

離岸風電基樁單樁淘刷之探討

衛紀淮 交通部運輸研究所臺灣技術研究中心副研究員

摘要

在海洋環境中放置一個結構物，勢必造成流場的改變，流場局部加速度及紊流的產生，也提升了泥沙傳輸的淺能，所以更多的泥沙受到抬升後被水流帶走，這種局部侵蝕的現象稱為淘刷，因為結構物需要底床泥沙去平衡基樁載重，固其對於結構之穩定性影響甚鉅。

現今對於淘刷的文獻中，探討的幾乎都是相對細基樁之淘刷，其物理機制主要是因為水流經過基樁，由於黏滯力的作用，在靠近基樁表面的流體會出現邊界層而產生分離，因此產生渦流，而渦流則是造成淘刷之主因(Sumer,2002)。但在相對粗大之基樁，水流方離的效應不明顯，相對地，其造成波場的折射跟繞射現象效應才是造成淘刷的原因，而粗基樁造成的淘刷程度相比細樁來說小很多(Haddorp,2005)。

在設計離岸風電基樁的實際案例中，除了考量一般季風條件下之最大平衡淘刷深度以外，還須考慮極端氣候狀態下之平衡淘刷深度，在一般季風條件下，其物理現象大都接近於粗樁，但是在極端氣候，本研究考慮各迴歸週期之極端颱風條件下，由於海氣象條件的改變，其物理現象則接近於細樁，而極端颱風下之波浪尖銳度，有可能超過極限而產生碎波，碎波對於淘刷深度之影響有加成之效果，可能造成嚴重之淘刷進而影響結構物之安全(Sumer and Fredsøe,2001)。

本研究使用交通部運輸研究所於臺中港長期之波流觀測資料(邱永芳、蔡立宏、廖慶堂等，2017)，配合離岸風電基樁實際設計條件(台灣電力公司，2015)，推算基樁單樁之淘刷深度，以供未來相關港灣工程參考。

一、基樁淘刷過程機制

1.1 淘刷水動力過程

當放置一個結構物於海洋中，波流場皆受到影響，原來之流線受到擠壓而造成水粒子加速，產生明顯之壓力差，而根據不同的結構物形狀，可能產生紊流或是波浪之反射現象。

1. 流體流經細樁與粗樁:

而根據管徑的大小以及不同之物理機制，又可細分為細樁與粗樁，若流體經過細樁，則由於邊界層之產生，造成流體分離，並在尾流產生渦流之現象，此渦流為細樁產生淘刷之主因。而在粗樁中，相對於細樁，其對於流場之“抵抗”更大，流體之反射與繞射現象產生，而造成的水流速度的增加，為淘刷之主因。

那多細稱為細樁?而多粗才足夠稱為粗樁呢?以下針對兩種不同的分類，以及其造成淘刷之物理機制再做更細部的探討。

2. 流體分離現象:

如圖 1，對於 KC 值(Keulegan-Carpenter number)大於 $O(1)$ 或是雷諾數 $Re > 5$ 時，流體經過基樁圓柱會產生分離現象(Sumer and Fredsøe,2002)，其主要原因為流體碰到圓柱而往不同方向運動所造成。

而 KC 值為一根波流運動以及雷諾數有關之參數。在探討離岸風電基樁受淘刷之影響時，波跟流常常同時發生，因此 KC 值的尺度大小為一重要之考慮數值。

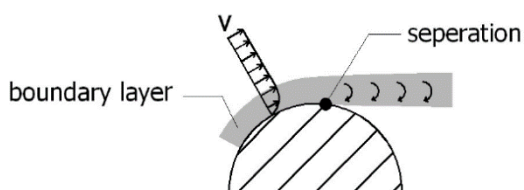


圖 1 流體分離現象示意圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

3. 尾流渦流:

流體分離後，根據擾動的情況大致可分為四種情況(如下圖 2)，而同樣地，有明顯尾流渦流情況發生在 KC 值大於 $O(1)$ 或是 $Re > 5$ 時，而如果尾流渦流產生，其將會攜帶大量的能量，因此具有地形動力過程(淘刷)之影響能力。

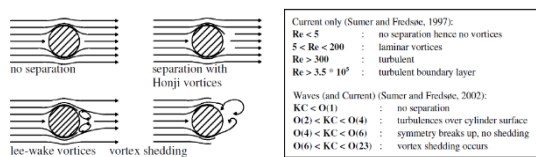


圖 2 尾流渦流示意圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

4. 馬蹄型渦流:

類似於尾流渦流之原理，在邊界層中不均勻之速度分布，將造成流體的轉動效應，而其於基樁圓柱前翻轉的形狀像個馬蹄，故得此名。如圖 3，其是由於上下壓力差所造成，馬蹄型渦流為一垂直向之渦流。而在 KC 值小於 $O(6)$ 之情況，馬蹄型渦流效應不明顯。

