

- 資料 -

トドマツ中径材を用いた 積層材の強度試験

工藤 修 松本 和茂^{*1} 藤原 拓哉^{*1}

Strength Test of Laminated Lumber of Todomatsu Medium - Diameter Log

Osamu KUDOH Kazushige MATSUMOTO Takuya FUJIWARA

Keywords : laminated lumber , bending strength , buckling , wood frame house ,
Abies sachalinensis
積層材 , 曲げ強さ , 座屈 , 在来構法 , トドマツ

1. はじめに

トドマツは北海道における主要造林樹種で、今後、間伐材など中径材の出材量が増大することが予想される。しかし、未成熟材部を多く含むトドマツ中径材は、これまでは安価なパルプ原料やたる木、板類等の低次加工での利用が主体となっていた。

一方、製材需要の多くを占める住宅建築材についてみると、乾燥材や集成材の利用が増大しており、質の向上が強く求められていると同時に、コスト低減もせまられている。

そこで、トドマツ中径材から採材したひき板を用いて積層柱(2~3層)および積層梁(7~10層)を製造し、その強度性能について検討した。ここでは、在来構法用軸組材を想定し、製材強度をクリアできる品質のものを目標とした。

なお、この研究は林野庁大型プロジェクト研究「地域産針葉樹中径材を利用した住宅用高機能性部材の開発」(平成5~9年度)の一環として実施したものである。

2. 試験方法

2.1. ひき板の調整

径級18~28cm、長さ3.65mのトドマツ中径原木から、柱用として断面40×120mm、60×120mmのひき板を、梁用として断面36×120mmのひき板を木取りし、仕上がり含水率13±2%となるように乾燥した。これらのひき板を、柱用については重錘法による曲げヤング係数 E_w の測定および「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」(以下、製材JAS)に基づいた目視等級区分を行った。梁用については同様に曲げヤング係数 E_w を測定し、「構造用集成材の日本農林規格」(以下、構造用集成材JAS)に基づいた機械等級区分、材縁部の節径比による区分を行った。

2.2. 積層柱の種類およびひき板の組合せ

積層柱の仕上がり寸法は105×105×2700mmとし、2層および3層積層柱を作製した。なお、この試験に着手した段階では構造用集成材JASが制定されていなかったことから、これに用いたひき板は製材JASに準じて等級区分した。

たて継ぎなし2層柱

ヤング係数の座屈への影響をみるため、3級以上のたて継ぎのないひき板でヤング係数の差の大

きな組合せの座屈試験用試験体を5体作製した(A1~A5)。また、2級材および3級材でたて継ぎのない同一等級ひき板の組合せによる曲げ試験用試験体を10体作製した(B1~B10)。

たて継ぎあり2層柱

3.65m材から2.7mひき板をとった残り材および格外材の節を除去した部材をたて継ぎした3級以上相当材を組合せて座屈試験用試験体を5体作製した(C1~C5)。同様に、曲げ試験用として、たて継ぎした2級相当材、3級相当材の試験体を10体作製した(D1~D10)。

たて継ぎなし3層柱

3層ともたて継ぎのない2級材および3級材による曲げ試験用試験体を10体作製した(E1~E10)。

たて継ぎあり3層柱

全層にたて継ぎを有するもので、2級相当材および3級相当材による曲げ試験用試験体を10体作製した(F1~F10)。また、内層にのみたて継ぎを有する3級相当材を用い、表層にはたて継ぎのない2級材および3級材を配置した曲げ試験用試験体を10体作製した(G1~G10)。

たて継ぎにはフィンガー長12mm、ピッチ4mmのフィンガーカッターを用い、1枚のひき板について1~2か所たて継ぎを行った。たて継ぎされたひき板は積層の際、ランダム配置とした。

ひき板の断面寸法を53×110mm(2層用)、35×110mm(3層用)にプレーナ仕上げをした後、レゾルシノール樹脂接着剤を用い、塗布量300g/m²、圧縮圧8kgf/cm²で積層接着し、積層柱の仕上がり断面を105×105mmとした。

2.3. 積層梁の種類およびひき板の組合せ

曲げヤング係数 E_w および材縁部の節径比による等級を考慮して第1表に示す材せい、材長の積層梁(H~K)を作製した。具体的なひき板の組み合わせを第2表に示す。たて継ぎの必要なものはたて継ぎを行った後、ひき板厚さを30mmに仕上げ、積層柱と同様に積層接着した。これに用いたひき板は構造用集成材JASに準じて等級区分した。ひき板の構成も構造用集成材JASに準じたが、内層用ひき板には一部格外材(材縁部の節径比が50%を超えるもの)も使用した。積層後、幅を105mmに仕上げた。

