地工技術雜誌 第2期
民國72年4月 第98～105頁
Sino-Geotechnics No. 2
April. 1983, pp. 98-105

Q與A專欄

歐 晉 德*

本問題與解答專欄將定期於本刊登出，所擬問題均選自目前大地工程界於施工中可能遭遇之一些疑難小問題，此類問題雖小，但常造成施工人員之困擾，本欄歡迎各讀者提出問題，並歡迎學者專家就解答內容提供意見，有鑒於大地工程牽涉範圍及變化甚多，讀者亦請避免將本欄提供之解答視爲唯一方案，以免造成施工或尋求解決方法之錯誤。

Q3：鑽探取樣受擾動的因素何在？宜如何避免？

A：嚴格言之，鑽探中採取土樣，土樣或多或少都受到干擾，一般而言，由鑽探至取樣，以至於完成試驗室試驗過程中，土樣受擾動之因素甚多，其主要原因大致可歸納如下：

1.應力變化因素 土體於鑽探時產生某程度之解壓，土體中應力降低，土體發生膨脹，取樣時，由取樣器之擠壓行爲，土體受壓縮，至試驗室中樣品自薄管中擠出後，試體處於完全無圍壓狀態，此一歷程中，土樣明顯承受應力變化，自然產生擾動。

2.設備因素 現有取樣器種類繁多，所適用之土層情況不一，同時取樣器管壁厚薄度，內壁摩擦阻力不同，對土體可生不等程度之擠壓行爲，並且取樣器之切刃形狀，取樣器之管徑大小，長短度等均可影響土樣本身之受擾動程度。

3.取樣方法 諸如鑽探時於接近取樣位置前之清孔方式，取樣器之壓入方式及其速度等均直接影響土體中孔隙水壓變化以及應力狀態，樣品取出前對取樣器施扭轉力以剪斷取樣面，樣品提取時，局部孔隙水之流失等，均導至土樣擾動，甚至漏失。

4.人爲因素 取樣時不當之衝擊或過量水壓冲洗，不經意之振動，取樣後未立即包裝封蠟，任其日晒雨淋，運送樣品時未妥善保護，試驗前對樣品修切不妥當等均屬可以避免之人爲擾動因素。

因此，綜而言之，除第一項因應力變化歷程而生之擾動，需利用三軸强度試驗之步驟以恢復其起始狀態而降低擾動影響外，餘皆應由技術上尋求解決方法。

於大地工程之應用觀點視之，除第一次應力因素屬不可避免者外，具以下三條件之樣品即視之爲不擾動土樣：

一、土壤組織結構不改變。

二、土壤之含水量及孔隙比與現場一致。

三、物理及化學成份未變化。

而就實用觀點視之，目前大地工程界利用下列數據評定擾動度，如符合此條件時，即稱之爲未擾動土樣（圖3－1）：

1.面積比 (Area Ratio): $C_a<10\%$

2.管內淨空比 (Inside Clearance Ratio) C_i

短小土樣	$C_i=0\sim1\%$
中長土樣	$C_i=0.5\sim3\%$
長土樣	$C_i=5\sim10\%$
一般	$C_i=0.35\sim1.5\%$

3.管外淨空比 (Outside Clearance Ratio), C_o:

