

97-42-7328
MOTC-IOT-96-H2DB008

淺水域多音束量測水深技術研究 (3/4)



交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

淺水域多音束量測水深技術研究
(3/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009700834
定價：200 元

97-42-7328
MOTC-IOT-96-H2DB008

淺水域多音束量測水深技術研究 (3/4)

著者：邱永芳、薛憲文、蔡金吉、張功武

交通部運輸研究所

中華民國 97 年 3 月

國家圖書館出版品預行編目資料

淺水域多音束量測水深技術研究. (3/4) / 邱永芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民97.03

面；公分

參考書目：面

ISBN 978-986-01-3881-8(平裝)

1. 海洋探測 2. 水中聲學 3. 地理資訊系統

351.924

97006529

淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)

著者：邱永芳、薛憲文、蔡金吉、張功武

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 3 月

印刷者：德輝興業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 110 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

五南文化廣場：臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009700834

ISBN：978-986-01-3881-8 (平裝)

著作財產權：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

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

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-3881-8 (平裝)	政府出版品統一編號 1009700834	運輸研究所出版品編號 97-42-7328	計畫編號 96-H2DB008
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：蔡金吉 聯絡電話：04-26587221 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立中山大學 計畫主持人：薛憲文副教授 研究人員：李忠潘、陳陽益、張功武、吳泓毅 地址：高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5255067		研究期間 自 96 年 03 月 至 96 年 11 月
關鍵詞：多音束測量；疏浚測量規範；地理資訊系統；聲納表面底質分類			
摘要： 本計畫目的在研究我國之各國際商港港域全覆蓋水深、回淤率、底質分佈，藉以因應船舶大型化之國際港灣水域之競爭，進入 WTO 之海事及疏浚工程國際化，避免工程糾紛。近年來多音束測深系統的發展已趨成熟，本計畫依據國際海測組織(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。 本案為四年計畫之第三年，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。			
出版日期	頁數	工本費	本出版品取得方式
97 年 3 月	172	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： ☐密 ☐機密 ☐極機密 ☐絕對機密 （解密條件：☐ 年 月 日解密，☐公布後解密，☐附件抽存後解密， ☐工作完成或會議終了時解密，☐另行檢討後辦理解密） ☒普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

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

TITLE: Applying Multibeam Echo Sounding Technology to Measure Water Depth in Shallow Water (3/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-3881-8 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009700834	IOT SERIAL NUMBER 97-42-7328	PROJECT NUMBER 96-H2DB008
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu, Yung-Fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu, Yung-Fang PROJECT STAFF: Tsai, Chin-Chi PHONE: +886-4-26587221 FAX: +886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM March 2007 TO November 2007
RESEARCH AGENCY: NATIONAL SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shyue, Shiahn-Wern PROJECT STAFF: Lee, Chung-Pan; Chen, Yang-Yih; Chang, Kung-Wu; Wu, Han-Ei ADDRESS: 70 Lien-hai Rd. Kaohsiung 804, Taiwan ROC PHONE: +886-7-5255067			
KEY WORDS: MultiBeam Survey ; Dredging Survey Standard ; GIS ; Acoustic Classification			
ABSTRACT The purpose of this project is to study full coverage bathymetry, shoaling rate, distribution of the sediment types of Taiwan's international commercial harbors in order to compete with worldwide harbors due to high-speed ship's loading/unloading trend, internationalized harbor engineering and dredging works after joining WTO and to avoid disputing about engineering works. Recently, shallow water multibeam echo sounding (MBES) technology has become mature, and it is a good time to investigate all its related issues, such as: MBES standard processes, staff training, survey standards development, bathymetric database establishment, shoaling rate and acoustic seabed classification technique, etc., according to the principles of IHO Standards for Hydrographic Surveys. The third year of 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 multibeam echo sounding and establishing a database for bathymetric survey data, also exploring dredging application of MBES bathymetric survey.			
DATE OF PUBLICATION March 2008	NUMBER OF PAGES 172	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

目 錄

中文摘要·····	I
英文摘要·····	II
目 錄·····	III
圖 目 錄·····	VIII
表 目 錄·····	XII
第一章 前 言·····	1-1
1.1 計畫背景分析·····	1-1
1.2 研究範圍與對象·····	1-2
1.3 研究內容與工作項目·····	1-3
1.3.1 研究內容·····	1-3
1.3.2 工作項目·····	1-3
第二章 研究方法及進行步驟·····	2-1
2.1 多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估 ·····	2-1
2.1.1 單音束及多音束測深成果之比較，並探討測深在疏浚工 程的應用·····	2-1
2.1.2 探討多音束測深之時間遲滯(Latency)效應及降低方 式·····	2-2
2.1.3 探討疊合修正(Patch Test)之作業方法及流程·····	2-3
2.1.4 評估測深之潮汐修正效應·····	2-3

2.1.5 依據上述研究成果評估多音束測深在疏浚測量之精度·····	2-5
2.2 多音束測深技術在疏浚工程之應用·····	2-5
2.3 聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置·····	2-6
2.3.1 使用多音束測深儀附加側掃聲納系統進行底質探測及分類研究·····	2-8
2.3.2 使用單音束測深之聲納回跡進行底質探測及分類研究·····	2-13
2.3.3 選擇代表性底質區域採樣分析及比對·····	2-13
2.3.4 建置底質資料庫·····	2-14
2.4 地形及底質資料庫在疏浚工程之應用·····	2-14
第三章 多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估·····	3-1
3.1 單音束及多音束測深成果之比較，並探討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費用比較·····	3-2
3.1.3 單音束及多音束測深量測結果的差異·····	3-4
3.1.4 單音束及多音束測深差異的可能原因·····	3-6
3.1.5 探討多音束測深在疏浚工程的應用·····	3-10
3.2 探討多音束測深之時間遲滯(Latency)效應及降低方式·····	3-13
3.2.1 多音束測深系統時間遲滯原因分析·····	3-13
3.2.2 多音束測深系統時間遲滯修正·····	3-16

3.3 探討疊合修正(Patch Test)之作業方法及流程·····	3-19
3.3.1 時間遲滯(Latency)·····	3-19
3.3.2 前後傾角(Pitch)·····	3-21
3.3.3 左右傾角(Roll)·····	3-22
3.3.4 船艏向(Yaw)·····	3-24
3.4 評估測深之潮汐修正效應·····	3-25
3.4.1 傳統式潮位量測·····	3-25
3.4.2 潮位數據去噪處理·····	3-26
3.4.3 不同潮位站的潮位比對·····	3-27
3.4.4 潮時及潮差比對結果分析·····	3-29
3.4.5 潮時及潮差對疏浚量測的影響·····	3-30
3.4.6 港區 RTK 驗潮評估·····	3-31
3.4.7 疏浚量測的潮位修正作業模式·····	3-32
3.5 依據上述研究成果評估多音束測深在疏浚測量之精度··	3-34
3.5.1 多音束測深系統的誤差源分析·····	3-34
3.5.2 多音束測深系統的總誤差傳播(TPE)·····	3-36
3.5.3 多音束測深在疏浚測量之精度·····	3-38
4.1 疏浚工程需求·····	4-1
4.2 多音束聲納技術在疏浚工程之應用·····	4-1
4.2.1 土方計量測量·····	4-2
4.2.2 檢核測量·····	4-2

4.2.3 30 公分緩衝區的合理性·····	4-3
4.3 高雄港多音束聲納系統疏浚測量範例·····	4-3
第五章 聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置·····	5-1
5.1 底質分析參考文獻·····	5-3
5.2 使用單音束測深之回跡進行底質探測及分類研究·····	5-6
5.2.1 資料處理流程·····	5-7
5.2.2 海床表面分類結果·····	5-13
5.3 使用多音束測深儀附加側掃聲納系統進行底質探測及分類研究·····	5-14
5.3.1 臺南興達港外海人工漁礁底質分析·····	5-15
5.3.2 高雄港疏浚區底質分析·····	5-18
5.4 水深及海床底質資料庫·····	5-21
5.5 選擇代表性底質區域採樣分析及比對·····	5-22
5.5.1 基本地形圖地質分類方式·····	5-23
5.5.2 自然環境基本資料庫地質分類方式·····	5-23
5.5.3 電子海圖海床分類方式·····	5-24
5.5.4 適用聲波式海床表層分類的規則·····	5-25
第六章 地形及底質資料庫在疏浚工程之應用·····	6-1
6.1 疏浚工程的生命週期·····	6-1
6.1.1 港區淤積及疏浚啟動·····	6-3
6.1.2 底質型態·····	6-3
6.1.3 土方計算·····	6-3

6.1.4 疏浚施工·····	6-3
6.1.5 浚後檢核·····	6-3
6.1.6 完成疏浚·····	6-4
6.1.7 港區淤積率及疏浚週期·····	6-4
6.1.8 疏浚區回淤率及安全係數·····	6-4
6.1.9 設計水深及警戒水深·····	6-4
6.2 地形及底質資料庫現況·····	6-4
第七章 結 論·····	7-1
參 考 文 獻·····	8-1
附錄一 期中報告審查意見處理情形表·····	9-1
附錄二 期末報告審查意見處理情形表·····	10-1
附錄三 期中簡報資料·····	11-1
附錄四 期末簡報資料·····	12-1

圖 目 錄

圖 1 單音束及多音束測深密度比較·····	2-2
圖 2 Cross Check 檢驗圖範例·····	2-2
圖 3 Patch Test 航線規劃圖·····	2-3
圖 4 潮汐圖範例·····	2-4
圖 5 高雄港區示意圖·····	2-6
圖 6 探討海底表面底質資料庫之流程圖·····	2-8
圖 7 多音束測深資料處理流程圖·····	2-9
圖 8 底質分類流程圖·····	2-10
圖 9 底質分析原理示意圖·····	2-11
圖 10 底質分類 Q-Space 分類圖·····	2-11
圖 11 底質自動分類統計分數及分類數量結果·····	2-12
圖 12 底質分類結果圖·····	2-12
圖 13 單音束測深聲納回跡範例·····	2-13
圖 14 底質粒徑分佈圖範例·····	2-13
圖 15 底質分類結果圖·····	2-14
圖 16 單音束水深測量成果圖·····	3-2
圖 17 單音束與多音束測深網格比較圖·····	3-2
圖 18 單音束及多音束交錯檢核誤差分佈圖·····	3-6
圖 19 Settlement & Squat 效應示意圖·····	3-7
圖 20 單音束音鼓傾角示意圖·····	3-8

圖 21 單音束音鼓傾角斜距差對照表·····	3-8
圖 22 Latency 和 Pitch 修正作業方法·····	3-9
圖 23 Pitch 誤差示意圖·····	3-9
圖 24 測區位置圖·····	3-10
圖 25 測區局部放大圖·····	3-11
圖 26 多音束測深網格大小及體積對照圖·····	3-13
圖 27 關閉 FIFO 緩衝區·····	3-15
圖 28 Latency 修正示意圖·····	3-16
圖 29 時間基準轉換差值示意圖·····	3-17
圖 30 PPS 與資料流示意圖·····	3-18
圖 31 時間遲滯修正前後剖面比較·····	3-18
圖 32 船隻姿態圖表·····	3-19
圖 33 Patch Test 航線規劃圖·····	3-20
圖 34 Pitch 誤差示意圖·····	3-21
圖 35 Pitch 修正方式及結果·····	3-22
圖 36 Roll 誤差示意圖·····	3-23
圖 37 Roll 修正方式·····	3-23
圖 38 Yaw 誤差示意圖·····	3-24
圖 39 Yaw 修正方式·····	3-25
圖 40 雷達式潮位儀位置圖·····	3-26
圖 41 潮位觀測值及移動平均後的比較圖·····	3-27

圖 42 高雄港 2007 年 9 月第一及第二港口潮位觀測差值圖·····	3-28
圖 43 潮位觀測差值連續 4 天比較圖·····	3-28
圖 44 潮位觀測差值連續 1 天及 2 天比較圖·····	3-29
圖 45 潮位與潮差連續 4 天比較圖·····	3-30
圖 46 RTK 受到干擾時的漂移現象·····	3-31
圖 47 測深系統不確定性示意圖·····	3-35
圖 48 土方計量原則·····	4-2
圖 49 土方檢核原則·····	4-3
圖 50 疏浚區 94 年至 96 年的水深色階圖·····	4-5
圖 51 疏浚區 95 年至 96 年不同色階比對圖·····	4-6
圖 52 疏浚區剖面 94 年至 96 年水深變化圖·····	4-6
圖 53 疏浚區 95 年至 96 年剖面及回淤變化圖·····	4-7
圖 54 QTC 底質分析原理說明圖·····	5-2
圖 55 QTC 底質分析流程說明圖·····	5-3
圖 56 單音束聲納回跡圖·····	5-7
圖 57 單音束底質分類軟體(QTC Impact)資料處理流程圖·····	5-7
圖 58 QTC CLAMS 底質分類成果圖·····	5-14
圖 59 GIS 底質分類成果圖·····	5-14
圖 60 臺南外海人工漁礁水深及底質分析對照-1·····	5-16
圖 61 臺南外海人工漁礁水深及底質分析對照-2·····	5-17
圖 62 臺南外海人工漁礁水深及底質分析對照-3·····	5-18

圖 63 第一疏浚區水深圖及底質分類圖·····	5-19
圖 64 第二疏浚區水深圖及底質分類圖·····	5-20
圖 65 人工漁礁模型·····	5-22
圖 66 疏浚工作生命週期流期(一) ·····	6-1
圖 67 疏浚工作生命週期流期(二) ·····	6-2
圖 68 疏浚相關水深示意圖·····	6-3

表 目 錄

表 1 單音束及多音束測深規格比較表·····	3-1
表 2 美國工兵署的多音束測深成本計價表·····	3-3
表 3 單音束測深與多音束測深交錯檢驗表·····	3-4
表 4 平坦測區多音束測深體積估算表·····	3-12
表 5 崎嶇測區多音束測深體積估算表·····	3-12
表 6 多音束測深相關儀器計時器及資料更新頻率對照表·····	3-14
表 7 多音束測深配套儀器時間遲滯比較表·····	3-15
表 8 測深系統時間遲滯修正模式整理表·····	3-16
表 9 一等水域 95%信賴程度之測深誤差預估表·····	3-35
表 10 多音束底質資料庫格式·····	5-21
表 11 工程地質圖元符號代碼表·····	5-23
表 12 表層屬性分類編碼·····	5-24
表 13 表層特性分類編碼·····	5-25

第一章 前 言

本計畫目的在研究我國之各國際商港港域全覆蓋水深、回淤率、底質分佈，藉以因應船舶大型化之國際港灣水域之競爭，進入 WTO 之海事及疏浚工程國際化，避免工程糾紛。近年來多音束測深系統的發展已趨成熟，本計畫依據國際海測組織(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。

1.1 計畫背景分析

近年來，多音束測深技術已成為 IHO 及 IMO 之積極發展測深技術，並在 IHO 海洋測量規範中具體規定在特等(例如：港區、錨泊區和重要航道等需船底淨空水域)及部分一等水域(例如：港區、進港口水道、建議航路和部分水深 100 公尺以內的海岸地區)強制規定需採用多音束測深技術。

國際海測組織(International for Hydrographic Organization, IHO)於 1998 年 4 月公佈第四版『國際水深測量標準』(IHO Standards for Hydrographic Surveys,S-44)以後，各國相繼以此標準為依據修訂能與國際水道測量接合的國家標準。該標準是將水域區分為特級、一級、二級及三級等四個等級。加拿大海洋測量局 (Canadian Hydrographic Services,CHS) 除了以四個等級水域為基本分級外，另外增加 CHS 特級水域，其中要求測量系統對於大於 0.5 公尺的海床特徵物需有偵測能力；日本海上保安廳及美國海洋及大氣總署(National Oceanic and Atmospheric Administrator,NOAA)之國家海洋測量局(National Ocean Survey, NOS)與紐西蘭的土地資訊局(Land Information New Zealand, LINZ)亦以 IHO S-44 為基礎規範，將其水域分區也同樣為四級。

本計畫過去前二年已完成多音束測深規範(草案)設計、草案專家會議、示範測區作業、多音束測深教育訓練及底質分析研究等，在與專家學者及政府測深相關單位會談時發覺 IHO SP-44 水深測量規範應用在港灣工程、疏浚工程或地形變遷等應用層面時，產生許多衍生性問題，例如：精度不足、底質規格不夠詳細、未規範海域侵淤的計算方式...等相關問題。本年度以疏浚工程為主軸，將針對儀器精度規格、作業方法及流程、全覆蓋海床表面底質探測等研究主題，期望提升疏浚測量精度，提供較符合現況的作業模式。

港灣工程的工程款項動輒上億元，施工、設計前測量費用不超過百萬元，而港灣工程所需之基本的測量項目可能包含：水深、潮汐、波浪、海流及海床底質等特性，其中水深及底質經常是港灣工程計價的重要指標，因此為提供施工規劃的重要背景資料，減少合約糾紛的發生率，提升水深量測及底質探測品質是極為重要的研究課題。

傳統海床底質探測必需現場採樣，無論捕砂器及重力式岩心採樣管(Piston Code)都屬於單點採樣，本研究計畫期望將底質探測的資料密度由點延伸至面，利用聲學式探測儀探討底質特性，並研究分類的作業方法及可分類等級，以補充單點採樣的不確定性。

1.2 研究範圍與對象

本計畫以針對國內水深測深現況，為提升多音束測深技術之品質與品管，探討相關多音束測深之全面性配套措施：品管技術、規範、教育訓練及實務應用，預計分四個年度完成，各年度預計研究範圍與對象分列如下：

第一年：進行多音束測深示範作業、多音束測深規範擬定、多音束測深資料庫建立研究、多音束測深技術在港灣工程施工之應用探討。

第二年：繼續在多音束測深示範區進行示範作業，探討評估該示範區之漂沙回淤率、開設多音束測深技術訓練班、建立多音束聲波回

波強度資訊或側掃聲納對底質之測量及分類技術、探討建立港灣水域底質資料庫。

第三年：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。

第四年：探討多音束測深及側掃聲納技術偵測海床特徵物之可行性、研究多音束測深系統及側掃聲納在水下救災技術之應用、探討近岸水域地形變遷與海氣象觀測關係之建立方式、研究近岸水域底質資料庫之建制與管理。

1.3 研究內容與工作項目

1.3.1 研究內容

本計畫為研究多音束測深系統在港域及近岸水深測量之技術建立，漂沙回淤率探討，及底質分類技術之建立，港灣水域之水深及底質資料庫建立技術研究，與相關海測人員培訓系統之建立等。

1.4.2 工作項目

本年度之工作項目

1. 多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估。
2. 多音束測深技術在疏浚工程之應用。
3. 聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置。
4. 地形及底質資料庫在疏浚工程之應用。

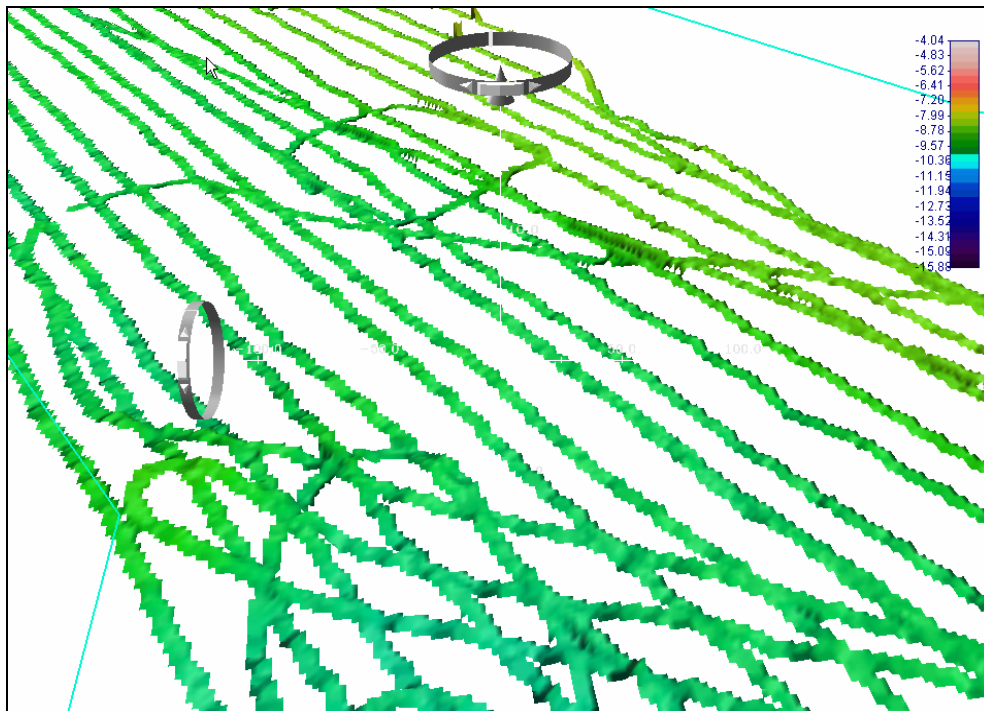
第二章 研究方法及進行步驟

2.1 多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估

為提升疏浚測量之精度，針對多音束測深技術探討作業方法及流程，降低系統誤差的可能性，探討分析可能提升測深精度之因子。

2.1.1 單音束及多音束測深成果之比較，並探討測深在疏浚工程的應用

比較單音束及多音束測深的資料密度、足印大小、資料處理流程及資料交錯檢核等差異，探討應用在疏浚工程時，應採用之作業方法及作業流程以提升測量精度。測深密度比較如下圖。



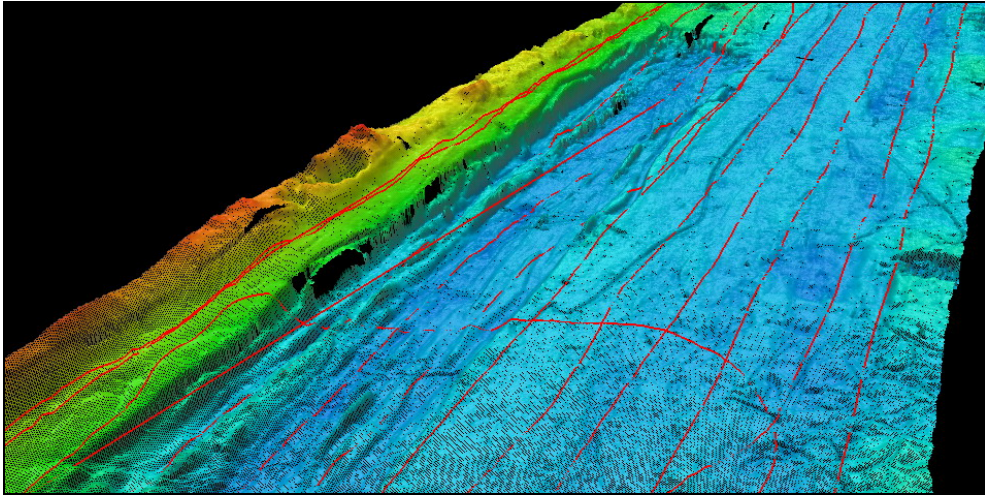


圖 1 單音束及多音束測深密度比較

疏浚測量時同時進行單音束測深及多音束測深作業，並比對誤差統計值，如下圖。檢驗各種統計值是否符合 IHO 一等水深測量之規範

。

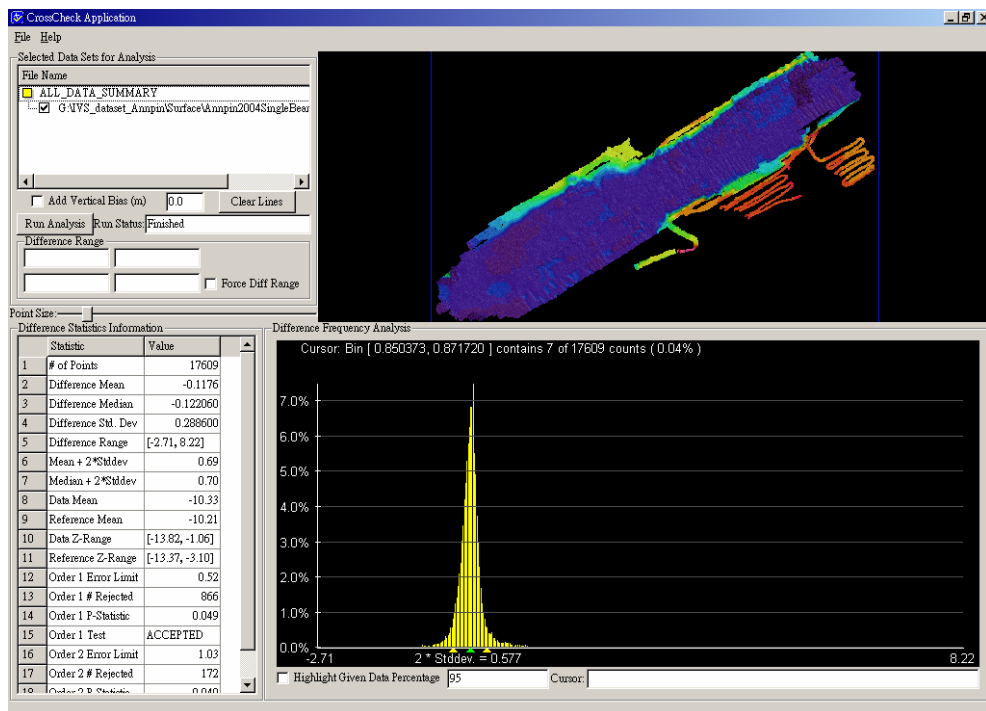


圖 2 Cross Check 檢驗圖範例

2.1.2 探討多音束測深之時間遲滯(Latency)效應及降低方式

探討多音束測深時各種儀器(多音束測深儀、定位儀、船隻姿態修正、電羅經及海測軟硬體設備)即時測量時間及記錄時間的同步性，探討海測軟硬體時間同步機制，包含：Latency 模式、ZDA 模式及 GPS 之 PPS 模式的差異。

2.1.3 探討疊合修正(Patch Test)之作業方法及流程

疊合修正(Patch Test)包括時間遲滯(Latency)、前後傾斜角(Pitch)、左右搖擺角(Roll)及船艏偏角(Yaw)，疊合修正(Patch Test)之作業方法及流程如下圖，並探究疊合修正誤差量對測深值的影響。

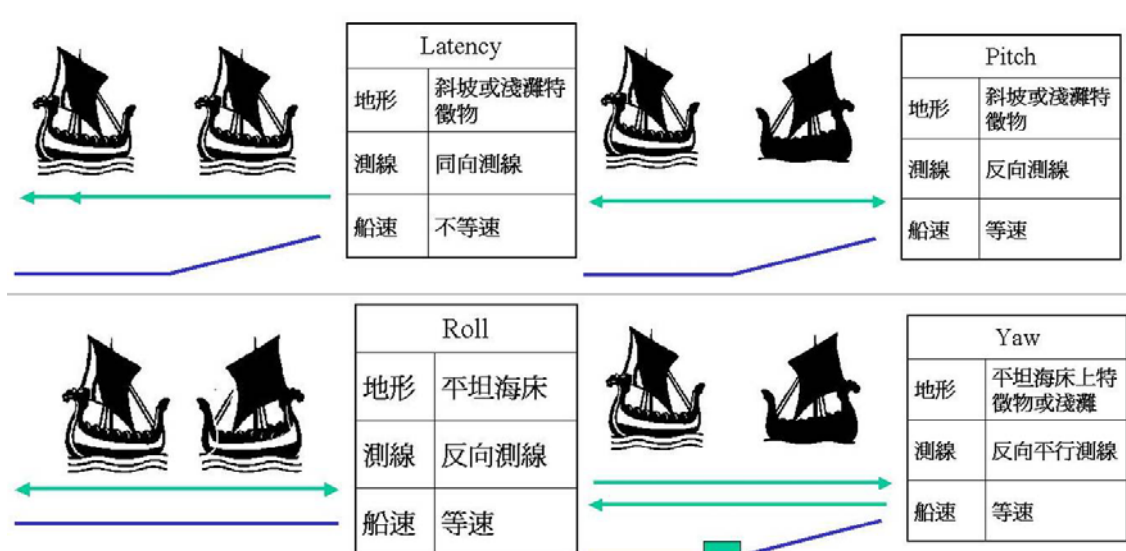


圖 3 Patch Test 航線規劃圖

2.1.4 評估測深之潮汐修正效應

架設潮位站及引測潮位站高程，並於測量期間在測區內或附近測量潮位，使用潮位站的作業模式容易受到各地區之潮時與潮位變化的影響。在近岸水域潮時容易受到近岸地形及潮汐特性之影響，另外在港區內亦可能存在潮時及潮位之差異，例如高雄港有二個港嘴，潮水流動替換性較佳，但大部份的港口只有一個進出口，港嘴與港內最深處的潮時差亦可能會有潮昇的現象，目前探討此現象對水深測量影響之相關文獻少見。而目前多音束測深的潮汐修正方式分為二種：傳統

式潮位量測與 RTK 潮位修正：

1. 傳統式潮位量測。

傳統式潮位量測是選取測區附近設置潮位站，為獲得港區空間位置之潮時及潮位差異對測深的影響，本計畫於港區選擇二處架設潮位站，除了於疏浚測量期間全程測量潮位，並連續測量 30 天以上的潮汐資料，繪製成潮汐圖，以供分析比對，潮汐圖可參閱下圖。

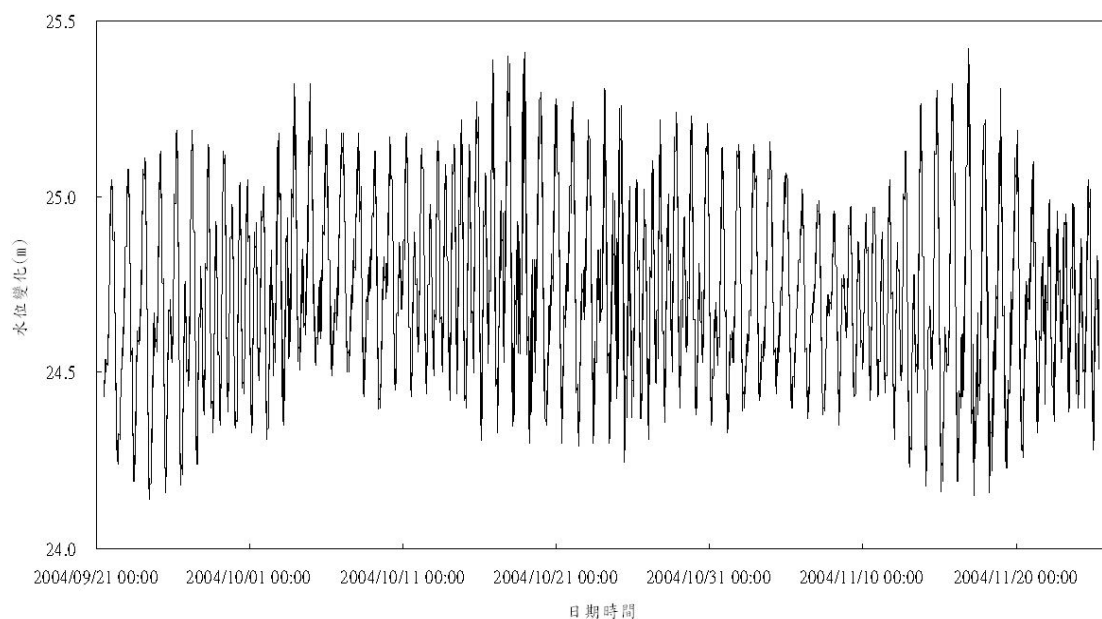


圖 4 潮汐圖範例

2. RTK 模式潮位修正。

衛星定位 RTK 模式得到的高程可同時修正湧浪效應(Heave)及潮汐效應(Tide)，由於 RTK 測量的高程是船隻當時當地的潮位及湧浪，並無潮時或潮區的問題。但若 GPS 之基站距離海上移動站超過 5km，則可能存在兩地之大地起伏差異之估算問題。

使用 RTK 得到的平面定位精度非常高，高程精度則需視當時衛星狀態(DOP)及 RTK 基站訊號的連續性。然而在陸上測量時，當高程精度不理想時，可藉由停留久一點來增加定位資料，

以達到定位精度之要求，但在海測時，船隻、測深及各種感測器與定位天線隨時在改變位置，定位精度是否隨時能夠達到預期目標是值得探討的課題。本計畫預定疏浚測量期間，同步使用 RTK 模式驗潮，藉以與潮位站及上下起伏(heave)資料進行比對分析。

3. 潮位修正模式比對。

本計畫預定探討二個潮汐主題：

(1)驗潮站與測區位置造成的潮差及潮時影響程度。

比對港內二個潮位站連續 30 天的潮汐變化，探討潮時及潮差的變化，必要時再與港務局或氣象局潮汐資料比對分析之。

(2)RTK 模式驗潮。

比對使用 RTK 模式及潮位站的潮汐資料，探討二種驗潮模式的優缺點及適用環境或作業方法。

2.1.5 依據上述研究成果評估多音束測深在疏浚測量之精度

綜合以上多音束測深每一環節探討疏浚測量之精度及最佳之作業模式，藉以減少測量誤差發生機率，提升疏浚測量精度。

2.2 多音束測深技術在疏浚工程之應用

為充分瞭解疏浚工程之機制，選擇高雄港附近可能疏浚區域，並於浚疏前後進行高精度多音束測深作業，以評估疏浚測量之精度及驗證高精度多音束測深作業成效。

由於高雄港目前採用二種作業方式：一、委外固定疏浚區域。二、非固定疏浚區域：港務局自行疏浚不定期範圍也不固定。本案配合計畫期程預定約四月至九月執行疏浚前後各一次測量，期程上不一定能配合固定疏浚區域。非固定疏浚區域擬向高雄港務局洽詢自行疏浚時間及區域大小，測區範圍大小將視實際疏浚狀況而定。

另外基於航行安全考量，部份水域或船席因航隻長期靠泊施測不易，實際測線將依據現場實際狀況進行規劃及測量之。

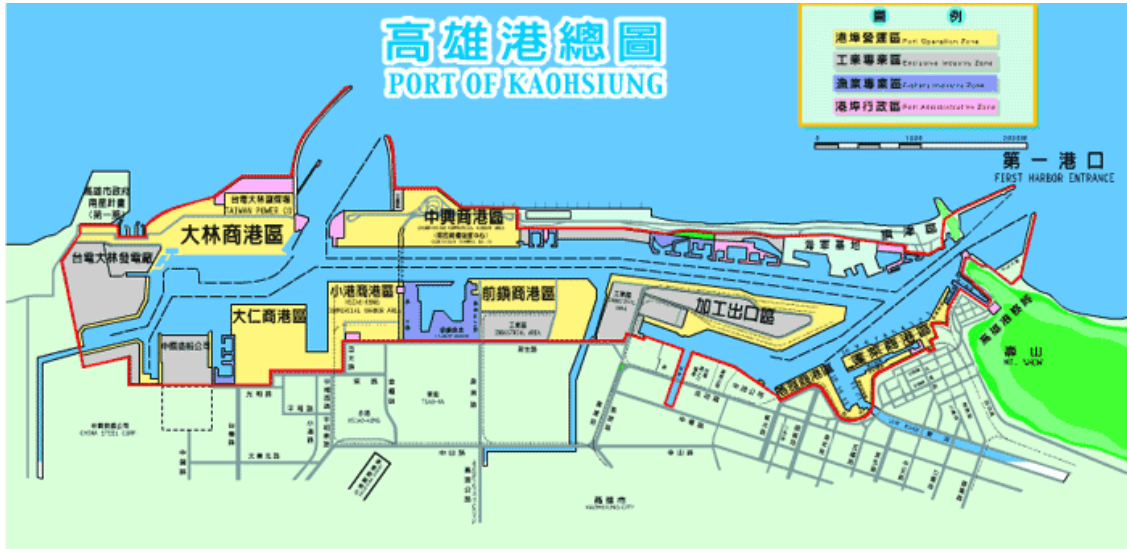


圖 5 高雄港區示意圖

2.3 聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置

疏浚計價除了以土方數量為依據，底質軟硬同樣會造成使用疏浚機具、疏浚方法及成本計價上的差異。國際性疏浚工程通常會附上底質資料以供估價比對，目前國內的疏浚案則較不重視疏浚軟方及硬方的計價差別，其衍生的工程合約糾紛甚多。因此本章節的目標是改進疏浚土方軟方與硬方計量的機制。

海床底質分類(seabed classification)可以採用視覺法(visual)、機械法(mechanical)及聲學法(acoustical)，而使用視覺法(潛水、攝影、錄影)及機械法(抓取、岩芯採樣、探測器探測)之速度極慢，且極為耗費人力，因此極為昂貴，並不適合於大範圍的調查工作。

依照資料特性區分，底質剖面的測量分為二種方式，一為傳統式現場採樣，得到「點剖面」資料，另一種方式是採用聲學式底質剖面

儀，得到「線剖面」。

影像式(image-based)海床底質分類法是利用聲波散射的特性，將影像分割(segmentation)成為數個類別(classes)，而在每個類別的範圍內，皆假設其特性相同。因此需要以視覺法或機械法來實地驗證點的數目，必定大幅減少，其取樣則可根據影像分割的成果來進行。而取樣之位置，則儘量避開各類別之邊界範圍，如此亦可減少取樣後資料處理的負擔。其他未取樣區域範圍之海床底質類別，則僅能以分割後之影像來推論。

本計畫探討聲學式探測海床表面之分類技術，使用多音束聲納的回跡強度(backscatter)，分析相對強度的相對底質分類，得到「表面」底質分類資料，以補償側掃聲納資訊不足部份。無論採用聲學式探測底質，得到的資料大多是相對性底質分類，必需搭配現場採樣以驗證之。由於底質剖面採樣所費不貲，因此底質剖面的採樣點的代表性成為軟方及硬方估價重要的依據。以下為使用研究流程，最終目的為建立海底表面底質資料庫作為底質剖面現場採樣依據，並提供軟硬方計量的背景資訊。

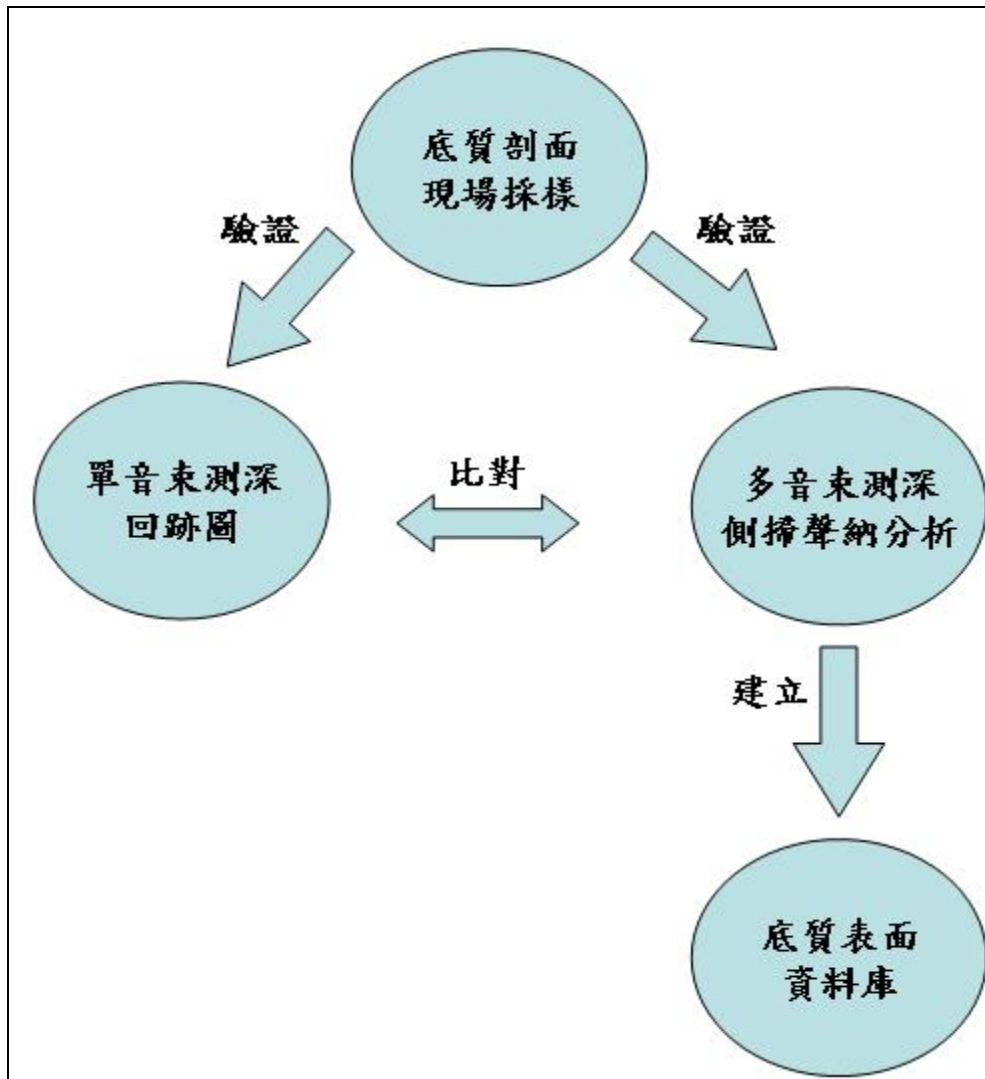


圖 6 探討海底表面底質資料庫之流程圖

2.3.1 使用多音束測深儀附加側掃聲納系統進行底質探測及分類研究

選擇海床底質表面不同的區域，進行多音束測深及側掃聲納底質探側，利用多音束測深資料建立三維地形模式，並將側掃聲納底質分析結果及多音束測深資料匯整合併，建立底質分析背景資訊。

1. 使用多音束水深測量，建立水深背景資訊。

多音束水深資料處理流程如下圖，其中，『船隻規格』及『儀器

安置位置』於現場作業前量測，『音鼓安置角度』於現場選擇適當地形檢測，聲速剖面及潮汐量測應儘可能接近測區。

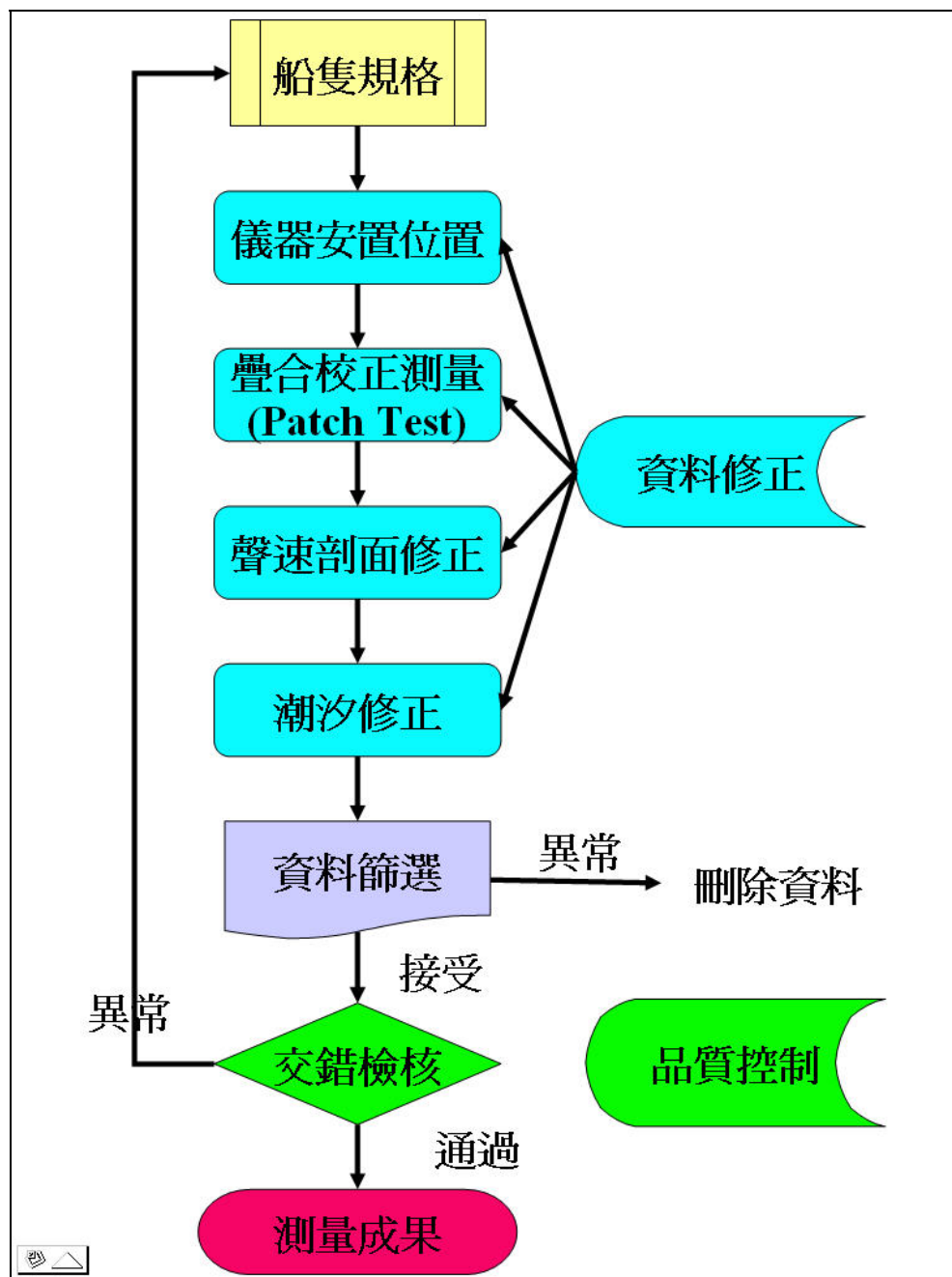
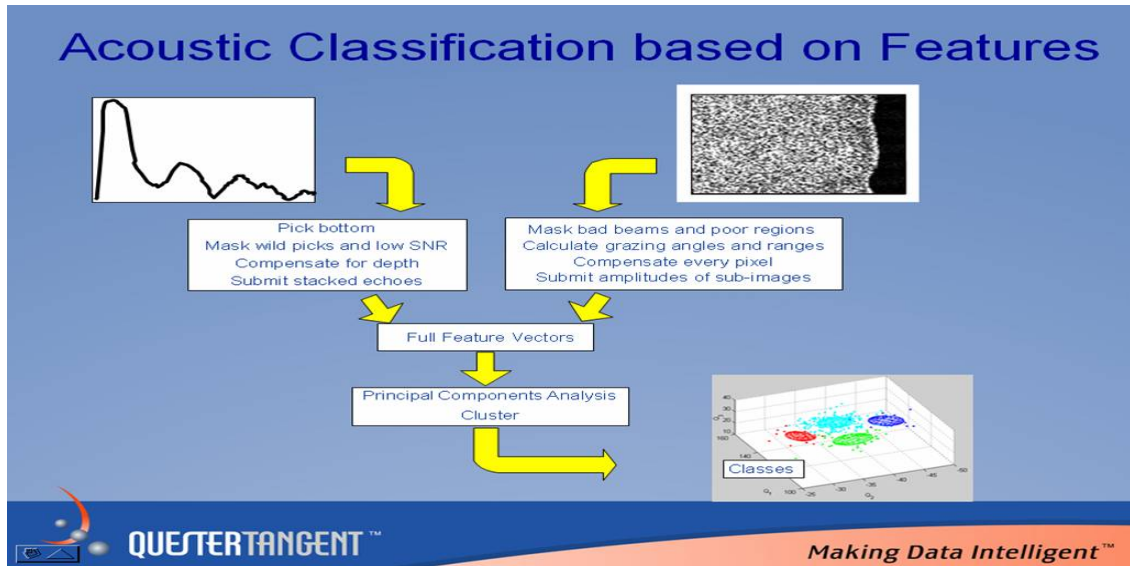


