

## 乾燥過程の木材の横引張クリープ

### 1. 横引張荷重下の収縮経過

藤 田 晋 輔

(森林利用学研究室)

昭和56年8月10日 受理

## Tensile Creep of Wood during Drying

### I. Progress of Shrinkage in Wood under Tensile Load perpendicular to Grain

Shinsuke FUJITA

(Laboratory of Wood Utilization)

#### 緒 言

木材に対する乾燥スケジュールの作成は、水分移動の難易度(乾燥時間の長短)と損傷の発生、種類と程度、収縮経過などを基準とするのが通常である。しかし、乾燥過程にある木材材質は、その間の温・湿度の変化に伴う水分状態によって変化するので、乾燥スケジュールの作成にあたっては、乾燥過程にある木材の物理的、機械的性質を考慮する必要がある。しかしながら、乾燥スケジュールで考えるべき、木材の物理的、強度的性質(繊維直角方向の引張破壊強さおよび破壊ひずみ、ヤング係数、収縮率など)は常温時の値をそのまま適用することができない。したがって、上記の諸性質に加えて、乾燥過程の粘弾特性(クリープ、クリープ破壊時のひずみ)なども考慮すべき現象である。

これまで、常温時における木材の物理的、強度的性質に関する研究は数多く報告されているが、乾燥スケジュール作成にあたっての基礎的性質の一環として乾燥過程の木材の粘弾特性を検討した報告は意外に少ない。一方、数種の実験条件下の収縮現象は多くのデータ蓄積がなされ<sup>4,5,6,7,8)</sup>、また本研究グループの金川<sup>9,10)</sup>は樹種別の収縮現象の特徴を検討した。

ところで、代表的な樹種の少なくとも温度一定条件下における繊維直角方向の横引張荷重下の収縮経過、クリープ経過さらにクリープ破壊などの現象が把握で

きれば、乾燥過程に生ずる損傷、とくに初期割れの発生に関与する条件を導き出すことができるであろう<sup>11,12)</sup>。

このような理由から、本研究は人工乾燥スケジュール作成のための基礎的材質試験の一環として計画した。すなわち、割れ、落ち込みなどから見た特徴ある4樹種<sup>11)</sup>の基礎的材質(横引張強さ、ヤング係数および破壊ひずみ)に加えて、横引張荷重(比例限荷重以上)下の収縮経過、クリープ経過に及ぼす温度および樹種依存性を検討した。

本報では、まず横引張荷重下の収縮挙動の検討結果を報告し、乾燥過程のクリープ挙動は次報にゆずる。

#### 材料と方法

##### 1. 供試材料

供試材は Table 1. に示すように木材乾燥上から特徴ある樹種とされている4樹種(5サンプル)を用いた。それぞれの樹種の正板目板(板厚30mm, 板幅200mm, 板長さ600mm)より Fig. 1 に示す形状、寸法を持つ木口短冊型の試験片を繊維方向に連続して作製した。今、試験片の厚さ(繊維方向)が2mm以上ある時の長さ方向(接線または半径方向)の収縮に及ぼす影響を見ると、常温乾燥では厚さ(繊維方向)の寸法が2mm以上、高温、高温乾燥(80°C, 5°C差)の場合は5mm以上であれば、長さ方向(接線または半径方向)の収縮経過、全収縮率にはほとんど影響しない。しかし、それ以下では厚さの減少とともに全収縮率はわずかに減少することが明らかにされている<sup>5,9)</sup>。本研究では前述の理由に加えて、乾燥中の木材の水分傾

本論文の要旨は第27回日本木材学会大会(1977年4月、京都大学)において発表した。本研究は文部省科学研究費総合研究(A)(昭和50年度代表者名古屋大学寺沢 真教授)の助成費を受けた。

Table 1. Species used for the shrinkage test under tensile load and the results of tensile strength, Young's modulus and maximum strain perpendicular to grain.

