

港灣報導季刊

第 96 期

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 10 月

港 灣 報 導 第 96 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：林志明

編輯委員：邱永芳、朱金元、林昭坤、謝明志、何良勝、簡仲璟
蘇青和、單誠基、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：130 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所網站

印 刷 者：悅翔數位印刷有限公司

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 I SSN：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、棧橋式與重力式碼頭耐震性能設計研究……………1

張 權 財團法人中興工程顧問社 副研究員
薛 強 財團法人中興工程顧問社資深 研究員兼結構組組長
顧承宇 國立台灣海洋大學河海工程系 副教授
曾韋絨 國立台灣海洋大學河海工程系 碩士研究生
邱天宏 財團法人中興工程顧問社 副研究員
賴瑞應 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

二、基隆港類神經颱風波浪推算模式之建立……………19

張憲國 國立交通大學土木工程學系 教授
何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 科長
劉勁成 國立交通大學土木工程學系 博士後研究
陳蔚瑋 國立交通大學土木工程學系 博士後研究
江玟德 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員

三、臺灣綠色港埠建置之研究……………26

陸曉筠 國立中山大學海洋環境及工程學系 助理教授
李忠潘 國立中山大學海洋環境及工程學系 教授
陳陽益 國立中山大學海洋環境及工程學系 教授
薛憲文 國立中山大學海洋環境及工程學系 副教授
吳濟華 國立中山大學公共事務管理研究所 教授
黃紋綺 國立中山大學海洋環境及工程學系 研究助理
林玲煥 交通部運輸研究所港灣研究中心 助理研究員

四、臺灣海域船舶動態資訊系統規劃與建置之研究…33

邱永芳 交通部運輸研究所港灣研究中心 主任
張富東 交通部運輸研究所港灣研究中心 研究員
黃茂信 交通部運輸研究所港灣研究中心 助理研究員

棧橋式與重力式碼頭耐震性能設計研究

張 權 財團法人中興工程顧問社 副研究員
薛 強 財團法人中興工程顧問社 資深研究員兼結構組組長
顧承宇 國立台灣海洋大學河海工程系 副教授
曾韋麟 國立台灣海洋大學河海工程系碩士 研究生
邱天宏 財團法人中興工程顧問社 副研究員
賴瑞應 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 研究員

摘要

本研究主要是棧橋式與重力式碼頭耐震性能設計案例，藉由中興工程顧問社與港灣技術研究中心過去之研究成果，如港灣構造物耐震性能設計目標、耐震性能規定與耐震性能驗證方法等，建立棧橋式碼頭與重力式碼頭之耐震性能設計程序，而後經由設計示範例規劃，訂定適當且具代表性的設計條件，以進行棧橋式與重力式碼頭的耐震性能設計案例實作，最後再針對前述各項研究結果來探討目前建議之性能設計法的適宜性。

一、前言

以往耐震設計規範係要求構造物設計須滿足「小震不壞」、「中震可修」、「大震不倒」的原則，因而耐震設計規範採用構造物之用途係數 I 來間接表達其預期性能，該耐震要求僅定性地隱含在傳統強度設計法中，並未明確加以量化，然而性能設計法則要求以直接透明之參數來表達構造物之破壞狀態

或性能，使設計者及使用者能充分瞭解未來在不同等級地震作用時，構造物可能產生的損失程度、破壞狀況與使用性，性能設計法同時考量結構整體、構件與附屬設施在不同等級地震危害下之多等級耐震要求，構造物在某一設計地震危害下被期望具有的耐震性能、重要性或經濟性，並且加以量化（即性能規定 Performance Criteria），如此構造物之耐震性能即可採用『在各設計地震作用下分析構造物之強度、變形、能量或其他破壞指標 $\leq$ 性能規定』的方式進行檢核。

二、耐震性能要求

從日本 2007 年「港灣の施設の技術上の基準・同解説」中可知，日本對港灣設施的設計在地震力計算上，係利用機率法考量歷史災害、震源等因素進行地震危害度分析，進而得到地震地表歷時，但由於計算方法複雜，且港灣構造物數量較多，此法對於國內港灣構造物設計應用並不實際。另外，在性能標準規定上，日本已正式進入構造物破壞

機率可靠度的要求，此類設計標準要求亦為國內工程師設計能力的另一種挑戰，因此本研究建議國內港灣構造物耐震性能設計可先參考 2001 年的國際航海協會港灣構造物耐震設計準則，該規範在性能標準規定上甚為詳盡，亦與本國其他構造物耐震性能設計規範研究之架構雷同。

國際航海協會港灣構造物耐震設計準則(INA 2001)除了對構造物在等級 I 地震力作用下之性能提出要求外，在等級 II 地震力作用下，對應第 I、II、III、IV 級性能等級之 S、A、B、C 級耐震設施，基本相當於國內港灣構造物設計規範中之「特定級、A 級、B 級與 C 級」四種類別構造物，不同之處在於：國內現行規範，目前僅籠統地要求在 475 年回歸期設計地震力下，剛性結構物不得產生滑動、傾斜以及主體與基礎承载力不足之破壞，需保持安定，非剛性結構物允許發生塑性變形，但韌性比不超過容許韌性容量，對於在同樣等級設計地震力下，「特定級、A 級、B 級與 C 級」四種類別構造物(包括剛性與非剛性)不同之行為或性能並未如「INA 港灣構造物耐震設計準則」明確定性甚至量化，僅以不同重要度係數來修正在同等級設計地震力作用下施加於結構之等效側向力之大小，間接調整構造物之耐震性能；「INA 港灣構造物耐震設計準則」之性能設計法，係根據構造物之重要度等級(特定級、A 級、B 級與 C 級)，考量各等級設計地震力作用下，構造物所應具備之不同耐震性能等

級加以定性說明，並以不同大小之可接受標準值加以規定。

2.1 地震等級

國內「公共工程性能設計準則」中建議設計地震力必須考量三等級地震力，而國內建築、橋梁耐震性能設計規範草案亦皆定義三等級設計地震，然而「INA 港灣構造物耐震設計準則」僅以兩等級地震進行設計，但為符合國內耐震性能設計架構之一致性及國內工程師之設計習慣，本研究仍建議維持 2500 年回歸期地震(50 年超越機率 2%)作為最大設計地震考量。

而目前國內「港灣構造物設計基準」之設計地震力是參照 2005 年版「建築耐震設計規範」，同為三等級設計地震力，本研究參考港灣技術研究中心之「港灣地區地震潛勢及港灣構造物耐震能力評估之研究」報告中基隆港、台中港、高雄港、蘇澳港的各港區平均地震危害度曲線，建議至少應將現行規範碼頭之中度地震強度由「475 年回歸期地震除以 4.2」上調至「475 年回歸期地震除以 3.25」與橋梁耐震設計規範相同，則地震回歸期約提昇至 50 年，較符合碼頭之重要性程度；另碼頭結構不如建築結構因高靜不定度而擁有較高的降伏後強度，因此設計地震與最大考量地震之計算公式中，分母係數 1.4 應改為 1.2 與橋梁相同較為恰當。因此本研究建議三等級地震力計算方式如表 1 所示。

表 1 本研究建議國內碼頭耐震設計規範三等級設計地震力

地震等級		地震力計算公式
等級 I 地震	約 50 年回歸期	$V_{\min} = \frac{IS_{ad}}{3.25\alpha_y} W$
等級 II 地震	475 年回歸期	$V_D = \frac{I}{1.2\alpha_y} \left(\frac{S_{ad}}{F_u} \right)_m W$
等級 III 地震	2500 年回歸期	$V_M = \frac{I}{1.2\alpha_y} \left(\frac{S_{ad}}{F_{uM}} \right)_m W$
註：剛性結構 F_{uD} 或 F_{uM} 為 1.0		

2.2 性能等級

本研究依各國耐震性能設計規範之慣例，從構造物之「使用性」、「修復性」、「安全性」三方面考量，並參考國內現行「港灣構造物設計基準」之性能等級定義，建議出未來國內港灣碼頭耐震性能設計之性能等級。由於 475 年回歸期地震為主要的設計地震，而國內碼頭結構設計之重要度分 4 類與國際規範相同；再者「公共工程性能設計準則」中亦說明，耐震性能設計的基本概念主要是採用構造物的非線性行為分析進行設計，故應將「用途係數」轉換於耐震性能等級之要求，而非用於設計地震力的放大；因此在同一 475 年回歸期地震作用下，欲區分 4 種不同重要度碼頭，則須具有 4 級性能等級的制定，如表 2。而其第 I、III、IV 級性能等級亦恰符合現行「港灣構造物設計基準」設計目標中三等級地震所各別對應的性能要求。

2.3 重要度分類

為了維持業主及工程師既有的設計習慣，碼頭重要度分類建議仍然維持

現行規範的規定，如表 3 所示，目前國內現行規範訂立的碼頭重要度分類與「INA 港灣構造物耐震設計準則」雷同，如此則亦可參考「INA 港灣構造物耐震設計準則」之相關規定來制定本國碼頭之耐震性能要求。

表 2 耐震性能等級定性規定之建議

性能等級	使用性	修復性	安全性
I	功能正常	不需修復	結構無損傷
II	短期功能喪失	可快速修復	損壞輕微
III	長期功能喪失	修復非常困難	損壞嚴重維持生命安全(未超過韌性容量)
IV	無法恢復營運	須拆除重建	結構崩塌(超過韌性容量)

表 3 各重要度等級之碼頭特性

等級	碼頭之特性
特定	明顯具有 A 級結構物之特性 1 至 3 項之情形者
A	1.結構物在遭受地震災害時，將有可能造成多數人命及財產之損失者。 2.負有震災後復建工作之重要任務者。 3.儲存有害或危險物品之結構物，在遭受地震災害時，將可能造成人命或財產之動大損失者。 4.結構物在遭受地震災害時，對於相關區域之經濟與社會活動將造成重大影響者。 5.結構物在遭受地震災害時，其復舊作業經預測將相當困難者。
B	凡不屬於特定、A 級、C 級者
C	特定及 A 級以外之小規模結構物復舊作業容易者。

2.4 性能要求建議

從「INA 港灣構造物耐震設計準則」之性能要求(表 4)可知，國內現行規範之特定級碼頭的性能要求明顯低於國外規範，尤其台灣為海島型國家，所有原物料及物資皆需倚靠港口運輸，災

難性地震發生時外援物資對於社會經濟恢復格外重要，設立特定級碼頭目的即是在災難地震後仍可有部分功能良好之碼頭可供救援物資運輸，因此國際航海協會(INA)及日本規範對於特定級碼頭之性能要求皆為475回歸期地震作用下結構須保持彈性，而國內現行港灣構造物設計基準則是以中度地震力的1.5倍作用下保持彈性作為設計基準，約為75年回歸期地震，遠小於475年回歸期地震，此性能要求可能無法滿足特定級碼頭所需之救災功能，故建議應予調整提升。

本研究建議之性能要求須增加2500年回歸期最大考量地震所對應的性能等級來規定「特定級」、「A級」與「B級」的碼頭性能，「特定級」碼頭之損壞在2500年回歸期地震作用下不可高於第II性能等級，使其在災難地震後仍具有修復機會。因此建議在2500年回歸期地震作用下，按重要度排序，特定級碼頭須滿足第II級性能等級，A級碼頭須滿足第III級性能等級，B級碼頭須滿足第IV級性能等級，而C級碼頭在此等級地震作用下應已崩塌故不需檢核。綜上所述，在提升中度地震等級與特定級碼頭之性能要求後，各級碼頭對應的性能要求可歸納如表5所示。

表4 國際航海協會各等級耐震構造物之耐震性能要求

性能等級 地震力	I	II	III	IV
75年回歸期地震	S、A、B	C		
475年回歸期地震	S	A	B	C

表5 建議之碼頭所對應的耐震性能要求

性能等級 地震等級	I	II	III	IV
中度地震	A(小於80%降伏反應)、B級	C級	—	—
475年回歸期地震	特定級	A級	B級	C級
2500年回歸期地震	—	特定級	A級	B級

三、耐震性能規定

由碼頭耐震性能要求的探討可知，國際航海協會規範之架構與我國耐震性能設計之相關規範及研究一致，且為各先進國家所依循，因此本研究之耐震性能要求建議參照國際航海協會規範，再因應公共工程性能設計準則之規定，增加最大考量地震(2500年回歸期)等級，修正為本土化之碼頭耐震性能設計要求，依使用性及安全性，詳細說明國際航海協會對於耐震性能等級標準值之規定，該規範根據相關之主要參數(例如：岸肩沉陷量、碼頭傾斜度、最大位移、變位角及應力/應變等)，建立碼頭在各性能等級下該參數之可接受標準，以定量的方式表達碼頭結構之性能，提供國內工程師參考；其棧橋式與重力式碼頭之性能可接受標準可參考表6及表7。為使棧橋式碼頭在震後具有較佳的修復性，設計者亦在設計時應掌握棧橋結構的破壞次序。

表 6 棧橋式碼頭性能可接受標準

性能等級		第 I 級	第 II 級	第 III 級	第 IV 級
參數					
殘餘變位	橋面板與肩岸沉陷差異	<10~30cm	N/A	N/A	N/A
	向海側傾斜角	<2°~3°	N/A	N/A	N/A
最大反應	基樁 (須避免剪力破壞發生)	保持彈性 (或僅輕微殘餘變形)	控制韌性 (結構可修復)	小於韌性容量 (韌性反應接近崩塌)	超過 第 III 級
棧橋式碼頭第 I、II 及性能等級之材料應變上限值					
性能等級		材料類別			應變上限值
第 I 級 (滿足服務性)	混凝土壓應變			0.004	
	鋼筋拉應變			0.010	
	鋼構件與內灌混凝土鋼管樁壓應變			0.008	
	中空鋼管樁壓應變			0.008	
第 II 級 (滿足可修復性)	樁-版 接頭 塑性鉸	混凝土壓應變			採註解公式 但小於 0.025
		鋼筋拉應變			0.05
		鋼構件與內灌混凝土鋼管樁壓應變			0.035
		中空鋼管樁壓應變			0.025
	樁身 入土部 塑性鉸	混凝土壓應變			採註解公式 但小於 0.008
		鋼筋拉應變			0.010
		鋼構件與內灌混凝土鋼管樁壓應變			0.035
		中空鋼管樁壓應變			0.025

註： N/A 之原文註解為「Not Applicable」，實際設計時不予檢核。

$$\varepsilon_{cu} = 0.004 + (1.4 \rho_{sh} f_{yh} \varepsilon_{smh}) / f'_{cc} \geq 0.005$$

表 7 重力式碼頭性能可接受標準

性能等級		第 I 級	第 II 級	第 III 級	第 IV 級
參數					
殘餘變位	壁體	正規化水平位移 d/H	<1.5% 或 d<30cm	1.5%~5%	5%~10%
		向海側傾斜角	<3°	3°~5°	5°~8°
	岸肩	不均勻沉陷量	3cm~10cm	N/A	N/A
		岸肩與後線陸地之沉陷差	30cm~70cm	N/A	N/A
		向海側傾斜角	<2°~3°	N/A	N/A

註： d 為壁頂的殘餘水平變位 N/A 為「Not Applicable」，設計時不予檢核。

四、耐震性能設計流程

耐震性能設計法是以控制結構耐震性能為標的，以符合相關安全性、服務性與修復性等需求之耐震設計方法。該方法之基本理念主要包括：結構物

於不同等級地震危害下之耐震設計要求直觀透明；設計由目標導向出發；強調結構物在強大地震作用下之非線性變形行為；注重結構物整體系統、結構構材和非結構構材以及附屬設備在整個生命週期各階段之耐震性能；確保結

構物滿足設計要求具有滿意的可靠度或可接受震害之風險。本研究之耐震性能設計法的設計流程內容如圖 1 所示。

4.1 選擇性能要求

第一階段設計首先要建立性能要求及性能規定，性能要求是以「定性」的描述方式訂立結構物設計目標，而性能規定是將結構物之性能要求轉化成「定量」的方式來表示。上述之性能要求與規定之內容則包括地震等級之定性劃分與地震力定量表達方式，以及所對應性能等級之定性劃分與定量表達。

4.2 構造物系統規劃

在進行細部設計前先確定構造物形狀、結構系統、結構佈置、基礎、非結構構材以及材料，需設計者的經驗、直覺和判斷，主要目的在於減小因結構分析或不確定因素所造成分析結果與結構之真實行為之間的差異。

4.3 土壤液化評估

對港灣構造物所在位置土壤液化潛能之分析，了解該工址土壤液化之可能性，確定耐震性能要求是否可以達到，否則應經由(1)地盤改良或變更基礎設計；(2)遷移工址；(3)修改設計性能要求等方式進行調整，以保證所選定之工址、設計及營造方法最終能使構造物滿足業主及規範之性能要求。

4.4 初步設計

對於初步設計本研究建議可按構造物的耐震性能要求，先以最低之地震等級進行彈性分析及設計，決定結構斷面尺寸與細部設計，此種方式無論設計工程師慣用何種舊有設計法，皆可進行

