

37090
Tech. Bull. No. 1

Feb 1944

農林部中央林業實驗所

研究專刊

第一號

竹材之物理性質及力學性質

初步試驗報告

(附西文摘要)

梁 希 H. Liang

周光榮 K. Y. Chow.

陳桂陞 K. S. Chen 梁世鎮 S. C. Liang 彭斌常 S. C. Peng

Published by

The national Bureau of Forest Research

Chungking, China

重慶中央林業實驗所編印

民國三十三年二月出版

成都市蓉新印刷工業合作社代印

研究

竹材之物理性質及力學性質

初步試驗報告

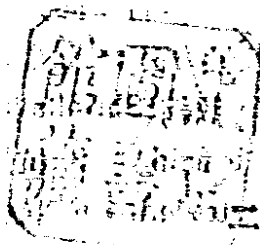
(附西文摘要)

梁 希 H. Liang 陳 桂 鐘

周榮光 K. Y. Chow 梁 世 鎮

目 錄 彭 煥 常

- I. 緒論
- II. 竹材之物理性質
 - 甲、試驗項目
 - 1. 含水量之測定
 - 2. 容比重之測定
 - 3. 收縮之測定
 - 乙、試驗結果
- III. 竹材之力學性質
 - 一、試驗方法
 - 1. 竹材抗壓強之測定
 - 2. 竹材抗張強之測定
 - 3. (i) 水竹抗張強之測定
 - (ii) 慈竹竹繩抗張強之測定
 - (iii) 慈竹抗張強之測定
 - 二、試驗結果
 - 三、結論



(南)

1. 緒 論

竹類分布於全世界者，計共三十餘屬，二百餘種，亞洲為其主產地，佔有一百五十餘種；由英領印度，馬來諸島及中國，迄於北方日本之千島皆產之。產於中國者，計有六屬，四川所產之種甚夥。竹材之利用，隨各種之材性而異趣。其一般之性質為幹材通直，中空而輕，富有割裂性；且富有韌性，彈力，抗壓力等；收縮率小，鮮有因乾濕而伸縮者。此等特性，極便於種種利用。茲按利用之性質而分類，以窺其效用之一般。

- (一) 利用其割裂性者：提燈之絡、蓆、蓬、梳、櫛、扇骨、籠、笊、竹箱、簾、傘骨等。
- (二) 利用其彈力者：弓、釣竿等。
- (三) 利用其抗彎力者：屋椽、梯、曬竿、擔架、滑竿等。
- (四) 利用其縱向抗壓力者：建築物支柱、牀柱、機脚、手杖等。
- (五) 利用其抗張力者：籐籐、竹繩等。
- (六) 利用其中空者：簫、笛、水管等。

以上所舉，皆其效用之較著者。至於台灣，及其他東亞熱帶諸島，凡柱、擔、牀、壁、椅、几、桶、杓以及其他日常用品，幾無一非竹。故竹材之用途，實不亞於木材。而竹材特殊性質之利用，如籐籐，竹繩，水管等，非木材所可勝任。然竹材之用途雖廣，而利用之種類，悉傳自古昔；各種竹材之特性，亦憑諸經驗，殊無科學之研究。抗戰以來，各種材料缺乏，各方欲採用竹材，作數種特殊用途，如半新式橋樑之吊索，新式建築物之支柱，自來水管，代替水泥之鋼筋，鹽井用取油之桶索，以及數種兵工器材；此外尚有人建議，用竹製飛機用之層板。然竹材之物理性方面：如含水量 (Moisture Content)，比重 (Specific gravity)，收縮 (Shrinkage) 等，及力學性質方面：如靜力彎曲 (Static bending)；抗壓強 (Compressive strength)，抗剪強 (Shearing strength)，抗張強 (Tensile strength) 劈裂性 (Cleavability) 等，皆有試驗之必要矣。

。不然，材料而無數字之根據，則經濟上、安全上，毫無憑藉，工程界不敢驟然從事於是一方面材料不能發揮其新效能，他方面多種企業與建築，又將因原來材料缺乏而無適當代用品而趨於停頓，殊為可惜。本所林產利用組有鑒於此，特與中央大學合作，先就川產主要竹材——楠竹 (*Phyllostachys edulis*) 水竹 (*Bambusa nana*) 與慈竹 (*Sinocalamus officinalis*) 作數種重要之物理性質與力學性質之初步試驗，計自三十年十月起，作楠竹與慈竹之含水量、比重、與收縮三種試驗，自三十一年一月起，作楠竹縱向抗壓強，水竹抗張強，與慈竹抗張強之測定。蓋楠竹幹材直徑約三、四寸，較他種竹材為粗；故試驗其抗壓強，以期應用於房屋建築等工程，代替支柱及自來水管之用。而慈竹與水竹則為普通編製竹繩，纏籐之用，故特檢定其抗張強，視其可否適用於吊橋工程，鹽井取油工程，作鋼索之代用品。至少，試驗結果明瞭以後，可以供普通一般用途之參考也。茲值初步試驗告一段落之時，先為發表，以就政於有道焉。