Species	(a) S.G.	(b) M.C.	(c) $\sigma_{max}$	(d) E	(e) $\epsilon_{max}$
Dakekanba <i>Betula ermanii</i> Cham.	0.52	24.8	40.41	2.23	2.96
Hemlock <i>Tsuga heterophylla</i> Sarg.	0.71	32.4	37.09	2.84	1.31
Almon <i>Shorea almon</i> Foxw.	0.54	34.8	34.82	2.41	2.18
Ramin (1) <i>Gonystylus bancanus</i> Kurz.	0.65	54.0	42.83	3.78	1.70
Ramin (2) <i>Gonystylus bancanus</i> Kurz.	0.68	66.3	37.84	3.23	2.01

- (a) Specific gravity in air dry.  
 (b) Initial moisture content.  
 (c) Tensile strength (kg/cm<sup>2</sup>).  
 (d) Young's modulus of elasticity (10<sup>3</sup>kg/cm<sup>2</sup>).  
 (e) Strain at maximum stress (%).

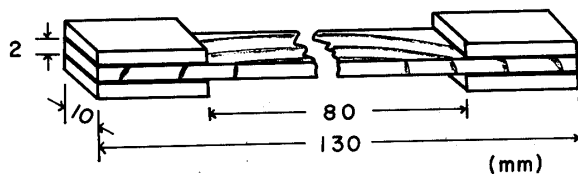


Fig. 1. Shape and dimension of test specimen.

斜をできるだけ少なくし、さらに横引張荷重量の観点から繊維方向の寸法を 2mm とした。試験片のつかみ部分には添木を接着した。(Fig. 1) 試験片の作製、寸法測定は冬期室温(約15°C)の実験室でなるべく迅速に行った。試験片と添木の接着後の硬化(エポキシ系接着剤)はビニルチューブ中に密封した状態で冷凍庫中で行い、完全に硬化したあと、2. 実験方法に記した手順により実験に供した。

## 2. 実験方法

### 1) 横引張試験

乾燥過程の木材の横引張荷重下の収縮経過測定に先だち横引張試験を行った。供試試験片は全試験片中から各樹種20本宛を抽出した。したがって、供試試験片は Fig. 1 と同一形状寸法である。横引張試験(東洋ポールドウィン(株)製: テンシロン UTM-10,000D)の測定条件は次のとおりである。

ロードセル: 20kg フルスケール(記録倍率 1/2)。

クロスヘッドスピード: 0.2mm/min.

レコーダー記録スピード: 25mm/min.

なお、横引張試験は 25°C, 65% R.H. の恒温恒湿実験室において、つかみ部分を除き、試験片をビニルチューブ中に封入した状態で行った。

### 2) 横引張荷重下の収縮ひずみの測定

横引張荷重下の接線方向の収縮経過の測定に使用した装置は Fig. 2(A)の強制循環式定温器付クリーブ試験機(東洋試験機製)を使用した。乾燥温度は30°C(約35% R.H.)および60°C(約13% R.H.)の2条件である。ビニルチューブ封入の状態では冷凍庫中に保存されていた試験片はビニルチューブ封入の状態では実験開始約10時間前に冬期室温中にある飽湿デシケーター中で解凍調湿後実験に供した。すなわち、Fig. 2の室内(B)に試験片を固定後迅速に機械的(I)、電気的(II)に零点調整後、ただちに実験を開始した。実験開始後、試験片を封入していたビニルチューブは直ちに除去した。なお、乾燥過程の試験片の収縮経過はトランスフォーマー(Fig. 2(3))で検知し、打点式記録計(千野製作所: Fig. 2(4))により記録した。

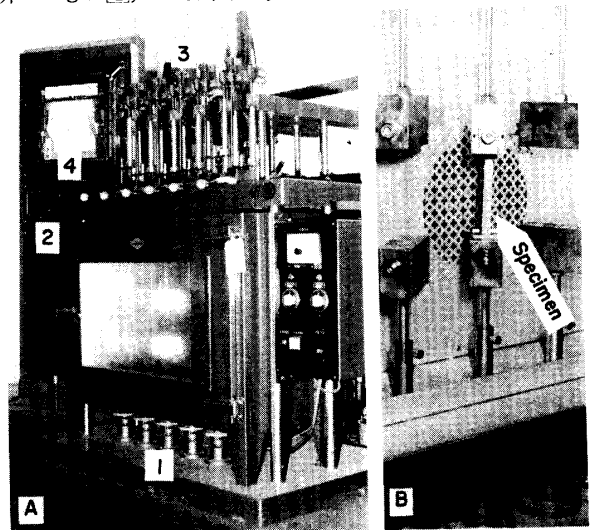


Fig. 2. Experimental apparatus used in this investigation.

