

令和2年度補正 林野庁補助事業

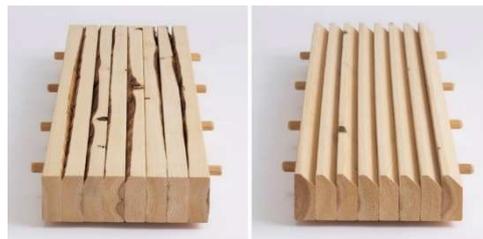
外構部の木質化対策支援事業

実証事業名：屋外用 DLT (Dowel Laminated Timber) と、屋外用 DLT を用いた外構部材の開発

実証事業者名：株式会社長谷萬

1. 取組の目的・きっかけについて

- 1) DLT(Dowel Laminated timber) は、木ダボだけで積層する木質素材である。穴あけ・ダボ打ちというシンプルな加工工程のため、接着に要する加工設備が不要である。CLT の様にボリューム感を活かした使い方ができる材料でありながら、中小木材事業者でも製造できる優れた特徴を持つ。



DLT 表面意匠の例(左:丸身付き 右:溝付き)

- 2) また、木材の加工性を活かした多彩な表面意匠が可能である。丸身材など低質材を意匠材として活用でき、製材の価値向上や歩留り向上につながる



DLT の製造工程

特徴をもつ。ヨーロッパ山間部で実用化されており、小さな製材所、加工所や工務店が DLT に関するサプライチェーンを構築している。DLT は、ドイツやスイスなどの中小企業約 30 社によって製造されており、近年北米でも製造が開始された木質素材である。

- 3) 現在、国内においても、建物の床、屋根、壁の意匠材兼構造材として、国産材を用いた DLT が活用されはじめている。こうした特徴をもつ DLT を外構部材に活用できれば、外構部の木質化促進に貢献する手法になり得るが、現状国内で DLT の屋外利用の事例がなく、また DLT の高耐久処理等に関する知見が無い。



- 4) そこで今回、新たに高耐久処理を施した DLT と、それらを用いた屋外遊具等の開発を通して、今後の DLT の外構部での活用の普及・啓発につなげることを目的とする。



国内の DLT 活用事例

2. 課題設定、事業計画について

1) 課題設定

- ① 高耐久処理DLTの開発
木ダボ接合積層材DLTへの防腐防蟻処理の実施。同処理の浸潤度・吸収量、寸法安定性の把握。
- ② DLTを用いた屋外遊具等の開発
DLTの特性に配慮した遊具等のデザイン、設計。
- ③ 屋外DLT適した維持管理計画の策定
DLTの特性に配慮した維持管理計画の検討。

2) 事業計画

① 実施体制

以下の体制で実施した。

<指導・助言（学識経験者）> :

【木構造】 : 法政大学デザイン工学部建築学科 准教授 宮田雄二郎

【木材保存・木材防腐】: 森林総合研究所 関西支所長 桃原郁夫

<設計・施工> :

株式会社長谷萬（J P I C - C L W - II - 1 4 4 号）

<材料供給>

木材・加工 : 株式会社長谷川萬治商店

保存処理 : 兼松サステック株式会社、株式会社ザイエンス

木材保護塗料: 大阪ガスケミカル株式会社

<技術応援・普及活動>

一般社団法人木のいえ一番協会、宮城県CLT等普及推進協議会

② 実施計画

(1) 施設の整備

イ) 令和3年9月～11月中旬: デザイン、設計、工事契約

ロ) 10月中旬～12月初: DLT製造

ハ) 12月～1月末: 工事

ニ) 2月初: 現地見学会

(2) データの収集等

イ) 令和3年9月: 現況調査

ロ) 9月～11月中旬: 検証計画

ハ) 10月～11月中旬: 試験体制作

ニ) 12月下旬: 曲げ試験

ホ) 12月～1月末: 注入、分析

屋外DLT開発打合せ:

10/ 1 (金) 14:00～15:30 リモート

10/14 (木) 14:00～15:30 リモート

11/ 4 (木) 11:00～12:00 視察 @長谷萬事業所

11/24 (水) 10:00～11:30 打合せ@ザイエンス事業所

12/ 7 (火) 10:00～11:30 打合せ@兼松サステック事業所

12/16 (木) 14:00～15:00 リモート

12/17 (金) 15:00～16:00 リモート

2 / 3 (木) 14:00～15:00 リモート

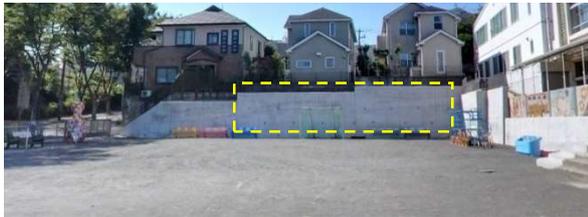
2 / 4 (金) 14:00～15:00 視察 @みたけ台幼稚園

3. 整備した施設の概要、施工の方法や工夫等について

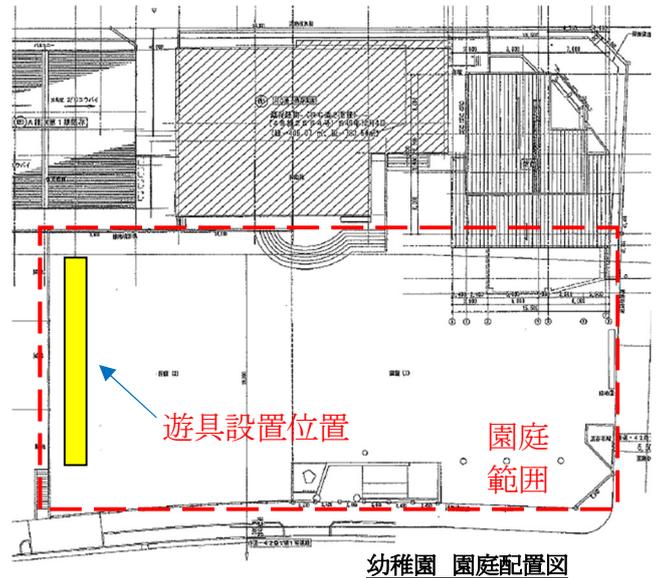
1) 施設概要

- ① 施主 : 学校法人原田学園みたけ台幼稚園
- ② 所在地 : 神奈川県横浜市青葉区みたけ台1-1
- ③ 整備施設の名称 : ボルダリングウォール
- ④ 整備施設の用途 : 遊具
- ⑤ 整備目的 : 木製屋外遊具の新設による園庭の充実
- ⑥ 整備施設仕様 :
 - (1) 幅16m、高さ2.3m
 - (2) 杉DLT(厚さ105mm)薬剤加圧注入処理(AZN、またはAZNA)、木材保護塗料仕上げ(キシラデコール アクオステージ(水性)2度塗り)、溶融亜鉛メッキ鉄骨フレーム、SUS接合材

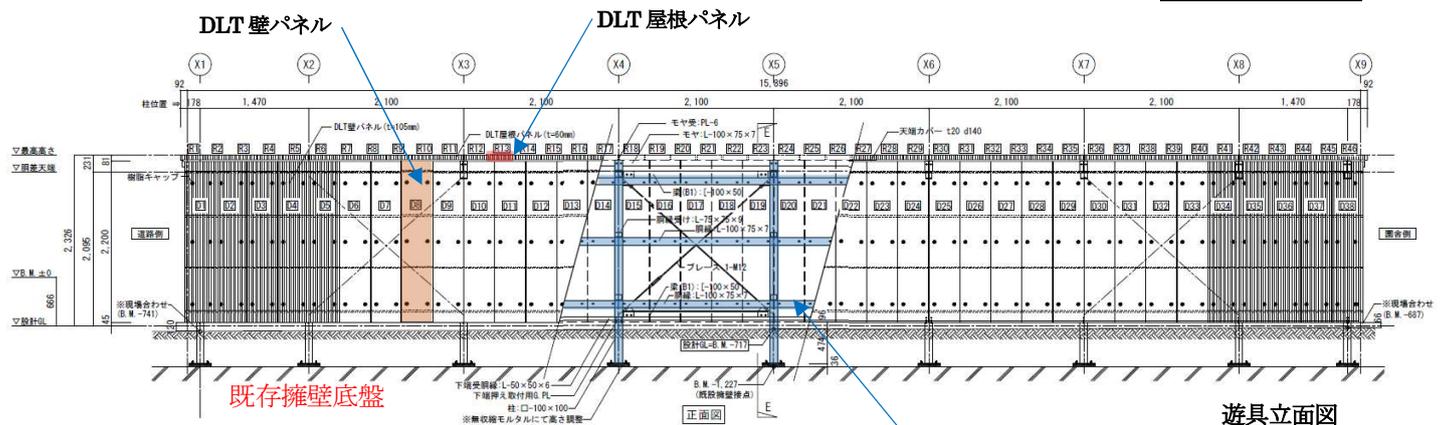
2) 施設について



施設整備前の園庭状況
(点線部に遊具を設置)



幼稚園 園庭配置図



遊具立面図

企画・デザイン・設計 : (株)長谷萬
構造設計 : レン構造設計事務所

鉄骨フレーム (DLT壁パネル裏面)



