

# 県産スギ材を活用したツーバイフォー工法部材の変形に関する研究

日高富男\*, 山角達也\*\*, 南 晃\*\*\*, 福留重人\*, 中原 亨\*, 新山孝子\*

## Study on Deformation of Two-By-Four Method Lumber using Cryptomeria made in Kagoshima

Tomio HIDAKA, Tatsuya YAMAZUMI, Akira MINAMI, Sigeto FUKUDOME, Toru NAKAHARA and Takako NIIYAMA

スギ大径材の有効な用途の一つに、ツーバイフォー工法部材への活用がある。その中でも住宅の横架材として使用される210材等幅広い部材について、乾燥時に生じる幅反り等の変形の大きさをJASの変形基準値と比較した。短尺材での試験結果を踏まえ、実大材で試験を行った結果、枠組壁工法JASの変形基準値の特級及び1級を満たすことを確認できた。

**Keyword :** ツーバイフォー, 幅反り, 変形, 歩留まり

### 1. 緒 言

北米で開発された枠組壁工法(ツーバイフォー工法)は、1974年に国内で技術基準が告示され、一般工法として47年余りが経過している。近年では、2015年に枠組壁工法構造用製材、枠組壁工法構造用たて継ぎ材のJASが改訂され、新たにヒノキ、スギ、カラマツを対象とした国産材樹種群が設定された。また、2018年には枠組壁工法建築物設計の手引き等が改訂され、間柱に国産材を用いた枠組材が使用されるようになってきた。

現在、木造住宅におけるツーバイフォー工法住宅の割合は約2割を占め<sup>1)</sup>、工法として定着しつつあり、今後国産材のツーバイフォー工法部材への活用が期待される。

一方、国内の森林資源は戦後造林されたスギ材等が充実し、利用期を迎えている。本県においても50年生以上の大径材の蓄積割合が過半を占め<sup>2)</sup>、その利活用が喫緊の課題になっている。また、大径材の利活用について、各県でも種々の取り組みがなされている<sup>3)</sup>。

そこで本研究では、県産大径材の有効利用の一つとして、ツーバイフォー工法部材への活用を図るため、住宅の横架材として使用される210材等幅広い部材について、乾燥時に生じる幅反り等の変形の大きさを測定し、JASの適合度合を確認することを目的とした。

### 2. 短尺材による予備試験

実大材の歩増し量を設定するため短尺材での予備試験を実施した。

### 2. 1 試験方法

#### 2. 1. 1 供試材

末口短直径40cm以上のスギ大径材(4,000mm×2本)から、図1に示す木取りで幅255mm, 51mm厚, 長さ4,000mmの一定寸法

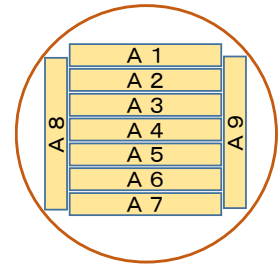


図1 製材木取り

で製材した板材は、長さ1,000mmずつ切断し、45mm厚, 48mm厚, 51mm厚の3種の試験体をそれぞれ18枚ずつ作製した。試験体の厚さの設定は、幅の狭い204材(89mm)の厚さの歩増し量が5mm程度であることから、幅広の210材(235mm)の厚さの歩増し量を多めに3種類設定した。また、試験体の長さが短いことによる乾燥への影響を抑制するために、試験体の両木口面をアルミ箔で封止した。

#### 2. 1. 2 乾燥条件

乾燥は、天然乾燥を112日間(3/12~7/2)、図2のスケジュールによる人工乾燥を53時間行い、乾燥終了後、室内養生を約50日間行った。積積み条件は、積木間隔2条件、載荷重3条件の組合せとした。積積み条件を表1に示す。使用した人工乾燥機(東北通商(株)SDM X 400SL)の外観を図3に、積積みと載荷の概略図を図4に示す。