結果と考察

1. 横引張強さ

Table 1 はそれぞれの供試樹種の横引張試験により得られた横引張強さ、破壊ひずみ、横引張ヤング係数の平均値を気乾比重、実験時の含水率とともに示した。これらの結果から、横引張荷重下の収縮ひずみの測定に使用する負荷重量を決定した。すなわち、横引張荷重は生材時の接線方向の横引張強さの0, 50, 60, 70および80%の5段階とした。しかし、ラミン(1),(2)の場合、横引張強さは他の供試3樹種とほとんど差がないのに (Table 1 参照)、乾燥過程において、板目面 (試験片の厚さ方向) に微小な割れが発生したためアルミペイントを塗付し、割れ防止を試みた。それにもかかわらず、予備実験の結果、他の3樹種のように50~80%の横引張荷重を与えることはできず、結果的には他の3樹種より低い荷重レベル (横引張強さの0, 10, 15, 20および30%の5段階) とした。

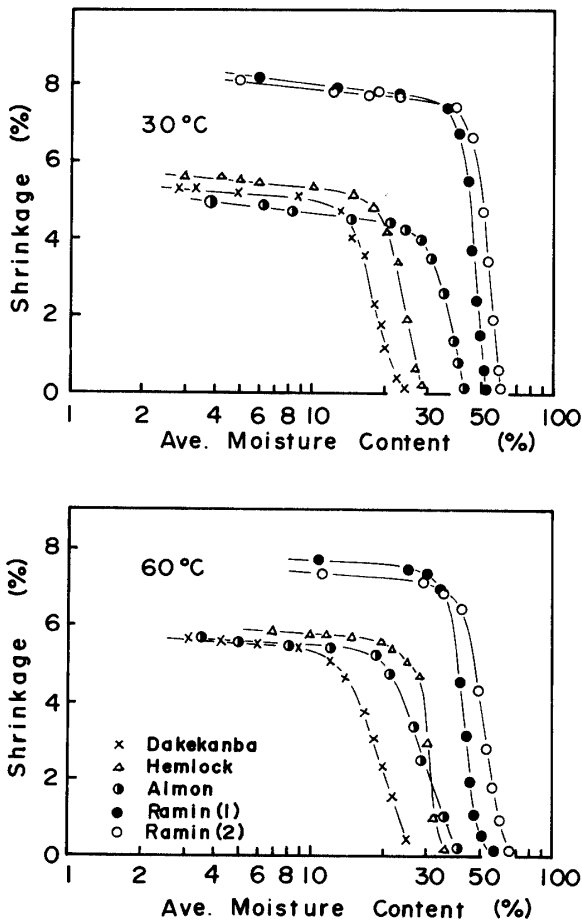


Fig. 3. The relation between shrinkage and average moisture content for handled species at 30°C and 60°C.

2. 正常収縮率

供試樹種の無負荷 (0%) 時の接線方向の正常収縮率と含水率の関係を Fig. 3 に示した。供試試験片は入手時の生材の状態を保つように心がけた。したがって、初期含水率は各樹種毎に異なるが、Fig. 3 に見られるように収縮ひずみはいずれの樹種でも実験開始時と同時に著しく進展し、その後緩慢となり一定値を示した。本実験で得た接線方向の全収縮率はラミン (1), (2) を除き、本研究グループの結果<sup>11)</sup>よりやや小さい値を示した。これは木取り位置の違い、試験片厚さ (繊維方向) 寸法の差などが考えられるが、実験装置の機構的な影響も無視できそうにない。

次に Fig. 4 に供試樹種の全収縮率と温度の関係を示した。この図から明らかなように、どの樹種でも温度が高いほど大きい全収縮率を示すが、乾燥温度の影響を受けやすいと思われる樹種はアルモンで、他の実験結果<sup>11)</sup>を考慮に入れると、全収縮率に及ぼす温度の影響を受けない樹種はラミンと考えられる。

