

## 現行等級区分法の改良による木材強度の予測精度の向上可能性

— 許容節径比に相当するパラメータの最適化 —

守口海\*・今井信・柴田直明・吉田孝久・山内仁人

実大材木材の強度はばらつきが大きく、その軽減によって県産材の利用促進が期待できる。そこで、現行JASに規定されている機械等級区分と目視等級区分を基に、推定方法を変更することで、木材強度の予測精度の向上が可能であるか検討した。カラマツの人工乾燥材40本を対象とし、その実大材曲げ破壊試験のデータおよびその材面の写真データを得た。次に、説明変数を曲げヤング係数および、目視等級区分を基にした節の評価値とした重回帰式を、強度評価モデルとした。そのうえで、材縁部と中央部、および単独節と集中節で異なる重み付けに相当する3つのパラメータについて、それぞれ値を変更しながら重回帰分析を行い、AICが最小となるものを探索した。その結果、曲げヤング係数のみを説明変数とする単回帰式と比較して節を取り入れたモデルのAICは低下した。なお、本研究は県単課題「各地域材の強度特性等の把握」における中課題として実施した。

キーワード：JAS 目視等級区分，実大材，曲げ強度，重回帰分析，AIC

### 1 緒言

木材は、農林産物のなかでは比較的粗放に生産されている。加えて、他の構造材料に比較すると、産出された後の加工が少ない。これは木材が省エネルギーな利用資源である一つの特長であるが、それと同時に、均一な品質が得にくい原因でもある。強度のばらつきが大きければ、構造材料としては非常に利用しにくくなる。安全のためには、設計に用いる時に仮定する、基準強度を低めに設定しなければならない。

これを克服するため、非破壊検査により木材の強度を予測する方法が考案された。その代表的なものに、ヤング係数と強度の相関が高いことを利用して、破壊に至らない荷重を加えることなどにより、ヤング係数を計測し、強度を予測する方法がある。この方法は現行JASの機械等級区分に応用され、ヤング係数に応じて基準強度が定められている。しかし、文献(木構造振興株式会社 2011)を見ると、同等級でも実際の強度には2倍以上の差があることも多く、依然として品質のばらつきが大きい。したがって、無垢の木材の利用を促進していくためには、強度の推定精度を向上させることが重要と考える。

ところで、実大柱材の曲げ破壊試験を行い、その試験後の木材を観察すると、節を主とした欠点から亀裂が発生しているように見えることが多い。

このように、目視によって欠点を測定し、強度を予測することは、前述のヤング係数による推定よりも古くから行われている。現行JASにも目視等級区分として、機械等級区分とは別個に規定されており、それぞれの等級に基準強度が定められている。しかし、目視等級区分は、曲げ強度(以下、MORとする)との関係が希薄であるとの報告(橋爪 1989)もある。

なお、JAS規格を適用しない無等級材には樹種ごとにただ一つの基準強度が定められているので、ある1本の木材には、合計3つの基準強度が定められ得ることになる。たとえば、ある甲種カラマツ構造材が、機械等級区分ではE110、目視等級区分では2級の性質であったとする。このとき仮定される基準強度は、国土交通省告示第1524号によれば、機械等級区分に応じて $38.4\text{N/m}^2$ 、目視等級区分に応じて $25.8\text{N/m}^2$ 、等級付けを行わない場合には、無等級材基準強度 $26.7\text{N/m}^2$ の三つがある。このように、現規格における木材の強度予測は、ヤング係数と節等の欠点を別個に扱っている。

このような現状において、筆者は次の2点を検討すべきと考える。

一つ目は、目視による評価方法の改良である。前述したように、目視等級区分はMORとの関係が希薄であるとする報告がある。節が強度に与える影響の研究例はいくつかある(畑山 1984, 飯島

1983,丸山ら 1984,武田 2000,Bano V. et. al 2010)が、これらは現行 JAS の評価モデルとは大きく異なる。現行 JAS の評価モデルは、これらの研究例と比較して力学的な意味づけが明確でないが、特に複雑な計算が必要なく、その場で評価可能であるという実務上の利点がある。したがって、評価モデルの基礎的なモデルは変更しないまま、導入されたパラメータの改善により、精度向上が可能であるのか検討すべきである。

二つ目は、ヤング係数と節を別個に扱うのではなく、組み合わせる方がよいと考える。その理由は、組み合わせる方が、MOR の推定精度が高められるためである。

これらの点を検討すれば、木材を構造用に用いやすくなり、多様な木材のカスケード利用が可能となり、県産材の利用が一層促進されるであろう。

そこで本研究では、長野県産カラマツを用いて、JAS の目視等級区分を基にした節評価モデルとヤング係数を組み合わせ、また一部のパラメータの変更によって、実大材木材の MOR の予測精度の向上を試みた。

なお、本研究は「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業：安全・安心な乾燥材生産技術の開発」(平成 21~23 年度)の試験体を用いて行った。本研究の結果は、上記事業で得られたデータに、別個に得たデータを加えて行ったものである。

