



Title	トドマツ材の長柱に関する研究
Author(s)	北村, 義重
Citation	北海道帝國大學農學部 演習林研究報告, 12(2), 47-131
Issue Date	1942-12
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/20656">https://hdl.handle.net/2115/20656</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	12(2)_P47-131.pdf



# 3

## トドマツ材の長柱に関する研究

北 村 義 重

### 目 次

緒 言	49
[前編] 理 論	
第一章 柱に関する理論	50
第一節 壓縮に對する柱の強さに関する基礎的概念	50
第一項 中心荷重 $P$ を受くる短柱	50
第二項 長 柱	50
第二節 偏心荷重を受くる柱の彎曲	51
第三節 理想的長柱に関する理論	54
第四節 Euler 氏公式並に其適用範圍	56
第五節 彈性線の精密計算	60
第二章 長柱に関する從來の研究	63
第一節 Euler 氏より Hodgkinson 氏に至る研究	63
第二節 Bauschinger 氏の研究	65
第三節 L. v. Tetmajer 氏の研究並に其實験公式	66
第四節 一般挫折公式並に Kármán 氏の研究	68
第五節 Strand 氏の挫折式	72
[後編] 實 験	
第一章 試験方法	75
第一節 供 試 材	75
第一項 供試木の選定	75
第二項 供試木の造材	76
第三項 供試材片の木取	76

第二節	含水量及比重の測定	77
第三節	試験機及補助装置	78
第一項	試験機	78
第二項	彎曲度測定器	78
第三項	支持装置	80
第二章	試験成績	81
第一節	含水量	81
第二節	比重	82
第一項	比重と含水量との關係	82
第二項	任意含水量に於ける比重を平均含水量の下に換算する方法	84
第三節	壓縮破壊強並に挫折破壊強	89
第一項	任意含水量に於ける強度を平均含水量の下に換算する方法	89
第二項	平均含水量の下に於ける比重と強度との關係	92
第三項	平均含水量並に同一比重の下に於ける強度	93
第四節	挫折強と節との關係	94
第一項	挫折強に及す節の影響	94
第二項	有節材の強度を無節材の夫の改算	95
第五節	細長比と強度との關係	96
第六節	挫折強	96
第一項	挫折強に於ける撓み	98
第二項	挫折強の顯るる細長比の限界	98
第三項	破壊時に於ける撓み並に撓みと細長比との關係	99
第四項	荷重と撓みとの關係	101
第七節	長柱に關する實驗公式	102
第三章	挫折強に關する論議	107
第一節	挫折強公式	107
第二節	挫折強公式の特徴並に其適用範圍	108
結    言		109
摘    要		111
文    獻		113
Zusammenfassung		115
附表第一	壓縮並に挫折試験成績	117
附表第二	挫折破壊時に於ける撓み	127
附表第三	荷重と撓み	129
圖    版	( I ~ II )	

## 緒 言

我が國は古來より木造家屋を以て最も國民性に適するものとなし、防火上の支障あるに拘らず現在と雖も家屋の大半は木造なり而して之が設計に當り長柱の強度を算出するに海外諸學者の研究せし式を使用し近似的數値を採用せり、畢竟本邦に於ける木材の長柱に關する實驗數値なきに由來すべしと雖も木材を主材料とする我が國の建築界に於て甚だ遺憾とすることゝなり。

柱が軸壓力を受くる關係を觀るに柱長短きときは多少の偏心荷重を蒙るとも其影響極めて微小なるが故に彎曲作用起らざるものと看做し單なる壓縮力のみと考へらるるも比較的長き柱に於ては彎曲作用を等閑に附する能はざるに至る、柱長愈々長きに及べば材の抵抗は殆んど彎曲抵抗のみとなり柱の強さは著しく減退すべし、柱の長さに従ひ強度の變化する關係は如上の經路を辿り純粹の壓縮力のみの場合其應力は荷重を負荷面の横斷面積にて除して求められ、又著しく長くなり、彎曲のみにより破壊せらるる時は彎曲を彈性線の一部と考へ理論的に求むるを得べく所謂 Euler 氏公式に據るべしと雖も中間の長さに對しては實驗的に算出するにあらざれば求め難し。

由來木材は其組織の甚だ複雑なるに加へ、性質の有機的なる或は種々の瑕瑾の存在する等、盡く長柱試験の成果を阻む素因をなすものなり。又一方長柱試験施行に當りては供試材の支持装置、撓みの測定法等に甚だ困難なる事情の伏在するが爲に此種研究は極めて寥々たるものあり。

著者數年來木材強弱に關する試験に従事し長柱の撓みを詳細に測定する装置を考究し又支持装置に特殊の球座を用ひ、之により荷重の増加に伴ふ軸壓力が終始一致すべきを認め、供試材として比較的瑕瑾少く且本道建築材中エゾマツと共に双壁と稱せらるるトドマツ材を用ひ、強度に影響を及す各種の因子關係を究明し、之等を平等に處理し以て供試材の長さに應ずる強度を求め、細長比限界を定め、挫折強公式を決定したり。本研究の成果が些かなりとも斯界發展に寄與するを得ば幸甚の至りなり。

本研究に當り懇切なる指導と多大の便宜とを與へられたる北海道帝國大學教授大澤正之博士並に演習林長中島廣吉博士に深甚の謝意を表す。

## 前 編 理 論

### 第一章 柱に関する理論

#### 第一節 壓縮に對する柱の強さに關する基礎的概念

實驗上柱が軸壓力を受くるとき、短き柱に於ては荷重方向に短縮を生じ破壊に導かるるも細長き柱に於ては或程度の荷重により彎曲形顯れ暫く荷重に比例するが如き状態を呈し然る後著しく彎曲進み、終に破壊せらるるに至る、此際短柱の破壊は壓縮のみによりて生じたるも細長き柱は壓縮によりて誘起せられたる挫折力によりて破壊せられたるものなり。而して斯る彎曲の顯るるは試材の一邊と長さとの比或は廻轉半徑と長さとの比、所謂細長比 (Schlankheitsgrad) によりて決定せらるべきものとす。

#### 第一項 中心荷重 P を受くる短柱

短柱は中心荷重 P の作用により其長さ L は短縮せられ、同時に斷面積は増大す。

今短柱の負荷面の元の斷面積を F とし、應力を  $\sigma$  とせば  $\sigma$  は斷面積全面に生ずるものと假定し、短柱の應力は  $\sigma = \frac{P}{F}$  となる。又長さの短縮量を  $\Delta l$  とせば長さの短縮度は  $\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$  にして應力  $\sigma$  に關係を有す而して此關係は或一定の限界所謂彈性限界内に於てのみ成立し、 $\sigma = E \cdot \epsilon$  (E は彈性係數) なるフツクの法則\* (Hooke'sche Gesetz) が成立するものなり。

#### 第二項 長 柱

長柱は之迄論ぜし短柱とは大に趣を異にするものなり。短柱は壓縮荷重により單に其長さ短縮せらるるものなるが長柱に於ては當初、荷重の小なる間は短縮しフツクの法則に従へども荷重加はるに従ひ漸く横方向に彎曲現れ、荷重の増加に伴ひ彎曲も亦増大し終に彎曲に對する抵抗に耐へ得ずして破壊せらるるに至る。斯る彎曲の現るる原因を探究するに次の二項に歸す。

##### a) 荷重方向が柱の軸と一致せざること

斯の如き現象の現るるは材料試験機の構造不完全にして殊に兩加壓盤の中心が一致せざるとき、柱が不正確に木取られしとき、材質の不等齊性、横斷面の不均一性に據るものなり。

##### b) 實驗施行中に起る障害

此障害の主なるものは實驗施行中不測の原因によりて加壓方向の變ずること、柱が其自

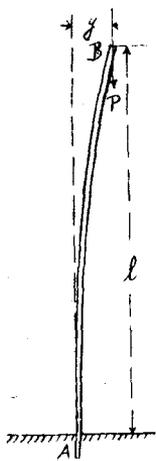
\* ) 木材に於ては應力と之に伴ふ變形をあらはす線は曲線となり、單位應力の値如何に拘らず應力を除去するも原形に復せず従つて完全に彈性限界を決定し難しと雖も單位應力小なる時は彈性體と看做さる。

重によりて彎曲すること（試験機の種類により試材を水平の位置に設くるが如き場合に生ず）等なり。

今若し長柱の實驗に際し如上二項の原因を除去し理想的長柱を考ふれば決して彎曲の現るることなし、然るに實際實驗施行中に於て彎曲現れ且其彎曲が材長と共に大きさを増すの事實は如何に正確に作成せられたる供試材と雖も木取鉋削の不正なるを免れざること及避くべからざる材質の不等齊なるによりて證明せらるべし、殊に材長を増すに従ひ此影響は益々大となるが故に彎曲は材長の増加と共に増大する理となる。

長柱に彎曲の現るる關係に就き尙詳細に吟味を試んとす。

第一圖



第一圖の如く同一断面を有する眞直なる長柱 AB を垂直に下端 A を固定し、上端を自由にし、荷重 P を以て加壓するとき、長柱は彎曲して圖の位置、即ち上端に於ける位置變化 y になりたりとせば荷重 P の位置變化により長柱に彎曲モーメント生じ P.y によりて表さる。此モーメントは長柱の材質に現るる内應力と平衡なり。今長柱に尙荷重を加へ、より多き彎曲を與へ然る後荷重を除去せば長柱は再び舊位に復す而して長柱は安定なる平衡状態にある即ち内部應力のモーメントの代數的總和は外部のモーメントに等し。荷重 P を漸次増加せば長柱の彎曲は同時に増加し、終に一定の荷重に於て長柱の抵抗力は疲勞す、此時荷重を長柱より除去せば長柱は回復すれども舊位置には復歸せざるものにして長柱には強き彎曲によりて蒙りたる變形残留す。

長柱に彎曲の現るる限界を挫折限界 (Knickgrenze), 挫折を誘起せしむる荷重を挫折荷重 (Knickbelastung) と稱せらる。

長柱が挫折により破壊せられたる時の荷重を  $P_k$  とし、長柱の斷面積を F, 挫折應力を  $\sigma_k$  とせば短柱と同様に次の關係成立す

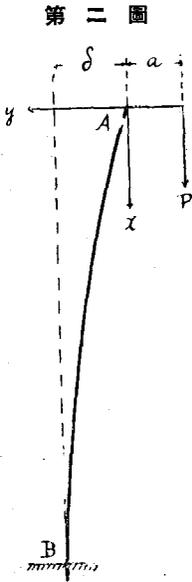
$$\sigma_k = \frac{P_k}{F}$$

## 第二節 偏心荷重を受くる柱の彎曲

偏心荷重を受けたる柱は彎曲し、一つの彈性線をなす。此彈性線を論ずるには柱軸よりの距離並に彎曲の爲に生ずる撓みを考慮して彎曲モーメントを計算するものとす。

今第二圖の如く柱の自由端 A に於て荷重 P が a なる距離に於て作用するものとす。A を原點とし軸方向に x, 彎曲は圖の面に起ると假定して y を圖の如くとす。然るときは彎曲モーメントは

(52)



$$M=P(y+a)$$

従つて弾性線の方程式は梁に於ける弾性線の一般方程式を適用し

$$EI \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = -P(y+a)$$

故に

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot (y+a)$$

今假りに  $\frac{P}{EI} = \alpha^2$  を以て表せば此微分方程式の積分は一般に

$$y=A \cdot \cos \alpha x + B \cdot \sin \alpha x - a$$

但し A 及 B は積分常数なり。

此常数 A 及 B を決定せんとす

上式に於て  $x=0$  ならば  $y=0$

又  $x=l$  ならば  $\frac{dy}{dx} = 0$  となる

依りて  $A=a$

$$B=a \cdot \tan \alpha l$$

故に上の方程式は

$$y=a [\tan \alpha l \cdot \sin \alpha x + \cos \alpha x - 1]$$

$$=a \left[ \frac{\cos \alpha (l-x)}{\cos \alpha l} - 1 \right]$$

上式に於て  $x=l$  と置き、 $y$  の最大値即ち  $\delta$  を求むれば

$$\delta = a \frac{1 - \cos \alpha l}{\cos \alpha l}$$

$$\text{即ち } \delta = a \frac{1 - \cos \sqrt{\frac{P}{EI}} \cdot l}{\cos \sqrt{\frac{P}{EI}} \cdot l} \dots \dots \dots (1)$$

次に偏心荷重を受くる長柱の撓みを見出す H.Müller-Breslau<sup>(2)</sup> 氏の近似法に就き其概要を説明せん。

柱の下端を原点とし、軸の方向を X、之に直角にして柱の彎曲面を Y とす。尚軸と加壓方向との距離を a とす。

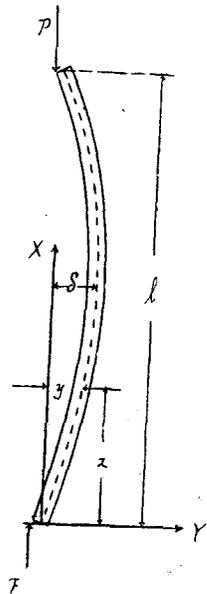
第三圖に於ける弾性線の微分方程式は

$$\frac{d^2y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot (a+y)$$

又正弦曲線 (Sinuslinie) の一般式は

$$y=a \cdot \sin mx$$

第三圖



上式に於て

$$x=1 \text{ ならば, 撓み } y=0$$

$$\text{故に } a \cdot \sin ml=0$$

然るに  $a \neq 0$  なるを以て

$$\sin ml=0$$

依りて  $ml=\pi$

$$m = \frac{\pi}{l}$$

而して第三圖に於て柱の中央の撓みは  $\delta$  なるが故に

$$y = \delta \cdot \sin \frac{\pi x}{l}$$

此式を弾性線の微分方程式に挿入せば

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = -\frac{P}{EI} \cdot \left( a + \delta \cdot \sin \frac{\pi x}{l} \right)$$

之を積分すれば

$$y = -\frac{P}{EI} \left[ \frac{ax^2}{2} + C_1 x - \frac{\delta l^2}{\pi^2} \cdot \sin \frac{\pi x}{l} + C_2 \right]$$

積分常數  $C_1, C_2$  を決定するに

$$x=0 \text{ なるとき } y=0$$

$$\text{故に } C_2=0$$

又  $x=l$  なるとき  $y=0$

$$\text{故に } C_1 = -\frac{al}{2}$$

$$\text{依りて } y = -\frac{P}{EI} \left[ \frac{ax}{2} \cdot (x-l) - \frac{\delta l^2}{\pi^2} \cdot \sin \frac{\pi x}{l} \right]$$

又  $x = \frac{l}{2}$  なるとき  $y = \delta$  となるが故に之を上式に代入せば

$$\delta = \frac{\pi^2}{8} \cdot a \cdot \frac{Pl^2}{\pi^2 \cdot EI - Pl^2}$$

之を變形せば

$$\delta = \frac{\frac{\pi^2}{8} \cdot a \cdot \frac{Pl^2}{\pi^2 \cdot EI}}{1 - \frac{Pl^2}{\pi^2 \cdot EI}}$$

然るに  $\frac{P_E}{P} = \frac{\pi^2 \cdot EI}{Pl^2} = \nu$  の關係を有するにより ( $P_E = \frac{\pi^2 \cdot EI}{l^2}$ )

$$\delta = \frac{\pi^2}{8} \cdot a \cdot \frac{1}{\nu - 1}$$

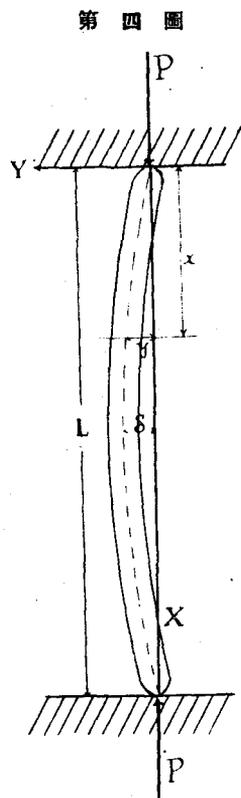
$$= \frac{1.25 a}{\nu - 1} \dots \dots \dots (2)$$

### 第三節 理想的長柱に関する理論

理想的長柱とは完全なる齎等質にして各部分の弾性係数等しく、断面は均等にして完全なる直線軸を有し之に荷重を加ふれば正しく軸に沿ふて加へらるる柱なり。斯の如き理想的長柱は荷重を受くるも彎曲することなく單に荷重に因り壓縮せらるるのみなり。

今理想的長柱に軸壓力を加へ更に之に横より外力を加へて少しく彎曲せしめ然る後横外力を除去して軸壓力のみとする時、其軸壓力が或限界即ち挫折限界に達するときは長柱は彎曲せるまま平衡を保つものなり。斯の如き限界荷重の大きを見出さんとす。但し長柱の自重の影響は算入せざるものとす。

第四圖は荷重  $P$  により長柱が彎曲したる状態を示し、上端を原點とし、軸方向を  $X$  軸、又圖の如く  $Y$  軸を採るものとす。



第四圖

今  $x$  なる距離にある断面の撓みを  $y$  とせば此断面の彎曲モーメント  $M_x$  は

$$M_x = -Py$$

一般に弾性線の方程式は

$$M_x = EI \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$$

但し  $E$  は弾性係数

$I$  は物量力率

$M_x$  は彎曲モーメント

なり。

故に本圖の如き場合に於ける弾性線の方程式は

$$EI \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = -Py$$

上式を解くに兩邊に  $2 \frac{dy}{dx}$  を乘じて積分すれば

$$2EI \cdot \frac{dy}{dx} \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = -2Py \cdot \frac{dy}{dx}$$

$$\therefore EI \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 = -Py^2 + C_1$$

然るに最大撓み  $\delta$  は  $x = \frac{l}{2}$  なる断面に起り此断面に於ては  $\frac{dy}{dx} = 0$

なり。

依りて

$$-P\delta^2 + C_1 = 0$$

$$\therefore C_1 = P\delta^2$$

従つて

$$EI \left( \frac{dy}{dx} \right)^2 = P(\delta^2 - y^2)$$

即ち

$$\frac{dy}{dx} = \sqrt{\frac{P}{EI}} \cdot \sqrt{\delta^2 - y^2}$$

之を變形せば

$$\frac{dy}{\sqrt{\delta^2 - y^2}} = \sqrt{\frac{P}{EI}} dx$$

之を積分せば

$$\sin^{-1} \frac{y}{\delta} = \sqrt{\frac{P}{EI}} x + C_2$$

此積分常数  $C_2$  を決定するに、今  $x=0$  なるとき  $y=0$  なり

依りて  $C_2=0$

故に  $\sin^{-1} \frac{y}{\delta} = \sqrt{\frac{P}{EI}} x$

則ち

$$y = \delta \cdot \sin \left( \sqrt{\frac{P}{EI}} x \right)$$

上式は弾性線を表す式なり。

今長柱の彎曲が減少すると考ふれば其彎曲に相應する荷重も亦減少す、彎曲が遂に無限に小となれば  $P$  の値は極限值に達す、斯る状態の時には柱は眞直にして柱の兩端の距離は  $L$  に等しと考へらる。故に  $P$  の極限值は上式に於て  $x=L$ ,  $y=0$  なる値を代入して見出すを得べし。

即ち  $\delta \cdot \sin \left( \sqrt{\frac{P}{EI}} L \right) = 0$

$$\sin \left( \sqrt{\frac{P}{EI}} L \right) = 0$$

依りて

$$\sqrt{\frac{P}{EI}} L = \pi$$

故に  $P = \pi^2 \frac{EI}{L^2}$  ..... (3)

上式は  $P$  の極限值を表す式にして荷重が上式の値より小なる間は長柱に彎曲表れず、大となるに及び彎曲を生ずるものなり。故に  $P$  は彎曲により破壊せずに抵抗し得る柱の最大荷重と看做すを得べし。此公式を Euler<sup>(1)</sup> 氏の公式と稱す。

此式が最大撓み  $\delta$  に無關係なることは特に注意すべきことなり。

今廻轉半徑を  $i$ , 斷面積を  $F$  とせば

( 56 )

$$I = F \cdot i^2$$

之を Euler 氏公式中に代入すれば

$$P = \pi^2 \cdot E \cdot F \cdot \left(\frac{i}{L}\right)^2$$

故に 
$$\frac{P}{F} = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{L}{i}\right)^2} \dots \dots \dots (4)$$

式中  $\frac{L}{i}$  は細長比 (Schlankheitsgrad) なり。

#### 第四節 Euler 氏公式並に其適用範囲

前節に於ては理想的長柱を想定して之が理論を述べ Euler 氏公式を誘導せり。然るに長柱は其両端支持の状況により強度を異にするを以て本節に於ては Euler 氏公式の別の誘導法により之が概説を試みると共に其適用範囲を述べんとす。

a) 一端固定, 他端自由なる長柱 (第五圖 a)

断面不變なる長柱 AB を下端 B に於て垂直に固定し P を以て加壓し, P は柱軸より a なる距離を保つものとする。此場合に末端の撓み ( $\delta$ ) は (1) によりて

$$\delta = a \cdot \frac{1 - \cos l \sqrt{\frac{P}{EI}}}{\cos l \sqrt{\frac{P}{EI}}}$$

なり即ち本式は偏心荷重 a なる場合に於ける最大撓み (彎曲) を表す式なり。而して

- ① 柱の軸は眞直にして其材質は等質なること。
- ② 柱に働く横荷重なきこと。
- ③ 加壓方向と柱の軸とは一致すること。

の三條件の充實せらるる場合は上式に  $a=0$  と置きし時なるも此場合の  $\delta$  は必ずしも零となることなし, 即ち若し  $\cos l \sqrt{\frac{P}{EI}} = 0$  とせば  $\delta = a \cdot \infty$  となる。之に於て  $a=0$  ならば  $\delta$  は不定なるも a が零に近き極めて小なる値を取れば  $\delta = \infty$  となる。實際の柱に於ては a が精密に零なる能はざるを以て  $\delta = \infty$  も亦承認せらる, 即ち長柱が平衡を失ひ降伏を意味するものなり。

依りて  $\cos l \sqrt{\frac{P}{EI}} = 0$

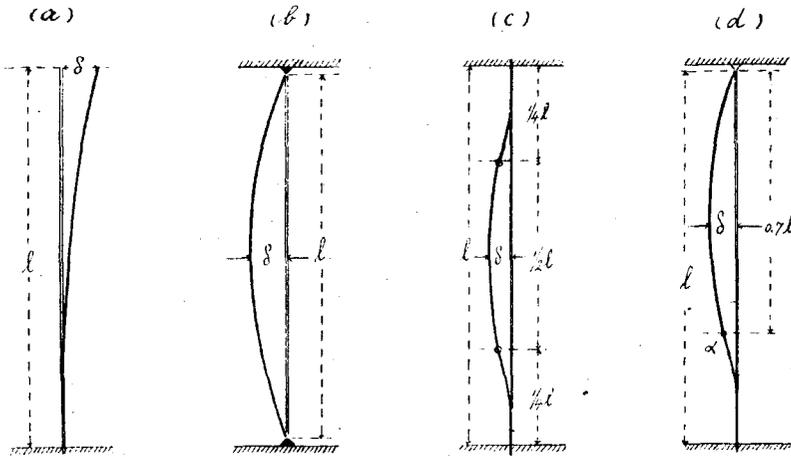
従ひて  $l \sqrt{\frac{P}{EI}} = \frac{\pi}{2}$

此式の意味は荷重 P が漸次大となりて上式に達すれば柱は横に彎曲を生じ降伏するものなり。

即ち一端固定，他端自由なる長柱が初めて不安定となる時の荷重は

$$P = \pi^2 \frac{EI}{4l^2} \dots \dots \dots (5)$$

第 五 圖



b) 両端自由に支へられたる長柱 (第五圖 b)

両端自由に支へられたる長柱は一端固定，他端自由なる長柱が二つ連接して出来たるものと考へらるるが故に (a) の結果を應用し (5) 式の l の代りに  $\frac{l}{2}$  を置き限界荷重を求め得べし。

依りて

$$P = \pi^2 \frac{EI}{4\left(\frac{l}{2}\right)^2} = \pi^2 \frac{EI}{l^2} \dots \dots \dots (6)$$

c) 両端固定されたる長柱 (第五圖 c)

両端が舊の方向を維持する如く固定されたる柱は一端固定，他端自由なる長柱が四個集りて出来たるものと考へらるるが故に (5) 式の l の代りに  $\frac{l}{4}$  を代入して計算せば可なり。

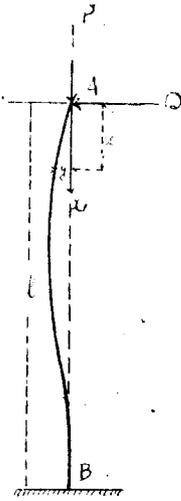
$$P = \pi^2 \frac{EI}{4\left(\frac{l}{4}\right)^2} = 4\pi^2 \frac{EI}{l^2} \dots \dots \dots (7)$$

d) 一端固定，他端自由に支へられたる長柱 (第五圖 d)

一端に於ける柱の固定方法完全にして弾性線への切線は舊方向に止り，他端に於ける支へ方は軸の方向に於ける變位を導き彎曲に對して自由なりとす。故に柱が彎曲し初むる時は自由端 A に於て Q なる力が P に直角に働くものなり。斯る場合に A より x なる距離に於ける彎曲モーメントは  $P \cdot y - Q \cdot x$  なり。

故に弾性線の方程式は

第六圖



$$-EI \frac{d^2y}{dx^2} = P \cdot y - Q \cdot x$$

$$\text{或は } \frac{d^2y}{dx^2} + \frac{P}{EI} \cdot y = \frac{Q}{EI} \cdot x$$

此微分方程式の積分は一般に

$$y = A \cdot \cos \sqrt{\frac{P}{EI}} x + B \cdot \sin \sqrt{\frac{P}{EI}} x + \frac{Q}{P} \cdot x$$

今積分常数 A, B を決定せんとす。

$$x=0 \text{ なるとき } y=0$$

$$\text{故に } A=0$$

$$\text{又 } x=l \text{ なるとき } y=0$$

$$\text{故に } B \cdot \sin l \sqrt{\frac{P}{EI}} + \frac{Q}{P} \cdot l = 0$$

$$\text{尙 } x=l \text{ なるとき } \frac{dy}{dx} = 0 \text{ なるを以て}$$

$$B \cdot \sqrt{\frac{P}{EI}} \cdot \cos l \sqrt{\frac{P}{EI}} + \frac{Q}{P} = 0$$

之等の二式より次の関係を誘導し得べし

$$\tan l \sqrt{\frac{P}{EI}} = l \sqrt{\frac{P}{EI}}$$

$$\text{今 } l \sqrt{\frac{P}{EI}} = v \text{ と假定せば上式は}$$

$$\tan v = v$$

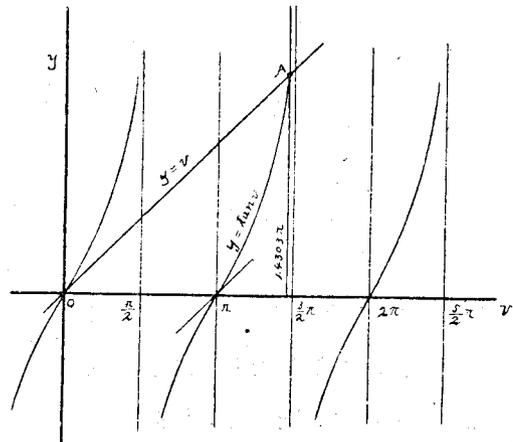
となる。

此式を満足すべき v の値は  $y_1 = v$  及  $y_2 = \tan v$  兩線の交點なり。

さて v を横軸に、y を縦軸にとれば  $y_1 = v$  は原點を通り v 軸と  $45^\circ$  の傾斜角をなす直線なり。又  $y_2 = \tan v$  は正切曲線にして  $0, \pi, 2\pi, \dots$  を通り  $\frac{\pi}{2}, \frac{3}{2}\pi, \frac{5}{2}\pi, \dots$  に於て縦線に平行なる線を漸近線とする曲線なり。而して此曲線の横線を切る點は即ち變換點にして此點の切線は横線と  $45^\circ$  の傾斜角をなせる直線なり。

故に  $y_1 = v$  及び  $y_2 = \tan v$  を第七圖の如く圖示し其交點 A を決定せば A は  $\pi - \frac{3}{2}\pi$  との中間にありて然も  $\frac{3}{2}\pi$  に漸近する點なり。

第七圖



依りて上式を満足すべき値は

$$v=1.4303 \pi$$

なり。即ち

$$l \sqrt{\frac{P}{EI}} = 1.4303 \pi$$

故に

$$P=2.0458 \pi^2 \frac{EI}{l^2} \dots \dots \dots (8)$$

第五圖 d は一端固定、他端自由に支へられたる長柱の彎曲狀況を示せるものなり、此彈性線に於て變換點は  $x=0$ ,  $x=l$  即ち上端並に下端及中間點  $a$  なり。而して下端と中間點  $a$  とは一直線となる。然るに此彎曲の狀態は前述せるが如く  $\tan v$  の曲線の如く變化す即ち上端は  $1.4303 \pi$  に下端は  $\pi$  に於て變換す。

依りて次の關係式成立す

$$l: a=1.4303 \pi : \pi$$

故に  $a = \frac{1}{1.4303} \cdot l = 0.69915 \cdot l$

此場合に於ける柱の長さは兩端自由なる長柱の  $l$  の  $0.69915$  倍に相當す。故に (6) 式の  $l$  に  $0.69915 \cdot l$  を代入して限界荷重を求むるを得べし。即ち

$$P = \pi^2 \frac{EI}{(0.69915 \cdot l)^2} = 2.0458 \pi^2 \frac{EI}{l^2} \dots \dots \dots (8')$$

次に Euler 氏公式の適用範圍に就き検討せんとす。

Euler 氏公式は實驗結果に比較して細長比  $\frac{l}{i}$  の大なる長柱に於てはよく一致すれども細長比の小なる長柱に在りては著しき相違を來す即ち或長さ以下に於ては公式の與へる荷重以下に破壊せらる。Euler 氏公式は  $k \frac{EI}{l^2}$  ( $k$  は常數) の形を有するにより  $l$  が小となれば荷重は著しく大となる。然し斯の如き場合には材料は彎曲を生じて倒るる以前に壓縮荷重の爲に破壊し終るべきものにして従つて Euler 氏公式は明かに適合せざること明白なり。然らば此公式は其限界荷重が材料の降伏點若くは破壊應力に相當する荷重以下ならば凡ての長さに對して正當と見て差支なきや、換言せば一定の長さを境とし、之以上は Euler 氏公式を用ひ、以下に於ては長さに無關係に單なる壓縮に對し荷重を定めて可なりやといふに實際は然らずして中間の長さに對しては前兩者の孰れにも屬せざる部分存在す。斯る現象の起る所以は元來 Euler 氏公式を導くに際し彎曲に對する微分方程式を用ひたりしが其中に常數  $E$  を含みたり若し柱が極めて細長なれば可成彎曲を生ずるも尙應力過大ならず、即ち不變の  $E$  が存在するものと看做し得べきも柱が比較的太短き時は彎曲と共に忽ち材料の比例限界を超へ  $E$  なる常數を假定し得ざる狀態に陥るがためなり。

(60)

要するに Euler 氏公式を用ひし値は比例限界以内の荷重に對して適用され、次の關係あり

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot E}{\left(\frac{l}{i}\right)^2} \leq \sigma_p$$

但し  $\sigma_k$  は挫折強度

$\sigma_p$  は比例限界強度

依りて

$$\frac{l}{i} \geq \pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}} \dots\dots\dots (9)$$

即ち Euler 氏公式は  $\frac{l}{i}$  が  $\pi \cdot \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}}$  より大なるか或は少くとも等しき範圍に於て適用すべきなり

### 第五節 彈性線の精密計算

本計算の基礎的觀念は微分方程式をつくるに當り彈性線の弧の微分  $ds$  は長さの微分  $dx$  と共に變ずといふ假定より成るものにして A. Schneider<sup>(3)</sup> 氏等により唱へられしものなり。

第八圖に於て柱 AB の下端より計り彈性線の圓弧の長さを  $s$  とし、軸 (加壓方向 PA) よりの距離を  $y$  とせば、 $s, y$  は共に變數なり。而して彈性線は  $y=f(s)$  を以て表さる。故に此圖より微分關係は

$$\frac{dy}{ds} = -\sin \beta \dots\dots\dots ①$$

なり。

Bernoulli の假定に依れば

$$\frac{d\beta}{ds} = \frac{1}{\rho} = \frac{P \cdot y}{EI} = \frac{y}{k^2} \dots\dots\dots ②$$

