

熱板圧縮処理によるスギ材の破壊靱性の改良

本多 琢己

Fracture Toughness Improvement in Sugi Lamina by Hot-Pressing

Takumi HONDA

Summary : Fracture toughness of the lumber which was processed combining heating compression and hot drying was investigated. The mode in the TL system as a fracture toughness K_{Ic} was measured. In case of the compression of 0.5 Mpa, K_{Ic} increases in the area below 150°C, but K_{Ic} decreases largely in the area above 180°C, and fracture becomes brittle. In addition, also heating time to the increase of K_{Ic} is relative. In case of the compression of 2.0 Mpa, when data compression ratio is high, K_{Ic} increases remarkably. When it was compressed at above 140°C, the minute crack occurs at the time of release pressure, furthermore it seems that receives the influence of the dry temperature that in hot drying. Equilibrium moisture content of these heat treated woods decreased regardless of processing condition such as compression and dry temperature. Because percentage of water content decreases suitably with heating compression, you can expect the reduction of dry time.

要旨 : 加熱圧縮と高温乾燥を組み合わせる処理した木材の破壊靱性を調べた。破壊靱性として TL システムにおけるモード I の K_{Ic} を測定した。0.5 Mpa の圧縮の場合、150°C 以下の領域で K_{Ic} は増加するが、180°C 以上の領域では K_{Ic} が大きく減少し、破壊は脆性的になる。また、 K_{Ic} の増加には加熱時間も関係している。2.0 Mpa の圧縮の場合、圧縮率の高いときに K_{Ic} が顕著に増加する。140°C 以上で圧縮された場合、解圧時に微細なクラックが生じ、さらにそれが高温乾燥における乾燥温度の影響を受けるようである。これらの高温熱処理材の平衡含水率は圧縮や乾燥温度などの処理条件に関わらず低下した。加熱圧縮により含水率が相当低下するため、乾燥時間の短縮化が期待出来る。

1 緒 言

木材に横圧縮方向の大変形を与えて変形を固定すると、密度、硬さ、強度などが増加する。変形の固定のための加熱処理は乾燥状態で行う熱処理¹⁾と高温高圧下において湿潤状態で行う水蒸気処理²⁾とがある。また、高含水率材を高温低湿乾燥すると表層に大きな圧縮応力が形成されて割れに対抗する抵抗力が増加する³⁾。これらの加工は木材の破壊靱性の改良を目的に行われるものではないが、硬度、強度、割れに対する抵抗力の増加は、破壊靱性の増加にも寄与していると考えられる。しかし、木材の破壊靱性を積極的に改良することを目的とした研究についての報告は見当たらない。

そこで本研究では、木材の破壊靱性を向上させることを目的に、高含水率材に対して圧縮した状態で短時間加熱する処理方法の検討を行う。この方法によれば、水蒸

気処理に準じた物性の改良効果や圧縮応力層の急速形成、余分な水分が絞り出されることによる乾燥時間の短縮化などが期待できる。

2 実 験

2.1 材 料

前報⁴⁾と同様に、伐採から1日経過したスギ丸太(山梨県南巨摩郡産)を36mmの厚さにガラ挽きし、その中から年輪が板の幅方向に平行で、かつ断面内にはほぼ均等に3年輪を含む心材を供試材に選んだ。Fig.1に示し

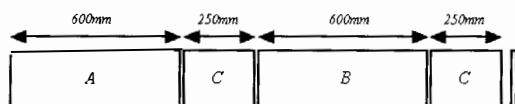


Fig.1 Cutting diagram of specimens.
Legend: A:Hot air dry hot-pressed, B:Hot air dry, C:MC.

