

姜453

219

航空委員會
航空研究院

研究報告第十號

川產楠竹性質之研究

余仲奎 沈蘭根

三十三年五月

航空委員會
航空研究院

研究報告第十號

川產楠竹性質之研究

余仲奎 沈蘭根

三十二年五月 成都

航空研究院出版刊物

研究報告

- 第一號 林致平： 偏心圓管之扭力問題（英文）
第二號 錢學森： 高速氣流突變之測定（英文）
第三號 林致平，談錫生： 正向質薄板之彈性穩定問題（英文）
第四號 余仲奎，黃鵬章，陳啓嶺，羅裕英： 川產雲杉之性質
第五號 余仲奎，黃鵬章，陳啓嶺，羅裕英： 四川理番六種木材性質之研究
第六號 林致平，王培生： 平板環列圓孔之應力分析（英文）
第七號 林致平，談錫生，黃克累： 月形柱體之扭力問題（英文）
第八號 林致平，談錫生，李迪強： 新型蒙布張力測定器
第九號 林致平，王培生，荆廣生： 多孔長條之應力分析（英文）
第十號 余仲奎，沈蘭根： 川產楠竹性質之研究

技術叢編

- 第一號 王士倬，徐舜壽： 飛機性能捷算法（英文）
第二號 飛機修理法要領
第三號 飛機木材之處理與使用
第四號 木材力學試驗標準草案

川產楠竹性質之研究

目 錄

	頁次
一、緒言.....	1
二、試材之部位及取材之方法.....	2
三、維管束之分佈.....	10
四、比重.....	10
五、抗張強度.....	15
六、抗彎強度.....	16
七、抗壓強度.....	21
八、抗剪強度.....	22
九、抗凹硬度.....	22
十、韌性.....	25
十一、收縮.....	25
十二、含水量與強度之關係.....	26
十三、「弦向分層」與「徑向分層」試驗總結果之比較及其平均值.....	26
十四、結果討論 (1)無節竹材與有節竹材強度之異同，(2)竹材部位強度之普通公式，(3)比重及強度與維管束之關係，(4)各項強度與比重之關係，(5)楠竹與其他航空材料比較。.....	35
附註.....	39
參考文獻.....	40

圖 表 目 錄

頁次

第 1 圖	(a. b.) 楠竹維管束之分佈.....	3
第 2 圖	楠竹維管束橫截面放大圖.....	4
第 3 圖	楠竹之枝，花，桿，雄蕊及雌蕊.....	5
第 4 圖	楠竹之籜.....	6
第 5 圖	徑向，高向及弦向分層法.....	11
第 6 圖	徑向與弦向分層.....	11
第 7 圖	各項試驗標本形式.....	7
第 8 圖	徑向分層（放大）.....	11
第 9 圖	維管束分佈密度與部位關係.....	11
第 10 圖	爐乾比重與部位關係.....	12
第 11 圖	無節試材爐乾比重與高度關係.....	13
第 12 圖	整個比重與高度關係.....	13
第 13 圖	抗張強度與部位關係（無節）.....	14
第 14 圖	抗張強度與部位關係（有節）.....	14
第 15 圖	強度與高向關係.....	17
第 16 圖	整個抗張強度與高向關係.....	17
第 17 圖	抗張強度自動記錄.....	18
第 18 圖	抗張彈性係數.....	18
第 19 圖	抗彎試驗自動記錄.....	19
第 20 圖	抗彎比例限度應力與部位關係.....	19

頁次

第 21 圖	破壞係數與部位關係.....	19
第 22 圖	抗彎彈性係數與部位關係.....	19
第 23 圖	順紋最大抗壓強度與部位關係.....	20
第 24 圖	橫紋比例限度抗壓強度與部位關係.....	20
第 25 圖	順紋抗剪強度與部位關係.....	20
第 26 圖	橫紋抗剪強度與部位關係.....	20
第 27 圖	簡加抗凹度與部位關係.....	23
第 28 圖	韌性與部位關係.....	24
第 29 圖	高向收縮與部位關係.....	24
第 30 圖	徑向收縮與部位關係.....	24
第 31 圖	弦向收縮與部位關係.....	24
第 32 圖	含水量與強度關係.....	27
第 33 圖	抗張強度與爐乾比重關係.....	28
第 34 圖	破壞係數與爐乾比重關係.....	28
第 35 圖	順紋抗壓強度與爐乾比重關係.....	28
第 36 圖	簡加抗凹度與爐乾比重關係.....	28
第 37 圖	弧形修正.....	39

表1. 試驗標本之大小及受力面.....	9
----------------------	---

表2. 「徑向分層」與「弦向分層」試驗結果平均值之比較.....	30
----------------------------------	----

表3. 楠竹各項強度表.....	31
------------------	----

表4. 徑向分層「部位強度」近似式.....	33
------------------------	----

表5. 比重及各項強度與單位面積維管束數之關係式.....	35
-------------------------------	----

一 緒 言

本研究之目的在決定竹材是否合于航空之用，以代替鋁或木材。因此，試驗力求詳盡，強度力求準確。以往研究竹的人，對於試驗取材方法，皆就竹莖之厚薄或竹桿之大小整個的作成試驗標本，並不十分注意其生長情形，且所試驗之次數不多，其平均值不甚可靠。

吾人如將竹莖切斷並將橫切面刨平，則見分佈於莖中有無數之維管束，（圖 1,2）愈近表皮者愈密，近內徑者愈疏，其各部位之組織顯然有極大之區別。如果要求準確數字，必須將竹莖壁厚依其維管束分佈情形，擇其密度相近者分層作成試材以求出竹材本身各部位之強度。此種分層方法皆為以往研究的人所忽略，吾人現名之為「分層試驗法」。分層愈多結果愈準確，惟標本之製作亦愈困難。竹材莖厚原屬有限，楠竹中最厚者僅 2 公分，薄者不及 0.5 公分。無節之部份分層較易，有節處因其縱剖面中維管束之生長若波紋，分片時每易將之削斷。

研究工作開始於二十九年春，最初僅在市內選購得慈竹，楠竹，斑竹及剛竹等四種作抗張強度試驗以為初步之檢討。此項結果均皆滿意，因楠竹較厚且節間距離亦不甚密，可作各項基本試驗，乃派員赴江安產竹區域採伐以供試驗。

本試驗以強度及物理性質為主，竹之生理及形態不在本研究之列，茲僅將其大概形態略述如下以作鑒別上之參考。

楠竹隸毛竹屬，學名為 *Phyllostachys edulis* (Carr.) H. de Lehaie。竹莖多圓直，黃綠色，高達四丈，周圍約呎許，壁厚與外徑之比約 1:12，節間距離長者約 1 呎 2 吋，短者約 3 吋。葉披針形，細長，稀生白毛。枝端出葉二片至八片。籜背面有黑斑及褐色毛茸，籜耳生鬚毛，籜頂之縮形葉為尖形。（參閱圖 3 及圖 4。）

試驗標本連初試者在內，共計選得高約 5 公尺至 10 公尺，直徑約 12 公分至 6 公分之楠竹 65 株。製得合格標本 14,762 枚，分作比重，收縮，抗張強度，抗壓強度，抗彎強度，抗剪強度及不同含水量與強度關係等試驗共 20,725 次。根據研究結果，知近表皮部位之竹材的抗張強度，直駕乎鋁合金之上，而其比重約為鋁合金之三分之一，其他各項強度亦比木材為佳。

