研究論文

木材の新たな利用分野を開拓するための プレス加工技術の開発

内山　雅彦*

Development of a Press Processing Technology for New Applictaions of Wood

UCHIYAMA Masahiko*

抄　　録

高い成形性と加工時間の短縮化を併せ持った木材の塑性加工法を開発するために，アクリル系樹脂と木材との複合体である含浸型 WPC を使用し，含浸された樹脂の熱可塑性を利用した加熱成形技術の研究を行った。成形方法は加熱パンチによる 3 点曲げ法と，木材では例の少ないカール加工法で行ない，特にカール加工において小径曲げ加工への有用性が確認できた。また，この条件をもとに，実用化を見据えたカール曲げ加工装置を試作し製品レベルでの試験を行った結果，高い成形性と加工時間の短縮化などが確認できた一方で，実用化に対するいくつかの問題が明らかになった。

1. 緒　　言

金属やプラスチックの加工現場で一般的に使用されているプレス成形などの塑性加工技術は，木材加工を行う技術者にとっては非常に魅力的な加工技術である。昨今，エコ材料の代表として認知されている木材ではあるが，切削加工が容易な材料の特性から加工方法は鋸や鉋に代表される切削法が中心であり，加工現場では多くの端材や切削屑などの無駄が生じているのが現状である。木材の塑性加工が進まない原因としては大きく 2 つの問題がある。一つ目は，木材の成形性を良くするための軟化と，形状を維持させるための固定化に時間がかかることである。二つ目は，木材は延性が小さいため，トーネット法のように，外周の延びを抑え内側を圧縮させることで曲げ加工を行なう必要があることである[1)]。この方法では，木材の引張側に帯金を沿わせ，中立軸を内側に移行させるなどの処置が必要なため手作業が中心となり，大量生産には向かない。木材の曲げ加工は非常に魅力的な技術ではあるが，これらの問題により現場では手軽に使える技術となっていない。

* 下越技術支援センター

本研究では, 木材の塑性加工をより発展させ, 加工現場での実用化を図るために，木材と熱可塑性樹脂の複合体である含浸型 WPC（Wood Plastic Combination）を使用し，含浸樹脂の熱可塑性を利用して軟化, 冷却時間の短縮化を図り, さらに木材には実績の少ないカール加工法などを試みることで，小半径の曲げと短時間加工法の開発を目指すこととした。また，この手法を用いた WPC の曲げ加工装置を試作して，実用化を見据えた成形試験を行ったので報告する。

なお，この研究は平成 22～23 年にかけて，新潟県創造的研究推進費により実施したものである。

2. 試験方法

2.1　試験に使用した WPC 材料

試験に用いた樹種はスギ，イタヤカエデ，オニグルミ，ブナであり，新潟県魚沼市近郊のものを使用した。WPC 処理については，(有)貫木産業に処理を依頼し，含浸樹脂はアクリル系モノマーを選定した。含浸条件を同一にした結果，ポリマー含量[2)] は重量比でスギが 142%，イタヤカエデが 66%, オニグルミが 70%, ブナが 50% となった。

2.2　軟化温度の設定

セイコーインスツルメンツ（株）社製熱機械測定装置 TMA/SS6000 を用いて WPC のガラス転移点を求めたところ, 110℃付近で著しく強度の低下が見られたため，軟化温度はこの温度を目安とした。

次に WPC 試験片の裏面への温度の伝わり方の測定方法を図 1 に示す。試験は，3 点曲げ法により, 4mm幅の角型パンチを加熱したものを, 1.5mm（T）のイタヤカエデ WPC 試験片に接触させ，裏面の温度上昇を測定した。結果を図 2 に示す。裏面温度が軟化温度の目安となる 110℃に到達した時間は，加熱パンチ温度 230℃では約 50sec, 200℃では約 70sec, 180℃では約 90sec となったが，230℃ではパンチ接触部分が焦げるため，以降で説明する成形試験には最も早く温度を上げることができた 200℃の加熱条件を用いて試験を行った。

