

道産CLT（直交集成板）の開発状況

技術部 生産技術グループ 大橋義徳

■はじめに

CLT (Cross Laminated Timber) は欧州で開発された新しい木質材料で、日本では直交集成板と呼ばれています。薄板（ラミナ）を幅方向に並べた層を直交させながら積層することにより（写真1）、木材の強度や寸法収縮の異方性を大幅に改善することができ、従来にない大面積で分厚いパネルが製造可能となります。従来の材料よりも大きな荷重に耐えられることから、海外では戸建て住宅のみならず5階建て以上の中層建築物もCLT工法で盛んに建設されています（写真2）。RC造に比べて工期短縮や環境負荷低減などの利点が評価されて急速に普及しつつあり、市場が年々拡大しています。

日本でも国産木材の需要拡大策として実用化が期待されており、日本農林規格（JAS）の制定や建築基準法の整備が急ピッチで進められています。北海道でもCLT工法に対する関心が高まっており、道総研でも道産木材を用いたCLTの様々な研究開発に取り組んでいます。本報では道産CLTの開発状況をご紹介します。



写真1 道産カラマツCLT



写真2 欧州での建築事例（オーストリア）

■道産CLTの製造技術の検討

木材の収縮率は繊維方向（長さ方向）と直交方向（幅方向）では10倍近くも異なるため、繊維方向を直交させながら積層したCLTの場合、吸放湿に伴って膨潤収縮する際には接着層に大きな応力が生じやすく、接着不良な部分があると接着層のはく離が生じるおそれがあります。CLTは、集成材に比べて大面積なパネル状で製造するため、接着剤を塗布してから圧縮するまでの時間が長くなりますが、接着剤に応じて定められている可使時間内に圧縮しなければ接着性能が低下するおそれがあります。

そこで、道産人工林材の主力であるカラマツ、トドマツを対象として、十分な接着性能のCLTを安定的に製造できるような適正接着条件を検討しました。現行のJASで使用が認められている接着剤のうち、コストや作業性に優れており、構造用集成材でも多用されている水性高分子イソシアネート系接着剤を対象として、種々の製品を用いて接着性能試験を行いました。30cm角の小試験体でスクリーニングを行った上で、実大パネル製造試験（写真3）を行いました。その結果、実大サイズでもJASの品質基準を満たすことが明らかとなりました。また、製材の厚さ精度、接着剤が塗布されて圧縮されるまでの時間を短くすることが重要となるなど、製造上の留意点を明らかにしました。さらに、適正製造条件をもとに道産CLTの生産規模に応じた供給コストと構成比を明らかにしました。接着試験およびコスト試算の詳細は既報¹⁻³⁾を参照ください。



写真3 合板プレスを用いた実大パネル製造試験

■道産CLTの材料性能試験

CLT構造の建築物を実現するためには、構造設計に用いる材料データを整備する必要があります。そこで、壁パネルや床パネルとしてのCLTに加わる様々な荷重を想定して、道産カラマツCLTおよびトドマツCLTの材料性能試験を行いました。

試験に用いた道産CLTは、JASで定められる6断面のうち、壁材として想定される3層3プライ（厚さ90mm）と5層5プライ（厚さ150mm）、床・屋根材として想定される7層7プライ（厚さ210mm）の3種類としました。CLTの外層ラミナにはヤング係数が9～12GPa、内層ラミナにはヤング係数が6～9GPaとなる製材を組み合わせ、JASの等級構成としては異等級構成の強度等級Mx90に相当するCLTを試作しました。実大木材強度試験機を用いて、写真4のように面外方向（積層方向に加力する方向）の曲げ試験とせん断試験、面内方向（ラミナの幅はぎ方向に加力する方向）の曲げ試験とせん断試験、軸力方向の座屈試験を行いました。カラマツ・トドマツそれぞれの層構成と加力方向ごとの強度的な特徴を明らかにするとともに材料設計データを整備しました。試験詳細は既報^{4,5)}を参照ください。



