

第五章 立木測計

5-1 前言

立木 (standing tree) 指立於林地上之樹木而言，包括生立木與枯立木 (snay)，其材積測計原則上與伐倒木無異，但因須在生長原地測定，皆不如伐倒木容易且又可測定任意部位之斷面、直徑及長度。

單株立木測計，固然為求得單株立木材積，但其終極目的，則是以單株立木所求得的數據，作為計算或推算林分材積之基礎。其測計事項主要為立木之直徑、樹高、有關常數及材積等。

5-2 直徑之測定

在林木測計上，直徑為主要因子之一，且居重要地位。樹幹之橫斷面雖非為正圓，但為求實用上之簡便，概皆假定為正圓，測其直徑後按圓形計算出斷面積。

5-2-1 胸高直徑

若把樹幹當圓柱體(cylinder)，則樹幹每一位置皆有一直徑，為方便大家量測，且便複測與比較，並易於找出其誤差，訂定立木直徑測定之標準位置(Standard position)是相當必要的；於是採取方便量測且具代表性的胸高直徑(diameter at breast height, dbh)來提供量測比較，因此立木直徑若未特別註明時，通常指胸高直徑而言。：

胸高直徑，即樹木胸高部位之直徑，因此部位均在根株以上，樹冠以下，可避免根張與枝條之影響，既少誤差，又易測求；因與樹幹材積關係密切，故為林木測定主要因子。甚至透過生長相關函數(allometric relationship)，使吾人方便使用 $\ln Y = a + b \ln X$ ，而獲知其他性態值生長變化之狀況。最常用的樹高曲線(D-H relationship curve)即是利用此原理，以 $H = f(DBH)$ 的關係式由胸高直徑(DBH)推估樹高(H)。

胸高係指成人之胸高，至於確實高度，各國規定不一，如表 5-1 示，我國、德國及歐洲諸國定為 1.3 公尺。又立木之直徑有連皮直徑(diameter outside bark, dob)與去皮直徑(diameter inside bark, dib)之分，由連皮直徑減去二倍之樹皮厚度則得去皮直徑。測量胸高直徑可用輪尺、直徑尺儀器來量測。

表 5-1 胸高部位

中國	1.3m
歐洲大陸	1.3m
英國	4'3"(1.3m)
美國	4'6"(1.37m)
日本	4 日尺(1.21m)
IUFRO	1.3m(4.5ft)

5-2-2 量胸高直徑應注意事項

胸高直徑之選定原則說明如下：

- 1.胸高直徑，定為立木離地面 1.3 公尺處之樹幹連皮直徑。
- 2.在平地，胸高自地面算起；生長在坡地之林木，胸高應自傾斜上坡之地面起算 1.3 公尺處。如圖 5-2 所示。
- 3.不論在平地或坡地之傾斜生長林木，其胸高應沿樹幹軸平行計算。
- 4.樹幹有明顯扁平時，應求其長徑與短徑之平均值為直徑。
- 5.過老林木根係露在地面者，胸高應自水平板根算起。
- 6.胸高處樹幹呈畸形時，以直徑點代替胸高。

7. 當測者手疲倦時，常會測定低於胸高部位之直徑，記錄者應隨時提醒此種錯誤。而胸高直徑於坡地或不規則林木之量測位置如圖 5-1 所示：

1. 立木在胸高上方分叉時，當作一株立木測定之，直徑點在緊接分叉下方樹幹無膨大處。如圖 5-1.4 所示。
2. 立木在胸高下方分叉時，每一分叉木留作一株獨立木測定之，但直徑點應在分叉處上方 100 公分，如圖 5-1.5 所示。
3. 胸高處有枝條、樹瘤等不正常時，直徑點應在此等畸形消失之上方處；亦有取離胸高上下等距無膨大現象之兩直徑平均之，如圖 5-1.6 所示。
4. 樹幹膨大高度在地上 1 公尺以上時，直徑點應在膨大消失處上方 30 公分，但膨大部分能造二公尺長圓材者不在此限。