砂土	$C_o=0$
黏土	$C_o<2\sim3\%$

4.單位採樣比 (Specific Recovery Ratio): $\frac{\triangle L}{\triangle H}$

$$(1-2C_i)\ngtr\frac{\triangle L}{\triangle H}\ngtr1$$

* 亞新工程顧問公司協理

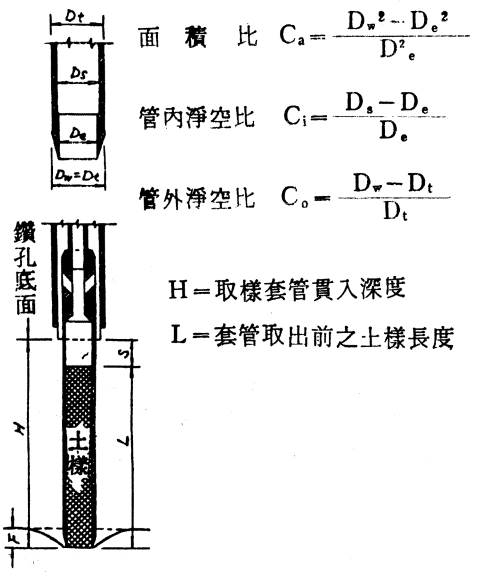


圖3-1 未擾動樣品取樣器條件

5.總取樣率 (Total Racovery Ratio) L/H
L/H≅1

6.取得土樣表面或剖面無扭曲或缺陷者。

7.土樣長度及重量不因取樣而改變。

以上數點中前三者屬於對取樣器本身之規定，可於施工前加以檢核，其中更以面積比與管內淨空比爲世界各國通用標準，各國規定縱有些微差異，惟大致均爲 C_a 小於10%而 C_i 在1至1.5%間，以避免設備因素造成之影響，通常此亦屬最主要之影響。

至於取樣器進入土體取得土樣之方式，目前並無一致定論，自然均以減少擾動爲第一要件，如鑽孔應使用套管者，於抵達計劃取樣地點前50公分長度宜避免使用套管，至於取樣器之貫入方式，應視土體性質而異，工程界並無一致看法，如日本土質工學會之建議，取樣應迅速及持續，避免中斷，其建議採平均每秒20公分之速度，但挪威大地工程研究所 (NGI) 則建議每分鐘1至3公尺（約合2至5 cm/sec），其他國家亦有利用持續油壓方式以每秒7.5至15公分速度取樣者，並未能統一。

因此，讀者可明瞭，要達成不擾動土體取樣並非易事，而取得土樣後，更應就土樣受擾動程度而判定其應用範圍，土樣受擾動後，其可能受影響之物理性質包含：

1.排水及不排水抗壓強度
2.壓力模數E值
3.抗剪模數
4.尖峯強度時之應變量
5.壓縮指數 C_c
6.壓密係數 C_v
7.預壓力值
8.強度參數 C' 及 ϕ'。

因此西德之國家標準亦訂定了所謂之土樣品質標準以作爲選擇土樣進行適當試驗之指標，此標準目前爲西德、英國、南非等國大地工程界廣泛參考，亦謹予以詳列如表3－1，以爲讀者參考之用。

表3-1 土樣品質等級

等級	土樣未改變性質部份	用以測定之性質
1	Z,w,γ,τ,Es	細薄土層層次變化界線 粒徑分佈 稠性限度 最大及最小密度 比重 有機質含量 含水量 乾密度 空隙率，孔隙比 壓縮指數 強度性質
2	Z,w,γ	細薄土層層次變化界限 粒徑分佈 稠性限度 最大及最小密度 比重 有機質含量 含水量 乾密度 空隙率，孔隙比
3	Z,w	細薄土層層次變化界限 粒徑分佈 稠性限度 最大及最小密度 比重 有機質含量 含水量
4	Z	土層界限，不包含薄層變化 粒徑分佈 稠性限度 最大及最小密度 比重 有機質含量
5	Z亦改變 不完整土樣	土層變化順序

Z＝粒徑分佈及阿太堡限度，有機質等
w＝含水量
γ＝乾密度
τ＝抗剪強度
Es＝壓縮指數

Q4：於海中如何進行取樣工作？有何可資利用之方法？

A：於水中欲取得品質較佳之土樣，通常宜利用鑽探平臺爲之，平臺之結構應視水深，鑽孔深度及海上情況而設計，需有足够强度，平臺通常不宜小於 4m×4m 空間，並且至少該高出高潮位 1.5 公尺以上以利操作。

當然，水中鑽探並非僅利用平臺，表4・1列舉水中鑽探時之各種架設方式，以爲讀者參考，圖4・1即顯示利用固式架之鑽探方式，鑽探有時亦

表4.1　水中鑽探架形式

基本形式	設　　備	適用水深 (m)
固定架	簡單木架	1～ 3
	木樁平臺	3～ 5
	H 型鋼樁平臺	5～15
	鋼管樁基平臺	
下部自動升降式	鷹架式預鑄鋼架	5～25
	錨定大型鋼架	15～50
	簡單自動升降平臺	3～10
	大型自動升降平臺	15～50
浮臺	半沉沒式浮臺或平臺式鑽探船	10～60

