

增加場鑄基樁的承载力 - 後灌漿法

**INCREASE BEARING CAPACITY OF
IN-SITU BORED PILES -
POST GROUTING METHOD**

王劍虹

C. H. Wang

原著載於現代營建
1990年 9月， 37 - 41頁

*Reprinted from Modern Construction,
September 1990,
pp. 37 - 41*

增加場鑄基樁的承載力

——後灌漿法



◆王劍虹 亞新工程顧問公司大地正工程師兼大地工程一部副理

一、前言

近年來由於超高層樓及大型結構物的發展，其基礎的選擇有傾向於使用大口徑基樁的趨勢，直徑 2 公尺以上的場鑄樁在國內亦已有業績。在美國，大口徑的基樁工法很早便被採用，一般稱為 Chicago Caisson Method，其直徑約 3 公尺至 5 公尺，以旋轉式鑽掘設備施工，到現在還是很常用。在歐洲，則直徑 1.5 至 2 公尺的樁才被採用。這其中有何不同呢？在美國，根據他們的工法、地層條件及經驗，設計大口徑基樁時，主要為樁底的承載力而不計摩擦力。然而在歐洲呢？根據過去許多年來大部份的試樁結果顯示，樁身的摩擦力才佔樁承載力的大部份，因此樁徑被保持在某一數值範圍而不去增加樁徑。

以追根究底的觀點來看，要增加樁的承載力寧願增加樁長或其他方式而不期望增加樁徑。因為增加樁徑會增加施工的問題，其施工品質是否能如小口徑樁般的容易控制，並達到預期

的樁底承載力也是一個疑問，此可由錐頭貫入試驗的結果（相當於一個小口徑樁的試驗）應用於樁承載力分析時要乘折減係數可知。此外，在某些國家，混凝土的品質是很難達到預期目標的，因此也使得價格更為昂貴。由於上述原因，大約十多年前一種增加基樁承載力的工法被發展出來，可以較平常同樣口徑的基樁有更高的承載力。

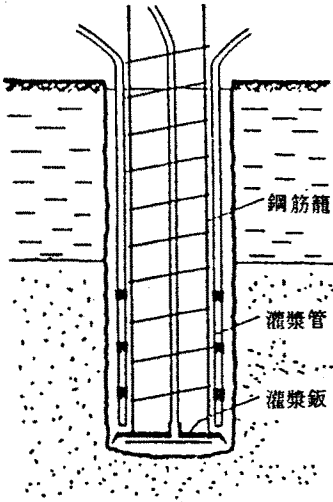
以下介紹的是這種工法，係於樁周及樁底裝設一個可以後灌漿的系統。此類基樁在過去幾年裏已被成功地使用幾千次，國內也在北二高的頭前溪橋基礎工程中使用，效果良好。

二、施工步驟

此工法係導源於地錨的施工，由過去許多年來的地錨經驗可知，固定端的灌漿大約在一兩天水泥硬化後可以增加地錨的承載力。這個技術其實也可以應用於大口徑的場鑄樁來改善樁周的摩擦力。如圖一所示，灌漿管及灌注閘門設置於部份樁周並依附著主筋，隨著鋼筋籠

大地工程

吊入孔內，混凝土則以特密管灌注。混凝土灌注後一兩天內，由灌注閥門注入水泥漿使初凝之混凝土產生裂縫，然後加壓至約 50 kg/cm^2 。這種後灌漿法的步驟，如果需要的話，可以分好幾個階段進行。



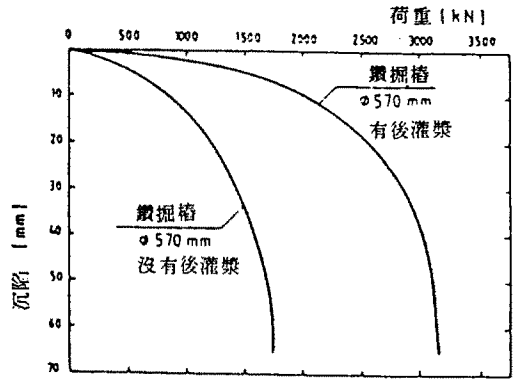
圖一 後灌漿系統示意圖

另外，要增加基樁底承载力，可使用如圖一所示的樁底灌漿鉞。於混凝土灌注後一兩天內，先以水泥漿灌注使初凝混凝土產生裂縫，再於樁周進行後灌漿後一兩天，以水泥漿經由灌漿鉞注入，其壓力可達 60 kg/cm^2 。需注意的是，在以水泥漿注入灌漿鉞時，要用水準儀隨時量測樁頭的向上位移，最好控制樁頭位移在2至3 mm以下，因為更多的位移將導致樁摩擦力的減少。

