

CLTの新たな分野での利用方法の検討

道場 隆

Examination of new application fields for CLT

Takashi MICHIBA

要旨

道場 隆：CLTの新たな分野での利用方法の検討 岡山県農林水産総合センター森林研究所研報 40：60-65 (2026) CLT（直交集成板）は、ひき板（ラミナ）を繊維方向が直交するように積層接着した木質系の材料で、建築分野はもとより、土木分野においても利活用に向けた様々な取り組みがなされている。

そこで、本研究では、土木分野で使用する場合、用途によっては建築分野で求められているような高品質な要件が必ずしも必要ではないことから、ヒノキ小径木から採材した丸身ラミナを外層に使用した3層3プライのCLT（以下：土木用CLT）が仮設橋等の土木分野で活用できないか検討した。その結果、小径木から採材した丸身ラミナでもCLT製造工場のラインで生産が可能なおこと、また、製造した土木用CLTが森林作業道等で利用できる可能性が示唆された。

キーワード：CLT, 土木分野, 土木利用, 丸身ラミナ

I はじめに

CLT（直交集成板）は、ひき板（ラミナ）を繊維方向が直交するように積層接着した直交構造を特徴とし、寸法安定性や面内剛性に優れた木質材料である。近年では大判厚物のパネルとして利用できることから、建築分野において低層はもとより中高層建築物の壁・床等のパネルとして採用が進んでいる。

また、CLTの歴史は1990年代中頃、オーストリアを中心として発展し、現在、欧州をはじめ北米など世界各地で普及が進んでいる。

日本では2013年12月にCLTの製造規格となるJAS（日本農林規格）が制定され、2016年4月に建築基準法に基づくCLT関連の告示が公布・施行された。これらにより、CLTの建築分野での幅広い利用が進められた。一方、建築以外の分野での利用は限定されており、国においては、2021年に策定したCLTの更なる利用拡大を目指した新たなロードマップにより、建築以外の分野での活用として「土木分野での活用」が明記され、土木分野においても利活用に向けた様々な取り組みがなされている（公益土木学会木材工学委員会 2022, 野田ほか 2023）。

CLTを土木用途へ使用する場合、建築用CLTとは異なる観点での性能評価が求められる。例えば、仮設橋等では、面外曲げ強度に加え、繰返し走行による耐摩耗性能、屋外暴露環境に対する耐久性など、土木特有の要求性能が重要となる。また、比較的短期間の利用であれば、製造コストの抑制が重視されるため、材料選択や製造工程の簡素化が可能であるかも検討すべき重要な視点となる。

以上の背景から、本研究では、ヒノキ小径木から採材

した丸身ラミナを外層に用いた3層3プライのCLT（以下、土木用CLT）に着目し、その土木用途への適用可能性を検討した。

検討にあたっては、ヒノキ小径木から採材した丸身ラミナがCLT製造工場のラインで使用可能かを確認するとともに、まず、土木用CLTの面外曲げ試験、走行摩耗試験、腐朽に対する耐久性試験を実施し、あわせて仮設橋を想定した実証試験を行った。

II 材料と方法

1 土木用CLT

より安価で強度のあるCLTを製造するため、単価の安い小径木（原木市場では柱材として使えない直径14cm程度のヒノキ丸太）の直材を原木市場から購入し、1本当たり3枚のラミナ（製材寸法 幅120mm, 厚み39mm, 長さ3,000mm）を102本の原木から製材した。製材には、帯鋸盤（富士製作所製）を用い、図-1のように採材した。