利用鑽探船爲之，如調查純粹僅爲取得海床面之土樣時，可利用如圖4・2之抓土器取樣，此種情況下使用約30至50公尺長之小船即可達到目的，如要鑽孔者，則船身需達70至90公尺長，船中央並設有井孔以爲鑽探之需。

水中鑽孔深度亦需配合設計結構物需要而有所不同，如基礎爲重力式者，孔深應至少有一孔和基礎面同寬，若爲樁基礎，則至少一孔深度應達預計樁長加上羣樁之寬度以下。

至於取樣次數，若以目前國際上海域鑽探的應用情形而言，鑽孔中30公尺以內每一公尺間距取樣一次，如取樣率甚差則應縮短取樣間距，圖4・3敍述標準之取樣方式，利用套管旋轉配合穩定液之應用鑽至預定取樣位置後，將鑽頭略爲提升約1至1.5公尺，鑽孔使用之套管通常爲5英吋 (130mm)

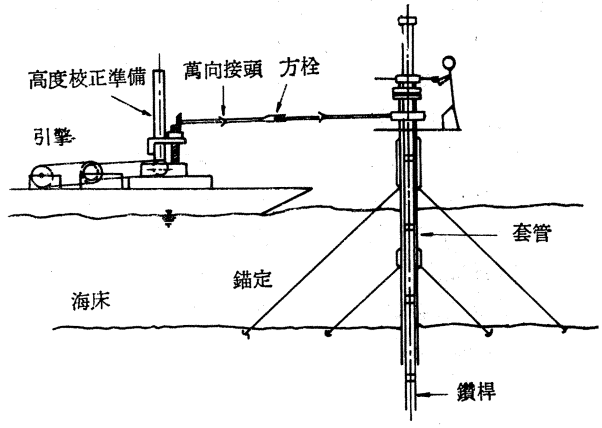


圖4.1　固定架鑽探

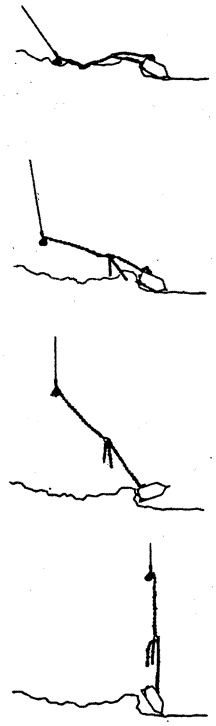


圖4.2　水中吊桶式抓土器取樣步驟

外徑，（如 API 規定標準），遺留孔徑約爲7英吋，取樣器置入孔內，以錘重約80公斤之落錘打入土中，此爲最常用之重力式取樣方式，至於取樣管本身，目前並無統一之規格，表4・2列舉目前最常用之兩種2英吋及3英吋之薄管規格。

於海上之鑽探工作，應特別注意紀錄氣候、風力，潮水及溫度等狀況，人員工作時間等亦應紀錄，至於如鑽孔使用之泥液狀況包含壓力、重量、使用率等亦可提供極有價值之參考。有關取樣部份之紀錄應包括：

(1)取樣器類別與取樣方法

(2)取樣器尺寸

(3)取樣步驟

(4)如使用落錘式取樣時應紀錄打擊數，錘重及落下高度等

(5)如使用壓入式時應紀錄壓力大小

(6)取樣深度

(7)取樣管貫入深度

(8)取樣時間

其中特別是取樣深度必需根據潮位，海床高度等等因素校正之。

規格 \ 取樣器	淺層		孔內	
	KULLEN-BERG	NGI GAS OPERATED	2"	3"
D_t – mm	121.5	57.2	76.0	57.0
D_s – mm	100.0	54.7	72.0	53.0
D_e – mm	100.0	54.0	72.0	53.0
D_w – mm	121.5	57.2	76.0	57.0
L_t – mm	UP to 12000	1100 to 1700	665	670
α – degrees	15	10	15	15
$C_i = \frac{D_s - D_e}{D_e}$	0	0.013	0	0
$C_o = \frac{D_w - D_t}{D_t}$	0	0	0	0
$C_a = \frac{D_w^2 - D_e^2}{D_e}$	0.476	0.122	0.114	0.157

