107-085-7A80
MOTC-IOT-106-H2DB001

106-109 離岸風電海下工程技術研發計畫(1/4)

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 107 年 9 月

107-085-7A80
MOTC-IOT-106-H2DB001

106-109 離岸風電海下工程技術研發計畫(1/4)

著 者: 蔡立宏、賴瑞應、林雅雯、羅建明、黃茂信
羅冠顯、林受勳、李政達、李俊穎、傅怡釧

交 通 部 運 輸 研 究 所

中 華 民 國 107 年 9 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

離岸風電海下工程技術研發計畫. 106-109.
(1/4) / 蔡立宏等著. -- 初版. -- 臺北市 :
交通部運研所, 民107.09
面 ; 公分
ISBN 978-986-05-6466-2(平裝)

1.海下工程 2.風力發電

443 107012798

106-109 離岸風電海下工程技術研發計畫(1/4)

著　　者：蔡立宏、賴瑞應、林雅雯、羅建明、黃茂信、羅冠顯、林受勳、
李政達、李俊穎、傅怡釧
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) 26587123
出版年月：中華民國 107 年 9 月
印 刷 者：羅德科技印刷有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 50 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港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
國家書店松江門市:10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話:(02)25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010701209　ISBN：978-986-05-6466-2 (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。

107

106-109 離岸風電海下工程技術研發計畫(1/4)

交通部運輸研究所

GPN: 1010701209

定價:200 元

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：106-109 年離岸風電海下工程技術研發計畫(1/4)

國際標準書號(或叢刊號)	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN978-986-05-6466-2 (平裝)	1010701209	107-085-7A80	106-H2DB001

本所主辦單位：港灣技術研究中心
主管：朱金元
計畫主持人：蔡立宏
研究人員：賴瑞應、林雅雯、羅建明、黃茂信、羅冠顯、林受勳、李政達、李俊穎、傅怡釧
聯絡電話：04-26587121
傳真號碼：04-26560661

研究期間
自 106 年 09 月
至 107 年 08 月

關鍵詞： 離岸風電、航安、水理機制、水工模型試驗、數值模式模擬

摘要：

離岸風電開發在風電區將佔據近岸海域一部份面積，原有船舶航行必須改道，且施工與運維船隻的增加，使意外災害風險亦隨之增加，故需建立一套完整的航安系統並規劃適當航路，配合海氣象以及船隻動態資訊，執行航行安全監督與管理，以提高航行安全，並於海上事故發生時能提供相關救援或海難分析資訊。此外，大量的風機結構物造成水理機制改變，可能造成近岸環境之改變，風機結構物的維護與安全與否，亦關係到航安及營運成本，又鑑於國內海氣地象條件的特殊，因此必須建置本土化的維管計畫。爰此，本研究目的為以航行安全、港灣環境與產業發展為目標，進行離岸風電開發衍生需提供相關海氣地象資訊、船舶資訊、水下技術等，而以現場調查、水工模型試驗、現場試驗、數值模式模擬、整合船舶監控方式，進行各項資料監測、收集、統計分析與評估，並建置各項系統以及研擬計畫手冊等，以資應用。

本研究為 4 年期計畫，本年度為第 1 年，以經濟部規劃之離岸風電區與施工運維基地港為研究範圍，本年度除資料收集與相關分析外，亦包括儀器、觀測站、水工模型試驗等設備及系統之建置。本報告成果可提供各港務航港相關單位如交通部、經濟部、港務公司、航港局、海洋委員會及風電開發商等對於離岸風電發展所需之航安、救難、海氣地象及維護等之即時與分析之資訊。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
107 年 9 月	334	200 元	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: Research and Development of Underwater Technology on Offshore Wind Power (1/4)

ISBN(OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-05-6466-2(pbk)	1010701209	107-085-7A80	106-H2DB001

DIVISION: Harbor and Marine Technology Center

DIVISION DIRECTOR: Chu, Chin-yuan

PRINCIPAL INVESTIGATOR: Tsai, Li-hung

PROJECT STAFF: Lai, Jui-ying, Lin, Ya-wen, Lo, Chien-Ming, Huang, Mao-Hsin, Luo, Guan-sian, Lin, Shou-shiun, Lee, Cheng-da, Lee, Chun-ying, Fu, Yi-chuan

PHONE: +886-4-26587121

FAX: +886-4-26560661

PROJECT PERIOD
FROM September 2017
TO August 2018

KEY WORDS: offshore wind power, water behavior, navigation safety, hydraulic model test, numerical model simulation, vessels monitoring system

ABSTRACT:

The original navigating vessels must change the route because of the development of offshore wind power as the wind power areas will occupy a part of the coastal waters. Also, with the increase number of vessels in construction and operation, the risk of accidents at sea will increase. Therefore, it is necessary to plan an appropriate ship route and establish a complete navigation safety system. By combining information of sea weather and vessel activity, this system will be able to implement supervision and management in navigation safety. When a marine accident occurs, it can also provide marine accident rescue and shipwreck analysis. In addition, a large number of wind turbine structures will affect water behavior, which may cause changes in the nearshore environment. The maintenance and safety of the wind turbine structures affect the cost of operation and the safety of navigation. Due to the special conditions of sea weather in Taiwan, it is necessary to establish localized plans for the maintenance and management of offshore wind power.

The objectives of this study are navigation safety, environmental conservation and industrial development. The target area of this study includes offshore wind farms and their home port. The site observations and research on sea information, ship information, and underwater technology of offshore wind power development are carried out in this study. The methods include on-site investigation, hydraulic model test, numerical model simulation, and setting vessels monitoring system. The above information of observation will be collected and analyzed, and the technical plan manual will be proposed for practice application. This is the first year of the four-year project. The main work includes literature review, observations system setup plan, and data analysis. The results can be taken as reference by government institutions and private sectors, including the Ministry of Transportation and Communication, the Ministry of Economic Affairs, Ocean Affair Council, Port authority, consultant and development incorporations in vessels navigation, marine accident rescue, shipwreck evaluation, maintenance of wind turbine.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
September. 2018	334	200	□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
表目錄 ..... Ⅴ
圖目錄 ..... Ⅶ
照片目錄 ..... Ⅹ
第一章 緒論 1-1
1.1 前言 1-1
1.2 研究動機及目的 1-2
1.3 研究項目與方法 1-2
1.4 本報告組織 1-12
第二章 離岸風電海氣象觀測 2-1-1
2.1 建置海氣象觀測系統 2-1-2
2.2 海氣象觀測樁設置 2-2-1
2.3 海氣象觀測結果分析 2-3-1
第三章 鄰近海岸漂沙機制探討 3-1-1
3.1 規則與不規則波平面造波系統 3-1-2
3.2 MIKE 21 二維海洋波流模擬軟體概述 3-2-1
3.3 水工模型試驗廠棚結構安全評估及維修工程 3-3-1
第四章 離岸風電水下技術 4-1-1
4.1 離岸風機基樁與金屬構件腐蝕防治 4-1-2
4.2 離岸風機基礎維管及穩定性檢監測技術初探 4-2-1
4.3 海事人員訓練 4-3-1
第五章 離岸風電建置與航安技術發展計畫 5-1-1
5.1 國際規定之航安技術發展背景知識與相關研究 5-1-1

5.2 日本之航安技術發展背景知識與相關研究..... 5-2-1
5.3 英國之航安技術發背景知識與相關研究..... 5-3-1
5.4 AIS 船舶資訊系統於離岸風電區實際應用 5-4-1
第六章 結論與建議.....6-1
6.1 結論.....6-1
6.2 建議.....6-2
6.3 成果效益及後續應用情形.....6-3
參考文獻.....7-1
簡報資料.....8-1
審查意見處理情形表.....9-1

表　目　錄

表 2.1.1　不同型號波流儀 AWAC 特性比較表 2-1-6
表 2.1.2　海氣象觀測儀器規格與觀測設定 2-1-17
表 2.2.1　臺中港潮位統計表 2-2-3
表 2.2.2　規劃設計波浪表 2-2-5
表 2.2.3　附近主要河川流量及含沙量表 2-2-6
表 2.2.4　土壤三軸壓密不排水試驗結果表 2-2-13
表 2.2.5　土壤直接剪力試驗結果表 2-2-13
表 2.2.6　土壤單向度壓密試驗結果表 2-2-14
表 2.2.7　簡化土層及工程參數建議值 2-2-18
表 2.2.8　觀測樁設置地點綜合評估表 2-2-31
表 2.2.9　工程材料使用一覽表 2-2-34
表 2.3.1　2017 年各月風觀測有效記錄統計時數 2-3-2
表 2.3.2～表 2.3.14　2017 年分月、分季及全年 10 分鐘平均風速與風向聯合分佈表 ..... 2-3-4~2-3-16
表 2.3.15　2017 年風觀測分月平均風速及風向分佈統計 2-3-33
表 2.3.16　2017 年風觀測分月風向分佈統計〔%〕 2-3-34
表 2.3.17　2017 年逐月 10 分鐘平均風速及平均風速極值統計 2-3-35
表 2.3.18　2017 年颱風事件臺中港風速風向觀測數據極值表 ... 2-3-42
表 3.1.1　計畫平面造波機的主要尺寸和電源需求表 3-1-5
表 3.1.2　HR Wallingford 造波機標準安全功能表 3-1-13
表 3.1.3　計畫提供的堆高機規格表 3-1-15
表 3.1.5　建議的維護計劃表 3-1-38
表 3.1.6　定期維護項目進行檢查和維護表 3-1-39
表 3.2.1　MIKE 21-12 月 12 日基礎訓練課程表 3-2-4

表 3.2.2　MIKE 21-107 年 1 月～2 月期間實務訓練課程表 3-2-4
表 3.3.1　基地震區係數 3-3-4
表 3.3.2　近斷層效應調整因子 3-3-5
表 3.3.3　建物耐震合格標準表 3-3-6
表 3.3.4　風速風壓對照表 3-3-7
表 4.1.1　鋼板(管)樁在海洋環境中的防蝕方法及防蝕效果比較表 4-1-6
表 4.1.2　離岸風機推薦使用之高耐蝕膜層系統 4-1-7
表 4.1.3　離岸風機塗層技術規範標準 4-1-8
表 4.1.4　離岸風機塗層系統彙整表 4-1-8
表 4.1.5　水域調查點位資料 4-1-18
表 4.1.6　水質檢測項目與方法 4-1-21
表 4.1.7　規範 ASTM D2487-92 之土壤粒徑特性分類法 4-1-22
表 4.1.8　海域水體分類表 4-1-22
表 4.1.9　海洋環境品質標準 4-1-23
表 4.1.10 採樣資訊彙整表 4-1-24
表 4.1.11 水質分析資料表 4-1-25
表 4.2.1　單樁式下部結構成本估算成果 4-2-3
表 4.2.2　套筒式下部結構成本估算成果 4-2-3
表 4.2.3　歐洲 10 座風場特性 4-2-9
表 4.3.1　9 大課程表建議 4-3-9
表 5.2.1　船舶相關政策法令 5-2-8
表 5.2.2　船舶碰撞風險評估 5-2-9

圖　目　錄

圖 2.1.1　離岸風電區海氣象觀測站儀器安裝位置示意圖..... 2-1-3
圖 2.1.2　離岸風電海域海氣象觀測系統資料傳輸示意圖..... 2-1-3
圖 2.1.3　離岸風電海域海氣象觀測系統架構圖..... 2-1-4
圖 2.1.4　底碇式觀測原理及 AWAC 觀測儀器示意圖 2-1-5
圖 2.1.5　AWAC 聲波訊號傳訊示意圖 2-1-7
圖 2.1.6　AWAC 波浪運動示意圖 2-1-8
圖 2.1.7　AWAC 音鼓量測波浪變化示意圖 2-1-9
圖 2.1.8　底碇式波流觀測系統資料傳輸原理示意圖..... 2-1-10
圖 2.1.9　底碇式水下波流及海流觀測系統示意圖..... 2-1-11
圖 2.1.10 底碇式水下波流及海流觀測系統佈放圖..... 2-1-12
圖 2.1.11　KPSI 735 壓力式水位觀測儀示意圖 2-1-13
圖 2.1.12 潮位即時觀測站建置圖..... 2-1-14
圖 2.1.13　WindObserver 二維超音波式風速風向儀示意圖 2-1-15
圖 2.1.14 風速風向即時觀測站建置圖..... 2-1-16
圖 2.1.15 海氣象觀測設備現場維護保養作業..... 2-1-19
圖 2.1.16 海氣象觀測設備現場維護保養作業..... 2-1-20
圖 2.2.1　海氣象觀測樁體、平臺細部設計及海上現地鑽探位置圖示 2-2-2
圖 2.2.2　臺中港 2005~2016 四季及全觀測期波高及週期機率分佈圖 2-2-4
圖 2.2.3　強烈颱風尼伯特實測之波高、週期、風速逐時歷線 ... 2-2-4
圖 2.2.4　強烈颱風尼伯特路徑圖..... 2-2-5
圖 2.2.5　臺中港水深地形與觀測樁規劃位置圖..... 2-2-7
圖 2.2.6　鑽探設備示意圖..... 2-2-9

圖 2.2.7　標準貫入試驗及劈管取樣器 2-2-10
圖 2.2.8　鑽探檢驗流程圖 2-2-14
圖 2.2.9　品質管理作業流程圖 2-2-15
圖 2.2.10 基地地層柱狀剖面圖 2-2-16
圖 2.2.11 土壤液化判定方法流程 2-2-21
圖 2.2.12 土壤液化判定方法流程 2-2-22
圖 2.2.13 基樁樁長與垂直容許承載力之關係圖 2-2-24
圖 2.2.14 基樁樁長與容許抗拉拔力之關係圖 2-2-25
圖 2.2.15 計畫區冬季期間海域流場分布圖 2-2-26
圖 2.2.16 計畫區波場分布圖 2-2-27
圖 2.2.17 臺中港附近海域侵淤趨勢圖 2-2-28
圖 2.2.18 臺中港附近海域船舶航行密度統計趨勢圖 2-2-29
圖 2.2.19 臺中港附近海域離岸風力潛勢場址圖 2-2-30
圖 2.2.20 基本設計圖 2-2-35
圖 2.2.21 平台塔屋平面配置圖 2-2-36
圖 2.2.22 階段式爬梯構想圖 2-2-37
圖 2.2.23 附屬設施 2-2-38
圖 2.2.24 防蝕帶包裹圖（鋼管樁潮間帶防蝕處理） 2-2-39
圖 2.2.25 陽極鋁塊防蝕處理圖（鋼管樁水下防蝕處理） 2-2-40
圖 2.2.26 基本樁體底床加固設計圖 2-2-41
圖 2.2.27 量測儀器支撐架詳圖 2-2-42
圖 2.2.28 單樁式基礎構造示意圖 2-2-43
圖 2.2.29 施工流程示意圖 2-2-45
圖 2.2.30 工作流程圖 2-2-46
圖 2.3.1～圖 2.3.12　2017 年分月 10 分鐘平均風速、平均風向、N-E 分量及風速向量矢狀變化等時間序列圖 ..... 2-3-17~2-3-28

圖 2.3.13～圖 2.3.25　2017 年分月、分季及全年風速、風向玫瑰圖 ..... 2-3-29~2-3-32
圖 2.3.26　侵臺颱風路徑分類 2-3-36
圖 2.3.27　2017 年西太平洋所有發生的颱風列表示意圖 2-3-37
圖 2.3.28　2017 年中央氣象局有發警報颱風列表示意圖 2-3-38
圖 2.3.29　2017 年第 9 號尼莎(NESAT)中度颱風路徑圖 2-3-38
圖 2.3.30　2017 年第 10 號海棠(HAITANG)輕度颱風路徑圖 2-3-39
圖 2.3.31　2017 年第 13 號天鴿(HATO)中度颱風路徑圖 2-3-39
圖 2.3.32　2017 年第 17 號谷超(GUCHOL)輕度颱風路徑圖 2-3-40
圖 2.3.33　2017 年第 18 號泰利(TALIM)輕度颱風路徑圖 2-3-40
圖 2.3.34　2017 年 7 月尼莎颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖 2-3-43
圖 2.3.35　2017 年 7 月海棠颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖 2-3-44
圖 2.3.36　2017 年 7 月天鴿颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖 2-3-45
圖 2.3.37　2017 年 7 月谷超颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖 2-3-46
圖 2.3.38　2017 年 7 月泰利颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖 2-3-47
圖 3.1.1　平面造波機的側視示意圖 3-1-2
圖 3.1.2　平面造波機的三視圖 3-1-3
圖 3.1.3　造波板促動器的一般配置剖面圖 3-1-6
圖 3.1.4　造波控制系統架構圖 3-1-7
圖 3.1.5　造波板準確度範例 3-1-18
圖 3.1.6　Bretschneider 波譜範例圖 3-1-19
圖 3.1.7　Bi-modal 雙模波譜範例圖 3-1-19

圖 3.1.8　造波性能預測(波浪尖銳度 H<L/9、水深比 H/D=0.5) 3-1-20
圖 3.1.9　由 HR Merlin 生成的典型波譜 3-1-24
圖 3.1.10 延伸造波性能預測(波浪尖銳度 H<L/7、水深比 H/D=0.6)
..... 3-1-25
圖 3.1.11 由 HR Merlin 生成的典型波譜和傳遞函數 3-1-27
圖 3.1.12 規則波線性造波範例 3-1-28
圖 3.1.13 以二階造波修正規則波 3-1-28
圖 3.1.14 HR Wallingford 吸波系統性能測試 3-1-33
圖 3.1.15 使用短序列規則波啟動和關閉主動吸波 3-1-34
圖 3.1.16 量測長波峰波的目標波譜 3-1-35
圖 3.1.17 與 Davis 造波機整合時的控制系統架構圖 3-1-36
圖 3.2.1　非結構性三角形網格示意圖 3-2-2
圖 3.2.2　Mike21 軟體基礎及實務訓練課程上課情形及結訓證書3-2-6
圖 3.3.1　建築物基地所在區位及俯視圖 3-3-1
圖 3.3.2　建築物柱基鋼板鏽蝕狀況 3-3-2
圖 3.3.3　建築物窗框橫梁鏽蝕狀況 3-3-2
圖 3.3.4　建築物梁柱鏽蝕狀況 3-3-3
圖 3.3.5　建築物屋頂鋼板鏽蝕狀況 3-3-3
圖 3.3.6　本場址距離大甲斷層之距離示意圖 3-3-5
圖 4.1.1　研究方法及流程圖 4-1-3
圖 4.1.2　外加電流法示意圖 4-1-5
圖 4.1.3　犧牲陽極法示意圖 4-1-5
圖 4.1.4　風機結構健康監測系統安裝示意圖 4-1-10
圖 4.1.5　海洋附著生物群聚消長變化圖 4-1-11
圖 4.1.6　海洋暴露區域示意圖 4-1-15
圖 4.1.7　基樁與試架安裝俯視圖 4-1-16

圖 4.1.8　金屬試片分佈圖 4-1-17
圖 4.1.9　現地金屬試架設計圖 4-1-18
圖 4.1.10　臺中港區採樣位置圖 4-1-19
圖 4.1.11　彰化離岸風機場址採樣位置圖 4-1-19
圖 4.1.12　採樣斷面示意圖 4-1-20
圖 4.1.13　底泥採樣岩心管 4-1-20
圖 4.1.14　臺灣沿海海域範圍與海域分類圖 4-1-23
圖 4.1.15　St3 底泥內底棲生物 4-1-27
圖 4.1.16　底泥 DNA 分層收集圖 4-1-27
圖 4.1.17　Soil1 底泥微生物 DNA 序列各分類位階鑑別結果 ... 4-1-28
圖 4.1.18　Soil2 底泥微生物 DNA 序列各分類位階鑑別結果 ... 4-1-28
圖 4.1.19　Soil4 底泥微生物 DNA 序列各分類位階鑑別結果 ... 4-1-29
圖 4.1.20　底泥微生物 DNA 階層分析圖 4-1-29
圖 4.2.1 單樁式(Monopile)..... 4-2-1
圖 4.2.2 套筒式(Jacket)基礎 4-2-2
圖 4.2.3 離岸風機下部結構成本比較..... 4-2-3
圖 4.2.4 基礎在一般流況及極限流況時不同地質之淘刷深度影響
..... 4-2-4
圖 4.2.5 垂直樁底床流況..... 4-2-5
圖 4.2.6 垂直樁旁的沖刷坑示意圖..... 4-2-6
圖 4.2.7 沖刷深度 S 之定義..... 4-2-7
圖 4.2.8 歐洲 10 座風場位置..... 4-2-8
圖 4.2.9 在 N7 風場在設置樁 5 年內沖刷深度持續增加..... 4-2-9
圖 4.2.10 各風場之沖刷深度與樁直徑比對水深與樁直徑比圖 . 4-2-10
圖 4.2.11 有沖刷保護工的沖刷深度 S 定義..... 4-2-11
圖 4.2.12 具沖刷保護工的沖刷深度與樁直徑比對水深與樁直徑比

..... 4-2-11
圖 4.2.13 英國維管 5,500 支離岸風機費用/年 4-2-12
圖 4.2.14 理論最小成本圖 4-2-13
圖 4.2.15 維護載具與港口距離、費用關係圖 4-2-14
圖 4.2.16 傳輸電纜維護作業設備 4-2-15
圖 4.2.17 感測器安裝(Force Technology 監測設備為例) 4-2-17
圖 4.2.18 離岸風場水下基礎監測(University of Paderborn 為例)4-2-18
圖 4.3.1 臺歐風電產業國際高峰會 4-3-2
圖 4.3.2 行政院環境保護署環評書件查詢系統 4-3-3
圖 4.3.3 拖船及有吊桿的貨櫃輪 4-3-3
圖 4.3.4 傳統海事校院訓練管道 4-3-5
圖 4.3.5 實習生培育訓練管道 4-3-6
圖 4.3.6 甲級船員訓練流程圖 4-3-7
圖 4.3.7 乙級船員訓練流程圖 4-3-7
圖 4.3.8 交通部商船三等幹部適用資格之海事人員訓練 4-3-9
圖 4.3.9 建議訓練管道 4-3-10
圖 5.4.1 AIS 船舶資訊系統顯示介面 5-4-2
圖 5.4.2 顯示船舶種類 5-4-3
圖 5.4.3 設定顯示船舶資訊內容 5-4-3
圖 5.4.4 顯示船舶資訊內容 5-4-4
圖 5.4.5 顯示風場區域位址 5-4-4
圖 5.4.6 該船舶 AIS 船舶航跡頁面 5-4-5
圖 5.4.7 顯示該船舶航跡時間 5-4-5
圖 5.4.8 查詢船舶歷史航行軌跡 5-4-6

照 片 目 錄

照片 3.1.1　典型的長波峰平面造波機(造波板模組使用雙促動器) 3-1-5
照片 3.1.2　典型馬達驅動控制面板(MDCP)配置 3-1-6
照片 3.1.3　平推式造波機的交流伺服馬達和齒輪箱零組件 3-1-9
照片 3.1.4　遠端安全裝置 3-1-12
照片 3.1.5　計畫提供的堆高機(能搬運 2.5 噸以上重量)設備 3-1-16
照片 3.1.6　原廠使用堆高機搬運造波模組範例示意 3-1-17
照片 3.3.1　柱基補強施工前後照片 3-3-9
照片 3.3.2　窗框橫梁更換前後照片 3-3-10
照片 3.3.3　窗戶更換前後照片 3-3-11
照片 3.3.4　屋頂鋼板施工中及完工後照片 3-3-12
照片 3.3.5　鋼構除鏽上漆施工中及完工後照片 3-3-13
照片 3.3.6　RC 內側牆面補土粉刷前後照片 3-3-14

第一章　緒 論

1.1 前言

自「京都議定書」生效後，國際因應氣候變遷對二氧化碳減量承諾形成共識，在各種減量方式中，風力發電對二氧化碳減量具有顯著貢獻。陸上風力機具有組裝容易成本較低的特點，然而，適合陸上風場愈來愈少，且民眾對風力機運轉噪音、陰影閃爍及視野障礙感到不滿，因此，遠離陸地之離岸風電已成為許多國家積極發展的重點。我國亦積極配合規劃溫室氣體減量目標與減量策略，以及根據行政院於 2012 年核定「能源發展綱領」，2014 年經濟部能源局「能源產業技術白皮書」提出我國新能源之方針，其中「千架海陸風力機」為其目標之一，規劃 2025 年達成設置 5.5GW 之政策目標，預期能累計創造投資金額達 9.625 億元，並可創造 2 萬個就業機會。

國內目前離岸風電開發尚處於初步建置階段，國外的施工設計規範及相關技術並不能完全套用。因風機群的設置於海中，改變原有水理機制，波浪、水流、漂沙及地形因而變化且國內離岸風電必須面對臺灣海峽複雜惡劣的海氣象環境，對海上施工安全及風力機組主體結構造成影響。由於全球環境區域不同，國外離岸風電水下技術之規範並不一定適用我國，目前我國缺乏本土化海上風力發電機組相關防蝕設計研究，因此有必要發展本土之防蝕工法評估，研發適合國內離岸風電之防蝕工法，作為風機結構防蝕應用，以避免或減少工程災害，並提供風機基礎結構維管計畫研擬參考。本年度針對國內外離岸風機基樁與金屬構件腐蝕防治技術進行探討及建立本土化基樁及金屬構件之可行性防蝕決策評估，進行國內外文獻蒐集及彙整，於臺中港區及彰化風機預定海域進行水質、底泥等環境調查，於彰化風機預定水域拋放金屬試架進行試驗初探，進而研擬相關金屬材料腐蝕現地暴露試驗與海洋生物附著、腐蝕觀測調查等相關研究規劃。現階段對風力機場址的海氣象特徵掌握有限，增加了海上施工與運維補給船隻的航行

風險，加上未來在離岸風電建置與維運時，所帶來許多施工與補給維護船隻，使海上交通流量增加，且原有航行船隻亦需改變航路，故需建立一套完整的航安系統並規劃適當航路，配合海氣象以及船隻動態資訊，執行航行安全監督與管理，以提高航行安全，並於海上事故發生時能提供相關救援或海難分析資訊。

1.2 研究動機及目的

本計畫以目前及未來規劃建置之離岸風電區與施做運維基地港為計畫研究範圍，並以維持航安、環境保育與產業發展為三大目標。利用海氣地象現場觀測、雷達觀測、數值模式模擬、船舶自動辨識系統（Automatic Identification System，AIS）、數位選擇呼叫(Digital Selective Calling，DSC)及電子海圖系統等，加以整合研發以監控離岸風場鄰近區域航行船舶，提供航行安全資訊，降低發生海難與海上作業風險，並研擬船舶緊急救難標準作業程序，協助救援降低傷亡與損失，以達維持航安之目標。並藉由調查離岸風電建置鄰近海域之海氣象、漂沙行為、地形變化以及進行相關之數值模式模擬與水工模型試驗，以探討離岸風電場對鄰近地區環境保育影響。此外，發展離岸風機水下調查技術，配合既有系統更新，以提升結構物安全與使用年限，規劃專業海事工程人員訓練課程，因應風電產業所需專業海事工程人員，並進行港區航道規劃，以增加其營運績效及結構物安全，促進港埠及產業發展。

1.3 研究項目與方法

本計畫係配合政府離岸風電發展，所衍生有關航行安全、水下技術與港灣管理有關之研究計畫，為 4 年期計畫，分為 5 個研究主題，說明如下：

1. 離岸風電海氣象觀測：在離岸風電鄰近港域建置海氣象觀測樁，辦理長期性海氣象觀測，調查鄰近海域的波浪、流場、潮汐與風等資

料，提供即時海氣象資訊，建立整合性觀測資料庫，並進行資料的品質控管,可供離岸風場鄰近海域作業或進出的船舶航行安全參考應用，並提供數值模式建置與驗證使用，以推算離岸風電場鄰近海域的海象。

第 1 年工作內容：

(1) 建置長期性波浪與海流觀測系統(儀器設備規劃及購置)。

(2) 建置整合性觀測資料庫(伺服器軟硬體設備規劃及購置)。

(3) 數值分析模式建置期準備工作(資訊分析軟體規劃及購置)。

第 2 年工作內容：

(1) 持續建置長期性波浪與海流觀測系統。

(2) 進行波浪與海流觀測系統定期維護工作。

(3) 整合性觀測資料庫更新與與維護。

(4) 數值預測模式建置與驗證。

第 3 年工作內容：

(1) 持續進行波浪與海流觀測系統定期維護工作。

(2) 整合性觀測資料庫更新與與維護。

(3) 持續進行數值預測模式建置與驗證。

第 4 年工作內容：

(1) 持續進行波浪與海流觀測系統定期維護工作。

(2) 整合性觀測資料庫更新與與維護。

(3) 持續進行數值預測模式建置與驗證。

2. 離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討:在鄰近海域進行建置前後水深地形測量資料庫,並調查離岸風電現場漂沙行為,以水工模型漂沙試驗探討對港區附近之影響情況,以利試驗所需資料比對及應用,最後輔以數值模擬分析,以瞭解其局部及區域性對於鄰近港區之流場、漂沙運動行為,提供結構物穩定、船隻航行、近岸地形侵淤之評估,並作為未來施工維護、海洋環境保育、航行安全等之參考。

第 1 年工作內容:

(1) 進行平面造波機儀器設備採購規劃及購置作業。

(2) 水工模型漂沙試驗規劃評估及離岸風電場海岸地形測量調查分析:漂沙試驗設備更新購置和場地維護整理、颱風期之漂沙機制探討、擬定漂沙試驗進行方案等計畫前期準備工作。

(3) 配合水工模型漂沙試驗規劃評估及離岸風電場海岸地形測量調查分析:建置數值模式和探討進行方案等計畫前期準備工作。

第 2 年工作內容:

(1) 進行定點現場漂沙調查。

(2) 離岸風電場址機組群樁(小尺度)模型漂沙試驗:藉以模擬現場小範圍發電機組樁體於颱風期間及東北季風時之波浪、海流影響與評估該範圍漂沙趨勢,並瞭解風機相關結構物前後所受波浪壓力和群樁效應。

(3) 配合離岸風電場址機組群樁(小尺度)模型漂沙試驗:模擬數值運算模式改善維運,並瞭解試驗與現場觀測及數值模擬間差異。

第 3 年工作內容:

(1) 持續進行定點現場漂沙調查。

(2) 離岸風電場對臺中港區域(大尺度)模型漂沙試驗:可了解離岸風電場區域和臺灣西部近岸地形侵淤情形，探討臺中港鄰近港區之大範圍流場、漂沙運動行為。

(3) 配合離岸風電場對臺中港區域(大尺度)模型漂沙試驗:了解離岸風電場區域和臺灣西部近岸地形侵淤數值模擬情形，探討鄰近港區之大範圍流場、漂沙運動行為。

第 4 年工作內容：

(1) 持續進行定點現場漂沙調查。

(2) 海岸結構物穩定和離岸風電場結構物置放前後波流場及漂沙運動變化機制全面性研究：綜整先前試驗結果及預期評估效益，做為方案改善進行修正模式參考，持續漂沙模型試驗的條件與佈置微調，以利得到最佳執行結論。

(3) 配合海岸結構物穩定和離岸風電場結構物置放前後波流場及漂沙運動變化機制全面性研究：綜整試驗結果及現場資料的分析比較，持續進行模擬數值推估做為方案改善修正參考，以利得到最佳執行效益。

3. 離岸風電水下技術研發：水下技術研發主題上，進行 3 研究項目，包括：(1) 離岸風力發電機基樁與金屬構件腐蝕防治之研究 (2) 離岸風機基礎維管計畫及基礎穩定性檢監測技術研發 (3) 規劃專業海事工程人員訓練課程，分述如下：

(1) 離岸風力發電機基樁與金屬構件腐蝕防治之研究：探討不同金屬材料腐蝕速率與環境之相關性，並探討腐蝕防治方法，以犧牲陽極及外加電流為主，並增加考量海生物覆著之影響，以提供離岸風電基樁與金屬構件腐蝕與防治之參考。

第 1 年工作內容：

(1) 國內外離岸水下腐蝕防治及監測技術文獻蒐集與彙整。

(2) 國內外離岸海生物腐蝕影響及防蝕文獻蒐集與彙整。

(3) 離岸風機防蝕系統選擇與現地大氣與水下暴露試驗規劃與調查。

(4) 離岸風機基樁海生物附著暴露試驗規劃與調查。

(5) 離岸風機基樁現地腐蝕監測試驗規劃。

第 2 年工作內容：

(1) 大氣基樁金屬材料腐蝕與防蝕現地暴露試驗安裝與調查。

(2) 水下基樁金屬材料腐蝕與防蝕現地暴露試驗安裝與調查。

(3) 腐蝕監測設備訪查評估及監測系統規劃。

(4) 基樁海生物附著分布調查。

(5) 基樁現地腐蝕監測試驗安裝與測試。

第 3 年工作內容：

(1) 持續執行大氣基樁金屬材料腐蝕與防蝕現地暴露試驗調查。

(2) 持續執行水下基樁金屬材料腐蝕與防蝕現地暴露試驗調查。

(3) 持續執行基樁現地腐蝕監測試驗測試及資料分析。

(4) 持續基樁海生物附著分布調查。

(5) 大氣基樁金屬材料塗裝系統評估。

(6) 水下基樁金屬材料陰極保護系統評估。

第 4 年工作內容：

(1) 依據現地試驗結果進行基樁之防蝕效果評估。

(2) 草擬基樁海生物附著防蝕維護指引。

(3) 草擬大氣基樁金屬材料塗裝系統指引。

(4) 草擬水下基樁金屬材料陰極保護系統設計指引。

(5) 草擬離岸風機基樁與金屬構件腐蝕監測系統指引。

(6) 草擬離岸風機基樁與金屬構件防蝕維護指引。

(7) 離岸風機基樁與金屬構件現地腐蝕監測可行性評估。

（2）離岸風機基礎維管計畫及基礎穩定性檢監測技術研發：探討國內外離岸風機基礎維管計畫及基礎穩定性檢監測技術國內適用性，利用風機基樁受振動後土層穩定性檢測技術試驗及驗證，研提離岸風機基樁受振動後土層穩定性檢測技術手冊，建立本土化之維護計畫及穩定性檢監測技術。

第 1 年工作內容：

(1) 蒐集並探討國內外離岸風機基礎維管計畫、基礎周圍土層穩定性及檢監測技術相關文獻。

(2) 蒐集並探討國內外離岸風機基樁受振動後周圍土層緊密分佈及受擾動影響範圍之相關文獻。

(3) 蒐集並探討利用不同頻率之聲納進行海床面地形變動測量及海床下土層分佈之相關文獻。

(4) 提出利用不同頻率之聲納進行基礎周圍海床面地形變動測量、海床下土層分佈及受擾動或振動影響後土層分佈調查

之可行性分析

(5) 利用現地試驗提出土層浚挖前後聲納測量標準。

第 2 年工作內容：

(1) 離岸風機場址土層穩定性檢監測技術(概念及原型)研發，研發不同頻率之聲納檢監測設備、資料分析及成果展示系統，利用聲納進行基礎周圍海床面地形變動測量、海床下土層分佈及受擾動或振動影響後土層分佈調查。

(2) 離岸風機場址土層穩定性檢監測技術試驗及驗證，以試驗室模擬離岸風機場址地質條件之土層，進行下列事項之檢監測調查，並驗證其調查結果。

(a) 利用聲納進行海床面地形變動測量。

(b) 研究利用不同頻率之聲納偵測不同緊密之土層分佈及受擾動後土層分佈。

(3) 研提離岸風機場址土層穩定性檢監測技術手冊，包括不同地質緊密土層適用之聲納調查技術、數據分析及系統說明。

第 3 年工作內容：

(1) 蒐集並探討國內外離岸風機基樁受振動後周圍土層緊密分佈及受擾動影響範圍之相關文獻。

(2) 離岸風機基樁受振動後土層穩定性檢監測技術試驗及驗證，以試驗室模擬離岸風機場址地質條件之土層、基樁及振動情形，進行下列事項之檢監測調查，並驗證其調查結果。包括：

(a) 利用聲納偵測基樁在不同振動條件下周圍海床面地形變動測量。

(b) 研究利用不同頻率之聲納偵測基樁在不同振動條件下，周圍不同緊密之土層分佈及受擾動影響範圍。

(3) 研提離岸風機基樁受振動後土層穩定性檢監測技術手冊，包括基樁於不同振動條件下，周圍不同緊密土層適用之聲納調查技術、數據分析及系統說明。

第 4 年工作內容：

(1) 提出本土化離岸風機基礎維管計畫。

(2) 驗證基礎穩定性檢監測技術。

(3) 提出本土化基礎穩定性檢監測技術。

(4) 提出用聲納偵測離岸風機場基礎穩定性檢監測技術手冊。

（3）規劃專業海事工程人員訓練課程：分析國內海事人員現況，規劃海事人員訓練課程，提出海事人員訓練計畫書，協助從業人員培訓或輔導從業人員轉職取得認證職照，以因應離岸風電海事人員需求，並適合臺灣近海工作，提高海事人員駕駛的熟練程度，降低海上作業危害。

第 1 年工作內容：`

(1) 研擬規劃專業海事工程人員訓練。

(2) 研擬海下人員訓練課程規劃。

第 2 年工作內容：

(1) 研擬離岸風場海事工程人員施工安全作業守則。

(2) 研擬海上吊掛作業人員訓練事項。

(3) 研擬現場意外緊急應變救護課程。

(4) 海上施工勞安規定訓練課程。

(5) 研擬海下人員訓練課程規劃。

4. 離岸風電建置與航安技術發展：分析離岸風電區及鄰近港區之船舶交通流，探討離岸風機對於 AIS 訊號之影響，研擬港區航道規劃，整合 AIS 與 DSC 系統建置離岸風電區顯示界面系統，並分析國內外上離岸風電航安有關風險管理之相關政策與法令，研擬風險管理緊急應變計畫。

第 1 年工作內容：

(1) 分析離岸風電區及鄰近港區之交通流資料。

(2) 建置離岸風電區船舶 AIS 資料庫與顯示介面系統。

(3) 分析國內、國際上離岸風電建置與航安技術發展有關風險管理之相關政策與法令。

第 2 年工作內容：

(1) 建置離岸風電區數位選擇傳呼訊號解碼系統。

(2) 建置離岸風電區數位選擇傳呼訊號顯示介面系統。

(3) 分析國內、國際上離岸風電建置與航安技術發展有關救難程序之相關規範。

第 3 年工作內容：

(1) 建置整合離岸風電區數位選擇傳呼訊號與船舶動態顯示介面系統。

(2) 研擬國內離岸風電建置與航安技術發展有關風險管理之相關政策與法令。

(3) 研擬國內離岸風電區海難搜救組織架構整合性規範。

第 4 年工作內容：

(1) 整合優化離岸風電區船舶動態監控系統。

(2) 研擬國內離岸風電建置與航安技術發展有關救難相關規範。

(3) 研擬國內整合性的海難搜救標準作業程序。

5. 離岸風電鄰近海域波流及海岸變遷數值分析：離岸風機群屬於佔據區域面積大，多點式小結構物，設置後改變原有水理機制，造成局部或區域性海地象改變，為評估是否影響航安、離岸風機結構物安全以及鄰近海岸環境，本計畫建置離岸風場鄰近海域之波、流、漂沙及沿岸地形變遷數值模擬模組，分析中彰海域內離岸風機群臺中鄰近海地象特性以及探討其影響。

第 1 年工作內容：

(1) 臺中鄰近海域漂沙數值分析資料蒐集。

(2) 臺中鄰近海域漂沙特性數值分析。

第 2 年工作內容：

(1) 利用本所海氣象觀測，建置適用於臺中鄰近海域之風浪、水動力及漂沙多尺度巢狀數值模組。

(2) 進行臺中鄰近海域冬季、夏季及颱風事件之漂沙特性分析。

第 3 年工作內容：

(1) 進行臺中鄰近海域潛力風場風機群設置後海岸漂沙之影響模擬評估。

(2) 提供本所水工模型試驗有關臺中鄰近海域波浪、海流及漂沙方案模擬。

1.4 本報告組織

本年度為 4 年期（106 年 9 月～109 年 12 月）之第 1 年計畫，除資料收集與相關分析外，另包括儀器、觀測站、水工模型試驗等設備及系統之建置，本報告共分為六章，第一章為緒論，說明本研究背景、動機、目的及方法；第二章為離岸風電海氣象觀測，包括觀測系統說明、觀測樁建置過程以及觀測結果分析；第三章為離岸風電鄰近海岸漂沙機制探討，說明造波設備以及應用之數值模式與水工模型試驗廠結構安全評估及維修工程規劃探討；第四章為離岸風電水下技術，包括離岸風機基樁與金屬構件腐蝕防治與離岸風機基礎維管計畫、基礎穩定性檢監測技術研發以及規劃專業海事工程人員訓練課程；第五章為離岸風電建置與航安技術發展國外現況及相關系統建置；第六章為結論與建議，並說明成果效益及後續應用情形。

本計畫之主持人原為本所港研中心邱永芳主任(已榮調國家海洋研究院籌備處主任)，任內推動綠能政策所需各項海洋相關研究工作，接續由協同主持人蔡立宏科長(目前擔任計畫主持人)、謝明志科長、蘇青和科長，並與所內多位同仁研擬主題及作業方式，經過反覆商討且採滾動式修正，以期達到最大功效。此外，國家發展委員會、行政院能源及減碳辦公室、科技會報辦公室、第二期國家型能源科技計畫管考執行機制、綠能科技產業推動中心、交通部(暨所屬單位)等相關單位，針對本計畫提供許多執行協助和指導意見，對各方產官學界之相互幫助與鼎力支持，在此一併感謝。本所研究人力支援部份，尤以一、二、三科所有默默參與人員(羅建明副研究員、陳志弘副研究員(現任海洋委員會專員)、黃茂信副研究員、蔣敏玲副研究員、衛紀淮助理研究員、洪維屏助理研究員、李俊穎研究員、陳鈞彥助理研究員及港研中心技術性工員共同協助)；本計畫得以如期如質完成各項計畫內所付予應完成研究工作。

第二章 離岸風電海氣象觀測

對於未來離岸風電開始施作與營運維護時，將有大量的工作船隻與運補船隊進出離岸風場鄰近海域，對於這些船隻在海上的航行與施工需要有充分的海氣象資料與預測資料作為航行安全參考，並評估是否適合在海上施工，減少在海上航行與施工的風險。主要針對臺中港區與離岸風電場址間之區域，以航行船隻安全及臺中港區附近海域為主體，進行海氣象觀測相關研究，以提供航行船隻、航港局、港務公司及開發商的參考使用，所造成港區附近海域以及對於船舶航行安全之影響，並據以研擬因應措施。

本計畫將配合調查這些離岸風機基礎的群樁對鄰近海域產生的流況改變，這些流況的資料可作為探討分析是否對鄰近航線航行船舶造成航行安全上的風險以及鄰近港區漂沙導致侵蝕淤積影響。本項工作配合離岸風電在其鄰近海域進行打樁，並辦理長期性海氣象觀測，所調查鄰近海域的波浪、流場及潮汐等資料，未來提供離岸風電場鄰近海域之海氣象預測模式建置使用，推算離岸風電場鄰近海域的海氣象，資料可提供離岸風場鄰近海域作業或進出的船舶航行安全參考應用。預定完成項目：

(1) 長期性波浪觀測系統維護與調查。

(2) 長期性海流觀測系統維護與調查。

(3) 整合性觀測資料庫建置。

2.1 建置海氣象觀測系統

臺灣自然環境四周環海，舉凡離岸風電開發、航運發展、海洋資源開發及港灣建設等，均需藉由長期海氣象調查，做為規劃、設計及建設等作業參考，海氣象觀測資料彌足珍貴，為使海氣象觀測獲得最大效益，需透過完善觀測系統規劃，建立長期且穩定海氣象觀測網。

一般而言，從事海上科學研究調查、現場資料蒐集及海事工程等均需仰賴海洋及氣象觀測儀器，如依海洋觀測儀器研究之領域，大致可歸納為下述幾種類型，海洋物理儀器（如海流、波浪、潮汐與溫鹽深儀等）、海洋生物儀器、海洋化學儀器（如水質、水色、沉積物與溶氧量等）、地球物理儀器（如地形、地質、水深、地熱、測深儀、聲速儀、水下定位系統與海底地震儀等）及漁業用儀器（如科學漁探機）等，以下係針對本所於臺中港鄰近海域建置之波浪、海流、潮位及風速風向等海氣象觀測系統予以描述說明。

2.1.1 海氣象觀測系統建置

為瞭解離岸風電區風、波、潮及流等海氣象特性，本研究利用本所於臺中港鄰近海域設置的波浪、海流、潮位及風速風向等海氣象觀測站，所有測站皆採太陽能供電，控制箱內置資料記錄器、無線傳輸設備及電源控制等模組，透過無線傳輸設備將各測站觀測資料即時回傳至本所港研中心海氣象資料庫（如圖 2.1.1~圖 2.1.3 所示。），茲將各觀測站所採用觀測儀器等相關內容描述如後：



圖 2.1.1 離岸風電區海氣象觀測站儀器安裝位置示意圖



圖 2.1.2 離岸風電海域海氣象觀測系統資料傳輸示意圖

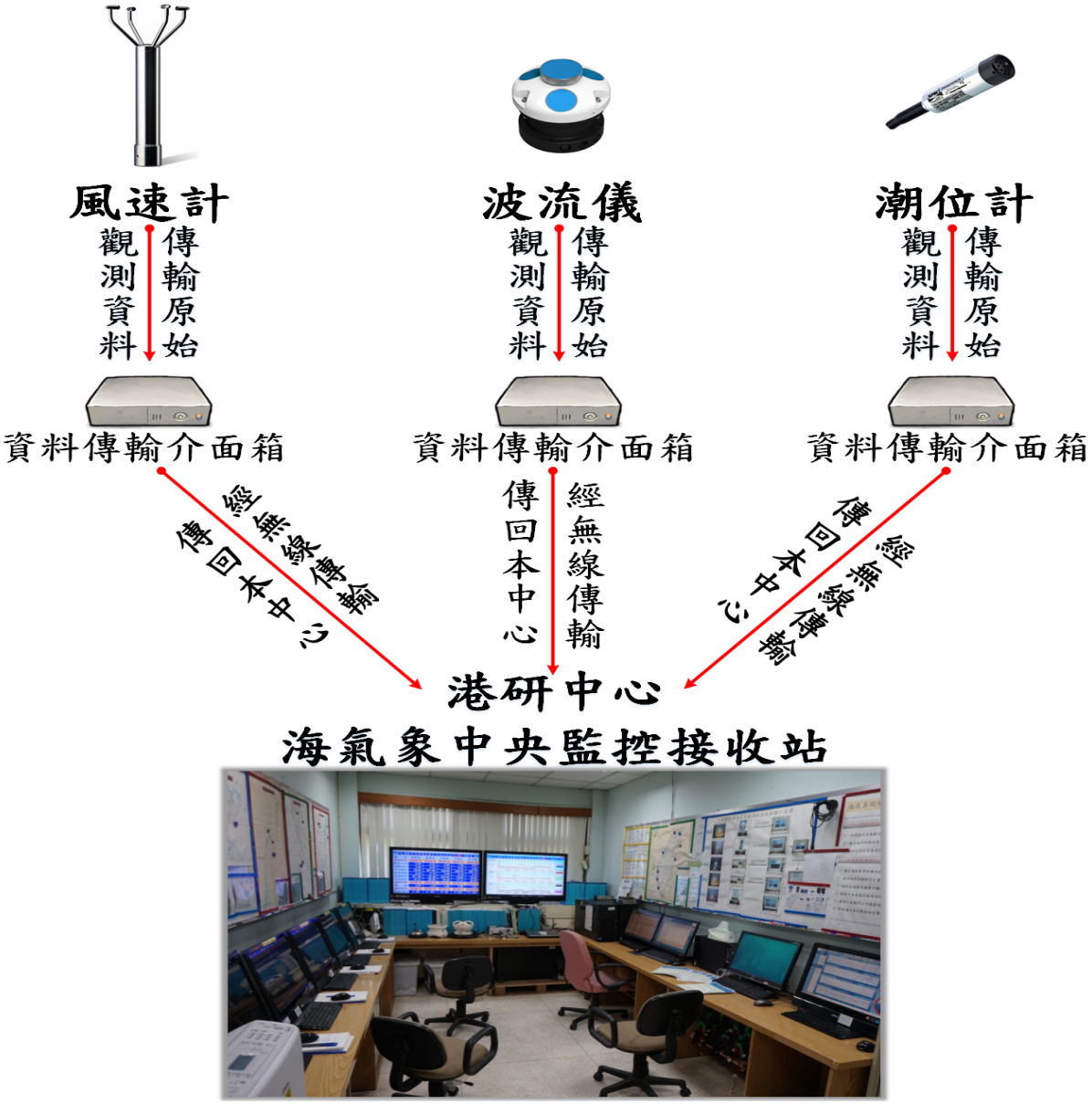
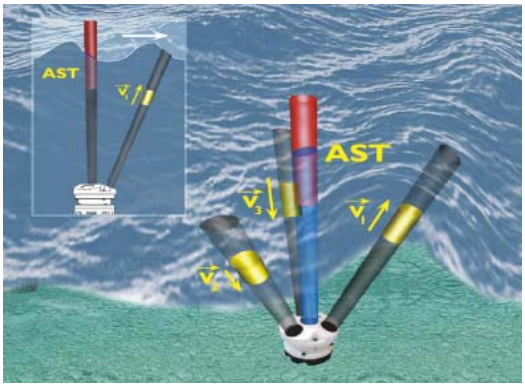


圖 2.1.3 離岸風電海域海氣象觀測系統架構圖

(1) 波浪與海流觀測儀

考量觀測海域特性，本所於波浪及海流觀測係採底碇式觀測，觀測儀器採用挪威奧斯陸 Nortek 總公司所生產超音波式表面波高波向與

剖面海流儀 AWAC（Acoustic Wave and Current profiler），依據音鼓發送頻率（Transmit Frequency）不同共分為 1MHz、600kHz 及 400kHz 三種，其原理係透過儀器上方音鼓量測設置地點波流及海流運動情形（如圖 2.1.4 所示），使用者可依據不同觀測環境（如水深）及使用需求，選擇適當儀器執行觀測作業，茲將前述 3 款型號儀器相關量測特性整理如表 2.1.1。本站利用 1MHz 型為主要觀測儀器、600kHz 為輔助設備。



(a) 超音波量測原理



(b) 1MHz AWAC



(c) 600kHz AWAC



(d) 400kHz AWAC

（資料來源：Nortek 公司官方網站）

圖 2.1.4 底碇式觀測原理及 AWAC 觀測儀器示意圖

表 2.1.1 不同型號波流儀 AWAC 特性比較表

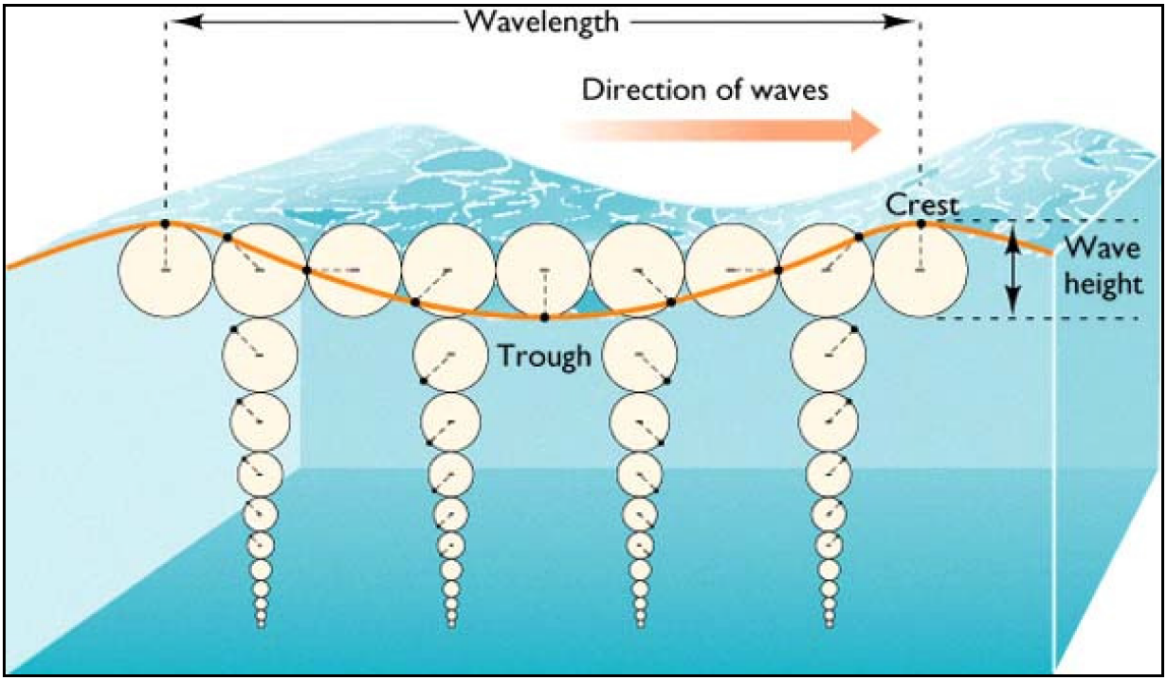
	1MHz	**600kHz**	**400kHz**
波浪最大量測範圍（底床至水面距離）	35 公尺	60 公尺	100 公尺
海流最大量測範圍（底床至水面距離）	25 公尺	50 公尺	90 公尺
量測功能	自記/即時	自記/即時	自記/即時
取樣率	1Hz、2Hz	1Hz	0.75Hz
樣本數	512、1024、1200、2048、2400	512、1024、1200、2048、2400	512、1024、1200、2048、2400

AWAC 於波高量測共可分為(1) PUV 模式 (2) 波速量測模式 (3) 直接量測水面波高變化等 3 種模式，茲說明如下：

(1) PUV 模式：根據壓力計（P）及 U、V 向量流速量測波高，可應用於長週期波量測，但量測深度因壓力變化隨深度衰減而有所限制，約為 25 公尺，如圖 2.1.5 所示。

(2) 波速量測模式：根據波浪上下運動所形成之波速來計算波高變化，如圖 2.1.6 所示。

(3) 直接量測水面波高變化：以儀器本身之音鼓測量由波浪所形成之水面位移變化，可應用於短週期波量測，如圖 2.1.7 所示。



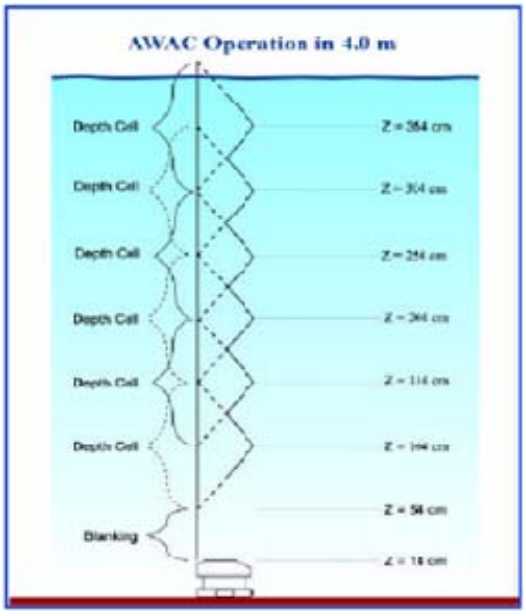
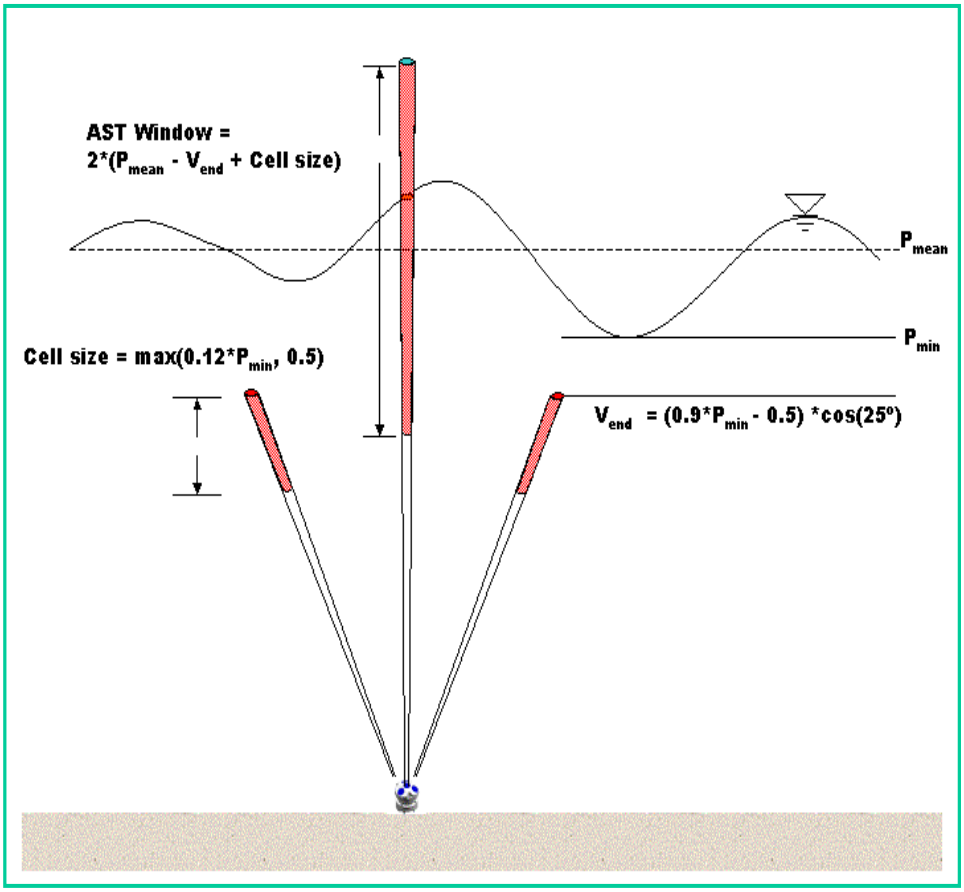


圖 2.1.5　AWAC 聲波訊號傳訊示意圖

（資料來源：Nortek 公司官方網站）



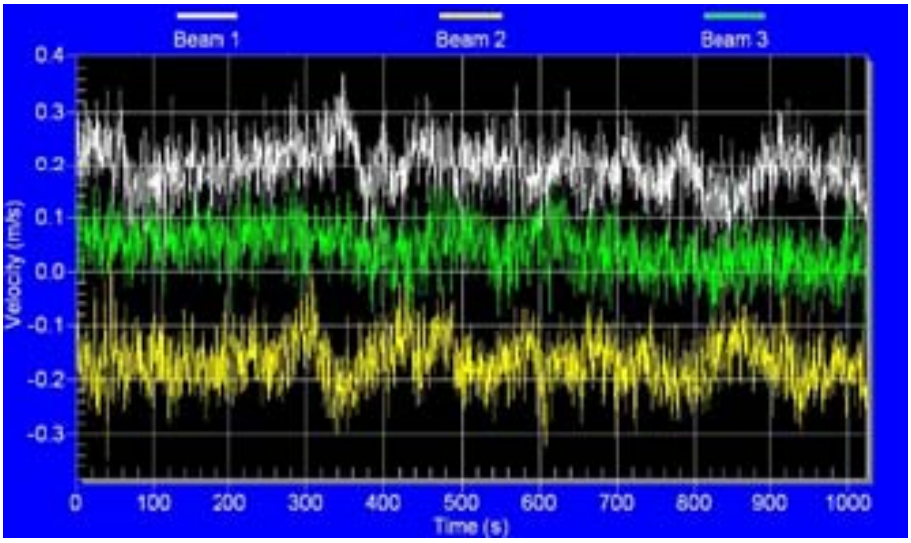
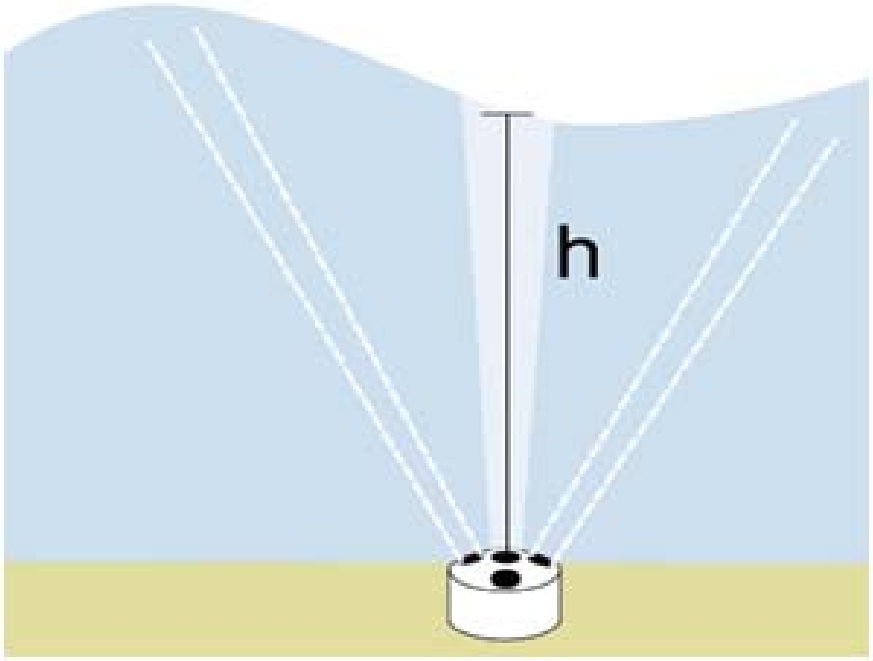


圖 2.1.6　AWAC 波浪運動示意圖

（資料來源：Nortek 公司官方網站）



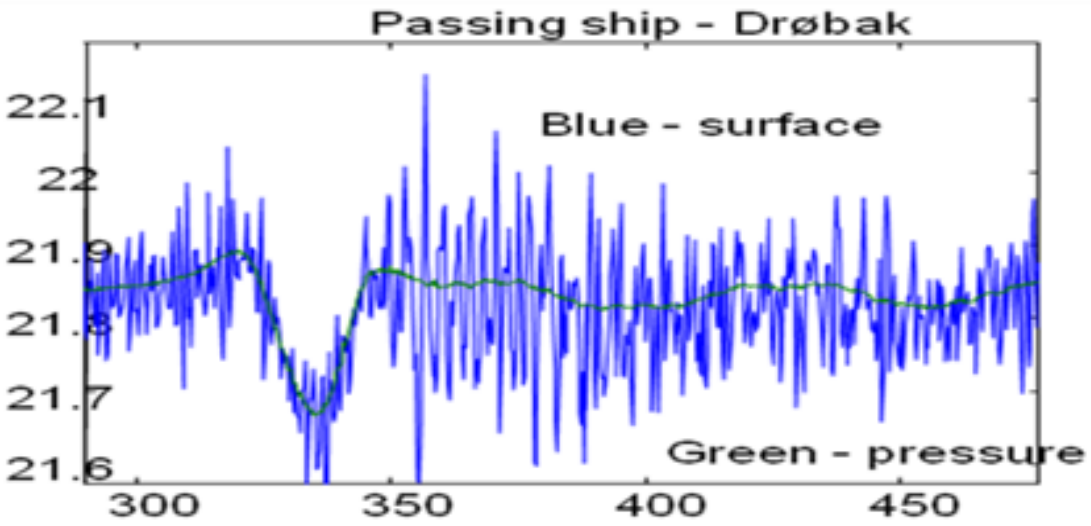


圖 2.1.7　AWAC 音鼓量測波浪變化示意圖

（資料來源：Nortek 公司官方網站）

本海域觀測站位於臺中港北防波堤堤頭外約 800 公尺處，觀測水深約 30 公尺，經評估係採用 600kHz 型號執行本處波流觀測作業，波浪的取樣頻率為 1Hz，每小時取樣 2048 筆資料，量測取得之資料再作整合而得到波高（H_s、H_{max}、$H_{1/10}$），波向（主波向及次波向），週期（T_p、T_{mean}）等資料；剖面海流量測間距設定為 1 公尺，於每小時第 0 分鐘至 10 分鐘連續量測 600 秒，再將總和平均代表其每一間距層之海流剖面流速及流向等資料。前述波流觀測資料將暫存於儀器記憶體內，於每小時第 44 分鐘經由海底電纜將資料傳送至岸上接收站，透過無線傳輸設備將資料即時回傳至港研中心海氣象資料庫中儲存，如圖 2.1.8~圖 2.1.10 所示。

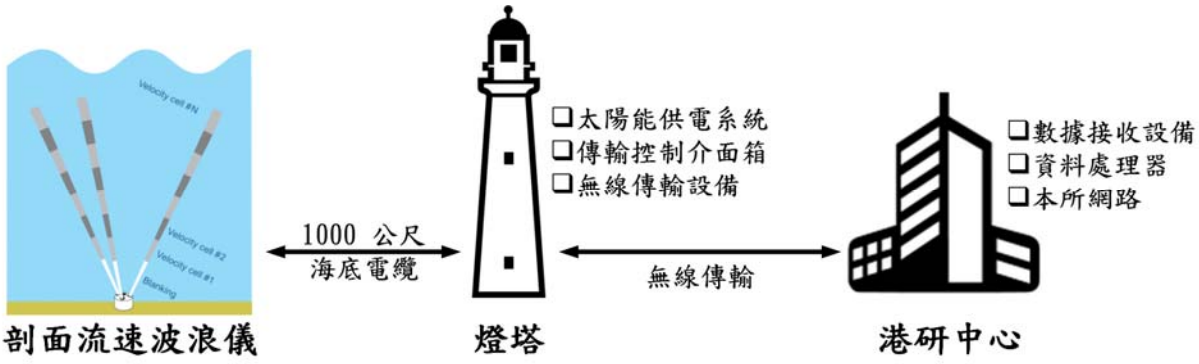


圖 2.1.8 底碇式波流觀測系統資料傳輸原理示意圖

（資料來源：Nortek 公司官方網站）

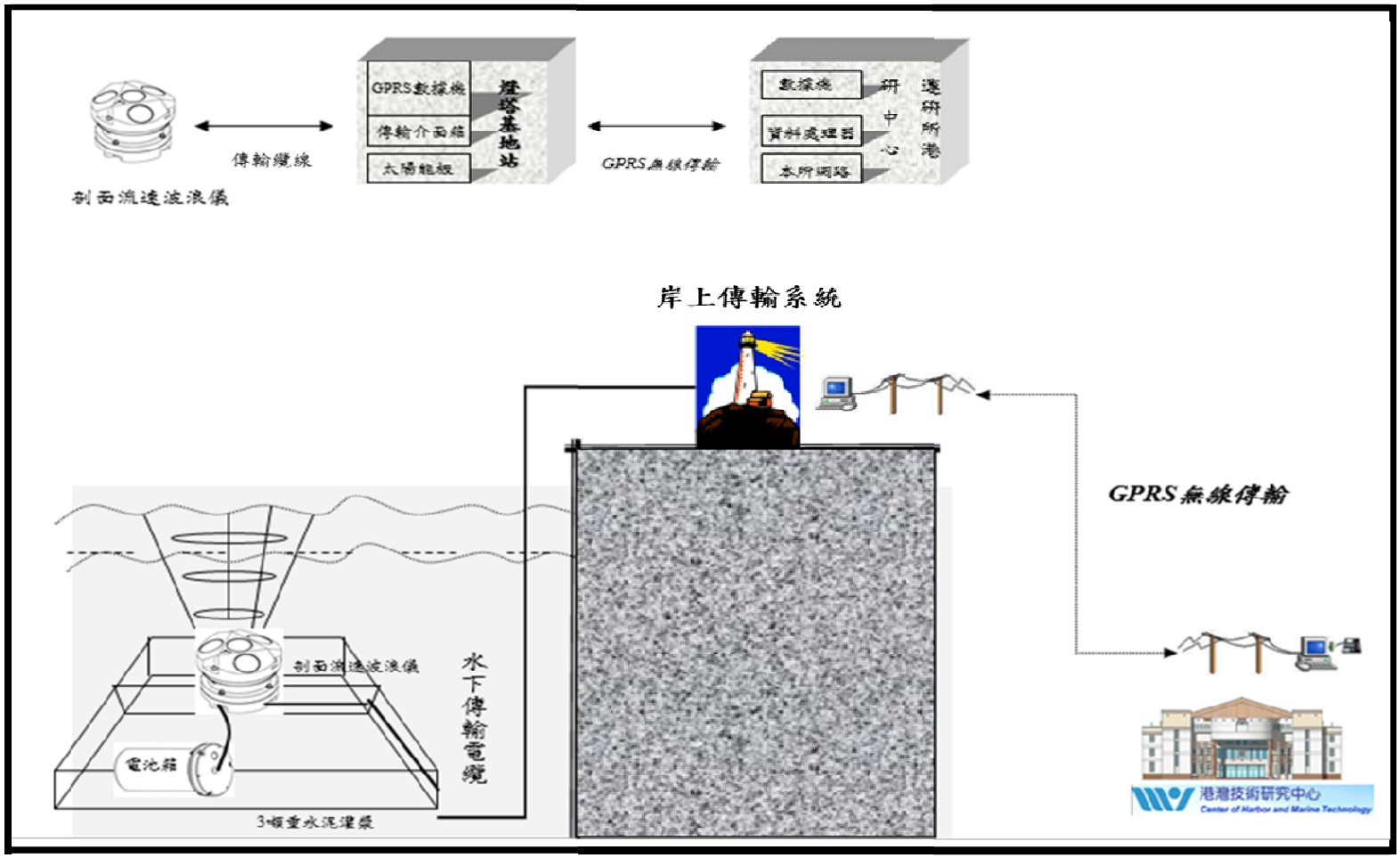


圖 2.1.9 底碇式水下波流及海流觀測系統示意圖



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖 2.1.10 底碇式水下波流及海流觀測系統佈放圖

(2) 潮位觀測儀

潮位觀測可分為接觸式（如超音波式水位觀測儀）及非接觸式（如壓力式水位觀測儀）觀測，兩者於觀測原理及設置方式等均有差異，使用者可依據觀測需求選用設置。本所潮位觀測站係採壓力式觀測，儀器採用美國 TE 公司所生產之 KPSI 735 壓力式水位觀測儀，觀測站設置於臺中港港區內 4 號碼頭，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港研中心海氣象資料庫，如圖 2.1.11~圖 2.1.12 所示。



（圖片來源：TE 公司官方網站）

圖 2.1.11　KPSI 735 壓力式水位觀測儀示意圖



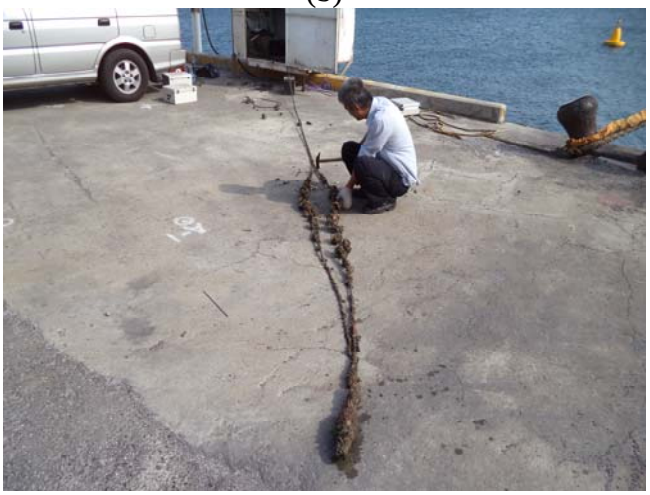
(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖 2.1.12 潮位即時觀測站建置圖

(3) 風速風向觀測儀

本所於臺中港離岸風電鄰近港域所採用風速風向觀測儀為英國 GILL 公司所生產之 WindObserver 二維超音波式風速風向儀，如圖 2.1.13 所示。為取得較不受干擾之觀測數據，本所擇定臺中港北堤綠燈塔頂為本海域風速風向觀測站，取樣頻率為 10 分鐘，持續觀測本海域 10 分鐘內平均風速、平均風向、最大陣風及最大陣風時風向等數值，期間相關資料係透過觀測站內無線傳輸系統，將所測得風力資料即時回傳至港研中心海氣象資料庫儲存，如圖 2.1.14 所示。



（圖片來源：GILL 公司官方網站）

圖 2.1.13　WindObserver 二維超音波式風速風向儀示意圖



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

圖 2.1.14 風速風向即時觀測站建置圖

海氣象觀測資料為從事港灣工程、船舶航運及環境評估等作業重要參考依據，觀測儀器選擇及取樣功能設定亦為影響量測結果重要因子，茲將前述本所於離岸風電鄰近港域所採用波浪、海流、潮位及風速風向等海氣象觀測儀儀器規格及設定等相關內容整理如表 2.1.2。

表 2.1.2 海氣象觀測儀器規格與觀測設定

儀器	規格	測量頻率、時間
NORTEK 超音波式表面波高波向與剖面海流儀 600 kHz AWAC	海流 量測深度：50 m 觀測剖面數：最大 128 層 量測範圍：±10 m/s 精度：測量值的 1%±0.5 cm/s 波浪 量測深度：60 m 量測範圍：±15 m 精度(Hs)：<1%測量值/1cm 精度(Dir)：2º/0.1º	海流 10 分鐘平均/小時 波浪 1Hz 2048 筆/小時
GILL 二維超音波式風速風向儀 WindObserver	風速 量測範圍：0 ~ 75 m/s 精度：2% @ 12 m/s 解析度：0.01 m/s 風向 量測範圍：0 ~ 359º 精度：±2º @ 12 m/s 解析度：1º	10 分鐘/筆
TE 壓力式潮位儀 KPSI 735	量測範圍：0 ~ 20 m (H_2O)	1 分鐘/筆

2.1.2 儀器維護與系統保養

理想港灣環境資料需保持長期且連續不中斷觀測，然而觀測設備常因人為或天然因素，致儀器壞損使觀測資料中斷，故長期現場海氣象觀測資料，需經常性進行儀器設備維護及保養，以維持系統妥善率，如圖 2.1.15~圖 2.1.16 所示。

各觀測站儀器將現場量測資料經由傳輸纜線傳送至岸上接收站，再透過無線傳輸方式，將觀測資料即時回傳至本所，舉凡水下作業、岸上儀器維護及電力供應穩定性，均為主要保養任務，茲將觀測期間，各海氣象觀測儀器維護工作內容分別說明如下：

(1) 實施各港波浪及剖面海流觀測站檢修、觀測儀器箱清潔保養與維護，並檢視潮間帶海底電纜固定狀況。

(2) 潛水人員水中進行水下端海底電纜線及觀測儀器維護作業，檢視儀器、清潔電池設備及檢查電纜連接頭狀況。

(3) 檢測各風速風向觀測站運行狀況，針對太陽能板及電力系統實施維護及保養。

(4) 針對潮位觀測站，派遣潛水員執行靜水井清潔，避免進水孔堵塞，並對岸上儀器控制箱實施電力檢測，以維持供電效能。

(5) 其它臨時突發狀況(如颱風或人為破壞)之故障檢修。



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

圖 2.1.15 海氣象觀測設備現場維護保養作業



(a)



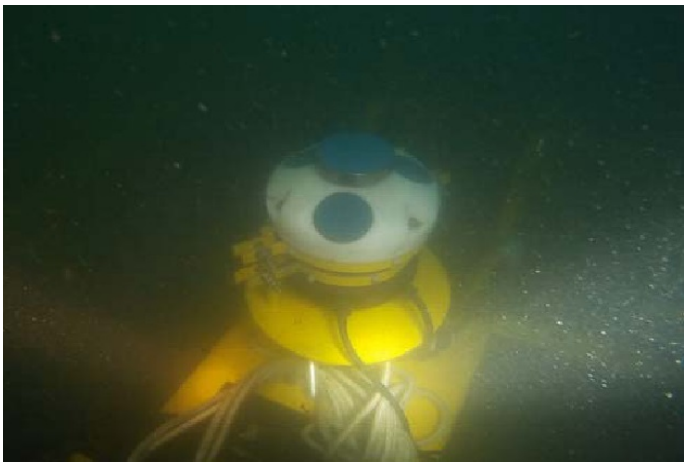
(b)



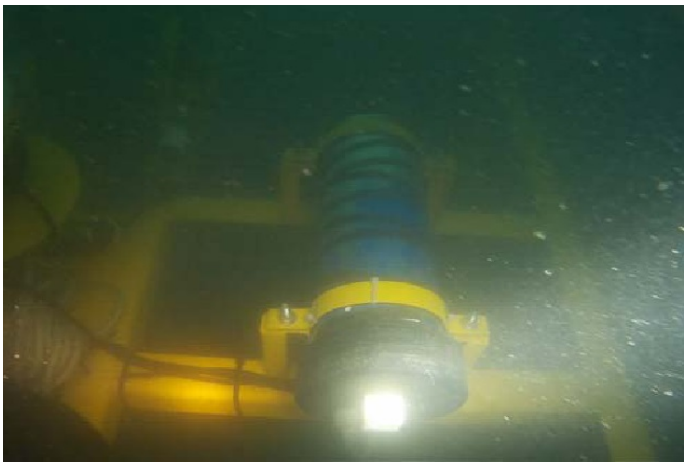
(c)



(d)



(e)



(f)

圖 2.1.16 海氣象觀測設備現場維護保養作業

2.2 海氣象觀測樁設置

為提供離岸風電發展主要之母港臺中港附近海域航行安全所需之即時海氣象資訊以及建立長期海氣象觀測資料庫，來分析與探討該區海域之海氣象特性，本研究觀測於臺中港附近水域(避開航道位置)約水深-15～-20m 處打設基樁，並於基樁頂部設置海氣象觀測平台 1 座，以作為臺中港爾後在航安以及規劃設計上或相關單位擬定海事作業計畫時重要參考依據。

孤立於海中之基樁，其結構之安全與否與其附近海域之海、氣象及地質等自然條件有關，海中基樁之損壞時有所聞，因此有效掌握當地海域正確的海、氣象及地質資料，方能提供設計結構物時之依據，其工作內容涉及海洋、地質、結構等專業。依據整理本所 106 年 4 月「105 年臺灣國際港附近海域海氣象調查分析研究」及臺灣電力公司 106 年 7 月「離岸風力發電第二期計畫環境影響說明書」，規劃工址所在海域(臺中港測站)之設計條件，規劃設計內容包括觀測樁及平台設置地點規劃、選定、地質鑽探調查、結構計算及細部設計說明。

地質鑽探主要工作項目依任務需求進行海上鑽探共 1 孔，總深度 40 米，鑽探取得之土樣則由大地實驗室辦理指定試驗項目，調查報告內容包括地工分析部份及描述現地調查執行情況，採用之規範準則及技術。地工分析包含地層工程參數分析建議、基礎承載力分析、沉陷量分析及土壤液化分析等，將作為規劃設計之依據，以確保構造安全。鑽探位置如圖 2.2.1 所示，WGS84 E120° 30'30”、N24° 19'15”附近 100m 海上作業。(地點為臺中港區範圍內北防沙堤外約 20m 水深處)。

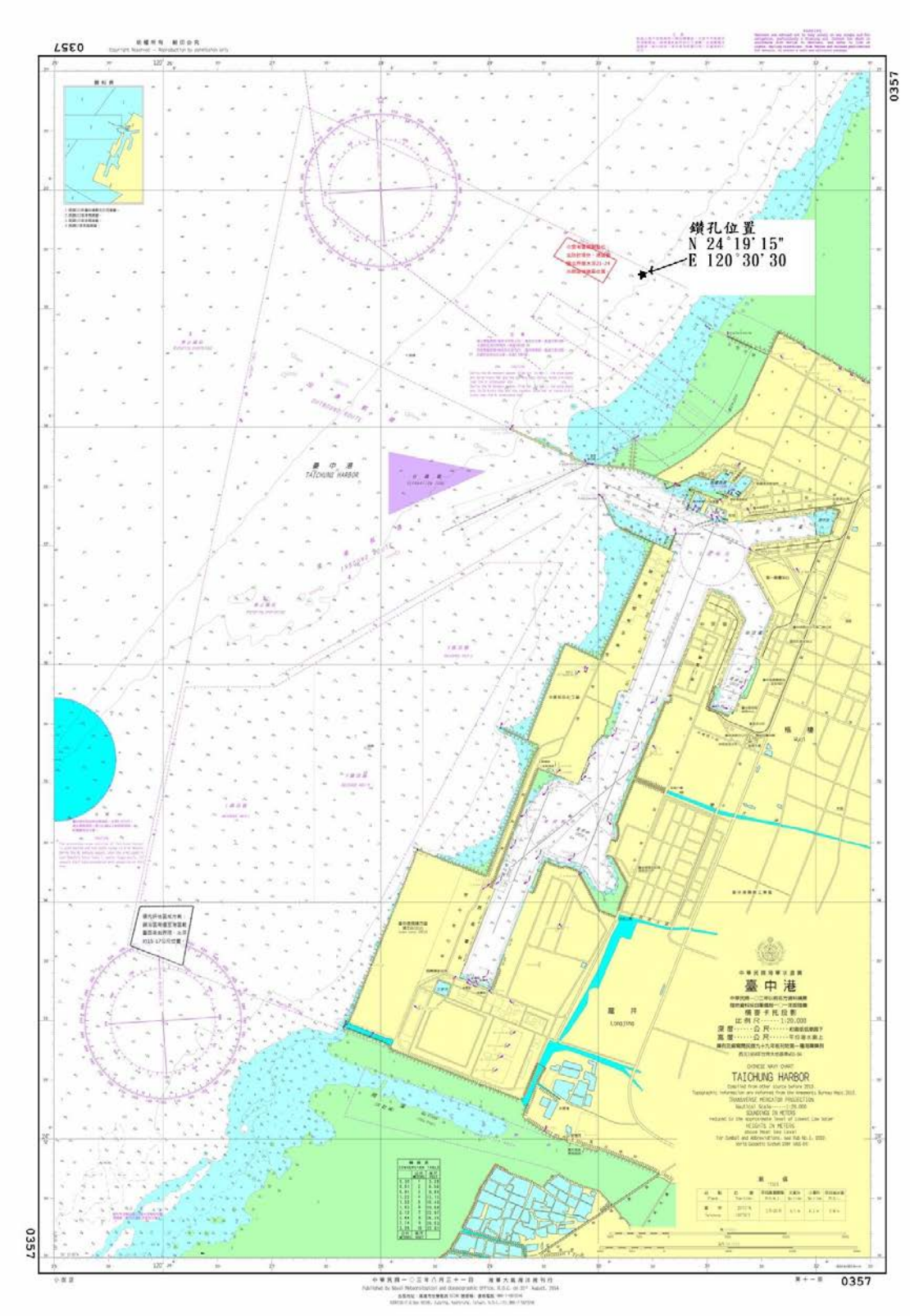


圖 2.2.1　海氣象觀測樁體、平臺細部設計及海上現地鑽探位置圖示

2.2.1 規劃設計條件摘要

1.風速風向：本海域風的現象主要由東北季風及西南季風交替影響，呈現出季節性變化十分顯著，臺中港測站冬季因東北季風強而穩定，歷年冬季風速分佈以 8～10m/s 所佔比率最高，約佔整季 12%，夏季時風速型態以 1～2 m/s 比率最高，約佔整季 19.1%，歷年全期風速結構則以 1～3m/s 為主要分佈，約佔全測期 26.2%。

2.潮汐：臺中港海岸潮差為全臺灣之冠，潮位統計如表 2.2.1。綜觀其水位，臺中港潮位主要成份為半日潮，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，但半日潮成份大於全日潮。

表 2.2.1　臺中港潮位統計表

潮別	中潮系統(陸上)	低潮系統(海圖)	備註
‧最高高潮位 H.H.W.L.	+3.21m	+6.12m	
‧平均高潮位 M.H.W.L.	+2.08m	+4.99m	
‧平均潮位 M.W.L.	+0.11m	+3.02m	84~104 年
‧平均低潮位 M.L.W.L	-2.01m	+0.90m	
‧最低低潮位 L.L.W.L	-3.19m	-0.28m	

3.海流：依臺中港北防波堤白燈塔外海處蒐集之海流，所觀測之海流流向有週期性往復運動，海流方向主要集中在沿海岸平行方向，且隨潮流漲落改變方向；主軸為東與西向，即退潮時段流向為東，漲潮時段流向為西，大潮時其流速甚強，最大流速約可達 1.2～1.9 m/s 左右。

4.季風波浪：臺中港海域之觀測，冬季東北季風吹襲至臺灣中部時因地勢影響風力強，且因海岸線走向為北北東～南南西，故臺中港海域之波高大，最多波向為北北東向，平均週期約 7～8sec，波高多發生在大於 1.5 m 之波浪，約為 60%。夏季時則狀況相反，風與浪均自西南

方來，最多波向約為西向，週期平均約 6～7sec，波高多發生在小於 1 m 波浪，約為 41%，如圖 2.2.2 所示。

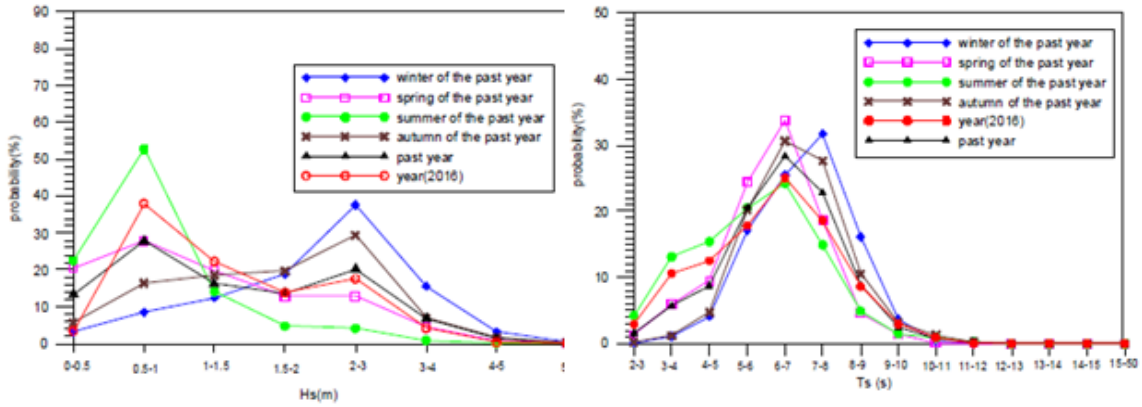


圖 2.2.2　臺中港 2005~2016 四季及全觀測期波高及週期機率分佈圖

5.颱風波浪：由季風波浪統計資料可知，臺中港附近海域之海上工程施工時機在夏季(波高 1m 以下達 41%)，惟夏季又為颱風侵襲季節，每年受到颱風(有發佈颱風警報者)而影響夏季海上施工之情形平均達 5 次。強烈颱風的波浪考量因素更是海上觀測樁結構設計主要條件，以 2016 年 7 月 5 日至 10 日侵襲之強烈颱風號尼伯特為例，波高、週期、風速逐時歷線及路徑如圖 2.2.3 與 2.2.4，影響海上施工日數可達 5 日。

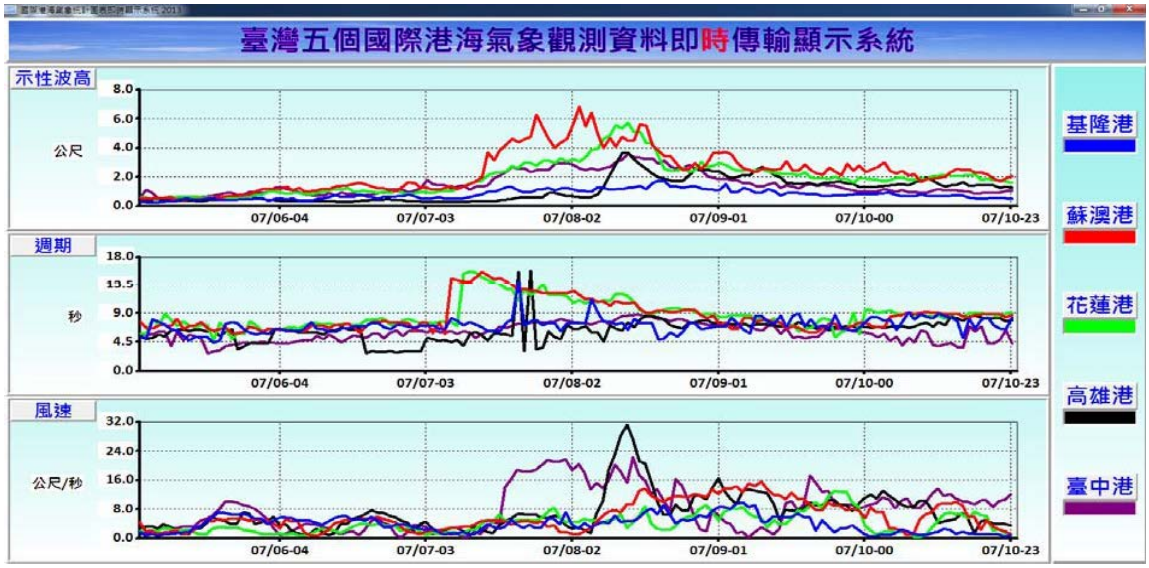


圖 2.2.3　強烈颱風尼伯特實測之波高、週期、風速逐時歷線

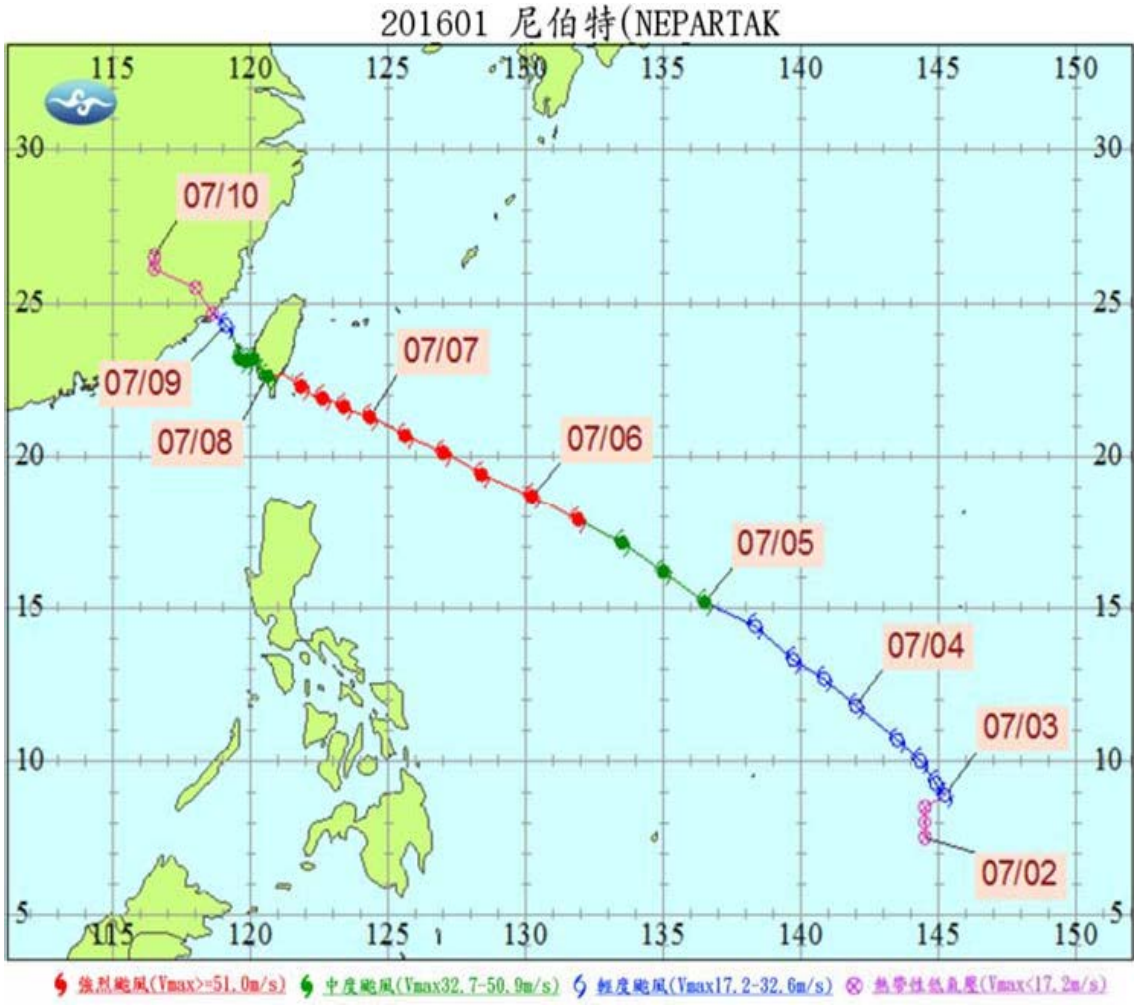


圖 2.2.4　強烈颱風尼伯特路徑圖

6.波浪規劃設計：依規劃設計需求整理統計如表 2.2.2。

表 2.2.2　規劃設計波浪表

類別	波向	週期 T(sec)	波高 H(m)	備註
夏季波浪	W	6.1	1.4	海岸侵淤評估用
冬季波浪	N	7.1	2.5	
10 年重現期颱風波浪	WSW	8.6	4.2	
	NNW	9.1	4.7	
50 年重現期颱風波浪	NNE	13.7	10.7	樁體結構檢核用
	N	12.1	8.4	