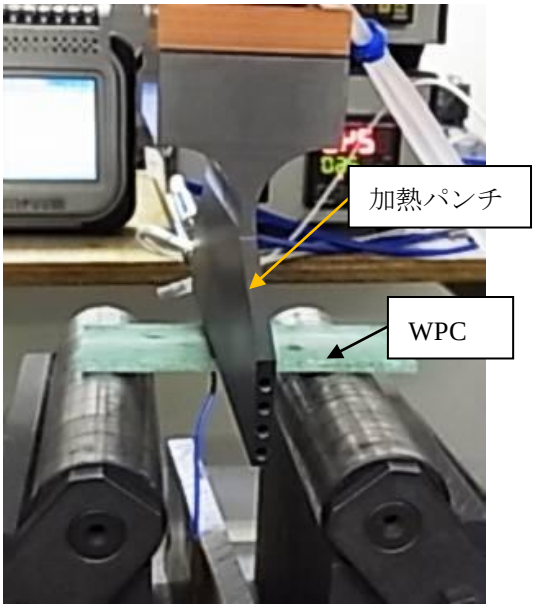


図 1　裏面への温度の伝わり方の測定

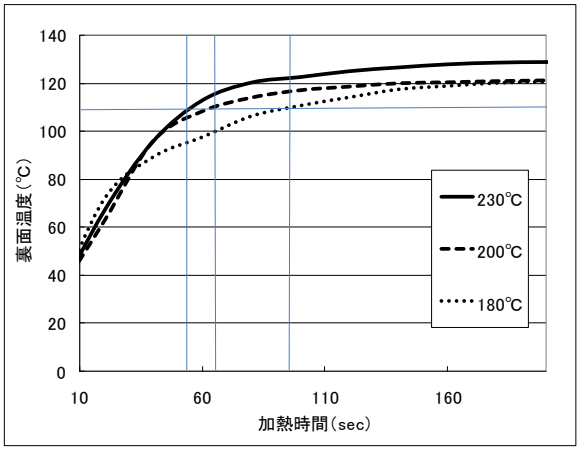


図 2　裏面の温度測定結果

2.3　加熱パンチによる曲げ試験

半径 R=6～12.5mm(以下 R6～12.5mm と表示する)の加熱パンチを使用して，3 点曲げによる WPC の曲げ試験を行った。WPC は 15mm(W)×1.5mm（T）の大きさのものを使用し，割れを防ぐため試験片の下側に 0.1mm（T）のステンレス板を 10 枚重ねて, パンチに対向しながら密着して加圧できるように工夫した。下部の支点は R15 で，クリアランスは 1mm とした。曲げ試験の条件は，200℃で加熱したパンチを 10N の荷重で押しながら 70sec 予備加熱した後，精密万能材料試験機（（株）島津製作所製 AG-100KNG-M）により 10mm/min のスピードで試験を行った。

2.4　カール加工ジグを用いた曲げ試験

カール加工は，試験片を押し込む抵抗により絶えず試験片に圧縮応力が加わり，この応力をクリアランス量や試験速度の変化により調整することで，曲げ加工の際に内側部分の圧縮変形を起こし易くする特徴がある。また，カール加工処理ではジグのクリアランスが小さくなることから熱以外の軟化条件を行うことが難しく，さらに，押し込み抵抗に試験片が耐えなければならないことから，曲げ加工直前まではある程度の材料強度が維持できていることが好ましい。WPC は加熱により軟化することが可能で, 通常の木材よりも高い強度を有していることから，この条件に適している材料として期待した材料である。試験片には 1.5mm と 3.0mm（T）のオニグルミとイタヤカエデの WPC を使用した。図3にカール加工用ジグによる試験状況を示す。

