

# 乾燥圧密技術の開発による沖縄産材の高品質化に関する研究

羽地龍志、松本幸礼、宮城雄二

沖縄の伝統楽器・三線の棹原料には黒檀（コクタン）が適し、中でも八重山黒檀（ヤエヤマコクタン）は密度、弾性、硬さなどの物性が三線に最も適しており、高級材料とされている。しかしながら八重山黒檀は石垣市林野取締条例によって伐採が規制されていることや、黒檀は比重が高く乾燥に多大な時間を要するなどの要因により入手が困難である。

本プロジェクトでは、木材の比重を高くする改質技術：圧密加工技術を開発し、比較的安定的に供給される沖縄産材（リュウキュウマツ）を黒檀の代替材料として開発（高品質化）したほか、開発した圧密材料の三線以外の用途開発（建材、楽器、工芸品など）について検討を重ねた。

研究開発は財団法人南西地域産業活性化センターを管理法人に据え、合資会社大真木材店、有限会社あけぼのファーム、沖縄県工芸指導所、沖縄県工業技術センターの5者で研究協同体を形成し遂行した。本報告は当センターが担当した課題を中心にまとめたものである。詳細については「平成18年度沖縄産学官共同研究推進事業『乾燥圧密技術の開発による沖縄産材の高品質化に関する研究』成果報告書」を参考されたい。

## 1 はじめに

沖縄の伝統楽器の代表格である三線の棹は、年間約12,000本を県内で生産しているが、その2倍以上にあたる約30,000本が国外で生産され輸入されている。国外で生産された安価な三線の中には、材料の乾燥が不十分なため経年変化によって、そりや変形を生じるものも少なくない。今後、三線の需要は沖縄ブームなどによって県外愛好家の購入数も増加することが予想されるが、購入後の変形はイメージダウンに直結するため安定した品質の三線を供給することが重要である。

一方、三線の棹の材料に最も適しているといわれる八重山黒檀は石垣市林野取締条例によって伐採が規制されており入手できない状況である。黒檀は密度が高く乾燥には長時間を要するため、現在流通している八重山黒檀は規制以前に伐採された黒檀を長期に渡って乾燥させたもので、今後は益々入手が困難になると予測される。

安定した品質の製品を供給することや材料不足を解決するため、本プロジェクトでは木材の性質を改質する技術：乾燥圧密技術を用いて八重山黒檀に近い特性（密度、弾性、硬さなど）を持つ代替材料を開発し、三線の棹の材料として提供することで三線製作技術の維持・発展に寄与し、さらに圧密材の新たな用途開発を検討し産業振興に資することを目的とした。

本プロジェクトを効率的に遂行するため以下の3つのサブテーマを設定した。

### ① 乾燥圧密加工技術開発

従来の圧密装置で圧密加工した木材は含水率が比較的高い状態であり、木材乾燥が必要となる。木材乾燥に

は長時間を要するほか、乾燥時に変形が生じるケースが見られる。優れた寸法安定性と割れや変形のない良質な圧密木材を短時間で加工することを目的に、金型加熱機構と減圧工程を付与した乾燥圧密加工技術を確立する。

### ② 乾燥圧密材の性状評価

乾燥圧密材の品質が長期に渡って維持され且つこれを保証するためには、含水率、比重、硬さ、曲げ強度など各種物性値を測定し、把握する必要がある。従って、各種物性値測定や細胞の観察などを行う。

### ③ トータル評価

圧密木材の機械切削加工性、材料の手加工の切削性、三線の音色への影響などの検討を行う。また今後の事業者を見据え、三線以外の建築用建材などの試作を行い加工性及び商品性を検討する。

当センターは主としてサブテーマ①および②に参画し圧密技術の適用拡大を検討したほか、三線以外の具体的な製品ターゲットとして「視覚障害者誘導用ブロック」を選定し、ブロック形状を直接加工するための金型設計・製作および試作品の評価などを行った。

## 2 実験方法

JIS T 9251:2001（視覚障害者誘導用ブロック等の突起の形状・寸法及びその配列の材料 解説）におけるブロック製品の材質の例としては、「コンクリート、硬質プラスチック、陶磁器、硬質ゴム」と記載されているが明確な材料の指定はされておらず、「敷設する際には変形しない材質であることを十分確認したうえで仕様を決定するよう注意することが必要」とされている。現在実用

