

CLT 床版の耐久性付与技術の開発

佐々木貴信¹・有山裕亮²・荒木昇吾³・豊田淳⁴・山内秀文⁵・林知行⁶

¹正会員 秋田県立大学教授 木材高度加工研究所 (〒016-0876 秋田県能代市海詠坂 11-1)
E-mail: taka@iwt.akita-pu.ac.jp

²正会員 リテックエンジニアリング (株) 技術本部 (〒107-0052 東京都港区赤坂 6-4-2)
E-mail: ariyama@retec.co.jp

³正会員 服部エンジニア (株) (〒420-0053 静岡市葵区弥勒 2-2-12)
E-mail: s-araki@hattori-eng.co.jp

⁴正会員 サンコーコンサルタント (株) 東日本支社 (〒136-8522 東京都江東区亀戸 1-8-9)
E-mail: a.toyoda@suncoh.co.jp

⁵正会員 秋田県立大学准教授 木材高度加工研究所 (〒016-0876 秋田県能代市海詠坂 11-1)
E-mail: hide@iwt.akita-pu.ac.jp

⁶正会員 秋田県立大学教授 木材高度加工研究所 (〒016-0876 秋田県能代市海詠坂 11-1)
E-mail: tomoyuki_hayashi@iwt.akita-pu.ac.jp

CLT (Cross Laminated Timber : 直交集成板) は木材の挽き板 (ラミナ) を繊維方向を直交させて積層接着した新しい木質材料であり、従来にはない大きな面材料の製造が可能である。木質材料である CLT の単位体積重量はコンクリートの 1/4~1/6 程度であることから、他の建設材料に比べて輸送面や施工面で優位性を有している。この軽さを活かし、橋梁用の床版材など土木分野での新規用途も期待される。筆者らはコンクリート床版の代替として CLT を床版に用いた既設橋梁の補修工法の検討を行っている。橋梁の床版として CLT を利用する上では、木材の腐朽による劣化に対する対策が大きな課題となる。木材の防腐対策の方法は、防腐処理薬剤の加圧注入処理が一般的であるが、寸法の大きい CLT を製品の状態で加圧注入処理を行うことは容易ではなく、CLT を構成する大量のラミナを考慮すると、接着前のラミナの段階で防腐処理することも現実的ではない。本研究では、CLT 床版の耐久性能を向上させることを目的に、ラッピング技術等を用いた物理的な耐水処理方法を検討した。

Key Words: cross laminated timber, bridge deck, durability

1. 背景と目的

国内の橋梁総数は約 73 万橋あり、このうち建設後 50 年以上を経過する橋梁の割合は現状では 20%であるが、10 年後には 44%に急増することが試算されている¹⁾。また、73 万橋のうち、地方公共団体が管理する橋梁は全体の 9 割以上の約 66 万橋を占めており、市町村が管理している橋梁は 48 万橋と全体の約 7 割を占めている (図-1)¹⁾。今後、膨大な数の橋梁の補修が必要となるなか、市町村の経済的負担は極めて大きく、経済性に優れた補修工法の開発が急務となっている。

CLT (直交集成板) は軽量であり、例えばスギ CLT の単位重量は約 4kN/m³とコンクリートの約 1/6 程度であることから、部材の断面寸法にもよるが、他の建設材料に比べて輸送面や施工面で優位性を有している。この

CLT の軽さの特徴は、橋梁用の床版材など土木分野での用途にも活用できると考えられるが、国内ではそうした事例は報告されていない。

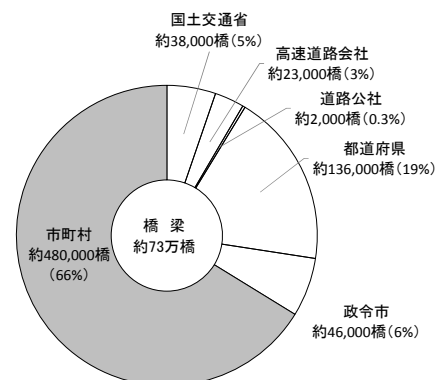


図-1 管理者別の橋梁数

筆者らは CLT の新規用途開発を目的に橋梁用の床版材料に着目し、コンクリート床版の代替として CLT 床版を用いた既設橋梁の補修工法の検討を行っている^{2) 3)}。

