



以中能風場實測案例初探具有滑樁風險之海域樁基礎軸向承載力分析考量

國立成功大學水利及海洋工程學系教授 / 郭玉樹
國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生 / 何武璇
中國鋼鐵股份有限公司工程師 / 林光敏
中國鋼鐵股份有限公司正研究員 / 吳宗峯
國立成功大學水利及海洋工程學系研究助理 / 曾玉修
國立成功大學水利及海洋工程學系碩士生 / 楊旻翰
中能發電股份有限公司副執行長 / 徐毓宏
國立海洋大學河海工程學系校長 / 許泰文

關鍵字：圓錐貫入試驗（CPT）、樁基礎、軸向承載力、離岸風場、滑樁

摘要

台灣彰化近海風場因受濁水溪沖積作用影響，海床地層條件複雜，表層多為疏鬆砂土，深層則為複雜之互層土壤，使得評估樁基礎軸向承載力時存在許多不確定性。本研究收集中能風場鑽探資料及打樁紀錄，針對一個發生滑樁之案例及兩個未發生滑樁之案例，進行樁基礎軸向承載力分析。透過以工程界常用之 CPT-based 承載力評估法、打樁

動力公式及 Alm and Hamre 建議之靜態打樁阻抗分析法進行計算 [2]，比較各分析方法所得之樁基礎軸向承載力。對於未發生滑樁之點位，以動力打樁公式所得之承載力與 CPT-based 分析法所得之成果相當。然而，對於發生滑樁之案例，樁基礎設置完成當下之樁基礎軸向承載力遠小於 CPT-based 承載力評估法所得之設計承載力。此外，打樁分析時所得之土壤靜態打樁阻抗則遠高基樁和樁錘之重量，無法有效反應滑樁發生深度。



透過本文有限的案例分析，顯示既有分析方法可能高估 SBT3（黏土及粉質黏土）之土壤摩擦阻抗。後續對於土壤行為分類為黏土及粉質黏土之土層，建議審慎評估樁身摩擦阻抗。

一、前言

我國離岸風場大量使用樁基礎，目前已有多座風場於樁基礎設置時發生滑樁事故，嚴重影響部分離岸風場之工程進度與投資成本。打擊樁之滑樁通常發生於以下兩種狀況：(1) 海床土壤表層土壤為承載力較低的土層時、(2) 當樁基礎自承載力較高的土層打擊貫入承載力較低的土層時。於打樁過程中，當樁基礎自較為緊實之土層打擊貫入下方軟弱土層時，於緊實土層與軟弱土層之界面發生樁底承載力突降之現象；此時，樁基礎承載力不足以承受基樁和樁錘之重量，使得樁身迅速滑入下部較軟土層，直至埋置樁長再度接觸下方緊密土層；或樁身摩擦阻抗與樁底阻抗足以支撐樁重與樁錘重時，基樁停止下沉。

由於我國大多數離岸風場委由國際工程顧問公司及海事工程公司進行水下基礎設計與施工，相關施工記錄亦屬於風場開發商私有財產，造成我國工程界對於離岸風場滑樁事故獲知資訊甚少。為瞭解發生滑樁點位之土壤條件，以及對應之樁基礎軸向承載力，本研究收集中能離岸風場之現地土壤鑽探資料及樁基礎施工打擊記錄，依照打樁分析需求、設計考量及現地實測成果進行不同階段之樁基礎承載力分析，以有限之參考案例初探分析樁基礎軸向承

載力時，探討既有樁基礎軸向承載力分析方法對於軟弱土層分析之適用性，以及後續考量滑樁發生可行性時，計算軸向承載力時應注意之方向。

二、中能風場參考點位及滑樁案例

中能風場位於彰化縣外海離岸約 10 公里處，水深約 32 公尺，其海床地質主要受濁水溪沖積作用影響，地形平緩且多為砂土、粉土及黏土等所組成之沖積層土壤，形成表層為疏鬆砂土而往下複雜交錯之互層土壤。中能風場於各離岸風機點位均進行圓錐貫入試驗（CPT），透過鑽探取得樁尖阻抗 q_c 、袖套摩擦 f_s 及孔隙水壓 u_2 隨貫入深度 z 連續的地層剖面資料，記錄頻率約 2 ~ 5 公分一筆，取得資料後進行土壤行為分類，取得隨深度之地層分布和土壤強度以用於樁基礎設計。本研究以中能離岸風場為案例分析場域，針對中能風場內 33 處地工調查點位進行 CPT 鑽探資料蒐集，並彙整管架式樁基礎於現地施工之樁錘資料、打擊次數與貫入深度等打樁紀錄（Pile driving log），選擇其中 3 處進行樁基礎軸向承載力分析。

本研究分析之三個中能風場軸向承載力樁基礎點位如圖 1 所示；其中，參考點位 1 及參考點位 2 為未發生滑樁之機組。參考點位 3 則為機組設置時，發生滑樁之點位。圖 2 至圖 4 為圖 1 中三個點位之土壤分層剖面及 CPT 資料隨深度分布。其中，參考點位 1 及參考點位 3 均包含多層黏土至粉土質黏土（SBT3）。然而，參考點位 3 則於圖 4 中紅色框之深度區間（SBT3 黏土至粉土質黏土）發生滑樁。