7.河川特性：依規劃設計需求整理各河川之流量及輸沙量對本工址均有影響。依水利署臺灣水文年報彙整其河川流量及含沙量統計如表2.2.3。鄰近港灣北方不遠處有大甲溪、大安溪出海口；南方有烏溪(大肚溪)由臺中港南側出海，也另有主要河川濁水溪。

表 2.2.3　附近主要河川流量及含沙量表

月份		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
大肚溪	流量	110.1	49.5	58.8	77.9	132.5	255.5	186.9	221.7	139.7	71.0	58.3	58.5
	含沙量	2,861	815	1,068	1,660	3,824	10,732	6,569	8,586	4,159	1,434	1,052	1,059
大甲溪	流量	7.5	15.2	6.9	8.2	79.4	16.6	83.3	30.8	17.3	4.9	4.2	36.0
	含沙量	53.2	137.9	47.0	60.0	1324.5	156.4	1414.1	363.5	164.7	29.4	24.0	449.4
大安溪	流量	4.5	11.1	19.8	26.6	41.9	79.5	42.8	61.4	39.0	14.3	5.6	4.5
	含沙量	65.0	199.3	405.4	583.2	1018.8	2235.6	1045.5	1626.3	933.3	271.4	86.9	66.1
濁水溪	流量	15.0	8.8	11.9	33.4	119.3	282.9	303.9	358.1	268.3	98.7	43.9	34.2
	含沙量	319.8	117.7	206.9	1404.9	14782.1	73020.1	83329.8	112894.5	66176.0	10412.3	2328.5	1466.1

8.地質資料：蒐集本所臺中港海域附近震測資料及台電公司「離岸風力發電第一期計畫可行性研究」、「離岸風力發電第二期計畫環境影響說明書」與觀測樁規劃位置約等同深度之鑽探資料綜整調查結果，取距樁址最接近海床區域地質剖面，鑽孔 BH-04 及 BH-05 之地質柱狀，上覆沖積層多為粉土質砂(SM)與黏土(CL)N 值約在 10～20 間。

9.水深地形：依臺中港鄰近海域之水深地形圖(如圖 2.2.5)顯示，臺中港以北近北防波堤堤頭附近海床坡度較陡，臺中港航道口北側等深線-20m 至-30m 海床坡度較緩和且等深線-30m 至-40m 間有東北－西南走向之砂脊存在；臺中港航道以南則等深線-15m 至-20m 海床坡度較緩和且等深線-20m 至-40m 間有東北－西南走向之砂脊存在；在等深線-40m 以外則坡度甚為平坦。

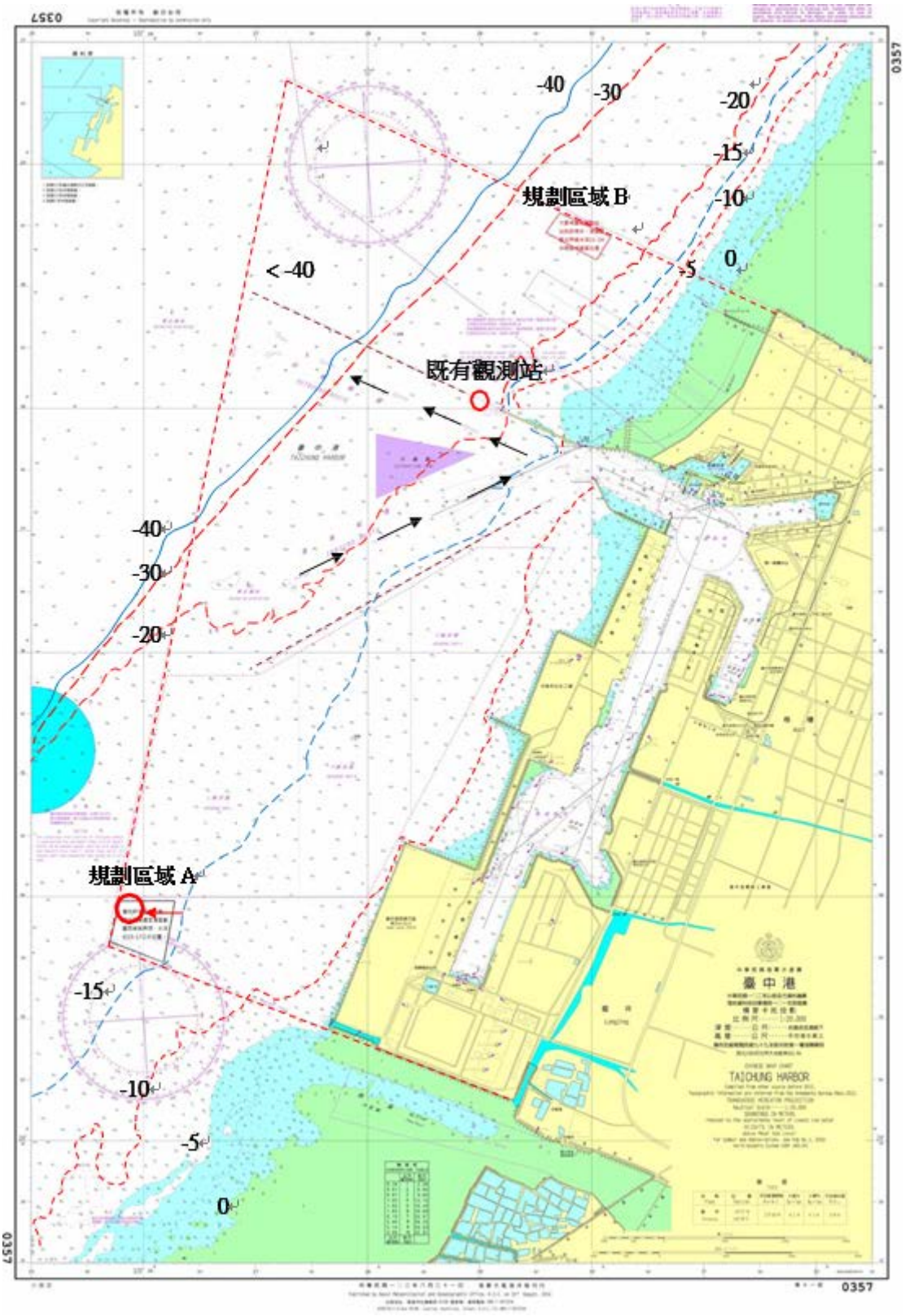


圖 2.2.5　臺中港水深地形與觀測樁規劃位置圖

2.2.2 地質鑽探現場取樣及試驗

1.鑽探工作：本地質調查工作為海域部分，工作包括土層鑽探取樣、標準貫入試驗(SPT)、劈管取樣及薄管取樣等幾項次。

(1)遵循指示的工作方針。

(2)勞安要求原則。

(3)建築技術規則(2001)：

(4)ASTM D1586-99“標準貫入試驗”。

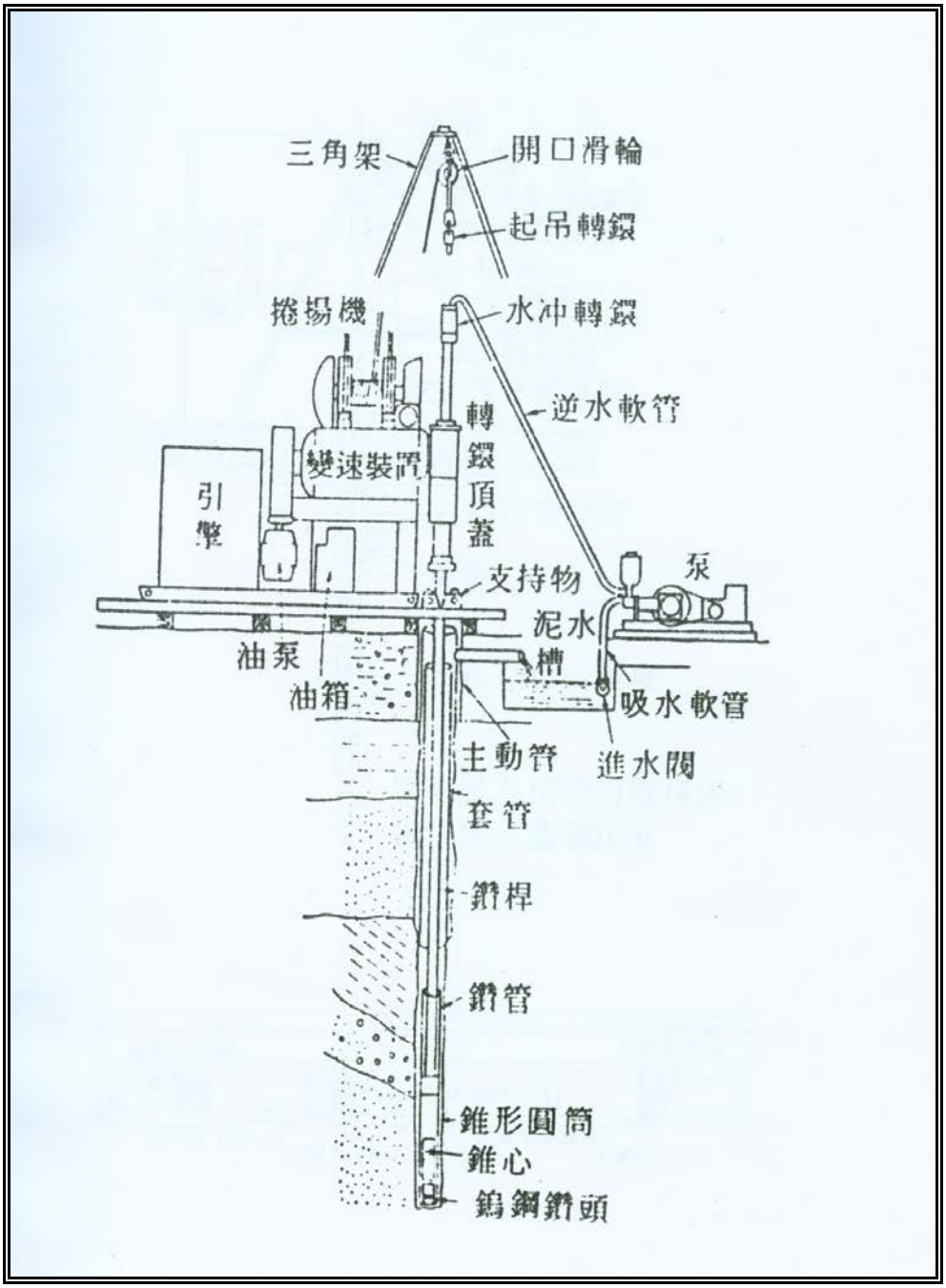
(5)ASTM D2488-00“統一土壤分類系統”。

2.土壤取樣：本工址之地質以沖積土壤為主，鑽探取樣以側沖式魚尾鑽配合水沖洗法鑽進(如遇礫石或其他雜物時，可改採旋鑽式法)，沖洗過程中每間隔 1.5 公尺或土層變化處即進行一次現場標準貫入試驗兼採取分裂式劈管土樣。此外為求得土壤力學特性參數，另於適當深度內以靜壓法採取不擾動薄管土樣，以供室內力學試驗用。在鑽探過程中，為防止鑽孔坍塌，將採用 4.5 吋套管保護鑽孔壁，但為避免套管直接沖洗擾動土層，在任何時候沖洗停留位置至少需距離預定取樣位置(標準貫入試驗或薄管取樣)上方 50 公分以上，之後再配側沖式魚尾鑽頭鑽洗至預定取樣位置，但若地質特殊坍塌不易控制時，則將採套管與側沖式魚尾鑽法同時鑽進至預定取樣位置後再進行取樣工作。

3.工地標準貫入試驗及劈管取樣：

(1)本調查工作之標準貫入試驗(SPT)係按工作規範規定執行，於土層中每隔 1.5m 或土層變化處施作乙次，其試驗步驟均按 ASTM D1586-84 規定進行。試驗進行前將試驗深度上方之土壤加以清除，再將劈管輕置於孔底，作 18"之貫入，每貫入 6"記錄其貫入所

需之打擊數。遇堅硬土層時，打擊以 100 次為限，並記錄其貫入深度(如圖 2.2.6)。

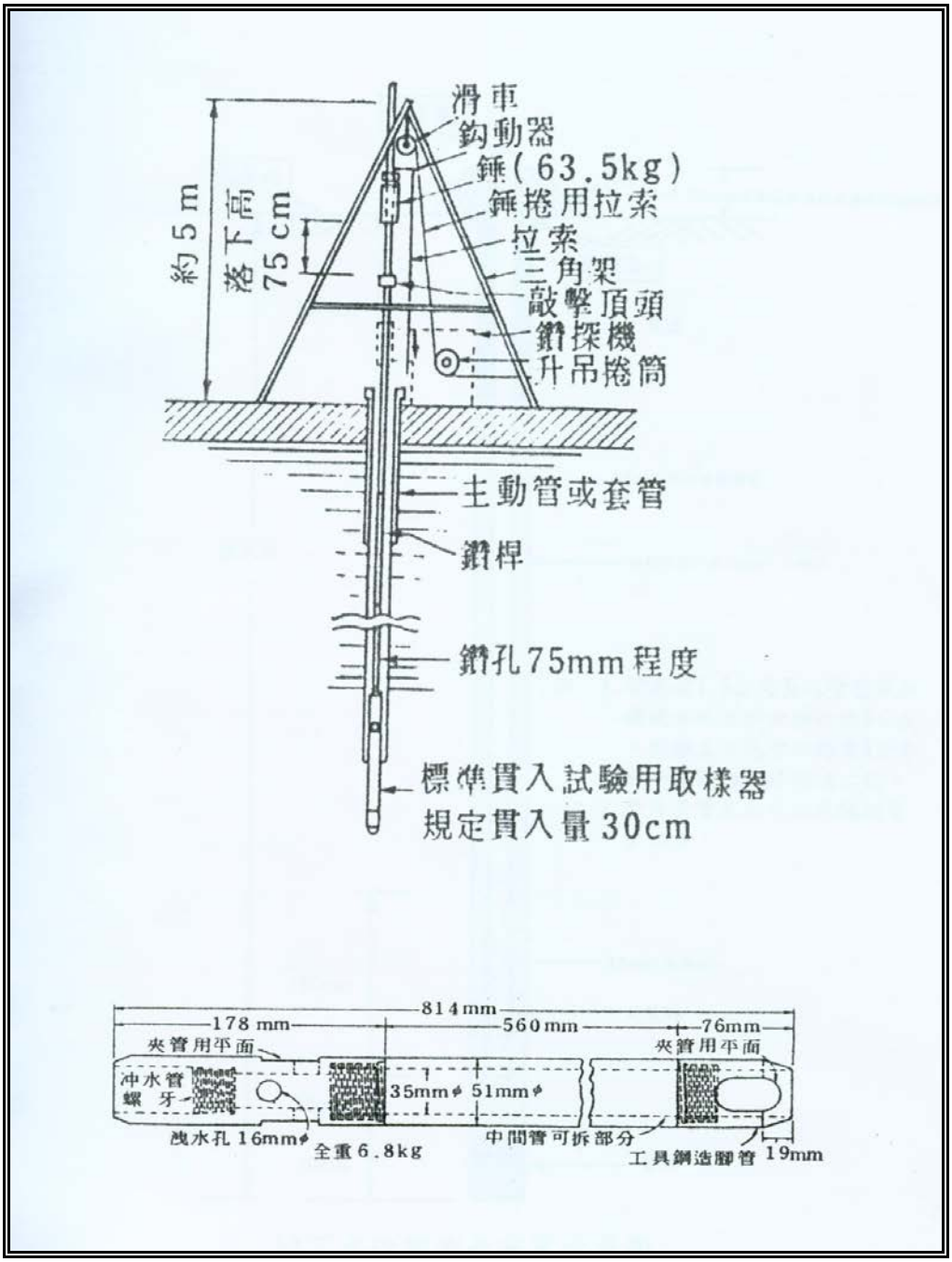


（資料來源：「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作」地質調查成果報告書）

圖 2.2.6　鑽探設備示意圖

(2)劈管取樣所使用之取樣器應符合 ASTM D1586-84 規定進行取樣，其取樣方法，為打擊式取樣，即將取樣器打入鑽探時未受擾動之

土層中取樣，在土層內每隔 1.5m 區間取樣 1 次，或在土層變化時立即取樣，則下套管深度，應在預定取樣深度上方 60cm 處；若套管為旋轉式前進,則下套管深度應在預定取樣深度上方 10cm 處(如圖 2.2.7)。



（資料來源：「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）

圖 2.2.7　標準貫入試驗及劈管取樣器

(3)鑽探所取得之劈管、薄管土樣均予適當密封裝箱後，逐批送至土壤試驗室進行各項土壤試驗。而各鑽孔柱狀圖則根據現地領班日報表、地質師之研判及劈管土樣一般物理性試驗結果予以研判及描述其地質記錄。

4.樣品密封標記與運送：拆解樣管時，將記錄土樣之長度與貫入深度，經清除上端擾動廢土後，復測土樣之長度，底端挖除約 25mm(1in)土樣，兩端分別以熔腊密封防止膨脹及水份散失，管端中空部分以棉布等填塞防止土樣移動，再以蓋盤封閉兩端，並用膠帶固封。標籤須牢貼於管外，分別註明工程名稱、鑽孔編號、取樣編號、深度、日期、管號及土壤類別等。備送之薄管樣品均安置於薄管土樣運送箱內並貯置於陰涼場所，不得受陽光曝晒，運送前並應妥予包裝，運送途中將儘量避免發生碰撞或振動等。其餘細節依 ASTM D1587 之規定辦理。

5.室內試驗：室內試驗項目包括土壤一般物理性質試驗、土壤三軸壓密不排水試驗、土壤直接剪力強度試驗及土壤單向度壓密試驗。實驗室試驗目的在確定土壤類別及工程特性，含土壤指數性質與分類試驗。

(1)土壤一般物理性質試驗：

a.含水量與單位重測定：測定含水量所選取之土樣重量約 100 公克，將其置於恆溫(105℃)箱內 24 小時烘乾後取出量測乾土樣重，試驗步驟均參照美國材料試驗學會標準(ASTM D-2216)規範實施。單位重體積測定係直接量取試體大小尺寸而得之。

b.孔隙比測定：孔隙比測定係由單位重、含水量及比重等計算得 $e=\frac{G_S\gamma_\omega}{\gamma/(1+\omega)}-1$ 。

式中

e = 孔隙比

γ = 土壤單位重 (t/m^3)

ω = 含水量(%)

γ_w = 水單位重

G_s = 土壤比重

c.土壤粒徑分析試驗：土壤粒徑分析試驗包括比重計分析與篩分析試驗。試驗時取 50 公克置於矽酸鈉溶液中 24 小時後再經電動攪拌機攪拌後置入沉澱筒內，並於不同歷時量取比重計讀數，經 24 小時之沉澱後，倒入 200 號篩網內洗去小於 200 號篩網之土壤顆粒經烘乾後置於篩網系列上進行篩分析試驗。本項試驗之操作步驟參照美國材料試驗學會標準(ASTM D421、ASTMD422)規定實施。

d.比重分析：測定比重之土樣均為烘乾土樣，其重量為 45 公克，試驗步驟參照美國材料試驗學會標準(ASTM D854)規定實施。

e.阿太堡限度(Atterberg Limits)試驗：測定之土樣為自然土樣而非烘乾土樣，試驗之方法均依照美國材料試驗學會標準(ASTM D423、ASTM D424)規定實施。土壤分類係參照美國材料試驗學會標準(ASTM D2487)之統一分類法進行。

f.土壤分類：土壤分類係依照美國材料試驗學會 ASTM D2487 之統一土壤分類系統為之，即根據試驗室所測定之土壤顆粒大小特性，液性限度及塑性指數將無機或有機土壤予以分類。

(2)土壤三軸試驗：試驗時將土樣修裁成直徑約為 7.1 公分，高度約為 15 公分之試體，置於三軸室之基座上，上下置以墊片。試體於三軸室受圍壓作用，且以 0.15cm/min 之速率施加軸差應力，直至試體達到破壞為止。試驗步驟係參照試驗步驟均參照美國材料試驗學(ASTM D4767-95)之規範實施。本次試驗工作總計進行土壤三軸壓密不排水試驗 1 組。試驗結果如表 2.2.4 所示。

表 2.2.4　土壤三軸壓密不排水試驗結果表

孔號	試品樣號	試驗深度(m)	土壤描述	C (kgf/cm^2)	φ (°)	C' (kgf/cm^2)	φ' (°)	γ_t (t/m^3)	ω_n (%)	土壤統一分類
B-1	T-2	15.50-16.30	灰色粘土	0.00	17.0	0.00	27.5	1.76	45.9	CL

(3)土壤直接剪力強度試驗：本項試驗採用 MARUI 銅薄盒式剪力儀，試驗時以截土環將試體修裁成直徑為 6 公分高度為 2 公分之試體後置於剪力盒內。試體裝妥後施加欲加載之垂直荷重，俟試體壓密趨於穩定後再啟動馬達，並設定試體剪動速率為 0.9mm/min，試驗過程記錄水平剪應力與剪應變直至試體破壞為止；由數個垂直應力與水平剪應力之關係可求得土壤凝聚力與內摩擦角。本試驗參照 ASTM D3080 規範執行。試驗結果如表 2.2.5 所示。

表 2.2.5　土壤直接剪力試驗結果表

孔號	試品樣號	試驗深度(公尺)	土壤描述	C (kgf/cm^2)	ψ (°)	γ_t (t/m^3)	ω_n (%)	土壤統一分類
B-1	T-1	5.00-5.80	灰色粉土質砂	0.00	32.5	1.90	19.1	SM

(4)土壤單向度壓密試驗：試驗步驟均參照美國材料試驗學(ASTM D2435-04)規範實施，加壓架採用平衡槓桿式，槓桿比為 8：1 試驗時將試體修裁成直徑為 6.35 cm，高度為 2.0 cm 之試料，其上下置以透水石及濾紙，裝妥後便將壓密環置於浮動式槓桿壓密儀內，試驗加載荷重前先加一接觸壓力 $0.025kg/cm^2$，使試體與加壓軸完全緊密接觸。加壓荷重採用階級式方法由 $0.25kg/cm^2$ 至 $16kg/cm^2$ 為止。試體經加壓、解壓之程序後將各階段荷重試驗所測得之沉陷記錄，整理後分別計算 Void ratio（e）. Consol. Coeff.（Cv），Volume Coeff.（Mv）再根據此等資料繪製各關係曲線，本次試驗工作總計進行土壤單向度壓密試驗 1 組，試驗成果詳見表 2.2.6。

a.孔隙比～載重（e～Log P）。

b.壓密係數～載重（Cv～Log P）。

c.體積壓縮係數～載重（Mv～Log P）。

表 2.2.6　土壤單向度壓密試驗結果表

孔號	樣號	深度 (m)	比重 G_s	單位重 γ_d (t/m^3)	初始狀態			Cc	Cr	Cs	土壤分類
					含水量 ω_i(%)	飽和度 S_i(%)	孔隙比 e_i				
B-1	T-2	15.50-16.30	2.73	1.19	46.2	97	1.301	0.538	0.052	0.043	CL

6.品質管理流程及管制方法：所有送往試驗室試驗之土壤樣品於送樣前應確實清點紀錄。紀錄依鑽孔編號、樣品編號及樣品深度之順序排列。鑽探檢驗流程(詳圖 2.2.8)，品質管理作業流程(詳圖 2.2.9)。

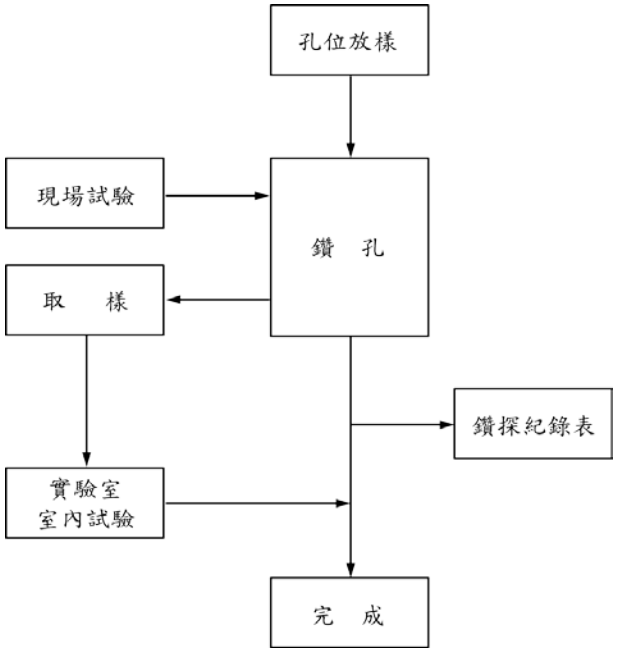


圖 2.2.8　鑽探檢驗流程圖

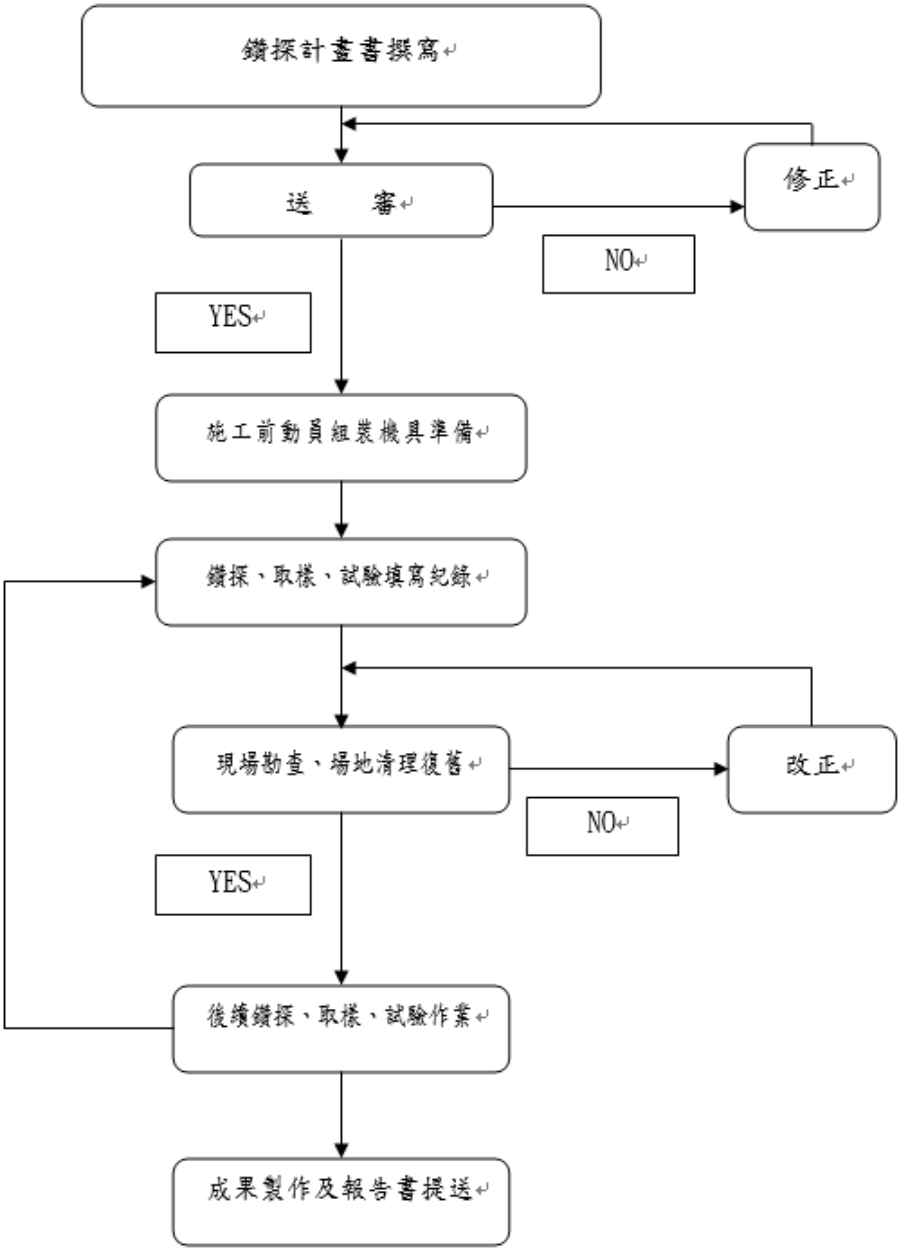


圖 2.2.9　品質管理作業流程圖

2.2.3 地質土層與地震土壤液化分析

1.地層分佈狀況及工程性質：本工程鑽探深度 40m，根據鑽探取樣結果顯示調查範圍內並未鑽遇岩層，地質材料均為沖積土壤，土壤類別以砂性土壤為主，砂土層間含有粘土、砂質粉土等細料含量較多的薄

層，厚度大部分在 4m 以內，且呈透鏡體不連續狀態，詳細之的地層分布情況如地層柱狀剖面圖 2.2.10 所示。

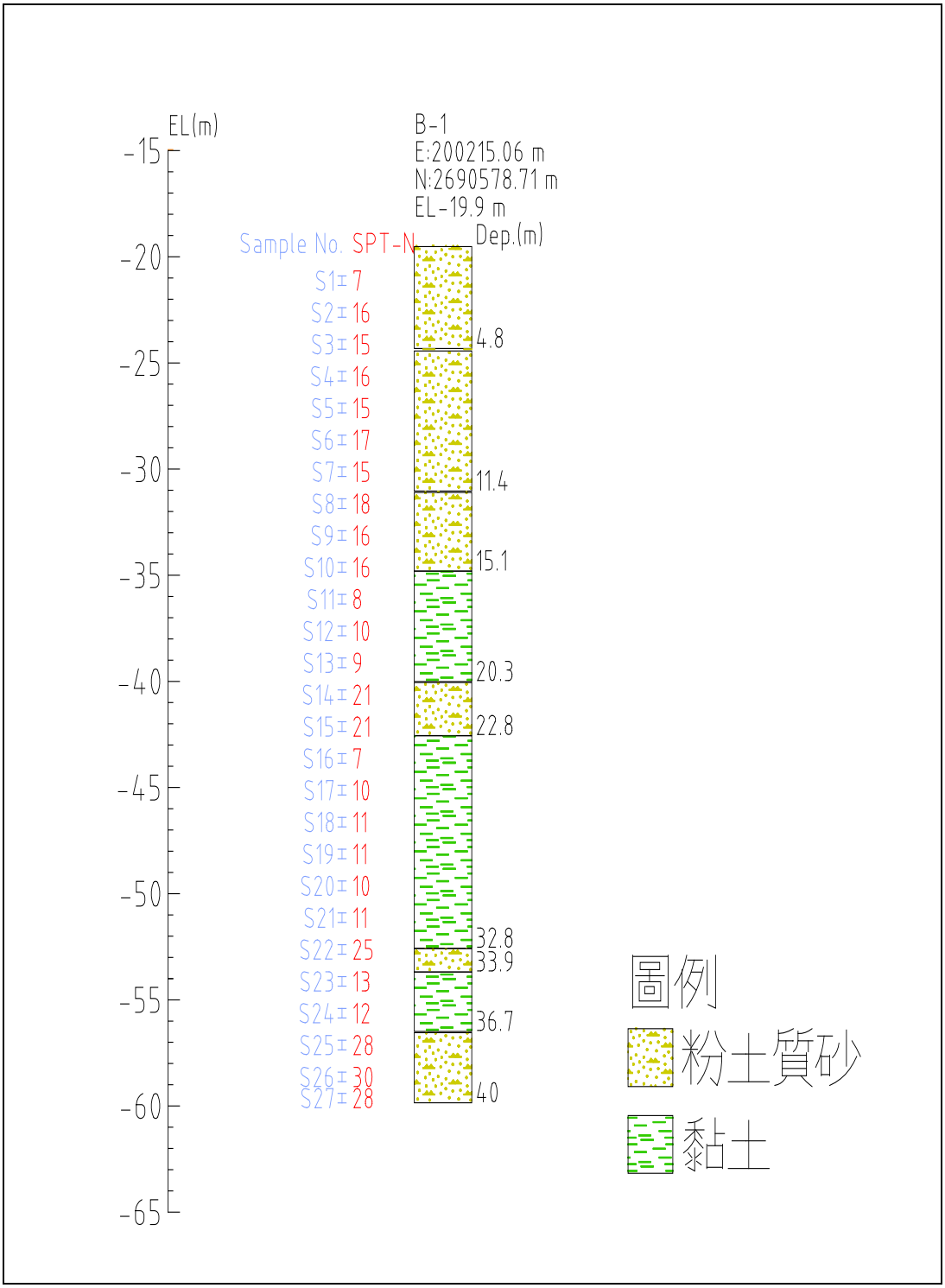


圖 2.2.10 基地地層柱狀剖面圖

2.工址範圍內地層分布可概分為 5 個層次，自地表以下依序將各層次之分布特性說明如下：

(1)粉土質細砂層：本層次分布範圍自地表起至地表下 15.1m 止; 本層次接近地表處較疏鬆，標準貫入試驗 N 值的分布範圍絕大部分在 7 與 18 之間，屬於疏鬆至中等緊密程度之砂土層。

(2)粉土質粘土層：本層次分布深度介於地表下 15.1m～20.3m，厚度約為 5.2m，由灰色粉土質粘土夾薄層細砂構成，標準貫入試驗 N 值介於 8～10，平均均為 9，屬於中等堅實稠度粘性土壤。

(3)粉土質細砂：本層次分布深度介於地表下 20.3m～22.8m 之間，平均厚度約為 2.5m，主要由灰色粉土質細砂與砂質粉土構成。本砂土層之 N 值則為 21，屬中等緊密砂性土壤。

(4)粉土質粘土夾粉土質細砂層：本層次分布深度介於地表下 22.8m～36.7m 之間，平均厚度約為 13.9m；本層次之標準貫入試驗 N 值在黏性土壤部分介於 7～25，屬堅實至極堅實稠度黏性土壤。

(5)粉土質細砂：本層次分布深度介於地表下 36.7m 至 40.0 m(最大鑽探深度)之間，主要由灰色粉土質細砂所構成。本砂土層之 N 值則介於 28 至 30 之間，屬緊密程度砂性土壤。

3.簡化土層與工程性質參數：根據現地地質調查及室內試驗結果將本工址之簡化土層及工程參數建議值整理示如表 2.2.7，供工程設計分析參考。

(1)簡化土層表中包含各地層之土壤分類、層次之起迄高程、代表 SPT-N 值、剪力強度(凝聚力、摩擦角、不排水剪力強度)、及壓密特性(粘性土壤)等。

(2)就一般結構荷重而言，砂性土壤平均 SPT-N 值在 30 以上或粘性土壤平均 SPT-N 值在 15 以上，可視為良好之承載層。

(3)本工址範圍內地層分布以粉土質砂為主，間夾側向分布不連續之粘土及砂質粉土層，因土壤受地形與沉積作用等影響產生各種土層交互出現，土層中夾層亦多變化複雜，各鑽孔簡化土層之設定涵蓋主觀工程判斷之取捨，設計單位引用參考時應特別留意。

表 2.2.7　簡化土層及工程參數建議值

層　次	土　壤　描　述	層　厚 (m)	N 值	γ_t (t/m^3)	ω_n (%)	e	LL (%)	PI (%)	Cc	Su (t/m^2)	c' (t/m^2)	ϕ' (°)	E (t/m^2)
Ⅰ	粉土質細砂(SM)夾砂質粉土	15.1	7~30 (15)	1.73~2.00 (1.93)	19.2~43.9 (27.9)	0.62~1.27 (0.78)	—	NP	—	—	0	30.0	2000
Ⅱ	粉土質粘土(CL)夾砂質粉土	5.2	8~16 (11)	1.72~1.88 (1.82)	31.8~43.8 (36.6)	0.92~1.28 (1.04)	40~45	19~23	0.538	3.2	—	—	3500
Ⅲ	粉土質細砂(SM)	2.5	21	1.85~2.02 (1.91)	20.4~22.7 (21.6)	0.62~0.72 (0.67)	—	NP	—	—	0.0	32.0	3000
Ⅳ	粉土質粘土(CL)主層	13.9	7~12 (10)	1.66~1.89 (1.78)	33.0~38.3 (35.1)	0.92~1.27 (1.08)	39~40	17~18	0.538	9.9	—	—	5750
	砂質粉土(ML)及粉土質細砂(SM)夾層		10~25 (13)	1.70~1.99 (1.86)	22.5~35.3 (27.9)	0.64~1.16 (0.86)	—	NP	—	—	0	31	
Ⅴ	粉土質細砂(SM)	3.3	28~30 (29)	1.91~1.95 (1.93)	19.2~23.5 (22.1)	0.65~0.71 (0.68)	—	NP	—	—	0	34	7500
備註	1. ＊表建議值；( )表試驗結果平均值。 2. 軟弱稠度粘土之E值採$25S_u$ t/m^2，中等堅實稠度粘土採$50S_u$ t/m^2，堅實至硬稠度粘土採$75S_u$ t/m^2。 3. 砂土層之E值採250N t/m^2($E \leqq 10000$ t/m^2)。 4. 壓縮指數Cc值及再壓指數Cr值係參考單向度壓密試驗結果，若該土層無試驗結果可供參考，則Cc採 $0.009(LL-10)$，Cr採0.1Cc 。 5. 粘土不排水剪力強度S_u值取$q_u/2$，若該土層無單軸壓縮強度試驗q_u值可參考時，Su值採用 $\frac{S_u}{\sigma_v'} = 0.11 + 0.0037PI$ (Skempton1957) 估算。 6. 粘性土壤之S_u值若無試驗資料可參考則S_u值建議採用本說明第5項所述計算。 7. 砂性土壤之ϕ'以修正之平均$SPT(N_1)_{60}$值推估 8. 地下水位：海域鑽孔(海平面)												

4.地震分析：西元 1898 年迄今臺中港附近地震發生頻率並不高，大多數地震規模均小於 5，但因港區地處海岸沖積平原上，於工程考量上最須注意因地震產生之液化現象，臺中港區曾於西元 1999 年集集大地震時有遭受地震致使土壤產生液化的記錄。

(1)一般地震對建築結構物基礎之破壞，除於斷層較敏感區可能受地震斷層引致基礎隆起破壞外，而對非斷層經過區之基礎破壞，主要起因於土壤液化引致之基礎沉陷或傾斜。

(2)依據「建築物耐震設計規範及解說」之「最小設計水平總橫力」解說，對於需要依工址水平加速度 Z 進行相關耐震設計或耐震評估時，可直接取 $Z=0.4S_{DS}$ 為工址地表水平加速度係數來進行分析。

(3)本工址位於臺中市梧棲區，依「建築物耐震設計規範及解說」規定其S_S^D=0.70，S_S^M=0.90，考量本基地為第二類地盤情況下，工址短週期與最大考量之水平譜加速度係數分別為 $S_{DS}=F_a S_S^D N_A=0.70$ 及 $S_{MS}=F_a S_S^M N_A=0.90$，故其工址設計與最大地震考量之水平加速度分別為 Z=0.28g 及 Z=0.36g。

5.地層分類：本工程基地位於於臺中市梧棲區，依海床下 30 公尺內土壤 SPT-N 值及土壤分類，由上述建議公式進行計算，計算結果本工址地表下 30 公尺之土層平均剪力波速介於 197 m/sec，故本工址地盤種類應歸類為第二類地盤(普通地盤)。工址地表面下 30 公尺內之土層平均剪力波速 V_{S30} 依下列公式計算：

$$V_{S30}=\frac{\sum_{i=1}^{n} d_i}{\sum_{i=1}^{n} d_i / V_{si}}$$

其中，d_i 為第i層土層之厚度(m)，滿足 $\sum_{i=1}^{n} d_i = 30m$。V_{si} 為第i層土層之平均剪力波速(m/sec)，可使用實際量測值，或依

下列經驗公式計算：

粘性土層：

$$V_{ssi}=\begin{cases}120q_u^{\,0.36} & ;N_i<2\\ 100N_i^{\,1/3} & ;2\le N_i\le 25\end{cases}$$

砂質土層：

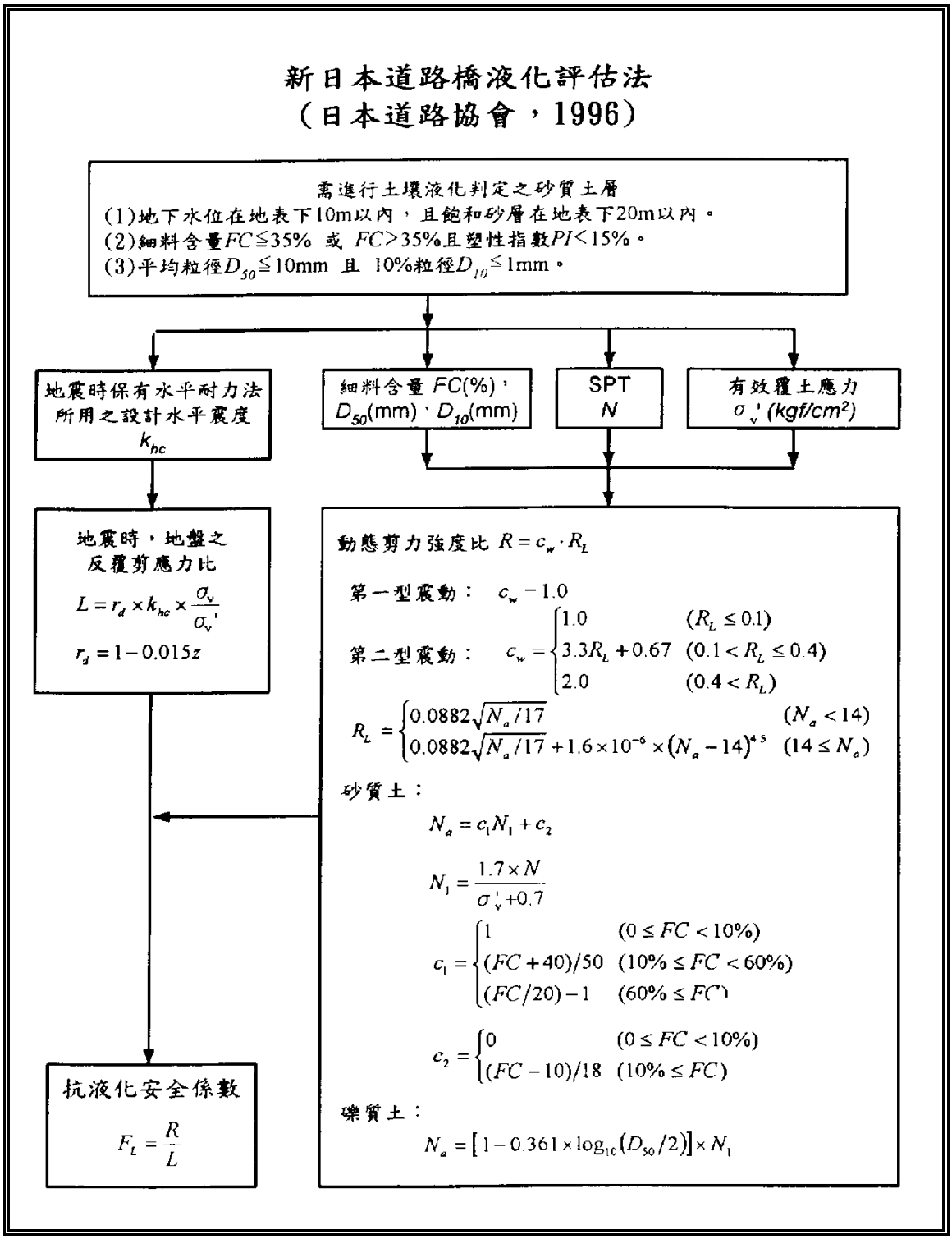
$$V_{ssi}=80N_i^{1/3}\quad ;\ 1\le N_i\le 50$$

其中，N_i為由標準貫入試驗所得之第i層土層之平均N值；q_u為第i層土層之單壓無圍壓縮強度(kgf/cm^2)。

6.液化潛能評估方法：土壤液化潛能(Liquefaction Potential)分析方法有很多種，大致分為經驗分析法及地震與室內動力試驗之應力比較法兩大類，目前國內常用的液化潛能評估方法，主要以根據現場 SPT-N 值及 CPT-QC 值之半經驗法，以及由動力三軸試驗求取土壤抗液化強度配合程式分析土壤反覆剪應力的總應力分析法為主。

(1)工程上常常藉由液化評估結果，來判別土壤是否存在液化潛能，倘若土壤有發生液化之虞，一般可採用地盤改良來增加土壤抗液化強度，亦可以採用樁基礎來抵抗液化發生可能造成之影響，諸如承載力降低、沈陷或上浮等。

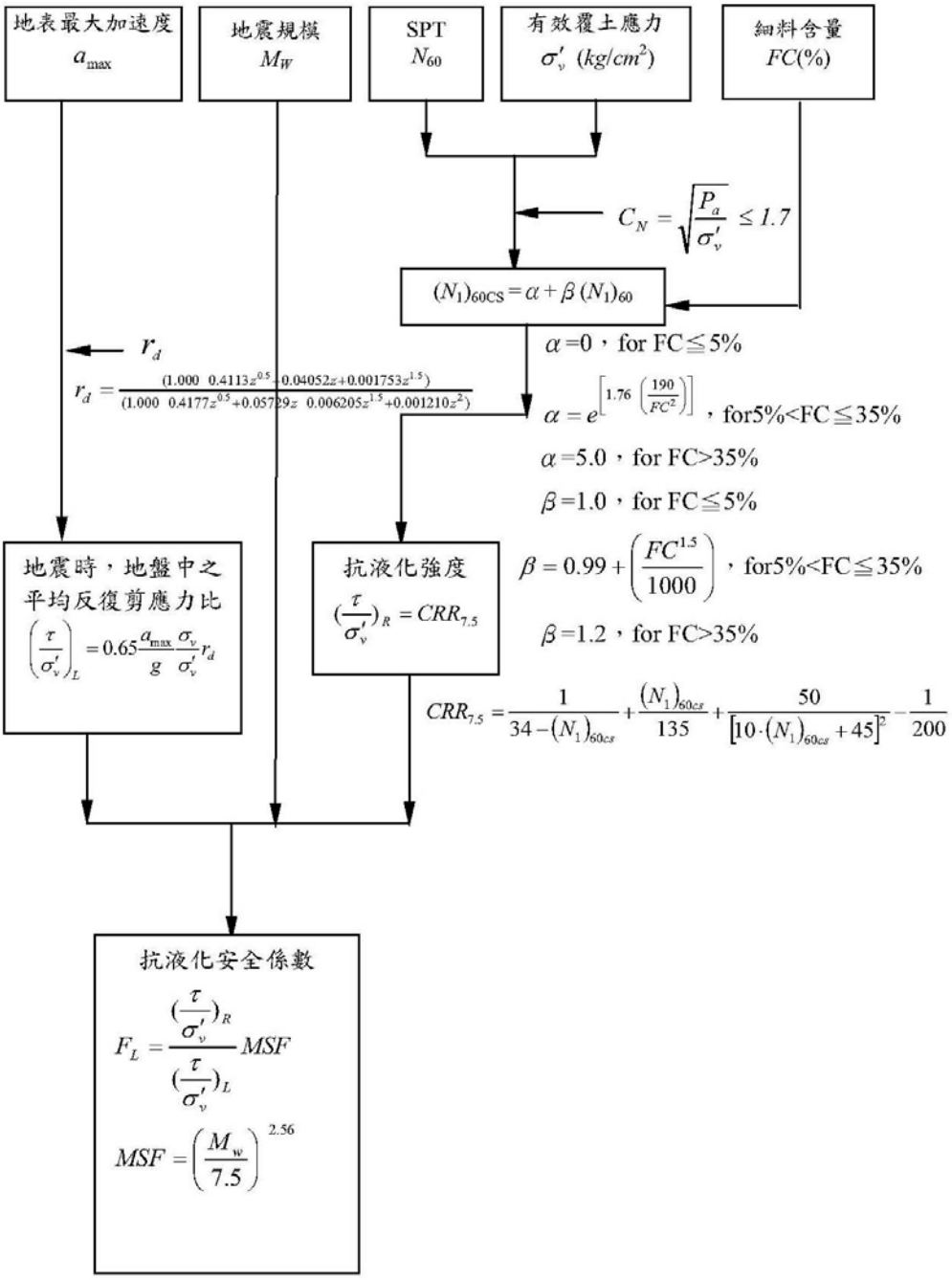
(2)本液化潛能評估法採用內政部民國 100 年 7 月頒布『建築物基礎構造設計規範』內新日本道路橋液化評估法(NJRA)，分析流程詳圖 2.2.11 及美國國家地震工程研究中心液化評估法(2001，NCEER)進行本工址液化潛能評估，液化潛能分析程詳圖 2.2.12 所示。



（資料來源：日本道路協會）

土壤液化潛能評估方法(NJRA)

圖 2.2.11 土壤液化判定方法流程



（資料來源：美國國家地震工程研究中心）

Seed SPT-N 液化評估法（NCEER，2001）

圖 2.2.12 土壤液化判定方法流程

7.基礎分析：基礎型式之選擇主要控制因素包括:結構物之用途、承載重量、土壤情況、基礎費用及工期等。一般輕型或中型結構物採用淺

基礎支承，而重要結構或限制沉陷量之結構物則以筏式基礎或樁基礎支承。

(1)樁基礎分析：考慮在海上打觀測樁，建議採打擊式鋼管基樁，以下分別分析樁徑為 0.8m、1.0m 及 1.2m，不同樁長之垂直承載力及拉拔力，分析地震容許承載力時，參數應液化參數折減，DE 取 2/3~1.0。

(2)基樁垂直承載力分析：單樁極限承載力其主要係包含樁底支承力及樁身表面摩擦阻力，採用貫入經驗公式計算推估。

(3)基樁抗拔力分析：結構物如因上部結構高度較高受水平風力或地震力作用時，因彎矩作用使基礎版下較外圍之基樁有一向上之拉拔力，所以基礎在設計時，須檢核基樁拉拔力是否足夠。

2.2.4 海上現地鑽探作業成果

1.本工作調查臺中港區之地層狀況及工程性質，調查結果顯示地層主要由粉土及粉土質細砂、粉土質黏土所組成，簡化土質剖面及設計參數。

2.依據土層液化評估分析結果，基地範圍內地層，於中小地震設計 PGA=0.067g 作用時，液化潛能極低，抗液化安全係數大於 1.0 以上。

3.基地範圍內在設計考慮經濟性、可靠性、工程案例、施工經驗、工期、土壤特性及施工對環境之影響等方面之後，因小地震並無液化，基礎以基樁設計，地震將參數折減 DE=2/3~1.0 後，進行承載力分析評估，檢核液化對結構基礎安全影響性。

4.在海上打觀測樁，建議採打擊式鋼管基樁，以下分別分析樁徑為 0.8m、1.0m 及 1.2m，不同樁長之垂直承載力及拉拔力，如圖 2.2.13 及圖 2.2.14 所示。本案採 1.2m 樁徑為海上觀測樁設計主體。

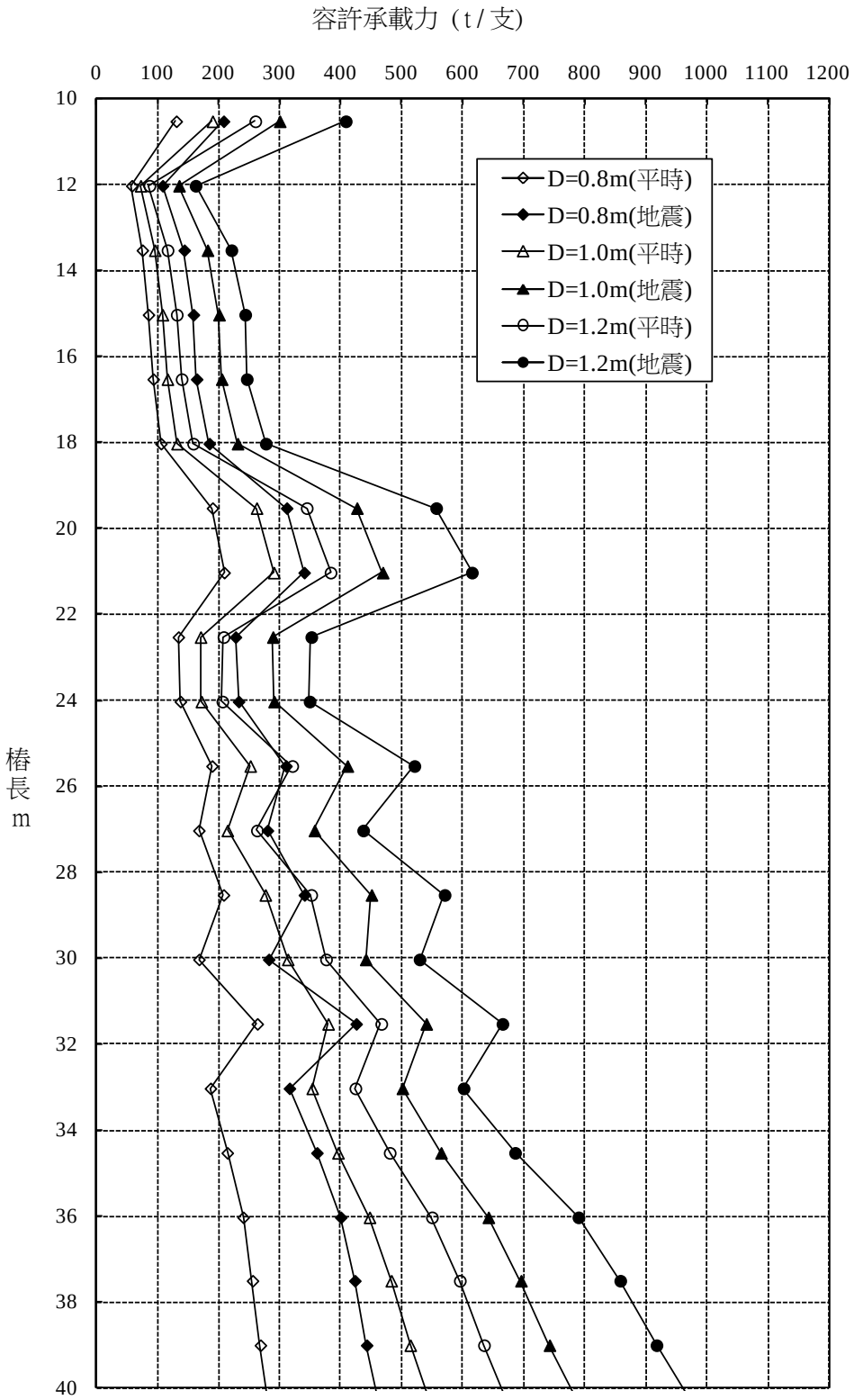


圖 2.2.13 基樁樁長與垂直容許承載力之關係圖

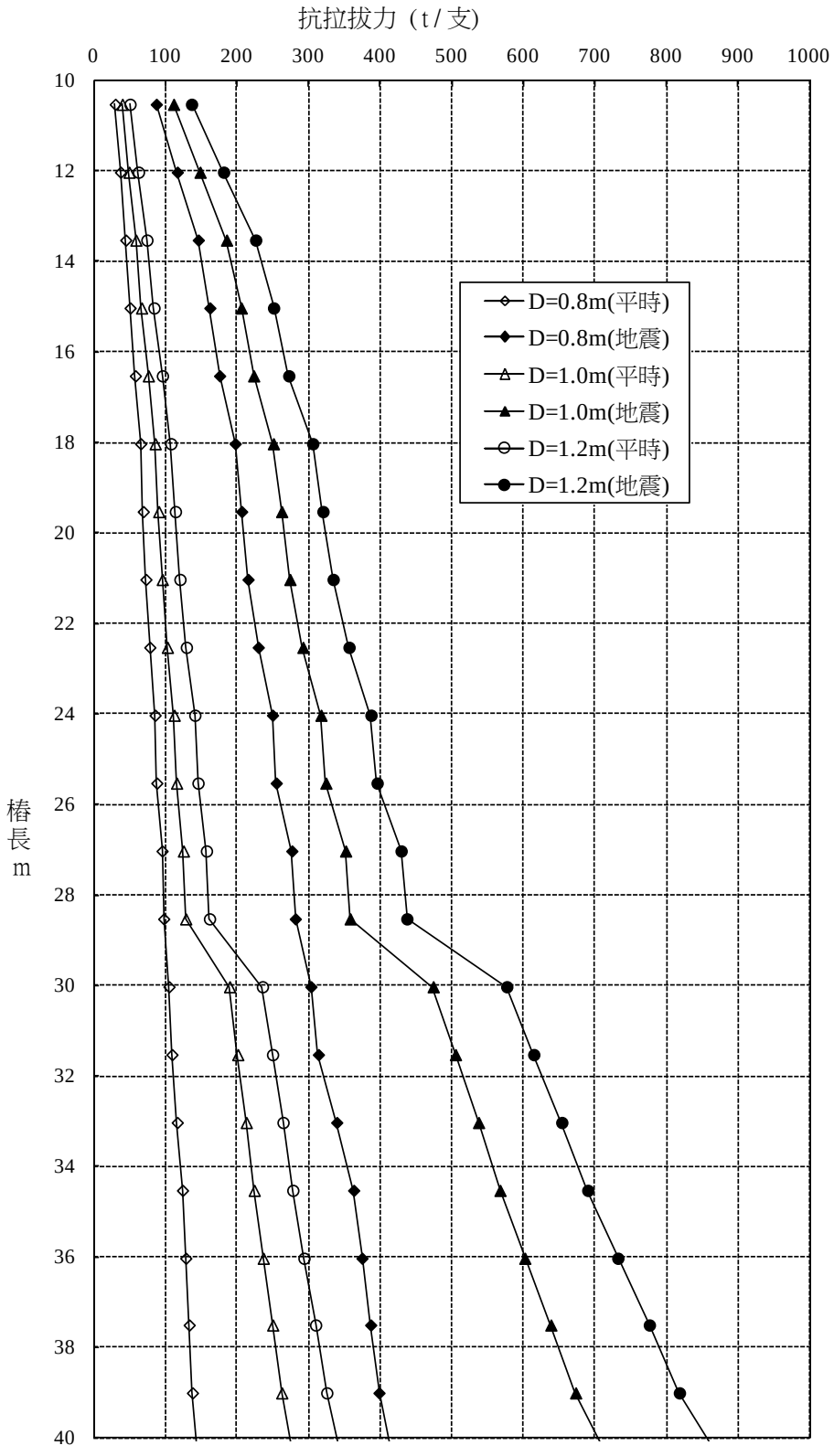


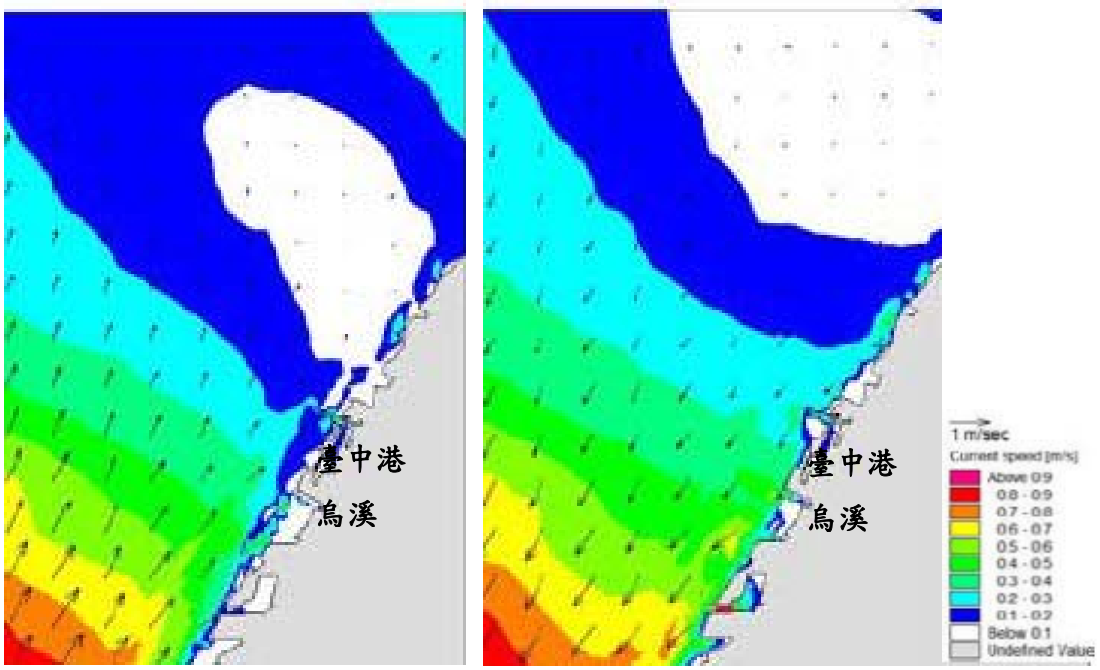
圖 2.2.14 基樁樁長與容許抗拉拔力之關係圖

2.2.5 海氣象觀測樁體、平臺細部設計成果

打設地點以不超出臺中港港區範圍為原則，依據臺中港海域之地形、海象條件、操船安全等考量，提出設置地點規劃建議及選定。評估區域方案及考量規劃點位(規劃區域 B)為北防沙堤外，港區範圍北界線水深約-21～24m 間區域適當位置。

1.海象條件：

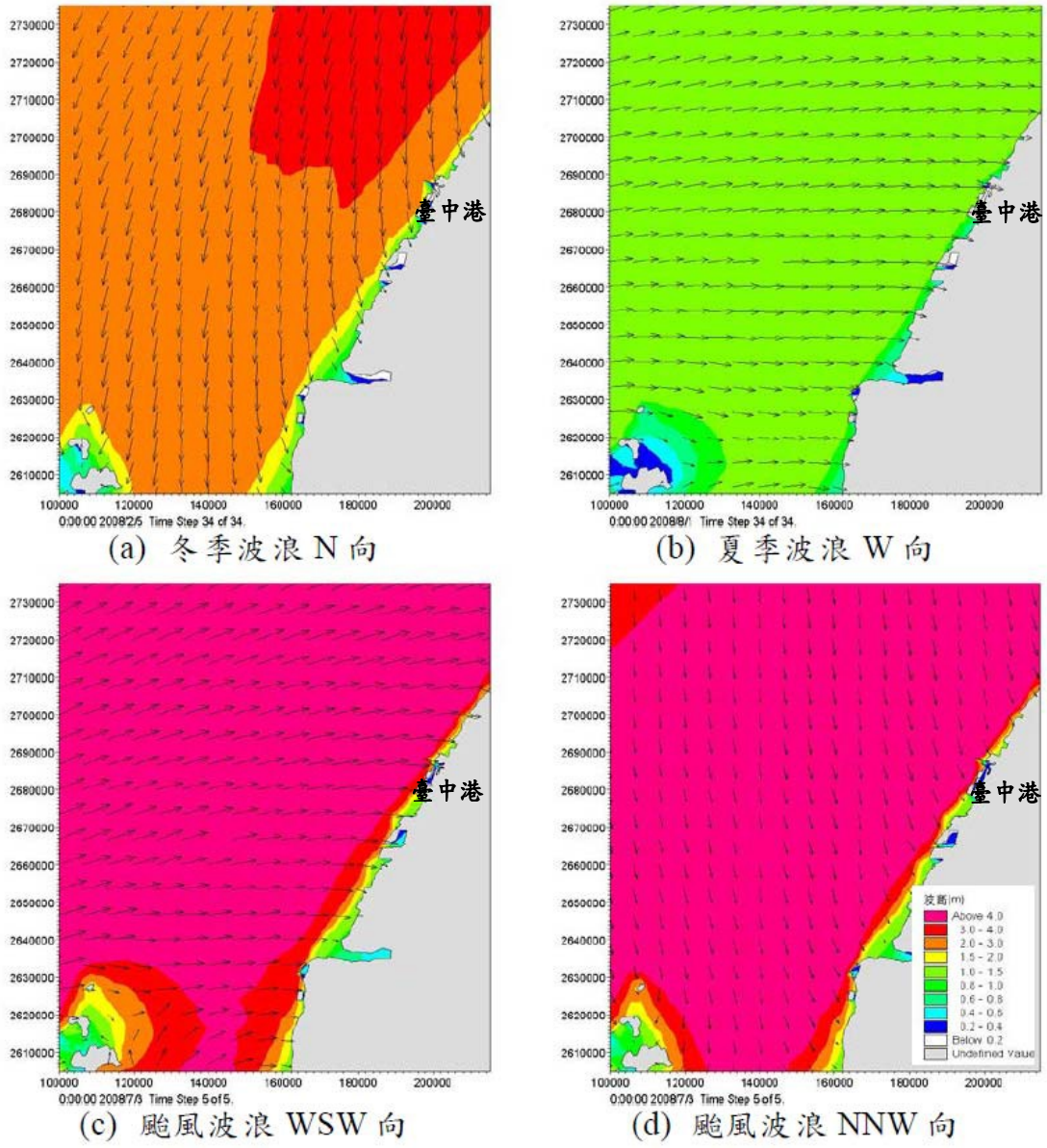
(1)流場分布：觀測樁設置地點評析計畫區海域之潮汐流況，圖 2.2.15 為冬季季風時之潮波流分布圖，約以臺中港北防波堤為界，北防波堤以南在漲潮時段流向往北、退潮時段流向為南；北防波堤以北在漲潮時段流向為西、退潮時段流向為東。



（資料來源：「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作」地質調查數值模擬成果報告書）

圖 2.2.15 計畫區冬季期間海域流場分布圖

(2)波場分布：圖 2.2.16 為計畫區海域受冬季波浪、夏季波浪及 10 年復現期 WSW、NNW 向颱風波浪作用下之波場分布圖，計畫區冬季期間波高分布較大約達 2m，颱風期間波高分布達 4m 以上。



（資料來源：「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作」地質調查數值模擬成果報告書）

圖 2.2.16 計畫區波場分布圖

(3)碎波水深：觀測樁避免設置在碎波帶，計畫區海域之碎波水深檢討 L(波長)>>D(水深)時，可視為淺水長波或孤立波，此時以 50 年復現期風波浪採孤立波 碎波界限水深計算。

a.極限波高水深比 β=0.78(McCowan，1894)：

碎波水深 $D_b=H_o*1.28/(3.3*(H_o/L_o)^{1/3})=12.51m$。

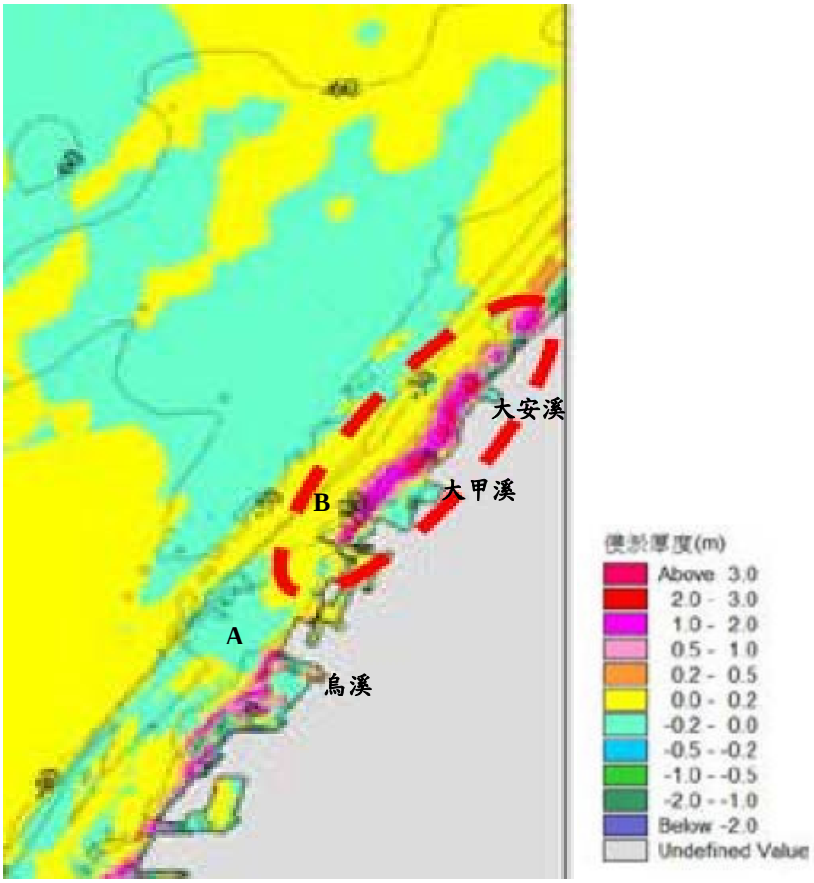
b.極限波高水深比 β=0.85464(Chen，1983)：

碎波水深 $D_b=H_o*1.17/(3.147*(H_o/L_o)^{1/3})=11.99m$。

c.觀測樁規劃區域 A 與規劃區域 B 其觀測樁設置水深在低潮系統時已逾 15m 以上，故樁址不致發生碎波。

d.50 年復現期深海波淺化至規劃區域時，規劃區域 A 區(-17m)之 $H_s=10.30m$；規劃區域 B 區(-24m)之 $H_s=9.99m$。

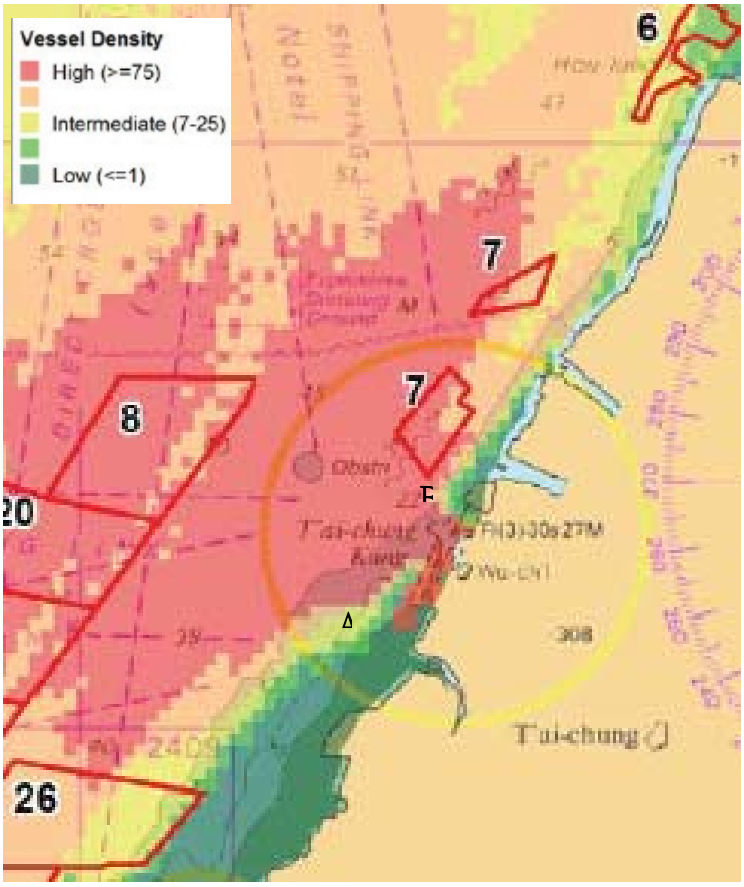
(4)海域地形：初選觀測樁設置位置，就該區海域之侵淤趨勢圖(如圖 2.2.17)可知，計畫區海域受臺中港防波堤影響，於堤頭附近及以北淤積現象較為顯著，整體而言，主要地形侵淤範圍大致在 0～-20m 水深以內海域。



（資料來源：「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作」地質調查數值模擬成果報告書）

圖 2.2.17 臺中港附近海域侵淤趨勢圖

(5)航行安全：計畫區與船舶航行情形蒐集 2015 年 7 及 10 月份船舶動態自動辨識系統(AIS)資料庫中，船舶航行密度統計如圖 2.2.18，分析 2 個月內每單元(0.5 海浬 x0.5 海浬)所有船舶航行經過之軌跡進行統計，以顏色代表船舶通過該海域之通行密度：紅色表通行密度較高(超過 75 次)，黃色表示通行密度中等(7-25 次)，綠色則為小於 1 艘次之低密度區。臺中港進港航道朝向西南西，進港船舶因操船需求會航行在較西北之海域以駛入進港航道，故航行經過規劃區域 A 之機率較低，然因位置於錨區南側恐易發生船隻流錨現象；出港船舶駛出北防波堤堤頭後，因水深已逾-20m 又無行航道限制，故有較大機率航行經過規劃區域 B 須加注意。

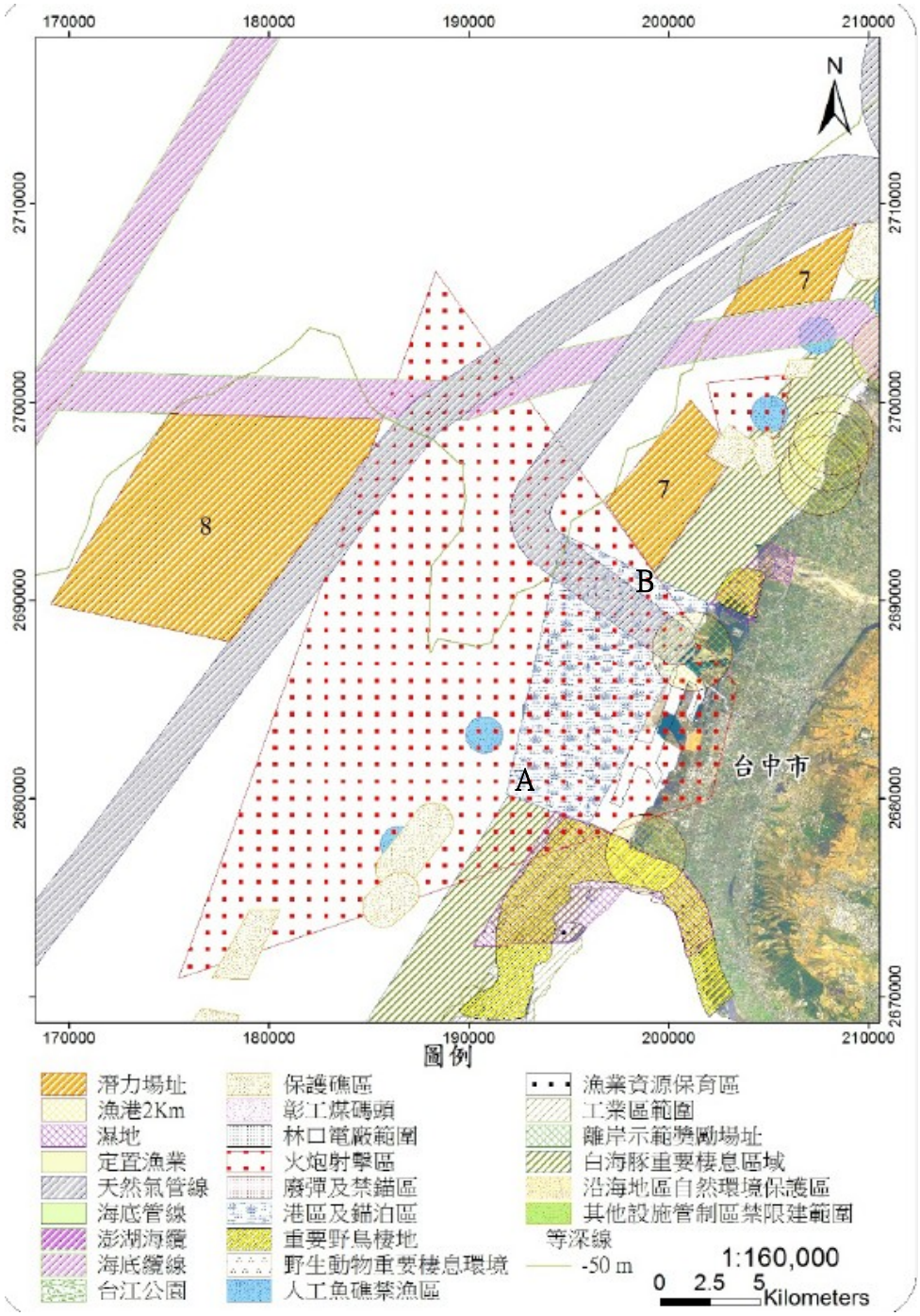


（資料來源：參考本所 AIS 臺中港附近海域調查成果報告）

圖 2.2.18 臺中港附近海域船舶航行密度統計趨勢圖

(6)離岸風力潛力場址：依經濟部能源局 104 年 7 月「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」說明，觀測樁規劃區域與離岸風力潛勢

場址相對位置如圖 2.2.19，規劃區域 A 處於臺中、彰化離岸風力潛力場址 No.8~No.29 東邊近岸海域，規劃區域 B 更緊鄰苗栗離岸風力潛力場址(No.7)南邊。



（資料來源：經濟部離岸風力潛勢場址）

圖 2.2.19 臺中港附近海域離岸風力潛勢場址圖

(7)綜合評估：考量海象條件、海域地形侵淤、船舶航行安全、河川排洪輸砂及工程經費後，本計畫觀測樁設置地點採規劃區域 B。並選擇該區域較接近北端港區範圍界水深約-20m 左右之位置。觀測樁設置地點綜合評估如表 2.2.8。

表 2.2.8　觀測樁設置地點綜合評估表

評估項目	規劃區域 A	規劃區域 B	評估
位置水深	-15~-17m	-20~-24m	B 區水深更佳
與既有結構物關係	距南海堤約 3000m 惟有二港口擴建計畫	距北防波堤約 3000m 距北防砂堤約 2500m	與既有結構物距離均超出 5 倍波長(5L=1464m)故反射波影響不大
海象條件	無碎波之虞，以-17m 計：Hs=10.3m 總波力 F=15.478T 總彎矩 M=268.2T-M 總流力 Fu=5.829T	無碎波之虞，以-24m 計：Hs=9.99m 總波力 F=13.012T 總彎矩 M=268.44T-M 總流力 Fu=7.684T	A 區受總波力 F 較 B 區大，但因距海底較淺，總波力彎矩 M 反而稍小。A 區流力 Fu 較 B 區為小
海域地形	長期無明顯侵淤趨勢	長期有明顯淤積趨勢	臺中港經年清淤
河川排洪	短期受烏溪排洪輸砂影響	長期受大安溪、大甲溪輸砂影響	長期而言 A 區較無淤積之虞
航行安全	船舶航行密度較低	船舶航行密度較高	不考慮未來擴建二港口情況下 A 區船舶航行密度較低
離岸風力潛力場址	位處臺中、彰化離岸風力潛勢場址東邊(No.8~No.29)近岸海域	緊鄰苗栗離岸風力潛勢場址(No.7)南邊	就臺中港離岸風力潛勢場址(No.7)而言 B 區較近
工程經費	較低(水深較淺)	較高(水深較深)	A 區因水深較淺工程經費較低

2.基本設計及概念：觀測樁依據計畫地區既有潮位、海流、波浪、風等資料，採用 50 年復現期之颱風波浪 H_{max} 為設計條件。惟主樁體不得

低於預估之結構管徑(1m)、鈑厚(2cm)等基本尺寸，且主樁體接樁時各單樁長度不得小於 12m，並須於樁基底床設置混凝土塊與拋石加固措施。

(1)設計概念：觀測樁宜設置於附近無任何海上或海下結構物之處，對欲觀測資料之收集將無受影響之虞，並避免設立於航道及拋錨泊船之區域。

a.利用復現期 50 年深海最大波高，深海波高示性波高為 10.7m，週期為 13.7sec。

b.設計潮位：

最高高潮位	H.H.W.L	+6.12m
平均高潮位	M.H.W.L	+4.99m
平均潮位	M.W.L	+3.02m
平均低潮位	M.L.W.L	+0.90m
最低低潮位	L.L.W.L	-0.28m

c.設計流速：1.90m/sec。

d.設計風壓：依本國建築技術規則，計畫地區之風力屬 150 級。

e.地震力：依本國建築技術規則，計畫地區屬地震乙區，地震水平加速度係數 Z=0.23。

(2)基本設計條件：觀測樁基本設計參考技術服務說明書及規範說明書及招標文件基本設計草圖之規定，依據以往之設計經驗提出基本設計圖(如圖 2.2.20 所示)。

a.平台塔屋：樁體上部結構應有一邊長 3m 以上之正方形平台塔屋，採 3.2m 設計(如圖 2.2.21 所示)。須能承受所有觀測儀器及作業人員於平台上安全作業。表面需有防滑處理。

(a)平台外緣設置訊號線保護通道。

(b)平台四周圍設 1.5m 高之欄杆。

b.太陽能板及風力供電系統之固定架：安裝風力供電系統固定架 8 片太陽能板組，太陽能板架設位置需無陰影之遮蔽，面板朝向南方約傾斜 30°以利陽光直射。

(a)框架內徑尺寸為 207cm×102cm。

(b)結構物須能承受設計風力條件。

(c)須便利工作人員進行安裝、維修。

c.樁體設置階段式爬梯供人員上下平台：爬梯區分為 3 段，並設置 2 處轉折平台，可供人員暫停及開關平台門板(如圖 2.2.22 所示)。

(a)上層 2 段爬梯需外罩 1m 直徑的護欄。

(b)最下層爬梯段需有防撞設施。

(c)各層之爬梯不應直接焊接於樁體上。

(d)各層之爬梯間距需符合人體力學設計。

d.水下訊號線保護通道：採用內徑約 15cm 之鋼管，外緣剖開間距約 3cm，管壁須鑽孔。

(a)從工作平台儀控室下方沿爬梯設至平潮面下方 2m。

(b)所有線材均有保護通道，不應裸露。

e.附屬設施：平台制高點架設一組避雷針，引導線需有防護通道。導航警示燈及其控制電路與固定架安裝：平台明顯位置裝

設 4 盞進口導航警示燈(符合國際導航及避碰規格)及其控制電路與固定架安裝(如圖 2.2.23 所示)。

f.工作平台東北角裝設 0.5 噸以上手動起重機及其固定架安裝。

g.上部結構鋼構材防蝕採用鍍鋅處理外加環氧樹脂塗佈：鋼管樁表面防蝕處理，其水面以上部分鋼構材表面防蝕採用環氧樹脂塗佈，潮間帶增加防蝕帶包裹(如圖 2.2.24 所示)。

h.水面以下鋼管樁採用 300kg 陽極鋁塊防蝕處理(如圖 2.2.25 所示)。

i.樁體底床加固之混凝土塊及拋石工料以為底床防沖蝕設施(如圖 2.2.26 所示)。

j.測計儀器支撐架(如圖 2.2.27 所示)。

3.工料需求：工程材料使用概估，如表 2.2.9。

表 2.2.9　工程材料使用一覽表

項次	項目	數量	單位	備　註
一	工作平台製作			
	鋼料（含損耗）	24	噸	
二	鋼管樁			D=120cm，t=30mm
	鋼料（含損耗）	52	噸	
三	附屬設施			
1	警示燈	4	支	
2	防蝕塊	4	個	
3	FRP 套	1	式	
4	橡膠碰墊	4	座	
5	避雷針	1	支	
6	保護設施	1	式	

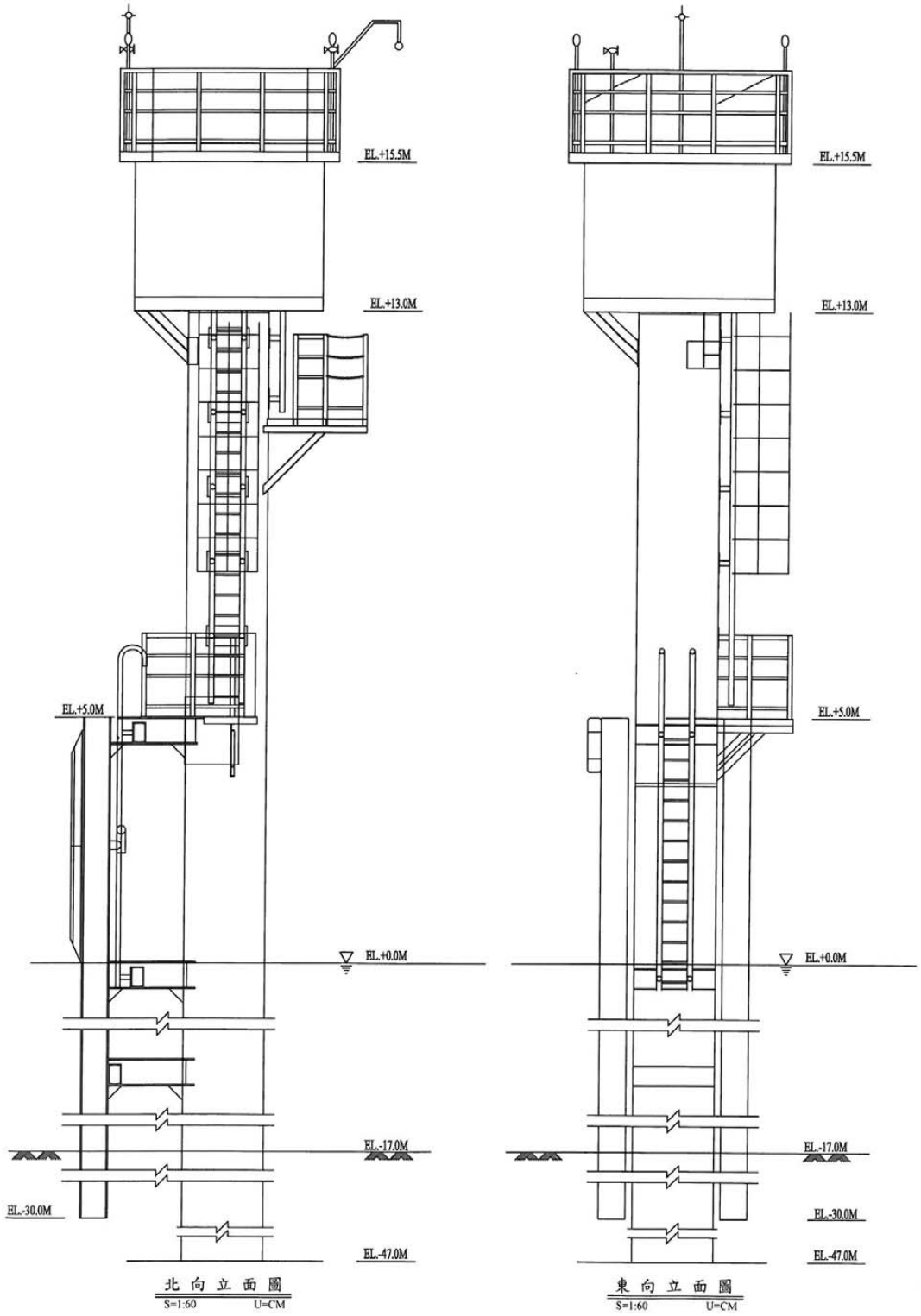
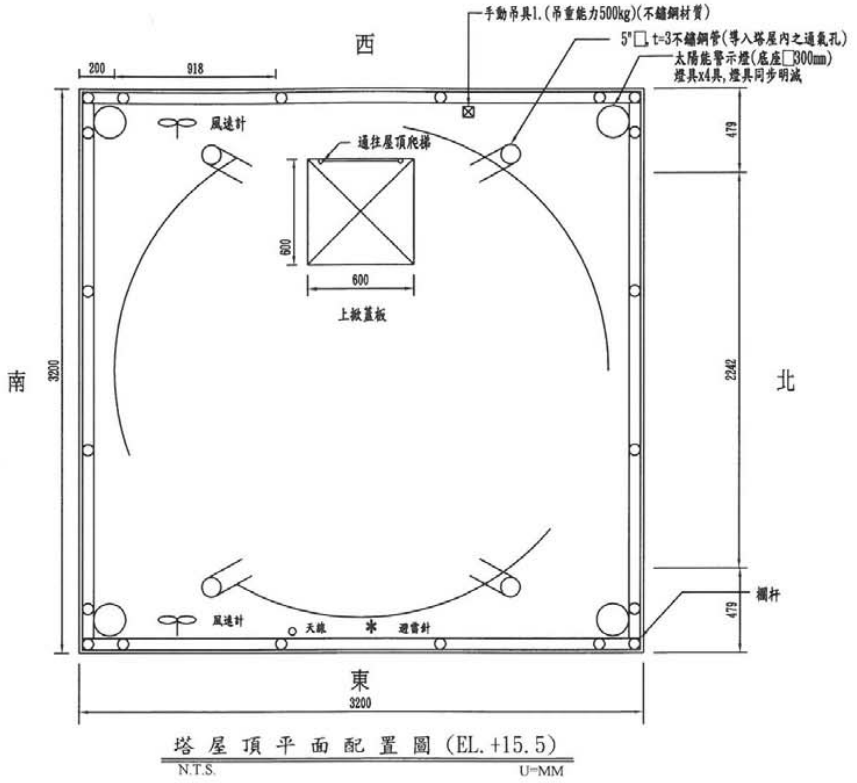
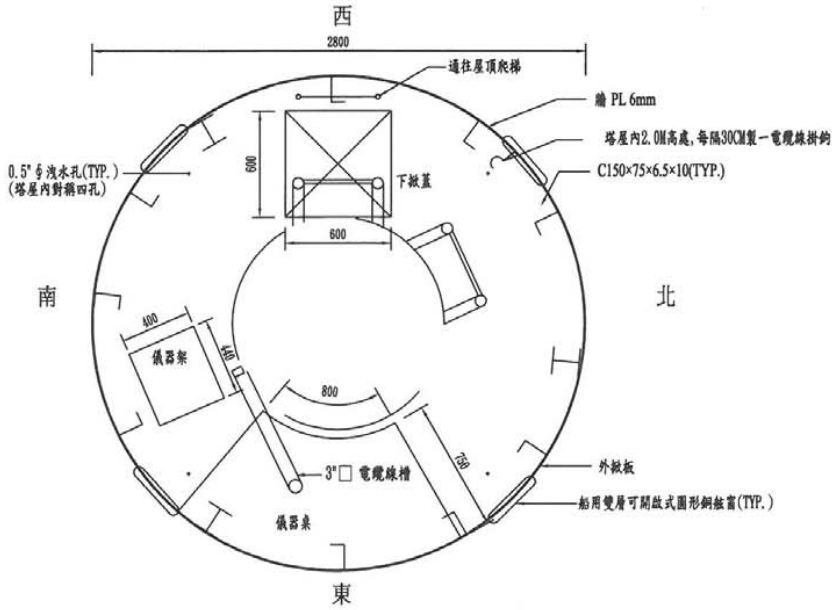

