

97-55-7340
MOTC-IOT-96-H2DA005

水下自動化監測作業技術之研發 (3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 97 年 4 月

97-55-7340
MOTC-IOT-96-H2DA005

水下自動化監測作業技術之研發 (3/4)

著者：邱永芳、郭振華、薛憲文、邱逢琛、蔡金吉

交通部運輸研究所

中華民國 97 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

水下自動化監測作業技術之研發 (3/4) / 邱永

芳等著. -- 初版. -- 臺北市 : 交通部運研

所, 民 97.04

面; 公分

參考書目: 面

ISBN 978-986-01-4054-5(平裝)

1. 海下工程 2. 水中聲學 3. 自動化

443.029

97007733

水下自動化監測作業技術之研發 (3/4)

著者: 邱永芳、郭振華、薛憲文、邱逢琛、蔡金吉

出版機關: 交通部運輸研究所

地址: 臺北市敦化北路 240 號

網址: www.ihmt.gov.tw (中文版 > 中心出版品)

電話: (04) 26587176

出版年月: 中華民國 97 年 4 月

印刷者: 福島實業有限公司

版(刷)次冊數: 初版一刷 120 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價: 100 元

展售處:

交通部運輸研究所運輸資訊組 • 電話: (02)23496880

五南文化廣場: 臺中市中山路 6 號 • 電話: (04)22260330

GPN: 1009701019

ISBN: 978-986-01-4054-5 (平裝)

著作財產權人: 中華民國 (代表機關: 交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：水下自動化監測作業技術之研發(3/4)			
國際標準書號 (或叢刊號) ISBN978-986-01-4054-5 (平裝)	政府出版品統一編號 1009701019	運輸研究所出版品編號 97-55-7340	計畫編號 96-H2DA005
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳主任 計畫主持人：邱永芳主任 研究人員：郭振華、薛憲文、邱逢琛、蔡金吉、王培源、蓋美嫻 聯絡電話：04-26587221 傳真號碼：04-26571329			研究期間 自 96 年 1 月 至 96 年 12 月
關鍵詞：載具、多音束測深、船舶運動			
摘要： 本計畫為發展水下自動化監測作業的相關技術，提昇水下工程施工品質與施工管理並期減少環境衝擊之目標，本年度研擬目標為：			
1. 建立使用水下載具之港灣防波堤的水下表面觀測作業方法，本研究進行水下載具系統整合與水槽測試：包含電纜及酬載儀器在內的系統設計、軟硬體整合與水槽測試、整合 94、95 年度所製作之原型機各元件，撰寫作業系統軟體程式。在水槽內測試子系統及儀具的功能，並在水槽內確認整體系統的功能正常。並使用數值模擬方法，驗證結構物外形自動追蹤控制之可行性。在載具製作方面，本年度完成潛艇硬體之加工製作、遙控軟體之撰寫、系統組裝及測試載具之接頭、纜線系統、電源及控制電路等工作。			
2. 探討水深測量及底質探測在疏浚工程之應用：多音束測深精度提升因子之探討，探討聲波式海床表層底質分類技術及資料庫之建置，探討地形及底質資料庫在疏浚工程之應用。			
3. 本年度完成從臺灣周圍海域多個船舶運動資料及波浪反算結果，合理分析臺灣海域即時波浪場全貌的方法及程式，這是建構波浪場即時測報系統的關鍵技術，本研究引用 TaiCOMS 之中尺度台灣近海波浪模擬資料，作為探討台灣海域波浪全貌分析方法與程式之建構與驗證之依據。本研究採用多層類神經網路模式，並確認能有效的以有限的量測資料（譬如來自於 70~80 個測點或更少的資料）重建台灣周圍海域波浪整體空間分佈全貌。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
97 年 4 月	94	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： <input type="checkbox"/> 密 <input type="checkbox"/> 機密 <input type="checkbox"/> 極機密 <input type="checkbox"/> 絕對機密 （解密條件： <input type="checkbox"/> 年 <input type="checkbox"/> 月 <input type="checkbox"/> 日解密， <input type="checkbox"/> 公布後解密， <input type="checkbox"/> 附件抽存後解密， <input type="checkbox"/> 工作完成或會議終了時解密， <input type="checkbox"/> 另行檢討後辦理解密） <input checked="" type="checkbox"/> 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Development of Automatic Underwater Monitoring Technique (3/4)			
ISBN(OR ISSN) ISBN978-986-01-4054-5 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009701019	IOT SERIAL NUMBER 97-55-7340	PROJECT NUMBER 96-H2DA005
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yuang-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yuang-Fang PROJECT STAFF: Guo Jen-Hwa; Shyue Shiahn-Wern; Chiu Forng-Chen; Tsai Chin-Chi; Wang Peir-Yuan; Kai Mei-Ying PHONE: +886-4-26587101 FAX: +886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM January 2007 TO December 2007
KEY WORDS: Vehicle, MBES (multi-beam echo sounding), Ship motion.			
ABSTRACT			
<p>In the project, the study is focused on the development of the technique of automatic underwater monitoring, which would improve the quality and management of underwater construction. The targets are done as follows:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The report presents work done in the third year of a four-year project. A method for parameter identification is developed for the vehicle. The vehicle has four thrusters. With proper thrust distribution algorithms, the vehicle is able to move in surge, sway, heave, and yaw directions. The vehicle has different dynamic responses in each of its degree-of-freedom due to the open-frame design. Mathematical models are established for each degree-of-freedom. The least squares method is used to find the values of model parameters. Preview control using distance measurement sonar is used to navigate the vehicle along the profile of an underwater structure. A robust controller is designed for the vehicle. Stability and performance of the control system is discussed. Computer simulations then verify the approach presented here. 2. The project is to explore the applications of bathymetric survey and sea bottom classification in dredging: investigating the feasibility of promoting MBES's accuracy, seabed classification technology using backscatter of multi-beam echo sounding and establishing a database for bathymetric survey data, exploring dredging application of MBES bathymetric survey. 3. In this year (2007), research is focused on the development of the method and computer program to evaluate the overall wave field of the sea area around Taiwan based on the wave data evaluated using measured ship motions of the fleet of Taiwan Coast Guard. In the present study, it has been confirmed by simulation that the proposed Multilayer Neural Network model can be used to reconstruct the overall wave field of the sea around Taiwan based on the limited wave data-- just 70~80 observed points or less. 			
DATE OF PUBLICATION April 2008	NUMBER OF PAGES 94	PRICE 100	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目 錄	III
圖目錄	V
表目錄	VII
第一章 前言	1-1
第二章 水下載具之導航與控制器設計	2-1
2.1 導航設計	2-1
2.2 運動控制	2-4
2.3 導航及控制器模擬	2-5
第三章 多音束測深應用於疏浚工程之量測精度提升評估	3-1
3.1 單音束及多音束測深在疏浚工程的應用	3-1
3.1.1 單音束及多音束測深規格的差異	3-1
3.1.2 單音束及多音束測深量測結果的差異	3-2
3.1.3 單音束及多音束測深差異的可能原因	3-4
3.1.4 探討多音束測深在疏浚工程的應用	3-5
3.2 評估測深之潮汐修正效應	3-8
3.2.1 傳統式潮位量測	3-8
3.2.2 潮位數據去噪處理	3-9
3.2.3 潮時及潮差對疏浚量測的影響	3-9

3.2.4 港區 RTK 驗潮評估	3-10
3.2.5 疏浚量測的潮位修正作業模式	3-12
3.3 多音束聲納技術在疏浚工程之應用	3-13
3.3.1 疏浚工程需求	3-13
3.3.2 多音束聲納技術在疏浚工程之應用	3-14
3.3.3 高雄港多音束聲納系統疏浚測量範例	3-17
第四章 臺灣海域波浪資料取得及分析	4-1
4.1 臺灣近岸海象預報資料取得(TaiCOMS) [10]	4-1
4.2 類神經網路架構	4-2
4.3 波浪空間分佈之重建	4-3
第五章 結論與建議	5-1
參考文獻	6-1
附錄一 期末報告審查意見及辦理情形	7-1
附錄二 期末報告簡報資料	8-1

圖 目 錄

圖 2.1 水下載具之座標軸·····	2-1
圖 2.2 水下載具之路徑規劃及控制模擬·····	2-8
圖 3.1 單音束水深測量成果圖·····	3-2
圖 3.2 單音束與多音束測深網格比較圖·····	3-2
圖 3.3 單音束及多音束交錯檢核誤差分佈圖·····	3-4
圖 3.4 測區位置圖·····	3-5
圖 3.5 測區局部放大圖·····	3-6
圖 3.6 多音束測深網格大小及體積對照圖·····	3-8
圖 3.7 潮位觀測值及移動平均後的比較圖·····	3-9
圖 3.8 RTK 受到干擾時的漂移現象·····	3-11
圖 3.9 土方計量原則·····	3-15
圖 3.10 土方檢核原則·····	3-15
圖 3.11 疏浚區 94 年至 96 年的水深色階圖·····	3-18
圖 3.12 疏浚區 95 年至 96 年不同色階比對圖·····	3-19
圖 3.13 疏浚區剖面 94 年至 96 年水深變化圖·····	3-20
圖 3.14 疏浚區 95 年至 96 年剖面及回淤變化圖·····	3-21
圖 4.1 類神經網路架構·····	4-3
圖 4.2 原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/03/01)·····	4-4
圖 4.3 經由類神經網路計算出的波高等高線圖·····	4-5
圖 4.4 波高分布重建結果之偏離分析·····	4-5

圖 4.5	原始資料所畫出的週期等高線圖(2006/03/01)·····	4-6
圖 4.6	經由類神經網路計算出的週期等高線圖·····	4-6
圖 4.7	原始資料所畫出的波向圖(2006/03/01)·····	4-7
圖 4.8	經由類神經網路計算出的波向圖·····	4-7
圖 4.9	原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/12/02 上午)·····	4-9
圖 4.10	經由類神經網路計算出的波高等高線圖(2006/12/02 上午)··	4-9
圖 4.11	波高分部重建結果之偏離分析(2006/12/02 上午)·····	4-10
圖 4.12	原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/12/02 上午)·····	4-13
圖 4.13	經由類神經網路計算出的波高等高線圖(2006/12/02 上午)	4-13
圖 4.14	波高分部重建結果之偏離分析(2006/12/02 上午)·····	4-14

表 目 錄

表 2.1 螺槳電壓與推力關係·····	2-6
表 2.2 載具參數估測數值·····	2-7
表 3.1 單音束及多音束測深規格比較表·····	3-1
表 3.2 單音束測深與多音束測深交錯檢驗表·····	3-3
表 3.3 平坦測區多音束測深體積估算表·····	3-7
表 3.4 崎嶇測區多音束測深體積估算表·····	3-7
表 3.5 一等水域 95%信賴程度之測深誤差預估表·····	3-16
表 4.1 誤差分析資料表·····	4-11
表 4.2 單季波高分布重建誤差分析資料表·····	4-15

第一章 前言

近岸水下工程之施工目前尚以潛水人員做為監測品管的一環，同時水下基礎控制皆未建立量測技術，因此發展水下自動化監測作業的相關技術對於水下工程施工品質的管制與施工安全管理，皆有相當助益，本研究即針對研發港灣、海洋及水下新科技減少環境衝擊之目標，研提三個子計畫，其各項計畫本年度之目標分述如下：

1. 以水下結構物表面之觀測為目標。由於防波堤經常承受較大波浪拍擊及長年浸泡於海水中，混凝土容易形成劣化，結構體易發生破裂塌陷等損壞，本研究設定之觀測任務以防波堤沈箱之水下觀測為主。水下載具可以從事下列幾項例行性觀測任務：(1)拋石觀測：載具以等速度，沿著沈箱表面，以距離拋石面等深度之姿態航行，航行過程以視訊攝影方式取得拋石基礎的影像。(2)沈箱面觀測：以一次觀測一座沈箱為原則，載具以等深度沿著沈箱表面航行，到達一端後，改變深度，沿沈箱表面回到起始端。經過多次的不同深度觀測結果，可以整合出整體沈箱表面的影像資料。本年度主要工作為水下載具系統整合與水槽測試：包含電纜及酬載儀器在內的系統設計、軟硬體整合與水槽測試、發展港灣水下結構物觀測作業系統所需之軟硬體整合介面、與測掃聲納及多聲束聲納整合之介面設計、發展感測資料融合方法、港灣防波堤的水下表面觀測作業測試。整合 94,95 年度所製作之原型機各元件，撰寫作業系統軟體程式。在水槽內測試子系統及儀具的功能，在水槽內確認整體系統的功能正常。施行港灣防波堤的水下表面觀測作業試驗。
2. 本研究依據國際海測組織(IHO)所制訂之水深測量規範之精神，針對淺水域多音束測深技術之相關議題作全面性的研究探討，其研究包含多音束測深技術、人員培訓、規範標準、資料庫之建立、漂沙回淤率及底質分類技術等相關應用的層面。本年度探討水深測量及底質探測在疏浚工程之應用：多音束測深精度提升因子之探討，探討聲波式海

床表層底質分類技術及資料庫之建置，探討地形及底質資料庫在疏浚工程之應用。

3. 基於海洋資源調查、利用與開發之需要，海上休閒活動以及海上運輸與交通的日益增加，國人對於臺灣海域波浪即時而精確的掌握將會有日益增加的迫切需求。亦即，建置臺灣海域波浪屬『面』的波浪測報系統應屬必要，因此必須儘速研發相關核心技術。此外，隨著行動通訊與衛星定位技術的發展與普及，國際上關於海洋量測的方式也已逐漸從傳統的定點測量進步到利用行動感測器(mobile agent)構成的感測網路(sampling networks)方式，以求同時獲得隨時間變化及空間變化的資訊，而更便於驗證預報模式，提升預報精度。本年度進行臺灣海域波浪全貌分析其施行步驟與方法如下：

- a. 臺灣海域波浪隨季節變化之空間特性分析：依據『臺灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)』的研究成果，並蒐集過去的海象資料，依季節分析臺灣海域波浪空間特性。
- b. 特殊氣象條件下臺灣海域波浪之空間特性分析：依據『臺灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)』的研究成果，並蒐集過去於特殊氣象條件下的海象資料，分析於特殊氣象條件下臺灣海域波浪之空間特性。
- c. 臺灣海域波浪空間特性之識別模擬：從臺灣海域波浪之空間特性，嘗試抽出特徵之可能方式。
- d. 臺灣海域波浪全貌分析方法之探討：考慮臺灣海域波浪空間特性，當給定多點（譬如 70~80 點）波浪資料之前提下，建立推估臺灣海域波浪全貌之分析方法。
- e. 臺灣海域波浪全貌分析程式之建構與驗證：發展程式並依據過去已知之資料進行驗證。

第二章 水下載具之導航與控制器設計

2.1 導航設計

ROV 使用三個座標系來描述空間運動，一為空間固定座標系 U (earth-fixed coordinate system)，另外兩個為載具座標系 B (vehicle-fixed coordinate system)，和參考路徑之座標系 R (reference frame system)，如圖 2.1 所示。 x, y, z 代表空間三維座標軸， ϕ, θ, ψ 代表載具之橫搖、縱搖、及平擺角。座標軸原點設在都卜勒聲納之原點，以便於運動訊號的處理。

ROV 在水平面及垂直面之運動可用各自由度上成對的螺槳推進器分別控制。在水平面上，四具螺槳推進器所推出的力在水平面之投影，可以解析出平面上的平移及旋轉之推力。兩具螺槳推力在垂直面上之投影可用來控制深度。ROV 的姿態可以用一姿態向量表示為 \mathbf{p} 。 \mathbf{p} 為時間 t 的函數。

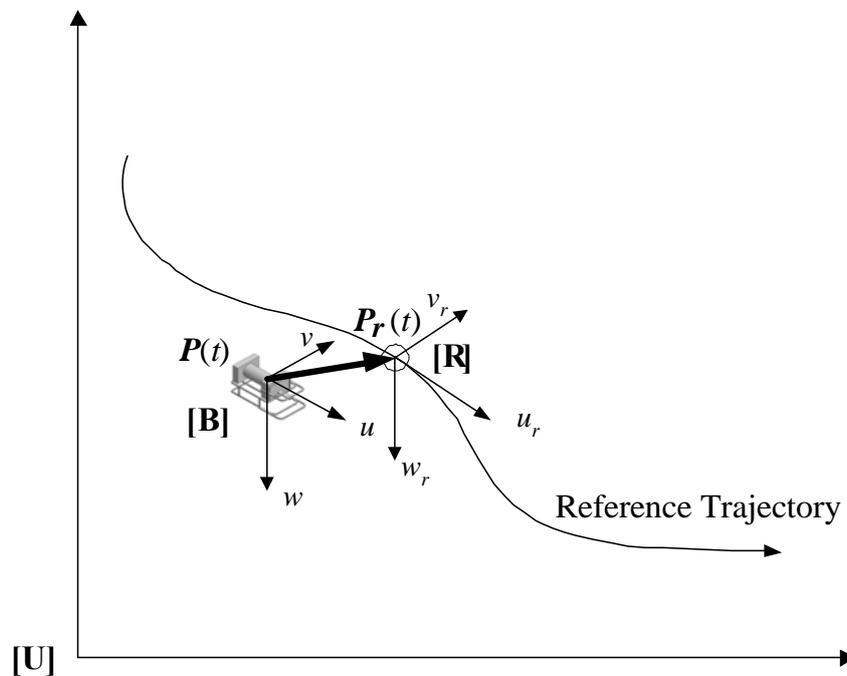


圖 2.1 水下載具之座標軸

為了追隨港灣結構物外型，必須即時量測結構物位置，做為ROV追隨的參考路徑。平滑的參考路徑較利於ROV自動控制下之運動穩定性，為確保規劃的路徑是平順的參考路徑，本計畫使用 B-spline 擬合，根據載具測距聲納即時量測到的結構物外型，規劃載具之追隨參考路徑，保持參考路徑平滑，卻又不失去原有結構物的輪廓。

B-spline 曲線具有局部數據點控制的能力，可在不改變曲線階數下，增加曲線的控制點。B-spline 曲線數學模式簡述如下：

若 $\mathbf{c}(l)$ 為曲線上的位置向量，則沿著參數 l 的 B-spline 曲線可定義為

$$\mathbf{c}(l) = \sum_{i=0}^N \mathbf{c}_i B_{i,k}(l) \quad l_0 \leq l < l_N, \quad 2 \leq k \leq N \quad (2-1)$$

其中 l 為參考路徑之長度參數， \mathbf{c}_i 為控制點位置向量，個數為 $N+1$ 。 $B_{i,k}(l)$ 則是正規化的 B-spline 基底函數，在階數為 k 時，第 i 個基底函數 $B_{i,k}(l)$ 定義為

$$B_{i,1}(l) = \begin{cases} 1 & \text{if } l_i \leq l < l_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

及

$$B_{i,k}(l) = \frac{(l-l_i)B_{i,k-1}(l)}{l_{i+k-1}-l_i} + \frac{(l_{i+k}-l)B_{i+1,k-1}(l)}{l_{i+k}-l_{i+1}} \quad (2-2)$$

上式中， l_i 為節點向量(knot vector)中的第 i 個元素，且 $l_i \leq l_{i+1}$ ， $l_0 \leq l \leq l_N$ 。

載具上裝配了都卜勒聲納和測距聲納，都卜勒聲納即時得知載具的速度及位置，可推估測距聲納的位置，及載具與障礙物的距離，藉由以上的資訊則可計算擬合出障礙物的輪廓，有了障礙物的座標位置即可以規劃安全的平移距離，進而得到參考路徑。參考路徑演算法簡述如下：

1. 儲存載具上感測器收到的資料，測距聲納置於載具座標原點一公尺之前，以固定的時間間格量取結構物外形資料；如當載具前進的速度為 0.25 m/s，則每四秒可規劃一段路徑，作為未來的參考路徑。
2. 依據取得的資料點經由 B-spline 曲線擬合，以座標點 $\mathbf{c}(l)=[x(l) \ y(l)]^T$ 呈現出障礙物的輪廓。
3. 考慮曲率過大的凹入型結構物外形，其偏移點所形成之路徑控制點可能互相重疊，所以需移除曲率過大的資料點。
4. 設定偏移量為 s_D ，將曲線資料點作安全距離的偏移以及計算水平面之偏移的法向量。法向量之計算式為：

$$\mathbf{n}(l) = \frac{1}{\sqrt{x'(l)^2 + y'(l)^2}} \begin{bmatrix} x'(l) \\ -y'(l) \end{bmatrix} \quad (2-3)$$

上式中， $x'(l)$ 、 $y'(l)$ 是 B-spline 曲線在路徑長度參數方向的微分式。經 B-spline 曲線擬合之參考路徑如下式：

$$\mathbf{c}_r(l) = \mathbf{c}(l) + s_D \mathbf{n}(l) \quad (2-4)$$

由上面計算規劃的參考路徑座標點，可將參考路徑轉換成路徑長度參數 (l_r) 的函數，即 $\mathbf{c}_r(l_r) = (x(l_r), y(l_r))$ ，進而計算參考路徑座標系中之曲率 κ_r 、角速度 r_r 、與參考角位置 ψ_r 。

$$\kappa(l_r) = \frac{x''(l_r)y'(l_r) - y''(l_r)x'(l_r)}{(x'(l_r)^2 + y'(l_r)^2)^{3/2}} \quad (2-5)$$

$$r_r = \kappa(l_r)u_r \quad (2-6)$$

$$\psi_r(l_r) = \text{atan2}(x'(l_r), y'(l_r)) \quad (2-7)$$

2.2 運動控制

載具動力模型項，是表示載具受力的物理關係。我們將載具受外在環境影響的力，考慮成一線性化的模式，式中考慮的包括科氏力、重力、流體力及纜線之外力。載具動態模型可表示如下：

$$\mathbf{f}_0 = \mathbf{M}_0 \ddot{\mathbf{p}}_c - \mathbf{C}_0 \dot{\mathbf{p}}_c - \mathbf{D}_0 \dot{\mathbf{p}}_c - \mathbf{t}_0 - \mathbf{g}_0 \quad (2-8)$$

上式中， \mathbf{M}_0 為載具之慣性及附加慣性項， \mathbf{C}_0 矩陣為科氏效應及離心力，水動力阻尼 \mathbf{D}_0 代表載具運動與流體間摩擦所造成的能量損失。 \mathbf{D}_0 包含載具與流體相對速度之線性函數，以及二次函數的相關性。 \mathbf{t}_0 所代表的是載具受到纜線的作用力， \mathbf{g}_0 則為重力及浮力之總和。

載具的控制器，由導航器所計算所得的誤差空間座標 \mathbf{p}_e 及其微分 $\dot{\mathbf{p}}_e$ 作為輸入，得到輸出值 \mathbf{f}_c 來當作螺槳馬達的命令值。控制器的設計，主要的目的，是利用 P-D(比例-微分)加上誤差補償的方法，來對系統的做控制。載具之動力方程式，可分為以下三個部分：

1. 動力模型 \mathbf{f}_0
2. 回授 \mathbf{f}_f
3. 誤差補償 \mathbf{f}_L

則載具之控制力可表示為

$$\mathbf{f}_c = \mathbf{f}_0 + \mathbf{f}_f + \mathbf{f}_L \quad (2-9)$$

\mathbf{f}_f 回授由 P-D 控制法所構成。

$$\mathbf{f}_f = -\mathbf{K}_p \mathbf{p}_e - \mathbf{K}_D \dot{\mathbf{p}}_e \quad (2-10)$$

