

### 4.2.3 結果と考察

#### 4.2.3.1 スキャナー画像によるひび割れの確認

表 4.2.3-1～表 4.2.3-8 に、スキャナー画像を示す。各表には、木口シールの有無別に暴露前、1年経過後(シール無し 370 日後、シール有り 371 日後)および 2023 年 2 月 25 日時点(シール無し 863 日後、シール有り 483 日後)の各試験体の画像を示した。

表 4.2.3-1～表 4.2.3-4 は、製品処理-ACQ・無処理-塗装 B の画像である。塗装色が濃いのでひび割れの状況は分かり難いが、垂直暴露に比べ水平暴露の方が経年によるひび割れの進行が明らかである。

表 4.2.3-5～表 4.2.3-8 は、製品処理-AZN・無処理-塗装 C の画像である。木口シール無しの 1 年後の画像では、垂直・水平暴露ともにひび割れが発生している。木口シール有りの 1 年後の画像では、水平暴露のひび割れが明らかである。現時点の画像では垂直・水平暴露ともにひび割れが進行しているが、水平暴露の方が著しい。

#### 4.2.3.2 計測によるひび割れの確認

図 4.2.3-1～図 4.2.3-9 に、暴露期間で各試験体のラミナ(木部内)およびラミナ間に発生したひび割れ(ラミナ間では隙間)の「長さ、幅、深さ」のグラフを示す。「長さ」はひび割れや隙間の長さの合計値、「幅」は最も広い割れ幅、「深さ」は最も深い割れ深さの値である。各図に共通して、左側が「垂直暴露」、右側が「水平暴露」のグラフである。

##### 1) 木口シール無しの試験体について

図 4.2.3-1～図 4.2.3-3 は、2020 年 10 月 14 日設置した「木口シール無し」のひび割れの発生・進行状況を示すグラフで、暴露期間は 863 日である。また、木口シール無し試験体は設置年度には、ひび割れの実測をしていなかったため、前述の設置日から 2021 年 10 月 6 日の間は、実物大のスキャン画像から計測したひび割れ長さ・幅の値である。よって画像から判断できないひび割れの深さおよびラミナ間の隙間は対象外である。同年 12 月 15 日からは計測器具による実測値でラミナ間の隙間についても計測した。

ひび割れのトータル長さの傾向(図 4.2.3-1)は、垂直・水平暴露ともほぼ同じ増加傾向であり、保存処理の有無による差も小さい。保存剤の違いでは AZN 試験体のひび割れが少ない。ラミナ内とラミナ間では、全ての試験体でラミナ間に隙間が発生している。

ひび割れ幅の傾向(図 4.2.3-2)は、ACQ 試験体では保存処理の有無にかかわらず水平暴露試験体のひび割れ幅が著しい。しかし、AZN 試験体ではその傾向が少なく保存処理の有無による差は見られない。ラミナ内とラミナ間では、ACQ 試験体はラミナ内のひび割れ幅、AZN 試験体ではラミナ間のひび割れ幅が大きい傾向である。

ひび割れ深さの傾向(図 4.2.3-3)は、ACQ・AZN 試験体ともにひび割れ幅と同傾向である。暴露期間 629 日～713 日の間で、ラミナ内・ラミナ間ともに著しく深くなっているが原因は不明である。

##### 2) 木口シール有りの試験体について

図 4.2.3-4～図 4.2.3-9 は、2021 年 10 月 20 日設置した「木口シール有り」のひび割れの発生・進行状況を示すグラフで、暴露期間は 483 日である。木口シール試験体は同仕様の試験体を 2 体ずつ設置しているため同仕様個体間の差異も確認できた。また、暴露設置日から 77 日目までは、ラミナ間とラミナ内を区別して計測していない。

ひび割れのトータル長さの傾向(図 4. 2. 3-4, 図 4. 2. 3-5)は、垂直・水平暴露ともほぼ同じ増加傾向である。保存処理の有無では、無処理の方が割れ長さが短い傾向である。個体間の差では、ACQ 試験体の個体差が大きい。特に垂直暴露-無処理-S1 は、ほとんど割れが発生していない。ラミナ間の割れは垂直設置の 3 体に発生しているが、木口シール無し試験体の発生状況に比べ、圧倒的に少なく長さも短い。

ひび割れ幅の傾向(図 4. 2. 3-6, 図 4. 2. 3-7)は、ACQ 試験体では水平暴露試験体が保存処理の有無にかかわらず同程度のひび割れ幅である。垂直暴露試験体は個体差が大きく ACQ-S1 は、ラミナ内・ラミナ間ともにひび割れ幅が大きい。AZN 試験体は垂直・水平暴露、保存処理の有無に関わらず同傾向のひび割れ幅である。

ひび割れ深さの傾向(図 4. 2. 3-8, 図 4. 2. 3-9)もひび割れ幅と同傾向である。木口シール有り試験体は、ACQ・AZN 試験体ともにひび割れ幅と同傾向である。

現時点で、木口シール有り試験体は暴露 483 日であり、木口シール無し試験体に比べ 1 年間ほど短い。双方の 450 日付近の実測値グラフを見ると、ひび割れ長さは 1/2 以下で、ひび割れ幅・深さも同様に少ない傾向であった。このことから、木口シールが表層ラミナの保護に一役を担うことが認められた。木口からの吸水を阻止することは木材の耐久性の向上には欠かせない措置であり、それは CLT であっても同じである。

#### 4. 2. 3. 3 ひび割れの要因に関する考察

図 4. 2. 3-10～図 4. 2. 3-14 の円グラフは、ラミナのひび割れ発生の有無と垂直・水平暴露、保存処理の種類、ラミナの表裏、ラミナの位置、節の個数などの関連を割合で示したものである。対象となるラミナは、暴露日数 427 日目の木口シール有りの試験体 16 体(垂直暴露 8 体、水平暴露 8 体)の表裏のラミナ全 96 本(垂直ラミナ 48 本、水平ラミナ 48 本)である。各グラフについて考察する。

設置方向別(図 4. 2. 3-10)については、垂直設置 58%、水平設置 60%のラミナに割れが発生し、40%のラミナには割れが発生していないことから、設置方向別の差は小さい。

保存処理別(図 4. 2. 3-11)については、全般に、薬剤の種類、保存処理の有無に大きな差はなく、ほぼ同じ割合でひび割れが発生しているが、ひび割れ有りのラミナに注視すると、ACQ 処理の有無では、処理ラミナの割合が無処理ラミナを 10%上回った。AZN と合わせると 55～58%の割合でひび割れが発生した。

ラミナの面別(図 4. 2. 3-12)については、ラミナ表面のひび割れ有りは、垂直設置では 75%、水平設置では 89%を占めた。太陽光の紫外線や風雨が直に作用するラミナ表面であっても、垂直・水平の設置方向の違いが、影響度合いの差に繋がっている。

ラミナの位置別(図 4. 2. 3-13)については、垂直設置ではひび割れの有無に関わらず左・中・右の割合が 30%台でほぼ均等であった。水平設置では水分が溜まりやすい中央ラミナのひび割れが 47%を占めた。ひび割れ無しでは右位置のラミナが 45%であったが、これは設置台のレベル差(水準)が影響しているかもしれない。

ラミナの節個数別(図 4. 2. 3-14)について、ひび割れ発生の有無と節の有無、節の数において、垂直設置・水平設置共に、傾向となる関連性は見られなかった。

今後、木口シール無しのラミナについても同様な集計を行う予定である。木口シール無しではラミナ側面の繊維傾斜の勾配も計測している。

表 4.2.3-1 屋外暴露試験体スキャナー画像 垂直暴露 (ACQ、塗装 B)

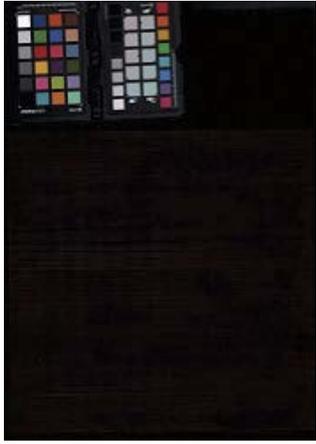
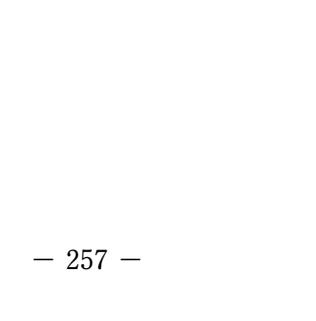
暴露期間 (日)	設置:2020年10月14日 木口シール 無し	設置:2021年10月20日 木口シール 有り	
	製-ACQ-B	製-ACQ-B-S1	製-ACQ-B-S2
暴露前			
シール 無 370日			
シール 有 371日			
シール 無 853日			
シール 有 483日			

表 4.2.3-2 屋外暴露試験体スキャナー画像 水平暴露 (ACQ、塗装 B)

暴露期間 (日)	設置:2020年10月14日 木口シール 無し	設置:2021年10月20日 木口シール 有り	
	製-ACQ-B	製-ACQ-B-S1	製-ACQ-B-S2
暴露前			
シール 無 370日			
シール 有 371日			
シール 無 853日			
シール 有 483日			

表 4.2.3-3 屋外暴露試験体スキャナー画像 垂直暴露（無処理、塗装 B）

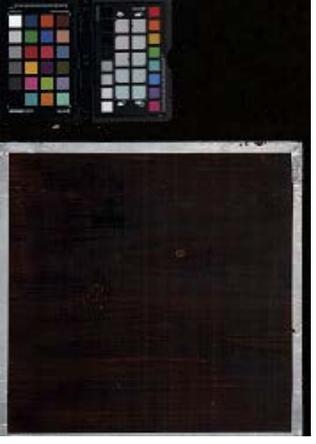
暴露期間 (日)	設置:2020年10月14日 木口シール 無し	設置:2021年10月20日 木口シール 有り	
	製-無処理-B	製-無処理-B-S1	製-無処理-B-S2
暴露前			
シール 無 370日			
シール 有 371日			
シール 無 853日			
シール 有 483日			

表 4.2.3-4 屋外暴露試験体スキャナー画像 水平暴露 (無処理、塗装 B)

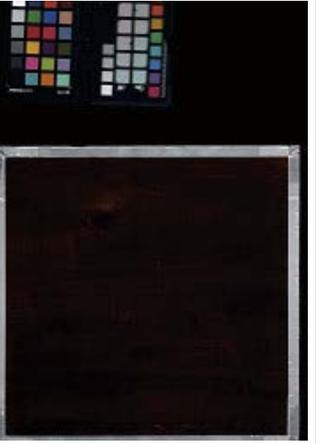
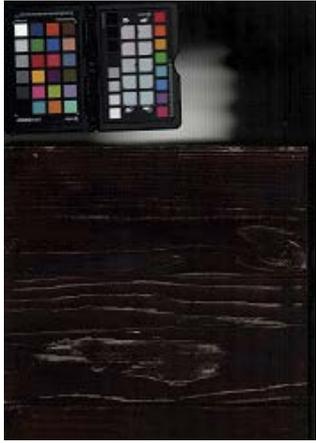
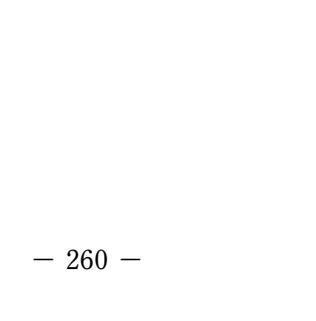
暴露期間 (日)	設置:2020年10月14日 木口シール 無し	設置:2021年10月20日 木口シール 有り	
	製-無処理-B	製-無処理-B-S1	製-無処理-B-S2
暴露前			
シール 無 370日			
シール 有 371日			
シール 無 853日			
シール 有 483日			

表 4.2.3-5 屋外暴露試験体スキャナー画像 垂直暴露 (AZN、塗装 C)

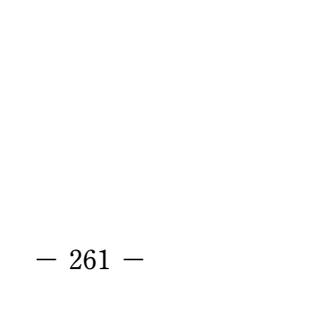
暴露期間 (日)	設置:2020年10月14日 木口シール 無し	設置:2021年10月20日 木口シール 有り	
	製-AZN-C	製-AZN-C -S1	製-AZN-C-S2
暴露前			
シール 無 370日			
シール 有 371日			
シール 無 853日			
シール 有 483日			

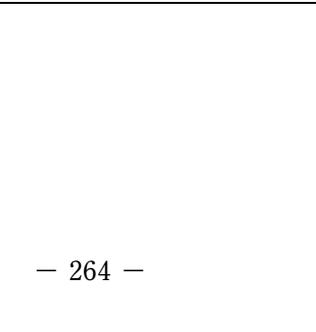
表 4.2.3-6 屋外暴露試験体スキャナー画像 **水平暴露** (AZN、塗装 C)

暴露期間 (日)	設置:2020年10月14日 木口シール 無し	設置:2021年10月20日 木口シール 有り	
	製-AZN-C	製-AZN-C -S1	製-AZN-C-S2
暴露前			
シール 無 370日			
シール 有 371日			
シール 無 853日			
シール 有 483日			

表 4.2.3-7 屋外暴露試験体スキャナー画像 垂直暴露（無処理、塗装 C）

暴露期間 (日)	設置:2020年10月14日 木口シール 無し	設置:2021年10月20日 木口シール 有り	
	製-無処理-C	製-無処理-C-S1	製-無処理-C-S2
暴露前			
シール 無 370日			
シール 有 371日			
シール 無 853日			
シール 有 483日			

表 4.2.3-8 屋外暴露試験体スキャナー画像 水平暴露 (無処理、塗装 C)

暴露期間 (日)	設置:2020年10月14日 木口シール 無し	設置:2021年10月20日 木口シール 有り	
	製-無処理-C	製-無処理-C-S1	製-無処理-C-S2
暴露前			
シール 無 370日			
シール 有 371日			
シール 無 853日			
シール 有 483日			

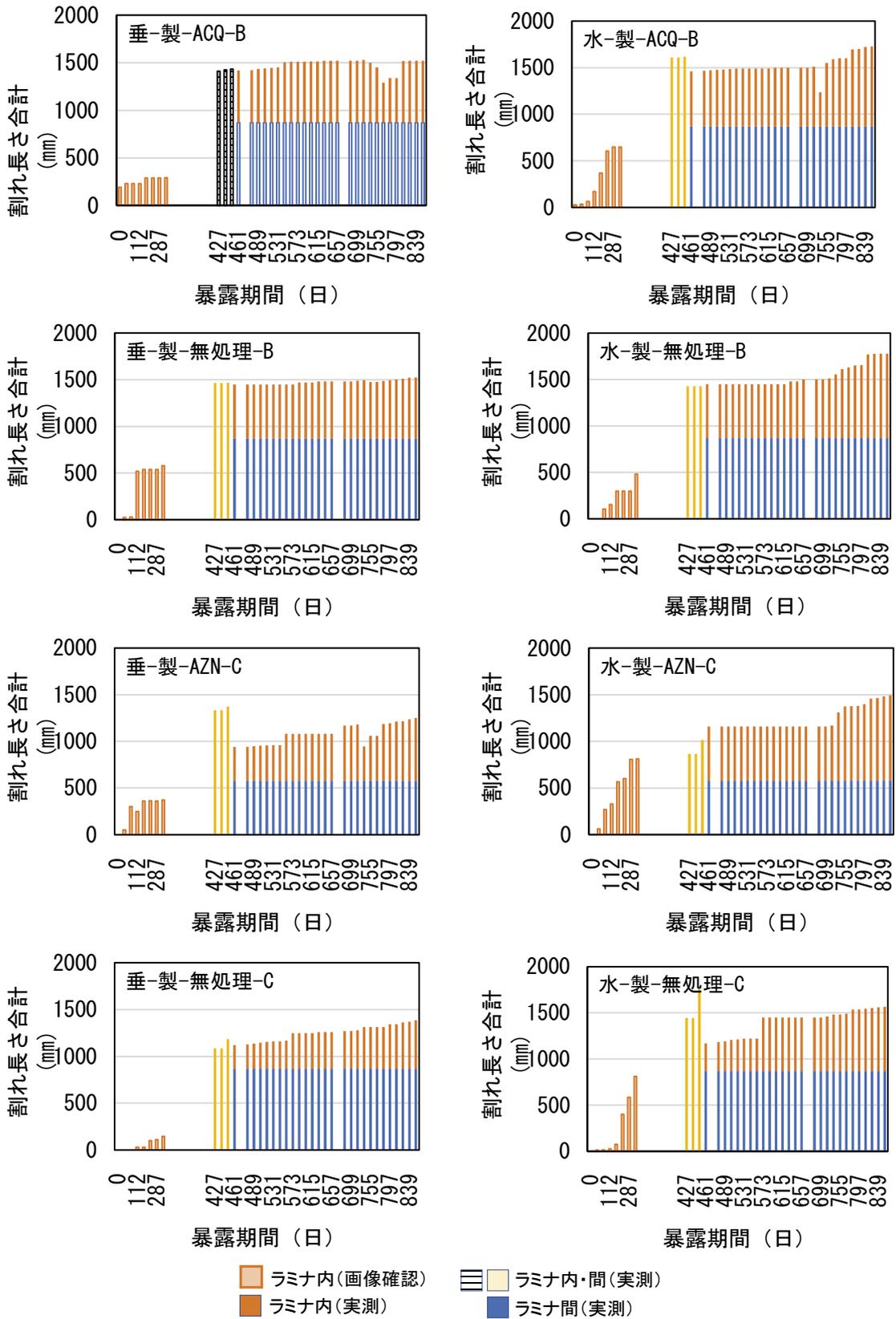


図 4.2.3-1 屋外暴露における「ひび割れ\_長さ」の変化 (木ロシール無し)