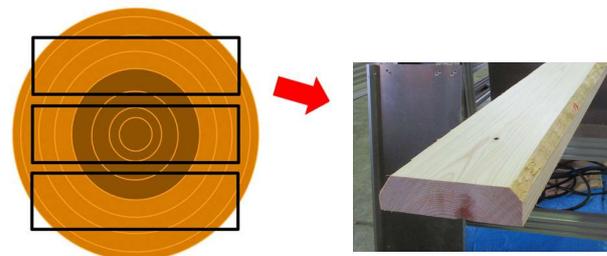


図-1 小径木の採材とヒノキ丸身ラミナ

採材したラミナは、目標含水率を12%程度とし、蒸気式乾燥機（OHV4-1HSV特殊型、大井製作所製）により中温乾燥を行った。この直径では、髄を含むラミナは丸身のないものが採材できるが、上下のラミナは図-1のように丸身が部分的に出現するため、髄を含むラミナを内層に、上下のラミナは丸身を外向きに外層へ使用した（図-2）。なお、外層に使用する丸身ラミナ（仕上げ寸法 幅110mm、厚み30mm、長さ3,000mm）は、曲げ強度を持たせるために、強度低下の要因となる縦継ぎを行わず、内層に使用するラミナのみ縦継ぎを施した。

土木用CLTは、マザーボード（幅2,940mm、厚み90mm、長さ8,010mm）を銘建工業（株）で製造し、そこから各種試験体を切り出した。製造した土木用CLTは、幅はぎ接着を行わず、積層接着のみとし、接着剤は、一般的にCLTに使用されている水性高分子イソシアネート系樹脂接着剤（API）を使用した。

なお、製材したラミナのグレーディング結果は、表-1のとおりであり、この中からランダムに選定して土木用CLTに供した。



図-2 丸身を外層外向きとした土木用CLT

表-1 ラミナのグレーディング結果

等級区分	区分値	枚数
1	120MPa以上	118
2	90MPa以上 120MPa未満	169
3	60MPa以上 90MPa未満	17
4	30MPa以上 60MPa未満	2
5	30MPa未満	0
	計	306

2 試験方法

①面外曲げ試験（強軸）

面外曲げ試験は、土木用CLT（図-3）に加え、比較対象として銘建工業（株）から購入した既製品のスギCLT（S60-3-3）（以下：スギCLT）について実施した。

試験体は、所定の寸法（幅300mm、厚み90mm、長さ2,070mm）に採材し、それぞれ3体ずつ供試した。試験には、木材実大強度試験機（WU-3MN、テークスグループ製）

を用い、荷重点間距離630mmの3等分点4点荷重方式によって実施した（図-4）。



図-3 土木用CLT



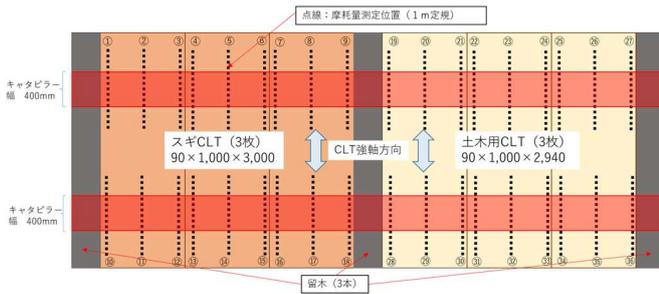
図-4 面外曲げ試験の状況

②グラップル付きバックホウによる走行摩耗試験

走行摩耗試験は、図-5に示すように、土木用CLT（幅1,000mm、厚み90mm、長さ2,940mm）3枚とスギCLT（幅1,000mm、厚み90mm、長さ3,000mm）3枚を、進行方向が弱軸になるように並べて設置し、その上をグラップル付きバックホウ（ZAXIS50U HITACHI製）で走行させて実施した。走行には、ゴム製キャタピラーと金属製キャタピラーを用い、それぞれ直進で100往復させた。走行後、図-6に示す位置で最大摩耗量を測定した。