但し  $\frac{1}{k} = \sqrt{\frac{P}{EI}}$

① 及 ② 式より

$$\frac{y \cdot dy}{k^2} = -\sin \beta \cdot d\beta$$

之を積分せば

$$\frac{y^2}{2k^2} = \cos \beta + C_1 \dots\dots\dots ③$$

積分常數  $C_1$  を決定するに

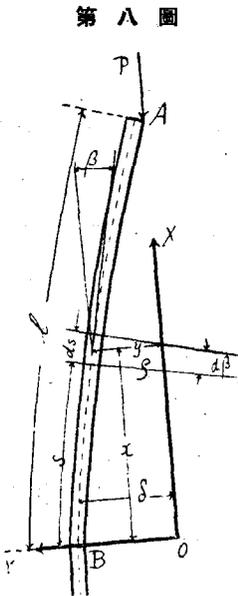
$$y = \delta \text{ なる時 } \beta = 0$$

故に

$$\frac{\delta^2}{2k^2} = 1 + C_1$$

依りて

$$C_1 = \frac{\delta^2}{2k^2} - 1$$



即ち③式は

$$\cos\beta = 1 - \frac{\delta^2 - y^2}{2k^2} \dots\dots\dots ④$$

又  $\sin^2\beta = 1 - \cos^2\beta$

$$\therefore \sin\beta = \sqrt{1 - \cos^2\beta}$$

①式の弾性線の微分方程式中に④式の数値を挿入せば

$$-\frac{dy}{ds} = \sin\beta = \sqrt{1 - \cos^2\beta} = \frac{\sqrt{\delta^2 - y^2}}{k} \cdot \sqrt{1 - \frac{\delta^2 - y^2}{4k^2}} \dots\dots\dots ⑤$$

$$\begin{aligned} (\sqrt{1 - \cos^2\beta} &= \sqrt{1 - (1 - \frac{\delta^2 - y^2}{2k^2})^2} = \sqrt{\{1 - (1 - \frac{\delta^2 - y^2}{2k^2})\} \{1 + (1 - \frac{\delta^2 - y^2}{2k^2})\}} \\ &= \frac{\sqrt{\delta^2 - y^2}}{\sqrt{2}k} \cdot \sqrt{2 - \frac{\delta^2 - y^2}{2k^2}} = \frac{\sqrt{\delta^2 - y^2}}{k} \sqrt{1 - \frac{\delta^2 - y^2}{4k^2}} \end{aligned}$$

⑤式は

$$-ds = \frac{k \cdot dy}{\sqrt{\delta^2 - y^2} \cdot \sqrt{1 - \frac{\delta^2 - y^2}{4k^2}}}$$

之を積分せば

$$-s = \int \frac{k \cdot dy}{\sqrt{\delta^2 - y^2} \sqrt{1 - \frac{\delta^2 - y^2}{4k^2}}} + C_2 \dots\dots\dots ⑥$$

$C_2$  は積分常数とす

若し  $\delta^2 - y^2 \leq 4k^2$  が成立せば  $\int$  は實數となる

故に  $\frac{dy}{\sqrt{1 - \frac{\delta^2 - y^2}{4k^2}}}$  を二項定理により展開すれば

$$\frac{\delta^2 - y^2}{4k^2} = X \quad \text{とせば} \quad \frac{dy}{\sqrt{1 - \frac{\delta^2 - y^2}{4k^2}}} = \frac{1}{\sqrt{1 - X}} dy = (1 - X)^{-\frac{1}{2}} dy \quad \text{となる。}$$

$$(1 - X)^{-\frac{1}{2}} = 1 + \frac{1}{2} X + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} X^2 + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} X^3 + \dots\dots\dots$$

故に⑥式を展開せば

$$\begin{aligned} -s &= k \cdot \int (\delta^2 - y^2)^{-\frac{1}{2}} \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{\delta^2 - y^2}{4k^2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{\delta^2 - y^2}{4k^2}\right)^2 \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \left(\frac{\delta^2 - y^2}{4k^2}\right)^3 + \dots\dots \right] dy + C_2 \dots\dots\dots ⑦ \end{aligned}$$

或は

$$\begin{aligned} -\frac{s}{k} &= \int (\delta^2 - y^2)^{-\frac{1}{2}} dy \\ &+ \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4k^2} \cdot \int (\delta^2 - y^2)^{\frac{1}{2}} dy \end{aligned}$$

(62)

$$\begin{aligned}
& + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{1}{4k^2}\right)^2 \int (\delta^2 - y^2)^{\frac{3}{2}} \cdot dy \\
& + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \left(\frac{1}{4k^2}\right)^3 \int (\delta^2 - y^2)^{\frac{5}{2}} \cdot dy + \dots + C_2 \dots \dots \dots \textcircled{7}'
\end{aligned}$$

今 ⑦' 式の各項の積分を出さんとす

積分公式

$$\int (a^2 - x^2)^{\frac{1}{2}} \cdot dx = \frac{1}{2} x \cdot (a^2 - x^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} a^2 \arcsin \frac{x}{a}$$

$$\int (a^2 - x^2)^{-\frac{1}{2}} \cdot dx = \arcsin \frac{x}{a}$$

$$\int (a^2 - x^2)^{\frac{n}{2}} \cdot dx = \frac{x(a^2 - x^2)^{\frac{n}{2}}}{n+1} + \frac{n \cdot a^2}{n+1} \int (a^2 - x^2)^{\frac{n-2}{2}} \cdot dx$$

を應用せば ⑦' 式は次の如し

$$\begin{aligned}
& - \frac{s}{k} = \arcsin \frac{y}{\delta} \\
& + \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{4k^2} \cdot \left[ \frac{y}{2} \cdot (\delta^2 - y^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{\delta^2}{2} \cdot \arcsin \frac{y}{\delta} \right] \\
& + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \left(\frac{1}{4k^2}\right)^2 \cdot \left[ \frac{y}{4} \cdot (\delta^2 - y^2)^{\frac{3}{2}} + \frac{3}{2 \cdot 4} \cdot \delta^2 \cdot y \cdot (\delta^2 - y^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \delta^4 \cdot \arcsin \frac{y}{\delta} \right] \\
& + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \left(\frac{1}{4k^2}\right)^3 \cdot \left[ \frac{y}{6} \cdot (\delta^2 - y^2)^{\frac{5}{2}} + \frac{5}{4 \cdot 6} \delta^2 \cdot y \cdot (\delta^2 - y^2)^{\frac{3}{2}} \right. \\
& \left. + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \delta^4 \cdot y \cdot (\delta^2 - y^2)^{\frac{1}{2}} + \frac{1}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \delta^6 \cdot \arcsin \frac{y}{\delta} \right] \\
& + \dots + C_2 \dots \dots \dots \textcircled{8}
\end{aligned}$$

s=0 なるとき y=δ 而して ⑧ 式の  $\arcsin \frac{y}{\delta} = \arcsin 1 = \frac{\pi}{2}$  及凡ての項に於ける  $\delta^2 - y^2 = 0$  となりて消失す。故に

$$0 = \frac{\pi}{2} \cdot \left[ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \left(\frac{\delta}{2k}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 2}{2 \cdot 4}\right)^2 \cdot \left(\frac{\delta}{2k}\right)^4 + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6}\right)^2 \cdot \left(\frac{\delta}{2k}\right)^6 + \dots \right] + C_2 \dots \textcircled{9}$$

又 s=1 に對して y=0

$$\text{故に ⑧ 式に於て } -\frac{1}{k} = C_2 \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

⑩ 式を ⑨ 式に挿入せば

$$1 = \frac{\pi k}{2} \left[ 1 + \left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot \left(\frac{\delta}{4k}\right)^2 + \left(\frac{1 \cdot 3}{1 \cdot 2}\right)^2 \cdot \left(\frac{\delta}{4k}\right)^4 + \left(\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{1 \cdot 2 \cdot 3}\right)^2 \cdot \left(\frac{\delta}{4k}\right)^6 + \dots \right] \dots \textcircled{11}$$

⑪ 式に於て k 及 l が既知なれば δ は計算せらる。即ち δ の解式は  $\frac{2 \cdot l}{\pi \cdot k} - 1 = \frac{2 \cdot l}{\pi} \sqrt{\frac{P}{EI}}$

-1=τ とせば

$$\delta^2 = 16k^2 \left[ \tau - \frac{9}{4} \tau^2 + \frac{31}{8} \tau^3 - \frac{185}{32} \tau^4 + \frac{507}{64} \tau^5 \pm \dots \right] \dots \textcircled{12}$$

又 ⑪ 式より P は次の式となる

$$P = \frac{\pi^2 EI}{4l^2} \left[ 1 + \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{\pi \delta}{4l}\right)^2 + \frac{19}{32} \cdot \left(\frac{\pi \delta}{4l}\right)^4 + \frac{29}{32} \cdot \left(\frac{\pi \delta}{4l}\right)^6 + \dots \right] \dots \textcircled{13}$$

⑬式に於て  $\delta=0$  とせば Euler 氏公式となる。

尚撓み  $\delta$  を表す式及荷重  $P$  を表す式は近似値として次の如し。

$$\delta \doteq 4k \sqrt{\frac{2 \cdot l}{\pi k}} - 1 \quad (k = \sqrt{\frac{EI}{P}} \text{ とす})$$

$$P = \frac{\pi^2 EI}{4l^2} \left[ 1 + \frac{1}{2} \left( \frac{\pi \delta}{4 \cdot l} \right)^2 \right]$$

$P$  は  $P_E$  より大にして且此場合に  $\delta$  を生ず。

## 第二章 長柱に関する従來の研究

### 第一節 Euler 氏より Hodgkinson 氏に至る研究

Euler<sup>(1)</sup> 氏は1744年に挫折強に関する研究を發表し、挫折限界内に於ける材料の彎曲を彈性線の一部と看做し之が理論公式を誘導せり。其公式並に之が適用に就ては前述せるところなり。其後多數の學者によりて Euler 氏理論の検討が試みられ、各學者は各種の材料を用ひし實驗に基き各々所説を發表せり。而して各研究者の最も苦心せしところは其實驗に於ける數値を以て Euler 氏理論と比較する點にありたり。蓋し實驗研究は事實を基礎とするに反し、Euler 氏學説は純粹の理論たるなればなり。又 Euler 氏學説は柱の兩端支持の狀況により其數値を異にせるが實驗に際し Euler 氏學説に該當する兩端支持の裝置を求むること困難なり而して實驗に際しては能ふ限り Euler 氏學説に相應せしめんと努むるところなるも往々にして次の事項の影響を蒙ることとなる。

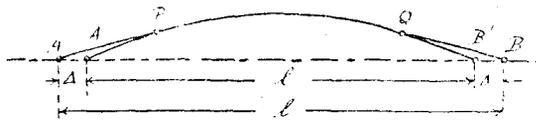
① 實驗に際し柱端に於ける柱の支持装置の影響即ち尖端支持装置か或は双形支持装置かの影響

② 尖端支持装置か或は双形支持装置かにより實驗に際し柱の端に於ける摩擦によりて生ずる力率の影響

③ 實驗に際し柱の兩端の不完全なる固定の供試柱に及す影響

Hodgkinson 氏以外の研究者は其實驗に際し柱端に特殊なる且荷重が供試柱の中心に來たらしむるが如き固定裝置を施せり。此固定裝置は柱の兩端に双形或は尖形を備へしものを取付け之を試験機の加壓盤に固定せしめたるものなり。さて双形或は尖形の間の距離を自由なる長さとして計算せんとなれば柱端と加壓盤との間に取付けたる支持装置の固着せるため柱の變形に當り柱と同様に取り扱ふを得ず又同一に計算すること能ざるは明白なる事實なり。之が解決の一助として Kármán<sup>(4)</sup> 氏の方法を述べん。同氏は平面支持装置に於ける距離  $l'$  に對する割合を以て更正量  $2A$  を見出したたり之が近似法は次の如し。

第九圖



A P 及 Q B は彎曲柱 A-P-Q-B 曲線の不動なる兩端とせば彎曲線は片 P Q 及之と連結し且接觸せる線 A P, B Q を含む兩端が柱と同様なる曲從性なら

ば A' P Q B' も亦正弦曲線なり。

今角  $\phi$  を  $\phi = \pi \cdot \frac{AP}{AB}$  と假定せば次の如き近似的關係成立す

$$A'P : AP = \tan \phi : \phi$$

依りて更正量は次の如し

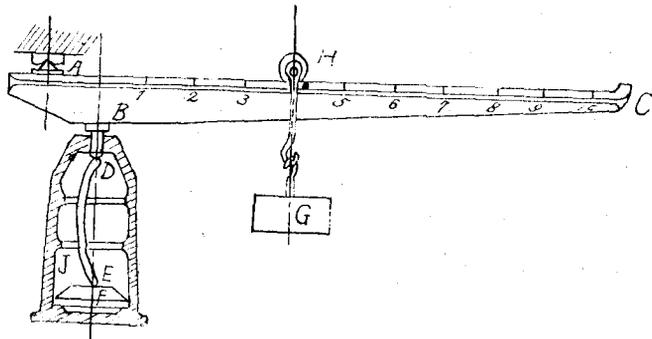
$$\Delta = l \cdot \frac{\phi^3}{3\pi} = \frac{\pi^2}{3} \cdot AB \cdot \left(\frac{AP}{AB}\right)^3$$

Euler 氏によりて提唱せられし挫折強の理論は久しきに亘り技術方面に取入れざりしが 18世紀より 19世紀の間に佛國の學者 Navier, Poisson, Clapeyron 氏等による工業強弱學の創造せらるるに及び Euler 氏理論を再検討し一時代を劃するに至れり。19世紀の初期に至りて又多數の學者輩出し、加壓せられたる柱の挫折強の問題が研究せられたり就中 Larange, Duleau, Lamarle 氏の研究は著明なり。

Duleau<sup>(5)</sup> 氏は 1820年に柱の負擔力に就きての研究をなし Euler 氏理論を確認し其計算と實驗との間に偏差の平均値が尙 16%も存することを知れり。又彈性線の微分方程式に基き之を積分して挫折強に於ける一定荷重に相應する挫折線の矢高を決定せり。併し氏の偉大なる功績は Euler 氏理論が直徑 d なる圓柱に於ては l : d の關係の或一定の限界値を越ゆる時に成立すべきものなることを認めし點なり。此限界値を Lamarle<sup>(6)</sup> 氏は概略の計算に於て尖端支持の木柱に對して l : d = 16 即ち l : i = 64 とせり。

Hodgkinson<sup>(7)</sup> 氏は 1840年及 1857年に長柱の強度に關する研究を發表せしが氏の使用したる材料試験機は第一〇圖に示せるが如きものにして巨大なる測杆 A B C は A 點に於て双形に支持され、可動的錘 G は車輪 H より測杆に懸垂す。測杆の重さは鋼鐵製支柱 B D の B 點に懸り、B 點は球形となり、其軸は鑄鐵製の箱 J の孔に嵌入す。供試柱は其上端加壓支柱 B D に、其下端は箱 J に固定されたる鋼鐵製板 F に支持せ

第一〇圖



らる。

舊試験機にては長さ 213 糎、荷重 16.2 噸まで又新試験機にては長さ 305 糎、荷重 48.6 噸まで測定可能なり。

Hodgkinson 氏の試験せし供試材の数は 358 箇にして鑄鐵の外鍛鐵及鋼鐵其他木材としては樅及唐檜を材料とし直徑 1.27 より 5.08 糎を有する完全なる柱にして其長さ 2.54 糎より 305 糎に及ぶものを選べり。供試材料の斷面形は圓形、正方形、三角形其他十或は I 形のものにして細長比 7.7 より 484 の範圍なり。

氏は實驗に際し長柱の兩端の條件を次の三場合にせり。

1) 兩端圓く球狀となれる柱端を以て支持されたる場合、此場合にはモーメント大ならざるにより稍尖端支持の場合に一致す。

2) 一端圓く球狀となり、他端鈍頭となれる柱端を以て支持されたる場合、此場合にはモーメントは鈍頭端の方大なるが如く豫想せらる。

3) 兩端鈍頭面を以て支持されたる場合、此場合に於けるモーメントは更に大となる。

Hodgkinson 氏は實驗の結果三場合を略 1:2:3 の關係にありとせしも嚴密に云へば 1) の場合と 3) の場合とに對する挫折強の比は 1:3.167 にありて柱の細長比に従ひ著しき變化をなす。

Hodgkinson 氏は挫折限界を次の如く認定せり。一般に細長なる柱に於て負擔力が疲勞状態となり、矢高が略柱の直徑の半分となれる時に此限界に達するものなりと。

尙同氏の實驗結果の大要は次の如し。

① 柱の細長比に従ひ挫折限界の決定が多岐に亘る。

② 細長にして完全なる柱に對しては次の形をとる。

$$P_k = \alpha \frac{d^3}{l^r} \quad (\text{兩圓端の場合})$$

例へば直徑  $d$  cm、長  $l$  cm の鑄鐵製柱に對しては

$$P_k = 134.9 \frac{d^{3.76}}{l^{1.7}} \quad (t) \cdots \cdots \frac{l}{i} \text{ は } 60 \sim 464 \text{ の範圍}$$

③ 固定せる柱に對しては次の形をとる

$$P'_k = \frac{P_k \cdot K}{P_k + 0.75 \cdot K} \quad K = F \cdot \sigma_D \text{ 即ち純粹の壓縮強度}$$

但し  $P_k$  は ② によりて求めたる値

## 第二節 Bauschinger 氏の研究

Bauschinger<sup>(8)</sup> 氏の試験中注目すべきは尖端支持装置に關するものなり。同氏の支持装置は Hodgkinson 氏の夫れより一層進歩せしものにして球狀盆を使用せしが爲に摩擦抵抗甚だ少

(66)

く Euler 氏定理を検討するに極めて好都合なりと稱せらる。同氏の使用せし装置を紹介すれば圓錐尖端を有する鋼鐵製支柱は其尖端に於て大なる楔角を有する圓錐形鑽孔即ち圓錐盆に支持せられ、加壓盤の上下移動に際し常に圓錐盆の中心と加壓盤の中心並に加壓盤に固着せる支柱の中心とを一致せしむるが如き装置をなせり、之によりて亦供試材の中心も此支持装置の中心と合致することとなる。

Euler 氏式による計算に對する挫折長として尖端距離を考慮せざるべからず、其法は前掲 Kármán 氏法に據る。

$AB=41.5 \text{ cm}$ ,  $PQ=30.1 \text{ cm}$  とす

$$AP = \frac{AB - PQ}{2} = 5.7 \text{ cm}$$

従つて柱端に於ける挫折長の所要更正數は

$$\Delta = \frac{AB}{3} \cdot \pi^2 \cdot \left(\frac{AP}{AB}\right)^3 = \frac{41.5}{3} \cdot \pi^2 \cdot \left(\frac{5.7}{41.5}\right)^3 = 0.35 \text{ cm なり。}$$

故に Euler 氏式に於ける柱の長さは

$$l = AB - 2\Delta = 40.8 \text{ cm}$$

依りて挫折荷重の計算上生ずる誤差は此場合には

$$1 - \left(\frac{40.8}{41.5}\right)^2 = 0.034$$

となりて大なる長さを有する柱に對しては誤差甚だ僅少なり。

Bauschinger 氏は尖端支持装置をなせる柱の實驗より次の結論を發表せり。

① Navier 氏式  $\sigma = \frac{P}{F} + \frac{P \cdot f}{W}$  によりて計算せし最大應力は現在の安全度の判斷に役立つたざること。

② 彈性線の測定は正弦曲線として其性質を確認せらる。

③ Euler 氏式より計算したる挫折強の値  $P_E$  が正當に測られたる時、適當なる限界、彈性限界を超へざる場合、挫折應力  $\sigma_k = \frac{P_E}{F}$  として認容せらる。

### 第三節 L. v. Tetmajer 氏の研究並に其實験公式

Tetmajer<sup>(9)</sup> 氏の研究は比例限界内に於ける Euler 氏公式の検討をなし轉じて比例限界を越したる場合に於ける變形の範圍に及び、主として實驗數値に基き挫折公式を作成せしものなり。

同氏の實驗に供したる材料は木材其他鐵材なるも茲には主として木材に關する試験に就き其概要を記述するものとす。

供試材は獨逸唐檜、獨逸樅、松、唐松及檜の主要建築材にして之等の一部は市販のものなるも其他は鬱閉密なる 80~100 年生の林分殊に石灰質土壤、粘板岩及花崗岩或は片麻岩質土壤

に成立せる林木より採材せしものなり。

壓縮試験に供せられし試材は一邊の長さ 10 cm の立方體にして髓を通り直交する二平面にて截斷したる二方柱のもの又挫折試験に供せられたる試材は一邊の長さ 10 ~ 16 cm の柱狀體にして其長さ 50 ~ 725 cm のものなり。而して叙上の供試材は熟材をとり、なるべく無節且正常生長をなせる氣乾材にして之を正しく所要の大きさに鉋削したるものなり。彈性關係に従ふべき事項は各試材に對する破壊試験並に彎曲試験を行ひ決定せり。尖端支持装置を施せる柱は水平位置に負荷せられしが實際自重の影響は僅少なりと報告せり。試材は加壓のため殊に柱端部壓縮せらるるも尖端支持装置なるが爲に摩擦モーメントの生ぜざりしは特に注目すべき事項の一つなり。

變形を測定するに彎曲の讀みを水平及垂直に  $1/10$  mm までの精密度を有する遊標附尺度を用ひたり。材料試験機はチューリツヒの材料試験所にあるヴェルデルの強弱試験機なり。

#### ① 理論的基礎に對する研究

Euler 氏理論は完全なる柱狀體にのみ適用せらるるが故に本試験の如き實用柱に於ては理論と可成の偏差を示せり即ち理論式による計算上の彎曲  $y_{\max} = \frac{a}{\cos \frac{1}{2} \sqrt{\frac{P}{EI}}}$  (a: 柱軸と

偏心荷重軸との距離, l: 柱體の長さ) と比較するに 18% 乃至 45% の相違を來せり。又中心荷重を受けたる壓縮柱に於ける彎曲は最初不規則に現る。中心荷重を受けたる壓縮柱は當初同一の應力状態にあり即ち緣應力  $\sigma_1, \sigma_2$  は中心應力  $\sigma_0$  と同一なり。

#### ② 建築材の實驗式に關する研究

實驗數 305 個中 171 個は尖端支持装置にして他の 134 個は平面支持装置なり。尖端支持装置に於ては尖端間の距離を自由なる挫折距離と看做し又平面支持装置に於ては柱長の半分を自由なる挫折距離となす。F. v. Emperger 氏は平面支持装置に於ては柱長の 0.7 倍を以て挫折距離とせり。

實驗調査せし事項は樹種、柱の大きさ、平均含水量、測定せし挫折強 P 並に挫折強度  $\sigma_k = \frac{P}{F}$  及 Euler 氏挫折強度等にして細長比は 1.7 ~ 190 の間にあり。

Tetmajer 氏は叙上の實驗に基き Euler 氏式の適用せらるる限界を確定せり即ち細長比 100 を以て限界となせり。

a) 細長比  $\frac{l}{i} > 100$  の場合

細長比  $\frac{l}{i} > 100$  を有する柱は彈性體に極めてよく類似し彎曲は規則正しく且荷重と共に

( 68 )

増加す而して木繊維の破壊せらるるに先だち負擔力の限界に到達す。木材中の枝節の影響は細長比の増加と共に減じ、細長比  $\frac{l}{i} \geq 150$  に至りて全く影響せざるに至る。同氏は細長比  $\frac{l}{i} > 100$  なる木柱に對し次の挫折強式を見出せり。

$$\sigma_k = 987 \left( \frac{l}{i} \right)^2 \text{ t/cm}^2$$

但し彈性係數 E を 100 t/cm<sup>2</sup> とせり。

b) 細長比  $\frac{l}{i} < 100$  の場合

斯る柱體に於ける變形は非彈性體と同様にして彎曲は規則正しく行はるる場合もあり又全く彎曲せざる場合もあり挫折荷重に達すれば突然破壊す。同氏は此範圍のものに對し直線式を採用し次式を得たり。

$$\sigma_k = 0.293 - 0.00194 \left( \frac{l}{i} \right) \text{ t/cm}^2$$

理論的見地より Tetmajer 氏式を觀れば二三の缺點あり。第一に應力と變形とが比例する範圍と然らざるものとを區別する限界に於て Euler 氏式と Tetmajer 式との經過が一定ならざること、次に Euler 氏式が其適用を失ふ細長比に於て比例限界に於ける應力は Tetmajer 氏の夫れと一致せざること、最後に細長比  $\frac{l}{i}$  が零なる場合、斯る特殊なる場合の存在する限り Tetmajer 氏式によれば壓縮應力と挫折應力とは同一となる。又一般に Tetmajer 氏式は細長比小なる柱に對しては稍小なる挫折應力を與へる。

#### 第四節 一般挫折公式並に Kármán 氏の研究

實驗的に誘導せられたる Tetmajer 氏の公式を合理的基礎の下に説明し、且特に細小なる柱と肥大なる柱とに於ける内部關係に適用せらるる挫折限界を算術的方法を以て説明せんとする試みは既に存在せしところなり。

挫折柱が比例限界外に於けるものと限界内に於けるものとは其趣を異にすることに關する説明は最初 F. Engesser<sup>(10)</sup> 氏により與へられ、後に Kármán<sup>(4)</sup> 氏の實驗により一般挫折定理が確認せられたり。之に關し以下説明せん。

危險荷重 P<sub>k</sub> に對する一つの式を設くるため、若し挫折應力  $\sigma_k = \frac{P_k}{F}$  が比例限界應力  $\sigma_0$  より大なりとせば荷重を受けたる柱體は或狀態となることを意味す。其狀態とは柱體が其眞直なる形を變じ初め極わづかに曲れる形所謂曲線狀となれるものを謂ふ。柱體の極わづかなる變形に於ける應力と變形との關係を表す函數は伸張或は壓縮試験に於ける此關係を表す函數と同様にフックの法則が適用せらるるものと看做し得べし。即ち

$$\sigma = E_0 \cdot \epsilon \dots \dots \dots (1)$$

E<sub>0</sub> は一般に應力  $\sigma$  に關係し材料の全應力範圍を含み、彈性的變形の範圍に於てのみ E<sub>0</sub> = E =

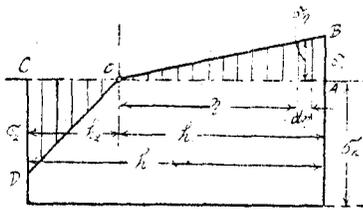
一定なり。

(1) 式を微分すれば

$$\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_0 + \varepsilon \cdot \frac{dE_0}{d\varepsilon}$$

微小なる数値  $\varepsilon \cdot \frac{dE_0}{d\varepsilon}$  を省略せば  $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_0$  となる。彎曲の起らざる範圍に於て、中心荷重を受けたる場合、應力は柱體の全横斷面に存在す。然し彎曲が生ずれば彎曲の中點の側に

第 一 一 圖



壓縮應力が加はる。第一一圖の O A B の面積は之を表す。此際中心纖維 (Nullfaser) が彎曲力率によりて何等の應力をも示さざるのみならず又横斷面の重軸纖維とも一致せざることは認めらるるところなり。

斯くして彎曲の中點の側に彈性限界を越へ、中心纖維よりの距離  $\eta$  に於ける變形に對し一般法則  $\sigma_\eta = E_0 \cdot \varepsilon_\eta$

が適用せらる。彎曲の中點の反對側には應力は減じ、(面積 O C D によりて表さる) 彈性的變形のみ逆に存在し茲にはフックの法則  $\sigma_\eta = E_0 \cdot \varepsilon_\eta$  が適用せらる。従つて同一状態に於ける應力  $\sigma_\eta$  は消失し其力率は外部力率  $M$  と一致せざるべからず。

$$\left. \begin{aligned} \int_0^F \sigma_\eta \cdot dF &= 0 \\ \int_0^F \sigma_\eta \cdot \eta \cdot dF &= M \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

Bernoulli の定理によれば

$$\varepsilon_\eta = \frac{\eta}{\rho}$$

但し  $\rho$  は曲率半径とす

故に

$$\left. \begin{aligned} \sigma_\eta &= E_0 \cdot \frac{\eta}{\rho} \dots\dots\dots \text{彎曲の中點の側} \\ \sigma_\eta &= E_0 \cdot \frac{\eta}{\rho} \dots\dots\dots \text{彎曲の中點に反對せる側} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (3)$$

特に縁に於ては

$$\sigma_1 = E_0 \cdot \frac{h_1}{\rho}$$

$$\sigma_2 = E_0 \cdot \frac{h_2}{\rho}$$

次に (2) 式より

$$\left. \begin{aligned} \int_0^A E_0 \cdot \frac{\eta}{\rho} \cdot dF + \int_0^C E_0 \cdot \frac{\eta}{\rho} \cdot dF &= 0 \\ \int_0^A E_0 \cdot \frac{\eta^2}{\rho} \cdot dF + \int_0^C E_0 \cdot \frac{\eta^2}{\rho} \cdot dF &= M \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (4)$$

(70)

正當なる小彎曲の許さるる限り  $E_0$  は積分に對して一定と看做さる。

今簡單にするため

$$\int_0^A \eta \cdot dF = S_A \quad ; \quad \int_0^A \eta^2 \cdot dF = I_A$$

$$\int_0^C \eta \cdot dF = S_C \quad ; \quad \int_0^C \eta^2 \cdot dF = I_C$$

の如く表せば

$$E_0 \cdot S_A + E \cdot S_C = 0 \dots\dots\dots (5)$$

$$E_0 \cdot I_A + E \cdot I_C = M \cdot \rho \dots\dots\dots (6)$$

(5) 式より中心纖維の位置が決定せらる而して斯様に決定したる中心纖維に對し物量力率  $I_A$  及  $I_C$  を計算し得べし。

今力率の關係は  $M = -P \cdot y$  にして彈性線の微分方程式は  $\frac{1}{\rho} \cong \frac{d^2y}{dx^2}$  なり。

故に 
$$\frac{d^2y}{dx^2} = - \frac{P \cdot y}{E_0 \cdot I_A + E \cdot I_C} \dots\dots\dots (7)$$

Euler 氏によりて表されたる形に於ける危險荷重は

$$\left. \begin{aligned} P_k &= \frac{\pi^2 \cdot T \cdot I}{l^2} \\ \sigma_k &= \pi^2 \cdot T \cdot \left(\frac{i}{l}\right)^2 \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (8)$$

蓋し  $T = \frac{E_0 \cdot I_A + E \cdot I_C}{I} \dots\dots\dots (9)$  と定むるならば Euler 氏式は (8) 式となる。而して此  $T$

を一般に任意の挫折應力に對する挫折係數と定義する。

(8) 並に (9) 式は比例限界を越へたる挫折強に對する挫折限界の計算に用ひらるるが最初 Engesser 氏によりて唱へられ1895年スイスの建築雜誌に發表せられたり。

Engesser 氏は以前に表せる近似定理に於て柱體の壓縮側と伸張側とに於ける彈性係數の相違を等閑に附し従つて係數  $T' = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} = E_0$  を挫折係數として紹介せり。

Engesser 氏の係數  $T'$  と Kármán 氏の算定せる  $T$  とを比較するに細長比  $\frac{l}{i}$  の大なるものには挫折應力に些少の影響を與ふれども細長比小なるものには相當大なる影響を與へ  $T$  の方  $T'$  より遙に觀測挫折應力に近し。

彈性的變形の範圍の場合、 $E_0 = E$  に對しては (5)~(9) 式の下に Euler 氏の挫折定理に従ふ。然し  $E_0 \neq E$  に對しては趣を異にせる關係を表す即ち比例を越へたる變形の範圍に於ける挫折限界は横斷面の形狀に關係するものなり。

幅  $b$ 、高さ  $h$  なる正角横斷面形を有する柱體の例をとりて挫折係數  $T$  の計算を示さんとす。

(5)式及(6)式は次の如くなる

$$E_0 \cdot h_1^2 + E \cdot h_2^2 = 0 \dots\dots\dots(5)$$

$$(E_0 \cdot h_1^3 + E \cdot h_2^3) \frac{b}{3} = M \cdot \rho \dots\dots\dots(6)$$

(5)式及  $h_1 + h_2 = h$  の条件より

$$h_1 = h \frac{\sqrt{E}}{\sqrt{E} + \sqrt{E_0}}, \quad h_2 = h \frac{\sqrt{E_0}}{\sqrt{E} + \sqrt{E_0}}$$

之を(6)式に挿入すれば

$$\frac{bh^3}{12} \cdot \frac{4E \cdot E_0}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_0})^3} = M \cdot \rho$$

$$\frac{bh^3}{12} = I, \quad \frac{4E \cdot E_0}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_0})^3} = T \text{ 並に } M = -P \cdot y, \quad \frac{1}{\rho} = \frac{d^2y}{dx^2} \text{ とせば}$$

$$\text{挫折力は } P_k = \frac{\pi^2 T \cdot I}{l^2} \dots\dots\dots(9)$$

となる。

直角横断面形に對して誘導されたる挫折係數  $T = \frac{4E \cdot E_0}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_0})^3}$  は  $E_0 : E$  の種々の値に就き計算さる。次表は其一例なり。

