

爆砕処理材を用いた木質ボードの開発

The Development of Woody Boards Using the Steam-exploded Fibers

中山 伸吾¹⁾, 岸 久雄¹⁾

Shingo NAKAYAMA and Hisao KISHI

要旨：爆砕処理を施したスギ間伐材および解体材チップを用いた、バインダーレスによる木質ボードの成型について検討を行った。その結果、エレメントの密着性が強度に大きく影響を及ぼしていることがわかり、エレメントの比重と製造するボード密度を考慮し、爆砕条件とエレメントの粒度を決定する必要が生じた。また、爆砕処理や熱圧成型工程において、過剰な熱処理はボード曲げ強度の低下を引き起こした。今回の条件設定においては、爆砕 2.2 MPa および熱圧 180°C 程度で行った場合に良好な結果が得られた。

はじめに

これまで工場残材や樹皮、建築解体廃材等の木質系産業廃棄物や、街路樹剪定枝などの大部分は焼却処分又は埋立処分されてきた。ところが、建築リサイクル法の施行やダイオキシン対策による小型焼却炉の使用規制などといった法的規制や、二酸化炭素の排出量削減、埋立処分地の絶対的な不足といった環境面の問題などから、これまでの様な廃棄処理が困難となっている。また、資源の有効活用の面からも、これら木質系廃棄物の再資源化を図ることが重要視されるようになってきた。

木材は本来、柱材から板材、チップといったようなカスケード型利用をなされ、最終的に熱としてエネルギー回収を行うことが最も理想的な利用形態といえる。このため、再資源化を行う際には、なるべく木質系以外の材料を混入しない形で行うことが望ましく、最終処分される時点で木材とほぼ同様の扱いの廃棄ができるかという点も重要となってくる。

このため、水と熱のみを用いて反応を行う爆砕処理は、木質系廃材を再資源化する場合の有効な手法の一つとして考えられる。そこで、爆砕処理木材を用いたバインダーレスによる木質ボードの成型技術について検討を行った。

実験方法

1 木質ボードの製造

1.1 木質チップ

スギ間伐材を用いた製紙用に供されるチップ材、および建物や工場からの解体材より加工された針状チップ材を 2.0 mm から 9.5 mm の範囲内にふるい分けたものをそれぞれ試験に用いた。なお、解体材には合板やボード類由来による接着剤や塗料等が付着しているものも混入していた。

¹⁾ 三重県科学技術振興センター林業研究部
515-2602 三重県一志郡白山町二本木 3769-1

1. 2 爆砕処理

気乾状態の木質チップ 400 g を 10 L 容の爆砕缶中に投入して密閉した後、外部より高圧水蒸気を缶内に導入し、1.9–2.4 MPa の処理条件まで加圧した。所定時間経過後、爆砕缶の下部バルブを開き、急激に大気圧まで開放することによって爆砕処理を行った。回収されたチップは、50℃に設定した恒温乾燥器内で乾燥させた後、室内に放置することで気乾状態とした。

1. 3 エレメント粒度の調整

バインダーレスによるボードの成型には、材料エレメントの形状が大きく影響することから、爆砕処理チップの粒度を整えることを目的に、9.5 mm, 4.0 mm, 2.0 mm, 0.5 mm の篩を用いて分級した。なお、9.5 mm 以上の区分については、爆砕による処理が進行していないことなどが考えられることから、材料エレメントより除外し、残り 4 区分を用いてボードの製造を行った。

1. 4 熱圧プレスによる成型

気乾状態の爆砕処理チップ 45 g を、手締めプレスを用いて 100 mm×100 mm の板状に予備成型した後、5 mm のスペーサーを設置した加熱プレスにより熱圧縮を行った。所定時間経過後、圧縮を解除し自然冷却させることで木質ボードの成型を行った。

2 ボード性能の評価

2. 1 曲げ強度試験

成型した木質ボードを 25 mm 幅で 3 分割し、20℃, 65%Rh で調湿した後、荷重速度 2 mm/分、スパン 80 mm の測定条件による中央集中荷重方式により、曲げ強度および曲げヤング率を測定した。

2. 2 常温水浸せき試験

木質ボードより 25 mm×30 mm の試験片を切り出し、常温水に 24 時間浸せきさせた前後における厚さ膨潤率を測定した。また、膨潤と乾燥を繰り返した場合の厚さ膨潤率の変化についても測定を行った。

