

名詞解說專欄

臨界深度 (Critical Depth)

砂性土壤基樁承載力常以靜力學公式計算之，其極限承載力如(1)式所示：

$$Q_u = \sigma_{vp} N_q A_p + \sigma_{vs} K \tan \delta A_s \quad (1)$$

其中

Q_u =極限承載力

σ_{vp} =樁尖處土壤有效覆土壓力

N_q =土壤承載力因素

A_p =樁尖面積

σ_{vs} =樁身周圍有效覆土壓力

K =土壤側向土壓係數

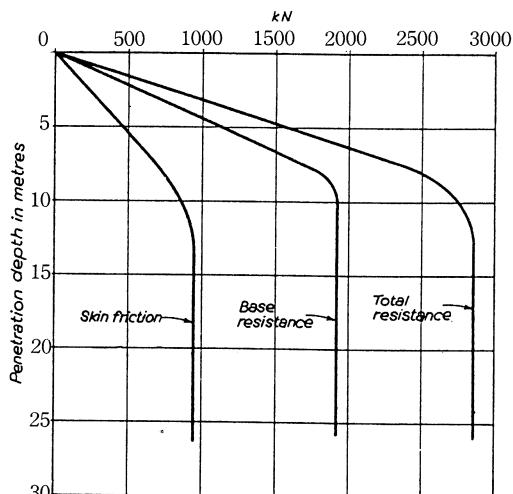
δ =土壤與樁身摩擦角

A_s =樁身周圍面積

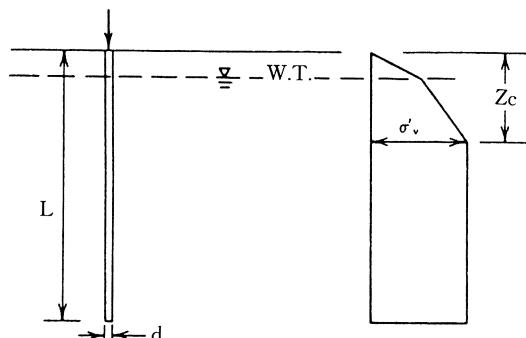
根據實驗室試驗與現場觀測結果顯示，砂性土壤中樁頭端點支承力與樁身摩擦力超過一定深度後會趨向一定值，此即意味超過某一深度後樁身周圍摩力與樁頭阻力之和會趨向一定值，此深度稱為臨界深度 (Critical Depth)，如圖一所示。換言之，(1)式中樁尖有效覆土壓力 σ_{vp} 與樁周圍有效覆土壓力 σ_{vs} 並非隨深度增加而無限制增加，而是如圖二中所顯示在超過臨界深度 Z_c 後，覆土壓力即以一定值計算之。

臨界深度造成的原因尚未有完整的理論說明，可能與土壤拱效應、壓縮性及樁身周圍土壤被擾動有關 (Meyerhof, 1976; Coyle, 1981)。影響臨界深度大小的因素可歸納如下：

高景盛



圖一 樁身摩擦力與樁頭支承力隨貫入深度變化情形 (摘自 Tomlinson, 1977)



圖二 樁身周圍有效覆土壓力分布情形
(摘自 Poulos and David, 1980)

1. 樁徑

樁徑愈大，臨界深度亦愈大，一般臨界深度介於10倍樁徑至40倍樁徑之間，設計時可考慮15至20倍樁徑為臨界深度 (基礎構造設計規範, 1988; AVFAC, 1982)

2. 砂土摩擦角

臨界深度隨摩擦角增加而向下延伸，Vesic (1967) 曾建立臨界深度 Z_c 除以樁徑 d 與摩擦角 ϕ 的關係，如圖三所示，圖三中顯示在鬆砂狀態下 Z_c/d 值介於5~10之間。

3. 地下水位

臨界深度與樁周圍浮力有關。Meyerhof (1977) 研究指出浸水砂 (Submerged Sand) 的臨界深度大於乾砂約1.6倍，顯示地下水位將使臨界深度增加。

