

カラマツ間伐集成材の強度性能向上試験

倉田久敬 工藤修
長原芳男 今野浩安*

1. はじめに

著者らはカラマツ間伐材の用途開発研究の一環として、4本の小角材を田の字型に構成した集成材の試作について検討し、製造方法に関しては製造工程の設定まで終了した¹⁾²⁾³⁾⁴⁾。また、これと平行して集成材の性能についても検討し、造作用集成材としての性能は「集成材の日本農林規格」(以下では、JASと略称する)に合格することを確認した⁵⁾⁶⁾。しかし、本集成材の形状は柱状であり、できるならば構造部材としての利用を目的としたいが、構造用集成材を目標とするならば強度性能に問題があることがわかった。

第1表は既に報告した著者らの試験結果⁶⁾をまとめたものである。供試集成材は無節のエゾマツ化粧単板を四周に張ったもので、単板の厚さは1.5mm、化粧

樹A又はBに合格しているものの数を第1表に示した。それとみると、曲げ強さは化粧単板の補強効果によるためかほぼ針葉樹Bの規格値を越えているが、曲げヤング係数はほとんどのものが不合格となっている。

これは原料であるカラマツ間伐材の強度性能、特にヤング係数が低いことに原因している。この低い強度性能を向上させるには、補強薄板を張るのが良いと考えられる。今回は、特にヤング係数の向上を主目的として試験を行った。曲げ強さは、わずか1.5mm程度の厚さの単板を張るだけでも針葉樹Bの規格値を越えている。したがって、曲げヤング係数を引き上げるのに必要なだけの厚さの補強材を張ると規格値を越えることは可能と予想される。

集成材の強度性能としては、JASの規格値を越えていれば十分と一応考えられる。しかし、本集成材はラミナ構成の点でJASに規定している構造用集成材に合致していない。日本建築学会で編集発刊している木構造設計規準(1973年改訂版)には集成材の許容応力度が決められているが、補強薄板を張った本集成材の強度性能 - 特にJASに規格値が定められていない圧縮強さ - が建築学会の規準値に達しているかどうかの検討も同時に行った。

なお、本報告中の曲げ性能向上に関する部分は、日本木材学会北海道支部第6回研究発表会(1974年11月)において発表したもので、同講演集第6号⁷⁾での報告と重複している点が多いことをお断りしておく。

2. 材料及び方法

4本合わせ集成材の芯材、補強材の断面寸法を第1図のように表現すると、それぞれの断面2次モーメントは、

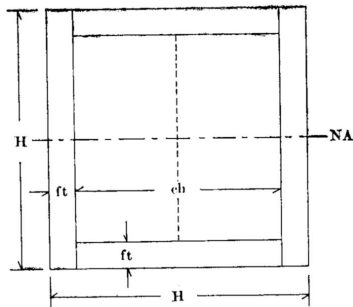
第1表 カラマツ間伐集成材の曲げ強さ

* 径級 (cm)	曲げヤング係数 E (t/cm ²)	曲げ強さ σ (kg/cm ²)	供試材数	合格数**			
				E		σ	
				A	B	A	B
7	76.6~91.9	433.1~552.1	6	0	5	5	1
8	68.2~90.6	396.9~526.9	6	0	1	4	2
9	71.2~79.2	457.0~525.9	6	0	0	6	0
10	70.5~80.1	395.5~532.4	6	0	1	4	2
11	63.4~69.9	429.6~519.2	3	0	0	1	2

*供試間伐材の径級

** JAS規格値、針葉樹A (E = 100t / cm², σ = 450 kg / cm²) 針葉樹B (E = 80t / cm², σ = 350kg / cm²) を越えた供試材の数

単板を含めた集成材の断面寸法は100×100mmである。JASにおいては針葉樹を樹種によって2群にわけ、それぞれに曲げヤング係数と曲げ強さ(又は比例応力度)の規格値を示している。すなわち、針葉樹A(カラマツが含まれる)では100t / cm², 450kg / cm², 針葉樹B(エゾマツ, トドマツが含まれる)では80t / cm², 350kg / cm²である。試験結果について、針葉