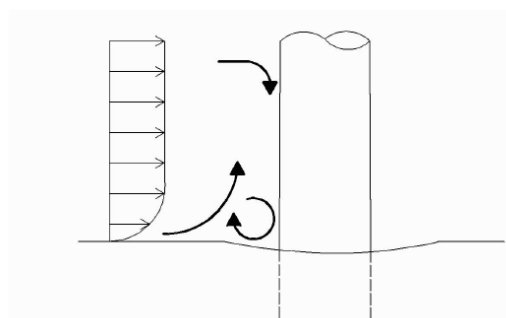


圖 3 馬蹄型渦流示意圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

5. 反射和繞射現象:

如圖 4，波浪遇到結構物會反射和繞射，但只限於粗樁中，Hoffmans 和 Verheij(1997)定義基樁直徑與波浪波長之比值 D/L 大於 0.1 之粗樁中才會有此現象，而 Sumer 和 Fredsøe(2002)則定義 D/L 大於 0.2 才會有此現象。

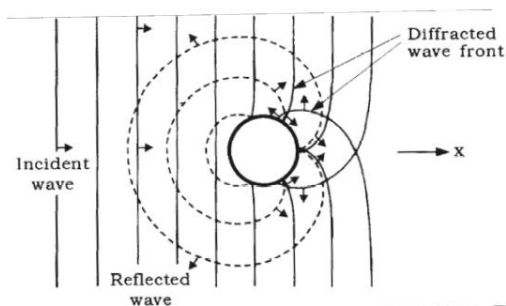


圖 4 反射繞射現象示意圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

6. 不同流體機制分類:

如圖 5~圖 8，Haddorp, R. (2005) 根據描述不同現象及造成淘刷的物理機制，可大致分成三大類:

其中 KC 值大於 $O(6)$ 為細樁(slender piles)、 KC 值小於 $O(1)$ 為粗樁(large piles)，而 KC 值介於 $O(1)$ 與 $O(6)$ 間稱為介於粗樁與細樁之間的中間樁(intermediate piles)。

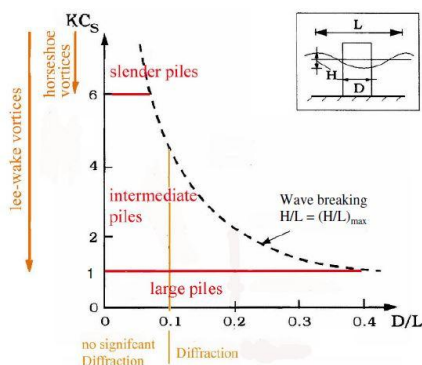


圖 5 不同 KC 值分類圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

而 KC 值之定義如下:

$$KC = \frac{U_m T}{D} \approx \frac{2\pi a}{D} = \frac{\pi H}{D \sinh(kh)}$$

其中:

u_m :最大自由流速[m/s]

T:波浪週期[s]

D:基樁圓柱直徑[m]

a:自由移動高度[m]

h:水深[m]

H:波高[m]

其分別之物理機制如下圖:

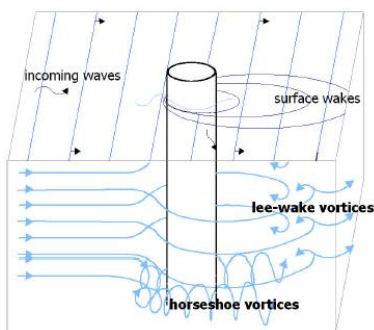


圖 6 細樁淘刷物理機制示意圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

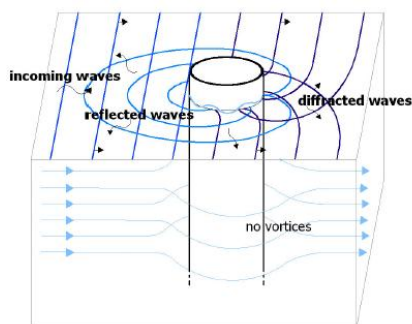


圖 7 粗樁淘刷物理機制示意圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

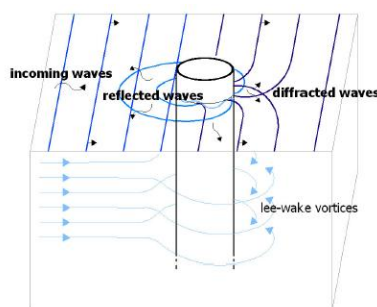


圖 8 介於粗細樁之間淘刷物理機制示意圖

(圖片來源:參考文獻 9.)

