

# 木材の長時間曲げ試験

囑 託 南 義 夫

## 1. 緒 言

各種金属材料のクリープに就ては近年盛に研究せられ且種々の結果が報告<sup>(1)</sup>せられてゐるが、木材に関する研究は比較的少く二、三を數へるに過ぎない。即ち J. B. Johnson<sup>(2)</sup> は壓縮試験に依り、Barling and Pritchard<sup>(3)</sup> 及び R. H. Thurston<sup>(4)</sup> は曲げ試験により何れも永久荷重を受ける場合の木材の強さに就いて報告してゐるが、その破壊に至る経過中の状況に就いては何等論及してゐない。又、A. A. Griffith and C. Wigley<sup>(5)</sup> は曲げ及び捩りの兩試験を行ひ、曲げ試験に於ては一定荷重を加へて放置した場合の撓に對する時間の影響を、捩り試験に於ては歪に對する時間の影響の外に温度の影響を併せて研究してゐる。而して曲げ試験に於ては、弾性限度内の應力に對しては時間の影響は殆んど認められないと結論してゐる。著者はこの結論に疑問を抱き、A. A. Griffith and C. Wigley と同様に四點荷重による長時間曲げ試験を行ひ、弾性限度内の應力に於ても時間の影響あることを認め、且種々の應力を加へて放置した場合の實驗経過中の状況を研究して甚だ興味ある結果を得た。

## 2. 試 験 方 法

試験機は菱田博士考案の木材曲げ試験機<sup>(6)</sup>を使用した。第 1 圖に示すのがそれであつてこれは上述の如く所謂四點荷重によるものである。

試験材としては常溫自然乾燥せるヒノキを用ひた。本試験機に使用する試験片寸法は 3cm × 3cm × 50cm であつて木理を試験片の長さの方向に取り、荷重方向は斷面に於て年輪に對し直角及び平行に選び、荷重方向が年輪に對し直角の場合には荷重は年輪の外側から中心に向つて加へるものとする。而して二種の荷重方向の試験片全部を同一材から取ることが出来なかつたので止むを得ず各荷重方向の試験片は各々別の試験材から取ることとした。

第 1 圖に於て T が試験片、A が荷重を載せる臺、D が撓測定用廻轉指示計である。A 上に鉛製の錘 W を載せて放置し、一日に 2 回乃至 3 回撓を読み取る。撓測定用廻轉指示計は

(1) Tapsell, Creep of Metals. の ref. 其の他.

(2) J. B. Johnson, Materials of Construction, 7th edit., 1930, p. 206.

(3) R. & M. No. 510, Tech. Rpts. Adv. Comm. for Aeronaut., 1917-18, p. 974.

(4) Proc. I. C. E., vol. 71, p. 428.

(5) R. & M. No. 528, Tech. Rpts. Adv. Comm. for Aeronaut., 1917-18, p. 976.

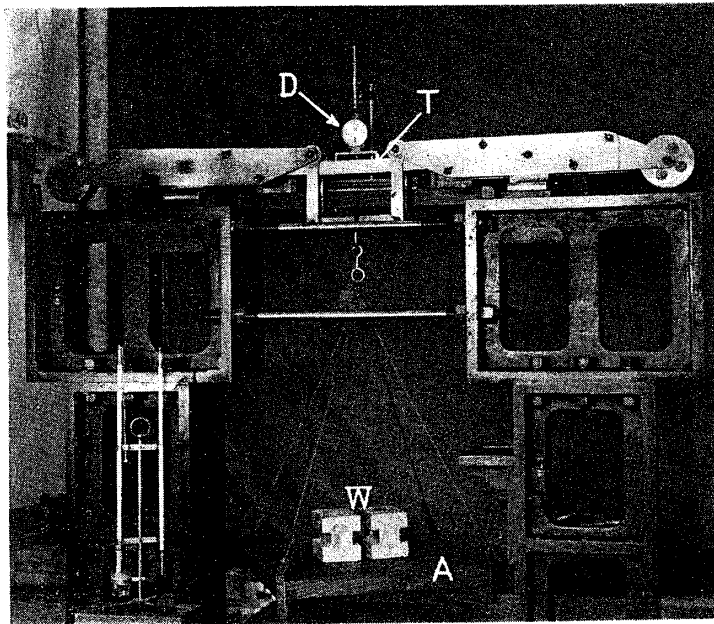
(6) 航研雜錄, 第二號 (大正十一年六月) 及び第三號 (大正十一年十一月).

圖の如く試験片の中央上部に載り中央部 10cm の間に於ける撓を示す。撓は目測にて 1/1,000 mm 迄讀むことが出来る。

尙、試験機の近傍に寒暖計並に濕度計を備へ、撓の測定と同時に室内の溫度及び濕度を記録した。

### 3. 試験結果及びその考察

最初に二種の荷重方向の試験片の中から各々一本宛選んで普通の試験方法<sup>(7)</sup>で試験した。結果を第 1 表及び第 2 圖に示す。これによれば二種の荷重方向の試験材の間には性質上可成り差があることがわかるが、各々一組として試験するから差支へはない。



第 1 圖

第 1 表

年輪に 對する 荷重方向	彈性限度 kg/cm <sup>2</sup>	破壊係數 kg/cm <sup>2</sup>	ヤング 係數 kg/cm <sup>2</sup>
平 行	298	682	59,300
直 角	364	605	97,750

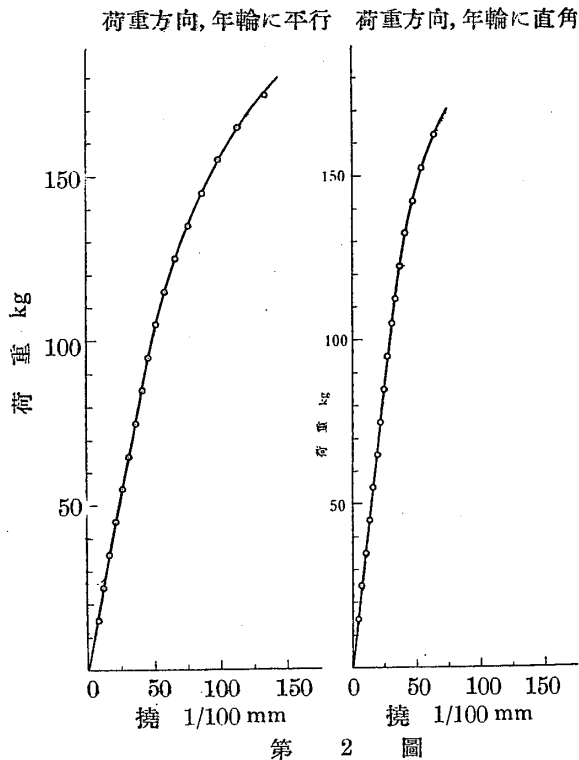
一定荷重を加へて放置する場合には、上述の普通の試験方法で荷重を増加し一定荷重に到達したる後、時間の経過に對する撓の變化を記録した。この撓と時間の關係を示せば第 3 圖及び第 4 圖の如くであつて、前者は荷重方向が年輪に對して直角、