図-5 走行摩耗試験の実施状況

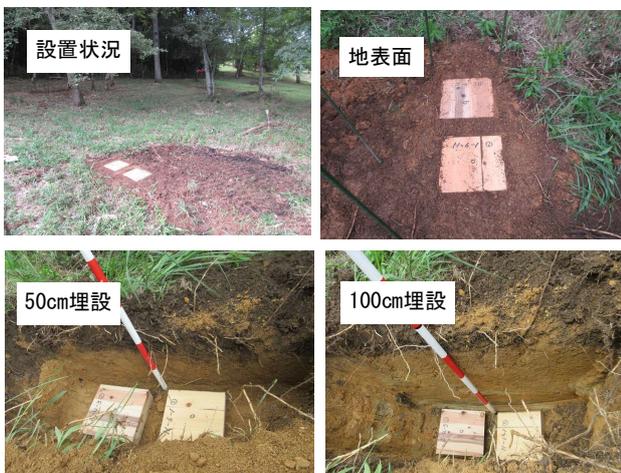


図－6 摩耗量の測定位置

③腐朽等に対する耐久性試験

腐朽等に対する耐久性を評価するため、土木用CLTおよびスギCLTについて、地表面からCLTの厚さ分を埋設し、表面を露出した試験体と、完全に地中へ埋設した試験体を設置し、目視による被害度の確認ならびに接着層の剥離状況を経時的に観察した。

試験体は、土木用CLTおよびスギCLTともに、幅300mm、厚み90mm、長さ300mmに採材したものを供試した。試験地は、当研究所（勝田郡勝央町）敷地内とし9カ所を設定した。試験地1カ所あたりの設置枚数は、土木用CLTおよびスギCLTをそれぞれ地表面に1枚、表層から50cm下の地中部に1枚、表層から100cm下の地中部に1枚設置した（図－7）。



図－7 試験体の設置状況

なお、設置した9カ所のうち、3カ所は乾燥した礫質土が主体の斜面であり、残りの6カ所は、水分の多い粘性土が主体の傾斜の緩やかな平地である。

また、耐久性試験は、令和3年8月に試験体を設置し、設置から約1年、2年、3年が経過した時点で、それぞれ2カ所の試験地において試験体を掘り起こし、目視による被害度の判定及び接着層の剥離状況等の確認を行った。

④森林作業道の仮設橋としての実証試験

森林作業道の仮設橋としての適用可能性を確認する

ため、真庭市内の搬出間伐施工地において実証試験を実施した。図－8に示すように、従来の丸太横断工の代替として、土木用CLT（幅1,000mm、厚み90mm、長さ2,940mm）を車両の進行方向が強軸となるように2枚設置した。



図－8 仮設橋としての実証試験

走行は木材運搬車であるフォワーダー（車両重量 6 t、積載重量 4 t、ゴム製キャタピラー）が19往復した。

なお、設置した土木用CLTは、前述したグラブ付バックホウによる走行摩耗試験で使用した試験体を転用した。

III 試験結果と考察

①面外曲げ試験（強軸）

試験結果を表－2に示す。土木用CLTの面外曲げ強度は、スギCLTの2倍程度であった。土木用CLTの面外曲げ強度がスギCLTよりも強い主な要因としては、次のことが考えられる。まず、ヒノキはスギと比較して材質強度が相対的に高いこと（木材工業ハンドブック2007、木構振2011）、次に、曲げ強度への大きな影響を及ぼす外層ラミナに、強度低下の要因となる縦継ぎを行っていないこと、図－9に示すように、外層に流れ節の出現が非常に少ないことなどが挙げられる。これらから、森林作業道等で使用する仮設橋を想定し、支点間隔が1.5mの中央集中荷重とした場合でも、面外曲げ強度から逆算すると幅300mmで、約6 tの耐荷重があり、仮設橋としての使用の可能性が示唆された。

表－2 面外曲げ試験 試験結果

試験体	密度 (kg/m ³)	含水率 (%)	最大荷重 (kN)	曲げヤング係数 (kN/mm ²)	曲げ強度 (N/mm ²)	破壊形態
No.1 土木用CLT	521	15.0	81.4	11.21	62.6	曲げ・せん断
No.2 土木用CLT	521	14.6	83.6	11.38	64.4	曲げ・せん断
No.3 土木用CLT	493	14.3	75.1	11.10	57.8	曲げ
No.1 スギCLT	420	12.5	44.3	6.91	34.0	曲げ
No.2 スギCLT	439	12.2	41.4	7.25	31.9	曲げ
No.3 スギCLT	401	13.0	28.2	7.10	21.6	曲げ



