－研究記録（Research Note）－

北海道産カラマツ平角材の曲げ強度性能

藤原　拓哉

Bending Strength Properties of Karamatsu (*Larix kaempferi*) Flat Square Timber Grown in Hokkaido

Takuya FUJIWARA

キーワード：カラマツ平角材，天然乾燥，曲げ強さ，ヤング係数

天然乾燥したカラマツ平角材の曲げ強度試験を行った。乾燥により著しい材面割れが発生したが，目視等級区分における曲げ強さは基準強度を上回った。機械等級区分でも曲げ強さは概ね基準強度を上回っており，十分な強度性能を有していることが確認できた。

1. はじめに

カラマツでは樹心に近づくにつれて，強度性能が著しく低下することが知られている[1)]。これは樹心近くの材が未成熟材であるなどで材質が劣ることによるものであるが，高樹齢化，大径化に伴い，新たに形成される成熟材が多くなり，未成熟材の割合は低下する。カラマツを大きな断面の梁として使った場合，未成熟材を曲げ応力の負担が小さい中央部に封じ込めることができるため，未成熟材の影響を低減できる。従って，平角材はカラマツに適した利用形態であると考えられる。なお，平角材等の無垢材では乾燥に伴う割れ（干割れ）が発生する可能性が高い。干割れの程度が強度に影響しないことは荒武[2)]以降，多数報告されているが，無垢材を選択するようなこだわりを持ったユーザーは現しでの使用を嗜好するため，割れは美観上，大きな問題となる。干割れの抑制には高温セット処理が有効であるが，熱劣化による強度低下の問題が生じるため，その折り合いをつけなければならない。

平成4年に公布された構造用製材の許容応力度はそれまでの無欠点小試験体の強度データからの誘導ではなく，実大材の強度試験結果をベースとしたものであるが，昭和63年作成の強度データリスト[3)]にあるカラマツ実大材のデータのうち，人工乾燥であることが確認できたものはなく，大部分を占める北海道産カラマツ正角材の強度データ[4-7)]はすべて天然乾燥である。従って，北海道産のカラマツ平角材についても天然乾燥した場合の強度を整理しておく必要があると考えられたため，天然乾燥に限定してカラマツ平角材の強度を確認した。

2. 実験方法

供試原木は美瑛町産のカラマツ材であり，最終製品の断面寸法として105×240mm，および105×210mmを設定した。供試原木の概要を**第1表**に示す。105×240は挽き立て寸法を129×260×4,000mmとして製材し，105×210は挽き立て寸法を131×232×3,600mmとして製材した。製材後，6月中旬から天然乾燥に供したが，11月中旬以降は気温も低く，乾燥の進行が期待できないため，5月中旬までソーラーハウス内で乾燥した。その意味では厳密には天然乾燥とは言えないが，11月中旬から5月中旬のソーラーハウス利用期間では熱劣化を生じている可能性は低いと考えられた。乾燥終了後，最終的な寸法に鉋削した後，節等の欠点を記録した。

第１表 供試原木の概要

最終製品	末口径 (cm)	材長 (m)	打撃音ヤング係数(kN/mm^2)
105×240	31.8～38.2	4.2	10.40
105×210	27.9～33.2	3.7	10.68

製材の日本農林規格[8)]の機械等級区分構造用製材に関して，曲げヤング係数を測定する曲げ試験の方法が示されており，フラットワイズ加力となっている。破壊試験はエッジワイズで行うため，これとは別に製材の日本農林規格に従った曲げ試験を行い，フラットワイズ加力による曲げヤング係数を測定した。試験には東京衡機製造所製木材実大強度試験機WU-1000（曲げ容量200kN）を使用し，加力条件はスパンを3,600mm（105×240），ないし3,150mm（105×210）とした3等分点4点曲げとした。スパンの木口の短辺に対する比が18以上であるため，算出した曲げヤング係数に0.967（105×240），ないし0.972（105×210）を乗じた値を曲げヤング係数とした。

破壊試験は東京衡機製造所製木材実大強度試験機WU-1000（曲げ容量200kN）を使用し，加力条件はスパンを3,600mm（105×240），ないし3,150mm（105×210）とした3等分点4点曲げとした。スパンの木口の長辺に対する比はどちらも15であるが，国内の標準的な強度試験法[9)]の許容範囲内である。破壊後，破壊箇所近傍から節を避けて厚さ約2cmの試験片を採取し，全乾法によって含水率を測定した。ヤング係数は含水率1%あたりの変化率を2%とするEN384の方法で含水率15%時の値に調整するとともに，次式の係数を乗じて標準加力条件の値に調整した。

$$k = \frac{1 + 2.4\dfrac{d^2}{3L^2 - 4a^2}\left(\dfrac{E}{G}\right)}{1 + 2.4\dfrac{d_0^2}{3L_0^2 - 4a_0^2}\left(\dfrac{E}{G}\right)}$$