圖 7 多音束測深資料處理流程圖

2. 多音束加掛側掃聲納回跡進行海底表面底質分類。

多音束測深時同步蒐集側掃聲納回跡影像，利用 QTC (Quester

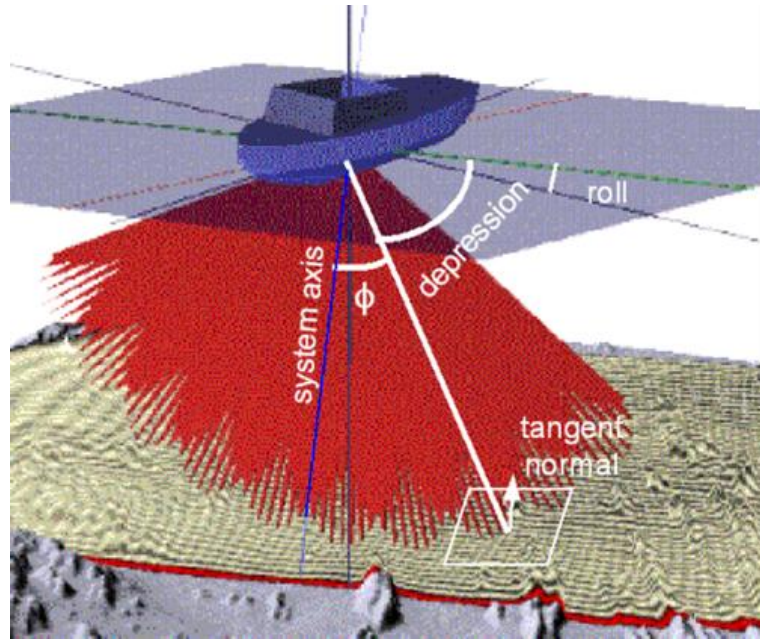
Tangent Corporation)公司的 Multiview 套裝軟體進行底質分類比對分析，分析流程可參照下圖。



摘自 MultiView 手冊

圖 8 底質分類流程圖

QTC MultiView 底質分類套裝軟體適用多音束聲納的回波反射 (seabed echo)及散射(backscatter)資訊，提供底質分類功能，但因多音束每個音束之掠過角(grazing angle)或入射角(incident angle)(90° 減去掠過角即為入射角)及足印大小(footprint or insonification area)並不相同，因此其資料修正之方法甚為複雜，分析原理可參照下圖。



摘自 MultiView 手冊

圖 9 底質分析原理示意圖

QTC MultiView 將所有區塊的主成分具有類似聲學性質者加以聚類起來，這些聚類即代表許多海床底質類別。這個聚類過程是建立在三個主成分 Q1，Q2，Q3 所組成的三度空間稱為 Q-Space，且此過程稱為循環(iterative)，可參照下圖。

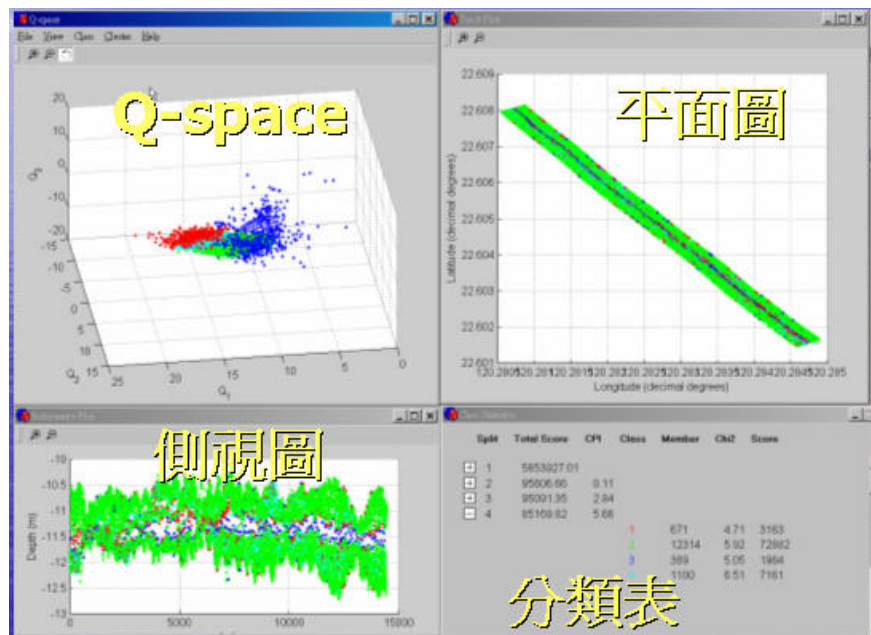


圖 10 底質分類 Q-Space 分類圖

建立 Q-Space 後可選擇手動或自動分類，原則上得到最小統計分數(Score)即為最佳分類數量(Number of Classes)，可參照下圖。

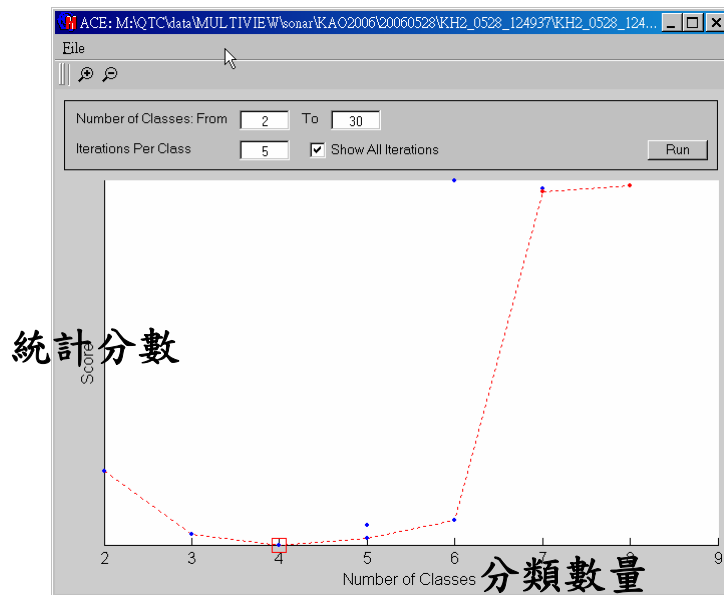


圖 11 底質自動分類統計分數及分類數量結果

底質分類結果可與多音束水深資料匯整，下圖中以水深色階圖為背景貼上分類結果顏色及分類代碼。

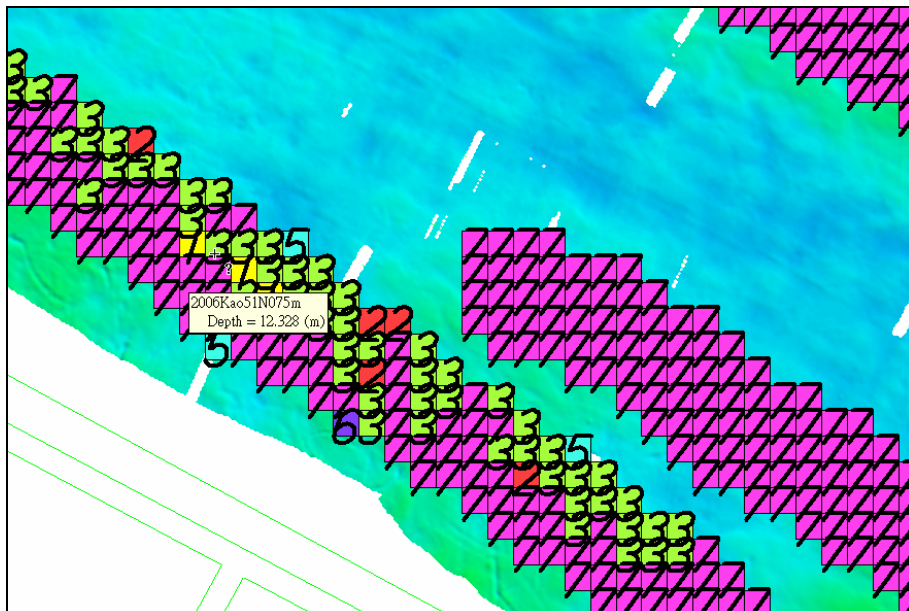


圖 12 底質分類結果圖

2.3.2 使用單音束測深之聲納回跡進行底質探測及分類研究

探討單音束測深之聲納回跡強度(可參照下圖)與底質的關係。

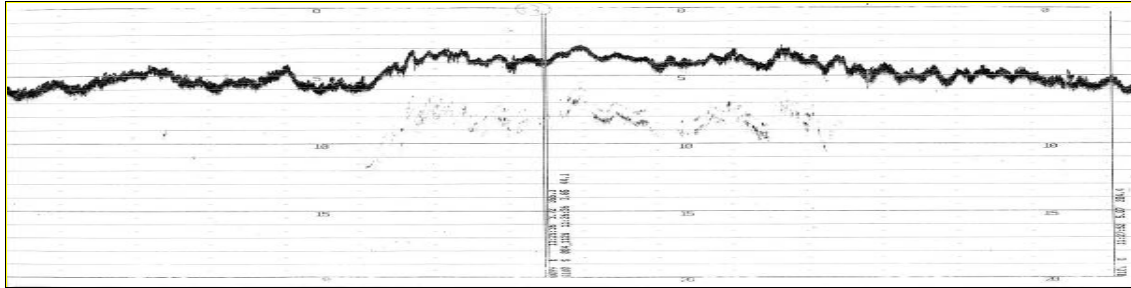


圖 13 單音束測深聲納回跡範例

2.3.3 選擇代表性底質區域採樣分析及比對

選擇海床表面底質不同的區域採樣，進行底質粒徑分析，繪製底質粒徑分佈圖，可參照下圖。分析之結果與影像式(image-based)海床底質分類法比對，以驗證其分類結果。

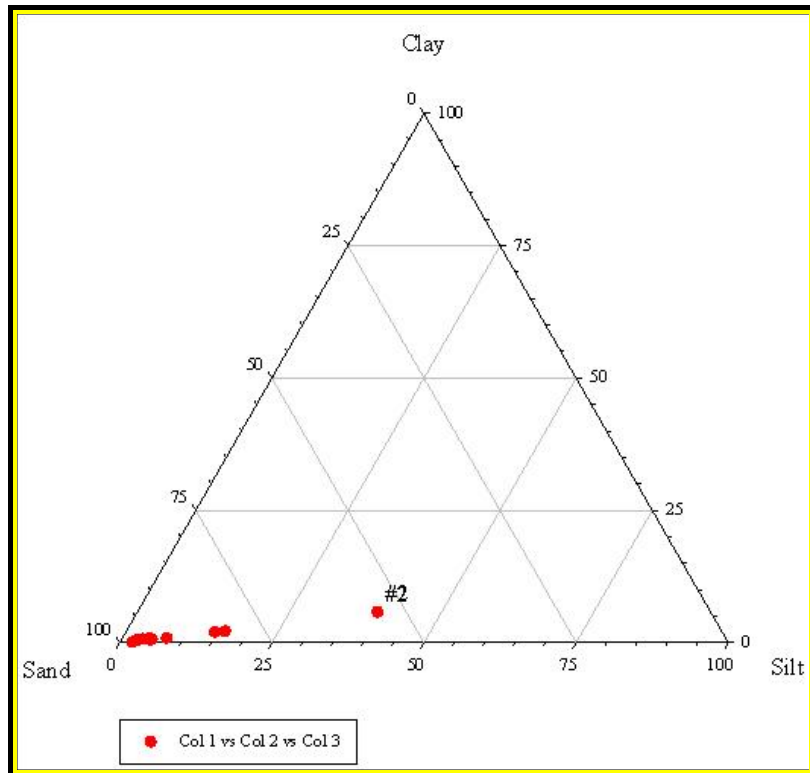


圖 14 底質粒徑分佈圖範例

2.3.4 建置底質資料庫

多音束影像式(image-based)海床底質分類法可得到全覆式(full coverage)海床底質分類資料庫，但是得到的分類結果為相對分類代碼如下圖，配合實地採樣之底質分析才可驗證分類代碼特性。

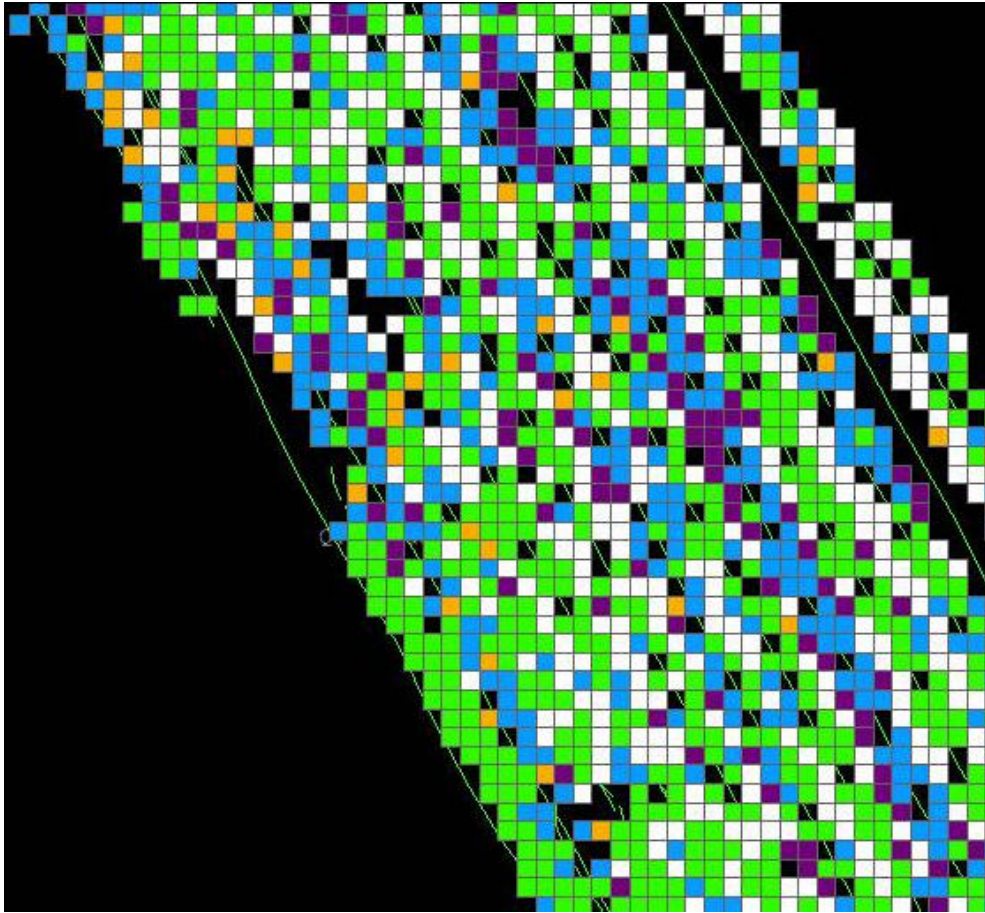


圖 15 底質分類結果圖

2.4 地形及底質資料庫在疏浚工程之應用

測深系統由單音束演進至多音束遇到的第一個問題是資料量過於龐大，因此水深資料庫及展示方式都朝向地理資訊系統與三維資料庫的整合界面，底質探測由現場採樣至聲學量測的探討，資料庫的建置亦是另一項重要課題。

在港灣工程中，水深量測與底質探測經常是，二者的資料庫也都由點延伸至面、由二維擴張至三維，本研究探討利用水深資料建立三維模型，並且使用底質分類技術為海床曲面貼上適當材質，或以底質特性來著色方式模擬海床的虛擬實境。

另外就實務應用建立底質分類平面圖，以提供底質取樣的背景資訊，底質分類的三維模型可提供軟方及硬方計量之參考基準。

第三章 多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估

3.1 單音束及多音束測深成果之比較，並探討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 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 16，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 17 (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 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

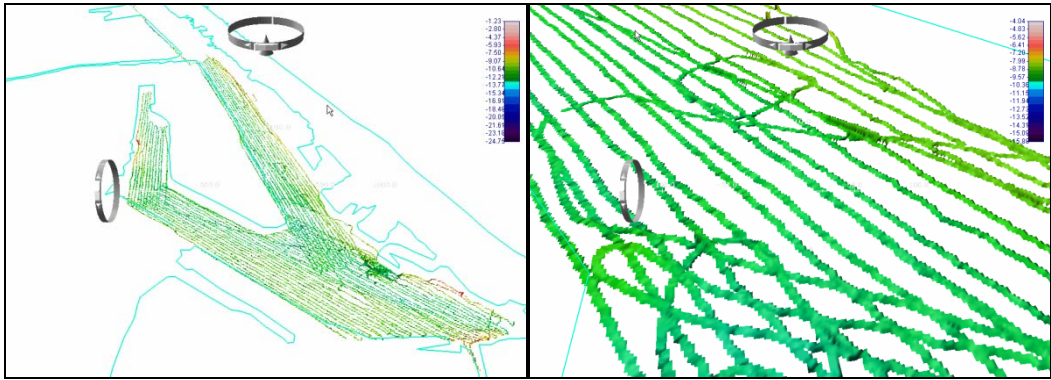


圖 16 單音束水深測量成果圖

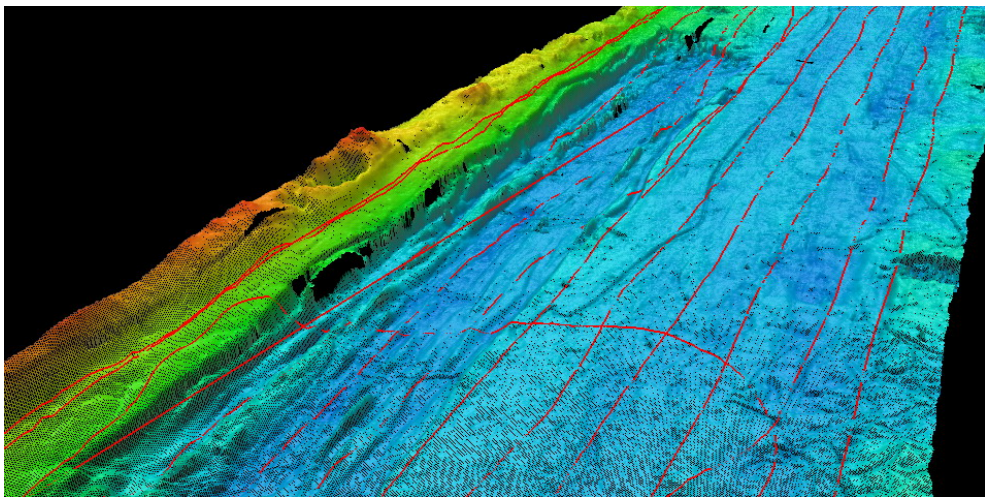


圖 17 單音束與多音束測深網格比較圖

3.1.2 單音束及多音束測深費用比較

測深費用的報價隨著量測目的與精度要求有顯著差異，常見的報價方法有成本分析法、面積單價法及測線單價法：

1. 成本分析法：

國內報價較少採用此法，國外的測量公司以此法衡量所需成本，以下介紹美國工兵署的多音束測深計價範例，可參照表 2，表中將成本分為人事費用、出差費、租船費及儀器費用，其中人事費用及儀器費用為主要費用，而國內的現況則經常是租船費及儀器費用為主要費用。特別是近二年油價上漲，租船費幾乎成為主要成本。另外

多音束測深儀的單價為單音束測深儀的 4 倍以上。

表 2 美國工兵署的多音束測深成本計價表

SAMPLE ICE COMPUTATION FOR 3-MAN MULTIBEAM/SIDESCAN SURVEY CREW			
LABOR			
Supervisory Survey Tech (Party Chief)	\$42,776.00/yr (based on GS 11/5)		
Multibeam Operator			
Overhead on Direct Labor (36%)	\$15,399.36/yr		
G&A Overhead (115%)	<u>\$49,192.40/yr</u>		
Total:	\$107,367.76/yr	\$411.57/day	
Survey Technician	\$35,355/yr (based on GS 9/5)		
@ 151% O/H (36%+115%)	\$88,741.05	\$340.17/day	
Survey Aid/Boat Operator	\$23,332/yr (based on GS 5/5)		
@ 151 % O/H	\$58,563.32	\$224.49/day	
Total Labor Cost for 3-Man Multibeam Crew/day:			\$976.23
TRAVEL			
Per Diem (Nominal): 3 @ \$ 88/day			
(subject to JTR adjustment on task orders)			
Total Travel Cost/day:			\$264.00
PLANT, FLOATING			
Survey Vessel 32-foot:			
\$100,000 @ 5 yrs @ 100 d/yr	\$ 200/day		
Fuel, O&M, etc	\$ 25/day		
Total Plant Cost/day:			\$ 225.00
SURVEY INSTRUMENTATION & EQUIPMENT			
Echo Sounder (DESO) \$30,000 @ 5 yrs @ 50 d/yr		\$120/day	
DGPS Carrier Phase Positioning Sys \$120,000 @ 4 yrs @ 100 d/yr		\$300/day	
INS RPH Motion sensor \$35,000 @ 5 yrs @ 100 d/yr		\$ 70/day	
Multibeam System (complete) \$250,000 @ 5 yrs @ 100 d/y		\$500/day	
Side Scan Sonar (complete system) \$75,000 @ 5 yrs @150 d/yr		\$100/day	
Total Station (RTK), rods, etc. \$32,000 @ 5 yrs @ 120 d/yr		\$ 53/day	
(rental rate: \$60/d)			
Tide Gage, Auto Telemetry (Manufacturer rental rate)		\$ 22/day	
Survey Vehicle \$40,000 @ 6 yrs @ 225 d/yr plus O&M		\$ 40/day	
Misc Materials (field books, survey supplies, etc)		\$ 25/day	
Total Instrumentation & Equipment Cost/day:			\$ 1,230.00
Subtotal :			\$ 2,695.23
Profit @ 10.0% :			\$ 269.52
Total Estimated Cost per Day -- 3 man Multibeam/Side Scan Survey Crew			<u>\$ 2,964.75</u>

2. 面積單價法：

面積計價對於業主是簡單容易估算的方法，對於均質的測區或大範圍的測量大多採用此法，實務上工作量受到量測目標、測深密度、精度要求及測區水深等因子影響，以 1 公里 x10 公里環境影響評估為例，單音束測線間距為 200 公尺，測線長度為 5x10 平方公里+1 公里=51 公里，疏浚測量單音束測線間距為 20 公尺，50x10+1 公里

=501 公里，二者工作量約 10 倍。以多音束測深為例，多音束測深密度以覆蓋率計算之，以 Reson 8125 為例測帶約 3.5 倍水深，水深 10 公尺測線間距約 35 公尺，水深 20 公尺測區測線間距為 70 公尺，二者工作量約 2 倍，因此測量工程公司多專案方式評估面積報價。

3. 測線單價法：

測線單價法兼具上述二法的特性，並免除水深、測帶及測線間距等不確定性，由於國內測量費用幾乎以租船費用為主要成本，此法與成本分析近似，可反應量測成本，一般而言單音束測深每公里約 1,000~1,500 元，多音束測深每公里約 4,000~6,000 元，二者價差約 4~5 倍與美國工兵署成本分析類似。

3.1.3 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，其誤差分佈圖可參閱圖 18，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 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，本次測量可能原因有許多種，4.1.4 節分析造成二者差異的原因。

表 3 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

日期	05/26	05/27	05/28	全部
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~-3.6 1	-14.92~-5.55	-14.74~-3.1 3
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

單位：公尺

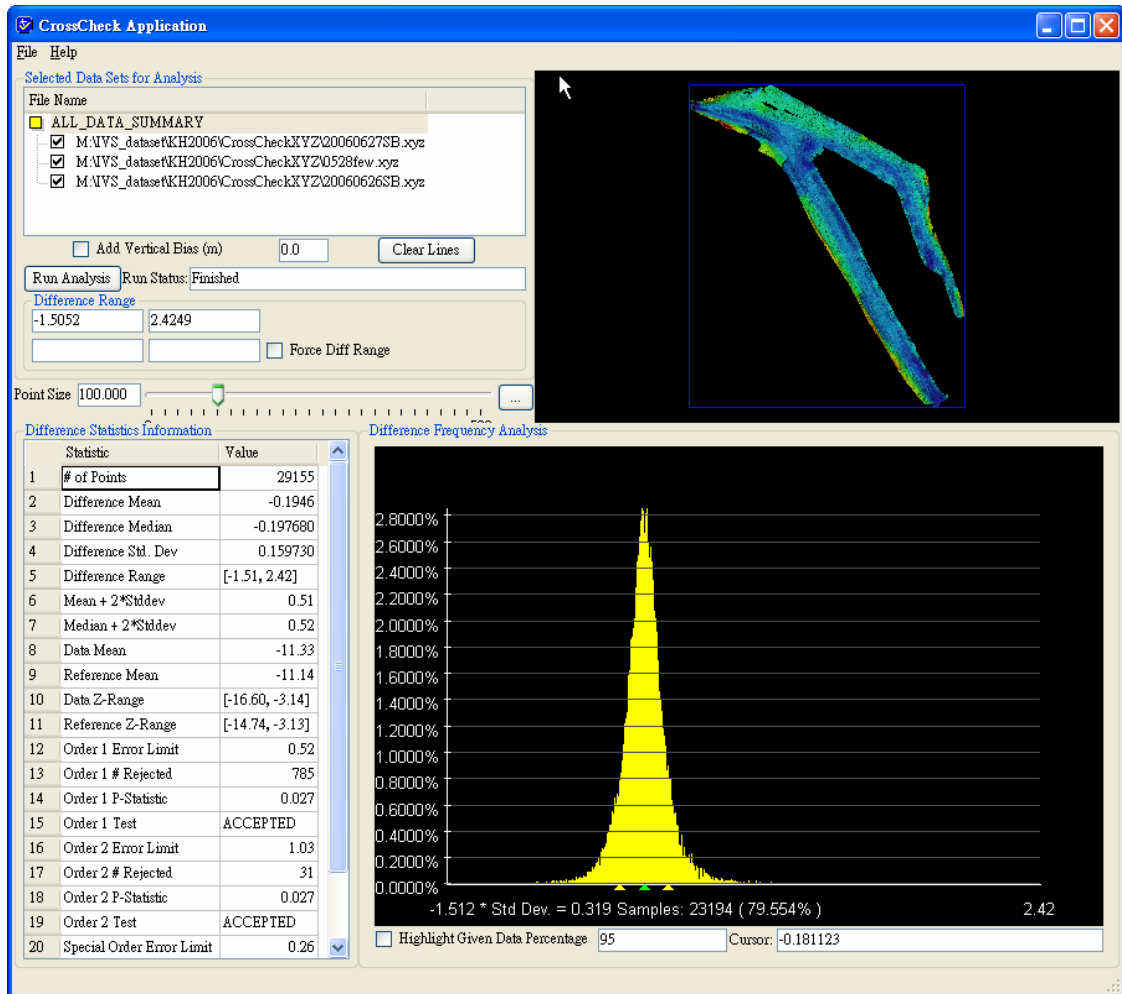
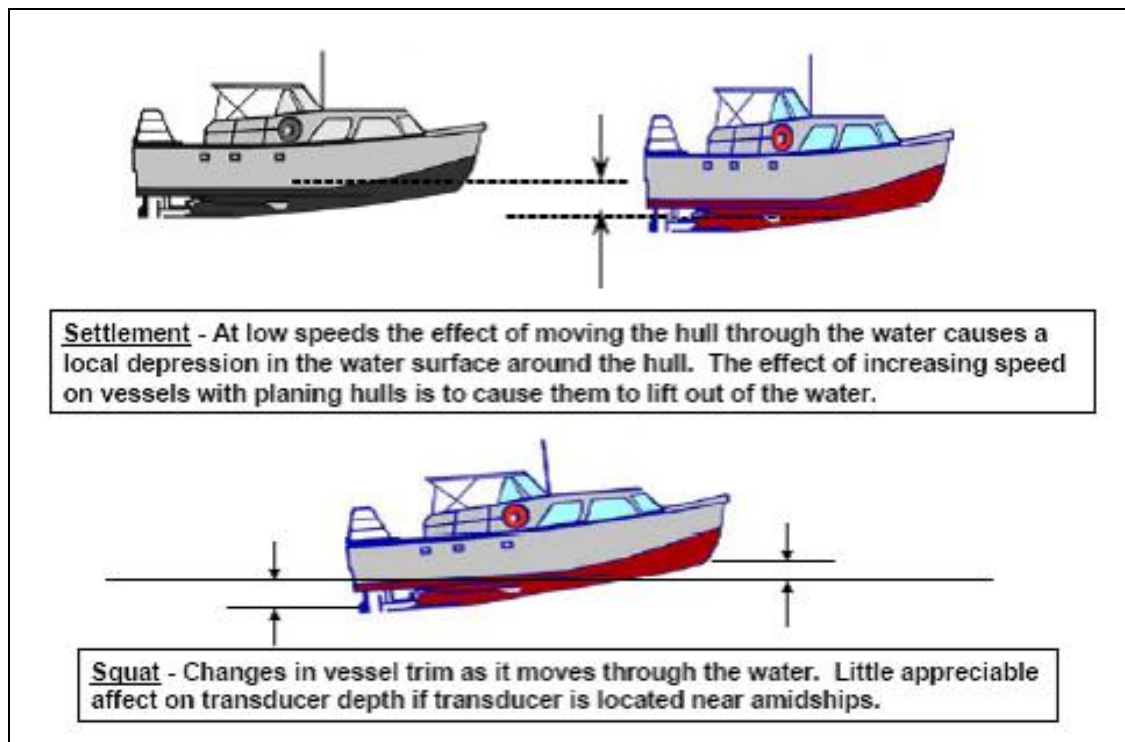


圖 18 單音束及多音束交錯檢核誤差分佈圖

3.1.4 單音束及多音束測深差異的可能原因

1. 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)，船艏略為上揚 (squat)，可參照圖 19，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。



摘自美國工兵署 Engineering and Design HYDROGRAPHIC SURVEYING 手冊

圖 19 Settlement & Squat 效應示意圖

此外音鼓與支架會增加航行時阻力，破壞船隻原有水流動線，造成船隻略為傾斜(pitch, roll, yaw)，吃水也隨之改變，傾斜角度隨著船速變化，故 patch test 的航速應與作業航速相同。

動態吃水的修正方式：於音鼓正上方安置一稜鏡，陸上基站使用全測儀(Total station)自動追蹤稜鏡高程變化，船隻沿著岸線來回一趟為一航次，平均每一航次的高程，測量各種不同航速的高程值與船隻靜止時的高程比對，可得到航速與動態吃水之關係。

2. 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)，量測的水深實際為斜距，可參照圖 20。斜距的誤差值可參照圖 21，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。

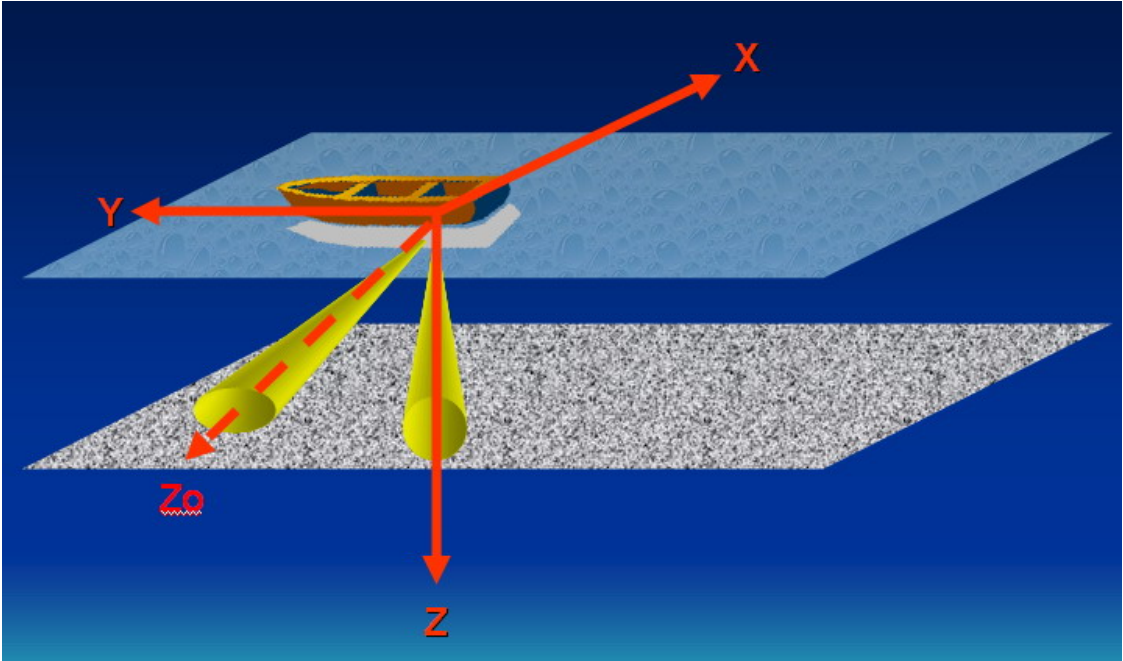


圖 20 單音束音鼓傾角示意圖

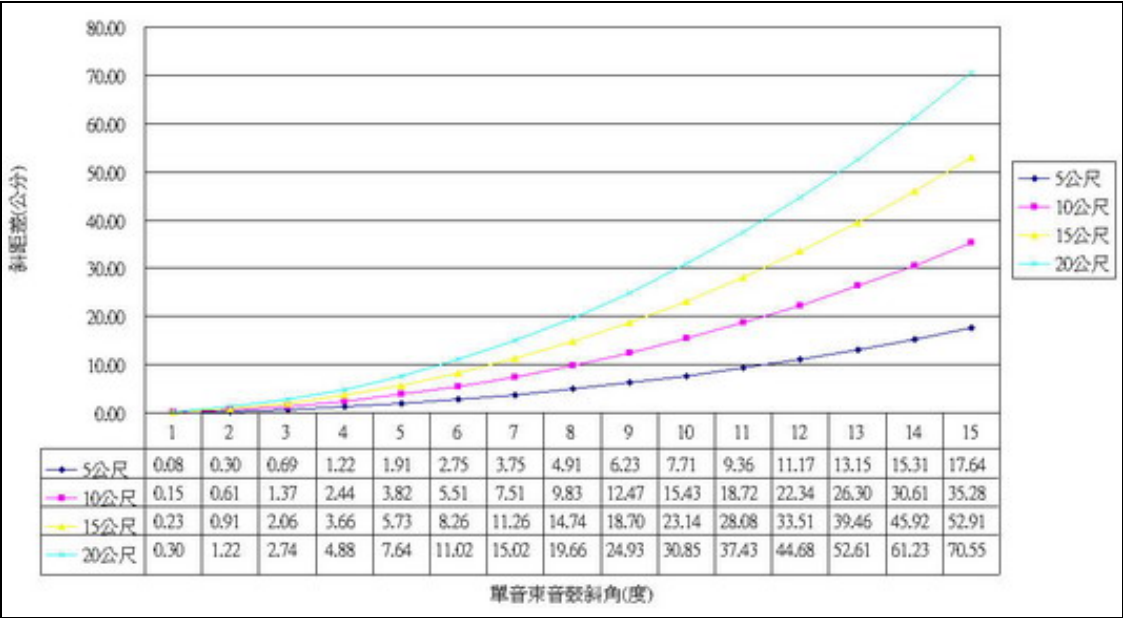


圖 21 單音束音鼓傾角斜距差對照表

3. 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，可參照圖 22，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，可參照圖 23。

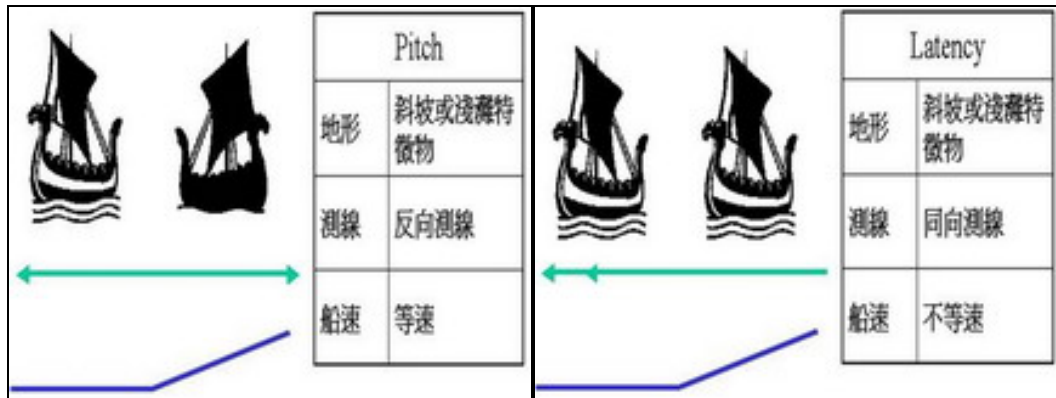


圖 22 Latency 和 Pitch 修正作業方法

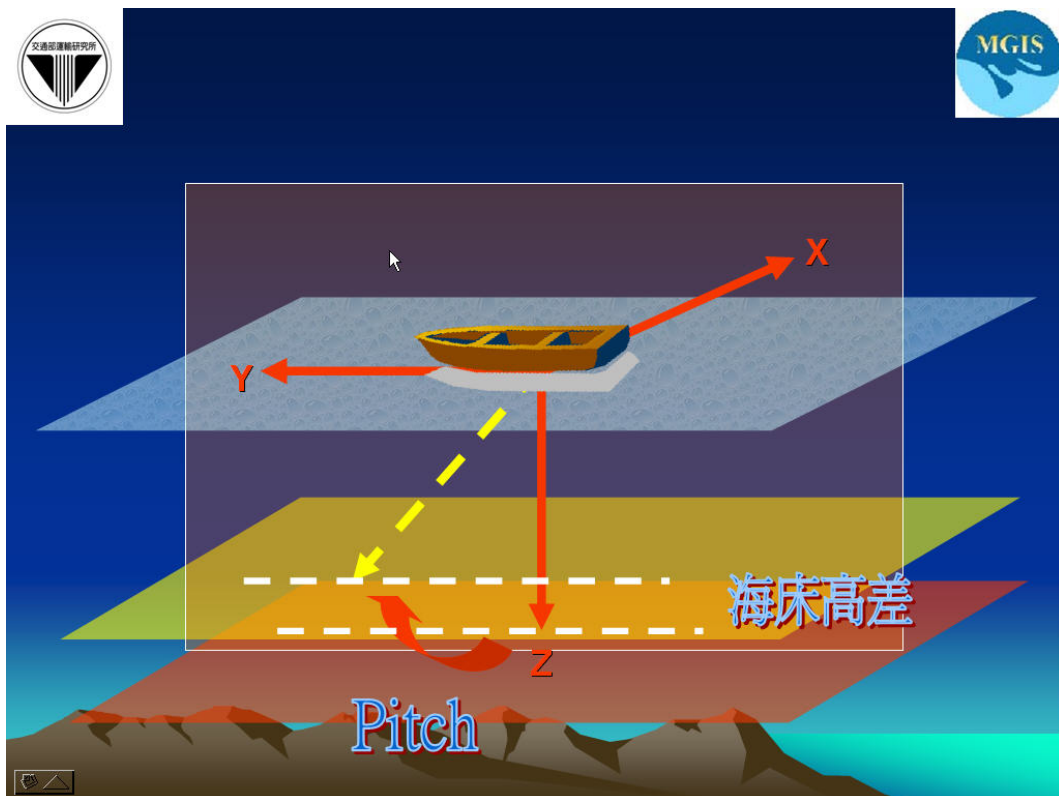


圖 23 Pitch 誤差示意圖

3.1.5 探討多音束測深在疏浚工程的應用

過去疏浚工程的土方計算以單音束測深為基準，近年來港區疏浚工程為提升估算精度，逐漸要求使用多音束測深作為計量的標準系統，單音束及多音束測深資料用於土方計算模式，最大的差異是單音束資料密度低採用「內插模式」，多音束資料密度高採用「平均模式」。

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 24 及圖 25。

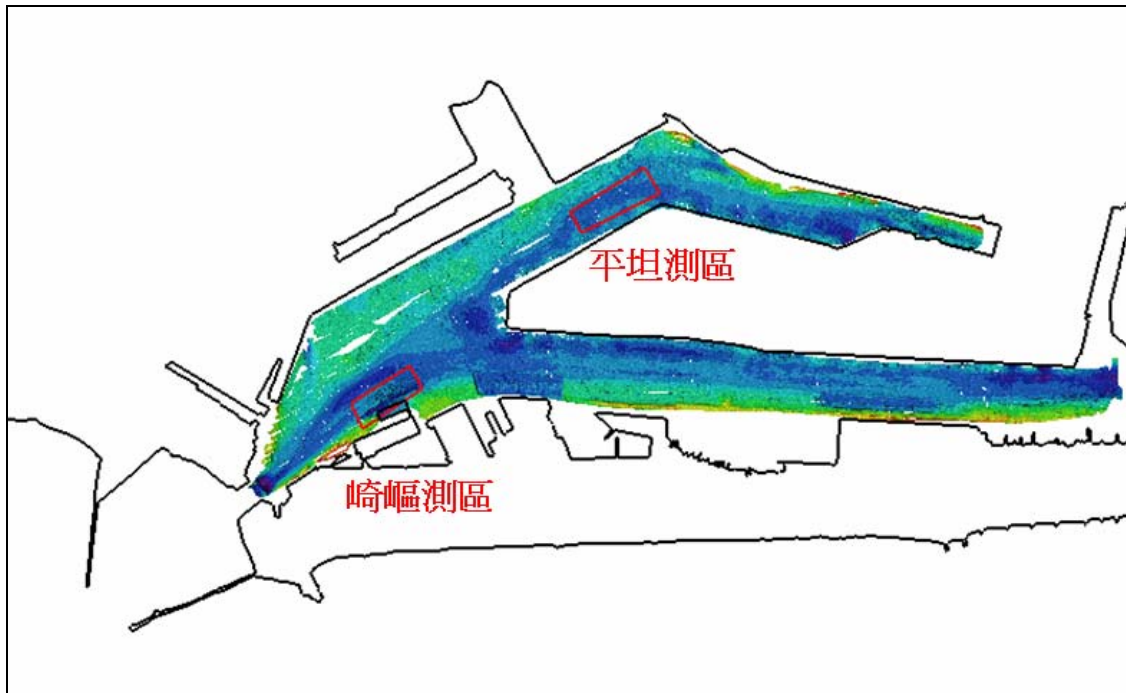


圖 24 測區位置圖

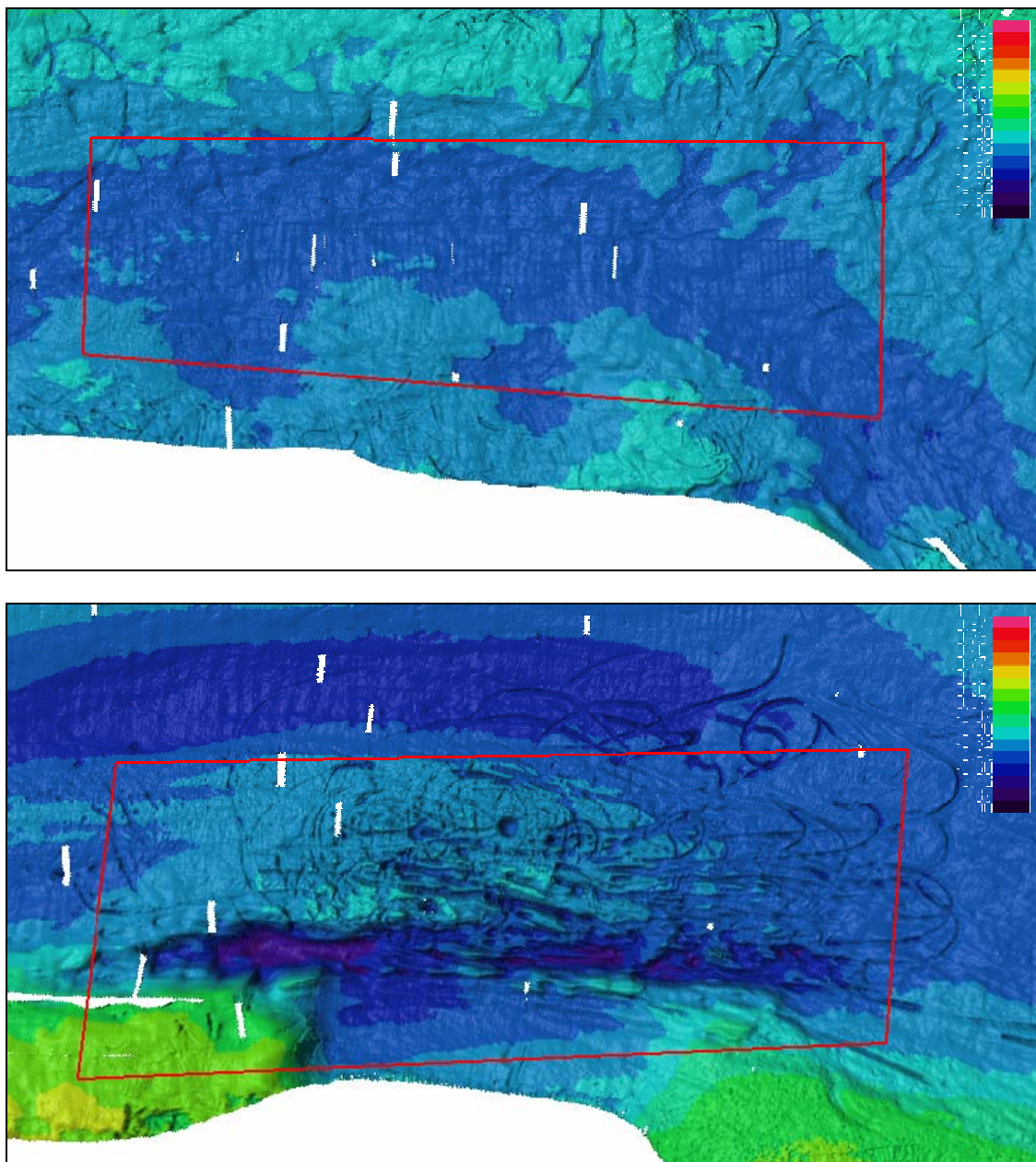


圖 25 測區局部放大圖

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 4 及表 5。

將平坦測區與崎嶇測區體積計算差異，繪為圖表可參照圖 26，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 4 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 5 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

