

## Chapter4

# リユースに向けた CLT の評価方法 (林野庁補助事業 成果)

#### 4.1 リユースに向けた CLT 評価への取組み

リユース時に使用する CLT は、一定期間、構造材として機能を果たしたものとなる。これらの CLT (リユース材)を構造部材として安心して使用するためには、リユース時点での材料性能を、的確に把握しなくてはならない。

一方で、現状の JAS 等の規格では、リユース材を対象とした評価基準が用意されておらず、客観的かつ信頼に足る強度性能の評価が難しい。リユース材としての CLT の流通を促進させるためには、リユース材としての CLT の強度性能の評価の考え方をまとめ、普及させる必要がある。

一般社団法人日本 CLT 協会は令和 3、4 年度の 2 年間、林野庁の補助事業により、CLT 等木質建築部材技術開発・普及事業として、CLT のリユースを実施するための性能評価手法の検討を行った。

リユース時の CLT の強度性能についての検証をすすめ、事業の成果として、強度性能を確認する簡便な検査方法を提案している。提案に当たっては、仮設建築物の構造部材を想定した CLT に、長期荷重を想定した荷重計算により半年間載荷し、水掛かりのない屋内の乾燥環境に限定して、半年間の載荷が強度性能に与える影響の検証を行っている。

本手引きでは、リユースに向けた CLT の強度性能の評価のため、実証に基づく強度性能の簡便な検査方法として、補助事業の成果を紹介する。現時点では、対象が屋内使用に限定されているが、CLT のリユースを円滑に行うための客観的な評価基準として、参照ならびに活用して頂くことを期待している。

#### 4.2 リユース CLT の性能評価手法（検査方法）の提案

CLT はラミナを直交積層していることが最大の特徴であり、施工期間の短期的な水掛かりや供用期間の温湿度変動により、含水率変動と膨潤収縮が生じると、直交する接着層付近に内部応力が生じることが想定される。さらに、供用中には積載荷重や外力によって許容応力度以下の応力も生じるため、リユースする場合には、それらの応力履歴が CLT の材料性能を低下させていないことを確かめる必要がある。

材料性能の判断は、CLT の初期の製造時と解体時の性能を比較するのが妥当である。しかし、現状の CLT 製造ロットの品質管理や現場の施工管理体制では、CLT の製造時の初期性能を遡求することは難しい。そこで、適正に製造された CLT が保有する初期性能を想定した判定基準を設定し、解体時においてもその基準をクリアすれば、載荷履歴を受けても十分な性能が維持されていると評価する仕組みを提案した。

性能を確認するための検査については、実用的な簡便さ等を踏まえて、直交層付近の接着性能および直交層のせん断強度について、応力や含水率変動の影響がより大きいと考えられる部位から小試験片を採り、接着はく離試験およびブロックせん断試験で検査する方法を提案した。

##### <接着性能の検査・評価>

- ①直交集成板の日本農林規格で定められている接着はく離試験に準拠し、リユース対象となる CLT から、解体時に 75 mm 角の試験片を採取する。
- ②採取した試験片にて、屋内環境を想定した減圧加圧処理を行い、接着層のはく離率を算出する。

- ③全ての直交接着層のはく離率が10%を超える場合、または同一接着層のはく離率が40%を超える場合は、構造部材としてのリユースを控える。

### <強度性能の検査・評価>

- ①直交集成板の日本農林規格で定められているブロックせん断試験に準拠し、リユース対象となる CLT から、解体時にせん断面積 35×35 mmの試験片を採取する。
- ②採取した試験片にて、直交加力試験を行い、せん断強度と木部破断率を算出する。
- ③せん断強度が  $0.9\text{N/mm}^2$  未満の場合、または木部破断率が70%未満の場合は、構造部材としてのリユースを控える。

なお、今回の検査方法を適用できるリユースCLTとは、以下の条件に合致したCLTのみである。

- ・屋内の乾燥環境で使用されたCLTであること
- ・許容応力度以下となる設計荷重で、半年間供用されたCLTであること
- ・CLTのラミナの樹種がスギであること