化されている木製の視覚障害者誘導用ブロックは檜の木など比較的硬い木材の表面に線状あるいは点状突起を切削加工によって製作していることから、乾燥圧密加工によって硬化させたリュウキュウマツをブロック製品として利用する可能性を検討した。すなわち突起部を彫り込んだブロック用金型を用い、圧密加工の変形工程において金型に彫り込んだ形状を木材に転写し、固定工程において変形を抑制することで所用の突起部形状と木材の硬化を同時に得る方法を試みた。ブロック用金型や治具類の加工には、株式会社ソディック製ワイヤーカット放電加工機 (AQ-537L) ※、株式会社日本放電技術製細穴放電加工機 (JEM-25A) ※およびヤマザキマザック株式会社製マシニングセンター (FJV-250) を使用した。

圧密加工実験には図1に示す株式会社日阪製作所製木材プレス成形装置 (HTP-60/200) を用いた。表1に装置の仕様を示す。槽内および金型の加熱には圧縮蒸気を用いる。金型は加熱機構の他に冷却機能も有している。また、装置には熱電対と圧力センサを設けており、圧密加

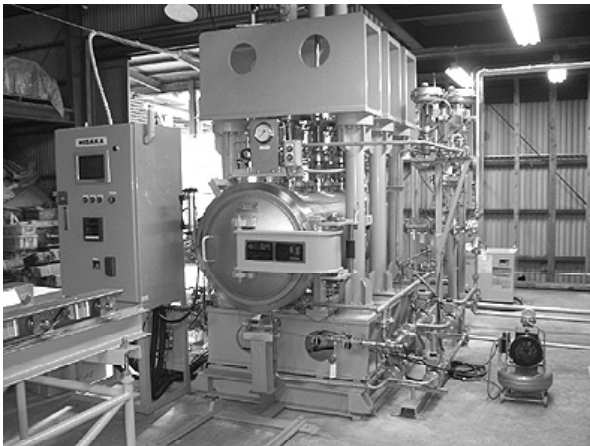


図1 圧密装置概観

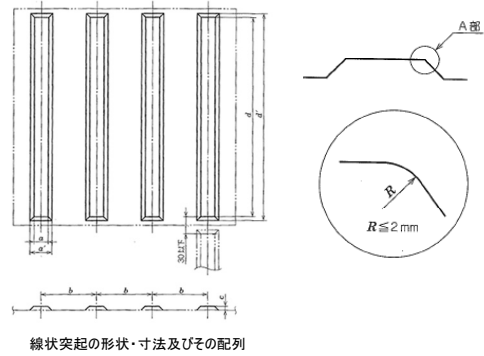
表1 圧密装置仕様

使用条件	最高設計温度	191 °C
	最高使用温度	180 °C
	最高設計圧力	1.71 MPa (gauge)
	最高使用圧力	0.90 MPa (gauge)
	真空到達度	4.0 kPa (abs)
加工物形状	巾	150 mm
	最大高さ	150 mm
	最大長さ	1450 mm
	加工個数	1 個
	加工物のプレス前高さ	150 mm
	加工物のプレス後高さ	75 mm
	プレス率	50 %
必要面圧	535 N/cm <sup>2</sup>	
最大面圧	690 N/cm <sup>2</sup>	

工中の槽内温度、木材温度およびプレス状態などを記録することができる。

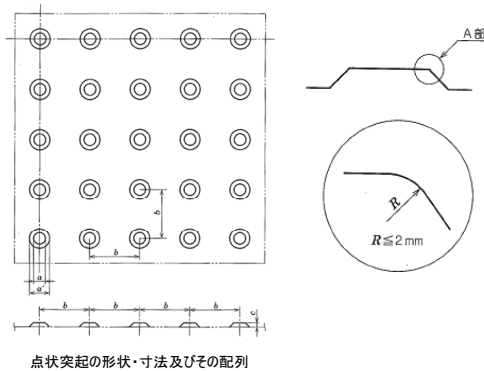
## 2-1 視覚障害者誘導用ブロックの概要

図2および図3に JIS T 9251 に示されている視覚障害者誘導用ブロック (線状突起および点状突起) の概略を示す。また、表2に各ブロックの寸法許容差を示す。(図および表はいずれも JIS T 9251 より抜粋)



