

堆積時間延長型水性高分子 - イソシアネート系接着剤 を用いたCLTの接着性能

宮崎 淳子, 中村 神衣, 大橋 義徳, 松本 和茂*¹

Adhesive properties of cross-laminated timber using emulsion-polymer-isocyanate adhesives with long assembly times

Junko MIYAZAKI, Kamii NAKAMURA, Yoshinori OHASHI, Kazushige MATSUMOTO

キーワード: 堆積時間, 水性高分子-イソシアネート系接着剤, CLT, 剝離試験, カラマツ

CLTの製造では積層接着工程で時間を要するため、CLTに適した堆積時間の長い水性高分子-イソシアネート系接着剤が開発された。この堆積延長型APIをカラマツ材に適用し、許容される開放堆積時間および堆積時間を調べるとともに、実大CLTを製造し、その接着性能を評価した。その結果、堆積延長型APIを用いると堆積時間が40分でも開放堆積時間が5分以内であれば良好な接着性能が得られたが、開放堆積時間が長くなると接着不良が発生することが示された。実大CLTでは、堆積時間25分で良好な接着性能が得られたが、ラミナの反りなどによって塗布面が開放されたまま圧縮まで放置されると、堆積時間15分でも接着不良が発生した。

1. はじめに

CLT (Cross Laminated Timber) は、1990年代にオーストリアで開発された大型の木質パネルである。日本では、2013年にCLTに関する日本農林規格 (JAS) である直交集成板のJAS¹⁾が制定され、国内のCLT生産量は年々増加している。

日本ではCLTの製造に水性高分子-イソシアネート系接着剤 (API) , またはレゾルシノール樹脂系接着剤 (RF) が用いられている。これらは、構造用集成材の製造で使用されてきた接着剤で、強度性能や耐久性能において実績がある。RFは耐水性、耐熱性が高く、屋外利用される木質材料も使用可能な接着剤であるが、硬化が遅いため、冷圧プレスを用いて6時間以上圧縮しなければならず、プレス時間を短縮するために高周波加熱プレスを導入する必要がある。他方、APIはRFほど耐水性、耐熱性は高くないが、一般的な建築材料が使用される屋内環境下では高い接着性能を有する。また、短時間で接着強さが発現するため、冷圧プレスでも圧縮時間は1

時間以内であり、生産性に優れた接着剤である。

しかしながら、APIは短時間で固化するため、積層接着を迅速に行う必要がある。接着剤塗布から圧縮を開始するまでの時間を堆積時間と呼び、そのうち接着剤塗布からラミナを重ね合わせるまでの時間を開放堆積時間、ラミナを重ね合わせてから圧縮開始までの時間を閉鎖堆積時間と呼ぶ。接着剤ごとに許容される堆積時間が指定されており、堆積時間が長くなりすぎると、圧縮までに塗布された接着剤の乾燥が進み、接着不良になる。また、開放堆積時間の間は特に接着剤の乾燥が進みやすいため、接着剤塗布後はラミナ同士をできるだけ短時間で重ね合わせて塗布面を閉鎖することが求められる。

CLTの製造では、ラミナを幅方向に並べた層を、互いの繊維方向を直交させて積層する。積層接着の工程は集成材よりも長時間を要するため、従来の集成材用APIをCLTの製造に適用するには堆積時間が短く、ラミナをあらかじめ幅はぎ接着してから積層接着する、あるいは全自動化された生産ラインを整

備する等により積層接着工程の短縮を図る必要がある。こうした背景から、接着剤メーカーによってCLTの製造に適した堆積時間の長いAPIが開発された。

北海道産材を用いたCLTの製造でも堆積時間延長型APIの適用が期待される。北海道の主要な人工林材であるカラマツはAPIでの接着が難しい樹種の一つであるが、カラマツCLTの製造で堆積時間延長型APIを適用した例はなく、得られる接着性能や許容される堆積時間についてはわかっていない。そこで、本研究では、北海道産カラマツ材を用いて、開放堆積時間、堆積時間を変えて接着試験片を作製し、許容される開放堆積時間および堆積時間を調べるとともに、堆積時間延長型APIを用いて実大CLTを製造し、その接着性能を評価した。

2. 実験方法

2.1 材料

接着剤は、堆積時間延長型API（主剤KR-4100CT、硬化剤AX-600、（株）光洋産業、以下API-L）、および構造用集成材の製造で使用されている従来型のAPI（以下、API-C）を用いた。