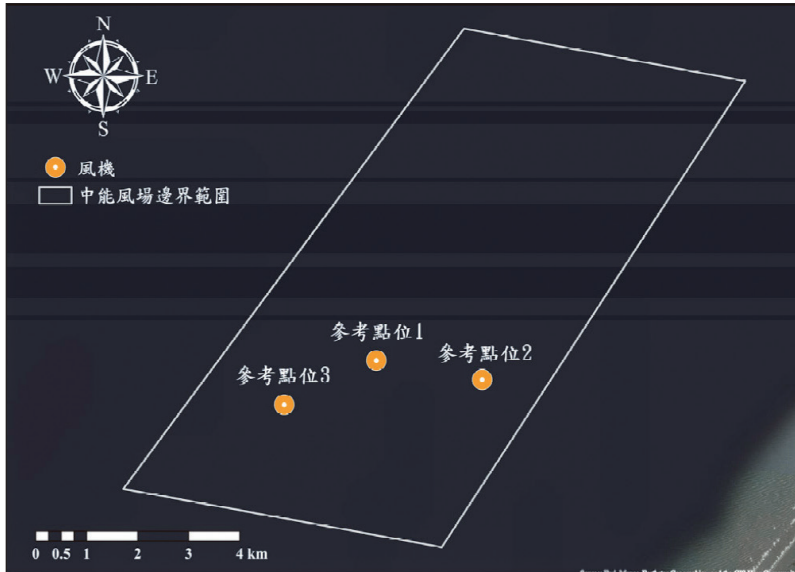


圖 1 本研究選定分析中能風場樁基礎軸向承載力點位

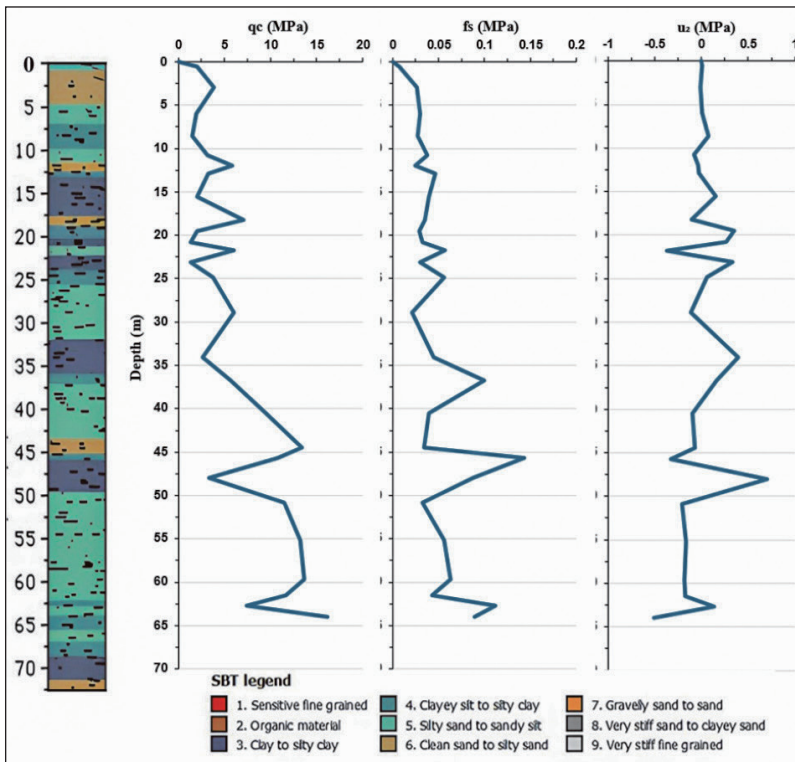


圖 2 參考點位 1 之土壤剖面及 CPT 資料 (q_c , f_s , u_2)

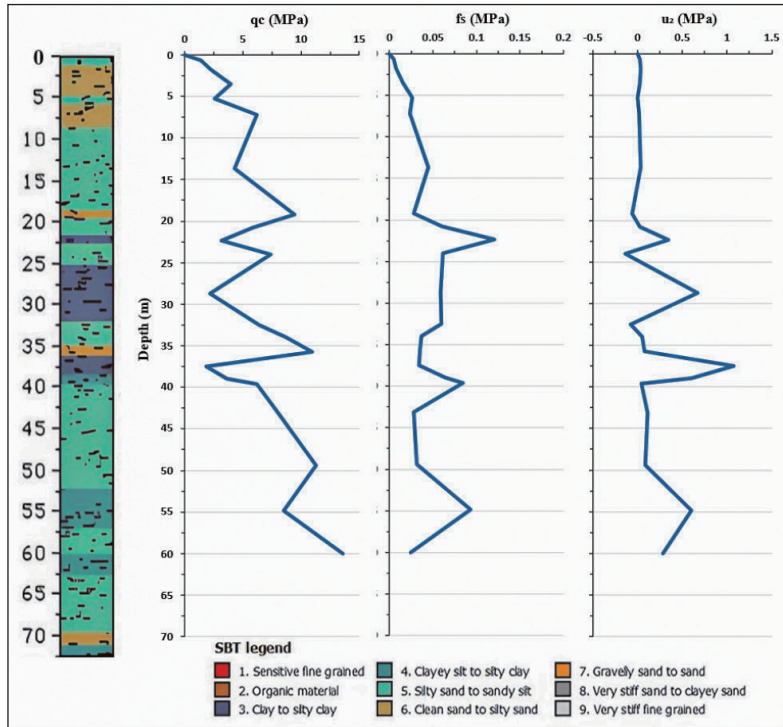


圖 3 參考點位 2 之土壤剖面及 CPT 資料 (q_c, f_s, u_2)

