令和元年度合板・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

ＣＬＴの消費拡大を目的とした土木分野への活用研究

事業報告書

令和３年３月

一般社団法人　日本ＣＬＴ協会

令和元年度合板・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
ＣＬＴの消費拡大を目的とした土木分野への活用研究
事業報告書

目　次

第１章　事業概要

1.1　事業目的……1
1.2　実施概要……1
1.3　実施体制……1
1.4　委員名簿……2

第２章　既往の研究整理と課題

2.1　ラッピングの仕様……3
2.2　床版の設計、防護柵の設計等……8
2.3　耐久性評価方法の検討……13
2.4　床版と主桁の接合技術……16
2.5　床版利用における CLT の強度……22
2.6　CLT の運搬、施工等……28
2.7　秋田県の CLT の取り組み……33
2.8　CLT の保存処理技術について……42
2.9　CLT による敷き鉄板代替えと防音壁の事例……53
2.10　災害現場における木材の土木利用事例……56

第３章　CLT を用いた橋梁調査

3.1　調査目的……59
3.2　調査項目……59
3.3　調査対象……60
3.4　調査方法……62
3.5　調査結果……63

第４章　木材の土木利用調査

4.1　調査目的 ····· 85
4.2　調査項目 ····· 85
4.3　調査結果 ····· 86

第５章　まとめ

····· 113

第１章　事業概要

1.1　事業目的

2019 年 CLT の年間製造量はおよそ 15,000 ㎥となった。製造開始からこの間、建築分野での利用を推進してきたが、今後さらに消費拡大を目指すためには他の分野への活用研究が必須である。ついては、海外での利用実績のある土木分野について、国内で行われている試験研究などの取組を調査・整理して考察する。

1.2　実施概要

①既往の物件調査

CLT を用いた利用ニーズの調査を行う。例えば、林道等の既設橋梁等の、土木分野における木材利用について、点検・補修計画、コストなどの状況を調査する。

②既往の研究整理と技術開発の確認

技術・研究成果を持つ事業体・研究機関より情報を収集し整理する。木材利用における、経年変化および防水処置の現象等の技術面と、設置・維持管理を含めたトータルコストの比較など費用対効果（B/C）なども含めて情報を収集する。合わせて、今後開発が考えられる研究内容について調査・整理を行う。

③利用方法の検討

上記の結果に基づき土木分野における CLT の利用について調査・整理・検討する。

1.3　実施体制

協会内に学識経験者および実務者による委員会を設置し事業を実施する。

また、土木利用に関する地域の実態等を把握するため必要に応じて地方自治体の関係者を招聘し意見を求める（既に土木利用を実施している地域の利用ニーズやメリット・デメリットの調査、CLT 利用の先進地域から接合方法・経年変化等に関する実態調査など）。

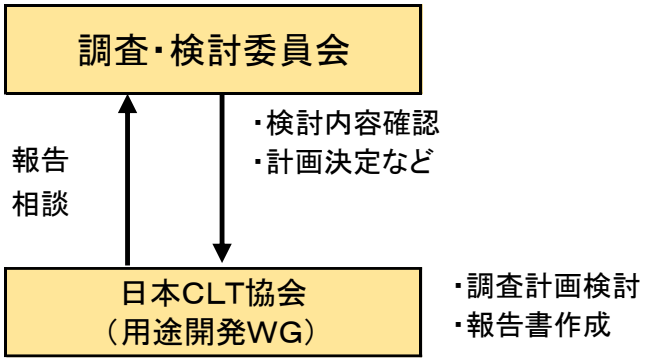


図 1.3-1　実施体制図

1.4　委員名簿

委員長	佐々木　貴信	北海道大学大学院　農学研究院 森林科学分野 木材工学研究室 教授
委員	林　知行	秋田県立大学 名誉教授
委員	渡辺　浩	福岡大学 工学部 社会デザイン工学科　教授
委員	平沢　秀之	函館工業高等専門学校 社会基盤工学科 教授
委員	宮武　敦	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 複合材料研究領域 チーム長
委員	大橋　義徳	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 林産試験場 技術部 生産技術グループ　研究主幹
委員	荒木　昇吾	服部エンジニア株式会社
委員	佐々木　幸久	山佐木材株式会社 会長
委員	孕石　剛志	銘建工業株式会社　技術開発本部 開発担当部長
オブザーバー	南　博晴	真庭市　　産業観光部 林業・バイオマス産業課 課長
	金子　尚公	高知県　　林業振興・環境部 木材産業振興課 課長
	福本 和睦	高知県　　林業振興・環境部 木材産業振興課 主任(CLT推進担当)
	宮内 輝久	地方独立行政法人 北海道立総合研究機構 林産試験場 性能部 保存グループ
行政	石塚　洋介	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 課長補佐(木材技術班)
	武井　量宏	林野庁 林政部 木材産業課 木材製品技術室 木材技術担当専門職
	藤本　達之	内閣官房 内閣官房副長官補付 参事官補佐
	福島　純	内閣官房 内閣官房副長官補付 参事官補佐
事務局	平原　章雄	木構造振興株式会社 常務取締役
	原田　浩司	木構造振興株式会社 客員研究員
	坂部　芳平	一般社団法人 日本 CLT 協会 専務理事
	河合　誠	一般社団法人 日本 CLT 協会 顧問
	天沼　千亜希	一般社団法人 日本 CLT 協会 業務推進部

第２章　既往の研究整理と課題

2.1　ラッピングの仕様

図2.1-1に示すような一般的な鋼桁橋の床版としてCLTを利用する上で、最も懸念されるのが木材の腐朽による劣化である。CLT 床版の上面には防水シートを介してアスファルト舗装が敷設されるため比較的条件は良いが、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。木材の防腐対策の方法として、防腐処理薬剤の加圧注入処理が一般的であり、防腐効果が高いことが知られているが、寸法の大きい CLT 床版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全て防腐処理することも現実的ではない。CLT 床版の製品での防腐対策としては、ラッピング技術等を用いて CLT の耐水性を向上させ、長期の耐久性を付与する方法が検討されている[2.1)]。

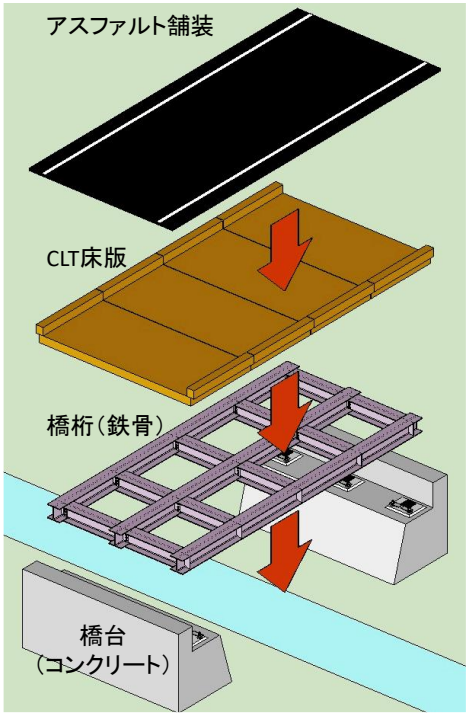


図 2.1-1　CLT 床版を用いた橋梁のイメージ

2.1.1　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、防水性能を向上させることである（写真 2.1-1）。例えば、シュリンクラップ（写真 2.1-2）のように熱収縮するシートにより CLT を包埋して加熱することで被覆して密閉することができる[2.2)]。また、写真 2.1-3 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 のラッピングも可能であり、秋田県では紫外線硬化 FRP シート（積水化学工業(株)製 PPS シート）を用いたラッピングによる CLT 床版の性能評価が行われた（写真 2.1-4）。



写真 2.1-1 ラッピングCLTのイメージ

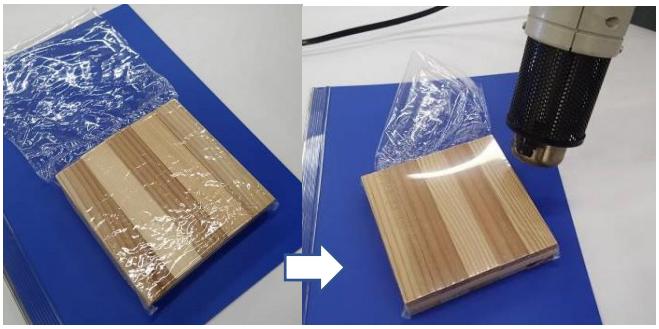


写真 2.1-2 シュリンクラップを用いた模型実験



写真 2.1-3 シートラッピングのイメージ



写真 2.1-4　FRP シートによる CLT のラッピング

2.1.2　塗膜系材料による方法

CLT の物理的な耐久性付与技術として、FRP シートによるラッピングに加えて塗膜系材料による被覆処理についても性能評価が行われ、秋田県内の林道橋や農道橋において試験施工が行われている。

(1)ウレタンコートによる被覆

コンクリート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」）による被覆処理を写真 2.1-5 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。

(2)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「アクシャッターAC」）による被覆処理を写真 2.1-6 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。ポリマーセメント系の防水材については (株)アイゾールテクニカ製スプレダム S-1 についても性能が評価されている。この防水材も 2 回の重ね塗りで防水塗膜は 2mm 程度になっている。さらに表面保護材（同社製アイゾール EX）を塗布して撥水効果を高める仕様となっている（写真 2.1-7, 写真 2.1-8）。

(3)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、CLT のように大きな製品を処理するのは現実的ではなく、ラミナの段階での処理を行うとしてもコストがかかってしまう。このため、本研究では、塗布型の油性木材防腐剤（(株)ザイエンス製、サンプレザーOGR ブラウン）を用いて実大の CLT 床版の防腐処理を行った（写真 7）。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。



写真 2.1-5 ウレタン樹脂による被覆処理



写真 2.1-6 ポリマーセメントによる被覆処理



写真2.1-7 ポリマーセメントによる防水処理



写真2.1-8 表面保護材の塗布

2.1.3 ラッピングの効果

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効果については、恒温恒湿室内での乾湿繰り返し試験および浸漬試験の結果が報告されている。

(1) 乾湿繰り返し試験および浸漬試験

試験体には 150×150×525mm のスギ CLT を用いて、FRP ラッピング A（積水化学工業(株)製 PPS シート）、FRP ラッピング B（積水化学工業(株)製作、試験開始 90 日後に追加）, ウレタン樹脂コーティング（オート化学工業(株)製、オートンウルトラコート）, ポリマーセメント A（宇部興産(株)製ポリマーセメント系塗膜防水材「アクシャッターAC」）, ポリマーセメント B（A タイプの改良版）, ポリマーセメント C（(株)アイゾールテクニカ製スプレダム S-1）の各種材料でラッピング処理した

試験体が作成され、無処理の試験体と 2 体との比較におり性能が評価されていた。乾湿繰り返し試験では、20℃-40%および 20℃-90%の温湿度条件で約 2 週間毎に繰り返し、その後、20℃-65%の条件下に設置した水槽に浸漬し定期的に重量を測定する浸漬試験が実施された。

(2)試験結果

乾湿繰り返し試験の結果を図 2 に、浸漬試験の結果を図 3 にそれぞれ示す 2.1)。乾湿繰り返し試験では無処理の試験体は吸湿と放湿を繰り返し，約 2%の重量変化を生じているのに対して、FRP シートでラッピングした試験体は重量変化が無く高い防湿効果を示した。また、ウレタン樹脂やポリマーセメントで被覆した試験体は吸湿過程で重量が増加し、0.25%～1%程度の重量変化を生じている。浸漬試験では、無処理材の 2 体は浸漬期間 140 日で約 45%重量が増加したのに対し、ウレタン樹脂コーティングは 6.6%、ポリマーセメント A～C は、それぞれ 6.8%、5.4%、8.8%の重量増加であった。FRP ラッピングの A タイプは 60 日経過辺りから徐々に重量が増加し、180 日後では 2.7%まで増加した。A タイプでは FRP シートの継ぎ目から水が進入したのに対し、継ぎ目のない B タイプでは、0.2%程度の重量増加しか生じなかった。



写真 2.1-9　FRP でラッピングした試験体

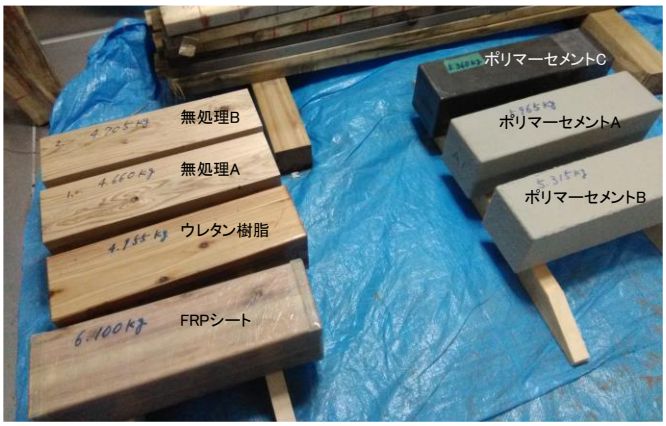


写真 2.1-10　乾湿繰り返し試験

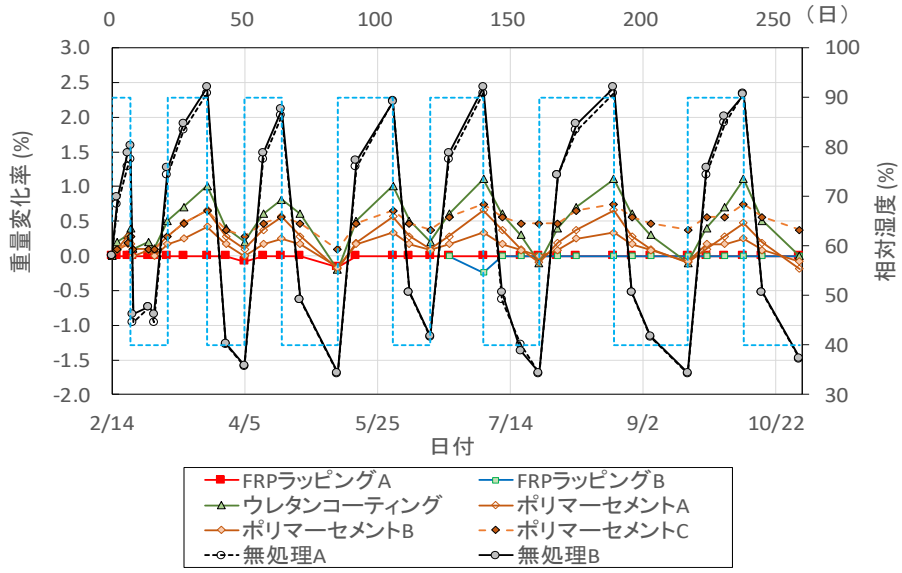


図 2　乾湿繰り返し試験結果

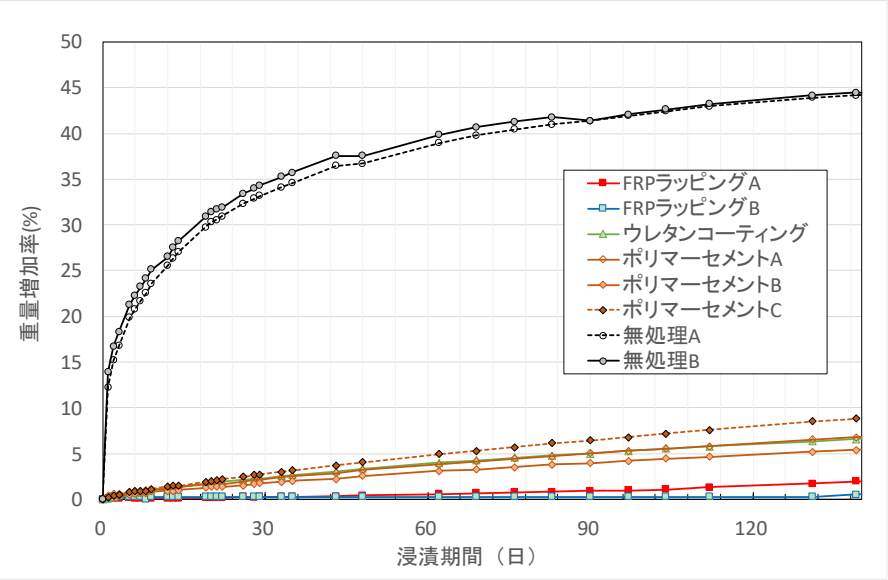


図 3　浸漬試験結果

参考文献

2.1） ラッピング等で処理した CLT の耐水性評価：佐々木貴信，山内秀文，足立幸司，林知行，日本木材保存協会第 34 回年次大会研究発表論文集，p.136-137，2018.

2.2） 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

2.2　床版の設計、防護柵の設計等

2.2.1　橋梁用床版への活用に向けて

橋梁の床版の種類としては、①場所打ちの RC 床版や、工場で製作される②プレキャスト・コンクリート床版および、③鋼床版があるが、寸法自由度の高さと経済性から、ほとんどの橋梁には、①RC 床版が用いられている。また、床版は車両（輪荷重）の影響を直接かつ、繰り返し受けることから、もっとも傷みやすい部材とされており、近年では過去に造られた床版の劣化・損傷が顕在化し、交換が行われることも少なくない。

床版の損傷は、その損傷が軽微または中程度であれば、ポリマーセメントモルタルを用いた断面修復工や、エポキシ樹脂系の接着材を用いたひびわれ注入工等により、補修することで現状を維持できる。ただし、**写真 2.2.1** や**写真 2.2.2** に示すように、抜落ちや大クラック等の甚大な損傷が生じた場合には、既設床版を撤去し、交換せざるを得ない。

一方、過去に造られた床版は、当然のことながら、現行の設計活荷重（25t）よりも小さい活荷重で設計されている（例えば、14t や 20t）ことから、床版厚が薄い。床版交換を行う際には、活荷重や構造細目を含め、現行規定を満足させる必要があるが、既設床版よりも確実に、床版が厚くなる。このため、床版の交換を行うがゆえに、死荷重と活荷重による断面力が増加し、主桁の補強や下部工の安定対策が必要となる場合がある。

CLT 床版は、**写真 2.2.3** に示すように、ラミナを積層接着した面状の構造用木質材料であり、従来の木質材料と同様に、その単位体積質量は、コンクリートの 1/3 程度と軽量である。床版交換に伴い、設計活荷重が増加することは避けられないが、CLT 床版を用いることができれば、死荷重を減じ、活荷重の増分をキャンセルできる可能性がある。つまりは、主桁や下部工に影響しない、または、影響を減じさせることで、橋全体の安定性向上に寄与できる可能性がある。

さて、CLT を床版として利用する際の懸念としては、①輪荷重の繰返し載荷に耐えられるか、②腐朽により耐久性が低下しないか、③床版としての汎用的な設計法が確立できるかの 3 つが挙げられる。①については、曲げ疲労試験や輪荷重走行試験を繰り返し行い、十分な疲労耐久性が得られることが確認されている [1]。②については、防腐薬剤を注入するような従来の化学的処理ではなく、これに加え、版全体を FRP シートで被覆したり、ポリマーセメントで包埋する物理的処理で防水・防腐効果が得られる方法が開発されている [2]。③については、新構造であるため、理論的・実験的検証が必要となる。

本節では、CLT 床版の設計方法について、**写真 2.2.4** と**写真 2.2.5** に示す、実橋への適用例を挙げ、報告する。



写真 2.2.1　抜落ち



写真 2.2.2　大クラック



写真 2.2.3　CLT 床版



写真 2.2.4　床版交換前の状況



写真 2.2.5　床版交換後の状況

2.2.2　設計条件

本橋は、既設床版（クリ材：90mm）を撤去し、CLT床版に取り替える。床版厚の増加や、アスファルト舗装の敷設による死荷重の増加が予想されたことから、設計照査は、CLT床版と既設主桁について実施する。

本橋の設計条件は、以下の①から⑦のとおりである。また、計算モデルを**図2.2.1**に示す。

①設計対象車両は4t車とする。活荷重は、車両質量40kNを前軸：後軸=1：4に配分し、前軸重8kN、後軸重32kNとする。なお、輪重は軸重の1/2に設定する。

②CLT床版の設計曲げモーメントは、道路橋示方書[3]に示されるRC床版（連続版:A活荷重）の設計曲げモーメントの式に、①の後輪重16kNを代入して算出する。

③橋軸方向の死荷重曲げモーメントは、ポアソン効果の影響が小さく、一般に無視していること[3]、CLT床版の自重も小さいことから、RC床版と同様に考慮しない。

④CLT床版は、異等級構成（M60-5-5）を用いる。曲げ強度は、CLT関連告示等解説書[4]に示される算出方法に準じ、強軸方向の曲げ強度F_{bs}=10.4N/mm^2、弱軸方向の曲げ強度f_{bw}=2.0N/mm^{2}と算定した。

⑤CLT床版は、床版支間方向（橋軸直角方向）を強軸方向、床版支間直角方向（橋軸方向）を弱軸方向とする。また、**図2.2.2**に示すように、母材（ラミナ）の厚さは24mmとし、床版厚を120mmとする。強軸および弱軸方向の許容曲げ応力度σ_{bsa}とσ_{bwa}は、**表2.2.1**に示すように、④の曲げ強度に1.1/3を乗じた値に[4]、さらに含水率影響係数[5]を乗じ、σ_{bsa}=3.2N/mm^2、σ_{bwa}=0.6N/mm^{2}とした。

⑥せん断に対しては、上記と同様の条件で設計したCLT床版の輪荷重載荷試験[1]において、安全であることが確認されたことや、RC床版においても曲げで決定した厚さを有する床版は、十分安全と評価されていることから[3]、ここでは照査を省略する。

⑦既設主桁の照査における支間長は、支点位置が明らかでないことから、桁長（L=9.57m）を用いる。また、照査断面力は、1-0 法で算出する。

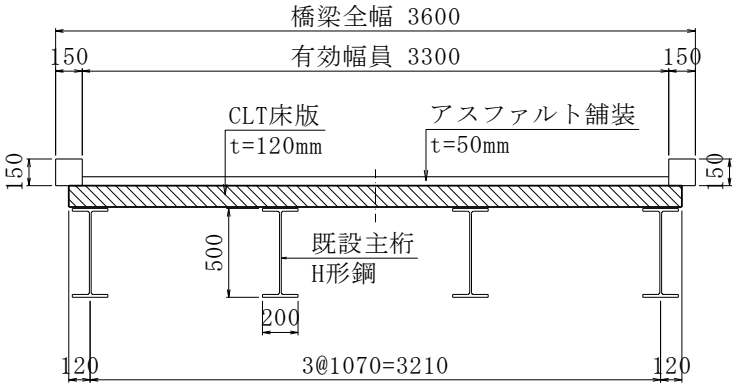


図 2.2.1　計算モデル

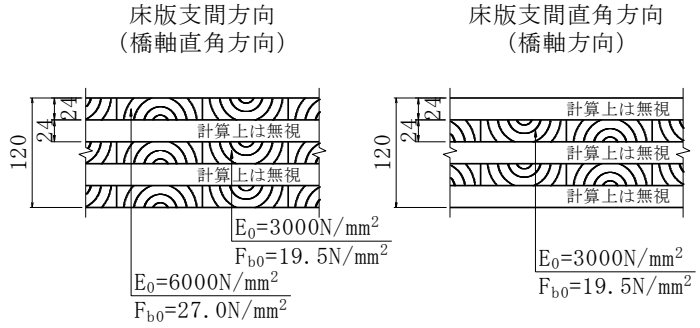


図 2.2.2　CLT 床版の構成（5 層 5 プライ）

表2.2.1　CLT床版の許容曲げ応力度

方向	床版支間方向	床版支間直角方向
曲げ強度	10.4 N/mm^2	2.0 N/mm^2
Fb×1.1/3	3.8 N/mm^2	0.7 N/mm^2
含水率影響係数	0.85	0.85
許容曲げ応力度	3.2 N/mm^2	0.6 N/mm^2

2.2.3　計算結果

1)CLT床版の設計

先に示した設計条件に基づくCLT床版の照査結果を**表2.2.2**に示す。CLT床版の設計曲げモーメントは、床版支間方向がM_S=2.33kN・m/m、床版支間直角方向がM_W=1.51kN・m/mと算出される。**表2.2.2**に示すように、応答値は許容値を満足しているものの、床版支間直角方向(橋軸方向)の強度性能に劣り、床版の断面は、この方向で決定されている。

ここで、道示に示される設計曲げモーメントの算出式は、二辺支持の等方性無限版の解析結果を基に規定されており、厳密には、直交異方性版であるCLT床版への適用はできない。直交異方性を考慮した場合は、剛性の高い床版支間方向の負担が増加することも考えられる。ただし、床版支間方向の応答レベルは、**表2.2.2**に示すように、許容値の30%程度と余裕があることから、道示の算出式を用いることに、特に差し支えはないと思われる。

表2.2.2　CLT床版の曲げ照査結果

方向	床版支間方向	床版支間直角方向
応答値	1.0 N/mm^2	0.6 N/mm^2
許容値	3.2 N/mm^2	0.6 N/mm^2
応答値 / 許容値	31%	100%

一方、CLT床版はプレキャスト部材であり、本橋の場合は製作・運搬の都合上、橋軸方向の連続性が断たれる。連続性が断たれた床版端部の主鉄筋方向(ここではCLT床版の強軸方向である床版支間方向)には、一般に中間部の2倍の曲げモーメントが作用すると考えられている[3]。このため、RC床版では、十分な剛性を有する端横桁等で支持する、または、中間部の床版の2倍の鉄筋量を配置するといった対応がなされる。

ここで、本橋(既設橋)は、その構造上の制約から、剛性の高い端横桁を配置することはできない。また、CLT床版では、RC床版のような断面内部の対処はできない。しかし、前述のように、床版支間方向の応答レベルには余裕があることから、応答値が2倍に、加えて、直交異方性版としての影響が危険側に生じたとしても、許容値内に収まると思われる。

また、木質材料の許容応力度は、破壊試験から得られた強度に、各種の耐力調整係数を乗じることで設定する。この調整係数のひとつに、荷重継続期間影響係数があり、その値は、長期(50年)1.10、中長期(3ヶ月)1.43、中短期(3日)1.60、短期(10分)2.00とされている[6]。鋼やコンクリートと異なり、時間軸を視野に入れた許容値の設定が可能となる特徴がある。

表2.2.1に示したCLT床版の許容曲げ応力度は、「長期」として設定しているが、死活荷重時の許容応力度は、本橋に常時輪荷重が作用する状況が想定しがたいことを踏まえれば、「短期」として捉えても実用上の問題はない。この場合、許容応力度は、1.82倍(2.00/1.10)となることから、等方性や異方性といった、断面力を算出する際の解析モデルの違いやそれによって生じる影響、連続性が断たれる床版端部の問題等に対しても、概ね安全と評価できると思われる。

これらの影響や問題は、今後の検討により明らかにすべきであるが、本橋では特に、連続性が断たれ、断面力が大きくなることが予想される、床版端部の安全性に配慮し、**図2.2.3**に示す構造を採用した。

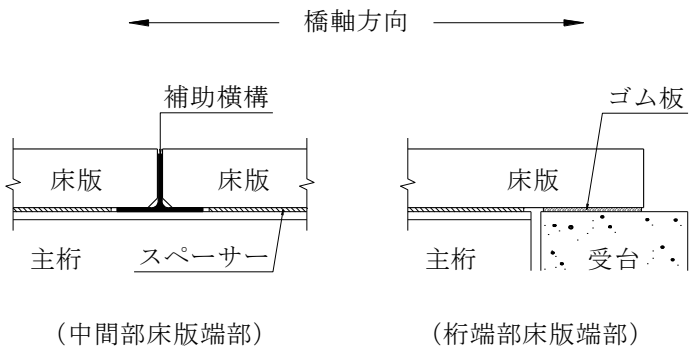


図 2.2.3　床版端部の処理方法

桁端部の床版は、受台上まで延長し、十分に支持させている。また、中間部の床版端部には、床版の支持と車両走行時の段差防止として、CT形鋼を補助横構として配置している。なお、この補助横構は、床版支間1.07mを支間とする単純梁として捉え、その支間中央に後輪重が作用するものとして照査している。曲げ引張に関する応答値は124N/mm^{2}であり、許容値140N/mm^{2}を満足している。

以上により、設計計算上の観点からは、CLT床版の実橋への適用に、問題はないものと判断できる。

2)既設主桁の照査

既設主桁は、主桁とCLT床版、橋面舗装の死荷重と活荷重を考慮し、1-0法を用いて照査した。**表2.2.3**に示すように、曲げとせん断、たわみに共通し、許容値を満足している。このため、CLT床版への取替えに関し、既設主桁への影響はないと評価できる。なお、既設主桁の応力的な余裕が大きいが、これは、設計計算によらず、竣工時に入手可能であった材料、または、何らかの都合で入手できた材料を用いたのではないかと推察する。

表2.2.3　主桁の照査結果

照査内容	曲げ	せん断	活荷重たわみ
応答値	54.3 N/mm^2	5.8 N/mm^2	3.9 mm
許容値	140.0 N/mm^2	80.0 N/mm^2	16.0 mm

2.2.4　防護柵の検討

橋梁には車両の逸脱防止の観点から、**写真 2.2.6** と**写真 2.2.7** に示すような、防護柵が設置されている。現在のところ、防護柵を設置した CLT 床版を実橋に適用した事例はないが、**写真 2.2.8** に示すように、検証実験が行われている。



写真 2.2.1　橋梁用防護柵



写真 2.2.2　ガードレール



写真 2.2.3　実験状況

具体的には、ガードレールを取り付けることを想定し、**図 2.2.4** に示すように、2 種類のベースプレートを用いて、CLT 床版の曲げやめり込みの状況を評価し、取付け部の構造や、張出し床版の設計方法の検討が行われている。

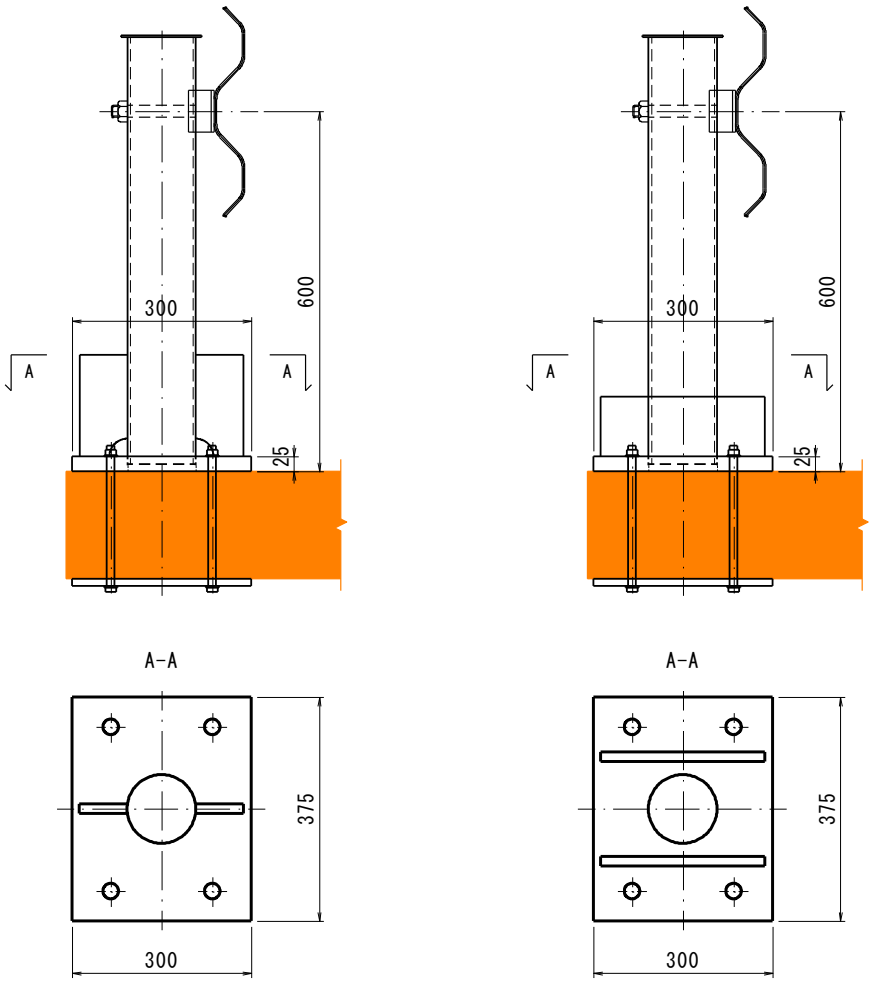


図 2.2.4　CLT 床版に用いる防護柵の検討

参考文献

1) 有山佑亮・豊田淳・佐々木貴信・荒木昇吾・高海克彦：CLT を利用した床版の輪荷重載荷試験，木材利用研究論文報告集 15，pp.17-26，2016.