ここで，E/G：真のヤング係数と剪断弾性係数の比（=15）

d，L，a：試験条件における梁せい，荷重スパン，荷重点－支点間距離，

d_o，L_o，d_o：標準条件における梁せい，荷重スパン（=18 d_o），荷重点－支点間距離（=6 d_o）。

曲げ強さは次式により標準加力条件の値に調整した。

$$f_m = \left[\frac{d(S + 0.2L)}{d_0(S_0 + 0.2L_0)}\right]^{0.2}$$

ここで，f_m：標準条件における曲げ強さ，

f_b：実験条件における曲げ強さ測定値，

d，S，L：試験条件における梁せい，荷重点間距離，荷重スパン，

d_0，S_0, L_0：標準条件における上記の値

3. 結果

3.1 破壊試験

破壊試験の結果を**第2表**に示す。乾燥後の含水率のバラツキは極めて小さく，76体中70体がJIS Z2101で標準状態としている(12±1.5)%の範囲にあった。近年では曲げ強さを含水率で個別に調整しない処理が趨勢であるが，今回のように良好な乾燥結果の下では含水率調整の必要性は小さい。天然乾燥で懸念される材面割れの発生は顕著であり（**第1図**），材面割れ以外から始まった破壊が進展する際に材面割れに繋がることは多かったが（**第2図**），材面割れから始まったせん断破壊が決定的となることは少なかった。さらにせん断破壊（**第3図**）を生じたときの曲げ強さは低いとは限らず，50N/mm²以上となるものもみられた（**第4図**）。このように材面割れは必ずしも強度低下の要因とはならなかった。

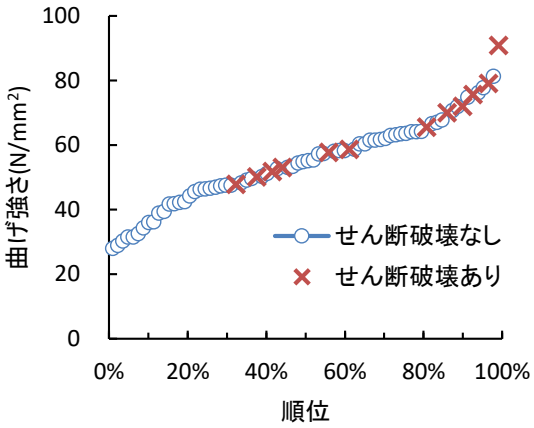
第 2 表 曲げ破壊試験の結果

断面	105×240		105×210		全体	
	Ave.	s.d.	Ave.	s.d.	Ave.	s.d.
含水率(%)	12.2	0.4	13.0	0.7	12.6	0.7
含水率 15%時密度(kg/m³)	503	38	539	33	522	39
フラットワイズ曲げヤング係数(kN/mm²)	10.20	1.25	9.87	1.22	-	-
エッジワイズ曲げヤング係数(kN/mm²)	10.74	1.25	9.97	1.22	-	-
曲げ強さ(N/mm²)	46.9	8.9	37.5	8.1	-	-
調整済みエッジワイズ曲げヤング係数(kN/mm²)	10.33	1.23	9.75	1.21	10.03	1.25
調整済み曲げ強さ(N/mm²)	63.0	12.0	47.7	10.3	54.9	1.35