竹材之物理性 (Physical Properties of Bamboo)

一 試驗項目

1. 含水量 (Moisture Content M. C. %) 之測定：

水分存於竹材之處有三：(1)在有生活機能細胞之原形質內；(2)在細胞腔中；(3)在細胞壁內。竹材內所含水分之重量，所佔竹材全乾重量之百分率為竹材之含水量。含水量之大小，與竹材之比重，重量，強度硬度，收縮，膨脹，導熱，導電，保存性，燃燒力，油漆附着，膠合能力，液體滲透等性質，均有甚大之關係，故在利用上不容忽視。

含水量表示方法有二：(1)以含水竹材重量為基礎算出其百分率，即含水竹材總重量中，含有若干重量之水分，以百分數表示之，此法通稱對生材或氣乾材之百分率。(2)以全乾材重量為基礎，算出其百分率，即全乾材一百分中含水若干分也。此法稱對全乾材之百分率。竹材中之含水量，隨時隨地皆有變化，故以生材或氣乾

材重量為基礎算出之含水量，不如以全乾材重量為基礎算出者之穩定。本試驗所測定之含水量，即係對全乾材之百分率。

含水量測定之方法，為就竹材各節中，切取長 2 cm. 之試體，稱其生材重量 W_g ，置於電爐中，使其溫度常保持 100—105°C. 烘乾之，至重量不變時，稱其燻乾重 W_o ，由二者重量之差，計算其含水量。

$$\frac{\text{生材重量 } W_g - \text{全乾材重量 } W_o}{\text{全乾材重 } W_o} \times 100 = \text{從全乾材重量算出之含水百分率}$$

2. 比重 (Specific gravity) 之測定

某物體一定容積之重量與等容積水之重量之比，謂之該物體之比重。每塊竹材之容積受其所吸入水分之影響甚大。當竹材全乾時，其密度最大（即單位容積內含有最多之竹質也），其比重最小（由生材體積與全乾材重量測定之比重）。

竹材比重之測定方式有二：(1) 從竹材實質重量算出；(2) 從竹材容積算出。實質比重之測定，先將竹材碎為極細粉末，去其水分，用比重瓶測定之。惟本試驗未作此種測定。容積比重測定法，為將竹材浸於水，測定其容積而計算之。

習慣上竹材比重之記載，與計算有四種：

(1) 生材狀態之比重 (D_g)，

$$D_g = \frac{\text{生材重量 } (W_g)}{\text{生材容積 } (V_g)}$$

(2) 全乾材狀態之比重 (D_o)，

$$D_o = \frac{\text{全乾材重量 } (W_o)}{\text{全乾材容積 } (V_o)}$$

(3) 容積在生材狀態，重量為全乾材時之比重 (D_{go})，

$$D_{go} = \frac{\text{全乾材重量 } (W_o)}{\text{生材容積 } (V_g)}$$

(4) 氣乾材狀態時之比重 (D_a)，

$$D_a = \frac{\text{氣乾材重量 } (W_a)}{\text{氣乾材容積 } (V_a)}$$

以上四種比重中，以第三種比重，即容積在生材狀態，重量為全乾時之比重 (Dgo) 最為重要。蓋全乾材之重量與生材之體積，均為不易變更之常數量。由此所求得之比重，亦較他種者為穩定也。此種比重稱基本比重 (Basic specific gravity)，即本試驗所測定者。

測定之法，從竹材各節中，切取一小試體；用浸水測積法 (Immersion method)，測定其生材體積後，置於電爐中，烘至重量不變為止，稱其全乾材重。以生材體積 c.c. 除全乾材重量 g，得基本比重。

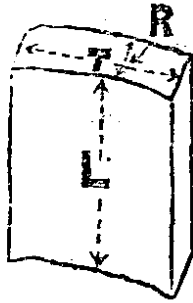
3. 收縮 (Shrinkage) 之測定：

竹材本身，非為等質體。構成竹材之細胞有大小，胞壁有厚薄，細胞之排列，又不能均勻分佈。各部組織既不同，則收縮自不能均勻。收縮不均，則竹材易於變形，易於破裂，如反橋，乾裂等。此種弊病，在利用上極感困難。故竹材容積上之變化，於利用上有甚大之關係也。

竹材收縮性之檢定，可分下列六項：

- (1) 徑向收縮 (Radial Shrinkage) R%
- (2) 弦向收縮 (Tangential Shrinkage) T%
- (3) 縱向收縮 (Longitudinal Shrinkage) L%
- (4) 體積收縮 (Volumetric Shrinkage) Vs%
- (5) 外圓周收縮 (Shrinkage of outer Circumference) · Co%
- (6) 內圓周收縮 (Shrinkage of inner Circumference) · Ci%

測定之方法：徑向，弦向及縱向三種收縮之測定，先用測微計 (micrometer)，沿生材試材之徑向，弦向及縱向各測其長度 (圖一)。放試材入電爐烘至全乾後，再測定其徑向，弦向及縱向之長度。由前後長度之差，各計算其收縮率。體積收縮率，乃先以浸水測積法測定試材之生材體積。爐乾後，在試材外表塗以石蠟 (Paraffin)，再以浸水測積法測定試材之全乾材體積。由二者體積之差，測定體積收縮率。圓周收縮率，用測微計測定其生材與全乾材之徑之差而計算之。



