

36. 樁載重試驗 (PILE LOADING TEST)

吳 偉 特*

樁載重試驗係指在工地中，加載荷重於基樁上，測定其荷重與沉陷量及時間之關係，以求取基樁之承載力，並確認肯定所設計之基樁是否達到安全。

基樁可直接將載重傳遞到堅硬土層或岩盤中，或經由樁表面的摩擦力，將載重分佈到土體中，如此可使原先擔心的軟弱土層不足承載力，與大量的沉陷問題，得到合理安全的解決。

但基樁是否確實達到安全可靠，目前最能令人信服滿意的就是樁載重試驗；雖然在樁載重試驗的規範與試驗結果的詮釋上，可能有所不同，但大體上，其經由樁載重試驗結果所得之答案，確實比經由德在基公式或其相關經驗修正公式所得之結果，要來得令人認為可靠些。

樁載重試驗主要根據樁之實際受力情形加以模擬或近似實際情況，並以油壓千斤頂、承重樑、反力架與錨樁等特殊載重設備，將荷重施加於基樁之上；一般根據其使用目的，基樁載重試驗可分為垂直荷重、拉拔荷重與水平荷重三種載重試驗，有關此三種載重試驗所使用之設備，示於表一；有關其載重配置圖示於圖一至圖三。

一般樁載重試驗又稱之為試樁，此因為在現場工地須要先去檢核原先設計之基樁承載力，到底是否安全與經濟，並可作為修正之依據；當檢核之設計樁承載力不夠時，可採用加大樁徑、增加樁數、增加樁長、採擴座方式等方

法，來達到基樁所承受之荷重；因此此種方式之試樁係於工程結構樁基未正式施工前，於工地選擇一位置先行築樁，等樁周圍土壤趨於穩定，且樁本身材料強度合於規定後，即可進行試樁試驗。

此外，為檢核工程結構基樁施工完畢之施工品質，以作為工程驗收之依據，亦須要選擇適當之地點進行試樁試驗；一般這兩種試驗目的不同的樁載重試驗皆稱之為試樁；有時可將兩者合併為一，並利用結構本體樁進行試樁，以節省工期與費用。

我國國內尚未有國家標準之基樁載重試驗，因此國內一般進行試樁時大多採用美國材料試驗學會有關之規定；有關垂直荷重試驗，採用 ASTM1143-81 之規範，拉拔荷重試驗，採用 ASTM D3689-78 之規範，至於水平荷重試驗，則參照 ASTM 水平荷重單樁變形之關係試驗法；此外，亦有採用日本土質工學會之基樁載荷試驗基準方法者。

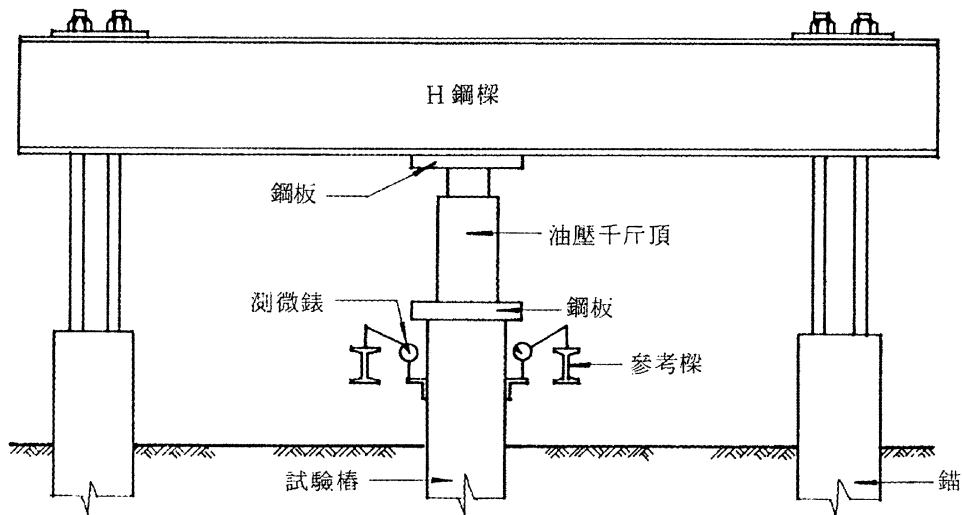
美國材料試驗協會列舉之垂直軸向加載過程有七種；拉拔加載過程有五種；而在國內被經常採用的加載方式，則為標準加載法與重復加載法的混合進行方式，一般採用四至五個加壓解壓循環過程，直到基樁設計荷重的 250% 或破壞為止。