於後灌漿的作業中，灌漿壓力需隨時注意觀察。在樁四周及樁底會因灌漿壓力而使土壤產生裂隙時，不會增加承载力而僅會損失水泥漿和降低壓力。

三、承载力的增力

到現在為止，經由許多樁載重試驗證實，後灌漿的效果可使樁周及樁底的承载力增加。圖二顯示，於一中等緊密至緊密砂層中，在有



圖二 鑽掘樁在有無後灌漿情形下之荷重——沉陷關係（地層為中至緊密砂層）

後灌漿及沒有後灌漿狀況下，樁載重試驗結果的比較。自然的，承载力增加的大小與土層的種類及其密度有關，此將進一步概述於後。

四、樁周後灌漿的影響

當鑽掘時，無論使用套管或是沒用套管，使用挖斗或旋轉鑽頭；無疑地，孔壁將受擾動，或被細料粘於其上，或被水軟化，其結果將較原地層疏鬆。雖然一部份的疏鬆可由灌注混凝土時產生的側向壓力來彌補，但這效果有限。若使用高壓力的後灌漿工法可使得鄰近樁周



圖三 後灌漿後之樁表面（黑色為水泥）

的土壤立即產生壓實，同時也使得混凝土與土壤間有一連串的連結，意即樁周與孔壁間可以有很多的支撐加強。觀察開挖後的樁發現在許多案例中，灌注水泥漿至樁周土層內並不全部成功，除非使用較高的壓力，如圖三所示。只有在粗顆粒的礫石層中，低壓的水泥漿才會滲入樁周的地層內。

五、樁底後灌漿的影響

幾乎每一種鑽掘的工法，都會使得樁底土層鬆動。除此之外，由於覆土應力的減少也會使得樁底土層擾動。但大部份工程師都認為，一部份鬆動和擾動會被混凝土灌注時的壓力所彌補，可惜的是不會全部被彌補。我們由眾多的試樁結果可以看到，樁底的承载力在受到荷重後並不能馬上發揮，而要沈陷了數個mm後才開始發揮出來，這說明了樁底土層的擾動是不可避免的。

後灌漿的作業，可達立即先期壓實樁底土層的效果。灌漿的壓力可一直增加，直到樁周摩擦力發揮或土層產生裂隙如圖四所示。經過後灌漿後，由於預壓的效果，樁沉陷量將會減少，特別是在工作載重的狀況下。

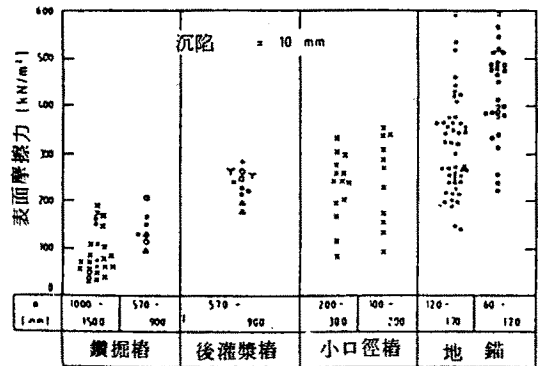


圖四 後灌漿後之樁底（白色為水泥）

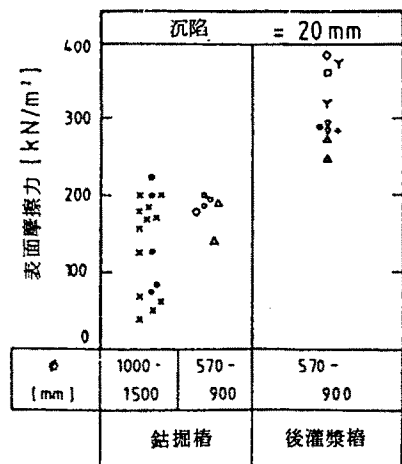
以下就各種狀況下，樁載重試驗結果來顯示後灌漿的效果，主要在比較於工作載重狀況下，摩擦力、樁底承载力與沉陷量的關係。試驗結果的選擇係考慮土層較均質且土層性質調查完備之案例以及摩擦力與樁底承载力有很好的量測結果者。其中有一些樁及大部份的地錨於試驗後將之開挖並進行檢視。