遊具全景



遊具の活用状況



ボルダリングホールド 取付状況

DLT やボルダリングホールドの固定用穴は、DLT 製造時に穿孔し、その後防腐・防腐薬剤を注入した。

安全上の配慮から、最上部までは上がれないホールド配置としている。

DLT 壁パネルの木口保護のため、勾配の付いた DLT 屋根パネルを設置している。



DLT の裏側から、点検・メンテナンスが行えるよう、通路を作っている。

DLT の固定は SUS ボルトで行っている。ボルト穴にはシリコンゴムのキャップを施した。

3) 施設設計について

① 遊具の安全確保

- (1) 「遊具の安全に関する規準 第二版」(一般社団法人日本公園施設業協会) に準じて設計を行った。落下高さが 1,500mm 以下となるようにボルダリングホールドを配置。最上部のボルダリングホールドには手が届くまでとし、壁を登り切るのではなく、水平方向への移動を楽しむ遊具として設計した。
- (2) 頭部・胴体の挟み込み防止対策として、地盤面からの隙間と、側面縦格子の間隔を確保した。(規準: 100×157 mm の四角形)
- (3) 指の挟み込み対策として、DLT 壁パネル同士の隙間は 4mm で設定した。(規準: 8mm 以下)

② 構造安全性について

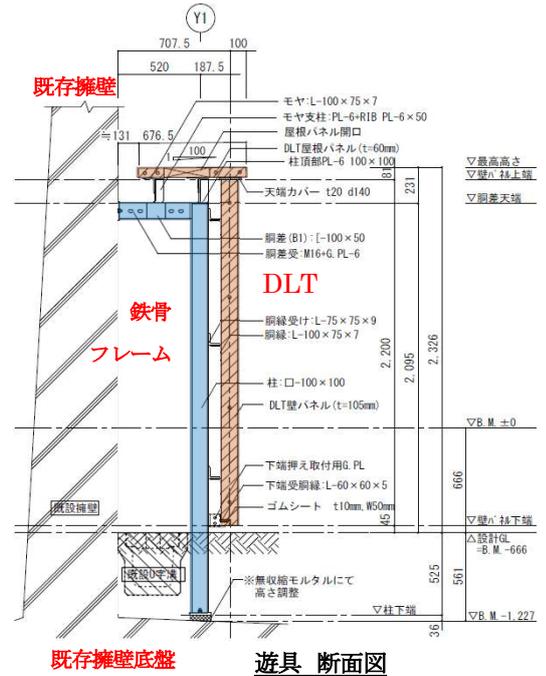
風圧力並びに、ボルダリングウォールに園児が登っている状態の重量の地震力について、鉄骨フレームを介して、外力が既存擁壁に伝わるように設計した。

③ 耐久性確保について

- (1) DLT には、AZN (兼松サステック (株) ニッサンクリーン AZN)、または、AZNA ((株) ザイエンス ペンタキュア EC030) を、K 4 相当にて加圧注入処理した。
- (2) DLT 壁パネル、屋根パネルとも、ボルト穴など取付けに必要な加工を予め施しパネルの形に組んだ後で、薬剤の加圧注入処理を行った。
- (3) 日射の当たる DLT 壁、屋根の表面に、ボルダリングホールドの取付前に、木材保護塗料 (大阪ガスケミカル (株) キシラデコール アクオステージ (水性) 2 度塗り) を塗装した。
- (4) ボルダリングウォール下端と地面 (GL) との離隔は 45mm を下限で確保し、GL の傾斜や不陸状況に合わせ最大 100mm 程度の離れとし、土との直接接触をさげ、また下端の点検・メンテナンスが可能な納まりとした。
- (5) 鉄骨フレームには、溶融亜鉛メッキ処理を施した。接合ボルト類は、全てステンレス製とした。

④ 運用・点検について

- (1) 遊戯時には必ず管理者が立ち会う運用とした。
- (2) 遊具と接する既存擁壁面および擁壁前の側溝の点検、維持管理並びに、遊具の裏面の点検・メンテナンスを容易とするため、ボルダリングウォール背面に 500mm 程度の通路を確保した。
- (3) 外部から目視できるように通路の入口に丸鋼の縦格子ドアを設けた。園舎側は扉を固定。道路側は開閉可能な扉とし、施錠可能な構造とした。



4. 整備した施設の維持管理計画について

外部で使用する木製外構施設・器具の構造安全性を維持するため、管理者が適切な定期点検・維持管理を行い、定期的な点検により早期に劣化の兆候を発見し、補修、補強等の対策をとるものとする。

1) 点検の種類と頻度

点検の種類は、次の4種類とし、これらの点検によって外構施設・器具について定期的に異常がないかを確認する。

- ① **日常点検**：管理者が日常業務の中で行う始業前点検で、目視や器具に触れ施設・器具の破損や変形など異常が無いことを確認する。
- ② **通常点検**：時期を定期的に定め、年1～2回程度管理者が全体の目視検査を主体にして行う点検。通常点検で異常が認められた場合は臨時の詳細点検を行う。
- ③ **定期点検**：時期を定期的(表1)に定め、全体の目視検査を主体にして行う点検。

表1 定期点検のスケジュール

| 点検頻度 | 点検内容 |
|--------|---------------|
| 1年目点検 | 目視点検 ※ |
| 2年目点検 | 目視点検 ※ |
| 3年目点検 | 目視・器具を用いた点検 ※ |
| 4年目点検 | 目視点検 ※ |
| 5年目点検 | 目視・器具を用いた点検 ※ |
| 7年目点検 | 目視・器具を用いた点検 |
| 9年目点検 | 目視・器具を用いた点検 |
| 12年目点検 | 目視・器具を用いた点検 |
| 15年目点検 | 目視・器具を用いた点検 |

※(株)長谷萬が実施する。

- ④ **臨時点検**：地震、台風、火災等の災害発生時又は通常点検で異常が認められた場合など、必要に応じて行う点検。

2) 日常点検内容

日常点検は、管理者が始業前に施設・器具に触れ、ぐらつきの有無や、目視により部材の破損や脱落・消失など異常の有無を確認する。

3) 通常点検内容

通常点検は、構造部材についてはぐらつきの有無を、部材については、部材の破損や脱落・消失、変形や磨耗・消耗、汚損、変色、含水率変化、腐朽の有無などに着眼して点検を行う。

4) 定期点検内容

通常点検では難しい木材内部の腐朽、蟻害、高所の接合部などを点検することにより構造上の安全性を確認する。点検の際には各部を詳細に目視確認ができるような配慮をし、目視、触診、打診、測定機械を用いて詳細点検を実施する。

5. 実証結果について

1) DLTの注入性検証

① 目的

- (1) DLTは製材を配列し、貫通穴を開け、木ダボを打つことで接合される。接着材で製造同士を接着する集成材とは異なり、製材同士が接触しているが、それぞれが独立した状態になっている。また材の途中途中で木ダボ挿入用の貫通穴が開けられ、木ダボが挿入されている。



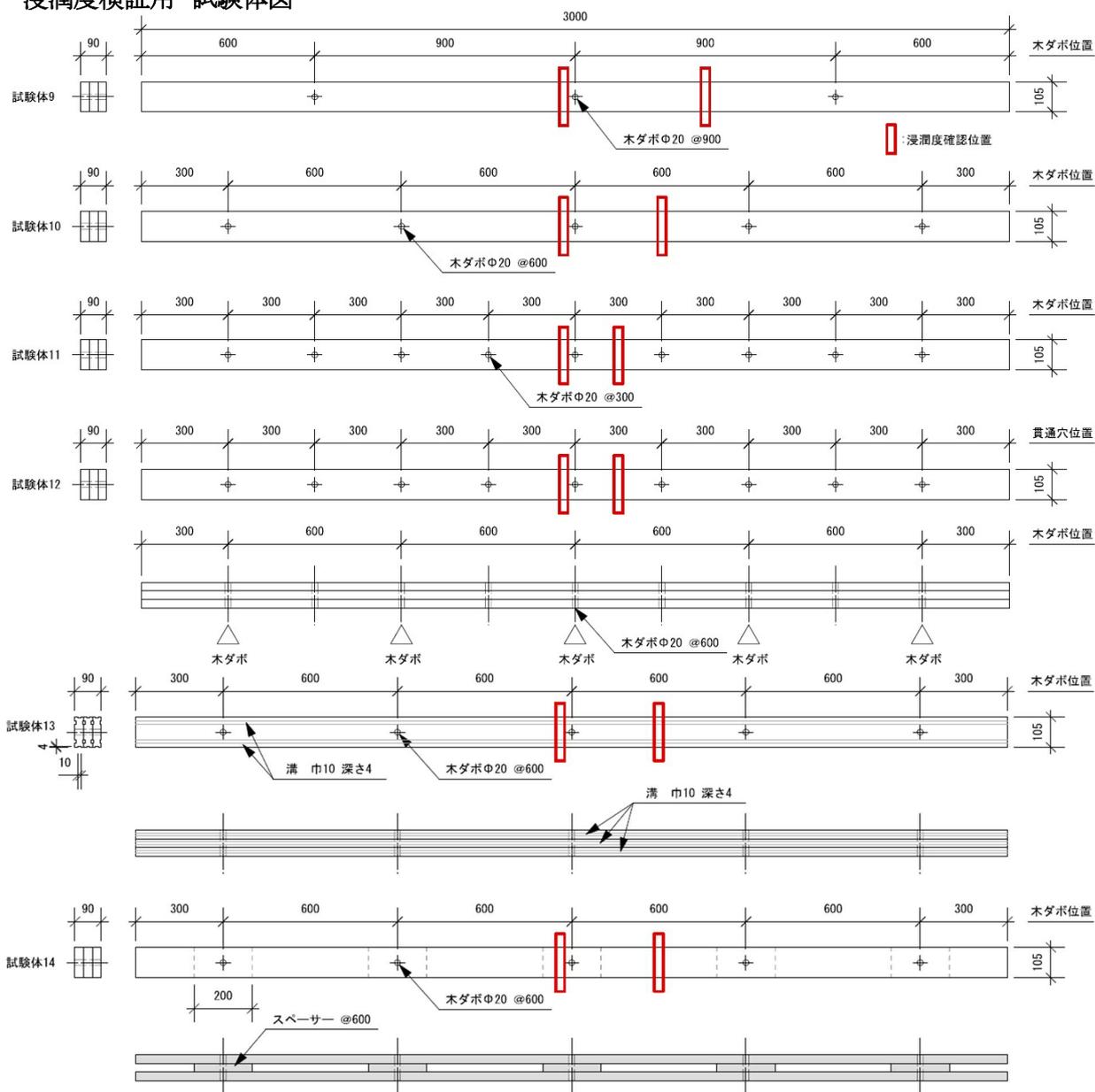
- (2) こうした製造面並びに形状面の特徴を持つDLTに対し、防腐・防蟻薬剤を加圧注入した場合の注入性について把握することで、今後、防腐・防蟻処理したDLTを製造するにあたって、注入性を向上させる手法に関する基礎的な知見を得ることを目的とする。