初步設計，因此在碼頭的初步設計方法是較無限制的；在決定構造物細部尺寸後，即可依所設計的構件斷面建立詳細分析模型，以進行耐震能力與結構變形量分析，進而進入第二階段之性能驗證。

4.5 第二階段檢核

在性能設計流程之第二階段檢核，結構物之性能是否滿足設計要求通常需要經由數值分析來檢核：性能參數計算值 $\leq$ 性能規定之可接受標準，以保證設計者能準確地掌握結構之行為，即通過數值分析預測結構之真實行為，要求所採用的分析方法要合理、可靠，因此必須根據構造物不同之結構型式及性能要求之高低，來選用不同的分析工具，原則上，性能要求越高者所對應之分析工具就可能越複雜。

本研究將分析碼頭結構物耐震行為之分析方法由簡到繁分為簡化分析(Simplified Analysis)、簡化動力分析(Simplified Dynamic Analysis)以及動力分析(Dynamic Analysis)三類，選用這三種不同複雜與精確度等級之分析方法，除了與碼頭重要度等級之高低相關以外，還與所作用的地震等級相關，如表 8 所示；由於性能要求中在最低等級地震作用下之性能等級要求多需保持結構在彈性狀態，因此一般實務設計上多採最低等級地震作用下先進行彈性分析做初步設計，而初步設計之分析方法並不限制採用何種精確度的驗證分析法，甚至可依過去經驗初步假設一合理的結構斷面亦可，而在得到初

步設計的結構尺寸後，接著再按規定之各等級地震作用下所要求的性能等級進行驗證分析檢核，此時則必須按表 9 規定的驗證方法，依性能要求所需的所有地震等級皆進行驗證，若不滿足可接受標準則重新進行初步設計後再驗證檢核，直到滿足所有性能要求為止。

五、棧橋式碼頭設計例實作探討

5.1 初步設計

設計例採用斜樁式棧橋碼頭，以載運大宗物資為主。碼頭單元上部結構主要為鋼筋混凝土梁版系統，標準單元長為 36 m，寬 28.75 m，面版厚 30 cm；下部結構則為直徑 70 cm 鋼板厚 2 cm 鋼管樁系統組成，樁貫入土層深度為 32 公尺。此外，考量斜坡效應之影響，取原斜坡角度 α 之一半 ($\alpha/2$) 之斜面作為假想地表面，故基樁假設固定於此假想面以下 $1/\beta=2.865$ m 處，結構模型如圖 2。

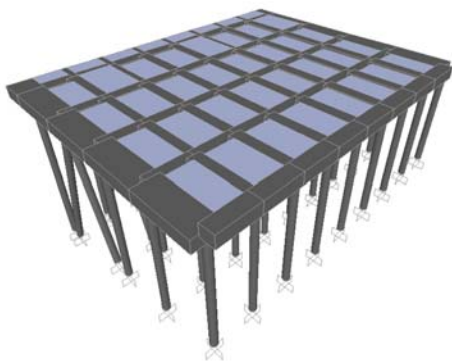


圖 2 棧橋碼頭基樁假想固定法模型

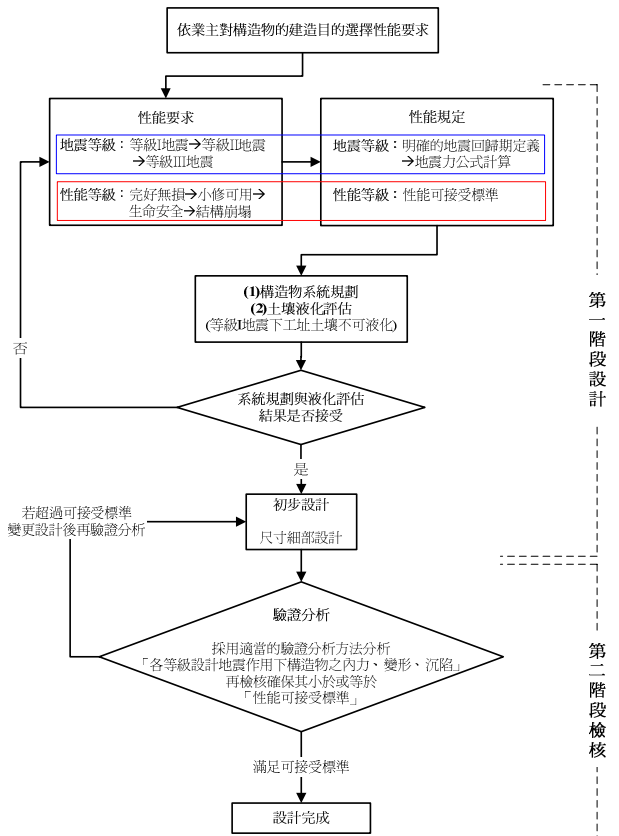


圖 1 本研究建議之碼頭耐震性能驗證流程

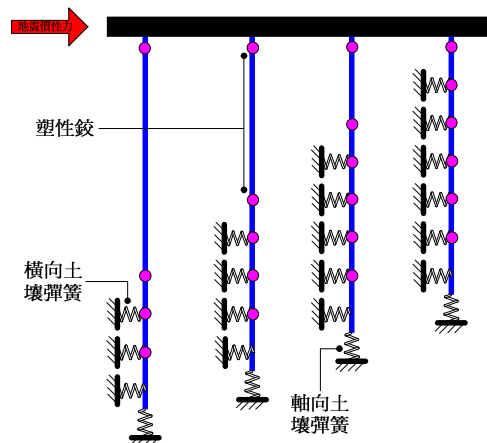


圖 3 土壤彈簧與塑性鉸設定位置

表 8 各類驗證分析法之應用時機

碼頭重要度 地震等級	特定級	A 級	B 級	C 級
等級 I (50 年回歸期)	—	簡化分析 或 簡化動力分析 或 動力分析	簡化分析 或 簡化動力分析 或 動力分析	簡化分析 或 簡化動力分析 或 動力分析
等級 II (475 年回歸期)	動力分析	動力分析	簡化動力分析 或 動力分析	簡化分析 或 簡化動力分析 或 動力分析
等級 III (2500 年回歸期)	動力分析	動力分析	簡化動力分析 或 動力分析	—

表 9 棧橋式與重力式碼頭之性能驗證分析法

碼頭種類	簡化分析	簡化動力分析	動力分析	
			結構模擬	土壤模擬
棧橋式碼頭	- 擬靜力分析法 - 反應譜法	- 容量震譜法(非線性側推) - 反應譜法	動力歷時分析法	非線性土壤彈簧
重力式碼頭	經驗公式或靜力分析法(考量有或無土壤液化)	- 滑動塊分析 - 利用簡化圖表的參數分析法	- 有限元素法或有限差分法 - 線性或非線性分析 - 二或三維分析	- 有限元素法或有限差分法 - 線性或非線性分析 - 二或三維分析

經由各載重組合分析得到鋼管樁最大應力比約介於 0.75~0.85 之間，該鋼管樁之斷面設計為安全亦不失其經濟性。依所設定的載重組合進行結構分析後可得上部結構在常時與等級 I 地震作用下之最大受力情況，再經由 SAP2000 結構分析程式進行斷面配筋設計，得到各斷面所需之最大縱向鋼筋比與最大剪力鋼筋比。除按最大設計縱向鋼筋比與設計剪力鋼筋比配筋外，在進行剪力筋設計時，需考慮避免梁產生塑性鉸時發生剪力破壞，基於上述原則繪製斷面細部配筋圖。

5.2 驗證分析

本設計例為 A 級棧橋碼頭，其等級 I 地震之驗證分析法可為「靜力分

析」、「非線性側推分析」、「非線性歷時分析」，而等級 II 與等級 III 地震之驗證分析則須「非線性歷時分析」。首先建立非線性分析的結構模型，本設計例等級 I 地震之驗證分析採用側推分析容量震譜法，並運用側推分析檢核棧橋式碼頭之破壞機制是否符合要求，為準確得到結構之非線性分析結果，基樁與土壤之互制行為必須以非線性土壤彈簧加以模擬，另構件之塑性行為亦以塑性鉸模擬之，而經由前述結構模擬方式所得之結構模型，亦得用於等級 II 與等級 III 性能驗證之非線性歷時分析。

利用樁軸向土壤抗壓承载力上限值、抗拉拔承载力上限值、軸向土壤彈簧勁度 K_{vp} 等，可決定軸向土壤彈簧

的力-位移關係。另本研究採用日本運輸省港灣技術研究所所發展之樁橫向抵抗分析法(p-y curve)，此法亦為我國規範所採用，再由 p-y curve 取三線性化曲線，作為橫向土壤彈簧的力-位移關係，本研究之構件塑性鉸設定係參考日本港灣設施技術基準的定義，且性能規範對新建設計皆規定需避免構件剪力破壞，因此各構件僅須在可能發生最大彎矩之位置設定塑性鉸進行非線性分析，塑性鉸與土壤彈簧設定位置如圖 3。

5.2.1 等級 I 地震性能驗證檢核

經結構模型側推分析得到「基底剪力-頂層位移關係」的側推曲線，分為軸向(平行岸肩)與橫向(向海側方

向)兩個主軸方向，其經地震需求震譜與結構容量震譜迭代後所求得之性能點如圖 4 所示，碼頭軸向之性能點為(基底剪力=416157 kgf、頂層位移=9.445 cm)，所有桿件仍保持彈性，而碼頭橫向之性能點為(基底剪力=1163872 kgf、頂層位移=3.409 cm)，所有桿件亦保持彈性。

由上述容量震譜法之性能點代表整體結構行為的最大反應，此時可依其各部構件之應力或應變狀態去判定所設計之碼頭的受震反應是否滿足性能可接受標準，如表 10 之檢核內容，碼頭在等級 I 地震作用下，其碼頭變位與構件應變量皆滿足性能可接受標準與耐震性能要求。

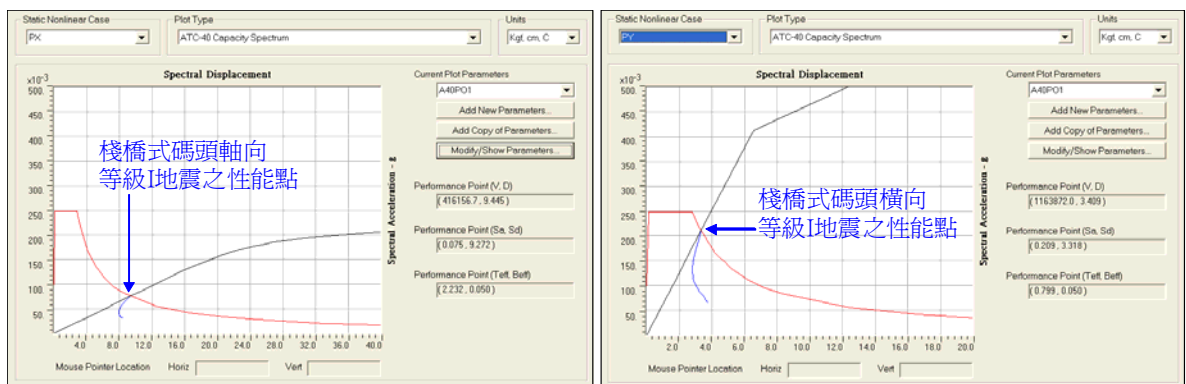


圖 4 棧橋式碼頭等級 I 地震之性能點求取

表 10 棧橋式碼頭等級 I 地震時之性能規定檢核

性能等級		第 I 級
參數		
殘餘變位	橋面板與肩岸沉陷差異	碼頭橋面板最大沉陷量為 $0.106\text{cm} < 10\sim 30\text{cm} \rightarrow \text{OK}$
	向海側傾斜角	碼頭向海側最大傾角為 $0.4093^\circ < 2^\circ\sim 3^\circ \rightarrow \text{OK}$
最大反應	基樁(須避免剪力破壞發生)	碼頭基樁保持彈性 $\rightarrow \text{OK}$
材料應變上限	混凝土壓應變	碼頭上構混凝土應變未達 $0.0007 < 0.004 \rightarrow \text{OK}$
	鋼筋拉應變	碼頭上構主筋拉應變未達 $0.002 < 0.01 \rightarrow \text{OK}$
	鋼管樁壓應變	碼頭鋼管樁壓應變未達 $0.0013 < 0.008 \rightarrow \text{OK}$

5.2.2 等級 II 地震性能驗證檢核

輸入的地表加速度歷時是依據現行規範對人造地震規定所製得，其人造地震歷時與工址附近測站所記錄之地震歷時波相符，且其轉換成加速度反應譜亦與等級 II 地震設計反應譜相符，歷時分析每一方向地動分量須至少使用三個人造地震，並取各主軸反應最大者為設計依據。

依規範規定至少三組歷時分析，第 1 組歷時作用之棧橋碼頭橋面軸向及橫向水平位移軌跡，軸向最大位移為 33.2 cm，橫向最大位移為 12.1 cm。第 2 組歷時作用之棧橋碼頭橋面軸向及橫向水平位移軌跡，軸向最大位移為 31.2cm，橫向最大位移為 11.0 cm。第 3 組歷時作用之棧橋碼頭橋面軸向及橫向水平位移軌跡，軸向最大位移為 28.9 cm，橫向最大位移為 11.6 cm。

由上部結構水平位移量可知，軸向與橫向最大位移皆發生在第 1 組歷時分析，因此等級 II 地震性能驗證檢核以第 1 組歷時分析為準，其歷時分析之碼頭基樁塑性鉸分佈如圖 5，所有基樁塑性鉸皆發生在碼頭軸向上，碼頭橫向因具斜樁抵抗，因此基樁不發生任何塑性鉸。另外，等級 II 地震加速度歷時作用時，上部結構之大梁並未發生塑性鉸，僅鋼管樁之樁帽與樁身入土處產生塑性鉸，因此以下列出鋼管樁塑性鉸遲滯迴圈，其最大塑性轉角為 0.0115 rad.，如圖 6 所示。

驗證結果顯示棧橋結構軸向韌性發展尚在初始階段，滿足控制韌性之要求，橫向則保持彈性；而鋼管樁樁帽塑性鉸之塑性轉角量亦相當低。另外，針對鋼管樁壓應變量檢核，從等級 II 地震歷時分析所得之鋼管樁最大塑性轉角為 0.0115，由鋼管樁塑性鉸曲線作

內插計算可得對應之鋼管樁壓應變量為 0.0237，小於可接受標準值 0.025，故仍在可修復範圍內，而棧橋碼頭上部結構仍在彈性範圍內，因此在等級 II 地震作用後僅需進行基樁修復即可恢復正常營運。由表 11 可知，碼頭在等級 II 地震作用下，其變位與構件應變量皆滿足性能可接受標準與耐震性能要求。

表 11 棧橋式碼頭等級 II 地震時性能規定檢核

性能等級		第 II 級
參數		
殘餘變位	橋面板與肩岸沉陷差異	N/A
	向海側傾斜角	N/A
最大反應	基樁 (須避免剪力破壞發生)	韌性發展尚在初始階段 (結構可修復) 滿足控制韌性之要求 →OK
材料應變上限	混凝土壓應變	RC 上部結構不產生塑性鉸 →OK
	鋼筋拉應變	RC 上部結構不產生塑性鉸 →OK
	鋼管樁壓應變	最大鋼管樁壓應變量為 $0.0237 < 0.025$ →OK

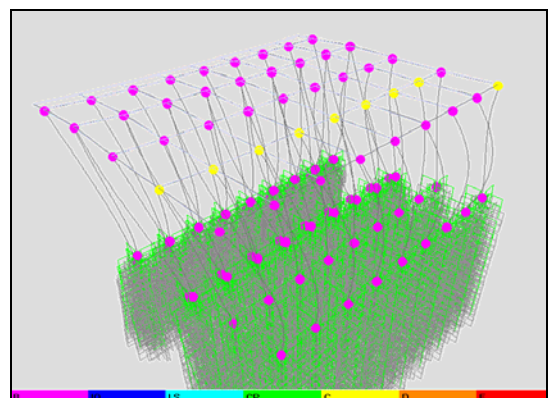


圖 5 等級 II 地震第 1 組歷時分析之碼頭基樁塑性鉸分佈

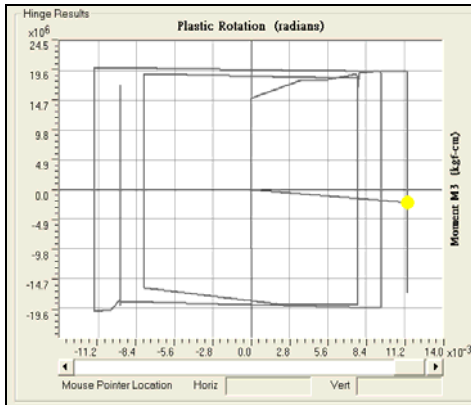


圖 6 等級 II 地震歷時分析鋼管樁最大塑鉸遲滯迴圈

5.2.3 等級 III 地震性能驗證檢核

等級 III 地震作用時，同時輸入三正交方向地動分量之地震歷時，藉以考慮水平與垂直地震同時作用之狀況，其非線性分析結果為第 1 組歷時作用之棧橋碼頭橋面軸向及橫向水平位移軌跡，軸向最大位移為 40.1 cm，橫向最大位移為 14.0 cm。第 2 組歷時作用之棧橋碼頭橋面軸向及橫向水平位移軌跡，軸向最大位移為 42.7 cm，橫向最大位移為 14.6 cm。第 3 組歷時作用之

