

逢甲大學學生報告 ePaper

海上打擊樁於砂土之承载力評估

Assessment of the bearing capacity of offshore driven pile in sandy soil

作者：黃普源

系級：建設規劃與工程博士學位學程二年級

學號：P1107287

開課老師：紀昭銘

課程名稱：離岸基礎工程

開課系所：土木工程學系碩士班

開課學年：112 學年度 第 1 學期



摘要

離岸工程普遍利用圓錐貫入試驗獲取土壤參數，但在國外已經有多種基於 CPT 的方法用於評估大型海洋基樁的承载力。相對而言，台灣的建築物基礎構造設計規範通常適用於較小尺寸的陸域基樁。基於此情況，本研究以台灣西部離岸和近岸海域常見的基樁類型為主，探討台灣建築物基礎構造設計規範與國外方法在砂土不同強度變化下的軸向承载力方面的差異和趨勢。基樁承载力的研究成果顯示，ICP 和 UWA 法整體上呈現較為保守的趨勢，而台灣建築物基礎構造設計規範則呈現較高的評估值。

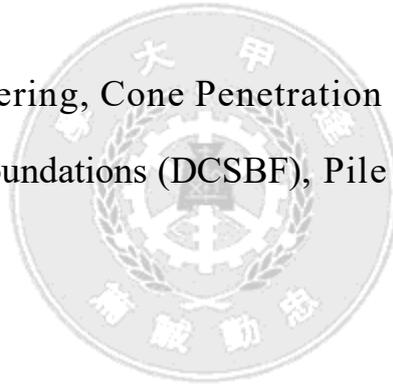
關鍵詞：離岸工程、圓錐貫入試驗、台灣建築物基礎構造設計規範、基樁軸向承载力



ABSTRACT

Offshore engineering commonly utilizes cone penetration tests (CPT) to obtain soil parameters, but various CPT-based methods have been developed abroad for assessing the bearing capacity of large marine piles. In contrast, Design Code and Specifications of Building Foundations are typically applied to smaller-sized onshore piles. Given this context, this study focuses on common pile types in the offshore and nearshore areas of western Taiwan, exploring the differences and trends in axial bearing capacity between Design Code and Specifications of Building Foundations and foreign methods under varying strengths of sandy soil. The research findings on pile bearing capacity indicate that the ICP and UWA methods generally exhibit a conservative trend, while Design Code and Specifications of Building Foundations show higher assessment values.

Keyword: Offshore engineering, Cone Penetration Test (CPT), Design Code and Specifications of Building Foundations (DCSBF), Pile axial capacity



目錄

摘要	1
ABSTRACT	2
一、 前言	4
二、 文獻回顧.....	4
2.1 Design Code and Specifications of Building Foundations (DCSBF)	6
2.2 American Petroleum Institute (API).....	6
2.3 Imperial College Pile (ICP)	7
2.4 University of Western Australia (UWA).....	7
2.5 Norwegian Geotechnical Institute (NGI)	7
2.6 Fugro.....	7
三、 均勻砂土基樁承载力分析.....	10
3.1 不同土壤強度	11
3.2 不同樁長	13
3.3 不同樁徑	13
參考文獻	15



一、前言

台灣目前正積極發展離岸風力發電產業，而水下基礎於整體風機結構的穩定性扮演重要角色。為確保下部基礎可提供足夠承載能力給上部結構，樁基礎極限承載力 (ultimate bearing capacity) 的評估是工程設計中關鍵的部分。在離岸工程中，由於作業環境、作業時間和經費的考量，廣泛運用圓錐貫入試驗來取得土層參數 (紀昭銘，2022)。CPT 使用特定規格的電子錐以等速度方式貫入土壤，連續記錄儀器的錐尖阻抗(q_c)、錐身摩擦力 (f_s)和孔隙水壓 (u_2)。由於 CPT 具有優越的重複性和可靠性，許多海上基礎設計方法都基於 CPT 相關性 (Kuo et al., 2021)。

台灣建築物基礎構造設計規範 (DCSBF) 的基樁設計通常應用於較小的陸域樁基礎，因此本研究針對台灣西部海陸域常見的基樁型式 (大口徑單樁以及套管式基樁)，運用台灣建築物基礎構造設計規範 (以下簡稱基礎規範，Design Code and Specifications of Building Foundations, DCSBF) 和國際常用的離岸基樁設計方法 (DNVGL-RP-C212, 2017)，開發模組化的自動程式 (Chao Geotechnical Anchor Program, C.GAP)。進而觀察在不同砂土土壤強度和基樁尺寸條件下，各法對軸向承載力的趨勢變化。

二、文獻回顧

基樁的極限承載力 (Q_u) 為樁底承載力 (Q_b) 與樁身摩擦力 (Q_s) 的總和 (式 1)，一般樁底型式可分為封閉樁 (Close-Ended Pile) 及開口樁 (Open-Ended Pile)。圖 1(a)為封閉樁承載機制示意圖，封閉樁打入土層時容易讓周圍的土壤產生較大的擠壓效應進而獲得較高的樁底承載力，但若基樁尺寸較大時可能發生樁底承載力過高從而導致基樁無法打入較深的土層造成施工困難，故在離岸工程中多採用開口樁。開口樁之 Q_b 評估須考慮土壤栓塞 (soil plug) 的影響，土壤