圖一、試材之三向長度：

R, 徑向長度,

T, 弦向長度,

L, 縱向長度。

計算公式如下：

(1) 徑向收縮 R%

$$R \% = \frac{\text{生材徑向長度}(R_g) - \text{全乾材徑向長度}(R_o)}{\text{生材徑向長度}(R_g)} \times 100$$

(2) 弦向收縮 T%

$$T \% = \frac{\text{生材弦向長度}(T_g) - \text{全乾材弦向長度}(T_o)}{\text{生材弦向長度}(T_g)} \times 100$$

(3) 縱向收縮 L%

$$L \% = \frac{\text{生材縱向長度}(L_g) - \text{全乾材縱向長度}(L_o)}{\text{生材縱向長度}(L_g)} \times 100$$

(4) 體積收縮 Vs%

$$V_s \% = \frac{\text{生材體積}(V_g) - \text{全乾材體積}(V_o)}{\text{生材體積}(V_g)} \times 100$$

(5) 外圓周收縮 Co%

$$C_o \% = \frac{\text{生材外圓周直徑}(D_g) - \text{全乾材外圓周直徑}(D_o)}{\text{生材外圓周直徑}(D_g)} \times 100$$

(6) 內圓周收縮 Ci%

$$C_i \% = \frac{\text{生材內圓周直徑}(d_g) - \text{全乾材內圓周直徑}(d_o)}{\text{生材內圓周直徑}(d_g)} \times 100$$

二、試驗結果：

1. 慈竹 (*Sinocalamus officinis*) 之含水量：
 $M. C. = 60 \pm 10\%$ (M. C. 爲含水量)
 即 $\approx 70\% - 50\%$ ，下同。
2. 慈竹之基本比重 (生材體積，全乾材重量)：
 $Basic\ sp.\ gr. = 0.75 \pm 0.05$
3. 慈竹之收縮率：
 $R\% = 4.0 \pm 0.5\%$ (R 爲徑向收縮)
 $T\% = 5.0 \pm 0.5\%$ (T 爲弦向收縮)
 $Vs\% = 1.0 \pm 0.5\%$ (Vs 爲容積收縮)
 $CI\% = 3.0 \pm 0.5\%$ (CI 爲內圓周收縮)
 $Co\% = 3.0 \pm 0.5\%$ (Co 爲外圓周收縮)
4. 楠竹 (*Phyllostachys edulis*) 之含水量：
 $M. C. = 70 \pm 10\%$
5. 楠竹之比重：
 $Basic\ sp.\ gr. = 0.65 \pm 0.05$
6. 楠竹之收縮率：
 $R\% = 4.0 \pm 0.5\%$
 $T\% = 7.5 \pm 0.5\%$
 $L\% = 0.15\%$
 $Vs\% = 10\%$

III. 竹材之力學性質

Mechanical properties of Bamboo

力學性質即機械性質 (Mechanical Properties) 或稱強度 (Strength Properties)。竹材之力學性質，一如木材，包括抗張強度 (Tensile strength)，抗壓強度，(Compressive strength)，抗彎強度 (Bending strength)，抗剪強度 (Shearing strength)，抗扭強度 (Torsional strength)，剛度 (Stiffness)，硬度 (Hardness)，與劈裂性等項。

影響竹材強度之因子，可分竹節 (Node)，瑕疵 (Defects)，與瑕疵外之因子三項述之。

1. 竹節 (Node)：竹材之節，為構成幹材之一份子，不能以瑕疵目之。然節之構造，較節間幹材顯為不同，其力學性質自亦有異。以本試驗所得結果而論，帶節竹材之縱向抗壓強即較不帶節者為大。故不可不加以注意。

2. 瑕疵 (Defects)：竹材之瑕疵較木材為少。例如節疤 (Knot)，在木材素見不鮮，而在竹材則罕見。又竹材紋理通直，鮮有斜紋理 (Cross grain) 之弊。故僅須注意乾裂 (Checks)，腐敗 (Decay)，壓傷 (Compression failure)，與虫孔 (Worm holes) 等瑕疵而已足。就一般言之，選擇無疵 (Clear) 竹材以供試驗，實遠較選擇無疵木材為易。

3. 瑕疵外之因子：瑕疵以外，影響竹材力學性質之因子之最要者，為比重與含水量兩項。大概強度之大小與比重成正比，而與含水量成反比。至比重差若干倍時，各種強度應相差若干倍；或在纖維飽和點 (Fiber Saturation Point) 以下，含水量每增減 1%，各種強度百分率，減增若干，凡此種種，在木材則有文獻可考，而在竹材，則尚待試驗。本試驗對此點雖毫無憑籍，而從試驗本身，亦可略觀其間之關係也。

竹材力學性質須待測定之項目，有如上述，惟因時間關係，僅擇其於竹材利用上亟須明瞭者試驗兩種即：

(1) 竹材之縱向抗壓強 (Compressive strength Parallel to Grain)