棧橋碼頭橋面軸向及橫向水平位移軌跡，軸向最大位移為 29.7 cm，橫向最大位移為 13.3 cm。

由上部結構水平位移量可知，軸向與橫向最大水平位移發生在第 2 組歷時分析，故等級 III 地震性能驗證檢核以第 2 組歷時分析為準，其碼頭軸向上所有基樁皆已發生塑性鉸，且部分基樁有較嚴重的塑性轉角，而碼頭橫向有斜樁抵抗，因此部份基樁僅產生輕微之塑性鉸。另外，等級 III 地震加速度歷時作用時，上部結構之大梁並未發生塑性鉸，僅鋼管樁之樁帽與樁身入土處產生塑性鉸，其最大塑性轉角為 0.0219 rad。

驗證結果顯示等級 III 地震作用下結構軸向韌性發展約至 1/2 極限韌性容量，橫向則進入初始塑性階段，皆滿足變位量小於韌性容量之要求，如圖 7，其性能滿足可接受標準與耐震性能要求。

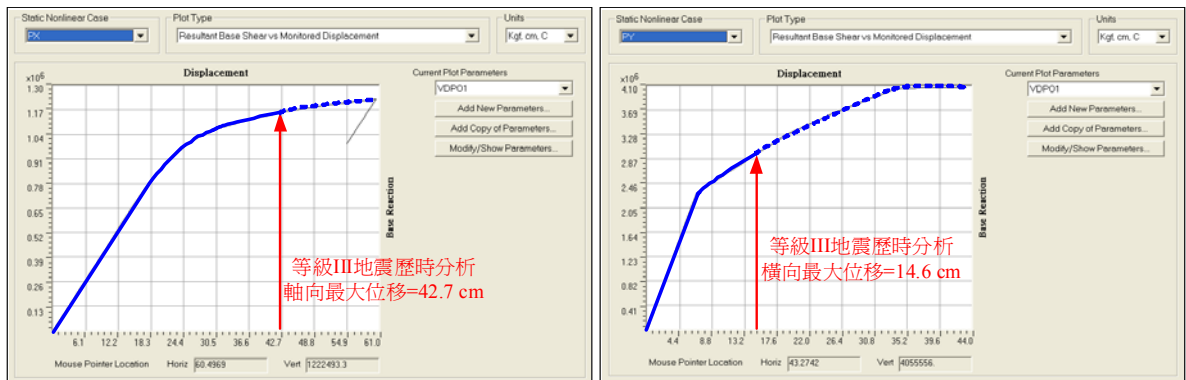


圖 7 棧橋碼頭等級 III 地震歷時最大位移對應之韌性容量

5.3 設計結果說明

等級 I 地震容量震譜法分析結果，碼頭所有構件皆保持彈性，基樁受力

小於其土壤容許承载力，且不發生土壤液化，其構件應變量皆小於性能可接受標準為不需維修，整體驗證結果滿足功能正常結構保持彈性之性能要求；等級

II 地震歷時分析檢核結果，其構件應變量皆小於性能可接受標準，滿足可修復性之性能要求；等級 III 地震歷時分析則主要檢核整體韌性容量，其分析結果約為 1/2 極限韌性容量，滿足結構不崩塌之性能要求。三等級地震檢核皆滿足 A 級碼頭耐震性能要求。

六、重力式碼頭設計例實作探討

6.1 初步設計

本案例係以重要度中等之 B 級碼頭為例，並假設以載運散雜貨為主，本案例碼頭採用沉箱重力式碼頭。一般碼頭向海延伸之寬度與設計水深以業主之需求決定，本案例碼頭規劃之標準斷面如圖 8 所示。碼頭結構主要為一剛性結構物，標準單元長度為 15.6 m，高度為 16.2 m，設計高水位水深 -12.9 m，土層鑽探深度為 40 m。而碼頭結構物之初步設計參數，如表 12 所示。由規範查得設計地震之三等級地震力，如表 13 所示，其轉換所得之水平地震係數與垂直地震係數，如表 14 所示。本章初步設計使用簡化分析法之靜力穩定性分析進行設計。

表 12 重力式碼頭設計參數表

海側平均水面高度 h_s (m)	12.90
陸側水面高度 h_L (m)	14.13
海水單位重 γ_w (t/m ³)	1.03
沉箱總單位重 γ_{st} (t/m ³)	2.00
殘留水位(m)	1.23
沉箱高度 h (m)	16.20
沉箱長度 L (m)	15.60
沉箱底部摩擦係數 u_b	0.60
碼頭壁面與土壤間之摩擦角 δ (deg)	0.00
土層內摩擦角 φ (deg)	35.00
碼頭壁面與垂直面之摩擦角 Ψ (deg)	0.00
水位上背填土單位重 γ_i (t/m ³)	1.80
水位下背填土單位重 γ (t/m ³)	1.00
陸側地下水位以上之土層厚度 h_t (m)	2.07

表 13 重力式碼頭設計地震力

地震等級	計算公式 (PGA)	加速度 (g)
等級 I	$0.4S_{DS}/3.25$	0.100
等級 II	$0.4S_{DS}$	0.322
等級 III	$0.4S_{DS}$	0.407

表 14 水平地震係數與垂直地震係數

地震等級	水平地震係數 K_h	垂直地震係數 K_v
等級 I	0.069	0.046
等級 II	0.224	0.149
等級 III	0.283	0.189

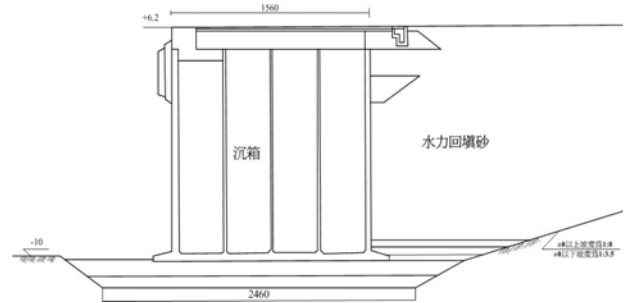


圖 8 重力式碼頭標準斷面示意圖

6.2 驗證分析

本節驗證分析時擬採用簡化分析中之「滑動穩定性分析法」結合經驗公式如表 15 (Uwabe, T. 1983)檢核等級 I 地震之性能規定，以及採用「滑動塊分析法」檢核等級 II 地震之性能規定，而等級 III 地震之性能規定則採用「動力分析法」進行檢核。

6.2.1 等級 I 地震性能驗證檢核

簡化分析法包括滑動穩定性分析與傾覆穩定性分析，其計算公式如下：

滑動穩定性分析：

$$F_s = \frac{\mu_b \cdot (W' - K_v \cdot W)}{K_h \cdot W + P_{AE} + (P_{WL} - P_{WS}) + (P_{WEL} - P_{WES})} \quad (1)$$

μ_b 為碼頭底面與基礎接觸面之摩擦係數； W' 為碼頭總重減去浮力，即重力式碼頭的有效重量。 W 為碼頭之總重量

； K_v 為垂直地震力係數； K_h 為水平地震力係數； P_{WL} 與 P_{WS} 分別為陸側靜水壓力與海側靜水壓力，可表示如下：

$$P_{WL} = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_1^2 \quad , \quad P_{WS} = \frac{1}{2} \gamma_w \cdot h_2^2 \quad (2)$$

其中， γ_w 為海水單位重； h_1 為陸側地下水位面至碼頭底部之深度； h_2 為海側潮位至碼頭底部之深度。若以水中震度計算動態主動土壓力時，由於已包含背填土壤地下水位震盪所引致之動水壓力，因此不必另外計算動水壓力。 P_{WES} 為海側潮位震盪變化之動水壓力，根據現行設計基準建議將碼頭前之動水壓力以外力設計計算之。

$$P_{WEL} = 0.7 \cdot \frac{7}{12} \cdot K_h \cdot \gamma_w \cdot h_1^2 \quad (3)$$

$$P_{WES} = \frac{7}{12} \cdot K_h \cdot \gamma_w \cdot h_2^2 \quad (4)$$

P_{AE} 為背填土壤之動態主動土壓力，包含殘留水位以上及殘留水位以下至碼頭底部的動態主動土壓力，以修正之 Mononobe-Okabe 公式計算，此修正後公式乃是以水中震度計算，因此其計算之動態主動土壓力已包含地下水位震盪之動水壓力，計算公式如式(5)及(6)所示：

$$P_{AE} = \left[K_{AE} \left(\frac{1}{2} \gamma_t \cdot h_t^2 \right) + K'_{AE} \left(\gamma_t \cdot h_t + \frac{1}{2} \gamma' \cdot h_L \right) h_L \right] \cos \psi \quad (5)$$

$$K_{AE} = \frac{\cos^2(\phi - \psi - \theta)}{\cos \theta \cos^2 \psi \cos(\delta + \psi + \theta) \left[1 + \frac{\sin(\phi + \delta) \sin(\phi - \theta)}{\cos(\delta + \psi + \theta) \cos \psi} \right]^2} \quad (6)$$

式中， K_{AE} 與 K'_{AE} 為土層動態主動土壓力係數，在地下水位面上為 K_{AE} ，地下水位面以下為 K'_{AE} ； γ' 為地下水位以下之土壤有效單位重； γ_t 為地下水位以上之土壤單位重； h_t 為陸側地下水位以上之土層厚度； ψ 為碼頭壁面與垂直面所

夾之角度(度)； ϕ 為土層土壤內摩擦角； δ 為碼頭壁面與土壤間之摩擦角； θ 為地震合成角，地下水位以上時，以及地下水位以下時，分別如公式(7)，其中 γ_{sat} 為土壤之飽和單位重。

地下水位以上：

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{K_h}{1 - K_v} \right)$$

地下水位以下：

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{\gamma_{sat}}{\gamma_{sat} - 1} \cdot \frac{K_h}{1 - K_v} \right) \quad (7)$$

結構物受等級一之地震力作用時，可使用簡化分析法計算其安全性，並結合表 15 之經驗公式，以求得最大水平位移及正規化水平位移。結構物臨界值 K_t 為 0.1，而安全係數 $FS=1.449$ ，其分析結果通過檢核。

表 15 非液化工址重力式碼頭變位與安全係數之相關性

變位參數	經驗公式	相關係數	標準偏差
最大水平位移 d(cm)	$d = -74.2 + 98.2(1/FS)$	0.34	130
沉陷量 s(cm)	$s = -16.5 + 32.9(1/FS)$	0.50	30
正規化水平位移 d/H (%)	$d/H = -7.0 + 10.9(1/FS)$	0.38	13

6.2.2 等級 II 地震性能驗證檢核

等級 II 地震性能驗證採用滑動塊體法(Newmark, N. M)進行分析，其方法的精神是將結構主體視為可滑動之剛體，地震力為作用於結構基礎之地震加速度歷時，主要分析土工結構受地震超出抗滑能力時的反應，以及計算地震所引致總滑移量。等級 II 之人造加速度歷時如圖 9 所示。臨界加速度為 0.046g，而其分析結果為產生 145.5 公分之永久位移量，如圖 10 所示。正規化水平位移為 8.98%，滿足 5~10%之規定。

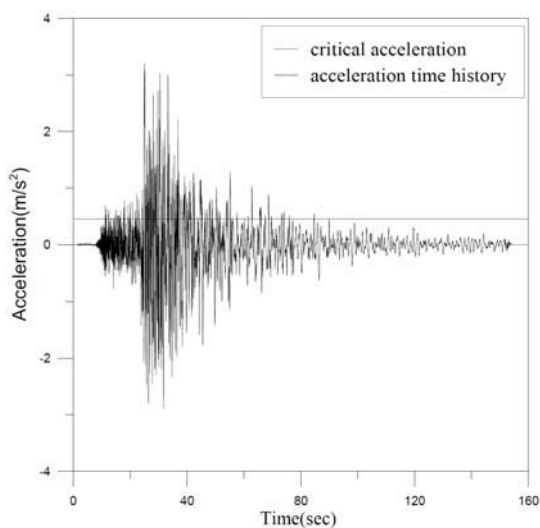


圖 9 等級 II 地震之人造加速度歷時

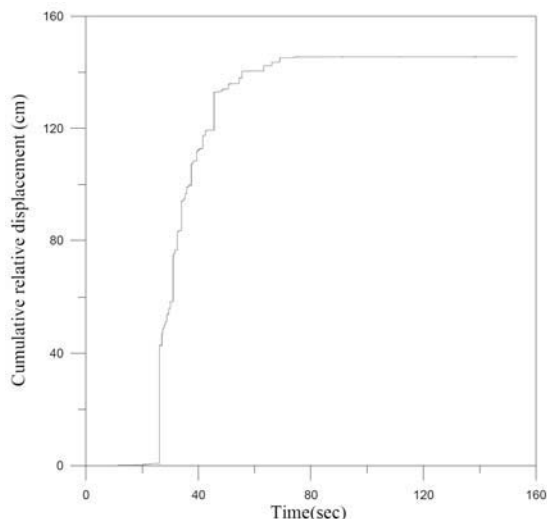


圖 10 等級 II 地震所產生之永久位移量

6.2.3 等級 III 地震性能驗證檢核

重力式碼頭之動力分析法，一般可採有限元素(finite element method, FEM)或有限差分(finite difference method, FDM)等數值方法，模擬「碼頭-基礎拋石」與「碼頭-背填材料」兩者結構土壤介面之滑動行為，並考慮超額孔隙水壓激發對碼頭穩定性及變位之影響，以及土層之非彈性行為，利用具代表性之實際地震記錄作為輸入運動

，進行非線性動力歷時數值分析，探討在所考量地震等級下，重力式碼頭結構之性能表現能否符合性能要求，以評估其耐震能力。

本研究採用美國 Itasca Consulting Group, Inc. 所發展的 FLAC 程式進行非線性動力分析，而 FLAC 程式是以外顯有限差分程式處理二維平面應變之數值分析問題，以模擬土壤、岩石彈塑性或其他達降伏強度後成塑性流動的材料所組成的構造物行為，並將欲分析之物體分割成有限之網格，決定材料組成律及邊界條件，若材料所遭受之應力場較大亦可能產生大變形，則需使用大應變模式模擬材料變形行為。

以 FLAC 進行重力式碼頭之動力分析主要分為九大步驟：(一)建立網格；(二)輸入材料強度參數；(三)設定邊界條件；(四)加入界面元素並重力平衡；(五)施加海水之側向力；(六)指定地下水位面；(七)力學平衡；(八)設定阻尼參數和動態邊界條件；(九)施加地震力，以等級 III 地震反應譜製作人造地震加速度歷時數入程式進行分析。本研究重力式碼頭之分析斷面係取沿沉箱軸中心線之最大斷面為分析斷面，如圖 11 所示。分析斷面區分為碼頭沉箱、背填土、地層、卵礫石鋪面等四部份；本分析的網格，共計使用 911 個節點。

經由指定地下水位面並設定地下水分析後所得到之孔隙水壓分布，最後設定阻尼參數和動態邊界條件並給定設計地震加速度進行動力分析後，所得到之變形量分析成果如圖 12 所示，其分析結果之最大正規化水平位移 $d/H=13.58\%$ 符合第 IV 級性能等級規定大於 10%，滿足經濟性之要求。

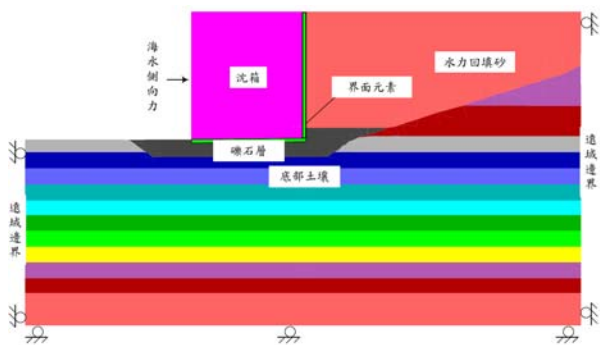


圖 11 動力分析邊界與土層模型建置

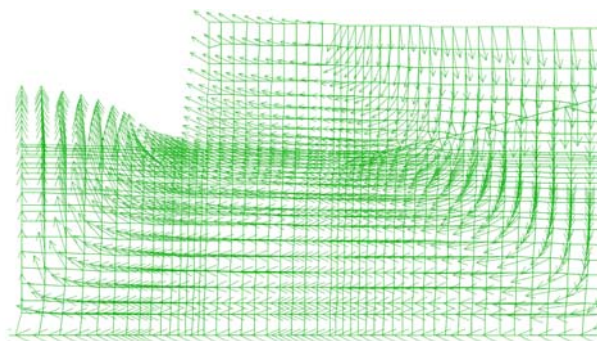


圖 12 動力分析完成後之變形量

6.3 設計結果說明

等級 I 地震簡化分析法分析結果，碼頭安全係數大於 1，且不發生土壤液化，結合經驗公式檢核其應變量皆小於性能可接受標準為不需維修，整體驗證結果滿足功能正常之性能要求；等級 II 地震滑動塊分析檢核結果，其碼頭應變量皆小於性能可接受標準，滿足修復非常困難，但結構不倒以維持生命安全之性能要求；等級 III 地震動力分析檢核結果亦滿足性能之要求，結構物已嚴重毀損，無法恢復營運作業，需拆除重建。三等地震檢核皆滿足 B 級碼頭耐震性能要求。