栓塞的形成受到基樁安裝方法、基樁管徑、基樁埋置深度與土層性質的影響。圖 1(b)與圖 1(c)分別為非閉塞樁 (Unplugged Pile) 與閉塞樁 (Plugged Pile) 承載機制示意圖。當基樁內徑較大時開口樁在安裝過程中土壤持續擠入基樁內部，該情況稱為非閉塞樁，其 Q_b 為樁環承载力 ($Q_{b,annulus}$) 與內壁摩擦力 ($Q_{s,internal}$) 的總和(式 2)。反之，當土壤擠入基樁內部時產生的內壁摩擦力大於樁底承载力時土壤將不再擠入管內，該情況稱為閉塞樁，其 Q_b 是以類似閉口樁的樁底承载力方式計算(式 2)。式 1 與式 2 中 f_s 為單位樁身摩擦應力、 q_b 為單位樁底阻抗、 A_s 為樁表面積、 A_b 為樁底面積、 A_a 為樁環面積、 D 為樁外徑、 D_i 為樁內徑、 ΔZ 為單位分析深度。

基樁的極限承载力 (Q_u) 可被表示為樁底承载力 (Q_b) 和樁身摩擦力 (Q_s) 的總和 (式 1)。通常基樁可以分為封閉樁 (Close-Ended Pile) 與開口樁 (Open-Ended Pile)。圖 1(a)顯示了封閉樁的承載機制，當封閉樁打入土層時，容易引起周圍土壤的擠壓效應，進而獲得較高的樁底承载力。然而，如果基樁尺寸較大，可能會導致樁底承载力過高，使得基樁難以打入深層土層，造成施工困難。因此，在離岸工程中通常採用開口樁。開口樁的樁底承载力 (Q_b) 的評估需要考慮土壤栓塞 (soil plug) 的影響，土壤栓塞的形成受到基樁安裝方法、基樁管徑、基樁埋置深度和土層性質的影響。圖 1(b)和圖 1(c)分別展示了非閉塞樁 (Unplugged Pile) 和閉塞樁 (Plugged Pile) 的承載機制示意圖。當基樁內徑較大時，開口樁在安裝過程中會持續擠入土壤，這種情況稱為非閉塞樁，其樁底承载力 (Q_b) 是樁環承载力 ($Q_{b,annulus}$) 與內壁摩擦力 ($Q_{s,internal}$) 的總和 (式 2)。相反，當土壤擠入基樁內部時，產生的內壁摩擦力大於樁底承载力時，土壤將不再擠入管內，這種情況稱為閉塞樁，其樁底承载力 (Q_b) 以類似閉口樁的方式計算(式 2)。在式 1 與式 2 中， f_s 表示單位樁身摩擦應力、 q_b 表示單位樁底阻抗、 A_s 表示樁表面積、 A_b 表示樁底面積、 A_a 表示樁環面積、 D 表示樁

外徑、 D_i 表示樁內徑、 ΔZ 表示單位分析深度。

$$Q_u = Q_s + Q_b = f_s A_s + q_b A_b = \pi D \sum f_s \Delta Z + q_b A_b \quad \text{式 1}$$

$$Q_b = \min(Q_b, Q_{ba} + Q_{si}) = \min(q_b A_b, q_b A_a + \pi D_i \sum f_s \Delta Z) \quad \text{式 2}$$