2) 佐々木貴信・有山佑亮・荒木昇吾・豊田淳・山内秀文・林知行：CLT 床版の耐久性付与技術の開発，木材利用研究論文報告集 16，pp.39-44，2017.

3) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説，Ⅱ鋼橋編，pp.233-257，2012.

4) 日本住宅木材技術センター：CLT 関連告示等解説書，pp.67-85，2016.

5) 土木学会鋼構造委員会木橋技術小委員会：木橋技術の手引き 2005，pp.87-88，2005.

6) 日本建築学会：木質構造設計規準・同解説，pp.153-157，2002.

2.3　耐久性評価方法の検討

2.3.1　耐久性評価における課題

木製構造物は、有機物である木材を主構造に利用することから、生物劣化と呼ばれる鋼材やコンクリートには生じない劣化が生じる。その速度は設置環境により大きく異なり、好適な環境下であればほぼ進行しない一方で適度な水分と気温の下ではとても早い。このことから、外構木構造物では常に耐久性が課題となる。

生物劣化に好適な環境とは、適度な温度、適度な水分と空気の 3 つが揃うことである。このうち、唯一対策可能なのは水分であり、その供給元である雨水を遮断するために屋根を架けるのが最も有効な方法である。ただし、それは容易なことではなく、結果としてほとんどの外構木製構造物は無防備な状態に置かれている。

例えば木橋は、河川等を横断しつつも極めて単純な構造を有している。ほとんどの橋に屋根がないのは、それを備えることによるコストアップと耐風性能の低下を考慮しているためである。重要な部材が露出していることは好ましいことではないが、点検には有利である。ただし、桁端部は狭あいになりやすく、通気性も悪いため劣化しやすい。写真 2.3-1 はその一例である。



写真 2.3-1　木橋の劣化の事例

外構木構造物の耐久性評価に関する最も大きな課題は、その方法が確立されていないことである。かつて鋼材やコンクリートが高嶺の花であった時代には、外構構造物でも木製はあたりまえであったが、この時代には耐久性向上技術も未発達であったため、それらは概ね短命であった。例えばかつての時代の木橋は 10 年程度で更新されるものとされており、耐久性向上はほぼあきらめられていた。これが鋼材やコンクリートが容易に入手できる時代になると、それらによる「永久構造物」が主流となった。永久な構造物かどうかは別としても、それらの材料寿命はおおむね長いため、外構木構造物は急激に数を減らすことになった。

このような背景から、木製構造物は短命であり耐久性向上策はないと未だに思っている技術者は多い。例えば写真 2.3-2 は、流れ橋で有名な上津屋橋である。京都府道として管理されている珍しい橋であるが、数年ごとに流されることを前提に積極的な耐久性向上策は採られてこなかった。あまりに頻繁に流れるため 2016 年に流れにくくする大改修が行われたが、この時ようやく耐久性に配慮されることになった。もう一つの例は写真 2.3-3 の旧赤川仮橋である。これは現在のおおさか東線が単線の貨物線だった時代に、淀川橋梁上の空地を大阪市が借り受け歩道としていたもので、2013 年まで使用されていた。木製であった理由は仮橋であったからで、直ちに撤去できるよう非永久構造物とすることが国鉄と大阪市との取り決めだったとのことである。

90 年代になると、建設省（後に国土交通省）が設計基準策定のためのモデル木橋事業に取り組み、合計 5 橋が架設された。この時代には珍しく、点検と補修も考慮されたプロジェクトであったが、それを実行するため 1999 年には木橋技術協会から木橋点検マニュアルが発刊された。2009 年には大幅に改訂されているが、この時点では一般橋における点検の概念はなく、その内容は後に国土交通省から示された橋梁点検要領とは全く異なる独自のものであった。



写真 2.3-2　改修前の上津屋橋



写真 2.3-3　今はない赤川仮橋

2.3.2　既存の評価方法

これまでの我が国のインフラ整備は、新設によるサービスレベルの向上を主眼に進められてきた。それらは当初は木製で、やがて永久構造物化されて耐用年数は向上した。それらでも不具合が生じることはあったが、事例は少ないうちはその場対応で問題はなかった。ところが高度成長期に整備されたものが 50 歳を越えるようになった最近では、これまでにないほどの不具合が見られるようになった。あわせて低成長社会におけるインフラ整備のあり方を検討した結果、2014 年には 5 年に 1 度の点検と早めの保全対応という大転換に踏み切ることになった。

これにあわせて、橋については「橋梁定期点検要領」が示されたが、この中には木橋に関する記述は全くなかった。ただし点検の対象は木橋も含めた全ての橋であるため、木橋の点検ができずに現場は混乱した。そこで日本林道協会と一般社団法人木橋技術協会から、2018 年に「木橋定期点検要領（案）」が示された。これは「橋梁定期点検要領」に準拠しつつ木橋の点検に特化した内容となっており、現状では木橋の点検に関する実質的に唯一のマニュアルとなっている。なお、国土交通省が推進する橋梁点検は、5 年に 1 回の点検が一巡した 2019 年に見直され、「橋梁定期点検要領」も 2019 年に改訂された。これに合わせて「木橋定期点検要領（案）」にも改訂の動きがある。

本報告書の「第 3 章 CLT を用いた橋梁調査」では、この点検要領に準じた点検とその報告がなされている。「3.2 調査項目」「3.4 調査方法」では同要領が引用されており、3.5 の記録様式には同要領のものを使用している。

他に外構木構造物に関する点検基準としては、一般社団法人日本公園施設業協会が定めた「遊具の安全に関する規準」がある。これは遊具全体を取り扱ったものであり、木製遊具に関する記述も含まれている。

以上のように、外構木構造物の点検・管理・評価方法は確立されていないところであるが、一般構造物においても発展途上の段階にあるのが現状である。

2.3.3　耐久性評価のポイント

外構木構造物の耐久性評価の基本となる点検にはいくつかの課題がある。

まず、木橋などの断面が大きな部材では部材内部の劣化が先行する場合がある。外的環境の変化により表面付近は乾湿の繰り返しが生じるが、内部はその影響を受けず湿潤状態が続くためである。このため、表面の観察に加え、内部の状態を把握できる方法を併用する必要がある。CLT のメリットは大断面であるが、このことがより顕著に現れるはずである。

外構木構造物の使用環境は過酷なため、通常は防腐剤の加圧注入による耐久性能が付与される。ただし断面が大きく防腐処理が難しい場合は別の方法での耐久性の担保が必要となる。その対策には以下の 3 つが考えられる。1 つは屋根の設置や構造的工夫による雨がかりの改善である。ただ、屋根は高価であるが効果は完全ではなく、耐風性という別の弱点も抱え混むことになる。保護材で覆えば、点検の支障となる。2 つめはラッピング処理等による雨水の遮断等である。これは鋼材の塗装と同じであるが、基材の寸法が変化しやすい木材では変形に追従できる完全なラッピング処理は容易ではない。3 つめは、部材の交換である。木材は現場で部材が完全に一体化できないゆえに交換による保守は容易である。ただ、これは部材コストが安い場合にメリットはあるが、比較的高価な CLT では現れにくいメリットでもある。 以

上のことから、可能であれば防腐注入、不可能な場合はラッピング処理が現状では最善の耐久性向上策と言える。

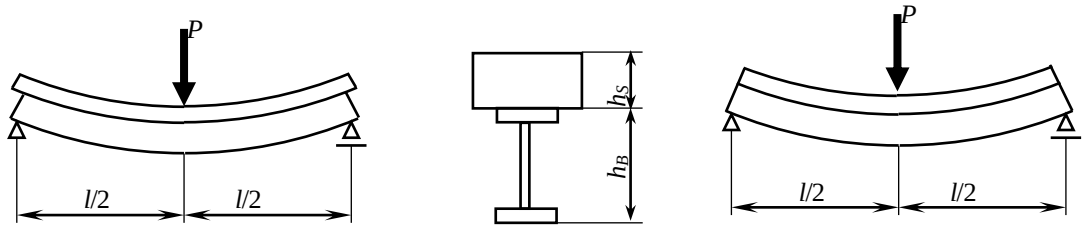
具体的な点検の方法としては、木材に特化した方法にしないことが重要である。構造物の点検は材料の区別なく行われるため、特殊な点検を求めると点検できる技術者いなくなる上、点検が高価となるためである。これも外構木構造物が増えない理由のひとつとなっており、留意したいところである。

2.4　床版と主桁の接合技術

2.4.1　床版－主桁の合成作用

橋梁の床版は、力学的には自動車荷重や歩行者荷重等を支える床としての役割を担い、平板解析によりその挙動を明らかにすることができる。その平板の支持辺が鉛直方向にたわむことがなければ、平板解析は容易であるが、橋桁の上に置かれた床版では、桁自身が荷重によりたわむため、床版のたわみや床版内部の応力を求めることは難しくなる。

一般的な橋梁では、主桁にはI形断面を有する鋼材を用い、床版には鉄筋コンクリート(RC)を用いている例が多い。このような2種類の部材が重なった構造が鉛直荷重を受けるとき、それらの結合状態、すなわち重なっているだけで結合してない状態、及び、剛結して一体化している状態に応じて、**図2.4-1**のような変形が生じる。ここで、(a)は前者の変形状態、(c)は後者の変形状態を表している。



(a) 重ねばり　(b) 断面　(c) 合成ばり

図2.4-1　重ねばりと合成ばりの変形

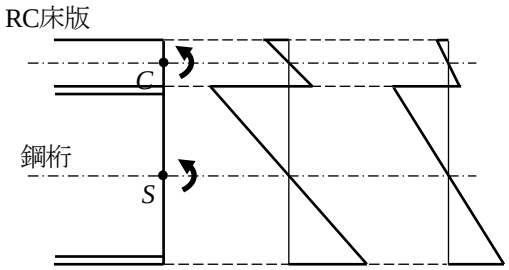
重ねばりは2部材間が結合しておらず、たわませるとずれが生じる。一方、合成ばりでは2部材が一体化して(完全合成)、ずれが生じない。床版と鋼桁を重ねばりとして設計した橋を「非合成桁橋」、合成ばりとして設計した橋を「合成桁橋」と呼んでいる。床版をRC床版、主桁をI形断面鋼桁とする合成桁橋では、完全合成を実現させるために、鋼桁の上フランジ上面にずれ止め(ジベル)が取り付けられている。ずれ止めには頭付きスタッドジベルが多く使用される。

RC床版鋼桁橋を非合成桁橋として設計する場合、主桁の断面性能は鋼桁のみを考慮し、床版部分は考慮しない。主桁に作用する曲げモーメントは主桁のみに作用し、断面は上フランジと下フランジをほぼ等しい寸法とする。合成桁橋として設計する場合は、RC床版と鋼桁が一体化しているため、主桁の断面性能は床版部分も考慮して計算される。主桁に作用する曲げモーメントは主桁－床版の一体化した断面に作用する。合成桁橋では、RC床版が鋼桁の上フランジを兼ねているため、上フランジの断面積は小さくてよく、ずれ止めが取り付けられる幅があればよい。したがって、合成桁橋では鋼桁は上下非対称断面となっている。

2.4.2　断面の応力分布

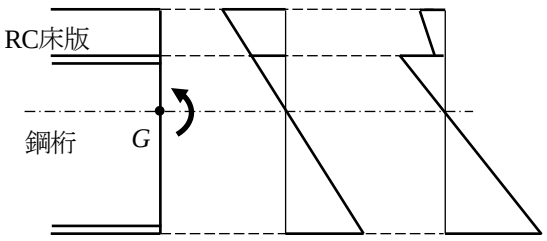
非合成桁橋の主桁が曲げモーメントを受けるとき、主桁と床版の断面には**図2.4-2**のようなひずみεと垂直応力σが分布する。RC床版と鋼桁上フランジの境界面で滑りが生じるため、ひずみと応力は不連続となる。一方、合成桁橋では**図2.4-3**のような分布となり、ひずみ分布は境界面で連続となるが、応力分布はRCと鋼のヤング係数が異なるため不連続となる。なお、これらの図で示したRC床版のひずみ分布、応力分布は、鋼桁直上の床版内の分布であり、主桁の曲げモーメントにより生じるもののみを表している。床版支間中央部の面外曲げモーメントによるものは考慮していない。

図2.4-2と**図2.4-3**はおよその傾向を表したものであり、値の大きさを比較することはできないが、一般に非合成桁橋より合成桁橋の方が応力を小さくすることができ、また、曲げ剛性も高いため桁のたわみを



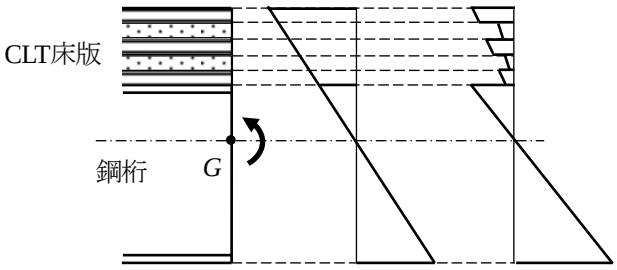
(a) ε分布　(b) σ分布

図2.4-2　非合成桁断面のひずみと応力分布



(a) ε分布　(b) σ分布

図2.4-3　合成桁断面のひずみと応力分布



(a) ε分布　(b) σ分布

図2.4-4　CLT床版を用いた合成桁断面のひずみと応力分布

小さくすることが可能である。したがって、合成桁橋では非合成桁橋より鋼桁の断面を小さくすることができ、材料コストを抑えることができる。また、コンクリートは圧縮に強いため曲げを受ける桁の圧縮側にRC床版を配置する合成桁橋は非常に合理的である。

今、仮に合成桁橋の床版としてCLTを用いるものとする。CLTと鋼桁の上フランジは何らかの方法で剛結されるものとする。この合成桁橋が曲げモーメントを受けるとき、ひずみ分布と応力分布はおおよそ**図2.4-4**のようになる。ひずみ分布は**図2.4-3**と同様であるが、CLT床版内での応力は、ラミナが直交配置となっているため複雑な分布となる。これは、橋軸方向のヤング係数は、ラミナの繊維方向ヤング係数になる場合と、繊維直角方向になる場合があるためである。

RC床版を用いた合成桁橋を設計する際、RCのヤング係数は鋼材のヤング係数の1/7と定められている。木材の繊維方向のヤング係数は、樹種にもよるがおおよそ鋼材の1/20程度である。また、木材の繊維直角方向のヤング係数は繊維方向の1/25程度である。したがって、CLTを合成桁橋の床版として扱ったとしても、断面内に生じる応力は極めて小さく、合成桁橋のメリットが表れにくい。すなわち、断面性能があまり向上せず、床版が鋼桁上フランジの役割を兼ねる効果が殆ど期待できない。更に、CLT床版と鋼桁を剛結にするには、CLT床版の裏面にスタッドジベル等の突起物が入るための穴を開ける等の加工が必要で、多大なコストと労力がかかる。

以上の点から、CLTを橋梁の床版として用いる場合は、非合成桁橋として設計する。RC床版非合成桁橋では、設計上、床版と鋼桁はずれても良しとするが、自動車の加速・減速の際や地震の際に床版が移動しては不都合なため、スタッドジベルほど強固ではない簡易的なずれ止め(スラブアンカー)が使用されている。CLT床版と鋼桁の接合においても、同様な考え方で床版が移動しないことを目的とした接合方法を採用する。

2.4.3　CLT床版と主桁の接合

RC床版鋼桁橋の床版が劣化して、床版をRCからCLTに変更する補修を行う場合、床版の死荷重を低減できるメリットが生まれるが、元の橋梁が合成桁橋であれば注意を要する。すなわち、RC床版が負担していた曲げ応力を、補修後(CLT床版による非合成桁橋)は鋼桁で負担することになり、強度不足に陥る可能性がある。元の橋梁が非合成桁の場合はそれほど問題ないが、床版と鋼桁を接合するために上フランジに穴を開けるときは、断面欠損になるため注意しなくてはならない。

実在橋で床版にCLTを適用した例はまだ少ないが、CLT床版と主桁の接合に関する施工事例を紹介する。

①Hundorp Bridge（ノルウェー）

1924年に架設された鋼トラス橋の床版をCLT床版としたものである。床版は元々はコンクリートであったが既に複数回打ち換えられている。幅員3686mmの床版が6本のI形断面の縦桁で支持されている。**図2.4-5**はその接合部を表している。Z形断面の金物で縦桁上フランジを左右から挟んでいる。この接合を縦桁6本のうち2本のみで行い、残りの4本の縦桁では特に接合がなされていない。金物のフランジ部はCLT床版下面と接し、ラグスクリューで固定されている。金物のもう一方のフランジ部は縦桁の上フランジの下面に接している。しかし、金物と縦桁上フランジは固定されていない。すなわち、この接合方法では、CLT床版は橋軸直角方向には固定されているが、橋軸方向には移動が許容されている。

写真2.4-1はこの接合金物を表している。不等辺山形鋼の端部に、縦桁上フランジの自由突出部よりやや短い鋼板を溶接してZ形断面としている。一つの金物を2本のラグスクリューで固定している。

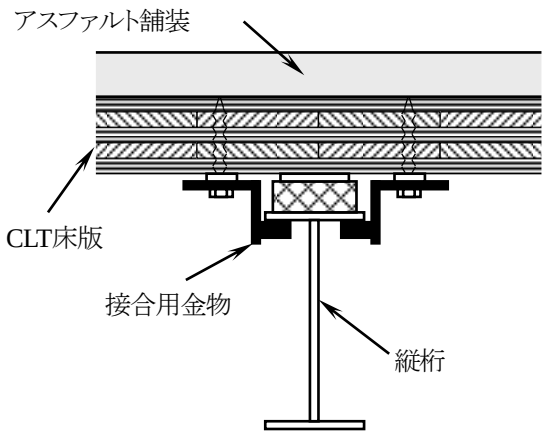


図2.4-5　接合部断面



写真2.4-1　接合用金物

②石倉沢橋（秋田県）

平成29年度に新設した桁長6950mm、全幅3860mmのCLT床版鋼3主桁橋である。主桁にはH形鋼(300×300mm)が使用されている。CLT床版は、橋軸方向1735mm、橋軸直角方向3700mmのパネルを4枚使用し、現場でクレーンにより主桁上に設置される。主桁と同一断面の横桁がCLTパネルの橋軸方向寸法とほぼ同じ間隔で配置されているため、CLTパネルは主桁と横桁により周辺及び中央部が支持される(**図2.4-6**)。

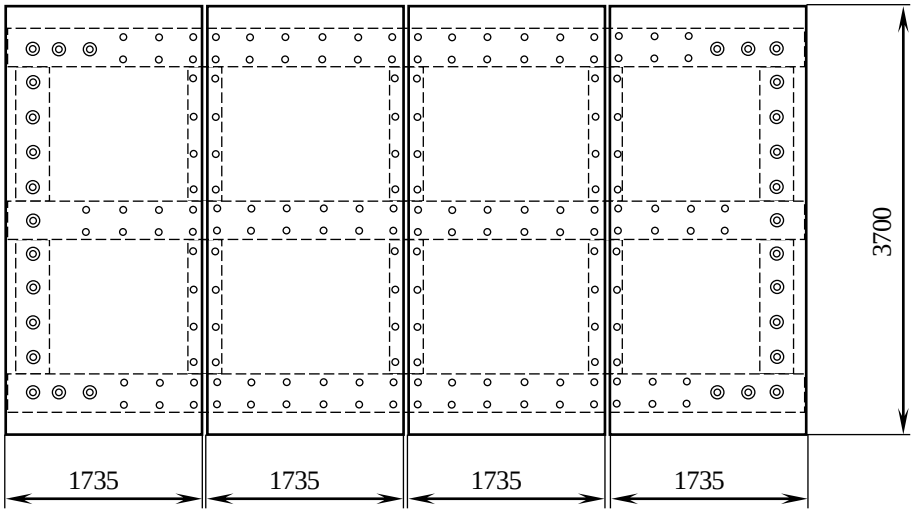


図2.4-6　CLT床版と主桁・横桁配置(石倉沢橋)

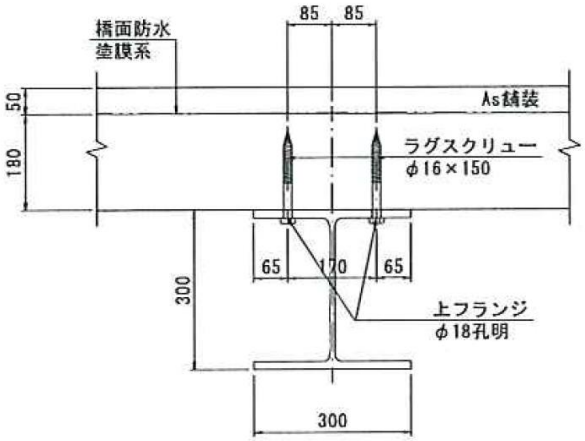


図2.4-7　ラグスクリューによる接合

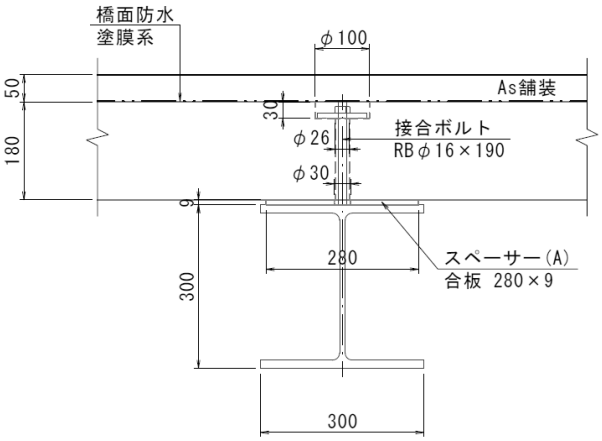


図2.4-8　スタッドボルトによる接合



写真2.4-2　ラグスクリューの締付作業

主桁と横桁の上フランジには、あらかじめラグスクリュー用の穴が開けられており(**図2.4-6**の○印)、クレーンでCLTパネルを設置した後、上フランジの下方からラグスクリューの締め付けを行う。ただし、主桁の桁端と端横桁においては、下方からの締め付けができないため上フランジ上面にスタッドボルトを溶接し、CLTパネルに開けられた穴にはめ込んでいる。ラグスクリュー接合部及びスタッドボルト接合部の詳細を、それぞれ**図2.4-7**及び**図2.4-8**に示す。**写真2.4-2**は主桁の上フランジ下方からラグスクリューの締め付けを行っている状況を表している。

③秋田県農道橋（2号橋）

クリ製材による木床版鋼桁橋の改修工事に伴い、床版にCLTを適用した事例である。**図2.4-9**、**写真2.4-3**に示すようなH形鋼を主桁とする桁長9570mm、全幅3600mmの4主桁橋である。CLT床版は、橋軸方向1990mm、橋軸直角方向3450mmのパネルを5枚使用する。各CLTパネルの橋軸直角方向の2辺は、CT形鋼(118×176×3600mm)で支持される。このCT形鋼は橋軸方向に2000mm間隔で配置され、主桁の上フランジに現場溶接される。

CLTパネルはCT形鋼の間にはめ込まれ、**写真2.4-4**のように端部に取り付けられた不等辺山形鋼(100×75×10×70)により固定される。CT形鋼と不等辺山形鋼の接合には、普通六角ボルト(M12×40)を用い、不等

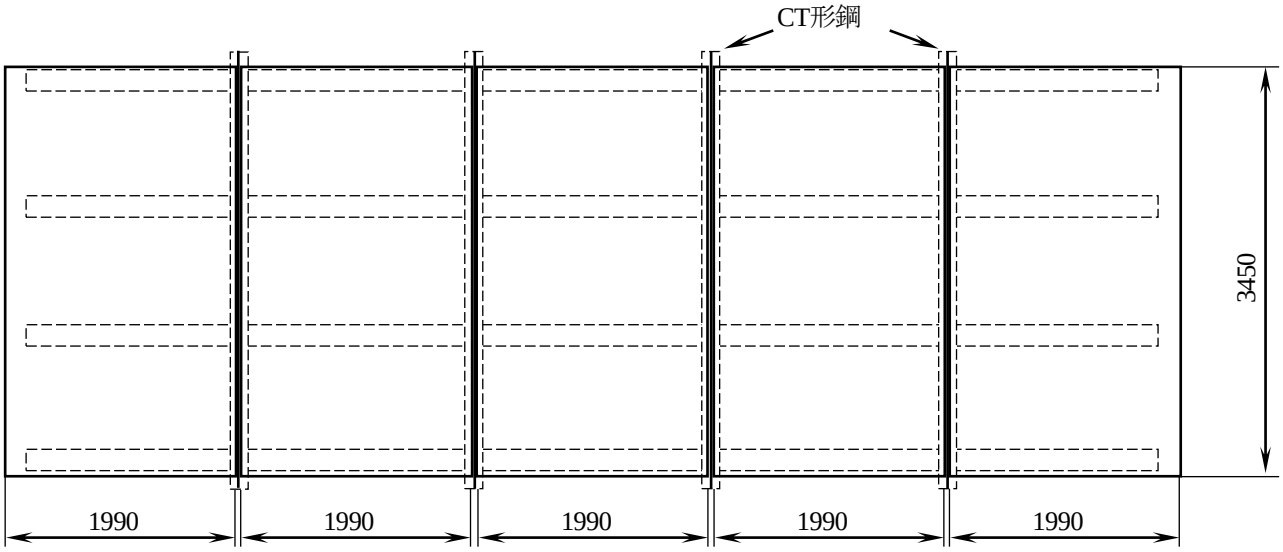


図2.4-9　CLT床版と主桁・CT形鋼配置(2号橋)



写真2.4-3　2号橋床版下面

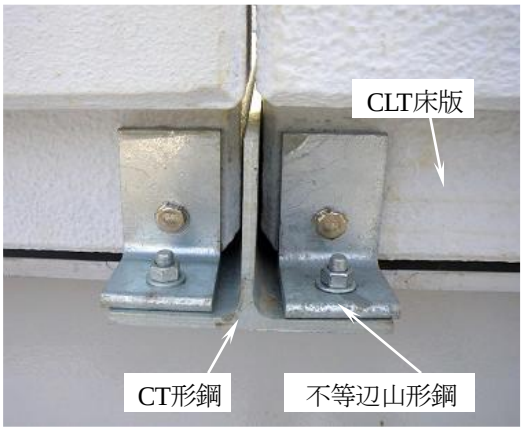


写真2.4-4　2号橋接合用金物

辺山形鋼とCLTパネルの接合にはラグスクリュー(M12×75)が用いられている。CT形鋼のフランジ厚は8mmであり、これと等しい板厚のスギ板がスペーサーとしてCLTパネル下面と鋼桁上フランジ上面の間に置かれている。CLTパネルは、CT形鋼により橋軸方向への移動が拘束され、不等辺山形鋼により橋軸直角方向の移動が拘束されている。

一般的なRC床版では、主桁が床版の支持辺となり、床版の主鉄筋を橋軸直角方向に入れる。支持辺がこのように主桁のみの場合、床版にCLTを適用することに特にはメリットがなく、繊維方向が一方向の集成材の方が適している。②や③の事例のように、横桁やCT形鋼も支持辺に加えて直交する2方向で床版を支持することで、CLTを適用するメリットが生まれる。

2.5　床版利用における CLT の強度

2.5.1　木橋に用いられる CLT

建築で利用される直交集成板（Cross-laminated timber：CLT）は指定建築材料であり、平成 13 年国交省告示第 1446 号 [1]に示す直交集成板の品質に関する技術的基準か直交集成板の日本農林規格（以下直交集成板 JAS という）：JAS 3079（最終改正：令和元年）[2]に適合する必要がある。ただし、土木利用される木材製品に対しては構造材としての法律上の要件があるわけではなく、より合理的な設計を行うために独自の製品仕様とすることも可能である。そこで、本節では、建築で使用される CLT の規格について触れた後、木橋に用いるための製品仕様についても考察を加える。

2.5.2　JAS 規格に適合した製品

①　用語の定義

CLT を構成する要素などに関する言葉とその定義を以下に説明する。

ラミナ（lamination）：等級区分したひき板、あるいはこれらをたて継ぎや幅はぎにより寸法調整したもので、積層するために準備されたエレメント。

プライ（ply）：ラミナをその繊維方向を互いにほぼ平行にして幅方向に並べ又は接着したもの。JAS 規格に特有な定義。

層（layer）：ラミナの繊維方向をほぼ平行に幅方向に並べたもの。プライという概念に対応して、「プライ又はプライをその繊維方向を互いにほぼ平行に積層接着したもの」と定義される。

外層（outermost layer）：CLT 表面の層をいう。

内層（inner layer）：表層に挟まれた層をいう。

CLT の強軸方向（major strength direction）：CLT 表層の繊維に平行な方向をいう。

CLT の弱軸方向（minor strength direction）：CLT 表層の繊維に直交（交差）する方向をいう。

平行層（parallel layer）：CLT の強軸方向に平行にラミナの繊維方向を並べた層をいう。

直交層（perpendicular layer）：CLT の弱軸方向にラミナの繊維方向を並べた層をいう。

層構成（layup）：CLT の層の構成をいう。

CLT の長さ：CLT の強軸に平行方向の辺長の長さをいう。

CLT の幅：CLT の弱軸に平行方向の辺長の長さをいう。

CLT の厚さ：CLT の積層方向の辺長をいう。

②　JAS 製品の仕様とその表示

JAS 格付けされた製品には以下の項目に関する表示がされる。

品名：構成する層のラミナの品質が異なる「異等級構成直交集成板」と構成する層のラミナの品質が同一である「同一等級構成直交集成板」がある。

強度等級：異等級構成直交集成板を表す“Mx”又は同一等級構成直交集成板を表す“S”に続けて、外層に用いたラミナの曲げヤング係数を表す数値（120・90・60・30：表示の単位は tonf/cm^2）、層構成を表す「3 層 3 プライ（3-3）」・「3 層 4 プライ（3-4）」・「5 層 5 プライ（5-5）」・「5 層 7 プライ（5-7）」・「7 層 7 プライ（7-7）」・「9 層 9 プライ（9-9）」を組合せた記号で記載されている。

種別：等級区分機によって測定されたラミナの曲げヤング係数に上限値を定めないラミナ又は目視によって区分されたラミナを使用したものを「A 種構成」、曲げヤング係数に上限値を定めたうえで貫通割れや丸身がないことを確認したラミナを使用したものを「B 種構成」として記載する。

接着性能：「使用環境 A」、「使用環境 B」、「使用環境 C」の区分がある。使用環境 A および使用環境 B ではレゾルシノール樹脂（RF）、レゾルシノール・フェノール樹脂（RPF）が、使用環境 C ではこれらに加えて水性高分子ーイソシアネー

ト系樹脂（API）が使用できる。接着の程度については、浸せき剥離試験と煮沸剥離試験または減圧加圧剥離試験における剥離率とブロックせん断試験の結果で判定する。

樹種名：用いたラミナの樹種名を一般名で記載する。複数の樹種を用いた場合は樹種名と使用箇所（外層・強軸内層・弱軸内層）の組合せで記載する。

寸法：厚さ（積層方向の辺長）、幅（外層ラミナの繊維に直角方向の辺長）、長さ（外層ラミナの繊維に平行方向の辺長）を単位とともに記載する。

③ 製造

製材されたひき板は平均含水率 10～12%程度に人工乾燥された後、後述する強度等級区分する。CLT パネル（マザーボード）の寸法に合わせて同じ等級のひき板をたて継ぎや幅はぎして寸法調整しラミナとする。ラミナの厚さは 12～50mm、幅は 300mm 以下とし、平行層用ラミナにあってはその幅は厚さの 1.75 倍以上、直交層用ラミナにあっては厚さの 3.5 倍以上とする。これらのラミナを幅方向に並べて一つのプライを構成するが、ラミナの幅方向を幅はぎ接着により一体化させる場合と一体化させない場合がある。これらのプライ又はラミナに接着剤を塗布し、後述する JAS に例示されるラミナ等級の構成にしたがって配置し、所定の時間積層方向に圧締する。プライを一体化しない場合は同時に側圧等をかけるなどしてラミナ間に生じる隙間を 6mm 以内にする必要がある。養生した後、所定の製品寸法に裁断し、必要に応じて表面仕上げ、接合部等の加工、保護塗料塗布などを行って出荷される。

直交集成板 JAS には保存処理に該当する規定はない。AQ 認証制度には防腐・防蟻処理直交集成板の品目があり、防腐防蟻処理試験・接着性能試験・含水率試験・曲げ試験の方法と基準、使用できる薬剤が規定されている。性能区分は 2 種（K3 相当）である。