面外曲げ試験



面外せん断試験



面内曲げ試験



圧縮座屈試験



面内せん断試験

写真4 材料性能試験の様子

■CLT接合部の性能試験

CLT工法の構造設計では接合部の性能データも不可欠です。そこで、壁パネルや床パネル同士を固定するための接合方法を施工性やパネル加工性を検討しながら、ビス鋼板接合を採用することとし、様々な荷重を想定した接合性能試験を行いました。各接合部の概要と試験状況を写真5に示します。壁－基礎間接合には、引張抵抗用にU形引張金物、せん断抵抗用にU形せん断金物を用いました。壁－床および壁－屋根間の接合には、せん断抵抗用にL形せん断金物、引張抵抗用にU形引張金物を用いました。また、壁が連層している部分ではU形引張金物相互をボルトで緊結するか、帯形金物により直接接合しました。床－床間の接合には、せん断抵抗用にスプライン接合（床パネル端部の切り欠きに合板を落とし込んでビス留め）を用いました。試験の結果、カラマツ・トドマツそれぞれの樹種特性や加力方向ごとの特徴と破壊性状を明らかにするとともに接合設計データを整備しました。試験詳細は既報⁶⁻⁸⁾を参照ください。



U形引張金物試験
＜基礎と壁の引張接合＞



U形せん断金物試験
＜基礎と壁のせん断接合＞



L形せん断金物試験
＜壁と床のせん断接合＞



L形せん断金物試験
＜壁と床の面外せん断接合＞



帯形引張金物試験
＜1F壁と2F壁の引張接合＞



スプライン接合試験
＜床と床のせん断接合＞

写真5 接合性能試験の様子

■道産CLT建築物の建設事例

収集した材料・接合部データを活用して道内初となるCLT建築物がカラマツCLTを用いて建設され、平成27年3月に竣工しました（写真6）。国内で初めて大型パネルとビス鋼板接合が採用され、時刻歴応答解析に基づく構造設計と国土交通大臣認定を取得して建設されました。建設場所は北海道北見市留辺蘂町にある集成材工場の敷地内で、CLT壁式構造による2階建て建物の用途は会議室および休憩室、延べ床面積は143.19㎡です。用途と階数により防火構造が要求されず、室内側はすべてCLT構造体の現し仕上げとなっており、室外側は透湿防水シートと100mm厚さの断熱材を取り付けた上でモルタル仕上げとなっています。

今回の建築物では、国内で製造可能な最大寸法のCLTパネル（2.7×6m）から施工ピースが切り出されました。パネル枚数は合計45枚（1階壁15枚、2階壁10枚、通し袖壁2枚、床9枚、屋根9枚）、材積は合計70m³となりました。加工パネルの最大寸法は、壁パネルでは150×2669×5138mm、床パネルでは210×2600×4700mm、屋根パネルでは210×2600×5525mmでした。

CLTパネルの加工は、大断面集成材加工を専門とする大工が担当し、基本的には手加工で行われました。パネル厚さが150～210mmであったために、パネルの端部加工や中央部くり抜き加工では、パネル両面からの切り込みを要しましたが、大規模木造建築物の部材加工に慣れた熟練者により精度良くスムーズに行われました。

パネル施工の様子を写真7～10に示します。パネル組立に要した時間は合計13時間で、実質的に約2日間で組み上がりました。それまでに小幅パネルを組み合わせで建設されてきたスギCLT建築物に比べて、大型パネルと鋼板ビス接合は加工手間が少ないというメリットが確認されました。



写真7 1階壁パネルの施工



写真6 カラマツCLTを用いた建築物



写真8 2階床パネルの施工



写真9 2階壁パネルの施工





写真10 屋根パネルの施工

今回の建物では、大型パネル使用のために接合金物は少ないものの、U型引張金物73個、U型せん断金物42個、帯形引張金物43個、L形せん断金物120個、金物用ビス計6200本、床パネル用ビス計1100本を要しました。ビス留め作業の労力が大きく、特に上向き作業での作業負担が大きかったようです。今後の普及に向けては、在来工法で多用されているドリフトピンを用いた接合金物、二面せん断接合によりビス本数を抑制できる床パネル接合など、意匠性と施工性を高めた接合方法の開発が重要になるものと考えられます。