大體而言，第一循環之加壓量為設計荷重之 50%，並每次以 25% 設計荷重之分段方式施加，當各階段加壓達到後靜置 2 小時，或其沉陷量在 1 小時內小於 0.25mm/hr，此兩種情況

* 國立台灣大學土木工程學系教授

表一 基樁載重試驗設備(取自李國章, 1984)

試驗名稱	試驗
1. 垂直荷重載重試驗	(1)0.001 mm 測微錶, 衝程 30 mm 4 只。 (2)500 噸或 750 噸油壓千斤頂一組(視設計荷重大小決定千斤頂大小, 須校正)。 (3)特製試樁用 500 噸或 750 噸 H 型合成鋼架一支。 (4)H-300×300×10 公尺型鋼 2 支, 基準參考用。 (5)混凝土方塊一批。 (6)雜項: 枕木、角鐵、玻璃片等。
2. 水平荷重載重試驗	(1)0.001 mm 測微錶, 衝程 30 mm 4 只。 (2)50 噸油壓千斤頂一組(須校正)。 (3)特製試樁用 T 字支架一組。 (4)H-300×300×10 公尺鋼樑 2 支, 基準參考用。 (5)混凝土方塊一批。 (6)雜項: 枕木、角鐵、玻璃片等。
3. 拉拔荷重載重試驗	(1)0.001 mm 測微錶, 衝程 50 mm。 (2)250 噸油壓千斤頂一組(須校正)。 (3)H 型鋼一支。 (4)混凝土方塊 2 只。 (5)其他。



圖一 垂直荷重載重試驗設備示意圖

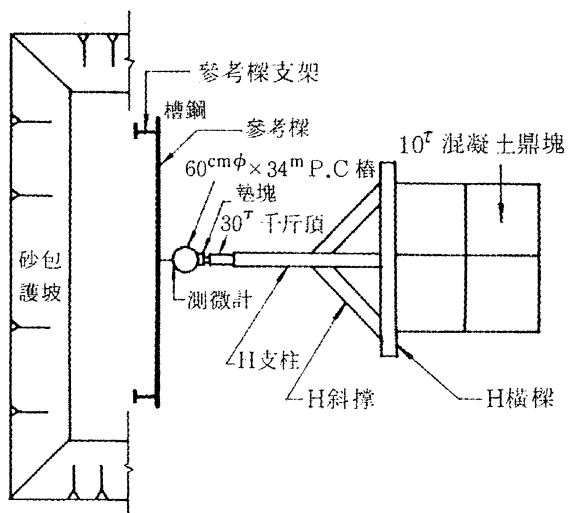
以先到達者為準, 然後解壓至零; 第二循環加壓量為設計荷重之 100%, 首先以 50% 設計荷重之分段加壓至前一次循環加壓量, 然後再以 25% 之分段加壓方式加至 100%, 當各次階段達到後靜置 2 小時, 或其沉陷量在 1 小時內小於 0.25mm/hr 時, 按 50% 遞減卸壓, 卸壓階段每次間隔 1 小時; 第三與第四循環之加壓量分別為 150% 與 200% 設計荷重; 第四循環當加

壓至 200% 後, 停置 48 小時或 24 小時沉陷量小於 0.25mm/hr, 此兩種情況以先到達者為準; 第五循環可加壓至 25% 或加壓直至破壞, 首先以 50% 之遞增量加壓至 200% 後, 繼之以 25% 或 10% 之增量遞增, 直至樁與土壤間達到破壞為止, 然後以四次卸壓解壓至零; 每次加壓或解壓階段之時間亦有採每次間隔 20 分鐘者。