供試材として北海道産カラマツ（*Larix kaempferi*）を用いた。接着試験体には、縦振動法によって動的ヤング係数を測定したラミナを用いた。ヤング係数が10.5~13.0GPaを外層用、5.0~10.4GPaを内層用とした。寸法を32（厚）×100（幅）×298（長）mmに加工し、20°C、相対湿度65%の環境下で恒量になるまで静置した。また、実大CLT試験体の製造には、グレーディングマシンで等級区分し、フィンガージョイントによってたて継ぎされたラミナを用いた。断面寸法は35（厚）×105（幅）mm

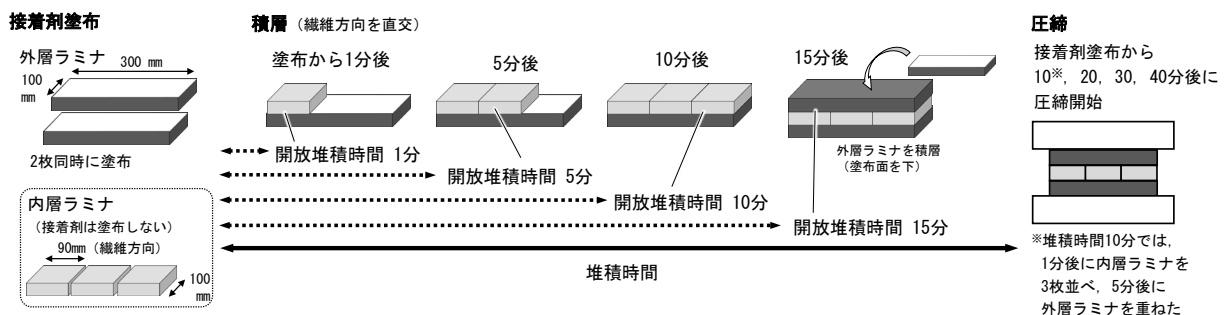
で、長さは平行層ラミナが3100mm、直交層ラミナが4300mmであった。

2.2 接着試験体の作製

開放堆積時間および堆積時間を変え、3層3プライの接着試験体を作製した。ラミナは、接着前にプレーナーで厚さ30mmに仕上げた。内層用ラミナは長さを90mmに切断した。接着剤の配合比は、主剤100部に対して硬化剤15部とし、塗布量は220g/m²とした。積層接着の手順を第1図に示す。長さ300mmの外層ラミナ2枚に接着剤を同時に塗布し、塗布面を開放したまま放置した。塗布開始から1、5、10分後に外層ラミナ2枚のうちの1枚の上に長さ90mmの内層ラミナをそれぞれ1枚ずつ左から並べ、15分後に残りの1枚の外層ラミナを塗布面を下にして重ね、3層3プライの接着試験体を作製した。接着試験体において、上から1層目の接着層は開放堆積時間が15分、2層目の接着層は1、5、10分である。圧縮は、塗布開始から20、30、40分後に開始し、それぞれ堆積時間20、30、40分とした。なお、堆積時間10分では、外層ラミナに接着剤を塗布した後、1分後に内層ラミナを3枚並べて外層ラミナを重ね、5分後に残りの外層ラミナを塗布面を下にして重ね、10分後に圧縮を開始した。圧縮条件は、室温下、1.0MPa、60分とした。接着試験体は1条件ごとに3体作製した。

2.3 実大CLTの製造

5層5プライ、130（厚）×1000×3000mm、強度等級がMx90のカラマツCLTを製造した。ラミナは5枚ずつ幅はぎ接着を行った。幅はぎ接着には酢酸ビニル樹脂エマルジョン系接着剤を用いた。幅はぎ接着されたラミナ（以下、幅はぎラミナ）の寸法は、断面が30（厚）×525（幅）mmで、長さは平行層が2998mm、直交層が1048mmであった。接着前に



第1図 接着試験体の作製手順

プレーナーで厚さ26mmに仕上げた。API-L, API-Cの配合比は、主剤100部に対して硬化剤を15部とし、塗布量は210~220g/m²とした。最下層に接着剤を塗布していない幅はぎラミナを2枚並べ、その上に接着剤を塗布した幅はぎラミナを塗布面を下にして繊維方向が直交するように並べて積層していき、5層5プライのCLTを製造した。API-Lを用いたCLTは、塗布開始から15分、20分、25分後に圧縮を開始した。また、コントロールとして、API-Cを用いてCLTを製造した。上記と同じ方法で積層し、積層後は速やかに圧縮した。なお、このときの堆積時間は約5分であった。圧縮条件はいずれの条件も室温で、0.9MPa、60分とした。CLTは1条件あたり1体製造した。

