.33
F	10	0.099	601.7	8.79
G	11	0.037	591.3	9.15
H	14	0.180	614.5	6.46

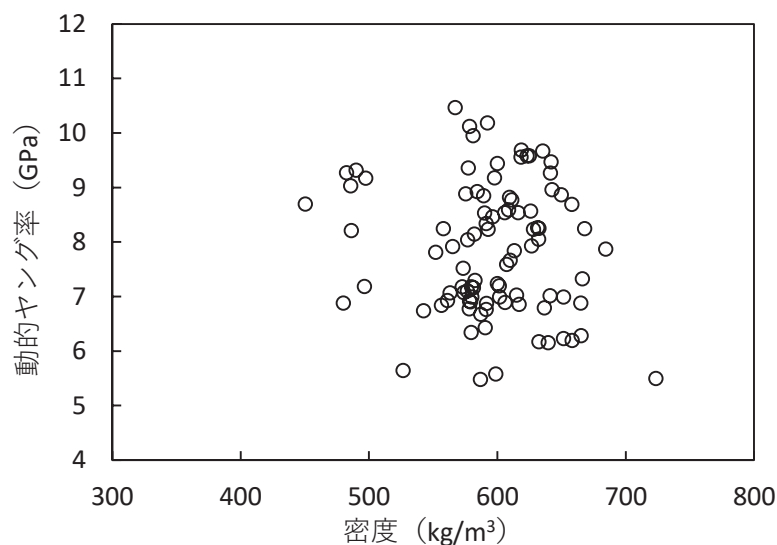


図 6.1-3 スギ丸太材の密度と動的ヤング率の関係

(d) 丸太 だら挽き・端落とし

ラミナを製造するため、スギ丸太材のだら挽きを行った。ラミナの仕上がり厚さを 30mm として、だら挽きの段階では 36mm として製材所に製造を依頼した。だら挽き板材（以下、挽板と称す。）の幅と厚さの関係を図 6.1-4 に示す。挽板の多くが厚さは 36~38mm であった。また、挽板には写真 6.1-2 に示すように腐れが多く認められた。

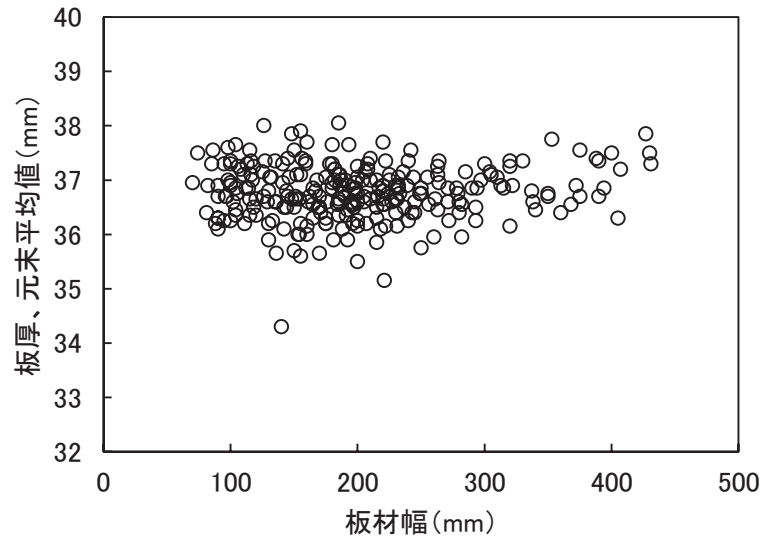


図 6.1-4 挽板の寸法

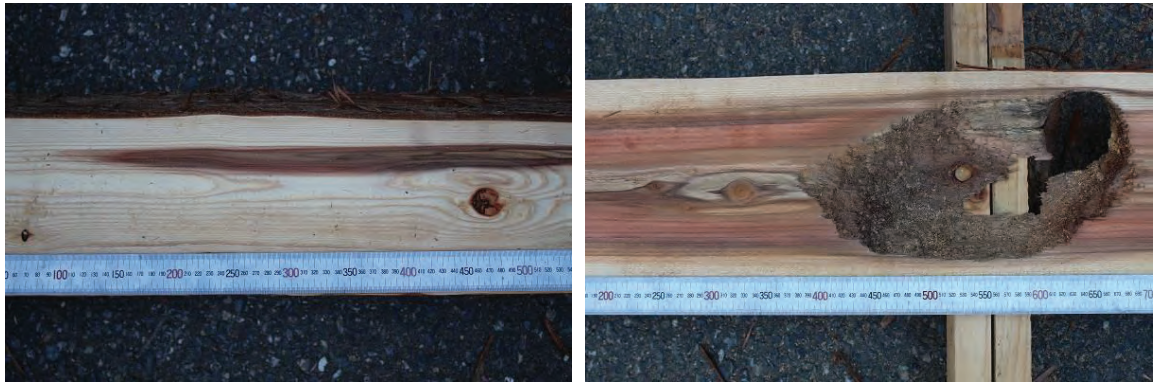


写真 6.1-2 腐れの入った挽板

(e) 挽板 天然乾燥

挽板の天然乾燥を秋田県立大学木材高度加工研究所（秋田県能代市）内の屋外で行った（写真 6.1-3）。期間は令和 3 年 8 月 18 日～12 月 7 日の 112 日間である。その後、挽板を室内に移設し、表面含水率の測定を行った。表面含水率の測定は挽板中央付近で行った。結果を図 6.1-5 に示す。測定した挽板 281 枚中、表面含水率 20%未满是 114 枚（47.9 %）、15%未满是 21 枚（8.8 %）であった。



写真 6.1-3 挽板の天然乾燥

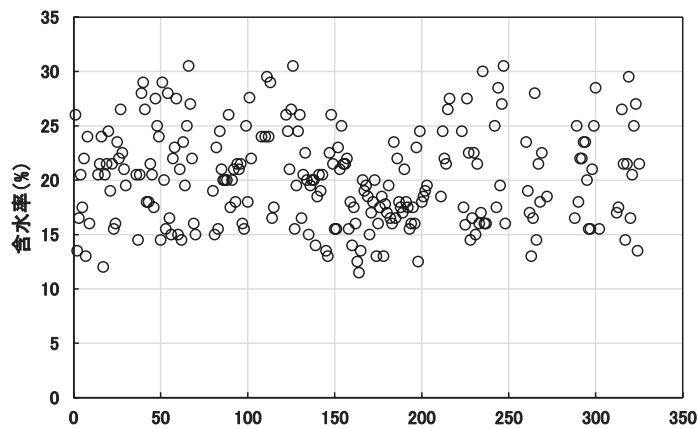


図 6.1-5 挽板の表面含水率

(f) CLT 製造

CLT 製造は天然乾燥を施した挽板を用いて表 6.1-12、図 6.1-6 に示す条件で行った。CLT は 3 層 3 プレイとし、上・下層のラミナは幅 150 mm、長さ 1,800 mm、内層ラミナは幅 150 mm、長さ 300 mm とした。

