

混凝土樁在砂土中之拔起抵抗力
UPLIFT RESISTANCE OF DRIVEN CONCRETE
PILES IN SANDY SOIL

張明芳，新加坡南洋理工學院高級講師

歐晉德，亞新工程顧問股份有限公司副總經理

M.F. CHANG, Senior Lecturer, Nanyang Technological
Institute, Singapore

and

C.D. OU, Vice President, Moh and Associates, Inc.

原載於地工技術雜誌，第5期，73年1月第17-20頁

Reprinted from
Sino-Geotechnics, No. 5
Jan. 1984, pp. 17-20

ABSTRACT

The paper discusses uplift resistance of driven concrete piles in sandy soils. Analyses are presented on field test results of three sets of pulling tests of concrete piles.

混凝土樁在砂土中之拔起抵抗力

張明芳* 歐晉德**

一、前言

當樁被用於受上揚力作用或承受相當大傾覆彎矩之結構物，如地下建築物、煙囪、輸送塔、防波堤等之下部時，都必須抵抗外力加於其上之拔起力。拔起抵抗力之不足有如承载力之短缺，均可能發生結構之全盤破壞，其大小並不一定與樁在受壓情況下之承载力有直接關係。單樁之拔起抵抗力一般可由估算樁與其周圍土壤間之摩擦力而求得。對於黏性土壤，其與樁間之摩擦力係由其對樁之黏着力而來，大小則與黏土加於樁上之有效側壓力無多大關係。只要黏土對樁之黏着力估算正確，似乎所算得之樁拔起抵抗力應屬合理。樁在砂土層中時，由於砂土與樁間之摩擦力係由有效側壓力作用於樁上所產生，側壓力之大小直接影響其拔起抵抗力。因此，欲求得合理之樁拔起抵抗力，土壓力係數之決定成爲最首要之條件。由於土壓力係數之現場測定不易，靠估計值所求得之拔起抵抗力自不可靠。欲求合理之拔起抵抗力，只有借重於基樁引拔試驗。本文主要在於討論砂土層中樁基之拉拔抗力，並分析三組現場基樁引拔試驗的結果，藉此探討周圍主要土層作用於樁上之側壓力係數經另一般估算所得之靜止土壓力係數及被動土壓力係數比較，可較了解樁在受拔時與其周圍砂土間之相互作用情形。

二、拉力樁理論

基樁承受拉力時，其抗力之來源除本身自重外，主要來自土壤與樁基表面之摩擦阻力，根據理論，基樁之拉拔力 Q ，爲

$$Q_s = \int_0^{L_s} K_s \sigma'_v \tan \delta \pi D dl + C_s \pi DL_s \quad (1)$$

上式中

- L_s = 基樁埋設於砂土層中長度
- σ'_v = 砂土層中之垂直有效壓力
- δ = 砂土層與基樁表面之摩擦角
- D = 樁直徑
- dl = 樁單位長度
- C_s = 黏土層於基樁之附着力
- L_c = 基樁埋設於黏土層中長度
- K_s = 作用於基樁之側壓係數

有關 K_s 數值的探討，在目前工程的說法莫衷一是 Hirst (1970) 曾統計了一些數字如表一，大致可看出 K_s 之值可能介於靜止土壓力係數及被動土壓力係數的範圍，且因土壤之性質、基樁形式以及裝設方法而異。甚至樁之被動方向亦爲一主要因素，在同一土層中，基樁受拉抑受壓，可能發生之拱效應影響範圍不相同，即會影響側壓係數。本文乃利用現場試驗直接推求砂土層中受拉力狀況之側壓係數。

三、拉拔試驗

3.1 試驗在土層狀況

本研究共進行三組試樁，地點位於臺北盆地中央偏北地區，臺北市迪化街污水處理廠現場區內，接近淡水河與基隆河交會處，基本上屬標準六層次之臺北盆地淡水河流域地層，圖一表示試驗深度內之地層狀況，地表下 5 公尺內大致均爲由沉泥及黏土構成之表土層，表土層下爲厚度在 10~15 公尺