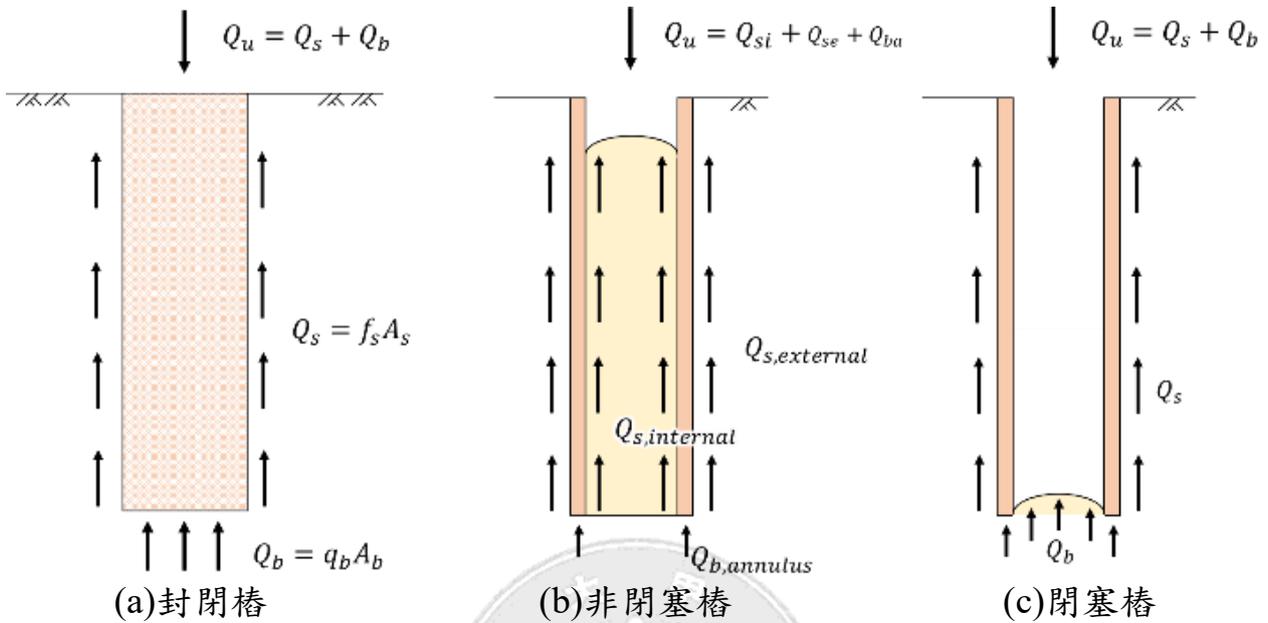


圖 1 基樁承載機制示意圖

本文統整 DCSBF、API、ICP、UWA、NGI、Fugro 等六種方法的基樁軸向承載力計算方式如表 1 與表 2。簡述如下：

2.1 Design Code and Specifications of Building Foundations (DCSBF)

內政部營建署 (2023) 在基樁承載力分成靜力學法及 CPT 法兩種。靜力學公式依據極限平衡理論推導而得，黏土承載力評估是基於不排水剪力強度 S_u 分析，且 f_s 據不同土層條件及基樁埋置深度所對應折減係數 α 皆不同。砂土的承載力評估採用有效應力概念分析，且在 f_s 、 q_b 考慮臨界深度的限制，規範建議基樁埋入深度超過 20 倍樁徑時 f_s 、 q_b 趨於定值。CPT 法是基於錐尖阻抗 q_c 預測砂土層基樁承載力。

2.2 American Petroleum Institute (API)

美國石油協會 API 採用靜力學方法進行基樁軸向承載力的分析 (API, 2014)，砂土承載力評估採用有效應力法，黏土承載力評估採用總應力法。

2.3 Imperial College Pile (ICP)

ICP 法是英國倫敦帝國學院發展離岸打擊樁軸向承載力的設計方法，此法彙整過往倫敦帝國理工學院的研究成果 (Jardine et al., 2005)。ICP 法提出砂、黏土栓塞的判定方式，並認為內徑大於 1.4m 的樁在砂土層加載過程中可視為非閉塞樁。

2.4 University of Western Australia (UWA)

西澳大利亞大學 Lehane 等人因應美國石油協會 API 的要求，對 API、Fugro、ICP 及 NGI 四種方法進行資料比較，並在過程中研發出 UWA 法。此法可參閱 Lehane et al. (2005) 等文獻。UWA 在開口樁部分為考慮增量填充比 IFR、最終填充比 FFR 以及部分長度比率 PLR 的概念，IFR 表示開口樁中土壤填入樁內長度與基樁埋置深度的比值、FFR 表示最終的 IFR，PLR 則代表黏土在開口樁時土壤填充之程度。

2.5 Norwegian Geotechnical Institute (NGI)

NGI 是由挪威地工學院 (Norwegian Geotechnical Institute, NGI) 依據其過去數據庫的資料所提出 (Clausen et al., 2005)。砂土的分析方式大致與 API 相同，不同的地方在砂土單位內摩擦應力 f_s 為單位外摩擦應力 f_s 的 3 倍 (Clausen et al., 2005)。

2.6 Fugro

荷蘭 FUGRO 公司受到美國石油協會 API 委託改進基樁設計，Fugro 依據 API、ICP 的設計標準與數據庫結果提出基樁軸向承載力的新方法。此法可參閱 Kolk et al. (2005) 文獻。

