

## 過度の高温セット処理を施したトドマツ正角材の強度性能

戸田正彦, 土橋英亮<sup>\*1</sup>, 伊藤洋一<sup>\*1</sup>

### Strength of Todomatsu (*Abies sachalinensis*) square timber kiln-dried with excessive high temperature setting treatment

Masahiko TODA, Hideaki TUCHIHASHI, Youichi ITO

Strength tests were conducted for Todomatsu square timber kiln-dried with excessive high temperature setting treatment. The drying process with excessive high temperature setting treatment caused inner checks not only in timber with pith but also in timber without pith. The total length of the inner checks per cross section was very large in the neighborhood of the cut ends of the timber, but was reduced 20 cm distant from the cut ends and was constantly small in mid-span. Air drying caused few inner or outer checks in timber without pith, so the strength of kiln-dried timber was lower than that of air-dried timber. However, air drying caused large outer checks in timber with pith, so the block shear strength was smaller than that of kiln-dried timber. The total length of inner checks had a negative relation with the block shear strength, but no relation to specific gravity or other strengths.

**Key words:** high temperature setting treatment, inner check, full-scale block shear  
高温セット, 内部割れ, 実大いす型せん断

過度の高温セット条件で乾燥させたトドマツ正角材の内部割れの発生状況の調査および強度試験を実施し天然乾燥材との比較を行った。その結果、過度の高温セット条件で乾燥させた場合、心去り材・心持ち材ともに内部割れが発生することを確認した。内部割れ長さは材端付近で大きいですが、材端から 20cm の位置にかけて急激に減少し、それ以降は中央までほぼ一様な割れ長さになっていた。心去り材は天然乾燥によって内部割れ・材面割れともに発生しておらず、強度は天然乾燥材が高温乾燥材を上回った。一方、心持ち材は天然乾燥によって大きな材面割れが発生し、このためせん断強度は高温乾燥材よりも下回っていた。内部割れ長さは比重や曲げ、圧縮強度とは相関が認められなかったが、せん断強度 (いす型) では負の相関関係が認められた。

#### 1. はじめに

近年、住宅の建築期間の短縮あるいは住宅の高気密化など建築様式の変化に伴い、使用する構造用製材として乾燥材が求められている。このため、天然乾燥だけでなく、さまざまな人工乾燥の方法や乾燥スケジュールが考案され、割れや狂いの少ない乾燥材が木造住宅に使用されるようになった。最近では、高温セットと呼ばれる 100℃以上での前処理を行う高温乾燥法によって、これまで表面割れの抑制が困難であった心持ち材でも割れを少なく仕上げるのが可能となった。一方で、温湿度や処理時間などの高温セット条件が適切でない場合は、内部割れが発生することが明らかになっている。内部割れは

表面からは確認できないため、外観上のデメリットはそれほど大きくないが、内部割れによる強度低下を懸念する声は多く、今後心持ち材の構造用途への利用拡大を図る上では、ユーザーが安心して使えるような根拠を明確に示す必要がある。

これまで筆者らは最高 140℃の高温条件で乾燥させたトドマツおよびカラマツ正角材の強度性能について報告している<sup>1,2)</sup>が、内部割れの発生状況や強度との関係に関するデータはいまだ十分とは言えない。そこで本研究では、トドマツ正角材を対象に、過度の高温セット条件を用いて乾燥処理を行い、内部割れの発生状況を調査するとともに強度試験により内部割れと強度との関係について検討した。

なお本研究は、平成 21 ～ 23 年度「新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業」（農林水産省）の研究課題「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」（主管：石川県林業試験場（24 年 4 月より石川県農林総合研究センター 林業試験場））として実施した。

## 2. 試験体

### 2.1 供試体

一般的に高温セット処理は心持ち材に適用されるが、ここでは木取りによる差を調べるため、トドマツの心去り材および心持ち材の 2 種類を供試体とした。心去り材は径 34 ～ 40cm，心持ち材は径 18 ～ 22cm の原木から製材し、挽き立て寸法は 120mm 角とした。製材後に打撃法によってグレーディングを行い、性能差が生じないように二つのグループに分け、それぞれ天然乾燥および高温乾燥のグループとして、次に示す条件で乾燥処理を行った。

### 2.2 乾燥条件

本研究では、内部割れと強度の関係を明らかにすることを目的として、一般に採用されている乾燥スケジュールではなく、内部割れを強制的に発生させるための高温乾燥スケジュールを第 1 表のように設定した。トドマツ正角材の高温セット処理時間は一般的には 28 (4+24) 時間であるが、ここでは 64 (4+60) 時間に設定することによって、過度の高温セット条件とした。

