

木質流動成形技術による県産木質資源の用途開発（第2報）

Product development from local ligneous resources by wood flow forming method

会津若松技術支援センター 産業工芸科 齋藤勇人

木質流動成形技術を活用した県内企業の製品開発を支援するために、木質流動成形の成形体を製作し、曲げ、引張、圧縮強度の試験を行い、異方性を調査した。素材の異方性は顕著であり、製品への応用の際は非常に注意を払う必要があることが分かった。また、当所で成形型製作・成形実験を行い、弊所独自の成形型および成形結果の事例・知見を得ることができた。これらの知見を基に今後の企業支援を行う。

Key words: 木材、木質流動成形、熱硬化性樹脂

1. 緒言

第1報では、木質流動成形技術を活用した県内企業の製品開発支援のために、当該技術に関連する木材への樹脂含浸、プレス成形の実験、木質流動成形により得た試験片の強度試験を行った¹⁾。なお、上記を実施するにあたり産総研の「地域産業活性化人材育成事業」を活用した。

第2報では、製品への応用を目的として成形体の異方性を確認する強度試験および成形型製作と成形試験を実施した。

2. 実験方法および結果

2. 1. 供試材

実験に使用する供試材は、福島県内産の木材を選定した。木材は 105[°C]に設定した乾燥器で恒量になるまで乾燥させ、全乾比重を測定した。以降の実験で使用する供試材の樹種及び全乾比重を表1に示す。

樹種	全乾比重
ヒノキ	0.39
カラマツ	0.33

2. 2. 樹脂含浸

木質流動成形技術において樹脂含浸は重要な要素である。樹脂を木材へ含浸させることによって木材を軟化させるとともに、形状付与した時に成形体に強度を付与する役割を果たすからである²⁾。

第1報と同様に、樹脂含浸は図1に示す真空加圧による方法で行った¹⁾。木材に含浸する水溶液は、アミディア M-3（メラミン/ホルムアルデヒド系の熱硬化性樹脂溶液、DIC(株)）を樹脂成分の割合が30[wt%]となるように蒸留水で希釈したものを使用した。この樹脂含浸による供試材の重量増加率 [%]、素材に占める樹脂割合 [%]、体積膨張率 [%] を以下の式により計算し

た結果を表2に示す。

$$\text{重量増加率}[\%] = (w_1 - w_0) / w_0 \times 100$$

$$\text{樹脂割合}[\%] = (w_1 - w_0) / w_1 \times 100$$

$$\text{体積膨張率}[\%] = [(D_1 \times L_1 \times t_1) - (D_0 \times L_0 \times t_0)] / (D_0 \times L_0 \times t_0) \times 100$$

w_0 : 全乾状態の試料の重量 [g]

w_1 : 樹脂含浸後の試料の重量 [g]

D_0 : 全乾状態の試料の幅寸法 [mm]

D_1 : 樹脂含浸後の試料の幅寸法 [mm]

L_0 : 全乾状態の試料の長さ寸法 [mm]

L_1 : 樹脂含浸後の試料の長さ寸法 [mm]

t_0 : 全乾状態の試料の厚さ寸法 [mm]

t_1 : 樹脂含浸後の試料の厚さ寸法 [mm]

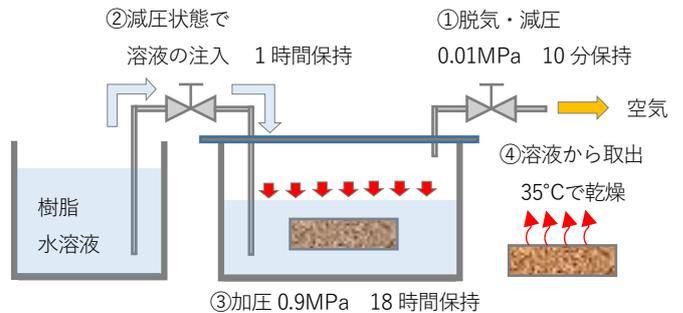


図1 樹脂含浸の方法

表2 各樹種の試料に対する樹脂含浸の結果

樹種	重量増加率 [%]	樹脂割合 [%]	体積膨張率 [%]
ヒノキ	58.1	36.7	2.5
カラマツ	71.6	41.7	7.5

2. 3. 強度試験用の試験片の製作

物性試験の試料採取のために、平板形の成形体を製作した。製作には図2の成形型およびホットプレス装

置を使用した。この成形型は第1報で製作したものであり50mm×50mmの平面寸法の平板を成形できる。

155[°C]に設定したホットプレス上で成形型を135[°C]以上に予熱、離形剤のキュアコート EP1300(中京化成工業(株))を塗布したのちに、繊維方向を図3に示す3パターンに配向した素材を投入した。ホットプレスにより約100[kN]の荷重で成形を行い、温度と圧力を10分保持した後、成形型を80[°C]以下に冷却してから、成形体(図4)を取り出した。