## 2 材料および試験方法

### 2.1 供試体

形状は断面の一边が 120mm、長さ 2400mm のカラマツ心持ち正角材 40 本を用いた。人工乾燥スケジュールを表 2-1 に示す。乾燥および曲げ破壊試験の結果は、既に報告されており(柴田ら 2012)、本試験体は「推奨乾燥スケジュール」により乾燥が施されている。

表 2-1 試験体の人工乾燥スケジュール

ステージ	乾球温度(°C)	湿球温度(°C)	時間(h)
煮沸	95	95	10
高温セット	120	90	18
中温乾燥	90	60	168

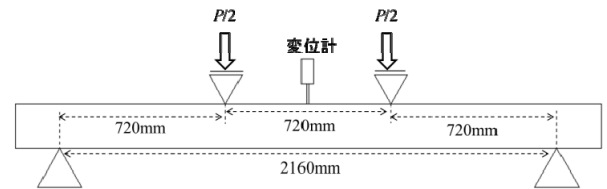


図 2-1 曲げ破壊試験の方法

### 2.2 強度試験の方法

実大材の曲げ破壊試験は、(財)日本住宅・木材技術センター(2011)によるマニュアルに準じて行った。(株)島津製作所強度試験機 UH-1000kN を使用し、加力速度は 10mm/min とした。図 2-1 のように、下部支点間距離 2160mm、上部加重点間距離 720mm の 3 等分点 4 点荷重の静的

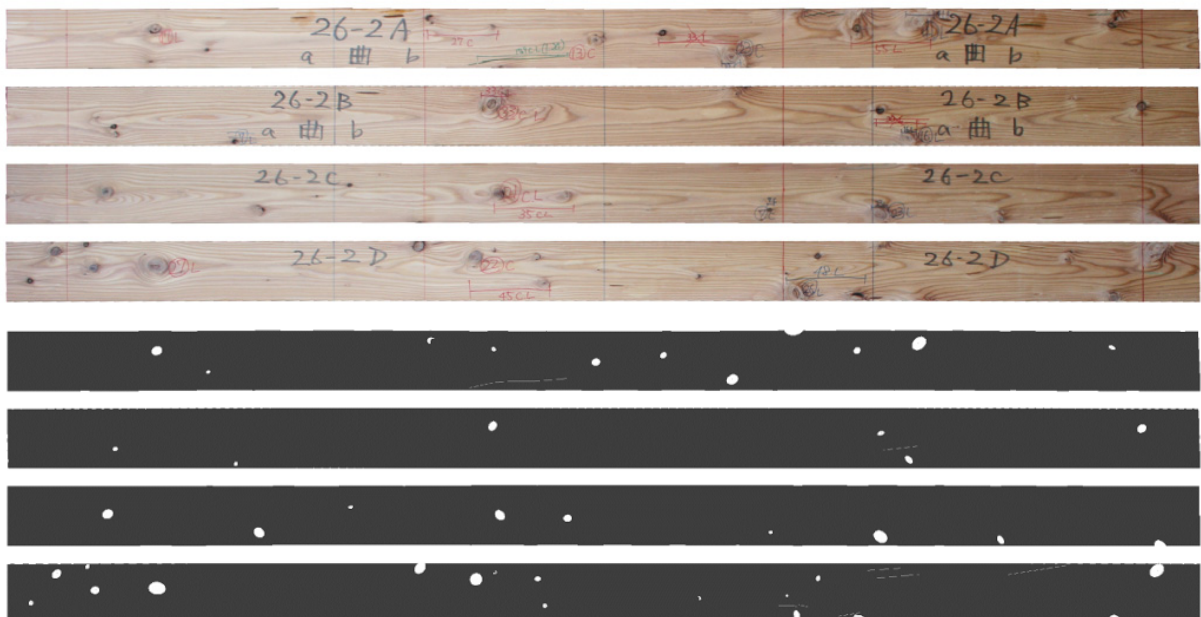


図 2-2 材面の測定写真(上)と節の手計測結果

曲げ方式で行った。比例域を破壊荷重の 10%~40% の区間とし、その間の荷重とたわみの関係から、(1) 式より MOR を、(2) 式よりせん断の影響を含む曲げヤング係数 (以下、MOE とする) を求めた。

$$MOR = 3aF_{ult} / (bd^2) \quad (1)$$

$$MOE = a(3L^2 - 4a^2)(F_2 - F_1) / \{4bd^3(w_2 - w_1)\} \quad (2)$$

ここで、MOR: 曲げ強度 (N/mm<sup>2</sup>)、MOE: せん断の影響を含む曲げヤング係数 (kN/mm<sup>2</sup>)、 $a$ : 支点から荷重点までの距離 (720mm)、 $F_{ult}$ : 最大荷重 (N)、 $b$ : 材幅 (120mm)、 $d$ : 材高 (120mm)、 $L$ : 支点間距離 (2160mm)、 $F_1$  および  $F_2$ :  $F_{ult}$  のそれぞれ 10%、40% の値 (N)、 $w_1$  および  $w_2$ :  $F_1$  および  $F_2$  を最初に記録した時の、試験体の変形量 (mm)。