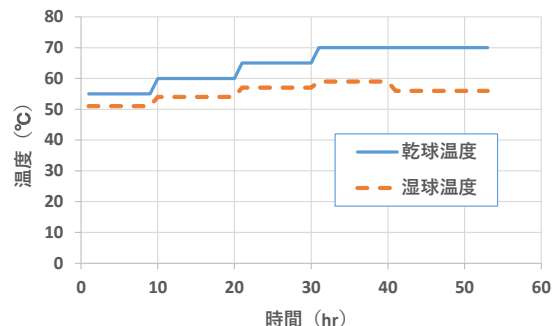


図2 乾燥スケジュール

\* 地域資源部

\*\* 元地域資源部

\*\*\* 研究主幹

表1 棧積み条件

棧積み条件	1	2	3	4	5
棧木間隔	250mm			500mm	
載荷重	なし	500kg	1,000kg	なし	500kg

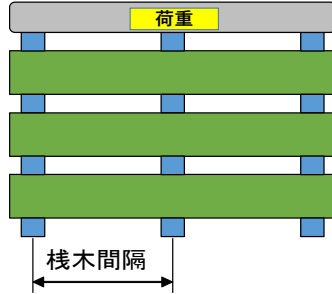


図3 人工乾燥機外観 図4 棧積みと载荷の概略図

2. 1. 3 測定方法

1) 含水率

乾燥中の重量を定期的に測定し、仕上がり時の含水率を全乾法で求め、全乾重量から各測定時の含水率を算出した。

2) 収縮率

乾燥前後の試験体中央部の厚さ方向及び幅方向を測定し収縮率を算出した。

3) 幅反り

短尺材であることから、曲がり等の変形に比べて長さの影響の少ない幅反りのみを対象とした。乾燥後の試験体中央部の幅方向の最大矢高を測定した。図5に木材の主な4種類の変形を示す。

4) 歩留まり

乾燥後、試験体の両面を自動一面鉋盤で加工し、仕上がり時の厚さで評価した。

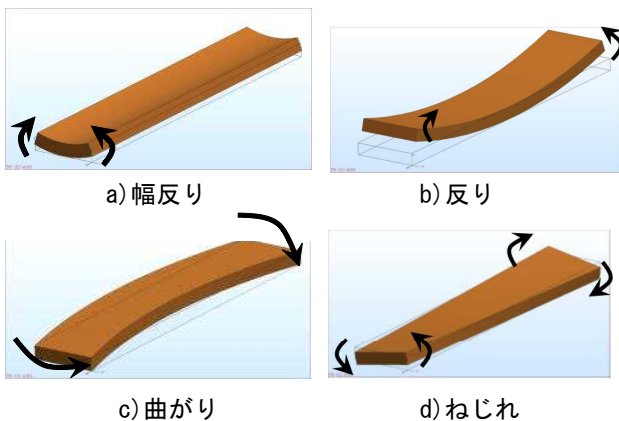


図5 木材の主な4種類の変形

2. 2 試験結果

2. 2. 1 含水率

含水率の推移を表2に示す。2本の丸太から製材した板材の初期含水率の平均値は182.1%であった。

十分な期間の天然乾燥を実施したことで、初期含水率のバラツキをある程度収束できた。

人工乾燥後の平均含水率は、14.5%、養生後の平均含水率は14.5%であり、JAS基準(19%以下)をすべて満たした。

人工乾燥後、養生することで仕上がり時の含水率のバラツキを軽減できた。

表2 含水率の推移(%)

	初期含水率	74日目	88日目	乾燥後	養生後
平均値	182.1	24.7	21.8	14.5	14.5
最大値	225.4	62.3	47.2	17.0	15.2
最小値	126.9	16.5	17.0	11.8	13.1

2. 2. 2 収縮率

試験体の厚さ方向の収縮と収縮率を表3に、幅方向の収縮と収縮率を表4に示す。厚さ方向の収縮の平均値は、45mm厚で1.03mm、48mm厚で1.19mm、51mm厚で1.06mmであった。

また、幅方向の収縮の平均値は、45mm厚で5.52mm、48mm厚で5.47mm、51mm厚で5.23mmであり、材厚が小さい方が収縮しやすい傾向が認められた。これは、幅方向の収縮に幅反りの度合いが影響していると考えられる。同じ材厚において、厚さ方向と幅方向の収縮に大きな差が見られるのは、製材した部位の接線方向と半径方向の収縮率が異なるためと思われる。

表3 厚さ方向の収縮(mm), 収縮率(%)

	45mm厚		48mm厚		51mm厚	
	収縮	収縮率	収縮	収縮率	収縮	収縮率
平均値	1.03	2.3	1.19	2.5	1.06	2.1
最大値	1.37	3.0	1.61	3.4	1.48	2.9
最小値	0.76	1.7	0.80	1.7	0.37	0.7

表4 幅方向の収縮(mm), 収縮率(%)

	45mm厚		48mm厚		51mm厚	
	収縮	収縮率	収縮	収縮率	収縮	収縮率
平均値	5.52	2.2	5.47	2.1	5.23	2.0
最大値	7.10	2.8	6.95	2.7	7.93	3.1
最小値	3.29	1.3	3.11	1.2	3.09	1.2

2. 2. 3 幅反り

試験体の厚さ毎の乾燥後の幅反りを図6～8に示す。45mm厚と48mm厚の試験体において、2mm以上の大きな幅反りが一部認められた。また、51mm厚の幅反りはすべて2mm未満であり、厚い材ほど幅反りは小さかった。