2. CLT の耐久性付与技術の開発

図-2 に示すような一般的な構造の橋梁の床版に CLT を用いる上で、最も懸念されるのが木材の腐朽による劣化である。CLT 床版の上面には一般の橋梁と同様にシート系や塗膜系の防水工を施工した上にアスファルト舗装が敷設されるため比較的条件は良いと考えられるが、床版の側面や下面は雨水や結露水によって濡れやすい環境にあり、より厳しい条件になる。特に CLT という材料の構成上、床版の側面には吸水しやすい木材の木口面が現れてしまうため、耐久性に独自の課題を抱えているといえる。

木材の防腐対策の方法としては、防腐処理薬剤の加圧注入処理が一般的であるが、寸法の大きい CLT を製品の状態で加圧注入処理を行うことは容易ではない。また、挽き板（ラミナ）の状態で防腐処理してから CLT を製造する方法も考えられるが、大量のラミナを処理することは経済性の面で現実的とは言えない。

木材の腐朽による劣化は、木材腐朽菌の生育条件である栄養分、温度、水分、酸素の 4 条件⁴⁾の何れかを満たさないような対策を行うことで防ぐことができると考えられる。本研究では、このうち水分や酸素の供給を防ぐことで CLT の耐久性能を格段に向上させることを目的に、ラッピング技術⁵⁾等を用いた木材の物理的な耐久性付与技術の可能性を検討した。

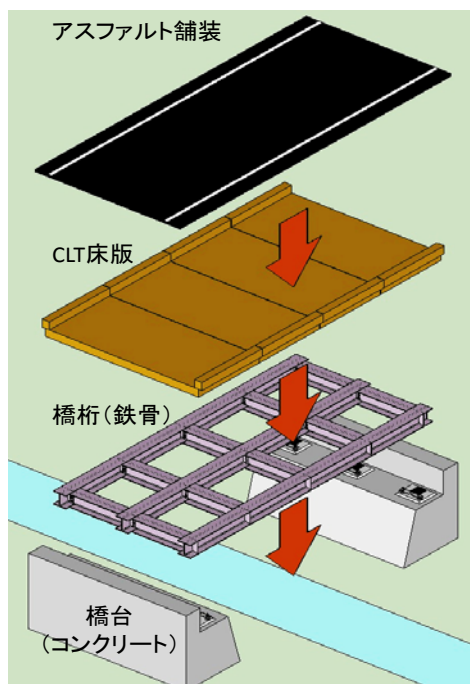


図-2 CLT 床版を用いた橋梁のイメージ

(1) ラッピングによる方法

ラッピングによる耐久性向上策は、CLT をシート系材料で被覆して密閉することで、酸素や水分の供給を遮断して防腐性能を向上させることであり、例えば、シュリンクラップ（図-3）のように熱収縮するシートにより包埋した CLT を加熱することで被覆し密閉する方法などが考えられる⁶⁾。また、図-4 のように FRP シート等の高強度繊維系材料でラッピングすることで耐久性を向上させる方法も考えられる。この方法は比較的大きな寸法の CLT のラッピングも現実的であり、本研究では紫外線硬化 FRP シート（積水化学工業(株)製 PPS シート）を選定し、実大の CLT 床版を対象にラッピングによる耐久性付与技術の開発を行った（図-5）。