### 2.3 節の測定方法

節は画像解析ソフト ImageJ を用いて、写真データ上で測定した。材面に対してなるべく正面から写真を撮ったうえで、既報 (守口ら 2011) に基づき作成したプラグインで幾何補正し、正確な正面からの画像に変換した。なお心の位置は写真上で判別しにくいいため、撮影前にマジックでマークした。なお材面の解像度は、各画像とも 120mm/180pixel 前後であり、1mm/pixel より十分高い解像度であった。この画像上で、節の外周および心の位置を手作業で記録し、諸元の座標を取得した。図 2-2 の上図はこれらの作業により作成された展開写真で、同下図は同じ試験体の計測結果を図示した例である。

## 3 分析方法

### 3.1 節の評価モデルの概要

今回の本研究の節の評価モデルは、JAS 目視等級区分を基礎として、分析に適するように若干変更を加えたものである。ここでは JAS 目視等級区分の概要と、その変更点について述べる。

#### 3.1.1 JAS 目視等級区分における節評価の概要

今回の節の評価では横使いを想定し、寸法に応じて JAS 甲種構造材 II の評価方法を基礎とした。その評価ルールを以下に説明する。

①. まず節径とは、一つの節の材幅方向の幅である。また径比とは、材幅に対する節径の比である。

集中節径とは、材長方向に 150mm の範囲にかかる、集計対象の節について、節径をすべて足しあ

わせた値である。この「150mm」は節の評価モデルにおけるパラメータの一つである。本論ではこれを  $p_1$  とする。以下、モデルのパラメータは  $p_i$  として名前をつける。

②. 節は材幅方向の心の位置により、材縁部の節と中央部の節に分けられ、その境界は、りょう線から材面の幅の 25% ( $p_2$ ) である。

③. 集計すべき指標は、中央部の節径、材縁部の節径、中央部の集中節径、材縁部の集中節径の 4 種類である (図 3-1)。以下、混乱を避けるためにそれぞれ、中央単節径、材縁単節径、中央集中節径、材縁集中節径と呼ぶ。中央集中節径は、中央部、材縁部いずれの節とも集計対象とするが、材縁集中節径は、材縁部の節のみ集計対象とする。

④. 材縁部の単節、集中節はそれぞれ、中央部の単節、集中節よりも強度への影響が大きいと考えられており、同等級内における許容大きさが小さい。同様に、同じ位置の単節は集中節よりも許容大きさが小さい。例えば JAS 目視等級分 1 級の場合、許容径比は、材縁単節径が 15% ( $p'_{u(1)}$ 、添え字括弧内は等級)、集中単節径が 30% ( $p'_{3(1)}$ )、材縁集中節径が 20% ( $p'_{4(1)}$ )、中央集中節径が 45% ( $p'_{5(1)}$ ) となっている。なお、JAS の目視等級区分では、等級ごとに許容大きさの比が異なっている (図 3-2)。具体的には、例えば 2 級では  $p'_{u(2)}=25%$ 、 $p'_{3(2)}=40%$  と規定されており、 $p'_{3(1)} / p'_{u(1)}$  と  $p'_{3(2)} / p'_{u(2)}$  は異なっている。

⑤. 上記は甲種 II の広い材面についてであるが、正角材の場合はすべての材面を上記のルールで計測する。

⑥. ④において計測した 4 種の指標のうち、最大の欠点要因によって等級が決定される。

他に、流れ節の評価方法、2 材面にかかる節の計測方法などの詳細な取り決めや、材面割れ、平均年輪幅等によっても評価されるが、今回の試験では特に関係がないため、説明は割愛する。