④ ラミナの強度等級区分

ラミナの強度等級区分は、基本的には機械等級区分で行われているが、規格上は目視等級区分も規定されている。機械等級区分では、測定された曲げヤング係数により M120、M90、M60、M30 の 4 等級に区分される。目視等級区分では、節の大きさ、繊維走行の傾斜、腐れ等の有無、年輪幅あるいは髄からの距離などの各項目の基準に応じて 1 等と 2 等に区分される。

⑤ 層構成

CLT の強度等級に応じてラミナの配置が定められており、異等級構成にあっては外層と内層の組合せが規定されている。JAS 規格では、表 2.5.2-1 に示すように 6 種類規定されている。

表 2.5.2-1　JAS 規格における層構成

構成の区分	構成の方法
3層3プライ	＝⊥＝
4層3プライ	＝⊥⊥＝
5層5プライ	＝⊥＝⊥＝
5層7プライ	＝＝⊥＝⊥＝＝
7層7プライ	＝⊥＝⊥＝⊥＝
9層9プライ	＝⊥＝⊥＝⊥＝⊥＝

＝は、強軸方向のプライを、⊥は、弱軸方向のプライを表す

⑥ 基準強度

直交集成板の基準強度は平成 13 年国交省告示第 1024 号[3]に与えられている。圧縮・引張り・曲げ（積層方向、幅方向）・せん断（積層方向、幅方向）の基準強度は、品質や樹種に基づくラミナの強度性能値を告示で示された計算式に代入して算出する。また、めり込みについては、外層ラミナの樹種に応じてその値が定められている。これら以外で設計に必要になる基準弾性係数等については、「CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル増補版」[4, 5]に示されている。

直交集成板 JAS では、強度等級区分やたて継ぎ部の品質管理を行ったラミナを定められたラミナ構成で積層接着することで製品の強度性能を保証する。

(a) **面外方向の曲げ強さ**

直交集成板の積層方向の曲げ強度の算出に等価断面法に基づいた式(2.5.2-1)を用いる。面外方向の曲げ強度では、等価断面の断面二次モーメントI_Aと全断面の断面二次モーメントI_0の比率(I_A/I_0)に比例していると考えて、基準とした層のラミナの曲げ強度にその比率を乗じて算出する。

$$F_b = \sigma_{b_oml} \frac{I_A}{I_0} \times 0.4875 \qquad (2.5.2\text{-}1)$$

σ_{b_oml} 強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの曲げ強度、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては内層の最も外側の層に使用するラミナの曲げ強度である。

I_A 直交集成板の等価断面の断面二次モーメント、式(2.5.2-2)により計算する。

$$I_A = \frac{\Sigma\left(E_i I_i + E_i A_i z_i^2\right)}{E_0} \qquad (2.5.2\text{-}2)$$

この式において、E_i、I_i、A_i、E_0及びz_iは、それぞれ次の数値を表す。

E_i i 番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数

強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては直交層に使用するラミナの曲げヤング係数及び弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては平行層に使用するラミナの曲げヤング係数とする。

I_i i 番目の層の断面二次モーメント

A_i i 番目の層の断面積

z_i 直交集成板の中立軸とi番目の層のラミナの重心との距離

E_0 強軸方向の基準強度を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの曲げヤング係数、弱軸方向の基準強度を計算する場合にあっては内層の最も外側に使用するラミナの曲げヤング係数。

I_0 直交集成板の断面二次モーメント

(b) **面外方向の曲げヤング係数**

直交集成板の面外方向の曲げヤング係数 E_b の算出には、等価断面法に基づいた式(2.5.2-3)が用いられる。面外方向の曲げヤング係数は等価断面の断面二次モーメントI_Aと全断面の断面二次モーメントI_0の比率(I_A/I_0)に比例していると考えて、基準とした層のラミナの曲げヤング係数 E_{b_oml} にその比率を乗じて算出する。

$$E_b = E_{b_oml} \times \frac{I_A}{I_0} \qquad (2.5.2\text{-}3)$$

E_{b_oml} 強軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては外層に用いられるラミナの曲げヤング係数、弱軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては内層の最も外側の層に使用するラミナの曲げヤング係数になる。

I_A 直交集成板の等価断面の断面二次モーメント、式(2.5.2-4)により計算する。

$$I_A = \frac{\Sigma\left(E_i I_i + E_i A_i z_i^2\right)}{E_0} \tag{2.5.2-4}$$

この式において、E_i、I_i、A_i、E_0及びz_iは、それぞれ次の数値を表す。

E_i　i番目の層に使用するラミナの曲げヤング係数

I_i　i番目の層の断面二次モーメント

A_i　i番目の層の断面積

z_i　直交集成板の中立軸とi番目の層のラミナの重心との距離

E_0　強軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては外層に使用するラミナの曲げヤング係数、弱軸方向の曲げヤング係数を計算する場合にあっては内層の最も外側に使用するラミナの曲げヤング係数。

I_0　直交集成板の断面二次モーメント

(c) 面外方向のせん断弾性係数

面外方向のせん断弾性係数は、重ね梁の計算式[6,7]で計算することができる(図 2.5.2-1)。

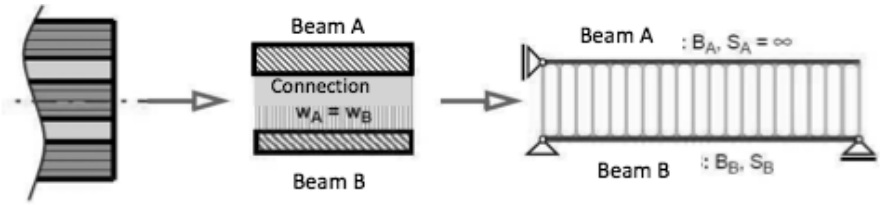


図 2.5.2-1　2 つの仮想梁モデル

梁 A 及び梁 B のせん断剛性S_A、S_Bは以下の式(2.5.2-5)、式(2.5.2-6)で表される。

$$S_A = \infty \tag{2.5.2-5}$$

$$S_B = \frac{a^2}{\sum_{i=1}^{n-1} \frac{1}{k_i} + \frac{h_1}{2G_1 b_1} + \sum_{i=2}^{n-2} \frac{h_i}{G_i b_i} + \frac{h_n}{2G_n b_n}} \tag{2.5.2-6}$$

ここで、　G_i:せん断弾性係数

k_i:接合部のすべり係数、$k_i = K_i / s_i$

K_i:接合部の剛性(CLT では接着層)

s_i:接合部の長さ(CLT では接着層 $s_i \fallingdotseq 0$)

a:最外にある平行層の中心間距離

式(2.5.2-5)、式(2.5.2-6)から、CLT の曲げ剛性とせん断剛性は式(2.5.2-7)で表される。

$$(GA)_{eff} = \frac{a^2}{\frac{h_1}{2G_1 b_1} + \sum_{i=2}^{n-2} \frac{h_i}{G_i b_i} + \frac{h_n}{2G_n b_n}} \tag{2.5.2-7}$$

G_iはラミナの方向によって決められる。繊維に平行する方向のヤング係数E_0を用いて、せん断弾性係数G_0、繊維に直交する方向のせん断弾性係数G_{90}は次のように表す。式(2.5.2-7)のE_i、G_iには、例えば 5 層 5

プライや 7 層 7 プライの外層が強軸方向の CLT では、 i が奇数のときには G_0 を、 i が偶数のときには G_{90} の値を用いる。

$$E_{90} = \frac{E_0}{e_1} \quad 、 \quad G_0 = \frac{E_0}{e_2} \quad 、 \quad G_{90} = \frac{G_0}{e_3} \tag{2.5.2-8}$$

ここで、 e_1、 e_2、 e_3：係数

CLT Handbook[7] では、e_1、e_2、e_3 として、それぞれ、30、16、10 が提案されている。

2.5.3 木橋に用いられる CLT

冒頭で述べたように、木材・木質材料を橋梁の構造材として使用する場合、建築用構造材ほどの法的な規制はない。

ここでは、国産 CLT を木橋で利用することを考慮して製品の生産状況を確認するとともに、強度性能面で JAS 規格に規定されていない製品仕様等の活用方法について考察する。

① 国産 CLT の製造状況

屋外構造物用の構造材ということで接着剤、木橋部材としては床版での使用が最も考えられることからその寸法、供給面から工場の立地についてまとめると、表 2.5.3-1 のようになる。

水性高分子イソシアネート系樹脂は、屋外のような厳しい環境下ですぐ劣化し剥離するような接着剤ではないが、レゾルシノール・フェノール樹脂と比べるとこれまでの実績は少ない。安心を優先させるのであればレゾルシノール・フェノール樹脂を選択することになる。その場合、CLT パネルの幅は 1,200mm、長さは 6,200mmくらいを最大寸法と考えておくと製品調達の確実性は増す。

表 2.5.3-1 国産 CLT の生産状況

接着剤	厚さ × 幅 × 長さ （単位：mm）	工場所在地
レゾルシノール・フェノール樹脂 又は 水性高分子イソシアネート系樹脂	36～450 × 1,200 × 8,350	宮城県
	90～270 × 1,250 × 6,200	石川県
	60～210 × 1,200 × 6,250	北海道
	36～450 × 2,000 × 4,000	鹿児島県
水性高分子イソシアネート系樹脂	60～270 × 3,000 × 12,000	岡山県
	60～400 × 3,000 × 12,000	愛媛県
	36～ 90 × 1,250 × 4,000	鳥取県

② JAS 規格にない層構成

JAS 規格ではラミナの層構成は 6 種類である（表）。しかしながら、橋梁の床版用途としての CLT の疲労耐久性について、厚さ 240mm、7 層 8 プライの構成の CLT で評価した佐々木らの報告[8]もあるように、必ずしも JAS 規格が規定する層構成に捉われるものではない。

そこで、層構成の選択肢が増えるプライ数が多い場合について、JAS 規格にない層構成を想定しその面外方向の曲げ性能との関係を表 2.5.3-2 にまとめて示す。加えて、外層直下の直交層に外層用の JAS 規格の規定より高い品質のラミナを配し、弱軸の強度性能を向上させ、より等方性の版として生産する方式についても検討したので、合せて表 2.5.3-2 に示す。

ここでは、外層用に M60、内層用に M30 を用いることを想定した。また、外層が 2 プライになる場合（例えば 5 層 7 プライ）は、吸水・吸湿に伴う寸法変化が大きくなることが懸念されることから、外層は 1 プライの場合に限定した。さらに、層構成は断面の中心軸に対して対称のラミナ等級配置になる場合に限定し、非対称構成は検討の対象外とした。

表 2.5.3-2　層構成と面外方向の曲げに係る諸性能

層数 プライ数	JAS 構成	外層数	構成 // 平行層,⊥ 直交層,太字は外層扱い	強軸			弱軸		
				MOE	G	MOR	MOE	G	MOR
3層 3プライ	○	2	**//** ⊥ **//**	5.77	0.023	12.67	0.11	0.062	0.36
3層 4プライ	○	2	**//** ⊥ ⊥ **//**	5.25	0.020	11.51	0.37	0.093	1.18
5層 5プライ	○	2	**//** ⊥ // ⊥ **//**	4.72	0.027	10.37	0.62	0.012	1.97
5層 6プライ		2	**//** ⊥ // // ⊥ **//**	5.33	0.045	11.70	1.11	0.013	3.52
5層 7プライ	○	4	**//** **//** ⊥ // ⊥ **//** **//**	5.53	0.029	12.14	0.22	0.008	0.72
7層 7プライ	○	2	**//** ⊥ // ⊥ // ⊥ **//**	4.04	0.042	8.87	0.86	0.019	3.80
5層 8プライ		2	**//** ⊥ ⊥ // // ⊥ ⊥ **//**	3.51	0.027	7.71	1.22	0.024	3.86
7層 8プライ		2	**//** ⊥ // ⊥ ⊥ // ⊥ **//**	3.79	0.027	8.33	0.93	0.024	2.97
5層 8プライ		4	**//** ⊥ ⊥ // // ⊥ ⊥ **//**	3.51	0.035	7.71	2.11	0.025	4.63
7層 8プライ		4	**//** ⊥ // ⊥ ⊥ // ⊥ **//**	3.79	0.035	8.33	1.83	0.025	4.01
7層 9プライ-1		2	**//** ⊥ ⊥ // ⊥ // ⊥ ⊥ **//**	3.28	0.025	7.21	1.30	0.030	4.13
7層 9プライ-2		2	**//** ⊥ // // ⊥ // // ⊥ **//**	3.69	0.038	8.09	0.90	0.017	2.86
9層 9プライ	○	2	**//** ⊥ // ⊥ // ⊥ // ⊥ **//**	3.58	0.030	7.87	1.00	0.022	3.18
7層 9プライ-1		4	**//** ⊥ ⊥ // ⊥ // ⊥ ⊥ **//**	3.28	0.031	7.21	2.20	0.031	4.83
7層 9プライ-2		4	**//** ⊥ // // ⊥ // // ⊥ **//**	3.69	0.054	8.09	1.80	0.017	3.94
9層 9プライ		4	**//** ⊥ // ⊥ // ⊥ // ⊥ **//**	3.58	0.039	7.87	1.90	0.022	4.17

この結果、プライ数が増えるにしたがって強軸の MOE、MOR は小さくなるが、弱軸の MOE、MOR は大きくなり、版面の等方性の度合いが強くなる。平行層直下の直交層のラミナ品質を外層用にすることで等方性の度合いはさらに強くなる。なお、断面二次モーメント、断面係数を考慮した曲げ剛性、曲げ耐力はプライ数増にて伴って増加することは補足しておく。橋梁の床版に求められる性能検証が必要である。

また、計算式に代入した曲げヤング係数は建築分野にならって JAS 規格に定めるラミナ等級の基準の平均値とした。しかし、実際のラミナ等級の平均は基準値よりかなり高い場合が多い。工場での等級区分時に収集されるデータが活用できればより合理的な設計が可能になると考えられる。

文献

1) 国土交通省、平成 13 年国交省告示第 1446 号、2000
2) 農林水産省:JAS 3079-2019 直交集成板の日本農林規格(最終改正:令和元年), 2019
3) 国土交通省、平成 13 年国交省告示第 1024 号、2000
4) CLT 設計施工マニュアル編集委員会:2016 年版 CLT を用いた建築物の設計施工マニュアル増補版, 日本住宅・木材技術センター, 2016 年
5) マニュアル追補 https://www.howtec.or.jp/files/libs/2746/201905241544129990.pdf
6) FPInnovations 、CLT Handbook US edition, chapter3, 2013
7) Maria Guggenberger: Comparative view on the computational and design procedures of CLT elements loaded in bending in accordance to Canadian and European standards and design guidelines、 Master Thesis、 GraZ University of Technology、 2012
8) 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要旨集, H18-P1-11, 2017.

2.6　CLT の運搬、施工等

2.6.1　　CLT の運搬

①　　輸送可能サイズ

実際には、現場までの道路事情、また、現場の状況によっても架構形状が決定されるケースが多々あるので注意が必要。(部材の大きさを制限するものには、他にも原材料(製材、丸太の寸法)や製造設備の条件があるので、事前に製造工場と協議すること。)

図１　　車両制限による通常の輸送可能範囲（鉄骨工事技術指針より抜粋）

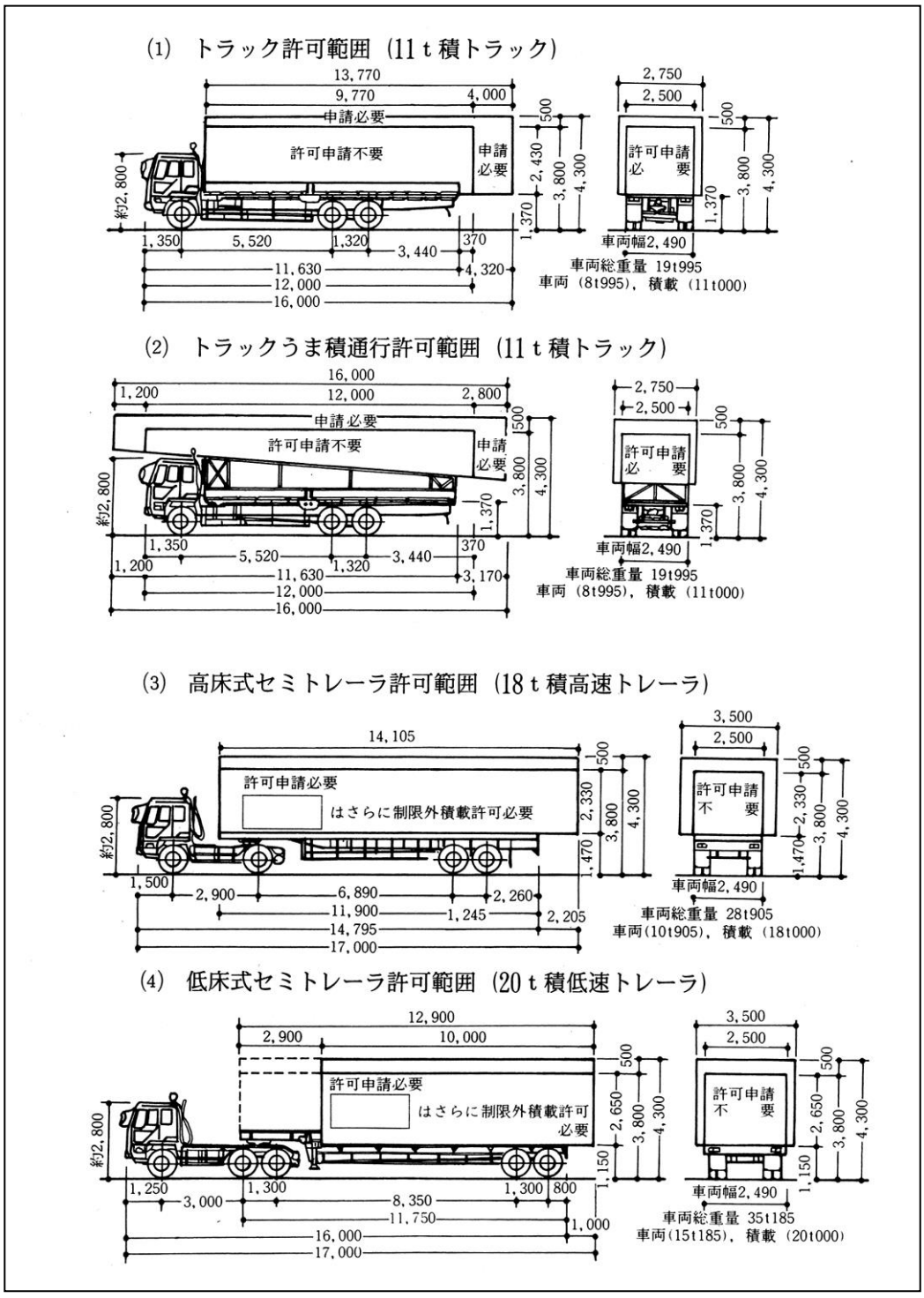


表１　　積荷寸法標準

トラック種類	運搬可能長さ (m)	幅（矢高） (m)	積込み高さ (m)	積荷可能な 立米数の目安 （S 材） (m3)
4t トラック	6	2.1	3.8	6
10t トラック	9	2.1		15
15t トラック	9	2.1		21
20t トレーラー	12	2.2		30
低床トレーラー※	12	2.5		30
幅広トレーラー※	12	3.0		30
ポールトレーラー※	18	2.5		30

注）低床トレーラー、幅広トレーラー、ポールトレーラーでの輸送は、特車申請が必要となるため、輸送ルート、場内進入路確認等の下見を含め、2 ヶ月以上余裕を持って手配すること。（最長 6 ヶ月）

② 積み込み

- 平積みを原則とすること。
- CLT 材は荷姿図を作図の上、積載量を検討する。
- 台付けワイヤーの為の角養生鉄板は材料に直接当てず、材料に傷・汚れが生じないようにする。

③ 養 生

- 段ボール等で CLT が、輸送中に損傷することの無いよう、梱包は PP バンドで結束を標準とし、角あてでダンボール等も用いる。
- 荷下ろし作業を考慮し、積載荷重量に応じたリン木隙間等を確保すること。
- ラッシングベルトが掛かる部分には、段ボール等で角当てをする。
- 積荷が滑らないように、十分注意して荷の固定をする。場合によっては、材料と材料の間にラップをかませる、リン木にラップを巻くなどの滑り止めも施す。

2.6.2　CLT の施工

①　適用図書は、以下の通り。

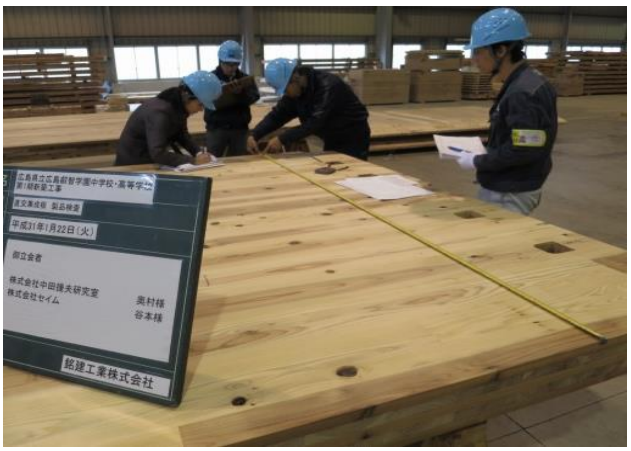
設計図書
特記仕様書
土木工事共通仕様書
土木工事現場必携
道路橋示方書・同解説　日本道路協会
鋼道路橋施工便覧　日本道路協会
鋼道路橋塗装・防食便覧　日本道路協会
道路橋支承便覧　日本道路協会
鋼構造物架設設計施工指針　土木学会
足場工・防護工の施工計画の手引き　(社)日本橋梁建設協会
労働安全衛生法・労働安全衛生規則・労働基準法　労働基準調査会

・

②　製品検査

・　出荷に先立ち、部材の仕様、数量および、
その加工精度が許容値内にあることを確認する。

写真１　製品検査の様子



③　積み込み、養生

・　2.6.1　**運搬**　参照

・　平積みを原則とすること。

写真２　積荷（現場着）の様子



④　施工準備

- CLT に関連する工種は以下の通り。
  測量工、支承工、架設工（クレーン架設）、高力ボルト本締工、現場塗装工、地覆工・橋面工、付属設備工（排水装置工、伸縮装置据付工）
- CLT 工事担当は、元請け業者の施工計画書、作業手順書に基づき、関連工事業者と十分な検討・打ち合わせを行い工事に臨むこと。
- 搬出入計画内容（搬出入経路、荷降ろし位置、車両軌跡図）は、事前に、現地確認すること。
- ヤード計画内容（荷降ろしヤード、仮置きヤード、地組ヤード）は、事前に、現地確認すること。
- 揚重計画内容（クレーン配置、楊重可能範囲、最大重量部材及び最大距離部材の楊重が可能か）は、事前に現地確認すること。

⑤　施工内部材搬入・荷取

- トレーラーまたはトラックより、搬送部材（角形鋼管、横つなぎ鋼管、付属品、ボルト等）の荷卸しを行う。
- 現場での入退場は、監督員の指示、誘導に従う。
- 現場での入退場に際しては、第三者に対する安全を確保する。
- 作業指揮者を選任し、その指揮の元で荷卸し作業を実施する。
- 玉掛け作業は、有資格者によって行う。
- 部材の仮置きは枕木等を敷設した上に行い、傷等がつかないように慎重に行う。
- 集成材・CLT は、地面に直接置かず平坦な場所に3m程度の間隔にリン木を敷き、その上に水平に保管する。但し、金物付きで搬入する集成材は、部品形状に適した保管・養生をする。
- 接合金物は、地面に直置きはNG。下にブルーシート養生、上は不要。但し、集成材・CLT への取りつけ時には汚れを除去すること。
- 納品書や梱包リストの数量と合っているかを確認する。

写真３　荷取の様子



写真４　部材仮置きの様子



⑥　　架　設

- 施工計画に基づき、架設クレーンを適切に配置する。
- CLT パネルの吊上げについては、構造耐力上支障のないよう注意する。吊上げの際に、変形しやすい部材は、適切な補強を行う。
- 施工計画（作業手順書）に従い、パネルまたは単部材を、スリングベルトや吊り金具を用いて順次吊り上げ、所定の位置に据付する。
- 架設は、部材架設後の吊具取り外し作業に際して単部材上を移動する必要があるが、架設前にスタンション＋親綱を設置する。

写真5　架設（吊り方）の様子



写真6　　架設（所定の位置に据付）の様子



⑦　　安全作業について

- 作業半径内立入禁止の表示をする。玉掛作業の合図は1人で標準合図どおり確実に実行する。
- 吊り荷の下にはいかなるときでも絶対入らない。
- 高所作業（2m以上）には命綱を完全使用し、命綱の支持物のない所では親綱を使用する。
- 吊込み時には、カイシャクロープを取付ける。

2.7　秋田県の CLT の取り組み

2.7.1　経緯

秋田県における CLT の研究開発・普及啓発に関する取り組みは、次の 5 つに大きく分類される。

① **【啓発】**:CLT の普及啓発に関連した取り組み
② **【総プロ】**:森林総研を核とした研究プロジェクト「CLT 実用化促進(強度データの収集・分析)」関連の研究
③ **【木橋】**:CLT 床版橋関連の研究開発
④ **【低投資】**:従来からの生産設備を利用した「低投資型 CLT 生産システム」の開発
⑤ **【凹凸 CLT】**:ラミナの端部を継ぎ手・仕口に加工し、新たな CLT 製品を製造する技術の開発

これらの取り組みは互いに関連した部分があるが、ここでは個別なものとして取り扱う。

以下、時系列的に秋田県立大学木材高度加工研究所(木高研)での取り組みを説明する。

2.7.2　2013 年度（平成 25 年度）

【啓発 H25】 8 月に林知行が木高研に教授として着任。

森林総合研究所での CLT 研究プロジェクトのとりまとめ役としての経験を活かして、秋田県でも CLT の研究開発に取りかかろうとしたが、当時は県内において CLT の認知度が低く、また予算もなかったため、この年度は手つかずのまま推移した。

ただ、次年度予算を獲得するために、佐々木貴信教授(当時、木高研)、板垣直行システム科学技術学部建築環境学科准教授(当時)と協議し、学長プロジェクトに応募した。この結果、研究予算は得られなかったが、CLT の実大面内曲げ試験を可能とする油圧ジャッキ加力システムを購入することができ、次年度当初より、実大サイズでの曲げ試験を木高研で実施することが可能となった。

2.7.3　2014 年度（平成 26 年度）

【啓発 H26】 秋田県、能代市、建築士会等に対して、CLT の啓発活動(講演会、講習会、公開講座等)を行うとともに、CLT 協会に入会して、情報やデータの収集に取り組み始めた。





図 2.7-1　木高研内での講演会

特に秋田県庁に対しては、木高研が

・CLTを利用した耐火部材及び接合部の技術開発
・CLTを利用した土木資材の開発
・開発した製品・技術の実用化に向けた普及活動(公共建築物等での活用及び性能検証)

等を実施することを提案した。

さらに木高研で開発した製品の作成を企業に依頼し、実際に公共建築物等で使用するとともに、製品の性能検証(施工性や製造コスト等の検証含む)を行なうことに対して、協力を要請した。

以上と並行して、木高研に蓄積された集成材用秋田杉ラミナのデータから、秋田スギを CLT に用いた場合のシミュレ

ーションを行い、十分な性能を持つ CLT が生産可能であることを検証した。

【総プロ H26】森林総研を核とした研究プロジェクト「CLT 実用化促進(強度データの収集・分析)に参画し、実大試験体の強度試験を行った。この年度に木高研が担当したのは、銘建工業製で幅はぎ接着無しのスギ CLT およびスギ＋ヒノキ CLT の実大曲げ・せん断試験であった。

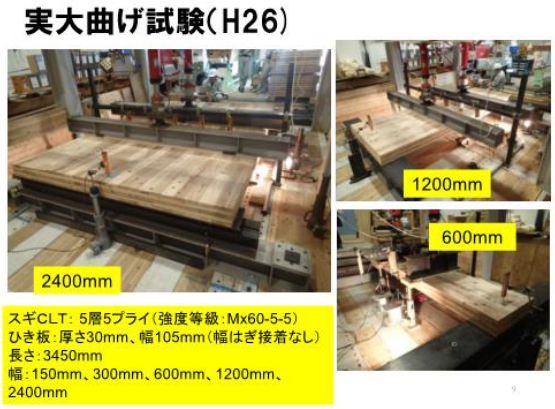


図 2.7-2　面外曲げ試験



図 2.7-3　せん断実験

【木橋 H26】秋田県産スギ CLT を用いた橋梁用床版の補修工法の研究開発を開始し、わが国で CLT を床版に用いることの可能性について検討した。その結果、コスト的に実用化が可能であることが明らかとなった。

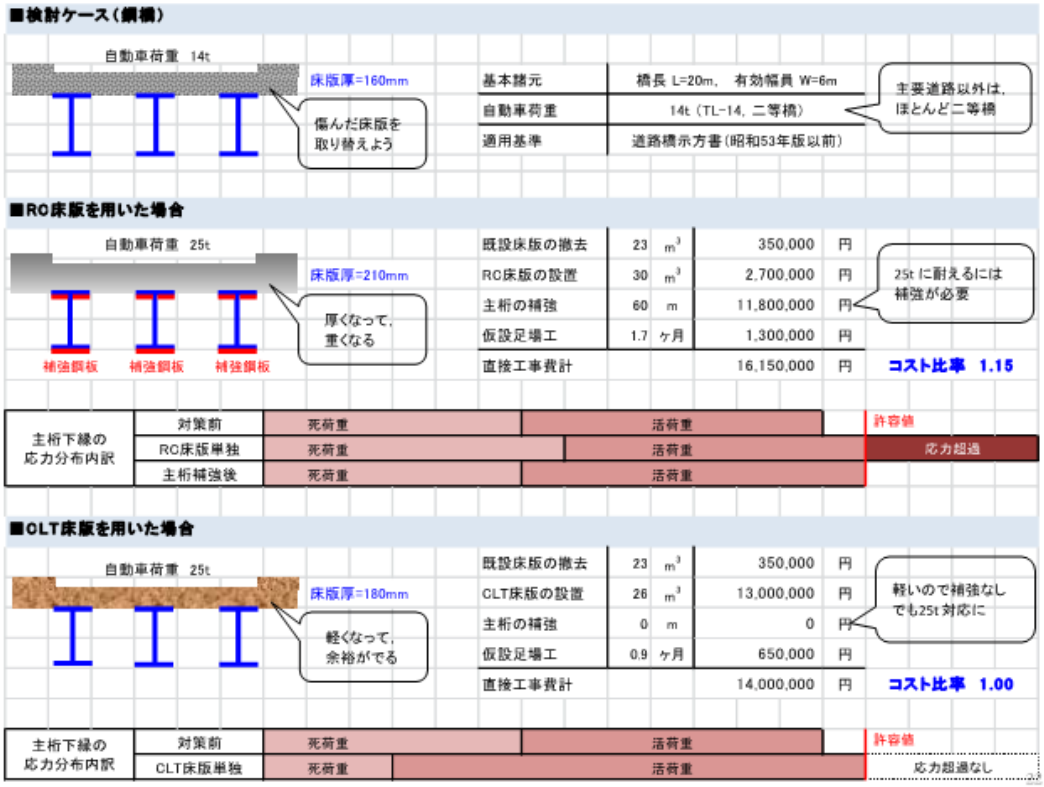


図 2.7-4　CLT 床版橋の価格シミュレーション結果

2.7.4　2015 年度（平成 27 年度）

【啓発 H27】スギラミナ活用研究会を木高研内に設置し、SNS を活用して、講演会、勉強会、CLT メーカーの視察、製品情報の発信等に取り組み始めた。



図 2.7-5　スギラミナ活用研究会のパンフレットと Facebook ホームページ

【総プロ H27】前年に引き続き、CLT 実用化促進プロジェクトでは、山佐木材製で幅はぎ接着有りのスギ CLT の実大曲げ・せん断試験を行った。なお、この試験体には秋田スギのラミナを用いた。



図 2.7-6　スギ CLT（幅はぎあり）の面外曲げ強度試験



図 2.7-7　公開実験

【木橋 H27】CLT を床版に用いる際の問題点である疲労特性について、実大の CLT に面外曲げの繰り返し荷重を作用させて疲労試験を行い、特に問題がないことを検証した。