② 方法

- (1) 杉材を用いたDLTの試験体に薬剤を加圧注入後、以下2つの分析を行った。なお、杉材は中温乾燥（乾燥温度最高80℃）、含水率20%以下で製造された製材を用いた。
- イ) 薬剤浸潤度
 - ロ) 薬剤有効成分の吸収量
- (2) 防腐・防蟻薬剤注入薬剤は、以下2種類で分析を行った。性能区分K4相当の注入処理を行い、注入後の分析は各薬剤メーカーに委託した。
- イ) 乾式薬剤 AZN : ニッサンクリーンAZN (兼松サステック (株))
 - ロ) 湿式薬剤 AZNA : ペンタキュアECO30 ((株) ザイエンス)
- (3) DLTの試験体は、木ダボの打ち込みピッチ、貫通穴ピッチ、DLTを構成する断面形状等の違いによる、注入性への影響を把握するため、以下の6種類 (各N=5) で行った。なお、薬剤注入前後で、各試験体の中・せい寸法を両端部、中央の3点で計測し、寸法変化を把握した。

| 試験体 No. | 処方 | 実施内容 |
|---------|--------------|-------------|
| No. 9 | 木ダボ間隔@900 | 浸潤度測定+吸収量分析 |
| No. 10 | 〃 @600 | 浸潤度測定 |
| No. 11 | 〃 @300 | 浸潤度測定+吸収量分析 |
| No. 12 | 〃 @600+穴@300 | 浸潤度測定 |
| No. 13 | 〃 @600+ラミナ溝 | 浸潤度測定 |
| No. 14 | 〃 @600+隙間 | 浸潤度測定 |

浸潤度検証用 試験体図



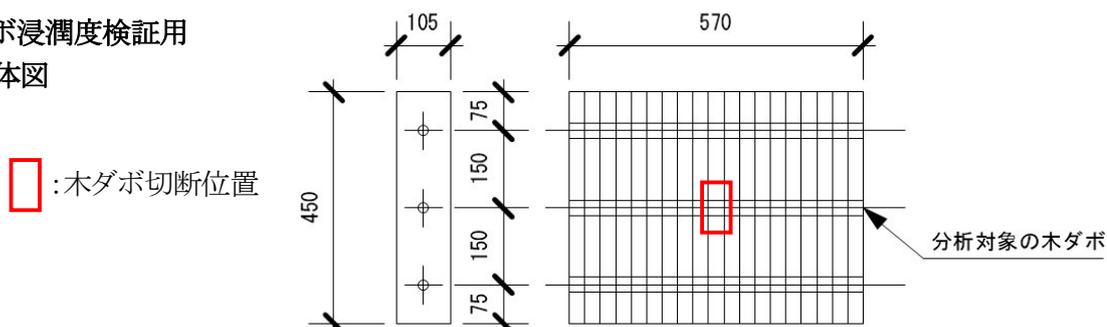
なお本分析では、DLTの基材として30x105 板材（樹種杉）のみを対象とした。これは、予備的な浸潤度確認により、板材の方が正角材（105角インサイジング無）より薬剤が浸潤しやすいことが確認でき、かつDLTの生産実績では基材に板材を採用するケースが多いためである。

- (4) なお、DLTへの注入試験体は、先にDLTへの加工を施した試験体を作成してから、乾式、湿式ともに薬剤の注入を行った。製造手法として、先にDLTの基材に薬剤を注入して、後からDLTに加工する手法も有り得るが、この手法の場合、注入後の基材に対して木ダボ用の貫通穴加工する必要があり、後から穿孔する穴で薬剤が浸潤していない木材部分が現れるため、耐久性の観点から本分析では採用はしなかった。

- (5) 合わせて木ダボ (L=570mm) の中央部について、浸潤度の分析をおこなった。
 実際の DLT パネルの制作幅を考慮し、木ダボの基材長さ 600mm より 30mm 短い 570mm の長さの試験体 (N=5) で検証した。

| 試験体 No. | 処方 | 実施内容 |
|---------|---------------------------------|-------|
| No. 17 | 木ダボ (Φ20mm、L=570mm、欧州ブナ) の浸潤度確認 | 浸潤度測定 |

木ダボ浸潤度検証用
試験体図



③ 薬剤浸潤度分析の結果

(1) 浸潤度の分析は、以下の手法で行った。

- イ) 各試験体の長さの中央付近より、厚さ及び巾を同寸法のままに分析片を切り出し、切断面の木口面に木材保存処理薬剤の浸潤部分を呈色させる薬剤を噴霧し、浸潤度の判定を行った。
- ロ) 薬剤の浸潤部分が、AZN はピンク色に、AZNA は青色に呈色される呈色薬剤を用いた。なお、薬剤浸潤度はラミナごとに判定した。
- ハ) 薬剤浸潤度は (公財) 日本住宅・木材技術センターの定める優良木質建材等認証 (以下、AQ 認証) の【B-3】屋外製品部材の浸潤度判定基準にない、切断面の辺材部分及び、木材表面から 10mm 以内に存在する心材部分を評価した。また、No. 13 シリーズにおいては、木材表面に 4mm 深さの溝加工が施されているため、木材表面に存在する心材は 10mm+4mm 内に拡張して評価した。

【参考】浸潤度判定基準

| | |
|---------|--|
| 浸潤度判定基準 | 辺材部分の 80%以上及び表面から 10mm 以内に存在する心材部分の 80%以上とする |
|---------|--|

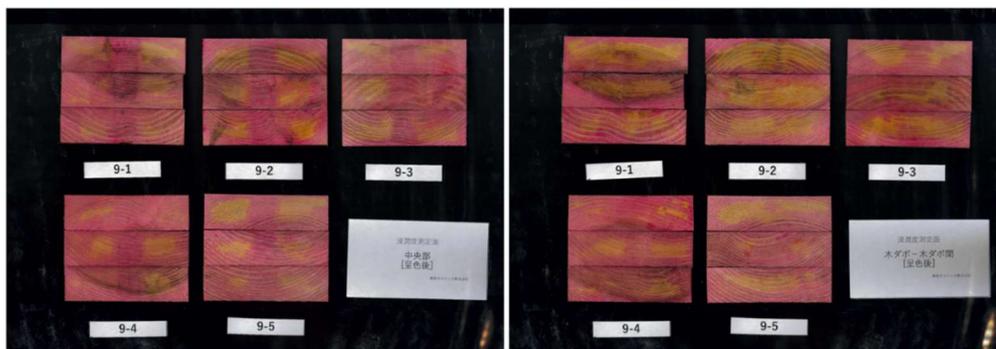
- ニ) 木ダボについては、No. 17 試験体中央に埋没している木ダボ (長さ 570mm) を抜き取り、ダボの長さにおける中央の位置で切断し、切断面に呈色薬剤を噴霧し薬剤浸潤を確認した。
- ホ) なお、浸潤度分析用試験体の試験前の含水率は、AZN 用試験体の全体平均で 11.2%、AZNA 用試験体の全体平均で 11.6%であった。

(2) 結果を以下に示す。

イ) No. 9 試験体 (木ダボ間隔@900)