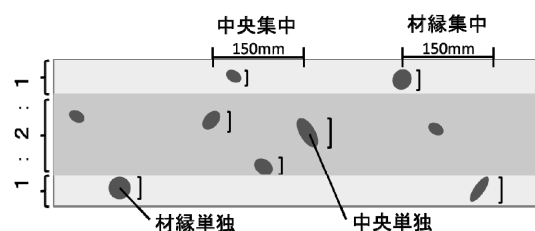


図 3-1 JAS 目視等級区分の節に関する指標

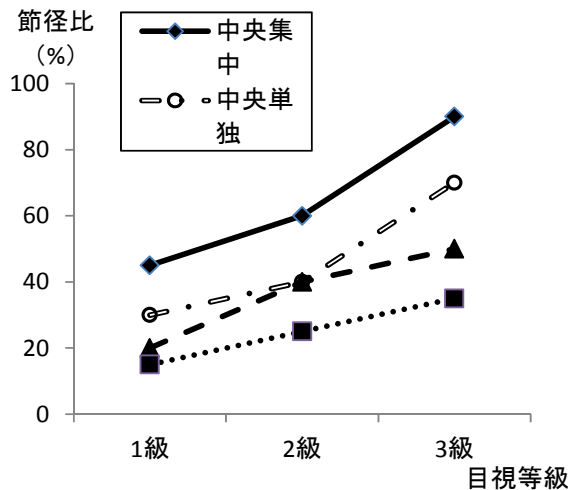


図 3-2 目視等級ごとの許容される節径比

### 3.1.2 本論における節の評価方法

本論では基本的に JAS 目視等級による評価方法を踏襲するが、次に記す 2 点は改変した。

①. JAS 目視等級におけるパラメータの数を数えると合計 14 個あり、非常に多い。特に、前項④において等級ごとに許容径比の比が異なることが、パラメータ数を大きく増加させている。それだけではなく、④における評価方法では連続値で与えられるモデルの評価値を直接利用することが難しくなり、等級のような離散的な区分に変換するなど複雑な処理を通す必要が出てくる。本論では簡単のため、また節による指標を連続値で与えるために、1～3 級の許容大きさを平均した上で、材縁単独節径との相対値をとり、全等級に共通なパラメータとする。すなわち

$$p_i = (p'_{u(1)} + p'_{u(2)} + p'_{u(3)}) / (p'_{i(1)} + p'_{i(2)} + p'_{i(3)}), \quad i=3,4,5 \quad (3)$$

この変更により、パラメータ数が 5 個に削減されるとともに、節の評価値と MOR の関係を直接観察できる。このとき、前項⑥のルールは次のように書ける。

$$K = \max(k_{es}, p_3k_{cs}, p_4k_{ea}, p_5k_{ca}) \quad (4)$$

ここで、K：節評価モデルの値、 $k_{es}$ 、 $k_{cs}$ 、 $k_{ea}$ 、 $k_{ca}$  はそれぞれ、すべての材面において最大の、材縁単独節径、中央単独節径、材縁集中節径、中央集中節径である。

②. 節以外に、平均年輪幅などが等級のパラメータとされているが、今回は無視した。

## 3.2 強度予測モデルおよび比較対象の回帰式

### 3.2.1 強度予測モデル式

本論では次の重回帰式を強度予測モデル式とする。なお、説明変数の影響度の比較のため、MOR および各説明変数は標準化されたデータとする。

$$MOR_i = \alpha \cdot MOE_i + \beta \cdot K_i + e_i \quad (5)$$

ここで、 $\alpha$ 、 $\beta$ ：回帰係数、 $K_i$ ：(4) 式による節評価値  $e_i$ ：誤差項。ただし、添え字  $i$  がつくものは試験体ごとに別の値を取り、ついていないものは試験体間で共通の値をとることを表す。また、データが標準化されているため、切片項はない。

また、回帰分析では通常、予測値から大きく外れるようなデータは、必要に応じて棄却していくが、モデルから大きく外れるデータがないということも予測モデルの重要であるため、行わない。

### 3.2.2 比較対象とする単回帰式

比較対象として、次の二つの単回帰式を設定する。

$$MOR_i = \gamma \cdot MOE_i + e'_i \quad (6)$$

$$MOR_i = \delta \cdot (MOE_i \cdot w_{ult}) + e''_i \quad (7)$$

ここで、 $w_{ult}$ ：最大荷重時変位、 $\gamma$ 、 $\delta$ ：回帰係数、 $e'_i$ 、 $e''_i$ ：誤差項。

(6) 式は JAS の機械等級区分に相当する。また (7) 式の推定精度は、以下に説明する理由で、一定の推定精度の限界を示す。

試験体の荷重－変位曲線を、図 3-3 のような弾完全塑性モデルに近似できるとする。MOR を算出する (1) 式は弾性変形域での破壊を前提しているので、同時に剛性が曲げヤング係数と比例することも前提している。したがって、試験体の寸法が共通のとき、破壊荷重と MOR も比例するので、破壊が弾性変形域で起こるという前提のもとで、MOE と  $w_{ult}$  を掛け合わせた値と MOR の相関係数は 1 となる。ただし、 $w_{ult}$  を知るためには破壊が必要なので、実用できず、あくまで評価の基準である。

なお、 $w_{ult}$  を導入せず、MOE のみを説明変数とするとき、MOR との相関係数が 1 となるのは、全ての試験体が弾性変形域の全く同じ変位で破壊するか、または、塑性変形に移行する変位が全て等しく、かつ塑性変形域で破壊するときである。

### 3.2.3 改良パラメータおよびその探索方法

前項において、節評価モデルが五つのパラメー

タによって決定することを示したが、すべてのパラメータについて扱うためには、計算量が非常に大きくなるため、探索方法を工夫する必要がある。しかし本研究では簡単のため、改良の候補とするパラメータを、 $p_3, p_4, p_5$  に絞ったうえで、全探索法を採用する。具体的には、探索の基準をAIC（赤池の情報量基準）とし、 $p_{3\sim5}$  を0～10の範囲で0.01刻みでそれぞれ変化させて、全ての場合について（4）式の評価値  $K$  を計算していき、AICが最小の $p_{3\sim5}$ の組み合わせを得る。なお、全パターン数は $1000^3=10$ 億通りである。

