

鋼球圧入法による木材の静的粘弾性挙動の推定*

大迫 靖雄*・山 田 正*

Yasuo OHSAKO** and Tadashi YAMADA**: A presumption of viscoelastic behavior of wood by the penetration method of steel ball*.

1 緒 言

木材の静的粘弾性挙動，特にその温度依存性の測定には従来クリープあるいは応力緩和実験が用いられてきたが¹⁾，実験が長時間にわたり多大な労力を要する。そこで短時間のクリープ歪回復実験によって木材の静的粘弾性挙動の温度依存性が簡単に推定されるかいなかを検討する。

なおこれらの方法は均質，等方性の高分子材料については実験が行なわれ，その結果が同材料について圧縮より求められたクリープのデータと非常によい近似を示すことが報告され，十分に使用可能であると結論づけられた²⁾。

2 理 論

前報でも述べたごとく，HERTZ の弾性接触³⁾の考えから，被圧縮体を弾性体，鋼球を剛体とみなすと，押し込み変形深さ Z_0 (mm) と荷重 P (kg) の関係について次式が見出される。

$$Z_0^{3/2} = \xi \left(\frac{\frac{K}{4\mu} + \frac{1}{3}}{K + \frac{\mu}{3}} \right) P \quad \dots\dots\dots ①$$

K ; 体積弾性率 (kg/mm²)

μ ; Lamé の定数 (剛性率 kg/mm²)

$\xi = 3/4R^{1/2}$ R ; 鋼球半径 (mm)

古典弾性体に関する理論解に準じ均質で等方性であることと粘弾性挙動は線形であることを仮定すると

$$Z_{0r} = [Z_0]_{\substack{p=p \\ t=(1+\nu)t_0}} - [Z_0]_{\substack{p=p \\ t=\nu t_0}} \quad \dots\dots\dots ②$$

Z_{0r} ; 残留押し込み変形深さ (mm)

t ; 歪回復法による全時間 (sec)

t_0 ; 歪回復法における荷重時間 (sec)

ν ; 歪回復法における除重時間と荷重時間の比

* 日本木材学会第16回大会 (1966年4月) にて発表

** 木材物理研究部門 (Division of Wood Physics)

となる。

①の弾性式を時間により変化する P , Z_0 についてラプラス変換を行ない粘弾性の式を求めると

$$Z_{or} = 1/2 \cdot (4\mu)^{1/3} \cdot (\xi P)^{2/3} J_e \quad \dots\dots\dots ③$$

J_e ; クリープコンプライアンス (mm^2/kg)

以上をプラスチック材料に適用した場合、圧縮のデーターと非常によい近似を示すことが報告されている²⁾。これらを不均一、異方体である木材に利用した場合、③式に限ってみると μ の値のみにその性質が影響をあたえる。したがってそれらを考え合わせながら検討を行なう。

3 実 験

試片は同一樹木から採集された Table 1 に示すとき、湿潤状態でのヒノキ材 (*Chamecyparis obtusa* ENDL.) で、柁目面に直角に鋼球を圧入する。形状は $40 \times 40 \times 40$ (mm) のものを 1 条件 5 個ずつ使用した。

実験条件として温度範囲 $10^\circ \sim 80^\circ\text{C}$ を 8 段階に分け鋼球径 15, 20, 25mm を使用して、各々の組合せ実験を行なう。

Table 1. Specimen condition.

Diameter (mm)	Temperature ($^\circ\text{C}$)	Specific gravity in oven dry	Moisture content (%)
25	10	0.39	154
"	20	0.39	151
"	30	0.42	137
"	40	0.41	146
"	50	0.40	146
"	60	0.40	142
"	70	0.41	150
"	80	0.39	141
20	10	0.39	165
"	20	0.40	156
"	30	0.40	148
"	40	0.40	147
"	50	0.40	143
"	60	0.40	146
"	70	0.40	141
"	80	0.40	140
15	10	0.40	135
"	20	0.40	140
"	30	0.41	151
"	40	0.37	142
"	50	0.39	143
"	60	0.38	144
"	70	0.40	150
"	80	0.38	109

実験方法はスウェーデン式曲げ試験機 (Fig. 1, 最大荷重 50kg) を利用して、金属、プラスチック材料に使用される Rockwell 硬さの規格 (ASTM : D785~62) に準じて基準荷