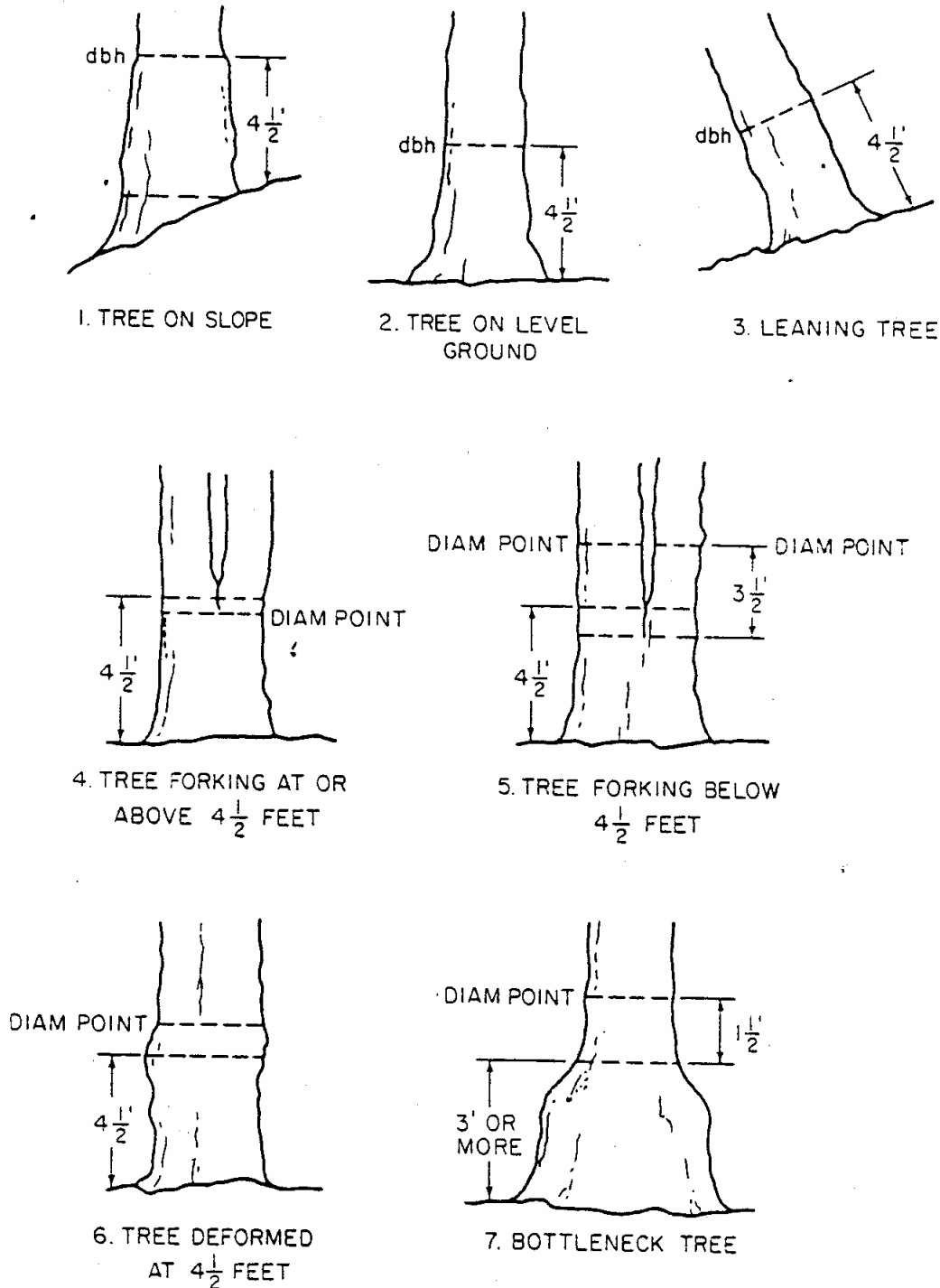


圖5-1 於坡地或不規則林木之胸高直徑量測位置

5-2-3 上部直徑

樹幹之上部直徑，不如胸高直徑之可以使用輪尺或直徑尺容易直接測定，需利用間接方法或另行發展之測定儀器來測定。雖然上部直徑在森林測計之實用方面的用處有限，但在試驗研究方面則常有此必要，例如精確測求立木材積、檢核立木材積表之適合度及推算樹幹形狀或樹幹尖削度等。

5-2-4 樹冠直徑

林木之樹冠直徑（crown diameter）為研究林分密度變化之主要因子，故亦為森林測計對象之一。因其可在空中照片上測得，並與胸高直徑具有線性模式（linear model）關係，近年來亦增加其重要性，因此可在空中照片上，聯合胸高直徑與樹高兩個因子，以利推算立木材積。

樹冠直徑之直接測定困難，而且樹冠外型又不規則，所以更不易精確測得。普通在地面上，利用平板儀求出立木以樹幹為中心之樹冠投影圖，再由圖上求出立木之平均樹冠直徑。樹冠直徑亦可以用樹冠直徑測定板（crown diameter scale），在空中照片上測定之。

5-3 樹高測定

樹高（tree height）為求材積之主要因子之一，其重要性僅次於胸高直徑。樹高一詞，若不特別註釋，常指林木的全高，從地面到樹梢頂端之垂直距離。然從利用觀點，對於林木高度和幹長之測定，尚有不同之分類，如圖 5-2 所示，其定義如下：