線状突起の形状・寸法及びその配列

図2 視覚障害者誘導用ブロック (線状突起) の概略



点状突起の形状・寸法及びその配列

図3 視覚障害者誘導用ブロック (点状突起) の概略

表2 寸法許容差 (線状突起) (点状突起)

記号	寸法	許容差	記号	寸法	許容差
a	17	+1.5 0	a	12	+1.5 0
a'	a+10		a'	a+10	
b	75	+1 0	b	55~60*	+1 0
c	5		c	5	
d	270以上				
d'	d+10				

注\* この寸法範囲でブロック等の大きさに応じて一つの寸法を設定する。

## 2-2 圧密加工条件

視覚障害者誘導用ブロックの製作実験に用いたリュウキュウマツ (比重: 約 0.6) の寸法は 150 × 350 × 50mm である。圧密加工は図4に示す加工レサイクル例のように ①減圧、②軟化、③プレス、④固定化、⑤真空乾燥の 5 工程で行う。加工は圧密後の比重が約 1.0 となることを目標とした。

視覚障害者用ブロックを加工する圧密条件は軟化工程の温度保持を 150℃で 150 分とし、その中でプレス工程を設ける。その後 173℃の形状固定温度まで上昇させ、

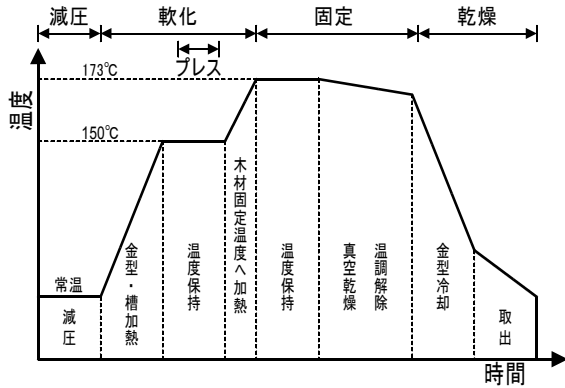


図4 加工レサンプ例

30 分間の温度保持にて木材を固定させている。温調解除後に減圧状態とし 15 分後に金型を冷却、100℃以下となった時点で材料を取り出した。

### 3 実験結果

#### 3-1 金型製作および線状突起ブロックの成形性

金型の形状および寸法は、JIS T 9251 に示されているブロック形状と乾燥圧密装置の容量を考慮して図 5 に示す形状とした。図 6 に線状突起ブロック用金型の概観を示す。この金型の材料には切削加工性を考慮して一般構造用圧延鋼材 (SS400) を採用した。

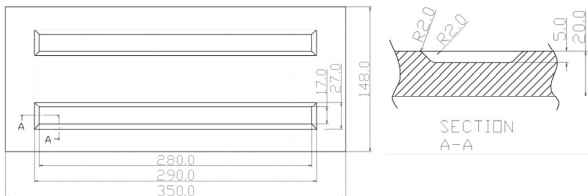


図5 線状突起ブロック製作図面



図6 線状突起ブロック用金型概観 (SS400製)



図7 タンニン鉄により変色した線状突起ブロック

予備実験の結果、SS400 製金型を用いた場合、SS400 の主成分である鉄イオンと木材中のタンニンなどのフェノール性水酸基が反応してタンニン鉄となるため、金型と木材が接触した圧密木材の表面に反応層が生成され図 7 に示すように圧密材表面が黒色に変色する傾向が確認された。このことから SS400 は金型材料として不向きであることがわかった。

また、成形したブロックを切断し突起部の断面形状を観察した結果、図 8 に示すように繊維方向と平行方向の成形状態は金型の形状が正確に転写されておらず、金型形状の曲率を検討する必要があることがわかった。また図 9 に示すように、繊維方向と垂直方向は割れの発生が確認されたことから、軟化工程において木材が十分に軟化していないと推測される。