強度試驗設備為瑞士 Alfred J. Amsler Co. 出品的四公噸手搖式試驗機，除一部分機械附件，因試材尺碼及標本關係，由本院設計配製外，餘均合用。

在試驗過程中，先後得羅研究員錦華，黃副研究員振邦，馬佐理員寶珍，陳佐理員安吉之參加，又承副院長王助先生之指示與審核，本研究乃告完成。楠竹臘葉標本承四川大學方文培教授之鑑定，特此誌謝。

二 試材之部位及取材之方法

爲研究上之便利，吾人先規定試材各方向之名稱如下：

- (1) 徑向 —— 依照竹桿橫截面直徑之方向。
- (2) 弦向 —— 依照竹桿橫截面切線之方向。
- (3) 高向 —— 依照竹桿生長之方向。

此三個方向可用三條軸分別表示之如圖 5，其交點位置定在竹桿之外圓周上（即表皮），由此點沿徑向軸至內圓周之距離爲竹之「壁厚」以「 t 」字表之。沿此軸分層所得各層之厚度的中點或修正的中點用「壁厚百分率」（即 $\%t$ ）以表示之，并藉此以表示各層所在的位置（與此位置相對應之強度爲「部位強度」）。此種分層法稱爲「徑向分層」（見圖 6），目的在求出竹材徑向之「部位強度」值之差異。

沿「弦向軸」分層者，名爲「弦向分層」（見圖 6），目的在求出竹桿東南西北各方位之「整個強度」值，並用以與由「部位強度」值所求得之平均值相比較。

沿高向分段之各試筒，於分段後，再依上述方法分層試驗所求得之平均值，用以比較高向強度之差異，而顯示其在同一竹株不同高度之變異性。

試驗標本之製法，分爲兩類。第一類包含比重，收縮，及抗張強度等試驗標本，乃將竹莖的「壁厚」 t ，分爲若干層之薄片（平均 6 層），其寬度甚小（抗張標本僅 0.4 公分），見圖 7。第二類包含抗彎，抗壓，及順紋抗剪等試驗標本。因限于「壁厚」關係。故分層後再將相同部位之各層薄片膠壓成條，復經修製成橫截面等于 2×2 公分之試條（圖 7）。

至部位之 $\%t$ 之決定，均依「0」點位置爲坐標。（見圖 8）第一類標本因寬度小，竹莖弧形對部位影響甚微，可以直接推算。例如分 t 爲 n 層相等厚度之薄片， $\frac{t}{n}$ 爲每

層之厚度，第一層之中點爲離「0」點距離 $\frac{1}{2} \left(\frac{t}{n} \right)$ 處，第 n 層之中點爲 $(n - \frac{1}{2}) \frac{t}{n}$ ；

如爲不等分層， $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$ 爲各層之厚度時，則第一層之中點爲 $\frac{1}{2} t_1$ ，第 n 層之中點爲 $(t_1 + t_2 + t_3 + \dots + \frac{1}{2} t_n)$ 。第二類標本則因寬度最少須爲 2 公分，膠壓時兩面並須刨平。生長近地面之竹材，壁厚直徑較大，可能分爲四片，較小者僅可分爲三片或二片，故竹莖弧形對於此類試材之部位影響較第一類標本所引起之誤差爲大。惟作「弧形誤差修正」⁽¹⁾ 異常繁複，且修正後之結果，其正確度並未減除試驗上之其他差誤，現將此項修正略去。