図-3 シュリンクラップを用いた模型実験



図-4 シートラッピングのイメージ



図-5 FRP シートによる実大 CLT のラッピング

(2) 塗膜系材料による方法

塗膜系材料により CLT 全体を被覆することで防水性能を向上させる方法についても検討を行い、ラッピング

による方法と同様に実大の CLT 床版を対象に試験施工を行った。

a) ウレタン樹脂による被覆

コンクリート表面の防水加工としても使用実績のある、ウレタン樹脂（オート化学工業(株)製、「オートンウルトラコート」）による被覆処理を図-6 に示す。3 回の重ね塗りでウレタン樹脂の防水塗膜は 1mm 程度になっている。

b) ポリマーセメントによる被覆

建築構造の屋上やバルコニーなどの防水処理として施工実績が多い、ポリマーセメント（宇部興産(株)製ポリマーセメント系塗膜防水材「アクアシャッターAC」）による被覆処理を図-7 に示す。2 回の重ね塗りで防水塗膜は 2mm 程度になっている。ポリマーセメントによる防水処理工法は多数あるが、施工性や経済性に優れるという点が特徴である。ただし、透過性は無いため木質感を現すような用途には適さない。

c) 塗布型木材防腐剤による防腐処理

木材の防腐処理方法としては、防腐薬剤の加圧注入処理が一般的であるが、前述のように処理設備の能力やコスト面で CLT の加圧注入処理は容易ではないと考えられるため、本研究では、塗布型の油性木材防腐剤（(株)ザイエンス製、サンプルザーOGR ブラウン）を用いて実大の CLT 床版の防腐処理を行った（図-8）。塗膜型の材料ではないが、3 回の上塗りを行うことで、材表面からの防腐剤の浸透を促し、防腐効果を高めるようにした。



図-8 塗布型防腐処理薬剤による塗布処理

3. 乾湿繰り返し試験

FRP シートによるラッピング加工や塗膜系材料による被覆処理の性能を評価することを目的として、恒温恒湿室内での乾湿繰り返し試験を行った。

(1) 試験方法

試験体には断面寸法 150×150mm、長さ 525mm のスギ CLT を用いて、FRP シートによるラッピング（図-9）、ウレタン樹脂および 3 種類のポリマーセメントによる被覆処理をそれぞれ行った。試験体は各 1 体とし、コントロールとして無処理の CLT を 2 体用意した、これらの試験体を恒温恒湿室内において 20℃- 65% で調湿した後、20℃- 40% および 20℃- 90% の条件を約 2 週間おきに繰り返し、試験体の重量変化を測定した（図-10）。



図-6 ウレタン樹脂による被覆処理



図-9 FRP でラッピングした試験体



図-7 ポリマーセメントによる被覆処理



図-10 乾湿繰り返し試験

(2) 試験結果

図-11 に乾湿繰り返し試験における試験体の重量変化率の変動を示す。グラフ右軸の相対湿度は恒温恒湿室の設定湿度を示している。なお、重量変化率は(1)式で求めた。

$$\frac{W - W_0}{W_0} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

ここで、 W ：試験体重量、 W_0 ：調湿後の試験体重量（試験開始前重量）。

湿度の変化に対応するように無処理の試験体は吸湿と放湿を繰り返し、それぞれ約 2%の重量変化率を示している。これに対して、FRP シートでラッピングした試験体は湿度条件を変化させても重量は全く変わらず高い防水効果を示した。

ウレタン樹脂やポリマーセメントで被覆した試験体は、何れも吸湿過程で重量が増加し、0.25%～1%程度の重量変化率を示した。また、放湿過程では、何れの試験体も初期重量よりも重量が減少することはない。CLT 自体の含水率は変化していないことが示唆された。ポリマーセメントは水蒸気を透過する性質があるが、この性質を改善した製品（ポリマーセメント B）の重量変化率は 0.25%程度と従来製品（ポリマーセメント A）の重量変化率の約半分であった。

ここでは、主に湿度変化による含水率の変動を想定した乾湿繰り返し試験を行ったが、試験条件の範囲では、ラッピングや被覆に用いた材料内部で吸脱湿挙動が生じており、CLT 内部では含水率の変動は生じていないものと推察された。今後は、水槽内での浸漬試験を行い、防水処理方法と耐水性能の関係を評価する計画である。