這些分類標準主要參考 Sumer 和 Fredsøe(2002)所定義之標準，在不同的文獻中，分類的標準上有一些區別，其中 Sumer 和 Fredsøe(2002)反繞射現象定義在 $D/L > 0.2$ 的標準，與 Hoffmans 和 Verheij(1997)所定義 $D/L > 0.1$ 不同。

文獻上對於細樁的淘刷過程及了解也是最多的，而介於粗與細之間的樁了解最少，因為其需一併考慮反繞射現象以及渦流的物理機制。

7. 碎波:

淘刷中另外一個影響的因子是碎波，因為碎波的發生，會瞬間增加造物周圍淘刷的潛勢；而波浪產生碎波時是達到最大的波浪尖銳度 $(H/L)_{max}$ 。在深水區 $(h/L > 0.5)$ 或中間水深區 $(0.5 > h/L > 0.05)$ 中，依據 Miche(1951)所定義最大的波浪尖銳度為:

$$(H/L)_{\max} = 1/7 \cdot \tanh(kh)$$

其中:

H:波高[m]

L:波長[m]

k:波數[-]

h:水深[m]

1.2 淘刷地形動力過程

基樁圓柱淘刷探討的對象主要都是非黏性砂，黏性砂有更好的淘刷防護力，因為其黏性力能有效減緩淘刷過程；但在實際應用中，非黏性砂之底床為較普遍存在並且討論研究的。

而淘刷的地形動力過程，追溯到個別沙粒之受力情形，之後探討底床剪應力及其伴隨淘刷之產生。

1. 作用在個別顆粒之力:

沙粒的運動可以受力達到平衡狀態時來描述，因此了解個別沙粒之受力，有助於之後探討淘刷之過程。

傾向讓沙粒固定於原處的力稱為抗力，傾向讓沙粒運動的力稱為動力，在靜力學分析中，唯一的抗力是重力，而動力則是阻力、升力以及慣性力。

2. 重力:

如圖 9，位於液體中之沙粒重力其體積乘上沙粒原先之密度並扣掉流體密度，因此重力之表示式為:

$$F_G = (\rho_s - \rho)gV$$

其中:

F_G :重力[N]

ρ_s :沙粒密度[kg/m³]

ρ :流體密度[kg/m³]

g :重力加速度[m/s²]

V :沙粒體積[m³]

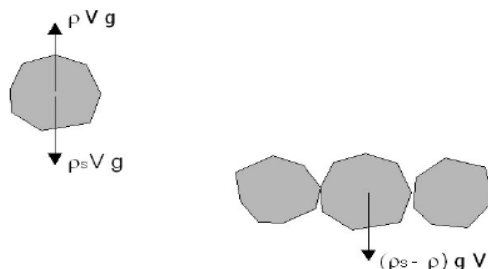


圖 9 重力示意圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

3. 阻力:

如圖 10，流體通過沙粒，由於分壓之產生，而形成一阻力，阻力可表示為:

$$F_D = \frac{1}{2} C_D \rho u_b^2 A_D$$

其中:

F_D :阻力[N]

C_D :阻力係數[-]

ρ :流體密度[kg/m³]

u_b :接近底床之流體速度[m/s]

A_D :沙粒接觸表面積[m²]

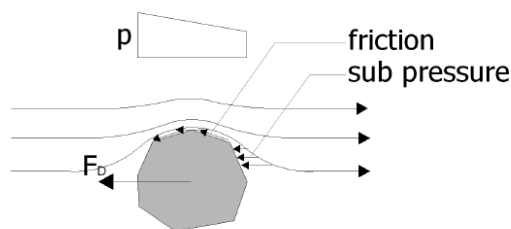


圖 10 阻力示意圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

4. 升力:

如圖 11，升力的造成主要是因為沙粒上方的壓力較小，有一往上的力，可表示為:

$$F_L = \frac{1}{2} C_L \rho u_b^2 A_L$$

其中:

F_L :升力[N]

C_L :升力係數[-]

ρ :流體密度[kg/m³]

u_b :接近底床之流體速度[m/s]

A_L :沙粒接觸表面積[m²]

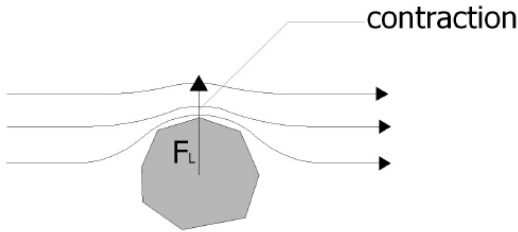


圖 11 升力示意圖

(圖片來源:參考文獻 9.)