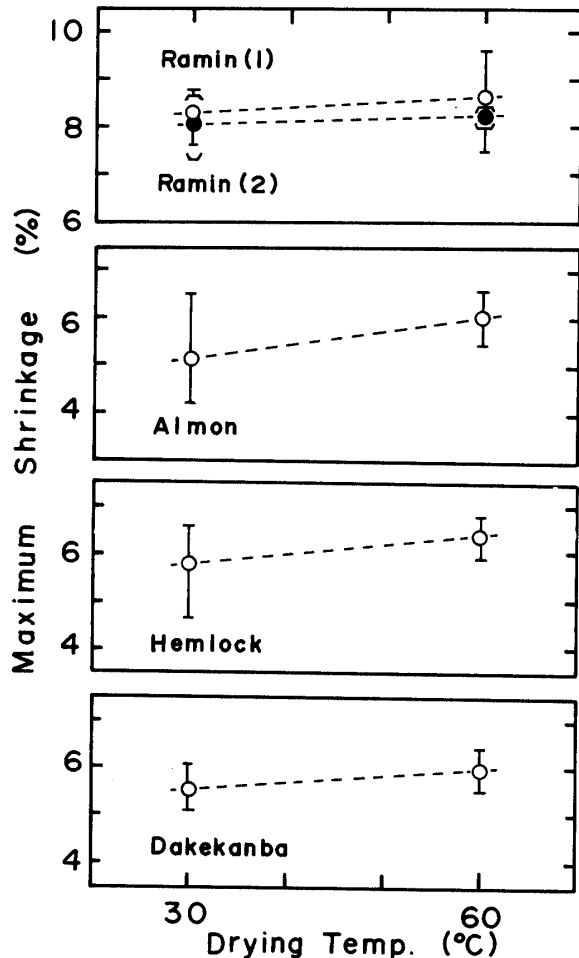


Fig. 4. The relation between maximum shrinkage and drying temperature for handled species.

3. 横引張荷重下の収縮経過

ダケカンバ, アルモンおよびラミン(1)について, 温度30°Cおよび60°Cで, 生材から含水率3%付近まで

横引張荷重下で乾燥した時に得た収縮ひずみ経過の一例を Fig. 5 に示した.