為了降低穩態誤差，另加入一非線性函數 \mathbf{n} 於迴授路徑中：

$$\mathbf{f}_L = -\mathbf{K}_L \mathbf{n}(\boldsymbol{\varepsilon}, \mathbf{w}) \quad (2-11)$$

2.3 導航及控制器模擬

本計畫規劃之水下載具，由於開框架載具的形狀不對稱，因此在不同的運動方向及運動速度下，會導致不同的動態反應。本節以運動方程式描寫載具在各方向的運動，並以水槽實驗數據建立載具水平面及垂直面之模式係數，表示水下載具之開回路系統動態，以做為動態模擬的基礎。假設每一個自由度均可以被單獨控制，互相不干擾，則載具之運動方程式可以表示為：

$$\begin{bmatrix} m_{\dot{u}} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_{\dot{v}} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_{\dot{w}} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I_{\dot{r}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{u} \\ \dot{v} \\ \dot{w} \\ \dot{r} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_{u|u} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_{v|v} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_{w|w} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_{r|r} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u|u \\ v|v \\ w|w \\ r|r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_u & 0 & 0 & 0 \\ 0 & b_v & 0 & 0 \\ 0 & 0 & b_w & 0 \\ 0 & 0 & 0 & b_r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \\ w \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_u \\ f_v \\ f_w \\ f_r \end{bmatrix} \quad (2-12)$$

上式中， $b_{u|u}$ 、 $b_{v|v}$ 、 $b_{w|w}$ 、 $b_{r|r}$ 為二次阻尼係數， b_u 、 b_v 、 b_w 及 b_r 線性阻尼係數， $m_{\dot{u}}$ 、 $m_{\dot{v}}$ 、 $m_{\dot{w}}$ and $I_{\dot{r}}$ 分別為 surge、sway、heave 與 yaw 方向的質量、慣性矩。 f_u 、 f_v 、 f_w 及 f_r 表示推進力、推進力矩。表 2.1 所示為各自由度之螺槳電壓指令與推力之關係。

表 2.1 螺槳電壓與推力關係

Voltage	Surge (N)	Sway (N)	Heave (N)	Yaw ($N \cdot m$)
0.7 (volts)	1.56	0.39	1.35	0.29
0.8 (volts)	2.35	0.58	2.03	0.43
0.9 (volts)	3.13	0.78	2.71	0.58
1 (volt)	3.92	0.98	3.39	0.72
1.5 (volts)	9.81	2.45	8.49	1.81
3 (volts)	68.67	17.16	59.46	12.70

表 2.2 載具參數估測數值

Parameter	Estimated value
$b_u^+ \left(N \frac{s}{m} \right)$	4.26
$b_{u u} ^+ \left(N \frac{s^2}{m^2} \right)$	46.07
$b_u^- \left(N \frac{s}{m} \right)$	9.547092
$b_{u u} ^- \left(N \frac{s^2}{m^2} \right)$	62.26
$b_v^+ \left(N \frac{s}{m} \right)$	5.95
$b_{v v} ^+ \left(N \frac{s^2}{m^2} \right)$	514.57
$b_v^- \left(N \frac{s}{m} \right)$	3.59
$b_{v v} ^- \left(N \frac{s^2}{m^2} \right)$	327.89
$b_w^+ \left(N \frac{s}{m} \right)$	10.55
$b_{w w} ^+ \left(N \frac{s^2}{m^2} \right)$	63.49
$b_w^- \left(N \frac{s}{m} \right)$	10.70
$b_{w w} ^- \left(N \frac{s^2}{m^2} \right)$	219.71
$b_r^+ \left(Nms \right)$	1.76
$b_{r r} ^+ \left(Nms^2 \right)$	6.51
$b_r^- \left(Nms \right)$	0.76
$b_{r r} ^- \left(Nms^2 \right)$	11.15

表 2.2 所示為根據水槽實驗數據所鑑定的系統模式參數。上標 ‘+’

及'-'分別表示參數的正方向、負方向的運動數據。依據本章所建立之導航及控制方式，設定工作環境中有一結構物外形曲線如圖 2.3 所示，載具之導航與控制結果顯示其可以追蹤結構物外形。參考速度設定為 $u_r=0.2$ m/s，載具使用前置之測距聲納規劃一平滑之參考路徑，控制器則可以將誤差限制在小距離內。

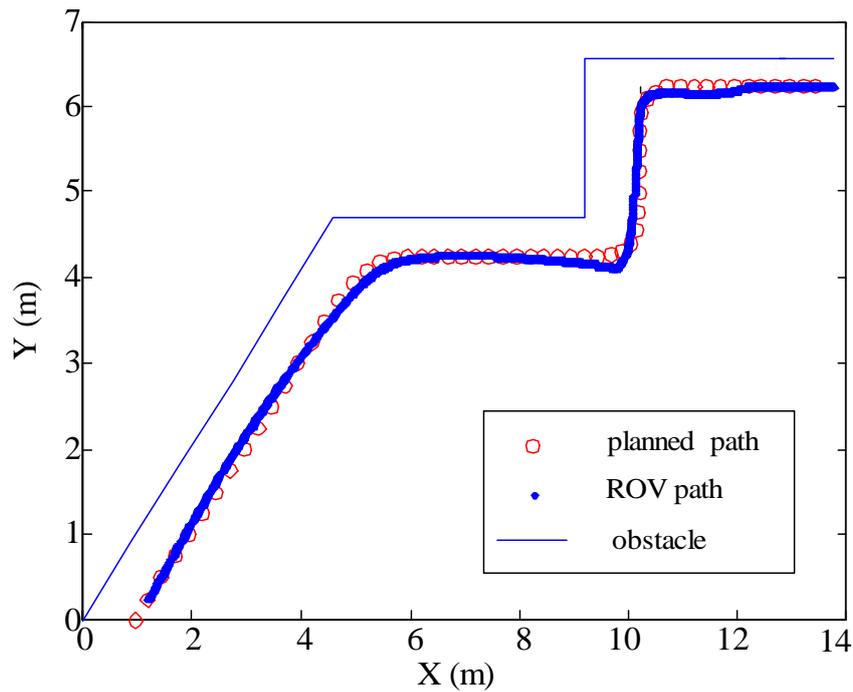


圖 2.2 水下載具之路徑規劃及控制模擬

第三章 多音束測深應用於疏浚工程之量測精度提升評估

3.1 單音束及多音束測深在疏浚工程的應用

3.1.1 單音束及多音束測深規格的差異

單音束及多音束測深規格比較可參閱表 3.1，示範作業之單音束測深儀之音束束寬(beam width)為 9° ，在水深 10~15 公尺的足印約 1.5~2.3 公尺，單音束測深網格大小設為 2 公尺，可參閱圖 3.1，測線之間空隙甚大。多音束之音束束寬為 0.5° ，在水深 10~15 公尺的足印約 0.09~1.03 公尺，故水深網格設為 1 公尺，與單音束重疊比較結果可參閱圖 3.2(圖中細線為單音束測深覆蓋範圍)，多音束測線之間幾乎沒有空隙。

表 3.1 單音束及多音束測深規格比較表

	Odom 單音束測深儀	Reson 8125 多音束測深儀
音束寬度	9°	0.5°
足印大小 (水深 10~15 公尺)	1.5~2.3 公尺	0.09~1.03 公尺
資料筆數	60,272 筆(94 年) 31,159 筆(95 年)	148,989,537 筆 (94 年) 85,556,727 筆(95 年)
資料密度	0.02 筆/平方公尺 0.01 筆/平方公尺	約 51 筆/平方公尺 約 29 筆/平方公尺
覆蓋率	低	可達到 100%
測量收發率	1 筆/次	240 筆/次
測量精度	一致	中央音束精度較高，外部音束精度較低

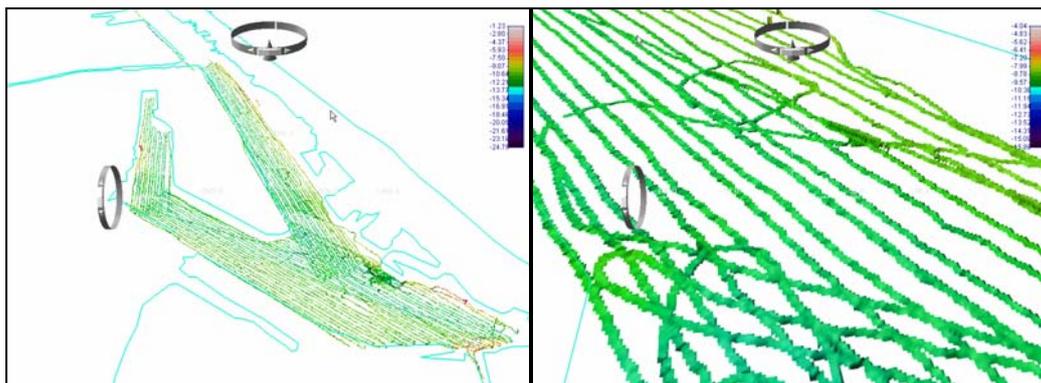


圖 3.1 單音束水深測量成果圖

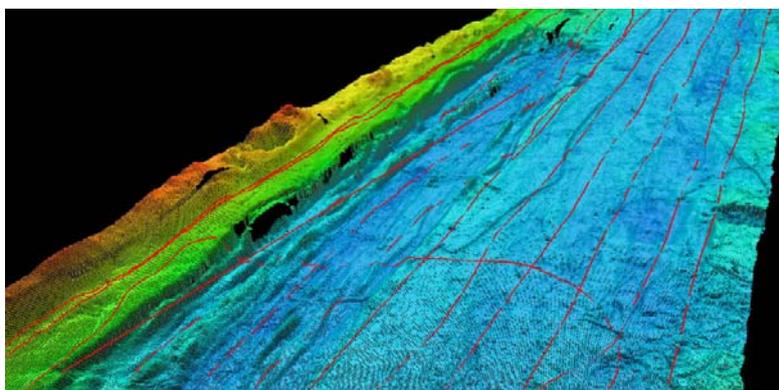


圖 3.2 單音束與多音束測深網格比較圖

3.1.2 單音束及多音束測深量測結果的差異

單音束測深及多音束測深的交錯檢驗結果均達到一等測深，可參閱表 3.2，其誤差分佈圖可參閱圖 3.3，絕對精度的檢核一般採用同等級或更高精度的測深儀檢測之。使用單音束測深比對是為了比對可能的系統性誤差，表 3.2 中『誤差平均值』約 19 公分，可能為系統性的常差，也可能是因港區地形變化劇烈，測深足印大小本身的誤差，原則上多音束測深的精度高於單音束測深。

表 3.2 單音束測深與多音束測深交錯檢驗表

日期	05/26	05/27	05/28	全部
檢核點數	10700	10642	7813	29155
檢核點平均值	-11.51	-10.87	-11.72	-11.33
基準面平均值	-11.31	-10.73	-11.47	-11.14
誤差平均值	-0.20384	-0.14425	-0.25049	-0.19459
誤差中值	-0.20849	-0.14615	-0.23895	-0.19768
誤差標準差	0.13194	0.16825	0.16158	0.15973
檢核點水深範圍	-16.6~ -3.14	-15~ -3.66	-15.28~ -5.67	-16.6~ -3.14
基準面水深範圍	-16.5~ -3.13	-14.74~-3.61	-14.92~-5.55	-14.74~-3.13
水深差值範圍	-1.08~ 1.03	-1.45~ 1.59	-1.51~ 2.42	-1.51~ 2.42
平均值+2×標準差	0.46772	0.480751	0.573649	0.514045
中值+2×標準差	0.472366	0.482653	0.562112	0.51714
一等測深誤差極限	0.5	0.5	0.51	0.52
二等測深誤差極限	1	1	1.01	1.03
特等測深誤差極限	0.25	0.25	0.25	0.26
一等測深 P 統計	0.014	0.024	0.049	0.027
二等測深 P 統計	0	0.001	0.003	0.001
特等測深 P 統計	0.327	0.225	0.449	0.322
未達一等測深點數	148	251	386	785
未達二等測深點數	3	8	20	31
未達特等測深點數	3494	2399	3508	9401
符合一等測深?	Yes	Yes	No	Yes
符合二等測深?	Yes	Yes	Yes	Yes
符合特等測深?	No	No	No	No

單位：公尺

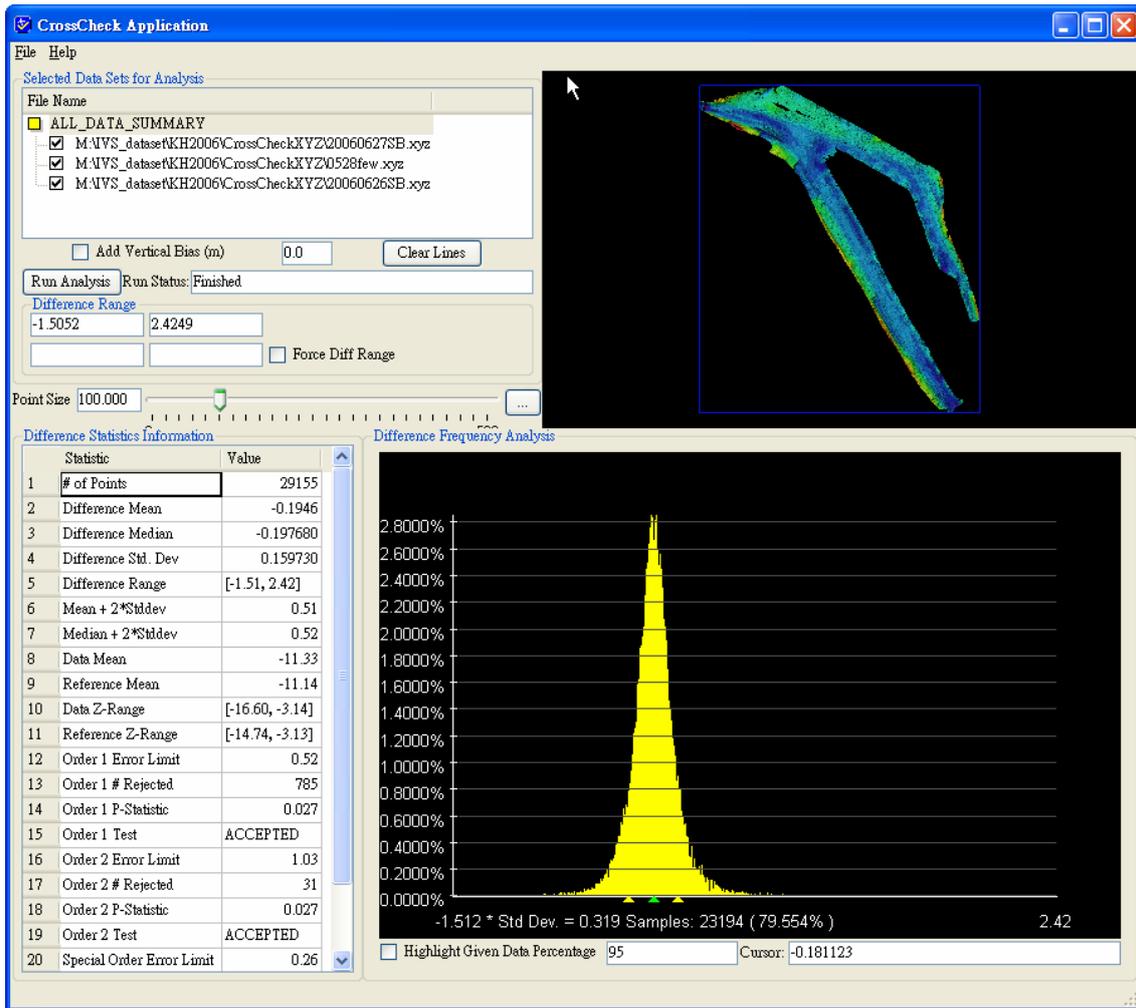


圖 3.3 單音束及多音束交錯檢核誤差分佈圖

3.1.3 單音束及多音束測深差異的可能原因

a. 動態吃水差異。

船隻航行時，受到海水反作用力影響，船隻本身略為下沉 (settlement)，船艙略為上揚 (squat)，船隻吃水隨航速不同略為改變，稱為動態吃水。單音束與多音束音鼓因相對位置不同，造成吃水變化不均一。

b. 單音束音鼓傾角過大。

單音束音鼓因安裝時因傾角 (Pitch & Roll) 過大，或受到風浪流影響傾角過大，當音鼓傾角超過音束角度的一半時 (音束角度為 9 度時，傾

角超過 4.5 度)。斜距的誤差值在水深 10 公尺當傾角超過 6 度以後，斜距差大於 5 公分，傾角效應越見明顯。一般而言，單音束測深僅修正湧浪效應(heave)，當傾角超過 6 度應考慮刪除測深值，如為系統性的傾角應考慮重新安裝音鼓。

c. 多音束音鼓 pitch 傾角修正有誤。

多音束 patch test 中的 pitch 與 latency 修正都是針對斜坡剖面進行比對，二者修正流程類似並且互相影響，當 Latency 數值不正確時，pitch 之解算受到資料互補效應產生誤差，造成整個海床表面升高或下降。

3.1.4 探討多音束測深在疏浚工程的應用

過去單音束測深以 30 公尺網格作為計量基準且行之有年，如今以多音束系統為主，不用受限於資料密度不足，網格大小 30 公尺的限制。為探討網格間距與土方量的關係，選擇港內二個海床特性不同的具有代表性區域，假設疏浚至水深 15 公尺，試驗區位置及局部放大圖可參照圖 3.4 及圖 3.5。

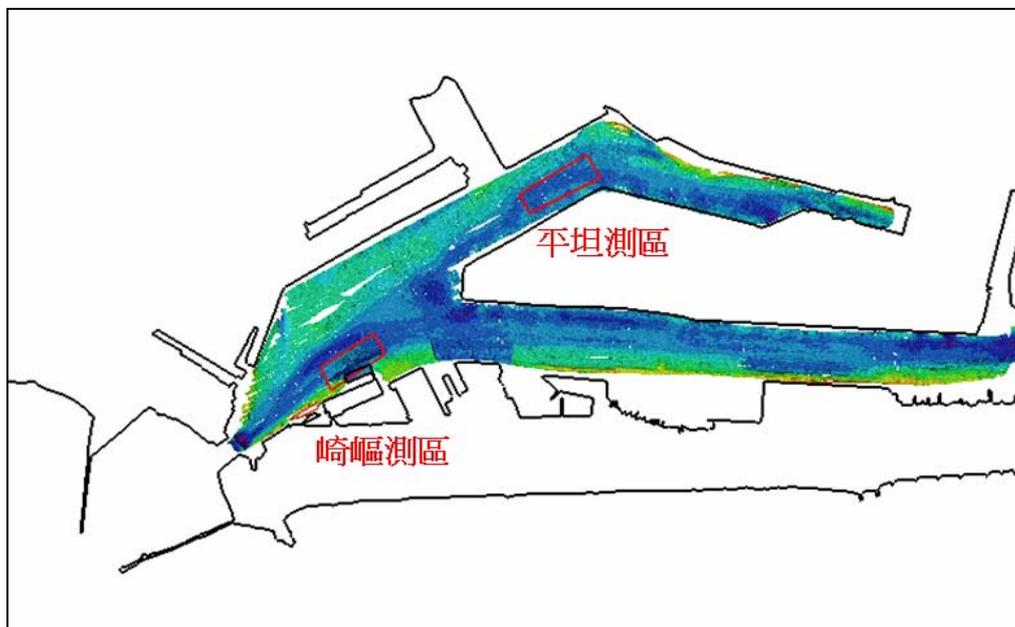


圖 3.4 測區位置圖

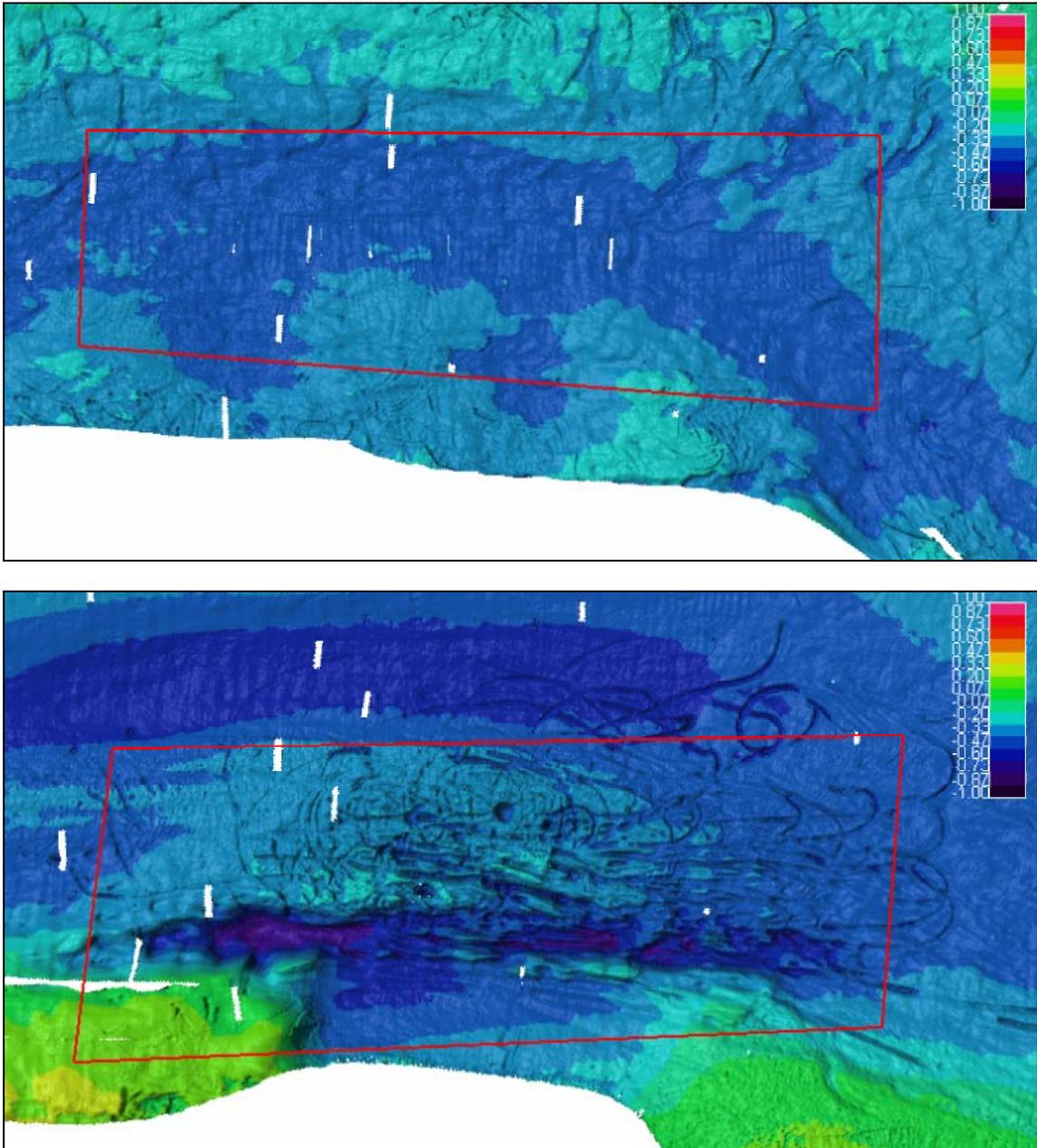


圖 3.5 測區局部放大圖

由於多音束測深資料密度較高，內插後與地形的特性有密切的關係，比對自 0.5~20 公尺網格的二種地形的體積計算差異，可參照表 3.3 及表 3.4。

將平坦測區與崎嶇測區體積計算差異，繪為圖表可參照圖 3.6，圖

中平坦測區網格大小下降至 10 公尺以下，體積呈現收斂狀態，崎嶇測區網格大小至 1~2 公尺間開始收斂。二者的差異來自地形崎嶇性差異，由平均值檢視，因網格尺寸造成的系統性高差變化在平坦區有 5 公分，崎嶇測區達到 16.5 公分，對土方計量影響甚巨，原則上網格大小越小土方計量誤差越小，但亦需考量網格大小與音束足印(foot print)的關係，以 0.5 度為例，於水深 10 公尺處，正下方足印 8.7 公分，45 度足印 34.6 公分，60 度足印 68.8 公分，即時控制測深品質，限制多音束測深資料只能在左右 45 度以內，網格也需要 35 公分，實務上應用，可以測區平均水深為基準，選擇 45 度時的足印大小作為最小的網格。