除部位之弧形修正外，尚有各層試材部位強度之集中點的修正。此集中點在繪劃曲線時爲強度之假定集中點，以表示部位與強度之關係。前段討論第一類試片之部位時，

圖 1a. 維管束之分佈

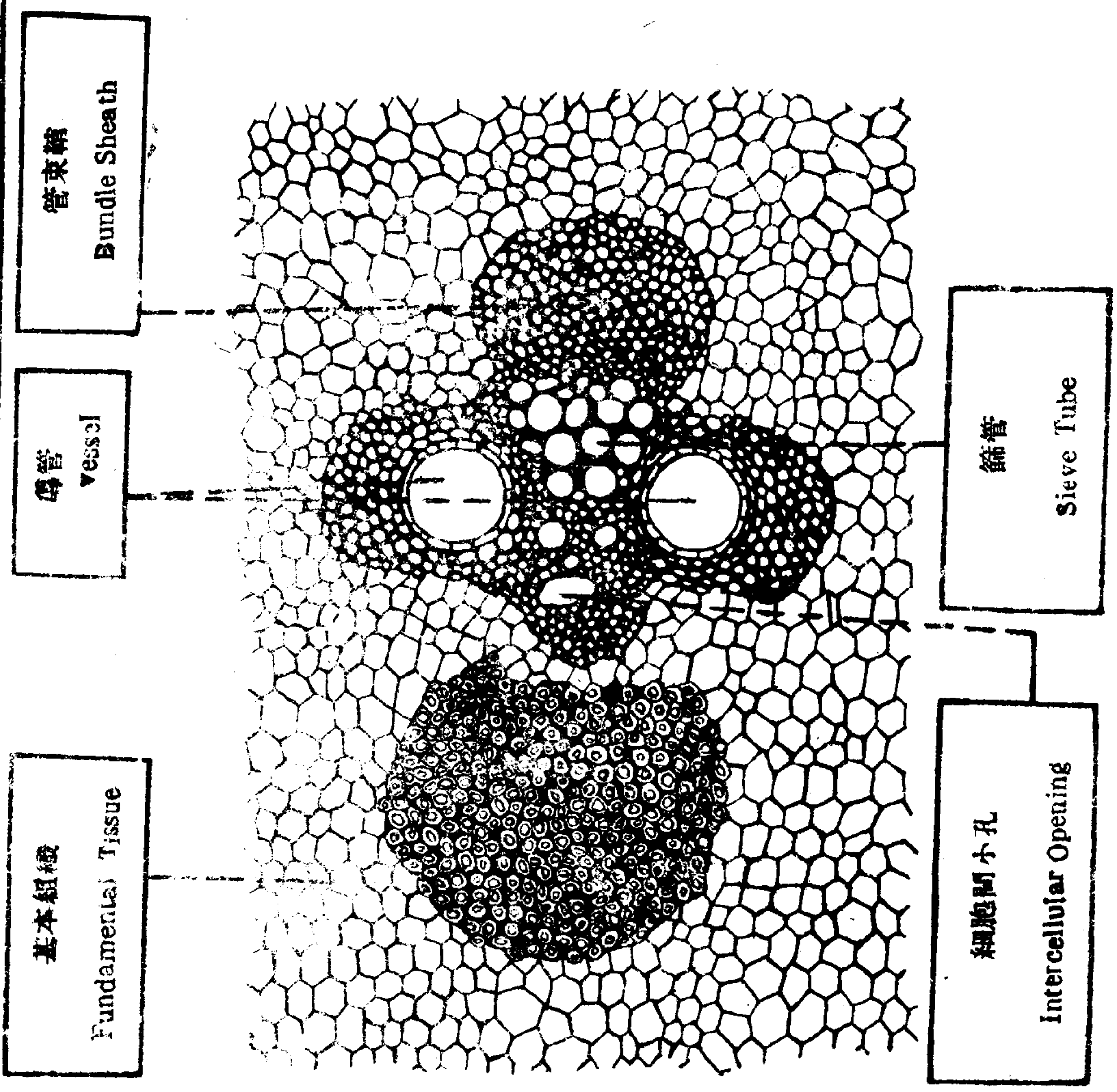
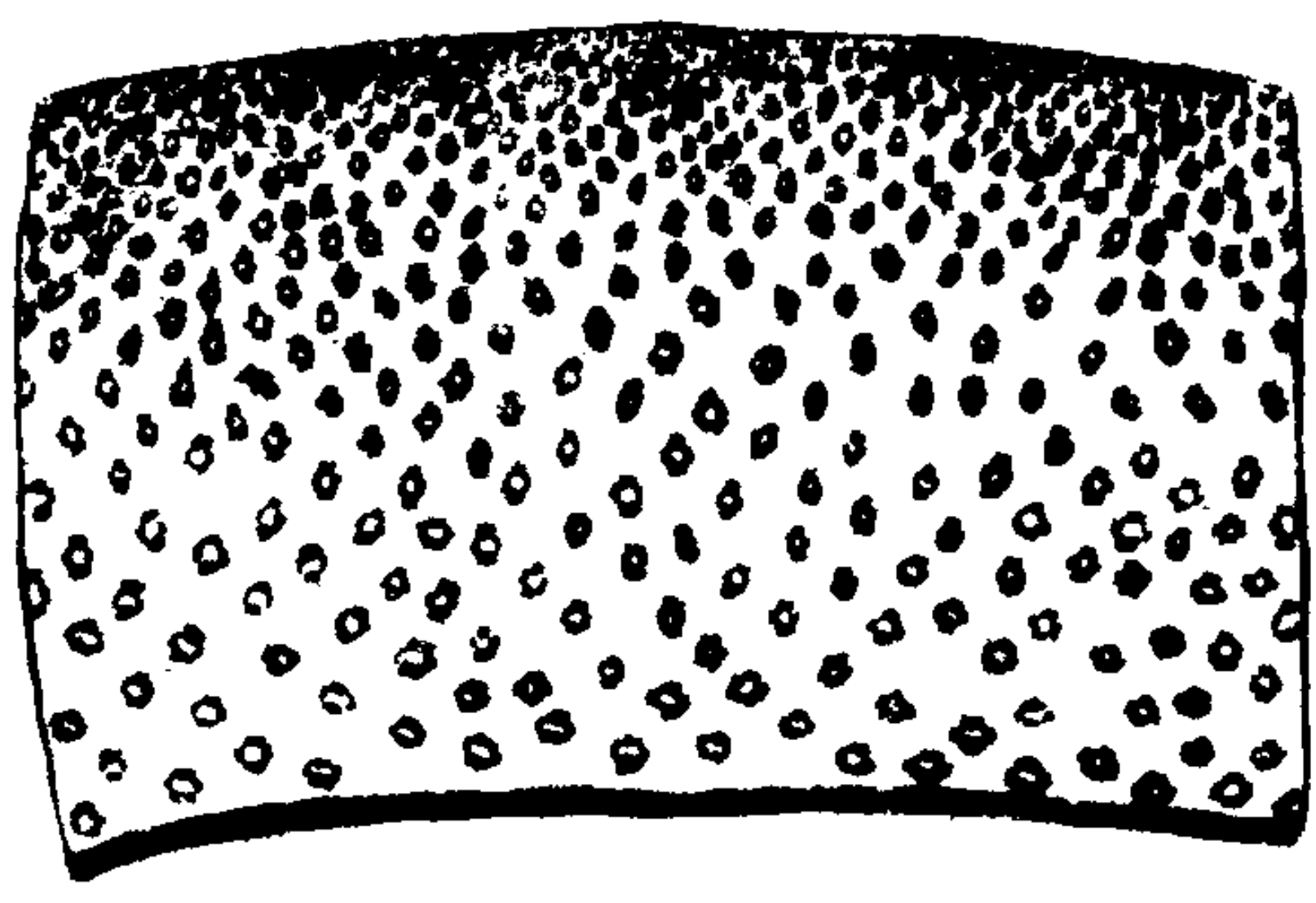
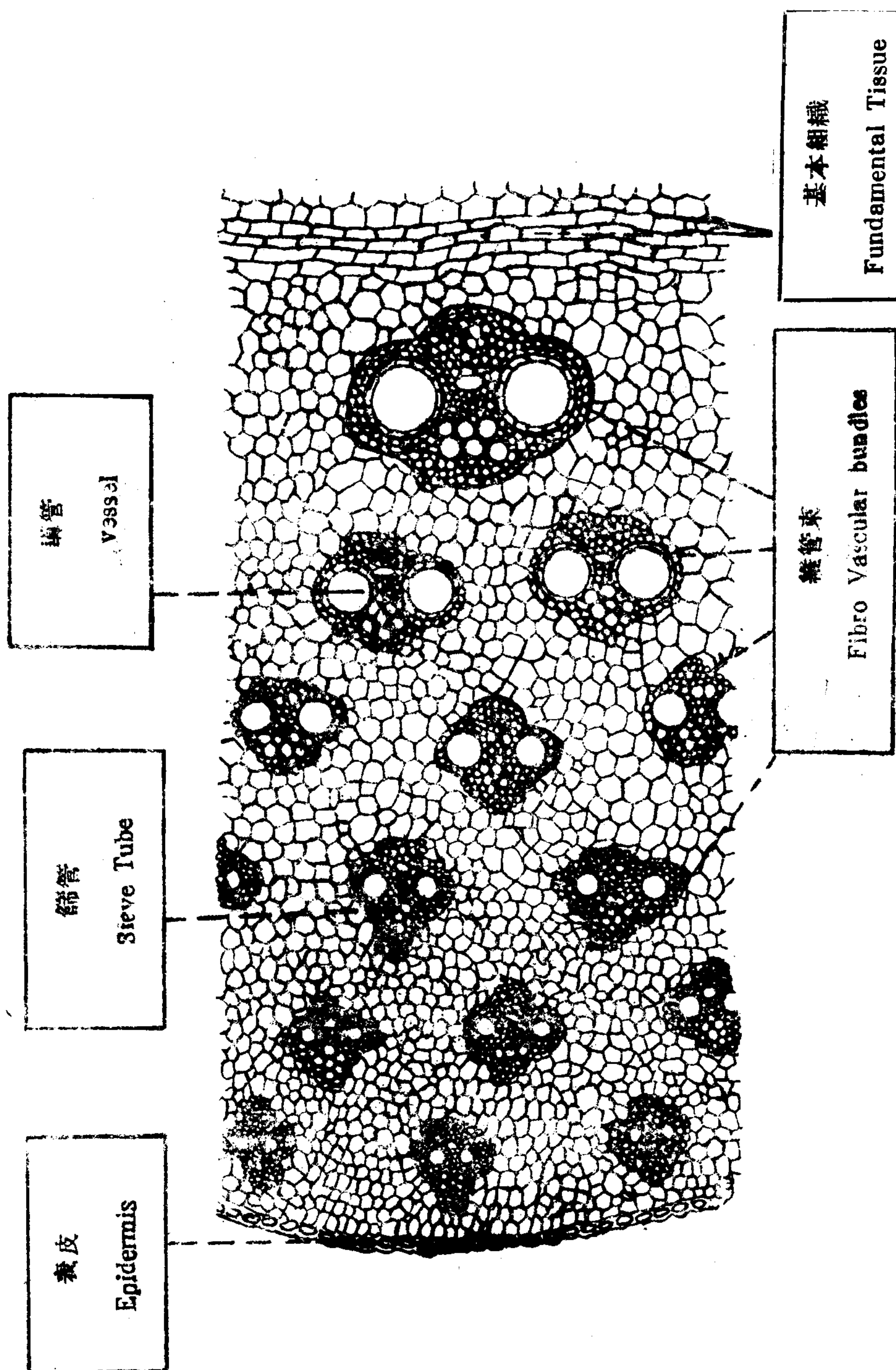