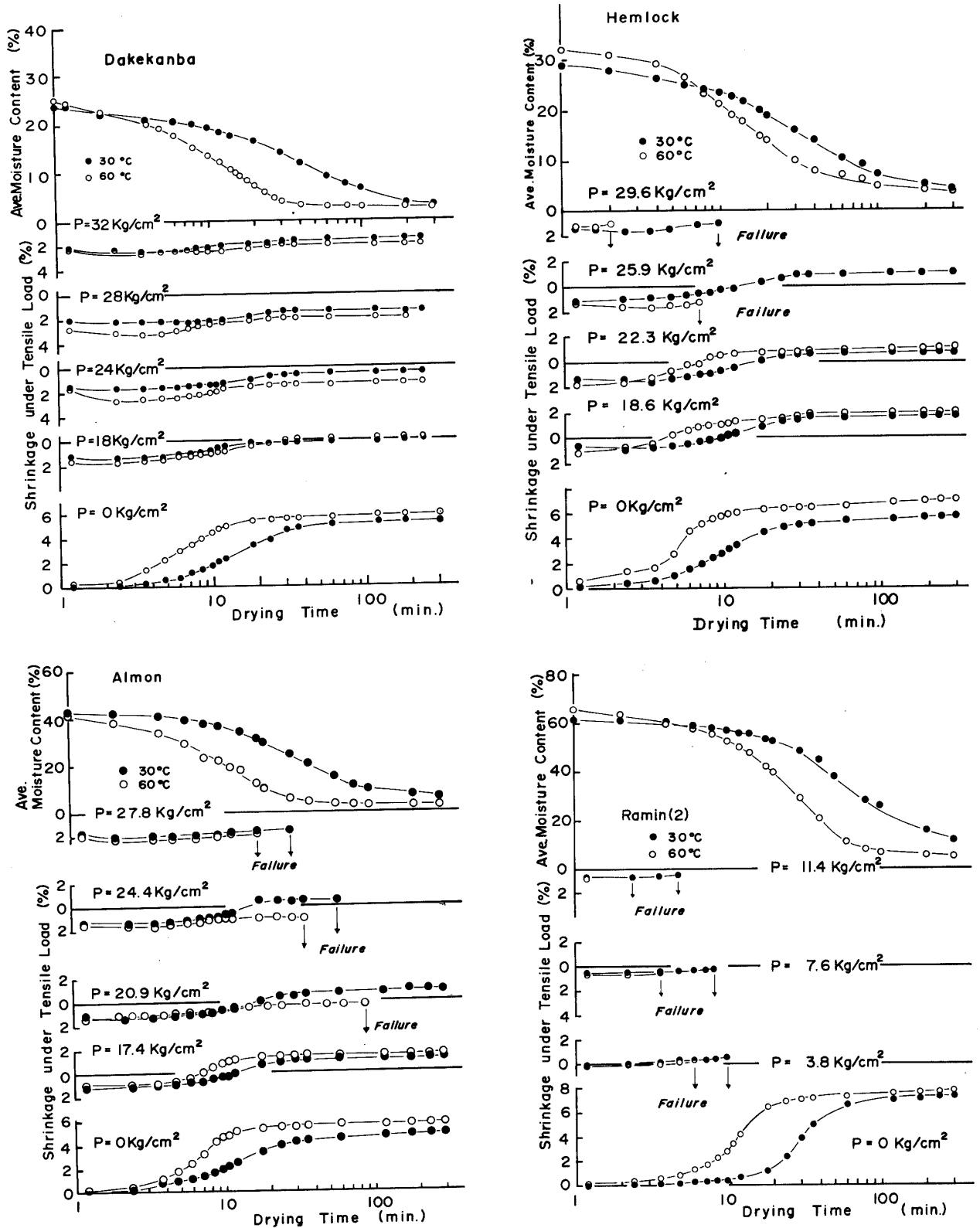


Fig. 5. Relation between shrinkage under tensile load, moisture content curves and drying time, at 30°C and 60°C.

それぞれの樹種の無負荷時の収縮ひずみの経過を見ると、いずれの樹種でも温度が高いほど、収縮が始まる時間は短時間側に移る。一方、横引張荷重を加えた場合、ヘムロックの50%および60%を除き、横引張荷重を加えた直後の瞬間の伸び（負の収縮ひずみ）は温度が高いほど、わずかに大きく、以後の収縮ひずみへの影響が現われる。また、いずれの樹種でも横引張荷重を加えた直後のひずみは伸び（負の収縮ひずみ）を示したあと、乾燥に伴って負の収縮ひずみは上向きへと転じ、徐々に増加したのち、低い割合の横引張荷重下では正の収縮ひずみを、高い割合の横引張荷重下では負の収縮ひずみ側で安定する。この安定する時刻は温度が高いほど、実験開始後やや短時間側にあるが横引張荷重が大きければ、長時間側へと移行する。

次に収縮経過中の破断と横引張荷重の関係を見るとダケカンバはいずれの割合の横引張荷重でも破断しなかったが、ヘムロックでは70%以上、アルモンでは60%以上、ラミン(1),(2)では10%以上の横引張荷重で破断した。これを温度の関係から見ると、温度が高いほど低い横引張荷重で破断し、同一荷重では温度が高いほど実験開始後短時間のうちに破断した。破断した時の含水率は樹種により異なる。すなわち、アルモンでは温度30°Cで含水率14%（横引張荷重は70%）、23.5%（横引張荷重は80%）、温度60°Cでは含水率3.5%（横引張荷重60%）、含水率4.8%（横引張荷重70%）および含水率12%（横引張荷重80%）を示した。一方、ヘムロックでは温度30°Cで80%の横引張荷重のとき初めて破断し、その時の含水率は23.5%、温度60°Cでは含水率24.5%（横引張荷重70%）、31%（横引張荷重80%）であった。これらの破断はいずれの温度でも緩慢な収縮ひずみを経て一定値にはいったのち発生する場合（アルモン）と収縮ひずみが伸び（負の収縮ひずみ）から、上向きへと移行する間に生ずる場合（ヘムロック）があり、樹種の差がここにも現われた。一方、ラミンはいずれの温度でも実験開始後数分以内に破断し、横引張荷重下の収縮ひずみが伸び（負の収縮ひずみ）から上向きへと移行する間に破断するケースが多かった。

Fig. 6は横引張荷重下の収縮ひずみと平均含水率の関係の一例（ダケカンバ、アルモン）を示した。ダケカンバは無負荷の場合、含水率30%付近より収縮が発生し、50%の横引張荷重下では含水率25%、60、70および80%の横引張荷重下では含水率22%付近より上向きの収縮ひずみへと転ずる。一方、アルモンは無負荷では実験開始とほとんど同時（含水率44%）に収縮を