1. Total height：ground—tip of tree(along the axis)
2. Bole height：growed—crown point of tree stem
3. Merchantable height：ground—last usable portion of stem
4. Stump height：ground—stem where a tree is cut
5. Merchantable length：stump height—last usable portion of stem
6. Defective length：Σmerchantable length cannot be utilized ∴ defect
7. Sound merchantable length：merchantable length—defective length
8. Crown length：on axic of tree stem between crown point and tip of tree

而林務局有關樹高測定之規定如下：

1. 樹高之測定，應是其全高，即林木自地面至主幹頂端之長度。
2. 根系露出之林木，視水平板根為地面高起算樹高。
3. 樹高測定單位為公尺，不足一公尺者不予計算，如 15.5 公尺記為 15 公尺。
4. 樹高之測定、不容易且費時，可以測高器抽樣測定每株樣木樹高，用樹高曲線法推求該林分各直徑級別平均樹高，直徑級及區分依資源調查之規定。
5. 全林每木調查時，樹高得用比較目測法估測之，但每 15 株應利用測高儀器實測一株林木之樹高，以為比較之依據。經儀器測定之林木，在胸徑處應記明「樹高樣大」四字，並在記錄表內記「樣本」二字以便查核。

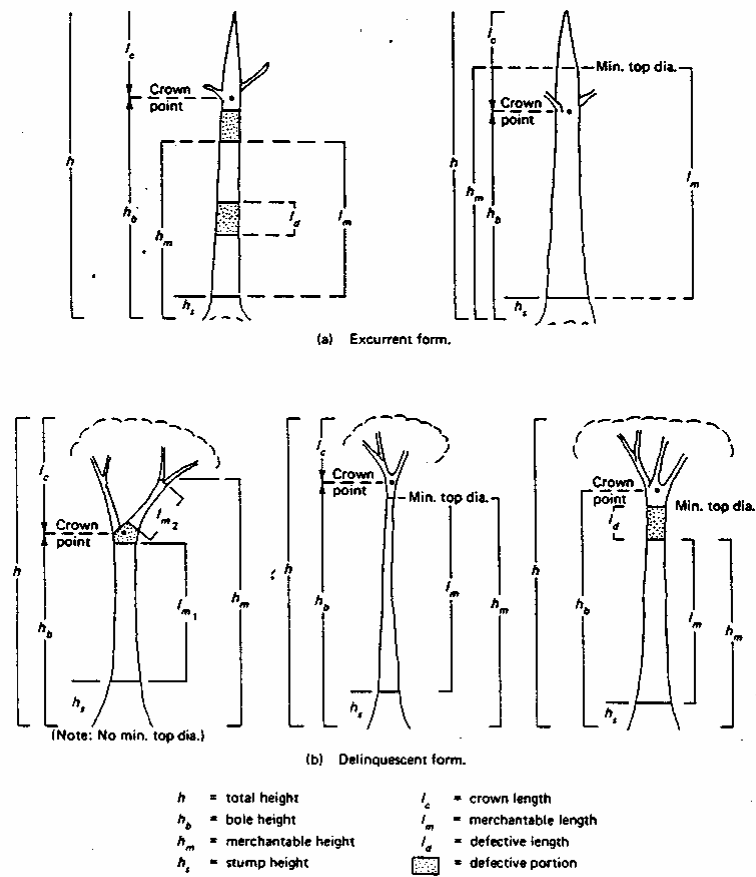


圖5-2 樹高與幹長

5-3-1 樹高直接量測

幼齡林木在伸手可以到達的高度範圍，皆可使用捲尺、測桿等測量用具直接測定至。

5-3-2 樹高間接量測之測定原理

1. 基於相似三角形原理的測高器

Christen Hypsometer

Merritt Hypsometer

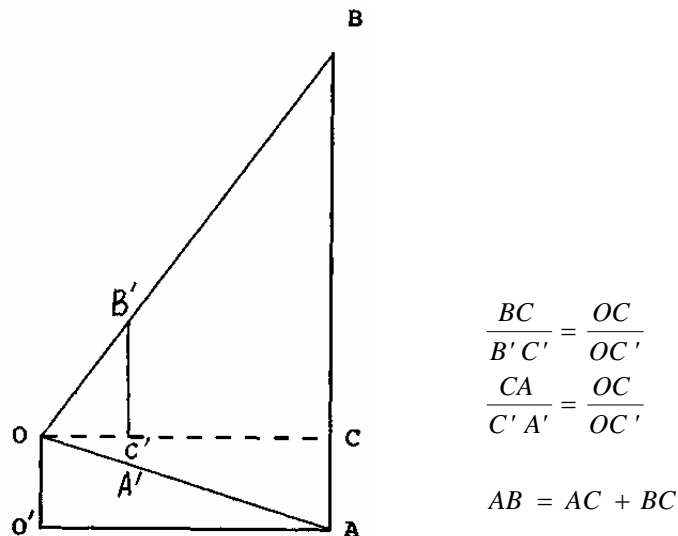


圖5-3 Hypsometer based on similar Triangles