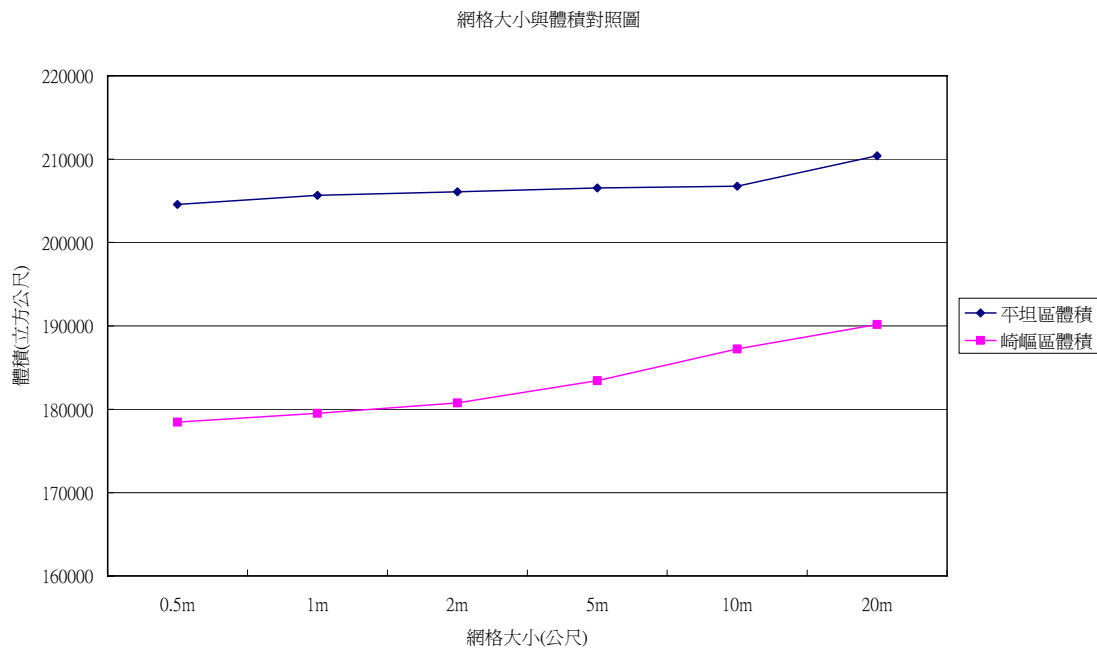


圖 26 多音束測深網格大小及體積對照圖

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 探討多音束測深之時間遲滯(Latency)效應及降低方式

3.2.1 多音束測深系統時間遲滯原因分析

多音束測深系統包含各種儀器：多音束測深儀、定位儀、船隻姿態修正、電羅經及海測軟硬體設備，各種儀器主要功能及時間特性可參照表 6。儘可能將資料更新頻率調至與測深儀相同，減少內插造成的誤差。

表 6 多音束測深相關儀器計時器及資料更新頻率對照表

儀器名稱	主要功能	計時器	資料更新頻率
多音束測深儀	測量水深	有	水深 15 米以內，>10 筆/秒
定位儀	定位	有	解算頻率約 1 筆/秒
船隻姿態修正	輔助修正測深值	無	可達到>25 筆/秒
電羅經	輔助修正測深值	無	可達到>25 筆/秒
海測軟體及電腦	導航及整合各種即時資料	有	依照設定值及傳輸界面限制

註 1：衛星定位採用衛星時間，視為有計時器。

1. 參考時間基準(time)

內建計時器的儀器包括多音束測深儀及電腦，二者採用的計時晶片皆屬一般等級，量測作業幾小時後可能差了幾秒鐘，全球衛星定位儀(GPS)接收衛星訊號後，可輸出精準的時間序列，視為有計時器功能。

傳統的時間校正是採用手動方式將電腦及多音束測深主機的時間調整為衛星時間。特定海測軟體可持續將電腦時間同步為衛星時間，例如 HYPACK。

目前較新的時間校正方式是採用衛星時間(GPS Time)為基準，並將時間同步訊號回饋給多音束測深儀。另外為處理跨時區的問題，通常採用 UTC 時間，而不採用當地時間，潮汐修正亦需配合採用相同時間基準。UTC 與 GPS 時間又差了 14 秒，使用衛星星曆時亦需修正差值。

2. 儀器量測時間遲滯(latency)

所有的量測儀器包含三種時間遲滯：1.量測時間：儀器量測一次訊號來回的時間。2.解算時間：得到量測數值至解算完成所需時間。3.訊號傳送時間：量測值自儀器傳送至電腦或海測軟體所需時間。而各種廠牌儀器及現場狀況不相同，各種時間遲滯效應難以找到一個標準值，以下針對各種儀器分析其時間遲滯。表中多音束量測時間隨水深變化改變，定位解時間算隨衛星訊號狀況不同，特別是使用 RTK 模式時，需等待誤差收斂，訊號傳送時間視傳輸界面及傳輸線長度而定，以 RS-232 為例超過 10 公尺時約有數毫秒的時間遲滯。

表 7 多音束測深配套儀器時間遲滯比較表

	量測時間	解算時間	訊號傳送時間
全球衛星定位儀(GPS)	短	不一定	不一定
船隻姿態儀(Motion)	短	短	不一定
電羅經(Gyrocompass)	短	短	不一定
多音束測深儀	不一定	短	不一定

3. 軟硬體流量管制機制

使用 RS232 界面傳送資料亦需考量作業系統針對硬體的流量管制機制，將大量資料暫存在緩衝區，進而造成資訊的時間遲滯。此一狀況應將其緩衝區關閉，確保資料即時送至海測軟體內。



圖 27 關閉 FIFO 緩衝區

3.2.2 多音束測深系統時間遲滯修正

多音束測深時包含各種儀器(多音束測深儀、定位儀、船隻姿態修正、電羅經及海測軟硬體設備)，為探究即時測量時間及記錄時間的同步性，本節針對海測軟硬體時間同步修正機制，包含：Latency 模式、ZDA 模式及 GPS 之 PPS 模式的差異。

表 8 測深系統時間遲滯修正模式整理表

	Patch Test	UTC 時間修正	PPS 修正
Latency 模式	YES	X	X
ZDA 模式	YES	YES	X
PPS 模式	YES	YES	YES

1. Latency 模式

Latency 模式為最初的時間修正方法，直接以最後的測深資料反算定位系統(定位儀及海測軟硬體設備)與測深系統(多音束測深儀、船隻姿態修正及電羅經)的綜合時間遲滯，作業方法為 patch test 中的 Latency 修正，可參照圖 28。

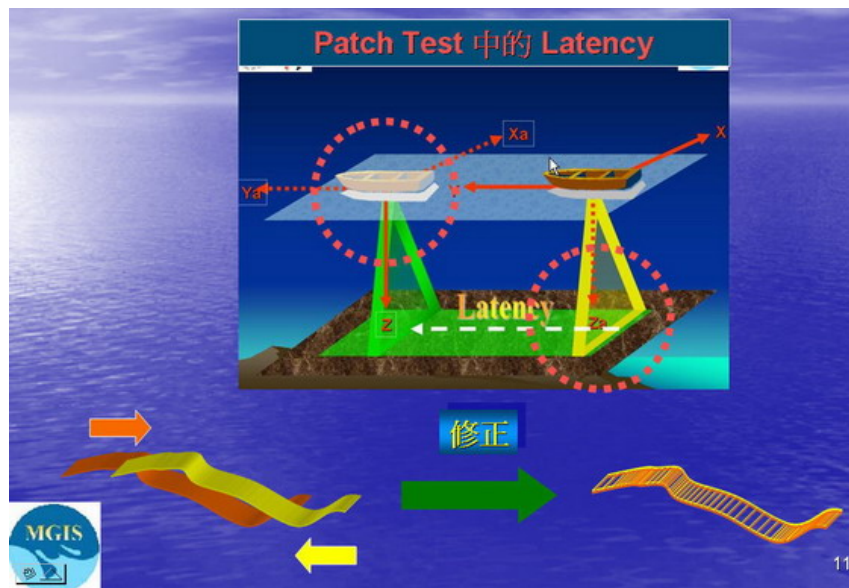


圖 28 Latency 修正示意圖

由於 Latency 修正採用統計的平均差值，時間差值可能隨著船速、定位精度或風浪流變化，造成量測精度不一的狀況。特別是多音束測深系統由深水進入淺水，要求的精度越來越高，解析度越來越細緻，單純的綜合時間遲滯不足以修正高精度(音束寬度 0.5 度)及高密度(淺水域測深頻率>10 次/秒)的測深系統，若要提升量測精度與品質，必需有更佳的修正機制。

2. ZDA 模式

預防甚於治療，測量事後的補救措施不如事前將時間同步，由於各種量測資料(定位值、測深值、船隻姿態及船艏向)可能內含各自計時器的資訊，因此後續的修正模式不要求將所有儀器「計時器對時」，而是採用衛星時間做為基準以同步各種資訊進入海測軟體時間。過去採用電腦時間或加裝精密計時卡以同步時間，但電腦的計時晶片品質不一，時間間距並不穩定，但衛星時間較為穩定，並且是全球通用，ZDA 為 NMEA 通訊格式中的其中一種，內含衛星時間，目前大多數海測軟體都支援接收 ZDA 格式內的衛星時間(GPS time)。而為了進行潮汐修正，必須獲得當地潮汐時間與基準時間差值，一般多採用當地時間，權衡之下採用世界通用的 UTC 時間做二者的轉換基準，可參照圖 29。

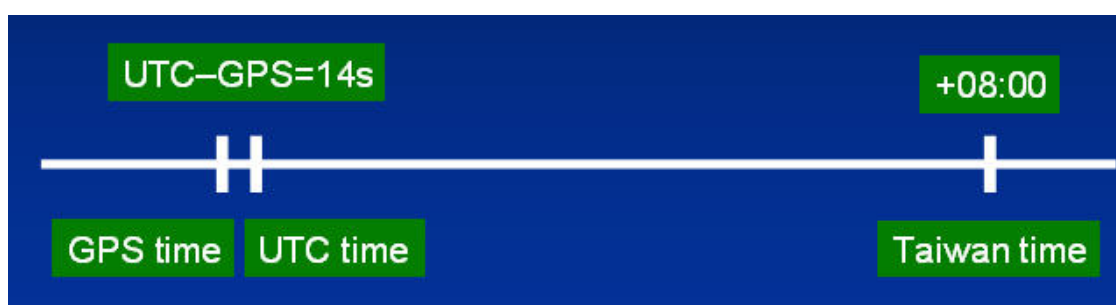


圖 29 時間基準轉換差值示意圖

3. GPS 之 PPS 模式

使用 ZDA 中的 UTC 雖然解決了時間同步的問題，但對於沒有時間

訊息的資訊(船隻姿態及船艏向)及流量管制造成的時間遲滯未能有效解決，這一秒可能有 100 單位的資料流量，下一秒只有 50 單位的資料流量。1PPS(1 TTL pulse per second)指每秒送出一個脈衝訊號，由於其訊號間距穩定，用於協助同步的資訊，單獨的 PPS 不可用於時間校正，因為不具有任何時間資訊，1PPS 可能在整秒送出，也可能在 0.3 秒送出(1.3→2.3→3.3)，各種廠牌的 GPS 送出 ZDA 與 PPS 訊號有特定的時間差，使用 PPS 時修正應設定正確的廠牌型號。簡而言之 ZDA 用於定義時間基準，PPS 用於微調資料流進入軟體的時間，可參照圖 30。

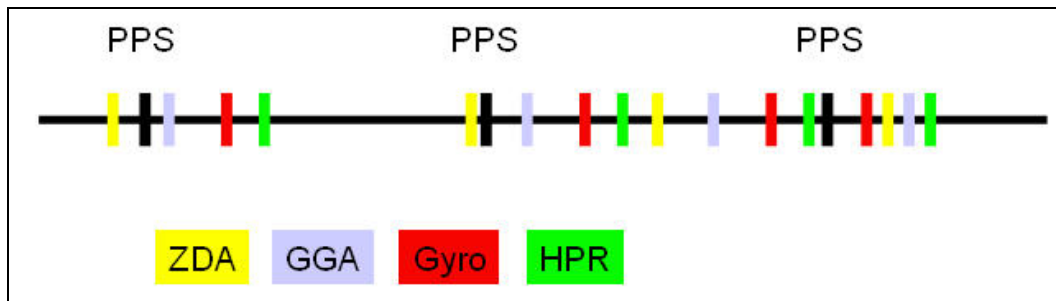


圖 30 PPS 與資料流示意圖

時間遲滯修正後平行航線的資料剖面將有顯著的改變，特別是斜坡或特徵物的疊合特別明顯，可參照圖 31。

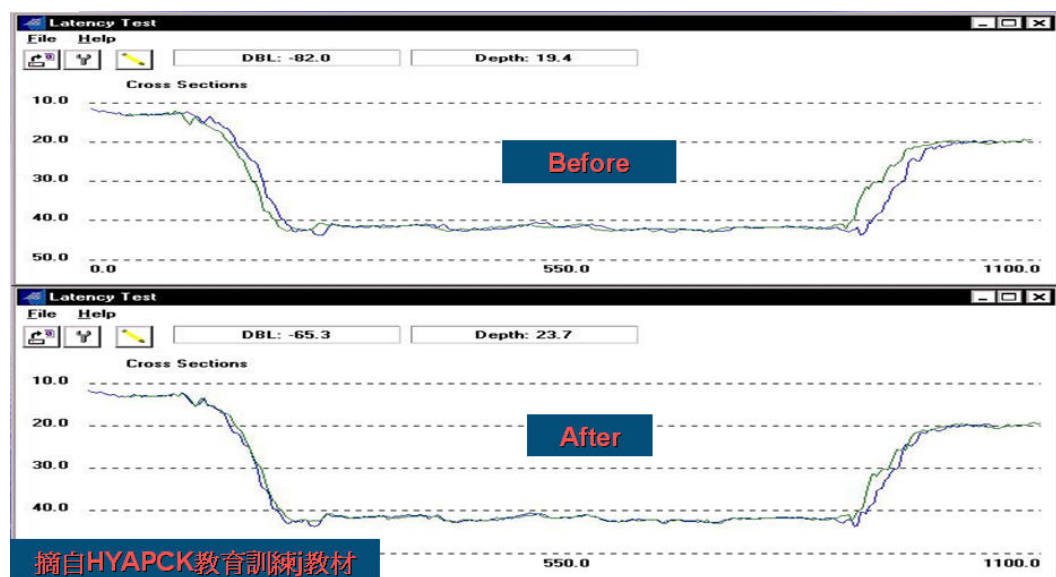


圖 31 時間遲滯修正前後剖面比較

3.3 探討疊合修正(Patch Test)之作業方法及流程

船隻姿態表中除了船隻規格外，各種儀器有相對的安置位置(公尺)、安置角度(度)及時間遲滯(秒)，每個常數值的正確性都會對測量精度產生不同程度的傳播誤差，儀器安置位置可以直接量測，至於安置角度及時間遲滯不易直接量測，可由量測結果反算安置角度及時間遲滯，此種測量作業稱為「疊合修正(Patch Test)」：包括時間遲滯(Latency)、前後傾角(Pitch)、左右傾角(Roll)及船艏偏角(Yaw)。

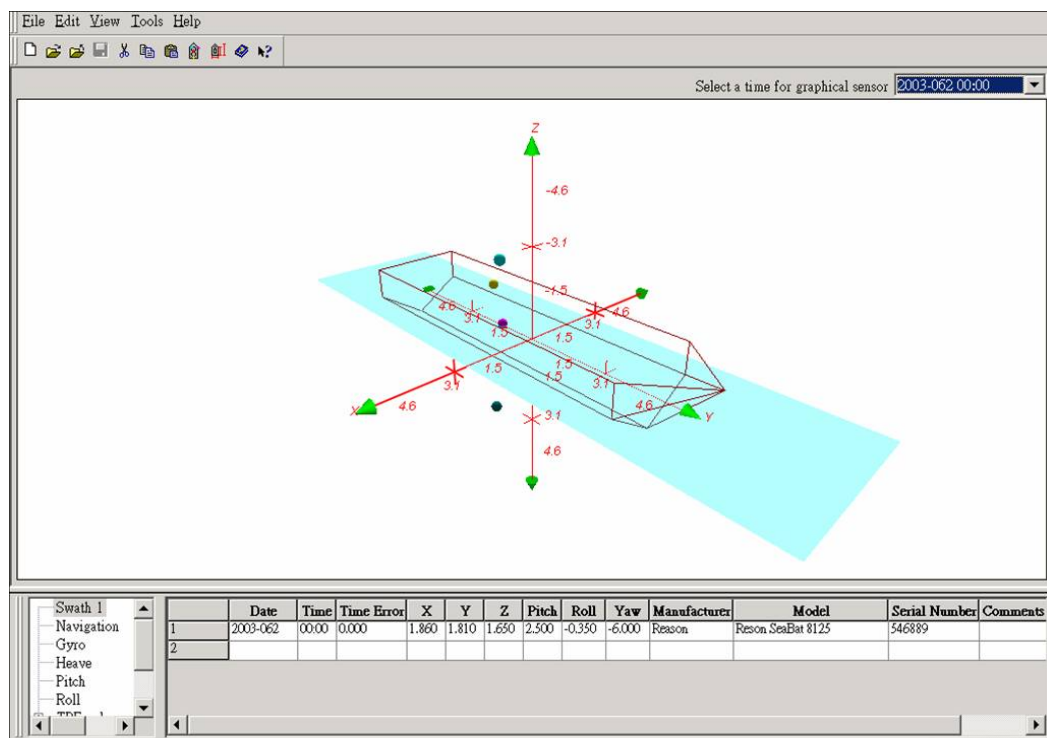


圖 32 船隻姿態圖表

3.3.1 時間遲滯(Latency)

時間遲滯用於修正定位值與測深值因航速改變造成的資料平移，可參照圖 28。本項作業方法僅針對「船速變化」造成的時間遲滯，至於其他原因造成的時間遲滯修正效果有限。

時間遲滯造成的主要效應是航向方向的平移，近三年的測量型 GPS 時間遲滯可控制在數十毫秒內，儀器主機的時間遲滯不至造成重

大誤差，從 NMEA 資料輸出頻率而言，能達到每秒 10 筆定位的機型已經算是高等級的主機，以 5 節的速度測量，每 0.1 秒 0.25 公尺，以此推算定位精度應小於 25 公分，多音束測深最基本的定位精度門檻是 2 公尺(DGPS 模式)，但用於工程用量測的基準應定義為 10 公分內(RTK 模式)。相較於陸上測量，同樣的 GPS 在海上使用時，加上各種誤差傳播效應定位精度必然不如陸上測量，由於 GPS 主機的延遲不大，加上定位精度的傳播誤差可能大於時間遲滯(Latency)，解算 Latency 常數時，不易找到正確常數，因此要解算正確的時間遲滯必須有足夠的定位精度。

以下三小節針對三個軸向角度(Pitch, Roll, Yaw)偏差角的影響及修正方式，其定義可參照圖 33。在此強調每艘船隻載具特性不同，測量當時的船隻油水狀況、人員於船隻上移動的狀況，風浪流及航速皆足以影響三軸偏角量，船隻油水重心及人員移動不易掌握，選擇在測區內或附近執行 Patch Test 可避免風浪流不同的誤差，Patch Test 的主要航速應與測深作業時相同。

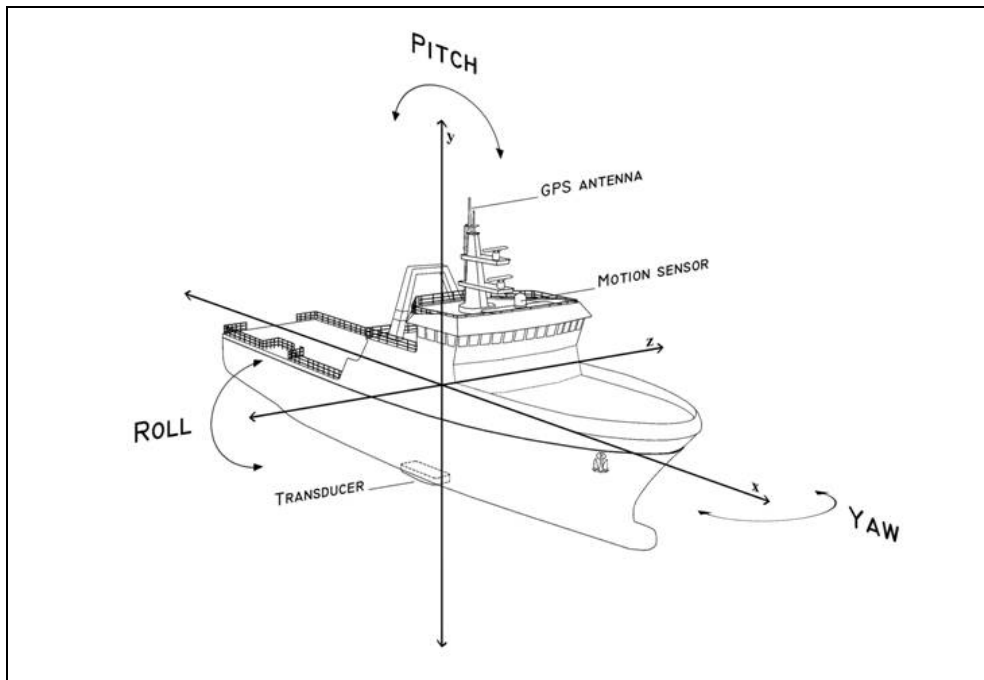


圖 33 Patch Test 航線規劃圖

3.3.2 前後傾角(Pitch)

前後傾角(Pitch)指測深時因船艙向上或向下起伏而造成測帶延著船艙向平移，此時實際測帶與音鼓正下方的角度稱為前後傾角(Pitch)，可參照圖 34。Pitch 造成的錯誤可參照圖 23。

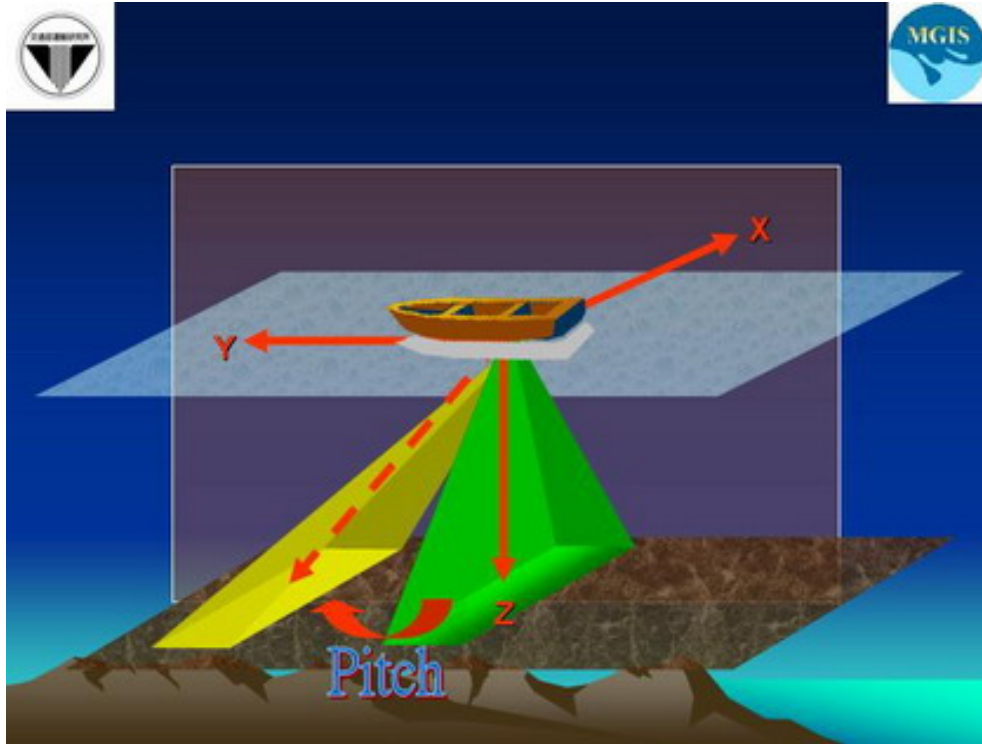


圖 34 Pitch 誤差示意圖

Pitch 的修正方式為延著斜坡或特徵物正上方進行來回量測，選取航跡正下方測深剖面比較，給予正確的角度，二個分離剖面合而為一，可參照圖 35。

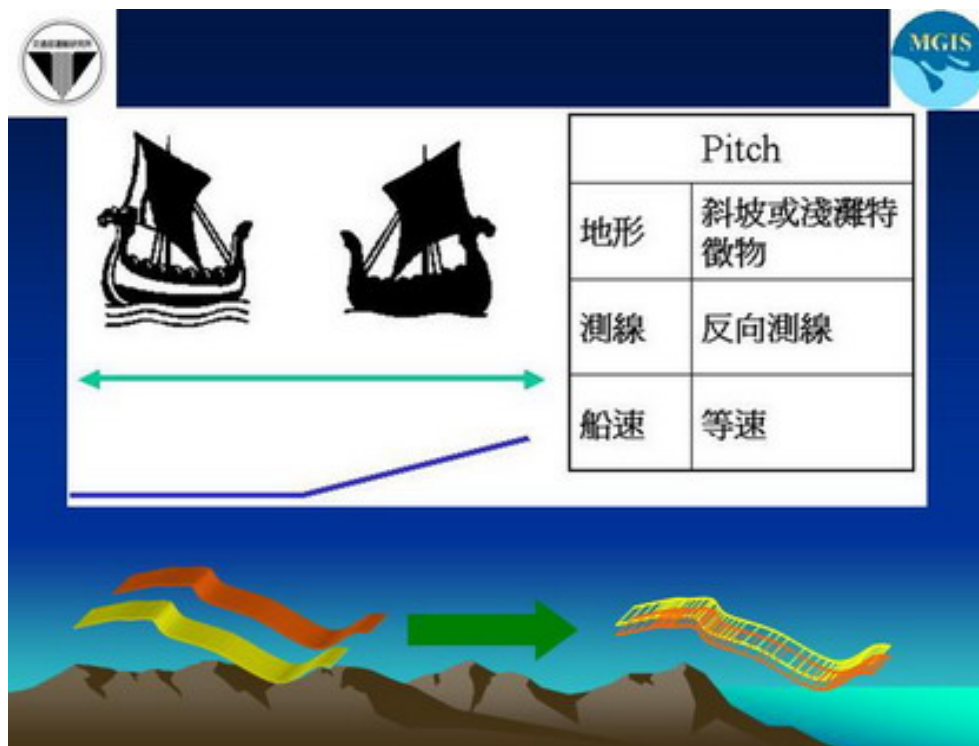


圖 35 Pitch 修正方式及結果

3.3.3 左右傾角(Roll)

左右傾角(Roll)指測深時因船隻向左或右傾斜造成測帶向左或向右平移，可參照圖 36，以 Reson 8125 為例，其音束帶寬 120 度，聲納一次拍發可測量 240 筆水深值，即左右各 120 個音束。當左右傾角產生偏差 5 度，二側音束為 110 及 130 個音束。左右傾角造成的海床變化甚為明顯，海床呈現 X 型。

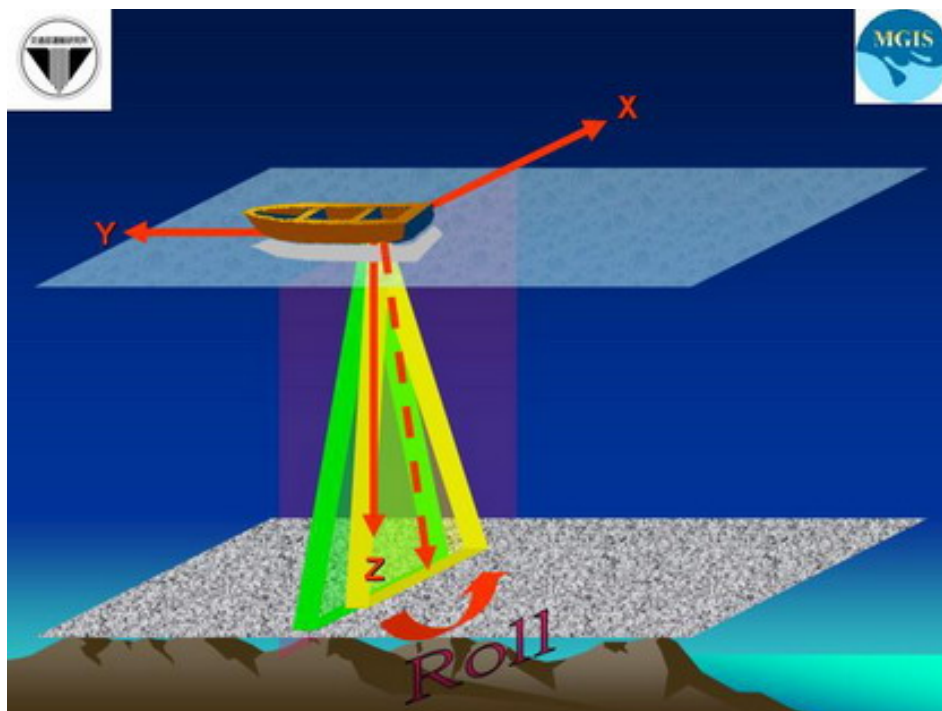


圖 36 Roll 誤差示意圖

Roll 修正方式為延著平坦海床來回量測，選擇垂直航向的剖面比對，剖面呈現 X 的型狀，修正完成則合併為同一剖面，可參照圖 37。

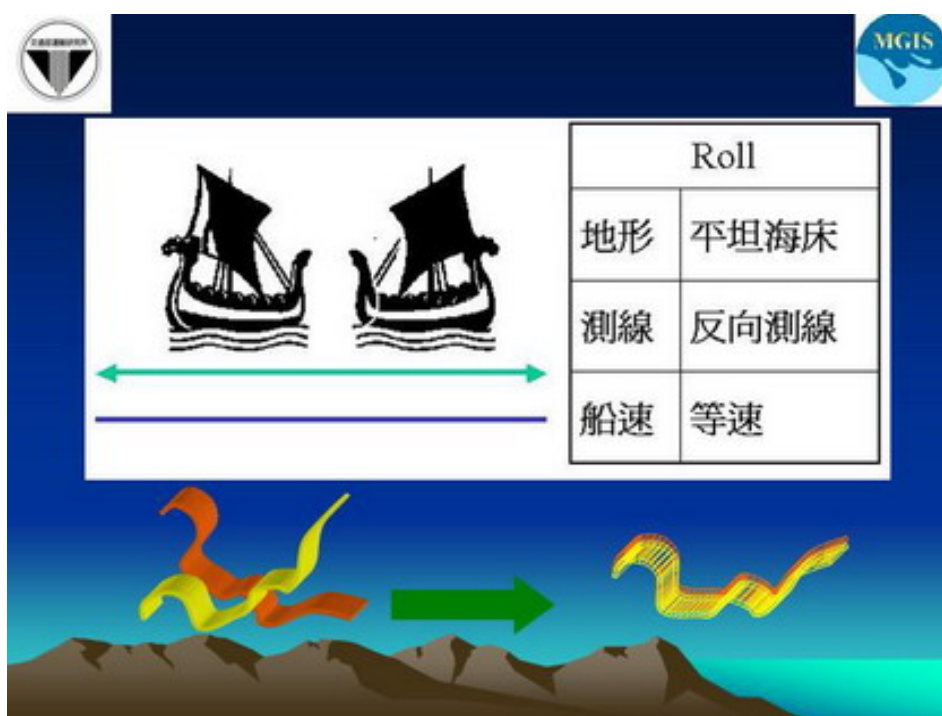


圖 37 Roll 修正方式

3.3.4 船艏向(Yaw)

船艏向(Yaw)指測深時因船隻受到風浪流的影響，船艏與航向並不相同，其直接造成的效應是測帶寬度改變，可參照圖 38。其效應不明顯，可使特徵物的形狀產生變形效果，當角度過大時成為二個特徵物。

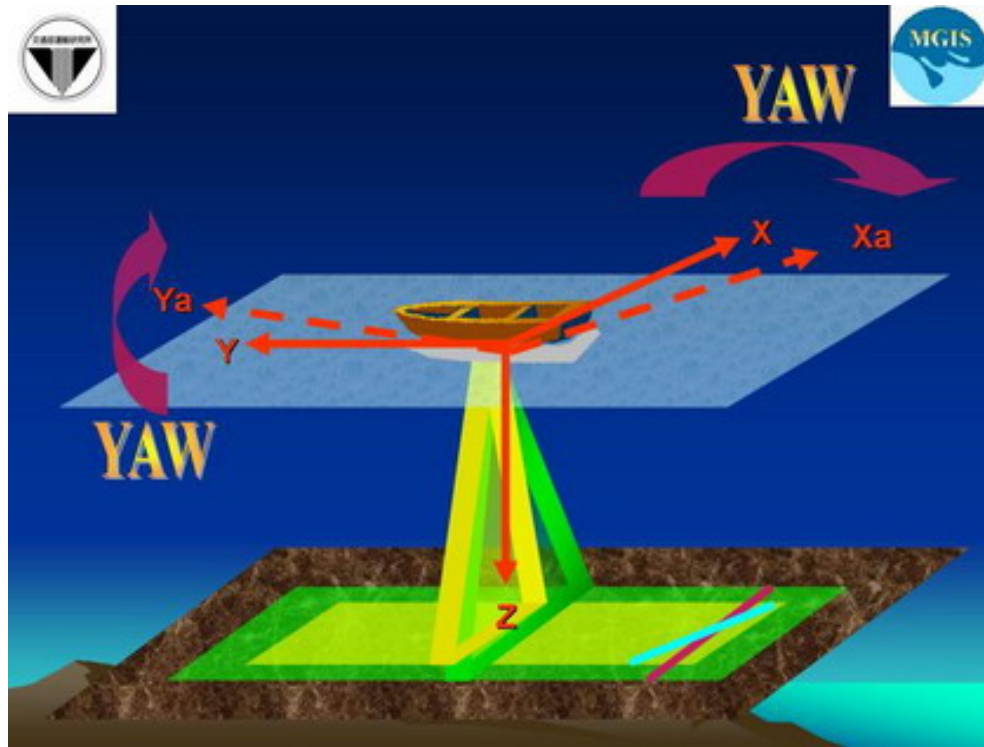


圖 38 Yaw 誤差示意圖

Yaw 修正方式為延著特徵物左右來回量測，選擇特徵物上平行航向的剖面比對，給予正確的角度，二個特徵物剖面合而為一，可參照圖 39。Yaw 的效應較不明顯，相對而言修正較為困難，選擇特徵物最好是平台型特徵物，面積及高程亦需考量當時水深，原則上越是外部音束(outer beam)越能反應特徵物受到 Yaw 效應的影響，另一項考量點是超過 45 度外部音束的足印隨著角度大幅增加，特徵物上至少要有五個點才足以作為辨識之用。

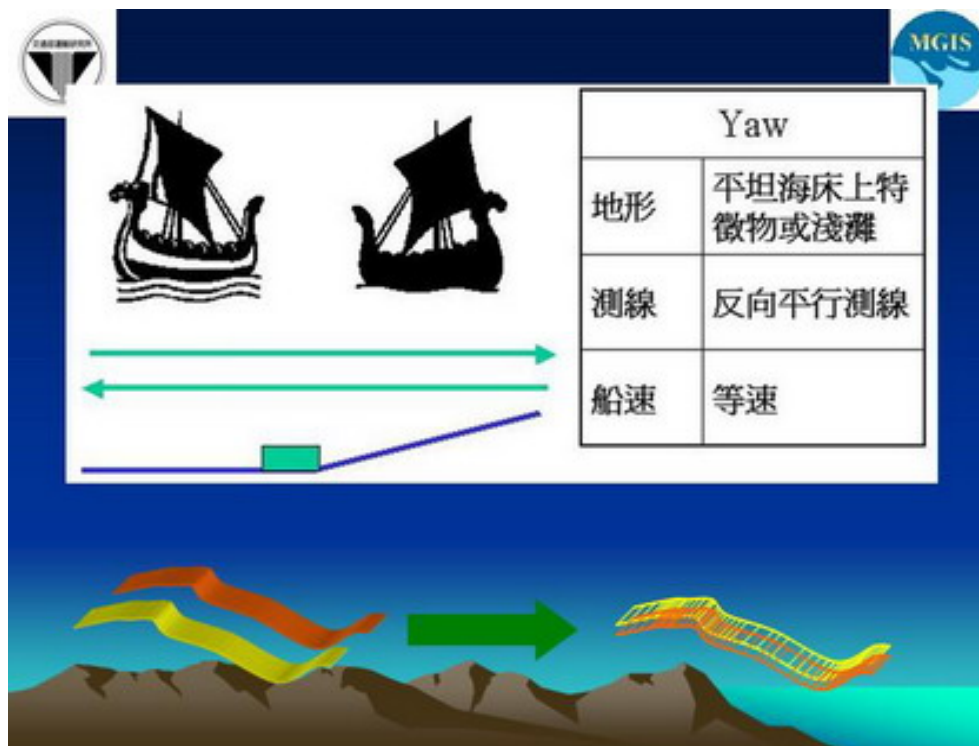


圖 39 Yaw 修正方式

疊合修正(Patch test)四個參數疏浚測量的有不同程度影響，Latency 效應造成特徵物在床上位移，原則上對於土方量不會有重大的影響，Roll 效應造成海床一高一低，理論上計算土方時一正一負互相抵消，對土方量的影響會降低，Yaw 效應本身不影響高程，對土方也沒有重大影響，但會擴張特徵物的範圍，進而影響土方量，Pitch 效應對土方量的影響最顯著，造成整個海床升高或下降，屬於系統性誤差，最值得疏浚測深人員注意。

3.4 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。

3.4.1 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。本團隊已於 96 年 7 月初分別於高雄港第一港口及第二港口之港嘴附近裝設雷達式潮位儀，每分鐘記錄一筆潮位，其位置可參照下圖。



圖 40 雷達式潮位儀位置圖

3.4.2 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 41 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。

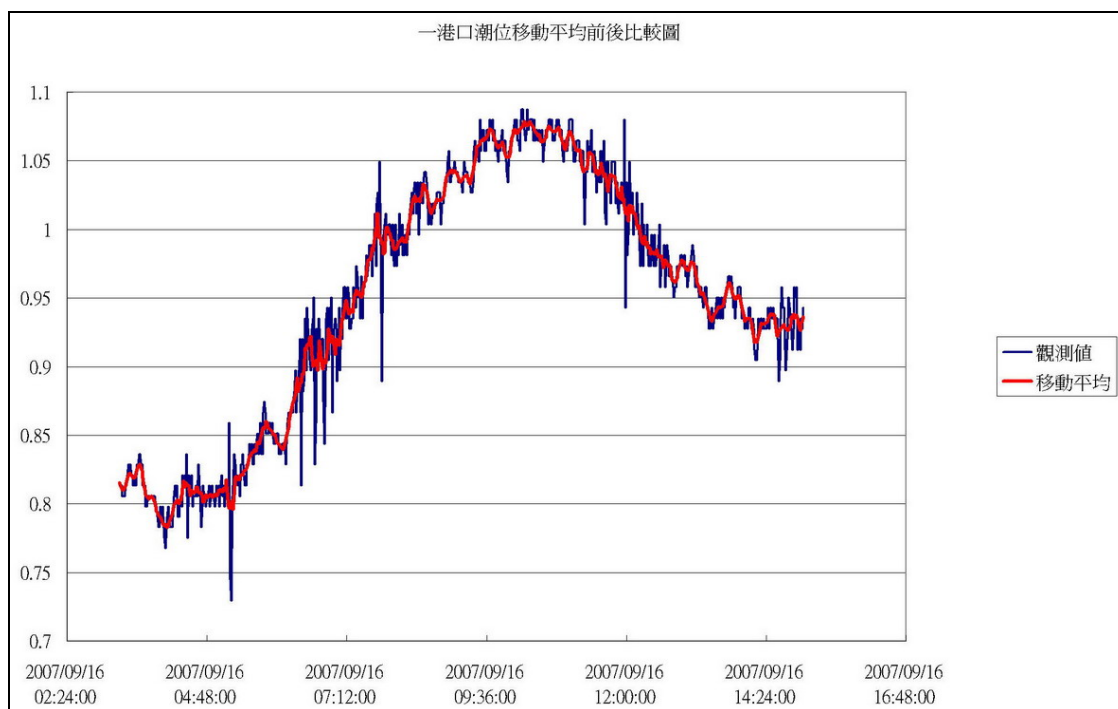


圖 41 潮位觀測值及移動平均後的比較圖

3.4.3 不同潮位站的潮位比對

第一港口及第二港口驗潮站相距約 9 公里，9 月份驗潮資料經過移動平均修正後，並刪除 9 月 8 日的異常值，得到的差值結果可參照圖 42，其差值集中在正負 6 公分內，平均值約 -1 公分，標準差 2.67 公分，由圖中約略可看出有週期性反覆變化。

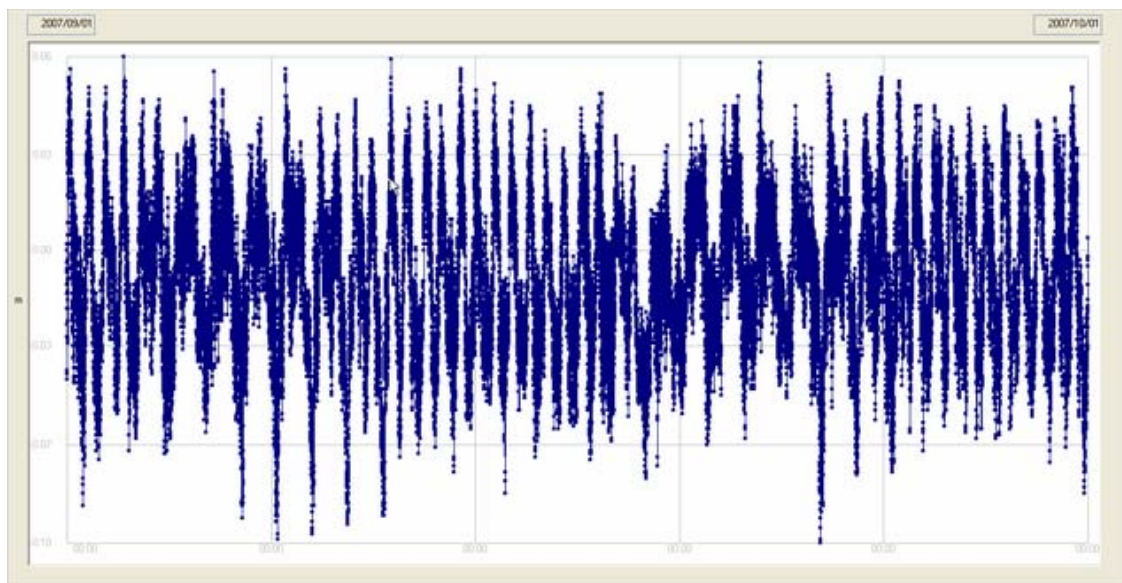


圖 42 高雄港 2007 年 9 月第一及第二港口潮位觀測差值圖

仔細比對連續四天的差值，99%的差值集中在正負 6 公分內，共計 8 個波峯及 8 個波谷，明顯可看出有週期性變化。連續 1 天及 2 天的潮位差值圖也有類似的結果。

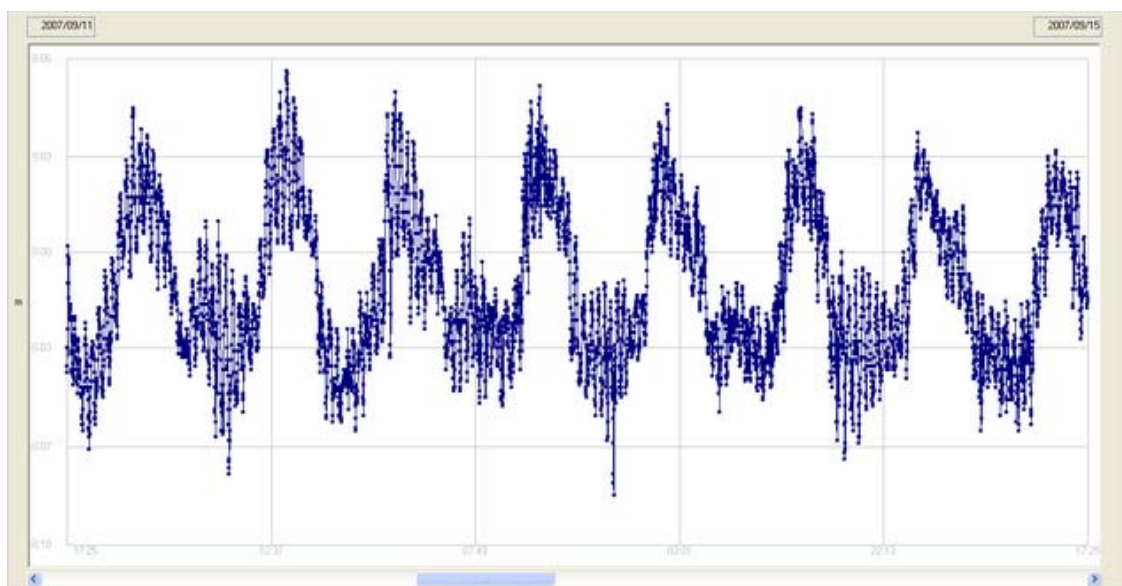


圖 43 潮位觀測差值連續 4 天比較圖

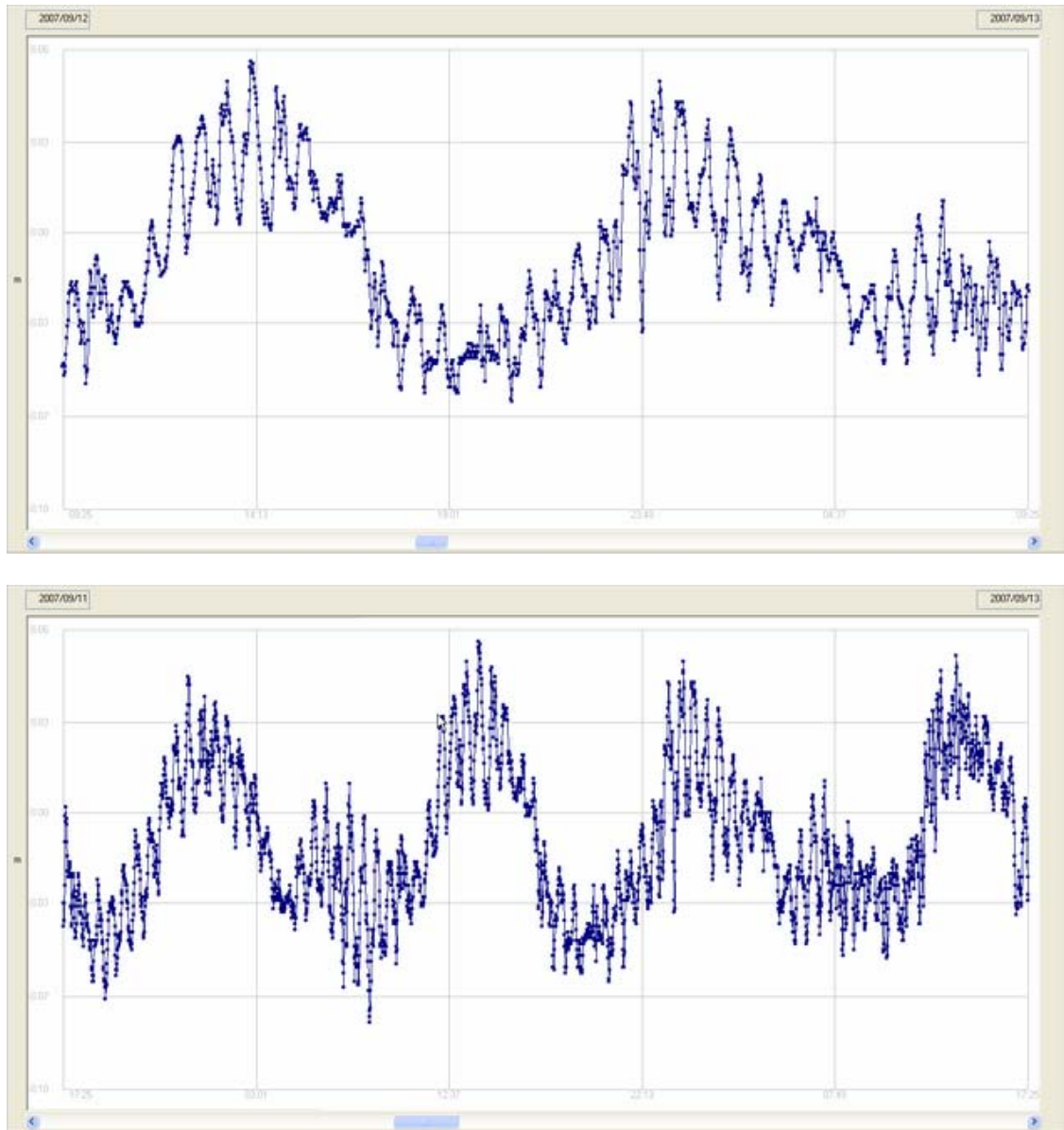


圖 44 潮位觀測差值連續 1 天及 2 天比較圖

3.4.4 潮時及潮差比對結果分析

潮位差值乘以 5 倍加上 1 公尺大約與高雄港潮差相類似，圖中潮位差值等於第一港口潮位減第二港口潮位，可參照圖 45，由圖中可獲得二個結論；

1. 第二港口潮差大於第一港口：

圖中高潮時潮位差值為負值，表示第二港口潮位較高，低潮時潮位

差值為正值，表示第二港口潮位較低，第二港口的高潮潮位較第一港口高約 1~2 公分，低潮潮位則低約 1~2 公分可得知第二港口潮差大於第一港口。

2. 第二港口潮位與第一港口潮位有特定潮時差異：

圖中不易直接看出高潮及低潮時間是否有明顯差異，但仔細觀看發現二個現象：其一是最大潮差的發生時間並非在高潮及低潮時，約為低潮前及高潮後。其二是這二處最大潮位及最低潮位差值僅 1~2 公分，但潮差振幅卻高達 5~6 公分，歸納振幅增加的主因應是潮時效應造成的結果。