表 3.3 平坦測區多音束測深體積估算表

網格大小	0.5m	1m	2m	5m	10m	20m
體積(m ³)	204550	205645	206078	206524	206744	210406
面積(m ²)	75496	75661	74902	72493	67913	59375
平均值(m)	2.677	2.677	2.678	2.682	2.694	2.727
中值(m)	2.633	2.632	2.631	2.632	2.632	2.665
標準差	0.318	0.318	0.320	0.327	0.34	0.368

表 3.4 崎嶇測區多音束測深體積估算表

網格大小	0.5m	1m	2m	5m	10m	20m
體積	178455	179509	180758	183423	187228	190161
面積	62113	61903	61276	59476	55786	46869
平均值	2.845	2.853	2.864	2.897	2.938	3.007
中值	2.766	2.769	2.771	2.793	2.819	2.891
標準差	1.098	1.106	1.117	1.147	1.181	1.249

網格大小與體積對照圖

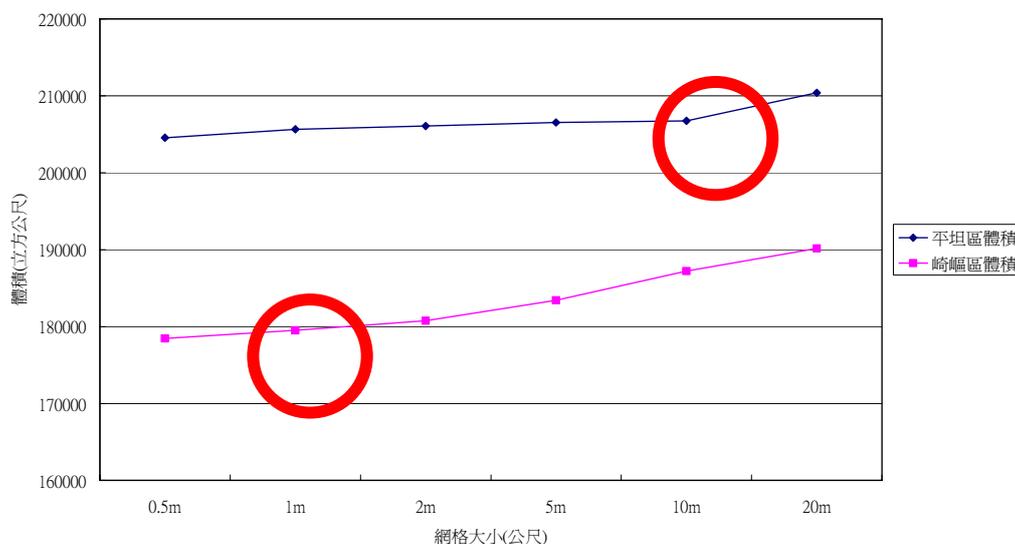


圖 3.6 多音束測深網格大小及體積對照圖

疏浚時若使用單音束測深，測線間距若小於 20 公尺，所需成本及量測時間皆不符合經濟效應，使用多音束測深系統則可根據水深調整測線間距，若以水深 10 公尺例，保留測帶角度控制在左右 45 度以內水深，測深間距為 20 公尺，已足以達到網格大小收斂的效果。

3.2 評估測深之潮汐修正效應

由於疏浚量測的作業精度需求較高，本章節探討疏浚量測的潮位修正的作業模式，探究潮汐量測的系統性誤差，並且提出應用解決方案。

3.2.1 傳統式潮位量測

傳統水深量測時潮位修正數據常以當地驗潮站潮位資料作為修正基準或於測區附近設置驗潮站自行蒐集潮汐水位，近岸地區及港灣內常受到區域地形與高頻波浪的交互作用，較易形成地區性的潮位變化，由於測區潮時與潮位振幅與驗潮站會有一定的差異，對於精度要求甚高的疏浚量測，特別是潮汐特性變化較大的海域，此法顯然有不

足之處。

3.2.2 潮位數據去噪處理

由於潮位儀量測所得的原始資料受到地形波浪及船隻進出產生高頻率的波浪運動，造成波浪(高頻)與潮汐效應(低頻)共同作用的量測數據結果，為消除波浪效應得到較為平滑化的潮位趨勢曲線，採用移動平均法(moving average method)平滑原始潮位資料，其方法是平均前後三分鐘的觀測值，比較高雄港一港口移動平均前後的潮位資料可參照圖 3.7 藍線是原始潮位觀測值，紅線是經過移動平均法處理過後的潮位曲線。移動平均法處理後的潮位觀測值呈現平滑的潮位趨勢曲線，可以降低直接應用原始數據作潮位改正時因為岸邊高頻波浪的影響，而造成水深測量時的結果多了一項誤差因素。

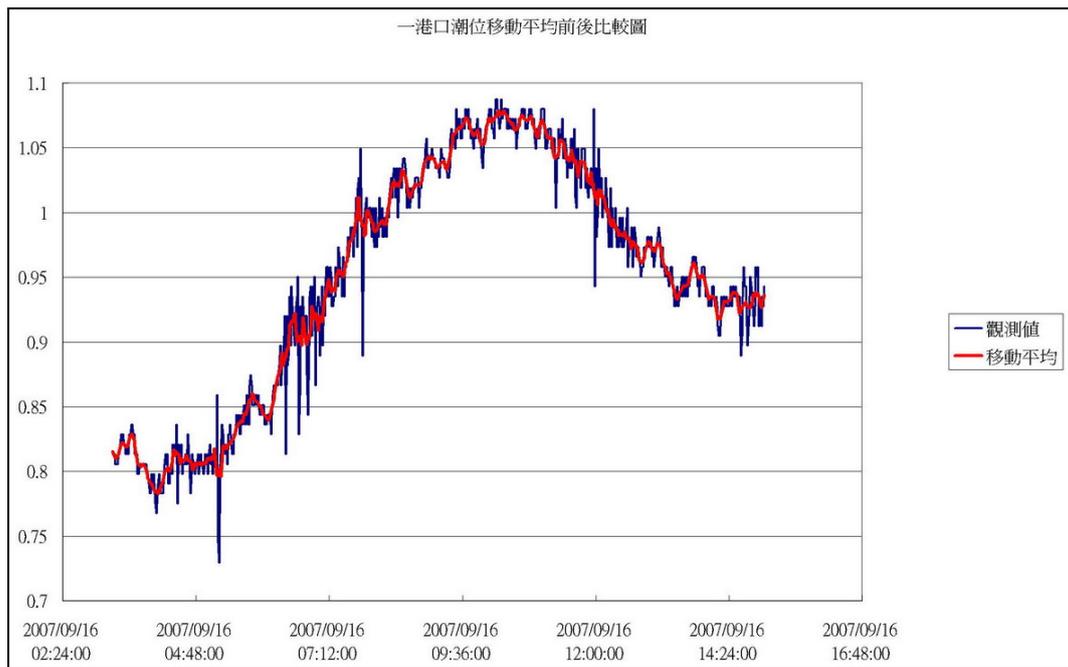


圖 3.7 潮位觀測值及移動平均後的比較圖

3.2.3 潮時及潮差對疏浚量測的影響

5~6 公分的潮位差值振幅對於一般的水深量測尚在可容許的誤差範圍，但對於疏浚量測一正一負的誤差不會對土方計算產生太大的偏

差量，但應避免系統性誤差造成基準面上升或下降，高雄港第一港口及第二港口高低潮潮差振幅約 1~2 公分不致產生嚴重的系統性誤差，但對於臺中港或馬公港這種潮差大的港區，需進一步驗證其誤差影響程度。

依據 4 天潮位差值有 8 個波峯及波谷推算，高雄港第一港口及第二港口潮時週期約 12 小時，1 個波峯或波谷週期約 6 個小時，也就是說如果量測時間不超過 6 小時，有可能在 1 個波峯或波谷之間，必定造成基準面的上升或下降。因此高雄港南北二側潮時及潮位差異極有可能對影響疏浚量測產生重大的量測誤差。

3.2.4 港區 RTK 驗潮評估

選擇 RTK 作為潮位修正的優勢有二種：1.當測區附近不易設制驗潮站。2.當測區內潮時差或潮位差較大的困擾。

由於 RTK 模式的精度規格足以達到公分級，本研究案嘗試以 RTK 定位模式處理潮汐修正問題，實際作業時發現以下問題：

1. 無線電干擾：

船隻經過漁會及海巡局或港務局無線台及雷達時，產生嚴重無線電干擾，下圖中航跡隨著 RTK 無線電干擾產生漂移現象。

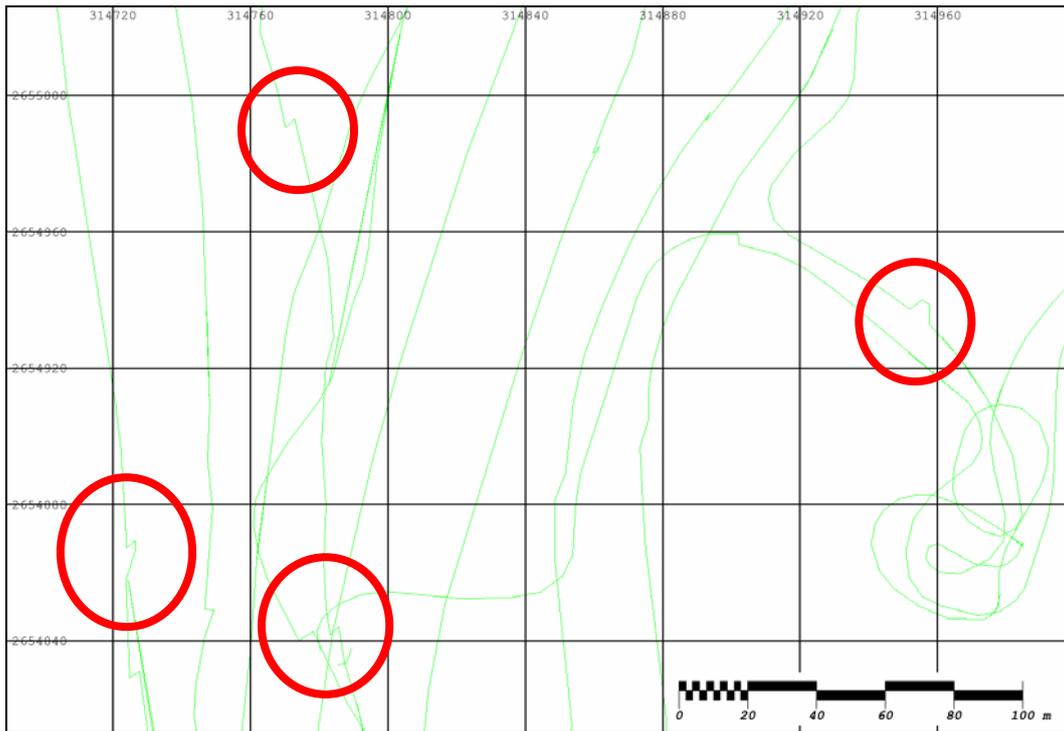


圖 3.8 RTK 受到干擾時的漂移現象

2. 衛星通視遮蔽現象：

港區商船的高度經常遠高於測量船隻及定位天線，當船隻接近大型商隻，約有 180 度的水平視角被遮蔽，定位精度下降，甚至造成船位瞬間移位，航跡如上圖。

3. 資料的同步性：

本案採用的衛星定位儀資料輸出頻率最快可達到 1 筆/秒，多音束測深儀經資料輸出頻率可達到 40 筆/秒，船隻姿態儀可達到 40 筆/秒以上，相對之下，衛星定位儀的資料大多以內插的方式計算相對位置，在 1 秒內船隻水平位置的移動接近直線，但高程變化隨著波浪頻率不同可能接近線性變化，也可能已經經過一個波峯及波谷的變化，在 1 秒內湧浪的變化從數公分到數十公分都有可能，而 RTK 獲得之高程已經包含潮位及湧浪修正，因此以 RTK 定位模式修正潮位的先決條件是定位資料輸出頻率至少達到 10 筆/秒以上，市面上較新的 GPS 機種已經可以達到 10 筆/秒的輸出頻率，進而思考其

RTK 模式的解算頻率是否同樣達到 10 筆/秒，如果單純以內插方式提升輸出頻率，並未實際達到提升資料同步的效果。

綜合上述三個問題，採用 RTK 高程作為潮位修正的需考量的條件如下：1. 選擇空曠無遮蔽及較少無線電干擾的區域。2. 選擇湧浪較小的海象作業。港區地形地貌及無線電干擾的問題較難克服，而選擇較平坦的海象是可行的方案，實務上可律定湧浪的變化，以 10 筆/秒作為資料同步的頻率，驗潮的允許誤差假設為 5 公分，則限定只採用湧浪變化 50 公分/秒以下的測量資料。

3.2.5 疏浚量測的潮位修正作業模式

各港區的潮時及潮差受到潮時及區域地形影響程度各不相同，目前有三種解決方案：

1. 短期對策：

由於市面上的海測軟體對於潮汐修正只有簡單的修正方法，於疏浚區域前後位置各設置 1 個驗潮站，分析二個驗潮站潮位，如果差異甚大，應增加驗潮站，當誤差下降至容許範圍，可使用平均前後二個驗潮潮位的平均作為修正基準，可提升潮位量測精度壓縮誤差的振幅。

2. 長期方案：

利用地理資訊系統技術建立港區等潮線背景資訊，以提供正確的潮位修正參數及適當模式。

3. 未來研究方向：

RTK 潮位修正模式。理論上 GPS 的 RTK 模式可達到公分級的垂直精度，而量測船隻的移動潮位則無需考量潮時及潮差效應，RTK 獲得之高程已經包含湧浪修正(heave)及潮位修正，而其隱藏性的誤差不易評估及追溯：

- (1)量測頻率的同步性：多音束測深頻率於淺水區經常可超過 10 次以上，港區的湧浪經常是高頻率振盪，近年來雙星定位(美國 GPS 及蘇聯 GLONASS)的機種已經大幅提升量測精度，更新頻率也可達到 10 筆/秒，而這 10 筆定位值是否都足以達到公分級垂直精度?亦值得進一步深入探討。
- (2)衛星訊號的穩定性：影響 RTK 垂直精度最主要的因素是衛星訊號強度及衛星幾何精度因子(Dilution of Precision, DOP)，作業期間衛星訊號強度及 DOP 值經常會改變，造成量測精度的不穩定。
- (3)周遭環境的干擾訊號：RTK 模式定位需要接收陸上基地站的差分值，傳統採用無線電傳輸，近年來流行 GSM 傳輸，無論採用何種模式，港區無線電通訊頻繁，雷達也會造成一定程度的干擾，測量船接近大型船隻附近，衛星訊號及無線電傳輸亦同時遭受干擾。本團隊執行本案量測時，RTK 無線電在特定區域經常斷訊，衛星天線安置於某些特定地方，甚至受到船隻上本身儀器嚴重干擾。綜合而言，可能的干擾源包括雷達、無線電及遮蔽效應，必須一一排除。
- (4)RTK 垂直精度的穩定性：上述干擾 RTK 垂直精度的因子甚多，任何一項因子皆可造成精度不足的問題，陸上 RTK 測量作業精度不足時，可以時間換取精度，海上測量時高頻波浪效應的干擾及船隻本身的運動，當精度不足時，10Hz 更新頻率必定以內插方式完成，其精度是否足以執行潮汐修正，有待驗證。
- (5)目前衛星定位機種的設計理念大多以陸上測量為主，綜合上述所言，RTK 用於潮汐修正時，需克服許多環境困難，使用時同時應使用驗潮資料比較之。

3.3 多音束聲納技術在疏浚工程之應用

3.3.1 疏浚工程需求

對於疏浚作業的承辦員而言，疏浚前想要了解本次疏浚區的設計水深或設計曲面界線？應該申請多少預算？對於疏浚業者而言，想要知道底質特性、土方量及預估工作天，以此為基準選擇浚挖機具種類(吸斗式、抓取式、掃刀式)、機具效能及機具數量，以評估是否可在合約內完成並且評估適當成本，綜合以上需求，其資訊內容至少需要設計曲面、淤積率、疏浚週期、底質特性及各底質土方量，設計曲面=標準曲面+淤積率 x 疏浚週期，底質特性與使用機具息息相關，使用各種底質採樣可以獲得底質資訊，但其費用昂貴採樣密度不高，其各種底質土方量的比率代表性有如瞎子摸象全憑運氣，正確評估各種底質的比率一直是困擾疏浚規劃的問題。

高雄港水域面積約 13 平方公里，如果測量 1 公分的系統誤差，全部疏浚時土方量差達到 13 萬立方公尺，如以每方 30 元計價，價差達到 390 萬元，如果系統誤差達到 10 公分時，總價差達到 3900 萬元，因此選擇高精度的量測系統，作業時避免系統誤差，也是疏浚測量重要的需求。

3.3.2 多音束聲納技術在疏浚工程之應用

一航多音束測深系統在疏浚工程有二個主要應用層面，一為疏浚前的土方計量測量，另一為疏浚後的完工檢核測量。但以港區長期經營維護觀點視之，疏浚後邊坡塌方監測及回淤率估算同樣可作為應用項目。

(1) 土方計量測量

土方計量測量為計算量測海床至設計水深的土方量，可參照下圖，而國內疏浚業務單位按照慣例，由設計曲面向下 30 公分作為實際計量曲面，由設計曲面至計量曲面的 30 公分差值，除了作為量測誤差的安全係數，同時也提供疏浚後邊坡崩塌及回淤的緩衝機制。

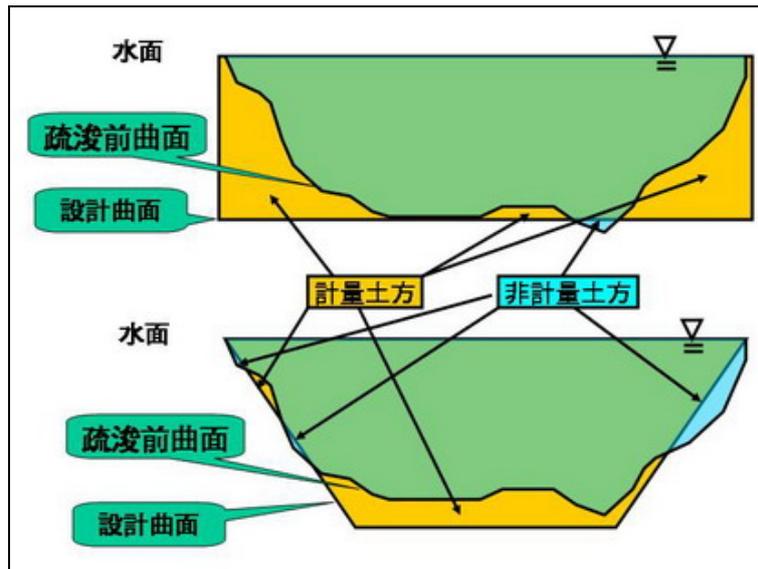


圖 3.9 土方計量原則

(2) 檢核測量

檢核測量比對疏浚後曲面是否達到設計曲面的深度，可參照下圖，不足部份基於航行安全的理由，通常需補疏浚，超挖部份 30 公分內予以計量。

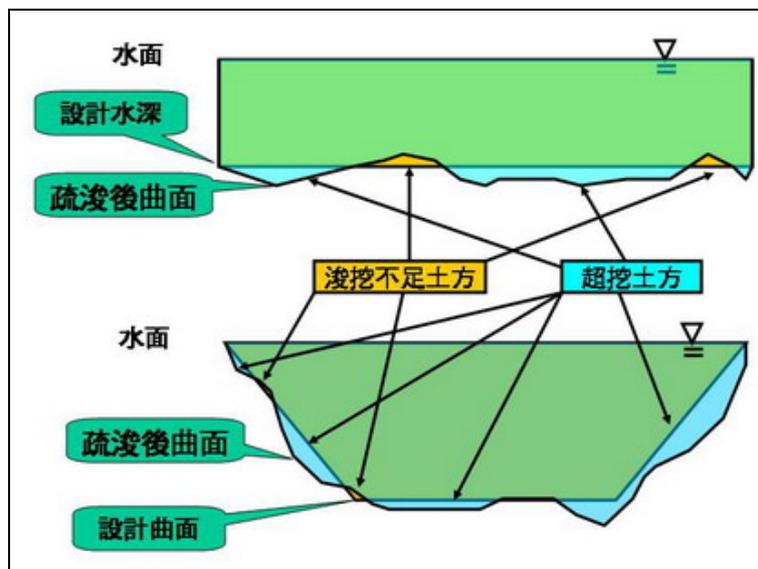


圖 3.10 土方檢核原則

(3) 30 公分緩衝區的合理性

將表 3.5 中測深誤差預估表中最小精度誤差直接相加可達到 45 公分，誤差有正有負實際上不會達到 45 公分，總誤差傳播(TPE)是比較合理的計算方法，高雄港實測資料的 TPE 介於 10~20 公分，表示 95% 的測深值在正負 10~20 公分之間，深疏浚是為了為了航行安全，以航行安全的考量，所有水深資料儘可能找出最淺水深作為航行安全的指標，至少應以 20 公分為精度標準，但 TPE 屬於預測值，實際在海上測量時精度可能更差，95%信賴區間大約是 2 個標準差，98%信賴區間大約是 3 個標準差，為了航行安全，精度標準約調整為 3 個標準差約 30 公分也足以理解。若以回淤率估算，本次量測約 5 公分，20 公分的精度加上二年的回淤率，30 公分的緩衝區也屬於合理範圍。

