

2. 製材工場における製材品の強度選別事例

上野文明

要約

公共建築の構造材に製材品を供給するためには、製材工場が設計上必要な強度等級を持つ製材品を揃えて供給することが必要となる。青森県八戸市の西白山台小学校校舎新築工事では、県内の製材工場がスギとアカマツの県産材の製材品を供給した。その事例では、丸太段階や製材過程で動的ヤング係数を測定して必要な強度等級を持つ製材品を選別していく方法により、必要な強度等級を持つ製材品を揃えることができた。本研究では、この方法を「強度選別」と呼ぶこととし、製材現場での実施状況や測定データを検討することにより、強度選別の方法をまとめた。また、強度選別を行うことにより、製材工場では出荷段階に生じる製品のロスが抑えられるとともに、目標とする強度等級の製品を確保する見通しを立てながら製材作業を進めることができ、効率的な製材ができると考えられた。

I はじめに

公共建築の構造材に使う製材品は、強度や含水率、材面の品質において設計上の仕様を満たす必要がある。強度については、設計上必要な強度等級（JAS機械等級区分）が定められる場合が多く、木材供給者は、その強度等級を持つ製材品を揃えなければならない。一方、製材品は原木丸太の材質を反映して強度にバラツキがあるため、測定してみなければ必要な強度等級があるかどうか分からない。このため、製材品を製造する製材工場では、いわゆる強度の高い材を選んで製材するものの、出荷時の検査で強度不足による製品ロスが出ることが予想されることから、特に強度等級の高いものやサイズの大きいものは製造のリスクが大きくなる。

実際の公共建築物で製材工場が製材品を製造・供給した事例として、八戸市立西白山台小学校の校舎建築工事がある。ここで使われたスギやアカマツ等の青森県産材は、八戸市森林組合、三八地方森林組合、上北森林組合の3森林組合が協力して供給した。製材品は三八地方森林組合と上北森林組合の製材工場が製造した。製材品には、強度等級の高いもの（例えばスギのE90）やサイズの大きいもの（例えば材長7m）が含まれるものであった。

その事例では、製材品の製造にあたり、丸太や粗挽き製材等の製造過程で動的ヤング係数を測定し、強度の高い材を選別した。選別の方法は、丸太の動的ヤング係数と製材品の動的ヤング係数には相関性があるという既存の知見を利用し、丸太段階や製材過程で動的ヤング係数を測定して、強度の高い材を選別していく

やり方である。当林業研究所は縦振動法による動的ヤング係数の測定や選別方法の検討で協力をした。

本研究では、ここで検討した方法、すなわち、製造過程で動的ヤング係数を測定して必要な強度等級を持つ製材品を選別していく方法を「強度選別」と呼ぶこととし、製材現場での実施状況や測定データを検討することにより、強度選別の方法や効果をまとめたので、報告する。

Ⅱ 対象事例と調査データ

1. 対象事例

八戸市立西白山台小学校の校舎建築工事は、工期が平成 27 年 10 月から平成 29 年 3 月、管理棟と普通教室棟 5 棟が木造で建築面積 2,801m²、特別教室棟 2 棟が鉄筋コンクリート造＋木造で建築面積 2,251m²となっている。

構造材には集成材と無垢製材品が使われている。スギ、アカマツ、カラマツの県産材を八戸市森林組合、三八地方森林組合、上北森林組合が連携して供給した。

無垢製材品は、スギを上北森林組合、アカマツを三八地方森林組合の製材工場が製造し、供給した。用途は、柱や梁、方杖、筋違、間柱などである。サイズは、断面寸法が 30mm×90mm から 150mm×270mm まで、材長が 0.6m から 7.2m まであり、出荷量は、全体で約 3,800 本、材積約 150m³となっている。

2. 調査データ

無垢製材品のうち、材長 5～7.5m、断面寸法 105×180mm、強度等級 E 90 のスギ平角材と、材長 6m、断面寸法 105×290mm、強度等級 E 70 のアカマツ平角材について、上北森林組合と三八地方森林組合の実施状況を調査した。