2. 基於TAGENT角原理的測高器

- Abney Level
- Haga Altimeter
- Blune-Leiss Altimeter
- Suunto Clinometer

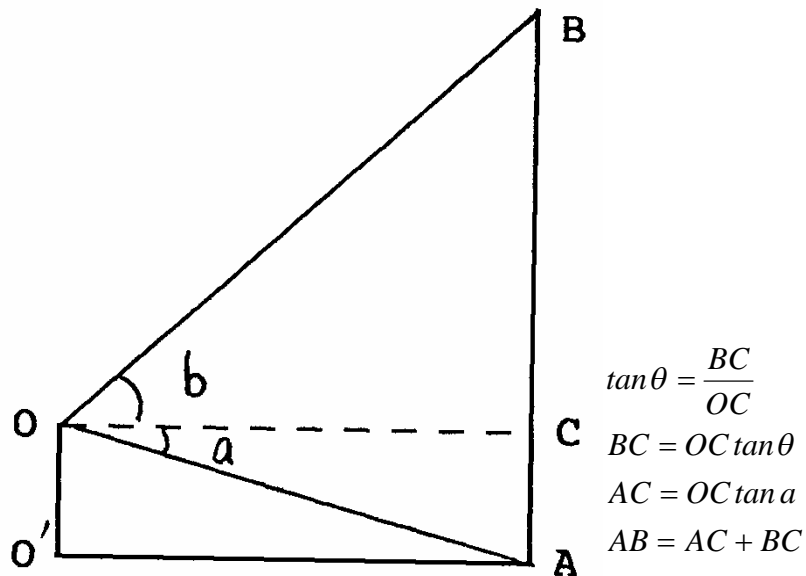


圖5-4 基於三角原理的測高

5-3-3 樹高測定之容許誤差

台灣省林務局對森林調查，樹高之測定，誤差容許範圍如下：

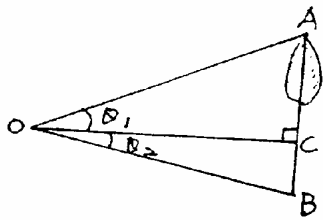
表 5-2 樹高測定之容許誤差

樹高範圍	容許誤差範圍
10 公尺以下	1 公尺
20 公尺以下	2 公尺
20 公尺以上	3 公尺

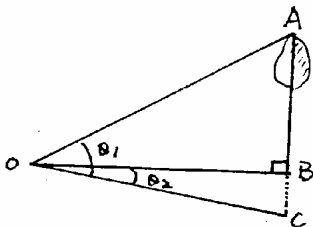
5-3-4 樹高測定之注意事項

1. 測法及使用儀器須與樹高測定所希望之精度相配合。
2. 測定位置，應選能透見立木頂梢與根際。如不透視根際時，則選樹幹上某一基準點以先測定，然後再測基準點以下高度相加之。
3. 測點位置不宜太靠近立木，否則易將側枝葉誤認為梢端，而生過大誤差。
4. 傾斜立木，若從傾斜方向測定，則得過大或過小值，故宜由傾斜側面測定。
5. 圓形或扁平樹冠，其側枝平展者，每易造成誤測，故須適度延長測者與立木間之距離。而圓錐形樹冠則較易測定。
6. 測者與立木間之距離，應正確量距。

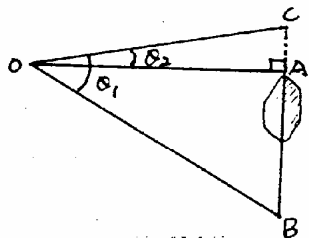
5-3-5 各種測高狀況及其計算公式
測高器測高結果計算



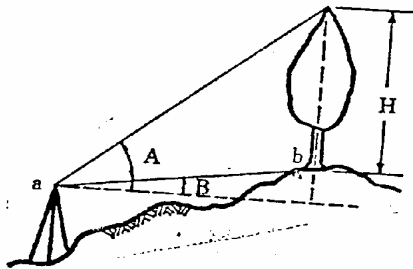
$$\begin{aligned} AB &= AC + CB \\ &= OC \tan \theta_1 + OC \tan \theta_2 \\ &= OC (\tan \theta_1 + \tan \theta_2) \end{aligned}$$



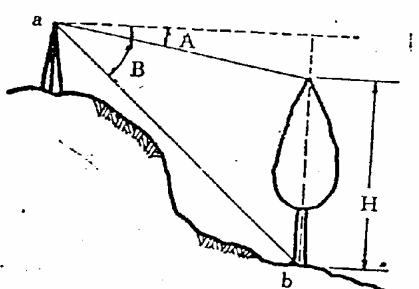
$$\begin{aligned} AB &= AC - BC \\ &= OC (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \end{aligned}$$