(2) 竹材之縱向抗張強 (Tensile strength Parallel to Grain)。

歐美各國材料試驗室，尙未有從事竹材試驗者，故試材之大小，荷重之多少，加力之速度，皆漫無根據；且試驗機亦不盡適用於測定竹材故一切方式，一切設計，均自此次初步試驗為始，疏忽謬誤之處自多。幸竹材各細胞分子之排列，大小，積木皆遠為均勻，是以所得結果，差異尚小，或不致有誤認誤也。

• 試驗方法：

應用中央大學材料試驗室所備之 20 噸 Amsler 材料試驗機，自行制定試驗方式及試驗標準，分別檢定竹材之抗壓強度及抗張(拉)強度。

1. 竹材抗壓強度之測定：

楠竹 (*Phyllostachys edulis*) 縱向抗壓強之測定：

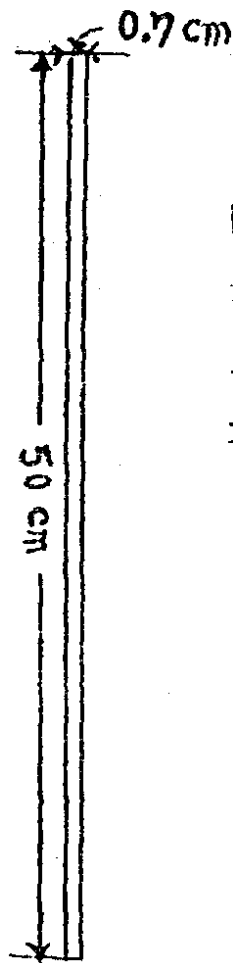
壓力之方向與竹材紋理平行者，為縱向壓縮 (Compression parallel to the grain)。竹材對於此種壓縮之最大抵抗力為縱向抗壓強。如建築物之支柱，其一例也。支柱之長度與橫斷面積相差過鉅時，往往在破綻尚未發生以前，先發生彎曲，故試驗時以短柱作試材試驗所需之值為：(1)最大抗壓強度 (Maximum crushing strength)，以荷重所分佈之橫斷面積除最大荷重之商表示之，由此知逐漸加壓下短柱之能力 (Ability)。(2)彈性限界之纖維壓力 (Fiber stress at elastic limit)。

試材長度之決定：從楠竹根部向上截取短柱試材，計分 4"，6"，8"，10"，12" 等之不同長度試驗其試材因長度不同而起之變異；並觀察試材帶節 (Node) 與不帶節之強度分別。結果，知試材之長度在 4" 與 6" 與 8" 之範圍內，對於其抗壓強度無其大影響。因此，為欲求其長度與斷面積之比相去不遠起見，遂決以 4" 為本試驗試材長度之標準。於檢定試材強度前，先測其重量與斷面積。斷面積之測定：竹材斷面形狀變異甚大，測定難期精確，本試驗為精確計，于竹材斷面上塗藍色印墨，印于平滑光潔之白紙上，再用測積計測定其面積，以免有計算上之差誤。本試驗所用之試材，其含水量大半在 40-65% 之間，即在纖維飽和點以上，可作竹材生材 (Green wood) 抗壓強之測定。其強度之大小僅正比於比重，而與含水量之多寡無關。小部試材之含水量在 30% 以下，即在纖維飽和點以下，為竹材氣乾材 (Air dry wood) 抗壓強之測定。其強度之差異，除比重外，尚有含水量之影響。測驗舉行時，荷重以每分鐘 0.24" 之速度下降。同時以測壓計 (Compressometer) 測定其壓縮量 (Compression)，用以計算彈性限界纖維壓力。

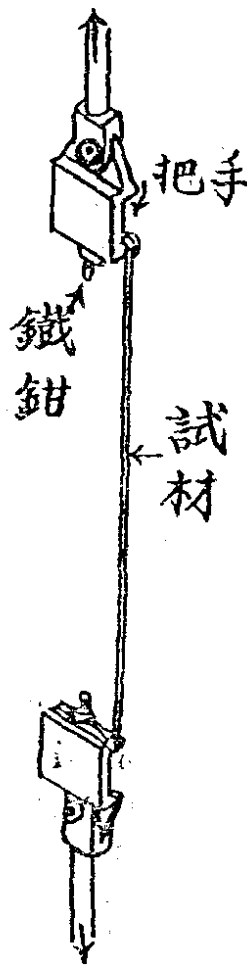
2. 竹材抗張強度之測定：

(i) 水竹 (*Bambusa nana*) 抗張強之測定：

抱持竹之兩端，縱向引伸，則竹材發生張（拉）力 (Tension)。
 竹材之縱向張力 (Tension parallel to the grain) 在各種強度中為最大。此項縱向抗張強度之大小，視纖維強度之大小而定，而為各種竹材分子 (Bamboo elements) 之性質，大小，與排列所影響。惟此項強度甚難試驗，因竹材應剪力遠小於縱向應張力，試材在被拉斷之前，其受力之端先被剪斷也。本試驗為克服上述之困難，且為適合實際應用起見，以市場上出售用為編物之蔑條 (四川土名) 為試材。此種試材寬 0.7 cm，厚 0.1 cm，長 50 cm (圖二) 試驗時將試材兩端捲緊，以鐵鉗 (Clamp) 鉗緊於試驗機之把手 (grip) 上 (圖三)，以每分鐘 6.25 mm 之速度加力拉之，檢定其最大抗張強。計此種試材可容受 170—230 kg 之荷重。試材拉斷後，於每一試材上均切取長一呎之一定長度試材，衡其重量。由其重量，比重，與長度，計算其橫斷面積。用斷面積除最大荷重，以求得最大抗張強。