No.1 はコントロールとして、表面含水率が 15 % 未満の挽板を用いて、通常の CLT 製造方法にて製造を行った。最終仕上げの厚さは 30 mm である。その他は表面含水率 20 % 未満の挽板を用いた。No.2、No.3 では、通常の CLT 製造方法のうち、最終仕上げのプレーナー仕上げについて、表面に凹凸が出るよう、うねりを設けた。うねりは自動一面カンナ盤（シンクス株式会社製、A-600 W）を用いて行い、最終仕上げのカンナ通しにおいて、うねり 1（切込量 1 mm、送り速度 8 m/min）とうねり 2（切込量 2 mm、送り速度 20 m/min）の 2 種類で実施し、ラミナ表面に凹凸を設けた。うねりはすべてのラミナについて接着面に設けた。つまり、上・下層ラミナは内層面 1 面に、内層ラミナは両面である。No.4～No.6 はプレーナー加工を行わず、丸太からだら挽きした挽板をそのまま用いた。そのため、板厚は統一されていない。

圧縮方法は No.1～No.4 はコールドプレス（圧縮圧 1 MPa、圧縮時間 60 分）で行い、No.5 は真空プレス（0.1 MPa、圧縮時間 60 分）、No.6 はビス止めとした。

表 6.1-12 CLT 製造条件

No.	接着剤	プレーナー	ラミナ厚 (mm)	ラミナ表面 含水率	圧縮方法	枚数	接着剤塗布量 (実測、g/m ²)	備考
1	水性高分子イソシアネート	あり	30	15%以下	プレス	2	228.6	コントロール
2	水性高分子イソシアネート	あり+うねり1	30	15~20%	プレス	2	263.4	
3	水性高分子イソシアネート	あり+うねり2	30	15~20%	プレス	2	290.7	
4	水性高分子イソシアネート	なし		15~20%	プレス	2	407.9	
5	水性高分子イソシアネート	なし		15~20%	真空プレス	2	362.0	
6	水性高分子イソシアネート	なし		15~20%	ビス止め	2		

プレーナー条件 ※なし: だら挽きのまま

あり: 切込量0.1mm, 送り速度 3m/min

うねり1: 切込量1.0mm, 送り速度 8m/min

うねり2: 切込量2.0mm, 送り速度20m/min

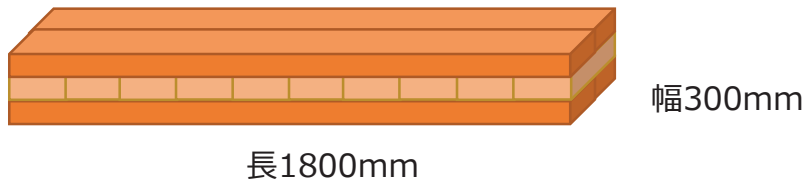


図 6.1-6 CLT 寸法

CLT 製造状況の流れを写真 6.1-4 に示す。



接着剤塗布



内層ラミナの敷き並べ



プレーナー加工したラミナで仕上げた CLT(コントロール用)の出来上がり(No.1.試験体)



No.4 試験体(プレーナー加工なし)に用いる内層ラミナの幅ぞり



No.4 試験体(プレーナー加工なし)のプレス後の隙間



No.5(真空プレス)試験体の製作状況



No.5(真空プレス)試験体のプレス状況(表面白色は試験体に被せた不織布)



No.5(真空プレス)試験体の上面に現れた凹凸(約3 mm)

写真 6.1-4 CLT の製造状況

CLT 製造の検証から得られた知見は以下のとおりである。

- ・腐れの入った丸太から得られた挽板あるいはラミナを使用したか、CLT 製造にあたっては特に問題はなかった。
- ・だら挽き(プレーナー加工なし)して乾燥させた場合、挽板に反り等が多く発生するため、積層間の隙間が大きくなる。

- ・挽板の厚さが統一されていないため、積層間の隙間が大きくなる。しかし、コールドプレスで行った場合、上面・下面ともに凹凸は少なく、内層面にある程度の隙間が認められるものの、比較的積層接着は出来ているようである。今後、断面観察を行って接着の程度を把握する必要がある。
- ・節があり、厚さの統一されていない挽板をコールドプレスする場合、節と節のない位置ではプレスによる厚みに差が生じる。結果として、積層間の隙間となって現れることになる。
- ・挽板で真空プレスを行うときに下面を基準にした場合、下面は凹凸のない面ができるが、内層および上層ラミナの厚さの積算差が上面に凹凸として現れる。また、コールドプレスほどの圧縮力はないため、内層に隙間が大きく現れる。片面のみ凹凸がなければ良い用途で使用するのであれば、十分使用可能と思われる。上・下面の凹凸を少なくするには内層を基準にしてプレスを行えば良いと考えられ、実証して確認する必要がある。
- ・挽板の場合、仕上がり厚さが統一できないため、使用する場合は厚さにある程度の許容が必要となる。
- ・挽板で製造した場合、接着性能をコントロールすることができないが、たとえば、地中に圧縮材料として設置する場合や防護柵の壁材など、厚さ性能や比較的大きな曲げ強度が求められない用途での使用の場合は適用の可能性はある。また、製造精度を上げたい場合は、精度に応じてプレーナー加工を追加することで対応可能である。
- ・真空プレスは大きな機器が不要のため、初期投資費用が少ない。また、機器の取り扱いが容易で危険性が低く、かつ、ハンドリングが良い。
- ・真空プレスの場合、接着剤を用いずに CLT をラッピングできる可能性がある。
- ・低コスト化を狙って人工乾燥工程を省略したところ、4 か月弱の天然乾燥で一定の含水率まで落とすことができた。乾燥時のヤード確保は課題となるが、土木用 CLT の製造においては人工乾燥工程の省略も可能性があると考えられる。

(3) 構成ラミナを一部省略した CLT の製造試験

丸太から製材する際に発生する丸身を含む材（C材）をラミナに用いる場合、製造される CLT には多数の空洞が想定され、接着面積が通常の CLT に比べて減少する可能性がある。また、使用するラミナ量を減少させても CLT として必要な強度性能を確保できるのであれば、コスト削減に大きく寄与できると考えられる。

そこで、積極的に構成ラミナを省略することにより、空洞を有する CLT の製造実験を行った。

また、内層ラミナの接着面積が CLT パネルのせん断性能に大きく寄与すると考えられるため、内層の接着面積が大幅に減少した CLT パネルのせん断性能が大きく劣っている可能性がある。そこで、せん断試験を実施し、その性能を検証した。

(a) 材料

今年度はカラマツラミナ（FJ 縦継ぎ、L90）を用い、接着剤には水性高分子イソシアネート系接着剤（主剤 PI-3210、硬化剤 H-50、（株）オーシカ製）を用いた。

(b) 試験方法

図 6.1-7 に示す 4 パターンの CLT を製造した。なお、全て 5 層 5 プライの強軸（外層ラミナが長尺）パネルとした。使用したラミナの層ごとの枚数および材積換算の削減率を表 6.1-13 に示す。