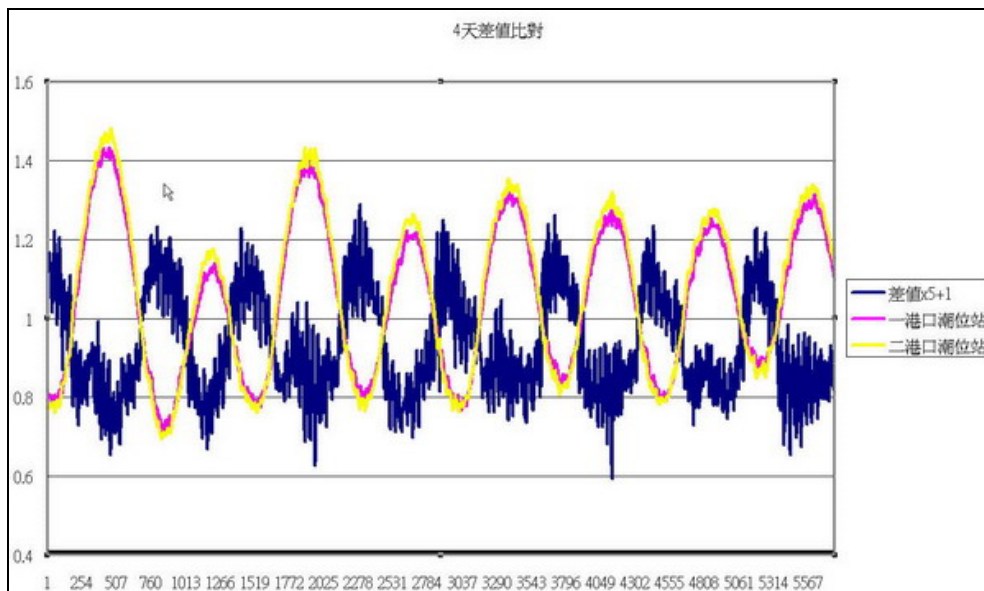


圖 45 潮位與潮差連續 4 天比較圖

3.4.5 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。

3.4.6 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。

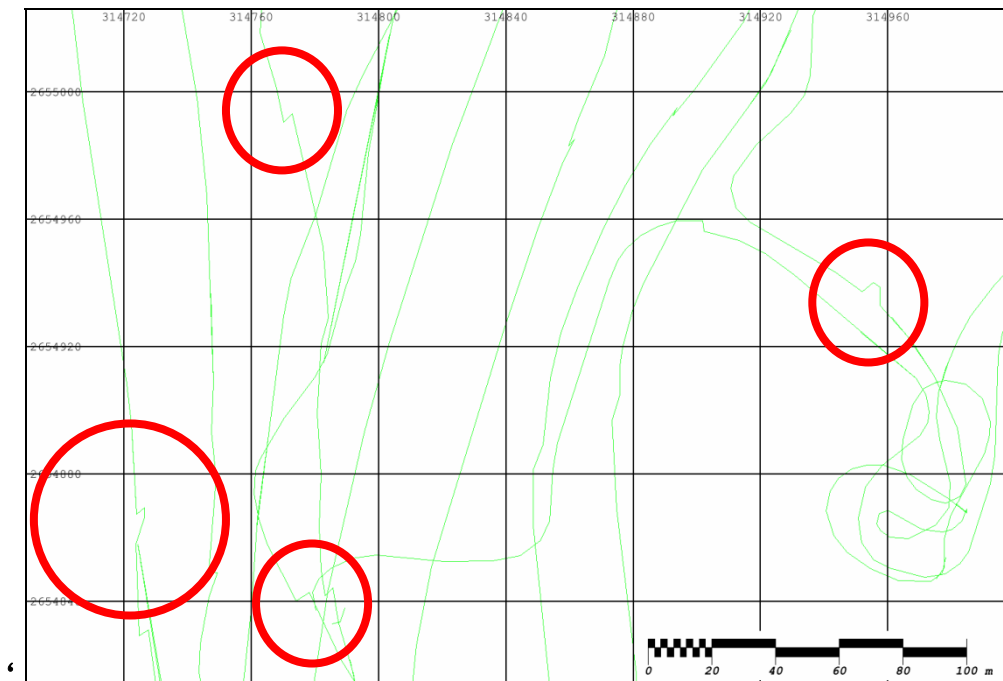


圖 46 RTK 受到干擾時的漂移現象

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，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。

3.4.7 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

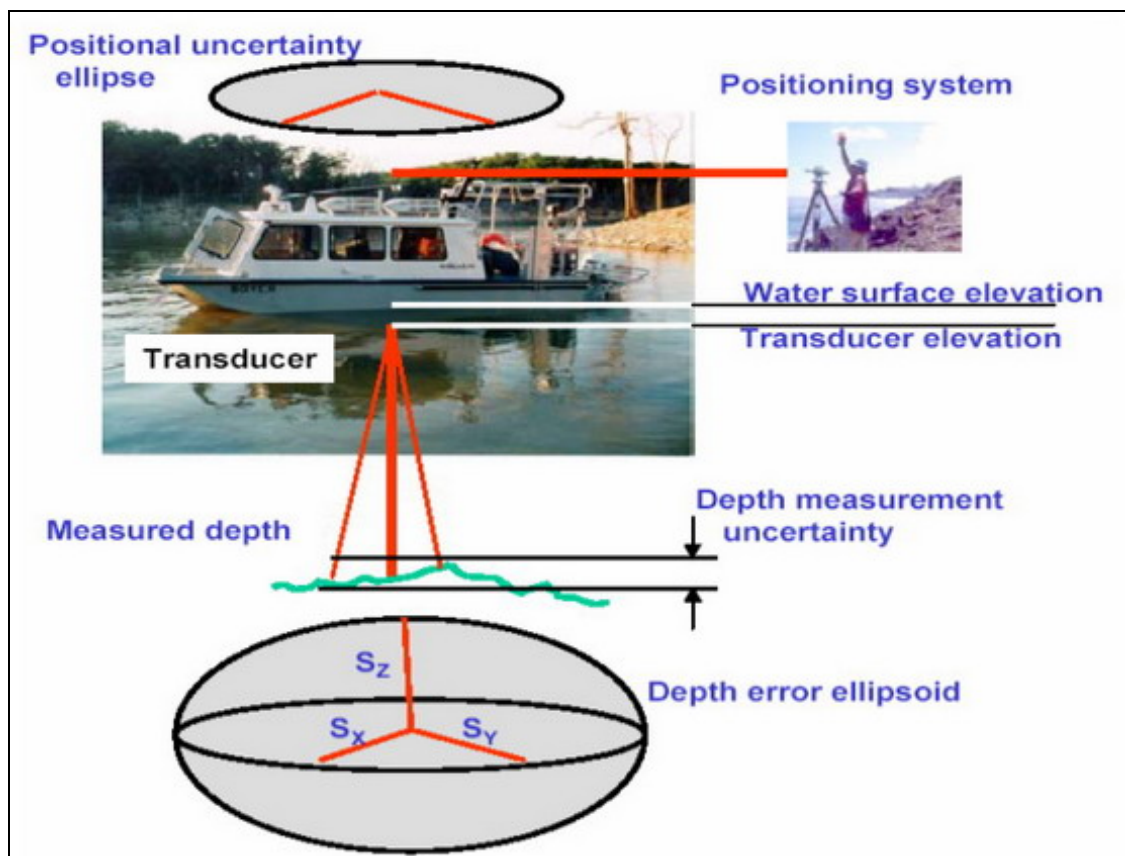
儀器嚴重干擾。綜合而言，可能的干擾源包括雷達、無線電及遮蔽效應，必須一一排除。

- (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。

3.5 依據上述研究成果評估多音束測深在疏浚測量之精度

3.5.1 多音束測深系統的誤差源分析

多音束測深系統的誤差可簡單分為定位誤差及水深量測誤差，定位誤差分為 x,y 二個軸向，可直接由 GPS 精度獲得，水深量測誤差較為複雜，可參照表 9，包括：測深儀量測(Measurement error)、音鼓吃水誤差(Transducer draft error)、動態吃水誤差(Settlement & squat)、聲速量測誤差(Sound velocity error)、湧浪修正誤差(Heave error)及潮位基準量測誤差(Tide/water level error)。



摘自美國工兵署 Engineering and Design HYDROGRAPHIC SURVEYING

圖 47 測深系統不確定性示意圖

表 9 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	0.05m	0.20m

	Error sources	Minimum	Maximum
	determining method with RTK GPS will minimize this error.		
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
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

3.5.2 多音束測深系統的總誤差傳播(TPE)

多音束測深系統量測精度來自各種測深、定位及潮位儀器的本身精度限制及人為誤差，儀器的精度可由製造商提供，人為誤差(例如：音鼓吃水的判視)較難估算，將所有的儀器精度及人為誤差歸算的結果稱為總誤差傳播(Total Propagated Error,TPE)。以 CARIS 為例，提供之計算 TPE 的欄位分為二大項，相對位置或及角度(Offset)及標準差(StdDev)。

1. 相對位置或及角度(Offset)

	MRU to Trans X (m)	MRU to Trans Y (m)	MRU to Trans Z (m)	Nav to Trans X (m)	Nav to Trans Y (m)	Nav to Trans Z (m)	Trans Roll (deg)
1	-0.005	0.111	-0.746	0.860	-10.920	-5.556	0.000

- (1) MRU to Transducer(x, y, z)：船隻姿態儀至音鼓三個軸向的相對位置。

(2) Navigation To Transducer(x,y,z)：定位儀至音鼓三個軸向的相對位置。

(3) Transducer Roll：同時使用二個音鼓或斜打作業時，安裝音鼓的傾角，右舷向下為正。

2. 標準差(StdDev)

	Motion Gyro (deg)	Heave % Amp	Heave (m)	Roll (deg)	Pitch (deg)	Position Nav (m)
1	0.050	5.000	0.050	0.010	0.010	0.050

(1) Motion Gyro：量測航向的標準差。

(2) Heave % Amplitude：湧浪瞬間變化的標準差。

(3) Heave：量測湧浪的標準差。

(4) Roll：量測左右搖擺角的標準差。

(5) Pitch：量測前後傾斜的標準差。

(6) Position Nav：定位的標準差。

	Timing Trans (s)	Nav Timing (s)	Gyro Timing (s)	Heave Timing (s)	Pitch Timing (s)	Roll Timing (s)
1	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100	0.100

(7) Timing Trans：音鼓拍發時間的標準差。

(8) Nav Timing：定位時間的標準差。

(9) Gyro Timing：量測船艙向時間的標準差。

(10) Heave Timing：量測湧浪時間的標準差。

(11) Pitch Timing：量測前後傾斜時間的標準差。

(12) Roll Timing：量測左右搖擺角時間的標準差。

Offset X (m)	Offset Y (m)	Offset Z (m)	Vessel Speed (m/s)	Loading (m)	Draft (m)	Delta Draft (m)
0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000

(13) Offset X：量測儀器安置相對位置在 X 軸向的標準差。

(14) Offset Y：量測儀器安置相對位置在 y 軸向的標準差。

(15) Offset Z：量測儀器安置相對位置在 z 軸向的標準差。

(16) Vessel Speed：量測航速的標準差。

(17) Loading：船隻油水載重變化。

(18) Draft：量測船隻吃水的標準差。

(19) Delta Draft：量測船隻動態吃水的標準差。

MRU Align StdDev gyro	MRU Align StdDev Roll/Pitch
0.000	0.000

(20) MRU Align StdDev Gyro：電羅經非置於船隻運動中心量測船艏向的標準差。

(21) MRU Align StdDev Roll/Pitch：船隻姿態儀非置於船隻運動中心量測左右搖擺角的標準差。

3.5.3 多音束測深在疏浚測量之精度

國際海測規範(IHO sp-44)亦建議應檢驗總誤差傳播是否足以達到的要的測深精度，限於每筆測深值的量測角度不同其 TPE 不相同，故於量測後歸算每個測深值的 TPE，並以條件式過濾刪除未達精度的測深值。目前的海測商用軟體已陸續將總誤差傳播納入軟體中，以 Reson 8125 為例，本次於高雄港水深約 12 公尺處量測，水平 TPE 約為 1.62 公尺，垂直 TPE 約為 0.105 公尺，港外水深約 25 公尺處，水平 TPE 約為 1.726 公尺，垂直 TPE 約為 0.17 公尺。

Beam	Depth (m)	Tide (m)	Dp TPE (m)	Hz TPE (m)	IHO S-44
103	25.357	0.805	0.170	1.716	Spec. Order
104	25.353	0.805	0.170	1.716	Spec. Order
101	25.355	0.805	0.170	1.726	Spec. Order
102	25.341	0.805	0.170	1.726	Spec. Order
103	25.326	0.805	0.170	1.726	Spec. Order

高雄港內的航道以 13 米為設計水深，以疏浚測量的觀點檢視水平

TPE，考量網格大小約 1~2 公尺逐漸收斂，符合其要求，至於垂直 TPE 達到 10 公分，但常因為 10 公分的誤差有正有負，在平均後可能只有 1~2 公分的差距，因此系統性的誤差造成整個海床基準上升或下移才是值得注意及考量的重點。

第四章 多音束聲納技術在疏浚工程之應用

4.1 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 $\times$ 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。

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。

參照 3.1 節，比較單音束及多音束測深的精度、資料密度、成本費用及各項特性，以及二種測深系統土方計算誤差，無庸置疑多音束聲納是最佳系統。

4.2 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。

4.2.1 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。

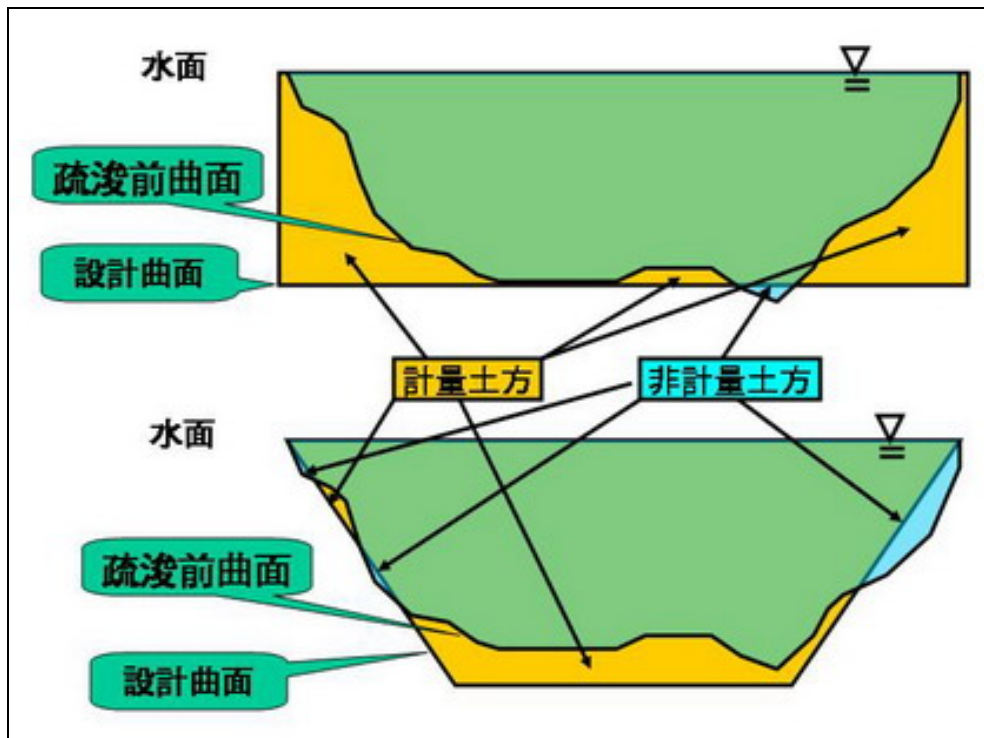


圖 48 土方計量原則

4.2.2 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。

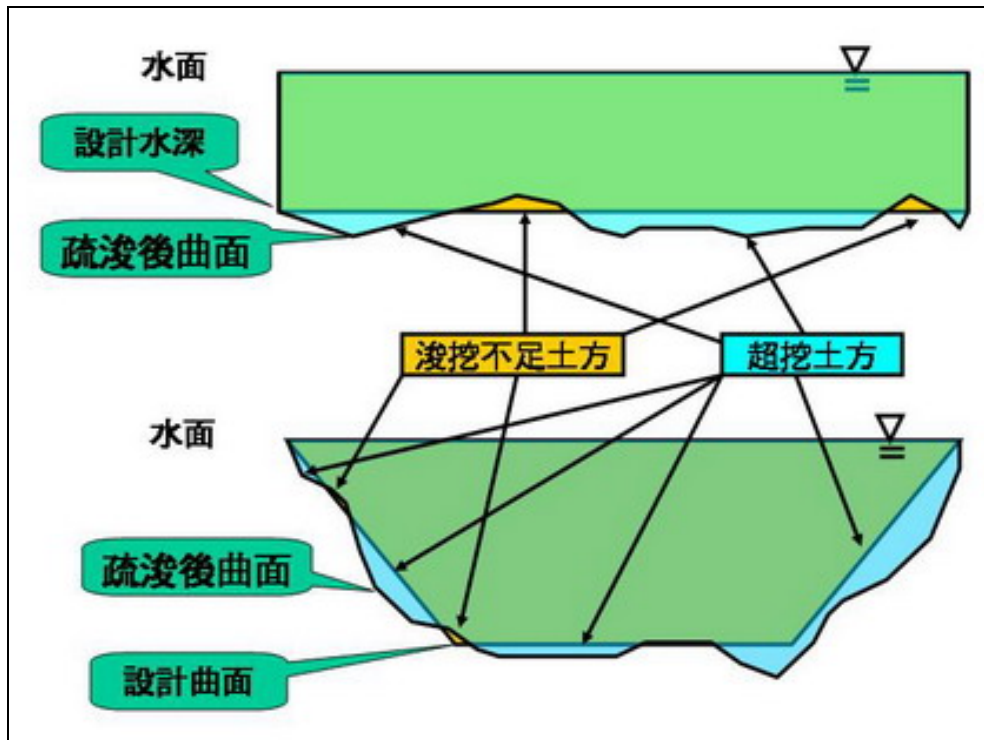


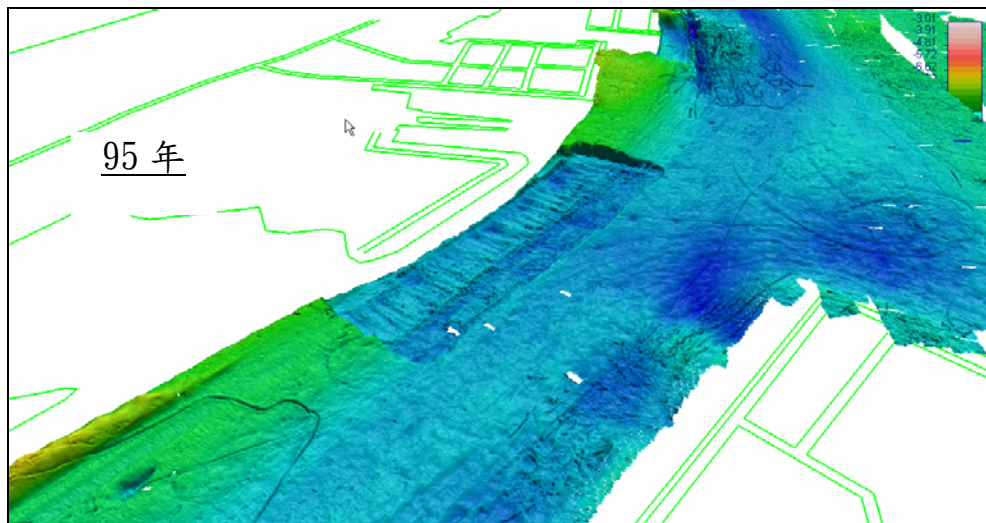
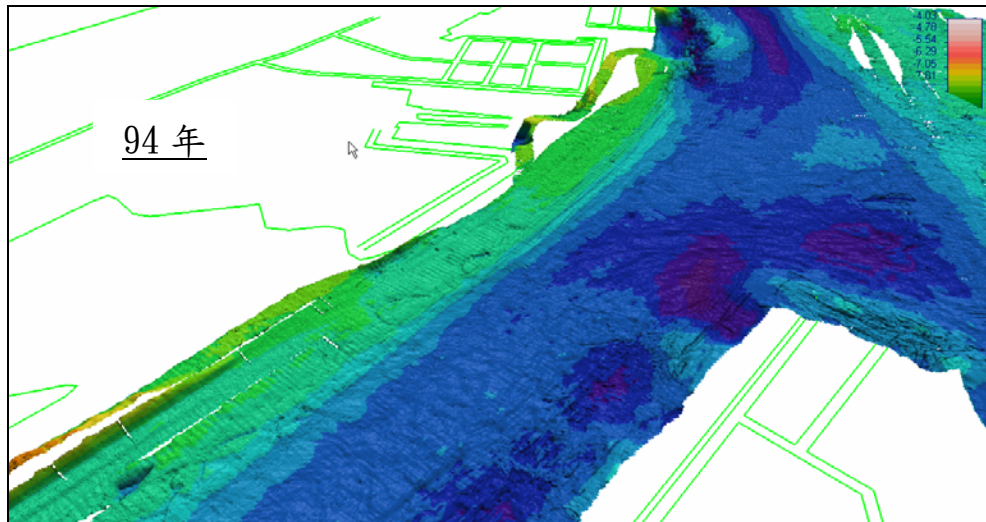
圖 49 土方檢核原則

4.2.3 30 公分緩衝區的合理性

將表 9 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。

4.3 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。



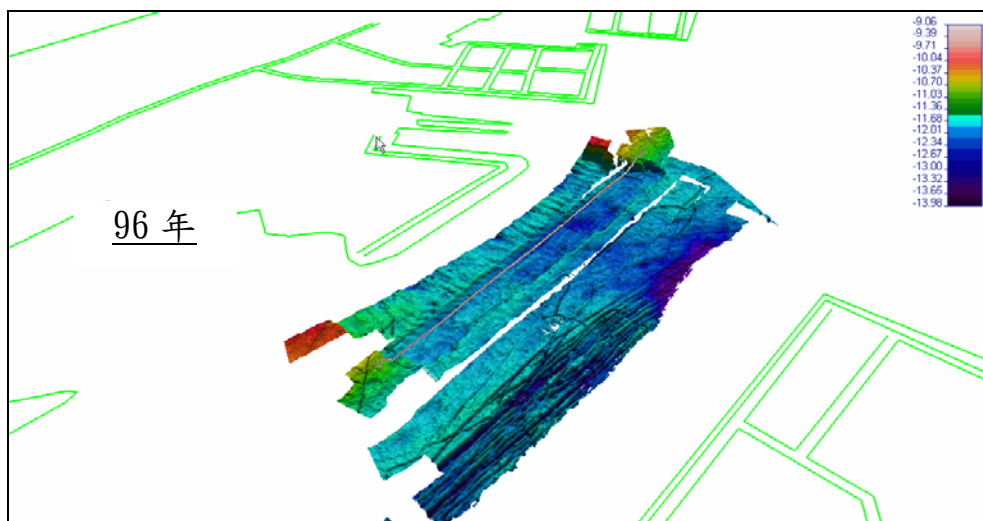
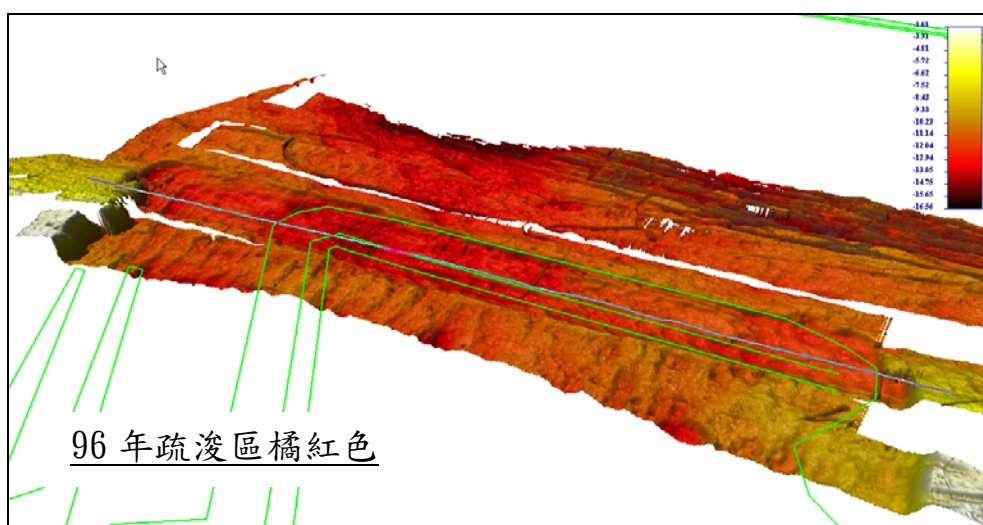


圖 50 疏浚區 94 年至 96 年的水深色階圖

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。



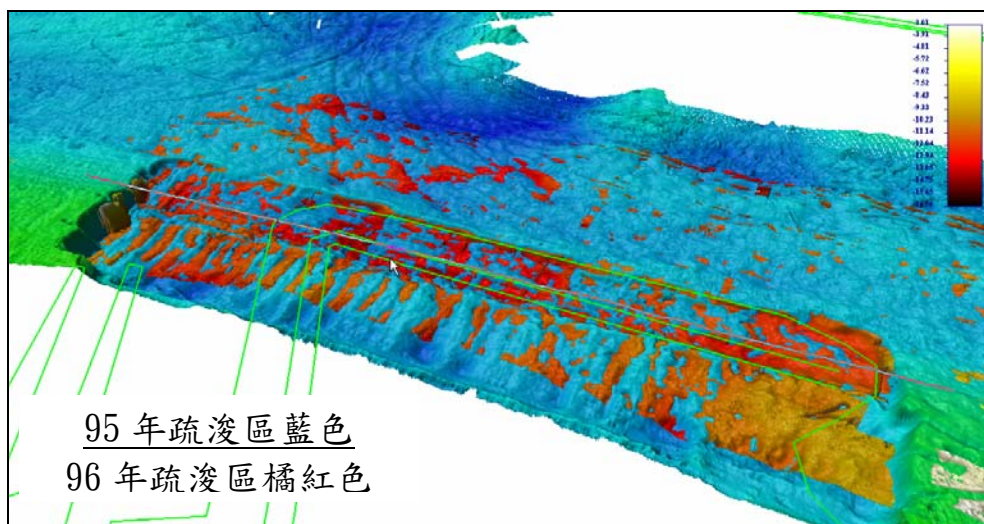


圖 51 疏浚區 95 年至 96 年不同色階比對圖

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。

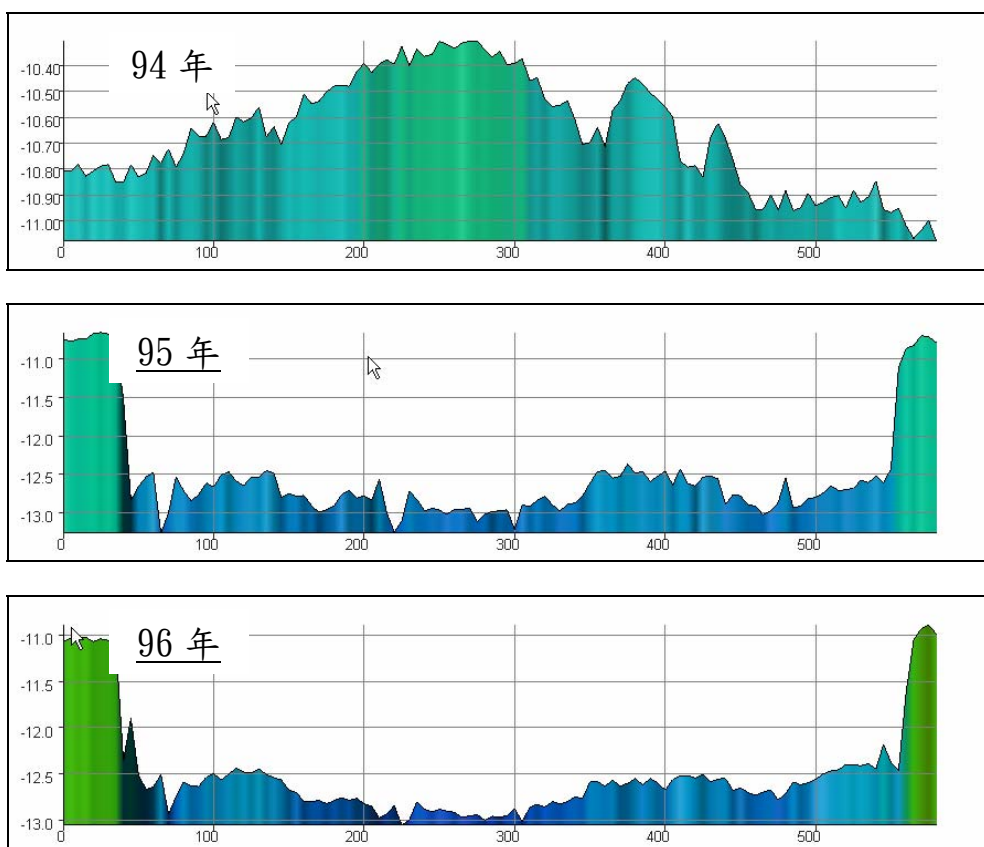


圖 52 疏浚區剖面 94 年至 96 年水深變化圖

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。

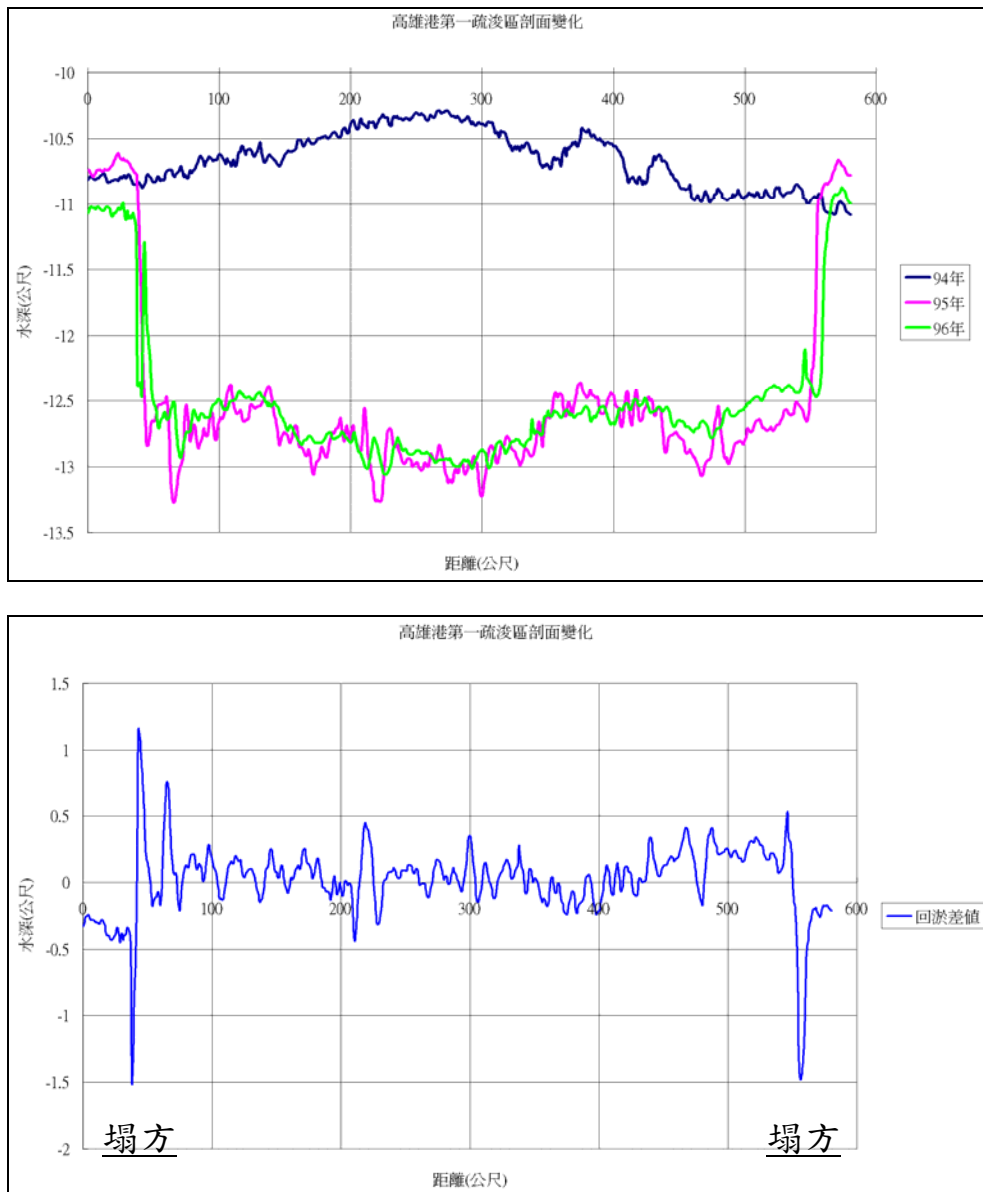


圖 53 疏浚區 95 年至 96 年剖面及回淤變化圖

一般而言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。

第五章 聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置

測深儀海次拍發(pin)聲波可收集的資訊除了聲波來回時間外，亦同時可接收海床的回波反射(seabed echo)及散射(backscatter)資訊，聲波在水中隨著距離遞減，接觸異質媒介時會有大量反射及散射產生，海床底質的密度及均質性會影響反射強度，海床表面的粗糙度會影響散射資訊，此外聲納源的頻率及能量及接觸異質媒介的入射角度都會影響反射及散射結果，本章節針對聲波式探測海床表層分類技術及預期成果。

海床底質分類(seabed classification)可以採用視覺法(visual)、機械法(mechanical)及聲學法(acoustical)，而使用視覺法(潛水、攝影、錄影)及機械法(抓取、岩芯採樣、探測器探測)之速度極慢，且極為耗費人力，因此極為昂貴，並不適合於大範圍的調查工作。聲學法因不需要停船作業，故能快速的進行大範圍的調查。然而單獨使用聲學法進行海床底質分類，只有在特殊狀況下才會發生，因為僅有海床的回波反射(seabed echo)及散射(backscatter)資訊，並不夠有信心的說明海床沈積物(sediment)為砂(sand)、泥(mud)、砂礫(gravel)或其他類別。通常可以在全面進行聲學法海床底質分類調查後，再採用視覺法或機械法進行點的底質驗證工作。

QTC (Quester Tangent Corporation) View 可以配合硬體接收單音束測深之回波強度，提供海上即時底質分類。而 QTC IMPACT(Integrated Mapping Processing and Classification)軟體，則以後處理(post-process)的方式，將單音束的回波強度進行海床底質分類。雖然多音束測深系統(Multibeam Echo Sounding System)及側掃聲納(Sidescan Sonar)亦可接收回波強度資訊，但因各音束之掠過角(grazing angle)或入射角(incident angle)(90° 減去掠過角即為入射角)及足印大小(footprint or insonification area)並不相同，因此其資料修正之方法與前述對象不同，

所以 QTC Multiview 軟體針對多音束測深系統，QTC Sideview 則針對側掃聲納進行海床底質分類工作。

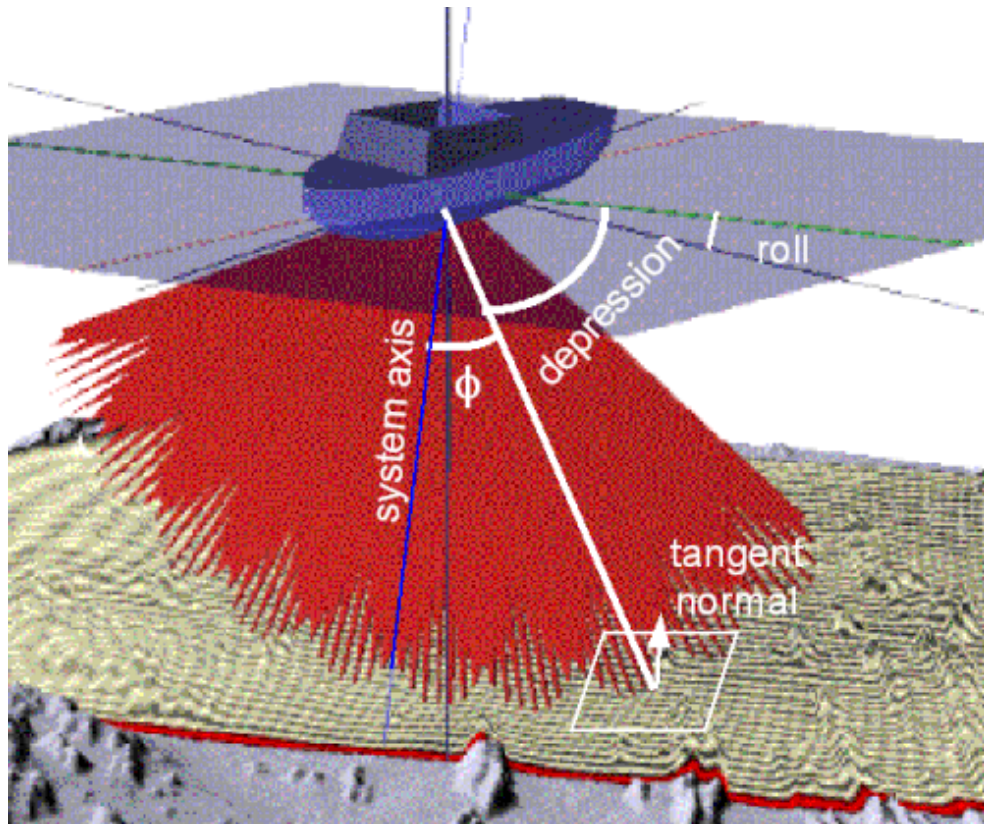


圖 54 QTC 底質分析原理說明圖

聲納回波強度影像的統計性質與底質類別息息相關，對一般人而言，岩石(rocks)、砂(sand)及軟泥(mud)在影像中紋理(texture)的差異極易辨別，但砂泥(silt)與黏土(clay)之差異則並不顯著。將聲納回波強度影像進行統計分析，則可掌握聲波、底床及其地形高低起伏之互動關係。多變數統計分析(multivariate statistical analysis)則可分離這些底床類別細節，產生特徵向量(feature vectors)，並提供精確及可靠分類所需的資訊。隨後以多音束或側掃聲納資料之特性，採用自動聚類法(automated clustering)來進行海床底質分類。每一個聚類代表一種海床底質類別，可以經由回波強度影像或現場驗證方式(相片、粒徑分析等)來辨識。若海床底質類別在分類前是已知，則可利用不同底質類別的區域來建立聲納回波強度影像與已知底質類別的相關性目錄

(catalogue)，則其他的底質可以藉此目錄來進行推論，這種方法稱為監督式分類法(supervised classification)。而非監督式分類法(unsupervised classification)則僅以聚類類別，配合現場驗證資料來進行分類，QTC Multiview 採用非監督式分類法。

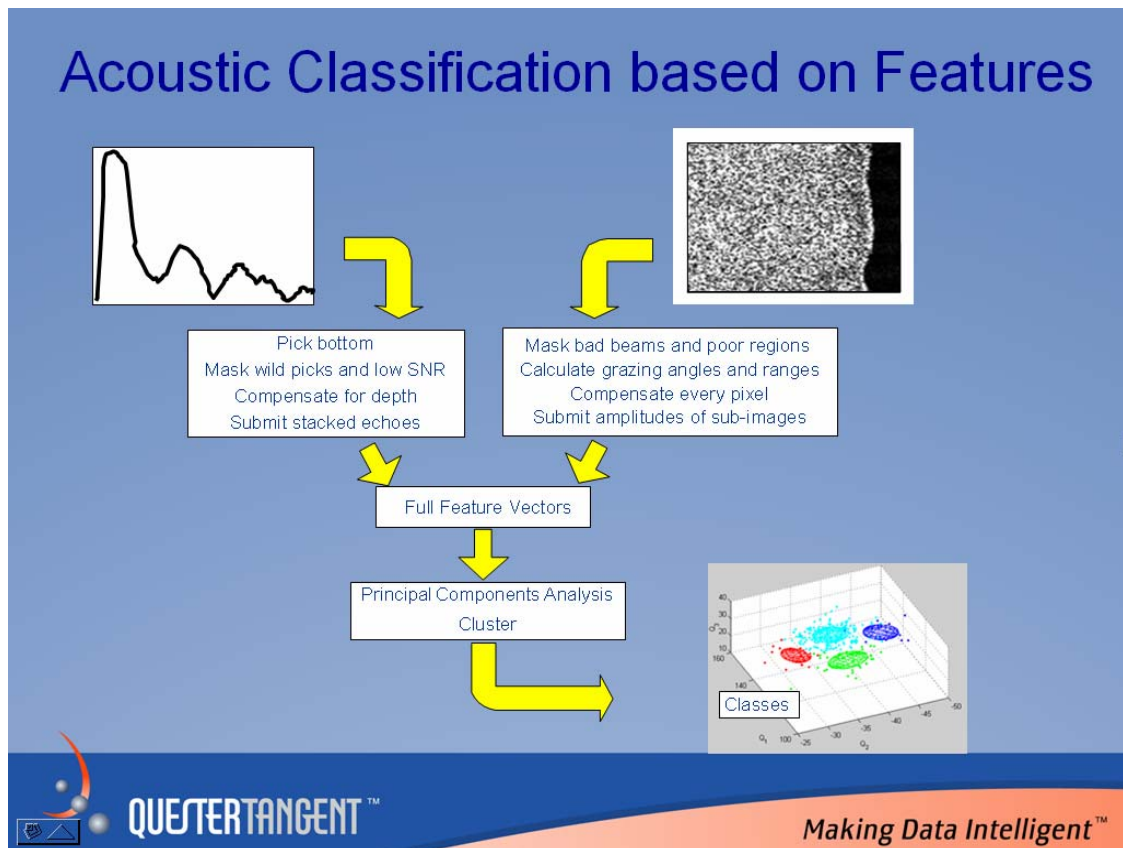


圖 55 QTC 底質分析流程說明圖

5.1 底質分析參考文獻

底質分析相關研究已逐漸越來越普遍，其分析技術套用在：單音束聲納、多音束聲納及測掃聲納皆有具體的研究成果，應用層面含括：生態研究、疏浚測量及海洋地質研究等，常見的生態研究是利用海洋生物有其喜愛的海床特性原則，量測生物棲息地的界限及畫定生態保育區，海洋物理學者針對海床沙丘波峯及波谷沈積物的特性差異，定義海底山脊的型態，在疏浚工程應用方面，底質沈積物的特性會決定

浚挖機具的種類。

1. Ben Biffard and Jon Preston, Sept 2005, Single Beam Seabed Classification : Direct Methods of Classification and the Problem of Slope.
2. Bill Collins, 2002, Scientists use GIS related spatial technology to wirelessly map sea floor, GeoWorld - Mapping Earth's Final Frontier.
3. Brian J. Todd, Geordon B. J. Fader, Robert C. Courtney, Richard A. Pickrill, 21 July 1999, Quaternary geology and surficial sediment processes, Browns Bank, Scotian Shelf, based on multibeam bathymetry, Marine Geology, 162, 165-214.
4. Christian Maushake and William T. Collins, Oct 2001, Acoustic Classification and Water Injection Dredging - QTC VIEW for assessment of dredging the Elbe River, Germany.
5. Collins, W.T., Preston, J.M., Christney, A.C., and Rathwell, G.J., Aug 2002, Production Processing of Multibeam Backscatter Data for Sediment Characterization.
6. Francois Gerlotto, and Jorge Paramo, 3 February 2003, The three-dimensional morphology and internal structure of clupeid schools as observed using vertical scanning multibeam sonar, Aquatic Living Resources, 16, 113-122.
7. James Galloway P. Eng., 2004, Acoustic seabed classification: Integration into hydrographic survey programmes.
8. James L Galloway, P Eng and William T Collins, P.Geo., 1998, Dual Frequency Acoustic Classification of Seafloor Habitat using the QTC VIEW.
9. James M. Hinson, Russell W. Kiesling, and Bill Collins, 2002, Estuarine habitat assessment for construction of a submarine transmission line.
10. J.M. Preston, A.C. Christney, L.S. Beran, and W.T. Collins, 2004,

Statistical Seabed Segmentation – From Images and Echoes to Objective Clustering.