第1図 集成材の断面

$$I = \frac{H^4}{12} \dots\dots\dots (1)$$

$$cI = \frac{ch^4}{12} \dots\dots\dots (2)$$

$$fI = \frac{H^4 - ch^4}{12} \dots\dots\dots (3)$$

I, cI, fI : 集成材, 芯材, 補強材の断面2次モーメント
 H, ch : 集成材, 芯材の断面寸法
 で表される。芯材及び補強材のヤング係数をそれぞれ
 cE, fE とし, よく知られている曲げ剛性に関する式

$$EI = cEcl + fEfl \dots\dots\dots (4)$$

E, cE, fE : 集成材, 芯材, 補強材のヤング係数
 を用いると, 補強した集成材のヤング係数は

$$E = \frac{(H^4 - ch^4)fE + ch^4cE}{H^4} \dots\dots\dots (5)$$

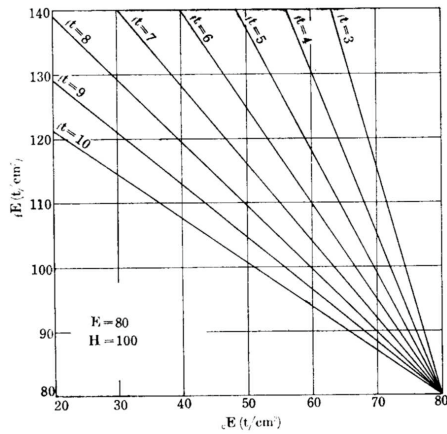
で表される。

集成材の寸法と目標とするヤング係数が与えられる
 とき, 上式は補強材の厚さ ft をパラメータとして,
 cE, fE の関係を示す共点図表に表すと便利である。
 第2図は, $H = 100\text{mm}$, $E = 80\text{t/cm}^2$ とした場合の共
 点図表である。

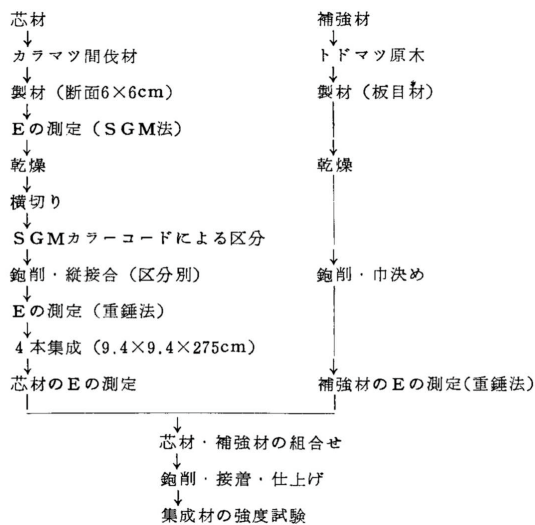
今回は, JASの針葉樹Bの規格値を越えることを
 目標にし, 断面は一般的なものをとりあげること
 として第2図と同じ条件について検討した。

cE は 40t/cm^2 から 20t/cm^2 おきに区切って3段階に
 区分した。また, fE は 90t/cm^2 から 10t/cm^2 おきに区
 切った。Eの計算に用いる cE, fE の値としては各階
 級の下側の区切値を用いた。

供試集成材の製作過程を第3図に示す。



第2図 cE と fE の関係



第3図 供試集成材の製作過程

芯材は乾燥後, 狂い除去等のためにいったん短かく
 切断し, 再び縦接合して所定長さとする。この縦接合
 時にヤング係数の同階級のもの同士を組合せるよう
 にするため, 乾燥前の生材時にストレスグレーディ
 ングマシン⁸⁾によってヤング係数を測定した。

乾燥後のヤング係数を知るためと, ストレスグ
 レーディングマシンによる測定はかなり粗らいため比較
 的正確な値を求めるため, 縦接合された小角材状のメン
 バーとなった時点と, それらを4本集成して芯材とし
 た時点で, 中央集中荷重によってヤング係数を測定し
 た。この両時点での値には当然ながらほとんど差はな

く、他の階級に移動した材料はみられなかった。集成材のヤング係数の計算には、この芯材になった時点での測定値を用いた。

補強材にはトドマツ材を用いた。品質のよいものを特にえらぶというようなことはせず、「製材の日本農林規格」で品等を格付すると2等のものもかなりの量（約25%）含まれている。常法によって乾燥、切削等を行ったのちに重錘法によって中央集中荷重でヤング係数を測定した。

芯材と補強材の調整が終わったところで、集成材のヤング係数が80t/cm²になるように、両者のヤング係数の組合せを考慮して集成した。ついで集成材の曲げ強度試験及び圧縮強度試験を行った。