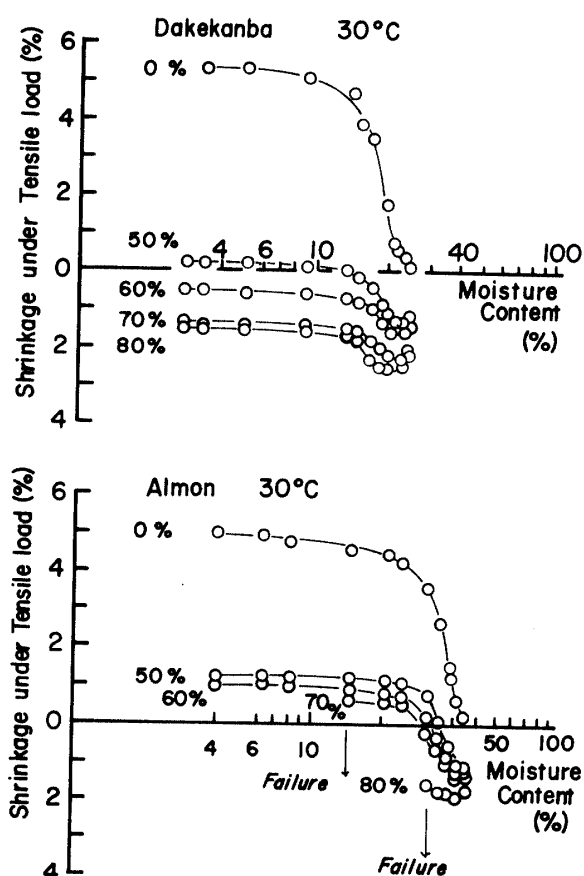


Fig. 6. Relation between moisture content and shrinkage under tensile load at 0,50,60,70 and 80% of the short-term ultimate stress.

開始しているが、横引張荷重 50, 60, 70 および 80% では、含水率30%付近より上向きのひずみの経過をとるようになる。その後、横引張荷重 70, 80% ではそれぞれ含水率14.5, 31%付近で破断した。

このように含水率の高い乾燥初期の間は、横引張荷重による伸び（負の収縮ひずみ）が大きく現われるが、その後乾燥に伴って上向きの収縮ひずみとなり、緩慢な収縮経過を経たのち一定値を示す。すなわち、収縮ひずみの経過は横引張荷重が大きくなるほどやや低含水率側で伸びから上向きへと変る。また、高い横引張荷重では乾燥経過中に破断するが、温度が高いほど実験開始後短時間の内で含水率が高い間に破断するケースが多くなる。

Fig. 7に横引張荷重と収縮ひずみの最大値の関係を示した。ダケカンバ、ヘムロックおよびアルモンの収縮ひずみの最小値は横引張荷重の増加に伴って横引張荷重70%付近まで直線的に減少するが、横引張荷重80%の収縮ひずみの最大値と70%のそれとの差はほとんどなくなる。一方、ラミンの場合、収縮ひずみの最

