

木屑の圧縮成型固形化による強度特性向上に関する研究

古曳博也*・石井信義*・由見真治朗**・長谷川景明**・菊地 誠**・
羽野 忠***・國分修三***・平岡 敦***・尾崎哲也***
*日田産業工芸試験所・**(株)本吉建設・***大分大学工学部

Study on Improvement of Physical Property by Woody Waste Compression

Hiroya KOHIKI*・Nobuyoshi ISHII*・Shinjiro YOSHIMI**・Kageaki HASEGAWA**・Makoto KIKUCHI**・
Tadashi HANO***・Shyuzo KOKUBU***・Atsushi HIRAOKA***・Tetsuya OZAKI***
*Hita Industrial Art Research Division
Motoyoshi Contractor Co.,LTD・*Faculty of Engineering, Oita University

要旨

型枠内に木粉を入れ加熱圧着する加熱圧縮処理法において、型枠温度を 300℃付近まで上げることで炭化に近い状態の加圧炭化ボードを作製した。強度的な評価試験を行ったところ、プレス圧縮後の密度が $0.80\text{g}/\text{cm}^3$ となる条件で加工した場合、JIS A 5905 繊維板で規定されているMDFの5タイプ相当の $5\text{N}/\text{mm}^2$ 以上の曲げ強さが得られた。また吸水性に関しては、吸水厚さ膨張率が 12%以下に抑制できることが確認できた。

1. はじめに

木材加工事業所等から大量に発生する木屑（木粉）のを再利用化・再資源化を目的に、合成樹脂系接着剤を使用しないで成型固形化を図る技術開発に取り組んでいる。

成型方法として採用したのは、型枠内に木粉を入れて加熱圧着する加熱圧縮処理法¹⁾である。本研究により作製するボードは、型枠温度を 300℃付近まで上げているため、熱分解による発熱作用²⁾で表面が炭化に近い状態に改質されている点を特徴とする。

加工条件を替えて作製したボードの形状や状態から加工工程を検証するとともに、強度特性や吸水性について評価試験を行ったので報告する。

2. 実験方法

2.1 加圧炭化ボードの作製（加工）

2.1.1 供試材

木粉は、大分県産スギ材を鋸屑状に加工したもので市販品を用いた。樹皮部および材質部は混ざっている。篩にて 0.5～1mm および 1～2mm の粒径に分類した。木粉の含水率は約 1.0～4.5%に調整した。

2.1.2 加工方法および温度測定

加圧炭化ボードの作製は、内寸縦 150×横 150×高さ 150mm の加熱成型装置（日本エンジニアリング建設(株)製：試作機）を用いた。材質はステンレスで、天板および底板にはセラミックヒータが内臓され加熱できるよう