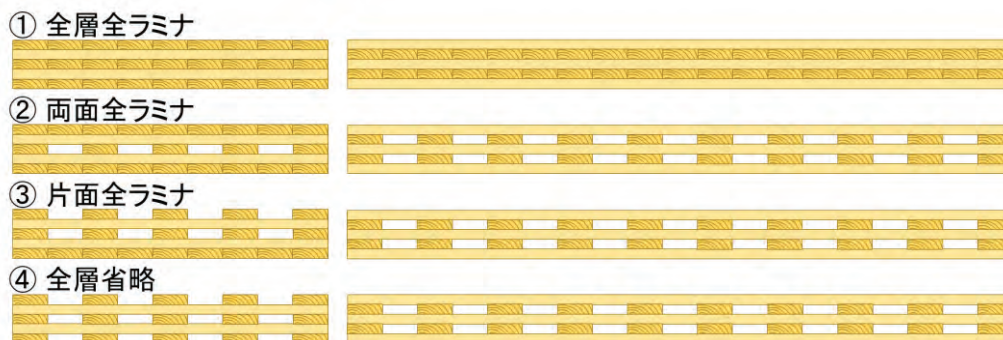


図 6.1-7 内層ラミナを省略した CLT の層構成

表 6.1-13 各パネルに用いた層ごとのラミナ枚数

	1層	2層	3層	4層	5層	長尺 合計	短尺 合計	材積計 m ³	削減率 %
	下	上							
①全層全ラミナ	9	19	9	19	9	27	38	0.294	0
②両面全ラミナ	9	10	5	10	9	23	20	0.212	27.8
③片面全ラミナ	9	10	5	10	5	18	20	0.186	36.7
④全層省略	5	10	5	10	5	15	20	0.160	45.6

ラミナの断面寸法は、107幅×30厚 mm で、長さは次項「(c) 各 CLT の製造条件」に記す。また、ラミナは製造試験の前日にプレーナーで 30 mm 厚に仕上げた。接着剤配合比は主剤：硬化剤=100：15 で、塗布量は 200 g/m²、圧縮条件は 1.0 MPa、60 分とした。なお、②、③、④の圧縮では、中空部分を考慮して圧縮面積を設定し、プレスของゲージ圧を決定した。各試験体の圧縮面積は、次項「(c) 各 CLT の製造条件」に記す。また、製造風景を写真 6.1-5 に、製造した CLT パネルを写真 6.1-6 に示す。

(c) 各 CLT の製造条件

① 全層全ラミナ (図 6.1-8)

ラミナ長さ： 長尺 107 mm × 19 枚 - 5 mm = 2,028 mm
 短尺 107 mm × 9 枚 - 5 mm = 958 mm
 圧縮面積：19,578 cm² (203.3 × 96.3)

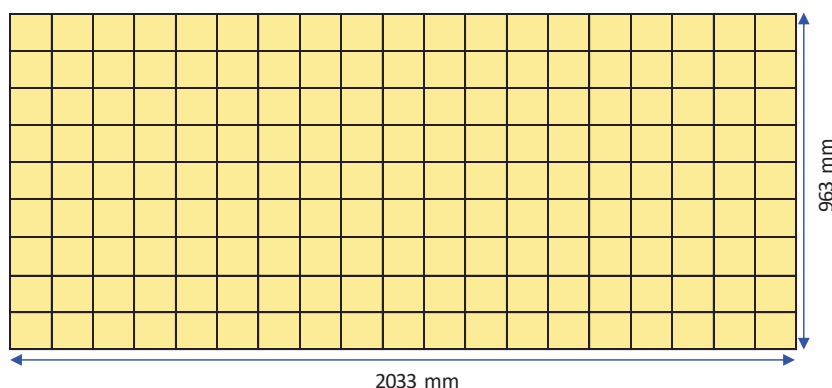


図 6.1-8 全層全ラミナ CLT の圧縮面積

② 両面全ラミナ

③ 片面全ラミナ (図 6.1-9)

ラミナ長さ 長尺 1 : $107 \text{ mm} \times 19 \text{ 枚} + 40 \text{ mm} = 2,073 \text{ mm}$
 長尺 2 : $107 \text{ mm} \times 19 \text{ 枚} = 2,033 \text{ mm}$
 短尺 : $107 \text{ mm} \times 9 \text{ 枚} + 40 \text{ mm} = 1,003 \text{ mm}$
 圧縮面積 : $10,304 \text{ cm}^2$

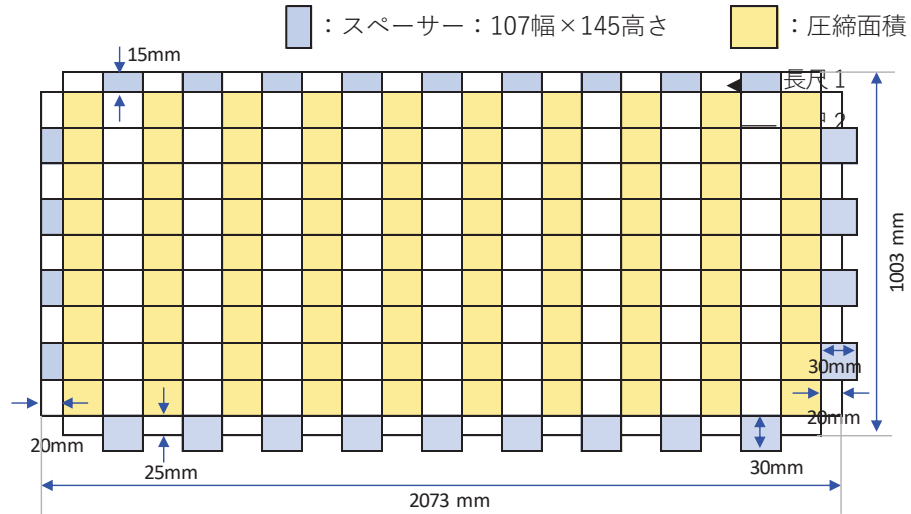


図 6.1-9 片面全ラミナ CLT の圧縮面積

④ 全層省略 (図 6.1-10)

ラミナ長さ 長尺 : $107 \text{ mm} \times 19 \text{ 枚} + 40 \text{ mm} = 2,073 \text{ mm}$
 短尺 : $107 \text{ mm} \times 9 \text{ 枚} + 40 \text{ mm} = 1,003 \text{ mm}$
 圧縮面積 : $5,725 \text{ cm}^2$

