HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	直交集成板の面外せん断強度に関する実験的評価および数値解析的評価［論文内容及び審査の要旨］
Author(s)	川合, 慶拓
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(農学)
Dissertation Number	甲第16264号
Issue Date	2025-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/94986
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	KAWAAI_Yasuhiro_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称： 博　士（農学）　　氏名　　川　合　慶　拓

学 位 論 文 題 名

直交集成板の面外せん断強度に関する実験的評価および数値解析的評価

[第一章・緒言]

国内の木材需要の維持・拡大を図るため，非住宅・中高層建築物に対する直交集成板（Cross Laminated timber，以下 CLT）の利用が進んでいる。CLT は，ラミナの繊維方向を直交させて積層接着した材料であり，コンクリートよりも軽量，施工性に優れるといった利点がある。CLT を建築物の床および屋根といった水平部材に用いる場合，建築物の自重などの荷重は部材に対して面外方向に発生する。この面外方向の荷重が発生すると，CLT の直交層にはローリングシアーと呼ばれる繊維直交方向のせん断応力が発生する。ローリングシアー強度は，繊維平行方向のせん断強度よりも低いため，CLT のラミナの積層数およびスパン次第では，部材がローリングシアー破壊を起こす可能性がある。従って，建築物の水平部材に対する CLT の利用を図るには，ラミナのローリングシアー強度および CLT の面外せん断強度を適確に把握することが必要である。

[第二章・ラミナの断面寸法によるローリングシアー強度への影響]

ラミナのローリングシアー強度は，主に圧縮型のせん断試験によって評価されている。その結果，ローリングシアー強度はラミナの断面寸法および枚数によって異なる傾向となっている。本章では，複数のラミナ幅（60，80，100，120 mm）および枚数（幅 60 mm のラミナを 1～3 枚配置）を条件とした試験を実施した。樹種はカラマツとした。その結果，破壊形態は 3 種類のせん断破壊（直交層の接着面付近の破壊，年輪界に沿った破壊，および年輪の直交方向の破壊）に分類された。幅 60 mm および 80 mm では接着面付近の破壊，幅 100 mm および 120 mm では年輪界に沿った破壊が顕著となったが，破壊形態とローリングシアー強度の間に明確な大小関係は見られなかった。ローリングシアー強度はラミナの幅厚さ比（幅/厚さ）を変数として線形的に変化する傾向となった。幅 60 mm のラミナを 2 枚配置した試験体と幅 120 mm の試験体は同じせん断面積であるが，ローリングシアー強度は幅 120 mm の方が高い値となった。一方，ラミナを 1～3 枚配置した試験体では，どの条件でも同程度の値となった。これらの結果から，ローリングシアー強度には，ラミナ 1 枚の幅厚さ比が影響し，枚数は影響しないことが考えられた。有限要素法解析を行った結果，せん断応力および横引張応力はラミナの隅角部で高く示され，ラミナ幅が小さくなるほど応力の高い箇所が近接することで，接着面に沿った直線状の破壊線が発生したと推察された。

[第三章・ラミナの断面寸法によるローリングシアー強度への影響]

CLT の面外せん断強度は，主に中央集中荷重法または逆対称 4 点荷重法によるせん断試験によって評価されているが，報告では CLT の積層数およびスパンによって面外せん断強度および破壊形態が異なる結果が示されている。本章では，3 層 3 プライのカラマツ CLT を用いた中央集中荷重法および逆対称 4 点荷重法による試験を実施した。その結果，破壊形態は 3 種類のせん断破壊（直交層の接着面付近の破壊，年輪界に沿った破壊，および年輪の直交方向の破壊）に分類されたが，破壊形態と面外せん断強度の間には明確な大小関係は見られなかった。よって，中央集中荷重法および逆対称 4 点荷重法，どちらの試験でも適切に評価可能と分かった。CLT は製造する過程でラミナを幅はぎ接着する場合としない場合がある。また，ラミナに存在する節は木材の強度に影響を及ぼす場合がある。CLT を構成する直交層ラミナの幅はぎ接着および節の有無が面外