■道産CLTの普及に向けて

CLT工法が広く普及するためには、個別認定を取らなくても設計、建築が可能となるように建築基準法で設計法や材料強度が定められる必要がありました。平成28年3月31日および4月1日にCLT工法の設計法に関する告示（国土交通省告示第610号）と材料強度に関する告示（国土交通省告示第562号）が公布・施行されました。

材料強度の告示では、直交集成板のJASに適合する品質を有するCLTに対して材料強度が制定され、軸方向の縦圧縮強さ・縦引張強さ、面内方向の曲げ強さとせん断強さについてはJASが定める全6断面の材料強度が制定されました。一方、直交層の影響が大きな面外方向の曲げ強さとせん断強さについては長期荷重特性が確認された5層5プライの強軸方向を中心に一部の仕様についてのみ材料強度が制定されました。今後、その他の断面構成についても長期荷重特性が明らかになり次第、順次材料強度が追加される予定です。また、現時点では、データ収集が先行しているスギをベースに設定されており、道産カラマツやトドマツで製造可能な高い強度等級は未だ制定されていません。道産CLTの実力を反映できるように、



写真11 長期荷重試験の様子

長期強度特性等のデータ整備を急いでいます（写真11）。

■おわりに

道産CLTに関する研究開発を始めてまだ2年ほどですが、製造技術から利用技術まで多くの知見が得られつつあります。

まずは、道産カラマツCLTおよびトドマツCLTの適正製造条件を明らかにし、実大サイズの製造ラインにおいても十分な接着性能を持つ道産CLTが生産可能となりました。道内でも適正製造条件をもとに合板プレスを活用した試作が行われています。道産CLTは、色合いが統一できて意匠性が高く、高い強度等級も製造可能であることから、床組・屋根組にとっても有効であり、道外でも高く評価されています。カラマツCLTの高い強度等級やトドマツCLTの意匠性（写真12）は大きな利点となることが期待されます。今後は生産性向上と競争力向上に向けて、接着剤と製造技術のさらなる改良、CLTの内層に活用可能な低コスト製材の生産システムの構築が重要となります。

また、利用技術においては、道産カラマツCLTおよびトドマツCLTの材料データとともにビス鋼板接合による接合部データを収集し、道産CLT建築物の建設が可能になりました。実際に、道内初となるカラマツ



写真12 道産トドマツCLT

CLT建築物も建設され、新たな試みを盛り込みながら産学官の連携により短期間で実現しました。接合方法やビス作業、パネルサイズと輸送方法など改善すべき課題はありますが、特に寒冷積雪期での工期短縮の優位性が確かめられています。今後は、材料強度に道産樹種を追加するための材料データを完備するとともに、施工性・意匠性向上につながる接合方法の改良・拡充も急ぐ必要があります。

道内でCLT工法が普及するためには、CLTに適した製材とCLTの供給体制づくり、道産CLT建築物が設計・建設しやすくなるような環境づくりが不可欠です。道内の木材資源の有効利用と需要拡大に向けて、さらなる実用化を進めていきたいと思えます。

■謝辞

本報で紹介した道産CLTに関する研究は平成26・27

年度北海道森林整備加速化・林業再生事業により実施しました。事業実施にあたり、物林株式会社、協同組合オホーツクウッドピア、銘建工業株式会社、北海道庁の関係各位から多大なるご協力とご支援をいただきました。深く感謝申し上げます。

■参考文献

- 1) 宮崎淳子：林産試だより2015年7月号，p5.
- 2) 宮崎淳子：林産試だより2016年5月号，p5.
- 3) 古俣寛隆：林産試だより2016年5月号，p9.
- 4) 大橋義徳：林産試だより2015年7月号，p6.
- 5) 高梨隆也：林産試だより2016年5月号，p6.
- 6) 村上 了：林産試だより2015年7月号，p7.
- 7) 戸田正彦：林産試だより2016年5月号，p7.
- 8) 藤原拓哉：林産試だより2016年5月号，p8.