Ⅲ 結果と考察

1. 強度（動的ヤング係数）の測定方法

丸太の動的ヤング係数の測定には、携帯型の簡易強度試験機（製品名「簡易型 原木強度検査器 HG-2020」、株式会社エーティーエー製）が用いられた（図-1）。この簡易強度試験機は、はい積状態の丸太に利用でき、樹種、材長、全乾比重、含水率を入力し、丸太の木口をハンマーで打撃すると共振周波数が測定され、動的ヤング係数が計算、表示される。測定される動的ヤング係数の正確さは、材積や重量、共振周波数を正確に測定して計算する縦振動法に比べると低いが、現場で丸太を 1 本 1 本吊り上げるなどして重量測定せずに動的ヤング係数を得られるので作業性は良い。

製材品（製材過程）の動的ヤング係数の測定は、スギでは縦振動法、アカマツでは簡易強度試験機が用いられた。出荷段階の検査ではスギ、アカマツともに縦振動法が用いられた。縦振動法の場合、台秤で重量、FFT アナライザ（小野測器社製 CF-4500）で共振周波数を測定して動的ヤング係数を計算した。



図－1 簡易強度試験機による動的ヤング係数の測定状況



図－2 縦振動法による動的ヤング係数の測定状況

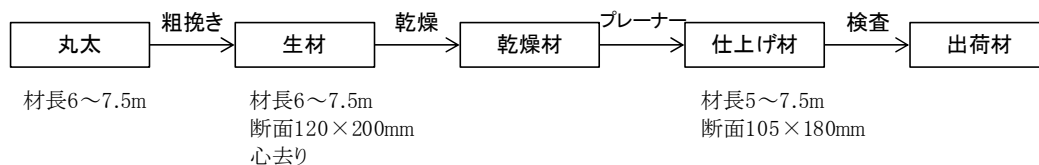
2. 強度選別の実施状況

1) スギ平角材（上北森林組合）

(1) 製造過程

丸太入荷から製材、乾燥して出荷に至るまでの製造過程は図－3のとおりである。丸太を粗挽き製材したものが「生材」である。生材は人工乾燥（高温乾燥）されて「乾燥材」になる。乾燥材はプレーナー仕上げされて「仕上げ材」になる。「出荷材」は、仕上げ材の中から動的ヤング係数、含水率、材面品質を検査して合格し、出荷されるものである。

材長 5～7.5m、断面寸法 105×180mm の製品を製造するため、材長 6～7.5m の丸太が使われた。すべて心去りで製材され、生材の断面寸法は 120×200mm で粗挽きされた。



図－3 スギ平角材の製造過程

(2) 強度選別の実施状況

丸太の動的ヤング係数の測定は、製材工場の土場で、はい積み状態の丸太を簡易強度試験機で測定する方法で行っていた。選別の目安は、簡易強度試験機で表示される動的ヤング係数で 8.0 kN/mm^2 とし、それ以上となるものを選別していた。当初の丸太の本数は調査できなかったが、173本の丸太が選別されて、粗挽きされた。

粗挽き後の生材 173本は縦振動法で動的ヤング係数が測定された。ここで動的ヤング係数が 7.8 kN/mm^2 以上のもの 126本が選別されて乾燥工程に進んだ。乾燥材段階で再び縦振動法で測定した結果、動的ヤング係数 7.8 kN/mm^2 以上は 123本

であった。この 123 本のうちプレーナー仕上げした 99 本を縦振動法で測定した結果、動的ヤング係数 7.8kN/mm^2 以上は 97 本であった。プレーナー仕上げされなかった 24 本は、乾燥後も含水率が高かったものや、材面品質が良好でなかったものである。

J A S 機械等級区分の E 9 0 は曲げヤング係数の基準が 7.8kN/mm^2 以上 9.8kN/mm^2 未満である。曲げヤング係数と縦振動法による動的ヤング係数がほぼ 1 : 1 の関係にあることから、強度選別を行って、E 9 0 を満たさない材、すなわち動的ヤング係数 7.8kN/mm^2 未満のものを生材段階で 47 本、乾燥材段階で 3 本を除外したことになる。

出荷段階の検査として行われた仕上げ材の測定では、2 本が動的ヤング係数 7.8kN/mm^2 未満であった。仕上げまで行ったもののうち 2 本が強度不足による製品ロスになったと考えることができる。強度選別を行わなかったとすれば、製品ロスはもっと多くなっていたと考えられる。