2.4 減圧加圧剥離試験

接着性能を評価するために、直交集成板のJAS¹⁾に準じて減圧加圧剥離試験を行った。接着試験体は、20℃、相対湿度65%で1か月間養生した後、剥離試験に供した。剥離試験片は、厚さをそのままにして、75×75mmの寸法で切り出した(第2図)。剥離試験片を室水中に浸漬し、0.085MPa以上で5分間の減圧の後、0.51±0.03MPaで1時間の加圧を2サイクル行い、70℃の恒温乾燥機中で試験片の重量が試験前の100~110%になるまで乾燥した。試験片の4側面の接着層を観察し、剥離の長さを計測した。なお、剥離の透き間が0.05mm以上、長さが3mm以上のものを計測し、節の部分のはがれは剥離と見なさなかった。式(1)に従い、各接着層の剥離率(D_i)を算出した。

$$D_i (\%) = \frac{\text{同一接着層の4側面の剥離長さの合計 (mm)}}{\text{同一接着層の4側面の接着層長さの合計 (mm)}} \times 100 \quad (1)$$

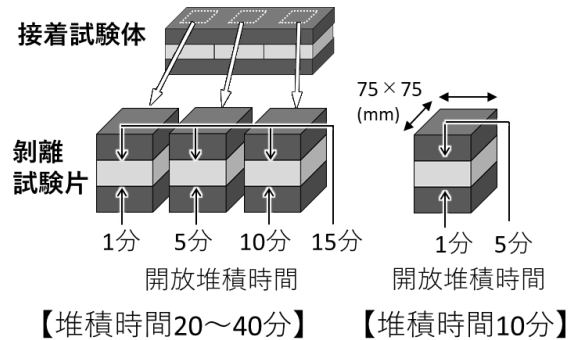
CLTについては、第3図に示す場所から剥離試験片を採取した。試験片の寸法および試験方法は前述のとおりである。次式に従って全接着層の剥離率(D_t)を算出した。

$$D_t (\%) = \frac{\text{全接着層の4側面の剥離長さの合計 (mm)}}{\text{接着層長さの合計 (mm)}} \times 100 \quad (2)$$

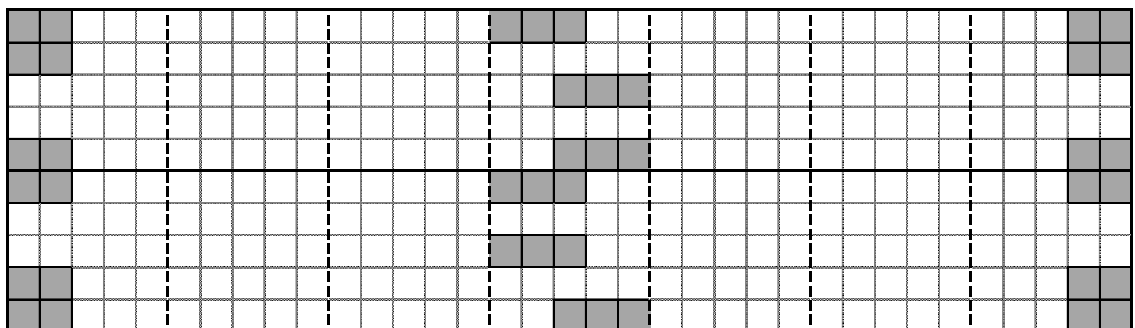
3. 結果と考察

3.1 接着試験体における開放堆積時間および堆積時間による接着性能への影響

第1表に開放堆積時間、堆積時間を変えて製造した接着試験体における D_i の平均値、第4図に供試し



第2図 接着試験体からの剥離試験片の採取方法



第3図 CLT試験体における剥離試験片の採取場所

凡例：■：剥離試験片採取場所，
□：幅はぎラミナ（平行層），
□：幅はぎラミナ（直交層）

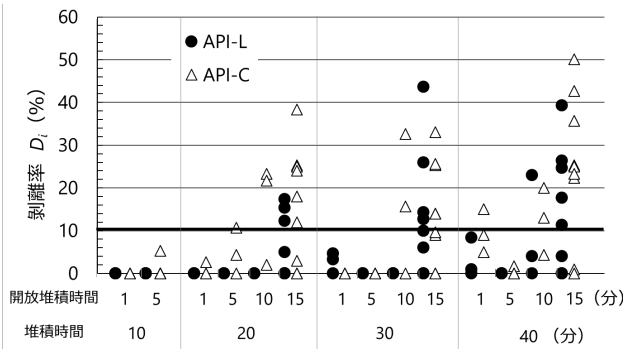
第1表 接着試験体における開放堆積時間および堆積時間と剥離率 (D_i) の平均値 (n=3) (%)