後者は平行<sup>(8)</sup>の場合の結果である。圖に於て曲線の右端に示せる數字は彎曲式に依つて計算した應力であり、又×を附せるものは破壊せることを示す。尙、第 3 圖の曲線 1 の最初の部分を詳細に示したものが第 5 圖である。第 6 圖は最初小さな荷重を加へて放置し、後 3 日乃至 4 日毎に少し宛荷重を増加した場合の時間に對する撓の變化を示したもので、荷重方向は年輪に對して直角である。

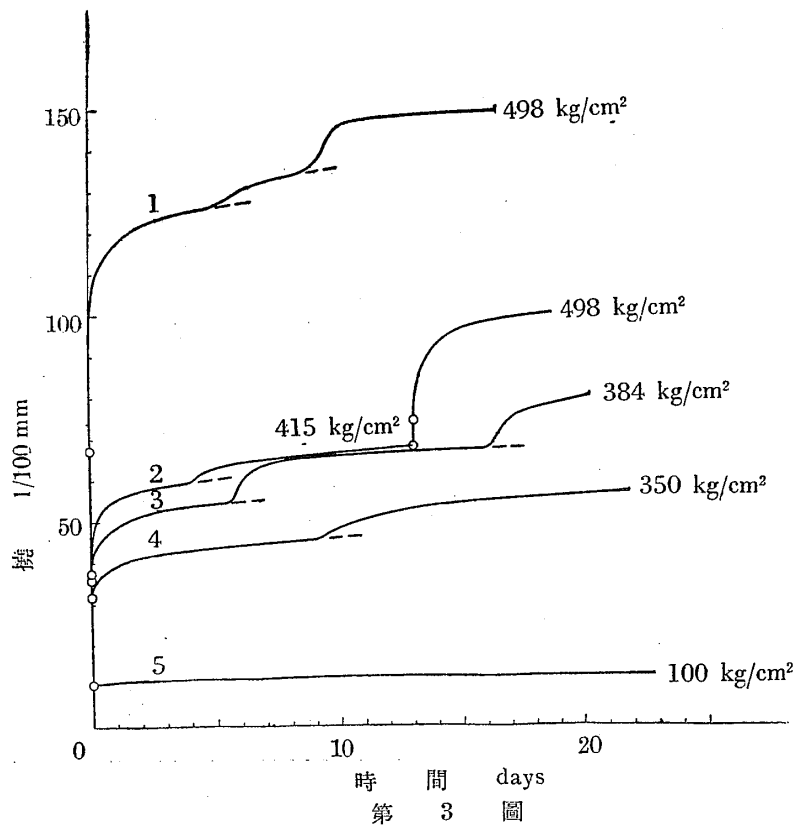
これ等の結果により木材の長時間曲げ試験に於ける撓—時間の關係圖は、金屬のクリープ試験に於ける至—時間の關係圖と略々同様であることがわかる。然し乍ら木材の構造、性質

(7) 荷重の増加は 0.5 kg/sec の割合であつて、これは至速度が 0.001 cm/min/cm に當る。

(8) 荷重方向が年輪に對して平行の場合の結果は井口所員が行はれたものである。



荷重方向, 年輪に直角



等は金属と著しく異なるを以てこれ等を考慮して時間の経過に対する撓の變化を仔細に調べた。

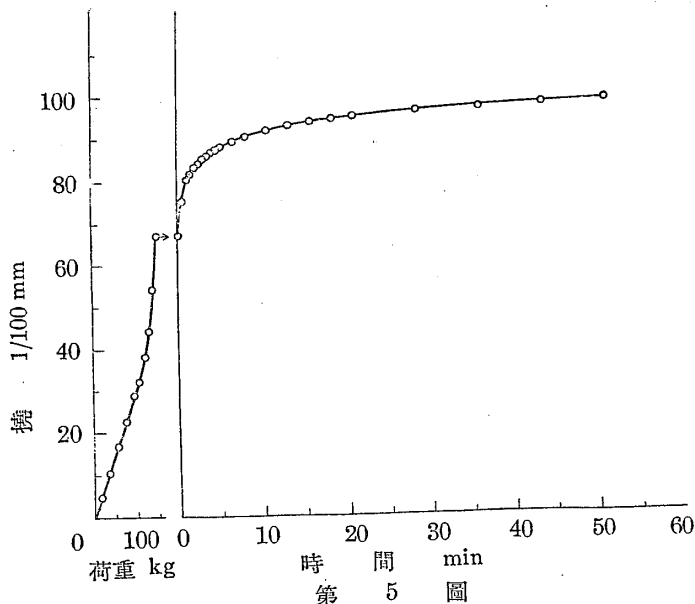
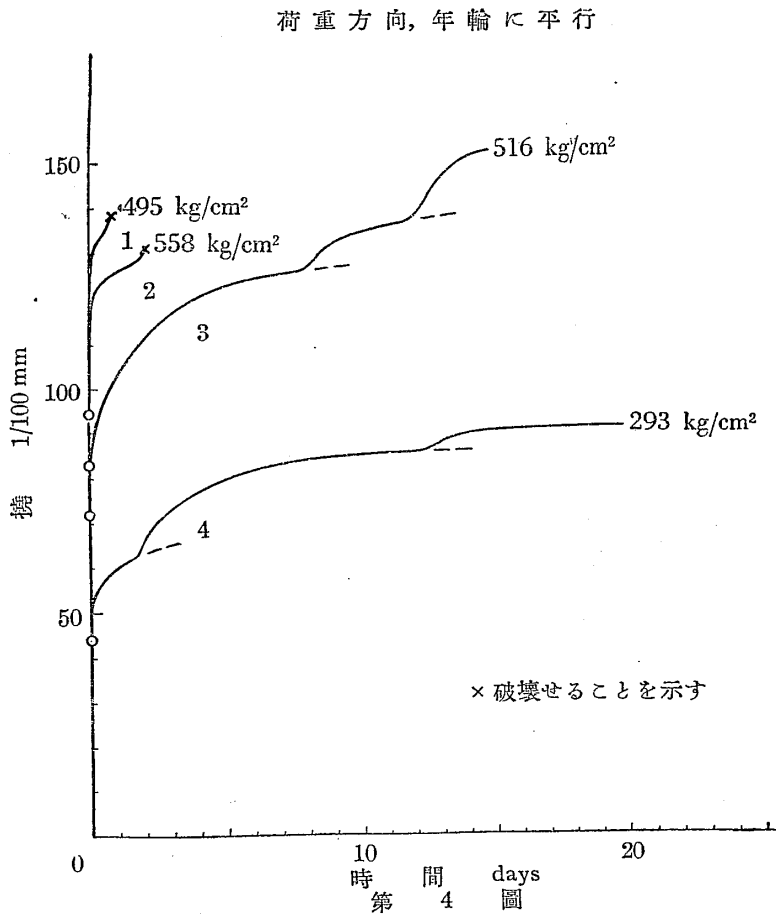
第3圖及び第4圖は實驗値に對して滑らかな曲線を書いたのであるが、實驗觀測値を個々に辿れば第7圖（これは第3圖の曲線5である）の如く時間に對して撓は可成り凸凹の變化を示す。この凹凸を生ずる原因としては二つのものが挙げられる。即ち一は金属の場合と同様に溫度の變化であり、他は濕度の變化である。