一方、内部割れの生じない試験材を作製するために、林産試験場敷地内に積みすることによって天然乾燥を行った。心去り材の乾燥期間は 22 年 2 月末～ 11 月末、心持ち材は 22 年 8 月 6 日～ 23 年 8 月 31 日（ただし冬期間は試験室内で保管）とした。

第 1 表 乾燥スケジュール

Table 1. Drying schedule

ステップ Step	乾球温度 Dry-bulb temperature (°C)	湿球温度 Wet-bulb temperature (°C)	時間 Time (hours)	備考 Note
①	95	95	8	蒸煮 Steaming 高温セット Drying set
②	120	98	4	
③	105	85	60	

注：平均初期含水率 50% のトドマツ正角（120mm 角，長さ 3.65m）を 15% まで乾燥した場合の処理時間

Note: Processing time to dry Todomatsu timber (120 mm square, 3.65 m length, 50% average initial moisture content) to 15% moisture content.

高温乾燥材、天然乾燥材ともに乾燥処理終了後に、105mm 角になるよう鉋削処理を施した。

## 3. 割れの測定および強度試験

### 3.1 内部割れの測定

内部割れを測定するため、乾燥・鉋削処理が終了した製材から各強度試験体を切り出す際に隣接する部位から厚さ 2 ～ 3cm 程度の試験片を採取した。試験片の木口面をスキャナで読み取り、画像処理ソフトで割れの幅、長さを解析し、割れ評価値として 1 面あたりの割れ長さの総和、および割れ面積の総和を求めた。ここで、内部割れは木口面で観察された割れを対象とし、鉋削処理する前の時点で表面（材面）に達していないものを内部割れと判定した。

### 3.2 強度試験

せん断試験（いす型）以外の強度試験は、標準的な方法<sup>3)</sup>に準じて実施した。使用した試験機は、曲げ・圧縮・せん断（いす型）試験は実大木材強度試験機（(株) 東京衡機製造所製，最大容量 1000kN），引張試験は引張試験機（(株) 岩崎製，最大容量 1000kN），めり込み，せん断（曲げ型）はテンシロン強度試験機（エー・アンド・デイ社製，最大容量 100kN）とした。試験体数は、心去り材が 40 体，心持ち材が 25 体である。

各試験での試験体は 105mm 角に鉋削処理したものであり，試験方法は以下のとおりである。

#### 3.2.1 曲げ試験

スパンを材せいの 18 倍とする 3 等分 4 点荷重方式とし，単調増加方式で加力した。中央たわみは，最大ストローク 100mm の変位変換器を用いて分解能 1/100mm で計測し，曲げヤング係数および曲げ強度を求めた。

#### 3.2.2 圧縮試験

材長は短辺の 6 倍として，上下加力板の回転は拘束した状態で加力した。圧縮強度を求めるとともに，最大ストローク 10mm の変位変換器を用いて分解能 1/1000mm で計測した圧縮変位量（計測点間距離は 330mm）から圧縮ヤング係数も求めた。

#### 3.2.3 縦引張り試験

チャック間の長さを長辺の 20 倍とし，単調加力によって引張強度を求めた。

### 3.2.4 むり込み試験

材中間部のむり込みとし、材長は短辺の6倍とした。むり込み変位は最大ストローク 50mm の変位変換器を用いて分解能 1/100mm で計測し、むり込み剛性、むり込み降伏強度およびむり込み強度を求めた。

### 3.2.5 せん断試験（曲げ方式）

中央荷重方式とし、試験体長さは材せいの7倍、せん断スパンは材せいの3倍として単調に加力し、せん断強度を求めた。

### 3.2.6 せん断試験（いす型方式）

実大いす型せん断治具<sup>4)</sup>を用いて行った。材長を150mm、せん断面の寸法は幅105×高さ100mmとし、せん断面が曲げ方式の場合と同じ面として単調に加力し、せん断強度を求めた。

## 4. 試験結果

### 4.1 乾燥後の状態と内部割れの発生状況

強度試験終了後の試験体から採取した切片を用いて全乾法で測定した含水率および比重を第2表に示す。また、割れの発生状況の例を第1図に示す。

従来から知られているように、高温乾燥によって心持ち材に内部割れが発生したが、本試験では心去り材でも同様に内部割れが生じることが確認された。また天然乾燥では心持ち材は材面割れが顕著に発生したのに対して心去り材では材面割れ、内部割れともに発生しなかった。