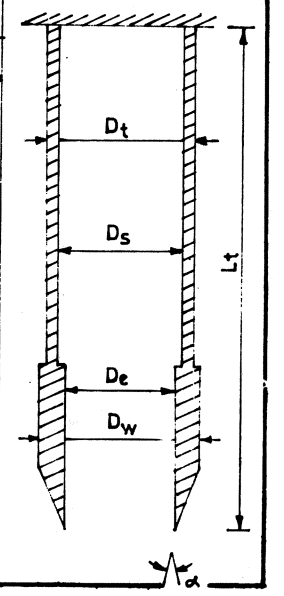


表4.2 北海取樣器規格

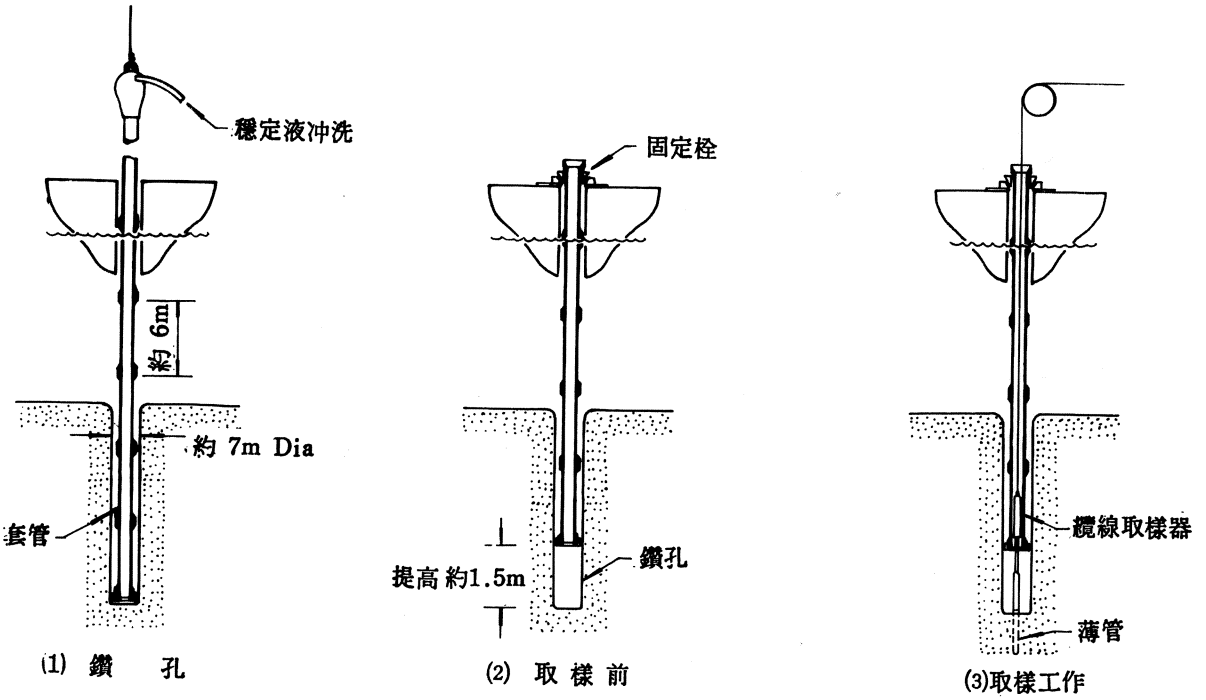


圖4.3 水中取樣法

Q5：鑽掘樁（Bored Piles）與打擊樁（Driven Piles）利用 Meyerhof 公式計算基樁支承力時有何不同？（臺灣省住宅及都市發展局胡文虎先生提出）