予備実験の結果、比較的含水率の高い材料が良好な成形性を示す傾向があったことから、成形前の木材を高

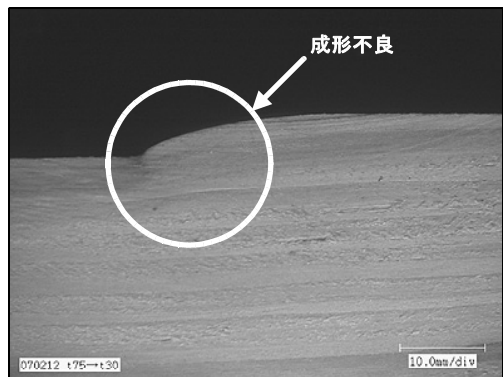


図8 突起部縦断面写真 (繊維方向と平行)

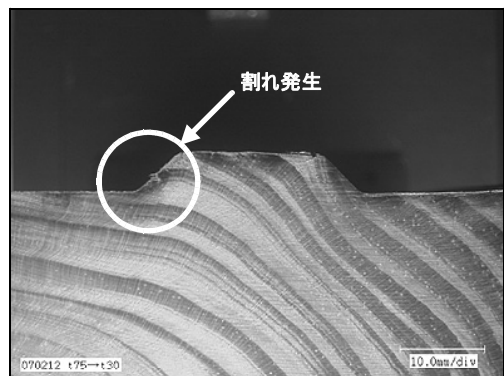


図9 突起部横断面写真 (繊維方向と垂直)

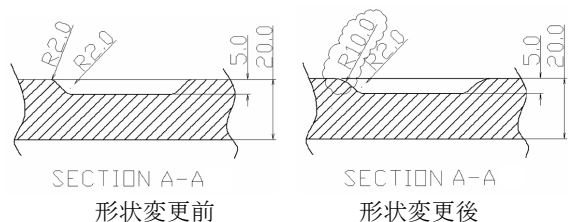


図10 金型形状変更箇所

含水率にすることによって成形性を改善できると考えた。木材は煮沸後の冷却時に水分を吸収する性質があるとされていることから、成形前の木材を煮沸・冷却し含水率を向上させた。煮沸は木材中心の温度が 100℃ になった時点で終了とした。この処理によって木材辺材部での含水率の向上が確認できた。しかしながら木材心材に近い部分では辺材部ほどの含水率向上は認められなかった。木材の心材と辺材が混在する木材では木材内の含水率の向上の程度が異なるため圧密加工の変形・固定工程での不具合の原因となることが予想されるので、圧密加工に用いる材料には心材を避けた材料取りが理想だと考える。

また、SS400 は金型材料として不向きであることが分かったので、金型材料には木材との反応及び耐食性を考慮して SUS304 を採用した。金型形状に関しては図 10 に示すように谷部の角 R を R2mm から R10mm に変更し、形状変化をゆるやかなものとした。山部の角 R については JIS T 9251 にて R2mm 以下と規定されていることから変更は行わないこととした。

木材の含水率の向上や金型材料変更および金型角 R 部の形状を変更した金型を用いて成形したブロックの断面形状観察結果を図 11 および図 12 に示す。繊維方向と平行な部分および繊維方向に垂直な部分共に割れや転写不良は解消され、良好に成形されていることが確認でき

