

針葉樹中小径丸太の強度性能

山本 宏 高橋 政治
滝沢 忠昭 川口 信隆

1. はじめに

カラマツやトドマツ等針葉樹造林木の除間伐木の利用促進が大きな問題となっているが、大半が小中径材であるため製材品は節が多く低品等材である、ネジレや曲がり等の狂いや割れが出やすい、強度性能が低い等の短所が多く、これらの欠点の大半は技術的に改良可能ではあるが多くの費用がかかりすぎることが利用促進を妨げる原因の一つに挙げられる。

したがってその対策として、なるべく加工費をかけずに、しかも中小径材の利点を生かした利用法も検討しているが、その一つに製材せずハク皮して丸太のまま構造材として利用する方法も考えられている。

これと類似の方法は、北米やニュージーランド等で普及している“ポールコンストラクション”という構法で丸太を直接地面に埋め立て住宅の基礎と柱を構成する方法、北欧に多い丸太小屋形式の“校倉作り”の住宅構法や、いわゆるフィールドアスレチックと呼ばれる丸太材を利用した屋外運動施設等に数多く見られる。

しかし我が国では、丸太材の性能に関するデータが少なく判断材料に乏しいが、今回カラマツ、トドマツをはじめとしてエゾマツ、米マツ、シベリアカラマツの5樹種の中小径丸太の強度性能を調査する機会があり、丸太として利用すると強度性能等の面でかなり有利な点が認められたので、結果の一部を報告する。

2. 材料、試験方法

試験に用いた丸太はいずれも末口径が19~20cm、材長365cmのほぼ通直な皮付きの末乾燥材である。

第1表に各樹種別に丸太の末口径dt、元口径db(いずれも樹皮厚を含まず)の平均値と範囲、及び末口面における年輪数の平均値、供試本数を示す。

木口の年輪の状況からみて、カラマツ及びトドマツは、一般的な造林木と同様な材質を持っているものと判断されたが、各丸太とも材面に節が認められ、特にトドマツとエゾマツのすべての丸太は、素材の農林規格で2等に格付けされたが、他の樹種はすべて1等で

第1表 供試材の概要

樹種	末口径 dt (cm)	元口径 db (cm)	末口面の 年輪数	供試 本数
カラマツ	19.2~19.8~21.2	22.1~22.3~23.9	35	5
トドマツ	19.1~19.5~20.4	20.2~22.1~24.1	40	5
エゾマツ	19.5~19.6~19.7	26.6~26.8~26.9	125	2
米マツ	19.2~19.9~20.9	20.4~22.3~23.9	42	5
シベリア カラマツ	18.4~19.1~20.1	20.2~22.3~24.9	125	5

あった。

その他の欠点では外観上目立ったものは無かった。

これらの供試材を生材のまま、スパン320cm、中央集中荷重条件で曲げ破壊し、ヤング係数、曲げ比例限度、曲げ強さを求めた。

曲げ試験終了後、縦圧縮強度を求めため丸太の末口側の非破壊部より約70cm長の小丸太を採材したが、小丸太の両木口面の平行度を出すのが困難なため、やむを得ず小丸太を心持ちの14cm正角材に仕上げ、これを縦圧縮強度試験に供した。

また、元口側の非破壊部からは、樹心を含む柱目板をとり、気乾後外周部から樹心に向って順に、断面が2×2cm、長さ40cmの無欠点曲げ試験体を取り、JISに準拠した曲げ試験を行い、ヤング係数、曲げ比例限度、曲げ強さを求めた。

各強度の計算式は常法によったので省略するが、丸太の場合は供試体をテーパのつかない円柱でその直径は末口径と元口径の平均値に等しいと仮定して計算

第2表 丸太材の実大曲げ強度試験結果

樹種	丸太材 (生材)				心持ち正角材 (気乾材)		丸太材 / 心持ち正角材	
	含水率 (%)	ヤング係数 (ton/cm ²)	曲げ比例限度 (kg/cm ²)	曲げ強さ (kg/cm ²)	ヤング係数 (ton/cm ²)	曲げ強さ (kg/cm ²)	ヤング係数	曲げ強さ
カラマツ	34	64~84~96	316~387~464	503~593~636	80(62) ¹⁾	420(240) ¹⁾	1.05 (1.35)	1.41 (2.47)
トドマツ	41	53~68~80	225~262~293	362~397~435	86(67) ²⁾	336(192) ²⁾	0.79 (1.01)	1.18 (2.07)
エゾマツ	31	68~82~95	259~327~395	410~494~577	104(81) ³⁾	526(300) ³⁾	0.79 (1.01)	0.94 (1.65)
米マツ	40	95~110~142	402~459~502	335~647~740	—	—	—	—
シベリアカラマツ	42	118~124~131	445~492~543	342~695~749	120(94) ³⁾	728(415) ³⁾	1.00 (1.32)	0.9 (1.67)