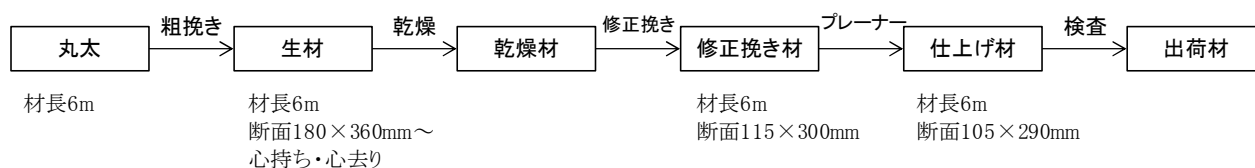
なお、仕上げ材で動的ヤング係数 7.8kN/mm^2 以上となった 97 本は出荷材本数とイコールではない。含水率や材面品質の基準を満たさず外されたものがあったり、また、曲げヤング係数との相関、バラツキ具合を加味して動的ヤング係数で下限値 7.8kN/mm^2 付近のものは外されたりしている。

2) アカマツ平角材（三八地方森林組合）

(1) 製造過程

丸太入荷から製材、乾燥して出荷に至るまでの製造過程は図－4 のとおりである。乾燥材と仕上げ材の間に「修正挽き材」があるほかはスギと同じである。

材長 6m、断面寸法 $105\times 290\text{mm}$ の製品を得るため、生材は断面寸法 $180\times 360\text{mm}$ 以上で粗挽きされた。木取りは、心持ちまたは心去りとなっている。



図－4 アカマツ平角材の製造過程

(2) 強度選別の実施状況

丸太の動的ヤング係数の測定は、伐採地の土場で、はい積み状態の丸太を簡易強度試験機で測定する方法で行っていた。選別の目安は、簡易強度試験機で表示される動的ヤング係数で 8.0kN/mm^2 とし、それ以上となるものを選別していた。選別の結果、丸太 297 本から 207 本が選別されて、粗挽きされた。

粗挽き後の生材 207 本は簡易強度試験機で動的ヤング係数が測定された。測定の結果、すべて 8.0kN/mm^2 以上であった。J A S 機械等級区分の E 7 0 は曲げヤング係数の基準が 5.9kN/mm^2 以上 7.8kN/mm^2 未満であり、仕上げ後も E 7 0 を十

分に満たすと考えられたため、結果的に強度選別で選別（除外）をせずに乾燥の工程に進められた。

生材 207 本のうち、プレーナー仕上げまで行ったものは 153 本であった。乾燥や修正挽きの段階で除外された 54 本は、乾燥後も含水率が高かったものや、材面品質が良好でなかったものである。仕上げ材 153 本は出荷段階の検査として縦振動法により動的ヤング係数が測定された。測定の結果、動的ヤング係数 5.8 kN/mm^2 未満のものは 2 本であった。

アカマツの場合は、丸太段階の選別で 90 本を除外したことにより、出荷段階の検査で製品ロスを抑えることができたと考えられる。

なお、仕上げ材で動的ヤング係数 5.8 kN/mm^2 以上となった 151 本が出荷材本数とイコールではないのはスギと同様である。

3. 測定データの分析

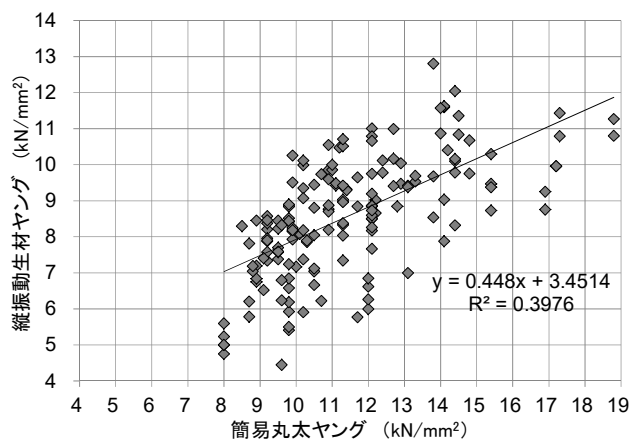
1) スギ平角材

簡易強度試験機で測定した丸太の動的ヤング係数（簡易丸太ヤング）と縦振動法で測定した生材の動的ヤング係数（縦振動生材ヤング）の相関を図－5 に示す。データは、生材 173 本のうち、材番号の照らし合わせができなかった 6 本を除いた 167 本のものである。簡易丸太ヤングは、縦振動生材ヤングに比べて全般的に値が大きく出る傾向が見られる。