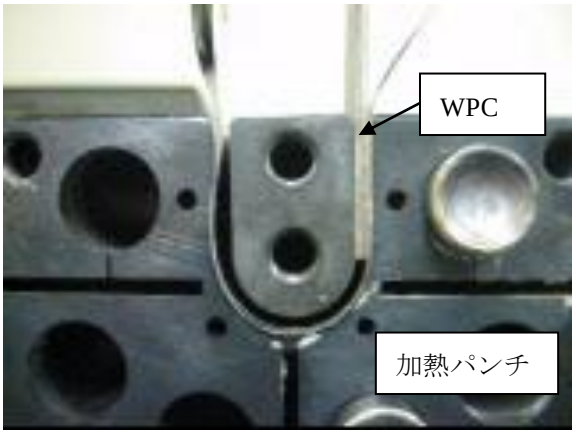


図 3　カール加工ジグによる実験状況

1.5mm（T）の試験片は R3～7 の曲率で，3.0mm（T）の試験片では R9～10 の曲率で試験を行った。試験速度は 30～100mm/min とし，ジグと試験体のクリアランスは 0～0.3mm で行った。

2.5　温度および湿度に対する安定性

加熱パンチを用いた 3 点曲げにより R12.5 で成形したイタヤカエデ WPC と，蒸煮処理により軟化させ，同曲率で成形したイタヤカエデの無処理材を，20℃-40%RH で 24h 養生した試験片を用いて，温度と湿度による形状の安定性についての評価を行った。温度条件は 40℃, 60℃, 80℃の順に温度を上昇させ，それぞれの環境で 2h 処理した。また，湿度条件は，養生した試験片を 20℃-90%RH に 5h，次に 20℃-40%RH に 17h で処理することを 1 サイクルとして，これを 2 サイクル繰り返した。温湿度試験は楠本化成（株）製　恒温恒湿槽　HIFLEX FX714P を使用した。成形状態の安定性の評価は，オリンパス光学工業（株）製の工具顕微鏡　STM5-LM により, 試験片の開き角度を読み取り評価した。

3. 結果と考察

3.1　加熱パンチによる曲げ試験

加熱パンチによる曲げ試験の結果を表 1 に示す。試験片は各 3 試料として，ひび割れなどの欠損がまったく生じないものを目視で判断して合格とした。 全て合格したものは◎，2 試料は○，1 試料は△，すべて失敗は×で表わした。 試

表 1　曲げ試験の結果

(a) 無処理材

	R6	R7	R8	R9	R12.5
スギ	×	×	×	×	×
ブナ	×	×	×	×	×
イタヤカエデ	×	△	○	△	◎
オニグルミ	×	×	×	×	×

(b) WPC

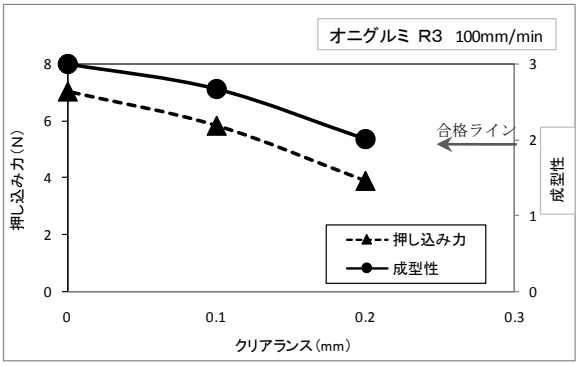
	R6	R7	R8	R9	R12.5
スギ	×	○	×	○	◎
ブナ	×	×	△	○	△
イタヤカエデ	×	×	×	△	◎
オニグルミ	△	○	◎	◎	◎

験の結果，無処理材で成形できたのはイタヤカエデのみとなり，加熱軟化による成形性が突出して良い結果となった。WPC 処理したものでは，オニグルミが R6 まで成形可能となり，相対的には WPC の方が無処理材よりも成形性が良いが，イタヤカエデのみこの結果が逆転した。