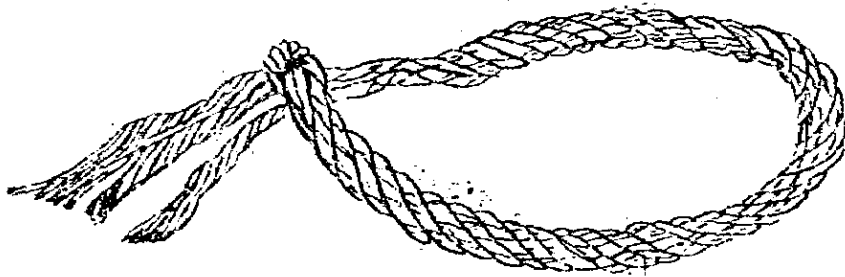
圖二、
水竹竹
蔑試材
大小



圖三、
水竹竹
蔑試材
裝置

(ii) 慈竹 (*Sinocalamus officinis*) 竹繩抗張強之測定。

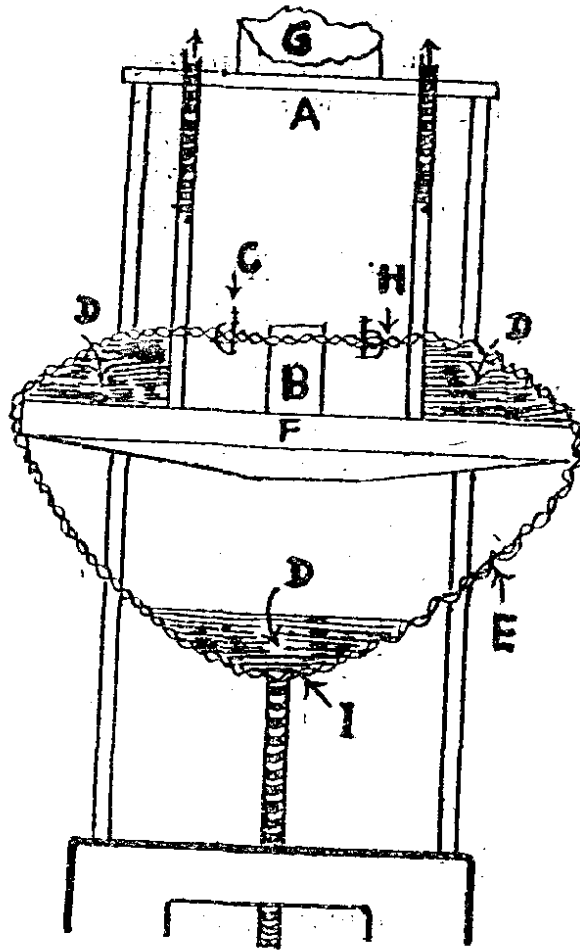
本試驗所用之試材，即市場上出售之竹繩，為由慈竹之上竹筴所編成者，其直徑約 0.8 cm，本試驗所採方式，及試材長度與水竹抗張強之測定同。計此種試材可容受 200—230 kg 之荷重。其計算方式亦係于每試材截取一呎長之試材，測其重量，由其重量，比重，與長度，計算其受力之斷面積。再由此受力面積與最大荷重計算其最大抗張強。其試材之形狀如圖四。