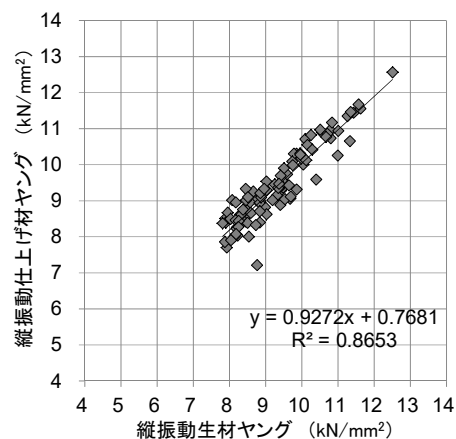
縦振動法で測定した生材（縦振動生材ヤング）と仕上げ材（縦振動仕上げ材ヤング）の相関を図－6 に示す。データは生材から仕上げ材まで追跡した 99 本のものである。縦振動生材ヤングと縦振動仕上げ材ヤングを比べると、ほぼ 1 : 1 の関係となっている。

回帰分析したときの決定係数 R^2 を見ると、簡易丸太ヤングと縦振動生材ヤングの関係は 0.3976、縦振動生材ヤングと縦振動仕上げ材ヤングの関係は 0.8653 で、丸太から生材を予測する精度は比較的 low、生材から仕上げ材を予測する精度は比較的高い。このため、丸太段階の選別の精度は、動的ヤング係数の高いほうと低いほうを大まかに選別する程度であると考えられる。また、製材過程の選別では、生材段階の測定で仕上げ材の動的ヤングを精度良く予測することができると考えられる。

製材過程の選別では、生材から仕上げ材の動的ヤング係数を予測するとき、誤差を加味して選別の目安を立てることにより、より確実性の高い選別ができると考えられる。その目安は、例えば、生材と仕上げ材の回帰直線とその 95% 信頼区間の下限ラインを想定し、仕上げ材の動的ヤング係数は下がってもここまでに収まるという予測を立てることである。図－6 のデータを参考にすれば、仕上げ材の動的ヤング係数は、生材の値から概ねマイナス 0.6 kN/mm^2 までに収まるという予測を立てることができる。



図－5 丸太と生材の動的ヤング係数の相関（スギ）



図－6 生材と仕上げ材の動的ヤング係数の相関（スギ）

2) アカマツ平角材

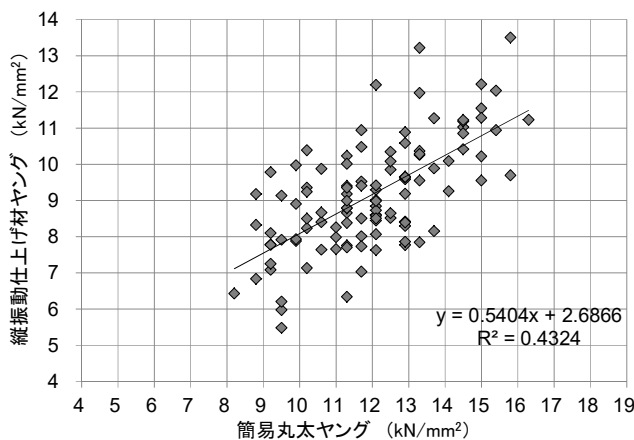
簡易強度試験機で測定した丸太の動的ヤング係数（簡易丸太ヤング）と縦振動法で測定した仕上げ材の動的ヤング係数（縦振動仕上げ材ヤング）の相関を図－7に示す。データは、仕上げ材 153 本のうち、材長 6m のまま（カットされずに）測定された 110 本のものである。簡易丸太ヤングは、スギの場合と同様に、縦振動仕上げ材ヤングに比べて全般的に値が大きく出る傾向が見られる。

アカマツでは、研究用のデータを得るため、20 本を抽出して、生材、乾燥材、修正挽き材の各段階において縦振動法による動的ヤング係数の測定を行っている。その抽出した 20 本について、縦振動生材ヤングと縦振動仕上げ材ヤングの相関を図－8 に示す。縦振動生材ヤングと縦振動仕上げ材ヤングを比べると、やや縦振動仕上げ材ヤングが低くなるように見える。