棧木間隔による顕著な差は見られなかった。载荷について荷重が大きいほど幅反りは抑えられる傾向が見られた。

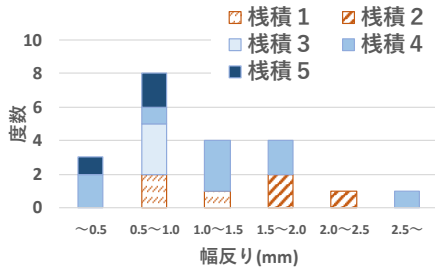


図6 乾燥後の幅反り (45mm厚)

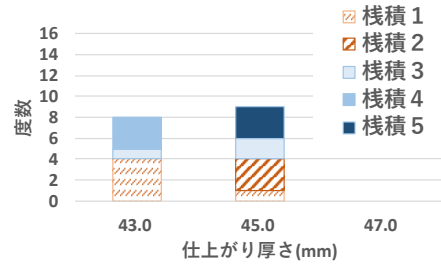


図10 加工歩留まり (48mm厚)

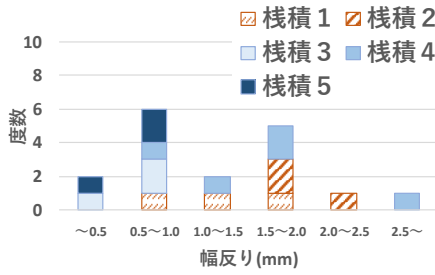


図7 乾燥後の幅反り (48mm厚)

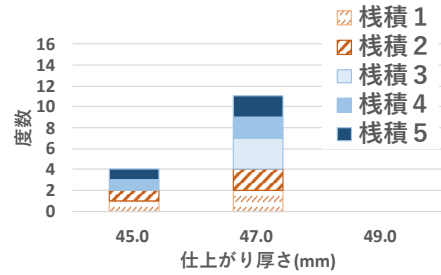


図11 加工歩留まり (51mm厚)

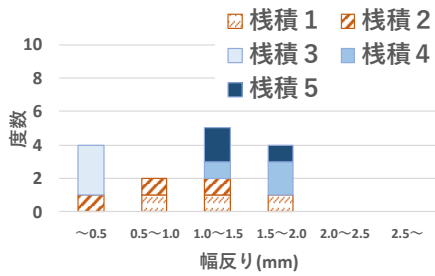


図8 乾燥後の幅反り (51mm厚)

2. 2. 4 歩留まり

試験体の仕上げ加工後の歩留まりを図9～11に示す。板材の両面をフラットな状態に上げるために、45mm厚の板材は、最大5.5mm(仕上がり厚39.5mm)、48mm厚は、最大5mm(仕上がり厚43mm)、51mm厚は最大6mm(仕上がり厚45mm)を要した。このことから歩増し量を6mm取れば大半の板材は仕上がると思われる。

以上のことから、実大材における実験条件は、荷重はなしと500kg、積木間隔は500mmで、材厚は歩増し量を6mm取れば良いことから45mmと48mmとした。

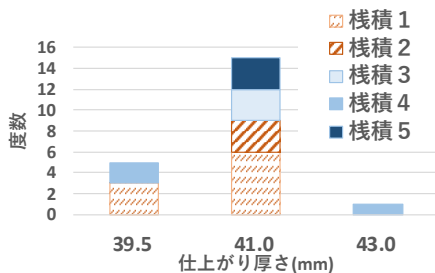


図9 加工歩留まり (45mm厚)

3. 実大材による試験(荷重あり)

短尺材での結果を基に、実大材での人工乾燥試験(荷重あり)を行い、含水率、乾燥後の変形等を測定した。

3. 1 試験方法

3. 1. 1 供試材

末口短直径48～54cmの大径丸太4本から幅を255mm一定、長さを4,000mm一定で、45mm厚の試験体21枚と48mm厚の試験体24枚の合計45枚を製材した。製材の木取りを図12に示す。

