

研究助成実施報告書

助成実施年度	2021 年度
研究課題（タイトル）	一般流通製材を用いた NLT(Nail Laminated Timber)の部材設計法に関する研究
研究者名※	中島 史郎
所属組織※	国立大学法人宇都宮大学 地域デザイン科学部 建築都市デザイン学科 教授
研究種別	研究助成
研究分野	建築技術
助成金額	147 万円
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

（ ）は、報告書提出時所属先。

大林財団 2021 年度研究助成実施報告書

所属機関名 国立大学法人宇都宮大学
申請者氏名 中島史郎

研究課題	一般流通製材を用いた NLT(Nail Laminated Timber)の部材設計法に関する研究
(概要) ※最大 10 行まで 一般流通材を構成製材とする NLT について、製材の縦継ぎの位置、積層する製材層数、製材間を接合する接合方法の種類（釘接合と構造用ビス接合）をパラメータとした曲げ試験を行い、各因子が NLT の曲げ強度と曲げ弾性係数に与える影響を実験により確認した。また、製材の縦継ぎの位置などを考慮した解析を行い、曲げ強度と曲げ弾性係数を求める方法について検討した。一連の研究により、①NLT の曲げ強度と曲げ弾性係数はともに、縦継ぎ間隔が大きいほど、また、構成する製材の本数（積層数）が多いほど高くなる、②継ぎを有する NLT の曲げ強度は縦継ぎがない NLT の約 50%から 67%、曲げ弾性係数は約 75%から 92%である、という結果を得た。また、製材を線材、接合部を非線形のせん断バネ要素とする解析により、実験により得た曲げ強度と曲げ弾性係数を概ね推定することができた。今後の課題として、簡易な計算により、NLT の曲げ強度と曲げ弾性係数を求める方法を示す必要がある。	

1. 研究の目的

製材の挽き板を釘や構造用ビスを用いてパネル形状に積層成形した木質構造部材が近年、北米を中心に木造や鉄骨造の床や屋根を構成する構造部材として多く用いられている。同部材は、北米等では Nail Laminated Timber（以下、「NLT」と呼ぶ）と呼ばれており、我が国でも、建築物への実利用に向けた技術的な検討がはじまったところである。しかしながら現在、我が国で行われている技術的な検討は、NLT が北米由来であることから、枠組壁工法用製材（2×4 材）を構成要素とする NLT にほぼ限定されており、一般に流通する地域材（国産材）を対象とした研究は限られている。NLT は CLT (Cross Laminated Timber) や集成材とは異なり、大がかりな製造施設と高度な品質管理を必要とする接着を用いないで製造できる点において、地域の製材所など比較的小規模な工場でも製造が可能であり、地域材の利用拡大と地域産業の活性化に寄与できる可能性が高い。また、これまで用途が限られていた端柄材（挽き板）の需要の拡大につながる可能性がある。

NLT は図 1 に示すように、製材の挽き板を長手方向に突き付けてつなぎ（以下、「縦継ぎ」と呼ぶ）、縦継ぎ部分を隣接する挽き

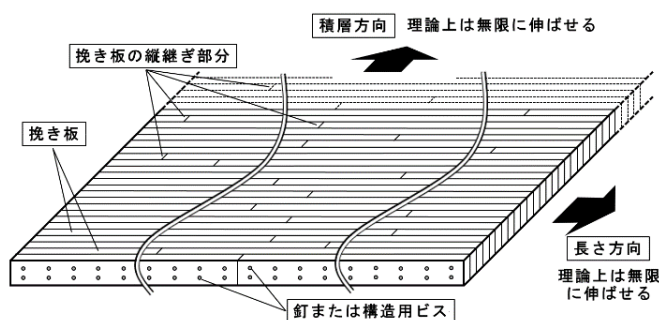


図 1 NLT の構成

板で補剛することによって理論上は無限の大きさの部材とすることが可能である。一方、縦継ぎを有する NLT の強度と剛性は、NLT を構成する挽き板の強度と剛性、挽き板相互を積層接合する接合部の耐力・剛性と配置、縦継ぎ部分の配置と補剛方法によって定まる。2×4 材を構成材とする NLT について、縦継ぎの仕方に対するルールと縦継ぎの仕方に応じた強度と剛性に対する低減率が示されているが、断面寸法や強度等級などの材料規格が 2×4 材と異なる一般流通地域材(軸組構法用構造用製材など)を構成材とする NLT に対して同じ考え方が適用できるかどうかについての確認はこれまでに行われていない。

本研究は、一般流通地域材を構成材とする NLT の曲げ強度と曲げ剛性を、①構成する挽き板(製材)の強度と弾性係数、②挽き板を接合する接合部の耐力と剛性および配置、③縦継ぎ部分の配置と補剛方法に応じて、計算により求める方法を検討し、提案することを目的として実施した。