樹脂含浸した木材を3枚重ねて成形した平板形の成形体から、曲げ試験と引張試験の試験片を採取し、5枚重ねて成形した平板形の成形体から圧縮試験の試験片を採取した(図5)。また、試験片の異方性を確かめるために、図6に示す2方向の試験片を採取したため、全体の試験片区分は表3となった。



図2 平板形の試験片製作の成形型

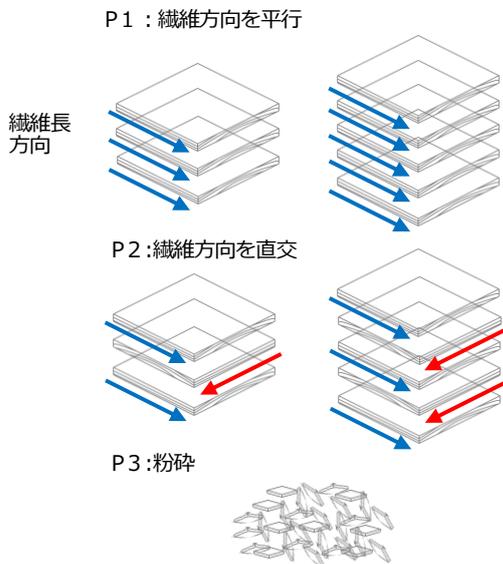


図3 繊維方向の配向



図4 平板の成形体



図5 製作した試験片

表3 試験片区分

番号	樹種	配向	試料の採取方向
H-P1-A	H: ヒノキ	P1	A: 平行
H-P1-B			B: 直交
H-P2-A		P2	A: 平行
H-P2-B			B: 直交
K-P1-A	K: カラマツ	P1	A: 平行
K-P1-B			B: 直交
K-P2-A		P2	A: 平行
K-P2-B			B: 直交
K-P3-C		P3	C: 方向性なし

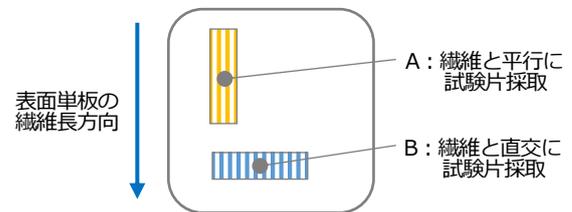


図6 試料採取の方向

2. 4. 強度試験

製作した試験片の強度試験を行い、表4および図7に示す曲げ試験の結果を得た。繊維と平行に試料採取の場合(以下(A)とする。)において、P1と比較してP2の試験片の曲げ強さが低下する傾向が見られた。また、(A)と比較して、繊維と直交に試料採取の場合(以下(B)とする。)に、顕著な強度低下が生じていることが分かった。この理由は、供試材である木材が繊維平行方向の力に対して丈夫で、繊維に直交する力に弱いという強度の異方性が影響しており、また、図10は、図4に示す平板の成形体の断面であるが、繊維を割くように単板の断裂があり、強度低下の要因となっていたと考えられた。一方で、P3の成形においては、試験片採取の方向によって強度が変化することはなく異方性が改善されたが、曲げ強さの値は一般の無垢木材の水準未満であった。

表5および図8に示す引張試験の結果でも、曲げ試験の結果と同様にP1と比較して、P2は強度が低下する傾向があり、また、試料の採取方向においても(A)と比較して(B)の試料の強度低下が見られた。

表4 曲げ試験の結果

番号	試験片数	曲げ強さの 平均値(MPa)	標準偏差
H-P1-A	4	196.6	72.9
H-P1-B	5	40.2	5.7
H-P2-A	4	145.7	80.3
H-P2-B	4	54.2	9.3
K-P1-A	5	230.5	22.5
K-P1-B	4	31.8	12.1
K-P2-A	5	139.1	61.0
K-P2-B	4	30.8	11.4
K-P3-C	3	50.0	11.5