$E_0 : E$	1.0	0.5	0.1
T	1.0E	0.68E	0.23E

當初變形の法則に就て論議せし不安を除去する爲には挫折係數Tの値を定め以て比例限界を越へしものにまで保証し得る挫折式たらしめざるべからず従つて之等の挫折式をとり入れたる(8)式が必要となる。例へば木材に對し Tetmajer 氏式を基礎とせば

$$\sigma_k = \left[ 0.293 - 0.00194 \left( \frac{1}{i} \right) \right] \left( \frac{1}{\pi i} \right)^2 \dots\dots\dots(10)$$

となり細長比  $l : i$  に關係す

挫折應力  $\sigma_k$  の關係をとり入れ挫折係數 T を計算すること屢々有効なることあり。

$$\sigma_k = \pi^2 T \left( \frac{1}{l} \right)^2 \text{ (Euler) 及 } \sigma_k = \alpha - \beta \frac{1}{i} \text{ (Tetmajer) より } l : i \text{ の値を消去せば}$$

$$T = \frac{\sigma_k (\alpha - \sigma_k)}{\pi^2 \beta^2} \dots\dots\dots(11)$$

木材に對し(11)式を計算せば

$$T = \frac{\sigma_k (0.293 - \sigma_k)}{\pi^2 \cdot 0.00194^2}$$

斯くの如く決定したる挫折係數 T は Euler 氏式にて計算せらるると同時に Tetmajer 氏式を含む利益を有す。此方法は亦柱の兩端固定せる場合(8)式  $\sigma_k = \pi^2 T \left( \frac{1}{l} \right)^2$  に適用せらる。挫折應力を尖端支持の柱體の4倍なりと假定するは誤差多し。兩場合に於ける挫折應力關係は別表の如くなる。表中  $\sigma_k^I$  は尖端支持に於ける挫折應力、 $\sigma_k^W$  は兩端固定に於ける挫折應力を表

(72)

す。

細長比	1: i	176	150	100	50
應力 $\sigma_k^v : \sigma_k^I$ の関係		4.0	3.16	1.51	1.29

茲に細長比 1: i=176=2×88 は限界を表し此限界に於ては Kármán 氏の實驗に従へば挫折係數 T は同時に彈性係數 E に等し。上表により明かなる如く兩端固定の短柱に對する挫折應力は兩端固定の長柱より効果的ならずこのことは固定せる柱に對し柱長の半分を挫折長とする Tetmajer 氏式に由來するものなり。

### 第五節 Strand 氏の挫折式

1914年 Strand<sup>11)</sup> 氏は Tetmajer 氏の實驗の平均値に適合する挫折式を提出せり。

本式を得るため挫折應力に關する Euler 氏式より出發せん。

$$\sigma_k = \pi^2 \cdot E \left( \frac{i}{\lambda} \right)^2 = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \dots \dots \dots (1) \quad (\lambda = \frac{l}{i} = \text{細長比})$$

之を微分すれば

$$\frac{d\sigma_k}{d\lambda} = - \frac{2\pi^2 E}{\lambda^3} = -2 \frac{\pi^2 E}{\lambda^2} \lambda^{-1} = -2 \sigma_k \lambda^{-1} \dots \dots \dots (2)$$

Euler 氏式は彈性限界を越せば其値を變ずる常數 E を含む、故に此限界の上部に對しては使用し得ざるに至る。此彈性限界の上部に於ける状態に適合せしむるため(2)式の代りに展開せる關係を附加することにより普遍化を計らざるべからず

$$\frac{d\sigma_k}{d\lambda} = -A \cdot \sigma_k \cdot \lambda^{n-1} \dots \dots \dots (3)$$

茲に A 及 n は常數を表し近似的に決定せらる

(3) 式を積分すれば

$$\log \text{nat } \sigma_k = - \frac{A}{n} \cdot \lambda^n + C \dots \dots \dots (4)$$

C は積分常數にして

$$\left( \frac{1}{m} \right)^n = \frac{A}{n} \dots \dots \dots (4)^a$$

$$D = e^C \dots \dots \dots (5)^b$$

とせば

$$\sigma_k = \frac{D}{e \left( \frac{\lambda}{m} \right)^n} \quad (t/cm^2) \dots \dots \dots (5)$$

此普遍化されたる式に於て e は自然對數の基數, D, m, 及 n は係數にして次の如く決定せらる。

1) 係數 D の決定

(5) 式に於て  $\lambda=0$  とせば  $\sigma_k=D$  となる。即ち D は短柱の挫折應力なり。D は流動限

界を有する構材に対しては流動限界に等しく又本来流動限界なき構材に対しては壓縮強度に等し。之に従つて常數  $D$  は木材に對し  $0.265 \text{ t/cm}^2$  となる。

## 2) $n$ の決定

Kármán 氏の實驗結果に従つて次のことを假定し得べし。

挫折應力  $\sigma_p$  に相應する細長比  $\lambda_p$  に對する挫折應力曲線は比例限界と共に一つの變曲點 (Wendepunkt) を有す即ち此點の上と下とは曲線の向を異にす。此假定は (5) 式の二次微分係數を 0 とせば満足せらる。

$$\left(\frac{d^2 \sigma_k}{d \lambda^2}\right)_{\lambda=\lambda_p} = 0$$

故に (3) 式より次の條件が見出さる

$$\left(\frac{d^2 \sigma_k}{d \lambda^2}\right)_{\lambda=\lambda_p} = -A \cdot \sigma_k \cdot (n-1) \cdot \lambda_p^{n-1} + A^2 \cdot \sigma_k \cdot \lambda_p^{2n-2} = 0 \dots\dots\dots (6)$$

$$\text{之より } \lambda_p^n = \frac{n-1}{A} \dots\dots\dots (7)$$

(4)<sup>n</sup> 式と (7) とを乗すれば

$$\left(\frac{\lambda_p}{m}\right)^n = \frac{n-1}{n} \dots\dots\dots (8)$$

$\lambda: \lambda_p$  に對し挫折應力  $\sigma_k = \sigma_p$  なり故に (5) 式より

$$\sigma_p = D : e \left(\frac{\lambda_p}{m}\right)^n \dots\dots\dots (9)$$

此式の對數をとれば

$$\left(\frac{\lambda_p}{m}\right)^n = \frac{\log D - \log \sigma_p}{\log e} \dots\dots\dots (10)$$

依りて (8) 式及 (10) 式より

$$\frac{n-1}{n} = \frac{\log D - \log \sigma_p}{\log e} \dots\dots\dots (11)$$

## 3) $m$ の決定

$m$  の値は (5) 式によりて表されたる曲線の經路が Euler 氏の區分双曲線と一致すると云ふ條件より決定せらる。此一致點を坐標  $\lambda_m$  及  $\sigma_m$  によりて表せば

$$\sigma_m = \frac{\pi^2 E}{\lambda_m^2} = D : e \left(\frac{\lambda_m}{m}\right)^n \dots\dots\dots (12)$$

は縦軸に等しく

$$\left(\frac{d \sigma_k}{d \lambda}\right)_{\lambda=\lambda_m} = -2 \sigma_m \cdot \lambda_m^{-1} = -n \cdot \left(\frac{1}{m}\right)^n \sigma_m \cdot \lambda_m^{n-1} \dots\dots\dots (13)$$

は一致點に於ける兩曲線の切線の交點に等し (12) 式及 (13) 式を  $m$  及  $\lambda_m$  に従つて解き、 $D$  及  $n$  の値を挿入せば、常數  $m$  の値は木材の如き  $n=2$  のものに對し

$$m = \lambda_m = \pi \sqrt{\frac{E \cdot e}{D}} \dots\dots\dots (14)$$

となる。

(74)

木材の弾性係数  $E=100 \text{ t/cm}^2$  とせば  $m$  の値は 101 となり同時に細長比  $\lambda_m$  が決定せらる。

木材に対し前述の数値を用ひ  $\sigma_k = \frac{D}{e \left(\frac{\lambda}{m}\right)^n}$  に適用して  $\lambda$  の各異の値に對する挫折應力を求むれば次の如し

$$D=0.265 \text{ t/cm}^2, e=2.718, \lambda=\text{細長比}, m=101 \quad n=2$$

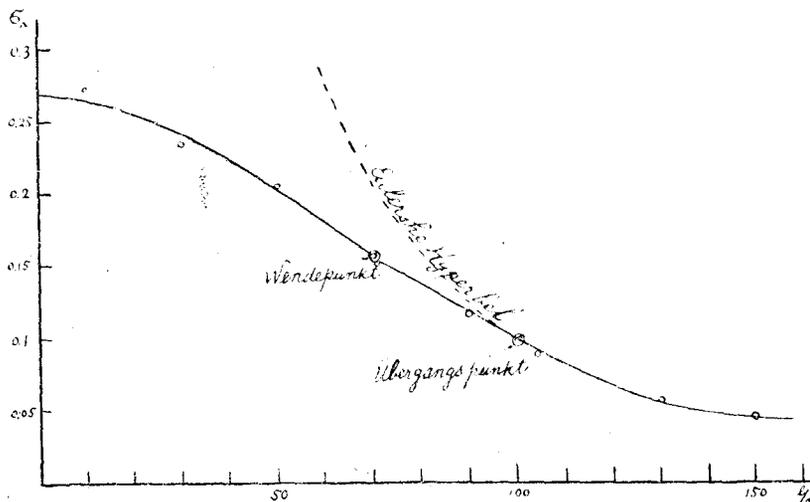
$$\lambda=101 \text{ の時} \quad \sigma_k=0.097 \text{ t/cm}^2$$

$$\lambda=50.5 \text{ の時} \quad \sigma_k=0.206 \text{ t/cm}^2$$

$$\lambda=25.25 \text{ の時} \quad \sigma_k=0.249 \text{ t/cm}^2$$

木材に對する  $\lambda_m=101$  は細長比限界にして之を超へるものに對しては Euler 氏式を適用すべきなり。

第一二圖



第一二圖は木材に對する挫折應力と細長比との關係を表したるものにして常數  $D=0.265$ ,  $m=101$ ,  $n=2$  とせる(5)式を適用し計算せるものなり。其他此圖に表れたる點は Tetmajer氏の實驗に於ける區分平均値と一致す。是に由つて觀るも Strand 氏の挫折式と Tetmajer 氏の實驗とは明かによく一致せり。實際の計算上 Strand 法は稍冗長に亘る嫌あるが故に簡單なる Tetmajer 氏式が採用せらるるところなり。

## 後編 實 験

## 第一章 試 験 方 法

## 第一節 供 試 材

## 第一項 供試木の選定

供試木は北海道天鹽國中川郡上音威子府北海道帝國大學附屬第一演習林有賀の澤産なり。有賀の澤は同演習林上音威子府事業區第六林班に相當し、海拔約70~110米を占め、古生層に屬し砂岩、粘板岩、輝綠岩及凝灰岩等を以て基岩とす。土地は概ね平坦なれども斷崖地も稀に存す。土壤は前記諸岩の風化による埴質壤土にして粗腐植土其上部を覆ひ適潤地なり。林相はトドマツと潤葉樹との混淆天然林にして其混淆比率は本數に於て5:5、材積に於て4:6となりトドマツの材積毎ヘクタール約150立方メートルなり。潤葉樹はナラ、セン、シナ、キハダ、カバ等を主し、トドマツ其間に點生す。一般に枯損、風倒木所々に散在し、鬱閉疎開し林相良好ならず演習林中の中庸の部に屬す。

供試木の選定に當りては先づ胸高直徑24吋以上の優勢木150本に付胸高直徑を測定し横斷面積合計を求め更に其平均より平均直徑(34.8mm)を算出し、此平均直徑に近似せる胸高直徑を有し樹冠の發育齊一にして枝下長き無障の立木4本を選出したり。此選出したる各供試木に就き調査せる事項を表示せん。

調査事項 供試木番號	樹 齡	胸 高 直 徑	樹 高	樹冠の大きさ (米)		枝 下 の 長 さ	形 率	シル ツの フ形 エ率	海 拔 高	立 地 の 状 況
				東	南					
				西	北					
I	166	36	26.00	9.00	9.03	10.91	0.69	0.46	103	供試木Ⅰの成立せる個所は西南に二十度傾斜せる地にして周圍にトドマツの小徑木稍密に生ず。 供試木Ⅱの成立せる個所は北方に四十度、西方に二十五度の傾斜地にしてナラ、イタヤ、カバ等の潤葉樹を以て圍繞せらる。 供試木Ⅲの成立せる個所は平坦地にしてトドマツの小徑木密生す。 供試木Ⅳの成立せる個所は南方に三十度の傾斜地にして周圍にトドマツの小徑木點生す。
II	170	37	27.30	7.42	6.52	14.42	0.68	0.43	106	
III	140	35	25.61	6.73	6.76	8.18	0.67	0.46	94	
IV	117	33	23.33	7.61	8.00	9.88	0.69	0.44	91	

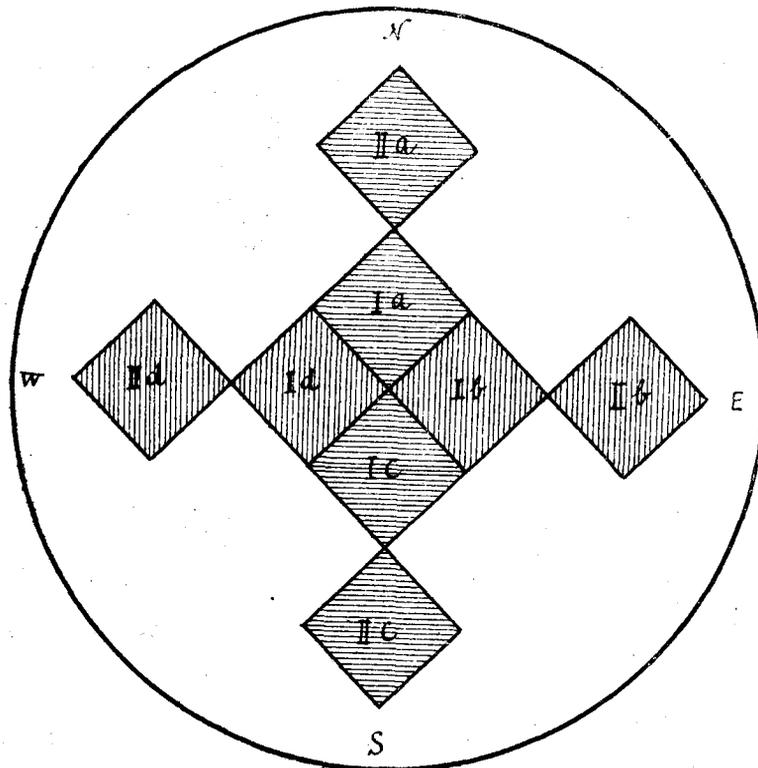
### 第二項 供試木の造材

選定したる供試木に其向へる方位を記入したる後孰れも地上1米の部分より伐採し、運搬の便宜上之を長さ3.6米宛3本の皮付丸太に造材し供試木とせり。玉切りたる供試木の末口には供試木番號並に方位を記入す而して元口及末口兩断面には含有水分の急速の蒸發によりて誘引せらるる乾裂を防ぐためワゼリンを塗布し最大の注意を拂ひて上音威子府驛土場に搬出し直ちに菰包となし貨車積みとして札幌驛に運搬せしめたり。

### 第三項 供試材片の木取

札幌驛に到着したる供試木は直ちに製材場に搬入し末口に記載せる方位を基準とし樹心を通じ互に直交する二平面により縦斷し、一邊の長さ13呎を有する4個の柱となし約一ケ年間北海道帝國大學農學部附屬木材強弱試驗場内材料置場に於て天然乾燥に附したる後再び製材場に委託し第一三圖の如く一邊の長さ5.2呎の柱に縦斷せり。之等の柱は元口より順次に節の影響ある部分を避け長さ5呎、10呎、20呎、30呎、40呎、50呎、60呎、80呎、100呎、120呎なる十種類の短柱及長柱に鋸斷し、邊長5呎、長さ前記の十種類の寸法に可及的正確に鉋削し供試材となしたり。斯くして作製せる供試材片數は供試木4本の各々より8個の柱を採取し、各柱より十種類の供試材に截斷したるを以て同長を有する材片32個總計320個となれり。

第一三圖



供試材片の記號に就きては分數の形式を以てす、分子は長さの相違を表し分母 I…IV は立木を、a…d は方位を示し、分數の右邊に附したる記號 I 及 II に就きては I は樹心に近き部分、II は樹皮に近き部分を表せり又成立當時の方位を示せる附號 a, b, c, d に就きては a は北、b は東、c は南、d は西を示すものとす。

## 第二節 含水量及比重の測定

含水量、比重は樹種の相違は勿論同一樹種に在りても採取せる各材片により殆んど異なるを常とす而して之等の因子は木材の強度と頗る緊密なる關係にあるを以て木材の強度の研究には必ず之等の因子を度外視し能はざるものなり。

含水量、比重の測定は短柱は其儘長柱に於ては實驗直後破壊箇所近接し且健全なる部分より破壊部の兩側に於て二個長さ 2.5 糎の方盤材片を採材し試験に供したり。

重量の測定は感量 1/100 瓦を有する天秤を以てし又體積は供試材の縦、横及長さを 1/20 耗まで読み得る遊標附尺度にて測定し是より平均の縦、横及長さを計算し夫等の相乘積を以て算出せり。

供試材の全乾状態に於ける重量及體積の測定に當りては電氣恒温乾燥器<sup>1)</sup>を使用し供試材片を該器内に併列し 100~105°C の定温の下に二晝夜<sup>2)</sup>乾燥を持続したる後之を硝子製乾燥器<sup>3)</sup>(Exsikkator)に移し材片の冷却するを待ちて試験に供したり。

供試材片の含水量及比重の算定には次式を用ひたり。

$$S_{\varphi} = \frac{G_{\varphi}}{V_{\varphi}} \times 100$$

$$S_0 = \frac{G_0}{V_0} \times 100$$

$$\varphi = \frac{G_{\varphi} - G_0}{G_0} \times 100$$

$S_{\varphi}$  は含水量  $\varphi$  % に於ける供試材の比重

$G_{\varphi}$  及  $V_{\varphi}$  は含水量  $\varphi$  % に於ける供試材の重量 (瓦) 及體積 (立方糎)

- 1) 電氣恒温乾燥器は内容 90×80×50 糎にして外部に保温の設備あり電熱によりて所要の恒温に達せしむ。恒温に達すれば自動的に電熱を遮斷する装置ありて器内を常に一定の溫度に保持す。空氣は乾燥器の下部より流入し器内を循環して上部より流出す。
- 2) 氣乾状態となりたる小材片 (5×5×2.5 糎) を電氣乾燥器にて乾燥する場合 100~105°C の下に於て當初は重量の減少を見たりしも二晝夜後には重量減少せざるに至る依りて之を全乾状態と看做せり。
- 2) 硝子製乾燥器は直径 36 糎、高さ 50 糎の圓筒製にして鹽化カルシウム約 2000 瓦を入れたるものなり。本器を使用する所以は材片を高温乾燥に供する時材中の空氣は膨脹のため稀薄となり従つて重量、容積に相違を來すがため之を冷却し常態に復せしむるが故なり。

(78)

$S_0$  は供試材の全乾比重

$G_0$  及  $V_0$  は全乾状態に於ける供試材の重量 (瓦) 及體積 (立方糎)

$\varphi$  は供試材の含水量 (%)

### 第三節 試験機及補助装置

#### 第一項 試験機

本試験に使用せる試験機は瑞西國シヤフハウゼン (Schaffhausen) 市アムスラー會社 (Alfred J. Amsler & Co.) 製油壓式にして最大荷重150噸, 最小50砵迄測定し得るものなり。以下試験機に就きて略述せんとす。

##### 1) 三呷子呷笛

電動機に依り呷笛の三呷子を運轉すれば油槽中の機械油は加壓盤及振子壓力計に接続する細管に向ひて壓出さるるが故に加壓盤を壓し連続的に荷重を加ふると共に壓力計に感ずるものなり而して加壓速度の調節操作は凡て開閉装置を使用す。

##### 2) 加 壓 盤

加壓盤は斷面  $31.5 \times 31.5$  糎の鑄鋼製加壓板二個を有し, 一は供試材の高さに應じて上下に移動し又適宜の位置に固定し得べく, 他は呷笛より壓出せられたる油の壓力によりて上方に滑動し得る圓筒に固定す。

##### 3) 振子壓力計

呷笛より壓出されたる油の壓力は鋼製振子に作用して之を傾斜せしむ, 其程度は直ちに中央に存する目盛盤の指針に感ずるを以て之によりて荷重の大小を測定し得るものなり。振子に附屬する分銅は荷重の大小階級に應じて其位置を變じ得べく該階級は15, 50, 100, 150噸に分たれ各階級により目盛盤を異にす。

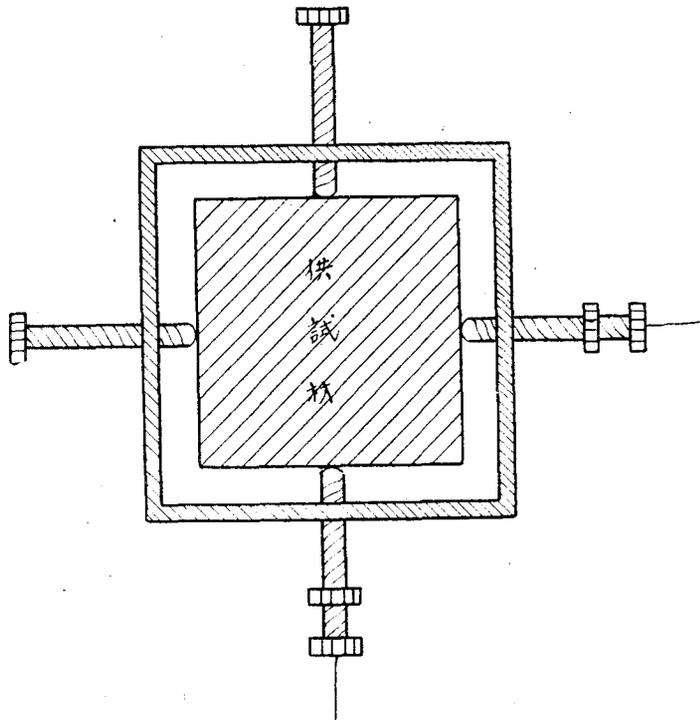
#### 第二項 彎曲度測定器 (Verbiegungsmesser)

壓縮試験に於て供試材の長さが邊長の一定數倍以上に達する時供試材は荷重のため壓縮 (verkürzen) せらるると同時に側方に彎曲せらる。本器は材の中央部に於ける側方に彎曲せらるる度合即ち彎曲度 (Verbiegung) を測定せんがために考案せしものにして一個の取付棒及二本の分銅付綱並に二個の目盛盤より成る。

##### 1) 取 付 棒 (第 I 圖版, 第 II 圖版参照)

取付棒は第一四圖の如く厚さ3糎, 幅9糎, 邊長7糎の鋼鐵製の棒の中央に直徑5糎, 長さ3.5糎の螺旋を備へたるものにして此棒は供試材の大小に應じ螺旋によりて固定せられ, 螺旋の先端は材に突き入るを防ぐため鈍頭をなせり。

第一四圖



## 2) 分銅付綱

分銅付綱は第一四圖の如く取付棒の相隣れる二個の螺旋より出で、目盛盤の轆子に達し分銅（重量 176 瓦）によりて垂下せる直径 0.4 耗の綱にして木綿糸を以て滑かに被覆せる銅線なり。此分銅綱は供試材の彎曲度を其儘正確に目盛盤に傳ふるを目的とするが故に綱に伸張性なく且つ滑らざるものたるを要す。

## 3) 目盛盤（第 I 圖版、第 II 圖版参照）

目盛盤は分銅付綱によりて傳へられたる彎曲度を擴大して表す装置にして上方を 0 とし左右に 400 に目盛をなし、目盛は彎曲度 0.1 耗<sup>\*</sup>を表すが如くなせり而して綱は常に水平たるを要すべく且彎曲度測定箇所は供試材の中央なるを以て材の長短に應じ目盛盤を上下に移動せしむるを要す故に第 I 圖版に示せるが如く圓棒を加壓盤の圓筒に附屬せる軌條型臺に緊螺旋によりて垂直に取付け之に目盛盤を緊螺旋によりて固定せり依りて圓棒は適宜に上下に移動し得ると共に目盛盤も圓棒に沿ふて適宜移動し得るものなり。

以上の装置によりて供試材の左右の彎曲度は目盛盤 I の左右の讀數、前後の彎曲度は目盛盤 II の左右の讀數によりて測定することを得べし。

試験實行に際しては目盛盤の指針は常に目盛 0 に合致せしめ又分銅付綱の緊張距離は常に

57種に保たしめたり。

\*) 微動装置付尺度に分銅付綱を固定し目盛盤に装置し尺度を一定数移動せしめて目盛盤の表す目盛を検定したる結果は次の如し。

目 盛 盤 I						目 盛 盤 II					
右			左			右			左		
觀測回数	距離(耗)	指數									
1	2	20.5	1	2	19.0	1	2	19.5	1	2	19.0
2	〃	18.0	2	〃	20.0	2	〃	19.0	2	〃	20.0
3	〃	19.0	3	〃	19.5	3	〃	19.5	3	〃	19.5
4	〃	18.0	4	〃	20.0	4	〃	20.0	4	〃	20.0
5	〃	18.0	5	〃	19.8	5	〃	19.5	5	〃	19.0
6	〃	21.5	6	〃	21.0	6	〃	19.5	6	〃	19.0
7	〃	19.0	7	〃	19.7	7	〃	19.5	7	〃	19.0
8	〃	20.0	8	〃	20.0	8	〃	20.0	8	〃	20.0
9	〃	19.5	9	〃	19.5	9	〃	20.0	9	〃	20.5
10	〃	20.0	10	〃	20.0	10	〃	20.0	10	〃	20.0
平均	〃	19.35	平均	〃	19.85	平均	〃	19.65	平均	〃	19.60
指數 $1 \div 0.1$ 耗			指數 $1 \div 0.1$ 耗			指數 $1 \div 0.1$ 耗			指數 $1 \div 0.1$ 耗		

### 第三項 支持装置

長柱の強度は兩端支持の方法により大に其趣を異にするものにして今兩端支持の方法と強度の相違を理論公式より示せば次の如し。

兩端支持の方法が一端固定他端自由，兩端自由，一端固定他端自由に支へらる，兩端固定の各場合に於ける強度の比は 0.25 : 1 : 2.05 : 4 なり。斯の如く理論に於ては兩端支持により其數値判然とせるが故に實驗に際し供試材を單に加壓盤によりて壓縮せば其兩端支持の方法は前記の孰れに相當するや甚だ疑問たるを免れざるものなり。而して此兩端支持装置を等閑に附し實驗を施行せば其數値を理論公式に比較すること能はざるものなり。之れあるが故に從來多數の學者が實驗に際し支持装置に苦心を拂ひたるるところにして著者も亦工夫を凝らさざるを得ざりしところなり。

本實驗に用ひし方法は供試材の兩端を鋼製半球によりて支へ自由ならしめしものにして第 I 圖版に示せるが如く半球は之を包むが如き鋼製臺座によりて保持せられ，下方臺座は單に加

壓盤の中心に載せし儘なるも上方に於ける臺座は緊螺旋によりて加壓盤の中心に固定せらる。使用の際は上方の半球をして臺座より分離せしめ直接加壓盤に接觸せしめ得べき装置によりて兩端を自由ならしむ。又該装置によりて供試材の中心は常に半球の中心並に加壓盤の中心と一致することとなれり。

## 第二章 試 験 成 績

### 第一節 含 水 量

樹木は其生活源泉として樹根より吸收せる水分即ち樹液を多量に含有す其量は樹種によりて相違あるは勿論季節によりて異なるも大約50%と稱せらる而して樹液中には微量なりと雖も澱粉、糖類、護膜類、酸類等の有機物あり、之等の樹液は細胞内容物として又細胞間隙物質として存在す。樹木が伐採せられたる後も樹液は依然存在し普通含有水分と稱せられ含水量なる名稱に於て表さる。木材の含水量は伐採後時日の経過と共に漸次減少するも一定限界に達すれば環境即ち氣象關係に影響せられて増減をなすものにして人工乾燥に依るにあらざれば長年月を経過すと雖も尙存するものなり。含水量が斯の如く環境によりて變化することは材の構造と相俟つて益々其性質を複雑ならしめ殊に物理的並に機械的性質に重大なる影響を及す、故に木材の工藝的性質を研究せんとせば含水量を度外視し能はざるものにして含水量の記載なき比重、強度の數値は何等の價値なし又異なる供試材に於て著しく含水量の相違せる場合には其比重、強度を彼此比較すること能はざるべし。故に木材の比重、強度は一定の含水量の下に於て表すべきものにして普通氣乾状態を標準とす。然るに木材の含水量は前述の如く氣象關係により變化するものにして氣乾状態と雖も一定することなし茲に於て1906年 ブラツセル 市に開催せられたる萬國材料試驗會議に於て氣乾状態に於ける含水量の標準を統一せんとするの議唱へられ幾多論議の結果遂に15%を以て法正含水量 (Normal Wassergehalt) と定められたり。

本試験場に於ても季節により含水量に多少の相違あるは免れざる所にして本試験に採用せし材料に就きて觀るに供試材を暖房装置ある材料置場に保存せしがため最小 11% 最大 14.49% 平均 12.95% となりたり。素より萬國協定の法正含水量との相違著しきため之を以て法正含水量と看做すこと能はず、茲では之を平均含水量となし各種の實驗成績を此含水量の下に換算し比較することとせり。

今供試材の長さ別に測定平均せる含水量を掲記せば次表の如し。

供試材の長さ (糶)	含水量 (%)	供試材片數
4.956	12.78	32

供試材の長さ ( ㎝ )	含水量 (%)	供試材片數
9.995	13.19	32
27.969	12.97	"
37.863	12.57	"
47.905	13.22	"
57.909	12.93	"
67.894	12.94	"
87.934	12.92	"
107.950	12.92	"
127.950	13.04	"
平均	12.95	

## 第二節 比 重

### 第一項 比重と含水量との關係

木材の比重と含水量との關係に就きては古來幾多の研究あり就中 Chevandier 及 Wertheim<sup>(13)</sup> の兩氏は佛國產木材に就き 比重と含水量との關係を次の方程式を以て示す得べきを明にせり。

$$s = S [1 - k(F - f)]$$

但し  $s$ : 含水量  $f$  に於ける木材の比重

$S$ : 含水量  $f$  より大なる含水量下に於ける比重

$k$ : 1%の含水量の變化に伴ふ比重變化の係數

$k$  の値は兩氏の實驗に従へば次の如し

樹 種	$k$ の 値
モ ミ	0.01034
マ ツ	0.01056
シ デ	0.00743
ブ ナ	0.00486
カ へ デ	0.00423
ド ロ	0.00230

Bauschinger<sup>(14)</sup> 氏は獨逸產唐檜及樅材に就き次の關係式を發表せり。

$$S = S_0 [1 + 0.006(\varphi - 12)]$$

但し  $S$ : 含水量  $\varphi$  %に於ける比重

$S_0$ : 含水量12%に於ける比重

Janka<sup>(15)</sup>氏は奥國産唐檜材に就き法正含水量を15%とし全乾比重( $S_0$ )と法正氣乾比重( $S_{15}$ )との關係を次式を以て示せり。

$$S_{15}=1.02S_0+2.2$$

又任意含水量( $\varphi\%$ )に於ける比重 $S_\varphi$ との間には次の關係式の成立することを示せり。

$$S_{15}=S_\varphi+(0.00133S_0+0.147)(15-\varphi)$$

宮井健吉、大澤正之<sup>(16)</sup>兩氏は北海道天鹽産トドマツ材(正方體)に就き全乾比重と法正含水量に於ける比重との關係式並に任意含水量に於ける比重を法正含水量に於ける比重に換算する式を次の如く發表せり。

$$S_{1.0}=1.089841S_0-0.299751$$

$$S_{15}=S_\varphi+(0.0059894S_0-0.0199834)(15-\varphi)$$

更に大澤正之<sup>(17)</sup>氏は北海道北見産トドマツ材及エゾマツ材に就き次式を示せり。

$$\text{トドマツ材} \begin{cases} S_{15}=1.035745S_0+1.209795 \\ S_{15}=S_\varphi+(0.002383S_0+0.080653)(15-\varphi) \end{cases}$$

$$\text{エゾマツ材} \begin{cases} S_{15}=1.029745S_0+2.072010 \\ S_{15}=S_\varphi+(0.001983S_0+0.138134)(15-\varphi) \end{cases}$$