図-9 ラミナの節の状況

②グラブプル付きバックホウによる走行摩耗試験

走行後、図-6の位置に1mのステンレス製定規を当て、最大摩耗量を測定した。測定結果を表-3に示す。ゴム製キャタピラーの最大摩耗量の平均値は、スギCLTが0.53mm、土木用CLTが0.06mmであった。また、金属製キャタピラーの場合、スギCLTが0.58mm、土木用CLTが0.36mmであった。各測定箇所における最大摩耗量はいずれも1mm以下であり、外層が摩耗により消失するまで往復走行を繰り返すと仮定した場合、計算結果から約3,000往復を要することが示された。これらの結果より、スギCLTと比較して土木用CLTの摩耗量は小さく、ゴム製・金属製キャタピラーのいずれにおいても、表面にわずかな摩耗が認められたものの、5tクラスのバックホウによる走行に対して使用上の問題は無いことが確認された(図-10)。

表-3 走行摩耗試験の結果

ゴム製キャタピラー				金属製キャタピラー						
種類	No.	摩耗量 (mm)	種類	No.	摩耗量 (mm)	種類	No.	摩耗量 (mm)		
スギ CLT	(1)	0.5	土木用 CLT	(19)	0.0	スギ CLT	1	0.0		
	(2)	0.5		(20)	0.0		(2)	0.5	20	0.0
	(3)	0.5		(21)	0.0		(3)	0.5	21	0.0
	(4)	0.5		(22)	0.0		(4)	0.0	22	0.0
	(5)	0.5		(23)	0.0		(5)	1.0	23	0.5
	(6)	0.5		(24)	0.0		(6)	1.0	24	0.0
	(7)	0.5		(25)	0.0		(7)	1.0	25	1.0
	(8)	0.5		(26)	0.0		(8)	0.5	26	1.0
	(9)	0.5		(27)	0.0		(9)	1.0	27	1.0
	(10)	1.0		(28)	0.0		(10)	1.0	28	0.0
	(11)	0.5		(29)	0.0		(11)	1.0	29	0.0
	(12)	1.0		(30)	0.0		(12)	0.5	30	0.0
	(13)	0.5		(31)	0.0		(13)	0.0	31	0.0
	(14)	0.5		(32)	0.0		(14)	0.5	32	0.0
	(15)	0.0		(33)	0.0		(15)	1.0	33	0.0
	(16)	1.0		(34)	0.0		(16)	1.0	34	0.5
	(17)	0.5		(35)	0.0		(17)	0.0	35	0.5
	(18)	0.0		(36)	1.0		(18)	0.0	36	1.0
平均	0.53	平均	0.06	平均	0.58	平均	0.36			



図-10 土木用CLTの摩耗状況
(金属製キャタピラーの試験後の状況)

③腐朽等に対する耐久性試験

設置後、約1年、2年、3年が経過した時点で、それぞれ2カ所の試験地から試験体を掘り起こし、腐朽状況を確認した。

腐朽等による被害状況の評価は、CLTの幅方向の両面について、目視および触診によって実施した。被害程度の判定は、表-4に示す森林総合研究所の基準(雨宮1963)に基づき評価した。被害度判定結果を表-5に示す。

表-4 被害度判定基準

被害度	観察状態
0	健全
1	部分的に軽度の虫害、または腐朽
2	全面的に軽度の虫害、または腐朽
3	2の状態の上に部分的に激しい虫害、または腐朽
4	全面的に激しい虫害、または腐朽
5	虫害または腐朽により形が崩れる