2. 研究の経過

2. 1 概要

構成する製材の本数(積層数)、製材間の接合の方法、製材間の縦継ぎ間隔が異なる複数仕様の NLT 試験体を製作し、曲げ試験に供し、各仕様について、曲げ強度と曲げ弾性係数を求めた。また、NLT の曲げ強度と曲げ弾性係数を、構成する挽き板(製材)の強度と弾性係数、挽き板を接合する接合部の耐力と剛性および配置、縦継ぎ部分の配置に応じて、計算により求める方法について検討した。

2. 2 試験の実施

(1) 試験体の製作

表 1 に示す仕様の NLT 試験体を製作した。試験体を構成する製材間の接合は釘接合または構造用ビス接合とした。また、製材間の縦継ぎ位置は、隣接する製材間が 800mm または 1200mm または 1600mm とし、隣接しない製材間はその半分の長さとした。さらに、NLT を構成する製材の本数(積層数)は 5 本(層)または 11 本(層)とした。

表 1 曲げ試験を行った NLT の仕様

試験体名	製材間接合	製材間の縦継ぎ位置		構成製材の本(層)数	寸法(mm)		
		隣接製材間	隣接製材間以外		幅	厚さ	長さ
N-800-5	釘 (CN75)	800mm	400mm	5 本 (層)	225	120	3200
N-800-11	釘 (CN75)	800mm	400mm	11 本 (層)	495	120	3200
N-1200-5	釘 (CN75)	1200mm	600mm	5 本 (層)	225	120	4700
N-1200-11	釘 (CN75)	1200mm	600mm	11 本 (層)	495	120	4700
N-1600-5	釘 (CN75)	1600mm	800mm	5 本 (層)	225	120	6200
N-1600-11	釘 (CN75)	1600mm	800mm	11 本 (層)	495	120	6200
S-800-5	構造用ビス (P5-80 II)	800mm	400mm	5 本 (層)	225	120	3200
S-800-11	構造用ビス (P5-80 II)	800mm	400mm	11 本 (層)	495	120	3200
S-1200-5	構造用ビス (P5-80 II)	1200mm	600mm	5 本 (層)	225	120	4700
S-1200-11	構造用ビス (P5-80 II)	1200mm	600mm	11 本 (層)	495	120	4700
S-1600-5	構造用ビス (P5-80 II)	1600mm	800mm	5 本 (層)	225	120	6200
S-1600-11	構造用ビス (P5-80 II)	1600mm	800mm	11 本 (層)	495	120	6200

(注)製材の長さ方向の接合部の間隔は 200mm とし、製材の縦継ぎ部分については、縦継ぎ部から 50mm の位置に接合部を追加して設けて、補剛している。接合部は材縁から 20mm の位置に設けた。

(2) 曲げ試験の実施

表 1 に示す各仕様の NLT 試験体を曲げ試験に供し、曲げ強度と曲げ弾性係数を求めた。各仕様について 5 体ずつ試験を行い、そのうちの各 1 体については、構成する製材のひずみを測定し、NLT を構成する製材に生じる応力の分布を測定した。なお、曲げ試験は、製材の縦継ぎ配置を考慮し、隣接する製材間の縦継ぎ間隔が 800mm の試験体はスパン／梁せい比を 25、1600mm の試験体はスパン／梁せい比を 37.5、1600mm の試験体はスパン／梁せい比を 50 とした。曲げ試験は、3 等分点 4 点曲げ試験とし、NLT 試験体を構成する各層（製材）のスパン中央部の変位と支持点の変位、並びに、外層に位置する製材について製材縦継ぎ部分の開きを測定した。

また、縦継ぎを有する NLT 試験体（表 1）の他に、縦継ぎを有さない NLT 試験体と製材単体についても曲げ試験を行った。写真 1 に曲げ試験の様子を示す。



写真 1 NLT の曲げ試験の様子

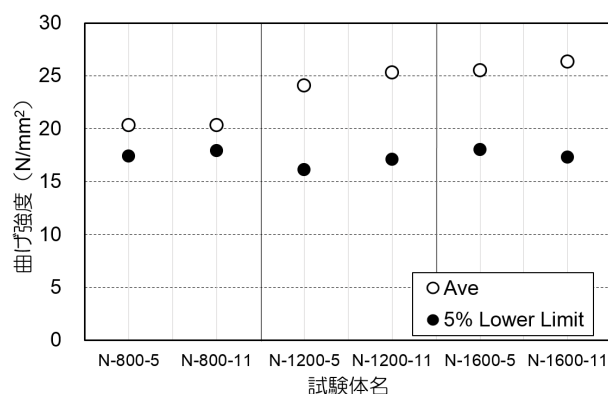
(3) 曲げ強度と曲げ弾性係数の算定法の検討

NLT の曲げ強度と曲げ弾性係数を、構成する挽き板（製材）の強度と弾性係数、挽き板を接合する接合部の耐力と剛性および配置、縦継ぎ部分の配置に応じて、計算により求める方法について検討した。