藤林誠<sup>(18)</sup>氏は臺灣産吉野杉、木曾扁柏及暹羅産チーク材に就き次式を發表せり。

$$\text{杉} \begin{cases} S_{16}=1.13149S_0+0.79696 \\ S_{16}=S_\varphi+(0.008218S_0+0.04180)(16-\varphi) \end{cases}$$

$$\text{扁 柏} \begin{cases} S_{16}=1.21568S_0-2.22592 \\ S_{16}=S_\varphi+(0.01348S_0-0.13912)(16-\varphi) \end{cases}$$

$$\text{チ ー ク} \begin{cases} S_{16}=1.13696S_0+1.23968 \\ S_{16}=S_\varphi+(0.008656S_0+0.07748)(16-\varphi) \end{cases}$$

田中勝吉<sup>(19)</sup>氏は樺太保呂産トドマツ材に就き次式を示せり。

$$S_{15}=1.139S_0+0.369$$

$$S_{15}=S_\varphi+(0.02459+0.00925S_0)(15-\varphi)$$

以上の諸式は孰れも基礎觀念同一にして理論を同うせるも唯法正含水量を異にせると比重變化の係數の表示方法を異にせるに過ぎざるものなり。

本實驗に於ても大體是等の研究と合致するものにして變化係數を全乾比重の函數として表すこととせり。

本試驗に於て測定せし含水量並に之に伴ふ氣乾比重及全乾比重の最大、最小及平均値を供

試材の長さ別に附表第一より抜萃して示せば次の如し。

供試材 の長さ	含水量 (%)			氣乾比重 (100倍)			全乾比重 (100倍)		
	最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均
4.956	13.46	12.11	12.78	43.13	32.64	38.28	40.84	30.25	35.93
9.995	13.76	12.59	13.19	43.24	31.13	38.21	40.81	28.73	35.90
19.969	13.50	12.46	12.97	42.42	33.11	38.50	40.25	30.70	36.17
29.863	13.87	12.13	12.57	43.75	30.14	38.64	40.41	28.02	36.05
39.905	14.36	12.42	13.22	44.35	33.10	38.48	41.77	30.66	36.09
49.909	13.90	12.30	12.93	42.83	33.50	39.07	40.20	30.99	36.76
59.894	13.87	11.00	12.94	43.30	35.67	38.80	40.18	33.08	36.57
79.934	14.49	11.97	12.92	42.87	32.67	38.07	40.46	29.87	35.46
99.950	13.67	12.09	12.92	42.44	32.91	38.07	39.93	30.32	35.51
119.950	14.13	12.24	13.04	42.43	33.52	38.08	39.81	31.03	35.49
平均			12.95			38.42			35.99

第二項 任意含水量に於ける比重を平均含水量

(12.95%) の下に換算する方法

含水量と比重との關係は既往諸學者の研究によるに孰れも含水量 0 ~ 30% の間に於ては殆んど直線的なりと看做し得るを以て本試験に於ても含水量と比重との關係は次式を採用し得べし。

$$\frac{S_{\varphi} - S_{\varphi'}}{\varphi - \varphi'} = k \text{ (變化係數)}$$

但し  $\varphi, \varphi'$  は含水量にして  $S_{\varphi}, S_{\varphi'}$  は夫々  $\varphi, \varphi'$  に該當する比重とす。

$$S_{\varphi'} = S_{\varphi} + k(\varphi' - \varphi) \dots \dots \dots (1)$$

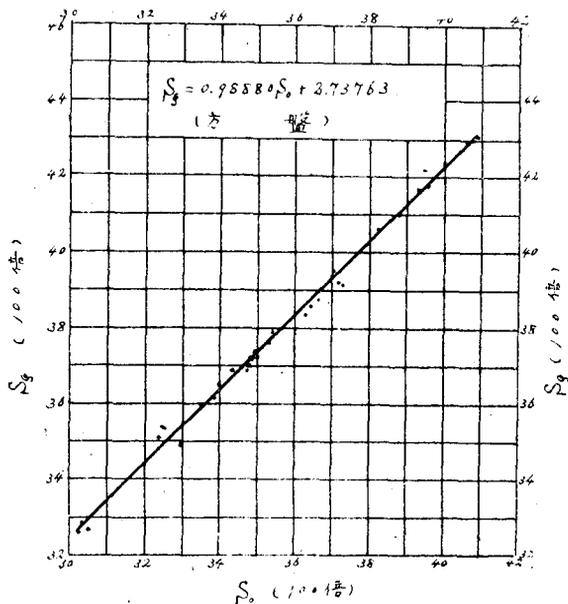
(1) 式に於て  $\varphi'$  に對し平均含水量

12.95 を代入せば

$$S_{12.95} = S_{\varphi} + k(12.95 - \varphi) \dots \dots \dots (2)$$

(2) 式に於て係數  $k$  を決定すれば任意含水量に於ける各供試材片の比重を直ちに平均含水量 (12.95%) の下に換算し得べし然るに  $k$  は  $S_0$  の大きさに従ひ異りたる數値を示すを以て先づ  $k$  の範

第一五圖 全乾比重 ( $S_0$ ) と氣乾比重 ( $S_{\varphi}$ ) との關係  
 $S_0$  (100倍)



圍を定めざるべからず而して之を求むるには平均含水量に近き11~14%の間にある多數の供試材片を選定し全乾比重と氣乾比重との關係を求めざるべからず。

今全乾比重を横軸に氣乾比重を縦軸にとりて表せば第一五圖の如し。

第一五圖を觀るに直線的關係と看做し得べきを以て全乾比重と氣乾比重との關係は次式が成立し得べし。

$$S_{\varphi} = a + b S_0 \dots\dots\dots (3)$$

(3) 式の  $S_{\varphi}$  及  $S_0$  に夫々實驗數値を與へ最小自乘法により常數  $a$  及  $b$  を算出し之を (3) 式に挿入せば A 表の式の如し。

A 表

番號	供試材の長さ (糶)	全乾比重と任意含水量に 於ける比重との關係式	番號	供試材の長さ (糶)	全乾比重と任意含水量に 於ける比重との關係式
1	4.956	$S_{\varphi} = 2.73763 + 0.98880 S_0$	6	49.909	$S_{\varphi} = 0.84014 + 1.04008 S_0$
2	9.995	$S_{\varphi} = 2.65754 + 0.99042 S_0$	7	59.894	$S_{\varphi} = 1.34779 + 1.03825 S_0$
3	19.969	$S_{\varphi} = 2.25603 + 1.00220 S_0$	8	79.934	$S_{\varphi} = 3.68213 + 0.96896 S_0$
4	29.863	$S_{\varphi} = 2.48320 + 1.00291 S_0$	9	99.950	$S_{\varphi} = 3.34636 + 0.97786 S_0$
5	39.905	$S_{\varphi} = 4.22298 + 0.94914 S_0$	10	119.950	$S_{\varphi} = 3.16853 + 0.98367 S_0$

上表の實驗式に依る  $S_{\varphi}$  の計算値と實測値より誤差關係を考察するに誤差の配分全く均一にして平均誤差亦大ならざるを以て本表の式に依り  $S_{\varphi}$  と  $S_0$  との關係を律するも差支へなかるべし然るに前表の式の  $a$  及  $b$  の決定に當り使用したる供試材の含水量の範圍及其平均値は B 表の如し。

B 表

番號	供試材の長さ (糶)	含水量の範圍 (%)	平均含水量 (%)	番號	供試材の長さ (糶)	含水量の範圍 (%)	平均含水量 (%)
1	4.956	12.11~13.46	12.78	6	49.909	12.30~13.90	12.93
2	9.995	12.59~13.76	13.19	7	59.894	11.00~13.87	12.94
3	19.969	12.46~13.50	12.97	8	79.934	11.97~14.49	12.92
4	29.863	12.13~13.87	12.57	9	99.950	12.09~13.67	12.92
5	39.905	12.42~14.36	13.22	10	119.950	12.24~14.13	13.04

A 表の式の  $\varphi$  に B 表の平均値を與ふれば次式を得

$$S_{12.78} = 2.73763 + 0.98880 S_0$$

$$S_{13.19} = 2.65754 + 0.99042 S_0$$

( 86 )

$$S_{12.97}=2.25603+1.00220 S_0$$

$$S_{12.97}=2.48320+1.00291 S_0$$

$$S_{13.22}=4.22298+0.94914 S_0$$

$$S_{12.93}=0.84014+1.04008 S_0$$

$$S_{12.94}=1.34779+1.03825 S_0$$

$$S_{2.92}=3.68213+0.96896 S_0$$

$$S_{12.92}=3.34636+0.97786 S_0$$

$$S_{13.04}=3.16853+0.98367 S_0$$

次に本実験に於て現れたる全乾比重の最大、最小の階級は C 表の如し。

C 表

番 號	供試材の長さ (糶)	全乾比重 (100倍)		番 號	供試材の長さ (糶)	全乾比重 (100倍)	
		最 小	最 大			最 小	最 大
1	4.956	30	41	6	49.909	31	40
2	9.995	29	41	7	59.894	33	40
3	19.969	31	40	8	79.934	30	41
4	29.863	28	40	9	99.950	30	40
5	39.905	31	42	10	119.950	31	40

此 C 表の數値を上式の  $S_0$  に夫々代入し平均含水量に於ける比重を求むれば D 表の如し。

D 表

番 號	供 試 材 の 長 さ (糶)	平均含水量に於ける比重 (100倍)		番 號	供 試 材 の 長 さ (糶)	平均含水量に於ける比重 (100倍)	
		全乾比重最 小なる場合 (S')	全乾比重最 大なる場合 (S'')			全乾比重最 小なる場合 (S')	全乾比重最 大なる場合 (S'')
1	4.956	32.40	43.28	6	49.909	33.08	42.44
2	9.995	31.38	43.26	7	59.894	35.61	42.88
3	19.969	33.32	42.34	8	79.934	32.75	43.41
4	29.863	30.56	42.60	9	99.950	32.67	42.46
5	39.905	33.65	44.09	10	119.950	33.66	42.51

D 表の數値より變化係數 k を

$$k = \frac{S_p - S_{p'}}{\varphi - \varphi'} \quad \text{によりて求むれば E 表の値を得}$$

## E 變

番 號	供 試 材 の 長 さ ( 糧 )	變 化 係 數 k の 値		番 號	供 試 材 の 長 さ ( 糧 )	變 化 係 數 k の 値	
		全 乾 比 重 最 小 なる 場 合 ( S' )	全 乾 比 重 最 大 なる 場 合 ( S'' )			全 乾 比 重 最 小 なる 場 合 ( S' )	全 乾 比 重 最 大 なる 場 合 ( S'' )
1	4.956	0.18779	0.17840	6	49.909	0.16087	0.18871
2	9.995	0.18044	0.17134	7	59.894	0.20170	0.22257
3	19.969	0.17887	0.18042	8	79.934	0.21285	0.18653
4	29.863	0.20366	0.20684	9	99.950	0.20666	0.19040
5	39.905	0.20045	0.15809	10	119.950	0.20398	0.19248

斯の如く全乾比重が C 表の如く變化する限り k も亦 E 表の數値の間を往來するものなるを示す。

此變化係數と全乾比重との變化關係を直線的と看做せば

$$k = a' + b'S_0$$

となる。

本式の k 及  $S_0$  に夫々實數を與へて  $a'$  及  $b'$  を求をれば F 表の如し。

## F 表

番 號	供 試 材 の 長 さ ( 糧 )	實 驗 公 式	係 數
1	4.956	$0.18779 = a' + b'30$ $0.17840 = a' + b'41$	$a' = 0.213399$ $b' = -0.000854$
2	9.995	$0.18044 = a' + b'29$ $0.17134 = a' + b'41$	$a' = 0.202431$ $b' = -0.000758$
3	19.969	$0.17887 = a' + b'31$ $0.18042 = a' + b'40$	$a' = 0.173531$ $b' = 0.000172$
4	29.863	$0.20366 = a' + b'28$ $0.20684 = a' + b'40$	$a' = 0.196240$ $b' = 0.000265$
5	39.905	$0.20045 = a' + b'31$ $0.15809 = a' + b'42$	$a' = 0.319821$ $b' = -0.003851$
6	49.909	$0.16087 = a' + b'31$ $0.18871 = a' + b'40$	$a' = 0.064977$ $b' = 0.003093$
7	59.894	$0.20170 = a' + b'33$ $0.22257 = a' + b'40$	$a' = 0.103313$ $b' = 0.002981$
8	79.934	$0.21285 = a' + b'30$ $0.18653 = a' + b'41$	$a' = 0.284632$ $b' = -0.002392$
9	99.950	$0.20666 = a' + b'30$ $0.19040 = a' + b'40$	$a' = 0.255440$ $b' = 0.001626$
10	119.950	$0.20398 = a' + b'31$ $0.19248 = a' + b'40$	$a' = 0.199294$ $b' = -0.001045$

故に k は次式となる

$$k=0.213399-0.000854 S_0$$

$$k=0.202431-0.000758 S_0$$

$$k=0.173531+0.000172 S_0$$

$$k=0.196240+0.000265 S_0$$

$$k=0.319821-0.003851 S_0$$

$$k=0.064977+0.003093 S_0$$

$$k=0.103313+0.002981 S_0$$

$$k=0.284632-0.002392 S_0$$

$$k=0.255440-0.001626 S_0$$

$$k=0.199294-0.001045 S_0$$

之等の  $k$  の値を前記 (2) 式に代入せば G 表の式を得

G 表

番 號	供試材の長さ ( 糶 )	任意含水量に於ける比重を平均含水量に於ける比重に換算する式
1	4.956	$S_{12.95} = S\varphi + (0.213399 - 0.000854 S_0)(12.95 - \varphi)$
2	9.995	$S_{12.95} = S\varphi + (0.202431 - 0.000758 S_0)(12.95 - \varphi)$
3	19.969	$S_{12.95} = S\varphi + (0.173531 + 0.000172 S_0)(12.95 - \varphi)$
4	29.863	$S_{12.95} = S\varphi + (0.196240 + 0.000265 S_0)(12.95 - \varphi)$
5	39.905	$S_{12.95} = S\varphi + (0.319821 - 0.003851 S_0)(12.95 - \varphi)$
6	49.909	$S_{12.95} = S\varphi + (0.064977 + 0.003093 S_0)(12.95 - \varphi)$
7	59.894	$S_{12.95} = S\varphi + (0.103313 + 0.002981 S_0)(12.95 - \varphi)$
8	79.934	$S_{12.95} = S\varphi + (0.284632 - 0.002392 S_0)(12.95 - \varphi)$
9	99.950	$S_{12.95} = S\varphi + (0.255440 - 0.001626 S_0)(12.95 - \varphi)$
10	119.950	$S_{12.95} = S\varphi + (0.199294 - 0.001045 S_0)(12.95 - \varphi)$

更に  $\varphi=0$  とせば H 表の式となる。

H 表

番號	供試材の長さ ( 糶 )	平均含水量に於ける 比重に換算する式	番號	供試材の長さ ( 糶 )	平均含水量に於ける 比重に換算する式
1	4.956	$S_{12.95} = 2.76352 + 0.98894 S_0$	6	49.909	$S_{12.95} = 0.84145 + 1.040^{\cdot}5 S_0$
2	9.995	$S_{12.95} = 2.62148 + 0.99018 S_0$	7	59.894	$S_{12.95} = 1.34779 + 1.03825 S_0$
3	19.969	$S_{12.95} = 2.24723 + 1.00223 S_0$	8	79.934	$S_{12.95} = 3.68598 + 0.96903 S_0$
4	29.863	$S_{12.95} = 2.54131 + 1.00343 S_0$	9	99.950	$S_{12.95} = 3.30795 + 0.97894 S_0$
5	39.905	$S_{12.95} = 4.14177 + 0.95013 S_0$	10	119.950	$S_{12.95} = 2.58086 + 0.93647 S_0$

G 表及 H 表の式は天鹽産トドマツ材の各材長に應じ氣乾材或は全乾材の比重を平均含水量に於ける比重に換算する式にして本實驗に於ける供試材の比重は凡てH表の式を用ひ平均含水量 (12.95%) に於ける比重に換算して掲げたり。

### 第三節 壓縮破壊強並に挫折破壊強

細長比を 3.5 より 89.8 に至る十階級に分ち各階級に於て32個の供試材に就き其強度を測定したる結果は附表第一に示せるところなるが該強度を査定せる供試材に就きては含水量並に比重に相當の變異を示せり。蓋し強度に影響を及す因子中最も密接なるは含水量と比重なるが故に先づ之等の關係を究明して後所要關係に論及せんとす。

#### 第一項 任意含水量に於ける強度を

##### 平均含水量の下に換算する方法

含水量が強度に及す影響の甚だ大なることは極めて明瞭なる事實にして Janka 氏の唐檜材<sup>21)</sup>に就きて又宮井健吉及大澤正之<sup>(16)</sup>兩氏の天鹽産トドマツ材に就きての研究は孰れも壓縮強は全乾状態に於て最大にして含水量の上昇するに従ひ急激に減少し含水量25~30%よりは其減少度著しく緩慢となれりと報告せり。

斯の如き關係は本實驗に於ても認められし所にして含水量の影響甚だ大なるが故に強度を比較せんには其供試材の含水量を常に同一状態ならしむるを要すと雖も斯の如きは實行至難なるを以て各異含水量の下に於て行はれたる結果を一定含水量の下に換算する方法を採らざるべからず以下其換算法に就き説明せん。

含水量と壓縮強との關係に就きて Bauschinger<sup>(14)</sup>氏はバイエルン産の唐檜材に就き次の式を認めたり。

$$\beta_{\varphi} = \beta [1 + \lambda(\varphi - \varphi_0)]$$

但し  $\beta$  は含水量  $\varphi$  の時の壓縮強

$\beta_0$  は  $\varphi$  より低き含水量  $\varphi_0$  (氣乾状態) の壓縮強

$\lambda$  は係數にして 0.0366

Hadeck 及 Janka<sup>(22)</sup>氏も亦南部チロール産の唐檜材に就き次の換算式を得たり。

$$\beta_{15} = \beta_{\varphi} + 18\varphi - 270$$

大澤正之<sup>(17)</sup>氏は北見産トドマツ材に就き氣乾状態に於ける含水量と壓縮強との間には  $\beta_{\varphi} = a + b\varphi^2$  なる關係あるを認め次の實驗式を發表せり。

$$S_0 = 29.1 \sim 35.0 \text{ に在りては } \beta_{\varphi} = 448.66 - 0.6779\varphi^2$$

$$S_0 = 35.1 \sim 40.0 \text{ に在りては } \beta_{\varphi} = 541.12 - 0.9042\varphi^2$$

$S_0=40.1\sim 48.0$  に在りては  $\beta_\varphi=636.11-1.2019\varphi^2$

田中勝吉<sup>(19)</sup>氏は樺太保呂産トドマツ材に就き氣乾状態に於ける含水量と壓縮強との關係を拋物線的と看做し次の實驗式を見出した。

$S_0=27.0\sim 34.0$  に在りては  $\beta_\varphi=414.26-0.612\varphi^2$

$S_0=34.0\sim 43.0$  に在りては  $\beta_\varphi=562.23-1.001\varphi^2$

前記大澤氏及田中氏の試験の結果トドマツ材に於ける氣乾状態の含水量と壓縮強との關係は一種の拋物線をなすものと看做され又第一六圖に示せるが如く方柱に對しても拋物線と看做さるるが故に此關係を  $\beta_\varphi=a+b\varphi^2$  の式に適用し夫々  $\varphi$  と  $\beta_\varphi$  に實驗値を與へ a 及 b を最小自乗法により求め次式を算出せり。

第一六圖

氣乾状態に於ける含水量と強度との關係  
トドマツ材

1. 壓縮強

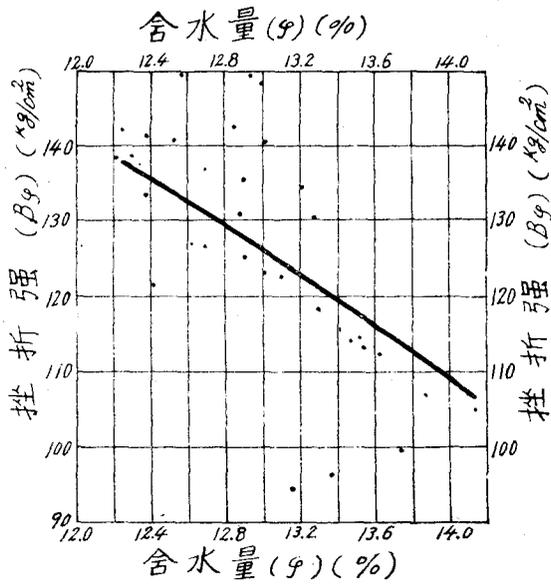
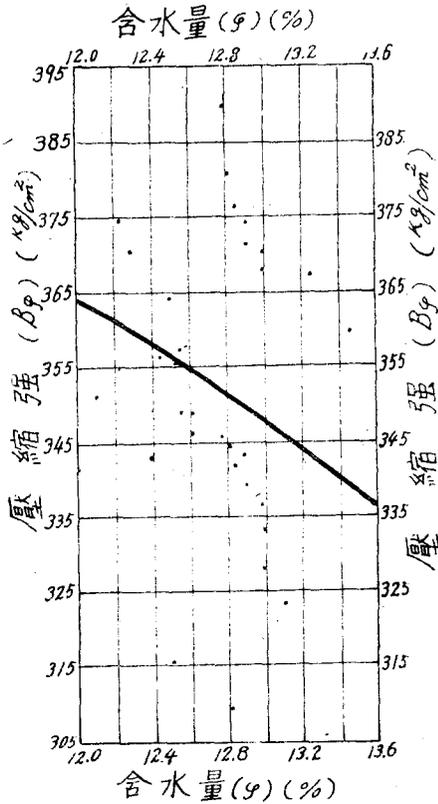
$\beta_\varphi=462.690-0.6812\varphi^2$

( $l/i=3.5$ ,  $S_0=0.30\sim 0.41$ )

2. 挫折強

$\beta_\varphi=229.320-0.6098\varphi^2$

( $l/i=89.8$ ,  $S_0=0.31\sim 0.40$ )



I 表

番號	供試材の長さ (種)	氣乾状態に於ける含水量と壓縮強或は挫折強との關係式	番號	供試材の長さ (種)	氣乾状態に於ける含水量と壓縮強或は挫折強との關係式
1	4.956	$\beta\varphi = 462.690 - 0.6812\varphi^2$	6	57.909	$\beta\varphi = 476.312 - 1.0432\varphi^2$
2	9.995	$\beta\varphi = 517.330 - 1.0682\varphi^2$	7	67.894	$\beta\varphi = 566.846 - 1.6796\varphi^2$
3	27.969	$\beta\varphi = 553.346 - 1.3829\varphi^2$	8	87.934	$\beta\varphi = 424.087 - 1.2031\varphi^2$
4	37.863	$\beta\varphi = 562.291 - 1.3235\varphi^2$	9	107.950	$\beta\varphi = 142.778 - 1.0076\varphi^2$
5	47.905	$\beta\varphi = 529.170 - 1.3235\varphi^2$	10	127.950	$\beta\varphi = 229.320 - 0.6098\varphi^2$

I表の式によりて算出せる強度と實測値との誤差關係を觀るに誤差の分配は均一なるも第一六圖に示せるが如く平均誤差稍大なるの嫌ひあれども之は全乾比重の範圍を大きくとれるが爲なり又挫折強に於ては壓縮強と同一の經路を辿れるが故にI表の式を以て壓縮強及挫折強と含水量との關係を表すものと看做すを得べし。

本實驗式算出に供したる供試材の含水量は11~14%にして該式は此範圍に於て強度と含水量との法正的關係を示すものなるを以て強度換算に當りては實際現れたる數値とI表の式により算出したる數値との差は平均含水量に於ても同等の差を有するものと認むべきものなり。

此關係を式を以て示せば

$$\beta_{12.95}' = \beta_{12.95} - (\beta\varphi - \beta\varphi')$$

但し  $\beta_{12.95}$  は含水量 12.95% に於ける強度

$\beta\varphi$  は含水量  $\varphi$  % に於ける強度

$\beta\varphi'$  は含水量  $\varphi$  % に於ける實際の強度

$\beta_{12.95}'$  は含水量 12.95% の下に換算したる強度

故に前式にI表の式の數値を與ふればJ表の式を得べし。

J 表

番號	供試材の長さ (種)	任意含水量に於ける強度を平均含水量の下に換算する式	番號	供試材の長さ (種)	任意含水量に於ける強度を平均含水量の下に換算する式
1	4.956	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 0.6812\varphi^2 - 114.239$	6	57.909	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 1.0432\varphi^2 - 174.947$
2	9.995	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 1.0682\varphi^2 - 199.140$	7	67.894	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 1.6796\varphi^2 - 281.673$
3	27.969	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 1.3829\varphi^2 - 231.916$	8	87.934	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 1.2031\varphi^2 - 201.763$
4	37.863	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 1.4795\varphi^2 - 248.116$	9	107.950	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 1.0076\varphi^2 - 168.977$
5	47.905	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 1.3235\varphi^2 - 221.954$	10	127.950	$\beta_{12.95}' = \beta\varphi' + 0.6098\varphi^2 - 102.265$

本試験に於ては各異含水量に於ける供試材の強度は凡てJ表の式によりて含水量 12.95%

の下に換算し掲記せり。

第二項 平均含水量の下に於ける  
比重と強度との關係

同樹種にして同一樹幹より採取せる供試材の含水量同一なる場合、其強度は比重の大小により増減するものなることは一般に認めらるる處にして此關係に就き Bauschinger<sup>(14)</sup>氏はバイエルン産の針葉樹材に就き  $\beta_{15}=1000S_{15}-100$ なる式を、又 Schwappach<sup>(23)</sup>氏はプロシヤ産の松材に就き  $\beta=kS+C$ なる直線的關係を説けり。Janka<sup>(22)</sup>氏は南部チロール産の唐檜材並に奥國産唐檜材には直線的關係を認むるも北部チロール、ヴェネルワルド、エルツゲビルグ産の唐檜材には直線に極めて接近せる曲線的關係ありとし

$$\beta_{15}=kS_{15}^2+C$$

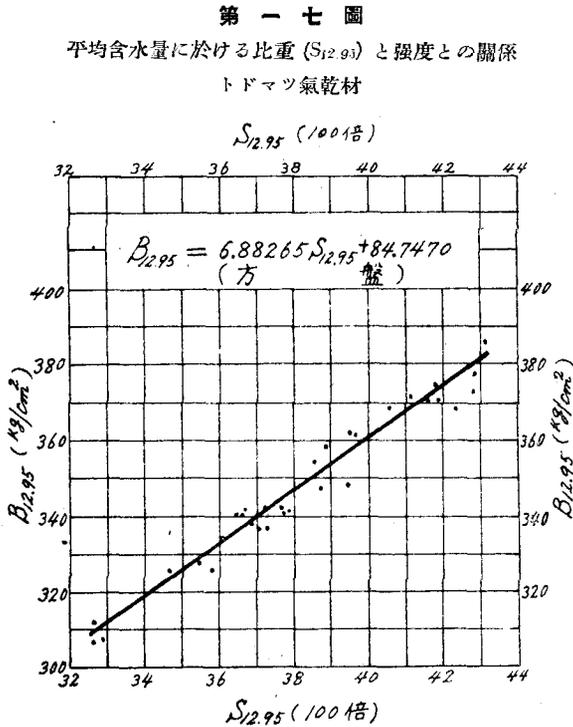
なる拋物線式を唱へ、k及Cは産地に依りて異なる常數なりとせり。

宮井、大澤<sup>(16)</sup>兩氏は北海道天鹽産トドマツ材に就き  $\beta_{15}=a+bS_{15}^2$ なる關係ありとし  $\beta_{15}=189+0.087S_{15}^2$ なる關係式を發表し更に又大澤<sup>(17)</sup>氏は北海道北見産トドマツ材に就き

$\beta_{15}=12.761S_{15}^{0.88674}$ なる拋物線式を提唱せり。

又田中勝吉<sup>(19)</sup>氏は樺太保呂産トドマツ材に就き  $\beta_{15}=35.513+7.058S_{15}$ なる直線式を發表せり。

本實驗に於ては 附表第一 に掲記せしが如く比重と強度とは凡て平均含水量 12.95%の下に換算せるを以て其成績より兩者の關係を直交坐標を以て示せば第一七圖の如く明に直線的關係にあるを以て之を  $\beta_{12.95}=a+bS_{12.95}$ なる式に適用し、 $\beta_{12.95}$ 及  $S_{12.95}$ に夫々實驗値を與へ最小自乘法により常數 a 及 b を決定し前式に挿入せばK表の式を得。



K 表

番 號	供試材の長さ(種)	平均含水量に於ける比重と強度との關係式	番 號	供試材の長さ(種)	平均含水量に於ける比重と強度との關係式
1	4.956	$\beta_{12.95} = 6.88265 S_{12.95} + 84.7470$	6	57.909	$\beta_{12.95} = 11.27563 S_{12.95} - 139.2160$
2	9.995	$\beta_{12.95} = 6.59860 S_{12.95} + 85.2610$	7	67.894	$\beta_{12.95} = 8.75377 S_{12.95} - 54.4511$
3	27.969	$\beta_{12.95} = 7.78749 S_{12.95} + 21.5677$	8	87.934	$\beta_{12.95} = 10.05928 S_{12.95} - 160.3552$
4	37.863	$\beta_{12.95} = 7.97517 S_{12.95} + 5.2881$	9	107.950	$\beta_{12.95} = 5.88359 S_{12.95} - 50.1685$
5	47.905	$\beta_{12.95} = 9.45839 S_{12.95} + 56.3439$	10	127.950	$\beta_{12.95} = 5.90870 S_{12.95} - 95.5303$

K表の式によりて計算せる強度と實測値との誤差關係を觀るに誤差の分配均一にして平均誤差亦大ならざるを以てK表の式により比重と強度との關係成立するものと看做すを得べし。

### 第三項 平均含水量並に同一比重の下に於ける強度

各材長階に於ける平均含水量 (12.95%) の下に換算せる比重を觀るに附表第一より拔萃せば次の如し。

供試材の作用長さ l (cm)	最小廻轉半徑 i (cm)	細長比 $\frac{l}{i}$	平均比重 (100倍)
4.956	1.426	3.5	38.31
9.995	1.428	7.0	38.28
27.969	1.428	19.6	38.50
37.863	1.427	26.5	38.72
47.905	1.426	33.6	38.47
57.909	1.426	40.6	39.07
67.894	1.426	47.6	38.80
87.934	1.424	61.8	38.05
107.950	1.424	75.8	38.07
127.950	1.426	89.8	37.67
平均			38.39

K表に基き平均含水量 (12.95%) 並に同一比重 (38.39) の下に計算せる強度は次の如し。

細長比 ( $\frac{l}{i}$ )	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	細長比 ( $\frac{l}{i}$ )	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
3.5	349.0	40.6	293.7
7.0	338.6	47.6	281.6
19.6	320.5	61.8	225.8
26.5	311.5	75.8	175.7
33.6	306.8	89.8	131.3

(94)

上表の強度の測定資料たる供試材を通覧するに長さ 79.93 種より以上に在りては節の存在するもの甚だ多きを見たり。節の強度に及ぶ影響も亦僅少なざるものあり殊に挫折強に於て甚しきが如し。依りて上表の数値を其儘採用して細長比と強度との關係を決論するを得ず、節の影響を論議するの要を認めたり。

#### 第四節 挫折強と節との關係

##### 第一項 挫折強に及ぶ節の影響

壓縮強に於ける節の影響に就きては節の種類により其強さに高下あり、活節にして其周圍全く癒着せるものは高けれども死節或は之に準ずるものは低し。曲げ強度に於ても概ね之に同じ、然るに挫折強に於ては癒着せる活節と雖も之を圍繞せる纖維斜走せるがため其強度低くなれるを普通とす。

本實驗中挫折強に於ける有節材と無節材との強度を材長別に夫々區分して附表第一より抜萃掲記せば次の如し。

材長(種) 節の有無 記號	79.934		99.950		119.950	
	無節材	有節材	無節材	有節材	無節材	有節材
I a I		204.3		170.2		124.7
I a II	226.4			171.1	132.3	
I b I	201.4			153.3		98.1
I b II	249.4			165.5	149.5	
I c I		200.0		165.3		121.9
I c II	236.6			168.2		122.2
I d I		222.0		157.0		123.3
I d II	244.2		176.4		134.8	
II a I		226.0		149.1		124.7
II a II	212.0		183.1		129.4	
II b I		166.0		157.0		111.8
II b II	235.6		177.9			122.0
II c I	233.5			156.8		103.3
II c II	239.7			165.7	134.7	
II d I		211.1		176.3		111.5
II d II		206.6		171.7		125.4
III a I		211.6	185.3			122.9
III a II	237.7		184.0		141.6	

材長(種) 節の有無 記號	79.934		99.950		119.950	
	無節材	有節材	無節材	有節材	無節材	有節材
Ⅲb I	225.3			176.8	132.6	
Ⅲb II	240.1		176.3		149.1	
Ⅲc I		206.1		172.5		113.5
Ⅲc II	223.0		186.7		143.9	
Ⅲd I	266.2		180.2			123.1
Ⅲd II	252.5		176.5		138.4	
Ⅳa I		204.0		152.1		123.4
Ⅳa II	235.9		198.6			124.9
Ⅳb I		202.5		156.7	128.7	
Ⅳb II		201.0	176.6			124.1
Ⅳc I		210.7	198.4			123.2
Ⅳc II	233.4		201.5		141.0	
Ⅳd I	242.4		181.1		134.1	
Ⅳd II		207.8	194.8		131.4	
平均	235.3	205.7	185.2	163.8	137.3	119.1