5. 慣性力:

根據牛頓第二運動定律，加速度的物體會傳遞慣性力，因此，加速度水粒子會施加慣性力於沙粒上，Morison(1950)提出一條式子計算阻力與慣性力:

$$F = F_D + F_i = \frac{1}{2} C_D \rho A u_b |u_b| + C_M \rho V \frac{D u}{D t}$$

其中:

F :作用於沙粒單位面積之力[N/m²]

F_D : 單位面積阻力[N/m²]

F_i : 單位面積慣性力[N/m²]

C_D :阻力係數[-]

C_M :形狀係數[-]

ρ :流體密度[kg/m³]

6. 底床剪應力:

最常描述沙粒運動的參數是使用 Shields parameter。Shields(1936)認為沙粒運動可以用臨界剪應力跟正向力的比

值來描述，提出 Critical Shields Parameter 而其為顆粒雷諾數 Re^* 之經驗函數:

$$\Psi_C = \frac{\tau_c}{(\rho_s - \rho_w)gd} = \frac{u_{*c}^2}{\Delta gd} = f(Re_*)$$

其中:

Ψ_C : Shields parameter[-]

τ_c :臨界剪應力[N/m²]

u_{*c} : 臨界剪速度[s/m]

ρ_s :沙粒密度[kg/m³]

ρ_w :流體密度[kg/m³]

g :重力加速度[m/s²]

Δ :相對密度[-]

Re_* :沙粒雷諾數[-]

分母的正向力可表示為重力作用在顆粒上，如下式及圖 12

$$\sigma_N = \frac{F_g}{d^2} = \frac{(\rho_s - \rho_w)gV}{d^2} \approx \frac{(\rho_s - \rho_w)gd^3}{d^2} = (\rho_s - \rho_w)gd$$

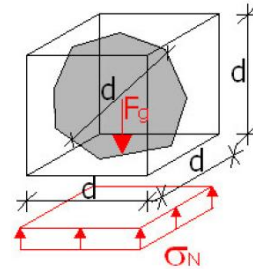


圖 12 正向力示意圖

(圖片來源:參考文獻 9.)

而分子表示為阻力加升力的合，如果以圓形顆粒計算的話，阻力係數大約是 1，阻力加升力合成之新的阻力細數則為 1/2。在這情況下的底床剪應力 Swart(1976)可與波浪摩擦係數表示為:

$$\tau_w = \frac{1}{2} f_w \rho u^2$$

$$f_w = \exp \left[-5.977 + 5.21 \left(\frac{k_s}{a} \right)^{-0.194} \right]$$

$$\text{if } \frac{k_s}{a} > 1.4$$

$$f_w = 0.32 \text{ if } \frac{k_s}{a} \leq 1.47$$

其中:

τ_w : 波浪造成之剪應力 [N/m²]

f_w : 波浪摩擦係數 [-]

ρ : 流體密度 [kg/m³]

u_m : 最大自由流速 [m/s]

k_s/a : 相對粗糙高度 [-]

a : 自由移動高度 [m]

k_s : 底床粗糙度 [m]

而 Shields(1936)提出的 Shields parameter 是在穩定流場的狀況之下，並沒有考慮慣性力，圖 13 是 Shields(1936) 以及 Sleath(1978)提出的修正版本，Sleath 的版本是考慮沙粒在波浪之條件下，因此較適合用在離岸風機基樁之淘刷研究中。

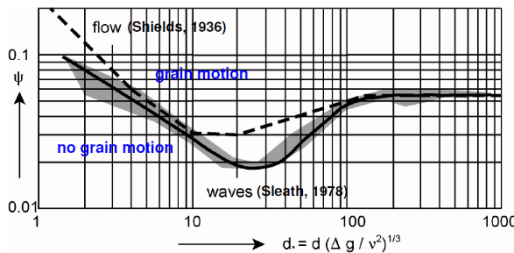


圖 13 Shields parameter 圖

(圖片來源:參考文獻 9.)

二、細樁之淘刷

這邊細樁如前述定義為 $KC < 9, D/L < 0.1$ 之基樁圓柱，細樁主要受到尾流渦流及馬蹄形渦流的影響而造成淘刷，且流

線的變化造成局部的水流加速作用；但波浪對細樁的影響則是不大。

細樁的淘刷已被廣泛的研究與討論，但是完全描述其水流與泥沙的傳輸理論或是數值方法並不存在，前主要參考 Sumer 和 Fredsøe(2002)做實驗求出的經驗公式。

2.1 平衡淘刷深度

淘刷深度主要是跟 KC 值及基樁管徑有關，而平衡淘刷深度為達平衡時的最大淘刷深度，常被用來作為基樁圓柱設計使用，被廣泛運用的是由 Sumer 和 Fredsøe(2002)實驗求出的經驗公式如下：

$$\frac{S}{D} = 1.3 [1 - \exp\{-A(KC - B)\}]$$

其中

$$A = 0.03 + 0.75 U_{cw}^{2.6}$$

$$B = 6 \exp(-4.7 U_{cw})$$

$$U_{cw} = \frac{U_c}{U_m + U_c}$$

其中:

U_{cw} : 流與波浪之相對流速 [-]