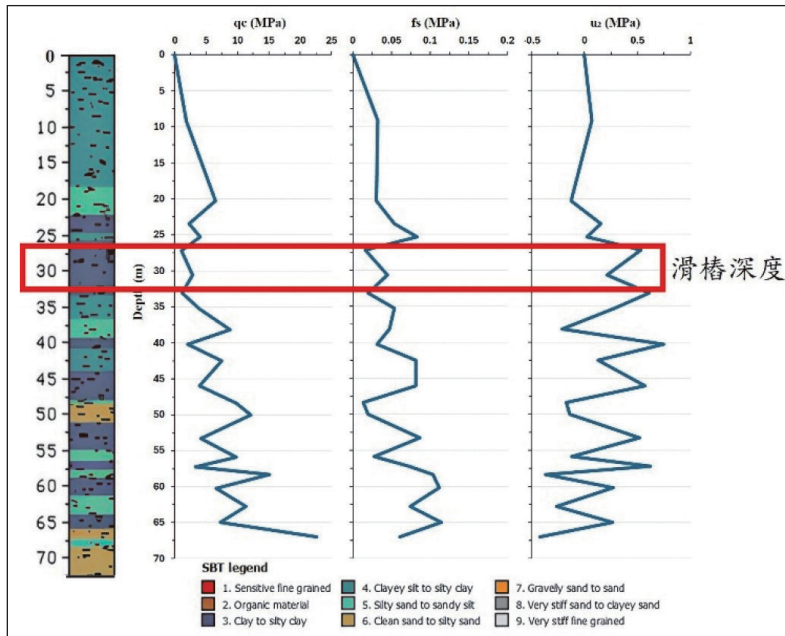


圖 4 參考點位 3 之土壤剖面及 CPT 資料 (q_c, f_s, u_2)



三、樁基礎軸向承載力分析方法

本研究主要以 CPT-based 軸向承載力分析法、動力打樁公式及土壤靜態打樁阻抗三種分析方法計算樁基礎軸向承載力。CPT-based 承載力評估法為根據現地樁載重試驗於基樁安裝 10 ~ 30 天後之試驗成果所建立之長期承載力分析方法。動力打樁公式則反映打樁結束當下之承載力，土壤靜態打樁阻抗則用於樁基礎安裝前之打樁分析。

3-1 CPT-based 樁基礎軸向承載力分析方法

樁基礎軸向承載力評估方法包含靜力法 (API 法、CPT-based 方法、SPT-based 方法)、打樁動力公式、靜態打樁阻抗等。於離岸風機樁基礎設計時，以 CPT-based 分析法為目前業界最廣泛使用。當樁基礎受垂直向下載重時，軸向承載力 Q 主要來自樁身摩擦力 Q_s 和樁底承載力 Q_b 。對於樁徑 D 之基樁受壓時，各土層與基樁發生相對運動，激發樁身摩擦阻抗 τ_f 和樁底阻抗 q_b ；將樁週各層土壤對樁週表面積激發之樁身摩擦阻抗加總，即為樁身摩擦力 Q_s ，而樁底承載力 Q_b 則為樁底面積與樁底阻抗之乘積。對於樁長 L 之樁基礎軸向承載力 Q ，如式 (1)：

$$Q = Q_s + Q_b = \pi D \int \tau_f dz + q_b \pi D^2 / 4 \quad (1)$$

其中， z 為深度。計算承載力時將各深度 z 之樁週摩擦阻抗累加至埋置樁長 L 。

依照基樁形狀、排水條件、土塞程度等，目前已有多个研究團隊提出 CPT-based 樁基礎承載力計算方法，包含 ICP [2]、UWA [3,4]、FUGRO [5,6]、NGI [7,8]、UCM [9] 等計算方

法。根據 Kuo 分析我國大彰化離岸風場海域動力打樁試驗成果 [10]，顯示 ICP 法所得之空心鋼管樁軸向承載力，與現地試驗成果十分吻合，故本研究採用 Jardine *et al.* 建議 ICP 樁基礎承載力 CPT-based 計算方法 [2]。

ICP 法 (Imperial College Pile Method) 為透過圓錐貫入試驗 CPT 數據預測打擊樁軸向承載力的設計方法。計算時仰賴精確評估之徑向有效應力 σ'_{rf} 及界面摩擦角 δ_{cv} ，並將隨貫入深度增加造成之土壤摩擦疲勞、土塞情形和排水條件納入考量。其中，ICP 法推導與驗證時採用安裝完成後約 10 天後之靜態載試驗資料，此時樁周圍孔隙水壓消散並接近更接近長期承載能力。ICP 法針對於空心鋼管樁於砂土與黏土中之軸向承載力計算方法如表 1 所示。