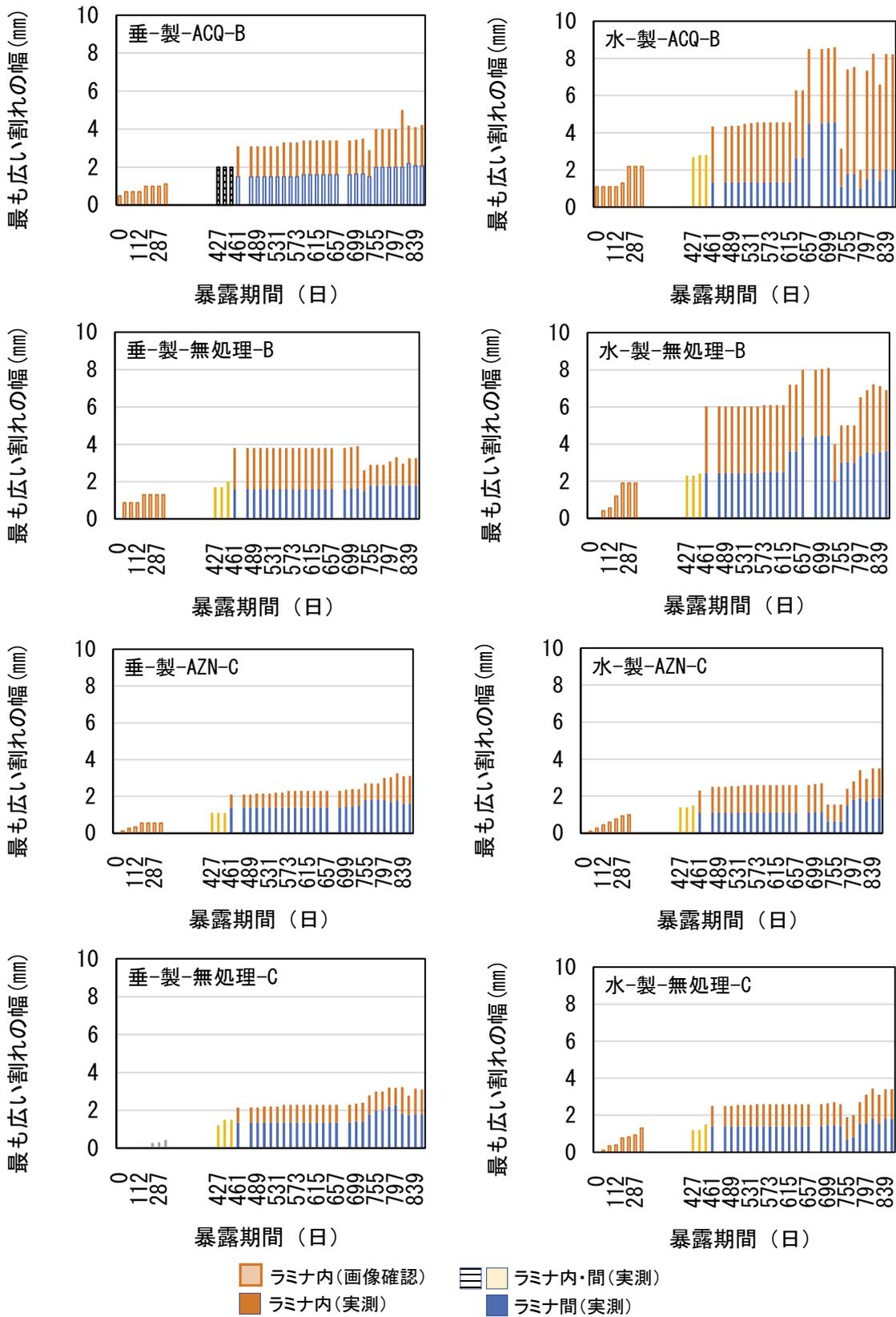


図 4.2.3-2 屋外暴露における「ひび割れ\_幅」の変化（木口シール無し）

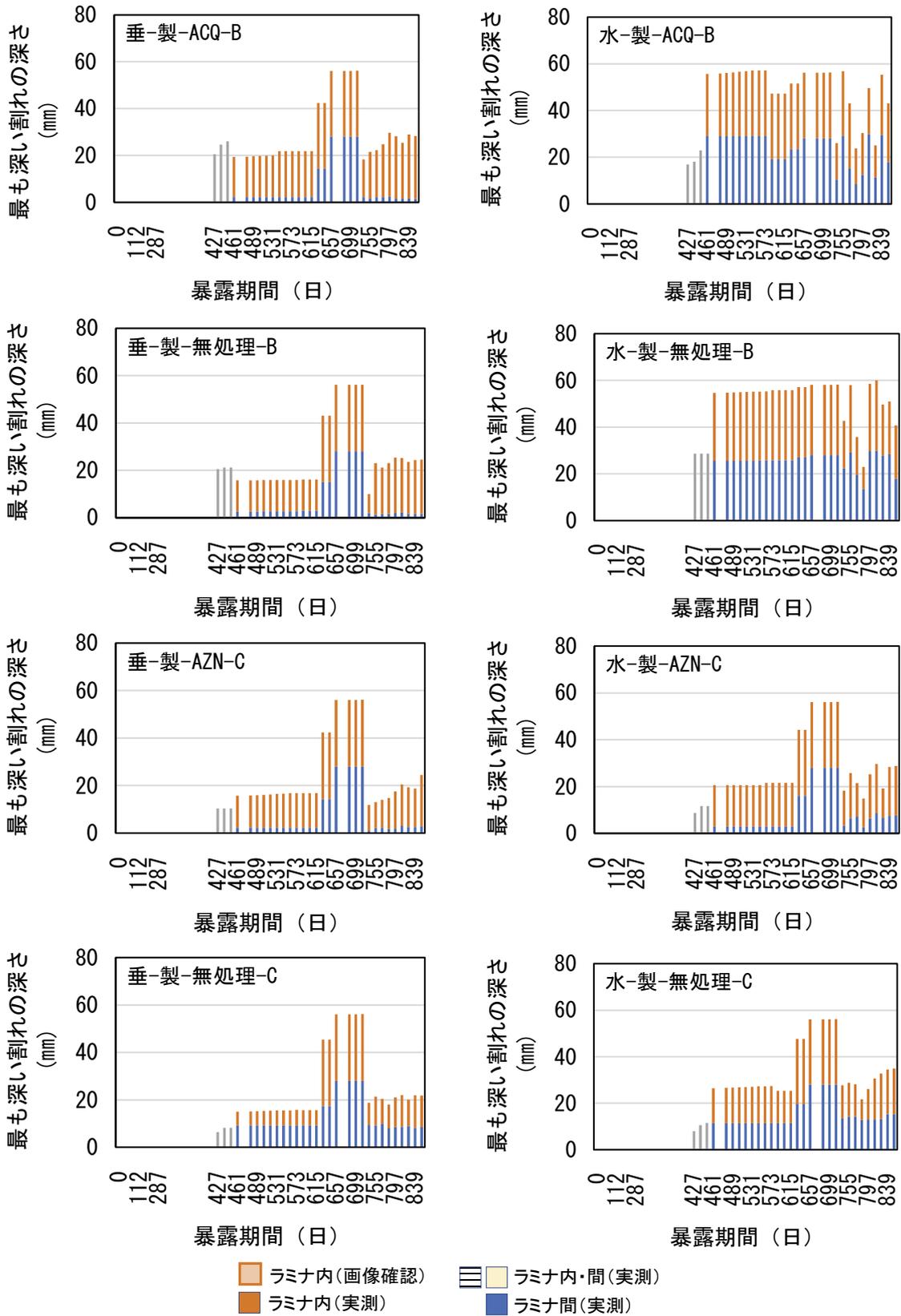


図 4.2.3-3 屋外暴露における「ひび割れ\_深さ」の変化 (木ロシール無し)

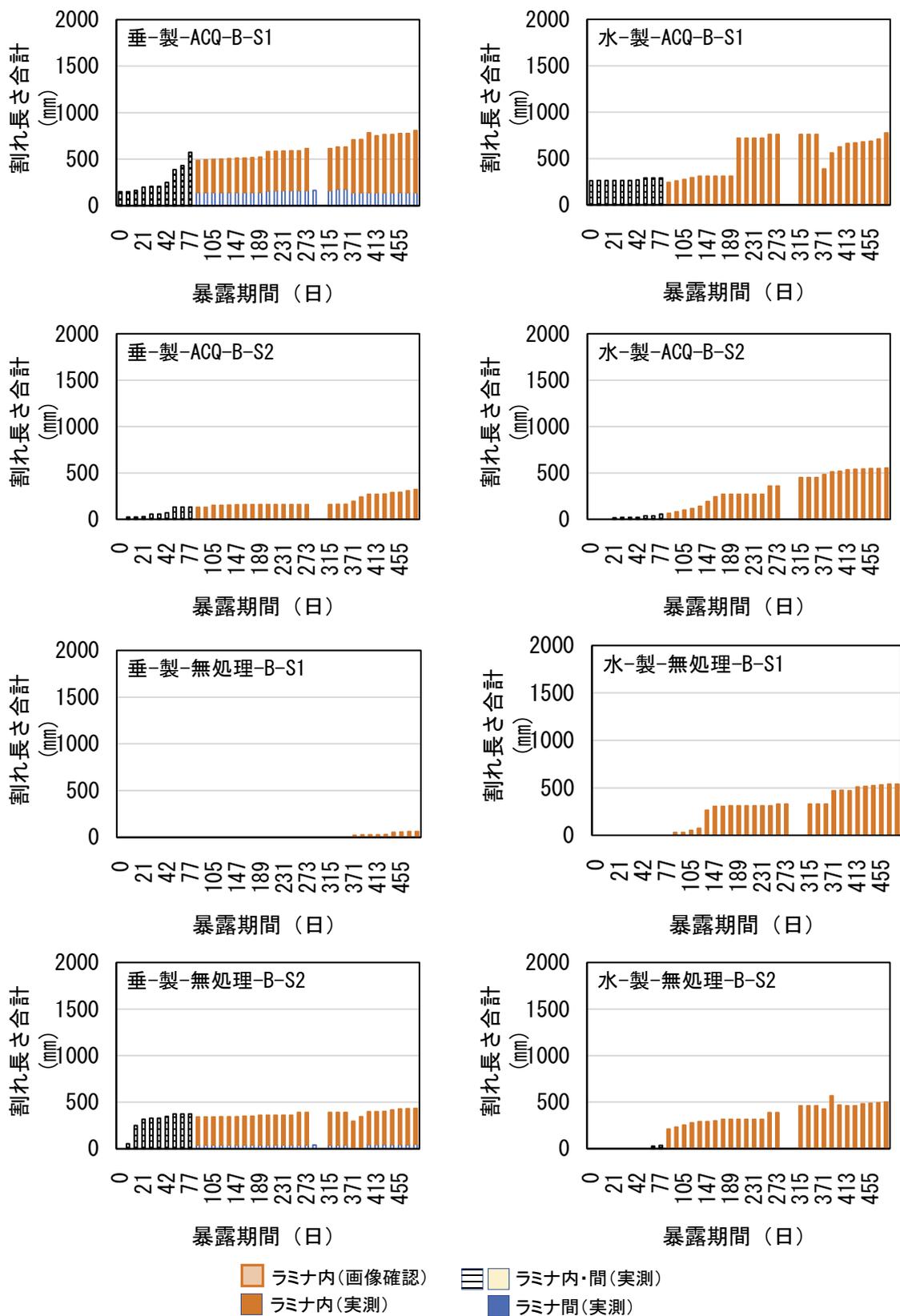


図 4.2.3-4 屋外暴露における「ひび割れ\_長さ」の変化 (木口シール有り, ACQ, 塗装 B)

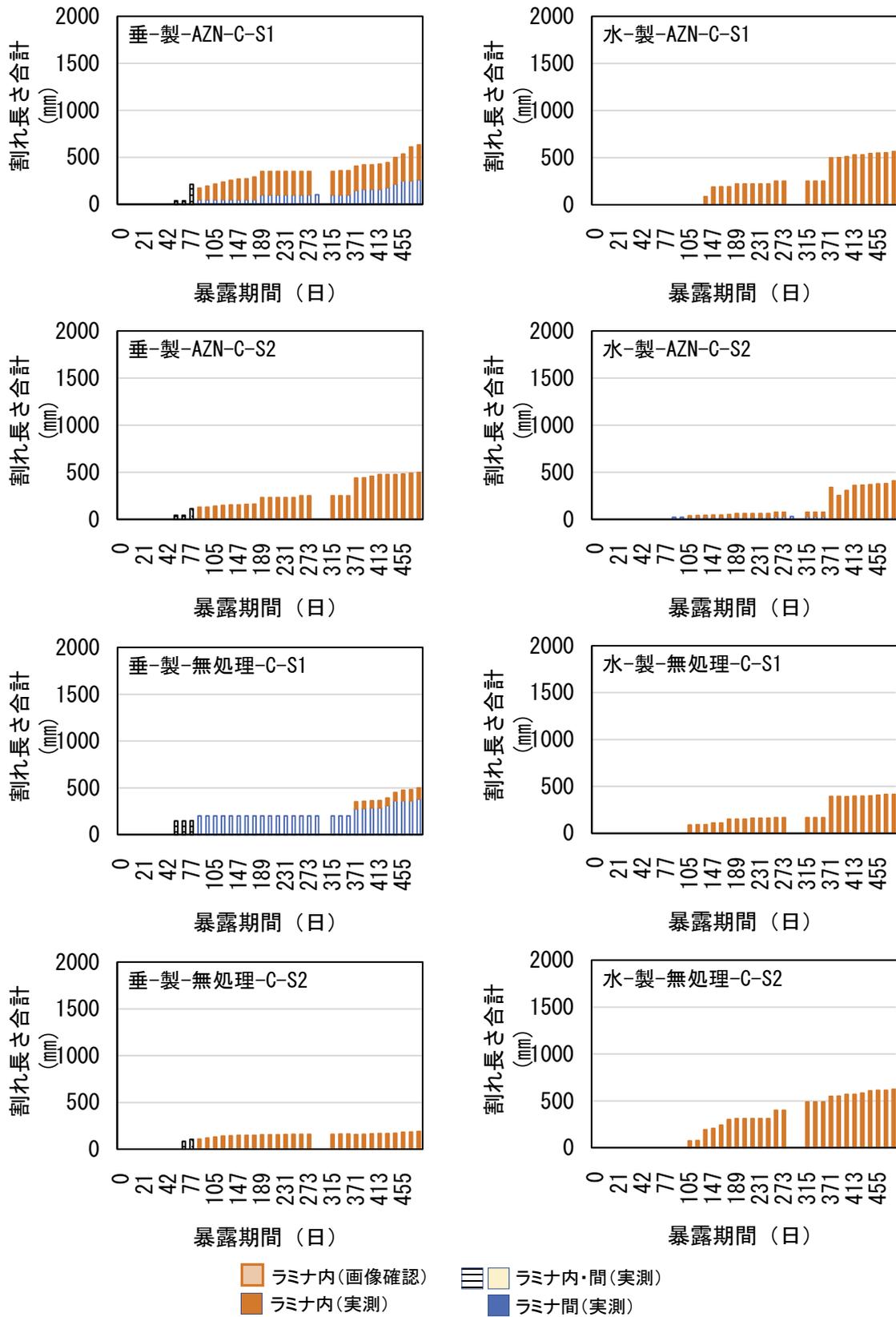


図 4.2.3-5 屋外暴露における「ひび割れ\_長さ」の変化 (木口シール有り, AZN, 塗装 C)

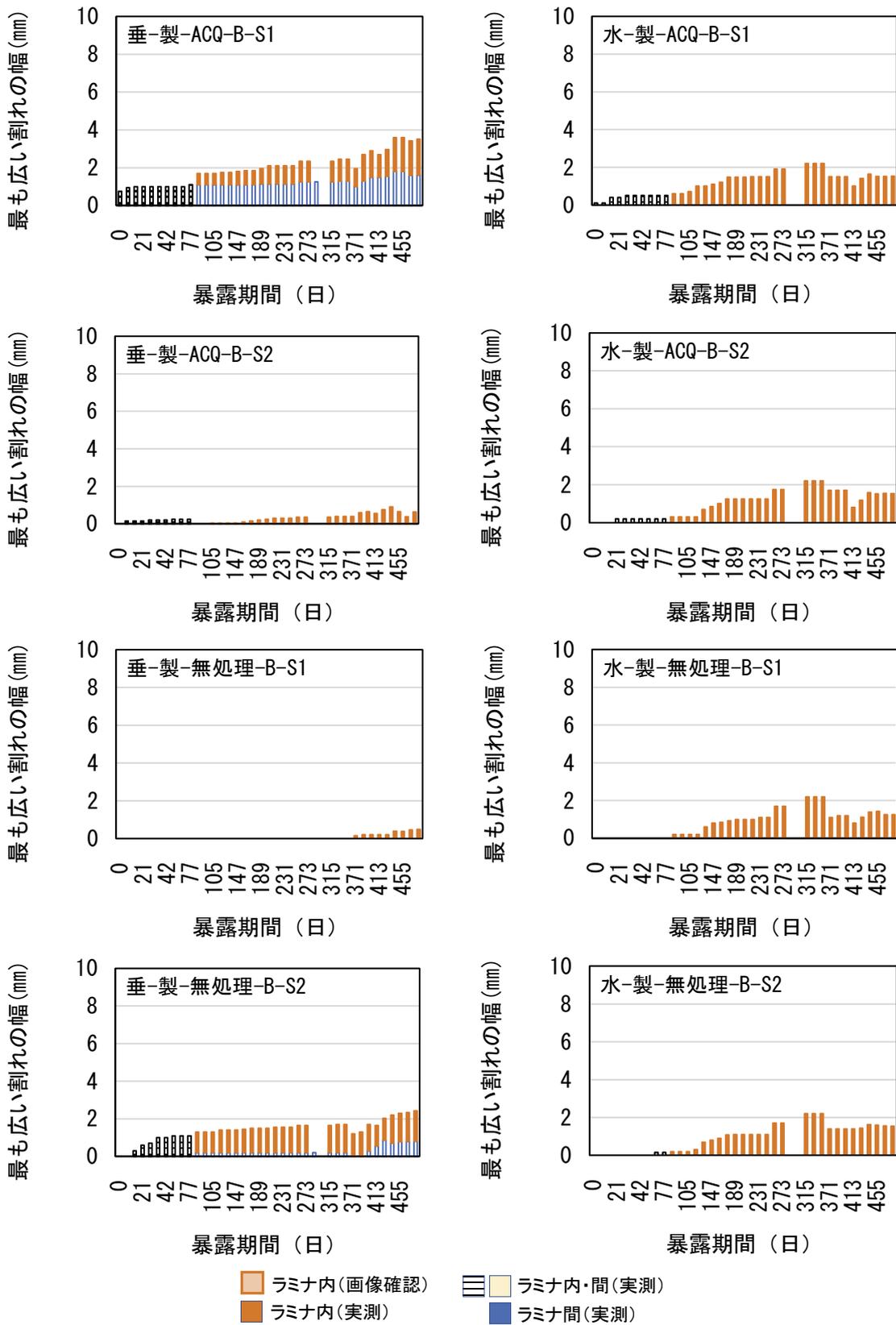


図 4. 2. 3-6 屋外暴露における「ひび割れ\_幅」の変化 (木口シール有り, ACQ, 塗装 B)

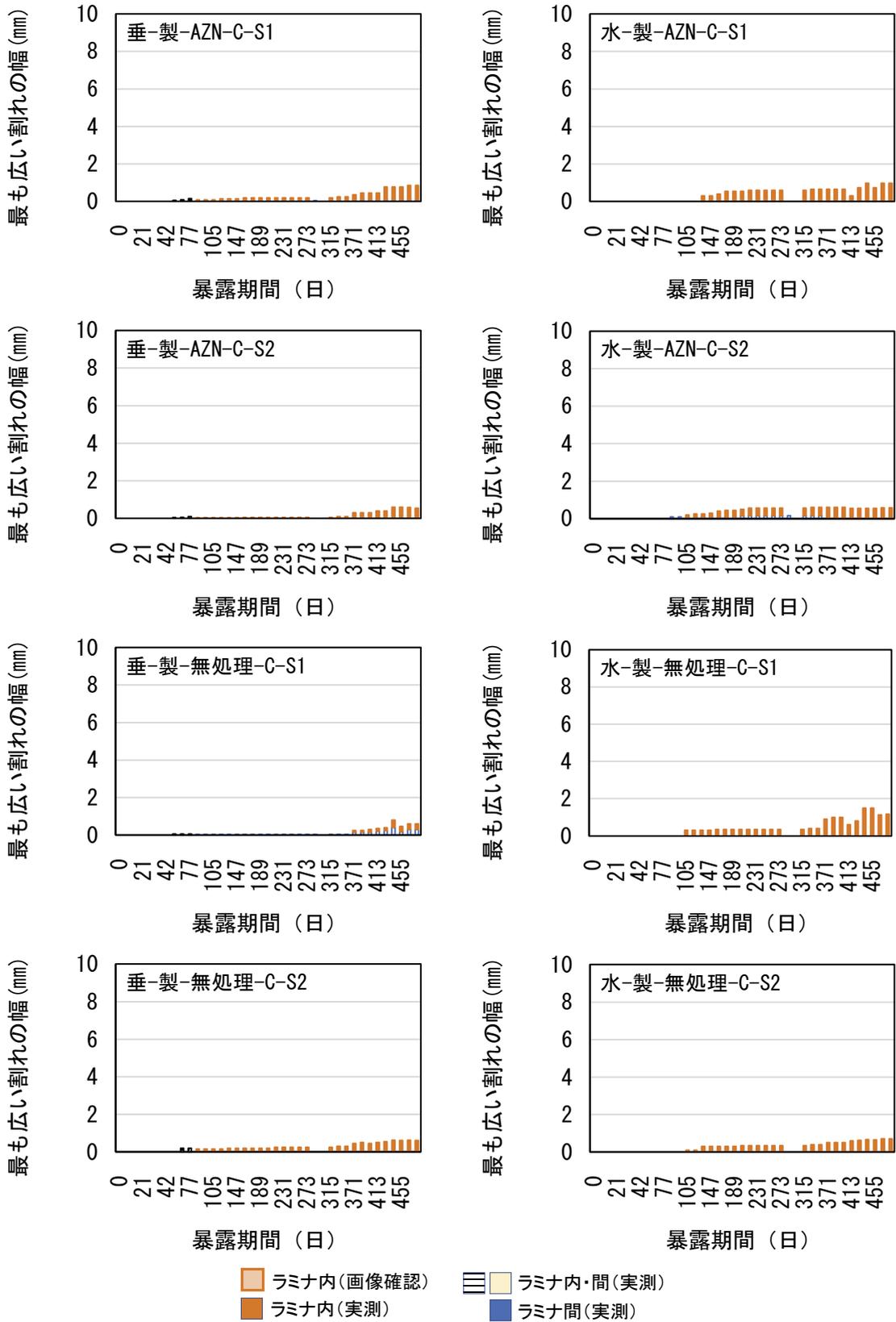


図 4.2.3-7 屋外暴露における「ひび割れ\_幅」の変化 (木口シール有り, AZN, 塗装 C)

