

石川県産スギを活用した直交集成板の提案

佐藤弘美*・長谷川遼太郎*・石田洋二・松元 浩

要旨：直交集成板（CLT）は 2016 年に関連する建築基準法が公布施行された新しい木質材料である。本研究では、石川県の地域木材をより多く活用し、強度性能の優れた直交集成板の提案を行うことを目的とする。直交集成板の JAS 規格にこだわらず適切な構成要素について小試験体を用いて検討し、強度性能の優れた組み合わせのものを実大試験にて評価を行った。
キーワード：直交集成板、石川県産スギ、実大試験

I. はじめに

直交集成板（CLT）は 1995 年ごろからオーストリアなどのヨーロッパを中心に利用されてきており、日本においては 2013 年に材料規格である JAS が制定され、2016 年に直交集成板関連の建築基準法告示が公布・施行され、日本での一般利用がスタートした比較的新しい建築材料である。直交集成板の特徴として、木材の加工材であることから鉄筋コンクリートに比べて 1/5 と軽いこと、耐火性もあり厚さ 90mm の直交集成板の場合 1 時間燃えても燃え抜けないこと、パネルを工場で生産するため、現場での施工が早く養生期間が不要なこと¹⁾など多くの利点がある。一方で、JAS 規格で原則ラミナ厚が等厚である²⁾とされることから、原料の歩留まりや設計の自由度などについて検討されている³⁾。
本研究では、石川県産のスギをより多く活用するために、JAS 規格にこだわらず強度性能の優れた直交集成板の提案を行うことを目的とする。小試験体を用いて適切な構成要素を検討し、優れた組み合わせのものを実大で作製し、性能を検証した。

II. 小試験体を用いた予備試験

1. 試験体概要

構成要素の検討を行うための予備試験に向けて、小試験体の作製を行った。試験体の基本的な外寸は長さ 600mm、幅 60mm、厚さ 18mm の 3 層構造、パラメータは各層のラミナ幅とラミナ厚とした（表-1）。各 3 体 11 種類の構成とし、基準となる構成は P30、C60、Pt6、Ct6（表-1 下線部）とした。
小試験体の材料にはスギを用い、接着剤には酢酸ビニル樹脂系エマルジョン形接着剤を用い、加圧して作製した。なお、作製の際には接着剤使用量を計測し個体によるばらつきを抑えながら作製を行った。加圧の基準はクランプを自立させられる強度から半周締めた強度とした。

表-1. 小試験体一覧

			パラメータ
ラミナ幅	平行層	P	20, <u>30</u> , 60
	直交層	C	40, 50, <u>60</u> , 80, 60+50*, 70+40*
ラミナ厚	平行層	Pt	<u>6</u> , 12
	直交層	Ct	<u>6</u> , 12

* 2 種類の幅を交互に並べて作製する
アンダーラインは基準となる構成

2. 予備試験

金沢工業大学 7 号館実験室（石川県野々市市）にて、小試験体を対象に 4 点曲げ試験を行った（図-1）。中央載荷の荷重と試験体中央の変位を測定し、強度性能や損傷状況をもとに実大試験に用いる直交集成板の構成要素の検討を行った。使用機材は荷重計に TCLP-1B、変位計に SDP-50C を用いた（いずれも東京測器）。加力は手動ポンプと油圧ジャッキを用い、加力速度 0.5mm/sec とした。



図-1. 予備試験の様子

*金沢工業大学

3. 予備試験結果

図-2 に平行層幅をパラメータとした場合の荷重変形関係、図-3 に直交層幅をパラメータとした場合の荷重変形関係、図-4 にラミナ厚をパラメータとした場合の荷重変形関係、表-2 に各試験体 3 体の最大荷重の平均値を示す。平行層の幅が大きいほど剛性、耐力ともに増加するが、平行層幅が 60mm になると他の 0.5 倍程度の変形で破壊が生じた。直交層の幅を変更しても剛性、耐力に有意な差は生じなかったが、幅の異なるものを配置すると耐力が上がる場合がみられた。ラミナ厚を大きくすると剛性、耐力が向上することがわかった。損傷状況からも、平行層に細いラミナ、薄いラミナを用いると十分な強度が得られないことが確認できた。