金属に於ける第3圖の如き歪一時間の曲線圖は或る一定溫度に於けるものであるから、溫度が異なる毎に同じ應力に對する歪一時間の曲線は變る筈である。従つて一定應

力の下に實驗しつつ溫度を不規則に變化せしめる時は、實驗結果に不規則な變化を生ずるのは當然である。

木材に於ても同様のことが考へられるから、本實驗の如く試験機全體を常溫室内に放置し何等恒溫の方法を講じない場合に於ては室溫の變化が當然、撓一時間の曲線に不規則的變化を生ずる一因と考へられる。

木材の強さに對して含水量が著しい影響を有することはよく知られた事實であるが、今その一例を示せば



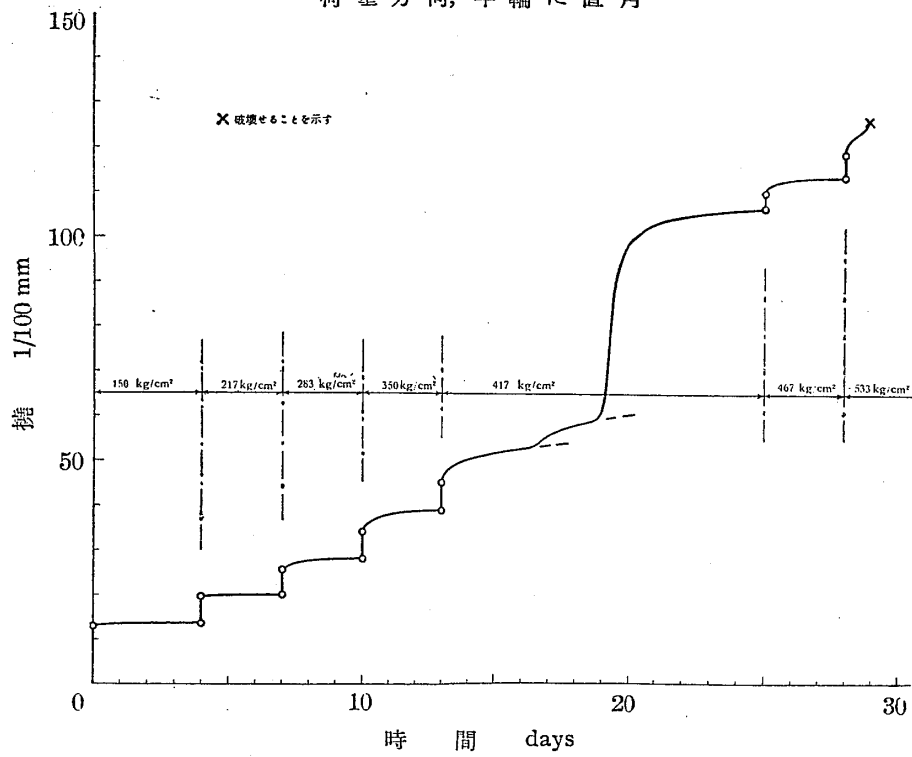
第8圖<sup>(9)</sup>の如くである。圖に於て A は氣乾材, B は生材に對して夫々普通の試験方法で行つた曲げ試験結果を示す。即ち含水量大なる程撓の量は増大し同時に破壊係数は減少する。次に, 木材の含水量は濕度と一定の關係に於て平衡を保つものにして濕度が變化する時それに伴ひて含水量も變化する。而して此の兩者は第9圖<sup>(10)</sup>の如き關係にあるものである。又, 濕度と含水量が平衡を保つ關係は試験片製作後の乾燥状況を調べる時容易に觀取する事が出来る。第10圖が其の一例にして, 試験片(寸法3cm×3cm×50cm)

製作後その重量を一日に2回乃至3回測定し, 同時に溫度竝に濕度を記録してその結果を圖示したものである。即ち約二週間にして重量は略々一定となり, 以後は第7圖の撓一時間の曲線の場合に於けるが如き不規則な凹凸を示す。第10圖の結果は確かに濕度の増減に伴ひ木材の含水量に増減を來し, その結果重量に増減を生ずることを示すものである。以上の事實を綜合

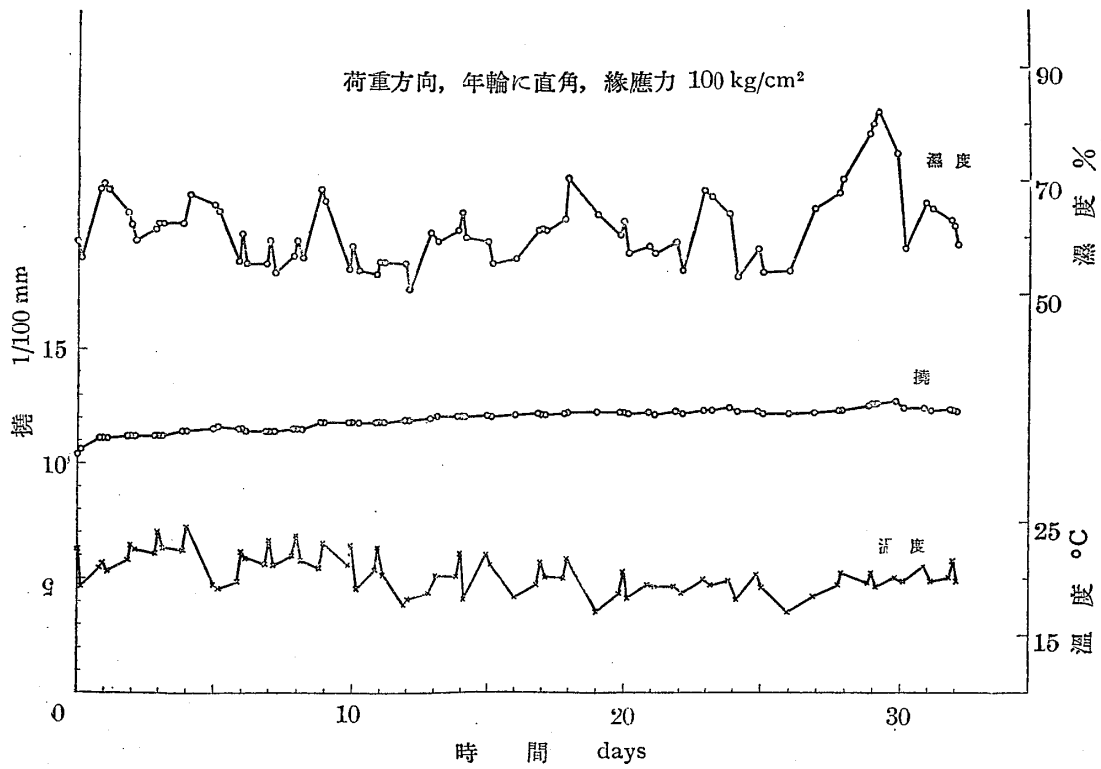
(9) M. Monnin, Internat. Assoc. Test. Mat., Zurich, vol. II, 1931, p. 85.