U_c : 中間水深之流速 [m/s]

U_m : 底床之自由流速 [m/s]

另外此條式子是同時考慮波浪海流的情形，若是在一穩定橫流狀況下，則 KC 趨近無限大，那麼平衡淘刷深度就是 1.3 倍的基樁管徑。圖 14 為實驗室之統計資料：

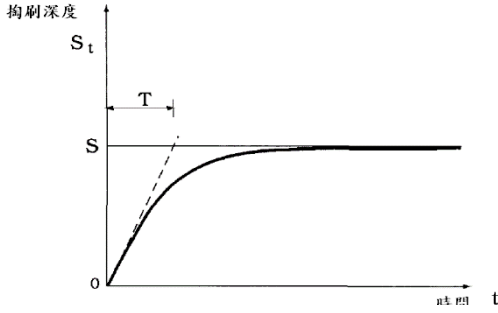


圖 14 細樁之平衡淘刷深度
(圖片來源:參考文獻 9.)

另外 Breusers et al.(1977)則建議平衡淘刷深度應為 1.5 倍的基樁管徑。
2.1 時間尺度

Summer 和 Fredsøe et. al.(1992)建議一個評估時間尺度的公式如下:

$$T_s = \frac{D^2}{\left[g \left(\frac{\rho_s}{\rho} - 1 \right) d_{50}^3 \right]^{1/2}} T^*$$

$$T^* = 10^{-6} \left(\frac{KC}{\Theta} \right)^3 \text{ 在波浪條件下}$$

$$T^* = \frac{1}{2000} \frac{\sigma}{D} \Theta^{-2.2} \text{ 在穩流條件下}$$

其中:

T_s : 淘刷時間尺度[s]

T^* : 無因次淘刷時間尺度[-]

D : 基樁圓柱直徑[m]

g : 重力加速度[m/s²]

ρ_s : 沙粒密度[kg/m³]

ρ : 流體密度[kg/m³]

d_{50} : 沙粒中值粒徑[m]

Θ : Shields parameter[-]

σ : 邊界層厚度[m]

而這個時間尺度，也是淘刷深度對時間圖中(如圖 15)，時間等於零時之切線斜率，其物理意義也代表著，特定的淘刷條件，維持時間需大於時間尺度，才有機會達到平衡淘刷深度，否則之後可能會有回填效應而無法一次到達平衡淘刷深度。

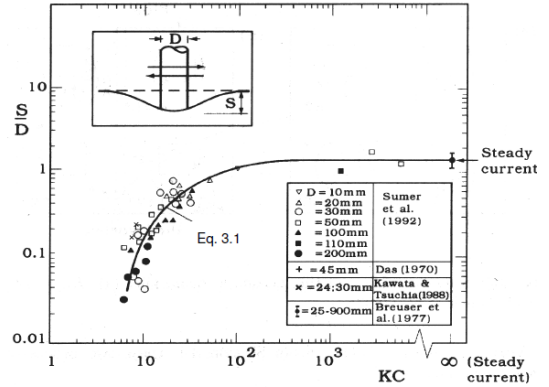


圖 15 平衡淘刷濃度時序圖
(圖片來源:參考文獻 9.)

2.1.1 淘刷範圍

淘刷的影響範圍，在穩定流的條件下，淘刷範圍可達到 5 倍的基樁圓柱直徑(Whitehouse,1998)，因此 Whitehouse 建議淘刷的保護工程，至少要大於 5 倍基樁圓柱直徑的範圍；而 Sumer 和 Fredsøe(2002)則跟據 Melville 和 Coleman (2002)之建議，淘刷的保護工程只須 2 倍基樁圓柱直徑的範圍；但由於淘刷範圍有高度不確定性，Halfschepel(2001)和 Zaaijer(2004)則建議淘刷的保護工程應到 7 倍基樁圓柱直徑。

2.1.2 碎波的影響

在碎波的發生的條件下，水粒子的運動速上升，因此在碎波時的淘刷程度遠大於沒有碎波發生時。Bijker 和 Bruyn(1988)認為實驗室無法重現碎波時的條件，因為不可能在實驗室用一個合適

的底床粗糙度，同時泥沙粒沒有辦法隨著尺度有效地變小，所以實驗室的底床粗糙度遠比實際現場來的大，而實驗淘刷在碎波的結果也比現場量測到的小。

關於碎波條件下的淘刷研究，幾乎沒甚麼文獻可以參考，而 Bijker(1988)認為碎波條件下的平衡 S/D 最大可以達到 3。

三、粗樁之淘刷

根據前述定義， KC 值 $< O(1)$ 則定義為粗樁，粗樁淘刷的主要機制被認為是由於波浪的反射跟繞射，但不幸的是，粗樁的淘刷到目前為止，其量化之研究還未完全，並沒有一個廣泛使用之式子存在，更不用說介於粗樁跟細樁之間的淘刷研究了。