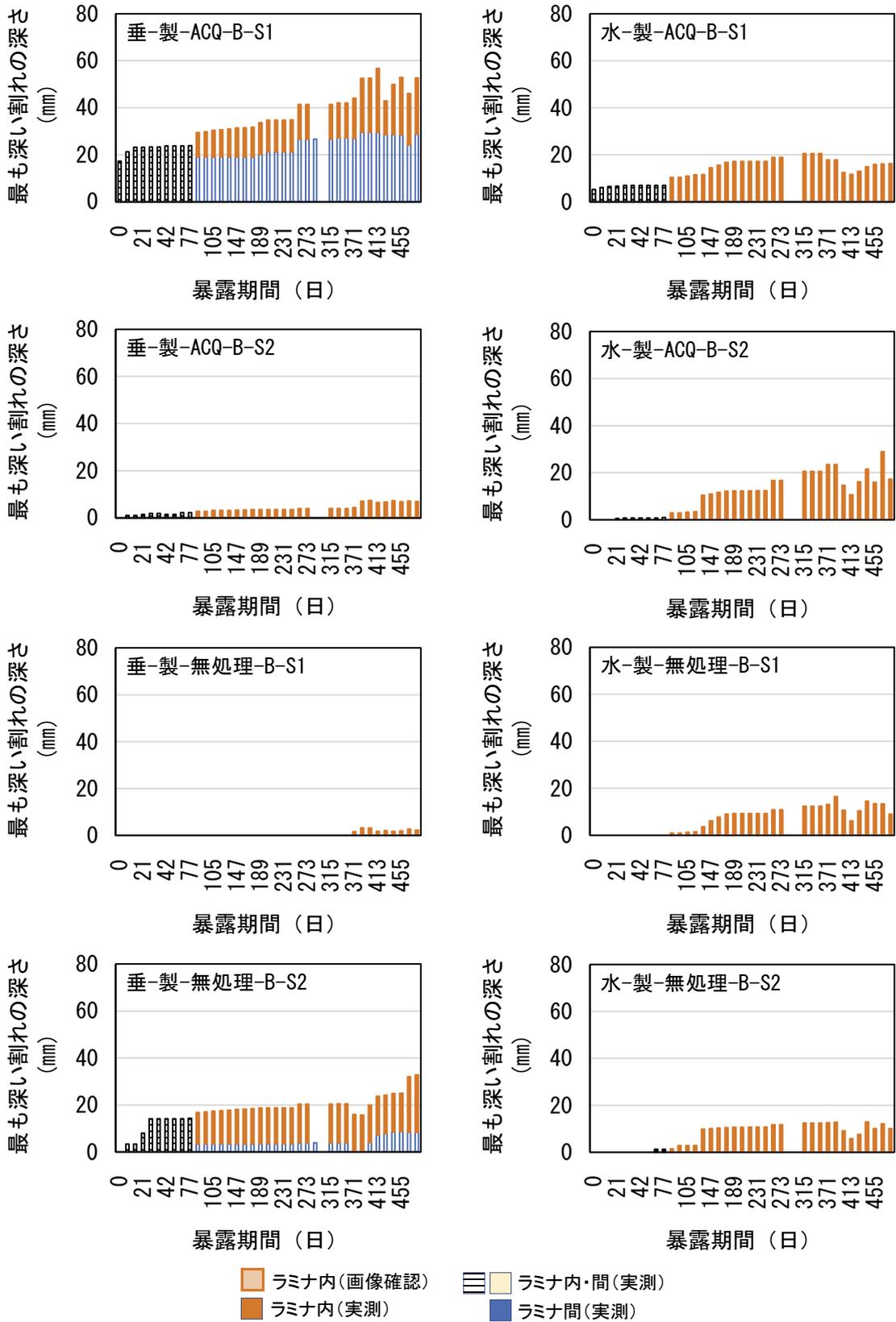


図 4.2.3-8 屋外暴露における「ひび割れ\_深さ」の変化 (木口シール有り, ACQ, 塗装 B)

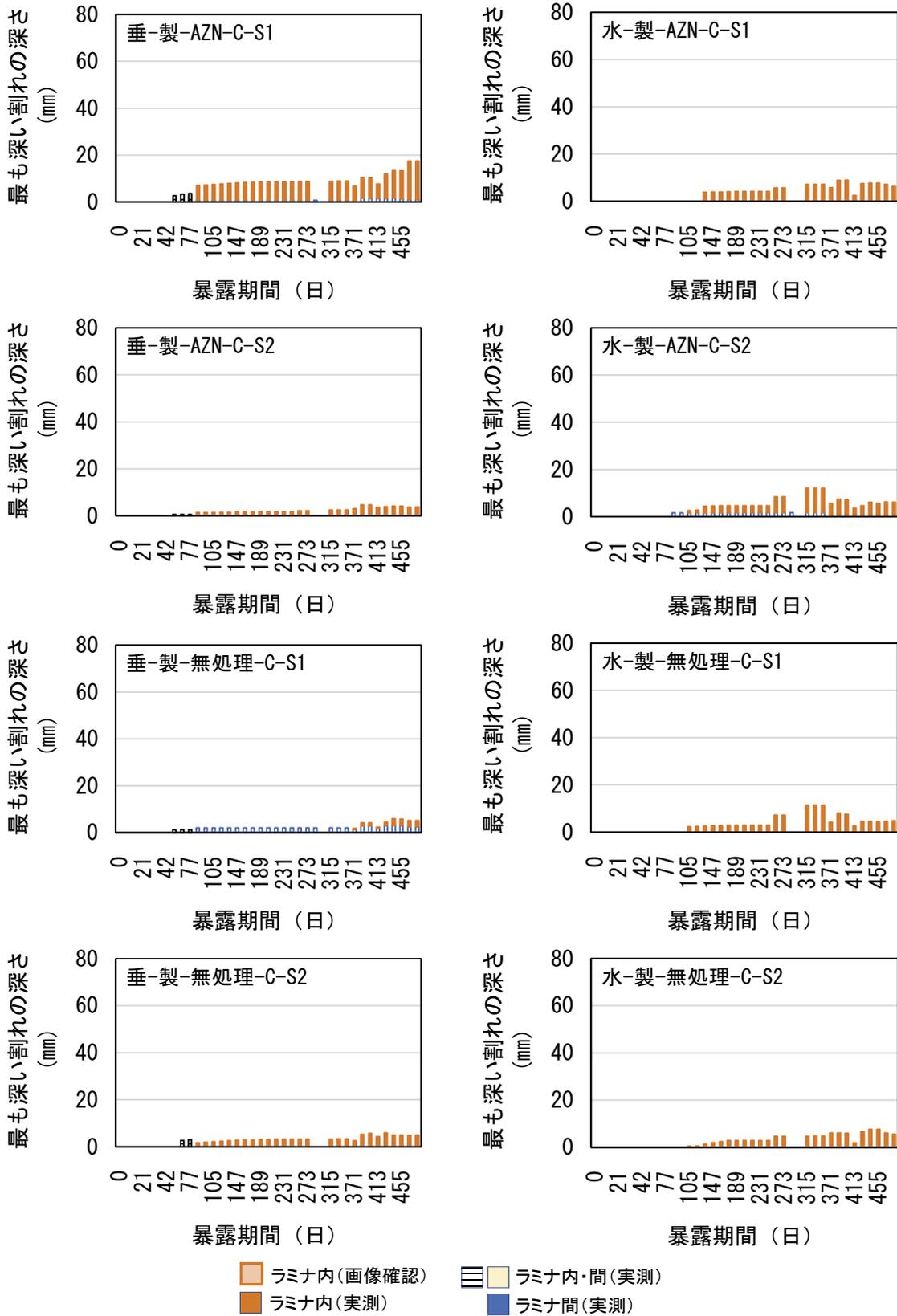
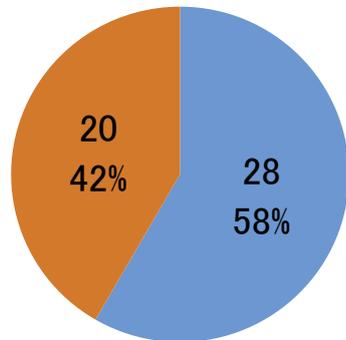


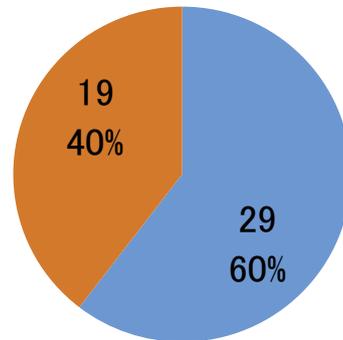
図 4.2.3-9 屋外暴露における「ひび割れ\_深さ」の変化 (木口シール有り, AZN, 塗装 C)

ひび割れの有無 垂直設置  
(ラミナ総本数 48本)



■ひび割れ無し ■ひび割れ有り

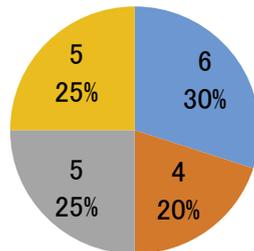
ひび割れの有無 水平設置  
(ラミナ総本数 48本)



■ひび割れ無し ■ひび割れ有り

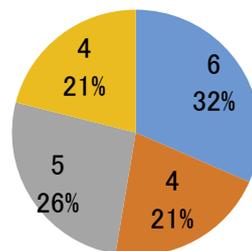
図 4. 2. 3-10 ひび割れの有無\_設置方向別 (木ロシール有り, 暴露日数 427 日)

ひび割れ有り 垂直設置  
(保存処理別)



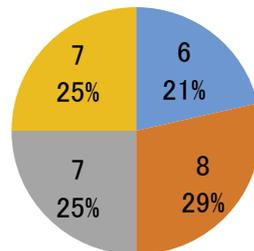
■製-ACQ-B ■製-無処理-B  
■製-AZN-C ■製-無処理-C

ひび割れ有り 水平設置  
(保存処理別)



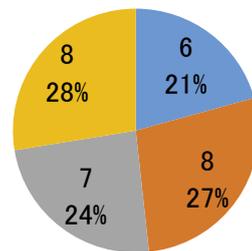
■製-ACQ-B ■製-無処理-B  
■製-AZN-C ■製-無処理-C

ひび割れ無し 垂直設置  
(保存処理別)



■製-ACQ-B ■製-無処理-B  
■製-AZN-C ■製-無処理-C

ひび割れ無し 水平設置  
(保存処理別)



■製-ACQ-B ■製-無処理-B  
■製-AZN-C ■製-無処理-C

図 4. 2. 3-11 ひび割れの有無\_保存処理別 (木ロシール有り, 露日数 427 日)

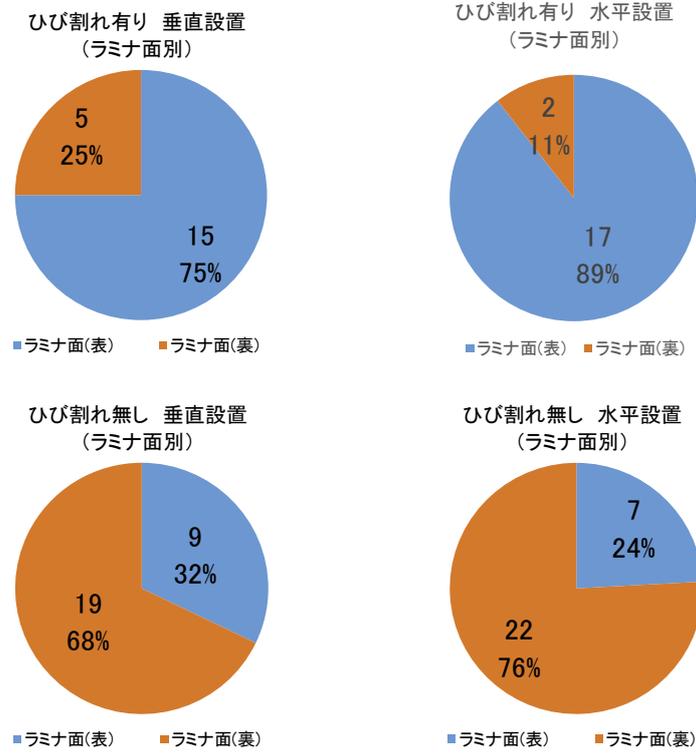


図 4. 2. 3-12 ひび割れの有無\_ラミナ面(表裏)別 (木口シール有り, 露日数 427 日)

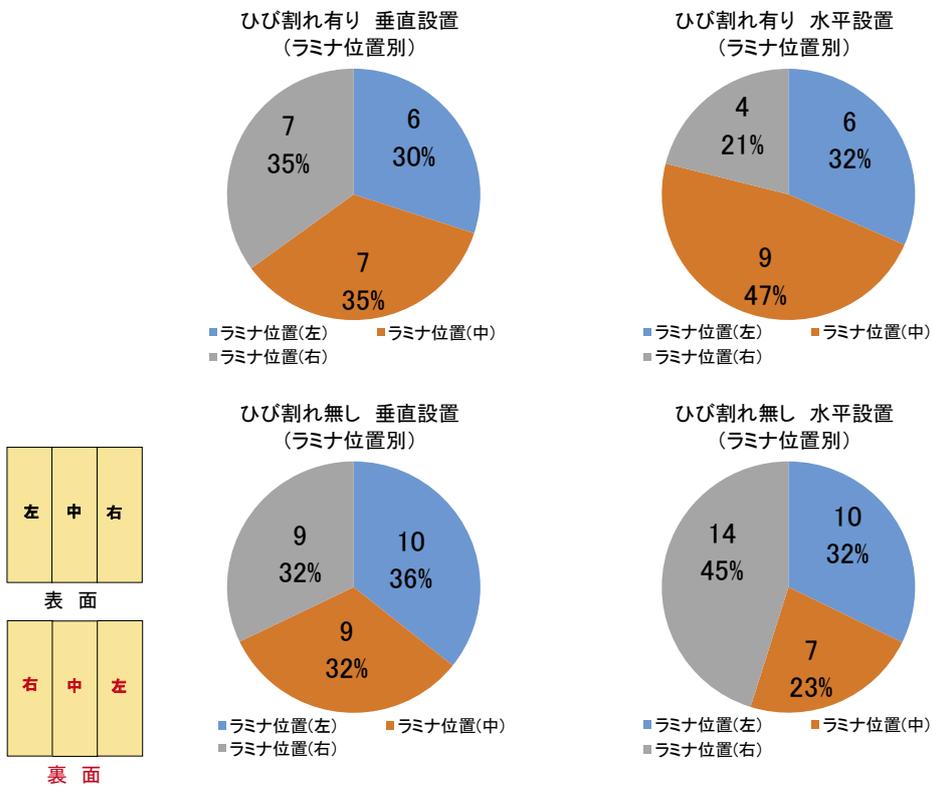


図 4. 2. 3-13 ひび割れの有無\_ラミナ位置(左・中・右)別 (木口シール有り, 露日数 427 日)

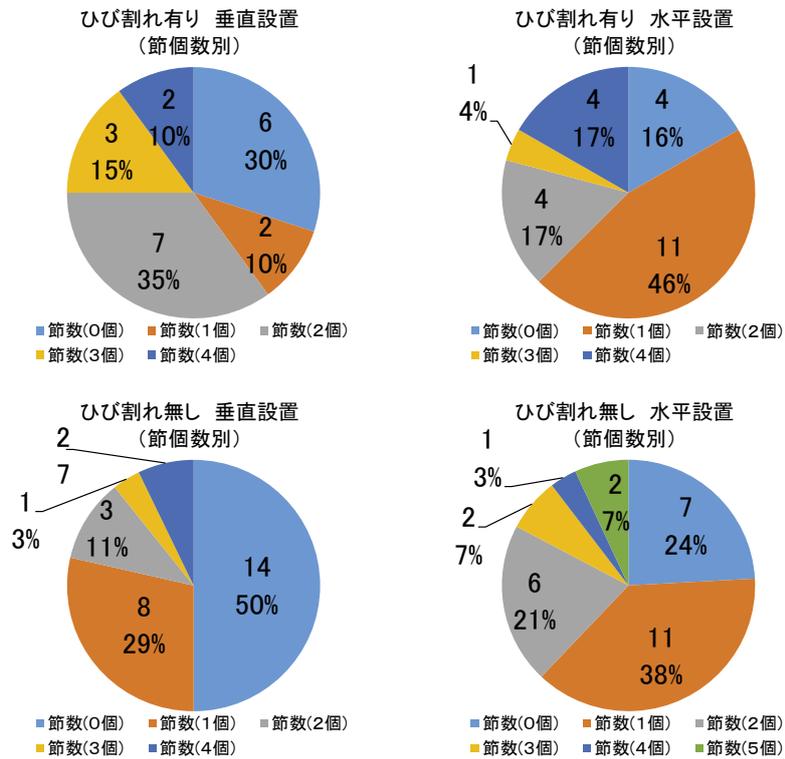


図 4. 2. 3-14 ひび割れの有無\_節个数別 (木口シール有り, 暴露日数 427 日)

## 第5章 使用環境に対応した CLT の保存処理への耐久性要求性能把握

### 5.1 目的

日本木材防腐工業組合では、令和元年度林野庁補助事業の中で、現在の CLT 建物に耐久性を付与する手法として提案されている通気層を有する構法的な雨水侵入防止策は、改修や改築が比較的容易な一般住宅建物の耐久対策の延長であり、点検、メンテナンス、さらには部材交換などの修繕が困難な CLT 等中大規模木造建築の耐久対策としては<sup>1)</sup>、限界がある可能性を示唆した。そして、不足を補うには CLT そのものの耐久性向上、すなわち保存処理 CLT が必要であると提案した。

この提案を具現化するには、現行の直交集成板 JAS 規格を保存処理 CLT も認証対象とする方向に改正する必要があり、次回 JAS 見直し作業へ向けて、使用環境に対応した CLT 保存処理への要求性能を明らかにしていく必要である。

本章の目的は、使用環境に対応した CLT 保存処理への要求性能のうち、構法的耐久対策のバックアップとしての要求耐久性能を把握することである。

### 5.2 方針

安全設計におけるバックアップシステムは、メインシステムが機能しなくなった状況下で機能するものであり、その性能はメインシステムに異常が発生した条件下で確認しておく必要がある。したがって、バックアップシステムとして保存処理 CLT に要求される耐久性能は、構法的耐久対策に異常が発生し、機能が低下した条件下で評価する必要がある。

現在、CLT 構造物の耐久対策のメインシステムは構法的な雨水侵入防止策であり、異常が発生する原因は施工不良、経年劣化、地震や豪雨豪雪などの天災など様々で、それによる機能低下の度合いも様々と考えられ、実験的に異常を再現することは難しい。例えば、発生件数が多いと思われる異常として、軒下から壁内への雨水吹き込みを想定してユニットを作製し曝露した実験例なども見られるが、結果的に意図した状態は再現できなかった<sup>2),3)</sup>。

尤もらしい異常の再現は意外に難しいことから、令和元年度の補助事業では、まずメインシステムが完全に破綻した最悪条件下でサブシステムの性能を確認することを目標とし、防水措置も接着層も破綻して雨水が浸入した CLT 壁体を想定したトリプルレイヤー(TL)ユニットを考案し、保存処理 TL の曝露試験も開始した。今後、最悪の環境における保存処理 CLT の耐久性能が把握されるであろう。

令和2年度補助事業では、TL法における劣化リスクについて詳細なデータを整備するために、曝露中の TL ユニットの劣化調査を継続するとともに、幅はぎ接着した TL ユニットでの曝露試験を開始し、接着による劣化リスクの軽減を検討した。

今年度事業、すなわち令和3年度補助事業では、これまでの TL ユニット曝露試験調査を継続するとともに、幅はぎと積層間を接着した TL ユニットの曝露試験を開始し、接着が劣化リスクに及ぼす影響についての検討を進める。このことにより、前年度より広範な使用環境に対応した CLT の保存処理の要求耐久性能を把握するためのデータを拡充していく。