上表に示したる如く有節材は材長の如何に拘らず無節材より強度低く其割合は材長 79.934 種に於ては 87.4%，99.950 種に於ては 88.4%，119.950 種に於ては 86.7% に當れり。

本實驗に於ける有節材，無節材の區別は供試材に於て直徑 2 種以上の節の存するものを有節材とし，其他を無節材とせり。従ひて無節材中にも直徑 2 種以下の節の存在するもの及全然節なきものを包含し，有節材に於ては直徑 2 種以上の節一個あるもの或は數個あるもの等を包含す，節の影響を詳細に知らんがためには節の個數と分布の點に就き尙研究の要あるも茲では單に概略の影響を見出すに止めたり。

## 第二項 有節材の強度を無節材の夫への改算

有節材は上述の如く無節材に比して其強度約 13% 低く，之を其儘採用して論ずるは正鵠を失するの虞あるが故に有節材は無節材に改算する要あり。而して前掲平均含水量，同一比重の下に換算せる強度數値中，材長 79.934，99.950，119.950 種の三種は有節材を入れたる平均値なるを以て之を次の如く改算せんとす。

無節材と有節材との強度の比を  $\gamma$  とし，無節材の強度を  $\beta_k'$  とせば有節材の強度は  $\gamma \cdot \beta_k'$  又無節材の個數を  $n_1$ ，有節材の個數を  $n_2$  にて表し，無節材，有節材の平均値を  $\beta_k$  にて表せば無節材の強度は次式によりて求めらる。

( 96 )

$$\beta_k' = \frac{\beta_k(n_1+n_2)}{n_1+r \cdot n_2} \quad (\text{kg/cm}^2)$$

$\beta_k$ ,  $n_1$ ,  $n_2$ , 及  $r$  に實數を與へ  $\beta_k'$  を求むれば

材長 79.934 種に對しては

$$\frac{225.8 \times (18+14)}{18+14 \times 0.874} = 239.0$$

材長 99.950 種に對しては

$$\frac{175.7 \times (15+17)}{15+17 \times 0.884} = 187.2$$

材長 119.950 種に對しては

$$\frac{131.3 \times (14+18)}{14+18 \times 0.867} = 141.9$$

となりたり。

### 第五節 細長比と強度（壓縮強並に挫折強）との關係

改算強度を採用し、細長比との關係表を作れば次の如し。

細長比 ( $\frac{1}{i}$ )	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )	細長比 ( $\frac{1}{i}$ )	強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
3.5	349.0	40.6	293.7
7.0	338.6	47.6	281.6
19.6	320.5	61.8	239.0
26.5	311.5	75.8	187.2
33.6	306.8	89.8	141.9

細長比を横軸に、強度を縦軸に取りて上表の數値を圖示するに第一八圖の如く拋物線的關係となるを以て之を  $\beta_k = a + b(\frac{1}{i})^2$  なる式に適用し、 $\beta_k$  及  $\frac{1}{i}$  に夫々實驗値を與へ最小自乘法により常數  $a$  及  $b$  を決定し前式に挿入せば次式を得

$$\beta_k = 336.2449 - 0.02488 (\frac{1}{i})^2$$

本式による計算値と實驗値との誤差關係を觀るに誤差正負の分配は平等、平均誤差亦大ならず依りて本式を以て細長比と強度との關係を表す式と看做すを得べし。

細長比と強度との關係曲線を觀るに細長比の増加するに従ひ強度は減少し特に細長比40以上は急激なる減少度を示せり。

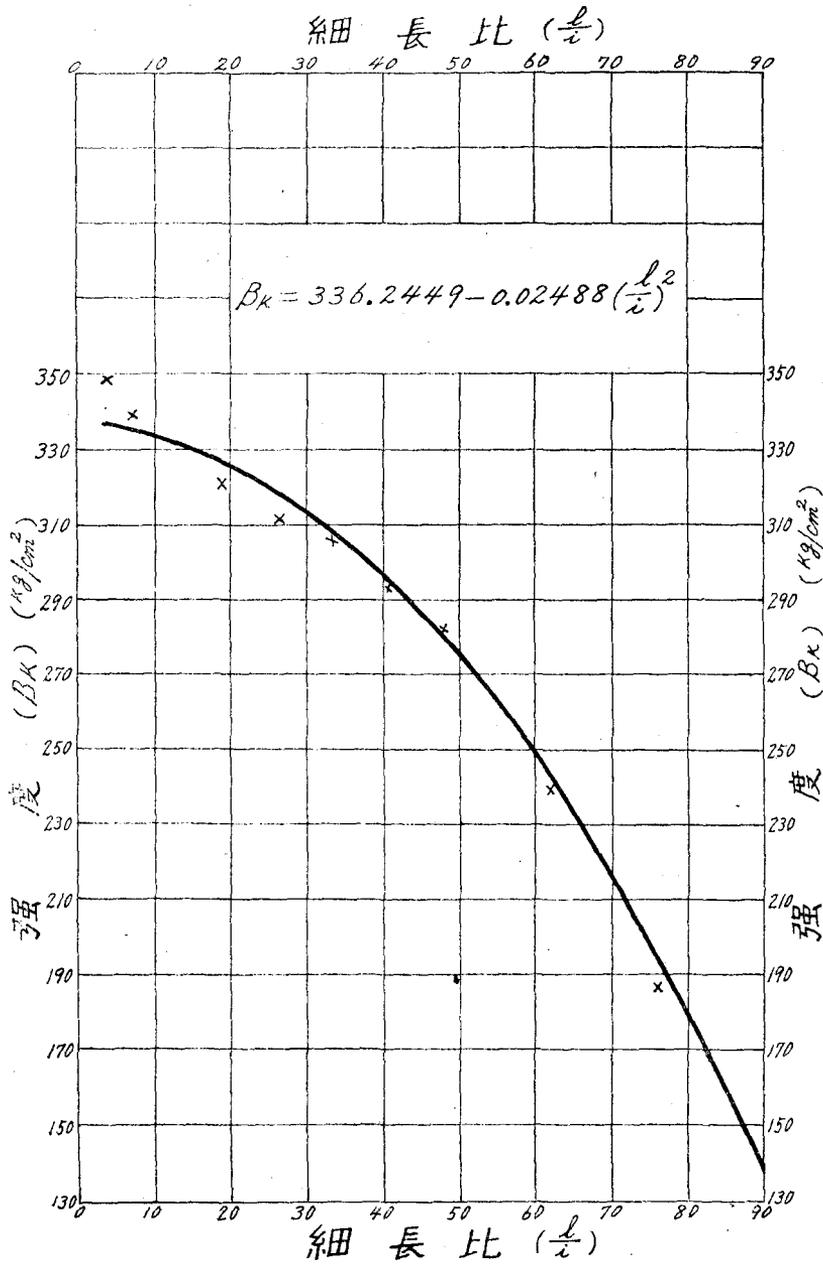
### 第六節 挫 折 強

挫折強は壓縮荷重によりて誘起せらるる撓みが材料の軸に直角に顯るるものを總稱し、撓みは荷重の増加と共に増大するのみならず或限界に達すれば荷重増加せざるも尙撓みは増大し遂に破壊せらるるに至る。

第一八圖

細長比と強度との關係

(細長比の範圍 3.5~89.8)

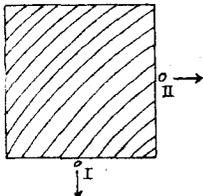


挫折強の顯る原因は材質の不等齊性、横斷面の不均一性及試験機の構造の不完全に據る荷重方向が柱軸と一致せざることに基くものなることは既に理論に於て述べたる所なるが實際に於て如何に正確に作成せられたる供試材と雖も避くべからざる材質の不同により一定の長さ以上に達すれば挫折強の顯るものなり、而して一定の長さとは細長比の一定數を意味するものなり。

### 第一項 挫折強に於ける撓み

實驗に於て各供試材に就き荷重と共に撓みの増大する狀況を次の雛形の如く觀測せり。

挫折強實驗觀測雛形

荷 重 (t)	長柱の中央に於ける撓み (mm)				備 考
	撓み測定計 I		撓み測定計 II		
	左 方	右 方	左 方	右 方	
0.25	0		0		<p>供試材記號 <math>\frac{8}{Ia} I</math></p> <p>供試材の位置並に撓みの方向</p>  <p>尖端支持</p> <p>材 料：とどまつ</p> <p>横斷面積：4.97/4.97 cm</p> <p>最小回轉半徑：1.43 cm</p> <p>供試材の長さ：79.95 cm</p> <p>供試材の作用長さ：87.95 cm</p> <p>細長比 <math>\frac{l}{i}</math>：61.5</p> <p>觀測挫折強：<math>\beta_k = 192.3 \text{ kg/cm}^2</math></p> <p>破壊限界</p>
0.50	0		0		
0.75	0		0.1		
1.00	0.1		0.1		
1.25	0.1		0.2		
1.50	0.1		0.4		
1.75	0.2		0.6		
2.00	0.2		0.8		
2.25	0.2		0.9		
2.50	0.3		1.1		
2.75	0.4		1.3		
3.00	0.5		1.4		
3.25	0.6		1.6		
3.50	0.7		1.9		
3.75	0.8		2.3		
4.00	1.0		2.8		
4.25	1.1		3.2		
4.50	1.4		3.8		
4.75	1.6		6.0		
4.50	2.4		7.3		

### 第二項 挫折強の顯る細長比の限界

細長比を異にする各供試材に就き荷重の増加に伴ふ撓みの増大する狀況を觀察し、撓みの

顯る回数を決めるに次の如し。

細長比	實驗數	撓みの顯れたる數	挫折強の生ぜし率(%)	細長比	實驗數	撓みの顯れたる數	挫折強の生ぜし率(%)
19.6	32	1	3	47.6	32	26	81
26.5	32	4	13	61.8	32	32	100
33.6	32	12	34	75.8	32	32	100
40.6	32	22	69	89.8	32	32	100

是によりて觀れば挫折強は細長比20より起り初め細長比を増すと共に挫折強の顯る率を増加し、細長比62及夫れ以上に至りて完全に出現せりと雖も安全なる爲には細長比41を以て限界とすべきなり。

### 第三項 破壊時に於ける撓み並に 撓みと細長比との關係

破壊時に於ける撓みを觀測せし結果は附表第二に示せり。實驗施行中、細長比小なる時、撓みが順調に荷重に伴はざることあり又加壓中途に於て撓みの方向を變ずることあり。斯る現象は極めて微小にして殆んど認識し得ざる程度のものなるも之等の生ぜしものは本實驗に於ては完全なる挫折強を表せしものと看做さざることとせり。依りて之等には疑問符\*を附したり。

實驗成績を觀るに細長比同一なる供試材に於ける撓みの變異は相當大なるものあり。之が原因は即ち木材々質の相違に歸するが如し、材質の相違は外觀上及内部組織の相違に大別せらる。内部組織に就きては後日に譲り専ら外觀上の相違に就き検討を試みたり。外觀上の性質として普通なるは比重並に年輪密度なり。依りて比重並に年輪密度と撓みとの相關を計算せるに次の如し。

#### a) 氣乾比重

氣乾比重の増加すると共に撓みの減少する相關係數は

細長比 61.8 に在りては 0.2

細長比 75.8 に在りては 0.3

細長比 89.8 に在りては 0

なり。

#### b) 年輪密度

年輪密度の増加すると共に撓みの減少する相關係數は

細長比 61.8 に在りては 0.5

(100)

細長比 75.8 に在りては 0.4

細長比 89.8 に在りては 0

なり。

依りて各供試材に於ける撓みの變異を判斷するに細長比小なる時にのみ年輪密度或は比重が或程度まで影響するものと看做し得べし而して此影響は比重よりは寧ろ年輪密度の方大なり。

次に細長比と撓みとの關係を觀るに附表第二によりて明かなる如く細長比の増加すると共に撓みも亦増大す即ち細長比を横軸に、撓みを縦軸にとりて兩者の關係を圖示せば拋物線狀をなせる一種の曲線をなす。(第一九圖參照)

今細長比を  $(\frac{l}{d})$ , 撓みを  $f$  にて表せば兩者の關係は  $f=a(\frac{l}{d})^b$  なる式によりて表すを得べし。依りて  $f$  及  $(\frac{l}{d})$  に實驗數値を與へ、 $a$  及  $b$  を最小自乘法によりて決定すれば

$$a=0.0021$$

$$b=1.93$$

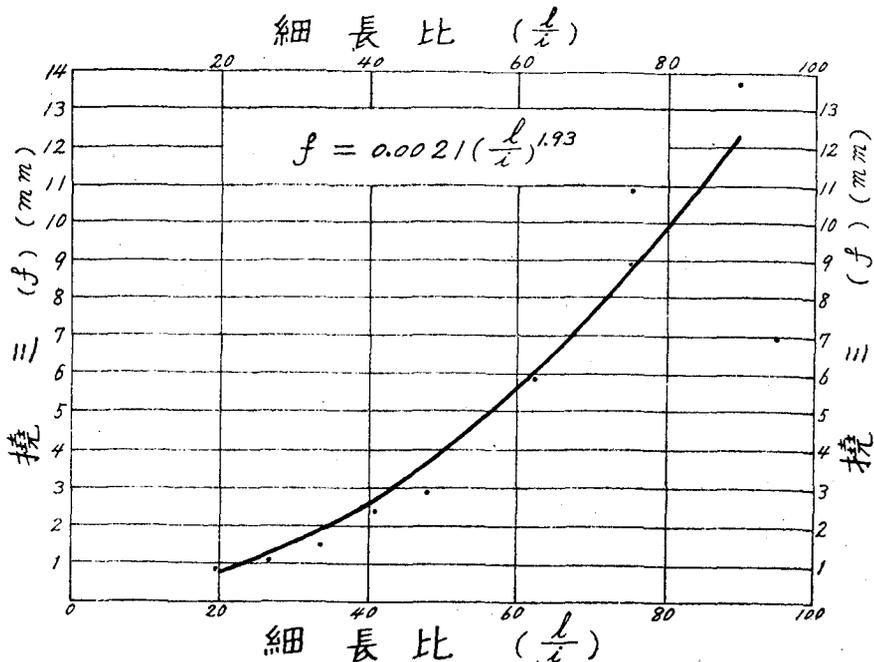
となる。依りて兩者の關係は

$$f=0.0021(\frac{l}{d})^{1.93} \quad (\text{細長比}20\sim90)$$

となる。

### 第一九圖

長柱に於ける細長比と撓みとの關係



之に依れば撓みは細長比の増大するに従ひ増加し、其關係は前式によりて表示し得べく、大約細長比の2乗に比例して増加するものと看做し得べし。

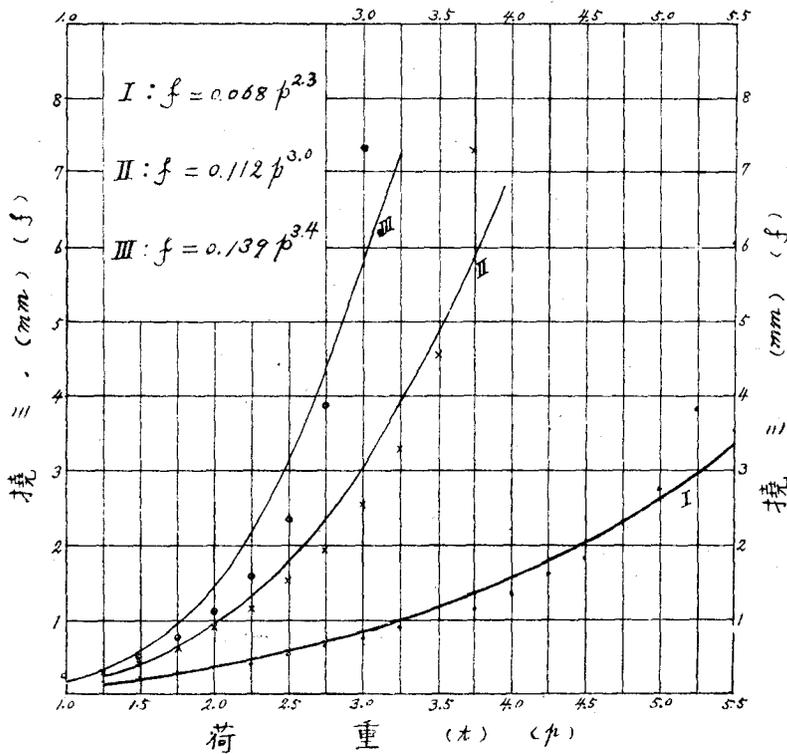
第四項 荷重と撓みとの關係

長柱に於ける荷重と撓みとの關係を觀測せし結果は附表第三に掲記せり。附表第三に就て觀るに、細長比の大小如何に拘らず、撓みは荷重の増加に伴ひ漸次増大す。今荷重を横軸に、撓みを縦軸にとりて兩者の關係を圖示するに第二〇圖の如き一種の拋物線をなす。

第二〇圖

長柱に於ける荷重と撓みとの關係

荷 重 (t) (p)



荷重を p, 撓みを f にて示せば兩者の關係は

$$f = a \cdot p^b$$

なる式にて表さる。依りて f 及 p に附表第三の實驗數値を與へ、a 及 b を最小自乘法によりて決定すれば

- I.  $a = 0.06773$  (細長比 61.8 の場合)
- $b = 2.27282$

(102)

II.  $a=0.11166$   
 $b=3.02076$  (細長比 75.8の場合)

III.  $a=0.13942$   
 $b=3.38976$  (細長比 89.8の場合)

なり即ち兩者の關係式は次の如し。

I.  $f=0.068 p^{2.3}$

II.  $f=0.112 p^{3.0}$

III.  $f=0.139 p^{3.4}$

本式は荷重と之に伴ふ撓みとを表す式にして孰れも荷重の増加するに従ひ、撓みの著しく増大するを示せり又同一荷重に於ては細長比の大なるもの程、撓みの増大せるを表せり。

### 第七節 長柱に關する實驗公式

細長比の變化に伴ふ強度の變化は實驗的に之を求め式、 $\sigma_k=336.2449-0.02488\left(\frac{l}{i}\right)^2$ を算出せり然るに本式による細長比の範圍は3.5~89.8にして細長比の之より増大せる場合は本式の適用を許さざるものなり。茲に於て Euler 氏の理論公式に就き検討するの必要生ぜり。

本實驗に使用したる装置は Euler 氏の理論公式中兩圓端の場合と略同一と看做さるるが故に同公式  $\sigma_k=\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$ を適用するを可とすべきなり。今本實驗に供したる天鹽産トドマツ材

に於ける Euler 氏の挫折強を求めんとす。而して同公式に用ひられたる彈性係數 E は大澤正之氏の實驗數値<sup>(16)</sup>を適用するものとす。大澤氏の天鹽産トドマツ材の彈性係數は次表の如し本表の平均値を採れば含水量 14.84%，全乾比重 36.2，に於て彈性係數 106.8 t/cm<sup>2</sup>を示せり。然るに本實驗に於ては含水量 12.95%，全乾比重 38.39の下に論議を進めたるを以て大澤氏の實驗數値を其儘採用するは甚た疑問とするところにして彈性係數と之に關係を及す因子たる含水量，比重とに就き検討を試みざるべからざるは論を俟たざるところなり。

#### 1) 含水量と比重との關係

彈性係數の表に於ける數値に基き第二節第二項の方法により比重を平均含水量 (12.95%) の下に換算する式を求めたるに

$$S_{12.95}=1.0396 S_0+1.626$$

を得たり。本式は彈性係數を測定せる供試材に就き任意含水量に於ける比重を平均含水量の下に於ける共に換算する式なり。

含水量 ( $\varphi$ )	比重		彈性係數 (E) t/cm <sup>2</sup>	平均含水量 12.95% に於ける換算數	
	試驗當時 ( $S_{\varphi}$ )	全乾狀態 ( $S_0$ )		比 ( $S_{12.95}$ )	彈性係數 ( $E_{12.95}$ )
12.8	40.7	37.9	108.6	41.0	108.4
13.0	41.3	38.4	120.8	41.5	120.9
13.2	40.8	38.0	114.5	41.1	114.9
13.2	39.1	36.8	111.3	39.9	111.7
13.3	33.8	31.5	76.6	34.4	77.2
13.3	37.1	34.7	103.6	37.7	104.2
13.3	41.1	38.3	126.3	41.4	126.9
13.3	41.0	38.3	106.2	41.4	106.8
13.4	33.3	31.0	97.9	33.9	98.7
13.4	37.3	35.0	110.8	38.0	111.6
13.4	37.5	34.9	104.1	37.9	104.9
13.4	36.5	33.9	105.1	36.9	105.9
13.6	36.8	32.5	103.5	35.4	104.7
13.7	41.0	38.2	130.4	41.3	131.7
14.0	34.9	32.1	95.8	35.0	97.7
14.1	41.5	39.0	101.0	42.2	103.1
14.1	37.9	35.1	92.1	38.1	94.2
14.1	42.6	39.4	122.7	42.6	124.8
15.6	41.4	38.1	117.3	41.2	122.3
15.6	45.5	41.7	165.6	45.0	170.6
15.6	43.6	40.5	138.6	43.7	143.6
15.7	39.5	36.4	107.4	39.5	112.6
15.7	35.0	32.0	80.5	34.9	85.7
15.8	42.2	39.0	121.1	42.2	126.5
15.8	37.7	34.7	110.1	37.7	115.5
15.9	33.8	30.6	96.6	33.4	102.3
16.1	40.5	36.4	89.3	39.5	95.4
16.1	37.8	34.6	108.7	37.6	114.8
16.3	37.0	33.6	92.1	36.6	98.6
16.3	40.5	37.5	117.4	40.6	123.9
16.5	37.5	34.7	85.2	37.7	92.1
16.7	43.0	39.1	121.5	42.3	123.9
16.8	41.2	37.6	94.2	40.7	101.8
16.9	42.3	39.0	97.0	42.2	104.8
17.1	40.4	36.2	79.6	39.2	87.9
17.3	39.2	35.7	91.8	38.7	100.5
平均 14.84	39.23	36.18	106.8	39.23	110.4

(104)

## 2) 含水量と弾性係数との関係

上表を觀るに含水量と弾性係数の關係不明なるを以て之を確認するため相關係數及相關比を求めたるに次の數値を得たり。

相關係數 -0.1

相關比 0.81

即ち兩者の間には直線的の關係は薄弱なるも曲線的關係に於ては相當密接なるものあり。

今含水量を  $\varphi$ 、弾性係数を  $E$  を以て表し、含水量を横軸に、弾性係数を縦軸にとりて兩者の關係を表せば拋物線或は双曲線の一部をなす。依りて(イ)  $E=a+b\varphi^2$ 、(ロ)  $E=\frac{\varphi}{a+b\varphi+c\varphi^2}$  の式に適用し、最小自乘法により係數を決定せるに次式を得たり。

$$(イ) E=121.5667-0.06632\varphi^2$$

$$(ロ) E=\frac{\varphi}{1.112-0.144\varphi+0.0053\varphi^2}$$

上式によりて計算せる値と實驗値との誤差關係を觀るに次の如くなれり。即ち誤差正負の分配は(イ)、(ロ)式共に同様にして誤差の標準偏差は(イ)式に在りては 18.8、(ロ)式に於ては 19.5なり。是によりて觀れば兩者の關係を表す式は(イ)式の方密接なり、依りて(イ)式を採用し任意含水量に於ける弾性係数を平均含水量 (12.95%) の下に換算し所要の目的を達することとせり而して其方法は第三節第一項に於けると同一の方法を採用し、

$$\text{換算式 } E_{12.95'}=E\varphi'+0.06632\varphi'^2-11.12 \text{ を得たり。}$$

前表に於ける平均含水量下の換算數値は前述せる比重並に弾性係数の換算式によりて計算せるものなり。

## 3) 平均含水量に於ける比重と弾性係数との關係

比重の大なるものは弾性係数も又大なるべきは強度實驗中屢々經驗せしところなり。

今平均含水量下に換算せる數値に基き兩者の關係を直線的と看做し式： $E=a+bS$  を適用して  $a$  及  $b$  を最小自乘法により決定し之を直線式に挿入せば

$$\text{式 } E=4.3047S-58.4424$$

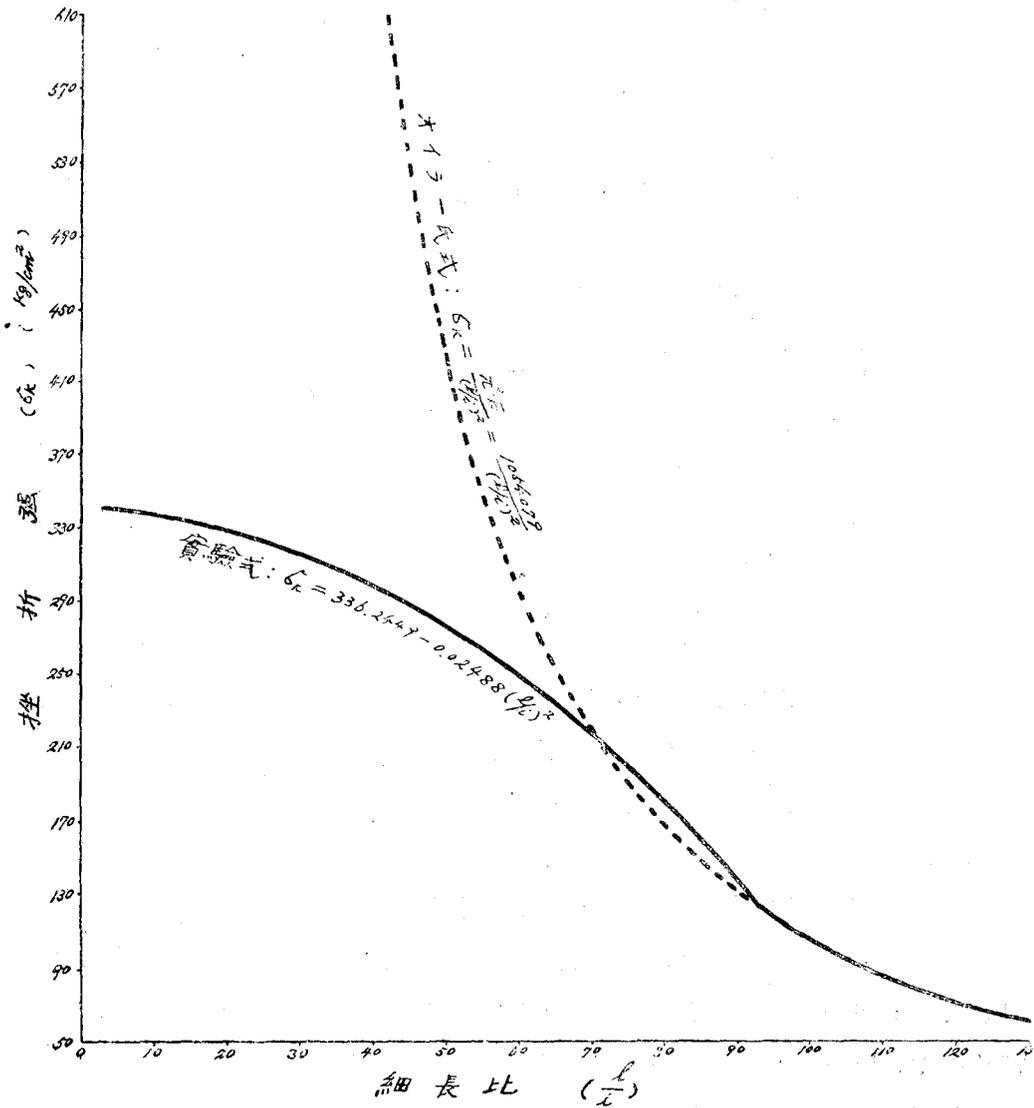
を得。本式による計算値と換算値との誤差關係に就きては其正負の分配平等にして標準偏差又大ならざるを以て上式は兩者の關係を表す式と看做すを得べし。

本實驗に於て取扱ひし挫折強は平均含水量 12.95%、比重 38.39 の下に於ける數値なるが故に茲に取扱ふ弾性係数も亦同一含水量、同一比重ならざるべからず。依りて前式に於ける  $S$  に 38.39 を與へ、 $E=106.8 \text{ t/cm}^2$  を算出し、此數値を以て天鹽産トドマツ材の弾性係数と定めたり。之に依りて Euler 氏の挫折強は次の如し

$$\sigma_k = \frac{\pi^2 \cdot E}{(l/i)^2} = \frac{1054079}{(l/i)^2}$$

次に Euler 氏公式を吟味するに挫折強は細長比の自乗に逆比例し、細長比無限に小となれば挫折強は無限に増大し又反対に細長比無限に大となれば挫折強は無限に小となる。故に此兩極端に於ては實際に當嵌らずして本式の採用を許さざるも或範圍内に於てはよく實際に即應すべきものなり又挫折強實驗公式  $\sigma_k = 336.2449 - 0.02488 \left(\frac{l}{i}\right)^2$  は細長比 3.5~89.8 の間にのみ適用せられ Euler 氏式より細長比の範圍狭小なり。故に以上二式を比較せば二式は必ず交叉すべきは明かなり。之を圖示せば第二一圖の如し。

第二一圖



(106)

此二曲線の交點に於ける横距及縦距は共通なり。即ち

$$\sigma_k = 336.2449 - 0.02488 \left(\frac{l}{i}\right)^2 = \frac{1054079}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

今  $\left(\frac{l}{i}\right)^2 = X$  とせば

$$0.02488 X^2 - 336.2449 X + 1054079 = 0$$

之を解けば

$$X = 4942.1121 \text{ 又は } 8572.5542$$

故に

$$\left(\frac{l}{i}\right)^2 = 4942.1121 \text{ 又は } 8572.5542$$

依りて  $\frac{l}{i} = 70.3 \text{ 又は } 92.6$

なり。

挫折強兩曲線は  $\frac{l}{i} = 70.3$  又は  $92.6$  に於て交り其挫折強は等しく  $214 \text{ kg/cm}^2$  又は  $123 \text{ kg/cm}^2$

なり。

今兩交點間即ち  $\frac{l}{i} = 70.3 \sim 92.6$  間の挫折強を兩式により算出するに次の如し。

細長比 (l/i)	挫折強 ( $\sigma_k$ )		細長比 (l/i)	挫折強 ( $\sigma_k$ )		備考
	實驗式	Euler 氏公式		實驗式	Euler 氏公式	
70	214	215	85	157	146	l/i = 92.6 の數値は實驗式の 範圍外なるも假りに計算せ る數値
75	196	187	90	135	130	
80	177	165	92.6	123	123	

上表に觀る如く實驗式數値と Euler 氏式數値とは細長比 70.3 に於て同値となり爾後次第に差甚しく遂に最大に達し、再び漸次減少し細長比 92.6 に於て再び同値となる而して此點を限界として Euler 氏曲線は上昇の傾向を、實驗式は下降の傾向を示せるを以て此點は變換點をなすものとす。今 Euler 氏式の適用範圍を第一章第四節(9)式  $\frac{l}{i} \geq \pi \sqrt{\frac{E}{\sigma_p}}$  によりて求むれば次の如し。

E,  $\sigma_p$  は大澤氏の發表せる天鹽産トドマツ材の數値を適用し夫々  $E = 106.8 \text{ t/cm}^2$ ,  $\sigma_p = 0.159 \text{ t/cm}^2$  なり。然るときは  $\frac{l}{i} \geq 81.4$  となる。即ち理論的には細長比 81.4 以上は適用せらるるものなり。又 Tetmajer<sup>(9)</sup> 氏は彈性係數を  $100 \text{ t/cm}$  とし、細長比の限界を 100 と定め、Strand<sup>(11)</sup> 氏は 101 を以て限界とせり。以上を綜合するに本實驗に於ける限界は 92 を妥當とするものなり。

依りて細長比による公式の適用は次の如し。

$$\textcircled{1} \quad l/i < 92$$

$$\sigma_k = 336.2449 - 0.02488 \left(\frac{l}{i}\right)^2$$

$$\textcircled{2} \quad l/i > 92$$

$$\sigma_k = \frac{1054079}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

### 第三章 挫折強に関する論議

#### 第一節 挫折強公式

本実験によれば挫折強の顯る限界は細長比 40.6 ÷ 41 なり (第六節第二項参照)

實驗の結果を摘記すれば次の如し。

細長比	挫折強 (kg/cm <sup>2</sup> )
40.6	294
47.6	282
61.8	239
75.8	187
89.8	142

壓縮強は細長比 3.5 のものを採用し 349 kg/cm<sup>2</sup> とす。

挫折強は壓縮應力と彎曲率より生ずる所謂彎曲應力との合成なりと假定するを得べし。故に挫折強は常に壓縮強より僅少なるは理論上察知せらるるところなり。今壓縮強と挫折強との比を求むれば其商は常に 1 より大にして且細長比の函数を以て表すを得べし。