集成材の曲げ試験は、スパン200cmの中央集中荷重によって行い、曲げヤング係数と曲げ強さを求めた。曲げ試験終了後、破壊されていない部分から長さ40cmの試験片を採取して圧縮試験を行った。各グループから2木の集成材を無作為に抽出して、各1個の試験片について圧縮ヤング係数を求めた。また、採取した試験片の全部について圧縮強さを求めた。

3. 結果及び考察

第2表に、集成材の曲げ試験の結果を示した。表中のJAS合格の欄は針葉樹Bの規格値を越えた供試材の数を示したものである。第1グループはcEが80t/cm²に達しているもので、このグループには補強材を張らずに強度試験を行った。第2～4グループはcEが

60t/cm²のもので、4, 6, 8mmの3種類の厚さの補強材を張った。fEはftにみあった値、すなわち130, 110, 100t/cm²である。第5グループはcEが40t/cm²のもので、ftは8mm, fEは120t/cm²の補強材を張った。

第1グループの中で曲げ試験の結果得られたEbが80t/cm²に達していないものが1本あった。供試材製作過程中に測定したcEが80t/cm²を越えているはずなのに、Ebが80t/cm²未満であることは奇異に感じられる。この供試材は引張側にあったフィンガージョイントが引抜けた状態で破壊していて、bも324kg/cm²と低い値だった。たぶん、cEを測定するときこのフィンガージョイントが引張側に位置していなかったのではないかと推測され、このことがcEが80t/cm²を越えた理由と思われる。bではこの他にも規格値に達していないものがあった。いずれにしても補強材を張らない状態では、たとえcEが80t/cm²を越えていても、フィンガージョイントを含んでいるためにヤング係数、曲げ強さともに不安がある。

第2～5グループでは、わずかに2本をのぞくと、いずれもEblは80t/cm²を越えている。80t/cm²未満であった2本についても、わずかに1～2t/cm²低かったにすぎない。Ebが計算上得られる下限値を下回った理由は、fEの測定精度が悪いためで、これは重錘法で測定したことや、スパンに比較して材せいが小さいことによると思われる。また、bについては、3本を除くといずれもJAS針葉樹Bの規格値を越えており、そのうちの6割強は針葉樹Aの規格値を越えてい

る。合格しなかった3本の供試材は、いずれも引張側の補強材の節で破壊している。このことは、あまり節の多い材を補

第2表 曲 げ 試 験 の 結 果

グループ	cE (t/cm ²)	fE	ch (mm)	ft	Eb (t/cm ²)		σ _b (kg/cm ²)		供試材数	* 合格数	
					μE	SE	μb	Sb		E	σ
1	80	—	94	—	81	3.8	360	33.2	4	3	2
2	60	130	92	4	84	2.5	467	45.8	5	5	5
3	60	110	88	6	82	3.3	432	98.3	5	4	4
4	60	100	84	8	82	2.1	432	80.7	5	5	4
5	40	120	84	8	82	1.9	457	81.7	5	4	4
全体					82	2.7	432	76.0	24		

*JAS規格値, 針葉樹Bを越えた供試材の数

強材として用いると、そこが弱点となって曲げ強さが低下することを示している。少なくとも、15cm区間の集中節径比 15は30%未満であることが必要と思われる。

第3表に圧縮試験の結果を示した。圧縮ヤング係数と曲げヤング係数の値はほぼ類似した値を示している。圧縮強さの標準偏差は供試全体で25.8kg/cm²と曲げ強さに比較してかなり小さい値であった。これは補強材の欠点の少ない部分から圧縮試験片を採取したためと思われる。

第3表 圧縮試験の結果

グループ	E _c (t/cm ²)	σ _c (kg/cm ²)		供試材数
		μ _c	S _c	
1	88	384	18.9	8
2	79	371	20.6	10
3	85	352	21.4	10
4	86	346	24.0	10
5	76	346	24.8	10
全体	83	358	25.8	48

