



基樁靜力載重試驗之常用監測儀器

三聯科技股份有限公司／高穆賓



一、前言

依建築物基礎構造設計規範(內政部內營字第9085629號令頒布)，建築物之各種載重或外力經由基礎傳遞至樁基礎時，由基樁及其周圍土壤共同承擔，這些載重包括垂直壓力、拉拔力及水平力，設計時須考慮檢核之項目包括基樁之變形量、土壤之容許支承力及樁體強度之容許值。

不同基樁種類、樁徑、支承地層及受力方向均應進行基樁載重試驗，方法包括靜力載重試驗、動力載重試驗或其他方式之試驗，而靜力載重試驗為本文主要之探討範疇。

二、常用監測儀器

原則上，載重試驗之裝設、加載、量測及精度應足以精確量測基樁試驗過程之力學行為以推估其支承力及變形量。載種試驗方法及標準，依垂直載重、拉拔力及側向載重試驗，可分別參考美國材料試驗學會ASTM D1143 (Standard Test Method for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load)、D3689 (Standard Test Method for Individual Pile Under Static Axial Tensile Load)及D3966(Standard Test Method for Under Lateral Load)，中華民國國家標準(CNS)已有規定者應依該等標準辦理。試驗前應將試驗量測儀器進行校正，以確保量測資料之正確性。