表-5 被害度判定結果

試験体	土質	埋設深さ	被害度判定					
			設置1年後		設置2年後		設置3年後	
			上面	下面	上面	下面	上面	下面
土木用 CLT	地点1 (H43) 粘性土	地表面	0	0				
		50cm埋設	0	0				
		100cm埋設	0	0				
	地点2 (H41) 礫質土	地表面	0	4				
		50cm埋設	3	3				
		100cm埋設	1	2				
	地点3 (H53) 粘性土	地表面		0		2		
		50cm埋設		2		3		
		100cm埋設		0		0		
	地点4 (H61) 礫質土	地表面		0		0		
		50cm埋設		0		0		
		100cm埋設		0		0		
地点5 (H63) 粘性土	地表面					2	3	
	50cm埋設					0	1	
	100cm埋設					3	2	
地点6 (H51) 礫質土	地表面					2	1	
	50cm埋設					1	0	
	100cm埋設					1	0	
スギ CLT	地点1 (S42) 粘性土	地表面	0	0				
		50cm埋設	0	0				
		100cm埋設	0	0				
	地点2 (S61) 礫質土	地表面	0	1				
		50cm埋設	0	0				
		100cm埋設	0	0				
	地点3 (S63) 粘性土	地表面		0		1		
		50cm埋設		1		2		
		100cm埋設		0		0		
	地点4 (S43) 礫質土	地表面		0		0		
		50cm埋設		0		0		
		100cm埋設		0		0		
	地点5 (S53) 粘性土	地表面					1	2
		50cm埋設					0	0
		100cm埋設					3	4
	地点6 (S51) 礫質土	地表面					2	0
		50cm埋設					0	0
		100cm埋設					0	0

3年とも、判定に用いた試験体は毎年2カ所の試験地から掘り起こしており、いずれの年も1カ所は乾燥した礫質土の斜面、もう1カ所は水分の多い粘性土の傾斜の緩やかな平地である。

設置1年後の被害度判定結果については、乾燥した礫質土の斜面に設置した土木用CLT(H41)の地表面に設置した下面がシロアリの食害を受け、被害度4と大きな被害が確認された(図-11)が、他の地点では、ほとんど被害は認められなかった。同一地点の地表面に土木用CLTとスギCLTを並べて設置したにもかかわらず、土木用CLTの被害が大きかった要因としては、土木

用CLTが丸身を外側に向けて製造されており、表面がシロアリに食害されやすい辺材部で構成されていたことが影響したと考えられた。

設置2年後の被害度判定結果については、水分の多い粘性土で傾斜の緩やかな平地の地表面に設置した土木用CLT (H53) の下面に一部シロアリ食害が見られたものの被害は軽度であった。ただし、地表下50 cmでは、腐朽による被害が最も大きく (図-12 左), 同一地点のスギCLT (S63) についても同様の結果であったが、乾燥した礫質土の斜面に設置した土木用CLT (H61) やスギCLT (S43) については、2年経過後であってもほとんど被害は確認できなかった (図-12 右)。

設置3年後の被害度判定結果については、設置2年後に被害の大きかった水分の多い粘性土の傾斜の緩やかな平地の地表下50cmでは、一部に軽度な被害が認められたが、顕著な被害はほとんど確認されなかった (図-13)。しかし、地表面および地表下100cmに埋設した試験体では、土木用CLT (H63) およびスギCLT (S53) とともに被害が大きかった (図-14)。

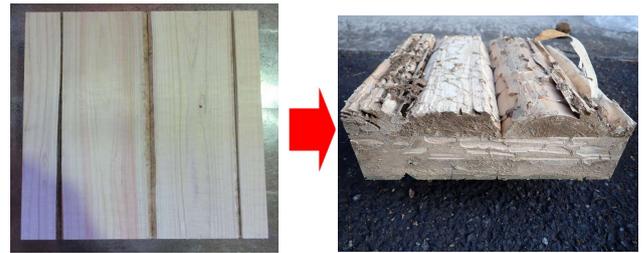
次に、掘り起こし直後の試験体について接着層の剝離状況を目視で確認した。その結果、節に起因すると考えられる局所的な剝離がわずかに認められたものの、約1年間の埋設において土木用CLTの接着層剝離は確認されなかった。

一方、設置2年後および3年後の試験体については、接着層の剝離か木破 (木材自体の破断) によるものか判別が困難であったため、接着層付近に割れが認められたものをカウントした。その結果、設置2年後に割れが確認された土木用CLTは1体 (1体は測定不可)、設置3年後では1体であった。これに対し、スギCLTは設置2年後で3体、設置3年後で5体に割れが確認され、スギCLTに比べて土木用CLTの割れ発生は少ないことが明らかとなった。