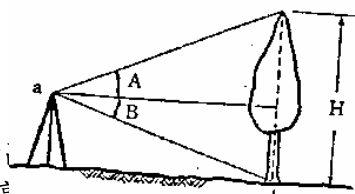
$$\begin{aligned} AB &= CB - CA \\ &= OC \tan \theta_1 - OC \tan \theta_2 \\ &= OC (\tan \theta_1 - \tan \theta_2) \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} A &= 39.0^\circ \quad B = 7.5^\circ \\ ab &= 6.16\text{m} \\ H &= 6.16 \times [\sin(39.0^\circ - 7.5^\circ) / \cos(39.0^\circ)] \\ &= 4.14\text{m} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} A &= -10.0^\circ \quad B = -43.5^\circ \\ ab &= 8.32\text{m} \\ H &= 8.32 \times [\sin(-10.0^\circ - (-43.5^\circ)) / \cos(10.0^\circ)] \\ &= 4.66\text{m} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} A &= 22.5^\circ \quad B = -18.0^\circ \\ ab &= 6.31\text{m} \\ H &= 6.31 \times [\sin(22.5^\circ - (-18.0^\circ)) / \cos(22.5^\circ)] \\ &= 4.45\text{m} \end{aligned}$$

5-4 樹高
樹高

表示樹高平均值隨胸高直徑變化之曲線。根據胸高直徑及樹高測定值求樹高曲線之方法，概可分成下列三種：

1. 手描曲線法

手描曲線法(free hand curve)，先將測定結果，按直角座標取橫軸代表胸高直徑及縱軸代表樹高點出，如圖所示，再繪出一條通過座標點群中心之曲線，即為所求之樹高曲線。

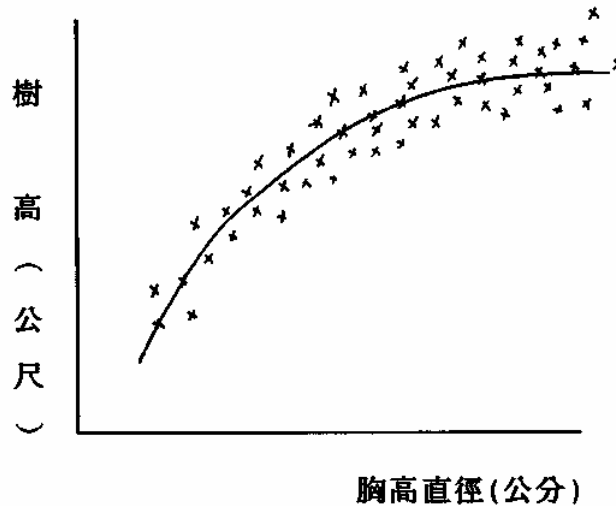


圖5-5 樹高曲線

2. 平均法

先算出各胸高直徑階之樹高平均值，再在方格紙上繪圖，如果連結各點所得之曲線略呈平滑狀時，即為所求之樹高曲線。假若由第一次樹高平均值所繪出之曲線不夠平滑時，則求其三點或五點平均後再行繪圖。

3. 樹高曲線式法

樹高曲線實驗式之研究，素為森林學家所重視，已經創造出許多數式，例如：

- (1) $H = aD^b$
- (2) $H = aD^b + C$
- (3) $H = a + bD + cD^2$
- (4) $H = a + b \frac{1}{D^2}$
- (5) $H = 4.5 + bD - cD^2$ (Torey, 1932)
- (6) $H = 4.5 + h(1 - e^{-ad})$ (Meyer, 1940)
- (7) $\log H = a + b \log D$ (Stoffels and Van Soest, 1953)
- (8) $H = a + b \log D$ (Henricksen, 1950)

H=總樹高

D=胸高直徑

e=自然對數(natural logarithms)

a, b, c=常數

其求法為選出適當之樹高曲線式，應用最小二乘法，就實測值算出其母數推算值，以定樹高曲線。或應用多元迴歸分析及逐步迴歸法(stepwise regression procedure)決定最適實驗式作為樹高曲線式。

5-5 立木材積之測計

立木之樹幹材積，不論在實用上或價值上皆佔極重要地位，自然成為測計的主要對象。樹幹材積由於樹幹任意位置直徑及樹高測定困難，所以一般不可能直接量測來測計其材積。現在已有之立木樹幹材積測計方法，有望高求積法、形數求積法、材積表法、估算法、目測法等。一般業務因需迅速而簡便的方法，多利用形數求積法及材積表法，根據立木的胸高直徑和樹高從材積表上查出其樹幹材積，不必另行計算。

5-6 立木材積表

立木材積表(Tree volume table)為根據胸高直徑、樹高、形數或其他因子等而表示立木之平均材積。測定立木有關因子後，即可由表上查出立木材積，不必另行計算，用法簡單。由表上所查得材積，雖無法完全滿足立木各別差異，但就多數立木材積合計，或林分材積合計時，則不致有太大誤差。故立木材積表，能成為測計林木材積之主要方法。