2.1 樁頭儀器裝設：電子荷重計(Load Cell)與位移計(LVDT)。

基樁靜力載重試驗依反力方式之不同區分為：錨樁反力式(Reaction by Anchor Piles)與呆重方式(Reaction by Dead Load)。



▲ 圖1 錨樁反力式



▲ 圖2 呆重方式

三、安裝設置說明

當進行試驗時，常在樁頭部位裝設電子荷重計(Load Cell)；用以量測基樁荷種加載之

變化。並裝設電子式位移計以測定樁頭變位量(Displacement of Pile Head)及錨樁上浮量(Uplift)。

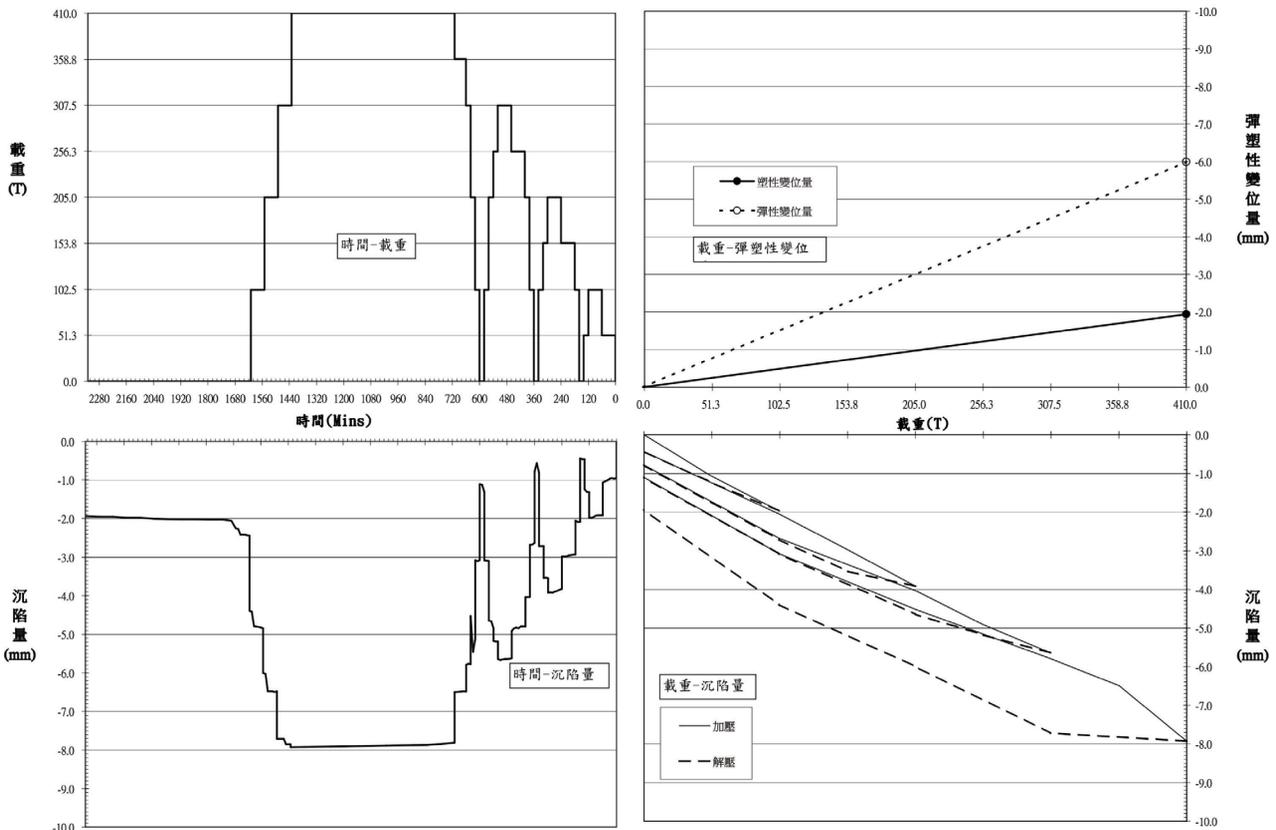


▲ 圖3 電子式荷重計



▲ 圖4 電子式位移計

並將試驗結果繪成樁頭載重(P)-變形量(S)、時間(t)-變形量、載重-彈性變形量及載重-殘留變形量，荷重-時間-位移等關係歷時曲線四象圖以作為試驗結果研判之依據。



▲ 圖5 壓力試驗樁 荷重-時間-位移量 歷時曲線四象圖



2.1.1 常用試驗結果之研判方法可分為降伏載重及極限載重兩類：

(1) 降伏載重載重之研判

可採用 $\log T - \log S$ 、 $S - \log t$ 及 $T - \Delta s / \Delta (\log t)$ 等三法作綜合研判，其方法可參考日本土質工學會(JSSMFE)「土質調查法」第10章之規定辦理。

a. 第一法： $\log T - \log s$

將T及S為兩軸繪出各測定值於對數方格紙上並以直線連結各點，在顯著彎折點處之載重值，即為降伏載重。

b. 第二法： $S - \log t$

以S為普通方格，t為對數方格，繪出各載重階段之測定值，並以直線連結之。每一曲線隨載重之加大，自直線漸變為凹形曲線，此項發生變化點之載重值即為降伏載重。

c. 第三法： $\Delta S / \Delta \log t - T$

設每一載重階段 Δt 時間內之沉陷量為 ΔS ， Δt 之對數值為 $\Delta \log t$ ，將 $\Delta S / \Delta \log t$ 與 T 之關係繪製於普通方格紙上，此時直線有顯著彎折點之載重值，即為降伏載重。

「日本土質工學會降伏載重之判斷方法」：

以第一法定出曲線之折曲點，以此載重值，有第二法及第三法之現象者，視為降伏載重。以試驗結果求得之降伏載重之一半為容許載重量。

(2) 極限載重載重之研判

有關基樁試驗極限載重之研判方法有

很多種，研判結果亦均不同，一般較常用之方法包括有Terzaghi之10%、Van der veen、Fuller & Hoy、Chin以及Davisson等方法。

a. Terzaghi氏法當基樁沈陷等於樁徑之10%時所對應之荷重。

b. Van der veen法假設多個不同的極限承載力 P_{ult} ，然後利用各階段之P計算 $\ln(1 - \frac{P}{P_{ult}})$ 之值與所對應之沉陷

量繪於座標系統中，則最接近直線所採用之 P_{ult} 則為極限承載力。

c. Fuller & hoy法試樁曲線漸近於(1.27mm/ton)處之荷重。

d. Chin法將試樁曲線繪於座標系統中，Y軸代表沉陷量與荷重之比值，X軸代表沉陷量，則可得近似直線之線段，此線段斜率之倒數即為其極限承載力。

e. Davisson法基樁沈陷量超出其彈性壓縮量某一特定值時之載重量即為其極限承載力。該特定值之沈陷量為 $X=3.8+8.3D$ ，其中X單位為mm，D為基樁直徑(m)。

2.2 樁身內儀器裝設：鋼筋應力計、樁體變位計、傾斜管。

為瞭解試驗樁於垂直加載時樁身摩擦力與樁端點承載力分佈狀況；需於試驗樁之樁身內裝設鋼筋計，以觀測基樁於靜力載重試驗過程中樁身應力之傳遞情況與分佈狀況，並於樁身內裝設樁體變位計及傾度管，以求得樁身之彈、塑性沉陷量及側向位移量。