これらの結果から、土木用CLTは設置1年後に一部で顕著なシロアリ被害が確認されたものの、乾燥した礫質土の斜面では、設置後3年を経過しても、地中に埋設された面における腐朽やシロアリ被害は軽度であった。一方、水分の多い粘性土の平地では、設置年数の増加に伴い被害が顕在化する傾向が確認された。

さらに、接着層の耐久性に着目すると、土木用CLTでは埋設1年後に接着層の剝離は確認されず、設置2年後および3年後においても、接着層付近に生じた割れの発生数はスギCLTより少なかった。

以上から、土木用CLTは、シロアリ被害を考慮しつつ適切な設置環境を選定した場合には一定の性能を有していると考えられるものの、様々な場所での使用を前提とした実用上十分な性能を有すると判断するには、さらなる検討が必要である。



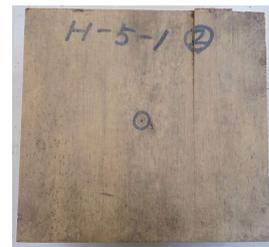
土木用CLT (H41) 設置前 土木用CLT (H41) 1年後

図-11 耐久性試験 (地表面設置1年後の状況)



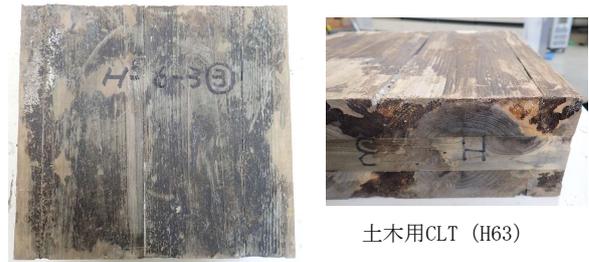
土木用CLT (H53) 土木用CLT (H61)

図-12 耐久性試験 (地表下50cmでの設置2年後の状況)



土木用CLT (H51) (軽度な被害)

図-13 耐久性試験 (地表下50cmでの設置3年後の状況)



土木用CLT (H63)

図-14 耐久性試験 (地表下100cmでの設置3年後の状況)

④森林作業道の仮設橋としての実証試験

横断溝の幅は約1mであったが、車両走行時に顕著なたわみは認められず、走行安定性は良好であった。さらに、撤去後に目視による破損状況の確認を行った結果、接着層の剝離を含め、使用上の支障となるような大きな破損は認められなかった (図-15)。



フォワーダーの走行状況

使用後の状況

図-15 土木用CLT設置状況等

IV まとめ

土木用CLTは、厚さ90mmの3層3プライ構成であっても、森林作業道に設置される横断溝の仮設橋として、10tクラスの木材運搬車の走行に十分耐え得る性能を有することが明らかとなった。

一方、長期間設置する場合には、腐朽やシロアリ被害への対策が不可欠であることが示されるとともに、適切なメンテナンス間隔や設置期間と面外曲げ強度との関係について、今後さらなる検証が必要である。また、小径木から採材した丸身ラミナはCLT製造工場の既存ラインで使用可能であることが明らかとなったが、低コスト化を図るためには、ラミナの天然乾燥や仕上げ工程の省略などについての検討も必要であることから、引き続き、CLTの土木分野における利活用の可能性について検討し、木材需要の拡大に寄与することを目指す。

謝辞

本研究にあたり、銘建工業株式会社、服部興業株式会社の方々には多大なる協力をいただきました。記して深謝いたします。

引用文献

公益社団法人土木学会木材工学委員会(2022)

土木における木材の利用拡大に関する横断的研究報告書

野田龍，足立幸司，山内秀文(2023)

土木分野への直交集成板（CLT）の利用拡大に向けた取り組み—製造方法の検討—，第73回日本木材学会大会，Y16-03-1000

木材工業ハンドブック(2007) 改訂4版

木構造振興株式会社(2011)

木材の強度等データおよび解説

雨宮昭二(1963)

浅川実験林苗畑の杭試験（1）杭の被害程度を評価する方法 林業試験場試験報告，第150号，143-156