

アカエゾマツ間伐材を用いた構造材の強度性能

藤原 拓哉 土橋 英亮*¹ 安久津 久*²

Strength Properties of Structural Lumber from Akaezomatsu (*Picea glehnii*) Thinning Crops

Takuya FUJIWARA Hideaki TSUCHIHASHI Hisashi AKUTSU

Bending tests of square posts and 2x4s from Akaezomatsu (*Picea glehnii*) thinning crops were carried out. The following results were obtained.

- 1) The modulus of rupture (MOR) and modulus of elasticity (MOE) were both affected by drying conditions. However, the differences of MOE between drying conditions were smaller than those for MOR.
- 2) When the mechanical grading rules of Japanese Agricultural Standards (JAS) 143 were applied to square posts the lower tolerance limits of MOR were higher than the standard strength at each mechanical grade.
- 3) When 2x4s graded to the No.2 or better on JAS 600 were tested the lower tolerance limit of MOR was higher than the standard strength of S-P-F No.2 grade.

Key words: *Picea glehnii*, drying, square posts, dimension lumber, bending strength
アカエゾマツ, 乾燥, 正角材, 枠組壁工法用部材, 曲げ強度

アカエゾマツ間伐材を用いた正角材, および204材の曲げ強度性能について検討し, 以下の結果を得た。

- 1) 乾燥条件は曲げ強さ, および曲げヤング係数に影響したが, 乾燥条件による曲げヤング係数の違いは曲げ強さの違いよりも小さかった。
- 2) 正角材に「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」の曲げヤング係数による等級区分を適用した場合, いずれの等級においても, 曲げ強さの下側許容限界は対応する基準強度を上回っていた。
- 3) 「枠組壁工法構造用製材の日本農林規格」の甲種構造材2級以上に格付けされた204材においては, 曲げ強さの下側許容限界はS-P-F 2級材の基準強度を上回っていた。

1. はじめに

北海道における代表的な造林樹種としてはトドマツおよびカラマツが挙げられる。しかし, 近年の

更新面積でみると気象害や病害に強いという特徴を持つアカエゾマツがトドマツを上回っている¹⁾。アカエゾマツの齢級構成をみるとⅦ齢級以下が多

く、一部では既に間伐が始まっている。これまでアカエゾマツといえば、大径の天然林材であり、楽器材等として使われていたが、中小径の人工林材では材質が異なり、用途も天然林材とは異なってくる。一般的に中小径材では際立った長所を持たない限り、単純な形状を持つ構造材としての利用がコスト的に望ましいと考えられる。そこで、本研究ではアカエゾマツ間伐材の用途として、心持ちの正角材、および枠組壁工法（ツーバイフォー工法）用部材である204材を想定し、その強度性能について検討した。

2. 供試木

供試木は、厚岸町内の2林分、津別町内の2林分、美深町内の1林分で伐採された間伐材から採取した。供試木の選定にあたり、正角材用原木、204材用原木それぞれについて、挽きたて寸法により決定される径に満たないものは、原則として排除した。このため、供試木の径級の分布は、その林分から伐採された間伐材全体の径級分布とは異なっている。原木の材長は正角材用については3.7m、204材用については2.6mとした。供試木の概要を第1表に示す。

3. 試験方法

供試木は搬入後、打撃音法によるヤング係数（以下、打撃音ヤング係数）の測定を行った。打撃音の基本振動数の測定にはFFTアナライザ（小野測器製CF-1200）を使用し、供試木の重量、直径、材長

第1表 供試木の概要
Table 1. Description of tested logs.

| | 産地 Habitat | 林齢 Age of stand | 原木本数 Number of logs | 末口最小径 Diameter at top end (mm) | | | 用途 Usage |
|---|---------------|--------------------|------------------------|-----------------------------------|-----------|------------|--------------------|
| | | | | 最小 min. | 平均 av. | 最大 max. | |
| A | 厚岸 | 40 | 54 | 145 | 205 | 310 | 正角材 Square post |
| B | Akkeshi | 52 | 47 | 150 | 197 | 270 | |
| C | 津別 | 28 | 96 | 130 | 159 | 200 | 204材 2x4 |
| D | Tsubetsu | 33 | 98 | 140 | 177 | 240 | |
| E | 美深 Bifuka | 38 | 154 | 155 | 195 | 295 | 正角材 Square post |
| F | | | 72 | 170 | 200 | 250 | 204材 2x4 |