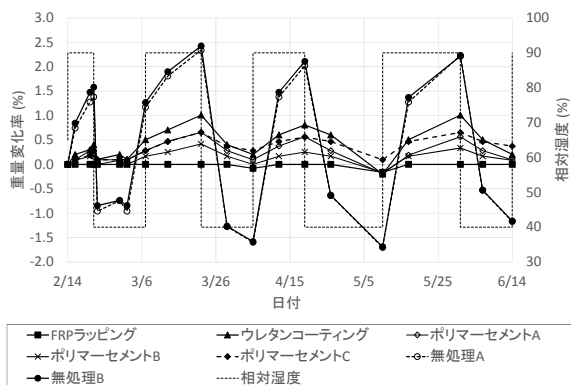


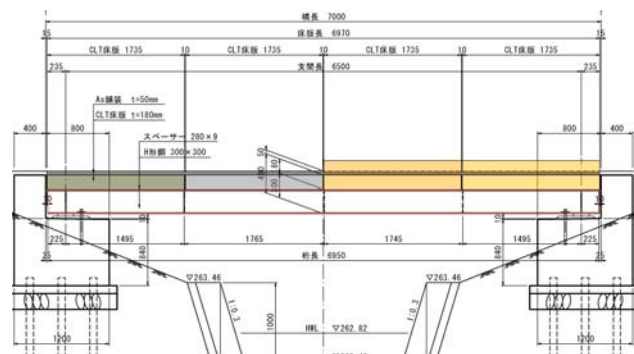
図-11 乾湿繰り返し試験における重量変化率

4. CLT 床版を用いた橋梁の試験施工

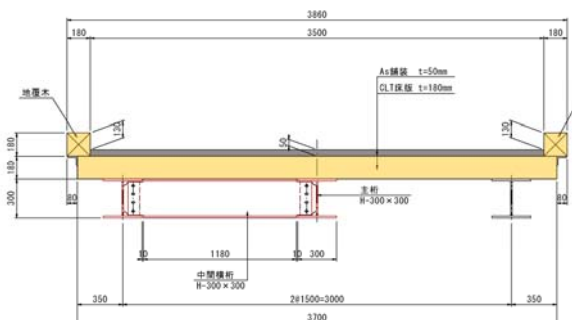
平成 29 年 3 月に秋田県内の県有林内において CLT 床版を用いた林道橋の試験施工を行った。CLT 床版には

図-5～図-8 に示した 4 種類の防水・防腐加工を施した CLT を用いた。実験橋の一般図を図-12 に示す。橋長 7m、幅員 3.8m の林道橋は伐採した丸太の搬出用道路として、設計活荷重を 140kN（二等林道橋の自動車荷重）として設計した。主桁および横桁には 300×300mm の H 形鋼を用い、床版には長さ 3.7m、幅 1.735m、厚さ 180mm のスギ CLT を橋軸方向に 4 枚並べて架設している。CLT は床版支間方向（幅員方向）と直交方向（橋軸方向）の剛性バランスを考慮して中間層の平行層ラミナを 2 枚配置した 5 層 6 プライの構成とした。積層剤にはレゾルシノール樹脂接着剤を用い、隣り合うラミナ間には同接着剤で幅はぎされている。4 枚の CLT は前述のようにそれぞれ仕様の異なる防水加工を行っており、長期の耐久性能を比較することを目的としている。床版上面にはポリマーセメント系の防水工を施工した上にアスファルト舗装（ $t=50\text{mm}$ ）を敷設している。

実験橋の施工は、秋田県農林水産部林業木材産業課の協力を得て、秋田県仙北市田沢湖町の石倉沢県営林内において実施した。架設工事は 4.9t 吊りのラフテレーンクレーンを用いて、H 形鋼の桁工の架設（図-13）と CLT 床版の架設（図-14）を各 1 日で行った。CLT 床版は両端部に 180×180mm の地覆木（CLT）を取り付けた状態で現場に搬入した。防水加工によって床版の重量は異なるが、最も重い FRP シートでラッピングした CLT 床版でも 600kgf 程度であった。これは主桁の H 形鋼の 700kgf よりも軽く、運搬や架設作業での優位性が確認された。