之を  $a + b\left(\frac{l}{i}\right) + c\left(\frac{l}{i}\right)^2$  なる式を以て表すとせば次の等式成立す。

$$\frac{\sigma_D}{\sigma_k} = a + b\left(\frac{l}{i}\right) + c\left(\frac{l}{i}\right)^2$$

但し  $\sigma_D$  は壓縮強,  $\sigma_k$  は挫折強,  $\frac{l}{i}$  は細長比,  $a, b, c$  は係数とす。

$\frac{\sigma_D}{\sigma_k}$  及  $\frac{l}{i}$  に實驗數値を與へ,  $a, b, c$  を最小自乘法によりて決定し, 之を前式に挿入せば

$$\frac{349}{\sigma_k} = 1.8326 - 0.0346 \left(\frac{l}{i}\right) + 0.00046 \left(\frac{l}{i}\right)^2$$

故に 
$$\sigma_k = \frac{349}{1.8326 - 0.0346 \left(\frac{l}{i}\right) + 0.00046 \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

なり。

(108)

本式によりて計算せる數値と實驗値との誤差關係を觀るに其標準偏差極めて僅少なるを以て當初假定せる本關係式は茲に成立すべし。

### 第二節 挫折強公式の特徴並に其適用範圍

長柱に關する實驗公式として曩に細長比92以内は式： $\sigma_k = 336.2449 - 0.02488 \left(\frac{1}{i}\right)^2$ ，細長比92以上は式： $\sigma_k = \frac{1054079}{\left(\frac{1}{i}\right)^2} (= \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{1}{i}\right)^2})$ を算出し又茲に理論と實驗とに基ける新公式：

$$\sigma_k = \frac{349}{1.8326 - 0.0346 \left(\frac{1}{i}\right) + 0.00046 \left(\frac{1}{i}\right)^2} = \left( \frac{\sigma_D}{a + b \left(\frac{1}{i}\right) + c \left(\frac{1}{i}\right)^2} \right)$$

を案出せり。今論議の便宜上前者を第一式，後者を第二式と命名せば第一式は挫折上部限界内に於ける凡ての細長比に應ずる強度を表すも第二式は挫折強の顯る限界（下部限界）外に於ては適用するを得ず即ち本實驗に於て細長比41以下には適用せられざるものとす。次に第一式は挫折上部限界を定め，此限界外は Euler 氏式を採用したり。實際に第一式の經路を觀るに漸次下降の傾向を示し横軸に達せんとす（細長比116に於て強度は零となる），強度の零たるは實在せざるものにして，此點より觀るも第一式は限界外には適用し得ず之を Euler 氏式に委ねたる所以なり。Tetmajer 氏の實驗式も亦之と軌を一にすべきものなり。之に反し第二式は上部限界を有せず凡ての挫折強に對し適用せらるべき式なり。

今試みに  $\frac{1}{i} = 100$  及  $\frac{1}{i} = 150$  をとりて第二式と Euler 氏式とを比較するに次の如し。

細長比	挫折強第二式	Euler 氏式 ( $\sigma_k = \frac{1054079}{\left(\frac{1}{i}\right)^2}$ )
100	117	105
150	50	47

即ち第二式は Euler 氏式より稍高き數値を表せるも其差少きを以て適用を妨げざるものとす。而して第一式は測定に困難なる彈性係數を用ひ，第二式は測定容易なる破壊強を用ひたる點に想到せば兩者の得失は自ら明白なり。茲に再び挫折強第二式に就き之を吟味するに其分子は壓縮應力にして分母は細長比の二次式なり。而して分母は分子に比して極めて微小なる數値なるを以て係數 a, b, c に僅少なる相違あるも挫折強に影響するところ極めて少きものなり。第二式は實に斯の如き特徴あるを以て近似的に挫折應力を見出さんとせば安易に測定し得らるる壓縮應力を算出し之を細長比の二次式  $1.8326 - 0.0346 \left(\frac{1}{i}\right) + 0.00046 \left(\frac{1}{i}\right)^2$  によりて算出せる數値を以て除して求めらるる利點を有するものなり。

## 結 言

本研究は現在構材として最も将来性あるトドマツ材に就き長柱の強度に關する性質を究めたるものにして木材を一つの有機體として取扱ひ、強度に最も影響の大なる含水量に就きては全供試材の平均含水量 12.95%の下に換算せる數値を求め又比重に對しては平均含水量 12.95%に於ける平均比重 0.384の下に換算せし數値を算出し、有節材の強度は無節材の夫に改算し以て細長比の強度を計算し、細長比の増加に因る強度の變化を表す式：

$\beta_k = 336.2449 - 0.02488 \left(\frac{1}{i}\right)^2$  を實驗的に見出せり。又挫折強に關しては其撓みを測定するに特殊なる方法を考案し、兩端支持装置に球座を用ひ、荷重の増加に伴ふ撓みの變化を精密に測り以て挫折強の顯る細長比の限界を 41 と決定し併せて細長比と撓みとの關係を究め式：

$f = 0.0021 \left(\frac{1}{i}\right)^{1.91}$  を見出し、荷重と撓みとの關係に於て  $f = 0.068 p^{2.3} \left(\frac{1}{i} = 61.8 \text{ の場合}\right)$ ,

$f = 0.112 p^{3.0} \left(\frac{1}{i} = 75.8 \text{ の場合}\right)$ ,  $f = 0.139 p^{3.4} \left(\frac{1}{i} = 89.8 \text{ の場合}\right)$  を算出し、長柱の強度に關する

公式として挫折強第一式

$l/i < 92$  なる場合

$$\sigma_k = 336.2449 - 0.02488 \left(\frac{1}{i}\right)^2,$$

$l/i > 92$  なる場合

$$\sigma_k = \frac{105479}{\left(\frac{1}{i}\right)^2},$$

挫折強第二式として

$$\sigma_k = \frac{349}{1.8326 - 0.0346 \left(\frac{1}{i}\right) + 0.00046 \left(\frac{1}{i}\right)^2}$$

を算出せり。而して本實驗に於て其精度の指針となる偏心荷重に就きては Müller-Breslau 氏の近似法（前編第一章第二節）を適用するものとす。該式は  $\delta = \frac{1.25 a}{\nu - 1}$ （但し  $\nu = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{Pl^2}$ ）なり。

本實驗に供したる天鹽産トドマツ材の含水量 12.95%なる時、彈性係數 106.8 t/cm<sup>2</sup> にして物量力率  $I = 51.667$  なり又實驗によれば  $\frac{1}{i} = 89.8$  なる時、 $P = 3.00^t$  の場合の撓み  $\delta = 7.32$  mm（附表第三参照）なり。此數値を近似式に挿入して計算せば次の如し。

$$\nu = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{Pl^2} = \frac{3.1416^2 \times 106.8 \times 51.667}{3.00 \times 127.95^2} = 1.1089$$

故に  $7.32 = \frac{1.25 a}{1.1089 - 1} = 11.48 a$

$$a = 0.64 \text{ mm}$$

(110)

即ち偏心の距離  $a$  は 0.64 mm となり僅少なるが故に実験も亦精密なりしことを立證するものなり。

従來長柱の強度に關する式として使用せらるるは Tetmajer 式或は Strand 式若くは本邦市街地建築物に適用せらるる同施行規則による式なるが之等の式は實驗の結果に徴するに甚しき誤差あり。之等の式と本挫折強公式とを比較するに次の如し。

細 實 驗 長 數 比	實 驗 數 值	挫折強 第一式	挫折強 第二式	Tetmajer 氏式	Strand 氏式	市街地 建築物 施行法 規則に よる式	誤 差				
		$\{\sigma_k = 336.2449 - 0.02488(\frac{1}{i})^2\}$ による 數 值	$\{\sigma_k = \frac{1.8326 - 0.0246(\frac{1}{i})}{349} + 0.00046(\frac{1}{i})^2\}$ による 數 值	$\{\sigma_k = 293 - 1.941(\frac{1}{i})\}$ による 數 值	$(\sigma_k = \frac{1}{e(\frac{1}{i})^n})$ による 數 值	$\{P = A \cdot f_c (1 - 0.02 \times \frac{1}{d})\}$ による 數 值	a-b	a-c	a-d	a-e	a-f
kg/cm <sup>2</sup>											
1/i	a	b	c	d	e	f					
40.6	294	295	294	214	330	278	-1	0	80	-36	16
47.6	282	280	284	201	316	266	2	-2	81	-34	16
61.8	239	241	240	173	272	200	-2	-1	66	-33	39
75.8	187	193	188	146	207	217	-6	-1	41	-20	-30
89.8	142	136	143	119	133	192	6	-1	23	9	-50
標準偏差							4	1	63	28	28

備考: Strand 氏式に於ける  $D=349 \text{ kg/cm}^2$ ,  $E=106.8 \text{ t/cm}^2$ ,  $e=2.7182$   
 $m = \lambda m = \pi \sqrt{\frac{E \cdot e}{D}} = 90.6$  又  $\frac{n-1}{n} = \frac{\log D - \log \sigma_p}{\log e}$  より算出せり。  
 茲に用ひし  $D$  及  $\sigma_p$  は大澤氏の天鹽産トドマツ材に於ける實驗數値<sup>(16)</sup> より算出し夫々  
 $D=0.328 \text{ tc/m}^2$ ,  $\sigma_p=0.159 \text{ t/cm}^2$  とせり。  
 依りて  $n=3.62$   
 市街地建築物施行法規則による式:  $P = A \cdot f_c (1 - 0.02 \times \frac{1}{d})$  は  $\sigma_k = \frac{P}{A} = f_c (1 - 0.005 \frac{1}{i})$  に變形  
 せられ  $f_c$  には壓縮強  $349 \text{ kg/cm}^2$  を適用して算出せり。

上表に觀る如く挫折強公式は Tetmajer 氏式或は Strand 氏式若くは市街地建築物施行法規則による式より誤差極めて僅少にしてよく挫折強を表す式と謂ふべきなり。

## 摘 要

長柱の研究は家屋建築、橋梁、土工、坑木等各種の構築材を使用する建築技術者に重要視せらる。

歐洲産樅、松、唐松及檜に就きての長柱に關する研究は既に L. von Tetmajer により詳細に發表せられしが未だ本邦産材に就きての研究あるを見ず是を以て茲に天鹽産トドマツ材に就き本研究を遂行せし次第なり。トドマツは北海道に於ける重要樹種の一つにして其蓄積は本道針葉樹の大半を占め、各種の用途に供せらるるも主として構材として利用せらる。以下主なる結果を摘記せば次の如し。

1) 壓縮強並に挫折強と含水量との間には明確なる關係があり拋物線式によりて表さるるが特に天鹽産トドマツに對しては次式で表さる。

壓縮強に於ては

$$\beta_{\varphi} = 462.690 - 0.6812 \varphi^2$$

挫折強に在りては

$$\beta_{\varphi} = 229.320 - 0.6098 \varphi^2 \quad (\text{細長比}90)$$

但し  $\beta_{\varphi}$  は壓縮強及挫折強 ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )、 $\varphi$  は全乾重量に對する含水量 (11~14%) を表す。

2) 比重と強度との關係は次式で表さる。

壓縮強に於ては

$$\beta_{12.95} = 6.88 S_{12.95} + 85$$

挫折強に在りては

$$\beta_{12.95} = 5.91 S_{12.95} + 96 \quad (\text{細長比}90)$$

但し  $S_{12.95}$  は含水量 12.95% の時の比重 (100倍) を表す。

3) 含水量 1% の増減により壓縮強には  $17\text{kg}/\text{cm}^2$ 、約 5%、挫折強には  $15\text{kg}/\text{cm}^2$ 、約 12% の影響を與ふ。

4) 挫折強には含水量と比重との外に枝節が大なる影響を與ふ。

有節材の挫折強は大約 13% 減少す。

5) トドマツ氣乾材に於て細長比 92 以下では Euler 氏公式は實驗結果と完全に一致せず其適用を失ふ。著者は Euler 氏公式の適用限界を細長比 92 とし、トドマツ材に對して次式を採用せり。

(112)

細長比92以下に對しては

$$\beta_k = 336.2449 - 0.02488 \left(\frac{l}{i}\right)^2$$

細長比92以上は對しては

$$\beta_k = 1054079 \left(\frac{l}{i}\right)^2 \quad E = 106800 \text{ kg/cm}^2 \text{ とす。}$$

但し  $i$  は柱の横斷面の最小廻轉半徑,  $l$  は柱の長さを意味す。

6) 長柱の破壊限界に於ける撓みと細長比との關係は次式で表さる。

$$f = 0.0021 \left(\frac{l}{i}\right)^{1.93}$$

7) 荷重の増加と之に伴ふ撓みとの間には次の關係式成立す。

$$f = 0.068 p^{2.3} \quad (\text{細長比62の場合})$$

$$f = 0.112 p^{3.0} \quad (\text{細長比76の場合})$$

$$f = 0.139 p^{3.4} \quad (\text{細長比90の場合})$$

8) 挫折強は一般に次式で表さる。

$$\sigma_k = \frac{\sigma_D}{a + b \left(\frac{l}{i}\right) + c \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

但し  $\sigma_D$  は壓縮強,  $\frac{l}{i}$  は細長比,  $a, b, c$  は樹種, 材質によりて決定せらるる係數とす。

トマツ材に就きての本實驗に於て細長比41以上の挫折強は次式によりて算定せらる。

$$\sigma_k = \frac{349}{1.8326 - 0.0346 \left(\frac{l}{i}\right) + 0.00046 \left(\frac{l}{i}\right)^2}$$

但し挫折強の適用限界は細長比41とす。

## 文 献

- 1) L. Euler, De Curvis elasticis, additamentum I der Abhandlung Methodus inveniendi lineas curvas maximi minimive proprietate gaudentes, Lausanne und Genf 1744
- 2) H. Müller-Breslau, Die neueren Methoden der Festigkeitslehre 1913
- 3) A. Schneider, Zur Theorie der Knickfestigkeit, Zeitschr. d. österr. Ing- und Arch-Vereins 1901
- 4) Th. v. Kármán, Untersuchungen über Knickfestigkeit, Mitteilungen über Forschungsarbeiten auf dem Gebiete des Ingenieurwesens, Heft 81, Berlin. 1910
- 5) A. Duleau, Essai théorique et experimental sur la résistance du fer forgé, Paris 1820
- 6) E. Lamale, Mémoire sur la flexion du bois.—Annales des travaux publics de Belgique, T. IV. p. 1~36.  
Brüssel 1846
- 7) Eaton Hodgkinson, Experimental Researches on the Strength of Pillars of Cast Iron and other materials, London Phil. Trans. 1840, Part 2, p. 385~450
- 8) I. Bauschinger, Zerknickungsversuche, Mitteilungen aus dem Mechanisch-Technischen Laboratorium der Kgl. Techn. Hochschule in München, Heft 15 (1887)
- 9) L. v. Tetmajer, Die Gesetze der Knickungs- und der zusammengesetzten Druckfestigkeit der technisch wichtigsten Baustoffe, 3. Auflage, Leipzig und Wien 1903
- 10) F. Engesser, Zeitschr. f. Arch- u. Ing.- Wesen. 1889, S. 455, sowie Schweiz. Bauzeitung 1895, Bd. 26, S. 24
- 11) Torbjörn Strand, Eine neues Verfahren zur Berechnung von Druckstäben auf Knicken. Zentralb. d. Bauverw. 1914, S. 88 ff
- 12) L. v. Tetmájer, Elastizitäts und Festigkeitslehre 1905
- 13) E. Chevandier und G. Wertheim, Memoire sur les propriétés mecaniques du Bois. 1846
- 14) J. Bauschinger, Mitteilungen aus dem mechanisch-technischen Laboratorium der Königl. techn. Hochschule in München Heft IX. 1883
- 15) G. Janka, Untersuchungen über die Elastizitäts und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer 1909
- 16) 宮井健吉, 大澤正之, 北海道産木材ノ彈性及強度ニ關スル研究 1. 天鹽産とどまつ, 大正十四年(北海道帝國大學附屬演習林研究報告 第三卷 第一號)
- 17) Masayuki Ohsawa, Vergleichende Untersuchungen über die Qualitäten, insbesondere die Elastizität und Festigkeit der Tannen- und Fichtenhölzer Hokkaidos 1930 (Journal of the College of Agriculture Hokkaido Imperial University, vol. XXVIII pt. I)
- 18) 藤林誠, 臺灣演習林産杉, 扁柏及びチークの強弱試験 昭和四年(東京帝國大學農學部演習林報告 第九報)
- 19) 田中勝吉, 樺太産有用針葉樹材ノ機械的性質ニ關スル研究 I 保呂産トドマツ昭和七年(樺太廳中央試験

(114)

所報告 第二類第二號)

- 20) A. Schwappach, Untersuchungen über Raumgewicht und Druckfestigkeit des Holzes wichtigen Waldbäume  
1. Kiefer, Berlin 1897
- 21) G. Janka, Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer. 1904. (Mitteilungen, aus dem forstl. Versuchswesen Oesterreichs, XXVIII. Heft.)
- 22) A. Hadeck und G. Janka, Untersuchungen über die Elastizität und Festigkeit der österreichischen Bauhölzer 1900 (Mittellungen a. d. forstl. Versuchswesen Oesterreichs. XXV. Heft.)
- 23) T. Lorey, Handbuch der Forstwissenschaft 1925
- 24) Rudolf Mayer, Die Knickfestigkeit 1921
- 25) 森三郎, 長柱の強度に就て (農林省林業試験報告 第3號 157頁, 昭和10年)
- 26) F. Kollmann, Technologie des Holzes, Berlin 1936
- 27) 關谷文彦, 木材強弱論 昭和14年

## Zusammenfassung

Untersuchungen über die Säulenfestigkeit des  
Sachalintannenholzes

von

Yoshishige Kitamura

Die Untersuchungen der Säulenfestigkeitseigenschaften des Holzes gewinnen zunächst Bedeutung für die Bautechniker, welche Holz zu den verschiedensten Konstruktionen verwenden, im Hoch- und Brückenbau, beim Erd- und Bergbau.

Ueber die Säulenfestigkeit der in Europa am meisten vorkommenden Tanne, Föhre, Lärche und Eiche schrieb schon ausführlich L. von Tetmajer. Aber das japanische Holz hat noch niemand ausführlich behandelt. Deshalb habe ich diese Untersuchungen unternommen, um die Säulenfestigkeitseigenschaften des japanischen Holzes klar zu machen. Zu diesem Zweck habe ich die Sachalintanne ausgewählt. Die Sachalintanne (Todomatsu) (*Abies sachalinensis* Fr. Schmidt) ist eine der wichtigsten Holzarten in Hokkaido, und der Holzvorrat beträgt über die Hälfte des gesamten Nadelholzvorrats unseres Landes. Der Gebrauch dieses Holz ist ein so weiter, dass er für ganz verschiedene Zwecke, insbesondere aber als Bauholz verwendet wird.

Fasse ich schliesslich die wichtigsten Resultate der vorliegenden Untersuchungen zusammen, so ergeben sich folgende Sätze:

1). Zwischen Druckfestigkeit, Knickfestigkeit und Feuchtigkeitsgehalt des Sachalintannenholzes bestehen gesetzmässige Beziehungen, die sich durch quadratisch-parabelartige Gleichungen ausdrücken lassen, und zwar haben dieselben für die Sachalintanne aus dem Teshio-Bezirk die Form:

$$\beta_{\varphi} = 462.690 - 0.6812 \varphi^2 \quad \text{für Druckfestigkeit und}$$

$$\beta_{\varphi} = 229.320 - 0.6098 \varphi^2 \quad \text{für Knickfestigkeit (Schlankheitsgrad 90)}$$

wobei  $\beta_{\varphi}$  die Druckfestigkeit und Knickfestigkeit in  $\text{kg/cm}^2$  und  $\varphi$  den Feuchtigkeitsgehalt (11~14%) in Prozenten des absoluten Trockengewichtes darstellen.

2). Für die Beziehungen zwischen spezifischem Gewicht und Feuchtigkeit gelten die Gleichungen:

$$\beta_{12.95} = 6.88 S_{12.95} + 85 \quad \text{für Druckfestigkeit,}$$

$$\beta_{12.95} = 5.91 S_{12.95} + 96 \quad \text{für Knickfestigkeit (Schlankheitsgrad 90)}$$

wobei  $S_{12.95}$  das spezifische Gewicht im 100-fachen Wert bei 12.95 Wassergehalt darstellen.

(116)

3). Der Einfluss der Feuchtigkeit (Zunahme und Abnahme von 1%) auf die Festigkeit beträgt durchschnittlich 17 kg/cm<sup>2</sup> d. h. ungefähr 5% für die Druckfestigkeit und 15 kg/cm<sup>2</sup> d. h. ungefähr 12% für die Knickfestigkeit.

4). Ausser dem Feuchtigkeitsgehalt und dem spezifischen Gewicht war ein wichtiger Faktor der Knickfestigkeitsveränderung die Astigkeit. Astiges Holz zeigt im grossem und ganzen eine Verminderung der Knickfestigkeit um 13%.

5). Für luftgetrockenes Sashalintannenholz mit den Längenverhältnissen  $l/i < 92$  stimmt die Euler'sche Formel mit den Mittelwerten der Versuchsergebnisse nicht vollkommen überein und verliert ihre Gültigkeit. Die Versuche des Verfassers ergaben als Gültigkeitsgrenze der Euler'schen Formel  $l/i=92$ . Für Sashalintannenholz erhält man somit:

bei Längenverhältnissen der Stäbe bzw. Säulen  $l/i < 92$

$$\beta_k = 336.2449 - 0.02488 (l/i)^2,$$

für Säulen mit Längenverhältnissen  $l/i > 92$

$$\beta_k = 1054079 (i/l)^2 \text{ für } E = 106800 \text{ kg/cm}^2$$

worin  $i$  den kleinsten Trägheitshalbmesser der Querschnittsfläche der Stäbe bzw. Säulen und  $l$  die Länge derselben bedeutet.

6). Die Beziehung zwischen dem Schlankheitsgrad ( $l/i$ ) und der Säulenverbiegung ( $f$  in mm) an der Bruchgrenze wurde mit nachstehender Formel ausgedrückt:

$$f = 0.0021 (l/i)^{1.93}$$

7). Zwischen der Zunahme der Belastung ( $p$  in Tonnen) und der daraus sich ergebenden Säulenverbiegung ( $f$  in mm) bestehen folgende Beziehungen:

$$f = 0.068 p^{2.3} \text{ für Schlankheitsgrad } 62$$

$$f = 0.112 p^{3.0} \text{ für Schlankheitsgrad } 76$$

$$f = 0.139 p^{3.4} \text{ für Schlankheitsgrad } 90$$

8). Im allgemeinen wird die Knickfestigkeit in Form der Gleichung:

$$\sigma_k = \frac{\sigma_D}{a + b (l/i) + (l/i)^2}$$

ausgedrückt,

worin  $\sigma_D$  die Druckfestigkeit,  $l/i$  den Schlankheitsgrad und  $a$ ,  $b$ ,  $c$  die Konstanten bedeuten, welche für die verschiedenen Holzarten und ihre Qualität bestimmt werden.

In meiner Untersuchung über die Sashalintanne wurde die Knickfestigkeit für die Längenverhältnisse der Hölzer von der Grösse  $l/i > 41$  mit folgender empirischer Formel ausgedrückt:

$$\sigma_k = \frac{349}{1.8326 - 0.0346 (l/i) + 0.00046 (l/i)^2}$$

wobei der Schlankheitsgrad 41 die Gültigkeitsgrenze der Knickfestigkeit darstellt.

附表 (第一)

## 壓縮並に挫折試験成績

供試材片記號	供の試長材さ	供作材の長さ (l)	最轉小半廻徑 (i)	細長比	年輪密度	含水量 (φ)	比重		壓縮強 (βφ)	平均含水量(12.95%)に於ける換算數	
							試當時 (Sφ)	全狀乾態 (S <sub>0</sub> )		比重 (S <sub>12.95</sub> )	壓縮強 (β <sub>12.95</sub> )
							100倍			100倍	kg/cm <sup>2</sup>
$\frac{1}{Ia} I$	4.95	4.95	1.49	3.5	2.42	12.55	37.64	35.29	348.7	37.66	341.8
$\frac{1}{Ia} II$	4.96	4.96	1.43	3.5	2.71	13.46	42.38	40.08	359.7	42.40	368.9
$\frac{1}{Ib} I$	4.95	4.95	1.42	3.5	2.87	12.54	39.55	37.15	355.5	39.50	348.3
$\frac{1}{Ib} II$	4.96	4.96	1.43	3.5	3.13	13.26	40.98	38.81	367.3	41.14	372.8
$\frac{1}{Ic} I$	4.96	4.96	1.42	3.5	2.71	13.11	36.01	33.49	323.7	35.88	326.5
$\frac{1}{Ic} II$	4.95	4.95	1.42	3.5	3.28	13.00	41.80	39.58	370.2	41.91	371.0
$\frac{1}{Id} I$	4.93	4.93	1.42	3.5	3.56	13.00	36.23	33.78	333.3	36.17	334.1
$\frac{1}{Id} II$	4.96	4.96	1.42	3.5	2.44	13.04	40.64	38.29	368.0	40.62	369.8
$\frac{1}{IIa} I$	4.96	4.96	1.43	3.5	2.27	13.30	32.64	30.25	306.1	32.68	312.3
$\frac{1}{IIa} II$	4.95	4.95	1.43	3.5	2.99	12.45	38.54	36.46	356.4	38.82	347.7
$\frac{1}{IIb} I$	4.98	4.98	1.43	3.5	2.27	12.51	32.65	30.59	315.8	33.01	308.1
$\frac{1}{IIb} II$	4.96	4.96	1.43	3.5	3.56	13.00	34.93	32.99	328.2	35.39	329.0
$\frac{1}{IIc} I$	4.98	4.98	1.43	3.5	2.14	12.82	32.91	30.31	309.7	32.74	307.4
$\frac{1}{IIc} II$	4.96	4.96	1.43	3.5	2.16	12.99	36.82	34.72	336.7	37.10	337.4
$\frac{1}{IId} I$	4.98	4.98	1.43	3.5	2.28	13.04	35.16	32.33	324.6	34.74	326.1
$\frac{1}{IId} II$	4.96	4.96	1.43	3.5	2.55	12.77	37.75	35.31	345.8	37.68	342.6
$\frac{1}{IIIa} I$	4.94	4.94	1.42	3.5	2.57	12.84	37.90	35.46	343.6	37.83	341.6
$\frac{1}{IIIa} II$	4.95	4.95	1.42	3.5	5.43	12.90	42.98	40.52	374.3	42.83	373.4
$\frac{1}{IIIb} I$	4.93	4.93	1.42	3.5	2.71	12.92	37.00	34.59	339.4	36.97	338.8
$\frac{1}{IIIb} II$	4.95	4.95	1.43	3.5	8.13	12.94	41.72	39.27	371.4	41.60	371.2
$\frac{1}{IIIc} I$	4.95	4.95	1.43	3.5	2.71	12.81	37.25	34.87	344.8	37.25	342.3
$\frac{1}{IIIc} II$	4.98	4.98	1.43	3.5	4.83	12.81	42.97	40.57	380.7	42.88	378.2
$\frac{1}{IIId} I$	4.94	4.94	1.43	3.5	2.70	12.85	36.87	34.28	342.1	36.66	340.3
$\frac{1}{IIId} II$	4.96	4.96	1.41	3.5	4.72	12.78	43.13	40.84	389.6	43.15	386.6
$\frac{1}{IVa} I$	4.95	4.95	1.43	3.5	3.86	12.60	36.90	34.32	348.2	36.70	342.1
$\frac{1}{IVa} II$	4.95	4.95	1.42	3.5	3.56	12.29	38.78	36.60	370.4	38.96	359.0
$\frac{1}{IVb} I$	4.97	4.97	1.43	3.5	3.98	12.62	36.58	34.08	346.2	36.47	340.4
$\frac{1}{IVb} II$	4.98	4.98	1.44	3.5	5.81	12.85	42.13	39.53	376.2	41.86	374.4
$\frac{1}{IVc} I$	4.97	4.97	1.42	3.5	3.56	12.24	39.17	37.33	374.7	39.68	362.5
$\frac{1}{IVc} II$	4.94	4.94	1.43	3.5	4.69	12.44	38.31	36.24	364.3	38.60	355.4
$\frac{1}{IVd} I$	4.95	4.95	1.43	3.5	3.70	12.11	37.32	34.99	351.0	37.37	336.6
$\frac{1}{IVd} II$	4.93	4.93	1.41	3.5	4.71	12.22	39.25	37.25	375.0	39.60	362.4
平均	4.956	4.956	1.426	3.5	3.47	12.78	38.28	35.93	351.3	38.31	348.4

## 壓縮並に挫折試験成績

供試材片記號	供の試長材さ	供作試材長さ(l)	最轉小半廻徑(i)	細長比	年輪密度	含水水量(φ)	比 重		壓縮強(βφ)	平均含水量(12.9%)に於ける換算數	
							試當驗時(Sφ)	全狀乾態(S <sub>0</sub> )		比 重(S <sub>12.95</sub> )	壓縮強(β <sub>12.95</sub> )
							100倍			100倍	kg/cm <sup>2</sup>
$\frac{2}{Ia} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	2.86	13.60	36.70	34.38	305.5	36.66	323.9
$\frac{2}{Ia} II$	10.00	10.00	1.43	7.0	2.56	13.29	43.08	40.64	355.5	42.86	365.0
$\frac{2}{Ib} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.00	12.72	38.17	36.06	341.0	38.33	334.7
$\frac{2}{Ib} II$	9.95	9.95	1.43	7.0	3.13	13.35	40.55	38.46	347.2	40.70	358.4
$\frac{2}{Ic} I$	10.00	10.00	1.42	7.0	2.56	13.09	38.27	35.48	336.7	40.50	340.6
$\frac{2}{Ic} II$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.13	13.37	41.47	39.42	346.5	42.68	358.3
$\frac{2}{Id} I$	10.00	10.00	1.42	7.0	2.42	13.59	38.87	36.32	322.5	38.58	340.6
$\frac{2}{Id} II$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.27	13.41	40.10	38.20	337.4	40.45	350.3
$\frac{2}{IIa} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	2.55	13.10	31.62	29.29	286.4	31.62	290.5
$\frac{2}{IIa} II$	9.98	9.98	1.43	7.0	2.86	13.43	39.73	38.49	333.7	40.73	347.2
$\frac{2}{IIb} I$	9.98	9.98	1.43	7.0	2.14	12.86	32.01	29.51	298.4	31.84	285.9
$\frac{2}{IIb} II$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.12	13.63	35.92	33.74	300.7	36.03	320.0
$\frac{2}{IIc} I$	9.99	9.99	1.43	7.0	2.14	13.08	33.07	30.44	294.1	32.77	297.7
$\frac{2}{IIc} II$	9.99	9.99	1.43	7.0	2.84	13.54	37.02	35.06	321.2	37.34	337.9
$\frac{2}{IId} I$	9.99	9.99	1.43	7.0	1.99	12.92	31.13	28.73	292.6	31.07	291.8
$\frac{2}{IId} II$	9.99	9.99	1.43	7.0	2.28	13.50	38.02	35.77	324.8	38.04	340.3
$\frac{2}{IIIa} I$	9.99	9.99	1.42	7.0	2.29	13.55	38.02	35.43	311.9	37.70	329.0
$\frac{2}{IIIa} II$	10.00	10.00	1.42	7.0	5.68	13.05	43.21	40.81	364.7	43.03	367.5
$\frac{2}{IIIb} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.42	13.32	41.94	39.68	352.9	41.91	363.3
$\frac{2}{IIIb} II$	10.00	10.00	1.43	7.0	7.30	13.24	42.29	39.83	359.1	42.06	367.2
$\frac{2}{IIIc} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	2.71	13.23	37.86	35.39	328.6	37.66	336.4
$\frac{2}{IIIc} II$	10.00	10.00	1.43	7.0	4.69	13.00	43.29	40.09	368.2	42.32	369.6
$\frac{2}{IIId} I$	9.99	9.99	1.42	7.0	2.71	13.23	37.46	35.57	332.6	37.84	340.4
$\frac{2}{IIId} II$	10.00	10.00	1.42	7.0	4.44	12.66	42.82	40.48	371.0	42.70	363.1
$\frac{2}{IVa} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.41	13.28	37.37	34.68	326.6	63.96	335.8
$\frac{2}{IVa} II$	10.00	10.00	1.42	7.0	3.28	12.59	39.05	36.77	349.6	39.03	339.8
$\frac{2}{IVb} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	4.00	13.22	37.61	35.07	334.6	37.35	342.2
$\frac{2}{IVb} II$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.57	12.65	38.26	35.94	348.9	38.21	341.2
$\frac{2}{IVc} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.56	13.20	38.24	35.82	336.2	38.09	343.2
$\frac{2}{IVc} II$	10.00	10.00	1.43	7.0	4.69	12.67	37.82	35.74	347.6	38.01	339.9
$\frac{2}{IVd} I$	10.00	10.00	1.43	7.0	3.57	12.91	36.26	34.18	337.0	36.47	335.9
$\frac{2}{IVd} II$	9.99	9.99	1.42	7.0	4.56	13.76	35.45	33.20	291.2	35.50	314.3
平均	9.995	9.995	1.428	7.0	3.34	13.19	38.21	35.90	331.4	38.28	337.9