## 5.3 方法

### 5.3.1 幅はぎ無処理TLユニット直立曝露試験（継続）

#### （1）試験材の調製と設置

本試験は、R3年度事業からの継続調査である。

R2年度に開始した曝露試験調査の結果、TLユニットは雨水が浸入しやすく、一旦内部の層に浸入した水分は乾燥しにくいいため、積層していない材料より高含水率状態が続きやすく、実際に非常に短期間で腐朽劣化が発生した。

R3年度は、接着層の劣化リスク低減への寄与を検討するために、巾はぎ接着した試験材を3層直交させた巾はぎTLユニットを作製し、曝露試験を開始した。

試験材は富山県産KDボカスギ辺材で、気乾比重0.28～0.34、無節、二方桁のプレーナー仕上げした30(T)×30(R)mm断面材である。630(L)mmのボカスギ辺材KD材30本から、長さ300mmのエンドマッチング材60本を作製し、幅はぎグループとコントロールグループに30本ずつ配分した。

幅はぎグループは10本ずつ3組に分け、レゾルシノール接着剤（ディアノール：硬化剤 200：30）を桁目面に250～300g/m<sup>2</sup>塗布して、常温で1晩圧縮して幅はぎ接着した。接着層からはみ出したバリは層間隙間に大きく影響するが、プレーナー等によるバリ除去作業は試験材層の寸法が変化する。そこで、予め接着層際に養生テープを貼って余剰の糊がテープ面にはみ出させて、バリを予防した。接着終了後、各層の4隅に、後述するボルト通し孔として直径10mmの孔を開けた。

コントロールグループの試験材は、接着せずに10本ずつ桁目面で接するように3層を並べ、各層の4隅、すなわち両端の試験材の上下2箇所、直径10mmのボルト孔を開けた。

幅はぎグループは各幅はぎ層の気乾質量、コントロールグループは各試験材の気乾質量を測定した後、3層を直交に積層し、アルミL字アングル（10×30×310mm）、ステンレスボルト（長さ120mm）、蝶ナットで固定した。

固定後の寸法は、300×300×90mmとなった。以下では、300×300mm面を広面、300×90mm面を側面と呼び、外側の2層は「外層」、中心層を「芯層」と呼ぶ。また、層の向きで区別する場合は、試験材L方向が垂直の層を「V層」、水平の層を「H層」と呼ぶ。

#### （2）ユニットの設置

作製した各ユニットは、2021年9月11日に富山県農林水産総合技術センター木材研究所（以下、富山木研）敷地内（富山県射水市黒河新4940）の平坦地においた厚さ12cmのコンクリートブロック上に、広面を南北に向けて直立させ、PP梱包バンドで固定した（写真5-3）。

設置場所には、転倒マス式雨量計を設置し1時間ごとの雨量を記録した（写真5-4）。

#### （3）測定

2021年9月の設置から2022年12月までの間、冬季積雪期を除き、およそ1か月間隔で13回、TLユニットを回収して固定金具を外し、幅はぎTLユニットは各層、コントロールTLユニットは各試験材の質量を測定し、速やかに再設置した。

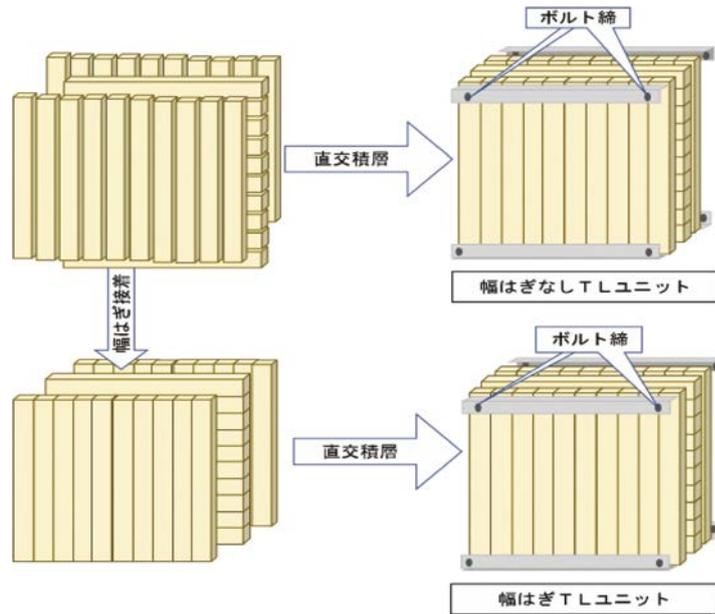


図5-1 幅はぎTLユニット



写真5-1 試験材10本を幅はぎ接着



写真5-2 幅はぎ層3層を直交積層して固定



写真5-3 ユニット曝露試験



写真5-4 曝露試験地の雨量計

( i ) 含水率の推定

秤量値をもとに、各測定時点の含水率を算出した。含水率測定は全乾法が最も正確であるが、全乾操作は幅はぎ層や試験材単体の変形や損傷のおそれがあるとともに、1 か月間隔の全乾乾燥は曝露試験中の含水率推移に大きな影響を及ぼすことが予想される。そこで本実験では、( 1 ) で測定した幅はぎユニットならびに試験材の曝露開始前の気乾質量の値をもとに、試験材と同一ロットで同一仕様の予備材 10 本の全乾法による気乾含水率の平均値 10. 0%を代用して曝露開始前の試験材全乾質量を推定し、これを全乾質量として測定時の含水率値を推定した。含水率の算出式は、( 1 ) 式である。なお、幅はぎ層の含水率は、( 1 ) 式のm、m<sub>0</sub>は、各層を構成する試験材の質量の合計となる。

$$\text{測定時の含水率} = \frac{(m - m_0 * 1.00 / 1.10)}{(m_0 * 1.00 / 1.10)} \times 100 (\%) \dots \dots \dots (1)$$

ここに、m：測定時の試験材質量(g)、m<sub>0</sub>:曝露開始前の試験材気乾質量 (g) である。

( ii ) 15 カ月の曝露期間中の劣化リスクの推定

木材腐朽と含水率の関係については、一般的に自由水発生の境界含水率の繊維飽和点(およそ 2 5 %)を超えると腐朽が進行する、とされている。そこで、水分に依拠する劣化リスクの指標値として、15 カ月の曝露期間中の計 14 回の含水率測定において 25%超の含水率を記録した頻度を( 2 )式により算出し、ユニットごと、層ごと、ならびに試験材ごとに比較した。

$$\text{劣化リスク} = \frac{\text{含水率 25\%超の通算回数}}{14} \times 100 (\%) \dots (2)$$

5. 3. 2 幅はぎ・積層接着した無処理 T Lユニット直立曝露試験

( 1 ) 試験材の調製と設置

気乾比重 0. 28~0. 34、無節、二方桁、プレーナー仕上げした 30(T)×30 (R) ×630(L)mm のボカスギ辺材 KD 材 45 本から、長さ 300 mmのエンドマッチング材 90 本を作製し、幅はぎ接着グループ、幅はぎ・積層接着グループとコントロールグループに 30 本ずつ配分した。

2 組の接着グループは 10 本ずつに分け、レゾルシノール接着剤 (ディアノール：硬化剤 200 : 30) を板目面に 250~300g/m<sup>2</sup>塗布して、常温で 1 晩圧縮して幅はぎ接着した。接着層からはみ出したバリは層間隙間に大きく影響するが、プレーナー等によるバリ除去作業は試験材層の寸法が変化する。そこで、予め接着層際に養生テープを貼って余剰の糊がテープ面にはみ出させて、バリを予防した。

幅はぎ・積層接着グループは、さらに幅はぎした 3 層を直交に積層し、上記と同条件で接着した。

幅はぎグループとコントロールグループは、各幅はぎ層、または各試験材の気乾質量を測定した後、

3層を直交に重ねて、梱包用PPバンドで固定した。幅はぎ積層接着グループはユニットの気乾質量を測定した。

作製した各TLユニットは、2022年11月10日から富山木研の敷地内の平坦地にコンクリートブロックを置きに、層方向はVHVで直立に固定した。

(2) 測定

設置したTLユニットは、2022年は11月10日、12月9日、12月15日、の3回、2023年は1月10日、1月18日に回収・解体し、秤量後速やかに再設置した。ユニット、各層、各試験材の含水率は、5.3.1(3)(i)の(1)式にて算出した。

5.3.3 保存処理TLユニット直立曝露試験(継続)

(1) 保存処理試験材の調製と設置

2020年に保存処理試験材を用いたTLユニットを調製し、各試験地に設置して曝露試験を開始した。今回のTLユニットは、保存処理した材料を積層していることから、層間浸水を許した最悪状態のラミナ処理CLTに相当する。

保存処理試験材は、気乾比重0.28~0.34の富山県産ボカスギKD材の辺材から無節、二方桁、プレーナー仕上げ、30(T)×30(R)×300(L)mmの角材を540本作製し、90本ずつ6種類の保存処理(表5-2)を行った。

各種保存処理材は、薬液吸収量が均等になるよう30本ずつに配分し、5.3.1(1)の要領で10本×3層直交構成の保存処理TLユニットを各種3体ずつ作製し、国立研究開発法人森林総合研究所(以下 森林総研)、奈良県森林技術センター(以下 奈良森技センター)、ならびに富山木研の各野外試験地での曝露に供した。

野外試験地の所在と曝露試験開始日は、以下のとおりである。

森林総研	第2樹木園	茨城県つくば市観音台2-1-2	2020年10月5日曝露開始
奈良森技センター	明日香試験地	奈良県高市郡明日香村川原624-4	2020年10月20日曝露開始
富山木研	野外試験地	富山県射水市黒河新4940	2020年10月26日曝露開始

表5-2 保存処理TLユニット試験材の処理条件

保存処理	処理会社	ai濃度	注入条件
AZNA	(株)サイエンス	1.00%	前排気 30分→加圧 1.5MPa 8時間→後排気 1時間
CUAZ	同上	0.22%	前排気 なし 加圧 1.5MPa 8時間→後排気 1時間
AAC	大日本木材防腐(株)	0.65%	前排気 30分→加圧 1.5MPa 2時間→後排気 30時間
AZN	兼松サステック(株)	0.015%	前排気 30分→加圧 0.5MPa 1時間 後排気 なし
ACQ	越井木材工業(株)	0.38%	前排気 30分→加圧 1.5MPa 8時間→後排気 1時間
LPH	九州木材工業(株)	100%	前排気 30分→加圧 1.5MPa 8時間→後排気 1時間

## (2) 測定

現地でユニットを解体し、試験材の劣化状況を目視と触診で判定したのち、再設置した。

2023 年度の調査は、

10 月 24 日(月) 富山県農林水産総合技術センター木材研究所 野外試験地

10 月 31 日(月) 奈良県森林技術センター 明日香試験地

11 月 21 日(月) 森林総合研究所 第 2 樹木園

の日程で実施した。

判定は、各試験材の 4 側面について被害の有無を記録した。4 面のうちで最も被害の激しい面について下記基準に基づき被害度を判定し、試験材の被害度とした。さらに、試験材の被害度をユニットごと、ならびにユニットの各層ごとに平均して、各ユニット、ならびにユニット各層の被害度とした。

0 : 健全

1 : 部分的に軽度の腐朽または蟻害

2 : 全面的に軽度の腐朽または蟻害

3 : 部分的に激しい腐朽または蟻害

4 : 全面的に激しい腐朽または蟻害

5 : 崩壊

## 5.4 結果

### 5.4.1 無処理幅はぎT Lユニット直立曝露試験結果（継続）

#### （1）曝露期間中の試験地の降水量推移

曝露期間中の曝露試験地（富山木研）の雨量データとして、1日降水量と3週間積算雨量を図5-3、図5-4に示した。各図には計13回の含水率測定日も併せて示した。11月から4月までは、降雪の影響により現地雨量計で計測できないため、最寄りの伏木観測所の雨量データを使用した。

含水率は、日照り続きや降雨当日など極端な天候の日を避けて測定したが、グラフからは降雨ピークを避け、かつ季節変動に沿ったタイミングで測定できたと思われる。

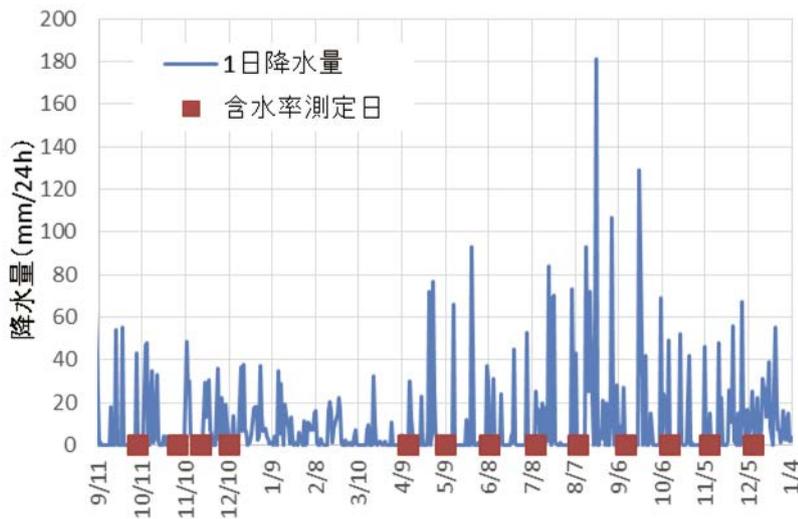


図5-3 曝露期間中の雨量（1日降雨量）の推移と含水率測定日

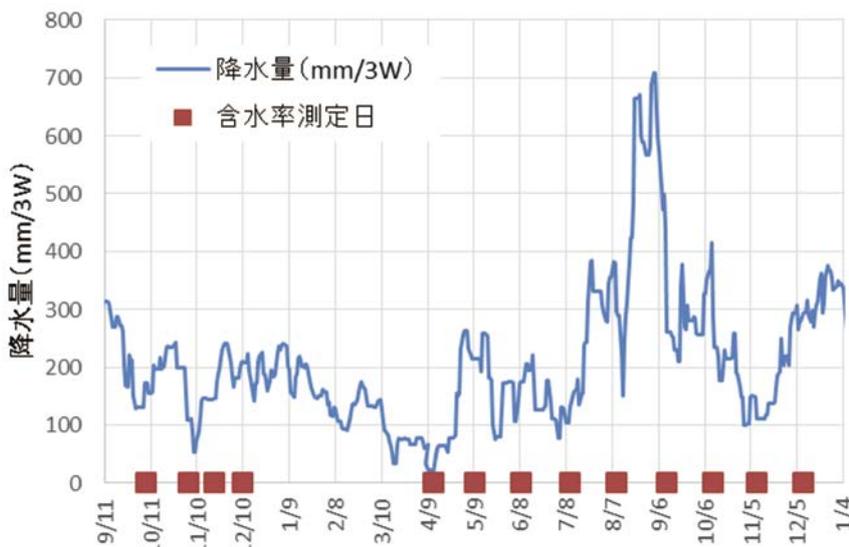


図5-4 曝露期間中の雨量（3週間の積算雨量）の推移と含水率測定日

## (2) 幅はぎTLユニットの含水率の推移

図5-5は、15カ月間の曝露期間における幅はぎ接着TLユニットの全体の含水率の推移を、コントロールユニットの値とともに示した。両ユニットの含水率はほぼ同じパターン、すなわち降水量の推移に対応して増減していた。しかし、各ユニットのグラフを詳細に比較すると、幅はぎ接着したTLユニットの含水率は、いずれの測定日においてもコントロールTLユニットより低い値を示している。

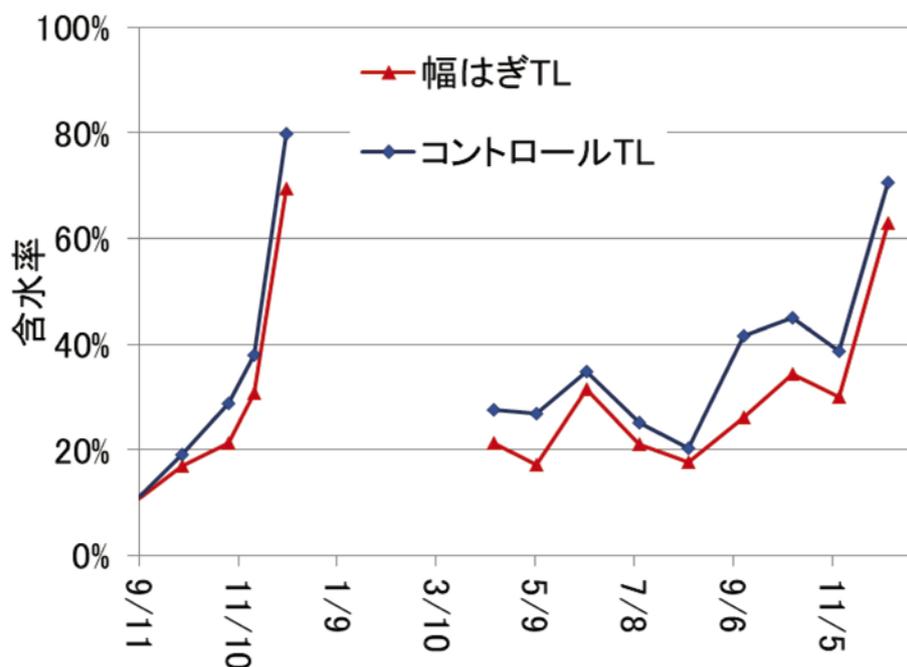


図5-5 各TLユニットの含水率の推移(全体)

図5-6、図5-7には、各TLユニットの含水率の推移を層別に示した。幅はぎTLユニットでは外層と芯層の差が小さいのに対し、コントロールTLユニットでは芯層が明らかに高い値を示している。

図5-8は、両TLユニットの含水率の差を層別に比較したグラフである。測定回ごとに、コントロールTL各層の含水率から対応する幅はぎTL各層の値を差し引いた値である。全体を通してコントロールTLユニットが高いが、外層の含水率差がほぼ5%以内であるのに対し、芯層の含水率差は多くの測定回で20%を超え、幅はぎ接着が芯層含水率上昇を抑制していることが示唆された。

表5-3は、13回の測定で計測した両ユニットの層別含水率と、腐朽劣化が進行するとされる含水率25%以上を計測した回数、ならびにその計測頻度を劣化リスクとして示した。両ユニットの劣化リスク比較を、図5-9に図示した。幅はぎTLユニットの劣化リスクはコントロールTLユニットより減少し、特に芯層の劣化リスクが大きく減少することがわかる。

以上のように、15カ月間の曝露試験の結果、幅はぎ接着はTLユニットの劣化リスク、特に芯層のリスク軽減に寄与することが確認された。幅はぎ接着はCLT壁体の劣化環境を良好に保つ要因の一つと考えられ、逆に接着剥離やラミナ干割れはCLTの劣化環境を悪化すると推察される。