結果と考察

1 スギ材チップボードの性能

1. 1 爆砕条件による回収エレメントの粒度変化

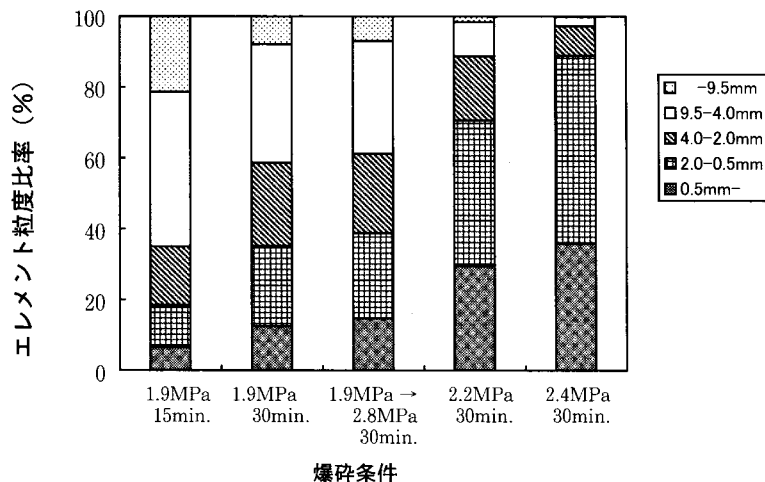


図-1. 爆砕条件によるエレメント粒度の変化

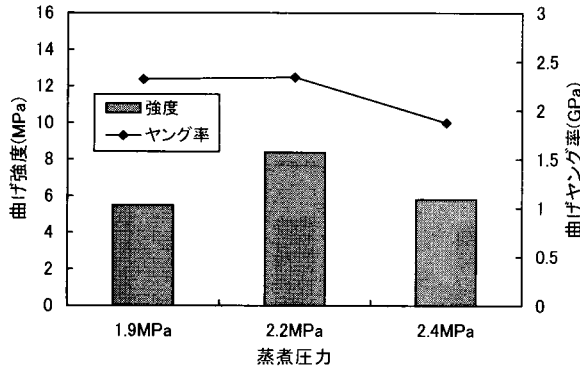


図-2. 蒸着圧力の違いによるボード強度の変化

蒸着時間：30分
 熱圧条件：180°C, 15分
 エレメント粒度：2.0-0.5 mm

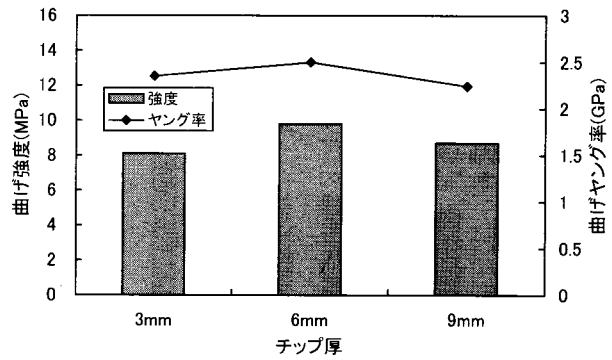


図-3. 原料チップによるボード強度の変化

蒸着圧力：2.2 MPa, 熱圧条件：180°C, 15分
 エレメント粒度：2.0-0.5 mm

木材に爆砕処理を行う目的としては、蒸着処理により木材成分が化学的变化を生じることで自己接着性を増加させるとともに、軟化した木材が解圧時に出口から高速で噴射されることにより物理的な破壊を生じ、木材内部で強固に結合された木質繊維をバラバラに解繊することにある。爆砕処理のみでチップをボード成型に利用できるエレメントのサイズまで破碎することを目的に、蒸着圧力と蒸着時間を変えた場合に得られるエレメント粒度の分布について検討を行った。

スギチップ材を 1.9 MPa, 2.2 MPa および 2.4 MPa で蒸着爆砕した条件における、回収されたエレメントの粒度分布を図-1 に示す。蒸着時における時間や圧力などの条件が強いほど、回収されるエレメント粒度は細くなり、2.2 MPa では約 70%，2.4 MPa では約 88% が 2 mm 以下のエレメントとなった。

また、1.9 MPa の条件において解圧時に 2.8 MPa まで圧力を上昇させ爆砕処理を行っても、ほとんど粒度分布が変わらなかった。このことから、解圧時にエネルギーを多く与えても、物理的なエレメント破壊の向上はあまり期待できないことが推測された。

