

107-107-7A89
MOTC-IOT-107-H2DA003

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討 (2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 107 年 12 月

107-107-7A89

MOTC-IOT-107-H2DA003

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討 (2/4)

著 者：衛紀淮、洪維屏

交通部運輸研究所

中華民國 107 年 12 月

107

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討

(2/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010702809

定價：200 元

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討. (2/4) / 洪維屏, 衛紀淮著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運輸研究所, 民 107. 12

面 ; 公分

ISBN 978-986-05-8405-9(平裝)

1. 海岸

443

107023770

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討 (2/4)

著 者：衛紀淮、洪維屏

出版機關：交通部運輸研究所

地 址：臺北市敦化北路 240 號

網 址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電 話：(04)26587105

出版年月：中華民國 107 年 12 月

印 刷 者：

版(刷)次冊數：初版一刷 60 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定 價：200 元

展 售 處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書坊臺視總店：臺北市八德路 3 段 10 號 B1•電話：(02)25781515

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010702809

ISBN：978-986-05-8405-9(平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討（2/4）			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN: 978-986-05-8405-9（平裝）	政府出版品統一編號 1010702809	運輸研究所出版品編號 107-107-7A89	計畫編號 107-H2DA003
主辦單位：港灣技術研究中心 主管：朱金元 計劃主持人：衛紀淮 研究人員：洪維屏 聯絡電話：(04)26587105 傳真號碼：(04)26560661			研究期間 自 107 年 01 月 至 107 年 12 月
關鍵詞：水工模型試驗、試驗時間尺度、平衡淘刷深度			
摘要： 安裝一個離岸風機在大海裡，原來的平衡狀態自然受到干擾，安裝風機周圍的波浪跟海流勢必受到影響，而造成大尺度或小尺度之地形變遷影響。本研究 107 年進行水工模型預備試驗，以冬季季風之條件，配合過去量測之地形資料，找出能代表現地之試驗時間尺度為 8 小時；而 108 年再進行夏季季風波浪作用之試驗測試，用以尋求夏季期間現場地形變化之重現期，最後依據冬、夏季之試驗重現時間結果以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。 波流狀態的改變，帶動泥沙運動的改變，有些泥沙被抬升後被水流帶走，淘刷造成坑洞深度因此產生，而其對離岸風機尤其是安全性上的考量，影響甚鉅。本研究 107 年進行離岸風電機樁淘刷之探討，使用現有規劃之水深、地點、海氣象資料等，計算一般冬夏季狀態下之平衡淘刷深度，並進一步探討極端颱風氣候下之平衡淘刷深度，以及放置不同深度條件下之平衡淘刷深度，並給與各條件下之淘刷深度預估值之建議。 本研究之成果可提供經濟部能源局、交通部航港局等單位，作為規劃、設計、施工維護、航行安全等之參考。			
出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
107 年 12 月	117	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 ☐ 月 ☐ 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Sediment Transport Mechanism in the Near Shore around the Wind Offshore Area (2/4)			
ISBN (OR ISSN) 978-986-05-8405-9 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010702809	IOT SERIAL NUMBER 107-107-7A89	PROJECT NUMBER 107-H2DA003
DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER DIVISION DIRECTOR: Chu Chin-Yuan PRINCIPAL INVESTIGATOR: Wei Chi-Huai PROJECT STAFF: Hung Wei-Ping PHONE: 04-26587105 FAX: 04-26560661			PROJECT PERIOD FROM January 2018 TO December 2018
KEY WORDS: hydraulic model test, time scale of model test, equilibrium scour depth			
ABSTRACT: Installation of an offshore wind turbine in the sea would naturally disturb the original equilibrium state and affect the waves and the sea current around the installed wind turbine, resulting in large or small-scale terrain changes. In 2018, this study carried out the preliminary hydraulic model test. Based on the conditions of winter monsoons and the topographic data of the past measurements, it was found the test time scale of the generational performance was 8 hours; and the test of the summer monsoon wave action was carried out in 2019 to seek the return period of on-site terrain changes during summer. Finally, based on the results of the winter and summer test recurrence time, the site topographic changes over the whole year were adopted for the verification of the whole year recurrence time of the model test. The changes of wave current status drove the changes of sediment movement. Some of the sediment was lifted and taken away by the water flow, and the depth of the pothole was caused by scouring. These changes' impact on the offshore wind turbine was huge, especially in the safety considerations. In 2018, an offshore wind turbine pile scouring was discussed. The existing planning water depth, location and marine meteorological data were used to calculate the equilibrium scouring depth in the normal winter and summer conditions, and to further explore the equilibrium scouring in the extreme typhoon climate, the equilibrium scouring depth under different depth conditions, as well as giving advice on the estimated value of the scouring depth under each condition. The results of this research can be provided to the Bureau of Energy (Ministry of Economic Affairs), Maritime Port Bureau (MOTC), etc., for reference in planning, design, construction and maintenance, and navigation safety.			
DATE OF PUBLICATION December 2018	NUMBER OF PAGES 117	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

摘要	I
目錄	III
圖目錄	IV
表目錄	VII
第一章 前言	1-1
1.1 研究動機及目的	1-1
1.2 研究範圍及對象	1-3
1.3 研究內容及工作項目	1-4
第二章 漂沙水工模型試驗	2-1
2.1 基本資料蒐集與分析	2-1
2.2 水工模型試驗	2-20
2.3 預備試驗	2-28
第三章 離岸風電基樁淘刷之探討	3-1
3.1 基樁淘刷過程機制	3-1
3.2 細樁之淘刷	3-15
3.3 粗樁之淘刷	3-19
3.4 結果與討論	3-19
第四章 結論與建議	4-1
4.1 結論	4-1
4.2 建議	4-4
4.3 成果效益與後續應用情形	4-5
參考文獻	5-1
附錄 1 期末報告審查意見處理情形表	附錄 1-1
附錄 2 期末報告審查簡報資料	附錄 2-1

圖 目 錄

圖 1.1	大尺度漂沙研究範圍.....	1-3
圖 1.2	小尺度漂沙研究範圍.....	1-4
圖 2.1	本所潮位觀測站位置圖.....	2-2
圖 2.2	臺中港歷年分季波高機率分佈圖.....	2-6
圖 2.3	臺中港歷年分季週期機率分佈圖.....	2-6
圖 2.4	臺中港歷年分季波向機率分佈圖.....	2-6
圖 2.5	臺中港歷年四季及全觀測期海流流速機率分佈圖.....	2-9
圖 2.6	臺中港歷年四季及全觀測期海流流向機率分佈圖.....	2-9
圖 2.7	96 年～97 年侵淤比較圖.....	2-11
圖 2.8	97 年～98 年侵淤比較圖.....	2-11
圖 2.9	98 年～99 年侵淤比較圖.....	2-12
圖 2.10	99 年～100 年侵淤比較圖.....	2-12
圖 2.11	100 年～101 年侵淤比較圖.....	2-13
圖 2.12	101 年～102 年侵淤比較圖.....	2-13
圖 2.13	102 年～103 年侵淤比較圖.....	2-14
圖 2.14	103 年～104 年侵淤比較圖.....	2-14
圖 2.15	104 年～105 年侵淤比較圖.....	2-15
圖 2.16	105 年～106 年侵淤比較圖.....	2-15
圖 2.17	106 年～107 年侵淤比較圖.....	2-16
圖 2.18	臺中港水深地形分區圖.....	2-17
圖 2.19	臺中港試驗範圍配置圖.....	2-25
圖 2.20	模型施作之場地丈量.....	2-25
圖 2.21	模型施作之港區結構物砌磚.....	2-26
圖 2.22	模型施作之地形鋪設.....	2-26

圖 2.23	完成試驗之現場地形鋪設.....	2-27
圖 2.24	造波 5 分鐘讓地形勻稱.....	2-27
圖 2.25	以水準儀量測初期地形.....	2-28
圖 2.26	預備試驗地形鋪設範圍示意圖.....	2-33
圖 2.27	99 年 12 月至 100 年 5 月之現場地形變化圖.....	2-34
圖 2.28	試驗配置 A，試驗 4 小時後地形變化比較圖.....	2-34
圖 2.29	試驗配置 A，試驗 6 小時後地形變化比較圖.....	2-35
圖 2.30	試驗配置 A，試驗 8 小時後地形變化比較圖.....	2-35
圖 2.31	試驗配置 A，試驗 10 小時後地形變化比較圖.....	2-36
圖 2.32	99 年 11 月至 100 年 8 月之現場地形變化圖.....	2-36
圖 2.33	試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 10 分鐘後地形變化比較圖.....	2-37
圖 2.34	試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 20 分鐘後地形變化比較圖.....	2-37
圖 2.35	試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 30 分鐘後地形變化比較圖.....	2-38
圖 2.36	試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 40 分鐘後地形變化比較圖.....	2-38
圖 3.1	流體分離現象示意圖.....	3-2
圖 3.2	尾流渦流示意圖.....	3-3
圖 3.3	馬蹄型渦流示意圖.....	3-3
圖 3.4	反射繞射現象示意圖.....	3-4
圖 3.5	不同 KC 值分類圖.....	3-5
圖 3.6	細樁淘刷物理機制示意圖.....	3-6
圖 3.7	粗樁淘刷物理機制示意圖.....	3-6
圖 3.8	介於粗細樁之間淘刷物理機制示意圖.....	3-7

圖 3.9	重力示意圖	3-9
圖 3.10	阻力示意圖	3-10
圖 3.11	升力示意圖	3-11
圖 3.12	正向力示意圖	3-13
圖 3.13	Shields parameter 圖	3-14
圖 3.14	細樁之平衡淘刷深度	3-16
圖 3.15	平衡淘刷濃度時序圖	3-18
圖 3.16	一般條件下之冬夏季之平衡淘刷深度	3-21
圖 3.17	極端颱風條件下之平衡淘刷深度(40 米水深)	3-23
圖 3.18	極端颱風條件下之平衡淘刷深度(20 米水深)	3-24
圖 3.19	極端颱風條件下之平衡淘刷深度(30 米水深)	3-25
圖 3.20	極端颱風條件下之平衡淘刷深度(10 米水深)	3-26
圖 3.21	所有條件下之 KC 值與平衡淘刷深度	3-27

表 目 錄

表 2.1	臺中港 2003-2014 年潮位資料統計	2-3
表 2.2	臺中港歷年分季波高分佈統計表.....	2-5
表 2.3	臺中港歷年分季波浪週期分佈統計表.....	2-5
表 2.4	臺中港歷年分季波向分佈統計表.....	2-5
表 2.5	臺中港歷年分季流速分佈統計表.....	2-8
表 2.6	臺中港歷年分季流向分佈統計表.....	2-8
表 2.7	臺中港水深地形分區土方量變化比較表(96 年~107 年)(m^3).....	2-18
表 2.8	臺中港水深地形分區平均水深變化比較表(96 年~107 年)(m).....	2-19
表 2.9	漂沙動床模型相似律之比較.....	2-23
表 2.10	預備試驗條件說明表.....	2-29
表 2.11	預備試驗配置順序表.....	2-30
表 3.1	基樁區域之水深、週期、波高、波長資料.....	3-20
表 3.2	基樁區域冬夏季 KC 值	3-21
表 3.3	基樁區域極端颱風氣候下，推算之水深、週期、波高、 波長資料	3-22
表 3.4	基樁 40 米水深區域極端颱風氣候下計算之 KC 值.....	3-22
表 3.5	基樁 20 米水深區域極端颱風氣候下計算之 KC、S/D.....	3-23
表 3.6	基樁 30 米水深區域極端颱風氣候下計算之 KC、S/D.....	3-24
表 3.7	基樁 10 米水深區域極端颱風氣候下計算之 H/L、KC、 S/D.....	3-25

第一章 前言

1.1 研究動機及目的

離岸風電基樁猶如巨大建築物一般置入海洋中，勢必造成不同尺度下的海洋平衡變化，而其中最重要的變化之一，即是漂沙平衡之改變，因其可能造成大尺度或局部性的地形變化，進而造成航行安全、生態等之影響。

距離離岸風電最近的臺中港，是位於臺灣臺中市的一個國際商港，十大建設的重要項目之一，距離北部基隆港和南部高雄港各約 110 海里。港區總面積為 4,438 公頃，水域面積 958 公頃，陸地面積 3,480 公頃，而也由於台中港距離風場最近，其未來定位為提供風機組裝碼頭及工作船靠泊母港，因此，必須了解臺中港之地形侵淤變化趨勢，以因應未來之所需。

而港灣技術研究中心成立之主要任務為研究發展港灣工程技術，培育訓練有關人才，並協助解決我國港灣建設與海岸開發所遭遇的問題，且港灣技術研究中心有全國數一數二之物理模型試驗場地，有足夠之條件能夠重現臺中港於試驗室，並根據不同條件之地形、海氣象條件，找出其未來之侵淤趨勢。

在未來極端氣候盛行之時代，大至颱風，小至季風都可能造成臺中港之漂沙平衡改變，進而影響海岸之侵淤變化，甚至造成地形變遷等之問題，期望能透過此物模式驗，找出影響關鍵，並提出必要之建議改善方法，以供未來相關港灣工程參考。

而在實際模擬季風或颱風條件以前，試驗室的第一個考驗就是尺度的適合與否，試驗室如何有效地縮小現場實際之尺度，期望能夠相當地重現現場之影響情況，這是在 107 年水工模型預備試驗之重點，預備試驗使用過去現場實際量測之地形、海氣象條件，找出最適合之重現季風影響之試驗室時間尺度，將來即可根據找出之最適時間尺度，去預測未來季風、颱風條件下對港區之可能影響程度。

而離岸風機除了可能造成大尺度的影響外，靠近基樁局部之影響亦不可忽略，底床平衡狀態的干擾、波流狀態的改變，也進一步帶動泥沙運動行為的改變，泥沙受水流抬升後被帶走，掏刷影響因此產生，而造成離岸風機安全之直接性影響。

現今對於掏刷的文獻中，探討的幾乎都是相對細基樁之掏刷，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，而渦流則是造成掏刷之主因。但在相對粗大之基樁，水流分離的效應不明顯，相對地，其造成波場的折射跟繞射現象效應才是造成掏刷的原因，而粗基樁造成的掏刷程度相比細樁來說小很多。

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掏刷深度以外，還須考慮極端氣候狀態下之平衡掏刷深度，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，碎波對於掏刷深度之影響有加成之效果，可能造成嚴重之掏刷進而影響結構物之安全。

由於有掏刷的直接性影響，在設計離岸風機機樁，或考慮其放置地點時，必須考慮掏刷其成的安全性影響，或是進一步先思考如何保護基樁受掏刷之影響，以防患未然；反過來說，若以掏刷之影響角度出發，基樁直徑之大小可根據水深去做改變，或者放置之水深可根據基樁直徑之大小來做變化，當然最後須全面考量工程、生態、經濟、發電效率等之影響，做全面性之通盤考量與決策。

1.2 研究範圍及對象

本研究大尺度之漂沙研究如圖 1.1，主要針對臺中港區域進行分析，但在蒐集資料期間，包括北起大甲溪南岸，南至大肚溪口之水深地形，一併作歷年資料之分析。

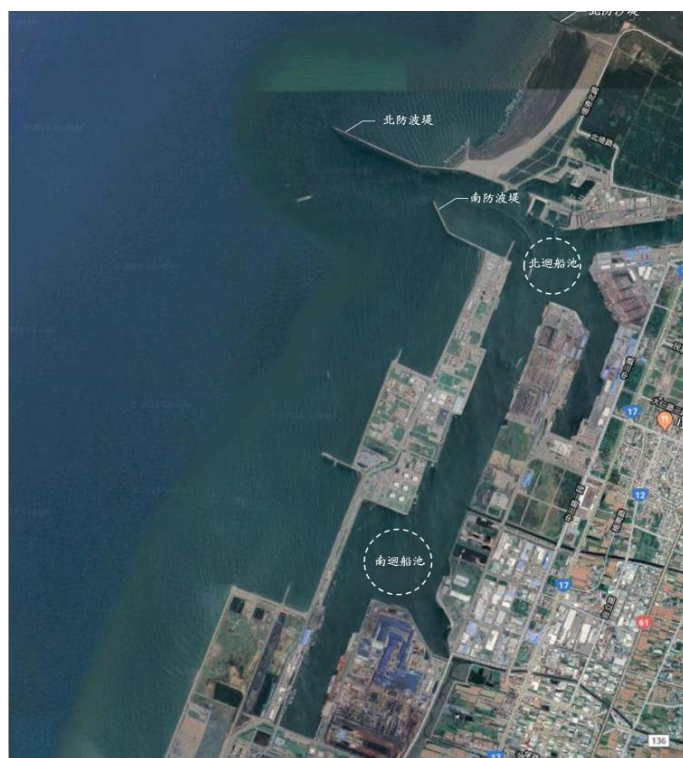


圖 1.1 大尺度漂沙研究範圍

而本研究小尺度之漂沙研究如圖 1.2，主要針對台電現行規劃之離岸風電區域做分析，規劃之場址位置及資料均參考台灣電力股份有限公司於 2018 年 8 月出版之離岸風力發電第二期計畫可行性研究報告。

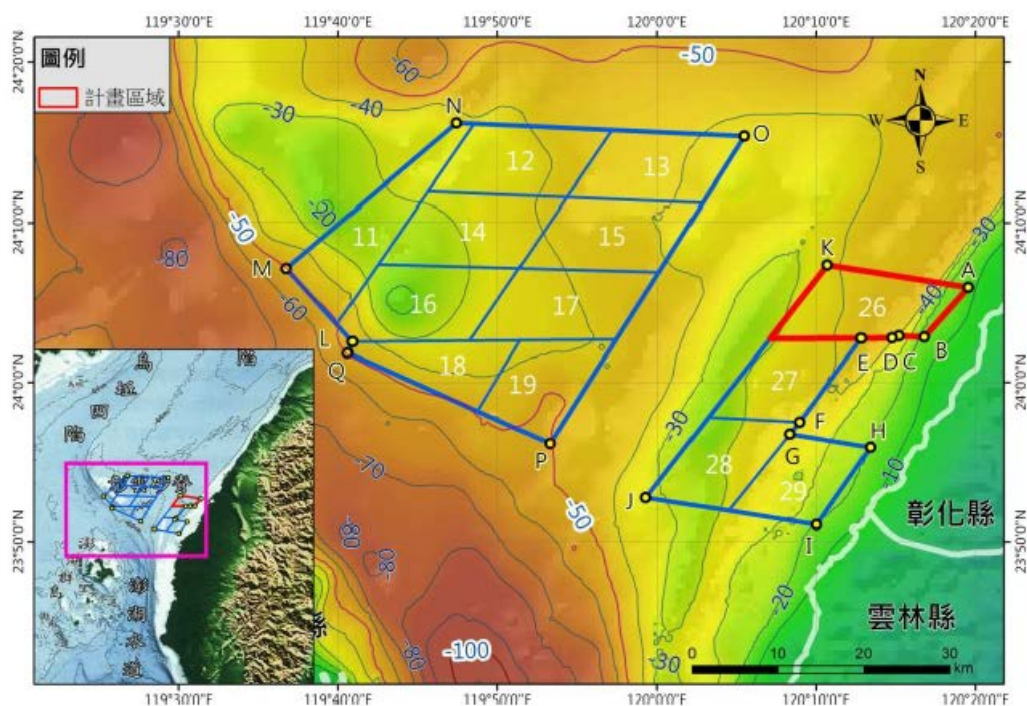


圖 1.2 小尺度漂沙研究範圍

(資料來源：離岸風力發電第二期計畫可行性研究報告)

1.3 研究內容及工作項目

1. 蒐集目標港區歷年波浪、海流、潮位、水深及地形資料。
2. 分析歷年水深地形之變化及侵淤情形。
3. 水工模型試驗各條件之尺度分析。
4. 試驗並探討最適合冬季季風之時間尺度。
5. 蒐集離岸風電規劃區域之水深、海流、波浪、週期、波長及基樁之條件。
6. 探討一般氣候下之基樁平衡掏刷深度。
7. 探討極端颱風氣候下之基樁平衡掏刷深度。

第二章 漂沙水工模型試驗

依據離岸風電計畫目的辦理漂沙水工模型試驗，用以探討評估臺中港港口、航道附近之漂沙趨勢與淤積量變化情況。本章主要說明水工模型試驗中預備試驗項目之試驗過程與相關結果。

2.1 基本資料蒐集與分析

基本資料蒐集與分析主要係提供水工模型試驗所需之試驗條件應用，項目包括潮汐、波浪、海流等海象資訊，及海域地形變遷等資料；資料來源除本所港研中心、臺灣港務股份有限公司及經濟部水利署第三河川局所得外，另亦收集本海域往昔之相關計畫成果資訊。

2.1.1 海象資料

1. 潮汐

臺中港之潮汐每日漲落 2 次，目前於臺中港附近海域之潮位觀測站有 2 處，觀測單位分別為本所港研中心(如圖 2.1)與內政部國土測繪中心，觀測站均設置於臺中港港區內 4 號碼頭。本所潮位觀測儀採用美國 TE 公司所生產之 KPSI 735 壓力式水位觀測儀，潮位資料擷取頻率設定為 1 分鐘，係將儀器所測得水位，作為該小時潮位觀測值，並透過無線傳輸系統，將水位資料即時回傳至本所港研中心海氣象資料庫。本研究收集內政部委託中央氣象局自 2003 年製 2014 年 12 月期間的潮位觀測資料，其統計結果如表 2.1 所示。由表 2.1 之統計結果可知，自 2003 年至 2014 年期間，其平均潮差為 3.78 公尺，大潮平均潮差為 4.71 公尺，最大潮差為 5.99 公尺。



圖 2.1 本所潮位觀測站位置圖

表 2.1 臺中港 2003-2014 年潮位資料統計

年份	平均 潮位 MWL	平均 高潮位 MHWL	平均 低潮位 MLWL	大潮 平均 高潮位 HWOSt	大潮 平均 低潮位 LWOSt	最高高潮位 HHWL		最低低潮位 LLWL		平均 潮差 MR	大潮 平均潮差 STR	最大潮差 MTR
						發生時間	潮高	發生時間	潮高			
2003	299	486	109	519	46	9 月 27 日	573	12 月 24 日	-13	377	473	586
2004	305	490	119	521	55	8 月 30 日	580	1 月 23 日	-10	371	466	590
2005	13	197	-172	232	-237	8 月 21 日	291	1 月 12 日	-305	369	469	596
2006	15	201	-172	237	-239	7 月 14 日	298	1 月 2 日	-297	373	476	595
2007	5	189	-182	223	-246	4 月 17 日	274	12 月 26 日	-302	371	469	576
2008	8	193	-181	225	-239	9 月 1 日	276	1 月 23 日	-299	374	464	575
2009	13	201	-177	232	-237	9 月 19 日	300	1 月 13 日	-319	378	469	619
2010	19	205	-171	240	-229	9 月 9 日	305	1 月 2 日	-307	376	469	612
2011	17	208	-177	241	-236	8 月 30 日	312	11 月 27 日	-295	385	477	607
2012	22	215	-172	248	-226	8 月 02 日	321	12 月 15 日	-294	387	474	615
2013	18.3	211	-174	248	-233	9 月 22 日	307	1 月 12 日	-297	385	471	604
2014	15.7	212	-179	244	-228	10 月 9 日	316	12 月 24 日	-302	391	472	618
統計值										378	471	599

潮高單位：公分

資料來源：交通部中央氣象局

2.波浪

依據本所港研中心 2004 年至 2016 年期間之波浪觀測資料，歷年波高、週期及波向統計結果如表 2.2~2.4 所示，另歷年四季及全期波高、週期及波向機率分佈如圖 2.2~2.4 所示。由表 2.2 可知，臺中港歷年全期平均波高為 1.58m，波高分佈以小於 1m 所佔比率最高，約佔全期 38.8%；表 2.3 為歷年分季波浪週期分佈統計表，其中波浪週期以 6~8sec 所佔比率最高，約佔全期 55.4%；參考表 2.4 可知歷年波向以 N~E 向為主，佔全期比率 64.6%。冬季時，東北季風吹襲至臺灣中部，因地勢影響風力強，且因海岸線走向為北北東~西南西向，故臺中港海域之波高大，平均波高約為 2.23m，為四季最大，波向以 NNE 向為主，佔整季 49.1%，波浪週期以 6~8sec 比率最高，約佔整季 62.6%；夏季時狀況相反，風與浪均自西南方來，波向以 W 向為主，佔整季 23.9%，週期分佈小於 6sec 佔整季 51.7%，平均波高為四季最小，約 0.92m，其波高分佈以小於 1m 比率最高，佔整季 79.1%。

表 2.2 臺中港歷年分季波高分佈統計表

季節	平均波高(m)	$H_s < 1.0\text{m}(\%)$	$H_s = 1.0\text{m} \sim 2.0\text{m}(\%)$	$H_s > 2.0\text{m}(\%)$
春	1.35	47.1	33.9	18.9
夏	0.92	79.1	21.1	5.8
秋	1.91	20.1	36.9	43.0
冬	2.23	10.1	30.8	59.1
全期	1.58	38.8	30.4	30.8

表 2.3 臺中港歷年分季波浪週期分佈統計表

季節	$T_s < 6.0 \text{ 秒}(\%)$	$T_s = 6 \sim 8 \text{ 秒}(\%)$	$T_s = 8 \sim 10 \text{ 秒}(\%)$	$T_s > 10.0 \text{ 秒}(\%)$
春	35.2	57.8	6.8	0.2
夏	51.7	39.4	7.2	1.7
秋	18.5	64.2	15.4	1.9
冬	14.6	62.6	22.3	0.5
全期	30.6	55.4	12.8	1.2

表 2.4 臺中港歷年分季波向分佈統計表

季節	波向(N~E)(%)	波向(E~S)(%)	波向(S~W)(%)	波向(W~N)(%)
春	73.5	0.8	3.2	22.5
夏	24.9	4.5	16.2	54.4
秋	77.4	3.1	3.8	15.6
冬	90.5	0.5	0.7	8.3
全期	64.6	2.4	6.5	26.5