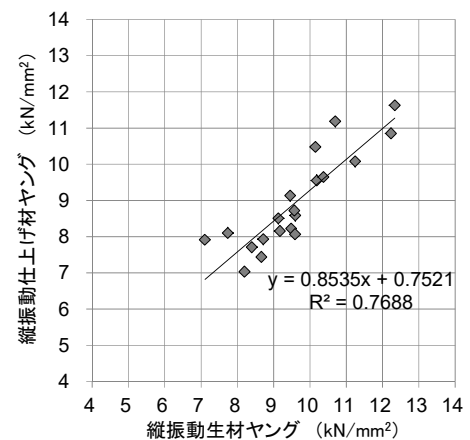
回帰分析したときの決定係数 R^2 を見ると、簡易丸太ヤングと縦振動仕上げ材ヤングの関係は 0.4324、縦振動生材ヤングと縦振動仕上げ材ヤングの関係は 0.7688 で、丸太から仕上げ材を予測する精度は比較的低く、生材から仕上げ材を予測する精度は比較的高い。このため、丸太段階の選別は、スギの場合と同様に、動的ヤング係数の高いほうと低いほうを大まかに選別する程度であると考えられる。また、製材過程では、縦振動法を用いることにより、精度の高い強度選別が可能と考えられるが、スギの場合に比べると精度はやや落ちると思われる。それは、スギに比べてアカマツは粗挽き寸法（余幅）が大きめであり、修正挽きとプレーナー仕上げで削られる部分が多いことが理由の一つと考えられる。

今回のケースでは、丸太段階の選別で簡易丸太ヤングの目安を 8.0 kN/mm^2 に設定したところ、結果的に製材過程（生材段階）の選別で除外されるものがなく、縦振動仕上げ材ヤングではほとんどのものが E 70 の目安となる 5.8 kN/mm^2 以上であった。このことから、E 70 を目標とする場合、簡易丸太ヤングの目安を 8.0 kN/mm^2 より下げることとも考えられる。また、E 90 を目標とする場合は、ハードルが高くなることから、製材過程の選別が必要になる可能性が高いと考えら

れる。



図－7 丸太と仕上げ材の動的ヤング係数の相関（アカマツ）



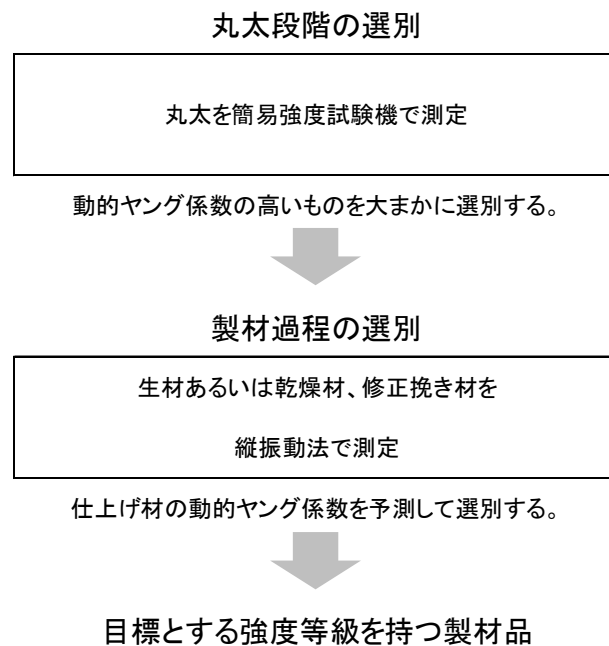
図－8 生材と仕上げ材の動的ヤング係数の相関（アカマツ）

4. 強度選別方法のまとめ

強度選別の実施状況と測定データの分析から、強度選別は、丸太段階の選別と製材過程の選別により、目標とする強度等級（それ以上）を持つ製材品を選別することができるものと言える。

強度選別の方法をまとめると図－9 のようになる。また、製造現場で検討したことも踏まえると、主なポイントは、次のとおりである。

- ① 丸太段階における簡易強度試験機の動的ヤング係数はバラツキが大きいですが、強度の高いほう・低いほうを大まかに選別することができる。
- ② 丸太段階での選別の目安は、目標とする強度等級に応じ、簡易強度試験機のデータ傾向を踏まえて設定する。本事例では簡易強度試験機の動的ヤング係数は、縦振動法のそれよりやや高めに出ていた。
- ③ 製材過程の選別では、生材段階で縦振動法により動的ヤング係数を測定することにより、仕上げ材の動的ヤング係数を予測することができる。つまり、精度の高い選別ができる。
- ④ 生材から仕上げ材の動的ヤング係数を予測するとき、例えば 95%信頼区間の下限を想定して選別の目安を設定することにより、選別の確実性を高めることができる。つまり、仕上げ材で除外されるものが少なくなる。