(10) 關谷文彦氏, 木材工藝學, 145 頁第 19 表記載の平均含有水分と空中濕度との關係を圖示したものである。

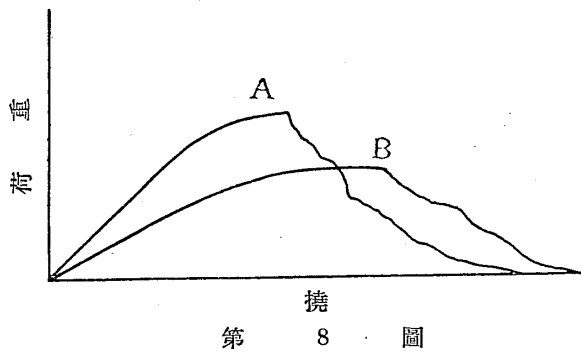
荷重方向, 年輪に直角



第 6 圖



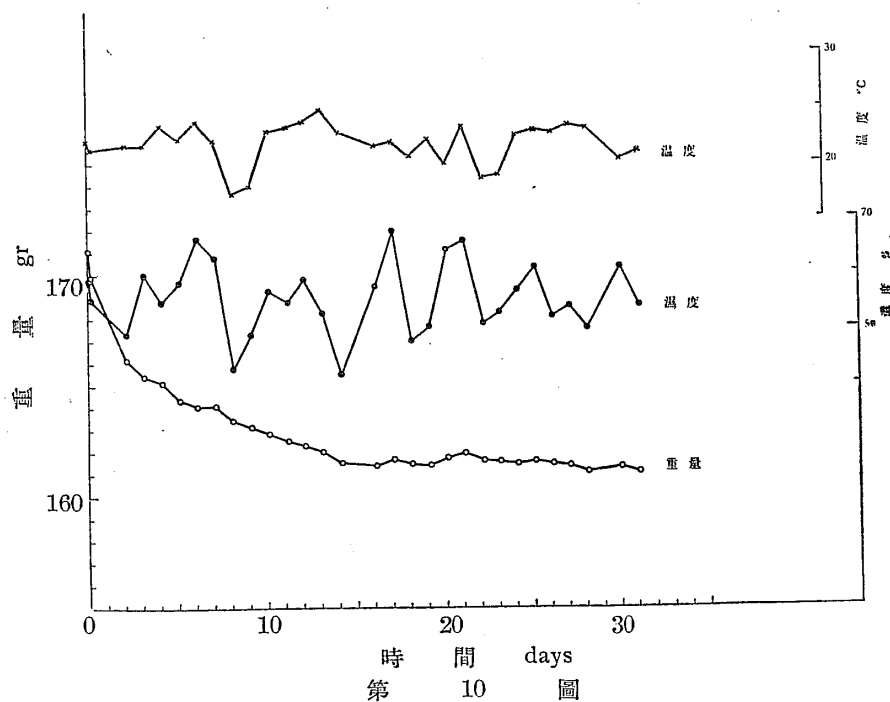
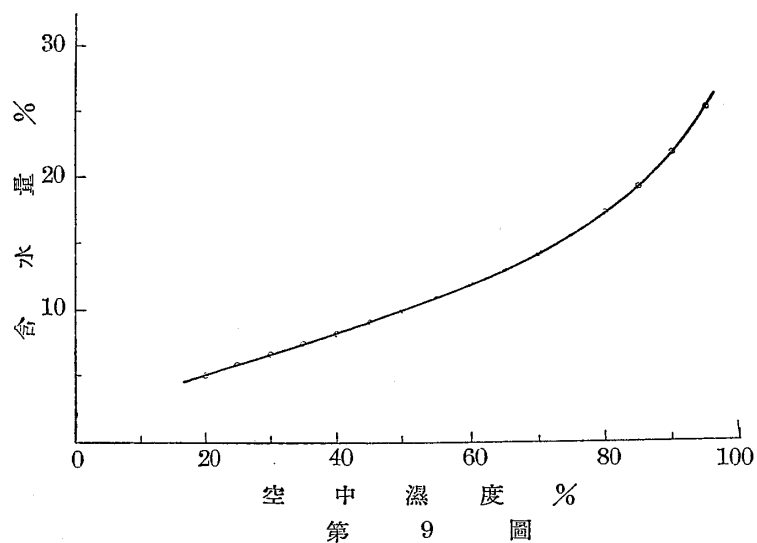
第 7 圖



すれば、木材に於ては湿度の變化によつてその含水量に變化を來しその結果撓に變化を生ずるから、結局、湿度の變化が撓に影響を及ぼすことになる。

上述の如く、木材の撓—時間の關係圖に於て不規則な變化を生ずる原因は溫度竝に湿度と考へられるが、然らば兩者の

中何れの影響が著しいかは容易に斷言出來ない。第7圖によれば溫度の影響は殆んど現れてゐないが湿度の影響は可成り大きい様に見える。これは試験片に對して何等恒温恒濕裝置を施さざりしに基く當然の結果である。即ち實驗室内に於ては溫度の變化の範圍は比較的狭いのに反して、湿度は外氣の流入、その他の原因により變化が大きく、その