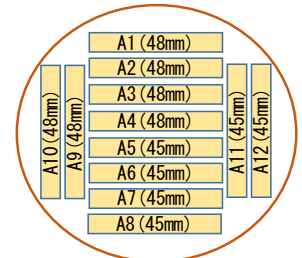


図12 製材木取り

3. 1. 2 乾燥条件

乾燥スケジュールを図13に示す。人工乾燥は250時間、乾球温度は55℃～80℃、養生期間は約3か月、積木間隔は500mm、荷重は500kgで行った。

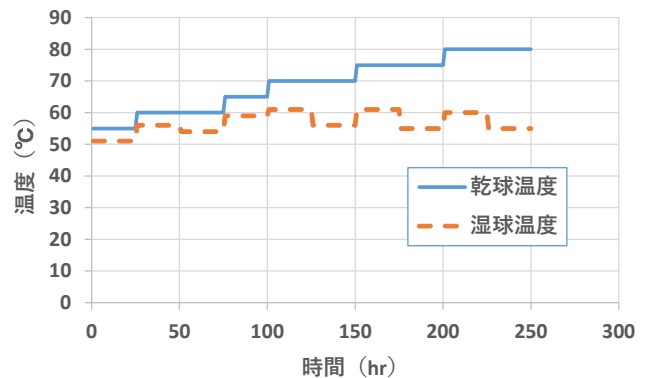


図13 乾燥スケジュール

3. 1. 3 測定方法

1) 含水率

乾燥後の含水率を全乾法で求め、全乾重量から各測定時の含水率を算出した。

2) 幅反り

乾燥後及びモルダール（幅、厚さを4面同時に加工する木工機械）加工後の試験体中央部の幅方向の最大矢高を測定した（図5-a）。

3) 反り

乾燥後及びモルダール加工後の試験体長さ方向の最大矢高を測定した（図5-b）。

4) 曲がり

乾燥後及びモルダール加工後の試験体木端間の最大矢高を測定した（図5-c）。

5) ねじれ

乾燥後及びモルダール加工後の試験体を平面上に3点を固定し、残り1点の浮き上がりを測定した（図5-d）。

6) 変形評価

モルダールで210材の所定寸法(38mm×235mm×4,000mm)に加工後、表5のJAS基準値により等級を判定した。なお、変形の特級及び1級の基準値は同じである。

表5 枠組壁工法JAS基準値(210材, スパン4m)

	特級及び1級	2級	3級
幅反り	3mm以下	5mm以下	6mm以下
反り	10mm以下	11mm以下	19mm以下
曲がり	8mm以下	20mm以下	20mm以下
ねじれ	35mm以下	48mm以下	70mm以下

3. 2 試験結果

3. 2. 1 含水率

試験体の含水率の推移を表6に示す。乾燥前の平均含水率は、135.1%(94.2~187.8)、乾燥後の平均含水率は、6.8%(5.7~9.3)と、今回は過乾燥であった。乾燥後の含水率のバラツキが小さかったのは、すべての供試材が過乾燥であったことに起因していると思われる。その後、室内養生を約3か月間実施し、養生後の平均含水率は、9.7%(8.9~11.1)であった。

表6 乾燥前後及び養生後の含水率(%)

	乾燥前	乾燥後	養生後
平均値	135.1	6.8	9.7
最大値	187.8	9.3	11.1
最小値	94.2	5.7	8.9

3. 2. 2 幅反り

試験体の乾燥後の幅反りの出現割合を図14、15に示す。乾燥後の幅反りの平均値は、45mm厚で1.6mm(0.5~3.0)、48mm厚で1.4mm(0.0~2.0)、45mm厚の1枚を除きすべて2mm

以下であった。

モルダールで所定寸法に加工した板材の幅反りは、すべて0.5mm以下とJAS基準値の特級・1級を(3mm以下)を大きく下回った。

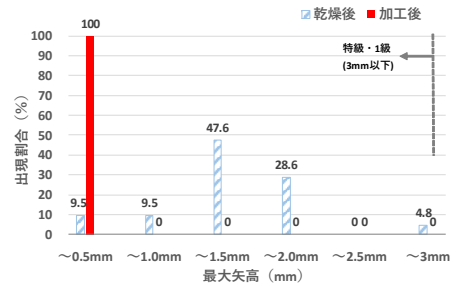


図14 45mm厚の幅反り出現割合(%)

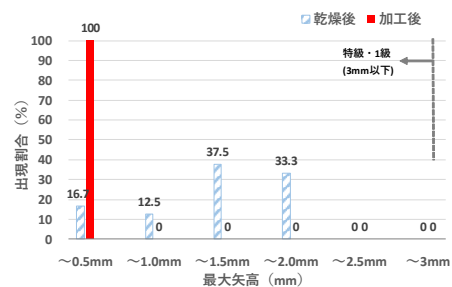


図15 48mm厚の幅反り出現割合(%)

3. 2. 3 反り

試験体の反りの出現割合を図16、17に示す。45mm厚の板材における乾燥後の反りの平均値は、6.0mm(2.5~18.5)で、特級・1級(10mm以下)が18/21枚、2級(11mm以下)が1/21枚、3級(19mm以下)が2/21枚であった。所定寸法に加工後の反りは、特級・1級(10mm以下)が19/21枚、2級(11mm以下)が1/21枚、3級(19mm以下)が1/21枚であった。加工後の反りが乾燥後の反りに比べ大きくなったものが、11/21枚と過半数を占めた。