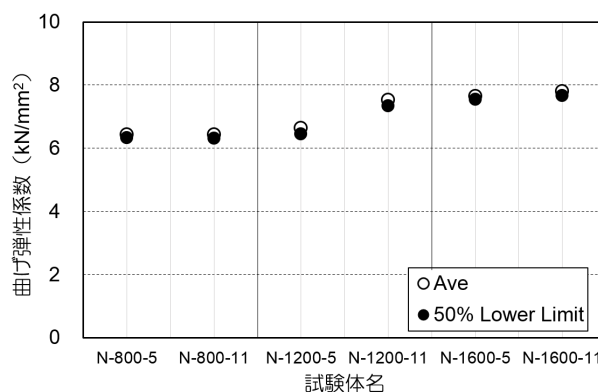
3. 研究の成果

1. 曲げ試験の結果

釘接合により製材を積層接合した NLT の曲げ強度と曲げ弾性係数を図 2 に示す。



(a)曲げ強度



(b)曲げ弾性係数

図 2 曲げ試験の結果（釘接合により積層接合した NLT 試験体）

（注）図中の○は 5 体の平均値であり、●は 5 体の 5%下限値である。

曲げ強度の平均値は、NLT を構成する製材の縦継ぎ間隔が大きいほど概して高くなる傾向にあった。一方、曲げ強度の 5%下限値は、縦継ぎ間隔が 800mm の試験体の値が高くなる結果となったが、これは縦継ぎ間隔が 800mm の試験体の曲げ強度のばらつき（標準偏差）が小さかったことによる。縦継ぎ間隔が 800mm の試験体を除くと、曲げ強度の 5%下限値も縦継ぎ間隔が大きい

ほど高くなる傾向にあった。さらに、縦継ぎ間隔が同じ場合、曲げ強度は平均値と 5%下限値とともに、構成製材の本数（積層数）が多いほど高くなる傾向にあった。

曲げ弾性係数についても曲げ強度とほぼ同じ結果を得た。曲げ弾性係数の平均値は、NLT を構成する製材の縦継ぎ間隔が大きいほど概して高くなる傾向にあり、さらに、縦継ぎ間隔が同じ場合、構成製材の本数（積層数）が多いほど、その値は高くなる傾向にあった。また、曲げ弾性係数の 50%下限値は、ばらつきが小さかった縦継ぎ間隔が 800mm の試験体の値がやや高かったものの、概して縦継ぎ間隔が大きいほど高くなる傾向にあった。また、平均値と同様に、構成製材の本数（積層数）が多いほど、その値は高くなる傾向にあった。

前述は製材間を釘接合により積層接合した NLT 試験体の結果であるが、構造用ビス接合を用いて積層接合した NLT についてもほぼ同様の結果を得た。ただし、曲げ強度と曲げ弾性係数の値は釘接合により積層接合した試験体よりも幾分小さい値であった。

縦継ぎを有する NLT の曲げ強度と曲げ弾性係数について、縦継ぎを有さない NLT、並びに、製材単体と比較した結果を表 2 に示す。縦継ぎがある NLT は縦継ぎがない NLT に対して、その曲げ強度は約 50%から 67%の範囲にあり、縦継ぎ間隔が小さいほど低減率は大きかった。一方、曲げ弾性係数については、約 75%から 92%の範囲にあり、曲げ強度と同様にて継ぎ間隔が小さいほど低減率は大きかった。

表 2 NLT（縦継ぎ：有無）及び製材単体の曲げ強度と曲げ弾性係数

試験体名	曲げ強度 (N/mm ²)				曲げ弾性係数 (kN/mm ²)			
	平均値	5% 下限値	縦継ぎあり／なし		平均値	50% 下限値	縦継ぎあり／なし	
			平均値	下限値			平均値	下限値
N-800-5	20.3	17.4	0.50	0.59	6.44	6.34	0.77	0.76
N-800-11	20.3	17.9	0.52	0.55	6.43	6.32	0.76	0.75
N-1200-5	24.1	16.1	0.59	0.55	6.64	6.45	0.79	0.77
N-1200-11	25.3	17.1	0.64	0.52	7.52	7.35	0.89	0.87
N-1600-5	25.5	18.0	0.62	0.61	7.64	7.55	0.91	0.90
N-1600-11	26.3	17.3	0.67	0.53	7.81	7.66	0.92	0.91
N-0-5	41.0	29.4	—	—	9.30	9.21	—	—
N-0-11	39.3	32.9	—	—	9.36	9.23	—	—
Lumber	37.4	24.0	—	—	9.25	9.15	—	—