2.4. 積層柱の強度試験

積層柱のうち、曲げ試験用試験体全数(B1~B10, D1~D10, E1~E10, F1~F10, G1~G10)について、全スパン240cm、荷重点間距離80cmの3等分点4点荷重により曲げ試験を行い、荷重-中央たわみ曲線、最大荷重から曲げヤング係数、曲げ強さを求め、破壊状態、破壊原因を記録した。

座屈試験用試験体(A1~A5, C1~C5)について、記曲げ強度試験と同様のスパン、荷重条件で、荷重20kgfごと160kgfまで負荷し、曲げ剛性試験を行った。その後、両端ピン支持の長柱座屈試験を行い、座屈に対するヤング係数の差の影響、たて継ぎの影響を検討した。座屈は材長中央の変位で測定した。

座屈荷重1は実験値P(荷重)と(座屈変位量)からsouthwellの計算式

$$P_{cr1} \cdot \delta / P - \delta = e^2 / 8$$

を用いて算出した。eは偏心量として求められる。座屈荷重2は積層材全体のヤング係数 E_{ca1} を用いて

$$P_{cr2} = \frac{2E_{ca1} \cdot \delta}{L^2}$$

から算出した。ここで δ は積層柱全体の断面二次モー

第1表 積層梁の種類
Table 1. Type of laminated beam.

積層数 Number of lamination	材せい Height of beam (cm)	材長 Length of beam (m)	全スパン Full span (m)	支点荷重点間 Distance of support and loading point (cm)	荷重点間 Distance of loading points (cm)
7	21	3.65	3.5	135	80
8	24	4.8	4.5	175	100
9	27	4.8	4.5	175	100
10	30	5.8	5.4	210	120

第2表 積層梁用ひき板の具体的組み合わせ
Table2. Arrangement of lamina for laminated beam.

積層数 Number of lamination	7					8				
試験体記号 Symbol of test specimen	H1	H2	H3	H4	H5	I1	I2	I3	I4	I5
ひき板 等級 Grade of lamina	L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①	L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①
	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ②	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ②
	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ④	L 70 ②	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ③	L 90 ③
	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ④	L 70 ③	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ③	L 90 ③
	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ④	L 70 ②	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ③	L 90 ③
	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ③	L 90 ③
	L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ②
L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①	L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①	
積層数 Number of lamination	9					10				
試験体記号 Symbol of test specimen	J1	J2	J3	J4	J5	K1	K2	K3	K4	K5
ひき板 等級 Grade of lamina	L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①	L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①
	L110 ①	L110 ①	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L110 ①	L110 ①	L100 ②	L100 ②	L 90 ②
	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ②	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ②
	L 90 ⑤	L 90 ③	L 70 ⑤	L 80 ②	L 90 ③	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ②	L 90 ④
	L 90 ⑤	L 90 ③	L 70 ⑤	L 80 ①	L 90 ③	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ②	L 90 ④
	L 90 ⑤	L 90 ③	L 70 ⑤	L 80 ②	L 90 ③	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ②	L 90 ④
	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ⑤	L 90 ③	L 80 ⑤	L 80 ②	L 90 ④
	L110 ①	L110 ①	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	L 90 ②	L 90 ②
L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ②	L100 ②	L 90 ②	
L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①	L125 ①	L125 ①	L110 ①	L110 ①	L100 ①	

注) : ① : 材縁部の節径比17%以下, ② : 材縁部の節径比25%以下, ③ : 材縁部の節径比33%以下
④ : 材縁部の節径比50%以下, ⑤ : 材縁部の節径比が50%を超えるもの

Notes : ① : Edge knot ratio 17% below; ② : Edge knot ratio 25% below; ③ : Edge knot ratio 33% below; ④ : Edge knot ratio 50% below; ⑤ : Edge knot ratio 50% exceed

メント, Lは座屈長である。

また, 積層柱を構成するひき板のヤング係数を用い, 等価断面法により積層材全体の計算ヤング係数を求め, 実測ヤング係数と比較した。

強度試験後, 健全部より試験片を木取り, 全乾法によって含水率を測定した。

2.5. 積層梁の強度試験

積層梁は第1表に示す全スパン, 荷重点間距離の3分点4点荷重によって曲げ強度試験を行い, 荷重 - 中央たわみ曲線, 最大荷重から曲げヤング係数, 比例限曲げ応力度, 曲げ強さを求め, 破壊状態, 破壊原因を記録した。また, 積層柱と同様にして計算ヤング係数を求めた。

第3表 積層柱の座屈試験結果
Table 3. Buckling test results of laminated columns.