たA、Bはマッチングしていると考えられ、材質的にもほぼ同じとみなせる。A、Bを1組とし、Aを熱板圧縮処理用にBを比較のための熱気乾燥用に供試した。また、Cは含水率推定用である。これらの試験体を直ちにビニール袋に密閉し冷蔵庫で保管した。

2.2 熱板圧縮処理の方法

試料を60℃で6hr煮沸した後、冷水に96hr浸漬し飽水状態とした上で熱板圧縮に供試した。初期含水率は約110%~120%であった。圧縮温度の影響を調べる実験では、次の通り条件設定した。圧縮温度を90℃、120℃、150℃、180℃および210℃の5段階とし、圧縮圧0.5Mpaで、30minおよび60minの処理を行った。その後、80℃で24hr時間の乾熱処理を行った。また、圧縮率の影響を調べる実験では、次の通り条件設定した。圧縮率Crを13.3%、20.0%、26.7%、33.0%の4段階、圧縮温度を100℃、120℃、140℃、160℃の4段階に設定し圧縮圧を2.0Mpaとした。圧縮温度が100℃および120℃の場合は、30分間圧縮した。予備実験の結果、同条件で圧縮した場合、140℃以上の温度においては、開圧する際に破壊が発生するケースが確認された。そこで140℃の温度では15分間圧縮し、160℃の温度では圧縮率13.3%について5分間圧縮した。その後、80℃で24hrおよび100℃で16hrの乾熱処理を行った。熱処理終了後、20℃、65%RHの恒温恒湿室中でほぼ重量変化がなくなるまで調湿し、各物性試験に供した。一条件について3試験体を供試した。

2.3 破壊靱性試験

Fig.1のA、Bの部分から、Fig.2に示した寸法・形状のコンパクト・テンション用試験片を1条件につき8片作製した。破壊靱性試験は、TLシステムのモードI

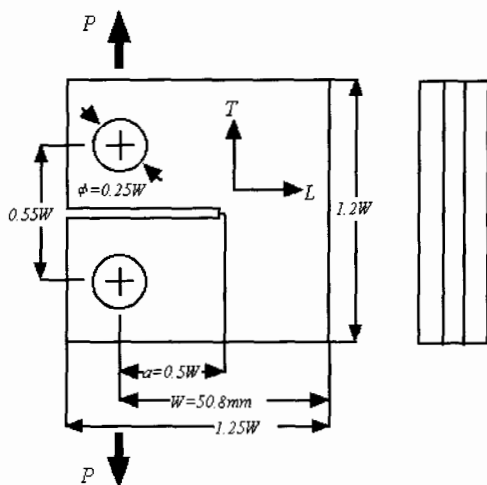


Fig.2 Dimensions of specimen for compact tension method.

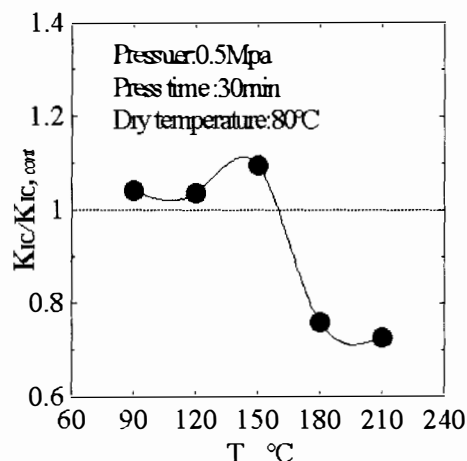


Fig.3 Effect of press temperature on K_{Ic} of with hot-pressed/ K_{Ic} without hot-pressed ($=K_{Ic,cont}$).

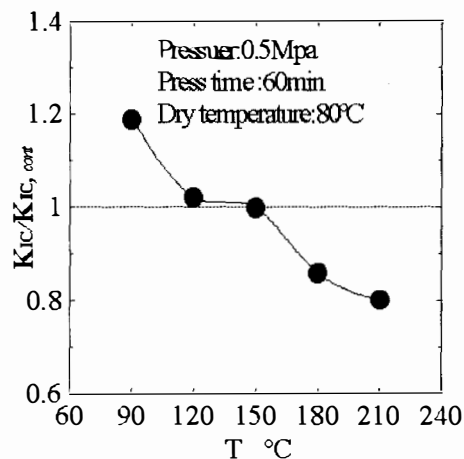


Fig.4 Effect of press temperature on K_{Ic} of with hot-pressed/ K_{Ic} without hot-pressed ($=K_{Ic,cont}$).

