港灣季刊

（原港灣報導季刊）

第 107 期

交通部運輸研究所

中華民國 106 年 6 月

港灣季刊第 107 期

刊期頻率：季刊
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 240 號
網　　址：www.ihmt.gov.tw
電　　話：(04)26587176
總 編 輯：吳玉珍
編輯委員：邱永芳、朱金元、許英正、謝明志、蔡立宏、蘇青和、
　　陳鈞彥、馬維倫
出版年月：每年 2、6、10 月
創刊年月：中華民國 77 年 2 月 1 日
定　　價：100 元
本次出刊：100 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
印 刷 者：九茹印刷有限公司
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：2007700020　　ISSN：1019-2603
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分內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

目　錄

一、澎湖海域海象模擬 ……1

劉正琪　國立成功大學水工試驗所研究員
李兆芳　國立成功大學水利及海洋工程學系教授
李俊穎　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
陳明宗　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

二、綠色航路與航路風險潛勢分析 ……19

張淑淨　國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系教授
邱永芳　交通部運輸研究所 港灣技術研究中心主任
黃茂信　交通部運輸研究所 港灣技術研究中心副研究員

三、港灣構造物維護管理制度介紹 ……30

賴瑞應　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
邱永芳　交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
簡臣佑　財團法人臺灣營建研究院工程師

四、「德翔臺北」貨輪擱淺事件應用 SCHISM 模擬溢油之擴散……69

邱啓敏　國立成功大學水利及海洋工程學系博士候選人
莊士賢　國立成功大學海洋科技與事務研究所副教授
黃清哲　國立成功大學水利及海洋工程學系教授兼近海水文中心主任
范揚洺　國立成功大學近海水文中心研發組組長
吳立中　國立成功大學近海水文中心助理研究員
蘇青和　交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
李俊穎　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

五、高雄港轉口櫃之櫃源與轉運型態分析 ……78

謝幼屏　交通部運輸研究所研究員

澎湖海域海象模擬

劉正琪　國立成功大學水工試驗所研究員
李兆芳　國立成功大學水利及海洋工程學系教授
李俊穎　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
陳明宗　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

摘要

本研究主要針對澎湖海域建立風浪及水動力模擬作業化系統，模擬澎湖海域與臺灣本島間風浪、水位及流場等海象資訊，提供港灣資訊網建置臺灣本島與澎湖港間藍色公路海象即時模擬資訊予相關單位參考，保障海上航行安全。

一、前言

由於我國為海島型國家，臺灣本島與離島間各類物資及人員多需仰賴海洋運輸，因此發展藍色公路乃為政府長期推動的政策。基於臺灣周圍海域海象變化莫測，時有船舶或漁船筏等海上事件發生，如航行澎湖與台中港間之海洋拉拉號曾於 2010 年 8 月 8 日離開馬公港後，因海浪拍碎船艏在台中港外海失去動力，造成三百多名旅客海上驚魂七小時事件；以及往來嘉義與澎湖航線百麗客輪於 2011 年 6 月 11 日滿載 178 位遊客自布袋港出海約 20 分鐘，即因莎莉佳颱風影響海面風浪過大，航行過程中因船身跳動劇烈，導致有旅客受傷及 22 人送醫事件。因此發展臺灣本島與離島間海象模擬系統，提供細緻化海象模擬資訊，確保臺灣本島與離島間藍色公路航行安全，實屬必要之措施。

因此本研究在國立成功大學與交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)合作下，針對澎湖海域發展細網格風浪、水位及流場等海象模擬作業化系統。

二、澎湖海域海象基本資料

2.1 地理位置

澎湖群島位於臺灣海峽，距離臺灣本島約 50 公里，西離中國大陸約 140 公里；範圍介於北緯 23°12'至 23°47'，東經 119°19'至 119°43'之間，如圖 1 所示。澎湖群島共有大小島嶼 90 座，多數為無人居住之小島，極東為查母嶼，極西為花嶼，極北為目斗嶼，極南是七美嶼，以澎湖本島、白沙嶼及西嶼三島為最大。澎湖群島南北長約 60 餘公里，東西寬約 40 餘公里，陸地總面積約為 127.9636 平方公里，海岸線總長約 449 公里(李、曾，2005)。

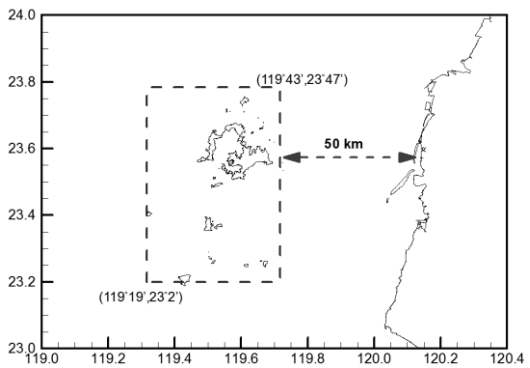


圖 1　澎湖群島地理位置圖

2.2 潮汐

澎湖海域潮汐型態屬於半日潮型，本文分析 2008 至 2014 年馬公潮位站觀測資料得到各代表性潮位逐月變化特性，如圖 2 所示；圖中最高潮位觀測值為 1.509 m，發生於 2012 年 8 月 2 日 11 時，適值中度颱風蘇拉(SAOLA)侵臺期間。本文統計 2008~2014 年馬公潮位平均值為-0.413 m，平均高潮位及平均低潮位分別為 0.651 及-1.295 m，平均潮差為 1.946 m，最大潮差為 3.206 m。

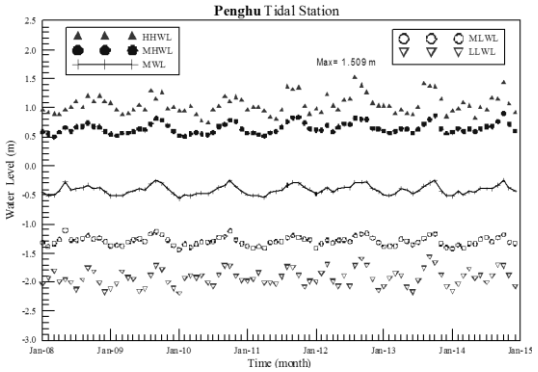


圖 2　2008~2014 年澎湖馬公潮位站觀測記錄之 HHWL、HMWL、MWL、LMWL、LLWL 逐月變化圖

2.3 波浪

針對水利署澎湖資料浮標及中央氣象局東吉島波浪測站，測站位置如圖 3 所示；本文蒐集 2014 年逐時波浪觀測資料進行波候統計分析，如表 1 及表 2 所列。由表 1 示性波高大小分布統計結果得知，澎湖資料浮標及東吉島示性波高小於 1.0 m 者分別約佔 61.09%及 61.24%，兩測站統計結果相近似；1.0 m~2.0 m 間波高比例分別約為 28.28%及 24.91%，東吉島略少於澎湖資料浮標。

在示性波高最大觀測值方面，澎湖資料浮標為 3.96m，週期為 7.1 sec，波向為 0°；東吉島為 5.49m，週期為 13.6 sec，波向為 62.0°。由示性波高大小分布及其週期之平均值變化趨勢得知，兩測站示性波高大小之分布與其波浪週

期平均值間具有正相關性，亦即示性波週期之平均值大小會隨示性波高值增大而增加。

表 2 波向分布統計結果顯示，澎湖資料浮標波浪波向分布以 N 向比例 42.52%為最高，其次 NNW 向約佔 20.85%，WSW 向及 W 向分別約佔 15.99%及 10.13%。東吉島波浪波向分布以 ENE 向比例最高約 31.93%，其次為 S 向約佔 13.77%，SSE 向及 E 向分別約佔 11.86%及 10.79%。

2.4 海流

本文蒐集水利署澎湖資料浮標 2014 年海流觀測資料(計 7,615 筆)進行流速及流向統計分析，如表 3 所列；顯示該測站海流流速小於 0.25 m/s 者約佔全部觀測資料之 70.31%，流速介於 0.25 ~ 0.50 m/s 區間者約佔全部觀測資料之 28.30%；流向分布以西南向(SW)所佔比例最大約為 34.9%，其次為西向(W)約佔 23.9%。2014 年觀測最大流速值為 0.74 m/s，流向為 245.°。

表 1　2014 年澎湖海域波浪觀測示性波高分布統計結果

測站 / 波高(m)	澎湖資料浮標 資料數/(百分比)	澎湖資料浮標 週期平均值(sec)	東吉島測站 資料數/(百分比)	東吉島測站 週期平均值(sec)
< 0.5	3104 / (37.35)	4.31	2333 / (28.91)	5.35
0.5 ~ 1.0	1948 / (23.56)	4.54	2609 / (32.33)	5.83
1.0 ~ 1.5	1281 / (15.49)	4.79	1216 / (15.07)	6.12
1.5 ~ 2.0	1058 / (12.79)	5.12	794 / (9.84)	6.58
2.0 ~ 2.5	610 / (7.38)	5.50	530 / (6.57)	6.94
2.5 ~ 3.0	184 / (2.22)	5.97	330 / (4.09)	7.31
3.0 ~ 3.5	72 / (0.87)	6.37	161 / (1.99)	7.74
3.5 ~ 4.0	13 / (0.16)	7.95	66 / (0.82)	8.27
4.0 ~ 5.0	—	—	29 / (0.36)	8.84
5.00 <	—	—	3 / (0.04)	11.03
合計	8270 / (100.00)		8071 / (100.00)	
備註	最大波高值：3.96 m 週　　期：7.1 sec 波　　向： 0.0° 發 生 時 間：02/10 04		最大波高值： 5.49 m 週　　期： 13.6 sec 波　　向： 62.0° 發 生 時 間：11/17 22	

表 2　2014 年澎湖海域波浪觀測之波向分布統計結果

波向	澎湖資料浮標 資料數(百分率)	東吉島測站 資料數(百分率)	波向	澎湖資料浮標 資料數(百分率)	東吉島測站 資料數(百分率)
N	3516 (42.52)	419 (5.19)	S	2 (0.02)	1111 (0.05)
NNE	297 (3.59)	7 (0.09)	SSW	10 (0.12)	456 (5.65)
NE	9 (0.11)	569 (7.05)	SW	198 (2.39)	87 (1.08)
ENE	4 (0.05)	2577 (31.93)	WSW	1322 (15.99)	12 (0.15)
E	2 (0.02)	871 (10.79)	W	838 (10.13)	0 (0.00)
ESE	1 (0.01)	406 (5.03)	WNW	166 (2.01)	1 (0.01)
SE	1 (0.01)	597 (7.40)	NW	177 (2.14)	1 (0.01)
SSE	3 (0.04)	957 (11.86)	NNW	1724 (20.85)	0 (0.00)

1. 波向判斷採用 ±11.25°
2. 澎湖及東吉島資料浮標波浪觀測資料數分別為8270及8071

表 3　澎湖資料浮標 2014 年逐時海流之流速大小及流向分布統計

	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	資料數	百分比
< 0.25	508	424	241	265	614	1495	1278	529	5354	70.31
0.25 ~ 0.50	124	203	17	4	176	1079	525	27	2155	28.30
0.50 ~ 0.75	0	2	0	0	2	84	17	1	106	1.39
0.75 ~ 1.00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
合計	632	629	258	269	792	2685	1820	577	7615	100.00
百分比	8.30	8.26	3.39	3.53	10.4	34.9	23.9	7.31		
備註	最大流速值(0.74m/s) 流　　向(245.0°) 時　　間(10/07 11:00:00)									

針對 2014 年 1 月至 3 月逐時海流觀測資料，本文選取 2,048 筆資料進行流速能譜分析，如圖 4 所示；海流能譜

分析結果顯示東西向及南北向流速分量於半日潮及 1/4 日潮範圍均有顯著的能量分布。此外，針對 2014 年 1 月份逐時海流觀測資料，本文亦選取 O_1、K_1、M_2、S_2 及 M_4 等 5 個分潮進行天文潮流調和分析，如表 4 所列；分析結果顯示當地冬季潮流主要受到半日潮 M_2 分潮主宰，全日潮 O_1 及 K_1 影響甚小，S_2 及 M_4 分潮所佔比例相近。

表 4　澎湖資料浮標 2014 年 1 月海流觀測資料調和分析成果表

分潮名稱	角頻率 (度/小時)	E-W方向分量		N-S方向分量	
		振幅 (m/s)	位相角 (度)	振幅 (m/s)	位相角 (度)
O_1	13.94303513	0.0140	211.942	0.0078	253.379
K_1	15.04106903	0.0109	206.073	0.0120	109.735
M_2	28.98410416	0.1427	197.622	0.1488	179.818
S_2	30.00000000	0.0378	225.781	0.0464	189.383
M_4	57.96820831	0.0448	314.676	0.0311	224.100
平均流速		-0.1397 m/s		-0.0946 m/s	
觀測資料時間		2014/01/01 00:00 ~ 2014/01/31 23:00			
原點時間		2014/01/16 11:00			

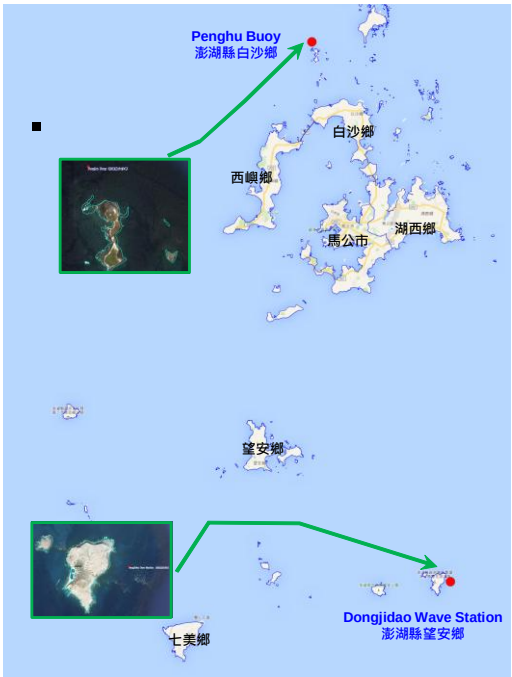


圖 3　澎湖資料浮標及東吉島波浪測站位置示意圖

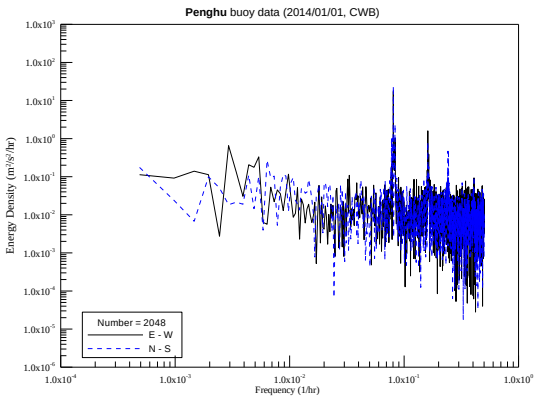


圖 4　澎湖資料浮標 2014 年 1~3 月東西向及南北向海流之能譜圖

2.5 地形水深

本文除了蒐集美國國家地球物理資料中心(NGDC)公布的全球 1 弧分格網數值地形資料(ETOPO1)及我國國家海洋科學研究中心發布的台灣附近海域海底地形水深資料(200m 網格)外，同時蒐集海軍大氣海洋局刊行的海圖，如 04525 澎湖群島北部、04528 澎湖群島西南部、04529 澎湖群島東南部及 0334 馬公港及附近等，建置海域地形水深資料，提供本文相關數值模式使用。

三、澎湖海域風浪模擬系統

為提供澎湖海域細緻化風浪模擬資訊，本文結合港研中心 TaiCOMS 大尺度遠域風浪模組及中尺度近域風浪模組，建構出三層巢狀網格之澎湖海域風浪模擬系統，如圖 5 所示。圖 5 所示為本文澎湖海域風浪模擬系統之整體模擬流程架構依據巢狀網格尺度大小依序分別為大尺度遠域風浪模擬、中尺度近域風浪模擬及小尺度澎湖海域近岸風浪模擬等三階段。在風浪數值模式選擇上，考量未來作業化模擬之時效性，本文參考港研中心臺灣近岸海象模擬系統之作法，以海洋波浪預測模式 WAM (WAve Modeling)模擬大尺度遠域風浪，另以荷蘭 Delft 大學發展的近海風浪模式 SWAN (Simulating WAves Nearshore)模擬中尺度臺灣周圍海域近域風浪及小尺度澎湖海域近岸風浪。

3.1 風浪數值模式介紹

1. WAM

本文使用的 WAM 係經由 WAMDI (The Wave Model Development and Implementation) Group (1988)改良的版本，其基本方程式為二維波浪能量平衡方程式，此方程式能夠描述方向波譜在時間及空間上的變化過程。這些變化過程包括風浪的生成、波能的消散、底床摩擦效應，以及波與波之間非線性交互作用。其球面座標系統之控制方程式表示如下：

$$\frac{\partial F}{\partial t}+\frac{1}{\cos\phi}\frac{\partial}{\partial\phi}\left(C_\phi F\right)+\frac{\partial}{\partial\lambda}\left(C_\lambda F\right)+\frac{\partial}{\partial\theta}\left(C_\theta F\right)=S \quad (1)$$

式中 $F=F\left(f,\theta,\vec{x},t\right)$ 為波浪能量密度譜(energy density spectrum)，f 為波浪之頻率，θ定義為波浪傳播方向，$\vec{x}$ 為位置，t 為時間，$\vec{C}_g$ 為波浪群速度(group velocity)，S 為源函數(source function)，ϕ 為緯度，λ 為經度，C_ϕ、C_λ 與 C_θ 分別為波浪群速度 $\vec{C}_g$ 在球面座標 ϕ、λ 軸及波浪傳播方向 θ 之空間傳遞速率。

2. SWAN

SWAN 為荷蘭 Delft 大學所發展之近海風浪模式，本文採用的版本為 40.85。SWAN 之控制方式為波浪作用力平衡方程式(wave action balance equation)，表示如下：

$$\frac{\partial N}{\partial t}+\frac{\partial c_x N}{\partial x}+\frac{\partial c_y N}{\partial y}+\frac{\partial c_\sigma N}{\partial\sigma}+\frac{\partial c_\theta N}{\partial\theta}=\frac{\bar{S}}{\sigma} \quad (2)$$

式中 $N(\sigma,\theta)$為波浪作用力密度波譜(action density spectrum)，其中σ為相對的波浪頻率，θ為波浪方向角；x，y 為直角座標系統之座標軸，c_x 及 c_y 分別為波浪作用力在 x 及 y 空間之傳遞速度，c_θ 代表波浪作用力在波向 θ 空間之傳遞速度，c_σ 代表波浪作用力在波浪頻率 σ 空間之傳遞速度，S 代表波浪成長與消散之源函數項。

SWAN 在能量成長與消散項的參數選擇上比其它模式更具彈性，相關功

能包括可以計算波浪在時間及空間領域之傳遞、波與波之間非線性的交互作用、波浪受風之成長、碎波之能量消散、底床摩擦引起的能量損失、以及波浪受到海流及地形變化影響而產生的頻率位移、淺化與折射等物理過程。

3.2 數值計算網格

本文遠域、近域及澎湖海域近岸三層巢狀網格之模擬範圍，如圖 6 所示，其中遠域風浪模擬範圍含蓋西太平洋北緯 10°至 35°，東經 110°至 134°之海域，數值計算網格之解析度為 0.2°(或 12')，網格數目為 121x126；近域風浪模擬以臺灣周圍海域為對象，數值計算網格之模擬範圍為北緯 21°至 28°，東經 117.6°至 123°之海域，網格之解析度為 0.04°(或 2.4')，網格數目為 161×176；小尺度澎湖海域近岸風浪模擬之範圍為北緯 22.8°至 24.2°，東經 119°至 120.48°之海域，計算網格之解析度為 0.008°(或 0.48')，網格數目為 187×177。

有關數值計算網格之地形水深，本文以 ETOPO1 水深數值資料建置遠域及近域數值計算網格之地形水深，另以國家海洋科學研究中心發布的台灣附近海域 200m 解析度之數值網格水深資料建置小尺度澎湖海域近岸數值計算網格之地形水深。

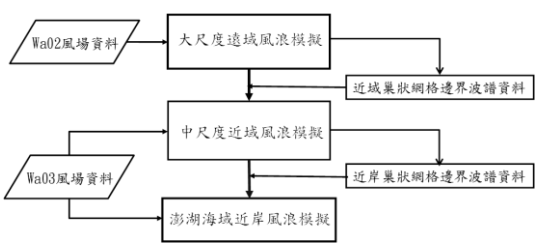


圖 5　澎湖海域風浪模擬系統架構及流程圖

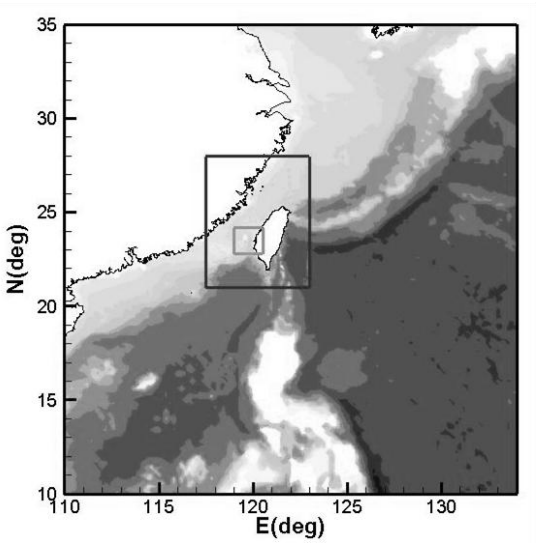


圖 6　遠域、近域(紅色實線)及澎湖海域近岸(綠色實線)風浪模擬之巢狀網格範圍圖

3.3 數值風場

本文風浪模擬採用的風場資料來自於中央氣象局第四代數值天氣預報系統(Weather Research and Forecasting model，WRF)每日作業化預報之數值風場資料(M00 模組)。此數值風場依水平方向網格解析度可分為 45km、15km 及 5km 等三層，各層網格模擬範圍，如圖 7 所示。本文取其海面高度 10m 處風場資料作為相關數值模式風場輸入資料。

目前中央氣象局每日提供四次作業化天氣預報(臺灣時區 02、08、14 及 20 時)之數值逐時(00~84 時)風、壓場資料，供港研中心自動下載。針對下載的資料 TaiCOMS 每日凌晨 3 時自動進行資料解碼及重新組合產生系統每日海象作業化模擬使用的 72 小時組合風場，並依風場資料網格解析度大小區分為 WA01、WA02 及 WA03 三種資料。圖

8 所示為 TaiCOMS 每日作業化組合風場之組合方式，顯示每日產生的海象模擬作業化風場資料係由六組最近的天氣預報數值風場資料組合而成，其中前 24 小時代表海象追算模擬階段之風場，後 48 小時代表海象預測模擬階段之風場。本文遠域風浪模擬輸入之風場為 WA02，近域及澎湖海域近岸風浪模擬輸入風場為 WA03。

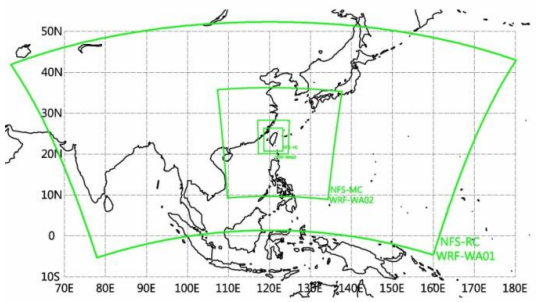


圖 7　中央氣象局 WRF 風場水平網格各層數值模擬範圍圖

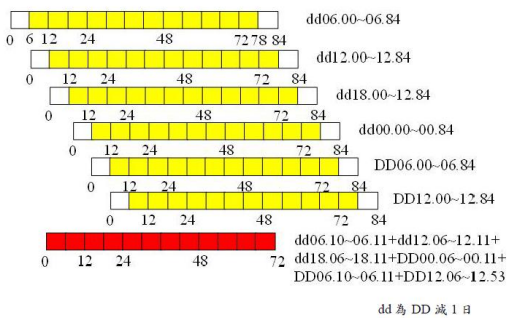


圖 8　TaiCOMS 每日產生組合風場之資料擷取時段與組合示意圖

3.4 數值模式設定

有關本文風浪模擬使用的數值模式設定，說明如下：

1. 離散化波譜

本文巢狀網格各層風浪模擬均採用相同維度的離散化波譜，其中數值離散化方向波譜之頻率數(ML)及波向數目(KL)分別設定為 25 及 24。為獲得一均勻相對的頻率解析度，本文離散化頻寬($\Delta f/f$)採用對數尺度，即模式模擬頻率範圍為 $f_{max}/f_{min}=(\Delta f/f)^{ML-1}$，其中 $\Delta f/f$ 設定值為 1.1。本文假設頻率領域之最小頻率為 0.05Hz，則風浪模擬之頻率範圍為 0.05Hz ~ 0.4925Hz，風浪週期約介於 2.0sec 至 20.0sec 之間。波譜之波向解析度為 15°，此解析度適用於一般風浪模擬情況。

2. 開放海域邊界條件

依據巢狀網格數值計算概念，除最外層大尺度網格外，本文中尺度及小尺度網格之開放邊界條件將分別由大尺度遠域風浪及中尺度近域風浪模擬結果提供。

針對大尺度遠域風浪模擬，本文假設其開放邊界為自然邊界條件(natural boundary condition)，即假設開放海域之網格點無任何波浪能量通率(energy flux)進入計算領域且波量以 free advection 方式傳到網格外。中尺度及小尺度網格開放海域之邊界條件則給定二維方向波譜模擬資料，分別由本文大尺度遠域風浪模擬及中尺度近域風浪模擬過程輸出巢狀網格邊界波譜資料提供。

3. 數值模擬方式

本文遠域、近域及澎湖海域近岸風浪模擬之數值模擬方式均為非穩態模擬方式，其中遠域風浪模擬採用的時間間距為 120 sec，近域及澎湖海域近岸風浪模擬採用的時間間距為 300 sec。

4. 初始條件

遠域風浪模擬：初次風浪模擬輸入之初始條件為假設之均勻波譜場，每日作業化風浪模擬輸入之初始條件(或熱啟動條件)為前日作業化模擬過程產生的第 24 小時模擬結果之方向波譜場資料。

近域及澎湖海域近岸風浪模擬：初次風浪模擬輸入之初始條件為模式穩態模擬結果之方向波譜場，每日作業化風浪模擬輸入之初始條件為前日作業化模擬過程產生的第 24 小時模擬結果之方向波譜場資料。

5. 模擬結果輸出

本文遠域、近域及近岸風浪模擬結果輸出之主要波浪參數包括示性波高(H_s)、平均週期(T_{m-1}、T_{m02})、平均波向及譜峰週期(T_p)等，各波浪參數之波譜計算定義如下：

(1) 波浪能譜 $E(f,\theta)$之 n 階動差(M_n)：

$$M_n = \int f^n E(f,\theta) df \cdot d\theta \tag{3}$$

(2) 示性波高(H_s) ：

$$H_s = 4\sqrt{E_0} = 4\sqrt{M_0} \tag{4}$$

(3) 平均週期(T_m 或 T_{m-1})，採用-1 階動差(M_{-1})定義風浪平均週期，即

$$T_m = M_{-1}/M_0 \tag{5}$$

(4) 平均週期(T_{m02}) ：採用零階動差與 2 階動差比值平方根定義風浪平均週期，即

$$T_{m02} = \sqrt{M_0/M_2} \tag{6}$$

(5) 平均波向：定義為

$$\langle\theta\rangle = \tan^{-1}(SF/CF) \tag{7}$$

其中

$$SF = \int \sin\theta \cdot E(f,\theta) df \cdot d\theta \tag{8}$$

$$CF = \int \cos\theta \cdot E(f,\theta) df \cdot d\theta \tag{9}$$

(6) 譜峰週期(T_p)：以不連續波浪能譜 $E(f_i)$之最大能量頻寬(bin)之不連續頻率 f_p 定義波浪之譜峰週期，即

$$T_p = 1/f_p \tag{10}$$

3.5 風浪模擬結果與驗證

本文以 2015 年 8 月侵臺中度颱風蘇迪勒為例，利用港研中心 TaiCOMS 每日作業化組合風場 WA02 及 WA03 資料執行澎湖海域風浪模擬。圖 9 所示為侵臺中度颱風蘇迪勒之行進路徑，顯示蘇迪勒颱風影響臺灣最劇烈時間為 8 月 7 日 18 時至 8 日 18 時。本文選取港研中心安平港及澎湖港龍門尖山港區、水利署澎湖資料浮標以及中央氣象局東吉島波浪測站等四組颱風期間波浪觀測資料，驗證中尺度近域風浪及小尺度澎湖海域風浪模擬結果，圖 10 所示為本文中尺度及小尺度網格風浪模擬

結果輸出點位置圖，顯示小尺度網格因具有較高的解析度，故輸出點位較接近波浪測站位置。

本文中尺度近域風浪及小尺度澎湖海域風浪示性波高模擬結果與觀測資料比較結果，如圖 11 至圖 14 所示；整體而言，蘇迪勒颱風期間，示性波高模擬值與變化趨勢以澎湖資料浮標測站比較結果吻合度最佳，龍門尖山港區小尺度風浪模擬結果明顯優於中尺度風浪模擬結果。此外，龍門尖山港區、東吉島及安平港三測站 8 月 7 日模擬結果均與觀測值間呈現出較大的偏差及變化趨勢，推測可能為海面預報風場強度有明顯高估現象所致之結果。

本文小尺度澎湖海域近岸風浪模擬因計算網格解析度較高，網格地形水深資料亦較 ETOPO1 精確，因此可獲得解析度及精確性較高的模擬風浪場，如圖 15 所示；圖中鄰近澎湖群島及臺灣本島近岸海域，本文小尺度網格模擬之波浪場明顯較能呈現陸地的影響。因此本文建構的三層巢狀網格風浪模擬系統可以提昇港研中心 TaiCOMS 風浪模擬結果之精確性。