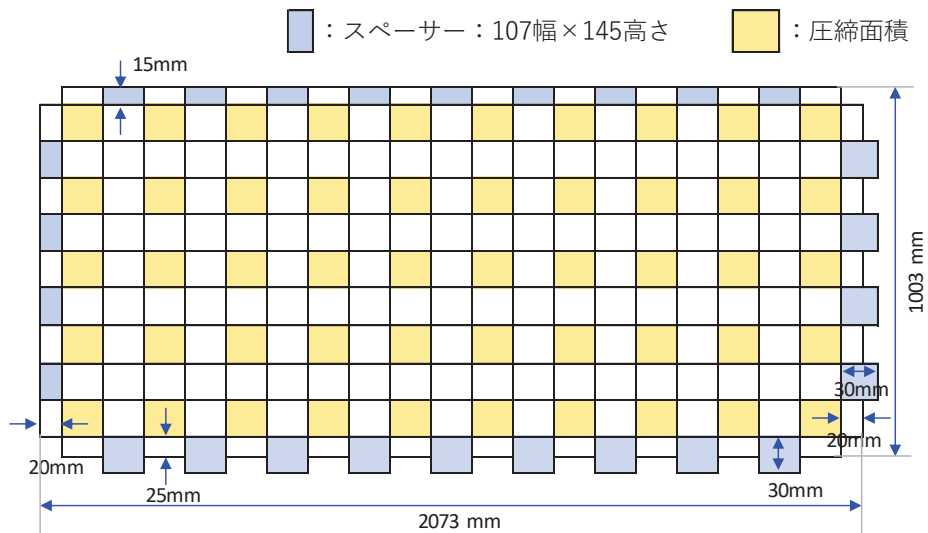


図 6.1-10 全層省略ラミナ CLT の圧縮面積

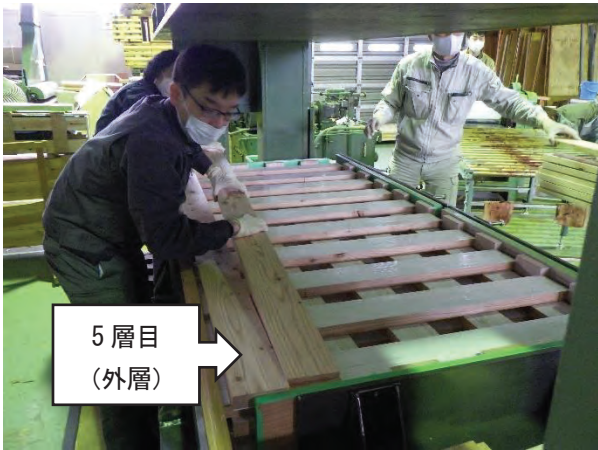
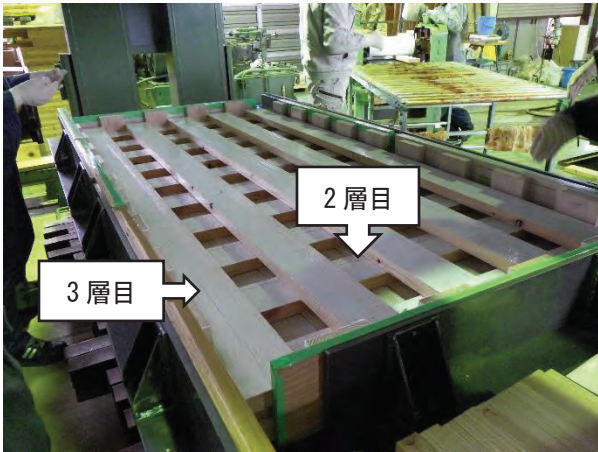


写真 6. 1-5 内層ラミナを一部省略した CLT の製造風景



写真 6. 1-6 内層ラミナを一部省略した CLT

(d) 各パネルのせん断試験

i) 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。平行層外層引張側、平行層外層圧縮側、平行層内層、直交層で表 6. 1-14 のようにラミナ配置数の条件を設定した。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 2,033mm の試験体を各パネルより 3 体製作した。

表 6. 1-14 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
全層全ラミナ	全ラミナ	全ラミナ	全ラミナ	全ラミナ
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
全層省略	半ラミナ	半ラミナ	半ラミナ	半ラミナ

ii) 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 (写真 6. 1-7)。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_t) は分解能 1/100 mm、ストローク 100 mm、荷重点間中央たわみ (σ_b) 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。

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

$$E_b = \frac{3a(L-2a)^2\Delta P}{4bh^3\Delta\sigma_b} \quad (2)$$

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

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

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 (1498 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

$\Delta\sigma_b$: 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。



写真 6. 1-7 試験の様子

iii) 試験結果

結果を表 6. 1-15、6. 1-16 および図 6. 1-11、6. 1-12 にまとめる。また、荷重と支点間スパン中央たわみの関係曲線を図 6. 1-13 に、試験体の代表的な破壊形態を写真 6. 1-8 に示す。

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。

表 6. 1-15 試験結果 (全試験体の結果)

仕様	No.	E_m kN/mm ²	E_b kN/mm ²	G kN/mm ²	σ_s N/mm ²	破壊形態	破壊時間 min.	MC %
全層 全ラミナ	1	7.99	9.26	0.53	2.29	せん断・曲げ	3.9	10.1
	2	7.66	8.94	0.48	2.43	せん断・曲げ	4.2	10.1
	3	8.41	9.76	0.55	2.48	せん断・曲げ	4.4	10.6
両面 全ラミナ	1	5.22	7.14	0.18	1.11	せん断	2.4	9.6
	2	5.46	7.96	0.16	1.06	せん断	2.6	9.7
	3	5.40	7.10	0.20	1.14	せん断	3.3	9.9
片面 全ラミナ	1	3.95	5.06	0.16	0.99	せん断	3.9	9.3
	2	4.20	5.06	0.22	1.00	せん断	3.9	10.2
	3	4.12	5.45	0.15	0.98	せん断	4.2	10.1
全層 省略	1	3.10	4.72	0.08	0.83	せん断	4.0	8.6
	2	3.01	4.09	0.10	0.77	せん断	3.6	8.7
	3	2.91	3.95	0.10	0.83	せん断	4.4	9.2

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 6.1-16 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
全層全ラミナ	8.02	4.7%	9.32	4.4%	0.52	6.7%	2.40	4.0%
両面全ラミナ	5.36	2.3%	7.40	6.6%	0.18	13.4%	1.10	3.4%
片面全ラミナ	4.09	3.1%	5.19	4.3%	0.18	21.8%	0.99	0.8%
全層省略	3.01	3.1%	4.25	9.7%	0.10	12.5%	0.81	4.0%

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 : セン断弾性係数、 σ_s : セン断強度

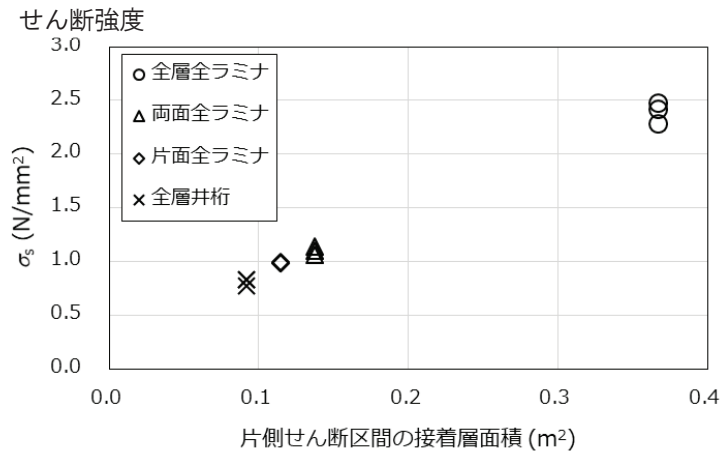


図 6.1-11 接着層面積とせん断強度の関係

(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 : セン断弾性係数、 σ_s : セン断強度)