表 1 砂土打擊樁之樁身摩擦計算方法

評估方法		設計公式
靜力 學法	DCSBF-SM	$f_s = \beta \sigma'_{v0} = (k \tan \delta_{cv}) \sigma'_{v0}$
	API	k 為側向土壓力係數； δ_{cv} 為樁土界面摩擦角； σ'_{v0} 為有效覆土壓力
CPT 分析 法	DCSBF-CPT (tf/m ²)	$f_s = q_c/60 \quad (q_c \leq 500)$
		$f_s = q_c/150 \quad (500 \leq q_c \leq 1200)$
		$f_s = q_c/100 \quad (q_c > 1200)$ ≤ 15
	ICP	$f_s = \sigma'_{rf} \tan \delta_{cv} = (\sigma'_{rc} + \Delta\sigma'_{rd}) \tan \delta_{cv}$ $= a \times (0.029 \times b \times q_c (\sigma'_{v0}/P_a)^{0.13} \times [\max(\frac{h}{R^*}, 8)]^{-0.38} + \Delta\sigma'_{rd}) \tan \delta_{cv}$ <p>開口拉力樁採用 $a = 0.9$；其他型式樁採用 $a = 1$</p> <p>壓力樁採用 $b = 1$；拉力樁採用 $b = 0.8$</p> <p>σ'_{rf} 為軸破壞點的徑向有效應力 (radial effective stress at point of shaft failure)。</p> <p>σ'_{rc} 為均衡徑向有效應力 (equalised radial effective stress)。</p> <p>$h = L - z$，h 為樁尖相對深度，L 為樁長，z 為土壤深度。</p> <p>P_a 為一大氣壓 100kPa。</p> <p>R^* (等效半徑) = $(R^2 - R_i^2)^{0.5}$，R 為樁外半徑，R_i 為樁內半徑。</p> <p>$\Delta\sigma'_{rd}$ 為基樁加載過程中局部徑向有效應力的膨脹增量 (dilatant increase in local radial effective stress during pile loading) $\Delta\sigma'_{rd} = 2G\Delta r/R$；</p> <p>$G = q_c / (0.0203 + 0.00125\eta - 1.216 \times 10^{-6}\eta^2)$；$\eta = q_c (P_a \sigma'_{v0})^{-0.5}$；</p> <p>$\Delta r$ 為樁土界面膨脹量，ICP 建議取 0.02mm</p>
UWA	$f_s = \sigma'_{rf} \tan \delta_{cv} = (\sigma'_{rc} + \Delta\sigma'_{rd}) \tan \delta_{cv}$ $= \frac{f_t}{f_c} (0.03 \times q_c \times (A_{r,eff})^{0.3} \times [\max(\frac{h}{D}, 2)]^{-0.5} + \Delta\sigma'_{rd}) \tan \delta_{cv}$ <p>壓力樁採用 $\frac{f_t}{f_c} = 1$；拉力樁採用 $\frac{f_t}{f_c} = 0.75$</p> <p>σ'_{rf} 為破壞時徑向有效應力 (radial effective stress at failure)。</p> <p>σ'_{rc} 為安裝均衡後徑向有效應力 (radial effective stress after installation and equalization)。</p> <p>$A_{r,eff} = 1 - IFR(D_i/D)^2$；$IFR = \min[1, (D_i/1.5)^{0.2}]$</p> <p>$D$ 為樁外直徑；D_i 為樁內直徑。</p> <p>$\Delta\sigma'_{rd}$ 為因應力加載路徑 (膨脹) 而導致的徑向應力變化 (change in radial stress due to loading stress path (dilation)) $\Delta\sigma'_{rd} = 2G\Delta r/R$；</p>	

海上打擊樁於砂土之承载力評估

	$G = 185 \cdot q_{c1N}^{-0.75}$; $q_{c1N} = (q_c/P_a)/(\sigma'_{v0}/P_a)^{0.5}$; Δr 為樁土界面膨脹量，建議取 0.02mm ;
NGI	$f_s = \frac{z}{L} \cdot P_a \cdot F_{Dr} \cdot F_{Sig} \cdot F_{tip} \cdot F_{load} \cdot F_{mat}$ z 為土壤深度， L 為樁長。 F_{Dr} 為相對密度因子 ($F_{Dr} = 2.1(D_r - 0.1)^{0.17}$)。 D_r 為相對密度 ($D_r = 0.4 \cdot \ln\{q_c/[22(\sigma'_{v0}P_a)^{0.5}]\}$)。 F_{Sig} 為現地應力因子 ($F_{Sig} = (\sigma'_{v0}/P_a)^{0.25}$)。 F_{tip} 為樁底因子，開口樁採 1.0，閉口樁採 1.6。 F_{load} 載重因子，抗拉採 1.0，抗壓採 1.3。 F_{mat} 為材料因子，鋼管樁採 1.0，混凝土樁採 1.2。
Furgo	$f_s = 0.08q_c \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right)^{0.05} \left(\frac{h}{R^*}\right)^{-0.9}$ $\frac{h}{R^*} \geq 4$ (Compression Loading)
	$f_s = 0.08q_c \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right)^{0.05} (4)^{-0.9} \left(\frac{h}{4R^*}\right)$ $\frac{h}{R^*} < 4$ (Compression Loading)
	$f_s = 0.045q_c \left(\frac{\sigma'_{v0}}{P_a}\right)^{0.15} \times [\max\left(\frac{h}{R^*}, 4\right)]^{-0.85}$ (tension Loading)
	$h = L - z$ ， h 為樁尖相對深度， L 為樁長， z 為土壤深度。 R^* (等效半徑) = $(R^2 - R_i^2)^{0.5}$ ， R 為樁外半徑， R_i 為樁內半徑。