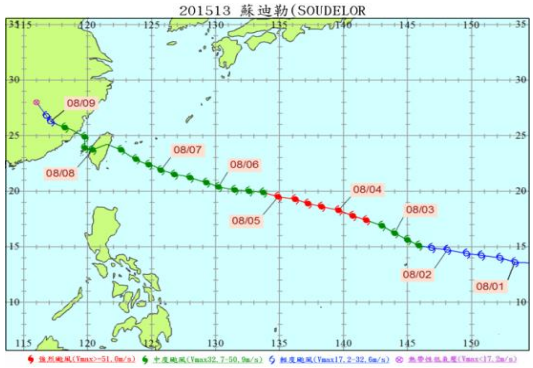


圖 9　2015 年侵臺中度颱風蘇迪勒行進路徑圖

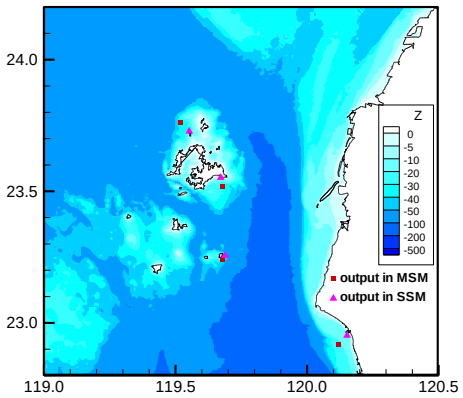


圖 10　中尺度及小尺度網格風浪模擬結果輸出點位置圖

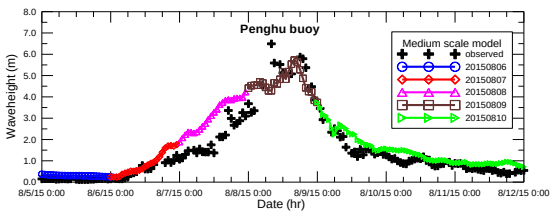


圖 11a 中尺度近域風浪示性波高模擬值與澎湖資料浮標觀測值之比較圖

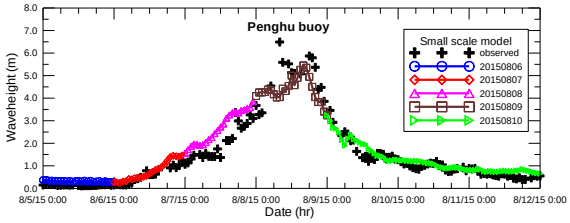


圖 11b 小尺度澎湖海域風浪示性波高模擬值與澎湖資料浮標觀測值之比較圖

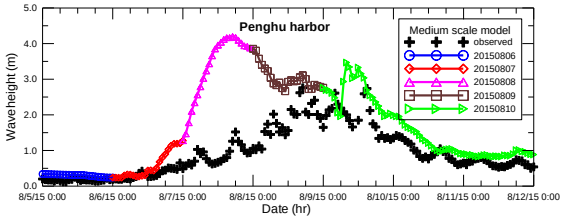


圖 12a 中尺度近域風浪示性波高模擬值與澎湖港龍門尖山港區觀測值之比較圖

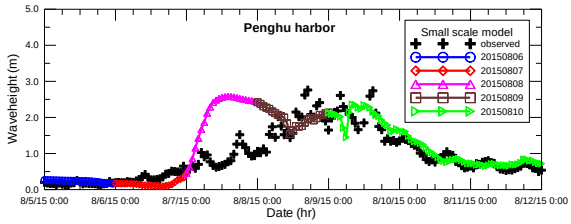


圖 12b 小尺度澎湖海域風浪示性波高模擬值與澎湖港龍門尖山港區觀測值之比較圖

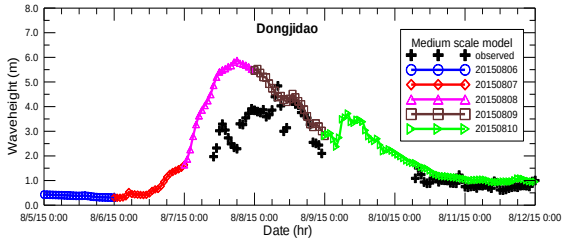


圖 13a 中尺度近域風浪示性波高模擬結果與東吉島觀測值之比較圖

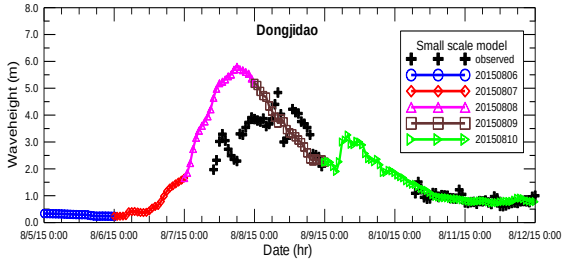


圖 13b 小尺度澎湖海域風浪示性波高模擬結果與東吉島觀測值之比較圖

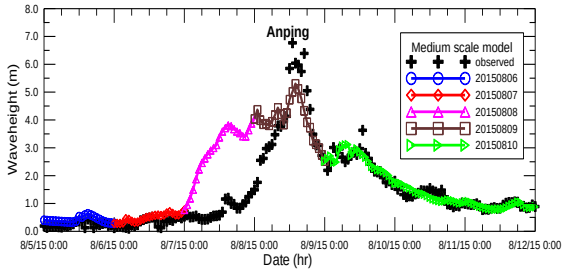


圖 14a 中尺度近域風浪示性波高模擬結果與安平港觀測值之比較圖

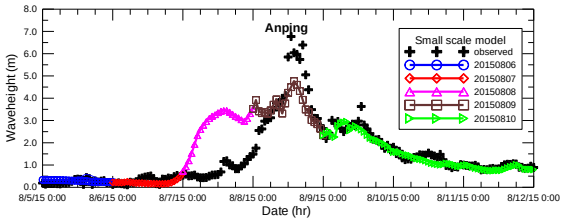


圖 14b 小尺度澎湖海域風浪示性波高模擬結果與安平港觀測值之比較圖

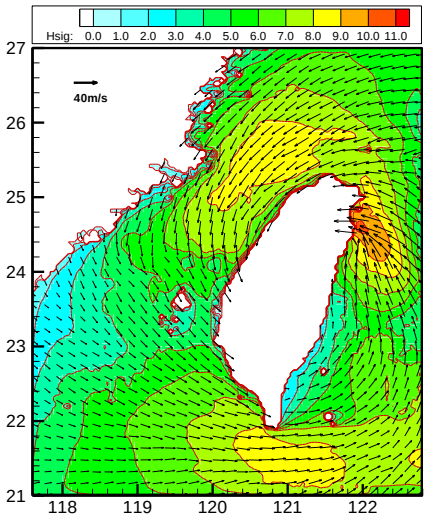


圖 15a 中尺度近域風浪模擬之預報風速向量場及模擬波場之示性波高分布圖

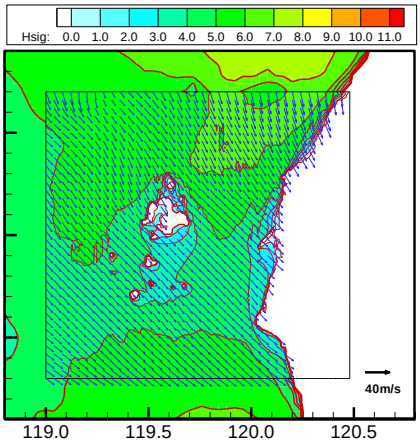


圖 15b 小尺度澎湖海域風浪模擬之預報風速向量場及模擬波場之示性波高分布圖

四、澎湖海域水動力模擬系統

為提供澎湖海域細緻化水位及流場作業化模擬資訊，本文以有限元素二維水動力數值模式建構澎湖海域水動力模擬系統，如圖 16 所示；整體模擬架構包含中尺度臺灣周圍海域(簡稱中尺度)水動力模組及小尺度澎湖海域(簡稱小尺度)水動力模組，其中澎湖海域水動力模組之開放邊界水位條件將由臺灣周圍海域水動力模組模擬結果產生。

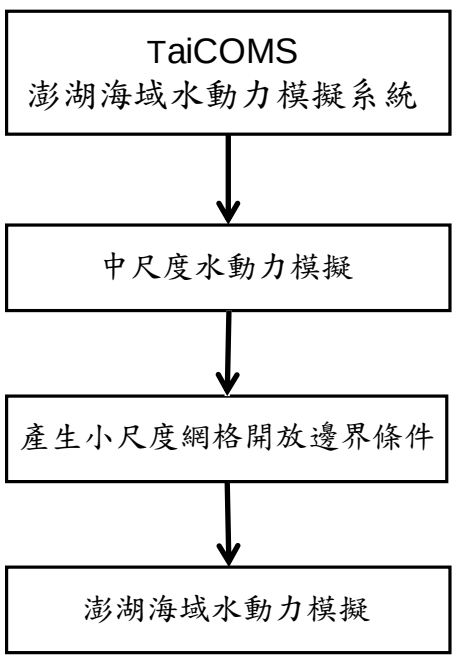


圖 16　澎湖海域水動力模擬系統整體模擬架構圖

4.1 有限元素二維水動力模式介紹

假設水體為具有黏滯性之不可壓縮流體，將描述流體運動之三維連續方程式及運動方程式，沿水深方向垂直積分，同時加入底部和表面的邊界條件，則可得到下列的平面二維流場連續方程式及運動方程式：

$$\frac{\partial H}{\partial t}+\frac{\partial q_x}{\partial x}+\frac{\partial q_y}{\partial y}=Q_0 \tag{11}$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t}+\frac{\partial(\bar{u}q_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\bar{v}q_x)}{\partial x}-fq_y = -\frac{H}{\rho_0}\frac{\partial}{\partial x}\left(p^s+\rho g\eta\right)+\frac{1}{\rho_0}\left(\tau_y^s-\tau_x^b\right)+\left(\frac{\partial F_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial F_{yx}}{\partial y}\right) \tag{12}$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t}+\frac{\partial(\bar{u}q_y)}{\partial x}+\frac{\partial(\bar{v}q_y)}{\partial x}-fq_x = -\frac{H}{\rho_0}\frac{\partial}{\partial y}\left(p^s+\rho g\eta\right)+\frac{1}{\rho_0}\left(\tau_y^s-\tau_x^b\right)+\left(\frac{\partial F_{xy}}{\partial x}+\frac{\partial F_{yy}}{\partial y}\right) \tag{13}$$

其中

$$H=\int_{-h}^{\eta}dz=h+\eta \tag{14}$$

$$q_x=\int_{-h}^{\eta}u\,dz=\bar{u}H \tag{15}$$

$$q_y=\int_{-h}^{\eta}v\,dz=\bar{v}H \tag{16}$$

$$\bar{u}=\frac{1}{(h+\eta)}\int_{-h}^{\eta}u\,dz \tag{17}$$

$$\bar{v}=\frac{1}{(h+\eta)}\int_{-h}^{\eta}v\,dz \tag{18}$$

$$F_{ij}=E_{ij}(q_{j,i}+q_{i,j}) \qquad i,j=x,y \tag{19}$$

$$\tau_i^b=C_f(q_x^2+q_y^2)^{1/2}\frac{q_i}{H^2} \qquad i=x,y \tag{20}$$

$$\tau_i^S=\rho_a C_d\left|U_{10}\right|U_i \qquad i=x,y \tag{21}$$

式中 H 為總水深，h 為靜水深，η 為水位變化，q_x、q_y 分別為水體在 x 及 y 方向之流量，$\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 分別為 x 及 y 方向之平均流速，Q_0 為單位面積水體質量增加率，g 為重力常數，p^s 為水面大氣壓力，ρ_0 為流體平均密度，τ^b_x、τ^b_y 分別為 x 及 y 方向之底床剪應力，τ^s_x、τ^s_y 分別為 x 及 y 方向之表面風剪應力，C_f 為底床摩擦係數，引用 Manning 公式可得 $C_f = ng/H^{1/3}$，n 為曼寧係數，C_d 為風力係數，其值為 $(1.1+0.0536U_{10})10^{-3}$，$U_{10}$ 為海面上 10 公尺處之風速，E_{ij} 為渦動黏滯係數(Eddy coefficient)，f 為柯氏力參數(Coriolis parameter)，等於 $2\omega\sin\phi$，ω為地球自轉之位相速度，ϕ為計算領域所在位置之緯度。

針對上述控制方程式採用有限元素法求解，即配合邊界條件利用加權殘差方法將上述方程式轉化成積分方程式，再將所要計算之領域任意分割成許多副領域(稱之為元素)，利用線性三角形元素之形狀函數來描述計算領域中之函數變化，進而將積分方程式離散化，並簡化為聯立的數值方程組，藉以求解計算領域中所取元素節點上之函數值。在時間項的處理上，則以二階段顯式法對連續方程式及動量方程式作積分計算。

4.2 數值計算網格

本文中尺度臺灣周圍海域水動力模組及小尺度澎湖海域水動力模組之模擬範圍，如圖 17 所示。圖中臺灣周圍海域水動力模組模擬範圍為含蓋東經 116.5˚~125˚及北緯 21˚~26.5˚之海域，模式採用的有限元素計算網格係由 8237 個節點及 15800 個三角形元素組成，如圖 18 所示。澎湖海域水動力模組採用的數值計算網格係由 4,159 個節點及 7,807 個三角形元素組成，如圖 19 所示，其中澎湖群島陸地部份除了以澎湖本島、白沙嶼及西嶼為主要對象外，尚包含了吉貝嶼、桶盤嶼、虎井嶼、望安島及鄰近的將軍嶼等小島。

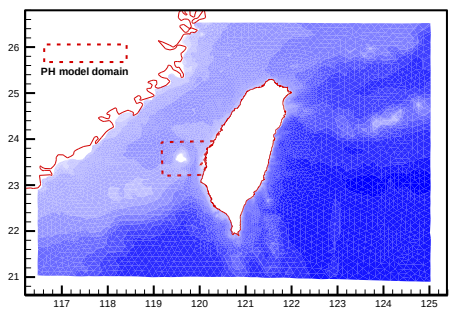


圖 17　本研究近域臺灣周圍海域及近岸澎湖海域(粗虛線)水動力模組之模擬範圍圖

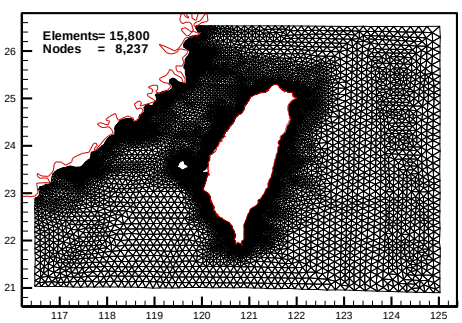


圖 18　近域臺灣周圍海域水動力模組之三角形元素網格分布圖

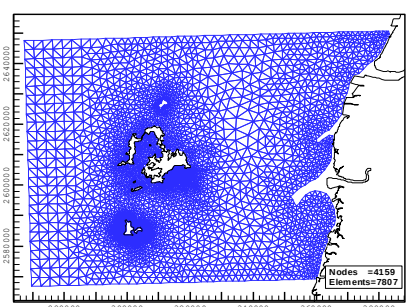


圖 19　近岸澎湖海域水動力模式之三角形元素網格分布圖

4.3 邊界條件及初始條件

本文水動力數值模式之邊界可分為海域開放邊界及陸地邊界兩種型態，其中陸地邊界之邊界條件又可區分為(1)滑動邊界條件及(2)不滑動邊界條件。前者假設陸地邊界節點垂直方向之流速或流量(q_n=0)等於零，後者假設陸地邊界節點流速等於零，即 u=0 且 v=0。海域開放邊界則採用水位條件為模式邊界條件。有關中、小尺度水動力模組之模式邊界條件使用說明如下：

1. 中尺度水動力模組

假設其陸地邊界為不滑動邊界，海域開放邊界假設其水位等於

$$\eta = \eta_a(t) + \frac{\Delta P(t)}{\rho g} \tag{22}$$

式中 $\eta_a(t)$代表天文潮引起的水位變化，第二項代表氣壓變化引起的水位變化。其中天文潮引起的水位變化，本文利用 Matsumoto et al.(2000)發展的 NAO.99Jb 模式，預測數值計算網格開放邊界各節點天文潮水位時序列資料，如圖 20 所示。圖中水位時序列變化分別代表數值計算網格(參考圖 18)開放邊界上四個角落節點之天文潮時序列資料，顯示數值計算網格左上角臨近陸地(中國大陸)之開放邊界節點天文潮位呈現半日潮型，臺灣東部太平洋海上開放邊界節點之天文潮位屬於混合潮型態，西南角落開放邊界節點之天文潮位則呈現全日潮型態。

有關氣壓項引起的水位變化，本文採用港研中心 TaiCOMS 之作業化風壓場資料 WA02(網格解析度為 1/12˚或 5')，計算開放邊界節點因氣壓變化引起的水位抬昇或下降量。

2. 小尺度水動力模組

針對小尺度水動力模組之陸地邊界，本文採用滑動邊界條件，即 q_n=0；開放邊界之水位邊界條件則利用中尺度水動力模組之水位模擬結果產生，如圖 21 所示。

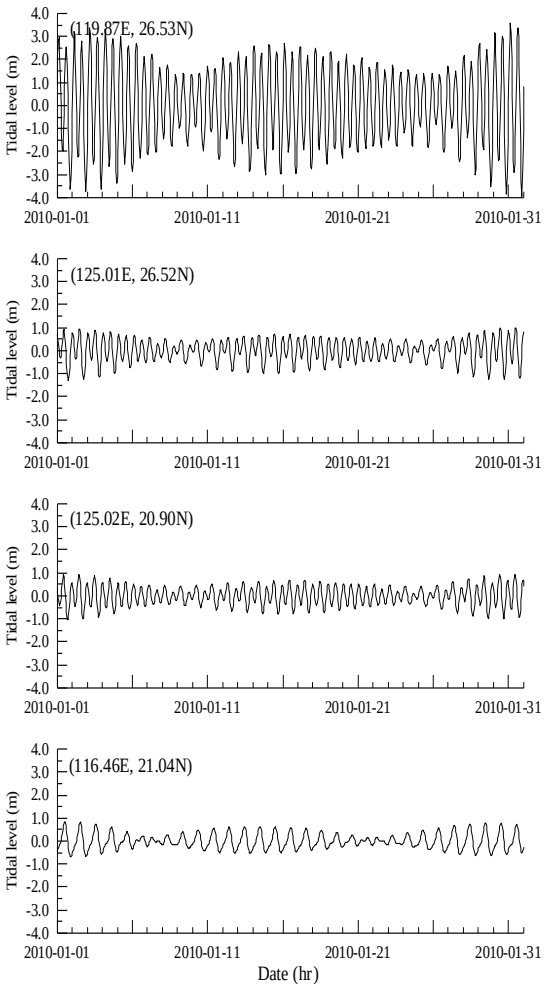


圖 20 近域臺灣周圍海域水動力模組開放邊界節點之天文潮水位資料時序列圖

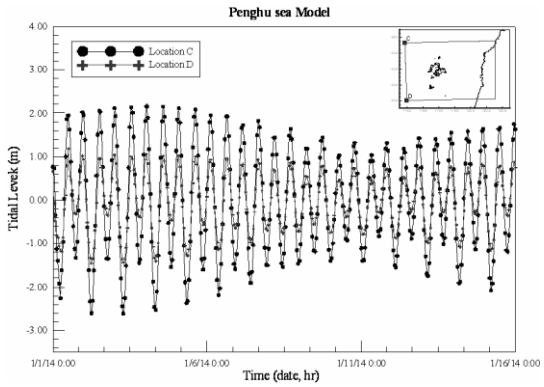


圖 21 近岸澎湖海域水動力模組開放邊界之水位資料時序列圖

4.4 模式物理參數設定

本文水動力模式之模擬時間間距($\triangle t$)與網格三角形元素最小尺度有關，且需滿足下列條件式(23)

$$\Delta t < 1.5\Delta t_{cr} = 1.5\Delta s^* / U^* \qquad (23)$$

式中 Δs^* 為代表性網格大小，$U^* = \sqrt{2gH}$，H 為水深(m)，g 為重力加速度。經測試後，本研究中尺度及小尺度水動力模組採用的時間間距$\triangle t$ 分別為 4sec 及 3sec。

模式渦動粘滯性係數建議採用 Connor and Wang (1975)提出之經驗公式(24)推估，

$$E_{xx} \sim ag(\tilde{\eta}/\tilde{u})\tilde{x} \qquad (24)$$

式中 E_{xx} 為渦動粘滯性係數，其單位為 m^2/s，a 為無因次係數，其合理的範圍介於 0.01~0.1 之間；$\tilde{\eta}$ 為潮汐代表性潮差，$\tilde{u}$ 為潮流代表性流速，$\tilde{x}$ 為三角元素代表性邊長。

1. 中尺度水動力模組

本文選取無因次係數 a= 0.025，代表性潮差 $\tilde{\eta}$=1.20 m，潮流代表性流速 $\tilde{u}$ 為 0.5 m/s，先估算中尺度計算網格各元素之渦動粘滯係數值；之後，再經由模式模擬結果驗證程序率定渦動粘滯係數值。

2. 小尺度水動力模組

假設 a = 0.02、$\tilde{\eta}$=1.50 m 及 $\tilde{u}$ =0.5 m/s 先估算小尺度計算網格各元素之代表性渦動粘滯係數值。同樣地，經由模式模擬結果驗證程序率定渦動粘滯係數值。

4.5 模擬結果與驗證

1. 中尺度水動力模組

本文中尺度臺灣周圍海域水動力模擬主要目的為提供小尺度澎湖海域水動力模擬輸入之開放邊界水位條件，因此模式之模擬結果驗證分為天文潮水位模擬驗證及颱風期間水位模擬驗証，其中前者係指在不考慮風場及氣壓等氣象因素之水位模擬結果，後者採用 TaiCOMS 每日作業化組合風壓場資料 WA02 作為模式輸入之風場及氣壓場。

針對中尺度水動力模組臺灣周圍海域天文潮水位擬結果，本文選取花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港及高雄港等主要商港水位觀測資料(港研中心測站，IHMT)進行比較，如圖 22 所示；圖中天文潮位模擬時間為 2015 年 1 月 1 日零時至 16 日零時，顯示本文模式水位模擬值不僅與各港口觀測值相近似，且水位模擬變化趨勢亦與各港口觀測值之變化趨勢相當一致。天文潮水位模擬值與觀測值間之均方根誤差(root mean square error, RMSE)逐月

分析結果，如表 5 所列；由誤差分析結果得知，本文各港口外海水位模擬值與 CWB 潮位觀測值間均方根誤差分析結果普遍略佳。整體而言，潮差小的港口如花蓮港、基隆港、高雄港等，本文天文潮水位模擬值與觀測值間均方根誤差之平均值約小於 0.1 m；潮差較大如臺北港、臺中港及澎湖港等，其均方根誤差之平均值約介於 0.1～0.2 m。表 6 所列為本文水位模擬值與 CWB 及 IHMT 潮位觀測值間相關係數(R)之逐月分析結果，顯示各港口水位模擬值與觀測值間相關係數均高於 0.9。

有關颱風期間水動力模擬驗證，本文以 2015 年中度颱風蘇迪勒侵臺期間水位模擬為例，選取花蓮港、蘇澳港、基隆港、臺北港、臺中港及高雄港等港口港內(潮位站)及港外(AWCP 測站)水位觀測資料驗證中尺度水動力模式模擬結果，如圖 23 所示。圖中觀測資料顯示颱風侵臺期間港內潮位觀測僅高雄港及臺中港有記錄完整的水位變化歷線，花蓮港、蘇澳港及基隆港等水位記錄有中斷或異常現象發生；花蓮港及蘇澳港 AWCP 測站於颱風過後，水位觀測資料有明顯偏移現象，研判觀測資料可能失真。水位模擬結果顯示蘇迪勒颱風侵臺期間花蓮港、蘇澳港、基隆港及高雄港等港口水位均曾發生顯著的暴潮偏差。

整體而言，在颱風中心與陸地接觸前，本文各港口水位模擬歷線與觀測值(港內及港外)相當接近；颱風中心登陸期間，花蓮港及蘇澳港水位模擬歷線與觀測值間有較明顯偏差現象，此偏差推測可能為中央氣象局天氣預報之風氣壓場與颱風實際發生的風氣壓場有誤差所產生的；因此當颱風減弱或遠離時，模式水位模擬值再度呈現與觀測值相當近似結果。

表 5　2015 年逐月天文潮水位模擬結果與 CWB、IHMT 觀測資料之均方根誤差分析表

年月	花蓮港		基隆港		臺北港		臺中港		高雄港		澎湖港	
	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)	CWB (m)	IHMT (m)
1	0.060	0.149	0.090	0.114	0.200	0.204	0.210	0.390	0.066	0.058	0.109	0.161
2	0.057	0.052	0.034	0.069	0.198	0.209	0.190	0.252	0.056	0.056	0.114	0.143
3	0.055	0.055	0.071	0.067	0.190	0.204	0.171	0.252	0.049	0.052	0.128	0.117
4	0.067	0.101	0.083	0.062	0.190	0.202	0.166	0.237	0.054	0.052	0.141	–
5	0.069	0.075	0.086	0.062	0.161	0.173	0.135	0.192	0.073	0.063	0.143	0.116
6	0.063	0.061	0.056	0.052	0.152	0.160	0.114	0.138	0.061	0.060	0.161	0.104
7	0.073	0.076	0.074	0.077	0.194	0.211	0.176	0.208	0.089	0.074	0.178	0.128
8	0.086	0.136	0.076	0.076	–	0.203	0.143	0.275	0.081	0.109	0.181	0.161
9	0.105	0.094	0.077	0.059	–	–	0.171	0.430	0.088	0.075	0.166	–
10	0.059	0.227	0.081	0.072	–	–	0.174	0.521	0.091	0.165	0.131	–
11	0.069	0.080	0.067	0.063	–	–	0.201	0.217	0.088	0.124	0.119	–
12	0.061	0.056	0.088	0.065	–	0.151	0.208	0.333	0.091	0.087	0.116	–
平均	0.069	0.097	0.074	0.070	0.184	0.191	0.172	0.287	0.076	0.081	0.141	0.133

表 6　2015 年逐月天文潮水位模擬結果與 CWB、IHMT 觀測資料間相關係數分析表表

年月	花蓮港		基隆港		臺北港		臺中港		高雄港		澎湖港	
	CWB	IHMT	CWB	IHMT	CWB	IHMT	CWB	IHMT	CWB	IHMT	CWB	IHMT
1	0.990	0.927	0.946	0.911	0.987	0.988	0.989	0.961	0.973	0.971	0.991	0.976
2	0.991	0.993	0.951	0.965	0.988	0.988	0.992	0.985	0.969	0.967	0.991	0.982
3	0.991	0.991	0.960	0.963	0.989	0.988	0.993	0.984	0.973	0.967	0.986	0.990
4	0.988	0.974	0.943	0.969	0.985	0.987	0.993	0.986	0.967	0.968	0.982	–
5	0.986	0.984	0.942	0.974	0.989	0.990	0.995	0.990	0.951	0.959	0.980	0.991
6	0.989	0.990	0.980	0.984	0.992	0.992	0.998	0.995	0.969	0.968	0.976	0.994
7	0.985	0.982	0.964	0.961	0.992	0.990	0.997	0.990	0.953	0.952	0.976	0.985
8	0.985	0.954	0.952	0.957	–	0.994	0.996	0.986	0.933	0.885	0.976	0.978
9	0.969	0.976	0.949	0.973	–	–	0.994	0.972	0.911	0.930	0.978	–
10	0.992	0.983	0.949	0.960	–	–	0.993	0.943	0.911	0.775*	0.987	–
11	0.989	0.985	0.969	0.972	–	–	0.990	0.989	0.936	0.875	0.989	–
12	0.990	0.992	0.948	0.972	–	0.993	0.989	0.974	0.916	0.936	0.989	–
平均	0.987	0.978	0.954	0.963	0.989	0.990	0.993	0.980	0.947	0.943	0.983	0.985

2. 小尺度水動力模組

本文選取 2014 年 1 月份澎湖馬公潮位站潮位觀測資料，以及澎湖資料浮標海流調和分析之流速及流向資料與小尺度澎湖海域水動力模擬結果比較，如圖 24 所示。進行模式模擬水位與流速之驗證。圖 24 顯示本文水位模擬結果與馬公港潮位變化趨勢相當近似，潮流漲退流速大小的變化亦與澎湖資料浮標調和分析之潮流流速相近；此外，在流向變化的角度上，模式模擬結果與調和分析潮流之流向間均存在有一

近似固定的流向誤差，研判此應與數值計算網格解析度與地形水深變化無法反映出實際現況有關。

針對小尺度澎湖海域流場模擬結果，本文分別繪出退潮及漲潮時段平面流場向量圖，如圖 25 及圖 26 所示。圖 25 平面流場顯示退潮階段潮流流向主要呈現出由北往南特性，且潮流流經澎湖本島東西側之潮流會在澎湖本島南側海域匯合後再往南流。圖 26 平面流場呈現漲潮階段潮流由南往北之特性，潮流流經澎湖本島南側海域，受到地形阻礙影響而呈現出分流狀，分別往東、往西沿著海岸地形往北流動再匯流。