堆積時間	接着剤	開放堆積時間			
		1分	5分	10分	15分
10分	API-C	0.0 ^{※1}	0.9 ^{※1}	—	—
	API-L	0.0 ^{※1}	0.0 ^{※1}	—	—
20分	API-C	0.9	5.0	15.7	16.2 ^{※1}
	API-L	0.0	0.0	0.0	5.6 ^{※1}
30分	API-C	0.0	0.0	16.1	14.5 ^{※1}
	API-L	2.7	0.0	0.0	12.5 ^{※1}
40分	API-C	9.7	0.6	12.4	25.0 ^{※1}
	API-L	3.1	0.0	9.0	13.7 ^{※1}

※1 n=9

た試験片の各 D_i 値を示す。堆積時間が10分の場合、API-C, API-Lとも D_i の平均値は低く(第1表)、供試した試験片はすべて直交集成板のJASの剥離率の基準値である10%以下であった(第4図)。堆積時間20分以上では、API-C, API-Lとも開放堆積時間、堆積時間が長くなると D_i は高くなり、 D_i が10%を上回るものが出現した。

API-Cでは、堆積時間が20分の場合、開放堆積時間が5分以上の条件で D_i が10%を上回る試験片が出現した。堆積時間が40分では、開放堆積時間が1分でも D_i が10%を上回る試験片が出現した(第4図)。また、堆積時間40分/開放堆積時間5分では、開放堆積時間1分よりも D_i が低く、全ての試験片が10%を下回っており、開放堆積時間が短い方が剥離が多く発生したことが示された。開放堆積時間1分で基準を満たさなかった試験片について剥離した部分をノミで割り開き、接着層の状態を観察した結果、外層ラミナ側には接着剤が付着していたのに対し、内層ラミナ側には接着剤が付着していなかったことから、外層ラミナに塗布された接着剤が乾燥して、内層ラミナに転写されず、接着不良になったと推測された。塗布された接着剤の乾燥速度は、接着剤の塗布量の誤差や塗布むら、ラミナの表面性状などによる内部への水の拡散しやすさの違いなどの影響を受ける。開放堆積時間1分で接着剤の乾燥による接着不良が認められたのに対し、より長く開放されていた5分で接着不良が認められなかったのは、接着剤の塗布作業での誤差やラミナ表面性状の差が影響したためではないかと考えられる。したがって、開放堆積時



第4図 接着試験体における開放堆積時間および堆積時間に対する剥離率 D_i

間1分で、接着剤の乾燥による接着不良が出現したことから、開放堆積時間5分でも接着不良が出現する可能性がある。同様に、開放堆積時間5分/堆積時間30分よりも開放堆積時間5分/堆積時間20分の方が、堆積時間が短いにもかかわらず、 D_i が高かった。開放堆積時間5分/堆積時間20分の試験片の剥離部分を観察した結果、乾燥による接着不良が観察されたことから、開放堆積時間5分/堆積時間30分でも乾燥による接着不良が発生する可能性がある。

他方、API-Lでは、API-Cよりも D_i は概して低かった。堆積時間が20, 30分の場合、開放堆積時間が10分まで D_i はほとんどが0%で、全ての試験片が基準を満たした。堆積時間40分でも開放堆積時間5分まで全ての試験片が基準値を満たした。

以上の結果から、堆積時間10分では、API-L, API-Cとも良好な接着性能を示したが、堆積時間20分以上では、API-Lの方がより長い開放堆積時間および堆積時間まで良好な接着性能を発現することが示された。API-Lでは、堆積時間30分で開放堆積時間が10分、堆積時間40分で開放堆積時間が5分まで良好な接着性能を示した。

3.2 CLTにおける堆積時間による接着性能への影響

第2表に堆積時間を変えて製造したカラマツCLTの減圧加圧剥離試験の結果を示す。API-Cを用いて製造したCLTでは、 D_i の平均値が0.7%で、供試した全試験片がJASの基準値に適合した。この結果から、本試験で行った積層接着方法で、良好な接着性能が得られることが示された。

API-Lを用いてCLTを製造した場合、堆積時間15

によって、ラミナ同士が重ね合わされても塗布面が閉鎖されずに接着剤の乾燥が進みやすくなるため、堆積時間が短くても接着不良が発生することが示された。

謝 辞

本報告の一部は、北海道から委託された「CLT生産効率向上に関する調査研究委託業務」(H29)により実施した。また、本試験では、光洋産業(株)、(協)オホーツクウッドピアから多大なる協力をい

ただいた。ここに記して謝意を表する。

5. 引用文献

- 1) 直交集成板の日本農林規格：令和元年6月27日 農林水産省告示第475号（2019）。

—技術部 生産技術グループ
—*1：性能部 構造・環境グループ
(原稿受理：20.12.2)