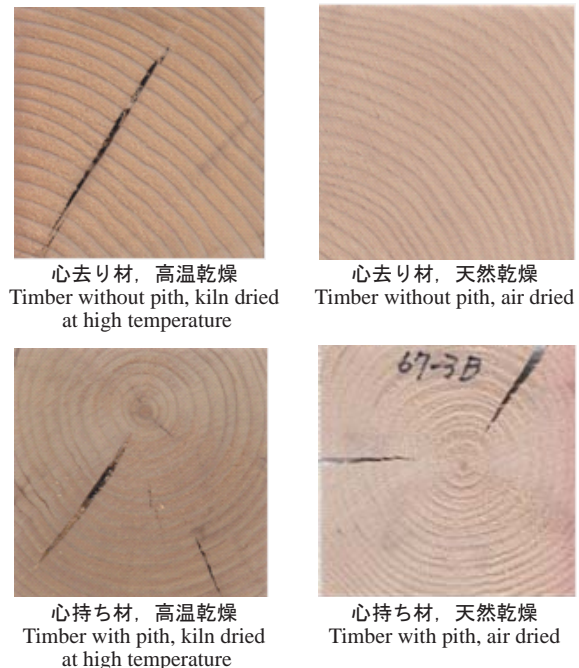
高温乾燥した心持ち材について、長さ方向における鉋作処理直後に測定した内部割れの発生状況の例を第2図に示す。断面当りの内部割れ長さの総和は材端付近で大きいのが、材端から20cmの位置にかけ

第2表 試験体の比重と含水率

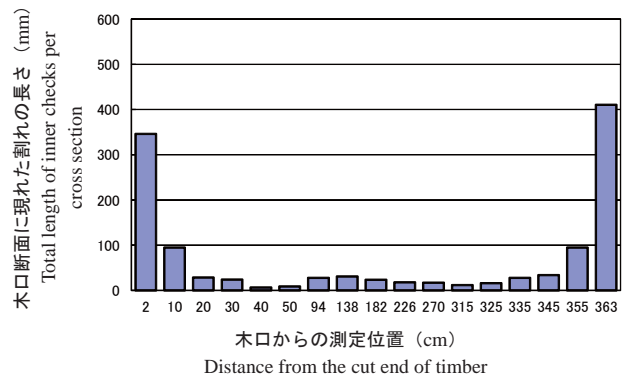
Table 2. Specific gravity and moisture content.

	心去り材		心持ち材	
	Timber without pith		Timber with pith	
	高温乾燥	天然乾燥	高温乾燥	天然乾燥
	Kiln dried at high temperature	Air dried	Kiln dried at high temperature	Air dried
比重	0.40	0.41	0.38	0.39
変動係数	0.13	0.08	0.09	0.13
含水率(%)	12.6	16.7	10.9	15.5
変動係数	0.14	0.03	0.20	0.03

て急激に減少し、それ以降は中央まではほぼ一樣な割れ長さになっていることが確認された。



第1図 割れの発生状況  
Fig. 1. Appearance of checks.



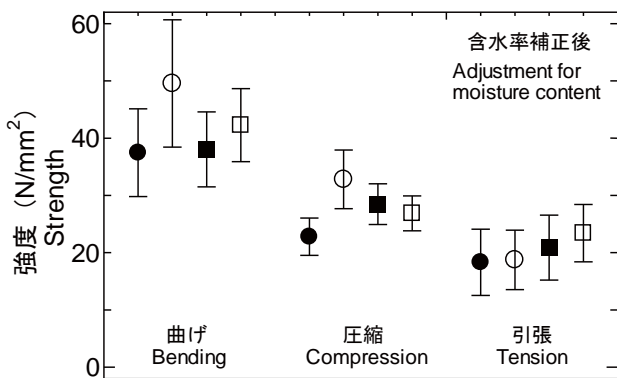
第2図 高温乾燥した心持ち材での長さ方向における内部割れの発生状況

Fig. 2. Relationship between distance from the cut end of timber and total length of inner checks per cross section of square timber with pith kiln-dried in high-temperature.