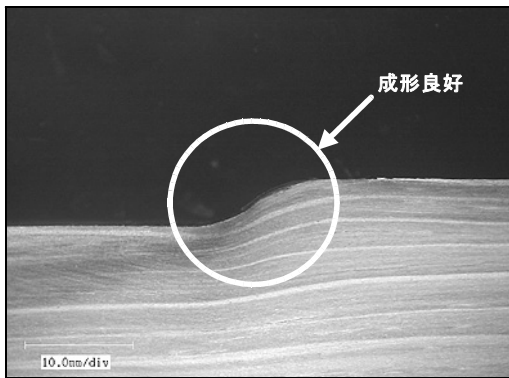


図11 突起部縦断面写真（繊維方向と平行）

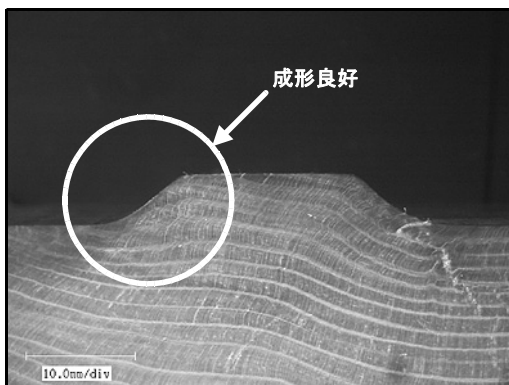


図12 突起部横断面写真（繊維方向と垂直）

る。

突起部（凸部）およびブロックの底部（凹部）における木材組織の成形状態をキーエンス製デジタルマイクロスコープ（VH-7000）にて観察した。観察用試料は圧密材からマイクロームにて切断した。図 13 は線状突起部（凸部）とブロックの底部（凹部）の組織写真である。ブロックの凹部は圧密化工によって組織が潰れ空隙がほ

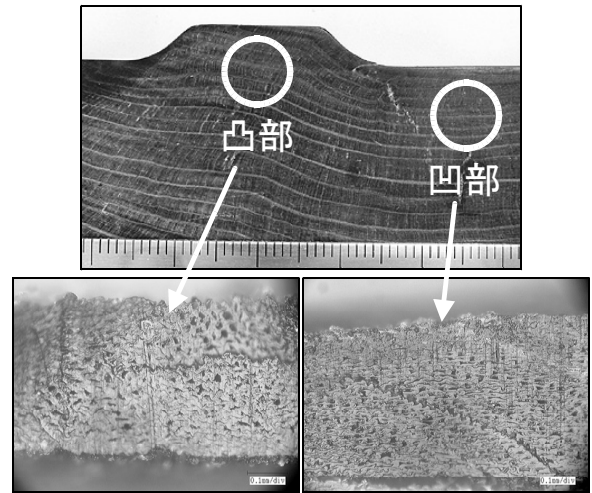


図13 線状突起ブロックの凸部と凹部の組織観察

とんど確認できない状態になっている。それに対して凸部は組織の潰れ方にばらつきが見られ、空隙が確認できる部分もある。

### 3-2 点状突起ブロックの成形性

前項において、金型角 R 形状を改良することによってブロックの成形性が向上したことから、点状突起ブロックの角 R 部についても同様の形状とした。但し、金型材料については、加工性や材料コストおよび軽量化を

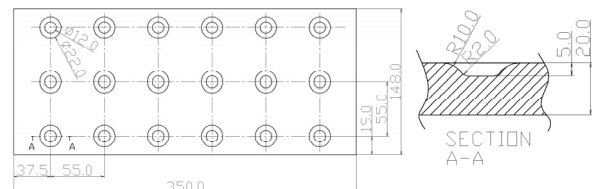


図14 点状突起ブロック製作図面

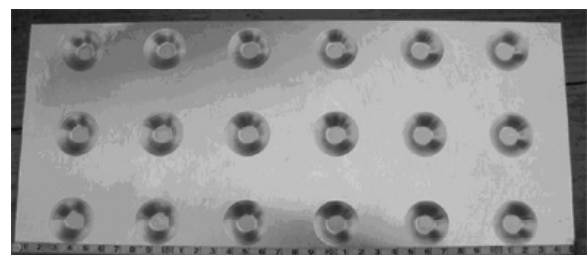


図15 点状突起ブロック用金型概観（A5052製）

考慮しアルミニウム合金（A5052）とした。金型の図面を図14に、概観写真を図15に示す。

ブロックは成形前に木材含水率を向上させて成形した。図16に点状突起ブロックの概観を示す。前項の線状突起部と比較すると、突起部の割れが多く発生していることが確認でき成形性も悪い。これは点状突起のピッチが小さいため繊維方向と平行な突起部分には、より大きな引張力が作用するためだと考えられる。突起部のピ