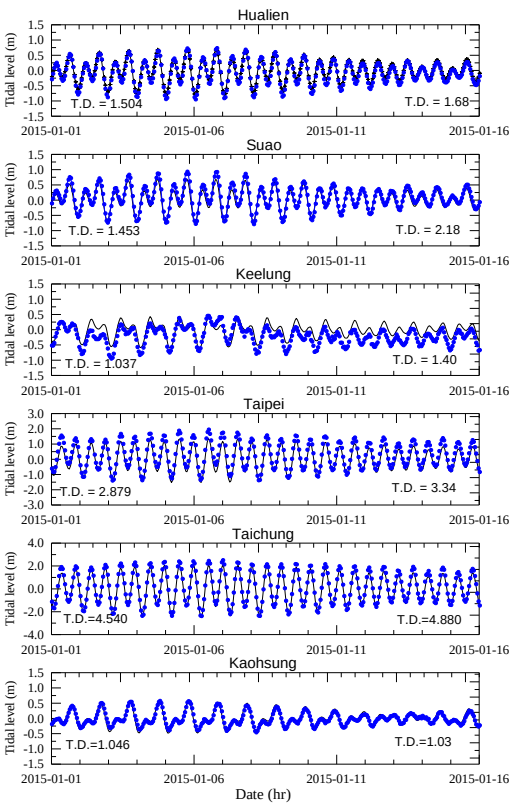


圖 22　中尺度臺灣周圍海域水動力模組天文潮水位模擬結果(實線)與主要商港潮位觀測值(圓點)比較圖

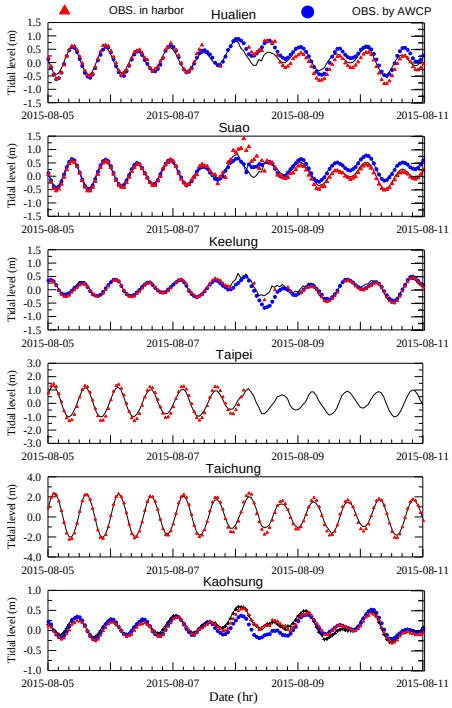


圖 23　2015 年中度颱風蘇迪勒侵臺期間中尺度水動力模組水位模擬結果與觀測資料之比較圖

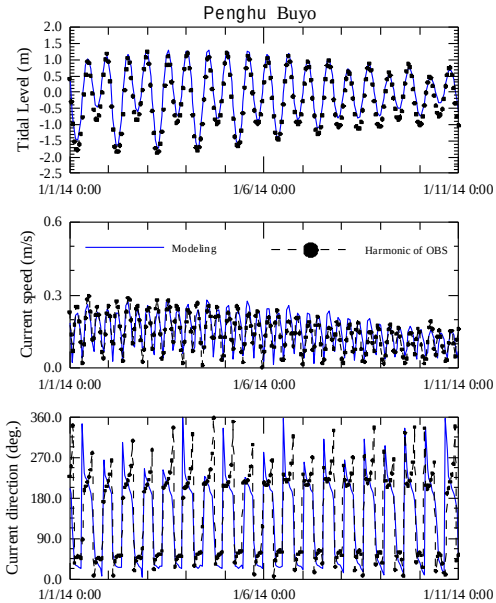


圖 24　小尺度澎湖海域水動力模擬水位及潮流流速、流向之模擬驗證圖

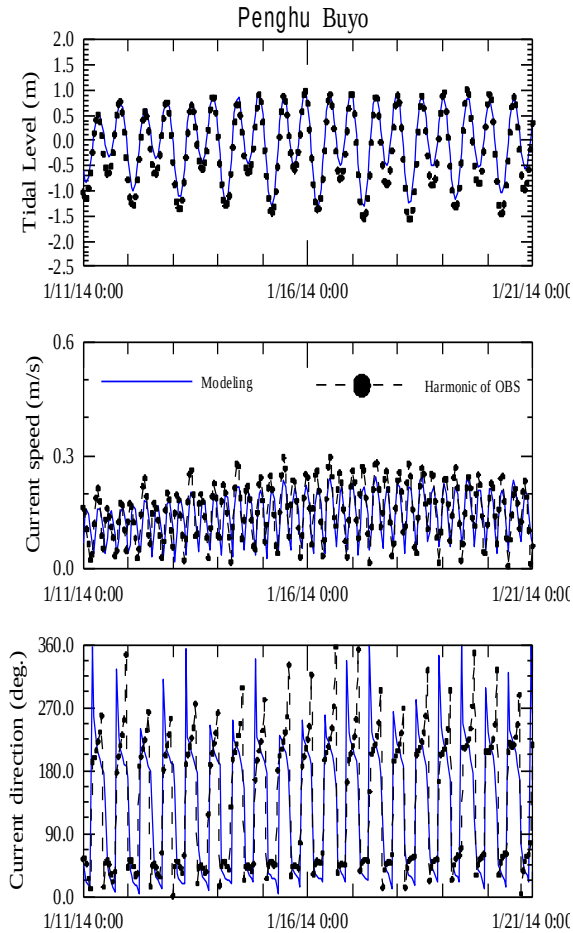


圖 24 (續)小尺度澎湖海域水動力模擬水位及潮流流速、流向之模擬驗證圖

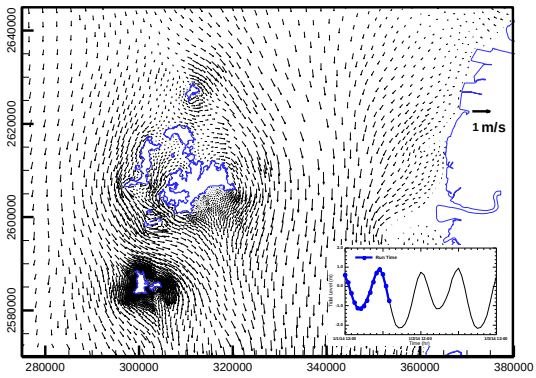


圖 25 小尺度澎湖海域水動力模擬水位及潮流流速、流向之模擬驗證圖

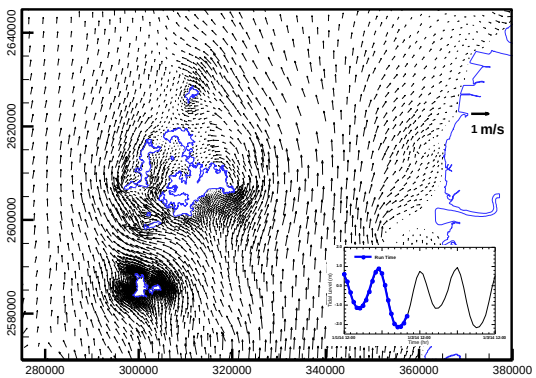


圖 26 小尺度澎湖海域水動力模擬水位及潮流流速、流向之模擬驗證圖

五、結論

針對澎湖海域波浪、水位及流等海象模擬，本文分別提出三層巢狀網格風浪模擬系統及結合中尺度臺灣周圍海域水動力模擬及小尺度澎湖海域水動力模擬之水動力模擬系統。本文風浪模擬系統整體模擬架構分為大尺度遠域風浪模擬、中尺度臺灣周圍海域風浪模擬及小尺度澎湖海域近岸風浪模擬等三部份，其中小尺度網格模擬結果可提供澎湖群島與臺灣本島間海域細緻化及較精確性之高風浪模擬資訊。

水動力模擬系統整體模擬架構分為大尺度水動力模擬及小尺度水動力模擬兩部份，其中中尺度水動力模擬之水位模擬結果將提供小尺度水動力模擬之開放海域邊界條件。同樣地，本文

小尺度澎湖海域水動力模擬結果可提供澎湖群島與臺灣本島間海域細緻化及較精確之水位及流場模擬資訊。

整體而言，本文建構的澎湖海域風浪、水位及流場等海象細致化模擬資料，將可應用於本島與澎湖離島藍色公路，以提供船舶即時海象資訊，保障船舶交通航行安全。

六、參考文獻

1. 李忠潘、邱永芳、陳陽益、于嘉順、蘇青和、劉正琪、林炤圭、張憲國、王兆璋，近岸數值模擬系統之建立(III)，交通部運輸研究所，中華民國 95 年 11 月。
2. 李良輝、曾清涼(2005) 澎湖群島島嶼數量與委託清查計畫報告書，澎湖縣政府，51－53 頁。
3. 李兆芳、邱永芳、劉正琪、蘇青和、陳明宗、李俊穎、唐宏結、江朕榮、謝佳紘，「海氣象自動化預報模擬系統作業化校修與維運」，交通部運輸研究所研究報告，2016 年 3 月。
4. Connor, J.J., and Wang, J.D. (1975) Mathematical Modelling of Near Coastal Circulation, Pentech Press.。
5. Matsumoto, K., Takanezawa, T. and Ooe, M., (2000) “Ocean tide models developed by assimilating TOPEX/ POSEIDON altimeter data into hydrodynamical model: A global model and a regional model around Japan,” J. Oceanogr., Vol. 56, pp. 567-581.
6. WAMDI Group (1988) “The WAM Model – A Third Generation Ocean Wave Prediction Model,” Journal of Physical Oceanography, Vol. 18, pp. 1775-1810.

綠色航路與航路風險潛勢分析

張淑淨　國立臺灣海洋大學通訊與導航工程學系教授
邱永芳　交通部運輸研究所 港灣技術研究中心主任
黃茂信　交通部運輸研究所 港灣技術研究中心副研究員

摘要

從海難事故的案例分析中可知，偏離慣用航路是重要徵兆。而航路規劃、偏航偵測、航路能源效率比較、航路風險潛勢分析等等，都需要有適當的航路網絡做為參考依據才能更有效率地應用於所有船舶。本研究首先針對綠色航路提出背景說明，再提出本研究在船舶慣用航路、航路網、以及航路風險潛勢方面的研究方法與成果。

一、研究背景與目的

本研究的「綠色航路」用語引用自歐盟 MonaLisa（Motorways & Electronic Navigation by Intelligence At Sea）計畫所提的"Dynamic & Proactive Routes"，又稱"Green-Routes"的概念。

MonaLisa 的 Green-Routes 理念是在開放水域引進交通流管理。其交換或分享航路計畫的方案，使海上交通管理更趨近於空中交通管理的模式。整體而言，是希望藉由船岸之間以及船舶之間的資料交換，使整個海洋運輸系統更可預測，所有人更能掌握整體狀況，包括港口可能的壅塞或延遲、沿線交通環境狀況或是與他船會遇的情形等。

MonalLisa 計畫曾評估動態航路規劃方案的成本效益。首先利用 AIS (Automatic Identification System)資料統計各類船舶交通量與特徵，從縮短航行距離以及調整抵達時間（獲知實際可進港靠泊時間，因此能以更有效率的速度航行）定量評估其節省燃料、減低排放以及對航海人員等效益。再從船岸兩端評估建置動態航路規劃方案的成本。結論是動態航路規劃方案具有明顯的淨效益。

MonaLisa「綠色航路」的綠色不僅是因為有助於節能減碳，也帶有類似綠燈可通行的意涵。海上交通管理中心可利用更充分掌握的船舶動態與環境資訊（以 AIS()與電子航行圖為主），就船長提出的航路計畫進行評估後提供資訊或建議，由船長做出決策產生的航

路計畫，視為船岸共同認知的「綠色航路」。Green-Routes 系統能提供船長們依最低油耗、最短距離或其他準則選取最佳航路計畫，也可針對偏離航路計畫的狀況提供偵測與警報功能，提高航行安全。MonaLisa 計畫在這個項目的預算為 170 萬歐元。MonaLisa 2.0 計畫的試驗平台除了從波羅的海、北海擴展到地中海之外，也廣邀各國參與。瑞典、丹麥、南韓於 2014 年 2 月簽訂合作備忘錄共同推動海上交通管理概念此一 e-化航行方案的全球大規模展示。

關於「航路」或「航運通道」概念應用於國際航運的可行性，ACCSEAS (Accessibility for Shipping, Efficiency Advantages and Sustainability)計畫在「航路拓樸模型（Route Topology Model, RTM）」分項報告中以兩則國際案例為佐證。一則源自海域空間規劃的需求：澳洲海事安全局僅在航海刊物上劃設不具任何強制約束力的「航運通道」或「航路」，就已明顯產生使航跡收斂於該航路的效果；另一則是日本「Development of Next Generation Navigation Display (NGND) for e-Navigation」計畫研發的新世代 e-化航行導航顯示系統，同時顯示本船採用的航路與「慣用航路」於電子航行圖。此「慣用航路」是岸端以長期累積的資料產出資訊並以電子化方式提供給船舶導航用的。其構想是藉由顯示慣用航路，讓航海人員感知本船航路偏離慣用航路的情況，提升航行安全。

ACCSEAS 計畫建立海上航路拓樸模型的程序大致如下：

首先以建立 AIS 船位報告數的網格密度；接著評估各網格密度的統計分佈，以密度值分類逐步取出各等級航路；設法串接因為 AIS 訊號缺口而中斷的航路，將所有航路串成路網；然後以到達各港口的最短路徑分析再區分航路；考量未來發展，因此再取海域空間規劃的航運區域加上航路連接點與港埠節點後建成路網做為未來海域空間規劃之法規影響後的航路。

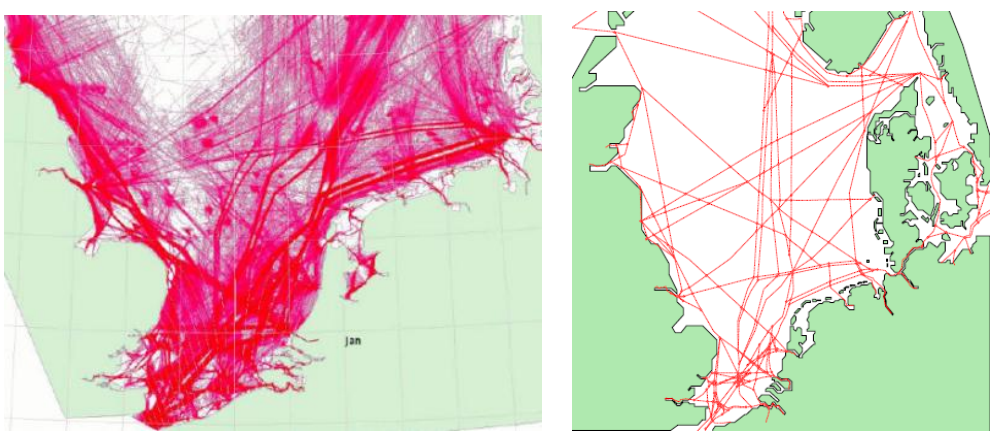


圖 1.1 ACCSEAS 建立航路拓樸模型程序的起始與最終成果

二、研究方法

從 AIS 歷史資料庫透過軌跡探勘或各種統計分析取得船舶的慣用航路是航路相關規劃分析與應用的基礎。

ACCSEAS 以 AIS 船位報告點數的密度為依據取出航路，此做法未能考量 AIS 船位報告間隔隨航行速度等狀態而變動的特性，也未能考量 AIS 岸台的收訊狀況可能因系統設備或大氣環境影響無線電傳輸範圍而隨時間變動或有局部缺口等因素所造成的船位密度差異。因此本研究以船位點連線而成的航跡進行相關分析統計。雖然運算相對複雜許多，但不僅較為可靠，也因此能區分交通流方向，進而據以推論航路節點。

三、從 AIS 航跡取得船舶慣用航路

3.1 從 AIS 航跡自動產生船舶代表路徑

前期（100 年）計畫研發的軌跡探勘功能，以同一艘貨輪 6 個月的 AIS 歷史航跡，經過軌跡概略化，分段進行聚類分析，分群產生代表路徑的結果如圖 3.1。這艘貨輪經常往返於臺北港、基隆港與花蓮港之間，歷史軌跡相當多，從圖 3.1 左圖紅色歷史軌跡線可以看出，因為各航次的航行狀況不同，即使使用相同的航路計畫，航行結果產生的軌跡也可能頗為分散。單一貨輪尚且如此，所有貨輪甚至各類船舶，再加上各種目的或航線形成的軌跡分佈就可想而知是幾乎佈滿所有可航行海域。

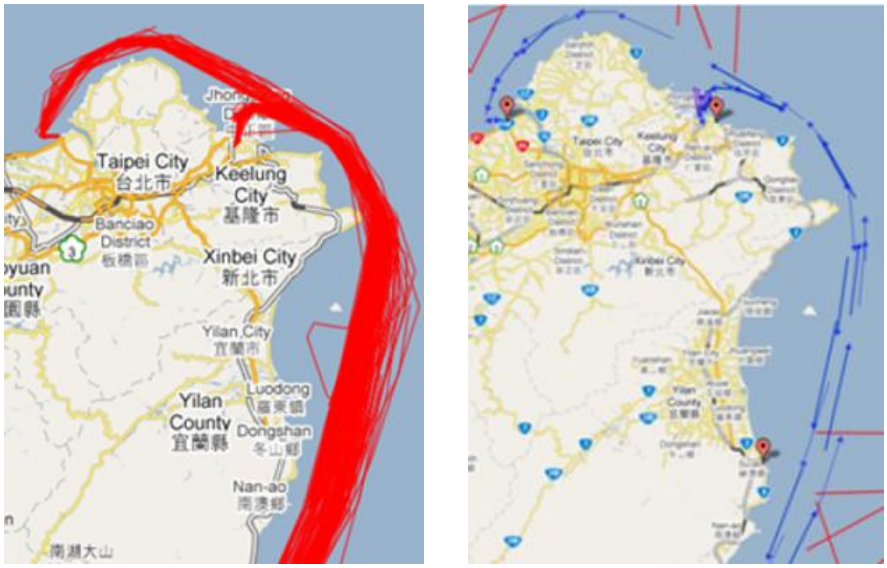


圖 3.1 前期（100 年）計畫取得單船慣用航路的效果

此外，前期計畫的軌跡探勘所得的代表路徑，其空間幾何是有起點與終點的兩點連線線段，具備航行方向及其所代表軌跡數量等屬性。雖然頗能展現該區海域的船舶交通流模式，但是仍難滿足串接成各航線慣用航路進而形成船舶航路網絡的應用需求。

3.2 從 AIS 航跡自動產生同航線多船慣用航路

為了更能輔助航路規劃，本期四年計畫於 104 年引進新的方法，在概念上相當於結合航跡群聚分類與穿行參考線交通流分析，產生會轉彎的代表路徑。圖 3.2 是依此方法分析同一航運公司多艘同型貨輪的歷史軌跡，產生的慣用航路。圖中的藍色線是歷史航跡經過概略化後的軌跡線，內標紅色箭頭的寬線是軌跡探勘得出的慣用航路，慣用航路上標註的數字是該航路代表的軌跡數。因為軌跡經過概略化處理，在港嘴的地方會有穿越堤防的狀況，對於沿岸航行到接近港口的航路規劃應用並無影響。此方法產出的慣用航路，已改用折線描述其空間幾何，且同樣帶有方向與航跡數等屬性。

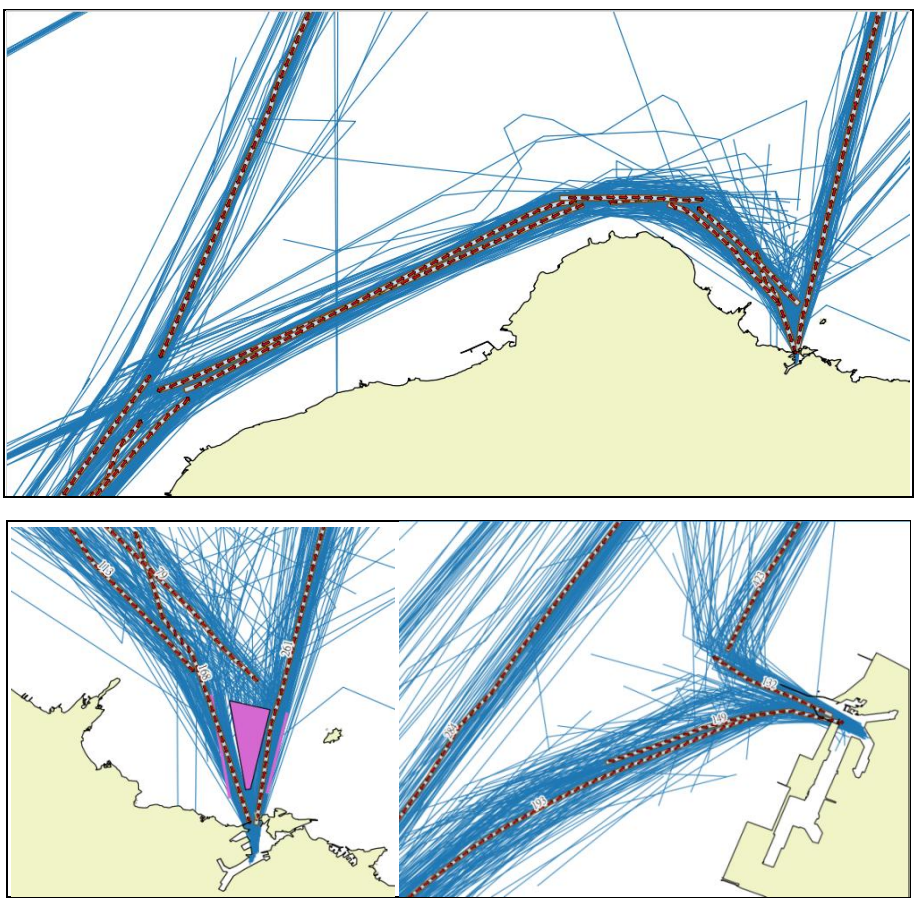
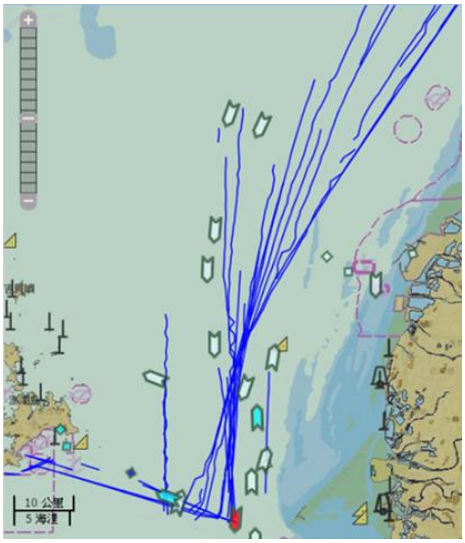


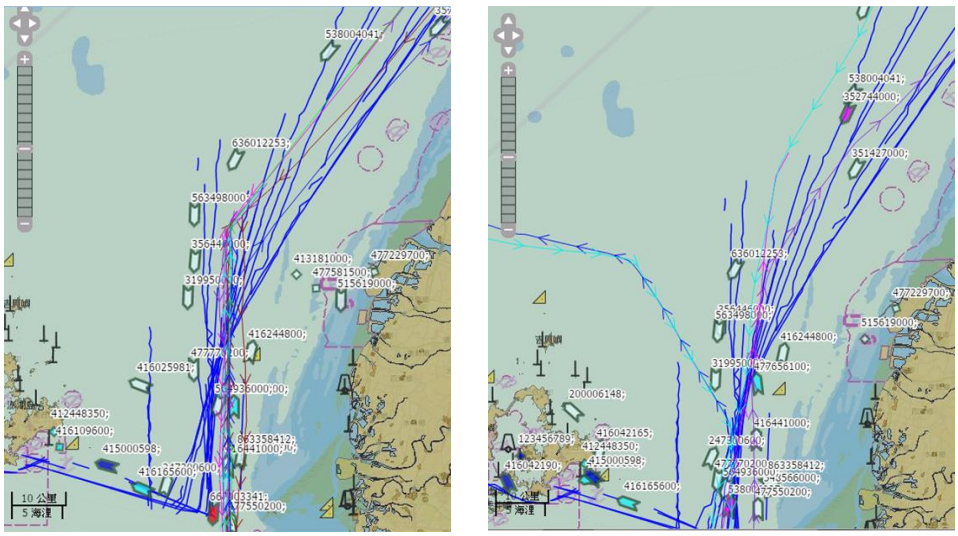
圖 3.2 從同公司多艘貨輪歷史航跡(藍)的慣用航路(紅色箭頭)

3.3 從航跡自動取出單一船種的慣用航路

航行臺灣海域的船舶多元，各類船舶各種航線在沒有劃設航道的自由航行情況下，從所有船舶或是同一種類船舶的歷史航跡產生的慣用航路都會是分散的，而沿岸 AIS 收訊缺口更是自動化產生慣用航路的挑戰。圖 3.3 是從單一種類船舶（油輪）歷史航跡產生的慣用航路（藍線）、套疊單一船舶歷史航跡（附方向的線）以及 AIS 船舶動態（船形符號）的結果。實際評估時發現，有些歷史軌跡不多的船舶而言，其當下航行位置有時與歷史軌跡有段距離，卻是在船舶慣用航路（藍線）上。



(a)單一船種慣用航路（藍線）

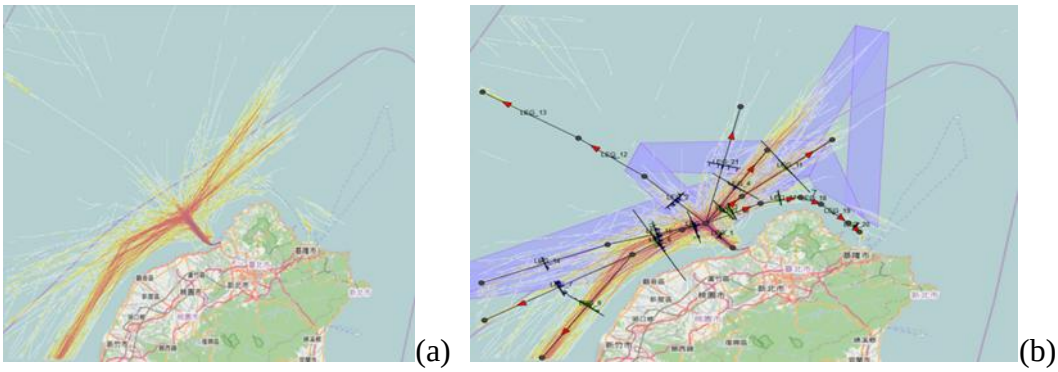


(b)套疊單船航跡與 AIS 船舶動態

圖 3.3 從所有油輪航跡產生的慣用航路與單船航跡比較

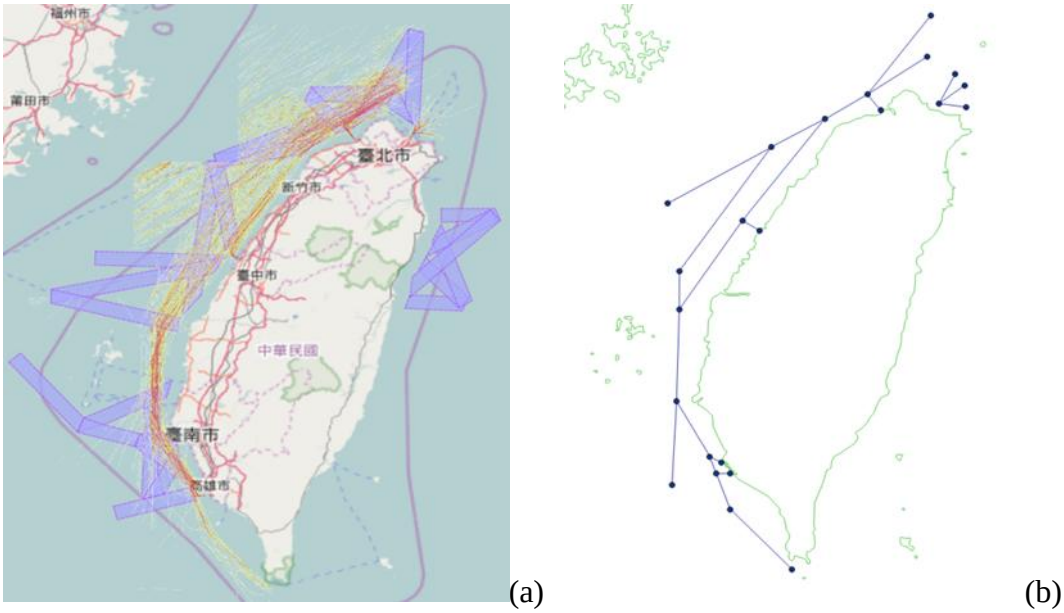
3.4 依不同航線之航跡密度為基礎建構航路網

船舶的航線（亦即前一港口與目的港）是建構航路網的必要考量。因此，本研究參考臺灣沿岸航行海圖圖幅範圍，依據船舶的目的港口區分航線，再就各圖幅區域依據不同航線的航跡密度劃出航路，分析各航路的橫向交通分布，取出雙向的交通量與交通組成，依此逐步擴展出航路網。圖 3.4 是西北海域前往台北港的航跡密度與航路。圖 3.5 是西部沿岸區域前往日本各港口的航跡密度與航路。這兩圖中的藍色區塊是兩岸海運直航船舶應遵循的直航航道，從 24 浬鄰接區界上的通過點直行至目的港口。



(a) (b)

圖 3.4 往台北港的航跡密度(a)與航路(b)日本航路網



(a) (b)

圖 3.5 (a)往日本的船舶航跡(b)沿岸往

3.5 沿岸航路網及航行風險潛勢評估

前節以各航線（目的港）航跡密度為基礎建立的航路，可彙整成為各區域內船舶航路網，例如圖 3.6。彙整後的臺灣沿岸航路網如圖 3.7 左圖的橘線，依各航段交通量比例顯示線寬。

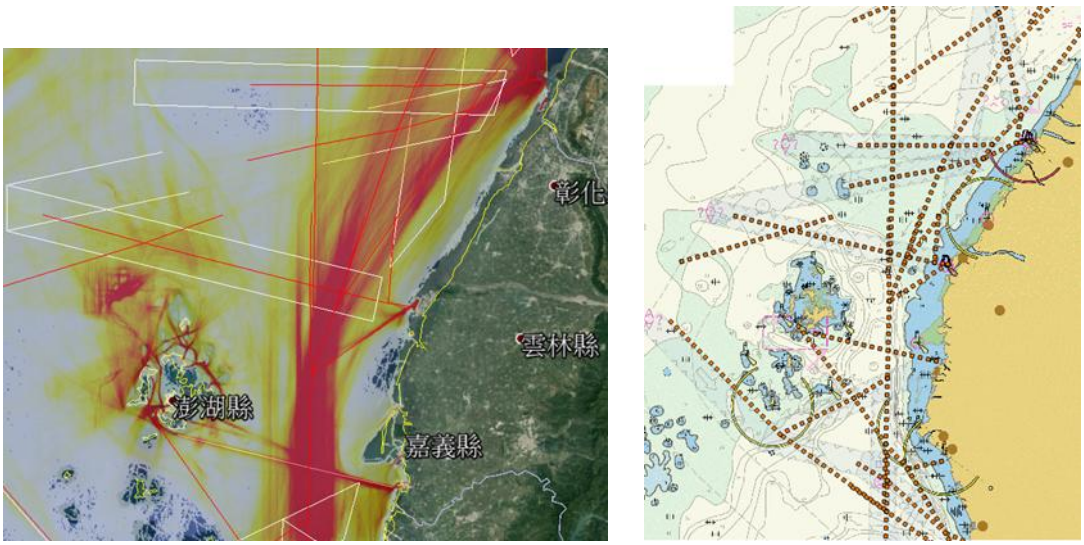


圖 3.6 西部沿岸航路網(a)套疊航跡密度(b)套疊海圖

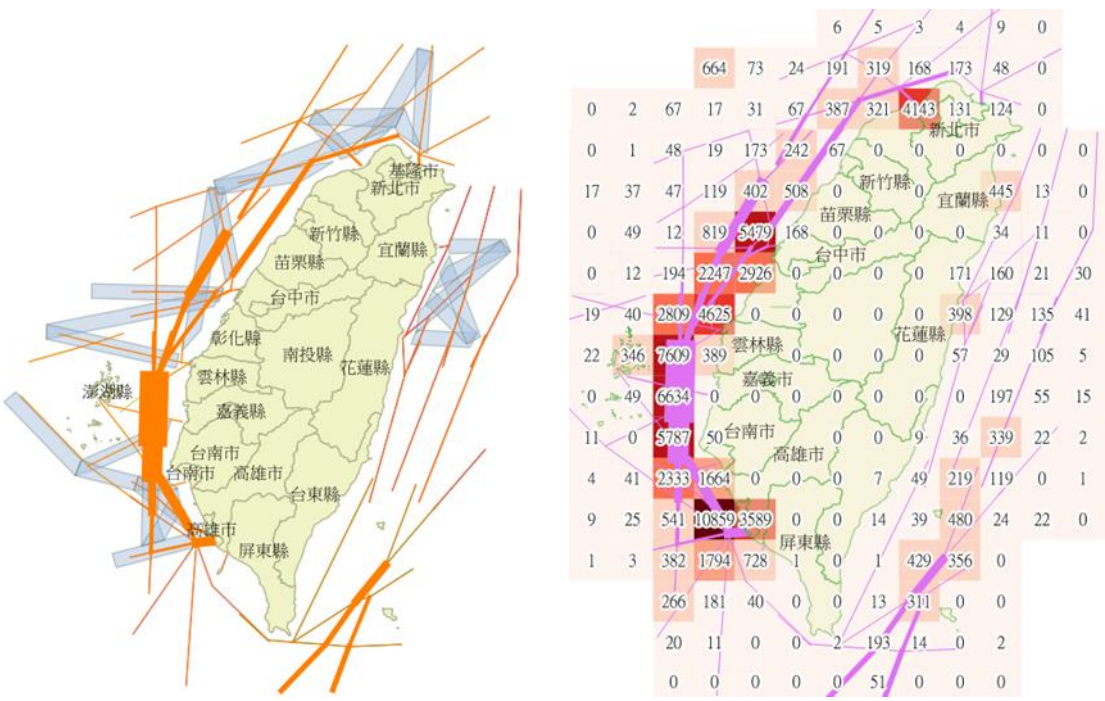


圖 3.7 沿岸航路網交通量與碰撞危機網格密度

圖 3.7 的右圖則是將累積一段時間的即時偵測船舶碰撞危機狀況數分布於 15 分x15 分網格的密度。應注意的是：超出 AIS 正常收訊範圍（約岸臺 25-30 浬距離）的網格，以 AIS 資料估算的交通量及碰撞危機密度必然被低估。碰撞危機的篩選條件包括：非中國籍（以過濾掉其漁船）、TCPA(Time to the Closest Point of Approach) < 10 分鐘；CPA(Closest Point of Approach distance)< 0.5 浬；距離 < 2 浬。在這些碰撞危機中，迎艏正遇佔 18.6%，追越佔 37.7%，交叉相遇佔 43.7%。在無航道規劃的情況下航行路線交錯，船舶無預期地出現交叉相遇碰撞危機的風險自然較高。