### 4.2 強度試験結果

#### 4.2.1 乾燥条件と強度の関係

強度試験の結果を第3、4図に示す。なお乾燥条件によって仕上がり含水率が異なるため、ASTM D 1990<sup>5)</sup>に基づき、曲げ強度、縦圧縮強度、引張強度については含水率15%相当の値に補正した。

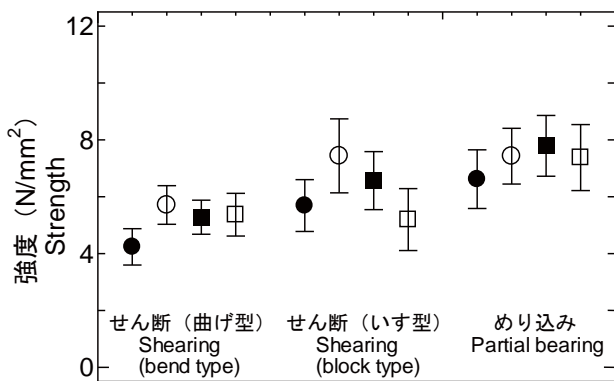


第3図 実大強度試験結果その1

凡例) ●: 心去り材, 高温乾燥, ○: 心去り材, 天然乾燥,  
 ■: 心持ち材, 高温乾燥, □: 心持ち材, 天然乾燥,  
 エラーバー: 標準偏差

Fig. 3. Results of full-scale strength test (Part 1).

Legend) ●: Timber without pith kiln dried at high temperature,  
 ○: Timber without pith, air dried,  
 ■: Timber with pith kiln dried at high temperature,  
 □: Timber with pith, air dried,  
 Error bar: Standard deviation.



第4図 実大強度試験結果その2

凡例) 第3図参照

Fig. 4. Results of full-scale strength test (Part 2).

Legend) See Fig. 3

心去り材については、すべての強度試験で高温乾燥材のほうが天然乾燥材よりも低い値を示し、引張強度以外は有意水準1%で差が確認された。したがって、乾燥処理に費やす時間を短縮する目的がない場合は、心去り材に高温セット処理を施すことの有用性はないと考えられる。

一方、心持ち材では曲げ強度のみ天然乾燥材が高温乾燥材を有意水準5%で上回っていた。逆にせん断強度(いす型)では高温乾燥材のほうが有意水準1%で上回る結果となった。これは、先に示したように天然乾燥材はほぼすべての試験体で大きな材面割れが発生しており、そのため断面欠損が生じたり、

応力が均等に分布しなかったためと考えられる。それ以外の強度については有意な差は認められなかった。

高温乾燥材についても内部割れによる断面欠損が存在するが、材面割れが発生していないことによって、応力の分布に大きな変化は生じず、強度を低下させる要因とはならなかったと考えられる。このように、材面割れを抑制する高温セット処理を用いることによって、外観上のメリットだけでなく、内部割れが発生した場合でも強度の低下を最小限に抑える効果があると考えられる。

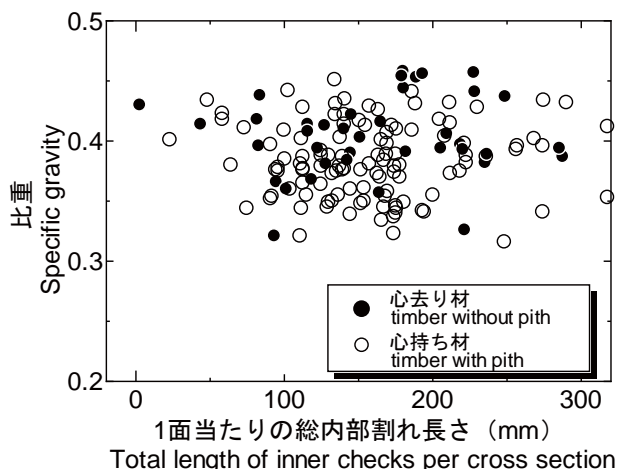
#### 4.2.2 内部割れ長さと強度の関係

高温乾燥材を対象として、内部割れ長さと各種指標との関係について検討した。なお各強度試験体の割れ評価値は、両木口面に該当する評価値の平均を用いた。

内部割れ長さと比重との関係を第5図に示す。これまでの報告<sup>2)</sup>と同様に、有意な相関関係は認められなかった。

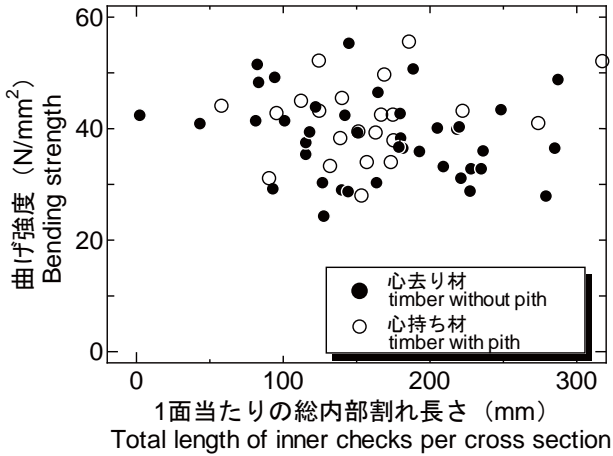
また、第6図に示すように、内部割れと曲げ強度の間にも有意な相関関係は認められず、圧縮強度や引張強度についても同様の結果であった。