本研究中各參考點位之貫入樁長 L 依序為 64、60 和 67 公尺，樁徑 D 皆為 3.5 公尺，管壁厚 t 約 40 至 60 毫米。本文計算表 1 所需之地工設計參數時，優先使用實際進行室內土壤力學試驗所得之結果，若無相關數據時，則以樁尖阻抗 q_c 、袖套摩擦 f_s 及孔隙水壓 u_2 透過經驗公式推估。

表 1 之公式中， $h (= L - z)$ 為相對樁尖距離，除以 R^* 後為一正規化幾何參數 h/R^* ；代表當樁尖持續貫入土中，某一深度之土壤將因摩擦疲勞造成徑向有效應力折損；越靠近樁尖處之徑向有效應力則越大。根據 Jardine *et al.* [2]，當樁基礎貫入深度超過約 10 倍樁徑 (10D)，平均局部剪應力 τ_f 將趨近於定植，故建議 h/R^* 之最小值不超過 8，避免隨深度增加形成無限折減。



表 1 ICP 樁基礎承載力計算方法 [2]

砂土 - 樁身摩擦力	
$Q_s = \pi D \int \tau_f dz$ $\tau_f = \sigma'_{vf} \tan \delta_{cv}$ $\sigma'_{vf} = (\sigma'_{rc} + \Delta \sigma'_{rd})$ $\sigma'_{rc} = 0.029 q_c \times \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a} \right)^{0.13}$ $\times \left(\frac{h}{R^*} \right)^{-0.38}; \left(\frac{h}{R^*} \right) \geq 8$	$P_a = 100 \text{ kPa}$ $R^* = (R^2_{\text{outer}} - R^2_{\text{inner}})^{0.5}$ $\Delta \sigma'_{rd} = 2G \Delta r / R \Delta \sigma'_{rd}$ $\Delta r = 0.02 \times 10^{-3} \text{ m}$ $G = q_c (A + B \eta - C \eta^2)^{-1}$ $\eta = q_c (P_a \sigma'_{v0})^{-0.5}$ $A = 0.0203$ $B = 0.00125$ $C = 1.216 \times 10^{-6}$
砂土 - 樁底承載力	
完全土塞 (Fully plugged)	$Q_b = q_b \pi R^2_{\text{outer}}$ $q_b = q_c \times \max(0.5, -0.25 \log(D/D_{\text{CPT}}), 0.15)$
無土塞 (Unplugged)	$Q_b = q_{ba} \pi (R^2_{\text{outer}} - R^2_{\text{inner}})$ $q_{ba} = q_c$
黏土 - 樁身摩擦力	
$Q_s = \pi D \int \tau_f dz$ $\tau_f = \sigma'_{vf} \tan \delta_{cv} = \left(\frac{K_f}{K_c} \right) \sigma'_{rc} \tan \delta_{cv}; \left(\frac{K_f}{K_c} \right) = 0.8$ $\sigma'_{rc} = K_c \sigma'_{v0}$ $K_c = [2.2 + 0.016 \text{YSR} - 0.870 \Delta I_{vy}] \text{YSR}^{0.42} \left(\frac{h}{R^*} \right)^{-0.2}$ $\Delta I_{vy} = \log_{10} S_f; \left(\frac{h}{R^*} \right) \geq 8$ $R^* = (R^2_{\text{outer}} - R^2_{\text{inner}})^{0.5}$	
黏土 - 樁底承載力	
完全土塞 (Fully plugged)	$Q_b = q_b \pi R^2_{\text{outer}}$ Undrained: $q_b = 0.4 q_c$ Drained: $q_b = 0.65 q_c$
無土塞 (Unplugged)	$Q_b = q_{ba} \pi (R^2_{\text{outer}} - R^2_{\text{inner}})$ Undrained: $q_{ba} = q_c$ Drained: $q_{ba} = 1.6 q_c$

3-2 動力打樁公式

CPT-based 方法多為評估打樁後 10 到 100 天的樁基礎軸向承載力。於樁基礎打設後，由於土壤孔隙水壓消散及土壤老化作用，使得 CPT-based 方法計算之承載力一般會高於樁基礎剛打設完成時之承載力。為了

評估現地打樁施工時，當打樁至預定埋置深度時是否滿足設計承載力需求，多以動力打樁公式進行評估。動力打樁公式為透過樁載重試驗結果歸納出之半經驗公式。輸入參數包含樁錘打擊能量 E_h 、樁錘打擊效率 e_h 、樁身永久變形量 s 、基樁自重 W_p 、樁錘重量 W_r 和基樁回彈修正係數 n 等打樁資料，透過錘擊能量與貫入量反推當下之樁基礎承載力。常見之打樁動力公式包含 Danish Formula [11]、Eytelwein Formula [12]、Gates Formula [13]、Modified ENR [14] 等。參考 Kuo 分析我國大彰化離岸風場海域動力打樁試驗成果所得之建議 [10]，本研究採用 Modified ENR [14] 進行計算樁基礎打設完成初期之軸向承載力，並以圖 2 中三支樁基礎於最後 25 公分之打擊次數平均造成之永久貫入量為樁身永久變形量 s 。Modified ENR 之打樁後靜態承載力計算公式如式 (2)：

$$Q_u = \left[\frac{1.25 e_h E_h}{s + C} \right] \left[\frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \right] \quad (2)$$