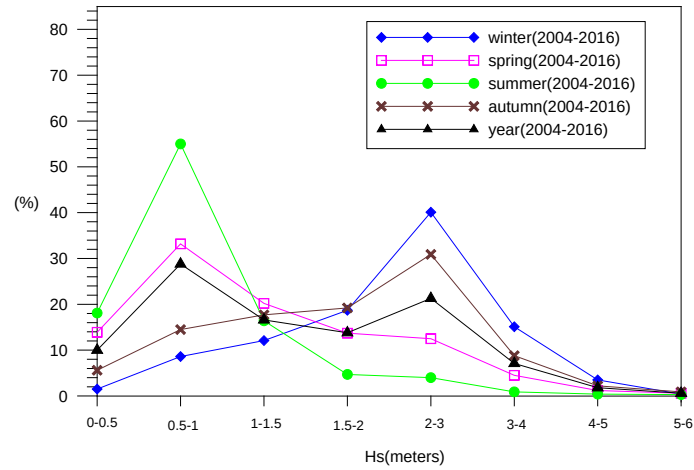


圖 2.2 臺中港歷年分季波高機率分佈圖

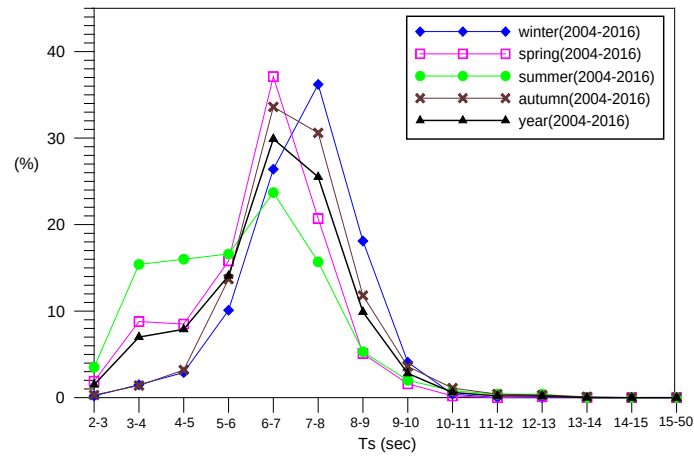


圖 2.3 臺中港歷年分季週期機率分佈圖

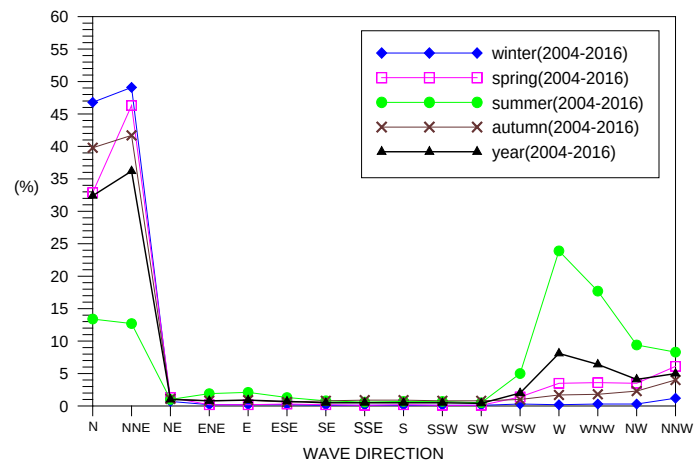


圖 2.4 臺中港歷年分季波向機率分佈圖

3.海流

海流之主要成份包括潮流、恆流、風吹流與波浪所造成之沿岸流等，根據實測海流資料分析其主流方向與強度，可瞭解本海岸之近岸流動力系統與研判漂砂優勢方向，提供水工模型試驗及數值模擬之參考引用。

依據本所港研中心於臺中港北防波堤綠燈塔外海歷年海流觀測資料，顯示本處海流流向呈週期性往復運動，海流運動方向主要集中在沿海岸平行方向，且隨潮流漲落改變方向，主軸為東北與西南向，即退潮時段流向為西南，漲潮時段流向為東北。表 2.5 顯示大潮時其流速甚強，最大流速約可達 1.7~2.0 節，全期平均流速為 38cm/s，流速分佈以介於 25cm/s~50cm/s 間為主，佔全期 38.8%，四季中以冬季平均流速最大，可達 45cm/s，春季平均流速最小，約為 32.5 cm/s，綜觀歷年水位觀測資料，臺中港潮位主要以半日潮為主，全日潮為輔，亦即臺中港的潮汐主要由全日潮及半日潮組成的複合潮，但半日潮的成份大於全日潮。

表 2.5 臺中港歷年分季流速分佈統計表

季節	平均流速(cm/s)	流速<25 cm/s	流速=25~50 cm/s	流速>50 cm/s
春	32.5	44.3	38.4	17.2
夏	36.3	34.2	42.0	23.8
秋	38.2	36.1	38.5	25.4
冬	45.0	29.1	35.6	35.3
全期	38.0	35.8	38.8	25.4

表 2.6 臺中港歷年分季流向分佈統計表

季節	流向(N~E) (%)	流向(E~S) (%)	流向(S~W) (%)	流向(W~N) (%)
春	28.9	4.3	23.3	43.4
夏	32.8	8.6	8.2	50.4
秋	15.7	4.3	37.4	41.5
冬	12.5	4.5	49.2	33.8
全期	22.7	5.6	29.0	42.7

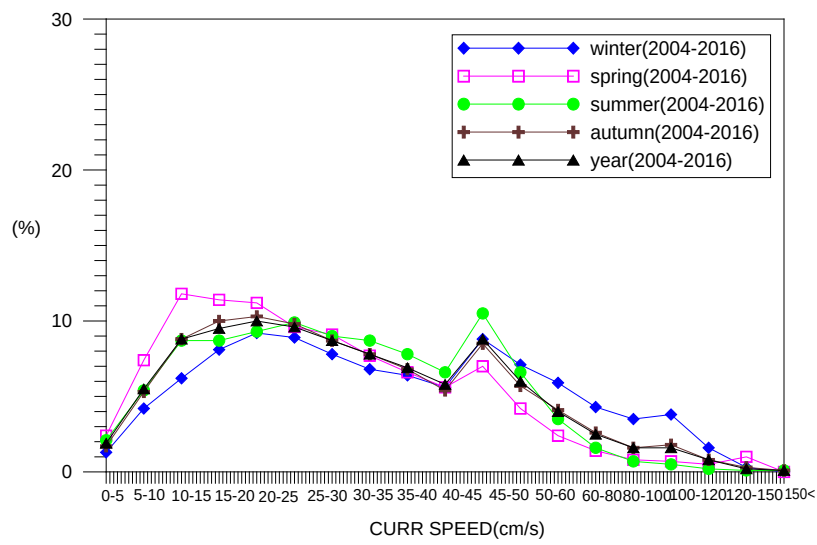


圖 2.5 臺中港歷年四季及全觀測期海流流速機率分佈圖

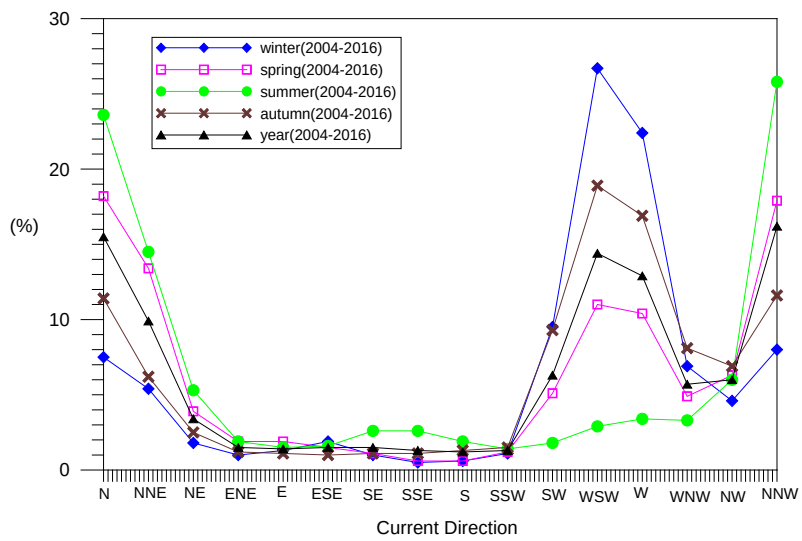


圖 2.6 臺中港歷年四季及全觀測期海流流向機率分佈圖

2.1.2 海域地形變化資料

1. 歷年侵淤比較圖分析

漂砂活動範圍內經長時間之波潮流作用後，某一水深內有明顯海岸地形變化，此種水深稱為終端水深。參考本所港灣海氣象觀測資料年報，歷年臺中港統計之示性波高為 1.5m，以此進行推算，可得漂砂帶終端水深約為-10m。

侵淤比較圖可快速且全區域的審視地形變化之趨勢，依據本所港研中心「107 年臺中港港外水深地形測量及歷年水深地形資料檢核分析調查」計畫繪製民國 96 年至 107 年之侵淤變化比較圖，如圖 2.7～圖 2.17 所示，臺中港海域測線間距為 200 公尺，故採用數值網格大小 100 公尺進行繪製，其中藍色為淤積(正值)，紅色為侵蝕(負值)，灰色為容許誤差範圍，黃線為終端水深。侵淤比較圖如圖 2.7～圖 2.17 所示，民國 96 年至 97 年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀侵蝕現象，於大肚溪出海口亦有明顯的侵淤互現，於北防波堤北側受防波堤攔阻，有淤積的現象；民國 97 年至 98 年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀淤積現象，於大肚溪出海口及外海有明顯侵蝕現象；民國 98 年至 99 年於大甲溪出海口至外海有部分淤積現象，於大肚溪出海口有部分侵蝕現象；民國 99 年至 100 年於大甲溪出海口至外海有部分侵蝕現象，於大肚溪出海口有明顯淤積現象，於北防波堤以南外海有全面性淤積現象；民國 100 年至 101 年於大甲溪出海口有微幅侵淤互現，於大肚溪出海口有明顯淤積現象；比較民國 101 年至 107 年之水深地形，侵淤變化大致都發生在終端水深以淺之區域，且位置集中在大甲溪出海口及大肚溪出海口。由上述可得知，民國 96 年至 100 年地形有較明顯的侵淤變化，民國 101 年之後於終端水深後較深之區域，其地形變化較小。另外，以全區海域地形來看，地形變化較大之位置多位於大甲溪出海口及大肚溪出海口。

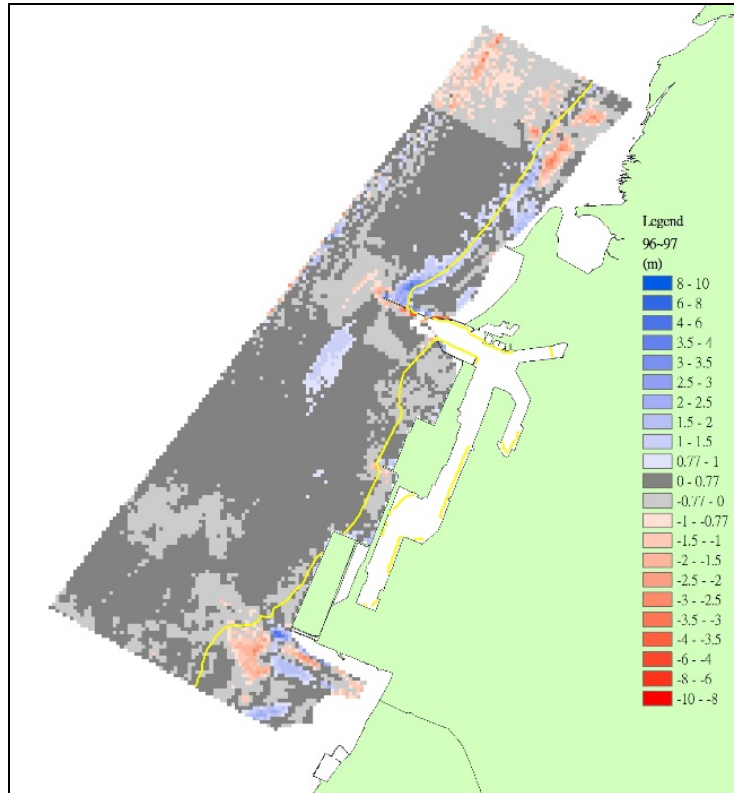


圖 2.7 96 年~97 年侵淤比較圖

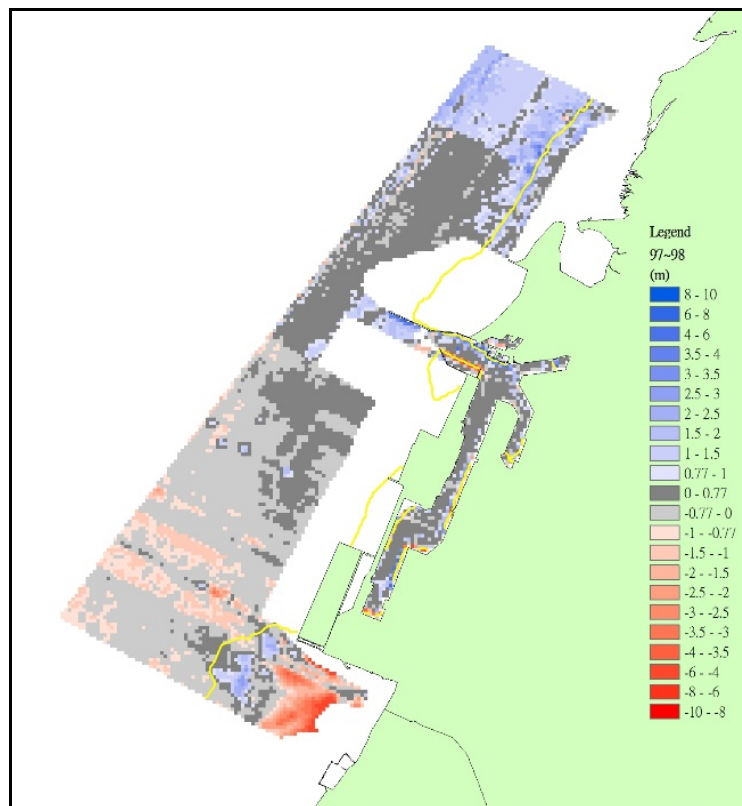


圖 2.8 97 年~98 年侵淤比較圖

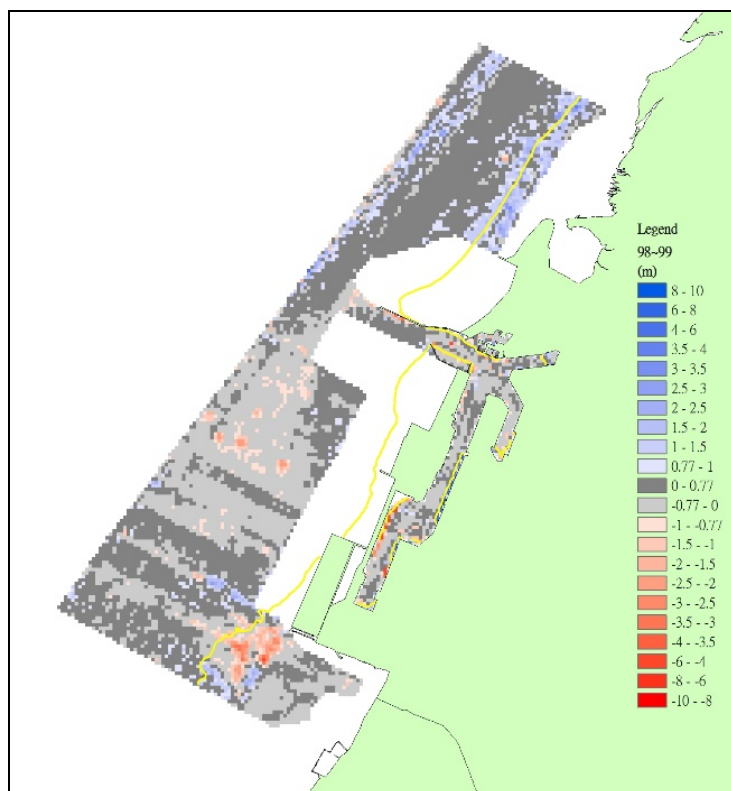


圖 2.9 98 年~99 年侵淤比較圖

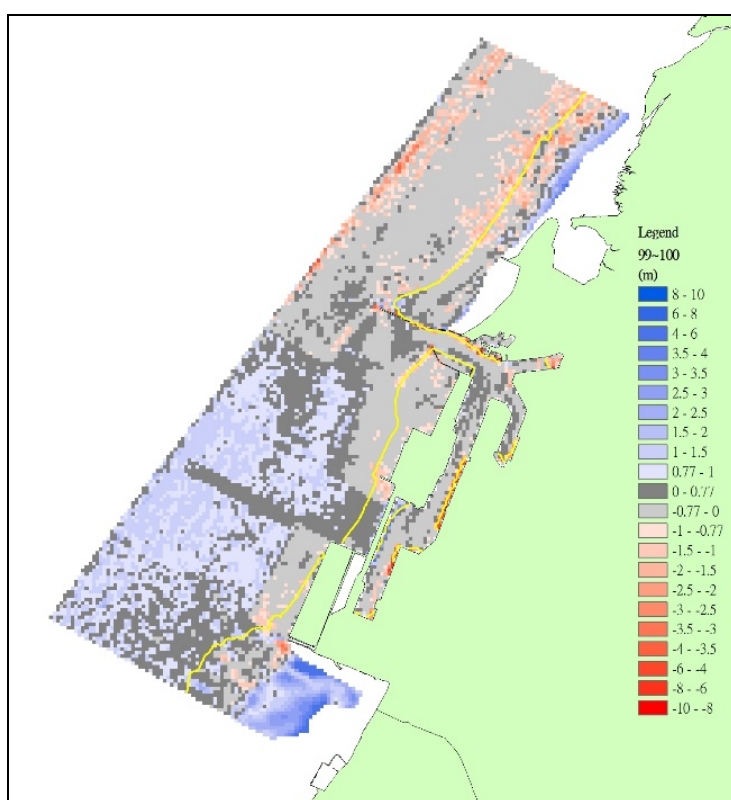


圖 2.10 99 年~100 年侵淤比較圖

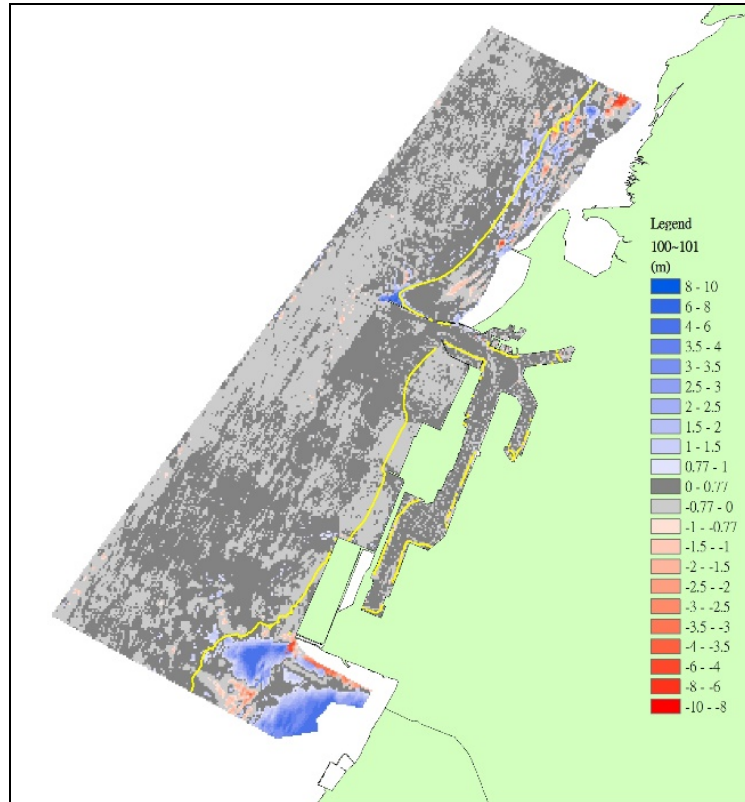


圖 2.11 100 年~101 年侵淤比較圖

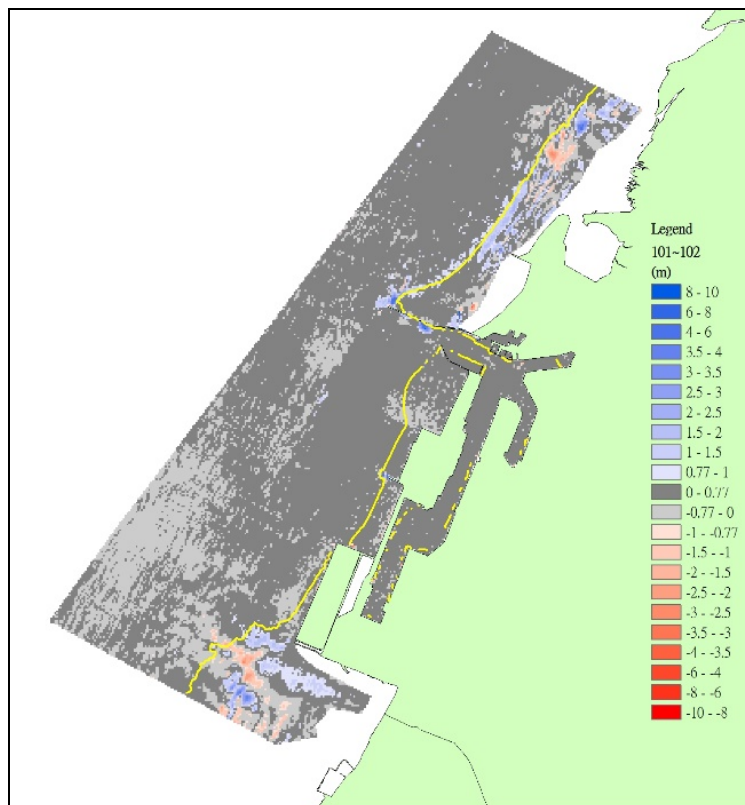


圖 2.12 101 年~102 年侵淤比較圖

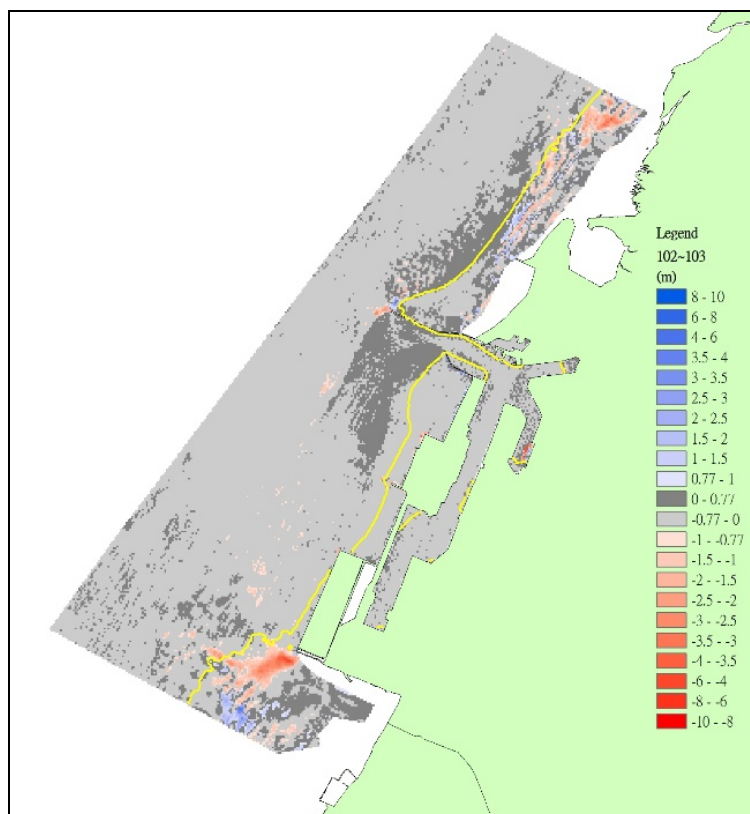


圖 2.13 102 年~103 年侵淤比較圖

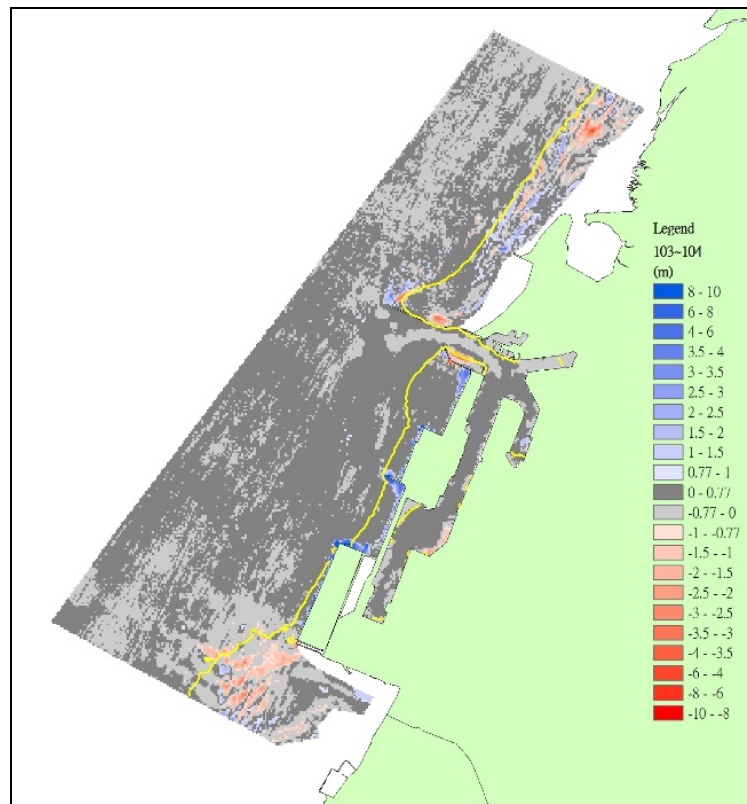


圖 2.14 103 年~104 年侵淤比較圖

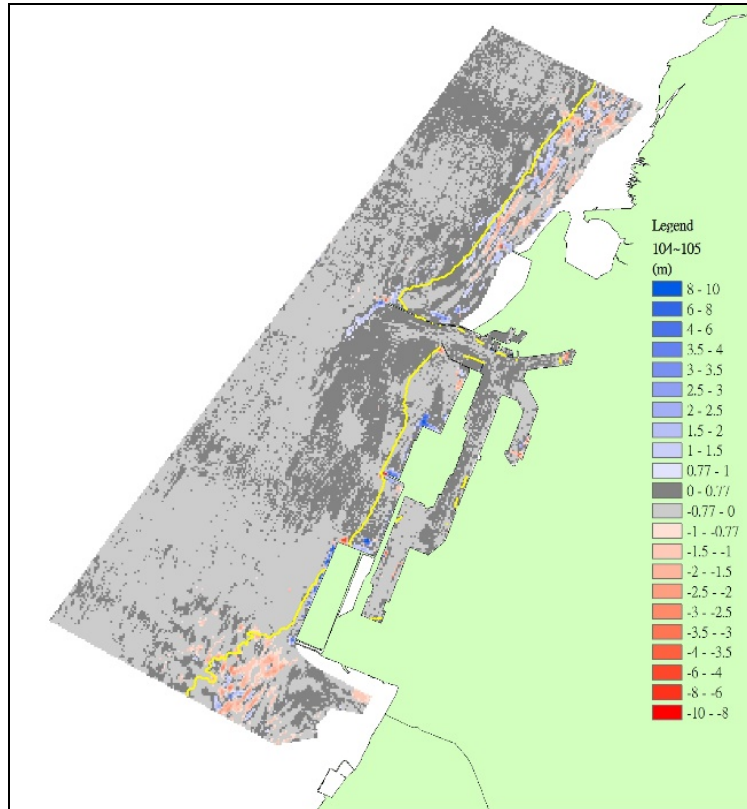


圖 2.15 104 年~105 年侵淤比較圖

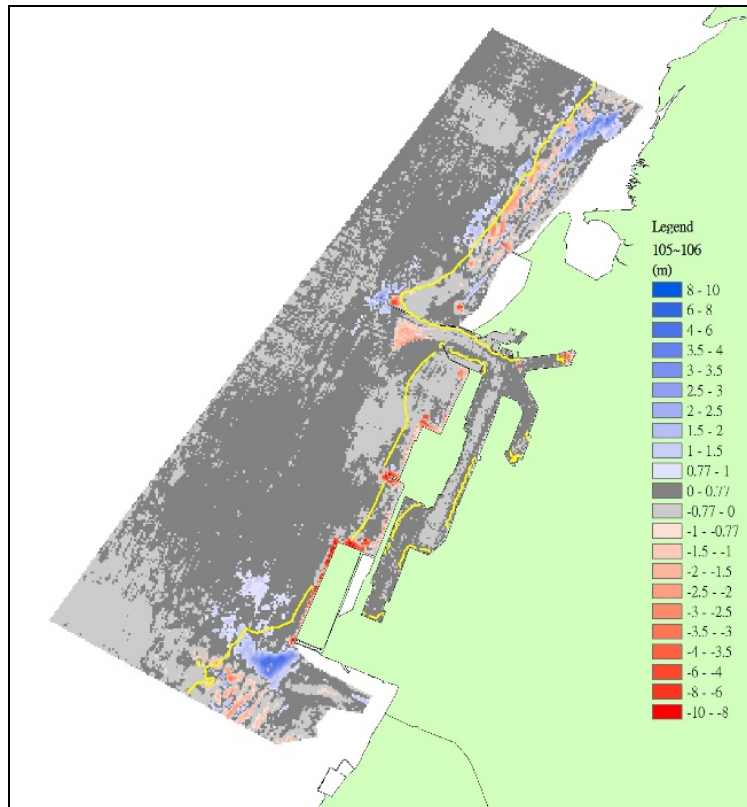


圖 2.16 105 年~106 年侵淤比較圖

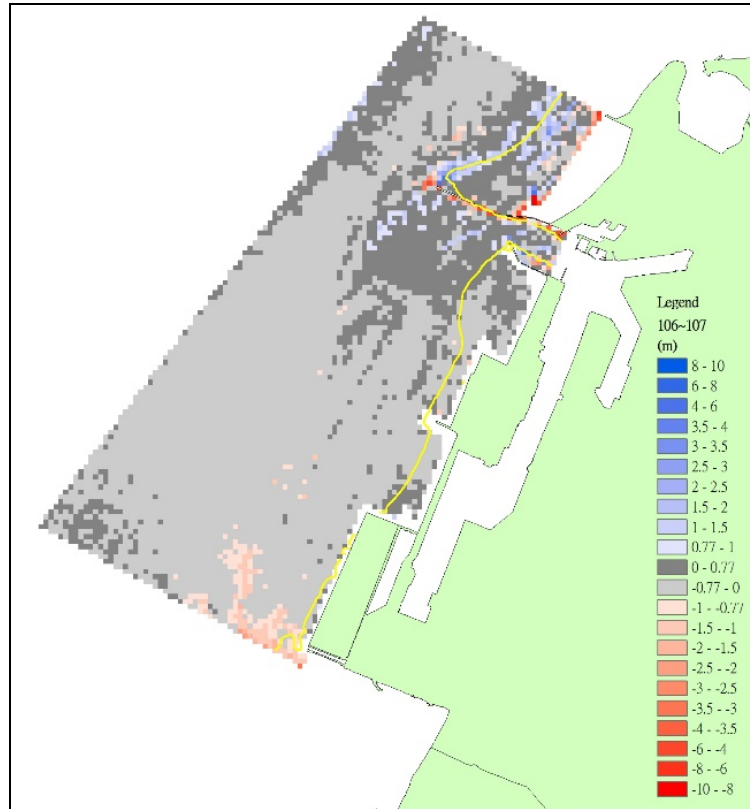


圖 2.17 106 年~107 年侵淤比較圖

2.歷年土方量分析

利用 Sufer 軟體將相鄰兩年度之測量成果來進行分區土方變化及平均水深變化比較，平均水深變化值為土方量除以計算面積，依照臺中港周圍海域特性，將監測範圍分為 6 區，各分區說明如下，分區圖如圖 2-18 所示。