一方、せん断強度(いす型)との間には第7図に示すような負の相関が認められ、せん断強度(曲げ型)でも同様の傾向が確認された。せん断の場合は、応力を負担するせん断面での内部割れによる断面欠損が特に影響を及ぼすためと考えられる。



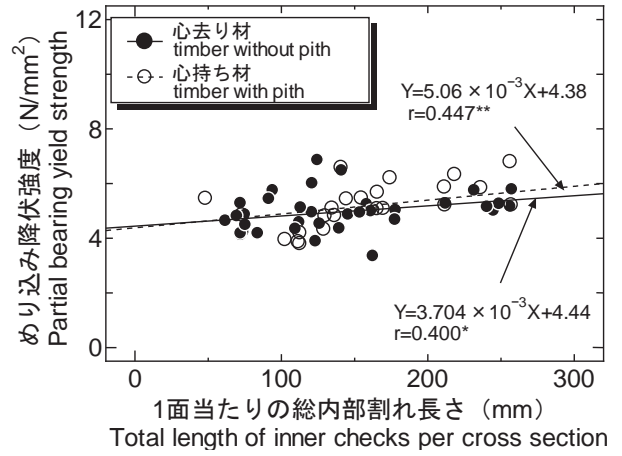
第5図 割れ長さと比重の関係

Fig. 5. Relationship between total length of inner checks and specific gravity.



第 6 図 割れ長さと曲げ強度の関係

Fig. 6. Relationship between total length of inner checks and bending strength.

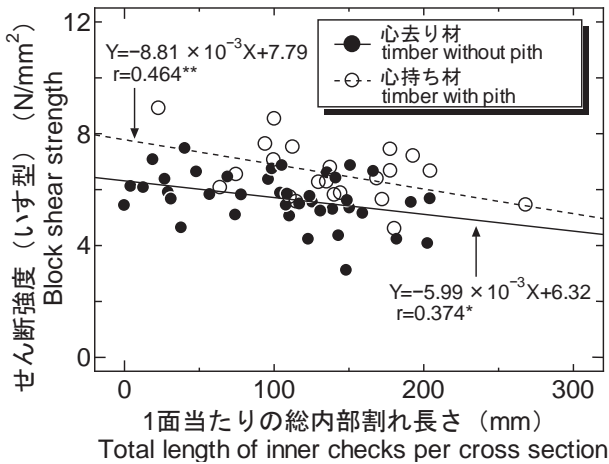


第 8 図 割れ長さとめり込み降伏強度の関係

注) \*\*, \*: 第 7 図参照

Fig. 8. Relationship between total length of inner checks and partial bearing yield strength.

Note) \*\*, \*: See Fig. 7.



第 7 図 割れ長さとせん断強度 (いす型) の関係

注) \*\*: 1% 有意, \*: 5% 有意

Fig. 7. Relationship between total length of inner checks and block shear strength.

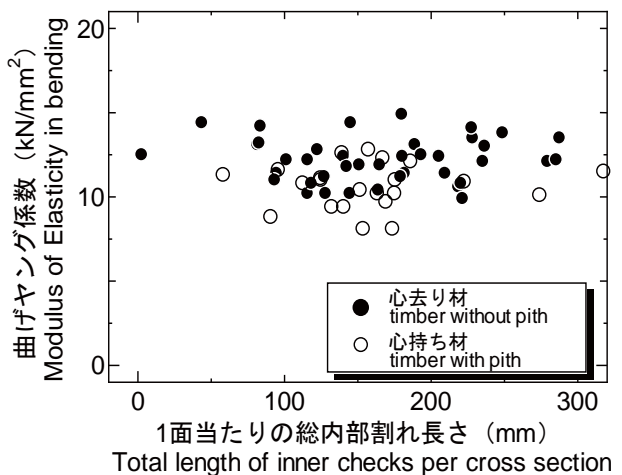
Note) \*\*: Significant at 1% level, \*: Significant at 5% level.