表 2 砂土打擊樁之樁底阻抗計算方法

評估方法		設計公式
靜力 學法	DCSBF-SM	$q_b = N_q \sigma'_v$
	API	σ'_{v0} 為有效覆土壓力； N_q 為承载力因子； Δz 為土層厚度
CPT 分析法	DCSBF CPT	$q_b = 0.5 \times q_{c,avg}$ $q_{c,avg}$ 為樁底上下 1.5 倍樁徑範圍內的錐尖阻抗平均值
	ICP	若(1) $D_i < 0.02(D_r - 30)$ 或(2) $D_i < 0.083(q_{c,avg}/P_a) \cdot D_{cpt}$ 其一項成立，基樁發生 栓塞效應。(1) 發生栓塞效應之基樁承载力不可小於未發生栓塞效應之基樁承载力； (2) 對於 $D > 0.9m$ 的基樁建議 q_b 不得小於 $0.15q_c$ $q_{b,plug} = (0.5 - 0.25 \log(D/D_{cpt})) \times q_{c,avg}$ $q_{b,unplug} = q_{c,avg}$ $q_{c,avg}$ 為樁底上下 1.5 倍樁徑範圍內的錐尖阻抗平均值 D 為樁外直徑； D_i 為樁內直徑； D_{cpt} 為 CPT 探頭直徑，ICP 採用 0.036 公尺；

海上打擊樁於砂土之承载力評估

UWA	$q_b = (0.15 + 0.45 \times A_{r,eff}) \times q_{c,avg}$ $q_{c,avg}$ 為樁底上下 1.5 倍樁徑範圍內的錐尖阻抗平均值 D 為樁外直徑； D_i 為樁內直徑； $A_{r,eff} = 1 - FFR(D_i/D)^2$ ； $FFR = \min[1, (D_i/1.5)^{0.2}]$ A_r 為有效面積比($A_r = 1 - (D_i/D)^2$)
NGI	$q_{b,plug} = 0.7 \cdot q_{c,avg} / (1 + 3D_r^2)$ $q_{b,unplug} = q_{c,avg}$ $q_{c,avg}$ 為樁底上下 1.5 倍樁徑範圍內的錐尖阻抗平均值 D 為樁外直徑； D_i 為樁內直徑； D_r 為相對密度 ($D_r = 0.4 \cdot \ln\{q_c/[22(\sigma'_{v0}P_a)^{0.5}]\}$)
Furgo	$q_b = 8.5 \times P_a \sqrt{\frac{q_{c,avg \pm 1.5D}}{P_a}} \times A_r^{0.25}$ $q_{c,avg}$ 為樁底上下 1.5 倍樁徑範圍內的錐尖阻抗平均值 P_a 為一大氣壓(100kPa)； D 為樁外直徑； D_i 為樁內直徑； D_{cpt} 為 CPT 探頭直徑，ICP 採用 0.036 公尺； A_r 為有效面積比($A_r = 1 - (D_i/D)^2$)

三、 均勻砂土基樁承载力分析

本章節假設海床下有一均勻砂土層厚度為 100m，依據臺灣某西部海域資料所假設土層參數，本研究之砂土分析參數如表 3 所示，且 CPT 錐尖阻抗採用經驗公式 ($\tan\phi = [\log(q_t/\sigma'_{v0}) + 0.29]/2.68$) 推估砂土所得之 q_t 隨深度變化曲線如圖 2 所示。比較不同條件下各方法所計算出的基樁承载力。

表 3 砂土分析參數表

	UB	BE	LB
$\gamma_t(kN/m^3)$	19	19	19
$\phi(^{\circ})$	35	30	25
$\delta_{cv}(^{\circ})$	30	25	20
N_q	40	20	12
k_0	0.426	0.5	0.577

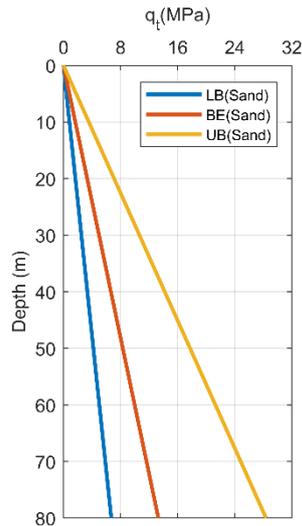


圖 2 q_t profile

3.1 不同土壤強度

在基樁尺寸皆為樁長=60m、樁外徑=4m、樁內徑=3.9m，而土壤強度不同的情況下，從圖 3 可以觀察到單位摩擦應力 f_s 在疏鬆砂前半段是 API = CT > CT - CPT > NGI > ICP > UWA > FUGRO，靠近樁底則是 FURGO > CT > CT - CPT > NGI > ICP > UWA；中等緊密砂前半段是 CT-CPT 最大，其餘跟疏鬆砂趨勢一樣；緊密砂前半段與中等緊密砂趨勢一樣，靠近樁底則是 FUGRO > ICP > CT - CPT > CT > NGI > UWA > API。另外也可以觀察到土壤強度及埋置深度越大摩擦應力 f_s 會越大，且各方法趨勢大致變化不大，只有建技 CPT 法在三種強度中都不太一樣。

圖 4 為各方法在不同土壤中單位樁底阻抗曲線圖。CT、ICP 在疏鬆砂前半段會小於 API，但隨著深度及強度變大兩者會靠近 API，甚至在緊密砂時 CT 會大於 API。趨勢方面各方法近乎一致與摩擦應力 f_s 一樣會隨著土壤強度及埋置深度改變，另外 ICP 在後段皆有突然變小的趨勢。