EL.+15.5M
EL.+13.0M
EL.+5.0M
EL.+0.0M
EL.-17.0M
EL.-30.0M
EL.-47.0M
北 向 立 面 圖
S=1:60 U=CM
EL.+15.5M
EL.+13.0M
EL.+5.0M
EL.+0.0M
EL.-17.0M
EL.-30.0M
EL.-47.0M
東 向 立 面 圖
S=1:60 U=CM

圖 2.2.20 基本設計圖



塔屋頂平面配置圖 (EL.+15.5)

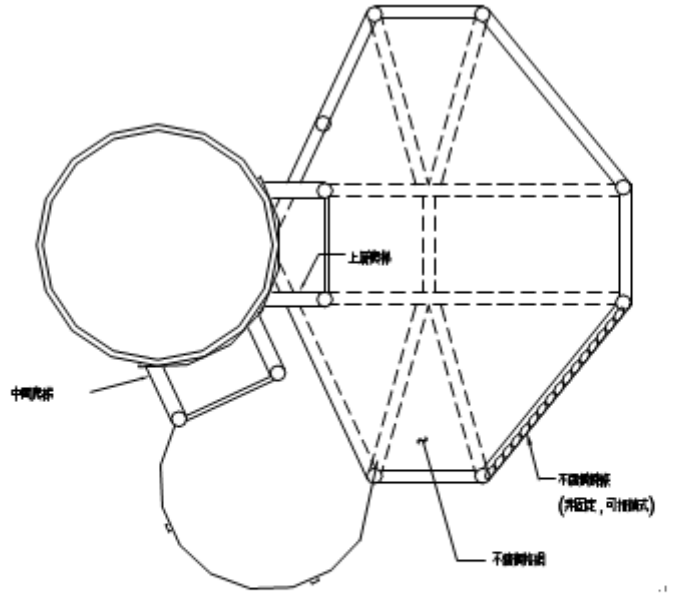
N.T.S. U=MM



塔屋平面配置圖 (EL.+13.20M)

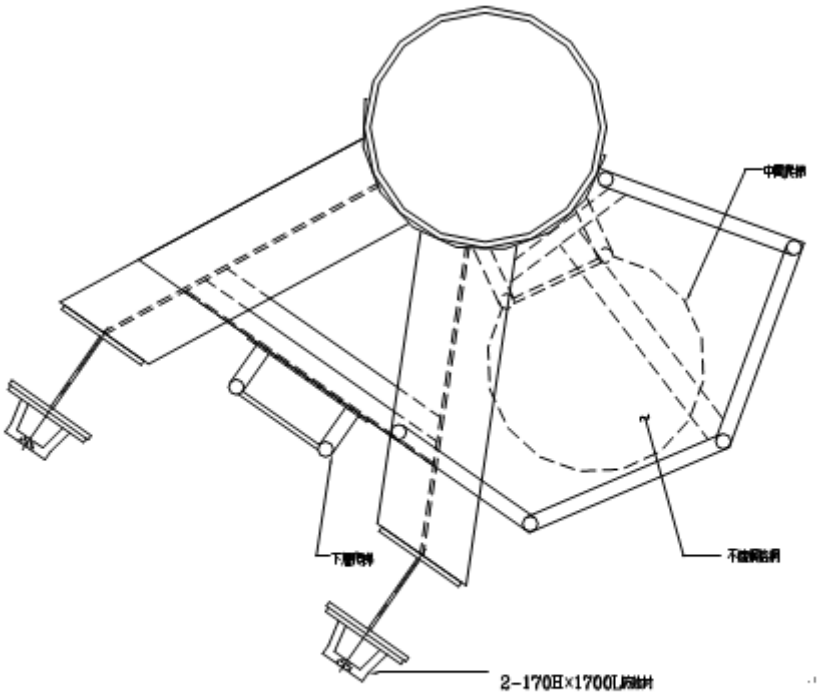
S=1:30 U=MM

圖 2.2.21 平台塔屋平面配置圖



上 層 爬 梯

U = CM



下 層 爬 梯

U = CM

圖 2.2.22 階段式爬梯構想圖

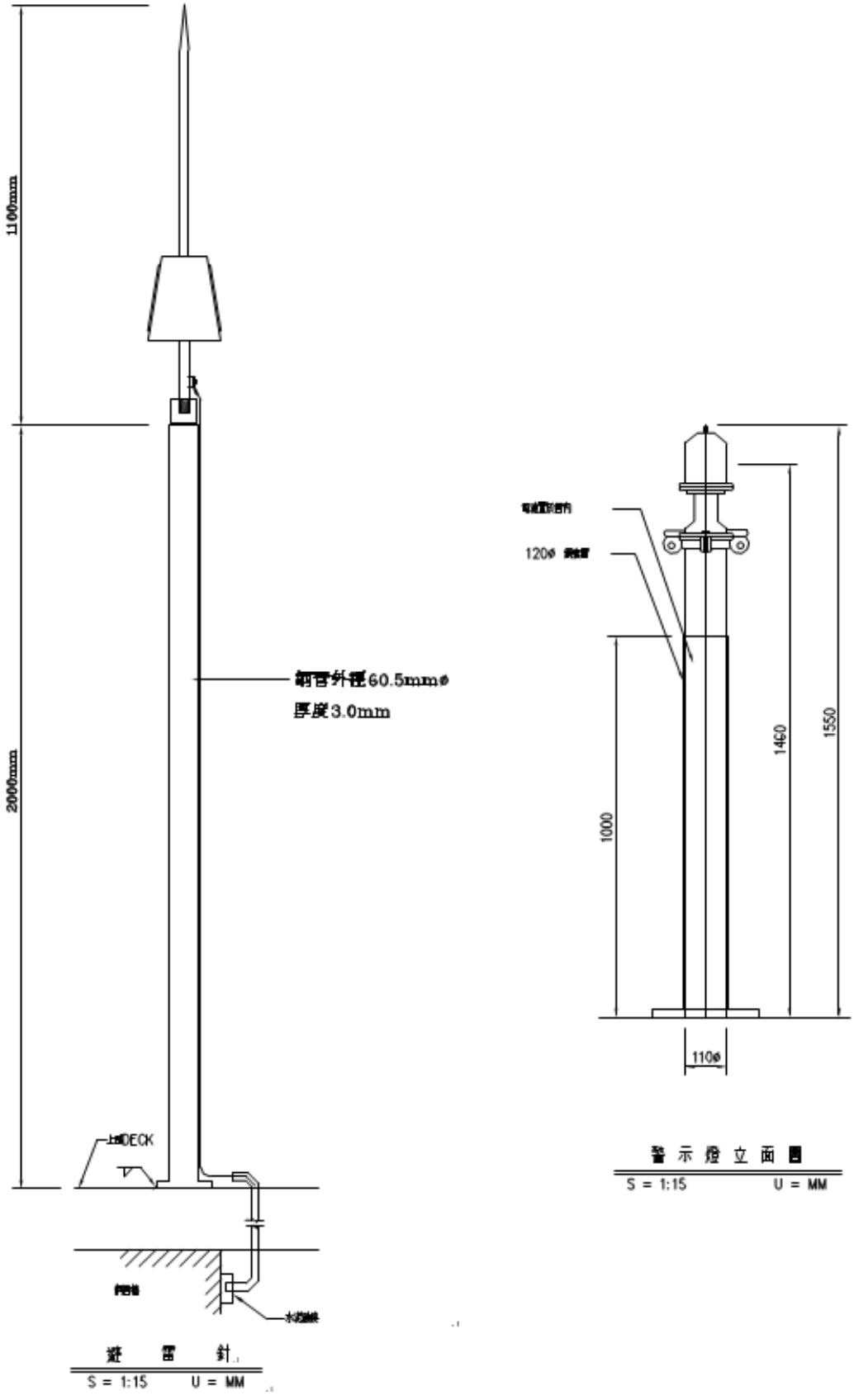

1100mm
2000mm
鋼管外徑60.5mmø
厚度3.0mm
上甲DECK
避 雷 針
S = 1:15 U = MM
120ø
1000
1460
1550
110ø
警 示 燈 立 面 圖
S = 1:15 U = MM

圖 2.2.23 附屬設施

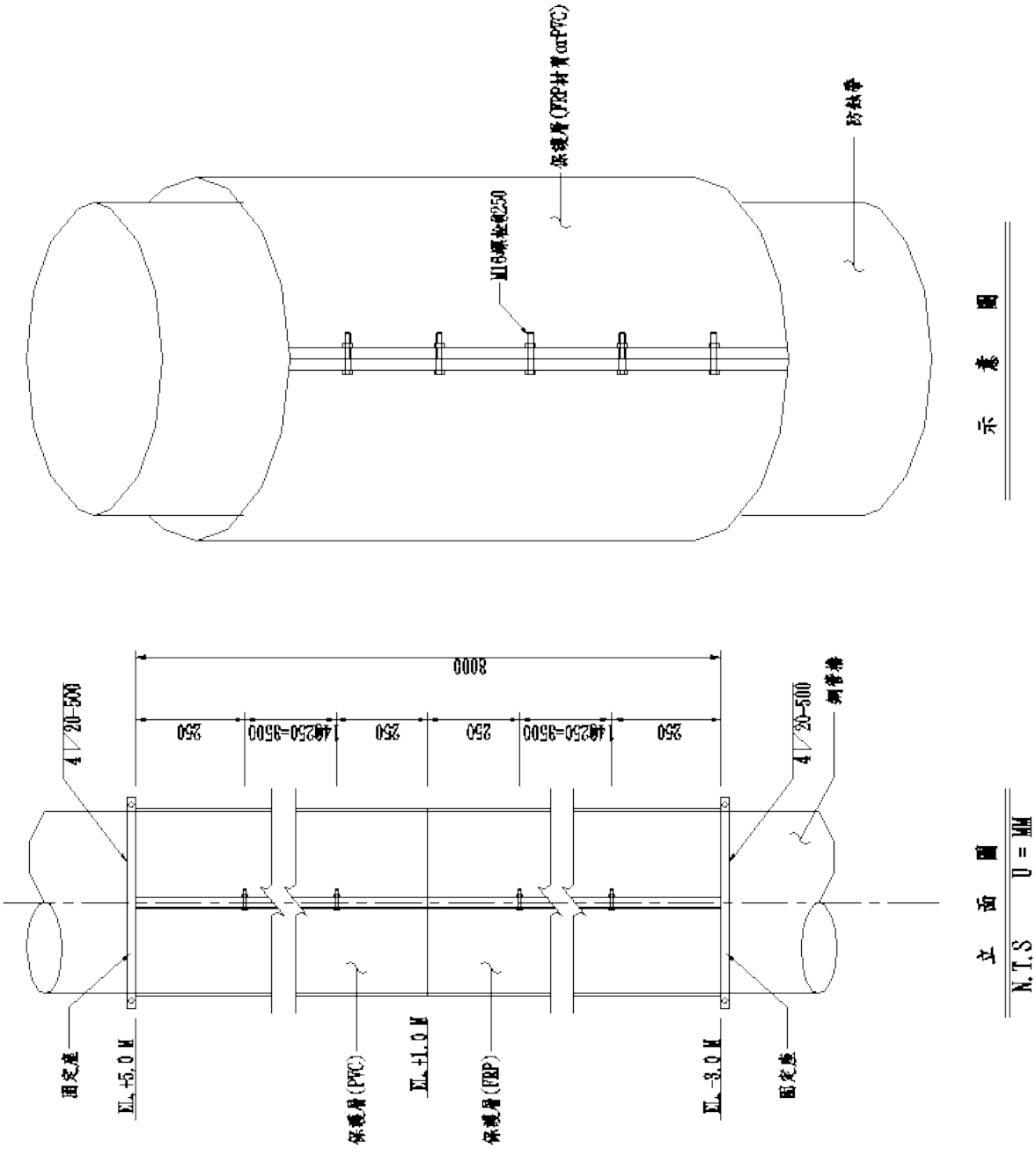


圖 2.2.24 防蝕帶包裹圖（鋼管樁潮間帶防蝕處理）

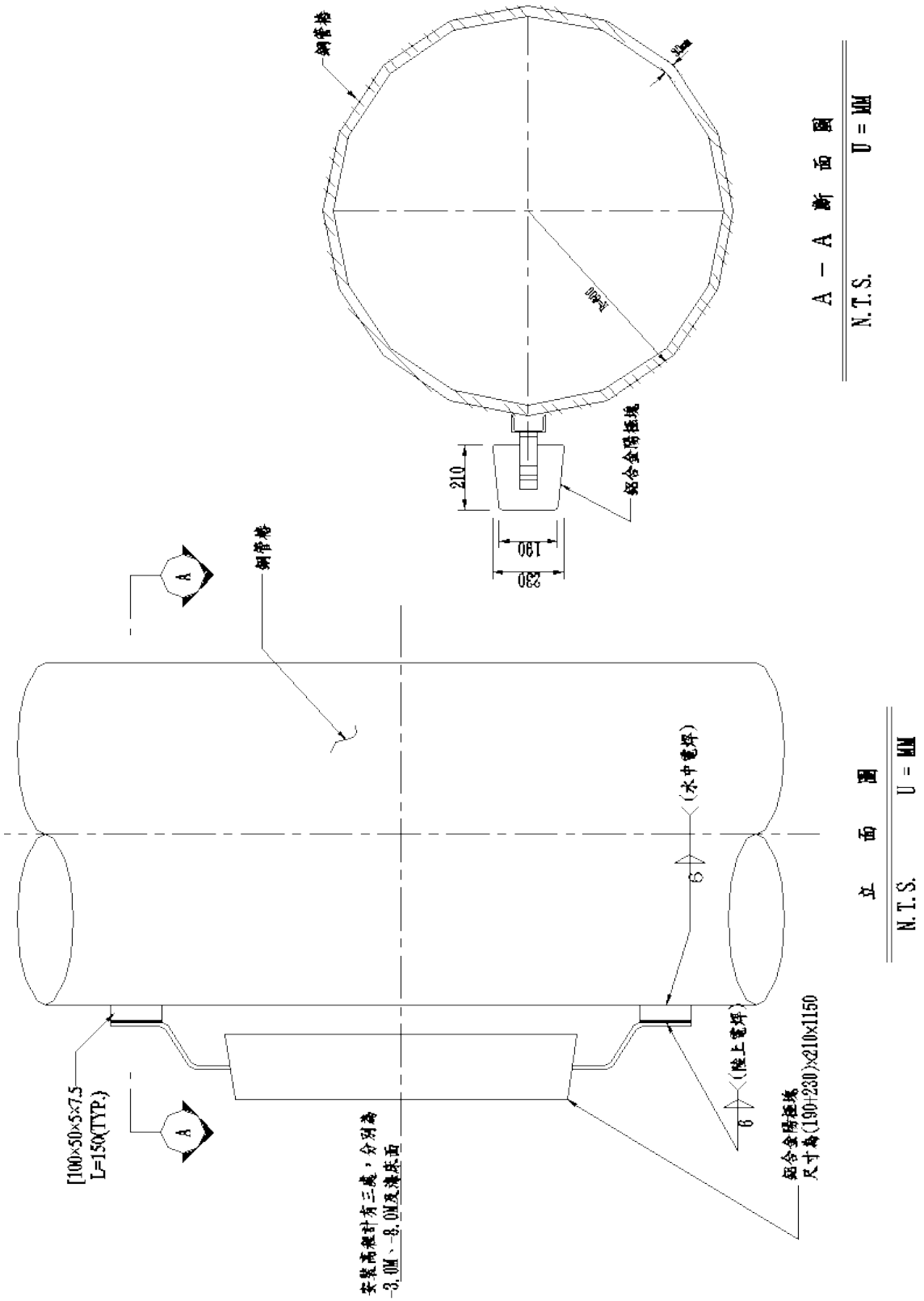


圖 2.2.25 陽極鋁塊防蝕處理圖（鋼管樁水下防蝕處理）

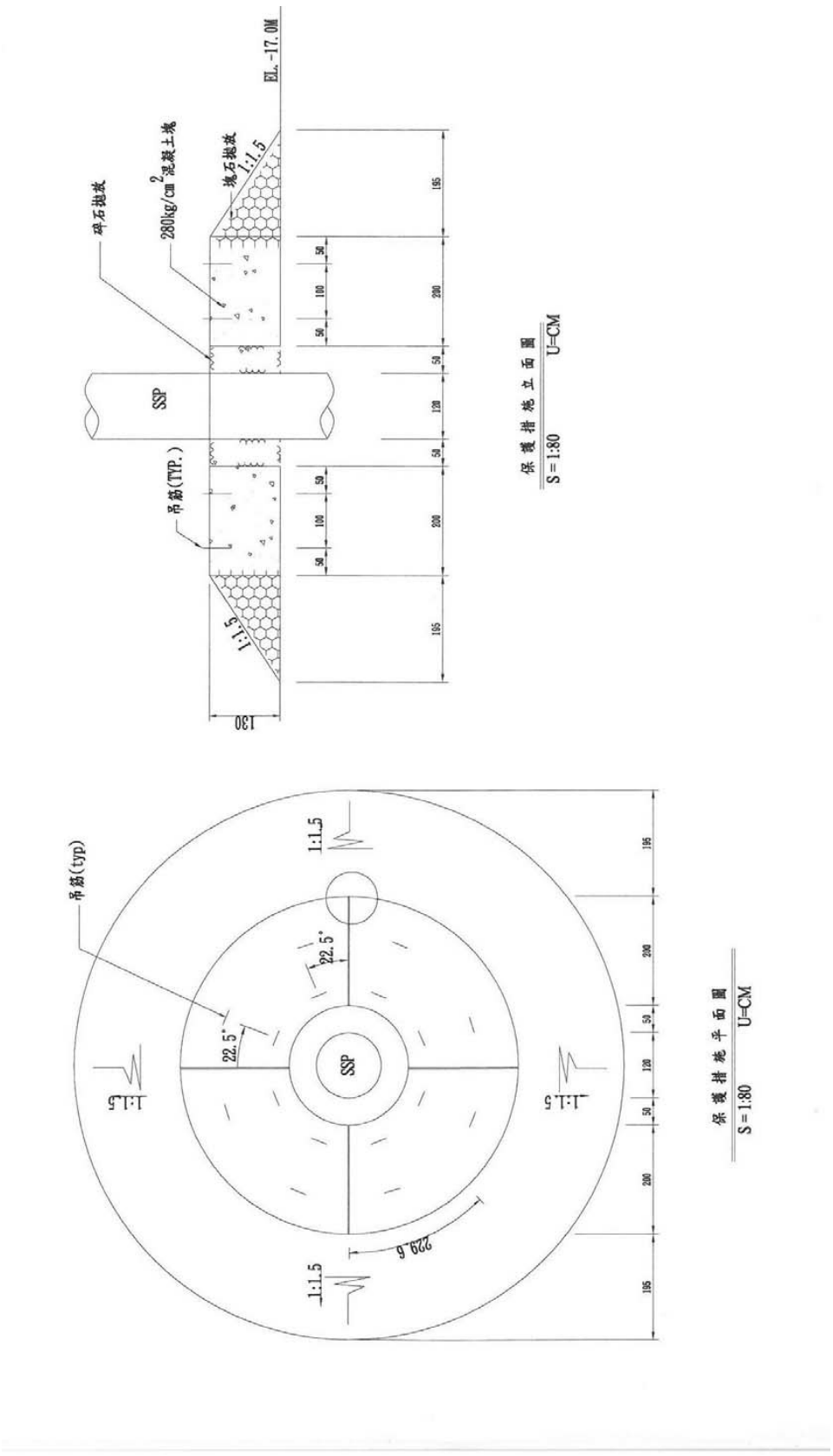


圖 2.2.26 基本樁體底床加固設計圖

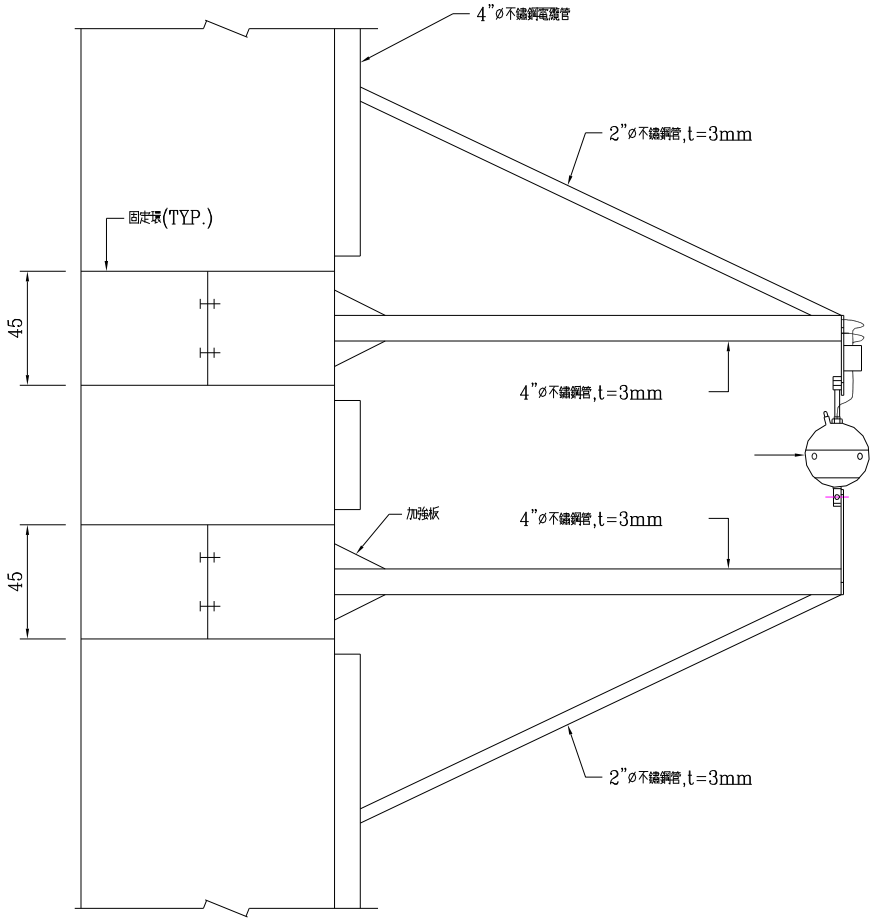
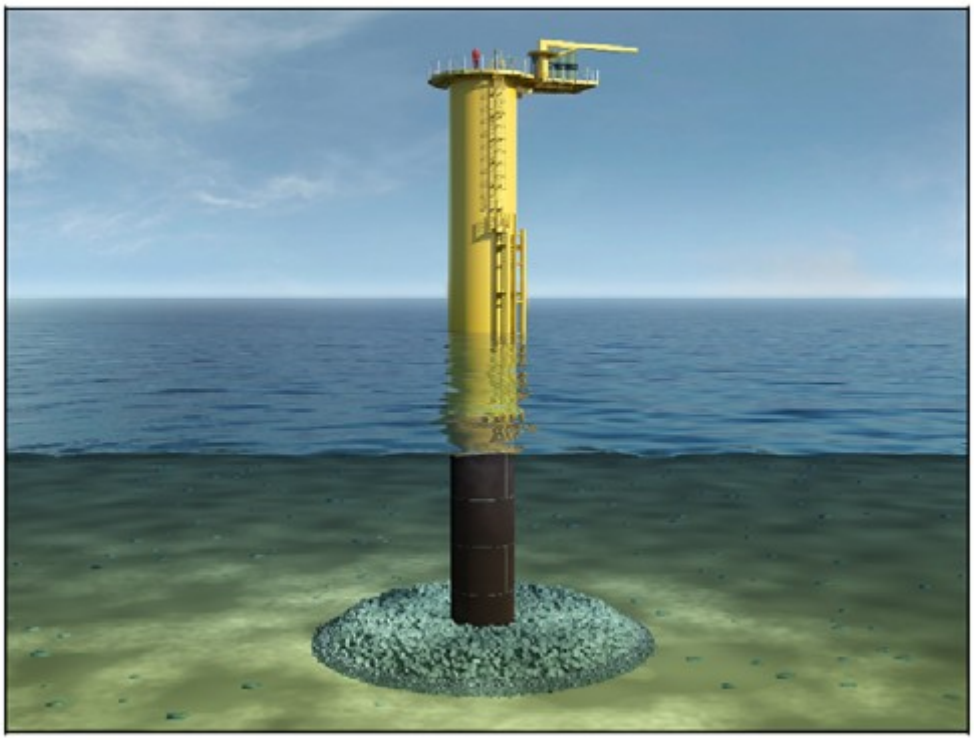


圖 2.2.27 量測儀器支撐架詳圖

4.工程規劃及施工構想：海上觀測樁施工，基於樁體運輸性及打樁施工性之考量，於製造時將分成 2 部份，上部結構除 8m 長之 120cmϕ 鋼管樁本體外，另尚包括設置附屬設施之工作平台；下部結構則為長 52m 以上，120cmϕ 之鋼管樁。

(1)設計單樁式基礎概念：本工程基本設計採用單樁式基礎，單樁基礎為一支鋼管樁植入海床之長樁結構， 單樁長度及重量依設置水深及地層地質條件而決定，單樁基礎由兩個主要部份組成即下部構造(單樁本體)及上部構造(轉接段)，當基樁打設至設計深度後於基樁頂部 安裝轉接段並以螺栓連結，轉接段頂部法蘭面採用螺栓連結觀測平台。單樁式基礎構造示意如圖 2.2.28 所示。



（資料來源：「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）

圖 2.2.28 單樁式基礎構造示意圖

(2)基礎防掏刷保護設施：基樁基礎直徑範圍 5-10m 內，依地質條件設置護基方塊及覆蓋塊石之防掏刷保護設施。

(3)施工構想：

a.工廠製造：所有鋼構之組合製作將於工廠內進行。

(a) 上部結構包括 8m 長之 120cm∮鋼管樁及上層工作平台，於工廠內組立完成。

(b)下部結構為總長度長 52m 以上，120cm∮鋼管樁於工廠製作時將分成 4 段製作(4@13M=52M)以便於運送。

(c)焊接工作依施工規範之規定辦理。

(d)上部結構鋼構材防蝕採用鍍鋅處理外加環氧樹脂塗佈。

b.工作碼頭作業：工作碼頭暫定於臺中港 106 號碼頭。

(a)於工作碼頭將下部結構(4 段鋼管樁，陸上水平接樁)焊接組立成單樁。

(b)上部結構運至工作碼頭後,於陸上與完成之單樁進行假組立及各項儀器試裝。

c.海上作業：

(a)利用平台船運送上部及下部結構至現場。

(b)海上測量→初定位→樁架→橫樑→樁定位→導樁。

(c)利用打樁船打設下部鋼管樁。

(d)打樁作業依施工規範規定辦理。

(e)上部結構與下部結構組立，採法蘭式接合。

(f)鋼管樁潮間帶部份防蝕帶包裹處理。

(g)鋼管樁海面以下採鋁合金陽極塊防蝕處理。

d.觀測平台設備安裝：

(a)避雷針設施安裝。

(b)警示燈設施安裝。

(c)觀測樁甲板平台各項觀測儀器設備安裝及測試。

(4)施工流程：如圖 2.2.29 所示。



圖 2.2.29 施工流程示意圖

5.工作流程：本工作範圍乃觀測樁選址、細部設計及監造工作，為有效推動計畫及工程實施，流程檢討如圖 2.2.30 所示。主要由海岸與港灣專業資深工程師成員所組成，對於海岸工程、防波堤及碼頭港灣工程規劃設計監造等有極豐富之經驗，參與專業技術人員曾執行國內多項海岸與港灣工程之規劃、設計和監造工作。

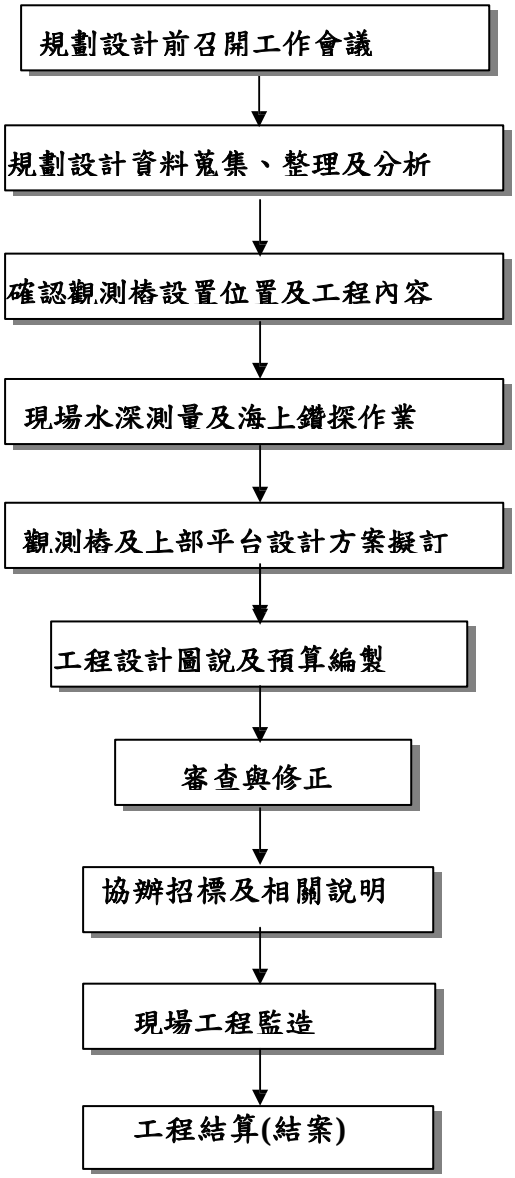


圖 2.2.30 工作流程圖

2.3 海氣象觀測結果分析

臺灣四周海域波浪的現象主要由東北季風及西南季風兩個時期交替影響，另外在夏天有劇烈天氣系統颱風影響，呈現出季節性變化，海氣象研究屬長期性計畫，在統計學上樣本數越多，其統計結果則越具代表性，本年度報告係針對 2017 年臺中港鄰近海域風速風向觀測站觀測結果進行統計分析，本報告海氣象觀測資料統計分析原則係涵蓋自上一年度之 12 月起至當年度 11 月，統計分析之現場記錄共 12 個月份。其中，12 月至 2 月間歸屬於冬季，3 月至 5 月為春季，6 月至 8 月為夏季，9 月至 11 月為秋季，本年度報告觀測統計至 2017 年 11 月止，2017 年 12 月之記錄將列於下年度統計。

2.3.1 風觀測資料分析

風觀測資料蒐集係取每小時前 10 分鐘之風速風向數據加以平均，而得出該小時之平均風速、平均風向、最大陣風風速、最大陣風風向及最大陣風之發生時間，風力資料以取平均風速及平均風向為主，本年度(2016 年 12 月~2017 年 11 月)有效記錄統計時數如表 2.3.1 所示，茲將定點風資料調查所得結果製作下列圖表加以分析：

1. 2017 年分月、分季及全年 10 分鐘平均風速與風向聯合分佈表 2.3.2~表 2.3.14，風特性分析統計結果詳見表內註解。
2. 2017 年分月 10 分鐘平均風速、平均風向、N-E 分量及風速向量矢狀變化等時間序列圖 2.3.1~圖 2.3.12，風特性分析統計結果詳見圖中說明。

3. 2017 年分月、分季及全年風速、風向玫瑰圖 2.3.13~圖 2.3.25，圖中顯示各期間風之平均風速、最大風速以及各風速與風向所佔之比例。

表 2.3.1　2017 年各月風觀測有效記錄統計時數

月份	有效記錄時數(小時)
1	744
2	672
3	744
4	720
5	744
6	720
7	744
8	744
9	720
10	744
11	720
12	744
全期合計	8760

藉由特性分析結果顯示，秋、冬兩季 10 分鐘平均風速為四季最高，隨著季節由秋季轉換至冬季，平均風速逐漸上昇；春、夏兩季，季風型態逐漸產生變化，以西南季風為主，惟平均風速確逐漸降低減弱，顯示本海域受東北季風影響較大。秋、冬兩季因東北季風效應主要風向以東北來向為主，冬季 91.7%、秋季 74%，季節進入春季，季風型態由東北季風轉換至西南季風，風向由東北向逐漸轉換至西南向，夏季屬西南季風盛行季節，風向結構以西南來向為主要分佈，約佔整季 53%。綜觀上述，臺中港海域除夏季時因西南季風吹拂影響，風向分佈以西南向為主外，整年度秋、冬及春三季風向均以東北來向為主。由

年度統計資料顯示，本海域受東北季風影響較大，全年 10 分鐘風速平均較高者，分別發生於秋冬兩季，季節轉換至春夏兩季時，所測得月平均風速較低，此特性可提供相關單位作為離岸風電海域船舶航行、工程施做及規劃設計參考應用。

表2.3.2　2016年 12月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2016年12月 1日 0時 ~ 2016年12月31日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.1	.0	.0	.5	.4	.0	.1	.3	.5	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	2.2
1m/s	.1	.4	.3	.7	.4	.3	.4	.7	.1	.1	.4	.3	.0	.1	.1	.1	4.6
2m/s	.4	.4	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	.1	.4	.0	.0	.0	.0	2.3
3m/s	.3	.3	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.4	.0	.1	.0	.0	.1	.0	2.3
4m/s	.3	.8	.9	.1	.0	.0	.0	.0	.1	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.7	3.2
5m/s	.8	.8	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.4	.1	.0	.0	.0	.0	.4	3.8
6m/s	1.1	2.2	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.3	.0	.0	.0	.0	.4	5.0
7m/s	.4	1.1	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	3.0
8m/s	.9	5.4	3.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	9.3
10m/s	.5	6.7	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	8.5
12m/s	.4	8.1	3.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	12.1
14m/s	.0	9.1	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	11.2
16m/s	.0	6.2	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	6.7
18m/s	.0	7.1	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	7.7
20m/s	.0	15.1	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	16.0
25m/s	.0	2.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.4
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	5.4	66.0	17.6	1.3	.8	.3	.5	.9	1.2	1.6	1.2	.8	.0	.1	.3	1.9	100.0

[註1]: 風速介於 **20.0m/s~ 25.0m/s** 佔 **16.0%** 。主風向 **NNE** 佔 **66.0%** 。

[註2]: 風速平均值 = **12.8m/s** , 風速最大值 = **28.9m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **14.5%**; 介於**5~10m/s** 佔 **21.0%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **64.5%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **88.2%**;**E~S** 佔 **2.7%** ;**S~W** 佔 **4.6%** ;**W~N** 佔 **4.6%**; 靜風佔 **.0%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **744**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W16CTCW0.1H2** 。

表2.3.3　2017年 1月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 1月 1日 0時 ~ 2017年 1月31日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.0	.1	.0	.3	.0	.0	.3	.0	.3	.1	.1	.0	.1	.0	.1	.0	1.5
1m/s	.1	.4	.5	.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.0	.0	.1	.1	2.3
2m/s	.3	.0	.5	.1	.0	.0	.0	.0	.1	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.0	1.3
3m/s	.0	1.3	1.3	.1	.0	.0	.0	.0	.4	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.3	3.8
4m/s	.7	1.2	1.5	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.5	4.0
5m/s	.8	1.9	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	3.6
6m/s	.8	2.2	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	4.0
7m/s	.4	1.6	1.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	3.2
8m/s	.8	4.4	1.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	7.0
10m/s	.7	8.5	1.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	11.0
12m/s	1.1	9.5	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	11.8
14m/s	.3	10.8	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	13.0
16m/s	.0	13.6	1.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	15.1
18m/s	.0	9.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	9.5
20m/s	.0	7.8	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	8.1
25m/s	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	5.9	72.4	15.5	1.3	.0	.0	.3	.0	.8	.4	.7	.0	.1	.0	.3	1.7	99.5

[註1]: 風速介於 **16.0m/s~ 18.0m/s** 佔 **15.1%** 。主風向 **NNE** 佔 **72.4%** 。

[註2]: 風速平均值 **= 12.5m/s** , 風速最大值 **= 25.4m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **13.4%**; 介於**5~10m/s** 佔 **17.9%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **68.7%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **93.5%**;**E~S** 佔 **.5%** ;**S~W** 佔 **1.6%** ;**W~N** 佔 **3.8%**; 靜風佔 **.5%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **744**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W171TCW0.1H2** 。

表2.3.4　2017年 1月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 1月 1日 0時 ~ 2017年 1月31日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.0	.1	.0	.3	.0	.0	.3	.0	.3	.1	.1	.0	.1	.0	.1	.0	1.5
1m/s	.1	.4	.5	.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.0	.0	.1	.1	2.3
2m/s	.3	.0	.5	.1	.0	.0	.0	.0	.1	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.0	1.3
3m/s	.0	1.3	1.3	.1	.0	.0	.0	.0	.4	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.3	3.8
4m/s	.7	1.2	1.5	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.5	4.0
5m/s	.8	1.9	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	3.6
6m/s	.8	2.2	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	4.0
7m/s	.4	1.6	1.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	3.2
8m/s	.8	4.4	1.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	7.0
10m/s	.7	8.5	1.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	11.0
12m/s	1.1	9.5	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	11.8
14m/s	.3	10.8	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	13.0
16m/s	.0	13.6	1.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	15.1
18m/s	.0	9.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	9.5
20m/s	.0	7.8	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	8.1
25m/s	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	5.9	72.4	15.5	1.3	.0	.0	.3	.0	.8	.4	.7	.0	.1	.0	.3	1.7	99.5

[註1]: 風速介於 **16.0m/s~ 18.0m/s** 佔 **15.1%** 。主風向 **NNE** 佔 **72.4%** 。

[註2]: 風速平均值 **= 12.5m/s** , 風速最大值 **= 25.4m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **13.4%**; 介於**5~10m/s** 佔 **17.9%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **68.7%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **93.5%**;**E~S** 佔 **.5%** ;**S~W** 佔 **1.6%** ;**W~N** 佔 **3.8%**; 靜風佔 **.5%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **744**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W171TCW0.1H2** 。

表2.3.5　2017年 3月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 3月 1日 0時 ~ 2017年 3月31日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.0	.1	.4	.1	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.3	.3	.3	.0	1.9
1m/s	.3	.1	.3	.3	.3	.4	.4	.1	.3	.3	.1	.0	.0	.0	.4	.1	3.4
2m/s	.1	.8	1.5	.4	.1	.0	.1	.3	.1	.1	.1	.3	.0	.0	.3	.3	4.6
3m/s	.5	.9	2.0	.3	.0	.0	.0	.4	.4	.7	.0	.4	.0	.0	.0	.3	5.9
4m/s	.5	1.2	2.4	.7	.0	.0	.0	.1	.5	.9	.3	.0	.0	.0	.3	.3	7.3
5m/s	.1	2.4	2.7	.3	.0	.0	.0	.1	.4	.3	.1	.1	.0	.0	.0	.0	6.6
6m/s	.5	1.5	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.1	4.4
7m/s	.7	2.3	2.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	5.5
8m/s	.7	5.4	3.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	9.7
10m/s	.7	8.2	4.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	13.6
12m/s	.8	7.9	3.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	12.1
14m/s	.3	5.0	3.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	8.2
16m/s	.4	4.0	3.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	7.7
18m/s	.0	4.2	.9	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.1
20m/s	.0	2.2	.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.8
25m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	5.6	46.2	32.8	2.0	.4	.5	.5	1.1	1.9	2.4	.9	.8	.3	.3	1.2	1.6	98.7

[註1]: 風速介於 **10.0m/s~ 12.0m/s** 佔 **13.6%** 。主風向 **NNE** 佔 **46.2%** 。

[註2]: 風速平均值 = **9.8m/s** , 風速最大值 = **23.9m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **24.3%**; 介於**5~10m/s** 佔 **26.2%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **49.5%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **84.4%**;**E~S** 佔 **3.0%** ;**S~W** 佔 **5.6%** ;**W~N** 佔 **5.6%**; 靜風佔 **1.3%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **744**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W173TCW0.1H2** 。

表2.3.6　2017年 4月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 4月 1日 0時 ~ 2017年 4月30日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.1	.3	.1	.1	.7	.1	.3	.3	.3	.1	.1	.4	.4	.0	1.1	.3	4.9
1m/s	.3	.1	1.3	1.5	.8	.3	.4	1.3	.8	.6	.6	.4	.6	.0	.3	.6	9.7
2m/s	.6	.8	.7	1.1	.3	.0	.4	.1	1.0	1.1	.7	.4	.3	.0	.3	.4	8.2
3m/s	.8	.6	1.8	.4	.1	.0	.0	.1	.4	1.4	1.0	.6	.1	.0	.1	.6	8.1
4m/s	.7	.7	1.1	.3	.0	.0	.1	.1	.8	1.3	1.4	.4	.0	.0	.0	.6	7.5
5m/s	.8	1.3	1.9	.0	.0	.0	.0	.3	.3	2.1	.3	.3	.0	.0	.1	.6	7.9
6m/s	1.5	.8	.6	.1	.0	.0	.0	.0	.4	1.5	.3	.6	.0	.0	.0	.3	6.1
7m/s	.1	1.0	.7	.0	.0	.0	.0	.0	.6	1.9	1.0	.3	.0	.0	.1	.1	5.8
8m/s	.1	1.4	1.8	.0	.0	.0	.0	.0	.7	2.8	2.6	.3	.0	.0	.0	.0	9.7
10m/s	.1	1.4	1.7	.0	.0	.0	.0	.0	.6	1.4	1.4	.0	.0	.0	.0	.0	6.5
12m/s	.0	1.3	3.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.7	.0	.0	.0	.0	.0	5.8
14m/s	.0	4.2	3.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	7.6
16m/s	.0	2.8	3.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.8
18m/s	.0	1.5	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.4
20m/s	.0	.8	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.1
25m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	5.3	18.9	22.8	3.6	1.9	.4	1.3	2.2	5.8	14.4	10.1	3.6	1.4	.0	2.1	3.3	97.2

[註1]: 風速介於 **1.0m/s~ 2.0m/s** 佔 **9.7%** 。主風向 **NE** 佔 **22.8%** 。

[註2]: 風速平均值 = **7.4m/s** , 風速最大值 = **22.5m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **41.1%**; 介於**5~10m/s** 佔 **29.6%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **29.3%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **50.0%**;**E~S** 佔 **6.8%** ;**S~W** 佔 **32.8%** ;**W~N** 佔 **7.6%**; 靜風佔 **2.8%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **720**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W174TCW0.1H2** 。

表2.3.7　2017年 5月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 5月 1日 0時 ~ 2017年 5月31日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.0	.1	.4	.7	.3	.0	.3	.3	.1	.1	.4	.1	1.6	.7	.8	.1	6.0
1m/s	.4	1.1	1.6	1.2	.3	.5	.1	.0	.8	.4	.5	.5	.1	.0	.5	.4	8.6
2m/s	.4	1.5	2.0	1.3	.8	.1	.3	.3	.5	.9	.9	.9	.1	.0	.3	.7	11.2
3m/s	1.7	1.5	1.5	.0	.0	.0	.0	.3	.5	1.7	.9	.7	.0	.0	.1	1.1	10.1
4m/s	2.2	2.2	1.9	.0	.0	.0	.0	.0	.8	1.7	1.2	.5	.0	.0	.1	.5	11.2
5m/s	1.9	2.6	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.3	1.2	1.2	.4	.0	.0	.0	.7	9.4
6m/s	.8	1.9	.7	.0	.0	.0	.0	.0	.3	1.1	1.3	.3	.0	.0	.0	.8	7.1
7m/s	1.1	2.2	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.8	.7	.0	.0	.0	.0	.0	5.9
8m/s	.5	3.6	3.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.7	1.1	.0	.0	.0	.0	.0	9.0
10m/s	.0	3.8	2.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	6.5
12m/s	.3	4.8	2.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	7.4
14m/s	.0	4.3	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.1
16m/s	.0	.4	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.5
18m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
20m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
25m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	9.3	29.8	19.5	3.2	1.3	.7	.7	.8	3.4	8.7	8.3	3.5	1.9	.7	1.9	4.3	98.0

[註1]: 風速介於 **4.0m/s~ 5.0m/s** 佔 **11.2%** 。主風向 **NNE** 佔 **29.8%** 。

[註2]: 風速平均值 = **6.0m/s** , 風速最大值 = **17.3m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **49.1%**; 介於**5~10m/s** 佔 **31.5%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **19.5%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **59.1%**;**E~S** 佔 **3.8%** ;**S~W** 佔 **23.5%** ;**W~N** 佔 **11.6%**; 靜風佔 **2.0%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **744**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W175TCW0.1H2** 。

表2.3.8　2017年 6月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 6月 1日 0時 ~ 2017年 6月30日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.3	.1	.6	.1	.3	.0	.3	.1	.1	.1	.0	.1	1.9	1.0	.4	.6	6.1
1m/s	.3	.1	1.3	.7	.4	.0	.1	.3	.1	.6	.8	.3	.7	.0	.6	.0	6.3
2m/s	.4	.8	1.3	.7	.4	.0	.3	.1	.7	1.3	.6	.6	.4	.0	.4	.6	8.5
3m/s	.8	1.1	.0	.3	.1	.0	.0	.8	.7	1.1	.7	.4	.0	.0	.4	.4	6.9
4m/s	.4	.3	.0	.0	.1	.0	.0	.6	1.7	3.1	1.4	.6	.0	.0	.1	.7	8.9
5m/s	.4	.4	.1	.0	.0	.0	.1	1.4	2.1	2.2	.6	1.0	.0	.0	.1	.6	9.0
6m/s	.1	.3	.0	.0	.0	.0	.0	1.5	3.6	3.1	.1	1.3	.0	.0	.0	.0	10.0
7m/s	.1	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.7	3.3	4.3	1.1	.6	.0	.0	.0	.3	10.7
8m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	4.2	8.2	2.9	.6	.0	.0	.0	.0	16.1
10m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.6	3.9	4.4	.4	.0	.0	.0	.0	9.3
12m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	1.7	2.1	.0	.0	.0	.0	.0	3.9
14m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.5	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.5
16m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.1	.1	.0	.0	.0	.0	.4
18m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
20m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
25m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	2.9	3.5	3.2	1.8	1.4	.0	.8	5.8	17.2	31.1	15.8	5.8	3.1	1.0	2.1	3.1	98.6

[註1]: 風速介於 **8.0m/s~ 10.0m/s** 佔 **16.1%** 。主風向 **SSW** 佔 **31.1%** 。

[註2]: 風速平均值 = **6.3m/s** , 風速最大值 = **16.9m/s** , 其風向爲 **SW** 。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **38.1%**; 介於**5~10m/s** 佔 **45.8%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **16.1%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **10.4%**;**E~S** 佔 **15.0%** ;**S~W** 佔 **64.4%** ;**W~N** 佔 **8.8%**; 靜風佔 **1.4%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **720**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W176TCW0.1H2** 。

表2.3.9　2017年 7月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 7月 1日 0時 ~ 2017年 7月31日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.0	.1	.3	.7	.3	.4	.1	.3	.0	.0	.5	.1	1.7	2.2	2.8	.7	10.2
1m/s	.1	.7	.9	1.6	1.3	.3	.7	.5	.7	.7	.5	.5	1.3	.1	2.3	1.5	13.8
2m/s	.0	.4	.7	1.5	.7	.3	.5	2.4	1.7	1.3	1.6	.9	.4	.0	1.9	.7	15.1
3m/s	1.5	.4	.7	.0	.1	.1	.7	2.4	1.9	2.6	2.3	1.3	.3	.1	1.3	1.9	17.6
4m/s	1.6	.7	.1	.0	.0	.0	.4	2.7	1.7	1.6	1.6	1.6	.0	.0	.1	1.9	14.1
5m/s	.9	1.2	.4	.0	.0	.0	.3	.7	1.5	1.3	.5	.5	.0	.0	.0	.9	8.3
6m/s	1.1	1.1	.1	.0	.0	.0	.3	.1	.8	.5	.7	.7	.0	.0	.0	.4	5.8
7m/s	2.0	.5	.1	.0	.0	.0	.0	.3	.4	.5	.3	.3	.0	.0	.0	.0	4.4
8m/s	1.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.5	.0	1.6	.1	.0	.0	.0	.0	3.8
10m/s	.1	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.7	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.3
12m/s	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.8	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.2
14m/s	.0	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.7	.3	.0	.0	.0	.0	.1	.0	1.5
16m/s	.0	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.8
18m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.1
20m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.1	.0	.0	.0	.0	.4
25m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	8.6	6.2	3.5	3.8	2.4	1.1	3.0	9.8	11.4	9.5	10.1	6.3	3.8	2.4	8.6	8.1	98.5

[註1]: 風速介於 **3.0m/s~ 4.0m/s** 佔 **17.6%** 。主風向 **S** 佔 **11.4%** 。

[註2]: 風速平均值 **= 4.1m/s** , 風速最大值 **= 21.4m/s** , 其風向爲 **SW** 。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **72.3%**; 介於**5~10m/s** 佔 **22.3%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **5.4%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **19.1%**;**E~S** 佔 **20.3%** ;**S~W** 佔 **34.7%** ;**W~N** 佔 **24.5%**; 靜風佔 **1.5%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **744**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W177TCW0.1H2** 。

表2.3.10　2017年 8月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 8月 1日 0時 ~ 2017年 8月31日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.4	.7	.4	1.1	.4	.3	.0	.1	.3	.3	.3	.4	.8	.8	1.7	.4	8.3
1m/s	.7	.5	.5	1.3	.3	.5	.1	.3	.4	.8	.8	.7	.1	.0	1.1	.9	9.1
2m/s	.4	.7	.4	.4	.4	.0	.4	.9	.9	.4	.5	.1	.0	.0	1.1	.9	7.7
3m/s	.4	.5	.0	.1	.3	.1	.1	.5	.9	1.1	.4	.3	.0	.0	.5	.8	6.2
4m/s	.5	.7	.3	.1	.0	.0	.0	.1	1.2	2.6	.8	.4	.0	.0	.0	1.2	7.9
5m/s	.7	.4	.1	.1	.0	.0	.0	.1	1.7	3.1	1.5	.0	.0	.0	.5	.7	9.0
6m/s	.8	.4	.4	.0	.0	.0	.0	.0	1.3	5.0	1.9	.9	.0	.0	.0	.1	10.9
7m/s	.0	.3	.1	.0	.0	.0	.0	.0	1.1	5.0	2.4	.4	.0	.0	.0	.3	9.5
8m/s	.8	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.6	6.3	7.7	.7	.0	.0	.0	.4	18.0
10m/s	.0	.7	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.2	2.8	.0	.0	.0	.0	.0	5.8
12m/s	.0	2.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	1.6	.5	.0	.0	.0	.0	.0	4.3
14m/s	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.7
16m/s	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.5
18m/s	.0	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.5
20m/s	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1
25m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	4.7	9.1	2.4	3.2	1.3	.9	.7	2.2	9.7	28.4	19.6	3.9	.9	.8	5.0	5.8	98.7

[註1]: 風速介於 **8.0m/s~ 10.0m/s** 佔 **18.0%** 。主風向 **SSW** 佔 **28.4%** 。

[註2]: 風速平均值 = **6.0m/s** , 風速最大值 = **20.0m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **40.6%**; 介於**5~10m/s** 佔 **47.4%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **12.0%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **18.0%**;**E~S** 佔 **6.7%** ;**S~W** 佔 **59.8%** ;**W~N** 佔 **14.1%**; 靜風佔 **1.3%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **744**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W178TCW0.1H2** 。

表2.3.11　2017年 9月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年 9月 1日 0時 ~ 2017年 9月30日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.1	.6	.7	.6	.8	.1	.3	.1	.1	.1	.4	.6	1.5	1.7	2.5	.1	10.4
1m/s	1.0	.8	.7	1.3	.8	.0	.1	.4	.4	1.1	.8	.7	.7	.0	2.5	1.0	12.4
2m/s	1.0	.7	1.9	1.3	.0	.0	.0	.6	1.1	1.4	.7	1.1	.0	.0	.8	.8	11.4
3m/s	1.3	1.3	1.4	.6	.0	.0	.0	.3	.3	1.4	1.9	1.7	.0	.0	.4	1.4	11.8
4m/s	1.3	1.7	1.4	.1	.0	.1	.0	.1	.1	3.1	1.5	.7	.0	.0	.1	1.5	11.8
5m/s	1.3	1.5	1.4	.0	.0	.0	.0	.1	.3	1.3	1.5	.3	.0	.0	.0	1.4	9.0
6m/s	.8	2.4	1.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.6	.8	1.1	.0	.0	.0	.6	7.4
7m/s	1.3	1.4	1.3	.0	.0	.0	.0	.0	.4	.4	.1	.6	.0	.0	.0	.0	5.4
8m/s	.4	2.8	1.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	.3	.0	.0	.0	.0	.1	5.4
10m/s	.0	3.3	1.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.0	.0	.0	.0	5.1
12m/s	.0	2.1	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.5
14m/s	.0	1.4	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.8
16m/s	.0	1.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.1
18m/s	.0	.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.8
20m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
25m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	8.3	21.8	13.3	3.8	1.7	.3	.4	1.7	2.9	9.9	8.5	6.7	2.2	1.7	6.4	6.9	96.4

[註1]: 風速介於 **1.0m/s~ 2.0m/s** 佔 **12.4%** 。主風向 **NNE** 佔 **21.8%** 。

[註2]: 風速平均值 = **4.8m/s** , 風速最大值 = **19.6m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **61.4%**; 介於**5~10m/s** 佔 **27.2%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **11.4%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **44.6%**;**E~S** 佔 **4.4%** ;**S~W** 佔 **28.3%** ;**W~N** 佔 **19.0%**; 靜風佔 **3.6%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **720**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W179TCW0.1H2** 。

表2.3.12　2017年 10月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年10月 1日 0時 ~ 2017年10月31日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.0	.1	.3	.7	.4	.1	.1	.1	.7	.0	.1	.0	.0	.1	.4	.1	3.4
1m/s	.5	.1	.5	.4	.1	.0	.1	.1	.3	.1	.0	.1	.1	.0	.4	.9	4.0
2m/s	.3	.1	1.3	.5	.1	.1	.1	.1	.1	.7	.1	.0	.1	.0	.3	.9	5.1
3m/s	.1	.4	.8	.0	.0	.0	.1	.1	.7	.3	.3	.1	.0	.0	.5	.4	3.9
4m/s	.0	.7	.7	.0	.0	.0	.0	.1	.4	.3	.1	.3	.0	.0	.0	.1	2.7
5m/s	.3	.8	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.3	.0	.1	.1	.0	.0	.0	.0	2.0
6m/s	.1	.8	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.3
7m/s	.3	.9	.7	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	1.9
8m/s	1.5	1.5	3.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.9
10m/s	.8	2.6	3.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	6.3
12m/s	.0	4.0	3.8	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	7.8
14m/s	.0	8.3	4.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	12.4
16m/s	.0	10.8	2.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	13.2
18m/s	.0	10.8	1.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	12.4
20m/s	.0	13.8	.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	14.4
25m/s	.0	2.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.3
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	3.9	57.9	23.5	1.6	.7	.3	.5	.7	2.4	1.3	.8	.7	.3	.1	1.6	2.6	98.9

[註1]: 風速介於 **20.0m/s~ 25.0m/s** 佔 **14.4%** 。主風向 **NNE** 佔 **57.9%** 。

[註2]: 風速平均值 = **13.2m/s** , 風速最大值 = **28.4m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **20.2%**; 介於**5~10m/s** 佔 **11.2%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **68.7%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **86.3%**;**E~S** 佔 **2.8%** ;**S~W** 佔 **4.6%** ;**W~N** 佔 **5.2%**; 靜風佔 **1.1%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **744**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W17ATCW0.1H2** 。

表2.3.13　2017年 11月 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2017年11月 1日 0時 ~ 2017年11月30日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.1	.3	.0	.3	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.1	.3	.1	.0	.0	1.4
1m/s	.1	.4	.1	.1	.0	.0	.0	.1	.6	.1	.0	.0	.0	.0	.1	.6	2.4
2m/s	.1	.7	.4	.1	.0	.0	.0	.1	.4	.1	.3	.1	.0	.0	.3	.1	2.9
3m/s	1.3	.6	1.0	.1	.0	.0	.0	.1	.0	.3	.1	.0	.0	.0	.0	.3	3.7
4m/s	.1	.6	.4	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.7	.1	.0	.0	.0	.0	.3	2.4
5m/s	.1	1.1	1.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.4	.0	.1	.0	.0	.0	.0	3.3
6m/s	.6	1.3	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.3	2.6
7m/s	.3	1.5	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.1
8m/s	1.3	4.7	1.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	7.1
10m/s	1.8	9.4	1.5	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	12.8
12m/s	.1	12.8	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	13.1
14m/s	.1	11.8	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	12.1
16m/s	.0	9.6	.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	10.1
18m/s	.0	8.8	.1	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	8.9
20m/s	.0	11.5	.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	11.9
25m/s	.0	2.4	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	2.4
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	6.1	77.4	8.2	.7	.0	.0	.0	.6	1.3	1.7	.6	.4	.3	.1	.4	1.5	99.2

[註1]: 風速介於 **12.0m/s~ 14.0m/s** 佔 **13.1%** 。主風向 **NNE** 佔 **77.4%** 。

[註2]: 風速平均值 = **13.0m/s** , 風速最大值 = **27.6m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **13.6%**; 介於**5~10m/s** 佔 **15.1%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **71.3%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **91.0%**;**E~S** 佔 **1.4%** ;**S~W** 佔 **3.2%** ;**W~N** 佔 **3.6%**; 靜風佔 **.8%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **720**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W17BTCW0.1H2** 。

表2.3.14　2017年 整年 臺中測站風速及風向聯合分佈百分比 (%) 統計表

2016年12月 1日 0時 ~ 2017年11月30日23時

風向 風速	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	合計 (%)
.3m/s	.1	.3	.3	.5	.3	.1	.2	.1	.2	.1	.2	.2	.7	.6	.9	.2	4.9
1m/s	.3	.4	.7	.8	.4	.2	.3	.3	.4	.4	.4	.3	.3	.0	.7	.5	6.6
2m/s	.3	.7	1.0	.7	.2	.0	.2	.4	.6	.7	.5	.4	.1	.0	.5	.5	6.8
3m/s	.8	.8	1.0	.2	.1	.0	.1	.4	.5	.9	.7	.5	.0	.0	.3	.7	7.0
4m/s	.7	1.0	1.0	.1	.0	.0	.0	.3	.6	1.3	.7	.4	.0	.0	.1	.7	7.0
5m/s	.8	1.3	1.0	.1	.0	.0	.0	.2	.6	1.0	.5	.2	.0	.0	.1	.5	6.3
6m/s	.7	1.4	.7	.0	.0	.0	.0	.1	.6	1.0	.5	.4	.0	.0	.0	.3	5.7
7m/s	.6	1.2	.8	.0	.0	.0	.0	.1	.5	1.1	.5	.2	.0	.0	.0	.1	5.0
8m/s	.8	2.8	1.7	.0	.0	.0	.0	.0	.6	1.5	1.4	.1	.0	.0	.0	.1	9.1
10m/s	.5	4.2	1.6	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.6	.7	.0	.0	.0	.0	.0	7.9
12m/s	.3	4.9	1.7	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.3	.3	.0	.0	.0	.0	.0	7.6
14m/s	.1	5.3	1.6	.0	.0	.0	.0	.0	.1	.2	.1	.0	.0	.0	.0	.0	7.3
16m/s	.0	4.9	1.2	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	6.2
18m/s	.0	4.4	.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.1
20m/s	.0	5.2	.3	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	5.6
25m/s	.0	.6	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.6
30m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
35m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
40m/s	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0	.0
100m/s																	
合計 (%)	6.1	39.3	15.3	2.4	1.0	.4	.8	2.2	4.9	9.2	6.4	2.7	1.2	.6	2.5	3.6	98.6

[註1]: 風速介於 **8.0m/s~ 10.0m/s** 佔 **9.1%** 。主風向 **NNE** 佔 **39.3%** 。

[註2]: 風速平均值 = **9.0m/s** , 風速最大值 = **28.9m/s** , 其風向爲 **NNE**。

[註3]: 風速小於**5m/s** 佔 **33.7%**; 介於**5~10m/s** 佔 **26.1%** ; 風速大於**10m/s** 佔 **40.1%**。

[註4]: 風向介於 **N~E** 佔 **61.4%**;**E~S** 佔 **5.8%** ;**S~W** 佔 **22.0%** ;**W~N** 佔 **9.4%**; 靜風佔 **1.4%** 。

[註5]: 資料每小時記錄一次 , 合計 **8760**筆 **(100.0%)** , 檔名 : **W170TCW0.1HY** 。

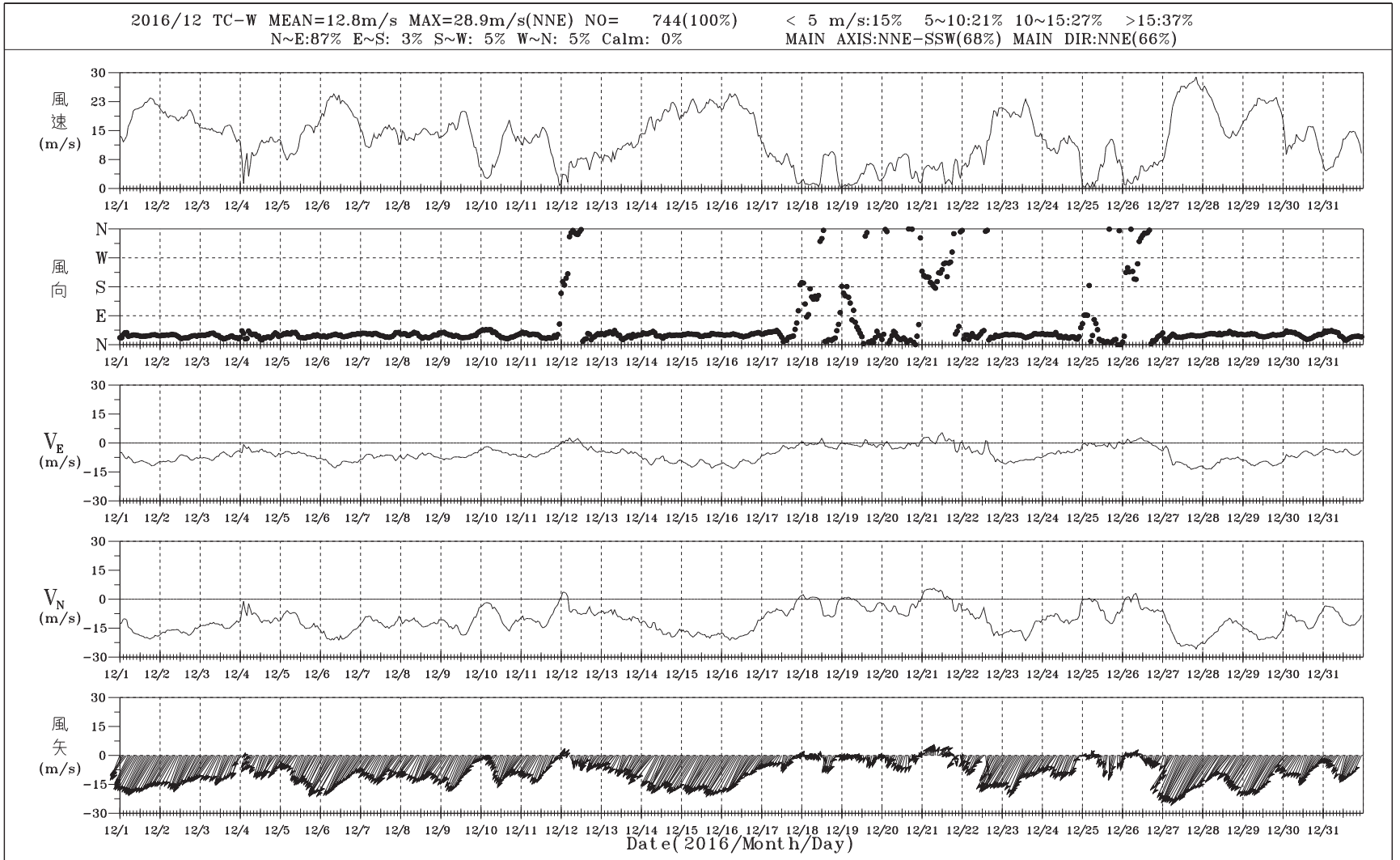


圖2.3.1 2016年12月臺中測站風歷線圖

W16CTCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

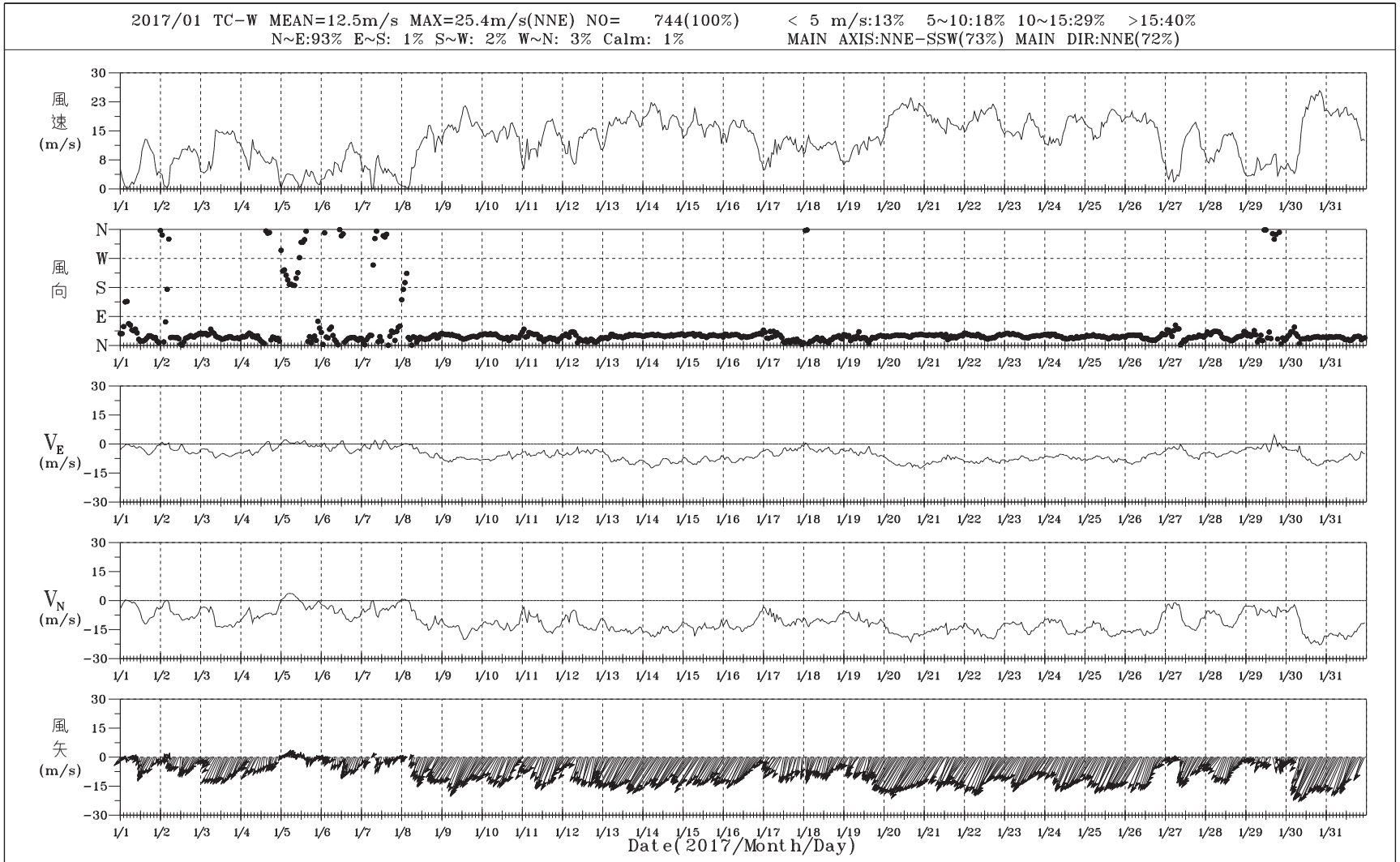


圖 2.3.2 2017年 1月臺中測站風歷線圖

W171TCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAW1.BAT(PLAW11AH.FOR) 2018.7 .6

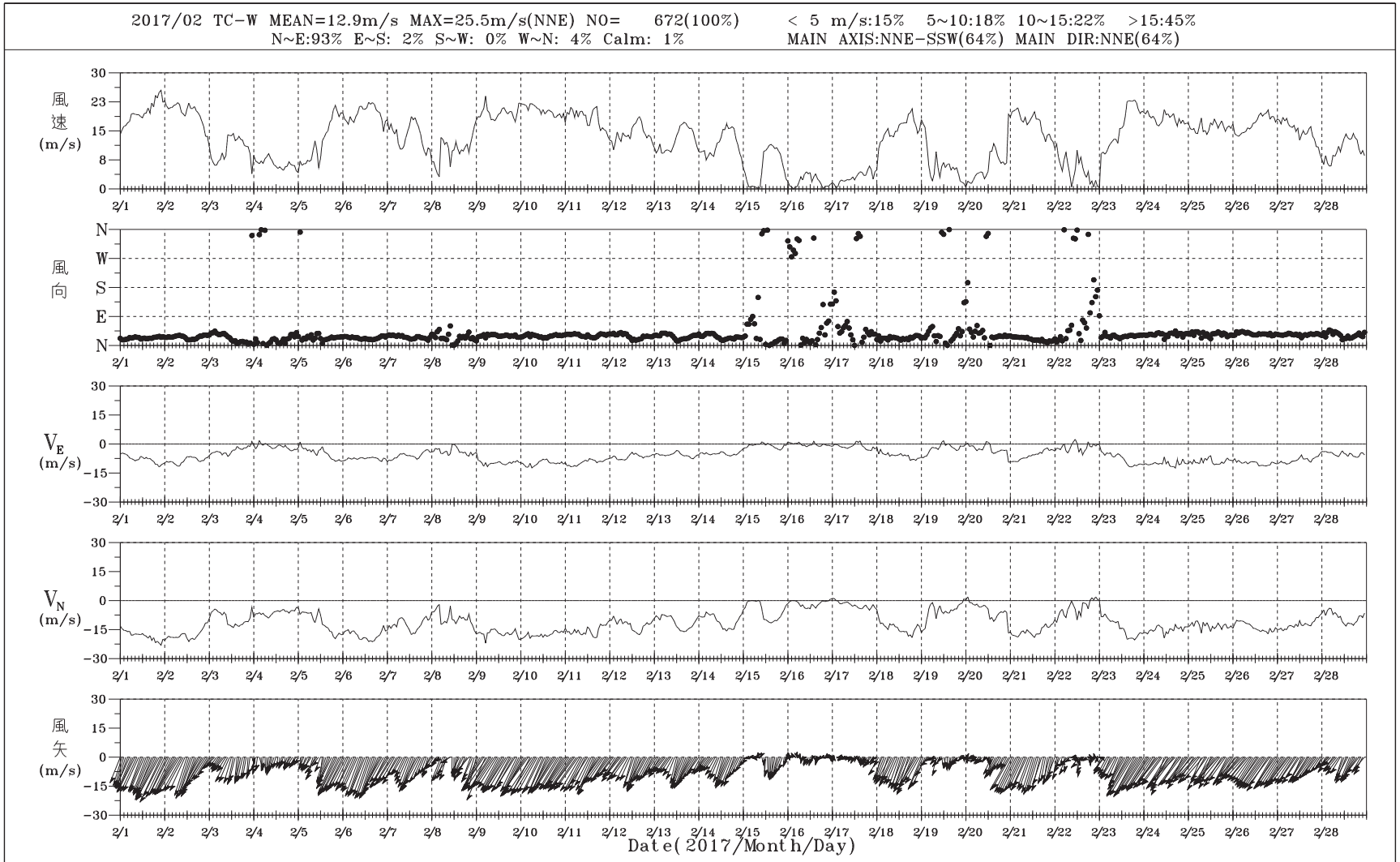


圖 2.3.3　2017年 2月臺中測站風歷線圖

W172TCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

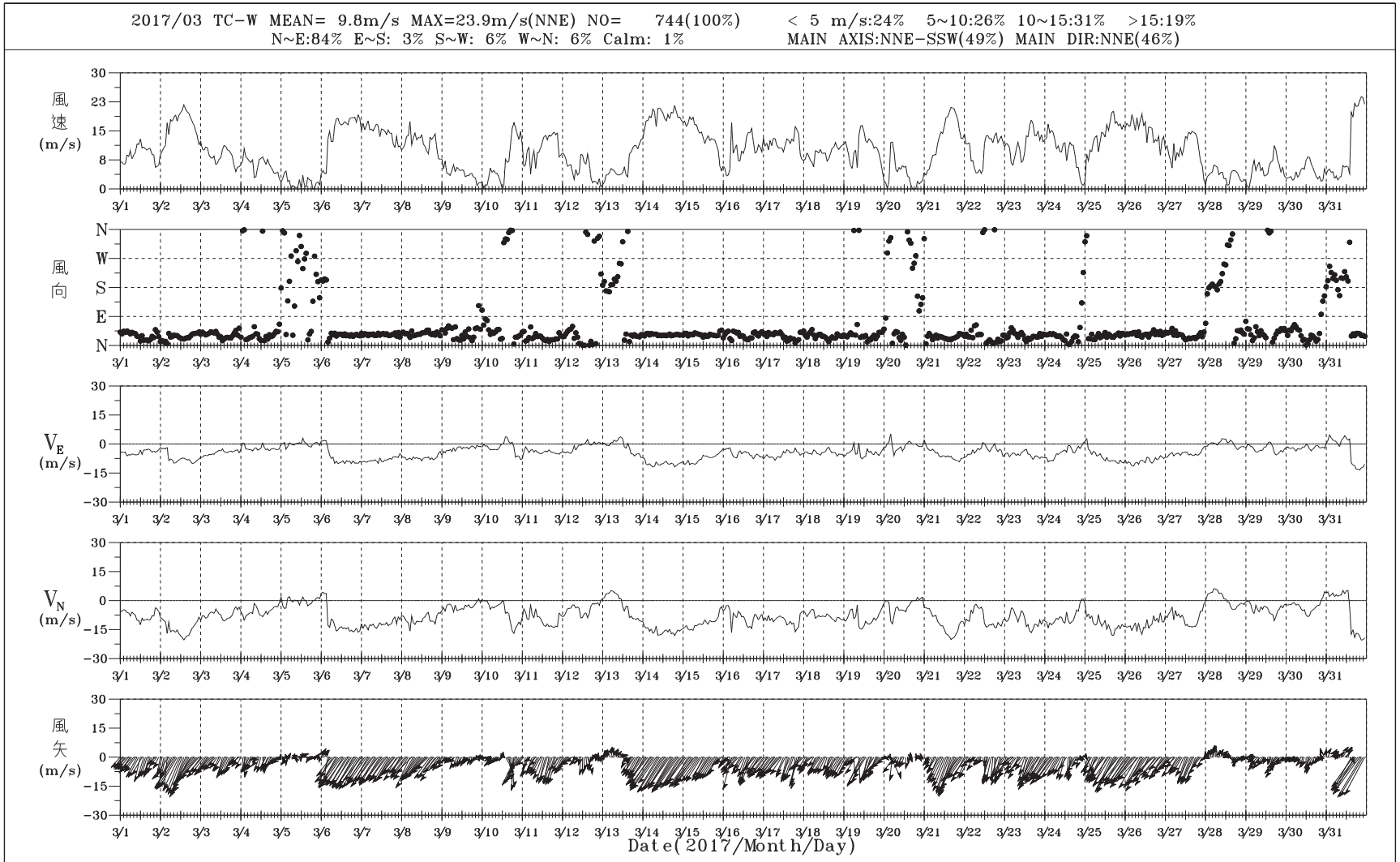


圖 2.3.4　2017年 3 月臺中測站風歷線圖

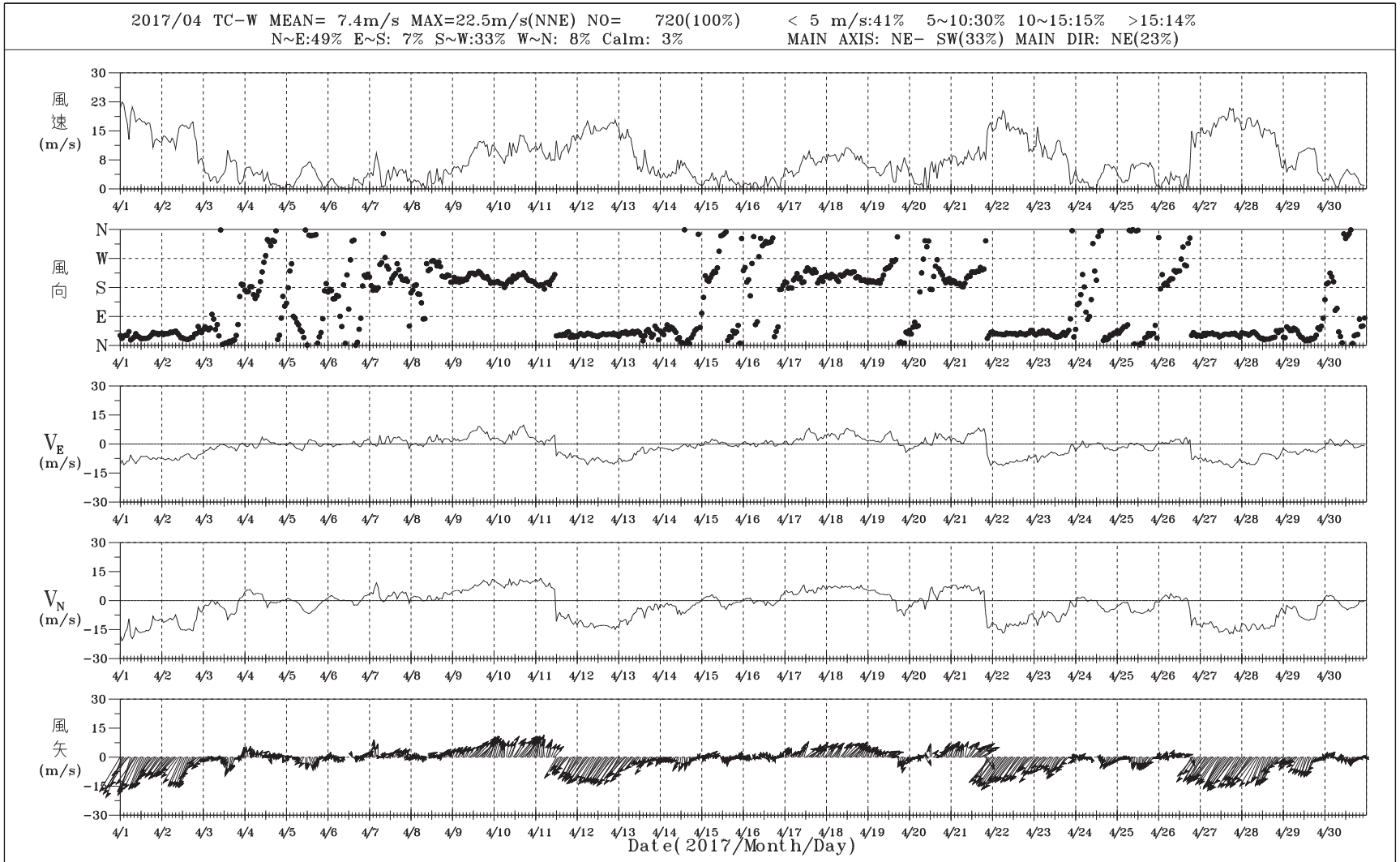


圖 2.3.5　2017年 4 月臺中測站風歷線圖

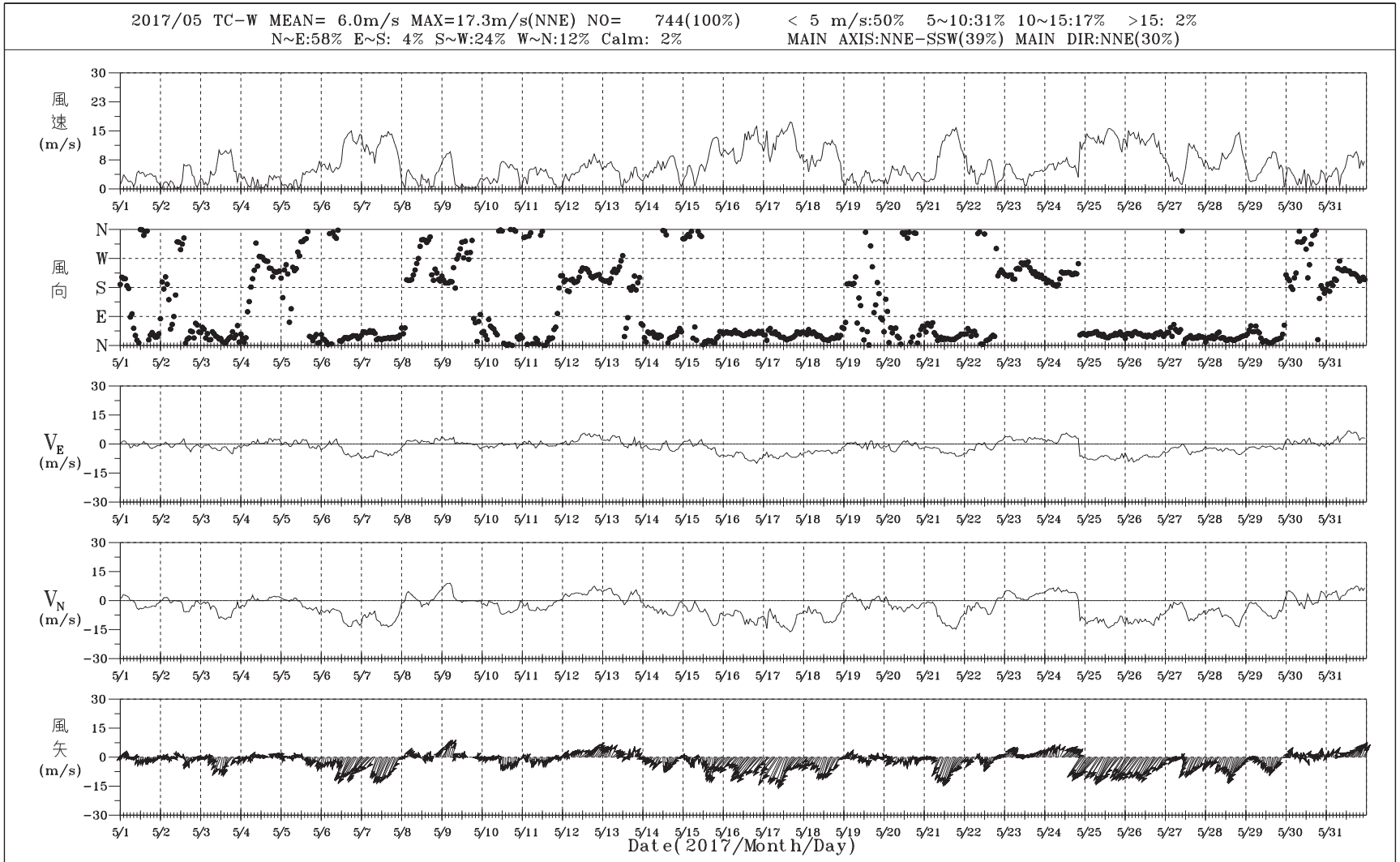


圖 2.3.6　2017年 5 月臺中測站風歷線圖

W175TCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

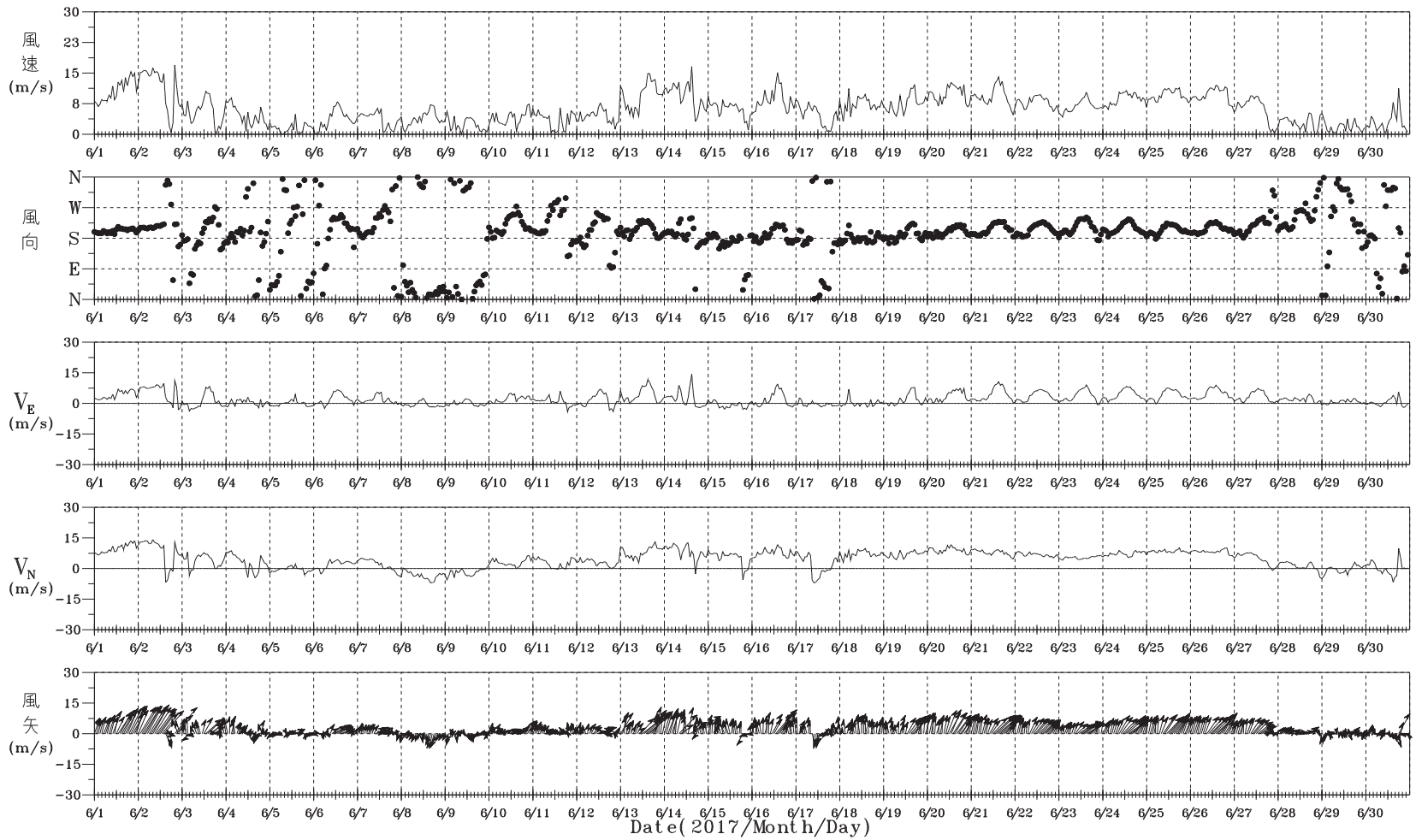


圖 2.3.7　2017年 6 月臺中測站風歷線圖

W176TCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAW1.BAT(PLAW11AH.FOR)　　2018.7 .6