杉山⁹⁾は市販の集成材の実大寸法での強度試験の結果にもとずき、許容応力度とヤング係数の提案を試みている。その考え方の主要点を示すと次のとおりである。

ロットから数個の供試材を抽出して強度試験を行い、強度及びヤング係数の平均μと標準偏差sを求める。ロットの下限品質として、μの3/4又は危険率(片側)1%の下限値のどちらか小さい方を採用する。短期許容応力度はこれに比例限度係数2/3を乗じて求め、短期応力に対するヤング係数は下限品質そのものをとる。また、長期許容応力度及び長期応力に対するヤング係数は、短期のそれぞれの値に荷重時間の影響係数として1/2を乗じた値とする。一般の製材に対する許容応力度の誘導では欠点係数を乗じている。しかし、ここで用いた集成材は商業ベースで製造されたものであるため、試験によって得られた強度値にはすでに材質、加工両面での欠点係数と呼ぶべき性格のものが入っているため、欠点係数を特に考慮することはし

ない。

以上のことを式に表すと、許容応力度は

$$sf_{.1} = (\mu_{.1} - 2.33S_{.1}) \times \frac{2}{3} \dots\dots\dots (6)$$

又は

$$sf_{.2} = \mu_{.2} \times \frac{3}{4} \times \frac{2}{3} \dots\dots\dots (6')$$

sf : 短期許容応力度

μ : 強度の平均

S : 強度の標準偏差

のいずれか小さい方を採り、ヤング係数は

$$sE = \mu E - 2.33SE \dots\dots\dots (7)$$

sE : 短期応力に対するヤング係数

μE : ヤング係数の平均

SE : " 標準偏差

となる。

(6), (6'), (7) 式をμについて解くと

$$\mu_{.1} = sf_{.1} + \frac{3}{2} + 2.33S_{.1} \dots\dots\dots (8)$$

$$\mu_{.2} = sf_{.2} \times \frac{3}{2} \times \frac{4}{3} \dots\dots\dots (8')$$

$$\mu E = sE + 2.33SE \dots\dots\dots (9)$$

となる。あるロットから抽出された供試材について行った強度試験でのS, SEを上式に代入し、またsf_{.1}, sEに木構造設計基準¹⁰⁾に示されている許容応力度、ヤング係数を代入してμ_{.1}, μ_{.2}及びμEを計算する。この値と強度試験の結果得られた強度値とヤング係数の平均値を比較して、平均値の方が大きければそのロットの製品は合格と考えられる。

針葉樹B類の短期許容応力度sfc = 180kg/cm², sfb = 210kg/cm², ヤング係数sE = 80t/cm²を(8), (8'), (9)式に代入して求めたμ_{c1}, μ_{c2}, μ_{b1}, μ_{b2}, μEの値を、グループ別及び全体について計算して第4表に示した。また、強さについてはμ_{.1}又はμ_{.2}の大きい方と試験結果の平均との比、ヤング係数についてはμEと試験結果の平均との比を第5表に示した。

全体として試験によって得られた平均値の方が小さく、補強が不十分であった事を示している。これは特に曲げ強さにおいて顕著である。この原因は、補強材のErの測定精度が低いことや補強材に節径比の大きいものがあつたために、試験で得られた標準偏差SE,

第4表 下限品質が木構造設計規準の許容値を越えるためのロットの平均値

グループ	圧縮強さ (kg/cm ²)		曲げ強さ (kg/cm ²)		ヤング係数 (t/cm ²)
	μ_{c1}	μ_{c2}	μ_{b1}	μ_{b2}	
1	314	360	392	420	89
2	318	〃	422	〃	86
3	320	〃	544	〃	88
4	326	〃	503	〃	85
5	328	〃	505	〃	84
全体	330	〃	492	〃	86

第5表 強度試験で得られた平均値と下限品質を保證するロット平均値の比

グループ	圧縮強さ	曲げ強さ	ヤング係数
1	1.07	0.85	0.91
2	1.03	1.11	0.98
3	0.98	0.79	0.93
4	0.96	0.86	0.96
5	0.96	0.90	0.98
全体	0.99	0.88	0.95

第6表 E=90を目標とした時cEとfEの組合せ (t/cm²)

cE	fE	Ecal
80	100	91.8
60	110	89.5
40	130	93.1

注) H=100mm, ch=80mm, ft=10mm

異樹種又は異等級のラミナで構成した構造用集成材については、木構造設計規準に集成材の製造基準として条件が決められている¹¹⁾。これを今回の断面構成に適用してみると、