以上より、平行層ラミナは幅 30mm、厚さ 12mm、直交層ラミナは幅 50mm と 60mm のラミナを交互に並べたもの、厚さは 6mm のパラメータが強度性能的に適していると考えた。

Ⅲ. 実大試験

1. 実大試験体

予備試験の結果に基づいて株式会社中東（石川県能美市）にて直交集成板を作製した（図-5）。3 層 3 プライ構成とし、材料に県産スギを用いた。ラミナ構成は予備試験の結果から最適とした比率を基に実大寸法へと適用した。外寸は 3760×1050×80mm とし、平行層ラミナは幅 75mm、厚さ 30mm、直交層ラミナは幅 160mm と 200mm のものを交互に並べ、厚さ 20mm とした。接着剤はフィンガージョイントにメラミン樹脂、積層接着にレゾルシノール・フェノール樹脂接着剤を使用した⁴⁾。

作製した直交集成板 1 枚から曲げ試験体（B-1～B-3）およびせん断試験体（S-1～S-3）を各 3 体ずつ切り出した。曲げ試験体の寸法は長さ 1840mm、幅 300mm、厚さ 80mm とし、せん断試験体の寸法は長さ 560mm、幅 30mm、厚さ 80mm とした。

2. 4 点曲げ試験

石川ウッドセンター（石川県白山市）にて、JAS 規格に基づき 4 点曲げ試験を実施した²⁾。実大試験体は 3 体とし、支点間距離 1680mm、加力点距離 560mm とした。実大強度試験機（島津製作所製 UH-1000kN XR）を用いて加力速度 10mm/min で行った。この試験より強度性能と損傷状況の観察、曲げ強さと曲げヤング係数の算出を行った。表-3 の B-1～B-3 に実験結果から算出した曲げ強さおよび曲

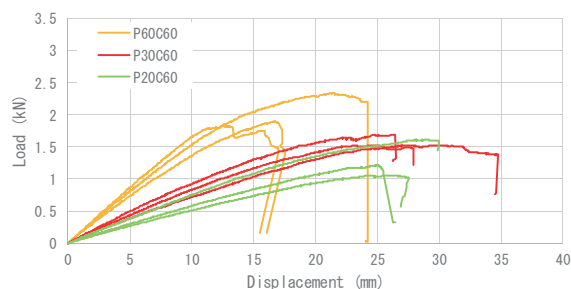


図-2. 荷重変形関係（パラメータ：平行層幅）

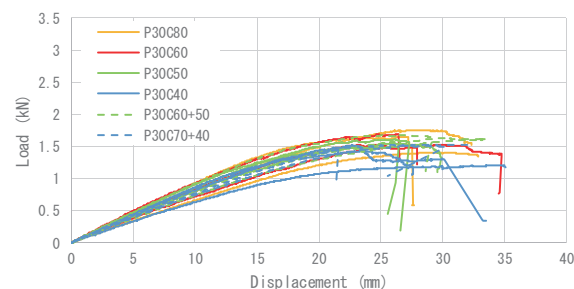


図-3. 荷重変形関係（パラメータ：直交層幅）

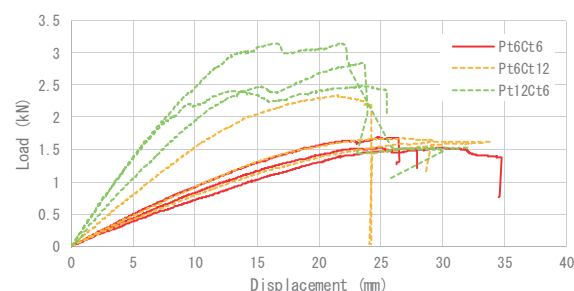


図-4. 荷重変形関係（パラメータ：ラミナ厚）

表-2. 予備試験結果 最大荷重 (kN)

	P20	P30	P60
C40	—	1.39	—
C50	1.54	1.55	—
C60	1.30	1.88 (Ct12) 2.83 (Pt12)	2.02
C80	—	1.60	—
C60+50	—	1.64	—
C70+40	—	1.50	—