ヤング係数の差 Difference between MOE1 and MOE2	試験体 Symbol of test specimen	MOE1 (tf/cm ²)	MOE2 (tf/cm ²)	Ecal (tf/cm ²)	座屈方向 Buckling direction	終了荷重 Final load (kgf)	座屈荷重1 Buckling load 1 (kgf)	座屈荷重2 Buckling load2 (kgf)	座屈荷重1 座屈荷重2 Ratio of buckling load1 to 2	計算偏心量 e Calculated eccentricity (mm)
大 Large	A1	72.8	115.8	90.6	>	10248	11757	11518	1.02	3.32
	A2	81.0	116.1	96.2	>	10948	11036	12220	0.90	1.30
	A3	125.0	90.3	105.6	<	12123	15095	13410	1.13	4.71
	A4	119.3	88.6	102.2	<	10848	13515	13025	1.04	4.52
	A5	90.4	131.6	108.1	>	11648	13088	13716	0.95	2.68
平均値 Ave.					100.6	11163	12898	12778	1.01	
標準偏差値 S.D.					6.4	654	1415	805	0.08	
小 Small	C1	94.1	106.3	99.9	>	11623	12674	12686	1.00	1.17
	C2	94.1	112.4	102.6	>	11498	12835	12995	0.99	2.01
	C3	93.9	110.2	101.6	<	12847	13026	12873	1.01	0.18
	C4	95.3	101.3	98.2	<	12398	12304	12460	0.99	0.02
	C5	95.4	108.7	101.7	>	11423	11290	12892	0.88	0.52
平均値 Ave.					100.8	11958	12426	12781	0.97	
標準偏差値 S.D.					1.6	565	615	189	0.05	

注) : MOE1 : ひき板1のヤング係数

MOE2 : ひき板2のヤング係数

Ecal : ひき板のヤング係数から算出した積層柱全体のヤング係数

座屈荷重1 : 実験値P- δ 曲線からSouthwellの実験式 $Pcr1 \cdot \delta / P - \delta = e \pi^2 / 8$ により算出

座屈荷重2 : $Pcr2 = \pi^2 Ecal \cdot I / L^2$ から算出

計算偏心量e : 上記Southwellの実験式から算出

座屈長L = 286cm

Notes : MOE1:MOE(Modulus of elasticity) of lamina 1

MOE2:MOE(Modulus of elasticity) of lamina 2

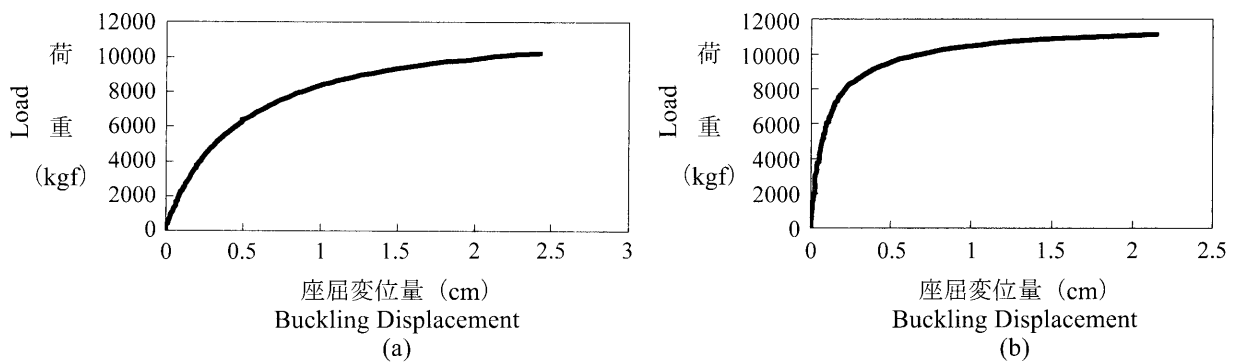
Ecal:MOE of laminated column calculated from MOE of laminae

Buckling load 1: Calculated value from Southwell's formula $Pcr1 \cdot \delta / P - \delta = e \pi^2 / 8$

Buckling load 2: Calculated value from the formula $Pcr2 = \pi^2 Ecal \cdot I / L^2$

Calculated eccentricity e: Calculated value from Southwell's formula

Buckling length L=286cm



第1図 座屈曲線
Fig. 1. Load vs. Buckling displacement curve.