表 3.5 一等水域 95%信賴程度之測深誤差預估表

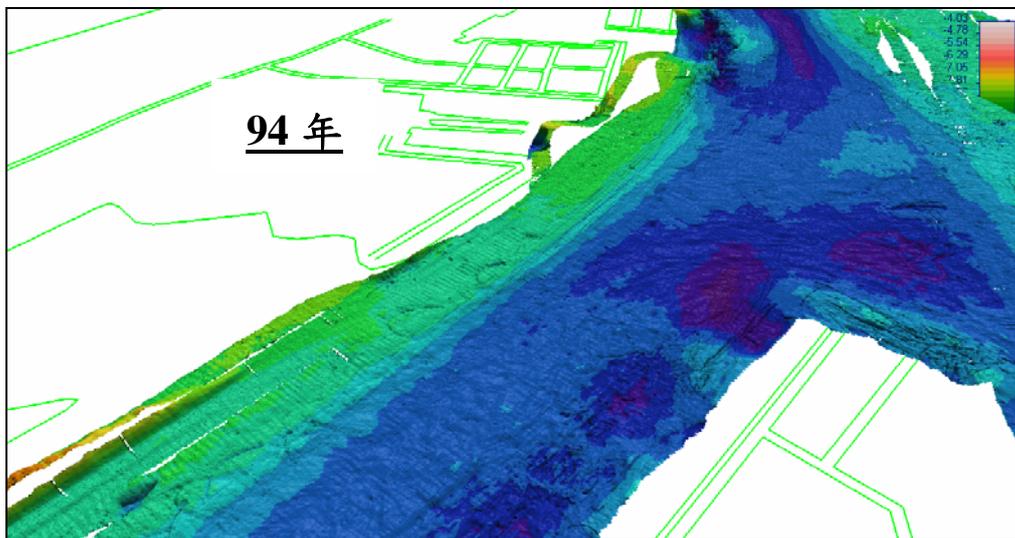
	Error sources	Minimum	Maximum
Measurement error	Instrument error for sounding system, imperfectly measured roll/pitch, error in seafloor detection, error due to off-nadir nature of outer beams for MBES	0.2m / at 10m depth	0.3m + 0.5% of depth
Transducer draft error	Variability in vessel loading, techniques used to measure/monitor transducer draft	0.05m	0.15m
Settlement & squat	Limited by sea roughness & proximity of suitable location to the survey area, Settlement/squat determining method with RTK GPS will minimize this error.	0.05m	0.20m
Sound velocity error	Ability to accurately measure sound velocity or calculate from CTD, spatial & temporal changes, how SVP used to convert measure time to depth, associate with refraction for MBES	0.2m	0.3m + 0.5% of depth
Heave error	Depend on sea state & sensitivity of heave sensor	0.05m	0.2m

	Error sources	Minimum	Maximum
Tide/water level error	Measurement error of gage/sensor & processing error to the datum, error in computation of tidal datum for short term stations, error in application of tidal zoning	0.2m	0.45m

摘自美國工兵署 Engineering and Design HYDROGRAPHIC SURVEYING

3.3.3 高雄港多音束聲納系統疏浚測量範例

本研究案自 94 年開始在高雄港區執行多音束測深量測，94 年及 95 年測量範圍自第一港口港嘴至前鎮河口，96 年量測港內二個疏浚區港外貨櫃目標物及臺南興達港外海人工漁礁，94 年及 95 年可作為疏浚前後土方計價範例，可參照本研究案 95 年期末報書，下圖為 94 年至 96 年的疏浚區的水深色階圖。



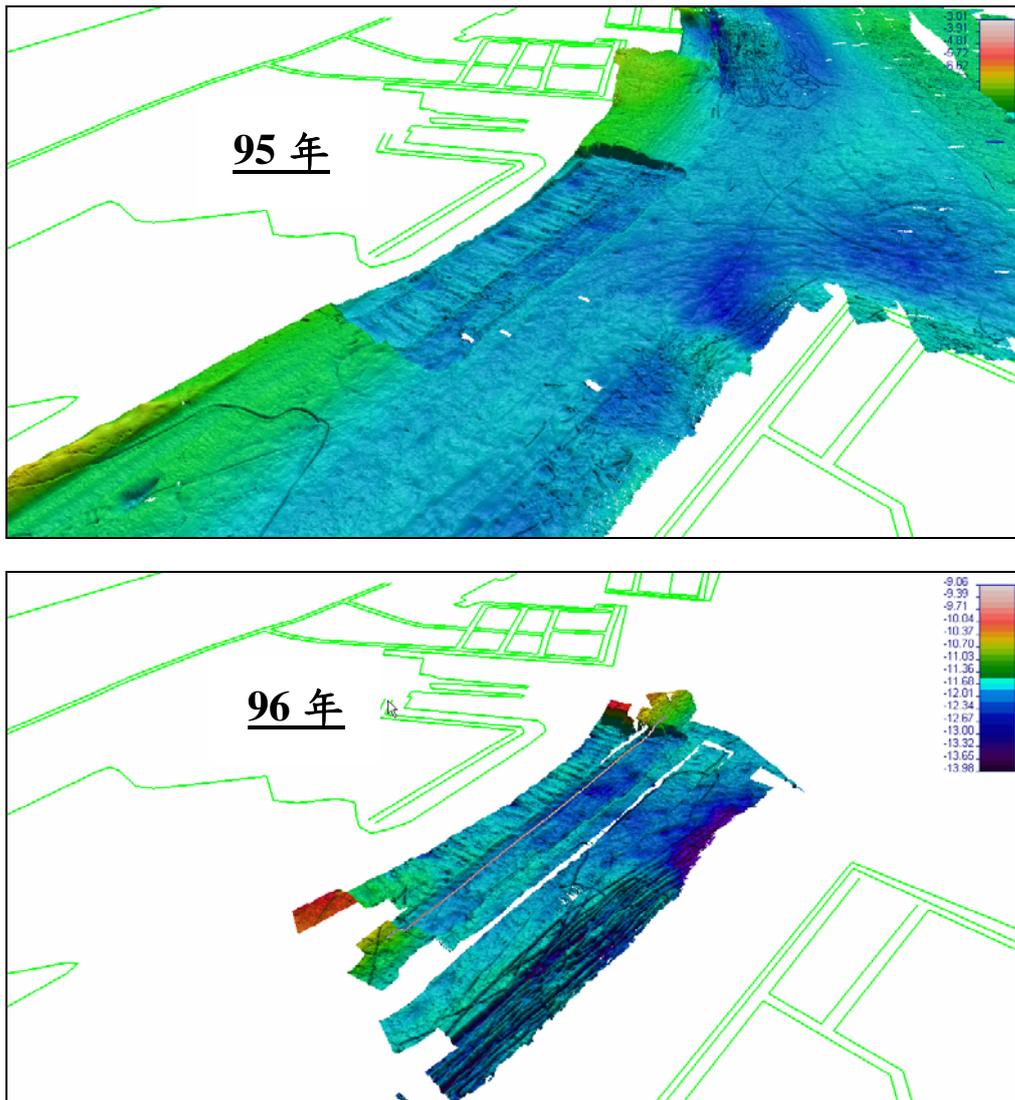


圖 3.11 疏浚區 94 年至 96 年的水深色階圖

95 年及 96 年可作為疏浚區回淤率及邊坡塌方的監測範例，改變 96 年水深測量色階圖例，可參照下圖，並與 95 年水深色階圖重疊比對，可看出圖中重疊區域橘紅色表示淤積，藍色表示侵蝕。

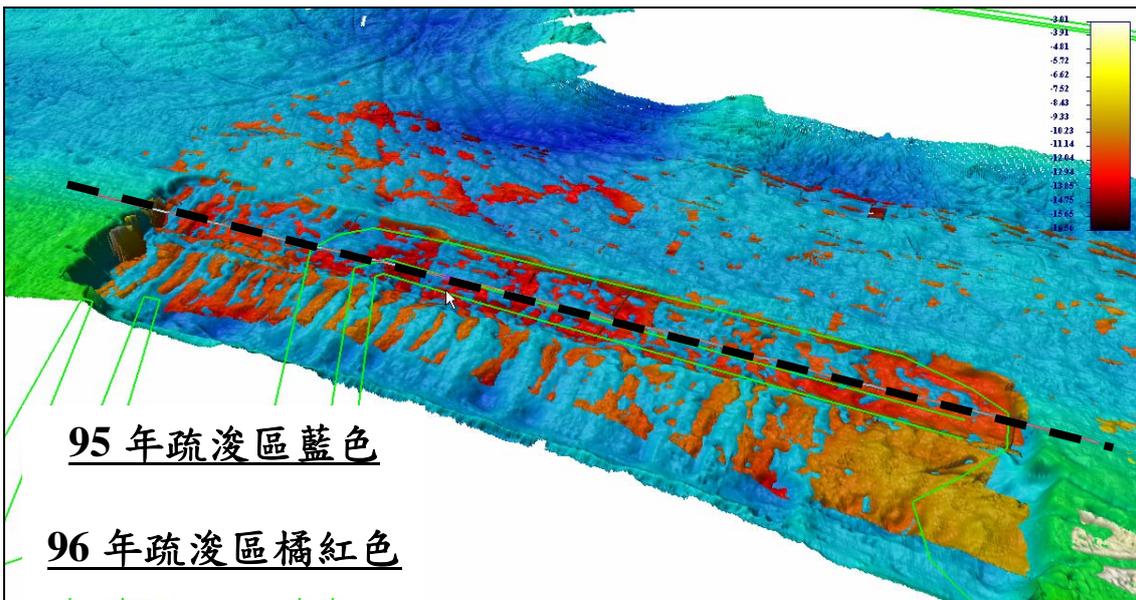
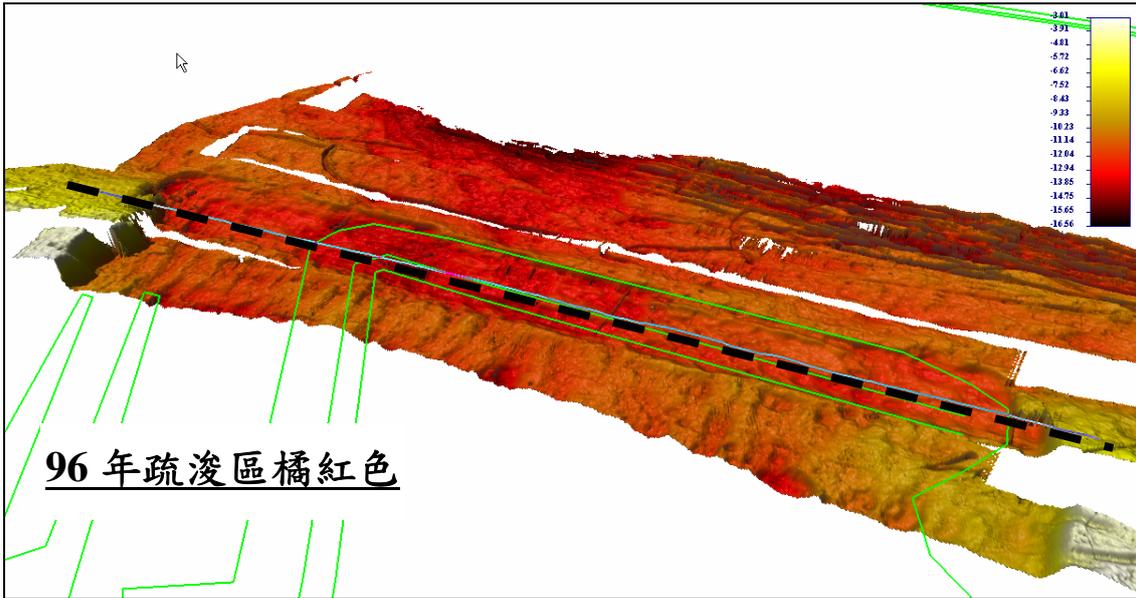


圖 3.12 疏浚區 95 年至 96 年不同色階比對圖

在上圖中選擇一條剖面(虛線)，繪製剖面近三年水深變化圖，可參照下圖。

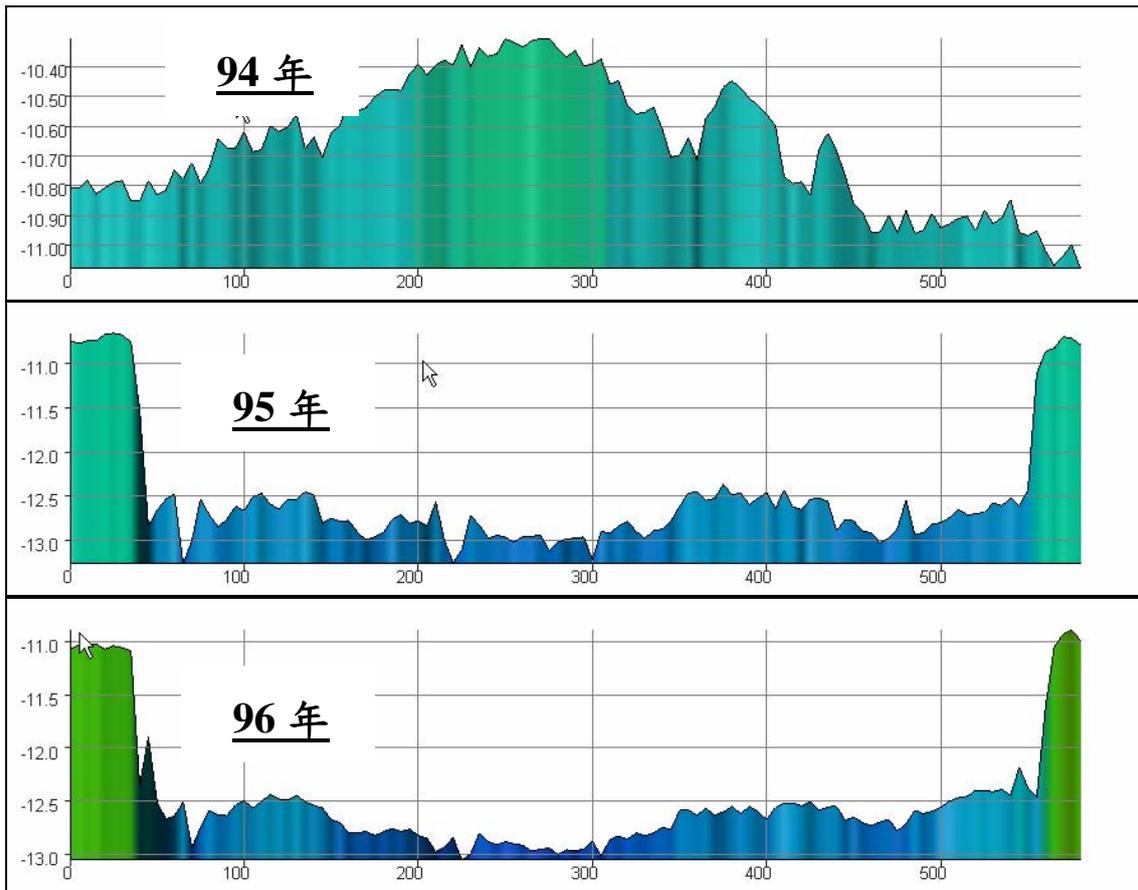


圖 3.13 疏浚區剖面 94 年至 96 年水深變化圖

疊合分析 95 年及 96 年剖面，疏浚區二側發生邊坡塌方，剖面差值平均約 2 公分與去年淤積率約 2 公分相符合，以 100~500 公尺剖面處計算疏浚區回淤率約為 5 公分，可參照下圖。

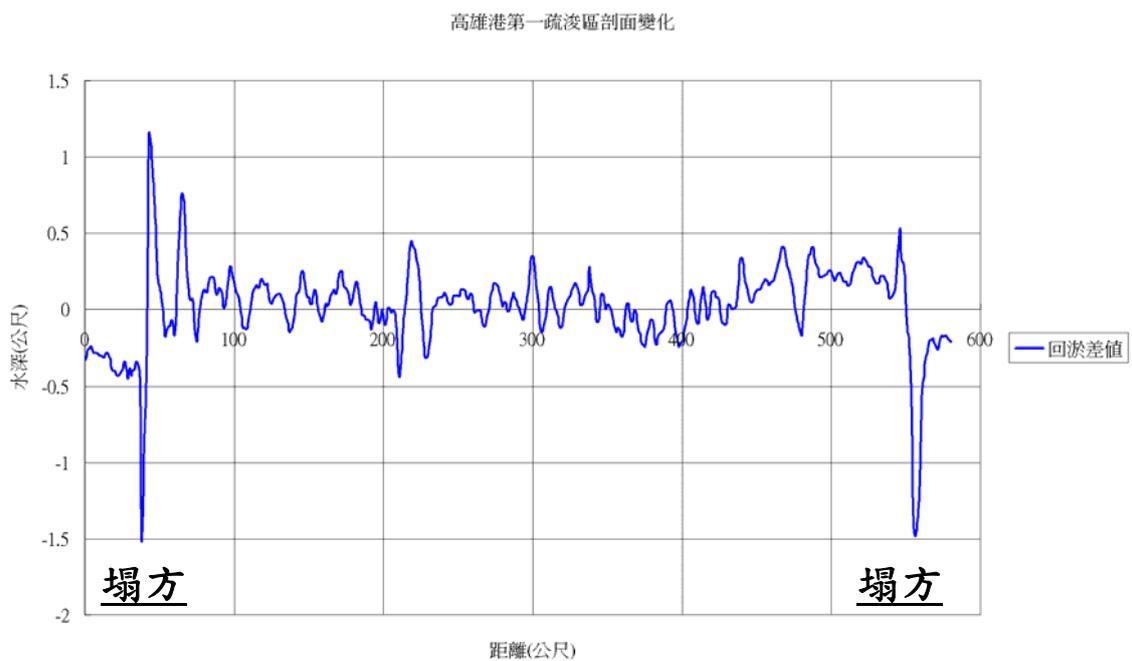
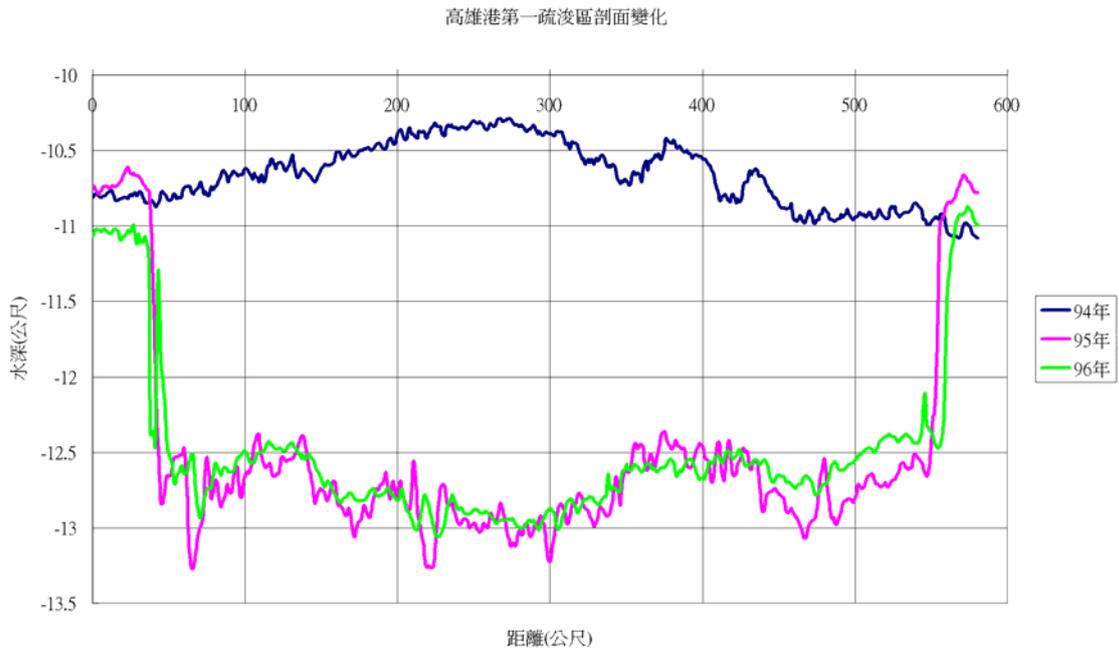


圖 3.14 疏浚區 95 年至 96 年剖面及回淤變化圖

一般而碼頭邊的疏浚區應長期監測，確保邊坡塌方不致對碼頭結構物產生損壞性影響。

第四章 臺灣海域波浪資料取得及分析

4.1 臺灣近岸海象預報資料取得(TaiCOMS) [10]

為了準確預報臺灣海象動態以對可能的海象災害提出預警，港灣技術研究中心建立了一套適用於臺灣海域之近岸海象預報系統(Taiwan Coastal Operational Modeling System; TaiCOMS) [10]，該系統預報包含了風場、波場、水位及流場等模擬，而與本研究相關的風場與波場皆包含了季風及颱風狀態下的結果。本研究將建構的，以海巡船隊作為行動感測器(mobile agent)所構成的波浪感測網路(sampling networks)，於完成後亦將能納入成為此海象預報系統的一環。然而，在此之前，本研究需藉助於本數值預報模式對臺灣海域波浪特性的反應與掌握，從其預報結果分析出臺灣海域波浪隨季節變化的空間分佈特性，以作為將來量測反算到多點（譬如 70~80 點）波浪資料整體的合理與否之初步驗證，並進而建立推估臺灣海域波浪全貌之分析方法，以確保結果之準確性。

TaiCOMS全域波浪模式在大區域方面是引用WAM及SWAN兩種風浪模式，小區域方面則引用DEF/DIF及MSE兩種波浪模式，而在數值格網系統方面則採用有大中小細等四種尺度的格網及計算範圍[11]。與本研究相應，而為本研究所需的是中尺度的格網及計算範圍。TaiCOMS應用WAM模式模擬大範圍海域風浪演變，並利用SWAN模式內插WAM模式所計算出來的二維頻譜，作為較小範圍SWAN模式所需之邊界條件，使用巢狀格網進行計算。SWAN模式之計算範圍南北向在北緯 20°至 27°之間，東西向在東經 118°至 124°之間，格網大小約 5 公里，頻率解析範圍在 0.05Hz至 0.5Hz之間，方向解析度為 18°，計算時間間隔為 10 分鐘 [10][11]。

4.2 類神經網路架構

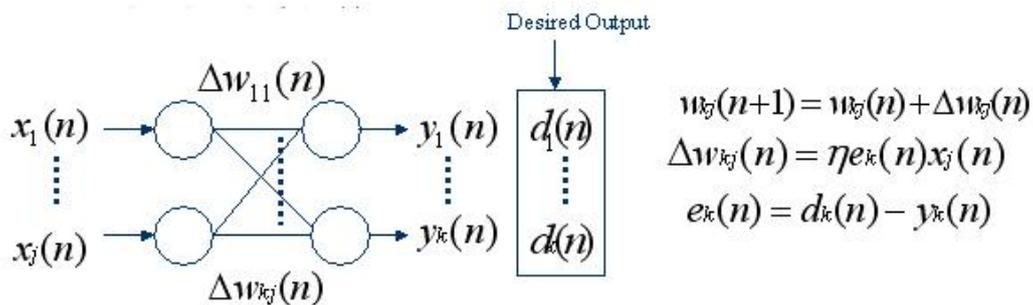
本研究採用的多層類神經網路如圖 4.1 所示，此類神經網路共有四層，包含一個輸入層（3 x 50=150 nodes），二個隱藏層（各 412 nodes 及 412nodes），以及一個輸出層（412nodes），前後的神經元(node)彼此連結，通常神經元具有非線性轉移函數，本研究採用的是 sigmoid function 如下式：

$$y(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}} \quad (4.1)$$

上式中 x 為輸入 y 為輸出，前後層各神經元之間的連結線代表其權重值，故此一類神經網路具有權重值數目合計為：

$$13 \times 7 + 7 \times 4 + 4 \times 3 = 131$$

假設在 x - y 平面空間中，任意依亂數位置 (x_i, y_i) 選擇 50 個測點（數量以小於 70~80 為原則），測得波高 H_i 、週期 T_i 、波向 i ，於是若以波高 H_i 的模擬為例，則以 x_i, y_i, H_i ($i=1, 50$) 合計 150 個節點作為輸入層，而代表波高空間分佈全貌的所有 421 個測點波高則依序作為輸出層。以此反覆產生足夠的樣本，即可進行此一多層類神經網路的訓練，而訓練時所使用之逆傳遞法(Back-propagation)如以下所示：