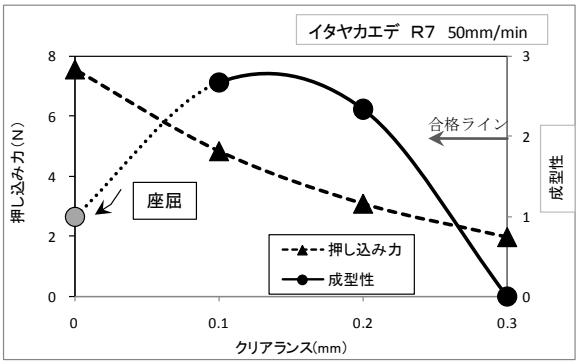
3.2　カール加工ジグを用いた曲げ試験

試料にはオニグルミとイタヤカエデの WPC 処理材を使用した。試験の評価は成形性を目視で判断し，割れが生じなかったものを 3 ポイント，修正可能な割れのものを 2 ポイント，それ以外の割れを 1 ポイントとして，3 試料の平均が 2 ポイント以上となったものを合格とした。

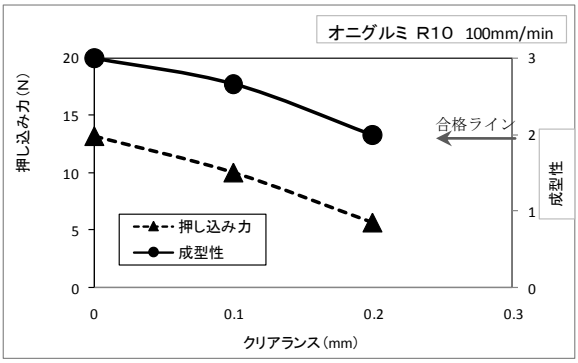
試験結果を図 4 に示す。カール加工の特徴として，クリアランスを小さくすると押し込み力が上昇し，成形性も上がる傾向があった。また，表記していないが，試験速度を上げると押し込み力が上昇した。グラフはそれぞれの試料で合格ラインに達した最も小さな曲率で，その中で最も早い速度で成形できた時のものを抜粋した。1.5mm（T）の試験体では，オニグルミが R3 の曲率で 100mm/min の速度で可能となり，評価ポイント 3 となり高い成形性を示した。イタヤカエデは 0.1mm のクリアランスで R7 までが合格



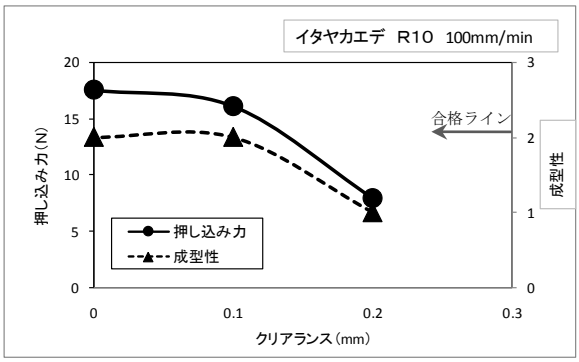
(a)オニグルミ WPC 1.5mm（T）



(b)イタヤカエデ WPC 1.5mm（T）



(c)オニグルミ WPC 3.0mm（T）



(d)イタヤカエデ WPC 3.0mm（T）

図 4 カール加工試験の結果

ラインとなり，試験速度 50mm/min まで可能であったが，クリアランスを 0 にすると押し込み部分で試験片が座屈し，これ以上の試験はできなかった。3.0mm（T）の試験片では，オニグルミが，R10 で試験速度 100mm/min まで可能であり，評価ポイント 3 で，1.5mm（T）と同じく割れずに良い成形性を示した。図 5 に試験後のオニグルミの試験体を示す。

内側に圧縮に伴うシワがあり，外周の延びを抑えながら成形されているのがよくわかる。イ

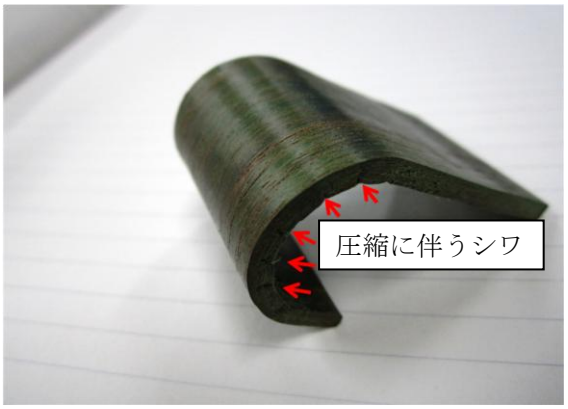


図 5 カール加工試験片（オニグルミ）

タヤカエデも R10 の曲率で成形可能となったが，評価ポイントは 2.3 で，成形性はオニグルミより低かった。以上のように，カール加工試験については，オニグルミの WPC が非常に高い成形性を示すこととなった。