の場合について行い、クロスヘッドスピードを1mm/minとしピンロード方式により負荷した。限界荷重はLoad-COD曲線からPQ法により決定し、応力拡大係数 K_{Ic} を算出した。なお、測定は20℃、65%RHの恒温恒湿室中で行った。熱板圧縮処理材の熱気処理材に対する K_{Ic} の平均値の比を各組ごとに求め、さらに3組の平均($K_{Ic}/K_{Ic,cont}$)を算出し、熱板圧縮処理の効果を検討した。

3 結果及び考察

3.1 破壊靱性に及ぼす圧縮温度の影響

Fig.3に30min間圧縮した場合の圧縮温度と $K_{Ic}/K_{Ic,cont}$ の関係を示した。また、Fig.4に60min間圧縮した場合の圧縮温度と $K_{Ic}/K_{Ic,cont}$ の関係を示した。圧縮

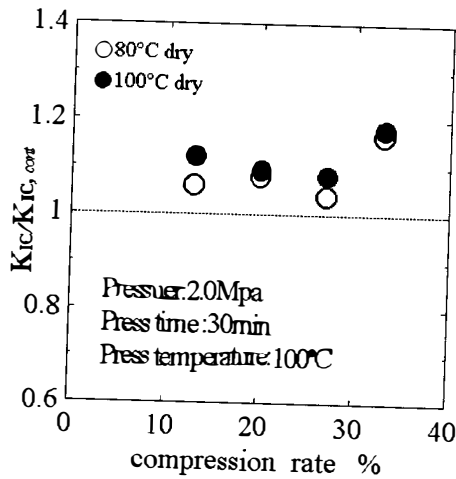


Fig. 5 Effect of compression rate on K_{IC} of with hot-pressed/ K_{IC} without hot-pressed ($=K_{IC,cont}$).

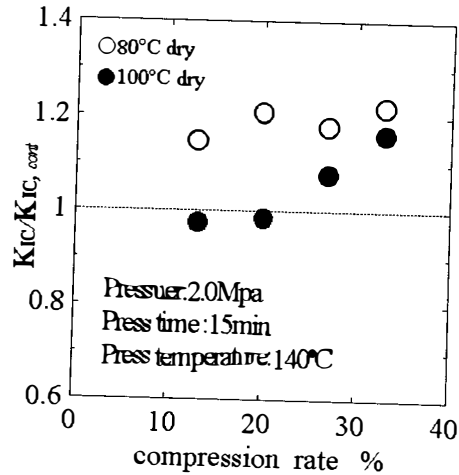


Fig. 7 Effect of compression rate on K_{IC} of with hot-pressed/ K_{IC} without hot-pressed ($=K_{IC,cont}$).

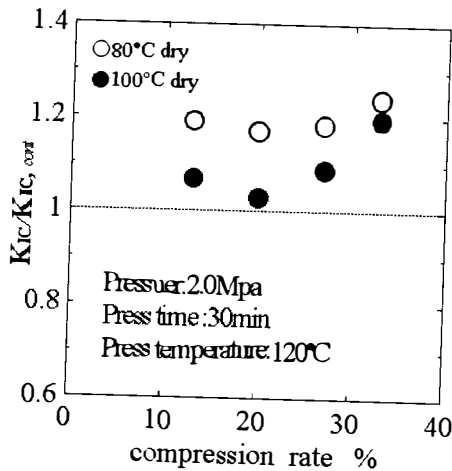


Fig. 6 Effect of compression rate on K_{IC} of with hot-pressed/ K_{IC} without hot-pressed ($=K_{IC,cont}$).