海上打擊樁於砂土之承載力評估

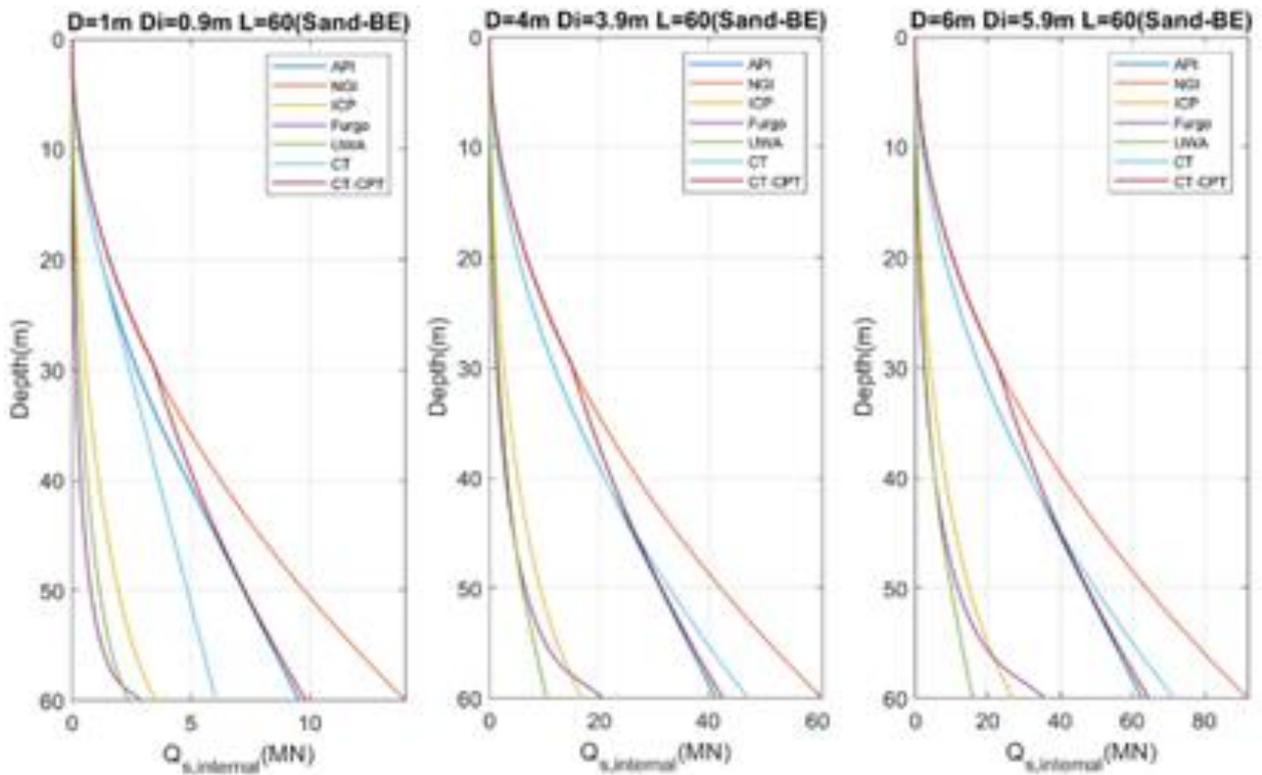


圖 3 各方法在不同樁徑之內摩擦力 Q_s

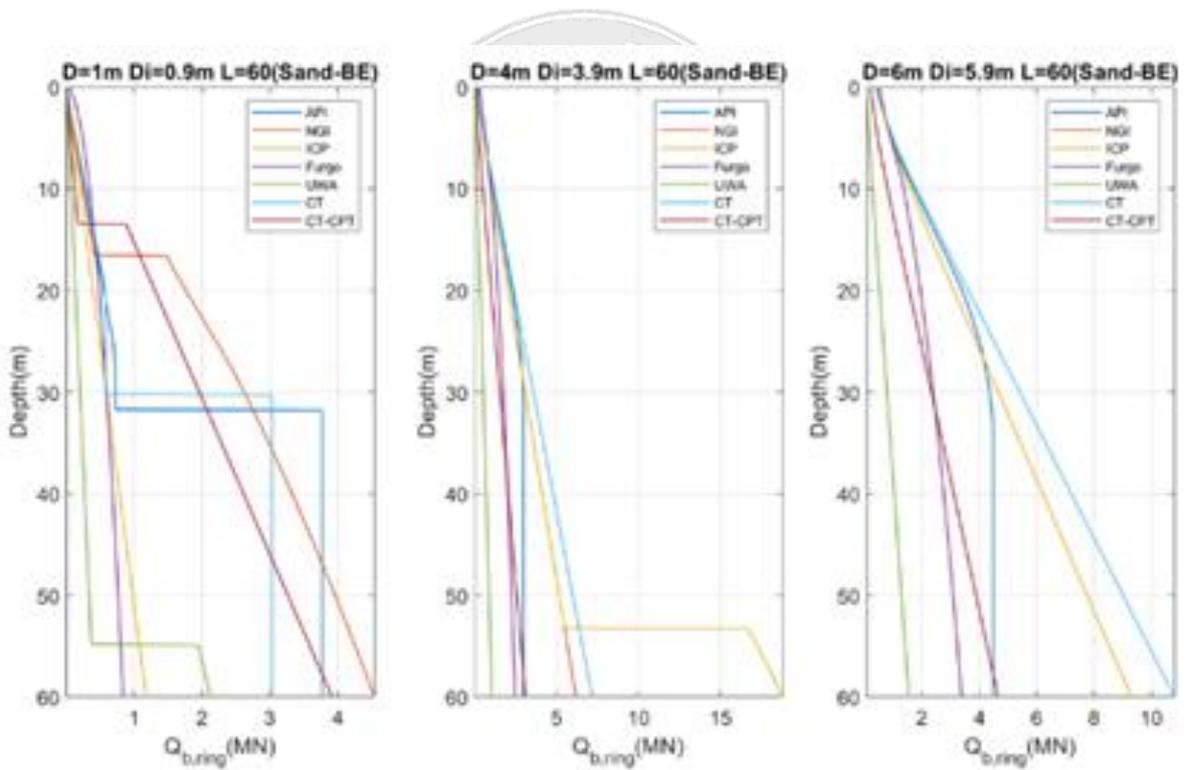


圖 4 各方法在不同樁徑之樁環承載力 Q_b

3.2 不同樁長

假設基樁打入至緊密砂且樁外徑=4m、樁內徑=3.9m，討論在樁長=20m、40m、60m、80m 情形下各方法基樁承载力的變化。圖 5 為各方法在不同樁長下的單位摩擦應力 f_s ，可觀察到 CT、CT-CPT 及 API 其摩擦應力呈現相同的線性關係，而 NGI、ICP、UWA、FUGRO 在不同樁長處會發生斷層，且每段斜率也會隨樁長變化，是由於這四種方法其單位摩擦應力 f_s 皆有考慮樁長 L 的變數；各方法其單位樁底阻抗 q_b 不會因為樁長而產生斷層，故樁長改變對於摩擦應力影響較大。