11. J.M. Preston, A.C. Christney, S. F. Bloomer, and I. L. Beaudet, 2001, Seabed Classification of Multibeam Sonar Images.
12. J.M. Preston, A.C. Christney, and W.T. Collins, 2004, Automated acoustic classification of sidescan images.
13. J.M. Preston, A.C. Christney, and W.T. Collins, 2003, Comparisons of acoustic classifications with multibeam, sidescan, and single-beam sonars.
14. J.M. Preston, A.C. Christney, W.T. Collins, R.A. McConnaughey, and S.E. Syrjala, 2004, Considerations in large-scale acoustic seabed characterization for mapping benthic habitats.
15. J.M. Preston, D.R. Parrott, and W.T. Collins, 2003, Sediment Classification Based on Repetitive Multibeam Bathymetry Surveys of an Offshore Disposal Site.
16. J.M. Preston and W.T. Collins, Sept 2000, Bottom Classification in Very Shallow Water by High-Speed Data Acquisition.
17. John V. Watt, P.Eng., 2001, Seabed Classification – A New Layer for the Marine GIS.
18. John Shaw, Robert C. Courtney, 6 May 1997, Multibeam bathymetry of glaciated terrain off southwest Newfoundland, Marine Geology, 143, 125-135.
19. Jon Preston, Oct 2003, Acoustic Classifications with Multibeam, Sidescan, and Single-Beam Sonars.
20. Jon M. Preston, William T. Collins, David C. Mosher, Roland H. Poeckert, and Ron H. Kuwahara, 1999, The Strength of Correlations between Geotechnical Variables and Acoustic Classifications.
21. S.F. Bloomer, D.C. Mosher, W.T. Collins, J.M. Preston, and A. Rosenberger, 2000, Subsurface Classification of High-resolution

Seismic Data with Multivariate Statistical Techniques: Case Study from the Strait of Georgia.

22. Stephen F. Bloomer, N.Ross Chapman, William T. Collins, and Peter G. Simpkin, 1999, Subsurface classification of shallow gassy river sediments using broadband seismic data.
23. Steve Bloomer, Liliane Carle, Phil Hill, Ross Chapman, and Jon Preston, 2005, Automatic Classification of EM3000 Multibeam Data on Roberts Bank, Fraser River Delta, British Columbia: A Case Study for Sediment Transport.
24. W. Collins, B. Jaffe, K. Rhynas, G. Rathwell, S. Sullivan, T. Fredoso, V. Tomlin, J.Thompson, and F. Parchaso, 2005, Mapping South San Francisco Bay Seabed Diversity.
25. William T. Collins, James M. Hinson, and Russell W. Kiesling, 2002, Acoustic Seabed Classification for the Identification of Sensitive Very Shallow Water Habitat.
26. William T. Collins and Karl P. Rhynas, 2001, Acoustic Seabed Classification using Echo Sounders: Operational Considerations and Strategies.
27. W.T. Collins and J.M. Preston, 2002, Multibeam Seabed Classification.
28. William T. Collins and Paul Lacroix, 1997, Operational Philosophy of Acoustic Waveform Data Processing for Seabed Classification, Oceanology International '97 Singapore.
29. William T. Collins and Robert A. McConnaughey, 1999, Acoustic Classification of the Sea Floor to Address Essential Fish Habitat and Marine Protected Area Requirements.
30. QTC, Mapping Intertidal Oysters with QTC VIEW, 2003, QTC Technical Report SR41-03.

5.2 使用單音束測深之回跡進行底質探測及分類研究

針對聲納回跡進行特定分析可用於區分海床表面特性，單音束聲納回跡無需考慮聲波入射角的因子，與多音束及側掃聲納相較之小，單音束聲納回跡可以說是最簡易的分析資料，也是一開始研發聲波底分析的機種，其聲納回跡可參照下圖。

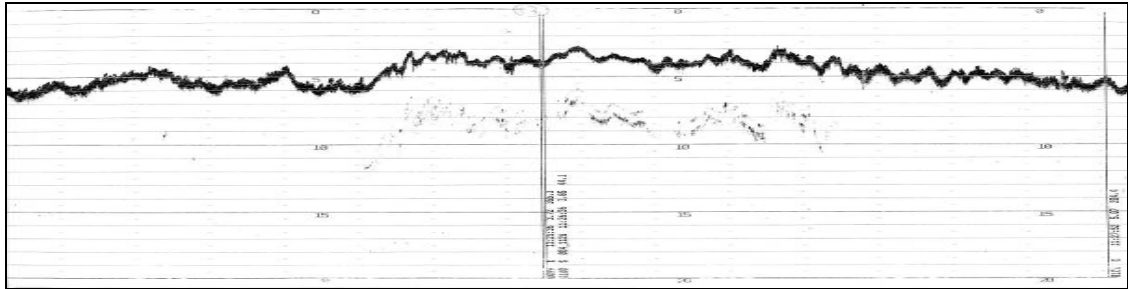


圖 56 單音束聲納回跡圖

一般單音束測深儀輸出聲納回跡以書面列印為主，使用聲納回跡分析反射特性時，需以聲納原始數值資料為分析對象，單音束測深儀可輸出原始數值檔為最基本需求，目前支援 QTC 分析軟體的單音束測深儀機種只有數種，以下使用 QTC 軟體公司的範例成果說明：

5.2.1 資料處理流程

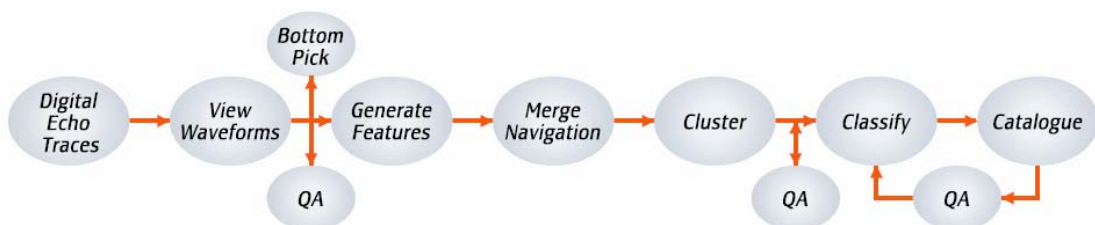


圖 57 單音束底質分類軟體(QTC Impact)資料處理流程圖

1. Digital Echo Traces: 載入由數位單音束測深系統所收集之回波強度影像及定位與其他感測器資料。

Load Raw

☒ Sonar and Navigation
 ☐ Sonar Only
 ☐ Navigation Only

Select Sonar Source

QTC5-FWF

☒ Use Selected Raw Sonar

File for Raw Navigation

Optional Load Attributes

Use These Values If Not Found in Raw Data

☐ Use Sound Velocity (m/s) 1500

☐ Use Sampling Rate (Hz) 2000

Destination Data Set Attributes

Vessel or Survey QTCShip

Data Set Name DEMO

Date 21 / 2 / 2007

Enter Acquisition Date

File or Directory Selections

☒ Load Individual File ☐ Batch Load From List

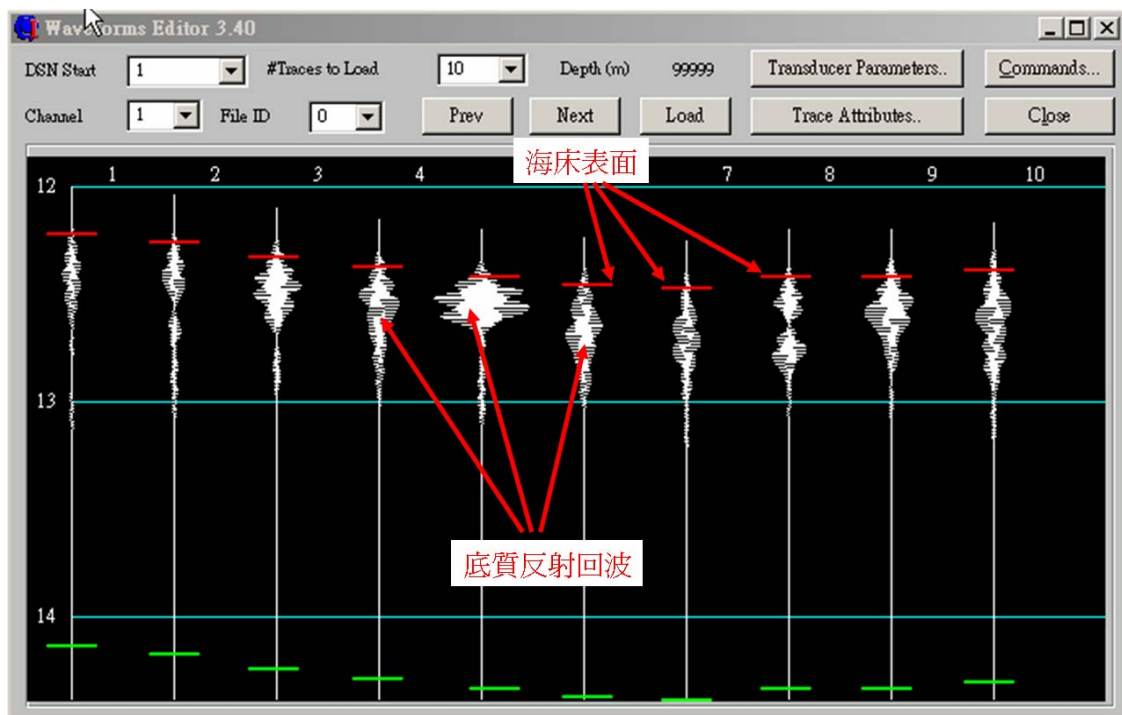
QTC VIEW Cal File

Raw Sonar File C:\Qtc\raw\IMPACT\Harwich\20021121\112117\qtc5fwf_raw

Raw Navigation File C:\Qtc\raw\IMPACT\Harwich\20021121\112117\qps_raw

Apply Cancel

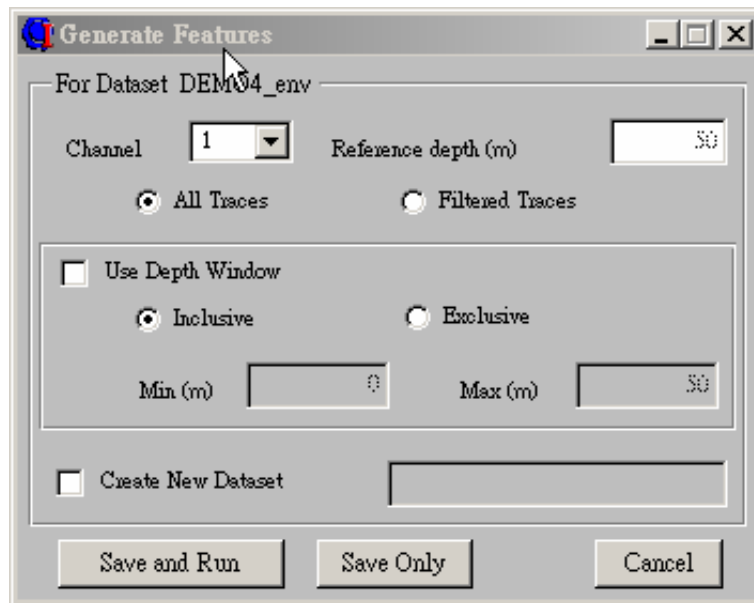
2. View Waveforms:檢視及編輯回波型態，若水深資料不合理(魚群反射或雜訊等)或船隻受海象因素影響以致動態過大，則回波強度資料必不正確，必須加以剔除。若聲納操作狀況或設定改變，則在分類前需要先將操作狀況或設定條件相同之資料分成不同的資料組，因各資料組之統計特性不同，再針對不同的資料組分別進行底質分類。下圖中『海床表面』可由使用者修改決定海床表面位置，『底質反射回波』代表底質特性。



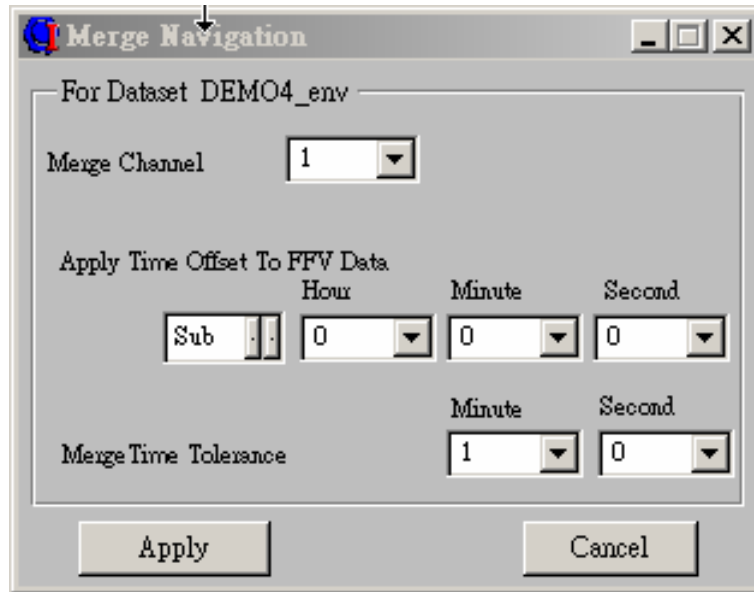
3. Bottom Pick:計算海床基準。

The screenshot shows the Bottom Pick dialog box for Dataset DEMO4. The dialog includes options for All Channels, Channel#, All Traces, and Filtered Traces. It also has fields for Threshold (%), Blanking (m), Gate Above (m), Gate Below (m), Min. Sig. To Noise, Minimum Signal, and Pick Mode (LOOK_ABOVE). There is a Signal Strength Rejection Threshold (%) field and a Pick Operation section with radio buttons for PICK ALL traces, PICK only traces ABOVE signal strength threshold, UNPICK traces BELOW signal strength threshold, and UNPICK traces ABOVE signal strength threshold. Buttons for Save and Run, Save Only, and Cancel are at the bottom.

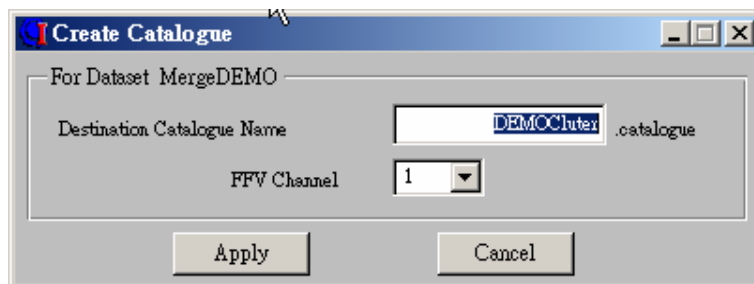
4. QA:品管控制，刪除異常資料。
5. Generate Feature:產生海床特性，在每個區塊中採用許多演算法(例如：平均值、標準差、高階力矩(higher-order moment)、分位數(quantile)、直方圖(histogram)、快速傅力葉轉換(fast Fourier transforms)、基於幕次頻譜的比率(ratios based on power spectra)、灰階共現矩陣(gray-level co-occurrence matrices)、碎形維度(fractal dimension))，由回波散射強度(backscatter intensities)及影像強度(image intensities)中萃取出特徵。此步驟會產生一個矩陣，其欄位(column)值為特徵之一，其列(row)值為一區塊的所有特徵。



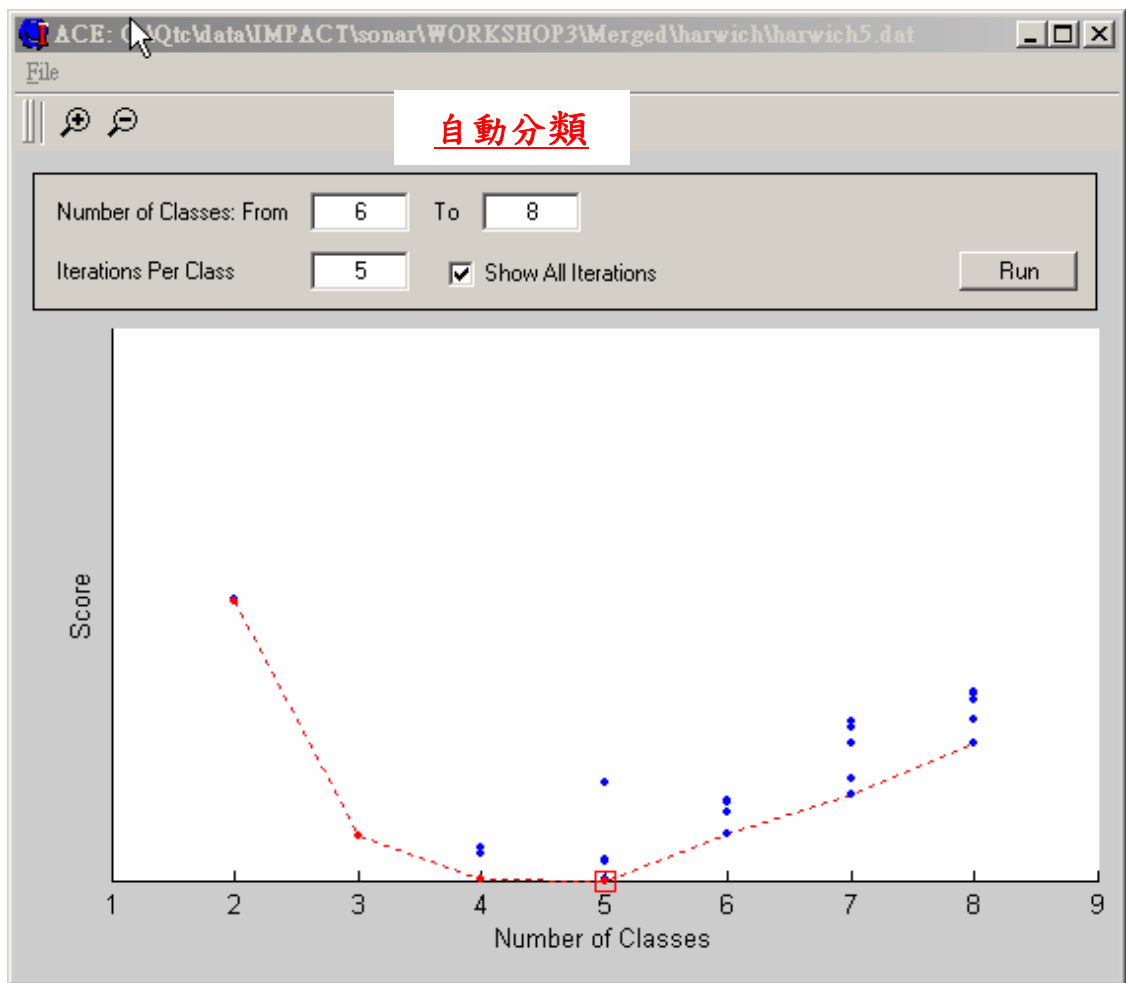
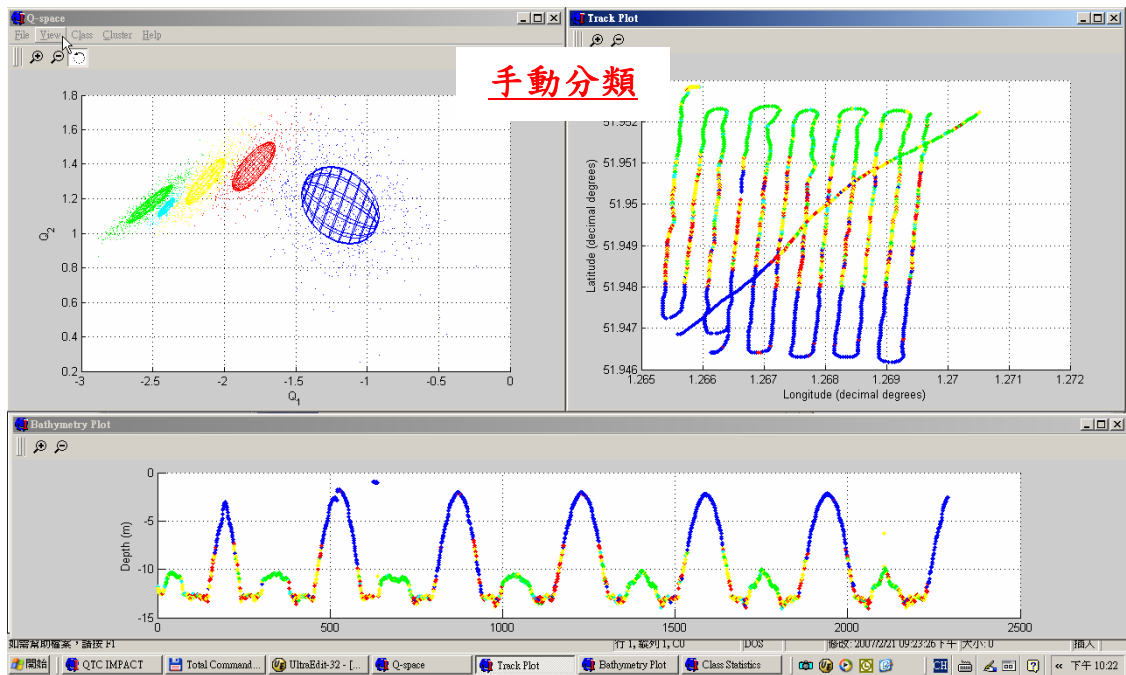
6. Merge Navigation:合併定位資料。



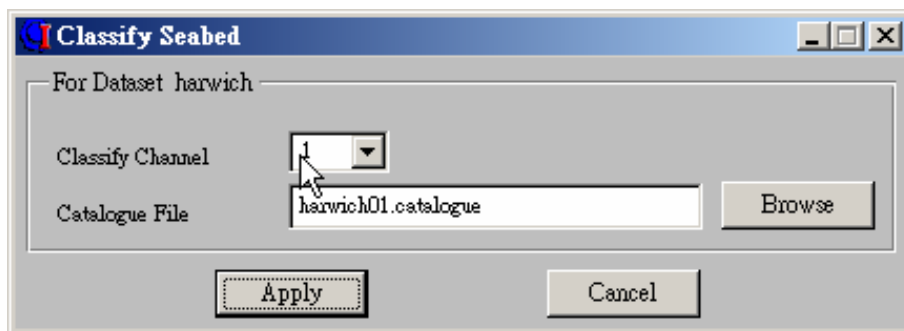
7. Cluster: 建立聚類表，將所有區塊的主成分具有類似聲學性質者加以聚類起來，這些聚類即代表許多海床底質類別。這個聚類過程是建立在三個主成分 Q1，Q2，Q3 所組成的三度空間，且此過程為循環 (iterative) 的。



8. Classify: 自動分類及手動分類。產生一個目錄(catalogue)包含三個主成分特徵所產生的簡化矩陣(reduction matrix)，並定義 Q 空間內之邊界用來提供每個區塊一個海床底質類別。可分為手動分類及自動分類，



9. Catalogue:匯出分類結果至*.Seabed 檔。



5.2.2 海床表面分類結果

*.Seabed 檔為 ASCII 文字檔，其資料格式依序為：日期、時間、經度、緯度、水深、Q1 參數、Q2 參數、Q3 參數、信賴度、機率、分類結果、專案名稱、日期、測線名稱及流水編號。

```

20070214,112143000, 1.26576032,51.95273080,-12.17,-1.94537055,1.43357742,1.14995444,92,36,05,CLASS_05,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,17
20070214,112144420, 1.26576380,51.95271722,-12.13,-1.96089661,1.58558726,1.04328752,89,01,05,CLASS_05,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,18
20070214,112145850, 1.26576570,51.95270222,-12.01,-2.03384638,1.43644333,1.14013290,99,54,05,CLASS_05,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,19
20070214,112147260, 1.26576287,51.95268480,-11.79,-2.44772434,1.12534058,1.25661898,95,51,04,CLASS_04,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,20
20070214,112148680, 1.26575500,51.95266488,-11.70,-2.35828280,1.19498444,1.22895193,89,45,04,CLASS_04,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,21
20070214,112150670, 1.26573828,51.95263415,-11.51,-2.43251944,1.17362463,1.19017887,96,10,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,22
20070214,112152080, 1.26572456,51.95261104,-11.52,-2.38794470,1.24055707,1.17293179,99,51,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,23
20070214,112153510, 1.26571089,51.95258677,-11.36,-2.43533087,1.23600495,1.19239926,99,68,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,24
20070214,112154930, 1.26569727,51.95256199,-11.36,-2.53278255,1.17250073,1.20018363,99,80,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,25
20070214,112156630, 1.26568453,51.95253152,-11.02,-2.41097260,1.20810878,1.23800921,85,06,04,CLASS_04,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,26
20070214,112158190, 1.26567490,51.95250271,-10.99,-2.83223438,0.96576554,1.33917379,99,00,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,27
20070214,112159900, 1.26566661,51.95247021,-10.82,-2.80726814,0.99054557,1.31575084,99,01,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,28
20070214,112201320, 1.26566054,51.95244244,-10.84,-2.70535135,1.04474545,1.25033772,99,38,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,29
20070214,112202730, 1.26565544,51.95241402,-10.62,-2.18650699,1.18324590,1.23810351,98,49,05,CLASS_05,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,30
20070214,112204580, 1.26564933,51.95237639,-10.50,-2.06278658,1.35003650,1.24881446,85,05,05,CLASS_05,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,31
20070214,112205990, 1.26564597,51.95234754,-10.50,-2.54922390,1.12628627,1.23415232,99,75,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,32
20070214,112207420, 1.26564429,51.95231879,-10.55,-2.64771771,1.10317838,1.22155130,99,39,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,33
20070214,112208980, 1.26564551,51.95228765,-10.42,-2.52668118,1.10637164,1.26772273,62,04,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,34
20070214,112210400, 1.26564827,51.95225923,-10.36,-2.49780536,1.19563878,1.20244849,99,92,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,35
20070214,112211810, 1.26565272,51.95223033,-10.32,-2.27801800,1.30285525,1.15362656,90,24,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,36
20070214,112213230, 1.26565596,51.95220014,-10.35,-2.54176760,1.09436595,1.21409154,99,03,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,37
20070214,112214660, 1.26565822,51.95216901,-10.34,-2.50577569,1.19157565,1.21536422,99,58,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,38
20070214,112216360, 1.26565818,51.95213180,-10.41,-2.66238451,1.07578373,1.23975205,99,56,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,39
20070214,112217780, 1.26565669,51.95210083,-10.41,-2.55178905,1.16375244,1.19007444,99,29,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,40
20070214,112219900, 1.26565161,51.95205448,-10.37,-2.46694231,1.16975832,1.20691192,99,58,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,41
20070214,112221610, 1.26564608,51.95201619,-10.35,-2.32797480,1.22759342,1.20139945,70,30,04,CLASS_04,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,42
20070214,112223030, 1.26564085,51.95198383,-10.35,-2.32724905,1.26105154,1.17938364,91,31,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,43
20070214,112224450, 1.26563627,51.95195140,-10.44,-2.26207852,1.32700062,1.12764859,89,09,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,44
20070214,112225870, 1.26563222,51.95191941,-10.52,-2.35489440,1.29702568,1.13721323,99,17,02,CLASS_02,WORKSHOP3,20070214,harwich,1,45

```

使用 QTC CLAMS 可繪製底質表面分類成果，可參照圖 58，分別為內插(Interpolation)、特徵複雜度(Feature Complexity)及分類複雜度(Class Complexity)。

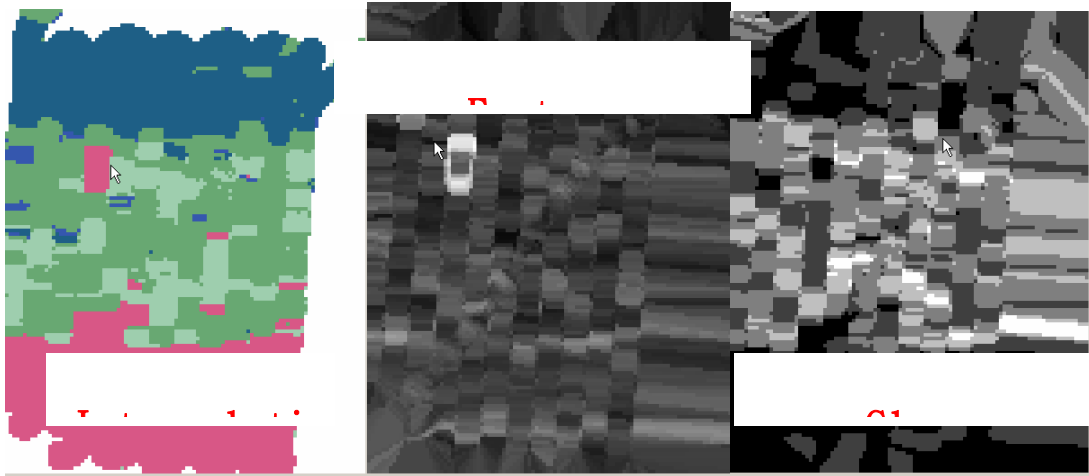


圖 58 QTC CLAMS 底質分類成果圖

*.Seabed 檔也可匯至其他 GIS 軟體繪製立體圖，可參照圖 59。

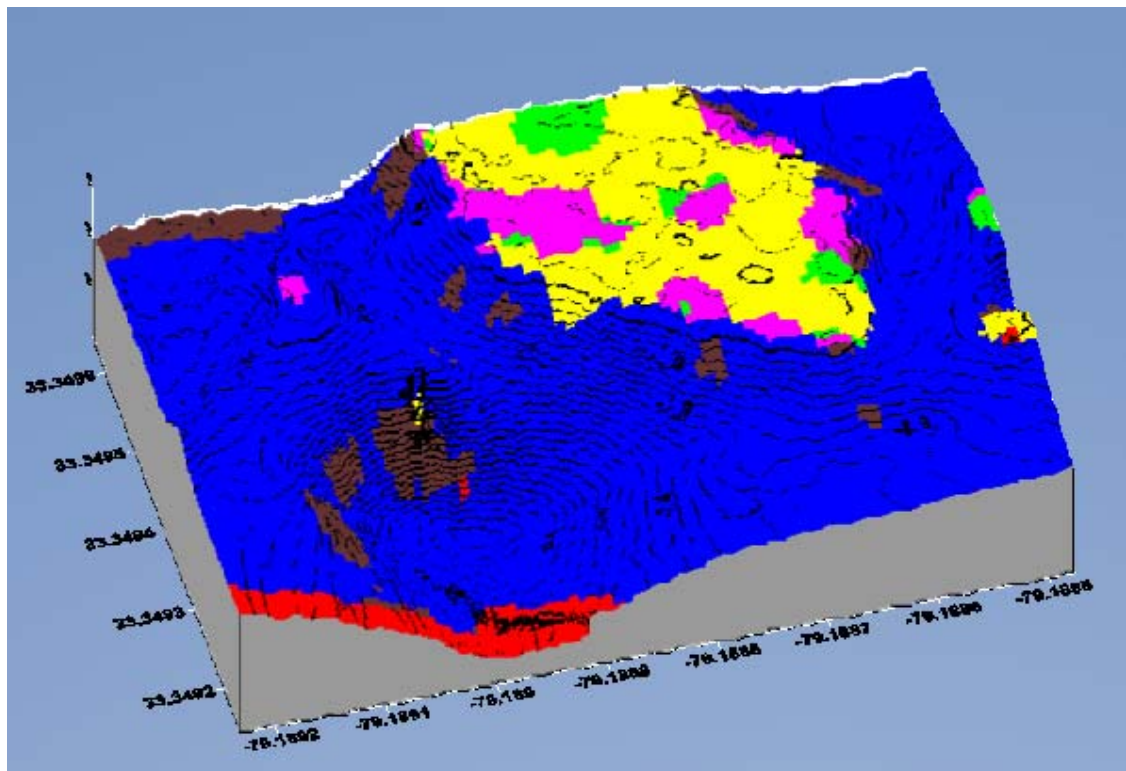


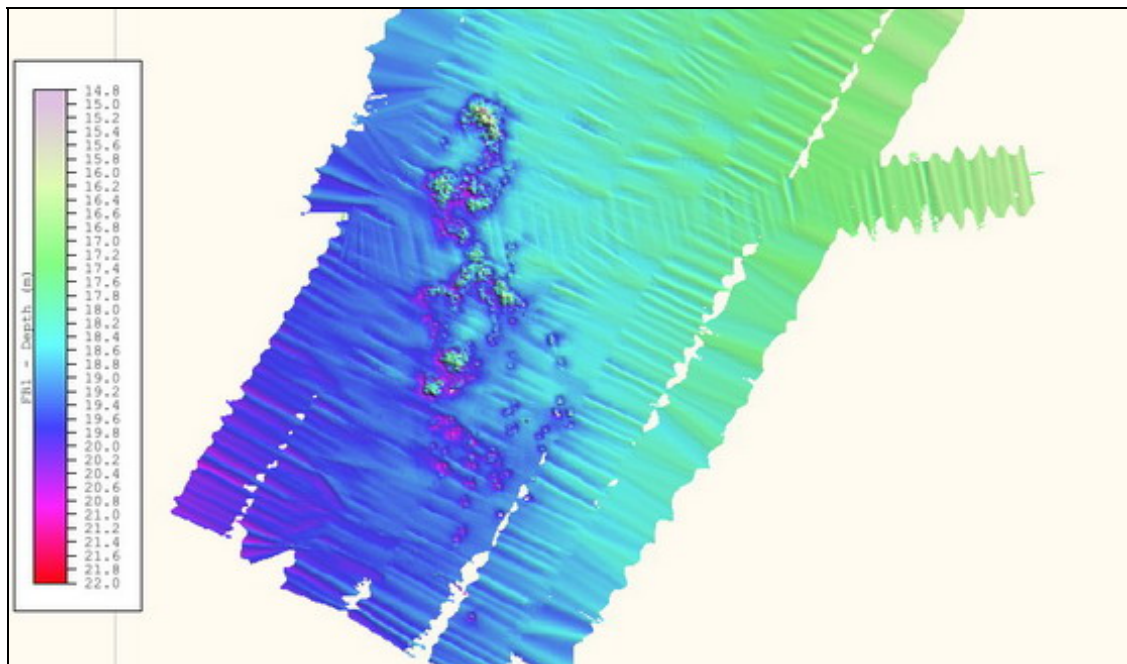
圖 59 GIS 底質分類成果圖

5.3 使用多音束測深儀附加側掃聲納系統進行底質探測及分類研究

多音束測深系統從測量斜距(Slant Range)至修正為正確的水深及位置，必須經過複雜的聲速路徑修正、潮位修正及其他偏差量偏差角修正。多音束測深影像(側掃聲納影像)用於分析底質特性同樣需要經過複雜的轉換、分析、統計及分組，才能得到相同基準的計量數值。

5.3.1 臺南興達港外海人工漁礁底質分析

去年高雄港測區內底質特性並無顯著差異性，本團隊選擇臺南永安外海人工漁礁區進行多音束測深並配合底質分析資料收集，作業日期為 5 月 23 日，並分析附屬側掃聲納的底質分析結果。共分三個測區，可參照圖 60、圖 61 及圖 62。由圖中比對漁礁的位置大致與底質分析的結果相符合。



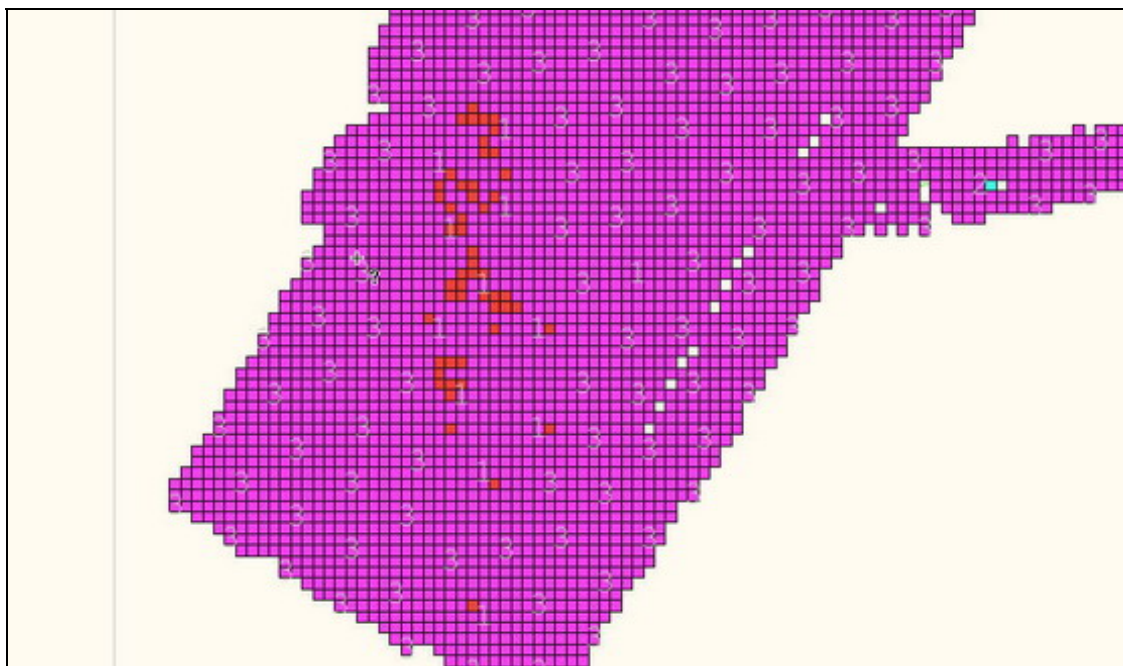
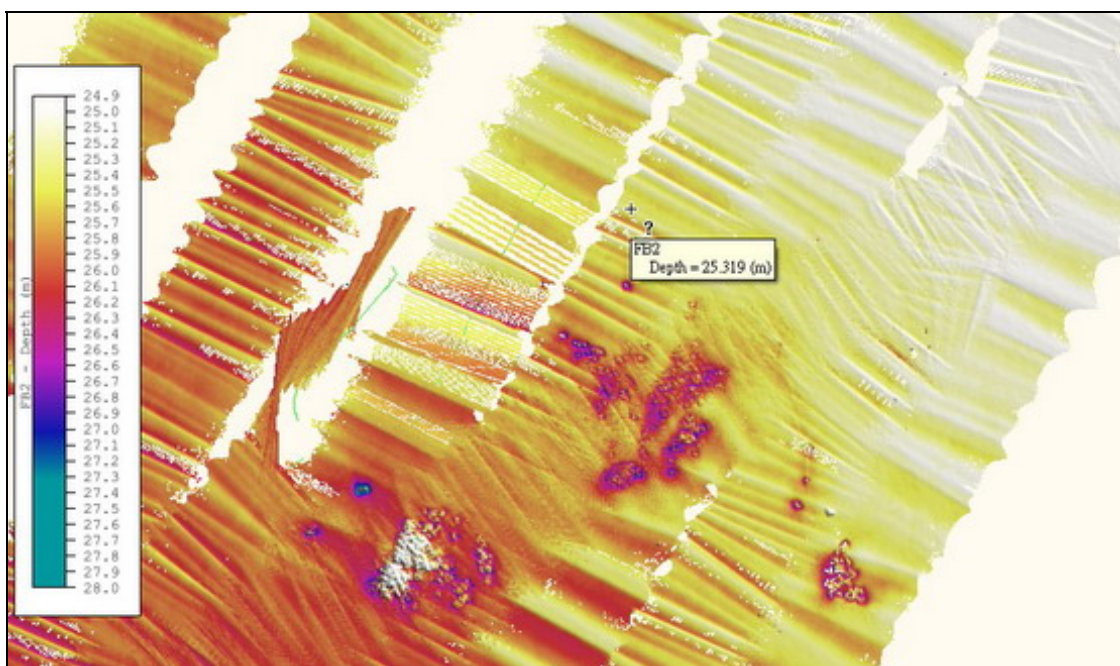


圖 60 臺南外海人工漁礁水深及底質分析對照-1



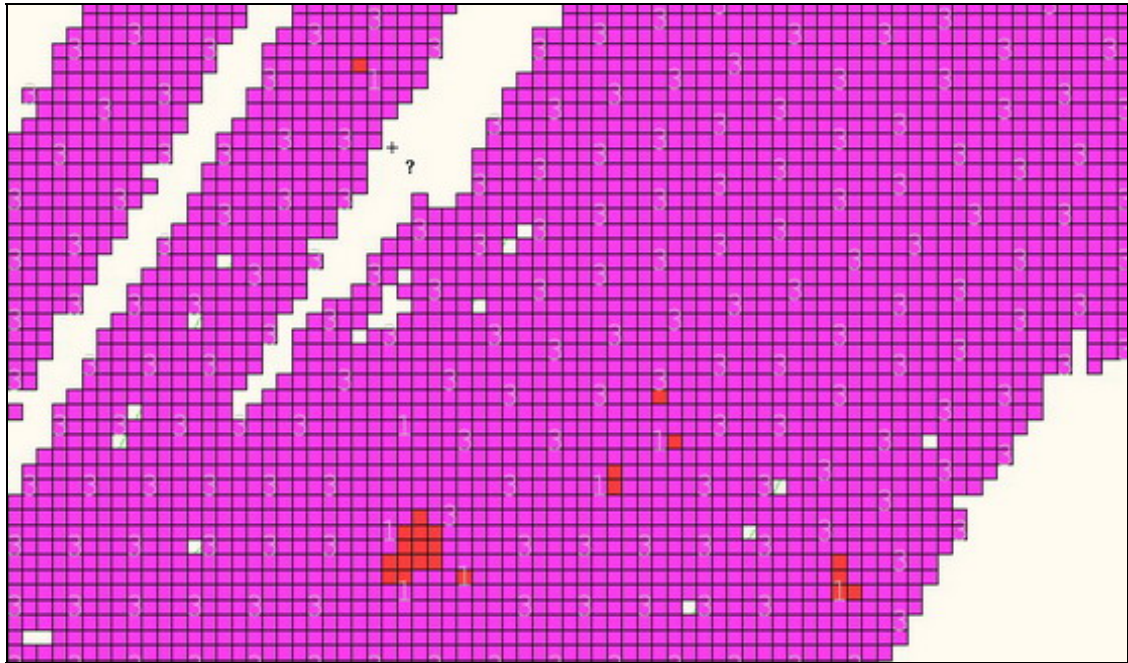
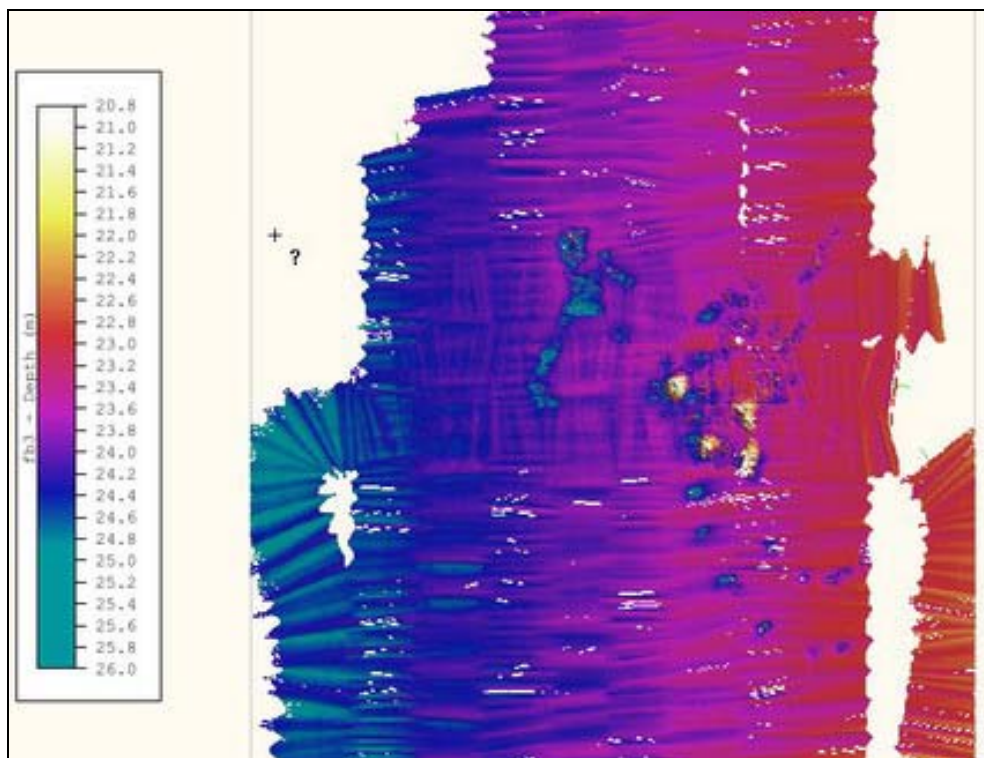