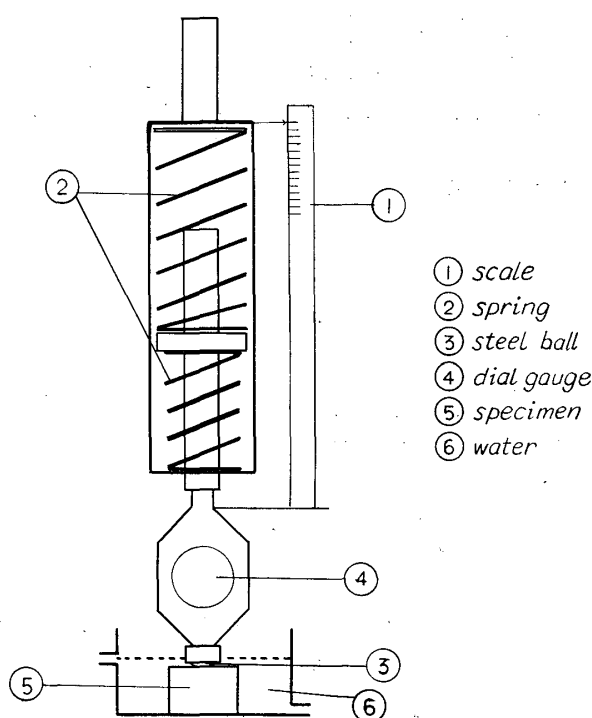


Fig. 1. Apparatus.

Table 2. A fixed minor load and a major load used in this tests.

Diameter (mm)	Minor load (kg)	Major load (kg)
15	5, 10	25
20	5, 10	30
25	5, 10	40

重→最大荷重 (30秒) →基準荷重 (30秒) の負荷様式をとり, 最初の基準荷重と最後の基準荷重から押し込み残留歪深さ (Z_{or}) を測定した。この場合の各々の鋼球についての基準荷重および最大荷重を Table 2 に示す。

恒温状態に保つには前報に示したHAAKE循環装置を使用し各々の温度の誤差 $\pm 1/2$

°C である。

4 実 験 結 果

先ず Fig. 2 に押し込み残留歪深さと温度との関係を示す。プラスチック試料の場合, 鋼球圧入による歪回復量 Z_{or} から Rockwell 硬度 (H_R) を ASTM D785~62 の規格により求めると,

$$H_R = a - kZ_{or} \quad (a, k \text{ 定数})$$

となる。したがって, その硬さを Rockwell 方式で求めるなら,

$$RN = 100 - 50Z_{or} \quad \text{.....④}$$

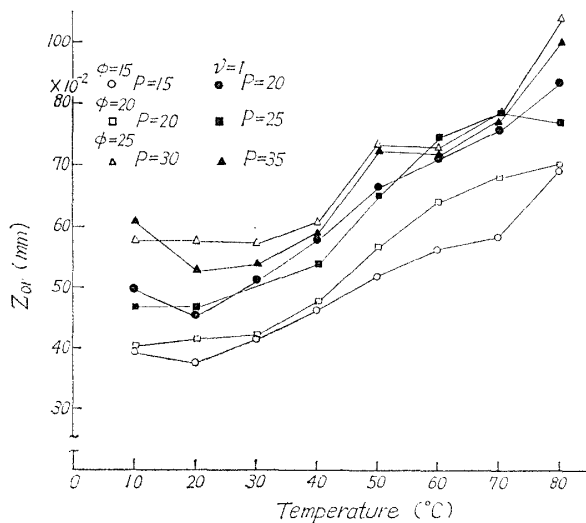


Fig. 2. Z_{or} (recovery in penetration creep) vs. temperature.

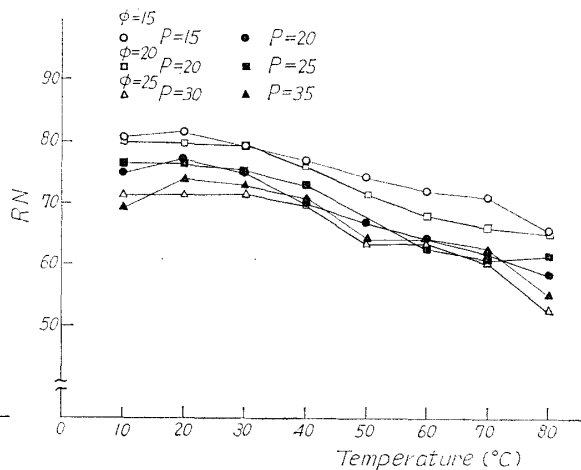


Fig. 3. Rockwell number (RN) vs. temperature.