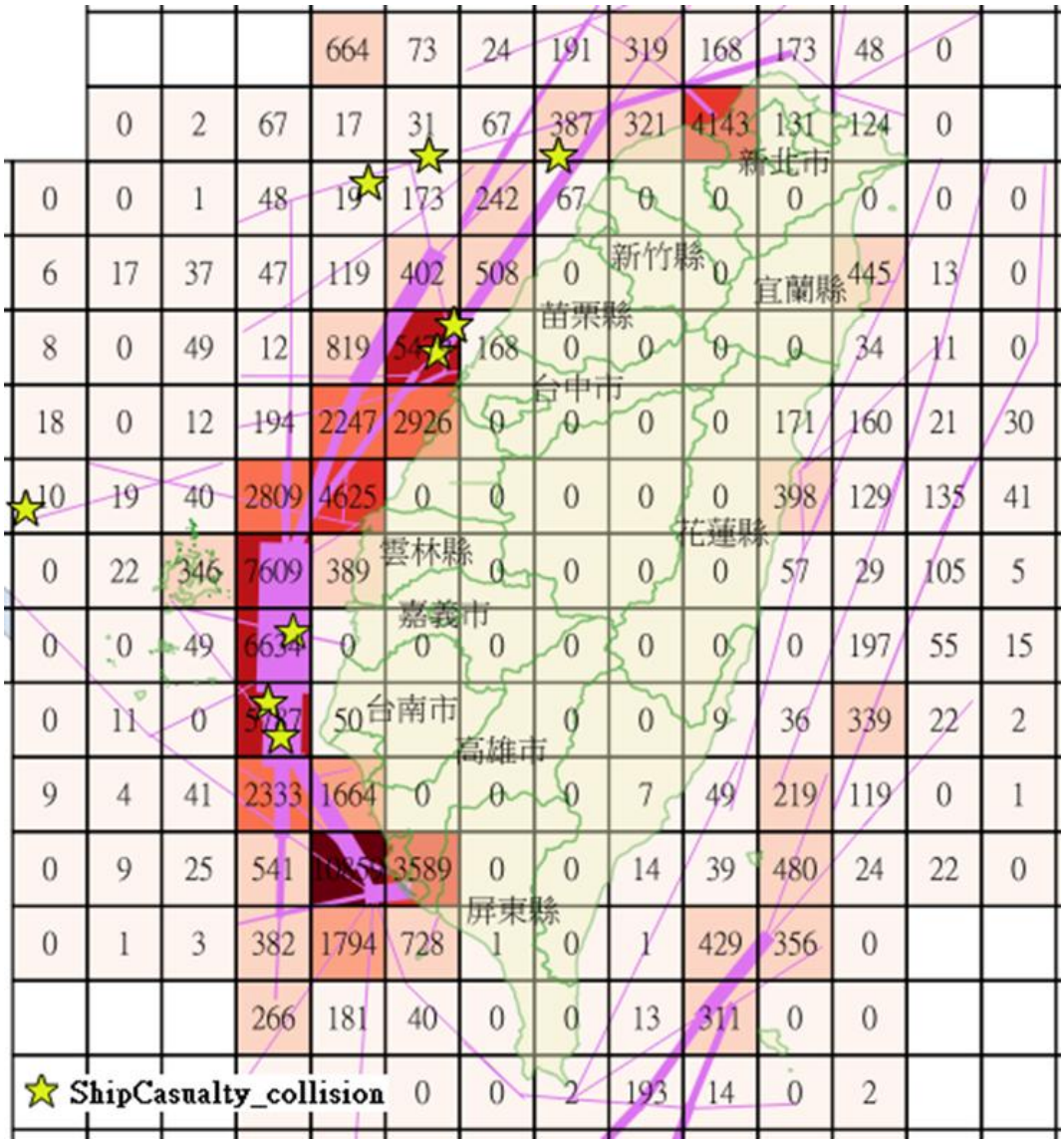


圖 3.8 沿岸航路交通量、碰撞類海難與危機密度

圖 3.8 是再取出海難資料庫中碰撞類的海難位置套疊標繪的結果，由此可見海難位置與高交通量航段、航線交錯位置以及碰撞危機密集區的相關性高。離岸較遠的海難也在航路網航段上。

擱淺類海難點位（綠色符號）分布如圖 3.9，並就其中高風險區域局部放大，且套疊海圖，以利呈現海圖上的歷年海難船骸位置。2001 年擱淺於墾丁龍坑海域造成嚴重汙染的阿瑪斯號海難，因在 AIS 實施之前，未納入本研究的海難資料庫。

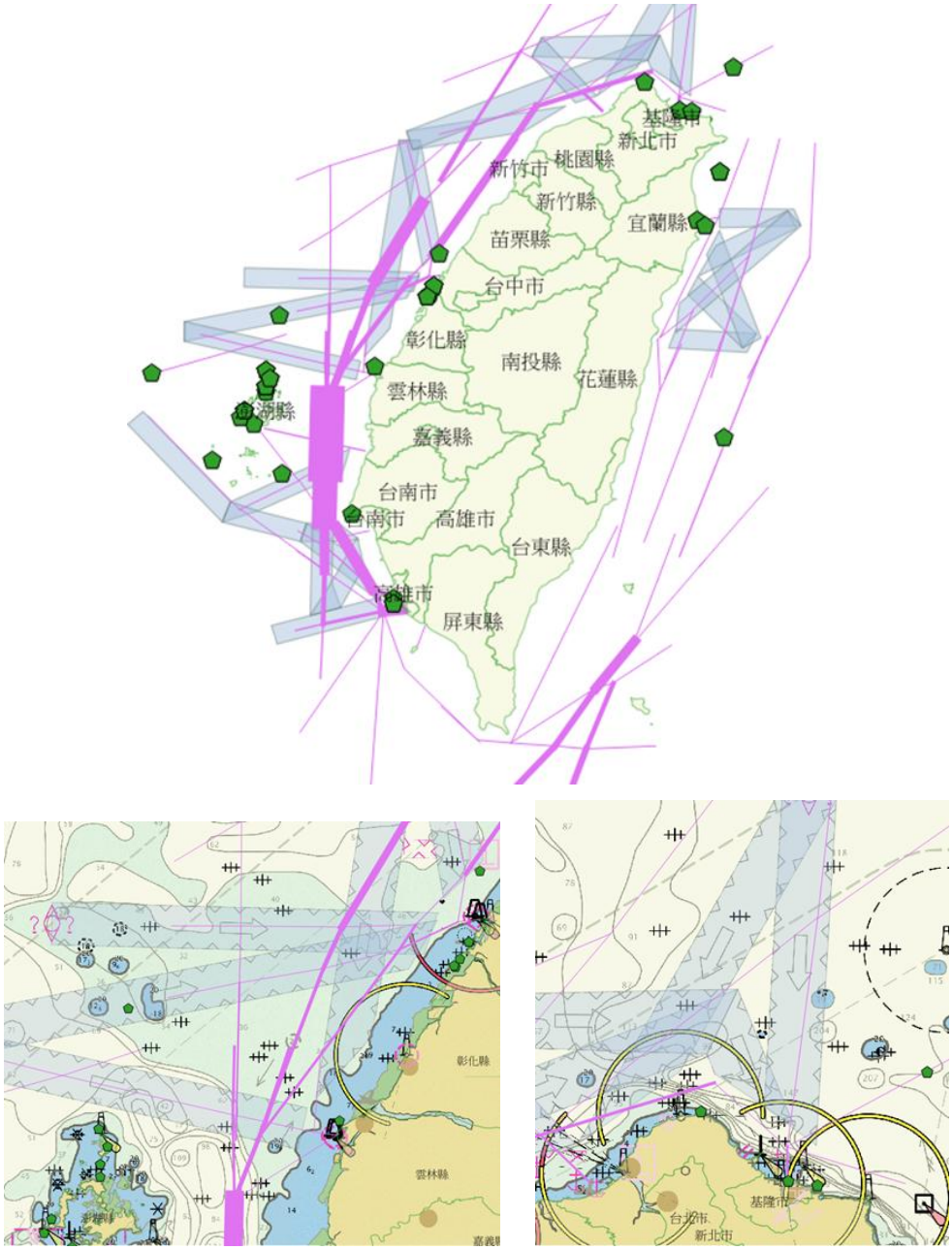


圖 3.9 沿岸航路與擱淺類海難及海圖上船骸位置

四、結論

偏離慣用航路是重要徵兆，而航路規劃、偏航偵測、航路能源效率比較、航路風險潛勢分析等等，都需要有適當的航路網絡做為參考依據才能更有效率地應用於所有船舶。本研究提出從AIS航跡取得船舶慣用航路的分析方法，可分船種或航線或指定單船等條件自動產生其慣用航路。並分區依不同航線之航跡密度為基礎建構航路網，再就沿岸航路網透過與海難資料庫及碰撞擱淺等危機偵測結果的關聯呈現出航行風險潛勢較高的區位。

五、參考文獻

1. EfficienSea project documents, http://www.efficiensea.org/
2. Monalisa project documents, http://www.sjofartsverket.se/monalisa
3. Monalisa 2.0 project documents, http://monalisaproject.eu/
4. ACCSEAS project documents, http://www.accseas.eu/
5. International Hydrographic Organization, http://www.iho.int/
6. IALA O-134: IALA Recommendation on the Risk Management Tool for Ports and Restricted Waterways, Ed.2, May 2009
7. IMO Resolution A.893(21) — Guidelines to Voyage Planning, adopted on 25 Nov.1999.
8. IMO MSC.1/Circ.1228 Revised Guidance to the Master for Avoiding Dangerous Situations in Adverse Weather and Sea Conditions, Jan. 2007.
9. IMO,NCSR 1/28 Annex7 Draft e-Navigation Strategy Implementation Plan,July 2014.
10. Second IMO GHG Study 2009,Buhaug, Ø., Corbett, J.J., Endresen, Ø., Eyring, V., Faber, J., Hanayama, S., Lee, D.S., Lee, D., Lindstad, H.,Markowska, A.Z., Mjelde, A., Nelissen, D., Nilsen, J., Pålsson, C., Winebrake, J.J., Wu, W., Yoshida, K., International Maritime Organization (IMO) , April 2009, London, UK.
11. Third IMO GHG Study 2014, Smith, T. W. P.; Jalkanen, J. P.; Anderson, B. A.; Corbett, J. J.; Faber, J.; Hanayama,S.; O'Keeffe, E.; Parker, S.; Johansson, L.; Aldous, L.; Raucci, C.; Traut, M.; Ettinger, S.; Nelissen, D.; Lee, D. S.;Ng, S.; Agrawal, A.; Winebrake, J. J.; Hoen, M.;

Chesworth, S.; Pandey, A., International Maritime Organization (IMO) , April 2015, London, UK.
12. Assessment of Shipping's Efficiency Using Satellite AIS data, Tristan Smith, Eoin O'Keeffe, Lucy Aldous and Paolo Agnolucci, prepared for the International Council on Clean Transportation,March 2013. （http://lowcarbonshipping.co.uk/）
13. An Overview of Maritime Waterway Quantitative Risk Assessment Models, Suyi Li, Qiang Meng and Xiaobo Qu, Risk Analysis, Vol.32, No.3, 2012.
14. IMO, Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for use in the IMO rule-making process, International Maritime Organization, London, 2002.
15. Probability of Vessel Collisions, Macduff, T.,Ocean Industry, 1974. 9(9): p. 144-148.
16. Some factors affecting the frequency of accidents in marine traffic. II: The probability of stranding, III: The effect of darkness on the probability of stranding, Fujii, Y., H. Yamanouchi, and N. Mizuki, Journal of Navigation, 1974. 27: p. 239-252.
17. Review and application of ship collision and grounding analysis procedures, Pedersen,P.T., Marine Structures, Vol.23, Issue 3, July 2010, p.241-262
18. IHO publication S-99 - Operational Procedures for the Organization and Management of the S-100 Geospatial Information Registry.
19. 林澄政、梅明德、丁毓齡，即時海象資訊應用於船舶節能航路規劃之研究，中華民國運輸學會 98 年學術論文研討會論文集，2009。
20. 離岸風場開發對航運安全影響評估技術與管理制度研析，張淑淨，工業技術研究院委託研究報告，2013。
21. 結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫（1/4），張淑淨，交通部運輸研究所委託研究報告，2013。
22. 結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫（2/4），張淑淨，交通部運輸研究所委託研究報告，2014。
23. 結合動態船舶與環境資訊之綠色航路智慧領航計畫（3/4），張淑淨，交通部運輸研究所委託研究報告，2015。

港灣構造物維護管理制度介紹

賴瑞應　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員
邱永芳　交通部運輸研究所港灣技術研究中心主任
簡臣佑　財團法人臺灣營建研究院工程師

摘要

港灣設施在嚴峻的自然環境下，其材料劣化、構件損壞、基座沖刷、下陷、淤積，均可能造成設施性能弱化，影響其使用年限的性能，而目前國內尚未建立完善的港灣設施維護管理制度，為確保港埠之永續經營與維繫我國之經貿發展，制定本土化之港灣設施維護管理制度刻不容緩。

本所過去在港灣構造物維護管理之相關研究投入很多人力，未來也會持續投入人力並參考日本之港灣設施維護管理做法，朝制定本土化之港灣構造物維護管理制度目標邁進。但新的制度必定會增加新的規定與工作，對基層人員來說必定會造成很大的負擔與壓力，也勢必會產生抗拒的心態，如此對未來制度的推廣與落實勢必造成阻礙。

本文藉由港灣構造物維護管理制度的介紹，讓基層人員及相關決策高層瞭解維護管理制度的架構與精神，消弭其因不瞭解而產生的抗拒心態，以利未來制度的推行。

一、前言

港灣設施在嚴峻的自然環境下，其材料劣化，構件損壞，基座沖刷、下陷、淤積，均可能造成設施性能弱化，影響其使用年限的性能，而目前國內尚未建立完善的港灣設施維護管理制度，為確保港埠之永續經營與維繫我國之經貿發展，制定本土化之港灣設施維護管理制度刻不容緩。

何謂港灣構造物維護管理制度，簡單來說，就是港灣構造物的健檢制度，其架構如同人的健檢制度一樣，主要包括何時需健檢(檢測頻率)、健檢的項目(檢測項目)、各健檢項目的判定標準(檢測項目之判定標準)及透過綜合評估是否需立即治療或持續觀察(立即維修或持續觀察)等 4 部份。透過完善的維護管理制度來監測構造物的劣化狀況，並評估構件的劣化等級及判定是否需立即維修或持續觀察，如此才能確保構造物使用年限的性能，並確保港埠之永

續發展。

本文將針對港灣構造物維護管理制度的主要 4 個架構內容、相關規定及如何執行做介紹，以利未來制度的推行。

二、港灣構造物檢測總類與頻率

港灣構造物之檢測總類概分為3類，包括經常巡查、定期檢測及特別巡查，其檢測頻率與執行單位建議如表 1 所示。相關說明如下：

表 1　檢測總類與頻率

種類	建議執行單位	檢測時機	檢測方式
經常巡查	業管單位	每季	目視(岸上)
定期檢測	委外發包廠商	3~5 年至少 1 次	目視(包含水下)、簡單儀器、依需求配合詳細儀器檢測
特別巡查	業管單位	重大災害事故發生後	目視(岸上)

2.1 經常巡查

經查巡查指的是設施的平常例行性巡查,建議由管理單位(使用維護單位)來執行巡查，巡查時機建議每季執行 1 次，主要以目視巡查設施使用狀況是否有異常。

2.2 定期檢測

定期檢測指的是設施的詳細定期檢測，由於檢測項目包含構造物之水上水下構件，必要時需配合相關儀器設備做專業檢測，建議委託專業廠商來執行檢測，檢測時機建議每 3~5 年至少執行 1 次。

2.3 特別巡查

特別巡查指的是發生重大災害事故(如地震、颱風或船舶撞擊碼頭等重大災害事件)後，進行緊急的設施巡查，由於巡查主要以目視巡查岸上設施使用狀況是否有異常，建議由管理單位(使用維護單位)來執行巡查。

三、港灣構造物檢測構件與編碼

港灣構造物主要可分為碼頭結構物及防波堤結構物兩大類，不同結構物之檢測構件與編碼方式分別說明如下：

3.1 碼頭結構物

碼頭結構物依目前常見的型式大致可分為重力式碼頭、板樁式碼頭、棧橋式碼頭與浮動碼頭 4 種。相關檢測構件與編碼說明如下：

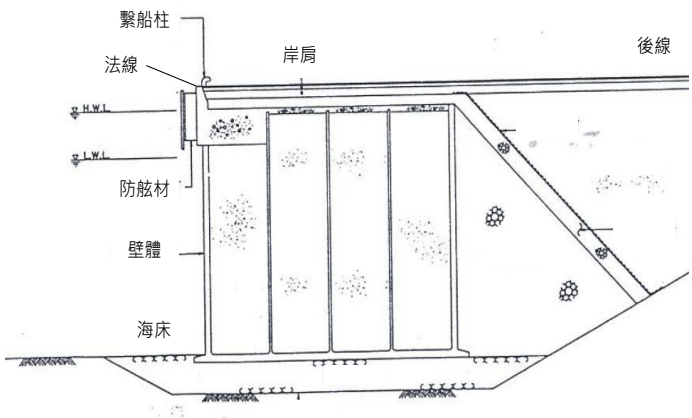
1. 重力式與板樁式碼頭

此兩類型碼頭外觀而言相似，僅構築之方式與材料不同，重力式以沉箱或方塊式混凝土堆砌為主體，板樁式則以板樁作為壁體，並於其後回填土砂，再於板樁頂部澆築鋼筋混凝土頂壁，加築碼頭面層。故其構件可分為碼頭本體、海床與附屬設施，碼頭本體可再分為岸肩、壁體、後線與法線，附屬設施可再分為車擋、繫船柱、防舷材與吊車軌道(如圖 1 與圖 2 所示)。

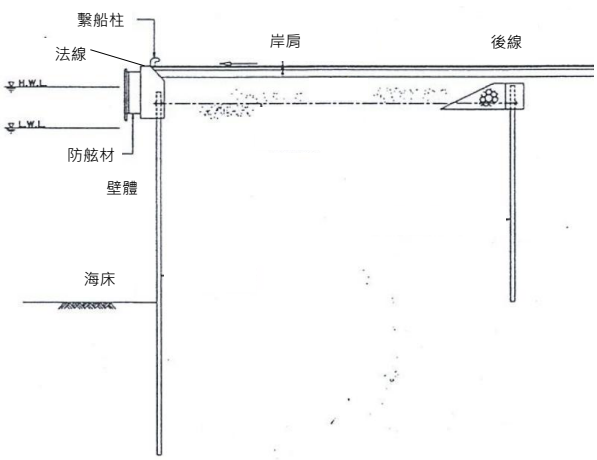
此兩型式碼頭編碼，建議以 25m 為單元進行區分，原點(0m)於碼頭起始處(如圖 3 所示)。故岸肩、壁體、後線、法線、海床與吊車軌道即依循各單元區分；車擋、繫船柱與防舷材則依序分別編號(如圖 3 所示)。

碼頭本體	岸肩
	壁體
	後線
	法線
海床	
附屬設施	車擋
	繫船柱
	防舷材
	吊車軌道

(a)構件列表



(b)重力式碼頭構件示意(以沉箱式為例)



(c)板樁式碼頭構件示意

圖 1　重力式與板樁式碼頭構件拆解

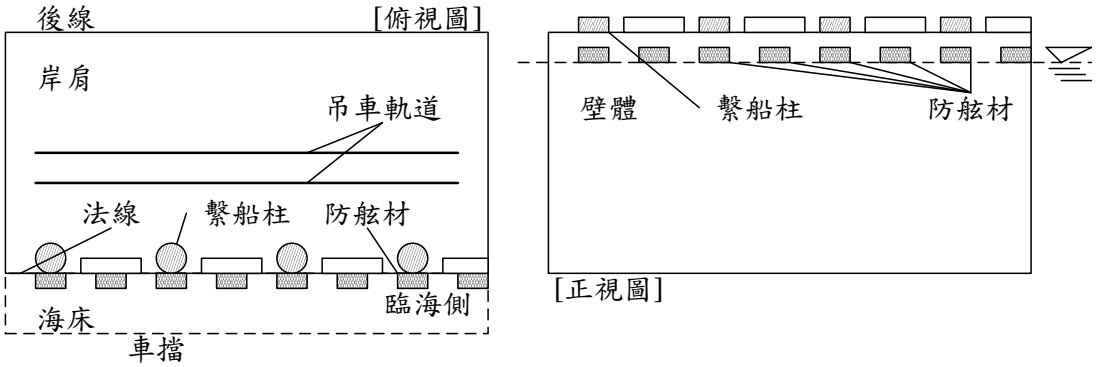


圖 2　重力式與板樁式碼頭構件拆解圖示

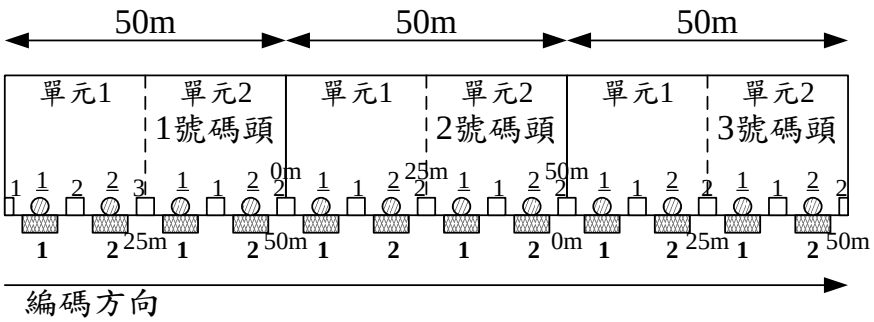


圖 3　各碼頭單元與設施編碼示意

2. 棧橋式碼頭

此型式碼頭採用樁或各種形狀的柱體支持碼頭面，成為與海岸線垂直或平行的半座橋梁，如圖 4 所示，其適用於軟弱地盤，優點為不妨礙水流、反射波較小、構造輕、耐震力強，可利用現有護岸加築，延長亦方便。缺點為工程費用較大，對船舶衝擊力及其他水平抵抗力較弱。故其構件可分為面板、墩柱、拋石護坡與海床，面板可再分為梁、岸肩、岸肩底部、後線與法線。

此型式碼頭編碼，建議以 25m 為單元進行區分，原點(0m)於碼頭起始處(如圖 3 所示)。故梁、岸肩、岸肩底部、後線、法線、墩柱、拋石護坡、海床與吊車軌道即依循各單元區分；車擋、繫船柱與防舷材則依序分別編號(如圖 3 所示)。

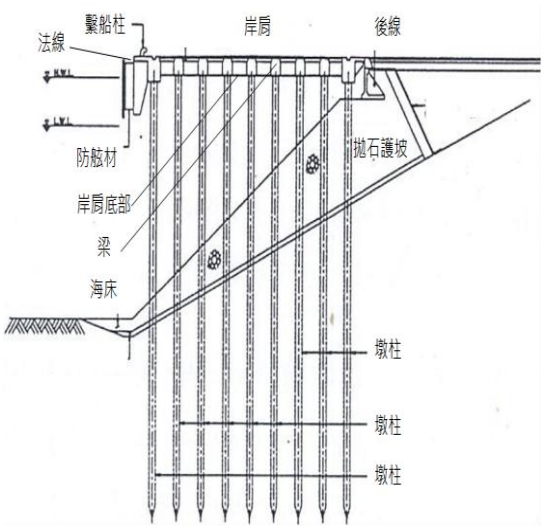


圖 4　棧橋式碼頭構件示意

3. 浮動碼頭設施

在潮差甚大之港內，建造固定性之碼頭，須有較大高度，常甚不經濟，於此，可採用浮動碼頭。浮動碼頭之本體常使用長方形之浮箱，浮於水面，可將若干浮箱連接而成達到需要之長度。浮動碼頭之佈置形式可為橫碼頭亦可為突出碼頭。浮箱可用鋼製，亦可用鋼筋混凝土製成。浮動碼頭隨潮汐之高低而升降，故其與陸地間須藉橋梁連接。其水上位置之維持，可藉由港底拋錨或以鋼管樁固定。浮動碼頭之缺點在不耐較大風浪，優點則必要時可遷移地點，甚為簡便。浮動碼頭多為渡輪使用，載運旅客與車輛，較不常用於貨物碼頭。

將浮動碼頭構件拆解為鋼管樁(如圖 5 所示)、浮箱(如圖 6 所示)、聯絡橋等三大構件(如圖 7、圖 8 所示)，再依其各自所含細部構件再進行分類，浮箱包含面板、繫船柱、防舷材與車擋等；聯絡橋包含面板、鉸接端、滑動端等，其構件拆解架構如圖 9 所示。

圖 5　浮動碼頭鋼管樁

圖 6　浮動碼頭浮箱

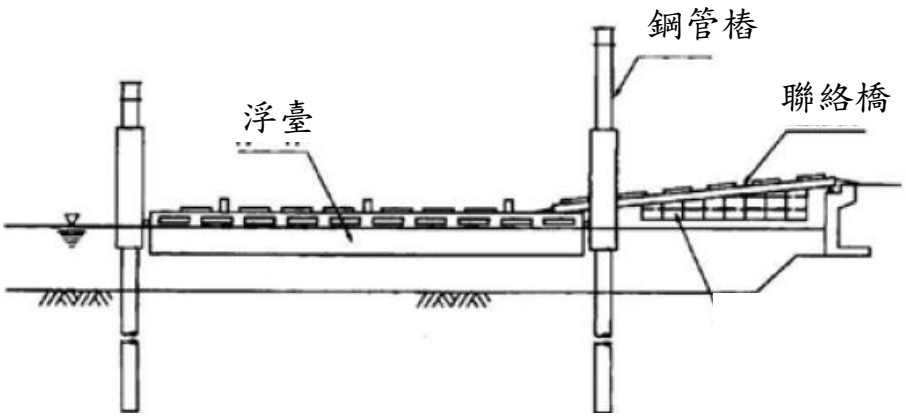


圖 7　浮動碼頭側視圖示意

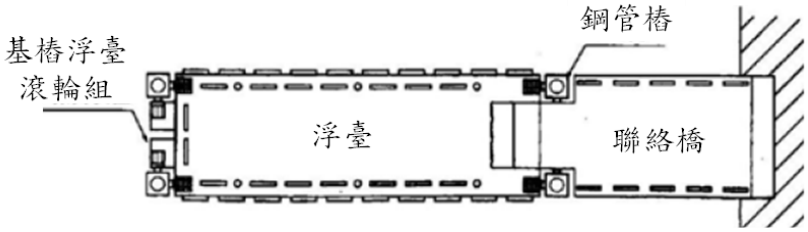


圖 8 浮動碼頭俯視圖示意

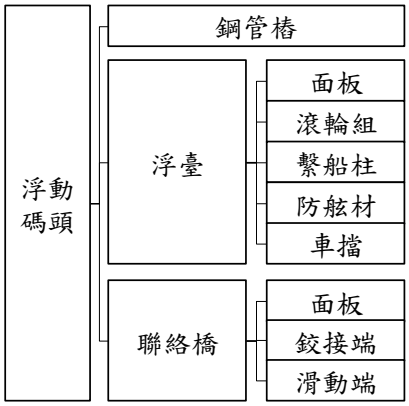


圖 9　浮動碼頭構件拆解

3.2 防波堤結構物

防波堤結構物主要是築於海中之長堤，用以庇護一片水域，防禦波浪侵入，使水面平靜，船舶得以安全繫泊。其構件項目分為堤前(後)坡或堤前(後)壁體、堤頂、胸牆與基礎，如圖 10 所示。防波堤建議以 25m 作為單元劃分，各構件循各單元區分。