圖 1b. 維管束橫斷面
(放大 280 倍)

圖 2 竹莖之橫斷面放大圖
(放大 70 倍)



航空研究院木竹試驗組

33.4.10

圖 3. 楠竹：

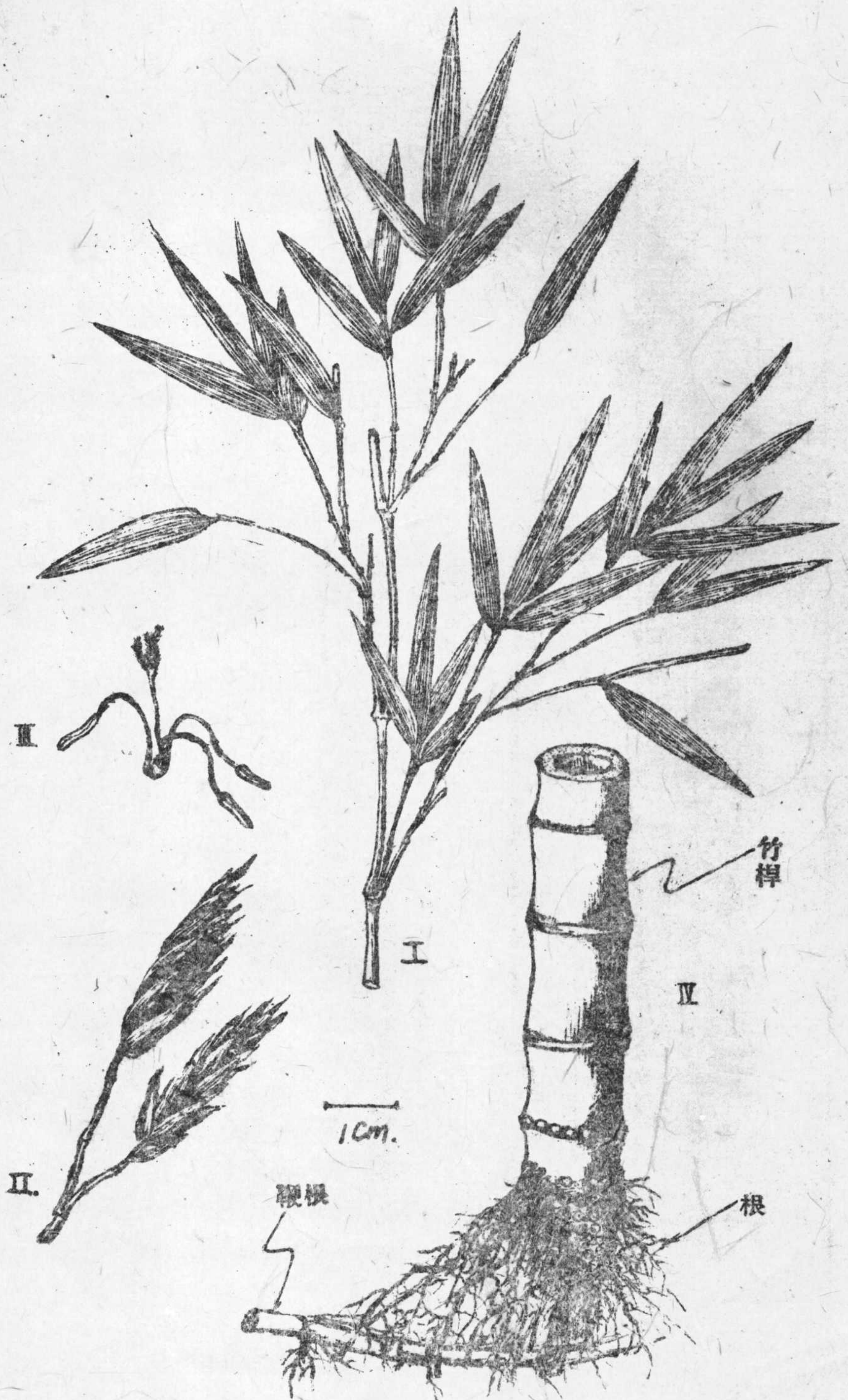
(*Phyllostachys edulis*, Carr. H. de Lehaie)I. 着葉之枝 (縮小 $\frac{1}{2}$)， II. 花 (原大)III. 雄蕊及雌蕊 (原大) IV. 桿 (縮小約 $\frac{1}{4}$)