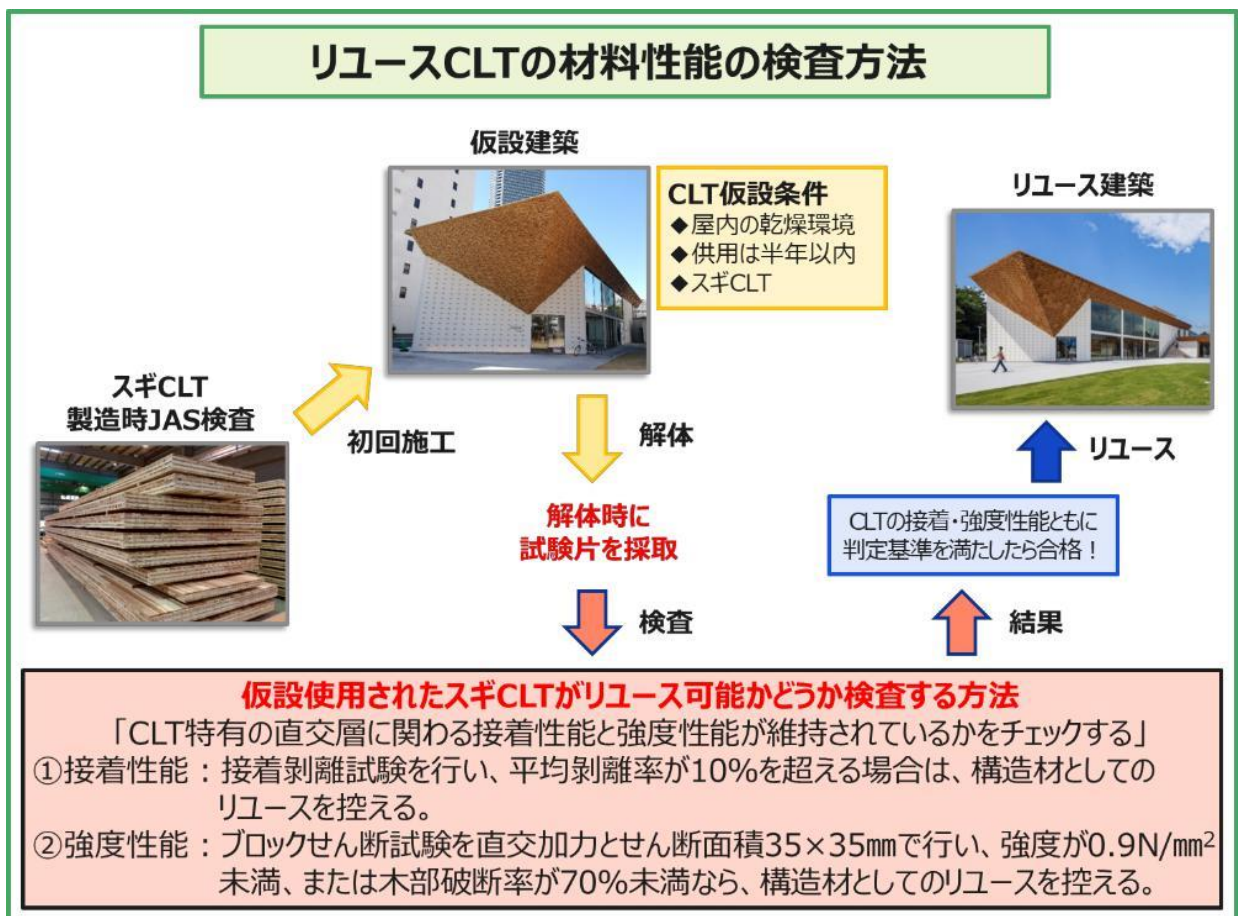


図 リユースCLTの材料性能の検査方法のイメージ図

### 4.3 事業成果の詳細

#### (1)屋内環境における長期載荷試験

仮設建築においてCLTが壁や床等に使用される状況を想定して、岡山県真庭市にある銘建工業の工場内(空調設備のない試験環境)で、半年間(2022年6月～12月)の長期載荷試験を行った。

##### 【試験用 CLT】

- ・ スギラミナ (断面寸法は30×122 mm)
- ・ 水性高分子-イソシアネート系接着剤
- ・ 5層5プライ (150 mm厚)
- ・ 強度等級 S60

##### 【試験体】

- ・ マザーボード4枚(幅3.0m×長さ4.0m)から無載荷試験体、載荷試験体を採材
- ・ 採材は強軸方向
- ・ ばらつき防止のため、曲げ試験の荷重点間の全ラミナにたて継ぎが配置されるよう採材