▲ 圖6 鋼筋應力計安裝



▲ 圖9 樁體變位計量測端



▲ 圖7 樁體變位計安裝



▲ 圖10 傾斜管安裝



▲ 圖8 樁體變位計錨碇端



▲ 圖11 傾斜管量測



2.2.1 鋼筋應力計：

(1) 一般安裝深層位置選定原則

- a. 距離樁頂下約1.5D(樁徑)位置
- b. 開挖面。
- c. 各支承層介面處。
- e. 樁底以上1.0m處。

為求各不同土層之樁身摩擦力，第c項可適當調整至土層變化處。依裝徑大小及需求於每個深層斷面安裝設3支(0,120,240)；或4支(0,90,180,270)。

(2) 一般安裝步驟

- a. 配合鋼筋籠製作，將鋼筋計以瓦斯壓接方式固定於主筋上預定深度位置。
- b. 配合鋼筋籠吊放或搭接；將電纜線拉出鋼筋籠外並加以固定，混凝土打設後檢測讀值。
- c. 電纜線出口處作適當之保護措施或明顯之警告標誌，並予以編號。

(3) 量測與記錄：採用電腦資料自動擷取系統；於進行垂直載重試驗時，將所測得的訊號經由電纜線到達模組，再由訊號交換介面將其訊號轉為物理量直接量測樁體內部鋼筋所承受之應力。

(4) 量測資料判讀：樁周單位摩擦力及樁尖端承力分析

a. 樁身荷重傳遞

樁身之傳遞荷重係由鋼筋應力計所測得之應力以下式求得：

基本假設，鋼筋與混凝土應變和諧；即鋼筋與混凝土應變量相同

($\epsilon_s = \epsilon_c$)，樁頂荷重百分之百傳遞至樁頂下第1個安裝鋼筋應力計之深層斷面處。據以求得混凝土於不同各應變階段之彈性係數 E_c 值回歸方程式。

$$P_i = (\delta_s Q \times A_s + \epsilon \times E_c \times A_c) / 1000$$

$$\epsilon = \delta_s \div E_s$$

P_i = 位於 i 斷面之傳遞荷重(Tons)

δ_s = 鋼筋計埋設 i 斷面之應力 (Kg/cm²)

A_s = 樁之鋼筋斷面積(cm²)

A_c = 樁之混凝土斷面積(cm²)

E_s = 鋼筋之彈性模數 =

$$2.04 \times 10^6 \text{ Kg/cm}^2 \text{ (建技376)}$$

E_c = 混凝土之彈性模數

(依實際試驗報告之彈性模數；或依建技376取用)

b. 樁周平均摩擦力

經由鋼筋應力計所求得之傳遞荷重可計算推估樁周平均摩擦力:

$$F_s = [(P_i) - (P_{i-1})] \div A$$

F_s = 樁平均單位摩擦力(T/M²)

A = 樁周表面積(M²)

P_i = 位於 i 斷面之傳遞荷重(Tons)

P_{i-1} = 位於 $i-1$ 斷面之傳遞荷重(Tons)

c. 樁底承力 = $P - (F_s * A)$

P = 加載荷重(Tons)

d. q-z curve：樁底承載應力(q)與位移(z)曲線

樁底承載應力 = 樁底承力 / 樁底斷面積

樁底沉限量 = 樁頂位移量 - 整支基樁

的彈性變位量

如此即可繪製成q-z 曲線，由q-z 曲線可得知各階段荷載下的樁底承載力，將樁頂荷載減去樁底承載力即為樁身摩擦力，便可藉以瞭解樁身摩擦力和樁底承載力之間的發展關係。

2.2.2 樁體變位計：

(1) 一般安裝深層位置選定原則同上鋼筋應力計所述。

(2) 一般安裝步驟

- a. 組合不銹鋼導桿、導桿保護管、錨碇端。
- b. 鋼筋籠組立完成後，以鐵線固定於主筋上預定深度位置。
- c. 配合鋼筋籠吊放或搭接，將導桿及保護管接續延伸至樁頂位置，並作適當保護設施或明顯之警告標誌，並予以編號。

(3) 量測與記錄：採用電腦資料自動擷取系統；同上鋼筋應力計所述。

(4) 量測資料判讀：

- a. t-z curve：樁身平均單位摩擦力與分塊位移曲線
樁身平均單位摩擦力，可經由鋼筋應力計量測得知。
各樁段斷面位移量，可經由樁體變位計量測得知。
各樁段分塊位移量=各樁段中點之樁土相對位移量；即將各樁段上下斷面的樁土相對位移量加以平均。
如此即可繪製成t-z 曲線，由t-z 曲線可得知各樁段隨樁頂荷載變化，基