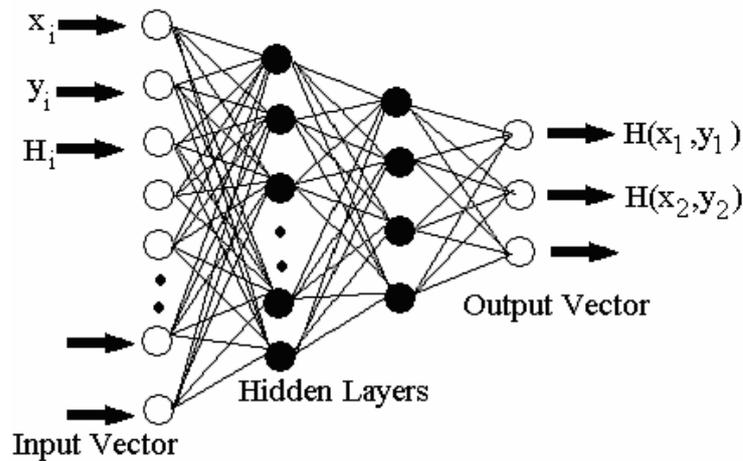


圖 4.1 類神經網路架構

訓練檔案對類神經網路而言是相當重要的，關係著網路能否有效反應波浪在空間分佈的特性，因此細密且大量的樣本對於類神經網路訓練，對於提升依少量波浪測點資料重建空間分佈全貌的精度是有助益的。本研究選擇產生多個樣本進行訓練。類神經網路經過訓練之後，再針對另外產生而未參與訓練的數個樣本為例，利用該經過訓練的類神經網路進行重建並與原樣本全貌作一比較，以確認此一類神經網路重建波浪全貌的準確度。

4.3 波浪空間分佈之重建

(1) 單日單時刻波浪空間分佈之重建

原始資料為 101×126 的網格點，此研究中將網格點之間隔加大，成為一個 20×25 的網格面。並用所得的資料分別對波高、週期、波向加以個別分析並繪圖。

而本研究中的類神經網路模式採用多層類神經網路模式，此類神經網路共有四層，包含一個輸入層 ($3 \times 50 = 150$ nodes)，二個隱藏層 (各 412 nodes 及 412 nodes)，以及一個輸出層 (412 nodes)。前後的神經元 (node) 彼此連結，通常神經元具有非線性轉移函數，本研究採用的是 sigmoid function。而訓練樣本隨機由 20×25 (共 500 點) 網格點中取出的 50 點作

為訓練樣本(共 100 組)。訓練完成後再重新隨機抽取 5 組資料反算出原樣本全貌，並各別繪圖作比較確認。

圖 4.2 所示是以 2006/03/01 的原始資料所畫出的波高等高線圖，而圖 4.3 則為類神經網路模式訓練完成後，重新隨機抽取 5 組資料反算出 412 個波高點所繪製的波高等高線圖。此外表 4.1 為依據反算結果資料與原始資料所做之誤差分析，而圖 4.4 為依據第一組反算結果資料與原始資料所做之偏離分析。結果顯示該訓練完成後的類神經網路模式可良好重現波高空間分佈的全貌。同樣，圖 4.5 所示是以 2006/03/01 的原始資料所畫出的波週期等高線圖，而圖 4.6 則為類神經網路模式訓練完成後，重新隨機抽取 5 組資料反算出 412 個波週期點所繪製的波週期等高線圖。結果亦同樣顯示該訓練完成後的類神經網路模式可良好重現波週期空間分佈的全貌。圖 4.7 所示是以 2006/03/01 的原始資料所畫出的波向圖，而圖 4.8 則為類神經網路模式訓練完成後，重新隨機抽取 5 組資料反算出 412 個波向點所繪製的波向圖。結果亦同樣顯示該訓練完成後的類神經網路模式可良好重現波向空間分佈的全貌。

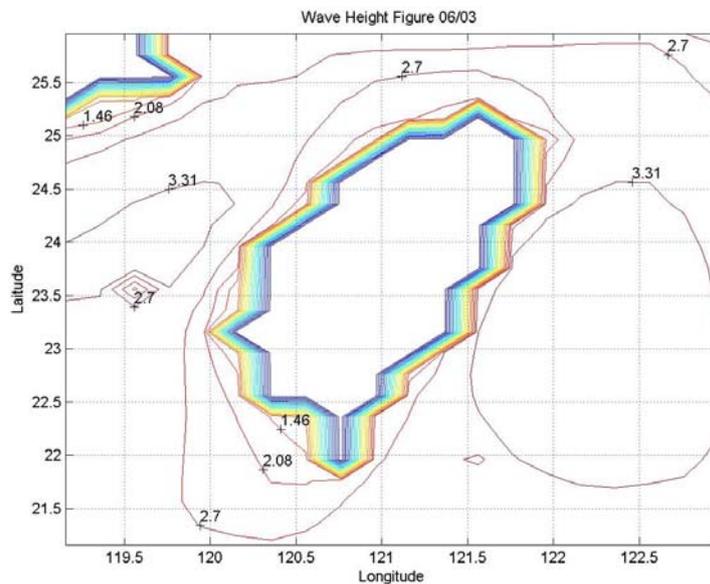


圖 4.2 原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/03/01)

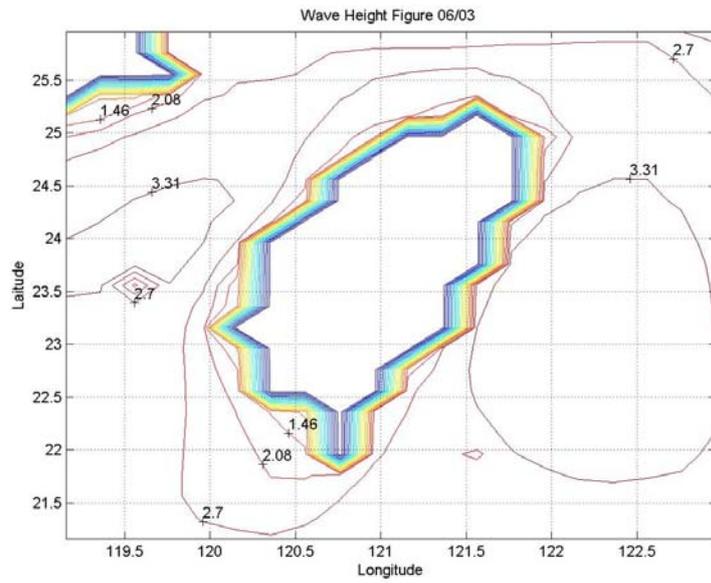


圖 4.3 經由類神經網路計算出的波高等高線圖

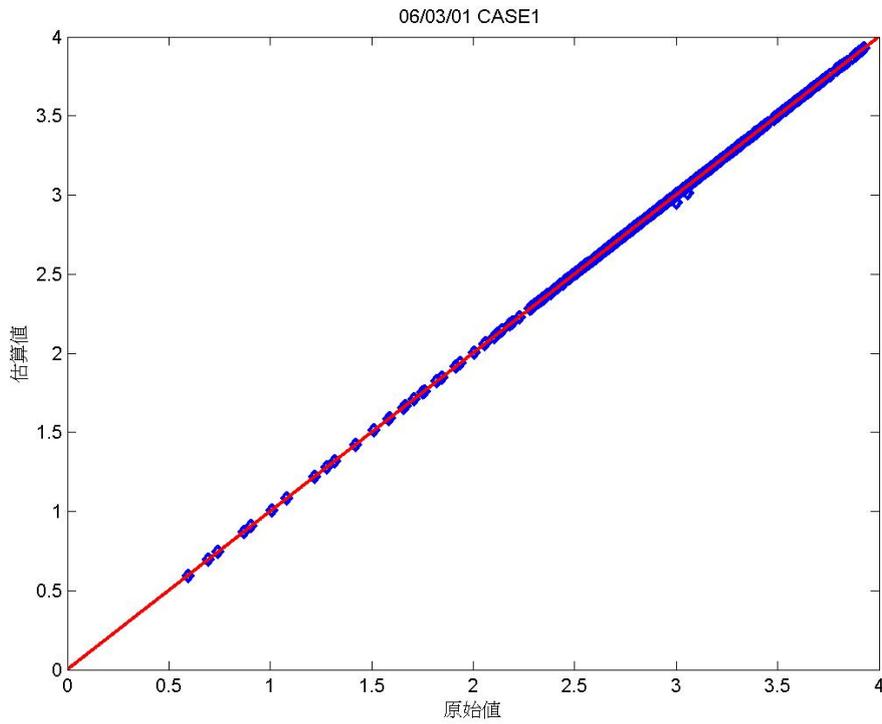


圖 4.4 波高分布重建結果之偏離分析

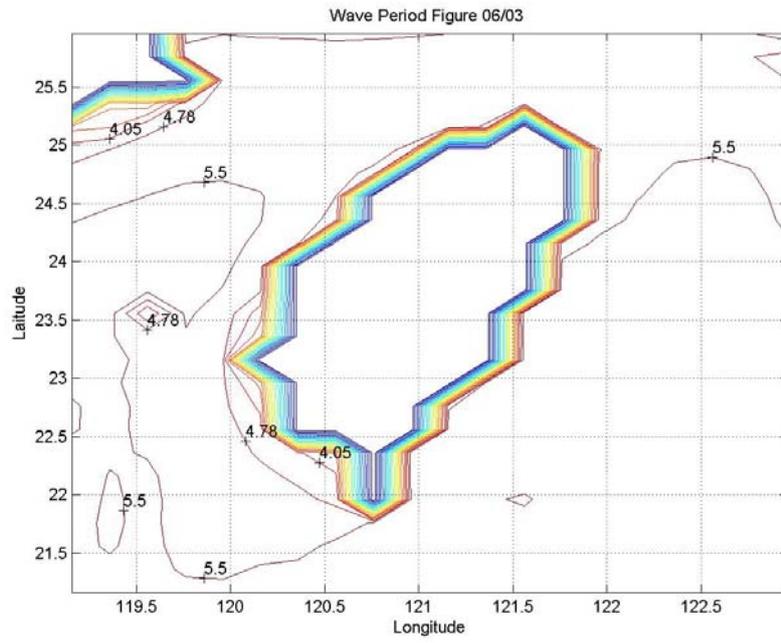


圖 4.5 原始資料所畫出的週期等高線圖(2006/03/01)

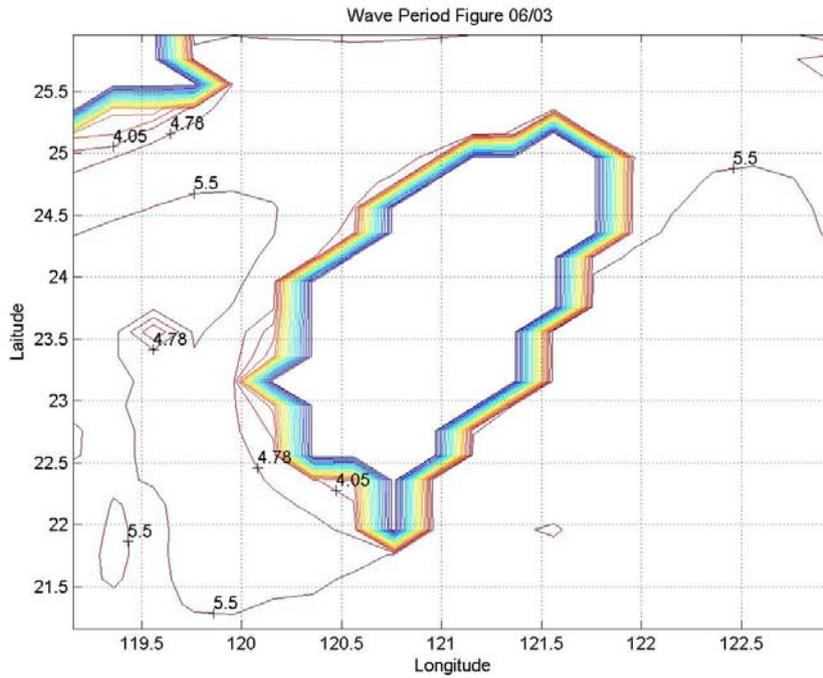


圖 4.6 經由類神經網路計算出的週期等高線圖

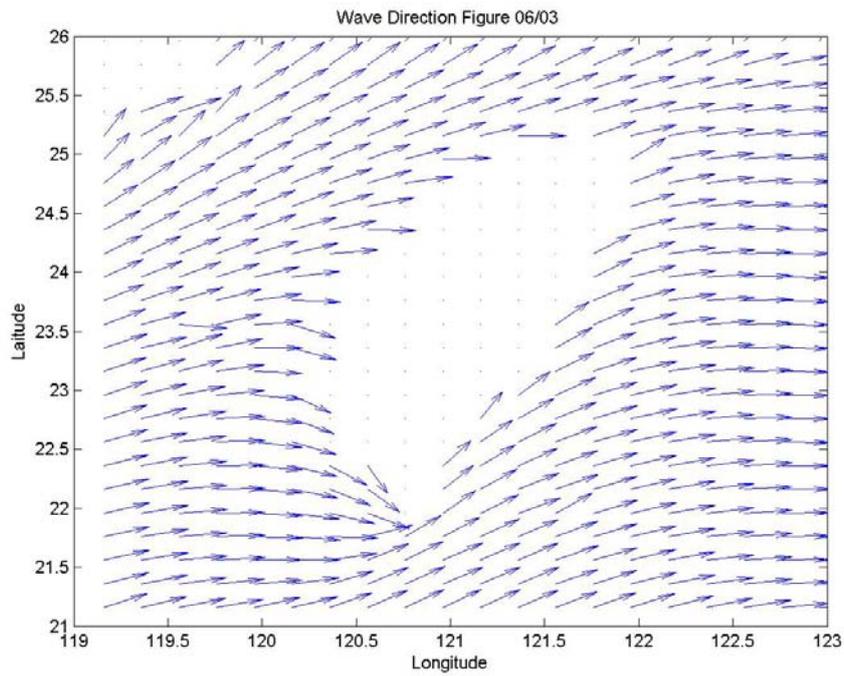


圖 4.7 原始資料所畫出的波向圖(2006/03/01)

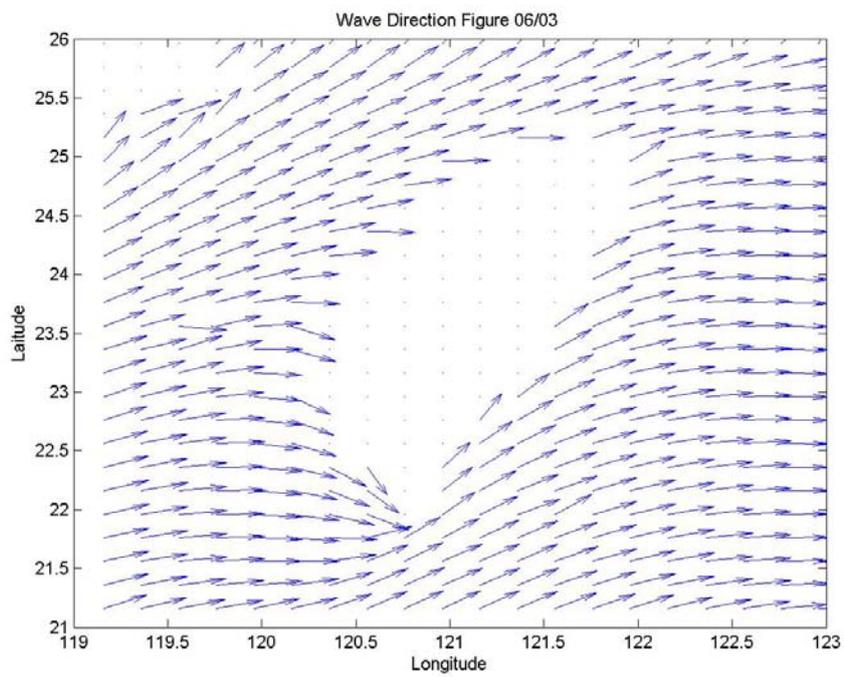


圖 4.8 經由類神經網路計算出的波向圖

(2)單月波浪空間分佈之重建

為了確認本研究所提出的方法，可有效辨識各月、各季，甚至全年的波浪空間分佈特徵，先進行單月波浪空間分佈重建之驗證。原始資料為 101 x 126 的網格點，本節中同樣將網格點之間隔加大，成為一個 20 x 25 的網格面。並先用波高為例加以分析並繪圖。

而本節中使用的類神經網路模式採用多層類神經網路模式，此類神經網路共有四層，包含一個輸入層（3 x 50=150 nodes），二個隱藏層（各 412 nodes 及 412nodes），以及一個輸出層（412nodes）。前後的神經元（node）彼此連結，通常神經元具有非線性轉移函數，本節同樣採用 sigmoid function。而訓練樣本為 30 天上午及下午共 60 組資料中，隨機再由 20 x 25（共 500 點）網格點中取出的 50 點作為訓練樣本（60 組中每組個別隨機選取 100 個訓練樣本資料，亦即構成共 6000 組訓練資料）。訓練完成後再由月份內任意選取六天資料，個別重新隨機抽取 4 組樣本資料反算原樣本全貌，並各別繪圖與比較確認。

圖 4.9 所示是以 2006/12/02 上午的原始資料所畫出的波高等高線圖，而圖 4.10 則為類神經網路模式訓練完成後，就 2006/12/02 上午的資料，4 次重新隨機抽取 50 個波高點資料，反算出 412 個波高點所繪製的波高等高線圖。此外圖 4.11 表示第一組反算結果資料與原始資料所做之偏離分析。結果顯示以單月資料訓練完成後的類神經網路模式仍可大致上良好重現該月中任一天的波高空間分佈的全貌。數值上雖有些許差異，但整體空間分佈的趨勢仍被充分掌握。而表 4.2 為依據反算結果資料與原始資料所做之誤差分析。各組對應資料皆顯示數值上雖有些許差異，但整體空間分佈的趨勢仍被訓練完成後的類神經網路模式充分掌握。

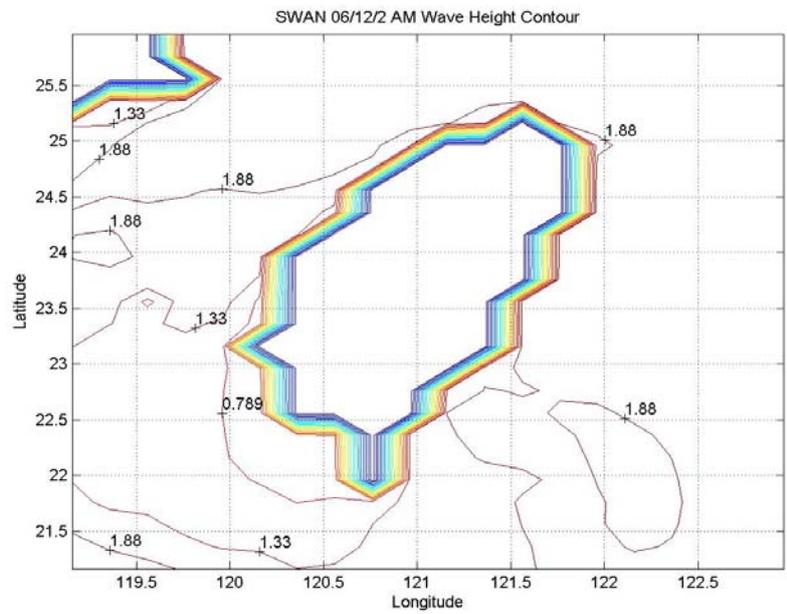


圖 4.9 原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/12/02 上午)

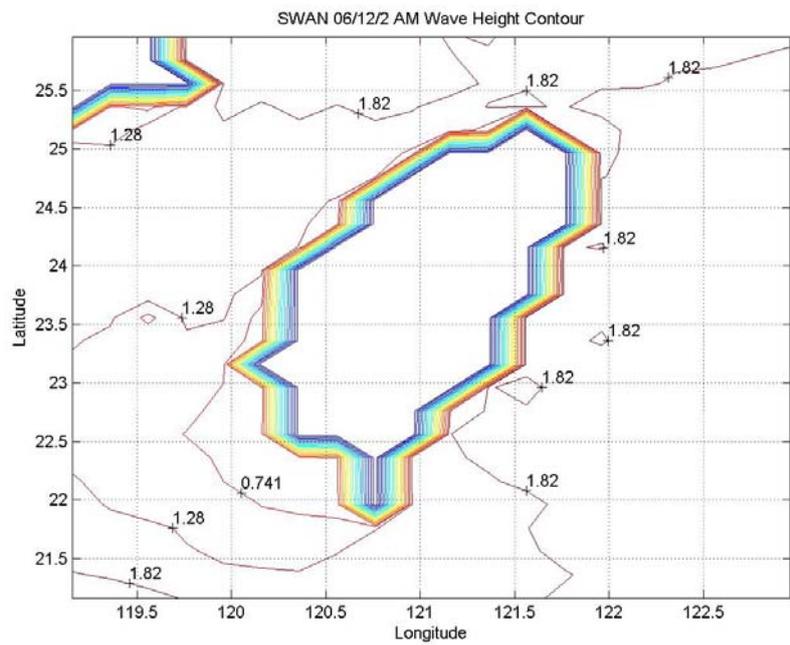


圖 4.10 經由類神經網路計算出的波高等高線圖(2006/12/02 上午)

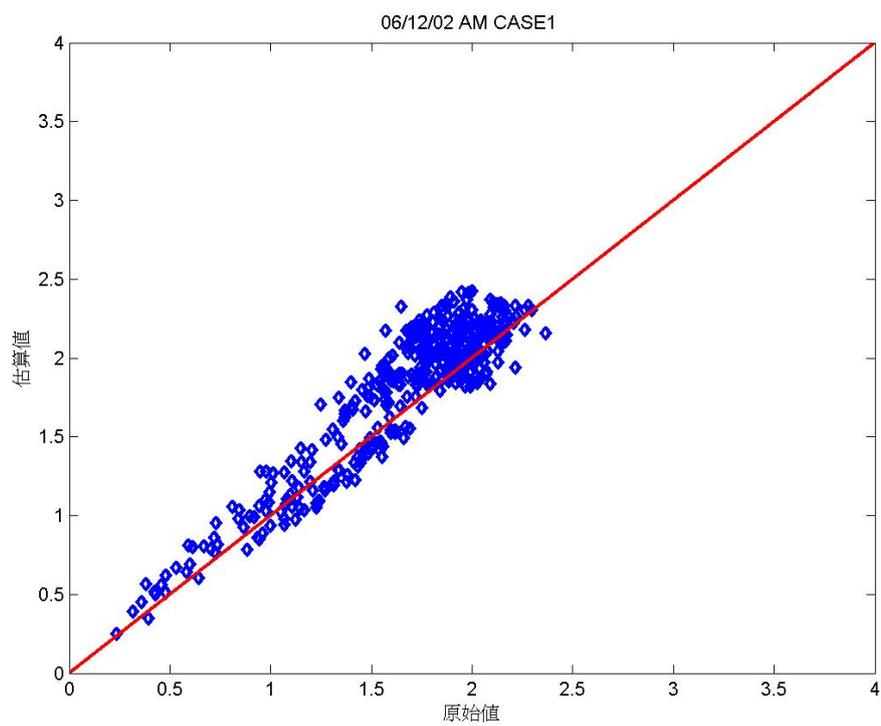


圖 4.11 波高分部重建結果之偏離分析(2006/12/02 上午)