図16 点状突起ブロックの概観

ッチは規定されていることから、圧密加工工程において木材の軟化を促進するような条件あるいは加工法を検討する必要がある。

### 3-3 フェノール樹脂含浸技術の導入検討

種々の樹脂を木材表面に含浸させて木材の機能性（耐蟻性、耐水性、耐久性など）を向上させる手法がある。この工法は木材の可塑剤としての効果も有しており、圧密加工時の軟化促進および加熱温度の抑制すなわちボイラ燃料の消費を抑えることができ、併せて割れの抑制や成形性の向上も期待できる。この技術を線状突起ブロックの成形に適用し成形性の改善を試みた。図17にフェノール樹脂を含浸させて成形したブロックの概観を示

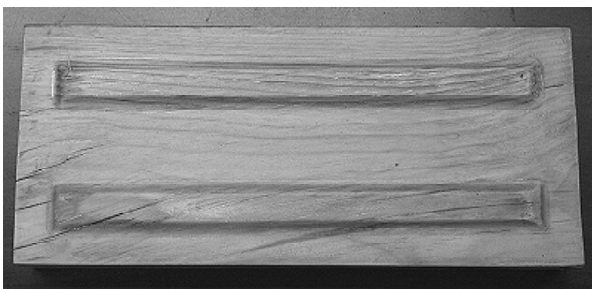


図17 フェノール樹脂を用いた線状突起ブロック概観

す。フェノール樹脂を用いない水蒸気加熱による圧密材と比較すると、加熱温度によるブロック表面の変色が少なく、フェノール樹脂によって表面が覆われていることに起因すると予想される艶の向上が認められ、さらに割れの発生も減少するなど製品の外観の付加価値の向上に繋がることを確認できた。フェノール樹脂など木材に含浸させる樹脂は針葉樹や広葉樹あるいは樹種によって含浸特性が異なることから、今後リュウキュウマツやその他の沖縄産材それぞれに適した樹脂を選択し、適正な加工条件を絞り込むことでブロックやその他の製品を精度良く成形できると考える。

### 3-4 強度評価

リュウキュウマツを圧密加工した圧密材の強度評価として曲げ試験および硬さ試験を行った。両試験とも JIS Z 2101「木材の試験方法」の評価項目に準じて実施した。比較対象としてリュウキュウマツのみ処理材および樺の木強度評価も併せて行った。

曲げ試験には島津製作所製オートグラフ



図18 材料試験機概観

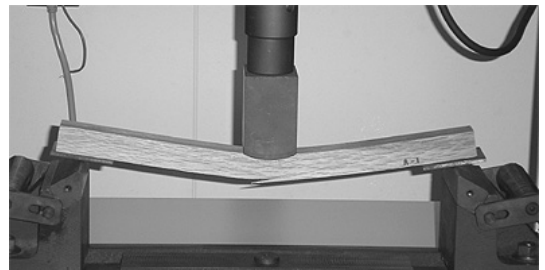


図19 曲げ試験破壊状況（樺の木）

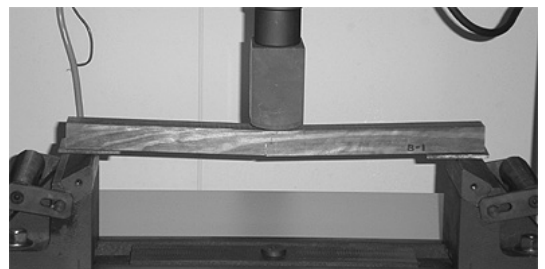


図20 曲げ試験破壊状況（圧密材）

(AG-IS-250kN型)を使用し、試験速度は毎分14.7N/mm<sup>2</sup>以下とした。試験片の寸法は400×25×25mmとした。図18に材料試験機概観を、図19に各木材の破壊時の変形状態を示す。樫の木は比較的大きな変形を伴って破壊するのに対し、リュウキュウマツの圧密材は比較的小さい変形量で破壊に至っており、木材の”しなやかさ”という性質が損なわれている。図20にそれぞれの木材の曲げ試験結果を示す。リュウキュウマツの圧密材は未処理材と比較して約2倍の曲げ強さを示し、樫の木と比較しても高い値を示した。これらの結果から、圧密加工はリュウキュウマツの曲げ強さを向上させる手法として有効であり、樫の木など曲げ強さが要求される部材の代替材料として活用が可能と考えられる。