(1)地形變化較小之深水區

檢視歷年測量成果，找出水深變化幅度較小之區域。

(2)臺中港北防砂堤至大甲溪出海口北岸

本區域為大甲溪出海口，河口地形變化較大。

(3)臺中港北防波堤至北防砂堤

臺中港海岸漂砂優勢方向為由北往南運移，受北防波堤的攔阻，大量漂砂淤積於本區域。

(4)臺中港北防波堤至臺中港南填方區外側

北邊雖有北防波堤攔砂，但部分砂源隨著堤頭強烈海流而漂移至

本區。

(5)臺中港港區南側至大肚溪南岸

本區域為大肚溪出海口，河口地形變化較大。

(6)臺中港港內

港內水深地形易受工程影響而呈現大幅的侵淤變化。



圖 2.18 臺中港水深地形分區圖

臺中港水深地形分區土方量變化及平均水深變化量如表 2.7 及表 2.8 所示（負值為侵蝕，正值為淤積），98 年及 107 年因部分區域無測

量成果故沒有土方變化量。101 年至 102 年及 105 年至 106 年皆呈現全面淤積之現象，101 年至 102 年全區之平均水深變化量變化約為 0.25 公尺，105 年至 106 年全區之平均水深變化量變化約為 0.12 公尺，而 102 年至 103 年則呈現全面侵蝕的現象，全區之平均水深變化量變化約為-0.16 公尺。98 年至 102 年全區為逐年淤積，102 年之後則為侵淤互現，而第 2 區至第 5 區之侵淤變化較第 1 區及第 6 區大，第 2 區至第 5 區為近岸端，水深地形較容易受到影響。

表 2.7 臺中港水深地形分區土方量變化比較表(96 年~107 年)(m³)

區段	96~97 年	97~98 年	98~99 年	99~100 年	100~101 年	101~102 年
第 1 區	1,571,906	2,504,022	3,462,428	9,924,634	-626,050	5,119,345
第 2 區	107,018	3,911,968	8,815,537	-3,940,663	2,507,583	3,544,401
第 3 區	3,460,219	-	-	-2,129,966	1,557,046	3,501,586
第 4 區	6,984,907	-	-	6,155,194	1,348,517	6,045,394
第 5 區	-229,283	-9,410,628	-1,419,861	14,214,550	11,731,753	2,116,369
第 6 區	52,063	4,045,714	-12,603	-2,379,403	867,969	2,060,275

區段	102~103 年	103~104 年	104~105 年	105~106 年	106~107 年
第 1 區	-9,238,106	1,848,555	-2,672,400	3,155,243	-
第 2 區	-1,859,481	251,511	-246,889	2,437,266	-
第 3 區	-180,800	1,346,860	895,171	998,091	1,320,050
第 4 區	-6,851,914	8,669,202	484,432	2,817,232	-4,692,020
第 5 區	-3,207,217	-2,632,925	-3,764,973	2,444,187	-
第 6 區	-1,092,319	-210,423	-266,318	58,156	-

表 2.8 臺中港水深地形分區平均水深變化比較表(96 年~107 年)(m)

區段	96~97 年	97~98 年	98~99 年	99~100 年	100~101 年	101~102 年
第 1 區	0.04	0.06	0.08	0.24	-0.01	0.12
第 2 區	0.01	0.41	0.91	-0.40	0.26	0.36
第 3 區	0.44	-	-	-0.27	0.20	0.44
第 4 區	0.22	-	-	0.19	0.04	0.19
第 5 區	-0.02	-0.64	-0.10	0.96	0.78	0.14
第 6 區	0.58	0.46	0.00	-0.28	0.09	0.22
全區	0.21	-0.02	0.45	0.07	0.23	0.25

區段	102~103 年	103~104 年	104~105 年	105~106 年	106~107 年
第 1 區	-0.22	0.04	-0.06	0.07	-
第 2 區	-0.19	0.03	-0.03	0.25	-
第 3 區	-0.02	0.17	0.11	0.13	0.17
第 4 區	-0.21	0.27	0.02	0.09	-0.15
第 5 區	-0.21	-0.17	-0.25	0.16	-
第 6 區	-0.12	-0.02	-0.03	0.01	-
全區	-0.16	0.05	-0.04	0.12	0.01

2.2 水工模型試驗

本計畫之漂沙水工模型試驗於本所港研中心之第二試驗場棚進行，試驗項目為進行預備試驗、試驗設備、試驗條件及過程，詳述如下。

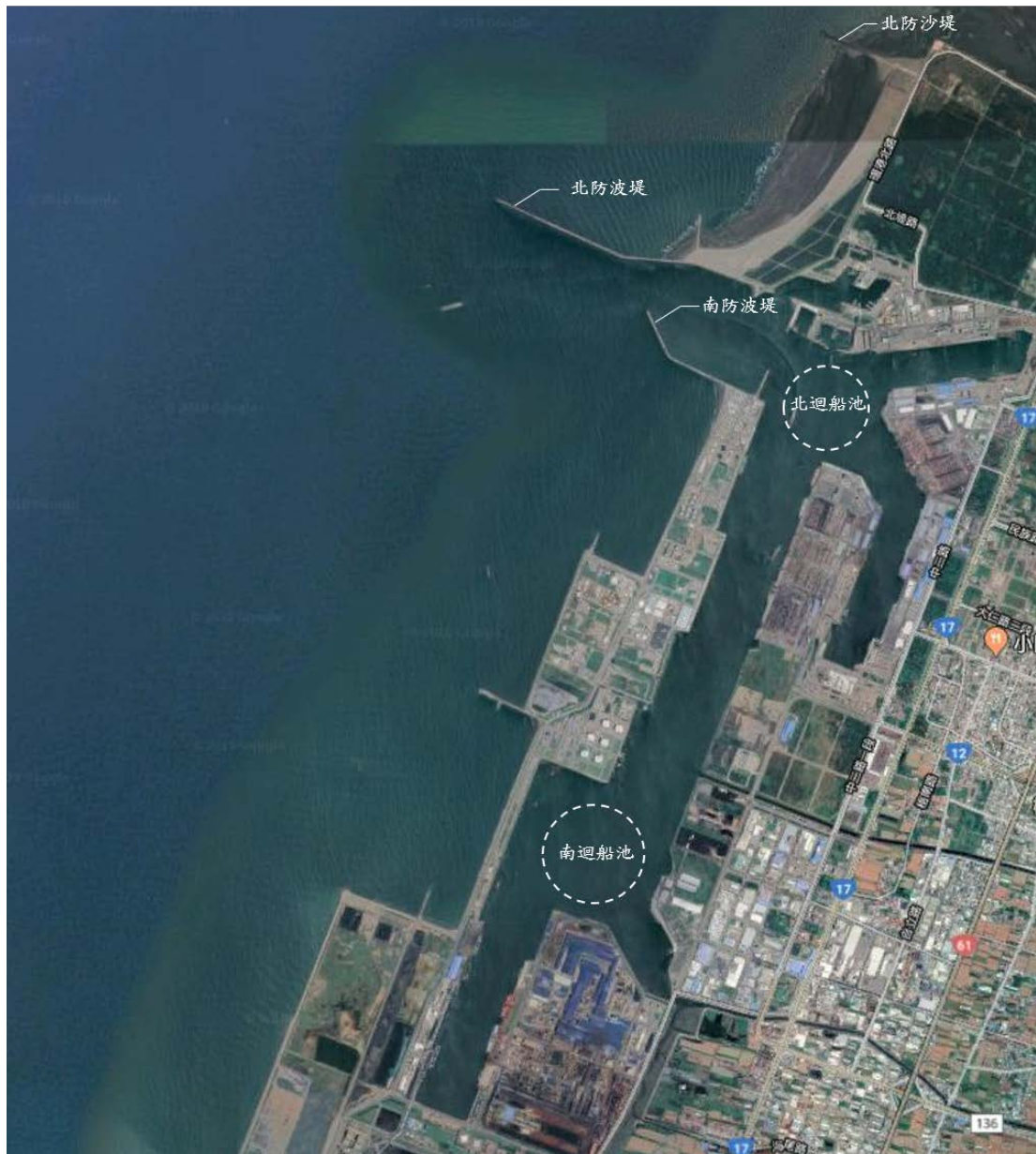


圖 2.19 臺中港試驗範圍配置圖

2.2.1 試驗設備

本試驗於港灣技術研究中心第二試驗場棚進行，相關設備與量測儀器說明如下：

1. 試驗水池：長 62m、寬 57m、深 1m，池內有潮汐控制系統。
2. 不規則造波機：本造波機係英國 HR Wallingford 公司出品之機械推移式不規則造波機，其由四個獨立造波模組組成。利用電腦傳送數位訊號至控制器，再傳送至各造波機模組，可模擬規則波及多種波譜型態之不規則波。
3. 容量型波高計及資料擷取處理系統：波高計用於量測水位變化。透過資料擷取處理系統，波高計感應之波浪條件，經 PC 分析後，選擇及修正需要的試驗波浪。
4. 水準儀：用以量測模型底床高程變化。

2.2.2 試驗條件

依據本所港研中心之現場觀測資料及 2.1 節之其他單位研究分析資料，擷取本所試驗所需資料，相關試驗條件包含試驗水位與試驗波浪等說明如下。

1. 試驗水位

臺中港附近海域之潮位統計資料如下：

最高潮位(H.H.W.L.)	+6.00m
平均高潮位(M.H.W.L.)	+4.61m
平均潮位(M.W.L.)	+2.76m
平均低潮位(M.L.W.L.)	+0.89m

考慮現場地形之長時間性變化，及季節風波浪與颱風波浪之不同情況，因此，試驗時，以 M.H.W.L.~M.L.W.L.(即+4.61m~+0.89m)作為季節風波浪作用時之變化水位；而以 H.H.W.L.~M.W.L.(+6.00m~+2.76m)作為颱風波浪作用之變化水位。

2. 試驗波浪

一般漂沙試驗佈置過程分為預備試驗與預定規劃港型探討其對港外地形變化影響之後續試驗等兩大部份，預備試驗為比較往昔已有之現場與模型試驗之地形變遷趨勢，用以尋求最佳的試驗重現時間，因此，試驗波浪即須配合現場地形資料的選取時間。

考慮預備試驗使用之現場地形資料時間為 99 年 12 月~100 年 5 月及 99 年 11 月~100 年 8 月(參考後節較詳細說明)，而波浪條件擬參考本所港研中心辦理之現場觀測資料。本所港研中心於臺中港外海之波浪觀測屬長期性之資料，本次試驗採用 99 年 11、12 月份，100 年 1~3 月份之冬季季風波浪(每年 10 月至翌年 3 月)，及 100 年 5 月 27 日的桑達颱風之颱風波浪資料。因蒐集之現場地形資料無夏季季風波浪作用前後資料，故本所今年(107 年)5 月及 11 月分別進行臺中港現場地形測量，且本年度恰無颱風侵襲臺中，明年將以 107 年 5 月~107 年 11 月之現場地形資料，搭配夏季季風波浪條件進行試驗，以求出夏季期間之重現期，另再取一年與二年之現場地形資料進行校驗工作。以本次試驗冬季季風波浪而言，波高以 2.61m 為代表，週期則為 7.1 秒，波向介於 N~E 間。而 100 年 5 月份之桑達颱風的波浪量測資料為：波高代表值 2.78m、週期 8.4 秒、波向 NNE 向。

綜合上述分析說明，本預備試驗擬採用之試驗波浪條件為：(1)冬季季風波浪為，波高 2.61m 搭配週期為 7.1 秒，波向為 NNE 向。(2)颱風波浪取 100 年 5 月桑達颱風之波高為 2.78m，週期 8.4 秒，波向為 NNE 向。

2.2.3 試驗比尺

漂沙動床試驗中，試驗波浪比例尺的選擇適當與否，影響試驗結果的正確性甚巨。由於現場漂沙運移機制影響因素甚多，因此，往昔學者專家的研究成果亦莫衷一是，此情況如下表 2.9 所示。

表 2.9 漂沙動床模型相似律之比較(摘自歐、許論文)

作者	推導法則	N_T	N_H
Goddet 等人(1960)	浪與流交互作用下底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Valembois(1960)	懸浮質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	$\mu^{4/5}$
Yalin(1963)	因次分析	$\mu^{1/2}$	μ
Fan 等人(1969)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Noda(1972)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Kamphuis(1972)	底質運動條件相似	$\mu^{1/2}$	μ
Dalrymple and Thompson(1976)	考慮參數 $H_0/\omega_0 T$ 之相似性	$\mu^{1/2}$	μ
樁木(1982)	考慮參數 u^*/ω_0 之相似性	$\mu^{1/2}$	μ
許泰文等人(1985)	碎波帶內漂沙現象及地形變化性質相似	$N_r^{1/2} \cdot N_{D50}^{1/6} \cdot \mu^{1/5} \cdot \lambda^{2/15}$	N_T^2

依據上述學者之結果及本所港研中心往昔從事漂沙試驗之經驗，當從事台灣西部海岸地形變遷之水工模型試驗者，應用許泰文等人之模式可獲致較佳之試驗結果；若屬於台灣東部地形者，則引用其他人之結果較為妥適。因此，本試驗之波浪比尺係採用許等人之模式比尺為

$$\text{波高比尺, } N_H = \mu^{2/5} \lambda^{4/15} N_r N_{D50}^{1/3}$$

$$\text{週期比尺, } N_T = \mu^{1/5} \lambda^{2/15} N_r^{1/2} N_{D50}^{1/6} = N_H^{1/2}$$

$$\text{潮汐比尺, } N_t = \lambda / (\mu)^{1/2}$$

式中 N_T ：波浪週期比尺， N_H ：波高比尺， μ ：垂直比尺， λ ：水平比尺， r ：底質比重， D_{50} ：底沙之中值粒徑。

從模型相似性觀之，應儘可能採用等比模型試驗，然而面臨包含廣大海域之海岸動床漂沙模型試驗，其水平方向與垂直方向一般無法採用同一比尺，否則在垂直比尺方面將因比尺太小，導致模型水深太淺與波高太小，因此必需採用平面方向與垂直方向比尺不同之歪比模型。另外，為考量預定應用之現場範圍、試驗水池大小，及考慮應用上列公式與造波機造波能力，本試驗之水平與垂直比尺採用如下：

$$\text{水平比尺: } \lambda = 1/300$$

$$\text{垂直比尺: } \mu = 1/75$$

2.2.4 試驗步驟

有關預備試驗及將來後續之規劃港型、防治對策試驗等皆依循下列之試驗步驟進行：

1. 於預備試驗之模型鋪設前，先行檢驗試驗波高、週期。由於各項試驗配置之造波時間長，波浪經地形反射結果，入射波高可能受影響而改變，因此於試驗中每隔 30 分鐘取其 2 分鐘造波資料分析，以 H 及 T 調整修正入射波高與週期。
2. 鋪設各種試驗配置相對應之現場地形，作為模型試驗之初期地形，如圖 2.20～2.23。
3. 於模型鋪設完畢後，先行造波 5 分鐘讓地形勻稱，再以水準儀量測地形變化視為造波前之初期地形(詳圖 2.24～2.25)，爾後再依試驗條件造波，並於各時段中量測地形變化情況，量測時則將試驗水池水放掉，避免標桿之沉陷以減低量測之誤差。

4. 依各種試驗配置需求，於適當時間量測一次地形變化，予與現場地形作一比較。



圖 2.20 模型施作之場地丈量

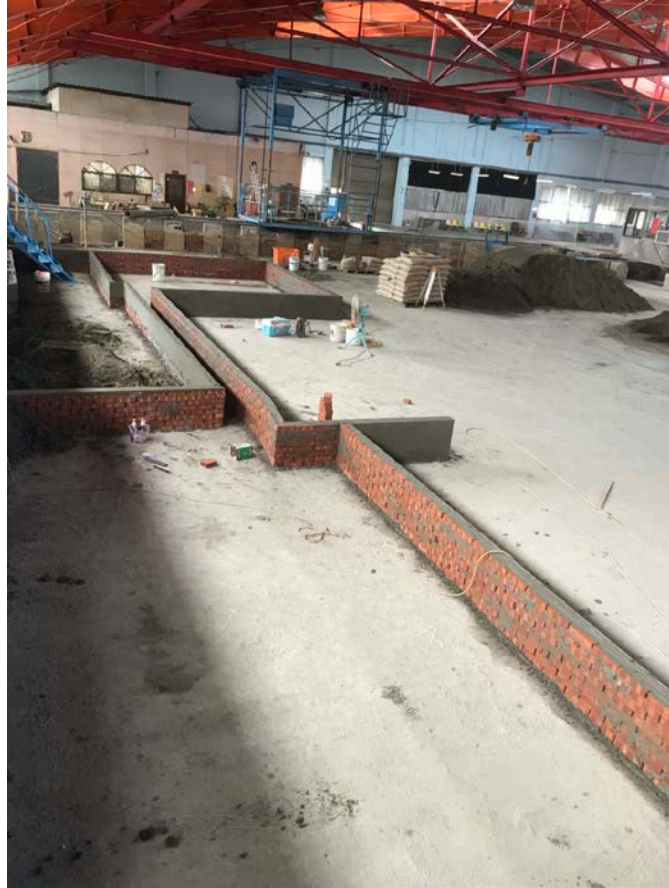


圖 2.21 模型施作之港區結構物砌磚



圖 2.22 模型施作之地形鋪設



圖 2.23 完成試驗之現場地形鋪設



圖 2.24 造波 5 分鐘讓地形勻稱



圖 2.25 以水準儀量測初期地形

2.3 預備試驗

預備試驗主要係利用現場水深地形資料製作水工模型，以尋求模型與現場地形變化的重現時間，決定漂沙變化之時間比尺，提供作為後續規劃港型與防治對策試驗時間之依據。為符合現場地形受波浪等海象條件之影響情況，試驗中應分別以冬、夏季季節風波浪與颱風波浪等試驗條件搭配方式，模擬現場波浪的作用時序，有關擬定之試驗條件、試驗原則與試驗過程，分述如下。

2.3.1 試驗條件

依據前 2.2 節之試驗條件與試驗比尺說明，有關預備試驗之現場與試驗模型之各項物理量換算，如表 2.10 所示。

表 2.10 預備試驗條件說明表

物理量	比尺	類別		現場	試驗
水平比尺	1/300				
垂直比尺	1/75	潮位	季風	+4.61 ~ +0.89 m	+6.15 ~ +1.19 cm
			颱風	+6.00 ~ +2.76 m	+8.00 ~ +3.68 cm
波高	1/25.74	冬季波浪		2.61 m	10.14 cm
		颱風波浪		2.78 m	10.8 cm
週期	1/5.07	冬季波浪		7.1 秒	1.4 秒
		颱風波浪		8.4 秒	1.66 秒
潮汐比尺	1/34.6	半日潮		12hr	20.8min

2.3.2 試驗原則

臺灣氣候本有四季之分，但因所蒐集之現場地形資料多為 9 月施測，惟 99 年 12 月~100 年 5 月於冬季季風季節前後各施測一次，為試驗資料比對方便，預備試驗將受波浪作用而產生之地形變化時間區隔為冬季期間(每年 10 月至翌年 3 月)與夏季期間(每年 4 月至 9 月)。冬季期間之地形變化主要受冬季季節風波浪影響，而夏季期期間之地形則受夏季季節風波浪與可能發生之颱風波浪影響。於夏季期間，雖然夏季季風波浪作用時間較長，而颱風波浪僅作用數日而已，然颱風波浪對地形變化之影響卻遠大於季風波浪，因此，試驗中有必要分別探討颱風與季風波浪對地形變化之影響。據此，預備試驗之試驗步驟如下：

1. 以季節風波浪(分別為夏季與冬季)試驗，比較相對之現場與模型地形的變化情況。

2. 原應僅以實際發生之颱風波浪條件試驗，比較相對之夏季期間地形變化情況，惟本年度(107 年)蒐集之地形資料無夏季季風前後之測量資料，故先以 99 年 11 月至 100 年 8 月之地形資料，配合本所港灣技術研究中心該區間之冬季季風及颱風波浪觀測資料進行試驗，比較相對期間之地形變化情況。
3. 夏季季風波浪配合颱風波浪試驗，比較夏季期間地形變化情況。(108 年)
4. 依據上述冬、夏季季風波浪與颱風波浪作用說明，分析比較整年地形變化之試驗重現時間。(108 年)

2.3.3 試驗配置

配合本所港研中心近年來於臺中港海域之現場觀測時間，有關本年度(107 年)預備試驗蒐集之現場水深地形測量資料計有：(1)臺中港務分公司提供之 99 年 11 月、100 年 8 月等 2 次測量資料；(2)經濟部水利署第三河川局提供之 99 年 12 月、100 年 5 月等 2 次測量資料。上述 4 次水深地形資料之測量範圍皆為臺中港北防沙堤至烏溪出海口附近區域，惟為考慮試驗地形邊界範圍，於模型鋪設時，外圍區域地形同樣分別搭配 99 年 11 月及 99 年 12 月之現場量測資料，有關試驗地形範圍示意如圖 2.26 所示。

依前述預備試驗之試驗原則說明，同時配合現場量測地形與波浪觀測資料，有關本年度預備試驗擬定之試驗配置及順序如下表所示。

表 2.11 預備試驗配置順序表

試驗配置	試驗條件	現場地形時間	備註
A	冬季季風波浪	99.12~100.05	
B	冬季季風波浪+夏季颱風波浪	99.11~100.08	桑達颱風

如前所述，試驗中係以每年 10 月至翌年 3 月作為冬季季風波浪之作用期間，另以每年 4 月至 9 月為夏季季風作用期間，其間亦包含颱風波浪作用。依據前試驗原則說明，本年度(107 年)預備試驗先分別尋求冬季期間及颱風期間之模型試驗的重現時間。如表 2.11 說明，由於現場地形測量資料剛好為冬季季風作用之前後期間且無主要颱風侵襲，故先以 99 年 12 月~100 年 5 月地形資料測試冬季波浪重現間之試驗，如表中試驗配置 A 者。

由於夏季期間之颱風作用為影響地形變化之較主要因素，因此，夏季期間之地形重現時間試驗，先進行颱風波浪作用之試驗測試，惟蒐集之地形資料無夏季期間前後之資料，故以 99 年 11 月~100 年 8 月地形資料測試冬季期間及颱風重現時間，明年再搭配夏季季風波浪試驗，用以尋求較符合現場情況之試驗，如表中試驗配置 B 者。

依據冬、夏季之試驗重現時間結果，最後以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。

2.3.4 試驗結果分析

依據前試驗配置說明依序進行各次之預備試驗，其中冬季季風波浪之波高為 2.61m、週期 7.1 秒；颱風波浪波高為 2.78m、週期 8.4 秒。各項試驗配置之分析結果，如下分述。

1. 試驗配置 A 之結果

圖 2.27 為 99 年 12 月~100 年 5 月間臺中港港外附近之現場地形各等深線的變化情形，圖中實線為 99 年 12 月之地形，虛線則為 100 年 5 月者。

圖 2.28~圖 2.31 為試驗配置 A 於冬季季風波浪作用下，分別於試驗累積時間 4 小時、6 小時、8 小時及 10 小時後之各等深線的變化比較，各圖中實線為依 99 年 12 月現場地形鋪設之試驗初期地形，虛線則是各試驗累積時間後之地形。

本預備試驗之重現時間的獲取，主要係以試驗成果之各等深線的變化趨勢是否符合現場地形變化，作為研判依據。其中，或許有部份等深線無法完全符合，此實為漂沙試驗和現場實物之差異存在，故仍以整體性之變化趨勢作為考量依據。