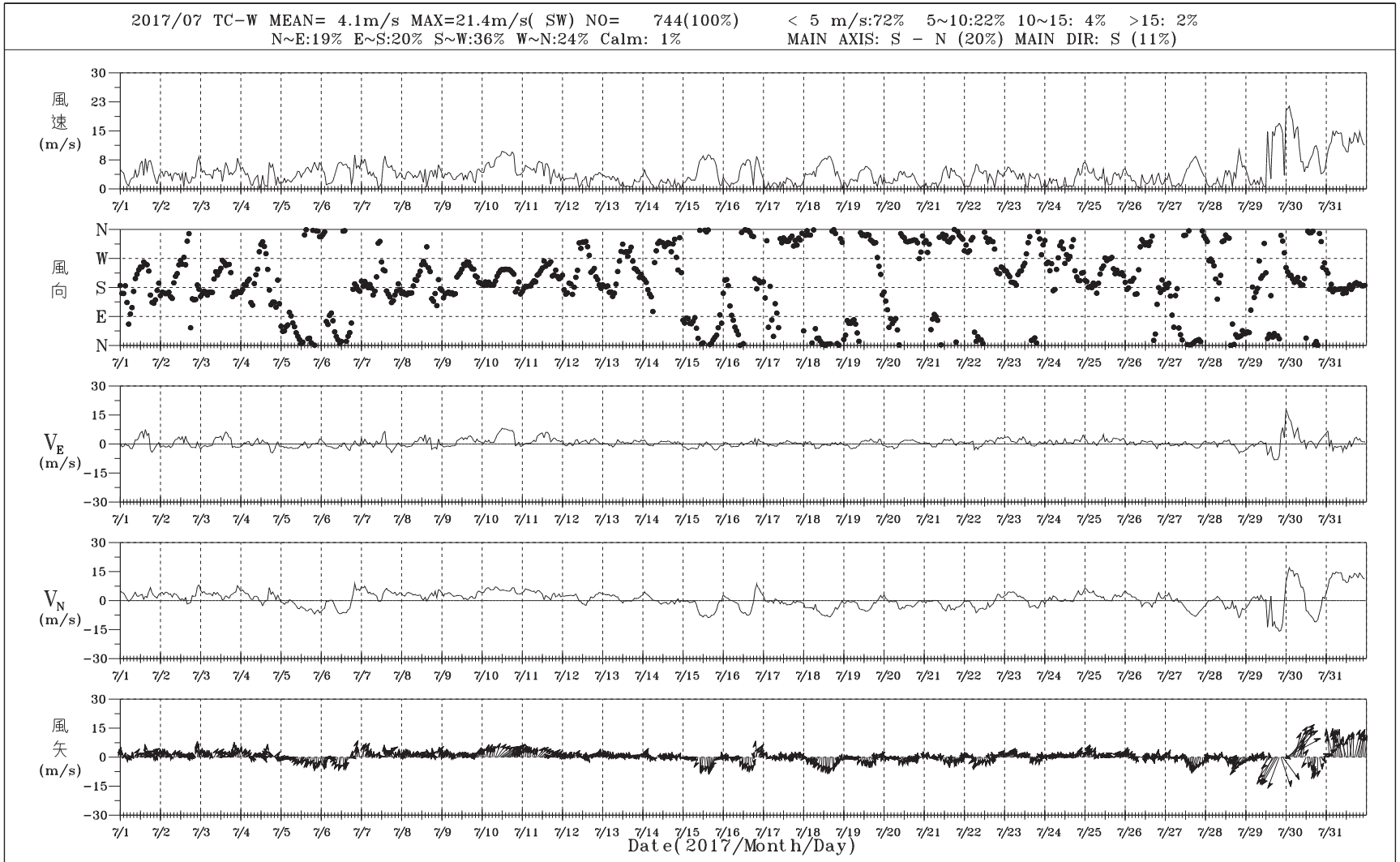


圖2.3.8 2017年 7月臺中測站風歷線圖

W177TCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

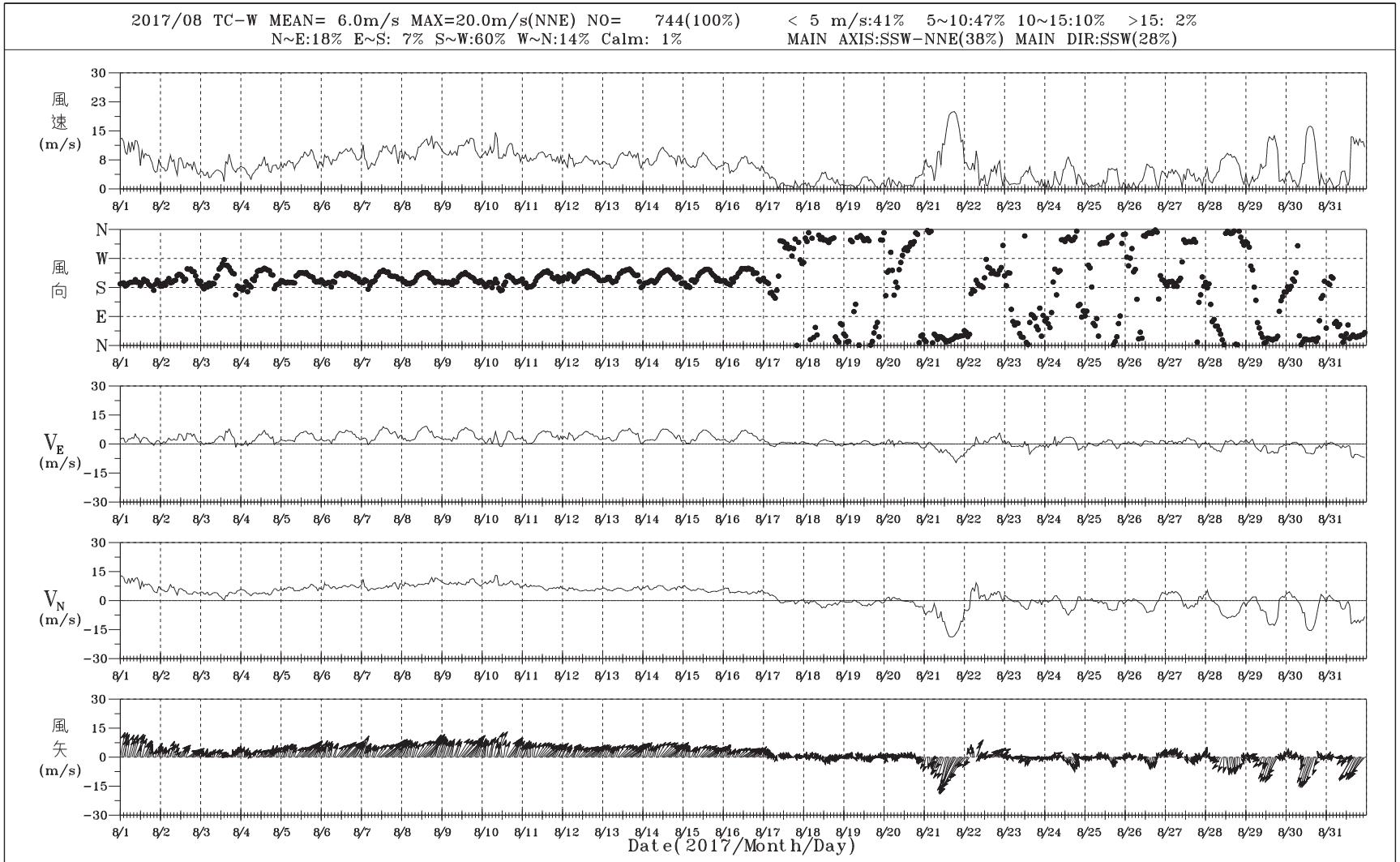


圖2.3.9 2017年 8月臺中測站風歷線圖

W178TCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

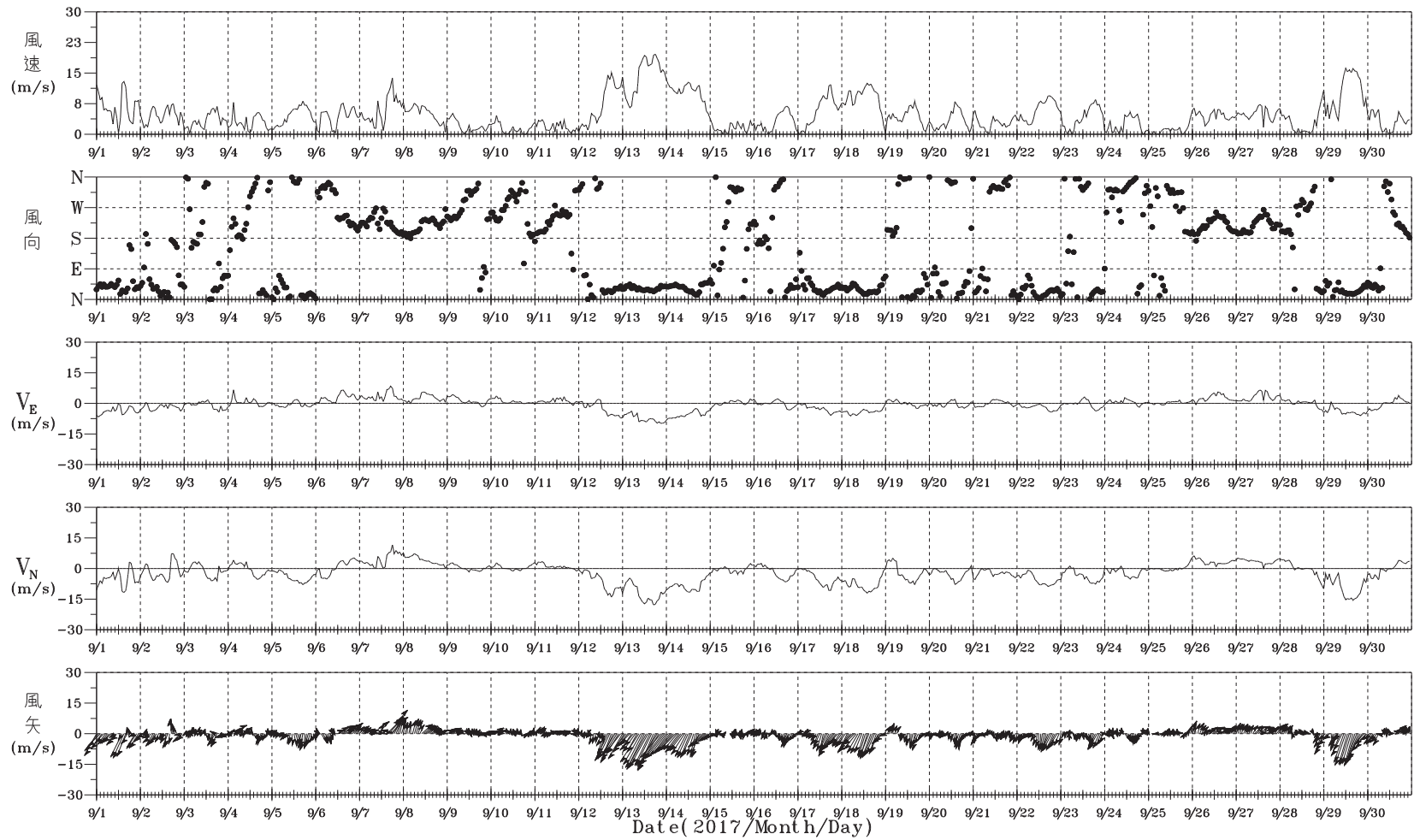


圖2.3.10 2017年 9月臺中測站風歷線圖

W179TCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

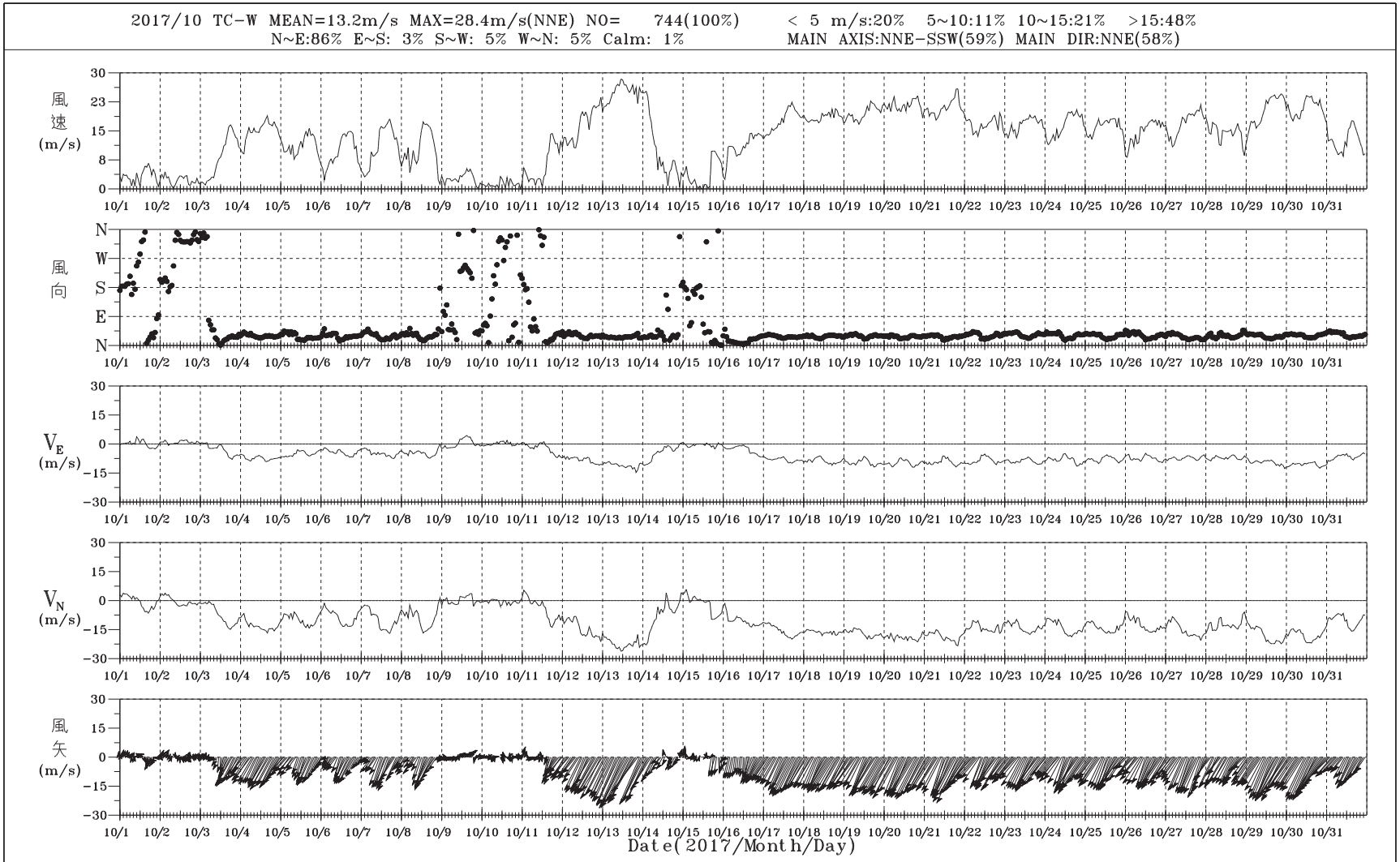


圖2.3.11 2017年10月臺中測站風歷線圖

W17ATCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

PLAW1.BAT(PLAWI1AH.FOR) 2018.7 .6

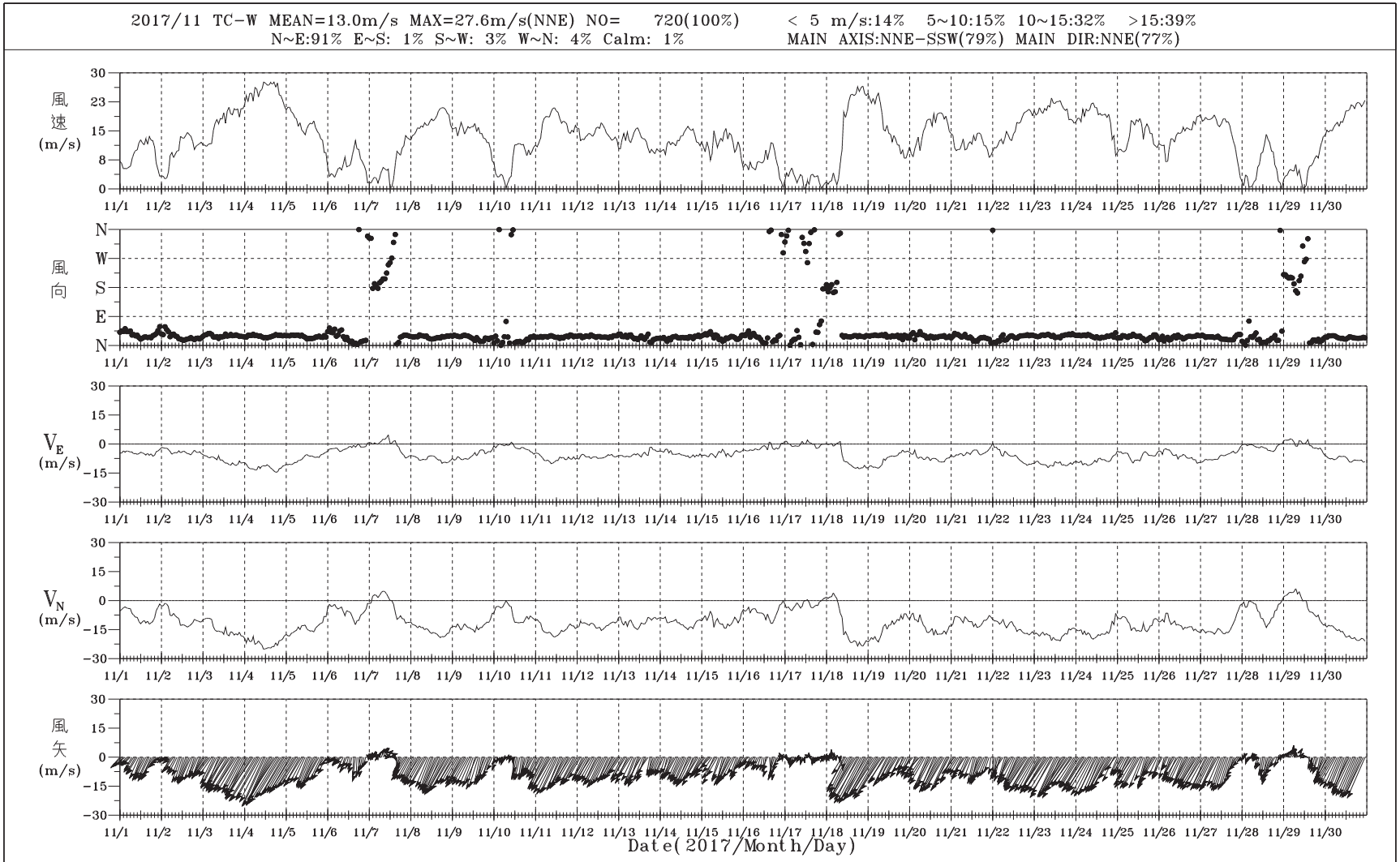


圖2.3.12 2017年11月臺中測站風歷線圖

W17BTCW0.1H2	Institute of Harbor & Marine Technology

Rose Diagram of Wind

2016/12/01-2016/12/31 TC-W

MEAN=12.8m/s MAX=28.9m/s(NNE) NO= 744(100%)

< 5 m/s:15% 5~10:21% 10~15:27% >15:37%

N~E:87% E~S: 3% S~W: 5% W~N: 5% Calm: 0%

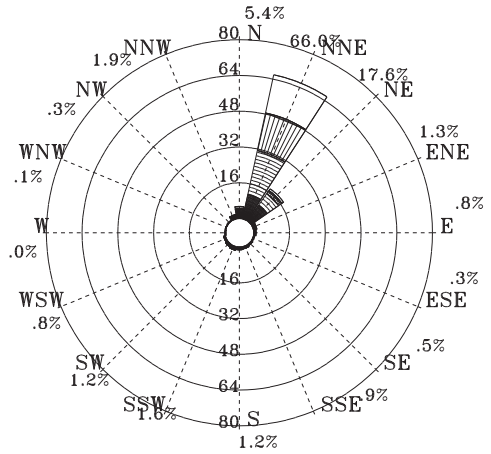


圖2.3.13 2016年12月臺中測站風玫瑰圖

2017/01/01-2017/01/31 TC-W

MEAN=12.5m/s MAX=25.4m/s(NNE) NO= 744(100%)

< 5 m/s:13% 5~10:18% 10~15:29% >15:40%

N~E:93% E~S: 1% S~W: 2% W~N: 3% Calm: 1%

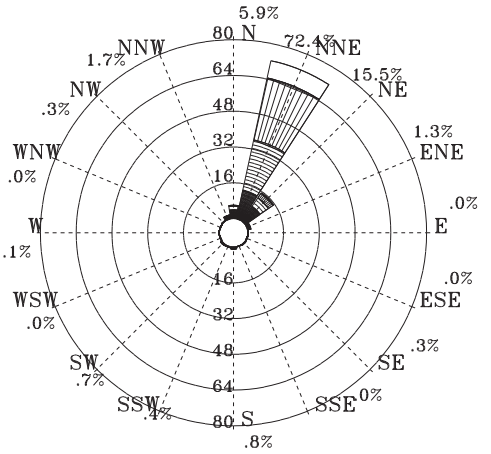


圖2.3.14 2017年 1月臺中測站風玫瑰圖

2017/02/01-2017/02/28 TC-W

MEAN=12.9m/s MAX=25.5m/s(NNE) NO= 672(100%)

< 5 m/s:15% 5~10:18% 10~15:22% >15:45%

N~E:93% E~S: 2% S~W: 0% W~N: 4% Calm: 1%

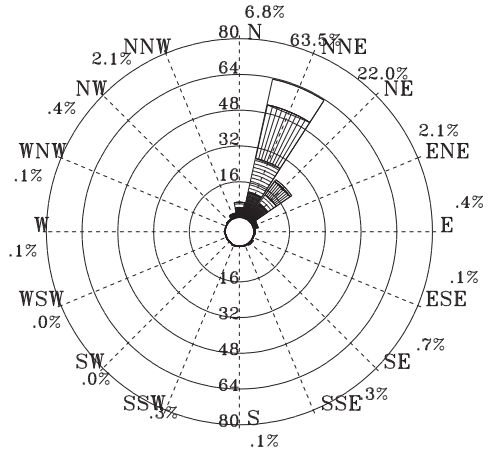


圖2.3.15 2017年 2月臺中測站風玫瑰圖

2017/03/01-2017/03/31 TC-W

MEAN= 9.8m/s MAX=23.9m/s(NNE) NO= 744(100%)

< 5 m/s:24% 5~10:26% 10~15:31% >15:19%

N~E:84% E~S: 3% S~W: 6% W~N: 6% Calm: 1%

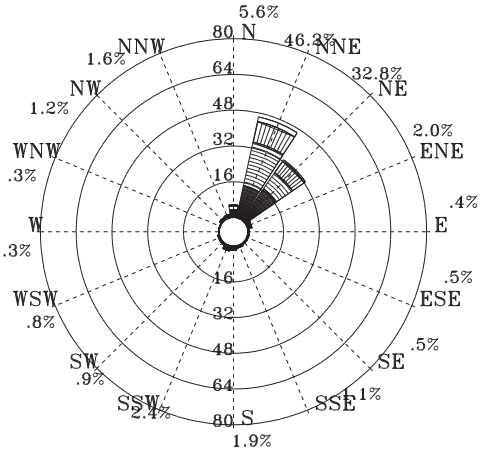
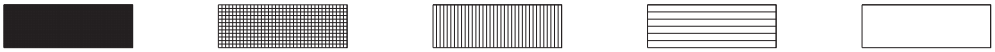


圖2.3.16 2017年 3月臺中測站風玫瑰圖

.3 - 5m/s 5 - 10m/s 10 - 15m/s 15 - 20m/s > 20m/s



W16CTCW0.RDB	Institute of Harbor & Marine Technology

ROSWB.BAT(PLRWI2AV.FOR) 2018.7 .6

Rose Diagram of Wind

2017/04/01-2017/04/30 TC-W

MEAN= 7.4m/s MAX=22.5m/s(NNE) NO= 720(100%)

< 5 m/s:41% 5~10:30% 10~15:15% >15:14%

N~E:49% E~S: 7% S~W:33% W~N: 8% Calm: 3%

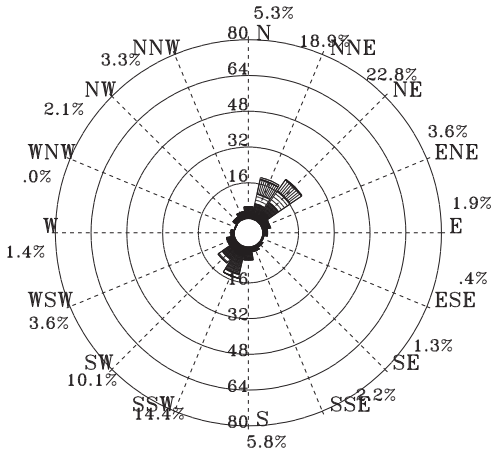


圖 2.3.17 2017年 4月臺中測站風玫瑰圖

2017/05/01-2017/05/31 TC-W

MEAN= 6.0m/s MAX=17.3m/s(NNE) NO= 744(100%)

< 5 m/s:50% 5~10:31% 10~15:17% >15: 2%

N~E:58% E~S: 4% S~W:24% W~N:12% Calm: 2%

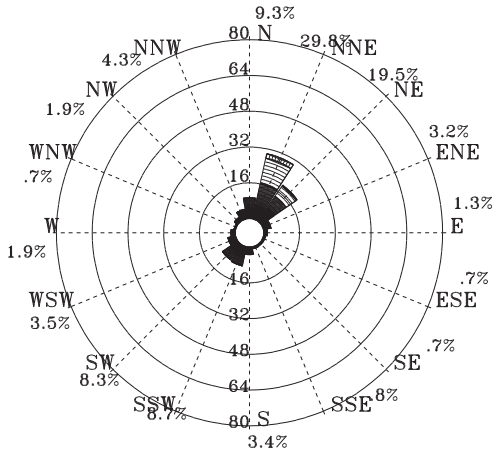


圖 2.3.18 2017年 5月臺中測站風玫瑰圖

2017/06/01-2017/06/30 TC-W

MEAN= 6.3m/s MAX=16.9m/s(SW) NO= 720(100%)

< 5 m/s:38% 5~10:46% 10~15:14% >15: 2%

N~E:10% E~S:15% S~W:65% W~N: 9% Calm: 1%

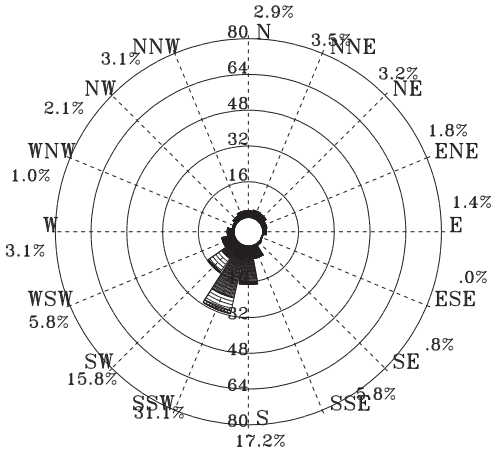


圖 2.3.19 2017年 6月臺中測站風玫瑰圖

2017/07/01-2017/07/31 TC-W

MEAN= 4.1m/s MAX=21.4m/s(SW) NO= 744(100%)

< 5 m/s:72% 5~10:22% 10~15: 4% >15: 2%

N~E:19% E~S:20% S~W:36% W~N:24% Calm: 1%

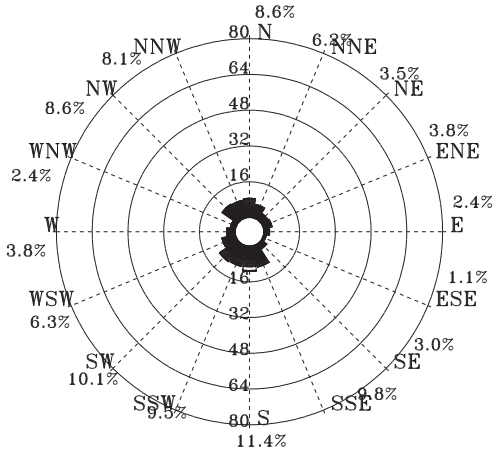
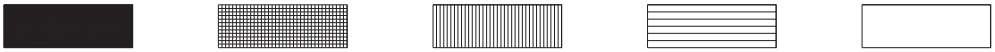


圖 2.3.20 2017年 7月臺中測站風玫瑰圖

.3 - 5m/s 5 - 10m/s 10 - 15m/s 15 - 20m/s > 20m/s



W174TCW0.RDB	Institute of Harbor & Marine Technology

ROSWB.BAT(PLRWI2AV.FOR) 2018.7 .6

Rose Diagram of Wind

2017/08/01-2017/08/31 TC-W

MEAN= 6.0m/s MAX=20.0m/s(NNE) NO= 744(100%)

< 5 m/s:41% 5~10:47% 10~15:10% >15: 2%

N~E:18% E~S: 7% S~W:60% W~N:14% Calm: 1%

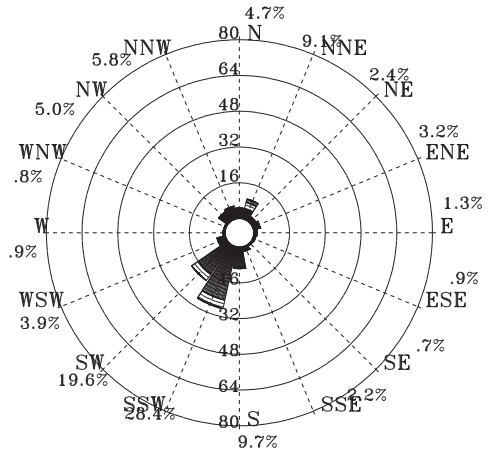


圖 2.3.21 2017年 8 月臺中測站風玫瑰圖

2017/09/01-2017/09/30 TC-W

MEAN= 4.8m/s MAX=19.6m/s(NNE) NO= 720(100%)

< 5 m/s:62% 5~10:27% 10~15: 8% >15: 3%

N~E:45% E~S: 4% S~W:28% W~N:19% Calm: 4%

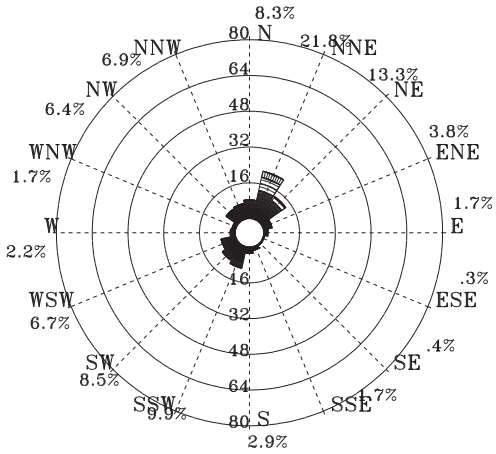


圖 2.3.22 2017年 9 月臺中測站風玫瑰圖

2017/10/01-2017/10/31 TC-W

MEAN=13.2m/s MAX=28.4m/s(NNE) NO= 744(100%)

< 5 m/s:20% 5~10:11% 10~15:21% >15:48%

N~E:86% E~S: 3% S~W: 5% W~N: 5% Calm: 1%

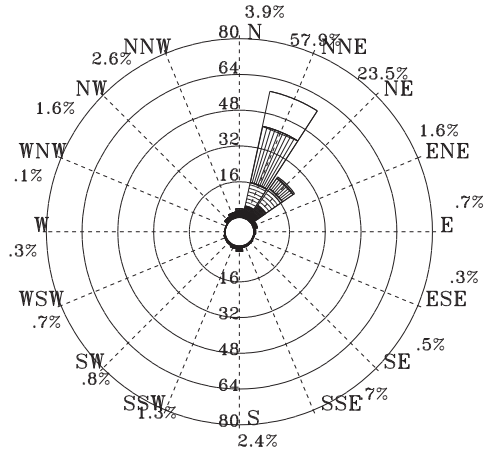


圖 2.3.23 2017年10 月臺中測站風玫瑰圖

2017/11/01-2017/11/30 TC-W

MEAN=13.0m/s MAX=27.6m/s(NNE) NO= 720(100%)

< 5 m/s:14% 5~10:15% 10~15:32% >15:39%

N~E:91% E~S: 1% S~W: 3% W~N: 4% Calm: 1%

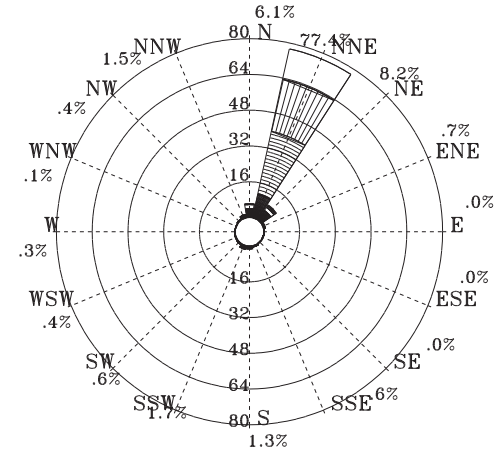
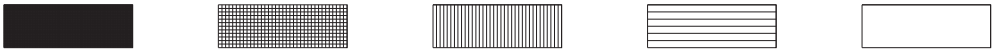


圖 2.3.24 2017年11 月臺中測站風玫瑰圖

.3 - 5m/s 5 - 10m/s 10 - 15m/s 15 - 20m/s > 20m/s



W178TCW0.RDB | Institute of Harbor & Marine Technology

ROSWB.BAT(PLRWI2AV.FOR) 2018.7 .6

Rose Diagram of Wind

2016/12/01-2017/11/30 TC-W

MEAN= 9.0m/s MAX=28.9m/s(NNE) NO= 8760(100%)

< 5 m/s:34% 5~10:26% 10~15:19% >15:21%

N~E:62% E~S: 6% S~W:22% W~N: 9% Calm: 1%

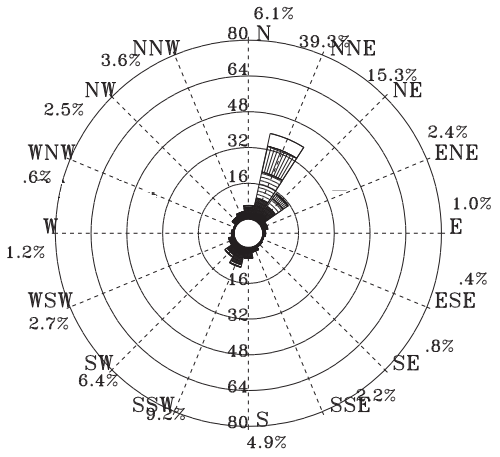


圖2.3.25 2017年全年臺中測站風玫瑰圖

.3 - 5m/s 5 - 10m/s 10 - 15m/s 15 - 20m/s > 20m/s

W170TCW0.RDB | Institute of Harbor & Marine Technology

ROSWB.BAT(PLRWI2AV.FOR) 2018.7 .9

本年度離岸風電鄰近港域臺中港各月觀測平均風速及風向分佈統計如表 2.3.15 所示，觀測期間 10 分鐘平均風速為 9 m/s(蒲氏風力 5 級)，風速結構以大於 10 m/s 比率較高，約佔全測期 40 %，風速介於 5~10 m/s 間比率約為 26 %，風速小於 5 m/s 者約佔全測期 34 %。秋、冬兩季平均風速為四季中最高，分別為秋季 10.3 m/s、冬季 12.7 m/s，冬季風速型態分佈以 10 m/s 以上成份最高，約佔整季 7 成，突顯東北季風對本海域影響。春季時，東北季風影響逐漸減弱，平均風速降至 7.7 m/s，風速型態以 10 m/s 為主，夏季平均風速約為 5.5 m/s，為四季中最低者。

表 2.3.15　2017 年風觀測分月平均風速及風向分佈統計

月份	平均風速 (m/s)	風速% （<5m/s）	風速% （5-10m/s）	風速% （>10m/s）
1	12.5	13.4	17.9	68.7
2	12.9	14.9	18.2	67.0
3	9.8	24.3	26.2	49.5
4	7.4	41.1	29.6	29.3
5	6.0	49.1	31.5	19.5
6	6.3	38.1	45.8	16.1
7	4.1	72.3	22.3	5.4
8	6.0	40.6	47.4	12.0
9	4.8	61.4	27.2	11.4
10	13.2	20.2	11.2	68.7
11	13.0	13.6	15.1	71.3
12	12.8	14.5	21.0	64.5
全年	9	33.7	26.1	40.1

本海域 2017 年逐月風向分佈統計如表 2.3.16 所示，將風向採 N-E、E-S、S-W、W-N 四象限統計，由表中可看出全年風向分佈以東北向為

主，約佔全期 61.4%，西南向次之，佔全年度 22%，顯示本海域主要受東北季風影響，西南季風次之。

表 2.3.16　2017 年風觀測分月風向分佈統計〔%〕

月份	風向（N-E）	風向（E-S）	風向（S-W）	風向（W-N）	靜風
1	93.5	0.5	1.6	3.8	0.5
2	93.3	1.6	0.3	4.2	0.6
3	84.4	3.0	5.6	5.6	1.3
4	50.0	6.8	32.8	7.6	2.8
5	59.1	3.8	23.5	11.6	2.0
6	10.4	15.0	64.4	8.8	1.4
7	19.1	20.3	34.7	24.5	1.5
8	18.0	6.7	59.8	14.1	1.3
9	44.6	4.4	28.3	19.0	3.6
10	86.3	2.8	4.6	5.2	1.1
11	91.0	1.4	3.2	3.6	0.8
12	88.2	2.7	4.6	4.6	0.0
全年	61.4	5.8	22.0	9.4	1.4

將本海域年度風觀測結果 10 分鐘平均風速資料加以統計，得出月平均風速及各月極值變化統計資料如表 2.3.17，本年度觀測期間 10 分鐘平均風速為 9 m/s，年度風速極值發生於 12 月，亦是東北季風盛行季節，所測得風速極值為 28.9 m/s（蒲氏風力 11 級），對應風向為 NNE。由表中可看出本海域之風力，在正常天氣型態下四季中以冬季（12 月~2 月）平均風速最強，約為 12.7 m/s，亦為四季中平均風速最高者，進入春（3 月~5 月）、夏（6 月~8 月）季後平均風速明顯較冬季低，分別為春季 7.7 m/s、夏季 5.5 m/s。季節轉換至秋季（9 月~11 月）時，冬北季風影響逐漸增強，平均風速上升至 10.3 m/s。

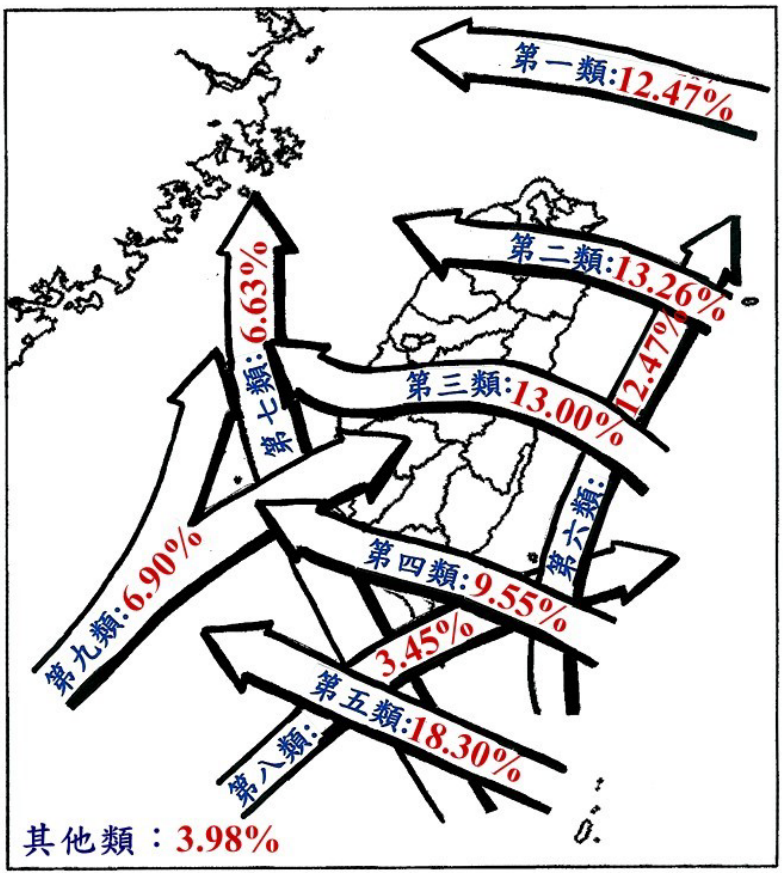
表 2.3.17　2017 年逐月 10 分鐘平均風速及平均風速極值統計

月份	10 分鐘平均風速（m/s）	10 分鐘平均風速極值（m/s）	極值當時風向
1	12.5	25.4	NNE
2	12.9	25.5	NNE
3	9.8	23.9	NNE
4	7.4	22.5	NNE
5	6.0	17.3	NNE
6	6.3	16.9	SW
7	4.1	21.4	SW
8	6.0	20.0	NNE
9	4.8	19.6	NNE
10	13.2	28.4	NNE
11	13.0	27.6	NNE
12	12.8	28.9	NNE
全年	9.0	28.9	NNE

2.3.2 2017 年颱風觀測資料分析

臺灣位處西太平洋及南海地區發生的颱風的主要路徑上，颱風侵襲期間會發生海氣象之異常反應，造成風、波、流觀測數據極值產生。故颱風侵襲期間所測得之海氣象數據，對於海岸工程研究、觀測資料統計來說，是相當重要的。根據中央氣象局統計，平均每年有 3 到 4 次侵臺颱風警報，其中以 8 月最多，次為 7 月和 9 月，故每年之 7 至 9 月可說是臺灣的颱風季。

依據中央氣象局對侵襲臺灣的颱風之統計，以較詳細的類型分類來統計，共區分為西行、北向、南海生成、及東北轉向等類型，其中西進又依路徑所經過的緯度所在再分為五類，連同北行兩類，東北轉向、南海生成等，路徑一般共分成 9 類，如圖 2.3.26。



(資料來源：中央氣象局)

圖 2.3.26 侵臺颱風路徑分類

2017 年共有 25 個颱風直接或間接影響到臺灣 (如圖 2.3.27 所示)，根據中央氣象局資料顯示自 7 月 28 日編號第 9 號尼莎颱風形成起至 9 月 14 日之第 18 號泰利颱風止，西北太平洋侵襲臺灣附近海域共有 5 個颱風，如圖 2.3.28 所示，茲分述如下：

(1) 7 月 28 日~7 月 30 日中度颱風尼莎 (NESAT)，如圖 2.3.29 所示。

(2) 7 月 29 日~7 月 31 日輕度颱風海棠 (HAITANG)，如圖 2.3.30 所示。

(3) 8 月 20 日~8 月 22 日中度颱風天鴿 (HATO)，如圖 2.3.31 所示。

(4) 9 月 6 日~9 月 7 日輕度颱風谷超 (GUCHOL)，如圖 2.3.32 所示。

(5) 9 月 12 日~9 月 14 日輕度颱風泰利 (TALIM)，如圖 2.3.33 所示。

颱風列表

年份	編號	中文名稱	英文名稱	颱風生命期間	颱風生命期間				警報發布報數
					中心最低氣壓(hPa)	中心最大風速(m/s)	最大7級風暴風半徑(km)	最大10級風暴風半徑(km)	
2017	201725	鴻雁	KIROGI	2017-11-18 00:00:00 2017-11-18 18:00:00	998	18	80	---	---
2017	201724	海葵	HAIKUI	2017-11-09 12:00:00 2017-11-12 06:00:00	998	20	80	---	---
2017	201723	丹瑞	TWENTYEIGH	---	1005	12	---	---	---
2017	201722	蘇拉	SAOLA	2017-10-24 06:00:00 2017-10-29 18:00:00	975	30	200	70	---
2017	201721	蘭恩	LAN	2017-10-15 18:00:00 2017-10-23 00:00:00	920	53	330	100	---
2017	201720	卡努	KHANUN	2017-10-12 12:00:00 2017-10-16 06:00:00	952	40	180	50	---
2017	201719	杜蘇芮	DOKSURI	2017-09-12 12:00:00 2017-09-16 00:00:00	955	40	180	60	---
2017	201718	泰利	TALIM	2017-09-09 12:00:00 2017-09-18 12:00:00	935	48	250	80	19
2017	201717	谷超	GUCHOL	2017-09-06 00:00:00 2017-09-06 18:00:00	998	18	80	---	7
2017	201716	瑪娃	MAWAR	2017-08-31 18:00:00 2017-09-04 00:00:00	988	25	120	---	---
2017	201715	珊瑚	SANVU	2017-08-28 06:00:00 2017-09-03 06:00:00	960	38	250	100	---
2017	201714	帕卡	PAKHAR	2017-08-24 18:00:00 2017-08-27 18:00:00	975	30	150	---	---
2017	201713	天鴿	HATO	2017-08-20 06:00:00 2017-08-24 06:00:00	955	40	180	50	15
2017	201712	榕樹	BANYAN	2017-08-11 12:00:00 2017-08-17 00:00:00	960	38	150	50	---
2017	201711	奈格	NALGAE	2017-08-02 00:00:00 2017-08-05 18:00:00	992	23	100	---	---
2017	201710	海棠	HAITANG	2017-07-29 09:00:00 2017-07-31 06:00:00	990	20	100	---	14
2017	201709	尼莎	NESAT	2017-07-26 06:00:00 2017-07-30 12:00:00	955	40	180	60	19
2017	201708	桑卡	SONCA	2017-07-23 06:00:00 2017-07-25 12:00:00	998	18	80	---	---
2017	201707	洛克	ROKE	2017-07-22 06:00:00 2017-07-23 06:00:00	1000	18	80	---	---
2017	201706	庫拉	KULAP	2017-07-21 06:00:00 2017-07-25 12:00:00	985	25	100	---	---
2017	201705	諾盧	NORU	2017-07-21 00:00:00 2017-08-08 12:00:00	925	51	220	70	---
2017	201704	塔拉斯	TALAS	2017-07-15 06:00:00 2017-07-17 12:00:00	990	23	100	---	---
2017	201703	南瑪都	NANMADOL	2017-07-02 00:00:00 2017-07-05 00:00:00	985	25	120	---	---
2017	201702	莫柏	MERBOK	2017-06-11 06:00:00 2017-06-13 00:00:00	990	23	80	---	---
2017	201701	梅花	MUIFA	2017-04-26 00:00:00 2017-04-27 12:00:00	998	18	100	---	---

(資料來源：中央氣象局)

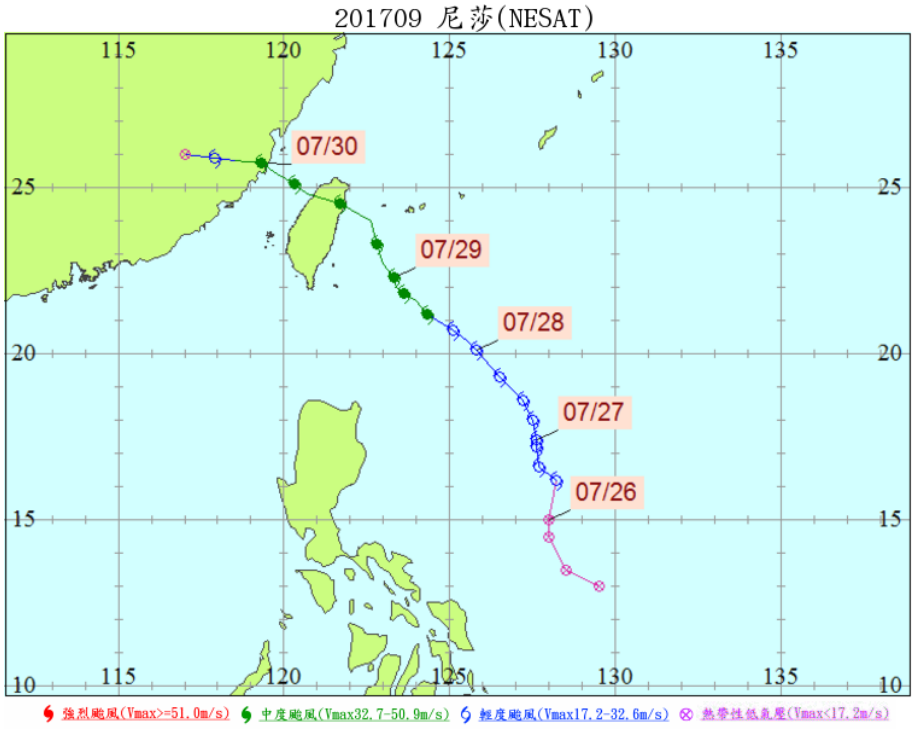
圖 2.3.27　2017 年西太平洋所有發生的颱風列表示意圖

有發警報颱風列表

年份	編號	中文名稱	英文名稱	侵臺路徑分類	警報期間	近臺強度	近臺				警報發布報數
							最低氣壓(hPa)	最大風速(m/s)	7級風暴風半徑(km)	10級風暴風半徑(km)	
2017	201718	泰利	TALIM	---	2017-09-12 14:30 2017-09-14 20:30	中度	935	48	250	80	19
2017	201717	谷超	GUCHOL	---	2017-09-06 10:30 2017-09-07 02:30	輕度	998	18	80	---	7
2017	201713	天鴿	HATO	---	2017-08-20 23:30 2017-08-22 17:30	中度	965	33	180	50	15
2017	201710	海棠	HAITANG	---	2017-07-29 17:30 2017-07-31 08:30	輕度	990	20	100	---	14
2017	201709	尼莎	NESAT	---	2017-07-28 08:30 2017-07-30 14:30	中度	955	40	180	60	19

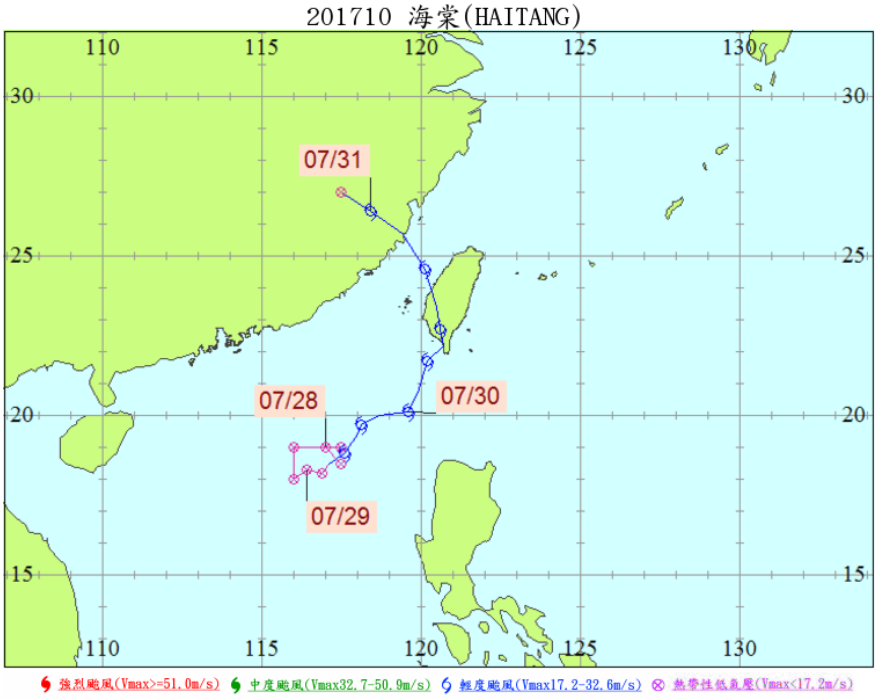
(資料來源：中央氣象局)

圖 2.3.28　2017 年中央氣象局有發警報颱風列表示意圖



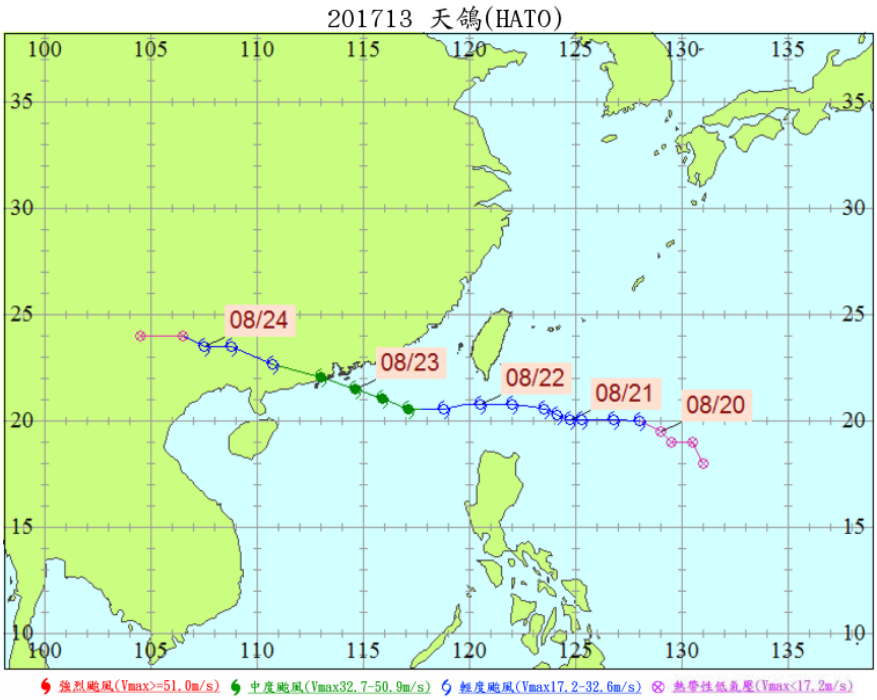
(資料來源：中央氣象局)

圖 2.3.29　2017 年第 9 號尼莎(NESAT)中度颱風路徑圖



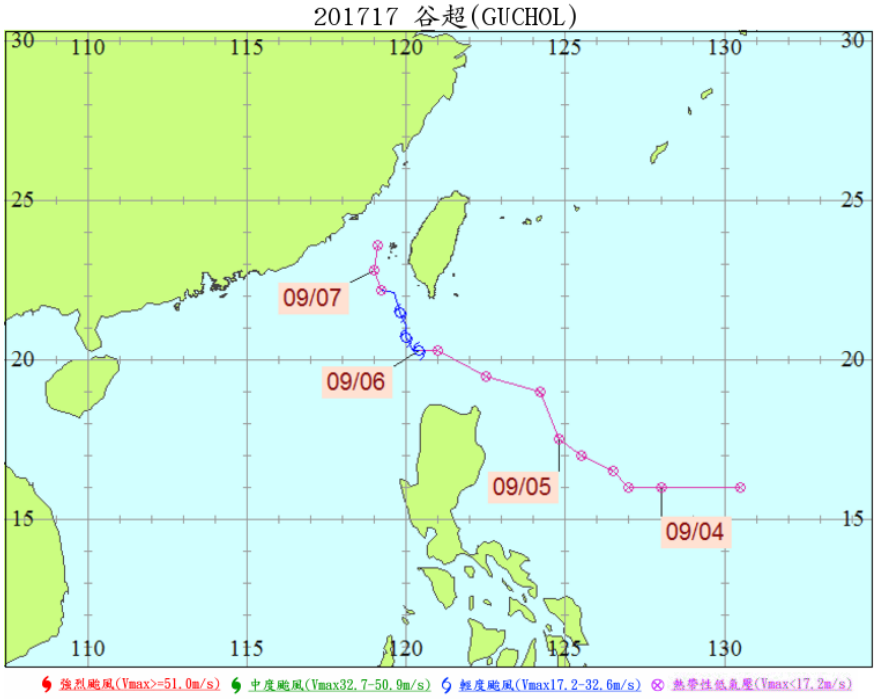
(資料來源：中央氣象局)

圖 2.3.30　2017 年第 10 號海棠(HAITANG)輕度颱風路徑圖



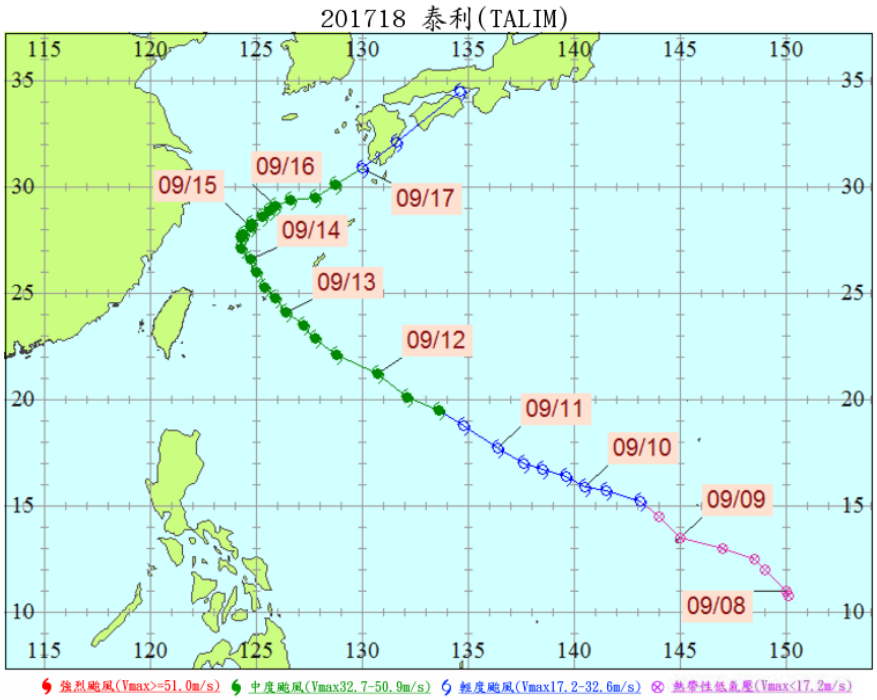
(資料來源：中央氣象局)

圖 2.3.31　2017 年第 13 號天鴿(HATO)中度颱風路徑圖



(資料來源：中央氣象局)

圖 2.3.32　2017 年第 17 號谷超(GUCHOL)輕度颱風路徑圖



(資料來源：中央氣象局)

圖 2.3.33　2017 年第 18 號泰利(TALIM)輕度颱風路徑圖

臺中港鄰近海域海氣象觀測站於 2017 年 7 月 28 日至 9 月 14 日期間所測得海氣象資訊詳列如表 2.3.18，茲將前述颱風期間觀測站所量測到之逐時變化資料繪圖，如圖 2.3.34~圖 2.3.38 所示。未來應用分析風場建置鄰近漂沙機制及評估對鄰近港區之影響，探討對鄰近海域環境保育影響。

(1) 2017 年第 1 個影響臺灣地區颱風為編號第 9 號的中度颱風尼莎(NESAT)，颱風在菲律賓東方海面形成後往西北方向移動，28 日 8 時其中心在鵝鑾鼻東南東方海面，暴風圈逐漸接近巴士海峽，29 日 10 時其暴風圈開始進入臺灣陸地，19 時 10 分左右於宜蘭蘇澳登陸，22 時 30 分由苗栗竹南附近出海，30 日 14 時其中心在馬祖西方陸地向西北西方離去，對臺灣近海威脅亦已解除。當颱風進入臺灣東南部海域時，觀測站所測得最大陣風風速為 26 m/s，相當於 10 級風，對應風向為 SSW 向。

(2) 第 2 個影響臺灣地區颱風為編號第 10 號的輕度颱風海棠(HAITANG)，颱風在鵝鑾鼻西南方海面形成後往巴士海峽方向移動，30 日 16 時 40 分於屏東楓港附近登陸，31 日 0 時 30 分由彰化芳苑附近出海，8 時其位置在馬祖西方陸地，向西北轉北北西離去，期間觀測站所測得最大陣風風速為 26 m/s，約為 10 級風，對應風向為 SSW 向。

(3) 第 3 個影響臺灣地區颱風為編號第 13 號的中度颱風天鴿(HATO)，颱風在菲律賓東方海面生成，颱風中心緩慢向西轉西北西方向移動並逐漸往巴士海峽靠近，接近臺灣。颱風中心於 22 日早上 8 時通過恆春南方近海，22 日 11 時恆春半島脫離暴風圈後持續往東沙島方向移動，並於 22 日 17 時增強至中度颱風，臺灣各地及附近海面已脫離颱風暴風圈，颱風警報解除，期間觀測站所測得風速極值為 26.1 m/s，對應風向為 NNE 向。

(4) 第 4 個影響臺灣地區颱風為編號第 17 號的輕度颱風谷超(GUCHOL)，颱風在 6 日上午 8 時生成並向北北西方向移動，7 日清晨 2 時於澎湖南南西方海面減弱為熱帶性低氣壓，此颱風期間於觀測站所測得風速極值為 16.2 m/s，對應風向為 SSW 向。

(5) 2017 年最後 1 個侵襲臺灣的颱風為編號第 18 號的輕度颱風泰利(TALIM)，颱風形成後向西前進，6 日 14 時其中心在東沙島東方 230 公里海面上，臺灣附近海面已脫離暴風圈，海上颱風警報解除。期間觀測站所測得風速極值為 24 m/s，對應風向為 NNE 向。

表 2.3.18　2017 年颱風事件臺中港風速風向觀測數據極值表

颱風	最大陣風風速 (m/s)	風向 (方向)	發生時間
尼莎 (中度颱風)	26	SSW	7 月 30 日 2 時 29 分
海棠 (輕度颱風)	26	SSW	7 月 30 日 2 時 29 分
天鴿 (中度颱風)	26.1	NNE	8 月 21 日 16 時 8 分
谷超 (輕度颱風)	16.2	SSW	9 月 7 日 17 時 43 分
泰利 (輕度颱風)	24	NNE	9 月 13 日 18 時 43 分

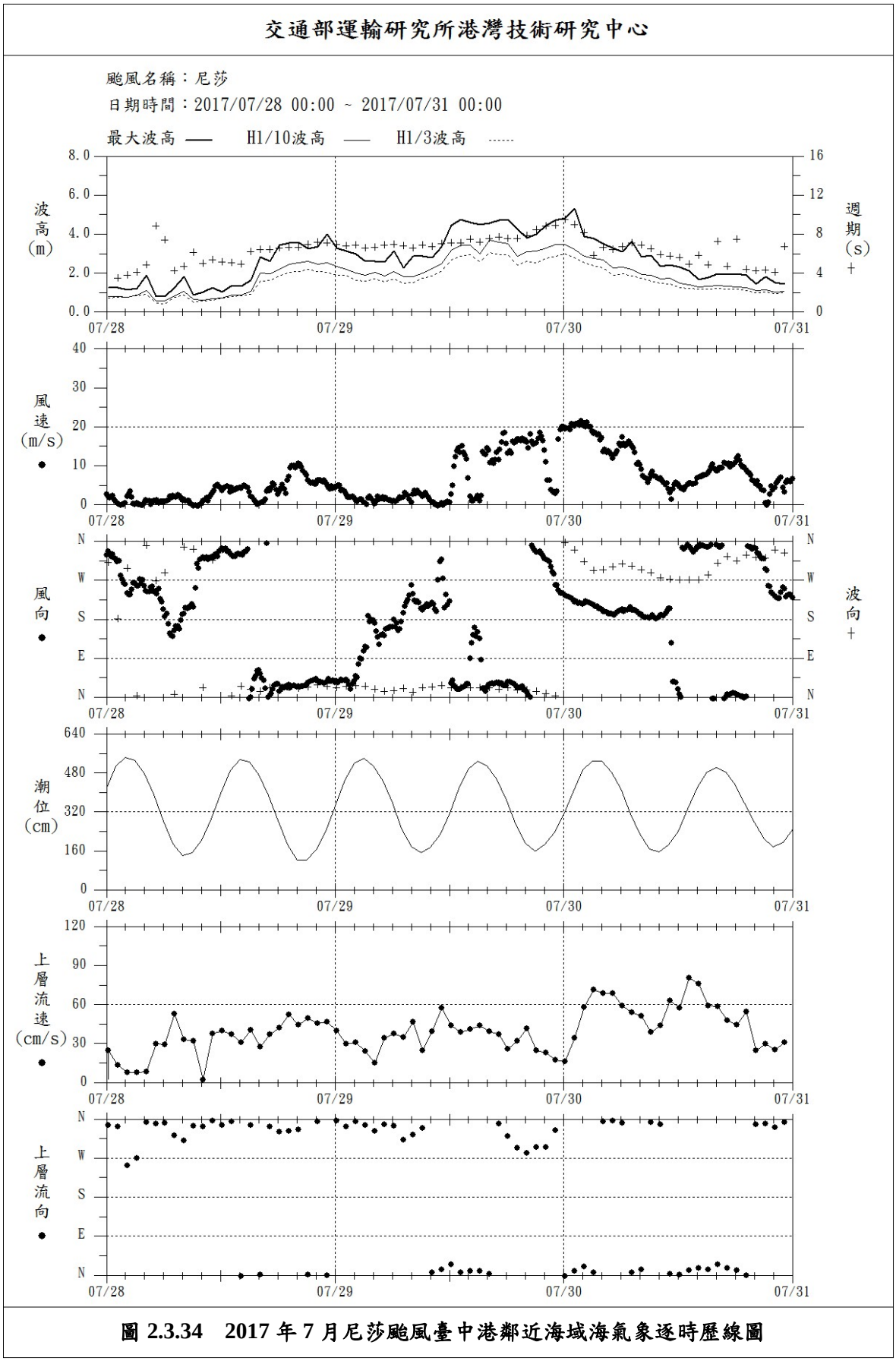


圖 2.3.34　2017 年 7 月尼莎颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

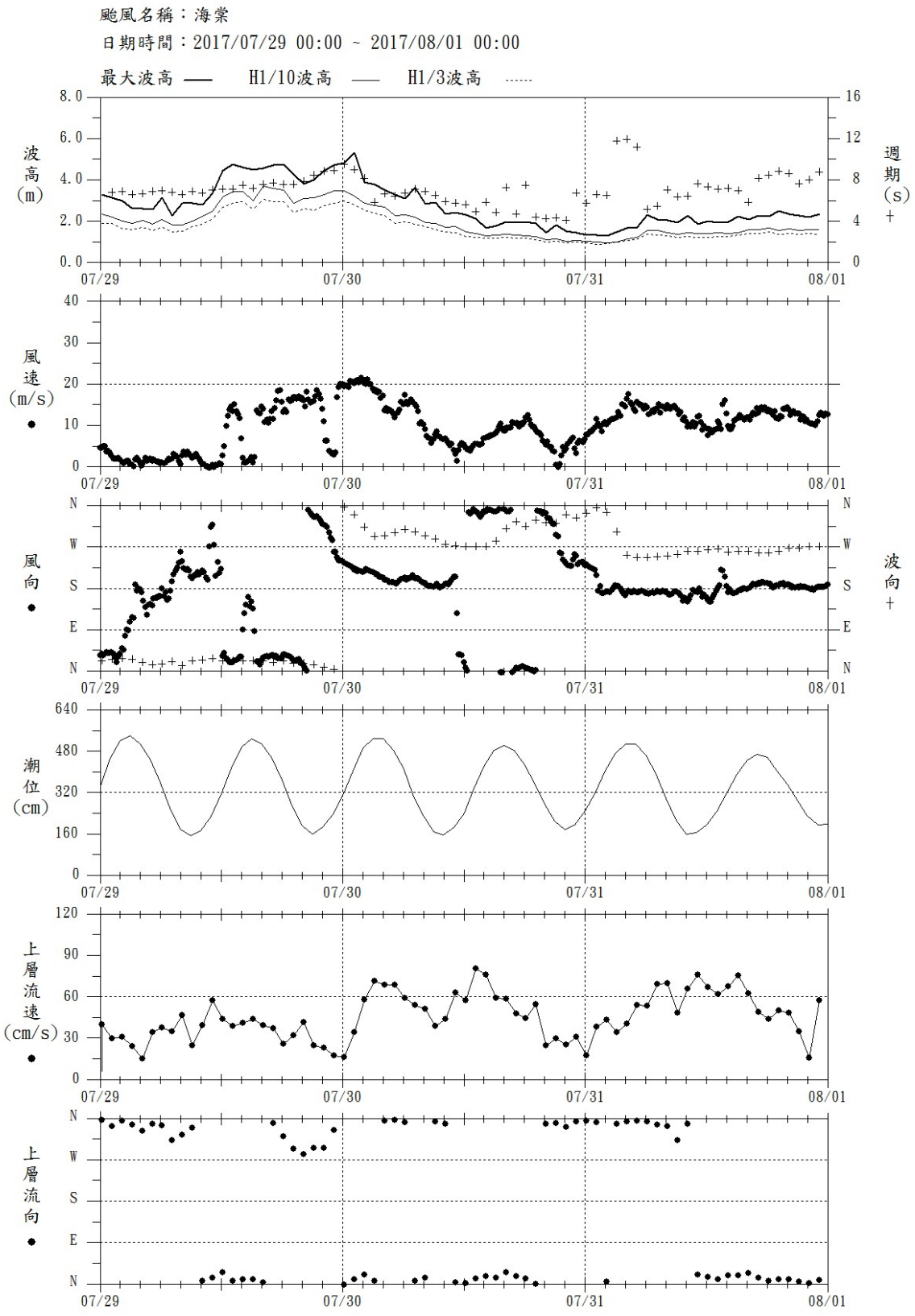


圖 2.3.35　2017 年 7 月海棠颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖

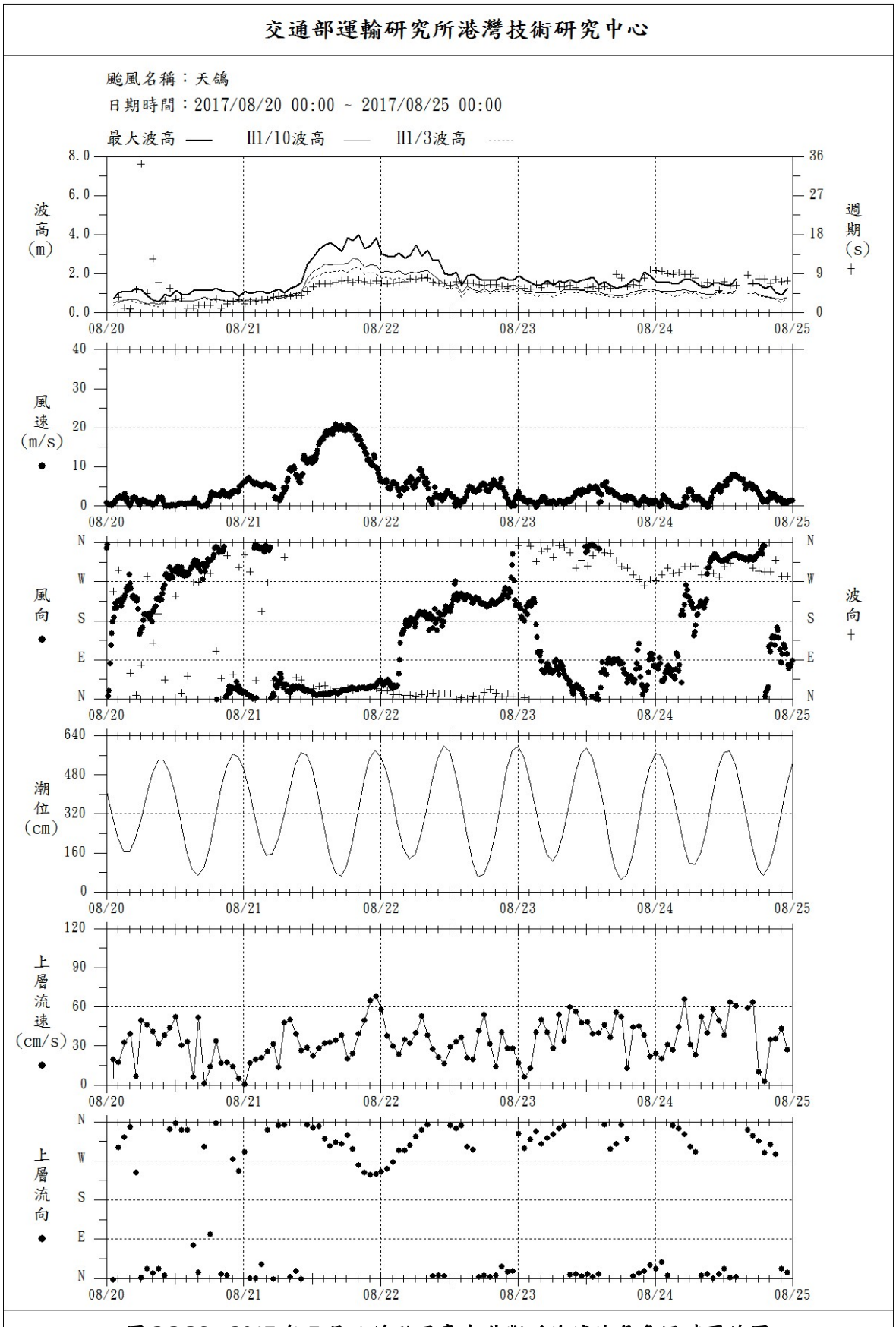


圖 2.3.36　2017 年 7 月天鴿颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖

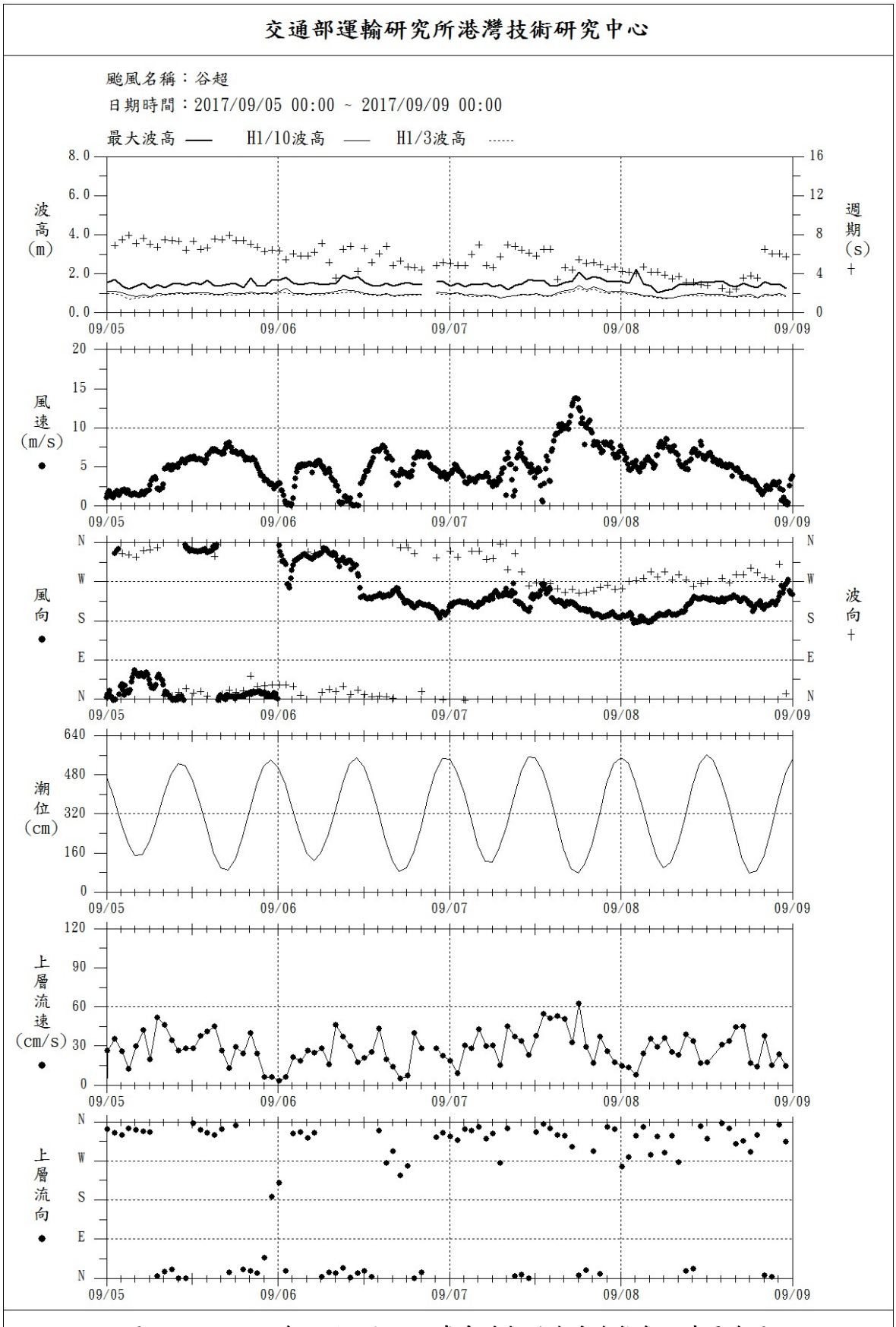


圖 2.3.37　2017 年 7 月谷超颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

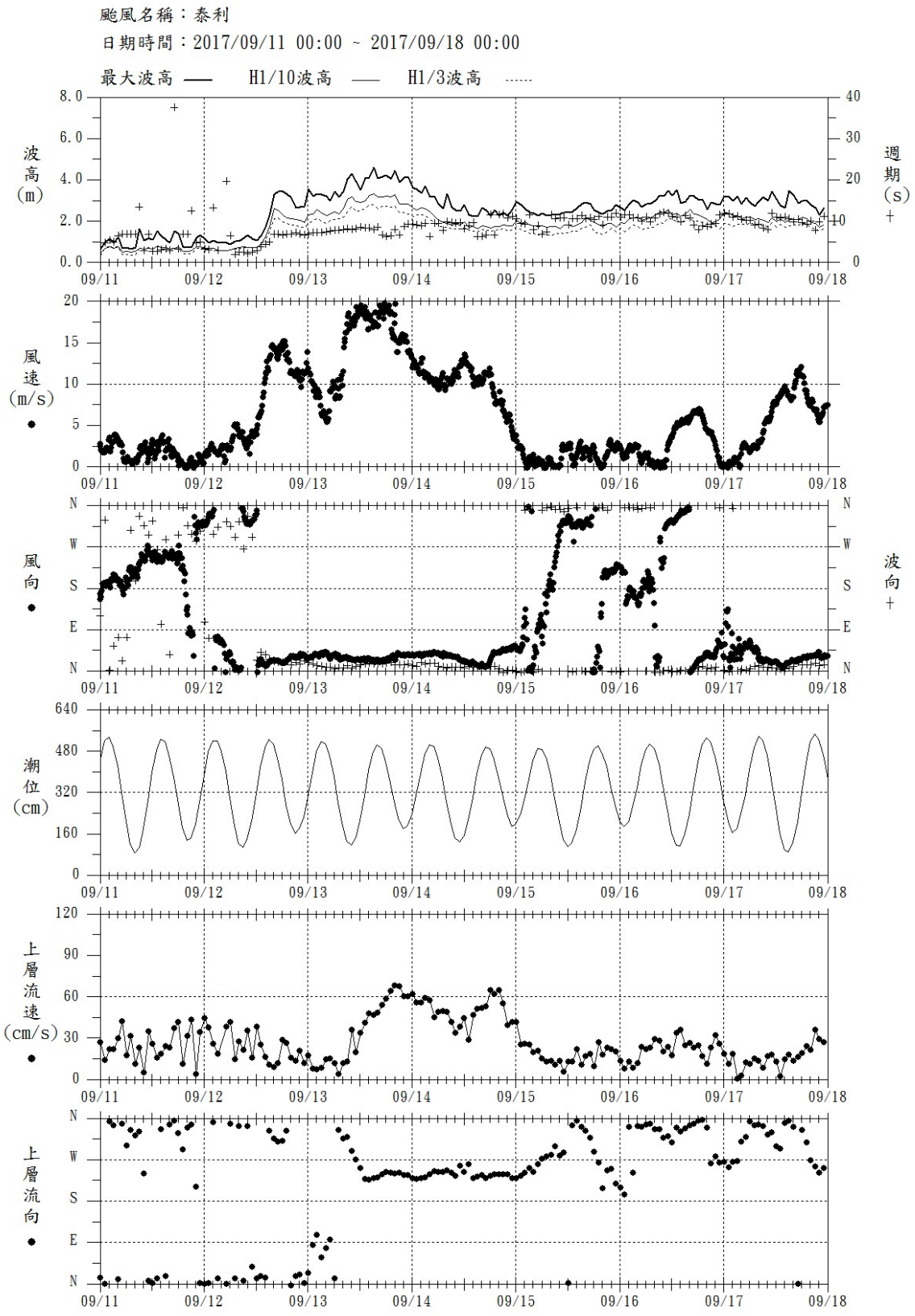


圖 2.3.38　2017 年 7 月泰利颱風臺中港鄰近海域海氣象逐時歷線圖

第三章　鄰近海岸漂沙機制探討

利用持續性地形測量與現場底床懸浮質監測，以瞭解離岸風電場所造成漂沙運動之長期變化，並探究對鄰近港區影響程度與環境保育影響；目前有關於漂沙運動之水工試驗，較少對於大尺度、區域性之漂沙影響及變化做分析探討；因此，有必要進行長期性之漂沙調查，利用水工模型試驗及數值模式模擬，全面性的了解其區域性之影響，以達環境保育之目的。主要以水工模型漂沙試驗瞭解離岸風電場建置後對臺中港區附近影響情況，並於所需校驗地點進行現場觀測資料的量測，以利試驗所需資料比對及應用。現場實測漂沙觀測資料、漂沙物理模型試驗及相對大尺度之數值模擬分析說明如下。

1.漂沙現場調查

在離岸風場結構物預估可能造成影響範圍海域，於預定觀測場址附近區域做現場漂沙調查，並搭配波流場觀測資料，以瞭解因結構物施工前後，造成鄰近港區波流場及漂沙活動之變化，作為施工及維護之參考依據，亦可作為水工模型試驗及數值模擬之條件與驗證之應用。

2.水工模型試驗及數值模擬

利用水工模型試驗及數值模式計算模擬，分析與探討離岸風場鄰近區域，置放風機相關結構物前後之波流場及漂沙運動變化，以瞭解其局部及區域性對於鄰近港區之流場、漂沙運動行為，提供結構物穩定、船隻航行、近岸地形侵淤之評估，並作為未來施工維護、海洋環境保育、航行安全等之參考。

3.1 規則與不規則波平面造波系統

為行政院指派交通部協助風電產業開發辦理事項，本所承辦相關技術發展，其中「離岸風能場鄰近海岸漂沙機制探討」工作項目，編列進行試驗造波機購置，甫經公開招標決標，採用英國 HR Wallingford 所生產製造長波峰平面水槽造波機系統(Long Crested Basin Wave Generation System)提供之平面造波系統。HR Wallingford 公司是目前全世界主要的水工模型造波機製造與供應商之一，並且建置自用的斷面與平面造波機設備，作為具備運作中的造波機設備專業供應商，長期持續為來自世界各地的客戶提供造波機設備和水工模型試驗與研究。以下說明之圖示、照片資料來源，為 HR Wallingford 公司官方及本所採購所規劃生產製造長波峰平面水槽造波機 Long Crested Basin Wave Generation System 平面造波系統提供。

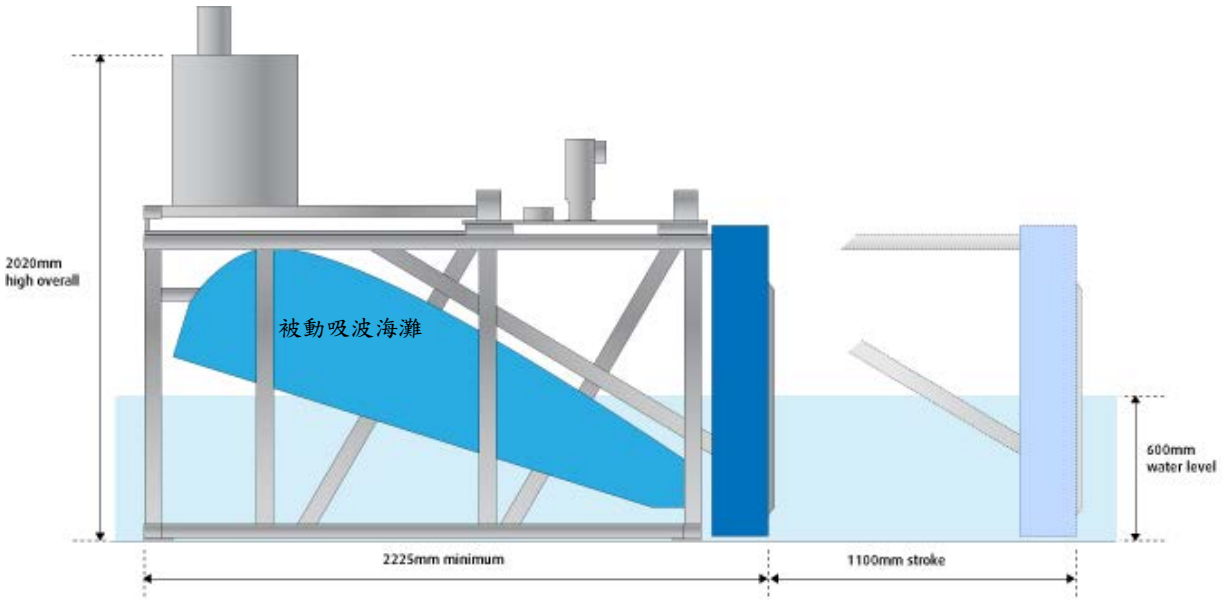


圖 3.1.1　平面造波機的側視示意圖

註：圖上所標示的尺寸為設計造波板示意圖，最後尺寸將根據適用規格和需求製作。

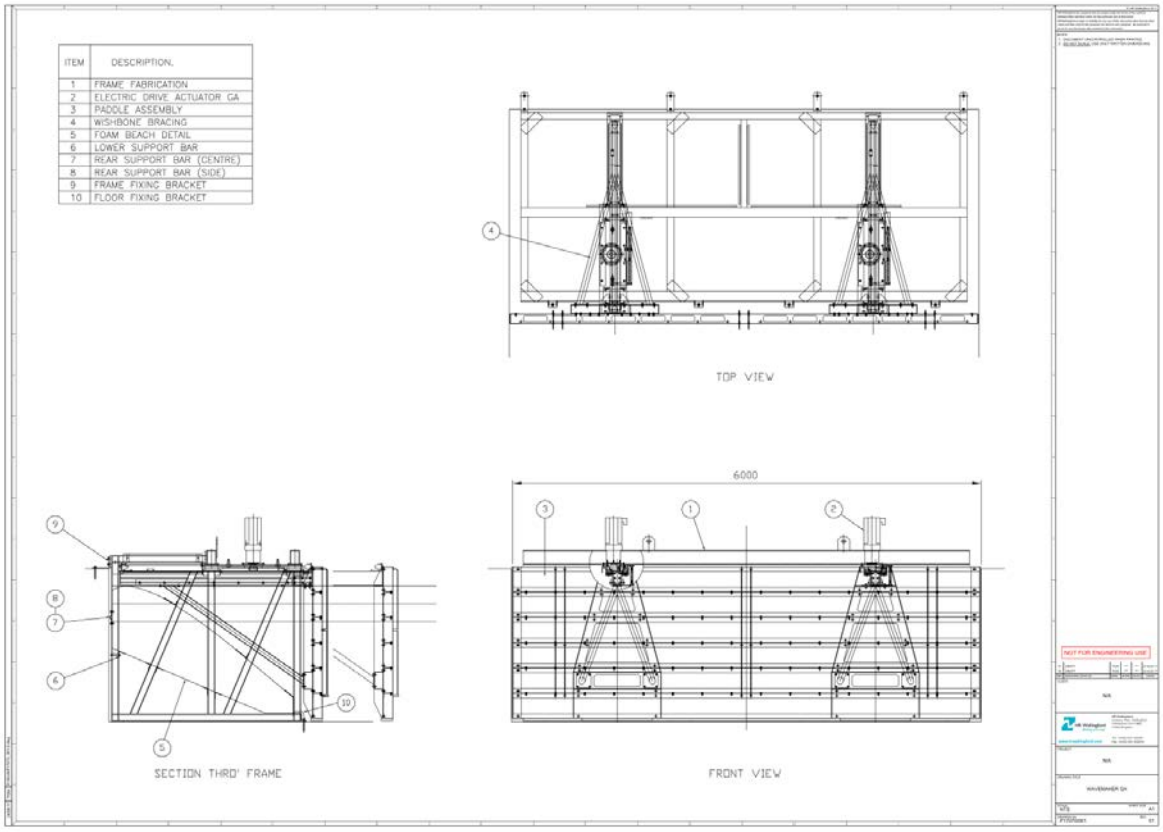


圖 3.1.2　平面造波機的三視圖

本採購規範 HR Wallingford 規則與不規則波平面造波系統案之主要製作，包括提供 10 個項目及細部設計說明，如圖 3.1.1 平面造波機的側視示意圖示、圖 3.1.2 平面造波機的三視圖所示，說明如下：

1.提供 4 台往復平推式(Piston Type)造波板模組：長度 6 公尺、深度 2.3 公尺(衝程 1 公尺)、高度 2.1 公尺，組合總長 24 公尺。每個模組可獨立使用或合併使用，以延展水工模型所需的波浪寬度。

2.造波系統中同時提供訊號生成的 HR Merlin 造波軟體，此軟體可產生規則波和不規則波(包含所有常用波譜)。設備的現場調整測試和使用者/維護人員的教育訓練工作。

3.提供造波系統轉換裝置(Adapter)，使用 1 個或多個 HR Wallingford 造波板模組與現有的 WR Davis 造波機組合併聯操作造波。

4.造波板後方的被動吸波灘(passive absorbing beach)，吸收由造波機產生的反向波能量。

5.主動吸波系統可由每個造波板將安裝阻抗式波高計來量測造波板前的水位，量測資訊用於主動吸波系統的輸入之用。

6.高規格不銹鋼(304 型)防鏽與防水處理材質施工、高品質零件、保證維護保養，設計壽命超過 20 年。造波機的運動控制，使用具有工業乙太網路協定的嵌入式可程式控制器進行，提供出色的即時性能。

7.主動吸波系統以減少從造波板和造波水池中重新反射的波浪。造波機安裝框架後方的整體被動吸波板，減少從造波板向後的波浪飛濺。

8.選用 AC 伺服馬達具智能數位驅動，可以精確控制波峰。每個造波板模組，由位於每個模組頂部的馬達驅動控制面板(Motor Drive Control Panel, MDCP)控制。

9.HR Merlin 波浪生成軟體使用白雜訊法(white noise method)建立規則波和不規則波。亦可產生使用者自定義的波浪，並允許建立專用波，例如聚焦波(Focused waves)和孤立波(Solitary waves)。

10.英國 HR Wallingford 公司原廠提供線上支援服務，包括設備工作人員要求和啟用時對技術問題進行診斷和糾正。本計畫提供的造波系統符合歐洲機械指令(European Machinery Directive)的所有要求，並通過 CE 歐洲合格認證。

