

98-62-7416
MOTC-IOT-97-H2DB008

淺水域多音束量測水深技術研究 (4/4)



交通部運輸研究所
中華民國 98 年 5 月

98-62-7416
MOTC-IOT-97-H2DB008

淺水域多音束量測水深技術研究 (4/4)

著 者：邱永芳、李賢華、薛憲文、蔡金吉

交通部運輸研究所
中華民國 98 年 5 月

98

淺水域多音束量測水深技術研究
(4/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1009801333

定價 100 元

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. (4/4) / 邱永

芳等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運輸研究所，民 98.05

面；公分

參考書面：面

ISBN 978-986-01-8754-0(平裝)

1. 海洋探測 2. 水中聲學 3. 地理資訊系統

351.924

98009649

淺水域多音束量測水深技術研究(4/4)

著者：邱永芳、李賢華、薛憲文、蔡金吉

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 98 年 5 月

印刷者：良機事務機器有限公司

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網站

定價：新臺幣 100 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1009801333

ISBN：978-986-01-8754-0 (平裝)

著作財產權人：中華民國（代表機關：交通部運輸研究所）

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

交通部運輸研究所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(4/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN 978-986-01-8754-0（平裝）	政府出版品統一編號 1009801333	運輸研究所出版品編號 98-62-7416	計畫編號 97-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：李賢華教授 研究人員：薛憲文、李忠潘、陳陽益、黃明哲、張功武、林照川 地址：高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5255067		研究期間 自 97 年 03 月 至 97 年 11 月
關鍵詞：多音束測量；水深測量規範；地理資訊系統			
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四年，探討多音束聲納偵測海床特徵物之評估研究，探討多音束聲納偵測港灣構造物之評估研究，匯整多音束測深系統相關之應用技術及規範。 成果效益： 1. 制訂「港灣水域之多音束測深規範(草案)」建立國內多音束測深準則。 2. 培訓約 30 人次港務局水深測量相關業務從事人員接受多音束測深技術訓練。 3. 建置高雄國際商港作為示範測區，分析比較兩年期間漂沙回淤率，獲得疏浚週期參數。 4. 獲得傳統測量法(單音束測深)及新測量法(多音束測深)之成果差異，瞭解疏浚測量必須採用多音束測深的原因。 5. 建立多音束測深技術在港灣水域疏浚工程應用之作業模式。 6. 建立多音束測深技術在港灣水域疏浚工程之作業規範。 7. 提升多音束聲納系統測繪港灣水下構造物的能力。 8. 獲得多音束聲納系統偵搜水下特徵物的能力特性。 9. 探討多音束測深系統進行海床底質分類之作業模式，加強港灣疏浚的估算可能性。 10. 探討多音束測深技術在港灣工程施工及監測之應用範例、軟硬體系統需求極可能之作業限制分析。			
出版日期	頁數	工本費	本 出 版 品 取 得 方 式
98 年 5 月	150	100	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按工本費價購。
機密等級： ☐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: Multibeam Echo Sounding Technology in Shallow Water (4/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN 978-986-01-8754-0 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009801333	IOT SERIAL NUMBER 98-62-7416	PROJECT NUMBER 97-H2DB008
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yuang-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yuang-fang PROJECT STAFF: Tsai Chin-chi PHONE: +886-4-26587221 FAX: +886-4-26571329			PROJECT PERIOD FROM March 2008 TO November 2008
RESEARCH AGENCY: NATIONAL SUN YAT-SEN UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Li Sian-hua PROJECT STAFF: Shyue Shiahn-wern; Lee Chung-pan; Chen Yang-yih; Huang Ming-jJer; Chang Kung-wu ADDRESS: 70 Lien-hai Rd. Kaohsiung 804, Taiwan ROC PHONE: +886-7-5255067			
KEY WORDS: Multibeam Survey; Echo Sounding Surveys Standard; GIS			
ABSTRACT The purpose of this project is to study the full coverage bathymetry, shoaling rate, and distribution of the sediment types of Taiwan commercial harbors in order to compete with worldwide harbors due to high ship loading trends, internationalized harbor engineering and dredging works after joining WTO, and to avoid disputes about engineering jobs. Recently, shallow water multibeam echo sounding (MBES) technology has mature; now is a good time to investigate all of the 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 fourth year of the project has explored the capability of detection of underwater features and mapping of harbor structures using MBES, and And the necessary MBES's technology and standards have been integrated.			
DATE OF PUBLICATION May 2009	NUMBER OF PAGES 150	PRICE 100	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·····	VI
表 目 錄·····	IX
第一章 前 言·····	1-1
1.1 計畫摘要·····	1-1
1.2 計畫背景分析·····	1-1
1.3 研究範圍與對象·····	1-2
1.4 研究內容與工作項目·····	1-3
1.5 預期成果·····	1-3
第二章 研究方法及進行步驟·····	2-1
2.1 多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究·····	2-1
2.1.1 多音束聲納系統之應用回顧·····	2-1
2.1.2 多音束聲納系統檢測港灣構造物的限制條件·····	2-2
2.1.3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法·····	2-3
2.1.4 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的差異·····	2-4
2.2 多音束聲納系統偵測海床特徵物之評估研究·····	2-5
2.2.1 利用多音束測深資料建立海底地形圖·····	2-6
2.2.2 利用海床表面特性建置海床表面分類圖·····	2-8