由圖 2.28~圖 2.31 之試驗結果與圖 2.27 之現場變化比較，其中，由圖 2.30 之試驗結果顯示，除-5m 等深線之變化差異較大外，其餘各等深線的變化趨勢尚能符合現場地形的變化情況。因此，由試驗配置 A 得知，累積試驗時間 8 小時可重現冬季期間之現場地形變化。

2. 試驗配置 B 之結果

由於夏季期間常有颱風侵襲臺灣地區，而較大波高與較長時間週期之颱風波浪為臺灣海岸地形變遷的主要影響因素，因此，先辦理純由颱風波浪作用之試驗，用以觀察颱風波浪之影響性。惟本年度蒐集之地形資料無夏季期間前後之資料，故以 99 年 11 月~100 年 8 月地形資料測試冬季期間及夏季颱風之重現時間，圖 2.32 為 99 年 11 月~100 年 8 月之現場冬季期間及夏季颱風地形變化圖，圖 2.33~圖 2.36 則為試驗配置 B 之冬季季風作用 8 小時後，颱風波浪作用 10、20、30、40 分鐘後之試驗結果，各圖中之虛、實線表示與前者相同。

比較圖 2.33~圖 2.36 之試驗結果與圖 2.32 現場地形變化情況，圖 2.35 之累積颱風波浪 30 分鐘後之試驗結果的整體性變化趨勢較其他試驗時間者為佳。圖 2.35 中，雖然+2、0、-2、-5 等深線較能符合現場地形變化情況，而-10 與-15 等深線的差異仍大，但整體侵淤趨勢多和圖 2.32 符合。

雖然颱風波浪對地形影響較大，但其影響時間僅幾日而已，因此，仍有必要考量夏季季風波浪的作用時間，明年度(108 年)將就今年 5 月及 11 月之地形資料測試夏季期間之試驗重現時間。



圖 2.26 預備試驗地形鋪設範圍示意圖

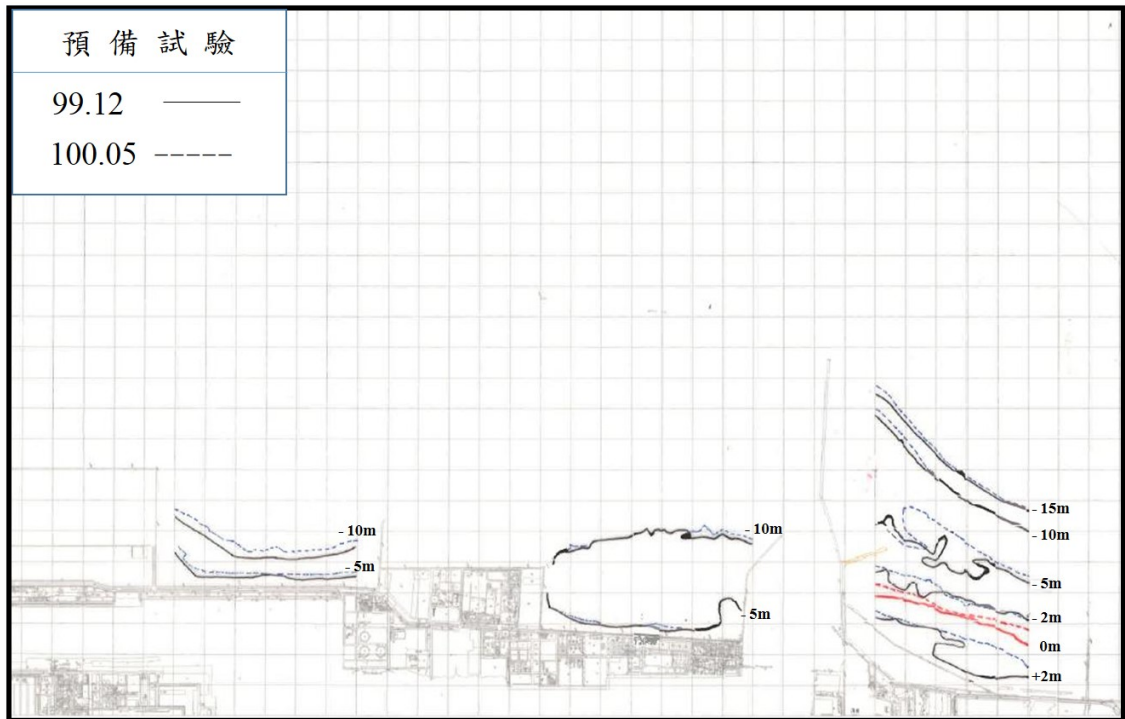


圖 2.27 99 年 12 月至 100 年 5 月之現場地形變化圖

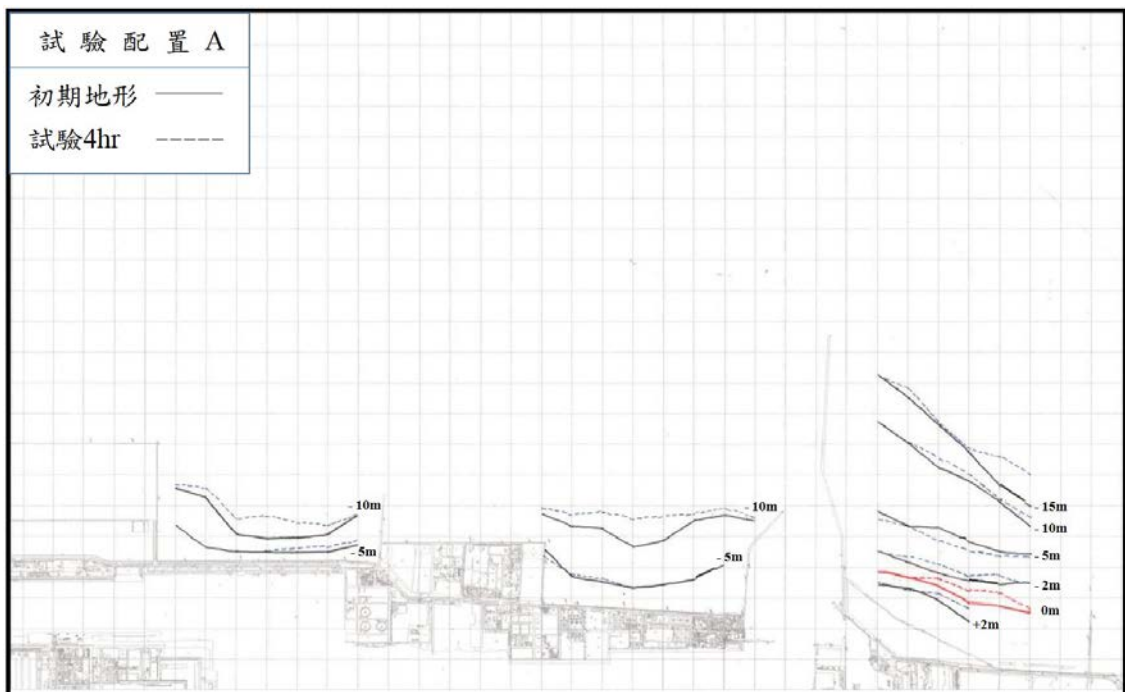


圖 2.28 試驗配置 A，試驗 4 小時後地形變化比較圖

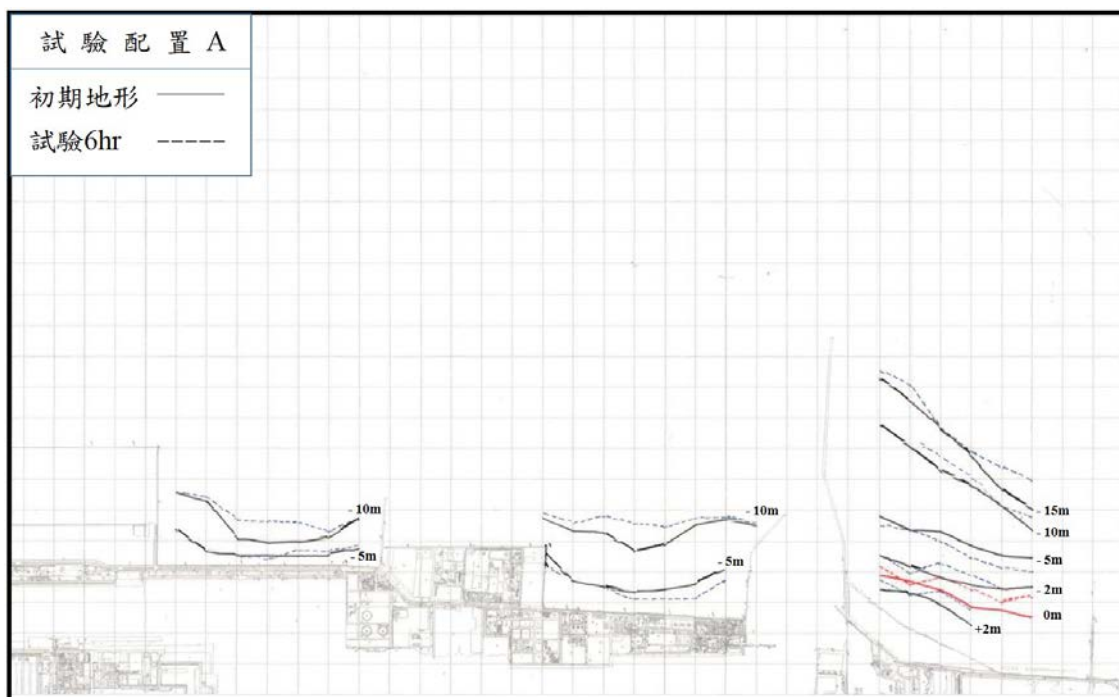


圖 2.29 試驗配置 A，試驗 6 小時後地形變化比較圖

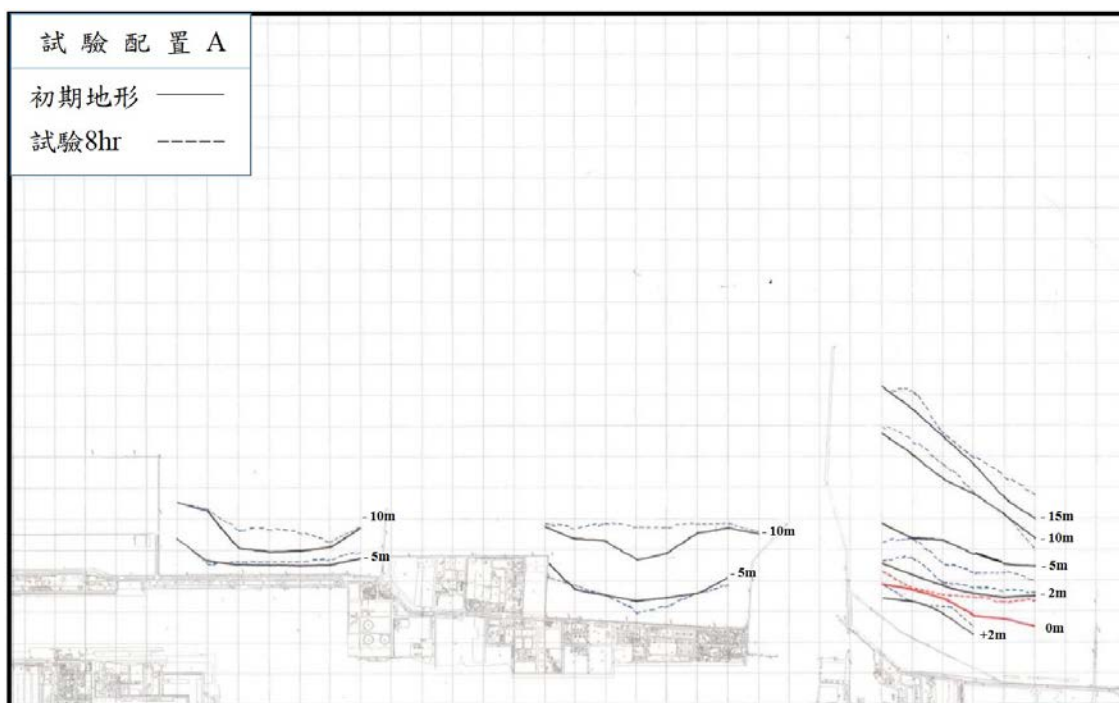


圖 2.30 試驗配置 A，試驗 8 小時後地形變化比較圖

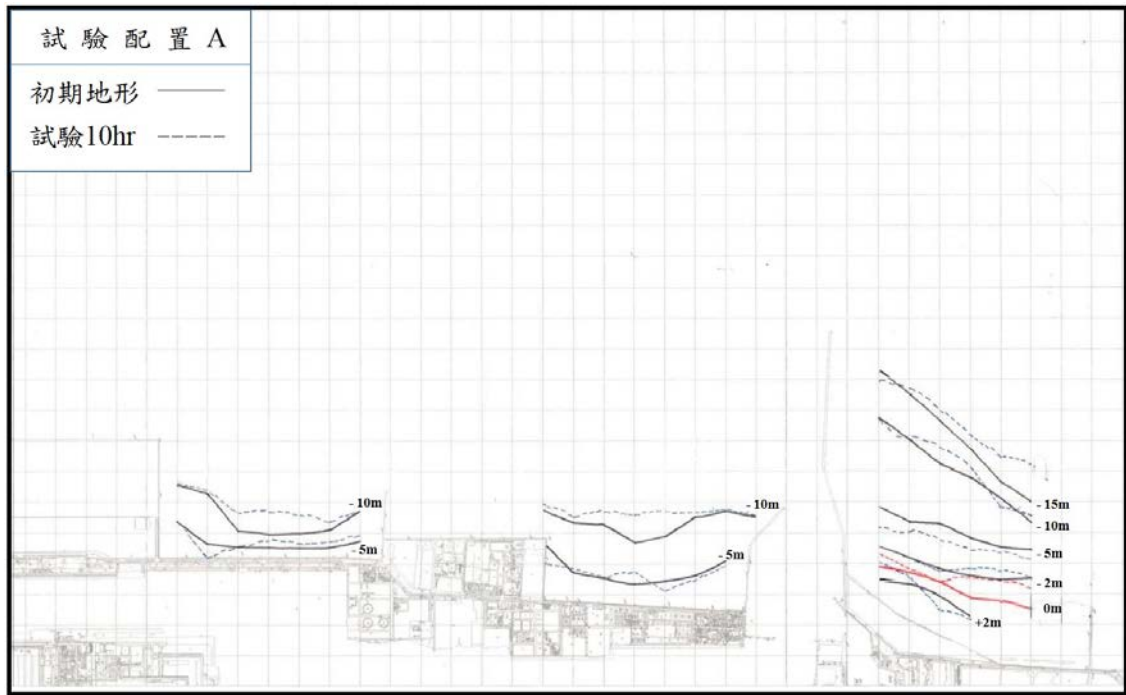


圖 2.31 試驗配置 A，試驗 10 小時後地形變化比較圖

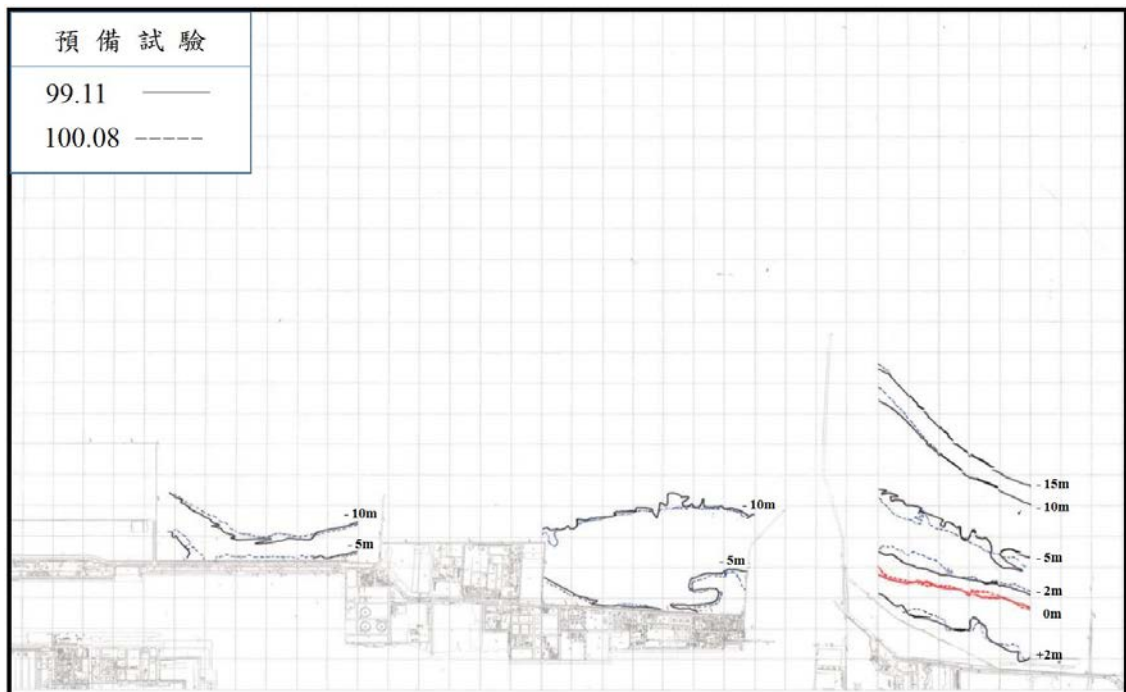


圖 2.32 99 年 11 月至 100 年 8 月之現場地形變化圖

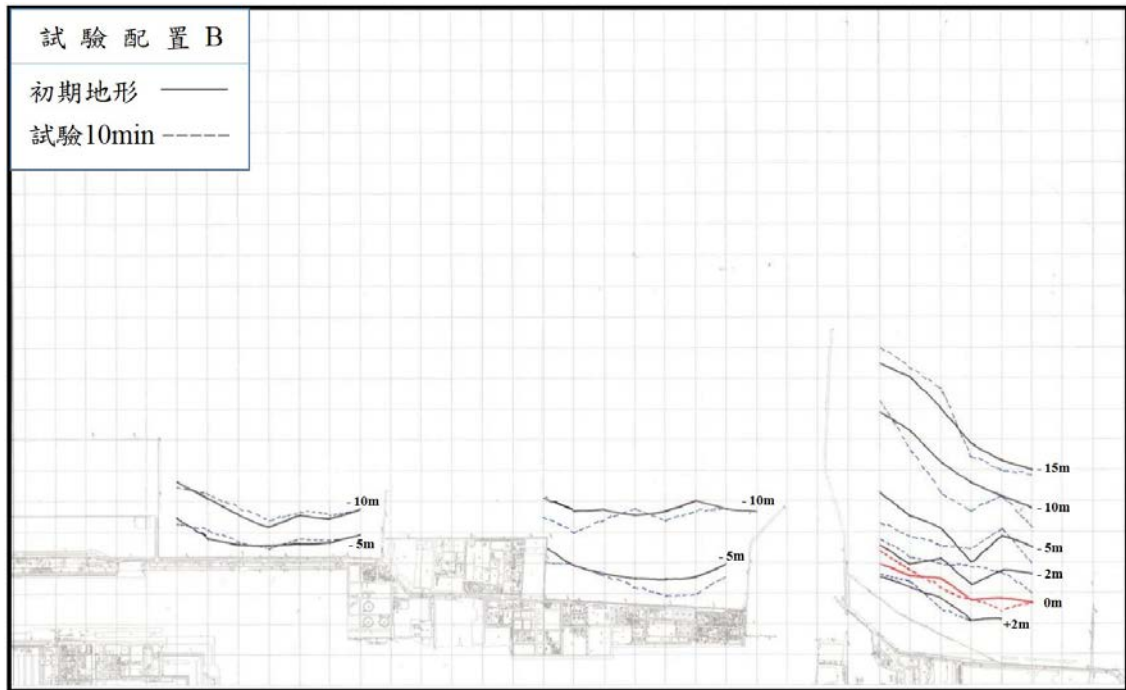


圖 2.33 試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 10 分鐘後地形變化比較圖

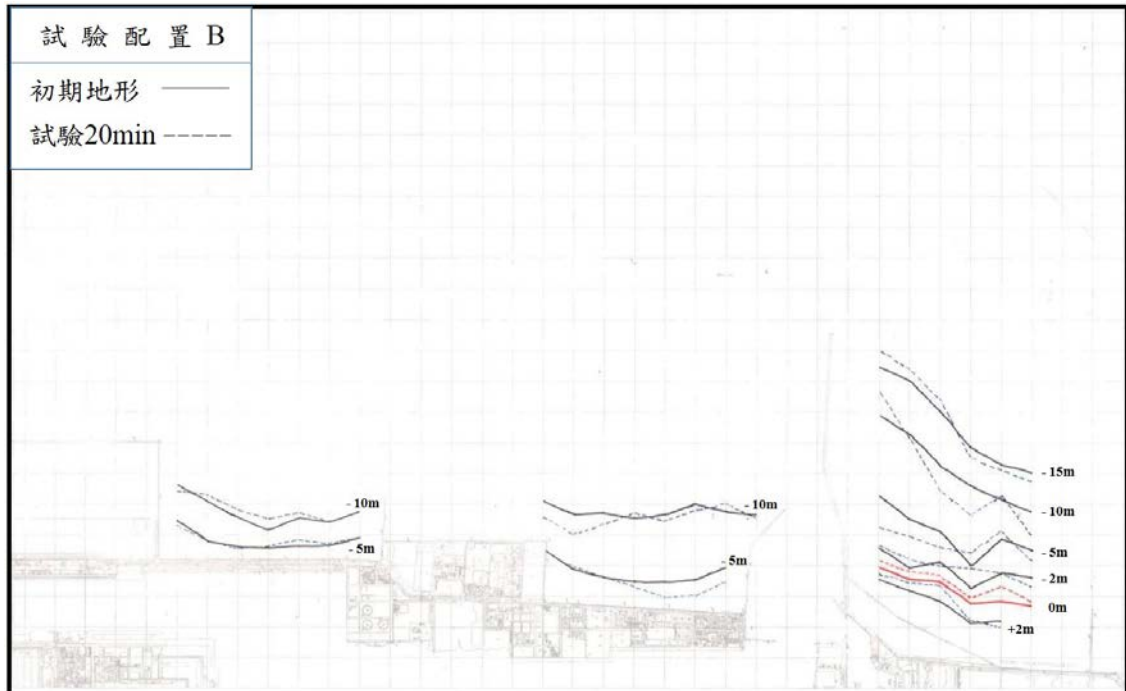


圖 2.34 試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 20 分鐘後地形變化比較圖

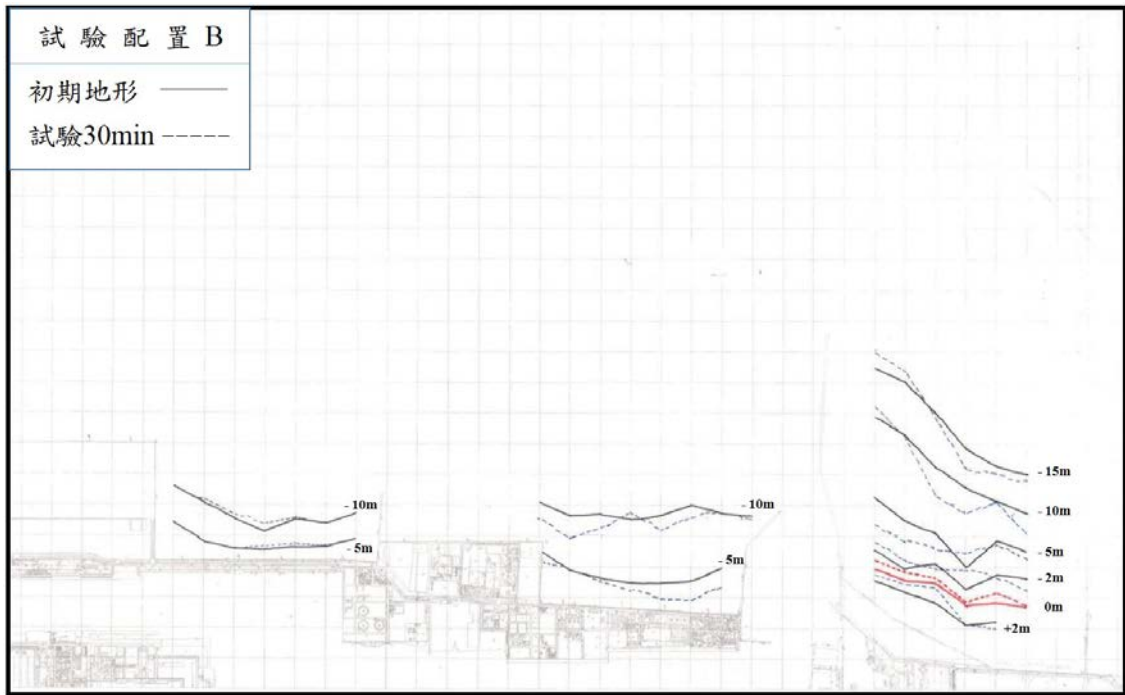


圖 2.35 試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 30 分鐘後地形變化比較圖

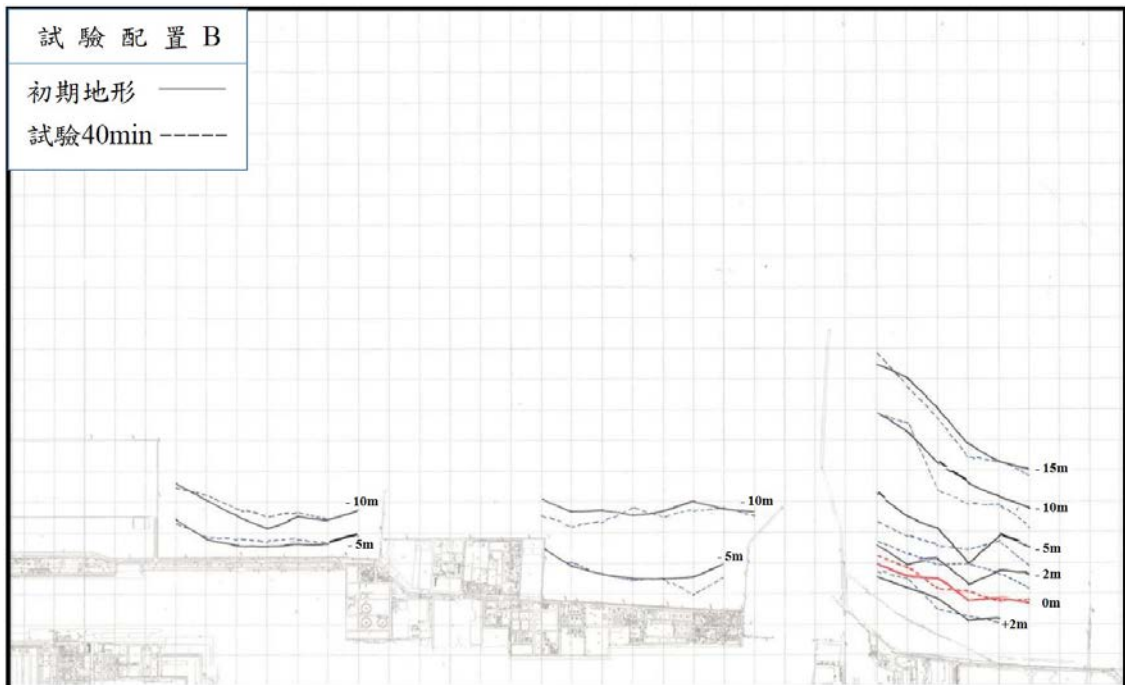


圖 2.36 試驗配置 B，冬季季風 8 小時及颱風 40 分鐘後地形變化比較圖

第三章 離岸風電基樁淘刷之探討

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。

3.1 基樁淘刷過程機制

3.1.1 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 3.1，對於 KC 值大於 $O(1)$ 或是 $Re > 5$ 時，流體經過基樁圓柱會產生分離現象(Sumer and Fredsoe,2002)，其主要原因為流體碰到圓柱而往不同方向運動所造成。