表 4.1 誤差分析資料表

06/12/02 AM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	7.13949767	1.720441342	2.012625768	2.499229873
標準偏差 (%平均波高)	12.4813875	9.793334246	7.763959721	7.540536765

06/12/06 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	6.49893107	1.18365048	1.850125418	0.645100245
標準偏差 (%平均波高)	14.0958783	10.71938236	9.748837214	12.45085684

06/12/13 AM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	1.87567539	8.047095845	6.019728907	2.44634323
標準偏差 (%平均波高)	8.12165347	9.623912939	8.430545563	8.057206229

06/12/18 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	4.40663152	7.223975063	4.427597234	6.74303469
標準偏差 (%平均波高)	19.1253762	21.03092987	20.28875656	21.54461964

06/12/26 AM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	2.7127105	0.916414798	1.286731828	0.438764778
標準偏差 (%平均波高)	6.62765068	6.97901782	7.18545525	6.126074484

06/12/30 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	2.97594849	3.246835681	0.672350904	2.156307683
標準偏差 (%平均波高)	11.0445978	10.68527621	9.655904254	9.746819791

(3) 單季波浪空間分佈之重建

原始資料為 101 x 126 的網格點，同樣將網格點之間隔加大，成為一個 20 x 25 的網格面。並先用波高為例加以分析並繪圖。

而本節中使用的類神經網路模式採用多層類神經網路模式，此類神經網路共有四層，包含一個輸入層（3 x 50=150 nodes），二個隱藏層（各 412 nodes 及 412nodes），以及一個輸出層（412nodes）。前後的神經元（node）彼此連結，通常神經元具有非線性轉移函數，本節同樣採用 sigmoid function。而訓練樣本為一季上午及下午資料扣除缺值的資料後共 102 組資料中，隨機再由 20 x 25（共 500 點）網格點中取出的 50 點作為訓練樣本（102 組中每組個別隨機選取 100 個訓練樣本資料，亦即構成共 10200 組訓練資料）。訓練完成後再由季節內任意選取十二天資料，個別重新隨機抽取 4 組樣本資料反算原樣本全貌，並各別繪圖與比較確認。

圖 4.12 所示是以 2006/12/02 上午的原始資料所畫出的波高等高線圖，而圖 4.13 則為類神經網路模式訓練完成後，就 2006/12/02 上午的資料，4 次重新隨機抽取 50 個波高點資料，反算出 412 個波高點所繪製的波高等高線圖。此外圖 4.14 表示第一組反算結果資料與原始資料所做之偏離分析。結果顯示以單季資料訓練完成後的類神經網路模式仍可大致上良好重現該季中任一天的波高空間分佈的全貌。數值上雖有些許差異，但整體空間分佈的趨勢仍被充分掌握。而表 4.3 為依據反算結果資料與原始資料所做之誤差分析。各組對應資料皆顯示數值上雖有些許差異，但整體空間分佈的趨勢仍被訓練完成後的類神經網路模式充分掌握。

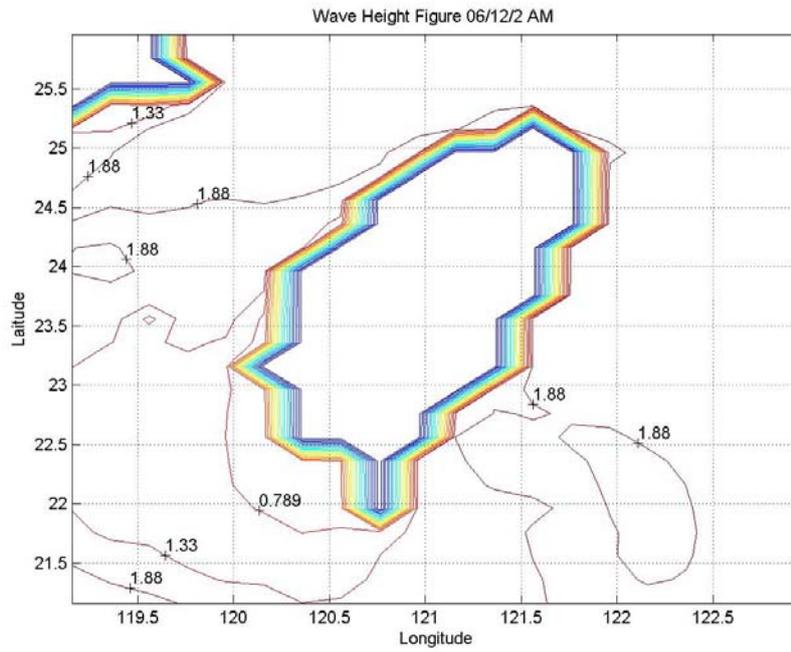


圖 4.12 原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/12/02 上午)

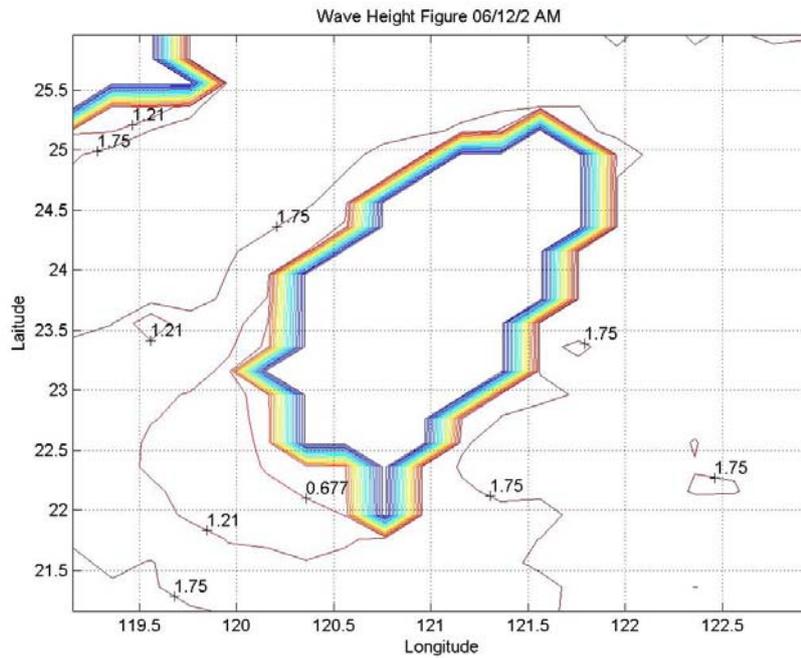


圖 4.13 經由類神經網路計算出的波高等高線圖(2006/12/02 上午)

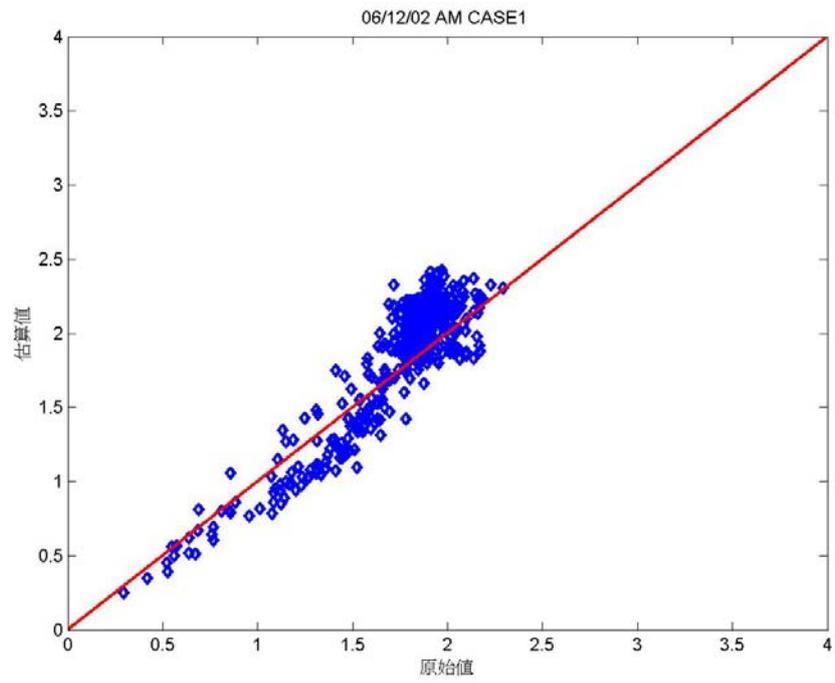


圖 4.14 波高分部重建結果之偏離分析(2006/12/02 上午)

表 4.2 單季波高分布重建誤差分析資料表

12/02 AM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	4.52923317	8.4345352	5.07674702	14.2246358
標準偏差(%平均波高)	13.4148281	16.792656	13.3371983	26.3994871

12/06 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	5.7512359	1.7720243	4.27818116	0.94775219
標準偏差(%平均波高)	28.7606854	24.23707	24.5244269	24.544417

12/13 AM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	5.48119999	2.0353551	5.28102661	7.24506844
標準偏差(%平均波高)	12.7728643	11.658039	12.2803639	13.835695

12/18 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	14.4362706	7.0485873	1.33110933	0.40356216
標準偏差(%平均波高)	35.523294	25.26161	15.8402093	23.7220175

12/26 AM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	2.68465692	1.7706375	7.17500519	6.01317076
標準偏差(%平均波高)	9.77763463	9.9143651	10.3347517	10.4530413

12/30 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	15.3050507	8.5129885	12.1842727	11.2643122
標準偏差(%平均波高)	27.111789	20.501982	21.3939525	24.1129387

01/04 AM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	22.6299545	21.573159	23.9455273	21.5329392
標準偏差(%平均波高)	18.2967474	17.942496	18.41207	17.795135

01/15 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	6.32949874	1.6308321	6.74625218	10.8575803
標準偏差(%平均波高)	16.2704083	16.753969	19.5931374	19.3156922

01/24 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	13.3613204	3.188034	6.30372775	6.68087109
標準偏差(%平均波高)	73.3745201	67.374206	62.4610604	68.32635

02/21 AM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	0.39346568	12.532836	4.25857415	7.59538647
標準偏差(%平均波高)	10.5209249	13.474403	10.9651502	11.4412274

02/25 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	8.09730556	6.768004	6.40892898	1.1870637
標準偏差(%平均波高)	13.7846439	13.302412	13.0621136	12.0431634

02/28 PM	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4
平均波高誤差(%)	3.11584575	6.3113194	7.67118201	13.4466352
標準偏差(%平均波高)	48.9648294	50.028406	51.2378801	52.7494406

第五章 結論與建議

- (1) 本研究提出一個最小平方差估測方法，用來估算水下載具之縱移、橫移、平擺及起伏等運動參數，以供運動控制器設計之用。運動控制使用比例微分及非線性回受，以克服模式誤差、水流干擾、纜線受力等未知力的影響。導航方法採用測距聲納測量港灣結構物外形，經由數據擬合技術產生追蹤參考路徑，以供載具追蹤。本計畫目前正進行海域測試準備、以及側掃聲納界面設計與製作。
- (2) 影響多音束測深精度的因子眾多，除了確實執行每項多音束測深品管流程，本文針對可能對疏浚成果造成重大系統誤差的三個因子探究其原因及對策如下表。

造成系統誤差的原因	多音束測深作業對策及方法
不同步的定位、測深及水深修正資料造成的時間遲滯效應(Latency)。	使用 1PPS 及 ZDA 同步各種儀器的量測時間。
疊合修正(Patch test)中的 Pitch 效應。	首先必須排除時間遲滯效應的影響，選擇已知的特徵物確實執行疊合修正或以同等級或精度更高的測深儀檢驗之。
驗潮站與測區的潮時及潮位差異。	於測區前後設置二個以上驗潮站，以平均或最接近的方式修正潮位。

- (3) 本研究引用 TaiCOMS 之中尺度臺灣近海波浪模擬資料，作為探討臺灣海域波浪全貌分析方法與程式之建構與驗證之依據。研究結果顯示採用多層類神經網路模式，模擬以有限的量測資料(譬如來自於 70~80 個測點或更少的資料)重建臺灣周圍海域波浪整體空間分佈全貌的方法是可行而有效的。以單日資料為例驗證，顯示其重建結果無論在定量及定性上皆幾乎一致重現。以單月及單季資料為例

驗證，亦皆顯示類神經網路模式重建結果在數值上雖有些許差異，但整體空間分佈的趨勢仍被訓練完成後的類神經網路模式充分的掌握。

參考文獻

- [1] M. Caccia and G. Veruggio, "Modeling and Identification of Open-Frame Variable Configuration Unmanned Vehicles", *IEEE Journal of Ocean Engineering*, VoL.25, No.2, April 2000.
- [2] F. S. Hover, M. A. Grosenbaugh, M. S. Triantafyllou, " Calculation of Dynamic Motions and Tensions in Towed Underwater Cables," *IEEE Journal of Ocean Engineering*, VoL.19, No.3, pp.449-457, 1990.
- [3] W. Koterayama, S. Yamaguchi, T. Yokobiki, J. H. Yoon, H. Hase, " Space-time Measurements on Ocean Current and Chemical Properties with the Intelligent Towed Vehicle 'Flying Fish'," *IEEE Journal of Ocean Engineering*, VoL.25, No.1, pp. 130-138, 1990.
- [4] 鄭勝文，邱逢琛，蔡進發，郭振華"「自主式水下載具整合型計畫」成果報導"，*科學發展月刊*，第二十六卷，第一期，1998。
- [5] D.R. Yoerger, J. G. Cooke, J.-J. E. Slotine, "The Influence of Thruster Dynamic on Underwater Vehicle Behavior and Their Incorporation Into Control System Design," *IEEE Journal of Ocean Engineering*, VoL.15, No.3, July 1990.
- [6] 邱永芳等，"蘇澳港防波堤改善工程規劃"，臺灣省交通處港灣技術研究所研究報告，1997。
- [7] 邱永芳，郭振華，邱逢琛，蔡金吉，「水下結構物自動檢測系統研究(1/4)」，交通部運輸研究所報告，中華民國 94 年 10 月。
- [8] 邱永芳，郭振華，邱逢琛，蔡金吉，「水下結構物自動檢測系統研究(2/4)」，交通部運輸研究所報告，中華民國 95 年 10 月。
- [9] 高石敬史等 "船載式波高計之性能—空中超音波式與 Tucker 式之比較"，船舶技術研究所報告 20 卷 5 號，PP1-20，1983。

- [10]邱永芳等“臺灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)技術報告”，第 28 屆海洋工程研討會專題論文集，高雄，2006/11
- [11]林焯圭等“臺灣近岸海象預報模式系統(TaiCOMS)—風浪模式之建立與應用”，TaiCOMS 技術報告，第 28 屆海洋工程研討會專題論文集，高雄，2006/11
- [12]Ijima, T., T. Takahashi and H. Sasaki “ Application of radars to wave observations”, Proceedings of 11th Conference on Coastal Engineering, Vo.30, No.1, pp10-22, 1964.
- [13]Takekuma, K., and T. Takahashi “ On the evaluation of sea spectra based on the measured ship motions”, 西部造船會會報 45 號，pp.51-57, 1973.
- [14]平山清次”由航行中船體運動即時推估海洋波譜之研究（之二）：方向波譜的推估”，關西造船協會誌 204 號，pp.21-27, 1987
- [15]井關俊夫等”由船體運動推估方向波譜之研究”，日本航海學會論文集 86 號，pp.179-188，1992。
- [16]井關俊夫等”由船體運動推估方向波譜之研究—II ”，日本航海學會論文集 87 號，pp.197-203，1992。
- [17]井關俊夫等”Bayesian Estimation of Directional Wave Spectra Based on Ship Motions”，日本造船學會論文集 172 號，pp.17-25, 1992
- [18]井關俊夫等”Bayesian Estimation of Directional Wave Spectra Based on Ship Motions – II ”，日本造船學會論文集 176 號，pp.99-105, 1994。
- [19]平山青次等”方向波譜的複合型船上計測法的開發”，日本造船學會論文集 180 號，pp.295-309, 1996。

- [20]平山青次等”方向波譜的複合型船上計測法的開發 (之二)：新開發方向波浪浮標之驗證”，日本造船學會論文集 182 號，pp.217-229, 1997。
- [21]吉元博文等”航行船舶遭遇方向波譜推估法之研究”，日本造船學會論文集 1196 號，pp.107-116, 1994。
- [22]齊藤公男等”從船體運動推估波浪資訊之研究：應用非線性規劃法的波譜推估”，日本造船學會論文集 182 號，pp.231-237, 1997。

附錄一 期末報告審查意見及辦理情形

交通部運輸研究所 九十六 年度自辦計畫審查意見表

計畫名稱：水下自動化監測作業技術之研發(3/4)		
審查委員	審查意見	辦理情形
國立中山大學 李忠潘教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 多音束及單音束測深儀的差異值不等於各自的精度。至於那一個較準，應有一個絕對值來確定。 2. 子計畫三，應建立校正系統，修正由船體運動反算的波浪值。 3. 水下載具的定位為何？精度為何？ 4. 水下載具計畫的研究重點，似可以水下量測為主，因此進行的軟硬整合。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 水深測量似乎無法找到一個絕對準確值，影響多音束與單音束之精度因素有很多，僅能討論二者之相對精準性，面的資料來估算應較線之估算要準確。 2. 同意委員意見，目前採用的方法是用類神經的方式來解決多重因素所造成的誤差提高可信度。 3. 其精度與定位之校驗為下年度執行的重點。同時定位方式目前預計會申請專利。 4. 同意委員意見，對水下載具所酬載之儀器目前為Side Scan 和攝影機，其處理程序已完成整合，下年度會加入多音束測深儀，其水深資料處理方式於下一個中綱計畫中已列入研究項目。
國立中山大學 陳陽益教授	<ol style="list-style-type: none"> 1. 請述利用船隻（或水下載具）航行量測水下標的物時，此船隻及載具在具六度空間運動度下（尤其在波流潮的作用下）如何校正及其精度與適用度，最好能列表敘明。本研究已具不錯成果。 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 感謝委員之意見，在海上載具受影響的因素很多，亦常有交互作用現象，很難做各項之校驗，精度與適用度為利用類神經方式來處理，期望能提高其量測在應用範圍內之可信精度。

<p>國立成功大學 黃正弘教授</p>	<p>1. ROV之研究在臺大已有多 年(NSC 計畫)，為何目前 之成果仍僅在水槽中驗 証？</p> <p>2. 如何定義預測之波浪是可 信的？</p> <p>3. 如何定收斂值？</p> <p>4. 反算問題(Inverse problem) 屬 ill-posed problem。考量 測點太少理論上很難得到 好的預測結果。本計畫所 言用 70~80 或更少之量測 點便可預測整個海浪之分 佈，依據為何？</p>	<p>1. 實體在海中測試已有二次 經驗亦發現若干小問題故 尚未提出海上測試結果， 水槽中之驗證因素較單 純，對本儀器發展之特性 校驗容易得到驗證，下年 度會對載具儀器與定位動 能再做海上實測驗証。</p> <p>2. 校驗反算結果會利用臺北 港觀測樁所量測之波浪來 驗證，再討論量測之空間 面積與波浪推算結果之最 佳方式。再依類神經方式 來得到較可信的結果。</p> <p>3. 收斂值應視推算結果之運 用所需精度來定義。</p> <p>4. 本研究至今僅測試階段， 同意委員意見。應有更多 之量測資料來比較驗證或 推算會更精確，但海上資 料很難取得，經由計算結 果如所用之資料如能愈少 就能取得應用上可信的精 度的話，當然在未來使用 上將更為可行，70~80 為 目前計算結果所估算下年 度再校驗其實測可信為 何。</p>
-------------------------	--	---

<p>國立成功大學 許泰文教授</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫執行二年，二年成果如何？先前相關計畫研究成果如何？本計畫目標和往昔研究成果有何相異之處？ 2. 第三年為系統整合和水槽測試，介面整合及感測資料融合，確認是否能發揮功能？建議能直接應用於實際海域。 3. 多音束應用於疏浚工程量測精度如何提高？和傳統水深測量比較有何優點？潮位如何修正？ 4. 多音束水深適用範圍如何？ 5. 利用船體運動反推波浪，精確度如何？水流干擾和船波因素如何分離？ 	<ol style="list-style-type: none"> 1. 本計畫為第三年成果，其二年成果係由規劃設計計算到本年度製作出實體並測試，下年度將配合在實際海中之使用性。 2. 本年度已有海上測試結果，但亦發現實際在海中之小缺失，已改正。預計下年度會再實際海上測試結果之驗證與比較。 3. 水深量測尤其在疏浚上其精度很難控制，對各量測 Beam 之強度與反射是精度影響最重要的課題。當然在面的量測精度應會比線的量測來計算土方量上相對準確。潮位修正當然由同步量測潮位計結果做修正。 4. 多音束水深可量測水下 60 公尺以上，但愈深精度愈差，應視精度需要性而定。 5. 實際上船體運動應用在海上面的量測其精度絕對小於點之量測，但具有面的意義。其各項因素亦會有交互影響性，實無法分離，因此才利用多變量考量之類神經方式來做推估處理計算。
-------------------------	--	---

附錄二 期末報告簡報資料

水下自動化監測作業技術之研發(3/4)