* 新加坡南洋理工學院高級講師

** 亞新工程顧問公司副總經理

表一 基樁側壓係數

	根 據	土 壤 類 別	Ku
Brinch Hansen	理 論	砂 土	$\cos^2 \phi$
Lundgren, 1960	壓 力 試 樁	砂 土	0.8
Henry	理 論	砂 土	K_p
Ireland, 1957	拉 力 試 樁	砂 土	1.75~3.0
Meyerhof, 1951	現 場 資 料 分 析	鬆 砂 土	0.5
Mansur-Kaufman, 1958	現 場 資 料 分 析	緊 砂 土 沉 泥	1.0 0.3 (壓力) 0.6 (抗力)
Lambe-Whiteman, 1969	推 測		
Kézdi, 1958	理 論	粗 粒 土 壤	K_p

左右之均勻砂土層，依統一分類法言之，屬 SM 砂土，單位重約為 $1.95 \sim 2.05 \text{ t/m}^3$ ，標準貫入試驗值約在 12~16，根據三軸試驗求得之內摩擦角為 27° 。於第三組試驗區，在地表下約為 14.5 公尺處即發現有沉泥質黏土 (CL) 層存在，具不排水剪力強度 C_u 約為 6.55 t/m^2 。

3.2 試驗裝置

試驗用基樁採用離心式預力鋼筋混凝土樁，配置拉力鋼筋，以承受最大 75 噸之拉力，樁長 12 公尺，樁徑 30 公分，為減少表面覆土之影響，現場先用引樁方式將基樁打入地表下 5 公尺深度處，將試驗區開挖寬度 25×25 公尺，深度 5 公尺之大試坑，再行架設試驗架，圖二為試驗架之裝設圖，現場試坑內水位經常保持在試驗面下 10 公分處，反力利用桁架傳遞至四個同等直徑之樁基上，反力支撐樁距拉力試樁中心點各 2.5 公尺，以避免影響試拉之精確度，同時為考慮打樁後孔隙水壓之影響，試樁於打樁完成二十八天後始進行。

3.3 試驗荷重

基樁抗拔試驗原則上採用美國材料試驗協會 ASTM 之標準載重方式進行，表二綜合各階段之試驗拉力值及維持時間，最後階段均拉至大量拔起為止，按土層狀況估計最大拉力將超過 30 噸，各組試驗於達 30 噸拉力後，逐分段加拉力分別於 47, 47.5 及 51 噸時，基樁快速上升移動，發生拉力破壞，根據分析三組試驗之最大抵抗力分別為 30 噸，40 噸及 40 噸。

四、結果分析及討論

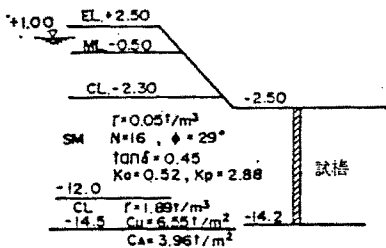
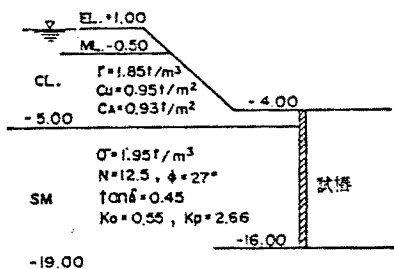
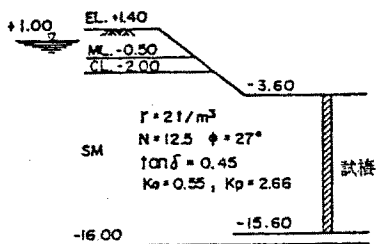
本試驗基樁部份貫入黏土，理論言之，單樁於黏土中之摩擦抗力得以其周圍土壤對基樁之附着力乘以其表面積而得，打樁過程雖擾動黏土層而局部降低其強度，但考慮黏土之壓密恢復強度，及試樁前靜置效果，本分析以 $0.6C_u$ 值為附着力估算基樁進入黏土層部份之抵抗力，應尚屬合理。

埋置於砂土層部份，考慮打樁時，四周土層受到擠壓，而趨向緊密狀態，Meyerhof (1960) 亦曾提及此狀態，如圖三所示，打擊貫入式基樁，其影響範圍可達樁徑之 3 倍，打擊後，樁表面之側壓力可能介於正常砂土層靜止土壓力與被動土壓力間，長時間後雖然砂土可能產生鬆弛現象 (Relaxation)，但鑒於砂土顆粒排列受擠壓後之不可回復性，不難預期其基樁表面承受之側壓力仍大於靜止土壓力，砂土層一般可依據 Jaky 及 Rankine 公式推求靜止及被動土壓係數 K_0 及 K_p ，分別為