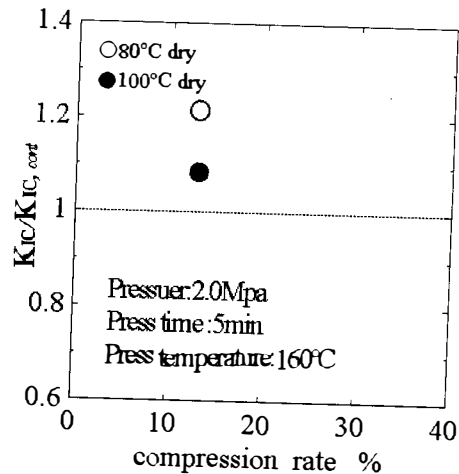


Fig. 8 Effect of compression rate on K_{IC} of with hot-pressed/ K_{IC} without hot-pressed ($=K_{IC,cont}$).

処理の効果($K_{IC}/K_{IC,cont} > 1.0$)は90°C~150°Cの領域において認められるものの、90°C-60 minの処理、150°C-30 minの処理をした場合を除いてそれは僅かであった。90°Cの場合、処理時間を長くすることで $K_{IC}/K_{IC,cont}$ は1.2程度まで増加したが、150°Cの場合には逆にそれが低下した。このことから、温度ごとに処理効果の現れる時間オーダーが異なっているものと考えられる。

180°C以上の処理においては、圧縮時間に関わらず $K_{IC}/K_{IC,cont}$ が急激に低下した。この領域では力学的に有意な構造変化がもたらされていると考えられる。高含水率材を高温で圧縮処理した場合、初期段階においては高圧水蒸気で処理した時と同様の状態にあると考えられ、ヘミセルロース鎖の切断やリグニンの分解、何らかの凝集構造の生成が起きているものと推察される。また、この温度領域では基本的に細胞壁構成成分の分子鎖の切断

などが凝集構造の生成を上回っていると考えられる。 $K_{IC}/K_{IC,cont}$ の低下は60 minの圧縮とすることで30 minの圧縮に対して多少緩和するが、これは圧縮時間を長くすることで、熱処理による後者の形成が進むからと考えられる。

3.2 破壊靱性に及ぼす圧縮率の影響

Fig.5に100°Cで圧縮した場合の圧縮率と $K_{IC}/K_{IC,cont}$ の関係を示した。圧縮率に関わらず $K_{IC}/K_{IC,cont}$ は1.0以上で、圧縮率33%で最大であった。また、熱圧縮後の乾熱処理温度の影響は認められない。Fig.6に120°Cで圧縮した場合の圧縮率と $K_{IC}/K_{IC,cont}$ の関係を示した。圧縮率に関わらず $K_{IC}/K_{IC,cont}$ は1.0以上で、圧縮率33%で最大であった。熱圧縮後の乾熱処理温度の影響が認められ80°Cの方が改良効果は大きい。Fig.7

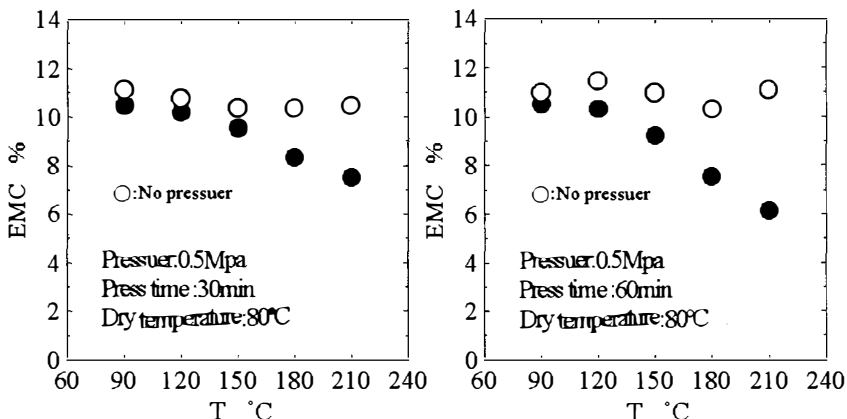


Fig. 9 Effect of temperature on EMC.