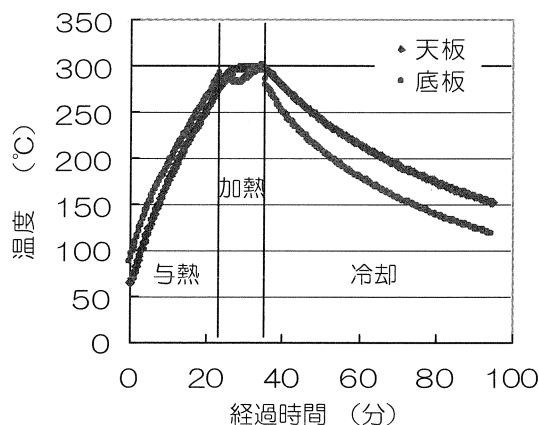


Fig. 1 加圧炭化ボードの加工工程

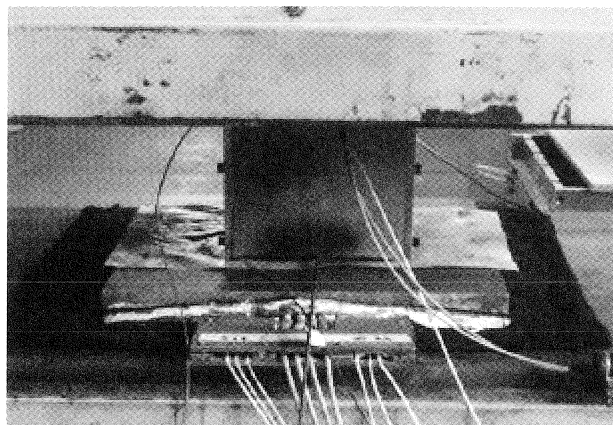


Fig. 2 加圧炭化ボード作製の状況

Table 1 加熱圧縮法により作製する加圧炭化ボードの加工条件

	粒径 (mm)	プレス圧縮時の 目標密度 (g/cm ³)	圧縮力 (Mpa)	加熱温度 (°C)	加熱時間 (分)	冷却時間 (分)
A	0.5~1.0	0.5	4.0	天板平均 298	10	60
B	0.5~1.0	0.8	11.3		5	60
C	0.5~1.0	0.8	11.5		10	60
D	1.0~2.0	0.8	10.9	底板平均 289	10	60
E	0.5~1.0	0.8	12.3		20	60
F	0.5~1.0	1.0	20.8		10	60

になっている。

ボードの加工条件を Table 1 に、加工工程の一例を Fig. 1 に、作製の状況を Fig. 2 に示す。ボードの目標寸法は幅 150×長さ 150×厚さ 15mm である。

型枠の温度 (表面温度) 測定は、天板と供試材 (木粉)、底板と供試材とが接触する箇所に被覆熱電対を導入して行った。またボードの材内温度は、高さ 6mm の側面部より φ3.5mm、深さ 5mm 程度の穴をあけ、シース型の被覆熱電対 (東京測器製) を差し込んで計測した。

2.2 加圧炭化ボードの評価

2.2.1 形状調査

作製した加圧炭化ボードから幅 30×長さ 50mm の試験片を切り出し、重量及び寸法を計測し密度および含水率を求めた。

2.2.2 曲げ強さ試験

JIS K 6911 熱硬化性プラスチック一般試験方法の曲げ試験方法を参考に行った。

作製した加圧炭化ボードから、幅 10×長さ 100mm の試験片を切り出し、スパン 80mm、荷重速度 2.0mm/分 で中央集中荷重を加えた。使用した試験機はインストロン 5568 型 (インストロンジャパン製) である。試験の様子を Fig. 3 に示す。各条件の試験サンプル数は 3 個とした。

2.2.3 吸水厚さ膨張率試験および吸水率試験

JIS A 5905 の繊維板における吸水厚さ膨張率試験および吸水率試験方法に準じて行った。作製した加圧炭化

ボードから幅 50×長さ 50mm の試験片を切り出し、20°C の水中に 24 時間浸漬した後に厚さ寸法および重量を測定し膨潤率および吸水率を求めた。

3. 結果と考察

3.1 加圧炭化ボードの材内温度推移

型枠温度を 300°C 付近まで上昇させた時 (天板 297°C、底板 289°C) の加圧炭化ボード材内温度推移の一例を Fig. 4 に示す。高さ 6mm の位置における加熱中の平均材内温度は 256°C を示した。スギの着火点は 240°C 付近³⁾ といわれているので、ボード全面で熱分解 (炭化) が始まっているものと思われる。

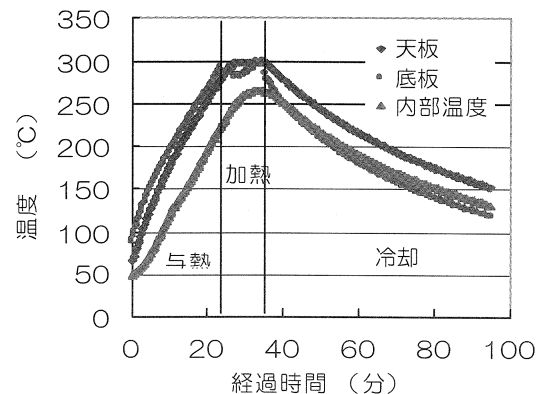


Fig. 4 加圧炭化ボード材内温度推移 (加熱 10 分)