六、非凝聚性土層中之摩擦力

圖五顯示在有後灌漿及沒有後灌漿狀況下，大口徑基樁之摩擦力及小口徑灌漿樁和地錨等之摩擦力的比較。圖五的摩擦力值係考慮樁



圖五 非凝聚性土壤中各種樁的表面摩擦力（沉陷達 10 mm 時）



圖六 非凝聚性土壤中不同樁之表面摩擦力（沉陷達 20 mm 時）

大地工程

頭沉陷達 10mm，而圖六則為 20mm。

直徑 20 至 30 公分的小口徑灌漿樁係使用旋轉式鑽掘並以水或朋脫土作穩定液，灌漿的壓力約 5 至 6 kg/cm²。直徑 10 至 20 公分的小樁則施工方式類似地錨，當灌注水泥漿的同時拔出套管。

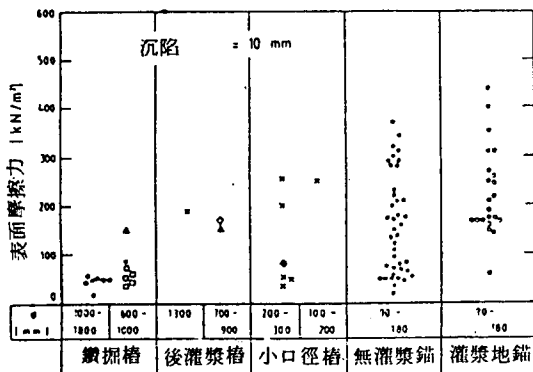
圖五也顯示摩擦力的增加會隨著樁徑減少而增大。其原因部份可能為小樁徑之膨脹效果較佳，另外亦可以施工的方式來解釋，即樁徑愈大對樁四周土層的擾動也愈大。

除了樁徑之外，灌注混凝土的壓力也是有影響的。特別要提及的是，後灌漿的大口徑基樁係在樁周不同深度採用高壓灌注水泥漿，但對小口徑灌漿樁及地錨而言，其灌漿壓力相對之下為低。雖然如此，連續的對整支樁長來進行灌漿，其效果仍是可預期的。

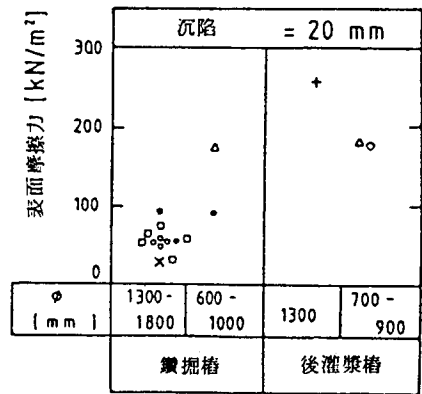
於估算大口徑基樁之摩擦力時，其樁表面積係理論值。根據實際開挖的結果，樁徑與理論值差不多；但在小口徑樁時，其樁表面積可以視施工方法不同乘以 1.2 至 1.4 計算，這些值係根據實際開挖的結果。對於地錨而言，決定其摩擦力時，可以考慮實際的表面積，而這實際的表面積可由試驗後開挖來得知。

七、粘土層中之摩擦力

圖七顯示樁和地錨在有後灌漿和沒有後灌



圖七 粘性土層中各種樁的表面摩擦力 (沉陷達 10mm 時)

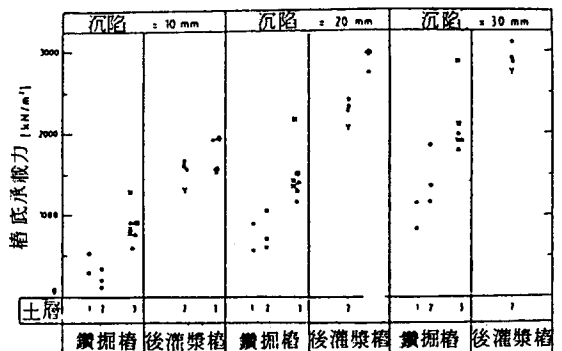


圖八 粘性土層中不同樁之表面摩擦力 (沉陷達 20mm 時)

漿的情況下，於粘土層中的行為。圖八則顯示大口徑基樁的摩擦力在沉陷量為 2 公分時的情形。雖然只有少數的資料可資引用，但樁徑與摩擦力有明顯的關係是很容易認定的。由大口徑基樁的試驗結果可以了解以後灌漿增加摩擦力在粘土層中的效果是很好的。