1. 2 爆砕条件による強度変化

蒸着時における圧力条件を変えた場合の木質ボードの曲げ強度および曲げヤング率を図-2 に示す。蒸着圧力が 2.2 MPa の場合に最も曲げ強度が高くなり、1.9 MPa および 2.4 MPa ではボードの強度に低下が見られた。また、曲げヤング率については 2.4 MPa において低下がみられた。爆砕処理による自己接着性の増加には、蒸着処理中に起こるヘミセルロースの加水分解で生じた糖の二次生成物であるフルフラールと、低分子化したリグニンが関与していると考えられている。今回の処理条件においては、1.9 MPa では爆砕処理の効果が弱いことが推測された。また、2.4 MPa の場合には十分に爆砕処理が進んでいると考えられるが、強度の低下が起きていたことから、エレメントの劣化もしくは蒸着処理中の高温の酸性条件下での反応により、木質成分や生成物に化学的変性が起こっていることも考えられる。この他にも様々な要因も加わっていることが考えられるが、詳細について解明するまでには至らなかった。

次に、爆砕を行うチップのサイズが処理に影響を与えるかを調べるため、40 mm×40 mm で厚さ 3 mm, 6 mm, 9 mm のスギ板を 2.2 MPa, 30 分の条件でそれぞれ爆砕した。ボード強度を測定した結果を図-3 に示す。

爆砕処理条件が一定の場合には、ボード強度および曲げヤング率に大きな差異は見られなかった。このことより、回収されるエレメント粒度は大きく異なるが、ボード成型を行う際にエレメント粒度をそろえることで、原料チップサイズのボード強度に対する影響を抑制できることが推測された。

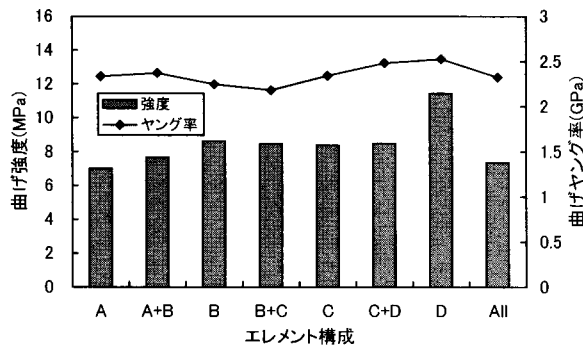


図-4. エLEMENTによるボード強度の変化

ELEMENT A : 9.5-4.0 mm, B : 4.0-2.0 mm,
 C : 2.0-0.5 mm, D : 0.5 mm 以下.
 ELEMENTの混合比は 1 : 1, All は未分級
 蒸煮圧力 : 2.2 MPa, 熱圧条件 : 180°C, 15 分

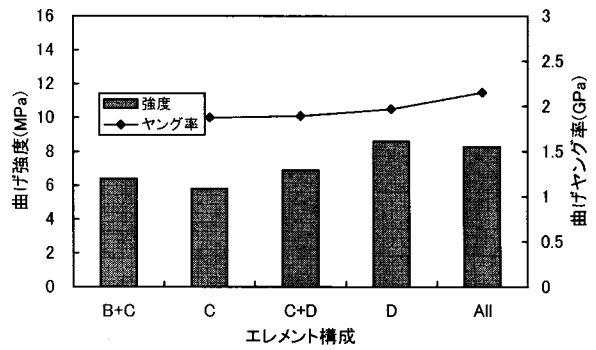


図-5. エLEMENTによるボード強度の変化

ELEMENT B : 4.0-2.0 mm, C : 2.0-0.5 mm,
 D : 0.5 mm 以下.
 ELEMENTの混合比は 1 : 1, All は未分級
 蒸煮圧力 : 2.4 MPa, 熱圧条件 : 180°C, 15 分

1. 3 ELEMENT構成条件による強度変化

2.2 MPa および 2.4 MPa の爆砕条件による, ELEMENT粒度を変えた場合のボード強度を図-4, 5 に示す。細かく形状が均一となる 0.5 mm 以下のELEMENTを用いたときに, どちらの条件の場合も高い強度が得られた。また, 2.4 MPa においては分級前の比率で構成されたボードと, 分級したボードとの強度差が少なくなった。これは, ELEMENT粒度が小さい場合には, 蒸煮処理によって変性したELEMENTの表面同士の密着性が良くなることや, 欠点となるELEMENT間の空隙が少ないことなどに起因するものと考えられる。