七、耐震性能設計法之適宜性

7.1 棧橋式碼頭性能設計適宜性探討

本研究忠實地按設計步驟進行棧橋碼頭耐震性能案例設計，過程中尚無窒礙難行之處，順利完成設計，證實本研究所提之設計流程有良好的可行性，若未來碼頭耐震性能設計規範採用此設計方式，工程顧問公司參照相同的設計流程，則可順利完成碼頭耐震性能設計。但其過程中仍用到部份難度交高且較為耗時的分析方法，如非線性歷時分析法，該分析法因較耗時人力成本較高，目前國內業界在橋梁與建築耐震設計上仍以側推分析容量震譜法為主，但容量震譜法有其限制，在不規則或高振態控制的結構上其分析結果會有相當的誤差，所以非線性歷時分析似乎為棧橋碼頭耐震性能設計中之重要項目，而本章亦將針對第三章棧橋碼頭案例作容量震譜法與非線性歷時分析結果之比較，以及非線性歷時分析之使用時機做初步探討。

7.1.1 容量震譜法與非線性歷時分析結果比較

由表 16 可知，三組非線性歷時分析的最大位移反應平均值，等級 II 地震分別為軸向：31.1 cm、橫向：11.6 cm，等級 III 地震分別為軸向：37.5 cm、橫向：14.0 cm，上述位移量約較容量震譜法所得結果高出 14%，換言之，採用非線性歷時分析結果作碼頭性能驗證是較為嚴格的；但由第 3 組歷時分析結果可知其位移量反而較容量震譜法分析結果為小，該現象顯示，雖然三組人造地震之尖峰加速度相同，但地震歷時波的特性隱含不同的能量大小，其對結構反應影響甚大，此現象是容量震譜法無法表現的。

表 16 棧橋碼頭設計例容量震譜與歷時分析之最大位移反應比較

橋面版水平最大位移反應	等級 II 地震	等級 III 地震
側推分析容量震譜法分析結果	軸向：27.4 cm 橫向：9.4 cm	軸向：32.7 cm 橫向：11.6 cm
第 1 組非線性歷時分析法結果	軸向：33.2 cm 橫向：12.1 cm	軸向：40.1 cm 橫向：14.0 cm
第 2 組非線性歷時分析法結果	軸向：31.2 cm 橫向：11.0 cm	軸向：42.7 cm 橫向：14.6 cm
第 3 組非線性歷時分析法結果	軸向：28.9 cm 橫向：11.6 cm	軸向：29.7 cm 橫向：13.3 cm

7.1.2 非線性歷時分析之使用時機

由上述比較之結果可推論，INA 規範採用碼頭重要度等級來規定所須採用的分析驗證法仍有其立論基礎，因為性能設計法對重要度越高的結構物越是需要掌握「外力的不確定性」與「精確的結構行為」，而非線性歷時分析法相對的可掌握較多的設計條件；另一方面，不規則結構採用動力分析設計亦是正確觀念且規範行之有年，由前述比較可知，非線性歷時分析所得之位移量約較容量震譜法所得平均結果高出 14%，其差異量並不大，其主因仍為本研究棧橋碼頭案例尚屬規則，因此若設計對象為規則且重要度較低之碼頭結構，則靜力側推容量震譜法之分析誤差應在安全係數涵蓋之範圍內而可被工程師所接受。

7.2 重力式碼頭性能設計適宜性探討

本研究依據設計步驟進行重力式碼頭耐震性能案例設計，過程中尚無窒礙難行之處，可順利完成設計，證實本研究所提之設計流程具可行性，若未來碼頭耐震性能設計規範採用此設計方式，設計單位參照相似的設計流程，應

可順利完成重力式碼頭耐震性能設計。

7.2.1 案例分析方法適宜性探討

在等級 I 地震性能驗證檢核時，使用簡化分析法。簡化分析法根據國際航海協會「INA 港灣構造物耐震設計準則」，採用基於力平衡概念的擬靜力分析法。其基本原理係將構造物與承載土壤視為剛體，計算結構抵抗實際發生之地震具有之耐震安全係數。故分析結果僅只能獲得安全係數之值，而無法確切得知性能要求所提及之滑動位移量及傾角，故在等級 I 地震性能驗證檢核時，本研究將簡化分析結合 Uwabe 在於 1983 年進行多組試驗之結果，再將其結果進行迴歸分析，以建立位移指標與安全係數之相關性經驗公式。而此經驗公式之標準偏差偏大，因此，其可信度應略帶保留，但為因應檢核位移量之性能要求，在無其他更好方法的情況下，此舉是實務上較為可行之方式。

在等級 II 地震性能驗證檢核時，所使用之簡化動力方法為滑動塊分析法，本法依據 Newmark (1965) 所提出之永久位移量之分析方法。其永久位移量之決定係以滑動塊(沈箱)受到地震加速度值超過臨界滑動加速度時，其滑動塊將會產生永久位移量。因此臨界滑動加速度對此法來說，是相當重要之參數。然而臨界加速度值對於土層是否液化及其液化之程度影響相當地大，意即對於重力式碼頭來說，其水力回填土之材料將扮演重要的角色。若此材料液化程度很高，則重力式碼頭破壞程度亦相當大。

等級 III 地震性能驗證檢核時，使用非線性動力分析法。本研究 FLAC 程式進行有效應力分析，同時為考量實務上設計可能遭遇之地層之分層，本研究採用實際鑽探資料進行地層分層，因此

分析案例具有多層不同材料之地層。由於在動態分析時需考慮能量的損失，故必須給定力學阻尼，本案例分析時採用雷利阻尼(Rayleigh damping)，其包含質量阻尼和勁度阻尼。臨界阻尼比對於大地工程材料已有建議值(一般為2%~5%之間)，然而共振頻率輸入參數之決定，對於實務上較複雜之土層，其共振頻率之決定仍為不易，未來或許可透過參數研究的方式訂定出共振頻率值。

7.2.2 非線性動力分析適宜性探討

重力式碼頭其功能為承受碼頭之加載載重，抵抗背後之土壓力、內外之水壓力及船舶之撞擊力、拉力等。在地震作用時，為了更精確探討重力式碼頭之沉箱、基礎、和背填土壤受地震加速度作用下之影響，多利用數值分析法模擬土壤-結構互制的非線性動力行為。目前數值分析法對土壤材料力學行為模擬大致可分為二種，分述如下：

(1)總應力分析法：

總應力分析法考慮土壤之材料組合律係建立於總應力與應變之間的關係，因此，若土體內發生應變改變只會改變總應力，卻不能描述土體內有效應力的改變；既然不能描述地震過程中土體內有效應力的改變，自然亦不能計算地震過程中孔隙水壓的變化。

(2)有效應力分析法：

有效應力分析法考慮在動態剪應力作用下，土壤材料孔隙水壓隨地震動態剪應力作用下之提昇，土壤在反覆剪應力作用下有收縮之驅勢，但在飽和同時不排水條件下，體積因為受到限制無法改變，間接造成孔隙水受壓因而水壓上昇。倘若土壤之材料組合律建立於有效應力與應變之間的關係，在動態剪應力作用下，有效應力之變化也意味著土體內孔隙水壓的變化。因此，若能在數

值應力分析中納入以有效應力為基礎之組合律，則可望在有效應力動態分析中得知碼頭土體內孔隙水壓分佈、有效應力分佈與變形分佈等。

由於土壤內之有效應力代表土體所承擔之平均應力，加上飽和土體內部孔隙水所承擔之孔隙水壓，一起承擔土體所承受之總應力。然而因為孔隙水不能承受剪應力，因此土壤之力學行為受有效應力有絕對影響。因此重力式碼頭非線性動力分析應考慮有效應力和孔隙水壓力，故有效應力分析法較能符合實際情形。

八、結論

1. 傳統耐震設計係要求構造物在使用年限內，可抵抗某一可能發生之大地震而保持生命安全，但結構設計與未來遭遇地震力大小的不確定性，使得耐震能力要求仍受到威脅。而性能設計法增加了構造物破壞控制的耐震目標，讓設計者及使用者均能瞭解構造物在遭遇不同強度的地震時之結構反應及其所具有的耐震能力。
2. 初步設計以簡化分析法模擬土壤結構互制進行設計為現行之設計法，此對工程師而言甚為熟悉，而後再利用分析驗證的方式作耐震性能檢核，在未來推動規範修訂實施上較容易，而簡化分析法相較簡化動力或動力分析法保守，符合工程實務中越不精確之分析方法應越趨保守的設計邏輯。
3. 由案例實作分析可知，在耐震性能設計法的設計過程、分析及檢核的結果算是相當順利，證明耐震性能設計之可行性，若有檢核未通過之情形發生，則需將耐震性能目標或結構物尺寸等進行調整直至檢核結果達目標為止。
4. 碼頭耐震分析方法由簡到繁分為簡

化分析、簡化動力分析以及動力分析三類，三種不同複雜與精確度等級分析方法之選用，與碼頭重要度等級之高低，以及所作用的地震等級相關。在性能設計之第二階段檢核，工程師依結構重要度選擇性能驗證分析方法，驗證碼頭受震行為是否滿足對應的性能要求，動力分析法係上述最複雜之性能驗證方法，但亦可較真實的反應與預測碼頭之受震行為。

5. 針對棧橋式碼頭，本研究所列之分析方法已相當完整，且案例分析亦是選擇較為複雜之碼頭結構，並採用難度最高的非線性歷時分析法作性能驗證，證實其性能設計流程的可行性；對於非線性歷時分析未來將以何種程度制定於規範中，以及是否會造成工程顧問公司較高的人力成本，未來可召開專家座談廣納意見後再做考量調整。另外，對於重力式碼頭分析方法亦完整建立，且案例分析亦以實際之碼頭案例進行，並採用複雜性較高的非線性動力分析法作性能驗證，證實其性能設計流程的可行性。

參考文獻

1. Newmark, N. M., Effect of Earthquake on Dam and Embankment, Geotechnique, Vol.15, No. 2, pp.139-159, 1965.
2. 日本港灣協會(2007)「港灣の施設の技術上の基準・同解説」，運輸省港灣局監修。
3. International Navigation Association, PIANC (2001) “Seismic Design Guidelines for Port Structures,” A.A Balkema Publishers / Lisse / Abingdon / Exton (PA) /Tokyo.
4. 交通部運輸研究所(2005)「港灣構造物設計基準修訂」。
5. 財團法人國家實驗研究院國家地震工程研究中心(2009)「公共工程性能設計準則之研究」，行政院公共工程委員會專案研究計畫。
6. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心(2008~2011)「港灣地區地震潛勢及港灣構造物耐震能力評估之研究」，交通部運輸研究所。
7. 交通部(2008)「公路橋梁耐震設計規範」。
8. ATC (1996), Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings, Vol. 1, ATC-40, Applied Technology Council, Redwood City.
9. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心(2012)，「港灣構造物耐震性能設計架構之研究(1/4)」，交通部運輸研究所。
10. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心(2012)，「港灣構造物耐震性能設計架構之研究(2/4)」，交通部運輸研究所。
11. Uwabe, T. (1983)” Estimation of Earthquake Damage Deformation and Cost of Quay walls based on Earthquake Damage Records,” Technical Note of Port and Harbor Research Institute, No.473, pp. 197.

基隆港類神經颱風波浪推算模式之建立

張憲國 國立交通大學土木工程學系 教授

何良勝 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 科長

劉勁成 國立交通大學土木工程學系 博士後研究

陳蔚璋 國立交通大學土木工程學系 博士後研究

江玟德 交通部運輸研究所港灣技術研究中心 副研究員

一、結論

1.1 研究動機與目的

台灣的經濟及貿易發展與航運有著密不可分的關係，而港灣內部靜穩的程度關係到船隻碇泊與貨物裝卸的作業，多變的環境現象為港灣內安定的主要影響變數之一。對颱風所產生的波浪可藉由推算波浪模式預測波浪的大小及時間，而提早知道波浪未來的可能狀況，使港灣管理相關單位有較充裕時間來採取應變措施，以降低可能的損失。此種預警模式的預測是減少港灣及港內船隻損失的有效方法之一。交通部運輸研究所港研中心利用過去研究經驗，配合類神經網路與模糊理論等技術，建立一個以台灣港灣為主的颱風波浪推算模式，並開發易操作的視窗化介面系統，讓使用單位能避免模式繁雜的資料分析與程式計算，簡易且快速地預測颱風波浪，而能提高預警防災的能力。本研究中所發展其他各國國際港的類神經颱風波浪推算模式的應用與驗證可參見交通部運輸研究所港灣技術研究中心研究報告『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究』。

二、資料來源

本計畫所分析的資料均是由交通部運輸研究所港灣技術研究中心所提供的波浪資料。港灣技術研究中心於2001年6月中旬安置挪威 NORTEK 公司之剖面海流表面波浪與潮汐之監測系統(簡稱 AWCP)，其新舊觀測樁位置如圖1所示。本研究選取 H_s (示性波高)作為實測波高資料，其在統計特性上，具安定性且較能反映波浪所含之能量大小，是最常使用的代表波。(郭，2001)

颱風資料取自日本國土交通省氣象廳(JMA)的 RSMC-Tokyo Center 颱風氣象資料，本研究將颱風氣象資料(經緯度、中心氣壓、近中心最大風速)，利用三次多項式內插，將其時間間距內插為1小時一筆。再依據中央氣象局(CWB)所公佈之侵臺颱風列表，挑選合適的颱風作為模式的建立與驗證之用。建立類神經颱風推算模式需要考慮資料的品質與完整性，本研究考慮每場颱風對應之波浪資料之完整性及相關性，故在模式建立前必須剔除對應波浪資料不完整的颱風，本研究選擇對實測波浪資料完整之颱風共32場來進行資料分析，如表1所示。

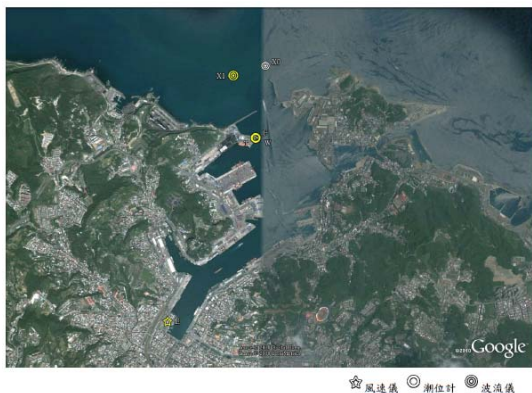


圖 1 基隆港波浪觀測位置示意圖

表 1 選取用來建立基隆港模式的颱風資訊與其對應最大波高

年份	颱風名稱	颱風名稱	最大風速 (knot)	最大波高 (m)
2001	桃芝	TORAJI	75.00	1.30
2001	納莉	NARI	75.00	7.43
2001	海燕	HAIYAN	70.00	10.12
2002	雷馬遜	RAMMASUN	85.00	6.78
2002	辛樂克	SINLAKU	80.00	11.35
2003	蘇迪勒	SOUDELOR	80.00	2.19
2003	杜鵑	DUJUAN	80.00	2.50
2003	梅米	MAEMI	105.00	4.20
2003	米勒	MELOR	50.00	3.81
2004	敏督利	MINDULLE	95.00	1.43
2004	蘭寧	RANANIM	80.00	4.35
2004	梅姬	MEGI	65.00	1.91
2004	艾利	AERE	80.00	6.82
2004	陶卡基	TOKAGE	85.00	4.97
2004	納坦	NOCK_TEN	85.00	4.31
2005	海棠	HAITANG	105.00	5.80
2005	馬莎	MATSA	80.00	7.41
2005	泰利	TALIM	95.00	5.44
2005	卡努	KHANUN	85.00	3.79
2005	龍王	LONGWANG	95.00	3.05
2006	珊珊	SHANSHAN	110.00	4.67
2007	萬宜	MAN_YI	95.00	1.89
2007	帕布	PABUK	65.00	2.01
2007	聖帕	SEPAT	110.00	2.51
2007	韋帕	WIPHA	100.00	4.22
2007	柯羅莎	KROSA	105.00	7.06
2008	鳳凰	FUNG WONG	75.00	3.19
2008	辛樂克	SINLAKU	100.00	4.19
2008	薔蜜	JANGMI	115.00	4.78
2009	莫拉克	MORAKOT	75.00	4.51
2010	凡那比	FANAPI	95.00	3.29
2010	梅姬	MEGI	125.00	4.94