圖 4. 楠竹：箨（縮小 $\frac{1}{2}$ ）

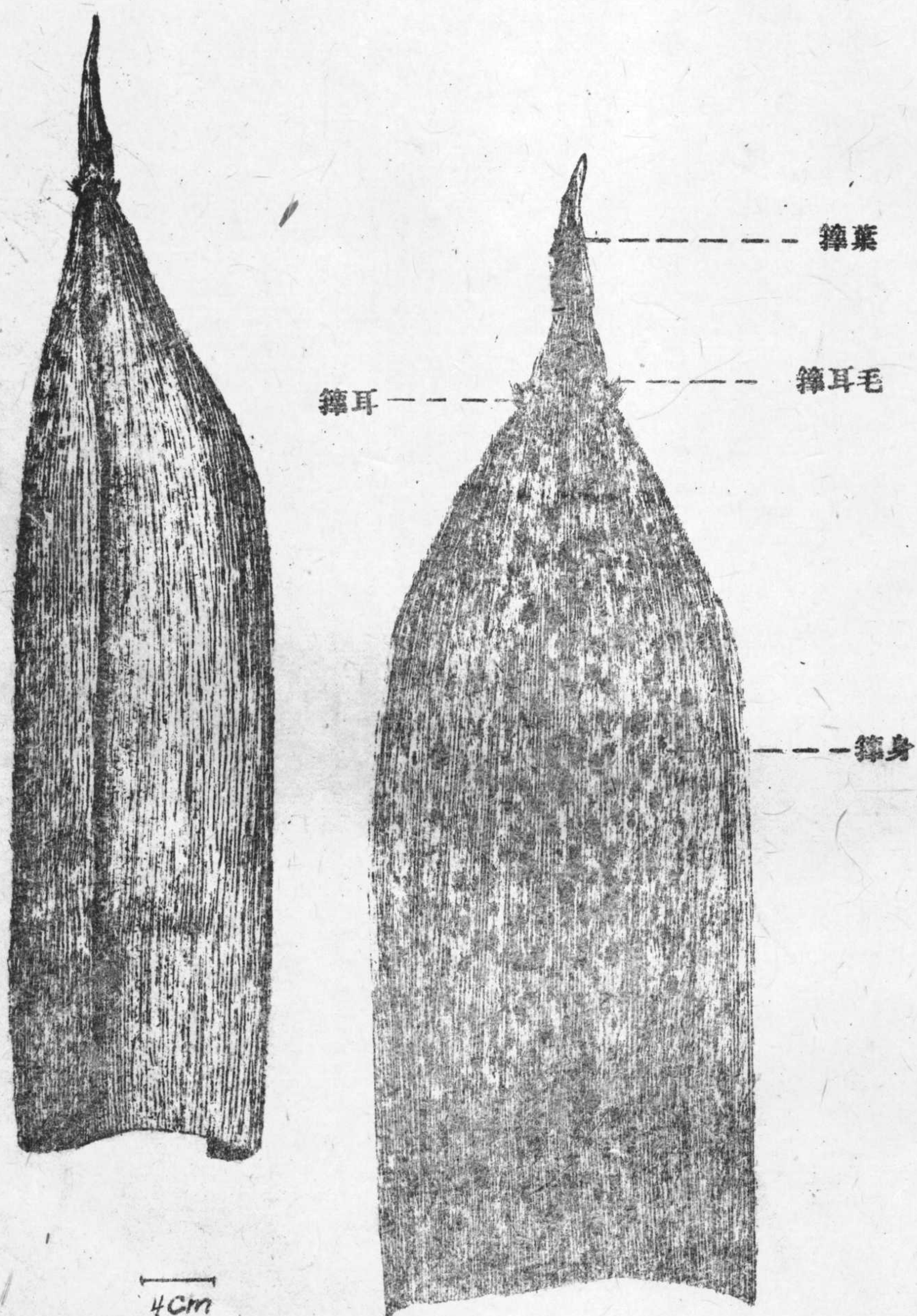
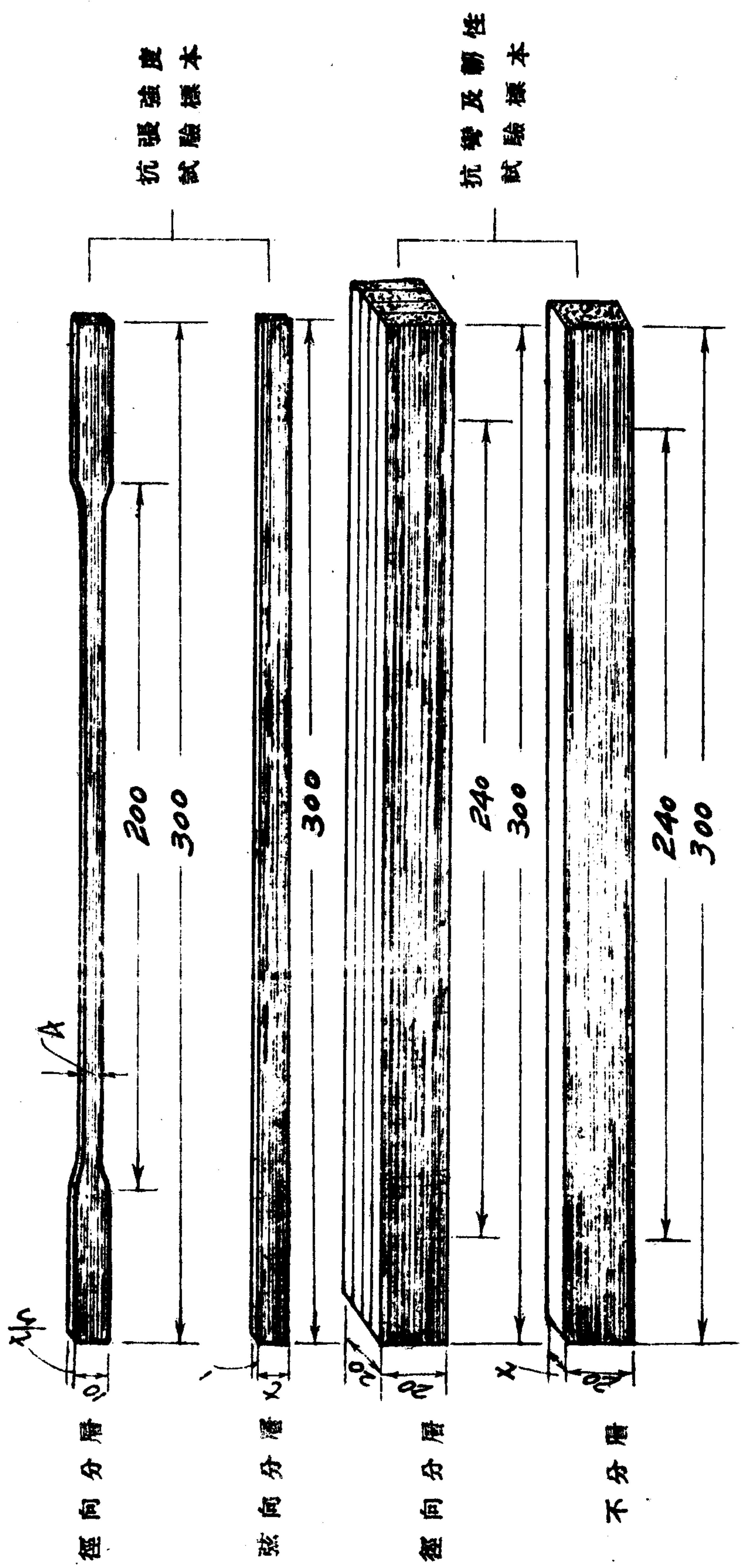
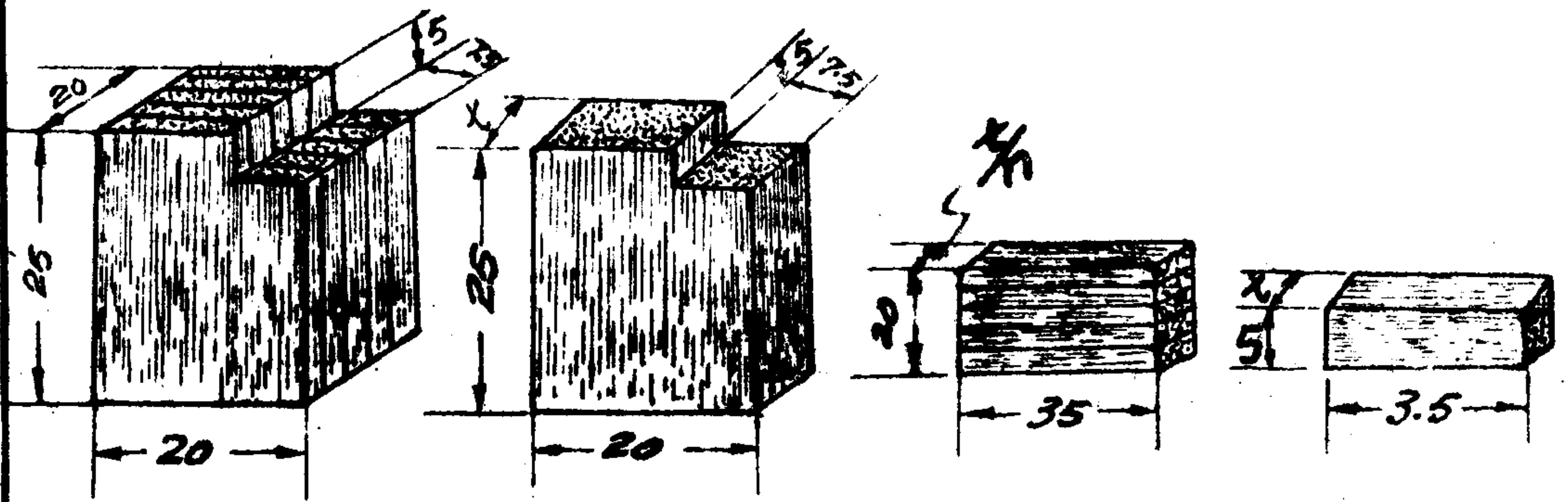


圖 7. 各項試驗標本形式

單位:公厘.(m.m.)