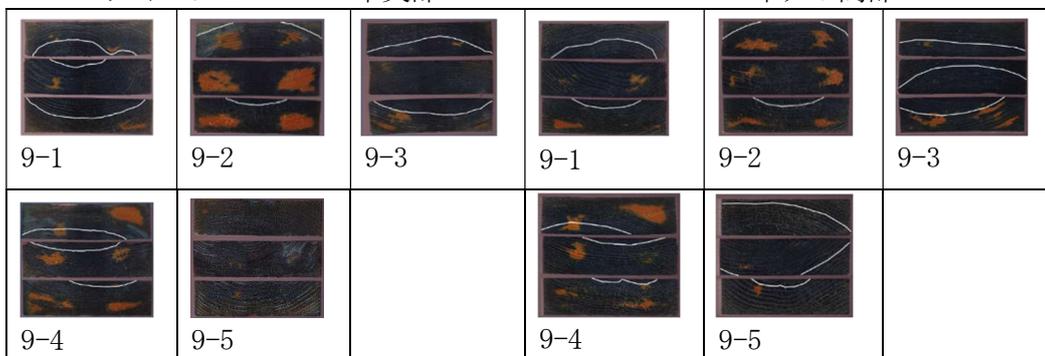
AZN : ニッサンクリーン AZN 中央部

木ダボ間部



AZNA : ペンタキュア EC030 中央部

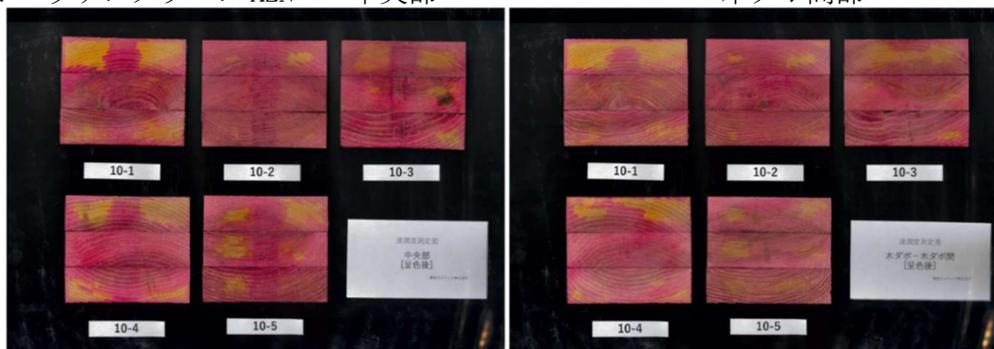
木ダボ間部



ロ) No. 10 試験体 (木ダボ間隔@600)

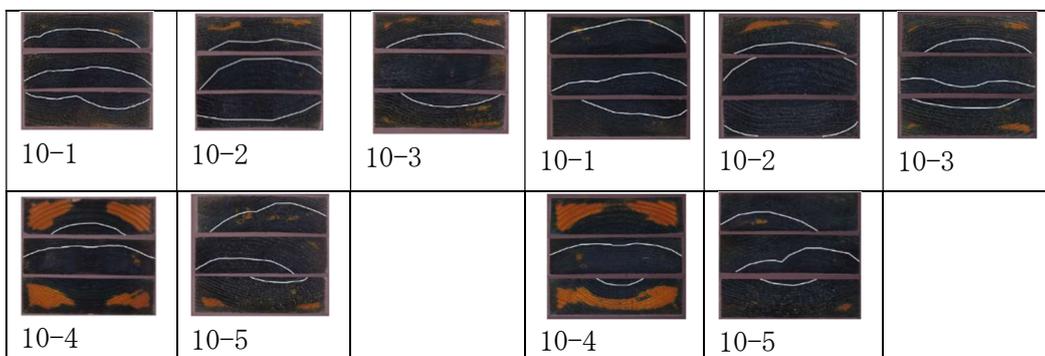
AZN : ニッサンクリーン AZN 中央部

木ダボ間部



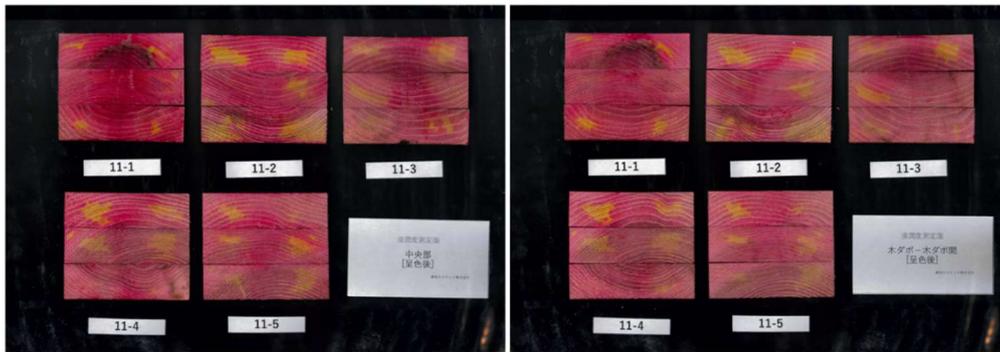
AZNA : ペンタキュア EC030 中央部

木ダボ間部



ハ) No. 11 試験体 (木ダボ間隔@300)
 AZN : ニッサンクリーン AZN 中央部

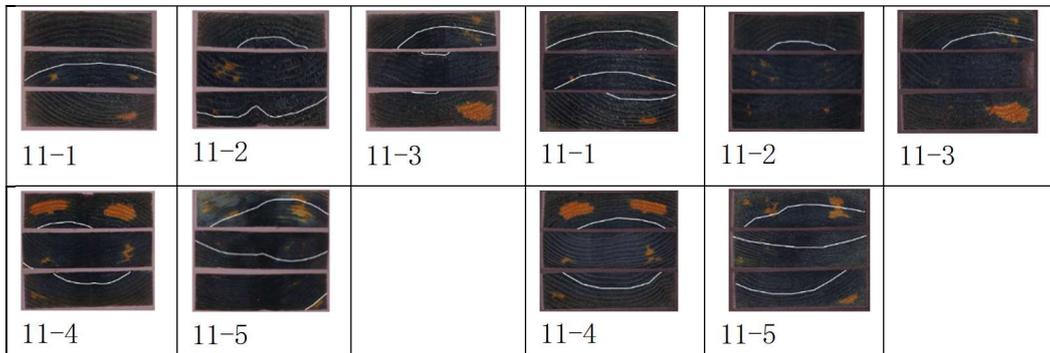
木ダボ間部



AZNA : ペンタキュア ECO30

中央部

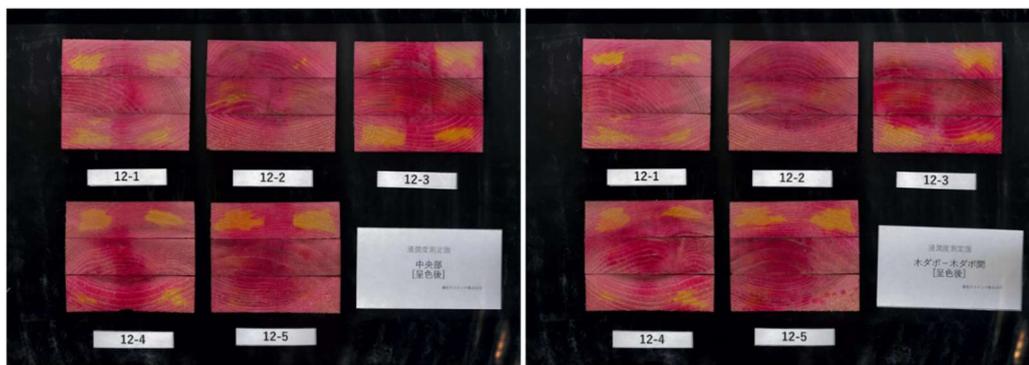
木ダボ間部



ニ) No. 12 試験体 (木ダボ間隔@600+穴@300)

