

熱処理材の破壊特性

本多 琢己

The Fracture Properties of Wood Heat-Treated.

Takumi HONDA

Summary : Fracture properties of the lamina which was treated at high temperature was investigated with the fracture toughness test and bending test of the TL system. Significant difference was not recognized between the heat-treated wood and the natural dried wood in regard to modulus of elasticity and modulus of rupture in bedding. On the one hand, in case of steam drying, fracture toughness K_{Ic} increased. In addition, in case of which of steam drying and hot-air drying, equilibrium moisture content decreased by comparison with that of the natural dried wood. It was verified that the fracture toughness test was effective to the case where property of the lumber which is dried at high temperature is evaluated.

要旨：高温で処理したラミナの破壊特性を TL システムの破壊靱性試験や曲げ強度試験により調べた。曲げヤング率や曲げ強度に関しては熱処理材と天然乾燥材の間に有意差は認められなかった。一方、湿熱処理材の場合、破壊靱性 K_{Ic} が増加した。また、湿熱処理材、乾熱処理材のどちらの場合にも、平衡含水率は天然乾燥材のそれに比較して減少した。

破壊靱性試験は高温で乾燥した木材の特性を評価する場合に有効であることが確認された。

1 緒 言

構造物の破壊防止の観点から破壊靱性が設計応力選定の基礎として用いられている。最近、木造大架構建築物が多数建築されており、木材のみならず多種の木質材料が使用されている。木材についての破壊力学的な研究は多数報告¹⁾されているものの、木質材料に関しては報告が少ない。

一方、木質材料の製造プロセスにおいては、必ず水分調整を目的にしたエレメントの熱処理が行われている。また、最近、製材品の乾燥については、乾燥時間の短縮化や割れ抑制のために比較的高温域で行う方法が採用されている。

しかしながら、高温乾燥材や高温熱処理されたエレメントから構成される木質材料の破壊特性は、これまでほとんど明らかにされていない²⁾。

そこで、本研究では、集成材用ラミナを想定し、スギ熱処理材の破壊靱性や曲げ破壊強度などの破壊特性に及

ぼす熱処理条件の影響について調べたので、その結果について報告する。

2 実 験

2.1. 材 料

伐採から 1 日経過したスギ丸太(山梨県南巨摩郡産)を 25 mm の厚さにグラ挽きし、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 に示した A、B はマッチングし

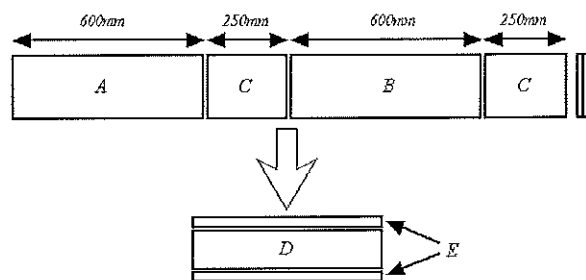


Fig. 1 Cutting diagram of specimens.
Legend: A:Kilin dry, B: Air dry, C: MC, D: K_{Ic} , E: Bending.

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を熱処理用に、Bを比較のための天然乾燥用とした。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. 熱処理の方法

両木口をアルミホイルでシールして一条件について3試験体を供試した。初期含水率は約180%~200%程度であった。蒸気式乾燥装置を用いてTable.1に示す熱処理条件で5時間の処理を行った。その後、15時間以上の自然冷却を行った。翌朝、試験体を装置外に一度取り出し、設定温度に近づいたところで再び装置内に戻し

た。これを含水率が約15%程度になるまで繰り返し、間欠処理とした(以下、湿熱処理と呼ぶ)。ただし、熱気乾燥の場合は熱風乾燥装置で連続処理とした(以下、乾熱処理と呼ぶ)。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。

2.3. 破壊靱性試験

Fig.1のD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の場合について行い、クロスヘッドスピードを1mm/min

Table 1. Treated Conditions

DBT-WBT(°C)	Drying-Time(hr)
80*	48
80-60	70
80-80	125
100*	26
100-80	20
100-98	25
120*	24
120-80	15
120-98	20
140*	20
140-80	15
140-98	20