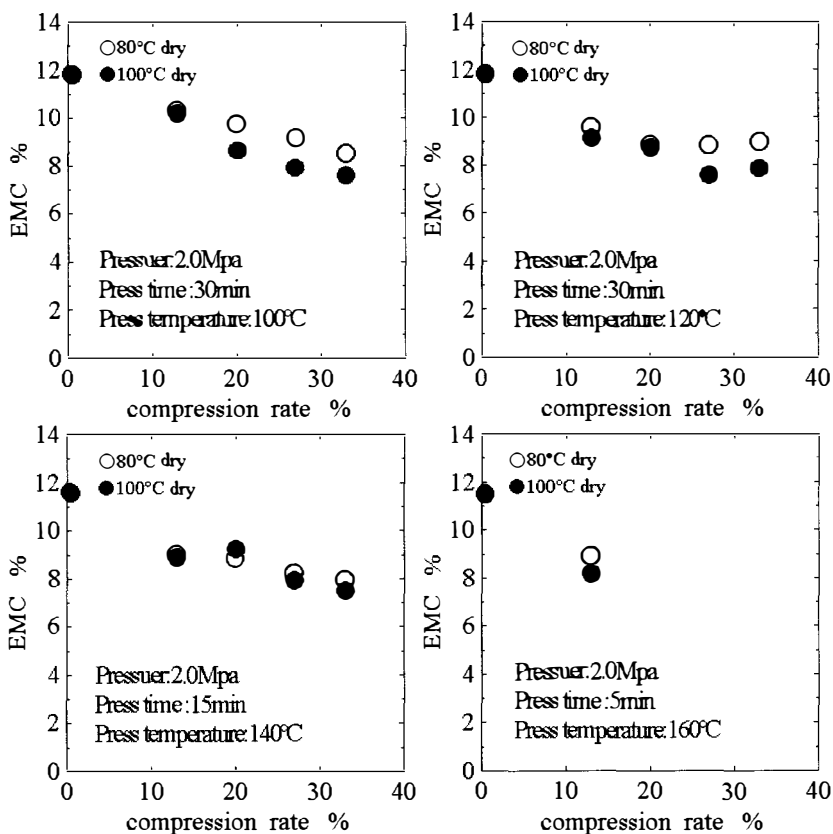


Fig. 10 Effect of compression rate on EMC.

に 140°Cで圧縮した場合の圧縮率と $K_{IC}/K_{IC,cont}$ の関係を示した。 $K_{IC}/K_{IC,cont}$ は 80°Cで乾熱処理した方が 100°Cの処理に比べて大きく、特に圧縮率の低いほどその差は顕著であった。また、100°Cで乾熱処理した場合、 $K_{IC}/K_{IC,cont}$ は圧縮率 13.3%および 20.0%で 1.0 以下であった。Fig.8 に 160°Cで圧縮した場合の圧縮率と $K_{IC}/K_{IC,cont}$ の関係を示した。 $K_{IC}/K_{IC,cont}$ は 80°Cで乾熱処理

した方が 100°Cの処理に比べて大きかった。

このように高含水率材に対して高温圧縮処理に続き熱処理を行った場合、圧縮率や圧縮処理後の乾熱処理温度によって $K_{IC}/K_{IC,cont}$ に差異が認められた。前者については、解圧時に確認できなかったもの実際は微細な破壊が発生しており、特に 140°C以上の場合に多数生じ、それが乾熱処理過程でさらに成長したことが主因と考え

られる。また、後者については圧縮率が高いほど木口から水蒸気が抜けにくくなるために活性化した水分子と構成成分が接触しやすくなり、構成成分の化学変化がより進んだためと考えられる。さらに、これら構成成分の変化に伴う応力緩和、表層付近の圧縮応力の存在、圧密層の形成なども考察する上では欠かせない因子と考えられるが、これらは相互に関連しており考察を複雑にしている。