3.3 温度および湿度に対する安定性

図 6 に評価に用いた試験片を示す。まったく戻りの無いものは 0° となり，戻りの発生に伴い開き角度が増加する。この変化を読み取ることで安定性を評価した。温度に対する安定性の結果を図 7 に，湿度に対する安定性の結果を図 8 に示す。養生後に若干の回復が見られるのは，養生時は試料を曲げた状態で固定金具に取り付

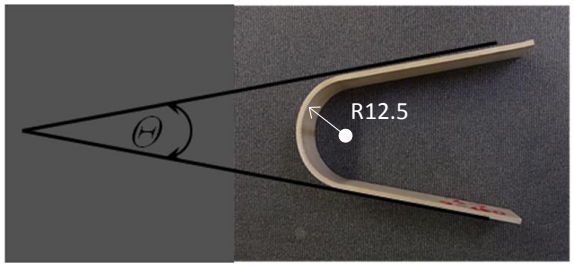


図 6 試験片と開き角度

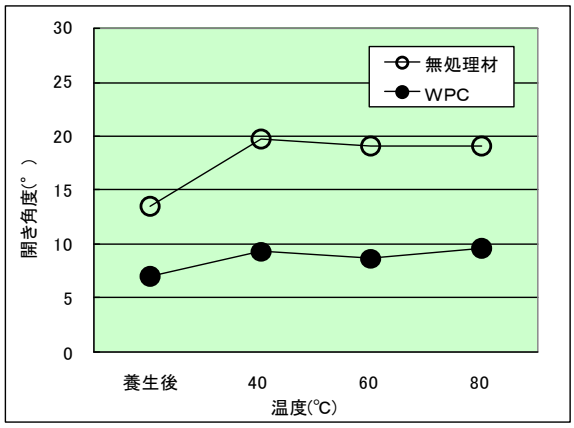


図 7　温度に対する安定性

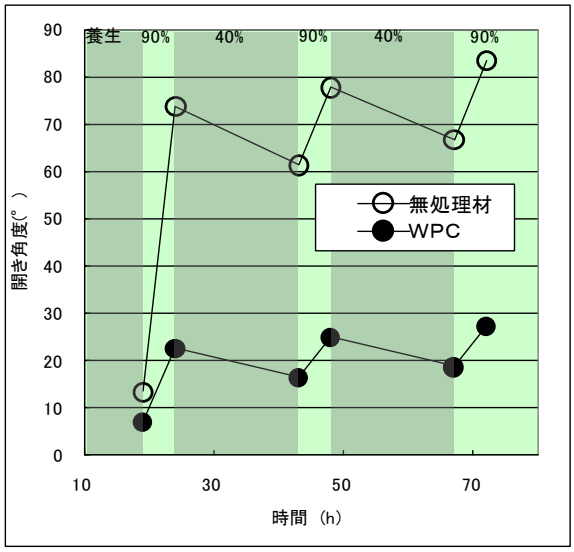


図 8　湿度に対する安定性

けていたが，試験時に金具から外すと同時に残留する応力により徐々に復元し，この戻りが初期条件時に付加されたものと推察される。養生後の戻りは無処理材の方が大きく，特に湿度に対する試験では，開始当初に 75°付近まで回復した。試験はこの状態から行うこととした。

温度による試験では無処理材，WPC ともに 80℃までは安定状態を維持していた。一方，湿度に対しては，乾湿繰り返しにより徐々に復元する傾向が確認され，無処理材の方が WPC に比べて戻りが大きかった。湿度に対する戻りは 3 サイクル以降も続くものと思われ，製品化に際しては湿度や水の浸入を防ぐための塗装や戻りを防ぐための金具固定などの対策が必要だと考えている。