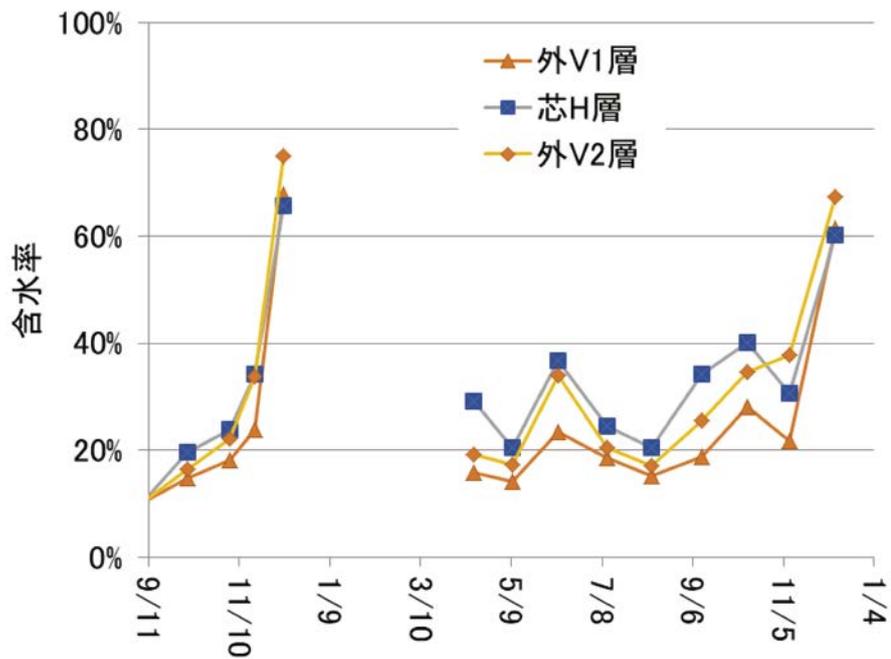


図5-6 幅はぎT Lユニット各層の含水率の推移

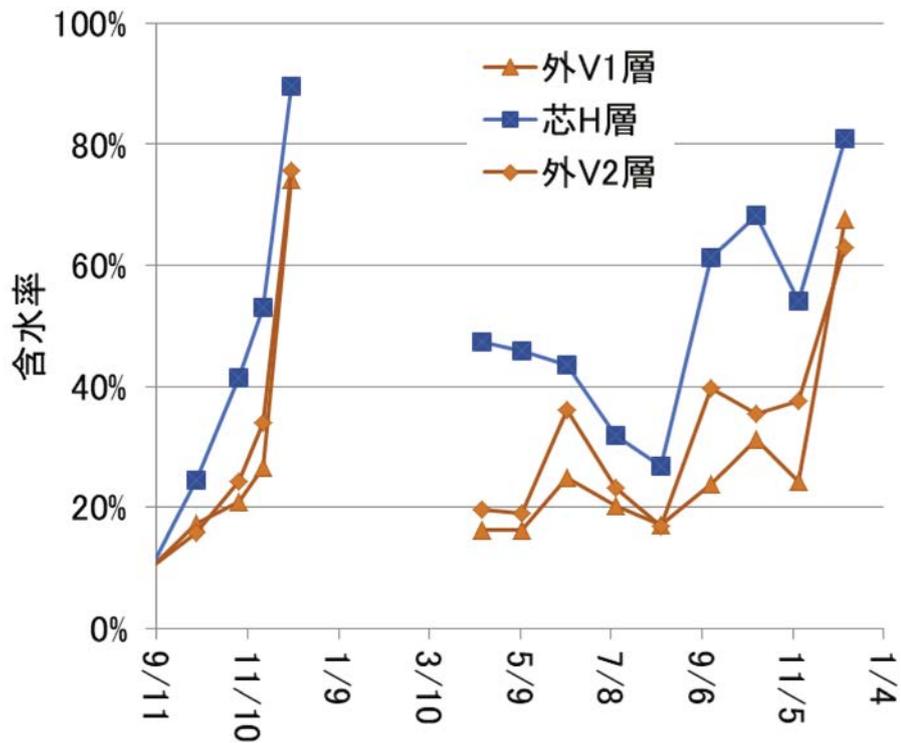


図5-7 コントロールT Lユニット各層の含水率の推移

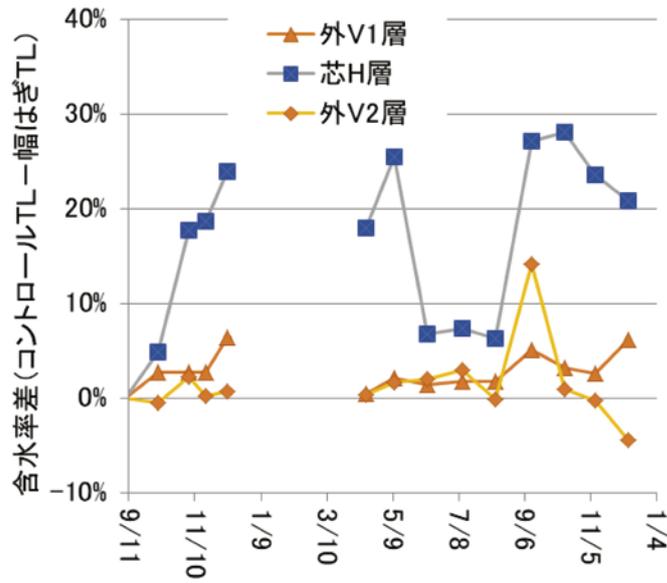


図5-8 TLユニット各層の含水率の差(コントロールTLー幅はぎTL)

表5-3 TLユニット各層の含水率値と劣化リスク

TLユニット	層	9/7 開始	10/7	11/4	11/20	12/9	積雪 中断	4/14	5/10	6/9	7/11	8/10	9/12	10/12	11/9	12/9	>25%	劣化 リスク
幅はぎ ユニット	外V1層	10%	15%	18%	24%	68%		16%	14%	23%	19%	15%	19%	28%	22%	61%	3/13回	21%
	芯H層	10%	20%	24%	34%	66%		29%	20%	37%	24%	21%	34%	40%	31%	60%	8/13回	57%
	外V2層	10%	16%	22%	34%	75%		19%	17%	34%	20%	17%	26%	35%	38%	67%	7/13回	50%
コントロール ユニット	外V1層	10%	17%	21%	27%	74%		16%	16%	25%	20%	17%	24%	31%	24%	68%	5/13回	36%
	芯H層	10%	24%	41%	53%	90%		47%	46%	43%	32%	27%	61%	68%	54%	81%	12/13回	86%
	外V2層	10%	16%	24%	34%	76%		20%	19%	36%	23%	17%	40%	35%	38%	63%	7/13回	50%

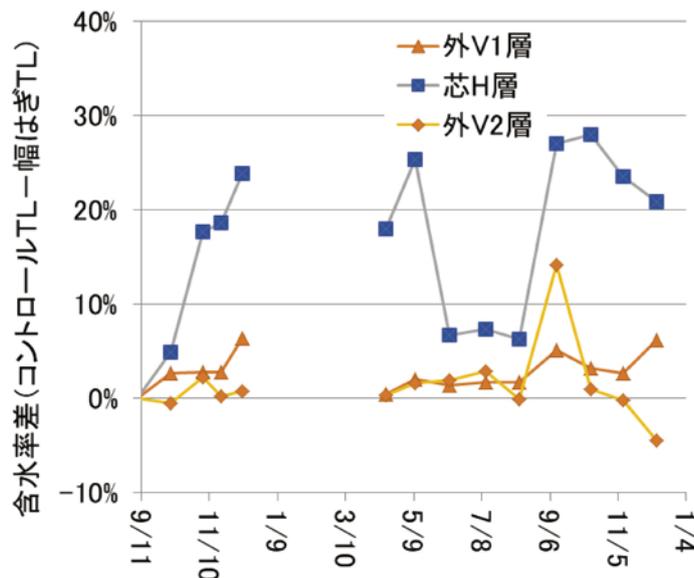


図5-9 TLユニットの各層の劣化リスク

### 5.4.2 幅はぎ・積層接着した無処理TLユニット直立曝露試験の結果

#### (1) 幅はぎ・積層接着TLユニットの含水率推移

幅はぎ・積層接着TLユニット（VHV構成）の各層の含水率推移を、図5-10に示した。含水率を4回測定しているが、40～70%の繊維飽和点を超える数値であった。これは、積雪の影響を強く受けたものである。雨量計で積雪量を把握することができず、一方で、積雪により含水率が25%以上になっても、材温は0℃近いため腐朽劣化は進行しない。よって現時点までの含水率データについて、詳細な考察は避けるが、図5-10からは、幅はぎ・積層接着TLユニットの含水率がコントロールTLや幅はぎTLより10%以上低い値で推移していることがわかる。このことから、幅はぎ・積層間の接着層はCLT壁体の劣化環境を良好に保つ要因の一つと考えられ、逆に接着剥離はCLTの劣化環境を悪化させると推察される。

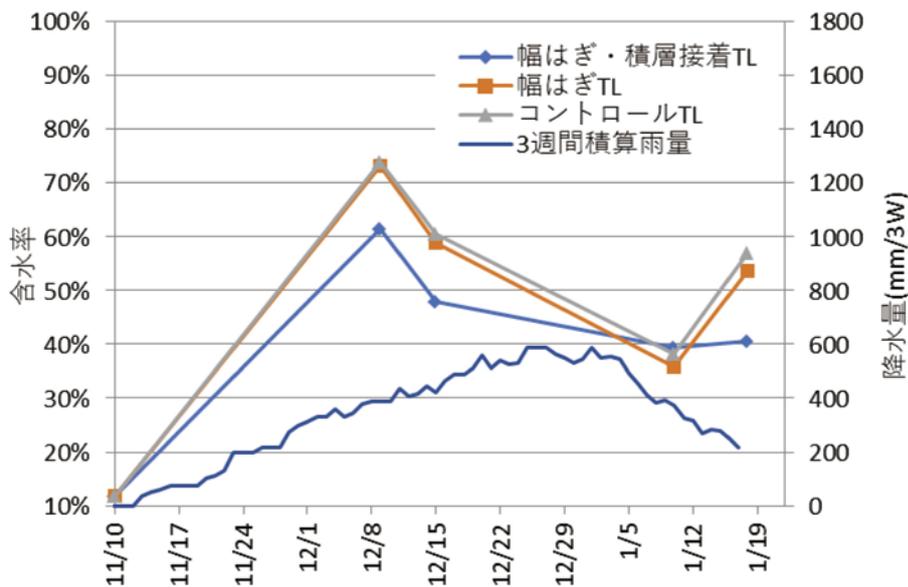


図5-10 幅はぎ・積層接着TLユニット等の含水率の推移

### 5.4.3 保存処理TLユニット直立曝露試験の結果

(1) 各試験地における保存処理TLユニットの劣化状況

各試験地の曝露2年目の劣化調査結果を、表5-6にまとめた。各保存処理TLユニットの被害度は、いずれの試験地でも平均で0.1以下、最も高い試験材でも1だったのに対し、無処理TLユニットは全ての試験材で腐朽が確認され、平均被害度は2.0~3.1で最大で被害度4の試験材も見られた。

曝露TLユニットの外観の例を写真5-5に示した。

表5-4 各試験地に設置した保存処理TLユニットの劣化調査結果(曝露2年目)

富山試験地				
	腐朽本数	腐朽率	被害度	最大値
AAC	0/全30本	0%	0.0	0
ACQ	0/全30本	0%	0.0	0
AZN	2/全30本	7%	0.1	1
AZNA	0/全30本	0%	0.0	0
CUAZ	0/全30本	0%	0.0	0
LP	0/全30本	0%	0.0	0
無処理	30/全30本	100%	2.7	4
つくば試験地				
	腐朽本数	腐朽率	被害度	最大値
AAC	1/全30本	3%	0.0	1
ACQ	0/全30本	0%	0.0	0
AZN	0/全30本	0%	0.0	0
AZNA	1/全30本	3%	0.0	1
CUAZ	0/全30本	0%	0.0	0
LP	0/全30本	0%	0.0	0
無処理	30/全30本	100%	2.0	3
奈良試験地				
	腐朽本数	腐朽率	被害度	最大値
AAC	0/全30本	0%	0.0	0
ACQ	0/全30本	0%	0.0	0
AZN	1/全30本	3%	0.0	1
AZNA	0/全30本	0%	0.0	0
CUAZ	1/全30本	3%	0.0	1
LP	0/全30本	0%	0.0	0
無処理	30/全30本	100%	3.1	4

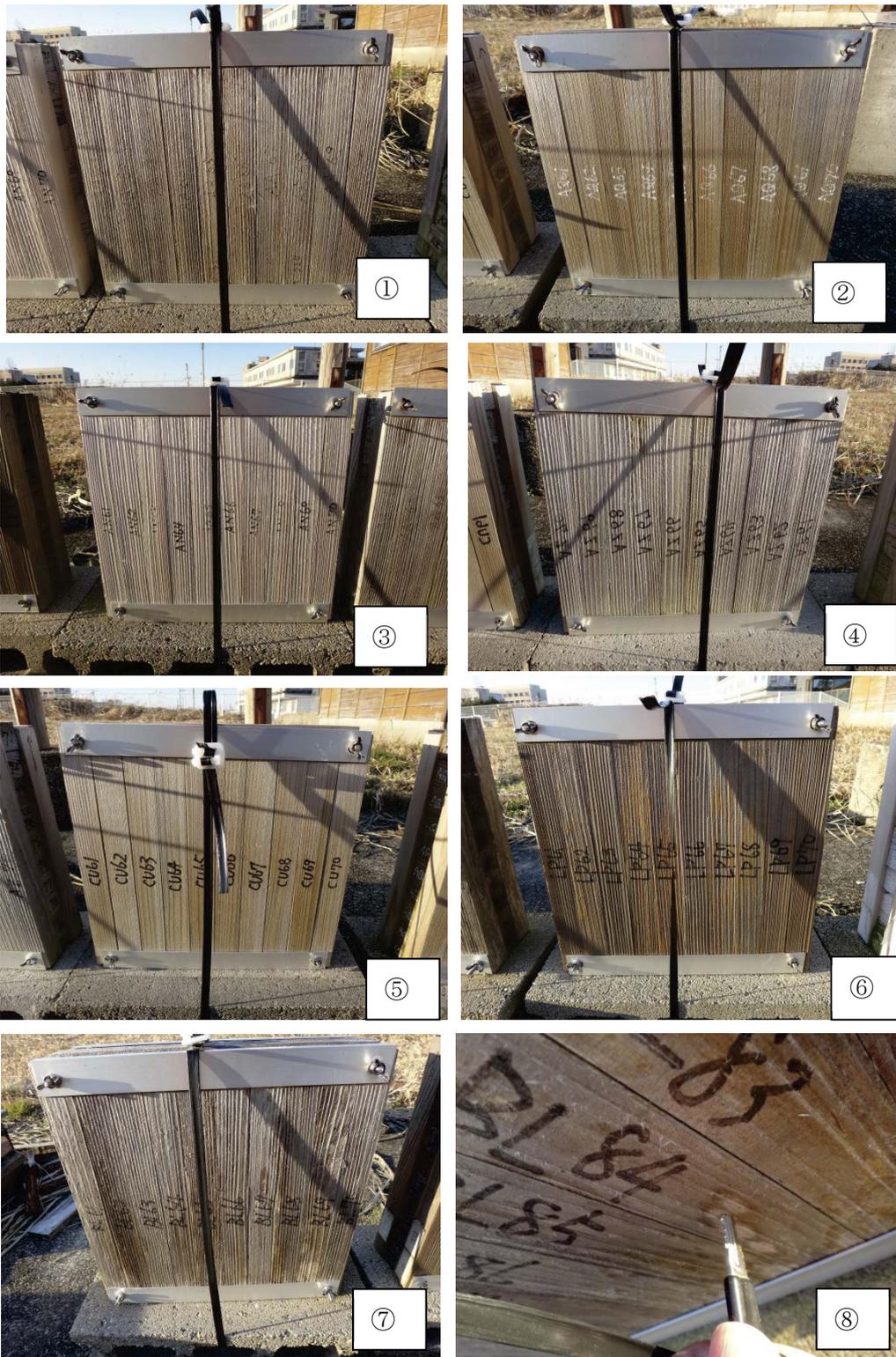


写真5-5 富山野外試験地の曝露2年目の保存処理TLユニット

- ①AAC ②ACQ ③AZN ④AZNA ⑤CUAZ ⑥LP  
 ⑦無処理 ⑧無処理材の腐朽部（カギが容易に陥入）

各試験地における無処理TLユニット各層の腐朽進行の様子を、図5-11にまとめて示した。被害進行の速度には試験地によって若干の差異があるが、いずれでも芯層の腐朽が激しいことがわかる。

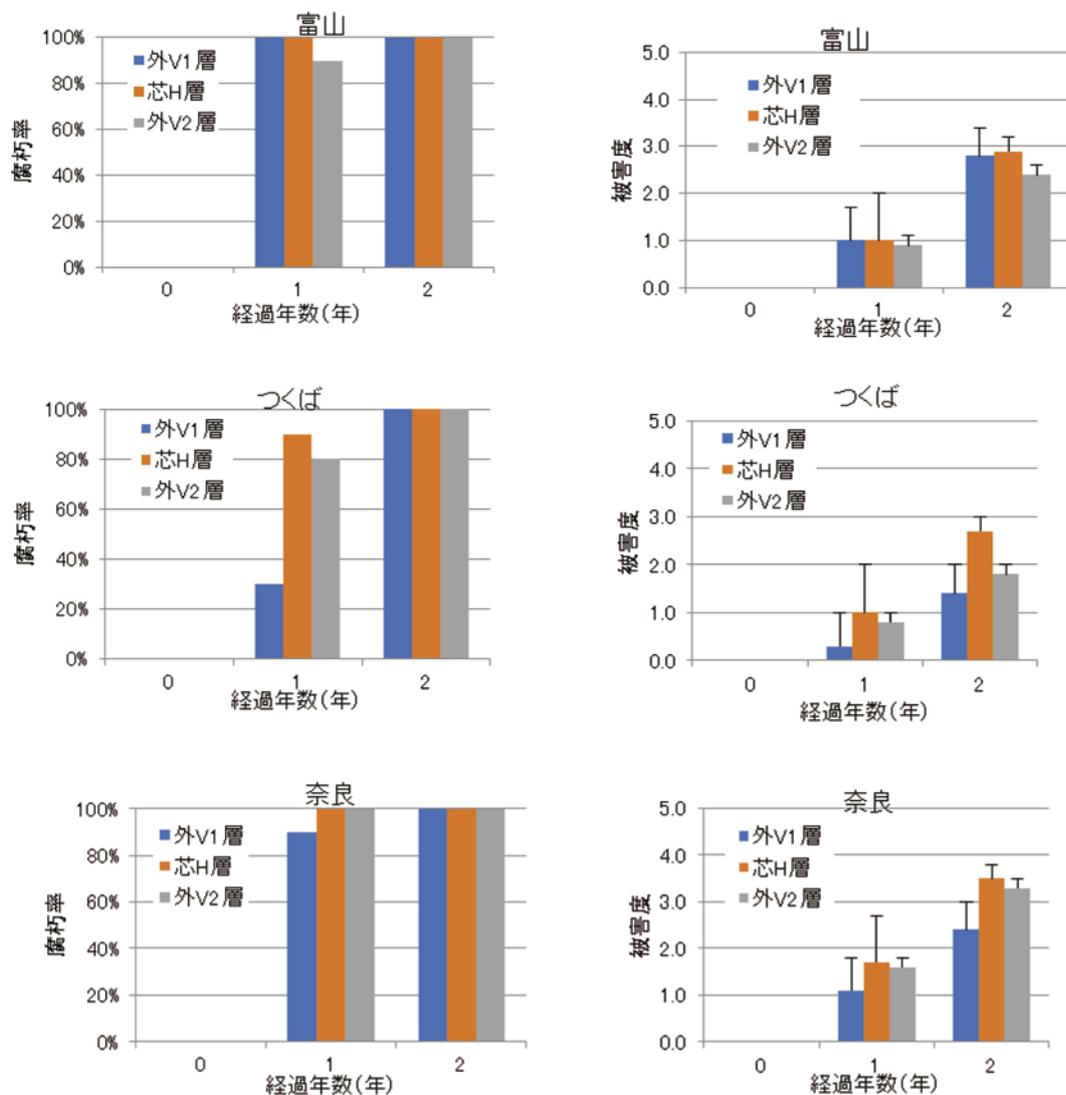


図5-11 保存処理TLユニット各層の腐朽率と被害度の推移

## 5.5 まとめ

本章では、使用環境に対応したCLT保存処理への要求性能のうち、構法的耐久対策のバックアップとしての要求耐久性能を把握するため、昨年度開始した幅はぎ接着TLユニットの曝露試験における劣化リスクの継続調査、幅はぎ積層接着TLユニットの曝露試験、保存処理TLユニット曝露試験の劣化状況の継続調査を行った。

幅はぎ接着TLユニットの15カ月間の曝露試験の結果、幅はぎ接着は劣化リスク、特に芯層のリスク軽減に寄与することが確認された。幅はぎ接着はCLT壁体の劣化環境を良好に保つ要因の一つと考えられ、逆に接着剥離やラミナ干割れはCLTの劣化環境を悪化すると推察される。

幅はぎ積層接着TLユニットの曝露試験では、曝露期間が短いため幅はぎ積層接着TLユニットの劣化リスクについて詳細な検討はできなかったが、幅はぎ・積層接着TLユニットの含水率はコントロールTLや幅はぎTLより低い値で推移していた。このことから、幅はぎ・積層間の接着層はCLT壁体の劣化環境を良好に保つ要因の一つと考えられ、逆に接着剥離はCLTの劣化環境を悪化させると推察される。