3.1 平衡淘刷深度

Rance(1980)認為，在波浪的衝擊下，粗樁之平衡淘刷深度小於 6% 基樁圓柱直徑，若加上流的影響，平衡淘刷深度應小於 10%。而這個預測，也被廣泛同意用在粗樁上，但在離岸風電基樁設計上，則使用 3% 至 30% 樁圓柱直徑，因為離岸風機葉片的轉動，可能造成基樁微小的位移而底床鬆動之現象。

3.2 平常氣候條件下平衡淘刷深度

以目前規劃好之條件，基樁直徑取 3 公尺，水深取 40 公尺及 20 公尺， d_{50} 取 0.2 毫公尺，而基樁附近之波浪、海流條件，則參考港研中心實測資料，冬季歷年平均波高 2.23 公尺、週期 7 秒、波長使用分散關係式算得 76 公尺；夏季歷年平均波高 0.92 公尺、週期 6 秒、波長使用分散關係式算得 56 公尺如表 1。

表 1 基樁區域之水深、週期、波高、波長資料

條件	水深 h	週期 T	波高 H	波長 L
冬季	40	7	2.23	76
夏季	40	6	0.92	56

如表 2，計算出來之冬季的 KC 值為 0.17，夏季的 KC 值為 0.02，皆小於 $O(1)$ ，就算使用 20 公尺水深計算，冬季、夏季的 KC 值分別為 0.93、0.21，還是小於 $O(1)$ ，因此在平常的冬季、夏季中，其淘刷機制都屬於粗樁的範疇，若以 30% 考量的話，最大平衡淘刷深度最多在 0.9 公尺以內如圖 16。

表 2 基樁區域冬夏季 KC 值

條件	冬季 (20m)	夏季 (20m)	冬季 (40m)	夏季 (40m)
KC 值	0.93	0.21	0.17	0.02

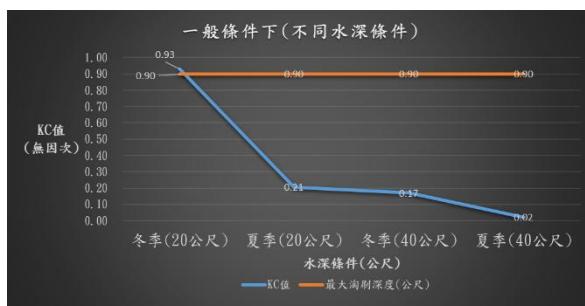


圖 16 一般條件下之冬夏季之平衡淘刷深度

3.3 極端颱風下之平衡淘刷深度

以目前規劃好之條件，基樁直徑取 3 公尺，水深取 40 公尺， d_{50} 取 0.2 毫公尺，而基樁附近之波浪、海流條件，則參考台灣世曦工程顧問有限公司、臺灣港務股份有限公司臺中港分公司於 2013 年，「臺中港南堤路海側提基保護工程初步設計報告書」中推算之 10、20、25、50、100、200、250 年迴歸颱風之波高、

週期資料，並使用分散關係式算出波長如表 3:

表 3 基樁區域極端颱風氣候下，推算之水深、週期、波高、波長資料

事件	水深 h(公尺)	週期 T(秒)	波高 H(公尺)	波長 L(公分)
10 年颱風	40	9.9	5.6	143
20 年颱風	40	10.6	6.4	160
25 年颱風	40	10.8	6.6	165
50 年颱風	40	11.3	7.3	177
100 年颱風	40	11.8	7.9	189
200 年颱風	40	12.2	8.5	198
250 年颱風	40	12.3	8.6	200

當使用迴歸颱風條件下去算如表 4，可以明顯發現 KC 值變大了，也不屬於原來的粗樁條件，在水深 40 公尺之條件下，各週期颱風條件下算出的 KC 值介於 2.08~5.58 之間，屬於介於粗樁與細樁之間的範疇，而這也是淘刷研究最缺乏之部分，但若以粗樁最多 30% 基樁直徑及細樁 1.3 倍之基樁直徑來計算的話，平衡淘刷深度約介於 0.9 公尺及 3.9 公尺之間如圖 17。

表 4 基樁 40 公尺水深區域極端颱風氣候下計算之 KC 值

條件 (40m 水深)	10 年 颱風	20 年 颱風	25 年 颱風	50 年 颱風	100 年 颱風	200 年 颱風	250 年 颱風
KC 值	2.08	2.91	3.16	3.93	4.71	5.43	5.58