徑向分層

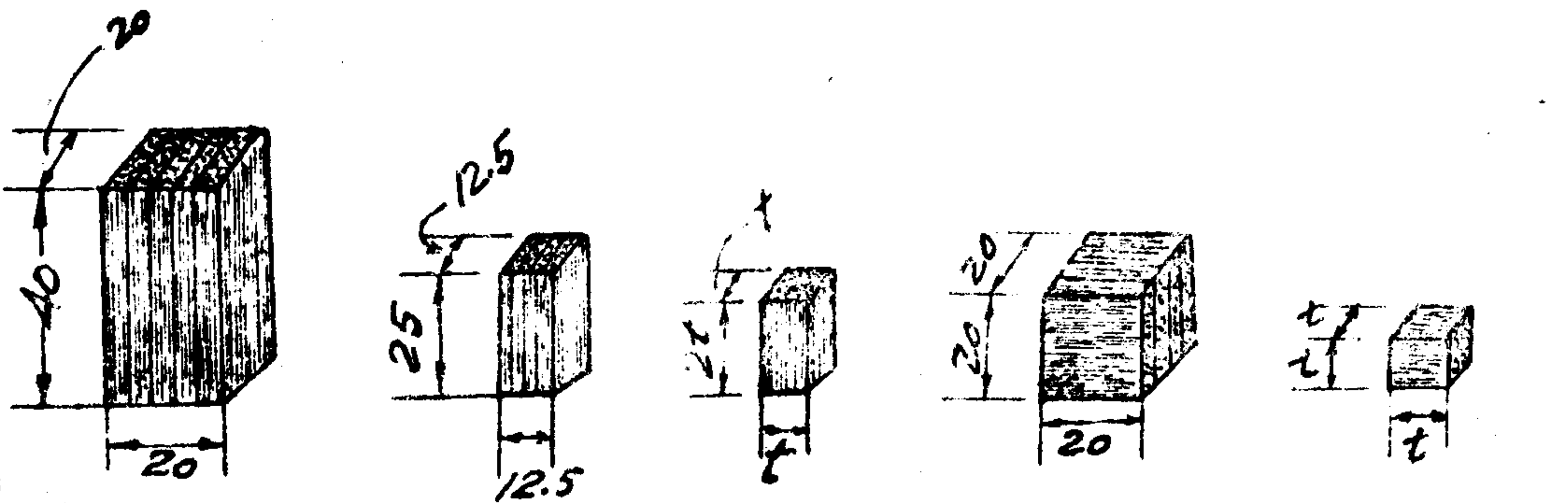
弦向分層

徑向分層

弦向分層

順紋抗剪強度試驗標本

橫紋抗剪強度試驗標本



徑向分層

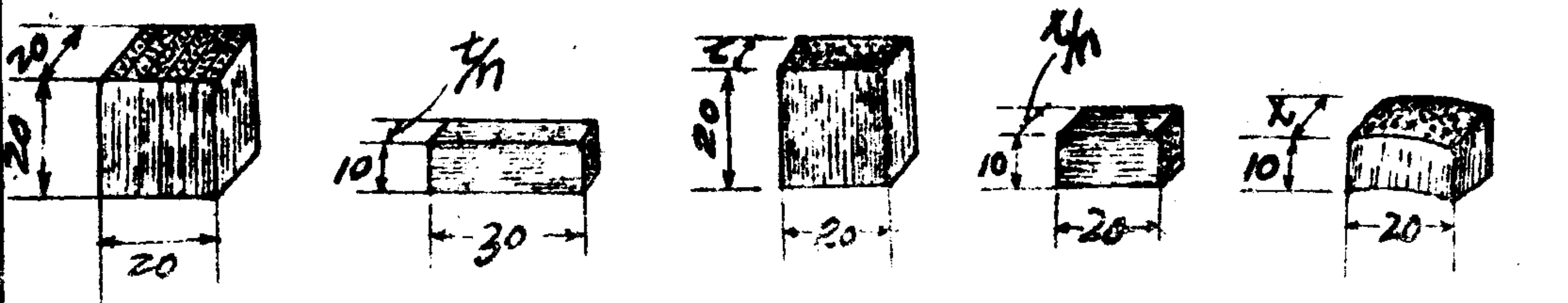
不分層

徑向分層

不分層

順紋抗壓強度試驗標本

橫紋抗壓強度試驗標本



徑向分層

不分層

高向及徑向收縮

弦向收縮

比重及含水量測量標本

試驗標本

試驗標本

係假定此點位于試片之中心線上。實際上因維管束之分佈關係，每一試片之強度並不集中於試片之中點，而集中於維管束分佈最多之部位之「重心」⁽²⁾；此項「重心」修正之計算係於試驗後根據各項試驗結果所得之普通公式而重定者。試材如分片多至5片以上，此項改正可以忽略。茲將分層較少之抗張強度試材之集中點列下〔計算法見附註(2)〕：

(1) 分2片者為20.5% t ，及73% t 。

(2) 分3片者為14.4% t ，48% t ，及81% t 。

(3) 分4片者為11.2% t ，37.1% t ，62.4% t ，及87% t 。

又第二類標本，因製作時受膠壓關係，所得之結果自不及用第一類標本之正確。惟竹材在應用上脫離不了膠壓故其數據仍適于實用。

各項試驗標本之大小如表1所列，其形式則如圖7所示。

表1 試驗標本之大小及受力面

試驗種類	試驗標本大小		受力面
	徑向分層	弦向分層或不分層	
抗張強度	$30 \times 1 \times t/n$ (或 $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$) 凹進部份如圖	$30 \times 0.1 \times t$	——
抗彎強度及韌性	$30 \times 2 \times 2$ (跨間24)	$30 \times 2 \times t$ (跨間24)	徑面
順紋抗剪強度	$2.5 \times 2 \times 2$ 凹進部份如圖	$2.5 \times 2 \times t$ 凹進部份如圖	徑面
橫紋抗剪強度	$3.5 \times 2 \times 1/n$ (或 $t_1, t_2, \dots, t_n$)	$3.5 \times 0.5 \times t$	弦面及徑面
順紋抗壓強度	(a) $4 \times 2 \times 2$ (b) $2.5 \times 1.25 \times 1.25$	$2t \times t \times t$	頂端
橫紋抗壓強度	$2 \times 2 \times 2$	$t \times t \times t$	弦面及徑面
比重及含水量	(a) $2 \times 2 \times 2$ (b) $3 \times 1 \times t/n$ (或 $t_1, t_2, \dots, t_n$)	$2 \times 2 \times t$	——
高向及徑向收縮	$2 \times 1 \times t/n$ (或 $t_1, t_2, \dots, t_n$)		——
弦向收縮		$1 \times 2 \times t$	——