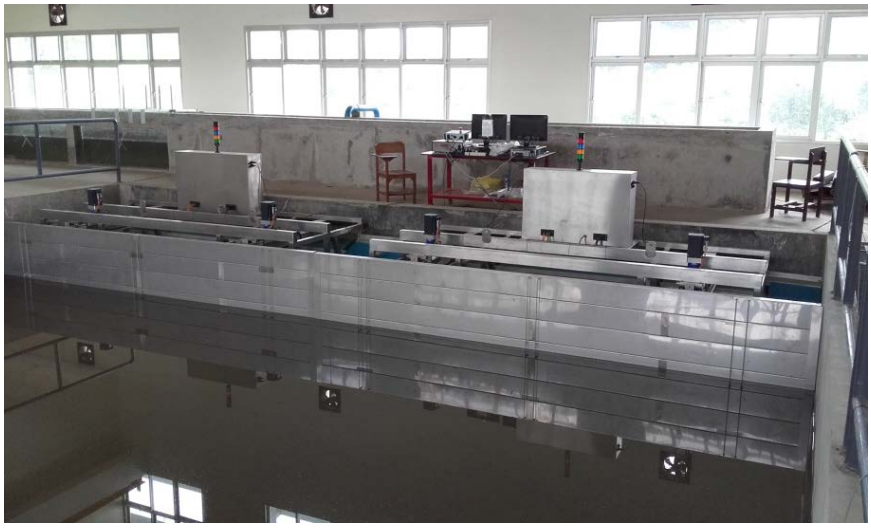
3.1.1 規劃造波機設計條件

1.外觀尺寸：提供造波機的造波板、促動器、馬達和附屬機構設計尺寸，如表 3.1.1 所示。

表 3.1.1　計畫平面造波機的主要尺寸和電源需求表

項目	規格
造波板寬度	6 m
造波模組數量	4個
整體造波板寬度(6mx4個=24m)	24 m
單一模組寬度	6 m
每個造波板的促動器數量	2
Paddle stroke	1.0 m
最大造波板速度	0.5 m/s
最大造波板施力	9.0 kN
每個造波板的標準造波功率 (rms)	5.2 kW
最大額定電源容量	AC3×220V,60Hz,400A
總系統馬達功率（rms）	20.8 kW
每個造波模組重量	1.5 噸

造波機組成如照片 3.1.1 原廠雙促動器(Dual Actuator)造波機之實際外觀。



照片 3.1.1　典型的長波峰平面造波機(造波板模組使用雙促動器)

2.造波系統：關於造波機內關鍵零組件詳細配置，如圖 3.1.3 所示。

(1)機電控制系統：專用於造波板模組的馬達驅動控制面板(MDCP)每個位於造波板模組的頂部。其中包含驅動每個造波板所需嵌入式的可程式控制器、伺服驅動器和訊號調節等零組件。

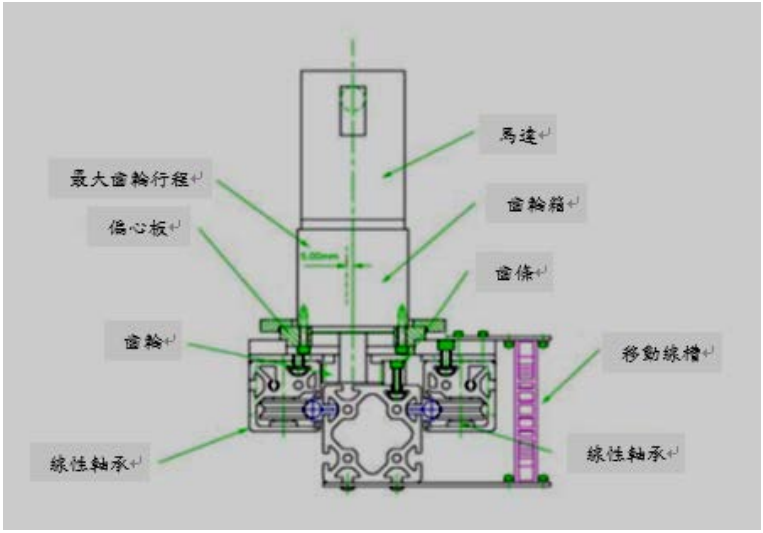


圖 3.1.3　造波板促動器的一般配置剖面圖

A.馬達驅動控制面板(MDCP)：每個造波板模組的電氣控制系統，都包含安裝在造波板模組頂部的馬達驅動控制面板(MDC)中。其範例如照片 3.1.2 所示。



照片 3.1.2　典型馬達驅動控制面板(MDCP)配置

(a)馬達驅動控制面板 MDCP 將以 CE 電氣標準設計，所有零組件都能夠符合台電公司 60Hz 的工作頻率。這些零組件包括：

- MDCP 內部零組件的電源隔離和分配。
- 每個促動器的交流伺服馬達與馬達控制驅動器。
- 嵌入式 PLC 可程式控制器及過載保護裝置。
- 用於系統感測器之數位和類比的輸入/輸出訊號。
- 用於主動吸波功能的波高計訊號調節器。

(b)造波機控制系統的設計和組裝，都符合國際電工委員會 IEC 61508-3 的規範。

B.即時操作系統與工業網路架構：造波電腦和嵌入式 PLC 控制器透過即時乙太網路連接。而訊號產生電腦與馬達驅動控制面板(MDCP)間最大連接線距離為 150m。圖 3.1.4 HR Wallingford 造波機建議的基本作業層級架構示意圖所示。

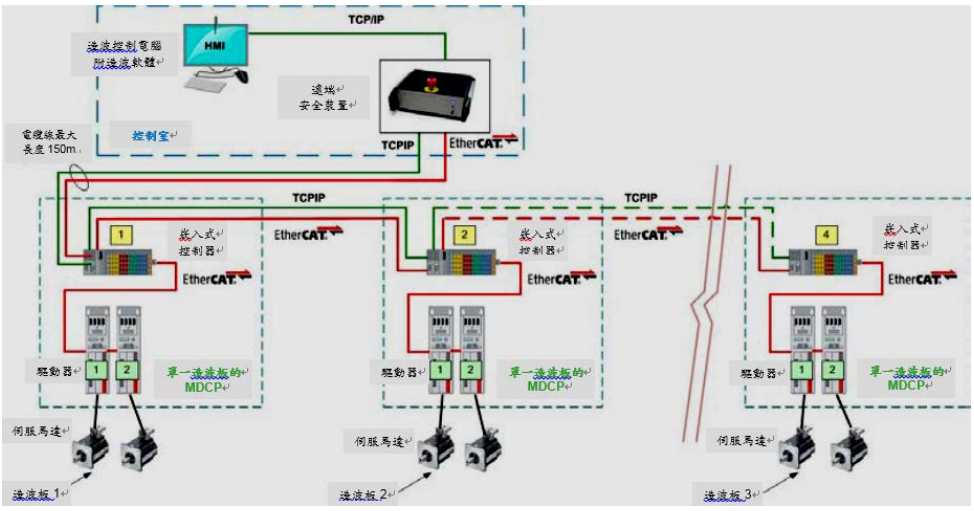


圖 3.1.4　造波控制系統架構圖

註：規劃採用 4 個雙促動器模組，最後將根據適用規格和需求製作。

(a)作業系統控制數位網路：以控制自動化技術乙太網路(Ethernet for Control Automation Technology, EtherCAT)通訊協定執行。作業系統具有 50μs 的資料交換週期時間，並整合到專用於工業運動控制的資料庫，以定位造波板。

(b)EtherCAT：一種工業乙太網路協定，使用標準乙太網路佈線，但提供非常高的性能，例如 1000 個分佈式輸入/輸出操作可以在 30μs 內進行。該協定具有幾乎無限的網路大小，可以透過乙太網路協定(這種情況下稱為 TwinSAFE)提供足夠系統安全性。進一步解釋這個協定的性能，它可以允許每 100μs 進行多達 100 個伺服軸的通訊。在此周期時間內，提供所有軸具有設定值和控制數據，並報告其實際位置和狀態。該分佈式時鐘技術使所有軸能夠與震動(jitter)同步明顯小於 1 微秒。

C.嵌入式運動控制器：造波機的控制是由位於 MDCP 中的嵌入式控制器，並且連接到造波電腦。該控制器處理所有運動控制和主動吸波校正。

(a)在造波電腦中預先產生需要的造波板位置，並在造波期間定期發送到嵌入式控制器。然後將時間序列透過嵌入式控制器進行線性內插至 1ms 的時間長度，並傳遞給驅動控制器。使用前述的目標位置和介於嵌入式控制器與驅動器之間的閉迴路控制，而產生實際的造波板位置。

(b)嵌入式控制器還可以執行造波板歸零定位並監視連接到造波板前的波高計。該波高計提供水面高程，可用於監測造波板性能和主動吸波功能。

(2)機械元件：造波機的設計都是符合計畫所需特定場地使用安裝，完全以模組化的架構而設計，以使系統能夠移動到水槽內的不同實驗位置。

A.造波板促動器(Actuator)：控制系統的關鍵零組件是由 Beckhoff Automation 公司所生產。採用上述促動器機構將可得到可靠的造波機，所需的維護成本也降低，如照片 3.1.3 所示。



照片 3.1.3　平推式造波機的交流伺服馬達和齒輪箱零組件

(a)每個造波板模組上都具有 1 個平推式造波板，該造波板由安裝在模組支撐框架上的雙馬達驅動促動器驅動。這種配置允許軸承和精密零件都位在水位以上，達到防水效果。

(b)每個造波板促動器都包括 1 個經過特殊設計和擠壓製造的移

動樑，它們在 4 個線性軸承之間移動。此設計是為了將側面運動減到最小，以避免造波板與相鄰造波板或水池側壁的任何可能碰撞。

(c)移動樑透過齒條和齒輪機構，向前和向後動作，而小齒輪設計成偏心安裝，允許調整到最小間隙，進而確保造波板能精確運動。所使用的零件中，齒條和齒輪是由不銹鋼所製成，另外軸承和軸承滑塊具有特殊的耐腐蝕塗層。

(d)驅動造波板的齒輪間保養方法簡單，不需要密封的潤滑系統，所需作的維護就是偶爾的擦拭和重新潤滑，以保持它在良好的狀態。

(e)每個齒輪由交流伺服馬達透過低間隙的行星齒輪箱驅動，所有造波機使用的伺服馬達防護等級為 IP54，此外，所有電纜連接器和軸封等的防護等級亦為 IP54 (註：IP54 為防塵及防水花濺入)。

(f)極限感測器安裝在造波板促動器上，以檢測造波板運動是否到達極限位置，一旦到達則感測器觸發，並關閉造波板促動器，而後極限感測器也用於開機時造波板的歸位基準，造波板促動器組件具有低慣性飄移，並實現其它形式驅動系統不可能達到的高速造波運動。

(g)供應的造波系統當在性能範圍內運行時，將滿足工作健康與安全法(英國 HSWA)中的噪音等級要求，而不需要工作人員佩戴噪音防護耳罩，造波機的操作和維護也符合修訂後歐盟機械指令 2006/42 / EC 的所有規範。

B.造波板：造波板將由折疊後的不銹鋼所建構，並使用支撐臂增加強度以剛性地連接到造波板促動器。每個造波板將安裝阻抗式波高計來量測造波板前的水位。量測資訊用於主動吸收系統的輸入之用。波高計的尺寸和位置，可以在所有水位下和造波機可能執行的所有波浪條件下，記錄水面位置。

C.支撐框架：所有 HR Wallingford 造波機的製造均採用 304 不銹鋼材質，並在方形或矩形中空箱體斷面完全焊接(滿焊)。不使用針腳點焊法或其他類似製造方法，以避免造成縫隙腐蝕。

D.被動吸波板組成：為了減少造波板後面的水花飛濺，因此位於造波板後面設有細胞發泡式能量吸收海灘(cellular foam energy absorption beach)。這個海灘由多孔發泡材料組成，用於吸收造波板的反向運動所產生的能量。

(3)操作系統：平面造波機的操作系統計畫設置在專用控制室內，緊鄰或可俯瞰造波水池。控制室包含波浪產生器電腦和 1 個用於緊急情況下關閉造波機上造波板促動器的緊急暫停安全裝置。

A.造波控制電腦：波浪產生系統由造波電腦控制，通常位於可俯視水池的控制室內。電腦透過工業乙太網路電纜線與造波機進行通訊。

(a)主控室將配備高性能電腦，附有乙太網連接埠和液晶顯示器。在運作之前將電腦搭載 Windows 10 作業系統和 HR Merlin 造波軟體。另外也將同時提供 Microsoft Office 中小企業版。

(b)電腦的主要功能是儲存和分配造波板位移時間序列，然後傳遞

給位於模組機箱的馬達驅動控制面板(MDCP)中的嵌入式控制器。電腦還可以記錄造波板性能資料和狀態參數。此資料可以模擬即時顯示或以試驗後的報告形式展示。

B.電腦所使用的 HR Merlin 造波軟體允許操作人員遠端啟動造波機，並執行啟動程序，包括：

(a)啟動歸位程序，以使得驅動器定位到基準位置。

(b)校正造波板上的波高計。在實驗期間監測造波板的位置、需要的訊號和波高訊號。

(c)造波前選擇 HR Wallingford 造波模組主動吸波功能。

(d)預先選擇波形條件，以在試驗期間造波。在整個系列的試驗完成後，進入收集資料完成報告。

(4)安全機制：HR Wallingford 平面造波機的設計可使其能夠以安全的方式運作。安全系統可由硬體和軟體兩個方面實現，使系統無法超越其設計功能。另外有緊急停止開關，配置在關鍵位置，以便人員能在緊急情況下關閉造波系統(如照片 3.1.4 所示)。



照片 3.1.4　遠端安全裝置

A.造波板遠端安全裝置：另外在主控室提供一個遠端安全裝置，以便在緊急情況下可以關閉造波系統。有關安全系統的詳細資訊，緊急停止按鈕安裝在模組機箱上，也安裝在控制室內與使用者介面電腦相鄰的遠端安全裝置上。

B.透過工業乙太網路電纜線連接到造波機模組：遠端安全裝置還為使用者提供一個由 5V TTL 訊號組成的外部輸入觸發設備。

C.每組造波機系統配有 HR Wallingford 的標準安全系統：包括安裝在 MDCP 頂部的警示燈和聲音警報器。表 3.1.2 所示詳細列出警示燈和聲音警報器通用功能。緊急停止按鈕安裝在模組機箱上，同時也安裝在控制室內與使用介面電腦附近的遠端安全裝置上。

表 3.1.2　HR Wallingford 造波機標準安全功能表

狀態描述	啟動燈號/蜂鳴器
在 HR Merlin 軟體中啟動電源 –顯示“Standby”待命狀態	橙色燈號點亮
零點歸位 –顯示“Homing” 歸位中	橙色燈號閃爍 同時蜂鳴器響起 10 秒
準備接收命令	綠色燈號點亮
開始造波 –顯示“Start”開始	綠色燈號點亮 同時蜂鳴器響起 5 秒
停止 –顯示“Parking”停止中	藍色燈號閃爍 同時蜂鳴器響起 5 秒
錯誤或異常狀態	紅色燈號點亮

d.HR Wallingford 造波系統包括軟體和控制系統中的許多其他安全和緊急功能。

(a)造波軟體包括以下安全功能：

- 它可以自動避免使用者產生超過造波機衝程限制的波形，並即時提供造波板回饋狀態。
- 當進入系統操作時以密碼保護，以避免操作人員誤設參數。
- 避免使用者在全部關閉造波視窗或軟體之後，造波機的主動吸波功能仍能使用。
- 提供軟體互鎖功能，所以只有在安全的情況下，才能下達命令給造波機。例如：系統在送電後不能立即操作，直到歸零定位後才允許。另外只有在系統被校正和歸零完成後，才能開啟吸波功能。
- 如果發生通訊錯誤或緊急停止時，在命令發送到造波機前必須先在軟體中清除錯誤，否則即使原來的故障先由硬體清除也無法作動。這可預防系統以不受控制的方式啟動，例如：在控制箱上的緊急停止按鈕按下後又被解除。
- 在軟體中設定造波的持續時間時，避免波浪自動上升和下降，即使波浪比預計時間更早停止。
- 室溫 40 度，水溫 28 度，最大波浪可以連續操作 6 小時以上。
- 室溫 40 度，水溫 28 度，一般波浪可以連續操作 12 小時以上。

(b)控制系統和硬體還包括許多安全功能：

- 提供視覺和聲覺警告，以顯示造波機的狀態，特別是當造波板即將移動時。
- 包括使用標準乙太網路連接電纜線的 SIL 3 安全電路，以便將

緊急停止裝置輕鬆地放置在所有控制櫃和控制室關鍵區域，SIL 為安全完整性等級,3 代表要求失效機率介於 0.001-0.0001 之間。

- 極限感測器由控制器即時監控，控制器在系統機械極限接近的情況下將切斷馬達的電源。
- 如果在造波過程中，超過造波板的供電需求，則馬達將會自動斷電。
- 對每個驅動器的三相電源進行監控，並且在出現相位錯誤或電壓異常的情況下，將馬達斷電。整個系統設有漏電斷路器裝置，以免人員遭受電擊。
- 在通訊錯誤情況下，例如系統中任何位置的電纜線路破損，所有系統都是安全隔離的。

3.造波模組的移動：為了造波水池內不同測試位置重新定位造波模組，必須提供 1 個額定起重值高於造波模組重量 1.5 公噸的吊掛設備。若造波水池沒有類似的起重設備時,則可以使用裝有升降起重臂的堆高機重新定位模組，起重堆高機可以從叉車上提升 2.5 噸，起升距離為 1.25 公尺，表 3.1.3 和照片 3.1.5 為提供的堆高機外型與規格，計算能搬運 2.5 噸以上重量。照片 3.1.6 為原廠使用堆高機搬運造波模組範例。

表 3.1.3　計畫提供的堆高機規格表

廠牌/型號	臺勵福 / FD25
荷重能力	2500 kg
荷重中心	500 mm
產地	臺灣製

尺寸	
桅桿縮回時高度	1532 mm
最業時最大高度	3000 mm
貨叉到車身後部距離	2000 mm
護頂架高度	4220 mm
輪胎	
前輪尺寸	7.0-12-12P.R.
後輪尺寸	6.00-9-10P.R.
引擎	
引擎製造廠/型號	ISUZU / 4JG2
輸出功率	44.9 kW
速度	2450 rpm
汽缸數/排氣	4 / 3059
使用燃料	汽油(較符合環保需求)



照片 3.1.5　計畫提供的堆高機(能搬運 2.5 噸以上重量)設備



照片 3.1.6　原廠使用堆高機搬運造波模組範例示意

4.系統設計壽命：平面造波機的電機促動器廣泛用於工業應用中，通常可連續工作，有時每天超過 8 小時。相比之下，造波機往往每天只能使用幾個小時，而在建立模型時經常會需要很長的時間。在許多工業應用中，組件在一個月內比在造波機使用一年內運作更多的時間。

(1)水工模型試驗通常使用隨機波，並且由於組件的大小適合於規則波的峰值需求，所以它們的磨損和損耗要遠遠低於工業應用。

(2)基於上述原因預估 HR Wallingford 造波機的使用壽命超過 20 年。在 Wallingford 水工模型研究中使用這類型系統的經驗也證明了這點，1998 年首次引入第 1 台直流供電的多單元淺水系統，到目前為止這種機械設計 21 個淺水多單元 Wallingford 的造波機，使用時間超過 46,000 小時而只需要少量維護。

(3)多單元淺水造波機中使用的電氣/電子控制系統同樣堅固，與目前的規劃深水造波機相同。在最近對疲勞載荷的評估中，每組造波機運行時間(每天 24 小時)相當於 500 萬次循環(代表造波機的典型

設計壽命)。造波機和控制系統沒有問題，目前正在繼續用於商業研究，從而證實了整個造波系統的穩健性。

5.造波板移動精度：所開發造波機控制系統，使用小於 0.001mm 的解析度的編碼器，通常為 1mm 以下的誤差，以高精度重現指定的波浪時間歷史。波浪位移為±8cm 的規則波獲得的精度範例。如圖 3.1.5 所示，差異訊號，單位為 mm，誤差為±0.33mm。

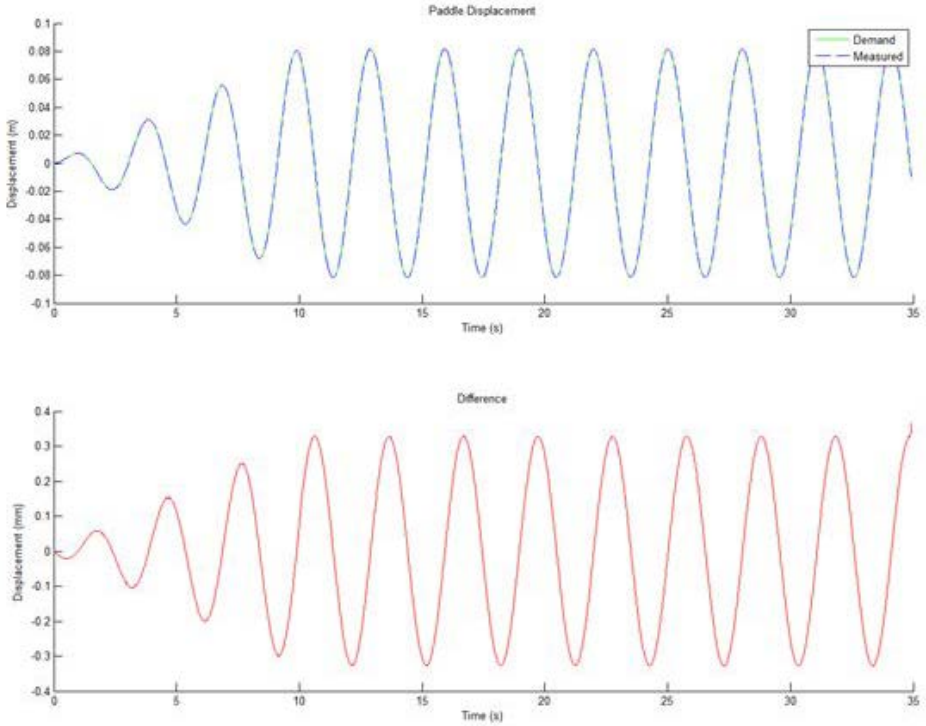


圖 3.1.5　造波板準確度範例

註：上圖 – 涵蓋需求（藍色）和測量（綠色）造波板位移的時間序列。

下圖 – 兩個移位時間序列之間的差異。請注意，下圖的垂直軸為 mm。

(1)造波板運動的精度對於在一定範圍的水深內產生高品質的波浪尤其重要。它允許使用理論上推導的造波板轉換函數(paddle transfer function, PTF)，使其容易地針對一定範圍的水深進行計算。反過來這又確保造波板運動，因此造波機將獲得正確的波高。

(2)在平面水池中量測並使用單位增益的範例波譜如圖 3.1.6 和圖 3.1.7 所示。圖上同時顯示目標值。

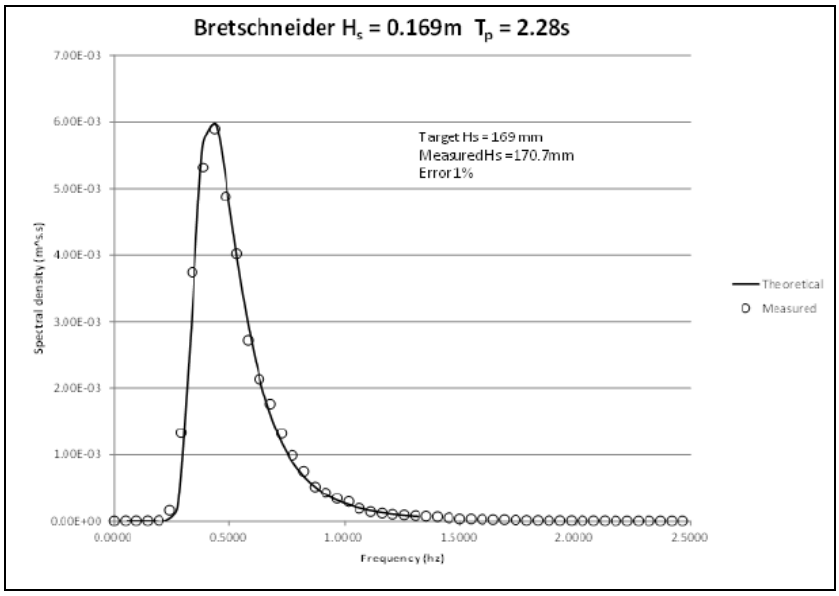


圖 3.1.6　Bretschneider 波譜範例圖

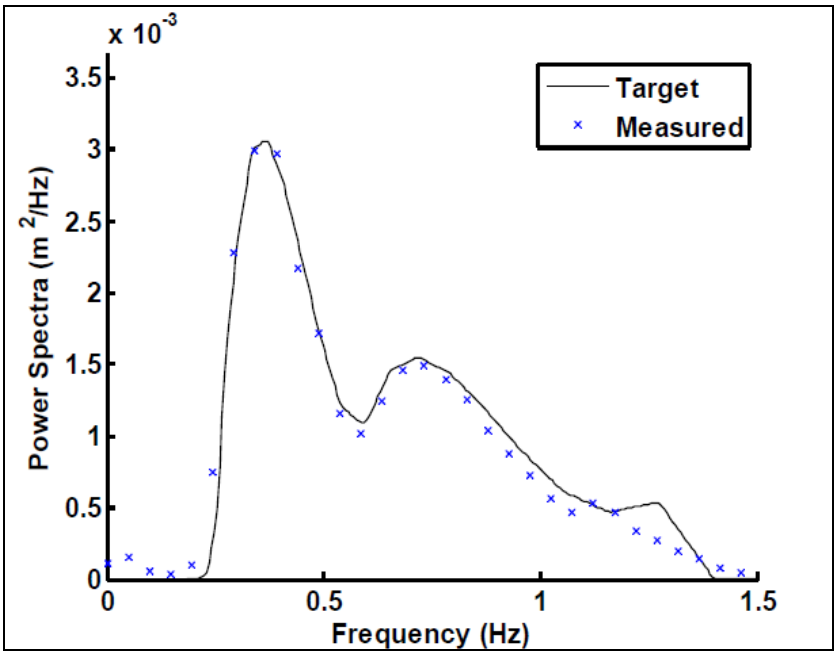


圖 3.1.7　Bi-modal 雙模波譜範例圖

(3)需要注意的乃漸進式和逐漸消逝的 PTF 都被利用，可以準確預測造波板表面的總自由面。可以實現的典型精度是目標有義波高的

1%至 2%，這個精度不須在平面水池中進行校正就可實現。在具有測深或淺深度的模型中可以實現類似的準確度。然而，前述情況可能需要校準，以便考慮由於作用在波浪傳播上的物理過程而導致任何傳播和相互影響所造成的損失。

3.1.2 性能試驗評比

1.規則波：可以在指定的時間週期、振幅、相位和方向從造波板面產生規則諧波。造波板轉換函數（PTF）用於將所選擇波的特性轉換為適當的造波板運動。可以使用自定義的或內建的理論 PTF。支援線性和二階造波。

(1)透過 HR Wallingford 的造波機，可以在所需波浪週期的波譜範圍內產生寬範圍的波高。圖 3.1.8 所示為建議平面造波機的預期造波性能曲線。顯示了規則波正常傳遞下可實現的最大波高。如前所述，波浪尖銳度和波浪破裂是相關的物理特性，決定了造波機能產生的最大波高

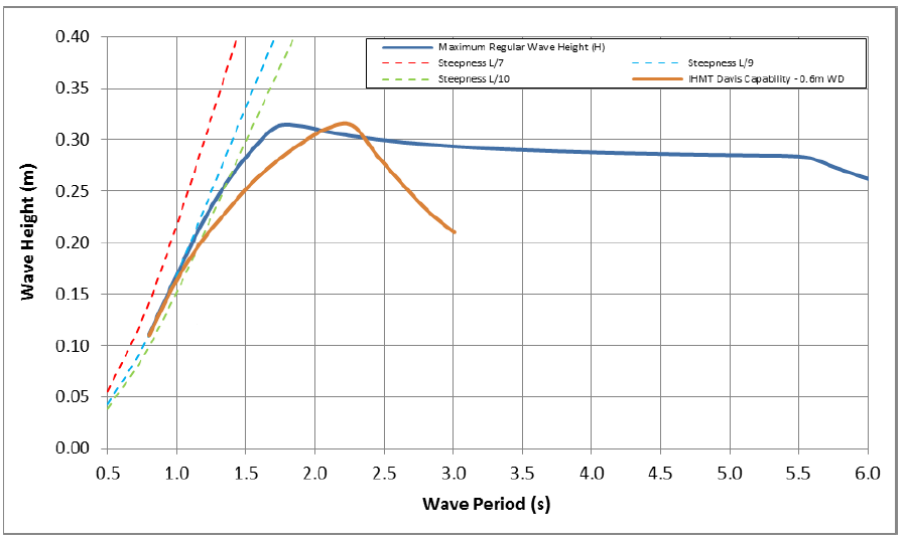


圖 3.1.8　造波性能預測(波浪尖銳度 H<L/9、水深比 H/D=0.5)

(2)曲線所提供的條件是當平均水深為 0.6m、在 0.8～5 秒的週期（對當於 0.2Hz～1.25Hz 的頻率）等造波板能產生之規則和不規則波。應該注意的是，如果水位對應固定深度有變化時，則可能會降低造波機的性能。

(3)規則波時，圖中的藍色實曲線顯示了使用最有效的伺服馬達和驅動器組合，在平坦水池上最大可實現的波高。由圖上得知，採用計畫提出的馬達和驅動組合在水深 0.6m 時，當介於 1.6～1.8 秒週期之間，可以產生的預測波高 H_{max}是 0.3m。規則波的時間序列波高大小是一致的，因此理論上規則波的有義波高與最大波高相等，將可大於規範要求 20cm 以上($H_{1/3} \geqq 20cm$)。

(4)值得注意的是波浪尖銳度(H/L 比例的限制)，圖中曲線(到達 1.6s)中最大規則波高曲線的左側是受限制的。在這部分性能範圍(較短的較高頻率波)中，將不可能超過在各個週期顯示的極限波高。HR Wallingford 用於淺水應用的標準是 H <L/9。

(5)對於 0.6m 的水深和週期介於 1.6～1.8 秒之間的情況下，由於水深造成的波浪破碎是有限制的(限制 H/D 比為 0.5)。注意週期 1.8 秒以後，造波機將受促動器的能力而限制。若選擇電機式促動器時，將沒有行程限制。

(6)此外圖上所顯示曲線的最短週期波，將引起在造波機附近顯著的消逝模式。這些不可避免的非傳播模式，可能導致局部波浪破碎並影響規則波列的穩定性。若時間短於 0.67s 的波浪將受到最大的影響。

(7)最後由於造波機可以在 0.6m 以上水深中產生波浪，然而產生的波浪可能大於水池總深度，將隨波峰沿著水池的傳播而導致溢出。除此之外，存在放置在水池內的設備或儀器可能產生被波浪所淹沒的風險。此外，如果造波機長時間在較深的水中運轉，波浪能量會由於水池內的反射而逐漸增加，這也可能導致水池溢出。

2.不規則波：不規則 2D 長波峰波使用白雜訊濾波法來產生，這種訊號產生方法在垂直於造波板的方向產生隨機波。此乃基於數位濾波白雜訊的原理即時生成，白雜訊來源產生並透過數位濾波器，產生每個造波板要求位置的需求訊號，透過基於所選擇的波浪頻譜形狀執行快速傅立葉轉換(FFT)來獲得該濾波器的特性，使用這種方法的優點是：

(1)創造不間斷的時間序列，可以在幾秒到幾個小時之間變化。當測試模型具有非線性回應的時候，產生長且非重複的時間序列能力非常重要。

(2)使用白雜訊法，可以每次產生完全相同的隨機序列；這是對比較測試至關重要的特徵。

(3)能產生連續性能量波譜。這表示模型的反應可以更準確地分析，而且對於其他方法所產生的離散頻率之間被高度調諧的諧振頻率下降並沒有危險。

(4)能譜中沒有不連續性，波群會與本質上完全相同的方式自動進行。

(5)對於不規則波(表示水池上相應的最大有義波高)以建議之馬達和驅動組合可以產生的最大有義波高(Hs)，在週期 1.6～1.8 秒之間是 0.16m 波高。

3.HR Wallingford 進行了大量測試，證明該系統產生的波是實際並符合海浪的統計學理論。需要輸入的資料有：

(1)模型比例。

(2)測試時間。

(3)波譜形狀。

(4)轉換方程式(如果有需要的話)。

4.HR Merlin 目前包含一系列波譜類型，包括圖 3.1.9 所示：

(1)JONSWAP

(2)Pierson Moskowitz

(3)Bretschneider and ISSC

(4)TMA

(5)Ochi double peak

(6)SIWEH 波群模擬

(7)Derbyshire coastal

(8)Derbyshire ocean

(9)International towing tank congress (ITTC)

(10)Neumann

(11)BTTP

(12)Top hat (Pink Noise)

(13)使用者自設波譜(user-defined spectrum)

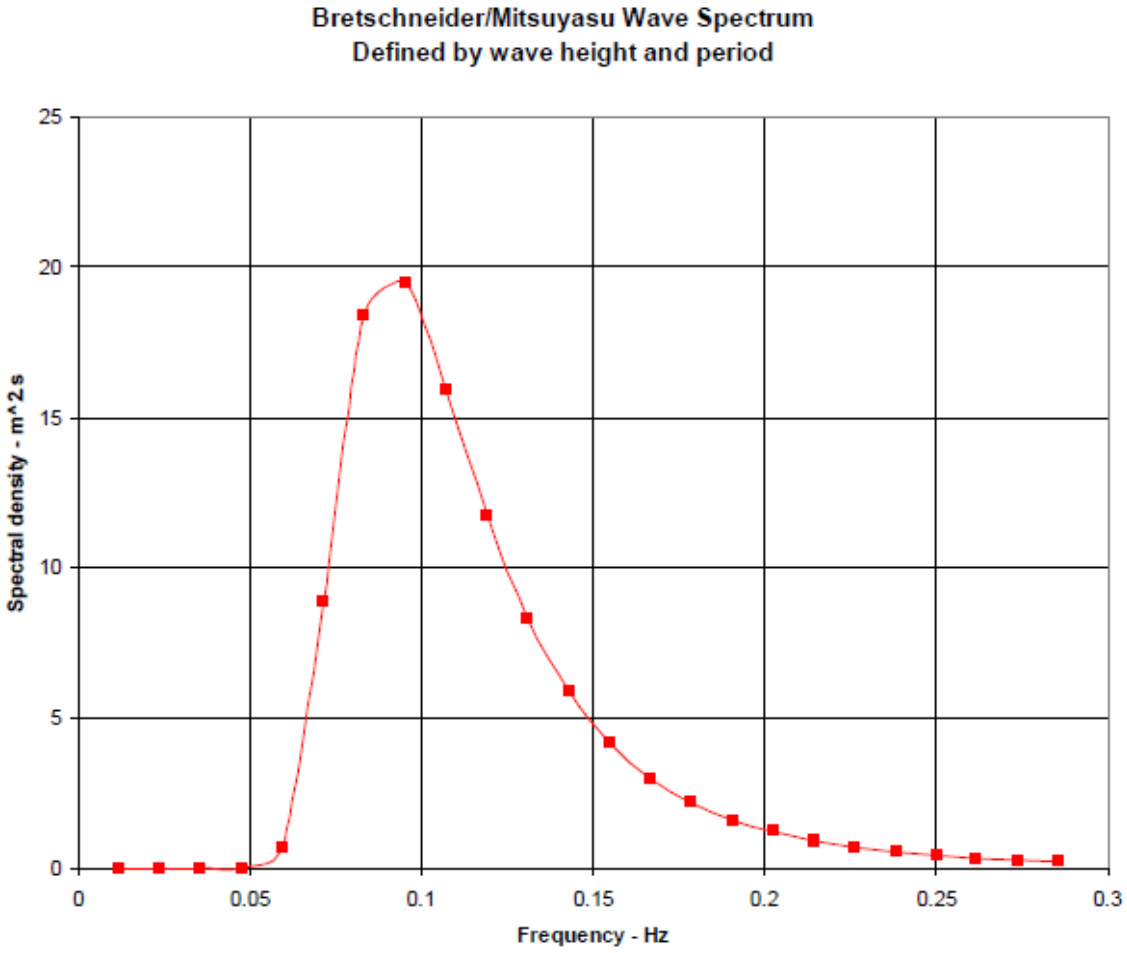


圖 3.1.9　由 HR Merlin 生成的典型波譜

註：使用的實際波譜座標為 256 以上點數

5.波高性能的延伸討論：儘管 HR Wallingford 通常採用前面波高性能，更保守的波浪尖銳度(H <L/9)和水深比(H/D=0.5)限制，但是也可能有些範圍會超過這些限制。這些相關波高性能限制的上限範圍被認為是當 H<L/7 波浪尖銳度限制和 H/D=0.6 水深比而受到限制。

(1)透過將這些替代的性能限制並應用於造波機，可以預期性能將會提高到如圖 3.1.10 所示。

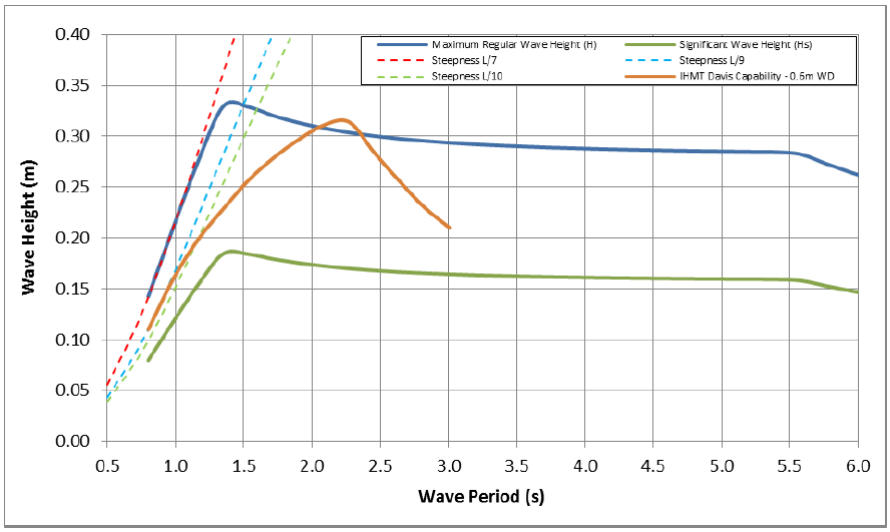


圖 3.1.10 延伸造波性能預測(波浪尖銳度 H<L/7、水深比 H/D=0.6)

(2)從圖可以看出,所建議的造波機可以產生修正最大波高可以在 1.47 秒達到 0.34m 的最大規則波高。相同週期的等效不規則波形性能為 0.19m 的有義波高(Hs)。不規則波配合波譜設定 $T_{1/3}$=0.8～2.0sec 之間(TP≧2.5sec),有義波高可以符合規範要求大於 12cm 以上($H_{1/3}$≧12cm)。

3.1.3 操作軟體

1.造波控制電腦造波軟體(HR Wavemaker wave generation software)。通訊與訊號線組長為 150 公尺。HR Wallingford 造波系統提供 HR Merlin 造波軟體，能夠產生造波機所有常用的規則和不規則波波譜。

2.注意詳細介紹只有搭配 HR Wallingford 馬達促動器運作時才能控制造波機的軟體功能。HR Merlin 可在 Windows XP、7、8 或 10 作業系統下操作，並提供安全加密鎖(security dongle)和全部文件。HR Merlin 軟體透過 Windows 圖形使用介面進行控制。以下是 HR Merlin 各種造波技術的簡介：

(1)規則(單頻)波支援多個同步模組，每個模組可具有不同振幅、頻率和相位。

(2)不規則 2D 長波峰波採用白雜訊法進行濾波，使用正弦波法求和。

(3)雙模(Bi-model)規則波和不規則的 2D 波使用正弦波法求和。

(4)軟體內建大量波譜形式，如 JONSWAP、Pierson-Moskowitz、TMA，Bretschneider and ISSC、TMA、Ochi double peak、SIWEH 波群模擬等，可根據需要增加其他常用波譜。使用者自定義的波譜，可離線建立並儲存在檔案中作為波譜坐標。

(5)可產生特殊波浪，如瞬態、斷裂或聚焦波群及孤立波。

(6)外部生成的造波板位置時間序列以 ASCII 檔格式輸入。

(7)造波機的主動吸波功能，提供超級和次諧波分量的二階轉換函數。

(8)時變濾波器逐漸引入不同頻率的波分量，透過最大限度減少試驗水池長周期反射波的污染，使可用的時間最大化。

(9)時間列之位相具隨機性，且可無限延長造波序列時間。

(10)提供 HR Merlin 軟體中所使用波形生成技術的詳細描述。

3.波浪頻譜和造波板轉換函數：為了使所需波浪頻譜生成正確的造波板運動，HR Merlin 創造原型和模型波浪頻譜及相關造波板轉換函數。造波板轉換函數(PTF)是波高與造波板衝程的比值，隨頻率和水深而變化。理論值是自動新增，如果需要使用者可以選擇新增自定義轉換函數，如圖 3.1.11 所示。

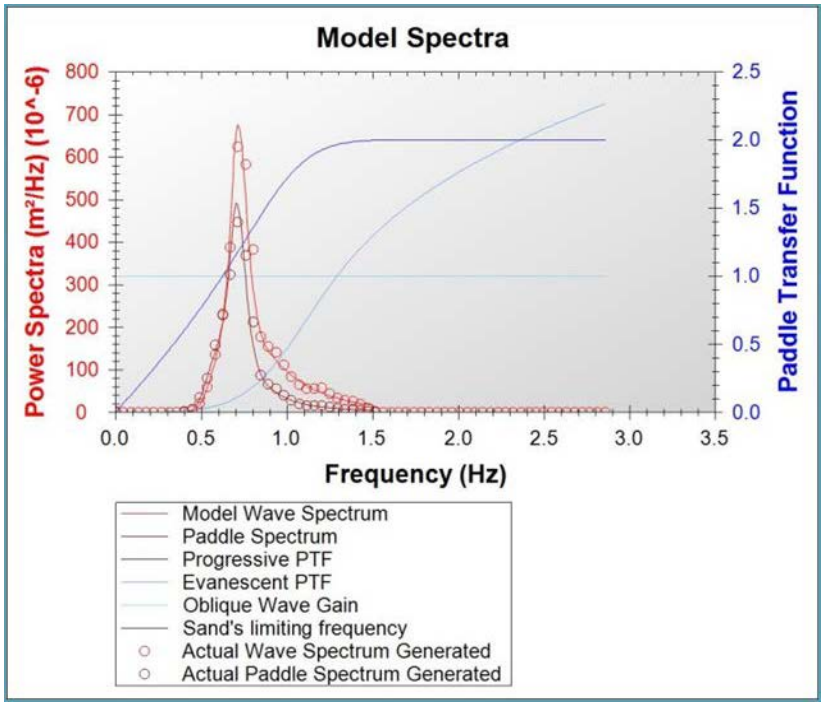


圖 3.1.11 由 HR Merlin 生成的典型波譜和傳遞函數

(1)HR Merlin 基於預測造波板運動涵蓋要量測的波浪頻譜，而產生波浪頻譜和轉換函數。

(2)在每次測試之前，目標和預測波浪頻譜以及造波板運動的順序可以用圖形方式進行回顧。系統還檢查是否達到造波板衝程極限。

4.二階波浪產生：HR Merlin 還引入了完整的二階波生成理論，該理論已被實施用於規則和不規則的長波峰波，包括補償二次諧波(差頻)和超諧波(和頻)二階分量。補償抑制使用線性造波板訊號時無意中產生自由傳遞的偽二次項。二階限波自然地存在於產生的波中，並且隨著自由二階項被抑制，所產生的波場對於二階正確。

(1)採用二階校正是根據 Schaffer 1996 和 Schaffer 2003 中提出的理論版本。該理論考慮了二階與初級線性漸進波分量之間的相互作用，以及二階與漸逝波之間的相互作用。

(2)當漸逝波很大時這是非常重要的，例如當造波機剖面對波浪內的粒子運動學產生很差的擬合。在較深水中的較短波活塞造波系統可能也是這種情況，並顯著影響週期小於 0.5s 的波浪的潛在產生。

(3) Schaffer 1993 的漸近求和法也被併入造波軟體之中，以減少二階造波轉換函數中無限求和項的計算時間。此外，當需要長訊號時，透過計算較粗頻率網格的二階轉遞函數，對其進行插值，進一步優化計算效率。例如，規則波的線性和二階造波的造波板運動和相關自由表面(造波板上)的時間序列如圖 3.1.12 和 3.1.13 所示。

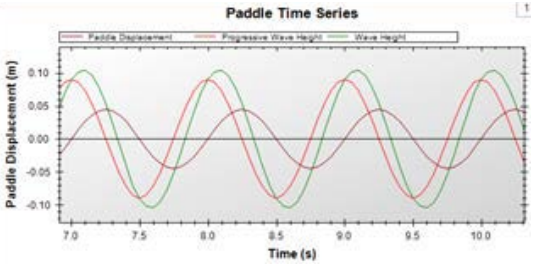


圖 3.1.12 規則波線性造波範例

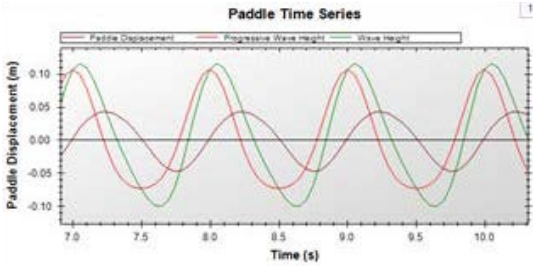


圖 3.1.13 以二階造波修正規則波

5.暫態波、碎波或聚焦波：HR Merlin 造波軟體也可用於合成暫態波、聚焦波或碎波。這些分散波群由多個單正弦波分量組成，它們在一個時間點和空間上相位相同。在任何時間和任何空間點，使用線性波理論的表面高程可以透過諧波分量的總和來描述。

$$\sum_n a_n \cos(k_n(x - x_f) - \omega_n(t - t_f) + \varphi)$$

其中a_n、k_n和ω_n分別表示振幅、波數和單分量的角波頻率，且φ代表波群在焦點中的相位。在上述的式子中，x_f為焦點，也被稱為集中點，t_f是分量對準的時間。當 x=x_f且 t=t_f，全部的波分量都在相位之中。

(1)在實驗室中，可以透過在造波板上正確地抵消各個波分量來產生具有所需壓縮點和時間的波群，以解決其不同的傳播速度。對每個第 n 個分量施加$-k_n x_f+\varphi$ 個相位偏移(假設 $t_f=0_s$)。當聚焦時，各個分量之間會發生建構性干擾，並且波群會產生大的能量。由於頻率分散、遠離聚焦，波群不太緊湊、浪況較平穩。峰值聚焦波群 $\phi=0$，波峰在對焦點進入相位。波谷聚焦波群則是 $\phi=\pi$，波谷在聚焦位置對齊。

(2)瞬態波可以產生在 0 和 2π 之間的任何相位角。當然，也可以產生一個傾斜的聚焦波群，以一定的角度傳離造波器。此外，對造波板訊號的二階校正可以疊加在線性造波板運動上，以正確地重現波群下的二階設置。

(3)暫態聚焦波可用於描述極端波浪事件，如 Jonathan and Taylor (1997)和 Taylor and Williams(2004)所述。基本統計理論 Lindgren (1970)、Boccotti (1983)，與 Tromans et al (1991)中提出更易讀的方法。

(4)使用 HR Merlin 軟體，可以從標準波譜中分出暫態波群生成的造波板訊號。在單一波群中，實驗室從包含這些波的完整波譜訊息中實驗受益，並且與隨機波實驗相比，快速而便宜。此外，由於這些波群的暫態特性，實驗可以更容易地避免波浪反射的問題。

6.孤立波 Solitary waves：HR Merlin 也可用於生成孤立波，理論上孤立波是無限長的波，無形變化地傳播，這是淺水波現象。孤立波形狀包括一個對稱的正高程，平滑地趨向於靜止水位。利用參考 Goring(1978)非線性生成算法，其中造波板速度與正在產生的孤立波的局部深度平均粒子速度相配。

7.雙峰波 Bi-modal waves：HR Merlin 也可以生成雙波形波譜。這可以透過組合兩個預設的波譜或自定義的雙峰值波譜來實現。

8.離線建立海洋狀態：HR Merlin 內建的外部海洋模組，允許輸入時間序列的造波板運動或水面高程。要輸入的時間序列是一個純 ASCII 檔案，其中包括：造波板數量、水深/實驗長度、造波板位置/水面高程時間序列。

9.淺水校正：HR Merlin 軟體預設和自定義的波譜坐標提供淺水校正。如果任何波譜分量波長超過水深 2.5 倍，則應使用淺水波校正選項。每個波譜縱坐標的頻率都應滿足對於相同的深水波長和淺水和深水能量之間比例的頻率校正。

10.時變濾波器：對於操船試驗拖曳箱(towing tanks)中應用，HR Merlin 還包含時變高通濾波器，以最大化測試持續時間。由於長度限制，拖曳箱(towing tanks)在遠端(遠離造波機)可能具有有限的波能量耗散，表示很大部分的波能可能在較低頻率時反射。為了最大限度來自海灘示性反射(significant reflection)到達之前的時間，並使拖曳測試(towing test)長度最大化，使用時變高通濾波器加入延遲更快移動長周期波，使得船隻僅遇到完整的波譜而不是反射波的分量。

11.由造波板上波高計校正：在造波板正面上的波高計校正是自動化，只需要造波水池內的水面靜止，通常需要 30～40 秒才能完成造波系統中所有波高計校正。驅動波高計的電路設計成提供輸出電壓和水高度之間線性關係。

(1)水的傳導性是隨著溫度和水的傳導性而變化，在模型測試之前，模型操作員可以選擇校正控制軟體中的波高計。波高計底座高度是已知，當乾燥時波高計的輸出設置為-10 伏特。

(2)在操作期間，使用者輸入水的高度，並在系統接通波高計以輸入水的高度達到零輸出。軟體根據這些訊息計算梯度校正。

(3)HR Wallingford 造波機波高計系統在全球範圍內已廣泛應用，溫度極限可在-10˚C 至>40˚C 範圍內使用。沒有遇到溫度波動的問題。

12.HR Merlin 軟體的執行壽命和升級政策：HR Wallingford 造波系統的 HR Merlin 軟體設計用於在標準 Windows 電腦上執行，也就是不需要專門的硬體只需要簡單的網路連接。軟體生命週期與 HR Wallingford 控制系統硬體相同，一起更新將確保可以滿足軟體的設計壽命和使用要求，軟體還包括透過網路的遠端支援功能。

(1)控制系統的其他方面，如 PLC 控制器硬體來自工業元件，這些元件是專為連續服務而設計，並保證至少 10 年類似品更換和 20 年的同等品更換。

(2)控制系統使用開放來源和現代工業乙太網路控制匯流排作為通用控制匯流排，允許整合各式各樣的替換零件，例如使用新型的 PLC 控制器或驅動控制器，而不會影響整體系統的性能。

3.1.4 主動吸波功能(Active wave absorption)

1.從造波池模型或後方牆面產生的波浪反射到造波機的造波板上，則此波浪將從造波機上重新反射並加到正在產生的波浪上，這將導致造波池中傳輸的波能潛在增加，並在極端情況下導致波浪狀況不穩定性。

藉由主動吸波，任何接近造波機的波浪，可以透過即時修正造波機的運動來顯著降低來自造波機的反射波能量。

2.控制系統界面將允許使用者指定是否使用主動吸收功能，可以在測試之前開啟以最小化來自造波機的反射波能量或在造波池中減少經過測試後的沉降時間(settling time)。

3.啟動主動吸波系統後，造波機將連續計算位置校正訊號以吸收在造波機表面檢測到的任何反射波，設備可以在控制室的造波軟體使用介面中輕鬆開啟或關閉。吸波系統操作如下：

(1)產生目標波高和造波板位置(如果僅吸波，則波高為零)。

(2)目標波高的計算包括造波板面、傳遞波和漸逝波。

(3)將目標波高與所量測的波高進行比較，結果相當於造波板面上的反射波高(加上雜訊)。

(4)量測的反射波必須轉換為具有正確相位的造波板位置以吸收反射波。

4.反射波能的決定：

(1)使用造波板面上的波高計量測計算波高，造波機將根據要求自動校正和歸零這些波高計。如果波高計校正資料過舊或水位有變化，系統將發出警告。

(2)造波板位置校正是從反射波計算，透過使用具有相位校正的數位濾波器的一階理論傳遞函數得到結果，以使通常大於 1Hz 帶寬頻率範圍內的誤差最小化。

(3)當造波池內部有來自測試結構或其他特徵物高波能量的水工模型試驗時，使用主動吸波補償反射分量，並保持造波池內達到所需的測試條件。

5.本計畫中提出主動吸波系統將與 HR Wallingford 使用的近海造波水池相同。該系統已經在平面造波水池和水槽中進行了測試，將 2 組造波機直接配置為彼此相對運作，其中 1 組具有吸波功能但不產生波浪的系統，而另 1 組用於產生各種海況。

(1)使用 HR Wallingford 設備與 1 組 4CH 波高計進行規則波和不規則波的測試，紀錄一些事件和反射波高。從這些資訊可以量測主動吸波的反射波，以評估其性能。在 0.33Hz 至 1.25Hz 頻率範圍內運作一系列不規則波和規則波，以利可在水工模型測試期間使用的典型週期範圍內量測性能。還有一系列規則波與吸波系統開啟和關閉，可以清楚地看到造波池中的影響，結果如圖 3.1.14 所示。

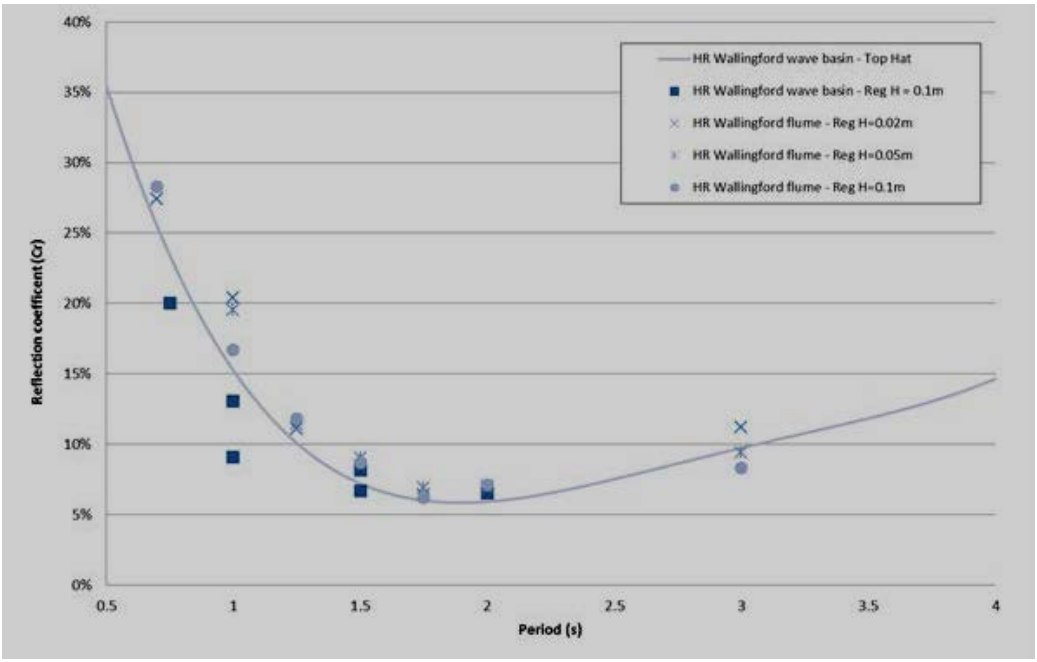


圖 3.1.14 HR Wallingford 吸波系統性能測試

(2)使用短序列的規則波驗證吸波系統的圖形範例，如圖 3.1.15 所示。該圖顯示單個波浪造波板正在升高，產生一小段波浪，然後造波板逐漸下降。未啟動吸波的時間序列顯示為紅色，有啟動為綠色。

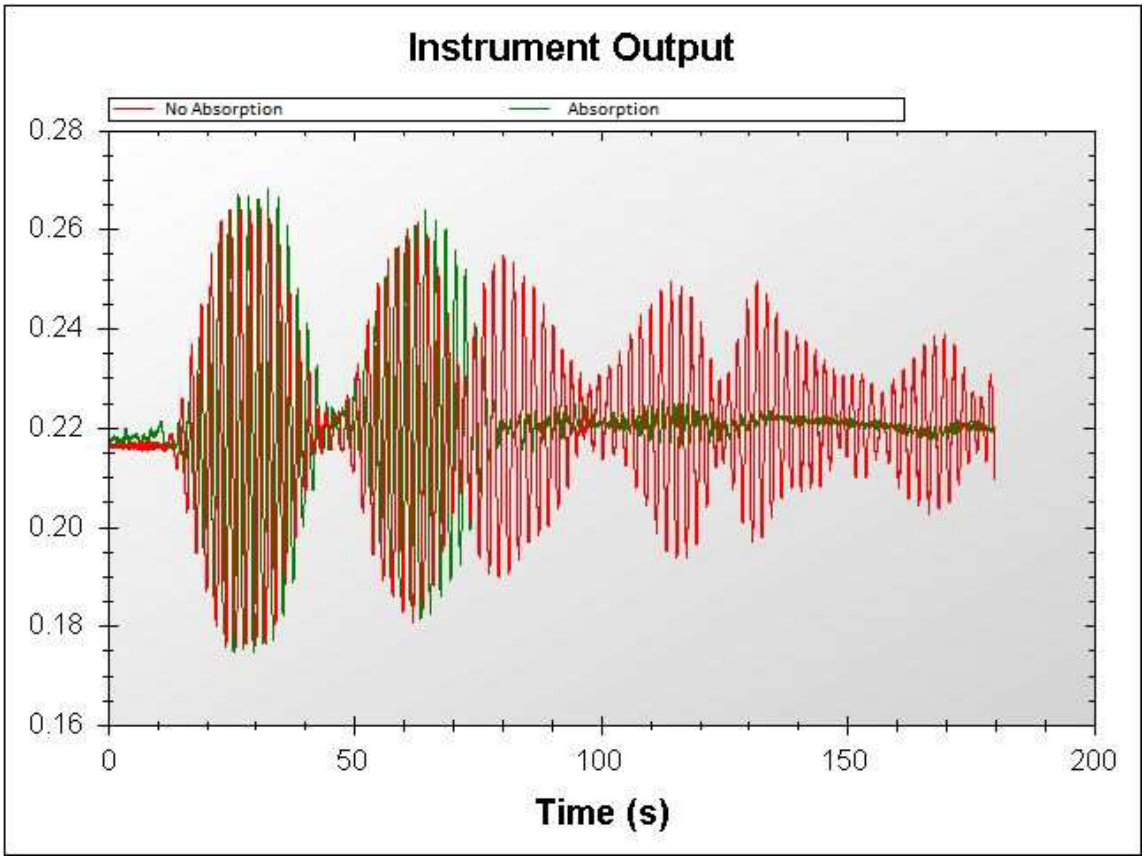


圖 3.1.15 使用短序列規則波啟動和關閉主動吸波

(3)初始測試顯示未啟動主動吸波(紅色)，可以發現發射波遇到水槽末端垂直壁發生第 1 次反射波。隨後，再次反射的波可以看到以相關的結構性和破壞性干擾傳遞。在這種情況下，能量在系統中的消耗是最小的。

(4)第 2 次測試顯示啟動主動吸波(綠色)，傳遞波和反射波是可以預期會看到的，但來自造波機的反射波現在幾乎完全從水槽中移除，動態波吸收系統的效率> 85%。

(5)因此，透過主動吸波裝置，造波池或水槽中的波浪能量多次反射將最小化，並且水面快速趨向於靜止狀態，相對於不使用主動吸波的情況，能夠更早進行後續實驗。

(6)顯示使用主動吸波可以顯著提高整個測試持續時間內，用最小量的校正測試產生所需波譜能力。同時，吸波的效果是顯而易見如圖 3.1.16 所示。

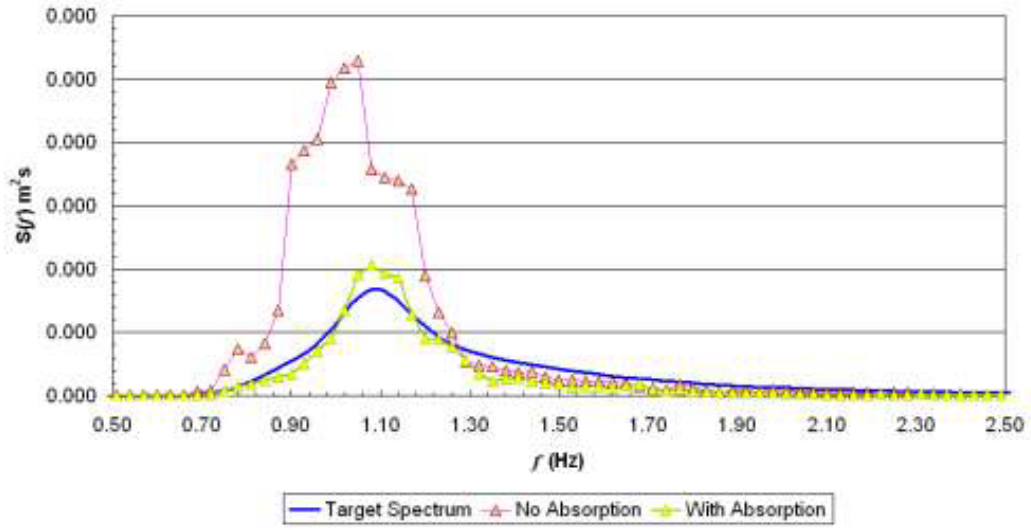


圖 3.1.16 量測長波峰波的目標波譜

3.1.5 與既有 WR Davis 油壓造波系統整合

HR Wallingford 造波控制系統能夠接受來自另一個造波系統的類比輸入訊號，這將允許系統跟隨 DAVIS 造波板位置時間序列。由於 HR Wallingford 系統使用的雙促動器的回饋響應要比 DAVIS 油壓系統快得多，因此要合併兩個不同系統若只依靠初始訊號源方法將是不切實際的。

1.DAVIS 系統具位置回饋迴路，則馬達促動器可以將其造波板位置與透過位置回饋量測位置相匹配。HR Wallingford 監控這些回饋訊號，

並使用這些回饋訊號來為所有其他 HR Wallingford 馬達促動器造波機模組建立類比輸入訊號。與港研中心既有 WR Davis 油壓系統造波機整合，其計畫架構如圖 3.1.17。

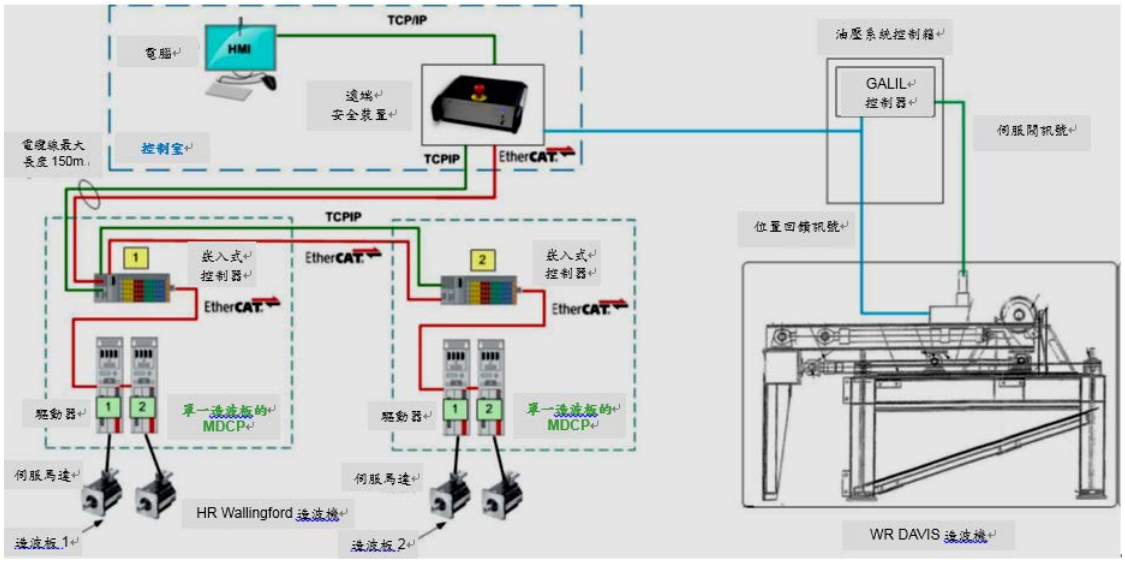


圖 3.1.17 與 Davis 造波機整合時的控制系統架構圖

2.為了使系統在整合情況下運行，必須遵循的多個設置步驟。這些設置包括如下：

(1)為了使系統在整合情況下運行，必須遵循的多個設置步驟。這些設置包括如下：

a.先將 HR Wallingford 造波機正確連接，在電腦中 HR Merlin 造波軟體應開啟，並接受外部來源的類比輸入訊號。

b.需要輸入以下訊息：

(a)回饋迴路中將使用的預期電壓範圍。

(b)還應輸入油壓造波機的全衝程長度。

c. HR Wallingford 造波機開啟電源，系統必須按照標準歸位順序歸零，油壓造波機應該準備好執行造波，但還不須按啟動按鈕。

d.在啟動油壓造波板之前，需要點擊 HR Merlin 造波軟體中開始按鈕，這樣可以讓 Wallingford 電控式造波板按照 DAVIS 油壓回饋訊號提供的位置訊號作動。

e.最後透過啟動液壓造波系統開始造波過程。

(2)WR DAVIS 造波機維護：由於 WR DAVIS 造波系統自建置至今約 20 年，為了未來與新造波機合併使用並維持此系統能穩定工作，因此進行下列系統檢查和保養。

a.檢查完成後，依據檢查結果將需要更換之零組件進行更新，隨後將進行下面所列的維護工作：

(a)移動機械元件的潤滑：包含線性滑軌、軸承等。

(b)電子接點的清潔。

(c)油壓系統維護： 2016 年中曾更換液壓油，檢查油質無異常將只更換濾心。

b.維修維護工作完成後，最後再進行系統微調校正：

(a)輸出訊號與造波板實際位置的靜態校正。

(b)造波板實際位置與位置回饋訊號的靜態校正。

(c)輸出訊號與造波板位置的動態檢查和校正。

c.現場教育訓練：原廠測試工程師將提供造波機的操作、維護、故障排除和系統安全設施關鍵操作和維護人員的培訓計畫。將包括機械、電氣和軟體組件項目。預期教育訓練包括以下項目。

(a)設備和設備操作的介紹。

(b)HR Merlin 軟體的波浪產生和分析。

(c)設備維護、故障排除和系統安全介紹。

(d)對系統運作的監督檢查。

d.試運轉測試：造波設備裝置在既定的造波水槽中進行試運轉測試，將有利於查核整體造波設備外觀、功能和性能等。

e.維護週期：維護工具組提供技術人員能夠執行設備的維護，使造波系統處於顛峰狀態，所需的日常維護程序如表 3.1.5 敘述維護程序，並提供了每個項目的預期頻率。

表 3.1.5　建議的維護計劃表

工作項目	檢查頻率
清潔波高計探頭	1 個月
查看促動器的齒輪和齒條之間的嚙合	3 個月
檢查極限感器操作狀況	3 個月
清潔並重新潤滑驅動座	6 個月
檢查線性軸承對位並應重新扭緊	1 年

(a)有關更換任何元件的指導，在造波機的測試和教育訓練階段中提供維護程序的教育訓練。

(b)依據所需定期維護項目進行檢查和維護，如表 3.1.6 敘述維護程序：

表 3.1.6　定期維護項目進行檢查和維護表

維護時間	維護項目	維護時間	維護項目
第 3 個月	1.清潔波高計 2.齒輪和齒條 3.檢查極限感測器	第 9 個月	1.清潔波高計 2.齒輪和齒條 3.檢查極限感測器
第 6 個月	1.清潔波高計 2.齒輪和齒條 3.檢查極限感測器 4.潤滑驅動座	第 12 個月	1.清潔波高計 2.齒輪和齒條 3.檢查極限感測器 4.潤滑驅動座 5.檢查線性軸承

(c)不定期故障排除或維修：造波系統故障排除或維修方式如下。

- 電話/電子郵件技術協助：通常發生問題時，應先以電話/郵件通知原廠，由服務人員判斷處理問題的方法，再安排遠端線上或現場排除。
- 線上問題排除：由於此造波系統幾乎都採數位化控制，因此大多數的硬體或操作問題應可由電腦上發現和排除。
- 現場故障排除：若前面方法皆無法排除故障時，則將由原廠指導工作人員現場進行檢查和修復。
- 原廠協助排除：當工作人員在現場仍無法排除問題時，此時則請原廠的線上技術協助排除及說明。線上和電話支援通常可以在問題出現的 24 小時內提供協助。電子郵件發送通常可以在發生問題的 48 小時內提供協助。如果線上支援系統出現問題，則可以直接與 HR Wallingford 的服務部門聯繫。

3.2 MIKE 21二維海洋波流模擬軟體概述

目前國內尚無離岸風電開發完成之案例，國外施工設計規範及相關技術亦不能完全套用且規劃之離岸風機群屬於佔據區域面積大、對整體海域空間而言又是多點式小結構物體,如依序建置於現況海域中，必然會改變局部或區域性的海、地象因子;倘海域波浪場、潮流場變化大時，短期內會影響現況漂沙運動，長期(十年以上)則會造成沿岸地形變遷，此變化勢必影響航道、港區規劃、港區及基樁結構物安全...等，目前雖已在離岸風電預定場址規劃設有海氣象觀測塔，但其僅只能蒐集定點各項海象觀測物理量之時間序列資料，無法提供離岸風電場海域在時間及空間上、整體性物理變化情勢。爰在工程規劃實務上，仍需利用數值模擬軟體輔助模擬波浪、潮流在時間及空間上演變過程，本計畫採用 MIKE 21 二維海洋波流模擬軟體進行相關數值模擬工作。

MIKE 21 二維海洋波流模擬軟體為丹麥水力研究所(DHI: Danish Hydraulic Institute)研發之數值模式，DHI 成立於 1964 年且是經由丹麥科技創新部審准之國家級技術研究中心，其研發的 MIKE 21 軟體可模擬二維水動力、水質汙染傳輸、泥沙漂沙、波浪、生態實驗...等物理、化學或生物演變過程並具有友善的用戶介面，可以方便快捷地進行前期資料處理、後期模擬結果分析、展示等功能；在數值分析方法上，MIKE 21 軟體採用有限體積法(Finite Volume Method)求解，網格系統為非結構性三角形網格，並套用於本計畫區域，詳如圖 3.2.1 所示，相較於採用有限差分求解並以矩形網格模擬之傳統數值軟體，對於不規則邊界的模擬，MIKE 21 更有較佳的適合性且亦能滿足數值計算上之連續性;除此之外,MIKE 21 軟體之二維水動力模組(HD)、波浪模組(SW)、沙傳輸模組(ST)亦可彼此進行動態耦合及解耦計算功能。因此，MIKE 21 早已廣泛應用於研究探討港口、河流、湖泊、河口海岸和海洋工程領域之數值模擬工具。

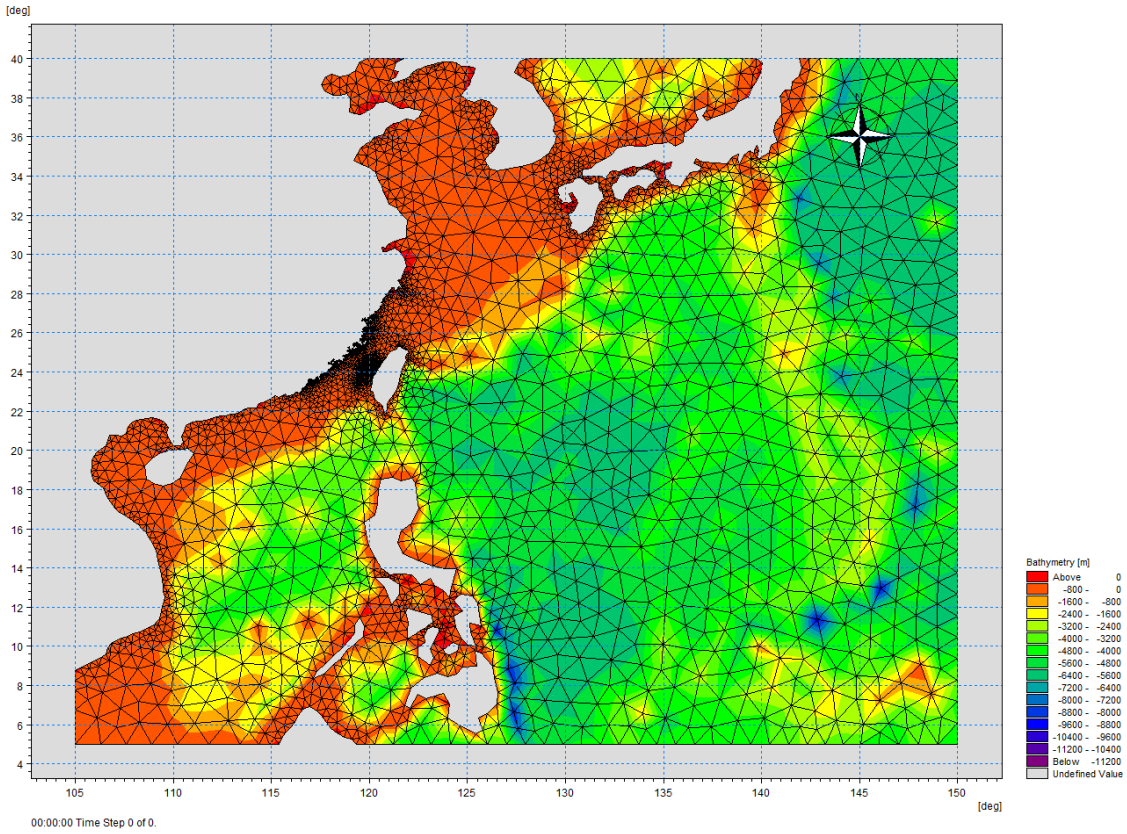


圖3.2.1 非結構性三角形網格示意圖

3.2.1 MIKE 21 模組簡介

106 年度本所採購「MIKE 21 二維海洋波流軟體」之前後處理模組(PP-Preprocessing and postprocessing)、二維水動力模組(HD-Hydrodynamics)、二維波浪模組(SW-Spectral waves)、二維沙傳輸模組(ST-Sand transport)、海岸線地貌演變(SM-Shoreline Morphology)、Boussinesq 方程波浪模組(BW-Boussinesq waves)、圖形處理單元(GPU-Graphics processing units)等共計 7 個模組，分述如下：

1.前後處理模組（PP）:提供點、線、面時序列編輯、網格地形編輯(含非結構性網格編輯)、數據分析、動畫製作等，與前、後數據編輯和結果檔案處理等功能，並可將模擬結果製作成動畫檔案及模擬數據套疊在 Google Earth 平台以展現模擬結果。另含全球潮汐模型，可進行全球區域範圍內潮汐資料的提取應用，並可根據氣壓值及颱風路徑等資料進行風場模擬。

2.二維水動力模組（HD）：模式含湖泊、水庫、河流、河口、海岸及海洋之水動力模擬，溫、冷排水及鹽水入侵模擬等功能模組，且具備多模組動態耦合及解耦功能，可根據需求與波浪、泥沙模組進行耦合與解耦計算。

3.二維波浪模組（SW）：考慮風浪和湧浪模擬，包含波浪的淺化、反射、繞射和折射等各種物理因素下，模擬波浪的生成、成長、傳播和變形過程及沿海地區的碎波現象。

4.二維沙傳輸模組（ST）：模擬河川水流、海流及波浪或耦合模擬，所引起的泥沙傳輸與地貌演變過程。

5.海岸線地貌演變模組（SM）:與泥沙傳輸(ST)、波浪(SW)與水動力(HD)模式耦合，進行長期(計算至 10 年以上)預測沿岸泥沙流、海岸線變化及海岸演變。

6.二維 Boussinesq 方程波(BW):分析港口及沿海地區的波浪擾動，亦能模擬波浪爬升、破碎成碎波等情形。

7.圖形處理單元模組（GPU）:提供 GPU 平行計算功能，大幅提升模擬計算效能，節省模擬時間。

3.2.2 數值模式教育訓練

本所採購「MIKE 21二維海洋波流軟體」完妥後即於106年12月12日辦理「MIKE 21二維海洋波流模擬軟體-模組介紹及基礎操作」教育訓練課程，課程內容詳如表3.2.1，藉由基礎教育訓練課程讓本所同仁熟悉MIKE 21軟體介面功能並學習如何操作使用。

為精進本所同仁對於MIKE 21軟體操作、應用能力，提升研究執行效率及增進研究成果可靠性，本計畫又於107年1月~2月期間辦理「MIKE 21二維海洋波流模擬軟體-實務訓練」為期6天之系列課程，課程內容詳表3.2.2所示。

表3.2.1 MIKE 21-12月12日基礎訓練課程表

項次	課程內容	備註
1	MIKE 21 二維海洋波流模擬 軟體簡介	介紹 MIKE 21&HD 模組
2	MIKE 21 波浪模式簡介	介紹 SW & BW 模組
3	MIKE 21 泥沙模式簡介	介紹 ST & SM 模組
4	前後處理模組操作	PP 模組

表3.2.2 MIKE 21-107年1月～2月期間實務訓練課程表

一、106 年 01 月 15 日水動力模組(HD)課程		
項次	課程內容	備註
1	MIKE 21 FM 前處理	網格與地形與數據建置
2	MIKE 21 HD FM 設置	水動力模式實作
3	MIKE 21 HD FM 後處理	資料擷取、圖與動畫製作
二、106 年 01 月 16 日波浪模組(SW)課程		
項次	課程內容	備註
1	MIKE 21 SW 設置	波譜模式實作
2	SW 風場說明	風場製作
3	MIKE 21 SW 操作及後處理	波浪模式、圖與動畫製作

三、106 年 01 月 22 日沙傳輸模組（ST）課程		
項次	課程內容	備註
1	MIKE 21 ST 說明	漂沙模式背景說明
2	MIKE 21 ST 設置及操作	漂沙模式實作
3	MIKE 21 ST 後處理	圖與動畫製作
四、106 年 01 月 23 日海岸線地貌演變模組（SM）課程		
項次	課程內容	備註
1	MIKE 21 SM 說明	SM 模式背景說明
2	MIKE 21 SM 設置	SM 模式實作
3	MIKE 21 SM 操作及後處理	SM 模式、圖與動畫製作
五、106 年 02 月 26 日 Boussinesq 方程波模組（BW）課程		
項次	課程內容	備註
1	MIKE 21 BW 說明	BW 模式背景說明
2	MIKE 21 BW 前處理	地形網格、邊界條件製作
六、106 年 02 月 27 日 Boussinesq 方程波模組（BW）課程		
項次	課程內容	備註
1	MIKE 21 BW 操作	BW 模式實作
2	MIKE 21 BW 資料擷取及後處理	圖與動畫製作

綜上，本所對於MIKE 21軟體基礎及實務應用相關課程共計辦7個場次、計42小時，每場次約13人參加並於完訓後核發DHI公司之MIKE 21軟體結訓證書予參訓人員，上課情形及結訓證書詳圖3.2.2所示。



圖3.2.2 Mike 21軟體基礎及實務訓練課程上課情形及結訓證書

3.2.3 數值模式應用及預期完成工作

自 106 年度完成「MIKE 21 二維海洋波流軟體」採購及教育訓練課程，後續計畫將以臺中、彰化海域為研究範圍並於 107 年、108 年及 109 年度，分別建置適合模組，不同過往僅作各區域波流模擬，而是以更整體角度探討 2025 年離岸風機群建置後對於臺中、彰化海域潮流、波浪、漂沙、地貌演變等影響性，各年度計畫名稱及預期完成工作分述如下:

1.107 年度「臺中鄰近海域波浪及海流數值分析」預期完成工作:

(1)蒐集彙整臺中、彰化外海區域各離岸風場現階段及後續規劃資訊。

(2)蒐集臺中、彰化鄰近海域風、波、流及海底地形等相關資訊及特性分析

(3)利用 MIKE 21 建置適用於臺中鄰近海域之波浪(SW)非結構性網格模組及與臺中港觀測資料驗證比對。

(4)利用 MIKE 21 建置適用於臺中鄰近海域之水動力(HD)非結構性網格模組與臺中港觀測資料驗證比對。

(5)進行臺中、彰化鄰近海域波浪(SW)及水動力(HD)冬季及夏季季風特性分析

(6)進行臺中、彰化鄰近海域潛力風場風機群設置後風浪及水動力之影響模擬評估。

(7)規劃模擬方案，提供臺中、彰化鄰近海域波浪及海流模擬結果，以利本所港研中心辦理水工模型試驗作業。

2. 108 年度「臺中鄰近海域漂沙特性數值分析」預期完成工作:

(1)利用本所蒐集之海氣象觀測資料，建置適用於臺中、彰化鄰近海域之波浪(SW)、水動力(HD)及漂沙(ST)多尺度巢狀數值模組。

(2)辦理離岸風電區域之臺中港港數值地形模組建置。

(3)進行臺中鄰近海域冬季、夏季及颱風事件之漂沙特性分析。

(4)進行離岸風電潛力場址風機群設置後對海岸漂沙之影響模擬評估。

(5)規劃模擬方案，提供臺中、彰化鄰近海域波浪、海流及漂沙模擬結果，以利本所港研中心辦理水工模型試驗作業。

3. 109 年度「臺中鄰近海域海岸線地貌數值模擬分析」預期完成工作:

(1)利用本所蒐集之海氣象觀測資料、蒐集近年臺中、彰化海岸岸線測量資料，建置適用於臺中鄰近海域之風浪(SW)、水動力(HD)、漂沙(ST)及海岸線地貌(SM)之多尺度巢狀數值模組。

(2)辦理離岸風電區域之臺中港港數值地形模組建置。

(3)分析臺中、彰化海岸線近年變化趨勢及利用 MIKE 21 數值模擬驗證。

(4)進行離岸風電潛力場址風機群設置後對臺中、彰化海岸線未來長期(10 年以上)變化趨勢模擬分析。

(5)規劃模擬方案，提供臺中、彰化鄰近海域波浪、海流漂沙、海岸線地貌演變模擬結果，以利本所港研中心辦理水工模型試驗作業。

期望藉由 MIKE 21 數值模式計算結果，評估分析臺中、彰化海域各風電機群佈設後對臺中、彰化沿岸之波浪、潮流、漂沙及海岸地形變遷影響程度，供後續工程建設及長期地形變遷分析之參考應用。

3.3 水工模型試驗場棚結構安全評估及維修工程

本所港研中心第二試驗場棚建築物為地面一層之鋼構造建築物(基地面積約 5,100 平方公尺)，建物已使用超過 30 年(竣工於民國 73 年 5 月 23 日)，建築物之耐震能力是否符合目前建築設計規範之規定，有待釐清；另外，基地位處梧棲臺中港區附近，金屬材料鏽蝕威脅嚴重，目前屋頂結構及基礎結構有鏽蝕情況發生，此鏽蝕之狀況，可能影響未來建築物之結構安全。爰此，本計畫主要針對第二試驗場棚之結構進行檢查及安全評估，並進行必要的維修補強工作，以提供本所研究同仁一個安全無虞的離岸風電水工模型試驗場地。

3.3.1 結構安全檢查評估

一、結構現況

本試驗場棚基地位置如圖 3.3.1 之藍色建築物，經現場檢查結果，整體結構尚無立即安全虞慮，惟部分構件如柱基鋼板、窗框橫梁、部分梁柱及屋頂鋼板均有鏽蝕劣化之情況，如圖 3.3.2~圖 3.3.5 所示，若未適時進行維修補強工作，未來有可能進一步影響結構安全。



圖 3.3.1 建築物基地所在區位及俯視圖



圖 3.3.2 建築物柱基鋼板鏽蝕狀況



圖 3.3.3 建築物窗框橫梁鏽蝕狀況



圖 3.3.4 建築物梁柱鏽蝕狀況



圖 3.3.5 建築物屋頂鋼板鏽蝕狀況

二、結構安全評估

因本試驗場棚已興建 30 餘年，當初的耐震與抗風設計可能已不符合現行規範標準，爰此，本小節以電腦程式"CSI-ETABS"來進行結構耐震能力及抗風能力安全評估。

本計畫耐震抗風安全評估主要參考規範及相關資料如下:

1.建築物耐震設計規範及解說(100 年版)

2.建築物耐風設計規範及解說(103 年版)

3.鋼結構容許應力設計法(ASD)規範及解說(99 年版)

4.鋼結構極限設計法(LRFD)規範及解說(99 年版)

5.耐震設計規範研討會(102 年)

6.NCREE-13-023 校舍結構耐震評估與補強技術手冊第三版

7.建築技術規則

三、結構耐震評估標準

1.震區係數

查建築物耐震設計規範之基地震區係數如表 3.3.1 所示。

表 3.3.1 基地震區係數

縣市	鄉鎮市區	S_s^D	S_1^D	S_s^M	S_1^M
臺中市	梧棲區	0.7	0.4	0.9	0.5

2.構造種類及系統

結構系統韌性容量：R= 4.0

起始降伏地震力放大倍數：αy= 1.0

用途係數： I= 1.0

地盤種類: 參考鄰近場址之地質鑽探資料，本場址屬第三類地盤(軟弱地盤)

3.近斷層調整因子 (N_A、N_V)

本場址距離最近斷層為大甲斷層，直線距離 3.941km(如圖 3.3.6 所示)，依據現行「建築物耐震設計規範與解說」，本案尚不需考量該斷層之近斷層調整因子，然中央地質調查所已於

2012 年將其公告為第一類活斷層，可依 2013 耐震規範研討會之建議，採用如表 3.3.2 之調整因子。



圖 3.3.6 本場址距離大甲斷層之距離示意圖

表 3.3.2 近斷層效應調整因子

475 年回歸期	N_A	$r \leq 2$ km	2km < $r \leq 5$ km	5km < $r \leq 8$ km	8km < $r \leq 12$ km	12km < $r \leq 14$ km	$r > 14$ km
		1.35	1.25	1.10	1.05	1.00	不需考慮近斷層因子
	N_V	r ≦2 km	2km < r ≦5 km	5km < r ≦8 km	8km < r ≦12 km	12km < r ≦14 km	$r > 14$km
		1.40	1.25	1.10	1.05	1.00	不需考慮近斷層因子
2500 年回歸期	N_A	$r \leq 2$ km	2km < $r \leq 5$ km	5km < $r \leq 8$ km	8km < $r \leq 12$ km	12km < $r \leq 14$ km	$r > 14$ km
		1.33	1.18	1.10	1.05	1.00	不需考慮近斷層因子
	N_V	r ≦2 km	2km < r ≦5 km	5km < r ≦8 km	8km < r ≦12 km	12km < r ≦14 km	$r > 14$ km
		1.50	1.32	1.20	1.10	1.00	不需考慮近斷層因子

設計地震之調整因子　　$N_A = 1.25$

設計地震之調整因子　　$N_V = 1.25$

最大考量地震之調整因子　　$N_A = 1.18$

最大考量地震之調整因子　　$N_V = 1.32$

4.耐震合格標準表

綜整本建物之耐震合格標準如表 3.3.3 所示。

表 3.3.3 建物耐震合格標準表

S_S^D (台中市梧棲區)	0.7
近斷層調整因子 N_A	1.25
短週期工址放大係數 F_a (第三類地盤)	1.00
$S_{DS}=0.8\times F_a \times N_A$(有近斷層效應時 S^D_S 需提高至 0.8)	1.0
NCREE 側推分析法耐震標準 $A_T=0.4S_{DS}$	0.4
建物用途	一般用途
層間變位角限制	2%

經由第二試驗場棚之地理位置、地質狀況及結構物之用途評估結果，建物須能通過地表加速度值 $0.4*S_{DS}=0.4g$ 的耐震能力檢核，才能符合現行耐震設計規範之規定。

四、結構抗風標準

基本設計風速 V10(C)，係假設該地點之地況種類為 C 類(平坦開闊之地面或草原或海岸或湖岸地區)，離地面 10 公尺高，相對於 50 年回歸期之 10 分鐘平均風速，其單位為 m/s。

本試驗場棚位於臺中市梧棲區，基本設計風速 V10(C)=32.5m/s。經由 X 向及 Y 向風力設計(牆面)之順風向、橫風向及扭矩之風力計算總結:

X 向牆面最大設計風壓力=133.6 kgf/m^2

Y 向牆面最大設計風壓力=140.16 kgf/m^2

參考風速風壓表(如表 3.3.4 所示)，換算設計風速約為 12 級風。

表 3.3.4 風速風壓對照表

強度	風級	風速	風壓
（無風）	1 級	0 -1.5（m/s）	＜1 kgf /m^2
（輕風）	2 級	1.6 -3.3（m/s）	1 kgf /m^2
（微風）	3 級	3.4 -5.4（m/s）	1-3 kgf /m^2
（和風）	4 級	5.5 -7.9（m/s）	3-7 kgf /m^2
（清風）	5 級	8.0 -10.7（m/s）	7-14 kgf /m^2
（強風）	6 級	10.8 -13.8（m/s）	14-23 kgf /m^2
（疾風）	7 級	13.9 -17.1（m/s）	23-35 kgf /m^2
輕度颱風	8 級	17.2 -20.7（m/s）	35-52 kgf /m^2
	9 級	20.8 -24.4（m/s）	52-72 kgf /m^2
	10 級	24.5 -28.4（m/s）	72-97 kgf /m^2
	11 級	28.5 -32.6（m/s）	97-128 kgf /m^2
中度颱風	12 級	32.7 -36.9（m/s）	128-164 kgf /m^2
	13 級	37.0 -41.4（m/s）	164-206 kgf /m^2
	14 級	41.5 -46.1（m/s）	206-256 kgf /m^2
	15 級	46.2 -50.9（m/s）	256-312 kgf /m^2
強烈颱風	16 級	51.0 -56.0（m/s）	312-377 kgf /m^2
	17 級	56.1 -61.2（m/s）	377-499 kgf /m^2
	＞17 級	＞61.2（m/s）	＞499 kgf /m^2

若建物能通過 12 級風的抗風能力檢核，才能符合現行抗風設計規範之規定。

五、評估結果

本計畫經評估結果，在不考慮構件劣化之情況下，結構物通過現行耐震及抗風設計規範，換句話說，結構耐震能力達 6 級震度，抗風能力達 12 級風。

3.3.2 結構維修工程

由前面小節之評估結果，本試驗場棚通過現行耐震及抗風設計規範之規定，惟評估過程並未將材料鏽蝕劣化因素納入評估，爰此，為提供本所同仁符合現行設計規範之安全試驗場域，進行相關構件的維護有其必要。

經林孟達建築師事務所規劃設計結果，並考量本所 106 年度之維護預算，遂執行「港研中心第二試驗場棚維修工程(第一期)」工作，主要維護工項為 6 大項，如下所示，總經費新臺幣 818 萬 8,689 元整，於民國 107 年 6 月 13 日完成所有維修工項，相關工項施工前及施工後如照片 3.3.1~照片 3.3.6 所示。

1.試驗場棚北側柱基除鏽補強

2.試驗場棚北側屋頂窗框橫梁更換

3.試驗場棚北側屋頂窗戶更新

4.試驗場棚北側屋頂上層鋼板更換

5.試驗場棚北側鋼構除鏽上漆

6.試驗場棚 RC 牆面內側補土粉刷



柱基修復前



柱基補強粉刷後

照片 3.3.1 柱基補強施工前後照片



窗框橫梁更換前



窗框橫梁更換後

照片 3.3.2 窗框橫梁更換前後照片



窗戶更新前



窗戶更新後

照片 3.3.3 窗戶更換前後照片



屋頂鋼板更換施工中



屋頂鋼板施工後

照片 3.3.4 屋頂鋼板施工中及完工後照片



鋼構除鏽中



鋼構除鏽上漆完成

照片 3.3.5 鋼構除鏽上漆施工中及完工後照片



補土粉刷前



補土粉刷後

照片 3.3.6 RC 內側牆面補土粉刷前後照片

第四章 離岸風電水下技術

本計畫針對離岸風電水下技術分 3 個主題作研究探討：(1)離岸風力發電機基樁與金屬構件腐蝕防治之研究、(2)離岸風機基礎維管計畫及基礎穩定性檢監測技術研發、(3)規劃專業海事工程人員訓練課程。

由於全球環境區域不同，國外離岸風電水下技術之規範並不一定適用我國，目前我國缺乏本土化海上風力發電機組相關防蝕設計研究，因此有必要發展本土之防蝕工法評估，研發適合國內離岸風電之防蝕工法，作為風機結構防蝕應用，以避免或減少工程災害，並提供風機基礎結構維管計畫研擬參考。本年度針對國內外離岸風機基樁與金屬構件腐蝕防治技術進行探討及建立本土化基樁及金屬構件之可行性防蝕決策評估，進行國內外文獻蒐集及彙整，於臺中港區及彰化風機預定海域進行水質、底泥等環境調查，於彰化風機預定水域拋放金屬試架進行試驗初探，進而研擬相關金屬材料腐蝕現地暴露試驗與海洋生物附著、腐蝕觀測調查等相關研究規劃。有良好的基礎維護管理計畫及基礎穩定性檢監測系統才能提前預警，適時維護改善，節省經費支出並避免災損，以了解風機基礎之穩定性，因此離岸風力機基礎的維護管理及基礎穩定性相當重要。針對國外離岸風力機基礎維護及基礎穩定性檢監測技術進行研究，探討應用於國內環境之適用性，並藉由本研究建立本土化之基礎維護計畫及穩定性檢監測技術。

目前國內並無專業的海事工程人員訓練制度，透過產官學合作擬定專業海事工程人員安全作業規範、訓練方式、專業認證等，以及規劃專業海事工程人員訓練課程與制度，提供未來龐大專業海事工程人力需求，以增加港埠營運效益；此外，人員的海上吊掛作業訓練、施工安全作業守則與專業人員認證方式尚缺乏，爰此亟需有全國性的海事人員訓練管道，協助從業人員培訓或輔導從業人員轉職取得認證職照，故本計畫預期發展海事人員之培訓基地，以培育更多專業人才。

4.1 離岸風機基樁與金屬構件腐蝕防治

針對國內外離岸風機基樁與金屬構件腐蝕防治技術進行探討，評估相關腐蝕防治技術於國內環境之適用性，藉以建立本土化基樁及金屬構件可行性之防蝕決策。本年度重點著墨於國內外離岸風機基樁於「水下腐蝕防治」、「腐蝕防治監測技術」、「海洋附著生物腐蝕作用」及「海洋附著生物防蝕技術」等 4 大類相關文獻之蒐集與彙整，提供臺灣發展離岸風機基樁防蝕之對策。透過相關資料蒐集並結合本土現有資源，進行離岸風機基樁防蝕系統選擇與現地大氣與水下金屬暴露試驗規劃，同步進行臺中港區及彰化離岸風機預定地之海域水質及底泥分析調查，瞭解區域生物、地質與其化學特性(生地化特性)，規劃選擇本土適宜利用於離岸風電機具之金屬材料、監測儀器，提供相關防蝕對策，利於協助離岸風機相關企業、技術等發展。

將以金屬防蝕技術為基礎，結合臺中及彰化離岸風機預定海域現場觀測相關成果，研發適合臺灣地區之防蝕工法，做為國內離岸風機基礎結構維護管理、防蝕應用等計畫研擬參考，提供相關單位針對國內離岸風機金屬材料防蝕工法之選用、維管計畫研擬及防災決策支援應用。

4.1.1 研究內容及工作項目

2012 年，行政院經濟部核定「千架海陸風力機」計畫，著手推動綠能低碳環境的國家能源政策，陸續開發陸域風場與離岸風力發電，另於 2015 年 7 月 3 日公告「離岸風力發電場址規劃作業要點」，藉此公布 36 個離岸風機開發潛力場址，使離岸風機後續區塊開發區位逐步明朗。臺灣離岸風力系統設備應以產業特色與發展立基，依臺灣環境條件，如抗震、抗颱、防腐蝕及海象條件作為重點研究考量，規劃關鍵技術之發展。離岸風機裝設位置與離岸的氣候條件、海上結構物的腐蝕防治設計、大氣中高鹽份環境及相關零件、海洋結構物等，皆需面對海洋嚴苛的腐蝕環境的考驗，亦為機組日後運轉維護的重要項

目。故將針對腐蝕特性及影響腐蝕速率之環境因素加以探討，期許能對腐蝕控制法及材料選用上有所助益，計畫作業流程，如圖 4.1.1 所示。

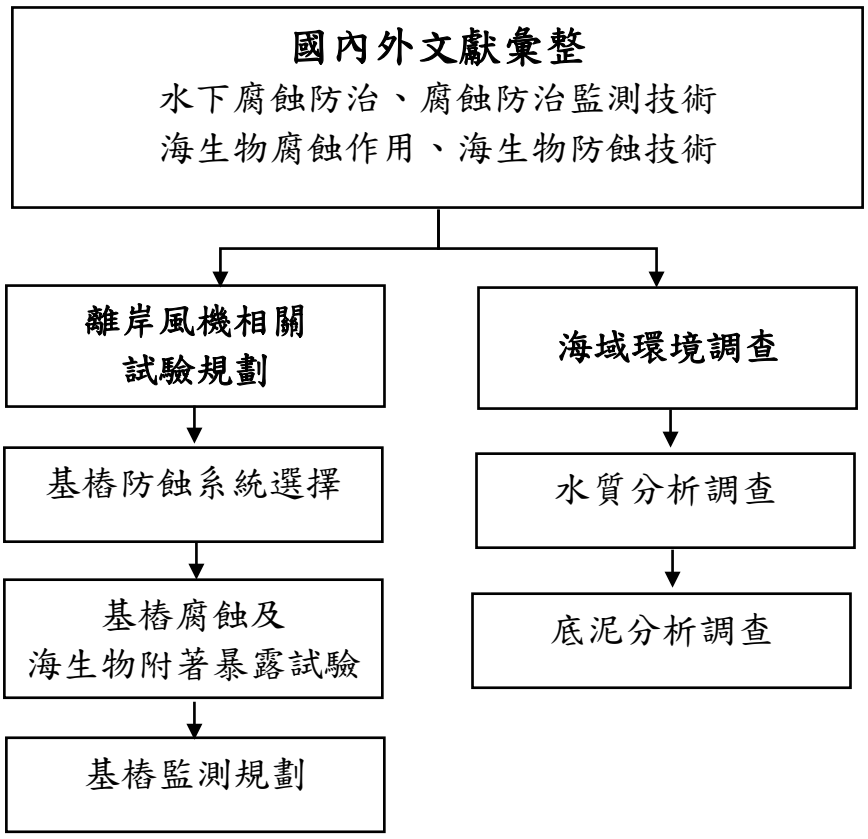


圖 4.1.1　研究方法及流程圖

計畫工作項目如下：

1. 蒐集國內外離岸風機基樁水下腐蝕防治及監測技術，研發適宜防蝕技術。
2. 蒐集國內外海洋附著生物對離岸風機基樁腐蝕情況及防蝕相關文獻，提供基樁防蝕對策。
3. 藉由現地大氣與水下金屬暴露試驗，規劃與防蝕系統選擇。
4. 規劃常用金屬材料其對基樁之腐蝕及附著影響。
5. 規劃安裝監測儀器或陰極防蝕系統，瞭解金屬材料腐蝕或海洋附著生物造成之影響。

6. 每季調查離岸風場現地水質及底泥分析，瞭解水質及底泥造成基樁腐蝕之影響。

1. 腐蝕成因與機制

臺灣位處熱帶與亞熱帶交界處，日照強度大、海水溫度高、海洋生物多樣性豐富、相對濕度與空氣中含鹽量均高，故環境對離岸風機及海上結構物(Offshore Structures)如：海上平台(Offshore Platforms)、海上儲槽及海上風機等構材之腐蝕耐久性影響甚鉅，故需尋找高效耐腐蝕策略，建立腐蝕監控、風力發電機資產管理分折技術，有效評估材料使用特性及維護改善週期，節省元件破損、停機之更換費用，方可增強風力發電機組結構使用之穩定性，提昇運轉效率，增進經濟效益與結構安全，延長機組材料的使用壽命及可靠度。

2. 水下腐蝕防治

以歐洲地區為例，離岸風機水下基礎多採「單樁式」或「套筒式」為主。臺灣地處亞太地震帶，於潛力風場地質鑽探結果分析，普遍認為可以苗栗做為分界。苗栗以北因有岩層且地震影響較輕微，可選用單樁式作為離岸風機之水下基礎；苗栗以南，相對泥土質地較鬆軟、地震影響程度較大，建議採用穩定度較佳之套筒式基礎施作，以提高其安全性 [1]。離岸風力較陸域風力發電機組面臨的環境更為嚴苛，考量海上維護、營運便利性及維護成本，各組件之防腐防蝕技術與相關監測規劃設計，嚴然成為離岸風機發展的重要環節之一。針對鋼鐵結構物之腐蝕防治，目前以陰極防蝕及防腐塗層法最為常見：

(A). 陰極防蝕(Cathodic protection, CP)

陰極防蝕屬電化學防蝕，係指應用電化學電池原理，將金屬材料表面塑造成陰極環境，以達防蝕之功效；另可分「外加電流法(圖 4.1.2)」與「犧牲陽極法(圖 4.1.3)」兩類進行施作。

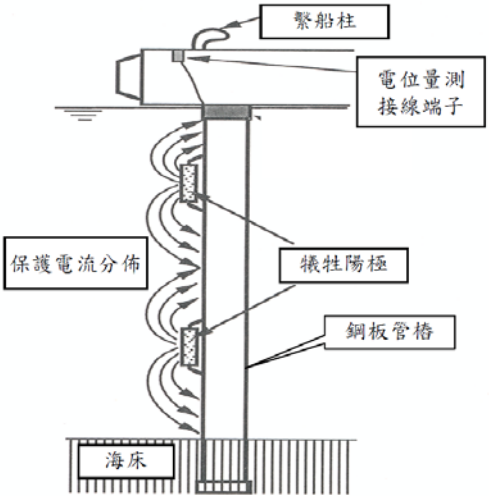


圖 4.1.2　外加電流法示意圖

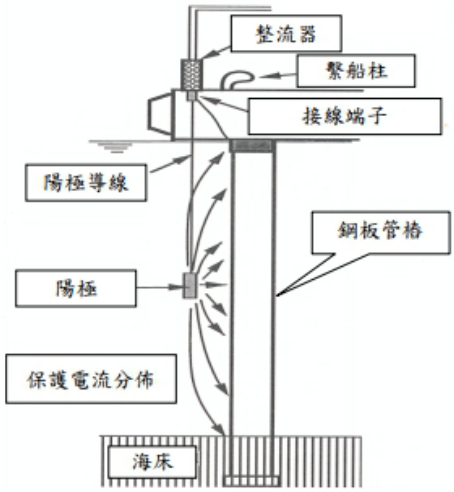


圖 4.1.3　犧牲陽極法示意圖

資料來源：Kim K. (2002) Corrosion Protection of Port Structures in Korea and Some Lessons in Underwater Cathodic Protection. Keynote Lecture, Ocean Engineering Conference, Taiwan.