また、CLT の耐候性・耐久性を向上させるためのラッピング技術について予備実験を開始した。



図 2.7-8　CLT の曲げ疲労試験



図 2.7-9　CLT のラッピング

【低投資 H27】既存の生産設備を利用して、初期投資を低減させる「低投資型 CLT 生産システム」の開発に向けての基礎実験を開始し、従来型の合板用プレスにサイドプレスとエンドプレスを付加すれば、CLT の少量生産が十分可能であることを実証した。また真空プレスの基礎データを収集し始めたが、接着剤の問題のため中断した。



図 2.7-10　改良型平板プレス



図 2.7-11　真空プレス

【凹凸 CLT H27】かねてから暖めていたアイデアを実現すべく、山内秀文准教授（当時）と予備実験を開始し、凹凸部分の接合に関する問題点を摘出した。

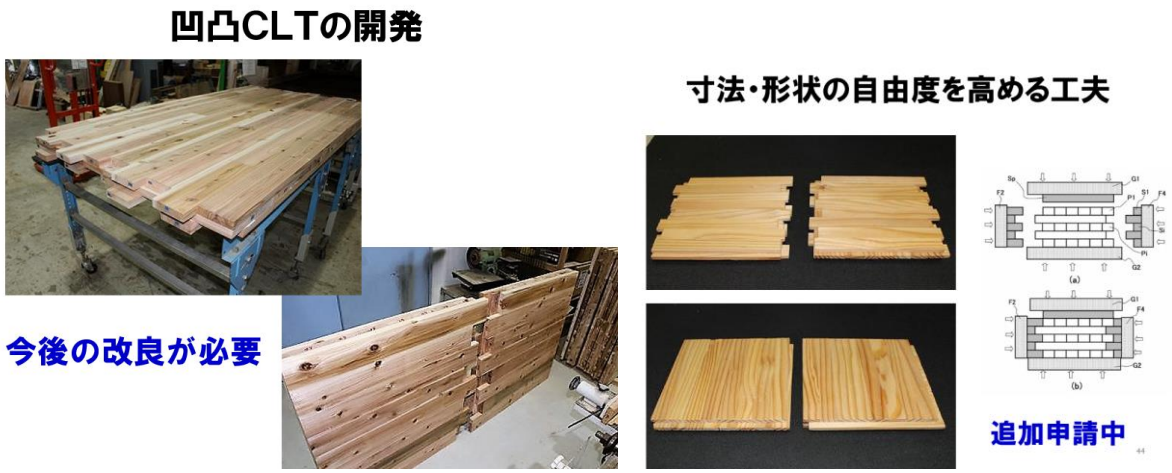


図 2.7-12　凹凸 CLT

2.7.5　2016 年度（平成 28 年度）

【総プロ H28】CLT 実用化促進プロジェクトの 3 年目に当たる本年度では、銘建工業の新製造ラインで製造された 12 m長のスギ CLT の実大面内曲げ試験を行った。

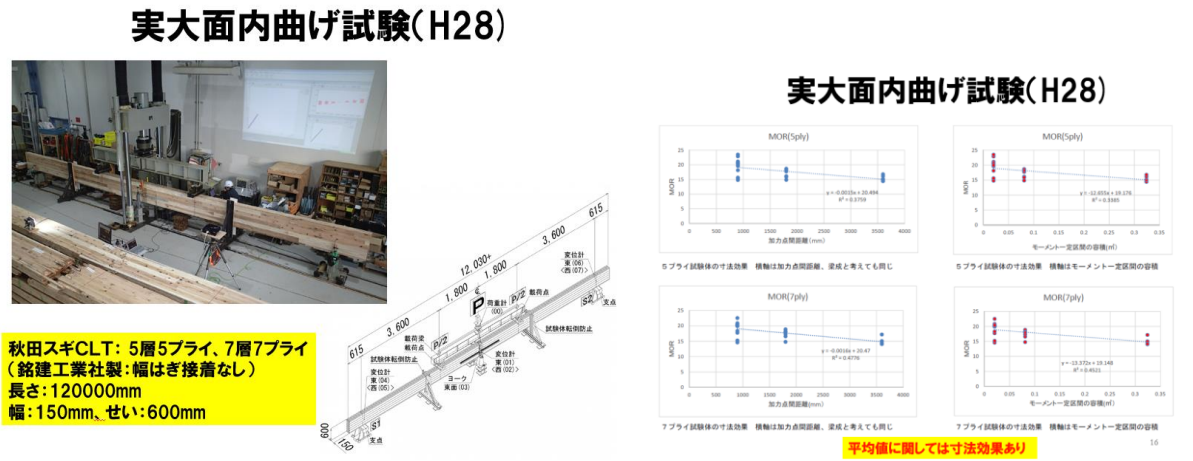


図 2.7-13　スギ CLT（12m長）の面内曲げ試験

【低投資 H28】「低投資型 CLT 生産システム」の研究結果を受けて、能代市の A 銘木が 2017 年 3 月より、従来の集成材工場のエクステンションのような形で CLT の生産を開始した。なお、この工場で製造した CLT は、以下の床版橋に用いられた。



図 2.7-14　既存設備を改良した低投資型の CLT 製造ライン

【木橋 H28】木構造振興(株)の事業(平成 28 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)に参画し、「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」の中で、CLT 床版橋(第 1 橋)の施工を行った。



図 2.7-15　CLT 床版橋（第 1 橋）



図 2.7-16　高耐朽化処理

【凹凸 CLT H28】特許申請を行った。



図 2.7-17　A 銘木で製造中の凹凸 CLT とその接合

2.7.6　2017 年度（平成 29 年度）

【木橋 H29】前年に引き続き、大仙市の農道に CLT 床版橋（第 2 橋）、秋田市河辺の森林公園内に第 3 橋、第 4 橋を設置した。



図 2.7-18　CLT 床版橋　第 2 橋、第 3 橋　第 4 橋

【低投資 H29】2017 年 3 月に A 銘木が、既存の事業で倒産したため、県内で CLT を製造できる工場が消滅してしまった。この余波を受けて、予定していた様々な計画が中断・縮小を余儀なくされることとなった。

製材背板を原料とした森林土木用「敷板 CLT」を木高研のプレスで製造し、これを国有林の現場に設置して実証実験を行った。



図 2.7-19　敷板 CLT の製造（木高研）



図 2.7-19　敷板 CLT の実証実験

2.7.7　2018 年度（平成 30 年度）

【低投資 H30】県内 B 社が既存施設を活用しての CLT 製造を計画したため、助言等を行った。その後 JAS 取得に向けて既存設備の改造中。

【凹凸 CLT H30】十字の継ぎ手・仕口等を試作した。



図 2.7-20　凹凸 CLT の模型と実物大試験体

【啓発 H30】 国の地方創生拠点整備交付金を活用した（財源の一部とした）県からの補助を得て、2019 年 3 月に試料保管庫と疲労試験棟を木高研の敷地内に建設した。

試料保管庫は秋田県内初の CLT パネル工法による平屋の建物で、施工日には、関係者を集めて建て方工事の見学会を開催した。

東西南北の外壁は色の濃い油性の木材保護塗料と水性の木材保護塗料に塗り分けられており、塗料の暴露実験を兼ねたものとなっている。







図 2. 7-21　試料保管庫（秋田県内初の CLT パネル工法）





図 2. 7-22　疲労試験棟内部、左は 1 階、右が 2 階

なお、保管庫の隣に増設された疲労試験棟は鉄骨造であるが、2階の床には CLT が使われている。

2.7.8　2019 年度（令和元年度）

【木橋 R1】1 号橋の耐久性予備調査を実施し、地覆の一部を補修した。





図 2.7-23　1 号橋の耐久性予備調査

高耐朽化処理した CLT の疲労試験を実施した





図 2.7-24　高耐朽化処理した試験体と疲労試験装置

CLT 床版に直接防護柵を設置する案を検討し、構造解析によって構造案の検討を行った。

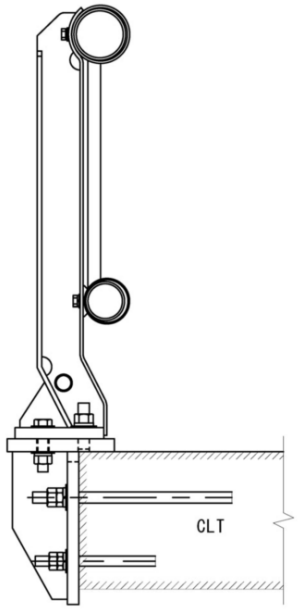


図 2.7-25　CLT 床版用 橋梁用防護柵

【凹凸 CLT R1】北海道大学でスカーフジョイントを用いた改良型凹凸 CLT の強度試験を実施した。

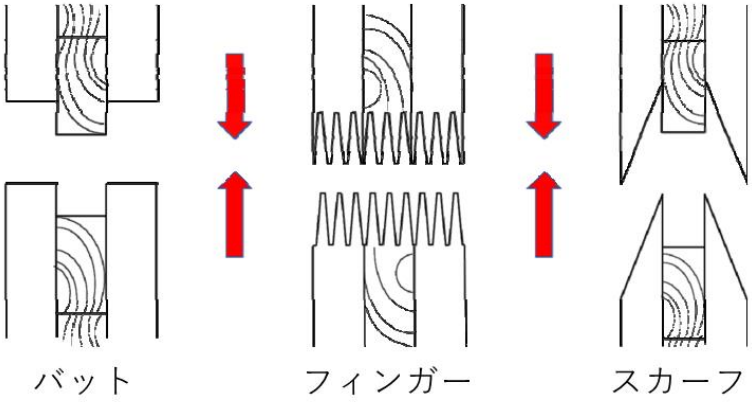


図 2.7-24　CLT 同士の２次接合方法

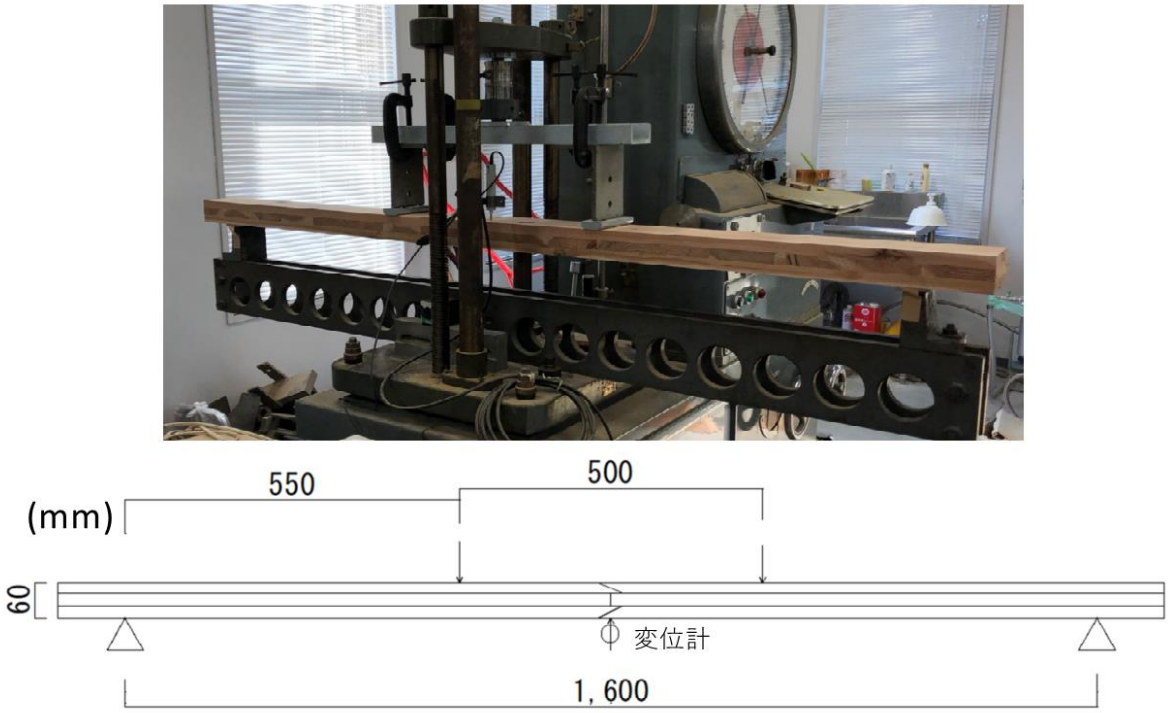


図 2.7-25　CLT 同士をスカーフジョイントで２次接合した試験体の曲げ試験

2.7.9　2020 年度（令和 2 年度）

【木橋 R2】耐久性調査(本事業)を実施。

2.7.10　文献

1. 林知行、佐々木貴信:秋田型スギ CLT の研究開発、秋田の森林づくり、No.715、6-7、2015
2. 林知行、佐々木貴信:同上その2、秋田の森林づくり、No.724、6-7、2016
3. 林知行、佐々木貴信:同上その3、秋田の森林づくり、No.730、6-7、2017
4. 林知行、佐々木貴信:同上その4、秋田の森林づくり、No.753、6-7、2019
5. 林知行:地方創成最前線―秋田県立地方創成大学木材高度加工研究所の取組み-、木材工業、Vol.71、No.10、408-411、2016
6. 林知行:秋田県立大学木材高度加工研究所の最近の取り組み、グリーンスピリッツ、Vol.13、No.3、2-11、2019

2.8 CLT の保存処理技術について

2.8.1 保存処理の必要性

主にセルロース、ヘミセルロース、リグニンで構成される天然有機高分子である木材は、熱、光などの物理化学的要因、カビ、木材腐朽菌などの微生物、あるいはシロアリなどの昆虫による生物学的要因により外観や共同性能の劣化を生じる[1)]。このことは、CLT をはじめとする各種木質材料についても同様である。特に、腐朽菌やシロアリによる生物劣化が進行すると著しい強度性能低下を引き起こすことから[1)]、主たる構造部材として用いられている木材・木質材料には防腐・防蟻処理（保存処理）が求められる場合がある。保存処理には耐候性や不燃処理など物理化学的要因による劣化を防ぐ処理や、カビなど、主に材料の美観を損なう生物学的要因による劣化を防ぐ処理も含まれるが、本章では、防腐・防蟻処理を目的として、木材保存剤（防腐・防蟻剤のこと）を用いた保存処理に関連する情報と CLT の保存処理技術の開発や土木利用することを想定した保存処理への展開について取りまとめた。

2.8.2 木材・木質材料の保存処理方法

保存処理方法には、薬液を刷毛やローラーで塗布する、あるいは、噴霧器などにより吹付する表面処理、容器に貯めた薬液に材料を沈めて行う浸漬処理、耐圧性の容器内で圧力により薬液を注入する加圧注入処理などがある[1)]。なかでも加圧注入処理は材内部まで薬液を浸透させることが出来ることから、木造住宅の土台や生物劣化のリスクが高い屋外構造物に用いられる部材など、より高い性能が求められる部材に対して最も多く適用されている方法である。

一般に、表面処理や浸漬処理による薬液の浸透は材料のごく表層部にとどまる。浸漬処理の場合、浸漬時間によっては内部への浸透も期待できるが、加圧注入ほど深い浸透は得られない場合がほとんどである。しかし、表面処理のなかには加圧注入と同等の浸透を達成できる方法もある。そのうちの一つである深浸潤処理 [2)]は、インサイジング加工（薬液の浸透を高めるため材料表面に切り込みを入れる加工）した材料に、浸透性の高い油溶性の薬液を噴射する処理方法である。材料表面やインサイジング孔に保持された薬液が、インサイジング加工による浸透性の向上効果を受けながら材内に浸透することで、加圧注入に匹敵する性能が得られる。また拡散処理は、比較的含水率の高い材料の表面に高濃度の薬液を付着させ、付着した薬液と木材中の水分間における薬剤成分の濃度勾配に基づく拡散現象を利用した処理方法で、加圧注入と同等の性能を付与できる[1)]。

2.8.3 木材・木質材料の保存処理に関する規格

加圧注入処理は、その他の処理方法と比較してより深い浸潤が達成できることから、最も信頼性の高い処理方法といえる。加圧注入処理に用いる木材保存剤は日本工業規格（JIS K 1570:2010「木材保存剤」）で、処理された材料については製材（平成 25 年 6 月 12 日農林水産省告示第 1920 号）、集成材（令和元年6月27日 農林水産省告示第475号）、LVL（平成 25 年 6 月 12 日農林水産省告示第 1920 号）、合板（平成 25 年 6 月 12 日農林水産省告示第 1920 号）などの日本農林規格（JAS）で規定されている。加圧注入処理された木材木質材料の性能は、処理材中央断面における薬剤の有効成分の浸透した面積の割合を表す「浸潤度」と有効成分の量を示す「吸収量」によって評価され、性能区分ごとに基準値が決められている。吸収量の基準値は薬剤ごとに異なっているが、浸潤度の基準はすべての薬剤で共通である。製材の JAS で規定されている浸潤度基準を表 2.8-1 に示す。K1 は防虫処理に対応した性能区分で、防腐防蟻処理としての性能区分は K2～K5 であり、数字が大きくなるほど性能が高くなる。土台や柱など屋内で使用される部材については、K3 以上の性能が求められる場合が多く、屋外など生物劣化のリスクが高い場所で使用される部材では K4 以上の性能が求められることがある。図 2.8-1 に K3 および K4 の浸潤度基準を模式的に表した。

平成 29 年に行われた JAS 改正時に保存処理の規定が設けられた集成材、LVL、合板の JAS では K3 のみが規定されている[3)]。集成材の浸潤度基準は製材の浸潤度基準と同じであるが、単板を原料とする LVL や合板では、辺心材の区別が容易ではないなどの理由から、材面から 10 ㎜の範囲までの基準のほか、全断面に対する浸潤度基準が規定されている（図 2.8-2）。

JAS 以外の保存処理に関する国内の規格として、（公財）日本住宅・木材技術センターによる優良木質建材等認証制度（AQ 認証）がある。AQ 認証では 1 種～3 種の 3 段階の性能区分が設けられ、JAS 同様、浸潤度と吸収量の基準が定められている。AQ 認証の 3 種は JAS の K2 に、2 種は K3 に、1 種は K4 に相当するとされており、浸潤度の基準は概

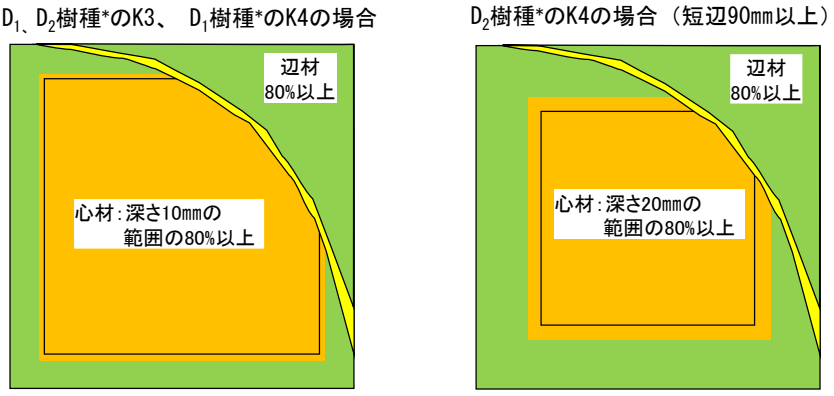
ね相当する JAS の基準と同じである。AQ 認証では、集成材、合板および LVL の JAS に保存処理の規定が設けられる以前から、これらの材料の保存処理について認定を行っている。また、深浸潤処理など加圧注入処理によらない方法で処理された木材・木質材料などの認定を行っている。

最近、直交集成板(CLT)の防腐・防蟻処理の AQ 認証が新設され(平成 30 年 6 月)、浸潤度や吸収量の基準が設けられている。ここで求められる浸潤度は「断面積の 80%以上で、かつ、材面から深さ 10mm までの部分の 80%以上であること」とされている。CLT の場合、辺心材の区別が比較的容易であるにもかかわらず、LVL や合板よりも厳しい基準となっている。このことは集成材に関する AQ 認証のうち「防腐・防蟻処理構造用集成材－2(C2)」で求められる基準についての考え方に準じている。防腐・防蟻処理構造用集成材－2では、全断面に対し高い浸潤を求めることで、加圧注入処理後の切断、孔あけ、欠込み等の加工時に再処理が不要となることを狙ったものである。この基準が CLT に準用された理由は、後述(2.8.4.1(2))する CLT の AQ 認証の作成のもととなった取組に関する報告書に記載されており、CLT についてもプレカット加工時及び施工時に孔あけ、欠込み等の加工が行われる場合があること、さらに、CLT に必要な防腐・防蟻性能を付与するための薬剤処理の程度に関する十分な知見が得られていないなどが理由とされている[4)]。

表 2.8-1　製材の日本農林規格における浸潤度の基準

性能区分	樹種区分*	基　準
K1	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が 90%以上
K2	心材の耐久性区分 D_1 の樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上で、かつ、材面から深さ 10mm までの分の浸潤度が 20%以上
	心材の耐久性区分 D_2 の樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上で、かつ、材面から深さ 10mm までの心材部分の浸潤度が 80%以上
K3	すべての樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上で、かつ、材面から深さ 10mm までの心材部分の浸潤度が 80%以上
K4	心材の耐久性区分 D_1 の樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上で、かつ、材面から深さ 10mm までの心材部分の浸潤度が 80%以上
	心材の耐久性区分 D_2 の樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上で、かつ、材面から深さ 15mm（木口の短辺が 90mm を超える製材にあっては、20mm）までの心材部分の浸潤度が 80%以上
K5	心材の耐久性区分 D_1 の樹種	辺材部分の浸潤度が 80%以上で、かつ、材面から深さ 15mm（木口の短辺が 90mm を超える製材にあっては、20mm。ただし、円柱類にあっては、全ての直径において 30mm。）までの心材部分の浸潤度が 80%以上

＊D_1：、ヒノキ、ヒバ、スギ、カラマツ、ベイヒ、ベイスギ、ベイヒバ、ベイマツ、ダフリカカラマツ及びサイプレスパイン
D_2：D_1 以外の樹種



＊D_1樹種：ヒノキ、ヒバ、スギ、カラマツ、ベイヒ、ベイスギ、ベイヒバ、ベイマツ、
ダフリカカラマツ、サイプレスパイン
D_2樹種：D_1以外の樹種

図 2.8-1　浸潤度基準（緑色の部分は薬剤の浸透部を示す）

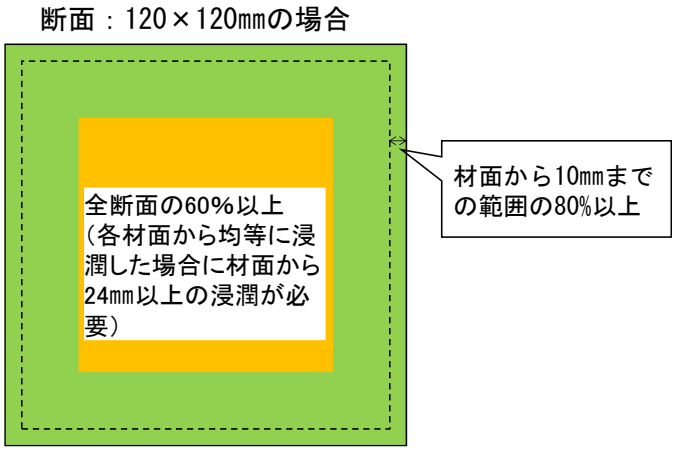


図 2.8-2　LVL の場合の浸潤度基準（緑色の部分は薬剤の浸透部を示す）

2.8.4　CLT の保存処理技術の開発を目的とした検討事例と土木利用への展開

2.8.4.1　加圧注入処理を用いた CLT の保存処理

ラミナを積層接着して製造される集成材や単板を積層接着する合板や LVL の場合、製品化後に加圧注入処理を行う方法（製品処理）と、エレメントの段階で加圧注入を行う方法（集成材の場合はラミナ処理、LVL と合板の場合は単板処理）を用いることが出来る。CLT についても、図 2.8-3 に示すような製造方法を用いることで、パネル化後に加圧注入を行う製品処理、パネル化前に加圧注入を行うラミナ処理が可能であることから、これらの方法を用いた CLT の加圧注入処理についての検討が進められている。

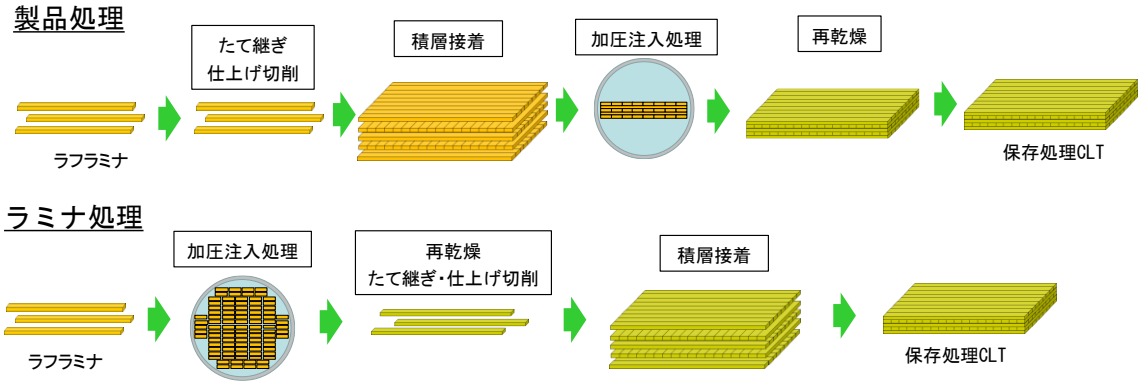


図 2.8-3　想定される CLT の加圧注入処理方法

加圧注入処理では、使用する木材保存剤が水溶性であるものと油溶性であるものに分け、前者を用いた処理を湿式処理、後者を用いたものを乾式処理と呼ぶ。加圧注入処理では、薬液の原液を溶剤で希釈して用いることが多く、湿式処理では水が乾式処理では有機溶剤が用いられる。 現在、建築用途で使用される湿式処理用の主な木材保存剤には、第四級アンモニウム化合物系（AAC）、銅・第四級アンモニウム化合物系（ACQ）、銅・アゾール化合物系（CUAZ）などがあり、乾式処理ではアゾール・ネオニコチノイド化合物系（AZN）がほとんどである [5]。湿式処理と乾式処理の特徴をまとめたものを表に示す。湿式処理では「水」が材内に注入されることから、膨潤・収縮の影響への配慮や処理後の再乾燥が必要になる。一方、乾式処理で用いられる溶剤は膨潤・収縮をほとんど引き起こさず、沸点が低いため処理後の乾燥がほとんど必要ない。CLT の加圧注入処理については、これらの二つの方法を対象にした検討が進められている。

2.8.4.1（1）　日本木材防腐工業組合の取組（平成２５年度　都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業ＣＬＴ強度データ収集事業 [6] など）

国産スギ材を原料としたCLTを用いたラミナ処理と製品処理について検討が行われている。ラミナ処理では、インサイジング処理を行った場合の効果やCLTの材料性能におよぼす影響が検討されている。実大レベル（幅2000×長さ4000㎜のCLTを製造）を想定して行われたラミナの加圧注入処理の検討では、湿式処理（AACを使用）、乾式処理（AZNを使用）ともインサイジングの有無にかかわらず、製材のJASで規定されているK3の浸潤度の基準を満たすことが確認されている。さらに、乾式処理では全断面に対して90%以上の浸潤が得られることが確認されている。また、湿式処理の場合も、インサイジング処理を行えばラミナの全断面に対して80%以上の浸潤度が得られることが確認されている。

CLTの材料性能におよぼす影響については、接着性能やラミナ処理が曲げヤング係数やせん断弾性係数におよぼす影響が検討されている。接着性能については、レゾルシノール樹脂系接着剤または水性高分子イソシアネート系接着剤を用いて実験室レベルのサイズで製造したCLTについて検討されている。ラミナ処理にはAZN（乾式処理）、CUAZ、AAC（いずれも湿式処理）が用いられ、インサイジング処理を行った場合と行わない場合について検討されている。

直交集成板の日本農林規格に準じた方法で行われた浸漬剥離試験、煮沸剥離試験、減圧加圧剥離試験では、インサイジングの有無にかかわらず、概ね良好な結果が得られている。インサイジング処理の有無について比較すると、インサイジング処理を行った場合の剥離率がやや高くなる傾向が認められたが、RPFを用いた場合、接着剤の塗布量を調整することで改善できることが確認されている。一方、APIを用いた場合、塗布量の調製による効果はあまり認められない結果であった。また、RPFを用いた場合はAZNとCUAZによる処理、APIを用いた場合はAACとAZNを用いた処理により、剥離率が若干増加することが確認されている。各剥離試験においてサイクル数を増やした場合、処理ラミナを用いた場合の剥離率が増加する傾向があり、特に銅を含むCUAZの場合に顕著であった。以上の点から、使用する薬剤やインサイジングの有無などラミナの処理条件に合わせた条件で接着する必要があるとしている。

ラミナ処理が曲げヤング係数やせん断弾性係数におよぼす影響は、実大レベルのサイズで製造されたCLTを用いて検討されている。レゾルシノール樹脂系接着剤を用いて製造した場合、3層3プライで製造したCLTでは、曲げヤング係数やせん断弾性係数が5～10%程度、5層5プライではせん断弾性係数が10%ほど低下することが確認された。また、インサイジングを含む保存処理により、面外せん断強度が1～2割程度低下することが確認されている。

製品処理についての検討では、加圧注入処理に用いる注薬缶のサイズや材料の取り回しを考慮し、幅1m長さ4mのパネルとして処理が検討されている。処理は、湿式と乾式処理について検討されており、湿式処理にはAACが、乾式処理にはAZNが用いられている。湿式処理の場合、処理後の再乾燥が困難であること、剥離や割れの発生が顕著であること、また、浸潤度は表層10㎜の範囲でも十分な浸潤が得られないことなどが確認されている。乾式処理の場合、表層10㎜、全断面とも平均90%以上の浸潤が得られている。しかし、全断面を対象とした浸潤度は位置によるばらつきが大きく、低い場所では63%程度であることが確認されており、製品処理により全断面80%以上の基準を満たすことは容易ではないと考察されている。

以上の検討結果から、全断面を対象にした場合も浸潤度を達成することが出来るラミナ処理は、材料性能への影響が許容できる範囲であれば、CLTの保存処理方法として優れていると考えられる。但し、インサイジング処理の有無、薬剤の種類が接着性能に影響を与える可能性があることに留意する必要がある。また、ラミナの仕上げ切削時に薬剤成分が最も多く含まれる表層部が削り落とされるため非効率的であること、また、薬剤成分が多く含まれる削りかすはバイオマス発電に適さないことなどの課題が残される。一方、製品処理については、乾式処理を用いることが適切であると考えられる。製品処理では処理できるサイズに制限があるものの、プレカット後の処理も可能であり効率的な処理方法であると考えられる。但し、製品処理により全断面80%以上を性能基準と考えた場合、さらなる改良が必要であろう。

2.8.4.1（2）（公財）日本住宅・木材技術センターの取組（平成２９年度　都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業ＣＬＴ強度データ収集事業[4)]）

（公財）日本住宅・木材技術センターにより行われた事業は、前述の「直交集成板（CLT）の防腐・防蟻処理のAQ認証」作成を目的として実施されており、湿式処理と乾式処理を用いたCLTの製品処理について検討している。この検討は、前述のように処理後のプレカット加工や施工現場での孔あけ、欠込み等が行われることを想定し、全断面に対し80%以上の浸潤度を達成することを目標として行われている。検討に用いられたCLTはAPIを用いて製造され、湿式処理ではAACが、乾式処理ではAZNが用いられている。幅はぎ接着を行う場合、AAC、AZNのいずれも外層ラミナの割れ、接着層の剥離が多発している。AACについては、2.8.4.1の検討と同様、処理後の人工乾燥によって十分に乾燥さ

せることが出来なかったとされている。

一方、幅はぎ接着がない場合については AZN による処理が検討されおり、外層ラミナの割れ等は確認されないが、接着層の剥離が生じたこと、表裏面でラミナ間の目開きが生じたことが報告されている。AZN を用いる乾式処理では、高価な溶剤の再利用や溶剤の揮散による環境影響を防ぐため、処理の最終工程に溶剤の回収工程が組み込まれている。この回収工程の条件を変更することで、割れ等の発生を防ぐことが出来るが、剥離についてはその限りではないとされている。

以上のように、CLT の製品処理では、特に、湿式処理において材料性能への影響が生じることが確認されている。このことは、全断面 80%以上の浸潤度を達成することを目的としたため、材料性能に与える影響が大きい処理条件となったことによるとしている。全断面を対象とした基準はオーバースペックとなる可能性があり、用途に応じてよりマイルドな性能基準を確立していく必要があるとされている。