4. 実用化に向けた加工装置の試作

以上の結果をもとに，実用化を図るための加工装置を試作した。図 9 に加工装置の外観を示す。加工装置はカール曲げを行うための加熱金型と成形物を取り出すためのノックアウトから構成されており，精密万能材料試験機により材料を押し込む仕組みになっている。金型温度を 200℃にセットし，3.0mm（T）の WPC 処理した

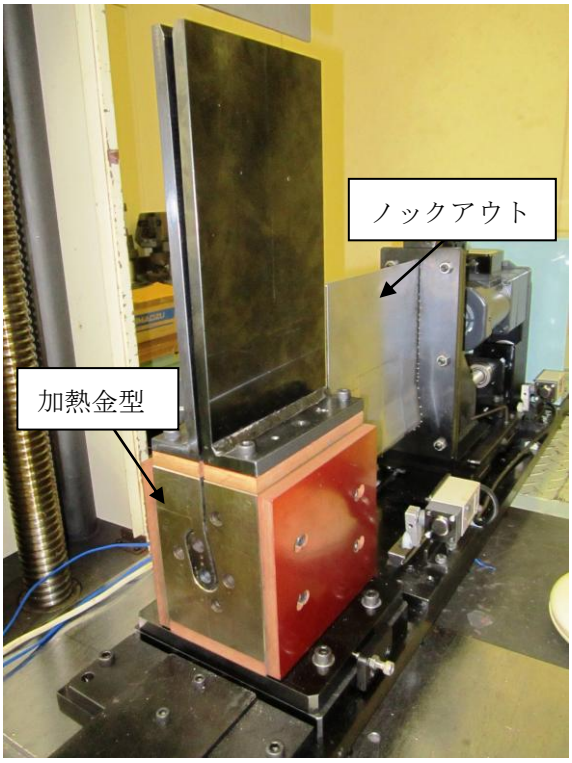


図 9　加工装置外観

オニグルミ材を使用して，クリアランス 0mm，試験速度 100mm/min で成形試験を実施したところ，図 10 のような曲げ加工が可能となり，セッティングの容易さ，早い加工速度など，従来の木材曲げ加工には無い新規性のある加工であることが実感できた。その一方で，スケールアップによるジグの熱変形や，成形距離の増加に伴なう押し込み抵抗の増加が原因となる材料の座

図 10　曲げ加工試作品

屈などの問題も生じており，実用化に際してはまだいくつかの課題を解決しなければならない。

今後は企業との共同研究により問題の解決と実用化技術の構築を図りたい。また，一連の曲げ加工技術については，特許出願済みである。

5. 結　　言

(1) アクリル系樹脂との複合体である WPC を利用して, 加熱パンチによる 3 点曲げ加工を行った結果，1.5mm（T）のオニグルミが R6 の曲率まで加工が可能となり, 無処理材に対して高い成形性が認められた。

(2)加熱ジグによる WPC のカール加工を行ったところ，3 点曲げ成形法より小さな曲率まで加工が可能で，1.5mm（T）の材料では，オニグルミで R3 まで, 3.0mm（T）の材料では，オニグルミとイタヤカエデが R10 までの曲率成形が可能だった。

(3)成形後の安定性を調べたところ，温度変化に対する高い安定性が確認できたが, 湿度による乾湿繰り返しでは, 徐々に復元することがわかった。製品化に際しては何らかの防湿対策を施す必要がある。

(4)カール曲げ加工装置の試作を行い成形試験を行った結果, 加工時間の短縮化や成形性の良さ，短時間セッティングなど，実用化に向けて有望な特徴がみられたが，一方では，ジグの熱変形, 押し込み抵抗による材料の座屈など, 改善しなければならない問題も明らかになった。

(5)これら一連の曲げ加工技術において特許の出願を行った。

参考文献

1) カール・マンク，“トーネット曲木家具”，鹿島出版，1985，p47.

2) 今村博之ほか（編集），“木材利用の化学”，共立出版，1983，p257.