考慮到颱風行徑的路徑，如果颱風是由臺灣東部往西部行徑，颱風結構容易受到中央山脈阻擋而造成結構鬆散，依往昔經驗這類型的颱風受到高山的屏障效應，對於台灣西部各港的影響就會變小，而颱風的最大示性波高就會偏低。從歷年的臺灣地區颱風路徑分類統計圖(圖 2)可發現，較可能對基隆港造成直接影響的路徑為第一路徑、第二路徑及第六路徑等。其餘路徑受到地形以及高山的屏障影響，是一個需要考慮的因素。因此本研究針對基隆港 32 場颱風的所有時間序列中的颱風位置與相對應基隆港波高值作一空問分布的特性分析，其結果如圖 3 所示。圖中為本研究所選取 32 場颱風的空間位置分布，各點位所對應的顏色為基隆港的波高值，色調越暖代表波高越高；色調越冷則對應波高越低。深藍色代表波高小於 1.5m 的資料點，淺藍色代表波高介於 1.5m 至 2.5m 間的資料點，綠色代表 2.5m 至 3.5m 間的資料點，黃色為 3.5m 至 5m 間的資料點，紅色則代表發生 5m 以上波高的資料點。

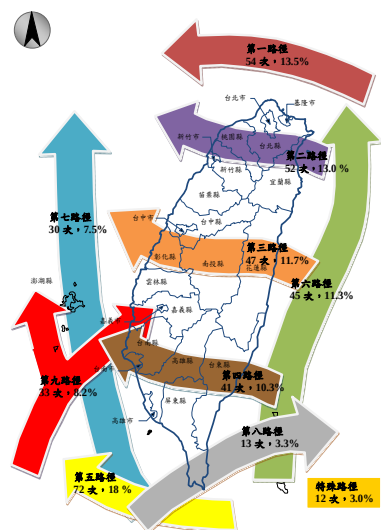


圖 2 臺灣地區颱風路徑分類圖(1897-2010 年)(引自中央氣象局)

基隆港部分在所選用的 32 場颱風中，其中最大示性波高大於 5m 並對於基隆港有較大影響之納莉(NARI, 2001)、海燕(HAIYAN, 2001)、辛樂克(SINAKU, 2002)、艾利(AERE, 2004)、海棠(HAITANG, 2005)、馬莎(MATSA, 2005)、泰利(TALIM, 2005)、柯羅莎(KROSA, 2007)等。由圖 3 可以明顯看出圖中有許多暖色系資料點，顯示基隆港現有颱風波浪資料雖然較少，但其發生的颱風波浪最大波高都較大，且位置集中於台灣東部及東北部外海處，造成最大波高的颱風為辛樂克(SINLAKU, 2002)，於台灣東北方外海處緩慢西行時所造成，其波高達 11.35m，針對此類型特徵的颱風為本模式的考慮重點。其路徑皆屬經過台灣東側的第一、二、六路徑，故顯示颱風空間上位置對其產生波浪的影響有很明顯的關係。

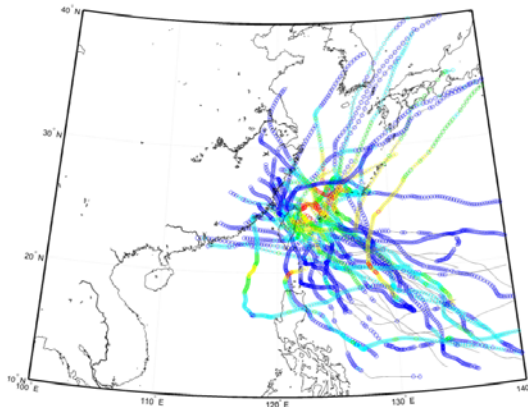


圖 3 颱風中心位置與相對應基隆港波高資料空間分布圖

三、類神經颱風波浪模式

3.1 類神經網路概述

類神經網路具備著一些優良的特性其中包括(1)高速的計算能力(2)自我學習能力(3)高容量的記憶力(4)容錯的能力。有關類神經網路的架構與權

重修正技術可參見江等人(2013)，本模式採用倒傳遞類神經網路架構(Backpropagation Neural Network, BPNN)，關於倒傳遞神經網路的理論與演算詳見 Eberhar and Dobbins (1990)的說明與推導。倒傳遞類神經網路對於線性及非線性函數有良好的模擬能力，而類神經網路在適當的結構組織下能夠模擬有限範圍的隨機函數，也就是類神經結構擁有極佳的記憶能力，模擬能力的好壞受限制於學習資料的完整性及類神經網路結構。

倒傳遞類神經網路藉由學習資料與模擬結果的誤差修正各個加權值，同時藉由學習的過程建構正確的輸入參數與輸出值間的關係。對於具有一個隱藏層的倒傳遞類神經網路通常表示為：

$$O_{P \times 1} = f(W_{S \times R} I_{R \times 1} + b_{S \times 1}) \quad (1)$$

其中 $O_{P \times 1}$ 為神經網路具有 P 個向量的輸出矩陣，f 為轉移函數， $I_{R \times 1}$ 為具有 R 個向量的輸入矩陣， $W_{S \times R}$ 為具有 S 個神經元的神經網路權重矩陣， $b_{S \times 1}$ 為網路偏權值矩陣。式(1)簡單的表示方法為 ”S-P”，所以一個具有 2 個隱藏層神經元的個數分別為 10 及 20，且一個輸出單元時，簡單的表示法為 1-10-20-1。

在使用倒傳遞網路的首先必須決定隱藏層的層數，以確定網路的大小，方能建構一個好的模式。在許多理論研究的結果與工程領域的模擬應用上都顯示，大多數問題可藉由單層隱藏層的架構來處理，2 層以上的架構是用來處理更複雜的問題以及非線性的關係，隱藏層層數的決定在不同的研究或問題中有不同的結論(Chester, 1990; Hayashi 等, 1990; Kurkova, 1992; Hush 和 Horne, 1993)。

類神經網路架構的建置包括輸入層、隱藏層及輸出層，輸入層與輸出層都可以由現有的資訊以及問題本身決定，系統的控制因子或影響因子決定輸入層的神經元個數，系統的預測變數決定輸出層的神經元個數。選取的隱藏層神經元個數一般須經由測試來避免網路結構太過複雜或太過簡單，以往研究結果建議可採用 Huang 和 Foo (2002)提出的經驗公式

$$h = 2z + 1 \quad (2)$$

其中， z 為輸入層的神經元個數， h 為隱藏層神經元個數。

3.2 模式輸入與輸入層轉換函數

RSMC-Tokyo Center 的颱風氣象資料包括颱風經緯度、中心最大風速及中心氣壓，為了使類神經模式輸入的資訊更為精細與明確，本研究利用這三項颱風資料計算出 5 個類神經的輸入參數，分別為：1. 颱風與目標點距離(D)、2. 颱風中心對目標點的方位角(θ_1)、3. 颱風侵襲角(θ_3)、4. 目標點海面 10m 風速(V)、5. 目標點上空風向(V_{deg})。由經緯度資料可計算：颱風與目標點距離(D)、颱風中心對目標點的方位角(θ_1)、颱風移動方位角(θ_2)，距離與方位角只需透過颱風中心座標與目標點座標即可計算，目標點海面 10m 風速(V)及上空風向(V_{deg})可由 RVM 逕行計算， θ_1 與 θ_2 如圖 4 所示。

因北半球的颱風為逆時鐘旋轉，以颱風前進方向為中心來看，其右半圓較左半圓的風力大，故目標點所面臨的是颱風的左半圓或右半圓對於模式推算來說是一個需要考量的因素。本研究透過颱風移動方位角減去颱風中心對目標點方位角($\theta_3 = \theta_2 - \theta_1$)來定義目標點所面臨的颱風結構(左右半圓)， θ_3

定義為颱風侵襲角。以圖 4 狀況為例，颱風中心是由圖中右下往左上方移動，目標點安平港目前所面臨的是颱風的左半圓。由以上關係可知，若 θ_3 在 0° 至 180° 則目標推算點所面臨的是颱風的左半圓，反之，若 θ_3 在 0° 至 -180° 則目標推算點所面臨的是颱風的右半圓。圖 4 中 θ_1 小於 θ_2 ，故 θ_3 為正值，顯示目標點安平港面臨的是颱風的左半圓。

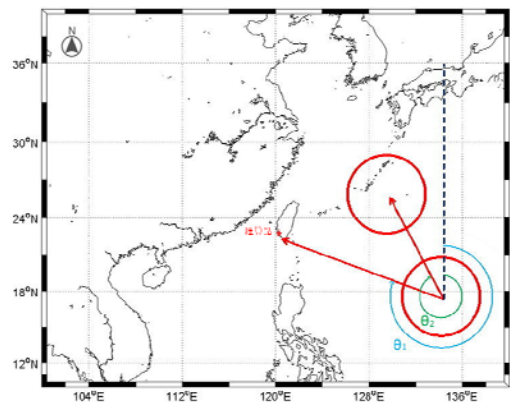


圖 4 颱風中心對目標點方位角 θ_1 與颱風移動方位角 θ_2 示意圖

四、類神經颱風波浪推算結果與驗證分析

為瞭解各模式推算值與觀測值的吻合程度，將採用 4 個指標來評估各模式推算結果的優劣，分別為相關係數(R , correlation coefficient)、均方根誤差(RMSE, root mean squared error)、颱風波浪最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 及最大波高發生時間誤差 Δt_p 。以基隆港選擇的各場實測颱風波浪資料進行建立及驗證，其結果如下表 2 所示。

由表 2 中，灰底色的部分為驗證組的颱風，其餘則為學習組，表中可發現學習組中 22 場颱風波浪推算結果與實測結果最大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以 HAIYAN(2001)颱風誤差較大，其誤差達

表 2 基隆港類神經颱風波浪推算結果

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$ (m)	Δt_p (hour)	RMSE	R	H_{max} (m)
2001	桃芝 TORAJI	1.12	-2	0.74	0.60	1.3
2001	納莉 NARI	-0.86	6	0.72	0.74	7.43
2001	海燕 HAIYAN	-4.57	-4	1.20	0.90	10.12
2002	雷馬遜 RAMMASUN	-0.56	-2	0.54	0.94	6.78
2002	辛樂克 SINLAKU	-3.28	0	0.74	0.95	11.35
2003	蘇迪勒 SOUDELOR	2.42	6	0.88	0.55	2.19
2003	杜鵑 DUJUAN	1.18	-6	0.50	0.73	2.5
2003	梅米 MAEMI	-0.30	3	0.50	0.88	4.2
2003	米勒 MELOR	-0.04	3	0.48	0.84	3.81
2004	敏督利 MINDULLE	2.15	-11	0.88	0.74	1.43
2004	蘭寧 RANANIM	-0.30	3	0.54	0.88	4.35
2004	梅姬 MEGI	0.24	5	0.33	0.81	1.91
2004	艾利 AERE	1.49	4	0.77	0.94	6.82
2004	陶卡基 TOKAGE	-0.13	6	0.87	0.90	4.97
2004	納坦 NOCK_TEN	0.08	6	0.87	0.54	4.31
2005	海棠 HAITANG	-0.92	-2	0.64	0.93	5.8
2005	馬莎 MATSA	-0.92	5	0.59	0.96	7.41
2005	泰利 TALIM	-0.77	3	0.67	0.90	5.44
2005	卡努 KHANUN	-0.20	-4	0.55	0.76	3.79
2005	龍王 LONGWANG	-0.16	-1	0.34	0.74	3.05
2006	珊珊 SHANSHAN	0.52	10	0.96	0.70	4.67
2007	萬宜 MAN_YI	0.27	4	0.49	0.69	1.89
2007	帕布 PABUK	0.34	-21	0.38	0.83	2.01
2007	聖帕 SEPAT	0.29	-5	0.66	0.64	2.51
2007	韋帕 WIPHA	-0.63	5	0.35	0.91	4.22
2007	柯羅莎 KROSA	-1.28	1	0.46	0.95	7.06
2008	鳳凰 FUNG_WONG	0.30	5	0.48	0.91	3.19
2008	辛樂克 SINLAKU	2.57	0	0.78	0.92	4.19
2008	蕎蜜 JANGMI	0.89	-2	0.61	0.88	4.78
2009	莫拉克 MORAKOT	-0.68	2	0.33	0.96	4.51
2010	凡那比 FANAPI	0.98	2	0.47	0.93	3.29
2010	梅姬 MEGI	-0.72	-1	0.50	0.83	4.94
絕對值平均		0.97	4.38	0.62	0.82	4.57

4.57m。最大波高發生時間誤差 Δt_p 則以 SHANSHAN(2006)相差最多。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 RMSE 最大為 HAIYAN(2004)。推算波高結果與實測波高的相關性 R 則以 NOCK_TEN(2004)最差。此外在驗證組中 10 場颱風波浪推算結果與實測結果最

大波高誤差 $\Delta H_{s,p}$ 以 SINLAKU(2008)相差最大，誤差 2.57m。最大波高發生時間誤差 Δt_p 以 PABUK(2007)相差最多，誤差 21 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差 RMSE 最大為 SOUDELOR(2003)與 MINDULLE(2004)，其值為 0.88m。推算波高結果與實測波高的相關性 R 最差為 SOUDELOR(2003)的 0.55。平均來說模式推算結果的各颱風最大波高誤差絕對值 $\Delta H_{s,p}$ 約為 0.97m，最大波高發生時間誤差絕對值 Δt_p 約為 4.38 小時，RMSE 約為 0.62m，相關係數 R 約為 0.82。

本研究另將基隆港半經驗波浪推算模式(景島, 1972)與類神經波浪推算模式之推算結果作比較，選取兩種模式皆有推算出結果且能與實測資料進行比較的颱風共 16 場如表 3。其中以四種模式評估指標包括：波高峰值、峰值發生時間、RMSE 與相關係數 R 進行評估，以基隆港 16 場颱風來看，半經驗模式波高峰值皆有明顯高估的現象，整體而論類神經明顯較半經驗推算模式好。峰值發生時間的比較結果顯示半經驗模式平均會差 24 小時，而類神經模式僅差 3 小時。另外類神經網路的推算結果其誤差約為半經驗模式的四分之一，且推算結果與實測資料的相關性高達 0.81。在基隆港的模式測試下顯示類神經網路颱風波浪推算模式有較好的結果。另本研究以未參予模式訓練的測試用颱風艾利(2004)之推算結果來作展示本模式的推算能力(示如圖 5)，在類神經網路模式的測試中，若未參予模式訓練的測試用颱風也能有良好的推算能力即代表本模式具有廣義性，除了學習範圍內的颱風可良好推算，並對於學習範圍外的其他颱風也可進行合理的推估。

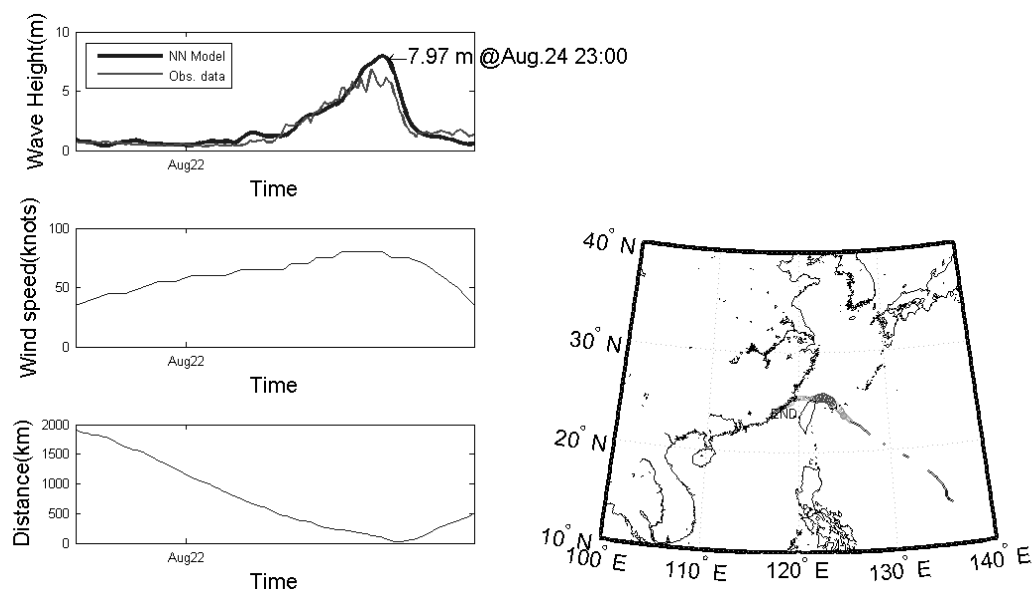


圖 5 基隆港艾利颱風(2004)波浪推算結果

表 3 基隆港兩種波浪推算模式的誤差比較.