圖 61 臺南外海人工漁礁水深及底質分析對照-2



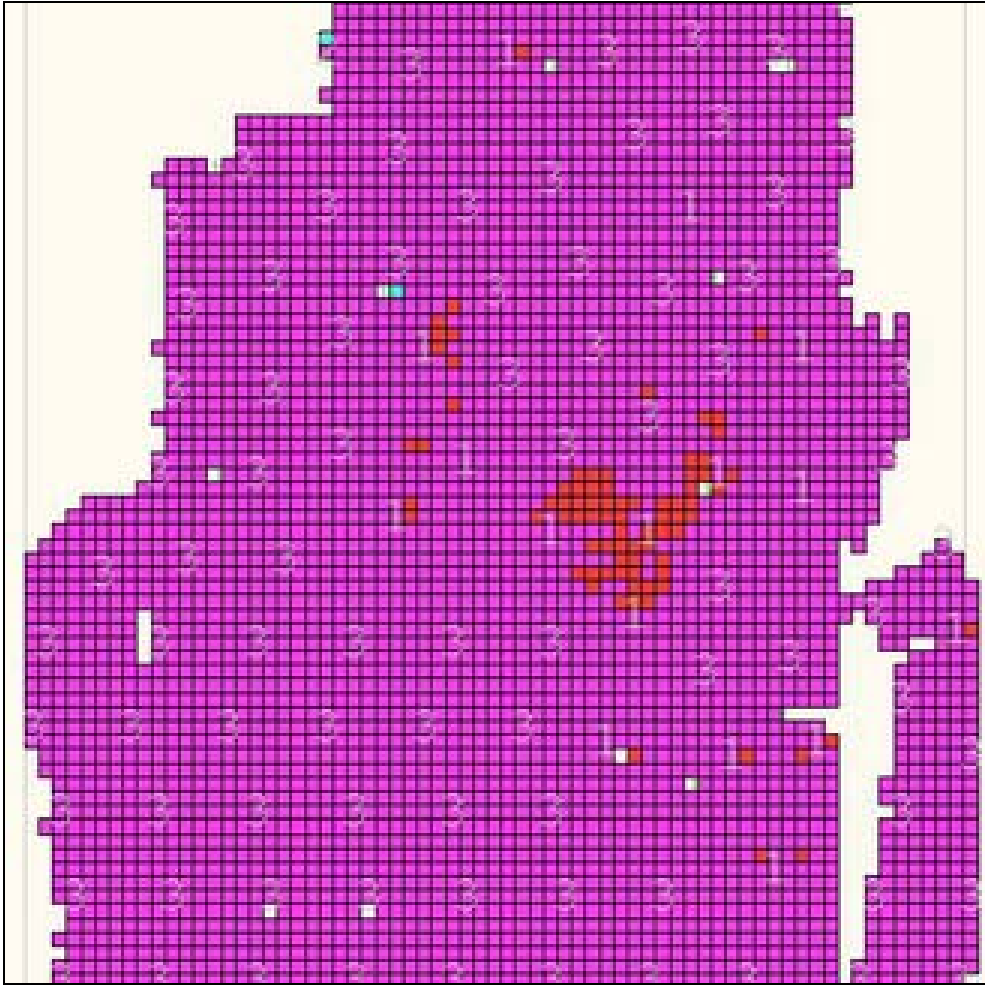


圖 62 臺南外海人工漁礁水深及底質分析對照-3

5.3.2 高雄港疏浚區底質分析

本案今年的研究項目之一為疏浚區的回淤率，延續去年疏浚區域測量，意外發現疏浚後的底質特性與背景訊有明顯的差異，可參照圖 63 及圖 64 紅色方框內為疏浚區，與去年成果略有差異，推測高雄港經過長期淤積，海床表面是均質的泥與砂，但經過疏浚後，原始海床顯露無遺，高雄港船隻進出頻繁，疏浚作業大多採用分區疏施的施工方式，在港區完全疏浚前海床上有淤積沈積物及也有原始底質，海床底質多樣性較多，適合進行全範圍底質特性探，以建立高雄港底質資料庫背景資訊。

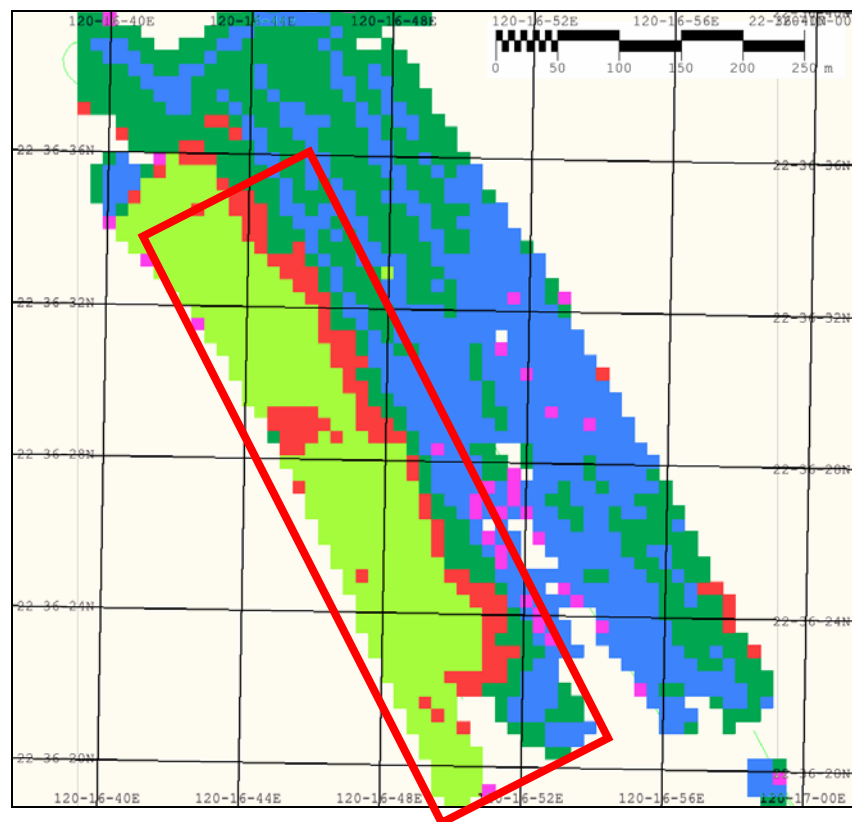
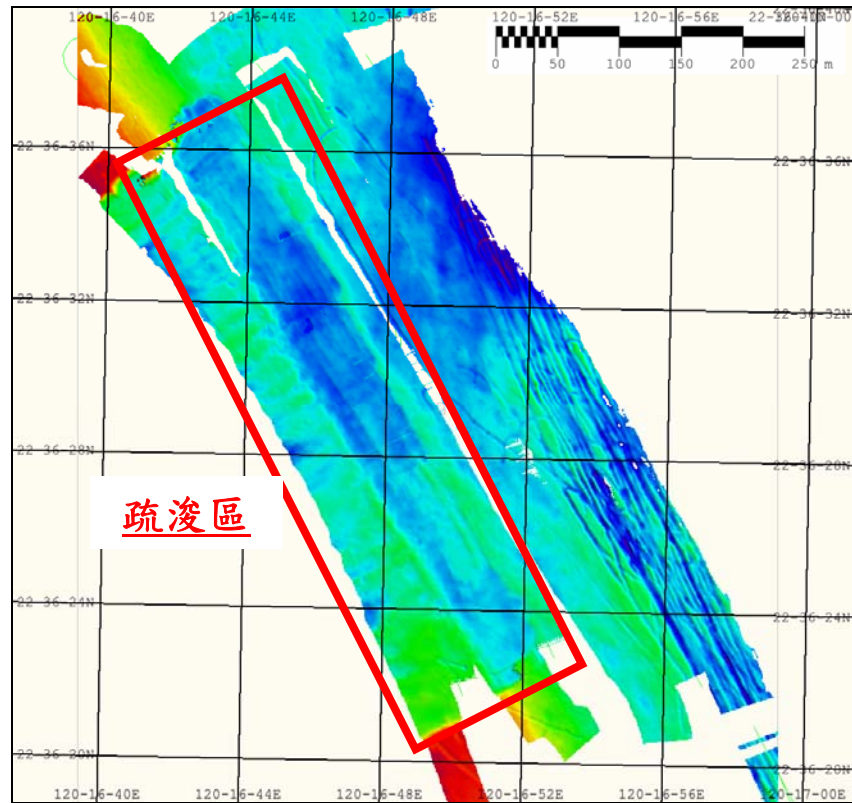


圖 63 第一疏浚區水深圖及底質分類圖

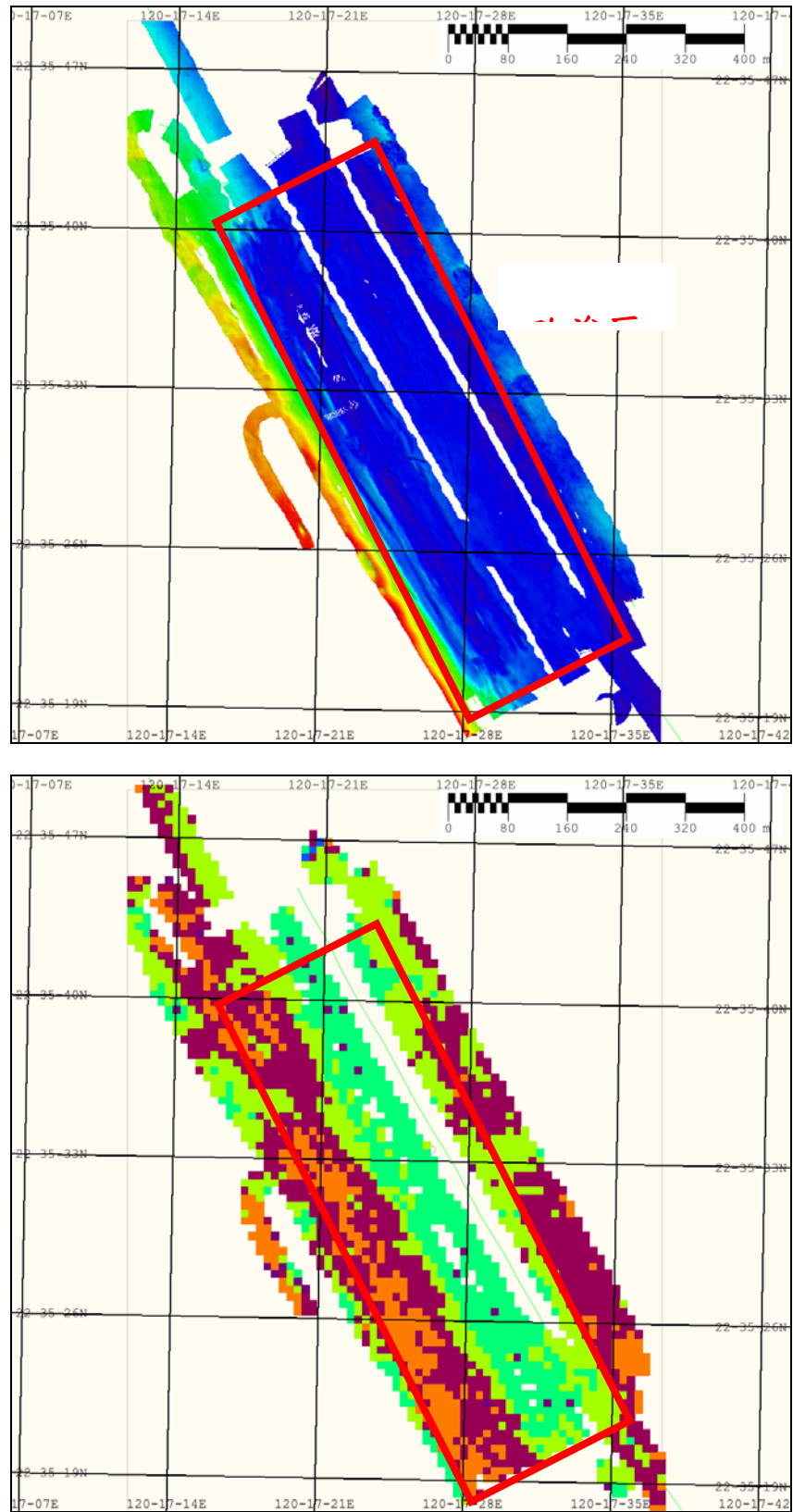


圖 64 第二疏浚區水深圖及底質分類圖

5.4 水深及海床底質資料庫

本案獲得的底質分析為相對值，透過現場採樣分析才可印證底質分類的正確性，此外 S-57 的代碼與 QTC 分類參數需要一定數量的比對才可正確的對應參數。由 QTC 匯出的底質分類資料欄位依序為日期及時間、坐標、波長代碼、Class 代碼、Class 名稱、Class 精度、水深、測線名稱及船名。資料庫格式如下表：

表 10 多音束底質資料庫格式

欄位名稱	資料型態	長度	欄位說明	資料內容說明
SCID	流水號		資料編號	唯一不可重複
SCDate	日期/時間		測量日期及時間	
SCLatD	整數	2	緯度(度)	0~89
SCLatM	整數	2	緯度(分)	0~59
SCLatS	數字	5.3	緯度(秒)	0~59
SCLat	文字	1	南/北半球	S or N
SCLongD	數字	3	經度(度)	0~180
SCLongM	整數	2	經度(分)	0~59
SCLongS	數字	5.3	經度(秒)	0~59
SCLat	文字	1	東/西經	E or W
SCPulse	整數	2	波長代碼	1~34
SCClass	整數	2	Class 代碼	
SCClassName	文字	10.2	Class 名稱	
SCClassAcc	整數	3	Class 精度	
SCDepth	數字	6.2	水深	

SCLine	文字	32	測線名稱	
SCBoat	文字	32	船名	

5.5 選擇代表性底質區域採樣分析及比對

高雄港測區內大多為同質性海床，採樣結果經過粒徑分析結果類似集中在細泥，高雄港外底質粒徑分佈集中在細砂，臺南興達港外海人工漁礁與砂質海床形成強烈對比，本區人工漁礁以水泥製成 2 公尺立方的中空方塊，可參照圖 65，粒徑分析是以工程的角度切入底質分類，針對砂泥這類細小原素的組合，但不適用水泥這類粒徑大小不定的物質特性，反觀聲波底質探測得到的資訊，是以小區域統計的結果呈現，可參照圖 10 Q-Space 分佈圖，q1, q2 及 q3 雖然不能直接反應出物理特性，透過 Q-Space 的分類可區分底質疏密度、均質度及粗糙度不同的區域。

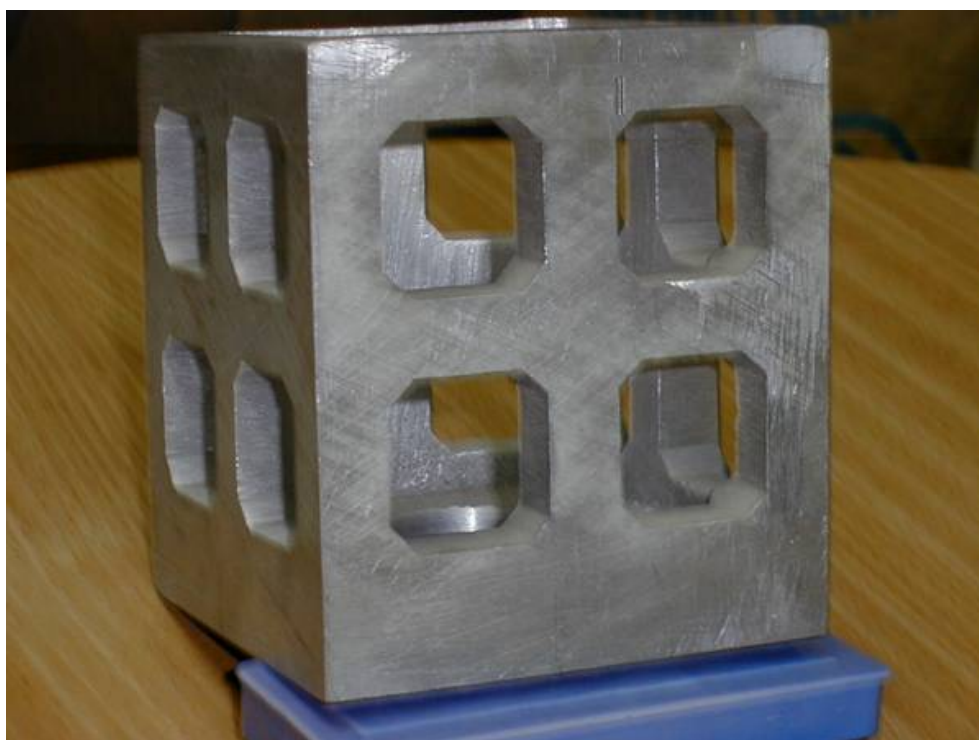


圖 65 人工漁礁模型

反觀各種分類標準及規範，以下章節探討底質資料分類規範及編碼探究底質的分類原則，並且討論適用於聲波式海床表層分類的規則。

5.5.1 基本地形圖地質分類方式

參照內政部於 87 年公佈的「基本地形圖資料庫地形資料分類編碼表」，其分類以地形製圖原則簡易區分為：泥濱(95411a)、沙濱(95411b)、礫濱(95411c)及岩濱(95411d)、泥(95421)、沙(95422)、礫(95423)及岩床(95424)等 8 個圖層。

5.5.2 自然環境基本資料庫地質分類方式

國土資訊系統自然環境基本資料庫分組的地質分類小組，針對目視判別的瞭解地質鑽探資料的基本特性進而分類，而非學理上細緻之分類必須依賴儀器分析與試驗者，可共可分為九大類，代碼 0 代表粗分類，如果資料只記錄為岩石或土壤，則採用此粗分類，奇數字首的代碼代表基本岩性類別，偶數代碼為其「混合衍生及變異岩性類別」，可參照下表。

表 11 工程地質圖元符號代碼表

代碼	大類	小類
0	基本岩性類別	粗分類
1	基本岩性類別	土壤或沉積物類
3	基本岩性類別	沉積岩類
5	基本岩性類別	變質岩類
7	基本岩性類別	火成岩類
2	混合衍生與變異	土壤或沉積物類
4	混合衍生與變異	沉積岩類
6	混合衍生與變異	變質岩類
8	混合衍生與變異	火成岩類

中央地調所網站按照上述地質分類方式，依照點、線與面加以細

分為 715 種地質，其中點圖層共有 177 筆資料、線圖層共有 151 筆資料及面圖層共有 387 筆資料。

5.5.3 電子海圖海床分類方式

國際海道組織(IHO)公告的 S-57 電子海圖，使用二種複合式屬性定義地質特性，分為表層屬性及表層特性，簡單的說表層屬性為名詞，表層特性為形容詞，可參照附錄 B。

1. 表層屬性(NATSUR, Nature of surface)：

屬性編碼 113，指大地或海床表面的地質屬性。通常採用複合式名詞，例如：細砂，共分為 13 種，可參照下表。其中泥、砂、岩石和岩盤屬於一般性描述，黏土、粉砂、礫石、小卵石及粗礫等分類具粒徑大小的意義。

表 12 表層屬性分類編碼

代碼	圖層名稱	圖層名稱
1.	Mud	泥
2.	Clay	黏土
3.	Silt	粉砂(粉土)
4.	Sand	砂
5.	Stone	岩石
6.	Gravel	礫石
7.	Pebbles	小卵石
8.	Cobbles	粗礫
9.	Rock	岩盤
10	Lava	火山岩
11.	Coral	珊瑚礁
12.	Shells	貝殼
13.	Boulder	巨礫

2. 表層特性(NATSUR, Nature of surface - qualifying terms)：

屬性編碼 114，根據表層粒徑、形態及均質性等特性，用來形容海床表面複合式的地質屬性，共分為 10 種，可參照下表。

表 13 表層特性分類編碼

代碼	圖層名稱	圖層名稱
1.	Fine	細
2.	Medium	中
3.	Coarse	粗
4.	Broken	破碎的
5.	Sticky	泥濘的
6.	Soft	軟性
7.	Stiff	黏稠的
8.	Volcanic	火山的
9.	Calcareous	石灰質
10	Hard	堅硬

5.5.4 適用聲波式海床表層分類的規則

嚴格而言，基本地形圖地質種類只有四類，自然環境基本資料庫分為九大類，電子海圖分為 120 種(12x10)，基本地形圖分類過於簡單，不易完整呈現海床表層特性，國土資訊系統自然環境基本資料庫的地質分類是以目視判斷為基本原則，電子海圖的分類以海床表面為分類對象，雖然部份分類不易區分，例如：「火山的」，及「石灰質」，但整體而言，「表層屬性」及「表層特性」較符合本案以聲學探測底質的目標。

第六章 地形及底質資料庫在疏浚工程之應用

6.1 疏浚工程的生命週期

以系統分析角度觀之，完整的疏浚工程應建立長期的地形及底質資料庫作為的疏浚工程的背景資訊，以資料庫為為主軸的疏浚工程生命週期可參照圖 66 及圖 67，以下針對週期內各流程詳細說明。

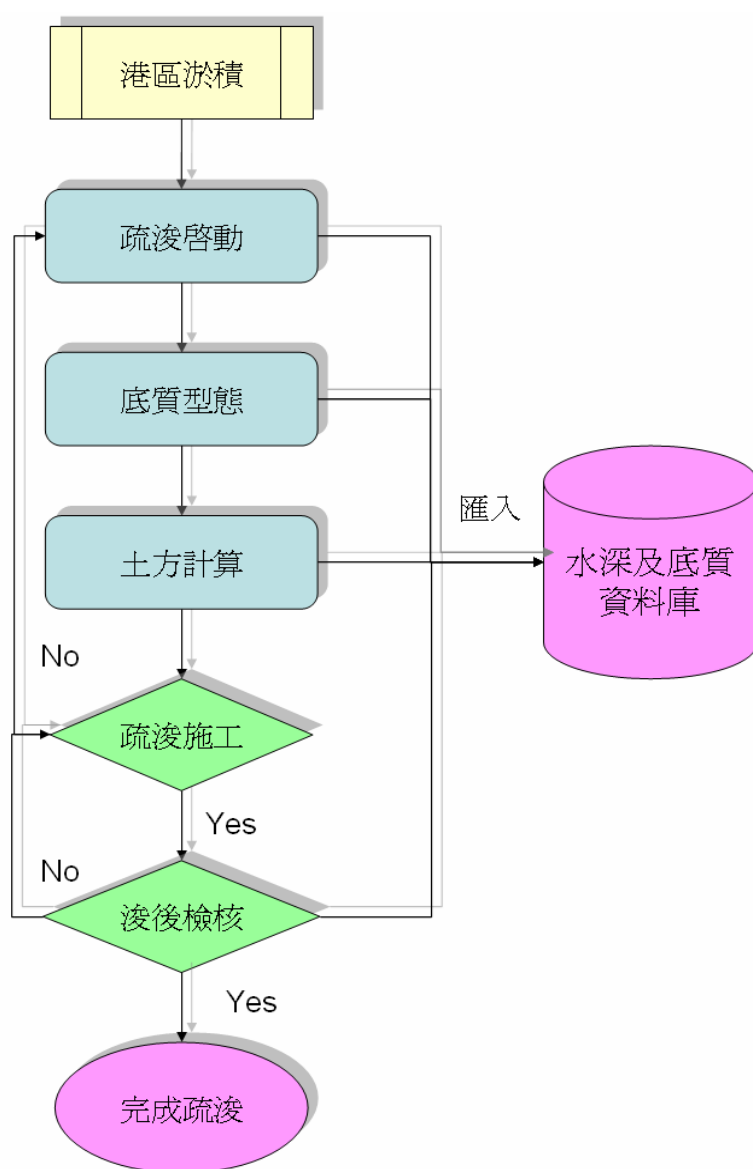


圖 66 疏浚工作生命週期流期(一)

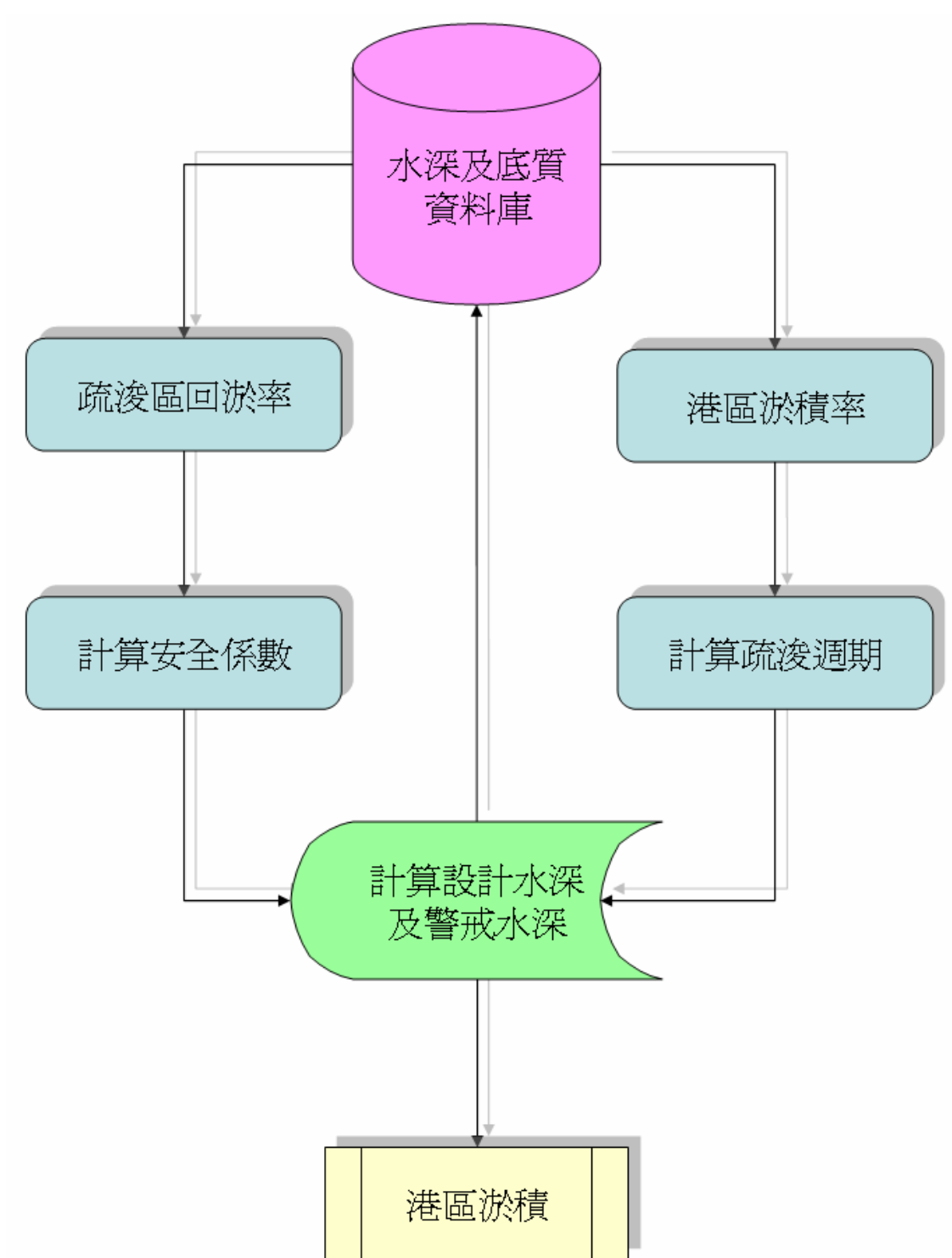


圖 67 疏浚工作生命週期流期(二)

6.1.1 港區淤積及疏浚啟動

當港區淤積造成水深不足，達到警戒水深時，疏浚作業開始啟動，透過資料庫內可查詢港區內各水域的疏浚警戒水深。

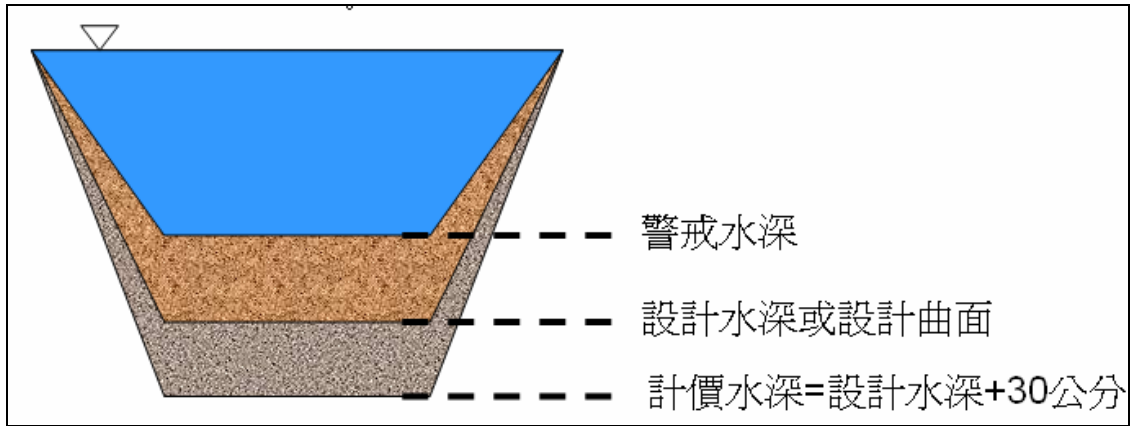


圖 68 疏浚相關水深示意圖

6.1.2 底質型態

底質沈積物的特性決定浚挖機具，吸斗式適合含水量較高的底泥，抓取式適用粒徑較大海床，掃刀式適用均質的泥與砂。由過去的底質資料庫可大約了解底質特性及預定採用機具型態。

6.1.3 土方計算

使用多音束全覆式測量各種底質特性的土方量，並且根據採用的機具型態決定工期及估算每方成本。由地形及底質資料庫可評估預算需求，土方實際計價需由多音束實測資料作為計量結果，土方計量原則可參照圖 48。

6.1.4 疏浚施工

廠商依照合約工期施工，如果無意外如期完工，但因底質特性預估錯誤，使用不合適機具，回至底質特性重新選擇適當機具。

6.1.5 浚後檢核

使用多音束測量檢核浚後海床是否超過設計水深，當浚後水深不足需重新疏浚施工，土方實際計量需由多音束實測資料作為計量結果，土方檢核原則可參照圖 49。

6.1.6 完成疏浚

完成疏浚驗收後所有資料匯入水深及底質資料庫。

6.1.7 港區淤積率及疏浚週期

比較二年以上的港域水深資料，計算每年的平均淤積率，以評估疏浚週期。

6.1.8 疏浚區回淤率及安全係數

比較浚後疏浚區域的水深資料，計算疏浚區回淤率，以評估疏浚安全係數。

6.1.9 設計水深及警戒水深

根據疏浚週期及安全係數評估及調整設計水深及警戒水深。

6.2 地形及底質資料庫現況

多音束測深資料具備資料量大、空間性強及統計資料複雜等特性，市面上常見的地理資訊系統(ESRI 及 MapInfo 系列)都可以符合多音束測深資料庫的基本需求，但對於水深資料的相關應用與其他相關資料的整合較欠缺。

由於一般性的地理資訊系統的設計理念及應用多半以陸上為主，相關的設計及功能優缺點參差不齊。針對海洋資料的地理資訊系統大多以海圖為主軸，測深資料經過網格化(griding)、資料減量(thining)、等深線(contour)處理、剖面處理(profile)或其他的應用後，其原有的資

料屬性或詮釋資料皆難以追溯。

多音束測深資料的相關屬性，除了平面座標與水深(E,N,H)外，常經包括音束角度(Beam Angle)、測帶(Swath)、測量時間(Time)、潮汐(Tide)、聲速修正量(Sound Velocity Correction)、資料品質(Quality)和總誤差傳播(Total Propagated Error)等，若與側掃聲納(Side Scan Sonar)或底質剖面儀(Subbottom Profiler)的資料合併使用，可建立接近海床地形視覺化的虛擬實境(Virtual Reality)。

若考量多音束測深資料的全程資料處理，可以使用 CARIS 系列軟體，CARIS 系列軟體以海圖製作為基礎，延伸出來的相關軟體功能強大、分工細緻，其中 HIPS 可以處理多音束測深資料，BEAM 可以管理海床(Bathymetric)資料庫，兩者配合使用大致可達到多音束測深資料庫的需求，但其價格與入門門檻較高。另外考量資料的轉換與操作的連貫性，建議使用同一套軟體建立、儲存、查詢及應用多音束測深資料庫。

聲波式底質分析結果由 QTC 系列的底質分析軟體分析後匯出，資料格式可參照 6.4 節，最後匯回 CARIS 系列軟體整合。

第七章 結論

1. 單音束測深與多音束測深系統有本質上的差異，原則上多音束系統精度較高，較適合疏浚工程之應用，單音束測深系統可做為輔助檢核系統，以避免多音束測深系統性的錯誤(例如：pitch 效應會造成海床系統性的提升或下降)。
2. 土方計量採用的網格大小會隨水深與海床特性改變，對於第一次採用多音束測深作為計量基礎的區域，可考量繪製網格大小及體積對照圖，找出收斂的網格大小作為以後的參考基準。
3. 疏浚測量必須使用 PPS 模式修正時間遲滯，以提升測量精度，且為避免定位誤差大於時間遲滯誤差，定位精度應至公分級。
4. 疊合修正(Patch test)中之四個參數對疏浚測量有不同程度的影響，其中以 Pitch 效應對土方量的影響最顯著，會造成整個海床升高或下降，屬於系統性誤差。與 Pitch 互補的 Latency 效應雖不會直接影響高程變化，錯誤的 Latency 常會伴隨錯誤的 Pitch。
5. 疏浚測量之精度有二種品管方式：一、計算總傳播誤差，二、執行交錯檢核，未達疏浚測量要求的資料皆應刪除。
6. 高雄港第一港口及第二港港嘴相距約 9 公里，高低潮時的潮位差約 1~2 公分，而潮時造成的潮位差值已經介於正負 5~6 公分左右不等，疏浚測量時驗潮站應設置在測區內，並且於測區對角邊界上加設前後驗潮站，並適當的選擇驗潮站來內插潮位資料。
7. 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	使用 1PPS 及 ZDA 同步各種儀器

資料造成的時間遲滯效應 (Latency) 。	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。

8. 今年度測區分為三個區域：高雄港內、高雄港外及臺南興達港外海人工漁礁區，研究的目標主題分別為多音束疏浚測深及海床表層分類，實際執行資料收集作業時發覺二者作業準則並不相同，同時以多音束聲納收集水深及聲波資訊時，有必要找出多音束聲納於該區水域可同時收集資訊的參數。

參考文獻

1. International Hydrographic Organization, April 1998, IHO Standards for Hydrographic Surveys, 4th Edition, Special Publication No. 44.
2. International Hydrographic Organization, Nov 2001, IHO Transfer Standard for Digital Hydrographic Data, 3.1th Edition, Special Publication No. 57.
3. International Hydrographic Organization, 1982, A Manual on Technical Aspects of the United Nations Convention on the Law of the Sea.
4. Canadian Hydorgraphic Services, Aug 1998, Standards for Hydrographic Surveys.
5. Canadian Hydorgraphic Services, Feb 2003, Minimum Standards for Hydrographic Surveys.
6. Federal Geographic Data Committee, June 2001, Shoreline Metadata Profile of the Content Standards for Digital Geospatial Metadata.
7. Federal Geographic Data Committee, June 1998, Content Standards for Digital Geospatial Metadata.
8. U.S. Army Corps of Engineers, Sept 1987, Confined Disposal of Dredged Material.
9. U.S. Army Corps of Engineers, Mar 1983, Dredging and Dredged Material Disposal.
10. U.S. Army Corps of Engineers, Nov 1996, Navigation and Dredging Operations and Maintenance Guidance and Procedures.
11. U.S. Army Corps of Engineers, Jan 2002, Engineering and Design Hydrographic Surveying.
12. U.S. Army Corps of Engineers, Jul 1998, Engineering and Design Geospatial Data and Systems.

13. U.S. Army Corps of Engineers, Aug 1996, Engineering and Design Policies, Guidance, and Requirements for Geospatial Data and Systems.
14. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), 1997, Nautical Chart User's Manual.
15. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), Jun 2000, NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.
16. Land Information New Zealand, Aug 1999, Provisional Swath Sonar Survey Specifications.
17. 日本海上保安廳，2001，日本水路業務法施行令。
18. 日本海上保安廳，2002，日本水路業務法施行規則。
19. 日本海上保安廳，1989，日本水路測量業務準則施行細則。
20. 日本海上保安廳，2002，日本水路測量各等級測量規則。
21. 日本海上保安廳，2001，日本水路業務法。
22. 張功武，1999，單音束測深之技術品管與流程品管，中山大學海洋環境及工程研究所碩士論文。
23. 薛憲文，1997，應用測量學講義。
24. 公共工程委員會，2000，港灣工程施工綱要規範。
25. 內政部，2003，領海及鄰接區海域基本圖測量規範(草案)。
26. 交通部運研所，2003，港灣水域水深測量(草案)。
27. 交通部運研所，2005，淺水域多音束量測水深技術研究(1/4)。
28. 交通部運研所，2006，淺水域多音束量測水深技術研究(2/4)。

附錄一 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☒期中 ☐期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-96-H2DB008

計畫名稱：淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)

執行單位：國立中山大學海洋科技研究中心

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
史天元 教授： 1. 本計畫規畫良好，內容豐富，對誤差因子之分析深入。 2. 建議除 Patch Test 以外，亦可規畫探討對向、交叉等之檢核方式及其影響因子。	1. 謝謝史委員鼓勵。 2. 參照辦理，疊合試驗 (Patch Test) 的結果可用於資料修正，交錯檢核 (Cross Check) 結果可做為測量的精度驗證。	1. 符合。 2. 依處理情形辦理。
蕭松山 副教授： 1. 計畫進度已符合要求。 2. 以往疏浚工程土方計量或檢核原則中以 30cm 為允許誤差，建議利用多音束測深於疏浚工程時之精度檢討，探討此允許誤差值的合理性。 3. 潮位於測深的修正，對疏浚土方計量檢核相當重要，然測站與測區之潮位關係宜加強探討。	1. 謝謝蕭委員支持。 2. 遵照辦理，疏浚工程中 30cm 之允許誤差除了來自測量誤差，亦同時包含土方計量誤差及浚後回淤或邊坡坍塌等誤差因子，期末報告時，將補充允許誤差值的合理性。 3. 遵照辦理，由於期中前雷達式潮位尚在架設測試中，將于期末報告時加以補充。	1. 符合。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。
李良輝 副教授： 1. 多音束測深用於土方計算，最佳之網格間距為最適當？	1. 影響土方計算的因子不只一項，各因子可能互相影響，因此最佳網格間距可	1. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
繪製圖 26 網格大小及體積對照圖，以體積變化趨勢近似平緩時視為最佳網格間距。 2. 什麼方式可真正確認測深之精度？ 3. 在底質分類中，多音束與側掃聲納採取資料融合處理方式對分類有無幫助？ 4. Pitch 誤差影響多音束測深之基準(系統誤差)，如何精確修正該 Pitch 誤差？	2. 交錯檢核常被做為測深內精度之檢核。 3. 此課題乃為未來可考慮之研究方向。 4. Pitch 修正的成效取決於斜坡地形及航跡是否垂直斜坡？Pitch 系統誤差之修正可另外安裝一組船隻姿態儀同時蒐集資料並比對 Patch Test 修正值。另外可使用相同頻率的單音束測深儀比對之，但需確認其量測誤差小於系統性誤差。	2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。 4. 依處理情形辦理。
簡仲璟 科長： 1. 如第四章所述，多音束測深其精度的影響因子眾多，建議彙整列表對照說明，並附精度提升對策或方法。 2. 建議整合研究成果研擬多音束測深的標準作業模式。同時建議補充在某些條件下，舉例說明多音束與單音束在測深精度、量測經費及環境條件限制等的比較結果，以便工程人員在選擇單音束或多音束時能有所參考。 3. 第五及第六章內容請再加強、補充。例如第五章不易看出多音束測深技術在疏浚工程應用的價值。	1. 遵照辦理，期末報告時將列表補充之。 2. 參照辦理，多音束測深依照不同的使用目標，有不同的品管要求，但標準作業模式皆相同，本案針對可能造成系統性誤差的因子，加以分析比對，並提出可能之解決方法，不足部份，儘可能於期末報告時補充之。期末報告時將會加強單音束及多音束的比較。 3. 遵照辦理，期末報告時將儘可能補充之。	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
吳基 研究員： 1. 有關聲波式海床表層底質分類之鑑別能力是否適用於高雄港內狀況？國外使用此法之經驗及成果如何？	1. 去年採用非監督式分析表層底質分類，雖然得到分類結果，但港內船隻進出頻繁，水下底泥經常處於擾動狀態，表面取樣或水下攝影困難，今年選擇高雄縣永安外海人工漁礁做為研究對象，分類結果大致與漁礁分佈符合。期末報告將補充國外相關研究報告作為參考文獻。	1. 依處理情形辦理。

附錄二 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫

☐期中☒期末報告審查意見處理情形表

計畫編號：MOTC-IOT-96-H2DB008

計畫名稱：淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)

執行單位：國立中山大學海洋科技研究中心

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
史天元 教授： 1. 本計畫對多音束量測之系統誤差與檢核、率定均有完整之分析探討。並對底質分析有實際作業試驗，已建立可行性之處理流程。 2. 底質分析部分似因試驗場地底質特性之故，未有各種底質成果。建議此一技術可再深入，並除在疏浚後於港區測試外，可選取較多樣之近海沿岸測試。 3. 除作業前之率定外，如何由航線之規畫，由數據面檢視系統誤差，似對作業面有影響。是否可以建立由航線規畫及數據分析，反衍系統誤差，從而修正之作業模式？建議探討其可行性。	1. 謝謝史委員鼓勵。 2. 謝謝史委員意見。底質分析背景資料庫需要長期監測建置，預定於本案第四年尋找其它代表性區域增加背景資料庫。 3. 謝謝史委員意見，系統誤差的檢核以交錯檢核為主疊合分析(Patch Test) 即是以設計之航線，由數據反衍系統測量時音鼓與三個軸向的偏差角度(Pitch, Roll, Yaw)及定位與測深位置的時間差。一般而言錯誤可以藉由重覆測量之成果來加以檢視除錯，在海測部分常藉由測線重疊及交錯檢核來為之。至於系統誤差(諸如：roll, pitch, heave, latency, tide, high frequency noise or transducer frame fixed	1. 符合。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	rigidity etc.)若為因多項因子組合而成 常不易判斷，本計畫在未來會嘗試 由成果來判斷是否存在系統誤差方向著手。	
林昭圭 副教授： 1. 本研究主題對港灣的水深維護有相當高的參考價值，尤其是以面的量測方式可提高水深測量的精度，避免傳統單音束量測之線的量測，點的表示方法對地形的誤解。 2. 由於影響水深測量的因子非常多，研究團隊亦相當努力去釐清，希望未來能在實際上提出一可提高量測精度之標準作業程序。 3. 由於潮位/潮時變化會受水深及水域寬度影響，建議下一年計畫能考慮不同位置加設水位站。 4. 底質及多音束之量測資料在浚挖工程估驗如何應用？ 5. 因為驗潮站與水深測區之水位變化差異性而造成水深測量成果之誤差，未來能否用一演算例說明。	1. 謝謝林委員鼓勵。 2. 謝謝委員建議，儘可能與業主商討 納入明年計畫內。 3. 謝謝委員建議，儘可能與業主商討，納入明年計畫內。 4. 底質資料可用於選擇疏浚機具及採樣選址，多音束測深資料可用於土方計量及浚後驗收，二項資料合併可評估不同底質的土方量，進而計價。 5. 參照辦理，儘可能與業主商討，納入明年計畫內。	1. 符合。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。 4. 依處理情形辦理。 5. 依處理情形辦理。
李良輝 副教授： 1. 全文研究內容具體，分析詳實。 2. 多音束水深測量成果用於土方量計算最佳網格間距為何？是否已獲明確之結	1. 謝謝李委員鼓勵。 2. 本研究以高雄港平坦區及崎嶇區為例，平坦區最佳網格間距約20公尺，崎嶇區最	1. 符合。 2. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
論。 3. RTK 模式驗潮，實驗結果如何？ 4. 多音束底質分類可具體分成若干類別數，多音束資料是否可滿足底質分類之需求？ 5. 底質分類圖中建議增加顏色與底質類別之對照說明。	佳網格間距約1-2公尺，建議土方量計算採用2公尺網格間距 3. 遵照委員意見補充說明，詳見4.4.6節。 4. 多音束底質分類技術未限定類別數量，但在實用上原則以5類以下為之較佳，因為以統計小區域的分析方式不能完全取代採樣的需求，此成果可以為底質採樣之重要參考依據。 5. 參照辦理，本案底質分類採非監督式，需配合實際的採樣才可獲得底質類別資料。	3. 依處理情形辦理。 4. 依處理情形辦理。 5. 依處理情形辦理。
楊義忠 總工程司： 1. 年度工作依計畫內容如期完成並提出報告，值得肯定。 2. 用測線單價法比較單、多音束測量成本高低，似不甚合理。 3. 單、多音束測深差異原因互有優劣，測量成果精度差異似不大，惟究應使用何種儀器應回歸 IHO、IMO 規範為準。 4. 建議將外業水深測量成果資料整理出來做為本研究報告書附件，方便報告閱讀。	1. 謝謝楊委員鼓勵。 2. 參照辦理，各種計價方式有其適用的測量目的，管線監測經常採用測線單價法，疏浚工程經常採用面積單價法 3. 謝謝楊委員指導，單、多音束測深可以依據實際應用而決定採取何種方式測量之，唯疏浚測量建議採用多音束測深方式來計算土方較為合理。 4. 參照辦理 各年度有其研究主題及測量範圍，預定明年第四年匯整測量成果。	1. 符合。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。 4. 依處理情形辦理。
邱永芳 主任： 1. 淺水域之量測規範應儘早完成並對外做研討會或說明會。	1. 遵照辦理。	1. 依處理情形辦理。

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
2. 國際規範臺灣使用之可行性，續加強說明。 3. 量測超越面積之考量為何？	2. 遵照辦理。 3. 依據IHO測深精度之規範，超挖30cm應屬合理範圍。	2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。
吳基 研究員： 1. 有關多音束測深技術應用在海床底質分類之研究，建議多進行實地探測以強化監督性分類方面 (Supervised Classification) 之訓練，提昇鑑別能力。 2. 報告中許多圖因採黑白印刷致識別度差，如圖 41 及圖 59、60 等，建議於正式報告中改進。	1. 謝謝吳委員建議，儘可能與業主商討 納入明年計畫內。 2. 遵照辦理，正式報告中會改為彩色。	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。

附錄三 期中簡報資料



交通部運輸研究所

淺水多音束測深技術研究(3/4)

期中簡報

國立中山大學
海洋科技研究中心

簡報日期:九十六年七月



1



簡報內容

- 壹 計畫內容、研究項目及預期成果
- 貳 專案時程及研究時程說明
- 參 執行進度說明
- 肆 研究成果說明
- 伍 結論及未來工作



2



1-1、計畫摘要

本計畫目的在研究我國之各國際商港港域全覆蓋水深、回淤率、底質分佈，藉以因應船舶大型化之國際港灣水域之競爭，進入WTO之海事及疏浚工程國際化，避免工程糾紛。近年來多音束測深系統的發展已趨成熟，本計畫依據國際海測組織(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。

本案為四年計畫之第三年，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。

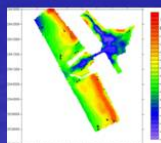


3

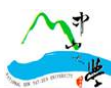


1-2、背景分析(1)

- 過去在與專家學者及政府測深相關單位會談時發覺**IHO SP-44**水深測量規範應用在港灣工程、疏浚工程或地形變遷等應用層面時，衍生許多問題，例如：**精度不足、底質規格不夠詳細、未規範海域侵淤的計算方式...**等相關問題。本年度以**疏浚工程**為主軸。

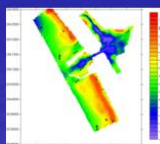


4



1-2、背景分析(2)

- 港灣工程的工程款項動輒上億元，施工、設計前測量費用不超過百萬元，而港灣工程所需之基本的測量項目可能包含：水深、潮汐、波浪、海流及海床底質等特性，其中水深及底質經常是港灣工程計價的重要指標，因此為提供施工規劃的重要背景資料，減少合約糾紛的發生率，提升水深量測及底質探測品質是極為重要的研究課題。

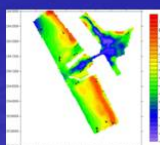


5



1-2、背景分析(3)

- 傳統海床底質探測必需現場採樣，無論捕砂器及重力式岩心採樣管(**Piston Core**)都屬於單點採樣，本研究計畫期望將底質探測的資料密度由點延伸至面，利用聲學式探測儀探討底質特性，並研究分類的作業方法及可分類等級，以補充單點採樣的不確定性。