八、非凝聚性土層中之樁底承载力

圖九顯示 57 公分至 150 公分口徑樁的樁底



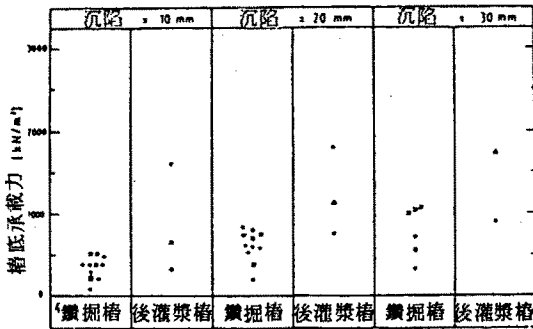
圖九 非凝聚土壤中不同沉陷情況下之樁底承载力 (土層 1 = 中等緊密砂, 2 = 緊密程度砂, 3 = 中等緊密至緊密度礫石)

承载力與不同沉陷量及不同土層之狀況。由於資料的有限，樁底的承载力和樁徑的關係並不顯明，但可以確信的是後灌漿法可以使樁底的

承載力增加。

九、粘土層中之樁底承載力

圖十顯示直徑62至180公分基樁樁底承載力在沉陷量為10mm至30mm的狀況，資料也是相當的有限。在很多的案例中，土層的概況不能被很確實的了解，是令人惋惜的。但從少



圖十 粘性土層中不同沉陷情況下之樁底承載力

數較完整的試驗結果可以結論，後灌漿法應可以增加在工作載重狀況下的樁底承載力，但這效果似乎小於在非凝聚性的土壤。

十、結論

本篇主要譯自M-STOCKER 在1983年第八屆歐洲土壤與基礎工程會議內發表的文章「The Influence of Post-Grouting On the Load-Bearing Capacity of Bored Piles」。作者為西德人，西德在基礎工程方面尤其是基樁及地錨的研究發展，實在令人心儀，很多的基樁及地錨在試驗後再被挖出來以了解其實際成形狀況，很多的儀器被裝置來量測並了解其摩擦力或樁底受力後的行為。即使如此，樁底承載力的行為仍不能很清楚的被認定。反觀我國，反循環基樁引進已有十數年的歷史，特別在台北盆地的地層內，每年都有數千支的基樁被植入，然而對於採用此種工法其樁周摩擦力與樁底承載力在台北盆地內確實的

分佈情形到底如何？我們的資料實在是太少而不足以有把握的回答這個問題。此實有賴於大地工程界的各有關單位，以追根究底的精神來找出答案，俾讓爾後的工程能更經濟、安全的依循。據筆者粗淺的看法，場鑄樁的摩擦力大約在0.5%至1.5%樁徑的沉陷量（在台北盆地一般約8mm，主要視土層及樁徑而異）即能大部份發揮，但是樁底的極限承載力（其定義為荷重不能再增加）在砂層中可能要到樁徑的1至2倍的沉陷才會顯現出來，此宜有賴於現場觀測結果來證實。因此，基樁容許承載力將由樁頭容許沉陷量來決定。此外，需注意的是樁底的承載力在受荷重後不能馬上發揮，而先由樁周摩擦力來承擔些許。此外，樁底的土層在鑽掘式的工法中受了擾動。對於目前大部份在台北盆地內進行的反循環樁施工方法，筆者大膽的看法是套管若不放至卵礫石層上，樁底的沉泥無法被清理乾淨的；不信，可以以鑽心試驗來驗證。若此屬實，則樁底承載力當較預估的又少了許多。有人可能認為這是危言聳聽，因為到目前為止，鮮有聽到基樁承載力不足而致結構物破壞的案例。筆者認為低估摩擦力、土壤與結構的互制及忽略其他結構物如連續壁的貢獻等是大樓樁基礎屹立不動的主因，而負摩擦力的發展可能是造成單樁基礎長期荷重下沉陷量會增加的因素。在施工方面，反循環樁欲貫入台北盆地的卵礫石層（景美層）極為困難，是眾所周知的事情，有沒有其他更合適更有效率的工法或機具設備來配合設計需要，要靠大家來努力——機具設備改進的研究、同意新工法的引進與採用、足夠的預算等。本文介紹的後灌漿法在場鑄樁的應用，在國外已有許多實際量測的結果及成功的案例，筆者認為應用於台北盆地內採用的反循環基樁會有正面的效果，當然現場觀測試驗的證實是不可或缺的。採用本法時另需注意的是專利的問題，由於在國內經驗的有限，對於重要的工程，建議選用有經驗的廠商參與，品質較易獲得保障。