1 立木材積表之種類

(1)依編材積表時之測知因子分：

- A.一因子材積表：立木之胸高直徑及樹高與材積間，具有極顯著之關係存在，故材積可依直徑或樹高之函數表示之，此採用任一變數編成之材積表屬之。此種材積表較簡便，但精度較差，可適用於一定區域或小面積之森林調查。
- B.二因子材積表：立木材積用直徑與樹高兩因子之函數關係所編成之材積表，此材積表，最為普遍，應用也最廣。
- C.三因子材積：利用胸高直徑、樹高及樹幹形狀三因子所編成之材積表。理論上雖最為精確，但形狀雖隨立木之大小而變化，然其變化範圍不如胸高直徑及樹高大，故精度提昇有限，而編製較複雜。

(2)依材種分：

- A.原木材積表：適用於伐倒木者，係就業已測知原木直徑或周長與材長，從該表查出其利用材積。
- B.立大材積表：適用於立木，為本節討論之主題；亦為林木求積之主要工具之一。
- C.層積材積表：適用薪炭材、小圓材、枝梢材等。

(3)依適用之地區分：

- A.地方材積表：編製立木材積表所用之資料，僅由其一地區或局部地區蒐集時屬之，故僅能應用於該一地方之林木材積調查。
- B.一般材積表：編製立木材積表所用之資料，由全國或廣闊地區蒐集時屬之，故適用於全區之林木材積調查。然實際上，與地方材積表間之界限，有時不易區分。

(4)依樹種分：

- A.各個樹種之材積表，如柳杉材積表。
- B.聯合數個樹種之材積表，如柳杉與杉木材積表。
- C.不分樹種而依樹幹形狀分類之材積表。

(5)依材積的種類分：

- A.樹木材積表：以樹木全材積為準所調查編製之材積表；依所測定之數據從此材積表查出之林積，包括幹材及枝材。
- B.樹幹材積表：以樹幹材積為準所調查編製之材積表；依所測定數據自此種材積表中查出之數字為幹材積。
- C.圓材材積表：以立木伐倒造材後所得圓材材積為準所調製之材積表；依所測之數據自此種材積表中查出之數字，為圓材材積。
- D.枝條材積表：以樹木枝條材積為準所調製之材積表；依所測之數據自此種材積表中查得之數字為枝條積。
- E.根株材積表：以樹木根株材積為準所調製之材積表。

以上除 A、B 兩種外，餘三者可藉圓材率、枝材率、根株材率乘以樹木材積，分別得之。

2.材積表之應用

立木材積表，須依樹種或樹種群分類編製，一如形數求積法只能應用於林分材積之測定，測定個別立木材積，亦多誤差。台灣行立木材積表法，查定立木材積，與本章第四節之形數求積法，無論其性質、方法與結果，均無不同，唯一不同者，只是在測得胸徑與樹高後，不須查圓柱體體積表再乘以形數；只須根據胸徑與樹高，直接於立木材積表上，查出其材積而已。

立木材積求積法，其林間立木測定之方法及其步驟，如次：

- (1)測定立木之胸徑。
- (2)測定立木之樹高；如應用以胸高直徑為一因子材積表時，免測樹高。
- (3)測定立木之形狀；僅於應用三因子材積表時行之。
- (4)根據所須測知的已得數值，查立木材積表，得其立木材積。

5-7 樹幹形狀(stem form)的測計

所謂的幹形，廣義而言是樹幹之橫斷面與縱斷面之形狀，狹義來說為樹幹之縱斷面，有就乃指樹幹直徑隨其位置變化的形態。

樹幹形狀的變化係由下往上漸縮小(diminution)，可由

- (1)形狀度(form)：直徑縮小的方式，成特定形狀體→決定樹幹外貌輪廓。
- (2)尖削度(tapering)：直徑隨高度增加而縮小的快慢程度。

taper：直徑的縮小

幹形=f(樹種、年齡、生育環境、施業和撫育方法)