面外曲げ試験は、試験体幅300mm、スパン3000mmとし、鋼材により、長期許容曲げ応力度に相当する873kgを載荷した。



写真 面外曲げ試験

面内曲げ試験は、試験体幅300mm、スパン3000mmとし、鋼材により、長期許容曲げ応力度に相当する490kgを載荷した。



写真 面内曲げ試験

縦圧縮試験は、面内方向に座屈しないように配慮し、面外方向の細長比を 23.1、座屈長さは 1000 mmとし、4 体の柱状試験体に、鋼材で組み立てたフレームにより 1 体あたり 2754 kg を載荷した。



写真 縦圧縮載荷試験

載荷時の工場内の温湿度、高周波式含水率計による含水率、スパン中央のたわみ量を以下に示す。湿度は載荷後の梅雨から夏季を経て 80% 近くまで上昇し、秋季から冬季に向かって 40% まで低下したが、クリープ変形は初期に増大してからさほど進行しなかった。また、除荷直後には初期変形に相当する量のたわみが回復することも確かめられた。

含水率は、比較的変動が少なく安定しており、また載荷期間中には大きな地震等もなく、適切な載荷状態が維持されていたと考えられる。

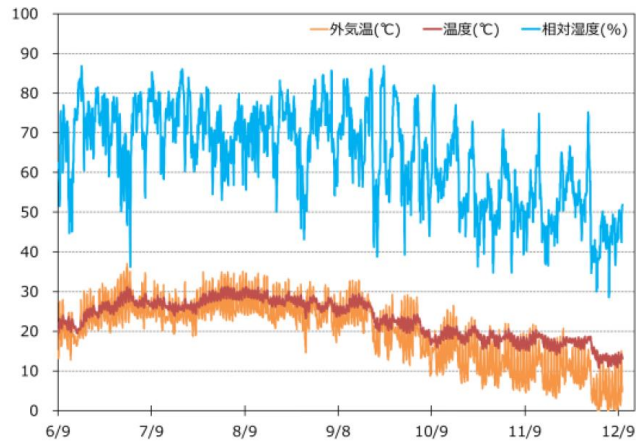


図 載荷試験環境の温湿度の変動(横軸:測定日)

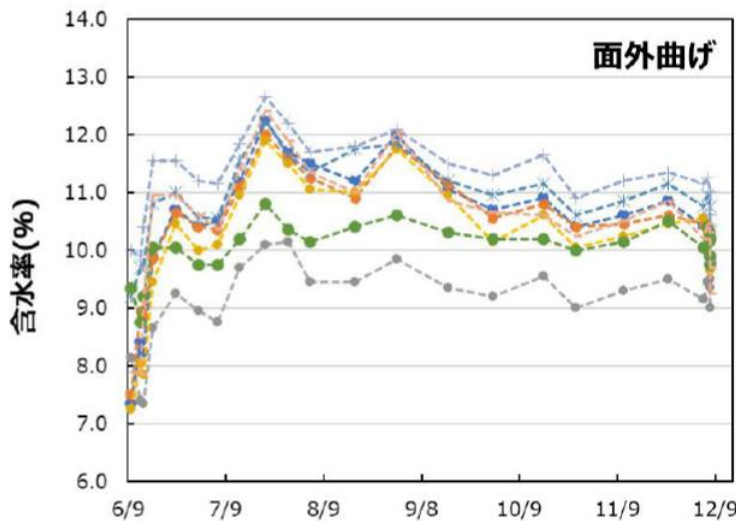


図 面外曲げ試験における高周波式含水率の変動 (横軸:測定日)