以碼頭鋼板(管)樁為例，「外加電流法」促使陽極放電，電流自陽極經過海水介質到達鋼板管樁表面，再經導線回到電源，如此鋼板(管)樁便可達防蝕功效；「犧牲陽極法」多選用高活性金屬(如鋅、鋁等作為陽極材料，銲接於鋼板(管)樁上，陽極金屬將被消耗形成保護電位差，致使陰極鋼板(管)樁達防蝕功效，兩方法均需介質作為導電回路，須施用於海中帶及海泥帶中。

「陰極防蝕」之技術發展與應用已有百餘年歷史，為金屬構造物在水下與土壤環境中最有效的防蝕方法，亦獲得聯邦公路管理局(Federal Highway Administration, FHWA)評為「唯一能有效抵制混凝土中鋼筋受氯離子侵害之對策」的美稱，是常見且有效的防蝕方法之一。

鎂、鋅、鋁等金屬或合金在工程上常被應用為犧牲陽極的材料。鎂具高活性、低極化之特性，其合金常被應用於土壤或純水等環境中。然鎂陽極於海水環境中，會造成過保護現象，致使防蝕效率與使用年限降低，故不常用於海水環境。鋅，具適中腐蝕電位、低極化、高陽極效率等優點，在陰極防蝕設計上可應用於海洋環境中，純鋅可達到

降低極化之目的，已被廣泛應用。

近年來，鋁及其合金亦被發展成為海水環境中「犧牲陽極」之材料。然純鋁在淡水中由於金屬表面薄膜的形成，會使自然電位往正值(noble)方向進行，並且產生過度的極化，因此常在合金中添加微量的鋅、汞、銦等元素以保持其活性，使鋁合金電位更負且電流效率更高。再者由於鋁本身低密度、高電價的特性，每單位質量的發生電流大，故各國港灣構造物之陰極防蝕多採用鋁合金作為陽極。現今陰極防蝕技術已發展利用於水中、土壤與鋼筋混凝土中，另與塗裝技術結合，以達相輔相成之效果。

(B). 防腐塗層法

防腐塗層一般在預製場地先行預製，接續送入噴砂廠區進行表面處理，達到表面粗糙度要求後，再依塗裝設計程式逐次完成設計厚度之底漆、中層漆、面漆噴塗，各層塗料分別採用環氧富鋅底漆、聚醯胺環氧中間漆、聚氨酯面漆等，不同廠商的漆型號各有不同，使用方法、配比亦也有所差異。每一塗層完成，皆須使用測厚儀測量乾膜厚度，並進行附著力試驗，用以驗證設計及噴塗設計之準確性。以港灣設施為例，鋼板(管)樁結合不同防蝕塗層之防蝕效果，如表4.1.1所示。

表 4.1.1　鋼板(管)樁在海洋環境中的防蝕方法及防蝕效果比較表

防蝕方法		海洋環境、鋼樁情況及防蝕效果												
		大氣帶		飛沫帶		感潮帶		海中帶		海泥帶		樁型應用		
		新樁	舊樁	新樁	舊樁	新樁	舊樁	新樁	舊樁	新樁	舊樁	鋼管樁	鋼板樁	
													直線型	Z型
有機被覆	塗料	◎	◎	○	△	△	△	△	ー	△	ー	可	可	可
	PE包覆	◎	ー	○	△	○	△	○	ー	ー	ー	可	可	可
	PU(聚氨酯)包覆	◎	ー	◎	△	◎	△	◎	ー	ー	ー	可	可	可
	水中硬化環氧樹脂	○	○	◎	◎	◎	◎	◎	◎	ー	ー	可	可	可
無稽被覆	水泥包覆	○	○	△	△	△	△	○	ー	ー	ー	可	否	否
	中性石油脂防蝕帶	◎	◎	◎	◎	◎	◎	△	△	ー	ー	可	否	否
金屬包覆	不鏽鋼包覆	◎	○	◎	△	◎	ー	○	ー	ー	ー	可	可	否
	低合金抗蝕鋼鐵	○	ー	○	△	○	ー	○	ー	○	ー	可	可	否
金屬熔射		◎	◎	○	○	○	△	ー	ー	ー	ー	可	可	可
陰極防蝕		ー	ー	ー	ー	○	○	◎	◎	◎	◎	可	可	可

◎：防蝕效果理想；○：施工可行，防蝕效果良好；△：施工困難，防蝕效果不佳；ー：超出評估範圍

隨著臺灣逐步邁向離岸風電技術發展，高耐蝕技術亦轉植至離岸風機之防蝕運用。2010年，金屬工業發展中心，根據實驗室塗鍍測試、

海上掛片試驗並參考海上平臺防蝕作法，針對離案風機防蝕塗層系統提出相關建議，如表4.1.2所示。

2017年，Seth *et al.*彙整各國離岸風機塗層技術規範，如表4.1.3所示。一般而言，離岸風機塗層依循ISO 20340:2009規範施行塗裝防蝕，另須考量設置環境差異，進而選用不同的塗層材料及技術規範，其中NORSOK，M-501及ISO 12944 亦為重要的塗層技術規範標準。

陰極防蝕搭配塗料選用，可提升金屬之防蝕保護，塗層系統須考量其保護性、附著性、可塑性、耐久性等因子，國外選用之塗層系統如表 4.1.4 所示。另塗料須選擇適當的塗層系統與工法，並適時進行維護與品質管制，以減低劣化、機械性損傷、剝落等狀況產生。

表 4.1.2　離岸風機推薦使用之高耐蝕膜層系統

離岸風機部位	膜層材料	乾膜厚度(μm)
塔筒外部	環氧富鋅/無機富鋅	60
	環氧雲鐵中間漆	160
	脂肪族聚氨酯/聚矽氧烷	80
	環氧富鋅底漆/環氧底漆	30~50
	環氧玻璃鱗片	200
	脂肪族聚氯酯	80
塔筒內部	環氧富鋅	50
	高固成分環氧塗料	200
	環氧底漆	50
甲板平臺	環氧玻璃鱗片	400
	脂肪族聚氯酯面漆	50
	環氧底漆	50
潮差帶—潮差帶	環氧玻璃鱗片	400
海中帶—海泥帶	環氧底漆	50
	環氧玻璃鱗片	300

資料來源：陳仲宜，「高耐蝕技術在離岸風機應用之發展動向」，ITIS產業評析，金屬工業發展中心，2010。

表 4.1.3　離岸風機塗層技術規範標準

底漆	層數	總乾膜厚度(μm)	規範標準
大氣區			
環氧樹酯底漆(Ethylene Propylene, EP)	3-5	320	EN ISO 12944
聚氨酯底漆(Polyurethane, PU)	2	500	
EP, PU (含鋅)	4-5	320	
EP (含鋅)	≧3	>280	ISO 20340
EP	≧3	>350	–
EP (含鋅)	≧3	>280	NORSOK M-501
EP	≧2	>1000	
潮差帶與海中帶			
EP (含鋅)	3-5	540	EN ISO 12944
EP, PU	1-3	600	
EP	1	800	
EP (含鋅)	≧3	>450	ISO20340
EP, PU	≧3	>450	–
EP	≧2	>600	–
EP	≧2	≧350 [a]	NORSOK M-501

[a] 塗層系統必須與陰極防蝕同時使用。

表 4.1.4　離岸風機塗層系統彙整表

大氣帶
乙烯基玻璃鱗片漆 Vinyl system (3-4 層)
雙液型環氧磷酸鋅底漆 Zn phosphate pigmented two-pack epoxy primer (1 層)
雙液型環氧樹酯 Two-pack epoxy (2 層)
無機矽酸鋅底漆 Inorganic zinc silicate primer (1 層)
氯化橡膠漆 Chlorinated rubber system (3-4 層)
海中帶
海中帶以陰極防蝕為主。底漆應選用可與陰極防蝕兼容之塗膜， 當使用底漆時，加入陽極處理，可延長使用時間，加長防腐蝕效果。
潮差帶和潮差帶
飛濺和潮差帶使用之塗層與大氣區相似，加厚即可施用於此區。

資料來源：Seth, J. P., & Rita, F. B. (2017). Corrosion Protection Systems and Fatigue Corrosion in Offshore Wind Structures: Current Status and Future Perspectives. Coatings, 7(2), 25.

3. 水下監測技術

海洋儀器設備是進行海洋調查觀測、科學研究、以及海洋環境保護等活動之重要工具，海洋儀器設備於使用過程中將面對冲刷、振動、碰撞、水壓等物理問題，另需考量環境腐蝕、污染物及生物活動等因素對監測儀器穩定性及準確度所造成之影響。

相較於陸上風電機組，離岸風機場域規劃與建構更為複雜。國際可再生能源機構 (International Renewable Energy Agency, IRENA)統計彙整 2001-2017 年間，離岸風機尺寸及其建構水深與離岸距離之變化，2009 年，離岸風機建構水深至多為 15m，離岸距離多介於 10-30km 之間；2016 年後，歐洲離岸風機組件建構水深可達 29m，離岸距離平均可達 44 km，離岸風機機組尺寸於建置水深、建構之離岸距離皆有顯著發展。

隨著離岸風機建造之離岸距離逐漸增加，象徵著海上維護成本亦將相對提升，2015 年，李等人使用腐蝕監測儀器(ElectraWatch Coating Health Monitor, CHM)進行研究，CHM 可藉量測交流阻抗來評估塗層優劣的能力，相對適合用於監測較高阻抗之塗層。實驗結果顯示 CHM 在準確性、腐蝕環境中的靈敏度與偵測毀損距離上都有相當程度的表現。

2016 年，Wang et al.研究指出透過上離岸風機結構健康監測系統(Structural Health Monitoring System, SHM)的發展與優化，有助於海上風機機組設備資產管理及操作維護，提高機組可用率，減少停機的損失，透過先進的狀態監測系統，可預知設備故障，非破壞檢測系統則可提高維修時效，減低不必要的人力海上定檢的勞動成本與風險。離岸風機結構健康監測系統安裝示意圖，如圖 4.1.4 所示。顯見離岸風機監測系統監測品質與建置是為重要技術發之一。

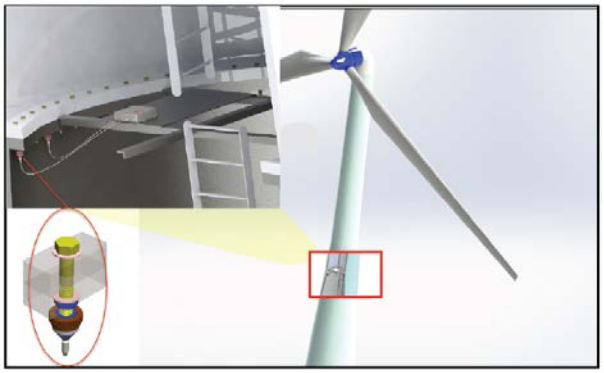


圖 4.1.4　風機結構健康監測系統安裝示意圖

資料來源：WindEurope (2017), Annual Offshore Statistics, Brussels.

4.1.2 離岸風機基樁海洋生物腐蝕影響及防蝕

海洋生存著多種有機生物體，其生長及附著對水下腐蝕作用有著不可忽視的影響。長久以來，細菌、微生物與金屬腐蝕常被視為兩獨立過程。然金屬所在之環境、水溶液的化學性質、溫度、壓力、水流以及金屬本身之化學特性皆決定了細菌或微生物附著至金屬表面之能力。故細菌、微生物腐蝕(Microbiloligically Influenced Corrosion, MIC)被視為一「活參數」，進而影響金屬與周遭環境之電化學行為。然國內關於海洋附著生物研究甚少，雖曾有初步的附著生物分佈與防污塗層與附著生物關係之研究；但僅有初步鑑定，並無法提供完整海洋附著生物與防污間之相關訊息。

1.海洋附著生物腐蝕與污損

海洋結構物常因海洋附著生物(fouling organism)導致水下材料及設施加速腐蝕或局部破壞。當海洋結構物建立，初始時期海洋附著生物會於結構物表面分泌胞外代謝產物（extracellular polymeric substance, EPS）形成生物膜 (biological film or biofilm)或黏液(Slime)，隨後吸引大型海洋附著生物之幼生或孢子 (Embryonic sessile organism)大量附著，陸續繁殖形成巨大的生物群聚、污損生物層(macrofoulers)，使海洋結構體局部荷重增加，產生腐蝕劣化情形。故瞭解海洋附著生物、腐蝕作用與相關防治是為海洋工程中的重要課題。

海洋附著生物有著生態群聚消長之過程，當物體進入海水，即開始進行連串的演替現象。Wahl (1989)將此過程劃分為 4 個階段，微生物瞬時吸附於結構物之上，快速增生形成菌落；第二天起，矽藻和原生動物陸續定居；根據緯度和季節等差異，大型海洋動物的幼生和藻類孢子將會陸續開始附著，各階段演替之速度與過程中物理作用及生物作用參與之強度整理如圖 4.1.5 所示。

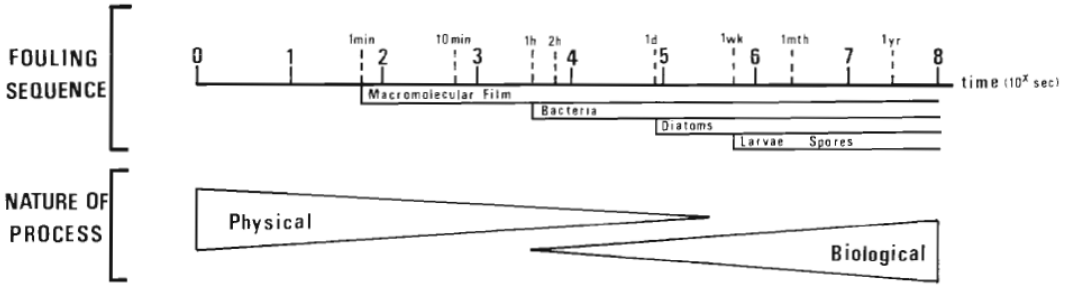


圖 4.1.5　海洋附著生物群聚消長變化圖

資料來源：Wahl, M. (1989). Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. Marine Ecology Progress Series, 58, 175-189.

各類海洋附著生物有著不同生態習性的規律變化，故其海域結構物設計與防蝕對策亦需採取不同的防護措施。臺灣因位處亞熱帶，海洋生物繁殖旺盛，資源豐富，其中包括了多樣性的海洋附著生物；這些海洋附著生物一般附著在海底或岩岸的岩石、漂流木、船殼或其他生物外殼等表面上。亞熱帶海域常見之海洋附著生物約有海綿、水螅、海筆、多毛類、蔓足類(藤壺和鵝茗荷)、苔蘚蟲、軟體動物類(含貽貝、牡蠣、鮑貝和船蛆等)、海蛹等動物，以及石蓴、綠藻、紅藻和褐藻等植物。

根據過往相關研究與調查，臺灣各港區碼頭均有海洋附著生物問題產生，自1981年，海軍海洋測量局便針對左營軍港、高雄及基隆港等海洋附著生物進行附著研究。1988年，台電調查紀錄南部興達電廠進水涵道，即使採用防污塗料，經半年後仍有藤壺、管棲多毛蟲、苔蘚蟲等海洋附著生物附著[16]。其餘各大港口，如基隆港、蘇澳港、臺中港、高雄港等皆有相關調查報告。海洋附著生物種類與分布受其週

邊環境因子變遷不停改變，如高雄港主要海洋附著生物以管蟲為主，其他如：藤壺、紫孔雀蛤、多毛類、海鞘、苔蘚蟲及海葵等零星分布。如以垂直深度進行探討，由淺至深，主要生物變化分別為藤壺、紫孔雀蛤、多毛類等。此外亦須考量季節性消長與生物群特徵等相關影響，故欲掌握各港區海洋附著生物現況，應持續推動相關調查工作。目前離岸風電機與海洋生物相關研究，多專注在風機機組對生物生態影響評估及漁業生產等議題，關於海洋附著生物對離岸風機機組之腐蝕研究則仍闕如。

2.厭氧環境的微生物腐蝕

微生物腐蝕(Microbiloligically Influenced Corrosion, MIC)是指由於微生物的影響可能發生的各種材料腐蝕，腐蝕與碳、氮、鐵、硫等元素循環息息相關，腐蝕微生物多為環境中鐵、硫循環的參與者，根據細菌種類及作用可分類如下：

1. 硫酸鹽還原菌(sulfate-reducing bacteria, SRB)
2. 硫氧化菌(Sulfur-oxidizing bacteria，SOB)
3. 產酸菌(Acid-producing bacteria，APB)
4. 鐵氧化菌(Iron-oxidizing bacteria，IOB)
5. 鐵還原菌(Iron-reducing bacteria，IRB)
6. 硝酸鹽還原菌(Nitrate-reducing bacteria，NRB)
7. 產黏液菌(Slime-forming bacteria，SFB)

硫酸鹽還原菌(sulphate-reducing bacteria, SRB)生長能力強、生存環境廣泛，是引起鋼鐵、金屬等材料腐蝕的重要原因之一，於深海厭氧環境下，更是扮演腐蝕的主導地位。SRB 利用硫酸鹽(sulfate)作為最終的電子接受者，進而產生大量硫化物(sulfides)，這些硫化物可將金屬的陽極去極化產生硫化鐵(iron sulfide)沉積在陽極表面。由於陽極去極化的過程，在陰極表面產生的氫氣會被 SRB 消耗，加速陰極去極化，造成金屬腐蝕，亦對部分非金屬材料產生降解作用，所造成之腐蝕作用對經濟的衝擊亦相當大。

2013 年，Yuan et al.探究海水培養基中 SRB 以及 SRB 代謝產物與無機硫化物對 304 不鏽鋼的腐蝕對照，發現 SRB 所產生的硫化物對 304 不鏽鋼有較顯著的腐蝕現象，且 SRB 所產生的生物膜，亦會促進不鏽鋼表面之腐蝕作用。2012 年，Liu *et al.*發現 SRB 對海洋沉積層 Al-Zn-In-Sn 犧牲陰極造成點蝕。材料腐蝕速率隨 SRB 的生長而加速。由於陰極氫的消耗，導致陰極去極化，進而加速金屬材料之腐蝕速率。對於耐腐蝕性佳的 2205 雙相不鏽鋼，SRB 也造成其表面明顯的點蝕並形成 Cr_2O_3、 FeS、FeS_2、$Fe(OH)_2$ 和 FeO 等腐蝕產物。

多數 SRB 為厭氧菌，但已有研究顯示，SRB 並非嚴格的絕對厭氧菌，有些屬能耐受低濃度的氧氣，並可於低濃度氧氣中生長，但整體而言，SRB 對氧仍是相當敏感，故於研究培養及檢測技術上仍須採用嚴格的厭氧技術。現 SRB 檢測主要依據中國石油天然氣總公司行業標準 SY/T5329294「碎屑岩油藏注水水質推薦指標及分析方法」進行分析。將欲測定水樣使用無菌注射器注入測試瓶中接種稀釋，接續送入研究室進行細菌培養，根據細菌瓶陽性反應與稀釋倍數計算出水樣中的細菌數目。結合異硫氰酸鹽螢光素(fluorescein isothiocyanate, FITC)和間接螢光抗體技術(indirect fluorescence assay, IFA)，即可定量檢測細菌總數與 SRB 含量。

3.海洋附著生物防蝕與防污技術

防污技術正朝著無毒、環保、長效、功能化等综合性技術發展，簡易而言，防污塗料依其原理可分為物理性、機械性及化學性 3 大類。然而近年來新的研究發現，某些生物膜不僅没有加劇金屬的腐蝕，反而起到了抑制腐蝕、保護金屬之作用。2008 年，Stadler *et al.*研究發現，細菌分泌的胞外聚合物(extracellular polymeric substances, EPS)中含有葡聚糖，可防止金屬腐蝕，並通透過實驗驗證 *Desulfovibrio vulgaris* 之 EPS 能透過抑制微生物附著和生物膜消耗氧氣兩方面作用來抑制低碳鋼之腐蝕。同年，Molino *et al.* 歸納整理近 40 篇金屬塗層研究結果，皆顯示矽藻(Diatoms)分泌之生物膜，可有效降低其微生物附著量。2010 年，Roux *et al.*研究發現，胞外多糖 EPS180 對混凝土中鋼筋腐蝕之影

響，結果顯示於在水泥中添加 EPS180 後，鋼筋抗腐蝕性能增强。2011 年，Finkenstadt *et al.*研究發現，經處理後 *Leuconostoc mesenteroides* 之 EPS 對低碳鋼具有保護作用。同年，Dong *et al.*研究提出：由嗜熱硫酸鹽還原菌分泌之 EPS 吸附在碳鋼表面，可减缓腐蝕作用之發生。故未來除傳統塗裝與殺菌，亦可考慮輔以相關微生物自然機制進行防蝕處理。

4.1.3 研究內容與方法

1. 研究內容與進行步驟

研究範圍與對象為臺灣具開發離岸風力發電潛力之鄰近場域，依臺灣環境與海象條件作為研究考量，參考國內外相關文獻與調查報告後，依計畫內容與實際需求擬訂適當之調查方法與試驗，於臺中港區進行離岸風機基樁及金屬試片水下暴露試驗，定期觀測紀錄基樁與金屬材料試片之暴露情況，藉以提升結構物耐久性、防蝕設計與建立，

2. 離岸風機基樁防蝕系統規劃

配合國家推動離岸風力發電政策之推動目標，離岸風電產業園區以臺中港作為作業基地，辦理臺中港風機重件裝卸作業碼頭興(整)建工程，作為離岸風電發展產業專區。臺中港區同時配合離岸風機相關研究，進行離岸風電金屬基樁及金屬試片水下暴露試驗與觀測。

離岸風機基樁防蝕規劃與海洋暴露試驗，將同步搜集大氣與水下不同暴露環境條件之金屬腐蝕資訊，配合本所於「臺中港海氣象觀測樁」之基樁條件進行試驗規劃與設計。臺中港海氣象觀測樁依暴露區域進行不同防腐蝕措施，大氣暴露區參考環境狀況，選用適宜塗料進行塗裝防蝕，考量基樁暴露於海洋潮濕環境建議採用鋅熔射(Thermal spray)塗層技術施作，以達多相膜層材料之結合 (如：耐刮、耐磨耗等功能性塗層)；潮間帶擬採用玻璃纖維強化塑膠(Fiber-reinforced plastic, FRP)或聚氯乙烯(Polyvinylchloride, PVC)保護套施行包覆防蝕，增強潮間帶及海水衝擊之環境防護；水下區擬選用防蝕效果安定，且施工簡

易之「陰極防蝕工法」，海洋環境中建議採用鋁合金陽極施作，以達到鋼材”電位極化”防蝕之目的。

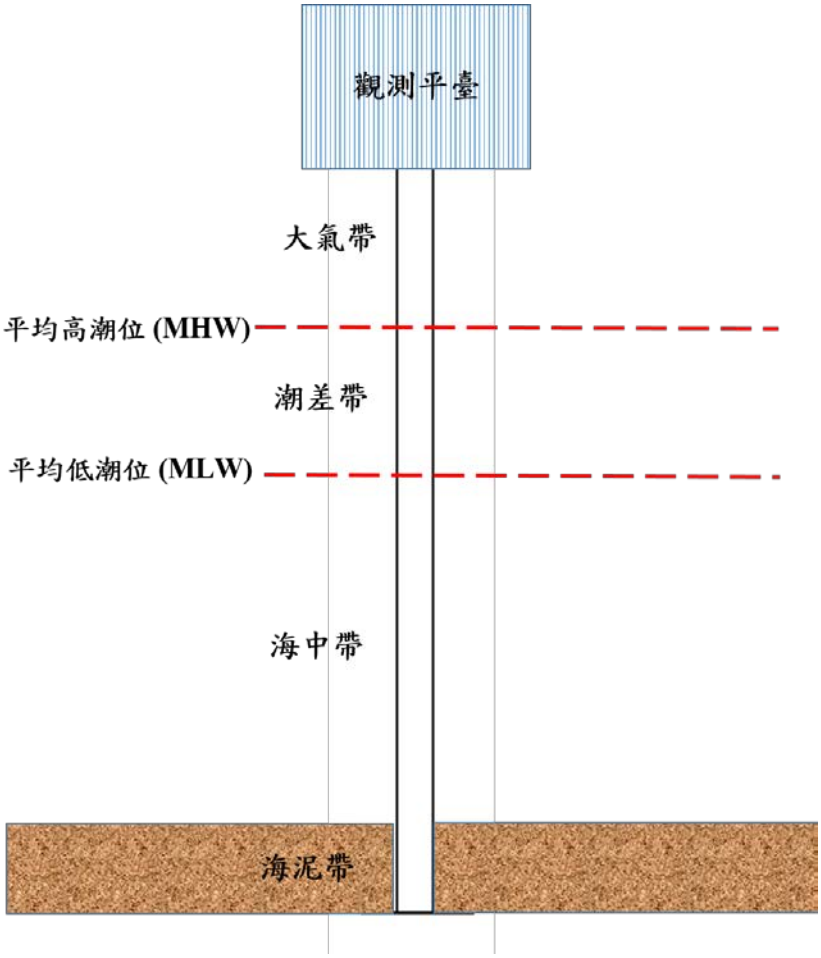


圖 4.1.6　海洋暴露區域示意圖

為模擬離岸風機於海上使用之防腐蝕情況，海洋暴露試驗分別規劃於大氣帶、潮差帶、海中帶及底層四區進行基樁與金屬試片材料腐蝕之觀測與調查，暴露區域示意圖，如圖 4.1.6 所示。考量施工及價格因素，金屬試片架建議搭配基樁試驗規劃接續進行安裝，金屬試片安裝前於須完成試片之磨光、浸漬、稱重等基本性質實驗並重量記錄，後續配合潛水人員進行施作。水下施工除技術性問題，另須考量海況、海流、漲退潮等因素條件配合施工，以臺中港區基樁場址為例，其水深約 20 米，水下試架安裝工作須於高潮時，海面無昇降現象之停潮時段(Stand)才可進行，每次平均作業時間約為 1~1.5 小時。試片架安裝及

各階段分批取樣時程，詳述如下：

1. 試驗期程:擬以 10 年期進行規劃，預計於第 3、6、12、24、60、72、96、120 個月時進行採樣工作，共計 8 次。
2. 試片材質種類:擬採用現中鋼開發用於離岸風電機組構件之金屬材質，(A)S690Q 合金鋼、(B)A36 碳鋼、(C)EN40 鉻鉬合金鋼及(D)A572 低合金鋼，作為金屬試片之材料，作為水下金屬試片之材料，以利後續本土化應用。
3. 試片之大小: 為觀測比較海洋生物附著情況，鋼材試片大小皆為 15*10cm，厚度為 1 cm。
4. 試片架設計：配合臺中港海氣象觀測樁結構條件、試片置放、取樣難易度及穩定性等因素，金屬試片架將依樁體外徑製成半圓形支架，於試驗深度將半圓形支架以螺栓與螺帽將兩片弧狀支架固定於基樁之上，試片皆以雙通孔固定於試架之上，螺栓與螺帽皆使用絕緣材質墊片，以防止電化學腐蝕效應。試片與試架安裝工作皆於陸上安置完成。基樁與試架安裝俯視圖及金屬試片分佈圖，如圖 4.1.7、圖 4.1.8 所示。
5. 試架暴露區域：試架暴露區域分別規劃於大氣帶、潮差帶、海中帶及底泥帶四區進行安裝，相關水下安裝工作將委請專業潛水人員協助完成。

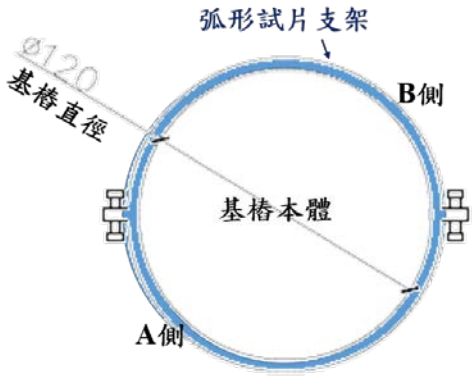
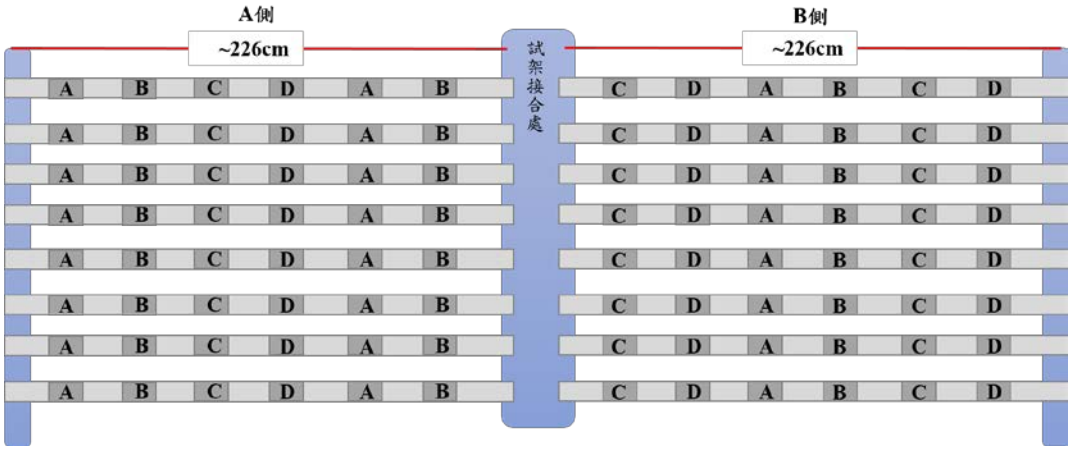


圖 4.1.7　基樁與試架安裝俯視圖



A-S690Q、B-A36、C-EN40、D-A572

圖 4.1.8　金屬試片分佈圖

3.離岸風機現地腐蝕試驗規劃

為瞭解彰化離岸風機預定地金屬材料腐蝕與海洋附著生物附著情況，於彰化離岸風機預定海域進行環境採樣，並拋放金屬試架試驗，進行初步觀測與瞭解。試片架安裝及各階段分批取樣時程，詳述如下：

1. 試驗期程:以 2 年期進行規劃，擬於第 3、6、12、24 個月時進行採樣工作，共計四次。
2. 試片材質種類:採用 A36 碳鋼、及 A572 低合金鋼二種金屬試片進行試驗，藉以瞭解彰化離岸風機現地金屬材料腐蝕與海洋附著生物之附著情況。
3. 試片之大小: 為觀測比較海洋生物附著情況，鋼材試片大小皆為 15*10cm，厚度為 1 cm。
4. 試片架設計：彰化 現地 金屬試架基座以長方體灌漿，上部試架以雙斜面支撐於基座，增加 試架 底部穩定度，減低勾網之機率 。試片皆以雙通孔固定於試架之上，螺栓與螺帽皆使用絕緣材質墊片，以防止電化學腐蝕效應。試片與試架安裝工作皆於陸上安置完成。彰化現地 金屬試架示意圖，如 圖 4.1.9 所示 。

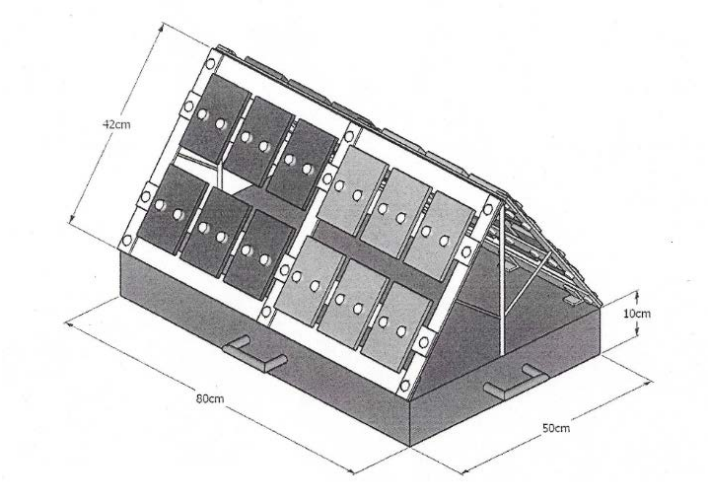


圖 4.1.9　現地 金屬試架 設計 圖

4.1.4 水質與底泥分析調查

1. 水域調查試驗點

臺灣自2006年起開始規劃先導型離岸風場開發，於2011年公布新能源政策，積極推動「千架海陸風力機」計畫，經濟部能源局於2012年7月公告實施「風力發電離岸系統示範獎勵辦法」，帶動風能開發重心由陸域逐步推向離岸。

本計畫依需求分別於臺中港區、彰化離岸風季預定水域進行水質與底泥取樣，並於計畫期間在彰化風機預定區域佈設金屬試架試驗，觀察彰化風機現地金屬材料腐蝕與海洋附著生物之附著情況，藉以瞭解水域環境之生物、地質與其化學特性。水域調查點位資料及位置圖，如表4.1.5、圖4.1.10、圖4.1.11示。

表 4.1.5　水域調查點位資料

區域/站位	TWD97經緯度座標		說明
臺中/ St1	120°30'30"E	24°19'15"N	臺中港北防沙堤外
彰化/ St2	120°19'49"E	24°06'02"N	「離岸風力發電第二期」26-1點位
彰化/ St3	120°11'24"E	24°03'36"N	「離岸風力發電第二期」

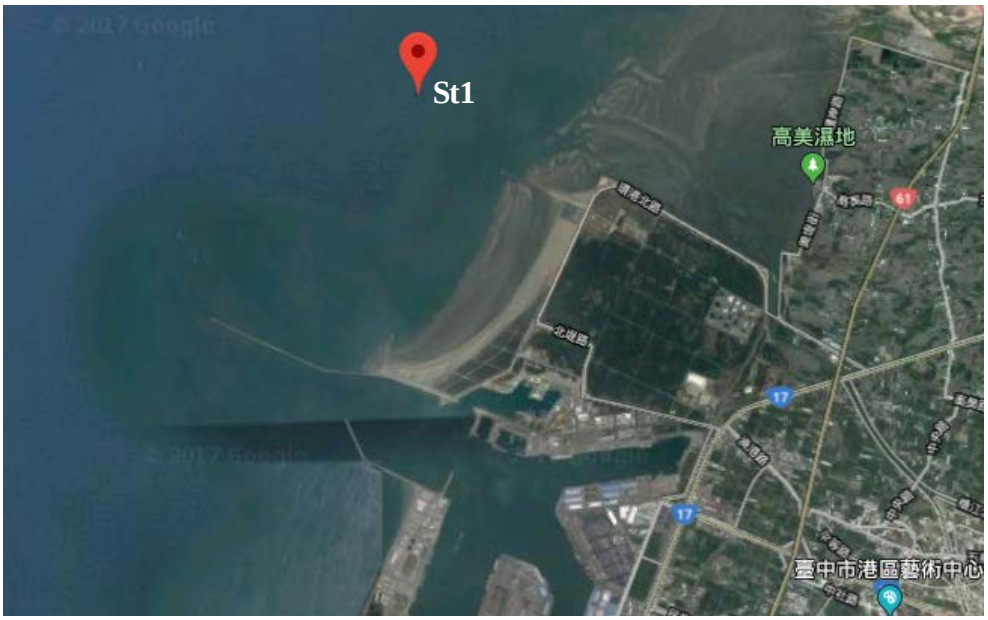


圖 4.1.10　臺中港區採樣位置圖



圖 4.1.11　彰化離岸風機場址採樣位置圖

2. 採樣與分析方法

(A) 採樣方法

環境樣品分別針對底泥與海水進行樣品採集，各點位皆以 GPS 系

統定位後進行採樣工作，採集研究點位底泥，及底深向上 10m 水樣進行分析。採樣斷面示意圖如圖 4.1.12 所示。

底泥以直徑 7cm，管長分別為 40 及 60 cm 之岩心管進行樣品採集(如圖 4.1.13)。將岩心管直立置於底泥表層，藉鐵槌敲擊之重力方式使岩心管緩緩向底泥深部進行樣品採集，直至深達預定深度後(滿管)，手動將旁側底泥挖開，以鏟子抵住岩心管底部，快速於底部及上部加上蓋子密封，接縫處以防水膠帶封口後返回船隻，全程遮光、4℃低溫保存，並保持樣品直立避免擾動，攜回實驗室進行後續項目分析。

海水樣本委託專業潛水人員，下潛至預定深度(底床向上 10m 處)，以 PE 廣口採水瓶收取水樣，樣品採集返回船隻後，以封口膜(Parafilm)密封，遮光、4℃低溫保存，攜回實驗室進行後續分析工作。

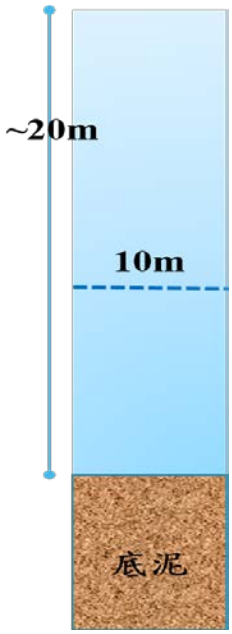


圖 4.1.12 採樣斷面示意圖

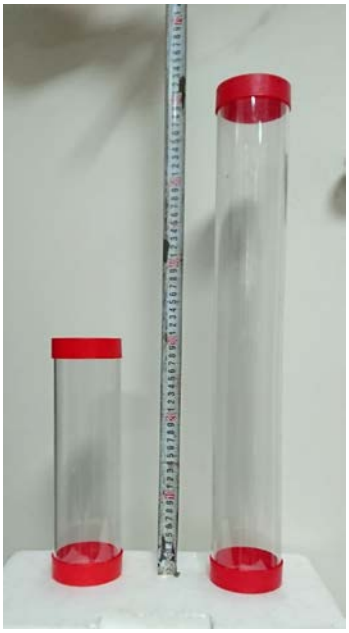


圖 4.1.13 底泥採樣岩心管

(B) 海域環境測定項目

水質測定項目包含：溫度、鹽度、pH、溶氧、葉綠素 a、總磷、總氮、氯鹽、硫酸鹽；重金屬鋅、鎘、鉛、銅、總鉻、汞。其中溫度、鹽度採現場測定，其餘項目分析主要依循「水質檢驗方法」辦理，相關檢驗項目與方法如表 4.1.6 所示。

表 4.1.6　水質檢測項目與方法

檢測項目	檢測方法編號	檢測項目	檢測方法編號
溫度	NIEA W217.51A	鹽度	NIEA W447.20C
pH(25℃)	NIEA W424.52A	溶氧	NIEA W422.52B
葉綠素 a	NIEA E508.00B	總磷	NIEA W427.53B
總氮	NIEA W423.52C	氯鹽	NIEA W407.51C
硫酸鹽	NIEA W430.51C	汞	NIEA W330.524A
鋅、鎘、鉛、銅、鉻	NIEA W306.55A		

底泥測定項目包含：粒徑分析與海洋附著生物特性觀察分析。

(1)本研究以雷射粒徑分析儀(LISST-100X, Submersible Particle Size Analyzer)觀測樣點底泥含砂粒徑分布，藉由所得之粒徑分佈曲線結果以內差法求得中值粒徑(median diameter)D_{50}、有效粒徑(effective size)D_{10}，以及平均粒徑(mean diameter) D_m，而平均粒徑則取幾何平均值，常用砂樣參數計算式如下：

$$D_m = \sum_{p=0}^{100} D_i \cdot p_i / \sum_{p=0}^{100} p_i$$

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

$$C_u = D_{60} / D_{10}$$

Dn=粒徑分佈曲線上累積通過百分比為 n%所對應之粒徑，其中 D_i 為兩相鄰篩號之幾何平均粒徑，P_i 為所對應留篩部份佔全部重量之百分比，C 為均勻係數(coefficient of uniform)，Cu 為曲率系數(coefficient of curvature)。

依粒徑分佈將底泥粒徑顆粒予以分類，分類方法則依據美國統一土壤分類系統(unified soil classification system, USCS)所採用的美國材料與試驗協會(American society for testing and materials, ASTM)，規範 ASTM D2487-92 之分類法，粒徑分類整理於表 4.1.7 所示。

表 4.1.7　規範 ASTM D2487-92 之土壤粒徑特性分類法

粒徑分類	粒徑大小界定
礫石	粒徑在 76.2mm 至 4.75mm (#4 篩)之間
砂	粒徑在 4.75mm (#4 篩)至 0.075mm (#200 篩) 之間
粉土(粉砂)	粒徑在 0.075mm (#200 篩)至 0.005mm 之間
黏土	0.005mm 以下

(2) 海洋生物觀察分析非本計畫工作項目，然為使後續實驗計畫能順利規劃，本計畫嘗試將檢視研究點位底泥採樣是否有海洋生物，分別以解剖顯微鏡觀察、比對鑑定生物種類，與 DNA 分子序列實驗分析微生物種類。

(C) 海洋環境品質標準

依據臺灣沿海海域範圍與海域分類，水區包含臺灣本島及澎湖群島、蘭嶼、綠島等離島由海岸向外延伸之領海範圍。海域水體分類如表 4.1.8 及圖 4.1.14 所示。本計畫採樣試驗點皆隸屬於王功漁港向西延伸線至鼻頭角向彭佳嶼延伸線間之乙類海域。海洋環境品質標準，如表 4.1.9 所示。

表 4.1.8　海域水體分類表

海域範圍	水體分類
鼻頭角向彭佳嶼延伸至高屏溪口向琉球嶼延伸線間海域	甲
高屏溪口向琉球嶼延伸至曾文溪口向西延伸線間海域	乙
曾文溪口向西延伸線至王功漁港向西延伸線間海域	甲
王功漁港向西延伸線至鼻頭角向彭佳嶼延伸線間海域	乙
澎湖島海域	甲

「海域環境分類及海洋環境品質標準」環保署係於 90 年 12 月 26 日以(90)環署水字第 0081750 號布。

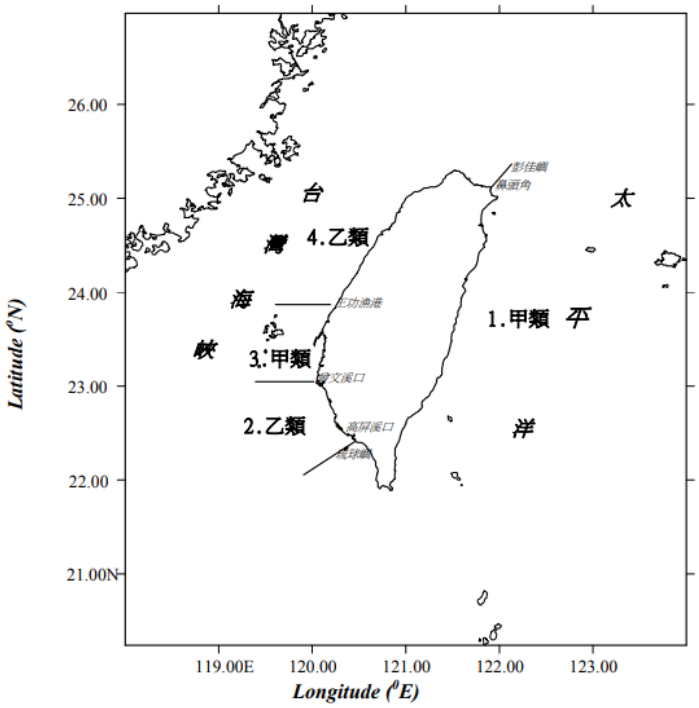


圖 4.1.14　臺灣沿海海域範圍與海域分類圖

資料來源：蔡立宏、徐如娟、劉大綱、許弘莒、陳平「鄰港水質環境調查研究(4/4)」，交通部運輸研究所，2003。

表 4.1.9　海洋環境品質標準

保護人體健康的海洋環境品質標準(適用於甲、乙、丙三海域環境)			各類海域海洋環境品質標準			
水質項目(μg/L)		**標準值**	**類別** / **水質項目**	**標準值**		
				甲類	**乙類**	**丙類**
重金屬	鎘	5.0	氫離子濃度指數(pH)	7.8~8.5	7.8~8.5	7.0~8.5
	鉛	10.0	溶氧量	5.0 以上	5.0 以上	2.0 以下
	六價鉻	50.0	生化需氧量	2 以下	3 以下	6 以下
	砷	50.0	大腸桿菌群(CFU/100mL)	1,000 個以下	--	--
	汞	1.0	氨氮	0.30	--	--
	硒	10.0	總磷	0.05	--	--
	銅	30.0	氰化物	0.01	0.01	0.02
	鋅	500.0	酚類	0.005	0.005	0.005
	錳	50.0	礦物性油脂	2.0	2.0	--
	銀	50.0				

(D) 底泥微生物分析

為使後續年度腐蝕之底泥微生物鑑定順利進行，嘗試採用分子序列比對方式，針對底泥之微生物種類進行分析與鑑定。期能先行建立有效實驗條件，以利後續研究進行。

傳統海洋生物觀察分析步驟經濟，卻耗工費時，所得之序列資料分析亦有限。為加速 DNA 定序，近年發展出不需經由細菌質體進行複製，允許大規模同步讀取大量小片段 DNA 序列高通量(High-throughput)次世代定序(Next Generation Sequencing, NGS)；可有效地縮短定序時間，獲得龐大 DNA 序列資料進行分析整合，價格亦相對提高。底泥樣本 DNA 萃取後，如以 NGS 進行分析，通過檢測 16SrDNA 序列變異，瞭解底泥菌相。以 Illumina MiSeq 儀器進行定序，獲得序列資訊後利用相似度將序列分群，稱為 OTU Analysis (operational taxonomic units)，將序列與資料庫進行比對，獲得該樣品菌種的組成概況與各菌種數量。

3. 分析結果與討論

研究期間，針對臺中及彰化離岸風機預定海域進行環境採樣工作，並於彰化風機預定區域拋放金屬試驗架，觀察彰化風機預定海域金屬材料腐蝕與海洋附著生物之附著情況，藉以瞭解水域環境的生地化特性。船隻海上座標定位偏差約為5km，為使金屬試架拋放至風機預定海域中，故船隻由St2西南方距離10 km處進行金屬試架拋放。待金屬試架拋放完畢後，再次進行座標定位，是為St3，故St2及St3站位距離約15 km。計畫期間採樣區域、座標、時間及作業項目如表4.1.10所示。

表 4.1.10　採樣資訊彙整表

區域/站位	TWD97 試驗點座標		採樣時間	作業項目
臺中/ St1	120°30'30"E	24°19'15"N	107.01.16 (二) 8：30	水質底泥採集
彰化/ St2	120°19'49"E	24°06'02"N	107.03.02 (五) 9：00	水質底泥採集
彰化/ St3	120°11'24"E	24°03'36"N	107.04.14 (六) 8：00	水質底泥採集 金屬試架拋放

(A) 海域水質分析

研究期間，臺中港區及彰化離岸風機預定海域水質分析結果，如表4.1.11所示。臺中港區於107年1月16日(冬季)進行採樣工作(St1)，測得水溫為19℃，鹽度為31.7。本次水樣分析項目與乙類海洋環境品質標準值之pH、溶氧、總磷及重金屬鋅、鎘、鉛、銅、鉻、汞等九項參數加以比較，皆符合標準，顯示採樣當日臺中港區水質情況良好。

表 4.1.11　水質分析資料表

項目	臺中/ St1	彰化/ St2	彰化/ St3	
採樣日期	107.01.16	107.03.02	107.04.14	
採樣時間	8：30	9：00	8：00	
溫度(℃)	19	21.3	26	
鹽度	31.7	33.7	34.9	
pH	8.1	8.1	8.0	
溶氧(mg/L)	8.8	8.2	7.9	
葉綠素 a (μg/L)	0.296	1.48	8.29	
總磷(mg/L)	0.025	<0.02　(0.012)	<0.02 (0.011)	
總氮(mg/L)	0.65	0.79	0.6	
硫酸鹽 (mg/L)	---	1160	1210	
氯鹽(mg/L)	---	20300	19800	
鋅(mg/L)	<0.02	N.D.	N.D.	MDL=0.012
鎘(mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	MDL=0.005
鉛(mg/L)	N.D.	<0.10　(0.047)	0.11	MDL=0.029 QDL=0.10
銅(mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	MDL=0.015
鉻(mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	MDL=0.017
汞(mg/L)	N.D.	N.D.	N.D.	MDL=0.0004

方法偵測極限 (Method detection limit, MDL)，檢驗值低於方法偵測極限之測定以" N.D."表示
定量偵測極限值(Quantitation Detection Limit，QDL)

彰化離岸風機預定海域，於研究期間共進行了兩次採樣工作。觀測期間，溫度介於 21.3-26℃之間，推測海域溫度主要受到季節變化而

增高，鹽度依離岸距離增加逐漸提升，整體介於 33.7-34.9 之間，故推測離岸約 15km 之 St2 仍受到沿岸淡水注入之影響。

其他水文參數，pH 介於8.0-8.1；溶氧介於7.9-8.2 mg/L；總磷介於0.011-0.012 mg/L；水中重金屬鋅、鎘、銅、鉻、汞皆低於方法偵測極限。就分析項目與乙類海洋環境品質標準值之pH、溶氧、總磷及重金屬鋅、鎘、銅、鉻、汞等八項參數加以比較，皆符合標準，唯重金屬鉛介於0.047-0.11mg/L之間，明顯高於標準值(0.01mg/L)。整體而言，除重金屬鉛超標，彰化離岸風機預定海域於研究期間，水質參數並無顯著異常值出現。

值得注意的是，此海域葉綠素 a(Chlorophyll a, Chl-a) 由三月初的1.48μg/L 大幅提升至四月中旬的 8.29μg/L，顯示此期間浮游植物具大幅成長之趨勢，然同時期營養鹽氮、磷與溶氧皆無顯著變化，由此僅可推測季節變換致使光照強度增強，可能是促進此海域浮游植物生長的主要因素之一，隨著浮游植物增長，同時可能吸引各式水中生物覓食而來，故建議仍需持續進行長期觀測，以瞭解此海域浮游植物變化情況及相關主導因子。

(B) 海床底泥分析

本計畫分別在臺中港區測點(St1)、彰化離岸風機預定地二測點(St2, St3)進行底泥採樣，其中 St1 和 St2 均有 40cm 和 60cm 採樣管的底泥採樣，St3 僅有 1 支 40cm 採樣管底泥採樣；靜置沉降後，原 40cm、60cm 底泥樣品，分別沉降至約 20~25cm 和 32~45cm 深度；故底泥分層粒徑以沉降後之深度檢測。

臺中港 St1 之底泥中值粒徑(D_{50})介於 94.921~117.399μm，平均粒徑(D_m) 介於 96.430~116.975μm，各深度皆無礫石，底泥的砂含量比例皆超過 66%，粉砂的比例皆低 34%。彰化離岸風機預定地 St2 和 St3 之底泥中值粒徑(D_{50})介於 10.461~187.210μm 和 10.312~12.015μm，平均粒徑(D_m)分別介於 16.174~176.268μm、29.129~50.471μm，各深度皆無礫石；St2 底泥的砂含量介於 2.60~83.73%，粉砂的比例介於

16.27~84.60%，兩種含量的比例變化相當大。St3 底泥的砂含量介於6.14~15.47%，粉砂的比例介於 84.53~93.86%，各深度粉砂所佔比例超過八成以上。3 個測點，共計 5 支底泥樣品採樣，除分析底泥粒徑外，亦同步檢視是否有大型底棲生物，僅在彰化海床 St3 的 40cm 採樣管底泥中發現一隻多毛綱(Polychaeta)部份身體，如圖 4.1.15 所示。



圖 4.1.15　St3 底泥內底棲生物

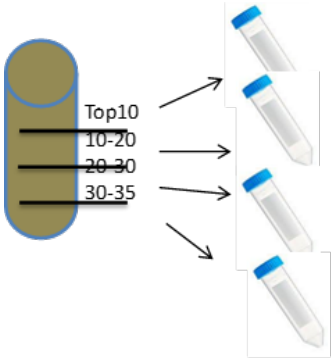


圖 4.1.16 底泥 DNA 分層收集圖

(C) 底泥微生物分析

因本次分析之微生物棲息於海洋底泥中，故於土壤試劑類型中選用 Mobio DNeasy PowerSoil DNA 萃取試劑套組，以增加底泥樣本 DNA 萃取成功機率。首先將採集的海洋底泥管依每 10cm 分別收集 50cc 至離心管(圖 4.1.16，接續利用 DNeasy PowerSoil DNA 萃取不同深度樣本之底泥 DNA 後，進行 NGS 定序。

臺中港 St1 的 60cm 長海洋底泥管中底泥沉降後(36cm 深)，進行 NGS 的底泥深度樣品分別有 Soil1(0~10cm)、Soil2(10~20cm)和 Soil4(30~36cm)。此三個底泥深度分別定出 112,784、255,400 和 203,422 條 DNA 序列，僅有 0.33%、0.34%和 0.41%無法鑑定至界(Kingdom)。各底泥深度能鑑別出分類結果如圖 4.1.17~圖 4.1.19 所示；各有 99.10%、99.34%和 98.96%的序列為細菌界(Bacteria Kingdom)；各有 0.57%、0.32%和 0.62%的序列為古菌界(Archaea Kingdom)；有 81,548(71.51%)、183,833(71.98%)和 145,466 (72.30%) 條序列能鑑定到 623、657 和 654 個屬；有 54,033 (47.91%)、122,323(47.89%)和 96,785(47.58%)條序列能鑑別出 838、1013 和 994 個物種，並比對出與

具腐蝕金屬材料之硫酸還原菌同屬的種類(如:*Desulfovibrio, Desulfobacterium, Desulfotomaculum, Thiobacillus, Sulfurospirillum, Leptothrix, Crenothrix, Thiobacillus, Clostridium, Flavobacterium, Bacillus,* and *Pseudomonas* 等)。

另以屬為單位，利用階層群聚(Hierarchical Clustering)分析法探討不同深度微生物之相似性，結果顯示 Soil1 和 Soil2 相鄰兩深度間微生物特性具有較大的相似性，與 Soil4 的相似性則較小(圖 4.1.20)。圖中不同顏色與高度代表不同屬內種類的豐富程度。

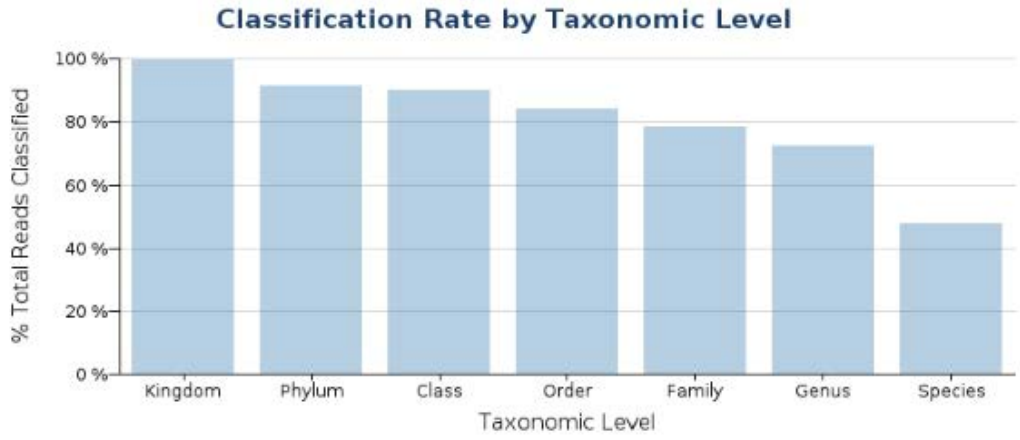


圖 4.1.17　Soil1 底泥微生物 DNA 序列各分類位階鑑別結果

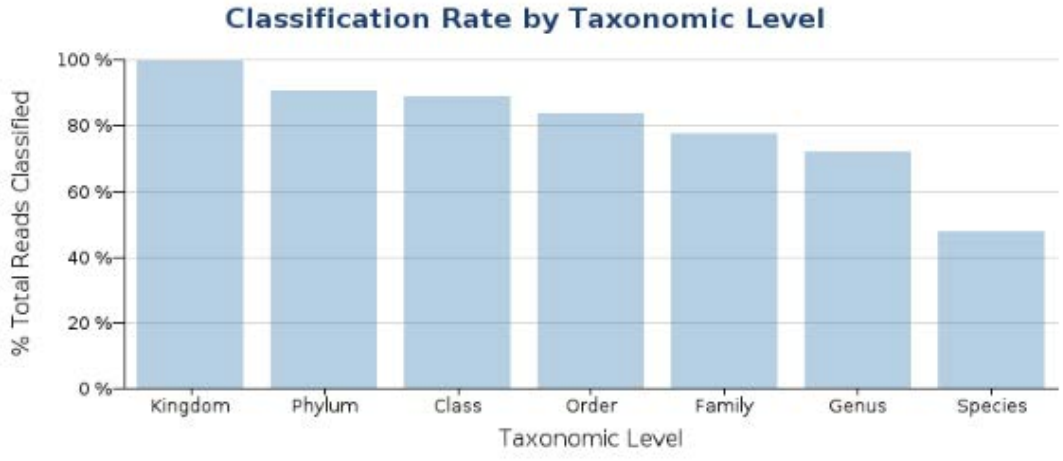


圖 4.1.18　Soil2 底泥微生物 DNA 序列各分類位階鑑別結果

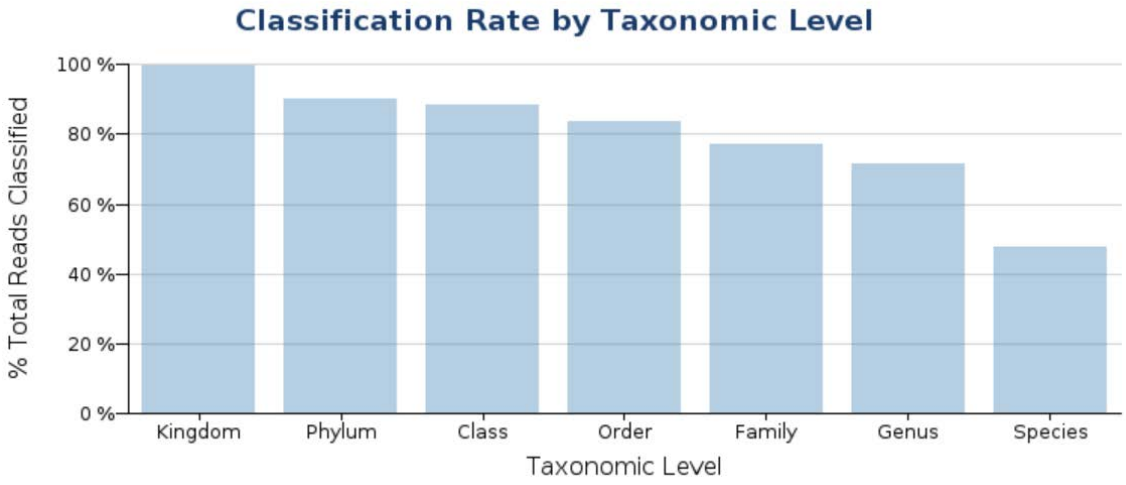


圖 4.1.19　Soil4 底泥微生物 DNA 序列各分類位階鑑別結果

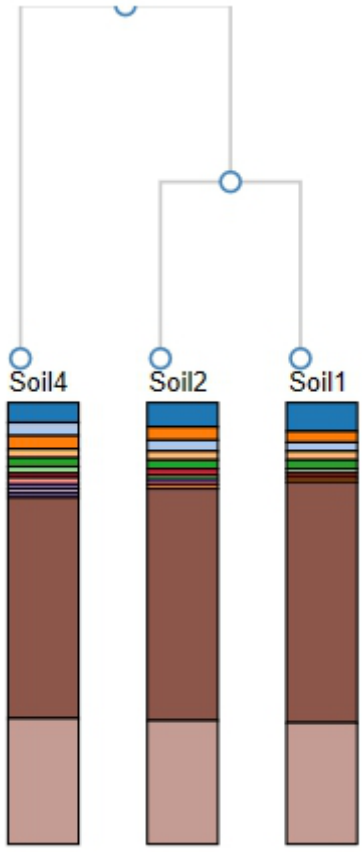


圖 4.1.20　底泥微生物 DNA 階層分析圖

4.2 離岸風機基礎維管及穩定性檢監測技術初探

4.2.1 離岸風力機基礎型式

1.國外風機結構基礎型式，目前主流的國外風機結構基礎型式有 2 種：

(1)單樁式(Monopile)基礎，目前世界上約有 2/3 之風機採用此基礎形式(如圖 4.2.1)，其優缺點及適用性如下：

a.優點：設計及製造簡單、組裝及運輸便捷。

b.缺點：因單樁承受較大之流體力並須施作防淘刷之基礎保護工，水深較深時剛性較不足，使用限制性取決於整體變形及振動量。

c.適用水深及地質：水深 0~25 公尺，砂質海床，變動及受沖刷之海床

d.臺灣適用性：因亞洲地區無大樁徑打樁機，故需採用歐洲施工船隊。苗栗以北有岩層且地震影響較輕微可適用其作為離岸風機之水下基礎。



（資料來源：台灣電力公司，2015，「離岸風力發電第一期計畫可行性研究」）

圖 4.2.1 單樁式(Monopile)

(2)套筒式(Jacket)基礎此基礎型式由四根主要套筒(管)所構成，彼此間以多根交錯之細長連桿相連接(如圖 4.2.2)，其優缺點及適用性如下：

a.優點：因四根套筒及連桿可分散須承受之流體力，且承載面積大及靜不定度高，可大幅增加側向勁度及整體穩定性，具有較佳的穩定度

b.缺點：複雜的 truss 結構，故其製造較費工，成本亦相對較高

c.適用水深：適用於環境載重較大或水深較深(20 公尺~50 公尺)之情形

d.臺灣適用性：適合在苗栗以南的軟弱泥土質地盤及較活躍的地震帶使用。



（資料來源：台灣電力公司，2015，「離岸風力發電第一期計畫可行性研究」）

圖 4.2.2 套筒式(Jacket)基礎

2.不同風機結構基礎型式下部結構成本比較：依劉浙仁等人研究，以西北部海域環境為背景，針對單樁式與套筒式下部結構，進行不同水深條件的概念設計，並以德國的成本模型概估下部結構的製造與安裝費用，下部結構的成本估算成果顯示以單樁式較具成本優勢，

且若進一步比較基礎安裝所需的時間，以單樁式需要的安裝時間較短，對於海事工程而言可降低惡劣海象干預的風險，故於淺水區建議首要考量單樁式結構，但單樁式結構可應用的水深範圍取決於工程技術，若水深過深則只能選擇套筒式或其他型式的下部結構。成本估算成果如表 4.2.1、表 4.2.2 及圖 4.2.3。

表 4.2.1 單樁式下部結構成本估算成果

(成本單位：千歐元)

水深(m)	連接段製造	單樁製造	安裝	合計
20	1,153	1,864	305	3,323
35	1,153	3,177	574	4,905

表 4.2.2 套筒式下部結構成本估算成果

(成本單位：千歐元)

水深(m)	連接段製造	單樁製造	安裝	合計
20	2,706	789	958	4,453
50	4,108	789	1,686	6,583

（資料來源：劉漢修，2017，離岸風機國產水下基礎推動規劃）

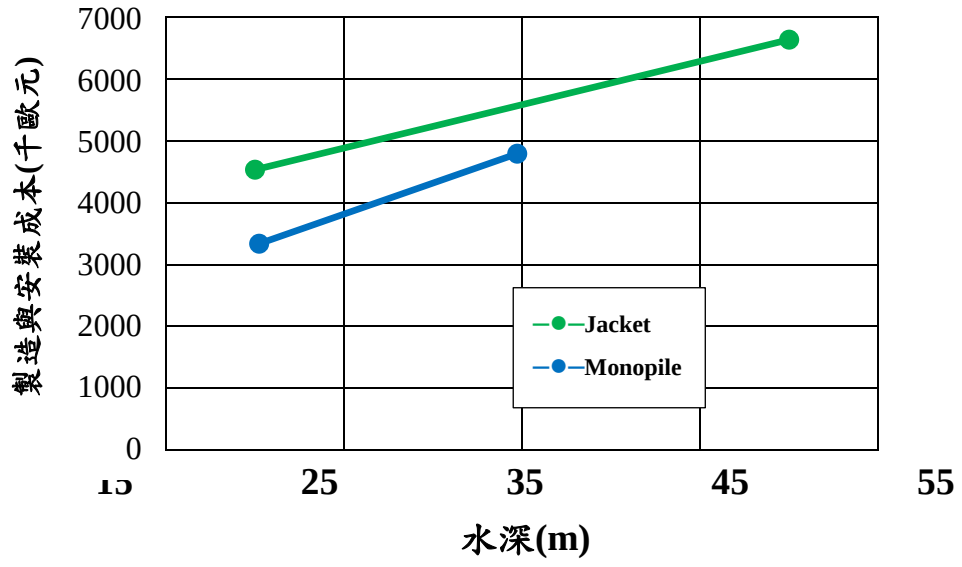
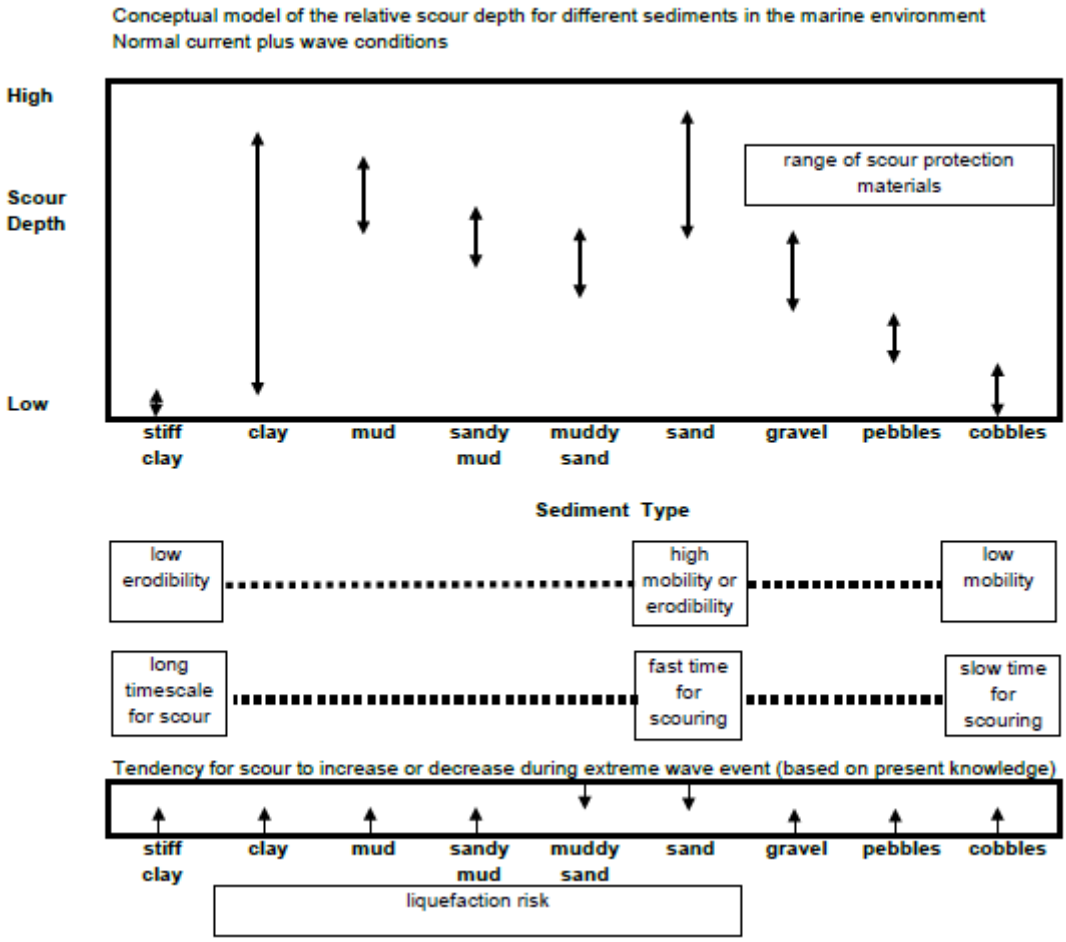


圖 4.2.3 離岸風機下部結構成本比較

4.1.2 離岸風力機單樁式(Monopile)基礎淘刷

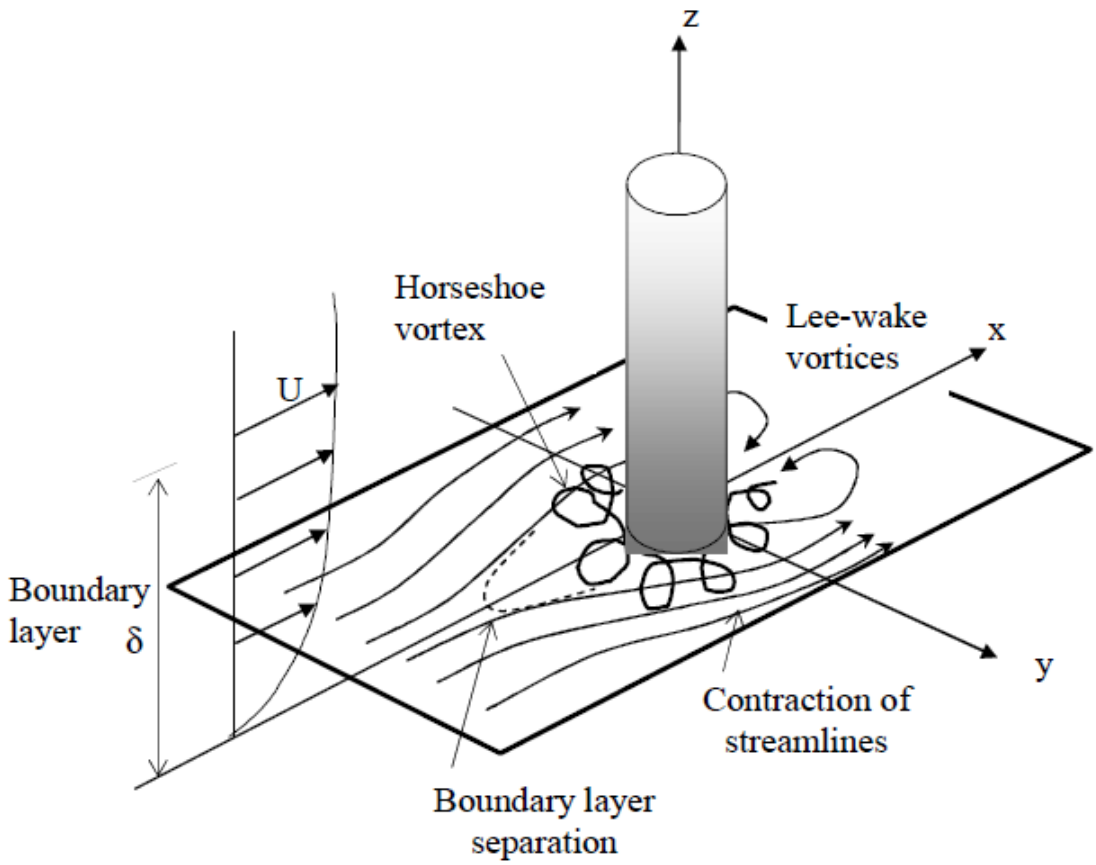
1.土壤性質與基礎淘刷：Richard JS Whitehouse2006 年文獻指出基礎在一般流況及極限流況時不同地質有不同的淘刷深度，哪些地質會有土壤液化潛能如圖 4.2.4，相較於砂土，較粗或較細的土壤淘刷程度較低，但泥及黏土之淘刷程度取決於它的壓密度。



（資料來源：Richard JS Whitehouse,John M Harris,James Sutherland and Jon Rees）

圖 4.2.4 基礎在一般流況及極限流況時不同地質之淘刷深度影響

2.基礎淘刷流況：依據 DNV-OS-J101 規範，垂直樁附近流況如圖 4.3.5 所示，樁前有馬蹄形渦流，流線在樁兩側較緊密，造成底床剪應力增加及底床變動。



（資料來源：Offshore Standard DNV-OS-J101, May, 2014.）

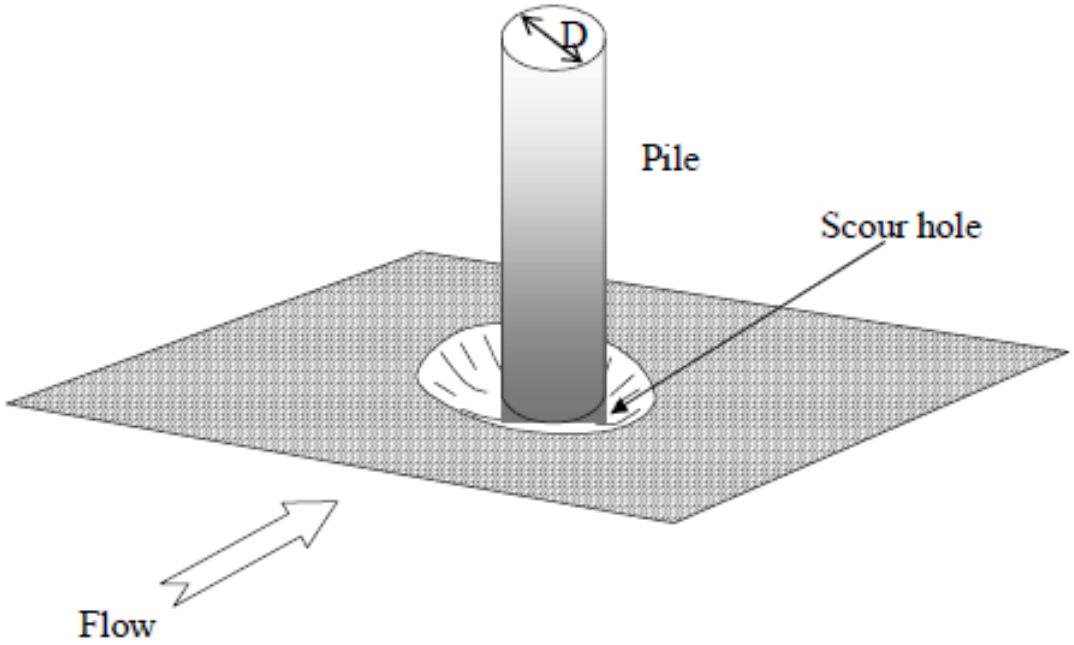
圖 4.2.5 垂直樁底床流況

3.底床剪應力：底床剪應力可以放大係數α表示，在穩定流況(steady current)下α值可至 7-11，至於波浪造成的放大係數較小。

$$\alpha = \frac{\tau_{max}}{\tau_{max,\infty}}$$

τ_{max}為具垂直樁之底床最大剪應力，$\tau_{max,\infty}$為無垂直樁之底床最大剪應力。

4.局部沖刷深度：首先要分辨局部沖刷屬清水沖刷或動床沖刷，兩者形成的沖刷深度及流速不同。在穩定流況下沖刷坑如圖 4.2.6 所示。



（資料來源：Offshore Standard DNV-OS-J101, May, 2014.）

圖 4.2.6 垂直樁旁的沖刷坑示意圖

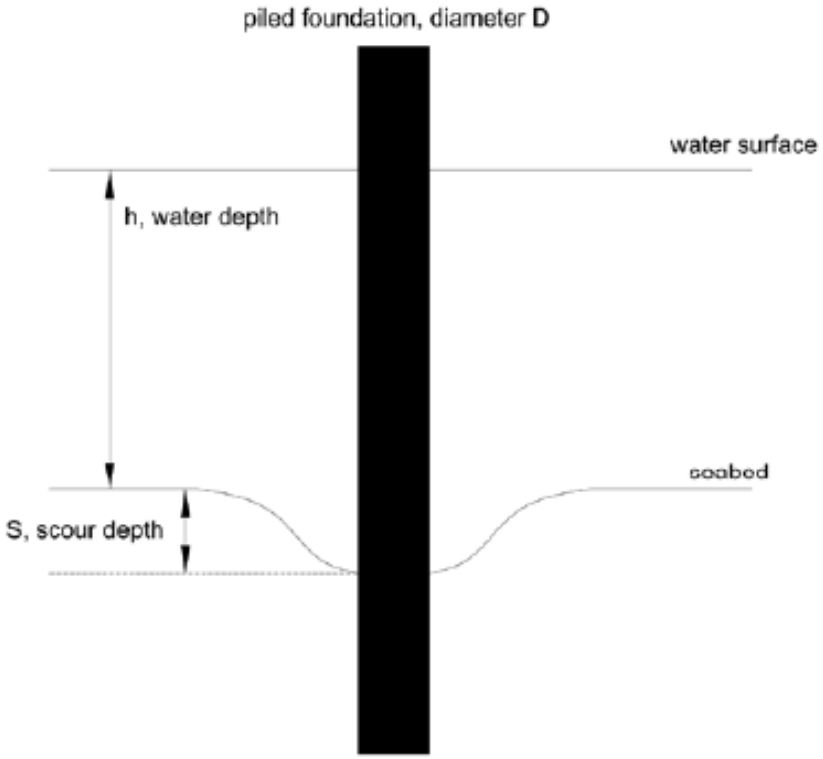
動床沖刷之沖刷深度 S 可表示為下式，沖刷深度的定義如圖 4.2.7。

$$\frac{S}{D} = 1.3\{1 - exp[-0.03(KC - 6)]\} \quad KC \geq 6$$

其中 KC 數（Keulegan–Carpenter number）與波週期 T、樁直徑 D 及底床最大流速μ_{max}有關。

$$KC = \frac{\mu_{max} \cdot T}{D}$$

在穩定流況下，KC 趨近於無限大，沖刷深度 S 趨近於 $1.3D$，若波其 KC 數<6，則不會發展沖刷坑。



（資料來源：Richard JS Whitehouse,John M Harris,James Sutherland and Jon Rees）

圖 4.2.7 沖刷深度 S 之定義

5.沖刷坑範圍：沖刷坑的範圍可以其沖刷坑半徑 r 表示，其與樁直徑 D、沖刷深度 S 及土壤摩擦角 ϕ 有關。

$$r = \frac{D}{2} + \frac{S}{tan\varphi}$$

6.沖刷深度與時間：在 t 時間的沖刷深度 S_t 與時間尺度 T_1 有關，時間尺度 T_1 與無因次化時間尺度 T^*、底床粒徑 d、樁直徑 D、水深 h、KC 數及 Shields 數 θ 有關。