4. 土層變化性

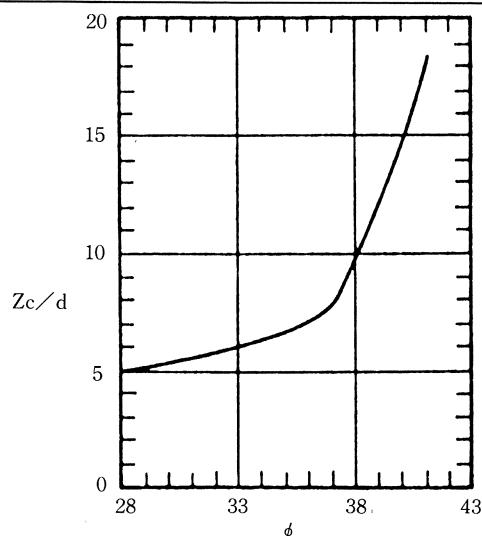
Meyerhof (1977) 研究層狀土層臨界深度指出，基樁貫入上軟下硬地層中，下層較硬土層之臨界深度較均質硬地層減少1/3倍。一般而言，樁貫入下層達10倍樁徑後即達臨界深度，而此臨界深度與上、下地層相對勁度有關，若上、下地層勁度相差愈大，則臨界深度愈有增加的趨勢。

使用(1)式估算砂土層基樁極限承載力時應考慮臨界深度，若地層狀況屬一般均質砂性土層，則臨界深度可依中華民國建築學會建築技術規則基礎設計規範及DM 7.2 建議採15至20倍樁徑，若地層變化較大且地下水位很深的乾砂地層，其臨界深度應小於10倍樁徑，以避免高估基樁極限承載力。

參考文獻

中華民國建築學會建築技術規則建築構造篇基礎構造設計規範，(民國77年)。

AVFAC (1982) "Foundations and Earth Structures," Design Manual 7.2.



圖三 臨界深度 Z_c 除以樁徑 d 與摩擦角 ϕ 的關係(摘自 Vesic, 1967)

COYLE, M.H., and CASTELLO, R.R. (1981) "New Design Correlations for Piles in Sand," ASCE, Vol.107, NO.GT7, 1981, PP.965-986。

MEYERHOF, G.G. (1976) "Bearing Capacity and Settlement of Pile Foundations," Eleventh Terzaghi Lecture, Geotech, Eng. Div., ASCE, Vol.102, No.GT3, PP.197-228。

MEYERHOF, G.G., and VALSANGKER (1977) "Bearing Capacity of Piles in Layer Soils," Proceedings of the IX International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, PP.645-650。

POULOS, H.G. and DAVID, E.H. (1980) "Pile Foundation Analysis and Design"。

TOMLINSON, M.J. (1977) "Pile Design and Construction Practice"。

VESIC, A.S. (1967) "A Study of Bearing Capacity of Deep Foundations," Final Rep., Proj. B-189, School of Civil Eng, Georgia Inst. Tech. Atlanta, Ga.。

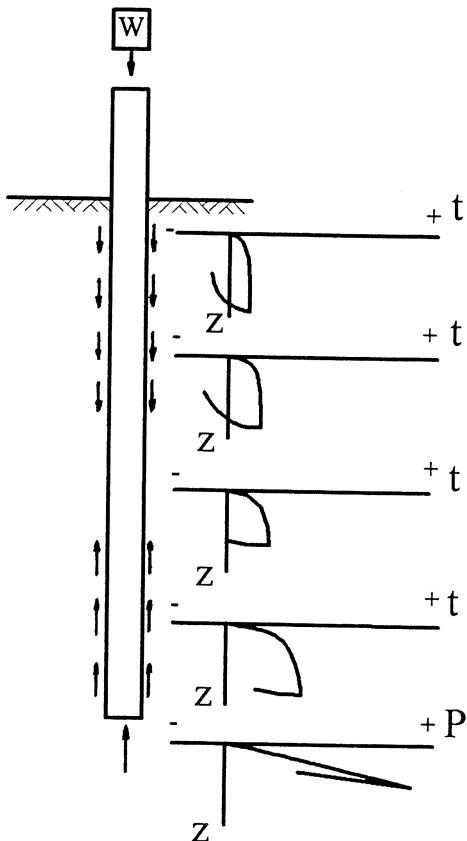
樁身殘餘應力(Residual Stress in Pile)