圖四、慈竹竹繩

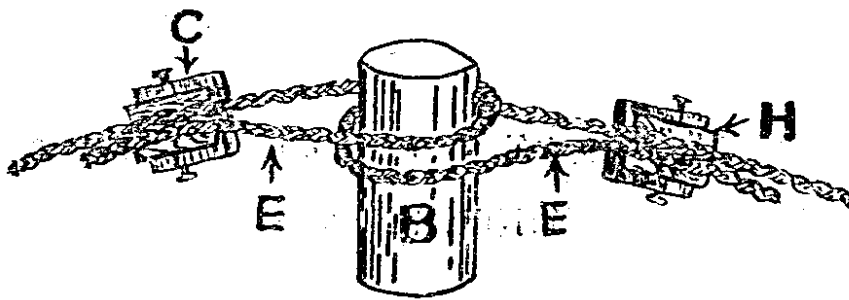
(iii) 慈竹抗張強之測定：

本試驗所採試材，為市場上出售作拉船用之箆藤。此箆藤 B 由一 10 根慈竹「竹邊」編扭而成，其直徑約 1.5 cm。試驗方式為切取 4 m 長之試材，繞於試驗機之吊床 (Cradle) 上。吊床中間放一鐵柱，使試材兩端各結成一圈套，套於鐵柱上。試材端頭用繩捆緊，更夾以木製之夾板，以鐵鉗 (Clamp) 鉗牢之。試材中間部分套入於一固定不動之木製弧形圓板之繩槽中。吊床之兩端，亦各裝以帶繩槽之弧形圓木板，使試材套於其中。試材裝妥後，開動機器，使吊床以每分鐘 6.25 mm 之速率向上提升，而測定其最大荷重。計此種試材可容受 1040—1270 kg 之荷重。其計算方式，亦由一一定長度之試材之重量與比重，測其受力面積，用以計算單位面積上所受之最大抗張力，試驗之方式如圖五。



圖五·甲 慈竹抗張強之試驗方式

A, 橫頭。 B, 鐵柱。 C, 鐵鉗。 D, 弧形木板。 E, 鏈
 條。 F, 吊床。 G, 嚮子。 H, 木夾板。 I, 繩槽。



乙 圖甲之一部

二、試驗結果：試驗結果表一與表二。

三、結論：由以上兩表觀察，得以下之結論：

1. 楠竹生材抗壓強之大，木材幾不能與之比擬。按楠竹縱向抗壓時之彈性限界纖維應力為 4850 lb/in^2 ，最大抗壓強度為 7840 lb/in^2 ，以此數值與美國各種木材之縱向抗壓強相比較，僅 *Black Ironwood (*Krugiodendron ferreum*) 與之近似。蓋 Ironwood 生材之彈性限界纖維應力為 5660 lb/in^2 ，雖較楠竹為稍大；而其生材之最大抗壓強度則為 7570 lb/in^2 ，遜於楠竹矣。

* [載 1935 年，美 Forest Products Laboratory 出版之 *Strength and related properties of Woods grown in the united States*]

2. 楠竹生材縱向抗壓強與中央林業實驗所及中央大學森林化學室所作木材之縱向抗壓強相比較，則楠竹生材約大於杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 氣乾材一倍，大於冷杉 (*Abies fabri*) 氣乾材百分之四十 (杉木，冷杉之力學性試驗尚未發表)。

3. 楠竹之縱向抗壓強，當比重相同時，其生材帶節者約大於不帶節者百分之十二；大於氣乾材不帶節者百分之六。

4. 慈竹籐條之抗張強 ($22,500 \text{ lb/in}^2$) 約為慈竹竹繩 ($12,830 \text{ lb/in}^2$) 之二倍。竹繩抗張強之所以較小者，或因其於製作時經較細之撕裂，與強力之搓扭，而喪失其各竹材分子間之親和力之所致也。

5. 普通市場上出售之籐條約可受 $1010-1270 \text{ kg}$ 或 $2280-2790 \text{ lb}$ 之最大荷重。慈竹竹繩可容受 $200-230 \text{ kg}$ ，或 $440-620 \text{ lb}$ 之最大荷重。

6. 水竹之抗張強較慈竹者為小。水竹籐條可容受 $170-230 \text{ kg}$ 或 $370-500 \text{ lb}$ 最大荷重。

7. 試材含水量每增(減)百分之一時，慈竹抗張強約減(增)百分之三；水竹抗張強約減(增)百分之四。

參 考 文 獻 :

一、George A. Garratt, M.F. : The Mechanical Properties of Wood.

二、L.J. Markwardt, and T.R.C. Wilson: Strength and Related Properties of Woods Grown in the United States.

三、梁希、周光榮：川西(峨邊、峨邊)木材之物理性。

四、李榕：造林學各論

表一、 楠竹縱向抗壓強
Compressive strength parallel to the grain of *Phyllosiachys edulis*

試材與其位置之符號	含水量 %	比重	每立方呎之重量	縱向抗壓強	
				彈性限界之纖維應力	最大抗壓強度
Sample and Position	Moisture Content %	Specific gravity	Weight per Cu. ft. lb	Fiber stress at elastic limit lb/in ²	Maximum Crushing strength lb/in ²
2-2-33	21.8	0.604	69.3	—	8,500 *
2-2-36	63.5	0.632	67.4	5,010	8,790 *
2-2-23	63.9	0.643	72.4	5,450	8,000 ●
2-2-16	55.6	0.644	83.0	5,240	8,140 *
2-2-9	62.3	0.60	82.0	5,840	7,590 *
2-2-29	62.6	0.650	73.8	—	8,200 *
2-2-21	64.7	0.652	76.9	—	8,060 *
2-2-35	48.1	0.655	74.8	—	8,300 *
2-2-26	50.0	0.671	71.6	5,850	8,120 ●
2-2-13	64.4	0.680	101.5	—	9,780 *
平均	55.7	0.648	77.3	5,044	8,348 ●
2-2-1	25.4	0.554	72.5	—	6,960 Δ
2-2-10	23.6	0.619	61.6	3,840	7,410 Δ