DBT: Dry bulb temperature,
WBT: Wet bulb temperature,
*: Hot air drying

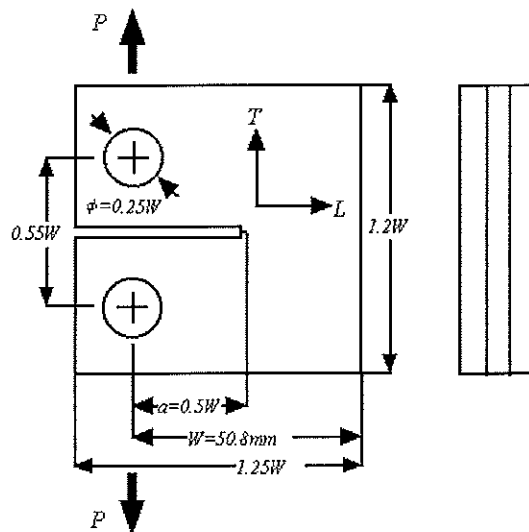


Fig.2 Dimensions of specimen for compact tension method.

Table 2. Effect of treat conditions on mechanical properties.

DBT-WBT(°C)	$K_{IC}/K_{IC,cont}$	MOE/MOE _{cont}	MOR/MOR _{cont}	BW/BW _{cont}
80*	0.968	0.928	0.990	1.043***
80-60	1.176**	1.019	1.094	1.027
80-80	1.213**	1.004	0.975	1.000
100*	0.994	0.961	0.996	1.049***
100-80	1.235**	0.999	1.107**	0.963
100-98	1.261**	0.974	0.988	1.042
120*	0.969	1.028	1.097	0.957
120-80	1.281**	1.016	1.028	0.928
120-98	1.228**	0.954	0.978	1.023
140*	1.006	1.085	1.059	0.975
140-80	1.392**	0.975	1.001	1.009
140-98	1.264**	0.956	0.913***	0.935

DBT: Dry bulb temperature, WBT: Wet bulb temperature, *: Hot air drying,
BW: Bending works of Pmax, **: Significant difference on the 1% level, ***: Significant difference on the 5% level.

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⁹⁾した。なお、測定は 20°C、65%RH の恒温恒湿室中で行った。

2.4. 曲げ強度試験

Fig.1 の D を作製した残りの部分から 25 mm(W) × 16 mm(T) × 280 mm の試験片を 1 条件につき 2 片作製した。曲げ強度試験は、スパンを 224 mm、クロスヘッドスピードを 5 mm/min とし柁目面に中央集中荷重を負荷した。なお、測定は 20°C、65%RH の恒温恒湿室中で行った。

2.5. 色彩試験

曲げ試験終了後の試験体の柁目面にセンサーを当てて感覚色度 L^* 、 a^* 、 b^* を測定した。

3 結果及び考察

3.1. 破壊特性に及ぼす熱処理の影響

Fig.3 に K_{Ic} と熱処理条件の関係を示す。各組ごとに K_{Ic} の平均値について熱処理材の気乾材に対する比を求め、さらに 3 組の平均 ($K_{Ic}/K_{Ic,cont}$) を算出したのが Table.2 である。湿熱処理の場合、いずれの温・湿度条

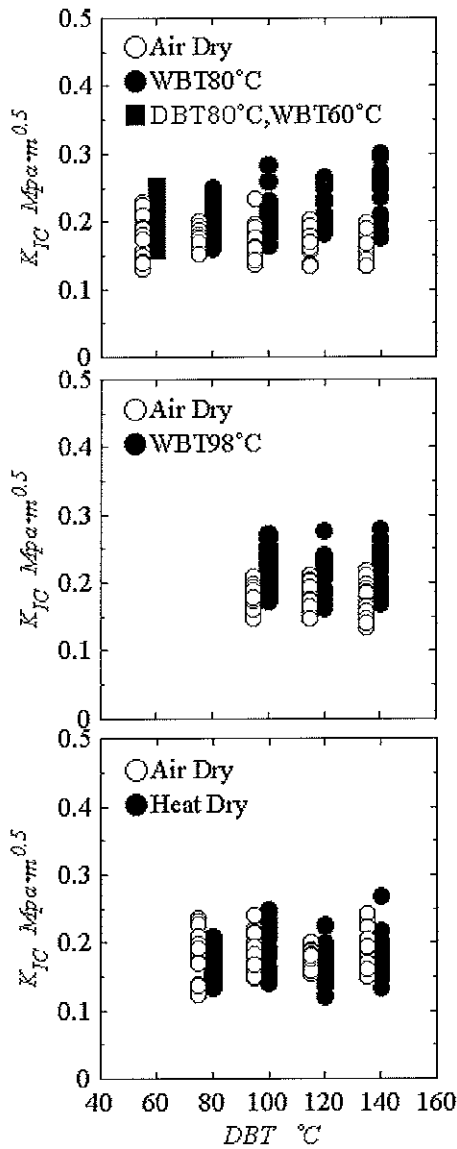


Fig.3 Effect of fracture toughness K_{Ic} on heat treatment.