年份	颱風名稱	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	RMSE	R	$\Delta H_{s,p}$	Δt_p	RMSE	R	H_{obs}
		(m)	(hour)			(m)	(hour)			
半經驗					類神經					
2001	桃芝(TORAGE)	4.84	-11	3.02	0.02	1.12	-2	0.74	0.60	1.3
2001	納莉(NARI)	0.96	0	1.5	0.79	-0.86	6	0.72	0.74	7.43
2003	蘇迪勒(SOUDELOR)	3.67	5	2.61	-0.65	2.42	6	0.88	0.55	2.19
2004	蘭寧(RANANIM)	2.68	-1	1.32	0.92	-0.30	3	0.54	0.88	4.35
2004	艾利(AERE)	3.06	-6	2.16	0.52	1.49	4	0.77	0.94	6.82
2004	納坦(NOCKTEN)	7.92	-155	4.13	0.09	0.08	6	0.87	0.54	4.97
2005	海棠(HAITANG)	3.54	-12	2.57	0.41	-0.92	-2	0.64	0.93	5.8
2005	馬莎(MATSA)	-1.07	-10	1.78	0.51	-0.92	5	0.59	0.96	7.41
2005	泰利(TALIM)	1.87	-5	2.2	0.43	-0.77	3	0.67	0.90	5.44
2005	卡努(KHANUN)	4.68	-122	3.28	0.65	-0.20	-4	0.55	0.76	3.91
2005	龍王(LONGWANG)	5.06	-2	2.39	0.84	-0.16	-1	0.34	0.74	3.05
2007	聖帕(SEPAT)	3.19	-4	1.64	0.83	0.29	-5	0.66	0.64	2.51
2007	柯羅莎(KROSA)	4.45	-14	4.16	0.05	-1.28	1	0.46	0.95	7.06
2008	辛樂克(SINLAKU)	6.25	-8	3.21	0.32	2.57	0	0.78	0.92	4.19
2009	莫拉克(MORAKOT)	2.33	-24	2.53	-0.3	-0.68	2	0.33	0.96	4.51
2010	凡那比(FANAPI)	2.79	-3	1.47	0.67	0.98	2	0.47	0.93	3.29
絕對值平均		3.65	23.88	2.50	0.38	0.94	3.25	0.63	0.81	4.64

五、結論

本研究依往昔經驗建立基隆港類神經颱風波浪推算模式，分析結果顯示路徑 1、2 及 6 經過台灣東北方外海的颱風所造成的波浪影響為明顯。基隆港各場颱風波浪最大波高誤差取絕對值後平均約為 0.97m，而此外最大波高發生時間誤差取絕對值後平均約 4.38 小時。模式推算颱風波浪與實測波浪均方根誤差平均為 0.62m。推算波高結果與實測波高的相關性則平均為 0.82。另採用傳統半經驗波浪推算模式與類神經波浪推算模式之推算結果作比較，選取兩種模式皆有推算出結果且能與實測資料進行比較的颱風，以四種模式評估指標進行比較，整體而論類神經波浪推算模式的結果明顯較半經驗推算模式的結果更為正確。本成果可供港務公司與相關單位作為預警系統或參考。

參考文獻

- 1.井島武士，「台中港設計波浪計算報告書」，日本港灣顧問公司(1972)。
- 2.郭一羽，「海岸工程學」，文山書局，第四章(2001)
- 3.張憲國、錢維安、何良勝、林受勳 (2004)「臺灣港灣地區颱風波浪推算之應用研究(二)」，交通部運輸研究所。
- 4.錢維安(2006)「模糊-類神經混合網路之颱風波浪推算模式」，國立交通大學土木工程研究所博士論文。
- 5.江玟德、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝『臺灣主要港口附近海域長期波浪統計特性及設計波推算之研究(4/4)』，交通部運輸研究所(2013)
- 6.Chester, D. (1990) "Why two hidden layers are better than one," In Proceeding IEEE International Joint Conference on Neural Networks, Washington, D.C. 265-268.
- 7.Eberhart, R.C. and Dobbins, R.W (1990) Neural Network PC Tools - A Practical Guide, Academic Press, San Diego.
- 8.Graham, H.E., and Nunn, D.E. (1959) "Meteorological conditions pertinent to standard project hurricane," Atlantic and Gulf Coasts of United States, National Hurricane Research Project, Report No. 3, U. S. Weather Service.
- 9.Hayashi, Y., Sakata, M., and Gallant, S.I. (1990) "Multi-layer versus single-layer neural networks and an application to reading hand-stamped characters," In proceeding International Conference on Neural Networks, Paris, 781-784.
- 10.Huang, W., and Foo, S. (2002) "Neural network modeling of salinity variation in Apalachicola River," Water Research, Vol. 36, 356-362.
- 11.Hush, D.R., and Horne, B.G. (1993) "Progress in supervised neural network: what's new since lippmann," IEEE Signal Processing Magazine, Vol. 10, 8-39.
- 12.Kurkova, V. (1992) "Kolmogorov's Theorem and multilayer neural networks," Neural Networks, Vol. 5, 501-506.

臺灣綠色港埠建置之研究

陸曉筠	國立中山大學海洋環境及工程學系	助理教授
李忠潘	國立中山大學海洋環境及工程學系	教授
陳陽益	國立中山大學海洋環境及工程學系	教授
薛憲文	國立中山大學海洋環境及工程學系	副教授
吳濟華	國立中山大學公共事務管理研究所	教授
黃紋綺	國立中山大學海洋環境及工程學系	研究助理
林玲煥	交通部運輸研究所臺灣研究中心	助理研究員

摘要

港口在人類歷史發展中扮演十分重要的角色，亦創造世界百分之六十以上的經濟產值，然隨著港口的快速發展，港埠開發產生環境汙染、土地閒置、生物多樣性下降、棲地破碎等現象，均對當地生態環境及人文社會造成不可回復之衝擊。有鑑於此，歐、美、日、澳等國家領先提出「生態港(Eco-Port)」、「綠色港灣(Green Port)」理念，強調港埠發展除重視經濟效益，亦應發展低汙染、提高生物多樣性、復育環境、結合周邊社區利益等多目標性的港埠營運模式。臺灣港務單位面對民國101年轉型為公司化，及綠色環境政策逐漸成為全球共同義務之趨勢，如何兼顧經貿及調適各項環境衝擊、處理環境汙染，並與自然共存，為其首要挑戰。

研究以高雄港作為示範港埠，並針對臺灣綠色港埠的建置，分為港埠永續規劃、港埠永續建設、港埠永續經營管理及港埠永續社會結構等四個面向，提出合適的環境策略。港埠永續規劃為透過整體空間的檢視，由港埠環境基礎資料庫的建構，分析整體環境可能面臨的問題，進而提出可適用於港埠空間的規劃準則；港埠永續建設為檢視港埠中硬體設施是否符合能源及環境友善之理

念，並透過綠色港埠總體性評估指標，衡量港埠整體發展的永續性；港埠永續經營管理層面，首先探討臺灣港埠政企分離後之權責，並初步建構臺灣綠色港埠經營自評準則，提供港埠企業明確的綠色環境改善方案，同時藉由獎勵措施的搭配，增加航商推動綠色港埠之動力；港埠永續社會結構為透過空間分析，劃分港埠地區的影響範圍，進而對潛在的風險制訂分級及相對應的改善策略。藉由此四大層面的評估檢視，推動臺灣國際港埠成為環境友善、符合節能減碳之綠色港埠，且希冀透過本研究之評估程序及結果，協助港務公司擬定未來永續發展及環境保護策略，並應用於臺灣其他國際商港。

一、何謂綠色港埠

21世紀初期，國際港口因經濟快速發展過後面臨困境——環境汙染、港埠空間閒置等，而這些現象進而影響環境生態體系，更對周邊社區造成負面的影響。因此，歐美、日等先進國家領先提出一連串港埠再造與轉型計畫，導入「生態港(Eco-Port)」、「綠色港灣(Green Port)」理念，企圖透過相關環境政策，建構可供依循的指導方針、評量機制及操作流程，冀望減低港埠運作時對環境所造成的負面影響，以達可

與「環境共存 (co-existing)」的港埠 (The Port of Long Beach)，然由於港埠涉及之議題廣泛，各國的定義及發展方向也依不同國家與環境特色而異，但無論是「綠色港灣」或「生態港灣」，均是強調港埠營運不僅重視經濟效益，亦應朝向發展低汙染、提高生物多樣性、復育環境、結合周邊社區利益等，改善港埠營運模式及港區環境之目標 (邱文彥，2008)。

目前臺灣就「綠色港埠」發展，仍處於初步階段，亦尚未有明確的定義，但綜觀各國的定義及面相，臺灣發展綠色港埠之理念，應為在提升港埠經濟效益的同時，強調改善港埠營運模式及港區環境，藉由污染防治及整體空間之策略規劃，考量港埠及周邊之環境棲地、社區與城市，達到「對環境永續治理的承諾及社區居民的責任」。

二、臺灣建立綠色港埠之優勢

自 1992 年巴西里約「地球高峰會議」和 2002 年南非約翰尼斯堡「永續發展世界高峰會議」後，永續發展 (Sustainable Development) 的概念逐漸受到各國重視，同時也成為全人類共同追尋的目標，面對綠色政策已成為全球共同對環境的義務，臺灣「綠色港埠」的建置需積極面對日益複雜的環境挑戰外，也應具備強化臺灣港埠的競爭力及環境形象，以連結全球之「綠色港群」。

綠色港埠的建置對市民、政府及航商之效益，對港埠周邊之市民而言，綠色港埠可 (1) 增加市民對港的認知；(2) 減少對港的不信任與衝突；(3) 增加親水休憩空間；(4) 藉由友善港埠減低社區之災害與風險；對政府而言，綠色港埠可 (1) 增加臺灣港埠「質」的發展競爭力；(2) 強化港埠權

益相關者之間關係；(3) 藉由港埠親民形象的建立，發揮對環境承諾的示範及建立環境維護角色；(4) 減少能源之耗用、降低成本，增加港埠工作環境之友善性；(5) 建立港市良好互動，減少港市界面空間之不協調；對航商而言，實行綠色港埠可 (1) 減少汙染防治之成本；(2) 提高管理效能；(3) 達到友善環境管理及港埠良好企業形象。

三、如何建置臺灣綠色港埠機制

港埠與其周圍環境具密切的關係，而相關港埠環境政策的擬定，已由過去汙染防治轉換為整體空間之策略，因此在綠色港埠建置的研究範圍劃定上，除港埠用地本身外，還需延伸至其周邊社區及都市空間。同樣在研究面向上，考量國際港埠營運同時面臨營運、環境、經濟社會等不同之議題，本研究以臺灣第一大國際商港，亦為港市關係最為複雜—高雄港作為示範港埠 (圖 1)，並就港埠永續規劃、港埠永續建設、港埠永續經營管理及港埠永續社會結構等，四個面向之議題進行探討，以達港埠營運之經濟、環境及社會永續三者並存之發展。



圖 1 港市研究範圍示意圖

3.1 港埠永續規劃

港埠永續規劃為希冀藉由港埠整體空間規劃來減輕對環境的影響，同時提供港市整合之介面空間準則。研究初步以高雄港作為示範港埠，透過三個步驟之空間規劃流程，建立港埠規劃及分區之依據。

1. 建構港埠（市）資料庫，分析現有港埠空間及使用狀況、可能產生之環境衝擊及影響範圍。

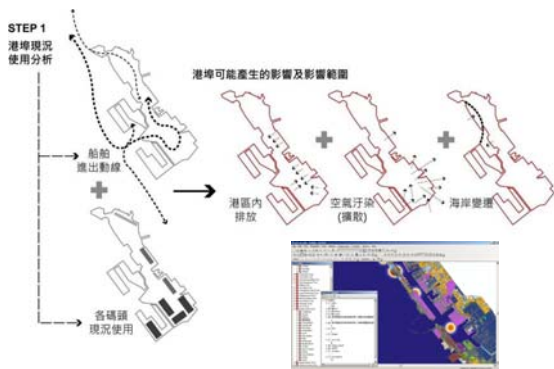


圖 2 港埠空間規劃之步驟 1

2. 分析現有港、市之紋理及既定發展方向（上位及相關計畫檢討），探討港市互動之關係、影響範圍，了解其空間使用之強度衝突，以此劃定空間之分析準則及緩衝帶區域。

3. 透過空間適宜性分析，提出分區之策略及規劃藍圖。

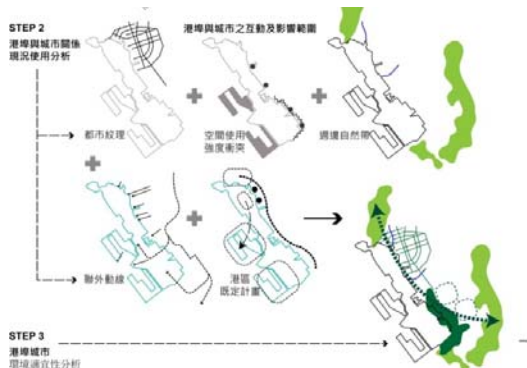


圖 3 港埠空間規劃之步驟 2、3

3.1.1 推動港埠體檢及基礎資料庫之建置

綠色港埠空間規劃之環境資料庫應包含環境監測資料（噪音、空氣品質、水質水文、生態、淤泥）、人口統計（人口數量、教育程度、年齡結構、行業職業、外及配偶、遷徙率）、都市規劃（土地使用、土地覆蓋、水深、碼頭使用、公共設施、人文特徵、公告地價）、空間結構變遷（土地使用變遷、人口結構變遷）等，透過整體性之思考模式，將港埠空間進行分析，以減輕港埠開發對環境所造成的影響。

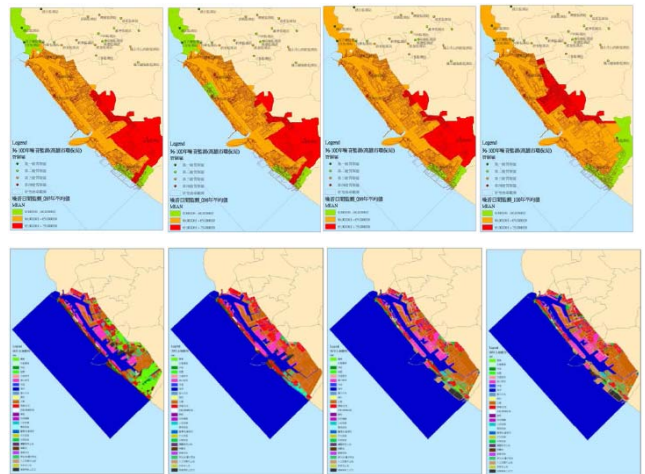


圖 4 港埠空間規劃之環境資料庫（噪音）及結構變遷（土地使用）

3.1.2 港埠面臨之環境管理議題與建議

研究根據港埠資料庫之分析結果，提出目前港埠面臨的問題及建議。

1. 港埠地區空氣品質

港區內產業型態以工業為主，加上港埠周圍多具主要幹道，交通繁忙造成的沙塵及廢棄均對當地環境及生活品質造成不良的影響。研究建議可透過提升大眾交通運輸工具的使用率，並增加綠廊道以減低空氣汙染所造成的負面干擾。另外在港埠內船舶及浮動設施的燃料替代上，可使用無硫燃料，或提供

岸電系統，降低港埠中船隻空氣污染的情況。

2. 港埠地區夜間噪音

港埠周圍大貨車或聯結車常利用夜間運輸，及吸引許多觀光客夜間前往的觀光轉型之舊港埠區，均造成夜間噪音值高於人睡眠品質之標準的情況發生。研究建議應該夜間時段限制車輛只能在特定的道路上行駛，避免進出住宅密集的區域，或透過綠廊加寬作為緩衝，降低可能帶來的噪音污染。

3. 港埠地區水質控管

港埠內水質污染非全為港內活動所造成，流入港區的水道亦為可能影響的因素之一。研究建議除加強水道之水質監測外，亦應嚴格取締非法排放及非點源之污染，並在港埠內建立中水系統，以收集船隻上的廢水且再利用。

4. 港埠地區生態保育

港埠開發已對大面積的海岸生態棲地造成干擾，即使目前港埠之環境品質可達到一定程度的改善，卻也難以回復原始的生態系統，因此應對港埠周圍現存的生態棲地給予適當的保存，並進而針對受到破壞的環境給予生態補償，以維護當地棲地。

3.1.3 港埠空間規劃準則

根據碼頭的使用年限及現況大致可分為營運中、計畫興建、計畫遷移及目前屬於閒置狀況之四種型態碼頭。研究進而針對此四種型態之碼頭空間，提出在不同周邊相鄰區塊之空間規範準則，並進而同時由整體港埠之空間規劃，發展港埠親水及休憩之規劃理念，包含（1）港埠環境重要節點；（2）港市街道與水岸空間之延伸；（3）港埠綠帶之串連，透過建築物高度及色彩的限制，和避免不當的土地使用分區，將港埠中自然與人工建設適當結合，降低過