其中，損失能量修正係數 C 為根據打樁方式調整的經驗常數。落錘單次撞擊接觸時間長，能量損失大，定義 $C = 1$ 英吋 (= 25 毫米) 為能量損失，避免估算承載力過大；動力打樁接觸時間短，能量損失較小，定義 $C = 0.1$ 英吋 (= 2.5 毫米)。基樁回彈修正係數 n 詳列於表 2，為根據不同材質之基樁與接觸面能量

表 2 基樁回彈修正係數 n [14]

基樁情況描述	n
Broomed wood	0
Wood pile (No deteriorated end)	0.25
Compact wood cushion on steel pile	0.32
Compact wood cushion over steel pile	0.4
Steel-on-steel anvil on steel or concrete pile	0.5
Cast-iron hammer on concrete pile without cap	0.4



回彈反應，定義之經驗常數。本研究案例為動力打樁，並採用鋼材接觸，選擇 C 為 2.5 毫米， n 為 0.5。

3-3 土壤打樁阻抗 SRD 計算方法

土壤靜態打樁阻抗 SRD (Static Resistance for Driving) 為打擊安裝當下土壤對樁產生之瞬時靜態阻抗。樁基礎安裝前，多進行基樁打擊性分析 (Drivability analysis)，或稱打樁波傳分析 (Wave Equation Analysis of Pile Driving, WEAP)；透過 CPT 鑽探結果分析所得之土壤條件給定靜態打樁阻抗，以波傳方程式計算基樁貫入深度與樁錘打擊次數之關係，作為後續打樁機具與能量選擇參考。目前最常使用的分析工具為 GRL 公司之 GRLWEAP。既有之土壤靜態打樁阻抗計算方法眾多，包含 Stevens *et al.*[15]、DNV [16]、Alm and Hamre [1] 等之建議方法。其中，Alm and Hamre [1] 主要依據砂土、黏土與鬆散海床沉積物為主之打樁案例回饋資料建立土壤靜態打樁阻抗計算方法，其模型同時考慮摩擦疲勞效應，故本研究採用 Alm and Hamre [1] 之建議方法作為靜態打樁阻抗之計算方法。

Alm and Hamre [1] 透過多個北海地區之離岸打樁案例資料，提出一套考量基樁貫入過程引致樁身摩擦疲勞的土壤靜態打樁阻抗計算模型。相較於 Alm and Hamre [1] 提出的計算方法，Alm and Hamre [1] 所提出之分析方法納入更多現地打樁案例，同時將圓錐貫入試驗所得之樁尖阻抗直接引入模型中，以降低因人工主觀判釋資料所造成的預測變異性。在打樁過程中，假設鋼管樁無土塞，樁

體所受阻抗包含樁身摩擦力和樁底承载力，主要由樁身摩擦力主導 [1]。單位樁身摩擦力 f_s 以指數形式描述，其值會自初始摩擦力 f_{si} 隨樁身貫入逐漸衰減至殘餘摩擦力 f_{sres} 。衰減速率由衰減係數 k 控制，以反應樁尖推進過程中，距樁尖較遠的深度因累積受剪與反覆位移作用而產生摩擦疲勞，使該處的摩擦力呈現隨貫入深度增加而逐漸衰減的行為，Alm and Hamre 建議之 SRD 計算公式如表 3 所示 [1]。

表 3 Alm and Hamre (2001) SRD 計算方法

土壤靜態打樁阻抗 (SRD)	
$f_s = f_{sres} + (f_{si} - f_{sres}) e^{k(d-p)}$	
$k = \frac{(q_t / \sigma'_v)^B}{A} \quad \text{where } A = 80 \text{ and } B = 0.5$	
$f_{si,sand} = K \sigma'_v \tan \delta$	
$K = \frac{0.0132 q_t (\sigma'_v / p_a)^{0.13}}{\sigma'_v}$	
$f_{sres,sand} = 0.2 f_{si}$	
$f_{si,clay} = f_s$	
$f_{sres,clay} = 0.004 q_t (1 - 0.0025 q_t / \sigma'_v)$	
$q_{b,sand} = 0.15 q_t (q_t / \sigma'_v)^{0.2}$	
$q_{b,clay} = 0.6 q_t$	
f_s : 單位樁身摩擦力 f_{si} : 初始摩擦力 f_{sres} : 殘餘摩擦力 d : 計算之土層深度 p : 樁底貫入深度	k : 衰減係數 K : 側向土壓係數 δ : 介面摩擦角 q_b : 單位樁底承载力 p_a : 大氣壓力

四、樁基礎軸向承载力分析成果比較

本研究以圖 1 中三座風機之管架式樁基礎點位之土壤剖面資料及打樁紀錄，分別以 CPT-based 分析法 (ICP 法)、動力打樁公式 (Modified ENR) 和靜態打樁阻抗 (Alm and