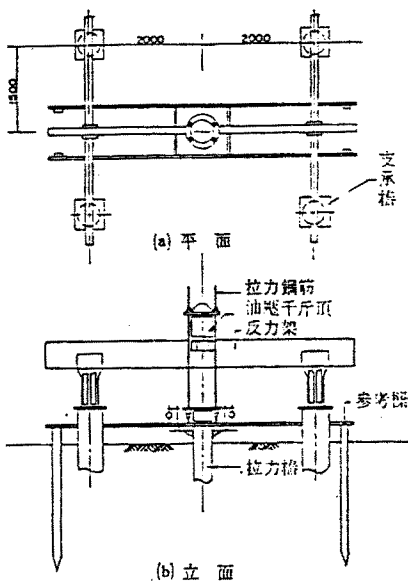
$$K_0 = 1 - \sin \phi' \quad (2)$$

$$\text{及 } K_p = (1 + \sin \phi) / (1 - \sin \phi) \quad (3)$$

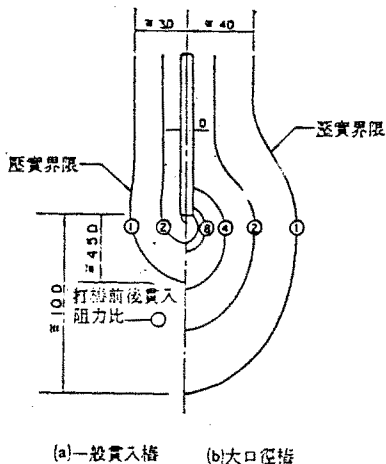
上式中 ϕ' 及 ϕ 分別表示砂土層之有效內摩擦角及總內摩擦角，就現場土層情況而言，此砂土層之靜止及被動土壓係數大致為 0.54 及 2.73。因此按式 (1) 之分析，對三組試驗之拉力及土層狀況推求得抗拔側壓係數 K_c 為 1.08, 1.32 及 1.53，推求此數值時假設樁表面摩擦係數為 $\tan \delta = 0.45$ 。按試驗求得之 K_c 值與表一中 Ireland 以拉力試驗求得值類似，而充分顯示樁承受拉力時，其側壓力較靜止土壓力為大，此可為一般設計抗拔基樁之參考。



圖一 試驗區地層狀況



圖二 試樁配置



圖三 打樁對砂土層之壓實影響

表二 試驗載重施加方式

載重增量	3.75'→7.5→3.75→0→3.75→7.5 →11.25→15→11.25→7.5→3.75→0 →7.5→15→18.75→22.5→15→7.5→0 →7.5→15→22.5→26.25→30→22.5 →15→7.5→0→逐漸加壓至破壞
每階段維持時間	維持至位移率小於 0.33 mm/小時或 2 小時
最大設計載重維持時間	24小時(若破壞未發生)。

仍需注意者，本文採用之基樁係以打擊方式裝設，試驗中並未觀測水壓消散情形，現場於試驗後亦未能採取土樣，以明瞭地層之變化狀況，僅能就表面數值分析側壓係數，結果僅足以說明打擊貫入式抗拔樁側壓係數可以考慮較靜止土壓係數值為大，但未可斷然根據以評斷鑽掘式基樁亦可如此考慮，同時亦應注意本文採用之標準載重法，相當費時，同時可能引進許多未知數，就近年 Fellenius (1980)之研究，此類試驗極可能造成對結果解釋之誤差，在本文中均未能論及。

五、附 註 語

本文係作者二人早年服務於中華顧問工程司時完成，當時並未予以發表，今藉地工技術雜誌予以披露以饗讀者，作者對中華顧問工程司提供之原始資料，臺北市政府衛生下水道工程處提供之試驗經費及大順股份有限公司執行現場工作，均此一併誌謝。

參 考 文 獻

- HIRST, T. J. (1970) "Evaluation of the Engineering Properties of Soils", *Design and Installation of Pile Foundations and Cellular Structures*, ed. by H. Y. Fang and T. D. Dismuke, pp. 27-46. Envo. Publishing Co. Inc., Lehigh Valley, Penn.
- FELLENIUS, B. H. (1980) "The Analysis of Results from Routine Pile Load Tests", *Ground Engineering*, pp. 19-31. Sept.
- MEYERHOF, G. G. (1960) "The Design of Franki Piles with Special Reference to Groups in Sand", *Proceedings Symposium on Pile Foundations*, p. 105, Stockholm.