国内3カ所で実施している保存処理TLユニットの曝露試験では、無処理TLユニットでは芯層から全体へ腐朽が進行し、劣化が激しい試験材も見られたが、6種の保存処理TLユニットはほぼ健全であった。保存処理TLユニットの結果は、ラミナ処理CLTの耐久性能の裏付けデータとして期待される。

以上のように、本章では構法的耐久対策のバックアップとしての要求耐久性能を把握するためTLユニットを応用した曝露試験を実施し、使用環境に対応したCLT保存処理への要求耐久性能を把握するための多くの知見を得ることができた。しかし、曝露試験の経過年数としてはまだ十分とはいえ、さらに調査を継続することによってデータの信頼性を高める必要がある。最悪環境を想定したTLユニット曝露試験をアレンジすることにより、様々な使用環境における保存処理CLTの耐久性能を把握していく必要がある。そこでは第4章で実施中のCLT製品の曝露試験における干割れや接着剥離などのデータとTLユニット曝露試験結果の関連付けも、重要となってくる。

## 6 引用文献

- 1) J. Y. Wang, R. Starling, Paul I. Morris, A. Taylor, J. Loyd, G. Kirler, S. Lebow, M. E. Mankowski, Durability of mass timber structures: A review of the biological risk. Wood and Fiber Science, 50, 110-127, 2018
- 2) 日本木材防腐工業組合、CLT等新製品・新技術利用促進事業のうち耐久性等品質向上事業 事業報告書、2015年2月(平成25年度林野庁補助事業)
- 3) 日本木材防腐工業組合、CLT等新たな製品・技術の開発・普及事業 事業報告書、2016年3月(平成27年林野庁委託事業)



## 第6章 CLT等を用いた実使用建物の調査

### 6.1 はじめに

2010（平成22）年に公共建築物等木材利用促進法が施行され、住宅用途以外の木造建物が注目されたものの、文献1)-4)のように当初は木造の施行実績が大きく増えるような状況ではなかった。その後、2013年のCLT（直交集成板）の日本農林規格化や2018年の建築基準法改正=準耐火建築物の拡大など法的環境の整備、また脱炭素社会やSDGs、新型コロナ危機への対応など社会環境が変化する中で、特に非住宅建物への木材利用の機運が確実かつ急速に高まっている。

そのような状況にあって、今までの住宅レベルとは一線を画するような使用環境下にある木材・木質材料が確実に増加している。例えば1階RC+3階木造の4階建て非住宅建物の場合、木造の4階部分は住宅とは異なるレベルの風雨に曝されるし、木造の2階床で受ける地震力も3階建てとは異なる。準防火地域であれば原則として準耐火建築物でよい。

もちろん建物の耐火性能と耐久性能は直接リンクするものではないが、とは言えこの規模の建物には構造計算が必要であり、その建物の耐用年数に応じて構造性能を維持し続けることが前提となる。すなわち非住宅の中高層建物のCLT等の木質材料を利用し、もしくは中高層木造を実現し、かつ維持するためには、少なくとも住宅レベルとは次元の異なる耐久設計が必要である。そのような観点から、実使用環境下にある非住宅中規模建物の調査事例について、以下に紹介する。

### 6.2 建物A：九州地区独法関係 実験棟

#### 6.2.1 概要と特徴

本建物は、熊本県中央区黒髪の立田山中腹に建つ森林総合研究所九州支所内の実験棟である。元々、敷地内にRC造2階建ての実験棟があったが、2016年4月14日および16日に震度7の激震に見舞われ、全壊相当の被害を受けて使用不能になった。丘陵地の中腹にあって敷地が南向斜面に位置しているために地盤流動が発生したこと、建物2階に変電施設が入っていたため、トップヘビーな重量バランスになっていたことなども原因として挙げられよう。建物の復旧に際し補修は不可能と判断されたため、南側に隣接する敷地内に、文献5)-6)のようにCLTパネル工法による2階建て建物が建設された。

#### 6.2.2 建物の仕様

以下、図6-1も含め竣工時の設計図書による。

建物名：（国研）森林研究・整備機構 森林総合研究所九州支所 実験棟

住所：熊本県熊本市中央区黒髪4-11-16

建物規模：地上2階

構造：木造（CLTパネル工法）、

竣工：2018年3月

敷地面積：35,183m<sup>2</sup>

建築面積：1,113.63m<sup>2</sup>、延床面積：1,424.29m<sup>2</sup>、

（1F床面積906.24m<sup>2</sup> + ピロティ7.03m<sup>2</sup>、2F床面積511.00m<sup>2</sup>）

地域地区：都市計画区域内、第1種中高層住居専用地域、防火地域指定なし、法22条区域外  
建ぺい率（許容）60%、容積率（許容）200%、

耐火等 : 準耐火構造45分

木材使用量 : データなし

施主 : 森林研究・整備機構森林総合研究所

設計 : (建築) (有)E.P.A. + 永園設計(株) 共同体、  
(構造) 多田脩二構造設計事務所

施工 : (株) 上山建設

外部仕上 屋根 : ガルバリウム鋼板厚0.4タテハゼ葺き

外壁 : ガラス繊維ネット入/セメントモルタル板12.5mm+通気層15mm+防水シート+ロックウール保温板25mm+硬質木片セメント板18mm+CLT(構造体)+強化石こうB15mm、など(図6-2)

建築物の特徴は、1. スギCLTによるパネル工法(国交省告示611号)、2. 外壁イ準耐45分の準耐火建築物、3. 間仕切り壁など一部は外層ヒノキ+内層スギの異樹種CLT、また一部に燃えしる設計、4. 施工期間は、2017年7月~2018年3月、である。

その他特記事項としては、CLT製造元請けは山佐木材で、おもに壁CLTを山佐木材が、床(長さ12mなどの長尺部材を含む)を下請けの銘建工業が、それぞれ製造した。

また、設計ルートが告示611号CLTパネル工法によるため、接合金物の選択やへりあき寸法など、告示の仕様規定を満足する必要があるため、設計の自由度は相対的に低くなっている。外壁には15mmの通気層が設けられており、中高層に対応した設計仕様には、必ずしもなっていない。

### 6.2.3 設計・施工・部材調達上のポイント

工期がおよそ9ヶ月と短く、最後は突貫工事だった。熊本地震の復興・復旧工事であった影響から、熊本県全般に施工業者が不足しており、当該建物の施工も長崎県内でCLT建物の施工実績もある業者(上山建設)が受注した。コロナ以前ではあったが地震の影響で、建設資材の一部は品薄の状況も見受けられた。

CLTパネル=マザーボードの製造は順調だったが、工期があまりに短かったためCLTの細部加工が工場では行うことができず、所定のサイズにCLTパネルを裁断したような状態で現場に搬入された。このため金物の取付に必要な切り欠き、穴開け等の加工を現場で行う必要が生じ、現場へのしわ寄せ(施工手間の増加)がここでも生じた。

またCLTパネル工法の場合、基礎コンクリート上面のレベルが±10mm程度の施工誤差が生じるほか、CLTと基礎コンクリートを筋結するアンカーボルトの施工誤差も±5mm程度あることから、1階壁脚部のCLT施工がボトルネックとなった(写真6-1)。すなわち引きボルトが所定の位置にある場合はCLT壁1枚あたり10分程度で施工できるものの、穴位置があわない場合はCLTのボルト穴を現場でふかす作業が生じるためCLT壁1枚に1時間ほどかかるケースも認められた。また前述のコンクリート上面の施工誤差に対応するため、あらかじめ引きぼると脚部に入れたナットで高さのレベル出しを行い、コンクリートとCLTとのクリアランスにモルタルをあとからコテ充填して対応した(写真6-4)。

さらに2階建てながら、1階床面積が約900m<sup>2</sup>、2階床面積が約500m<sup>2</sup>あることから、降雨時にフロア全体をシート養生することができず、ブルーシートのラップ部分(つなぎ目)から床上にたまった雨水が漏れるなど、止水対策に課題が残った(写真6-2~6-3)。

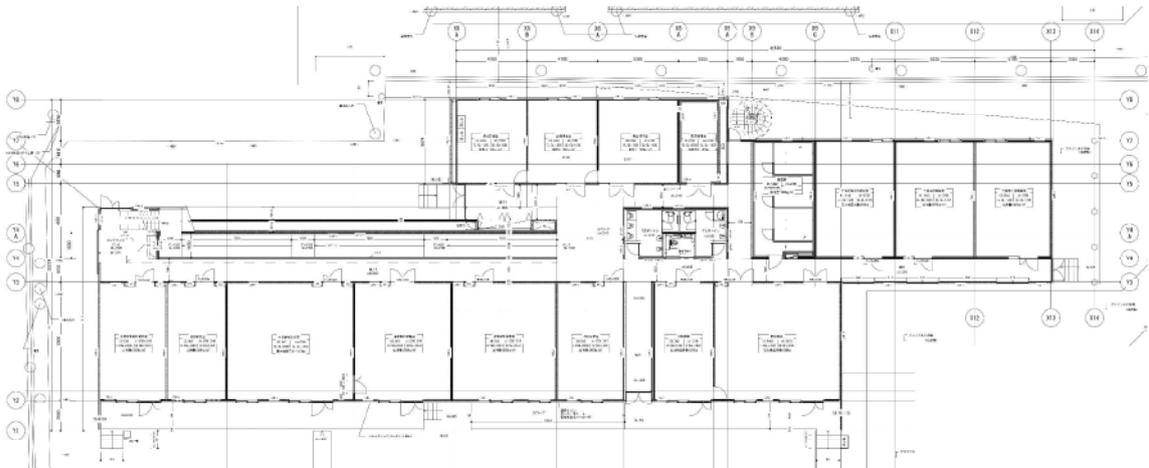


図6-1 1F平面図（森林総合研究所提供資料）

#### 6.2.4 2017年10月～2018年3月における施工中の建物の状況



写真6-1 建方状況と基礎コンクリートに配置された接合金物  
(2017年10月・写真撮影・提供は特記ある場合を除き全て執筆担当者(新藤))



写真6-2 (2017年12月撮影)



写真6-3 (2017年12月撮影)



写真6-4 (2017年12月撮影)

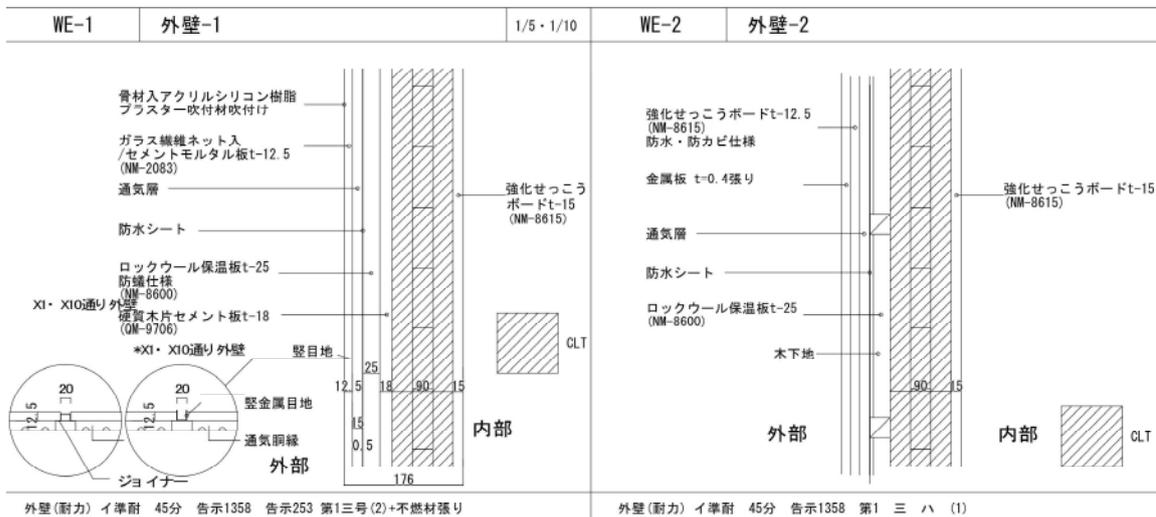


図6-2 断面詳細図 (森林総合研究所提供資料)

### 6.2.5 2018年5月竣工時と最近2022年11月の建物状況

写真6-5～6-10のように、1Fの軒の出も深く、CLT等構造材が外部に全く露出していない設計となっている。建築計画上の配慮もなされており、築年数も浅く耐久性上の問題点はない。



写真6-5 竣工時南面外観（2018年5月撮影）



写真6-6 直近南面外観（2022年11月撮影）



写真6-7 竣工時南面外観（2018年5月撮影）



写真6-8 直近北面外観（2022年11月撮影）

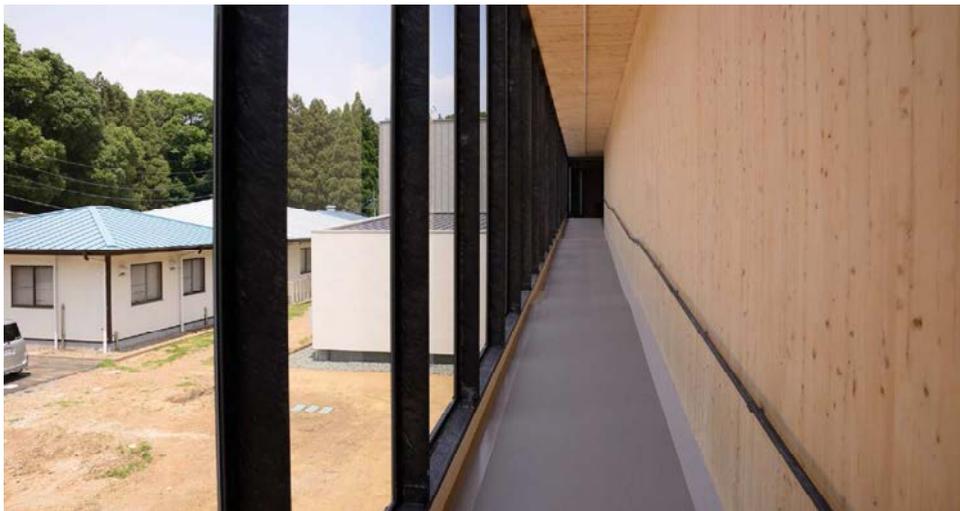


写真6-9 竣工時北側スロープ内観（2018年5月撮影）



写真6-10 直近北側スロープ内観（2022年11月撮影）

### 6.3 建物B：九州地区学校関係 管理棟

#### 6.3.1 概要と特徴

本建物は、熊本県人吉市の県立高校敷地内に建つ管理棟であり、敷地条件に防火規制は設定されていない。主な構造は木造で、一部に防火区画（1,000m<sup>2</sup>以下）を兼ねた鉄筋コンクリート（以下、RCと記す）造がある。何と云っても特徴的なのは、建物の外周および建物中央中庭部に配置された構造躯体、逆三角形の「壁柱」で支えられていることである（文献7）-8）。これは、120×180（一部210）mmのスギ一般流通材（製材）5本を接着した「接着合わせ材」を1ユニットとし、各ユニットどうしを、やといざねおよび木ダボによって、計9ユニット程度を乾式接合されている。このため外観上、柱がなく非常に特徴的なデザインとなっている。

熊本県では、「くまもとアートポリス」という取り組み（事業）を行っている。文献9）によれば、「熊本県下を舞台に豊かな自然や歴史、風土を生かしながら、後世に残り得る文化的遺産としての優れた建造物を造ります。人々の都市文化、建築文化などへの関心を高め、地域の活性化に資する熊本独自の豊かな生活空間を創造します」とのことで、本建物は、その85番目の建物である。

前述の乾式接合をはじめ、施工の困難性、複雑怪奇な平面・屋根形状、建物内部にも飛び出してくる逆三角形の壁柱など、必ずしも有利な点ばかりではなさそうだが、それも含めて個性的な木造の、木を使った景観を生み出していることは、揺るぎのない事実である。

#### 6.3.2 建物の仕様

以下、文献7）による。

建物名： 熊本県立球磨工業高校管理棟

住所： 熊本県人吉市城本町800

建物規模： 地上2階（渡り廊下一部3階）、

構造： 木造一部RC造、（渡り廊下S造）、

竣工： 2013年7月

敷地面積： 70,097.00m<sup>2</sup>

建築面積： 1,094.36m<sup>2</sup>、延床面積： 1,711.75m<sup>2</sup>、ほか容積率不算入部分が24.72m<sup>2</sup>

地域地区： 都市計画区域内、未線引区域、第1種低層住居専用地域、

防火地域指定なし、法22条区域外

建ぺい率（許容）50%、容積率（許容）80%、

耐火等： その他建築物（準耐火建築物等の要件なし／詳細は文献12）参照

木材使用量： データなし

施主： 熊本県

設計：（建築）ワークステーション・モードフロンティア・萩嶺設計 共同体、

（構造）昭和女子大学森部研究室・高田隆構造設計事務所

施工： 味岡・速永建設工事 共同企業体

外部仕上 屋根： ガルバリウム鋼板厚0.4立てハゼ葺き

外壁： スギ板厚15（ホウ酸による防腐・防蟻処理）＋木材保護塗装

RC化粧打ち放しの上シリカ系着色撥水剤塗布

外建具： カーテンウォール、アルミ建具

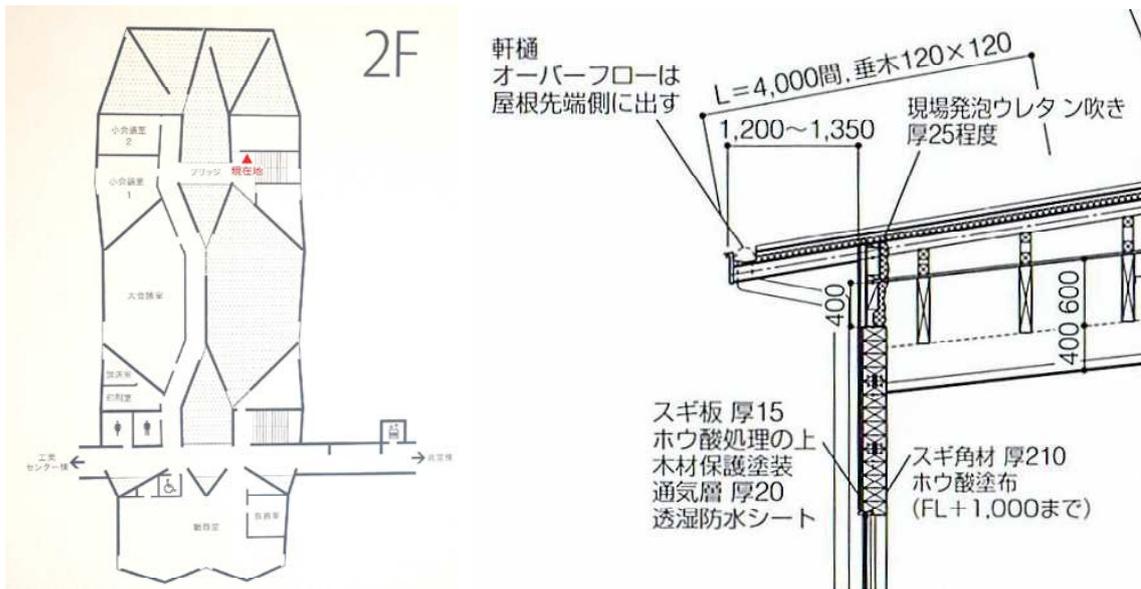


写真6-11 2F平面図（2013年12月撮影）図6-3 断面詳細図（参考文献7）を抜粋・加工

建築物の特徴は、1. スギ製材接着合わせ材で造られた逆三角形の壁柱が主要構造材、2. 壁柱を構成するユニットを、やといざね+木ダボで接合。さらに材長も4m以下とし、軸(長手)方向も木ダボにて接合、3. ほかに、一部E70以上が求められる部材については、アカマツ、ベイマツ集成材を使用、4. 設計期間は、2011年3月～2011年12月、5. 施工期間は、2012年7月～2013年7月、とのことである。

その他特記事項としては、壁柱のスギ製材接着合わせ材は、山佐木材で製作（文献7,11）、くまもとアートポリスについては、文献9)のURLサイトを参照されたい。

人吉という地域は、「年間100日霧が発生する」といわれるほど霧の多い地域であるため、外壁の壁柱には、ホウ酸処理+木材保護塗装した厚15mmのスギ板を外装材に用いた。また外装材のスギ板の下に20mmの通気層を設けた。