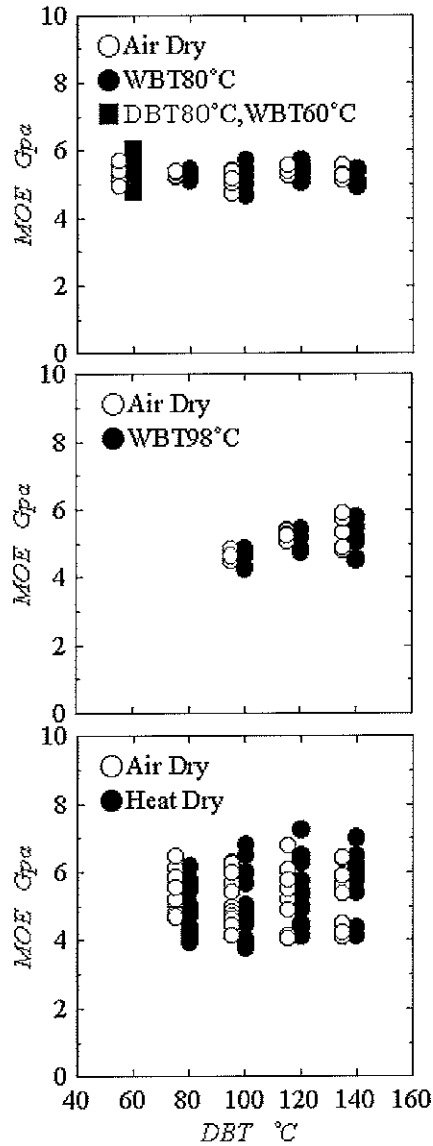


Fig.4 Effect of flexural modulus of elasticity MOE on heat treatment.

件においても熱処理することで K_{IC} が増加した。また、3 試験体を 1 つのグループとみなし T 検定を行ったところ、いずれの温・湿度条件においても有意 ($P < 0.01$) な差が認められた。これに対して乾熱処理の場合は処理温度に関わらず変化が少なかった。これらは後述する曲げ特性には見られない特徴である。

次に、曲げ強度試験から求めた MOE、MOR、WB について K_{IC} と同様な方法でデータ処理を行った。Fig.4 に MOE と熱処理条件の関係を示す。また、Table.2 に熱処理材の MOE の天然乾燥材のそれに対する比を示す。MOE は 120°C-98°C、140°C-98°C の湿熱処理や 80°C、100°C の乾熱処理において 5% 程度減少したが、有意な

差は生じなかった。Fig.5 に MOR と熱処理条件の関係を示す。また、Table.2 に熱処理材の MOR の天然乾燥材のそれに対する比を示す。MOR は 100°C-80°C の湿熱処理で 10% 増加 ($P < 0.01$) し、また 140°C-98°C の湿熱処理で 10% 減少 ($P < 0.05$) した。Fig.6 に WB と熱処理条件の関係を示す。また、Table.2 に熱処理材の WB の天然乾燥材のそれに対する比を示す。WB は 80°C 及び 100°C の乾熱処理において 5% 程度増加 ($P < 0.05$) した。湿熱処理の場合はいずれの条件でも数% 程度の減少が認められたものの、有意な差は生じなかった。