48mm厚の板材における乾燥後の反りの平均値は、5.7mm(2.0~12.0)で、特級・1級(10mm以下)が22/24枚、3級(19mm以下)が2/24枚であった。所定寸法に加工後の反りはすべて特級・1級(10mm以下)を満たした。加工後の反りが乾燥後の反りより大きくなったものが7/24枚あり、45mm厚の板材と同様の傾向が認められる。これは、成長応力が原因と思われる。地面から真直ぐに立つ木は、成長応力として幹の表面側では引張応力が、中心側には圧縮応力が出現し、表面側から中心側へと応力が傾斜して分布している<sup>4)</sup>。この成長応力は製材によって力学的に解放され、木材の割れや変形をもたらす。仕上げ加工により材厚が薄くなることで、より大きな変形になると思われる<sup>5)</sup>。また、仕上げ加工で反りが解消できないのは、モルダールが板材の反りに関係なく強制的に押しえつけて加工するため、押しえつけが解除された際に反りが復元するためと思われる。

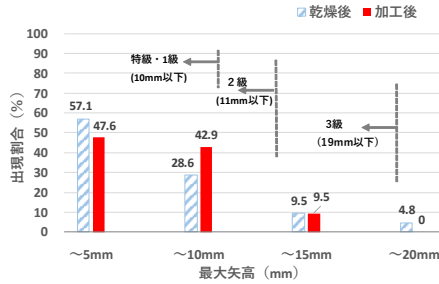


図16 45mm厚の反り出現割合 (%)

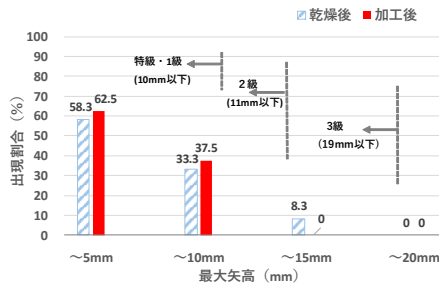


図17 48mm厚の反り出現割合 (%)

### 3. 2. 4 曲がり

試験体の曲がりの出現割合を図18, 19に示す。45mm厚の板材の乾燥後の曲がりの平均値は、5.2mm(3.0~10.0)で、特級・1級が18/21本、2級に該当するものが3/21本あった。所定寸法に加工後は、すべて特級・1級(8mm以下)を満たした。

48mm厚の板材の乾燥後の曲がりの平均値は、4.8mm(2.5~8.0)で、すべての板材が特級・1級(8mm以下)の基準値内であり、加工後も同様であった。

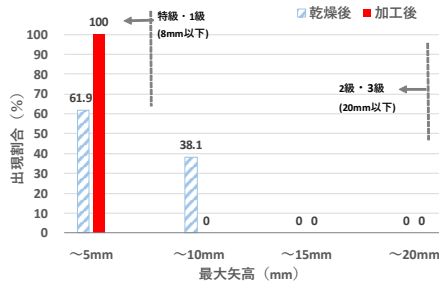


図18 45mm厚の曲がり出現割合 (%)

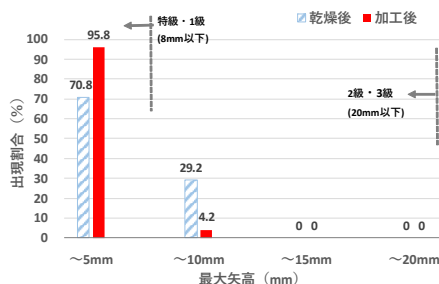


図19 48mm厚の曲がり出現割合 (%)

### 3. 2. 5 ねじれ

試験体のねじれの出現割合を図20, 21に示す。45mm厚及び48mm厚の板材の乾燥後のねじれの平均値は、それぞれ4.4mm(1.5~10.5)、4.0mm(0.5~12.5)で、すべての板材が特級・1級(35mm以下)を満たした。加工後も同様であった。

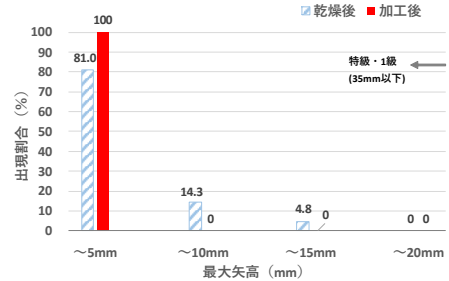


図20 45mm厚のねじれ出現割合 (%)