吳坤忠

當基樁在打設或在施行載重試驗後，殘留在樁身上之應力稱為殘餘應力 (residual stress)，通常以打設於砂土層之基樁較為明顯。殘餘應力的概念很久以前就被提出，但長久以來均認為其對基樁承載力沒有顯著的影響，因此一直被有意的忽略掉。1964年於美國阿肯色河的一項研究計畫中，曾於16英吋直徑55英呎長之鋼管樁垂直載重試驗中發現樁尖存在著40.80噸之殘餘應力，約佔樁尖支承力之37.5%；另外於台北捷運中和線南勢角車站之2000噸基樁載重試驗解壓後亦發現樁尖約有123噸之殘餘應力，雖與試驗載重相較，似乎可以被忽略，但該樁長逾50公尺，且加載至2000噸時之樁頭沉陷量不過5.6公分，故傳遞至樁尖之載重並不多，因此形成之殘餘應力亦不大。

殘餘應力的形成，可利用打樁行為加以說明當樁體在承受錘擊後，打擊力由樁頭傳至樁尖，在貫入過程中，樁身產生向上的摩擦阻抗，樁尖則產生向上的端點阻抗。在反彈的過程中，樁身的摩擦阻抗及樁尖的端點阻抗均減小，而在靠近地表的樁身摩擦阻抗將會改變方向，對樁身產生壓力，當樁身靜止時，樁身的合力達平衡，此時殘留在樁身及樁尖的應力就稱為殘餘應力，如圖一所示。

典型的殘餘應力曲線，示於圖二右側



圖一 樁身殘餘應力的形成

的O及O'線，而圖二右側之O及O'線為殘餘力，亦即為右側O及O'線之積分。圖二中1及2線為真實的摩擦力及應力分佈，而1M及2M則為1, 2與O, O'相減，亦即不考慮殘餘力（或應力）時所獲得的結果。在進行基樁載重試驗時，通常在加載前將

裝置於樁身的應變計歸零，此步驟如同假設基樁在施打後，樁身不存在任何應力，因此在加載過程中所量得的樁身應力即為圖二中之1M及2M曲線。

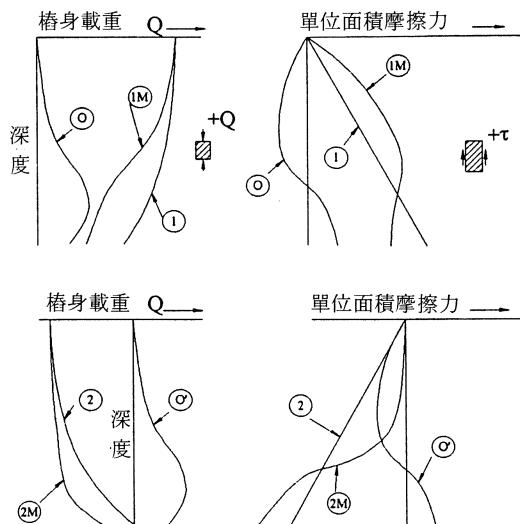
當載重試驗結果將被利用為後續設計之依據時，忽略殘餘應力可能導致在抗壓試驗中低估端點支承力，高估摩擦支承；在抗拔試驗中低估摩擦支承。因此在調配合適的樁長及樁徑時，將無法得到最經濟的設計成果。

參考文獻

BRIAUD, J.L. and L., TUCKER (1984), "Piles in Sand : a method Including Residual Stress," , JGED, ASCE, Vol.110, No.11。

HOLLOWAY, D.M. and G.W. CLOUGH (1979), "A Rational Procedure for Evaluating the Behavior of Impact Driven Piles," Behavior of Deep Foundations, ASTM, STP670。

POULOS, H.G. (1987), "Analysis of Residual Stress Effects in Piles," JGED, ASCE, Vol.113, No.3



圖二 樁身之殘餘應力、量測應力及真實應力分佈情形(a)抗壓試驗 (b)拉拔試驗 (摘自 Holloway et al., 1979)