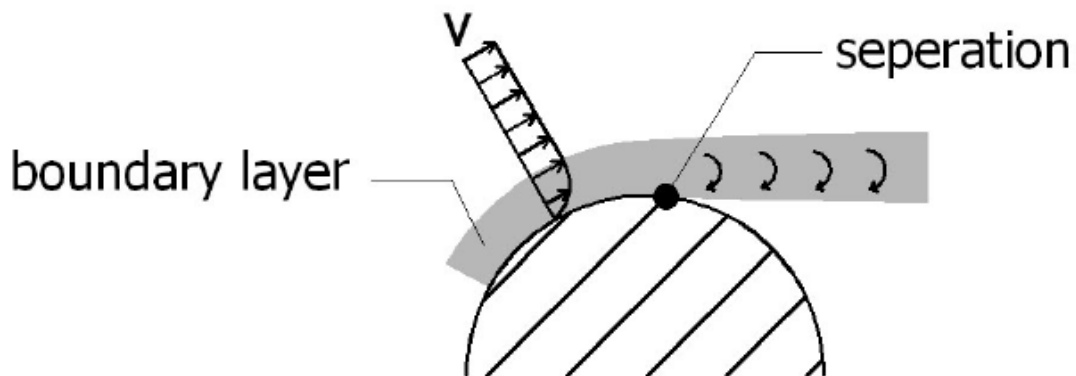


圖 3.1 流體分離現象示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

而 KC 值(Keulegan-Carpenter number)為一跟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。

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 3.2)，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。

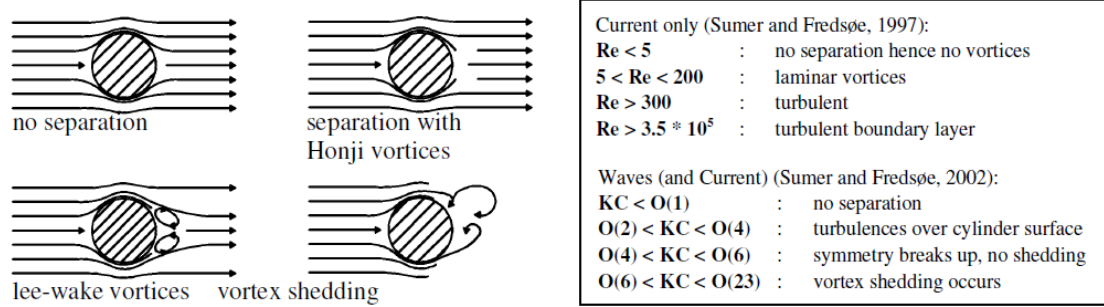


圖 3.2 尾流渦流示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

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，將造成流體得轉動效應，而其於基樁圓柱前翻轉得形狀像個馬蹄，故得此名。如圖 3.3，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。

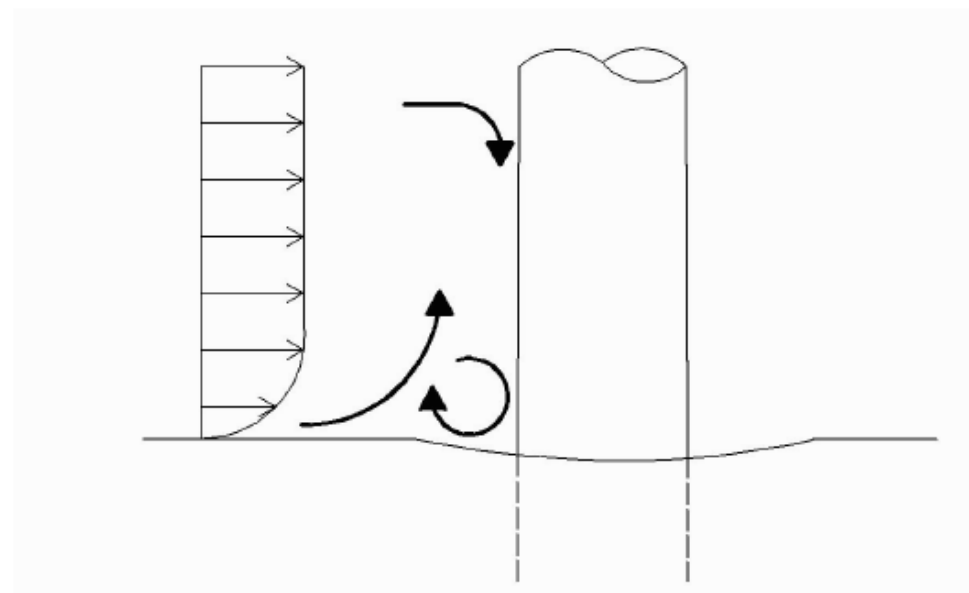


圖 3.3 馬蹄型渦流示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

5. 反射和繞射現象:

如圖 3.4，波浪遇到結構物會反射和繞射，但只限於粗樁中，Verheij 和 Hoffmans(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 Fredsoe(2002)則定義 D/L 大於 0.2 才會有此現象。

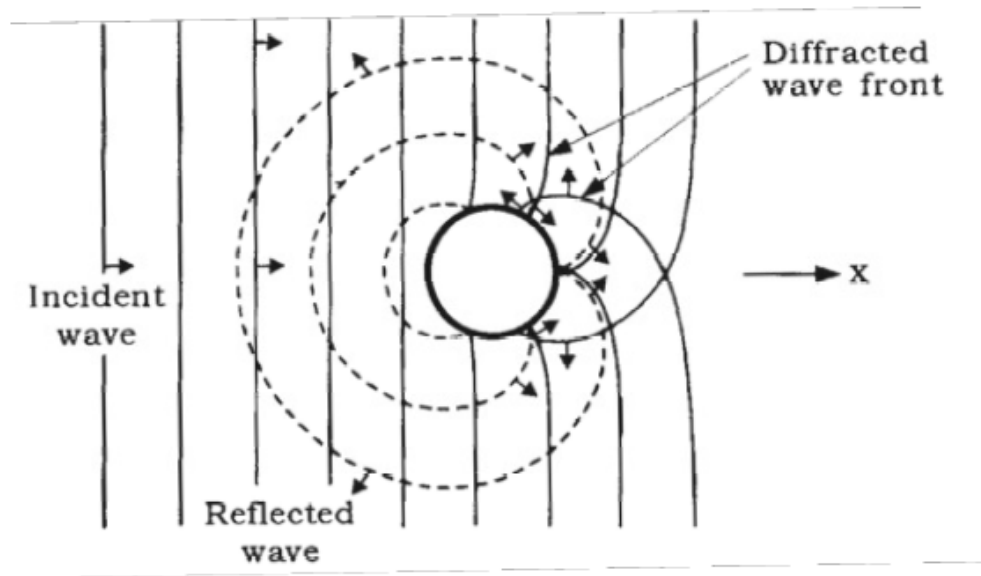


圖 3.4 反射繞射現象示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

6. 不同流體機制分類

如圖 3.5~圖 3.8，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：

$KC > O(6)$: slender piles or slender-pile regime

$KC < O(1)$: large piles or diffraction regime

$O(1) < KC < O(6)$: intermediate piles or intermediate regime

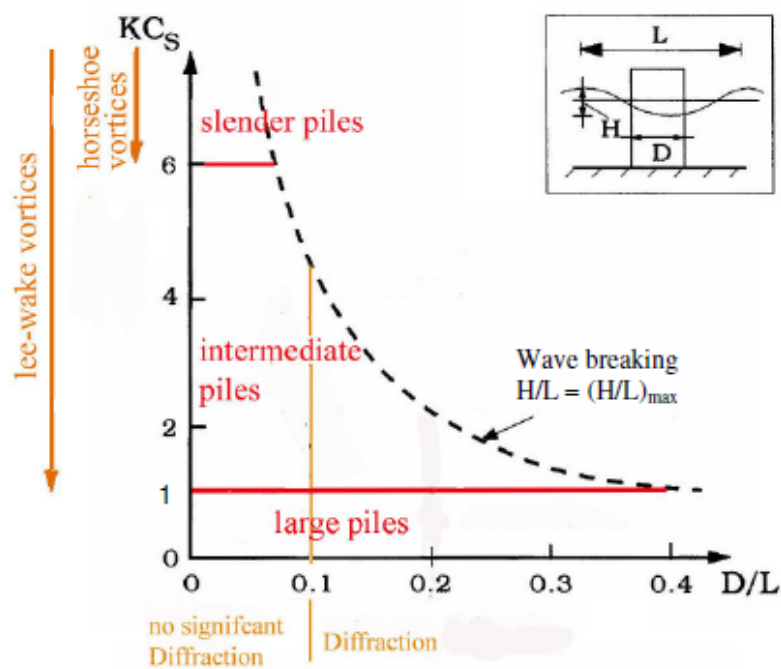


圖 3.5 不同 KC 值分類圖(資料來源:參考文獻 46.)

而 KC 值

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

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：

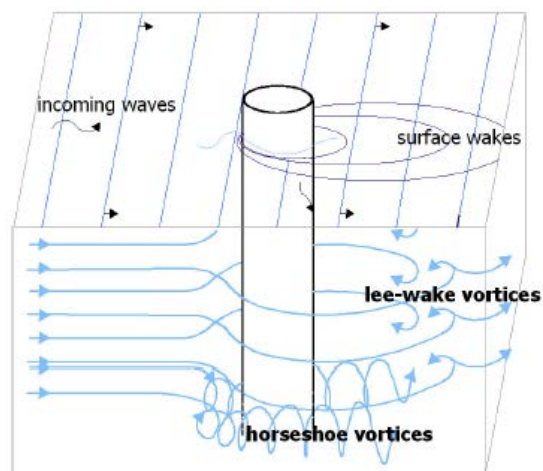


圖 3.6 細樁淘刷物理機制示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

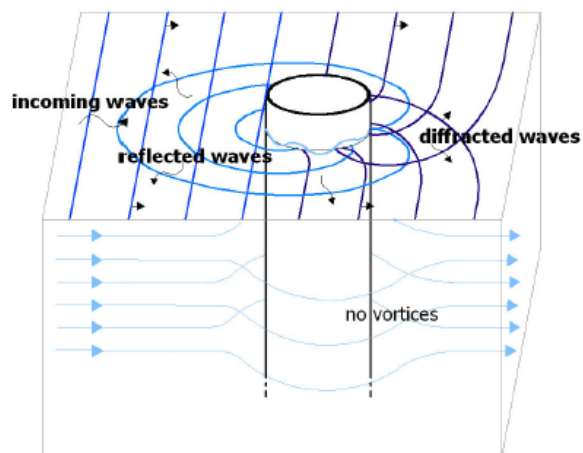


圖 3.7 粗樁淘刷物理機制示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

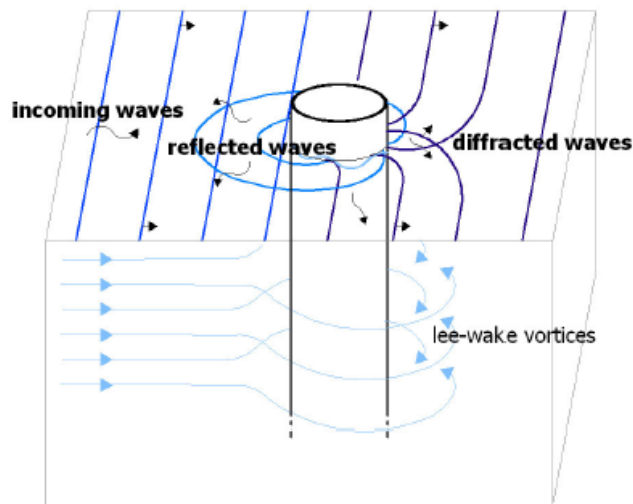


圖 3.8 介於粗細樁之間淘刷物理機制示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

這些分類標準主要參考 Sumer 和 Fredsoe(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 Fredsoe(2002)反繞射現象定義在 $D/L > 0.2$ 的標準，與 Verheij 和 Hoffmans(1997)所定義 $D/L > 0.1$ 不同。

而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，會瞬間增加奏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，最大的波浪尖銳度可定義為：

$$(H/L)_{max} = 1/7 \cdot \tanh(kh) \text{ (Miche, 1951)}$$

其中：

H :波高[m]

L :波長[m]

k :波數[-]

h :水深[m]

3.1.2 淘刷地形動力過程

基樁圓柱淘刷但討的對象主要都是非黏性沙，黏性沙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，非黏性沙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，追朔到個別沙粒之受力情形，之後探討底床剪應力及其盼伴隨淘刷之產生。

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 3.9，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/m^3]

ρ :流體密度[kg/m^3]

g :重力加速度[m/s^2]

V : 沙粒體積[m^3]

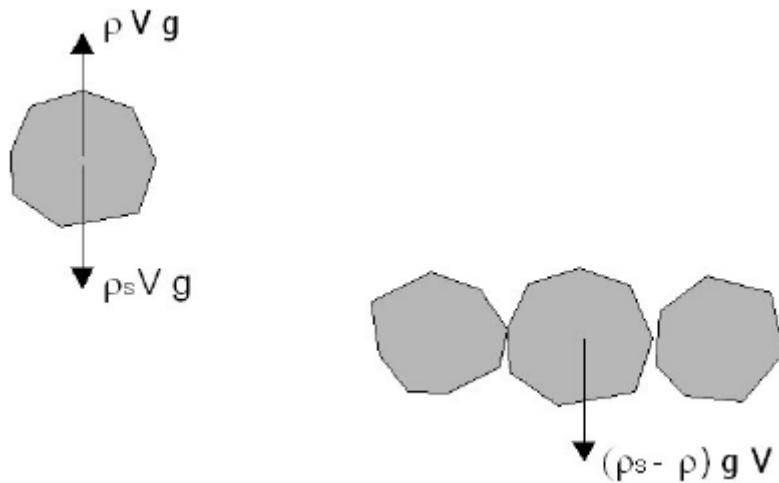


圖 3.9 重力示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

3. 阻力

如圖 3.10，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/m^3]

u_b :接近底床之流體速度[m/s]

A_D :沙粒接觸表面積[m^2]

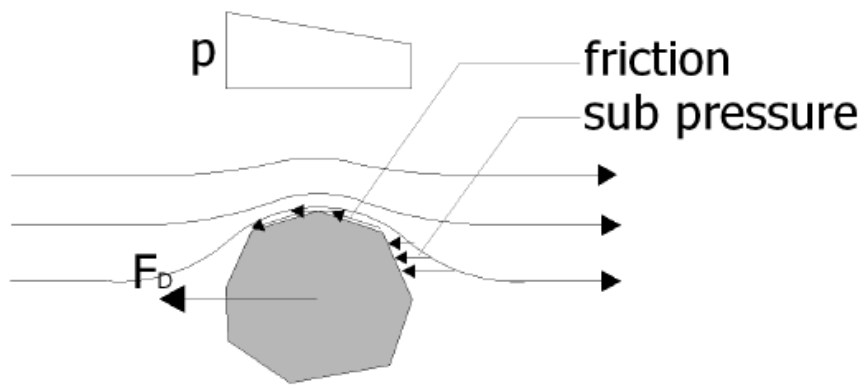


圖 3.10 阻力示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

4. 升力

如圖 3.11，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/m^3]

u_b :接近底床之流體速度[m/s]

A_L :沙粒接觸表面積[m^2]

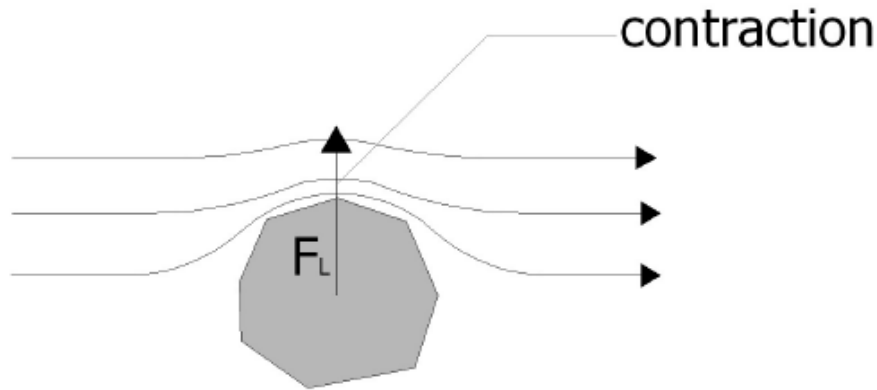


圖 3.11 升力示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

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/m^2]

F_D : 單位面積阻力[N/m^2]

F_i : 單位面積慣性力[N/m^2]

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，如下式及下圖 3.12

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

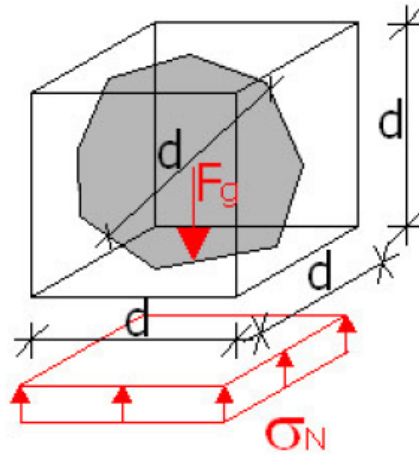


圖 3.12 正向力示意圖(資料來源:參考文獻 46.)

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

$$\longrightarrow \tau_c = C_D \rho u^2$$

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

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：

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

$$f_w = \exp \left[-5.977 + 5.21 \left(\frac{k_s}{a} \right)^{-0.194} \right] \quad \text{if } \frac{k_s}{a} > 1.4$$

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

其中：

τ_w : 波浪造成之剪應力 [N/m^2]

f_w : 波浪摩擦係數 [-]

ρ : 流體密度 [kg/m^3]

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，下圖是 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。

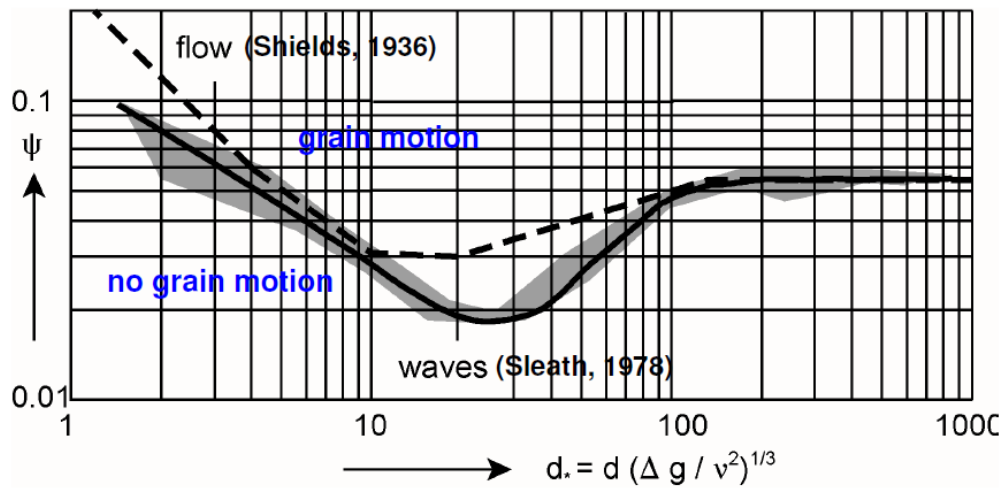


圖 3.13 Shields parameter 圖(資料來源:參考文獻 46.)

3.2 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 Fredsoe(2002) 做實驗求出的經驗公式。

3.2.1 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 Fredsoe(2002)實驗求出的經驗公式如下：

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

其中

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

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

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

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。下圖為實驗室之統計資料：

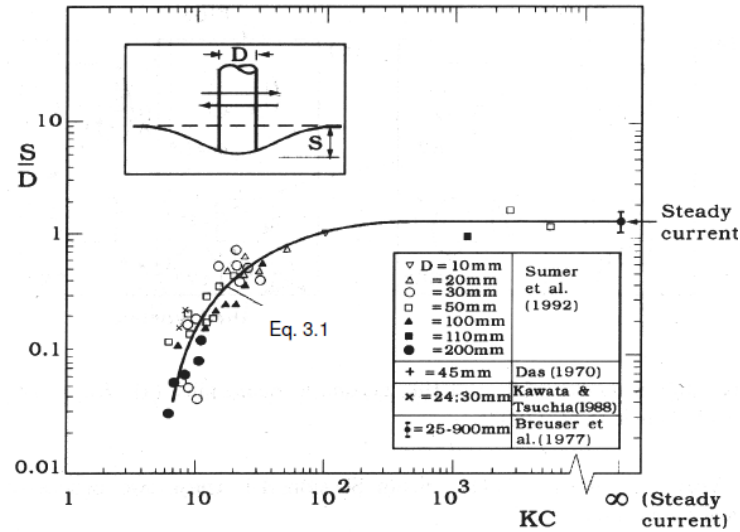


圖 3.14 細樁之平衡淘刷深度(資料來源:參考文獻 46.)

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。

3.2.2 時間尺度

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

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

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

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

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作圖中(如圖 3.15)，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。

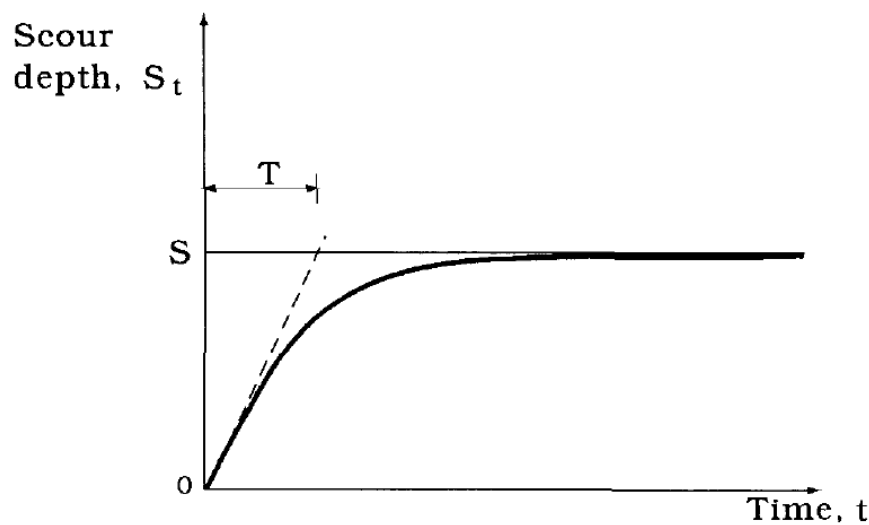


圖 3.15 平衡淘刷濃度時序圖(資料來源:參考文獻 47.)

3.2.3 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 Fredsoe(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 Zaijjer(2004)則建議淘刷的保護工程應到 7 倍基樁圓柱直徑。

3.2.4 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。

3.3 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。

3.3.1 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。

3.4 結果與討論

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 米外，其餘大部分海域地形水深均在 34 米~49 米間，其中尤以水深 40 米~49 米間約佔 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。

本節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。

3.4.1 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 米，水深取 40 米及 20 米， d_{50} 取 0.2 毫米，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 米、週期 7 秒、波長使用分散關係式算得 76 米；夏季歷年平均波高 0.92 米、週期 6 秒、波長使用分散關係式算得 56 米如表 3.1。

表 3.1 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 3.2，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 米水深計算，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 米以內如圖 3.16。

表 3.2 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

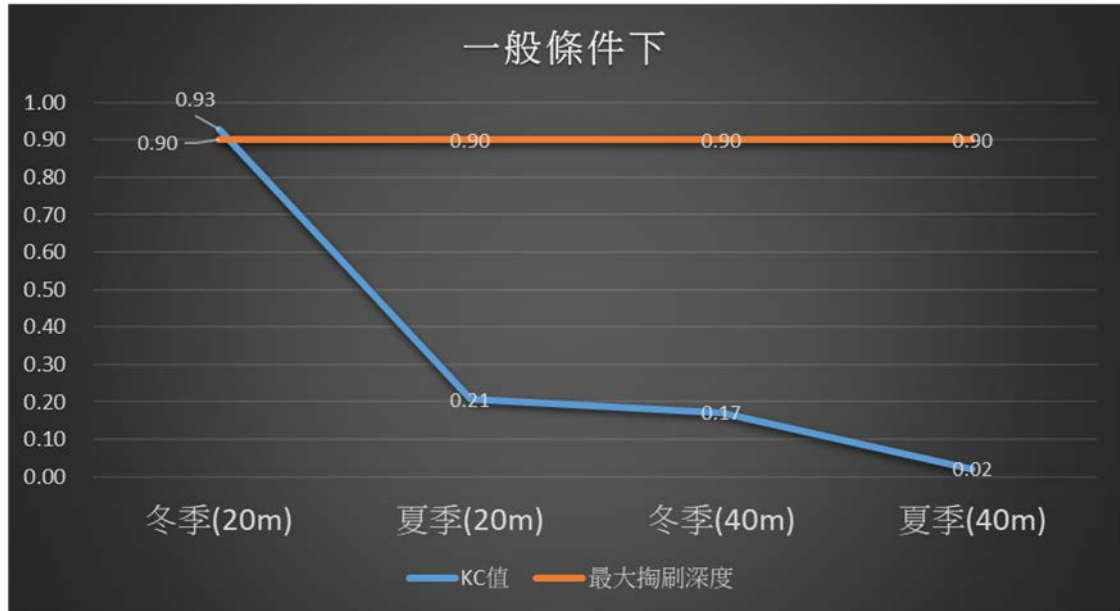


圖 3.16 一般條件下之冬夏季之平衡淘刷深度

3.4.2 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 米，水深取 40 米， d_{50} 取 0.2 毫米，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、臺中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、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 3.3:

表 3.3 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	週期 T	波高 H	波長 L
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 3.4，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 米之條件下，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 米及 3.9 米之間如圖 3.17。