2-2-11	25.6	0.627	75.7	4,660	7,770 Δ
2-2-30	27.2	0.653	58.5	—	7,940 Δ
2-2-25	28.2	0.656	59.1	4,440	7,870 Δ
2-2-32	18.0	0.665	68.1	5,000	7,776 Δ *
平均	24.7	0.629	65.9	4,470	7,621 Δ *
2-2-3	74.1	0.616	71.6	4,580	6,850*
2-2-20	48.0	0.628	58.1	4,550	7,540*
2-2-4	61.7	0.633	50.2	5,760	7,630*
2-2-22	65.4	0.657	62.4	4,220	7,310*
2-2-18	56.9	0.658	71.2	4,490	7,570*
2-2-12	51.0	0.667	62.4	5,520	7,550*
2-2-27	58.5	0.672	66.2	—	7,940*
2-2-17	57.4	0.679	67.4	—	7,940*
2-2-5	49.5	0.630	71.8	5,840	6,960*
2-2-7	49.5	0.692	71.8	8,660	7,870*
3-2-33	39.0	0.704	56.0	5,700	8,050*
平均	54.9	0.662	64.5	4,920	7,810*
總平均	49.1	0.631	69.5	4,850	7,840

附註：1. * 生材試材，帶節； Δ 氣乾試材不帶節；· 生材試材，不帶節。
2. 每立方呎之重量係依生材算出。

表二：竹材縱向抗張（拉）強

Scientific Name		試驗號目 Test No.	含水量 % Moisture Content %	比重 Specific Gravity	抗張強硬度 lb/in ² Tensile Strength
名	中 名				
Bambusa nana *水竹		1	12	0.75	10,970
		2	13	,,	12,070
		3	13	,,	9,740
		4	12	,,	10,960
		5	14	,,	8,750
		6	14	,,	11,100
		7	14	,,	10,520
		8	13	,,	10,930
平均			13.125	0.75	10,630
1			40-50	0.75	13,500
2			,,	,,	10,250
3			,,	,,	12,730
4			,,	,,	14,500

Sinocalamus officinis	△慈竹	△慈竹	△慈竹	△慈竹	△慈竹
5	14,350	12.9	0.75	14,350	0.75
6	12,780	12.7	0.75	12,780	0.75
7	12,500	12.0	0.75	12,500	0.75
8	11,300	12.8	0.75	11,300	0.75
9	13,500	14.0	0.75	13,500	0.75
平均	12,880	13.2	0.75	12,880	0.75
1	22,400	13.5	0.75	22,400	0.75
2	19,350	13.7	0.75	19,350	0.75
3	21,600	14.0	0.75	21,600	0.75
4	24,900	13.2	0.75	24,900	0.75
5	20,150	13.5	0.75	20,150	0.75
6	24,600	13.7	0.75	24,600	0.75
7	25,800	12.411	0.75	25,800	0.75
8	20,600	12.411	0.75	20,600	0.75
9	22,800	12.411	0.75	22,800	0.75
平均	22,500	12.411	0.75	22,500	0.75

Sinocalamus officinis · 慈竹

附註： 1. 比重係以生材體積扣除全乾材重量算出。

2. * 試材為水竹莖條； △試材為慈竹製竹繩； · 試材為慈竹製竹藤。

摘 要

楠竹 (*Phyllostachys edulis*)，慈竹 (*Sinocalamus officinis*)，與水竹 (*Bambusa nana*) 爲四川重要竹材，前者直徑約 3—4 in. 較後二者爲粗，有時充建築之用，故試驗其抗壓強。(Compressive strength)；後二者可以搓成粗繩，作拉繩及繩橋之用，故試驗其抗拉強 (Tensile strength)，至於物理性質 (Physical properties) 如含水量 (Moisture content) 比重 (Specific gravity)，與收縮 (Shrinkage) 則就楠竹與慈竹試驗。

物理性之試驗結果，(1)關於慈竹者：Moisture Content M.C. = $60 \pm 10\%$ ，即最小 50%，最大 70%，平均 60%；Basic sp, gr, (Volume green, Weight oven-dry) = 0.75 ± 0.05 ；Shrinkage 分下列數項：Radial shrinkage R = $4.0 \pm 0.5\%$ ，Tangential shrinkage T = $5.0 \pm 0.5\%$ ，Volumetric shrinkage Vs = $10 \pm 0.5\%$ ，Inner circumference shrinkage Ci = $5.0 \pm 0.5\%$ ，Outer circumference shrinkage Co = $5.0 \pm 0.5\%$ (2)關於楠竹者：M.C. = $70 \pm 10\%$ ；Basic sp, gr, = 0.65 ± 0.05 ；Shrinkage：R = $1.0 \pm 0.5\%$ ，T = $7.5 \pm 0.5\%$ ，Longitudinal shrinkage = 0.15% ，Vs = 10% 。

力學性之試驗結：

(1) *Phyllostachys edulis* 之生材 (Green wood)，之縱向抗壓強 (Compressive strength parallel to the grain) 之大，木材豈不能與之比擬，據試驗，楠竹縱向抗壓時之彈性限界纖維