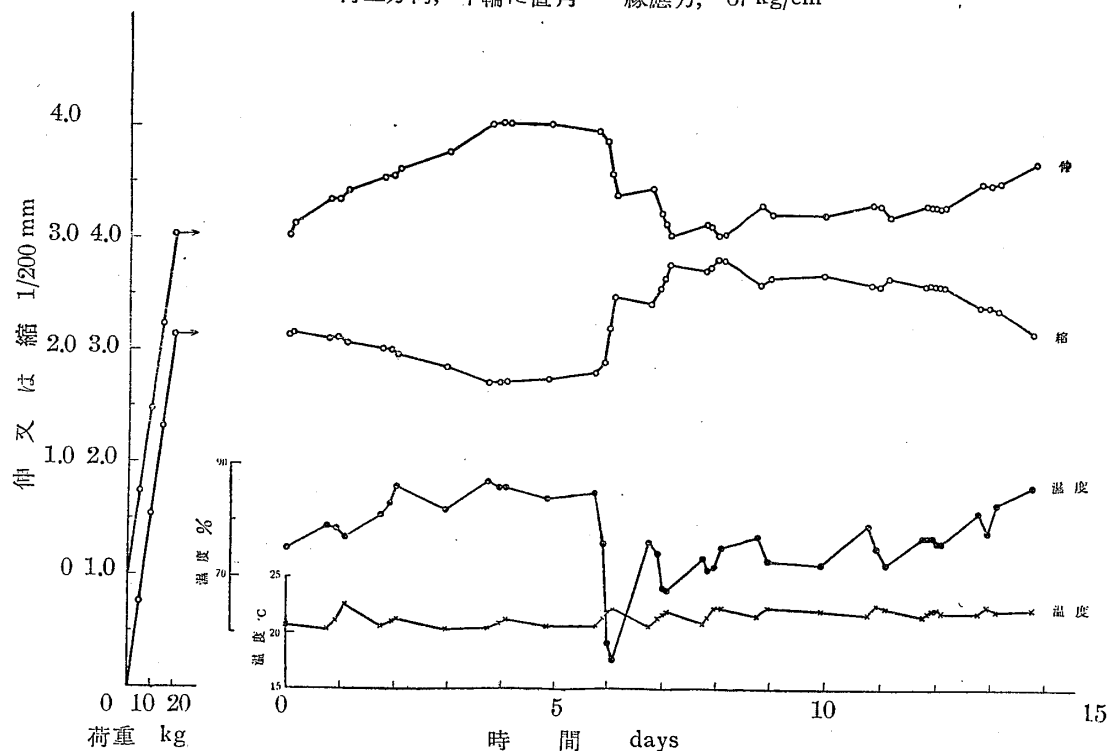
結果斯く一方の影響のみ大きく現れたものと想像せられる。従つて何れの影響が著しいかは恒温で湿度を變化した場合及び恒濕で溫度を變化した場合の結果を求めて比較しなければわからないが、又一面から見れば上の實驗狀態が自然に近いとも見做

されるから、實際問題として一般的には湿度の影響が温度のそれより大きいと考へて良い。

第3圖の曲線 1, 3 及び 4 は不連続的な階段狀變化の部分をも有するがこの變化も湿度の變化に起因する。著しい高湿度が數時間乃至數十時間持續する時は撓は急激に増加する。殊に曲線 3 に於ては二回も撓の急激な増加を示し、最初の急激な増加に際しては上面に壓縮破壊を生じ、全部の破壊迄引起すかと思はれたが、間もなく湿度が減少せる爲又徐々に撓を増加する状態に戻り、この間上側の壓縮破壊の深さも時間と共に増大した。第二回目の撓の急激な増加に際しても全部の破壊を伴はず。後、間もなく撓測定用廻轉指示計の故障の爲、實驗を中止した。曲線 4 に於ては湿度の變化が割合小なりし爲、撓の急激な増加も少い。第4圖に於ける曲線の不連続に就いても同様の説明が與へられる。但し第3圖の曲線 1 及び第4圖の曲線 3 に於ては、上面の壓縮破壊が相當大にして、從つて各部一様に撓を増加せず間歇的に壓縮破壊が起る爲、湿度の變化に基く外にこれによつても曲線に不連続な部分を生ずる。

第3圖に於ける曲線 2 は、最初に試験片上側に壓縮破壊を生ずる程度に荷重を加へて放置したものであるが、丁度この試験時に於ては空氣が乾燥してゐて全部の破壊を起すに至らざりし爲、十數日後更に荷重を増加した。然し乍ら、撓の増加は依然として少い。而して湿度は荷重増加前と殆んど同様である。この結果は、木材に於ては湿度の影響が如何に著しいかを一層明らかに示すものである。

荷重方向、年輪に直角 緣應力、 $67 \text{ kg/cm}^2$



第 11 圖

第7圖は縁應力が弾性限度よりも遙かに低い場合（弾性限度の約25%に相當する縁應力）の結果であつて、第3圖の曲線5は第7圖を滑らかな曲線で現はしたものである。

この結果によれば弾性限度内の應力に對しても明らかに時間の影響があることがわかる。

弾性限度内の應力に對する時間の影響を更に確める爲に、撓測定用廻轉指示計の代りに伸張計を使用して歪を直接測定した。即ち試験片の上下兩側に鏡伸張計（標點距離 10 cm）を取付け望遠鏡によつて歪を読む（目測にて 1/10,000 mm 迄讀むことが出来る）こととし、縁應力 67 kg/cm<sup>2</sup> に相當する荷重を加へて放置し、時間に對する歪の變化を讀み同時に溫度竝に濕度を記録した。結果を第11圖に示す。この結果によれば歪に對する時間の影響は他の因子に妨げられて明らかでない。依つてこれを明らかにする爲に次の如き解析を試みた。

今  $e_t, -e_c$  : 最初の引張及び壓縮歪

$e_t', -e_c'$  :  $t$  時間後に於ける引張及び壓縮歪

$f, g$  :  $e_t$  又は  $-e_c$  と時間  $t$  との函數にして歪に對する時間の影響を表はす

$E_0, E$  : 最初及び  $t$  時間後に於けるヤング係數

$\pm e_{\mu t}, \pm e_{\mu c}$  : 引張及び壓縮側に於ける含水量の變化に基く  $t$  時間後の伸縮

とすれば

$$e_t' = e_t \cdot \frac{E_0}{E} \pm e_{\mu t} + f(e_t, t) \dots\dots\dots(1)$$

$$-e_c' = -e_c \cdot \frac{E_0}{E} \pm e_{\mu c} - g(-e_c, t) \dots\dots\dots(2)$$

$$(1)-(2)$$

$$(e_t' + e_c') = (e_t + e_c) \frac{E_0}{E} \pm (e_{\mu t} - e_{\mu c}) + f(e_t, t) + g(-e_c, t) \dots\dots(3)$$