第1図　材面割れの例

第2図　破壊の進展の例

第3図 せん断破壊の例



第4図　曲げ強さとせん断破壊

3.2　目視等級区分

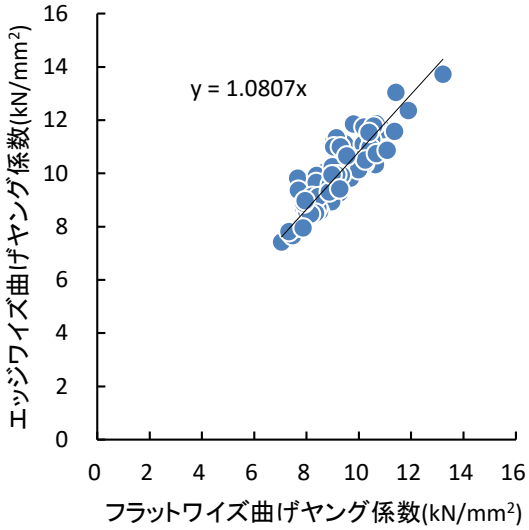
主に節と年輪幅を用いて，目視等級区分を行った。目視等級別強度を**第3表**に示す。2級以上が8割以上を占めたが，年輪に沿った割れが著しい2体を格外とした。曲げ強さの5%点は各等級とも基準曲げ強度を上回っていたことから，カラマツ平角材に基準曲げ強度を適用することに問題はない。出現数の多かった2級について下限値（信頼水準75%における95%下側許容限界）を算出した。曲げ強さの分布形を正規分布，対数正規分布，ワイブル分布とした場合の赤池情報量基準の値を求めたところ，正規分布での値が対数正規分布，ワイブル分布よりも小さかったため，正規分布を採用した。このときの2級材の下限値は34.2N/mm²となり，カラマツ甲種構造材2級の基準曲げ強度25.8N/mm²の1.26倍であった。

3.3　機械等級区分

製材の日本農林規格の機械等級区分構造用製材に対する曲げ試験方法において，フラットワイズで測定した曲げヤング係数に乗じる係数は，スパンの試験製材の木口の短辺に対する比が18であるときの値に調整するためものであると考えられる。

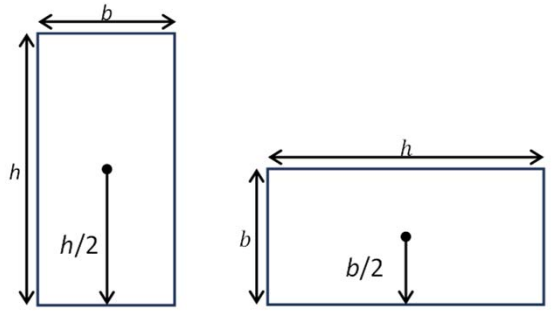
第 3 表　目視等級別強度

目視等級		1級	2級	3級
出 現 数（ 体 ）		6	59	10
曲げヤング係数	Ave.	11.14	10.03	9.52
(kN/mm²)	s.d.	1.62	1.16	1.21
曲げ強さ	Ave.	66.8	55.3	48.4
(N/mm²)	s.d.	11.4	12.8	12.8
	5%ile	48.0	34.2	27.4
	下限値		32.4	
	基準強度	29.4	25.8	23.4

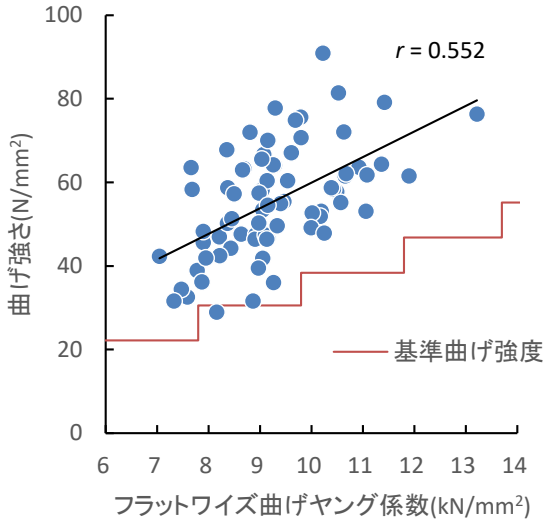


第5図　フラットワイズ曲げヤング係数と
エッジワイズ曲げヤング係数の関係

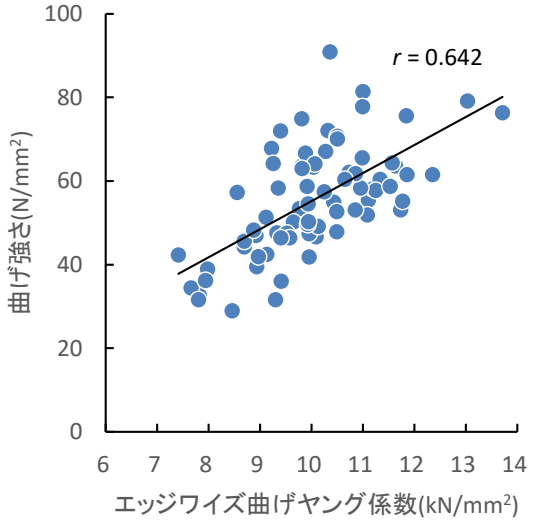
一方，破壊試験の際に得られたエッジワイズのヤング係数も同様の調整を行っており，比較が可能である。エッジワイズのヤング係数がフラットワイズのヤング係数よりも大きく，その比は平均で1.08であった（**第5図**）。これは樹心が断面中心にあるとき，エッジワイズの樹心—最外繊維間距離は最小で長辺/2（105，ないし120mm）であるが，フラットワイズでは最小で短辺/2（52.5mm）となるため，樹心に近づくにつれてヤング係数が低下する傾向がカラマツでは著しいことの影響であると推察される（**第6図**）。