からヤング係数を算出した。正角材用原木については、このヤング係数の分布が保持されるようにA、B、Eの原木から197本を選別して製材した。204材用原木については全数を製材した。

心持ち正角材の挽き立て寸法は115×115mmとし、原木1本につき1体採材した。204材の挽き立て寸法は45×100mmとし、Fについてはすべて心持ち木取りで製材したが、CとDについては心持ち木取り、および心割り木取りの両方で製材した。なお、木取りの決定にあたり、林分の構成比、原木の径級、およびヤング係数の分布に偏りが生じないように配慮した。製材後に打撃音ヤング係数の測定を行った。

正角材の乾燥は高温条件とし、AとBについては第2表中aの条件で乾燥し、Eはb～dの3条件で乾燥した。なお、正角材Eについては条件ごとの乾燥前における強度分布をできるだけそろえるために、原木の径級と製材直後に測定した打撃音ヤング係数の分布の偏りが少なくなるように配慮した。204材の乾燥は中温条件で、CとDについては第3表中a'～d'の4条件で乾燥し、Fはe'、f'の2条件で乾燥した。204材については著しい丸身や割れを持ち、明らかに格外品であると判断されたも

第2表 正角材の乾燥条件

Table 2. Drying conditions for square posts.

| | θ | $\Delta\theta$ | T | P |
|---|----------|----------------|-----|-----|
| a | 80～140 | 2～43.5 | 138 | 169 |
| b | 80～140 | 2～43.5 | 114 | 254 |
| c | 80～120 | 0～30.0 | 112 | 254 |
| d | 80～120 | 0～24.0 | 104 | 254 |

凡例) θ : 乾球温度 (°C), $\Delta\theta$: 乾湿球温度差 (°), T : 所要時間 (hr), P : 圧縮圧力 (kPa)

Legend) θ : Dry bulb temperature; $\Delta\theta$: Difference between dry and wet bulb temperatures; T : Consumption time; P : Pressure applied on stickers

第3表 204材の乾燥条件

Table 3. Drying conditions for 2x4s.

| | θ | $\Delta\theta$ | T | P |
|----|----------|----------------|-----|-----|
| a' | 90 | 1～17 | 134 | 136 |
| b' | 70～80 | 3～20 | 142 | 199 |
| c' | 70 | 3～20 | 218 | 199 |
| d' | 80 | 3～17 | 108 | 199 |
| e' | 70～80 | 3～14 | 141 | 90 |
| f' | 70～80 | 3～17 | 168 | 306 |

凡例) 第2表参照
Legend) See Table 2.

のを排除した。更に、正角材で用いた基準に加え、伐採された林分の構成比、木取り方法も考慮に入れて、条件ごとの試験材を決定した。

2か月以上の養生期間を経た後に、正角材については断面寸法105×105mmに、204材については38×89mmに^{ほう}鉋削し、材長は両材種ともに2,400mmに^{きよ}鋸断した。鋸断後、打撃音ヤング係数の測定を行い、その分布が保持されるように正角材189本を選別し、204材については原則として「枠組壁工法構造用製材の日本農林規格」の甲種構造材2級以上となる242本を選別し、曲げ強度試験に供した。

曲げ強度試験は正角材についてはスパンを2,100mm、204材については1,800mmとした3等分点4点曲げにより行った。

4. 結果と考察

4.1 乾燥条件と強度

乾燥条件が強度に及ぼす影響については、供試材のマッチングが取れた条件間のみ取り上げる。すなわち、正角材については、b～dの3条件、204材についてはa'～d'の4条件、およびe', f'の2条件である。正角材の乾燥条件別の強度試験結果を第4表に示す。第4表に示した曲げ強さと曲げヤング係数は試験時の含水率の影響を取り除くために、ASTM D2915に従い含水率15%相当の値に補正したものである。正角材では内部の含水率が表層よりも高く、水分傾斜があった。このため、補正には表層の含水率を用いた。条件b～dの乾燥前の打撃音ヤング係数は、ほぼ同一の分布であり、本来

的には同等の強度性能を持っていることが期待されるため、乾燥後の強度の違いを理想的な乾燥条件からの強度低下の程度とみなし得る。曲げ強さに関しては条件bが最小となり、これは最大となった条件cの92%であった。曲げヤング係数についても条件bが最小となった。しかし、その値は最大となった条件dの97%で、乾燥条件による違いは曲げ強さの場合よりも小さなものであった。条件bの乾球温度は最高140℃であり、条件c, dの120℃よりも高く、この温度の違いが曲げ強さに影響した可能性がある。