樹幹曲線(Stem curve)：樹幹表面與包含幹軸的平面相交所得的曲線，如拋物線、直徑、輻輳、輻線。

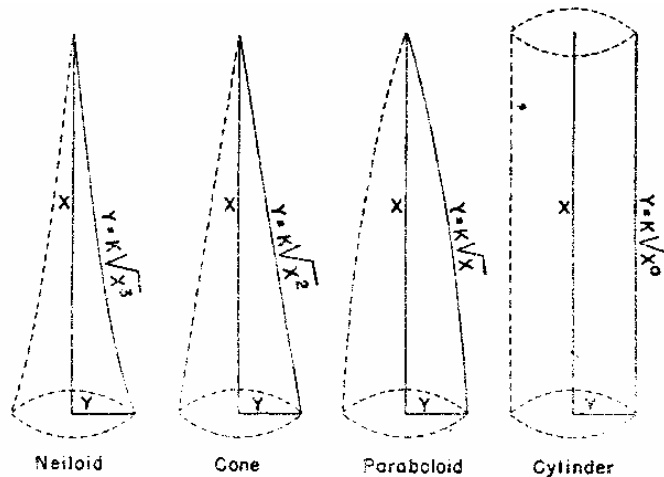


圖5-6 各種樹幹形的旋轉體

設以直角座標之原點當做樹梢頂點及X軸當作幹軸時，樹幹取線上各點之Y座標(亦即樹幹半徑)可以使用數式 $y=f(x)$ 表示之，是為樹幹曲線方程式(stem curve equation)。

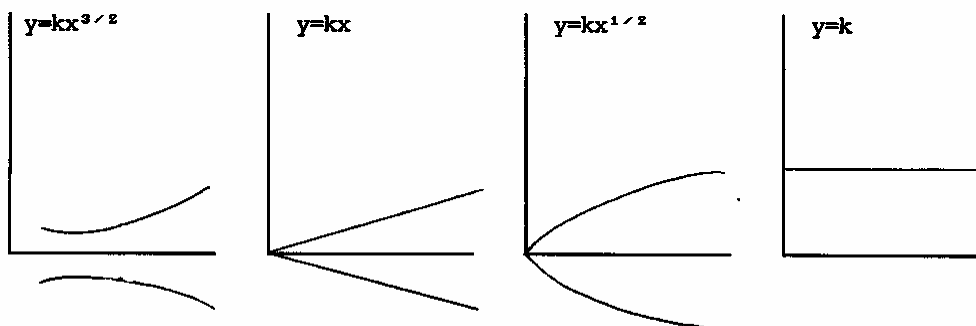


圖5-7 樹幹曲線及其曲線方程式

樹幹直徑與所在位置高度連續變化之關係。

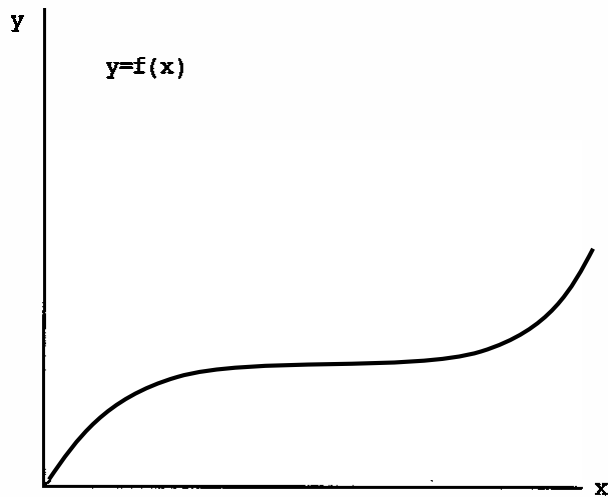


圖5-8 樹幹曲線方程式圖解

樹幹曲線(方程式)(Stem curve equation)

(1)Kunze : $y^2 = K^2 X^r$ $y = K \sqrt{X^r}$

(2)Behre : $\frac{d}{DBH} = \frac{L}{a + bH}$ (d : 為L處之直徑) (L : h/H)

taper=f (species, DBH, age, site treatment)

taper → V

taper equation : $X(A) = H(1 - Ce^{-bt})$

$$y(A) = D(1 - Le^{-lt})$$

$$y(h,x) = D [1 - (H-h/H-x)^{1/k}]$$

$$d_0b = aD^b H^c (H-h_0b)^d$$

1. 形數(form factors)

形數：樹幹材積對以樹幹上某一特定位置為直徑及以樹高為高之圓柱體體積之比較
Tree volume/ 相同 diameter, height 之 volume of a geometrical solid (cylinder, cone, cone frustum)。

如：胸高形數(breast height form factor) : $V_{tree} / V_{dbh,h,cylinder}$ 為最常用之立木材積，其計算如下：

$$f_{1.3} = 0.2(g_{0.9}^2 + g_{0.7}^2 + g_{0.5}^2 + g_{0.3}^2 + g_{0.1}^2)$$

$$\bar{v} = 0.2h(\pi/4)(d_{0.9}^2 + d_{0.7}^2 + d_{0.5}^2 + d_{0.3}^2 + d_{0.1}^2)$$

$$\bar{v} = 0.2h(\pi/4)d_{1.3}^2(g_{0.9}^2 + g_{0.7}^2 + g_{0.5}^2 + g_{0.3}^2 + g_{0.1}^2)$$