140°C以上の熱板圧縮処理においては、熱板接触面を中心に乾燥が急速に進み、ある時間以降は非常に低い含水率下で熱処理が進行するため、これに伴う劣化が影響している可能性がある。さらに分単位のタイムスケールにおいて詳細な検討が必要と考える。

3.3 熱板圧縮処理材の平衡含水率

Fig.9に0.5 Mpaで圧縮した場合について、圧縮温度と平衡含水率の関係を示した。平衡含水率は圧縮温度が高いほど低下した。また、圧縮時間による明確な違いは認められなかった。Fig.10には2.0 Mpaで圧縮した場合について、圧縮温度ごとの圧縮率と平衡含水率の関係を示した。平衡含水率は圧縮時間に関わらず圧縮率が大きいほど低下した。また、圧縮温度や圧縮後の乾熱温度による明確な違いは確認されなかった。これは、圧縮中に吸湿性の高いヘミセルロースなどが吸湿性の低い成分に化学変化したためと考えられる。

3.4 熱板圧縮処理による重量減少

2.0 Mpa 圧縮における処理前後の重量変化から処理による重量減少率を算出し Fig.11 に示した。重量減少率は圧縮率が高いほど、また同じ圧縮率ならば圧縮温度が高いほど大きかった。

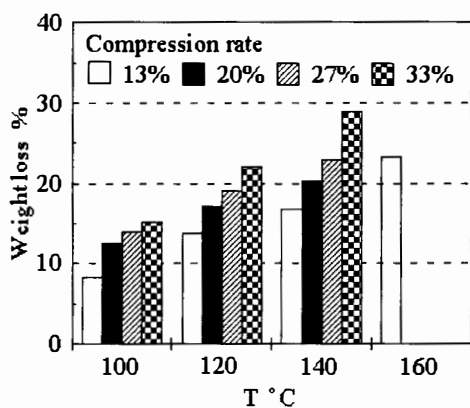


Fig. 11 Effect of compression rate on weight loss.

4 結 言

高含水率スギ材に対する熱板圧縮処理の効果に関して以下の知見が得られた。

- (1) 0.5 Mpa で圧縮した場合について圧縮温度が破壊靱性に及ぼす影響を検討したところ、破壊靱性は90°C~150°Cの領域において向上したが、180°C以上では著しく低下した。また、より効果的に破壊靱性を改良するためには圧縮温度ごとに最適なタイムスケールを適応する必要があると考えられた。
- (2) 2.0 Mpa で圧縮した場合について圧縮率、圧縮温度が破壊靱性に及ぼす影響を検討したところ、破壊靱性は圧縮率33%において最も向上した。圧縮温度が140°C、160°Cの場合は圧縮処理中に発生した微細なクラックが、その後の乾熱乾燥過程においてさらに成長していることが示唆された。
- (3) 熱板圧縮処理すると平衡含水率は低下し、圧縮率が高いほど低かった。
- (4) 圧縮の際にかなりの量の水が脱水されることから、熱板圧縮処理は効率的な乾燥前処理としても有効である。

参 考 文 献

- 1) 井上雅文, 則元 京: 木材研究・資料, No.27, 31-40 (1991).
- 2) M. Inoue, M. Norimoto, M. Tanahashi, and R. M. Rowell, : Wood and Fiber Sci., 25, 224-235 (1993).
- 3) 平成13年度日本木材学会レオロジー研究会・木材と水研究会共催シンポジウム, p34-40 (2001).
- 4) 本多琢己: 山梨県森林総合研究所研究報告, 24, 83-88 (2005).
- 5) 白鳥正樹, 三好俊郎, 松下久雄: 共著 数値破壊力学, 実教出版株式会社, 218-225 (1980).