表 3.4 基樁 40 米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

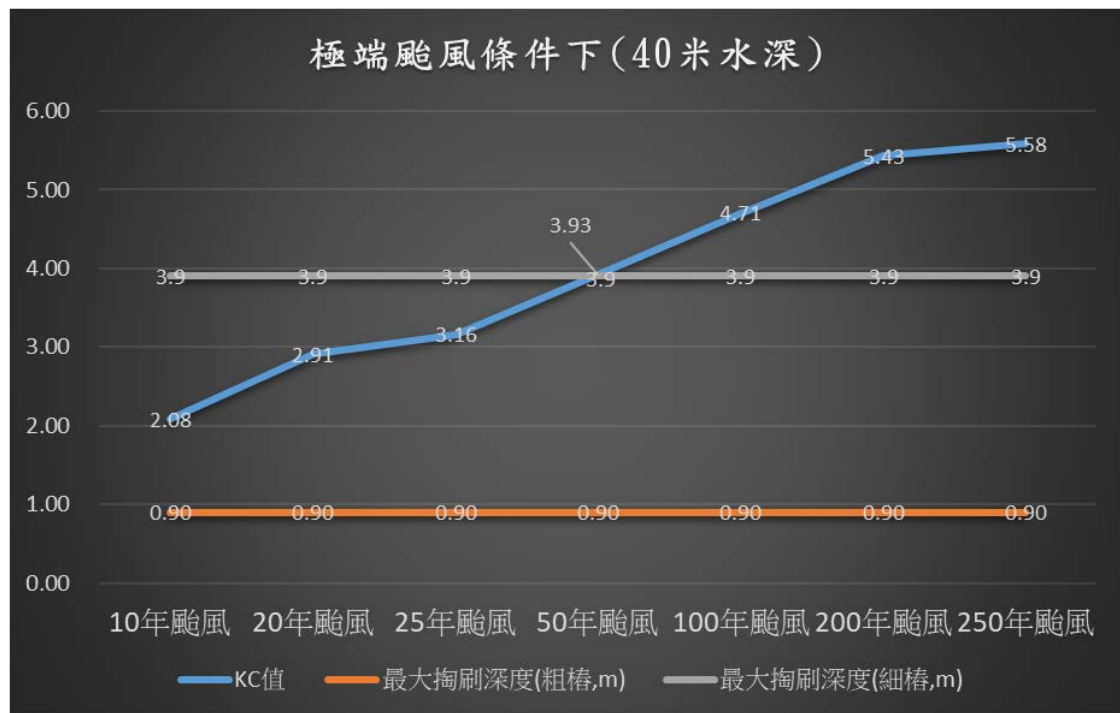


圖 3.17 極端颱風條件下之平衡淘刷深度(40 米水深)

同樣使用迴歸颱風條件下去計算，在水深 20 米之條件下，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 3.5:

表 3.5 基樁 20 米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

使用式子算出來的淘刷深度介於 0.2~0.35 倍基樁圓柱直徑左右，大約是 0.6~0.95 米左右如圖 3.18。

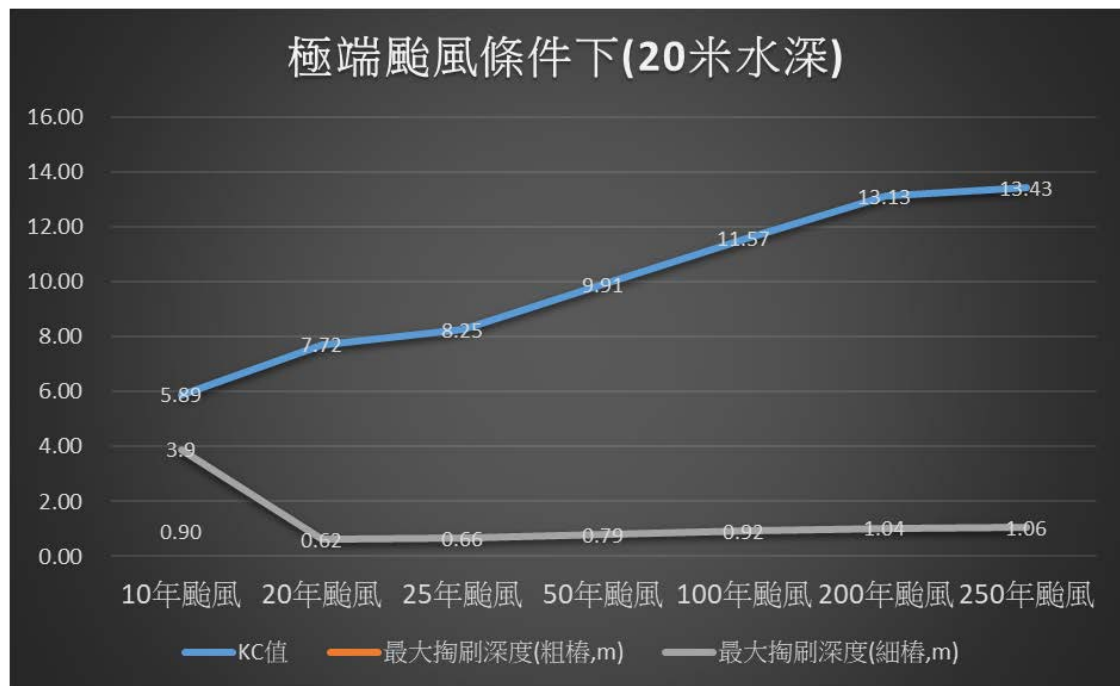


圖 3.18 極端颱風條件下之平衡淘刷深度(20 米水深)

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 米，用迴歸颱風條件下去計算如表 3.6，在水深 30 米之條件下，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 米之間，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 米的淘刷深度如圖 3.19。

表 3.6 基樁 30 米水深區域極端颱風氣候下計算之 KC、S/D

條件(30m 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	3.38	4.56	4.91	5.98	7.06	8.07	8.27
S/D	---	---	---	---	0.21	0.23	0.24

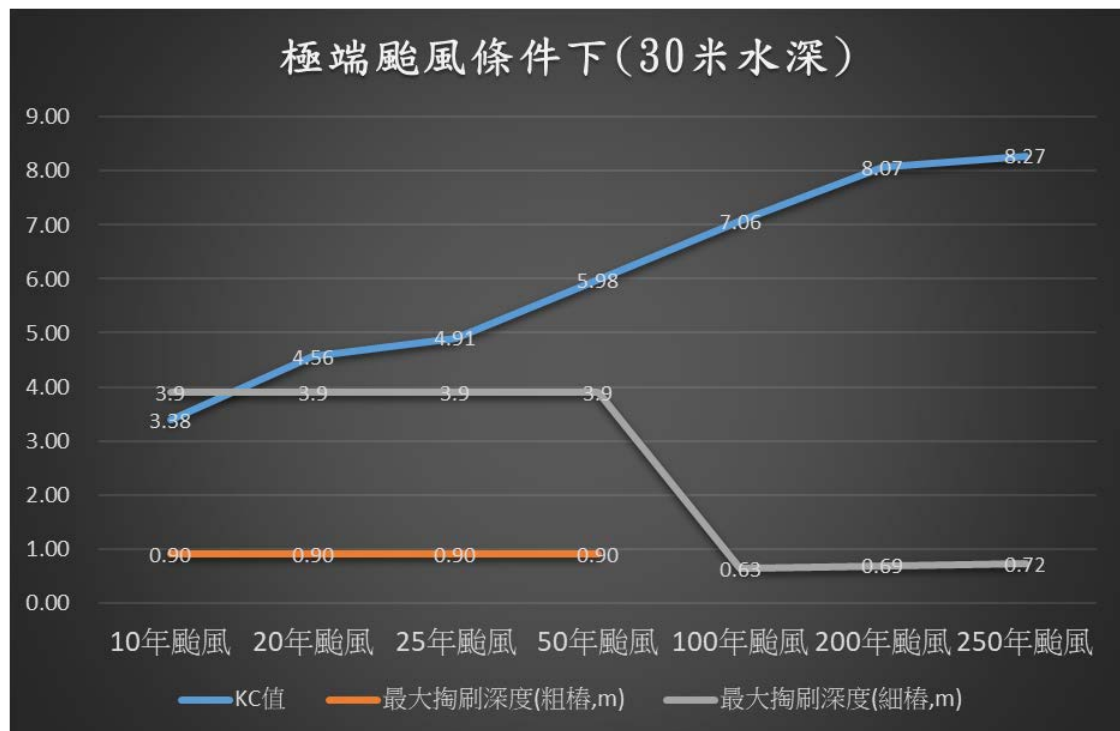


圖 3.19 極端颱風條件下之平衡掏刷深度(30 米水深)

在水深 10 米之條件下如表 3.7，10~250 年全部颱風條件下之 KC 值均大於 O(6)，使用 Sumer 之平衡掏刷深度公式算出來約 0.32~0.66 倍基樁圓柱直徑，也就是 0.92~1.98 米之掏刷深度，另外值得注意的是，50~250 年颱風條件下之 H/L 波浪尖銳度很接近碎波條件(H/L)_{max}，以 Bijker(1988)之建議 S/D 最大可以達到 3 倍之多，也就是最大平衡掏刷深度可能到達 9 米如圖 3.19。

表 3.7 基樁 10 米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

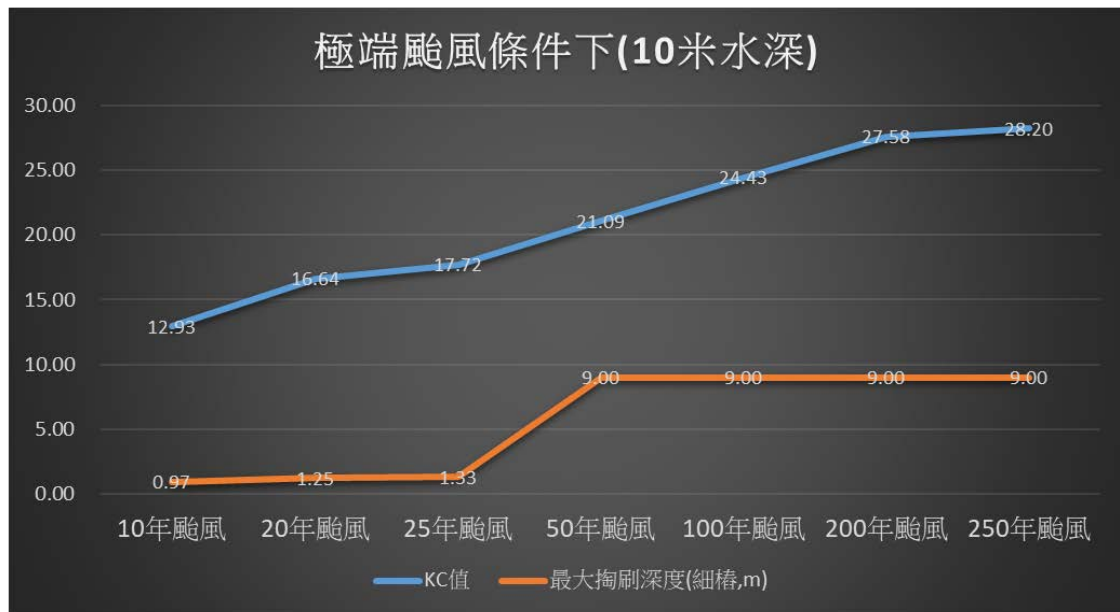


圖 3.20 極端颱風條件下之平衡淘刷深度(10 米水深)

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 3.20，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。

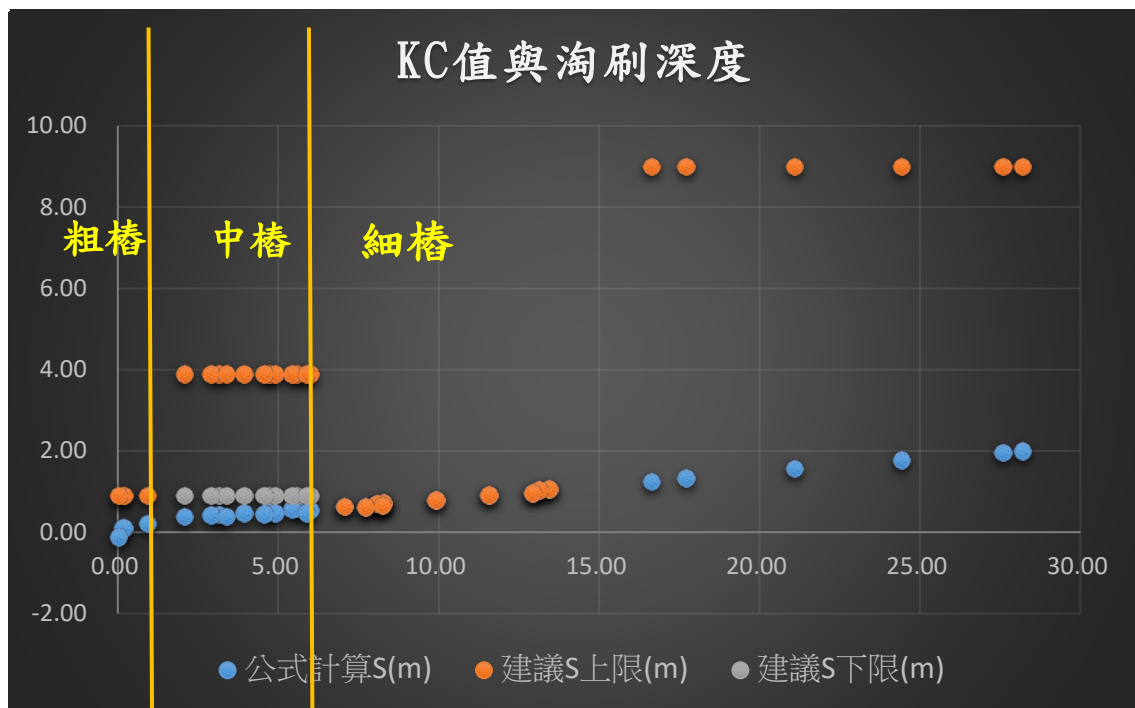


圖 3.21 所有條件下之 KC 值與平衡淘刷深度

第四章 結論與建議

離岸風電基樁由如巨大建築物一般置入海洋中，勢必造成不同尺度下的海洋平衡變化，而其中最重要的變化之一，即是漂沙平衡之改變，因其可能造成大尺度或小尺度局部性的地形變化，進而造成航行安全、港灣構造物、海洋生態等之影響

為了解大尺度之影響，本研究 107 年進行水工模型預備試驗，以冬季季風之條件，配合過去量測之地形資料，找出能代表現地之試驗時間尺度為。為了解小尺度之影響，本研究 107 年另進行離岸風電機樁掏刷之探討，使用現有規劃之水深、地點、海氣象資料等，計算一般冬夏季狀態下之平衡掏刷深度，並進一步探討極端颱風氣候下之平衡掏刷深度，以及放置不同深度條件下之平衡掏刷深度，並給與各條件下之掏刷深度預估值之建議。

4.1 結論

1. 臺中港歷年全期平均波高為 1.58m，波高分佈以小於 1m 所佔比率最高，約佔全期 38.8%；而歷年分季波浪週期以 6~8sec 所佔比率最高，約佔全期 55.4%，波向以 N~E 向為主，佔全期比率 64.6%。冬季時，東北季風吹襲至臺灣中部，因地勢影響風力強，且因海岸線走向為北北東~西南西向，故臺中港海域之波高大，平均波高約為 2.23m，為四季最大，波向以 NNE 向為主，佔整季 49.1%，波浪週期以 6~8sec 比率最高，約佔整季 62.6%；夏季時狀況相反，風與浪均自西南方來，波向以 W 向為主，佔整季 23.9%，週期分佈小於 6sec 佔整季

51.7%，平均波高為四季最小，約 0.92m，其波高分佈以小於 1m 比率最高，佔整季 79.1%。

2. 由歷年侵淤比較圖可知，民國 96 年至 97 年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀侵蝕現象，於大肚溪出海口亦有明顯的侵淤互現；民國 97 年至 98 年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀淤積現象，於大肚溪出海口及外海有明顯侵蝕現象；民國 98 年至 99 年於大甲溪出海口至外海有部分淤積現象，於大肚溪出海口有部分侵蝕現象；民國 99 年至 100 年於大甲溪出海口至外海有部分侵蝕現象，於大肚溪出海口有明顯淤積現象；民國 100 年至 101 年於大甲溪出海口有微幅侵淤互現，於大肚溪出海口有明顯淤積現象；比較民國 101 年至 107 年之水深地形，侵淤變化大致都發生在終端水深以淺之區域，且位置集中在大甲溪出海口及大肚溪出海口。由上述可得知，民國 96 年至 100 年地形有較明顯的侵淤變化，民國 101 年之後於終端水深後較深之區域，其地形變化較小。
3. 由本年度辦理之水工模型預備試驗結果得知，進行冬季期間之冬季季風波浪 8 小時試驗，可以重現冬季期間現場的地形變化情況。後續(108 年度)將再進行夏季季風波浪作用之試驗測試，用以尋求夏季期間現場地形變化之重現期，最後依據冬、夏季之試驗重現時間結果以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。
4. 以現在實際規劃離岸風機地點、基樁直徑 3 米，在平常氣候條件下，其物理機制屬於粗樁條件，因此平衡掏刷深度不深，在規劃設計上，以 30%約 0.9 米之掏刷深度已可滿足設計需求。

5. 以現在實際規劃離岸風機地點、基樁直徑 3 米，在極端颱風條件下，位於水深 40 米之基樁，其物理機制介於粗樁與細樁之間，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，平衡掏刷深度約介於 0.9 米~3.9 米之間之掏刷深度已可滿足設計需求。但在水深 20 米之基樁圓柱，可發現除了 10 年迴歸颱風以外，20~250 年迴歸颱風之條件下，其物理機制屬於細樁條件，使用式子算出來的掏刷深度介於 0.2~0.35 倍基樁圓柱直徑左右，大約是 0.6~0.95 米左右；以此結果來看，0.95~3.9 米之間之掏刷深度可同時滿足設計平常條件及極端颱風條件之設計需求。
6. 若未來考量放置於不同水深之位置，本研究另外計算 30 米水深、10 米水深，在極端颱風條件下之平衡掏刷深度，在 30 米水深處，10 年迴歸颱風之條件下，其物理機制屬於粗樁條件，在規劃設計上，以 30%約 0.9 米之掏刷深度已可滿足設計需求，20~250 年迴歸颱風之條件下，其物理機制屬於細樁條件，計算出來的掏刷深度介於 0.15~0.24 倍基樁圓柱直徑，也就是 0.45~0.72 米左右，因此以 0.9 米為設計已可滿足 250 年內極端颱風之需求。在 10 米水深處，10~250 年迴歸颱風之條件下，其物理機制皆屬於細樁條件，計算出來的掏刷深度介於 0.32~0.66 倍基樁圓柱直徑，也就是 0.92~1.98 米之掏刷深度，但是 50~250 年颱風條件下之波浪尖銳度已接近碎波之條件，若以 Bijker(1988)之建議 S/D 最大可以達到 3 倍之多，也就是最大平衡掏刷深度可能到達 9 米，如此大之掏刷深度則對基樁結構之安全性大有影響，應從工程角度上去做補強預防，或改選其他適合之地點。
7. 以 KC 值與平衡掏刷深度作圖如，可發現雖然公式計算之平衡掏刷深

度只適用於細樁之推估，但也可用來評估在粗樁、中樁時之設計最大掏刷深度之合理性，中樁使用 1.3 倍基樁圓柱直徑之掏刷深度來設計，則是過於高估保守；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 值與預估掏刷深度應仔細評估，以防過於高估或低估之情形。

8. 若以掏刷之影響角度出發，設計者可根據 KC 值，來選擇適合之預估掏刷深度，而影響 KC 值支基樁直徑之大小可根據水深去做適度之改變，或者放置之水深可根據基樁直徑之大小來做變化，當然最後須全面考量工程、生態、經濟、風險、發電效率等之影響，做全面性之通盤考量與決策。

4.2 建議

1. 本年度完成漂沙預備試驗中冬季期間之模型試驗的重現時間，建議 108 年將接續本年度之試驗尋求夏季期間之模型重現時間，最後再以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。
2. 本年度完成計算各種條件下之預估平衡掏刷深度，可供設計單位參考，而掏刷的範圍亦是掏刷議題的一大重點，建議 108 年可將預估之掏刷範圍納入，並一併考量多架風機是否會有群樁效應之現象。

4.3 成果效益與後續應用情形

本研究於大尺度的漂沙試驗中，完成沙預備試驗中冬季期間之模型試驗的重現時間，而小尺度之漂沙，利用理論及經驗公式，已完成各種條件下之預估平衡掏刷深度；本年度所完成之漂沙研究，將作為未來兩年的計畫研究基礎，以進一步探討離岸風電區大尺度、小尺度之漂沙機制。

期望藉由本研究的探討與分析案例之說明，能提供未來風電海域工程施作、風機維運及船舶航行等應用參據，另外，藉由本研究的分析過程，能提供相關港灣工程、漂沙研究等之從業人員了解離岸風電區域之漂沙機制，做進一步或相關性之研究應用。

參考文獻

1. 蔡立宏、羅冠顯、曾俊傑等，「105 年臺灣國際港附近海域海氣象調查分析研究」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
2. 邱永芳、何良勝、廖慶堂等，「105 年國內商港海氣象觀測與特性分析」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
3. 邱永芳、蔡立宏、廖慶堂等，「2016 年 12 港域海氣象觀測資料年報」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
4. 邱永芳、蔡立宏、羅冠顯、曾俊傑等，「106 年國際商港海氣象觀測與特性分析」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
5. 邱永芳、蔡立宏、廖慶堂等，「106 年國內商港海氣象觀測與特性分析」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
6. 邱永芳、蔡立宏、廖慶堂等，「2017 年 12 港域海氣象觀測資料年報」，交通部運輸研究所港灣技術研究中心。
7. 建築物基礎構造設計規範 (100 年 7 月)，"新日本道路橋液化評估法 (NJRA)，美國國家地震工程研究中心液化評估法(2001，NCEER)"，內政部。
8. 交通部公共政策建設及科技施政計畫 (105 年 12 月)“(106-109 年)離岸風電海下工程技術研發計畫(草案)”，交通部。
9. 蔡立宏、陳志弘、羅冠顯、曾俊傑 (106 年 4 月)“105 年臺灣國際港附近海域海氣象調查分析研究”，交通部運輸研究所報告。
10. 經濟部離岸風電開發計畫 (106 年 7 月)“離岸風力發電規劃場址申請作業要點”，經濟部能源局。
11. 彰化外海離岸風電申請潛力場址 (106 年 7 月)“離岸風力潛勢場址範圍”，環保署綜計處。

- 12.離岸風力發電第二期計畫環境影響說明書 (106 年 7 月)，台灣電力公司報告。
- 13.戴台川、黃啟宗 (106 年 10 月) “「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作」服務建議書”，巨太工程顧問股份有限公司。
- 14.戴台川、黃啟宗、蕭吉謹、張瑞誠、魏元聖、邱永芳、林受勳 (106 年 12 月) “「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作」工作說明書”，巨太工程顧問股份有限公司、萬大土壤技術顧問有限公司、交通部運輸研究所。
- 15.戴台川、黃啟宗、張瑞誠、魏元聖 (107 年 1 月) “「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作」地質調查成果報告書”，巨太工程顧問股份有限公司、萬大土壤技術顧問有限公司。
- 16.李政達、林受勳 (106 年 10 月) “新增 106 年度「『離岸風能場鄰近海岸漂沙機制探討』試驗室造波機購置赴原廠進行技術交流活動」出國計畫”，交通部運輸研究所出國報告。
- 17.曾建興、楊文衡 (94 年 6 月) “台北港海域颱風效應數值模擬研究”，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文。
- 18.許朝敏、林銘崇、楊文榮、曾瓊蓉 (99 年 11 月) “波浪通過離岸風田之變形研究”，第 32 屆海洋工程研討會論文集。
- 19.王星宇、方惠民、蕭松山 (100 年 6 月) “彰化西南角海域漂沙分佈特性之研究”，國立臺灣海洋大學河海工程學系碩士論文。
- 20.經濟部水利署第四河川局 (102 年 12 月) “彰化海岸防護基本資料調查(1/2)”，經濟部水利署。
- 21.經濟部水利署第四河川局 (103 年 12 月) “彰化海岸防護基本資料調查(2/2)”，經濟部水利署。

- 22.經濟部水利署第三河川局 (103 年 12 月) “臺中海岸防護基本資料調查(1/2)”，經濟部水利署。
- 23.陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝 (104 年 3 月) “臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(2/4)”，交通部運輸研究所報告。
- 24.經濟部水利署第三河川局 (104 年 12 月) “臺中海岸防護基本資料調查(2/2)”，經濟部水利署。
- 25.黃清哲、莊士賢、吳立中、范揚沼、林演斌、馮宗緯 (105 年 5 月) “離岸風力發電場址波浪特徵之調查與研究”，第 18 屆水下技術研討會暨科技部計畫成果發表會。
- 26.風力發電 4 年推動計畫 (106 年 8 月)，經濟部能源局。
- 27.張君名、錢樺(106 年 11 月)”西北太平洋颱風波浪波高推算”，第 39 屆海洋工程研討會論文集。
- 28.台灣電力公司，離岸風力發電第一期計畫可行性研究，2015。
- 29.劉漢修，離岸風機國產水下基礎推動規劃，2017
- 30.劉浙仁、譚志豪、冀樹勇，風機下部結構概念設計與成本初估—以臺灣西北部海域為例，中興工程，第 136 期，2017
- 31.鋼結構容許應力設計法(ASD)規範及解說(99 年)，內政部。
- 32.鋼結構極限設計法(LRFD)規範及解說(99 年)，內政部。
- 33.建築物耐震設計規範及解說(100 年)，內政部。
- 34.校舍結構耐震評估與補強技術手冊第三版(102 年)，國家地震工程研究中心。
- 35.建築物耐風設計規範及解說(103 年)，內政部。

- 36.建築技術規則(107 年)，內政部。
- 37.The Basin Wavemaker System of Regular and Irregular Wave (106 年 10 月) “「規則與不規則波平面造波系統」工作計畫書”，智統科技工程股份有限公司、英國 HR Wallingford Limited。
- 38.Danish Hydraulic Institute Website (DHI),
<https://www.dhigroup.com>。
- 39.National Oceanic and Atmospheric Administration Website (NOAA),
<http://www.noaa.gov>。
- 40.Offshore Standard DNV-OS-J101, May 2014
- 41.Richard JS Whitehouse,John M Harris,James Sutherland and Jon Rees , The nature of scour development and scour protection at offshore windfarm foundations , Marine Pollution Bulletin,Volume 62,Issue 1,January 2011,pp73-88
- 42.A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance , Scottish Enterprise , 2013
- 43.Offshore cable protection , Niklas Svensson, Martin Holmberg , Linnaeus University , Sweden
- 44.Force Technology,Structural health monitoring system for offshore wind turbines
- 45.University of Paderborn,FOUNDATION MONITORING FOR OFFSHORE WINDFARMS,2013
- 46.Haddorp, R. (2005), “Predictability of Scour at Large Piles due to Waves and Currents”
- 47.B. Mutlu Sumer(2002) “The Mechanics of Scour in the Marine Environment”

48. Bladed Version 3.51, Garrad Hassan and Partners Ltd., Bristol
49. Dessens, M. (2004): "The Influence of Flow Acceleration on Stone Stability", Master thesis, TU Delft, Faculty of civil engineering, Hydraulic Engineering Section
50. Fredsøe, J., Deigaard, R. (1992): "Mechanics of Coastal Sediment transport", Singapore
51. Hoffmans, G.J.C.M., Verheij, H.J. (1997): "Scour Manual", Rotterdam
52. Kirchner, J.W. (1990): "Gaia metaphor unfalsifiable", Nature, pp.345-470
53. Oumeraci, H. (1996): "Wellentransformation", Vorlesungsskript, TU-Braunschweig, Germany
54. Schaumann, P.P., Kleineidam, P.P., Wilke, F. (2004): "Fatigue Design bei Offshore Windturbinen", Stahlbau 73, pp.716-726, Germany
55. Sleath, J.F.A. (1978): "Measurements of bed load in oscillatory flow", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering., pp.291-307
56. Sumer, B.M., Fredsøe, J. (1997): "Hydrodynamics around Cylindrical Structures", Singapore
57. Sumer, B.M., Fredsøe, J. (2002): "The Mechanics of Scour in the Marine Environment", Singapore
58. Tempel, J. van der, Zaijier, M.B., Subroto, H. (2004): "The Effects of Scour on the Design of Offshore Wind Turbines", Report at TU Delft
59. Whitehouse, R.J.S. (1998): "Scour at Marine Structures", London
60. Zhao, M., Teng, B., Li, L.: "Local Scour around a Large-Scale Vertical