Hamre [1]) 計算樁基礎軸向承載力，表 4 為各分析方法所得之結果。其中，ICP 法分別考慮鋼管樁內形成土塞及無土塞兩種狀況，Alm and Hamre 則預設沒有形成土塞 [1]，而 ENR 法為離岸風機管架式三樁基礎現地打樁實測結果推估承載力之平均值。

表 4 各方法之樁基礎軸向抗壓承載力計算結果

計算方法	參考點位 1	參考點位 2	參考點位 3
ICP (完全土塞)	77.05	75.09	128.32
ICP (沒有土塞)	66.93	64.38	113.73
ENR (平均值)	66.02	69.81	66.23
A&H (沒有土塞)	48.80	42.30	53.44

單位：MN

圖 5 為參考點位 3 之滑樁深度 SRD 隨深度分佈。雖然，該點位發生滑樁，但 Alm and Hamre 建議計算方法所得之土壤靜態打樁阻抗遠大於基樁和樁錘之重量 [1]，無法於分析階段提早反應應發生滑樁之深度，顯示對於圖 4 中發生滑樁時對應之土壤種類 SBT3 (黏土及粉質黏土)，明顯高估 SRD。

考量現地打樁完成後之軸向承載力為實測資料，故本研究定義正規化軸向承載力為各分析方法與 ENR 法所得成果之比值。各參考點位之正規化承載力分析成果如圖 6 至圖 8。圖 8 至圖 8 中 ENR 法計算之成果包含管架式三樁基礎三之各自對應承載力。圖 9 則為三個參考點位之無因次化軸向承載力綜合比較圖。

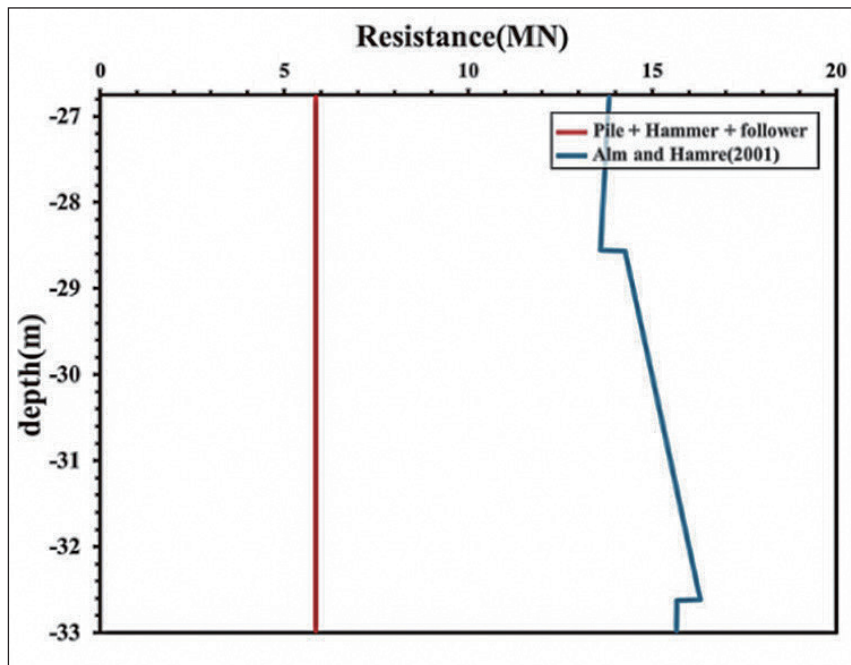


圖 5 參考點位 3 滑樁深度對應之 SRD 計算成果



圖 6 至圖 8 中，以 ICP 法考慮完全土塞時，樁基礎之設計承載力皆高於樁基礎打設完成初期之軸向承載力，且亦高於打設樁基礎所需抵抗之靜態阻抗。其中，對於未發生滑樁之參考點位 1（圖 6）及參考點位 2（圖 7），於樁基礎打設完成初期，樁基礎軸向承載力幾乎已達 ICP 分析法所計算之設計承載

力；顯示 ICP 分析法於一般樁基礎設計應用時，具有一定程度之保守性。

圖 8 中顯示發生滑樁之參考點位 3 的樁基礎軸向承載力分析成果，ICP 法所得之設計承載力遠高於動力打樁公式（Modified ENR）所得之樁基礎設置初期實測承載力。