強度試験後、健全部より試験片を木取り、全乾法によって含水率を測定した。

3. 試験結果および考察

3.1. 積層柱の強度試験結果

積層柱の座屈試験結果を第3表に示す。

第4表 積層柱の曲げ試験結果
Table 4. Bending test results of laminated columns.

試験体 条件 Elemets of test specimen		曲げ強さ MOR (kgf/cm ²)	実測 ヤング係数 Measurement MOE (tf/cm ²)	計算 ヤング係数 Calculated MOE (tf/cm ²)	実測ヤング 計算ヤング Ratio of measurement to calculated MOE	含水率 Moisture content (%)
たて継ぎなし 2層 No joint 2 layers	Max. Ave. Min. S.D.	590 473 382 66.0	113 104 93 6.2	113 105 97 4.8	1.06 0.98 0.92 0.04	11.0 10.1 9.4 0.5
たて継ぎあり 2層 Jointed 2 layers	Max. Ave. Min. S.D.	605 434 351 72.2	111 102 90 6.1	110 102 90 7.8	1.17 1.00 0.91 0.07	11.7 10.4 10.0 0.5
たて継ぎなし 3層 No joint 3 layers	Max. Ave. Min. S.D.	601 486 424 56.1	115 101 80 11.5	117 100 76 12.9	1.06 1.02 0.98 0.03	9.8 9.4 9.0 0.3
全層たて継ぎ あり3層 All jointed 3 layers	Max. Ave. Min. S.D.	545 384 276 68.9	108 96 78 9.1	109 99 86 9.2	1.04 0.97 0.87 0.05	10.0 9.6 9.2 0.2
内層たて継ぎ あり3層 Inner jointed 3 layers	Max. Ave. Min. S.D.	624 446 267 107.8	122 106 88 13.1	129 105 86 13.8	1.08 1.01 0.98 0.03	10.8 9.6 9.0 0.5

2層たて継ぎなし積層柱で、ヤング係数値が大幅に異なるものを組合せたA試験体の座屈試験における座屈曲線は、負荷初期の段階から荷重の増大に応じて変位が徐々に増大し、最終段階では変位軸(X軸)に平行な漸近線に近づく状態(第1図(a)参照)となった。その段階で負荷を中止し終了荷重とした。

たて継ぎを有する2層積層柱Cの座屈試験では、上記の座屈曲線と同様な傾向を示したものと、負荷初期の段階では変位が小さく、座屈曲線が荷重軸(Y軸)にそって推移し、一定段階から急激に変位が増大するもの(第1図(b)参照)とに分かれた。

2層たて継ぎなし積層柱の座屈試験の結果、構成ひき板のヤング係数に大きい差がある場合、座屈がヤング係数の大きいひき板の方向に凸となる規則性が認められた。しかし、たて継ぎを有する場合には、5体中2体で上記と逆の結果が現われた。この理由としてはヤング係数が比較的近似していたこと、たて継ぎの影響が考えられるが定かではない。

座屈荷重の計算値Pcr1とPcr2の比は0.88~1.13、平均0.95ではほぼ一致しているといえる。積層材の断

面寸法、曲げヤング係数がわかればPcr2の計算式によって座屈荷重の推定は可能である。実測座屈荷重としては10tf以上が得られた。

積層柱の曲げ試験結果を第4表に示す。

曲げ試験結果を見ると、たて継ぎあり3層積層材で曲げ強さが若干小さなものも認められるが、全体としてはたて継ぎによる大きな影響は認められない。曲げ強さの数値としては建築基準法施行令に示されたトドマツの材料強度225kgf/cm²を上回っている。また、実測ヤング係数と計算曲げヤング係数の比をみると、ほぼ1に近く、ひき板のヤング係数から積層材全体のヤング係数を算定することが可能である。

3.2. 積層梁の曲げ強度試験結果

積層梁の曲げ強度試験結果を第5表に示す。

内層に格外材を用いた場合に若干強度値が低下する傾向が見られるものの、構造用集成材JASにおける最外層用ひき板の等級に基づく性能値をすべてクリアした。破壊はほとんど引張り側最外層ひき板の節が原因となっている。構造用集成材JASの中断面集成材に位置付けられる住宅用梁として利用する場

第5表 積層梁の曲げ強度試験結果
Table 5. Bending test results of laminated beams.