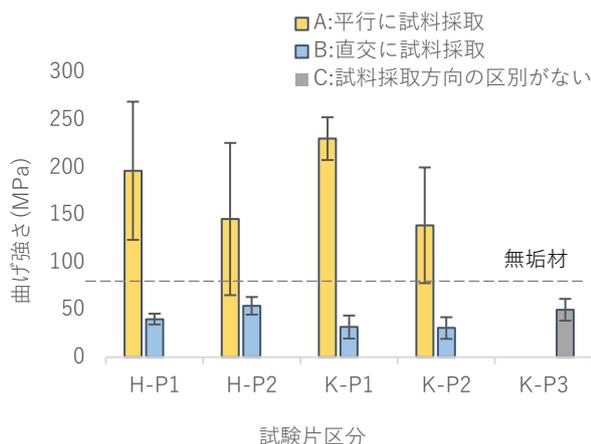


図7 曲げ試験の結果

表5 引張試験の結果

番号	試験片数	引張り強さの 平均値(MPa)	標準偏差
H-P1-A	4	130.8	24.3
H-P1-B	2	28.7	0.3
H-P2-A	4	51.8	18.1
H-P2-B	1	2.6	-
K-P1-A	4	129.9	43.3
K-P1-B	2	26.3	5.5
K-P2-A	4	65.2	16.6
K-P2-B	0※	-	-
K-P3-C	2	29.3	3.4

※K-P2-Bは脆く、試料採取ができなかった。

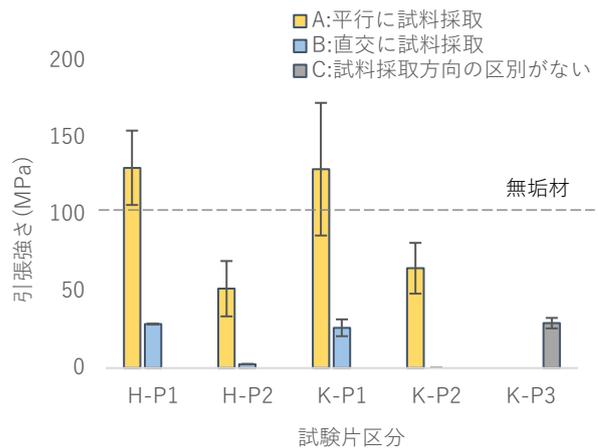


図8 引張試験の結果

一方で、表6および図9に示す圧縮試験の結果では、曲げ試験及び引張試験と比較して、いずれのパターンでも木材の素材と比較して強度が大きくなった。

以上により素材の繊維方向の配向と、成形体の強度の異方性について実験により確かめたが、ヒノキ、カラマツの樹種に依らず、繊維を直交させることで曲げ強度及び引張強度が表面単板の繊維長方向において低下し、明確な異方性の改善は見られなかった。また、試験片区分を総合して圧縮力には強く、方向によって引張力と曲げ変形には弱い傾向があることがわかったことから、素材内に引張残留応力が作用しているのではないかと推察された。引張残留応力の発生および、原因、機構はこの研究では明らかにできなかった。また、単板試料を粉砕することで得られるチップ材を成形することで、曲げ強さと引張り強さにおいて無垢材よりも強度が小さくなる一方で、強度の異方性は改善された。

表6 圧縮試験の結果

番号	試験片数	圧縮強さの 平均値(MPa)	標準偏差
H-P1-A	2	188.3	37.7
H-P1-B	2	110.2	6.3
H-P2-A	2	122.3	21.8
H-P2-B	2	129.8	16.4
K-P1-A	2	245.0	45.7
K-P1-B	2	201.7	6.8
K-P2-A	2	190.9	8.1
K-P2-B	2	113.9	10.1
K-P3-C	4	141.5	5.5