平面図のイメージを写真6-11に示す。図面の詳細（配置図・平面図・断面図）は、文献7)-8)を参照されたい。

### 6.3.3 設計・施工・部材調達上のポイント

工期が1年と短く、最後は突貫工事だった。六角形を組み合わせたような平面計画になっており、長方形ではないため建設機械の配置が難しかった、とのことだった。

壁柱はスギ製材。雇い実はヒノキ、木ダボにはメイプルを使用した。床フローリングはヒノキ。使用した木材の約95%が熊本県産材で、うち約1/2が球磨・人吉地域産材だった。

当初設計では壁柱を外壁あらわしとしていたが、霧が多い地域であることを考慮して、樹脂含浸木材を貼りつけて保護した。

また、延べ面積3,000m<sup>2</sup>以下であって、高さ13m以下、かつ軒高9m以下、2階建て以下、かつ学校の用途に供する床面積の合計が3,000m<sup>2</sup>以下の建物であれば、「その他の建築物」に分類され、耐火建築物、準耐火建築物としなくてもよいため、この建物が実現したとのことである。なおその他の建築物であっても、1,000m<sup>2</sup>ごとに防火壁で区切る必要は生じる、とのことである。

ほか、文献7)に以下のような記述がある。

- ・設計者は「木の洞窟」をイメージする提案をした。
- ・壁柱のスギ製材の乾燥法と、含水率管理に苦労した。
- ・壁柱のユニットを軸(長手)方向に木ダボによって縦つぎする工法については、曲げ実験をして強度の確認を行った。
- ・壁柱は地組したのち、建方を行った。敷地が狭く、クレーンの設置場所・壁柱パネルの置場・地組スペース等が確保できなかったため、工区を4つに分け、順次組み立てていった。施工誤差も含め、とにかく苦労した。
- ・スギ製材は一般流通材を使用したため、調達に苦労はなかった。ただし構造材は含水率20%以下、造作材は15%以下との指定があったため、その管理に苦労した。

#### 6.3.4 2013年12月時点における建物使用者へのヒアリング

2013年12月に、当時の林野庁補助事業(文献10))「木材を使った街づくりに向けて一木材産業等活性化総合対策事業(文化用品等市場開拓型)」の一環で当該建物の調査を実施しており、建物使用者(学校職員)へのヒアリングを実施している(写真6-11~6-17)。

訪問日 : 2013年12月16日(月)

訪問者 : 軽部正彦、新藤健太(森林総研)、久田卓興(全木協連)

建物使用者: 佐野次郎(校長)、的場俊博(事務長)、岡本秀一(事務主査)、ほか

- ・壁柱が逆三角形をしているため、1Fは開口部が多く、明るいが、2Fは壁ばかりとなるため、暗い部屋が多い。
- ・壁柱は室内にも配置されているため、壁柱を回り込まなければならないような通路や入り口では歩きにくく、また壁柱の脚部にデッドスペースが発生してしまう。
- ・突貫工事の影響か、建具が開きにくいといった不具合が一部あったが、現在では改修(改善)されている。
- ・吹き抜けとなっている図書室では、空調が効きにくく、寒い(調査時は12月)。このため、室温を毎日記録している。空調計画については、今後、再検討する必要がある。



写真6-12 建物外観(2013年12月撮影)



写真6-13 屋根折板（谷もある複雑な形状）（2013年12月撮影）



写真6-14 1F図書室（2013年12月撮影）



写真6-15 2F会議室（2Fは壁が多く開口部少ない）（2013年12月撮影）



写真6-16 2F廊下（平面計画が複雑でくねっている）（2013年12月撮影）



写真6-17 玄関エントランス部（通路にも壁柱が配置）（2013年12月撮影）

### 6.3.5 2022年11月における建物の状況

本事業において、当該建物を9年ぶりに訪れ、概況調査を行った。概略は以下の通りである（写真6-18～6-22）。

訪問日：2022年11月24日（木）

訪問者：中島正夫（関東学院大学）、宮武 敦、中川美幸、新藤健太（森林総研）、  
建物使用者：原田 茂（校長）、上村一夫（教頭）、松葉英星（建築科主任）、ほか

建物の外観を構成する厚15mmのホウ酸処理したスギ板は、変色や退色が認められたものの、腐朽や蟻害は認められなかった。高周波式含水率計を用いて何カ所かサンプリング測定したが、参考値ながら10～15%程度と特段の異常はなかった。

内装側には、本建物の最大の特徴である、スギ製材を用いた接着合わせ材による三角形の壁柱が表しとなっているが、製材の乾燥割れは一部に認められたものの軽微であった。特筆すべきは接着合わせ材の接着層で、こちらも1階および2階の数カ所について、目視による観察および厚さ0.05mmのシクネス（隙間）ゲージを用いたはく離調査を行ったが、長さ50mmを超えるようなは

く離は認められず、きわめて良好な状態であることが解った。また高周波式含水率計による測定値も10～15%の範囲であった。

文献7)においてウッディーファームの坂田氏が「木材の流通 (P38)」で、「スギの乾燥は難しい。15%以下を要求されても、応えることはできない。また、測定値が全乾法か高周波含水率計の数値かによって変わってくるが、本建物では全乾法で20%以下となり、熊本県林業研究指導所の池田さんの指導を受けて納入した。」と述べられており、施行当時製材の乾燥に苦労された様子がうかがえる。少なくとも今回見た範囲では、接着はく離は確認できなかったことから、その苦労が報われたものと推察される。

今回 (2022年11月時点) も、建物使用者へのヒアリングを行った。

- ・コロナ禍にあって換気の重要性が指摘されているが、本建物には開口部 (窓) が非常に少なく、風通しも悪い。効率的に換気が行えないのが難点。
- ・建物の構成要素 (三角形の壁柱) によって水平・垂直の柱・はりがなく、かつ平面形状も矩形でないため、机や家具の配置といった使い勝手はよくない。
- ・特に2階の廊下は平面的にくねっている上に、壁柱が登り梁のように斜めに立ち上がっているため、平衡感覚に狂いが生じる。赴任してからしばらくは目眩がした。
- ・2階廊下の状況は先ほどの通りだが、2階の会議室も窓側と壁側が平行ではなく、かつ天井が斜めに設置されているため、平衡感覚が狂って落ち着かない。また会議室にはほとんど窓がなく、暗い状況も以前と同様である。
- ・天井や床には断熱材が入っているのだろうが、壁にはほぼ入っていないため、窓周りに結露が生じるほか、夏場は早朝から室温が上がってしまう。ここでも換気の悪さが目立つ。
- ・建った当初、1階図書室と2階廊下が吹き抜けになっていて仕切りがなかったため、図書室のエアコンがほとんど効かず、冬は非常に寒かった。このため2階廊下との間にアクリル板を設置して仕切りを設け、暖房効果を高める工事をしたほか、エアコンの数も増設した。
- ・普段使っている限り、雨漏りや浮き、腐れ等の不具合はない。ただし建具 (ドア) の閉まりが悪いといった不具合は発生している。
- ・2020年7月に発生した人吉・球磨川水系の水害の際は、本建物は丘の上にあるため浸水等の被害はなかった。また大型台風直撃といった被害も受けていない。ただし2020年7月の水害の際は、人吉駅付近の球磨川に近い土地では浸水した地域があったほか、本建物導入路の斜面が崩壊した。現在もブルーシートによる応急処置の状態が続いている。
- ・維持管理のための費用 (予算) はない。致命的な不具合が発生すればその都度要求することになるが、公道から校門に通じる道路の斜面崩壊でさえ、1年経ってもいまだに補修の目処が立たない。理想的には定期的に外壁の塗装などを行った方がよいのだろうが、県や教育委員会がそのような体制にしてもらえない。ちなみに崩壊した斜面にはブルーシートで応急措置をしているが、大雨になると下の道路に崩れることがあり、緊急性も高いのだが……。
- ・父兄や来場者には、この木造事務棟の評判はよい。



写真6-18 建物外観－東南面（2022年11月撮影）

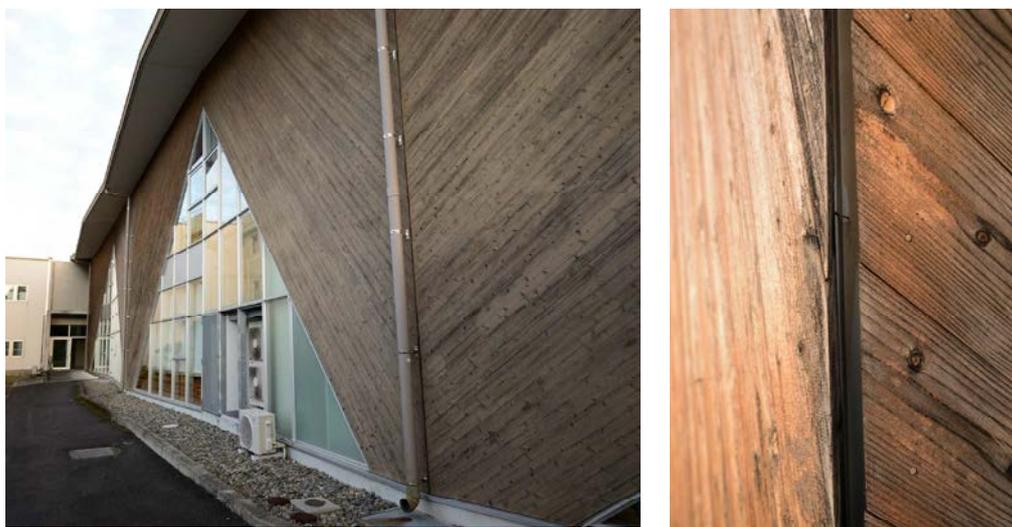


写真6-19 建物外観－西面（2022年11月撮影）



写真6-20 図書室（2022年11月撮影）



写真6-21 建物外観(2022年11月撮影)

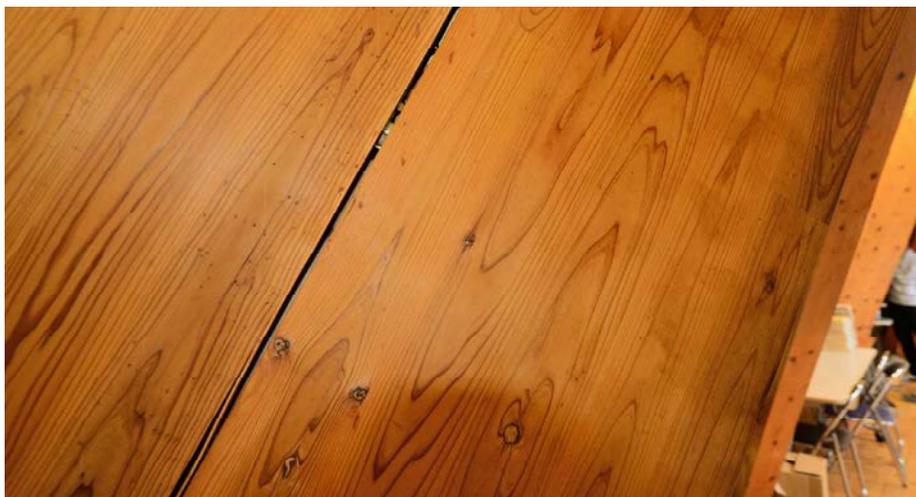


写真6-22 接着合わせ材－壁柱詳細(2022年11月撮影)

#### 6.4 まとめ

実使用環境下にある非住宅の中層・中規模建物について2物件、現地調査を行った。国土交通省告示611号によるCLTパネル工法は施行から日も浅く、経年劣化が顕在化するほどの状況ではないため、CLTパネル工法に設計・施行に近い建物についても調査対象とした。

1. 劣化調査の結果、建物A/（熊本市）については築年数が4年半と浅く、構造上主要な部分（躯体）であるCLTが屋外側に露出することなく外装材で覆われた構造形式であることもあり、総じて劣化はほとんど確認されなかった（写真6.6）。

2. 一方建物B/（人吉市）（築10年）については構造上主要な部分である接着合わせ材を接合した壁柱（壁パネル構造）が外側に設けられた通気層と保存処理木製外装材で覆われているが、外装材の経年劣化が認められ、保存処理薬剤による再塗装や部分的には補修・交換等の維持管理が必要な状況であった（写真6.18、6.19）。

3. 非住宅の中層・中規模建物への木材利用の機運が高まっているが、特に中層以上を木造とする場合、耐震性も含め劣化外力は住宅レベルとは異なってくる。当然こうした規模の建物、特に外装に近い部分にCLT等の木質材料を利用するためには、住宅とは異なる耐久設計が必須である。また公共物件等、維持管理や交換がしにくい建物ほど建築計画上の配慮が求められるほか、構造上主要な部分にはより耐久性の高い保存処理技術の確立も必要であろう。

4. 中規模建物への木材利用という方向性は間違っていないものの、柱やはりといった構造上主要な部分に木材を選択する場合には、より耐久性の高い保存処理を施したCLT等の選択も当然考慮すべきである。現状で建築基準法施工令が定める「GLから1m以内に有効な防腐措置を講ずる」ことが防腐塗装で十分であるはずはなく、また中層の場合は最上階の外壁屋や根回りにも、その対象を広げるべきであるかも知れない。まずは第一歩として、保存処理CLTの日本農林規格(JAS)等規格化が求められる。

#### 【参考文献】

- 1). 新藤健太, 軽部正彦, 久田卓興: 民間資本による中・大規模木造建築物の普及へ向けた課題 その1. 調査対象建物の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1構造Ⅲ, pp.187-188, 2012.9
- 2). 軽部正彦, 新藤健太, 林 知行: 民間資本による中・大規模木造建築物の普及へ向けた課題 その2. 調査結果および課題, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1構造Ⅲ, pp.189-190, 2012.9
- 3). 軽部正彦, 新藤健太: 民間資本による中・大規模木造建築物の普及へ向けた課題 その3. 平成24年度調査の概要, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1構造Ⅲ, pp.581-582, 2013.8
- 4). 新藤健太, 軽部正彦, 小木曾純子: 民間資本による中・大規模木造建築物の普及へ向けた課題 (その2), 日本木材学会大会要旨集CD版, H13-P-02, 2014.3
- 5). 森林総合研究所HP: <http://www.ffpri.affrc.go.jp/kys/shishoshokai/shisetsu/jikkentou.html>
- 6). 日本CLT協会HP: <https://clta.jp/wp-content/uploads/2021/08/ce317176dbb77acb8ca045ca69a3e180.pdf>
- 7). architectural design 熊本県立球磨工業高校管理棟: 建築技術, No.767, pp.12-39, 2013年12月
- 8). 日経アーキテクチャー, 2013年9月10日号(No.1007), pp.56-63, 日経BP社, 2013年9月
- 9). パンフレットーくまもとアートポリスガイドマップ: くまもとアートポリス事務局(熊本県土木部建築住宅局建築課内)発行, 2012年, <http://www.pref.kumamoto.jp/site/artpolis/>
- 10). 平成25年度林野庁補助事業「木材を使った街づくりに向けてー木材産業等活性化総合対策事業(文化用品等市場開拓型)」報告書, pp.111-116, 全国木材協同組合連合会, 2014年3月
- 11). 山佐木材HP: <https://woodist.jimdo.com/>「教育施設の施工実績 熊本県立球磨工業高校」で検索

(6章執筆担当: 新藤)

## 強度試験用保存処理CLTの製造条件 Manufacturing Conditions of preservation treatment CLT

（森林総研）○新藤健太，宮武 敦，井道裕史，鈴木賢人，  
（関東学院大）中島正夫，（防腐工業組合）関澤外喜夫  
（FFPRI）OKenta SHINDO, Atsushi MIYATAKE, Hirofumi IDO, Kento SUZUKI,  
（Kanto-Gakuin Univ.）Masao NAKAJIMA, （JWPIA）Tokio SEKIZAWA

### 【はじめに】

CLTの日本農林規格（JAS）においては保存処理を施した場合の規程がない一方、建築基準法施行令では構造上主要な部分について、GLから1m以内に有効な防腐措置を講ずるよう定められている。防腐措置には塗布等も含まれるが、ここではより信頼性が高いとされる加圧注入による保存処理を施したCLTについて、その製造条件を比較した。

### 【保存処理CLTの製造条件と考察】

加圧注入を伴うCLTの製造に関する変動要因を表1に示す。使用環境はA、保存処理条件は集成材等K3相当のうちの3種類とし、比較のため無処理を含め計4種類とした<sup>1)</sup>。このうちAAC、ACQはインサイジングしたラミナに加圧注入後積層接着してCLTを製造した（ラミナ注入）。またAZNはインサイジング無しで製造したCLT板に加圧注入したが（製品注入）、注薬缶の径の都合上、およそ2.0mと0.4mにあらかじめ切断した上で製品注入を行った。CLTの材料性状は、いずれもスギ・Mx60-5-5、積層接着にはレゾルシノール系樹脂接着剤を用い、幅はぎ接着はしていない。それぞれ6×2.4mのマザーボードを1種類につき3枚、計12枚製造して、曲げ、せん断、引張り、圧縮、接合部の各試験体を切り出した（前述の通りAZNは2枚に分割して注入後切り出し）。

CLT試験体の製造に際しては実用化を前提として工場での生産が可能な仕様とした。ラミナ幅は105mm、厚さは30mmを目指したがラミナ注入後の寸法変化の影響で厚さ29mmとなったため、5層5プライの仕上がり厚さは145mmになった。またAAC、ACQのインサイジングは幅13mm、深さ8mm程度としたが、刃物形状が若干異なっていたため深さ等も同一ではなかった。ラミナは70℃程度の中温乾燥とし、特にラミナ注入後に再乾燥させ、抜き取りにて含水率を高周波式含水率計で測定したところ約3～8%であった。

積層用接着剤については、使用環境Aおよび防腐処理との相性を考慮してここではレゾルシノール系樹脂（RF）接着剤を選択した。このため養生時間は秋冬期の加温と合わせ6時間程度を確保することとなり、工場の製造サイクルとの関係上、マザーボードの製造は1日1枚にとどまった。

またラミナ処理試験体製造時に発生する防腐薬剤を含んだ削りくずの分別・廃棄方法の問題や、製品処理試験体加圧注入後に発生する寸法変化に伴う仕上げプレーナー加工の必要性の問題など、それぞれに特徴的な課題が認められた。なおこれらの防腐処理に伴う各種強度への影響の有無については、別途報告の予定である。

【参考文献】1) 令和元年度林野庁補助事業「中高層木造へのCLTを利用する場合の保存処理の必要性とその耐久性評価に関する調査研究（委員長：中島正夫）」成果報告書、日本木材防腐工業組合H.P., 2021.02

【謝辞】本研究の一部は、令和2年度林野庁補助事業「合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策のうちCLT建築実証支援事業のうちCLT等木質建築部材技術開発・普及事業」に拠った。

表1 試験体一覧

マザーボード番号	樹種・強度等級	ラミナ寸法	接着剤	保存薬剤*1	注入	インサイジング	強度試験項目	特記
No.1-3	スギ Mx60-5-5	幅105- 厚29mm	RF	無処理	—	なし	曲げ・せん断 圧縮・引張り 接合部・ラミナFJ	比較用・防腐処理なし
No.4-6				ACQ	ラミナ	あり		ラミナ切削屑分別廃棄に課題
No.7-9				AAC	ラミナ	あり		ラミナ切削屑分別廃棄に課題
No.10-12				AZN	製品	なし		仕上げプレーナー加工に課題

\*1 ACQ：銅・アルキルアンモニウム化合物系（水性）  
AAC：アルキルアンモニウム化合物系（水性）  
AZN：アゾール・ネオニコチノイド化合物系（油性）

「日本建築学会大会学術講演梗概集（参考資料）：C-1構造Ⅲ、pp. 103-104、2022. 09」

## 保存処理条件が異なるCLTの製造

CLT 保存処理 加圧注入  
 インサイジング

正会員 ○新藤 健太 \*1 同 宮武 敦 \*1  
 同 中島 正夫 \*2 同 井道 裕史 \*1  
 同 鈴木 賢人 \*1

### 1. はじめに

CLTの日本農  
 林規格(JAS)に  
 においては保存処  
 理を施した場合  
 の規程がない一  
 方、建築基準法  
 施行令第49条2

では「構造耐力上主要な部分の、GLから1m以内に有効な防腐措置を講ずる」よう定められている。防腐措置には塗布等も含まれるが、ここではより信頼性がより高いとされる加圧注入による保存処理を施したCLTを実際に製造<sup>1)</sup>し、その処理条件や影響について比較した。