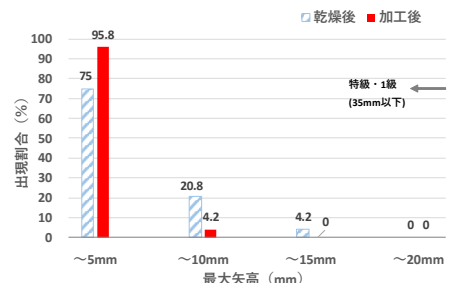


図21 48mm厚のねじれ出現割合 (%)

### 3. 2. 6 変形評価

供試材45mm厚及び48mm厚、栈木間隔500mm一定、载荷あり(500kg)で乾燥試験を行った時の変形は、

- ・ 幅反り、曲がり、反り及びねじれの出現割合は、45mm厚の板材に比べ48mm厚の方が総じて小さい傾向が認められた。
- ・ 所定寸法に仕上げ加工した45mm厚の板材は、特級・1級が19/21枚、2級が1/21枚、3級が1/21枚であった。2級及び3級の各1枚は、加工後に反りが大きく生じたことで等級が下がったものである。
- ・ 所定寸法に仕上げ加工した48mm厚の板材は、4つの評価項目ですべて特級・1級を満たした。

## 4. 実大材による試験(载荷なし)

### 4. 1 試験方法

#### 4. 1. 1 供試材

供試材は、3. 1. 1と同様に、45mm厚と48mm厚のそれぞれ24枚の合計48枚を製材した。

#### 4. 1. 2 乾燥条件

乾燥スケジュールを図22に示す。人工乾燥は225時間、乾球温度は55℃~80℃、養生期間は約4か月、栈木間隔は500mm、载荷なしで行った。

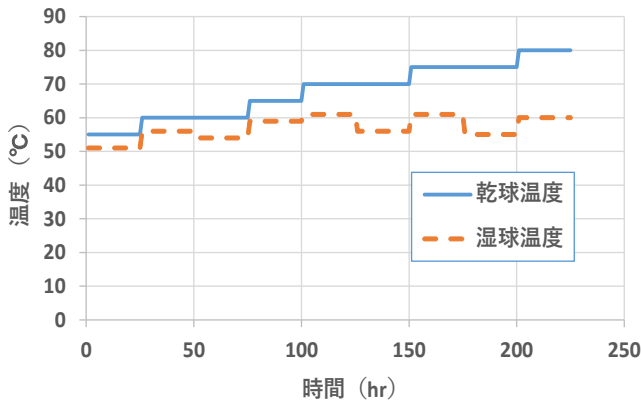


図22 乾燥スケジュール

4. 1. 3 測定方法

含水率、変形及び評価については3. 1. 3の測定方法と同様の方法で実施した。

4. 2 試験結果

4. 2. 1 含水率

試験体の含水率の推移を表7に示す。乾燥前の平均含水率は、100.3%(75.0~149.5)、乾燥後の平均含水率は、8.5%(7.4~10.7)であった。载荷ありの実験において過乾燥であったことから、乾燥時間を見直し25時間短縮したが、初期含水率が低かったことが影響し、過乾燥になった。乾燥後の含水率のバラツキは前回の载荷あり同様小さかった。その後、室内養生を約4か月間実施し、養生後の平均含水率は、11.6%(10.9~12.7)であった。

表7 乾燥前後及び養生後の含水率(%)

	乾燥前	乾燥後	養生後
平均値	100.3	8.5	11.6
最大値	149.5	10.7	12.7
最小値	75.0	7.4	10.9

4. 2. 2 幅反り

試験体の幅反りの出現割合を図23, 24に示す。乾燥後の幅反りの平均値は、45mm厚で1.8mm(1.0~3.0)、48mm厚で1.6mm(1.0~3.0)であった。

モルダーで仕上げ加工後の幅反りは、両厚さの板材ともに0.5mm以下となり、JAS基準値の特級・1級(3mm以下)を満たした。

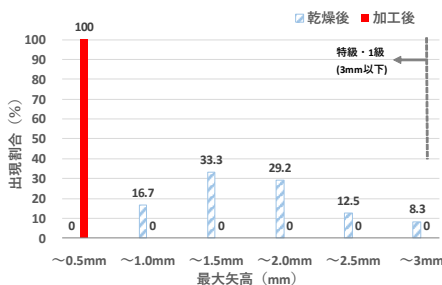


図23 45mm厚の幅反り出現割合(%)

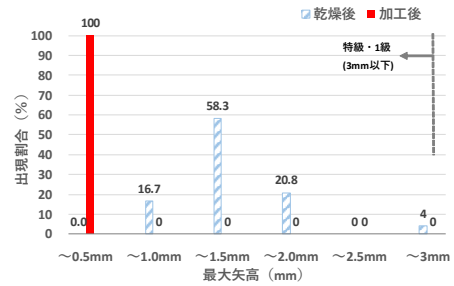


図24 48mm厚の幅反り出現割合(%)