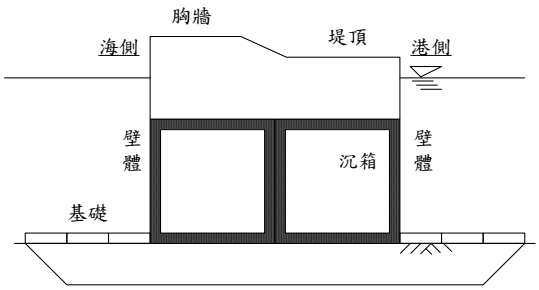


圖 10 防波堤構件示意

3.3 構件劣化標註方式

以重力式碼頭為例，碼頭本體、海床及附屬設施各構件劣化標註方式，如表 2 所示。

表 2　構件劣化標註方式

第 1 層構件	第 2 層構件	劣化位置描述
碼頭本體	岸肩	紀錄 X、Y 值 (如圖 11 之(1)所示)
	壁體	紀錄 X、-Z 值 (如圖 12 之(2)所示)
	後線	紀錄 X 值 (如圖 11 之(2)所示)
海床		紀錄 X 值 (如圖 12 之(1)所示)
附屬設施	車擋	紀錄第 n 個
	繫船柱	紀錄第 n 個
	防舷材	紀錄第 n 個

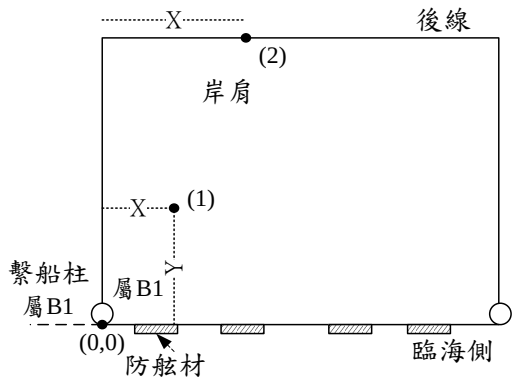


圖 11　岸肩及後線劣化位置標註方式示意圖

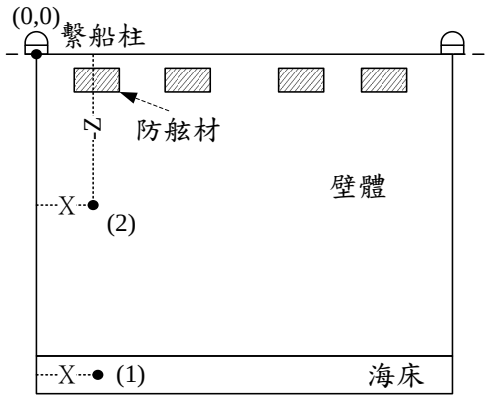


圖 12　壁體及海床劣化位置標註方式示意圖

四、構件劣化判斷標準

劣化等級可概分為 4 種劣化狀況，如表 3 所示，等級 4 為最嚴重的劣化等級，構件性能已有顯著弱化情況；等級 3 為次嚴重劣化等級，構件性能有弱化情況；等級 2 為有異狀，但還不到構件性能弱化狀態；等級 1 為無異狀。各碼頭型式與防波堤構件目視檢測之劣化狀況判斷標準如表 4~表 9 所示，巡檢或檢測人員可依表列之量化劣化判定標準來評估構件的劣化狀況。

表 3 構件劣化狀況之判定標準

構件劣化狀況	判定標準
4	構件性能有顯著弱化情況
3	構件性能有弱化情況
2	有異狀
1	無異狀

表 4　重力式碼頭目視檢測標準

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
岸肩	裂縫	1	無異狀
		2	局部($1m^2$)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部($1m^2$)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
	沉陷	1	無異狀
		2	岸肩輕微下陷(面積<5 m^2 或深度<2.5 cm)
		3	岸肩明顯下陷(面積≦5 m^2、深度>2.5 cm 或面積>5 m^2、深度≦2.5 cm)
		4	岸肩嚴重下陷(面積>5 m^2 或深度>2.5 cm)
壁體	裂縫	1	無異狀
		2	局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
	漏砂	1	無異狀
		2	壁體出現孔洞，但並未漏砂
		3	壁體裂縫已可觀察出漏砂
		4	背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂
後線	沉陷	1	無異狀
		2	後線輕微下陷(深度<5cm 或面積<5m^2)
		3	後線明顯下陷(5≦深度≦10cm 或 5m^2≦面積≦10m^2
		4	後線嚴重下陷(深度>15 cm 或面積>20 m^2)
法線	變位	1	無異狀
		2	—
		3	—
		4	嚴重變位

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
海床	沖刷	1	無異狀
		2	基礎輕微淘刷(深度 50cm 以下)
		3	基礎中等淘刷(深度 50~100cm)
		4	基礎嚴重淘刷(深度 100cm 以上)

表 5　板樁式碼頭目視檢測標準

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
岸肩	裂縫	1	無異狀
		2	局部($1m^2$)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部($1m^2$)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
	沉陷	1	無異狀
		2	岸肩輕微下陷(面積<5 m^2 或深度<2.5 cm)
		3	岸肩明顯下陷(面積≦5 m^2、深度>2.5 cm 或面積>5 m^2、深度≦2.5 cm)
		4	岸肩嚴重下陷(面積>5 m^2 或深度>2.5 cm)
壁體	接縫開裂	1	無異狀
		2	開裂深度輕微(文公尺可入裂縫約<10cm 深)
		3	開裂深度中等(文公尺可入裂縫 10~20cm 深)
		4	開裂深度嚴重(文公尺可入裂縫約>20cm 深)
	穿孔	1	無異狀
		2	小範圍區域的鏽蝕現象
		3	帶狀區域的鏽蝕現象
		4	連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於 12 cm^2)擴大且有漏砂現象

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
	防蝕性能降低	1	海水下，防蝕電位 < -850mV(v.s. CuSO4 電極)；潮間帶以上鋼材有塗裝保護，外觀完好
		2	海水下，-780mV <防蝕電位< -850mV；潮間帶鋼材塗裝面積破損率 3~5%
		3	海水下，-650mV <防蝕電位< -780mV；潮間帶鋼材塗裝面積破損率 5~10%
		4	海水下，防蝕電位 < -650mV；潮間帶鋼材無塗裝保護或塗裝面積破損率達 10%以上
後線	沉陷	1	無異狀
		2	後線輕微下陷(深度<5cm 或面積<5m^2)
		3	後線明顯下陷(5≦深度≦10cm 或 5m^2≦面積≦10m^2)
		4	後線嚴重下陷(深度>15 cm 或面積>20 m^2)
法線	變位	1	無異狀
		2	—
		3	—
		4	嚴重變位
海床	沖刷	1	無異狀
		2	基礎輕微淘刷(深度 50cm 以下)
		3	基礎中等淘刷(深度 50~100cm)
		4	基礎嚴重淘刷(深度 100cm 以上)

表 6　棧橋式碼頭目視檢測標準

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
梁	裂縫	1	無異狀
		2	局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
岸肩	裂縫	1	無異狀
		2	局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部(1m2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
	沉陷	1	無異狀
		2	岸肩輕微下陷(面積<5 m^2 或深度<2.5 cm)
		3	岸肩明顯下陷(面積≦5 m^2、深度>2.5 cm 或面積>5 m^2、深度≦2.5 cm)
		4	岸肩嚴重下陷(面積>5 m^2 或深度>2.5 cm)
岸肩底部	裂縫	1	無異狀
		2	局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部(1m2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
後線	沉陷	1	無異狀
		2	後線輕微下陷(深度<5cm 或面積<5m^2)
		3	後線明顯下陷(5≦深度≦10cm 或 5m^2≦面積≦10m^2)
		4	後線嚴重下陷(深度>15 cm 或面積>20 m^2)
法線	變位	1	無異狀
		2	—
		3	—
		4	嚴重變位

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
墩柱（鋼管樁）	腐蝕	1	無異狀
		2	小範圍區域的鏽蝕現象
		3	帶狀區域的鏽蝕現象
		4	連續性多範圍鏽蝕，鋼管樁表面穿孔(面積大於 12 cm^2)擴大且有漏砂現象
	防蝕披覆損壞	1	無異狀
		2	劣化面積 0.3%以下
		3	劣化面積介於 0.3~10%之間
		4	劣化面積 10%以上
	防蝕性能降低	1	海水下，防蝕電位 < -850mV(v.s. $CuSO_4$ 電極)；潮間帶以上鋼材有塗裝保護，外觀完好
		2	海水下，-780mV <防蝕電位< -850mV；潮間帶鋼材塗裝面積破損率 3~5%
		3	海水下，-650mV <防蝕電位< -780mV；潮間帶鋼材塗裝面積破損率 5~10%
		4	海水下，防蝕電位 < -650mV；潮間帶鋼材無塗裝保護或塗裝面積破損率達 10%以上
墩柱（混凝土樁）	裂縫	1	無異狀
		2	局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
拋石護坡	破壞	1	無異狀
		2	護坡塊石輕微受損(目視護坡塊石破壞率 5%以下)
		3	護坡塊石明顯受損(目視護坡塊石破壞率 5%~20%)
		4	護坡塊石嚴重受損(目視護坡塊石破壞率 20%以上)
海床	沖刷	1	無異狀
		2	基礎輕微淘刷(深度 50cm 以下)
		3	基礎中等淘刷(深度 50~100cm)
		4	基礎嚴重淘刷(深度 100cm 以上)

表 7　附屬設施目視檢測標準

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
繫船柱	腐蝕龜裂	1	無異狀
		2	材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形
		3	材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形
		4	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂
防舷材	龜裂破損	1	無異狀
		2	材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損
		3	材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象
		4	材質老化、構件變形或掉落
車擋	龜裂破損	1	無異狀
		2	材質表面輕微龜裂情形
		3	材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形
		4	材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損
起重機軌道	腐蝕位移	1	無異狀
		2	兩軌間距左右差≦5mm、鋼軌接縫高差≦3mm
		3	兩軌間距左右差 5mm~10mm、鋼軌接縫高差 3mm~4.25mm
		4	兩軌間距左右差>10mm、鋼軌接縫高差>4.25mm
階梯	裂縫剝落	1	無異狀
		2	混凝土可見寬度 3mm 以下裂縫或輕微剝落
		3	混凝土可見寬度 3~5mm 裂縫或明顯剝落
		4	混凝土可見寬度大於 5mm 裂縫或嚴重剝落或階梯表面濕滑

表 8　浮動碼頭目視檢測標準

構件		劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
浮箱	浮箱外部	鋼材腐蝕、龜裂、損傷(鋼材)	1	無異狀
			2	—
			3	—
			4	因腐蝕引起之穿孔、變形或其他明顯損傷
		混凝土劣化損傷(RC)	1	無異狀
			2	輕微裂縫或點狀鏽水產生

構件		劣化類型	劣化狀況	劣化狀況說明
			3	寬度 3mm 以下鋼筋混凝土之裂縫部分鏽水產生
			4	寬度 3mm 以上鋼筋混凝土之裂縫或保護層剝落或大範圍鏽水產生或貫通的裂縫
		混凝土劣化損傷(PC)	1	無異狀
			2	—
			3	—
			4	有裂縫或鏽水
	浮箱內部	本體龜裂、損傷	1	無異狀
			2	—
			3	—
			4	可看見因裂縫、龜裂或損傷引起之浸水
	滾輪組	塗裝剝離、腐蝕、異音	1	無異狀
			2	—
			3	—
			4	從支承部位發出之異常聲音
鋼管樁		磨耗、腐蝕	1	無異狀
			2	可看見被覆材輕微損傷
			3	鋼管樁有輕微磨耗或穿孔或被覆材全面龜裂或剝離
			4	鋼管樁有變形、明顯磨耗或穿孔
聯絡橋	聯絡橋外部	鋼材腐蝕、龜裂、損傷	1	無異狀
			2	—
			3	—
			4	因腐蝕引起之穿孔、變形或其他明顯損傷
	鉸接端與滑動端	塗裝剝離、腐蝕、異音	1	無異狀
			2	—
			3	—
			4	從支承部位發出之異常聲音

表 9　防波堤各構件劣化目視檢測標準

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化程度說明
堤前（後）坡	裂縫	1	無異狀
		2	局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部(1m2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	沉陷	1	無異狀
		2	輕微下陷(面積<5 m^2、深度<2.5 cm)
		3	明顯下陷(面積≦5 m^2、深度>2.5 cm 或面積>5 m^2、深度≦2.5 cm)
		4	嚴重下陷(面積>5 m^2、深度>2.5 cm)
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
堤頂	沉陷	1	無異狀
		2	輕微下陷(面積<5 m^2、深度<2.5 cm)
		3	明顯下陷(面積≦5 m^2、深度>2.5 cm 或面積>5 m^2、深度≦2.5 cm)
		4	嚴重下陷(面積>5 m^2、深度>2.5 cm)
	裂縫	1	無異狀
		2	局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化程度說明
	接縫、施工縫位移	1	無異狀
		2	有接縫開裂(3mm 以下)
		3	由於位移使得接縫變大(3~5mm)或接縫有滲水現象
		4	有接縫開裂(5mm 以上)或傾倒嚴重破損情形
胸牆	裂縫	1	無異狀
		2	局部($1m^2$)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部($1m^2$)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度≦15 cm，深度≦2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
	接縫、施工縫位移	1	無異狀
		2	有接縫開裂但沒有滲水現象
		3	由於位移使得接縫變大，接縫有滲水現象
		4	有傾倒或嚴重破損情形
壁體	裂縫	1	無異狀
		2	局部($1m^2$)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫
		3	局部($1m^2$)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm
		4	裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm
	剝落	1	無異狀
		2	混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度<15 cm，深度<2.5 cm
		3	鋼筋混凝土鋼筋(或鋼筋網)外露腐蝕或剝落寬度≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度>15 cm，深度≦2.5 cm
		4	鋼筋混凝土鋼筋外露腐蝕，且鋼筋下方混凝土剝落，且剝落寬度>15 cm，深度>2.5 cm
	漏砂	1	無異狀
		2	壁體出現孔洞，但並未漏砂
		3	壁體裂縫已可觀察出漏砂
		4	背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂

構件	劣化類型	劣化狀況	劣化程度說明
基礎	沖刷	1	無異狀
		2	基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約 50cm 以下)
		3	基礎中等淘刷(沖刷坑深度目視約 50~100cm)
		4	基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100cm 以上)

五、評估方法

完成經常巡查、定期檢測或特別巡查後，若構件有劣化狀況，如何評估是否立即維修或持續觀察列為年度維修計畫內辦理，原則上可以參考圖 13 之流程來決定，依圖 13 的流程建議，原則上構件的劣化狀況達等級 4 的劣化狀況，建議構件能立即維修以保持結構應有的服務性能，劣化狀況等級小於等於 3 的劣化狀況，建議構件可納入持續觀察名單，並列入下年度的維修計畫內辦理。

六、經查巡查、定期檢測與特別巡查實務操作介紹

本節將針對碼頭、浮動碼頭及防波堤之經查巡查、定期檢測與特別巡查，提供實務執行的相關簡易表格供執行人員使用，說明如下：

6.1 碼頭結構

碼頭經查巡查指的是設施的平常例行性巡查，巡查時機建議每季執行 1 次，主要以目視巡查設施使用狀況是否有異常。執行人員可依表 10 碼頭經查巡查表(A)之各欄位勾選使用上是否異常現象，如果均無異常，即完成本次的巡查；如果有異常項目，則需進一步填寫經查巡查表(B)，如表 11 所示，將劣化類型、劣化狀況及位置註記紀錄，提供長官及相關專業工程人員評估未來維修計畫之參據。

定期檢測指的是設施的詳細定期檢測，由於檢測項目包含構造物之水上水下構件，必要時需配合相關儀器設備做專業檢測，建議委託專業廠商來執行檢測，檢測時機建議每 3~5 年至少執行 1 次。委託之專業廠商可依表 12~表 14 不同形式碼頭定期檢測表之各欄位將有劣化之構件紀錄，提供長官及相關專業工程人員評估未來維修計畫之參據。

特別巡查指的是發生重大災害事故(如地震、颱風或船舶撞擊碼頭等事件)後，進行緊急的設施巡查，主要以目視巡查岸上設施使用狀況是否有異常。執行人員可依表 15 碼頭特別巡查表之各

欄位將有劣化之構件紀錄，提供長官及相關專業工程人員評估未來維修計畫之參據。

6.2 防波堤結構

如同前面小節所述，防波堤之經查巡查，執行人員可參考表 16 防波堤經常巡查表(A)之各欄位勾選使用上是否異常現象，如果均無異常，即完成本次的巡查；如果有異常項目，則需進一步填寫經查巡查表(B)，如表 17 所示，將劣化類型、劣化狀況及位置註記紀錄；定期檢測，委託之專業廠商可依表 18 防波堤定期檢測表之各欄位將有劣化之構件紀錄；特別巡查，可依表 19 防波堤特別巡查表之各欄位將有劣化之構件紀錄，提供長官及相關專業工程人員評估未來維修計畫之參據。

6.2 浮動碼頭

如同前面小節所述，浮動碼頭之經查巡查，執行人員可參考表 20 浮動碼頭經查巡查表，將劣化類型、劣化狀況及位置註記紀錄；定期檢測，委託之專業廠商可依表 21 浮動碼頭定期檢測表之各欄位將有劣化之構件紀錄；特別巡查，可依表 22 浮動碼頭特別巡查表之各欄位將有劣化之構件紀錄，提供長官及相關專業工程人員評估未來維修計畫之參據。

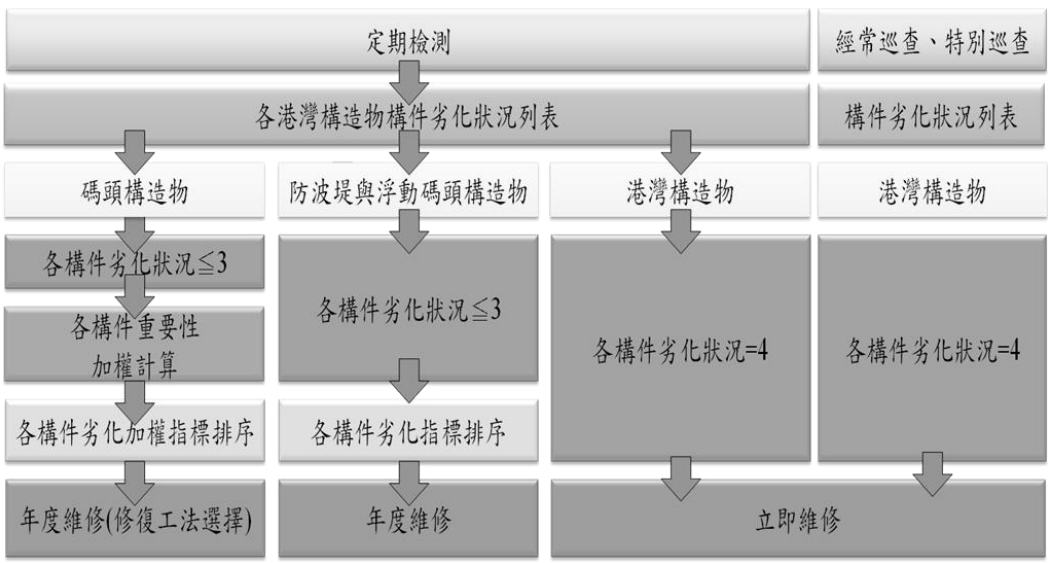


圖 13　維修評估流程

表 10　碼頭經常巡查表(A)

檢測日期	年　月　日	檢測天氣	□晴□陰□雨
港灣名稱		碼頭編號	
檢測單位：　　檢測人：			

是/否	劣化情形
□是 □否	是否跟原有的使用狀態(貨物的使用形態、車輛的使用等)有很大差異。
□是 □否	是否有受到船舶等衝撞的痕跡等情形。
□是 □否	是否出現法線的嚴重變位或是接縫處有明顯的高低差異。
□是 □否	是否出現前沿鋪面下陷、沉陷的現象。
□是 □否	是否出現異常聲響或震動等。
□是 □否	附屬設施(防舷材、繫船柱、車擋等)是否出現異常情形。
□是 □否	是否有使用障礙等情形。

註：上述劣化情形如有「是」者，請再填寫碼頭經常巡查表(B)。

表 11　碼頭經常巡查表(B)

檢測日期	年　月　日	檢測天氣	□晴□陰□雨
港灣名稱		碼頭編號	
檢測單位：　　檢測人：			

碼頭本體									
構件名稱	劣化類型	劣化狀況				劣化單元	劣化位置 (X、Y)	劣化數量 (m、m^2、個)	照片編號
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				

檢測員意見：

表 12　重力式碼頭定期檢測表

編號：_____

檢測日期	年　月　日	檢測天氣	□晴□陰□雨
碼頭基本資料	港灣名稱		碼頭編號	
	碼頭用途	□貨櫃碼頭 □散雜貨碼頭 □客運碼頭 □其他碼頭	
	碼頭型式	■重力式 □板樁式 □棧橋式 □混合式(_____)	
檢測資料	檢測單元[註2]	B____	
檢測單位：　　檢測人：			

碼頭本體

巡查項目		劣化輕微(D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重(D=4)	劣化數量	劣化位置[註3]	照片編號
岸肩	裂縫	□局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	X：　m Y：　m	
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	m^2	X：　m Y：　m	
	沉陷	□岸肩輕微下陷(面積≦5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩明顯下陷(面積≦5 m^2、高度>2.5 cm 或面積>5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩嚴重下陷(面積>5 m^2、高度>2.5 cm)	m^2	X：　m Y：　m	
壁體	裂縫	□局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	X：　m Z：　m	
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	m^2	X：　m Z：　m	
	漏砂	□牆面出現孔洞，但並未漏砂	□牆面裂縫已可觀察出漏砂	□背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂		X：　m Z：　m	

巡查項目		劣化輕微(D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重(D=4)	劣化數量	劣化位置[註3]	照片編號
後線	沉陷	□岸肩輕微下陷(高度≦10 cm、面積≦10 m^2)	□岸肩中等下陷(10≦高度≦ 15 cm、10 m2≦面積≦20 m^2	□岸肩嚴重下陷(高度>15 cm、面積>20 m^2)	m^2	X： m	
法線	變位	—	—	□嚴重變位	m	X： m	
海床	沖刷	□基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約50cm以下	□基礎中等淘刷(沖刷坑深度目視約50~100cm	□基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100cm以上	cm	X： m	
附屬設施							
繫船柱	腐蝕龜裂	□材質輕微鏽損狀況,基座無明顯龜裂情形	□材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形	□材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂	—	—	
防舷材	龜裂破損	□材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損	□材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象	□材質老化、構件變形或掉落	個	第 個	
車擋	龜裂破損	□材質表面輕微龜裂情形	□材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形	□材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	個	第 個	
起重機軌道	腐蝕位移	□兩軌間距左右差≦5mm、鋼軌接縫高差≦3mm	□兩軌間距左右差5mm~10mm、鋼軌接縫高差3mm~4.25mm	□兩軌間距左右差>10mm、鋼軌接縫高差>4.25mm	m	X： m	
檢測員意見：							

表 13 板樁式碼頭定期檢測表

編號：_____

檢測日期	年 月 日	檢測天氣	□晴□陰□雨
碼頭基本資料	港灣名稱		碼頭編號	
	碼頭用途	□貨櫃碼頭 □散雜貨碼頭 □客運碼頭 □其他碼頭	
	碼頭型式	□重力式 ■板樁式 □棧橋式 □混合式(_____)	
檢測資料	檢測單元[註2]	B___	
檢測單位： 檢測人：			

碼頭本體

巡查項目		劣化輕微(D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重(D=4)	劣化數量	劣化位置[註3]	照片編號
岸肩	裂縫	□局部($1m^2$)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部($1m^2$)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	X： m Y： m	
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	m^2	X： m Y： m	
	沉陷	□岸肩輕微下陷(面積≦5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩明顯下陷(面積≦5 m^2、高度>2.5 cm 或面積>5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩嚴重下陷(面積>5 m^2、高度>2.5 cm)	m^2	X： m Y： m	
壁體	接縫開裂	□開裂深度輕微(文公尺可入裂縫約<10cm 深)	□開裂深度中等(文公尺可入裂縫 10~20cm 深)	□開裂深度嚴重(文公尺可入裂縫約>20cm 深)	m	X： m Z： m	
	穿孔	□帶狀區域的鏽蝕、局部小型穿孔(面積小於 5 cm^2)現象	□帶狀區域的鏽蝕、並有局部小型穿孔(面積介於 5~20 cm^2)現象	□連續性多範圍鏽蝕，鋼板樁表面穿孔(面積大於 20 cm^2)擴大且有漏砂現象	m^2	X： m Z： m	
	防蝕性能降低	□海水下，-780mV <防蝕電位< -850mV；潮間帶鋼材塗裝面積破損率 3~5%	□海水下，-650mV <防蝕電位< -780mV；潮間帶鋼材塗裝面積破損率 5~10%	□海水下，防蝕電位< -650mV；潮間帶鋼材無塗裝保護或塗裝面積破損率達 10%以上	mV	X： m Z： m	
後線	沉陷	□岸肩輕微下陷(高度≦10 cm、面積≦10 m^2)	□岸肩中等下陷(10≦高度≦ 15 cm、10 m^2≦面積≦ 20 m^2	□岸肩嚴重下陷(高度>15 cm、面積>20 m^2)	m^2	X： m	
法線	變位	—	—	□嚴重變位	m	X： m	

巡查項目		劣化輕微(D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重(D=4)	劣化數量	劣化位置[註3]	照片編號
海床	沖刷	□基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約 50cm 以下	□基礎中等淘刷(沖刷坑深度目視約 50~100cm	□基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100cm 以上	cm	X： m	
附屬設施							
繫船柱	腐蝕龜裂	□材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形	□材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形	□材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂	—	—	
防舷材	龜裂破損	□材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損	□材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象	□材質老化、構件變形或掉落	個	第 個	
車擋	龜裂破損	□材質表面輕微龜裂情形	□材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形	□材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	個	第 個	
起重機軌道	腐蝕位移	□兩軌間距左右差≦5mm、鋼軌接縫高差≦3mm	□兩軌間距左右差 5mm~10mm、鋼軌接縫高差 3mm~4.25mm	□兩軌間距左右差>10mm、鋼軌接縫高差 >4.25mm	m	X： m	
檢測員意見：							

表 14 棧橋式碼頭定期檢測

編號：_____

檢測日期		年 月 日		檢測天氣		□晴□陰□雨	
碼頭基本資料	港灣名稱			碼頭編號			
	碼頭用途	□貨櫃碼頭 □散雜貨碼頭 □客運碼頭 □其他碼頭					
	碼頭型式	□重力式 □板樁式 □棧橋式 □混合式(_____)					
檢測單位： 檢測人：							
碼頭本體							
巡查項目		劣化輕微(D=2)	劣化中等(D=3)		劣化嚴重(D=4)	劣化數量	劣化位置[註3]
梁	裂縫	□局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm		□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	B____
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≦2.5 cm		□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	m^2	B____
岸肩底部	裂縫	□局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm		□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	S____
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≦2.5 cm		□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	m^2	S____
岸肩	裂縫	□局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm		□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≦2.5 cm		□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	m^2	X： m Y： m
	沉陷(雨天檢視)	□岸肩輕微下陷(面積≦5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩明顯下陷(面積≦5 m^2、高度>2.5 cm 或面積>5 m^2、高度≦2.5 cm)		□岸肩嚴重下陷(面積>5 m^2、高度>2.5 cm)	m^2	X： m Y： m

巡查項目		劣化輕微(D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重(D=4)	劣化數量	劣化位置[註3]
墩柱（混凝土樁）	裂縫	□局部($1m^2$)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部($1m^2$)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	Z： m
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑>15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm	m^2	Z： m
墩柱（鋼管樁）	腐蝕	□局部區域有鏽蝕集中	□帶狀區域的鏽蝕，並有局部小型穿孔	□連續性之鋼管樁鏽蝕，鋼管樁表面穿孔擴大		Z： m
	防蝕披覆破壞	□劣化面積≦0.3%	□0.3%<劣化面積≦10%	□劣化面積>10%	%	Z： m
	防蝕性能降低	□海水下，-780mV <防蝕電位< -850mV；潮間帶鋼材塗裝面積破損率 3~5%	□海水下，-650mV <防蝕電位< -780mV；潮間帶鋼材塗裝面積破損率 5~10%	□海水下，防蝕電位 < -650mV；潮間帶鋼材無塗裝保護或塗裝面積破損率達 10%以上	mV	
後線	沉陷(雨天檢視)	□岸肩輕微下陷(高度≦10 cm、面積≦10 m2)	□岸肩中等下陷(10≦高度≦ 15 cm、10 m2≦面積≦ 20 m2	□岸肩嚴重下陷(高度>15 cm、面積>20 m2)	m^2	X： m
拋石護坡	破壞	□護坡塊石輕微受損(護坡塊石破壞率約 5%以下)	□護坡塊石明顯受損(護坡塊石破壞率約 5%~20%)	□護坡塊石嚴重受損(護坡塊石破壞率約 20%以上)	%	X： m Y： m
海床	沖刷	□基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約 50cm 以下	□基礎中等淘刷(沖刷坑深度目視約 50~100cm	□基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100cm 以上	cm	X： m
法線	變位	—	—	□嚴重變位	m	X： m

附屬設施					
巡查項目		劣化輕微(D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重(D=4)	劣化數量
繫船柱	腐蝕龜裂	□材質輕微鏽損狀況，基座無明顯龜裂情形	□材質明顯鏽損狀況，基座有明顯龜裂情形	□材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂	個
防舷材	龜裂破損	□材質表面褪色、輕微劣化，螺帽鬆脫或缺損	□材質表面劣化明顯，螺栓缺損，靠船時能明顯觀察到龜裂現象	□材質老化、構件變形或掉落	個
車擋	龜裂破損	□材質表面輕微龜裂情形	□材質表面有明顯龜裂，基座有龜裂情形	□材質嚴重龜裂貫穿車擋或多處破損	個
起重機軌道	腐蝕位移	□兩軌間距左右差≦5mm、鋼軌接縫高差≦3mm	□兩軌間距左右差 5mm~10mm、鋼軌接縫高差 3mm~4.25mm	□兩軌間距左右差 >10mm、鋼軌接縫高差>4.25mm	m

表 15 碼頭特別巡查表

檢測日期	年 月 日	檢測天氣	□晴□陰□雨			
碼頭資料	港灣名稱			碼頭編號		
檢測單位：			檢測人：			
碼頭本體						
構件名稱	劣化類型	劣化狀況	劣化單元	劣化位置	劣化數量	照片編號
岸肩	裂縫	裂縫擴散至整個岸肩？是□/否□		X__,Y__	m	
	剝落	鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm 是□/否□		X__,Y__	m^2	
	沉陷	岸肩嚴重下陷(面積>5 m2、高度>2.5 cm)(雨天檢視) 是□/否□		X__,Y__	m^2	
後線	沉陷	岸肩嚴重下陷(高度>10 cm、面積>10 m^2) 是□/否□		X____	m^2	
法線	變位	嚴重變位		X____	m	
附屬設施						
構件名稱	劣化類型	劣化狀況	劣化單元	劣化位置	劣化數量	照片編號
繫船柱	腐蝕龜裂	材質嚴重鏽損與剝落，基座嚴重龜裂是□/否□		—	個	
防舷材	龜裂破損	材質老化、構件變形或掉落是□/否□		第____個	個	
車擋	龜裂破損	材質嚴重龜裂或脫落是□/否□		第____個	個	
起重機軌道	腐蝕位移	兩軌間距高差>=4.25mm、兩軌間距左右差>=10mm、大範圍生鏽影響功能是□/否□		X______	m	
檢測員意見：						