著者：邱永芳、郭振華、薛憲文、邱逢琛
簡報：蔡金吉 助理研究員

交通部 運輸研究所 臺灣技術研究中心

1

研究目的

- * 本計畫為發展水下監測作業的相關技術，提昇水下工程施工品質與施工管理並期減少環境衝擊之目標。

2

研究方向

- * 計畫一：
- * 計畫二：
- * 計畫三：

3



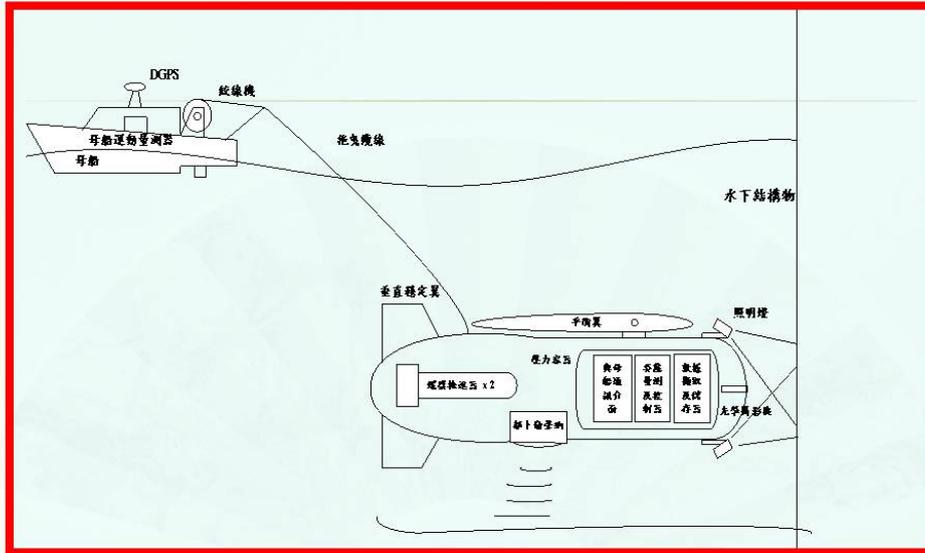
計畫一

* 目標：

以水下結構物表面之觀測為目標，設定之觀測任務以防波堤沈箱之水下觀測為主。

1. 拋石觀測
2. 沈箱面觀測

4



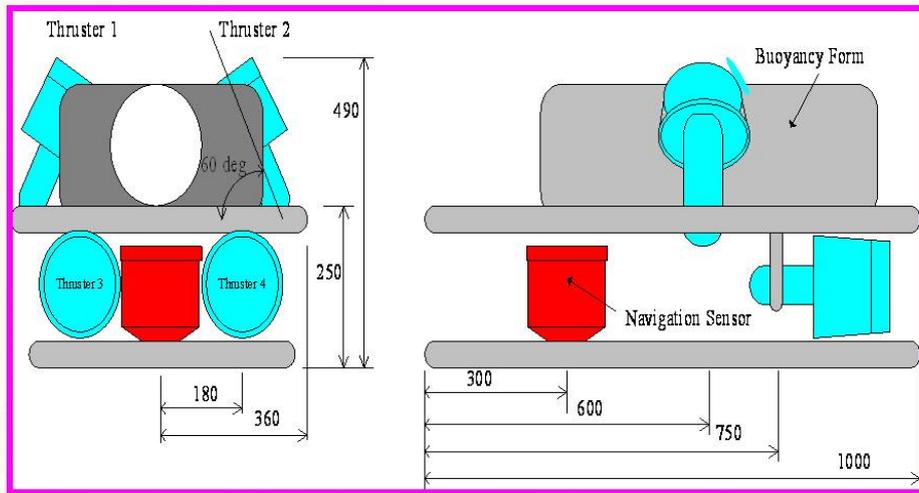
系統設計概念

5

Items	Specifications
Dimensions	1.0m(L)×0.8m(W)×0.5m(H)
Weight	80kg in air
Tether length	130m
Speed	0.8 m/s
Payload	3 kg (adjustable)
Thrusters	1 hp x 4
Sensors	video camera; side scan sonar
Navigation	Doppler log
Power	110VAC, 50/60 Hz, 10 Amps ; 220VAC, 50/60 Hz, 20 Amps

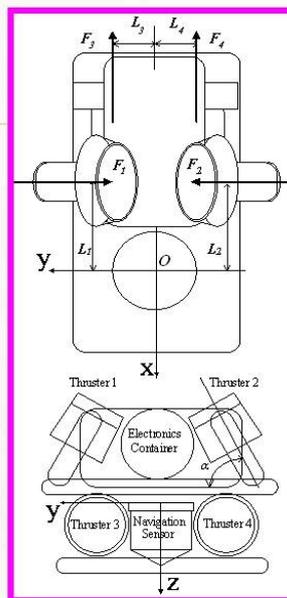
設計規格

6



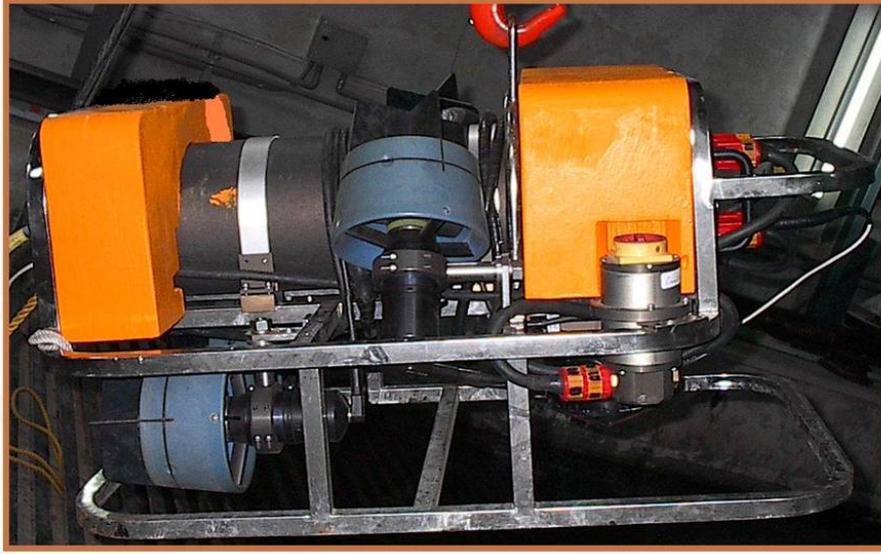
載具外型與主要尺寸圖

7



螺槳、導航儀器及壓力容器之配置圖

8



載具外型之側視圖



載具外型之上視圖

※ 本年度工作項目：

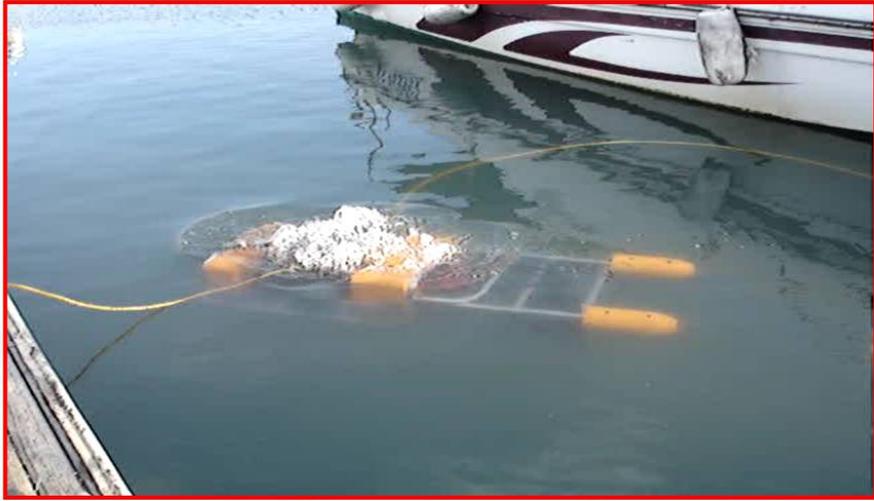
水下載具系統整合與水槽測試：

包含電纜及酬載儀器在內的系統設計、軟硬體整合與水槽測試、發展港灣水下結構物觀測作業系統所需之軟硬體整合介面、與測掃聲納及多聲束聲納整合之介面設計、發展感測資料融合方法、港灣防波堤的水下表面觀測作業測試。整合94, 95年度所製作之原型機各元件，撰寫作業系統軟體程式。在水槽內測試子系統及儀具的功能，在水槽內確認整體系統的功能正常。施行港灣防波堤的水下表面觀測作業試驗。

11



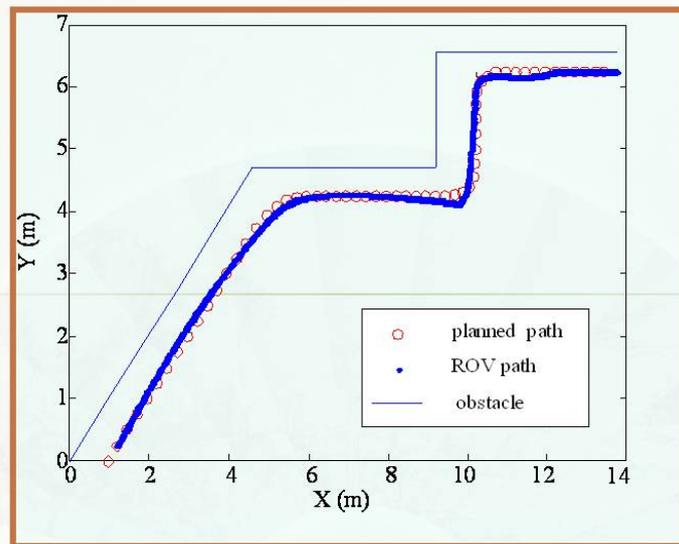
載具測試₁₂



載具測試
13



縱向檢測
14



水下載具之路徑規劃及控制模擬

15

計畫二

*目標：

依據國際海測組織(IHO)所制訂之水深測量規範之精神，針對淺水域多音束測深技術之相關議題作全面性的研究探討。

包含多音束測深技術、人員培訓、規範標準、資料庫之建立、漂沙回淤率及底質分類技術等相關應用的層面。

16

* **本年度工作項目：**

探討水深測量及底質探測在疏浚工程之應用：

- > 多音束測深精度提升因子之探討。
- > 探討聲波式海床表層底質分類技術及資料庫之建置。
- > 探討地形及底質資料庫在疏浚工程之應用。

17

* **多音束測深應用於疏浚工程之量測精度提昇評估**

1. 單音束及多音束測深在疏浚工程的應用
2. 評估測深之潮汐修正效應
3. 多音束聲納技術在疏浚工程之應用

18



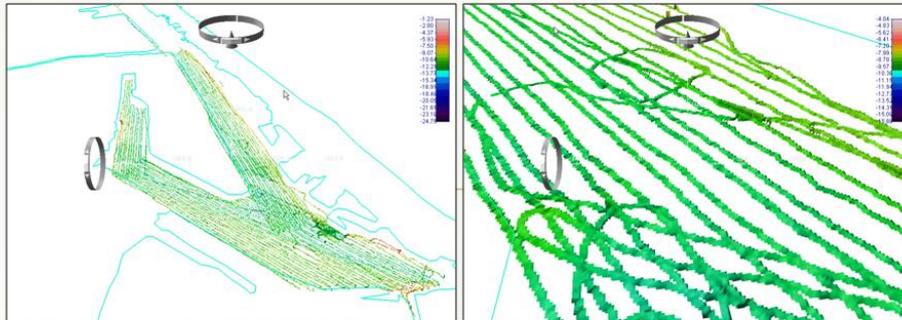
* 單音束及多音束測深規格的差異

19

	Odom單音束測深儀	Reson 8125多音束測深儀
音束寬度	9°	0.5°
足印大小 (水深10~15公尺)	1.5~2.3公尺	0.09~1.03公尺
資料筆數	60,272筆(94年) 31,159筆(95年)	148,989,537 筆 (94 年) 85,556,727筆(95年)
資料密度	0.02筆/平方公尺 0.01筆/平方公尺	約51筆/平方公尺 約29筆/平方公尺
覆蓋率	低	可達到100%
測量收發率	1筆/次	240筆/次
測量精度	一致	中央音束精度較高，外部音束精度較低

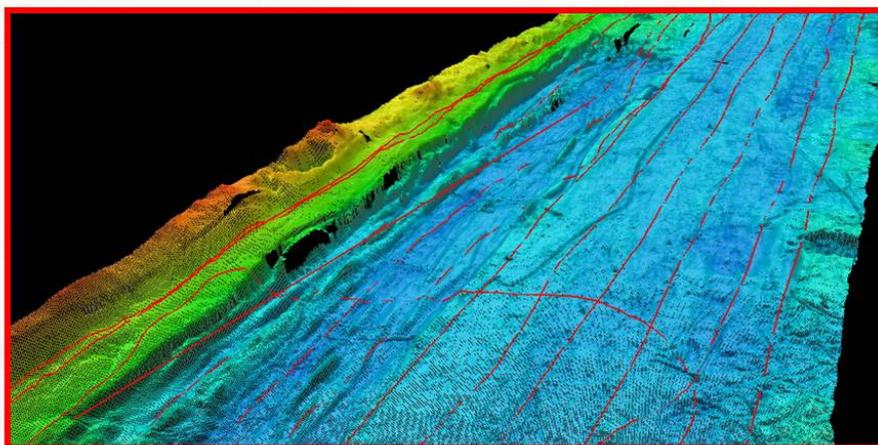
單音束及多音束測深規格比較表

20



單音束水深測量成果圖

21



單音束與多音束測深網格比較圖

22

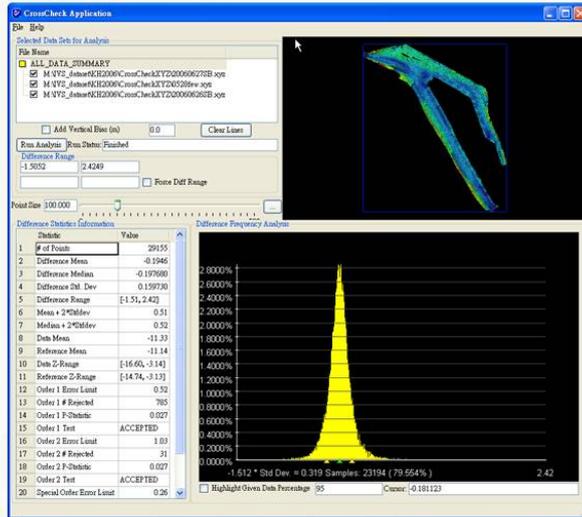
* 單音束及多音束測深量測結果的差異

23

日期	05/26	05/27	05/28	全部
檢核點數	10700	10642	7813	29155
檢核點平均值	-11.51	-10.87	-11.72	-11.33
基準面平均值	-11.31	-10.73	-11.47	-11.14
誤差平均值	-0.20384	-0.14425	-0.25049	-0.19459
誤差中值	-0.20849	-0.14615	-0.23895	-0.19768
誤差標準差	0.13194	0.16825	0.16158	0.15973
檢核點水深範圍	-16.6~-3.14	-15~-3.66	-15.28~-5.67	-16.6~-3.14
基準面水深範圍	-16.5~-3.13	-14.74~-3.61	-14.92~-5.55	-14.74~-3.13
水深差值範圍	-1.08~1.03	-1.45~1.59	-1.51~2.42	-1.51~2.42
平均值+2x標準差	0.46772	0.480751	0.573649	0.514045
中值+2x標準差	0.472366	0.482653	0.562112	0.51714
一等測深誤差極限	0.5	0.5	0.51	0.52
二等測深誤差極限	1	1	1.01	1.03
特等測深誤差極限	0.25	0.25	0.25	0.26
一等測深P統計	0.014	0.024	0.049	0.027
二等測深P統計	0	0.001	0.003	0.001
特等測深P統計	0.327	0.225	0.449	0.322
未達一等測深點數	148	251	386	785
未達二等測深點數	3	8	20	31
未達特等測深點數	3494	2399	3508	9401
符合一等測深?	Yes	Yes	No	Yes
符合二等測深?	Yes	Yes	Yes	Yes
符合特等測深?	No	No	No	No

單音束測深與多音束測深交錯檢驗表

24



『誤差平均值』約19公分，可能為系統性的常差，也可能是因港區地形變化劇烈，測深足印大小本身的誤差，原則上多音束測深的精度高於單音束測深

單音束及多音束交錯檢核誤差分佈圖

* 單音束及多音束測深差異的可能原因

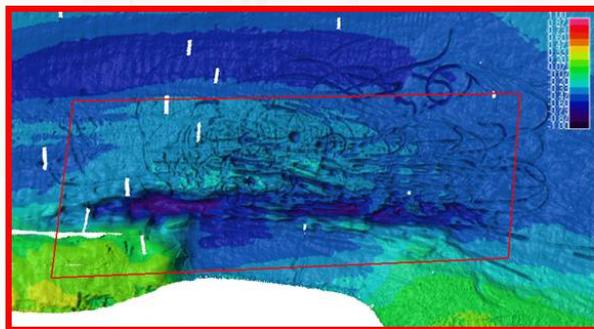
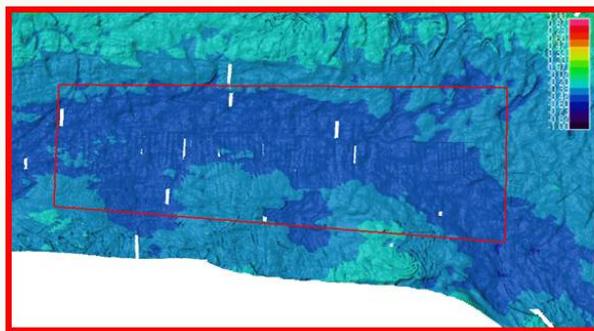
- > 動態吃水差異
- > 單音束音鼓傾角過大
- > 多音束音鼓pitch傾角修正有誤

* 多音束測深在疏浚工程的應用



測區位置圖

27



測區局部放大圖

28

網格大小	0.5m	1m	2m	5m	10m	20m
體積(m ³)	204550	205645	206078	206524	206744	210406
面積(m ²)	75496	75661	74902	72493	67913	59375
平均值(m)	2.677	2.677	2.678	2.682	2.694	2.727
中值(m)	2.633	2.632	2.631	2.632	2.632	2.665
標準差	0.318	0.318	0.320	0.327	0.34	0.368

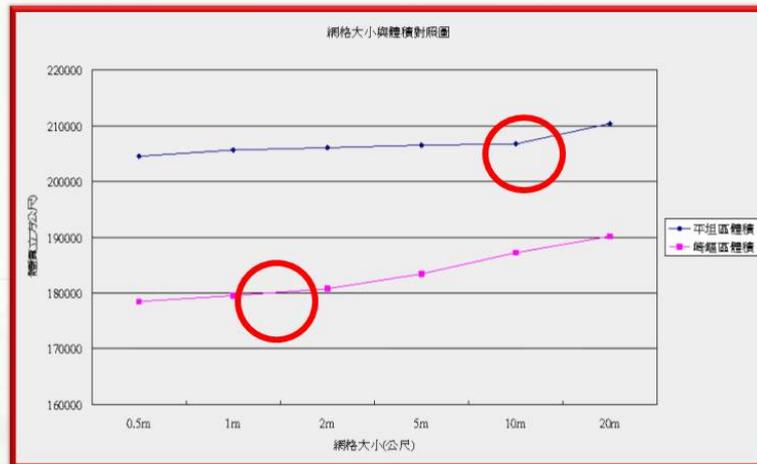
平坦測區多音束測深體積估算表

29

網格大小	0.5m	1m	2m	5m	10m	20m
體積	178455	179509	180758	183423	187228	190161
面積	62113	61903	61276	59476	55786	46869
平均值	2.845	2.853	2.864	2.897	2.938	3.007
中值	2.766	2.769	2.771	2.793	2.819	2.891
標準差	1.098	1.106	1.117	1.147	1.181	1.249

崎嶇測區多音束測深體積估算表

30



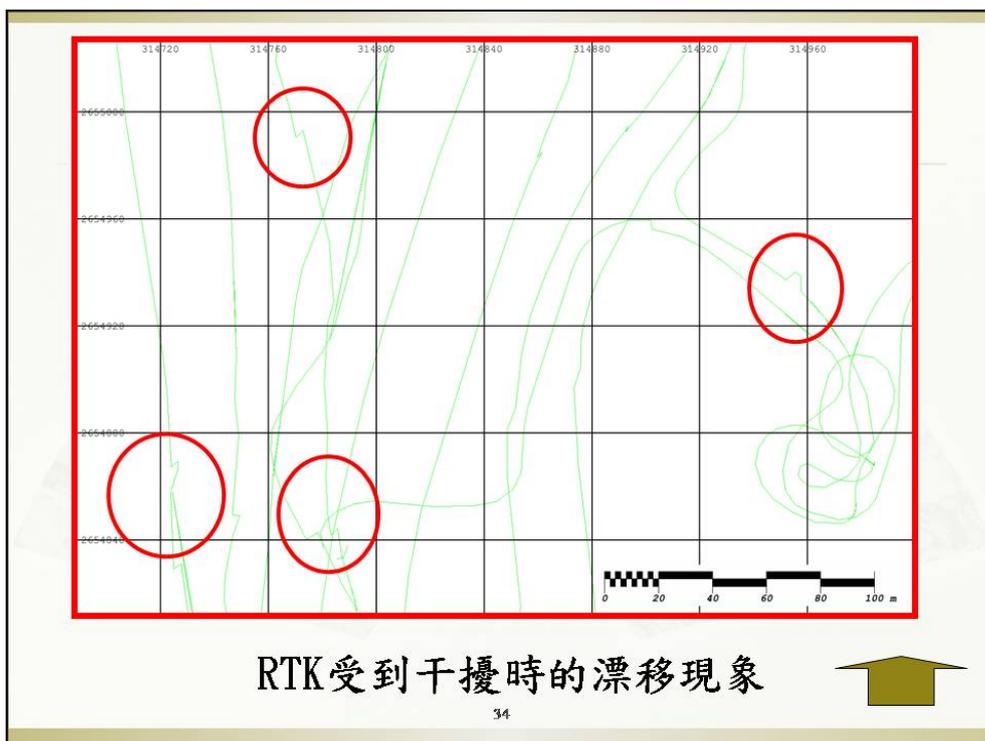
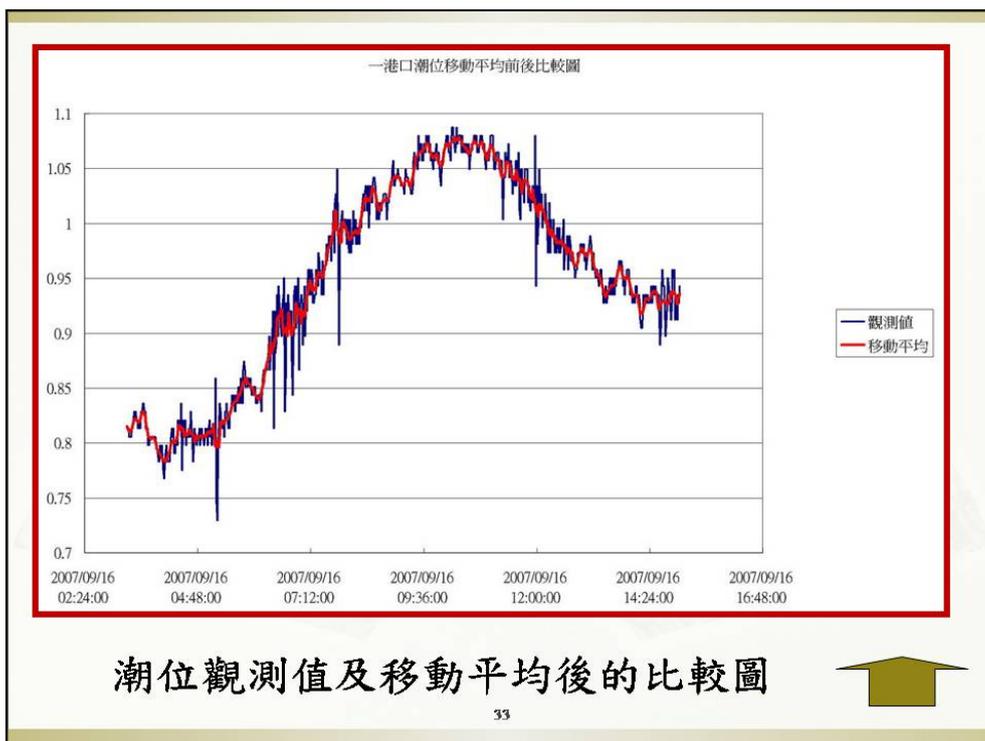
多音束測深網格大小及體積對照圖