### 2. 試験体の概要と製造条件

#### 2.1 試験体の概要

試験体一覧を表-1に示す。CLT（直交集成板）の日本農林規格<sup>2)</sup>（以下、JAS）により樹種・強度等級はスギ・Mx60-5-5とし、積層接着にはレゾルシノール・フェノール樹脂接着剤（PRF）を用いて、幅はぎ接着はしていない。またたて継ぎは水平型フィンガージョイント（以下、FJ）（FJの加工形状がラミナの厚さ方向に生じるタイプ）、接着にはメラミン樹脂接着剤を用いた。ラミナの幅や厚さについては後述する。使用環境はA、保存処理条件は今回、集材材<sup>3)</sup>等K3相当のうちの3種類とし、比較のため無処理を含め計4種類とした。

原料ラミナ（厚34×幅128mm）約15,300枚の曲げヤング係数分布を図-1に示す。またここから抜き出した製造用ラミナ（厚33×幅118mm）の曲げヤング係数分布を図-2に示す。原料ラミナ（図-1）の曲げヤング係数8.0(GPa)を境に内層用M30と外層用M60とにそれぞれ振り分けた。製造用ラミナ（図-2）より、M30用ラミナのピークは7.0-7.5(GPa)となっており、総じて高めの設定となった。よってM30内層用ラミナの平均値は6.72(GPa)、M60外層用ラミナの平均値は9.38(GPa)となった。

CLT試験体の製造に際しては実用化を前提として工場での生産が可能な仕様とし、愛媛県のCLT工場にておおよそ6×2.4mのマザーボードを各3枚ずつ、計12枚製作した。接着剤塗布量は

表-1 試験体一覧

マザーボード番号	樹種・強度等級	ラミナ寸法	接着剤	保存薬剤*1	注入	インサイジング	強度試験項目	特記
No.1-3	スギ	幅105-厚29mm	PRF	無処理	—	なし	製品::曲げ・せん断・圧縮・引張	比較用・保存処理無し
No.4-6				ACQ	ラミナ	あり	ラミナ:引張・曲げ	ラミナ切削層別に課題
No.7-9				AAC	ラミナ	あり	接合部:ボルト等	ラミナ切削層別に課題
No.10-12				AZN	製品	なし		仕上プレーナー加工に課題

\*1 ACQ : 銅・アルキルアンモニウム化合物系 (水性)  
 AAC : アルキルアンモニウム化合物系 (水性)  
 AZN : アゾール・ネオニコチノイド化合物系 (油性)

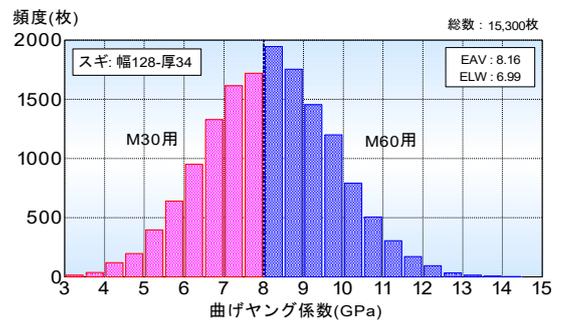


図-1 原料ラミナの曲げヤング係数分布

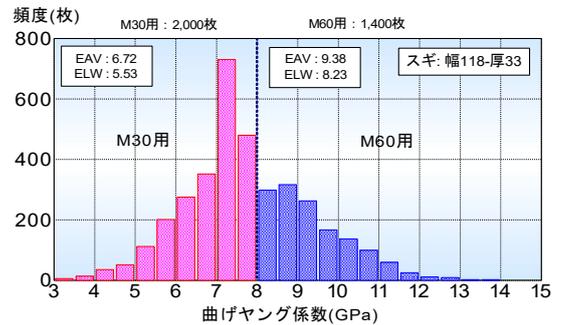


図-2 製造用ラミナの曲げヤング係数分布

260g/m<sup>2</sup>を目標とした。

#### 2.2 保存処理条件

加圧注入による保存処理条件を表-2に、ラミナ等の処理に伴う材料の移動を図-3にそれぞれ示す。ACQ、AAC（いずれも水溶性薬剤）は上下面にインサイジングを施したラミナ加圧注入後に積層接着（以下、ラミナ注入）してCLTを製造した。またAZN（油性薬剤）はインサイジングの無いCLT製品に加圧注入（以下、製品注入）

表-2 各保存薬剤とインサイジング処理等

マザーボード番号	ラミナ強度等級	保存薬剤	注入場所	注入方法	インサイジング		浸潤度—各基準値	
					寸寸法(mm)	密度(個/m <sup>2</sup> )	CLT-AQ	集材材-JAS
No.1-3	スギ	無処理	—	—	—	—	—	—
No.4-6		ACQ	大阪府*1	ラミナ処理	W10-T2-D10*1	4,200*1	合格	合格
No.7-9	M60(外層)	AAC	群馬県	ラミナ処理	W10-T2.5-D8	3,373	合格	合格
No.10-12	M30(内層)	AZN	茨城県	製品処理	なし	なし	合格	合格

\*1 石川県にてラミナ・インサイジング後、大阪府にて注入処理（ラミナ製造・CLT製造場所は、愛媛県）

したが、注薬缶の最大径の都合上、およそ幅2.0mと0.4mにあらかじめ切断した上で製品注入を行った。

ラミナ注入試験体ACQおよびAACについては、いずれもCLT工場にて乾燥+荒取り+等級区分したラミナを各保存処理工場等に搬入し、インサイジング+加圧注入後すぐにCLT製造工場へ送り戻し、中温再乾燥を行った。乾燥終了時にラミナ数十枚を高周波式含水率計で抜き取り検査したところ、含水率はACQが3.0~12.0%(平均4.16%)、AACが3.0~5.6%(平均3.54%)であった。しかしながらこの時の含水率の製造上の取り扱い(単に水なのかあるいは有効成分を含む薬剤なのか)については定義も含め、議論の余地があろう。

### 2.3 試験体の製造結果と考察

ラミナ注入時の断面寸法は厚33×幅118mmであったが、写真-1のように厚さ方向の反りや膨らみなどが発生し、再乾燥後も元に戻ることはなかった。そのため上下各2mmずつ削る必要が生じ、最終的にラミナ断面は厚29×幅105mmになった。よって5-5の製品仕上がり厚さも145mmとなったほか、製品処理AZN試験体ならびに無処理試験体についても、ラミナ注入試験体に合わせて、ラミナ厚29×105mm、製品厚さ145mmで統一した。試験体の製造時期が11月頃となり、加温等の影響からマザーボードの製造は1日1枚にとどまった。

一方、製品注入したAZN試験体のCLTマザーボード3枚のうちの1枚(No.12)に写真-2のような比較的大きなはく離状の浮きが観察された。浮き高さの最大値は約15mmほどであったほか、それ以外の2枚(No.10, No.11)も、ラミナの幅反りが全体的に認められた。

今回、ラミナ注入に際しては、各薬剤ごとに自社工場にて加圧注入を行ったため、図3のように愛媛県のCLT工場と、群馬県や石川県+大阪府、茨城県の各注入工場とを、材料が行ったり来たりすることになり、材料の横持ちに多くの時間とコストを費やす結果になった。このため、①CLT製造工場の近隣に保存処理の加圧注入が可能な工場がある、②製品注入工場がNC等大型加工機を所有し加圧注入後のCLTを施工現場に出荷できる、といった対策もコスト上は有効であろう。また保存処理CLTをJAS製品として出荷する場合は、どの段階で誰がJAS表示するかという点も整理が必要であろう。またラミナ処理、製品処理とも、加圧注入後のプレーナー屑や端材の分別処理も問題とされるケースがある。

### 3. まとめ

- 1) 保存処理薬剤を加圧注入したCLTを製造する際の含水率の管理については、定義も含め整理が必要がある。
- 2) 保存処理CLTの製造コストには、各工場間の横持ち工程が付加されるため、工場の立地条件や加工場の再構築をすることで有利になるケースがある。

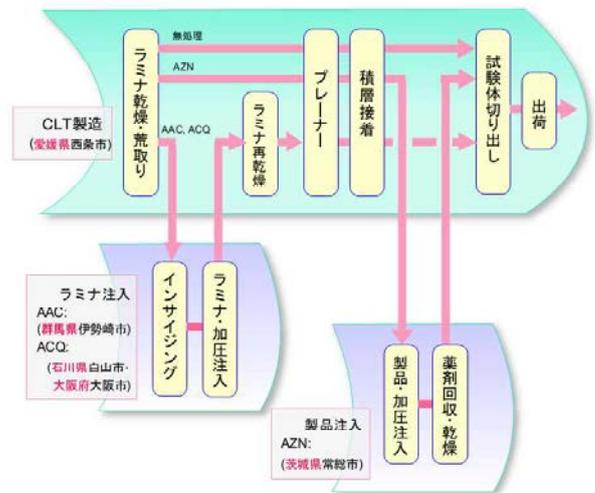


図-3 各製造場所と材料の移動



写真-1 加圧注入後のラミナ (ラミナ注入)



写真-2 加圧注入後のCLT (製品注入)

- 3) ラミナ処理試験体では、製造時に発生する防腐薬剤を含んだ削りくずの分別・廃棄方法の問題、および製品処理試験体では、加圧注入後に発生する寸法変化に伴う仕上げ加工の必要性など、特徴的な課題もあった。

- 【参考文献】1)新藤健太, 宮武敦, 井道裕史, 鈴木賢人, 中島正夫, 関澤外喜夫: 強度試験用保存処理CLTの製造条件, 日本木材学会大会要旨集, H15-P-03, 2022.3
- 2) 直交集成板の日本農林規格, H25.12.20農林水産省告示第3079号(最終改正2019.6)
  - 3) 集成材の日本農林規格, H19.09.25農林水産省告示第1152号(最終改正2019.8)

【謝辞】本研究の一部は、令和2年度林野庁補助事業「合板・製材・集成材国際競争力強化・輸出促進対策、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」に拠った。試験実施にあたっては日本木材防腐工業組合の関澤外喜夫氏、茂山知巳氏、山口秋夫氏、角谷俊和氏にご尽力いただいた。記して謝意を表す。

\*1 森林総合研究所

\*2 関東学院大学 建築・環境学部

## 第7章 結論と今後の課題

### 7.1 保存処理条件の異なる CLT の製造技術の開発と性能評価（第2章）

直交集成板の日本農林規格で CLT に求められる各種品質データ及び JAS 製品に与えられる CLT 各種基準強度に関して、保存処理 CLT のデータ収集をすべくラミナ処理と製品処理による CLT をそれぞれ作成し、その適正製造条件について検討した。ラミナ処理では、製造試験データがない CUAZ 処理によるラミナを用いて CLT を製造しその強度、接合性能について検討した。また、インサイジングの影響についても検討した。一方、製品処理については、油溶性に加えて水溶性薬剤も対象として保存処理 CLT に必要な品質を満たすための適正な処理条件、特に加圧注入条件と注入量、寸法精度、含水率、浸潤度などとの関係を検討した。

その結果、ラミナ処理 CLT の強度性能に関しては、インサイジング処理の影響は曲げヤング係数に関しては見られなかった。またスプライン接合、引きボルト接合についても認められず通常 CLT と同様の設計が可能と考えられた。

製品処理に関しては、加圧、減圧の処理手順や圧力、処理時間をさまざまに組み合わせた上で、薬剤の注入量、乾燥時間、浸潤度を測定した結果、加圧のみで湿式 0.3~0.5Mpa/処理時間 10 分、乾式 0.8Mpa/処理時間 1~3 分で 200kg/m<sup>3</sup>前後の注入量が得られること、またこの時の薬剤浸潤度は木口からの距離が 50mm の断面では全断面でほぼ 100%だが、290mm の断面では減少することなどが分かった。さらに浸潤度については、木口から 50mm の断面で評価する前提で「辺材部の浸潤度」と「材面から深さ 10mm 部分の心材部の浸潤度」を評価軸とする際の基礎的データを得た。

ラミナ処理、製品処理双方には今後引き続いて検討すべき課題は残るものの、これらの成果は今後の保存処理 CLT の JAS 化に向けた大きな一歩となる。

### 7.2 保存処理 CLT の規格に求められる製造基準及び品質基準案の作成（第3章）

昨年度は、JAS 化に向けた品質管理項目や基準案について検討したが、今年度は保存処理 CLT の製造及び各種強度試験を通して明らかになった製造管理上の要点や、保存処理した製材・集成材などの JAS 規格のほかに、AQ 認証制度で定められている防腐防蟻処理 CLT 規格などを踏まえて、保存処理 CLT の JAS 化に向けた曲げ試験、せん断試験、接着試験などの要否及び寸法試験、含水率試験などの製造法を踏まえた測定法等について品質基準案を検討した。

薬剤浸潤度については、従来 of 土台材などの軸材を対象として作られてきた JAS の体系では、大判の面材である CLT の品質評価に適さないことが分かった。そのため、薬剤の浸潤度評価は従来の規定・基準にとられない新たな性能区分やそれを担保する試験体採取位置などの試験方法等について広く検討することが妥当ではないかと考えられた。今年度は、CLT の側面においてラミナの木口面を対象に 50mm の箇所を測定対象とする提案を行ったが、その妥当性や必要性については引き続き検討が必要である。一方、吸収量の測定用試料につ

いては、今年度は集成材 JAS を参考としてサンプルの分量は 5mm×20mm×10mm のブロック 4 個分を表層ラミナの辺材部から採取することを提案した。

以上の検討から、保存処理 CLT の製造方法に関連して規格で確認すべき品質項目を、実施すべきもの（曲げ試験、せん断試験、接着試験、寸法検査など）、実施にあたって測定方法の検討が必要なもの（含水率）、サンプリング位置やそれに伴う基準値について検討が必要なもの（浸潤度）、サンプリング位置の検討が必要なもの（吸収量）に整理して一覧表として提案した。

なお、今後はこれまでに明らかになった各種条件で製造された保存処理 CLT の品質、強度性能に基づき、JAS 化にあたって必要となる品質基準や試験手順等について、日本農林規格あるいは建築基準法などを整備する関係者らと協議のうえ、保存処理 CLT をどのように JAS の中に取り込むべきかをまとめ、提案する段階になろう。

### 7.3 使用環境に対応した保存処理 CLT への耐候性要求性能把握（第 4 章）

本課題は一昨年度からの継続課題であり、各種の保存処理（基本的には AAC、ACQ、AZN、AZNA、CUAZ、LPH）6 種類に無処理を加えた 7 種類のスギ CLT ブロック（290×290×90）に、塗装（A～E の 5 種類と無塗装の計 6 種類）を施した試験体を埼玉県内の大学構内に水平及び垂直に暴露して、それぞれの気象劣化度を継続して評価した。評価項目は、外観、色差、ひび割れ、質量などであった。2021 度からは、木口シールを施した試験体を追加しひび割れの計測を開始した。

その結果、木口シール無しの場合、含水率計表示値と質量は、気温や降水量の値が高くなる時期に比較的高い値を示し、保存処理試験体については塗装試験体で比較的变化が抑制される傾向があることが分かった。また、色差については垂直暴露よりも水平暴露の方が変色が大きいのことが示された。ラミナ処理では雨染みやラミナ間の隙間が目立つものがあり、ラミナ間の隙間に滞留した水がラミナに浸透して変色に影響を及ぼした可能性が考えられた。無処理・無塗装試験体では時期によって雨染みなどが要因と考えられる変色の位置が異なっており、雨水などの影響によって色調のばらつきが大きくなったことが推測された。

質量については、木口シール有りの試験体は無しの試験体よりも変化がおだやかで、シールによって水の浸入が抑制されたと考えられた。また色差に関するさまざまな観測の結果、暴露後11か月経過時では概ね木口シール無しの方が木口シール有りよりも変色が大きいのことが見て取れた。この木口シールによる劣化の抑制効果の検討を進めるためには、今後も継続して暴露と観察を続けていくことが必要と考えられる。

さらに CLT の各部に発生するひび割れについて木口シールをした 16 体の試験体について観察した結果から、以下の知見を得た。

設置方向別では、垂直設置 58%、水平設置 60%のラミナに割れが発生する結果となり、設置方向別の差は小さかった。保存処理別でも、薬剤の種類や保存処理の有無に大きな差はなく、ほぼ同じ割合でひび割れが発生していた。

ラミナ位置別では、垂直設置ではひび割れの有無に関わらず左・中・右の割合が30%台でほぼ均等であったが、水平設置では水分が溜まりやすい中央ラミナのひび割れが47%を占めた。またラミナの節個数別では、ひび割れ発生の有無と節の有無、節の数において、垂直設置・水平設置共に関連性は見られなかった。

以上、CLT試験体の置かれた環境条件、保存処理の種類をはじめ、塗装の有無あるいは木口シールの有無などの設置条件と気象劣化との関係を実験的に検討した。2年を経過した時点で保存処理、塗装処理の有効性が確認された劣化事象も出てきている。今後とも継続した観測と集計を行う必要がある。

#### 7.4 使用環境に対応した保存処理 CLT への耐久性要求性能把握（第5章）

第5章では、構法的な劣化対策が破綻した場合のCLTの劣化リスクの問題を検討するために昨年度開始した幅はぎ接着TLユニットの曝露試験の継続調査に加え、幅はぎ・積層接着TLユニットの曝露試験、保存処理TLユニット曝露試験の劣化状況の継続調査を行った。

その結果、幅はぎ接着TLユニットの15カ月間の曝露試験からは幅はぎ接着は特に芯層のリスク軽減に寄与することが確認された。このことから幅はぎ接着はCLT壁体の劣化環境形成抑制に有用な要因の一つと考えられた。逆に接着剥離やラミナの干割れは、水分滞留を起こしやすくなることから、CLTの劣化環境形成の促進要因になると推察される。

また、幅はぎ・積層接着TLユニットの曝露試験では、幅はぎ・積層接着TLユニットの含水率はコントロールTLや幅はぎTLより低い値で推移していた。このことから、幅はぎ・積層間の接着層はCLT壁体の劣化環境を良好に保つ要因の一つと考えられ、逆にそれらの接着剥離はCLTの劣化環境を悪化させる要因となることが推察される。

富山、つくば、奈良の3カ所で実施している保存処理TLユニットの曝露試験では、無処理TLユニットでは芯層から全体へ腐朽が進行し劣化が激しい試験材も見られた一方、6種の保存処理TLユニットはほぼ健全であった。この結果は、ラミナ処理CLTの耐久性能を裏付けるデータとして評価される。

以上のように、本章では使用環境に対応したCLT保存処理への要求耐久性能を把握するための多くの知見を得ることができた。しかし、曝露試験の経過年数としてはまだ十分とはいえ、今後とも調査を継続することによってデータの信頼性を高める必要がある。合わせて最悪環境を想定したTLユニット曝露試験をアレンジすることにより、様々な使用環境における保存処理CLTの耐久性能を把握していく必要がある。

#### 7.5 CLT等を用いた実使用建物の調査（第6章）

本課題は、今年度新たに実施した事業項目である。「CLT等」を用いた実際に使用されている熊本県内の2棟の建築物の現況調査を行い、その劣化状況を確認することを目的としている。なお、「CLT等を用いた実使用建物」には、CLTを主たる構造材として用いた建物以外に一般流通製材5本を接着した壁柱材による建物も含む。

まず調査時点で築4年半ほどになる CLT を構造体とした研究施設では、CLT 自体が仕上げで覆われており、また CLT に絡む雨漏りなどの不具合も生じていないことから、目視できる範囲での判断になるものの、構造耐力に関わるような問題は生じていないと考えられた。

一方、調査時点で築10年になる高等学校の管理棟は、躯体部に一般流通製材5本を接着した壁柱材を用いた特異な構造形式を用いており、その屋内の接着部で複数の剥離箇所が認められたが、構造的に問題となるほどの深さ、長さではなかった。それに対して、屋外仕上げ材（スギ製材）には、変色や塗装剥離あるいは部分的腐朽などの経年劣化が認められ、保存処理薬剤による再塗装や部分的には補修・交換等の維持管理が必要な状況であった。

今回の調査は、2棟とも築年数の浅い建物であり、構造耐力に関係するような顕著な劣化事象が発現する状況には至っていなかった。今後とも様々な築年数、使用環境下にある建物の実態調査を進めていくことで、CLT の適切な使い方に関する手がかりが得られるとよい。