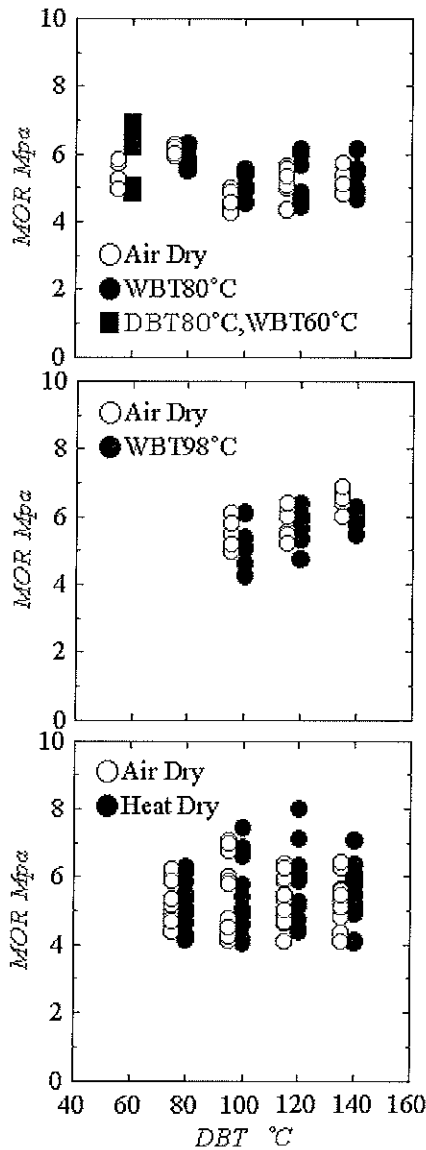


Fig.5 Effect of flexural modulus of rupture MOR on heat treatment.

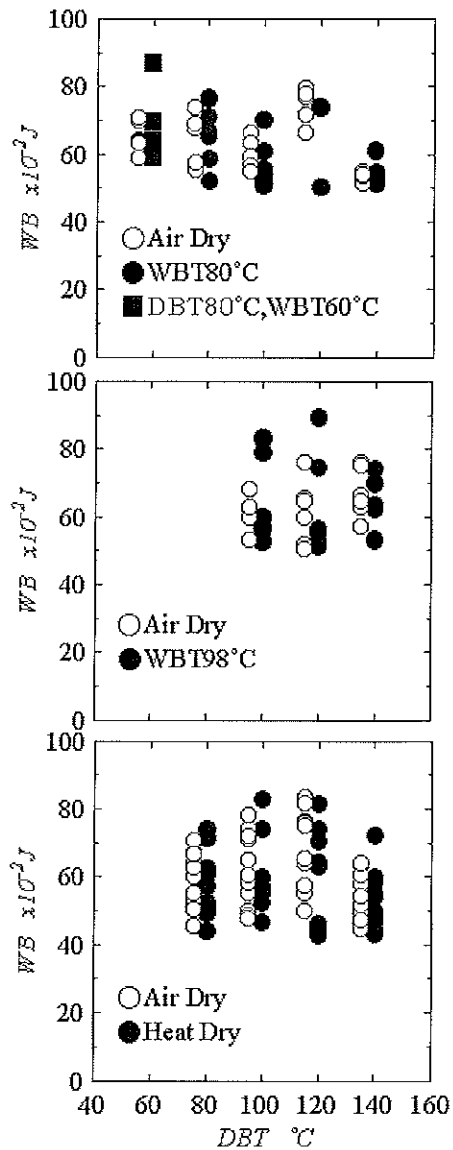


Fig.6 Effect of Bending works of Pmax WB on heat treatment.

3.2. 色彩に及ぼす熱処理の影響

色彩試験についても破壊靱性試験、曲げ強度試験の場合と同様な比較を行ったのが Fig.7 である。L*では熱処理による変化が認められない。一方、a*は熱処理によって増加し、それは湿熱処理において顕著であった。また、b*は熱処理によって減少し、これも湿熱処理において顕著であった。色彩の変化は成分の化学変化に由来すると考えられる。熱処理条件の違いによって色彩の変化に差異が生じたのは、木材成分が熱処理過程において装置内の関係湿度の影響を受けたためと考えられる。肉眼で観察すると赤黒くなったような印象を受けた。