2.2.3 整合多音束聲納成果分析特徵物·····	2-11
2.3 匯整多音束測深技術及規範文件·····	2-12
第三章 多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究·····	3-1
3.1 多音束聲納系統應用模式回顧·····	3-1
3.2 多音束聲納系統檢測港灣構造物的限制條件·····	3-2
3.3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法·····	-14
3.4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的海象限制·····	3-15
3.5 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的差異·····	3-19
第四章 多音束聲納系統偵測海床特徵物之評估研究·····	4-1
4.1 多音束聲納作業條件·····	4-1
4.1.1 資料解析度的限制·····	4-1
4.1.2 作業模式差異·····	4-2
4.2 由海底地形圖判視特徵物·····	4-4
4.2.1 船型漁礁案例·····	4-4
4.2.2 疑似沈箱案例·····	4-5
4.2.3 方形結構物案例·····	4-6
4.2.4 沙漣案例·····	4-6
4.2.5 沙漣上的特徵物案例·····	4-7
4.2.6 海床上管線溝渠案例·····	4-8
4.2.7 海床斷崖案例·····	4-9
4.2.8 沈陷物推算案例·····	4-9
4.3 由底質分類圖輔助判視特徵物·····	4-10

第五章 多音束測深技術及規範文件·····	5-1
5.1 國際海測規範(IHO SP44)第五版·····	5-1
5.1.1 章節調整·····	5-1
5.1.2 第五版主要異動內容·····	5-2
5.1.3 第五版前言概述·····	5-2
5.1.4 基本定義(FUNDAMENTAL DEFINITIONS)·····	5-5
5.2 建議修訂之量測等級·····	5-7
第六章 結論與建議·····	6-1
6.1 結論·····	6-1
6.2 建議·····	6-3
第七章 專有名詞解釋及中英文對照表·····	7-1
7.1 專有名詞解釋·····	7-1
7.2 中英文對照表·····	7-3
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
附錄五 多音束測深規範(草案)·····	13-1