6



1-3、全程計畫之研究內容

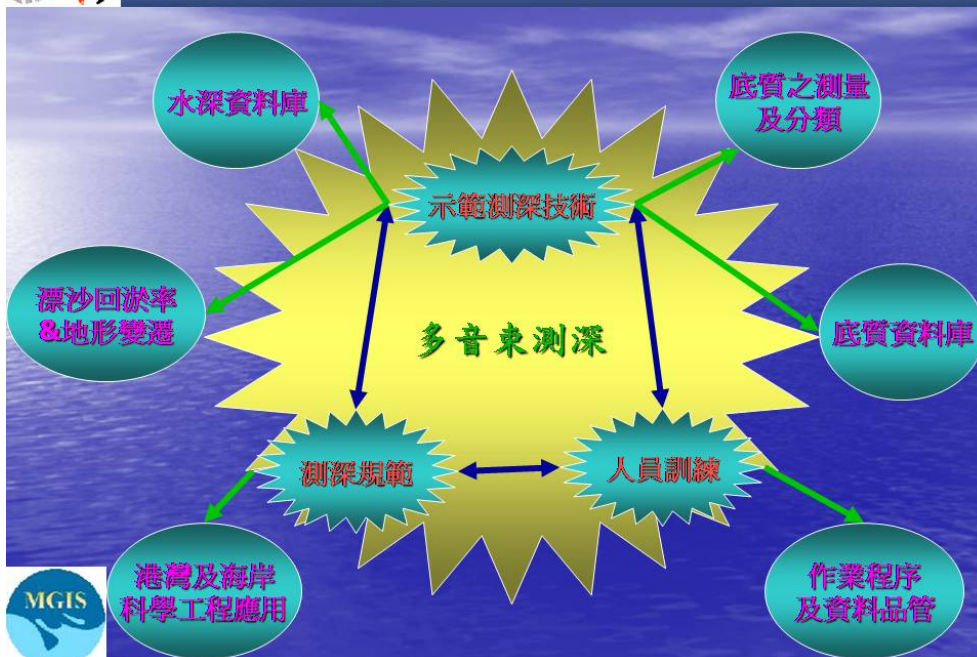
第一年	進行多音束測深示範作業、多音束測深規範擬定、多音束測深資料庫建立研究、多音束測深技術在港灣工程之應用探討。
第二年	繼續在多音束測深示範區進行示範作業，探討評估該示範區之漂沙回淤率、開設多音束測深技術訓練班、建立多音束聲波回波強度資訊或側掃聲納對底質之測量及分類技術、探討建立港灣水域底質資料庫。
第三年	探討水深測量及底質探測在疏浚工程之應用：多音束測深精度提升因子之探討，探討聲波式海床表層底質分類技術及資料庫之建置，探討地形及底質資料庫在疏浚工程之應用。
第四年	深探討多音束測深及側掃聲納技術偵測海床特徵物之可行性、研究多音束測深系統及側掃聲納在水下救災技術之應用、探討近岸水域地形變遷與海氣象觀測關係之建立方式、研究近岸水域底質資料庫之建制與管理。

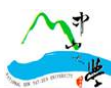


7

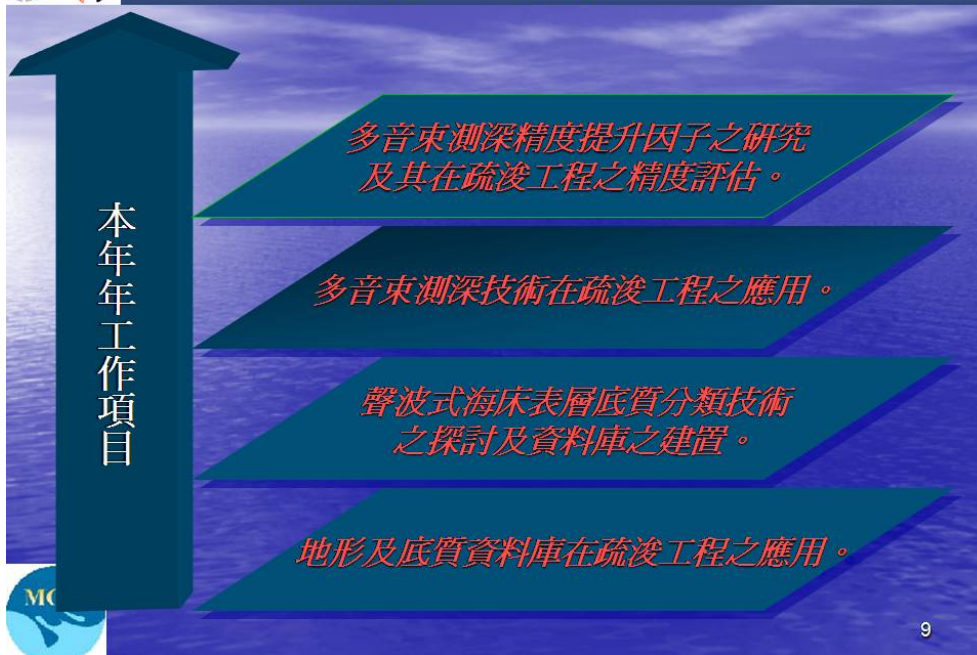


1-4、全程計畫之研究內容





1-5、本年度工作項目



1-6、第三年預期成果

- 建立多音束測深技術在疏浚工程之作業模式。
- 多音束疏浚測量之測深精度評估。
- 多音束疏浚測量之精度提升因子分析。
- 建立海床表層底質探測及分類技術在疏浚工程之作業模式。
- 建立地形及底質資料庫應用於疏浚工程之準則。





2-1、專案時程



3-1、執行進度

項 目	預定進度	實際進度
一、多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估。	90%	90%
二、多音束測深技術在疏浚工程之應用	100%	100%
三、期中報告	100%	100%
四、聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置	5%	10%
五、地形及底質資料庫在疏浚工程之應用	0%	0%
六、期末報告	0%	0%

MGIS

12



3-2、期中報告章節

第一章：前言，說明本案研究目的、工作項目及期程。

第二章：專案時程及工作進度說明。

第三章：研究方法及進行步驟。

第四章：多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估。

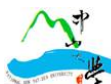
第五章：多音束測深技術在疏浚工程之應用。

第六章：聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置。

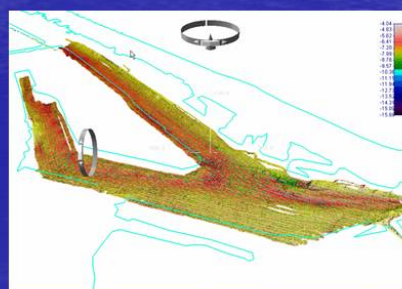
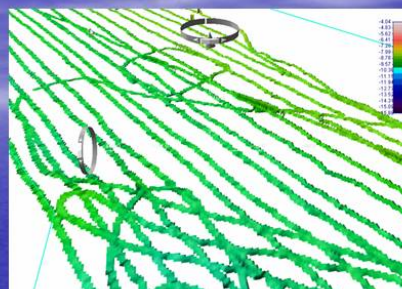
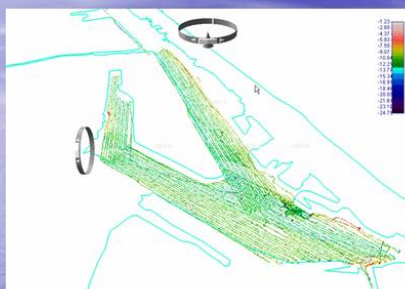
第七章：結論及未來工作。



13



4-1-1、單音束及多音束測深覆蓋率比較



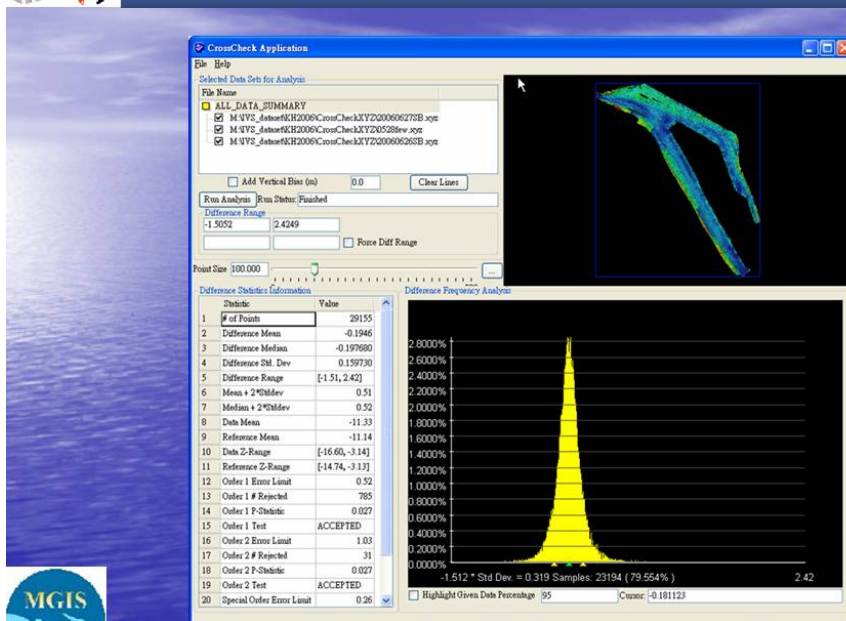


4-1-2、單音束及多音束測深特性比較

	Odom單音束	Reson 8125多音束
音束束寬	9	0.5
足印大小 (水深10~15m)	1.5~2.3m	0.09~1.03m
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	約0.02筆/平方公尺 約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%以上
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



4-1-3、單音束及多音束交錯檢核誤差分佈圖

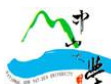




4-1-4、單音束及多音束交錯檢驗表

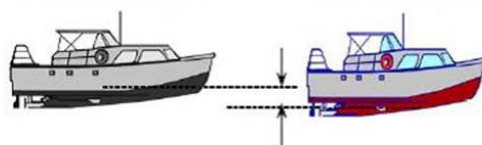
日期	2006/05/26	2006/05/27	2006/05/28	全部
檢核點數	10700	10642	7813	29155
檢核點平均值	-11.51	-10.87	-11.72	-11.33
基準面平均值	-11.31	-10.73	-11.47	-11.14
誤差平均值	-0.20384	-0.14425	-0.25049	-0.19459
誤差中值	-0.20849	-0.14615	-0.23895	-0.19768
誤差標準差	0.13194	0.16825	0.16158	0.15973
檢核點水深範圍	-16.6~ -3.14	-15~ -3.66	-15.28~ -5.67	-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
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
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
未達特等測深點數	3494	2399	3508	9401
符合一等測深?	Yes	Yes	Yes	Yes
符合特等測深?	No	No	No	No

17



4-1-5、單音束及多音束測深差異的可能原因

動態吃水差異



Settlement - At low speeds the effect of moving the hull through the water causes a local depression in the water surface around the hull. The effect of increasing speed on vessels with planing hulls is to cause them to lift out of the water.



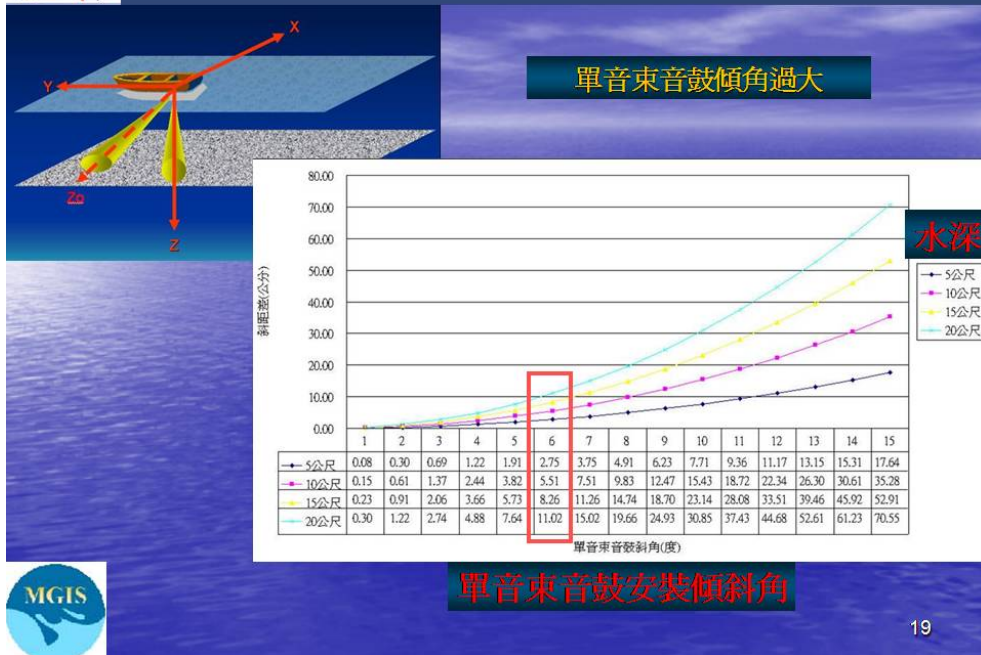
Squat - Changes in vessel trim as it moves through the water. Little appreciable affect on transducer depth if transducer is located near amidships.



18



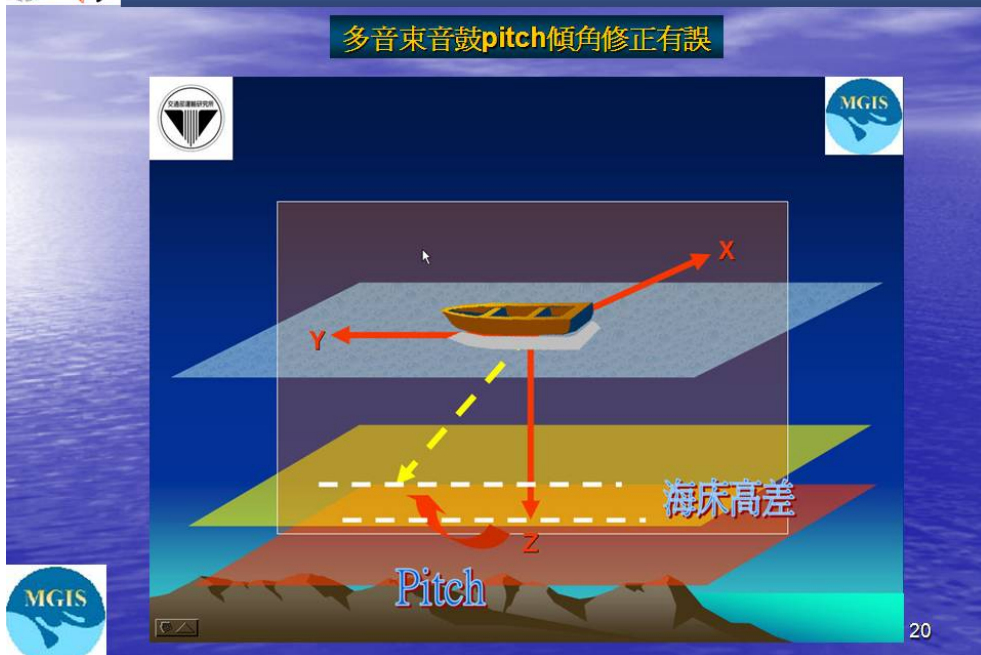
4-1-6、單音束及多音束測深差異的可能原因



19



4-1-7、單音束及多音束測深差異的可能原因



20



4-2-2、網格大小與體積估算

表 6 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

Diff=
0.05m

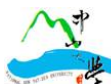
表 7 崎嶇測區多音束測深體積估算表

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

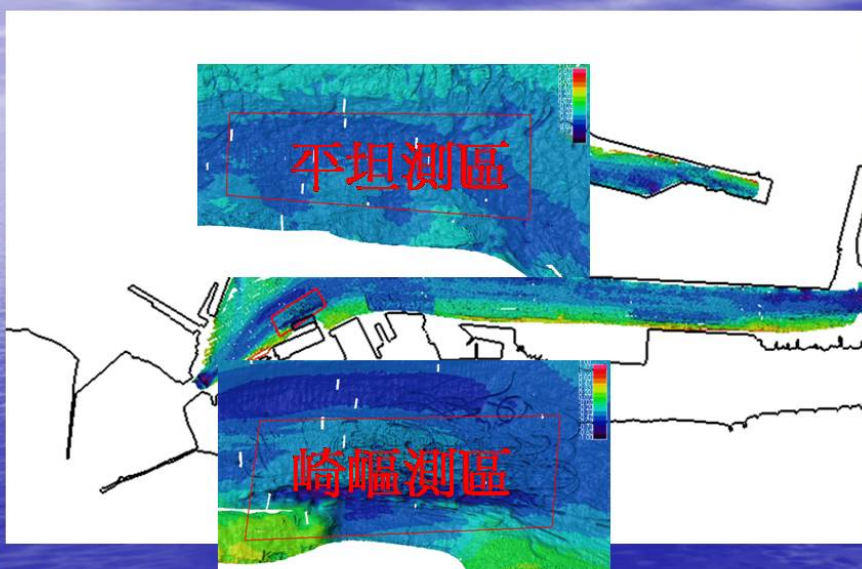
Diff=
0.16m



21



4-2-1、探討多音束測深在疏浚工程的應用



22



4-3-1、多音束測深相關儀器計時器及資料更新頻率對照表

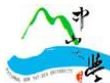
表 8 多音束測深相關儀器計時器及資料更新頻率對照表

儀器名稱	主要功能	計時器	資料更新頻率
多音束測深儀	測量水深	有	水深 15 米以內，>10 筆/秒
定位儀	定位	有	解算頻率約 1 筆/秒
船隻姿態修正	輔助修正測深值	無	可達到>25 筆/秒
電羅經	輔助修正測深值	無	可達到>25 筆/秒
海測軟體及電腦	導航及整合各種即時資料	有	依照設定值及傳輸界面限制

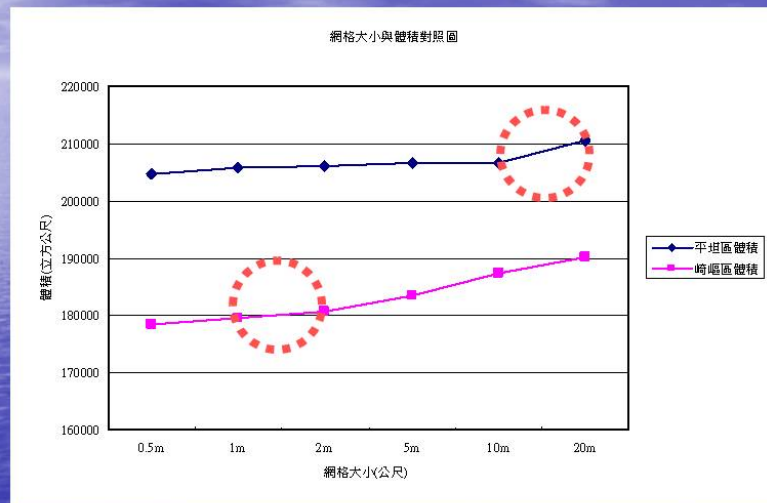
註 1：衛星定位採用衛星時間，視為有計時器。



23



4-2-3、網格大小與體積估算對照



24



4-3-2、多音束測深系統時間遲滯原因分析

- 參考時間基準(time)。
 - － 每項儀器內建計時器都有時間差。
 - 方案：統一採用GPS訊號內的UTC時間。
- 儀器量測時間遲滯(latency)。
 - － 每項儀器內建計時器都有時間差。
 - 方案：執行Patch Test確認時間差。
- 軟硬體流量管制機制。
 - － 每項儀器內建計時器都有時間差。
 - 方案：關閉流量管制功能。

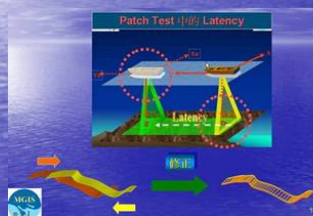


25



4-3-3、多音束測深系統時間遲滯修正模式

	Patch Test	UTC 時間修正	PPS 修正
Latency 模式	YES	X	X
ZDA 模式	YES	YES	X
PPS 模式	YES	YES	YES



Patch Test 採用UTC時間做為基準



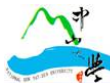
26



4-3-4、多音束測深系統時間遲滯修正模式

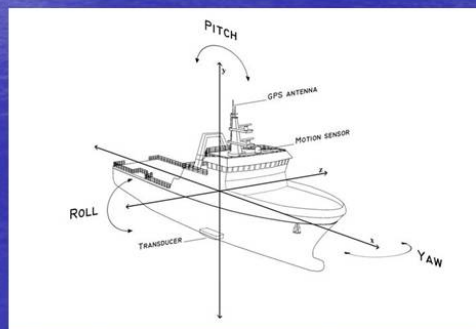


27



4-4-1、疊合修正(Patch Test)

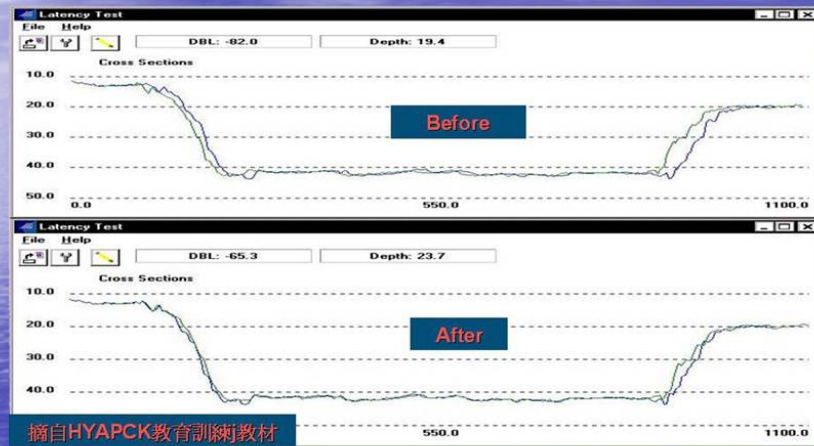
- ◆ 單於安置角度及時間遲滯不易直接量測，可由量測結果反算安置角度及時間遲滯，此種測量作業稱為「疊合修正(Patch Test)」：包括時間遲滯(Latency)、前後傾角(Pitch)、左右傾角(Roll)及船艏偏角(Yaw)。



28



4-3-5、系統時間遲滯修正前後斷面比較



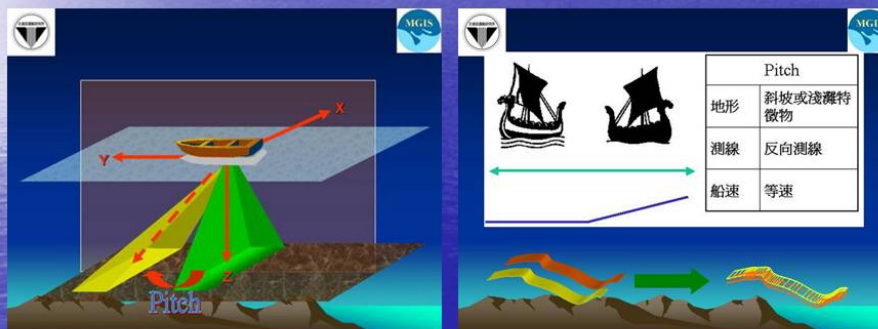
摘自HYAPCK教育訓網教材



29



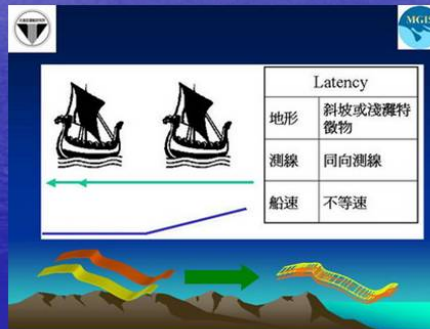
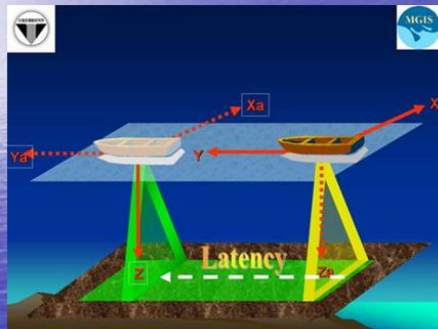
4-4-3、疊合修正(Patch Test)-Pitch



30



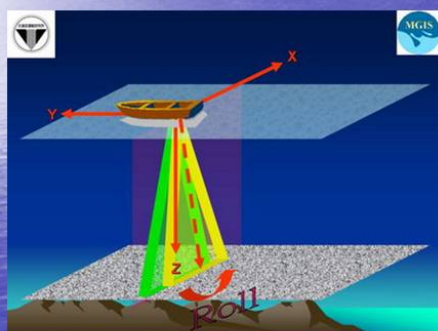
4-4-2、疊合修正(Patch Test)-Latency



31



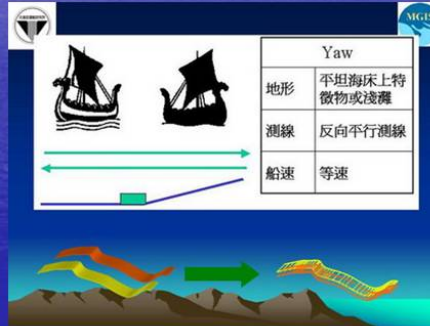
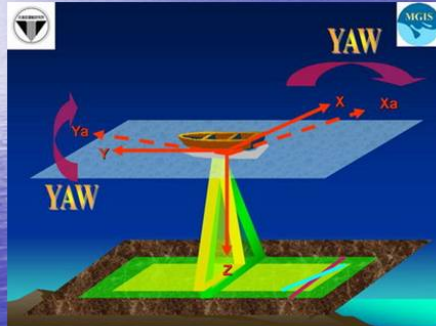
4-4-4、疊合修正(Patch Test)-Roll



32



4-4-5、疊合修正(Patch Test)-Yaw



33



4-5、評估測深之潮汐修正效應



34



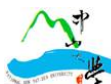
4-6-2、多音束測深在疏浚測量之精度

	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
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

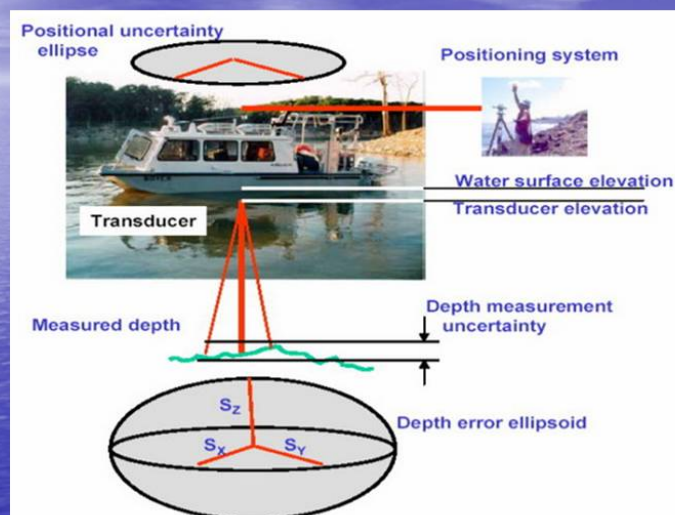


摘自美國工兵署Engineering and Design HYDROGRAPHIC SURVEYING

35



4-6-1、多音束測深一等水域95%信賴程度之測深誤差預估



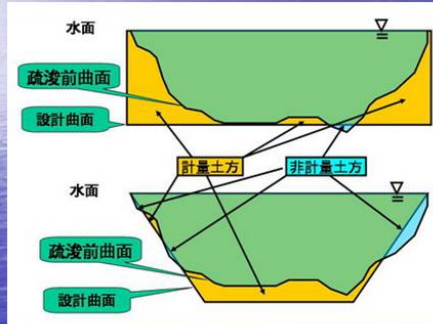
摘自美國工兵署Engineering and Design HYDROGRAPHIC SURVEYING

36

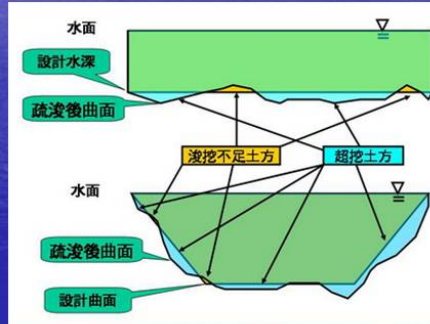


4-7、多音束測深技術在疏浚工程之應用

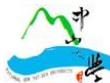
土方計量原則



土方檢核原則



37



4-6-3、多音束測深系統的總誤差傳播

	MRU to Trans X (m)	MRU to Trans Y (m)	MRU to Trans Z (m)	Nav to Trans X (m)	Nav to Trans Y (m)	Nav to Trans Z (m)	Trans Roll (deg)
1	-0.005	0.111	-0.746	0.860	-10.900	-5.556	0.000

安置位置及角度

	Motion Gyro (deg)	Heave % Amp	Heave (m)	Roll (deg)	Pitch (deg)	Position Nav (m)
1	0.050	5.000	0.050	0.010	0.010	0.050

儀器量測精度

總誤差傳播

	Beam	Depth (m)	Tide (m)	Dp TPE (m)	Hx TPE (m)	IHO S-44
1	103	25.357	0.805	0.170	1.716	Spec. Order
	104	25.353	0.805	0.170	1.716	Spec. Order
	101	25.355	0.805	0.170	1.726	Spec. Order
	102	25.341	0.805	0.170	1.726	Spec. Order
	103	25.326	0.805	0.170	1.726	Spec. Order

	Offset X (m)	Offset Y (m)	Offset Z (m)	Vessel Speed (m/s)	Loading (m)	Draft (m)	Delta Draft (m)
1	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000

量測誤差

	MRU Align StdDev gyro	MRU Align StdDev Roll/Pitch
1	0.000	0.000

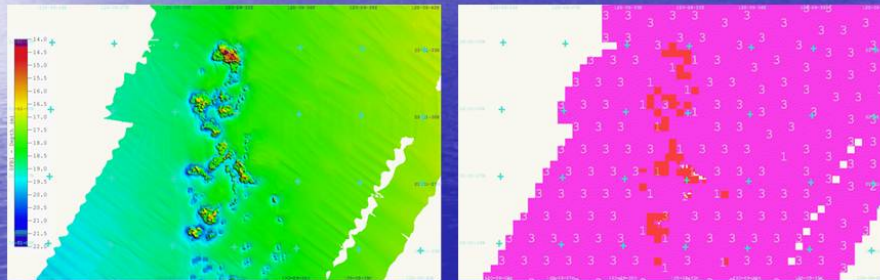
船隻姿態安置角度



38



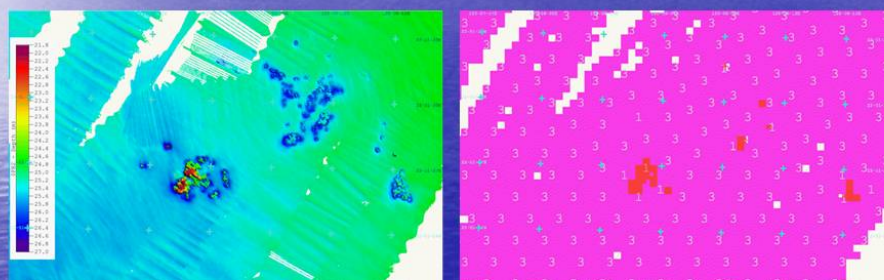
4-8-1、多音束測深及底質分類結果-測區1



39



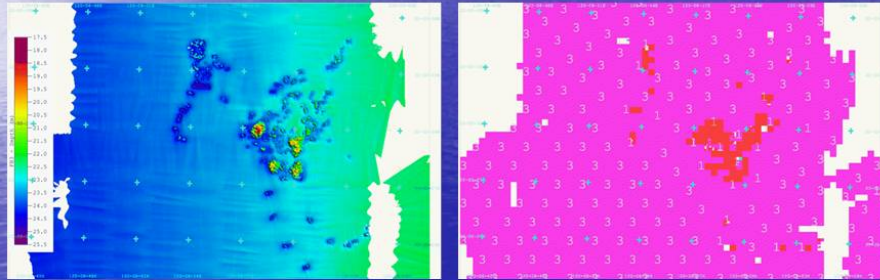
4-8-2、多音束測深及底質分類結果-測區2



40



4-8-3、多音束測深及底質分類結果-測區3



41



5-2、未來工作

1. 「評估測深之潮汐修正效應潮」。
2. 「聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置」。
3. 加入「地形及底質資料庫在疏浚工程之應用」。



42



5-1、結論

1. 多音束測深系統有本質上的差異，原則上多音束系統之測深精度較高，較適合疏浚工程之應用，單音束測深系統可做為輔助檢核系統，避免多音束測深具有系統性的錯誤(例如：pitch效應會造成海床系統性的提升或下降)。
2. 土方計量採用的網格大小會隨水深與海床特性改變，對於第一次採用多音束測深作為計量基礎的區域，可考量繪製網格大小及體積對照圖找出收斂的網格大小作為以後的參考基準。
3. 疏浚測量必須使用PPS模式修正時間遲滯，以提升測量精度，為避免定位誤差大於時間遲滯誤差，定位精度應至公分級。
4. 疊合修正(Patch test)四個參數疏浚測量的有不同程度影響，其中以Pitch效應對土方量的影響最顯著，造成整個海床升高或下降，屬於系統性誤差。與Pitch互補的Latency效應雖不會直接影響高程變化，錯誤的Latency常伴隨錯誤的Pitch。
5. 疏浚測量之精度有二種品管方式：一、計算總傳播誤差，二、執行交錯檢核，未達疏浚測量要求的資料皆應刪除。



43



44

附錄四 期末簡報資料



交通部運輸研究所

淺水多音束測深技術研究(3/4)

期末簡報

國立中山大學
海洋科技研究中心

簡報日期:九十六年十一月



1



簡報內容

- 壹 計畫內容、研究項目及預期成果
- 貳 專案時程及研究時程說明
- 參 執行進度說明
- 肆 研究成果說明
- 伍 結論及未來工作



2



1-1、計畫摘要

本計畫目的在研究我國之各國際商港港域全覆蓋水深、回淤率、底質分佈，藉以因應船舶大型化之國際港灣水域之競爭，進入WTO之海事及疏浚工程國際化，避免工程糾紛。近年來多音束測深系統的發展已趨成熟，本計畫依據國際海測組織(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。

本案為四年計畫之第三年，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。

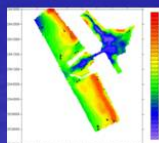


3



1-2、背景分析(1)

- 過去在與專家學者及政府測深相關單位會談時發覺**IHO SP-44**水深測量規範應用在港灣工程、疏浚工程或地形變遷等應用層面時，衍生許多問題，例如：**精度不足、底質規格不夠詳細、未規範海域侵淤的計算方式...**等相關問題。本年度以**疏浚工程**為主軸。

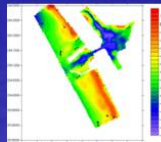


4



1-2、背景分析(2)

- 港灣工程的工程款項動輒上億元，施工、設計前測量費用不超過百萬元，而港灣工程所需之基本的測量項目可能包含：水深、潮汐、波浪、海流及海床底質等特性，其中水深及底質經常是港灣工程計價的重要指標，因此為提供施工規劃的重要背景資料，減少合約糾紛的發生率，提升水深量測及底質探測品質是極為重要的研究課題。

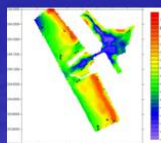


5

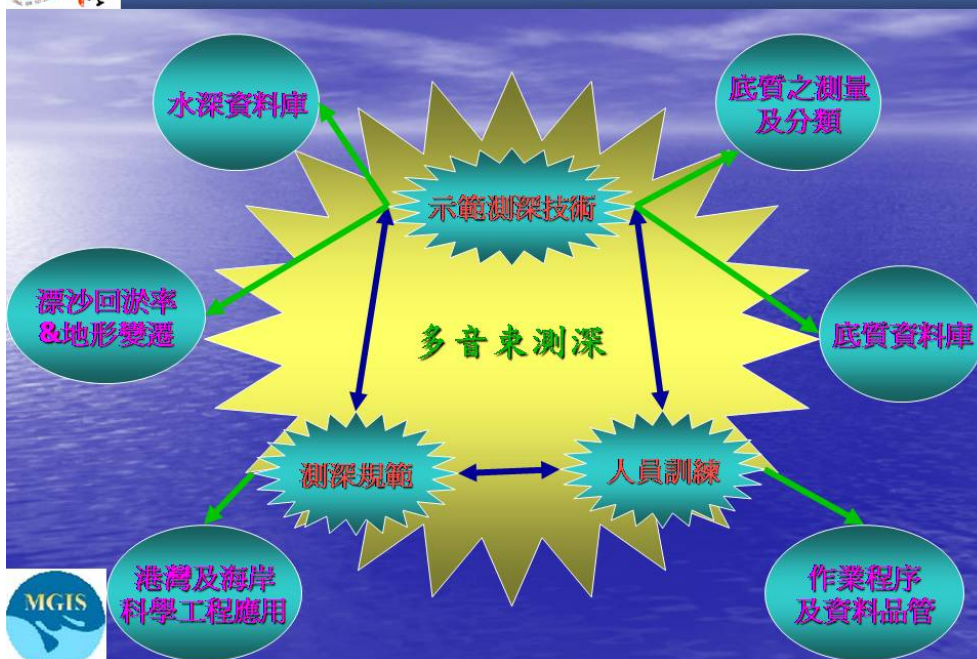


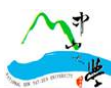
1-2、背景分析(3)

- 傳統海床底質探測必需現場採樣，無論捕砂器及重力式岩心採樣管(**Piston Core**)都屬於單點採樣，本研究計畫期望將底質探測的資料密度由點延伸至面，利用聲學式探測儀探討底質特性，並研究分類的作業方法及可分類等級，以補充單點採樣的不確定性。

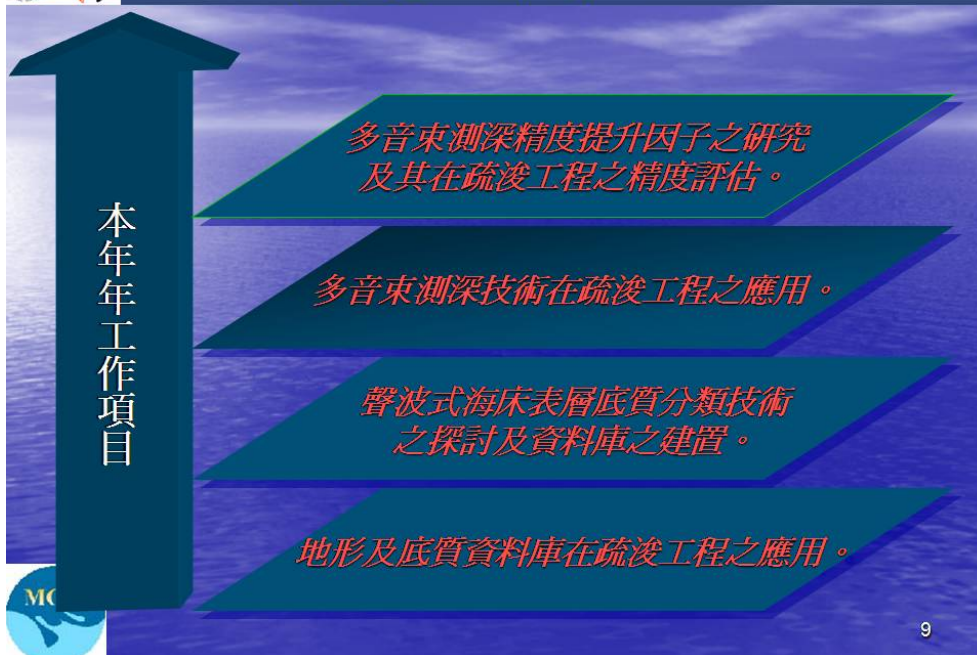


6

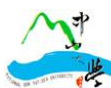
7



1-5、本年度工作項目



9

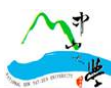


1-6、第三年預期成果

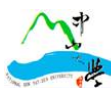
- 建立多音束測深技術在疏浚工程之作業模式。
- 多音束疏浚測量之測深精度評估。
- 多音束疏浚測量之精度提升因子分析。
- 建立海床表層底質探測及分類技術在疏浚工程之作業模式。
- 建立地形及底質資料庫應用於疏浚工程之準則。



10



2-1、專案時程



3-1、執行進度

項 目	預定進度	實際進度
一、多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估。	100%	100%
二、多音束測深技術在疏浚工程之應用	100%	100%
三、期中報告	100%	100%
四、聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置	100%	100%
五、地形及底質資料庫在疏浚工程之應用	100%	100%
六、期末報告	100%	100%

MGIS

12



3-2、期末報告章節

第一章：前言，說明本案研究目的、工作項目及期程。

第二章：專案時程及工作進度說明。

第三章：研究方法及進行步驟。

第四章：多音束測深精度提升因子之研究及其在疏浚工程之精度評估。

第五章：多音束測深技術在疏浚工程之應用。

第六章：聲波式海床表層底質分類技術之探討及資料庫之建置。

第七章：地形及底質資料庫在疏浚工程之應用。

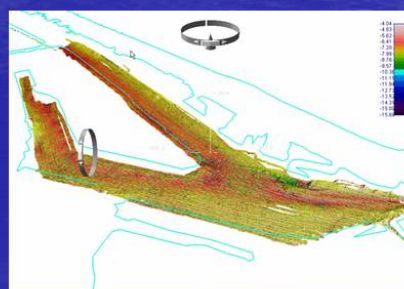
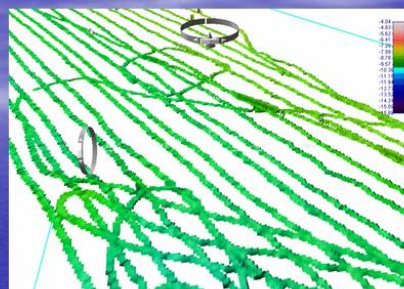
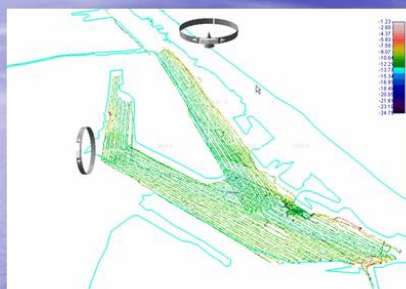
第八章：結論及未來工作。

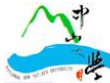


13



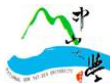
4-1-1、單音束及多音束測深覆蓋率比較





4-1-2、單音束及多音束測深特性比較

	Odom單音束	Reson 8125多音束
音束束寬	9	0.5
足印大小 (水深10~15m)	1.5~2.3m	0.09~1.03m
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	約0.02筆/平方公尺 約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%以上
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



4-1-3、測深費用-成本分析

人事費

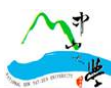
出差費

租船費

儀器費

SAMPLE IGE COMPUTATION FOR 3-MAN MULTIBEAM/SIDESCAN SURVEY CREW			
LABOR			
Supervisory Survey Tech (Party Chief)	\$42,776.00/yr (based on GS 1115)		
Multibeam Operator			
Overhead on Direct Labor (36%)	\$15,399.36/yr		
G&A Overhead (115%)	\$49,192.40/yr		
Total:	\$107,367.76/yr	\$411.57/day	
Survey Technician	\$35,355/yr (based on GS 915)		
@ 151% O/H (36%+115%)	\$88,741.05	\$340.17/day	
Survey Aid/Boat Operator	\$23,332/yr (based on GS 515)		
@ 151% O/H	\$58,563.32	\$224.49/day	
Total Labor Cost for 3-Man Multibeam Crew/day:			\$976.23
TRAVEL			
Per Diem (Nominal): 3 @ \$88/day			
(subject to JTR adjustment on task orders)			
Total Travel Cost/day:			\$264.00
PLANT, FLOATING			
Survey Vessel 32-foot			
\$100,000 @ 5 yrs @ 100 d/yr	\$ 200/day		
Fuel, O&M, etc.	\$ 25/day		
Total Plant Cost/day:			\$ 225.00
SURVEY INSTRUMENTATION & EQUIPMENT			
Echo Sounder (DESO) \$30,000 @ 5 yrs @ 50 d/yr	\$120/day		
DESO System (complete) \$250,000 @ 5 yrs @ 100 d/yr	\$500/day		
Multibeam System (complete) \$250,000 @ 5 yrs @ 100 d/yr	\$500/day		
Multibeam System (complete) \$250,000 @ 5 yrs @ 100 d/yr	\$500/day		
Complete system (including RTK) @ 5 yrs @ 100 d/yr	\$1,000/day		
Total Station (RTK), rods, etc. \$32,000 @ 5 yrs @ 120 d/yr	\$ 53/day		
(rental rate: \$60/d)			
Tide Gage, Auto Telemetry (Manufacturer rental rate)	\$ 22/day		
Survey Vehicle \$40,000 @ 6 yrs @ 225 d/yr plus O&M	\$ 40/day		
Misc Materials (field books, survey supplies, etc)	\$ 25/day		
Total Instrumentation & Equipment Cost/day:			\$ 1,230.00
Subtotal:			\$ 2,696.23
Profit @ 10.0%:			\$ 269.62
Total Estimated Cost per Day - 3 man Multibeam/Side Scan Survey Crew			\$ 2,965.85





4-1-4、測深費用-面積單價法

單音束量測1x10公里測區		
測量目的	測線間距	測線長度
環境影響評估	200公尺	51公里
疏浚測量	20公尺	501公里

多音束量測1x10公里測區		
水深	測線間距	測線長度
10公尺	30公尺	340公里
20公尺	60公尺	170公里



17



4-1-5、測深費用-測線單價法

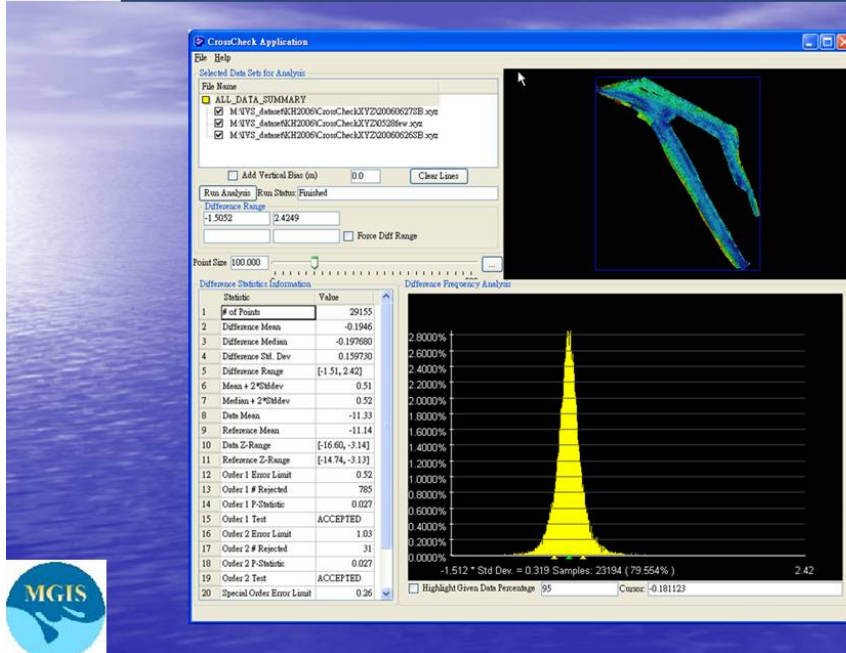
單音束量測1x10公里測區			總測量費用
測量目的	測線間距	測線長度	
環境影響評估	200公尺	51公里	5.1~7.65萬
疏浚測量	20公尺	501公里	50.1~75.15萬
多音束量測1x10公里測區			總測量費用
水深	測線間距	測線長度	
10公尺	30公尺	340公里	136~204萬
20公尺	60公尺	170公里	68~102萬



18



4-1-6、單音束及多音束交錯檢核誤差分佈圖



19



4-1-7、單音束及多音束交錯檢驗表

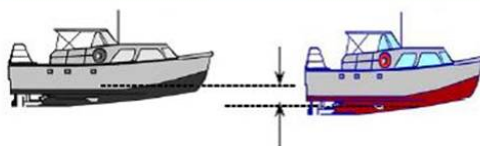
日期	2006/05/26	2006/05/27	2006/05/28	全部
檢核點數	10700	10642	7813	29155
檢核點平均值	-11.51	-10.87	-11.72	-11.33
基準面平均值	-11.31	-10.73	-11.47	-11.14
誤差平均值	-0.20384	-0.14425	-0.25049	-0.19459
誤差中值	-0.20849	-0.14615	-0.23895	-0.19768
誤差標準差	0.13194	0.16825	0.16158	0.15973
檢核點水深範圍	-16.6~ -3.14	-15~ -3.66	-15.28~ -5.67	-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
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
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
未達特等測深點數	3494	2399	3508	9401
符合一等測深?	Yes	Yes	Yes	Yes
符合特等測深?	No	No	No	No

20



4-1-8、單音束及多音束測深差異的可能原因

動態吃水差異



Settlement - At low speeds the effect of moving the hull through the water causes a local depression in the water surface around the hull. The effect of increasing speed on vessels with planing hulls is to cause them to lift out of the water.