図－9 強度選別の方法

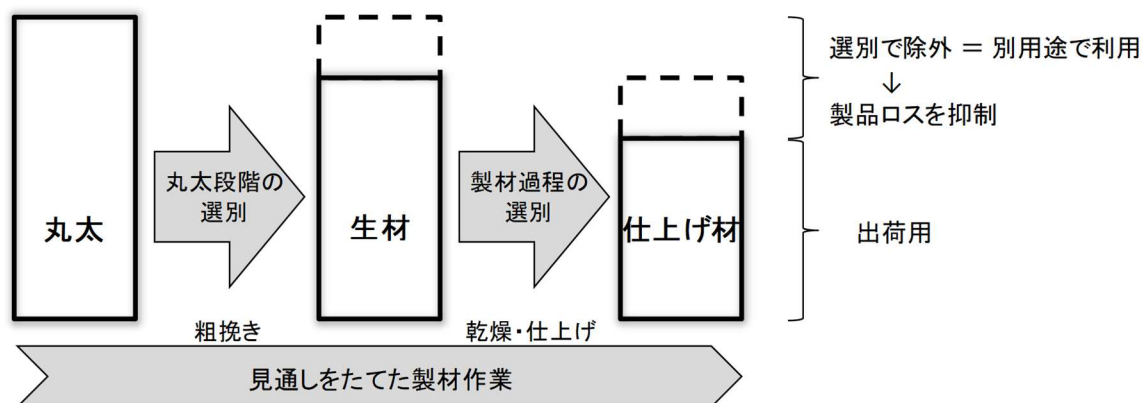
5. 強度選別の効果

スギ平角材の事例では、生材段階で強度選別により 173 本から 47 本、本数割合で 27%が除外された。除外された材は、別の用途に利用することができる。乾燥材段階では 3 本が除外されている。これら 50 本は、仮に除外されずに仕上げ材段階まで進んだとすれば、出荷段階の検査で強度不足による不合格品となった可能性が高い。丸太段階の選別で除かれた材についても同様である。これらのことから、強度選別を行ったことにより、出荷段階に生じる製品のロスが抑えられたと考えられる。また、乾燥やプレーナー仕上げにかかる経費も抑えられたと考えられる。ただし、強度選別を行う手間と時間がかかっているので、経費については相殺される面がある。

アカマツ平角材の事例では、丸太段階で強度選別により 297 本から 90 本、本数割合で 30%が除かれた。製材過程では強度選別で除かれたものは無かった。アカマツの場合は、丸太段階の選別に効果があり、結果的に製材過程の選別が生じなかったが、スギの場合と同様に、強度選別を行ったことにより、出荷段階に生じる製品のロスを抑えることができたと考えられる。

また、製材過程で動的ヤング係数を測定することから、製材現場として目標とする強度等級を持つ製材品がどのくらいの本数得られるか、十分なのか、不足するのか、見通しを立てながら製材することができたと考えられる

強度選別の効果のイメージをまとめると図－10 のようになる。



図－10 強度選別の効果

Ⅳ おわりに

本研究では、実際の公共建築工事に製材工場が製材品を製造・供給する現場で、スギ平角材とアカマツ平角材の製造過程を追跡し、強度選別の実施状況を調査した。強度選別の実施にあたっては、動的ヤング係数の測定や選別方法の検討などで、当林業研究所が現場に協力した。得られた調査結果から、強度選別の方法や効果をまとめることができた。対応した現場では、必要な強度等級の製品を確保し、効率的な製材を行うことができたものと思われる。

対象事例とした八戸市立西白山台小学校校舎の建設工事における製材品は J A S 機械等級区分材と同等であることとされていた。三八地方森林組合、上北森林組合とも機械等級の J A S 認定工場ではないため、同等品であることを確認する必要がある、縦振動法による動的ヤング係数と曲げ試験による曲げヤング係数との相関の確認を行った。また、出荷ロット毎に抽出して破壊試験を行って曲げ強さを確認した。

製材工場における強度選別は、公共建築向けの製材に有効であり、製材工場の収益性や県産材の信頼性の向上にもつながるものと思われる。今後は、動的ヤング係数の測定方法、測定機材、選別の目安などの検討を重ね、より実用的な方法を確認していきたい。