2.8.4.1（3）土木利用を想定した CLT の加圧注入処理の展開

屋外利用では、雨水による含水率の上昇、気象劣化による割れ、目隙等の発生により、CLT の内部でも生物劣化のリスクが高まることが予想される。このような場合、CLT の全断面に対して高い浸潤度が得られるラミナ処理が有利であると考えられる。しかし、接着性能や強度性能に影響を及ぼすことが確認されていることから、接着耐久性など長期間使用する場合の材料性能への影響を考慮する必要がある。

処理の効率性や材料性能におよぼす影響を考慮すると、巨大な面材料である CLT の全断面の 80%以上に薬剤を浸透させることが必ずしも合理的であるとは言えない。例えば、屋内利用される CLT、屋外利用でも CLT が被覆された環境で使用する場合は、暴露される状態よりも劣化リスクが低いと考えられる。この場合、製品処理も有効な方法となる可能性がある。プレカット後に処理すること、施工時に必要な切削等を行った場合は切削面に適切な処理を実施することを徹底すれば、材面からある程度の深さまで薬剤が浸潤している状態を実現できる。また、製品処理の際、インサイジング処理が併用できれば、より広い範囲での薬剤の浸透が期待できる。屋外利用においても、その使用環境などによっては製品処理も選択肢となり得ると考えられる。

屋外でもより高い安全性が求められる土木利用に供される CLT については、枕木等での実績があり、製材の JAS における K4 以上の性能区分に対応しているクレオソート油や銅系の薬剤を使用することが望ましいと考えられる。Hundorp Bridge (ノルウェー)の事例では、銅系の薬剤でラミナ処理を行い、製品化後にクレオソート油による処理が行われている。しかし、銅系の薬剤でラミナを処理した場合接着耐久性に影響することが確認されている。一方、高沸点で粘度の高い液体が注入されたラミナを用いた場合、切削機械やプレス装置への影響が懸念される。また、クレオソート油で処理されたラミナを用いた集成材では初期の接着性能が低下することが確認されているが、集成材の状態でクレオソート油処理を行うことで接着耐久性の向上が認められている。これらのことから、クレオソート油などを用いた加圧注入処理は製品処理として実施する方が適切であると考えられる。現在、クレオソート油などを用いた CLT の保存処理技術の開発のための検討が進められており、その成果が期待される。

製材、集成材、LVL、合板などにおいては、保存処理の性能基準として、浸潤度・吸収量が規定されている。これらの材料よりも断面が大きな巨大な面材料である CLT の保存処理技術開発の目標地点として、これらの材料で規定されている浸潤度の基準を準用することが必ずしも適切ではないと考えられる。また、CLT の保存処理に関する性能基準は、水の侵入や腐朽菌等の侵入が比較的容易な木口面がある程度の大きさをもって積層面（側面）すべてに存在するという、他材料にはない特徴を考慮したものである必要がある。CLT に適切な保存処理方法とその性能基準については、実際の使用環境を想定した保存処理性能の評価や材料性能におよぼす影響を網羅的に把握する必要があると考えられる。屋内で使用される CLT、土木利用を含めた屋外で利用される CLT について、現実的かつ十分な性能を発揮する保存処理技術と性能基準の作成に向けた取り組みを続けていく必要がある。

2.8.4.2　深浸潤処理による CLT の保存処理

前述のように、深浸潤処理はインサイジング加工と浸透性の高い油溶性の薬剤の噴射処理を組み合わせた処理方法である[1)]（図 2.8-4）。インサイジング加工はもともと製材や集成材の加圧注入の際、薬剤の浸透を向上させる目的で行われる加工である。深浸潤処理の場合、インサイジング加工により生じた“穴”は噴射された薬剤を保持する役割も果たし、

保持された薬剤はインサイジングによる浸透の向上効果により直ちに吸収され、深浸潤処理におけるインサイジング加工の役割は、薬液を保持する、浸透を促進する重要な役割を果たす。

深浸潤処理を CLT に適用するための検討が行われている（図 2.8-5）[6]。既存のインサイジング装置は製材、集成材などの軸材料を処理する装置である。そのため、処理できる材料のサイズに限界（汎用機では幅 200 ㎜程度が限界）があるため、パネル化後の CLT をインサイジング処理することが出来ない。この検討では、あらかじめインサイジング処理のみを施したラミナを最外層に配置することで、インサイジング処理された CLT パネルの製造を実現している。このインサイジング処理された CLT に浸漬または塗布処理を行うことで、材面から 10 ㎜までの範囲に薬剤を十分に浸透させることが可能であるとされている。製材や集成材に対する処理方法として開発された深浸潤処理は屋内利用される木質材料を想定したものであるが、防腐防蟻性能の向上のための処理技術の改良やラッピング処理と併用することで屋外利用への展開も考えられる。また、インサイジング処理された CLT の製造方法は、加圧注入処理（製品処理）における浸透性の改善にも応用可能であることから、前述のクレオソート油を用いた製品処理の検討（2.8.4.1 (3)）において活用されている。

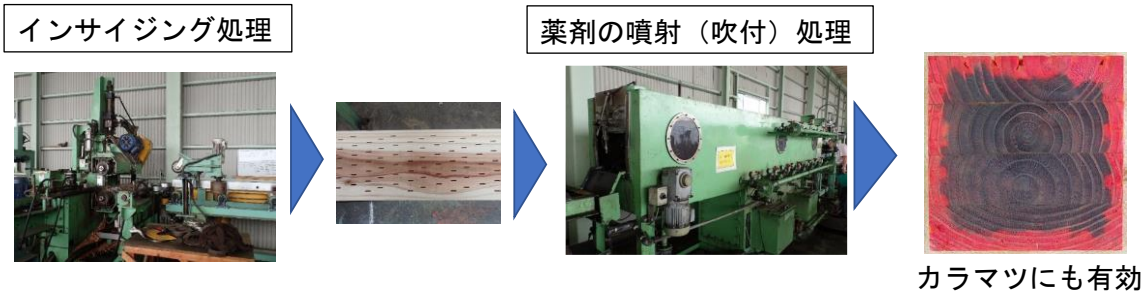


図 2.8-4　深浸潤処理の概要

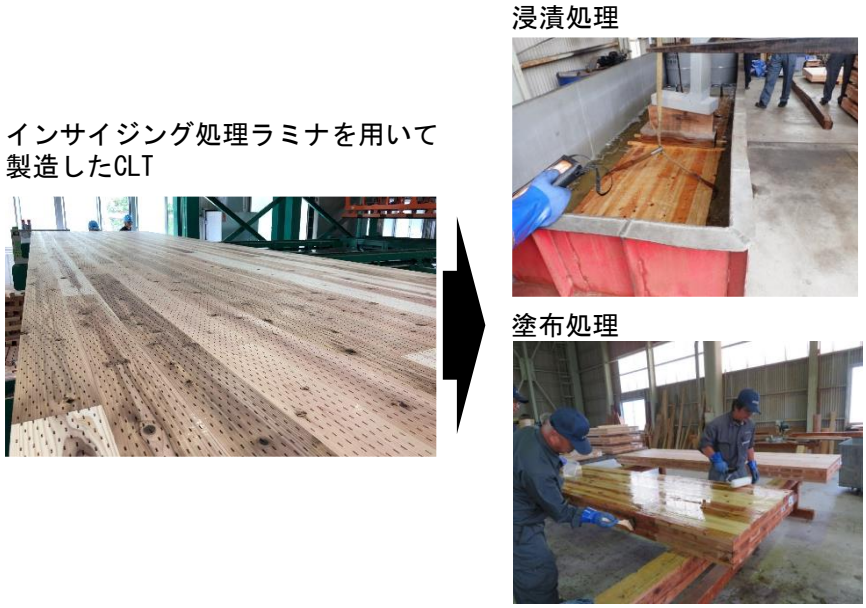


図 2.8-5　深浸潤処理を用いた CLT の処理の様子 [6]

2.8.4.3　ホウ酸系保存剤による防腐・防蟻技術

我が国で圧倒的に使用されている固着型保存剤は、溶脱が無い代わりに薬剤の注入できない部位が木材断面のうちにかなりの割合で残る。木材表面の亀裂により未処理部分が露出し、雨水等の浸入によりそこがしばしば事故の要因になるという欠陥がある。一方非固着型保存剤であるホウ酸系保存剤は、溶脱の恐れが無い条件下である限り、拡散によ

る木材全体への薬剤浸潤が期待できる。

保存処理を施した時点で木材が持つ水分、および後日木材に吸収された水分により拡散現象は進行する。腐食が起こりやすい高温高湿度の条件下では、拡散速度は一層速くなる。拡散の進行に伴い、薬剤が届いていなかった部位にも浸潤が進み、処理木材の防腐防蟻性能が格段に向上する。

注意すべきことは、拡散の進行と並行して表面のホウ酸塩濃度の希薄化が進行する。従って特にホウ酸塩処理の際には注入、表面処理共に、処理液の有効成分濃度並びに処理量の管理が非常に重要である。

注入の場合、当社では木材断面の大小により、3 種類の濃度の薬液を準備している。ラミナなど断面の小さい部材は注入しやすいので薄い薬液、梁材など断面の大きな部材には最も高い濃度の薬液を選択している。

表面処理の場合、濃度、処理量の管理は一層重要である。薬剤の選択、冷水よりも温水によく溶けるので、現場に加温装置が必須である。計量器具を準備して濃度の管理と、表面処理量を均等に正確に施工し、記録にとどめるべきである。有効成分が十分に木材表面に展着できるようにしなければならない。併せて処理直後に雨に打たれることが無いよう十分な養生が必要である。

表面処理は装置の制約によるサイズ制限がなく、安価に製品処理が可能になるので、比較的大きなサイズの部材を使う土木利用においては、有効な溶脱対策を講じる前提で、非常に有効な処理手段である。

2.8.4.3（1）ホウ酸系保存剤を用いた住宅向け加圧注入状況について

山佐木材では1998年頃からホウ酸系薬剤実用化に向け、本格的な処理試験を開始。その後、物件対応、住宅向け事業へも着手し、ここ数年では一定量の処理実績となっている。また、処理方法については材料、材質に応じた注入工程となり、下記写真の製品に関しては全て注入装置にて処理を行っている。



外壁用注入処理材の状況



外壁用注入処理材の分別マーキング状況



プレカット材への注入処理後状況



用途に応じて全使用部材への処理を実施

使用薬剤としては、八ホウ酸二ナトリウム四水和物（商品名：ティンボア　以下 DOT とする）を濃度 4%、15%とに使い分け、いずれも目標とする薬剤吸収量、ホウ酸塩換算値を設定し注入処理を行っている。

ホウ酸系保存剤のメリットとして、溶脱さえ防げれば効力が継続し最大の効果を発揮する、メンテナンス費用の軽減が図られる、天然資源であり哺乳類に毒性が低い、金物が錆びにくいなどの特色をもつ。

また、ホウ酸溶液は無色無臭であり、加圧注入処理後には写真 2.8.3A、B のように共通色での吹き付けを行っている。

写真2.8-1は加圧処理+拡散処理材での呈色反応状況(注:1mでカットしたもの)。写真2.8-2は濃度及び設定条件別呈色反応となる(注:拡散処理無しにて材端部40 ㎝をカットしたもの)。



写真 2.8-1　加圧処理材の呈色試験状況



写真 2.8-2　拡散処理なしの呈色試験状況

2.8.4.3 (2) ホウ酸系保存剤を用いたメンテナンス事例

①メンテナンス方法について

弊社所在地である鹿児島県肝付町内の温泉棟におけるDOTを使用したメンテナンス処理の実例を紹介する。使用部材はベイマツ集成材と一部塗装(無処理、防腐防蟻成分を含む塗装)有り。換気については設計上の細かい配慮がなされていたが、建築後 5 年目に確認したところ、結露と高湿度による部分的腐食、カビ、変色等がみられた為(写真2.8-3)、以下のメンテナンスを活用した。



写真 2.8-3　接合部付近のカビ、変色



写真 2.8-4　接合部付近に穿孔、DOT ペースト注入後木栓処理

メンテナンス内容は、ガラス窓からの結露滴下の水切り、全体的な構造材表面のカビ、塗装除去後、DOT 濃厚液塗布、接合部付近に穿孔してDOTをペースト状に調製したものを注入、木栓で蓋をした(写真2.8-4)。

また全体的な再塗装の処置も併せて行うものとした。

②メンテナンス処理6年後の経過として

メンテナンスの際、浴場内にテストピース置き場を設置し、現場と同一処理した試験体5本を置いた。

6年後、そのうち1本を鋸断し呈色反応試験を行った。

写真2.8-5 Fでは充填していたDOTはほぼ消滅。断面写真2.8-6で、呈色試験で明らかなように、ほぼ全断面に拡散している様子がわかる。



写真 2.8-5　浴場内テストピースの設置状況

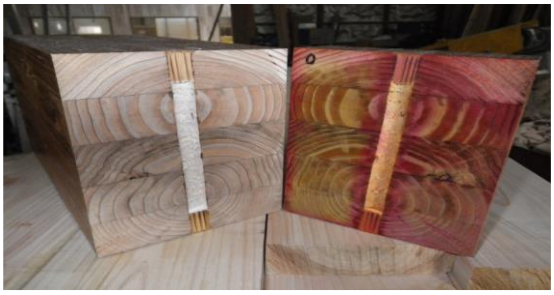


写真 2.8-6　浴場内テストピースの呈色試験状況

2.8.4.3（3）ホウ酸系保存剤を使用した CLT パネルへの施工事例について

三菱地所株式会社は、沖縄県宮古島市、みやこ下地島空港ターミナルビル工事に於いて、CLT を屋根構造材として採用された。木材を現しで出したいこと、シロアリの猛烈な繁殖地であることから、防腐防蟻処理が必須であると判断された。様々な事前調査、現地試験の結果、ホウ酸系処理剤であるボラケア（ナイサス社、日本木材保存協会認定）を選択された。

施工方法については、パネル 1 枚ごとの規定量を 300ml/㎥とし、パネル毎の表面積に応じて必要なボラケア水溶液の調製を行い（写真 2.8-7、8）、塗布量記録等の施工管理も併せて行うものとした。また、パネル全面に塗布する為、ローラーや刷毛を使用し、全て 2 回塗りの塗布処理にて作業を行った（写真 2.8-9、10）。作業に際しては全数ナンバリング管理にて実施している。



写真 2.8-7　必要量のボラケア水溶液調製状況（1）



写真 2.8-8　必要量のボラケア水溶液調製状況（2）



写真 2.8-9　塗布処理状況（1）



写真 2.8-10　塗布処理状況（2）

2.8.4.3（4）CLT 土木利用をとした試験着手について

現在、全国木材協同組合連合会「外構部の目的木質化対策支援事業（企画提案型実証事業）のうち床 CLT 構造材の木造橋耐久性向上技術の開発」により、鹿児島県　県庁木橋の架け替え工事が進められている。

これの推進について、第 1 回委員会が令和 2 年 10 月に開催された。保存処理方法として、ホウ酸系薬剤（DOT 水溶液）と樹脂系ラッピングの併用で行うことが承認された。相性確認試験については作業進行中である。

山佐木材内では、別途、同条件にて塗布処理を行い、ホウ酸系保存剤の利用拡大に向けた試みとして、併せて試験を開始している(写真 2.8-11、12)。試験体の構成は、Mx60-5-5　使用環境 B、サイズは 150 ㎜×150 ㎜×525 ㎜にて成型を行い、樹種はスギである。DOT 溶液は温水溶解の濃度 15%程度とし、刷毛塗りの風乾確認後に 2 回目塗布を行った。今後の経過に期待したい。



写真 2.8-11　ティンボア水溶液塗布状況　1 回目



写真 2.8-12　ティンボア水溶液塗布状況　2 回目

2.8.4.3 (5) ホウ酸系保存剤含む木材保存剤試験について

2015 年 11 月に弊社所在地に近接する、東串良町柏原海岸付近の国有林内にてシロアリ試験地を設置した。(写真 2.8-13～15)。試験地に関しては、その際、国有地借入、様々な指定等の解除など、イエシロアリの食害がみられる区域を選定、下刈り、除伐等の整地、借用地範囲の区別化を行った。

なお、試験に関しては、当時、鹿児島県森林技術総合センターに在職中の森田慎一氏のご指導に賜った。2016 年以降からこれまでに計 5 回の調査を実施している(写真 2.8-16)。



写真 2.8-13　整地前の試験地状況



写真 2.8-14　試験開始状況（A 地点）



写真 2.8-15　試験体設置状況（C 地点）



写真 2.8-16　定期調査の状況

試験体は、JIS　K1571:2010「木材保存剤 – 性能基準及びその試験方法」に規定されている木材保存剤の防蟻性能のうち、野外試験(表面処理用)に用いる 30×30×150 ㎜の試験体と(写真 2.8-17)、長さ 1mの 12 ㎝角材を薬剤処理した後、任意の一端から中央部まで連続して 20 ㎝弱の長さに切断した各 3 本の試験体を用いた(写真 2.8-18)。

ホウ酸系薬剤では山佐木材でも使用中の八ホウ酸二ナトリウム四水和物(商品名:ティンボア)、濃度 10%と 15%にて注入処理を行い、比較対象としては無処理材と、銅・アゾール化合物系防腐薬剤(CUAZ)処理材とを準備した。



写真 2.8-17　30 ㎜角試験体の設置状況



写真 2.8-18　120 ㎜角材の試験体の設置状況

使用した樹種は、国産スギ、ヒノキを主体とし、国産マツ、ベイツガ、ベイヒバ、ベイマツ、及び一部、設置条件での試験用のホワイトファーと、樹種特性も兼ねて設置を行った。試験区としては大きく3工区に分け、AとB工区が30㎜角材、C 工区が 120 ㎜角材の設置となっている。最後に、本試験において、ホウ酸系特有の木材内部への薬剤拡散が及ぼす影響、注入処理 5 年後以降の他薬剤との効力比較化について良い結果が得られることに期待する。

2.8.5　引用文献

1)（公社）日本木材保存協会：木材保存学入門　改訂３版、（公社）日本木材保存協会、2012
2）茂山知己：深浸潤処理、木材保存　Vol.44（３）、140-141（2018）
3）（公社）日本木材保存協会：平成 30 年度　ＪＡＳ規格化等のテーマに関する調査事業「ＪＡＳ法改正に即した木材保存剤分析方法の規格化」成果報告書（2018）
4）（公財）日本住宅・木材技術センター：平成２９年度　都市の木質化等に向けた新たな製品・技術の開発・普及委託事業　ＣＬＴ強度データ収集事業　「直交集成板の防腐・防蟻処理基準の作成」事業報告書（2019）
5）（地独）北海道立総合研究機構　森林研究本部：道総研森林研究本部　成果選集 2015～2019、p24（2020 年度内に公開予定）
6）日本木材防腐工業組合：平成 25 年度　林野庁補正委託事業　「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）
7)柳川靖夫:５種類の木材保存剤でラミナを処理したスギ集成材の屋外暴露試験による接着耐久性評価(第１報)、木材学会誌、64(4)、149－155（2018）
8）佐々木幸久、小城健吾、山下典子、沼川次郎:みやこ下地空港ターミナルビル CLT 屋根木材保存処理施工、(公社)日本木材保存協会　第 36 回オンライン年次大会論文集、64-67（2020）
9）森田慎一、笹原利文、西園靖彦、佐々木幸久：ホウ素系薬剤処理木材の耐蟻性試験、木材保存、 46 (6)、11-14（2020）

2.9　CLT による敷き鉄板代替えと防音壁の事例

2.9.1　CLT による敷き鉄板代替えの事例

CLT は敷き鉄板と比較し比重が約 1/20 と軽く、運搬や施工にかかるコストと手間が軽減される。そのようなメリットから、CLT を敷き鉄板の代替品として山林や工事現場の仮設道路等に利用した事例が、国内外にみられる。本項では、そういった事例や製品を紹介する。

2.9.1.1　北米の事例

北米では、工事現場の他、シェールガス採取等のため仮設の車両用道路を設ける際、アクセス・マット（Access Mats）等の名称で CLT が利用されている。仮設道路用 CLT として製品化されている事例もあり、接合方法等に各社の工夫がみられる。

例として 2 社の製品を挙げる。まず、カナダの Structurlam 社の製品 CrossLam® Access Matting は、ほぞ接合になっており表面に金具が出ないため、車両のタイヤ損傷のおそれがないことを売りにしている（図 2.9-1）。アメリカの Sterling 社の製品 Terralam®は、専用のストラップをラグスクリューで留める方法で、誰でも 1 人で接合できるという簡易性を強調している（図 2.9-2）。

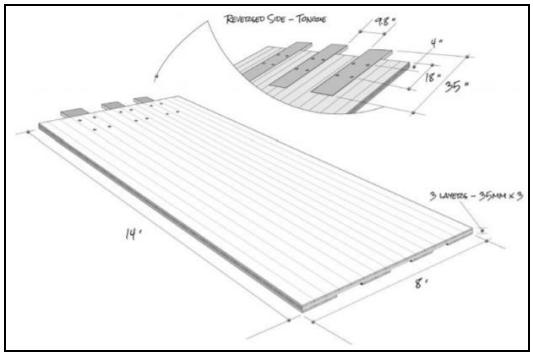


図 2.9-1　Structurlam 社の製品 1)



図 2.9-2　Sterling 社の製品 2)

2.9.1.2　国内の事例

国内で CLT を敷き鉄板の代替品として利用した事例 2 例を紹介する。これらで利用された CLT は、いずれも仮設道路用の製品ではなく、特別な加工はされていない。

1 例目は岡山県真庭市の事例である。市内の CLT 工場から出た CLT の端材を、素材生産者が林業機械用の仮設道路等に活用している（図 2.9-3）。使用した素材生産者からは、敷鉄板を使用した場合に比べ、2.9.1 でも触れた軽量であるため運搬・施工性が良いという点に加え、砂利を撒くと表面にめり込みスパイクになるため坂道でも滑りにくい等のメリットが挙げられ、好評である。



図 2.9-3　林業機械用仮設道路

2 例目は、岩手南部森林管理署遠野支署による CLT を活用した林道等の走行確保試験である。林道の轍等の拡大による路面状況の悪化防止に、CLT を敷鉄板の代わりに使用できないかという試験が行われた。「CLT を活用した林道等の走行確保について」3) に試験内容と敷鉄板との比較等の考察がまとめられている(図 2.9-4、図 2.9-5)。



図 2.9-4　轍への CLT 敷設試験 3)

	CLT 厚さ 36mm, 45mm, 54mm	敷鉄板(レンタル) 厚さ 22mm
重量(2m2あたり)	21.6kg, 27.0kg, 32.4kg	約346kg
職員実行(人力)	可能(2人以上)	不可能
敷設作業までの日数	1日～2日	約30日
敷設作業にかかる時間	1時間程度	1時間程度
耐久性	1シーズン～(検証中)	ほぼ恒久的に (変形、腐食するまで)

図 2.9-5　敷鉄板との比較（施工性ついて）3)

2.9.2　CLT による防音壁の事例

岡山県真庭市の木質バイオマス発電向け燃料チップ工場では、防音壁として CLT が使用されている(図 2.9-6)。厚さ 81mm(27mm×3 層)、幅 2,400mm、長さは 4,000mm･6,000mm の 2 種類の CLT が計 51 ピース、約 56m3 使われた。継手部の金物詳細は図 2.9-7 の通りである。



図 2.9-6　CLT 防音壁

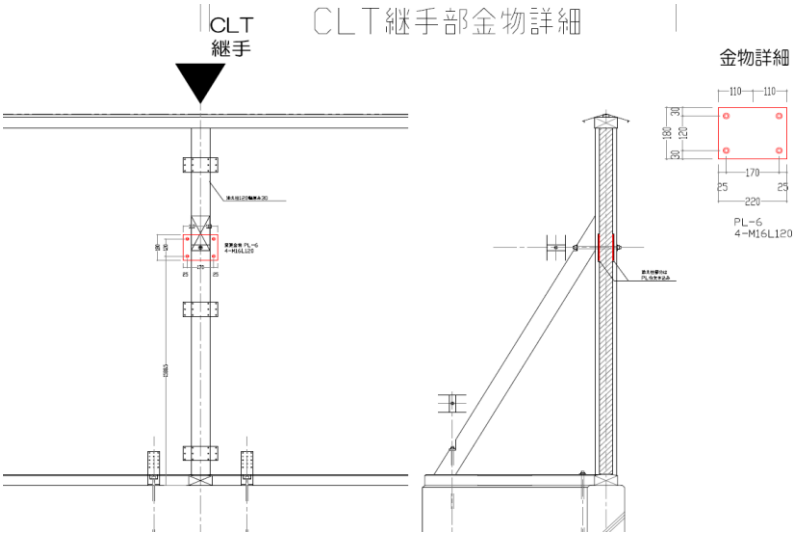


図 2.9-7　CLT 継手部金物詳細

参考文献

1) Structurlam「Engineered Matting Specifications」
https://www.structurlam.com/wp-content/uploads/2016/10/Structurlam-CrossLamCLT-Engineered-Matting-Specifications-July-2016.pdf（2021/1/10）
2) Sterling「THE TERRALAM® CONNECT SYSTEM」
https://www.sterlingsolutions.com/webfoo/wp-content/uploads/sterling-terralam-connect-system.pdf（2021/1/10）
3) 岩手南部森林管理署遠野支署「CLT を活用した林道等の走行確保について」
https://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/sidou/attach/pdf/H30_happyoushuu-40.pdf（2021/1/12）

2. 10　災害現場における木材の土木利用事例

2.10.1　防災対策と災害対応

暴風、豪雨、豪雪、洪水、地震、津波、噴火、高潮と、自然環境が豊かな日本は、一方で災害大国でもある。相手が自然であるのが災害であり、それを封じ込めるのはどれだけの技術を駆使しても不可能である。ただし、そのダメージを和らげることはできる。災害対策には、事前の防災対策と事後の災害対応の 2 つがある。ここでは、それらにおける木材の土木利用の事例を紹介する。

2.10.2　防災対策における木材の利用事例

豪雨による災害として、平地部では洪水、山間部では土砂災害が多く発生する。このうち土砂災害は、豪雨で緩んだ土砂が低い方に移動するものであり、地形の起伏に起因するものであるが、水の集まる渓流部の被害が特に顕著である。これを保護するひとつの方法が治山ダムである。ダムと言っても水を溜めるものではなく、段差を作り傾斜を小さくすることで流速を下げ土砂の流出を抑制するものである。コンクリート製のものが多いが、写真 2.10-1,2 のような木製のものも整備されている。これらには、大径材と小径材、太鼓材と角材円柱材、防腐処理材と無処理材、固定の方法の違いと様々なタイプがある。樹種はその地域で多く得られるもので、最近のものはスギ材が多い。

耐久性が気になるところであるが、流路部分の摩耗と露出部分の腐朽程度であり、本体に致命的な劣化が生じることはないことが調査によりわかっている。また、長期の供用により埋まり位置がわからなくなっていることもあるが、それは目的を果たしたという意味でもある。この点で耐久性には神経質にならなくてもよいと言える。

河川では、以前は防災対策として木矢板を用いた堤防や聖牛工が用いられてきたが、それらはほぼなくなっている。ただし木矢板を用いれば簡単に土留めができるため、流れがない農業用水路の護岸には写真 2.10-3 のようなものが今でも多く用いられている。ただこれらの耐久性は高くはない。この例の地域では数百キロに及ぶ農業用水路があるが、耐用年数が短いと更新の手間がかかりすぎることから、コンクリート護岸への切り替えが進んでいる。ただし高価なため全てを交換する予算は確保できない。そこで、適度に安価で耐久性も期待できる写真 2.10-4 のような木製護岸工が施工されるようになっている。この例では、スギ材を用い、通常のよりも大きな断面、1 面のみを落とした杭材、全部材を防腐処理とすることで耐久性を向上させることとしている。



写真 2.10-1　木製治山ダムの例（京都府）



写真 2.10-2　木製治山ダムの例（熊本県）



写真 2.10-3　農業用水路の護岸工の例（佐賀県）



写真 2.10-4　耐久性に配慮した木製護岸工（福岡県）



写真 2.10-5　落成防護工の例（佐賀県）



写真 2.10-6　落石防護工の例（鹿児島県）

2.10.3　災害対応における木材の利用事例

災害対応の構造物は、迅速かつ容易に作れる必要があるが、一方で耐久性は不要である。木材は強度性能に優れ、軽く、加工が容易であることに加え、弱点である耐久性が不要なためこれらの構造物には好適である。ただ、木材の調達にはある程度の時間がかかること、備蓄には耐久性の配慮が必要なことから、災害対応用資材への木材利用は進んでいない。

最も一般的なのが、写真 2.10-5 のような親杭横矢板工法の矢板材である。矢板材には波形鋼板や PC 版も用いられるが、木材も多く利用されている。これらは落石や土砂流出を防ぐためのものであり、隙間のない壁にする必要がないことから、製材の他に丸太、場合によっては皮付き丸太が使用されている。

豪雨により橋が流出することがある。橋は交通の要衝であることが多く、そのダメージは大きいが、橋の復旧には時間を要する。このような場合には、写真 2.10-7 のような仮設橋か、地形によっては写真 2.10-8 のようなヒューム管と土工による仮設通路が作られる。仮設通路は、この例のように河床が近い場合は安価かつ短期間での供用が可能であるが、大雨時には通行できない。仮設橋は天候の心配はないが、高価となる。

土砂災害の復旧現場では、工事用や生活用の仮設道路を供用しつつ工事が進められる。この場合の道路は上述の仮設橋や通路よりも早期に必要なため、資材を現地で調達する方が好都合な場合もある。写真 2.10-9,10 は、現地で発生した流木を活用した仮設橋の例である。現場への資材搬入の負担を減らすことと、木材の加工しやすさを活かした事例と言える。



写真 2.10-7　災害時仮設橋の例



写真 2.10-8　仮設道路の例（熊本県）



写真 2.10-9　現場で調達した木材を
活用した橋の例 a（福岡県）



写真 2.10-10　現場で調達した木材を
活用した橋の例 b（福岡県）

第３章　CLT を用いた橋梁調査

3.1　調査目的

秋田県では平成 29 年から平成 30 年にかけて、CLT 床板を用いた林道橋や農道橋が試験的に 4 橋施工された。その後 2～3 年を経ており、「木橋定期点検要領（案）（Version1,Relesase2）」（日本林道協会　木橋技術協会）に従い、木橋の各部材の状態を把握し、現状の腐朽度合いや傷み等の調査を行うこととした。

3.2　調査項目

調査は「木橋定期点検要領（案）」に従い実施した。 評価単位は表 3.2-1 のように、大まかに上部構造、下部構造、支承部、その他に分け、さらに健全性の診断は表3.2-2 に示したとおり部材ごとで判断される。なお、鋼部材、コンクリート部材については「道路橋定期点検要領」（平成 26 年 6 月国土交通省道路局国道・防災課）、および「付属物（標識、照明施設等）点検要領」（平成 26 年 6 月国土交通省道路局・防災課）を参考とした。

また、表 3.2-2 における木部の変状の種類については、表 3.2-3～3.2-5 のように区分し、“対策区分”に関しては「橋梁定期点検要領」（平成 26 年 6 月国土交通省道路局国道・防災課）を参考として示している。

表 3.2-1　判定の評価単位の標準

上部構造			下部構造	支承部	その他
主構・主桁	横桁	床版・床板			

表 3.2-2　変状の種類の標準

材料の種類	変状の種類
鋼部材	腐食、亀裂、破断、その他
コンクリート部材	ひびわれ、床版ひびわれ、その他
木部	腐朽、蟻害、われ、その他
その他	支承の機能障害、その他

表 3.2-3　腐朽における変状の程度と健全度区分

健全性区分	対策区分	変状の程度
Ⅰ	A	腐朽は見られない。
	B	腐朽が見られる。他部材への伝搬の懸念により状況に応じて補修が必要であるものの、次回の点検で観察すればよいと判断される。
Ⅱ	C1	腐朽が見られる。安全上の対策は不要であるが、進行の懸念があるために次回の点検まで（5 年程度以内）に対策の必要があると判断される。
	M	腐朽が見られ、当該部位、部材の機能を良好な状態にするために日常の維持工事で早急な処理が必要と判断される。
Ⅲ	C2	腐朽が相当程度進行し、機能や安全性の低下が著しいため、安全性の観点から速やかな補修が必要と判断される。

Ⅳ	E1	腐朽により安全性が著しく損なわれており、緊急対応が必要と判断される。
	E2	部材の落下等により交通障害や第三者被害のおそれがあるため、緊急対応が必要と判断される。

※対策区分は参考として記載

表 3.2-4　蟻害における変状の程度と健全度区分

健全性区分	対策区分	変状の程度
Ⅰ	A	蟻害は見られない。
Ⅱ	C1	蟻害が見られる。安全上の対策は不要であるが、進行や他部材への伝播が懸念されるため、次回の点検までに対策の必要があると判断される。
Ⅲ	C2	蟻害が相当程度進行し、機能や安全性の低下が著しいため、安全性の観点から速やかな対策が必要と判断される。
Ⅳ	E1	蟻害により安全性が著しく損なわれており、緊急対応が必要と判断される。