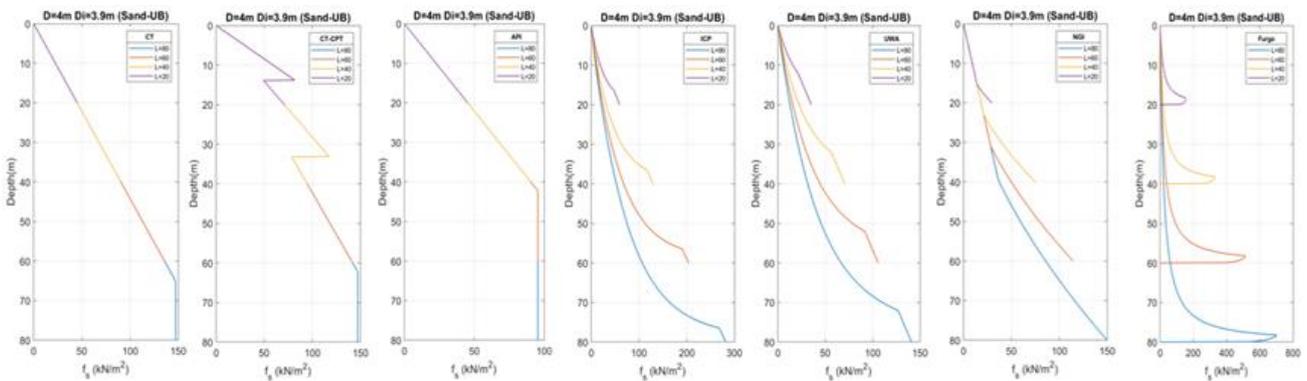


圖 5 各方法在不同樁長下的單位摩擦應力 f_s

3.3 不同樁徑

若基樁打入至中等緊密砂且樁長=60m、壁厚=0.05m，且樁外徑 6m、4m、1m 的條件下，探討不同樁徑對於基樁承载力的影響。圖 6 與圖 7 分別為各方法在不同樁徑其內摩擦力 Q_s 與樁環承载力 Q_b 的趨勢圖。內摩擦力部分可以觀察到各方法的趨勢大致相同，NGI、CT-CPT、CT、API 相對於 ICP、UWA、FUGRO 而言數值較大尤其是 NGI，是因 NGI 在砂土的內摩擦應力為外摩擦應力的 3 倍，其餘方法的內摩擦應力皆等於外摩擦應力；而樁環承载力部分有些方法有斷層的產生，代表該方法已達到栓塞，且樁徑越小其發生栓塞的機率越大。