AZN : ニッサンクリーン AZN 中央部

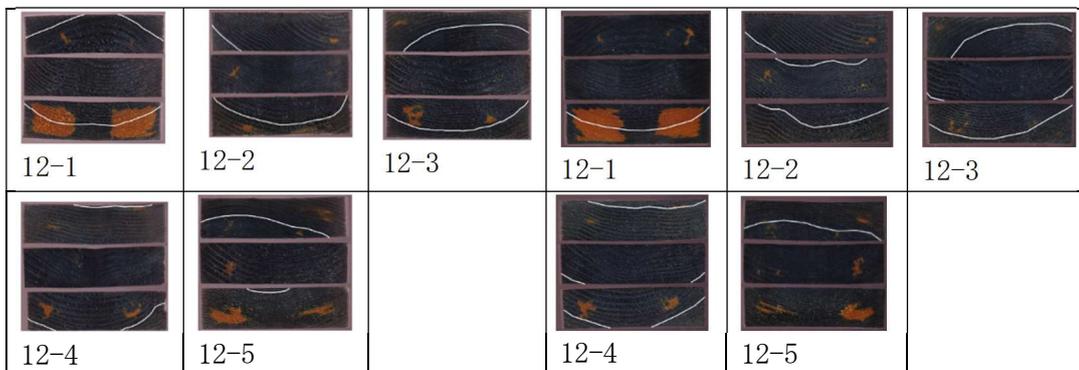
木ダボ間部



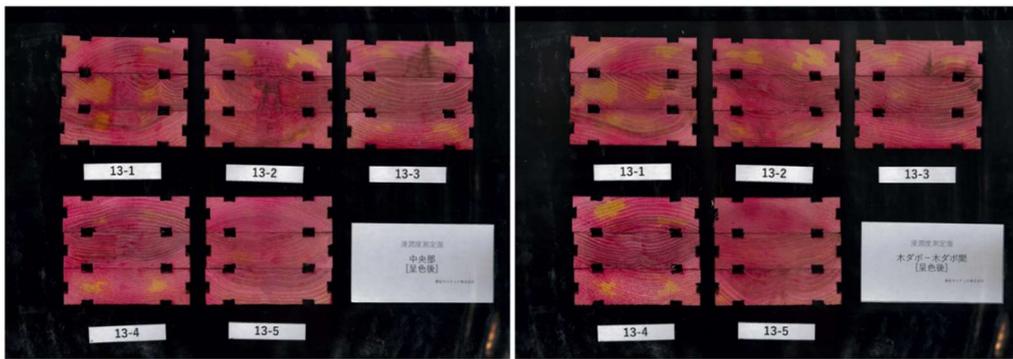
AZNA : ペンタキュア ECO30

中央部

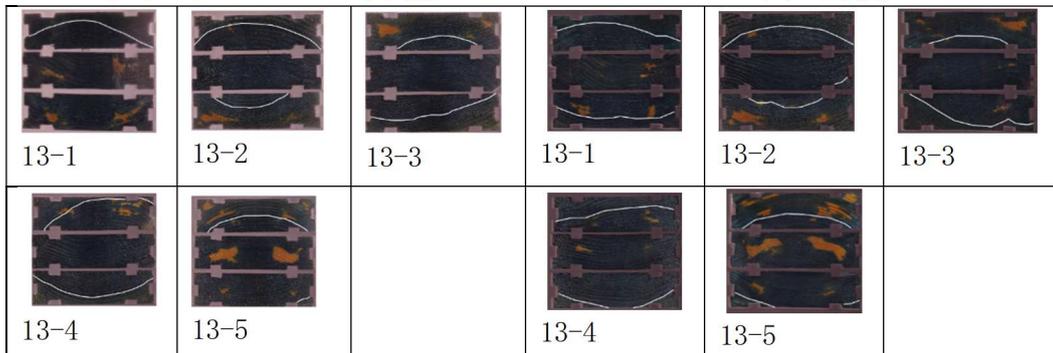
木ダボ間部



ホ) No. 13 試験体 (木ダボ間隔@600+ラミナ溝)
 AZN : ニッサンクリーン AZN 中央部 木ダボ間部



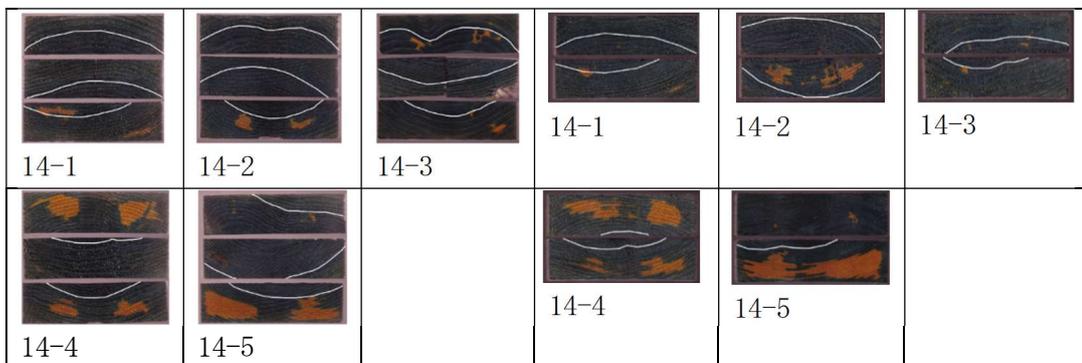
AZNA : ペンタキュア ECO30 中央部 木ダボ間部



へ) No. 14 試験体 (木ダボ間隔@600+隙間)
 AZN : ニッサンクリーン AZN 中央部 木ダボ間部



AZNA : ペンタキュア ECO30 中央部 木ダボ間部



浸潤度 測定データ (単位 %)

: 浸潤度が80%未満
 : 測定対象がない場合

| 試験体No | ラミナ位置 | 浸潤度 (AZN) | | | | 浸潤度 (AZNA) | | | | |
|-------|-------|-----------|------|------|------|------------|------|------|------|------|
| | | 中央部 | | 木ダボ間 | | 中央部 | | 木ダボ間 | | |
| | | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | |
| 9 | 1 | 1層目 | 99.6 | 82.7 | 88.2 | 55.7 | 100 | 99 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 86.6 | 91.6 | 86.2 | 100 | 100 | 98 | 100 | - |
| | | 3層目 | 100 | 95.4 | 84.8 | 95.6 | 100 | 96 | 100 | 96 |
| | 2 | 1層目 | 84.5 | 93.8 | 44.3 | 96.6 | 98 | 100 | 98 | 100 |
| | | 2層目 | 96.6 | 100 | 74.8 | 100 | 80 | - | 98 | - |
| | | 3層目 | 99.5 | 93.9 | 84.2 | 100 | 100 | 79 | 100 | 95 |
| | 3 | 1層目 | 93.2 | 83.6 | 84.3 | 79.8 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 96.1 | - | 96.5 | - | 100 | - | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 85.4 | 92.5 | 84.6 | 95.5 | 100 | 90 | 100 | 90 |
| | 4 | 1層目 | - | 96.3 | 100 | 94.5 | 90 | 89 | 91 | 89 |
| | | 2層目 | 95.4 | 100 | 98.3 | 100 | 100 | 93 | 97 | 100 |
| | | 3層目 | 96.5 | 100 | 95 | 97.9 | 98 | 90 | 100 | 97 |
| | 5 | 1層目 | 99.2 | 60.4 | 97.9 | 51.2 | - | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 100 | 91.1 | - | 99.6 | 100 | - | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 99.5 | - | 91 | 81.9 | 100 | - | 100 | 99 |
| | 層毎の平均 | 1層目 | 94.1 | 83.4 | 82.9 | 75.6 | 97 | 97.6 | 97.8 | 97.8 |
| | | 2層目 | 94.9 | 95.7 | 89 | 99.9 | 96 | 95.5 | 99 | 100 |
| | | 3層目 | 96.2 | 95.5 | 87.9 | 94.2 | 99.6 | 88.8 | 100 | 95.4 |
| | 全体の平均 | | 95.2 | 90.9 | 86.4 | 89.2 | 97.6 | 94 | 98.9 | 97.4 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 10 | 1 | 1層目 | 85.7 | 50.9 | 92.2 | 32.7 | 100 | 99 | 100 | 98 |
| | | 2層目 | 99.6 | 100 | 98.3 | - | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 100 | 75.6 | 100 | 80.6 | 100 | 97 | 100 | 100 |
| | 2 | 1層目 | 100 | 92.8 | 97.1 | 91.1 | 100 | 94 | 100 | 94 |
| | | 2層目 | - | 100 | - | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 100 | 100 | 99.1 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 3 | 1層目 | 96 | 100 | 87.8 | 95.1 | 100 | 93 | 100 | 98 |
| | | 2層目 | 100 | 96.9 | 98.5 | 100 | 92 | 100 | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 100 | 88.5 | 100 | 91.7 | 100 | 96 | 100 | 97 |
| | 4 | 1層目 | 97.9 | 56.9 | 100 | 44.4 | 100 | 66 | 80 | - |
| | | 2層目 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 100 | 79.3 | 100 | 93 | - | 72 | 100 | 69 |
| | 5 | 1層目 | 94.9 | 76.4 | 99.4 | 88.6 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 85.6 | 96.5 | 97 | 98.3 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 99.4 | - | 100 | 100 | 100 | 94 | 100 | 99 |
| | 層毎の平均 | 1層目 | 94.9 | 75.4 | 95.3 | 70.4 | 100 | 90.4 | 96 | 97.5 |
| | | 2層目 | 96.3 | 98.7 | 98.5 | 99.6 | 98.4 | 100 | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 99.9 | 85.9 | 99.8 | 93.1 | 100 | 91.8 | 100 | 93 |
| | 全体の平均 | | 97.1 | 86.7 | 97.8 | 86.8 | 99.4 | 94.1 | 98.7 | 96.8 |