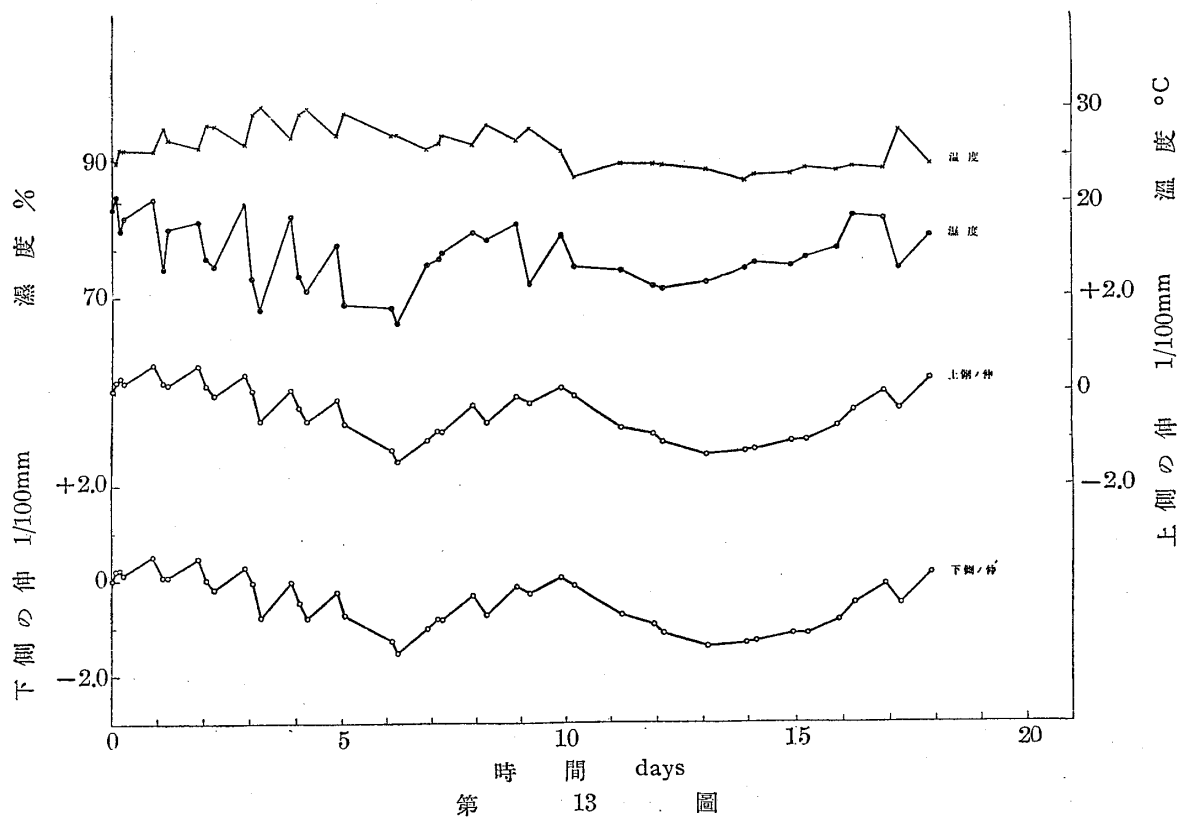
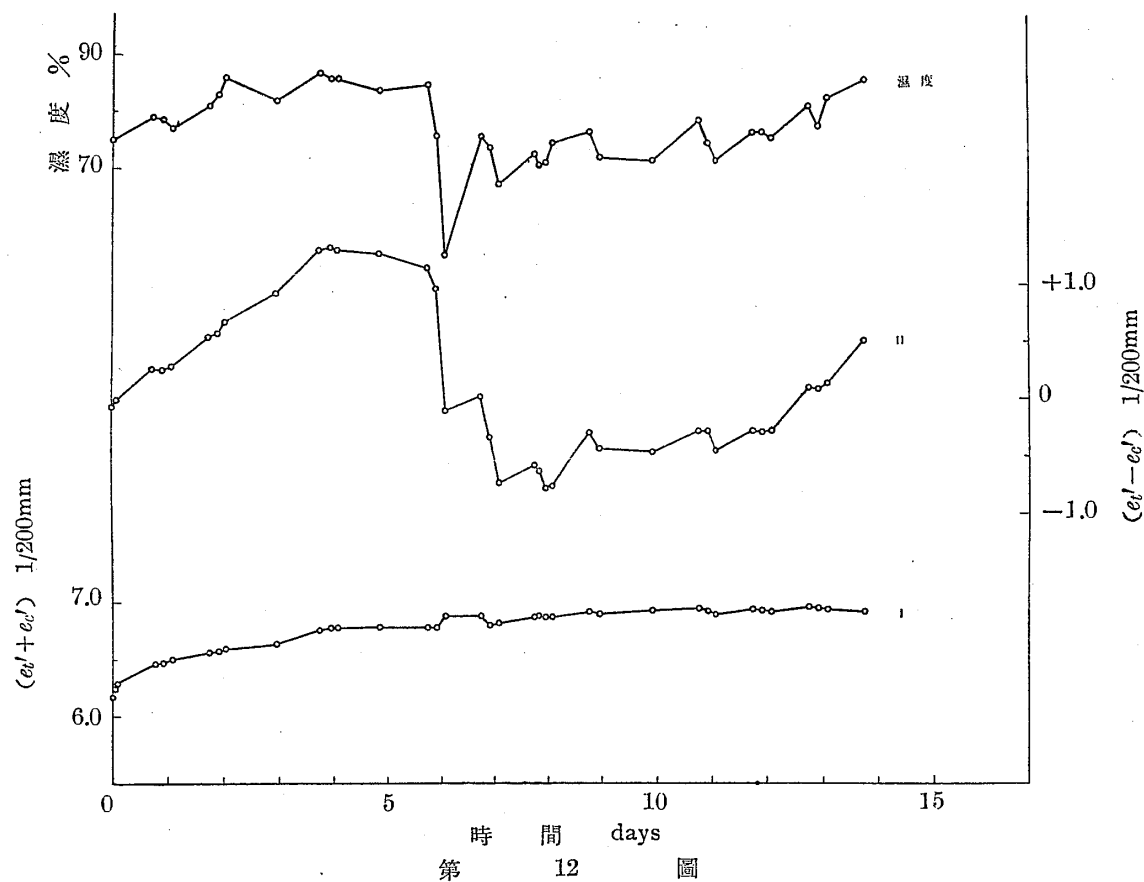
$$(1)+(2)$$

$$(e_t' - e_c') = (e_t - e_c) \frac{E_0}{E} \pm (e_{\mu t} + e_{\mu c}) + f(e_t, t) - g(-e_c, t) \dots\dots(4)$$

(3) 及び (4) の兩式を圖示すれば第12圖の I 及び II となる。(3) 式中には  $(e_{\mu t} - e_{\mu c})$  を含むがこれは零と見做し得るから曲線 I の傾向は  $f(e_t, t) + g(-e_c, t)$ 、即ち時間の影響を示し、不規則な凹凸は  $(e_t + e_c) \frac{E_0}{E}$ 、即ち濕度の變化のヤング係數に及ぼす影響を示すものである。従つてこの結果から弾性限度内の應力に對しても時間の影響が存在することが明らかとなり、第7圖の結果と一致する。