## 壓縮並に挫折試験成績

供 試 材 片 記 號	供の 試長 材さ	供作 試材 長さ (l)	最轉 小半 廻徑 (i)	細 長 比	年 輪 密 度	含 水 量 (φ)	比 重		壓 縮 強 (βφ)	平均含水量12.05% に於ける換算數	
							試當 驗時 (Sφ)	全狀 乾態 (S <sub>0</sub> )		比 重 (S <sub>12.95</sub> )	壓縮強 (β <sub>12.95</sub> )
							100倍			100倍	kg/cm <sup>2</sup>
$\frac{3}{Ia} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.98	12.87	37.14	34.76	315.1	37.09	312.2
$\frac{3}{Ia} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.55	12.73	42.48	39.95	359.5	42.29	351.7
$\frac{3}{Ib} I$	19.95	27.95	1.42	19.7	3.26	12.86	41.96	39.68	353.0	42.02	349.8
$\frac{3}{Ib} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	3.13	13.42	40.53	38.15	326.0	40.49	343.1
$\frac{3}{Ic} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.84	12.90	37.93	35.16	312.5	37.49	310.7
$\frac{3}{Ic} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.86	12.78	41.89	39.60	353.7	41.94	347.6
$\frac{3}{Id} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.42	12.77	40.26	37.39	328.2	39.73	321.8
$\frac{3}{Id} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.98	13.31	42.42	40.10	339.4	42.44	352.4
$\frac{3}{IIa} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.27	13.19	33.11	30.70	278.5	33.02	287.1
$\frac{3}{IIa} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.84	12.46	39.92	37.60	354.2	39.94	336.9
$\frac{3}{IIb} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.13	12.98	34.04	31.33	293.0	33.65	294.1
$\frac{3}{IIb} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	3.56	12.96	34.68	32.55	293.9	34.88	294.2
$\frac{3}{IIc} I$	19.95	27.95	1.42	19.7	2.14	13.20	34.45	31.99	277.8	34.32	286.8
$\frac{3}{IIc} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.85	12.78	37.47	35.34	323.1	37.67	317.0
$\frac{3}{IId} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.28	13.24	32.73	30.80	263.7	33.12	274.2
$\frac{3}{IId} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.27	12.85	37.50	35.27	318.8	37.60	315.2
$\frac{3}{IIIa} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.72	12.99	35.76	34.10	292.0	36.43	293.4
$\frac{3}{IIIa} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	4.83	13.20	42.35	39.78	343.5	42.12	352.5
$\frac{3}{IIIb} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	3.70	13.33	40.64	38.12	324.5	40.46	338.3
$\frac{3}{IIIb} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	4.27	13.32	41.83	39.54	336.0	41.88	349.4
$\frac{3}{IIIc} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	2.28	13.14	35.60	33.18	285.7	35.51	292.5
$\frac{3}{IIIc} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	4.83	13.14	42.11	39.51	344.1	41.85	350.9
$\frac{3}{IIId} I$	19.95	27.95	1.42	19.7	2.57	13.01	35.60	33.04	288.9	35.37	291.0
$\frac{3}{IIId} II$	19.95	27.95	1.42	19.7	4.72	12.94	42.28	40.25	348.8	42.59	348.4
$\frac{3}{IVa} I$	19.95	27.95	1.42	19.7	3.98	12.79	38.25	35.86	321.4	38.20	315.7
$\frac{3}{IVa} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	3.40	12.62	39.37	37.19	331.7	39.53	320.0
$\frac{3}{IVb} I$	20.05	28.05	1.43	19.6	4.25	12.94	36.61	33.91	305.6	36.24	305.2
$\frac{3}{IVb} II$	19.95	27.95	1.43	19.5	3.56	13.50	40.60	38.27	320.0	40.61	340.1
$\frac{3}{IVc} I$	20.00	28.00	1.43	19.6	3.57	12.60	38.35	36.47	337.7	38.81	322.5
$\frac{3}{IVc} II$	19.95	27.95	1.42	19.7	4.13	12.73	37.62	35.63	330.9	37.96	323.1
$\frac{3}{IVd} I$	19.95	27.95	1.43	19.5	3.56	12.86	36.90	34.48	316.7	36.81	313.5
$\frac{3}{IVd} II$	19.95	27.95	1.41	19.8	4.57	12.54	39.73	37.67	348.1	40.01	333.6
平均	19.969	27.969	1.428	19.6	3.26	12.97	38.50	36.17	320.8	38.50	321.4

## 壓縮並に挫折試験成績

供試材片記號	供の試長材さ	供作用材長さ (l)	最轉小半廻徑 (i)	細長比	年輪密度	含水量 (φ)	比 重		壓縮強 (βφ)	平均含水量 (12.95%) に於ける換算數	
							試當驗時 (Sφ)	全狀乾態 (S <sub>0</sub> )		比 重 (S <sub>12.95</sub> )	壓縮強 (β <sub>12.95</sub> )
							100倍			100倍	kg/cm <sup>2</sup>
$\frac{4}{Ia} I$	29.95	37.95	1.43	26.5	2.83	12.99	39.46	36.96	324.5	39.63	326.0
$\frac{4}{Ia} II$	29.85	37.85	1.42	26.7	2.70	12.86	41.00	38.43	334.6	41.10	331.2
$\frac{4}{Ib} I$	29.90	37.90	1.43	26.5	2.14	13.11	32.88	30.33	264.3	32.98	270.5
$\frac{4}{Ib} II$	29.90	37.90	1.43	26.5	2.84	12.84	40.10	37.55	328.4	40.22	324.2
$\frac{4}{Ic} I$	29.90	37.90	1.42	26.7	3.13	13.14	39.20	36.28	309.4	38.95	316.7
$\frac{4}{Ic} II$	29.90	37.90	1.42	26.7	3.13	13.05	40.54	38.30	326.8	40.97	330.6
$\frac{4}{Id} I$	29.85	37.85	1.42	26.7	2.13	12.78	32.21	29.50	265.0	32.14	258.5
$\frac{4}{Id} II$	29.90	37.90	1.42	26.7	2.55	12.97	41.53	38.98	333.9	41.66	334.6
$\frac{4}{IIa} I$	29.90	37.90	1.43	26.5	2.27	12.13	30.14	28.02	271.1	30.66	240.6
$\frac{4}{IIa} II$	29.85	37.85	1.43	26.5	3.41	13.12	40.33	38.12	317.3	40.83	323.8
$\frac{4}{Iib} I$	29.85	37.85	1.43	26.5	2.41	12.77	31.31	28.27	261.1	30.92	254.2
$\frac{4}{Iib} II$	29.90	37.90	1.43	26.5	2.55	13.03	39.08	35.84	316.8	38.51	319.8
$\frac{4}{Iic} I$	29.85	37.85	1.43	26.5	2.12	12.87	30.58	28.23	247.5	30.88	244.4
$\frac{4}{Iic} II$	29.80	37.80	1.43	26.4	2.41	13.39	37.92	35.92	294.1	38.59	311.4
$\frac{4}{Iid} I$	29.85	37.85	1.43	26.5	1.84	13.38	33.26	30.68	260.5	33.33	277.2
$\frac{4}{Iid} II$	29.90	37.90	1.43	26.5	2.42	13.32	37.78	35.66	297.7	38.33	312.0
$\frac{4}{IIIa} I$	29.85	37.85	1.42	26.7	2.54	13.14	38.19	35.64	306.4	38.31	313.7
$\frac{4}{IIIa} II$	29.85	37.85	1.42	26.7	5.95	13.03	41.90	38.57	333.3	41.24	336.3
$\frac{4}{IIIb} I$	29.85	37.85	1.43	26.5	2.70	13.42	39.99	37.48	316.0	40.15	334.3
$\frac{4}{IIIb} II$	29.85	37.85	1.42	26.7	5.10	12.65	42.87	40.41	351.7	43.09	340.3
$\frac{4}{IIIc} I$	29.90	37.90	1.44	26.3	2.12	13.87	33.80	30.69	236.7	33.34	273.2
$\frac{4}{IIIc} II$	29.85	37.85	1.43	26.5	5.68	12.75	42.85	40.41	349.6	43.09	342.0
$\frac{4}{IIId} I$	29.55	37.55	1.43	26.3	2.41	12.75	41.15	38.55	345.5	41.23	337.9
$\frac{4}{IIId} II$	29.85	37.85	1.42	26.7	6.29	12.86	41.06	38.45	337.0	41.12	333.5
$\frac{4}{IVa} I$	29.80	37.80	1.44	26.2	4.26	12.79	42.66	40.04	246.0	42.72	339.9
$\frac{4}{IVa} II$	29.85	37.85	1.43	26.5	3.67	13.30	38.61	36.45	299.9	39.12	313.5
$\frac{4}{IVb} I$	29.75	37.75	1.43	26.4	4.95	12.61	42.38	39.68	355.0	42.36	342.1
$\frac{4}{IVb} II$	29.95	37.95	1.43	26.5	3.13	13.41	43.75	40.27	336.4	42.95	354.3
$\frac{4}{IVc} I$	29.90	37.90	1.43	26.5	3.84	12.90	39.25	36.56	326.3	39.23	324.4
$\frac{4}{IVc} II$	29.95	37.95	1.43	26.5	4.83	12.59	42.16	39.58	356.0	42.26	342.4
$\frac{4}{IVd} I$	29.85	37.85	1.43	26.5	3.83	13.00	38.38	35.91	319.0	38.58	320.9
$\frac{4}{IVd} II$	29.85	37.95	1.41	26.9	4.67	12.17	40.09	37.82	354.9	40.49	325.9
平	29.863	37.863	1.427	26.5	3.34	12.57	38.64	36.05	313.2	38.72	314.1

## 壓縮並に挫折試験成績

供試材片記號	供の試長材さ	供作用材長さ (l)	最轉小半廻徑 (i)	細長比	年輪密	含水量 (φ)	比 重		壓縮並に挫折強 (βφ)	平均含水量 12.95% に於ける換算値	
							試當驗時 (Sφ)	全狀乾態 (S <sub>0</sub> )		比 重 (S <sub>12.95</sub> )	壓縮強挫折強 (β <sub>12.95</sub> )
							100倍			kg/cm <sup>2</sup>	100倍
5 I a I	39.90	47.90	1.42	33.7	2.55	13.06	38.17	35.70	272.8	38.06	29.91
5 I a II	39.80	47.80	1.43	33.4	2.43	14.36	42.66	39.89	292.7	42.04	345.8
5 I b I	39.95	47.95	1.42	33.8	2.86	13.60	35.64	33.22	311.7	35.70	277.6
5 I b II	39.95	47.95	1.42	33.8	2.98	13.55	41.01	38.44	319.4	40.66	326.4
5 I c I	39.95	47.95	1.43	33.5	2.70	12.99	38.24	35.92	256.6	38.27	299.8
5 I c II	39.90	47.90	1.43	33.5	3.00	13.41	43.04	40.81	327.5	42.92	357.3
5 I d I	39.90	47.90	1.43	33.5	2.13	13.42	36.97	34.30	267.9	36.73	288.3
5 I d II	39.95	47.95	1.43	33.5	3.69	13.35	42.29	40.08	305.5	42.21	346.5
5 II a I	39.90	47.90	1.42	33.7	2.14	13.45	36.19	33.89	238.9	36.33	285.3
5 II a II	39.90	47.90	1.43	33.5	3.29	12.64	37.37	35.41	304.1	37.79	305.2
5 II b I	39.95	47.95	1.43	33.5	2.13	13.08	37.06	34.78	254.6	37.18	296.4
5 II b II	39.85	47.85	1.42	33.7	2.99	12.90	36.89	34.88	284.0	37.28	304.7
5 II c I	39.95	47.95	1.43	33.5	2.14	13.68	33.10	30.66	244.7	33.26	259.4
5 II c II	39.85	47.95	1.43	33.5	2.98	13.09	37.77	35.60	286.8	37.96	295.5
5 II d I	39.85	47.85	1.41	33.9	2.14	13.57	36.69	34.02	258.6	36.46	289.2
5 II d II	39.95	47.95	1.43	33.5	3.12	13.16	37.17	34.76	345.8	37.16	295.5
5 III a I	39.85	47.85	1.43	33.5	2.84	13.43	35.50	33.06	302.8	35.54	285.0
5 III a II	39.95	47.95	1.43	33.5	6.67	13.41	42.64	40.07	334.8	42.20	344.6
5 III b I	39.95	47.95	1.42	33.7	2.56	13.26	37.10	34.92	342.2	37.32	298.5
5 III b II	39.85	47.85	1.43	33.5	5.68	13.44	41.87	39.10	327.3	41.28	332.7
5 III c I	39.95	47.95	1.43	33.5	2.13	13.57	34.82	32.42	263.8	34.94	279.1
5 III c II	39.95	47.95	1.43	33.5	4.11	12.66	43.03	40.66	319.8	42.76	340.7
5 III d I	39.85	47.85	1.43	33.5	2.13	13.14	37.33	34.55	318.1	36.96	296.2
5 III d II	39.80	47.90	1.42	33.7	4.57	12.64	37.42	35.49	340.6	37.86	309.5
5 IV a I	39.95	47.95	1.42	33.7	3.70	12.91	37.95	35.85	293.9	38.20	303.9
5 IV a II	39.90	47.90	1.42	33.7	7.24	13.23	44.35	41.77	326.3	43.82	360.2
5 IV b I	39.75	47.75	1.43	33.4	3.84	13.31	37.90	35.57	349.2	37.93	299.8
5 IV b II	39.95	47.95	1.43	33.5	4.12	12.82	38.85	36.47	266.9	38.79	304.5
5 IV c I	39.90	47.90	1.43	33.5	3.41	13.41	38.47	35.62	320.6	37.98	298.2
5 IV c II	39.95	47.95	1.42	33.7	4.27	12.98	37.55	35.38	319.5	37.75	300.0
5 IV d I	39.75	47.75	1.43	33.4	3.83	12.97	38.01	35.55	333.1	37.91	299.8
5 IV d II	39.95	47.95	1.42	33.7	4.57	12.42	39.73	37.62	325.5	39.88	316.8
平均	39.905	47.905	1.426	33.6	3.40	13.22	38.48	36.09	301.8	38.47	307.5

## 壓縮並に挫折試験成績

供 試 材 片 記 號	供の 試長 材さ	供作 試材 長さ (l)	最轉 小半 廻徑 (i)	細 長 比	年 輪 密 度	含 水 量 (φ)	比 重		壓 挫 縮 折 強 強 (βφ)	平均含水量(12.95%) に於ける換算數	
							試當 驗時 (σφ)	全狀 乾態 (σ <sub>0</sub> )		比 重 (S <sub>12.95</sub> )	壓縮強 挫折強 (β <sub>12.95</sub> )
							100倍			100倍	kg/cm <sup>2</sup>
$\frac{6}{Ia} I$	49.85	57.85	1.43	40.5	2.41	13.14	37.57	35.17	272.8	37.42	277.8
$\frac{6}{Ia} II$	49.95	57.95	1.43	40.5	2.56	13.61	40.84	38.18	292.7	40.55	311.0
$\frac{6}{Ib} I$	49.85	57.85	1.41	41.0	2.56	12.71	39.06	36.75	311.7	39.06	305.3
$\frac{6}{Ib} II$	49.90	57.90	1.43	40.5	4.00	12.52	40.15	37.93	319.4	40.29	308.0
$\frac{6}{Ic} I$	49.95	57.95	1.43	40.5	2.70	13.24	35.81	33.99	256.6	36.19	264.6
$\frac{6}{Ic} II$	49.90	57.90	1.43	40.5	3.70	12.95	41.57	39.19	327.5	41.60	327.5
$\frac{6}{Id} I$	49.95	57.95	1.42	40.8	1.99	12.92	35.52	33.72	267.9	35.91	267.1
$\frac{6}{Id} II$	49.90	57.90	1.42	40.8	3.12	13.38	40.61	38.43	305.5	40.81	317.3
$\frac{6}{IIa} I$	49.95	57.95	1.43	40.5	2.55	13.58	34.96	32.47	238.9	34.61	256.3
$\frac{6}{IIa} II$	49.85	57.85	1.44	40.2	3.26	12.72	38.38	36.42	304.1	33.72	297.9
$\frac{6}{IIb} I$	49.95	57.95	1.43	40.5	2.27	12.72	34.73	32.32	254.6	34.46	248.4
$\frac{6}{IIb} II$	49.90	57.90	1.42	40.8	3.13	12.81	37.57	35.43	284.0	37.69	280.2
$\frac{6}{IIc} I$	49.90	57.90	1.43	40.5	2.14	12.30	33.50	30.99	244.7	33.07	227.6
$\frac{6}{IIc} II$	49.95	57.95	1.43	40.5	2.85	12.81	36.88	34.85	286.8	37.09	283.0
$\frac{6}{IId} I$	49.90	57.90	1.43	40.5	2.28	12.88	35.36	32.98	258.6	35.14	256.7
$\frac{6}{IId} II$	49.90	57.90	1.42	40.8	4.97	12.68	41.54	39.24	345.8	41.65	338.7
$\frac{6}{IIIa} I$	49.95	57.95	1.43	40.5	2.85	13.34	39.19	37.14	302.8	39.47	313.5
$\frac{6}{IIIa} II$	49.95	57.95	1.42	40.8	6.71	12.84	42.11	39.70	334.8	42.13	331.9
$\frac{6}{IIIb} I$	49.90	57.90	1.43	40.5	3.83	12.74	42.68	40.15	342.2	42.60	336.6
$\frac{6}{IIIb} II$	49.85	57.85	1.43	40.5	4.00	13.27	42.83	40.20	327.3	42.65	336.1
$\frac{6}{IIIc} I$	49.90	57.90	1.42	40.8	2.84	13.23	36.41	34.41	263.8	36.63	271.4
$\frac{6}{IIIc} II$	49.95	57.95	1.43	40.5	2.69	13.30	41.89	39.16	319.8	41.57	329.4
$\frac{6}{IIId} I$	49.90	57.90	1.42	40.8	2.56	13.34	41.62	38.93	318.1	41.33	328.8
$\frac{6}{IIId} II$	49.95	57.95	1.41	41.1	2.59	12.76	41.91	39.40	340.6	41.82	335.5
$\frac{6}{IVa} I$	49.85	57.85	1.43	40.5	3.70	12.80	37.76	35.42	293.9	37.68	289.9
$\frac{6}{IVa} II$	49.95	57.95	1.43	40.5	3.53	12.30	39.21	37.12	326.3	39.45	309.2
$\frac{6}{IVb} I$	49.90	57.90	1.43	40.5	5.10	12.61	41.95	39.38	349.2	41.80	340.1
$\frac{6}{IVb} II$	49.95	57.95	1.42	40.8	3.70	13.90	38.11	35.79	266.9	38.06	293.5
$\frac{6}{IVc} I$	49.75	57.75	1.43	40.4	3.85	12.49	39.35	36.91	320.6	39.23	308.4
$\frac{6}{IVc} II$	49.95	57.95	1.43	40.5	4.13	12.67	40.03	37.36	319.5	40.22	312.0
$\frac{6}{IVd} I$	49.90	57.90	1.43	40.5	4.10	12.90	42.27	39.76	333.1	42.19	331.8
$\frac{6}{IVd} II$	49.95	57.95	1.42	40.8	4.41	12.30	38.92	36.96	325.5	39.28	308.4
平均	49.909	57.909	1.426	40.6	3.35	12.93	39.07	36.76	301.8	39.07	301.4

壓縮並に挫折試験成績

供試材片記號	供の試長材さ	供作試材長さ (l)	最轉小半廻徑 (i)	細長比	年輪密	含水量 (φ)	比 重		壓縮並に挫折強 (βφ)	平均含水量(12.95%) に於ける換算數	
							試當驗時 (Sp)	全狀乾態 (So)		比 重 (S <sub>12.95</sub> )	壓縮強挫折強 (β <sub>12.95</sub> )
							100倍			100倍	kg/cm <sup>2</sup>
7 Ia I	59.75	67.75	1.42	47.7	3.12	13.42	35.83	33.28	237.3	35.90	258.1
7 Ia II	59.85	67.85	1.42	47.8	2.70	13.00	36.69	34.07	267.7	36.72	269.9
7 Ib I	59.95	67.95	1.41	48.2	2.72	13.35	37.39	35.38	263.2	38.08	280.8
7 Ib II	59.85	67.85	1.43	47.4	2.83	13.17	38.21	35.62	271.3	38.33	281.0
7 Ic I	59.95	67.95	1.42	47.9	2.56	12.87	37.85	34.96	276.9	37.64	274.1
7 Ic II	59.85	67.85	1.43	47.4	3.42	13.05	40.39	37.80	292.2	40.59	296.5
7 Id I	59.95	67.95	1.43	47.5	3.97	13.17	38.98	36.25	282.5	38.98	292.1
7 Id II	59.85	67.85	1.43	47.4	3.27	12.94	38.90	36.21	288.9	38.94	288.4
7 Ia I	59.95	67.95	1.42	47.9	2.28	13.42	36.59	33.92	246.9	36.56	267.7
7 Ia II	59.85	67.85	1.43	47.4	3.41	12.54	37.38	34.70	290.1	37.37	272.5
7 Ib I	59.80	67.80	1.43	47.4	2.38	13.85	37.77	34.96	233.6	37.64	274.1
7 Ib II	59.95	67.95	1.43	47.5	3.13	12.65	35.93	33.59	273.3	36.22	260.4
7 Ic I	59.85	67.85	1.42	47.8	2.00	13.87	36.39	33.79	223.9	36.43	265.3
7 Ic II	59.85	67.85	1.43	47.4	2.25	12.63	35.46	32.64	265.2	35.24	251.4
7 Id I	59.75	67.75	1.43	47.4	2.09	13.42	38.11	35.47	253.0	38.17	273.8
7 Id II	59.85	67.85	1.44	47.1	1.98	12.85	35.95	33.35	267.6	35.97	263.3
7 Ia I	59.90	67.90	1.42	47.8	2.70	13.29	39.20	36.57	273.0	39.32	287.9
7 Ia II	59.80	67.80	1.42	47.7	5.68	13.10	41.84	38.96	304.1	41.80	310.6
7 Ib I	59.90	67.90	1.43	47.5	2.69	12.71	38.57	38.63	291.8	38.34	281.4
7 Ib II	59.90	67.90	1.42	47.8	5.13	11.00	36.89	33.92	345.2	36.56	266.8
7 Ic I	59.85	67.85	1.41	48.1	2.57	12.78	38.36	35.35	283.8	38.05	279.4
7 Ic II	59.85	67.85	1.42	47.8	4.97	13.20	43.30	40.18	313.5	43.06	324.4
7 Id I	59.95	67.95	1.43	47.5	2.27	12.79	41.01	38.42	316.8	41.24	309.8
7 Id II	59.85	67.85	1.42	47.8	5.99	13.02	42.82	39.79	312.4	42.66	315.4
7 Ia I	59.90	67.90	1.44	47.2	3.53	12.58	41.69	38.48	316.6	41.30	300.7
7 Ia II	59.95	67.95	1.43	47.5	3.53	12.64	40.80	38.35	316.4	41.16	303.1
7 Ib I	59.90	67.90	1.43	47.5	4.26	12.54	41.22	38.27	325.7	41.08	308.1
7 Ib II	59.90	67.90	1.43	47.5	3.97	12.14	40.18	37.59	335.0	40.35	300.9
7 Ic I	59.90	67.90	1.43	47.5	3.41	13.42	41.31	38.38	291.3	41.20	312.1
7 Ic II	59.85	67.85	1.42	47.8	3.56	12.86	35.67	33.08	258.8	35.69	254.9
7 Id I	59.85	67.85	1.43	47.4	3.97	12.74	38.15	35.32	289.2	38.02	280.1
7 Id II	59.90	67.90	1.42	47.8	3.98	12.91	42.72	39.99	322.0	42.87	320.2
平均	59.894	67.894	1.426	47.6	3.32	12.94	38.80	36.57	285.4	38.80	285.2

## 壓縮並に控折試験成績

供 試 材 片 記 號	供 試 材 材 さ	供 作 用 材 長 の さ (l)	最 轉 小 半 廻 徑 (i)	細 長 比	年 輪 密 度	含 水 量 ( $\varphi$ )	比 重		控 折 強 ( $\beta\varphi$ )	平均含水量 12.65% に於ける換算數		備 考
							試 當 時 ( $S\varphi$ )	全 狀 乾 態 ( $S_0$ )		比 重 ( $S_{12.95}$ )	控折強 ( $\beta_{12.95}$ )	
$\frac{8}{Ia} I$	79.95	87.95	1.43	61.5	2.28	13.33	36.46	33.68	192.3	36.32	204.3	*
$\frac{8}{Ia} II$	79.95	87.95	1.41	62.4	2.97	12.32	38.18	35.56	245.5	38.14	226.4	
$\frac{8}{Ib} I$	79.95	87.95	1.42	61.9	3.13	12.90	36.21	33.43	203.0	36.07	201.4	
$\frac{8}{Ib} II$	79.90	87.90	1.22	61.9	2.71	12.53	40.95	38.45	262.3	40.94	249.4	
$\frac{8}{Ic} I$	79.95	87.95	1.42	61.9	2.85	12.87	36.27	33.44	202.4	36.08	200.0	*
$\frac{8}{Ic} II$	79.95	87.95	1.42	61.9	2.87	12.16	37.22	34.74	260.5	37.34	236.6	
$\frac{8}{Id} I$	79.90	87.90	1.43	61.5	3.57	12.46	38.08	35.55	237.0	38.13	222.0	*
$\frac{8}{Id} II$	79.95	87.95	1.41	62.4	2.72	12.75	40.05	37.50	250.4	40.02	244.2	
$\frac{8}{IIa} I$	79.95	87.95	1.43	61.5	2.12	19.49	38.51	36.01	175.1	38.57	226.0	*
$\frac{8}{IIa} II$	79.95	87.95	1.42	61.9	2.70	13.64	37.07	34.46	189.9	37.07	212.0	
$\frac{8}{IIb} I$	79.85	87.85	1.43	61.4	2.27	12.38	32.67	29.87	183.4	32.62	166.0	*
$\frac{8}{IIb} II$	79.95	87.95	1.42	61.9	3.12	12.66	39.31	36.99	244.5	39.52	235.6	
$\frac{8}{IIc} I$	79.95	87.95	1.43	61.5	2.99	12.71	39.33	36.73	240.9	39.27	233.5	
$\frac{8}{IIc} II$	79.90	87.90	1.43	61.5	2.28	12.74	39.61	37.20	246.2	39.73	239.7	
$\frac{8}{IId} I$	79.95	87.95	1.42	61.9	2.00	13.97	36.99	34.30	178.1	36.92	211.1	*
$\frac{8}{IId} II$	79.95	87.95	1.42	61.9	2.99	13.44	36.35	33.54	191.1	36.18	206.6	*
$\frac{8}{IIIa} I$	79.90	87.90	1.43	61.5	2.43	13.60	37.53	34.93	190.8	37.53	211.6	*
$\frac{8}{IIIa} II$	80.00	88.00	1.42	62.0	2.70	12.90	39.50	36.87	239.2	39.41	237.7	
$\frac{8}{IIIb} I$	79.95	87.95	1.42	61.9	2.72	12.72	38.37	35.82	232.4	38.39	225.3	
$\frac{8}{IIIb} II$	79.95	87.95	1.42	61.9	6.40	12.89	39.86	37.47	242.0	39.99	240.1	
$\frac{8}{IIIc} I$	79.95	87.95	1.43	61.5	3.41	11.97	36.42	33.80	235.5	36.43	206.1	*
$\frac{8}{IIIc} II$	79.95	87.95	1.42	61.9	3.73	12.69	37.70	35.23	231.0	37.82	223.0	
$\frac{8}{IIId} I$	79.90	87.90	1.43	61.5	2.70	13.97	42.87	40.46	233.2	42.88	266.2	
$\frac{8}{IIId} II$	79.95	87.95	1.41	62.4	5.56	12.68	40.57	38.10	260.8	40.60	252.8	
$\frac{8}{IVa} I$	79.95	87.95	1.43	61.5	3.56	13.02	36.12	33.33	201.8	35.98	204.0	*
$\frac{8}{IVa} II$	79.95	87.95	1.42	61.9	4.40	12.77	39.36	36.98	241.5	39.51	235.9	
$\frac{8}{IVb} I$	79.85	87.85	1.44	61.0	3.69	13.26	37.04	34.44	192.7	37.05	202.5	*
$\frac{8}{IVb} II$	79.95	87.95	1.43	61.5	4.12	12.64	36.89	34.12	210.4	36.74	201.0	*
$\frac{8}{IVc} I$	79.95	87.95	1.43	61.5	3.55	12.96	36.87	34.37	210.4	36.99	210.7	*
$\frac{8}{IVc} II$	79.95	87.95	1.41	62.4	4.40	12.31	38.86	36.44	252.8	38.99	233.4	
$\frac{8}{IVd} I$	79.95	87.95	1.44	61.1	3.68	12.76	39.65	37.25	248.2	39.78	242.4	
$\frac{8}{IVd} II$	79.95	87.95	1.42	61.9	4.13	12.79	36.60	33.81	212.7	36.44	207.8	*
平均	79.934	87.934	1.424	61.8	3.27	12.92	38.07	35.46	223.1	38.05	222.4	

## 壓縮並に挫折試験成績

供 試 材 片 記 號	供 試 材 長 材 さ	供 作 用 材 長 の さ (l)	最 轉 小 半 廻 徑 (i)	細 長 比	年 輪 密 度	含 水 量 (φ)	比 重		挫 折 強 (βφ)	平均含水量(12.95%) に於ける換算數		備 考
							試 當 時 (Sφ)	全 狀 乾 態 (S <sub>0</sub> )		比 重 (S <sub>12.95</sub> )	挫折強 (β <sub>12.95</sub> )	
9 Ia I	99.95	107.95	1.43	75.5	2.13	13.20	38.64	36.03	163.6	38.58	170.2	*
9 Ia II	99.95	107.59	1.42	76.0	2.71	12.09	38.82	36.17	192.8	38.72	171.1	*
9 Ib I	99.95	107.95	1.43	75.5	2.72	13.57	35.16	32.55	136.7	35.18	153.3	*
9 Ib II	99.95	107.95	1.42	76.0	3.27	12.54	37.71	35.07	176.0	37.64	165.5	*
9 Ic I	99.95	107.95	1.42	76.0	2.57	13.10	37.08	34.59	161.4	37.17	165.3	*
9 Ic II	99.95	107.95	1.43	75.5	2.99	12.90	37.63	35.10	169.5	37.67	168.2	*
9 Id I	99.95	107.95	1.42	76.0	2.28	13.32	35.19	32.57	147.2	35.19	157.0	*
9 Id II	99.95	107.95	1.40	77.1	3.01	12.28	36.70	34.06	193.4	36.65	176.4	
9 IIa I	99.95	107.95	1.43	75.5	2.13	13.10	32.91	30.32	145.2	32.99	149.1	*
9 IIa II	99.95	107.95	1.43	75.5	2.27	13.03	39.03	36.48	181.0	39.02	183.1	
9 IIb I	99.95	107.95	1.42	76.0	2.00	13.04	35.24	32.69	154.6	35.31	157.0	*
9 IIb II	99.95	107.95	1.42	76.0	3.14	12.50	38.53	36.90	189.4	39.43	177.9	
9 IIc I	99.95	107.95	1.43	75.5	1.85	12.95	35.01	32.43	156.8	35.01	156.8	*
9 IIc II	99.95	107.95	1.43	75.5	2.84	12.45	36.44	33.77	178.5	36.37	165.7	*
9 IId I	99.95	107.95	1.43	75.5	1.99	13.19	38.93	36.39	170.0	38.93	176.3	*
9 IId II	99.95	107.95	1.43	75.5	2.42	12.86	38.13	35.59	174.0	38.15	171.7	*
9 IIIa I	99.95	107.95	1.42	76.0	2.43	13.24	40.17	57.53	177.6	40.05	185.3	
9 IIIa II	99.95	107.95	1.42	76.0	5.71	12.57	40.06	37.45	193.8	39.97	184.0	
9 IIIb I	99.95	107.95	1.42	76.0	2.98	12.98	39.31	36.76	176.0	39.29	176.8	*
9 IIIb II	99.95	107.95	1.42	76.0	4.57	12.10	38.59	36.07	196.8	38.62	176.3	
9 IIIc I	99.95	107.95	1.43	75.5	3.43	13.67	38.22	35.60	153.2	38.16	172.5	*
9 IIIc II	99.95	107.95	1.42	76.0	4.69	12.77	40.07	37.49	191.4	40.01	186.7	
9 IIId I	99.95	107.95	1.42	76.0	2.56	13.36	38.98	36.40	169.3	38.94	180.2	
9 IIId II	99.95	107.95	1.42	76.0	2.84	12.29	38.61	36.14	193.3	38.69	176.5	
9 IVa I	99.95	107.95	1.43	75.5	2.55	12.62	34.45	31.73	160.6	34.37	152.1	*
9 IVa II	99.95	107.95	1.42	76.0	3.55	12.97	42.44	39.93	198.1	42.39	198.6	
9 IVb I	99.95	107.95	1.42	76.0	3.55	13.03	35.16	32.32	154.6	34.95	156.7	*
9 IVb II	99.95	107.95	1.42	76.0	4.17	12.97	38.51	35.88	176.1	38.43	176.6	
9 IVc I	99.95	107.95	1.43	75.5	3.70	13.46	41.28	38.75	184.8	41.24	198.4	
9 IVc II	99.95	107.95	1.42	76.0	3.69	13.36	42.16	39.61	190.6	42.08	201.5	
9 IVd I	99.95	107.95	1.43	75.5	3.69	13.67	38.88	36.29	161.8	38.83	181.1	
9 IVd II	99.95	107.95	1.43	75.5	4.40	12.34	40.27	37.73	210.3	40.24	194.8	
平均	99.950	107.950	1.424	75.8	3.22	12.92	38.07	35.51	174.3	38.07	173.8	