: 浸潤度が80%未満
 : 測定対象がない場合

| 試験体No | ラミナ位置 | 浸潤度 (AZN) | | | | 浸潤度 (AZNA) | | | | |
|-------|-------|-----------|------|------|------|------------|------|------|------|------|
| | | 中央部 | | 木ダボ間 | | 中央部 | | 木ダボ間 | | |
| | | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | |
| 11 | 1 | 1層目 | 100 | 96.3 | 100 | 96.1 | - | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 100 | 97 | 100 | 100 | 100 | 95 | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 100 | 94.2 | 100 | 91.4 | - | 98 | 100 | 99 |
| | 2 | 1層目 | - | 84.4 | - | 83.9 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | - | 93.8 | - | 97.1 | 100 | - | 100 | - |
| | | 3層目 | 100 | 66.2 | 100 | 70.7 | 100 | 100 | 100 | - |
| | 3 | 1層目 | 98.3 | 83.6 | 97.3 | 81.3 | 97 | 99 | 98 | 99 |
| | | 2層目 | 100 | 89.1 | 100 | 91.1 | 100 | 100 | 100 | - |
| | | 3層目 | 96.4 | 97.3 | 100 | 92.5 | 100 | 88 | - | 90 |
| | 4 | 1層目 | 100 | 80.9 | 100 | 82.4 | 100 | 80 | 100 | 86 |
| | | 2層目 | 91.4 | 98.6 | 94.1 | 96.6 | 96 | 100 | 99 | - |
| | | 3層目 | 100 | 100 | 97.7 | 100 | 100 | 98 | 100 | 100 |
| | 5 | 1層目 | - | 95.2 | - | 94.7 | 98 | 96 | 97 | 94 |
| | | 2層目 | 98.7 | 88.4 | 94.6 | 86.1 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 90.3 | 98.5 | 95.6 | 100 | 100 | 90 | 100 | 98 |
| | 層毎の平均 | 1層目 | 99.4 | 88.1 | 99.1 | 87.7 | 98.8 | 95 | 99 | 95.8 |
| | | 2層目 | 97.5 | 93.4 | 97.2 | 94.2 | 99.2 | 98.8 | 99.8 | 100 |
| | | 3層目 | 97.3 | 91.2 | 98.7 | 90.9 | 100 | 94.8 | 100 | 96.8 |
| | 全体の平均 | | 97.9 | 90.9 | 98.3 | 90.9 | 99.3 | 96 | 99.6 | 96.9 |

| | | | | | | | | | | |
|----|-------|-----|------|------|-----|------|------|------|-----|------|
| 12 | 1 | 1層目 | 100 | 80.5 | 100 | 85 | 100 | 100 | 100 | - |
| | | 2層目 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - | 100 | - |
| | | 3層目 | 93.3 | 86.2 | 100 | 89.2 | 76 | 49 | 74 | 60 |
| | 2 | 1層目 | 99.7 | 99.8 | 100 | 100 | 99 | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | - | 97.6 | - | 97.3 | 100 | - | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 100 | 100 |
| | 3 | 1層目 | 100 | 84.3 | 100 | 84.5 | 100 | 99 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | - | 100 | - | 100 | 100 | - | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 100 | 78.1 | 100 | 80.2 | 97 | 100 | 100 | 100 |
| | 4 | 1層目 | - | 80.1 | 100 | 81.9 | - | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | - | 100 | - | 100 | 100 | - | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 100 | 90.7 | 100 | 88.3 | 100 | 100 | 98 | 100 |
| | 5 | 1層目 | - | 73.3 | - | 73 | 100 | 100 | 100 | 99 |
| | | 2層目 | - | 100 | - | 100 | 100 | - | 100 | - |
| | | 3層目 | 100 | 100 | 100 | 100 | 91 | 100 | 98 | - |
| | 層毎の平均 | 1層目 | 74.9 | 83.6 | 100 | 84.9 | 99.8 | 99.8 | 100 | 99.8 |
| | | 2層目 | 100 | 99.5 | 100 | 99.5 | 100 | - | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 98.7 | 91 | 100 | 91.5 | 92.8 | 89.4 | 94 | 90 |
| | 全体の平均 | | 89.3 | 91.4 | 100 | 92 | 97.4 | 94.6 | 98 | 96.3 |

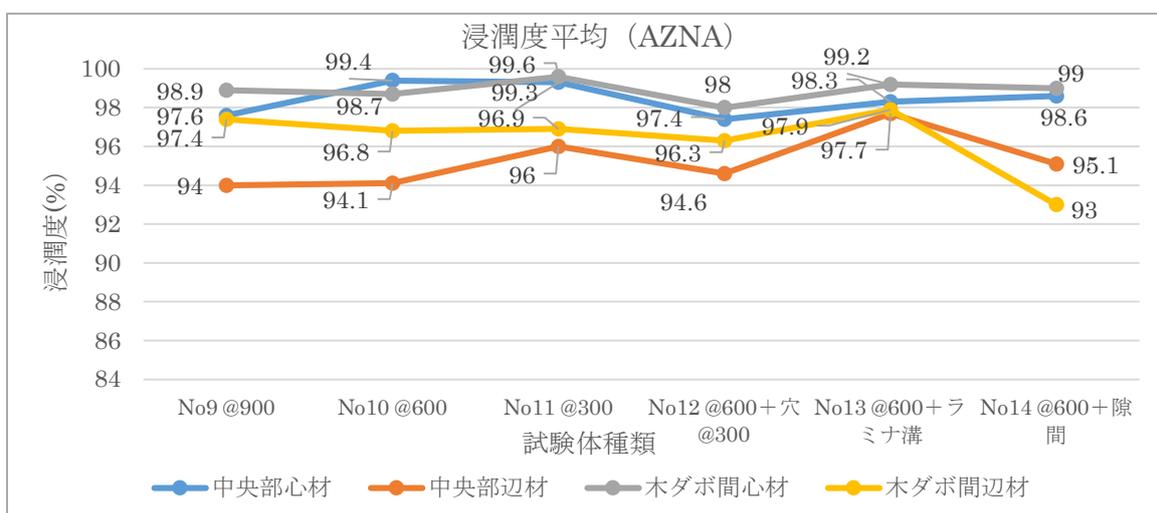
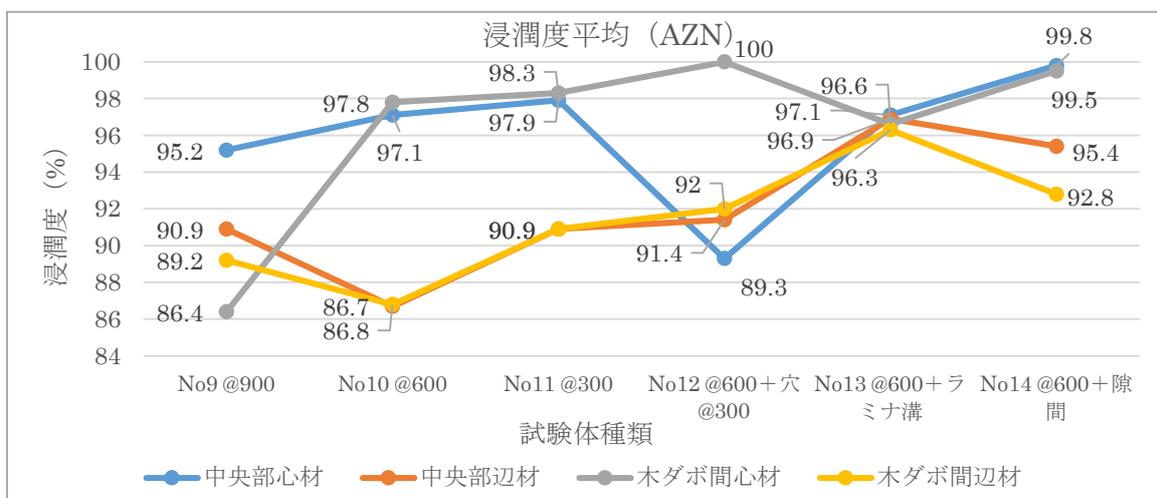
: 浸潤度が80%未満
 : 測定対象がない場合

| 試験体No | ラミナ位置 | 浸潤度 (AZN) | | | | 浸潤度 (AZNA) | | | | |
|-------|-------|-----------|------|------|------|------------|------|------|------|-----|
| | | 中央部 | | 木ダボ間 | | 中央部 | | 木ダボ間 | | |
| | | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | 心材 | 辺材 | |
| 13 | 1 | 1層目 | 97.3 | 98.4 | 94.4 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 81.4 | - | 83.6 | - | 99 | - | 99 | - |
| | | 3層目 | 92.5 | 100 | 96.1 | 100 | 96 | 100 | 97 | 100 |
| | 2 | 1層目 | 90.5 | 82.4 | 85.1 | 83.4 | 99 | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 100 | 98.7 | 100 | 100 | 100 | - | 100 | 100 |
| | | 3層目 | 98.3 | 100 | 99.2 | 100 | 100 | 91 | 100 | 93 |
| | 3 | 1層目 | 100 | 95.2 | 100 | 92 | 100 | 94 | 100 | 95 |
| | | 2層目 | 100 | - | 99.9 | - | 100 | - | 100 | - |
| | | 3層目 | 99.8 | 92.2 | 100 | 99.4 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 4 | 1層目 | 96.1 | 100 | 93.6 | 88.2 | 89 | 97 | 98 | 100 |
| | | 2層目 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | - |
| | | 3層目 | 100 | 92.3 | 97.4 | 90.5 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | 5 | 1層目 | 100 | 100 | 100 | 100 | 98 | 94 | 98 | 89 |
| | | 2層目 | 100 | 100 | 100 | 100 | 93 | - | 96 | - |
| | | 3層目 | 100 | 100 | 100 | 98.6 | 100 | 99 | 100 | 100 |
| 層毎の平均 | 1層目 | 96.8 | 95.2 | 94.6 | 92.7 | 97.2 | 97 | 99.2 | 96.8 | |
| | 2層目 | 96.3 | 99.6 | 96.7 | 100 | 98.4 | 100 | 99 | 100 | |
| | 3層目 | 98.1 | 96.9 | 98.5 | 97.7 | 99.2 | 98 | 99.4 | 98.6 | |
| 全体の平均 | | 97.1 | 96.9 | 96.6 | 96.3 | 98.3 | 97.7 | 99.2 | 97.9 | |