Circular Cylinder due to Combined Wave-Current Action”, Journal of Hydrodynamics (China), Ser. B, 1(2004),pp.7-16

61. Bijker, E.W., Asce, M., de Bruyn, C.A. (1988): “Erosion around a pile due to current and breaking waves”, Int. Conf. Coastal Engineering, Vol.2, Malaga, Spain
62. Breusers, H.N.C., Nicollet, G., Shen, H.W. (1977): “Local scour around cylindrical piles”, J. Hyd. Res., vol. 15, pp.211-252
63. Halfscheipel, R. (2001): “Concept study bottom protection around pile foundation of 3 MW turbine, Doc. No. 23, Van Oord ACZ B.V.
64. Hoffmans, G.J.C.M., Verheij, H.J. (1997): “Scour Manual”, Rotterdam
65. Sumer, B.M., Fredsoe, J., Christiansen, N. (1992): “Scour around a vertical pile in waves”, J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering., ASCE, vol. 117, pp.15-31
66. Sumer, B.M., Fredose, J. (2001a): “Scour around a pile by combined wave and current”, J. Hydraulic Engineering., ASCE, Vol. 127, pp.403-411
67. Sumer, B.M., Fredsøe, J. (2002): “The Mechanics of Scour in the Marine Environment”, Singapore
68. Sumer, B.M., Whitehouse, R.J.S., Tørum, A. (2001a): “Scour around coastal structures: a summary of recent research”, Coastal Engineering, pp.153-190
69. Whitehouse, R.J.S. (1998): “Scour at Marine Structures“, London
70. Daugherty, R.L., Franzini, J.B., Finnemore, E.J.: “Fluid Mechanics with Engineering Applications”, 8th Edition New York 1985

- 71.Fredsøe, J., Deigaard, R. (1992): “Mechanics of Coastal Sediment transport”, Singapore
- 72.Hoffmans, G.J.C.M., Verheij, H.J. (1997): “Scour Manual”, Rotterdam
- 73.Katsui, H., Toue, T.(1993): “Methodology of estimation of scouring around large-scale offshore structures“, Proc. 3rd Int. Offshore and Polar Engineering. Conf., Vol. I, pp.599-602
- 74.MacCamy, R.C., Fuchs, R.A. (1954): “Wave forces on piles: A diffraction theory”, U.S. Army Corps of Engineers, Beach Erosion Board, Tech.Memo No. 69, p.17
- 75.May, R.PP., Willoughby, I.R. (1990): ”Local Scour around large obstructions”, HR Wallington Report SR 240
- 76.Rance, PP.C. (1980): “The potential of scour around large objects” in “Scour Prevention Techniques Around Offshore Structures”, Society forUnderwater Technology, London, pp. 41-53
- 77.Saito, E., Sato, S., Shibayama, T. (1990): “Local Scour around a Large Circular Cylinder due to Wave Action”. Proc. 22nd Int Conf. Coastal Engineering, Delft, Netherlands,Chapter 134
- 78.Saito, E., Shibayama, T. (1992): “Local Scour around a Large Circular Cylinder on the Uniform Bottom Slope due to Waves and Currents”, Proc. 23rd Inf. Conf. Coastal Engineering, Venice, Italy, pp.2799-2810
- 79.Sumer, B.M., Fredsøe, J. (1997): “Scour around a Large Vertical Circular Cylinder in Waves”, Proc. 16th Intern. Offshore and Artic Engineering. Conf., Yokohama, pp.13-18
- 80.Sumer, B.M., Fredsøe, J. (2000): “Experimental study of 2D scour and

its protection at a rubble-mound breakwater”, Coastal Engineering, vol.40, pp.59-87

- 81.Sumer, B.M., Fredsøe, J. (2001b): “Wave Scour around a Large Vertical Circular Cylinder”, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering
- 82.Sumer, B.M., Whitehouse R.J.S., Tørum, A.: “Scour around Coastal Structures: a Summary of Recent Research”, Coastal Engineering 44(2001) pp.153-190
- 83.Toue, T., Katsui, H., Nadaoka, K.(1992): “Mechanism of Sediment Transport around a Large Circular Cylinder”, Pro. 23 rd Int. Conf. of Coastal Engineering, Venice, Italy, 219 pp. 2867-2878
- 84.Whitehouse, R.J.S. (1998): “Scour at Marine Structures“, London Zhao, M., Teng, B., Li, L.: ”Local Scour around a Large-Scale Vertical Circular Cylinder due to Combined Wave-Current Action”, Journal of Hydrodynamics (China), Ser. B, 1(2004),pp.7-16

附錄一 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所自辦計畫

☐期中☒期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討

參與審查人員及其所提之意見	本所處理情形
何良勝委員： 一、 本報告工作項目符合預期成果，報告內容尚稱符順。 二、建議修正之處： (1). 報告內漂“沙“或漂”砂”，宜統一陳述。 (2). “本研究”或”本計畫”，亦宜統一名稱。 (3). P2-5 之圖示內標示”2004~2016”，此與內文”2004~2017”不符合。 三、建議增列之處： (1). 第一章前言，增列報告各章節內容概要。 (2). P2-10~P2-14，加列圖示說明。 (3). 第四章，增列”建議內容”。 (4). P2-3 之波浪 P2-6 海流及 P2-9 侵淤比較等，增列資料來源(出處)。	感謝委員肯定。 感謝委員指正，已修改統一用“沙”。 感謝委員指正，已修改統一用“本研究”。 感謝委員指正，P2-5 已修改訂正。 感謝委員指正，已修改。 感謝委員建議，已於前言增加各章節工作內容。 感謝委員指正，已於 P2-10~P-14 加上說明。 感謝委員建議，已於第四章加上建議內容。 感謝委員指正，已於 P2-6 及 P-9 增列資料來源。

蕭士俊委員： 一、引用之文獻有缺請補足。 二、動床試驗，所用之方式(比尺)應有更詳盡之論述。 三、波浪統計資料，宜與“離岸風電區海氣象觀測與特性分析”作一比較。 四、實驗有考慮海流及波向之影響？ 五、報告文字及公式有不少 typos，請修正。 六、考量淘刷深度時，僅考慮波浪響，海流影響為何？。	感謝委員建議，已補足。 感謝委員建議，已於第二章補充說明試驗比尺採用之依據。 感謝委員建議已與「離岸風電區海氣象觀測與特性分析」報告作一比較，惟本研究採用之海氣象觀測資料為歷年統計之資料，而「離岸風電區海氣象觀測與特性分析」報告中之海氣象觀測資料為本年度(107 年)之資料，故數值有部分差異。 本研究之漂沙試驗將冬季季風及颱風之波向列入考量，惟海流之影響未列入試驗中。 感謝委員指正，已修改。 本研究所使用的公式是同時考慮波浪及海流之影響，若只考慮海流的情況，國外文獻一般使用 1.3 倍的基樁圓柱直徑作為平衡掏刷深度，但這公式只限於細樁，在粗樁中，只有海流的情況

	一樣掏刷深度不深。
翁文凱委員： 一、 臺中港漂沙或地形變遷主要影響因素，及地形變遷特性建議應先說明。 二、 各區位侵淤變化建議加強說明。 三、 模型試驗變歪比為 4，其波向與週期如何在預備試驗中呈現，即模型試驗條件為何？ 四、 如何量化最適合之時間比尺。 五、 樁掏刷公式是否有適用水深，如臺中港終端漂沙移動水深-10M 而在水深-30M 甚至水深-40M 時，其掏刷公式是否合用亦或海流、潮流為主導。	本研究蒐集歷年實際侵淤圖，尚未討論到其主要影響因素，未來有機會做進一步之分析。 感謝委員建議，遵照辦理。 臺中港各區位之侵淤變化已於報告 P2-9~P2-18 詳加說明。 本研究漂沙試驗採用之波浪條件為本所於現場觀測統計資料分析值，將此數值代入許泰文等人之模式比尺換算為試驗波浪條件。 遵造辦理，此部分已於報告 2.2 補充說明。 掏刷公式並非單看水深，而是根據設計條件之水深、波長、流速、基樁圓柱直徑、邊界層厚度、邊界層外之自由流速等決定之 KC 值，且 KC 值大於 6 之情況下適用之，所以即使是在水深-40 米的情況下，若圓柱直徑過小、波長過大等之情況，可能會讓 KC 值增大而超過 6，這樣公式就適

	用了，而公式是同時考慮波浪與海流的影響，其中的 KC 值就需要用到中間水深之流速。
林世昌委員： 一、 建議增加離岸風場與台中港地理位置圖。 二、 第 2 章，2.1 基本資料蒐集與分析之 2.11 潮汐(2003-2014)波浪(2004-2017)，海流(2004-2016)觀測資料的期間若可行，是否能將資料修正為同一區間。另外該章節的敘述方式(P2-6)應比照前 2 節的語法。 三、 本報告針對離岸風電基樁掏刷係以單樁進行探討，惟海上架設多架風機時，是否有群樁效應，應特別說明。 四、 未來台灣西部海岸離岸風機之基礎形式將多數採用套筒式基礎(Jacket)，本研究報告的應用方式應特別說明。	感謝委員建議，遵照辦理。 感謝委員指正，因潮汐資料採用內政部委託中央氣象局之觀測分析資料，而波浪及海流則引用本所海氣象觀測資料，因資料來源不同修正為同一區間有其困難。 感謝委員建議，多架風機之群樁效應，在距離夠遠的情況下，初步認為不會影響掏刷深度，但有可能因為波浪海流的改變，影響掏刷之範圍，而掏刷範圍為明年研究主軸之一。 感謝委員建議，套筒式基礎之掏刷分為局部掏刷跟全域掏刷，目前國外採行的方式是分別計算後再線性疊加作為總掏刷深度。
賴瑞應委員：	

一、 本計畫包括大型水工模型試驗及基樁掏刷機制探討，計畫很有挑戰性，目前已完成相關預備試驗及基樁掏刷的初步探討，研究團隊的努力值得肯定。	感謝委員肯定。
二、 報告第 2-1 頁潮汐部分，建議增加本所臺中港監測站位置圖，並增加說明潮汐資料為何引用氣象局資料，非本所監測資料。	感謝委員建議，報告已增加本所臺中港潮汐觀測站位置圖，惟本所現有歷年潮汐資料年份較短，故本研究引用氣象局之資料。
三、 報告第 2-17 臺中港附近海域侵淤資料表，建議增加註解表內正負值代表之意義。	感謝委員建議，報告已於 P2-16 增加表 2.7 及 2.8 之正負值代表意義。
四、 報告第 2-23 頁提到試驗的垂直比尺與水平比尺為不等比尺，請簡要補充不等比尺的影響，及本試驗之不等比尺值依相關文獻在容許範圍內之補充說明。	感謝委員建議，此部分已於報告 2.2 補充說明。
五、 報告摘要、結論與建議及內文格式請在檢視是否符合本所出版品之規定，另外，請加強錯字之校訂。	感謝委員建議，遵照辦理。

附錄二

期末報告審查簡報資料

離岸風電區鄰近海岸漂沙機制探討



主講人:衛紀淮助理研究員

簡報內容

1. 計畫前言及目的
2. 水工模型試驗
3. 離岸風電基樁掏刷探討論
4. 結論與建議



計畫前言及目的

離岸風電基樁由如巨大建築物一般置入海洋中，勢必造成不同尺度下的海洋平衡變化，而其中最重要的變化之一，即是漂沙平衡之改變。



其可能造成大尺度或小尺度的地形變化，進而造成地形變遷、航行安全、風電結構物安全、生態等之影響，

計畫前言及目的

目的：

辦理離岸風電鄰近港域漂沙調查及水工模型試驗，探討離岸風電產業重要母港臺中港鄰近海域大尺度漂沙運動模式及地形侵淤變化，全面性研究波流場及漂沙運動變化，達成海洋環境保育與港區永續發展之目標；另以理論配合數值分析，以瞭解離岸風電場建置後，小尺度離岸風電基樁掏刷影響情形，探討最大掏刷深度，供規劃設計單位參考。

大尺度：水工模型試驗

小尺度：基樁掏刷探討

潮高單位：公分
資料來源：交通部中央氣象局

水工模型試驗

預備試驗：

1. 海象資料蒐集
2. 地形變化資蒐集
3. 試驗條件及比尺
4. 進行預備試驗
5. 結果討論



海象資料

潮汐

- 本研究收集內政部委託中央氣象局自2003年至2014年12月期間的潮位觀測資料，資料顯示其平均潮差為3.78公尺，大潮平均潮差為4.71公尺，最大潮差為5.99公尺。

表 1 臺中港2003-2014年潮位資料統計

年份	平均 潮位 MWL	平均 高潮位 MHWL	平均 低潮位 MLWL	大潮 平均 高潮位 HWOSt	大潮 平均 低潮位 LWOSt	最高高潮位 HHWL		最低低潮位 LLWL		平均 潮差 MR	大潮 平均潮差 STR	最大潮差 MTR
						發生時間	潮高	發生時間	潮高			
2003	299	486	109	519	46	9月27日	573	12月24日	-13	377	473	586
2004	305	490	119	521	55	8月30日	580	1月23日	-10	371	466	590
2005	13	197	-172	232	-237	8月21日	291	1月12日	-305	369	469	596
2006	15	201	-172	237	-239	7月14日	298	1月2日	-297	373	476	595
2007	5	189	-182	223	-246	4月17日	274	12月26日	-302	371	469	576
2008	8	193	-181	225	-239	9月1日	276	1月23日	-299	374	464	575
2009	13	201	-177	232	-237	9月19日	300	1月13日	-319	378	469	619
2010	19	205	-171	240	-229	9月9日	305	1月2日	-307	376	469	612
2011	17	208	-177	241	-236	8月30日	312	11月27日	-295	385	477	607
2012	22	215	-172	248	-226	8月02日	321	12月15日	-294	387	474	615
2013	18.3	211	-174	248	-233	9月22日	307	1月12日	-297	385	471	604
2014	15.7	212	-179	244	-228	10月9日	316	12月24日	-302	391	472	618
統計值										378	471	599

潮高單位：公分

資料來源：交通部中央氣象局

海象資料

波浪

- 本研究分析臺中港2004年至2017年期間之波浪觀測資料，歷年全期平均波高為1.58m，波浪週期以6~8sec所佔比率最高，且波向以N~E向為主。
- 冬季時，平均波高約為2.23m，為四季最大，波向以NNE向為主，波浪週期以6~8sec比率最高；夏季時，波向以W向為主，週期分佈小於6sec佔整季51.7%，平均波高為四季最小，約0.92m。

表 2 臺中港歷年分季波高分佈統計表

季節	平均波高(m)	H _s <1.0m (%)	H _s =1.0m~2.0m (%)	H _s >2.0m (%)
春	1.35	47.1	33.9	18.9
夏	0.92	79.1	21.1	5.8
秋	1.91	20.1	36.9	43.0
冬	2.23	10.1	30.8	59.1
全期	1.58	38.8	30.4	30.8

表 3 臺中港歷年分季波浪週期分佈統計表

季節	T _s <6.0秒 (%)	T _s =6~8秒 (%)	T _s =8~10秒 (%)	T _s >10.0秒 (%)
春	35.2	57.8	6.8	0.2
夏	51.7	39.4	7.2	1.7
秋	18.5	64.2	15.4	1.9
冬	14.6	62.6	22.3	0.5
全期	30.6	55.4	12.8	1.2

海象資料

海流

- 全期平均流速為38cm/s，流速分佈以介於25cm/s~50cm/s間為主，四季中以冬季平均流速最大，可達45cm/s，春季平均流速最小，約為32.5 cm/s。
- 臺中港潮位主要以半日潮為主，全日潮為輔，亦即臺中港的潮汐主要由全日潮及半日潮組成的複合潮，但半日潮的成份大於全日潮。

表 4 臺中港歷年分季流速分佈統計表

季節	平均流速 (cm/s)	流速<25 cm/s (%)	流速=25~50 cm/s (%)	流速>50 cm/s (%)
春	32.5	44.3	38.4	17.2
夏	36.3	34.2	42.0	23.8
秋	38.2	36.1	38.5	25.4
冬	45.0	29.1	35.6	35.3
全期	38.0	35.8	38.8	25.4

表 5 臺中港歷年分季流向分佈統計表

季節	流向(N~E) (%)	流向(E~S) (%)	流向(S~W) (%)	流向(W~N) (%)
春	28.9	4.3	23.3	43.4
夏	32.8	8.6	8.2	50.4
秋	15.7	4.3	37.4	41.5
冬	12.5	4.5	49.2	33.8
全期	22.7	5.6	29.0	42.7

海域地形變化資料

歷年侵淤比較

- ◆ 民國96年至97年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀侵蝕現象，於大肚溪出海口亦有明顯的侵淤互現。
- ◆ 民國97年至98年於大甲溪出海口至外海有明顯的帶狀淤積現象，於大肚溪出海口及外海有明顯侵蝕現象。
- ◆ 民國98年至99年於大甲溪出海口至外海有部分淤積現象，於大肚溪出海口有部分侵蝕現象。

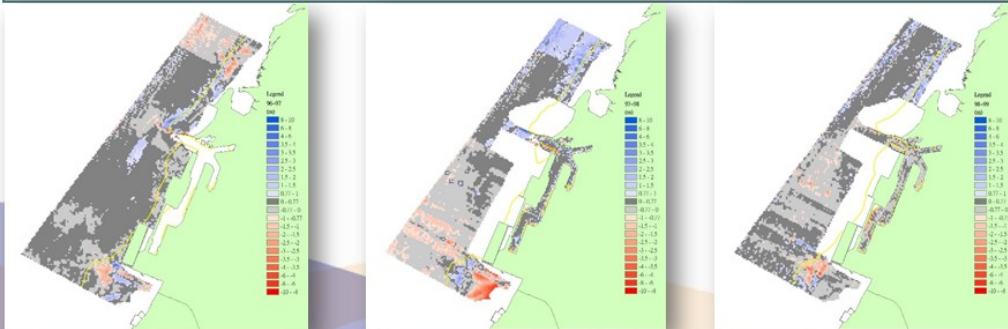


圖 1 歷年侵淤比較圖(96~99年)

海域地形變化資料

歷年侵淤比較

- ◆ 民國99年至100年於大甲溪出海口至外海有部分侵蝕現象，於大肚溪出海口有明顯淤積現象，於北防波堤以南外海有全面性淤積現象。
- ◆ 民國100年至101年於大甲溪出海口有微幅侵淤互現，於大肚溪出海口有明顯淤積現象。
- ◆ 民國101年至107年之水深地形，侵淤變化大致都發生在終端水深以淺之區域，且位置集中在大甲溪出海口及大肚溪出海口。

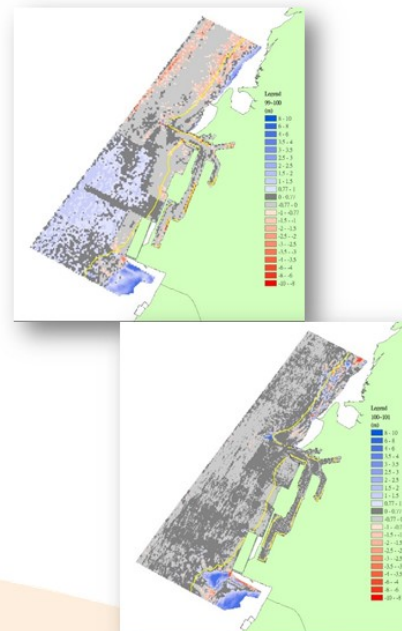


圖 2 歷年侵淤比較圖(99~101年)

海域地形變化資料

歷年土方量分析

- ◆ 98~102年全區為逐年淤積，102年之後則為侵淤互現，而第2區至第5區之侵淤變化較第1區及第6區大。
- ◆ 101~102年及105~106年皆呈現全面淤積之現象，101年至102年全區之平均水深變化量變化約為0.25公尺，105年至106年全區之平均水深變化量變化約為0.12公尺。
- ◆ 102~103年則呈現全面侵蝕的現象，全區之平均水深變化量變化約為-0.16公尺。



圖 3 臺中港水深地形分區圖

水工模型試驗

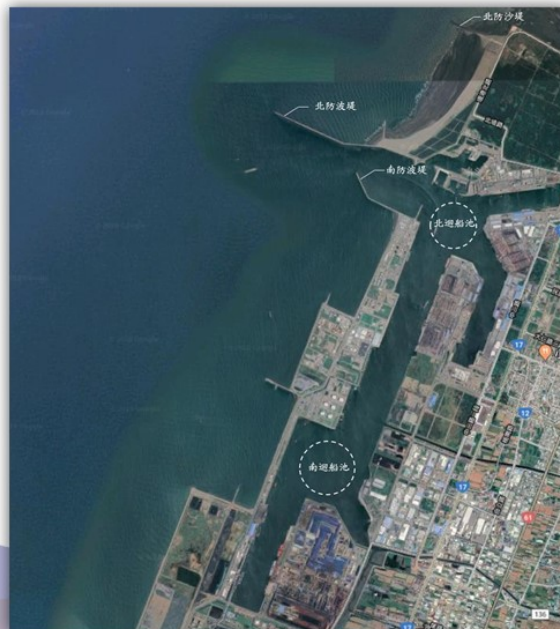


圖 4 臺中港試驗範圍配置圖

水工模型試驗

試驗設備

- **試驗水池**：長62m、寬57m、深1m，池內有潮汐控制系統。
- **不規則造波機**：本造波機係英國HR Wallingford公司出品之機械推移式不規則造波機，其由四個獨立造波模組組成，可模擬規則波及多種波譜型態之不規則波。
- **容量型波高計及資料擷取處理系統**：波高計用於量測水位變化，且透過資料擷取處理系統，經PC分析後，選擇及修正需要的試驗波浪。
- **水準儀**：用以量測模型底床高程變化。

水工模型試驗

試驗水位及比尺

- 考慮現場地形之長時間性變化，因此試驗以M.H.W.L.~M.L.W.L.(即+4.61m~+0.89m)作為季節風波浪之變化水位；而以H.H.W.L.~M.W.L.(+6.00m~+2.76m)作為颱風波浪之變化水位。
- 波浪比尺係採用許泰文等人之模式比尺：
波高比尺， $N_H = \mu^{2/5} \lambda^{4/15} N_r N_{D50}^{1/3}$
週期比尺， $N_T = \mu^{1/5} \lambda^{2/15} N_r^{1/2} N_{D50}^{1/6} = N_H^{1/2}$
潮汐比尺， $N_t = \lambda / (\mu)^{1/2}$
- 另考量試驗水池大小及應用上列公式與造波機造波能力，本試驗之水平與垂直比尺採用如下：
水平比尺： $\lambda=1/300$
垂直比尺： $\mu=1/75$

預備試驗

試驗條件

- 本次試驗分別以冬季季節風波浪與颱風波浪等試驗條件搭配方式，模擬現場波浪的作用時序。

表 6 預備試驗條件說明表

物理量	比尺	類別		現場	試驗
水平比尺	1/300				
垂直比尺	1/75	潮位	季風	+4.61 ~ +0.89 m	+6.15 ~ +1.19 cm
			颱風	+6.00 ~ +2.76 m	+8.00 ~ +3.68 cm
波高	1/25.74	冬季波浪		2.61 m	10.14 cm
		颱風波浪		2.78 m	10.8 cm
週期	1/5.07	冬季波浪		7.1秒	1.4秒
		颱風波浪		8.4秒	1.66秒
潮汐比尺	1/34.6	半日潮		12hr	20.8min

預備試驗

試驗配置

- 配合現場量測地形與波浪觀測資料，本年度擬定之試驗配置順序如下：

表 7 預備試驗配置順序表

試驗配置	試驗條件	現場地形時間	備註
A	冬季季風波浪	99.12~100.05	
B	冬季季風波浪+夏季颱風波浪	99.11~100.08	桑達颱風

預備試驗

試驗結果分析-配置A

- 圖5為99年12月~100年5月間臺中港港外附近之現場地形各等深線的變化情形，圖中實線為99年12月之地形，虛線則為100年5月。
- 圖6~9為試驗配置A於冬季季風波浪作用下，分別於試驗累積時間4小時、6小時、8小時及10小時後之各等深線的變化比較。
- 其中圖6之試驗結果顯示，除-5m等深線之變化差異較大外，其餘各等深線的變化趨勢尚能符合現場地形的變化情況。因此，累積試驗時間8小時可重現冬季期間之現場地形變化。

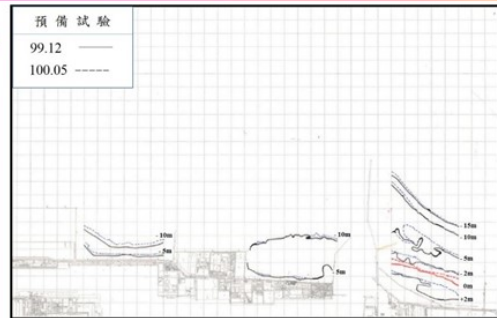


圖 5 臺中港試驗範圍配置圖

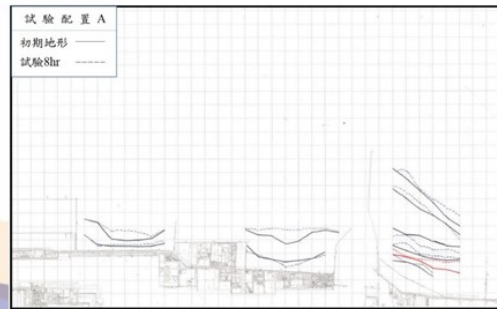


圖 6 臺中港試驗範圍配置圖

預備試驗

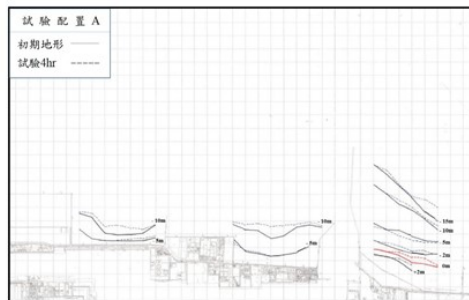


圖 7 臺中港試驗範圍配置圖

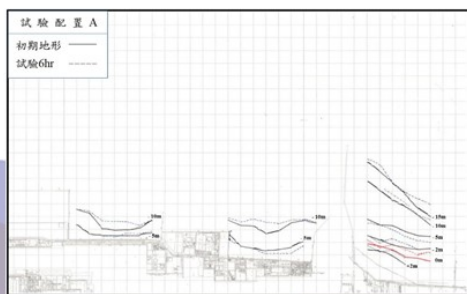


圖 8 臺中港試驗範圍配置圖

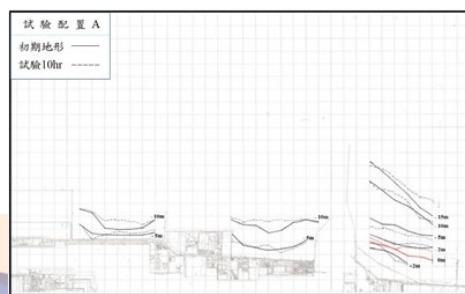


圖 9 臺中港試驗範圍配置圖

預備試驗

試驗結果分析-配置B

- 圖 10 為 99 年 11 月~100 年 8 月之現場冬季期間及夏季颱風地形變化圖，圖 11~圖 14 則為試驗配置 B 之冬季季風作用 8 小時後，颱風波浪作用 10、20、30、40 分鐘後之試驗結果。
- 圖 11 之累積颱風波浪 30 分鐘後之試驗結果，整體變化趨勢較其他試驗時間者為佳，以 +2、0、-2、-5 等深線較能符合現場地形變化情況，而 -10 與 -15 等深線的差異仍大，但整體侵淤趨勢多和圖 10 符合。
- 雖然颱風波浪對地形影響較大，但其影響時間僅幾日而已，因此，仍有必要考量夏季季風波浪的作用時間，明年度 (108 年) 將就今年 5 月及 11 月之地形資料測試夏季期間之試驗重現時間。