曲線 II を濕度の變化の曲線と比較する時は略々相伴ひて變化してゐることがわかる。これは式の中に含まれる  $(e_{\mu t} + e_{\mu c})$  の値が他の項に比較して非常に大きい結果である。今、試験片に鏡伸張計を取付け荷重を加へない状態で濕度の變化に伴ふ伸張計の讀みの變化を示せば第13圖の如くであつて、濕度の變化に伴ひ略々規則正しく伸縮し、而も感度が著しく鋭敏である。この結果と第12圖の曲線 B とを併せ考ふる時は、縁應力が小さな時に於ては、應力

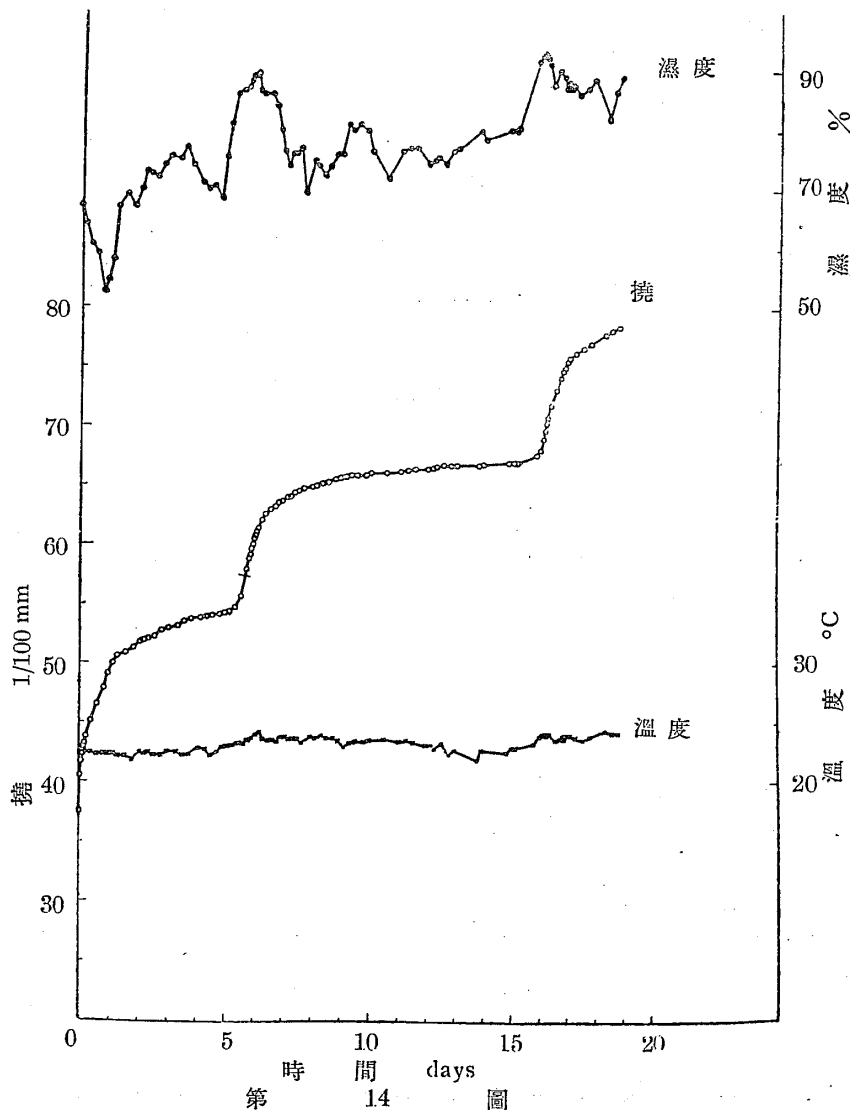




を受けてゐる状態に於ても湿度の變化に伴つて略々規則正しく伸縮を生じ、而もその量は時間の影響に基く歪の増加等に比較して遙かに大きいことがわかる。

次る起る問題は、時間の経過に従つて生ずる撓の増加は、引張及び壓縮の兩側に於ける歪が共に増加する爲か、或は何れか一つの側の歪の増加が他より大なるに因るものかといふことである。これを解く爲には引張及び壓縮の兩試験を別個に行ひ、これ等に對する時間の影響を調べてその結果を比較するを必要とするが、併し、第11圖に示す結果からも大體見當をつけることが出来る。即ち、前述の如く試験片の含水量は湿度と平衡を保つてゐるから、最初に荷重を加へた時と略々同じ湿度の時に於ては、試験片は最初と略々同じ含水量に在ると考へてよい。この時の歪を最初のそれと比較するに、伸は最初と略々同じ値を示すが縮の量は最初より可成り増加してゐる。従つて時間と共に生ずる撓の増加は、引張側に於ける歪

荷重方向、年輪に直角 縁應力、 $384 \text{ kg/cm}^2$

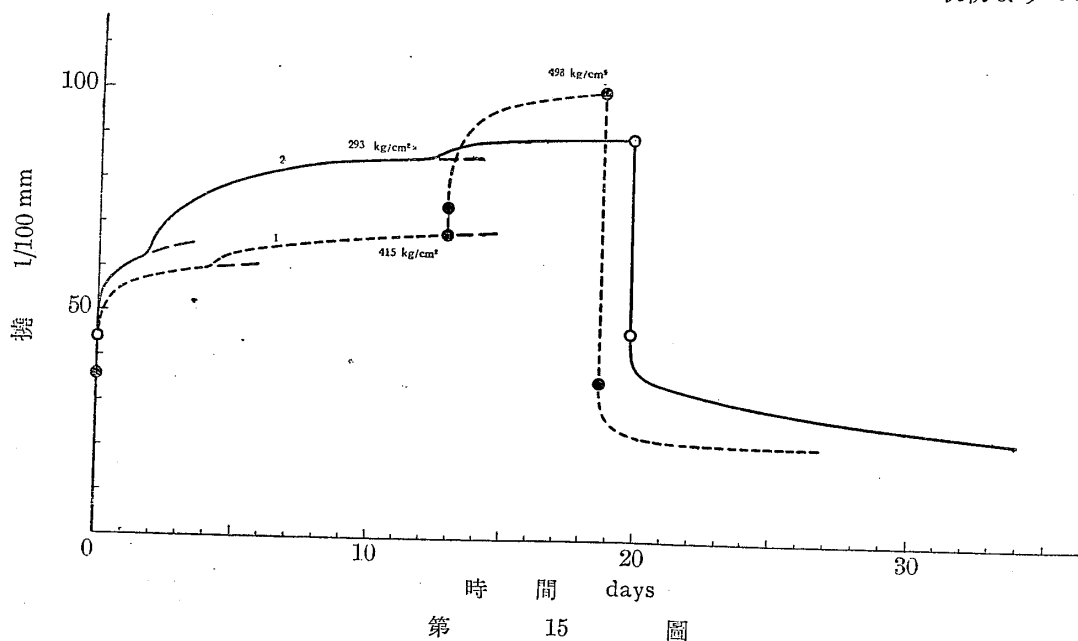


よりもむしろ大部分壓縮側に於ける歪に基くものと考えなければならぬ。

第7圖によれば荷重、換言すれば縁應力が小なる時は湿度が増加すると共に撓が増し、湿度が減少する時撓も減少する。即ち、撓の全部ではないが一部は恢復する。然るに第14圖から見れば(第14圖は第3圖の3なる曲線にして縁應力は凡そ弾性限度に相當する)、縁應力が大なる時は湿度が増加する時撓は増大するが、湿度が減少しても撓は恢復することなく増加の一路を辿り、只増加の割合が少いだ