4. 2. 3 反り

試験体の反りの出現割合を図25, 26に示す。45mm厚の板材の乾燥後の反りの平均値は、7.5mm(1.5~24.0)で、特級・1級が19/24枚、3級が4/24枚、適合外が1/24枚あった。所定寸法に加工後の反りは、加工前に比べ大きくなったものが、10/24枚と4割強を占めた。このため特級・1級が14/24枚、2級が2/24枚、3級が6/24枚、適合外が2/24枚となり、等級を下げたものが5枚あった。

48mm厚の板材の乾燥後の反りの平均値は7.2mm(2.0~28.5)で、特級・1級が20/24枚、2級が1/24枚、3級が2/24枚、適合外が1/24枚であった。所定寸法に加工後の反りは、特級・1級が22/24枚、3級が1/24枚、適合外が1/24枚であった。加工後の反りが加工前より大きくなったものが9/24枚と4割弱あり、45mm厚の板材と同様の傾向が見られた。仕上げ加工後に反りが大きくなったのは载荷ありの実験結果で示した成長応力の影響と思われる。

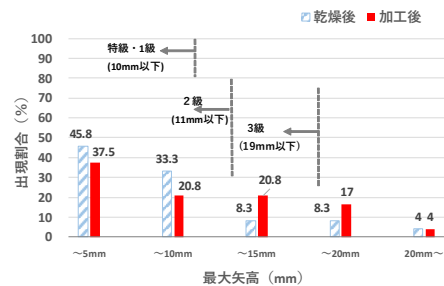


図25 45mm厚の反り出現割合(%)

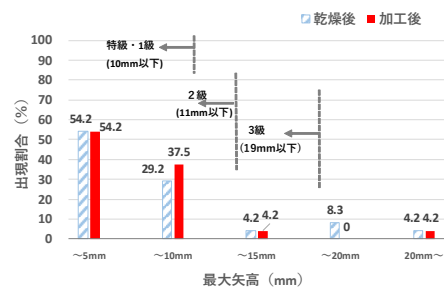


図26 48mm厚の反り出現割合(%)

#### 4. 2. 4 曲がり

試験体の曲がりの出現割合を図27, 28に示す。45mm厚の板材の乾燥後の曲がりの平均値は、5.8mm(3.0~14.0)で、特級・1級が21/24枚、2級に該当するものが3/24枚であった。所定寸法に加工後の曲がりは、特級・1級が23/24枚、2級が1/24枚であった。

48mm厚の板材の乾燥後の曲がりの平均値は、4.2mm(2.5~11.5)で、特級・1級が22/24枚、2級に該当するものが2/24枚あったが、所定寸法に加工後の曲がりは、すべて特級・1級の基準値内であった。

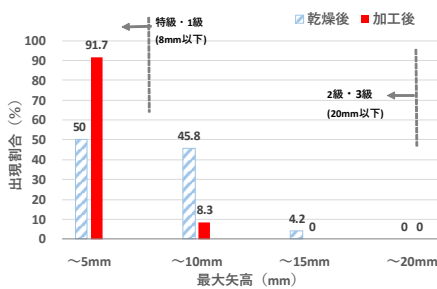


図27 45mm厚の曲がり出現割合 (%)

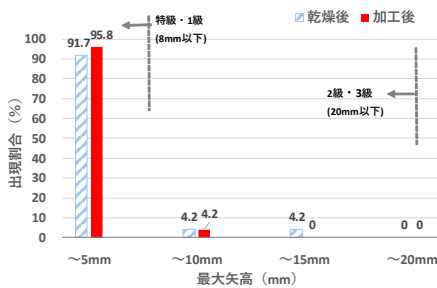


図28 48mm厚の曲がり出現割合 (%)

#### 4. 2. 5 ねじれ

試験体のねじれの出現割合を図29, 30に示す。45mm厚及び48mm厚の板材の乾燥後のねじれの平均値は、それぞれ3.9mm(0.0~6.5)、3.4mm(0.5~8.5)であり、乾燥後、加工後ともにすべての板材が特級・1級(35mm以下)を満たした。

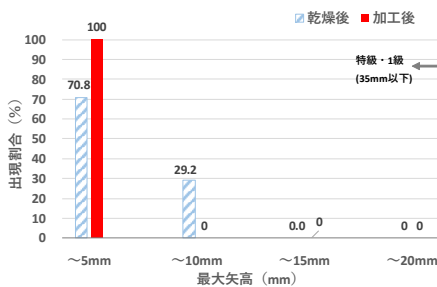


図29 45mm厚のねじれ出現割合 (%)