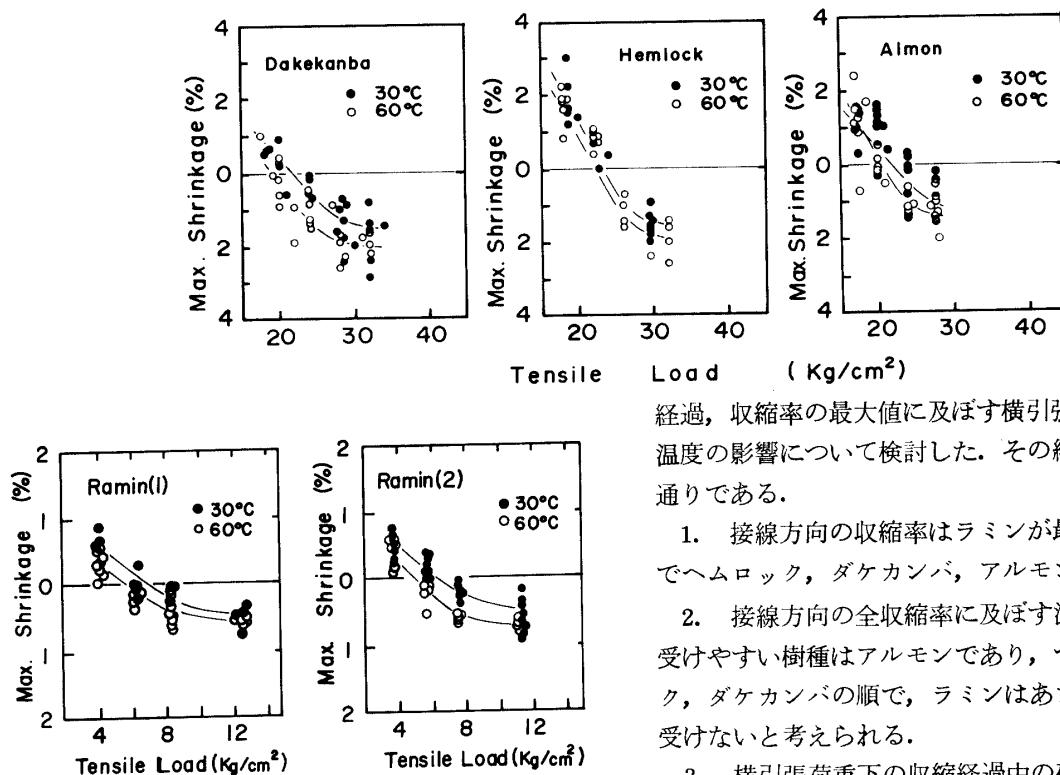


Fig. 7. Relation between maximum shrinkage and tensile load at 50, 60, 70 and 80% (Dakekanba, Hemlock and Almon), stress at 10, 15, 20 and 30% (Ramin (1) and Ramin (2)), of the short-term ultimate stress.

大値は横引張荷重20%付近まで直線的に減少するが、横引張荷重30%のときの収縮ひずみの最大値と20%のそれとの差はほとんどなくなる。これらの結果は飯田<sup>14)</sup>による半径方向に得た結果と類似の傾向を示した。横引張荷重下の収縮ひずみの最大値におよぼす温度の影響は Fig. 7 に見られるようにいずれの樹種でもデータのバラツキの範囲にあり、顕著に現われないと思われる。

### 要 約

現在利用されている乾燥スケジュールをより正確に修正することを目標とした昭和51～52年度科研費「木材乾燥スケジュールに関する研究」の中で計画された基礎資料を得るテーマの一つである「乾燥過程のクリープ試験」を担当し、これの実験結果をまとめた。研究対象とした樹種は本研究グループで取り上げた乾燥の面から見て特徴ある樹種と思われるダケカンバ、ヘムロック、アルモンおよびラミンの4樹種である。本報は対象とした各樹種の横引張荷重下の収縮ひずみの

経過、収縮率の最大値に及ぼす横引張荷重および乾燥温度の影響について検討した。その結果の概要は次の通りである。

1. 接線方向の収縮率はラミンが最も大きく、ついでヘムロック、ダケカンバ、アルモンの順であった。
2. 接線方向の全収縮率に及ぼす温度の影響を最も受けやすい樹種はアルモンであり、つづいてヘムロック、ダケカンバの順で、ラミンはあまり温度の影響を受けないと考えられる。
3. 横引張荷重下の収縮経過中の破断と横引張荷重の関係を見ると、ダケカンバはどの割合の横引張荷重下でも破断しなかったが、アルモンは横引張強さの60%以上、ヘムロックは70%以上の横引張荷重下で乾燥した時に大部分の試料が破断した。破断は乾燥温度が高いほど、より低い横引張荷重下で、しかも実験開始から短時間の内に発生した。
4. 横引張荷重の収縮ひずみの最大値と横引張荷重の関係を見ると、ラミンを除いた他のいずれの樹種でも接線方向の収縮率の最大値は横引張破壊荷重の70%付近までは横引張荷重の増加に伴って直線的に減少する。一方、横引張荷重下の収縮率におよぼす温度の影響は顕著な差を見出せない。

謝辞 この研究は昭和50～51年度文部省科学研究費（総合研究A）「木材乾燥スケジュールに関する研究」（代表 名古屋大学 寺沢 真教授）の補助を受けた。代表者である寺沢 真教授、貴重な試料の御提供ならびに御助言を賜った研究グループの各位、実験装置の利用にあたって御快諾いただいた静岡県工業試験場 金沢 宏室長（現在 工芸部長）に謝意を表します。