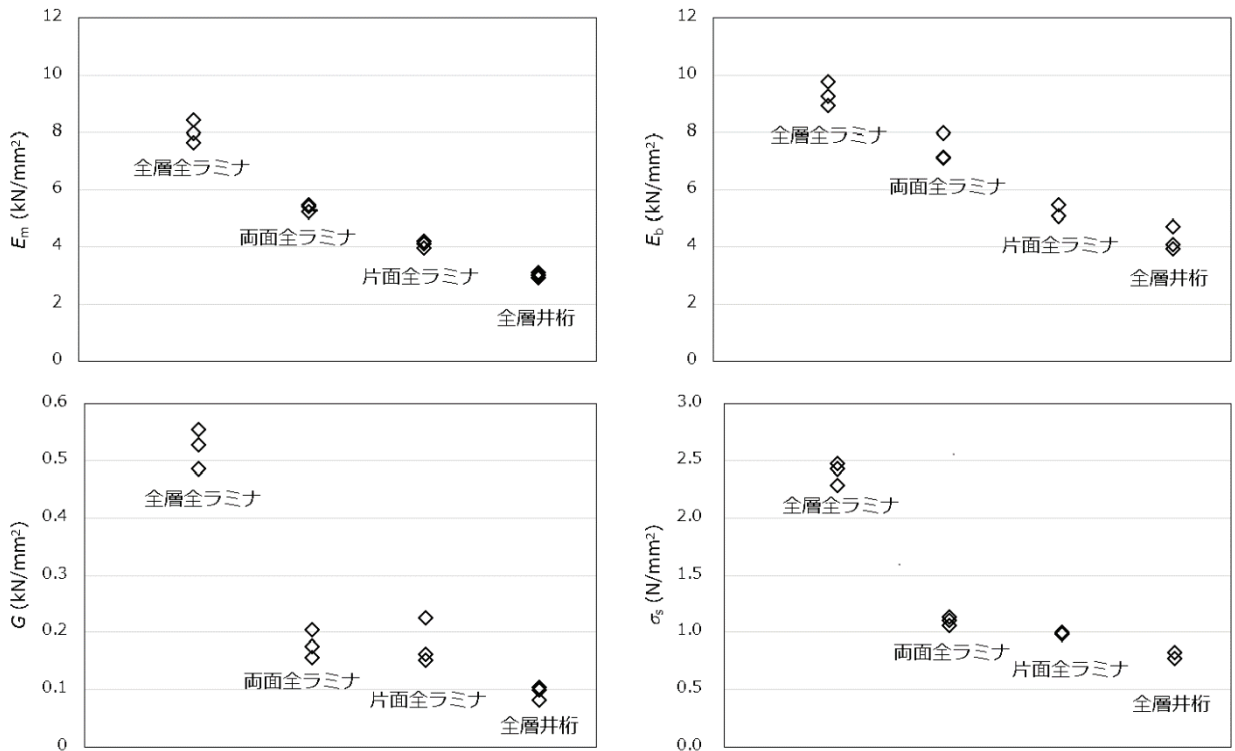


図 6.1-12 試験結果のプロット

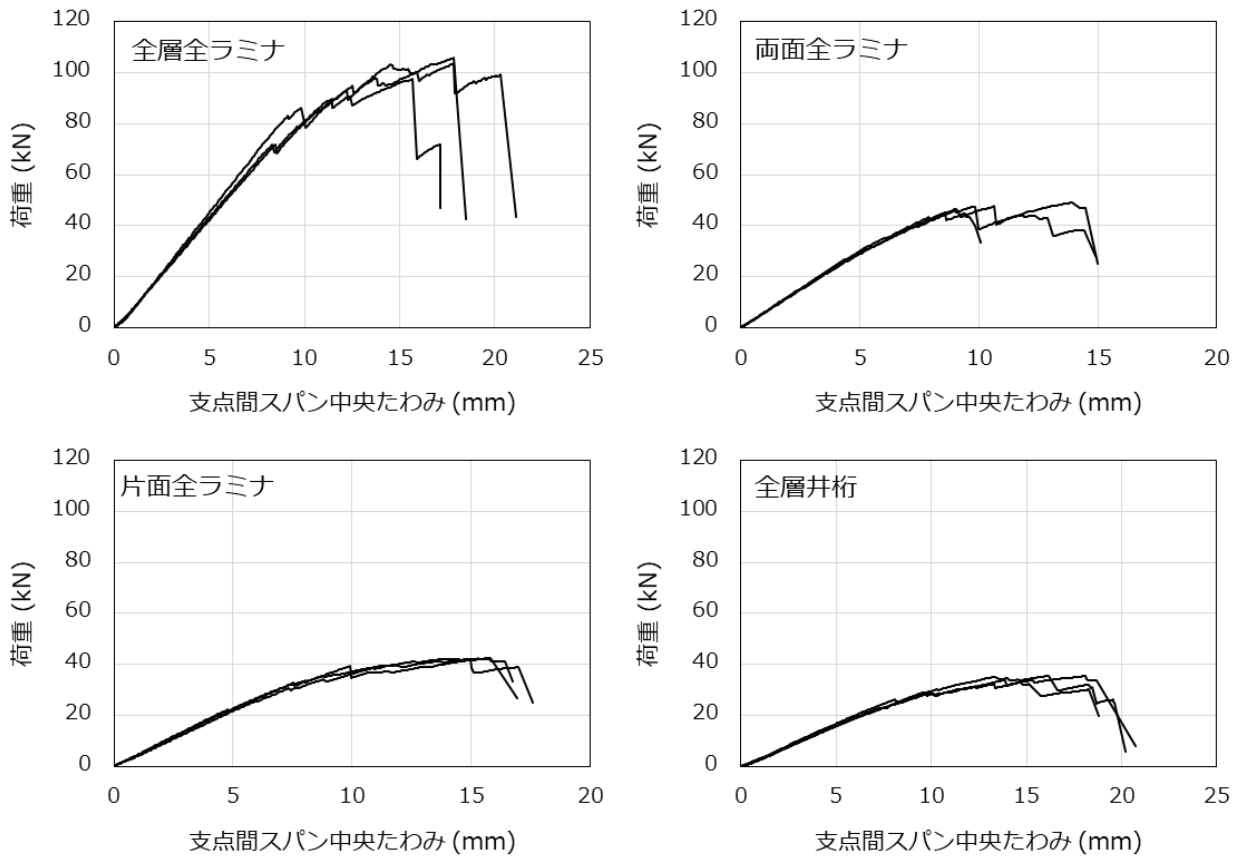


図 6.1-13 荷重と支点間スパン中央たわみの関係



図 6.1-8 代表的な破壊形態

6.1.4 まとめ（今年度成果と課題）

コストスタディの結果、現在の製造量（9,000 m³/年）から算出される製造費の場合、仕上げ切削の有無だけでは価格は6.4%程度の削減に過ぎないが、更にC材を使用することで価格が21.8%削減できる可能性が示された。また、工場を100%稼働させた場合（30,000 m³/年）の製造費の場合、建築用のJAS製品でも22.9%の削減が、C材を使用し仕上げ切削を行わない場合は44.8%の削減可能性が示された。