④式と Fig. 2 から RN (Rockwell number) を求めると, Fig. 3 のごとく RN -温度関係は表わされる。また Fig. 2 で示される押し込み残留歪深さの値と③式から J_c を求める。

μ の温度依存性は次式で求められることが, HEARMON により示されている⁵⁾。

$$G_T = G_t \{1 - \alpha(T - t)\} \quad \text{.....⑤}$$

G_T ; 温度 T ($^{\circ}\text{C}$) における剛性率 ($\mu_T = G_T$) (kg/mm^2)

G_t ; 温度 t ($^{\circ}\text{C}$) における剛性率 ($\mu_t = G_t$)

α ; 剛性率—温度の関係より求められる定数

今 Sitka spruce について与えられている数値を利用して G_T を求め、計算が簡単のために、 $t=0(^{\circ}\text{C})$ の時の値を仮定し、

$$G_t = G_0 = 87 \text{ kg}/\text{mm}^2 \quad (G_{RT}), \quad \alpha = 0.0021$$

以上の値を代入して、求められた μ の値を③式に代入して、 J_c を計算したものを Fig. 4 に実線で示す。また同図中、点線部分は曲げのデーターより求められた $J_c^{(6)}$ の値 (30sec) である。

5 考 察

i) Rockwell 硬度

Fig. 3 に示される Rockwell number (RN)—温度の関係に注目すると前報で述べてきた、Brinell 硬度と全く同様な傾向を示す。すなわち $50^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 近辺での曲線の変曲点の存在が示され、しかも鋼球径が大きくなるほど高温側にその変曲点が移動する。したがって RN により木材の硬度を示すことは不可能でないと思われる。換言するとクリープ歪回復との関係より、木材の相対的硬さを求めることは可能であると思われる。

ii) クリープコンプライアンスの推定

③式から Z_{0r} と J_c の関係は直線関係で示される。そこで③式を不均質、異方体である木材に適用した場合、問題となる点は、 μ の値である。ここでは剛性率 μ として⑤式で示される温度依存性が存在するとして、 Z_{0r} を測定することから J_c を推定する。この方法で求めた J_c の値の温度依存性を、Fig. 4 中に実線で示した。実験は、前述したごとく鋼球径、および負荷重を変えて求めたものであるが、Fig. 4 に示されるようにそのバラツキは比較的小さく、ほぼ

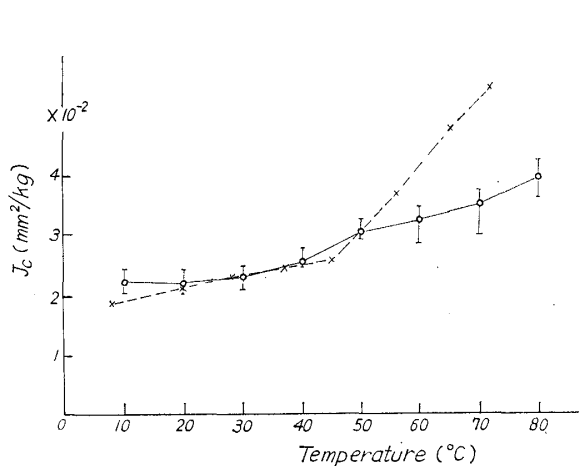


Fig. 4. J_c (creep compliance) vs. temperature.
Solid curve is calculated by equation (3) and
dotted curve is obtained by bending of
HINOKI wood

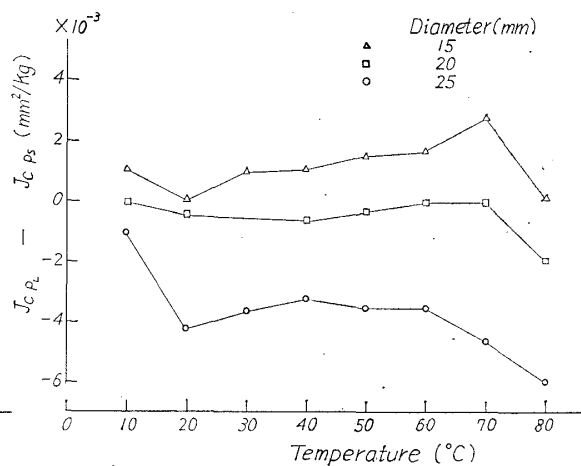


Fig. 5. $J_{cPL} - J_{cPS}$ vs. temperature.
 J_{cPL} ; Creep compliance for large load.
 J_{cPS} ; Creep compliance for small load.