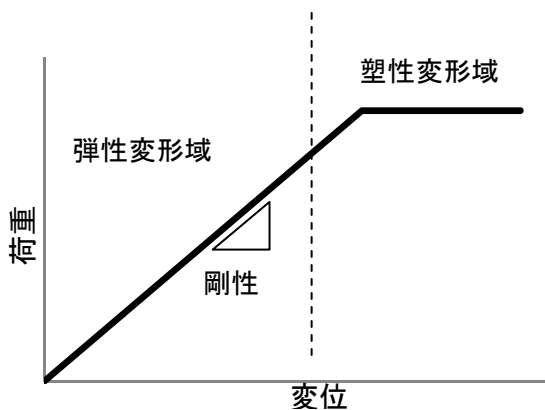


図 3-3 弾完全塑性モデルの荷重－変位曲線

### 3.2.4 精度向上効果の評価方法

回帰式の評価は、AIC に基づいて行う。重回帰モデルでは説明変数を追加するほど推定精度が高まるが、AIC は精度向上が説明変数の追加に見合った程度であるか評価する指標である。説明変数の追加に見合った精度が見られたとき、AIC は減少し、そうでないとき増加する。

また、実用上重要な、残差の標準偏差についても観察する。各説明変数の統計的な有効性は、回帰係数の  $t$  値より判断する。また重回帰式では回帰係数を比較し、それぞれの説明変数がどの程度曲げ強度に影響を与えているか観察する。

なお、上記の回帰式は、統計的に意味を持つためには誤差項が等分散で正規性を持つことなどが条件として要求されるが、本論では特に厳密に検証せず、予測値と実測値の散布図を観察するにとどめる。なお、予測値と実測値の散布図の対応例を人工データを使って表すと、単回帰の場合、図 3-4 および図 3-5 のようになる。すなわち、相関が弱いとき、予測値の横幅は相対的に狭く、相関が強いときは直線  $y=x$  の周りに集まる。

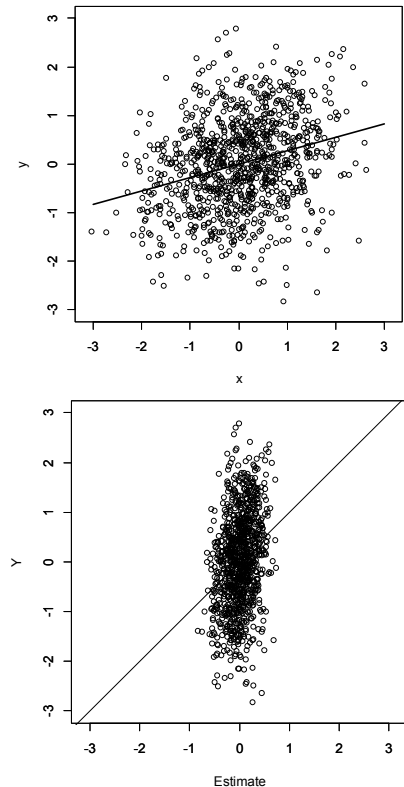


図 3-4 相関係数 0.3 の二次元正規分布の散布図と回帰直線（上図）、予測値－実測値散布図（下図）

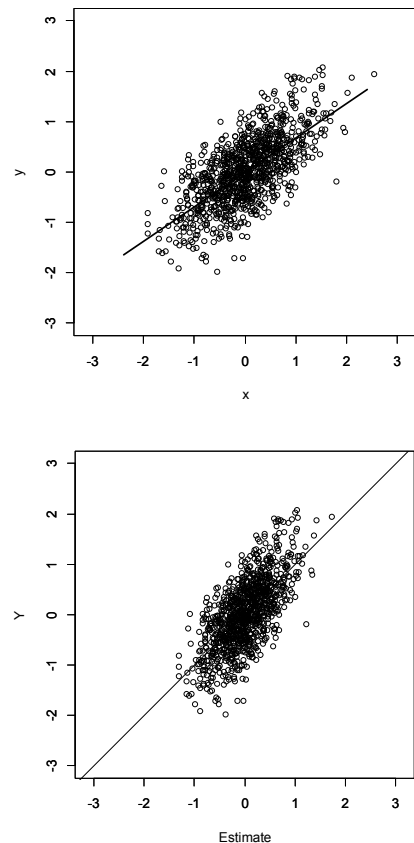


図 3-5 相関係数 0.7 の二次元正規分布の散布図と回帰直線（上図）、予測値－実測値散布図（下図）

なお、予測値－実測値の散布図における残差の大きさは、図 3-6 の破線のように、データ点を通る y 軸に平行な直線が  $y=x$  と交わる点までの距離であり、各データ点と直線  $y=x$  の距離ではない。