また、実際に腐れの入った丸太から得られた挽板あるいはラミナ（C材）を用いた製造試験の結果、CLT製造にあたっては作業性に特に問題ないことがわかった。ただし、挽板の反りや厚さの不均一の影響で積層間の隙間が大きくなり、積層接着は出来ていたが接着性能への程度の影響があるかについては今後試験により把握する必要がある。一方、人工乾燥工程を省略して天然乾燥を行った結果、約4か月の時間がかかったが20%以下まで含水率を落とすことができた。納期や乾燥時のヤード確保は課題となるが、土木用CLTの低コスト化には人工乾燥工程の省略も大いに可能性を有することが示された。

内層を中心に一部のラミナを省略し、原材料費の削減効果を期待した「空洞を有するCLTパネル」の試験製造を行った結果、側圧を掛ける治具にスペーサーを取り付けることで製造効率の低下がほとんどなく、省略無しのCLTと製造時間に遜色はなかった。

さらに、せん断試験を実施した結果から、せん断強さは接着面積にほぼ比例していることが確認でき、ラミナを省略しても積層接着には問題ないことが示された。

以上より、原材料としてはC材利用とラミナの省略で、加工面では天然乾燥とラミナの仕上げ加工およびパネルの仕上げ切削による低コスト化の実現可能性が示された。

6.1.5 今後の展開

今年度試験製造したCLTパネルの接着性能や強度性能などを確認するとともに、含水率の高いひき板の接着やプレス機の圧縮手法の検討、接着剤の種類や接着手法の検討、使用するラミナの省略構成の検討などを行い、必要に応じて製造試験を繰り返し実施する。

また、これらの検討結果を参考に、具体的な土木用途や製造精度に応じた製造方法を明らかにし、製造方法に応じた製造コストおよび歩留りを算出する。

さらに、低コスト化の検討過程で生まれた新しい素材である「空洞を有する軽量CLTパネル」のメリットや空洞の活用を検討し、具体的な用途開発に繋げる。

6.2 CLTの耐久性付与技術の開発

6.2.1 開発背景

土木において木材を活用する際に最も注意しなければならないのが、木材腐朽による機能低下や人的被害の発生である。木材は木本類から得られる生物素材であり、主として土中に多く存在する木材腐朽菌の活動により、適温・湿潤・有酸素環境下においてCO₂や土壌に分解される。そのため屋外利用される木製品の構成部位の中でも、特に地盤面に接する地際部では、無対策のままでは木材腐朽を避けることは出来ない。

建築用CLTでは主に土台や水回り、外壁・外構における防腐対策として、防腐薬剤の注入処理により腐朽に対する耐朽性を高める様々な検討や技術開発がされており、既に実用化されているものも少なくない。しかし、それらの検討においてはCLTの土木利用は想定されておらず、屋外の土中や地際でCLTを活用する際の防腐処理技術は確立されていない。また、建築用CLTで確立されている防腐処理技術を土木用に応用する場合にも、土木分野ではCLTそのものの低コスト化が求められているためコスト面でクリアすべき課題が多く残されている。

6.1.2 開発目的

CLTの土木利用において従来の防腐処理と同程度の処理コストでは将来的な普及の妨げとなる恐れがあるため、出来る限り低コストでCLTパネルへ必要最低限の耐久性を付与する技術の開発を目指す。

6.2.3 今年度実施状況

ラミナの段階で防腐薬剤を木材に注入する場合、一般的には従来から屋外用木材の保存処理で利用されている水系薬剤（ACQ、CuAZ、AAC、AZNA等）を用いた加圧注入処理が行われる（湿式処理）。処理されたラミナを積層接着する際には、薬剤中の金属イオンの影響による接着剤硬化不良等の課題はいくつかあるが、既に様々な研究機関や薬剤メーカー等で技術開発が行われ、一部実用化されている。しかしラミナへの防腐薬剤注入処理の手法では高い防腐性能が得られる一方で、薬剤の使用量や注入後の乾燥、切削など製造時に掛かるコストが大きい。

本研究の目的が低コストな処理技術であることから、CLT工場における製造工程は一切変更せず、完成した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しい。ただし前記の水系薬剤による処理はCLTを水分で膨潤させることになるため、膨潤～乾燥に伴う割れや変形、接着剥離などの恐れがあり、高い耐久性と引き換えに製品の品質低下や強度性能低下を招く可能性がある。

本研究では水系ではなく油系薬剤（ナフテン酸銅、クレオソート油等）を用いた保存処理技術について検討した。今年度は難注入性樹種のカラマツとトドマツおよび対照としてのスギの各CLT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。その結果を表6.2-1および図6.2-2に示す。なお、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。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（写真6.2-1）し、各処理前後の重量から付着量を算出した。塗布後の試験体を写真6.2-2に示す。

表 6.2-1 各材へのクレオソート油の付着量

No.	付着量 (g/m ²)					
	スギ		トドマツ		カラマツ	
	浸漬	表面処理	浸漬	表面処理	浸漬	表面処理
1	875.953	423.957	760.431	406.012	577.695	351.054
2	948.856	520.413	753.701	450.875	541.723	404.890
3	1020.637	469.942	787.349	485.644	577.613	354.419

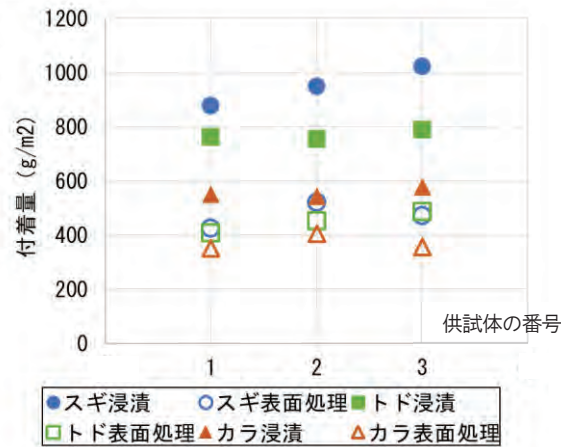


図 6.2-1 各材へのクレオソート油の付着量



写真 6.2-1 クレオソート油による塗布処理



写真 6.2-2 塗布処理後の試験体

6.2.4 まとめ（今年度成果と課題）

各樹種とも表面処理の場合は浸せき処理に比べておおよそ5~6割程度の付着量であることがわかった。付着量と防腐効果の関係についてはまだ検討途中であり、次年度以降への課題である。

6.2.5 今後の展開

次年度は今年度処理したCLTパネルから試験体を切り出し、防腐性能について検証を行う。また、ナフテン酸銅についても同様の処理、検証を行う。最終的にはそれぞれの処理ごとに、従来の減圧加圧注入処理およびラミナの水系薬剤による処理を行ったパネルとの性能比較やコスト比較を行って、低コストに必要な防腐性能が得られる処理手法を導く。