- 應力 (Fiber stress at elastic limit) 爲 4850 lb/in^2 ，其最大抗壓強度 (Maximum crushing strength) 爲 7340 lb/in^2 ，以此數值與美國各種木材之縱向抗壓強相比較，僅 Iron wood (*Krugiodendron ferreum*) 與之相似 (Fiber stress at elastic limit of Iron wood 爲 5660 lb/in^2 ，其 Maximum crushing strength 爲 7570 lb/in^2)。
- (2) *Phyllostachys edulis* 生材縱向抗壓強與著者所作試驗之木材縱向抗壓強相較，則楠竹生材大於杉木 (*Cunninghamia lanceolata*) 氣乾材 (Air-dry wood) 一倍，大於冷杉 (*Abies fabri*) 氣乾材百分之四十。
- (3) *Phyllostachys edulis* 之縱向抗壓強，當比重相同時，其帶節⁹之生材 (Green wood with node) 大於不帶節者約百分之十二；大於不帶節之氣乾材者百分之六。
- (4) *Sinocalamus officinis* 所製之繚藤之抗張強 (Tensile strength parallel to the grain) 較慈竹竹繩者約大二倍。(前者平均 $22,500 \text{ lb/in}^2$ ，後者平均 $12,830 \text{ lb/in}^2$)。
- (5) 市場出售之繚藤，約可受 $2280-2790 \text{ lb}$ 之最大荷重 (Maximum load)，慈竹竹繩可受 $440-620 \text{ lb}$ 。
- (6) 水竹 (*Bambusa nana*) 之抗張強較慈竹 (*Sinocalamus officinis*) 者爲小。水竹叢條可受 $370-500 \text{ lb}$ 之最大荷重。
- (7) 試材含水量每增加 (減少) 百分之一時，慈竹抗張強約減少 (或增加) 百分之三，水竹抗張強約減少 (或增加) 百分之四。

SUMMARY

Phyllostachys edulis, *Sinocalamus offinis*, and *Bambusa nana* are the three most important bamboos in Szechwan province. The former is rather stout than the latter two. Its diameter is three to four inches. The most common use is house-building and other light constructions. So we make a test on its compressive strength property. *Sinocalamus offinis* and *Bambusa nana* are rather slender. Their uses are only limited to rope making and bridge construction. So we make a test on their tensile strength property. As to the physical properties, as the moisture content, specific gravity and shrinkage, our testing is limited only to *Phyllostachys edulis* and *Sinocalamus offinis*.

RESULTS ON THE PHYSICAL PROPERTIES

(1) *Sinocalamus offinis*: moisture content: M. C. % = $60 \pm 10\%$, that is in the range of 50 - 70% of moisture content. Basic sp. gr. (volume: green; weight at oven dry) = 0.75 ± 0.05 , shrinkage: radial shrinkage: $R = 4.0 \pm 0.5\%$, tangential shrinkage: $T = 5.0 \pm 0.5\%$, volumetric shrinkage: $V_s = 10.0 \pm 0.5\%$, inner circumference shrinkage: $C_i = 5.0 \pm 0.5\%$, outer circumference shrinkage: $C_o = 5.0 \pm 0.5\%$.

(2) *Phyllostachys edulis*: M.C. = $70 \pm 10\%$, basic sp. gr. = 0.65 ± 0.05 , shrinkage: $R = 4.0 \pm 0.5\%$, $T = 7.5 \pm 0.5\%$, L. (longitudinal shrinkage) = 0.15% , $V_s = 10.0\%$.

RESULTS ON THE MECHANICAL PROPERTIES

(1) The compressive strength of green wood of *Phyllostachys edulis* is extremely large. There is not a strength prop-

erty of any Kind of woods greater than that of *Phyllostachys edulis*. Its fiber stress at elastic limit and maximum crushing strength are 4850lb/in² and 7840lb/in² respectively. Only the strength of American Ironwood (*Krugiodendron ferreum*) (fiber stress at elastic limit 5660lb/in² maximum crushing strength 7570 lb/in²) is more similar to that of *Phyllostachys*.

(2) The compressive strength of bamboo of *Phyllostachys edulis* is twice and 40% as large as that of air-dry wood of *Cunninghamia lanceolata* and *Abies fabri*.

(3) The compressive strength of the specimens with nodes is 12% greater than that of the specimens without nodes, when both the specimens are equal in sp. gr. and free from other defects.

(4) The tensile strength of Chienteng (箒藤) made of *Sinocalamus* is twice as large as that of Chusheng (竹繩) woven with the elements of the same species (the former, the tensile strength 22500, the latter, 12830lb/in²).

(5) The Chienteng (箒藤) of *Sinocalamus officinis* supports a load in a range of 2260—2790lbs and the Chusheng (竹繩) of the same bamboo supports a load in a range of 440—620lbs.

(6) The tensile strength of *Bambusa nana* is smaller than that of *Sinocalamus officinis*. The commercial size of mitiao (黃條) can support a load of 370—500lbs weight.

(7) Average increase or decrease in values effected by lowering or raising 1% of moisture content is 3% in tensile strength property of *Sinocalamus officinis* and 4% in that of *Bambusa nana*.