注) () 内の数値は生材時の値, 1), 2), 3)は引用文献の番号を示す。

した。

3. 結果

丸太の曲げ強度試験結果を第2表に示す。いずれの樹種も高い強度性能を示しているが、中でもカラマツが米マツやシベリアカラマツ等の強度の高い樹種に匹敵する曲げ強度を示していることは、注目に値しよう。ところで一般に供試丸太程度の径級(18~20cm)であれば心持ちの10.5cm正角材を製材することが多い。

そこで丸太材の強度が心持ち正角材の強度に比べて、どの程度上回っているかを見るために、その年輪数や年輪幅、直径等により、供試丸太とほぼ同程度の材質を持つと推測される丸太から製材した心持ち10.5cm正角材の曲げ強度性能を¹⁾²⁾³⁾、第2表に示した。但し、これらの正角材の強度値はいずれも気乾材から得られたものであるため、Wood handbook⁴⁾記載の含水率変化に対する強度の補正係数を用いて求めた生材時の推定強度値を()の中に示した。

いずれの樹種でも、丸太の強靱性能は心持ち正角材のそれに比べるとかなり高く、生材であるにもかかわらず、曲げ強さでは気乾の心持ち正角材とほぼ同等又はやや上回る程度の値を示しており、生材時の値と比較すれば、ヤング係数では1.0~1.3倍、曲げ強さでは1.5~2.5倍も丸太材の方が心持ち正角材より高いことになる。この傾向は比較的樹齢も若く、しかも生長の良好なカラマツとトドマツで著しい。

一般に樹心の附近は年輪幅の広い未成熟材、外周部は年輪幅のせまい成熟材で構成されているので、材の強度性能は外周部が高く、内部が低くなり、初期生長

の良好な造林木ほどその傾向は著しい。

一方、曲げを受ける部材では、部材の外周部が荷重の大半を負担するが、丸太では外周部が成熟材で構成されるのに対し心持ち正角材では未成熟材が大半を占めていることから、丸太の強度が心持ち正角材の強度よりも高くなるのが理解できよう。したがって、カラマツのように初期生長が良好な造林木では丸太のまま利用する方が、強度的には合理的といえよう。

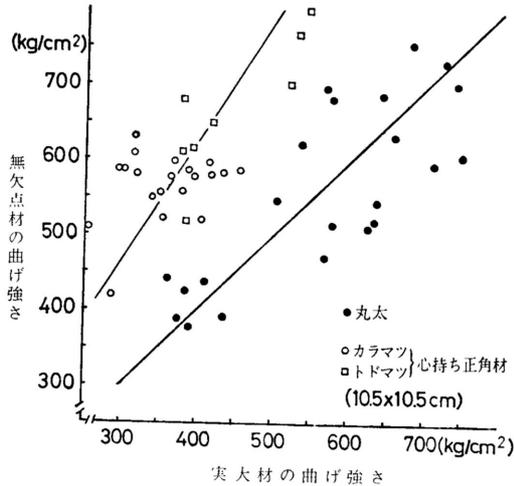
また、カラマツ造林木の気乾心持ち正角材の曲げ試験をするとよく見受けられることであるが、比例限を過ぎてから、あまり大きな変形もしないうちに突然破壊するという危険な現象は、丸太の場合は生材であることもあって認められず比例限後の変形もかなり大きいので、粘りのある安定性の高い構造材といえよう。

エゾマツとトドマツの場合、破壊は荷重点附近の圧縮側の節周辺にモメが入ることで始まり、最終的には引張り破壊したが、他の樹種では節が破壊の直接原因になったと思われる例はほとんど認められなかった。