材せい Height of beam (cm)	試験体記号 Symbol of test specimen	最外層 ひき板等級 Grade of outer layer	内層 ひき板等級 Grade of inner layer	曲げ強さ MOR (kgf/cm ²)	実測 ヤング係数 Measurement MOE (tf/cm ²)	計算 ヤング係数 Calculated MOE (tf/cm ²)	実測ヤング 計算ヤング Ratio of measurement to calculated MOE	含水率 Moisture content (%)
21	H1	L125 ①	L90 ⑤	478	112	115	0.97	8.4
	H2	L125 ①	L90 ③	568	108	115	0.94	8.5
	H3	L110 ①	L80 ⑤	387	98	102	0.96	8.4
	H4	L110 ①	L80 ④	388	98	102	0.96	8.3
	H5	L100 ①	L70 ③	442	94	95	0.99	8.4
24	I1	L125 ①	L90 ⑤	466	105	113	0.93	8.4
	I2	L125 ①	L90 ③	508	103	113	0.91	8.4
	I3	L110 ①	L80 ⑤	414	96	100	0.96	8.3
	I4	L110 ①	L80 ③	477	96	100	0.96	8.4
	I5	L100 ①	L90 ③	398	95	96	0.99	8.5
27	J1	L125 ①	L90 ⑤	590	108	116	0.93	8.3
	J2	L125 ①	L90 ③	531	107	116	0.92	8.6
	J3	L110 ①	L70 ⑤	384	99	104	0.95	8.3
	J4	L110 ①	L80 ②	430	98	100	0.98	8.6
	J5	L100 ①	L90 ③	401	91	95	0.96	8.5
30	K1	L125 ①	L90 ⑤	398	106	115	0.92	8.4
	K2	L125 ①	L90 ③	376	109	115	0.95	8.3
	K3	L110 ①	L80 ⑤	333	100	102	0.98	8.3
	K4	L110 ①	L80 ②	372	98	102	0.96	8.3
	K5	L100 ①	L90 ④	373	91	95	0.96	8.3

注) : ① : 材縁部の節径比 17% 以下, ② : 材縁部の節径比 25% 以下, ③ : 材縁部の節径比 33% 以下

④ : 材縁部の節径比 50% 以下, ⑤ : 材縁部の節径比が 50% を超えるもの

Notes : ①:Edge knot ratio 17% below; ②:Edge knot ratio 25% below; ③:Edge knot ratio 33% below

④:Edge knot ratio 50% below; ⑤:Edge knot ratio 50% exceed

合, 最外層用ひき板の欠点, 特に節を十分考慮する必要がある。ただし, 内層用ひき板については, 構造用集成材 JAS に規定されたものより低質なものでも使用できる可能性はあると考えられる。

4. おわりに

トドマツ中径材から採材したひき板を用いて2~3層積層柱, および7~10層積層梁を製造し, 強度試験を行った。結果を要約すると以下の通りである。

- ① 2層積層柱で, 個々のひき板のヤング係数に大きな差がある場合には, 座屈がヤング係数の大きい側に凸になる傾向が認められた。
- ② 積層柱 (10.5cm 角) の座屈荷重としては 10tf 以上の値が得られた。在来構法用柱材として使用することが可能である。
- ③ 2層, 3層積層柱 (10.5cm 角) 曲げ強度試験結果では, たて継ぎの影響は明確に表われなかつ

た。また, 曲げ強さは建築基準法施行令に示されたトドマツの材料強度 225kgf/cm² を上回っていた。

- ④ 厚さ 30mm のひき板を 7~10 層積層した梁の曲げ強度試験結果から, 破壊には引張り側最外層ひき板の等級が大きく影響することが確認された。
- ⑤ 在来構法用梁材として利用する場合には, 積層材の内層用ひき板は構造用集成材 JAS に規定されたものより低質なものでも使用できる可能性がある。

なお, 今後, これら積層材のコスト試算を行う予定である。

— 性能部 主任研究員 —

— *1 : 性能部 材料性能科 —

(原稿受理 : 98.2.6)