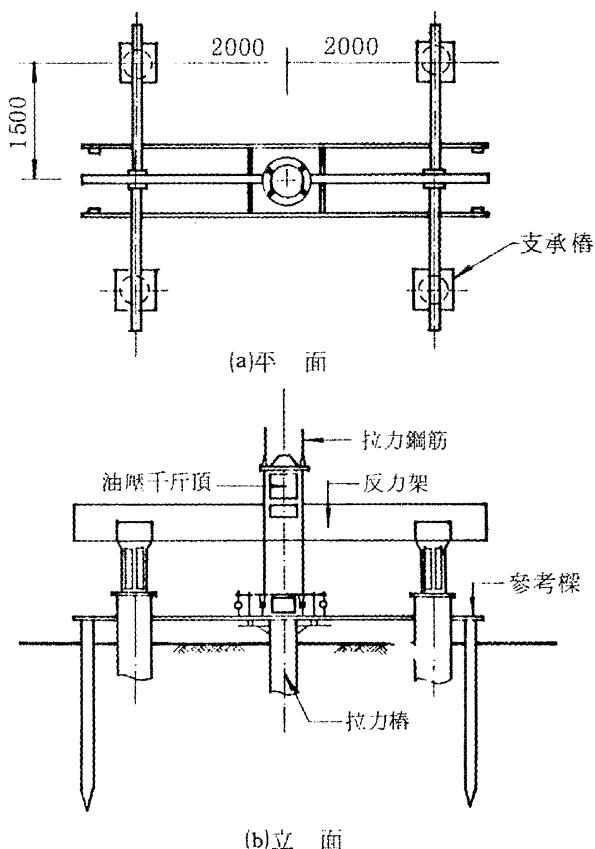
每階段之加壓或減壓記錄時間為 0 分, 1 分

，2分，5分，10分，20分，40分，60分，80分，100分，120分；加壓至200%設計荷重後，前兩小時每20分鐘記一次，隨後十小時每小時記錄一次，再隨後每兩小時記錄一次。

由於標準加載法須要時間較長，所須經費、機具、人力皆須投入甚多；若進行加載解壓之循環進行方式，則更為驚人；故美國材料試驗協會建議採用快速載重法與等速貫入法；快



圖二 水平荷重載重試驗設備示意圖



圖三 拉拔荷重載重試驗設備示意圖

速載重法可縮短每次加載之時間間距，亦減少每次之加載量而增加加載之次數；亦即建議每隔兩分半鐘加載五至十噸，如此可縮短試樁時間到幾個小時，並可得到較多之數據，與較為平滑之載重與沉陷關係曲線。

等速貫入法則須利用精密控制的機具，與熟練的工作人員，控制基樁之貫入速率為定值，由此得到最為平滑之載重與沉陷關係曲線；故建議以每分鐘0.25mm之速率貫入，其整個試樁時間，可縮短在1至2小時內結束，更為簡省時間。

此外，為避免受到潛變(Creep)之影響，以得到完全不受潛變影響之沉陷曲線，美國材料試驗協會亦建議採用沉陷控制法；亦即在加載荷重之後，容許油壓千斤頂逐漸減壓，以控制沉陷量在某一數值達到平衡；由於每一次加載可以比較快速地達到沉陷量不變的平衡狀況，因此亦可以縮短試樁的時間。

事實上，基樁之穩定性決定於鄰近土壤之排水狀態下之支承力大小；亦即當土壤能充份排水，孔隙水壓力達到穩定狀況時之基樁支承力，才是真正之支承力，故美國材料試驗協會規定，打樁之後三天至三十天才能進行試樁試驗；而實際真正排水狀況下之基樁支承力，可能須要數週或數月，甚至更久時間才能達到。

因此，國內常採用之標準加載法與反覆循環加載法所得之結果，是基於較排水狀況保守，但又並非不排水狀況下所得之數據，其確實具有的保守程度是難加以估計的；反倒是等速貫入法的變形速率方式，與不壓密不排水式三軸試驗或單壓試驗之速率變形相似，因此可說是在肯定基樁在不排水狀況下的保守支承力判斷上，具有較大的可信度；加以快速加載法可得到的較平滑載重沉陷曲線與作業的較短時間，以及不須要特殊的加載機具等優點條件，應該在國內可被採用作為試樁通用的方法。