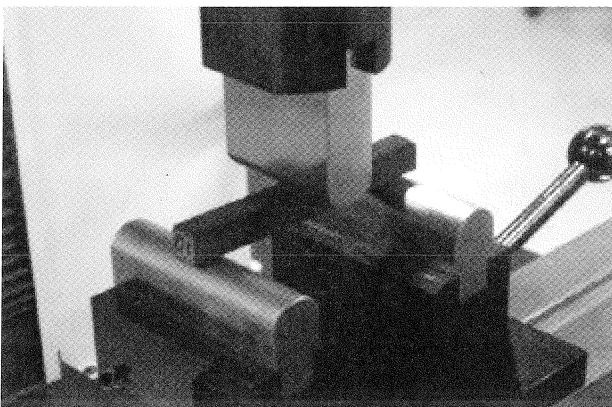


Fig. 3 曲げ試験の様子

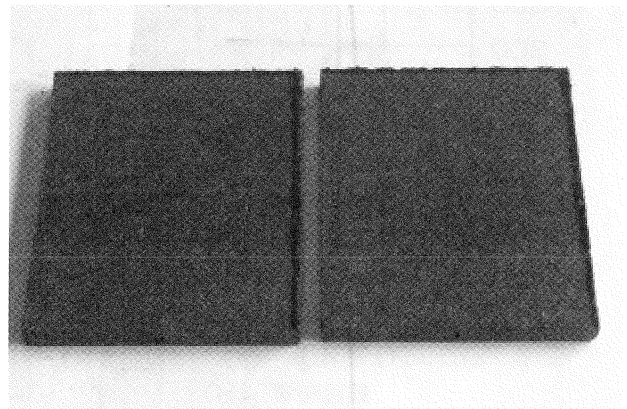


Fig. 5 作製した加圧炭化ボード

Table 2 加熱圧縮法により作製した加圧炭化ボードの素性

	厚さ (cm)	圧縮率 (%)	密度 (g/cm ³)	含水率 (%)	ボードの 形態	適用
A	1.3	6.8	0.41	2.8	○	○割れなし △取り出し直後に割れ発生 ×作製(加熱)時に割れ発生
B	1.3	8.1	0.69	1.8	○	
C	1.2	8.3	0.68	1.7	△	
D	1.2	8.5	0.68	0.7	△	
E	1.2	8.3	0.73	1.8	△	
F	1.1	8.7	0.92	0.8	×	

とはいえ、ボードの材内温度は表面温度よりも約30～40℃程度低い温度で推移していることから、材内にまで熱が伝わるのには時間を要することがうかがえた。均一なボードを加工するためにはボード全面の温度差を最小にすることが望まれ、それぞれの部位において温度上昇に時間差が生じないような加工条件や加工工程の改善が求められる。

3.2 加圧炭化ボードの形状および状態

作製した加圧炭化ボードの形状および状態をTable 2に、作製したボードの様子をFig. 5に示す。厚さは、プレス圧縮力を高めた場合や加熱時間を長くした場合に薄くなる傾向を示した。本実験ではプレス圧縮後の厚さが15mmになるように操作して加熱圧縮処理を行ったが、熱の伝導と熱分解の進行によって木粉の収縮量が大きく⁴⁾なり、設定寸法より薄くなったものと思われる。