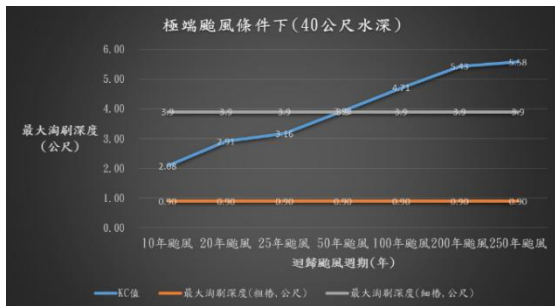


圖 17 極端颱風條件下之平衡淘刷深度 (40 公尺水深)

同樣使用迴歸颱風條件下去計算，在水深 20 公尺之條件下，可發現除了 10 年迴歸颱風之 KC 值介於粗樁與細樁之間，20~250 年颱風之 KC 值均大於 O(6)，也就是在極端氣候的條件下，原來的粗樁已經變成細樁條件了，而就可以使用 Sumer 之公式估算其淘刷深度如表 5，10 年迴歸颱風平衡淘刷深度以 3.9 公尺估算，20~250 年颱風依照公式計算呈現如圖 18。

表 5 基樁 20 公尺水深區域極端颱風氣候下計算之 KC、S/D

條件 (20m 水深)	10 年 颱風	20 年 颱風	25 年 颱風	50 年 颱風	100 年 颱風	200 年 颱風	250 年 颱風
KC 值	5.89	7.72	8.25	9.91	11.57	13.13	13.43
S/D	---	0.21	0.22	0.26	0.31	0.35	0.35

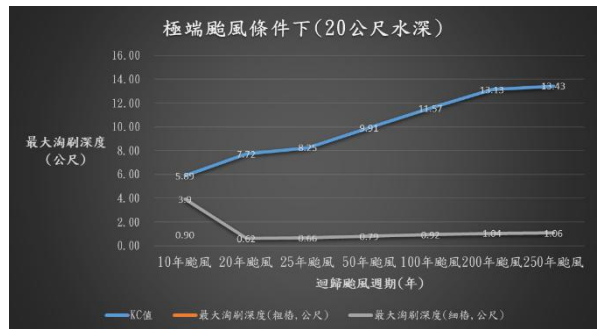


圖 18 極端颱風條件下之平衡淘刷深度 (20 公尺水深)

3.4.3 不同深度在極端颱風條件下之平衡淘刷深度

基樁直徑取 3 公尺，用迴歸颱風條件下去計算如表 6，在水深 30 公尺之條件下，10~50 年颱風條件下之 KC 值小於 O(1)，若以粗樁最多 30% 基樁直徑來計算的話，平衡淘刷深度約介於 0.9 公尺之間，而 100~250 年颱風條件下之 KC 值大於 O(6)，使用 Sumer 之平衡淘刷深度公式算出來約 0.21~0.24 倍基樁圓

柱直徑，也就是 0.63~0.72 公尺的淘刷深度如圖 19。

表 6 基樁 10 公尺水深區域極端颱風氣候下計算之 H/L、KC、S/D

條件 (10m 水深)	10年 颱風	20年 颱風	25年 颱風	50年 颱風	100年 颱風	200年 颱風	250年 颱風
H/L	0.039	0.040	0.040	0.041	0.042	0.043	0.043
(H/L)max	0.059	0.053	0.052	0.049	0.046	0.044	0.043
KC 值	12.93	16.64	17.72	21.09	24.43	27.58	28.20
S/D	0.32	0.42	0.44	0.52	0.59	0.65	0.66

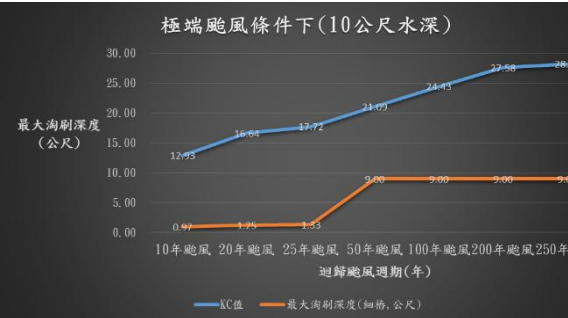


圖 19 極端颱風條件下之平衡淘刷深度 (10 公尺水深)

把上述所有計算與估算之條件，以 KC 值與平衡淘刷深度作圖如圖 20，可以發現雖然公式計算之平衡淘刷深度只適用於細樁之推估，但也可用來評估在粗樁、中樁時之設計最大淘刷深度之合理性，由圖 20 可看出若中樁使用 1.3 倍基樁圓柱直徑之淘刷深度來設計，則是過於高估保守，中樁同樣使用粗樁之設計準則(30%基樁圓柱直徑)已足夠；另一方面，細樁若是有可能產生碎波之情況下(最大可達 3 倍基樁圓柱直徑)，單純使用公式則是過於低估，因此在選址、設計時，各條件下之 KC 值與預估淘刷深度應仔細評估，以防過於高估或低估之情形。