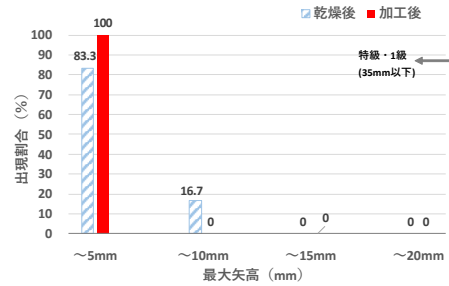


図30 48mm厚のねじれ出現割合 (%)

#### 4. 2. 6 変形評価

45mm厚及び48mm厚、椽木間隔500mm一定、载荷なしで乾燥試験を行った時の変形は、

- ・ 幅反り、曲がり、反り及びねじれの出現割合は、45mm厚の板材に比べ48mm厚の方が総じて小さい傾向が認められ、特級及び1級に適合する割合が高かった。
- ・ 45mm厚においては特級及び1級に適合する割合が54.2%と低く、適合外もあった。
- ・ 材厚48mmでは9割強が、特級及び1級を満たした。
- ・ 等級が低かった板材の変形の種類は、曲がりと反りであり、その中で大半が反りで等級を落とした。

### 5. 結 言

実大材での人工乾燥後及び仕上げ加工後の等級評価の変形別枚数を表8に、仕上げ加工後のJAS基準適合割合を表9に示す。

材厚別、载荷の有無による乾燥試験を行うことで以下のことが明らかになった。

- ・ 幅反りは、45mm厚、48mm厚ともに载荷の有無に関わらず、すべて0.5mm以下で特級・1級の基準値(3mm以下)を大きく下回ったことから、等級を下げる要因になりにくい。
- ・ 反りは、材厚が薄い方が2級、3級の出現が多い傾向があったが、载荷により大きく改善することがわかった。ただ、成長応力が大きい材も流通することや、モルダー加工による反り改善の難しさがああり、反りをすべて抑制することは難しいと思われる。
- ・ 曲がりは、材厚による差はあまりなく、载荷なしの1枚を除いてすべて特級・1級を満たした。
- ・ ねじれは、45mm厚、48mm厚ともに、ほぼ5mm以内収まっており、特級・1級の基準値(35mm以下)を大きく下回っていることから、等級を下げる要因になりにくい。
- ・ 変形評価の結果、等級が低かった板材の変形の種類は、曲がりと反りであり、その中で14/45枚が反りで等級を落とした。
- ・ 材厚を48mm、乾燥時の载荷500kgの条件ですべての板材が特級・1級を満たすことができた。

表8 乾燥後及び仕上げ加工後の等級評価(枚)

	材厚 (mm)	荷 条件	乾燥後				仕上げ加工後			
			特級・1級	2級	3級	適合外	特級・1級	2級	3級	適合外
幅反り	45	あり	21	-	-	-	21	-	-	-
		なし	24	-	-	-	24	-	-	-
	48	あり	24	-	-	-	24	-	-	-
		なし	24	-	-	-	24	-	-	-
反り	45	あり	18	1	2	-	19	1	1	-
		なし	19	-	4	1	14	2	6	2
	48	あり	22	-	2	-	24	-	-	-
		なし	20	1	2	1	22	-	1	1
曲がり	45	あり	18	3	-	-	21	-	-	-
		なし	21	3	-	-	23	1	-	-
	48	あり	24	-	-	-	24	-	-	-
		なし	22	2	-	-	24	-	-	-
ねじれ	45	あり	21	-	-	-	21	-	-	-
		なし	24	-	-	-	24	-	-	-
	48	あり	24	-	-	-	24	-	-	-
		なし	24	-	-	-	24	-	-	-

表9 仕上げ加工後のJAS基準適合割合(%)

材厚	荷 条件	特級・1級	2級	3級	適合外
45mm	あり	90.4	4.8	4.8	-
	なし	54.2	12.5	25.0	8.3
48mm	あり	100.0	-	-	-
	なし	91.6	-	4.2	4.2

## 参 考 文 献

- 1) 国土交通省：住宅着工統計(2020)
- 2) 鹿児島県：令和3年度鹿児島県森林・林業統計，p.23-24(2021)
- 3) 信州木材認証製品センター：「カラマツ・スギ大径A材丸太の戦略的製品開発事業」，p.85-94(2019)
- 4) 奥山 剛，木方 洋二：「薄層除去法によって測定した樹幹の残留応力分布について」24,264,p.845-848(1975)
- 5) 松村ゆかり，松田陽介，伊神裕司：木材工業，70,No11,p.456-461(2021)