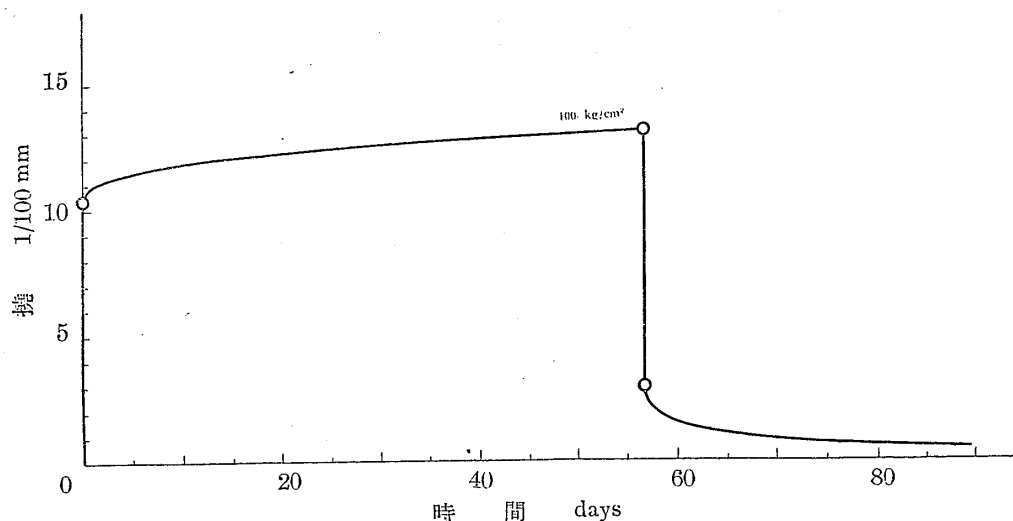
けである。即ち或る縁應力を境としてそれ以上の應力に於ては濕度は撓を増加する方向にのみ作用し、それ以下の應力に於ては濕度の増減につれて撓も増減する。然し乍ら、後の場合に於ても全體として撓は次第に増加の傾向を示す。

一定荷重を加へて長時間放置し、撓が次第に増加した後、に於て荷重を取去つた場合を示せば第15圖及び第16圖(第3圖の曲線5及び第7圖はこれの最初の部分に當る)の如くであつて、第15圖の1及び第16圖は荷重方向が年輪に對して直角の場合、第15圖の2は平行の場合の結果である。而して第15圖の1は縁應力が弾性限度以上、2は凡そ弾性限度に相當し、第16圖は縁應力が弾性限度より遙かに低い場合である。第16圖に於ては最初より50餘日



の間に撓は見掛け上約20%増加してゐるが、荷重を取去る時は略々最初の弾性歪を恢復してゐる。後、引續き撓を恢復し約30日後に至つても徐々ではあるが尙恢復の傾向を示す。結局、荷重を加へて放置する時に時間と共に増加した撓の或る部分だけが永久歪として残るものと考へられる。第15圖に就ても同様の傾向があることがわかるが、曲線1の場合に於ては荷重を取去る時最初荷重を加へた時に生じた以上の撓を直ちに恢復してゐる。即ち、時間と共に増加した撓の一部をも直ちに恢復したことになる。然し乍ら、曲線1の縁應力が弾性限度以上の場合には勿論、曲線2の縁應力が凡そ弾性限度の場合に於ても、時間と共に試験片上面に壓縮破壊を生じ、この壓縮破壊は荷重を除去しても無くならない。従つて荷重除去後の永久歪の量は第16圖の結果に比べて遙かに大である。これ等の結果から、木材梁に靜荷重を加へて放置した時に生ずる見掛け上の撓の増加は、一部分は弾性的のものであり一部分が永久的のものである。

最後に、濕度の變化に伴ひて木材の含水量が變化することは前述の如くであるが、第10圖



第 16 圖

からわかる如く含水量の變化は極めて小さい。恐らく試験片表面に近い細胞に於てのみ含水量の變化が起るものと想像せられる。それにも拘らず極めて鋭敏に撓に影響を及ぼすことは注目に値する事實である。

#### 4. 總 括

(1) ヒノキを材料とし、四點荷重法によつて長時間曲げ試験を行ひ、種々の一定荷重に對する撓—時間の關係を調べた。その結果は金屬のクリープ試験に於ける歪—時間の關係圖と類似の曲線圖を得た。

(2) (1)の撓—時間の關係圖に於ては溫度竝に濕度が影響を及ぼす。而して實際問題としては溫度より濕度の影響が遙かに大きい。

(3) 木材長時間曲げ試験に於ては彈性限度内の應力に對しても時間の影響があり、時間の経過するに従ひて撓は増加する。而してこの増加は引張歪よりもむしろ大部分壓縮歪に基く。換言すれば引張歪よりも壓縮歪に對する時間の影響が大きい。

(4) 濕度の増加、從つて木材の含水量の増加の結果撓が増加するが、これは木材細胞が含水量増加によつてしなやかさを増加するに因る。又、或る縁應力を境とし、それ以上の應力に對しては濕度の増減に拘らず撓は増加し、それ以下の應力に對しては濕度の増減に伴ひ撓も増減する。而して後の場合に於ても全體としては撓は時間と共に次第に増加の傾向を示す。

(5) 含水量の増減によつて木材細胞は伸縮するが、應力が小なる時は應力を受けてゐる状態に於ても含水量の變化に基いて略々規則正しく伸縮する。

(6) 木材梁に靜荷重を加へて放置する場合に生ずる見掛け上の撓の増加は、一部分は彈性的のものであり一部分が永久的のものである。

(7) 濕度の變化に基く含水量の變化は 木材の表面に近き細胞にのみ起るものと考へられるが、それにも拘らず撓に影響大なるは注目すべき事實である。

終りに臨み、本實驗を行ふに當つて終始懇篤なる御指導を賜はつた井口常雄先生に衷心感謝の意を表す。

(昭和十年十月)