これらの結果を相互比較し、本論で求めた強度予測モデルの有効性を評価する。

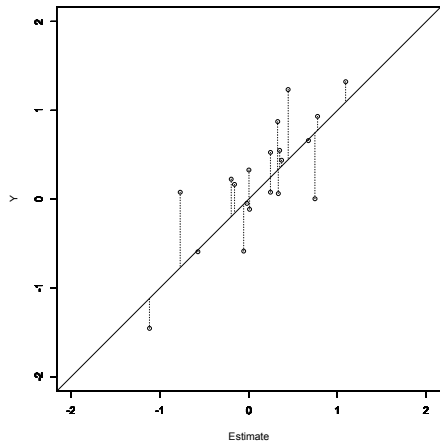


図 3-6 予測値－実測値の散布図の残差成分 (破線部分)

#### 4. 結果と考察

##### 4.1 パラメータの探索結果および有効性

##### 4.1.1 探索前の $p_{3\sim5}$ を用いた重回帰式

まず、現行 JAS のパラメータから (3) 式によって決定した  $p_{3\sim5}$  による節の評価値を、(5) 式の K に導入した、重回帰式の予測値－実測値の散布図を図 4-1 に、回帰分析の結果概要を表 4-1 に示す。表 4-1 の F 値より  $p < 1\%$  の危険水準で有意な相関が認められた。また、回帰係数および t 値から、MOE よりも節の指標値の方が MOR と関係が強いという結果になった。

##### 4.1.2 探索後の $p_{3\sim5}$ を用いた重回帰式

次に、探索後のパラメータを用いた節の評価値を (5) 式の K に導入した、重回帰式の予測値－実測値の散布図を図 4-2 に、回帰分析の結果概要を表 4-2 に示す。AIC が最小となったのは、 $p_3=0 \sim 0.92$ ,  $p_4=0.92$ ,  $p_5=0 \sim 0.59$  のときであり、 $p_3$  と  $p_5$  は値に幅があった。これは (4) 式において、K は四つの値の最大値により定まるために、 $p_{3\sim5}$  が変化しても K の値は変化しないことがあるためである。いずれも 0～1 の値をとったことから、材縁の単独節が最も強い影響を持つという現行 JAS は支持された。一方、中央集中節径は 0.92 と固定値で与えられたが、探索前は 75/195 で、かな

り大きくなった。

MOE および節の回帰係数の絶対値はいずれも増加した。図 4-1 と図 4-2 を比較すると、推定値と実測値がいずれも平均以上であるものについては特に変化がないが、推定値が平均以下で、実測値が推定値を下回るものが改善している。

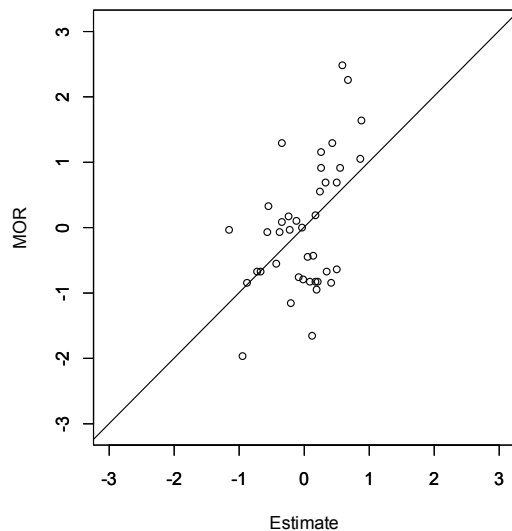


図 4-1 探索前の  $p_{3\sim5}$  による (5) 式の予測値－実測値散布図

表 4-1 図 4-1 の重回帰分析結果

Coefficients:					
	Estimate	Std.Error	t-value	Pr(> t )	
MOE	0.3209	0.1413	2.27	0.029	*
K	-0.3817	0.1413	-2.7	0.0103	*
---					
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1					
Residual standard error: 0.8823 on 38 degrees of freedom					
Multiple R-squared: 0.2415, Adjusted R-squared: 0.2016					
F-statistic: 6.049 on 2 and 38 DF, p-value: 0.005241					
AIC: 107.447					

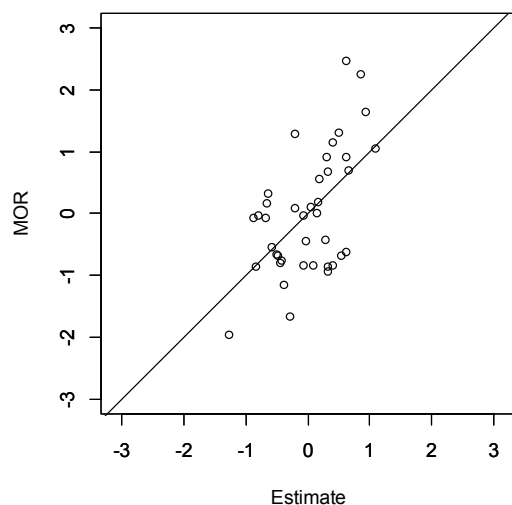


図 4-2 探索後の  $p_{3\sim5}$  による (5) 式の予測値－実測値散布図

表 4-2 図 4-2 の重回帰分析結果

Coefficients:				
	Estimate	Std.Error	t-value	Pr(> t )
MOE	0.3495	0.1344	2.601	0.01316 *
knot_improve	-0.4737	0.1344	-3.526	0.00112 **