| | | | | | | | | | | |
|-------|-----|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| 14 | 1 | 1層目 | 100 | 98.6 | 98.4 | 91.6 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し |
| | | 3層目 | 100 | 100 | - | 100 | 83 | 98 | 99 | 99 |
| | 2 | 1層目 | 99.6 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し |
| | | 3層目 | 100 | 100 | 98.2 | 100 | 100 | 100 | 91 | 100 |
| | 3 | 1層目 | 98 | 73.5 | 99.5 | 79.4 | 97 | 99 | 100 | 100 |
| | | 2層目 | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し |
| | | 3層目 | 99.8 | 100 | - | 99.3 | 100 | 98 | 100 | 99 |
| | 4 | 1層目 | 100 | 89.4 | 100 | 95.7 | - | 81 | 100 | 82 |
| | | 2層目 | 100 | 99.6 | ラミナ無し | ラミナ無し | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し |
| | | 3層目 | 100 | 91.4 | 100 | 78.9 | 100 | 90 | 100 | 92 |
| | 5 | 1層目 | 100 | 78.2 | 100 | 83.3 | 100 | 100 | 100 | - |
| | | 2層目 | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し |
| | | 3層目 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 60 | 100 | 65 |
| 層毎の平均 | 1層目 | 99.5 | 87.9 | 99.6 | 90 | 99.3 | 96 | 100 | 95.5 | |
| | 2層目 | 100 | 99.9 | ラミナ無し | ラミナ無し | 100 | 100 | ラミナ無し | ラミナ無し | |
| | 3層目 | 100 | 98.3 | 99.4 | 95.6 | 96.6 | 89.2 | 98 | 91 | |
| 全体の平均 | | 99.8 | 95.4 | 99.5 | 92.8 | 98.6 | 95.1 | 99 | 93 | |

浸潤度 平均 (単位 %)

| 試験体No | 浸潤度 (AZN) | | | | 浸潤度 (AZNA) | | | |
|--------------------|-----------|-----------|------------|------------|------------|-----------|------------|------------|
| | 中央部 心材 | 中央部 辺材 | 木ダボ間 心材 | 木ダボ間 辺材 | 中央部 心材 | 中央部 辺材 | 木ダボ間 心材 | 木ダボ間 辺材 |
| No9 木ダボ@900 | 95.2 | 90.9 | 86.4 | 89.2 | 97.6 | 94 | 98.9 | 97.4 |
| No10 木ダボ@600 | 97.1 | 86.7 | 97.8 | 86.8 | 99.4 | 94.1 | 98.7 | 96.8 |
| No11 木ダボ@300 | 97.9 | 90.9 | 98.3 | 90.9 | 99.3 | 96 | 99.6 | 96.9 |
| No12 木ダボ@600+穴@300 | 89.3 | 91.4 | 100 | 92 | 97.4 | 94.6 | 98 | 96.3 |
| No13 木ダボ@600+ラミナ溝 | 97.1 | 96.9 | 96.6 | 96.3 | 98.3 | 97.7 | 99.2 | 97.9 |
| No14 木ダボ@600+隙間 | 99.8 | 95.4 | 99.5 | 92.8 | 98.6 | 95.1 | 99 | 93 |



薬剤加圧注入に伴う寸法変化 (No, 9~No, 14 試験体各 5 体 3 か所計 30 体計測の平均値)

| | AZN | | AZNA | |
|---------------------|--------|-------|--------|-------|
| | 寸法変化 | 寸法変化率 | 寸法変化※ | 寸法変化率 |
| せい (105mm) 方向の変化 平均 | 0.47mm | 0.45% | 3.04mm | 2.90% |
| 巾 (90mm) 方向の変化 平均 | 0.47mm | 0.53% | 1.48mm | 1.64% |

※AZNA は薬剤注入後、人工乾燥を施したあとの寸法を計測し、変化を計測した。

ト) 木ダボの浸潤度

AZN :
ニッサンクリーン AZN

全面ピンクに呈色



AZNA :
ペンタキュア ECO30

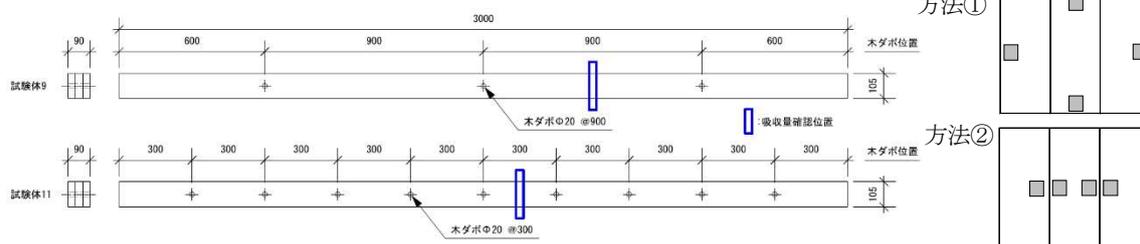
全面青色に呈色



④ 薬剤有効成分の吸収量分析の結果

(1) No. 9 及び、No. 11 試験体の木ダボー木ダボ間から分析用の試料を削り取り、有効成分の吸収量分析に供試した。吸収量分析は、試料の採取位置による差を検証するため、下記の2通り実施した。

- イ) 方法①：試験体全体で1つの断面とみなしラミナの外側から採取
- ロ) 方法②：間に挟まれたラミナの接触面から採取



薬剤吸収量検証用 試料採取位置図

(2) 参考に、AQ 認証の【B-3】屋外製品部材の吸収量判定基準と比較した。

| | |
|------------|---|
| 1種 (K4 相当) | AZN : 0.30kg/m ³ 以上、AZNA : 4.8kg/m ³ 以上 |
| 2種 (K3 相当) | AZN : 0.15kg/m ³ 以上、AZNA : 2.4kg/m ³ 以上 |

薬剤有効成分の吸収量分析の結果

: 吸収量がAQ 1種の判定基準未満

AZN : ニッサンクリーン AZN (単位 kg/m³)

AZNA : ペンタキュア ECO30 (単位 kg/m³)

| 試験体No. | 方法① | 方法② |
|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|-------|--------|
| 9-1 | 0.301 | 0.335 | 11-1 | 0.302 | 0.359 | 9-1 | 7.276 | 6.732 | 11-1 | 9.068 | 12.031 |
| 9-2 | 0.233 | 0.202 | 11-2 | 0.396 | 0.298 | 9-2 | 2.683 | 5.97 | 11-2 | 8.362 | 9.73 |
| 9-3 | 0.245 | 0.262 | 11-3 | 0.48 | 0.371 | 9-3 | 9.078 | 9.861 | 11-3 | 9.067 | 11.389 |
| 9-4 | 0.323 | 0.31 | 11-4 | 0.395 | 0.303 | 9-4 | 7.158 | 8.99 | 11-4 | 8.951 | 8.907 |
| 9-5 | 0.319 | 0.308 | 11-5 | 0.37 | 0.378 | 9-5 | 7.003 | 8.082 | 11-5 | 8.865 | 9.83 |
| 平均 | 0.284 | 0.283 | 平均 | 0.389 | 0.342 | 平均 | 6.64 | 7.927 | 平均 | 8.863 | 10.377 |

⑤ 考察

1) DLTの薬剤浸潤度について

- (1) No. 11 (木ダボ間隔@300) は、No. 9 (木ダボ間隔@900)、No. 10 (木ダボ間隔@600) と比べると、浸潤が不良な試験体が減少しており、木ダボ間隔の短縮が浸潤の良化に影響を与えていることが伺える。
- (2) No. 13 (木ダボ間隔@600+ラミナ溝) は、浸潤度判定基準に照らし、AZN、AZNA の試験体全てが 80%以上浸潤しており、AQ 認証 1 種 (K4 相当) 程度の浸潤度が得られている。基材の断面サイズが 30x105 の DLT の場合、ラミナに溝をつけると浸潤度が高まる効果が期待できる。
- (3) No. 12 (木ダボ間隔@600+穴@300) では、No. 11 (木ダボ間隔@300) と同等の木ダボ間隔ながら、浸潤が不十分なラミナが見受けられた。浸潤度は試験体全体平均で 80%を超えているものの、一部で浸潤が不十分なラミナが見受けられた。この要因として、ラミナの人工乾燥時に細胞壁の壁孔が閉鎖してしまう場合があることが考えられる。今回の試験体は、中温乾燥 (最高 80℃) で十二分に乾かしたため (含水率 11~12%)、一部試験体で注入性が悪くなった可能性が考えられる。壁孔の閉鎖を防ぐ方法としては、製材時の乾燥温度を低くすることが有効と考えられるが、乾燥工程の実務上、乾燥期間が長くとれず乾燥温度は下げられないケースが多いため、薬剤浸潤を確保する方法として、ダボ周辺の浸潤が良好なことを活かし、木ダボを多めに (例えば @300 間隔) 打つ方法が考えられる。
- (4) 薬剤浸潤に伴う寸法変化率は、杉 30x105 材 3 枚で構成する DLT 試験体の場合 AZN で 0.45~0.53%、AZNA で 1.64~2.90% (※AZNA は注入後の人工乾燥後) であった。DLT の施工納まり等、寸法変化の許容度合をふまえた薬剤選定が望ましい。