※対策区分は参考として記載

表 3.2-5　われにおける変状の程度と健全度区分

健全性区分	対策区分	変状の程度
Ⅰ	A	われは見られない。
	B	われが見られ、状況に応じて補修が必要であるものの、次回の点検まで（5 年程度以内）に安全性が著しく損なわれることはないと判断される。
Ⅱ	C1	われが見られる。安全上対策の必要はないが、他の変状の原因可能性があるため次回の点検までに対策の必要があると判断される。

※対策区分は参考として記載

3.3　調査対象

①CLT1 号橋（仙北市田沢湖潟）

平成 29 年 3 月に石倉沢県営林作業道に試験的に施工した CLT1 号橋で、橋長は 7m、有効幅員 3.5m、設計荷重 1.4t（2 号林道橋）の橋である。

H 形鋼の橋桁の上に 4 列でスギ CLT（幅 1,735mm、厚さ 180mm、長さ 3,700mm）を並べた床版であり、路面はアスファルト塗装されている（写真 3.3-1）。CLT 床版は 4 種類の異なった防腐・防水処理されており、それぞれ塗布型防腐剤、ポリマーセメント系防水材、紫外線硬化型 FRP シート被覆、ウレタンコーティングである。

地覆もスギ CLT を用いて、同様に 4 種類の防腐・防水処理を施している。



写真 3.3-1　CLT1 号橋
（左側から塗布型防腐剤・ポリマーセメント系防水材・紫外線硬化型 FRP シート被覆・ウレタンコーティング）

②CLT2 号橋（大仙市大沢郷宿）

一級河川の雄物川支流にあたる大沢川に平成 30 年 2 月に架設された橋長 10m、有効幅員 3m、設計荷重 4t の農道橋である。

床版で使用されたスギ CLT（幅 1,990mm、厚さ 120mm、長さ 3,450mm）は製造の都合上、製造可能な CLT の弱軸方向の片側が凹凸形状になるように制作、お互いに凹凸部をはめ込んで二次接合とし、さらに引っ張り側（床版下側）に炭素繊維シート（CF シート）を貼り付けて補強されている。

防腐・防水処理としてポリマーセメント系防水材で完全に覆われており外観からは CLT を使用しているとは確認できない。CLT 床版を H 形鋼桁の上に 5 列並べており、路面はアスファルト舗装されている（写真 3.3-2）。

地覆においてもスギ CLT を使用し、防腐・防水処理が施されている。



写真 3.3-2　CLT2 号橋

③CLT3 号橋（秋田市雄和：ふれあい広場 1 号橋）

平成 30 年 3 月に森林学習交流館、学習交流の森内の歩道橋として施工された床版橋である。

床版として使用されたスギ CLT は幅 1,000mm、厚さ 120mm、長さ 3,000mm を幅（弱軸）方向にダボ接合され、2 枚並べられている。防腐・防蟻処理として塗布型防腐剤（刷毛塗り 2 回）を使用されている。

CLT 床版の上に路面保護のための床板としてスギ薄物三層パネル（幅 1,000mm、厚さ 36mm、長さ 2,000mm）を 3 枚並べて設置している。さらに無処理の水くり木（スギ CLT）および地覆木（スギ製材）が設置されている。



写真 3.3-3　CLT3 号橋

④CLT4 号橋（秋田市雄和：ふれあい広場 2 号橋）

CLT3 号橋と同じ学習交流館の敷地内に設置された歩道橋である。

スギ CLT（幅 1,000mm、厚さ 120mm、長さ 4,000mm）2 枚を並べられており、塗布型ガラス繊維系 FRP 被覆で防腐・防水が施されている。

床板、水くり木および地覆木は CLT3 号橋と同様である（床板は 4 枚使用）。



写真 3.3-4　CLT4 号橋

3.4　調査方法

調査は、近接目視と触診の定性的な点検を中心に実施した。なお、近接目視とは部材の変状等の状態を把握し評価が行える距離まで接近して目視を行うことである。近接目視ができないような箇所では打診棒等用いて変状の状態を確認することとした。

調査は令和 2 年 10 月 5 日～6 日の二日間かけて実施し、CLT 土木活用委員会や学生の方々が参加し、多数の視点で各橋の状態を調査することができた。

評価については表 3.2-2～3.2-5 の変状の種類や程度と健全度区分に基づき、部材単位で補修や補強の必要性等を評価するために表 3.4-1 のようにⅠ～Ⅳの判定を行った。さらに部材単位の健全度だけでなく橋全体の総合的な状況として表 3.4-2 のように橋全体の判定をⅠ～Ⅳの 4 区分で評価した。

表 3.4-1　部材の判定区分

区分		状態
Ⅰ	健全	橋の機能に支障が生じていない状態
Ⅱ	予防保全段階	橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
Ⅲ	早期措置段階	橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
Ⅳ	緊急措置段階	橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

表 3.4-2　橋全体の判定区分

区分		状態
Ⅰ	健全	橋の機能に支障が生じていない状態
Ⅱ	予防保全段階	橋の機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態
Ⅲ	早期措置段階	橋の機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態
Ⅳ	緊急措置段階	橋の機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態

3.5　調査結果

①CLT1 号橋（仙北市田沢湖潟）

橋面のアスファルト舗装にも損傷がなく、また H 形鋼にも異常が見られなかったため、主桁および横桁の判定区分を「Ⅰ：健全」とした。

CLT 床版は、アスファルト舗装のため上部は判断ができないが、下部から裏側を目視してみたところ各 4 種類の防腐・防水処理に関して大きな損傷や CLT の腐朽等が確認できず比較的良好であると考えられる。ただし、ウレタンコーティングで処理されている CLT に関しては、下流側の木口部に微小な割れが確認でき、今後雨や雪解け時に水が内部に入り込む恐れがあり（別紙 2 PIC.1~2）、われの健全性区分を「Ⅱ」、床版の判定区分を「Ⅱ：予防保全段階」とした。

また下部構造では異常等は確認できなかったため、下部構造の「Ⅰ：健全」とした。

地覆についてはFRPシート被覆以外の3種類の地覆で熊によるとみられる損傷（獣害）があり大きく破損していた（別紙 2 PIC.3~6）。また、塗布型防腐剤の地覆では下流側でわれが発生しており（PIC.7）、上流側では FRP シート被覆（別紙 2 PIC.8）とポリマーセメント系防水材（別紙 2 PIC.9）の積層面に大きなわれが発生していた。なお、ウレタンコーティングは令和元年 10 月に地覆の上流側を一度補修しており、その部分に関してわれ等は生じていなかった。以上より、地覆のわれの健全性区分を「Ⅱ」、判定区分を「Ⅱ：予防保全段階」とした。

床版裏に黒カビが発生していることから多湿状況で厳しい条件下と考えられる。また地覆の状況から上流側と下流側では環境が異なるように思われる。

床版にはほとんど損傷が確認できないことから、橋全体の判定区分を「Ⅰ：健全」として、現状このまま経過観察し、定期的に点検を行うのが望ましいと考えられる。

②CLT2 号橋（大仙市大沢郷宿）

橋面のアスファルトに亀裂が多数発生しており（別紙 2　PIC.1~2）、亀裂の位置のほとんどは二次接合のあたりであった。また床版下側から確認したところ、ポリマーセメント系防水材に多数の膨らみがあり（別紙 2　PIC.3）、その一つをドライバーにて穴を空けてみたところ、中には水のような液体が溜まっていることを確認した（別紙 2　PIC.4）。この現状に対して現在ポリマーセメント系防水材の薬品メーカーに確認してもらっているところである。また、この水膨れは CLT 床版の二次接着の下面に貼り付けした炭素繊維シートの部分にあたると思われるところには発生していない。全体的にアスファルト舗装の亀裂とポリマーセメント系防水材内の水膨れは左岸で顕著であるが、これらの因果関係は判断できない。現状 CLT 床版には比較的空気（酸素）が流入する可能性が低く、腐朽が進行しづらい環境であることから、原因調査を優先することとし、床版の判定区分を「Ⅱ：予防保全段階」とした。

地覆においては上面に被覆われがあり、雨水が溜まりやすい状況にある（別紙 2　PIC.5）。また、地覆が若干傾いている箇所もあり（PIC.6）、この地域は積雪が多いことから雪による圧力によって傾いたのではないかと推測される。地覆のわれの健全性区分を「Ⅱ」、判定区分を「Ⅱ：予防保全段階」とした。

また、ここ数年雄物川流域にて河川の氾濫が何度か起きており、その際に大沢川も氾濫域に達していたと考えられ、主桁の横にそのとき流れ着いたと思われる草木が引っ掛かっていた（写真 3.5-1）。氾濫の影響も含め、主桁や下部構造への損傷は確認できなかったため、判定区分を「Ⅰ：健全」とした。

以上より、アスファルトのわれやポリマーセメント系防水材の水膨れを今後の対応課題として橋全体の判定区分を「Ⅱ：予防保全段階」とした。



写真 3.5-1　氾濫跡と思われる草木

③CLT3 号橋（秋田市雄和）

CLT 床版のみ防腐処理されており、他の未処理部材を含めても至って健全と判断され、各部材の判定区分を「Ⅰ：健全」とした。

路面保護のための薄物三層パネル床板と CLT 床版の上流側の間に土が付着していることから、川の増水時には床版まで川の水が流れていると推測される（写真 3.5-2）。CLT 床版とパネル床板の密接部の状態を確認するためパネル床板を取り外したところ、水は溜まっていたが腐朽や損傷等が見当たらなかった（写真 3.5-3）。橋から水面までが低く、また周辺状況も含め、繊維飽和点を超える状況と推測され、今後も経過観察を行うのが望ましいと考えられる。

以上より橋全体の判定区分を「Ⅰ：健全」とした。



写真 3.5-2　床版の流水跡



写真 3.5-3　床板を取り除いた後の床版

④CLT4 号橋（秋田市雄和）

CLT 床版は塗布型ガラス繊維系 FRP 被覆、三層パネルの床板、水くり木および地覆は無処理であるが、腐朽や損傷等が確認できなかったことから、各部材の判定区分を「Ⅰ：健全」とした。

CLT3 号橋の下流に位置するため、CLT4 号橋も川の増水時には床版を超えて水が流れていた跡があった（写真 3.5-4）。こちらは床板を外すことはしなかったが、過酷な状況下で高含水率状態であることと推測されるため、今後も定期的な観察が必要かと思われる。

以上より、橋全体の判定区分を「Ⅰ：健全」とした。



写真 3.5-4　床版の流水跡

以下記録として、「木橋定期点検要領（案）　別紙２点検表記録様式」」に従って橋梁ごとに示す。

別紙2 点検表記録様式

（その1）

(1)橋梁名・所在地・管理者等

作成日： 2020/10/25

橋梁名		路線名		所在地			位置情報	
CLT1号橋				秋田県仙北市田沢湖潟			39° 42'31.0"N 140° 41'26.7"E	
構造形式	使用区分	橋長	全幅員	竣工年	供用年数	路下条件	代替路線	占用物件
桁橋	林道橋	9.0m	3.86m	2017.3	3	河川		
管理者	補足事項	点検者		点検責任者		点検実施年月日		次回予定
秋田県仙北地域振興局 農林部		(公財)秋田県木材加工推進機構		浜野 達朗		2020.10.5		

(2)維持管理の履歴

実施(年・月)	対策の概要(部材の交換，再塗装，補強材の設置等)	工費(千円)	請負
2019年10月	ウレタンコーティング地覆の補修		

(3)部材単位の診断結果(部材の最悪値を記入)

点検時							措置後	
部材 / 部位		使用材料(樹種及び防腐仕様)※	判定区分	損傷の種類	点検方法	損傷写真	再判定区分	実施年月日
上部構造	主桁・主構	H形鋼	Ⅰ		目視			
	横桁	H形鋼	Ⅰ		目視			
	床版・床組	スギ、4種類での処理、資料あり	Ⅱ	われ	目視・触診	PIC.1～2		
下部構造	橋台	RC	Ⅰ		目視			
支承部								
その他	地覆	スギ、4種類での処理、資料あり	Ⅱ	獣害・われ	目視	PIC.3～9		

※建設時の資料がある場合は「資料あり」，資料がなく現地状況からの推定である場合は「推定」，判断がつかない場合は空欄とする．

(4)橋ごとの健全性の診断(判定区分Ⅰ～Ⅳ)

点検時		措置後	
判定区分	所見等	再判定区分	実施年月日
Ⅰ	ウレタンコーティングされた床版の木口面に微少なわれが4箇所あり、雨水がしみこむ恐れがある。		

※判定区分　Ⅰ：健全，　Ⅱ：予防保全段階，　Ⅲ：早期措置段階，　Ⅳ：緊急措置段階

(5)概要写真(側面，橋面，桁下，下部工，支承等)　　(その1)



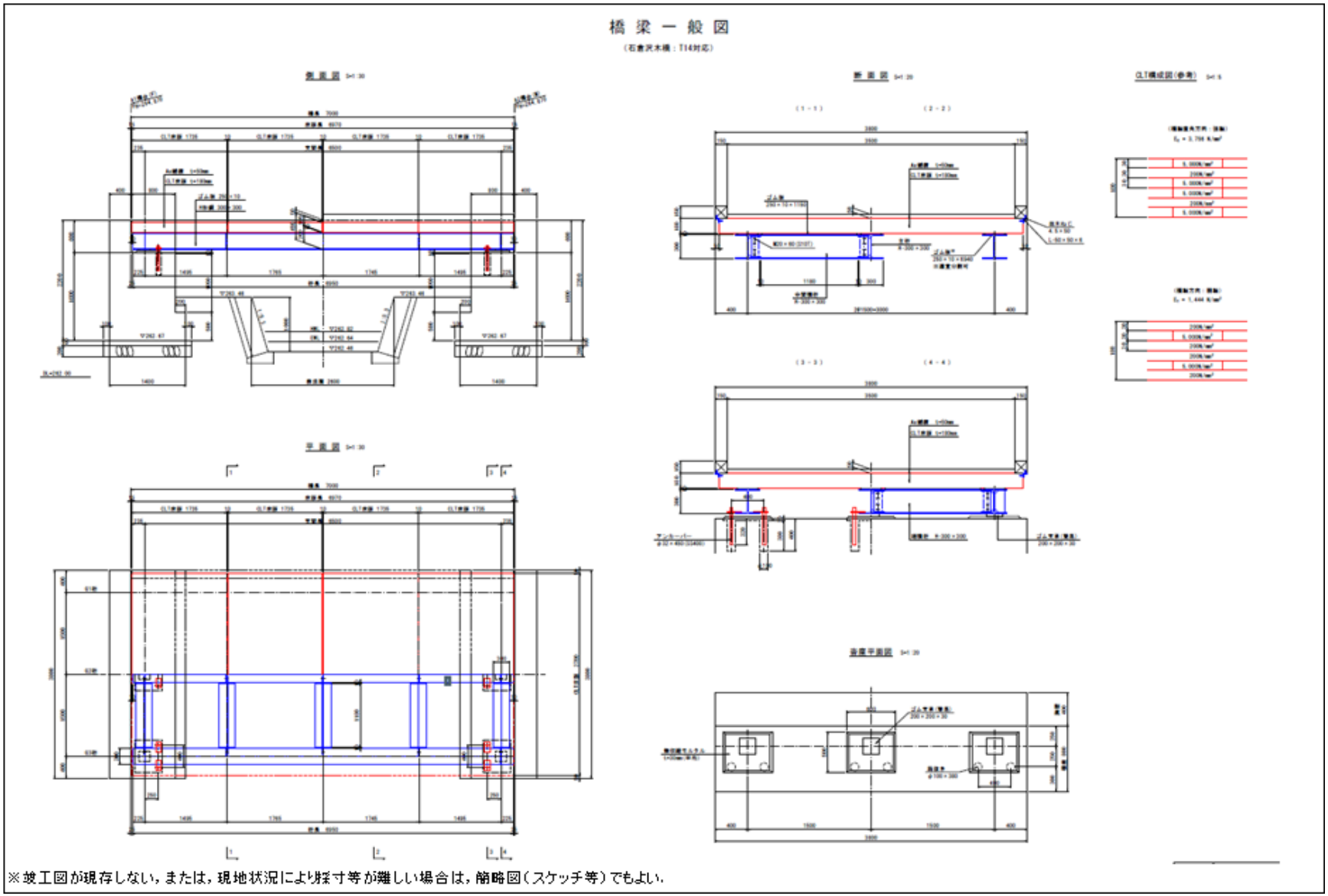






※概要写真には，起点側･終点側･流向等を示すこと．なお，現地状況により，撮影が困難な場合は一部分でもよい．

（6）橋梁一般図（側面図，平面図，断面図等）



※竣工図が現存しない，または，現地状況により採寸等が難しい場合は，略図（スケッチ等）でもよい．

(7)損傷写真

上部構造（床板・床組）	判定区分： Ⅰ



PIC.1	ウレタンコーティング床版（下流側）	床版		

上部構造（床板・床組）	判定区分： Ⅰ



PIC.2	ウレタンコーティング床版（下流側）	床版		

その他	判定区分： Ⅱ



PIC.3	塗布型防腐剤（獣害）	地覆		

その他	判定区分： Ⅱ



PIC.4	塗布型防腐剤・ポリマーセメント（獣害）	地覆		

その他	判定区分： Ⅱ



PIC.5	ポリマーセメント（獣害）	地覆		

その他	判定区分： Ⅱ



PIC.6	ウレタンコーティング（獣害）	地覆		

その他	判定区分： Ⅱ



PIC.7	塗布型防腐剤（割れ）	地覆		

その他	判定区分： Ⅱ



PIC.8	ポリマーセメント（割れ）	地覆		

その他	判定区分： Ⅱ
	

PIC.9	FRPシート（割れ）	地覆		

その他	判定区分：

PIC.10				

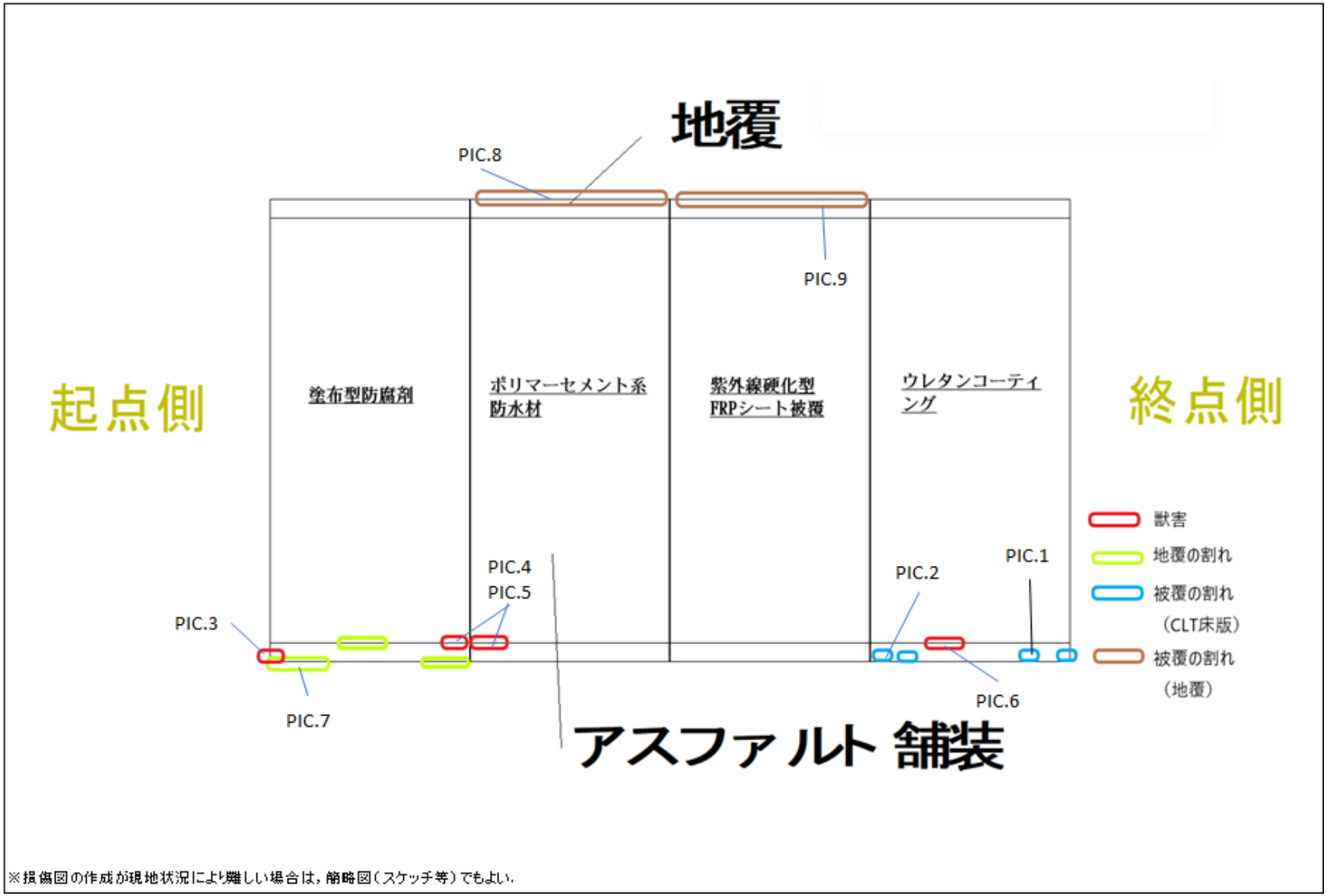
その他	判定区分：

PIC.11				

その他	判定区分：

PIC.12				

（8）損傷図



※損傷図の作成が現地状況により難しい場合は，簡略図（スケッチ等）でもよい．

別紙2　点検表記録様式

（その1）

(1)橋梁名・所在地・管理者等

作成日：　2020/10/25

橋梁名		路線名		所在地			位置情報	
CLT2号橋				秋田県大仙市大沢郷宿			39° 30'08.0"N 140° 18'44.3"E	
構造形式	使用区分	橋長	全幅員	竣工年	供用年数	路下条件	代替路線	占用物件
桁橋	農道橋	10.0m	3m	2018.2	2	大沢川		
管理者	補足事項	点検者		点検責任者		点検実施年月日		次回予定
秋田県仙北地域振興局　建設部		(公財)秋田県木材加工推進機構		浜野　達朗		2020.10.5		

(2)維持管理の履歴

実施(年・月)	対策の概要(部材の交換，再塗装，補強材の設置等)	工費(千円)	請負

(3)部材単位の診断結果(部材の最悪値を記入)

点検時							措置後	
部材 / 部位		使用材料(樹種及び防腐仕様)※	判定区分	損傷の種類	点検方法	損傷写真	再判定区分	実施年月日
上部構造	主桁・主構	H形鋼	Ⅰ		目視			
	横桁	H形鋼	Ⅰ		目視			
	床版・床組	スギ、ポリマーセメント、資料あり	Ⅱ	ASの亀裂・被覆材の剥れ	目視	PIC.1～4		
下部構造		RC	Ⅰ		目視			
支承部								
その他	地覆	スギ、ポリマーセメント、資料あり	Ⅱ	被覆材のわれ・傾き	目視	PIC.5～6		

※建設時の資料がある場合は「資料あり」，資料がなく現地状況からの推定である場合は「推定」，判断がつかない場合は空欄とする．

(4)橋ごとの健全性の診断(判定区分Ⅰ～Ⅳ)

点検時		措置後	
判定区分	所見等	再判定区分	実施年月日
Ⅱ	アスファルト舗装に亀裂が多く、床板の変形による可能性がある。 床板裏側に多数の膨れがあり、打診により水が内部に溜まっていることを確認、防水剤メーカーに問い合わせることとした。		

※判定区分　　Ⅰ：健全，　Ⅱ：予防保全段階，　Ⅲ：早期措置段階，　Ⅳ：緊急措置段階

(5)概要写真(側面，橋面，桁下，下部工，支承等)　　(その1)



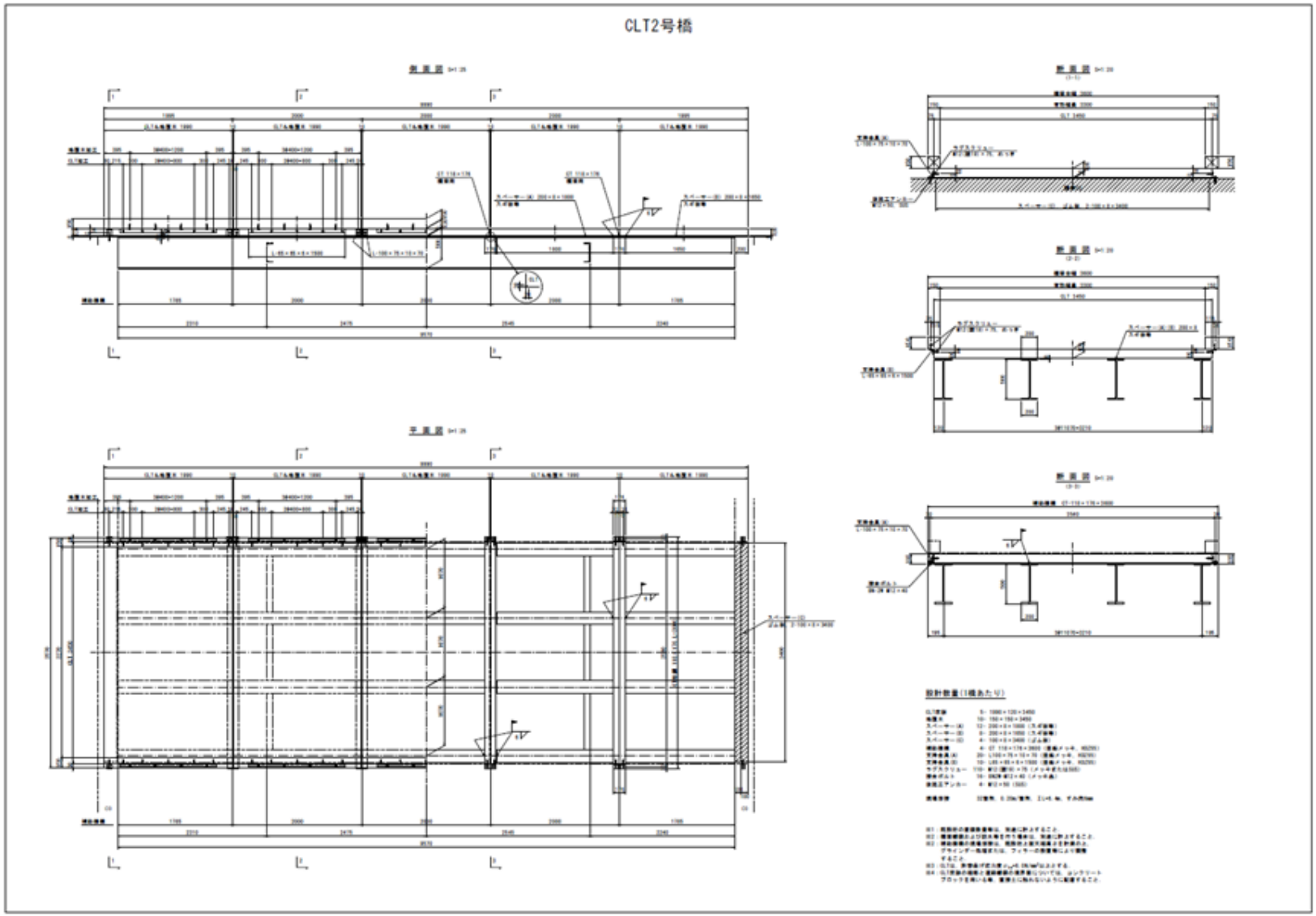






※概要写真には，起点側･終点側･流向等を示すこと．なお，現地状況により，撮影が困難な場合は一部分でもよい．

（6）橋梁一般図（側面図，平面図，断面図等）



※竣工図が現存しない，または，現地状況により採寸等が難しい場合は，略略図（スケッチ等）でもよい．

（7）損傷写真

上部構造（床板・床組）	判定区分： Ⅱ



PIC.1	アスファルト面亀裂	橋面		

上部構造（床板・床組）	判定区分： Ⅱ



PIC.2	アスファルト面亀裂	橋面		

上部構造（床版・床組）	判定区分： Ⅱ



PIC.3	床版下側膨れ	床版		

上部構造（床板・床組）	判定区分： Ⅱ



PIC.4	床版下側膨れ内の水	床版		

その他	判定区分： Ⅱ



PIC.5	地覆の割れ	地覆		

	判定区分： Ⅰ



PIC.6	地覆の傾き	地覆		

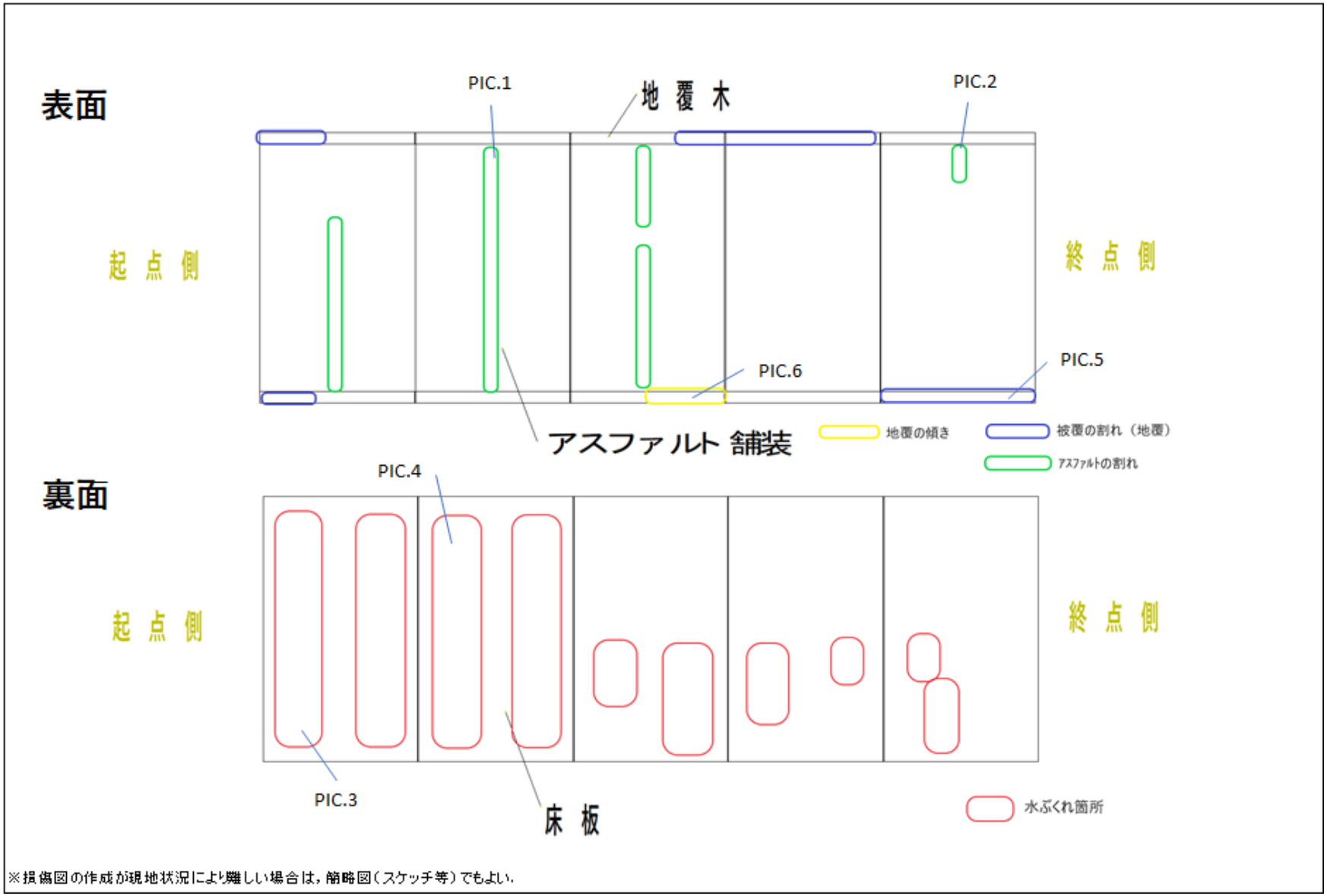
	判定区分：

PIC.7				

	判定区分：

PIC.8				

（8）損傷図



※損傷図の作成が現地状況により難しい場合は，簡略図（スケッチ等）でもよい．

別紙2　点検表記録様式

（その1）

（1）橋梁名・所在地・管理者等

作成日：　2020/10/25

橋梁名		路線名		所在地			位置情報	
CLT3号橋				秋田県秋田市雄和椿台			39° 37'34.6″N　140° 12'05.6″E	
構造形式	使用区分	橋長	全幅員	竣工年	供用年数	路下条件	代替路線	占用物件
床版橋	歩道橋	3.0m	2.0m	2018.3	2	河川		
管理者	補足事項	点検者		点検責任者		点検実施年月日		次回予定
秋田県林業木材産業課森林整備課		（公財）秋田県木材加工推進機構		浜野　達朗		2020.10.6		