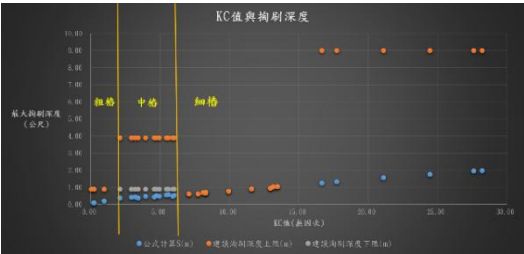


圖 20 所有條件下之 KC 值與平衡淘刷深度

四、結論

離岸風電潛力場址位於彰化縣彰濱工業區鹿港區西方，離岸最近距離約 5.8 公里，其北面迎盛行風之邊界長度約 15.22 公里；東、西側邊界長度分別約為 7.36 公里與 10.52 公里；南側邊界因鄰接福海示範風場及第 27 號潛力場址共區分為 4 段，總長度約 16.50 公里。風場面積約為 118.62 平方公里，整體形狀略呈以東-西為長向之狹長梯形範圍。除了 26 號風場全區範圍內除東側略呈與風場東界平行的狹長帶狀水域水深約為 20 公尺外，其餘大部分海域地形水深均在 34 公尺~49 公尺間，其中尤以水深 40 公尺~49 公尺間約佔 3 分之 2 以上海域面積。離岸風機機樁採水下套筒式，其水下套筒式基礎結構各有 4 根樁徑約 3m 樁柱，底床泥沙的中值粒徑 d_{50} 介於 0.009~0.389mm 之間。

本研究以現場實際資料作分析，分成一般波浪條件、颱風條件以及不同迴歸週期之颱風波浪條件，並計算出各種狀況其平衡淘刷深度，以作為未來設計維護工程之參考依據。另外以不同直徑、水深條件做分析，以淘刷分析的角度出發，考量未來選址或設計之參考依據。

參考文獻

1. 台灣電力公司，離岸風力發電第一期計畫可行性研究，2015 年。
2. 台灣電力股份有限公司，離岸風力發電第二期計畫環境影響說明書，2017 年。
3. 邱永芳、蔡立宏、廖慶堂等，「2017 年 12 港域海氣象觀測資料年報」，2017 年。
4. 臺灣港務股份有限公司，台中港南堤路海側堤基保護工程初步設計報告書，2013 年。
5. B. Mutlu Sumer, "The Mechanics of Scour in the Marine Environment", 2002.
6. Breusers, H. N. C., G. Nicollet. and H. W. Shen., "Local scour around cylindrical piers", *Journal of Hydraulic Research* 15.3, 1977, pp. 211-252.
7. Bijker, E. W. and C. A. De Bruyn., "Erosion around a pile due to current and breaking waves", *Coastal Engineering* 1988, 1989, pp. 1368-1381.
8. Bijker, E. W. and De Bruyn, C. A., "Erosion around a pile due to current and breaking waves", In *Coastal Engineering* 1988, 1989, pp. 1368-1381.
9. Haddorp, R., "Predictability of Scour at Large Piles due to Waves and Currents", 2016.
10. Hoffman, G. J. C. M. and Verheij, HJ., "Scour manual", 1997.
11. Halfschepel, R. "Concept study bottom protection around pile foundation of 3MW turbine", Van Oord ACZ BV, Gorinchem 22, 2001.
12. Melville, B. W., Coleman, S. and Hooe, D., "Countermeasures for Scour at Spill-Trough Bridge Abutments", In *First International Conference on Scour of Foundations*, 2002, pp. 749-763.
13. Miche, M., "Le pouvoir réfléchissant des ouvrages maritimes exposés à l'action de la houle", *Ann. Ponts Chaussées*, 1951, pp. 285-319.
14. Morison, J. R., O'Brien, M. P., Johnson, J. W. and Schaaf, S. A., "The force exerted by surface waves on piles", 1950.
15. Rance, P. J., "The potential for scour around large objects." *Scour prevention techniques around offshore structures*, 1980, pp. 41-53.
16. Sumer, B. M., Fredsøe, J. and Christiansen, N., "Scour around vertical pile in waves", *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 118(1), 1992, pp. 15-31.
17. Sumer, B.M., Fredsøe, "Wave Scour around a Large Vertical Circular Cylinder", *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 2001.
18. Shields, A., "Application of similarity principles and turbulence research to bed-load movement", 1936.
19. Sleath, John FA., "Measurements of bed load in oscillatory flow", *Journal of the waterway, port, coastal and ocean division* 104.3, 1978, pp. 291-307.
20. Van der Tempel, J., M. B. Zaaijer, and H. Subroto. "The effects of Scour on the design of Offshore Wind Turbines." *Proceedings of MAREC*, 2004.
21. Whitehouse, Richard. "Scour at marine structures: A manual for practical applications", Thomas Telford, 1998.