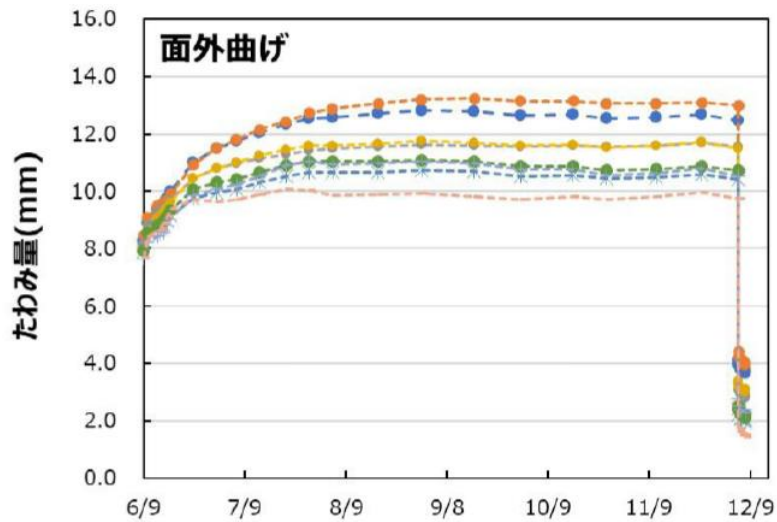


図 面外曲げ試験におけるスパン中央のたわみ量(経過観測 横軸:測定日)

## (2)半年間の载荷履歴後の実大強度試験

半年間の载荷履歴が材料性能に及ぼす影響を確認するため、半年間の载荷履歴のある試験体と無载荷の試験体を対象に実大強度試験を行った。面外曲げおよび面内曲げ試験は、载荷および無载荷の試験体共に各6体計12体について、スパン3000mmの3等分点4点荷重方式で行った。



写真 面外曲げ試験



写真 面内曲げ試験

縦圧縮試験は、载荷及び無载荷試験体共に各4体計8体について、両端を試験体の面外方向のみに回転するようなピン条件で行った。



写真 縦圧縮試験

いずれの試験も、無載荷試験体は載荷試験体と同一環境に半年間静置し、強度試験はどちらも同じタイミングで行った。

曲げ試験については、全ての試験体について、たて継ぎが試験体の中央部に集中するように用意したため、全て荷重点間に配置されたたて継ぎを起点に曲げ破壊が生じた。通常よりも破壊部にたて継ぎが多く含まれていたが、面外・面内ともに下限値は基準強度を上回った。

また、載荷の有無を平均値で比較すると、面外・面内ともに載荷試験体は無載荷試験体と同等以上であり、半年間の載荷による影響は認められなかった。

縦圧縮試験については、1体を除いて全て面外方向の座屈で破壊した。載荷の有無を平均値で比較すると、載荷試験体は無載荷試験体とほぼ同等であり、半年間の載荷による影響は認められなかった。

以上の結果から、面外曲げ、面内曲げ、縦圧縮強度は、半年間の載荷履歴があっても影響を受けず、低下しないことが明らかとなった。

表 試験体の載荷の有無による実大試験結果の比較

	面外曲げ				面内曲げ				縦圧縮	
	載荷なし		載荷あり		載荷なし		載荷あり		載荷なし	載荷あり
	強度 N/mm <sup>2</sup>	$E$ kN/mm <sup>2</sup>	強度 N/mm <sup>2</sup>	$E$ kN/mm <sup>2</sup>	強度 N/mm <sup>2</sup>	$E$ kN/mm <sup>2</sup>	強度 N/mm <sup>2</sup>	$E$ kN/mm <sup>2</sup>	強度 N/mm <sup>2</sup>	強度 N/mm <sup>2</sup>
平均値	18.5	5.74	18.6	6.07	15.1	4.33	16.9	4.67	18.5	19.0
標準偏差	3.0	0.22	2.4	0.14	1.0	0.30	1.1	0.13	0.6	0.3
変動係数	16.2%	3.9%	12.7%	2.4%	6.5%	7.0%	6.8%	2.7%	3.1%	1.5%
5%下限値	13.9		14.0		11.3		12.6		13.8	14.3
計算平均値	13.9		13.9		13.0		13.0		13.0	13.0
計算下限値	10.4		10.4		9.7		9.7		9.7	9.7