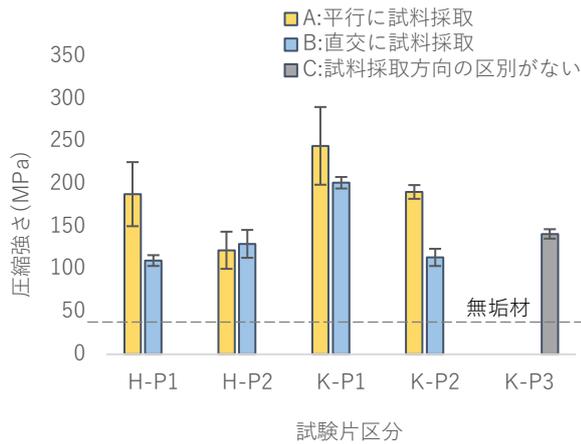


図9 圧縮試験の結果



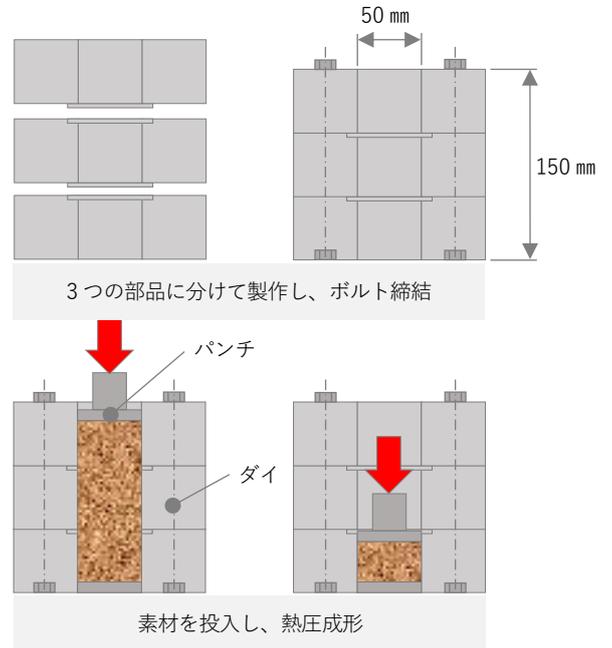
図10 P2試験片の断面の一例

2. 5. 成形型の製作および試験成形①

成形型製作の知見を得る目的で、第1報に続きハイテクプラザの設備を使って成形型製作を行った。ここでは、50[mm]×50[mm]の平板形を成形する成形型を応用して、ブロック状の成形体を製造するための成形型を製作した。荒加工をワイヤ放電加工機（ファナック株式会社 a-C400iB）で行い、その後3軸の立型マシニングセンタ（三菱重工業株式会社 M-V5B）により仕上げ加工を行った。成形型の概要を、図11に示す。成形型のダイを3つの部品に分けて製作し、ボルト締結することで1つの成形型として使用する。155[°C]に設定したホットプレス上でボルト締結した成形型を135[°C]以上に予熱、離形剤のキュアコートEP1300（中京化成工業株式会社）を塗布したのちに、樹脂含浸した木材を投入した。その後、ホットプレスにより約100[kN]の荷重で成形を行い、温度と圧力を10分保持した後、成形型を80[°C]以下に冷却してから成形体の離形を行い、図12のブロック形の成形体を得ることができた。

一方で、図13に示す“かじり”が成形型に生じた。“かじり”は成形型に生じるトラブルのひとつであり、成形型の摺動面での凝着と摩耗により、成形型の摺動面を削り取る現象である。この“かじり”はダイの構

成部品同士のつなぎ目付近で発生したことから、ダイ構成部品の接合のずれにより、ダイとパンチが高い圧力で接触したことにより“かじり”が発生したものと考えられた。



3つの部品に分けて製作し、ボルト締結

素材を投入し、熱圧成形



組み立て後の成形型①

図11 成形型①の概要



図12 成形型①による成形結果



図 13 成形型のかじり

2. 6. 成形型の製作および試験成形②

次に、図 1 4 に示す成形型を製作し、樹脂含浸した木材を粉碎したチップの成形を行った結果、図 1 5 のように成形圧の変化により性質の異なる成形体を得られた。430kN は 2. 3. に示す成形圧力相当になる荷重であるが、50kN、100kN は 2. 3. と比較して低圧になる荷重である。また、暗色に変化している部分は木質流動が生じている部分であると考えられ、一方で明色部分は木質流動が生じていない部分である。このように、チップ粉碎により、成形型に素材が充填しやすいように素材の配置の自由度を高めたことで素材へ形状付与するための成形圧を低下させることができた。また、木質の流動のためには一定の圧力が必要であり、成形型への充填が難しい成形型においてチップ化は有力な手法である。素材のチップ化や薄板化は、当所以外の研究者が考案して取り組んでいるが、当所の実験結果においても有用であることが分かった。