A：基樁之極限支承力（Ultimate Bearing Capacity）Q_U 通常以端點阻力 Q_P 及摩擦阻力 Q_S 之和表示，即

$$Q_U = Q_P + Q_S = q_P \cdot A_P + f_S \cdot A_S$$

上式中 q_P 代表基樁支承面 A_P 上之單位支承力，而 f_S 則爲樁表面積 A_S 上之單位摩擦阻力。Meyerhof 於1956年首先提出 q_P 與 f_S 相對應於砂土層中圓錐貫入試驗强度 q_C 及標準貫入試驗强度N值之關係式，此即一般所謂之 Meyerhof 公式，

$$Q_U = 40NA_P + \frac{N_S}{5}A_S$$

注意上式之單位 Q_U 爲噸，A_P 及 A_S 均以 m^2，N 代表基樁支承面上土壤之N值，N_S 爲基樁周面上土壤之平均N值，Meyerhof 提出上式時說明適用於砂土層之打擊式基樁，至1976年，Meyerhof 進一步統計樁載重試驗結果歸納 q_P，f_S 與N值關係，同時指出打擊樁與鑽掘樁之不同點，圖5-1 即 Meyerhof 發表之結果，讀者可以清楚了解 Meyerhof 建議式爲

打擊樁：$Q_U = 40NA_P + \frac{N_S}{5}A_S$

鑽掘樁：$Q_U = 12NA_P + \frac{N_S}{10}A_S$

上式均僅適用於砂土層，Meyerhof 並建議打擊樁呈階梯式非均勻斷面斜率超過 1％的摩擦阻力可予以放大1.5倍。沉泥質地層 Meyerhof 建議 q_P 應可採用 30N，此點Thorburn & MacVicar (1970) 曾建議沉泥質地層中打擊樁可採用下式：

$$Q_U = 25NA_P + \frac{N_S}{6}A_S$$

日本方面之研究亦傾向於類似之考慮，將打擊樁與鑽掘樁分別考慮，1974年日本建築學會出版之「建築基礎構造設計規準同解說」中說明打擊樁考慮沉陷量，樁端點周圍之 N 值變化時，認爲 Meyerhof 建議之端點阻力推求值亦略偏高，建議以下式計算端點阻力，即

$$Q_P = 30\bar{N}A_P$$

而$\bar{N}$代表樁端點下方 1d 至樁端點上方 4d 區間內土層之平均 N 值（d 爲樁徑），至於鑽掘樁

則採用下式

$$Q_U = 15\bar{N}A_P + \frac{N_S}{5}A_S$$

讀者應注意黏土層中，無論打擊樁或鑽掘樁均不適用以上諸式。

有關 Meyerhof 公式，讀者可參閱 Meyerhof, G. G., (1976), "Bearing Capacity and Settkment of Pile Foundations", Journal of the Geotechnical Engineering Division Proc. of ASCE, Vol. 102, No. GT3, March.