2. 曲げ強度と曲げ弾性係数の推定

NLT を図 3 に示す線材とバネ要素としてモデル化し、各仕様について、曲げ強度と曲げ弾性係数を算出した。モデルは NLT を構成する製材を線材要素とし、縦継ぎ部分では線材間に隙間を設けた。また、製材間を接合する接合部は非線形のせん断バネ要素とした。図 4 にモデル化により求めた曲げ強度と曲げ弾性係数の値を実験結果と比較して示す。計算により求めた曲げ強度と曲げ弾性係数は概ね実験結果と同じ値となったが、一部の仕様については両者の値に違いがあった。構成製材の強度や弾性係数のばらつきによ

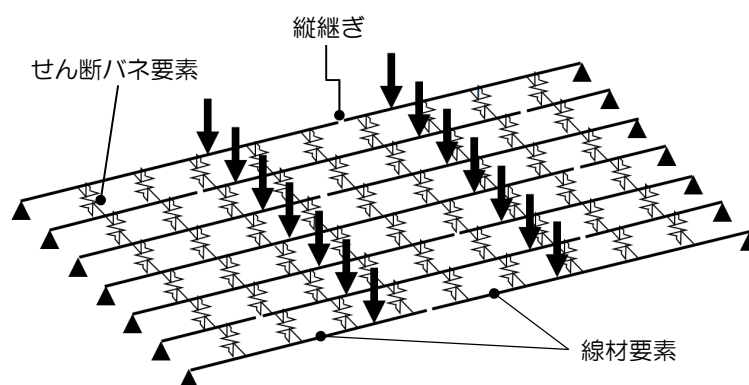
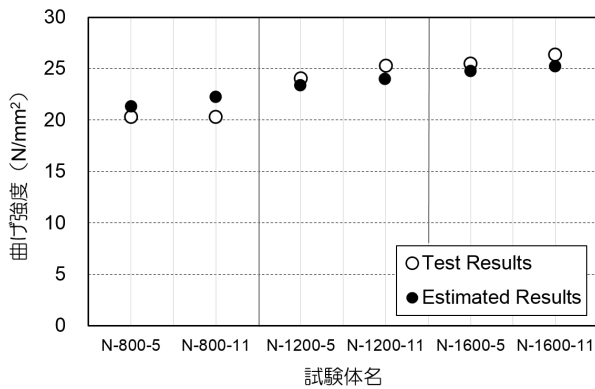
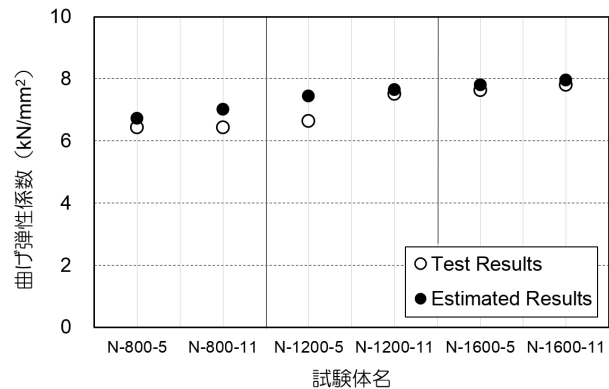


図 3 NLT の構造モデルの概念図

り、実験結果にばらつきがあったことなどがその要因と考えられるが、今後、精査する必要がある。



(a)曲げ強度



(b)曲げ弾性係数

図4 曲げ強度と曲げ弾性係数の実験値と算定値の比較(釘接合により積層接合したNLT試験体)
(注1) 図中の○は実験結果、●は算定結果である。

4. 今後の課題

(注) 必要なページ数をご使用ください。

構成製材に縦継ぎを有するNLTについて、縦継ぎの位置がNLTの曲げ強度と曲げ弾性係数に与える影響を実験により確認した。また、縦継ぎの位置などを考慮した構造モデルを用いた解析により、曲げ強度と曲げ弾性係数を求める方法について検討した。以下、今後の課題を記す。

- (1) NLTを構成する製材の縦継ぎの位置(配置)とNLTの曲げ性状(強度と弾性係数)との関係に関する知見は得られたが、木材の強度や弾性係数のばらつきを考慮すると試験体数を増やすための実験を引き続き行い、より精緻なデータに基づく考察を行う必要がある。
- (2) 製材を線材要素、接合部をせん断バネ要素とする精緻なモデル化により、実験により得られた結果を概ね推定することができた。一方、NLTの実用化を考えた場合、製材の縦継ぎ配置を考慮した簡易な計算により、NLTの曲げ強度と曲げ弾性係数を求める方法を提案し、実設計につなげていくことが肝要である。