樁側邊與岩、土層接觸面所受的單位摩擦力以及樁身位移之間的發展關係。樁身各深之樁身單位摩擦力(t)尖峰值皆已出現，且隨基樁荷重及位移(z)增加，單位摩擦力(t)並未明顯增加時，則表示樁身摩擦已完全發揮達極限態。經由樁身極限摩擦之確認，亦可從而推估基樁之極限承載力。

2.2.3 傾斜管：

(1) 一般安裝於側向力試驗樁。

(2) 一般安裝步驟

- a. 組合傾斜管配合鋼筋籠之預定長度。
- b. 組立完成後，以鐵線固定於內箍筋上。
- c. 配合鋼筋籠吊放，將傾斜管接續延伸固定至樁頂位置，並作適當保護設施或明顯之警告標誌，並予以編號，即告完成安裝。

(3) 量測與記錄：

採用人工由管底往上每0.5公尺量測記錄一次資料直至管口，再轉180度依上述方式再作一次量測，即告量測完成，再將資料轉入電腦作運算處理。

(4) 量測資料判讀：水平力側向容許載重分析「常用側向容許載重分析方法」：

a. 建築技術規則

依內政部營建署77年編號「建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範」5.7.1節規定永久結構物之橫向變位量不應超過1公分。一般採常時



1.0cm，地震1.5cm為樁頭容許水平變位。

- b. 日本道路橋示方書基於防止基礎發生過大之殘餘變位量，建議樁頭水平變位量應小於1%樁徑(1.5cm)。
- c. 美國標準建築規範0.5in(=1.27cm)為樁頭容許水平變位量。

三、結語

基樁之所以成為重要的基礎型式之一；基樁基礎型式被大量廣泛運用於高層建築、大型結構物、邊坡穩定、橋樑架設及各項重要工程建設；用以抗壓、抗浮承載垂直荷重力並提供水平承力抵抗側向荷重力。

基樁支承力是由樁身之摩擦力與樁端土

壤之支承力所提供，通常在基樁總體變位量達0.5~1% D(樁徑)時，即已達極限摩擦力，而樁端土壤極限支承力若欲完全發揮，其變位量一般則需達到10% D(樁徑)以上。

基樁與土壤實為軟、硬兩種不同材料，其勁度之差異頗大，當基樁承受過大承力時，基樁與土壤接觸之介面易逐漸發生滑動，若超越極限承力甚至會產生分離破壞現象。

從安全的角度來看，基樁之品質控制極為重要。科技日新月異的現今時代，從事基樁載重試驗時，應可善用科技的輔助，適度正確的裝設啟用安全監測儀器，可以更微觀、更即時的量測基樁加載荷重後之力學行為及變化，更有效的作好基樁施作品質管控。

讀者意見調查表 94 期 基樁試驗與檢驗

- 一、請問您對本期刊的整體內容滿意度為：
 - 非常滿意 滿意 普通 不滿意 非常不滿意
 建議：
- 二、請問您對本期刊的封面設計滿意度為：
 - 非常滿意 滿意 普通 不滿意 非常不滿意
 建議：
- 三、請問您對本期刊的編排和版面設計滿意度為：
 - 非常滿意 滿意 普通 不滿意 非常不滿意
 建議：
- 四、請問您對本期刊的印製品質滿意度為：
 - 非常滿意 滿意 普通 不滿意 非常不滿意
 建議：
- 五、請問您對本期的單元，您最喜歡哪一個單元？
- 六、請問您對本刊物應該增加什麼單元？
- 七、請寫下您對本刊物的其他建議：
- 八、您從事工作之行業別
 - 政府機構 銀行、保險、證券業 製造業
 - 服務業 學生 教師 其他

- 九、您的年齡層
 - 24歲以下 25~29歲 30~34歲 35~39歲
 - 40~44歲 45~49歲 50~54歲 55歲以上
- 十、您的教育程度
 - 高中以下 高中(職) 專科 大學 研究所以上
- 十一、若您已訂閱本刊物，請填寫讀者編號
- 十二、您是否願意免費受贈三聯技術期刊(已訂閱者免填)
 - 願意 不願意

姓名：_____

服務單位：_____

地址：_____

郵遞區號：_____

電話：(公) _____

(宅) _____

電子郵件：_____

謝謝您寶貴的意見
 請將此讀者調查表回傳或寄回給我們，謝謝您的配合。
 聯絡地址：台北市復興南路一段390號5樓之3
 聯絡電話：(02)2708-1730轉252 傳真電話：(02)2703-1561
 財團法人三聯科技教育基金會 敬啟