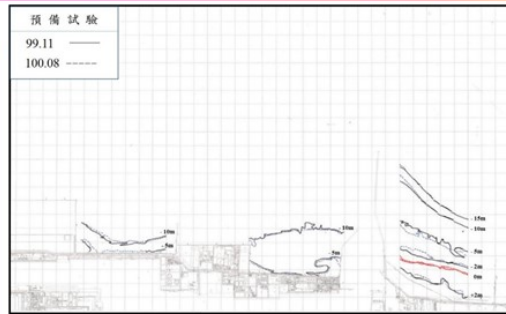


圖 10 臺中港試驗範圍配置圖

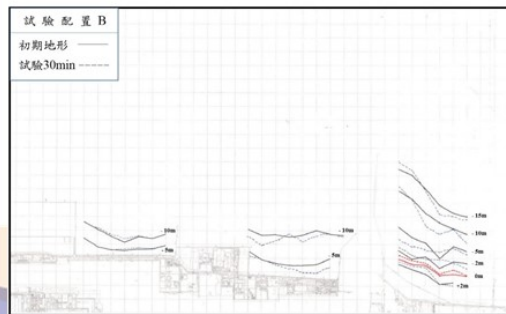


圖 11 臺中港試驗範圍配置圖

預備試驗

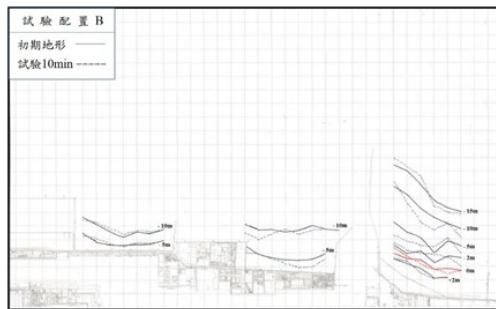


圖 12 臺中港試驗範圍配置圖

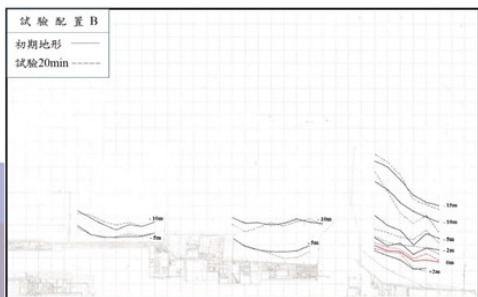


圖 13 臺中港試驗範圍配置圖

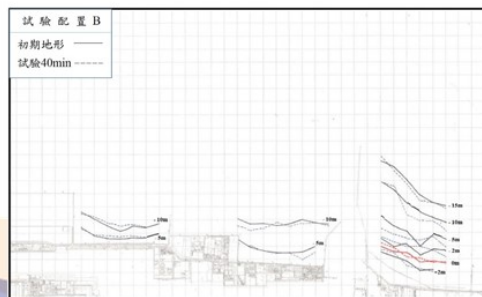


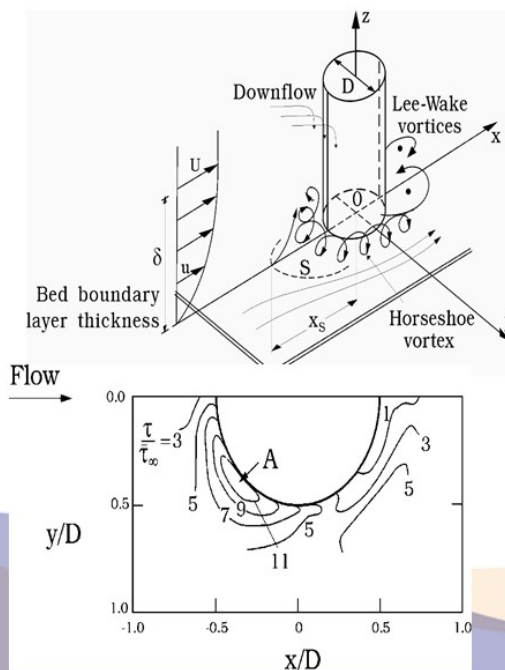
圖 14 臺中港試驗範圍配置圖

離岸風電基樁掏刷之探討

基樁掏刷探討：

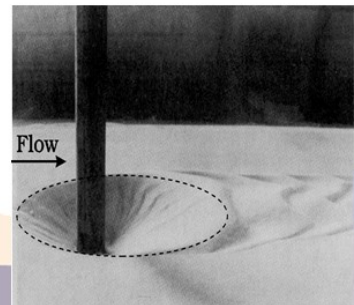
1. 基樁掏刷機制
2. 基樁掏刷之分類
3. 細樁之平衡掏刷深度
4. 粗樁之平衡掏刷深度
5. 各條件之結果與討論

基樁掏刷機制



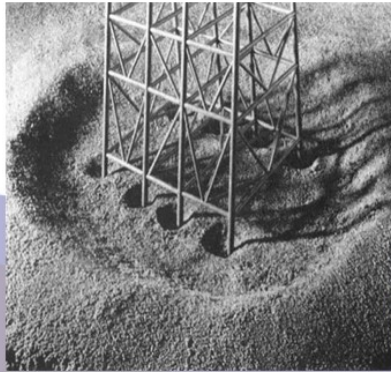
- ◆ The average bed shear stress is increased close to the structure 靠近結構物的地方，平均底床剪應力會增大
 - ◆ The degree of turbulence is increased in the vicinity of the structure 結構物周圍紊流程度會加劇
- increase in the local sediment transport rate/capacity 增大局部泥沙輸送率

$$\alpha = \frac{\tau}{\tau_\infty}$$

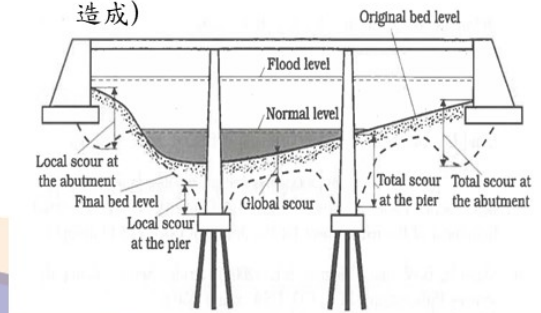


基樁掏刷機制

- Local scour around the individual structural elements, the supporting pile (單個基樁底部出現局部沖刷)
- Global scour beneath and around the structure, saucer-shaped depression (整體結構物之沖刷)



- Local scour around the individual piers and abutments (橋墩和橋台周圍的局部沖刷)
- Global scour as the general lowering due to contraction, possibly also hydrometeorological changes, geomorphological changes, human activities and bank erosion. (橋梁底部底床的整體沖刷，可能由於斷面的收縮、水文、地貌變化或人類活動及側岸侵蝕造成)



基樁掏刷之分類

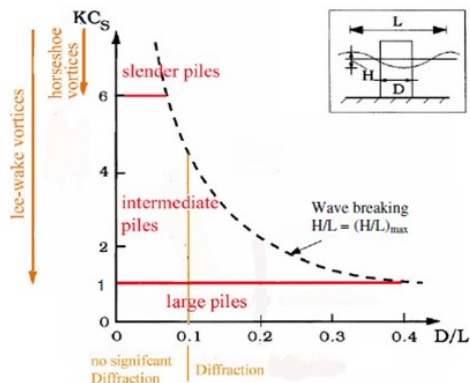
不同流體機制分類

Haddorp, R. (2005) 根據描述不同現象及造成掏刷的物理機制，可大致分成三大類：

- $KC > O(6)$: slender piles or slender-pile regime
 $KC < O(1)$: large piles or diffraction regime
 $O(1) < KC < O(6)$: intermediate piles or intermediate regime

其中：

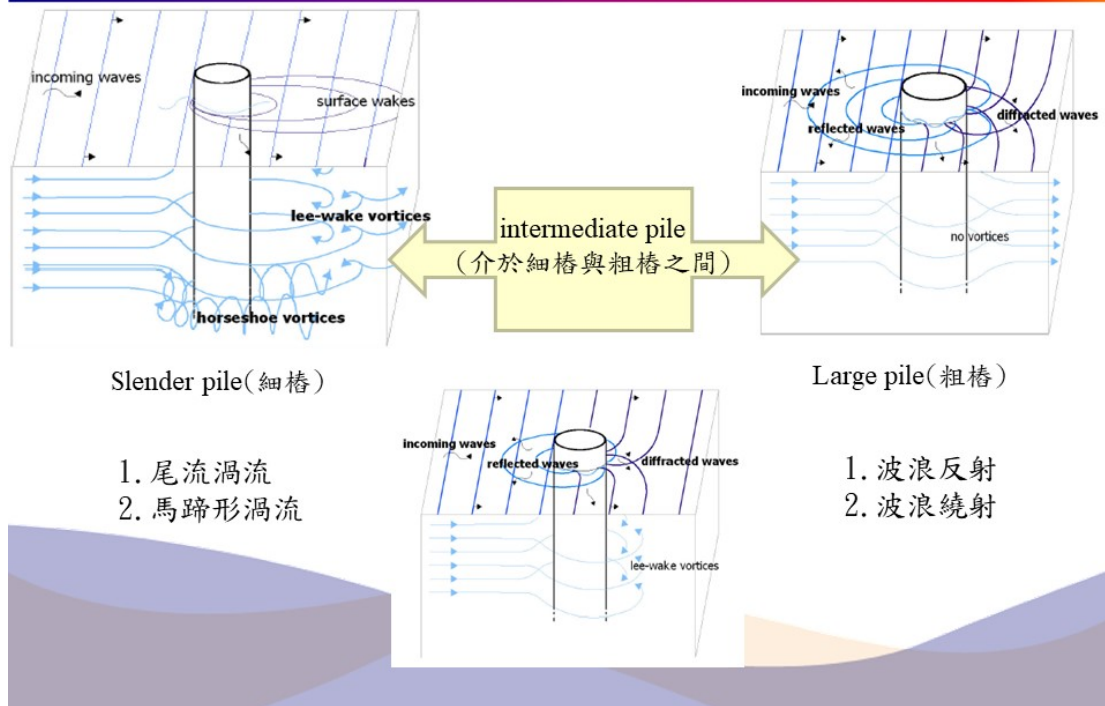
$$KC = \frac{U_m T}{D} \approx \frac{2\pi a}{D} = \frac{\pi H}{D \sinh(kh)}$$



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]

基樁掏刷之分類

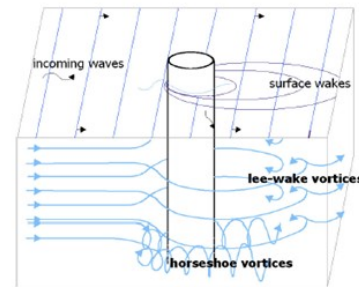
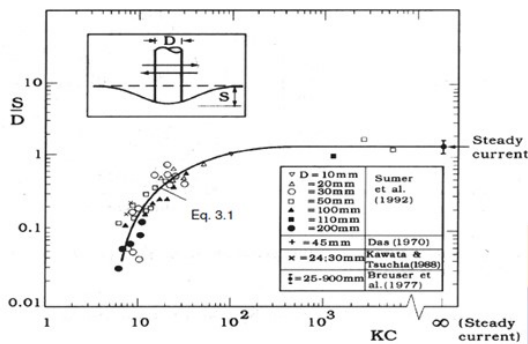


細樁之平衡掏刷深度

細樁之平衡掏刷深度

掏刷深度主要是跟KC值及基樁管徑有關，而平衡掏刷深度為達平衡時的最大掏刷深度，常被用來作為基樁圓柱設計使用，被廣泛運用的是由Sumer 和 Fredsoe(2002)實驗得出之經驗公式如下

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



其中：

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

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

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

U_{cw} : 流與波浪之相對流速 [-]

U_c : 中間水深之流速 [m/s]

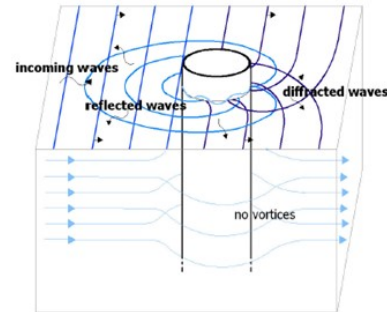
U_m : 底床之自由流速 [m/s]

粗樁之平衡掏刷深度

粗樁平衡掏刷深度

Rance(1980)認為，在波浪的衝擊下，粗樁之平衡掏刷深度小於6%基樁圓柱直徑，若加上流的影響，平衡掏刷深度應小於10%。

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。

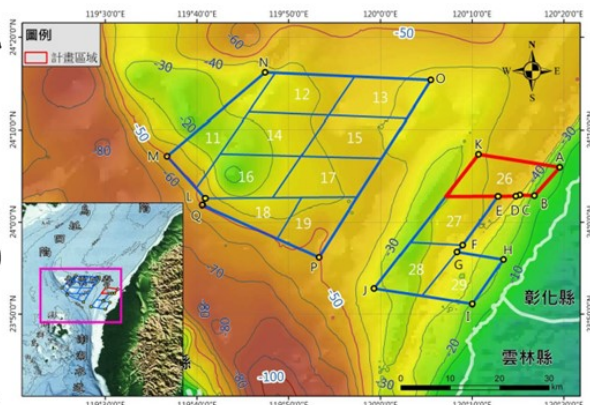


離岸風電基樁掏刷之探討

離岸風電潛力場址位，整體形狀略呈以東-西為長向之狹長梯形範圍。

除東側略呈與風場東界平行的狹長帶狀水域水深約為20米外，其餘大部分海域地形水深均在34 米~49米間，其中尤以水深40 米~49 米間約佔3分之2以上。

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d50介於0.009~0.389mm之間。



參考資料:離岸風力發電第二期計畫可行性研究 - 台灣電力公司

各條件之結果與討論

一般條件下之冬夏季海氣象條件：

以目前評估規劃之條件，基樁直徑取3米，水深取40米及20米， d_{50} 取0.2毫米，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米、週期7秒、波長使用分散關係式算得76米；夏季歷年平均波高0.92米、週期6秒、波長使用分散關係式算得56米如表。

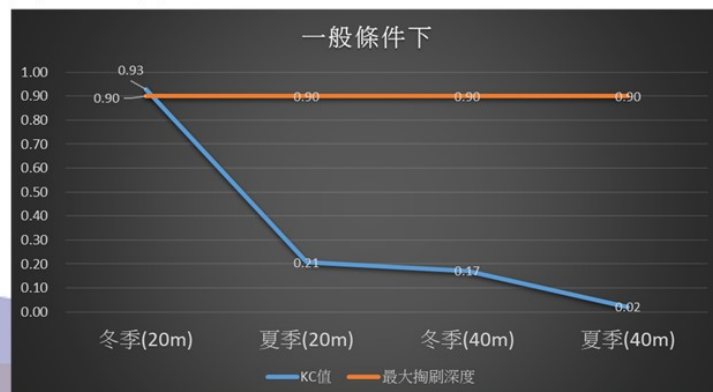
基樁區域之水深、週期、波高、波長資料

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

各條件之結果與討論

一般條件下之冬夏季之平衡掏刷深度：

計算出來之冬季的KC值為0.17，夏季的KC值為0.02，皆小於0(1)，就算使用20米水深計算，冬季、夏季的KC值分別為0.93、0.21，還是小於0(1)，因此在平常的冬季、夏季中，其掏刷機制都屬於粗樁的範疇，若以30%考量的話，最大平衡掏刷深度最多在0.9米以內。



各條件之結果與討論

極端颱風氣候下之海氣象條件：

基樁直徑取3米，水深40米，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、臺中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、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：

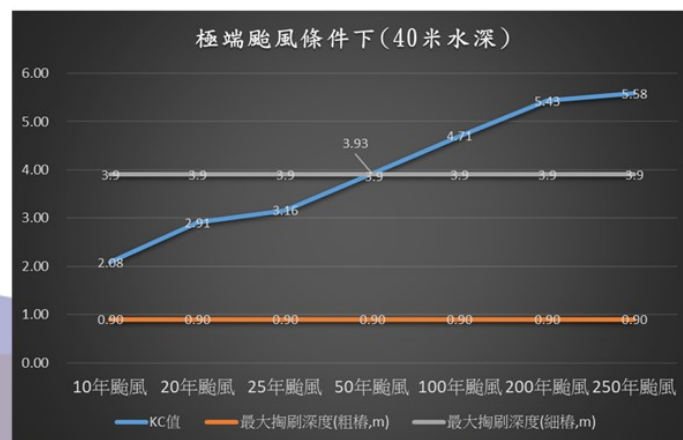
基樁區域極端颱風氣候下，推算之水深、週期、波高、波長資料。

事件	水深 h	週期 T	波高 H	波長 L
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

各條件之結果與討論

極端颱風氣候下之平衡掏刷深度(水深40米)：

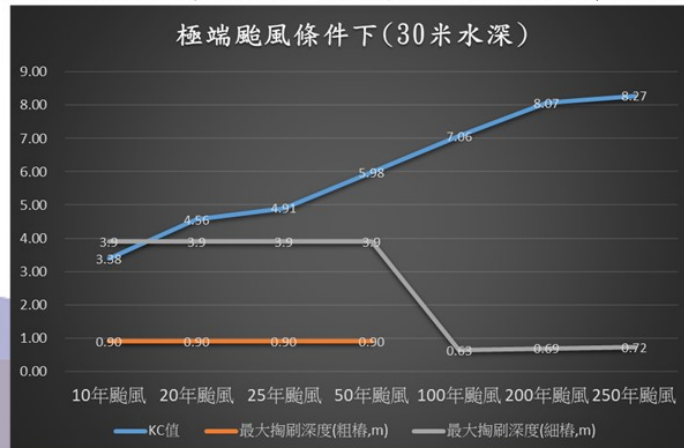
當使用迴歸颱風條件下去計算，KC值變大條件，各週期颱風條件下算出，KC值介於2.08~5.58之間，屬於介於粗樁與細樁之間的範疇，而這也是掏刷研究最缺乏之部分，但若以粗樁最多30%基樁直徑及細樁1.3倍之基樁直徑來計算的話，平衡掏刷深度約介於0.9米及3.9米之間。



各條件之結果與討論

極端颱風氣候下之平衡掏刷深度(水深30米):

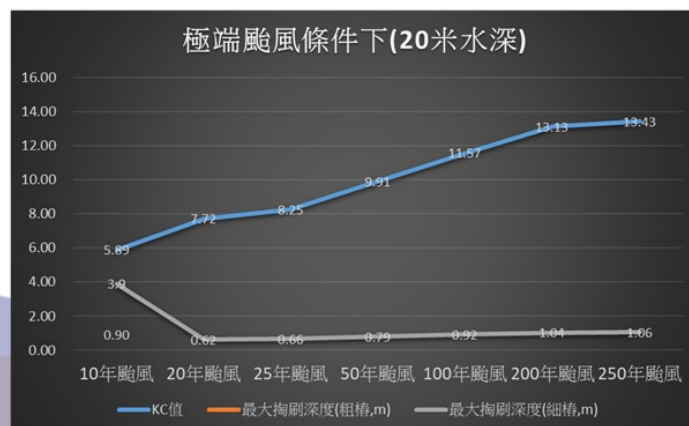
基樁直徑取3米，在水深30米之條件下，10~50年颱風條件下之KC值小於0(1)，若以粗樁最多30%基樁直徑來計算的話，平衡掏刷深度約介於0.9米之間，而100~250年颱風條件下之KC值大於0(6)，使用Sumer之平衡掏刷深度公式算出來約0.21~0.24倍基樁圓柱直徑，也就是0.63~0.72米的掏刷深度。



各條件之結果與討論

極端颱風氣候下之平衡掏刷深度(水深20米):

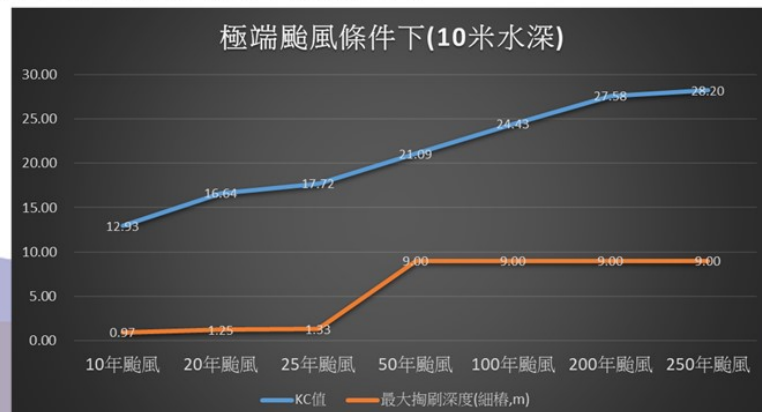
同樣使用迴歸颱風條件下去計算，在水深20米之條件下，可發現除了10年迴歸颱風之KC值介於粗樁與細樁之間，20~250年颱風之KC值均大於0(6)，也就是在極端氣候的條件下，原來的粗樁已經變成細樁條件了，使用式子算出來的掏刷深度介於0.2~0.35倍基樁圓柱直徑左右，大約是0.6~0.95米左右。



各條件之結果與討論

極端颱風氣候下之平衡掏刷深度(水深10米):

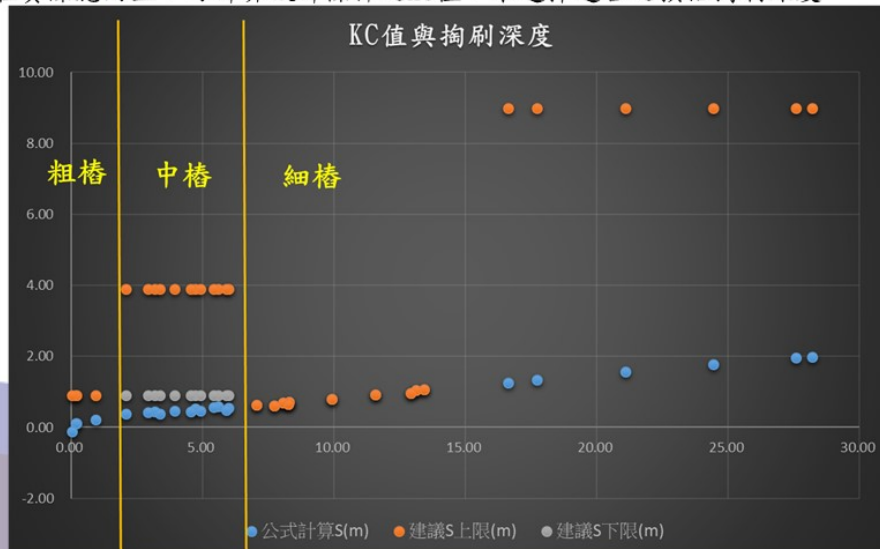
在水深10米之條件下，10~250年全部颱風條件下之KC值均大於0(6)，使用 Sumer 之平衡掏刷深度公式算出來約0.32~0.66倍基樁圓柱直徑，也就是0.92~1.98米之掏刷深度，但是，50~250年颱風條件下之H/L波浪尖銳度很接近碎波條件(H/L)max，則以Bijker(1988)之建議S/D最大可以達到3倍之多，也就是最大平衡掏刷深度可能到達9米來估算。



各條件之結果與討論

KC值與掏刷深度:

在實際應用上，可計算設計條件之KC值，來選擇適合之預估掏刷深度



結論與建議

結論：

1. 由水工模型預備試驗結果得知，進行冬季期間之冬季季風波浪8小時試驗，可以重現冬季期間現場的地形變化情況。後續(108年度)將再進行夏季季風波浪作用之試驗測試，用以尋求夏季期間現場地形變化之重現期，最後依據冬、夏季之試驗重現時間結果以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。
2. 以現在實際規劃離岸風機地點、基樁直徑3米，在平常氣候條件下，其物理機制屬於粗樁條件，因此平衡掏刷深度不深，在規劃設計上，以30%約**0.9米**之掏刷深度已可滿足設計需求。

結論與建議

3. 在極端颱風條件下，位於水深40米之基樁，平衡掏刷深度約介於0.9米~3.9米之間之掏刷深度已可滿足設計需求。但在水深20米之基樁圓柱，可發現除了10年迴歸颱風以外，20~250年迴歸颱風之條件下，其物理機制屬於細樁條件，使用式子算出來的掏刷深度介於0.2~0.35倍基樁圓柱直徑左右，大約是0.6~0.95米左右；以此結果來看，**0.95~3.9米**以上之掏刷深度可同時滿足設計平常條件及極端颱風條件之設計需求。
4. 若未來考量放置於不同水深之位置，在30米水深處，10年迴歸颱風之條件下，其物理機制屬於粗樁條件，在規劃設計上，以30%約0.9米之掏刷深度已可滿足設計需求，20~250年迴歸颱風之條件下，其物理機制屬於細樁條件，計算出來的掏刷深度介於0.15~0.24倍基樁圓柱直徑，也就是0.45~0.72米左右，因此以**0.9米**為設計已可滿足250年內極端颱風之需求。

結論與建議

5. 若未來考量放置於不同水深之位置，在10米水深處，10~250年迴歸颱風之條件下，其物理機制皆屬於細樁條件，計算出來的掏刷深度介於0.32~0.66倍基樁圓柱直徑，也就是0.92~1.98米之掏刷深度，但是50~250年颱風條件下之波浪尖銳度已接近碎波之條件，S/D最大可以達到3倍之多，最大平衡掏刷深度可能到達9米，如此大之掏刷深度則對基樁結構之安全性大有影響，應從工程角度上去做補強預防，或改選其他適合之地點。
6. 若以掏刷之影響角度出發，設計者可根據KC值，來選擇適合之預估掏刷深度，而影響KC值支基樁直徑之大小可根據水深去做適度之改變，或者放置之水深可根據基樁直徑之大小來做變化，當然最後須全面考量工程、生態、經濟、風險、發電效率等之影響，做全面性之通盤考量與決策。

結論與建議

建議：

1. 由水工模型預備試驗結果得知，進行冬季期間之冬季季風波浪8小時試驗，可以重現冬季期間現場的地形變化情況。後續(108年度)將再進行夏季季風波浪作用之試驗測試，用以尋求夏季期間現場地形變化之重現期，最後依據冬、夏季之試驗重現時間結果以整年之現場地形變化情況，作為模型試驗之整年重現時間的校驗。