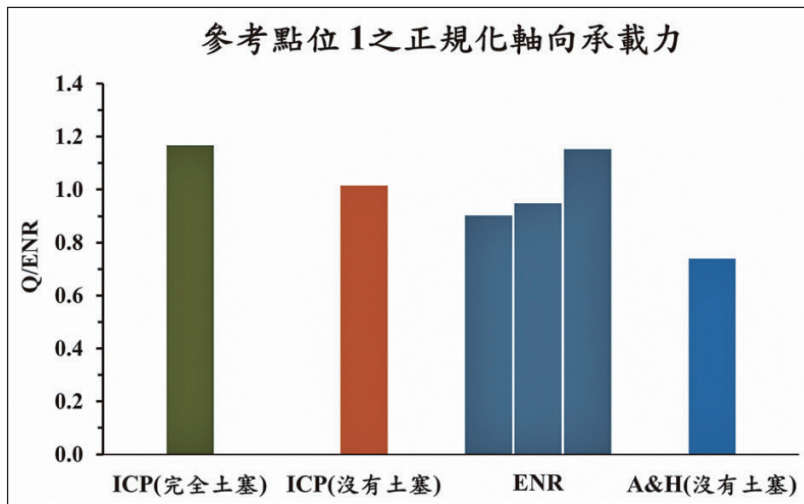


圖 6 參考點位 1 之正規化軸向承載力

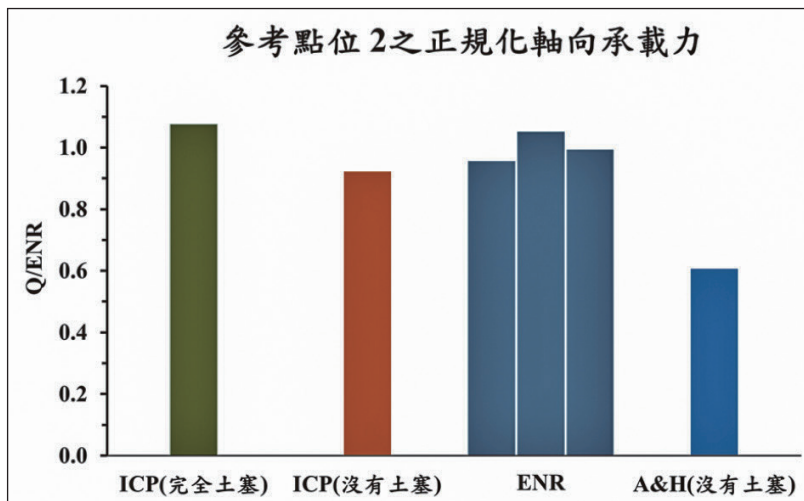


圖 7 參考點位 2 之正規化軸向承載力

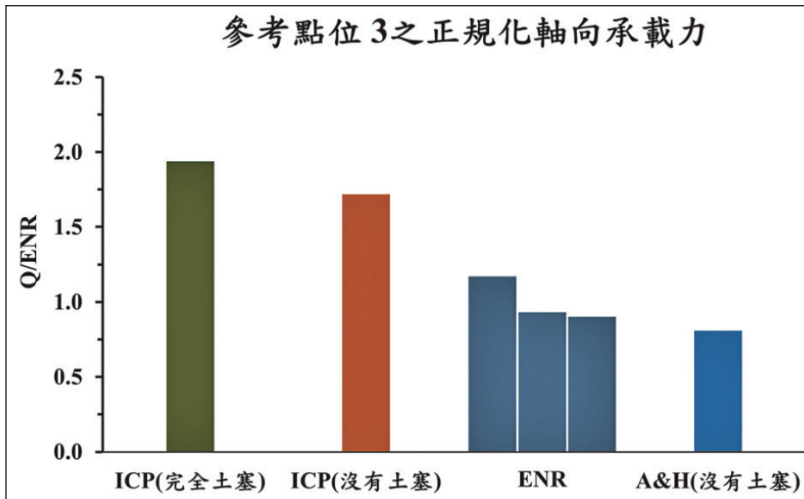


圖 8 參考點位 3 之正規化軸向承載力

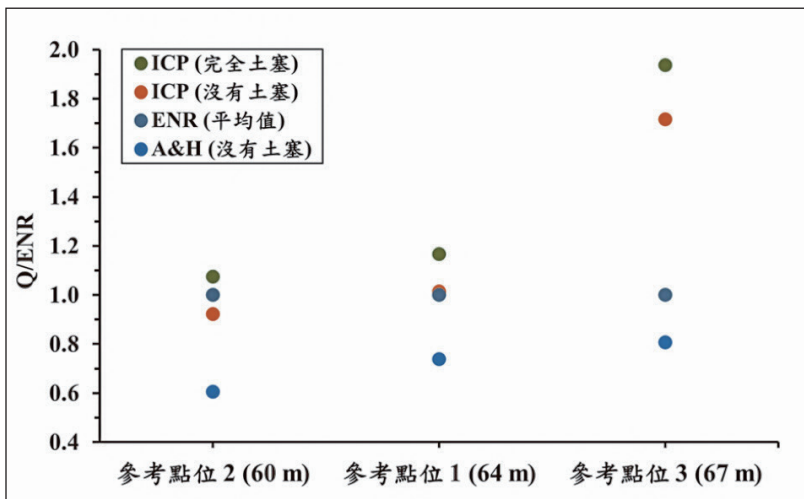


圖 9 各參考點位正規化軸向承載力比較

根據表 4 之分析成果，顯示於打樁完成初期各參考點位之樁基礎承載力均近似，唯獨參考點位 3 之長期設計承載力（ICP 分析法計算成果）遠高於參考點位 1 及參考點位 2。