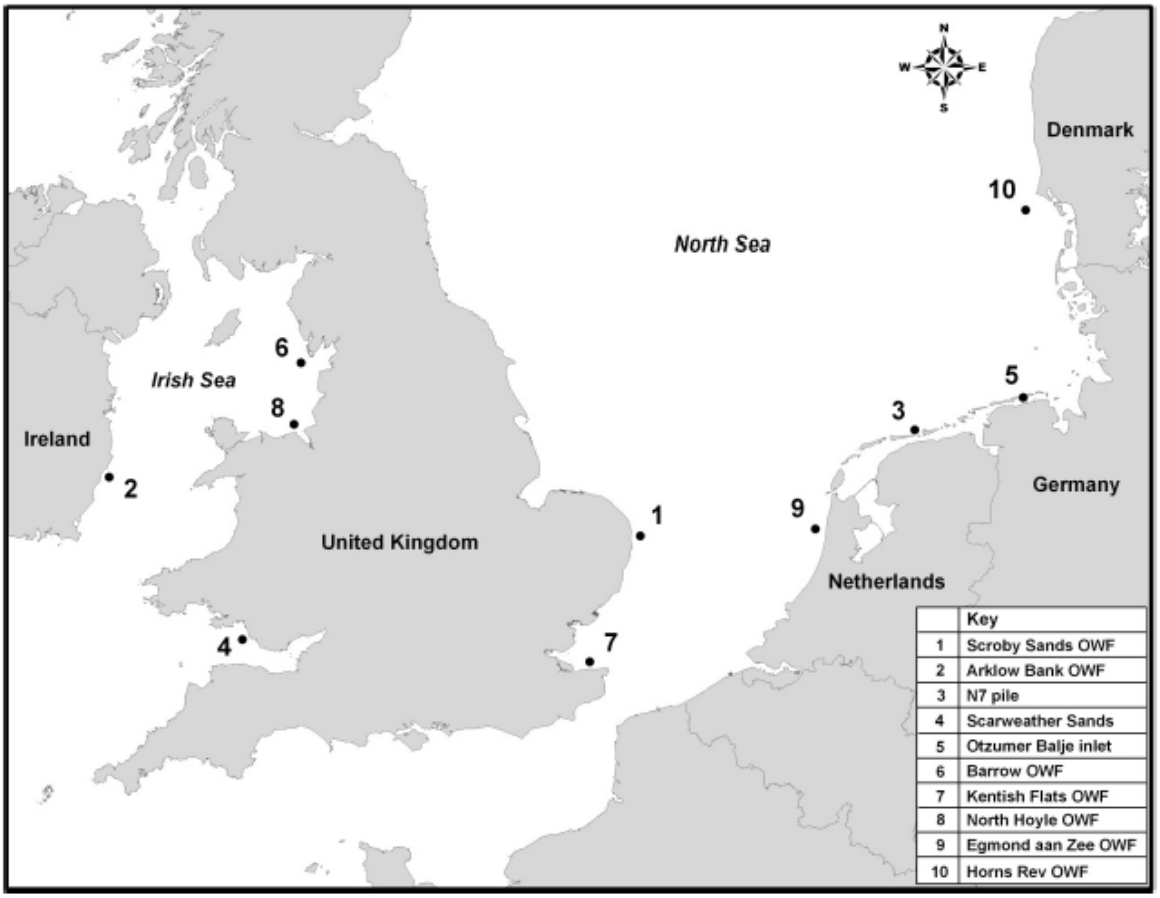
$$S_t = S[1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right)]$$

$$T^* = \frac{\sqrt{g(s-1)d^3}}{D^2} T_1$$

針對穩定流 $T^* = \frac{1}{2000}\frac{h}{D}\theta^{-2.2}$

針對波 $T^* = 10^{-6}(\frac{KC}{\theta})^3$

7.國外風場基礎沖刷案例：歐洲 10 個風場位置及屬性如圖 4.2.8 及表 4.2.3 所示，地質主要為砂及黏土，有 2 座有沖刷保護工程。



（資料來源：Richard JS Whitehouse,John M Harris,James Sutherland and Jon Rees）

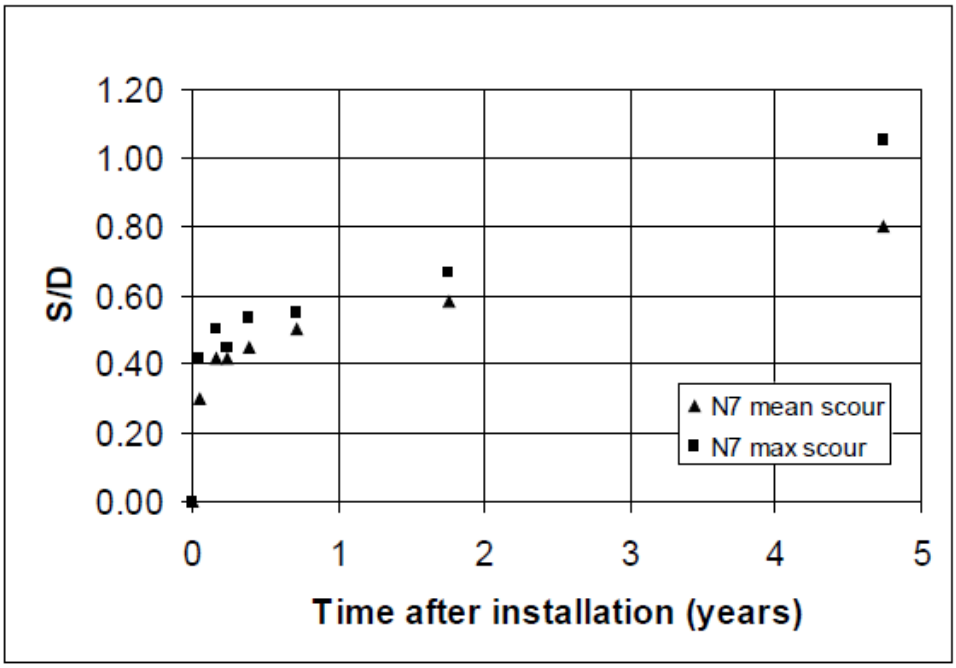
圖 4.2.8 歐洲 10 座風場位置

表 4.2.3 歐洲 10 座風場特性

Site	Description	Seabed sediment	Monopile diameter	Scour protection	Depth LAT	Mean Tide Level above LAT	Tide range (n) neap & (s) spring	Peak current speed
			m		m	m	m	m/s
Scroby Sands OWF	Sand bank, east coast England: exposed to waves, strong currents, fine to medium sand, dynamic sandbank environment, shallow water, presence of mobile bedforms.	Medium SAND, some GRAVEL/SHELL, CLAY at depth	4.2	Yes*	3 to 12	1.6	1.1 (n) 1.9 (s)	1.65
Arklow Bank OWF	Sand bank, east coast Ireland: exposed to waves, strong currents, sand/gravel, dynamic seabed environment, shallow water.	Loose to medium dense SAND and sandy GRAVEL	5	Yes	2 to 6	1.3	1 (n) 2 (s)	2
N7	Open seabed, southern North Sea: exposed to waves, strong currents, medium sand, dynamic seabed environment, very shallow water.	Fine medium dense SAND	6	No	5.2	1.8*	2.6 (mean)	0.75
Scarweather Sands	Sand bank, Bristol Channel: exposed to waves, strong currents, medium sand, dynamic seabed environment, shallow water.	Medium to fine shelly SAND	2.2	No	6	5.4?	4.2 (n) 8.9 (s)	1.1
Otzume Balje inlet	Tidal inlet, Wadden Sea: sheltered from waves, strong currents, medium sand, dynamic seabed environment, shallow water.	Medium SAND	1.5	No	11.7	1.6	2.6 (mean)	1.4
Destin inlet	Tidal inlet Gulf of Mexico: sheltered from waves, moderate currents, fine sand, dynamic seabed environment, very shallow water.	Fine SAND	0.62*	No	3.8	0	0.2 (approx)	0.6
Barrow OWF	Open seabed, northwest coast of England: exposed to waves, moderate currents, sand and clay, stable seabed environment, deep water.	Fine SAND to muddy SAND, some GRAVELS overlying CLAY; exposed CLAY	4.75	No	12 to 18	5.1	4.1 (n) 8.2 (s)	0.8
Kentish Flats OWF	Open seabed Thames Estuary, England: exposed to waves, moderate currents, sand and clay, stable seabed environment, very shallow water.	Fine SAND; infilled paleo-channel with CLAYS and SANDS; CLAY near surface or exposed	5	No	3 to 5	2.74	2.9 (n) 4.7 (s)	0.9
North Hoyle OWF	Open seabed, north Wales: exposed to waves, moderate currents, gravel/sandy gravel, stable seabed environment, deep water.	Gravelly medium SAND or sandy GRAVEL overlying CLAY	4	No	6 to 12	5.15	4.1 (n) 6.1 (s)	1.17
Notes:			*Square pile	*First survey without scour protection		* Mean Sea Level value		

（資料來源：Richard JS Whitehouse,John M Harris,James Sutherland and Jon Rees）

在N7風場底床為砂土，沖刷深度在設置樁5年內持續增加如圖4.2.9所示。

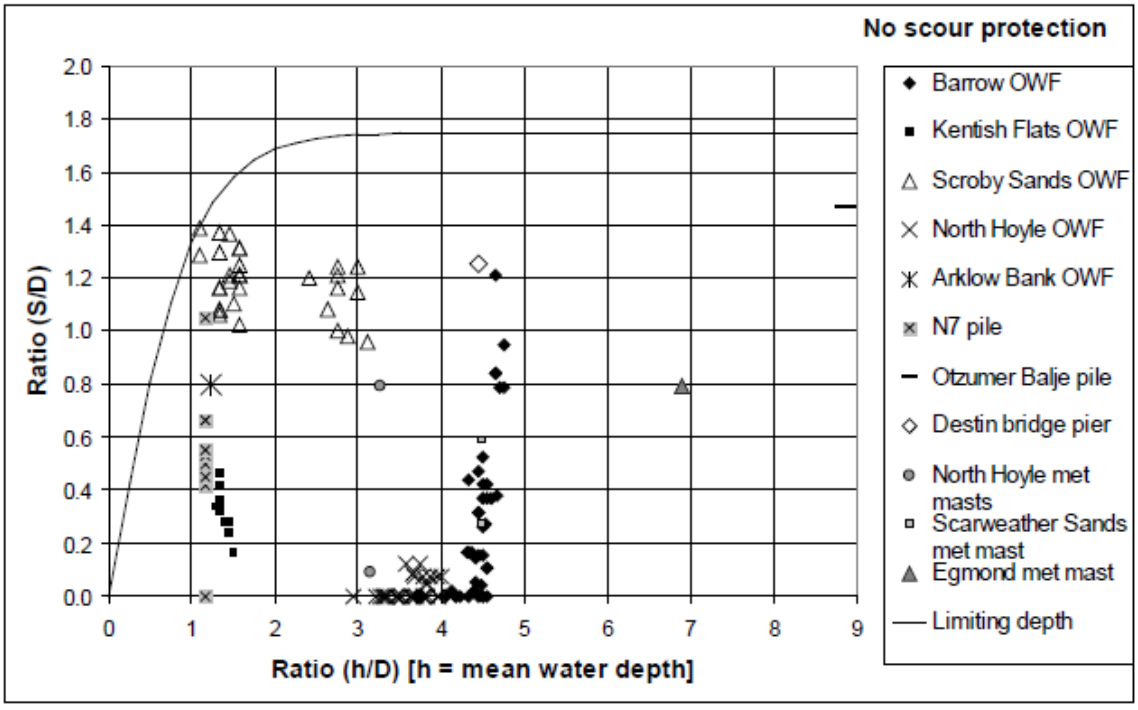


（資料來源：Richard JS Whitehouse,John M Harris,James Sutherland and Jon Rees）

圖 4.2.9 在 N7 風場在設置樁 5 年內沖刷深度持續增加

各風場之沖刷深度與樁直徑比對水深與樁直徑比如圖 4.2.10 所示，Otzumer Balje 細長樁在 5 至 6 個月後的沖刷深度比 *S/D* 達 1.47，Scroby Sands 風場其中一個樁在 4 至 5 個月後 *S/D* 達 1.38，皆超越 DNV 規範建議的 1.3*D*，Barrow 風場有些樁幾乎沒沖刷，因為底床表層有足夠厚的限制沖刷材料如冰河冰蹟層，North Hoyle 因底床為礫石。

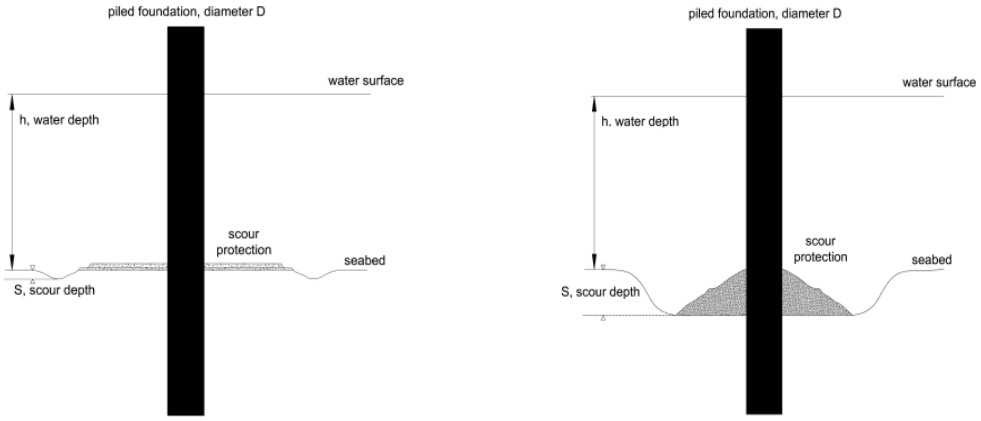
115 案例值中只有 6 個案例沖刷深度超過 DNV 規範建議的 1.3*D*，經驗公式指出當水深與樁直徑比 *h/D* 小於 3 至 5 時，沖刷深度會減少。在實驗室得到的最大沖刷深度為 *S/D*=1.75，如果考量水深較淺時，沖刷深度比為$S_{max}/D \times \tanh(\frac{0.75h}{D})$，如圖 4.1.10 之 Limiting depth 曲線所示。



（資料來源：Richard JS Whitehouse,John M Harris,James Sutherland and Jon Rees）

4.2.10 各風場之沖刷深度與樁直徑比對水深與樁直徑比圖

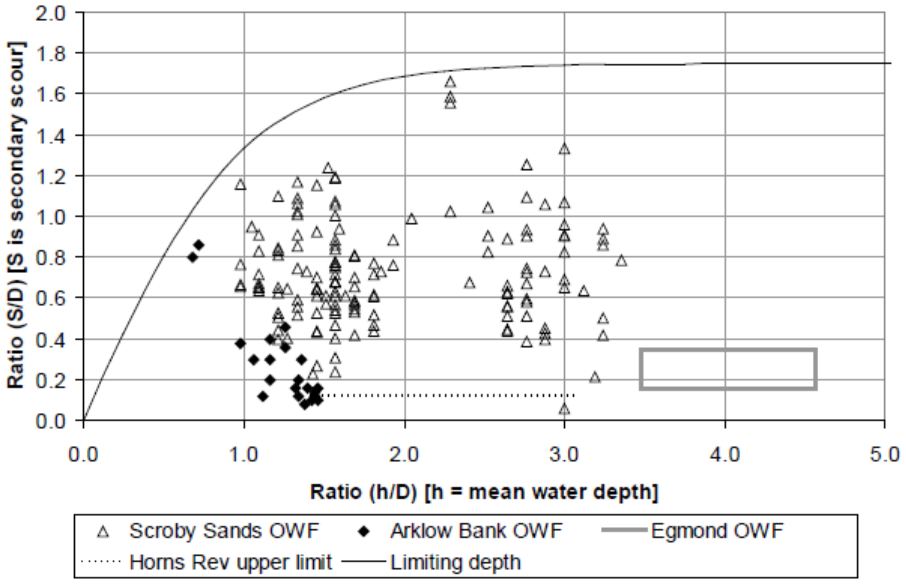
有沖刷保護工的沖刷深度 S 定義如圖 4.2.11。



（資料來源：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）

圖 4.2.11 有沖刷保護工的沖刷深度 S 定義

有沖刷保護工的沖刷深度與樁直徑比對水深與樁直徑比如圖 4.2.12 所示，觀測時間在 3 年內，Horns Rev 沖刷深度比為水平虛線，Egmodnd 風場為沖刷深度比矩形框，此兩者皆因預先設置沖刷保護工的緣故，致沖刷深度較低，Breusers et al.曾提及不良的沖刷保護工亦會引致沖刷產生。



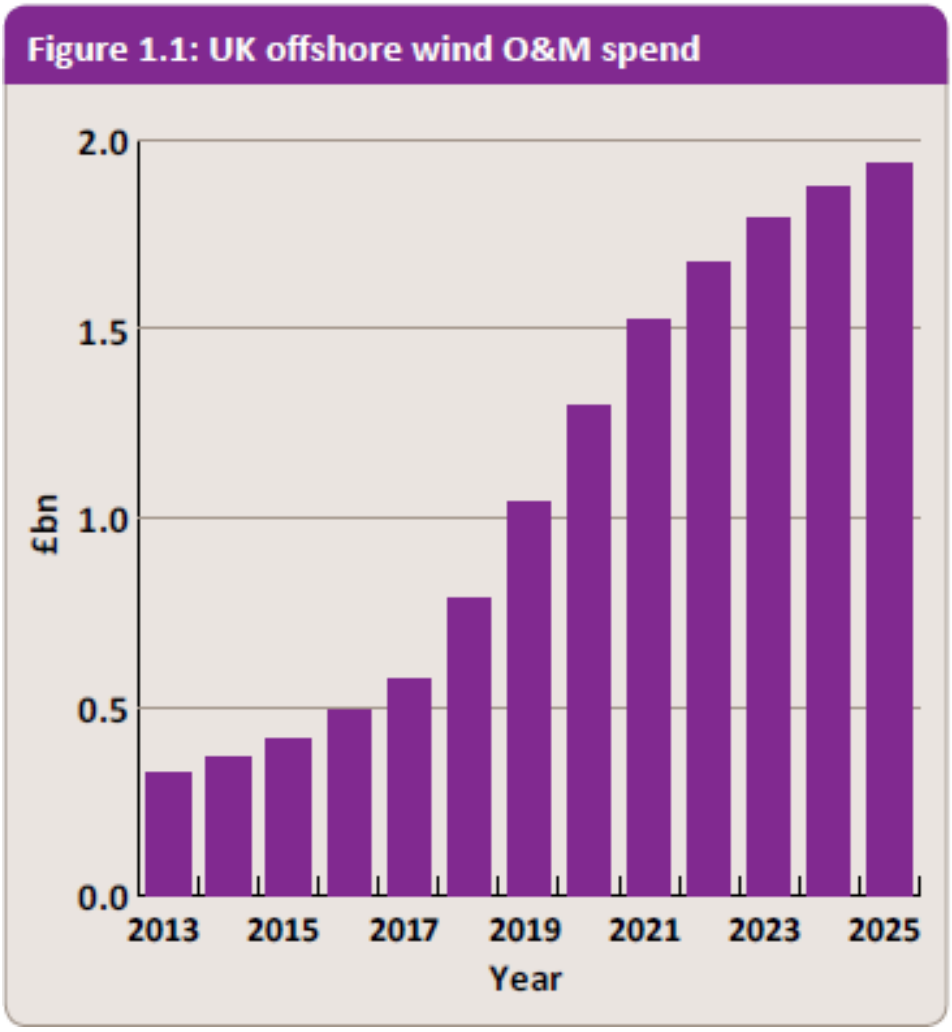
（資料來源：Richard JS Whitehouse,John M Harris,James Sutherland and Jon Rees）

圖 4.2.12 具沖刷保護工的沖刷深度與樁直徑比對水深與樁直徑比

DNV 規範依據實驗室數據建議沖刷深度比 *S/D*=1.3，其標準偏差為±0.7D，故最大沖刷深度比 *S/D*=2.0，在 Otzumer Balje inlet 在砂土底床無保護工下其沖刷坑影響範圍為 4*D* 至 5*D*。

4.2.3 離岸風力機基礎維管計畫

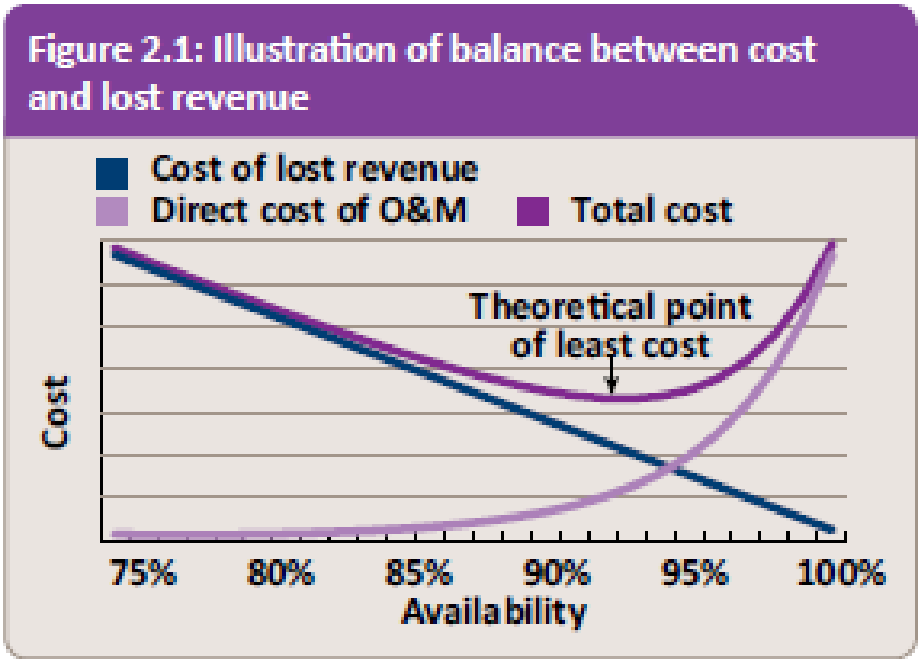
依據 Scottish Enterprise 的文獻指出英國離岸風機的維管費用約為風機全生命週期費用的四分之一，每年維管 5,500 支離岸風機的費用於 2025 年約達 20 億英鎊即 800 億台幣，如圖 4.2.13 所示。



（資料來源：A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance, Scottish Enterprise.）

圖 4.2.13 英國維管 5,500 支離岸風機費用/年

離岸風機產生電力的可用性如達 100%，則相對要達到此目標的維管費用就最高，收入的損失就降為 0，所以理論最小成本可由風機可用性降低造成收入損失及相對維管費用圖得到如圖 4.2.14，目前英國離岸風機產生電力的可用性約 90%~95%。



（資料來源：A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance, Scottish Enterprise.）

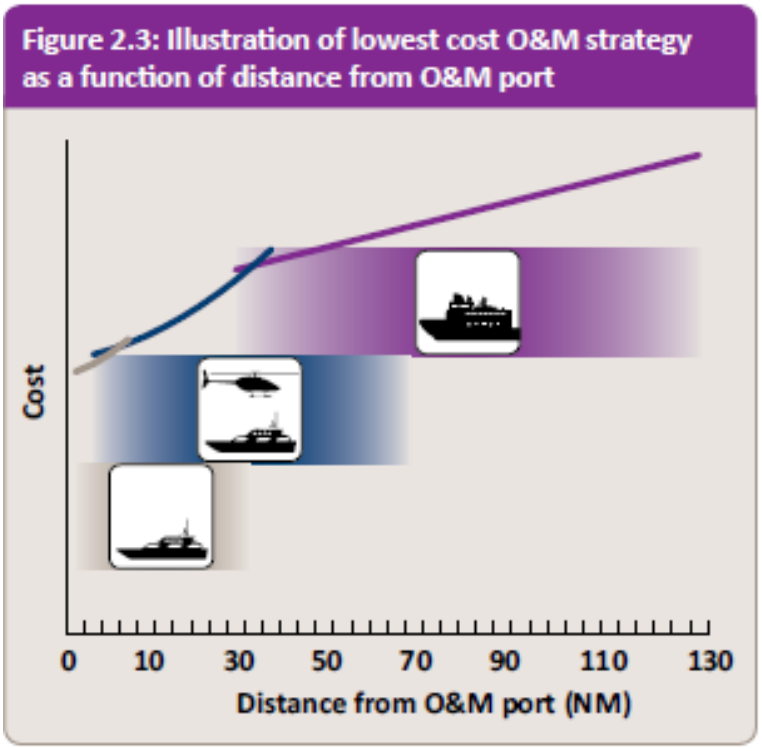
圖 4.2.14 理論最小成本圖

維管作業需考量運送時間及可及性，風場距維運基地愈遠，人員在風機上的操作時間就更短;風場的海象影響維運的可及性，如果一年有 40%的時間波高大於 2 公尺，那一艘在波高 2 公尺以下能運送人員及設備的船就只有 60%的可及性。

維護風機包含例行性及臨時性維護，例行性的每年維護在英國於平均風速較小的夏季進行，較不影響營運，臨時性維護可能因不同原因導致需要維護，例如簡易檢查並重啟風機，如要更換變電轉換器則需數星期或數月才能完成。

降低維運費用的方法為讓離岸風機產生電力的可用性提高並在最小的成本、降低臨時性維護的次數、維護效能提升。

英國 12 海浬內風機維護使用工作船，12 海浬至 40 海浬使用工作船加直昇機，40 海浬以上使用離岸工作船，其距離及費用如圖 4.2.15，使用維修載具的距離界線因地制宜。



（資料來源：A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance, Scottish Enterprise.）

圖 4.2.15 維護載具與港口距離、費用關係圖

風機維管作業包括維持運作服務及設備維護作業，維持運作服務包括：

(1) 岸上物流：碼頭作業、倉儲及現場作業空間。

(2) 離岸物流：將人員及設備運輸至風機。

(3) 管理操作後台端：監控及販賣電…等。

設備維護作業包括：

(1) 風機維護：利用技術人員及設備檢查及修理風機。

(2) 傳輸電纜維護：利用技術人員及設備檢查及修理風機電力傳輸系統，包括離岸變電站及傳輸電纜。

(3) 陣列電纜維護：利用技術人員及設備檢查及修理海底電纜，以產生聯合電力。

(4)基礎維護：利用技術人員及設備檢查及修理風機基及水下結構。

傳輸電纜維護需檢查電纜埋設深度是否不足，尤其是漁船作業擾動的區域，海床面的調查可以偵測到電纜是否曝露，水下無人載具 ROV 可進行電纜埋置深度調查。

不足的電纜埋設深度可藉由混凝土保護坦(圖 4.2.16a)及拋石加以保護，電纜失效原因可能內部缺陷或外來因素(如錨、漁業行為)導致電纜修復可利用駁船加上犁地(圖 4.2.16b)或噴射(圖 4.2.16c)設備進行電纜鋪設。對於一個 500MW 的風場而言，傳輸電纜維護平均花費 5 萬至 20 萬英鎊(200 萬至 800 萬台幣)。



a 混凝土保護坦　　b 犁地設備　　c 噴射設備

（Offshore cable protection，Niklas Svensson, Martin Holmberg, Linnaus University, Sweden.）

圖 4.2.16 傳輸電纜維護作業設備

陣列電纜維護與傳輸電纜維護大致相同，不同在於規模及較慢的修復，因海床狀況及維護數量的不同致維護費用不同，對於一個500MW的風場而言，陣列電纜維護平均花費20萬至50萬英鎊(800萬至 2000 萬台幣)。淘刷及結構檢查以確保風機的完整性，在風機設置後的2年內需較頻繁的檢查，之後檢查頻率可降為5年或10年一次，可利用調查船的側掃聲納檢查底床保護工的狀況或底床淘刷情形。

樁檢查包括單樁固結段及海水濺潑段表面及內部檢查。水下樁陰極腐蝕保護調查可利用水下無人載具完成。對於一個 500MW 的風場而言，淘刷及結構檢查平均花費20萬至60萬英鎊(800萬至2400萬台幣)。基礎維護包括定期油漆(尤其靠船處)及定期清理海生物、修理固結段接頭、沖刷保護工拋放、次要鋼結構損壞維修(如梯子、門及平台等)、附屬於基礎上的設備維修如指示照明等。對於一個 500MW 的風場而言，基礎維護平均花費10萬至60萬英鎊(400萬至2400萬台幣)。

DNV規範敘述小風場可訂定每年或其他週期之檢測計畫，大風場檢測計畫則需加入風險分析，且若風機型式相同者可擇代表性風機進行檢測。包括：

(1) 風場週期性的檢測對象包括風機、水上結構系統、水下結構及海底電纜。

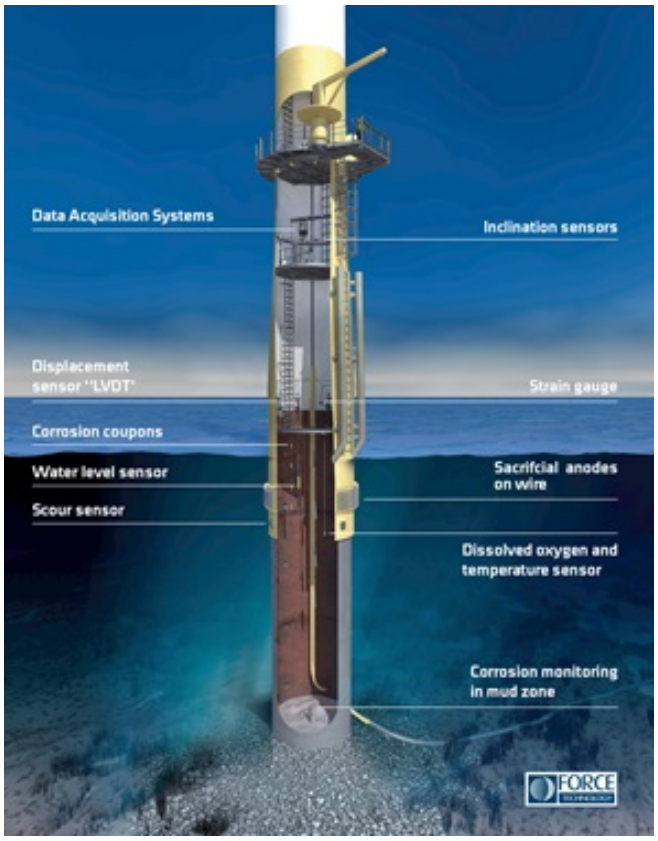
(2) 週期性的檢測包括三等級檢測，即一般目視檢測、詳細目視檢測及非破壞性檢測。

(3) 一般目視檢測之水下檢測可利用無人水下載具(ROV) ，詳細目視檢測則需由潛水夫執行。

(4) 風機需有 5 年的檢測計畫且每年檢測，檢測結構是否與原設計相符，檢測結果須與前期比較。

4.1.4 離岸風力機基礎穩定性檢監測技術

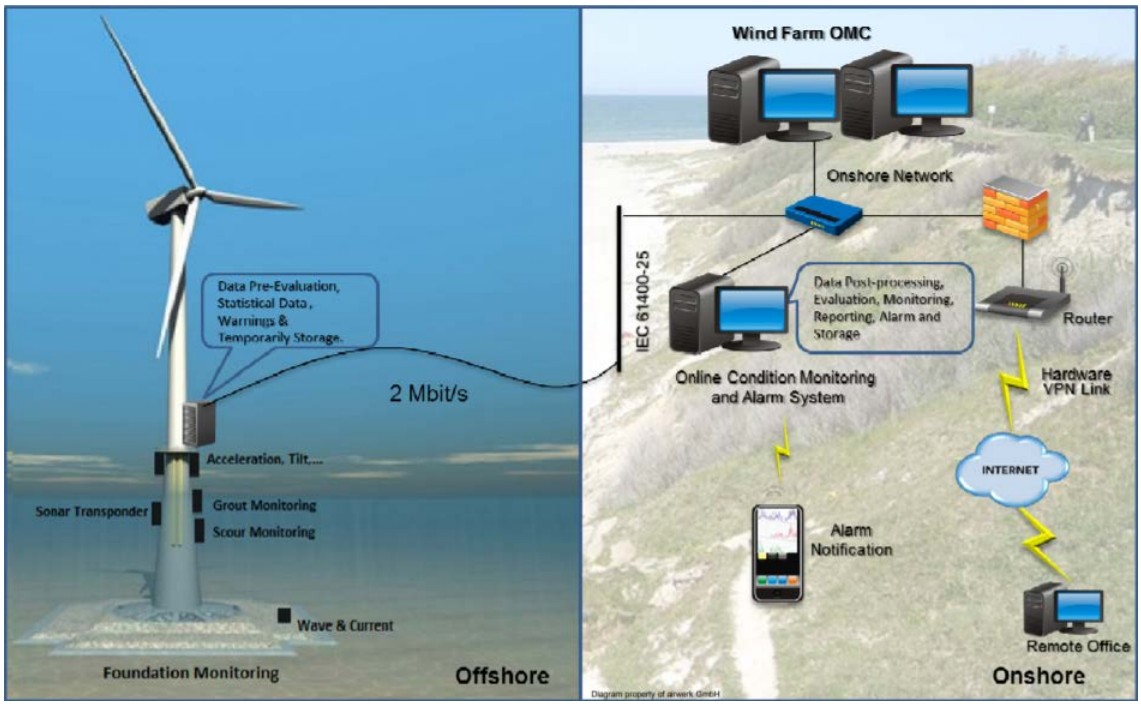
離岸風機在疲勞應力區可裝設監測儀器如應變計、傾斜儀、加速度計、溫度計及沖刷量測儀器。在樁及轉接段之相對垂直位移可用 LVDT 位移感測器或雷射感測器，腐蝕速率可利用感測器感測氫、硫化氫、溫度及相對電位、酸鹼 PH 值、水位及氧。沖刷可用聲納探測底床。感測器安裝以 Force Technology 公司監測設備為例，如圖 4.2.17 所示。



（資料來源：Force Technology, Structural health monitoring system for offshore wind turbines.）

圖 4.2.17 感測器安裝(Force Technology 監測設備為例)

另 University of Paderborn 在離岸風場水下基礎監測採用連接固定段監測、沖刷監測、聲納發射器及波流監測並傳輸分析預警，如圖 4.2.18 所示。



（資料來源：University of Paderborn, Foundation Monitoring For Offshore Windfarms, 2013.）

圖 4.2.18 離岸風場水下基礎監測(University of Paderborn 為例)

離岸檢測須能評估破壞是屬於隨機或系統性破壞。檢測風機、疲勞裂縫的時間間距不可超過 1 年，水下結構及海底電纜檢測間距不能超過 5 年，海底電纜須確定其埋置於設計深度。若以風險考量，在 20 至 50 支風機中至少檢測 1 支風機。

4.1.5 小結

目前主流的國外風機結構基礎型式有二種，包括單樁式(Monopile)基礎及套筒式(Jacket)基礎，單樁式需要的安裝時間較短，對於海事工程而言可降低惡劣海象干預的風險，故於淺水區建議首要考量單樁式結構，但單樁式結構可應用的水深範圍取決於工程技術，若水深過深

則只能選擇套筒式或其他型式的下部結構。

DNV 規範依據實驗室數據建議沖刷深度比 S/D=1.3，其標準偏差為±0.7D，故最大沖刷深度比 S/D=2.0，在砂土底床無保護工下其沖刷坑影響範圍為 4D 至 5D

英國離岸風機的維管費用約為風機全生命週期費用的四分之一，英國 12 海浬內風機維護使用工作船，12 海浬至 40 海浬使用工作船加直昇機，40 海浬以上使用離岸工作船，風機維管作業包括維持運作服務及設備維護作業，維持運作服務包括(1)岸上物流(2)離岸物流 (3)管理操作後台端。設備維護作業包括(1)風機維護 (2)傳輸電纜維護 (3)陣列電纜維護 (4)基礎維護。DNV 規範敘述小風場可訂定每年或其他週期之檢測計畫，大風場檢測計畫則需加入風險分析，且若風機型式相同者可擇代表性風機進行檢測。

離岸風機在疲勞應力區可裝設監測儀器如應變計、傾斜儀、加速度計、溫度計及沖刷量測儀器。在樁及轉接段之相對垂直位移可用 LVDT 位移感測器或雷射感測器;腐蝕速率可利用感測器感測氫、硫化氫、溫度及相對電位、酸鹼 PH 值、水位及氧。沖刷可用聲納探測底床。

4.3 海事人員訓練

由於臺灣海峽冬季易受東北季風影響，導致海象不佳，然而外海之海事工程迫於工期及時程壓力無法暫停施作，每當夏季臺電外海放流管維護施工及各大水庫清淤工作日益俱增，眾多海事工程急於搶工，海事工程人員及職業潛水人員已不敷需求，加上我國離岸風電的能源開發政策已經勢在必行，其風電產業將帶動整個臺灣的海事工程蓬勃發展，勢必需要增加更多專業的廠商及海事工程人員之投身奉獻，始足以滿足未來產業鏈的人力缺口。

4.3.1 動機緣由

我國專門職業及技術人員高等暨普通考試航海人員考試規則於民國 80 年 7 月 10 日公佈施行，由考選部辦理專門類技術航海人員考試，招考一等航行員、一等輪機員(高等考試)及二等航行員、二等輪機員(普通考試)，符合考試資格者可參加考選部 1 年 1 試之專技航海人員考試；另船員訓練檢覈及申請核發證書辦法於民國 93 年 1 月 27 日公佈施行，交通部航港局為船員訓練業務之主管機關每年辦理 3 梯次岸上晉升訓練及適任性評估，並由航港單一窗口受理船員晉身訓練及考試業務。

然而現今航海人員的考試與訓練制度尚未完全建全，能參加資格者大部分為傳統的海事學校訓練、坊間職業訓練機構受訓人員、海事校院航海系、輪機系及航管系畢業生，卻忽略本身具有駕駛能力，但不符合資格者，這些人具有海況環境判斷能力與操船經驗，如果能協助取得執照將有利填補海事從業人員的需求，受限於現況制度無法適時轉任。

基此，另需一有全國性的海事人員訓練管道，協助從業人員培訓，或輔導從業人員轉職取得認證職照，可為解決未來缺工問題。

綜觀我國考試及培訓制度，如能增加海事人員的海上吊掛作業訓練、提高施工安全作業意識與專業人員認證方式，發展海事人員培訓基地，將可培育更多專業海事工程人才，以因應未來更艱難的挑戰。

4.3.2 現行管道

受限於臺灣船員體系及不同法源，目前船員概略分為：(1)行政院農委會漁業署轄管之漁船系統與(2)交通部轄管之商船系統，漁業人員依據漁業法作為法源基礎，商船人員依據商船船員法與國際海事公約等法規，此二系統培育之人才，將用以因應套臺灣產業界之用人需求。在 2018 年完成臺歐風電產業國際高峰會簽署(如圖 4.3.1)，以及環境影響評估審查後(如圖 4.3.2 行政院環境保護署環評書件查詢系統) 。



圖 4.3.1 臺歐風電產業國際高峰會



圖 4.3.2 行政院環境保護署環評書件查詢系統



圖 4.3.3 拖船及有吊桿的貨櫃輪

開發商取得風電開發許可後，產業鏈相關之海事工程將蓬勃發展，包括佈纜工作、打撈除油工作以及拖船吊掛及運維作業屆時需求將與日俱增，特別是 500 總噸以下之運維船隊將面臨有船隻卻無船長可用的情況(如圖 4.3.3)。

可預見的未來海事人員的缺工問題將日益嚴重，造成缺口的主因係傳統海事校院航海系、輪機系及航管系畢業生訓練緩慢費時，且畢業後訓練人員留任航運工作的人員比例偏低，大多轉向 3000 總噸以上之商船駕駛作為日後的就業目標，欠缺適當管道進行人材轉任制度，在臺灣具備運維船駕駛能力的人才濟但現行制度主要係透過考試徵選及適任性評估管道提供轉任，然航運工作濟，環境辛苦，一旦轉任適任大船駕駛資格之海事人員，將無意願放棄高薪轉往運維船駕駛從業，人才荒問題仍舊並非獲得實質解決，故政府若不提前面對，人員缺乏將無以負荷，日後恐面臨就業市場的調整，產生就業市場擠壓與國外船長排擠國內船長狀況，下就人才現況進一步說明如下：

1.傳統海事校院訓練管道：我國為履行 2002 年 2 月 1 日施行生效之國際公約 STCW1995，2010 年馬尼拉要求我國共同施行船員事業之教、考、訓、用等核發證書的措施，以利我國船員進入國際船員的就業市場，故交通部民國 100 年辦理在校生取得 STCW 畢業證明或證書，民國 101 年辦理航海人員之職業考試測驗，民國 102 年起實習生具備法定海員身分，並納入船員最低月薪表，另考選部民國 103 年辦理海事校院航海系、輪機系及航管系之「航海、輪機技術類及航運行政類考試」具公務人員資格身分，直接由政府考試分發取得船員事業資格，訓練管道流程圖請參考圖 4.3.4。

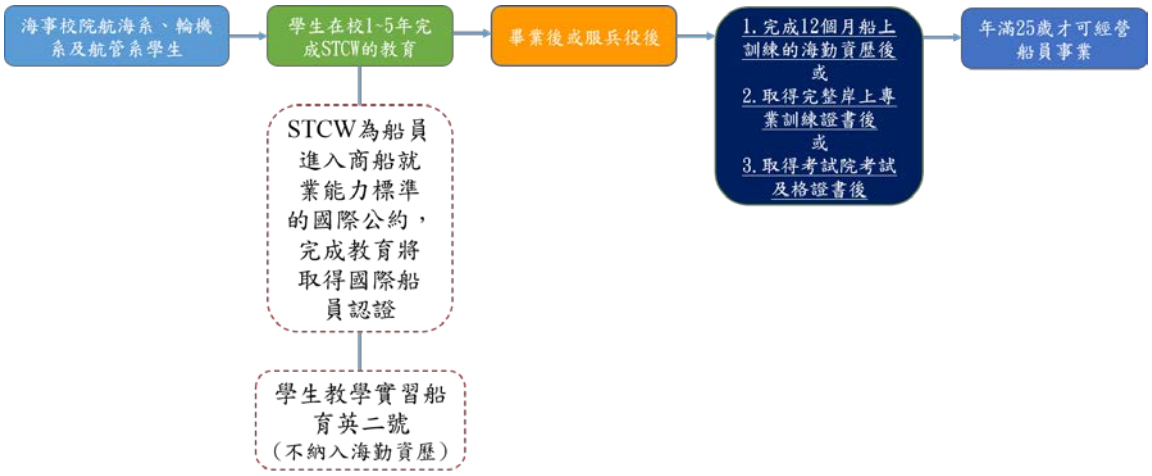


圖 4.3.4 傳統海事校院訓練管道

2.海事校院外之實習生培育訓練管道：

(1)由於海事校院內培訓管道過於狹隘，為彌補非傳統海事校院出身之人員無法取得船員資格，我國另有實習生學習制度管道，只要校外生、結業生或職業體系之從業人員，將可依循補修指定課程之方式取得必要之訓練學分達，再依據「實習甲級船員職務訓練制度」接受航商營業用船員訓練 1 年及格後才能取得適任證書。

(2)整個實習生制度關鍵在於修習「航商營業用船員訓練船」課程及海勤資歷，故學生在校期間雖然有機會搭乘育英二號(教學實習船)接受海上工作及生活制度歷練，但教學實習船不列入海勤資料，僅能作為海事院校畢業的資格，且由於未修習「航商營業用船員訓練船」課程，故仍無法經由實習生制度取得交通部執業之適任證書。

(3)不論是否為海事校院畢業學生、校外生或重從業人員等實習生，只要滿足交通部之「航商營業用船員訓練船」訓練，並完成海勤資歷滿 1 年始可取執業之適任證書，如果在學實習生階段已接受海勤訓練但未滿 1 年者，仍需補充時數至 1 年為止，如圖 4.3.5 實習生培訓管道流程圖所示，相較於考試制度之透明，實務訓練也是我國另外一項人員重要的訓練方式。

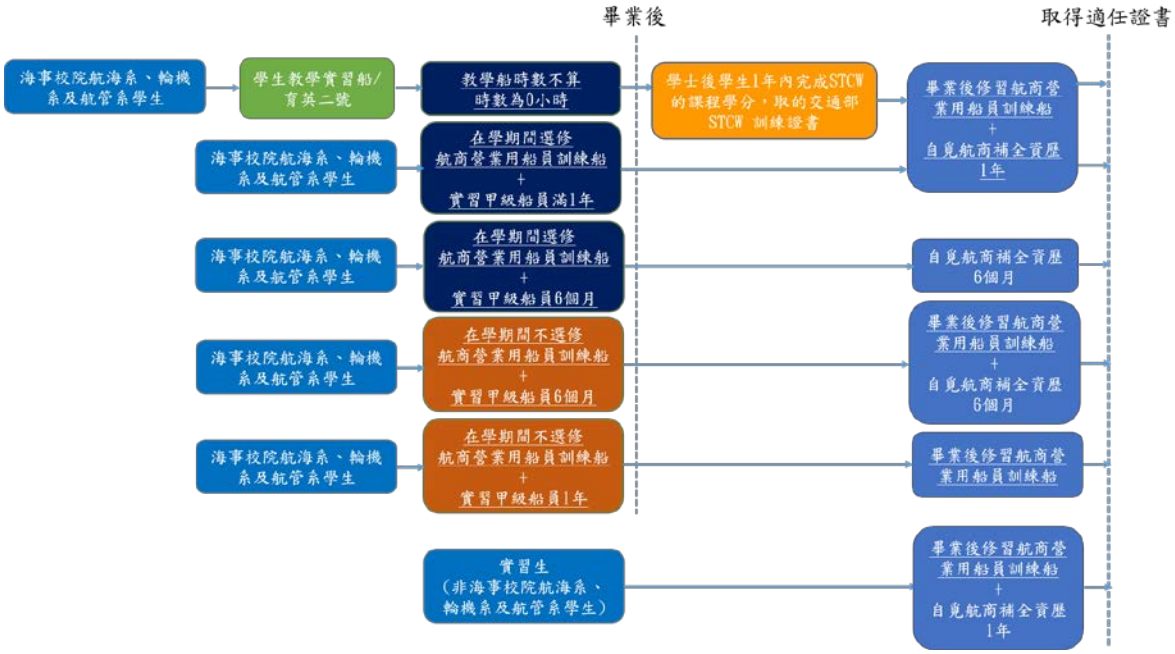


圖 4.3.5 實習生培育訓練管道

4.2.3 船員制度說明

然而『船員訓練檢覈及申請核發證書辦法』依據交通部民國 104 年 8 月 11 日修正後發佈實施之辦理，國內船員分級制度有甲級船員及乙級船員分別，不論是國際航線或國內航線皆由甲級與乙級船員兩種配適人員共同組成，人員比例依據船舶噸位設有最低安全配額。

甲級船員而言來說分為甲級甲板與機艙人員，甲級甲板最高人員為船長，由船長考升係依據海勤資歷，由現任船長考評合格後晉升，經歷三等船副、三等大副、三等船長、晉升二等船副、二等大副、二等船長，晉升一等船副、一等大副、最後晉升為一等船長，其升等管道除海勤資歷外，另可由參加國家考試取得，甲級機艙最高人員為輪機長，係由三等管輪、三等大管輪、三等輪機長、二等管輪、二等大管輪、二等輪機長、一等管輪、一等大管輪、最後晉升為一等輪機長，同樣與甲級

甲板人員相同，可依循國家考試方式取得資格，圖 4.3.6 甲級船員訓練流程圖。

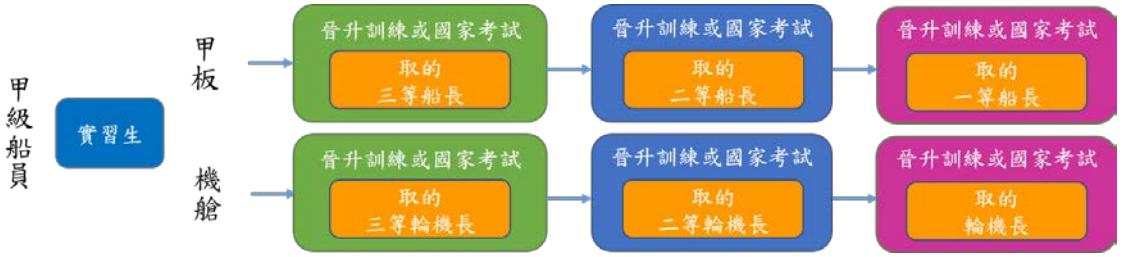


圖 4.3.6 甲級船員訓練流程圖

以乙級船員而言來說分為乙級甲板與機艙人員，乙級甲板最高人員為水手長，由水手依據海勤資歷年資晉升，乙級機艙最高人員為機匠長，由冷氣匠、泵匠、銅匠、電匠等人依據海勤資歷年資逐步晉升，詳圖 4.3.7 乙級船員訓練流程圖。

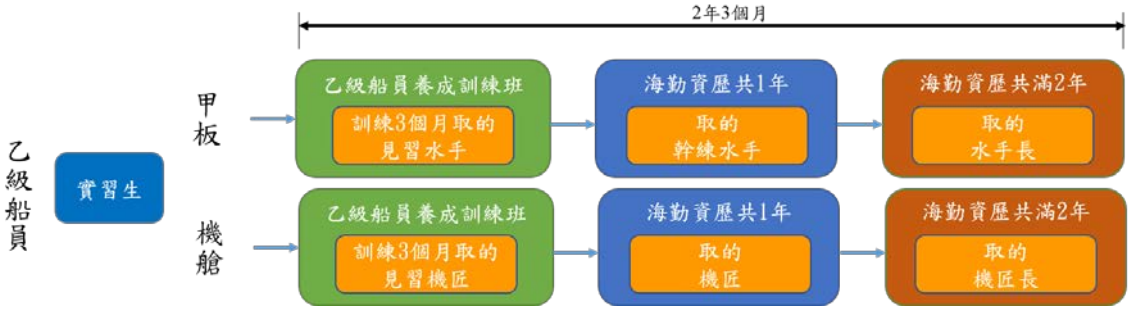


圖 4.3.7 乙級船員訓練流程圖

4.2.4 規劃訓練與執業權利說明

配合離岸風電工程推展，屆時將出現海上吊掛從業人員不足問題，故將運維船隻(約 500 總噸以下)為培訓重點，目前商船從業人員皆以 3000 總噸以上國際線的船長或輪機長為主要目標，其薪水高且工作環

境又較運維船好，故商船從業人員較無意願駕駛運維船隻、屆時將出現人員斷層，故所提供之未來訓練管道，將用以協助漁船從業人員轉駕維運船取得認證，故無涉及相關工作人員或執業權利影響，至於法源同樣延用交通部 93 年 1 月 27 日發佈實施之『船員訓練檢覈及申請核發證書辦法』辦理，或由事業主管機關依權責核發。目前國內遠洋漁船駕駛，其駕駛技術與對天候海況的判斷能力遠比正規畢業學生更為精準，但受限於漁船駕駛較無擔長考試訓練制度，故將為協助取得駕駛資格，規劃專業海事工程人員訓練研究，其目的如下：(1)海事工程從業訓練及海上人員吊掛作業訓練、(2)研擬海事工程人員安全作業守則、(3)協助海事專業工程人員取得認證。依據我國現行法令船員應持有航政機關核發之船員服務手冊，並需參加基本 4 項訓練才能登船工作，這 4 項訓練包括：(1)人員求生技能、(2)防火及基礎滅火、(3)基礎急救及人員與(4)社會責任，但如需滿足國際航程標準，各船員皆需修習 SCTW 國際標準之課程，但為了風電產業的運維作業順利進行，擬規劃專屬國內需求的運維船轉任制度，務實要求有志加入運維工作行列的夥伴或具有駕駛資格者，如漁船船長經由訓練轉任為我國運維船長，以投入風電產業。

4.2.5 建議訓練管道及訓練科目

由於運維船屬於為國內航線所用，依據目前國內航線舶船船員最低安全配額表規定，當船舶噸數為 200 總噸以上，未滿 500 總噸船舶狀況下，至少需要三等船長 1 員(甲級)、艙面水手 3 員(乙級)、三等輪機長 1 員(甲級)及機艙匠 1 員(乙級)共 6 員，以目前三等船長缺乏之窘境，本計畫海事人員訓練管道著重於三等船長及三等輪機長之培訓，目前規劃由漁船幹部一等船長及一等輪機長，其駕駛總噸數在 1000 噸以

上(相當 CT7 及 CT8 船種)，透過訓練可直接取得商船幹部三等船長及三等輪機長，規劃訓練流程，詳圖 4.3.8 交通部商船三等幹部適用資格之海事人員訓練。

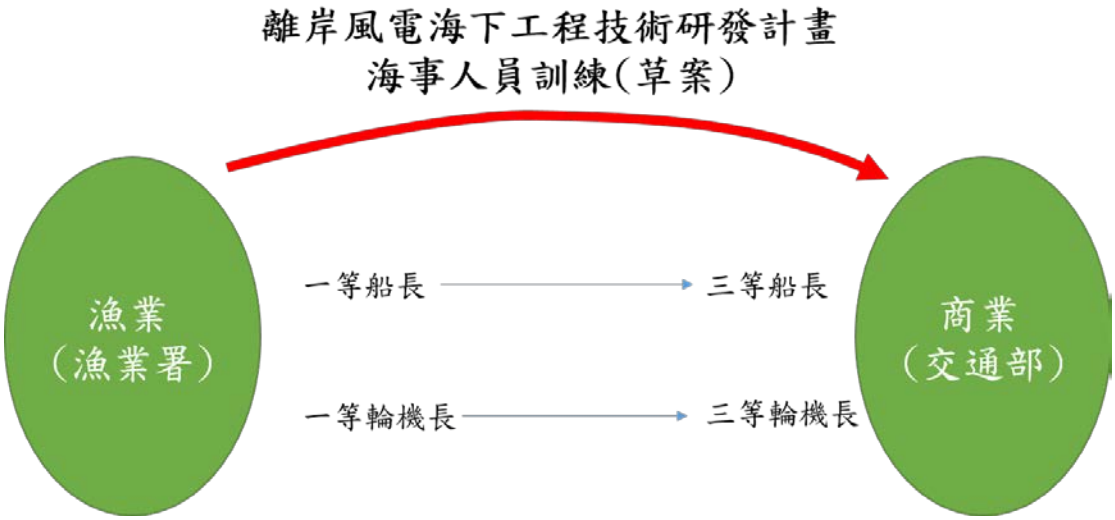


圖 4.3.8 交通部商船三等幹部適用資格之海事人員訓練

由於目前 SCTW 認證係針對國際航線，目前運維船為國內駕駛船隻，不受限國際認證限制，然為取得交通部商船三等幹部，建議漁船幹部需修習下列課程：(1)基本安全訓練、(2)救生艇筏及救難艇操作、(3)助理級航行當值、(4)助理級輪機當值、(5)通用級 GMDSS 直機員訓練、(6)進階滅火訓練、(7)醫療急救、(8)船上醫護、(9)動力小艇，9 大課程詳如表 4.3.1 所示。

表 4.3.1　9 大課程表建議

建議訓練科目		
(1)基本安全訓練	(2)救生艇筏及救難艇操作	(3)助理級航行當值
(4)助理級輪機當值	(5)通用級 GMDSS 直機員訓練	(6)進階滅火訓練
(7)醫療急救	(8)船上醫護	(9)動力小艇

建議培訓人員初步規劃 500 總噸以下運維船之三等船長與三等輪機長培訓制度，由於駕駛運維船有其困難度，依據漁船幹部船員相關同科同等訓練驗證要點第五點，漁船幹部二等船副相當領有交通核發之二等船副或三等船長，考量駕駛經驗及安全起見，以漁船幹部一等船長(相當可操駕 1000 總噸以上船隻)做為規劃目標，配合培訓的 9 大課程訓練，完成結業即可取得交通部三等船長與三等輪機長之適任證書，詳圖 4.3.9 建議訓練管道。

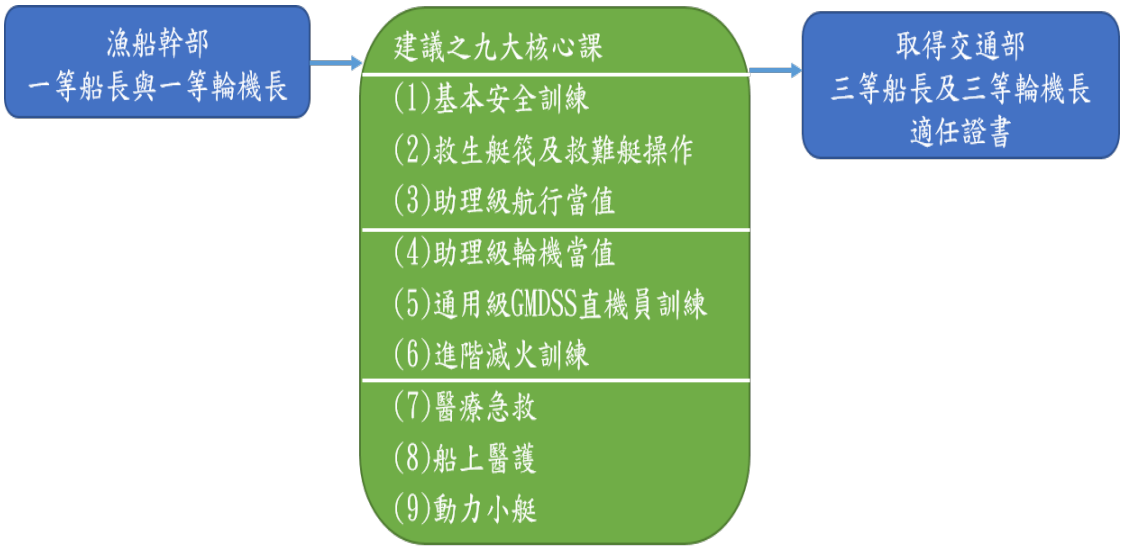


圖 4.3.9 建議訓練管道

結合產官學培訓國內專業海事工程人員，除初步課程建議外，未來訓練方針與制度如下，(1)研擬規劃專業海事工程人員訓練、(2)研擬離岸風場海事工程人員施工安全作業守則、(3)研擬海上吊掛作業人員訓練事項、(4)研擬海下人員訓練課程規劃、(5)研擬現場意外緊急應變救護課程、(6)海上施工勞安規定訓練課程、(7)協助辦理離岸風場海事專業工程人員認證、(8)研擬海下人員訓練課程規劃，以提升下列海事工程人員技術，解決風電產業大量海事人員之需求。

4.2.6 結語

風電之群樁基礎即將離岸建造，整個政策勢必造成臺灣近海事工程之蓬勃發展，未來整個沿岸流的變化，將促使臺灣流場的改變，並且牽動既有航線的航行安全，未來皆需運維船維持相應維持，嗣經調查業界運維船現況，目前有資格駕駛運維船之船長年紀已屆退休年齡，部分有經驗能力駕駛運維船的漁船幹部沒有資格可以駕船，交通部鑒於從業人才短缺，現實已面臨無人可用之境，因此放寬退休年齡限制，惟此並非根本的解決之道，故建置一完整訓練管道，才是讓有為者亦若是的從業人員得以發揮長才之道。

第五章 離岸風電建置與航安技術發展計畫

離岸風電區設置後，原有海上航行之船舶，必須改變其原有航路，以避開風機結構群，勢必使其航路上之交通更加密集，發生海難相對風險亦提高，且若在風機結構群區域發生船舶海難事故，勢必增加海上緊急救援困難度。藉由蒐集國內、外航行安全及海難救助法規、海難搜救及救助組織作業程序，並分析現階段國際先進國家針對離岸風電區的規劃與建置中，於運轉過程可能遭遇之突發事故風險及相關制定政策與法令。

5.1 國際規定之航安技術發展背景知識與相關研究

檢視國際海事組織(IMO)在其國際公約、大會決議、規則以及指南等文件後，依據國際海事組織將海難事故分成八種類別，再檢視國際組織之運作與其法秩序、國際法上之救難相關規範、國際海空搜救手冊以及歐洲風能協會(European Wind Energy Association；EWEA)在EWEA Heath and Safety(HSE)工作組的幫助下制定的歐洲離岸風電風險管理，茲將其論述如下。

5.1.1 一般性原則

離岸風電之建置最大的風險乃是因天災或人為等因素導致海難的發生，依據國際海事組織(IMO)在其國際公約、大會決議、規則以及指南等文件中對海難事故等名稱主要採用「Marine Casualty」，「Marine Incident」或「Maritime Casualty」等名詞。例如，依據相關國際海事公約章程，海難事故係指導致下述任何後果之事件：

1. 因船舶營運或與船舶營運有關而引起之人員死亡或嚴重受傷。
2. 因船舶營運或與船舶營運有關而引起之船上人員失蹤)。
3. 船舶滅失、推定滅失或棄船。
4. 對船舶材料損壞。
5. 船舶擱淺或不能運轉之船舶或船舶碰撞。
6. 因船舶營運或與船舶營運有關而引起之材料損壞。
7. 因船舶營運或與船舶營運有關引起船舶損壞而造成環境損害。

而依據國際海事組織在 1986 年海上安全委員會第 433 號通函所附的海事報告標準格式中指出，將海難事故分成下列八種類別：

1. 沉沒：包括惡劣天氣、滲漏、斷裂造成的沉沒，但不包括下述所列事故造成的。
2. 失蹤：經過相當一段時間，沒有從一船收到任何消息，其結局不能確定，該船應被宣佈失蹤。
3. 火災和爆炸：船舶發生火災或爆炸，以及由其引起的其他事故。
4. 碰撞：一船被另一船撞擊，無論該船是在航、錨泊或繫泊。
5. 觸碰：船舶撞擊外界物質，包括鑽井架或平臺，但不包括撞擊另一船舶或海底。

6. 擱淺：船舶觸碰海底、沙壩、淺灘、海岸等，包括被沉船刮碰。

7. 惡劣天氣和冰損：由於大浪或風災引起的重大損壞和冰損。

8. 船體和機器：設備、機器損壞，主機喪失機動性。

針對海難事故或事件之分級方面，國際海事組織於 1997 年 11 月通過 A.849(20)號決議，「海難事故調查章程」的規定中，對於「海難事故」共分為三級：

1. 非常嚴重海難係指船舶海難事故涉及到船舶全損、人命喪失或嚴重污染。

2. 嚴重海難係指海難事故尚不屬非常嚴重之海難事故，但涉及到：

   (1) 火災、爆炸、擱淺、接觸、惡劣天氣損壞、冰損壞、船體裂開或船體缺陷等造成之後果。

   (2) 結構損壞使船舶不適於航行， 例如水下部分船體穿透，主機不能啟動，起居廳房大面積損壞等。

   (3) 污染，不論數量多少。

   (4) 故障，需要拖帶或岸上援助。

3. 海上事故係指因船舶營運或與船舶營運有關而引起之事件，並危及到船舶或任何人員，或可能造成船舶或結構或環境之嚴重損害。

基此，根據國際海事組織公約海上安全委員會在海上安全和防止及控制船舶造成海洋污染的規則和導則方面的職能的第 15(j)條之「經修訂的船上緊急情況應急計劃綜合系統結構導則」規定：『國際安全管理章程(ISM Code)對公司管理部門在船舶安全和防污組織工作中必須計及的各要素作出了規定，從而確立了船舶安全管理和營運的國際標準。由於緊急情況和貨物溢漏無法透過設計或正常操作程序完全管控，因此應急準備和防污應是公司船舶安全管理的組成部分。為此目的，「國際安全管理章程」要求每一公司制定、實施和保持安全管理制度(Safety Management System；SMS)。』此外，在此種管理制度中，應確定出各潛在船上緊急情況並應確立其應對程序。因此，英國勞氏驗船協會以「海事發生頻率」、「航行船舶密度」、「交通流量複雜度」、「天候能見度」和「潮流變化」等因素進行全球海域安全評估。

根據國際安全管理章程之目的：「為船舶之安全管理與營運及污染防止提供其國際標準」。然而船舶航行海上，一旦發生海難事故，重則危及人命，輕則造成傷害；也由於事故的發生或操作上的不當，而直接對海洋環境造成傷害。根據資料顯示，此現象的發生，人為因素竟佔了 80%。而人為因素則又涉及到陸上以及海上的管理。因此對凡從事於海洋的活動予以規範，乃成為必要的手段。乃致力於海上人命安全及海洋環境生態的保護。國際海事組織為達成上述功能需求，在組織申分設兩個委員會，其一為海事安全委員會(Maritime Safety Committee, MSC)另一則為海洋環境保護委員會(Marine Environment Protection Committee, MEPC)，分別針對海事安全及海洋污染防護做技術性的研討及制定規章。

近年海上航行船舶在特性上也有相當大的改變。無論是歐洲主要港口或是新加坡港的統計都顯示，到港船數有減少的趨勢，但貨運量卻是增高的，這正是船舶大型化的結果。大型化船舶若遇海難，其可能的損失已使得保險公司對航行風險更加高度關注。國際海事組織推動中的電子化航海(e-Navigation)則是另一項重大變化，擬從船舶本身、岸上人員設施與組織、以及船岸之間著手藉由電子資通訊技術與法規標準等整合強化航行與相關服務，提升海上安全、保安及海洋環境的保護。然而任何對技術、設施或服務的選擇與投資都難免需要評估其成本效益。此外，無論是聯合國海洋法公約(簡稱 UNCLOS)條文中關於沿岸國對無害通過其領海的船舶可施行法規限制的必要條件，或是海上人命安全國際公約(Safety Of Life At Sea Convention, 簡稱 SOLAS 公約)內沿岸國設置航標、助航設施、船舶交通服務等責任的相關條文，都提到以航行安全或交通量、風險程度等之評估為依據。

此外，航道系統之規劃須遵循國際海事組織的「船舶定線制的一般規定(General Provisions on Ships' Routeing)」。於船舶匯聚區、交通密集區、以及因為水域空間有限、存在航行障礙、深度限制或氣象條件不利等因素而使船舶行動自由受抑制之水域，增進船舶航行安全。防止或減少因船舶在環境敏感區或其附近碰撞、擱淺或錨泊而對海洋環境造成污染或其他損害的風險。確切目的依其擬緩解的特定危險狀況而定，包括：在離岸勘探或開發的密集區域內組織安全的交通流。

匯流與連接區之設計將注意使海上避碰規則能明確適用不致混淆；航路連接處將盡量使船舶以直角交叉穿越、使讓路船有操船空間、使直行船能持續維持穩定航向，考量之環境因素包括盛行氣候狀況、潮流與海流。IALA 建議的水道風險評估工具，對於船舶碰撞擱淺的理

論模型是機率式的，須先建立水道或航路的佈局，才能據以從船舶交通流資料中取出船舶交通的橫向分佈，進而評估風險。對於還沒有劃設航道的海域而言，更是必須從船舶監測資料分析現有交通流模式取得船舶慣用航路，評估航行風險，再依船舶定線制的一般規定，規劃航道措施，調整交通流之分佈，評估各種航道措施方案對降低航行風險的效果。在交通流監測方面雖然各國皆以 AIS 為主，但為了全面考量各類船舶交通與漁船等海上作業情形，則應再蒐集包括雷達與漁船監控相關資料。

5.1.2 國際海上救難組織

國際組織之運作與其法秩序，乃透過指國際組織的某一機構，依程序規則以書面形式通過的決定。通常係藉由組成某機構的成員以表決的方式，按所要求之可決票數予以通過，且國際組織制定的各項規範或規則都表現出組織機構的決議形式，或者表現為內部決議，或者表現為外部決議，分別具有不同的法律效力(饒戈平，2001)。此外，國際海上救難相關組織計有：政府間海事協商組織(IMCO)、國際海事組織(IMO)、國際民用航空組織(ICAO)、國際海事衛星組織(INMARSAT)以及衛星輔助搜索與救助組織(Cospas-Sarsat)等，其組織皆規範救難為其成立宗旨之一。基此，國際海事組織有關之海難搜救規範，乃為國際間各國家所需遵守的指標。

5.1.3 國際法之相關範圍

國際公約與規範之規定，國際間之各締約國政府莫不遵守其所簽署的各相關於海上搜索與救助之法令規章，藉此確保在各國管轄海域內之所有海上人員與船舶安全及環境保護，以期符合國際組織之要求，

達成國際間共同合作之目的。只有在透過各國及各區域之間的合作而達成世界一致化的基礎時，海事搜救作業行動才得以事半功倍。目前國際法上之救難規範計有：1910 年海上救助及撈救統一規定公約(Convention for the Unification of Certain Respecting Assistance and Salvage at Sea,1910)、1938 年統一對水上飛機的海難援助和救助及由水上飛機施救的某些規定的國際公約(International Convention for the Unification of Certain Rules Relating to Assistance and Salvage of Aircraft or by Aircraft at Sea,1938)、 1958 年日內瓦公海公約(Convention on the Hight Sea,1958)、1971 年商船搜救便覽(The Merchant Ship Search and Rescue Manual, 1971)、1974 年海上人命安全公約(The International Convention for the Safety of Life at Sea，1974；SOLAS，1974)、1979 年漢堡國際海上搜救公約(International Convention on Maritime Search and Rescue,1979)、1982 年聯合國海洋法公約(United Nations Convention on the Law of the Sea；UNCLOS,1982)、1989 年海難救助國際公約(International Convention on Salvage,1989)、1998 年海上搜救國際公約(SAR)附錄之修正案、國際海事組織搜索與救助手冊(IMO Search and Rescue Manual－IMOSAR Manual)以及國際海空搜救手冊(The International Aeronautical And Maritime Search And Rescue Manual-IAMSAR)等。

5.1.4 國際海空搜救手冊分析

本手冊之主旨乃在於協助各國達成搜救工作目的之需求並履行國際民航公約，海上搜救國際公約及海上人命安全國際公約所要求的義務。該手冊亦作為海空搜救之組織及服務之準則。並鼓勵各國改善其搜救服務與鄰近國家之合作，並將搜救服務列為全球系統之一部份。

5.1.5 歐洲規範

歐洲離岸風電風險管理的來源規定指南是由歐洲風能協會(European Wind Energy Association；EWEA)在 EWEA Heath and Safety(HSE)工作組的幫助下制定的。旨在用作提供離岸風電場運營緊急安排的基本、進階資訊的一般指南。但這些指導原則不應被視為技術文件。

此負責的機關乃為透過採用整個歐洲風電行業的最佳實踐，規劃海上應急安排時，應考慮相關的海事和海上監管。這些關於緊急安排和急救的指導方針主要目的是為實施歐盟指令 89/391/EEC，第 8 條第 1 款提供指導(These guidelines on Emergency Arrangements and first aid aim primarily to provide directions for implementing EU Directive 89/391/EEC, article 8, paragraph 1)，主要內容如下：

1. 雇主應採取必要的措施進行急救、消防及撤離工作人員，以適應活動的性質和企業和/或企業的規模，並考慮在場的其他人員(The employer shall take the necessary measures for first aid, fire-fighting and evacuation of workers, adapted to the nature of the activities and the size of the undertaking and/or establishment and taking into account the other persons present)。

2. 雇主應安排任何必要的與外部服務的聯繫，特別是關於急救、緊急醫療護理，救援工作及消防(The employer shall arrange any necessary con-tacts with external services, particularly as regards first aid, emergency medical care, rescue work and fire-fighting.)。

在執行方面，必須執行應急演習。這些演習需要進行評估，以確保正確和有效的應急控制。其緊急應變計畫(Emergency Response Plan；ERP)需要定期和/或在發生重大事故和/或瀕臨失敗之後和/或在發生任何變化(例如人員，設備等)後進行審查並在必要時進行更新。在這些更新中，必須考慮演習，吸取的教訓和工作性質的變化。

在緊急應變計畫制定方面，其要求盡可能包括：

1. 緊急措施和資源。

2. 工作場所可能出現的情況。

3. 參與緊急應變的所有關鍵人員的任務、責任和權力。

4. 緊急情況下所有內部或外部各方的通信線路和號碼。

5. 所有第三方應急服務的聯絡號碼。

6. 潛在危險。

7. 最重要的危害的位置。

此緊急應變計畫可能需要考慮的情景盡可能包括：

1. 棄船。

2. 從高處拯救船艙內的受傷人員。

3. 緊急鎖定低電壓和高電壓設備。

4. 火，例如來自變壓器或開關設備。

5. 急性疾病和人身傷害。

6. 污染。

7. 極端天氣，例如大雨和強風。

8. 未爆炸的冒險，如爆炸物被傾倒在海中。

9. 主要影響損害船舶和風機機碰撞。

10. 炸彈威脅或破壞。

緊急應變計畫亦規定制定撤離及逃生手冊(Escape and Evacuation Manual)，此乃依據風險評估的結果，對於風電場中的所有位置(風力機、高壓站、氣象桅杆等)，應編寫一份手冊，其中包含有關逃生路線的所有資訊，為所有現場人員(包括人員、參觀者和傷亡人員、急救規定、緊急停俥系統、火災探測、消防系統等)提供的撤離和救援規定，具體到該地點/設施。而風力機開發商必須提供了一份通用手冊，且每臺風力機都須提供。此逃生和撤離手冊盡可能包括：

1. 便攜式消防設備的位置。

2. 急救設備的位置和內容。

3. 逃生路線。

4. 使用特定的個人防護裝備和下降裝置作為逃生路線設備。

5. 供應時，使用防墜落設備工作的救援設備的位置。

6. 供應時，如果擱淺，口糧和設備的位置。

7. 如何將永久安裝的應急下降裝置(如有)安裝在其操作位置。

8. 描述可用的緊急停機系統、水平旋翼的機械阻塞、俯仰和偏航運動，包括安全運行、應用和拆卸的風速以及應用和拆除閉鎖裝置的說明。

9. 使用擔架疏散傷員的程序。

10. 所有可預見的緊急情況(包括撤離和逃生)。

最後，政府和廠商應建構一個協商平臺，作為應急通信的最後一步，建議在緊急情況下與新聞界和其他利益相關方進行溝通。

5.1.6 小結

從國際安全管理章程的背景、沿革與規章內容、相關法規條文之解釋，以及因應作業方式，並藉由制度化、系統化的管理，詳加瞭解後可達成保障海上安全並建立完善的船舶安全管理制度，此即各國海運業所追求的目標，希冀各國皆能遵循船舶安全管理制度，及國際安全管理章程，讓海上交通更佳安全，也讓船舶上人員於發生緊急事件時有一可循之程序，讓一切有條不紊僅然有序，不論是對海運公司或是船舶都是一大助益。

而在歐洲的整體規範中，歐洲風能協會制定風力安全的工作 – 緊急規範指南(Working the wind safely：Guidelines on emergency arrangements including first aid)，用作提供離岸風電場運營緊急安排的基本、進階資訊的一般指南。

5.2 日本之航安技術發展背景知識與相關研究

日本在發展離岸風電建置政策之下，強調在船舶交通以及其他水域利用方面，離岸風力發電商需掌握設置了離岸風電海域週邊的船舶交通(船舶的航行、停留、拋錨)、漁船和娛樂漁船、遊艇等其他水域利用的實際情況，做為離岸風電建置的風險管理的安全控管。而船舶交通以及其他水域利用實際情況掌握、可根據以下方式來進行：

1. 使用雷達掌握船舶航行實際情況(包括目視船型、船種等確認)。
2. AIS 收信數據的解析。
3. 採訪水域利用者。
4. 船舶出入港數據的解析。
5. 重新評估其他途徑所實施的船舶交通實際情況調查等結果。

因此，為了港灣計畫或者設施整修計畫的討論以及重新評估的討論等其他途徑所實施的船舶交通實際情況調查等結果。在掌握船舶交通以及其他水域利用的實際情況時、必須考慮以下事項：

1. 船舶的船種。不同船型的船舶交通實際情況。
2. 漁船、遊漁船、遊艇等相關水域利用實際情況。
3. 不同季節、月、旬、星期、時間帶船舶交通以及其他水域利用實際情況。

4. 使用 AIS ※數據情況下、沒有按照規定安裝/使用 AIS 的船舶(總噸數不到 500 噸的內航船、漁船等)的存在。從 AIS 數據得到數據項目的限制(例如:一般得不到總噸數)和由於信息輸入者的過失信息準確度降低的可能性等。

5. 管制水路、指定錨地、航法、禁止行為其他船舶交通的規定內容以及航行援助設施的配置.。

6. 海難發生的實際情況。

7. 其他，根據港灣利用狀況和以他為背景經濟狀況的變化傾向、設施整修事業的結果，推定未來船舶交通變化狀況。

5.2.1 評估對航運的影響

離岸風電場營運人應當制定港口海域風電場的具體佈置規劃，如擔心會影響航運交通，在評估影響程度時，需要制定採取措施以減輕影響。

1. 影響評估和影響緩解措施的概念

「可再生能源活用區域」雖然是設定為對航行、停留、錨地等不會造成干擾的(包括正常及緊急對應)，但是根據離岸風電設施的具體規劃，也許考慮對航運造成影響因素。為此，離岸風電場營運商在制定具體的規劃時，需對港口的相關人員進行說明以及聽取意見，如擔心會對船舶造成影響的話，仔細評估並需要制定應對措施以減輕影響。

2. 評估方法

透過對離岸風力發電設施安裝和運行中的航運交通情況的調查進行對船舶影響調查以掌握船舶狀況。在評估對船舶運輸影響時，要注意以下事項：

(1) 設施規格、佈置、安裝地點、安裝間隔、識別標識和遠程監控/控制的運轉方針，運用體制。

(2) 主要船舶交通發生地點與離岸風力發電設施安裝地點之間的距離(常規航行路線，船舶是否存在被迫改變的位置，諸如錨定位置，靜止等，由此導致的對安全性的影響程度，離岸風力發電設施限制水域航行的可能性，航行船舶或漂流船舶與風力發電設施碰撞的可能性)。

(3) 離岸風力發電設施對駕船者視覺影響(屬氣象條件的設施能見度，心理壓迫感，其他船的能見度，海角和碼頭等目標船舶的地形導航設施和其他目標的可視性)。

(4) 離岸風力發電設備對雷達和其他電子導航設備的影響。

(5) 考慮船舶在惡劣天氣等停泊可能性等，同時，除了專家的意見和港口利益相關方的意見之外，根據需要考慮進一步的詳細調查和模擬方法的使用。

3. 影響減緩措施

根據對航運交通預期影響的評估結果，來制定影響減緩措施。減緩措施考慮可能包括以下內容：

(1) 設施表面識別的加強和改善。

(2) 使了解設施的規格(透過航道地圖雜誌、航道報告、航行警告等)。

(3) 了解對有關港口評估的影響程.度的認識(小冊子等)。

(4) 在正常和緊急情況下加強溝通聯絡功能。

(5) 離岸風力發電設施投入使用後的影響事後調查，持續監測和重新評估。

(6) 設施計劃和/或運營計劃的變更，此外，考慮到影響緩解措施細節討論，遵守有關法律法規，考慮港口相關者的意見，遵循有關機構(海事安全部門等)的指導。

5.2.2 離岸風力發電設施對駕船者視野等的影響

1.離岸風電場電力營運商要考慮到離岸風電場可能會阻礙到其他船舶航行時的地形，導航設備輔助設施和對其他目標的捕捉和識別的可能性。

2.駕船者需要儘早捕捉和識別，以避免與其他船舶發生碰撞。另外，要把握自身船隻的位置，防止接近和碰撞障礙物，此外，為了使其成為導航的目標，有必要捕捉和識別該目標，如海角、碼頭和其他顯著的地形、人造建築、導航設施。由於離岸風力發電設施的存在，其他船舶和目標的圖像可能被阻擋，所以過度照明或強烈的光源令駕船者眩惑，使其難以分辨形狀，油漆顏色和光線質量等帶來嚴重的影響。

3.根據設施的規格和安裝，可能對駕船者的視覺等影響很大，所以需要聽取港口利益相關者意見的同時，並與有關機構(海上安全部門，地區航空公司等)進行確認。

5.2.3 對船用雷達等設備帶來的影響

1.離岸風力發電營運商需制定離岸風力發電設施的安裝及運用對船用雷達及其他電子行號設備帶來的影響可能性的計劃。

2.根據過去的調查結果，離岸風力發電設施的安裝及運用對船用雷達及其他電子行號設備帶來的影響不大，但是根據設施的規格和安裝不同對其影響可能增大。

3.因此，離岸風電場的營運商，港口對船舶經理，所以需要聽取港口利益相關者意見的同時，向港口管理人確認等及時注意對船舶用雷達等設備。

4.另外，離岸風電場營運商在設備安裝之後，在開始運轉前確認對雷達圖像等實際的影響，必要時需通知有關各方。

5.2.4 緊急時對應計畫

當離岸風電場營運商出現離岸風電設備異常等情況時，離岸風電場營運商制定「緊急時對應計畫」，並在緊急情況下做出反應。對於應急響應，結果應報有關單位。

離岸風電設施事業者、離岸風電設施等如發生任何異常時的對待緊急事態、從港灣機能的確保等考慮、盡可能最快對應。所以，離岸風電設施事業者需要構築緊急時對應體制，並且，包含向關係機關(港

灣管理者、地方整備局港灣事務所、海上保安部署等)。緊急通報的緊急時連絡體制、搜索救助、發電設施的部件除去、規定緊急時對應訓練等實施順序，制定「緊急時對應計畫」。 並且，需要該計畫相關的港灣管理者的修正。作為緊急時對應對象的事項包含以下幾點：

1. 離岸風電設施事業者、離岸風電設施等如發生任何異常時的對待緊急事態、從港灣機能的確保等考慮、盡可能最快對應。所以，離岸風電設施事業者需要構築緊急時對應體制，並且，包含向關係機關(港灣管理者、地方整備局港灣事務所、海上保安部署等)※緊急通報的緊急時連絡體制、搜索救助、發電設施的部件除去、規定緊急時對應訓練等實施順序，制定「緊急時對應計畫」。 並且，需要該計畫相關的港灣管理者的修正。作為緊急時對應對象的事項(作為其他關係機關、警察、消防、當地自治體等必要時加入)，包含以下幾點：

   (1) 因颱風和季節風引起的波浪、地震、海嘯等事象發生時的對應。

   (2) 雷擊發生時對應。

   (3) 火災發生時對應。

   (4) 異常接近的船舶的接觸、衝突等事故和外部者侵入的對應。

   (5) 漏油的對應。

   (6) 海底送電線、通信電纜切斷和損傷事的對應。

(7) 因發電設施故障等、停電引起的機器失去控制和識別標識等動作停止等對應。

(8) 修理作業時等事故對應。

(9) 發電設施附近緊急船、救難的出動等、緊急時風車運轉停止申請對應。

2. 緊急時對應計畫概要

發生緊急情況時，離岸風電場營運商應盡快採取相應措施，以免干擾港口功能，因此緊急時對應計畫至少應包括以下內容：

(1) 與相關機構的通信系統

在發生緊急情況時，除人身傷害事故外，還考慮到船舶損害和二次災害，為及時恢復港口功能，及時與相關機構交流信息是必要的。 因此，離岸風電場營運商必須與相關機構建立緊急聯繫制度。

(2) 在緊急情況下作出對應手段

在發生緊急情況的情況下，假如由於海況而不易進入海域，還需要制定落水者的搜救及部件的除去作業等程序。制定該計劃時，如在離岸風力發電設施附近發現漂流物，需向有關機構報告進行清除時，有可能需要停止海上風力發電設施的運行。這也是需要考慮的。為此，離岸風電場營運商需要事先與有關單位進行協商，以使運行平穩。

此外，由於漂流的威脅可能會影響離岸風電場的運行和穩定，所以，離岸風電場營運商需要在保證工作安全的同時進行檢查工作。

(3) 緊急培訓的實施

離岸風電場營運商應按照適當的開展大規模事故，災害等的緊急情況的培訓，以便及時、適當地處理緊急情況。培訓結束後，如果需要修改緊急時對應計畫，需要將修改後的計劃提交給港口管理者。

5.2.5 船舶相關政策法令

日本因應離岸風電的建置，制定(修改)相對應之法令，如表 5.2.1 示：

表 5.2.1 船舶相關政策法令

航路標識法(昭和二十四年五月二十四日法律第九十九號)(航路標識的安裝和管理)	
第二條	航路標識的設置和管理由日本海上保安廳進行。但是，對於日本海岸廳以外組織存在時，為服務該部門的業務或事物，根據國土交通省條例規定的地點經日本海上保安廳長官許可，其費用，用於設置導航標誌或管理。
(燈光等的限制)第八條	任何人不得使用可能被錯認為航路標識的燈光，或發出聲響。
	海上保安官 ，對於做了前項規定的行為或者想要做此行為得人，應當下令對該燈光或是聲響採取必要措施，確保不會被錯認為航路標識。
(施工等的限制)第九條	對航路標識的功能造成妨礙的建築物的建設、 沉沒物體的打撈及其他施工或是作業的人員，防止阻礙的發生應採取必要措施。

	海上保安廳長官，對前項所規定的有權施工或是作業的人員，命令其防止對航路 標識的功能障礙做出必要措施。

此外，以日本福島(Fukushima)的離岸風電計畫為例，其沿海的離岸風電場，因為機臺設為浮動式離岸風電，因此針對航行風險評估除了船隻與平臺，也針對平臺對於平臺浮動發生碰撞的風險進行風險評估(表 5.2.2)。此外，其沿海的海上交通亦使用了 AIS 以及導航雷達來觀測。

表 5.1.2 船舶碰撞風險評估

項目	範疇
碰撞風險分析以及風險控制選項	以風險模型和交通資料為基準的質性風險分析適當風險管控的調整(安全測量)
沿海地區交通資料收集	使用 AIS(美日和以往的數據)系統進行遠洋船舶的分析及使用雷達觀測內海的漁業船舶

5.3 英國之航安技術發背景知識與相關研究

世界上超過 90%的離岸風場位於歐洲海域，且英國為國際上離岸風力發展最先進的國家，綜觀分析英國之概況，除了環境上的優勢外，政府的積極態度、技術研發以及海事工程能量充足的條件相互加成促使其在離岸風力的發展領先全球，且低碳的電力供應將是英國電力持續的未來發展方向並以建構完善的離岸風電產業供應鏈為。

英國為風電場訂定緊急合作計劃(Emergency Response Co-operation Plan；ERCoP)，該計劃將在〔離岸風機〕施工前進行。而該計劃所需的項目如下：

1. 設計方面

(1) 所有風力發電機(Wind Turbine Generators；WTG)及其他海上可再生能源安裝(Offshore Renewable Energy Installations；OREI)獨立構造均將標有清晰可見的獨特識別標誌，這些標識可從海平面上的所有的船隻及上空的飛機(直升機及固定翼(fixed wing))看到。

(2) 每個標誌都應由船隻可見的低強度光照亮，從而使構造能夠以合適的距離目視以避免與其發生碰撞。識別標誌的大小與照明亮度相結合將使得在正常的能見度條件及所有已知的潮汐條件下，觀察員(observer)可以清楚地看到它們位於海平面以上 3 米處，並且距離風力機至少為 150 米。

2. 運作方面

(1) 海事控制中心(Marine Control Centre)或雙方同意的單一聯絡點，於每天 24 小時都有人值班。

(2) 所有的海上搜救協調中心(Maritime Rescue Co-ordination Centre；MRCC)將被告知中央控制室(Central Control Room)的聯繫電話號碼或單個聯絡點(反之亦然)。

(3) 控制室操作員或單個聯絡點將依據海上搜救協調中心(MRCC)的要求立即啟動風力發電機組(Wind Turbine Generators；WTGs)的關閉程序，並依照 MRCC 的要求將 WTGs 保持在適當的關閉位置，直到從 MRCC 接收到重新啟動 WTGs 安全的通知。

英國海事及海岸救援局(Maritime and Coastguard Agency；MCA)所制定的離岸可再生能源安裝：搜索與救助及緊急應變的要求、指南及操作注意事項(ffshore Renewable Energy Installations: Requirements, Guidance and Operational Considerations for Search and Rescue and Emergency Response)規定指出英國海事及海岸救援局的政策，以及指南、建議及具體要求(如有必要)，以協助和實施搜索與救援以及其他緊急應變。倘若開發商未能適當考慮 MCA 在本文件中提出的建議和緩解措施，可能會導致對其提案的異議。

英國海事及海岸救援局(MCA)出版「海上可再生能源裝置海上航行安全和緊急風險評估方法」，公布風力發電場邊界與航運路線「安全距離」計算的指南，以及出版“評估海上風電場海上航行安全風險的方法”說明潮汐流可能會影響航行安全，並增加避免碰撞期間擱淺

或船隻反應不良的風險。政府亦出版「航行安全：海上可再生能源裝置(OREIs)- 關於英國航海實務、安全和緊急應變的指南」。

在風險來源規定方面，開發商對於離岸風場的環境研究及完整可行的規劃，皆需申請獲得英國皇家財產局(Crown Estate)同意時所需的法定程序與文件。英國海事及海岸救援局(MCA)有義務在海上可再生能源裝置(OREI)佔用的海域提供 SAR 應變，因此，英國海事及海岸救援局為離岸風電風險及安全的主要負責機關。

在執行方面，英國海事及海岸救援局為該行業提供海上應急管理課程，以使海事協調員、安裝管理者、船員轉移船(Crew Transfer Vessel；CTV)船員以及任何其他可能參與緊急情況管理和應變的公司工作人員都能接受培訓並了解正確的程序和在特區和其他緊急情況下應遵循的程序。在需考慮的風險項目，包括：