表 16 防波堤經常巡查表(A)

檢測日期	年　月　日	檢測天氣	□晴□陰□雨
港灣名稱		防坡堤編號	
檢測單位：　　檢測人：			
是/否	劣化情形		
□是 □否	是否出現防坡堤頂部的下陷、法線的變位現象。		
□是 □否	是否出現消波工的變位、散亂、沉陷情形。		
□是 □否	是否出現上部結構的損壞現象。		
□是 □否	是否有受到船舶等衝撞的痕跡等情形。		
□是 □否	是否有使用障礙等情形。		

註：上述劣化情形如有「是」者，請再填寫防波堤經常巡查表(B)。

表 17 防波堤經常巡查表(B)

檢測日期	年　月　日	檢測天氣	□晴□陰□雨
港灣名稱		防坡堤編號	
檢測單位：		檢測人：	

防波堤本體									
構件名稱	劣化類型	劣化狀況				劣化單元	劣化位置 (X、Y)	劣化數量 (m、m^2、個)	照片編號
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
		□1 (d)	□2 (c)	□3 (b)	□4 (a)				
檢測員意見：									

表 18 防波堤定期檢測表

編號：_____

檢測日期		□□年□□月□□日		檢測天氣	□晴□陰□雨		
防波堤基本資料	港灣名稱			防波堤編號			
	防波堤型式						
檢測資料	檢測單元	B□□					
檢測單位：		檢測人：					
巡查項目		劣化輕微 (D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重 (D=4)	劣化數量	劣化位置	照片編號
覆面層		□受損不明顯(護面破壞約 <3m^2)，但並未漏砂	□明顯受損(護面破壞約 3~12 m^2)，堤面出現孔洞，但並未漏砂	□嚴重受損(護面破壞約 >12 m^2)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂	m^2	X： m	
堤前(後)坡	裂縫	□局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	X： m Y： m	
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑 >15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑 >15 cm，深度 >2.5 cm	m^2	X： m Y： m	
	沉陷	□岸肩輕微下陷(面積≦5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩明顯下陷(面積≦5 m^2、高度>2.5 cm 或面積>5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩嚴重下陷(面積 >5 m^2、高度>2.5 cm)	m^2	X： m Y： m	
堤頂	裂縫	□局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	X： m Y： m	
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑 >15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑 >15 cm，深度 >2.5 cm	m^2	X： m Y： m	
	沉陷	□岸肩輕微下陷(面積≦5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩明顯下陷(面積≦5 m^2、高度>2.5 cm 或面積>5 m^2、高度≦2.5 cm)	□岸肩嚴重下陷(面積 >5 m^2、高度>2.5 cm)	m^2	X： m Y： m	
	接縫、施工縫位移	□有接縫開裂但沒有滲水現象	□由於位移使得接縫變大，接縫有滲水現象	□有傾倒或嚴重破損情形	m	X： m Y： m	

巡查項目		劣化輕微 (D=2)	劣化中等(D=3)	劣化嚴重 (D=4)	劣化數量	劣化位置	照片編號
胸牆	裂縫	□局部(1m^2)可見到 2 個以下寬度 3mm 以下的裂縫	□局部(1m^2)可見到 3 個以上寬度 3mm 以下的裂縫或裂縫寬度約 3~5mm	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm	m	X： m Y： m	
	剝落	□混凝土輕微剝落且鋼筋尚未露出或剝落寬度直徑≦15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土(或鋼筋網)外露腐蝕，剝落寬度直徑≦ 15 cm，深度>2.5 cm 或剝落寬度直徑 >15 cm，深度≦2.5 cm	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑 >15 cm，深度 >2.5 cm	m^2	X： m Y： m	
	接縫、施工縫位移	□有接縫開裂但沒有滲水現象	□由於位移使得接縫變大，接縫有滲水現象	□有傾倒或嚴重破損情形	m	X： m Y： m	
基礎		□基礎輕微淘刷(沖刷坑深度目視約 50cm 以下)	□基礎中等淘刷(沖刷坑深度目視約 50~100cm)	□基礎嚴重淘刷(沖刷坑深度目視約 100cm 以上)	m^2	X： m	
檢測員意見：							

註：各構件劣化狀況 D=1 表示無異狀。

表 19 防波堤特別巡查表

編號：_____

檢測日期	□□年□□月□□日	檢測天氣	□晴□陰□雨
防波堤基本資料	港灣名稱		防波堤編號	
	防波堤型式			
檢測單位：		檢測人：		

巡查項目		是否為劣化嚴重(D=4)	劣化單元	劣化數量	劣化位置	照片編號
覆面層		□嚴重受損(護面破壞約>12 m^2)，背填砂經由大型破洞露出，或孔內看不到砂		m^2	X： m	
堤前(後)坡	裂縫	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm		m	X： m Y： m	
	剝落	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm		m^2	X： m Y： m	
	沉陷	□岸肩嚴重下陷(面積>5 m^2、高度>2.5 cm)		m^2	X： m Y： m	
堤頂	裂縫	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm		m	X： m Y： m	
	剝落	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm		m^2	X： m Y： m	
	沉陷	□岸肩嚴重下陷(面積>5 m^2、高度>2.5 cm)		m^2	X： m Y： m	
	接縫、施工縫位移	□有傾倒或嚴重破損情形		m	X： m Y： m	
胸牆	裂縫	□裂縫擴散至整個岸肩或裂縫寬度大於 5mm		m	X： m Y： m	
	剝落	□鋼筋混凝土外露腐蝕，且鋼筋底部混凝土剝落，且剝落寬度直徑>15 cm，深度>2.5 cm		m^2	X： m Y： m	
	接縫、施工縫位移	□有傾倒或嚴重破損情形		m	X： m Y： m	

檢測員意見：

表 20 浮動碼頭經常巡查表

檢測日期		□□年□□月□□日		檢測天氣		□晴□陰□雨	
浮動碼頭基本資料	港灣名稱		浮動碼頭名稱		浮動碼頭編號		
檢測單位：			檢測人：				

設施	檢測分類	檢測項目		檢測方法		判定基準	構件編號
浮動碼頭	Ⅰ類	浮臺外部	鋼材腐蝕、龜裂、損傷	目視 ・有無開孔 ・表面損傷狀況	1	□無腐蝕引起之開孔、變形。	
					2	—	
					3	—	
					4	□因腐蝕引起之開孔、變形或其他明顯損傷	
			混凝土劣化損傷	目視 ・裂縫發生方向 ・裂縫發生數量與長度 ・保護層剝落狀況 ・鏽蝕發生狀況 ・鋼筋腐蝕狀況	1	□無變化。	
					2	□輕微裂縫。 □點狀鏽水產生。	
					3	□直徑3mm以下鋼筋之裂縫。 □部分鏽水產生。	
					4	□直徑3mm以上鋼筋之裂縫。 □保護層剝落。 □大範圍鏽水產生。 □貫通的裂縫。	
			混凝土劣化損傷	目視 ・裂縫發生情況 ・鏽蝕發生情況	1	□無變化。	
					2	—	
					3	—	
					4	□有裂縫。 □有鏽水。	
		滑動滾輪組	滾輪劣化、損傷	有無異音	1	□支承部位無異常聲音。	
					2	—	
					3	—	
					4	□從支承部位發出之異常聲音。	
		鋼管樁、鏈條	摩耗、塗裝、腐蝕	鋼管樁、鏈條破裂	1	□無變化。	
					2	□可看見被覆材輕微損傷。	
					3	□鋼管樁有輕微磨耗或孔蝕。 □鏈條被覆材全面龜裂或剝離。	
					4	□鋼管樁有變形、明顯磨耗或開孔。 □鋼管樁有明顯磨耗。	
		聯絡橋	損傷、腐蝕	移動安全性、有無塗裝鏽蝕	1	□塗裝無剝離或生鏽、連絡橋穩定。	
					2	□可看見塗裝之剝離或生鏽。	
					3	—	
					4	□因連絡橋不穩定造成往浮臺間的移動產生困難。	

設施	檢測分類	檢測項目			檢測方法	判定基準		構件編號
	Ⅱ類	岸肩	瀝青混凝土劣化損傷		瀝青混凝土裂縫、凹凸、落差	1	□無變化。	
						2	□可看見部分裂縫。	
						3	□每平方公尺之混凝土舖設部分產生0.5~2公尺以上之裂縫。 □瀝青混凝土舖設部分產生裂縫率達20~30%以上。	
						4	□每平方公尺之混凝土舖設部分產生2公尺以上之裂縫。 □瀝青混凝土舖設部分產生裂縫率達30%以上。 □可看見造成車輛通行或步行障礙之裂縫損傷。	
	Ⅱ類	鋼製浮臺、鋼管樁、鏈條、聯絡橋鋼材	防蝕披覆	塗裝	目視鏽蝕情形・塗膜損壞	1	□初期狀態無任何變化，處於健全狀態。 □缺陷面積率未達0.03%。	
						2	□部分生鏽或凸起等零星散佈各處。 □部分塗膜之剝離或龜裂等零星散佈各處。 □缺陷面積率達0.03%以上未達0.3%。	
						3	□較大生鏽或凸起等廣佈各處。 □伴隨生鏽之剝離範圍分佈各處。 □缺陷面積率達0.3%以上未達10%。	
						4	□大範圍生鏽或凸起等密集廣佈各處。 □伴隨生鏽之剝離範圍廣佈各處。 □缺陷面積率達10%以上。	

表 21 浮動碼頭定期檢測表

檢測日期		□□年□□月□□日		檢測天氣		□晴□陰□雨	
浮動碼頭基本資料	港灣名稱		浮動碼頭名稱		浮動碼頭編號		
檢測單位：			檢測人：				

設施	檢測分類	檢測項目		檢測方法		判定基準	構件編號
浮動碼頭	Ⅰ類	浮臺外部	鋼材腐蝕、龜裂、損傷	目視 ・有無開孔 ・表面損傷狀況	1	□無腐蝕引起之開孔、變形。	
					2	—	
					3	—	
					4	□因腐蝕引起之開孔、變形或其他明顯損傷	
			混凝土劣化損傷	目視 ・裂縫發生方向 ・裂縫發生數量與長度 ・保護層剝落狀況 ・鏽蝕發生狀況 ・鋼筋腐蝕狀況	1	□無變化。	
					2	□輕微裂縫。 □點狀鏽水產生。	
					3	□直徑3mm以下鋼筋之裂縫。 □部分鏽水產生。	
					4	□直徑3mm以上鋼筋之裂縫。 □保護層剝落。 □大範圍鏽水產生。 □貫通的裂縫。	
			混凝土劣化損傷	目視 ・裂縫發生情況 ・鏽蝕發生情況	1	□無變化。	
					2	—	
					3	—	
					4	□有裂縫。 □有鏽水。	
		浮臺內部	本體龜裂、損傷	目視 ・浸水情形	1	□無變化。	
					2	—	
					3	—	
					4	□可看見因裂縫、龜裂或損傷引起之浸水。	
		滑動滾輪組	滾輪劣化、損傷	有無異音	1	□支承部位無異常聲音。	
					2	—	
					3	—	
					4	□從支承部位發出之異常聲音。	
		鋼管樁、鏈條	摩耗、塗裝、腐蝕	鋼管樁、鏈條破裂	1	□無變化。	
					2	□可看見被覆材輕微損傷。	
					3	□鋼管樁有輕微磨耗或孔蝕。 □鏈條被覆材全面龜裂或剝離。	
					4	□鋼管樁有變形、明顯磨耗或開孔。 □鋼管樁有明顯磨耗。	

設施	檢測分類	檢測項目			檢測方法	判定基準		構件編號
		聯絡橋	損傷、腐蝕		移動安全性、有無塗裝鏽蝕	1	□塗裝無剝離或生鏽、連絡橋穩定。	
						2	□可看見塗裝之剝離或生鏽。	
						3	—	
						4	□因連絡橋不穩定造成往浮臺間的移動產生困難。	
	Ⅱ類	岸肩	瀝青混凝土劣化損傷		瀝青混凝土裂縫、凹凸、落差	1	□無變化。	
						2	□可看見部分裂縫。	
						3	□每平方公尺之混凝土舖設部分產生0.5~2公尺以上之裂縫。 □瀝青混凝土舖設部分產生裂縫率達20~30%以上。	
						4	□每平方公尺之混凝土舖設部分產生2公尺以上之裂縫。 □瀝青混凝土舖設部分產生裂縫率達30%以上。 □可看見造成車輛通行或步行障礙之裂縫損傷。	
	Ⅱ類	鋼製浮臺、鋼管樁、鏈條、聯絡橋鋼材	防蝕披覆	塗裝	目視鏽蝕情形 ・塗膜損壞	1	□初期狀態無任何變化，處於健全狀態。 □缺陷面積率未達0.03%。	
						2	□部分生鏽或凸起等零星散佈各處。 □部分塗膜之剝離或龜裂等零星散佈各處。 □缺陷面積率達0.03%以上未達0.3%。	
						3	□較大生鏽或凸起等廣佈各處。 □伴隨生鏽之剝離範圍分佈各處。 □缺陷面積率達0.3%以上未達10%。	
						4	□大範圍生鏽或凸起等密集廣佈各處。 □伴隨生鏽之剝離範圍廣佈各處。 □缺陷面積率達10%以上。	
				重防蝕披覆	潛水調查 ・披覆劣化	1	□無變化。	
						2	□可看見多數未達鋼材之被覆損傷。	
						3	□被覆劣化產生已深入部分鋼材，可確認鋼材腐蝕。	
						4	□加強防蝕被覆之劣化明顯，鋼材呈現腐蝕狀態。	

設施	檢測分類	檢測項目			檢測方法	判定基準		構件編號
				超厚膜型被覆	潛水調查・膜厚測定	1	□無變化。	
						2	□可看見多數未達鋼材之被覆損傷。	
						3	□被覆劣化產生已深入部分鋼材，可確認鋼材腐蝕。	
						4	□超厚膜形被覆之劣化明顯，鋼材呈現腐蝕狀態。	
				耐蝕性金屬披覆	潛水調查、披覆劣化	1	□無變化。	
						2	□可看見多數未達鋼材之被覆損傷。	
						3	□被覆損傷產生已深入部分鋼材，可確認鋼材腐蝕。	
						4	□耐蝕性金屬被覆之明顯損傷，鋼材呈現腐蝕狀態。	
				水中硬化型被覆	潛水調查・膜厚測定	1	□無變化。	
						2	□可看見多數未達鋼材之被覆損傷。	
						3	□被覆劣化產生已深入部分鋼材，可確認鋼材腐蝕。	
						4	□水中硬化形被覆之裂化明顯，鋼材呈現腐蝕狀態。	
				中性石油脂防蝕被覆	潛水調查・保護層、螺栓、螺帽	1	□無變化。	
						2	□保護套變色或白亞化。 □可看見保護套表面細微龜裂。 □螺絲、螺帽等歪斜。 □可看見端部密封(edge seal)之部分剝離。	
						3	□保護套或蓋板發生龜裂。 □可看見螺絲、螺帽腐蝕。	
						4	□保護套脫落、防鏽礦蠟材露出及脫落、鋼材表面生鏽。	
				水泥被覆	潛水調查・保護層、螺栓、螺帽	1	□無變化。	
						2	□可看見保護套變色或白亞化等現象。 □雖然表面發生龜裂，但範圍在1%以下。 □螺栓、螺帽等保護套脫落。	
						3	□可看見保護套或其他保護材發生裂縫、部分保護套發生剝離。 □可看見輕微鏽水痕跡，但無流出鏽水。 □(打開保護材時)水泥砂漿部份發生多數裂縫，可看見鏽水。	
						4	□保護套大範圍脫落。 □水泥砂漿表面發生鏽水。 □水泥砂漿剝落，鋼材表面生鏽。 □(打開保護材或水泥砂漿部分時)、發現鋼材厚度減少。	
			電氣防蝕		電位測定(電極防蝕管理電位)・氯化銀-800mV・飽和硫酸銅-850mV	1	□可維持防蝕之管理電位。	
						2	－－	
						3	－－	
						4	□無法維持防蝕之管理電位。	

表 22 浮動碼頭特別巡查表

檢測日期		□□年□□月□□日		檢測天氣		□晴□陰□雨	
浮動碼頭基本資料	港灣名稱		浮動碼頭名稱		浮動碼頭編號		
檢測單位： 檢測人：							

設施	檢測分類	檢測項目			檢測方法	判定基準	構件編號
浮動碼頭	Ⅰ類	浮臺外部	鋼材腐蝕、龜裂、損傷		目視 ・有無開孔 ・表面損傷狀況	□因腐蝕引起之開孔、變形或其他明顯損傷	
			混凝土劣化損傷		目視 ・裂縫發生方向 ・裂縫發生數量與長度 ・保護層剝落狀況 ・鏽蝕發生狀況 ・鋼筋腐蝕狀況	□直徑3mm以上鋼筋之裂縫。 □保護層剝落。 □大範圍鏽水產生。 □貫通的裂縫。	
			混凝土劣化損傷		目視 ・裂縫發生情況 ・鏽蝕發生情況	□有裂縫。 □有鏽水。	
		滑動滾輪組	滾輪劣化、損傷		有無異音	□從支承部位發出之異常聲音。	
		鋼管樁、鏈條	摩耗、塗裝、腐蝕		鋼管樁、鏈條破裂	□鋼管樁有變形、明顯磨耗或開孔。 □鋼管樁有明顯磨耗。	
		聯絡橋	損傷、腐蝕		移動安全性、有無塗裝鏽蝕	□因連絡橋不穩定造成往浮臺間的移動產生困難。	
	Ⅱ類	岸肩	瀝青混凝土劣化損傷		瀝青混凝土裂縫、凹凸、落差	□每平方公尺之混凝土舖設部分產生2公尺以上之裂縫。 □瀝青混凝土舖設部分產生裂縫率達30%以上。 □可看見造成車輛通行或步行障礙之裂縫損傷。	
	Ⅱ類	鋼製浮臺、鋼管樁、鏈條、聯絡橋鋼材	防蝕披覆	塗裝	目視鏽蝕情形 ・塗膜損壞	□大範圍生鏽或凸起等密集廣佈各處。 □伴隨生鏽之剝離範圍廣佈各處。 □缺陷面積率達10%以上。	

七、結語

為確保港埠之永續經營與維繫我國之經貿發展，制定本土化之港灣設施維護管理制度刻不容緩。而目前國內尚未建立完善的港灣設施維護管理制度，本所基於過去的相關研究成果基礎上，朝制定本土化之港灣構造物維護管理制度目標邁進。但新的制度必定會增加新的規定與工作，對基層人員來說必定會造成很大的負擔與壓力，也勢必會產生抗拒的心態，如此對未來制度的推廣與落實勢必造成阻礙。

本文藉由港灣構造物維護管理制度的介紹說明，讓基層人員及相關決策高層瞭解維護管理制度的架構與如何執行，期望能消弭因不瞭解而產生的抗拒心態，有利未來制度的推行。另外，本文也特別針對未來執行經查巡查、定期檢測與特別巡查，提供簡易的表單供參考應用，以利未來港灣構造物維護管理之推廣落實。

八、參考文獻

1. 日本國土交通省港湾局海岸防災課，”海岸保護設施維護管理手冊”，2015。
2. 日本國土交通省港灣局，” 港湾の施設の維持管理計画策定ガイドライン－第 2 部作成事例”，2015。
3. 邱永芳、蔡瑤堂，”港灣設施維護管理計畫制定指南”，臺灣海洋工程學會，2016。
4. 柯正龍、陳桂清，”港灣碼頭及防波堤現況調查與維護管理之研究(2/2) ”，交通部運輸研究所，2017。

「德翔臺北」貨輪擱淺事件
應用 SCHISM 模擬溢油之擴散

邱啟敏　國立成功大學水利及海洋工程學系博士候選人
莊士賢　國立成功大學海洋科技與事務研究所副教授
黃清哲　國立成功大學水利及海洋工程學系教授兼近海水文中心主任
范揚洺　國立成功大學近海水文中心研發組組長
吳立中　國立成功大學近海水文中心助理研究員
蘇青和　交通部運輸研究所港灣技術研究中心科長
李俊穎　交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究員

摘要

海上油污事件發生初期時，風與流為主導油污擴散及漂移軌跡的驅動力，若能精確地預測風場與流場之演變，將可掌握並預測油污擴散及漂移的軌跡及分佈範圍，有效地進行油污緊急應變之災情控制、清理、與善後等工作處置。SCHISM 為一套三維跨尺度的海洋數值模式，可結合大氣模式預測之風場，精確地模擬海岸地區海流之演變。2016 年 3 月 10 日於新北市石門外海 0.3 海浬處擱淺的「德翔臺北」貨輪，溢洩出的油污嚴重影響當地的海岸環境與生態。本研究以「德翔臺北」貨輪擱淺溢油事件為案例，應用 SCHISM 進行模擬未來三天油污的擴散及漂移軌跡，經與環保署公布的調查結果進行定性比較，證明本研究建置的油污染擴散模擬程序未來可作為海域油污染緊急應變的參考依據。

一、前言

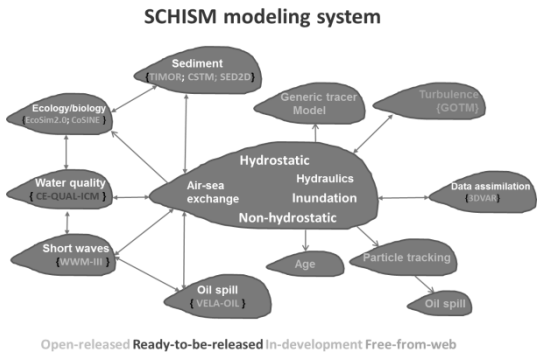
臺灣的經濟海域是各式大型船舶通航頻繁的區域，發生船舶碰撞或操船不慎而擱淺的風險較大，導致船舶溢洩油事件發生頻繁。1982 年決議的聯合國海洋公約法(United Nations Convention on the Law of the Sea) 認定來自船舶的污染物是海洋污染的主要來源之一，其中的油污染不只會對海洋生態與經濟活動造成嚴重衝擊，對應的緊急應變作為也影響到國家的海事管理形象。

海上運輸工具所載運之油料洩漏，或污水傾倒注入海洋後，海域被這些

物質污染，進而影響生物圈之生態平衡，並造成水產資源的嚴重損失。根據北海行動論壇全球協會 (Bremer Umweltvereins Aktionskonferenz Nordsee) 公布的資料顯示，全球海域每年大約有超過 300 萬噸的廢油漂流於海上，其中有 13%是來自於船難漏油。臺灣海域為東亞航運必經之地，經濟快速開發使得臺灣對外的航運更趨頻繁，尤其是石化工業的興起，油品及化學品的進出口更增加了港灣環境管理的不確定性。此外，臺灣東北海域在冬季受到東北季風強烈的吹拂，惡劣的海氣象造成船舶擱淺於北海岸風險增大，曾造成幾次重大的油污染事件，例如 2016 年 3 月 10 日在新北市石門外海發生本國籍「德翔臺北」貨輪擱淺溢油事件，此溢油事件對石門海域之環境與生態造成重大影響。

油污於海上溢洩後，會產生各種風化過程，包含延散 (spreading)、蒸發 (evaporation)、分散 (dispersion)、乳化 (emulsification)、溶解 (dissolution)、氧化 (oxidation)、沉降與沉入 (sedimentation and sinking)、以及生物作用 (biodegradation) 等複雜的物理及化學作用。在油污事件發生初期，延散、蒸發、分散等現象關係著油污緊急應變決策與油污處理能量配置之重要參考依據。

若能在溢油事件發生初期即時掌握油污的擴散及漂移軌跡，將能有效降低油污染對自然環境的衝擊。溢油事件發生地區之預測風場與流場，關係著油污擴散及漂移軌跡的變化。SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydroscience Integrated System Model) 模式系統以海洋流體動力模式為主體 (如圖 1)，並耦合油污擴散、水質擴散、漂砂、波浪等模式。本研究應用 SCHISM 之海洋流體動力模式，結合大氣模式預測風場以及 WWM 波浪模式，來提昇近岸流體動力現象的預測精度，此結果可提供溢油擴散模式預測海面上油污擴散與漂移軌跡，做為油污緊急應變處置之重要參考依據。本研究以「德翔臺北」貨輪擱淺造成油污染事件案例，進行海域油污監測與擴散模擬，並探討油污在新北市石門外海的擴散與傳輸現象。



摘自：http://ccrm.vims.edu/schismweb/

圖 1　SCHISM 海洋數值模式系統

二、海洋數值模式

本研究應用之海洋數值模式包含海洋流體動力與油污擴散模式，以下針

對此二套數值模式分別做說明。

2.1 海洋流體動力模式

SCHISM 海洋數值模式 (2014 年 12 月 13 日前稱為 SELFE) 是由 Zhang 與 Baptista (2008) 以 ELCIRC (Eulerian-Lagrangian CIRCulation) 模式為基礎修改而成，是一個求解三維淺水波方程 (3D shallow-water equaions)、靜水壓方程 (hydrostatic)、包氏近似 (Boussinesq approximations)、與鹽度及溫度的傳輸方程的海洋流體動力數值模式。SCHISM 模式的基本控制方程式有連續與動量守恆方程式，為簡化 SCHISM 模式的方程式，假設流體為不可壓縮，在卡氏座標下水體的連續方程式 (continuity equation)、自由液面運動方程式、及動量方程式可分別寫為

$$\nabla\cdot\mathbf{u}+\frac{\partial w}{\partial z}=0 \qquad (1)$$

$$\frac{\partial \eta}{\partial t}+\nabla\cdot\int_{-h}^{\eta}\mathbf{u}\,dz=0 \qquad (2)$$

$$\frac{\mathbf{D}\mathbf{u}}{\mathbf{D}t}=\mathbf{f}-g\nabla\eta+\frac{\partial}{\partial z}\left(\nu\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial z}\right)-\frac{1}{\rho_0}\nabla P_A$$
$$-\frac{g}{\rho_0}\int_z^{\eta}\nabla\rho\,d\zeta+\nabla\cdot\left(\mu\nabla\mathbf{u}\right) \qquad (3)$$

其中，$\mathbf{f}=-f\,\mathbf{k}\times\mathbf{u}+\alpha g\nabla\psi$。$\mathbf{k}$ 是 z 方向的單位法向量，z 是垂直曲面向外方向。鹽度及溫度傳遞擴散方程式可分別表示如下：

$$\frac{\mathbf{D}S}{\mathbf{D}t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(\kappa\frac{\partial S}{\partial z}\right) \qquad (4)$$

$$\frac{\mathbf{D}T}{\mathbf{D}t}=\frac{\partial}{\partial z}\left(\kappa\frac{\partial T}{\partial z}\right)+\frac{Q}{\rho_o C_p} \qquad (5)$$

以上方程式中之符號標記說明如下：

(x,y)：水平卡式座標(m)；z：垂直座標，向上為正 (m)；$\nabla:(\partial/\partial x,\partial/\partial y)$；$\eta(x,y,t)$：自由液面高度 (m)；$h(x,y)$：水深 (m)；$\mathbf{u}(x,y,z,t)$：水平速度向量，於卡式座標速度分量為 $(u,v)(ms^{-1})$；w：垂直速度 (m/s)；f：科氏力參數；g：重力加速度 (ms^{-2})；$\psi(\phi,\lambda)$：地球潮汐位能 (m)；α：有效地球彈性因子(=0.69)；ρ_0：水密度為 $1{,}025\left(\mathrm{kg\,m^{-3}}\right)$；$P_A$：自由液面的大氣壓力 $\left(N\ m^{-2}\right)$; S, T：水中鹽度 (practical salinity units, (psu)) 與溫度 $(^{\circ}C)$；ν：垂直渦流黏滯係數，$(m^2\,s^{-1})$；μ：水平渦流黏滯係數 $(m^2\,s^{-1})$；κ：鹽度與熱通量垂直渦流擴散係數或熱通量垂直渦流擴散係數 $(m^2\,s^{-1})$；Q：太陽輻射的吸收率 $\left(\mathrm{W\,m^2}\right)$；$C_P$：水的比熱 $(Jkg^{-1}K^{-1})$。

SCHISM 模式水平網格座標系統可結合非矩型與矩形網格，因應不同計算需求能選用卡式或球面座標系統；垂直網格可採用結合 S (terrain-following generalized s-coordinates; Song and Haidvogel, 1994) 座標與 Z (z coordinates) 座標，簡稱 $S\,Z$ 座標系統。另外，陡變地形是許多海洋數值模式的一項重要挑戰，地形陡變會造成壓力梯度變化劇烈，在海洋數值模式計算中會產生偽流 (spurious flow) 的問題 (Zhang et al., 2015)，而 LSC^2 (Localized Sigma Coordinates with Shaved Cells)座

標系統是 SCHISM 模式針對水域中地形陡變變化而發展一個新的數值方法，可有效避免因地形陡變產生偽流的計算誤差。紊流閉合模式採用 Umlauf and Burchard (2003) 的 Generic Length Scale (GLS) turbulence closure，其優點含括了 Rodi (1984) 、Wilcox (1998)、及 Mellor and Yamda (1982) 等紊流閉合模式。

SCHISM 為一套三維跨尺度的海洋數值模式，已成功應用在全世界超過 40 個以上水深地形變化複雜的海岸、潮間帶、河川、以及湖泊等地方，可快速及精確的求解海洋流體動力與物理現象之變化。

2.2 油污擴散模式

SCHISM 模式系統中模擬油污擴散的模式有二套，一為採用質點追蹤(Lagrangian Particle Tracking)方法，另一為耦合葡萄牙國家土木實驗室(National Laboratory of Civil Engineering) 團隊所發展 Eulerian-Lagrangian Method (ELM) 的三維油污擴散與傳輸模式 (2D/3D VOILS)，以描述油污在海洋、海岸以及河川的擴散與傳輸現象。本研究主要針對溢油事件發生初期，為能快速掌握油污擴散及漂移軌跡，故選用 Lagrangian Particle Tracking 的油污擴散模式，可在短時間內預測油污擴散及漂移軌跡之變化。油污質點漂移的軌跡在油污擴散模式中是採用隨機位移模式(random displacement model)，可較精確的描述海面上油污質點的漂移軌跡，方程式可表示如下。

$$X^{n+1} = X^n + \left(U + W_x + \frac{\partial K_x}{\partial x} \right) \Delta t + R\sqrt{6K_x * \Delta t} \quad (6)$$

$$Y^{n+1} = Y^n + \left(V + W_y + \frac{\partial K_y}{\partial y} \right) \Delta t + R\sqrt{6K_y * \Delta t} \quad (7)$$

$$Z^{n+1} = Z^n + \left(W + V_r + \frac{\partial K_z}{\partial z} \right) \Delta t + R\sqrt{6K_z * \Delta t} \quad (8)$$