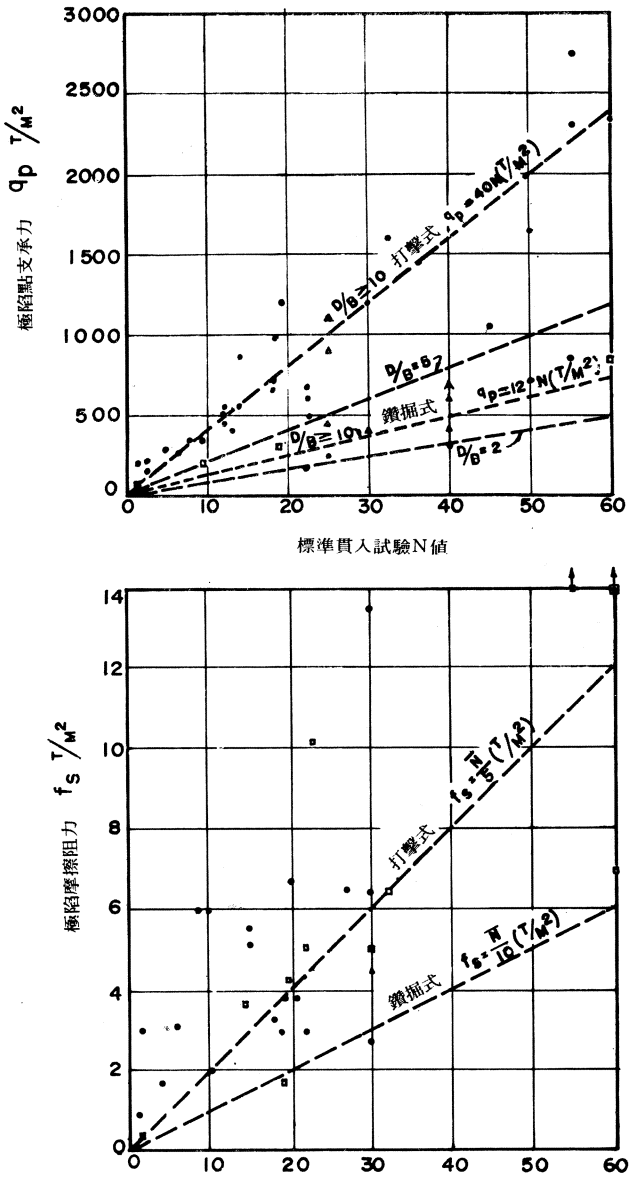


圖5-1　Meyerhof 端點及摩擦阻力與N值試驗關係式

Q6：基樁支承力可用何種方法區分端點阻力與表面摩擦阻力值？（臺灣省住宅及都市發展局胡文虎先生提出）

A：荷重經由樁之表面摩擦效應以及端點阻力方式傳達至土體中，摩擦阻力與端點阻力負荷比例視樁周圍及底部土層性質而異，而與樁和土壤間相對移動量關係密切。

在堅實黏土或鬆砂中，大部份荷重均由摩擦力來傳達，主要因樁需相當之沉陷後端點阻力始全部發生，而此時摩擦效應已先達成，在岩石地盤上之基樁，發生端點阻力所需之移動量極小，因此荷重將大部份賴端點阻力承受。

近年研究均已指出摩擦阻力隨沉陷量之發生迅速增加，在堅實黏土層中，通常沉陷量達到大約樁徑的5％時，即可發生全部摩擦效果，而對端點阻力而言，除非沉陷量達直徑之10至20％，很難發揮全部效果，在砂土層中，發生摩擦效果，需達1.5％樁徑之沉陷量，而端點支承力需約樁徑5％之沉陷量，始能大部份發生，因此讀者可知，欲了解二者之分配比例，應對基樁承受力後之沉陷變化有確實的觀測方可。

於通常之基樁載重試驗中常難以區分二者之分配比例，Van Weele (1957) 曾建議採用循環式載重試驗推求各載重增量下之彈性沉陷量，繪製載重與彈性變形關係（如圖6-1），於圖上原關係曲線之直線段部份繪另一平行線通過原點，此二直線之差距即視之爲摩擦阻力。

Van Weele 法乃假設摩擦阻力發生至一極限值後即不再增加，此假設有其合理性，但事實上，循環載重試驗在進行中常因載重之解壓再壓行爲，而引進許多變化未知數，對端點阻力判定之最主要影響爲樁端點沉陷，其變化並未在分析中涵蓋，無法確知分析正確性，最理想之分析應在樁身各部份裝設儀器量測其應力及變形，至少於樁身中裝量桿（所謂之 Tell-Tale）至樁底端，於樁載重試驗時，量測樁頂及樁底端沉陷值，由此推求基樁受力後，樁本身之變形值△L，如此 Fellenius (1969) 建議根據樁長 L，樁本身之彈性係數 E，並假設樁表面之單位摩擦阻力爲平均分佈時，樁本身之端點阻力 P_b 及摩擦阻力 P_s 與總荷重 P 的關係可以下式求得：

$$P_b = 2 \cdot A \cdot E \cdot \frac{\triangle L}{L} - P$$

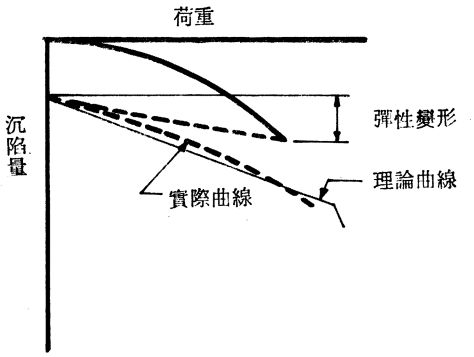
$$P_s = P - P_b$$

最近 Leonards & Lovell (1978) 建議按樁之受壓情形分析摩擦阻力與端點阻力分配比例之法，其建議下之關係式

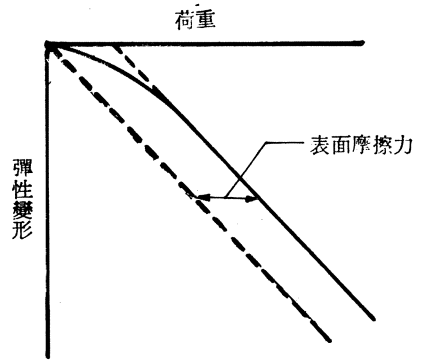
$$\alpha = \frac{C' - C}{1 - C}$$

上式中，α＝基樁端點阻力佔全部荷重量之比例 ($P_b = \alpha \times P$)