去港市間的隔閡，進而營造水岸生活空間，且有效串連港市之綠資源，建構生態廊道。

3.2 港埠永續建設

港埠空間多為高密度使用，大量的港埠建設與活動往往亦造成高環境風險與危害，加上傳統建設多採硬性工法，導致環境無法恢復之傷害。近年來國際商港陸續將最佳管理操作（Best Management Practice, BMP）模式加入港埠操作中，並將港埠建設引入國際標準規範，如環境管理系統（ISO14001）、生態管理與審核計畫（Eco-management and Audit Scheme, EMAS），以降低發展對環境可能造成的衝擊。研究希冀透過永續環境設計之理念，提供港埠環境及人為設施能符合能源及環境友善之準則。

3.2.1 綠色港埠總體性評估指標

為評估港埠發展是否能永續支持及維持人類社會所需，也能追求環境永續之發展、以達資源有效利用，研究根據國外相關評估系統，包含美國「能源及環境設計領導系統（Leadership in Energy and Environment Design, LEED）」、「永續計畫評估系統（Sustainable Project Rating Tool, SPiRiT）」和「低衝擊開發（Low Impact Development, LID）」，與國內相關評估研究，包含臺灣港埠節能減碳效益提升之研究（交通部運輸研究所，2011）、港灣生態景觀規劃設計應用研究（交通部運輸研究所，2011）等計畫及臺灣環境現況，建構出一套綠色港埠總體性指標評估系統。

臺灣綠色港埠總體性評估指標架構共分為生態保育、污染防治與處理、環境與空間規劃及能源與資源利用等

四項類別（表1），進而針對各類別建立細部指標內容，指標定義涵蓋港埠內部組成、屬性及功能、與外部環境、人文社會等可能產生之問題，並與港埠發展之議題結合，建構臺灣現有港埠區域規劃之指標。

3.3 港埠永續經營管理

臺灣交通部港務局於民國 101 年轉型為公司化，面對港政、航政及營運管理將逐漸分離，港埠空間的使用將由先前純粹經濟考量下，逐漸趨於複雜化與多工化，港務公司如何在全球競爭的市場下持續穩定港埠經貿成長，且同時符合世界高漲之環保意識、調適各項環境衝擊、處理環境汙染，並與自然共存，為其首要之挑戰。研究針對臺灣港埠政企分離之權責進行探討，並發展港埠操作及船舶進出之「綠色標準經營管理流程」等經營管理策略，提供給港埠營運者參考，以達到最低之環境影響。

表 1 臺灣綠色港埠總體性評估指標

主要指標類別	次要指標類別	主要指標類別	次要指標類別
生態保育	海洋生態保護	污染防治與處理	碼頭電力供應船舶
	降低海洋生物干擾	環境與空間規劃	降低對周遭土地利用干擾
	完整生態調查		船舶間干擾避免
	生物棲地復育		防洪機制
	生態敏感地		工作環境改善
污染防治與處理	壓艙水污染防治		港區空間使用改善
	廢(汙)水處理再利用	能源與資源利用	港埠與城市廊道串聯
	燃油洩漏防護		碼頭機具電動化
	監測系統建立		使用替代能源設施
	裝卸貨管線移除防護		清潔與再生能源使用
	液體貨物洩漏防護		員工環保教育
	空氣汙染避免		船舶進港減速
	環境破壞氣體避免		協調管理
	廢棄物管理		飲用水消耗
	疏濬處理		材料選擇
	噪音及震動避免		地表滲透
	光害避免與防治		建物使用標準尺寸

3.3.1 臺灣港埠政企分離相關權責探討

臺灣港務股份有限公司之改制原則，主要是採取政企分離之航港組織體制，管理涉及公權力的部分，由航港局辦理，其餘未涉及公權力之事項，則由商港經營事業機構管理，以利商港經營事業機構掌握商機及彈性營運，但在船舶發生災害、汙染事故之權則尚待釐清。港務公司由具有公權力之港務局改制而成，但目前港務公司對於港埠之經營管理幾乎不具公權力，如何將港埠之經營管理加以落實為一重要挑戰。由現行商港法而言，港務公司之角色尚需磨合，惟有公權力配合執行的落實，港埠空間之經營管理始能更臻完善，尤其是涉及污染防治部分，宜在商港法增定相關規範，給與港務公司部分之公權力，以防止污染情事及避免污染有擴大之虞，同時，港務公司應負起港埠經營事業單位之責任，若「水污染防治法事業分類及定義」公告事項增列「港口區域經營管理業」業別，未經嚴格之偵測、巡查、閉門等防範機制，港埠空間內業者的不當污染行為，可能肇致港口區域經營管理業（港務公司）受罰之現象。

3.3.2 臺灣綠色港埠經營自評準則

臺灣綠色港埠經營自評準則，主要希冀將過去傳統由上而下的單一管理方式，轉變為由下而上的運作策略。藉由港埠管理單位提出具體的綠色環境改善方案，給予當地港埠企業及相關單位明確的審視依據和改善空間，進而根據各單位自評結果由相關管理單位認證後，透過各項獎勵措施，如降低租賃費等實質獎勵，提供港埠企業（航商）推動綠色港埠發展的動力，同時降低港埠管理單位在環境復育和汙染防制費用上的消耗，藉此達到雙贏的局面。

研究初步建構臺灣綠色港埠經營

自評準則（港埠經營管理機制），準則內容可分為汙染防治與處理、環境與空間規劃、能源與資源利用、教育及環境管理四大層面，汙染防治與處理主要由空氣品質促進、水資源管理、噪音、廢棄物等著手，著重的範圍包含港埠交通及工具燃料的使用，及一般空氣汙染物排放管控，以達國際認證之標準；環境與空間規劃主要評估如何在複雜的港埠結構中提升環境品質、促進工作效率和降低干擾；能源與資源利用為考慮材料的選擇、能源管理、水資源消耗等，將材料及產品的生命週期，及對環境可能造成的衝擊納入評估；教育與環境管理層面，則以評估港埠工作人員和市民對港埠的認知，提升港埠人員的素質及促進地方的社區營造能力，此外亦納入相關認證考核機制的評估，以提升企業自身形象和競爭力。

3.4 港埠永續社會結構

港埠永續社會結構強調港埠周邊社區之發展模式及參與機制，以提升港埠城市之環境品質，促進港市之良性互動。綠色港埠需達成對環境治理的承諾及社區居民的責任，由於港埠環境產生之汙染可能受當地地形、氣象條件、城市規模和周邊社區型態而異，而港區之運作及產業型態也嚴重影響周邊社區之社會經濟發展，長期造成整體社區之人口結構變遷。

研究根據港埠地區的人口社會資料（港埠周邊人口密度變遷、港埠週邊教育程度分布、港埠週邊年齡及職業結構分布、港埠周邊平均地價分布等）與環境監測資料（港埠周邊空氣懸浮微粒分布、港埠週邊噪音分布等），利用空間分析劃分港埠地區的影響範圍與潛在風險（圖 5），並依不同潛在風險制訂分級對策及互動機制，同時透過互動

式參與及環境教育，達到港埠周邊社區發展之穩定及永續性。

表 2 港埠經營管理自評項目

汙染防治與處理	空氣品質促進	保護臭氧層，降低全球暖化潛力因子
		限制空氣汙染物的產生，並確保汙染物被散發至不被偵測器所測到的地區
		降低氣味的產生（即使無害）
	水資源管理	管理水資源維護港口及其他水體品質
		避免因為潛在洪水以及地下水位改變造成損害
	噪音	監測堆高機、船、貨車、汽車和大型機械
		在施工及運作時監測噪音程度
環境與空間規劃	廢棄物	盡可能的減少廢棄物的產生
		減少掩埋垃圾，促進循環再造
		確保危險廢棄物的安全儲存和處理
		提升室內空氣品質，保障員工健康進而提高生產力
	促進工作環境品質改善	將日照和人工照射做最適合眼睛健康的有效光照配合
		減少工作環境噪音干擾
		改善室外工作環境，提高工作效力
能源與資源利用	觀光潛力改造	改善當地社區環境
	材料選擇	回收再利用的材料
		易分解的材料
		減少新材料的使用
		對環境友善之材料
		具體指出材料所含有的環境衝擊
	能源管理	考慮材料的使用年限以及整個建築結構設計
		減少能源浪費
		使用再生能源
		能量來自替代性能源，少用會造成溫室氣體的燃料
		降低多於能量消耗
		減少車輛或機械排放溫室氣體
		發展大眾運輸友善環境
	水資源消耗	以最少的能源做最大的利用
		減少用水的消耗
		管理及監測水資源的使用和任何漏水情況
		減少用在景觀灌溉的飲水量
		現地中水回收再利用，減輕當地供水負擔
教育與環境管理	監督與環境管理	與相關利益者保持良好關係並且友善回應任何問題
		監督機構設立
		資訊處理
	參與認證機制	環境認證參與
		提供一個認可、處理以將環境衝擊減至最低的準則，並且能夠給予環境最大的效益
	港埠相關人員教育	教育開發者、員工及客戶關於 ESD 的內容以及如何增進永續性 員工品質提升

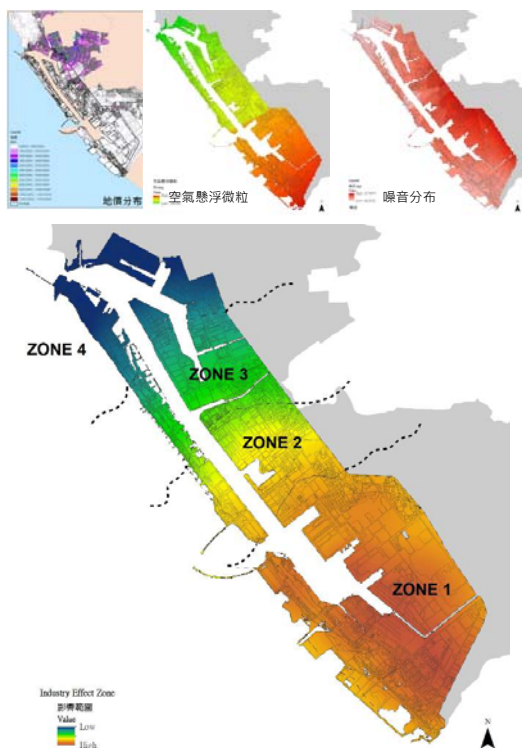


圖 5 港埠週邊初步擬訂之分區規劃圖

四、結論與建議

「綠色港埠」及「生態港埠」的概念已成為歐、美、日、澳等世界大型港埠積極發展的核心策略，同時也是港埠經營未來的趨勢。目前各國發展對環境有善之港埠已由過去汙染防治，轉換為整體空間規劃之策略，包含港埠及周邊環境區域、社區及城市。研究之研究範圍非僅侷限港埠用地，而延伸至周邊社區和都市空間，並分別針對港埠永續規劃、港埠永續建設、港埠永續經營管理及港埠永續社會結構等四個面向，提出合適的港埠友善及綠色之環境策略，冀望藉由綠色港埠建置之研究，減少港市界面隔閡之問題，同時落實綠色運輸「對環境治理的承諾及社區居民的責任」，透過臺灣綠色港的建置強化港埠之環境競爭力。

參考文獻

- 1.交通部運輸研究所，臺灣港埠節能減碳效益提升之研究（1/4），2011。
- 2.交通部運輸研究所，港灣生態景觀規劃設計應用研究（1/4），2011。交通部運輸研究所，臺灣綠色港埠建置之研究（1/4）期末報告，2011。
- 3.交通部運輸研究所，臺灣綠色港埠建置之研究（2/4）期末報告，2012。
- 4.邱文彥，「綠色港灣的概念與其對高雄港的意涵」，2008 高高屏區域永續治理研討會論文集，高雄，2008，頁 193- 200。
- 5.The Port of Long Beach (no date), Port of Long Beach-Green Port Policy, http://www.polb.com/environment/green_port_policy/default.asp, 2009/02/27.

臺灣海域船舶動態資訊系統規劃與建置之研究

邱永芳 交通部運輸研究所臺灣研究中心 主任
張富東 交通部運輸研究所臺灣研究中心 研究員
黃茂信 交通部運輸研究所臺灣研究中心 助理研究員

一、前言

「智慧型海洋運輸系統(Maritime ITS, M-ITS)」是指結合電子與資訊、系統與網路等技術，來支援海洋運輸系統；使得海洋運輸的使用者能獲得所需要的資訊，並且對於這些資訊的蒐集、儲存、檢索、分析與發佈等提供必要的軟硬體設備，以提升運輸安全、效率與效益。近年來國際上為了航行安全與效率、反恐保安與海洋環境保護，要求船舶、港埠甚至海岸皆須配備與建置相關的資通訊系統，例如：電子海圖顯示與資訊系統(Electronic Chart Display and Information System, ECDIS)，船舶自動識別系統(Automatic Identification System, AIS)等。

目前國內在智慧化航行系統的推動方面，行政院海洋事務推動推動小組於2007年第二次委員會議決議「加強推動臺灣各商港及港灣技術研究中心建置船舶自動識別系統(AIS)，並提供海巡署進行初步鏈結同時強化商港船舶交通服務中心(VTS)設備與功能」，因此交通部運輸研究所港研中心乃積極建置臺灣海域AIS接收站，來輔助海巡署現有雷達偵測系統的不足，並提升海上遇難船舶辨識率，延伸海面船舶監控的範圍；經由搭配原有雷情系統，可以即時獲取遇難船舶之靜、動態資訊，強化預警及應變能力，並可逐步建立全臺海域航安監控網絡，有效提昇海域執法及救難任務的整體能量。

二、研究目的

本研究除了以建立「臺灣海域船舶動態資訊系統」來追蹤航行於臺灣海域的船舶動態，並獲取航行船舶的即時資訊外，主要是以電子海圖顯示與資訊系統(ECDIS)為基礎，結合了GPS衛星導航與無線通訊技術，建置船舶自動識別系統(AIS)接收站，來追蹤航行於臺灣海域的各類船舶動向，並以接收站所獲得之船舶航行資訊，整合成為一套AIS資料庫系統，藉由AIS資料庫系統可以研判臺灣海域航行船舶的航行軌跡，並分析臺灣海域的海運交通流量情況，作為未來航線規劃與船舶導航的最佳參考依據，提供智慧型海洋運輸系統(M-ITS)所需的必要資訊，進而實現臺灣海域e-化航行的總目標。

三、研究方法

3.1 AIS 現況分析

國際IALA組織於AIS Guidelines中對於AIS系統整體架構規劃如圖3.1所示。

依據AIS系統整體架構規劃圖可知AIS對各港VTS涵蓋範圍內的船舶航行安全以及航埠營運效率有相當大的助益。而目前國內各國際港已分別陸續完成VTS的建置。有關AIS頻率分配，臺灣交通部電信總局目前編印之「中華民國無線電頻率分配表」係針對ITU於2000年召開之世界無線電會議

對頻率分配之建議案，所修訂各類業務頻率使用情形。依該分配表：156-157.45, 160.6-160.975 及 161.475 - 162.05 供船舶通信業務使用 156.7625-156.8375 供水上行動（遇險與呼叫）使用。電信總局將於相關規定配合加註指定 161.975MHz 與 162.025MHz 頻道為 AIS 用途。

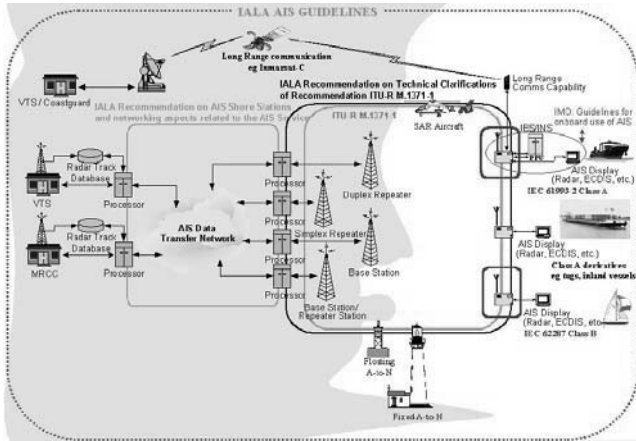


圖 3.1 AIS 系統整體架構規劃

SOLAS (International Convention for the Safety of Life at Sea 1974) 公約第五章於西元 2000 年 12 月通過修訂，將 AIS 納入成為強制性的設備要求，確定了所有客輪、航行於國際航線的 300 總噸以上船舶、以及公約國航行於國內航線的 500 總噸以上船舶，必須於西元 2002 年 7 月 1 日起至西元 2008 年 7 月 1 日止，分階段達成配備 AIS 設備的規定。國際標準 AIS 船載臺一般需包括組件：天線、VHF 發射機、兩個多頻 VHF 接收機、用於頻道管理的 Ch70 VHF 接收機、中央處理單元 (CPU)、全球導航衛星 (GNSS) 接收機（用於時間同步並做為備援的定位系統）、連接艙向與航速測量裝置以及其他航儀的介面、連接雷達/自動雷達測繪裝置 (ARPA)、電子海圖系統/電子海圖、顯示與資訊系