### 文 献

- 1) L.D. Armstrong et al.: Influence of moisture changes on deformation of wood under stress, *Nature*, **191**, 869-870 (1961)
- 2) R.L. Youngs: The perpendicular-to-grain mechanical properties of red oak as related to temperature, moisture content and time, *F.P.L. Rpt.*, No. 2079 (1957)

- 3) 高橋 徹・山田 正：木材の Drying set に関する研究 (第1報) 水分非平衡下の引張クリープ, 特に荷重依存性について, 木材誌, **12**, 6-10 (1966), 大迫靖雄・高橋 徹・山田 正：木材の Drying set に関する研究 (第2報) 木材の収縮応力に及ぼす引張応力の影響, 木材誌, **14**, 24-30 (1968)
- 4) 北村博嗣：有用樹種別収縮現象の特異性に関する研究 (予報), 日林誌, **37**, 396-401 (1955)
- 5) 筒本卓三 他：乾燥による木材の異常収縮について, 第16回日本木材学会大会研究発表要旨, p. 82 (1966)
- 6) Kelsey, K.E.: A critical review of the relationship between the shrinkage and structure of wood, C.S.I.R.O. *F.P. Tech. Rep. No. 28*, 1-35 (1963)
- 7) 蕪木自輔 他：木材の横方向収縮曲線についての若干の検討, 東農工大演報, **12**号, 33-42 (1975)
- 8) 大沼加茂也 他：木材の収縮経過に関する2, 3の考察, 林試研報, **No. 116**, 75-84 (1959)
- 9) 金川 靖・服部芳明：木材の収縮経過 (その1), 木材誌, **24**, 441-446 (1978)
- 10) 金川 靖・服部芳明：木材の収縮経過 (その2), 木材誌, **25**, 184-190 (1979)
- 11) 寺沢 真：木材人工乾燥スケジュールに関する研究 (Ⅱ) (1976); 同(Ⅲ) (1977) 昭和50, 51年度文部省科学研究費 (総合研究A) 研究成果報告集
- 12) 寺沢 真：南洋材の加工技術の研究目標, 熱帯林業, **No. 56**, 18-21 (1980)
- 13) 佐藤庄一, 筒本卓三：100°Cの急速乾燥試験, 寺沢 真編：木材人工乾燥スケジュールに関する研究 (Ⅲ), 3-7, 昭和51年度文部省科学研究費 (総合研究A) 研究成果報告集 (1977)
- 14) 飯田生穂：乾燥過程の横引張クリープ, 寺沢 真編：木材人工乾燥スケジュールに関する研究 (Ⅲ), 43-49, 昭和51年度文部省科学研究費 (総合研究A) 研究成果報告集 (1977)

## Summary

In this paper, the effects of stress level and drying temperature on shrinkage were investigated under tensile load perpendicular to grain. Table 1 summarizes the botanical names of the five species used in this investigation together with their mechanical properties at the short-term tensile test perpendicular to grain. Each sample is loaded with different stress level in the ranges of 0 and 50 to 80% of the short-term ultimate tensile strength in Dakekanba, Hemlock and Almon; and in the ranges of 0, and 10 to 30% in Ramin. These ranges (50 to 80% or 10 to 30%) were selected in such a way as the majority of samples would fail during the period of the experiment. Drying temperatures were determined to 30°C and 60°C, with final moisture content of the samples reaching 3%. The dimension of every specimen is 130×10×2mm (T×R×L) as shown in Fig. 1.

The results are summarized as follows:

1) The free maximum shrinkage of Ramin is the highest among the species used in this study, but those of the other species are almost similar. The free maximum shrinkage is slightly increased with the increase in drying temperature in the cases of Dakekanba, Hemlock and Almon, but not in that of Ramin.

2) In the early or middle stage of drying in which the moisture content is within the range of nearly 15 to 30%, the specimens of Hemlock and Almon fail under the higher load level having more than 60% of the short-term ultimate tensile strength perpendicular to grain.

3) Maximum shrinkage decreases almost linearly with an increase in the applied tensile load in the ranges of 50 to 70% (Dakekanba, Hemlock and Almon) and of 10 to 20% (Ramin) of the short-term ultimate tensile strength, during the moisture changes from initial moisture content to the equilibrium moisture content under the drying temperatures of 30°C and 60°C.