せん断強度に及ぼす影響を検証するため，中央集中荷重法および逆対称 4 点荷重法の試験を行った結果，幅はぎ接着および節による面外せん断強度への有意な影響はいずれも確認されなかった。

CLT は複数の直交層ラミナによって構成されており，ラミナのローリングシアー強度にはバラつきが存在する。そこで，モンテカルロシミュレーションを行って直交層ラミナのバラつきと CLT の面外せん断強度の関係を調べた結果，3 層 3 プライでは，全ての直交層ラミナの破壊によって部材の耐力が決定されると仮定したモデルによる計算値が実験値に近似した。従って，面外せん断強度は複数のラミナの破壊によって示されると推察された。

[第四章・層構成およびスパンによる面外せん断強度への影響]

既報の 5 層 5 プライを用いた検証では，スパンが増大するほど面外せん断強度が低下する傾向にある。また，せん断試験では，CLT の最大荷重（＝面外せん断強度）が数枚（2，3 枚）のラミナの破壊によって計測された場合もあれば，数枚破壊した後も荷重は増大し，更なる破壊によって得られた場合もある。つまり面外せん断強度は，最も弱い要素（ローリングシアー強度が最低のラミナ）によって決定する「最弱リンクモデル」で常に説明されるとは限らない。本章では，スパンおよび層構成による面外せん断強度への影響を検証するため，カラマツ CLT を用いた複数の層構成（3 層 4 プライ，5 層 7 プライ，7 層 7 プライ，9 層 9 プライ）によるせん断試験（中央集中荷重法）を実施した。スパンは CLT の高さの 5～16 倍とした。その結果，9 層 9 プライ以外の層構成では，面外せん断強度はスパンの増大と共に低下し，1.0～1.5 N/mm^2 に収束する傾向となった。9 層 9 プライではスパン 3 条件による検証となったため，強度の収束までは観察されなかった。直交層ラミナの枚数と面外せん断強度の関係を調べた結果，面外せん断強度はラミナの枚数が増大するほど低下し，一定値に収束した。直交層ラミナの枚数を変化させたモンテカルロシミュレーションを行い，CLT の面外せん断強度を推定した結果，短スパンでは多くのラミナの破壊，長スパンでは最低強度のラミナの破壊によって面外せん断強度が決定されると推察された。これらの結果は，試験時の直交層ラミナの破壊性状と合致した。

[第五章・断面寸法およびスパンに基づく CLT の面外せん断強度の評価]

現行の面外せん断の基準強度は，CLT の仕様に関係なく 1.2 N/mm^2 と定められている。しかし，第二章～四章の結果，面外せん断強度はラミナの断面寸法，CLT の層構成およびスパンによって変化することが分かった。本章では第二章，第四章および既報の結果を利用し，3 層 4 プライ，5 層 5 プライ，5 層 7 プライ，7 層 7 プライおよび 9 層 9 プライを対象として，ラミナの断面寸法およびスパンを考慮した面外せん断強度を求め，構造計算を行った。その結果，CLT を構成するラミナに必要な断面寸法（幅厚さ比）は，条件次第で規定の下限値（3.5）よりも低い値となり，小さな断面寸法のラミナを用いた CLT を建築物の構造材として利用できる可能性が示された。

[第六章・総括]

本論文では，ラミナのローリングシアー強度および CLT の面外せん断強度に対して実験的評価および数値解析的評価を行った。その結果，ローリングシアー強度および面外せん断強度に影響を及ぼす要素，および強度のメカニズム（強度決定の過程）が明らかとなった。また，構造計算の結果，CLT に面外荷重が発生した際に必要となるラミナの断面寸法が示され，小径木からの採材された木材，および副材として生産された木材を CLT に使用し，構造材としての利用可能性を示すことができた。