第 6 図 加力方向と断面中心最外繊維間の最小距離



第7図 フラットワイズ曲げヤング係数と曲げ強さの関係



第8図 エッジワイズ曲げヤング係数と曲げ強さの関係

第 4 表 機械等級別曲げ強さ(N/mm²)

機械等級	E70	E90	E110	E130	E150
出現数	2	26	41	4	1
平均値	38.4	46.4	60.4	69.5	76.3
標準偏差	5.6	11.1	10.0	9.2	
5%ile	34.4	29.0	41.8	61.6	76.3
下限値		30.0	45.9		
基準強度	22.2	30.6	38.4	48.6	55.2

今回の結果でエッジワイズのヤング係数で格付けした場合，30体が1階級上，2体が2階級上に格付けされることとなった。機械等級区分を適用したときに最も出現が多かった等級はE110で半数以上を占め，次いでE90が多かった（**第4表**）。正規分布，対数正規分布，ワイブル分布の中からE90とE110の曲げ強さの分布として対数正規分布を赤池情報量基準の値により選択した。曲げ強さの5%ileはE90では基準強度を若干下回ったが，E110では基準強度以上であった。E90の下限値は30.0で基準曲げ強度30.6をわずかに下回ったが，E110の下限値は基準曲げ強度38.4 N/mm²の約1.2倍の45.9N/mm²であった。E90の1体のみが対応する基準曲げ強度を下回った（**第7図**）。なお，エッジワイズ曲げヤング係数と曲げ強さの相関係数は0.642でフラットワイズ曲げヤング係数と曲げ強さの相関係数0.552よりも大きかった（**第8図**）。

4. まとめ

カラマツ平角材を天然乾燥と見なしうる条件下で乾燥し，曲げ破壊試験を行ったところ，目視等級区分の2級材では基準強度の1.26倍の強度が得られ，強度的には十分な性能を有していることが確認できた。しかしながら，天然乾燥では材面の割れの発生が甚だしく，商品価値は低くなるであろう。割れの抑制には高温セット処理が効果的であるが，熱劣化による強度低下のリスクが高まるという問題がある。今回，カラマツ平角材は基準強度に対して余裕を持っていることが確認され，若干の強度低下は許容できることが明らかとなった。したがって，基準強度をキープし，かつ割れの少ないカラマツ平角材が生産可能であることが示された。

引用文献

1）重松頼生：カラマツ造林木の材質. とくに生長と関連して(I)-カラマツ造林木の材質形成-, 木材工業, 45(10), 445-451(1990).
2）荒武志朗：構造材の干割れと力学的性質. 木材工業, 51(11), 508-511(1996).
3）木材強度･木質構造研究全編：構造用木材-強度データの収集と分析, 日本木材学会木材強度･木質構造研究会シンポジウム資料 (1988).
4）小泉章夫, 上田恒司, 片寄疇：カラマツ間伐材の力学的性質. 北海道大學農學部 演習林研究報告, 44(1), 327-354(1987).
5）川口信隆, 高橋政治, 大久保勲：幾寅産カラマツ人工林材の材質. 林産試情報, 1(7), 1-12(1987).
6）高橋政治, 川口信隆, 大久保勲：浦幌産カラマツ人工林材の材質. 林産試月報, 402(7), 5-10(1985).
7）高橋政治, 川口信隆, 大久保勲：北見産カラマツ間伐材の材質. 林産試月報, 411(4), 12-17(1986).
8）JAS 1083：製材. 農林水産省 (2019).
9）(公財) 日本住宅・木材技術センタ編：構造用木材の強度試験マニュアル (2011).

ー性能部　構造・環境グループー

（原稿受理：2023.12.22）