Squat - Changes in vessel trim as it moves through the water. Little appreciable affect on transducer depth if transducer is located near amidships.

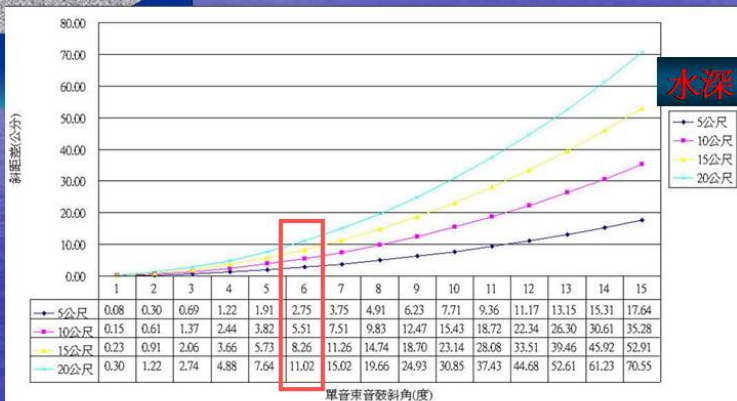
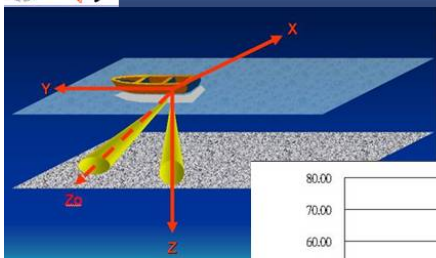


21



4-1-9、單音束及多音束測深差異的可能原因

單音束音鼓傾角過大



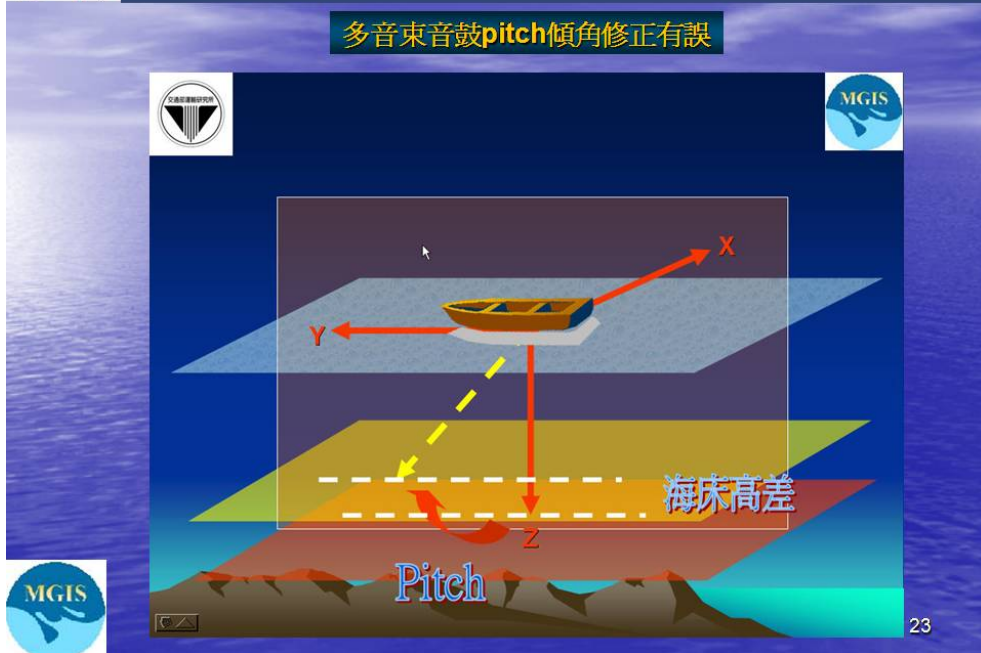
單音束音鼓安裝傾斜角

22



4-1-10、單音束及多音束測深差異的可能原因

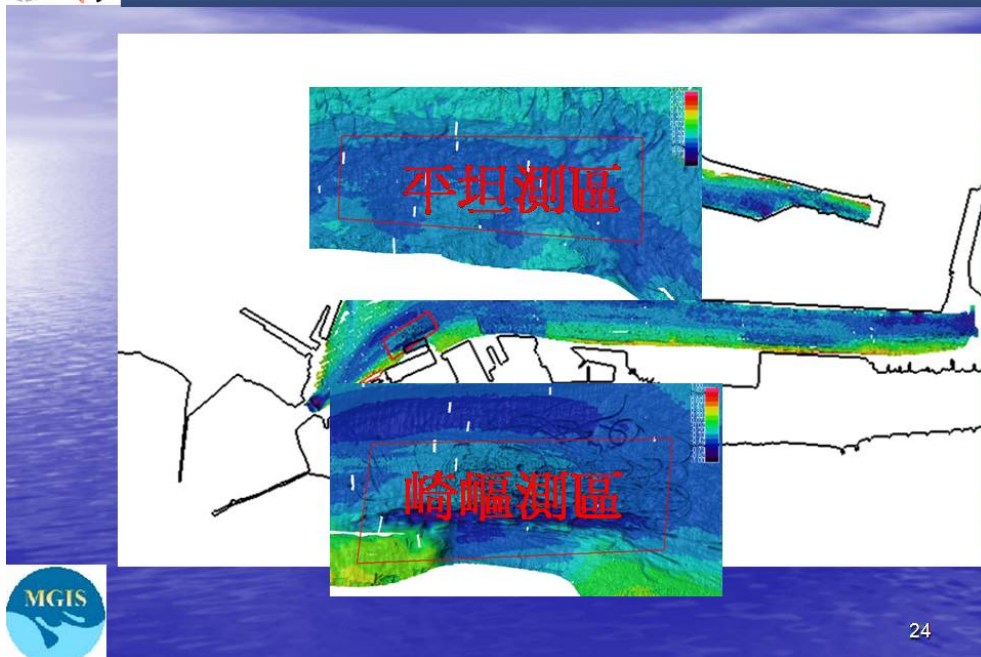
多音束音鼓pitch傾角修正有誤



23



4-2-1、探討多音束測深在疏浚工程的應用



24



4-2-2、網格大小與體積估算

表 6 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

Diff =
0.05m

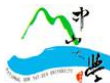
表 7 崎嶇測區多音束測深體積估算表

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

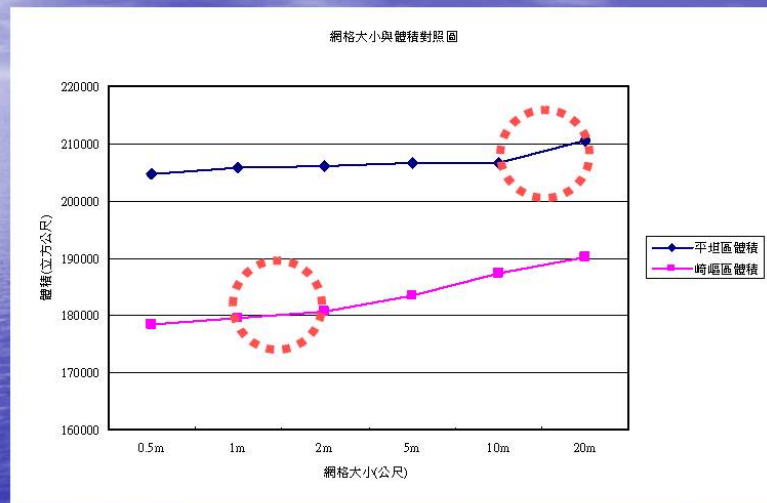
Diff =
0.16m



25



4-2-3、網格大小與體積估算對照



26



4-3-1、多音束測深相關儀器計時器及資料更新頻率對照表

表 8 多音束測深相關儀器計時器及資料更新頻率對照表

儀器名稱	主要功能	計時器	資料更新頻率
多音束測深儀	測量水深	有	水深 15 米以內，>10 筆/秒
定位儀	定位	有	解算頻率約 1 筆/秒
船隻姿態修正	輔助修正測深值	無	可達到>25 筆/秒
電羅經	輔助修正測深值	無	可達到>25 筆/秒
海測軟體及電腦	導航及整合各種即時資料	有	依照設定值及傳輸界面限制

註 1：衛星定位採用衛星時間，視為有計時器。



27



4-3-2、多音束測深系統時間遲滯原因分析

- 參考時間基準(time)。
 - － 每項儀器內建計時器都有時間差。
 - 方案：統一採用GPS訊號內的UTC時間。
- 儀器量測時間遲滯(latency)。
 - － 每項儀器內建計時器都有時間差。
 - 方案：執行Patch Test確認時間差。
- 軟硬體流量管制機制。
 - － 每項儀器內建計時器都有時間差。
 - 方案：關閉流量管制功能。

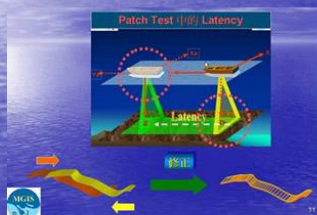


28



4-3-3、多音束測深系統時間遲滯修正模式

	Patch Test	UTC 時間修正	PPS 修正
Latency 模式	YES	X	X
ZDA 模式	YES	YES	X
PPS 模式	YES	YES	YES



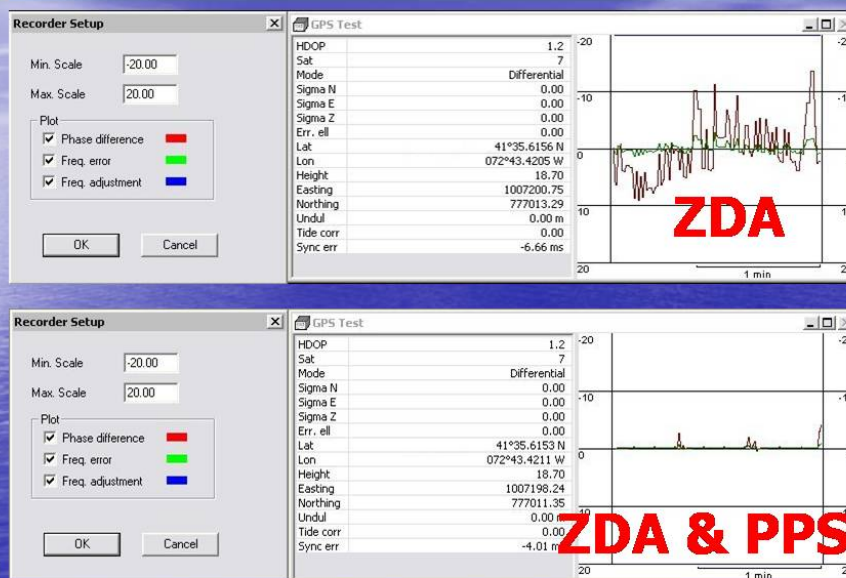
Patch Test 採用UTC時間做為基準



29



4-3-4、多音束測深系統時間遲滯修正模式



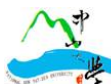
30



4-3-5、系統時間遲滯修正前後斷面比較

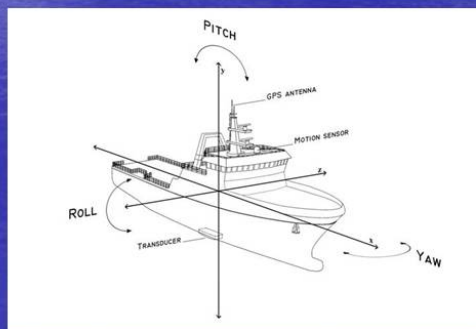


31



4-4-1、疊合修正(Patch Test)

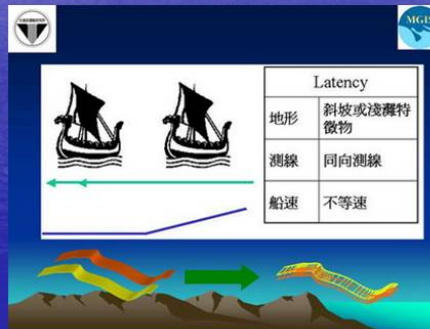
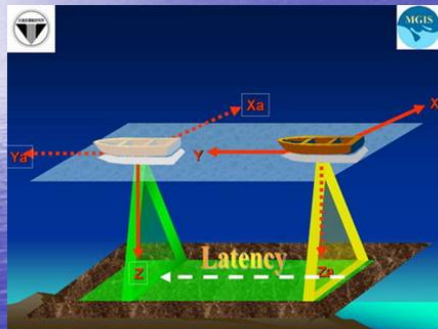
- ◆ 單於安置角度及時間遲滯不易直接量測，可由量測結果反算安置角度及時間遲滯，此種測量作業稱為「疊合修正(Patch Test)」：包括時間遲滯(Latency)、前後傾角(Pitch)、左右傾角(Roll)及船艏偏角(Yaw)。



32



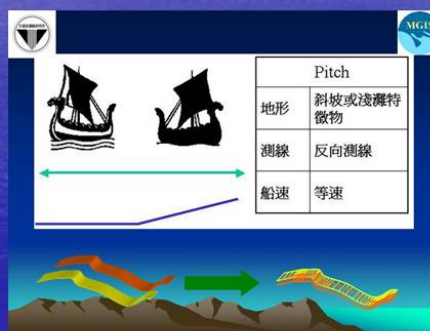
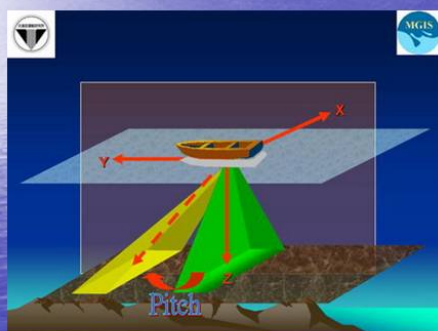
4-4-2、疊合修正(Patch Test)-Latency



33



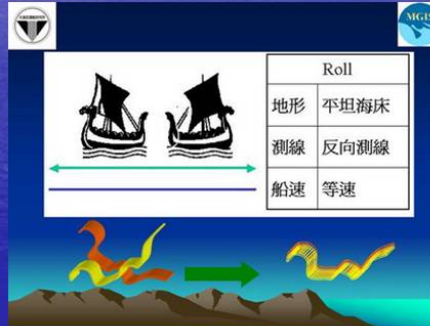
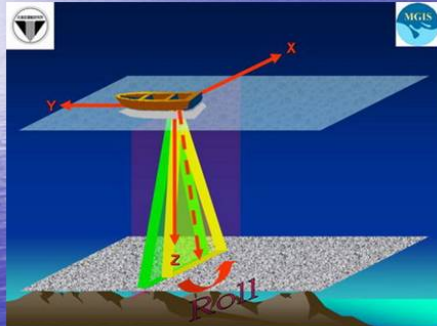
4-4-3、疊合修正(Patch Test)-Pitch



34



4-4-4、疊合修正(Patch Test)-Roll



35



4-4-5、疊合修正(Patch Test)-Yaw



36



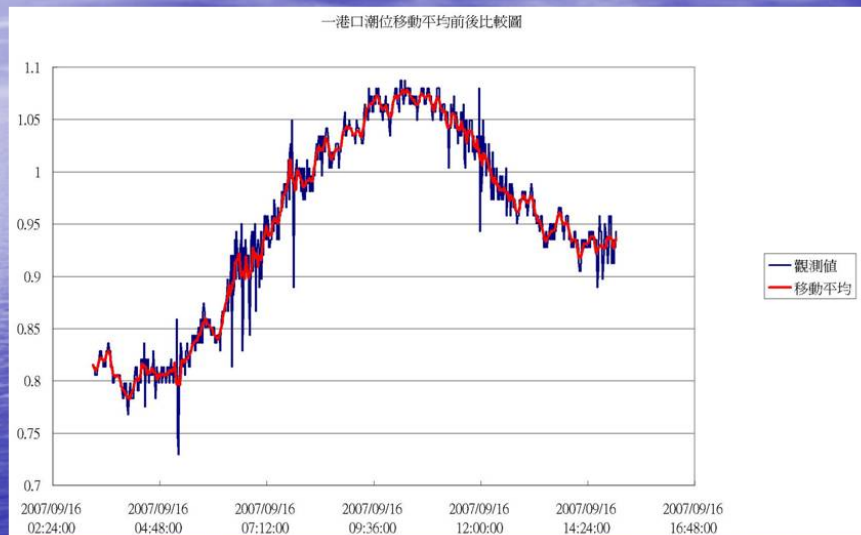
4-5-1、評估測深之潮汐修正效應



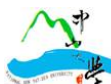
37



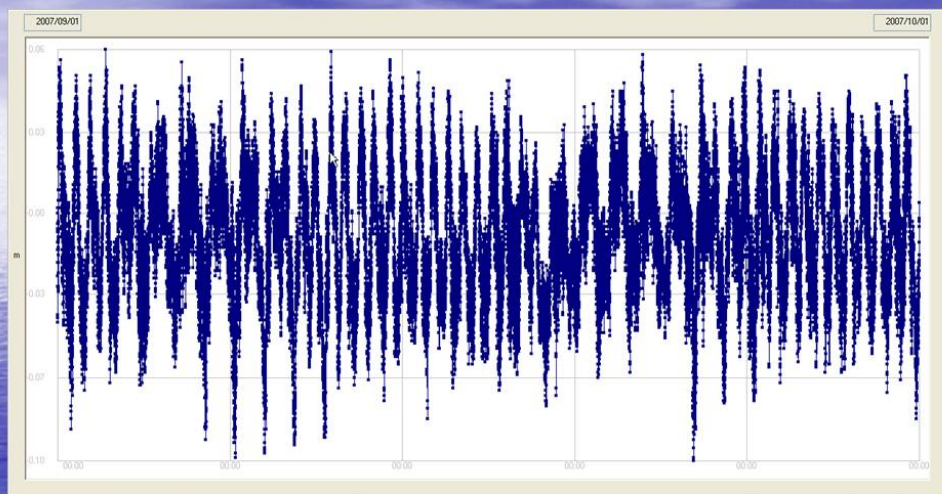
4-5-2、潮位數據去噪處理



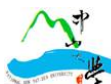
38



4-5-3、高雄港2007年9 月份第一及第二港口潮位差值圖

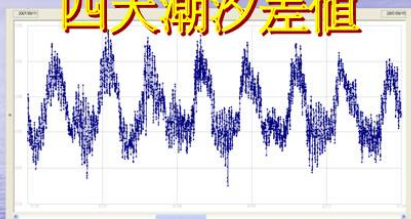


39

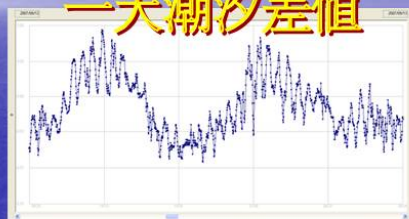


4-5-4、高雄港第一及第二港口潮位差值圖

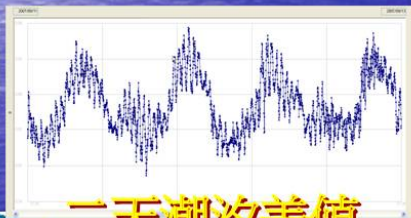
四天潮汐差值



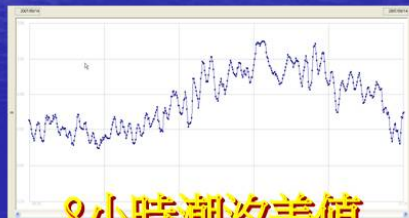
一天潮汐差值



二天潮汐差值



8小時潮汐差值



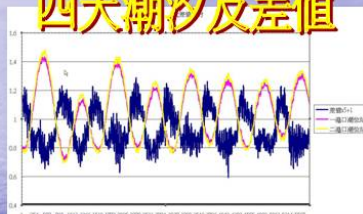
40



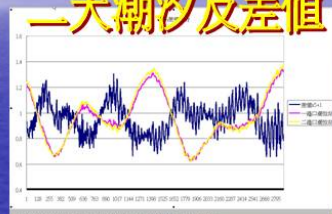
4-5-5、第一及第二港口潮位及差值圖

◆ 圖中差值=原始差值x5+1

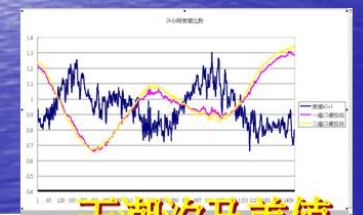
四天潮汐及差值



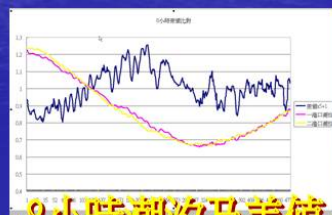
二天潮汐及差值



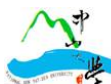
一天潮汐及差值



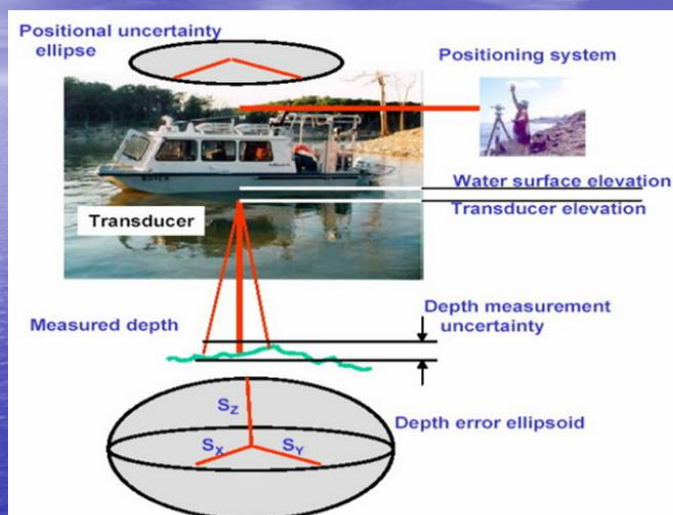
8小時潮汐及差值



41



4-6-1、多音束測深一等水域95%信賴程度之測深誤差預估



摘自美國工兵署Engineering and Design HYDROGRAPHIC SURVEYING

42



4-6-2、多音束測深在疏浚測量之精度

	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
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

43



4-6-3、多音束測深系統的總誤差傳播

	MRU to TRANS X (m)	MRU to TRANS Y (m)	MRU to TRANS Z (m)	NAV to TRANS X (m)	NAV to TRANS Y (m)	NAV to TRANS Z (m)	TRANS Roll (deg)
1	-0.005	0.111	-0.746	0.860	-10.900	-5.556	0.000

安置位置及角度

	Motion Gyro (deg)	Heave % Amp	Heave (m)	Roll (deg)	Pitch (deg)	Position Nav (m)
1	0.050	5.000	0.050	0.010	0.010	0.050

儀器量測精度

總誤差傳播

	Beam	Depth (m)	Tide (m)	Dp TPE (m)	Hx TPE (m)	IHO S-44
1	103	25.357	0.805	0.170	1.716	Spec. Order
	104	25.353	0.805	0.170	1.716	Spec. Order
	101	25.355	0.805	0.170	1.726	Spec. Order
	102	25.341	0.805	0.170	1.726	Spec. Order
	105	25.326	0.805	0.170	1.726	Spec. Order

	Offset X (m)	Offset Y (m)	Offset Z (m)	Vessel Speed (m/s)	Loading (m)	Draft (m)	Delta Draft (m)
1	0.010	0.010	0.010	0.000	0.000	0.000	0.000

量測誤差

	MRU Align StdDev gyro	MRU Align StdDev Roll/Pitch
1	0.000	0.000

船隻姿態安置角度

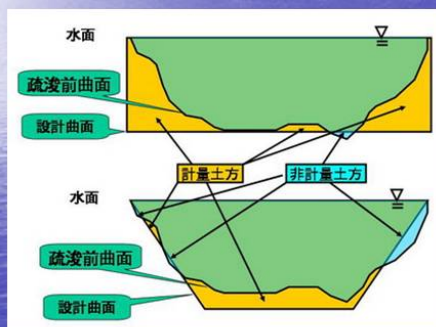
44



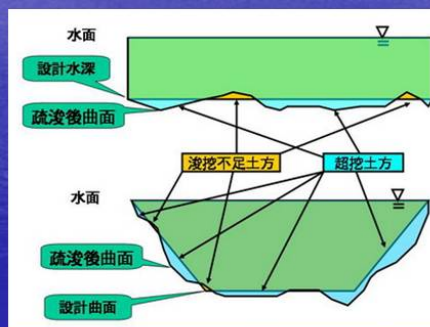


4-7-1、疏浚工程土方計量及檢核原則

土方計量原則



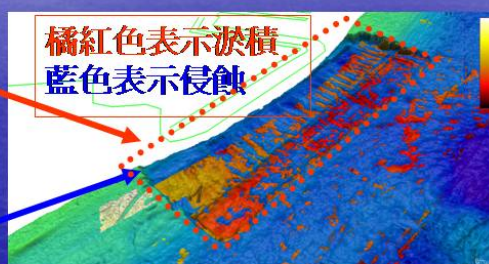
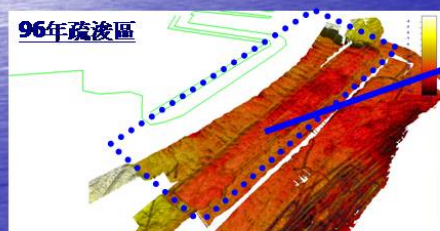
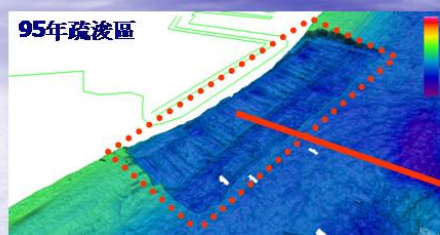
土方檢核原則



45



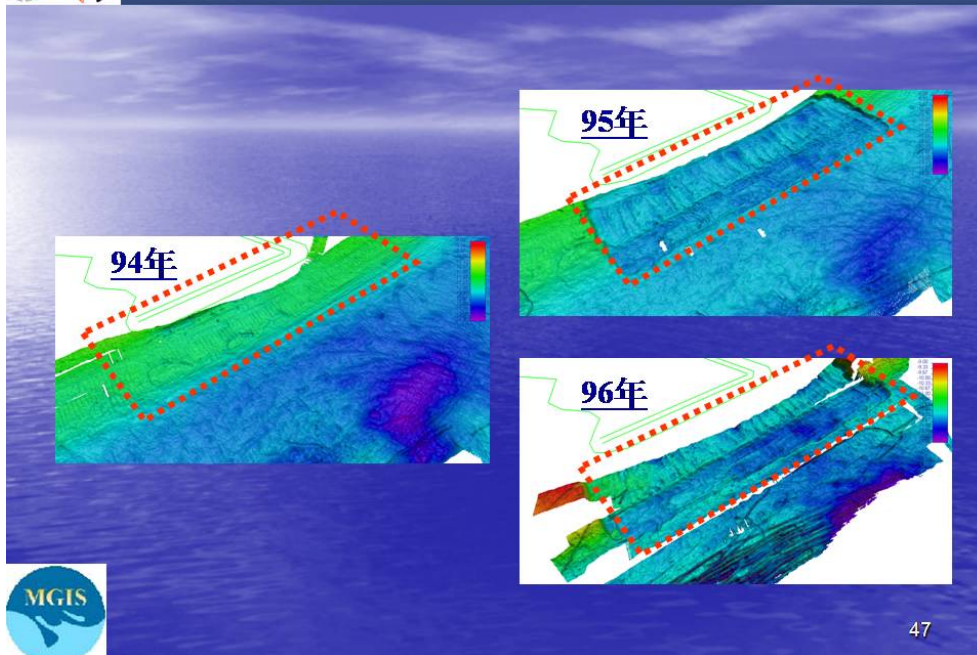
4-7-2、高雄港疏浚區水深兩年變化圖



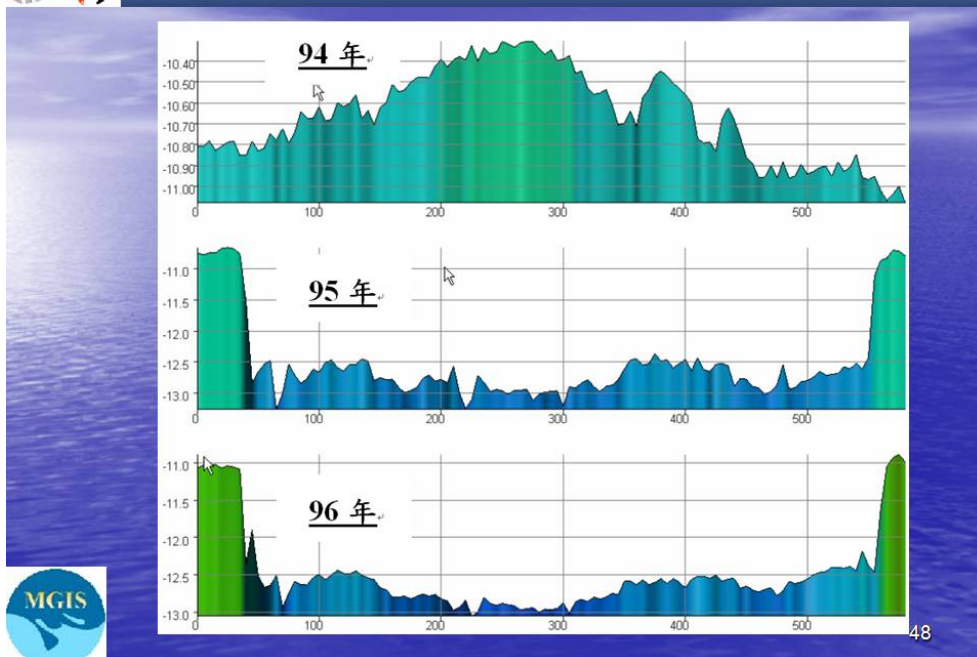
46



4-7-3、高雄港疏浚區水深三年變化圖

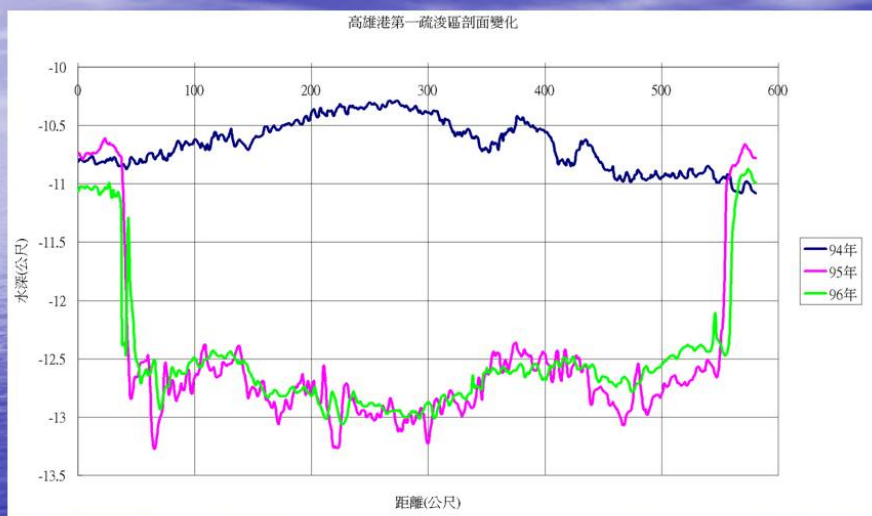


4-7-4、94年至96年疏浚區水深剖面變化圖





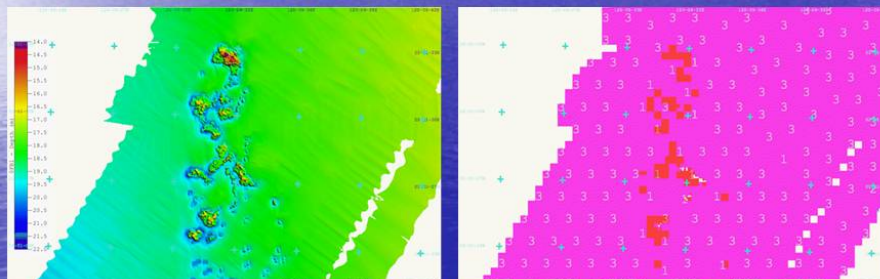
4-7-5、疏浚區剖面94年至96年水深變化圖



49



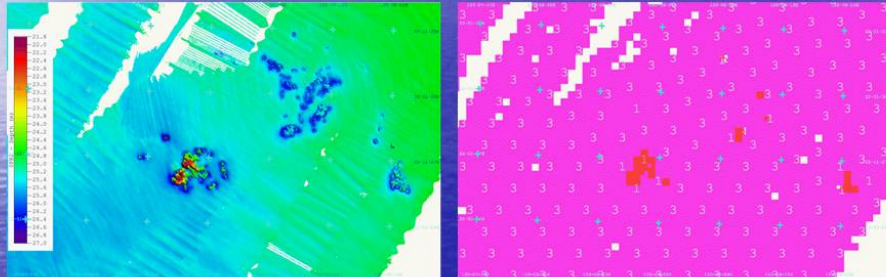
4-8-1、多音束測深及底質分類結果-漁礁區1



50



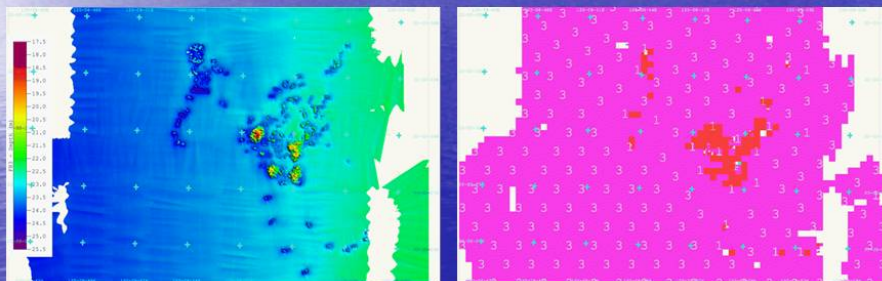
4-8-2、多音束測深及底質分類結果-漁礁區2



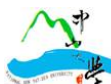
51



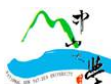
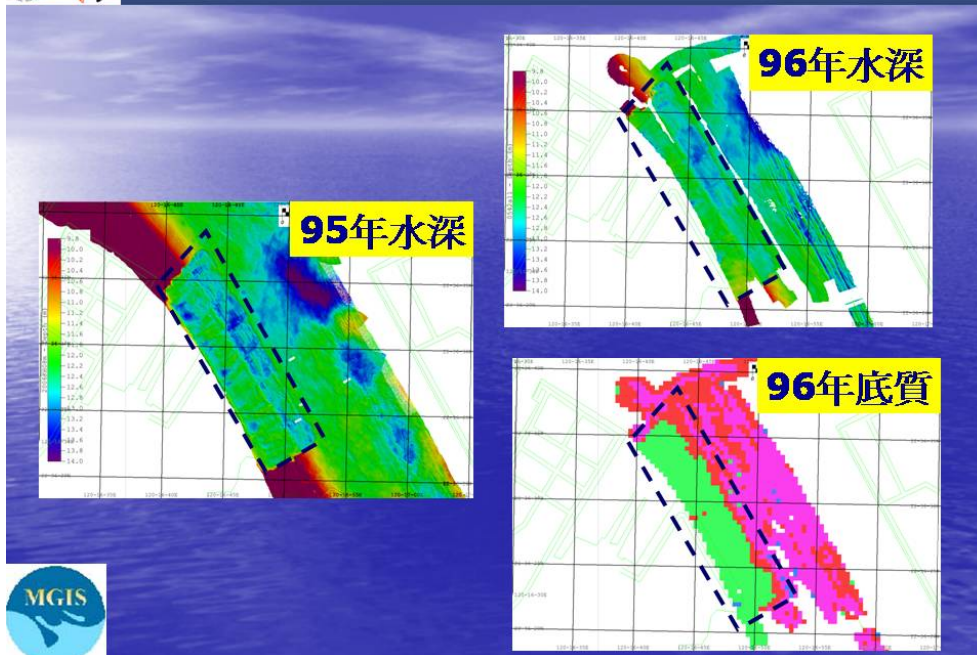
4-8-3、多音束測深及底質分類結果-漁礁區3



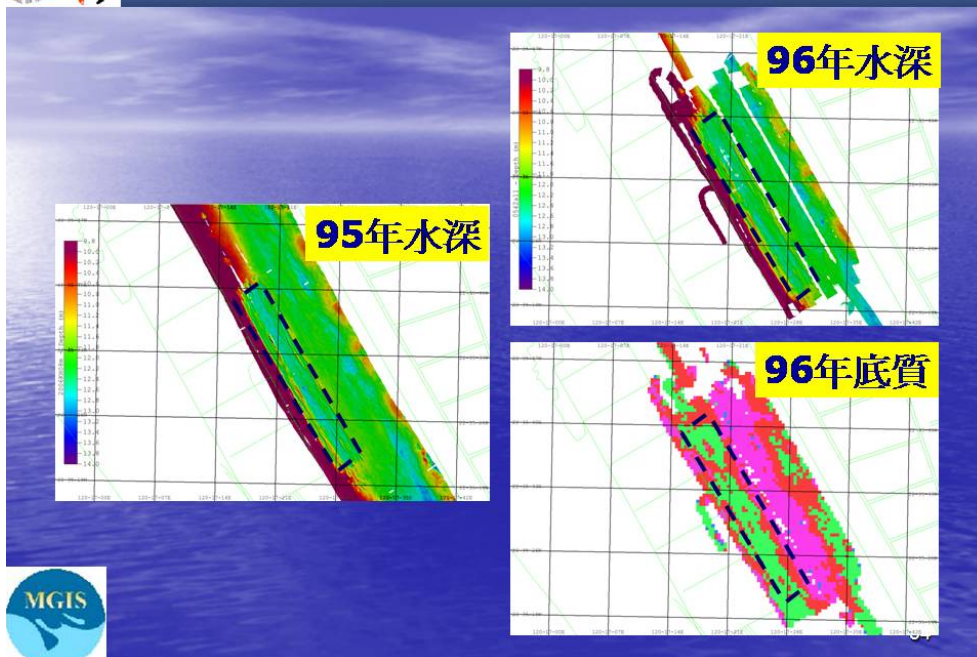
52



4-8-4、多音東測深及底質分類結果-高雄港疏浚區1

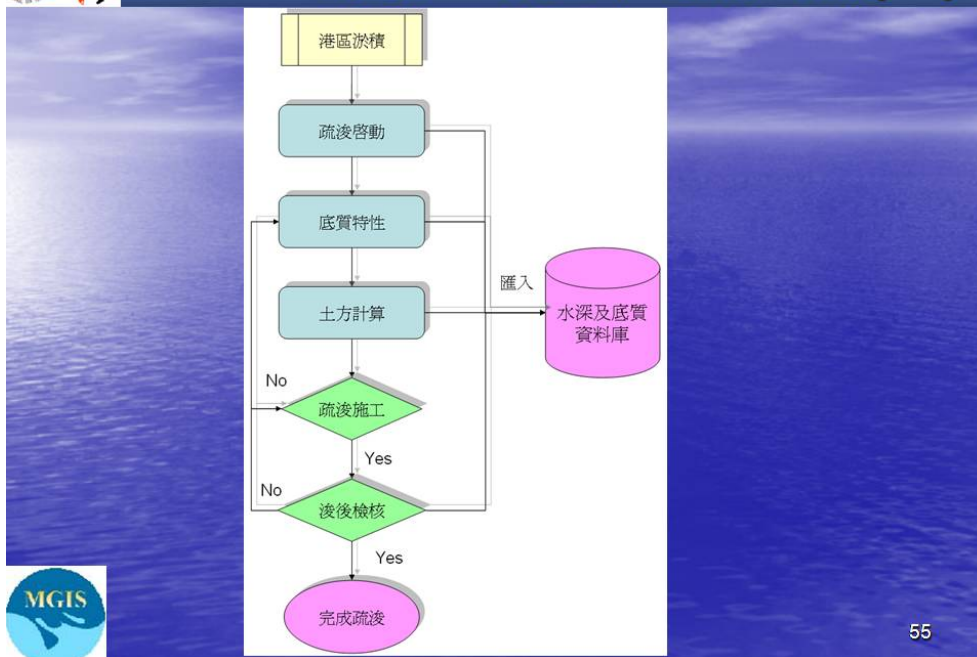


4-8-5、多音東測深及底質分類結果-高雄港疏浚區2

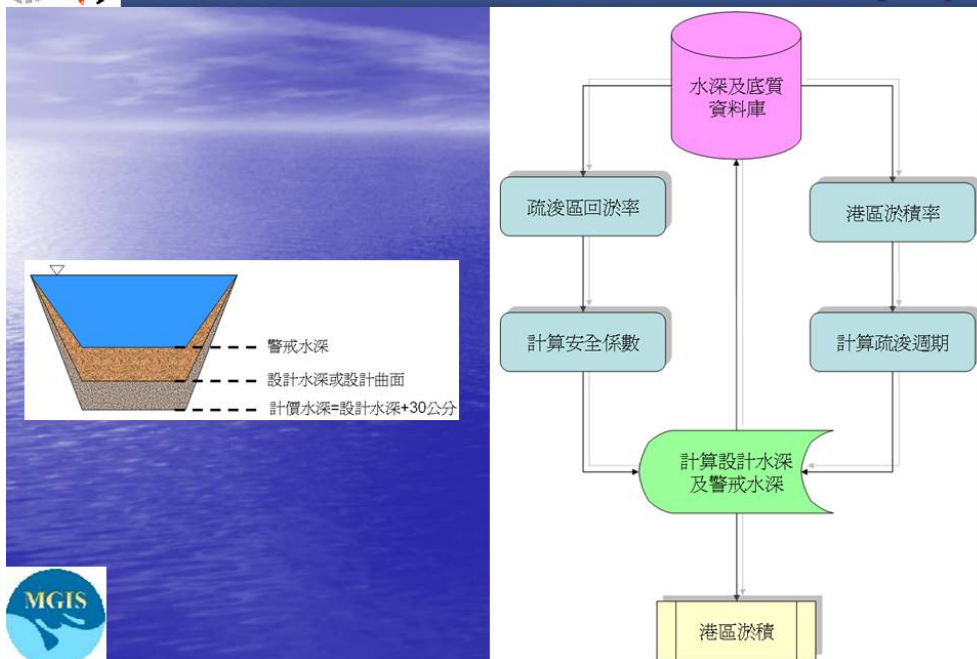




4-9-1、疏浚工作生命週期流期(一)



4-9-2、疏浚工作生命週期流期(二)





5-1、結論

1. 多音束測深系統有本質上的差異，原則上多音束系統之測深精度較高，較適合疏浚工程之應用，單音束測深系統可做為輔助檢核系統，避免多音束測深具有系統性的錯誤(例如：pitch效應會造成海床系統性的提升或下降)。
2. 土方計量採用的網格大小會隨水深與海床特性改變，對於第一次採用多音束測深作為計量基礎的區域，可考量繪製網格大小及體積對照圖找出收斂的網格大小作為以後的參考基準。
3. 疏浚測量必須使用PPS模式修正時間遲滯，以提升測量精度，為避免定位誤差大於時間遲滯誤差，定位精度應至公分級。
4. 疊合修正(Patch test)四個參數疏浚測量的有不同程度影響，其中以Pitch效應對土方量的影響最顯著，造成整個海床升高或下降，屬於系統性誤差。與Pitch互補的Latency效應雖不會直接影響高程變化，錯誤的Latency常伴隨錯誤的Pitch。



57



5-2、結論

5. 疏浚測量之精度有二種品管方式：一、計算總傳播誤差，二、執行交錯檢核，未達疏浚測量要求的資料皆應刪除。
6. 高雄港第一港口及第二港港嘴相距約9公里，高低潮時的潮位差約1~2公分，而潮時造成的潮位差值已經介於正負5~6公分左右不等，疏浚測量時驗潮站應設置在測區內，並且於測區對角邊界上加設前後驗潮站，以內插潮位資料。
7. 今年度測區分為三個區域：高雄港內、高雄港外及台南興達港外海人工漁礁區，研究的目標主題分別為多音束疏浚測深及海床表層分類，實際執行資料收集作業時發覺二者作業準則並不相同，同時以多音束聲納收集水深及聲波資訊時，有必要找出多音束聲納於該區水域可同時收集資訊的參數。



58



5-3、結論

8. 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，以平均或最接的方式修正潮位。



59



5-4、未來工作

1. 限於經費與作業目標，並未完全量測完整的高雄港區底質資訊。就目前已知的高雄港內採樣資訊大多為細泥，但港務局自行疏浚時發覺，以吸斗式浚挖機作業，只能浚挖軟質海床，另外由今年的聲波式海床表層底質分類探測結果發現，疏浚後原始底質特性顯露，今明二年港務局陸續分區疏浚，可想而知，各種海床底質特性將會顯露無遺，未來可考慮執行全港區的聲波式底質探測，作為未為底質資料庫的代表性基準。



60