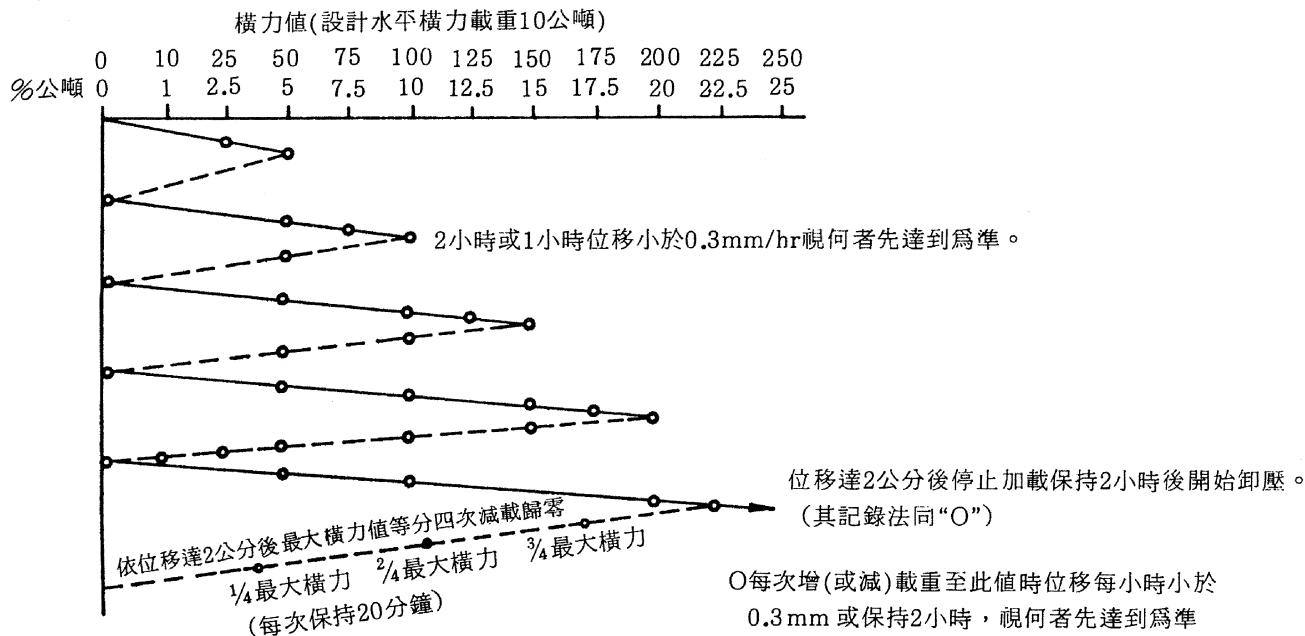
有關基樁之拉拔載重試驗與水平橫力載重試驗之加壓程序示意圖，如圖四與圖五所示。

試樁結果之基樁安全允許承載力，一般取降伏載重(Yielding Load)之 $\frac{1}{2}$ 或極限載重(Ultimate Load)之 $\frac{1}{4}$ ，以兩者之較小值取用之；其中之降伏載重可依據試樁結果之載重P，沉陷量S與時間t等資料，繪製logP-logS曲

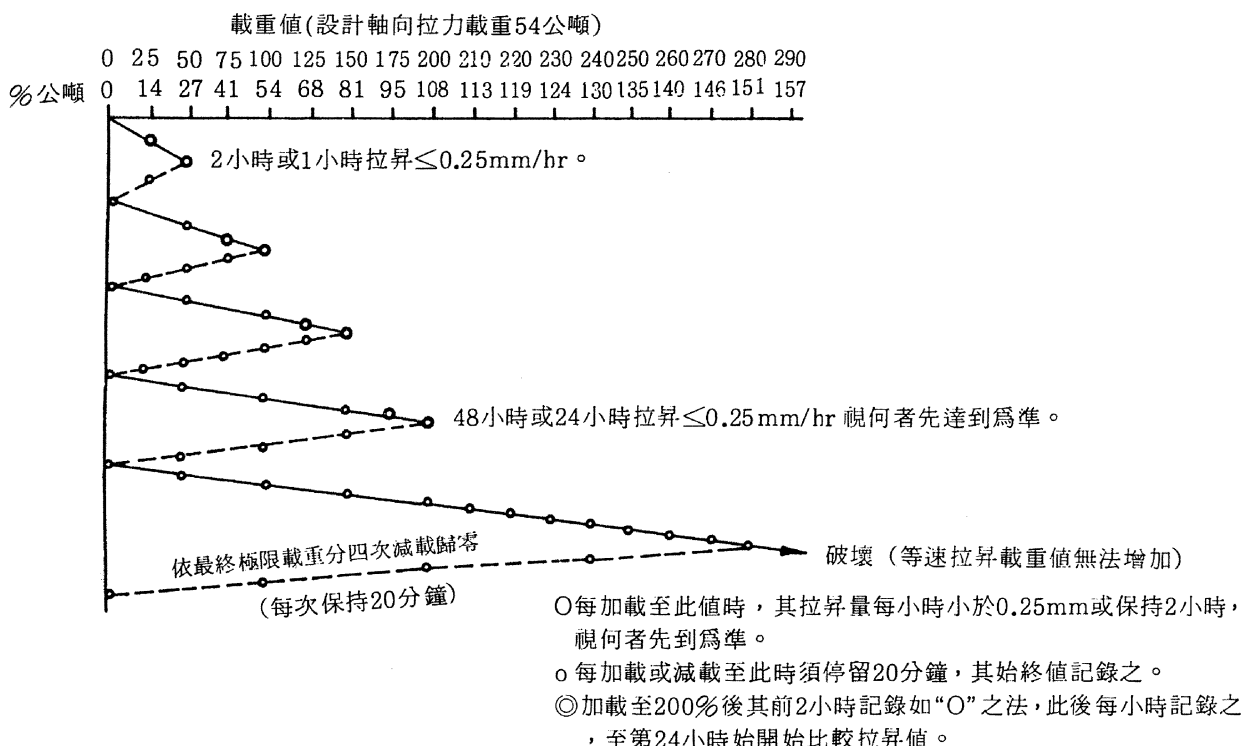
結，S-logt曲線， $\Delta S/\Delta \log t \sim P$ 曲線等相關圖形中求取之；但由於目前的基樁樁徑愈來愈大，而所須使用的千斤頂能量亦須提高，可是目前國內所能檢定的千斤頂最大型機具，其容量僅能到達六百噸，因此即使擁有高能量達一千噸之油壓千斤頂，對於高載重試樁所得之載重——沉陷關係曲線，來判斷基樁之安全承力就顯得有力不從心之感；此原因是一般較大型