※ $E$ ：見かけの曲げヤング係数

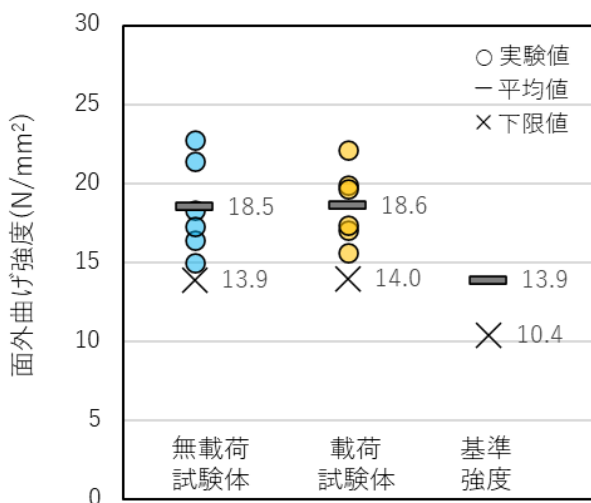


図 面外曲げ試験結果

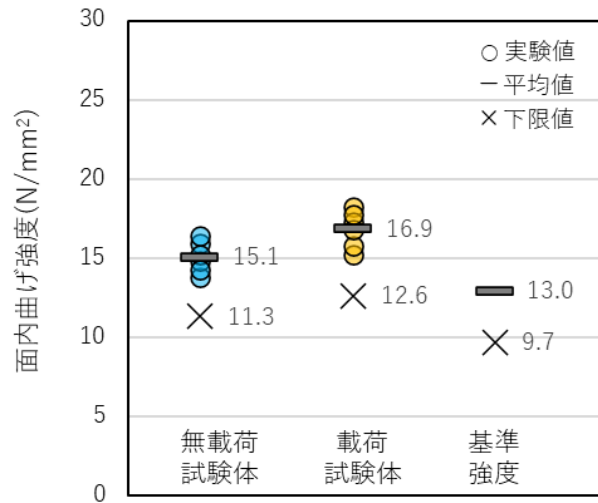


図 面内曲げ試験結果

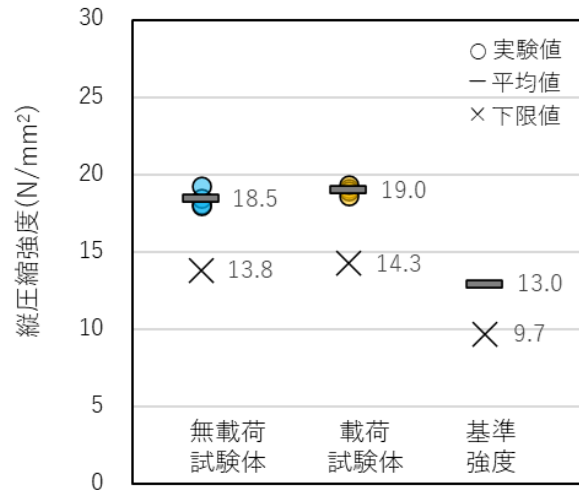
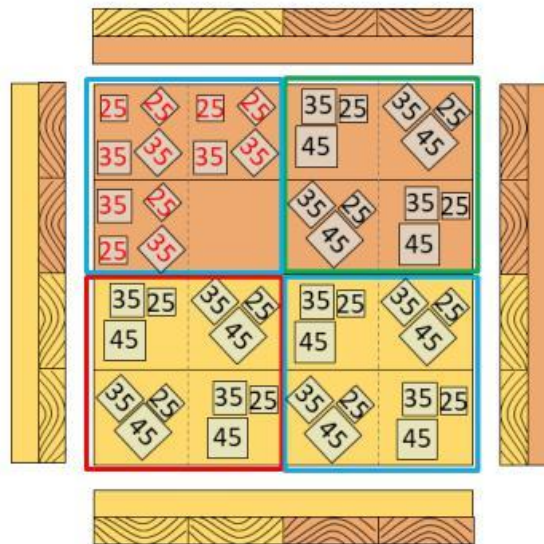


図 縦圧縮試験結果 (縦軸 縦圧縮強度 N/mm<sup>2</sup>)

### (3)ブロックせん断試験に基づく強度基準値の設定

スギCLTのブロックせん断試験の強度判定基準を検討するため、種々の材質のラミナを用いたブロックせん断試験を行った。

基準値を求めるために、ブロックせん断試験片は、できるだけ幅広い材質のラミナを組み合わせる必要がある。特にブロックせん断強度は密度の影響が大きく、スギは産地によって密度が異なる特徴があるため、複数の産地からラミナを調達した。