（2）維持管理の履歴

実施（年・月）	対策の概要（部材の交換，再塗装，補強材の設置等）	工費（千円）	請負

（3）部材単位の診断結果（部材の最悪値を記入）

点検時							措置後	
部材 / 部位		使用材料（樹種及び防腐仕様）※	判定区分	損傷の種類	点検方法	損傷写真	再判定区分	実施年月日
上部構造	主桁・主構							
	横桁							
	床版・床組	スギ、塗布型防腐剤、資料あり	Ⅰ		目視・打診			
下部構造		RC	Ⅰ		目視			
支承部								
その他	地覆	スギ、無処理、資料あり	Ⅰ		目視			
	水くり木	スギ、無処理、資料あり	Ⅰ		目視			

※建設時の資料がある場合は「資料あり」，資料がなく現地状況からの推定である場合は「推定」，判断がつかない場合は空欄とする．

（4）橋ごとの健全性の診断（判定区分Ⅰ～Ⅳ）

点検時		措置後	
判定区分	所見等	再判定区分	実施年月日
Ⅰ	目視による点検では腐朽等は確認されず、至って健全である。 増水期に床板上まで川の水が達した跡があり、床板を取り除いて確認してみたところ、床版に水が溜まっていたが腐朽の様子は無かった。		

※判定区分　　Ⅰ：健全，　Ⅱ：予防保全段階，　Ⅲ：早期措置段階，　Ⅳ：緊急措置段階

(5)概要写真(側面，橋面，桁下，下部工，支承等)　　(その1)



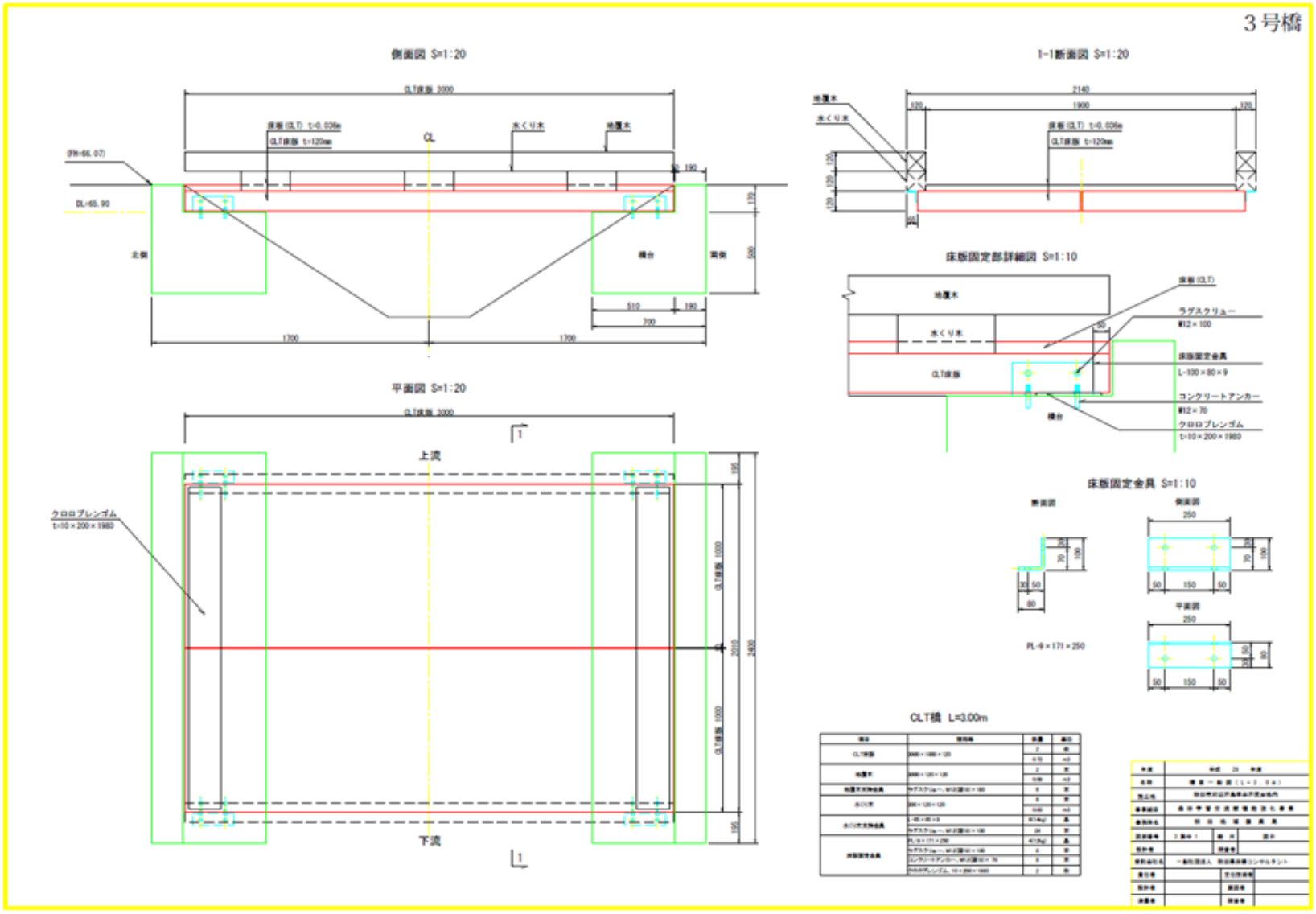






※概要写真には，起点側･終点側･流向等を示すこと．なお，現地状況により，撮影が困難な場合は一部分でもよい．

（6）橋梁一般図（側面図，平面図，断面図等）



※竣工図が現存しない，または，現地状況により寸法等が難しい場合は，簡略図（スケッチ等）でもよい．

別紙2　点検表記録様式

（その1）

④CLT4 号橋（秋田市雄和）

（1）橋梁名・所在地・管理者等

作成日：　2020/10/25

橋梁名		路線名		所在地			位置情報	
CLT4号橋				秋田県秋田市雄和椿台			39° 37'35.7"N 140° 12'00.0"E	
構造形式	使用区分	橋長	全幅員	竣工年	供用年数	路下条件	代替路線	占用物件
床版橋	歩道橋	4.0m	2.0m	2018.3	2	河川		
管理者	補足事項	点検者		点検責任者		点検実施年月日		次回予定
秋田県林業木材産業課森林整備課		（公財）秋田県木材加工推進機構		浜野　達朗		2020.10.6		

（2）維持管理の履歴

実施（年・月）	対策の概要（部材の交換，再塗装，補強材の設置等）	工費（千円）	請負

（3）部材単位の診断結果（部材の最悪値を記入）

点検時							措置後	
部材 / 部位		使用材料（樹種及び防腐仕様）※	判定区分	損傷の種類	点検方法	損傷写真	再判定区分	実施年月日
上部構造	主桁・主構							
	横桁							
	床版・床組	スギ、塗布型ガラス繊維系FRP、資料あり	I		目視・打診			
下部構造		RC	I		目視			
支承部								
その他	地覆	スギ、無処理、資料あり	I		目視			
	水くり木	スギ、無処理、資料あり	I		目視			

※建設時の資料がある場合は「資料あり」，資料がなく現地状況からの推定である場合は「推定」，判断がつかない場合は空欄とする．

（4）橋ごとの健全性の診断（判定区分Ⅰ～Ⅳ）

点検時		措置後	
判定区分	所見等	再判定区分	実施年月日
I	目視による点検では腐朽等は確認されず、3号橋と同様に健全である。 4号橋も増水期に床板上まで川の水が達した跡があり、床板を取り外すまでは行わなかったが3号橋と異なりFRPによるラッピングされていることを考慮すると現状問題はないかと推測される。		

※判定区分　　Ⅰ：健全，　Ⅱ：予防保全段階，　Ⅲ：早期措置段階，　Ⅳ：緊急措置段階

(5)概要写真(側面，橋面，桁下，下部工，支承等)　　(その1)



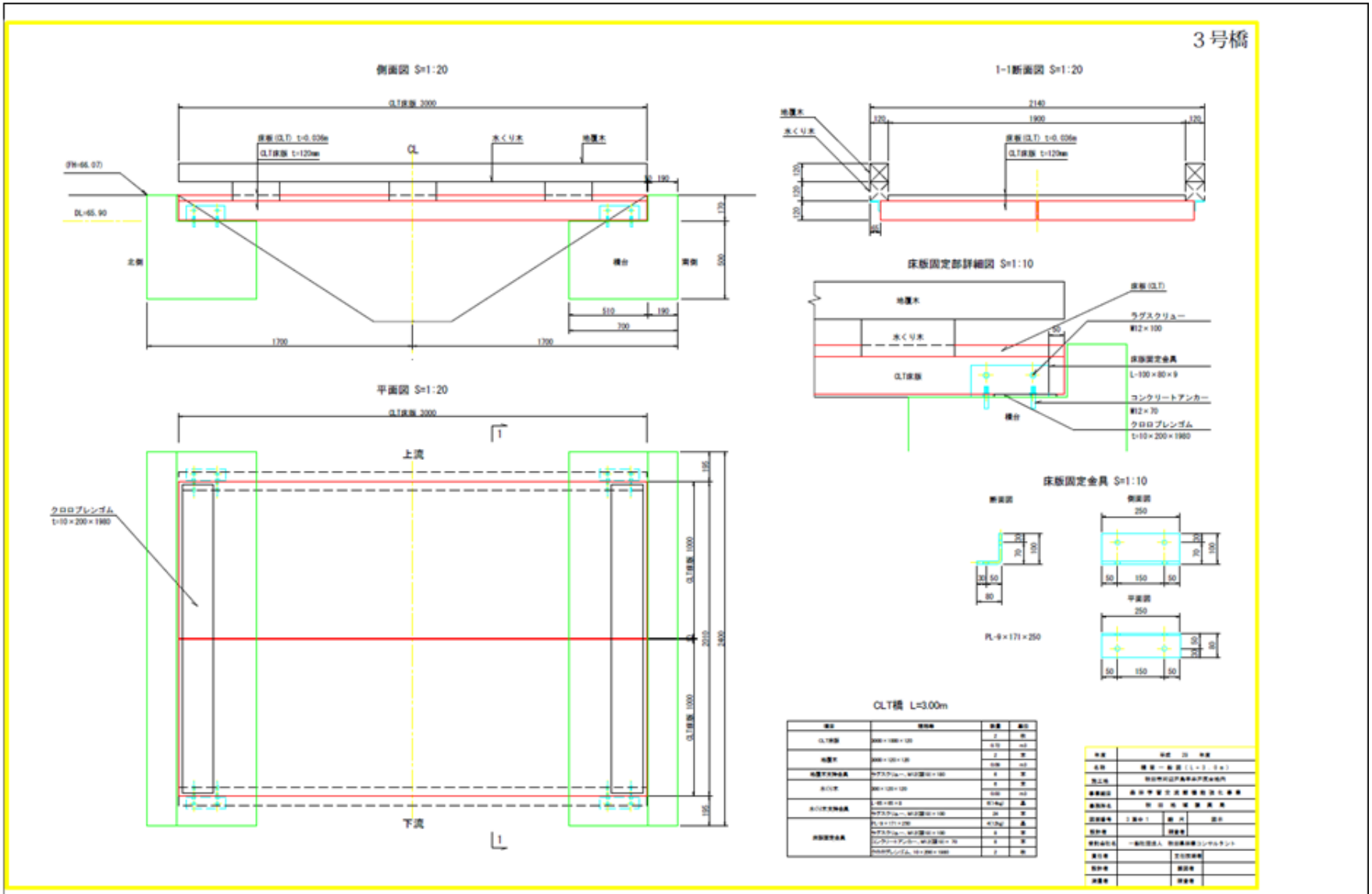






※概要写真には，起点側･終点側･流向等を示すこと．なお，現地状況により，撮影が困難な場合は一部分でもよい．

（6）橋梁一般図（側面図，平面図，断面図等）



※竣工図が現存しない，または，現地状況により採寸等が難しい場合は，略略図（スケッチ等）でもよい．

第４章　木材の土木利用調査

4.1　調査目的

木材の土木分野における利用の現況を把握するため、木材活用の先進的な自治体として知られる高知県と岡山県真庭市を対象に調査を行うこととした。

4.2　調査項目

主な調査項目は以下の通りである。
①概要（用途・木材使用箇所 等）
②費用
③要求性能と基準値
④木材の処置
⑤施工
⑥保守点検
⑦現在の損傷状況
⑧解体後の処置
⑨木材の選択結果

4.3 調査結果

4.3.1 高知県

4.3.1.1 治山ダム

概要	用途	治山ダム(木製) 床固工 2基　護岸工 2基
	場所	高知県 高岡郡 津野町 高野
	竣工(年)	平成29年3月
	使用箇所	－
	使用材料	間伐材
	樹種	針葉樹(スギ)
	形態	棒状
	産地	国産材
	使用量(㎥)	床固工(木製) 2基 208.6m3 護岸工(木製) 2基 115.9m3
	木材選択の理由	間伐材・小径材の利用促進
	設計時の想定耐用年数(年)	10年(屋外利用木材の耐久性)
	発注者(部門)	高知県
	設計者(部門)	(一社)高知県山林協会
	施工者(部門)	有限会社 野波建設
	維持管理者(部門)	高知県
何件くらいの実績があるか。本用途は常に木材を利用しているか、あるいはRCや鋼材が主流か。		木製ダムについては、過去に1件施工した事例がある。(H14) 通常はコンクリートダムが主流。
費用	総建設費(千円)	24,135千円
	木材に掛かる費用(千円)	総費用 10,207千円(直接工事費)
	内訳(千円)	材料費 8,533千円・ 施工費 1,674千円
	費用対効果(B/C)	4.01(保全すべき施設費に対する建設費用)
RCや鋼材による施工はあるか。その場合、コスト差額はどれくらいか。		比較設計資料なし
要求性能と基準値	設計基準書	－
	構造性能	－
	防耐火性能	－
	耐久性能	－
	その他性能	－
それぞれの要求性能を満たすためにRCや鋼材と比較し木材の優位性は見いだせるか。		－
木材の処置	表面処理	無(手法:製材した丸棒を圧縮加工し木材保存剤を注入処理)
	防腐防蟻処置	有(科学的処置:マイトレック ACQ 木材保存剤 防腐・防蟻材)
	防水処置	無
	難燃・耐火処置	無
施工	施工基準書	高知県建設工事共通仕様書・高知県建設工事技術管理要綱
	施工期間	4ヶ月

	施工時の課題点	特になし
RC や鋼材と比べて施工に関する利点はあるか。		コンクリートに比べ施工期間が短縮できると考えられます。
保守点検	点検基準書	無
	点検者(部署)	指名競争入札により決定(発注高知県)
	点検手法	目視
	点検期間(定期・不定期)	不定期(点検用務は毎年実施しているが、点検箇所は不定期)
	判断基準	破損・損傷等により災害・荒廃の恐れがある場合
	過去の補修履歴	なし
RC や鋼材と比べ木材のメンテナンスに掛かる費用や手間の負担が増えるか。その場合どれくらいか。		ー
現在の損傷状況	腐朽	無
	蟻害	無
	海中害	無
	気象劣化	無
	破損・その他	無
RC や鋼材と比べ種類は異なるが、損傷の度合いに差を感じるか。		ー
解体後の処置	処分方法	ー
	リサイクル	ー
解体後、RC や鋼材はどのように処理しているか。土木分野において LCA は評価されるか。		ー
木材の選択結果	メリット	施工期間が早い
	デメリット	渓床勾配が緩い箇所等、施工箇所の条件に限定される。
	改善点	ー
	現状における想定耐用年数	ー
土木分野に CLT を利用する場合どの様な活用方法が有ると考えられるか。		ー

木製ダム（床固工・護岸工）

平成29年3月末





木製ダム（床固工・護岸工）

令和2年11月末





木製ダム（床固工・護岸工）

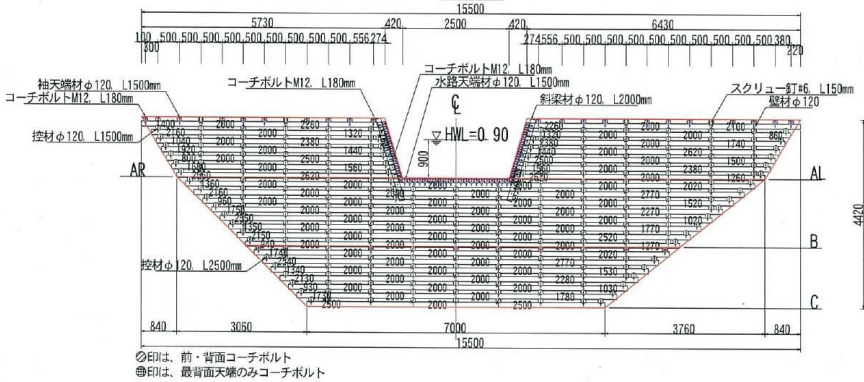
令和2年11月末





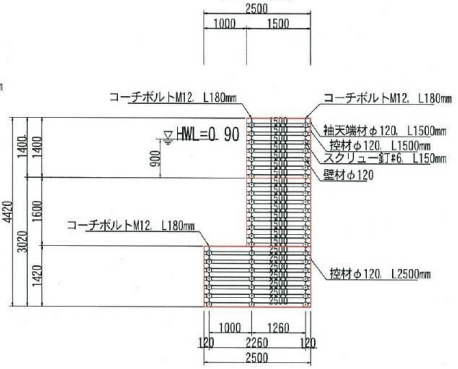
No.1床固工（木製）構造図

正面図

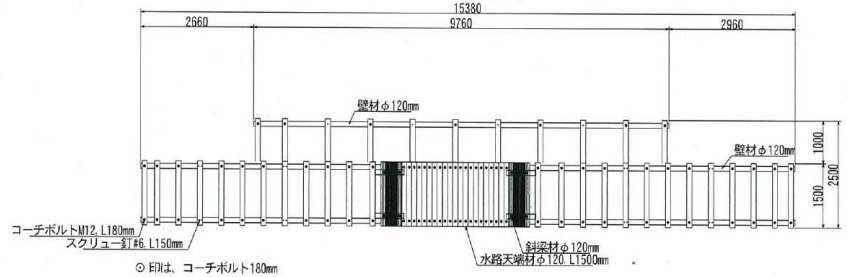


◎印は、前・背面コーチボルト
⊕印は、最背面天端のみコーチボルト

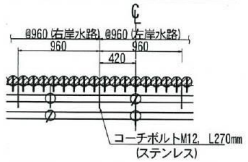
断面図



平面図



コーチボルトM12 L270mm 配置図 S：1/25



No.1床固工数量表

L=15.50 B=7.00 V=84.04 m3

名称	水路寸法 巾	L mm	AR	AL	B	C	計	単位	備考	材積 (m3)
壁材（前・背面）	120	800	2				2	本		0.0180
	120	900		2			2	本		0.0204
	120	1,000			4	3	7	本		0.0791
	120	1,100	2		2	3	7	本		0.0868
	120	1,300		2	2		4	本		0.0588
	120	1,400	4	2	4	3	13	本		0.2054
	120	1,500	2	4			6	本		0.1020
	120	1,600	2	2	2	3	9	本		0.1629
	120	1,700	2				2	本		0.0384
	120	1,800		2	4	9	15	本		0.3060
	120	2,000	14	16	66	48	144	本		3.2541
	120	2,100		2	2	3	7	本		0.1666
	120	2,200	2		4	3	9	本		0.2241
	120	2,300	2	2	2	3	9	本		0.2340
	120	2,400	2	4			6	本		0.1626
	120	2,500	2	2		6	10	本		0.2830
	120	2,600	2		4	3	9	本		0.2646
	120	2,700	2	4			6	本		0.1830
	120	2,800			2	3	5	本		0.1585
計			40	44	98	90	272	本		6.0086
袖天端材	120	1,500	12	13			25	本	片面2箇所欠円加工	0.4250 Y4
水路天端材（斜辺）	120	1,500	12	12			24	本	片面2箇所欠円加工	0.4080 Y8
水路天端材（垂辺）	120	1,500			21		21	本	片面2箇所欠円加工	0.3570 Y4
中間竪材	120	1,500	41	47	110		198	本	両面2箇所片面4箇所欠円加工	3.3660 Y5
	120	2500				70	70	本	両面2箇所片面4箇所欠円加工	1.5810 TE
計			65	72	131	70	338	本		6.5370
斜梁材	120	2,000	2	2			4	本		0.0901
計			2	2			4	本		0.0901
木材計			107	118	229	160	614	本		12.6360
体積							84.04	m3	体積及び中詰材計算内訳書参照	
中詰材	栗石	80～200					59.89	m3	体積及び中詰材計算内訳書参照	
コーチボルト	M12	180	62	64	42	7	175	本	溶融亜鉛めっき JIS	
	M12	270			4		4	本	ステンレス	
スクリュー釘	#6	150	90	102	230	203	615	本	鉄	

木材の保存処理仕様	
注入前処理	深浅期伐採・圧縮処理加工
加圧注入処理	JIS A 9002による
保存処理薬剤	マイトレックACQ (JIS K 1570, ACQ-1)
品質規格	JASK4, AQ屋外製品部材 (吸収量5 2kg/m3以上)
設計NO.：	0513000305919
図面NO.：	161201-01

第1回変更図

工事名	高野林地荒廃防止工事　林地荒廃　第113号
施工地	高知県高岡郡 津野町 高野
事業名	林地荒廃防止事業
図面名	No.1床固工（木製）構造詳細図
図面番号	14－4　縮尺 1／50
事務所名	高知県須崎林業事務所
会社名	

KOSHII

O&D WOOD

新技術情報提供システム NETiS 登録No.KK-980031-A



O&Dウッド

国産材を使用した高耐久の土木構造物

お問い合わせはこちら

TEL 06-6685-1911



製材した丸棒



圧縮加工機



ローラーで圧縮加工



タンクに「圧縮加工処理材」を搬入

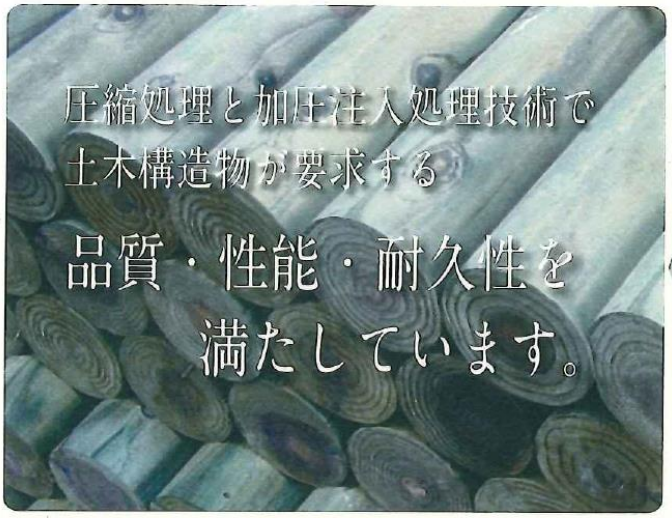


木材保存剤を加圧注入処理



高耐久性の土木資材「O&Dウッド」の完成

O&Dウッドは



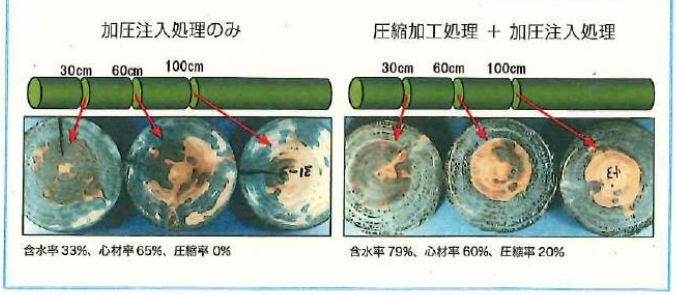
圧縮処理

圧縮効果により、木材保存剤の浸透度が向上します。

圧縮処理した木材に、木材保存剤を加圧注入する最新技術を導入。構造体を構成する木材の1本1本が、極めてばらつきのない均一性に優れた高品質材となります。木材を圧縮処理することで、含水率70%を超える木材へ木材保存剤を充分浸透させることが可能になりました。



薬剤の浸透度比較　(写真) スギ間伐材、Φ90、2000mm



含水率 33%、心材率 65%、圧縮率 0%

含水率 79%、心材率 60%、圧縮率 20%

4.3.1.2 木柵

概要	用途	木柵工
	場所	高知県内全般
	竣工(年)	－
	使用箇所	－
	使用材料	間伐材　　末口　6cm～9cm以上
	樹種	針葉樹(スギ ・ ヒノキ)
	形態	棒状
	産地	国産材(県産材)
	使用量(m^3)	年間当たり 延長 約3,400m　使用量 約220m3
	木材選択の理由	間伐材の有効活用
	設計時の想定耐用年数(年)	－
	発注者(部門)	高知県(森林土木部門)
	設計者(部門)	高知県(森林土木部門)
	施工者(部門)	県内工事請負業者(建設業者)
	維持管理者(部門)	治山事業については高知県、林道事業については市町村
何件くらいの実績があるか。本用途は常に木材を利用しているか、あるいは RC や鋼材が主流か。		令和元年度実績　45箇所
費用	総建設費(千円)	直接工事費　22, 100千円　(3, 400m　×　6, 500円)
	木材に掛かる費用(千円)	総費用　8, 500千円　(3, 400m　×　2, 500円)
	内訳(千円)	材料費　8, 500千円　・ 施工費　13, 600千円
	費用対効果(B/C)	－
RC や鋼材による施工はあるか。その場合、コスト差額はどれくらいか。		RC、鋼材による施工実績なし。
要求性能と基準値	設計基準書	－
	構造性能	－
	防耐火性能	－
	耐久性能	－
	その他性能	－
それぞれの要求性能を満たすために RC や鋼材と比較し木材の優位性は見いだせるか。		－
木材の処置	表面処理	無
	防腐防蟻処置	無
	防水処置	無
	難燃・耐火処置	無
施工	施工基準書	高知県建設工事共通仕様書・高知県建設工事技術管理要綱
	施工期間	発注工事期間内
	施工時の課題点	－
RC や鋼材と比べて施工に関する利点はあるか。		－
保守点検	点検基準書	無
	点検者(部署)	指名競争入札により決定(発注高知県)

	点検手法	目視
	点検期間（定期・不定期）	不定期（点検用務は毎年実施しているが、点検箇所は不定期）
	判断基準	木材の腐食、損傷により検討
	過去の補修履歴	無
RC や鋼材と比べ木材のメンテナンスに掛かる費用や手間の負担が増えるか。その場合どれくらいか。		ー
現在の損傷状況	腐朽	ー
	蟻害	ー
	海中害	ー
	気象劣化	ー
	破損・その他	ー
RC や鋼材と比べ種類は異なるが、損傷の度合いに差を感じるか。		RC・鋼材の施工事例はない。
解体後の処置	処分方法	ー
	リサイクル	無
解体後、RC や鋼材はどのように処理しているか。土木分野において LCA は評価されるか。		RC・鋼材の施工事例はない。
木材の選択結果	メリット	県内間伐材の有効活用
	デメリット	特になし
	改善点	特になし
	現状における想定耐用年数	設定なし
土木分野に CLT を利用する場合どの様な活用方法が有ると考えられるか。		ー

木柵工　施工事例（治山事業）



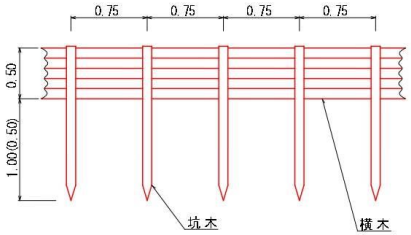
木柵工　施工事例（林道事業）



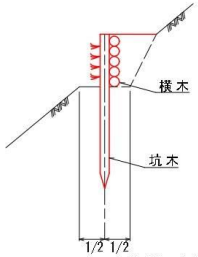
柵工定規図

柵工（丸太）
S=1:30

正面図

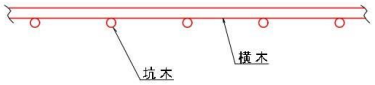


断面図



階段巾　0.30～0.80mで
杭は階段巾の二等分の位置とする。

平面図



材料表　　10m当たり

名称	規格・寸法	単位	数量	摘要
杭木	末口径 9cm 以上 長さ 1.5m(1.0)	本	13.0	
横木	末口径 6cm 以上	〃	25.0	標準積算 末口10cm l=2.0m
萱株	1.0m 縄〆	束	1.5	

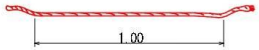
S=1:20



1mの縄で結束できるものとする。



カヤ株は左の図のように先を切る。





カヤ株をくくるときは、打ち違いにして結束する。

(注) 杭木及びカヤ束はポール・リボンテープなどをあてて、寸法がわかるように、ひとまとめにして写真をとる。

4.3.1.3 木製残存型枠

概要	用途	木製残存型枠(治山ダム工)
	場所	高知県内全般
	竣工(年)	―
	使用箇所	―
	使用材料	角材
	樹種	針葉樹(スギ ・ ヒノキ)
	形態	角材 9cm×9cm
	産地	国産材(県産材)
	使用量(㎥)	年間当たり 211m3
	木材選択の理由	森林土木工事による木材資材の有効活用
	設計時の想定耐用年数(年)	―
	発注者(部門)	高知県(森林土木部門)
	設計者(部門)	高知県(森林土木部門)
	施工者(部門)	県内工事請負業者(建設業者)
	維持管理者(部門)	高知県
何件くらいの実績があるか。本用途は常に木材を利用しているか、あるいは RC や鋼材が主流か。		令和元年度実績 19箇所
費用	総建設費(千円)	直接工事費 32, 688千円 (2, 270m2 × 14, 400円)
	木材に掛かる費用(千円)	総費用 16, 480千円 (2, 270m2×7, 260円)
	内訳(千円)	材料費 16, 480千円 ・ 施工費 16, 208千円
	費用対効果(B/C)	―
RC や鋼材による施工はあるか。その場合、コスト差額はどれくらいか。		RC、鋼材による施工実績なし。
要求性能と基準値	設計基準書	―
	構造性能	―
	防耐火性能	―
	耐久性能	―
	その他性能	―
それぞれの要求性能を満たすために RC や鋼材と比較し木材の優位性は見いだせるか。		―
木材の処置	表面処理	無
	防腐防蟻処置	無
	防水処置	無
	難燃・耐火処置	無
施工	施工基準書	高知県建設工事共通基準書
	施工期間	発注工事期間内
	施工時の課題点	特になし
RC や鋼材と比べて施工に関する利点はあるか。		―
保守点検	点検基準書	―
	点検者(部署)	―

	点検手法	―
	点検期間（定期・不定期）	―
	判断基準	―
	過去の補修履歴	―
RC や鋼材と比べ木材のメンテナンスに掛かる費用や手間の負担が増えるか。その場合どれくらいか。		―
現在の損傷状況	腐朽	―
	蟻害	―
	海中害	―
	気象劣化	―
	破損・その他	―
RC や鋼材と比べ種類は異なるが、損傷の度合いに差を感じるか。		RC・鋼材の施工事例なし
解体後の処置	処分方法	―
	リサイクル	―
解体後、RC や鋼材はどのように処理しているか。土木分野において LCA は評価されるか。		―
木材の選択結果	メリット	県内間伐材の有効活用
	デメリット	特になし
	改善点	特になし
	現状における想定耐用年数	設定なし
土木分野に CLT を利用する場合どの様な活用方法が有ると考えられるか。		―