圖 目 錄

圖 1 足印與水深及音束角的關係圖·····	2-3
圖 2 音鼓右傾示意圖·····	2-4
圖 3 多音束聲納資料及成果流程圖·····	2-6
圖 4 多音束測深流程圖·····	2-7
圖 5 底質分類流程圖·····	2-8
圖 6 底質分析原理示意圖·····	2-9
圖 7 底質分類 Q-Space 分類圖·····	2-10
圖 8 底質自動分類統計分數及分類數量結果·····	2-10
圖 9 底質分類結果圖·····	2-11
圖 10 臺南外海人工漁礁水深色階圖·····	2-12
圖 11 臺南外海人工漁礁表面底質分類圖·····	2-12
圖 12 NOAA 水深測量規範·····	2-13
圖 13 管線裸露在海床上·····	3-3
圖 14 未掩埋之管線渠道·····	3-3
圖 15 渠道剖面示意圖·····	3-4
圖 16 航行渠道及迴船池剖面示意圖·····	3-4
圖 17 鳳鼻頭防波堤堤頭反射效應·····	3-5
圖 18 繫纜錨鼓圓形凹槽·····	3-6
圖 19 繫纜錨鼓水滴形凹槽·····	3-6
圖 20 臺南永安外海沈陷中的田字形混凝土人工漁礁·····	3-7

圖 21 多音束量測航向與線狀物軸向的關係·····	3-9
圖 22 多音束量測水平及垂直物體的足印示意圖·····	3-10
圖 23 水深、音束入射角之等足印圖·····	3-11
圖 24 水平音鼓及傾斜音鼓 Roll 及 Yaw 的檢校條件示意圖·····	3-15
圖 25 Pitch 效應及 Yaw 效應示意圖·····	3-16
圖 26 96 年 11 月 1 日花蓮港沈箱檢測成果·····	3-17
圖 27 97 年 6 月 6 日花蓮港沈箱檢測成果·····	3-18
圖 28 97 年 6 月 7 日花蓮港沈箱檢測成果·····	3-19
圖 29 沈箱裂縫寬度比對·····	3-21
圖 30 以多音束測深方式測量沈箱裂縫深度·····	3-22
圖 31 海床上輪胎之位置偏移約 1 公尺·····	3-22
圖 32 音束角、音鼓張角、音束入射角及水深與足印的關係·····	4-1
圖 33 音束入射角及水深與 0.5 音束角的等足印圖·····	4-2
圖 34 50 公尺沈船案例·····	4-4
圖 35 30 公尺沈船案例·····	4-5
圖 36 20 公尺沈船案例·····	4-5
圖 37 疑似沈箱案例·····	4-6
圖 38 方形結構物案例·····	4-6
圖 39 沙漣案例(一)·····	4-7
圖 40 沙漣案例(二)·····	4-7
圖 41 沙漣上的特徵物案例·····	4-8

圖 42 海床上管線溝案例·····	4-8
圖 43 海床斷崖案例·····	4-9
圖 44 特徵物沈陷後的凹槽案例·····	4-9
圖 45 高雄港疏浚區海床地形及底質分類圖·····	4-10
圖 46 人工漁礁海床地形及底質分類圖·····	4-10
圖 47 群聚的人工漁礁海床地形及底質分類圖·····	4-11
圖 48 水下管線溝渠海床地形及底質分類圖·····	4-12

表 目 錄

表 1 花蓮港沈箱測量之海象條件範例·····	3-16
表 2 光學式及聲學式檢測優缺點比較表·····	3-20
表 3 聲波波長與模式對照表·····	4-3
表 4 國際海測規範章節異動表·····	5-1
表 5 淺水多音束測量精度規範(舊版)·····	5-7
表 6 淺水多音束測量精度規範(新版)·····	5-8

第一章 前言

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四年，探討多音束聲納偵測海床特徵物之評估研究，探討多音束聲納偵測港灣構造物之評估研究，匯整多音束測深系統相關之應用技術及規範。

1.2 計畫背景分析

臺灣每年平均受 3~4 個颱風的侵襲，使得防波堤在颱風期間受波浪之作用，亦引起消波式胸牆的破壞，造成防波堤必需經常加以維修與復建。強烈颱風「龍王」於民國 94 年 10 月 02 日侵襲臺灣，並於清晨 05:10 在花蓮豐濱附近登陸，為臺灣東部帶來史上最強的 17 級以上(56.1m/s 以上)陣風。由於適逢大潮期間，且復逢颱風中心於花蓮港附近登陸，原停泊於花蓮港 12 號碼頭船舶總噸為 7,852(GT) (載重噸 13,323)之「金瀧輪」，雖已加強船邊帶纜之應變作為，但仍不敵大自然威力，於 2 日凌晨 03:30 發生斷纜事件並造成東防波堤之多處損壞，亟需修護。船舶斷纜除對該船之安全造成影響外，對繫泊於港內之其他船舶及港內設置之設施亦形成極大的安全顧慮。雖然颱風影響可視為短期現象，但其所造成之傷害程度與影響範圍確不容忽視。