※図中の寸法値はせん断面積の大きさを示す

図 直交積層モデル試験体とブロックせん断試験片の採材図

ヤング係数と密度を厳密にコントロールしながら、上の図に示すような直交積層モデル試験体(2層・約45 cm角・ラミナ厚30 mm)を製作し、以下のパラメータを設定条件として、ブロックせん断試験片を採取した。試験片のパラメータを以下に示す。



### 【ブロックせん断試験体のパラメータ】

- ・スギ産地 =北海道産 / 東北産 / 中国地方産 / 南九州産
- ・ラミナ材質 =ヤング係数 / 密度
- ・せん断面積 =25×25 mm / 35×35 mm / 45×45 mm
- ・加力方向 =直交方向 / 45度方向

ブロックせん断試験は、試験治具を用いて、イス型試験片により行った。



写真 ブロックせん断試験

リユースCLTの強度をCLT工場で検査して確認する場合、工場が保有する試験設備の加力容量や加力治具のサイズ、試験片を製作する労力なども考慮しなければならない。そこで、現行多用されている25mm角のほか、35mm角と45mm角の試験体についてもブロックせん断試験を行った。

ブロックせん断試験の結果について、ラミナの4産地を統合して、下記の表と図に示す。

表 ブロックせん断試験結果(直交加力、45度加力)

ブロックせん断強度 (N/mm <sup>2</sup> )						
加力方向	直交			45度		
サイズ	25mm	35mm	45mm	25mm	35mm	45mm
試験体数	216	216	216	216	216	216
最大値	11.02	5.88	5.86	8.23	9.21	9.39
平均値	2.74	2.65	2.76	4.03	4.14	3.87
最小値	1.12	1.02	1.00	1.87	1.63	1.72
標準偏差	1.30	1.03	1.09	1.36	1.47	1.35
変動係数	48%	39%	40%	34%	35%	35%
5%下限値	0.49	0.88	0.88	1.69	1.62	1.55

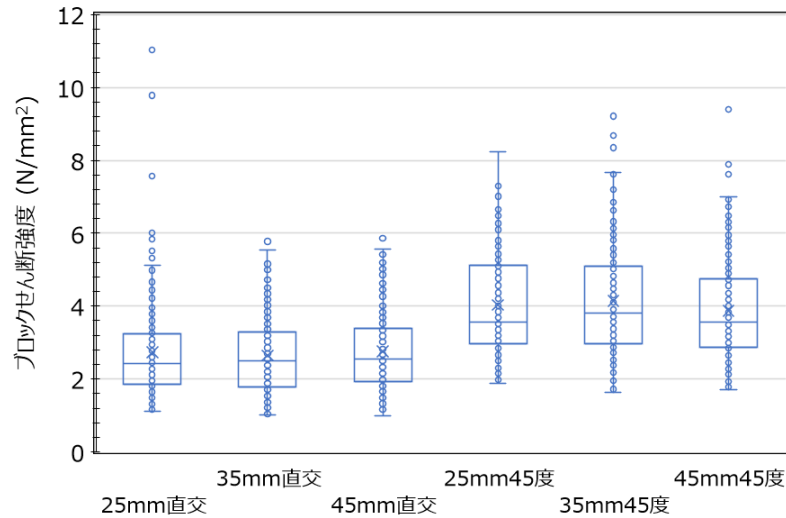


図 ブロックせん断強度(4産地の合計)

試験体のサイズ(25mm/35mm/45mm)と平均値やばらつきの傾向を見ると、直交加力の 25mm を除いては、大きな差は見られなかった。

ブロックせん断試験の場合、せん断面に節が存在すると高い強度を示す傾向があるため、25 mm角のようにせん断面積が小さい試験体の場合には節の影響が大きくなり、ばらつきが大きくなると考えられる。35 mmと 45 mmでは得られる強度の平均値やばらつきに顕著な差はなかったため、試験設備や試験体製作の労力を考慮して、ブロックせん断試験の試験体の大きさ(せん断面積)は 35mm 角が妥当と考えた。