木製型枠（残存型枠：上流部）





木製型枠（残存型枠：上流部）

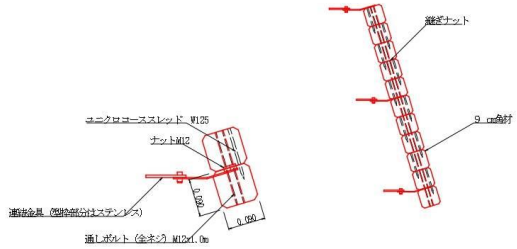




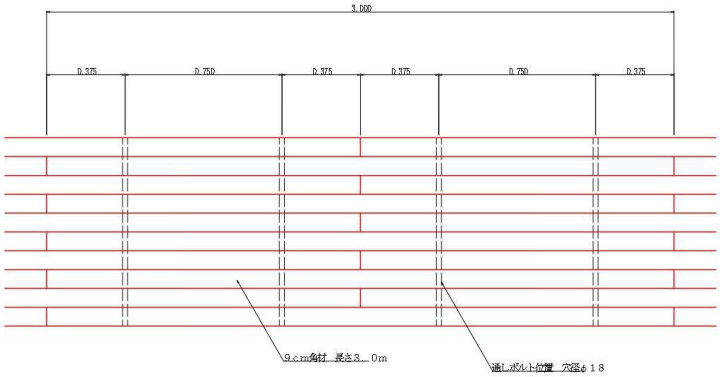
角材式残存型枠定規図　S=1/10

木製残存型枠（９ｃｍ角材）

※雌ボナット位置 穴φ24mm (現地加工)



木製残存型枠（９ｃｍ角材）特記事項	
加　　工	９cm角3．0m材、通しボルト位置4ケ所穴あけ（φ18mm）加工とする。
ボ ル ト 及 び 金 物	コーススレッドはユニクロ、セパ取り付け金具の一部はステンレス、その他は溶融亜鉛メッキ金物とする。



（100m2当たり）

名　　称	数　　量	単位体積（m3）	木材使用量（m3）
型枠材（9cmx9cmx3．0m）	382．00本	0．0243	9．2826

4.3.2 真庭市　橋梁

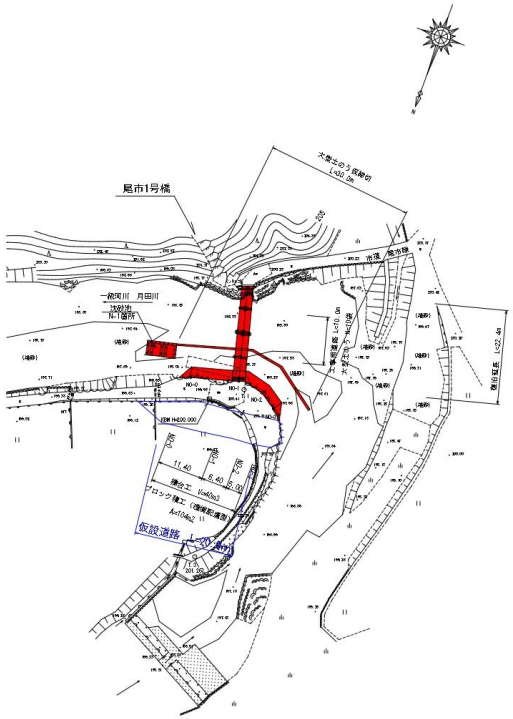
概要	用途	橋梁(2t 車)
	場所	岡山県真庭市月田地内
	竣工(年)	令和 2 年
	使用箇所	上部工・橋脚
	使用材料	無垢材
	樹種	針葉樹(スギ・米松)
	形態	棒状 ・ 板状
	産地	国産材 ・ 輸入材
	使用量(㎥)	18.3m3
	木材選択の理由	被災後、永久橋(RC 等)による復旧ができないため、木橋による原形復旧とした。
	設計時の想定耐用年数(年)	15 年
	発注者(部門)	真庭市建設部建設課
	設計者(部門)	(有)ダイサン
	施工者(部門)	(有)古瀬工務店
	維持管理者(部門)	真庭市建設部建設課
何件くらいの実績があるか。本用途は常に木材を利用しているか、あるいは RC や鋼材が主流か。		・木材を利用した橋梁は 3 件ほど。 ・市で管理している橋梁については RC や鋼材のものが主流。
費用	総建設費(千円)	33,000
	木材に掛かる費用(千円)	総費用(5,400)
	内訳(千円)	材料費(　-　)・施工費(　-　)・その他(　-　)
	費用対効果(B/C)	-
RC や鋼材による施工はあるか。その場合、コスト差額はどれくらいか。		-
要求性能と基準値	設計基準書	無
	構造性能	-
	防耐火性能	-
	耐久性能	-
	その他性能	-
それぞれの要求性能を満たすために RC や鋼材と比較し木材の優位性は見いだせるか。		-
木材の処置	表面処理	無
	防腐防蟻処置	無
	防水処置	有(科学的処置:　不明　) (物理的処置:　-　)
	難燃・耐火処置	無
施工	施工基準書	無
	施工期間	約1年
	施工時の課題点	-
RC や鋼材と比べて施工に関する利点はあるか。		-

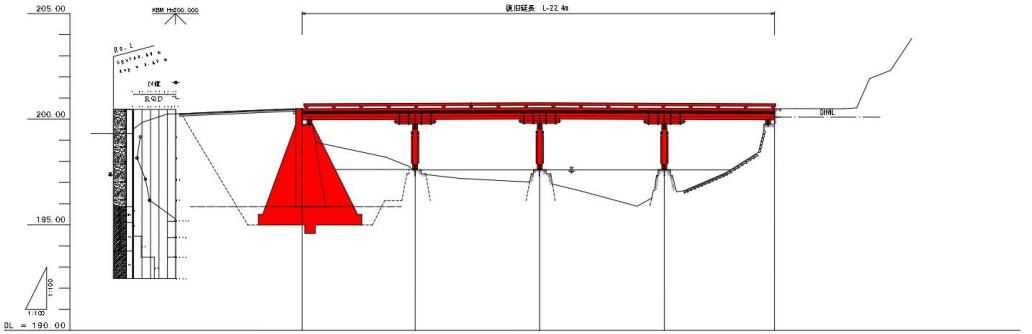
保守点検	点検基準書	無
	点検者(部署)	真庭市建設部建設課
	点検手法	業者委託
	点検期間(定期・不定期)	5 年
	判断基準	国および県の橋梁判定区分による
	過去の補修履歴	H24 年に修繕工事実施
RC や鋼材と比べ木材のメンテナンスに掛かる費用や手間の負担が増えるか。その場合どれくらいか。		-
現在の損傷状況	腐朽	無
	蟻害	無
	海中害	無
	気象劣化	無
	破損・その他	無
RC や鋼材と比べ種類は異なるが、損傷の度合いに差を感じるか。		-
解体後の処置	処分方法	産廃処理
	リサイクル	無
解体後、RC や鋼材はどのように処理しているか。土木分野において LCA は評価されるか。		産廃処理
木材の選択結果	メリット	現場までの運搬経路に制約がある場合でも軽量なため搬入可能。
	デメリット	木橋の場合は永久橋の構造計算ができない。 木橋は通常歩道橋であること。
	改善点	橋梁示方書に木橋が示されていないこと。 2t 車程度の車両通行箇所にしか使用ができないこと。
	現状における想定耐用年数	15 年
土木分野に CLT を利用する場合どの様な活用方法が有ると考えられるか。		木材を利用した土木構造物は構造計算ができないため現段階では使用は困難である。

平　面　図　S=1:500

市道　尾市線　橋梁災害復旧工事
真庭市月田本地内

縦　断　面　図





勾　配		LEVEL			
河床計画高	193.57	193.51	193.55	193.34	193.34
計　画　高	(200.40)	(200.40)	(200.40)	(200.40)	(200.40)
最深河床高	194.53	193.88	194.08	194.82	194.82
地　盤　高	194.78	200.49	200.17	193.93	193.93
追加距離	0.00	5.40	11.30	17.20	22.40
単　距　離	0.00	5.40	5.90	5.90	5.20
測　点	A1	P1	P2	P3	A2

（　）内は変更数量

変更

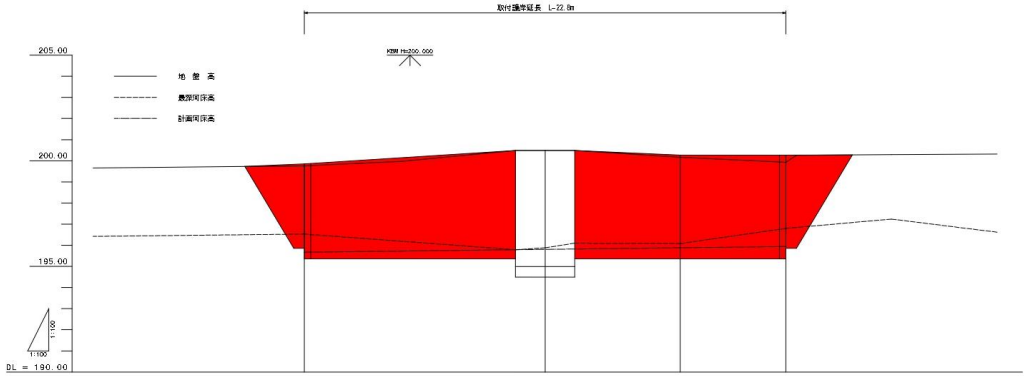
災害国補	
平成　30　年	
第　2881　号	

工事名	30災　蒜山地区（7工区）災害復旧工事		
路線名	市道　尾市線		
所在地	真庭市月田本地内		
図面名	平面図・縦断面図		
縮尺	図示のとおり	図面番号	1／8
事業者名	真庭市建設部道路課		

市道　尾市線　橋梁災害復旧工事

真庭市月田本地内

取付護岸縦断面図



勾　配		i=1/64 L=22.8, H=0.23		
河床計画高	195.67	195.81	195.88	195.94
計　画　高	199.85	(200.49)	(200.27)	200.27
最深河床高	194.53	194.68	194.68	194.82
地　盤　高	199.79	200.49	200.17	199.93
追加距離	0.00	11.40	17.80	22.80
単　距　離	0.00	11.40	6.40	5.00
測　点	No.0	No.1	No.2	No.3

（　）内は変更数量

変更

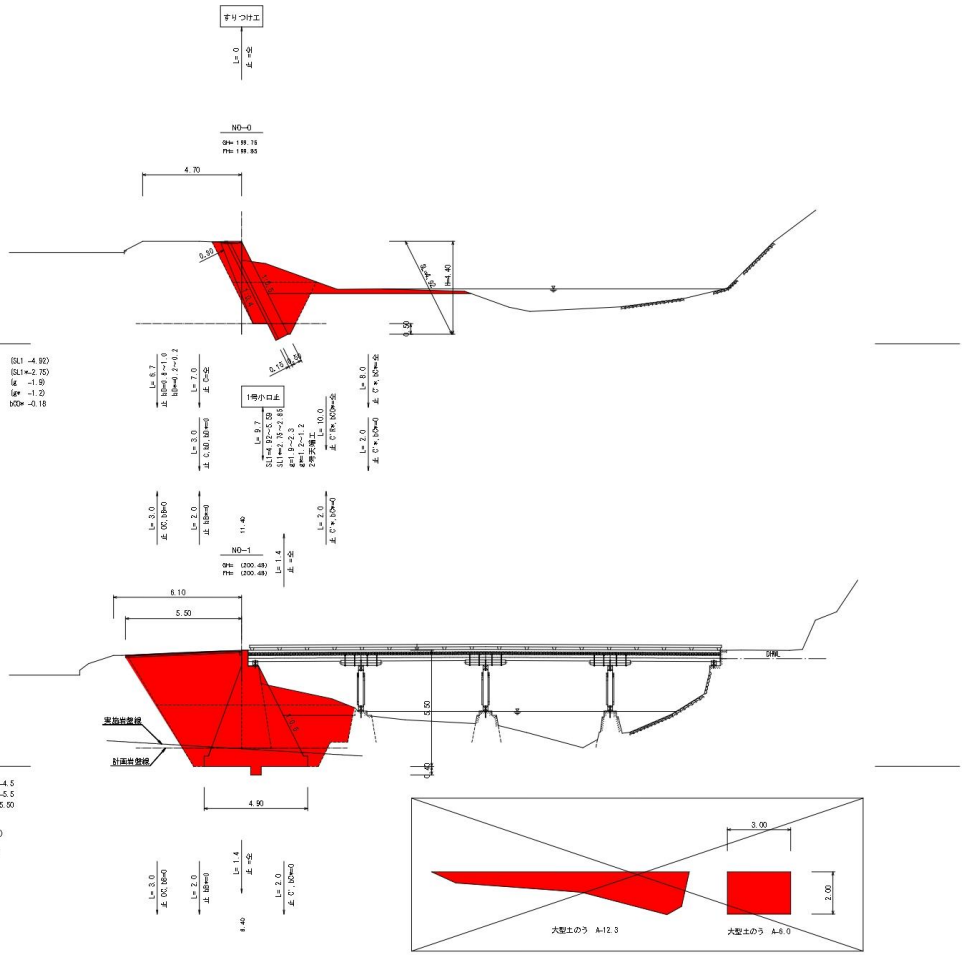
災害国補	
平成　30　年	
第　2881　号	

工事名	30災　勝山地区（7工区）災害復旧工事		
路線名	市道　尾市線		
所在地	真庭市月田本地内		
図面名	取付護岸縦断面図		
縮尺	図示のとおり	図面番号	2／8
事業者名	真庭市建設部建設課		

横断面図　S=1:100

市道　尾市線　橋梁災害復旧工事

真庭市月田本地内



（　）内は変更数量

災害国補
平成　30　年
第２８８１号

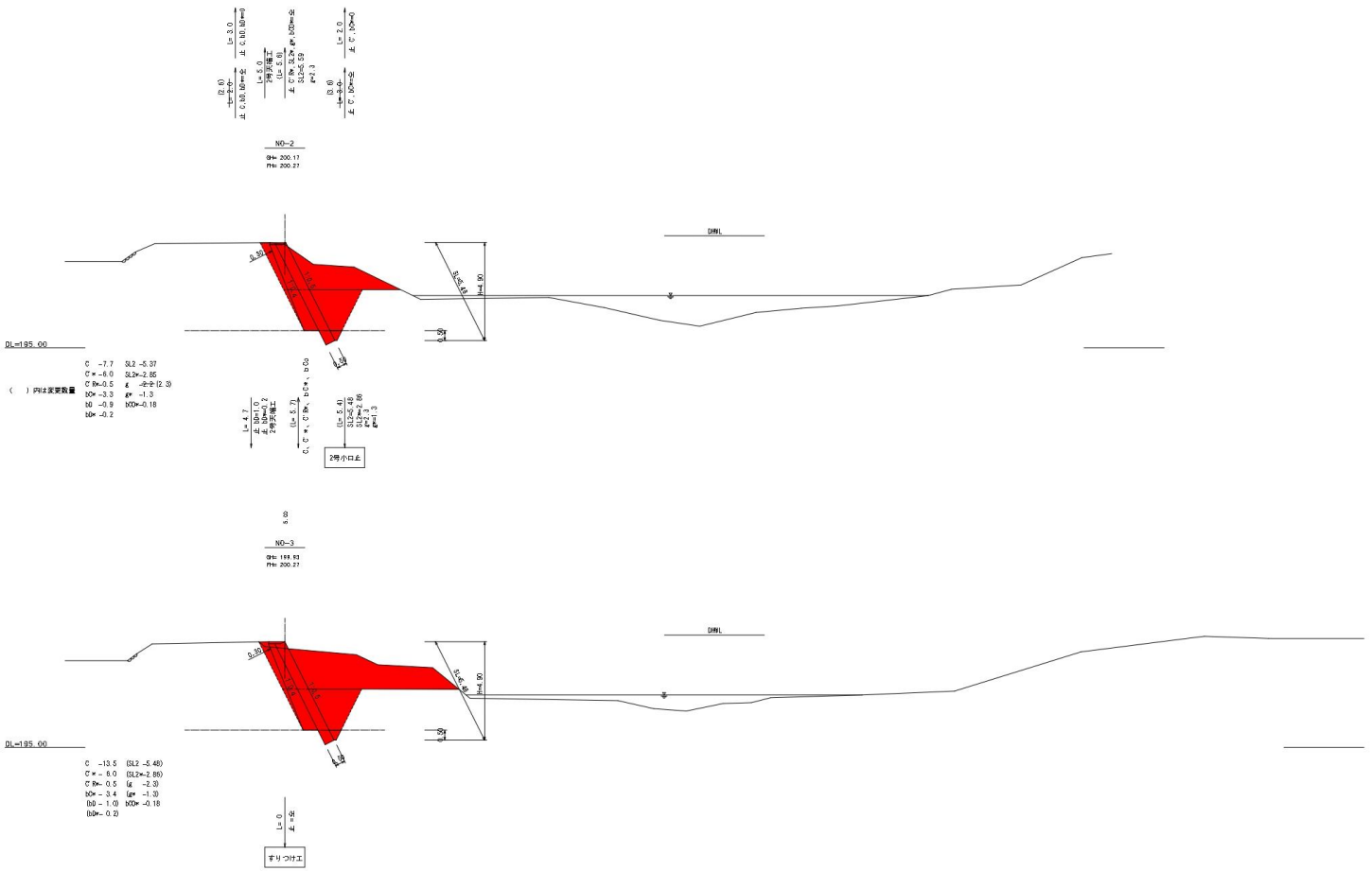
変更

工事名	30災　勝山地区（7工区）災害復旧工事		
路線名	市道　尾市線		
所在地	真庭市月田本地内		
図面名	横断面図1		
縮尺	S=1:100	図面番号	3／8
事業者名	真庭市建設部建設課		

横断面図　S=1:100

市道　尾市線　橋梁災害復旧工事

真庭市月田本地内



災害国補
平成　30　年
第 2881 号

変更

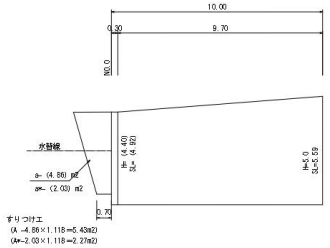
工事名	30災　勝山地区（7工区）災害復旧工事		
路線名	市道　尾市線		
所在地	真庭市月田本地内		
図面名	横断面図2		
縮尺	S=1:100	図面番号	4／8
事業者名	真庭市建設部建設課		

市道　尾市線　橋梁災害復旧工事

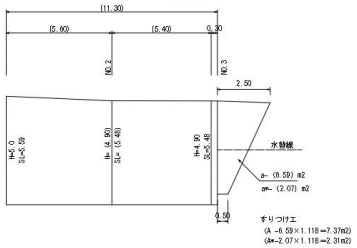
真庭市月田本地内

展　開　図 S=1:100

1号ブロック積工

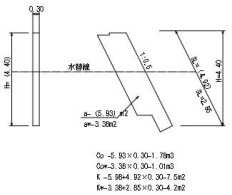


2号ブロック積工

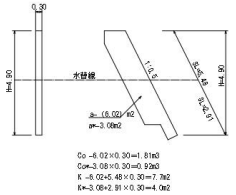


小口止工 S=1:100

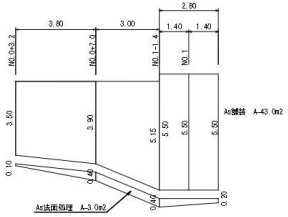
1号小口止工



2号小口止工

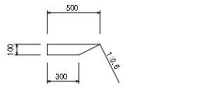


舗装工展開図　S=1:100



天端工　S=1:20

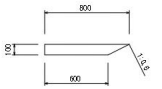
1号天端工



数量表　10m当り

種　別	規　格	数　量	単位
コンクリート	18N/mm2	0.40	m3
型　枠	小　型	1.0	m2

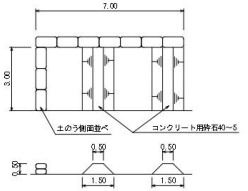
2号天端工



数量表　10m当り

種　別	規　格	数　量	単位
コンクリート	18N/mm2	0.70	m3
型　枠	小　型	1.0	m2

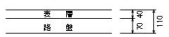
沈砂池　S=1:100



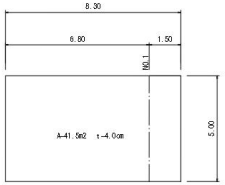
数量表

名　称	規　格	単　位	数　量
土　の　う	横自立4	m2	5.0
コンクリート用砕石	40～5	m3	3.0

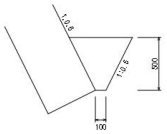
舗　装　構　成　S=1:10



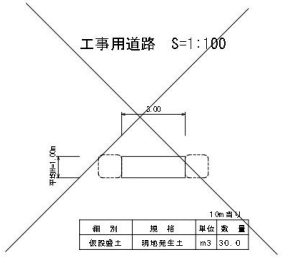
舗装版取壊し展開図　S=1:100



埋戻コンクリート　S=1:20



工事用道路　S=1:100



1m当り

細　別	規　格	単位	数　量
仮設盛土	現地発生土	m3	30.0

変更

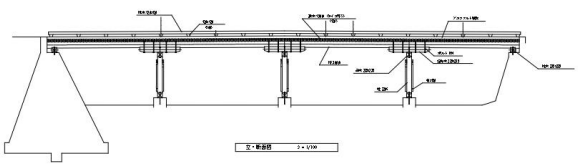
災害国補
平成　30　年
第 2881 号

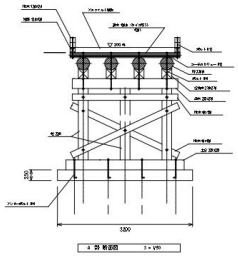
工事名	30災　勝山地区（7工区）災害復旧工事		
路線名	市道　尾市線		
所在地	真庭市月田本地内		
図面名	構造図		
縮尺	図示のとおり	図面番号	5／8
事業者名	真庭市建設部建設課		

市道　尾市線　橋梁災害復旧工事

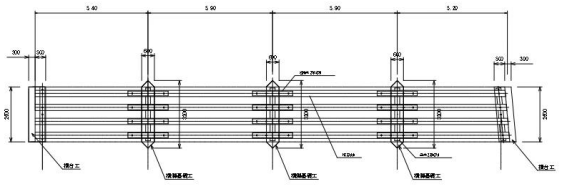
真庭市月田本地内

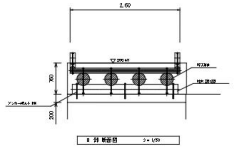
尾市１号橋詳細図

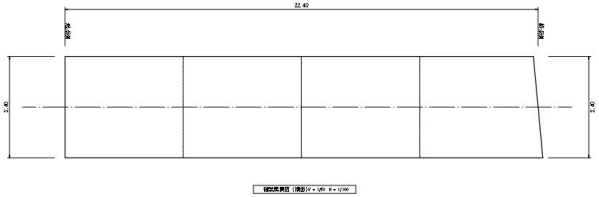


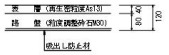


種別	細別	規格	単位	数量	備考
（材料費）	台持木	1900*270*270	本	12	
	受木	2600*235*270	本	3	
	枕木	2500*235*235	本	2	
	柱土台	2800*235*235	本	3	
	桁	6000*Φ330	本	16	
	床版	3600*Φ150	本	149	
	束	180*120*120	本	36	
	車止め	4000*120*120	本	12	
	地覆	4000*120*120	本	12	
	欄台柱	3000*Φ220	本	9	
	筋交・横木	300*50*150	本	12	
	金物類	溶融亜鉛メッキ	式	1	
木橋架設工		高欄付　20.0m以上	㎡	58.24	22.4*2.6









変更

災害国補
平成　３０　年
第２３８１号

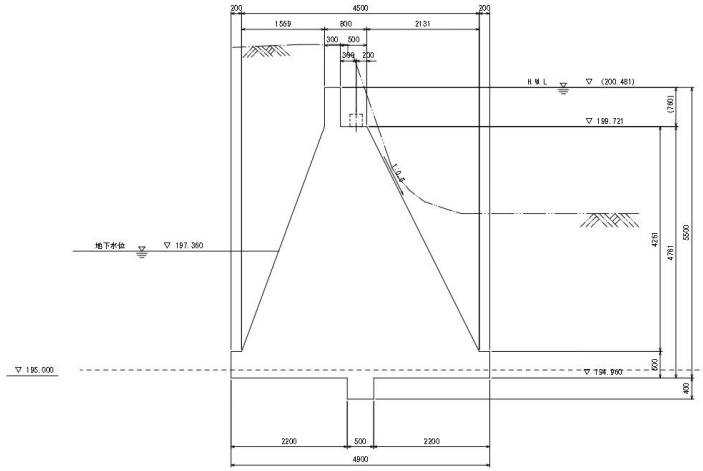
工事名	30災　勝山地区（７工区）災害復旧工事		
路線名	市道　尾市線		
所在地	真庭市月田本地内		
図面名	尾市１号橋詳細図		
縮尺	図示のとおり	図面番号	６／８
事業者名	真庭市建設部建設課		

市道　尾市線　橋梁災害復旧工事

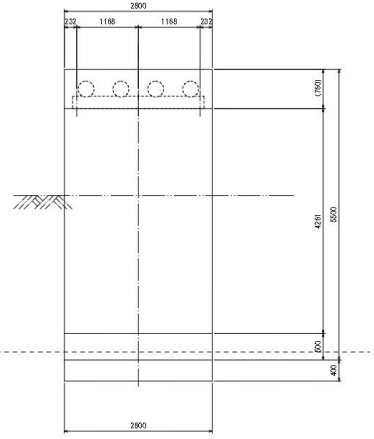
真庭市月田本地内

橋台構造一般図　S=1:40

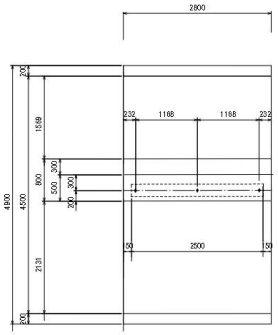
側面図



正面図



平面図



使用材料表

コンクリート	σck=18N/mm2
鉄筋	SD345

注)
1. 支持地盤が岩盤のためベーラインコンクリートを施すこと。

変更

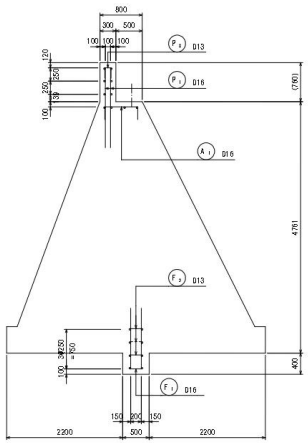
災害国補
平成　30　年
第 2881 号

工事名	30災　勝山地区（7工区）災害復旧工事		
路線名	市道　尾市線		
所在地	真庭市月田本地内		
図面名	尾市1号橋護岸構造一般図		
縮尺	図示のとおり	図面番号	フノ8
事業者名	真庭市建設部道路課		

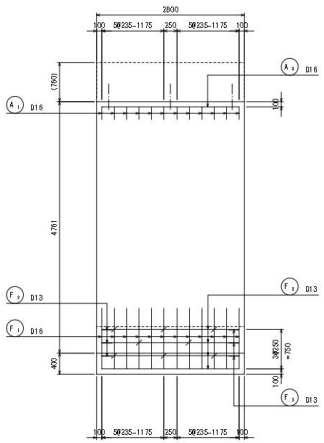
市道　尾市線　橋梁災害復旧工事　真庭市月田本地内

橋台配筋図　S=1:40

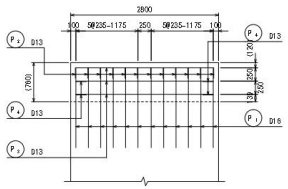
側面図



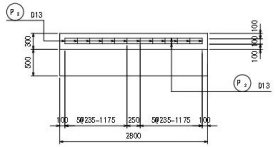
A － A

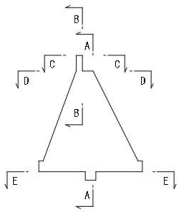


B － B

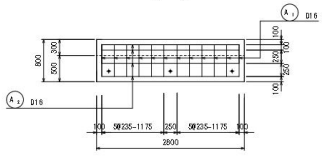


C － C

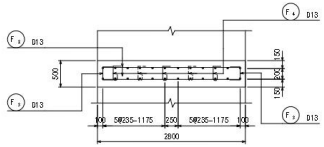


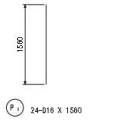


D － D



E － E



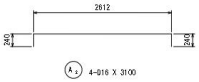




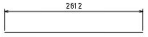


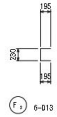














鉄筋質量表

記号	径	長　さ	本　数	単位質量	一本当り質量	質　量	摘　要
A_1	D16	1080	12	1.56	1.68	20	
A_2	D16	3100	4	1.56	4.84	19	
						39kg	
F_1	D16	2500	12	1.56	3.90	47	
F_2	D13	2620	8	0.995	2.61	21	
F_3	D13	620	6	0.995	0.617	4	
F_4	D13	630	8	0.995	0.627	5	
						77kg	
P_1	D16	1590	24	1.56	2.36	56	
P_2	D13	590	12	0.995	0.587	7	
P_3	D13	2620	6	0.995	2.61	16	
P_4	D13	520	4	0.995	0.517	2	
						83kg	
	合　計	D16	144 kg				
		D13	55 kg				
	総質量		199 kg				

変更

災害国補
平成　３０　年
第　２８８１　号

工事名	３０災　勝山地区（７工区）災害復旧工事		
路線名	市　道　尾市線		
所在地	真庭市月田本地内		
図面名	尾市１号橋橋台配筋図		
縮尺	図示のとおり	図面番号	８／８
事業者名	真庭市建設部建設課		



施工状況写真
木橋架設工
部材
木橋部材仮置き



施工状況写真
木橋架設工
部材
木橋部材仮置き



施工状況写真
木橋架設工
部材
木橋部材仮置き

施工状況写真
木橋架設工
部材
部材搬入状況



施工状況写真
木橋架設工
部材
部材搬入状況





施工状況写真
木橋架設工
アンカー工
コンクリート削孔状況



施工状況写真
木橋架設工
アンカー工
アンカー設置状況



施工状況写真
木橋架設工
アンカー工
アンカー設置完了



施工状況写真
木橋架設工
アンカー工
コンクリート削孔状況



施工状況写真
木橋架設工
アンカー工
アンカー設置状況



施工状況写真
木橋架設工
アンカー工
アンカー設置完了



施工状況写真
木橋架設工
下部工
土台設置状況



施工状況写真
木橋架設工
下部工
土台設置状況



施工状況写真
木橋架設工
下部工
受木、台持木設置状況

施工状況写真
木橋架設工
下部工
受木、台持木設置状況



施工状況写真
木橋架設工
下部工
横木設置状況



施工状況写真
木橋架設工
下部工
横木設置状況





施工状況写真
木橋架設工
上部工
桁材設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
桁材設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
桁材設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
桁材設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
敷木設置状況



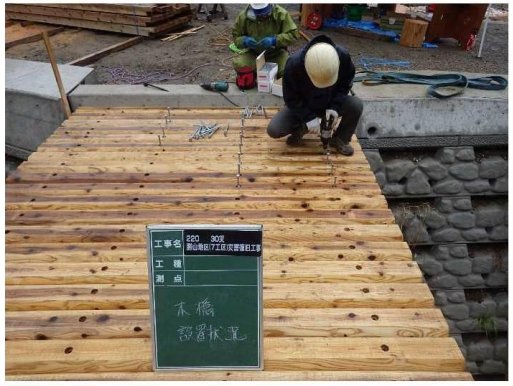
施工状況写真
木橋架設工
上部工
敷木設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
敷木設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
敷木設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
敷木設置状況

施工状況写真
木橋架設工
上部工
敷木設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
地覆設置状況



施工状況写真
木橋架設工
上部工
高欄設置状況





施工状況写真
木橋架設工
出来形
出来形



施工状況写真
木橋架設工
出来形
出来形



施工状況写真
木橋架設工
出来形
出来形

工事名： 30災　勝山地区（７工区）災害復旧工事





工事名： 30災　勝山地区（７工区）災害復旧工事





工事名： 30災　勝山地区（７工区）災害復旧工事





工事名： 30災　勝山地区（７工区）災害復旧工事





工事名： 30災　勝山地区（７工区）災害復旧工事





第５章　まとめ

既往の物件調査及び既往の研究整理と技術開発の確認の結果に基づき、土木分野における CLT の利用について整理・検討した。

土木分野での CLT 活用については、現時点でも、鉄やアスファルトと比較し軽量である等の CLT の特徴がメリットとなる場合は、CLT 採用の可能性がある。しかし、そういった用途だけでは CLT 消費量は限定されるため、他の観点からのアプローチも必要である。

たとえば炭素貯蔵効果により気候変動緩和に貢献できることが挙げられるが、学術的な評価が十分ではない。また、一般的に利用されるためにはコストの問題も欠かせないが、保存処理費や設置後の維持管理費等を含めたトータルコストに関する情報は不足している。一方で、現在国内で製造されている CLT のほとんどが建築用であり、土木用 CLT の開発による CLT の低コスト化も望まれる。

土木分野にてより広く CLT が選択されるには、これらの課題解決が必須であると考えられる。