海上打擊樁於砂土之承载力評估

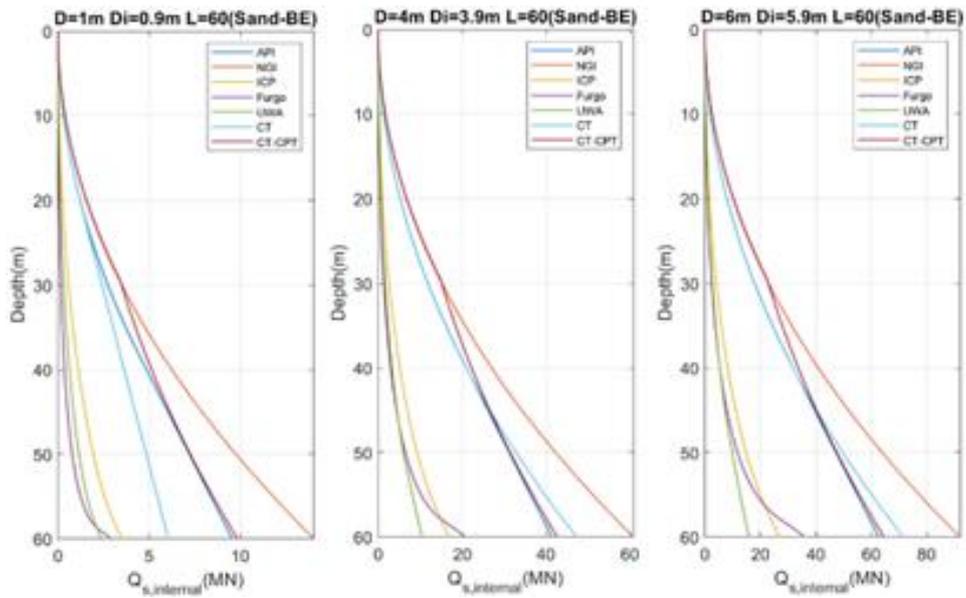


圖 6 各方法在不同樁徑之內摩擦力 Q_s

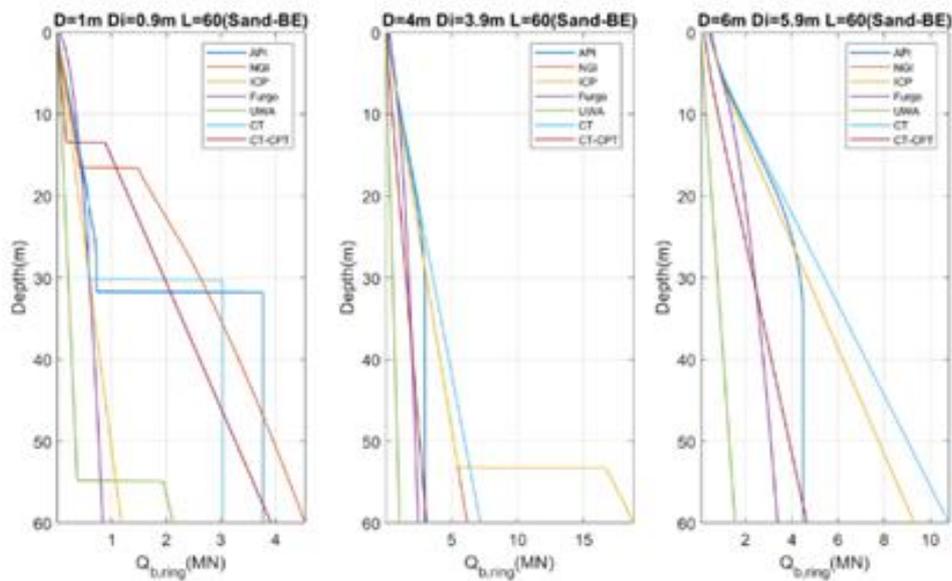


圖 7 各方法在不同樁徑之樁環承载力 Q_b

參考文獻

1. 內政部營建署，建築物基礎構造設計規範 (2023)。
2. 紀昭銘、黃普源、林正山、李宥霖、程毓仁與姜良宇，「基於 CPT 設計法的基樁軸向承載力之案例研究」，第 44 屆海洋工程研討會，國立中山大學，第 597–602 頁 (2022)。
3. American Petroleum Institute (API), “Geotechnical and Foundation Design Considerations,” API RP 2GEO, (2014).
4. Clausen, C.J.F., Aas, P.M., and Karlsrud, K., “Bearing Capacity of Driven Piles in Sand, the NGI Approach,” *Proceeding of International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics*, Perth, pp. 677-682 (2005).
5. DNVGL-RP-C212, “Offshore soil mechanics and geotechnical engineering,” (2017).
6. Jardine, R.J., Chow F.C., Overy R., and Standing J., *ICP design methods for driven piles in sands and clays*, Thomas Telford, London (2005).
7. Kolk, H.J., Baaijens, A.E., and Senders, M., “Design criteria for pipe piles in silica sands,” *Proceeding of International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics*, Perth, pp.711-716 (2005).
8. Kuo, Y.S., Chong, K.C., Chang, S.C., Chi, J.F., and Hsu, H.T., “A hybrid method to evaluate soil liquefaction potential of seabed at offshore wind farm in Taiwan,” *Energies*, Vol. 14, No. 7, 1853(2021).
9. Lehane, B.M., Schneider, J.A., and Xu, X., “The UWA-05 method for prediction of axial capacity of driven piles in sand,” *Proceeding of International Symposium on Frontiers in Offshore Geotechnics*, Perth, pp.683-689 (2005).