密度は、プレス圧縮力を高めた場合に増す傾向を示した。要因としては、充填量の増加によって圧縮変形量が大きくなったためと考えられる。

含水率は、どの条件で加工してもほぼ同様な乾燥状態を示した。300℃付近まで加熱することによりスギ木粉に含まれる水分がほとんど蒸発されることがうかがえた。

ボードの状態は、圧縮力が低い場合や加熱時間が短い場合(A, B)においては概ね良好な仕上がりとなった。しかし、圧縮力を高くした場合や加熱時間を長くした場合(C, D, E)においては、型枠から取り出した直後に表面割れが発生した。原因としては、加熱後の冷却が不十分であった点が考えられる。本研究では300℃に加熱した後60分間の冷却時間を設けたが、ボードが温まった状態(材内温度は約130℃)で取り出し工程に移ったため、表層面が急冷されボード材内と表層面との間に応力差が生じたことによるものと思われる。さらに圧縮力が高くした条件(F)に至っては、作製時(加熱時)に割れが発生した。詳細な原因については検討中であるが、圧縮力の増大に伴う型枠内の温度上昇が影響しているものと思われる。

以上の結果から、良好なボードを加工するために冷却工程の再考が必要であることがいえる。加熱圧縮操作によって木材密度を高める圧密化木材の場合、圧縮解除ま

での時間を長く取るほど試料の回復が小さくなる⁵⁾との報告もあるように、寸法安定性の観点からも冷却は重要である。冷却時間を長く設定するか、冷却を促進させる手段(たとえば水冷式や風冷式などの導入)の改善が求められる。

3.3 加圧炭化ボードの強度特性

加工条件と曲げ強さの関係をFig. 6, Fig. 7, Fig. 8に示す。対照として用いた繊維板(MDF)の結果も同様に示す。

なお前述のとおり加工条件によって、作製した加圧炭化ボードに割れを生じたものもある。試験片は割れの影響のない箇所より切り出して作製した。

Fig. 6には、プレス圧縮力と曲げ強さの関係を示す。プレス圧縮力を高めるに伴って曲げ強さも向上する傾向を示した。圧縮率の増大により木粉と木粉の空隙が減少し、密着度ならびに密度が高くなったためであると思われる。

Fig. 7には、加熱時間と曲げ強さの関係を示す。加熱時間を長くした場合、曲げ強さはほぼ同様か若干向上する傾向を示した。加熱時間を長くすれば熱分解(炭化)は進行していくが、他方で木材成分(リグニン等)が熱によって熔融されやすい状況になるためにボードの結合力が一時的に高まったものと推測される。

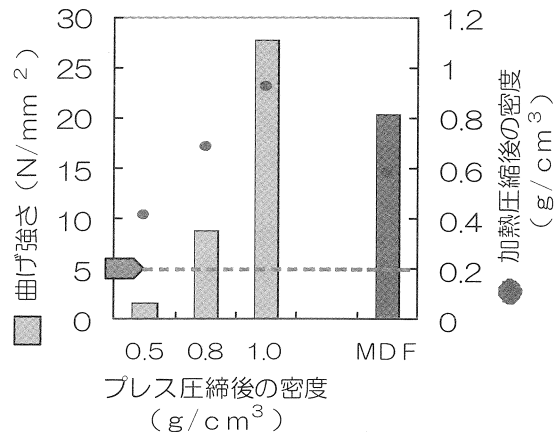


Fig. 6 プレス圧縮力と曲げ強さ (A, C, F)

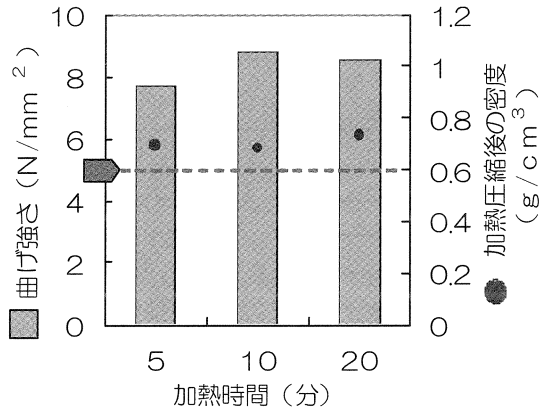


Fig. 7 加熱時間と曲げ強さ(B,C,E)