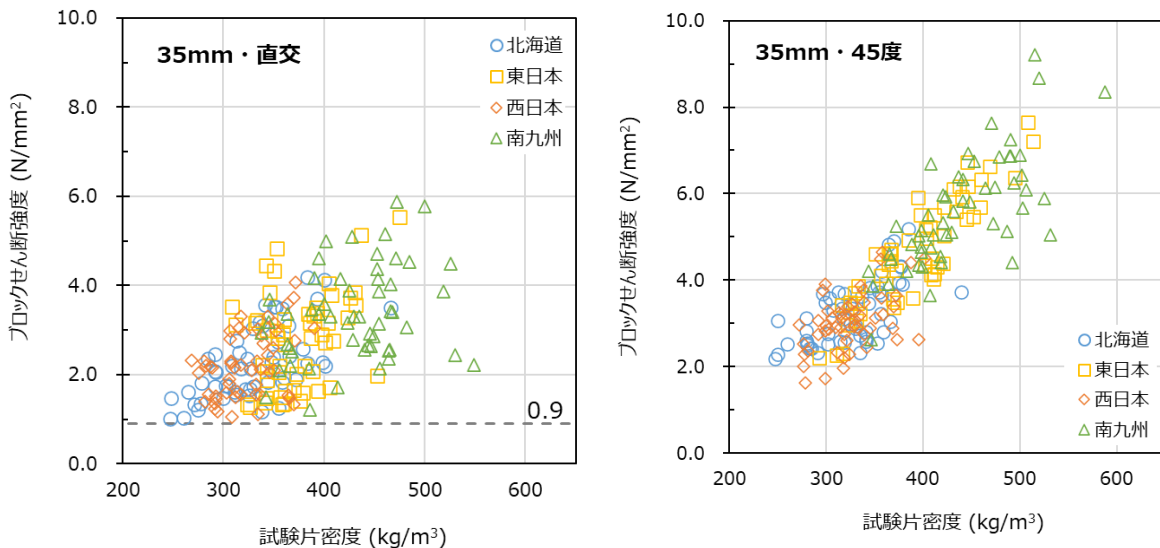


図 ブロックせん断強度と試験片密度の関係(35 mmサイズ)

次に、加力方向については、45度加力のほうが直交加力よりもせん断強度が高く、ばらつきも小さくなった。また、上の図に示すように試験片密度との関係は、45度加力のほうが高い相関を示した。直交加力の場合、隣接するラミナ 2 層のうち、せん断加力に対して繊維方向が 90 度となるラミナのローリングシアによって強度が決まるのに対して、45度加力の場合、繊維方向に対して 45 度で抵抗する上、隣接ラミナ 2 層で荷重を分担するため、ばらつきも抑えられると考えられる。

今回の結果から強度基準値を設定する上では、直交集成板の基準強度との関係も考える必要がある。建築基準法が定める基準強度のうち、積層方向のせん断強度(面外せん断強度)については、ラミナの横引張強度をもとにスギでは0.9N/mm<sup>2</sup>と定められている。直交加力によるブロックせん断強度は、直交層ラミナのローリングシア破壊によるものであり、積層方向のせん断強度が想定する破壊形態に近い。今回の試験結果においても、産地や密度に関わらず、すべての試験片が0.9 N/mm<sup>2</sup>を上回っており、直交加力の35 mm角および45 mm角の統計的下限值(0.88)とほぼ同等でもあることから強度基準値として妥当と考えられる。一方、45度加力によるブロックせん断強度は、ねじりせん断強度に近い値が得られるとの報告もあるが、幅方向のせん断強度(面内せん断強度)との関連づけはなされていない。

以上より、ブロックせん断強度の強度基準値は、直交加力で35 mm角サイズで試験を行い、0.9 N/mm<sup>2</sup>と設定することと定めた。

#### 4.4 今後の課題・展開

##### (1)半年間の載荷履歴がCLTの材料性能に及ぼす影響について

得られた結果は、使用環境として屋内の乾燥環境を想定したものであり、あくまで今回の試験条件と同様な条件で施工されたCLTのみに適用できるものである。今後、異なる利用条件においても載荷履歴が材料に及ぼす影響度を明らかにすることができれば、リユース対象となるCLTを広げることができ、リユースの促進とCLTの有効活用が期待される。

##### (2)リユースCLTの簡便な検査方法について

提案した検査方法は、あくまで、今回の検討条件と同様な条件で施工されたCLTに適用できるものである。つまり、一般社団法人日本CLT協会が仮設建築で使用したCLTのリユースを想定して独自に検討したものである。検査の詳細な実施方法(試験片の採材位置、抜き取り数など)、検査の実施体制や管理体制については今後、協会を中心に実績を重ね、さらに検討することが必要である。