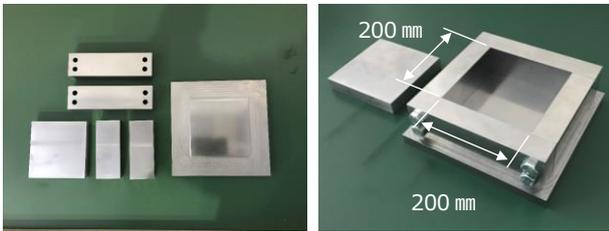


図 1 4 成形型②

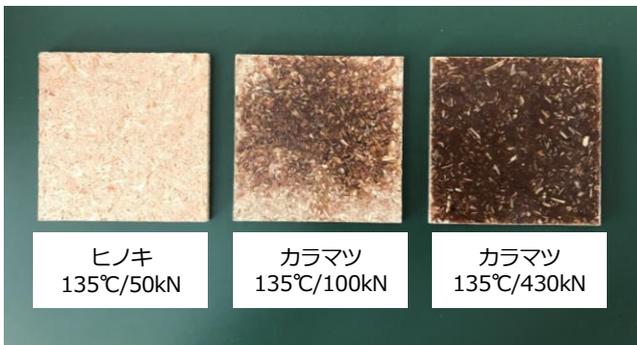


図 1 5 成形型②による成形結果

3. まとめ

製品への応用を目的とした企業支援に 대응するために、木質流動成形体の強度試験及び成形型の製作、成形試験を行った結果、以下の技術的な知見を得た。

(1) 成形体の異方性を確認する強度試験

本研究では以下の P 1～3 の方法により試験片を製作し、強度比較を行った。

- P 1 : 単板の繊維方向を平行に積層・成形
- P 2 : 素材の単板の繊維方向を直交に積層・成形
- P 3 : 素材を粉碎した後に成形

- ①成形体の表面単板について (A) 繊維と平行に試料採取した場合に、P 1 と比較して P 2 の曲げ強さおよび引張強さが低下した。
- ②成形体の表面単板について (B) 繊維に直交に試料採取した場合に、P 1 と P 2 の強度に明確な差は見られなかった。
- ③ P 1、2 のいずれにおいても、(A) の試料と比較して (B) の試料の強度が低下し、明確な異方性改善は得られなかった。
- ④ P 3 では成形体の強度の異方性の傾向は小さくなったが、P 1、2 と比較して曲げ強さと引張り強さは小さく、無垢材と比較しても劣る値であった。
- ⑤圧縮強度はいずれの区分でも無垢材と比較して大きかった。
- ⑥ P 1、2 とともに繊維方向の強度は無垢材より高く、加わる力に対して適切な繊維配向を選択すれば、形状を付与した状態で無垢木材よりも高強度な素材として使用できると考えられた。

(2) 成形型の製作、成形試験

- ①当所の設備を使用して、ブロック形を成形する成形型を製作し、成形体を製造したが、成形型を使用する過程で成形型摺動面にかじりが生じた。成形型の方式や、精度が既報³⁾とは異なるために、当所の独自の成形型事例を得ることができた。
- ②外部の加工サービスを利用して、平板形を成形する成形型を製作した。また、粉碎してチップ化した素材において、成形圧力の増加に伴って素材が流動し、平板形の成形体を得ることができた。また、低圧の成形では、素材の流動はないが、形状は付与された。

以上の知見は、強度特性に基づいた用途の検討、製品開発に役立てることができると考える。また、前処理として木素材を粉碎処理した区分でも成形体の製造が可能であることを実験で確認したが、バルクからの

成形は、樹脂含浸の困難さや、成形圧力の増大の面で実用に課題がある。今回実施した方法を足掛かりに実用化しやすい木質の成形方法を考えていく必要がある。

謝辞

木質流動成形技術を活用するにあたり、ご指導くださった（国研）産業技術総合研究所の研究者の皆様、成形型の製作にご協力くださった当所プロジェクト研究科の皆様に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) 齋藤勇人, 出羽重遠. 木質流動成形技術による県産木質資源の用途開発 (第1報). 令和2年度福島県ハイテクプラザ試験研究報告, (2020), p106-111.
- 2) 三木恒久, 杉本宏之, 重松一典, 金山公三. 木質材料の流動成形に関する研究 (素材の変形挙動に及ぼすバインダの影響). 日本材料学会学術講演会講演論文集, (2012), p. 285-259.
- 3) 国立研究開発法人産業技術総合研究所. 三木恒久, 関雅子. 千代田工業株式会社. 山田満雄, 木質流動成形用金型及びそれを用いた木質流動成形用金型システム並びに植物系材料からなる成形体の製造方法. 再公表特許 W02018/096820. 2019-6-24.