6.3 CLTの燃料利用技術の開発

6.3.1 開発背景

「リサイクル型」土木木製構造物は使用後において木質バイオマス燃料として活用する（図 6.3-1）。「リサイクル型」土木木製構造物由来の木質燃料のメリットは以下の3点である。

- ① 石油・天然ガス・石炭という化石燃料の代替え効果によるCO₂の排出削減
- ② 供用期間の短縮、取替頻度の増加を目的に防腐剤を使用しないので、燃焼時の灰分や揮発性ガスがクリーン
- ③ 屋外供用期間中に、木材に本来含まれている水分の蒸発熱が縮減し、(バイオマス燃料は、変換設備に投入した後、蒸発に奪われる熱量が少ないほどエネルギー効率が上がるので、) 発熱量が上昇し燃料価値が向上

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

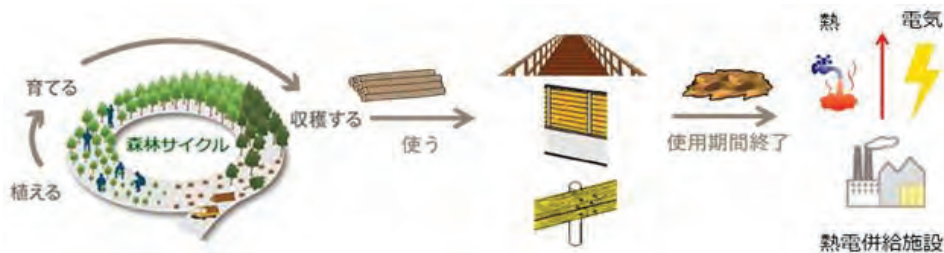


図 6.3-1 森林サイクルと「リサイクル型」木製土木構造物のライフサイクル

6.3.2 開発目的

木質ボイラとの相性を決定する CLT 燃料用木質チップの寸法、形状、水分、灰分などの品質項目を調査する。そのため供用前の CLT 由来の木質チップを対象に、一般社団法人日本木質バイオマスエネルギー協会の「燃料用木質チップの品質規格」¹⁾ (表 6.3-1～表 6.3-3) に沿った品質項目を調査する。

表 6.3-1 燃料用木質チップの品質

品質項目	単位	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4
原料		幹、全木 未処理工場残材	Class 1 + 灌木・枝葉・末木 次原料・樹皮等	Class 2 + 指定枝葉 樹皮 未処理リサイクル材	Class 3 + 化学的処理工場残材 化学的処理リサイクル材
チップの種類		切削チップ	切削または破砕チップ		
チップの寸法 P			P16 P26 P32 P45 から選択		
水分 M	w-%	M25 M35 から選択	M25 M35 M45 M55 から選択		
灰分 A	w-% dry ⁽¹⁾	A1.0 ≤1.0%	A1.5 ≤1.5%	A3.0 ≤3.0%	A5.0 ≤5.0%
N(窒素)、S(硫黄)、Cl(塩素)	w-% dry ⁽¹⁾				N≤1.0、S≤0.1、Cl≤0.1
重金属	mg/kg dry				As≤4.0、Cd≤0.2、Cr≤40、Cu≤30、 ⁽²⁾ Pb≤50、Hg≤0.1、Zn≤200
異物 ⁽³⁾		含まないこと			

(1) w-% dry—質量パーセント(乾量基準)

(2) As(砒素)、Cd(カドミウム)、Cr(クロム)、Cu(銅)、Pb(鉛)、Hg(水銀)、Zn(亜鉛)

(3) 金属、プラスチック類、鋳木(合成木材、複合木材)、土砂、石など

表 6.3-2 燃料用木質チップの寸法区分

区分	微細部 投入チップ重量の 10%未満	主要部 投入チップ重量の 80%以上	粗大部 投入チップ重量の 10%未満	最大長
P16	<4mm	4-16mm	16-32mm	<85mm
P26	<4mm	4-26mm	26-45mm	<100mm
P32	<8mm	8-32mm	32-63mm	<120mm
P45	<16mm	16-45mm	45-90mm	<150mm

注) 寸法：ふるいの目開き寸法

表 6.3-3 燃料用木質チップの水分区分

水分区分	水分(wb)M	含水率(db)U	状態
M25	≦25%	≦33%	乾燥チップ
M35	25~35%	33~54%	準乾燥チップ
M45	35~45%	54~82%	湿潤チップ
M55	45~55%	82~122%	生チップ
不燃域 水分55%以上のチップは燃料として不適			

6.3.3 今年度実施状況

CLT 防音・防護柵に用いたと同じ仕様 (5.4.3 (1) CLT の仕様) の CLT を写真 6.3-1 に示すガーデンシュレッダー小枝粉碎機 (Talon TRISECTA TR-2001YS) でチップ化し、JIS Z 7302 (廃棄物固形化燃料) の方法により分析に処した。また JIS M8801 (石炭類—試験方法) の方法で粒度分析を行った。

6.3.4 まとめ

CLT は接着剤成分を含むため表 6.3-1 の燃料用木質チップの品質規格の原料としては、Class 4 となる。表 6.3-4 に規格値と分析結果を示す。今回チップの寸法は表 6.3-3 の区分外であり、表 6.3-5 のチップの粒度分析結果に示すように 4mm 未満が 50% を占める小さなチップであった。これは小枝粉碎機を用いたためであるが、大型の粉碎機を用いれば規格区分内の大きさのチップが得られたと思われる。

水分、灰分、窒素、硫黄、ヒ素、重金属、その他については規格値を全てクリアしており、燃料チップとして問題はなかった。

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, 4p.



写真 6.3-1 ガーデンシュレッダー小枝粉碎機 (Talon TRISECTA TR-2001YS)

表 6.3-4 CLT 木質チップの規格値 (Class 4 : 化学的処理リサイクル材等) と分析結果

品質項目	単位	規格値	分析結果
チップの種類	—	切削または破碎チップ	切削チップ
チップの寸法	mm	表6.3-2のP16、P26、P32、P45の4区分	区分外
水分	w-%	表6.3-3のM25、M35、M45、M55の4区分	M25
灰分	w-%dry	5.0以下	0.4
N (窒素)	w-%dry	1.0以下	0.11
S (硫黄)	w-%dry	0.1以下	<0.01
Cl (塩素)	w-%dry	0.1以下	<0.01
As (ヒ素)	mg/kg dry	4.0以下	<0.1
Cd (カドミウム)	mg/kg dry	0.2以下	<0.1
Cr (クロム)	mg/kg dry	40以下	<10
Cu (銅)	mg/kg dry	30以下	<1
Pb (鉛)	mg/kg dry	50以下	<5
Hg (水銀)	mg/kg dry	0.1以下	<0.01
Zn (亜鉛)	mg/kg dry	200以下	1.0
異物 (土砂、石など)	—	含まないこと	なし