一定の値が求まることが示される。Fig. 4 に曲げ試験より求めたクリープコンプライアンスの値⁶⁾を点線で示すが、この曲線は 50°C 前後で2つの曲線に分類され、50°C 近辺にやや特異な点が生ずることを表わしているが、これらの知見は、木材においてしばしば現われることが報告されている。そこで実線と点線の両曲線について検討を行なうと、約 50°C 以下では、実線と点線がよく一致する。すなわちこの範囲では鋼球圧入法から、③式より求められた J_c と曲げ試験より求めた J_c が一致し③式が木材の場合に適用されることが推定されるのに対して約 50°C 以上の温度範囲については、実線と点線は大きな差を生じる。

iii) 鋼球径、荷重の影響

ii) において、クリープコンプライアンス J_c の鋼球径、荷重の影響はほとんど表われないことを報告した。しかし Fig. 2 でみると、この残留押込み変形深さにおよぼす鋼球径の影響が若干あらわれる。その傾向は前報⁴⁾で述べた Brinell 硬度と同様である。また③式より求めた J_c が、実験値より求められる J_c とほぼ近似すると仮定して、さらに詳細にみると若干の知見が得られる。その結果をあらわしたものが Fig. 5 である。Fig. 5 より、鋼球径 15mm のものについて $P=10, 15\text{kg}$ での J_c をみると、 P が大の方が J_c が大であるのに対して、鋼球径 25mm のものは全く逆がいえ、鋼球径 20mm のものでその差がほとんどないことが示される。これは鋼球径の影響ならびに荷重の影響と考えられる。しかし荷重の影響を考えるなら鋼球径 15, 20, 25mm のいずれの場合も同様な傾向を示すと思われる。この場合は Fig. 5 からあきらかなように、むしろ鋼球径の依存性があらわれると思われる。さきに鋼球径が大になるにつれての変化を、応力の状態が圧縮へ変化することを仮定した。⁶⁾ ここでも同様の考察を行なうと、③式より J_c を求めるについて、 J_c は一応鋼球径によつて変化せず唯温度により変化すると考えられる。したがってこれらの変化は、鋼球径 15mm のもので、ここでつかわれる μ_{TR} が応力に依存すると思われるのに対して、鋼球径 25mm のものでは応力の増加により μ_{TR} が減少する傾向にある。この原因として鋼球径が大きくなるとその圧縮への寄与が増大すると考えられるがこれについては今後の検討を要する。

6 結 論

鋼球圧入法による静的な木材の粘弾性の測定の一方法として、ASTM; D785~62 Rockwell 硬度試験に準じ押込み鋼球径および押込み荷重を変化して、試験を行なった結果以下のことが結論づけられる。

- 1) Rockwell 硬度の温度依存性は Brinell 硬度⁴⁾と類似の結果となる。
- 2) ヒノキに類似した Sitka spruce の data⁵⁾ を使用し、ヒノキのクリープコンプライアンスを③式より推定すると、その剛性率は RT 面の剛性率が最も近似する。このことより繊維に直角な鋼球圧入の場合、 RT 面の剪断が影響するものと考えられる。
- 3) 2) より求められた、 J_c とヒノキのクリープコンプライアンス (曲げのデーターにより求められ、 $t=30\text{sec}$ のもの) を比較すると、 $\sim 50^\circ\text{C}$, $50^\circ\text{C}\sim$ の2つの領域にわかれる。すなわち 50°C 以下ではよい近似が見出せるのに対して 50°C 以上では差を生ずる。
- 4) クリープコンプライアンスを求めるにあたり鋼球径、荷重の影響はほとんどなく、この点からは本実験からのいずれの条件でも、 J_c の値は近似値としてあらわされる。

5) Rockwell 方式での鋼球径ならびに荷重の影響は Fig. 5 に示されるごとくわずかに存在し，その様式から鋼球径が大になるにつれ，応力状態が異なることが考えられる。

7 文 献

- 1) 山田正，他 5 名，木材研究，No. 34, 205 (1965).
- 2) 伊藤勝彦，材料，**9**, 580 (1960).
- 3) LOVE, A. E. H., The mathematical theory of elasticity, 183, London, Cambridge (1927).
- 4) 大迫靖雄，山田正，木材研究，No. 33, 29 (1964), No. 34, 229, No. 35, 51 (1965).
- 5) HEARMON, R. F. S., Forest Prod. Res., special report No. 7, (1948).
- 6) 未発表.
- 7) KOLMANN, F., Technologie des Holzes und des Holzwerkstoffe, **Bd. 1**, Berlin, Springer-Verlag (1951).