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.8362 on 38 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.3187, Adjusted R-squared: 0.2829  
 F-statistic: 8.89 on 2 and 38 DF, p-value: 0.0006805  
 AIC: 103.1493

### 4.2 単回帰式との比較

MOR を応答変数、MOE を説明変数とした単回帰式  
 の予測値－実測値の散布図を図 4-3 に、散布図  
 を図 4-4 に、重回帰分析の結果概要を表 4-3 に示す。  
 表 4-3 の F 値から、5%の危険水準で有意な相関が  
 認められたが、相関は弱く、特に実測値が予測値  
 を大きく下回る二つのデータが大きな影響を与え  
 ているものと見られる。AIC は節の評価値の導入  
 時よりも大きいため、節の導入による予測精度の  
 向上効果は、統計的には、説明変数の増加に見合  
 う以上であったということになる。

最後に、MOR を応答変数、 $MOE \times w_{ult}$  を説明変数  
 とした単回帰式の予測値－実測値の散布図を図  
 4-5 に、散布図を図 4-6 に、重回帰分析の結果概要  
 を表 4-4 に示す。AIC の値は最も小さく、今回提  
 示したモデルより良い推定となった。残差の標準  
 偏差は、説明変数が MOE のみの場合では 0.9508  
 であったのに対し、この場合は 0.6731 となってい  
 る。これと比較すると、探索後の  $p_{3\sim 5}$  を用いた (5)  
 式の場合 0.8362 であり、やはり (7) 式ほどの推  
 定はできていない。ただし (7) 式では、推定値  
 は高く、それに比して実測値は小さい試験体が 1  
 体含まれている。ところで実用上問題となるのは、  
 実測値が推定値よりも小さいものである。それを  
 考慮して図 4-3 と図 4-5、4-6 を比較すると、図  
 4-3 では実測値が推定値を大きく下回る傾向は見  
 られず、この点においては有効であると言える。

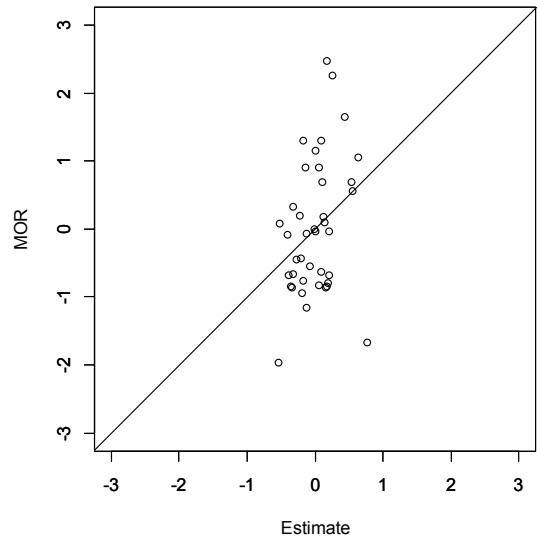


図 4-3 (6) 式の予測値－実測値散布図

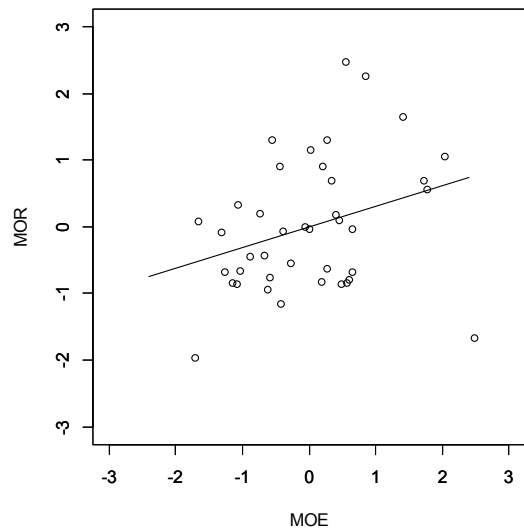


図 4-4 MOE と MOR の散布図

表 4-3 MOR~MOE の単回帰分析結果

Coefficients:				
	Estimate	Std.Error	t-value	Pr(> t )
MOE	0.3097	0.1523	2.034	0.0488 *

---  
 Signif. codes: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.9508 on 39 degrees of freedom  
 Multiple R-squared: 0.09592, Adjusted R-squared: 0.07274  
 F-statistic: 4.138 on 1 and 39 DF, p-value: 0.04878  
 AIC: 112.4688