1. 4 熱圧条件による強度変化

ボード成型時における熱圧条件を温度が 160-200°C, 時間を 15 分とした場合のボード強度を図-6 に示す。180°C が最も曲げ強度が高くなり, 200°C で強度低下が見られたことから, 爆砕処理における過剰な処理がボード強度の低下を招いたのと同様のことが, 熱圧成型時にも起こる可能性について示唆された。

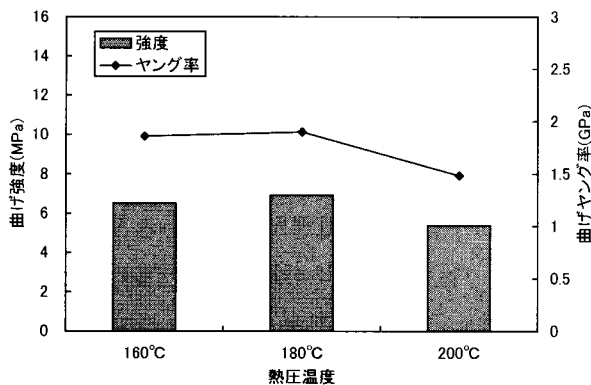


図-6. 熱圧温度条件による強度変化

爆砕条件 : 2.2 MPa, 30 分
 ELEMENT粒度 : 2.0-0.5 mm
 熱圧時間 : 15 分

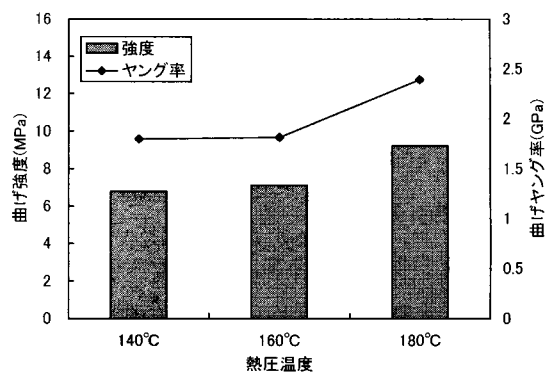


図-7. 熱圧温度条件による強度変化

爆砕条件 : 2.2 MPa, 30 分
 ELEMENT粒度 : 0.5 mm 以下
 熱圧時間 : 30 分

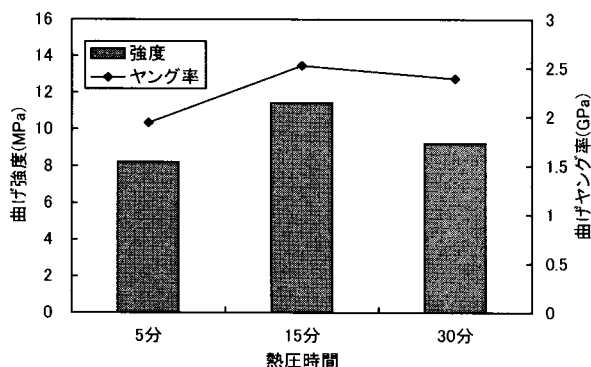


図-8. 熱圧時間条件によるボード強度の変化

爆砕条件：2.2 MPa, 30 分
 エレメント粒度：0.5 mm 以下
 熱圧温度：180°C

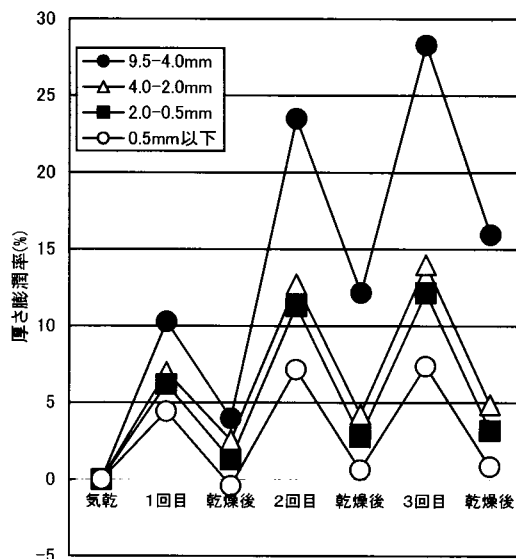


図-9. 乾湿繰り返しによる厚さ膨潤率の変化

熱圧温度をそれぞれ 20°C 下げ、圧縮時間を倍の 30 分にした場合では、図-7 に示すように 180°C における強度の低下が見られなかった。そこで、熱圧温度を 180°C に固定し、圧縮時間を 5-30 分とした。その結果、図-8 に示すように圧縮時間 15 分が、最も高い曲げ強度が得られる結果となった。