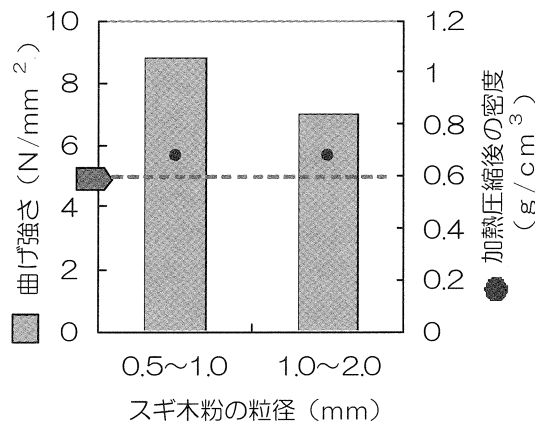


Fig. 8 木粉の粒径と曲げ強さ (C,D)

Fig. 8 には、木粉の粒径と曲げ強さの関係を示す。0.5~1.0mm 径と 1.0~2.0mm 径ではボードの密度に大差はないものの、0.5~1.0mm 径の場合、曲げ強さが若干向上する傾向を示した。木粉の容積が小さい分、木粉と木粉の空隙が減少し密着度が増したためであると思われる。

以上の結果は、JIS K 6911 熱硬化性プラスチック一般試験方法の曲げ試験方法を参考に行ったものではあるが、本研究の加工条件（加熱温度 300℃、5~20 分程度）においては、プレス圧縮後の目標密度 0.8g/cm³（圧縮力 11.5Mpa 程度）に設定すれば、繊維板（MDF）の 5 タイプに相当する 5 N/mm² 以上の曲げ強さを得られることが確認できた。

3.4 加圧炭化ボードの吸水性

加工条件と吸水性の関係を Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11 に示す。

Fig. 9 には、プレス圧縮力と吸水性の関係を示す。吸水厚さ膨張率はどのプレス圧縮力条件でもほぼ同様であるが、吸水率はプレス圧縮力を高めるに伴い低くなる傾向を示した。圧縮率の増大によりボードの密度が高まり、木粉と木粉の空隙が減少して水分の浸入を防ぐ働きが強

まったためと思われる。

Fig. 10 には、加熱時間と吸水性の関係を、Fig. 11 には木粉の粒径と吸水性の関係を示す。加熱時間の長短および木粉粒径の大小に関わりなく、吸水厚さ膨張率および吸水率は、どの条件でもほとんど同様な値を示した。

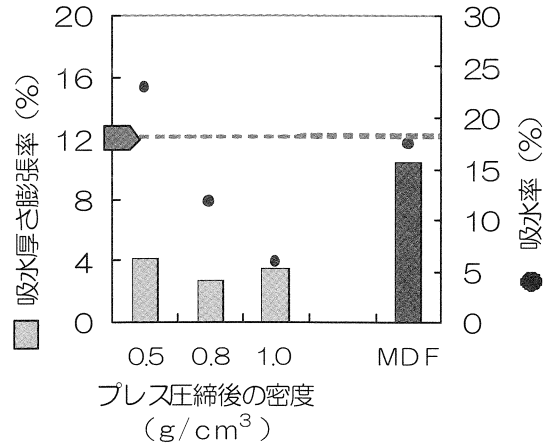


Fig. 9 プレス圧縮力と吸水性 (A,C,F)

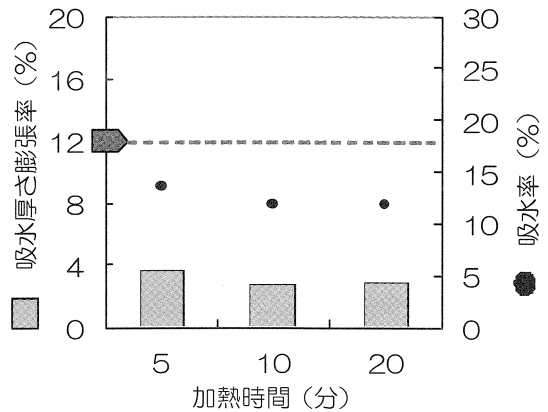


Fig. 10 加熱時間と吸水性(B,C,E)