之試樁試驗，較難試到預期之沉陷量與較難求得降伏載重之故。

極限荷重之定義，可為「除非基樁之沉陷率極低，並且可以認定係肇因於壓密之緣故，否則當載重不再增加且沉陷率不減時之載重，即稱之為破壞載重」(Civil Engineering Code of Practice, No.4, 1954)；或為「極限支承力為造成基樁沉陷量，達到樁徑之10%之載重



圖四 基樁水平橫力載重試驗程序示意圖(取自李國章, 1984)



圖五 基樁軸向拉力載重試驗程序示意圖(取自李國章, 1984)

」(Terzaghi 1942)；或為「以試樁曲線之最初與最終兩個近似直線的延長線交點，稱之為屈伏點」；Fellenius(1980)曾列舉比較九種不同的極限支承力定義方法，其中以 Chin 方法為最高，Davisson 方法為最低值；國內常採用之方法為 Terzaghi 方法(Terzaghi, 1942)，Vender Veen 方法(1953)，Fuller & Hoy 方法(1970)等。

試樁之結果，是否確實能肯定基樁的支承力，與加載的過程以及試樁曲線的詮釋，有其直接的影響；目前許多國家標準機構，或工程興建業主都有其自行認定的試樁方法與規範，在試樁之加載過程與最終結果詮釋上，皆有彼此之間的差異性，因此工程師必須充份了解試樁的所有過程細節，與各種方法的限制性，才能充份地掌握有用之資料給予正確之判斷。

參 考 文 獻

- 李國章(1984)「興達電廠基樁施打及載重試驗」地工技術雜誌第五期，民國73年1月，PP.51～70。
- 張清淼、林景文(1984)「中正紀念公園二期工程及循環樁施工控制與試樁」地工技樁雜誌第五期，民國73年1月，PP.33-42。
- ASTM (1983) "Annual Book of ASTM Standards" Volume 04.08 Soil and Rock; Building Stones.
- FELLENIOUS, B. H. (1980) "The analysis of results from routine pile load tests", *Ground Engineering*, September.
- FULLER, R. M. and HOY, H.E. (1970) "Pile load tests including quick-load test method, conventional methods and interpretations", HRB 333.
- TERZAGHI, K. (1942) "Discussion of the progress report of the committee on the bearing value of pile foundations", *Proc. ASCE*, Vol. 68.
- VANDER VEEN, C. (1953) "The bearing capacity of a pile", *Proc. 3rd ICSMFE, Zurich*, Vol. 2.
- 李建中(1984)「試樁加載過程及結果詮釋方法之探討」地工技術雜誌第五期，民國73年1月，PP.91～97。