204材の乾燥条件別の強度試験結果を第5表に示す。204材についてもASTM D2915の式により含水率15%時の値に補正しているが、使用した含水率は断面内の平均である。条件a'～d'の曲げ強さを比較すると、最小となった条件はb'で、最大となったd'の89%の値であった。条件e', f'の比較では条件e'の曲げ強さが小さく、条件f'の89%の値であった。一方、曲げヤング係数に関しては、a'～d'間、e', f'間ともに、最小となった条件の値は最大となった条件の96%であり、正角材と同様に、乾燥条件による違いは曲げ強さよりも小さかった。条件a'～d'においては、乾球温度が最も高かった条件a'の曲げ強さが最小とならず、温度条件が同じだった条件e', f'においても強度に差を生じていた。よって、204材の乾燥で採用した中温条件の範囲内では、乾球温度は曲げ強さに影響しないといえる。

第4表 乾燥条件別曲げ強度試験結果（正角材）
Table 4. Results of bending tests by drying conditions (square post).

| | <i>n</i> | $E_{fr,g}$ | <i>m</i> | f_b | E_b |
|---|----------|------------|----------|-------|-------|
| a | 69 | 8.57 | 10.3 | 33.2 | 8.45 |
| b | 40 | 9.02 | 12.1 | 35.0 | 8.51 |
| c | 40 | 9.06 | 13.6 | 38.0 | 8.62 |
| d | 40 | 9.04 | 13.4 | 37.8 | 8.74 |

凡例) a-d : 第2表参照, *n*: 試験体数, $E_{fr,g}$: 乾燥前の打撃音ヤング係数 (kN/mm²), *m*: 含水率 (%), f_b : 曲げ強さ (N/mm²), E_b : 曲げヤング係数 (kN/mm²)

Legend) a-d: See Table 2.; *n*: Number of specimens; $E_{fr,g}$: Modulus of elasticity by tapping method in green condition; *m*: Moisture content; f_b : Modulus of rupture; E_b : Modulus of elasticity from bending test

第5表 乾燥条件別曲げ強度試験結果（204材）
Table 5. Results of bending tests by drying conditions (2x4).

| | <i>n</i> | $E_{fr,g}$ | <i>m</i> | f_b | E_b |
|----|----------|------------|----------|-------|-------|
| a' | 27 | 7.88 | 10.9 | 38.2 | 8.57 |
| b' | 27 | 7.94 | 10.8 | 35.7 | 8.38 |
| c' | 27 | 7.95 | 10.0 | 39.6 | 8.70 |
| d' | 27 | 7.92 | 11.9 | 39.9 | 8.33 |
| e' | 54 | 8.13 | 12.2 | 35.9 | 8.01 |
| f' | 54 | 8.19 | 11.4 | 40.4 | 8.33 |

凡例) a' - f' : 第3表参照, *n*, $E_{fr,g}$, *m*, f_b , E_b : 第4表参照
Legend) a' - f': See Table 3.; *n*, $E_{fr,g}$, *m*, f_b , E_b : See Table 4.

第6表 曲げ強度試験の結果(正角材)

Table 6. Results of bending tests (square post).

| | <i>n</i> | | <i>m</i> | f_b | E_b | ρ | ARW |
|--------------|----------|------|----------|-------|-------|--------|-----|
| A | 51 | av. | 10.3 | 32.6 | 8.19 | 411 | 3.9 |
| | | s.d. | 0.3 | 6.6 | 1.15 | 24 | 0.6 |
| B | 18 | av. | 10.3 | 35.1 | 9.17 | 422 | 3.2 |
| | | s.d. | 0.3 | 9.0 | 1.18 | 22 | 0.6 |
| E | 120 | av. | 13.0 | 36.9 | 8.63 | 437 | 4.6 |
| | | s.d. | 1.1 | 7.0 | 1.20 | 27 | 0.7 |
| 全体 Pooled | 189 | av. | 12.0 | 35.6 | 8.56 | 429 | 4.3 |
| | | s.d. | 1.6 | 7.4 | 1.21 | 28 | 0.8 |

凡例) A, B, E: 第1表参照, *n*: 試験体数, *m*: 含水率(%),
 f_b : 曲げ強さ (N/mm²), E_b : 曲げヤング係数 (kN/mm²),
 ρ : 気乾密度 (kg/m³), ARW: 平均年輪幅 (mm)