2) 木ダボの薬剤浸潤度について

木ダボ (Φ20mm、樹種欧州ブナ) は、長さ 570mm の中央の位置で切断し、切断面の呈色を確認した。AZN、AZNA とともに木ダボ切断面の全面にわたり呈色しており十分な薬剤浸潤を確認できた。DLT に薬剤を注入する場合は、木ダボ長さ 570mm 程度であれば、木ダボの中央部まで薬剤は注入されると推定される。

3) DLTの薬剤有効成分の吸収量について

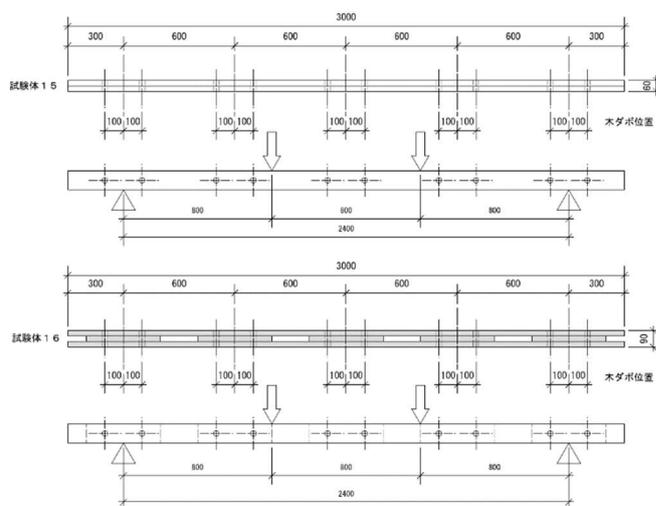
- (1) No. 9 (木ダボ間隔@900) 及び、No. 11 (木ダボ間隔@300) 試験体の比較から、木ダボ間隔を細かくすることで吸収量が増加する傾向が分かった。これは木ダボ Φ20mm 用の貫通穴により、材の途中で木口面が増えたからと推定される。
- (2) No. 11 (木ダボ間隔@300) では、AZN、AZNA とともに、AQ 認証 1 種 (K4 相当) 程度の吸収量になっている。No. 9 (木ダボ間隔@900) では、AZN で 2 試験体、AZNA で 1 試験体が、AQ 認証 2 種 (K3 相当) となっており、それ以外が AQ 認証 1 種 (K4 相当) 程度の吸収量であった。AQ 認証 1 種 (K4 相当) 程度の吸収量を確保する場合、基材の断面寸法が 30x105 の場合、木ダボ間隔は@300 以下が望ましいと推定される。

- (3) 試験体全体を1つの断面とみなしラミナの外側から採取する方法（方法①）と、間に挟まれたラミナの接触面から採取する方法（方法②）とで、吸収量が近いものもあるが差異が生じているものもあった。DLTで吸収量を計測する際に、全ラミナから試料の採取する以外の方法で、採取箇所をどこにするのが適切かは、さらに検証を要する。また、吸収量は注入する薬剤濃度を調整することで管理できるため、処理薬剤と製品による傾向を把握し、濃度管理する必要がある。

2) 注入したDLTの曲げ性能検証

① 目的、方法

- (1) 薬剤を注入した杉DLTの構造的特性を把握するため、曲げ強度試験を実施した。
- (2) No. 15（木ダボ間隔@600）とNo. 16（木ダボ間隔@600+隙間）の2種類をAZN注入、AZNA注入、コントロール（注入無し）を各N=6で行った。荷重は3等分点4点荷重方式とした。試験体の含水率は、平均でAZN注入が7.1%、AZNA注入が16.1%、コントロール8.4%であった。



② 結果

- (1) No. 16（木ダボ間隔@600+隙間）では、AZN、AZNAとも曲げ強度、曲げ弾性率ともコントロールの数値以上であった。試験体形状のDLTの場合、注入処理で曲げ弾性率や曲げ強度を減じる影響は無いと推定できる。
- (2) No. 15（木ダボ間隔@600）はAZNAの試験体で、注入後の乾燥後、全てのダボが抜けたため、結果は参考値である。No. 15の試験体は30x105材2枚合わせのため、注入・乾燥による寸法変化や反りにより、3枚合わせの試験体に比べ、木ダボの嵌合が弱まりやすくなったと考えられる。

| 試験体No. | MOR(N/mm2) | | | MOE(kN/mm2) | | | 試験体No. | MOR(N/mm2) | | | MOE(kN/mm2) | | |
|-----------|------------|-------|--------|-------------|-------|--------|-----------|------------|------|--------|-------------|-------|--------|
| | AZN | AZNA※ | コントロール | AZN | AZNA※ | コントロール | | AZN | AZNA | コントロール | AZN | AZNA | コントロール |
| 15-1 | 29.6 | 20.5 | 38.1 | 8.37 | 7.89 | 11.37 | 16-1 | 50.1 | 40.6 | 27.7 | 10.13 | 9.54 | 9.10 |
| 15-2 | 40.3 | 31.5 | 27.8 | 10.01 | 8.63 | 9.72 | 16-2 | 38.1 | 40.1 | 26.2 | 9.17 | 10.50 | 9.44 |
| 15-3 | 39.8 | 28.9 | 42.6 | 8.93 | 8.66 | 9.29 | 16-3 | 47.8 | 33.0 | 20.4 | 10.20 | 9.66 | 6.08 |
| 15-4 | 21.0 | 33.8 | 29.6 | 6.82 | 9.26 | 8.59 | 16-4 | 44.2 | 31.5 | 41.6 | 9.70 | 9.80 | 8.87 |
| 15-5 | 42.6 | 24.5 | 40.3 | 9.38 | 9.33 | 9.22 | 16-5 | 32.7 | 36.4 | 47.4 | 8.24 | 9.10 | 10.15 |
| 15-6 | 33.3 | 23.9 | 26.9 | 7.94 | 8.08 | 7.67 | 16-6 | 28.2 | 35.6 | 50.4 | 8.66 | 9.13 | 11.75 |
| 平均 | 34.4 | 27.2 | 34.2 | 8.6 | 8.6 | 9.3 | 平均 | 40.2 | 36.2 | 35.6 | 9.4 | 9.6 | 9.2 |
| コントロールとの差 | 0.22 | -7.03 | | -0.74 | -0.67 | | コントロールとの差 | 4.57 | 0.58 | | 0.12 | 0.39 | |

6. 実証事業の成果および成果の波及効果について

1) DLTを用いた外構施設整備

- ① 今回の事業により、国内初のDLTを用いた外構施設が実現できた。幼稚園遊具として日々利用されるとともに、園児父兄等の来訪者への展示物として機能するため、DLT外構利用への認知拡大に寄与することが期待できる。
- ② DLTの外構利用にあたり、プレカット後にK4相当の防腐防蟻処理、木材保護塗料による塗装、メンテナンス通路の設置など種々の工夫を施したが、DLTを屋外暴露した外構利用は国内初であり、製材を配列させ木ダボで接合するDLTを長期的に屋外使用した場合の影響把握はこれからである。定期点検とともに、継続的な経過観察を続ける予定である。

2) DLTの注入性等 検証

DLTに対する防腐防蟻薬剤を加圧注入した場合の、浸潤度や吸収量について、基礎的な性状を把握できた。木ダボ間隔を小さくすると、浸潤度や吸収量を高める方向に働くことが分かった。今後、DLTに防腐防蟻薬剤を注入し外構利用する場合、浸潤度・吸収量確保の観点で、木ダボ間隔の管理・調整等、DLTの特性を踏まえた生産が重要といえる。

7. 今後の取組を含む成果の普及方法について

- 1) DLTの外構利用による外構部の木質化啓発のため、本事業の内容はWEBサイトで公開し、情報を発信することで普及を図っていく予定である。
- 2) また、技術応援・普及活動の立場から本事業に参画した、一般社団法人木のいえ一番協会、並びに、宮城県CLT等普及推進協議会を通じて、両会の加盟事業者や個人に対して、情報発信を図っていく予定である。

8. 森林資源の循環利用を踏まえた外構部の木質化等木材利用に関する今後の取組について

- 1) DLTは、穴あけ・ダボ打ちというシンプルな加工工程のため、中小木材事業者による生産に適した木質素材である。地域材を活用すれば、地域分散で、地域の実情に即した少量多品種でのDLT生産が可能となる。
- 2) このDLTを外構に活用することで、中小木材事業者が地域材を活用し、地域でマスティンバーであるDLTを製造し、外構部の木質化を進めるという、森林資源の循環利用が期待できる。
- 3) DLTは丸身付き材など低質材を意匠活用でき、歩留りを向上できる点もDLTの特長である。DLTの多様な屋外利用に向けて、そうした特長を活かした外構部材の開発も必要といえる。

謝辞

本事業の外構施設整備、並びに各種検証の実施にあたっては、多くの方々にご協力、ご指導を頂きました。関係者の方々に、心より感謝の意を表します。

以上