參考點位 3 多為黏土及粉質黏土，夾雜局部砂質薄層，土層組成較參考點位 1 及參

考點位 2 為複雜。該點位之錐尖組抗 q_c 與袖套摩擦 f_s 於中淺層土壤普遍偏低，形成一段樁身阻抗弱層（即為滑樁深度）。土壤強度雖然隨深度逐漸提高，且樁尖位置之砂土層提供了較高之樁尖阻抗；但分析軸向承載力來源，該參考點位的樁基礎軸向承載力仍主要來自於樁身阻抗之貢獻。由圖 4 之土層剖面



可知，其 u_2 於多個深度段皆高於參考點位 1 及參考點位 2 之同類型土壤超額孔隙水壓反應，顯示 ICP 分析法可能存在高估滑樁區段土壤之摩擦阻抗可能性。

五、結論

本研究收集中能風場實際鑽探資料與打樁記錄，分析三處參考點位打樁完成時之實測軸向承載力，經與 ICP 分析法(CPT-based 分析法)計算之設計承載力比較，對於未發生滑樁之點位樁基礎承載力，ICP 分析法所得設計承載力具有一定之保守設計考量。然而，對於發生滑樁之點位，則顯示 ICP 分析法可能存在高估滑樁區段土壤之摩擦阻抗可能性。若檢視以 Alm and Hamre 計算所得滑樁深度之靜態打樁阻抗 SRD，則顯示既有分析方法可能高估 SBT3 (黏土及粉質黏土) 之土壤摩擦阻抗。透過本文初步探討中能風場參考點位之軸向承載力分析成果，後續對於土壤行為分類為黏土及粉質黏土之土層，建議審慎評估樁身摩擦阻抗。由於尚無法釐清滑樁點位之樁基礎長期受力 - 變形行為，必要時應考慮對發生滑樁之樁基礎進行長期監控，確保其功能性與承載力滿足設計要求。

誌謝

感謝中鋼公司及海洋大學委託研究計畫「離岸風場海床土壤孔隙水壓監測與水下基礎運維技術研究—海床土壤液化監測系統精進」之研究經費支持，以協助此研究順利進行。

參考文獻

1. Alm, T. and Hamre, L. (2001). "Soil model for pile driveability predictions based on CPT interpretations." Proceedings of the 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (ISSMGE), Istanbul, Turkey, 1-8.
2. Jardine, R., Chow, F., Standing, J., & Overy, R. (2005). ICP design methods for driven piles in sands and clays.
3. Lehane, B., Schneider, J., & Xu, X. (2005). "The UWA-05 method for prediction of axial capacity of driven piles in sand. In M. J. Cassidy, & S. Gourvenec (Eds.)" Proceedings of the International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics (Perth, Australia ed., Vol. n/a, pp. 683-689). CRC Press.
4. Lehane, B. M., Li, Y., & Williams, R. (2012). "Shaft capacity of displacement piles in clay using the cone penetration test." Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 139(2), 253-266.
5. Kolk, H., Baaijens, A., & Senders, M. (2005). Design criteria for pipe piles in silica sands. International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics;;2005,711-716.
6. Van Dijk & HJ Kolk, B. (2010). CPT-Based design method for axial capacity of offshore piles in clays. In Frontiers in Offshore Geotechnics II - Gourvenec & White (eds) (pp. 573-578).
7. Clausen, C.J.F. & Aas, P.M. & Karlsrud, Kjell. (2005). Bearing capacity of driven piles in sand, the NGI approach. 677-681.
8. Karlsrud, K., Clausen, C. J. F., & Aas, P. M. (2005). Bearing capacity of driven piles in clay, the NGI approach. In Proc., 1st Int. Symp. on Frontiers in Offshore Geotechnics (pp. 677-681). London: Taylor and Francis.
9. Lehane, Barry & Bittar, Eduardo & Lacasse, Suzanne & Liu, Z. & Nadim, Farrokh. (2022). New CPT methods for evaluation of the axial capacity of driven piles.
10. Kuo, Y.-S. (2019). International Workshop on Offshore Dynamic Pile Load Tests and Foundation Monitoring of Offshore Wind Turbine. Presentation.
11. Olson, R. E., & Flaate, K. S. (1967). Pile-Driving formulas for friction piles in sand. Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, 93(6), 279-296.
12. Chellis, R. D. (1961). Pile Foundations, McGraw-Hill Book Co., New York, pp 19-35.
13. Gates, M. (1957). Empirical formula for predicting pile bearing capacity. Civil Engineering, 27(3), 65-66.



14. ENR. (1965). Michigan pile test program test results are released. Engineering News-Record, May 20, 26-28, 33-34.
15. Stevens, R. S., Wiltsie, E. A., & Turton, T. H. (1982, May). Evaluating drivability for hard clay, very dense sand, and rock. In Offshore Technology Conference (pp. OTC-4205). OTC.
16. Det Norske Veritas (DNV) (1992) Classification notes No. 30.4, Foundations.
17. Alm, T. and Hamre, L. (1998). "Soil model for driveability predictions." Proceedings of the Offshore Technology Conference (OTC 8835), Houston, Texas, 4-7 May, 1-13.
18. API-RP2A-WSD (2007). "Recommended Practice for Planning, Designing and Constructing Fixed Offshore Platforms: Working Stress Design", American Petroleum Institute.