これに対して、割れ長さとめり込み降伏強度との間には、第 8 図に示すように有意な正の相関関係が認められた。これまでスギについては、干割れが顕著なほど曲げ性能は高くなるとの報告<sup>6)</sup>があり、また筆者らも木口面の割れと曲げヤング係数の間に正の相関がある試験結果を得ている<sup>2)</sup>。しかし、これまで繊維直交方向での強度性能で正の相関が認められた報告はなく、今後測定データを蓄積して因果関係を探っていく必要があると考えられる。

なお、内部割れの程度を表す指標として、割れ面積の総和を用いた場合は、割れ長さを用いた場合よりも相関関係が低下することが確認された。内部割

れが各種強度を低下させる理由として、応力を負担する有効断面が減少することと、繊維同士が分断されることによって応力集中が生じやすくなることが考えられるが、これまでの検討の結果、どちらかという繊維が分断されることによる影響が大きいと考えられた。

同様の考え方に基つくと、内部割れによって弾性的性質にも影響を及ぼすと考えられるが、例えば割れ長さと曲げヤング係数については、第 9 図に示すように相関は認められなかった。圧縮ヤング係数やめり込み剛性についても同様であったことから、本研究で実施した乾燥条件および試験体については、



第 9 図 割れ長さと曲げヤング係数の関係

Fig. 9. Relationship between total length of inner checks and modulus of elasticity.

内部割れは弾性的性質よりも破壊強度に影響を及ぼすものと考えられる。ただし、高温セット条件によっては熱的損傷を受ける可能性もあり、また先述したように、割れとヤング係数との間に正の相関が認められた事例もあることから、乾燥条件や樹種によってその影響の度合いが異なる可能性があると思われる。

## 5. おわりに

過度の高温セット条件で乾燥させたドマツ正角材の内部割れの発生状況を調査するとともに強度試験を実施し、天然乾燥材との比較を行い以下の結論を得た。

1. 過度の高温セット条件によって発生した心去り材・心持ち材ともに内部割れが発生し、断面当りの内部割れの総長さは材端付近で大きい、材端から20cmの位置にかけて急激に減少し、それ以降は中央までほぼ一様な割れ長さになっていた。
2. 心去り材では天然乾燥によって内部割れ・材面割れともに発生しておらず、また高温乾燥材の方が天然乾燥材よりも低い強度を示した。一方、心持ち材を天然乾燥させた場合は大きな材面割れが発生したため、せん断強度は高温乾燥材のほうが天然乾燥材を上回っていた。
3. 内部割れ長さは比重や曲げ、圧縮強度とは相関関係が認められなかったが、せん断強度（いす型）では負の相関関係が認められた。

これらの成果は、全国の公設試がそれぞれの地域材について検討した成果とともに「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」<sup>7)</sup> (第10図)に取りまとめられており、当試験場のホームページからもダウンロード可能である<sup>8)</sup>。

## 文 献

- 1) 戸田正彦, 前田典昭: 針葉樹高温乾燥材の強度性能評価, 林産試験場報 16(1), 7-14(2002).
- 2) 戸田正彦, 前田典昭, 中寫厚: 木口面割れが接合性能に及ぼす影響, 日本木材学会北海道支部講演集 34, 札幌, 2002, pp.37-40.
- 3) (財) 日本住宅木材・技術センター: 構造用木材



第10図 「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」

Fig. 10. Manual for safely producing and using kiln-dried timber without inner checks.

の強度試験マニュアル, 平成23年3月

- 4) 井道裕史, 長尾博文, 加藤英雄: 実大いす型せん断治具を用いたスギ製材品のせん断強度の評価, 木材学会誌 50(4), 220-227(2004).
- 5) ASTM D 1990: Standard Practice for Establishing Allowable Properties for Visually-Graded Dimension Lumber from In-Grade Tests of Full-Size Specimens.
- 6) 荒武志郎, 有馬孝禮, 迫田忠芳, 中村徳孫: スギ構造材の干割れが力学的性質に及ぼす影響, 木材工業 48, 166-170(1993).
- 7) 「安全・安心な乾燥材生産技術の開発」研究グループ: 「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」(2012).
- 8) (地独) 北海道立総合研究機構 林産試験場: 「安全・安心な乾燥材の生産・利用マニュアル」 <http://www.fpri.hro.or.jp/manual/kansozai/kansozai.htm> (登録日: 2012年4月2日)

— 性能部 耐久・構造グループ —

— \*1: 技術部 生産技術グループ —

(原稿受理: 12.12.10)