(a)側面図



(b)正面図

図-12 実験橋一般図



図-13 主桁・横桁の架設



図-16 桁端部のスタッドボルト



図-14 CLT床版の架設



図-17 舗装前のCLT床版

主桁や横桁とCLT床版の固定は、図-15に示すように、H形鋼の上フランジからCLT床版の下面にラグスクリュー（ $\phi 16 \times 150$ ）を打ち込む方法で行った。橋台上でラグスクリューの打ち込み作業が困難な桁端部では、H形鋼の上フランジ上面に溶接したスタッドボルト（ $\phi 16 \times 180$ ）（図-16）が貫通するようにCLTに孔加工して、ワッシャー、ナットで固定した。なお、ボルト孔およびナット周辺の座掘した部分には樹脂接着剤を充填している（図-17）。アスファルト舗装が完了した実験橋を図-18に示す。



図-18 舗装した実験橋



図-15 CLT床版の固定

5. おわりに

CLTを建築構造以外への用途を拡大するうえでも、橋梁床版への適用は、橋梁の長寿命化のみならず、地域木材の有効利用や林業の復興にも寄与するものと期待されるため、技術の普及のための取り組みが課題である。CLTを土木分野で利用する上で、最も懸念されるのが木材の腐朽による劣化であるが、本研究ではラッピング技術等を用いた木材の物理的な耐久性付与技術の可能性を検討した。

実験橋周辺の森林では、丸太を伐採して搬出する計画があり、今後、丸太を積載したトラックを通行させた載

荷試験を行う予定である。また、ラッピング加工やコーティング加工した CLT の防水・防腐効果の観察や性能比較、健全度評価の方法の検討など、実用化に向けた調査研究を行う計画である。

謝辞：本研究は平成 27 年度地域の特性に応じた木質部材・工法の開発・普及等支援事業（林野庁）「CLT を床版に用いた橋梁補修の実用化に向けた実証試験と耐久性付与技術の開発」により行った。また、実証試験を実施するにあたり秋田県農林水産部林業木材産業課より多大な協力をいただいた。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 1) 国土交通省道路局：道路メンテナンス年報，2016.9.
- 2) 荒木昇吾，佐々木貴信，林知行：CLT を用いた既

設橋梁の床版取替えに関する一考察，土木学会年次学術講演会講演概要集，70th V-393, 2015.

- 3) 佐々木貴信，林知行，豊田淳，有山裕亮，高海克彦：橋梁の床版用途としての CLT の疲労耐久性評価，第 67 回日本木材学会大会発表要旨，H18-P1-11, 2017.
- 4) 公益社団法人木材保存協会：木材保存学入門【改訂 3 版】，2012.
- 5) 足立幸司，山内秀文，佐々木貴信，林知行：特願 2016-008591 シート被覆木材 2015.12.28
- 6) 足立幸司：シュリンクラッピングによる木材の高耐久化，2013 年度 LIXIL 住生活財団研究助成報告書，1-34, 2015.

(2017.8.31 受付)

DEVELOPMENT OF WATERPROOFING TREATMENTS FOR CROSS LAMINATED TIMBER SLABS

Takanobu SASAKI, Yusuke ARIYAMA, Shogo ARAKI, Jun TOYODA, Hidefumi YAMAUCHI and Tomoyuki HAYASHI

Cross-laminated timber (CLT) is a light-weight construction material, superior in terms of transportability and workability. Applications of CLT slabs include those in civil engineering e.g., soundproofing and bridge decks; however there are no such practical implementations in Japan. This study focuses on the bridge deck application of CLT slabs and examines its potential as an alternative material for concrete bridge decks used in repair work of existing bridges.

The deterioration of wood due to decay is of the highest concern in using CLT slabs for this application. If this deterioration can be prevented, high long-term durability is expected. CLT slabs with improved durability owing to waterproofing treatment were used for a test construction of a forestry road bridge in March 2017.