$C' = \frac{\text{實測壓縮量}}{\text{自由柱壓縮量}}$，所謂自由柱壓縮量即視樁爲一自由柱，計算其於受力P狀況下之壓縮量。



(a) 荷重—沉陷曲線



(b) 荷重—彈性變形

圖 6-1 Van Weele 測定法

$C = \frac{\text{完全摩擦彈性變形量}}{\text{自由柱壓縮量}}$，分子部份係將載重P完全由摩擦阻力來承受時，樁可能發生之彈性變形量。

實測壓縮量需由量桿 (Tell-Tele) 測出，至於C值則視樁表面摩擦力之分佈狀況而異，Leonard & Lovell 亦提供各分佈狀況下，C值推求法，計算甚爲簡易，在目前而言屬較可靠之分析法，惟需注意者：應用 Leonard & Lovell 法分析時，不宜使用一般所謂之標準加壓步驟 (Standard Loading Method, ASTM D-1143-74) 進行樁載重試驗。

讀者如有興趣時該法作進一步了解可參閱：Leonards, G. A. & Lovell, D. (1978) "Interpretation of Load Tests on High Capacity Driven Piles", ASTM Symposium on Behaviour of Deep Foundations, Boston, ASTM, S.T.P. 670

以上固然提出數種分析摩擦阻力與端點阻力分配比例之法，但仍强調最理想之法莫過於沿樁身裝設一系列之應變計量測樁身各部份受力變化，了解基樁受力後自樁頂以至樁底端之應力傳遞情形，圖6-2 即爲基樁裝設應變計後測得摩擦阻力及端點阻力情形，供讀者參考。

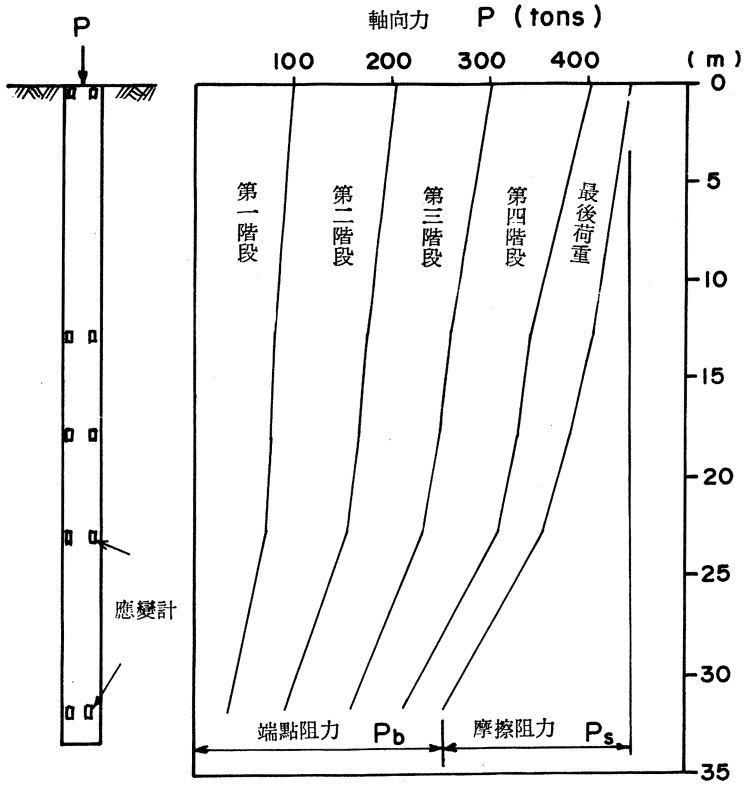


圖 6-2 基樁軸力傳遞觀測果