これらの結果より、スギ材チップを用いた今回の成型条件としては 180°C、15 分が最も適していた。また、高温での圧縮はボード強度の低下を引き起こす要因の一つであり、低温の条件であっても圧縮時間をコントロールする必要が生じた。

1. 5 水浸せき繰り返しによる耐膨潤性

木質ボードに対し要求される性能は、その用途によって大きく変わってくるが、部材として利用する場合には吸湿（吸水）などによる寸法変化や、耐水性について必要となってくるが多くみられる。そこで、エレメント粒度の異なるボードの耐水性について、24時間常温温水浸せき試験を行った。

その結果、吸水による重量増加率は 45-50% と大きく、また厚さ膨潤率も 5-10% 程度となったが、浸せき後にエレメントが解離するといったような大きな破損はみられなかった。

また、24 時間水浸せきと乾燥器による乾燥を交互に繰り返したときの厚さ膨潤率の変化をみると、図-9 に示すように、エレメント粒度が大きなボードほど浸せきおよび乾燥後の膨潤率は大きくなり、最も荒い 9.5-4.0 mm のエレメントでは、2 回目の浸せき後に層間剥離が生じた。一方、最も細かな 0.5 mm 以下のエレメントでは全体的に厚さ膨潤率がかなり抑えられ、3 回目の浸せき後でも 10% 以下となった。

0.5 mm 以下のエレメントを用いたボードの厚さ膨潤率は、パーティクルボードの JIS 規格（12% 以下）と同等の性能を満たしていることから、屋外での使用について想定せず、主にコア材や屋内利用になると考えた場合には、この結果は良好なものであると言える。

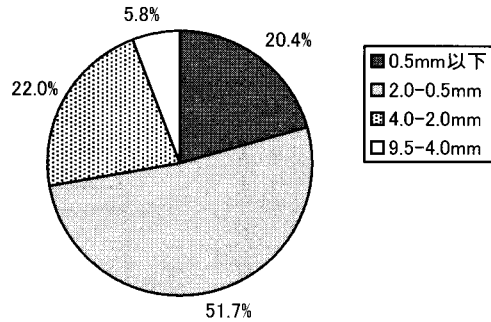


図-10. 解体材のエレメント粒度分布
爆砕条件：2.2 MPa, 15分

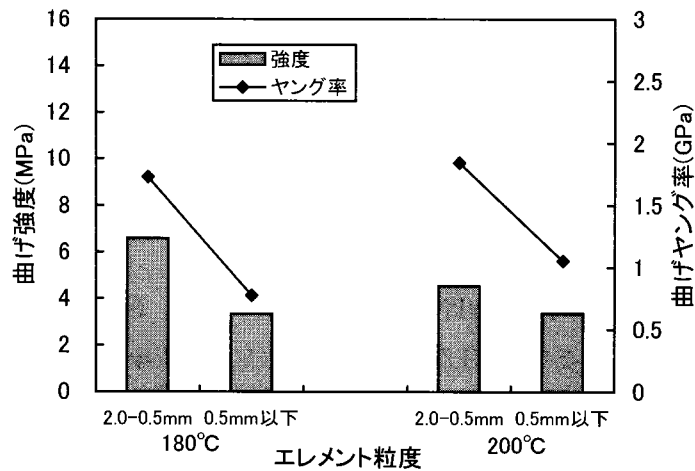


図-11. エレメント粒度によるボード強度変化
圧縮時間：15分

2 解体材ボードの性能

2.1 爆砕条件の設定

解体材の場合は異樹種材が混在しており樹種の特が困難なことや、木質系以外の異物の混入が避けられないことから、爆砕条件や回収エレメント粒度比率と蒸煮処理の進行状態との相関を取ることは困難である。そこで、スギチップ材で良好な結果が得られた 2.2 MPa において、2 mm 以下のエレメント比率が 70% 程度となる条件を設定し、蒸煮時間を 15 分とした。このときのエレメント粒度比率は図-10 のとおりであった。