硬さ試験には島津製作所製精密卓上万能試験機(AGS-5kNG)を用い、硬球の圧入速度は0.5mm/minとした。図21に硬さ試験の結果を示す。リュウキュウマツの未処理材と樫の木と比較し、リュウキュウマツの圧密材は高い値を示した。木材の組織は同一の木材であっても成長が早く細胞の密度が粗となる早材部分と、成長が遅いため細胞が密になる晩材部分が混在している。従って硬さ試験の際、硬球を圧入する位置によって硬さが異なる。リュウキュウマツの未処理材の硬さのばらつき

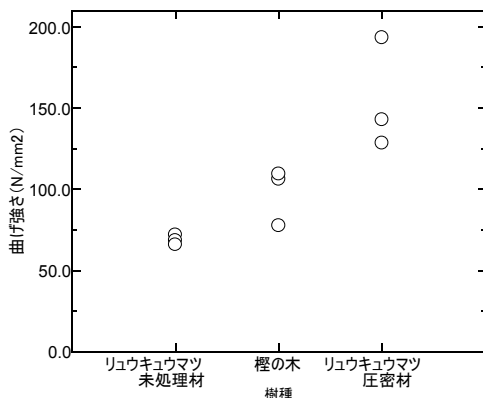


図20 曲げ試験結果

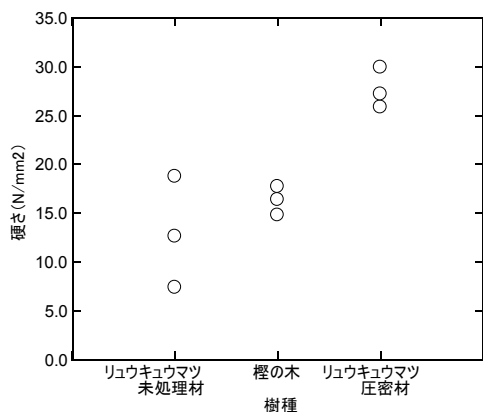


図21 硬さ試験結果

の一要因として早材と晩材の硬さの差が大きいことが考えられる。一方、圧密材は圧密加工によって細胞が潰れ早材と晩材の密度差が小さくなるため、結果的にばらつきが小さくなると考えられる。

#### 4 まとめ

リュウキュウマツの圧密材の適用拡大を図るため、圧密装置によって「視覚障害者誘導用ブロック」を直接加工する手法を検討した。その結果、下記のことが分かった。

- ①ブロック形状を精度良く転写するためには圧密処理前に木材の含水率を向上させ、軟化工程において十分に軟化させることが有効である。
- ②炭素鋼 SS400 製金型は金型の主成分である鉄イオンと木材中のタンニンなどが反応して圧密木材の表面に反応層が生成される。ステンレス鋼 SUS304 やアルミニウム合金 A5052 製金型では反応層は生成されない。
- ③フェノール樹脂を含浸させることによって割れの発生が抑制され成形性が向上した。
- ④リュウキュウマツは圧密処理により曲げ強さが約2倍に向上するが、破壊までの変形能は低下する。
- ⑤リュウキュウマツの硬さは圧密処理によって2倍程度まで硬化する。

本プロジェクトでは経年に伴う劣化などの長期的な使用を想定した評価は行っていない。視覚障害者誘導用ブロックなど屋外において長期に渡って使用するような製品の使用環境を想定し、客先の仕様・要求に沿うような評価試験を行う必要がある。具体的には、対蟻性、耐候性(耐水、紫外線劣化)や摩耗試験などが挙げられる。これらについての評価方法や促進試験、使用環境に適した製品を安定供給するための圧密加工条件を確立することが今後の課題である。

#### 参考文献

- 1) 青木光子 硬質木片セメント板による視覚障害者誘導用ブロックの開発 林産試だより 1999.10 北海道立林産試験場
- 2) 寒竹慎一ほか 熱軟化による丸竹材の整形システムの開発 大分県産業科学技術センター 平成15年度研究報告書

※日本自転車振興会が実施する「平成18年度公設工業試験研究所の設備拡充補助事業」により導入した。

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。