表 6.3-5 CLT 木質チップの粒度分析結果

粒度分布	単位	割合
<4mm	%	50.0
4~8mm	%	28.0
8~16mm	%	21.6
16~26mm	%	0.4
26~31.5mm	%	<0.1
31.5mm~45mm	%	<0.1
45~63mm	%	<0.1
63~90mm	%	<0.1
90mm<	%	<0.1
合計	%	100.0

6.3.5 今後の展開

今回は、供用していないCLTをチップ化して分析に処した。次年度以降は、工事現場で使用した後の敷板をチップ化し、その燃料チップとしての品質を分析する。また規格区分内の寸法を持つチップが得られるためのチップ化方法も検討する。

7 次年度以降の計画

7.1 炭素貯蔵型・開発テーマ

気候変動緩和機能を活用した土木利用技術について、木材の炭素貯蔵効果を念頭に、「炭素貯蔵型」の軸に沿った開発テーマとしては、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用途での CLT の土木利用の技術開発を引続き進めていく。年数として、構造物が機能を維持する期間を 50 年程度とイメージして、以下の項目を中心に進めていく。

①板状地盤補強（継続）

劣化の可能性の低い板状地盤補強について、観測の継続と大規模載荷試験を行う。

②基礎試験（継続）

今年度に地中（亜寒帯、温帯、亜熱帯）、海水中、淡水中に設置した試験体の観察、計測を行う。

③プラットフォーム（新規）

乾燥環境で長期利用が可能なプラットフォームの設置・観測を行う。

④縦状地盤補強（新規）

地下水位下で縦方向に壁状に CLT を設置する基礎の設置・検討を行う。

7.2 炭素中立型・開発テーマ

気候変動緩和機能を活用した土木利用技術について、木材の炭素貯蔵効果を念頭に、「炭素中立型」の軸に沿った開発テーマとしては、最終的に構造物の CLT が生分解される、もしくは CLT が生分解されても構造物の機能的には問題ない用途を目指して開発を進めていく。年数として、構造物が機能を維持する期間を 10～50 年程度とイメージして、以下の項目を中心に進めていく。

①交通施設での CLT 利用（新規）

10～50 年の維持期間を想定した場合、交通施設での利用の想定がしやすいため、交通施設での CLT 利用拡大を目的に、調査を実施する。特に鉄道の駅については、他交通とのインターフェイスであることに着目し、鉄道施設はもとより、それに関連する他の交通施設での適用についても着目する。

②道路等の雑草防除盤（新規）

道路などの交通インフラにおいては、春から秋にかけて毎年アスファルトの割れ目などから雑草が繁茂し、ドライバー等の視認性が阻害され、都市景観が損なわれている。既に砂利やアスファルト、コンクリート、防草シート等の無機素材による雑草防除の試みは幾つか事例があるものの、経年劣化によるひび割れや素材同士の継ぎ目などから雑草が芽を出し、十分な効果が得られているとは言い難い状況にある。そのため、国土交通省の河川道路事務所などでは 1 事務所あたり年間数億円の予算を除草に費やされている。

そこで、次年度は道路の中央分離帯を対象として、縁石ブロックと CLT パネルの形状を検討し、雑草が発芽・繁茂しない構造を有する雑草防除 CLT 盤を開発する。また、このときのコストについて試算を行う。

③CLT 製マンホール蓋（新規）

積雪寒冷地域では、マンホール構内の熱により鉄製のマンホール蓋に積もった雪が融解し、車道や歩道にマンホール型の深い穴が開き、事故やケガを誘発させている。木材の熱伝導率は鉄の 1/500 程度と小さく、樹脂製の断熱素材に頼らなくても十分な断熱マンホール蓋と成り得る可能性がある。1995 年頃には北海道立林産試験場がメーカーと木製マンホール蓋の開発に成功しており、CLT を加工したマンホール蓋の実現可能性は高い。ただし耐朽性や耐摩耗性、表面が濡れたときの滑りやすさなどの情報整備は不足しており、試験による評価が必要である。

そこで、次年度は必要な CLT 厚さや加工方法について検討し、試作したマンホール蓋の強度試験および各性能確認試験を行う。

7.3 リサイクル型開発テーマ

気候変動緩和機能を活用した土木利用技術について、木材の炭素貯蔵効果を念頭に、「リサイクル型」の軸に沿った開発テーマとしては、最終的に構造物の CLT が生分解される、もしくは CLT が生分解されても構造物が必要な機能を維持できる耐用年数が比較的短く、概ね 10 年程度の期間をイメージして、製造コスト低減と、木材利用量の拡大に寄与するため、防腐未処理を原則とする開発テーマを中心に進めていく。供用後回収可能で、それを化石燃料の代替として活用できる(化石燃料代替効果による気候変動緩和機能を強化)ことをイメージして、基本的には対象テーマにおいては、防腐未処理を原則と考える。

①「リサイクル型」土木製構造物のビジネスモデル検討（新規）

CLT 防音・防護柵と CLT 敷板を対象に、既存同等品とコスト等において対抗できるようなビジネス展開モデルを定量的に検討する。

②CLT 敷板の実証試験（継続）

CLT 敷板の建設現場での実証試験を継続し、転用回数、洗浄方法、連結方法などを検証するとともに敷鉄板と比較しての静粛性、滑り抵抗、運搬効率などを定量化する。

③CLT 防音・防護柵の実施設計（継続）

今年度実施した遮音性能試験の結果を踏まえ、支柱と CLT との隙間からの音漏れがないような CLT 防音・防護柵の実施設計を行う。

④CLT の燃料利用技術の開発（継続）

建設現場で使用した後の CLT 敷板を「燃料用木質チップの品質規格」に準拠した寸法区分でチップ化し、水分、灰分、重金属等品質項目を確認する。

7.4 低コスト CLT の開発

今年度、試作段階まで進み、一定の成果を残した低コスト CLT の開発は、今後も CLT の土木利用の活路を見出すための重要な切り札となるものである。今後は、製造工場での量産化体制も検討の視野に入れて、可能性のある製造方法の試行を継続してゆく必要がある。

また、低コスト化の方法についても、さらに幅を広げて、新たな提案も含めて柔軟な思考で進めてゆく。

7.5 総括的な方向性

ここまでにまとめた 4 つの軸に沿って、それぞれの開発テーマを掘り下げると共に、総括的には以下の視点に立ち、開発を進めてゆくことが重要になる。

①基礎データの継続的な収集

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

②社会実装の視点にたった土木利用技術開発の選択と集中

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

③LCA 評価・経済性評価を加えた多角的なテーマの評価

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

④社会実装システムの整備

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

⑤土木用低コスト CLT の開発と各テーマとの連携

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

7, 6 展望

令和3年度は、CLT を土木分野に利用拡大するための開発として4件を抽出して実証施工した。限られた期間での結論ではあるが、いずれも利用の可能性が十分あり付加価値の高い結果が得られた。CLT の持つ構造的な特徴や環境的優位性、使用方法の工夫によっては他工法に劣らぬ機能的な付加価値を見出す一方、現在建築材料として利用されている CLT をそのまま土木分野に利用すると、高コストであることが明らかにされた。

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