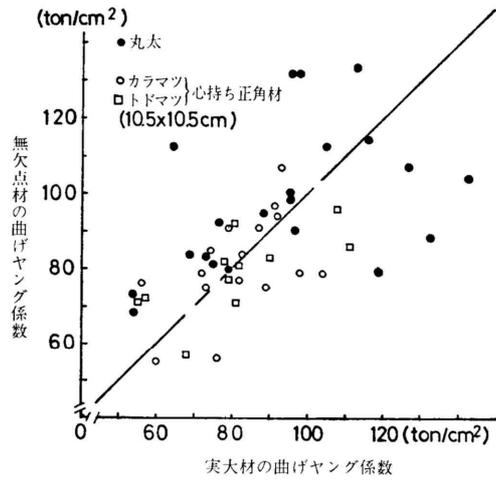
そこで節等の欠点丸太の曲げ強度性能に及ぼす影響を調べるため、丸太と無欠点材の曲げ強さの関係を第1図に示す。ただし無欠点材の強度は、各丸太の圧縮側と引張り側の最外層から木取った試験体の平均値で、生材時の値に換算したものである。

第1図に示すように、丸太と無欠点材の曲げ強さの比率(強度残存率)は、多少のバラツキはあるが、全樹種について平均してみると1.0となり、節が大きかったトドマツ、エゾマツでも0.98となり、丸太では欠点の曲げ強さに及ぼす影響は非常に小さいものと考えられる。

一方、比較のために示したカラマツとトドマツの心



第1図 実大材（丸太，正角材）と無欠点材の曲げ強さの関係



第2図 実大材（丸太，正角材）と無欠点材の曲げヤング係数の関係

持ち正角材の強度残存率は平均値で、 $1 / 1.57 = 0.64$ となり、心持ち正角材に製材することによって、曲げ強さに及ぼす欠点の影響がかなり大きくなることを示している。これは、カラマツやトドマツの造林木では、通常の植栽方法によれば、枝は一般に発生してからカラマツで7～8年、トドマツで10～12年位で枯れ上がる傾向があり⁵⁾落枝した枯枝が巻き込まれるため丸太の表面では内部よりも節が少ない、又は丸太の表面に節が残っていても丸太の断面積が心持ち正角材の断面積より大きいと節による断面欠損率は反対に小さくなる、丸太には目切れがない等の理由によるものと思われる。次に丸太と無欠点材の曲げヤング係数との関係を第2図に示す。

この場合もバラツキはあるが、ヤング係数の丸太と無欠点材の比率は、平均すると0.98となり、比較のために示したカラマツとトドマツの心持ち正角材の場合でも、平均値で1.08となる。

このように丸太及び心持ち正角材のどちらも、欠点を持つ実大材と無欠点材の曲げヤング係数はほとんど変わらないということになり、節等の欠点が曲げヤング係数に及ぼす影響はかなり小さいといえる。

次に丸太材の短柱圧縮試験結果を第3表に示す。

前述のように、試験体作製の都合上、丸太材を心持ちの14cm正角材に製材したため目切れが生じ、厳密に

第3表 短柱の圧縮強度試験結果

樹種	圧縮強さ (kg/cm ²)		14cm 正角材
	14cm 正角材 (生材)	10.5cm 正角材 (気乾材)	10.5cm 正角材
カラマツ	243～250～258	306 (210)	0.82 (1.19)
トドマツ	169～172～177	240 (165)	0.72 (1.04)
エゾマツ	200～208～215	—	—
米マツ	215～236～306	—	—
シベリアカラマツ	265～268～274	—	—

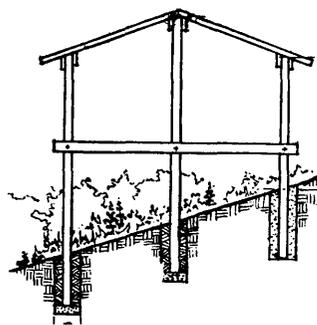
注) () 内の数値は生材時の値

は丸太の条件とは異なることがあるかも知れないが、目切れの角度は0.5～1%程度なので強度にはほとんど影響はなく、この値をもって丸太材の圧縮強度を推定してもさほど大きな誤りはないと思われる。

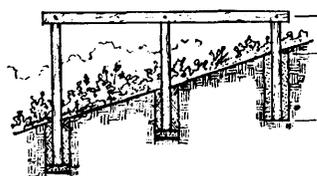
曲げの場合と同じく短柱の圧縮強度はトドマツとエゾマツがやや低いが、カラマツは米マツやシベリヤカラマツとほぼ同程度の値を示している。