以上方程式中符號標記說明如下：

X、Y 及 Z：表示 x，y，z 方向之油污質點；水中流速在 x，y，z 方向之分量可分別表示為 U、V 及 W；n：時間步長；$n+1$：下一個時間步長；$*$：$n+1/2$ 步長；Δt：時間步長之平均；R：均勻隨機參數 (uniform random number) $[-1,1]$；x，y，z 方向之紊流擴散係數 (turbulent diffusion coefficients) 分別為 K_x，K_y 及 K_z；x 與 y 方向之風阻速度 (wind dragging speeds) 分別為 W_x 與 W_y；$W_i = c_d \times W_vel_i^{10}$，$c_d$：阻力係數 (dragging coefficient)，一般設定 0.03；V_r：水中浮力造成的油污質點上升速度，可由以下經驗式求得：

$$V_r = \left[\frac{3}{8} g d_i \left(1 - \frac{\rho_o}{\rho_w} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

經驗式中符號標記說明如下：

g：重力加速度 (ms^{-2})；d_i：油滴直徑 (oil droplet diameter)；ρ_0 與 ρ_w 分別為油與水的密度。

SCHISM 模擬油污於海面上擴散的情況，需先給定模擬計算區域在外海開放邊界，水位、流速、海水溫度、海水鹽度等海洋環境資料。另外，海表面氣象資料則有海表面氣壓場 (pressure reduced to mean surface level)、風場 (wind field)、太陽輻射通量 (radiation flux)、空氣的比濕度 (specific humidity)、海表面的氣溫場等。海洋環境資料可應用全球海洋數值模式 (Hybrid Coordinate Ocean Model, HYCOM) 模擬結果，做為 SCHISM 模擬計算區域外部輸入的初始邊界條件。模擬計算區域的海表面氣象初始條件，可自美國國家環境中心 (National Centers for Environmental Prediction, NCEP)的氣象預報系統 (Climate Forecast System, CFS) 或是中央氣象局高精度天氣預報模式 (Weather Research and Forecasting Model, WRF) 取得。本研究海表面氣象初始條件來自於中央氣象局 WRF 氣象模式，由 5 公里高解析度網格模擬得到的結果。

同時，SCHISM 模式已成功耦合 WWM (Wind Wave Model) 波浪模式，波浪場的資料由 WWM 模擬計算得到。利用上述海氣象與波浪資料，經由 SCHISM 模擬石門附近海域流體動力演變的時序列資料，可大幅提昇近岸流體動力現象的模擬精度，也較符合真實海洋環境流體動力的變化現象。將模擬近岸流體動力結果提供油污擴散模式，再預測海面上油污擴散及漂移軌跡，更能精確掌握油污在海面上的狀況。

本研究針對「德翔臺北」貨輪擱淺發生溢油後，利用 SCHISM 模擬未來三天海面上油污擴散及漂移軌跡，提供後續災害應變決策及油污處理能量配置規劃之參考。

三、結果與討論

針對 2016 年 3 月 10 日於新北市石門外海發生「德翔臺北」貨輪擱淺造成溢油事件，本研究以基隆港垂直岸邊往外延伸約 35 公里，水平方向約 70 公里的範圍，建置油污擴散模擬網格系統(如圖 2)。水平座標系統採用有限元素非結構性三角形網格，最小元素邊長約為 16 m，總計共 118,132 個三角元素，垂直座標系統則採用 21 層的混合 *SZ* 座標。

進行油污擴散模擬前，需先模擬水位及潮流的演變，模擬期間自 2016 年 3 月 1 日至 4 月 30 日。圖 3 為麟山鼻潮位站地理位置圖，由圖中顯示麟山鼻潮位站 (圖中 Lin. Tide Gauge 之標示) 距「德翔臺北」擱淺位置 (圖中 T.S. Taipei 之標示) 很相近，也在模擬範圍內，故可做為預測水位之驗證。圖 4 為 2016 年 3 月 16 日 31 日期間，麟山鼻實

測與利用 SCHISM 模擬所得預測水位的比對歷線圖，雖實測水位部份時間有缺損資料，但由結果得知實測與預測的變化趨勢非常一致。

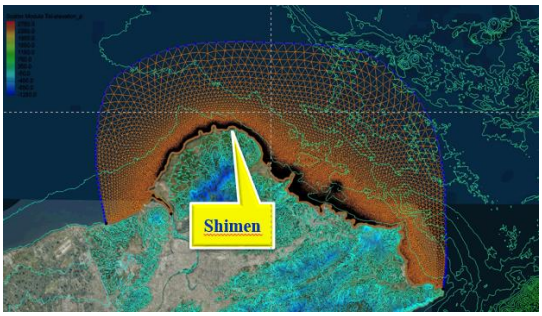


圖 2　石門外海油污擴散模擬網格建置

圖 3　麟山鼻潮位站地理位置圖

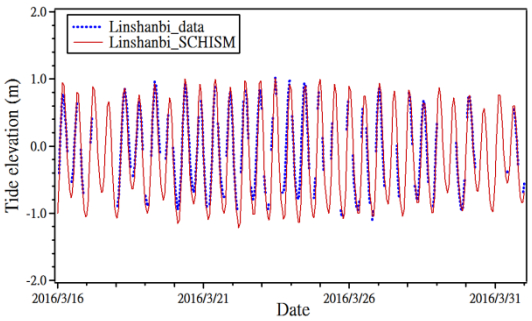


圖 4　2016 年 3 月 16 日至 31 日麟山鼻實測與預測水位之比對歷線圖

石門附近海域海流流場模擬結果如圖 5，圖中箭矢方向表示海流流向，箭矢長度表示海流流速，而背景顏色顯示漲退潮水位之變化。雖然石門海域無長期海流觀測資料可進行比對，但董等人(2014)的研究結果顯示在富貴角離岸 2 公里外的海域，其海流平均流速有超過 70%時間大於 1m/s，觀測期間最大達 3.92 m/s (如圖 6)，而在海流流向部份則呈現與海岸平行方向流動。由上述結果可知，經由 SCHISM 模擬結果得到石門海域海流與圖 6 觀測海流資料比對，在定性比較上有合理性的依據。

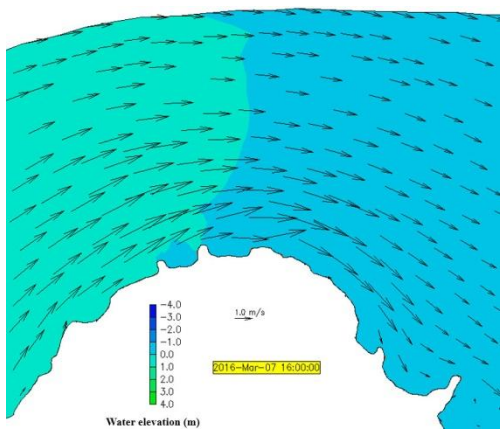
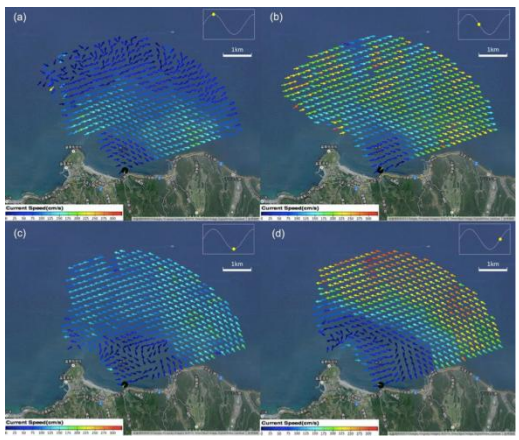


圖 5　石門附近海域之預測海流流場



(摘錄自董等人(2014))

圖 6　富貴角海域各潮時流速分佈圖

另外，本研究團隊於溢油事件剛發生時，立即前往現場以 X-Band 雷達進行表面海流流場及油污擴散監測。圖 7 為 X-Band 雷達監測影像經由影像分析處理技術得到的表面流場分佈圖，圖 8 則為 X-Band 雷達監測海流流速與流向之結果，由圖 7 及圖 8 顯示表面流速約 1 m/sec，流向為沿著海岸方向平行流動。

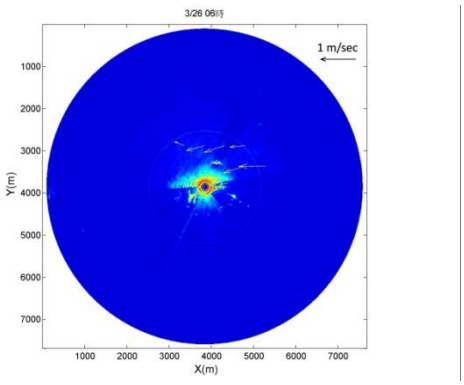


圖 7　X-Band 雷達監測之表面海流分佈圖

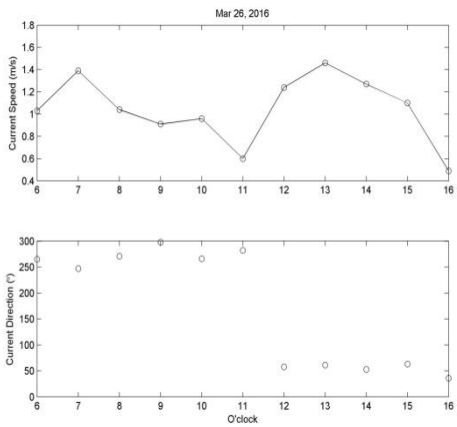


圖 8　X-Band 雷達監測海流流速與流向之結果

溢油初期海面上油污擴散及漂移軌跡除受海流影響外，風也是主要的趨動力，若油污靠近海岸邊且風速小於 10 km/h 時，油污擴散與移動的方向主要受表面流的影響；而在開放的海域，風速大於 20 km/h 時，風會主導油污的擴散 (Fingas, 2014)。「德翔臺北」溢油事件發生期間，同時檢視溢油事件發生位置鄰近中央氣象局富貴角資料浮標的風速資料，觀測資料顯示於 3 月 24 日 17:00 至 3 月 26 日 11:00 期間三秒陣風超過 20 km/h (如圖 9)，依此結果初判油污擴散初期 (1~2 天內) 皆由風所主導。

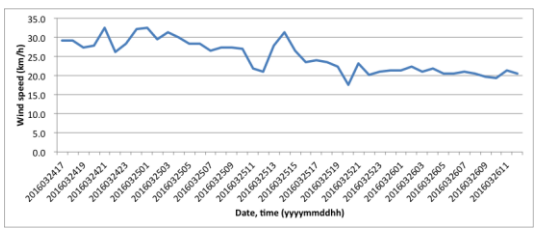


圖 9　中央氣象局富貴角資料浮標三秒陣風時序列圖

本研究模擬案例為參考環保署公布的資訊，假設有 50 公噸燃料油溢洩，以 WRF 氣象模式預測之風場進行溢油擴散模擬。圖 10 為應用 WRF 氣象模式預測之風場，進行溢油擴散模擬三天後結果，圖中紅色表示油污擴散及漂移軌跡的方向，流矢箭頭表示海流流動方向，流矢長度表示海流速度，因「德翔臺北」擱淺位置離岸僅約 300 公尺，由模擬結果顯示，油污受到強烈東北風的影響，快速抵達及影響石門海岸(如圖中

紅色箭頭)，接著受到海流影響，油污沿著東西方向往返黏附在岸邊。另外，圖 11 為環保署公告之油污染範圍 (黃等人，2016)，圖中石門沿岸深棕色為油污污染海岸的範圍。由圖 10 及圖 11 之比對結果顯示，SCHISM 模擬之油污擴散及漂移軌跡與環保署公告之油污影響海岸之範圍非常相符，此也驗證 SCHISM 油污擴散模式之可靠性。

綜合上述結果可知，本研究以 SCHISM 及中央氣象局 WRF 預測風場進行「德翔臺北」溢洩油擴散之模擬，模擬結果顯示油污擴散及漂移軌跡之演變與環保署調查結果非常相近，此亦說明 WRF 預測風場應用在油污擴散模擬之結果，可做為溢油事件緊急應變處置之參考。

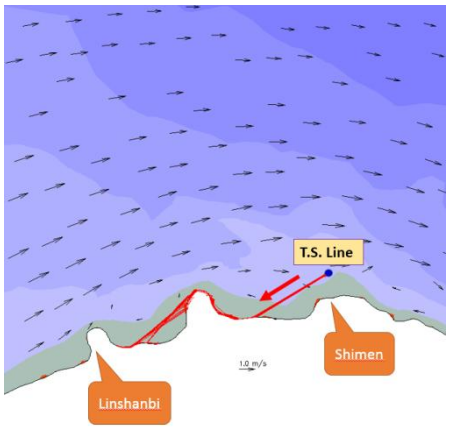


圖 10 「德翔臺北」溢油發生後三天後油污分佈模擬結果，圖中沿岸紅色線表示油污軌跡。

圖 11 「德翔臺北」溢洩油污可能影響範圍 (摘錄自黃等人 (2016))

五、結論與建議

本研究成功應用 SCHISM 模式模擬「德翔臺北」溢油事件油污之擴散，其結果與環保署公布之結果相符。在油污事件發生時，SCHISM 模式可應用中央氣象局 WRF 預測風場，進行油污擴散模擬，以精確掌握油污擴散及漂移軌跡。另外，SCHISM 模式結合大氣資料與海洋環境資料做為邊界初始條件，同時耦合 WWM 波浪模式，可得到高精度的海洋流體動力現象。未來若海岸及港灣地區發生油污染事件，SCHISM 模式能快速掌握海洋流體動力變化與油污

擴散及漂移軌跡，提供政府相關機關做緊急應變決策及油污處理能量配置之參考依據。

本研究已成功應用 SCHISM 模式中 Lagrangian Particle Tracking 方法，模擬海面上油污擴散與傳輸的演變情況。SCHISM 模式系統中有另一套葡萄牙的 2D/3D VOILS 油污擴散模式，此模式可較完整描述在海表面與水團中油污的物理、化學、以及與生物作用之風化現象，未來將再進一步應用 2D/3D VOILS 油污擴散模式，可較精確地描述近岸或港灣地區油污擴散與傳輸的演變情況。

參考文獻

1. 黃暄穎、張君名、張志新，(2016)，「 船舶擱淺引致近岸油汙染衝擊評估 -以德翔台北事件為例」，105 年天氣分析與預報研討會，A5-9，交通部中央氣象局。
2. 董東璟、蔡政翰、陳盈智、顏志偉、馬名軍，(2014)，「應用岸基微波雷達量測近岸海流空間分布」，航測及遙測學刊，第 18 卷，193-1204。
3. Fingas, M., (Ed.), (2014), Handbook of oil spill science and technology. John Wiley & Sons.
4. Mellor, G.L., Yamada, T., (1982), Development of a turbulence closure model for geophysical fluid problems. Rev. Geophys, 20, 851-875.
5. Rodi,W., (1984), Turbulence models and their applications in hydraulics: a state of the art review. International Association for Hydraulics Research, Delft,The Netherlands.
6. Song, Y. and Haidvogel, D., (1994), A semi-implicit ocean circulation model using a generalized topography -following coordinate system. J. Compt. Phys., 115, 228-244.
7. Umlauf, L. and Burchard, H., (2003), A generic length-scale equation for geophysical turbulence models. J. Marine Res, 61, 235-265.
8. Wilcox, D.C., (1998), Reassessment of scale determining equation for advance turbulence models. *AIAA J*, 26, 1299-1310.
9. Zhang, Y., Baptisa, A.M., (2008), SELFE: A semi-implicit Eulerian-Lagrangian finite-element model for cross-scale ocean circulation. Ocean Modelling, 21, 71-96.
10. Zhang, Y. J., Ateljevich, E., Yu, H. C., Wu, C. H., Yu, J. C.S., (2015), A new vertical coordinate system for a 3D unstructured-grid model. Ocean Modelling, 85, 16-31.

高雄港轉口櫃之櫃源與轉運型態分析

謝幼屏　交通部運輸研究所 研究員

摘要

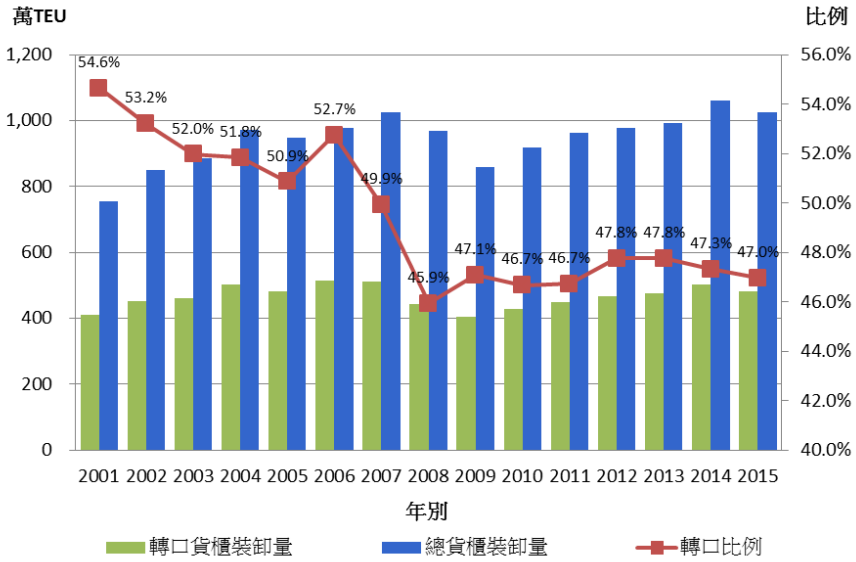
隨著中國大陸與東南亞地區的經濟發展與港口崛起，東亞地區的貨櫃航線愈來愈以大陸沿海、東南亞地區為重心，我高雄港貨櫃轉運功能有減弱之隱憂，本研究針對此課題做探討。內容著重分析高雄港之轉口櫃起迄資料，探討轉口櫃的櫃源、轉運型態，觀察並推論高雄港轉口櫃從過去至現在到未來的轉變趨勢，並按目前態勢研提強化高雄港轉運功能之策略。研究結果顯示：東南亞是高雄港最重要的櫃源地；近來轉運型態呈近洋化趨勢；隨著東協發展，高雄港轉運利基漸失；本研究研提 5 大策略，期強化高雄港轉運功能。

一、緒論

高雄港是臺灣最大的國際商港，亦是臺灣最大的貨櫃港，港口現有貨櫃中心 6 個，營運碼頭 26 座，營運碼頭岸線總長度 8,164 公尺。每年貨櫃裝卸量約有 1,000 萬 TEU 左右，其中轉口櫃的比例高達 4~5 成(如圖 1.1 所示)，以 2015 年資料為例，轉口櫃量 482 萬 TEU，占總裝卸量 1,026 萬 TEU 的 47.0%。

關於高雄港的轉口櫃，十年前文獻(交通部運輸研究所(2005))指出：高雄港位於東北亞、東南亞及中國大陸間之要衝，並為歐洲、亞洲、美洲全球貿易及航路必經之處，地緣位置極佳。對於服務遠東至北美地區間的越太平洋航線而言，航商在航運成本與船舶調配之考量下，船隊通常經過東北亞之日本、韓國後，在到達香港與臺灣後便往東折返，因此香港及臺灣成為此航線之最西側邊界，而對於服務遠東至歐洲間的遠歐航線而言，通常以新加坡為最東側邊界，則兩大主要航線間的遠東地區逐漸形成東北亞以釜山、神戶為轉運中心、東南亞以新加坡為轉運中心，東亞以香港、上海、高雄為轉運中心的軸輻海運系統。

高雄港位居主航線之樞紐位置，可連結短程接駁(集貨)航線及長程遠洋航線，與高雄港相關之主要航線包括下列三大主要貿易航線：



註：原始資料由臺灣港務公司提供，本研究分析整理。

圖 1.1 高雄港歷年轉口櫃量與轉運比例

1. 越太平洋航線：連接遠東至北美西岸之加拿大、美國地區之主要航線，部分航線經巴拿馬運河至北美東岸地區。
2. 遠歐航線：連接遠東經蘇伊士運河至歐洲地區之主要航線，途經中東、地中海地區，部分航線越過大西洋至北美東岸地區。
3. 亞洲區域航線：連接東北亞、東亞及東南亞各港埠間之近洋航線。

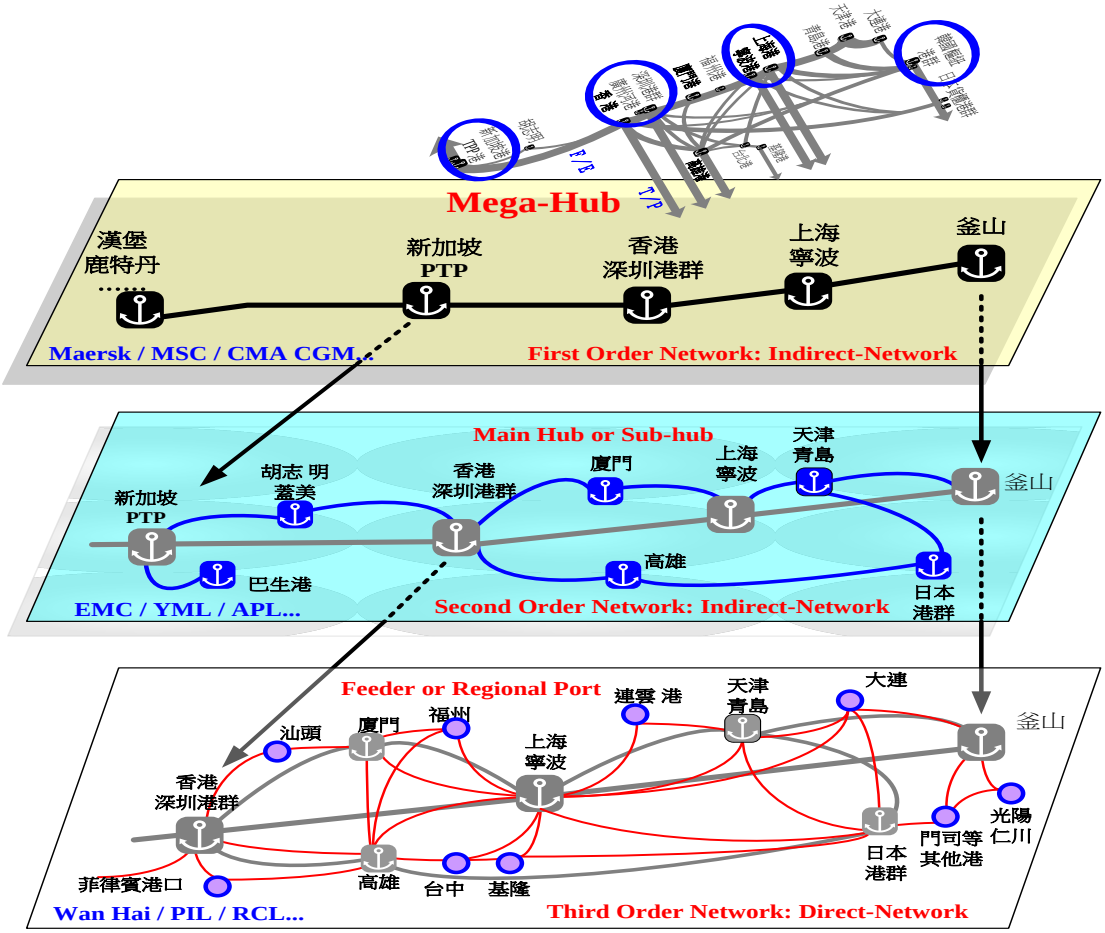
當時，高雄港轉口櫃之櫃源與轉運型態：有東南亞菲律賓、泰國、越南，以及中國大陸福州、廈門等地的貨櫃，透過高雄的越太平洋航線運往北美西岸 (Chaug-Ing Hsu, and Yu-Ping Hsieh(2005)、交通部運輸研究所(2009a))；有東北亞、中國大陸東北地區的貨櫃經高雄的遠歐航線運至中東、地中海與歐洲地區；有東南亞與東北亞間的貨櫃，在高雄港透過區域航線轉運；亦有運往中國大陸的空櫃經高雄港轉運。

近十年來，隨著中國大陸與東南亞地區的經濟發展與港口崛起，以及貨櫃船大型化的趨勢，亞太地區的貨櫃航運模式已產生本質上的轉變。文獻指出：亞太地區的航運網路在 2008 年時已有「越太平洋多線化、平行化，遠歐航線單線化、母船集貨化」的趨勢；此一趨勢發展至 2011 年後更加顯著。(戴輝煌、徐文華(2008)、交通部運輸研究所(2009b)、交通部運輸研究所(2012)、交通部運輸研究所(2013a))。

後續研究(交通部運輸研究所(2013b))指出：此一航線變化趨勢對高雄港而言，因「越太平洋航線多線化、平行化」的趨勢，顯示中國大陸的出口貨源充裕，其各港貨源足以開闢直航航

線，而不需經其他亞太地區港口轉運，則高雄港欲發展為貨櫃轉運中心的目標，能獲得中國大陸貨源支援的櫃量不會很大。而「遠歐航線單線化、母船集貨化的趨勢」，使得東北亞的日韓、中國大陸各港、東南亞 3 個區域串聯成一條線，臺灣港口則位居其外。

則亞太地區的港口未來可能形成 3 個層級的港口，如圖 1.2 所示。第 1 層港口為日班服務船舶靠泊的洲際樞紐港(Mega Hub)；第 2 層港口為區域性主要轉運樞紐港(Main Hub)；第 3 層為區域港口(Regional Port)。推論高雄港未受航商青睞成為洲際樞紐港，未來可能轉為區域性樞紐港，或稱做次樞紐港(Sub-hub)，港口除了擔任港口經濟腹地本身之進出口貨櫃運輸之功能外，並擔負非日班服務之主航線與鄰近集貨港(Feeder Ports)往來航線間的轉運功能，以及與鄰近區域港口(Regional Ports)間的近洋航線運輸功能。



資料來源：交通部運輸研究所(2013b)。

圖 1.2 未來亞太地區主航線之港口佈署層級圖

近五年來，東亞地區的貨櫃航線愈來愈以大陸沿海、東南亞地區為重心，我高雄港貨櫃轉運功能有減弱之隱憂，再隨著貨櫃船大型化、亞太各港快速建設，以及航運環境轉變，高雄港的樞紐港地位已逐漸轉弱，是否高雄港轉口櫃的櫃源與轉運型態依舊？本研究針對此一課題做探討分析。

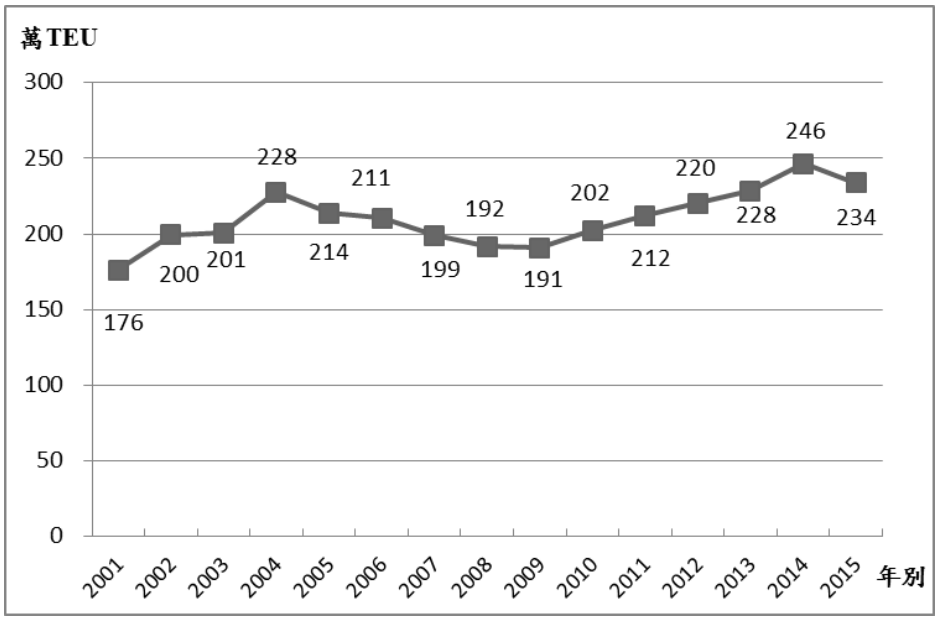
接下來，第二節分析高雄港轉口重櫃的起迄國別櫃量資料，探討目前高雄港轉口櫃的櫃量、櫃源、轉運型態，以及最主要的櫃源地。第三節運用學者專家訪談法，推測未來高雄港轉口櫃的發展趨勢，並研提強化高雄港轉運功能之策略。最後，第四節提出綜合簡要的結論。

二、轉口櫃起迄資料分析

關於轉口櫃，我政府關稅總局有依國家區分之轉口重櫃起迄資料，雖不含空櫃資料，且資料未詳細至起迄港，但已可大致掌握轉口櫃之櫃量、櫃源與轉運型態，在此依據該項資料進行高雄港的轉口櫃資料分析。

2.1 轉口重櫃量

高雄港 2001~2015 年的轉口重櫃量介於 170 萬~250 萬 TEU，呈上下波動情形，2009 年後的櫃量先增加而後減少，至 2015 年達 234 萬 TEU。歷年櫃量如圖 2.1 所示。