$$\frac{ch}{2} \leq \frac{H}{2} \times \frac{cf}{tf}$$

cf, ff: 芯材, 補強材の曲げ許容応力度となる。ここで問題となるのは cf として、木構造設計基準に与えられているカラマツに関する値

$$Lfb = 90 \text{ kg/cm}^2 \text{ (針葉樹類)}$$

をそのまま用いてもよいかとい点である。

著者らの用いたカラマツ間伐材の年輪幅は5~7mmの範囲にあった。山本はカラマツ間伐材を対象として年輪幅と強度の関係を求めている¹²⁾、これに5~7mmの年輪幅をあてはめると、無欠点材の強度の下限値は約420kg/cm²と推定される。木構造設計規準に従って、この値に2/3=0.29と=0.5を乗じ長期曲げ許容応力度を推定すると約60kg/cm²となる。著者らの用いた末口径7~10cm程度(長さ3.65m)のカラマツ間伐材からの製材について

$$Lfb = 60 \text{ kg/cm}^2$$

を採用するならば、上式を用いて

$$tf \geq 7.1 \text{ mm}$$

となって、第5表に設定した10mmはこの条件に合致している。

4. おわりに

カラマツ間伐材を用いた集成材にトドマツ補強材を張り、曲げヤング係数を向上させる試験を行った。得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 補強材を張った集成材の曲げヤング係数の計算値と実測値はよく一致する。
- (2) しかし、ロットの99%が木造設計基準にきめ

Sbが大きな値となった事にあると思われる。圧縮試験片の補強材の節径比は比較的小さかったが、これが圧縮強さのロットに関する合格の程度が、他の2者に比べて大きい事の原因と思われる。

さて、今回の補強は不十分であった。また、工場の生産現場でのcEの測定精度は、今回のそれに比較するとかなり低下することが予想される。補強材についても、前述の理由からfEの測定精度はあまり期待できない。したがって、ロットの99%がJAS針葉樹Bの規格値を越えるようにするには、補強の目標値を80t/cm²ではなく90t/cm²に設定するのが好ましいと考えられる。またそうすることによって、曲げ強さに関してもロット合格率が大きくなる。今回の実験ではftを変えてみたが、生産現場では一定にしておくのが望ましい。また、補強材にエゾマツやトドマツを用いるとすると、fEとしては100~130t/cm²のものが多く入手できると思われる。

そこで、芯材にはcEが40, 60, 80t/cm²の3段階のものを用い、ftは10mmとする。Eの目標値を90t/cm²に設定し、Hを100mmとした場合のfEの値を第6表に示した。

られている値を越えることを目標にするなら、今回の補強は不十分であった。

(3) 前項のようにロットの99%が規準値を越えるようにするには若干強めに補強する事が必要である。また、芯材及び補強材のヤング係数 cE 、 fE を工場の生産現場で測定する場合の不正確さを考えると、目標値 E は針葉樹Bの規格値より高い $190t/cm^2$ に設定する必要がある。

(4) 集成材の断面寸法 H を100mm、補強材の厚さ f を10mmとし、 E を $90t/cm^2$ に設定した場合の cE と fE の組合せを第6表に示した。

(5) E が $90t/cm^2$ になるように補強材を張ると、曲げ強さもロットの99%が規準値を越えると予想されるが、補強材の15cm区間集中節径比 15は30%以下のものを用いることが望ましい。

文 献

- 1) 倉田久敬ほか；日本木材学会北海道支部講演集第3号，21（1971）
- 2) 北海道立林産試験場：昭和45年度都道府県林業試験指導機関試験費補助事業試験研究報告書（林野庁研究普及課）
- 3) 北海道立林産試験場：昭和46年度都道府県林業試験指導機関試験費補助事業試験研究報告書（林野庁研究普及課）
- 4) 大山幸夫，倉田久敬ほか：本誌，昭和47年11月号，1
- 5) 倉田久敬ほか：本誌，昭和48年4月号，6
- 6) 倉田久敬ほか：本誌，昭和49年4月号，1
- 7) 倉田久敬ほか：日本木材学会北海道支部講演集第6号，28（1971）
- 8) 工藤修：本誌，昭和47年8月号，18
- 9) 杉山英男：大構造（建築構造学大系22），pp.236～238，章国社，（1971）
- 10) 日本建築学会：木構造設計規準・同解説，1973改訂，pp.285～288及びpp.332～340，丸善
- 11) 日本建築学会：木構造設計規準・同解説1973改訂，p.283及びpp.326～329，丸善
- 12) 山本宏：未発表（1974）

- 試験部 複合材試験課 -
- *宗谷支庁 林務課 -
(原稿受理 昭50.6.16)