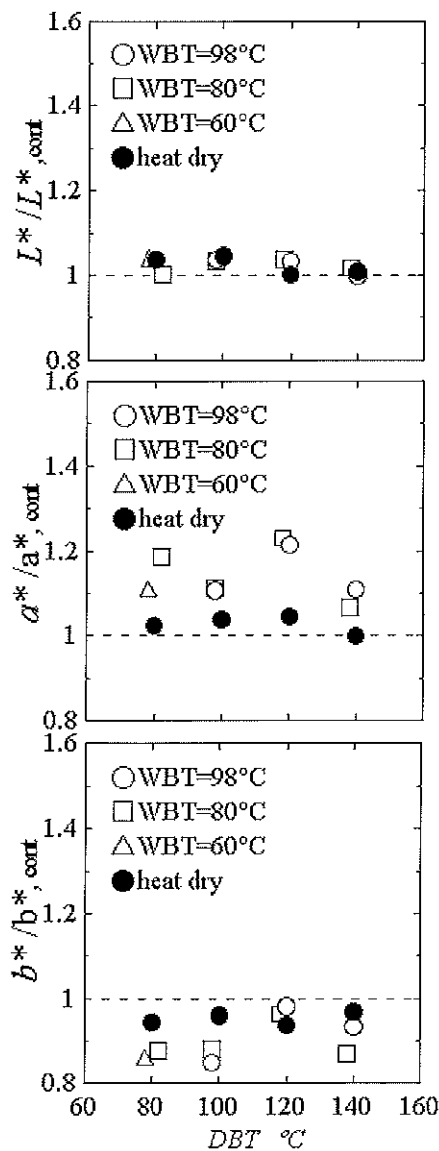


Fig.7 Effect of L*,a*,b* on heat treatment.

3.3. 平衡含水率の変化

Fig.8 に熱処理条件別の平衡含水率を示す。熱処理材の平衡含水率は処理条件に関わらず気乾材のそれに比べて低下していることが分かる。処理温度の影響では処理温度が高いほど大きく低下している。また、処理方法別では乾熱処理の方が湿熱処理よりも大きく低下している。一時的な凝集構造が形成され疎水化したためと考えられる。乾熱処理の場合は、ヒステリシスが影響したのかもしれない。

3.4. 破壊靱性と曲げ強度特性の相互比較

クラックの存在を前提とした破壊力学的な手法による評価では、熱処理することで破壊に対抗する抵抗が増加することが確認できた。一方、典型的な曲げ強度試験の結果に基づく MOE、MOR による評価では、熱処理の方法や温度による物性の違いが明確ではなかった。高温域で熱処理した材の表層には大きな圧縮応力が存在し、それがクラック先端の応力集中を緩和すること、一時的に形成された凝集構造によって細胞間結合力の強化などが生じていることなどが考えられる。これらは通常、破壊に対してプラスに働くことから、熱処理により K_{IC} が増加したと考えられる。また、破壊靱性試験の場合は T 方向に荷重が負荷され L 方向に破壊が進行するのに対して、曲げ強度試験の場合は L 方向に荷重が負荷され T 方向に破壊が進行する。このように両者の破壊システム自体は異なっているものの、両者の挙動の差異は、本

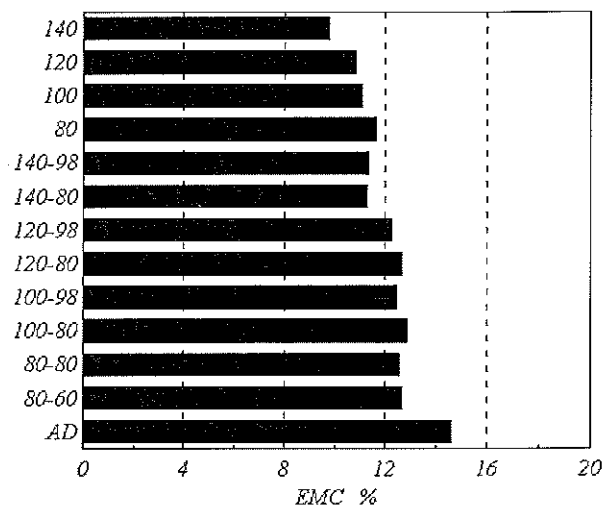


Fig.8 Effect of EMC on heat treatment.

質的には応力やひずみに対する応答性の問題と考えた。破壊靱性はクラック先端の領域を取り扱うのでわずかな構造変化なども反映されやすいと思われる。

4 結 言

スギラミナについて、80°C以上の高温域で熱処理を行い、破壊靱性試験や曲げ強度試験の結果から破壊的性質を検討した。K_{IC}は湿熱処理した場合に気乾材のそれに比べて明らかに増加した。一方、MOE、MORに関しては高温熱処理の影響が判然としなかった。このため、熱処理材の物性評価に際しては、一般的な曲げ強度試験

に加え、破壊靱性の測定も行う必要がある。また、処理方法に関わらず熱処理材の平衡含水率が低下することが分かった。

今後、エレメントの形状に応じた最適な処理条件を明らかにすれば、従来以上に強靱でかつ寸法安定性にも優れた木質材料の開発に応用できると考える。

参 考 文 献

- 1) 例えば, P.Triboulot, I.Asano and M.Ohta: Mokuzai Gakkaishi, 29, 111-117(1983).
- 2) 佐藤 清: 材料, 47, 841-845(1998).