- 備註 (1) t 爲竹莖之壁厚。 (2) t/n 爲分 t 爲 n 層時，每層之厚度。
 (3) $t_1, t_2 \dots t_n$ 爲分 t 爲厚薄不同各層之厚度。
 (4) 所有單位用公分爲標準。 (5) 所有標本形式見圖 7。

三 維管束之分佈

竹材上維管束之分佈情形，頗有規則，見圖 1a。今若將竹莖之橫截面刨平，取面積等於弦長 1 公分 $\times$ 壁厚 t 公分，依徑向分層，分爲若干小長方形，如圖 8。然後測量每一小長方形上之面積 (a)，並在放大鏡下，逐一數出每一小長方形內所含之維管束數目

(n)，以求出每單位面積之維管束數 $N = \frac{n}{a}$ 。今若將每一長方形之中線與徑向軸相交點

所在位置代表該長方形之 $\%t$ 位置，並假定每方形中所含之單位維管束數 N 俱集中此點。用方格紙繪劃出測驗數值得一極有規則曲線如圖 9 所示。

N 之數值，測定極不容易，尤以在 $10\%t$ 前之部位，幾無法作精確之測量。且竹材之生長方向及其部位均可影響 N 之數值，此曲線祇可代表維管束分佈之平均趨勢。圖中曲線顯示出 $45\%t$ 以前之 N 與其部位關係之變化極速， $45\%t$ 以後變化較小。如將實驗數值繪于對數格紙上，則 $45\%t$ 以前之實驗值在半對數紙上劃得一直線， $45\%t$ 後數值在全對數紙上也得一直線，由此可以推得兩個關係近似式。茲將近似公式分列如下：

$$N_{\rightarrow .45t} = 330(10^{-1.2t}) \quad (1a)$$

$$N_{.45t \rightarrow} = 60t^{-.8} \quad (1b)$$

式中 N 爲每平方公分面積之部位維管束， t 代表部位之壁厚百分率，其數值由 0 至 1 (或 0% 至 100%)，爲一無單位之數值。例如： $50\%t$ 中之百分數爲 50% 。或 0.5 。 N 字下註脚用以表示公式適用範圍。如註脚爲 $\rightarrow .45t$ 即表示此公式適合于由 $0t \rightarrow .45t$ 部份之曲線； $.45t \rightarrow$ 即表示此公式適合于由 $.45t \rightarrow t$ 部份之曲線。以後各公式均依此法表示。

$45\%t$ 部位爲兩公式 (1a 及 1b) 之「聯接點」。此部位之決定，乃根據曲線之趨勢及其近似式之計算，雖則在 $45\%t$ 處用 (1a) 計算出 N 之數值爲 95.1 每一平方公分，用 (1b) 計算爲 96.9 每一平方公分，相差不過 2% ，其誤差甚小，實際上此種誤差，在測量時亦不能避免。

四 比 重

維管束分佈之疏密，可以左右比重之大小，此乃顯而易見之事，本試驗之目的，除

圖 5

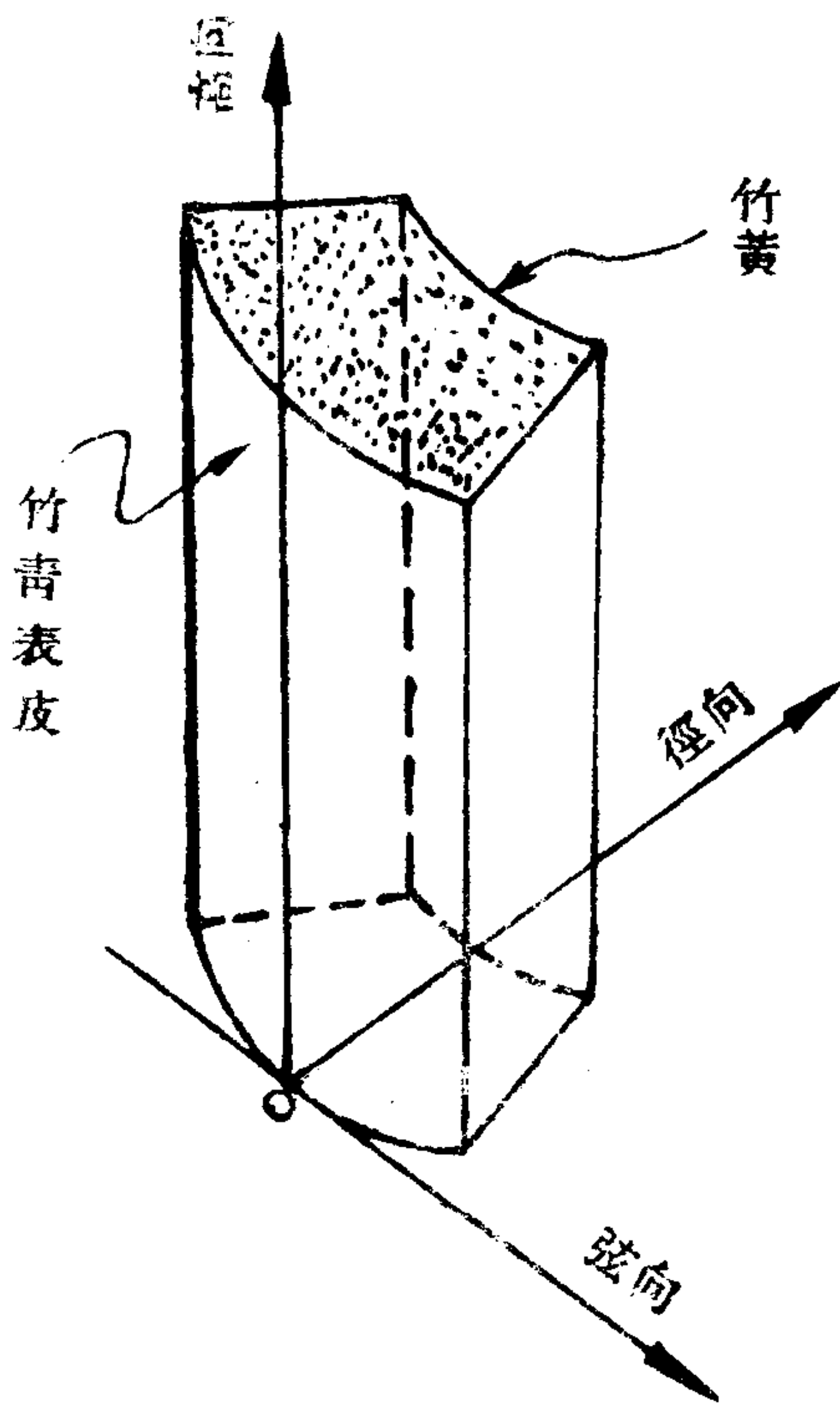


圖 6.