統(ECS/ECDIS)、以及整合導航系統 (INS)的介面、內建自我測試 BIIT (Built In Integrity Test)、符合最低要求的顯示裝置與鍵盤，用以輸入與取得資料等設備，以自動而連續的方式發送本身的資訊，不需要人員介入。

AIS 船載臺發送的資料內容主要可分為如下三類，其資料來源與更新時機則如表 3.1 所示。

表 3.1 AIS 資料來源與更新時機

資料類別	資訊項目	資訊的產生、種類與品質
固定或靜態資訊	MMSI (水上移動業務識別)	安裝時設定船舶易主時可能需要修改
	呼號	安裝時設定船舶易主時可能需要修改
	船名	安裝時設定船舶易主時可能需要修改
	IMO 號碼	安裝時設定
	船舶的長寬	安裝時或有變更時設定
	船舶種類與貨載	從預先安裝的清單中選取
動態資訊	定位天線的位置	安裝時設定對於雙向型船舶或是安裝多個天線的船舶，可能需更改
	船位附帶準確度指示	自動更新自連接至 AIS 的位置感測裝置準確度指示以優於或劣於 10 米表示
	船位時戳 (UTC)	自動更新自連接至 AIS 的位置感測裝置
	對地航向 (COG)	自動更新自連接至 AIS 的位置感測裝置 (如果該裝置可提供 COG)。此資訊可能無法取得
	對地航速 (SOG)	自動更新自連接至 AIS 的位置感測裝置此資訊可能無法取得
	艙向	自動更新自連接至 AIS 的艙向感測裝置
	航行狀態	由航行當值人員輸入並適時變更
	轉向速率 (ROT)	自動更新自連接至 AIS 的 ROT 感測裝置或由電羅經取得此資訊可能無法取得
航程相關資訊	船舶吃水	於航程開始時以人工輸入航程中的最大吃水，並於必要時予以修正
	危險貨物 (種類)	於航程開始時以人工輸入，確認是否裝載下列危險貨物：DG (危險貨物)、HS (有害物質)、MP 不需要指明數量
	目的地與預計抵達時間	於航程開始時以人工輸入，並適時更新
	航路計畫 (航路點)	於航程開始時以人工輸入，由船長自由決定並適時更新
	安全相關的簡訊	可人工輸入自由格式的簡短文字訊息，指定給特定位址 (MMSI) 或廣播給所有船舶與岸臺單一訊息最長可達 158 個字元，但是愈短愈容易送出

3.2 AIS 岸基設施分析

AIS 岸基設施系統架構至少應包括下列各部份：

1. AIS 基站設備 (Base Station, BS)

如果不考慮備援設備，每個 AIS 岸基點位，應設置乙組 AIS 基站設備，主要功能包括：

- (1)接收 AIS 船臺透過 AIS 資料鏈路發送的訊息。
- (2)透過 AIS 資料鏈路對 AIS 船臺發送資訊，提供相關服務。
- (3)接收 DGPS 次系統的 DGPS 訊號，對 AIS 船臺提供 DGPS 服務。
- (4)連接 AIS 網路，將取自 VTS 資料庫船舶資料及接收到的 AIS 船臺資訊傳送給 AIS 系統操控顯示模組。

2. DGPS 基站設備

如果不考慮備援設備，每個 AIS 岸基點位，應設置乙組 DGPS 基站設備。或由相鄰的 AIS 岸基點位，透過網路共用乙組 DGPS 基站設備。該 DGPS 基站設備負責產生 DGPS 資訊，經由 AIS 基地臺廣播給涵蓋範圍內的 AIS 船臺。同時必須提供 DGPS 監測機制，以確保廣播之 DGPS 資訊的正確性。

3. AIS 系統操控顯示模組

AIS 系統操控顯示模組的顯示幕可以與 VTS 現有顯示幕共用。此模組負責控制連結到 AIS 網路的 AIS 基站設備，並與其他網路裝置通訊。此模組除了主要設備之外，應提供備援設備 (hot-standby)。

4. AIS 網路管理模組

此模組負責管理 AIS 區域網路，具備系統設定、系統監視與測試等設施以執行網路管理功能。

5. AIS 資訊與資料庫伺服模組

AIS 資訊與資料庫伺服模組主要

由 AIS 資料庫伺服器與 AIS 資訊伺服器兩部份所組成。AIS 資料庫伺服器功能包括 AIS 資料的紀錄、備份、與查詢。AIS 資訊伺服器則負責從 AIS 網路到現有 VTS 資料庫以及外部客戶端使用者的 AIS 資料流，將 AIS 資料發送給客戶端 (Clients) 使用者。此部份應提供網路安全機制。AIS 資料應以開放格式處理並提供此格式之說明文件，以便後續系統擴充時，其他第三者的應用系統能取用。

6. AIS 資訊客戶端設備

此設備之主要功能在於提供遠端/外部使用者透過網路接收與查詢 AIS 資訊伺服器內的 AIS 資料以及現有 VTS 資料庫。此設備除能顯示電子海圖及 AIS 所得之資料外，並應能顯示取自 VTS 之船舶資料庫等船舶預報、引水預定上船時間及船舶相關靜態資料等資料。

7. AIS 船載臺設備

此船載臺主要可做為測試驗證 AIS 岸基設施之用。此 AIS 船臺設備應符合 IEC 61993-2 國際標準，並包括 S57 電子海圖顯示系統。AIS 船臺內建的 GNSS 接收機應具備 DGPS 定位功能。

8. 維護用終端設備

此設備主要供機動維護 AIS 系統設備與網路之用。

四、研究成果

基於 AIS 接收臺位置與數量規劃原則，已陸續完成基隆港、蘇澳港、臺北港、臺中港、高雄港、花蓮港、布袋港等 7 站主要港口、苗栗外埔漁港、屏東貓鼻頭及澎湖馬公港、蘭嶼開元港、金門大武山、馬祖北竿、澎湖吉貝嶼，累計臺灣本島及其附屬離島共完成 14 座接收站的設置，未來亦將持續進行臺

灣海域船舶主要航線的監控與測試，目前建置完成的現階段臺灣海域 AIS 接收站設置地點如圖 4.1 所示。

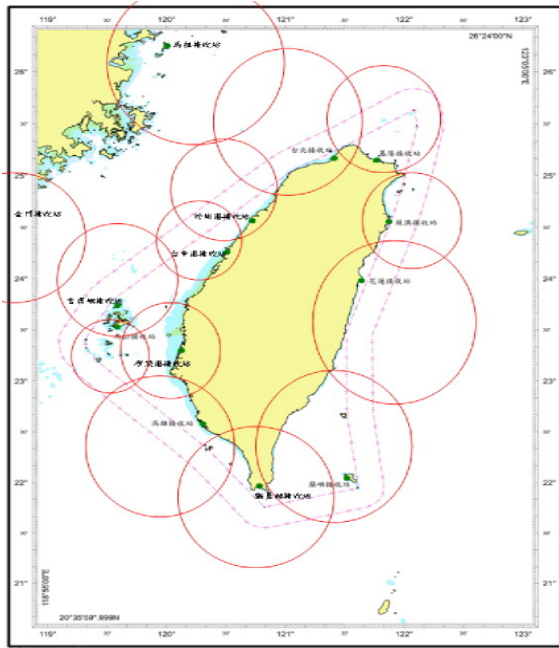


圖 4.1 現階段臺灣海域 AIS 接收站設置地點

依據交通部委託中華海運研究協會執行之「船舶自動識別與報告系統整合規劃之研究」報告，研究小組利用臺灣沿岸地形高度資料與電子海圖岸線資料，利用 MAPINFO 地理資訊系統的 Vertical Mapper 工具模組進行空間視域分析。另以 Line-of-sight 可見範圍做為較嚴格的無線電涵蓋範圍的規劃，得出了臺灣本島沿岸 AIS 基地站的涵蓋分析如圖 4.2。而依據交通部運輸研究所港研中心於 2012 年完成本島 9 座與離島 5 座 AIS 基地臺的架設，並實際運作後之評估，臺灣本島的 AIS 至少需設置 15 座基地臺才能充分涵蓋；而離島部分則建議設置澎湖、彭佳嶼、蘭嶼、金門、馬祖、東沙等 6 座基地站來以延伸臺灣海域 AIS 的涵蓋範圍；而其臺灣海域 AIS 基地站設置地點規劃則如圖 4.3 所示。

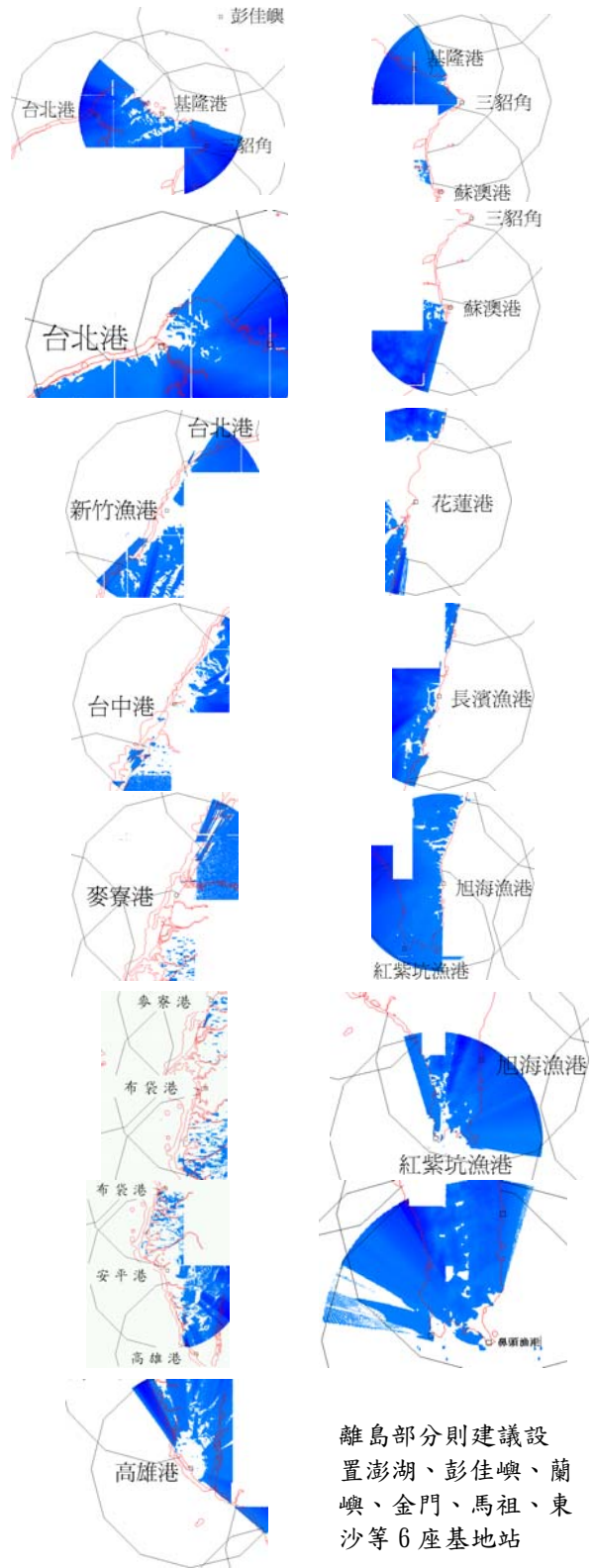


圖 4.2 臺灣沿岸 AIS 基地站的涵蓋分析(資料來源:交通部)

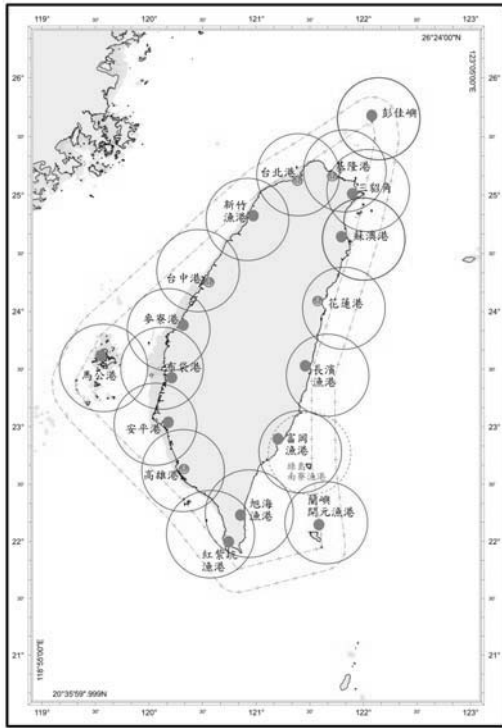


圖 4.3 臺灣海域 AIS 基地站設置地點規劃

對於 AIS 基地臺的涵蓋分析有以下補充說明：

1. 以基隆港 AIS 站（規劃設於基隆港 VTS）而言，模擬分析與實測結果都顯示：鼻頭角以東海域受到遮蔽，西側收訊範圍只能到富貴角。蘇澳港的 AIS 基站北面只達三貂角。因此建議至少應於三貂角加設一 AIS 站。
2. 臺北港 AIS 站的東北方向約可涵蓋到麟山鼻，與基隆港 AIS 站互補。
3. 高雄港 AIS 站受到萬壽山遮蔽的部分恰可由安平港 AIS 站提供涵蓋。
4. 布袋港、麥寮港、安平港三站的重疊範圍較大，可以適當規劃採用方向性天線，區分為扇形涵蓋區，以提高通訊容量。

而基於海上航行安全及各港務分公司所轄海域與目前 AIS 涵蓋範圍的需求分析，交通部運輸研究所對於交通部「船舶自動識別與報告系統整合規劃之研究」中所規劃之臺灣海域各 AIS

基地站其架設、維運及整合的區域管理機關劃分則有以下之建議：

1. 北部航務中心：基隆港、臺北港、蘇澳港、三貂角、彭佳嶼、馬祖等 6 站。
2. 中部航務中心：臺中港、新竹漁港、麥寮港等 3 站。
3. 南部航務中心：高雄港、安平港、布袋港、紅紫坑漁港、澎湖、金門、東沙等 7 站。
4. 東部航務中心：花蓮港、長濱漁港、富岡漁港、旭海漁港、蘭嶼等 5 站。

臺灣海域 AIS 網路整合的主要考量因素如下：

1. 每個 AIS 岸臺的資料量都相當的大，彼此之間接收到的目標資料必有重覆之處，接收的 AIS 資料應能過濾重複者，減輕整體 AIS 資料庫的負荷。
2. 岸臺不僅僅只是接收，更必須提供資訊服務。岸端發送資料或轉傳簡訊給指定船臺時應能掌握該船目前適合由哪一個基地臺傳送訊息。
3. 岸端廣播的詢息則應注意調整最佳組合，至少相鄰基地臺的發送時槽必須錯開。

因此建議區域性管理機關應先行整合所轄海域的 AIS 基地站建置 1 座區域性之 AIS 資料庫系統，則臺灣海域將可有北部航務中心、中部航務中心、南部航務中心、東部航務中心等 4 座區域性 AIS 資料庫系統；未來區域性 AIS 資料庫系統可以透過寬頻網際網路的鏈結再整合成為 1 個「臺灣海域船舶動態資訊管理中心」，藉以提供臺灣海域全區的航安資訊，而此航安資訊的維護與促進，其主政機關為交通部航港局，建議該資訊管理中心應隸屬交通部航港局。

參考文獻

- 1.邱永芳、張富東、蔣敏玲(2010)，「智慧型航行與監測系統之研究(1/4)」，交通部運輸研究所專書。
- 2.邱永芳、張富東、張淑淨、李良輝、周宗仁(2009)，「電子化(e化)航行安全模式之建立研究(4/4)」，交通部運輸研究所專書。
- 3.邱永芳、張富東(2008)，「電子化(e化)航行安全模式之建立研究(3/4)」，交通部運輸研究所專書。
- 4.邱永芳等，“智慧化海運系統之建立研究(4/4)”，交通部運輸研究所專書，2012.
- 5.邱永芳等，“海岸帶及近海衛星遙測技術之整合應用研究(4/4)”，交通部運輸研究所專書，2012.
- 6.邱永芳等，“以水下自動化載具進行多音束測深之研究(4/4)”，交通部運輸研究所專書，2012
- 7.張淑淨、陳承德，2005，船舶自動識別系統輔助交通流分析與模擬之研究，第七屆水下技術研討會論文集。

港 灣 報 導 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 臺中市梧棲區中橫十路 2 號
交通部運輸研究所港灣技術研究中心「港灣報導編輯委員會」收