## 壓縮並に挫折試験成績

供 試 木	供 試 材 片 記 號	供 の 試 長 材 さ	供 作 用 材 長 の さ (l)	最 轉 小 半 廻 徑 (i)	細 長 比	年 輪 密 度	含 水 量 (φ)	比 重		挫 折 強 (βφ)	平均含水量(12.65%) に於ける換算値		備 考
								試 當 驗 時 (Sφ)	全 狀 乾 態 (S <sub>0</sub> )		比 重 (S <sub>12.9</sub> )	挫折強 (β <sub>12.95</sub> )	
	10 Ia I	119.95	127.95	1.41	90.7	2.70	14.13	37.61	34.87	105.2	36.98	124.7	*
	10 Ia II	119.95	127.95	1.43	89.5	2.99	12.37	39.13	36.72	141.3	38.80	132.3	
	10 Ib I	119.95	127.95	1.41	90.7	2.56	13.16	33.52	31.03	94.8	33.19	98.1	*
	10 Ib II	119.95	127.95	1.41	90.7	3.82	13.00	42.43	39.81	148.7	41.85	149.5	
	10 Ic I	119.95	127.95	1.42	90.1	2.42	13.85	37.24	34.52	107.2	36.63	121.9	*
	10 Ic II	119.95	127.95	1.42	90.1	3.72	12.67	37.36	34.92	126.6	37.03	122.2	*
	10 Id I	119.95	127.95	1.43	89.5	2.28	13.61	37.44	34.88	112.6	36.99	123.3	*
	10 Id II	119.95	127.95	1.43	89.5	4.41	13.24	39.01	36.45	130.2	38.54	134.8	
	10 IIa I	119.95	127.95	1.43	89.5	2.27	13.04	37.73	35.11	123.3	37.21	124.7	*
	10 IIa II	119.95	127.95	1.43	89.5	3.12	12.87	38.31	35.86	130.7	37.95	129.4	
	10 IIb I	119.95	127.95	1.43	89.5	2.28	13.07	35.67	33.09	109.9	35.22	111.8	*
	10 IIb II	119.95	127.95	1.43	89.5	3.40	13.44	37.22	34.45	114.1	36.56	122.0	*
	10 IIc I	119.95	127.95	1.44	88.9	1.99	13.38	34.66	32.02	96.4	34.17	103.3	*
	10 IIc II	119.95	127.95	1.43	89.5	2.27	12.89	39.11	36.63	135.6	38.71	134.7	
	10 IId I	119.95	127.95	1.44	88.9	1.98	13.73	35.45	32.64	98.8	34.78	111.5	*
	10 IId II	119.95	127.95	1.44	88.9	3.12	13.11	37.68	35.07	122.9	37.18	125.4	*
	10 IIIa I	119.95	127.95	1.43	89.5	3.13	13.54	37.11	34.35	113.4	36.47	122.9	*
	10 IIIa II	119.95	127.95	1.43	89.5	4.83	13.03	40.83	38.28	140.3	40.34	141.6	
	10 IIIb I	119.95	127.95	1.43	89.5	2.85	12.69	38.82	36.34	136.7	38.43	132.6	
	10 IIIb II	119.95	127.95	1.41	90.7	5.13	12.94	41.33	38.77	149.3	40.83	149.1	
	10 IIIc I	119.95	127.95	1.42	90.1	2.85	12.41	36.02	33.55	121.9	38.26	113.5	*
	10 IIIc II	119.95	127.95	1.42	90.1	3.52	12.56	41.01	38.51	150.0	40.57	143.9	
	10 IIId I	119.95	127.95	1.43	89.5	3.41	13.49	37.49	34.66	114.4	36.79	123.1	*
	10 IIId II	119.95	127.95	1.42	90.1	5.40	13.21	39.91	37.14	134.3	39.22	138.4	
	10 IVa I	119.95	127.95	1.43	89.5	4.24	13.42	37.33	34.63	115.9	36.74	123.4	*
	10 IVa II	119.95	127.95	1.42	90.1	3.85	12.37	37.47	34.98	133.9	37.09	124.9	*
	10 IVb I	119.95	127.95	1.43	89.5	4.97	12.30	38.03	35.61	138.7	37.71	128.7	
	10 IVb II	119.95	127.95	1.43	89.5	2.56	12.89	37.34	34.89	125.0	37.00	124.1	*
	10 IVc I	119.95	127.95	1.42	90.1	4.27	13.37	37.45	34.62	118.1	36.73	123.2	*
	10 IVc II	119.95	127.95	1.42	90.1	4.13	12.85	40.04	37.51	142.6	39.58	141.0	
	10 IVd I	119.95	127.95	1.43	89.5	4.98	12.52	39.52	37.03	140.8	39.11	134.1	
	10 IVd II	119.95	127.95	1.42	90.1	3.69	12.24	39.22	36.70	142.3	38.78	131.4	
	平均	119.95	127.95	1.426	89.8	3.42	13.04	38.08	35.49	125.5	37.67	127.0	

附表 (第二)

挫折破壊時に於ける撓み (1)

供試材記號	撓み (mm)								
3 1a I		4 1a I	1.0*	5 1a I	1.2*	6 1a I	4.9	7 1a I	3.1
3 1a II		4 1a II		5 1a II	1.5	6 1a II	2.9	7 1a II	2.2
3 1b I		4 1b I		5 1b I	0.9*	6 1b I	1.6	7 1b I	3.6
3 1b II		4 1b II	1.6	5 1b II	2.2	6 1b II	1.1*	7 1b II	1.9
3 1c I	1.2*	4 1c I	0.8*	5 1c I	1.4*	6 1c I	3.0	7 1c I	
3 1c II	0.6*	4 1c II		5 1c II		6 1c II	1.8	7 1c II	2.6
3 1d I	1.0*	4 1d I	1.2*	5 1d I	2.7	6 1d I	3.6	7 1d I	2.0
3 1d II	0.8*	4 1d II		5 1d II	1.0*	6 1d II	2.7	7 1d II	3.5
3 11a I	1.4*	4 11a I	0.8*	5 11a I	1.7	6 11a I	2.3	7 11a I	3.2
3 11a II		4 11a II	1.4*	5 11a II		6 11a II		7 11a II	2.8
3 11b I	0.6*	4 11b I	1.1*	5 11b I		6 11b I	2.7	7 11b I	6.0
3 11b II		4 11b II		5 11b II	0.7*	6 11b II	1.6	7 11b II	2.6
3 11c I	0.6*	4 11c I	0.8*	5 11c I	2.3	6 11c I	2.8	7 11c I	6.5
3 11c II	0.6*	4 11c II	0.8*	5 11c II	0.9*	6 11c II		7 11c II	3.3
3 11d I	0.4*	4 11d I	1.3*	5 11d I	1.9	6 11d I	2.4	7 11d I	2.8
3 11d II		4 11d II	0.9*	5 11d II	1.6	6 11d II	2.6	7 11d II	4.6
3 11a I	1.1*	4 11a I	1.3*	5 11a I	1.6	6 11a I	1.8	7 11a I	3.2
3 11a II	0.8*	4 11a II	1.8	5 11a II	1.6	6 11a II		7 11a II	3.7
3 11b I		4 11b I	2.1	5 11b I	2.5	6 11b I		7 11b I	0.8*
3 11b II		4 11b II	1.0*	5 11b II	1.0*	6 11b II	2.2	7 11b II	1.3*
3 11c I		4 11c I	1.7	5 11c I	1.9	6 11c I	3.5	7 11c I	2.4
3 11c II	1.1*	4 11c II	1.1*	5 11c II	1.0*	6 11c II	2.5	7 11c II	2.1
3 11d I	1.4*	4 11d I		5 11d I	1.4*	6 11d I	2.0	7 11d I	
3 11d II		4 11d II	0.7*	5 11d II	1.4*	6 11d II	2.5	7 11d II	4.6
3 11a I		4 11a I		5 11a I	1.2*	6 11a I	2.0	7 11a I	2.5
3 11a II	2.1	4 11a II	0.7*	5 11a II		6 11a II		7 11a II	2.3
3 11b I		4 11b I		5 11b I	1.6	6 11b I	1.4*	7 11b I	3.0
3 11b II		4 11b II	0.7*	5 11b II	1.0*	6 11b II	3.0	7 11b II	
3 11c I	0.8*	4 11c I		5 11c I		6 11c I	1.3*	7 11c I	1.7
3 11c II	0.6*	4 11c II		5 11c II	1.4*	6 11c II	1.1*	7 11c II	3.9
3 11d I		4 11d I	0.8*	5 11d I	1.4*	6 11d I	1.9	7 11d I	1.9
3 11d II		4 11d II		5 11d II		6 11d II		7 11d II	1.3*
計	15.1	計	23.6	計	39.0	計	61.2	計	84.4
平均	0.9	平均	1.1	平均	1.5	平均	2.4	平均	2.9

## 挫折破壊時に於ける撓み (2)

供試材記號	撓み (mm)	供試材記號	撓み (mm)	供試材記號	撓み (mm)	備考
$\frac{8}{1a} I$	6.0	$\frac{9}{1a} I$	12.6	$\frac{10}{1a} I$	33.4	*印は試験經過中挫折應力によりて現れしものなりや疑問と認めらるるものなり。
$\frac{8}{1a} II$	4.0	$\frac{9}{1a} II$	5.5	$\frac{10}{1a} II$	15.4	
$\frac{8}{1b} I$	6.4	$\frac{9}{1b} I$	10.5	$\frac{10}{1b} I$	7.1	
$\frac{8}{1b} II$	5.5	$\frac{9}{1b} II$	11.3	$\frac{10}{1b} II$	10.5	
$\frac{8}{1c} I$	3.5	$\frac{9}{1c} I$	12.4	$\frac{10}{1c} I$	14.5	
$\frac{8}{1c} II$	1.9	$\frac{9}{1c} II$	7.2	$\frac{10}{1c} II$	12.1	
$\frac{8}{1d} I$	3.8	$\frac{9}{1d} I$	15.7	$\frac{10}{1d} I$	11.5	
$\frac{8}{1d} II$	6.0	$\frac{9}{1d} II$	9.5	$\frac{10}{1d} II$	13.6	
$\frac{8}{IIa} I$	8.9	$\frac{9}{IIa} I$	15.3	$\frac{10}{IIa} I$	13.1	
$\frac{8}{IIa} II$	6.0	$\frac{9}{IIa} II$	10.6	$\frac{10}{IIa} II$	9.1	
$\frac{8}{IIb} I$	9.1	$\frac{9}{IIb} I$	13.4	$\frac{10}{IIb} I$	14.9	
$\frac{8}{IIb} II$	4.5	$\frac{9}{IIb} II$	6.2	$\frac{10}{IIb} II$	10.7	
$\frac{8}{IIc} I$	8.0	$\frac{9}{IIc} I$	15.4	$\frac{10}{IIc} I$	12.5	
$\frac{8}{IIc} II$	7.2	$\frac{9}{IIc} II$	12.4	$\frac{10}{IIc} II$	7.2	
$\frac{8}{IId} I$	9.3	$\frac{9}{IId} I$	8.9	$\frac{10}{IId} I$	21.1	
$\frac{8}{IId} II$	3.2	$\frac{9}{IId} II$	12.9	$\frac{10}{IId} II$	8.5	
$\frac{8}{IIIa} I$	8.7	$\frac{9}{IIIa} I$	13.8	$\frac{10}{IIIa} I$	10.5	
$\frac{8}{IIIa} II$	8.5	$\frac{9}{IIIa} II$	9.8	$\frac{10}{IIIa} II$	18.1	
$\frac{8}{IIIb} I$	5.2	$\frac{9}{IIIb} I$	12.5	$\frac{10}{IIIb} I$	10.0	
$\frac{8}{IIIb} II$	8.6	$\frac{9}{IIIb} II$	5.6	$\frac{10}{IIIb} II$	20.8	
$\frac{8}{IIIc} I$	6.6	$\frac{9}{IIIc} I$	6.2	$\frac{10}{IIIc} I$	15.7	
$\frac{8}{IIIc} II$	5.1	$\frac{9}{IIIc} II$	11.3	$\frac{10}{IIIc} II$	13.2	
$\frac{8}{IIId} I$	6.1	$\frac{9}{IIId} I$	10.2	$\frac{10}{IIId} I$	18.2	
$\frac{8}{IIId} II$	4.0	$\frac{9}{IIId} II$	13.1	$\frac{10}{IIId} II$	17.8	
$\frac{8}{IVa} I$	4.0	$\frac{9}{IVa} I$	17.5	$\frac{10}{IVa} I$	15.2	
$\frac{8}{IVa} II$	3.8	$\frac{9}{IVa} II$	6.4	$\frac{10}{IVa} II$	9.8	
$\frac{8}{IVb} I$	8.5	$\frac{9}{IVb} I$	10.0	$\frac{10}{IVb} I$	8.5	
$\frac{8}{IVb} II$	5.0	$\frac{9}{IVb} II$	12.6	$\frac{10}{IVb} II$	15.1	
$\frac{8}{IVc} I$	5.1	$\frac{9}{IVc} I$	10.7	$\frac{10}{IVc} I$	15.7	
$\frac{8}{IVc} II$	7.4	$\frac{9}{IVc} II$	8.6	$\frac{10}{IVc} II$	10.5	
$\frac{8}{IVd} I$	2.9	$\frac{9}{IVd} I$	13.9	$\frac{10}{IVd} I$	12.0	
$\frac{8}{IVd} II$	7.5	$\frac{9}{IVd} II$	6.0	$\frac{10}{IVd} II$	12.6	
計	190.3	計	348.0	計	438.9	
平均	5.9	平均	10.9	平均	13.7	

附表 (第三)

荷重と撓み (細長比: 61.8)

供試記 材號	荷重 (t)																	
	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	4.00	4.25	4.50	4.75	5.00	5.25	5.55
$\frac{8}{Ia} I$	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	1.1	1.3	1.4	1.6	1.9	2.3	2.8	3.2	3.8	6.0
$\frac{8}{Ia} II$	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	1.5	4.0
$\frac{8}{Ib} I$	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6	0.7	0.9	1.0	1.0	1.1	1.4	1.5	1.7	2.5	3.6	6.5
$\frac{8}{Ib} II$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.8	0.9	1.1	1.3	1.6	2.3	5.5
$\frac{8}{Ic} I$	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.9	1.1	1.3	1.4	1.8	3.5
$\frac{8}{Ic} II$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	1.2	1.9
$\frac{8}{Id} I$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.9	3.1	3.8
$\frac{8}{Id} II$	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.6	2.0	3.4	6.0
$\frac{8}{IIa} I$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.9	1.1	1.4	1.7	2.1	2.4	2.8	3.4	4.0	4.8	6.0	8.0	9.0
$\frac{8}{IIa} II$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.8	2.3	2.7	4.2	6.0
$\frac{8}{IIb} I$	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	2.0	2.4	2.9	3.9	6.5	9.2
$\frac{8}{IIb} II$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.7	2.3	4.5
$\frac{8}{IIc} I$	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	1.9	2.6	10.0
$\frac{8}{IIc} II$	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.8	1.0	1.1	1.3	1.6	1.9	2.2	2.6	3.0	3.3	5.1
$\frac{8}{IId} I$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.4	1.8	2.2	2.6	3.2	4.1	4.9	9.8
$\frac{8}{IId} II$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2	1.5	2.3	3.2	3.2
$\frac{8}{IIIa} I$	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.8	1.0	1.2	1.6	2.0	2.3	2.7	3.4	4.2	5.0	6.0	8.9
$\frac{8}{IIIa} II$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.1	1.2	1.4	1.7	2.2	2.5	2.9	3.5	4.1	5.8	8.6
$\frac{8}{IIIb} I$	0.4	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.3	1.6	1.7	1.9	2.1	2.3	2.6	3.0	3.6	4.1	5.2
$\frac{8}{IIIb} II$	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.9	3.3	3.7	4.2	4.6	6.1	8.8
$\frac{8}{IIIc} I$	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.0	2.2	2.5	2.7	3.2	3.6	4.9	6.6
$\frac{8}{IIIc} II$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	1.1	1.7	2.2	3.4	5.1
$\frac{8}{IIId} I$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1.0	1.1	1.2	1.4	1.6	1.8	2.2	2.6	3.2	6.1
$\frac{8}{IIId} II$	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	1.0	1.3	1.9	3.4	4.0
$\frac{8}{IVa} I$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	3.0	4.0
$\frac{8}{IVa} II$	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.7	2.0	3.0	3.8
$\frac{8}{IVb} I$	0.1	0.1	0.3	0.5	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.9	2.2	2.8	3.2	3.6	4.6	5.6	7.9	9.1
$\frac{8}{IVb} II$	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8	2.2	2.8	3.9	5.0
$\frac{8}{IVc} I$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.9	2.2	2.6	2.9	3.4	4.0	5.7	7.5
$\frac{8}{IVc} II$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.0	1.2	1.6	2.2	7.5
$\frac{8}{IVd} I$	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.2	1.3	1.5	2.2	3.3	7.6
$\frac{8}{IVd} II$	0.4	0.5	0.6	0.6	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	0.9	1.0	1.1	1.1	1.2	1.4	1.6	2.0	2.8
計	5.1	6.2	8.0	10.1	12.3	15.4	18.8	23.1	27.4	32.1	36.9	43.4	51.1	59.5	72.3	88.2	122.7	194.6
平均	0.16	0.19	0.25	0.32	0.38	0.48	0.59	0.72	0.86	1.00	1.15	1.36	1.60	1.86	2.26	2.76	3.83	6.08

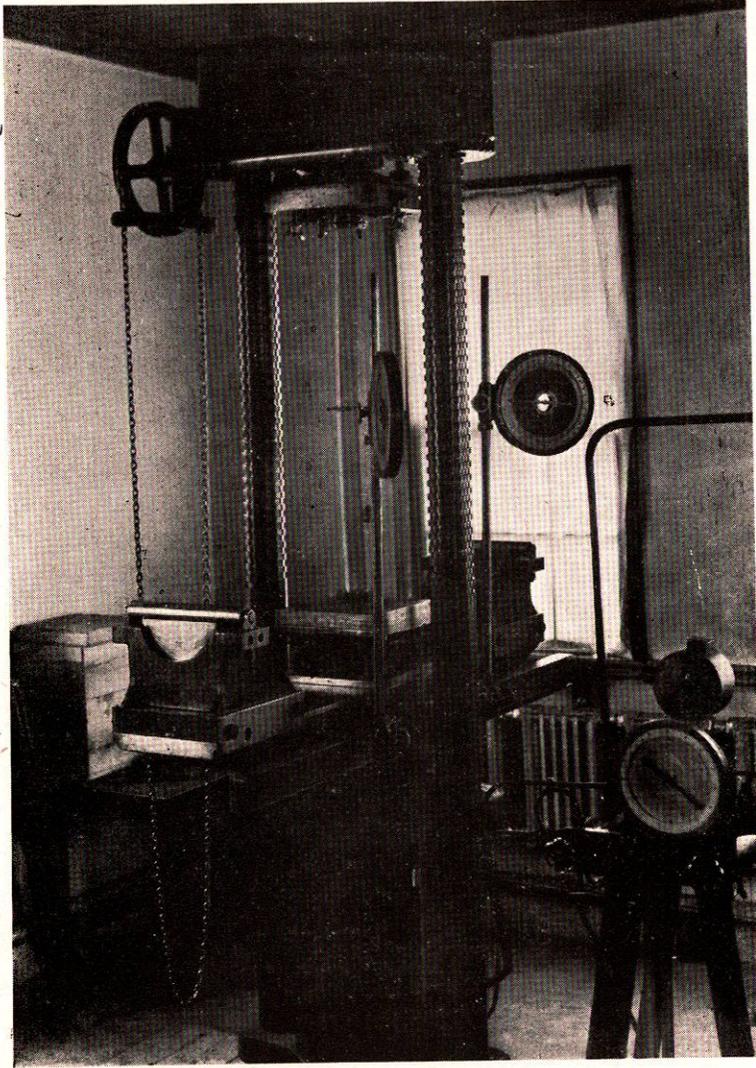
## 荷重と撓み (細長比: 75.8)

供試材記 材號	荷重 (t)											
	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25	3.50	3.75	3.90
$\frac{9}{Ia}$ I	0.6	0.8	1.0	1.4	1.9	2.6	3.3	4.0	5.7	7.0	10.9	12.6
$\frac{9}{Ia}$ II	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.4	2.4	5.5
$\frac{9}{Ib}$ I	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.6	0.9	1.4	2.0	3.4	6.5	10.5
$\frac{9}{Ib}$ II	0.7	1.0	1.3	1.6	2.0	2.6	3.1	3.7	4.6	6.3	9.6	11.3
$\frac{9}{Ic}$ I	0.1	0.1	0.3	0.8	1.3	2.0	2.8	3.4	4.4	6.2	7.7	12.4
$\frac{9}{Ic}$ II	0.3	0.4	0.5	0.7	1.1	1.4	1.7	2.1	2.7	3.4	4.5	7.2
$\frac{9}{Id}$ I	0.1	0.2	0.5	1.0	1.7	2.3	2.8	3.6	5.0	7.0	11.8	15.7
$\frac{9}{Id}$ II	0.2	0.2	0.4	0.6	0.8	1.1	1.3	1.7	2.0	3.1	4.8	9.5
$\frac{9}{IIa}$ I	0.1	0.2	0.3	0.7	1.2	1.9	2.8	3.5	4.9	6.4	10.5	15.3
$\frac{9}{IIa}$ II	0.4	0.7	0.9	1.2	1.6	1.9	2.3	2.8	3.4	4.3	5.5	10.6
$\frac{9}{IIb}$ I	0.2	0.3	0.6	0.9	1.7	2.5	3.2	4.0	4.9	7.4	10.0	13.4
$\frac{9}{IIb}$ II	0.1	0.1	0.3	0.4	0.5	0.7	0.9	1.2	1.6	2.2	3.6	6.2
$\frac{9}{IIc}$ I	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	2.0	2.5	3.4	4.2	5.9	7.9	15.4
$\frac{9}{IIc}$ II	0.4	0.6	1.0	1.4	1.7	2.0	2.4	3.0	3.5	4.9	7.0	12.4
$\frac{9}{IId}$ I	0.1	0.2	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.8	2.4	2.9	4.5	8.9
$\frac{9}{IId}$ II	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6	2.0	2.8	3.8	4.9	6.2	11.0	12.9
$\frac{9}{IIIa}$ I	0.4	0.8	1.3	1.6	2.0	2.6	3.5	4.1	5.1	6.6	10.5	13.8
$\frac{9}{IIIa}$ II	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	1.3	1.7	2.3	3.2	5.4	9.8
$\frac{9}{IIIb}$ I	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	2.1	2.6	3.3	4.2	6.0	10.3	12.5
$\frac{9}{IIIb}$ II	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6	0.9	1.4	3.9	5.6
$\frac{9}{IIIc}$ I	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	1.0	1.5	2.7	5.4	6.2
$\frac{9}{IIIc}$ II	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	1.6	1.9	2.5	3.1	4.0	6.3	11.3
$\frac{9}{IIId}$ I	0.4	0.5	0.7	1.0	1.4	1.7	2.1	2.5	3.3	4.6	6.0	10.2
$\frac{9}{IIId}$ II	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.5	1.9	2.3	3.1	4.0	7.3	13.1
$\frac{9}{IVa}$ I	0.1	0.2	0.4	0.7	1.0	1.5	2.3	3.2	4.8	7.1	11.1	17.5
$\frac{9}{IVa}$ II	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.6	1.2	1.7	2.6	4.0	5.4	6.3
$\frac{9}{IVb}$ I	0.2	0.4	0.5	0.7	0.9	1.4	1.8	2.4	2.9	4.5	6.8	10.0
$\frac{9}{IVb}$ II	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.7	2.1	2.7	3.4	5.1	11.6	12.6
$\frac{9}{IVc}$ I	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.2	1.5	2.1	2.8	4.4	8.0	10.7
$\frac{9}{IVc}$ II	1.2	1.5	1.6	1.8	2.0	2.3	2.5	2.9	3.4	4.2	6.7	8.6
$\frac{9}{IVd}$ I	0.1	0.2	0.8	1.1	1.6	2.2	2.9	3.7	4.8	5.7	8.4	13.9
$\frac{9}{IVd}$ II	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	1.3	2.6	6.0
計	8.8	12.8	19.1	27.0	36.8	49.5	63.7	81.0	105.9	146.8	233.9	347.9
平均	0.28	0.40	0.60	0.84	1.15	1.55	1.99	2.53	3.31	4.59	7.31	10.87

## 荷重と撓み (細長比: 89.8)

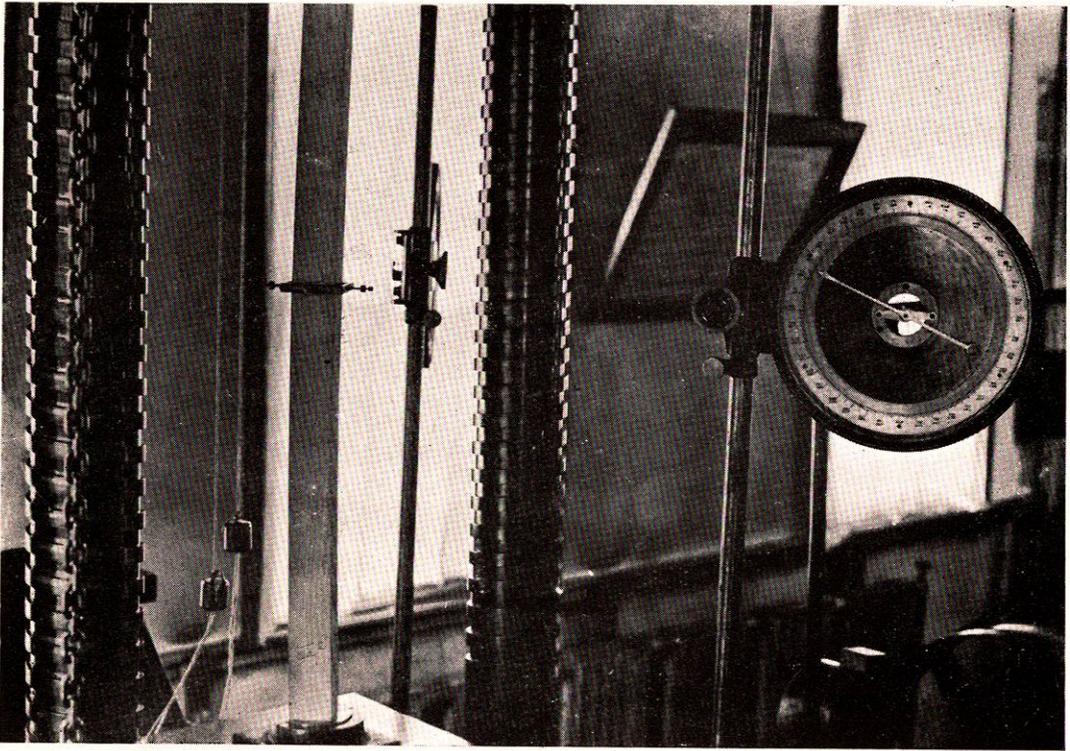
荷重 (t)	1.00	1.25	1.50	1.75	2.00	2.25	2.50	2.75	3.00	3.25
供試記 材號										
$\frac{10}{I_a} I$	0.1	0.1	0.2	0.4	1.6	3.2	6.0	11.0	24.5	33.4
$\frac{10}{I_a} II$	0.3	0.5	0.6	0.9	1.2	1.4	2.2	3.5	6.1	15.4
$\frac{10}{I_b} I$	0.1	0.1	0.2	0.3	0.7	1.3	2.1	3.5	5.9	7.1
$\frac{10}{I_b} II$	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	1.0	1.5	2.6	6.1	10.5
$\frac{10}{I_c} I$	0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	1.2	1.9	3.1	6.6	14.5
$\frac{10}{I_c} II$	0.2	0.4	0.7	1.0	2.0	2.5	3.8	5.5	9.2	11.4
$\frac{10}{I_d} I$	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	1.1	1.7	3.9	11.5
$\frac{10}{I_d} II$	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	1.3	2.6	4.2	13.6
$\frac{10}{H_a} I$	0.2	0.5	0.7	1.0	1.5	2.0	3.1	5.0	11.0	13.1
$\frac{10}{H_a} II$	0.4	0.5	0.6	0.7	1.0	1.2	1.5	1.9	4.1	9.1
$\frac{10}{H_b} I$	0.2	0.2	0.3	0.7	1.4	1.9	2.4	4.1	7.8	14.9
$\frac{10}{H_b} II$	0.2	0.2	0.6	1.0	1.3	1.9	2.6	4.4	8.1	10.7
$\frac{10}{H_c} I$	0.1	0.1	0.2	0.4	0.8	1.5	2.3	3.8	6.6	12.5
$\frac{10}{H_c} II$	0.4	0.5	0.7	0.9	1.1	1.3	1.9	3.0	4.6	7.2
$\frac{10}{H_d} I$	0.1	0.1	0.2	0.5	1.0	1.7	2.3	4.0	7.4	21.1
$\frac{10}{H_d} II$	0.1	0.2	0.6	1.0	1.4	1.8	3.1	4.5	7.0	8.4
$\frac{10}{W_a} I$	0.1	0.3	0.8	1.2	1.7	2.4	3.5	4.4	8.9	10.5
$\frac{10}{W_a} II$	0.5	0.8	1.0	1.3	1.7	2.1	3.0	3.8	5.9	18.1
$\frac{10}{W_b} I$	0.2	0.2	0.4	0.7	1.1	1.7	2.7	4.6	7.7	10.0
$\frac{10}{W_b} II$	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	1.2	2.2	5.9	20.8
$\frac{10}{W_c} I$	0.1	0.1	0.2	0.8	1.3	1.7	2.6	3.3	6.2	15.7
$\frac{10}{W_c} II$	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	1.1	2.6	13.2
$\frac{10}{W_d} I$	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.9	3.2	5.8	10.7	18.2
$\frac{10}{W_d} II$	0.2	0.4	0.5	0.8	1.3	2.3	3.6	7.3	15.6	17.8
$\frac{10}{V_a} I$	0.3	0.6	1.2	1.5	1.8	2.1	2.6	4.5	8.0	15.2
$\frac{10}{V_a} II$	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.9	1.5	3.0	4.7	9.8
$\frac{10}{V_b} I$	0.2	0.3	0.4	0.5	0.8	1.4	1.7	3.7	5.8	8.5
$\frac{10}{V_b} II$	0.4	0.5	0.7	1.0	1.6	1.8	2.4	3.4	9.0	15.1
$\frac{10}{V_c} I$	0.1	0.1	0.5	1.0	1.5	2.6	3.5	5.4	9.1	15.7
$\frac{10}{V_c} II$	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	1.2	1.6	1.7	3.3	10.5
$\frac{10}{V_d} I$	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	1.3	2.5	12.0
$\frac{10}{V_d} II$	0.6	0.8	1.1	1.4	1.7	2.2	2.7	4.0	5.3	12.6
計	7.0	9.7	15.6	23.6	35.9	51.5	76.2	124.7	234.3	438.1
平均	0.22	0.30	0.49	0.74	1.12	1.61	2.38	3.90	7.32	13.69

第 I 圖版



長柱の強度試験實況

第 II 圖版



長柱の彎曲試験實況