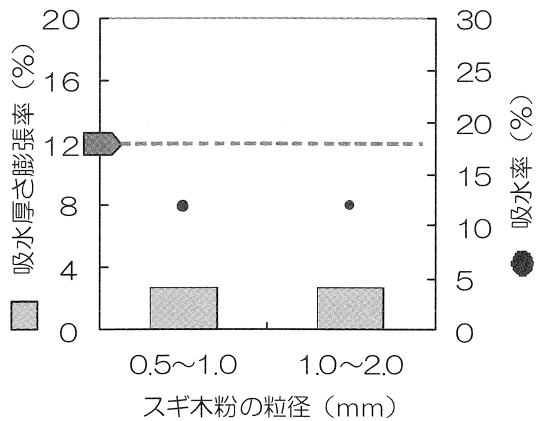


Fig. 11 木粉の粒径と吸水性 (C,D)

以上の結果から、今回の加工条件（加熱温度 300℃、5～20 分程度）においては、プレス圧縮後の目標密度の大小や木粉の粒径の大小に関わらず、繊維板（MDF）で規定されている吸水厚さ膨張率 12%以下が得られることが確認できた。このように吸水に対する高い寸法安定性能が得られたのは、吸湿・吸水による膨潤作用の原因成分であるヘミセルロースやセルロースが熱分解によって変質された⁶⁾ためではないかと推測される。

4. まとめ

木屑（木粉）等の木質系廃棄物を再利用、再資源化することを目的に、合成樹脂系接着剤を使用せず成型固形化を図る加熱圧縮処理法により、炭化に近い状態の加圧炭化ボードを作製した。

加工工程は、型枠に充填した木粉をプレス圧縮してから 300℃まで一気に加温し、所定時間（5～20 分程度）の加熱保持したのち 60 分冷却するというものである。

加工工程を検証した結果、以下のことがわかった。

- 1) 加熱圧縮処理時のボードの材内温度は表面温度よりも約 30～40℃程度低い温度で推移した。均一なボードを加工するために、材内の温度差を最小にすることができると加工条件や加工工程の改善が必要である。
- 2) プレス圧縮力を高めた場合や加熱時間を長くした加工条件では、加熱後の冷却が不十分であると型枠から取り出した後に表面割れが発生した。良好な仕上りや寸法安定性の向上の観点から、冷却時間を長く設定するか、冷却を促進させる手段（たとえば水冷式や風冷式などの導入）の改善が必要である。

また強度特性や吸水性について評価試験を行った結果、以下のことがわかった。

- 3) 強度特性については、実験方法は多少異なるもののプレス圧縮後の目標密度 0.80g/cm³ に設定すれば、JIS A 5905 繊維板（MDF）の 5 タイプに相当する 5 N/mm² 以上の曲げ強さを得られることが確認できた。
- 4) 吸水性については、プレス圧縮後の目標密度の大小や木粉の粒径の大小に関わらず、繊維板（MDF）で規定されている吸水厚さ膨張率 12%以下が得られることが確認できた。

加圧炭化ボードの断熱性能や吸音特性については、評価試験を担当されている大分大学からの報告が待たれる。

なお、本研究は平成 15 年度「循環型製品・システム市場化開発調査事業」（(財)クリーンジャパンセンター）により実施したものである。

参考文献

- 1) 松本繁則、眞砂和彰、竹村一彦：埼玉県工業技術センター研究報告第 2 巻、(2000)、119-122.
- 2) 右田伸彦、米沢保正、近藤民雄：木材化学・下、共立

出版(株)、(1968)、63.

3) 農林省林業試験場：木材工業ハンドブック、丸善(株)、(1958)、163.

4) 右田伸彦、米沢保正、近藤民雄：木材化学・下、共立出版(株)、(1968)、92.

5) 谷岡晃和、京盛健一、中村昭二、佐藤公彦：中小企業技術開発産学官連携促進事業成果普及講習会テキスト、(2003)、II-7-8.

6) 農林省林業試験場：木材工業ハンドブック、丸善(株)、(1958)、802.