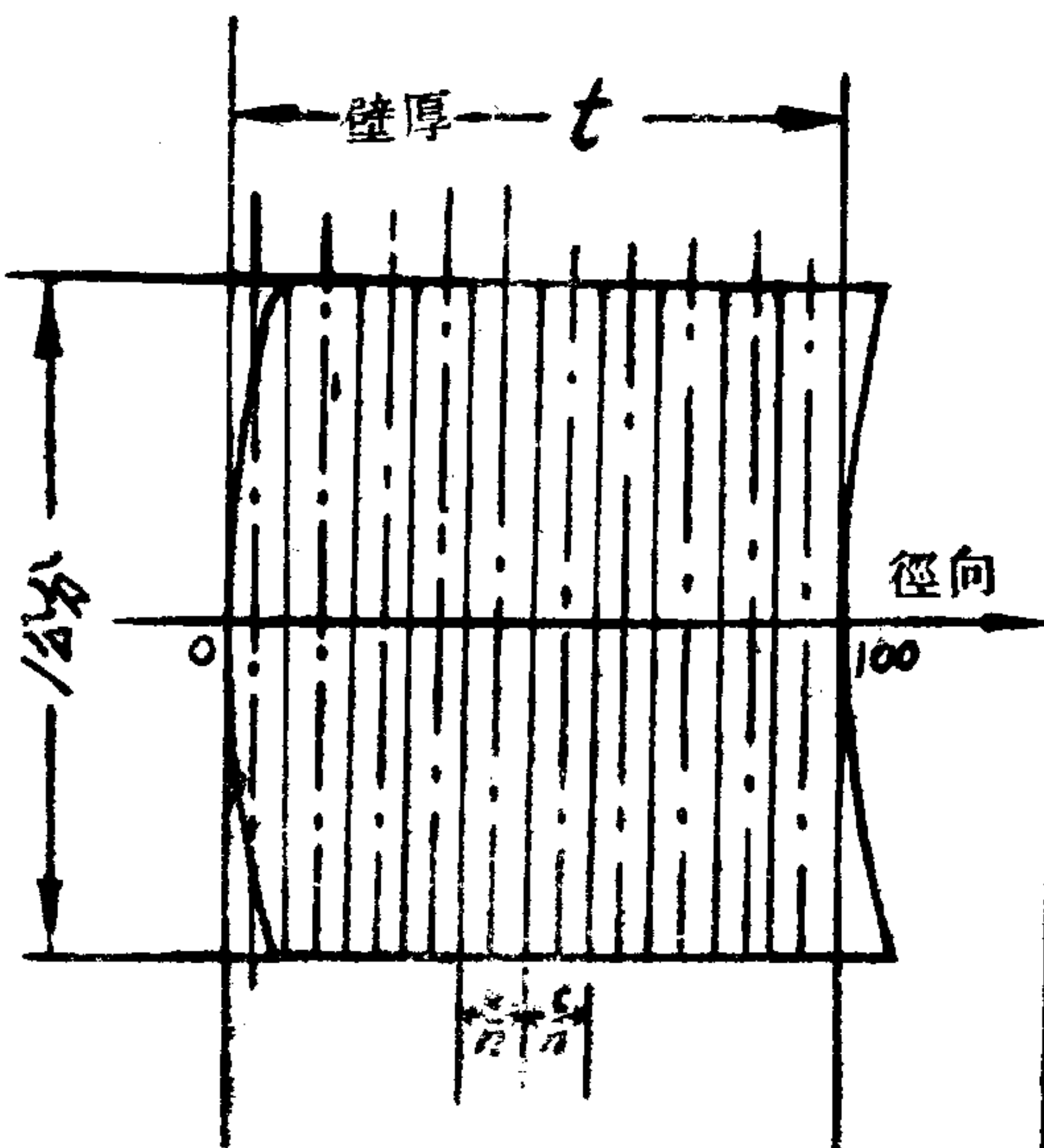
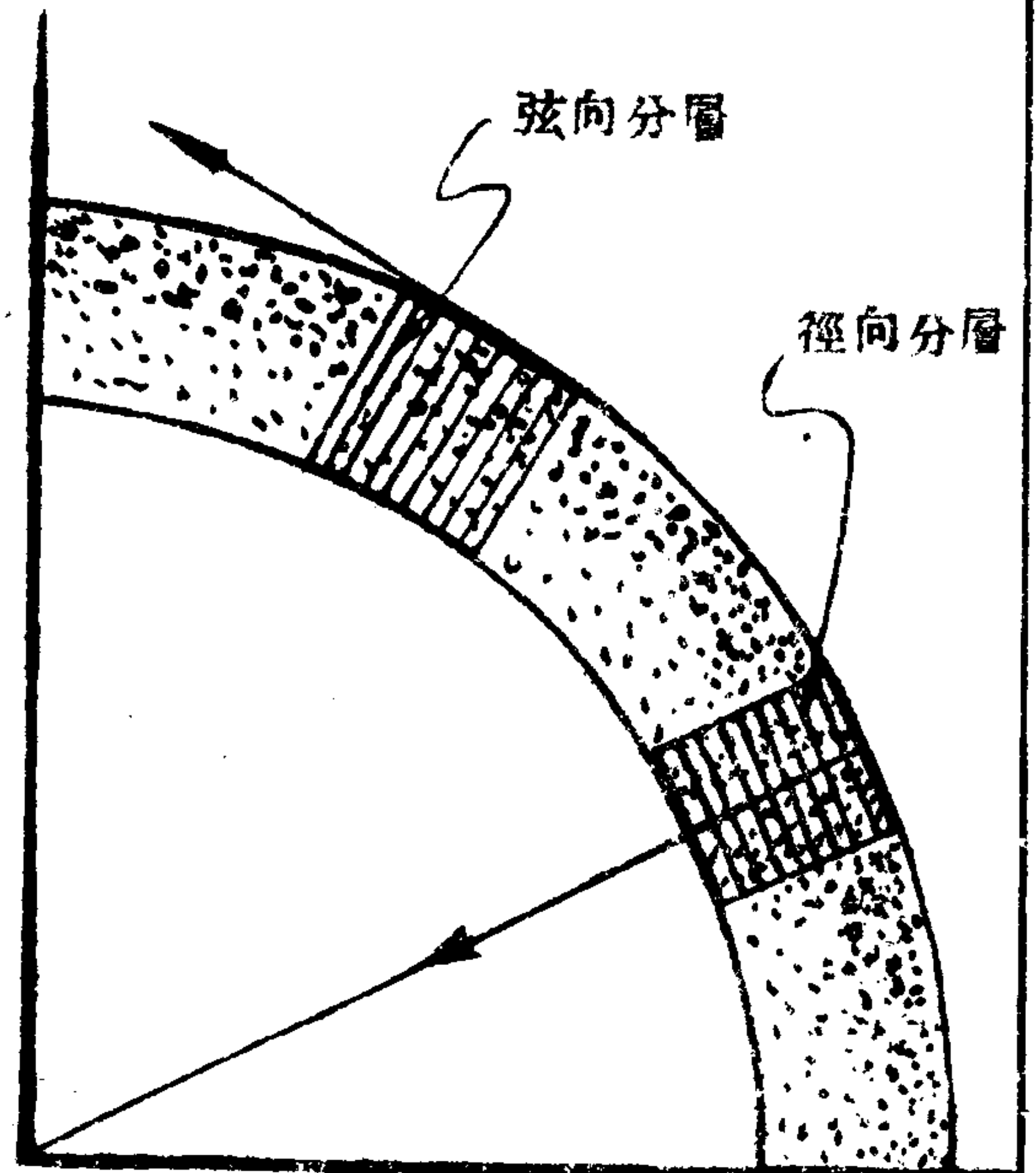


圖 8. (放大)

圖 9. 維管束分佈密度與部位關係
、無節，測驗 113 次。