また、心持ちの10.5cm正角材と比較すると、曲げの場合ほどの有利性は認められないが、10.5cm正角材よりも丸太の方が圧縮強度がやや高くなる傾向は認められる。

これまで説明してきたように、中小径の針葉樹材は製材より丸太のまま利用の方が強度的にはかなり有利であることが明らかになったが、現在では丸太の強



基礎と柱を兼ねる場合



基礎と床組を作る場合

第3図 ポールコンストラクションの例

ポールコンストラクションによる構造の例を第3図⁶⁾に示す。丸太の曲げ強度が高いことと、丸太をとりまく土の支持力を利用して、建物に水平方向の剛性を寄与しようとするもので、コンクリートや石による基礎工事の省略、斜面でも整地作業が不要等の利点により、安価で丈夫、しかも鉄やコンクリートと異なり工事が容易で日曜大工でも施工可能等のいくつかの長所があり、北米やニュージーランドでは住宅、セカンドハウス、農業用建物、倉庫等が建てられており、詳細な設計マニュアル⁶⁾⁷⁾が多数出版されている。

カラマツ材にもこの構法は有効と思われるが、我が国の建築法規とのかね合いもあり、幾つか検討すべき点も多い。例えば丸太の許容応力度の問題がある。木構造設計基準³⁾では丸太と製材を区別せず同じ許容応力度を与えている。しかも地中に埋めるため丸太は湿潤状態にあると考えると、許容応力度は乾燥材の70%に低減しなければならず、第4表に示した値となる。これらの許容応力度と丸太の強度の比率を第4表に示したが、許容応力度の誘導経過から考えてこの比率が、曲げと圧縮で1.5~2.0、ヤング係数では1.0~1.5程度の値を示せば、許容応力度やヤング係数はほぼ妥当であるということになる。

度的あるいは構造的な用途は極めて少なく、一部が坑木や杭、電柱等に使用されているにすぎない。

丸太の新しい構造的な用途としては、はじめにも述べたようにポールコンストラクションや校倉作りの構造へ利用することが考えられる。

第4表 現行許容応力度と丸太の強度の比較

樹種	許容応力度(短期・湿潤)			丸太の強度性能(平均値)		
	曲げ	圧縮	ヤング係数	許容応力度		
				(kg/cm ²)	(ton/cm ²)	ヤング係数
カラマツ	126	112	63	4.71	2.23	1.33
トドマツ	100	84	49	3.97	2.05	1.39
エゾマツ	100	84	49	4.94	2.48	1.67
米マツ	126	112	63	5.13	2.38	1.75
シベリアカラマツ	126	112	63	5.52	2.39	1.97

したがって本試験の結果から考えると、丸太の許容応力度、とくに曲げ許容応力度に現行の許容応力度をあてるのは丸太の曲げ強度を実際よりかなり低目に評価することになり、丸太利用の有利性が発揮できないことにもなる。

丸太の曲げ強度が製材に比べてかなり高いという今回の試験結果は特別な例ではなく、中小径丸太全般についても適応できると考えられるので、丸太の曲げに対する許容応力度は、現行の許容応力度より1.5~2.0倍程度高くすることが可能と思われる。

事実、アメリカやニュージーランドでは、丸太の曲げ許容応力度を、製材の許容応力度の50~55%増しにしている。

以上、カラマツ・トドマツ等の針葉樹中小径丸太の強度性能の有利な点について述べてきたが、中小径丸太の有効利用をすすめるために、今後の研究・開発を要する所が多い。

文献

- 1) 山本宏ほか：短伐期カラマツ造林木の強度性能，北林産試月報 No.263, 1985. 7
- 2) 山本宏ほか：トドマツ造林木の材質について，北林産試月報 No.272, 1976. 4
- 3) 小野寺重男ほか：現地適用試験結果報告書（カラマツ材質試験），林産試験場，1967. 3
- 4) Wood handbook: U.S. Dept. of Agr. U.S. Government Printing Office, 1955.
- 5) 小野寺重男ほか：新得産カラマツの材質と加工試験，林産試研報 No.64, 1976. 3
- 6) American Wood Preservers Institute. 「FHA Pole House Construction」, 1975
- 7) 「Pole Frame Housing and the Environment」 Note for a Seminar held at the Univ. of Canterbury, 1976.
- 8) 木構造設計規程：日本建築学会，1973

—木材部 材質科—

(原稿受理 昭和54年9月17日)