1. 離岸風場址對航行之阻礙。
2. 離岸風場可能改變傳統海上交通模式。
3. 離岸風場設置對船舶可航行海域排擠，造成部分船員航行水深不足。
4. 纜線的佈放情形對船舶下錨的影響。
5. 風機佈置情形及整理風場形狀對航行之影響。
6. 風機間距及整體封場與開海域地形或海上固定物的齡近程度。

其緊急計畫的重點項目，包括：

1. 緊急應變合作計劃(Emergency Response Co-operation Plans；ERCoP)，其樣本可依據經驗、經驗教訓、新技術或程序的開發或法律或規範要求進行更改。

2. ERCoP 必須準備就緒，以便開始施工作業，並且在 OREI 投入運行時，ERCoP 必須準備好。

3. 本文件將每兩年進行一次審查。

4. 運營商應確保定期檢查 ERCoP 的有效性，並依據需要將更新後的版本發送給 MCA SAR 執行。

在協商平臺方面，航海與海洋再生能源聯席小組(Nautical and Offshore Renewable Energy Liaison Group；NOREL)，是由英國交通部(Department for Transport；DfT)主導而組成並派員擔任主席。

綜上所述，英國海事及海岸救援局於 2016 年 12 月制定「離岸可再生能源安裝：搜索與救助及緊急應變的要求、指南及操作注意事項」(Offshore Renewable Energy Installations: Requirements, Guidance and Operational Considerations for Search and Rescue and Emergency Response)，內容包含英國海事及海岸救援局的政策，以及指南、建議及具體要求(如有必要)，以協助和實施搜索與救援以及其他緊急應變。其中，計數器(Counter)污染操作，在海上可再生能源設施(OREI)內部和附近－由波浪作用和/或水流(地表、地下及海底)和潮汐潟湖等發電的風力發電場和設備。此文件也構成 MGN 543 附件 5 中參考文獻的一部分。而開發商如未能適當考慮英國海事及海岸救援局在本文件中提出的建議和緩解措施，可能會導致對其提案的異議。此文件之戰略環境(Strategic Environment)主要內容項目包含：

1. 海上搜救與救援(Maritime Search and Rescue)

英國海事及海岸救援局透過 HM Coastguard 負責英國民用海上搜救(SAR)，為英國搜救地區(United Kingdom Search and Rescue Region；UKSRR)提供服務，並確保在英國污染控制區內有效提供反污染應變。海上可再生能源裝置建在這些區域內，並且可能會導致裝置內或附近可能發生的航行和 SAR 的安全風險。

2. 航空救援協調中心(Aeronautical Rescue Coordination Centre；ARCC)

英國海事及海岸救援局還負責提供英國航空救援協調中心(ARCC)的職責，為英國提供航空 SAR 協調，並控制 SAR 直升機的部署和方向。另外，英國海事及海岸救援局負責管理所有專用英國搜索和救援直升機。這些直升機為「HM 海岸警衛隊」飛機運行，為英國搜救區內的陸地、空中及海上事件提供救援。

3. 海事援助服務(Maritime Assistance Service)

英國海事及海岸救援局還負責透過 HM Coastguard 依據 IMO 的 A.950(23)決議提供海事援助服務(Maritime Assistance Services；MAS)。國際海事組織將此項服務定義為「涉及 MAS 的船舶操作情況不是那些需要救援的人員」；並可能會出現三種情況：

(1) 船舶涉及事故(例如：貨物損失、意外卸油等)，雖不影響其耐海水能力，但必須報告；

(2) 依據船長的評估，船舶需要救援，但不是遇險情況(例如：

即將下沉、發生火災等)，需要救援船上人員；及

(3) 該船被發現處於危難情況，船上人員已經獲救，可能例外的是那些留在船上或已經上船嘗試處理船舶狀況的船員。

在組織及業務方面，英國海事及海岸救援局有義務在海上可再生能源裝置(OREI)佔用的海域提供 SAR 應變。因此對其開發和營運具有重大利益。為此，有必要對 OREI 進行定位、構建、裝備和運轉，以盡量減少對 SAR 和應急應變的影響。如上所述，開發人員和營運商也可能需要提供適當的緩解措施，以幫助緩解這些影響。此外，英國海事及海岸救援局主要負責：

1. 制定海事標準和規範。
2. 檢查和驗證船舶適用的國際和國家安全和環境保護標準的符合性以及航海人員的能力標準。
3. 為航海人員提供服務。
4. 監測海岸和海域，並應對緊急情況。

英國海事及海岸救援局並規範安全、環境兩大目標：

1. 安全：透過事故預防和有效的搜救協調和應變，提高船舶、海上和沿海人員的安全。
2. 環境：透過對船舶的監測和對污染事件的應變，保護海洋環境。

再者，「英國海事及海岸救援局搜尋與救助，離岸可再生能源裝置的一般要求和指南」(MCA Search and Rescue, General Requirements and Guidance for Offshore Renewable Energy Installations)的文件報告中指出：

1. 資訊

英國海事及海岸救援局認為其中一些資訊是必要的要求，涉及離岸風力、波浪和潮汐流裝置等海上可再生能源裝置的應急應變以及類似的用於發電的建築/裝置/船舶在海上或在海岸。對於潮汐潟湖也有 SAR 影響，這也包含有關這些建築的具體要求的資訊。營運商和開發商需要在向 MCA 提交佈署、設計、營運、應急應變計劃，緩解措施和安全管理系統方面的建議時使用這些資訊。

2. 緊急應變合作計劃

(1) 英國海事及海岸救援局要求制定緊急應變合作計劃(ERCoP)，並在任何 OREI 的建設、營運和退役階段實施。這些計劃旨在確保 HM Coastguard 和 SAR 資源擁有關於 OREI 基本細節的必要資訊，並且開發者/營運商和 HM Coastguard 都可以尋訪緊急聯繫電話號碼，以便在此期間實現快速聯繫、資訊共享和有效合作緊急情況。

(2) 如果OREI更改所有權或被其他開發商/營運商租用，則需要提交該網站的更新緊急應變合作計劃(ERCoP)以供MCA SAR營運批准。關於完成ERCoP的樣本和說明可以在 GOV.UK 網站的海洋可再生能源網站上找到。

(3) ERCoP 必須準備就緒，以便開始施工作業，並且在 OREI 投入運行時，ERCoP 必須準備好。

(4) 為確保符合性，英國海事及海岸救援局 SAR 營運部門將定期檢查 ERCoP，並對 ERCoP 持有的 OREI 的緊急和替代電話號碼進行頻繁測試。因此，運營商應確保定期檢查 ERCoP 的有效性，並依據需要將更新後的版本發送給英國海事及海岸救援局 SAR 執行。

3. 離岸搜索與救助管理課程－可再生能源(Offshore Search and Rescue Management Courses – Renewables)

(1) 英國海事及海岸救援局為該行業提供海上應急管理課程，以使海事協調員、安裝管理者、CTV 船員以及任何其他可能參與緊急情況管理和應變的公司工作人員都能接受培訓並了解正確的程序和在特區和其他緊急情況下應遵循的程序。該課程概述 SAR 系統及其運作方式，課程代表將參與桌面演練(table top exercises)，以提高對應急應變作用和貢獻的理解和認識，並加強與國家 SAR 特約協調員和應變者的合作。

(2) 這些課程將全年運行，並建議每個 OREI 應派出適當數量的操作人員和 CTV 人員參加。還建議 OREI 的操作人員和一些船員每五年參加一次進修課程。

4. 佈局 - 一般性評論(Layouts – general comments)

(1) 英國海事及海岸救援局要求與開發人員就任何 OREI 提出

的佈局項目儘早進行討論，然後才能對最終佈局設計作出決定。不這樣做可能會導致英國海事及海岸救援局正式反對一個項目。MGN 543 包含有關英國海事及海岸救援局佈署要求的資訊。

(2) 為了協助英國海事及海岸救援局評估建議佈署內的 SAR 應變的安全性和有效性，開發商需要向英國海事及海岸救援局提供詳細的計劃和草案。此外，為了對佈局提案進行最充分的評估，鼓勵開發人員盡快提供電腦模型、藝術家印象(artist impressions)、電腦生成的圖像和佈局動畫或 OREI 的比例模型提案和提案選項。

(3) 如果提供的話，可以由使用者控制的電腦建模模擬，並且其包括「飛越(fly-through)」佈局並顯示 SAR 對象的能力，例如，救生筏、水和船舶中的人員，並改變顯示的環境條件以模仿例如能見度降低，海洋狀況不佳，低雲量(覆蓋範圍不同)和夜間時間最為有用。這樣的模擬應該允許英國海事及海岸救援局/ SAR 操作員在地表水平和可變的高度和速度下移動通過佈署，以便模擬表面飛行器和飛機在佈署之間或透過佈署進行操作。風力機或設備「模型」模擬應盡可能接近擬建的風力機的類型和尺寸。

5. 海事及海岸救援局海上能源聯絡官員的注意事項和聯繫方式 (Points to Note and Contact Details for MCA Offshore Energy Liaison Officer)

(1) 本文件和緊急應變合作計劃(ERCoP)樣本可依據經驗、經

驗教訓、新技術或程序的開發或法律或規範要求進行更改。

(2) 文件將每 2 年進行 1 次審查。

(3) 潛在使用者應該在使用這些資訊之前聯繫英國海事及海岸救援局以確保完全了解。還應參考 GOV.UK 網站上的相關海事指導通知和其他英國海事及海岸救援局資訊以及海事許可要求和同意程序。

5.4 AIS 船舶資訊系統於離岸風電區實際應用

藉由 AIS 船舶資訊系統顯示介面開發，於離岸風電區實際應用主要係為能夠自動向有對應裝置的航務中心岸邊電台及船舶等提供如下資訊：

1. 靜態資訊：IMO 船舶識別碼、船名、呼號、船長、船寬、船舶類型、GPS 定位等。

2. 動態資訊：船位、國際協調時(UTC)、對地航向(COG)、對地航速(SOG)、航行狀態、轉向率等。

3. 與航行相關的資訊：船舶吃水、預計到達時間等。

AIS 船舶資訊系統可使離岸工作船航行於離岸風電區之限制水域時，可自動獲得來往船隻的各類資訊，在很大程度上可以減少船舶和各類海難事故的發生。

故於實際應用時，由於離岸風電區之障礙物，會使雷達無線電波被阻擋，無法探測到障礙於離岸風電區海域環境情況，盲目相信雷達會使離岸工作船之駕駛員措手不及，因此在識別 AIS 船舶是否處於風電禁航區內有一定難度。為解決此問題，我們使用 point in polygon 演算法做為計算船舶座標點是否在範圍內方法，首先我們需將風電區與船舶的座標由「二度分帶座標系統」轉換成「經緯度座標系統」，轉換後再透過 PIP 演算法識別船舶是否在風電區內。

5.4.1 AIS 船舶資訊系統顯示介面

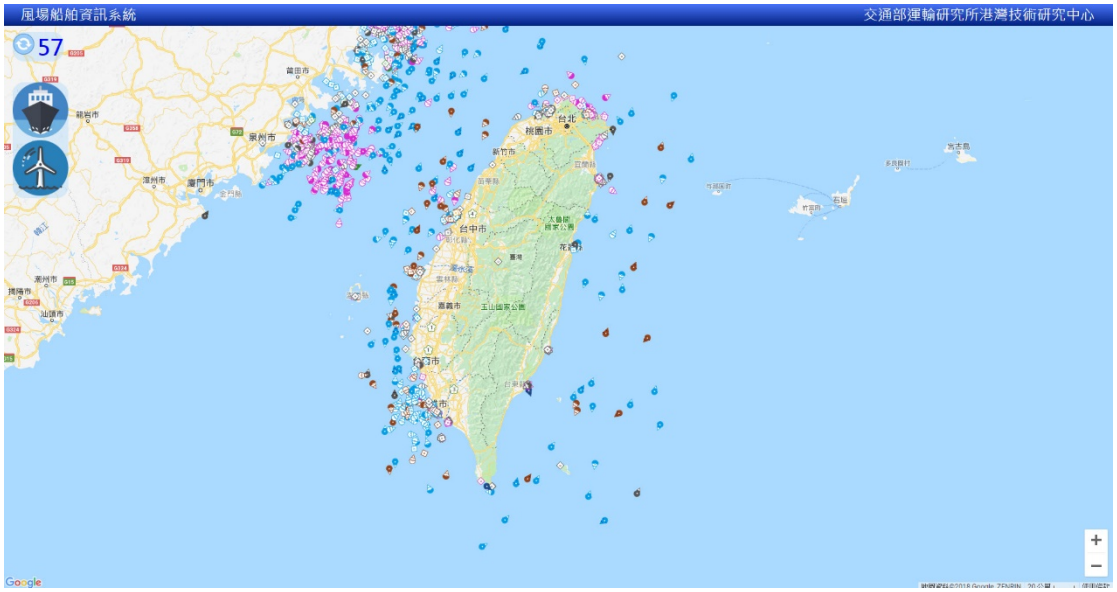


圖 5.4.1 AIS 船舶資訊系統顯示介面

AIS 船舶資訊系統顯示介面具備之功能包含：船舶顯示介面重置、設定顯示船舶種類、設定顯示船舶資訊內容與顯示船舶 AIS 資訊、顯示風場區域位址、開啟 AIS 船舶航跡頁面、顯示該船舶航跡時間、查詢船舶歷史航行軌跡，以下為系統功能介紹。

系統主頁面左側倒數秒數為 0 秒時，即自動重置更新頁面資訊，若秒數不為 0 秒時，使用者亦可手動點擊重置符號按鈕進行頁面資訊更新，並重新倒數秒數。系統主頁面船舶圖示可依使用者所需進行船舶種類篩選。使用者選擇欲顯示船舶種類的船舶圖示將顯示於系統主頁面，反之，則消失於系統主頁面，如圖 5.4.2 所示船舶圖只顯示使用者勾選的漁船、拖船、遊艇。

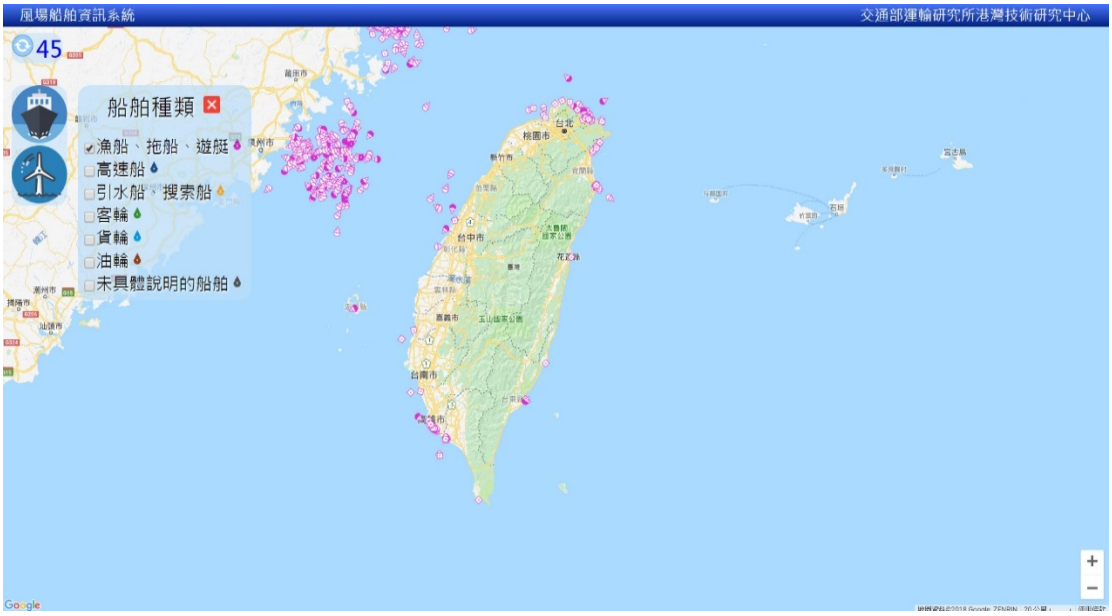


圖 5.4.2 顯示船舶種類

系統主頁面可顯示船舶相關資訊。使用者依所需的船舶資訊內容進行顯示設定。使用者設定完成後，點選欲顯示的船舶，該船舶的船舶資訊將位於系統主頁面左側顯示，圖 5.4.3 與圖 5.4.4 所示。

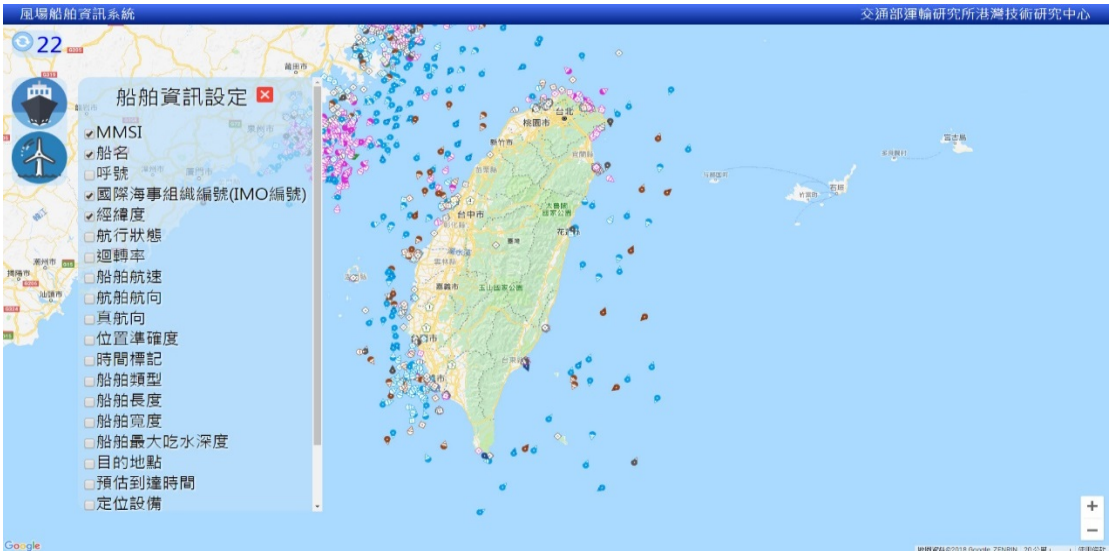


圖 5.4.3 設定顯示船舶資訊內容

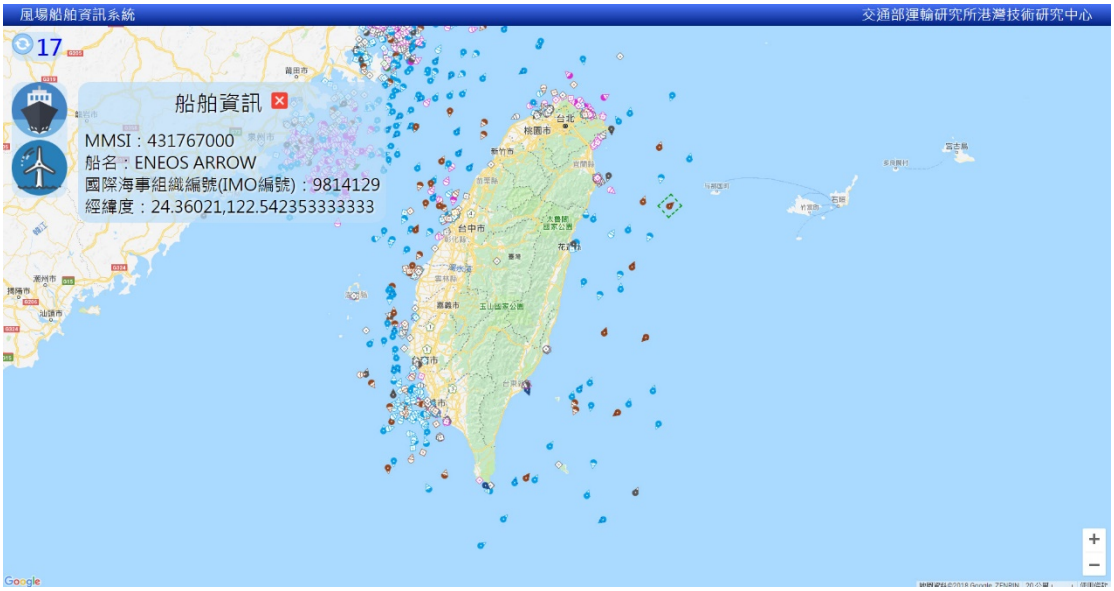


圖 5.4.4 顯示船舶資訊內容

系統主頁面可顯示風電區位址。依使用者選擇的縣市，進行該縣市風電區位址的顯示與關閉，如圖 5.4.5 所示。

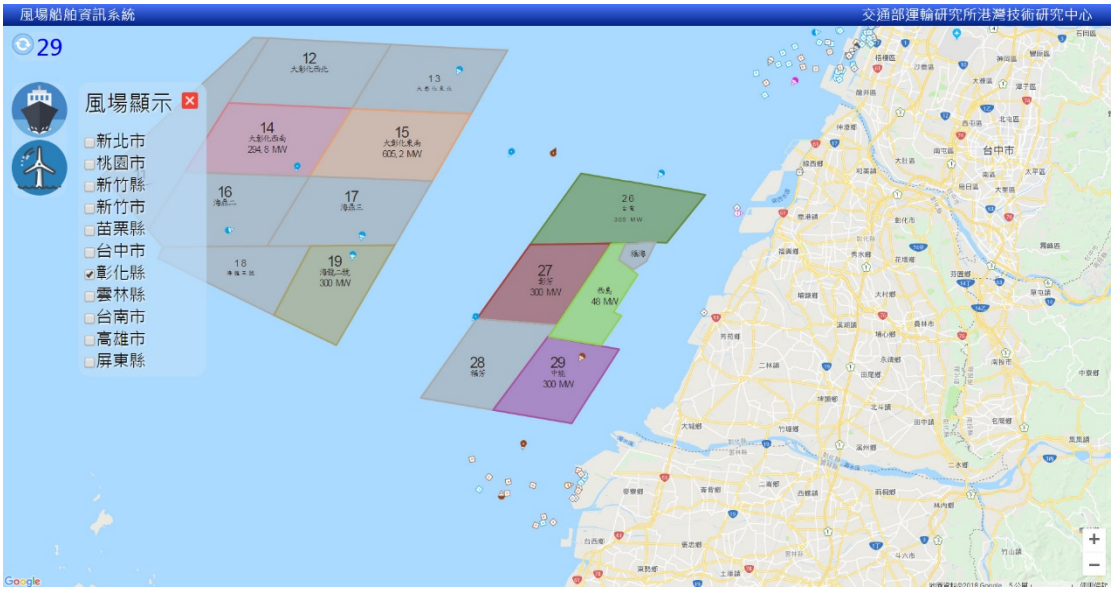


圖 5.4.5 顯示風場區域位址

本系統可進行船舶歷史軌跡查詢。使用者雙擊欲搜尋船舶歷史航跡的該船舶，系統主頁面將開啟 AIS 船舶航跡頁面，剛開啟頁面所顯示航跡為當日該船舶的歷史航跡，如圖 5.4.6 所示。

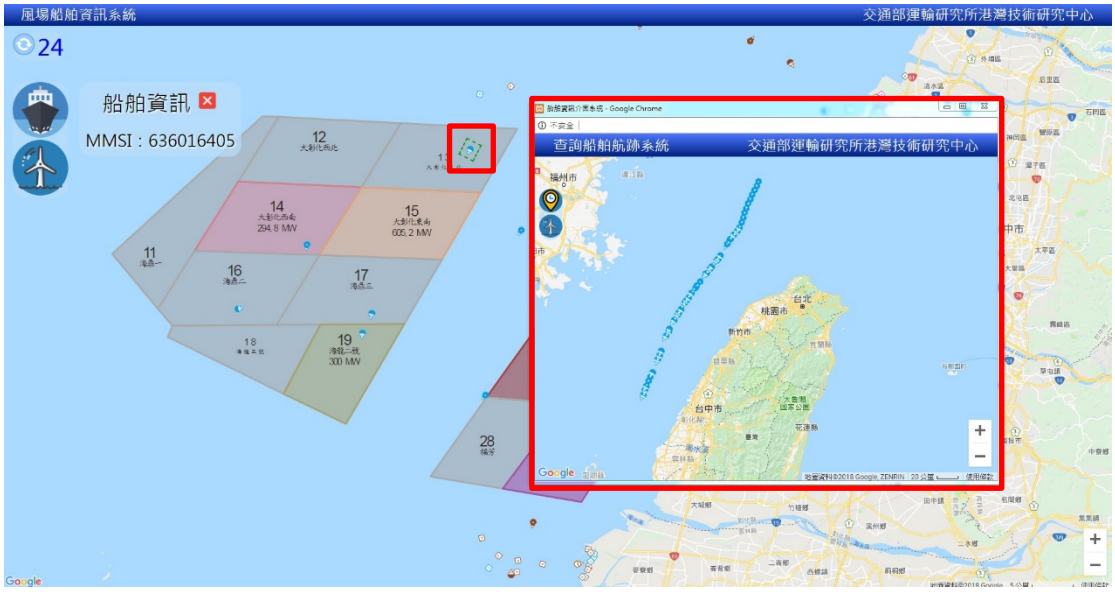


圖 5.4.6 該船舶 AIS 船舶航跡頁面

AIS 船舶航跡頁面可顯示頁面之航跡位置的歷史時間。使用者點擊航跡位置，該航跡位置的歷史時間將於上方顯示，如圖 5.4.7 所示。

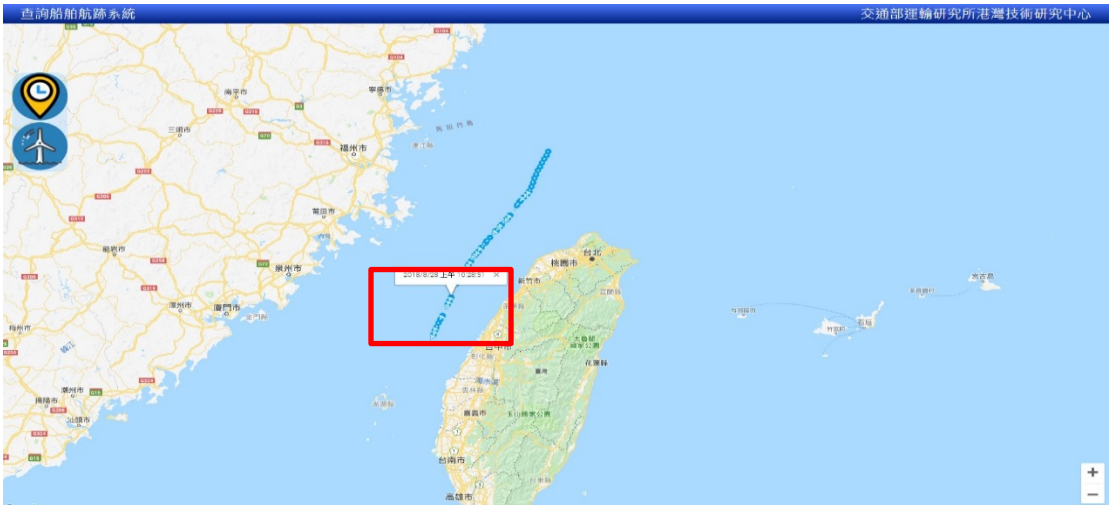


圖 5.4.7 顯示該船舶航跡時間

AIS 船舶航跡頁面可搜尋船舶歷史航跡。使用者設定起始日期與結束日期進行搜尋，搜尋結果為該船舶此段時間的航行軌跡，如圖 5.4.8 所示。

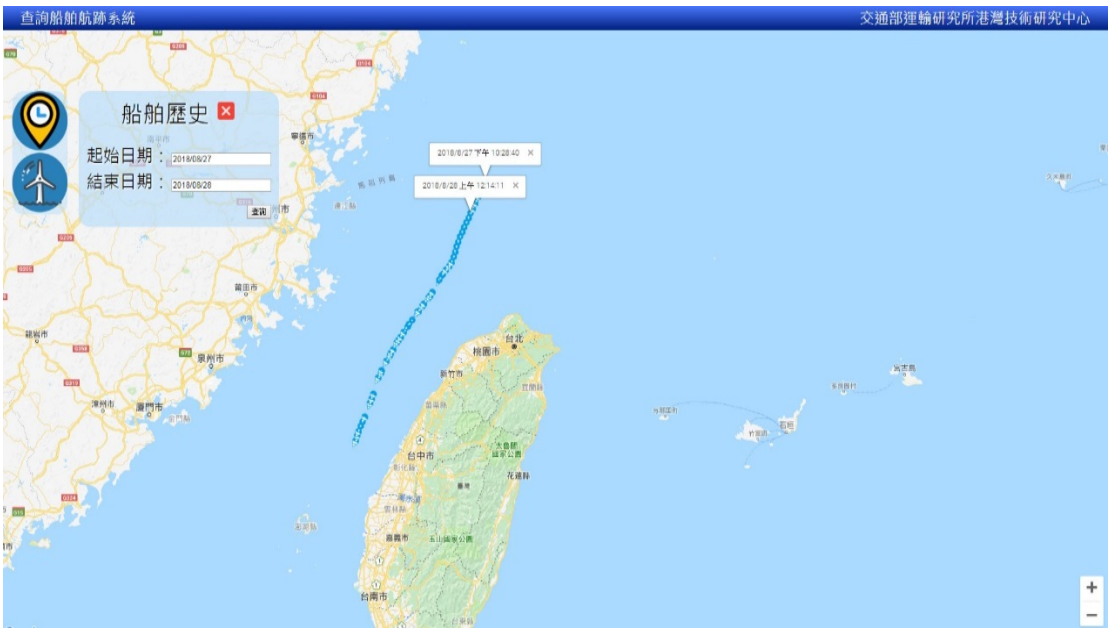


圖 5.4.8 查詢船舶歷史航行軌跡

第六章　結論與建議

離岸風電開發後，風電區將佔據近岸海中一部份面積，船舶航行必須改道，施工與運維船隻增加，使整體的船舶交通流增加，相對意外災害風險亦隨之增加，且港區航道管理亦顯重要。而大量的風機結構物造成水理機制改變，可能造成近岸環境之改變，風機結構物的維護與安全與否，亦關係到航安及建置維護成本。爰此，本研究目的以航行安全、環境保育與產業發展為目標，進行離岸風電開發衍生需提供相關海氣地象資訊、船舶資訊、水下技術等，而以現場調查、水工模型試驗、數值模式模擬、整合船舶監控方式，進行監測、試驗、模擬計算、研擬計畫與手冊以及建置各項系統，並加以彙整統計分析，以提供相關單位應用。本研究為 4 年期之第 1 年。茲將本報告結論與建議敘述如下：

6.1 結論

1. 本年度針對未來離岸風電鄰近基地港地形變遷研究，擬進行平面水工模型試驗之本所第二試驗場棚，進行結構檢查及安全評估，並進行必要的維修補強工作。經維修補強後結構物耐震能力達 6 級震度，抗風能力達 12 級風，滿足現行建築結構耐震及抗風設計規範以要求，提供研究同仁安全無虞的水工模型試驗場地。另外，規劃購置的 HR 英國製平面造波系統，未來可依據不同之波浪條件造波，包括規則波以及不規則波，進行離岸風電和臺中港域附近之水工模型漂沙水工模型試驗。

2. 為提供離岸風電主要之基地港臺中港附近船舶航行安全所需之即時海氣象即時資訊，本研究規劃在臺中港外海北防沙堤延伸至水深 25 米處建置海氣象觀測樁，未來在觀測樁上，擬裝設波流儀、風速計、能見度計、沖刷量測儀、濁度計、加速度計、金屬腐蝕試片

架、太陽能板、電池與傳輸系統等，今年度進行樁體設計所需之鑽探以及設計工作。

3. 蒐集國內、外水下腐蝕防治與監測技術等相關文獻，水下腐蝕防治多採用陰極防蝕與防腐塗層工法兩大類，又以陰極防蝕為主，另視結構物設置環境需求，搭配各式塗料塗層系統，以提高水下防蝕效果。此外，海洋附著生物亦會造成基樁及金屬構件腐蝕。在離岸風機基樁暴露區防蝕系統設置方面，大氣暴露帶採塗裝系統防護，海中帶域採犧牲陽極之陰極防蝕工法，潮間帶可加裝 FPR 或 PVC 保護套包覆，增強海水沖擊之抵禦能力。透過相關資料蒐集及結合現地資料採集及分析，以瞭解區域生物、地質與化學特性，規劃選擇本土適宜利用於離岸風電機具之金屬材料、監測儀器，提供相關防蝕對策，利於協助離岸風機相關企業、技術等發展。

4. 風機維管作業包括維持運作服務及設備維護作業，維持運作服務包括(1)岸上物流(2)離岸物流 (3)管理操作後台端。設備維護作業包括(1)風機維護 (2)傳輸電纜維護 (3)陣列電纜維護 (4)基礎維護。依 DNV 規範小風場可訂定每年或其他週期之檢測計畫，大風場檢測計畫則需加入風險分析，且若風機型式相同者可選擇代表性風機進行檢測。

5. 離岸風機在疲勞應力區可裝設監測儀器如應變計、傾斜儀、加速度計、溫度計及沖刷量測儀器等。在樁及轉接段之相對垂直位移可用 LVDT 位移感測器或雷射感測器;腐蝕速率則可利用感測器感測氫、硫化氫、溫度及相對電位、酸鹼 PH 值、水位及氧，而底床沖刷可利用聲納方式探測高程。

6. 離岸風電海事工程已陸續啟動，後續面臨之運維業務將創造許多之就業人口，伴隨著近年臺灣近海漁源枯竭，許多漁民都有轉業的壓力。根據現行法令，並無法協助予之轉業，且歐洲大型風電產業之外商公司大多以取得專業證照人員作為號召，漁民團體如要參加離岸風場的海上作業，就必須取得船員證，並且完成規定時數教育訓練。因此，若能透過本規劃海事人員之方式協助漁民經過訓練，輔

導取得船員資格，就可以把工作留給國人，達成政府就業在地化的目標。

6.2 建議

1. 臺中港由於潮差大加上特殊之地質條件，施工環境條件不如陸地簡單，未來臺中港海氣象觀測樁在打設時，需特別考量整體海事工程面臨海流、波浪、風力與往復式潮位的影響。

2. 未來海氣象觀測樁打設完成後，仍需定期做監測與維護工作，如傾斜度、腐蝕狀況、掏刷情形，並須做基樁護基工以及金屬防腐。

3. 受限於離岸風機設置期程，對於水下腐蝕防治之技術於臺灣海域現地之成效應持續進行觀測及評估。並設置基樁及金屬構件監測系統以觀測受潮汐、季節、颱風等多重自然因素交互影響下，基樁及金屬構件腐蝕之情況，作為未來後續離岸風機設置上補強或改正之參考。

6.3 成果效益及後續應用情形

本報告為計畫第 1 年，依據未來研究計畫所需，購置及建置相關儀器、觀測站、水工模型試驗等設備及系統，進行資料收集與相關分析，並做觀測樁的設計以及維管計畫與檢監測技術之初探，亦研擬海事人員訓練計畫。成果可提供本所未來進行離岸風電相關觀測、試驗、數值模擬與維管計畫編撰之參考與應用。此外，海事人員訓練課程規畫，可提供新的海事專業人員取得認證的管道，並提供海事人員訓練和認證單位之參考。

參考文獻

1. 海軍海洋測量局，「台海海洋環境研究」，海軍海洋測量局，1981。

2. 鄭錦榮、白書禎、陳瑤湖，「防污塗料之效果評估研究試驗」，台電工程月刊，第 484 期，第 59~80 頁，1988。

3. 楊盛行、洪秀埕、林義宗，「海生物之吸附調查研究」，第二十九屆中國農化年會，1991。

4. 楊盛行、黃哲崇、王瑋龍、林義宗，「臺灣地區港區之海生物研究」，中華生質能源學會會誌，第 11 期，第 42~66 頁，1992。

5. 饒正、柯正龍(84 年)，「水文及污損生物對材料腐蝕之探討研究」，港灣技術研究所，1995。

6. 饒正、陳桂清、李賢華、羅俊雄，「高雄港工結構材料海生物附著與對策研究」，港灣技術研究所，1997。

7. 饒正、陳桂清、李賢華、羅俊雄，「高雄港港工結構腐蝕與海生物附著研究」，港灣技術研究所，1999。

8. 美國國家地震工程研究中心液化評估法，NCEER，2001。

9. 蔡立宏、徐如娟、劉大綱、許弘莒、陳平，「鄰港水質環境調查研究(4/4)」，交通部運輸研究所，2003。

10. 陳桂清、饒正、柯正龍、羅俊雄、翁榮洲、王瑞坤、張英傑、劉益雄、江淑慈，「港灣構造物陰極防蝕準則訂定研究」，交通部運輸研究所，2004。

11. 曾建興、楊文衡，「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，2005。

12.林維明、饒正、柯正龍、羅建明、張道光、陳正義、李昭明、何木火、王培源、林隆貞、吳建國、黃然、林志洋、邵廣昭、林幸助、蘇易男、李賢華、宋克義、羅俊雄、余宗鴻、王姵文,「港工結構材海生物附著與對策研究」,港灣技術研究所研究報告,2007。

13.王丹、賈貞、游松,「硫酸鹽還原菌的培養及檢測方法的研究進展」,瀋陽醫藥大學學報,第 26 卷,第 6 期,第 502~506 頁,2009。

14.海難災害防救業務計畫,交通部,2009。

15.周文木、王孝杰、胡碧茹、吳文健,「海洋污損生物黏附機制及防污塗層表面工程」,應用化學,第 27 卷,第 9 期,第 993~997 頁,2010。

16.許朝敏、林銘崇、楊文榮、曾瓊蓉,「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,第 375~380 頁,2010。

17.陳仲宜,「高耐蝕技術在離岸風機應用之發展動向」,ITIS 產業評析,金屬工業發展中心,2010。

18.鋼結構容許應力設計法(ASD)規範及解說,內政部,2010。

19.鋼結構極限設計法(LRFD)規範及解說,內政部,2010。

20.建築物耐震設計規範及解說,內政部,2010。

21.建築物基礎構造設計規範,「新日本道路橋液化評估法(NJRA)」,內政部,2010。

22.王星宇、方惠民、蕭松山,「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,2010。

23.日本海上保安廳特殊救難體制,2012。

24.經濟部水利署第四河川局,「彰化海岸防護基本資料調查(1/2)」,經濟部水利署,2013。

25.校舍結構耐震評估與補強技術手冊第三版，國家地震工程研究中心，2013。

26.建築物耐風設計規範及解說，內政部，2014。

27.經濟部水利署第四河川局，「彰化海岸防護基本資料調查(2/2)」，經濟部水利署，2014。

28.經濟部水利署第三河川局，「臺中海岸防護基本資料調查(1/2)」，經濟部水利署，2014。

29.經濟部水利署第三河川局，「臺中海岸防護基本資料調查(2/2)」，經濟部水利署，2015。

30.陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝，「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，2015。

31.鄭錦榮，「離岸風機海上結構物腐蝕監測及風機資產管理」，台灣電力公司綜合研究所，2015。

32.李忠縈、沈宗翰、鄭錦榮、林輝政、林招松、李岳聯，「離岸風機防蝕塗層性質監測技術之開發及應用」，臺灣風能學術研討會暨 NEP-II 離岸風力及海洋能源主軸中心成果發表會，2015。

33.離岸風力發電第一期計畫可行性研究，台灣電力公司，2015。

34.羅建明、陳桂清、柯正龍，「金屬材料腐蝕環境調查研究(1/2)」，交通部運輸研究所，2016。

35.蔡立宏、陳志弘、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」，交通部運輸研究所報告，2016。

36.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」，交通部運輸研究所報告，2016。

37.邱永芳、蔡立宏、廖慶堂等,「2016 年 12 港域海氣象觀測資料年報」,交通部運輸研究所報告,2016。

38.黃清哲、莊士賢、吳立中、范揚洺、林演斌、馮宗緯,「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,2016。

39.交通部公共政策建設及科技施政計畫,「(106-109 年)離岸風電海下工程技術研發計畫(草案)」,交通部,2016。

40.張君名、錢樺,「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,2017。

41.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,2017。

42.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,2017。

43.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,2017。

44.風力發電 4 年推動計畫,經濟部能源局,2017。

45.經濟部離岸風電開發計畫,「離岸風力發電規劃場址申請作業要點」,經濟部能源局,2017。

46.彰化外海離岸風電申請潛力場址,「離岸風力潛勢場址範圍」,環保署綜計處,2017。

47.離岸風力發電第二期計畫環境影響說明書,台灣電力公司報告,2017。

48.戴台川、黃啟宗,「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,2017。

49.戴台川、黃啟宗、蕭吉謹、張瑞誠、魏元聖、邱永芳、林受勳，「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作說明書」，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，2017。

50.李政達、林受勳，「106 年度離岸風能場遴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，2017。

51.規則與不規則波平面造波系統工作計畫書，「The Basin Wavemarker System of Regular and Irregular Wave」，智統科技工程股份有限公司、英國 HR Wallingford Limited，2017。

52.黃燁、劉雙江、姜成英，「微生物腐蝕及腐蝕機理研究進展」，微生物學通報，第 44 卷，第 7 期，第 1699~1713 頁，2017。

53.劉漢修，離岸風機國產水下基礎推動規劃，2017。

54.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。

55.戴台川、黃啟宗、張瑞誠、魏元聖，「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，2018。

56.周建宇，「離岸風力變電站之基礎設計與施工研習」，台灣電力公司輸工處中區施工處出國報告，2018。

57.建築技術規則，內政部，2018。

58.A Guide to UK Offshore Wind Operations and Maintenance, Scottish Enterprise, 2013.

59.Beech, I. B., Sunny Cheung, C. W., Patrick Chan, C. S., Hill, M. A., Franco, R., & Lino, A. R. (1994). Study of parameters implicated in the

biodeterioration of mild steel in the presence of different species of sulphate-reducing bacteria. International Biodeterioration & Biodegradation, 34, 289-303.

60. Bergstrὸm, L., Kautsky, L., Malm, T., Rosenberg, R., Wahlberg, M., Capetillo, N. A., & Wilhelmsson, D. **(**2014**).** Effects of offshore wind farms on marine wildlife - a generalized impact assessment. Environmental Research Letters, 9(034012)**,** 12 .

61. Brioukhanov, A. L., & Netrusov, A. I. (2007). Aerotolerance of strictly anaerobic microorganisms and factors of defense against oxidative stress: a review. Applied Biochemistry and Microbiology, 43(6), 567-582.

62. Cypionka, H., Widdel, F., & Pfennig, N. (1985). Survival of sulfate-reducing bacteria after oxygen stress, and growth in sulfate-free oxygen-sulfide gradients. FEMS Microbiology Letters, 31(1), 39-45.

63. Danish Hydraulic Institute Website (DHI), https://www.dhigroup.com.

64. Dong, Z. H., Liu, T., & Liu, H. (2011). Influence of EPS isolated from thermophilic sulphate-reducing bacteria on carbon steel corrosions, Biofouling, 27(5), 487.

65. Finkenstadt, V. L., Cote, G. L., & Willett, J. L. (2011). Corrosion protection of low-carbon steel using exopolysaccharide coatings from Leuconostoc mesenteroides, Biotechnology Letters, 33(6), 1093.

66. Force Technology,Structural health monitoring system for offshore wind turbines.

67. Galbraith, J. M., & Lofgren, K. L. (1987). Update on monitoringm icrobial corrosion in Prudhoe Bay′s produced water and seawater floods. Journal of Materials Engineering and Performance, 26(9), 47.

68. Hal, R. V., Couperus, B., Fassler, S., Gastauer, Griffioen, S. B., Hintzen, Teal, N. L., Keeken, O. V., & Winter, E. **(**2012**).** Monitoring and

Evaluation Program Near Shore, Wind farm. IMARES Report.

69. IMO & ICAO, International Aeronautical & Maritime Search and Rescue Manual (IAMSAR), 1998.

70. International Maritime Organization, Ships' Routeing, 2013 Edition, IMO.

71. ISO 20340:2009. Paints and varnishes-performance requirements for protective paint systems for offshore and related structures.

72. Kim K. (2002) Corrosion Protection of Port Structures in Korea and Some Lessons in Underwater Cathodic Protection. Keynote Lecture, Ocean Engineering Conference, Taiwan.

73. Larsen, J. H. M., Soerensen, H. Christiansen, C. E., Naef, S., & Volund, P. **(**2005**).** Experience from middelgrunden 40 MV offshore wind farm. Copenhagen Offshore Wind.

74. Liu, F., Zhang, J., Zhang, S., Duan, J., & Hou, B. (2012). Effect of sulphate reducing bacteria on corrosion of Al-Zn-In-Sn sacrificial anodes in marine sediment. Materials and Corrosion, 63(5), 431-437.

75. Martinez, L. M., Kolios, A., & Wang, L. (2016). Structural health monitoring of offshore wind turbines: A review through the Statistical Pattern Recognition Paradigm. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 64, 91-105.

76. Mogensen G. L., Kjeldsen K. U., & Ingvorsen, K. (2005). Desulfovibrio aerotolerans sp. nov., an oxygen tolerant sulphate reducing bacterium isolated from activated sludge. Anaerobe, 11(6), 339-49.

77. Molino, P. J., & Wetherbee, R. (2008). The biology of biofouling diatoms and their role in the development of microbial slimes. Biofouling, 24(5), 365-79.

78. National Oceanic and Atmospheric Administration Website (NOAA), http://www.noaa.gov.

79. Offshore cable protection，Niklas Svensson, Martin Holmberg, Linnaus University, Sweden.

80. Offshore Standard DNV-OS-J101, May 2014.

81. Railkin, A. I. (2004). Marine biofouling: colonization process and defenses. London, England: Taylor & Francis.

82. 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, pp73-88, January 2011.

83. Roux, S., Bur, N., & Ferrari, G. (2010). Influence of a biopolymer admixture on corrosion behaviour of steel rebars in concrete, Materials and Corrosion, 61(12), 1026.

84. Schmidt, D. L., Brady, R. F., Lam, K., Schmidt, D. C., & Chaudhury, M. K. (2004). Contact Angle Hysteresis, Adhesion, and Marine Biofouling. Langmuir, 20, 2830-2836.

85. Seth, J. P., & Rita, F. B. (2017). Corrosion Protection Systems and Fatigue Corrosion in Offshore Wind Structures: Current Status and Future Perspectives. Coatings, 7(2), 25.

86. Stadler, R., Wei, L., Fürbeth, W., Grooters, M., & Kuklinski, A. (2010). Influence of bacterial exopolymers on cell adhesion of Desulfovibrio vulgarison high alloyed steel: Corrosion inhibition by extracellular polymeric substances. Materials and Corrosion, 61(12), 1008.

87. UK Royal National Lifeboat Institution, Maritime Search and Rescue Service Implementation Guide, March 2017.

88. University of Paderborn, Foundation monitoring for offshore windfarms, 2013

89. Videla, H. A., & Herrera, L. K. (2009). Understanding microbial inhibition of corrosion. A comprehensive overview. International

Biodeterioration and Biodegradation, 63(7), 896-900.

90. Wahl, M. (1989). Marine epibiosis. I. Fouling and antifouling: some basic aspects. Marine Ecology Progress Series, 58, 175-189.

91. WindEurope (2017), Annual Offshore Statistics, Brussels.

92. Yuan S. J., Liang, B., Zhao Y., & Pehkonencet, S. O. (2013). Surface chemistry and corrosion behaviour of 304 stainless steel in simulated seawater containing inorganic sulphide and sulphate-reducing bacteria. Corrosion Science, 74, 353-36.

93. Zhou, E., Zhang, D., Xu, D., Xia, J., Yang, C., Feng, H., Jiang, Z., Li, X., & Gu, T. (2016). Microbiologically influenced corrosion of 2707 hyper-duplex stainless steel by marine Pseudomonas aeruginosa biofilm. Scientific reports, 6, 20190.

106-109離岸風電海下工程技術研發(1/4)
自辦計畫審查會

簡報說明：港灣技術研究中心 第二科

中華民國107年8月16日

交通部運輸研究所港灣技術研究中心
Harbor and Marine Technology Center

簡報內容

一. 緒論

二. 離岸風電海氣象觀測

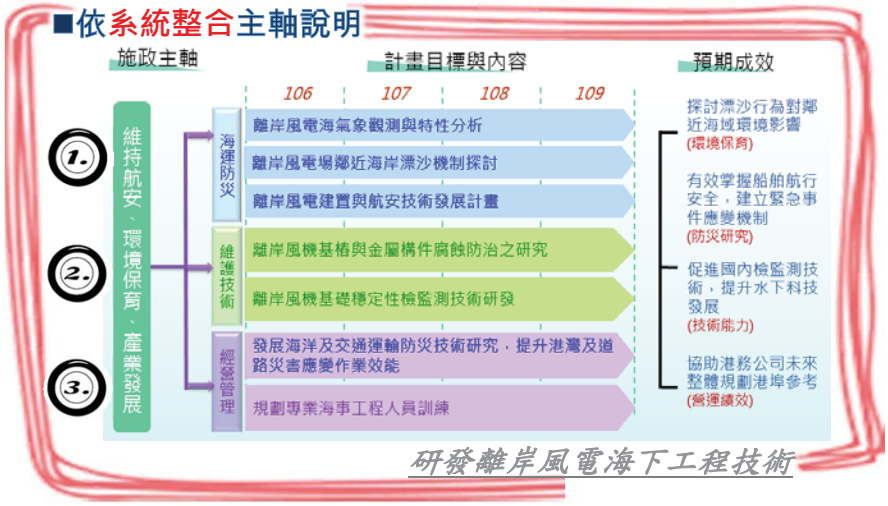
三. 離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討

四. 離岸風電水下技術

五. 水工模型試驗廠棚結構安全評估及維修工程

六. 結論與建議

一、緒論



二、離岸風電海氣象觀測

(1)建置海氣象觀測系統(1/4)

「離岸風電區海氣象觀測與特性分析」現場監測儀器進行實地教育訓練和作業技術操作

研究動機與目的：

針對離岸風電區現場海氣象觀測、調查技術發展及海氣象特性分析等課題，透過實地教育訓練及技術操作，達到教學合一成效，並落實國際間科技人員及研究技術實質交流。

研究內容：

1. 海氣象現場觀測儀器實地教育訓練與作業技術探討。
2. 海氣象現場觀測資料傳輸、量測原理、資料分析及經驗交流探討。

預期效益：

1. 提升本所海氣象觀測相關人才國際觀及競爭力。
2. 藉由與產業實務界交流，提升我國海氣象監測分析技術與研發能量，並提升我國海洋港灣領域國際能見度。

二、離岸風電海氣象觀測

(1)建置海氣象觀測系統(2/4)

- 臺灣自然環境四周環海，舉凡**離岸風電**開發、**航運發展**、**海洋資源**開發及**港灣建設**等，均需藉由長期**海氣象調查**，做為規劃、設計及建設等作業**參考**。





- **交通部運輸研究所（港灣技術研究中心）**於臺中港離岸風電鄰近海域設置**波浪**、**海流**、**潮位**及**風速風向**等海氣象**觀測系統**。
- 提供港務、學術及顧問公司等**產官學研**相關單位，作為**離岸風電**相關作業**應用參據**。

二、離岸風電海氣象觀測

(1)建置海氣象觀測系統(3/4)

- **風速風向**
  - 儀器：英國GILL公司 Wind Observer 超音波風速風向儀
  - 頻率：**10分鐘**



- **波浪海流**
  - 儀器：挪威Nortek公司 AWAC
  - 頻率 (海流)：每小時**前10分鐘平均**
  - 頻率 (波浪)：**1Hz**，連續量測**2048筆**資料



- **潮位**
  - 儀器：美國TE公司KPSI 735 壓力式潮位儀
  - 頻率：**1分鐘**



二、離岸風電海氣象觀測

(1)建置海氣象觀測系統(4/4)

- 定　期：每3 - 4個月執行觀測設備維護及保養。
- 不定期：天然(颱風)及人為(底拖船)因素損壞，即時勘查，修復工法擬定。

安裝	維護	保養
		
		

二、離岸風電海氣象觀測

(2)海氣象觀測樁設置(1/3)

研究動機與目的：

在離岸風電區鄰近港域進行觀測樁打設，辦理長期性海氣象觀測，調查鄰近海域波浪、流場及潮汐等資料，提供預測模式建置使用，推算離岸風電場鄰近海域的海氣象，資料可提供離岸風場鄰近海域作業或進出之船舶航行安全參考應用。

研究內容：

1. 設立長期性與即時波浪與海流觀測系統。
2. 建置整合性觀測資料庫和統計特性分析。
3. 進行數值預測模式建置與驗證，推算鄰近海域海氣象。

預期效益：

1. 成果作為離岸風場作業或進出船舶航行安全參考，以利評估海上施工及適合條件，減低人員船隻之工作風險。
2. 即時資訊將提供經濟部能源局、中央氣象局、航港局、臺灣港務股份有限公司、財團法人中國驗船中心等有關單位及業界人士使用。

二、離岸風電海氣象觀測

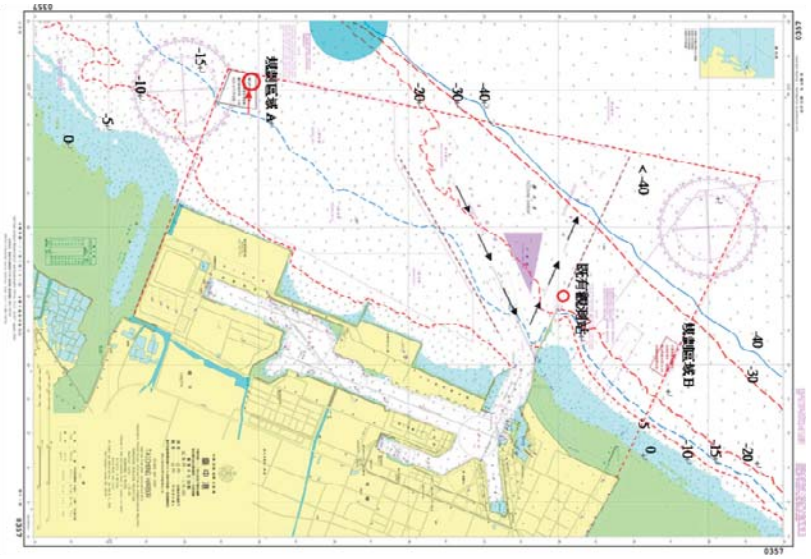
(2)海氣象觀測樁設置(2/3)

評估項目	規劃區域A	規劃區域B	評估
位置水深	-15~-17m	-20~-24m	B區水深更佳
與既有結構物關係	距南海堤約3000m惟有二港口擴建計畫	距北防波堤約3000m距北防砂堤約2500m	與既有結構物距離均超出5倍波長 (5L=1464m) 故反射波影響不大
海象條件	無碎波之虞，以-17m計：Hs=10.3m總波力 F=15.478T總彎矩 M=268.2T-M總流力 Fu=5.829T	無碎波之虞，以-24m計：Hs=9.99m總波力 F=13.012T總彎矩 M=268.44T-M總流力 Fu=7.684T	A區受總波力F較B區大，但因距海底較淺，總波力彎矩M反而稍小，A 區流力Fu較B區為小
海域地形	長期無明顯侵淤趨勢	長期有明顯淤積趨勢	臺中港經年清淤
河川排洪	短期受烏溪排洪輸砂影響	長期受大安溪、大甲溪輸砂影響	長期而言A區較無淤積之虞
航行安全	船舶航行密度較低	船舶航行密度較高	不考慮未來擴建二港口情況下A區船舶航行密度較低
離岸風力潛力場址	位處臺中、彰化離岸風力潛勢場址東邊(No.8~No.29)近岸海域	緊鄰苗栗離岸風力潛勢場址(No.7)南邊	就臺中港離岸風力潛勢場址(No.7)而言B區較近
工程經費	較低(水深較淺)	較高(水深較深)	A區因水深較淺工程經費較低

- **結語：**
- 有關「海氣象觀測樁設置」打設地點評估、選擇之決定；(1)臺中港區南側海域，因受臺灣西部冬季強烈東北季風影響，易產生船舶流錨而撞擊樁體。(2)爰考量北側港區範圍內水深約-20至24米，鄰近北防沙堤延伸處，並經地質鑽探結果顯示，可做為未來南北風電區間，適宜海氣象觀測資料點位。

二、離岸風電海氣象觀測

(2)海氣象觀測樁設置(3/3)



二、離岸風電海氣象觀測

(3)海氣象觀測結果分析(1/5)

※風向定義：風向指來向

- 全測期風向分佈以東北向為主，約佔全期61.4%，西南向次之，佔全年度22%。
- 秋、冬兩季因東北季風效應主要風向以東北來向為主，（冬季91.7%、秋季74%）。
- 夏季屬西南季風盛行季節，風向結構以西南來向為主要分佈，約佔整季53%。
- 臺中港海域除夏季時因西南季風吹拂影響，風向分佈以西南向為主外，整年度秋、冬及春三季風向均以東北來向為主。

月份	風向（N-E）	風向（E-S）	風向（S-W）	風向（W-N）	靜風
1	93.5	0.5	1.6	3.8	0.5
2	93.3	1.6	0.3	4.2	0.6
3	84.4	3.0	5.6	5.6	1.3
4	50.0	6.8	32.8	7.6	2.8
5	59.1	3.8	23.5	11.6	2.0
6	10.4	15.0	64.4	8.8	1.4
7	19.1	20.3	34.7	24.5	1.5
8	18.0	6.7	59.8	14.1	1.3
9	44.6	4.4	28.3	19.0	3.6
10	86.3	2.8	4.6	5.2	1.1
11	91.0	1.4	3.2	3.6	0.8
12	88.2	2.7	4.6	4.6	0.0
全年	61.4	5.8	22.0	9.4	1.4

二、離岸風電海氣象觀測

(3)海氣象觀測結果分析(2/5)

- 全測期10分鐘平均風速為9 m/s（蒲氏風力5級），風速結構以大於10 m/s比率較高，約佔全測期40％。
- 秋、冬兩季平均風速為四季中最高，分別為秋季10.3 m/s、冬季12.7 m/s，突顯東北季風對本海域影響。
- 春、夏季時，東北季風影響逐漸減弱，春季平均風速降至7.7 m/s，夏季平均風速約為5.5 m/s，為四季中最低。
- 特性分析結果顯示，本海域受東北季風影響較西南季風大。

月份	平均風速(m/s)	風速%（<5m/s）	風速%（5-10m/s）	風速%（>10m/s）
1	12.5	13.4	17.9	68.7
2	12.9	14.9	18.2	67.0
3	9.8	24.3	26.2	49.5
4	7.4	41.1	29.6	29.3
5	6.0	49.1	31.5	19.5
6	6.3	38.1	45.8	16.1
7	4.1	72.3	22.3	5.4
8	6.0	40.6	47.4	12.0
9	4.8	61.4	27.2	11.4
10	13.2	20.2	11.2	68.7
11	13.0	13.6	15.1	71.3
12	12.8	14.5	21.0	64.5
全年	9	33.7	26.1	40.1

二、離岸風電海氣象觀測

(3)海氣象觀測結果分析(3/5)

- 觀測期間風速極值發生於12月，亦是東北季風盛行季節，所測得風速極值為28.9 m/s（蒲氏風力11級），對應風向為NNE。
- 10分鐘風速平均較高者，分別發生於秋冬兩季，季節轉換至春夏兩季時，所測得月平均風速較低。
- 此特性可提供相關單位作為離岸風電海域船舶航行、工程施作及規劃設計參考應用。

月份	10分鐘平均風速（m/s）	10分鐘平均風速極值（m/s）	極值當時風向
1	12.5	25.4	NNE
2	12.9	25.5	NNE
3	9.8	23.9	NNE
4	7.4	22.5	NNE
5	6.0	17.3	NNE
6	6.3	16.9	SW
7	4.1	21.4	SW
8	6.0	20.0	NNE
9	4.8	19.6	NNE
10	13.2	28.4	NNE
11	13.0	27.6	NNE
12	12.8	28.9	NNE
全年	9.0	28.9	NNE

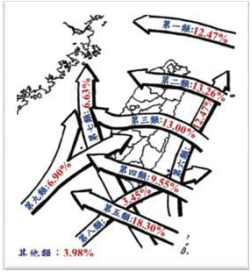
二、離岸風電海氣象觀測

(3)海氣象觀測結果分析(4/5)

- 尼莎(中度颱風)，觀測站所測得最大陣風風速為26 m/s，相當於10級風，對應風向為SWS向。
- 海棠(輕度颱風)，觀測站所測得最大陣風風速為26 m/s，約為10級風，對應風向為SWS向。

風力統計表

颱風	最大陣風風速(m/s)	風向(向)	發生時間
尼莎(中度颱風)	26	SWS	7月30日2時29分
海棠(輕度颱風)	26	SWS	7月30日2時29分
天鵝(中度颱風)	26.1	NNE	8月21日16時8分
谷超(輕度颱風)	16.2	SWS	9月7日17時43分
泰利(輕度颱風)	24	NNE	9月13日18時43分







二、離岸風電海氣象觀測

(3)海氣象觀測結果分析(5/5)

- 天鴿(中度颱風)，觀測站所測得風速極值為26.1 m/s，對應風向為NNE向。
- 谷超(輕度颱風)，觀測站所測得風速極值為16.2 m/s，對應風向為SWS向。
- 泰利(輕度颱風)，期間觀測站所測得風速極值為24 m/s，對應風向為NNE向。

風力統計表

颱風	最大陣風風速 (m/s)	風向 (向)	發生時間
尼莎 (中度颱風)	26	SWS	7月30日2時29分
海棠 (輕度颱風)	26	SWS	7月30日2時29分
天鴿 (中度颱風)	26.1	NNE	8月21日16時8分
谷超 (輕度颱風)	16.2	SWS	9月7日17時43分
泰利 (輕度颱風)	24	NNE	9月13日18時43分



三、離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討

(1)規則與不規則波平面造波系統說明(1/3)

研究動機與目的：

由於國內尚無離岸風電場建置與經營管理的經驗，大部份之漂沙調查僅作為選址之參考依據；而關於離岸風電之試驗，多針對波浪對其風電場結構基礎之沖刷做模擬試驗，本計畫擬探討大範圍的風電結構物對於鄰近漂沙及近岸影響，進行漂沙水工模型試驗及大尺度之數值模擬分析，以瞭解漂沙機制，作為未來因應對策之參考。

研究內容：

1. 鄰近海域地形及沿岸漂沙現場調查分析。
2. 進行水工模型漂沙試驗，使得模型試驗能重現現場之地形變化。
3. 建置數值模式，模擬離岸風電鄰近海岸之波場與流場特性。

預期效益：

1. 研究成果可提供港務公司以瞭解離岸風場對於鄰近港區之流場、漂沙運動行為，提供結構物穩定、船隻航行、近岸地形侵淤之評估，並作為未來施工維護、海洋環境保育、航行安全等之參考。
2. 研究成果有助於未來離岸風電設置之參考，降低對鄰近海域環境影響，確保環境永續發展。

三、離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討

(1)規則與不規則波平面造波系統說明(2/3)

項目	規格
造波板寬度	6 m
造波模組數量	4個
整體造波板寬度(6mx4個=24m)	24 m
單一模組寬度	6 m
每個造波板的促動器數量	2
Paddle stroke	1.0 m
最大造波板速度	0.5 m/s
最大造波板施力	9.0 kN
每個造波板的標準造波功率 (rms)	5.2 kW
最大額定電源容量	AC3×220V,60Hz,400A
總系統馬達功率（rms）	20.8 kW
每個造波模組重量	1.5噸

- **結語：**

關於節本所規劃購置的HR英國製平面造波系統，乃針對離岸風電和臺中港域附近水工模型漂沙試驗，模擬季節、颱風時所需進行規則與不規則造波作業使用；此一儀器設備將提供最佳服務品質，以利本計畫呈現實際預期成果。

三、離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討

(1)規則與不規則波平面造波系統說明(3/3)



三、離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討

(2)MIKE 21二維海洋波流模擬軟體概述(1/3)

研究動機與目的：

離岸風機群屬於佔據區域面積大、對整體海域空間而言又是多點式小結構物體，如依序建置於現況海域中，短期影響現況漂沙運動，長期10年以上則會造成沿岸地形變遷，為提供離岸風電場海域在時間、空間之整體性物理變化情勢以供工程實務參考，本計畫採用MIKE 21二維海洋波流模擬軟體進行數值模擬工作。

數值模式簡介：

MIKE 21為丹麥水力研究所(DHI)研發之數值模式：

1.採用有限體積法(Finite Volume Method)求解。

2.網格為非結構性三角形網格

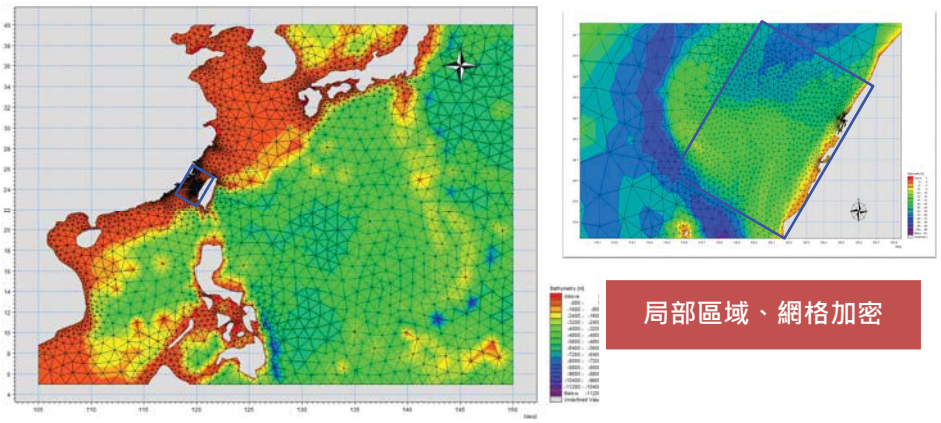
3.離岸風電區域以數值軟體局部區域、網格加密功能求得較佳數值模擬結果。

4.MIKE 21軟體之二維水動力模組(HD)、波浪模組(SW)、沙傳輸模組(ST)亦可彼此進行動態耦合及解耦計算功能，模擬物理演變過程。

三、離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討

(2)MIKE 21二維海洋波流模擬軟體概述(2/3)

模式範圍、網格及測深示意圖



局部區域、網格加密

三、離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討

(2)MIKE 21二維海洋波流模擬軟體概述(3/3)

結語：後續將分年度進行各項數值模型建置工作、規劃模擬方案以提供水工模型試驗作業、分析模擬結果供後續工程建設及長期地形變遷分析之參考應用。

107年度

▲蒐集臺中、彰化海域海象及測深等相關資訊及特性分析
▲建置適用於臺中、彰化海域波浪(SW)、水動力(HD)模式
▲模擬夏季、冬季季風及颱風事件做模式驗證
▲進行離岸風電潛力場址風機群設置前、後之波浪及水動力之影響模擬評估

108年度

▲增建適用於臺中、彰化海岸漂沙(ST)模組
▲進行夏季、冬季季風及颱風事件作用下之漂沙特性分析。
▲進行離岸風電潛力場址風機群設置前、後對海岸漂沙之影響模擬評估。

109年度

▲增建適用於研究區域海岸線地貌(SM)模組
▲分析臺中、彰化海岸線近年變化趨勢並利用模式驗證
▲進行離岸風電潛力場址風機群設置前、後對臺中、彰化海岸線長期(10年以上)變化趨勢模擬分析。

四、離岸風電水下技術

(1)離岸風機基礎維管及穩定性檢監測技術初探(1/5)

目前主流的國外風機結構基礎型式有2種：

一、單樁式(Monopile)基礎：
目前世界上約有2/3之風機採用此基礎形式。
優點：設計及製造簡單、組裝及運輸便捷。
缺點：須施作防淘刷之基礎保護工，水深較深時剛性較不足，使用限制性取決於整體變形及振動量。
適用水深及地質：水深0~25公尺。
臺灣適用性：苗栗以北有岩層且地震影響較輕微可適用其作為離岸風機之水下基礎。

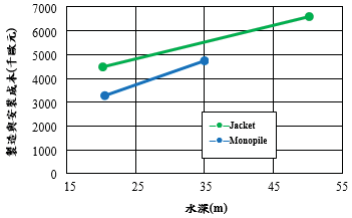
二、套筒式(Jacket)基礎：
優點：側向勁度及整體穩定性高，具有較佳的穩定度。
缺點：複雜的桁架結構，故其製造較費工，成本亦相對較高。
適用水深：水深(20公尺~50公尺。
臺灣適用性：適合在苗栗以南的軟弱泥土質地盤及較活躍的地震帶使用。



單樁式(Monopile)基礎



套筒式(Jacket)基礎



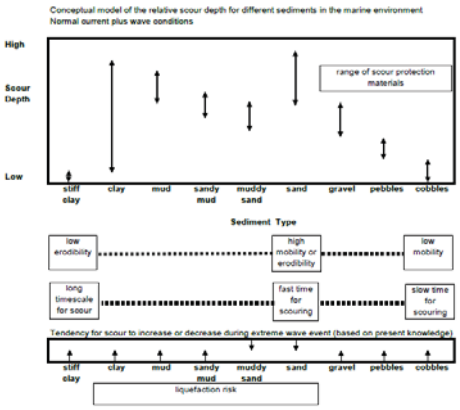
離岸風機下部結構成本比較

四、離岸風電水下技術

(1)離岸風機基礎維管及穩定性檢監測技術初探(2/5)

離岸風力機單樁式(Monopile)基礎淘刷：

Richard JS Whitehouse2006年文獻指出相較於砂土，較粗或較細的土壤淘刷程度較低，但泥及黏土之淘刷程度取決於它的壓密度。



基礎在一般流況及極限流況時不同地質之淘刷深度影響

動床沖刷之沖刷深度S

$$\frac{S}{D} = 1.3\{1 - exp[-0.03(KC - 6)]\} \quad KC \geq 6$$

沖刷坑的範圍

$$r = \frac{D}{2} + \frac{S}{tan\varphi}$$

沖刷深度與時間:在t時間的沖刷深度S_t與時間尺度T_1有關

$$S_t = S(1 - \exp\left(-\frac{t}{T_1}\right))$$

$$T^* = \frac{\sqrt{g(s-1)d^3}}{D^2} T_1$$

DNV規範依據實驗室數據建議沖刷深度比S/D=1.3，其標準偏差為±0.7D，故最大沖刷深度比S/D=2.0，在Otzumer Balje inlet在砂土底床無保護工下其沖刷坑影響範圍為4D至5D。

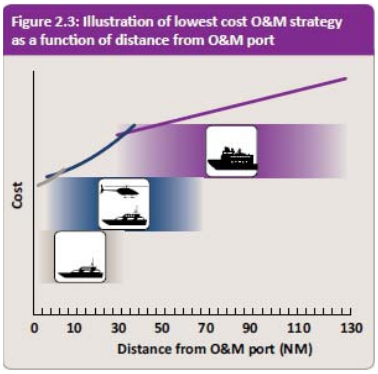
四、離岸風電水下技術

(1)離岸風機基礎維管及穩定性檢監測技術初探(3/5)

離岸風力機基礎維管計畫：

依據Scottish Enterprise的文獻指出英國離岸風機的維管費用約為風機全生命週期費用的四分之一。

英國12海浬內風機維護使用工作船，12海浬至40海浬使用工作船加直昇機，40海浬以上使用離岸工作船。



維護載具與港口距離、費用關係圖

DNV規範敘述小風場可訂定每年或其他週期之檢測計畫，大風場檢測計畫則需加入風險分析，且若風機型式相同者可擇代表性風機進行檢測。

風機需有5年的檢測計畫且每年檢測，檢測結構是否與原設計相符，檢測結果須與前期比較。離岸檢測須能評估破壞是屬於隨機或系統性破壞。檢測風機、疲勞裂縫的時間間距不可超過1年，

水下結構及海底電纜檢測間距不能超過5年，海底電纜須確定其埋置於設計深度。

若以風險考量，在20至50支風機中至少檢測1支風機。

四、離岸風電水下技術

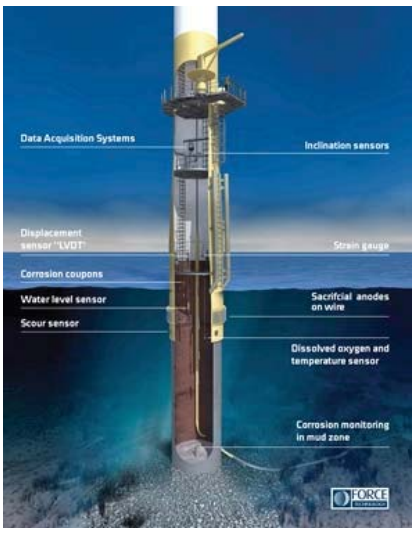
(1)離岸風機基礎維管及穩定性檢監測技術初探(4/5)

離岸風力機基礎穩定性檢監測技術：

離岸風機在疲勞應力區可裝設監測儀器如應變計、傾斜儀、加速度計、溫度計及沖刷量測儀器。

在樁及轉接段之相對垂直位移可用LVDT位移感測器或雷射感測器;腐蝕速率可利用感測器感測氫、硫化氫、溫度及相對電位、酸鹼PH值、水位及氧。

沖刷可用聲納探測底床。



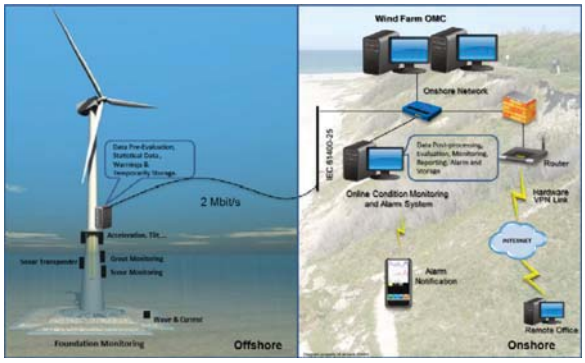
感測器安裝(以Force Technology 公司監測設備為例)

四、離岸風電水下技術

(1)離岸風機基礎維管及穩定性檢監測技術初探(5/5)

離岸風力機基礎穩定性檢監測技術：

University of Paderborn在離岸風場水下基礎監測採用連接固定段監測、沖刷監測、聲納發射器及波流監測並傳輸分析預警。



離岸風場水下基礎監測(以University of Paderborn監測設備為例)

四、離岸風電水下技術

(2)海事人員訓練(1/3)

研究動機與目的：

離岸風電勢必帶動海事工程蓬勃發展，屆時人才需求與日倍增，尤其是海事工程船隊(500總噸以下運維船)需求將造成人力缺口，然而現今海事人員船員訓練制度尚未建全，針對所需將研提全國性海事人員訓練管道與訓練課程課程規劃，協助人員培訓及輔導人員轉職取得認證職照，使之勝任臺灣之海事工作，降低海上作業危害。

研究內容：

1. 蒐集目前海事人員相關背景，以調查海事工程產業人力發展現況。
2. 分析現行船員訓練管道，評估規劃國內海事人員訓練之可行性。
3. 規劃海事人員之訓練課程，並提出海事人員訓練計畫書。

預期效益：

1. 提出海事人員訓練綜合規劃報告書，可提供交通部航港局及海岸巡防署作為日後訓練之參考依據。
2. 提升海事工程人員技術及駕駛的熟練程度，減少海上作業事故，並解決風電產業大量所造成之海事人員需求。

四、離岸風電水下技術

(2)海事人員訓練(2/3)

各單位辦理海事人員訓練現況

港公司 — 重件碼頭 → 運維訓練公司

財團法人中國驗船中心(CR) — 海事保證鑑定、工法資訊、港口保全
- 港口保全人員訓練
- → 海事保證鑑定訓練
- 風場安全衛生訓練



航港局 — 海運技術人員培訓 →
- 船員訓練考試
- 遊艇駕駛考試發照
- 動力小船駕駛考試發照

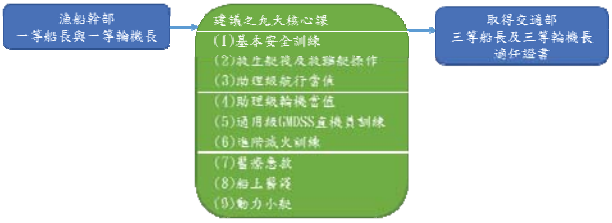
考選部 — 專技人員考試 → 驗船師 引水人考試

海巡署 — 勤務訓練
- 岸際救生員訓練
- → 新進人員訓練
- 20噸以下動力小艇訓練

伴隨著近年臺灣近海漁源枯竭，許多漁民都有轉業的壓力。根據現行法令，並無法協助予之轉業

四、離岸風電水下技術

(2)海事人員訓練(3/3)







以實務訓練把工作機會留在國內，達成就業在地化目標







結合產官學培訓國內專業海事工程人員，除初步課程建議外，建立未來實務訓練方針與制度。

五、水工模型試驗廠棚結構安全評估及維修工程

(1)結構安全檢查評估(1/2)

動機與目的：

本中心第二試驗場棚為鋼構造建築物，建物已使用超過30年，目前結構有鏽蝕情況發生，結構有安全虞慮。爰此，針對第二試驗場棚之結構進行檢查及安全評估，並進行必要的維修補強工作，以提供本所同仁一個安全無虞的試驗場地。

檢測結果：



建築物部分柱基鋼板鏽蝕



建築物部分窗框橫梁鏽蝕

五、水工模型試驗廠棚結構安全評估及維修工程

(1)結構安全檢查評估(2/2)

檢測結果：



梁柱部分鏽蝕



建築物屋頂鋼板部分鏽蝕

評估結果：

在不考慮構件劣化之情況下，結構耐震能力達6級震度，抗風能力達12級風，通過現行耐震及抗風設計規範之要求。

五、水工模型試驗廠棚結構安全評估及維修工程

(2)結構維修補強工程(1/3)



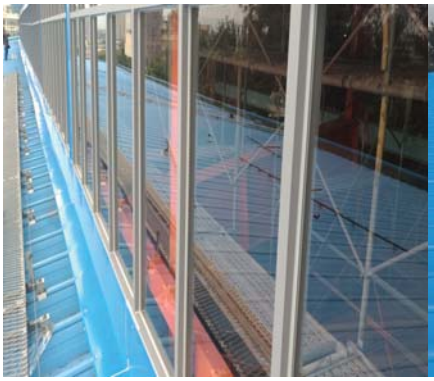
柱基補強粉刷



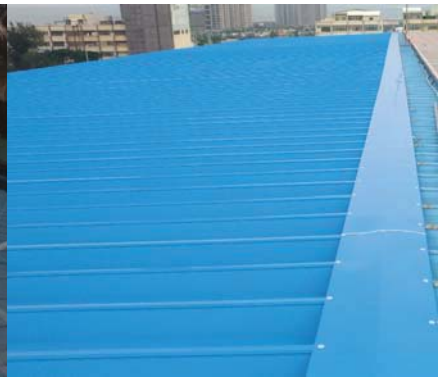
窗框橫梁更換

五、水工模型試驗廠棚結構安全評估及維修工程

(2)結構維修工程(2/3)



窗戶更新



屋頂鋼板更新

五、水工模型試驗廠棚結構安全評估及維修工程

(2)結構維修工程(3/3)



鋼構除鏽噴漆



內側牆面補土粉刷

四、結論與建議

結論(1)：

本年度針對未來離岸風電鄰近基地港地形變遷研究，擬進行平面水工模型試驗之本所第二試驗場棚，進行結構檢查及安全評估，並進行必要的維修補強工作。經維修補強後結構物耐震能力達6級震度，抗風能力達12級風，滿足現行建築結構耐震及抗風設計規範以要求，提供研究同仁安全無虞的水工模型試驗場地。另外，規劃購置的HR英國製平面造波系統，未來可依據不同之波浪條件造波，包括規則波以及不規則波，進行離岸風電和臺中港域附近之水工模型漂沙水工模型試驗。

研發離岸風電海下工程技術

四、結論與建議

結論(2)：

為提供離岸風電主要之基地港臺中港附近船舶航行安全所需之即時海氣象即時資訊，本研究規劃在臺中港外海北防沙堤延伸至水深25米處建置海氣象觀測樁，未來在觀測樁上，擬裝設波流儀、風速計、能見度計、沖刷量測儀、濁度計、加速度計、金屬腐蝕試片架、太陽能板、電池與傳輸系統等，今年度進行樁體設計所需之鑽探以及設計工作。

研發離岸風電海下工程技術

四、結論與建議

結論(3)：

風機維管作業包括維持運作服務及設備維護作業，維持運作服務包括(1)岸上物流(2)離岸物流(3)管理操作後台端。設備維護作業包括(1)風機維護(2)傳輸電纜維護 (3)陣列電纜維護 (4)基礎維護。依DNV規範小風場可訂定每年或其他週期之檢測計畫，大風場檢測計畫則需加入風險分析，且若風機型式相同者可選擇代表性風機進行檢測。

研發離岸風電海下工程技術

四、結論與建議

結論(4)：

離岸風機在疲勞應力區可裝設監測儀器如應變計、傾斜儀、加速度計、溫度計及沖刷量測儀器等。在樁及轉接段之相對垂直位移可用LVDT位移感測器或雷射感測器；腐蝕速率則可利用感測器感測氫、硫化氫、溫度及相對電位、酸鹼PH值、水位及氧，而底床沖刷可利用聲納方式探測高程。

研發離岸風電海下工程技術

四、結論與建議

結論(5)：

離岸風電海事工程已陸續啟動，後續面臨之運維業務將創造許多之就業人口，伴隨著近年臺灣近海漁源枯竭，許多漁民都有轉業的壓力。根據現行法令，並無法協助予之轉業，且歐洲大型風電產業之外商公司大多以取得專業證照人員作為號召，漁民團體如要參加離岸風場的海上作業，就必須取得船員證，並且完成規定時數教育訓練。因此，若能透過本規劃海事人員之方式協助漁民經過訓練，輔導取得船員資格，就可以把工作留給國人，達成政府就業在地化的目標。

研發離岸風電海下工程技術

四、結論與建議

建議：

(1)臺中港由於潮差大加上特殊之地質條件，施工環境條件不如陸地簡單，未來臺中港海氣象觀測樁在打設時，需特別考量整體海事工程面臨海流、波浪、風力與往復式潮位與的影響。

(2)未來海氣象觀測樁打設完成後，仍需定期做監測與維護工作，如傾斜度、腐蝕狀況、掏刷情形，並須做基樁護基工以及金屬防腐。

研發離岸風電海下工程技術

四、結論與建議

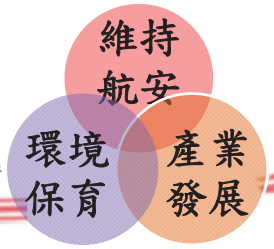


計畫目標：滾動修正

計畫執行：嚴密管考

計畫成果：主動推廣

研發離岸風電海下工程技術



簡報完畢

敬請指正

交通部運輸研究所自辦研究計畫

期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：**MOTC-IOT-106-H2DB001「106-109 離岸風電海下工程技術研發計畫(1/4)」**

執行單位：本所港研中心

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形
邱永芳委員： **綜合意見(必填)**：(委員必寫綜合意見) 一、計畫皆依原定目標執行，值得肯定。 二、初步的觀測結果良好，應在原有基礎上改進創新，觀測成果值得肯定。 三、在數值計算上應用現有購置的商用軟體，應請自行研發本土化軟體，提升自我研究能力，亦可與商用軟體比較驗証。 四、生物腐蝕調查應可再加強執行，以確定腐蝕因子。 五、未來監測或調查項目應有事前規劃及說明。 **評審意見(選填)：** 1.**執行之內容與原計畫目標符合程度：**計畫執行內容與目標相符合。 2.**已獲得之主要成就(重大突破)與成果滿意度：**觀測設備的規劃籌建相當良好，非常值得肯定。 3.**評估主要成就及成果之價值與貢獻度：**系統整合的經驗具有未來應用參考使用之價值。 4.**與相關計畫之配合程度：**各計畫配合良好，相關性佳。	**綜合意見：** 一、感謝委員肯定與之支持。 二、本研究觀測計畫將依循原有基礎架構，採滾動式檢討改進創新監測方法，配合未來作業之潮流趨勢。 三、除學習應用現有購置 MIKE 21 外，將來亦可考量與國內其它學術單位合作研發本土化適用之操作軟體，並和商用軟體比較驗証，以利本國提升自我研究能力。 四、生物腐蝕研究未來加強現場調查作業及其因子之探究工作。 五、未來將針對監測或調查項目提出目標與方法，補強敘述應有之事前規劃及說明。 **評審意見：** 1. 感謝委員肯定與之支持。 2. 感謝委員肯定與之支持。 3. 感謝委員肯定與之支持。 4. 感謝委員肯定與之支持。 5. 感謝委員肯定與之支持。 6. 期末報告定稿修正，將針對未來監測或調查項目提出目標與方法，補強敘述應有之事前規劃及說明。

5.**計畫經費及人力運用的適善性：**經費執行良好，人力運用具有效性。 6.**後續工作構想及重點之妥適度：**後續工作應先提出目標與方法。	
何良勝委員： **綜合意見(必填)**：(委員必寫綜合意見) 一、依據年度工作項目，本計畫報告已達成所需的內容目標。 二、依據後續工作項目，其中「海氣象觀測樁設置」部份，其關係到後續海氣象資料的觀測及收集分析，因此，宜適當注意相關工作進度。 三、本計畫中有多處現場海象觀測資料，建議後續工作宜作空間平面的相關分析，以作為漂沙試驗，數值模擬，以及風力機基礎工程等的基本分析資料之用。 **評審意見(選填)：** 1.**執行之內容與原計畫目標符合程度：**報告內容符合年度工作項目。 2.**已獲得之主要成就(重大突破)與成果滿意度：** (1)現場海氣象觀測儀器適宜本項計畫工作。 (2)海氣象觀測樁設置，適切提供長期性觀測資料之應用。 3.**後續工作構想及重點之妥適度：** (1)適當掌握「海氣象觀測樁設置」之工作項目。 (2)不同位置之現場觀測資料，宜作相關性分析。	**綜合意見：** 一、感謝委員肯定與之支持。 二、根據107年「臺中港海氣象觀測樁打設製作」工作之進度，8月份中旬目前符合46% (樁體製作達92%)，僅剩現場打設作業50%，規劃將於9月份東北季風前完成，本所相關監造單位及人員會特別關注本工程案進度，避免延宕以利本研究後續海氣象資料的觀測及收集分析。 三、本計畫中各項現場海象觀測資料，未來後續工作將規劃進行空間平面的相關分析，以作為漂沙試驗，數值模擬，以及風力機基礎工程等的基本分析資料之用。 **評審意見：** 1. 感謝委員肯定與之支持。 2. (1)感謝委員肯定與之支持。 (2)感謝委員肯定與之支持。 3. (1)感謝委員肯定與之支持。 (2)本計畫中各項現場海象觀測資料，未來後續工作將規劃進行空間平面的相關分析，以作為漂沙試驗，數值模擬，以及風力機基礎工程等的基本分析資料之用。

簡仲璟委員： **綜合意見(必填)**：(委員必寫綜合意見) 一、本計畫為 4 年期程，故請增補分年計畫之研究主題(或工作項目)及其執行期程。 二、第 2.2 節所述海氣象觀測樁設置是否已完成？其設計之海象條件如圖 2.2.15 及圖 2.2.16 是數值模擬成果，應加註說明其模擬條件。 三、第 2.3 節海氣象觀測結果分析，是採用那一個測站？應補充說明(是不是北防波堤堤頭？)。此外考量風力發電所須之風能持續及穩定性，建議除一般之風速之平均風速、風向統計外，可進行風速(風向)延時統計分析。例如風速超過 6m/s，且持續超過 6 小時之機率。 四、第三章報告內容目前著重在造波機採購及數值模式軟體採購與訓練，對於離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討，如何辦理說明不足。第 3-1-1 頁所述漂沙現場調查，何時辦理？如何進行？除搭配波流、潮觀測外，是否也會考量海域水深地形測量或資料蒐集。水工試驗及數值模擬是否有足夠資料作率定，驗証此外風機相關結構物之尺寸大小與水工試驗模型縮尺及數值模式之網格大小之匹配問題？ 五、數值模式是否僅著眼於海岸	**綜合意見：** 一、期末報告定稿修正，將增補分年計畫研究主題(工作項目)及其執行期程敘述規劃說明。 二、根據 107 年「臺中港海氣象觀測樁打設製作」工作進度，規劃將於 9 月份東北季風前完成，其模擬條件資料來源：參酌「臺中港海氣象觀測樁細部設計、鑽探及監造工作」地質調查數值模擬成果報告書(表 2.2.5 第 2-2-28 頁之 d 說明)。 三、第 2.3 節海氣象觀測結果是採用北防波堤堤頭測站進行分析，未來考量風力發電所須之風能持續及穩定性，參考建議除一般之風速之平均風速、風向統計外，未來將增加風速(風向)延時統計分析(超過 6m/s，且持續超過 6 小時之機率)。 四、係因「離岸風電海下工程技術研發計畫」行政院於 106 年 9 月 7 日院臺交字 1060027178 號函核定(且規定核定前不得動支經費)，本所雖於計畫核定後隨即進行各項招標(決標)作業，然仍因工作項目多且契約期間跨 107 年度，部分項目決標後施工期間長(需 6-11 個月)、交貨期間長(需 3-8 個月)等因素，不可能於 3 個月即完成，爰辦理預算保留(行政院主計總處 107 年 3 月 16 日主預經字第 1070051014 號函同意)，以利計畫後續執行。未來對於離岸風電場鄰近海岸漂沙機制探討，如何辦理

線？建議考量評估風電場址風機群建置前後之海域地形變遷。 六、請補充離岸風電場場址位置，及本計畫之研究計畫區域範圍(包括水工模型及數值模擬計算)。 七、本計畫相關研究成果，對國內風電建置技術、維護管理、產業發展及環境保育極有助益，應持續加強辦理。	及進行？將於 107 年度報告執行情形詳述說明，並搭配波流、潮觀測外，也會考量海域水深地形測量或資料蒐集。水工試驗及數值模擬除現有蒐集資料作率定，不足部份則於 107 年增做 1-2 次現場地形測量工作，以利驗証相關結構物之尺寸大小與水工試驗模型縮尺及數值模式之網格大小之匹配問題。 五、數值模式不僅著眼於臺中港附近港域海岸線，將依建議考量評估風電場址風機群建置前後之海域地形變遷。 六、本計畫水工模型及數值模擬計算之研究計畫區域範圍，將於 107 年度報告執行情形詳述說明，並適當補充離岸風電場址位置與相關研究成果，以及對國內風電建置技術、維護管理、產業發展及環境保育之助益。 七、感謝委員肯定與之支持。