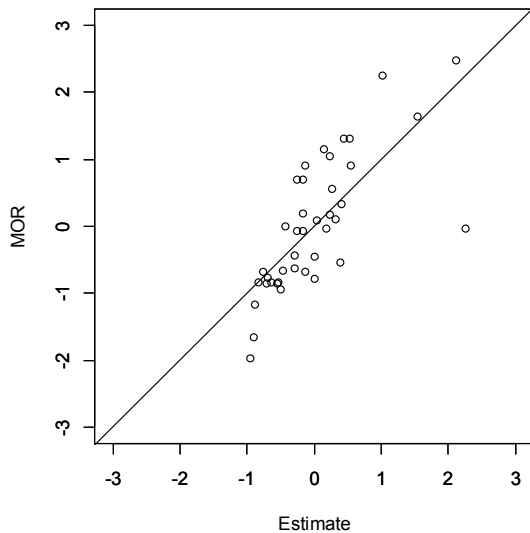


図 4-5 (7) 式の予測値—実測値散布図

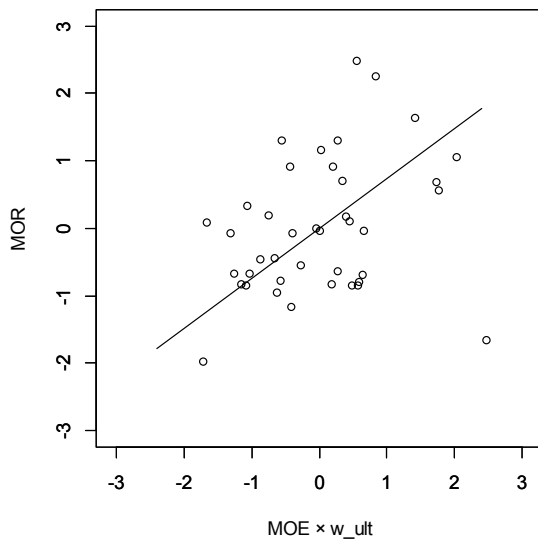


図 4-6 MOE ×  $w_{ult}$  と MOR の散布図

表 4-4 MOR ~ MOE ×  $w_{ult}$  の単回帰分析結果

Coefficients:				
	Estimate	Std.Error	t-value	Pr(> t )
MOE × $w_{ult}$	0.7395	0.1078	6.861	3.33E-08
---				
Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1				
Residual standard error: 0.6731 on 39 degrees of freedom				
Multiple R-squared: 0.5469, Adjusted R-squared: 0.5353				
F-statistic: 47.07 on 1 and 39 DF, p-value: 3.328e-08				
AIC: 84.83716				

## 5 結言

本研究では、実大材木材の曲げ強度を、曲げヤング係数と節を用いた予測モデルの改良を行うことで、より高い精度で予測できるようになるか検討した。節の評価モデルを、JAS の目視等級区分

を基礎とし、分析しやすいよう若干の変更を加えた。このモデルでは五つのパラメータにより節の評価値が決まるが、本研究では計算上の問題から三つのみに絞って最適なものを探索した。

そのうえで、曲げ強度を、曲げヤング係数と節の評価値を説明変数とする重回帰式で予測することとし、材縁部と中央部、および単独節と集中節で異なる重み付けのパラメータについて、予測精度が向上するものを全探索した。その結果、中央単独節径は材縁単独節径の 0 ~ 0.92, 中央集中節径は 0.92, 材縁集中節径は 0 ~ 0.59 で最もよい推定となり、材縁単独節径が最も大きな影響を持っている現行 JAS は支持された。一方、材縁集中節径は材縁単独節径の 0.92 と大きくなった。その AIC は、評価基準とした、説明変数を曲げヤング係数とした単回帰式、および曲げヤング係数 × 最大荷重時変位を説明変数とする単回帰式の間となったが、後者の場合よりも大きかった。しかし、実測値が推定値を大きく下回るものがないという点で、実用上の利点があると考えられた。

## 引用文献

- Baño V・Arriaga F・Soilán A・Guaita M (2010) FEM Analysis of the strength loss in timber due to the presence of knots. WCTE2010
- 橋爪丈夫 (1989) カラマツ平角の実大材強度試験と木材の強度等級区分について. 技術情報 71:5-7.
- 畑山・男 (1984) 有節材の強度推定に関する研究. 林試報 326:69-167.
- 飯島泰男 (1983) シベリア産カラマツ材の強度性能に関する研究. 富山県木材試験場研究報告 1:1-39.
- 丸山則義・有馬孝禮・早村俊二 (1986) ベイマツ材の曲げ強度におよぼす節の影響. 静岡大学農学部演習林報告 10:93-97.
- 木構造振興株式会社 (編) (2011) 木材の強度等データおよび解説. 151pp, 木構造振興株式会社, 東京.
- 守口海・植木達人・井上裕 (2011) デジタルカメラによる傾きを考慮した座標計測システム—年輪読み取りへの応用と精度の検討—. 中部森林研究 59:81-86.
- 柴田直明・吉田孝久・今井信・守口海 (2012) 安



全・安心な乾燥材生産技術の開発（２）－カラマツ心持ち正角の推奨・非推奨乾燥スケジュールと強度性能－．平成 23 年度長野県林総セ業務報告：100-101.

武田孝志（2000）信州産カラマツ実大材の強度評価の寸法効果と機械等級区分．信大演報 36:21-81.

（財）日本住宅・木材技術センター（2011）構造用木材の強度試験マニュアル．162pp,（財）日本住宅・木材技術センター，東京

全国木材組合連合会（2008）わかりやすい新製材 JAS の解説．128pp, 全国木材検査・研究協会，東京.