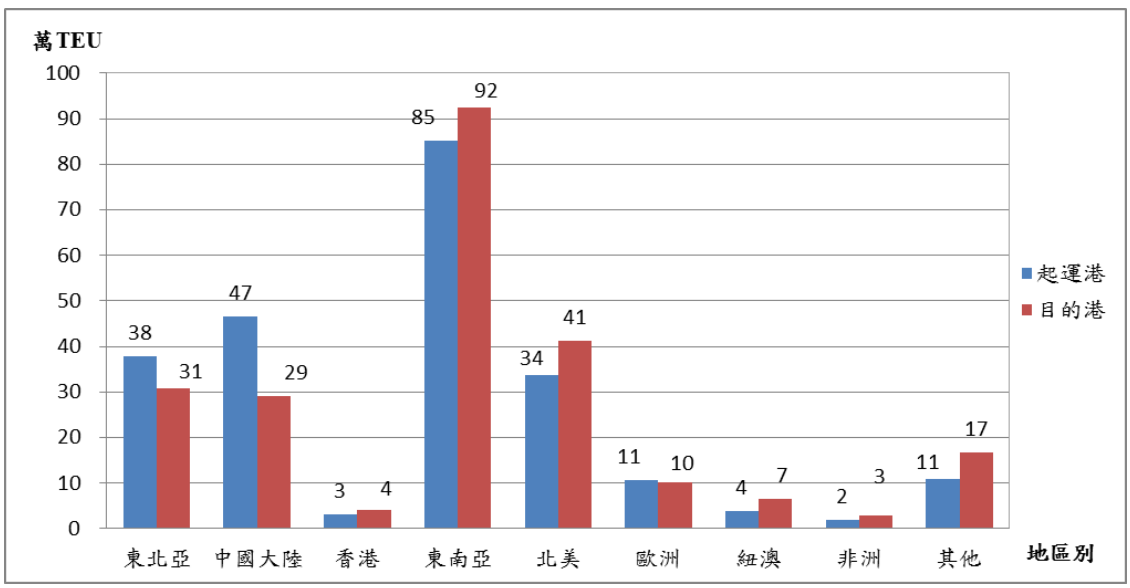
註：原始資料由臺灣港務公司提供，本研究分析整理。

圖 2.1 高雄港歷年轉口重櫃量變化圖

2.2 櫃源地分析

本研究將該資料按起迄國所在的區域，區分為 9 大區域：東北亞、中國大陸、香港、東南亞、北美、歐洲、紐澳、非洲、其他區域。分析結果顯示：2015 年高雄港的 234 萬 TEU 轉口重櫃，資料若依起運國來分，其中 85 萬 TEU (36.4%)來自東南亞、52 萬 TEU (21.3%)來自中國大陸與香港地區、38 萬 TEU (16.1%)來自東北亞、34 萬 TEU (14.5%)來自北美地區，至於歐洲、紐澳、非洲與其他地區的轉口櫃量較低，合計約 27 萬 TEU (11.7%)。

資料若依目的國來分，其中 92 萬 TEU (39.5%)運至東南亞、33 萬 TEU (14.2%)運至中國大陸與香港地區、31 萬 TEU (13.1%)運至東北亞、41 萬 TEU (17.6%)運至北美地區，同樣地，歐洲、紐澳、非洲與其他地區的轉口櫃量較低，合計約 36 萬 TEU (15.5%)。如圖 2.2 所示。



註：原始資料由臺灣港務公司提供，本研究分析整理。

圖 2.2 高雄港 2015 年各區域轉口重櫃量

綜而言之，高雄港轉口櫃的櫃源主要在鄰近區域(東南亞、中國大陸、香港與東北亞)。轉口櫃中有 73.9% (173 萬 TEU)來自這些地區，有 66.9% (156 萬 TEU)運至這些地區。其中又以東南亞是高雄港最重要的櫃源地，轉口櫃中有 85 萬 TEU (36.4%)來自東南亞，有 92 萬 TEU (39.5%)運至東南亞。

至於遠洋地區的轉口櫃，櫃源主要在北美地區(美國、加拿大)，歐洲地區的櫃量少很多，其他紐澳、非洲、其他地區的轉口櫃量則更少。惟需注意的是，紐澳、非洲、其他地區的櫃量原本就少，轉口櫃量少是合理的，但是遠歐航線是現今全球最重要的貿易航線，近幾年的櫃量已超過越太平洋航線，高雄港

與歐洲地區間的轉口櫃量不大，理由應是遠洋貨櫃航商沒有選擇高雄港為其轉運港，靠泊高雄港的遠歐航線過少所致。按運輸研究所(2014)的航線資料顯示，在 2013 年第一季的遠歐航線共計有 24 條，只有其中 3 條靠泊高雄港。

2.3 近期櫃量變化分析

為了解近幾年轉口櫃量的變化趨勢，本研究進一步比較高雄港 2015 年與 2012 年的轉口重櫃量。表 2-1 詳列高雄港 2015 年相對於 2012 年之各起迄區域轉口重櫃變化情形。

表 2-1 高雄港 2015 年相對於 2012 年之各起迄區域轉口櫃量變化情形

目的港\起運港		東北亞	中國大陸	香港	東南亞	北美	歐洲	紐澳	非洲	其他	總計
東北亞	櫃量	403	7,243	-1,133	12,087	14,762	3,922	1,211	447	9,295	**48,237**
	%	0.01%	0.27%	-0.06%	0.09%	0.56%	0.10%	0.04%	0.01%	0.37%	**1.38%**
中國大陸	櫃量	4,860	-	-298	**24,320**	42,287	9,237	5,918	3,825	7,098	**97,247**
	%	0.16%	-	-0.02%	0.84%	1.70%	0.34%	0.25%	0.15%	0.22%	**3.65%**
香港	櫃量	8,980	-11,119	-	328	1,411	-1,372	1,784	113	1,778	**1,903**
	%	0.37%	-0.51%	-	-0.01%	0.04%	-0.07%	0.08%	0.00%	0.07%	**-0.02%**
東南亞	櫃量	**11,354**	**40,869**	**-31,829**	**9,737**	**-50,984**	**18,326**	**9,688**	-5,231	-1,653	**277**
	%	0.04%	1.21%	-1.49%	-0.04%	-2.82%	0.72%	0.38%	-0.25%	-0.17%	**-2.42%**
北美	櫃量	2,131	-22,290	-887	**-11,095**	29	0	-2,689	115	-420	**-35,106**
	%	0.07%	-1.23%	-0.05%	-1.32%	0.00%	0.00%	-0.13%	0.00%	-0.03%	**-2.68%**
歐洲	櫃量	450	4,652	0	5,256	202	165	163	0	17	**10,905**
	%	-0.16%	0.17%	0.00%	0.20%	0.01%	0.01%	0.01%	0.00%	0.00%	**0.23%**
紐澳	櫃量	907	10,944	-104	5,506	-5,018	1,354	0	31	2,771	**16,391**
	%	-0.01%	0.43%	-0.01%	0.23%	-0.25%	0.06%	0.00%	0.00%	0.12%	**0.57%**
非洲	櫃量	2,424	-6,726	0	708	-164	28	568	0	229	**-2,933**
	%	0.06%	-0.32%	0.00%	0.03%	-0.01%	0.00%	0.02%	0.00%	0.01%	**-0.21%**
其他	櫃量	-7,830	7,289	1,336	81	-4,432	-33	2,453	23	-463	**-1,576**
	%	-0.46%	0.16%	0.05%	-0.13%	-0.21%	0.00%	0.10%	0.00%	-0.02%	**-0.51%**
總計	櫃量	**23,679**	**30,862**	**-32,915**	**46,928**	**-1,907**	**31,627**	**19,096**	**-677**	**18,652**	**135,345**
	%	**0.08%**	**0.18%**	**-1.58%**	**-0.11%**	**-0.97%**	**1.15%**	**0.76%**	**-0.08%**	**0.56%**	**0.00%**

註：原始資料由臺灣港務公司提供，本研究分析整理。

整體而言，高雄港 2015 年的轉口櫃量(234 萬 TEU)較 2012 年(220 萬 TEU)增加了 14 萬 TEU。再分析各區域的變化，可以看出：

1. 以東北亞、中國大陸為起運港、目的港的櫃量均增加，可能受惠於區域經濟之發展。
2. 以北美地區為起運港、目的港的櫃量均減少。特別是東南亞轉運至北美之櫃量減少 1.1 萬 TEU，北美轉運至東南亞之櫃量少 5.1 萬 TEU，顯示高雄港轉運北美與東南亞間貨櫃的功能正在減弱，可能是東南亞港口興建後，大船直靠，貨櫃直接以大船運送至美北地區。
3. 北美轉運至中國大陸的櫃量增加 4.2 萬 TEU，但相反的，中國大陸轉運至北美的櫃量卻減少 2.2 萬 TEU。推測可能是隨著中國大陸的經濟發展，消費能力提升，進口貨量增加，連帶提升了北美經高雄港轉入中國大陸的櫃量。
4. 以香港為起運港、目的港的轉運比例均減少，特別是由香港轉至東南亞的櫃量減少 3.2 萬 TEU，由中國大陸轉運至香港的櫃量減少 1.1 萬

TEU。推測可能是中國大陸珠江三角洲與東南亞地區的貨櫃不經香港進出，而改由珠江三角洲其他港口進出。

5. 以歐洲、紐澳地區為起運港、目的港的櫃量均增加。推測亦是隨著東協興起，東亞地區整體的生產與消費能力均快速增加，不僅區域內的貨櫃運輸需求增加，區域間的貨櫃運輸需求亦增加，則促使歐洲、紐澳地區經高雄港轉運的櫃量亦隨之增加。

透過櫃量變化分析，可以得出以下幾點推論：

1. 近幾年，隨著東南亞地區的經貿快速發展，亞太區域的整體貨櫃運輸需求增加，高雄港的近洋轉近洋航線的轉口櫃量亦隨之增加。
2. 不僅亞太區域內的貨櫃運輸需求增加，亞太區域與其他區域間的貨櫃運輸需求亦增加，促使高雄港的歐洲、紐澳地區轉口櫃量亦隨之增加。
3. 但東南亞地區發展後，遠洋大貨櫃船直靠東南亞港口，愈來愈多貨櫃不經高雄港轉運，則高雄港轉運北美與東南亞間貨櫃的功能正在快速減弱中。
4. 香港運送中國大陸貨櫃的功能已逐漸被珠江三角洲的中國港口所取代，如深圳、廣州港。

2.4 轉運型態分析

進一步將轉口櫃起迄區域按高雄港的遠近洋航線來區分，即考慮到高雄港與東北亞、中國大陸、香港、東南亞地區之間為近洋航線，高雄港與美洲、歐洲之間為遠洋航線，則高雄港的轉口櫃起迄區域資料可按轉運型態區分為 4 類：1.近洋轉近洋；2.遠洋轉近洋；3.近洋轉遠洋；4.遠洋轉遠洋。則可以比較高雄港 2012 年與 2015 年遠近洋航線間的轉口櫃量與變動情形，如表 2-2 所示。

表 2-2 高雄港 2012 年與 2015 年遠近洋航線間的轉運情形

轉運型態	2012 年		2015 年		變動情形	
	櫃量(TEU)	%	櫃量(TEU)	%	櫃量(TEU)	%
1.近洋轉近洋	905,215	41.08	981,017	41.95	75,802	0.86
2.遠洋轉近洋	511,415	23.21	583,277	24.94	71,862	1.73
3.近洋轉遠洋	753,685	34.21	746,437	31.92	-7,248	-2.29
4.遠洋轉遠洋	33,116	1.50	28,045	1.20	-5,071	-0.30

註：原始資料由臺灣港務公司提供，本研究分析整理。

分析結果顯示：近 4 年(2012~2015 年)轉運型態中的近洋轉近洋之轉運比例提高 0.86%，相較於 2001~2012 年近洋轉近洋的轉運比例增加 12.93% (高毓

蔚(2013)) 而言，顯示高雄港的轉運型態仍持續「近洋化」，但近洋化的趨勢已經減緩。

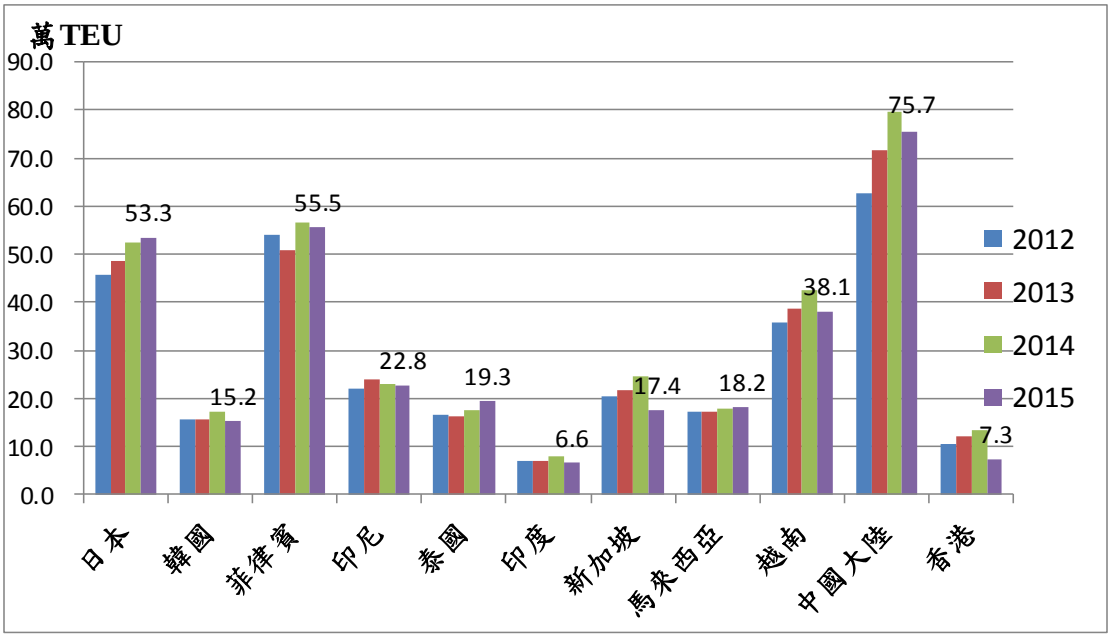
推測近幾年之近洋轉近洋比例增加的原因有二：一是隨著中國大陸、東南亞、南亞地區的經濟發展，亞太地區的貨櫃運輸需求大增，促使整個航運網路的近洋航線貨量大增，則近洋轉近洋航線的轉口櫃量自然隨之增加。

二是在東南亞、南亞地區的經濟發展後，貨量大增，不但造成東南亞地區的直迄航線增加，即東南亞地區的貨櫃直接以遠洋航線運至北美地區，而不經高雄港轉運；亦造成美東航線西向化，即東南亞地區運往美東地區的貨櫃，原本往東越過太平洋、巴拿馬運河而至美東地區，航線改成往西穿過蘇伊士運河、大西洋而至美東地區。前者直接造成東南亞經高雄港的轉口櫃量減少，後者造成高雄港的美東航線減少，兩者均影響近洋轉遠洋航線的轉口櫃量，進而促使近洋轉近洋的轉運比例增加。

無論如何，由長期發展趨勢(2001~2015 年)來看，隨著亞大區域經濟的往來熱絡，以及高雄港遠洋航線的漸趨減少，高雄港的轉運功能已愈來愈確定在區域轉運中心。

2.5 重要櫃源地探討

亞太地區是高雄港轉口櫃的主要來源，鄰近各國 2012~2015 年經高雄港轉運之重櫃量統計如圖 2.3。2015 年轉口重櫃量排名前 4 名的國家依序為中國大陸(75.7 萬 TEU)、菲律賓(55.5 萬 TEU)、日本(53.3 萬 TEU)、越南(38.1 萬 TEU)，以下分別探討。



註：原始資料由臺灣港務公司提供，本研究分析整理。

圖 2.3 東亞各國 2012~2015 年經高雄港轉運之重櫃量

1. 中國大陸

中國大陸是高雄港轉口櫃量最大的國家，2012~2015 年的櫃量約 60~80 萬 TEU。其中，以中國大陸為起運港的櫃量較多，約佔 6 至 7 成，但以中國大陸為目的港的櫃量 4 年來則持續增加。

2. 菲律賓

菲律賓在 2012~2015 年經高雄港轉運的櫃量約 55 萬 TEU/年左右，由於菲國是一進口導向國家，轉運至菲律賓的櫃量較多，約 40 萬 TEU/年，而來自菲律賓的轉口櫃量較少，約 15 萬 TEU/年。目前菲國的遠洋航線少，貨櫃多半採轉運運送，而高雄港是距離菲國最近的轉運港，每季約有 21 條越太平洋航線直達美西或美東，且貨櫃透過高雄港轉運至菲律賓的航程並不會增加多少，是以高雄港在吸引菲律賓轉口櫃上具有優勢。惟近來航商在菲國佈署遠洋航線的情況似略有增加，菲國的轉口櫃量變化值得觀察與注意。

3. 日本

日本在 2012~2015 年經高雄港轉運的櫃量約 50 萬 TEU 左右，呈現逐年上升的趨勢。其中，來自日本的櫃量較運至日本的櫃量多，兩者約為 3:2。

4. 越南

越南在 2012~2015 年經高雄港轉運的櫃量約 35~43 萬 TEU，轉入與轉出的櫃量大約各半。隨著越南蓋梅港的營運與成長，愈來愈多的遠洋航線直靠蓋梅港，且越南政府亦鼓勵原本由北越、中越運至新加坡、香港、高雄轉運的貨櫃，改由蓋梅港轉運，未來越南地區的轉口櫃量變化亦值得注意與觀察。

由以探討可知，4 個重要櫃源地中，越南與菲律賓的轉口櫃可能產生運送型態上的轉變，未來發展情形值得觀察與注意。

三、強化高雄港轉運功能之策略探討

3.1 研究方法設計

在研提強化高雄港轉運功能之方法上，本研究採用「學者專家深度訪談法」，借重學者專家在航港產業上多年的專業知識與經驗，讓研提出來的策略更具可行性與有效性。研究方法如圖 3.1 所示。

首先，依據高雄港現況與未來發展情形，以及影響高雄港轉運功能的因素，初步研擬強化高雄港轉運功能之策略，然後據以設計訪談課題。

訪談對象選擇在航港學術界或產業界有多年工作經驗的學者或專家，先行與受訪者聯絡好進行面對面訪談的時間、地點，然後將設計好的訪談課題以電子郵件寄給受訪者預先審視，在正式訪談時再將問題當面提出討論。一方面讓訪談者協助詳細檢視初擬策略的可行性與有效性，另方面透過課題討論，讓受訪者的思緒專注在此課題，在訪談過程中一同進行腦力激盪，思考所有可能的策略與方法。

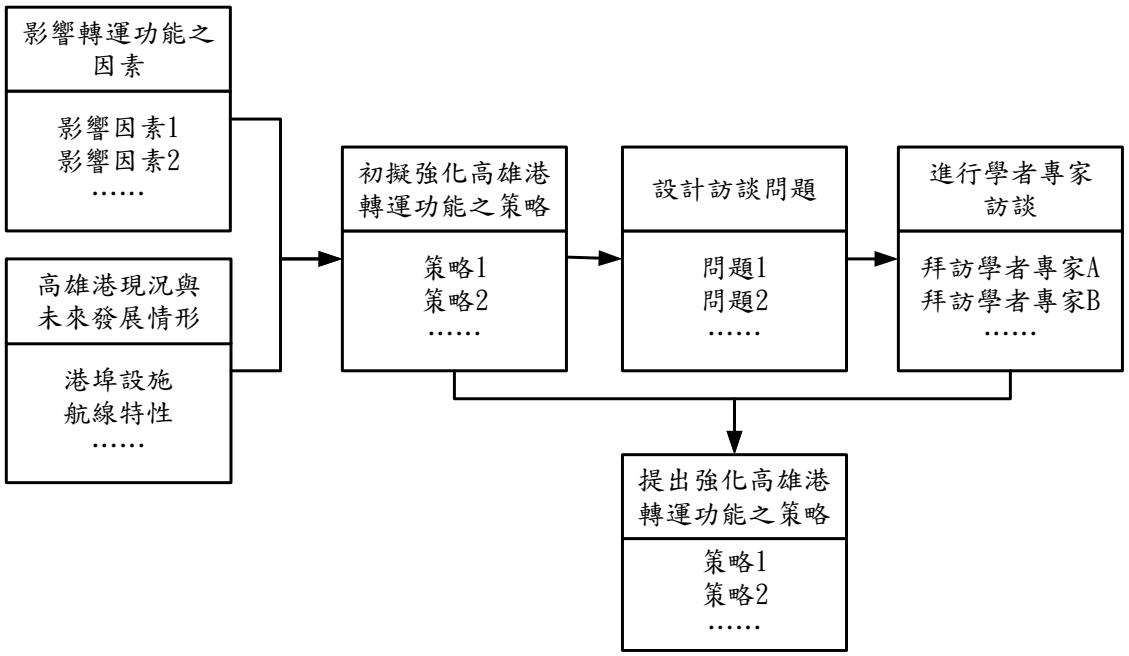


圖 3.1 學者專家深度訪談法

3.2 初擬策略與設計訪談課題

在初擬策略時，考慮到轉口貨櫃的產生，主要是由航商的運輸行為所產生，而影響航商行為的因素主要是港口特性與航商偏好。本研究在考量過相關影響轉運功能之因素後，擬從降低轉運成本、強化航運網路、發展物流與專用貨櫃碼頭等方面著手，初步提出以下 6 項強化高雄港轉運功能之策略。

策略 1、2 是降低轉運成本策略，考慮到轉口櫃主要由航商帶來，提出透過以低價出租貨櫃碼頭給航商，或者採用補貼、獎勵措施等方式來降低航商成本，以穩住或避免轉口貨櫃流失。

策略 3、4 是強化航運網路策略，考慮到便捷且密集的航運網路是吸引航商在高雄港轉運貨櫃的因素之一，提出透過對航商開闢新航線給予獎勵，以強化高雄港的轉運功能，並提出透過獎勵開闢遠洋航線，以維持既有遠洋航線轉口櫃的想法。

策略 5 是發展物流策略，目前高雄港在南星計畫區發展物流，提出加強發展港埠物流、港口加值服務，以達到強化高雄港轉運功能之目的。策略 6 是發展七櫃策略，考慮到高雄港第七貨櫃中心的 2.5 座深水碼頭預計在 107 年完工，提出善加利用七櫃深水碼頭，以強化高雄港轉運功能之想法。

接下來按照初擬的策略，設計訪談表單，做為與受訪者溝通與交流的媒介。訪談表單內除針對上述 6 項初擬策略做訪談外，並請受訪者對於未來 5 年高雄港的轉口貨櫃量提出看法，再就強化高雄港轉運功能提出其他的策略與方法。

3.3 訪談結果分析與策略研提

本研究在 105 年 12 月 15、22 日進行學者專家訪談，選擇拜訪在航港方面有 20 年以上經驗的 3 位學者專家。訪談結果顯示：受訪的 3 位學者專家對於未來 5 年高雄港轉口貨櫃量的看法，多傾向保守。

主要原因是臺灣本身的進出口貨櫃貨源相對低於中國大陸，東協發展後，進出口貨櫃貨源也相對低於東南亞地區。海運界不變的真理是「貨在哪裡，船就開往哪裡。」隨著中國大陸、東南亞、南亞一帶的逐漸發展，鄰近地區的國際航運網路已隨之改變，無論是遠洋主航線或是區域航線，均逐漸往這些地區佈署。

高雄港雖有良好的軟硬體設施，有高效率、低成本的裝卸服務，有國籍航商佈置的密集航運網路，但港口進出口貨櫃的貨源係由國家經貿發展情況決定，港埠主管機關能做的係局限於航港政策與港口經營管理等航港相關工作，僅能將這些工作做好，瞭解整個大環境的變化趨勢，順勢而為。

雖然，由鄰近航運網路的發展態勢，以及國際航港環境的變化來看，1~2 年內的轉口貨櫃量仍能保持現有水準，但後續櫃量會逐漸下降的可能性極高。但港埠主管機關仍應推出因應策略，來設法維持住目前的營運水準，並以追求貨量穩定成長為目標。因為轉口貨櫃量的多寡將影響到臺灣整個航港產業的發展，無論是貨櫃航商、碼頭營運商、裝卸業者、貨物承攬業、拖船、引水、帶解纜等等，維持住轉口貨櫃的裝卸量，就可以維持住相關產業的收益，避免業者倒閉、從業人員失業等問題發生。因此，在整體營運環境不佳的情勢下，主管單位更應重視問題，積極推出相關策略，以追求轉口貨櫃量穩定成長為目標。

在做完深度訪談後，本研究將原提出之初擬策略，納入學者專家的建議與意見後，提出以下策略。

1. 策略 1：持續實施獎勵措施，吸引航商續留高雄(短期策略)

高雄港的轉口貨櫃主要由承租碼頭的航商帶來，透過補貼或獎勵措施來降低航商成本。另外，便捷且密集的航運網路是吸引航商在高雄港轉運貨櫃的因素之一，可針對部分航線提出港埠費率優惠措施，以強化高雄港的轉運功能。

2. 策略 2：促進港內業者合作，提升整體服務品質(中期策略)

促進高雄港內碼頭業者相互合作整合，達到整體服務品質與效率提升、吸引聯盟航商進駐之目的。

3. 策略 3：妥善協調既有業者，促使七櫃順利營運(中期策略)

積極尋找七櫃的經營業者，妥善協調既有碼頭業者、處理舊碼頭、解決聯外交通問題，以促成七櫃順利營運，達到提升高雄港貨櫃運輸服務品質之目的。

4. 策略 4：配合新南向政策，投資東協港口(中長期策略)

配合新南向政策，投資東南亞、南亞地區的中小港口，與當地業者合作，將貨櫃運至高雄港轉運，並維持住東南亞小港口的集貨航線。

5. 策略 5：善用港口條件，發展港埠物

流(中長期策略)

善用「委外加工」與高雄港本身港口條件來吸引產業進駐，據以發展物流配銷、簡易加工、委外加工等港內貨櫃加值服務，以達到提升港口服務多元化、強化高雄港轉運功能之目的。

四、結論

本研究分析高雄港的轉口櫃資料，結果顯示：現今高雄港的轉口櫃裝卸量約 400~500 萬 TEU，無明顯成長或下降趨勢；櫃源主要在鄰近的東亞地區，其中東南亞是最重要的櫃源地；櫃量最大的國家依序為中國大陸、菲律賓、日本與越南；近年來近洋轉近洋航線的比例漸增，轉運型態呈「近洋化」趨勢。

將分析結果與高雄港過去轉運情況相較，可知目前高雄港的櫃量與過去的差異變化不大，惟轉運型態呈近洋化，遠歐航線、越太平洋航線等遠洋航線轉近洋航線的櫃量漸減，歐洲、美加等櫃源地的櫃量減少，高雄港的轉運功能已由洲際轉運中心逐漸轉為區域轉運中心。

隨著中國大陸、東南亞、南亞一帶的逐漸發展，鄰近地區的國際航運網路已隨之改變，無論是遠洋主航線或是區域航線，均逐漸往東、往南佈署，不利臺灣轉運櫃之發展。目前航線佈署資料顯示：航商在菲律賓佈署遠洋航線的情況略有增加，另隨著越南蓋梅港的營運與成長，愈來愈多的遠洋航線直靠蓋梅港，則後續菲律賓、越南的轉口櫃量變化，值得觀察與注意。

學者專家對於未來 5 年高雄港轉口貨櫃量的看法，多傾向保守。在此整體營運環境不佳的情勢下，建議主管單位更應重視問題，積極推出相關策略，以強化我國港口營運體質、追求轉運櫃穩定成長為目標。畢竟轉口貨櫃量的多寡將影響到臺灣整個航港產業的發展，無論是貨櫃航商、碼頭營運商、裝卸業者、貨物承攬業、拖船、引水、帶解纜等等，維持住轉口貨櫃的裝卸量，就可以維持住相關產業的收益，避免業者倒閉、從業人員失業等問題發生。本研究研提多項策略，期有助於強化高雄港的轉運功能。

參考文獻

1. Chaug-Ing Hsu, and Yu-Ping Hsieh(2005),“Direct versus terminal routing on a maritime hub-and-spoke container network”, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 13, No. 3, pp. 209-217, 2005.
2. 交通部運輸研究所(2005)，高雄港貨櫃航線轉運成本分析之研究，初版

，交通部運輸研究所印，臺北市，94 年 4 月。
3. 交通部運輸研究所(2009a)，上海港發展對高雄港貨櫃轉運影響之決策模式研究，初版，交通部運輸研究所印，臺北市，98 年 4 月。
4. 交通部運輸研究所(2009b)，貨櫃航運發展趨勢對於臺灣地區港埠競爭力之影響及因應對策研究，初版，交通部運輸研究所印，臺北市，98 年 4 月。
5. 交通部運輸研究所(2012)，兩岸直航後主要貨櫃航商之船舶與航線佈署對我國港口營運之影響，初版，交通部運輸研究所印，臺北市，101 年 4 月。
6. 交通部運輸研究所(2013a)，因應亞太航運網路轉變之高雄港營運策略(2/2)，初版，交通部運輸研究所印，臺北市，102 年 3 月。
7. 交通部運輸研究所(2013b)，我國貨櫃港口因應環境變遷之碼頭營運模式研究，初版，交通部運輸研究所印，臺北市，102 年 4 月。
8. 交通部運輸研究所(2014)，我國及亞洲主要港口之主航線及運能資料建置，交通部運輸研究所，103 年 4 月。
9. 高毓蔚(2013)，高雄港貨櫃經濟腹地之研究，長榮大學航運管理學系，碩士論文，102 年 7 月。
10. 戴輝煌、徐文華(2008)，「船舶大型化對我國港口競爭態勢之影響」，2008 臺灣港埠因應航運發展趨勢研討會，97 年 9 月 16 日。

港灣季刊徵稿簡訊

1.本刊為提供國內港灣工程界同仁交換工作經驗與心得之園地，歡迎工程、學術界之同仁提供港灣工程相關之工程動態、實務、工程新聞、技術新知、地工技術、工程材料、營運規劃及其他有關之工程簡介或推動中之計畫等的報告、論著或譯述。

2.投稿者應保證所投稿件無侵害他人著作權情事，如有違反，願就侵害他人著作權情勢負損害賠償責任，並對中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）因此肇致之損害負賠償責任。

3.來稿經本刊接受刊登後，作者應附具著作授權同意書，同意非專屬授權予本刊做下述利用：

(1)以紙本或是數位方式出版。

(2)進行數位化典藏、重製、透過網路公開傳輸、授權用戶下載、列印、瀏覽等資料庫銷售或提供服務之行為。

(3)再授權國家圖書館或其他資料庫業者將本論文納入資料庫中提供服務。

(4)為符合各資料庫之系統需求，並得進行格式之變更。

4.作者應保證稿件為其所自行創作，有權為前項授權，且授權著作未侵害任何第三人之智慧財產權。

5.稿件每篇以八頁（含圖）（4000~5000 字）以內為原則，稿酬從優；請附磁片或 E-mail，並請加註身分證字號及戶籍地址（含鄰、里）。

6.本刊每年刊行 3 期，分別於 2 月、6 月、10 月出版。如蒙惠稿請於每期出版前 30 日寄交本刊。

7.聯絡電話：(04)2658-7139　馬維倫

傳真電話：(04)2656-4415

E-mail：**elisa@mail.ihmt.gov.tw**

8.歡迎賜稿，來稿請寄：

43542 臺中縣梧棲鎮中橫十路 2 號

交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣季刊編輯委員會」 收