Legend) A, B, E: See Table 1.; *n*: Number of specimens; *m*: Moisture content; f_b : Modulus of rupture; E_b : Modulus of elasticity; ρ : Density at air dry; ARW: Annual ring width

第7表 正角材の下側許容限界

Table 7. Tolerance limits of square posts.

| 等級 Grade | 度数 Frequency | f_b | | | F_0 |
|-------------|-----------------|-------|------|------|-------|
| | | av. | s.d. | TL | |
| E150 | - | - | - | - | 48.6 |
| E130 | 2 | 54.9 | 7.3 | - | 39.6 |
| E110 | 28 | 43.9 | 3.7 | 36.9 | 30.6 |
| E90 | 109 | 36.3 | 5.2 | 27.1 | 21.0 |
| E70 | 47 | 29.0 | 5.7 | 18.7 | 12.0 |
| E50 | 2 | 19.1 | 3.0 | - | - |

凡例) f_b : 曲げ強さ (N/mm²), TL: 下側許容限界 (N/mm²),
 F_0 : 基準曲げ強度 (N/mm²)

Legend) f_b : Modulus of rupture; TL: Lower tolerance limit; F_0 : Standard bending strength

4.2 構造材としての性能

正角材の曲げ強度試験結果を第6表に示す。正角材全体についての曲げヤング係数の平均値は8.56kN/mm²であり、この曲げヤング係数に「針葉樹の構造用製材の日本農林規格」の曲げ性能区分を適用すると、約60%がE90に相当した。区分された数の多いE70, E90, E110について、曲げ強さの分布を正規分布とみなし、信頼水準75%における5%下側許容限界を求めたところ、それぞれ、18.7, 27.1, 36.9N/mm²となり、いずれも各等級に設定されたエゾマツ、トドマツ等の基準曲げ強度12.0, 21.0, 30.6N/mm²を上回っていた。なお、E50,

第8表 曲げ強度試験の結果(204材)

Table 8. Results of bending tests (2x4).

| | <i>n</i> | | <i>m</i> | f_b | E_b | ρ | ARW |
|--------------|----------|------|----------|-------|-------|--------|-----|
| C | 51 | av. | 10.7 | 39.5 | 8.32 | 456 | 4.4 |
| | | s.d. | 0.7 | 8.5 | 1.30 | 27 | 0.5 |
| D | 83 | av. | 10.7 | 37.8 | 8.65 | 427 | 4.6 |
| | | s.d. | 0.7 | 7.8 | 0.92 | 32 | 0.9 |
| F | 108 | av. | 11.8 | 38.1 | 8.17 | 411 | 4.4 |
| | | s.d. | 0.6 | 10.5 | 1.07 | 27 | 0.9 |
| 全体 Pooled | 242 | av. | 11.2 | 38.3 | 8.37 | 426 | 4.5 |
| | | s.d. | 0.8 | 9.2 | 1.09 | 34 | 0.8 |

凡例) C, D, F: 第1表参照, *n*, *m*, f_b , E_b , ρ , ARW: 第6表参照
 Legend) C, D, F: See Table 1.; *n*, *m*, f_b , E_b , ρ , ARW: See Table 6.

E130は各2体しか出現しなかったが、エゾマツ、トドマツの場合、E50には基準曲げ強度が設定されていない。E130の基準曲げ強度は39.6N/mm²であるが、本試験においてE130に相当する材の曲げ強さの最小値は49.7N/mm²で、基準強度を上回っていた(第7表)。

204材の曲げ強度試験結果を第8表に示す。アカエゾマツはS-P-Fの樹種グループに属し、強度試験を行った204材は原則として2級以上に格付けされたものであることから、基準強度はS-P-Fの2級が適用されることになる。204材全体の曲げ強さについて、その分布を正規分布とみなした場合、信頼水準75%における5%下側許容限界は22.5N/mm²であり、この値はS-P-Fの2級の基準曲げ強度21.6N/mm²を上回っていた。

文 献

- 1) 北海道水産林務部企画調整課編: “平成14年度北海道林業統計”, 北海道水産林務部, 110-111 (2003).

— 性能部 構造性能科 —
 — * 1 : 技術部 製材乾燥科 —
 — * 2 : 利用部 材質科 —
 (原稿受理: 04.3.31)