幹長：0.9,0.7,0.5,0.3,0.1

d：直徑

$$g_{0,i} = d_{0,i} / d_{1.3} \quad i=1,3,5,7,9$$

由Huber區分求積式計算

$$f_{1.3} = \frac{\text{由Huber算出材積}}{(\pi/4)D_{1.3}^2 \times H}$$

正形數(normal form factor) : $V_{tree} / V_{樹幹全長整數分之一直徑之圓柱體}$ ，一般0.9位置。

$$\lambda_{0.9} = 0.2(1 + n_{0.7}^2 + n_{0.5}^2 + n_{0.3}^2 + n_{0.1}^2) \quad n_{0.1} = d_{0.1} + n_{0.9}$$

$$\bar{v} = 0.2h(\pi/4)d_{0.9}^2(1 + \eta_{0.7}^2 + \eta_{0.5}^2 + \eta_{0.3}^2 + \eta_{0.1}^2)$$

$$\lambda_{0.9} = \frac{\text{由Huber算出材積}}{(\pi/4)D_{13}^2 \times H}$$

樹幹體積與樹幹全長整數分之一處之直徑(一般都使用幹長0.9位置之直徑 $d_{0.9}$)所成之圓柱體。

$$f = \frac{\text{volume of tree}}{\text{volume of geometrical solid of same diameter \& height (圓柱體或拋物線體...)}} \\ = \frac{\bar{v}}{w} = \frac{\bar{v}}{(\pi/4)D^2 H}$$

式中的f：形數

\bar{v} ：樹幹體積

w：圓柱體體積

π ：圓周率

D：直徑

H：樹高

19世紀初，認為樹幹形狀→solids(實體)也承認其間有許多變異(variations)

$$\text{form factor} \begin{cases} \text{coordinating form} \\ \text{coordinating volume} \end{cases} \quad \text{的方法}$$

即：欲導出異於DBH,H的材積計算因子

$$\text{Paraboloid} = 0.5 \times \text{cylinder}$$

$$f = V/gh$$

2. 形狀係數(form quotients)

$$q = \frac{\text{胸高以上某特定高度之直徑} \leftarrow \text{如 } \frac{1}{2}H \text{ 位置的 } D}{\text{胸高直徑(DBH)}} = \frac{D_i}{DBH}$$

為建立材積表(如chap 9.)的主要變數之一(DBH,H,q) Schiffel(1899)

(1) 正形狀係數(normal form quotient)= Schuberg氏形率

$$q = \frac{d_{0.5h}}{dbh} \quad \text{樹愈低 } d_{0.5h} \rightarrow dbh(q=1) \quad q \doteq \frac{1}{2}$$

(2) 絕對形狀係數(absolute form quotient)= Jonson氏形率(1910)

$$qa = \frac{d_1}{dbh} \quad 4.5 \text{ ft} \rightarrow 1.3 \text{ m}$$

qa隨D, H增而減，約為0.6~0.8

圓柱體(cylinder) = 1,000

拋物體(paraboloid)=0.707

圓錐體(cone) = 0.5

輓軀體(neiloid) =0.354
inside bark > outside bark

3. 形狀級(form class)

Girard氏之形狀級為：
$$\frac{\text{第一段圓材 (16 ft或32 ft) 去皮直徑 (inside bark)}}{\text{連皮直徑 (outside bark) DBH}}$$

美最常使用"形狀級"表示樹幹形狀之指標

同時考慮樹皮厚、根張與第一段圓材之尖削度為較理想之樹幹形狀表法。

美國用形狀級 =
$$\frac{\text{地面16(or 16.3) ft之去皮直徑原木}}{\text{連皮胸徑}}$$

美國用形狀級 =
$$\frac{\text{地面16(or16.3)ft之去皮直徑原木}}{\text{連皮胸徑}}$$

┌16 ft=4.8768m

| 16.3 ft=4.9682m

└1 ft=0.3048m

台灣用之形狀級

$$\frac{\text{地面以上5.3m之去皮直徑(24cm)}}{\text{連皮胸徑(30cm)}} \times 100\% = 80\% \quad \text{簡稱 80}$$

4. 樹形(form point)

$$\frac{\text{樹冠重心 (抗風中心) 高度}}{\text{總樹高}} \times 100\%$$

與樹冠大小、形狀有關

樹性：直徑、樹高、SPS、age(tree characteristics)

地位性質：氣候條件、土壤(site factors)

form point 愈大→tree form 近cylinder

form point 主要價值→absolute form quotient

┌form point

good correlation |

└absolute form quotient

但任何樹冠的抗風力中心(focal point of wind resistance)不易定位(隨樹冠密度、該樹冠於林分位置而異)。

參考文獻

林子玉 1986 森林測計學 國立中興大學 pp497

馮豐隆 1994 森林調查測計學(上) 國立中興大學

楊榮啟、林文亮 2003 森林測計學 國立編譯館 pp309