2.2 エレメント構成条件による強度変化

熱圧条件が 180°C および 200°C における、2.0-0.5 mm と 0.5 mm 以下のエレメントを用いたボードの強度を図-11 に示す。スギ間伐材チップの場合とは異なり、0.5 mm 以下のエレメントを用いたときに、曲げ強度および曲げヤング率に急激な低下が見られた。この様な結果となった原因として、使用したエレメントの比重の違いによるものが大きいと推測した。つまり、スギ材エレメントに比べ使用した解体材のエレメント比重が非常に高く、成型ボードの比重を一定にしたことで解体材エレメントの体積はスギ材の 3 分の 2 程度しかなかった。このため、エレメントが細かいほど互いの密着性が悪くなり、強度が低下したものと推測した。

ボードの比重を 1.0 に高めた場合、曲げ強度は約 1.6 倍 (180°C-15 分, 2.0-0.5 mm) にまで改善されたが、高比重ボードは利用する場合に敬遠されることもあるため、あまり比重を高くすることはできない。そのため、原料となるチップの性状を把握した上で爆砕処理を行う必要性が生じた。

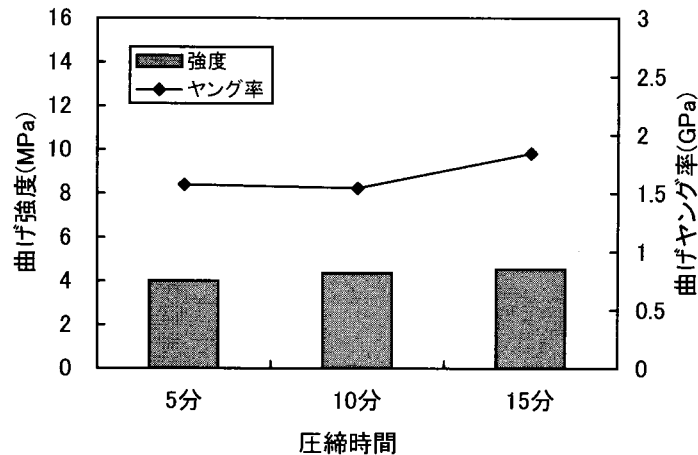


図-12. 圧縮時間によるボード強度変化

エレメント粒度：2.0-0.5 mm
圧縮温度：200℃

2. 3 熱圧条件による強度変化

200℃による圧縮時間を変化させた場合のボード強度を図-12に示す。わずかではあるが、熱圧時間を長くするとボード強度は向上したが、大幅な改善にはつながらなかった。長時間の熱圧縮はスギチップで見られたような強度低下が起こりうることから、今回の製造条件においては熱圧条件によるボード強度の向上はあまり見込めないとと言える。しかし、ボードの比重を高めることでエレメントの密着性が改善されれば、スギチップ同様に最適条件が見いだされるものと思われた。

まとめ

スギ間伐材チップを爆砕処理により破碎する場合、圧力や時間の処理条件を強くすれば、バインダーレスボード製造に適した細かなサイズのエレメントを多量に得ることが可能である。しかし、過剰な蒸煮処理は成型ボードの強度を弱めることになるため、圧力条件としては2.2 MPaが上限と思われた。また、分級により細かなサイズのエレメントのみを用いることで、エレメント同士の密着性が高まり、ボード強度の向上につながるが見込まれた。特に、0.5 mm以下の細かなエレメントを用いた場合には、水浸せきによる厚さ膨潤率が抑えられる傾向が見られた。

成型時における熱圧条件としては、200℃では比較的短時間でボード強度の低下を生じさせることから、180℃までに抑えた方が良いと思われた。また、180℃以下でも長時間にわたる場合には強度低下が起こるため、温度と時間のコントロールが必要であった。

解体材を用いた場合、排出源によりチップの性状が異なるため、蒸煮処理については形状や比重を考慮して、その条件を決定する必要がある。特に、比重が高い場合にはエレメント粒度が細かすぎると強度が得られないことがわかった。

謝 辞

本研究の実施に当たり、解体材を提供いただきました有限会社中勢工業ならびに株式会社グリーンワークスの皆様に対して、心より感謝いたします。

文 献

- 安藤浩毅・古川郁子・神野好孝・坂木剛・上村芳三・幡手泰雄. 2000. 加熱熱水を用いた木質バイオマスの分解挙動. 鹿児島県工業技術センター報告, (14): 45-51.
- 前田めぐみ・佐藤雅俊・飯山賢治. 2002. 建築廃材を再利用した木質系ボードに関する基礎的研究. 日本木材学会大会要旨集, (52): 241.