* 評估測深之潮汐修正效應

- > 傳統式潮位量測
- > 潮位數據去噪處理
- > 潮時及潮差對疏浚量測的影響
- > 港區RTK驗潮評估
- > 疏浚量測的潮位修正作業模式

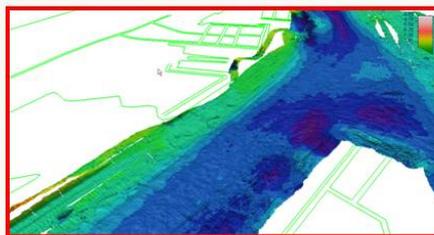




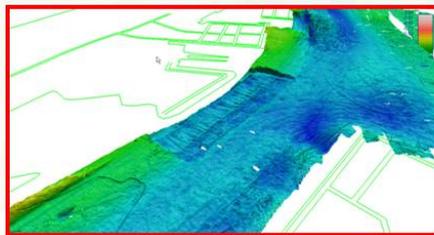
* 多音束聲納技術在疏浚工程之應用

- > 疏浚工程需求
- > 多音束聲納技術在疏浚工程之應用
 - ★ 疏浚前的土方計量測量
 - ★ 疏浚後的完工檢核測量
- > 高雄港多音束聲納系統疏浚測量範例

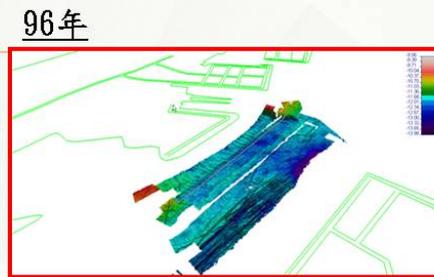
35



94年



95年



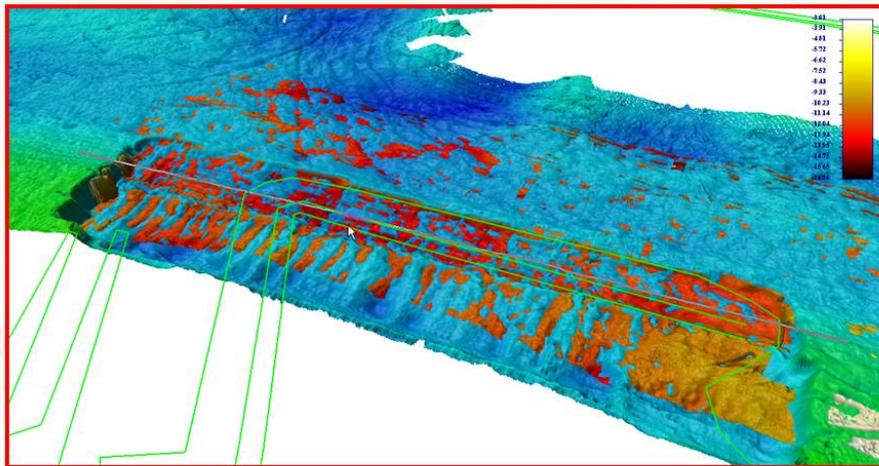
96年

疏浚區94年至96年的水深色階圖

36

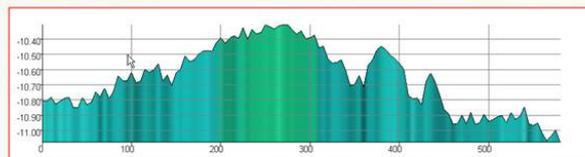
95年疏區藍色

95年疏區橘紅色

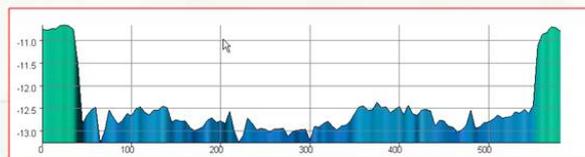


疏浚區95年至96年不同色階比對圖

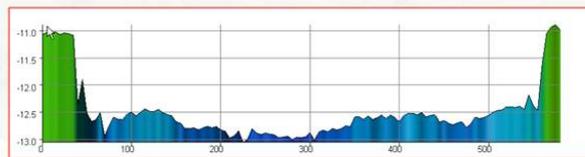
37



94年



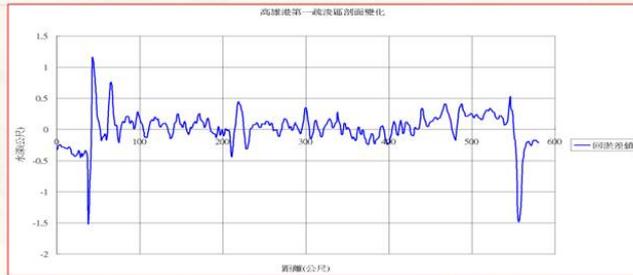
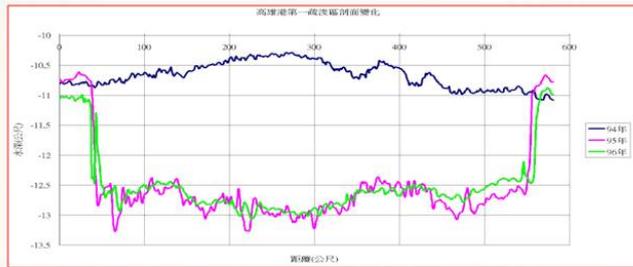
95年



96年

疏浚區剖面94年至96年水深變化圖

38



疏浚區95年至96年剖面及回淤變化圖



計畫三

***目標：**

基於海洋資源調查、利用與開發之需要，海上休閒活動以及海上運輸與交通的日益增加，國人對於台灣海域波浪即時而精確的掌握將會有日益增加的迫切需求。亦即，建置台灣海域波浪屬『面』的波浪測報系統應屬必要，因此必須儘速研發相關核心技术。

*研究內容：

第1年：執行波浪反算分析方法及程式之研發

第2年：進行無線式船舶運動量測模組之研發

第3年：進行台灣海域波浪全貌分析方法及程式之研發

第4年：進行利用海巡船舶運動推算台灣海域即時波浪場之系統雛形規劃與模擬

41

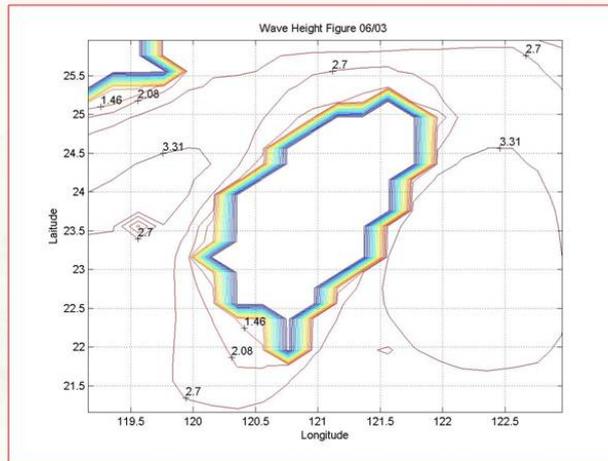
*本年度工作項目：

進行台灣海域波浪全貌分析其施行步驟與方法如下：

- > 台灣海域波浪隨季節變化之空間特性分析：
- > 特殊氣象條件下台灣海域波浪之空間特性分析：
- > 台灣海域波浪空間特性之識別模擬：
- > 台灣海域波浪全貌分析方法之探討：
- > 台灣海域波浪全貌分析程式之建構與驗證：

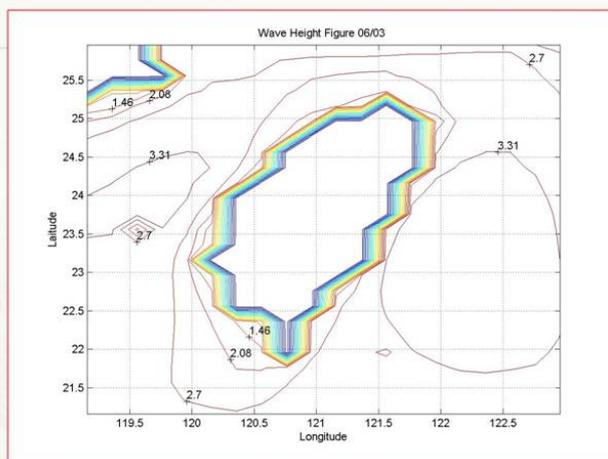
42

■ 單日單時刻波浪空間分佈之重建



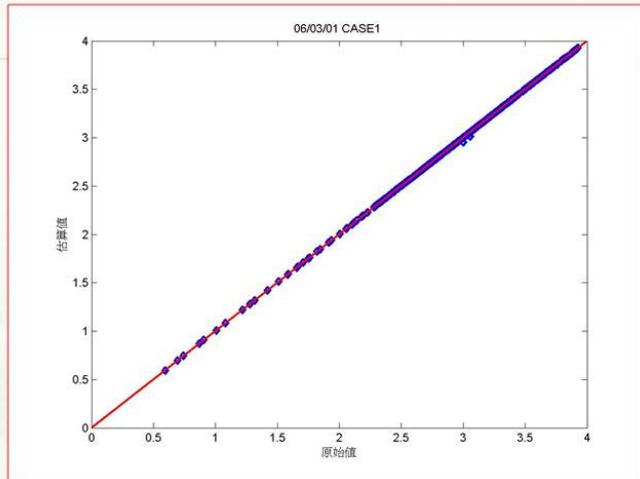
原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/03/01)

43



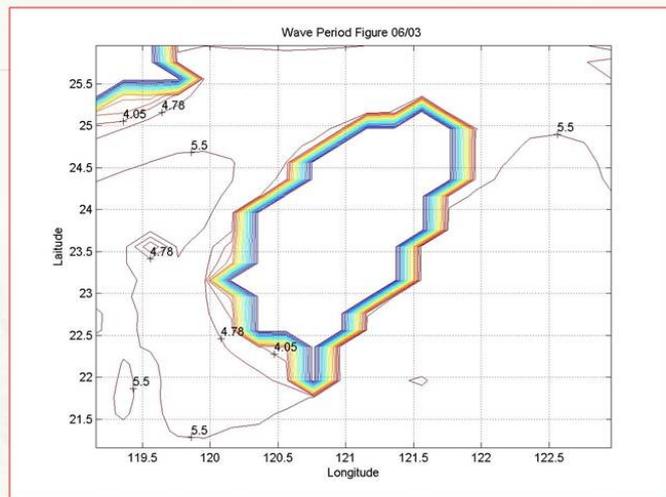
經由類神經網路計算出的波高等高線圖

44



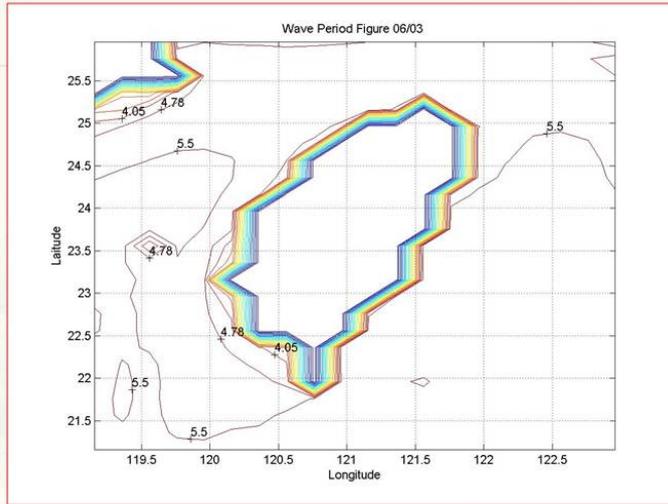
波高分布重建結果之偏離分析

45



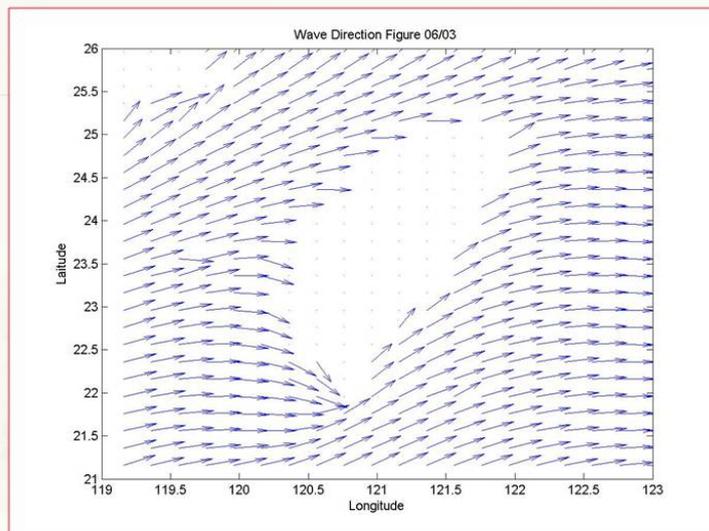
原始資料所畫出的週期等高線圖(2006/03/01)

46



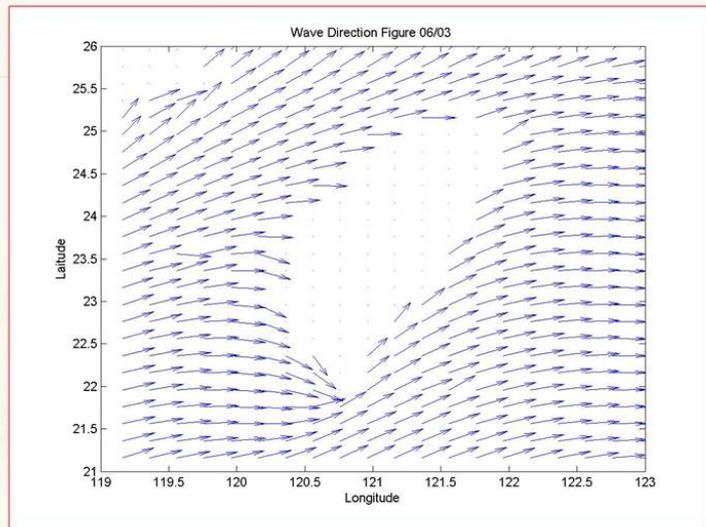
經由類神經網路計算出的週期等高線圖

47



原始資料所畫出的波向圖(2006/03/01)

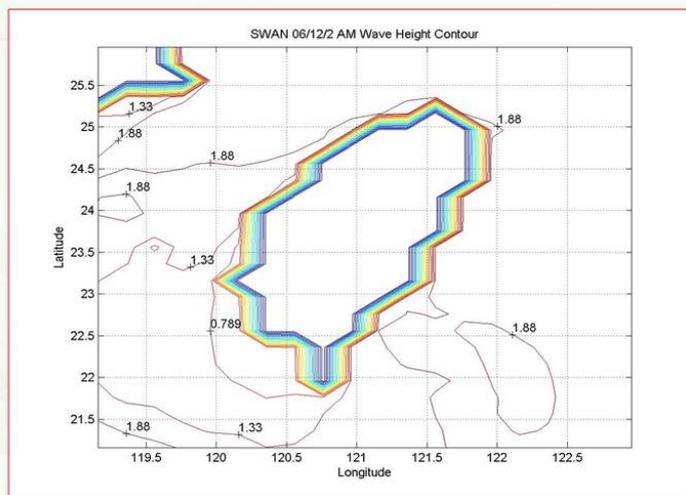
48



經由類神經網路計算出的波向圖

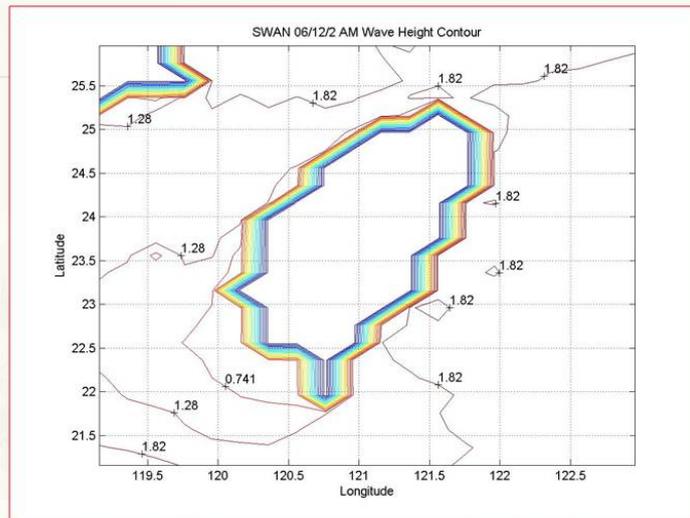
49

■單月波浪空間分佈之重建



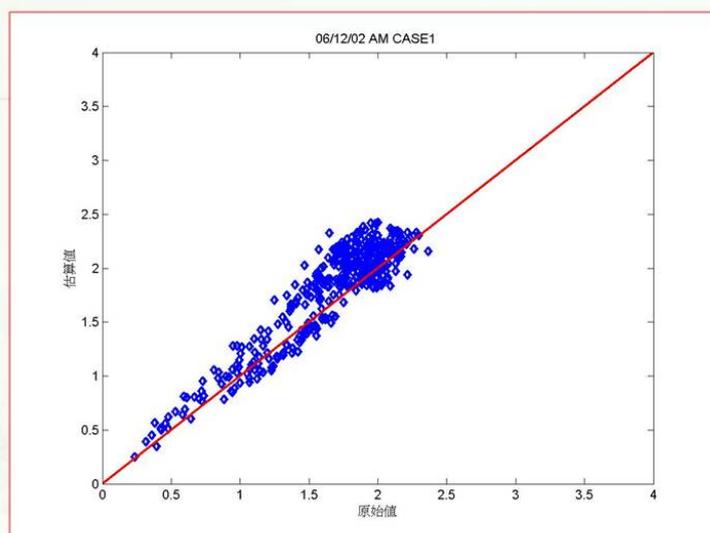
原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/12/02上午)

50



經由類神經網路計算出的波高等高線圖(2006/12/02上午)

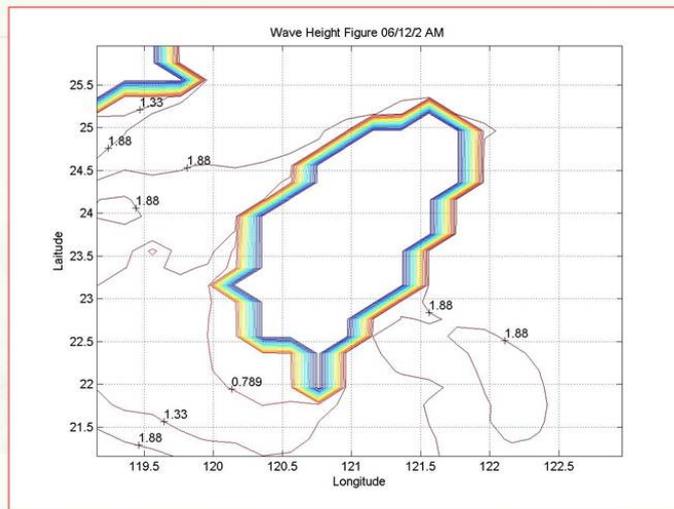
51



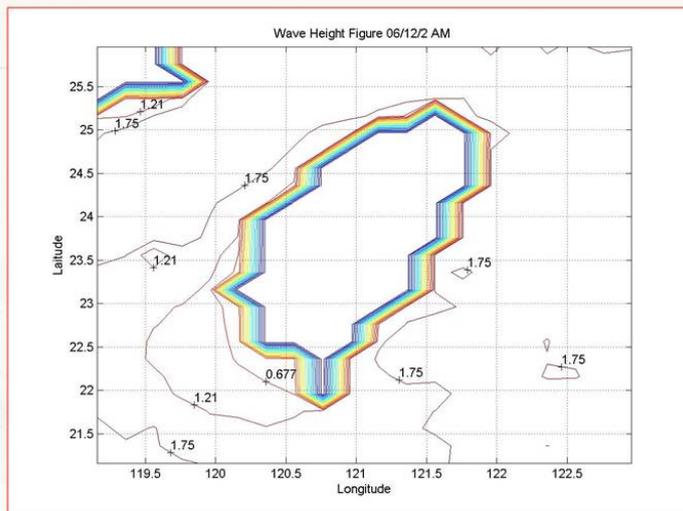
波高分部重建結果之偏離分析(2006/12/02上午)

52

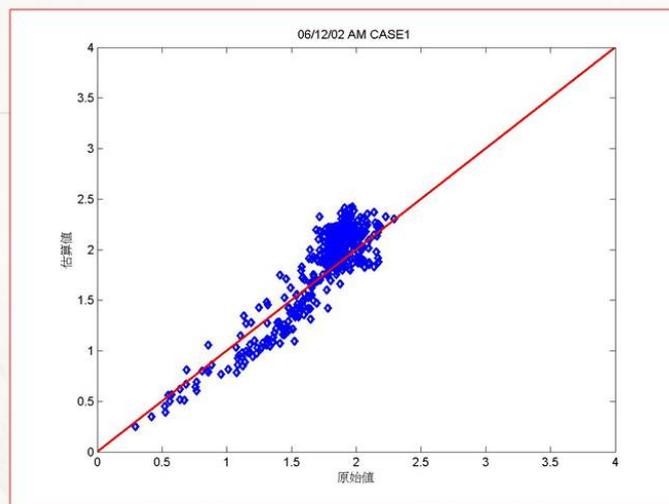
■單季波浪空間分佈之重建



原始資料所畫出的波高等高線圖(2006/12/02上午)



經由類神經網路計算出的波高等高線圖(2006/12/02上午)



波高分部重建結果之偏離分析(2006/12/02上午)



55

結論與建議

- * 本研究提出一個最小平方差估測方法，用來估算水下載具之縱移、橫移、平擺及起伏等運動參數，以供運動控制器設計之用。運動控制使用比例微分及非線性回受，以克服模式誤差、水流干擾、纜線受力等未知力的影響。導航方法採用測距聲納測量港灣結構物外形，經由數據擬合技術產生追蹤參考路徑，以供載具追蹤。本計畫目前正進行海域測試準備、以及側掃聲納界面設計與製作。

56

- * 影響多音束測深精度的因子眾多，除了確實執行每項多音束測深品管流程，本文針對可能對疏浚成果造成重大系統誤差的三個因子探究其原因及對策如下表

造成系統誤差的原因	多音束測深作業對策及方法
不同步的定位、測深及水深修正資料造成的時間遲滯效應(Latency)。	使用1PPS及ZDA同步各種儀器的量測時間。
疊合修正(Patch test)中的Pitch效應。	首先必須排除時間遲滯效應的影響，選擇已知的特徵物確實執行疊合修正或以同等級或精度更高的測深儀檢驗之。
驗潮站與測區的潮時及潮位差異。	於測區前後設置二個以上驗潮站，以平均或最接近的方式修正潮位。

57

- * 本研究引用TaiCOMS之中尺度台灣近海波浪模擬資料，作為探討台灣海域波浪全貌分析方法與程式之建構與驗證之依據。研究結果顯示採用多層類神經網路模式，模擬以有限的量測資料（譬如來自於70~80個測點或更少的資料）重建台灣周圍海域波浪整體空間分佈全貌的方法是可行而有效的。

58

報告完請指教
謝謝！！