図-5. 実大直交集成板

げヤング係数、図-6 に荷重変形関係を示す。

試験結果から曲げヤング係数を算出したところ JAS 規格の S90-3-3 にて定める基準値（平均値 $7.8 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ ）を上回る値を示した⁵⁾。曲げ強さは S120-3-3 の強度基準（ 19.0N/mm^2 ）を上回っており曲げに対して高い強度を示した⁵⁾。

3. せん断試験

試験体厚に基づき、支点間距離 400mm、加力点は支点間の中心としてせん断試験を行った²⁾。曲げ試験と同様の強度試験機を用いて加力速度は 5mm/min とした。表-3 の S-1～S-3 に実験結果から算出したせん断強さ、図-7 に荷重変形関係を示す。積層方向のせん断強さは樹種区分 S4 の 1.50N/mm^2 を十分に上回る結果となった²⁾。

4. 破壊性状

実験後の様子を図-8 に示す。曲げ試験では直交層の接着層付近および年輪境界に破壊がみられた。せん断試験では直交層の年輪半径方向の破壊と平行層の曲げ破壊が確認された。

5. 含水率試験

実験後の試験体から試験片を切り出し $103^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ で 30 時間乾燥させた。乾燥前後の重量から含水率を算出した結果、 $9.6\% \pm 0.2\%$ であった（表-3）。

IV. おわりに

本研究では小試験体を用いた予備試験をもとに 3 層 3 プライで構成された直交集成板を考案し、実大試験による強度性能を評価した。JAS 規格における 4 点曲げ試験およびせん断試験を行った結果、JAS 規格の直交集成板の強度基準との比較から、曲げ強度の高い直交集成板を作製可能であることがわかった。

引用文献

- 1) 一般社団法人日本 CLT 協会： <https://clta.jp/clt/> 2023 年 1 月 9 日参照。
- 2) JAS 3079：直交集成板。農林水産省（2019）。
- 3) 一般社団法人日本 CLT 協会：国産材ラミナを用いた非等厚ラミナ構成 CLT の製造技術に関する検討。事業報告書，2024。
- 4) 株式会社中東： <https://chuto.jp/wood/product/> 2025 年 2 月 27 日参照。
- 5) 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，東京，2021。

表-3. 実大試験結果

	含水率 (%)	曲げ/せん断強さ (N/mm^2)	曲げヤング係数 (10^3N/mm^2)
B-1	9.6	41.4	8.4
B-2	9.4	46.8	7.9
B-3	9.3	47.1	8.7
S-1	9.7	6.14	
S-2	9.4	5.60	
S-3	9.8	5.65	

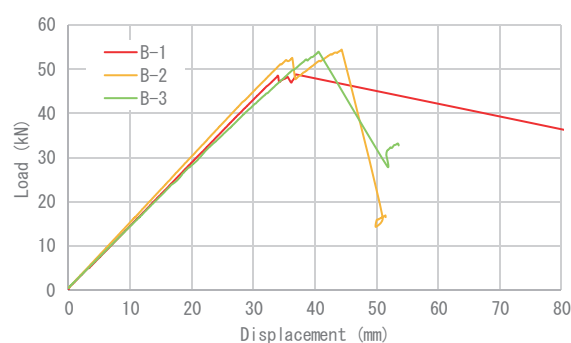


図-6. 荷重変形関係（曲げ試験）

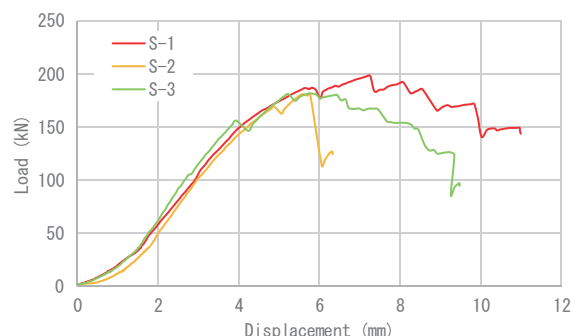


図-7. 荷重変形関係（せん断試験）



図-8. 破壊の様子（上：曲げ試験，下：せん断試験）