除了短期的巨浪的損壞，經年累月的海水沖洗與波浪作用同樣會消耗原有結構物之強度，港灣構造物常因氣候因素而縮短其原先設計之使用年限，由於港務結構工程重整費用龐大，並且對港口運輸營運產生衝擊，基於預防勝於治療的理念，維修重於重整是今後港灣工程發展的導向，因此如何定期監測港灣設施的性能，適時補強及修護延長其使用年限，是各港灣主管機關未來的重要課題。

水面以上設施的損壞顯而以見，而水面以下港灣設施的監測較為困難，傳統的水下監測以派遣潛水員拍攝水下設施的狀況，但經常受限於水中視界不足及船泊進出頻繁潛水人員安全戡慮的影響，至於外防波堤的檢測，潛水人員更易受到湧浪效應作用產生危險。近年來高解析淺水多音束測深系統足以補強傳統式水下監測的缺點，本年度研究主題之一為針對多音束測繪港灣構造物之作業模式及限制條件。

本計畫過去二年嘗試分析多音束聲納的回波反射(seabed echo)及散射(backscatter)資訊，累積多音束測量經驗，並蒐集海床表面底質分類的成果，預期以一個航次作業所需成本獲得二項成果：測深值及海床表面的底質特性。

本計畫於 94 年提出「港灣水域多音束測深規範(草案)」，96 年則針對疏浚工程之精度評估，提出更精密的探討，以補規範不足之處。另一方面，美國海洋大氣總署(NOAA)的”NOS HYDROGRAPHIC SURVEYS SPECIFICATIONS AND DELIVERABLES”，亦於去年(96 年)四月更新內容，本計畫預定匯整四年來多音束測深相關成果及更新技術規範。

1.3 研究範圍與對象

本計畫以針對國內水深測量現況，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，共分四個年度完成，各年度之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：探討多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究、研究多音束聲納系統偵測海床特徵物之評估及匯整多音束測深技術及規範文件。

1.4 研究內容與工作項目

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。

本年度之工作項目

- 1.多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究。
- 2.多音束聲納系統偵測海床特徵物之評估研究。
- 3.匯整多音束測深技術及規範文件。

1.5 預期成果

- 1.多音束聲納系統測繪港灣構造物的程序及其限制。
- 2.多音束聲納系統偵搜水下特徵物的程序及其限制。
- 3.多音束測深技術報告及規範匯整。

第二章 研究方法及進行步驟

2.1 多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究

2.1.1 多音束聲納系統之應用回顧

在過去的的文獻中，多音束測深儀的應用範圍涵蓋廣泛，從港灣工程、疏浚工程、生態研究、地形及地質調查至水壩檢測...等層面。多音束測深儀製造商 Reson 將應用範圍分為：水深基本調查(General Hydrographic Surveying)、防波堤調查(Breakwater Surveying)、碼頭及河流調查(Harbor and River Surveys)、漁業研究(Fisheries research)、淺水研究(Shallow water research)、生物量估算(Biomass estimation)、魚類棲息地地形調查(Fish school topography)、魚類行為分析(Behavior analysis)、水庫測量(Reservoir Surveys)、疏浚前調查(Pre-dredging Surveys)、疏浚後調查(Post-dredging Surveys)、礙航物調查(Obstacle Avoidance)、地形現況調查(Condition Surveys)、橋墩調查(Bridge Abutment Surveys)、洪氾區評估(Flood Damage Assessment)、護岸調查(Retement Surveys)及水壩檢測(Dam Inspections)、管線調查(Pipeline inspection)、管線路徑調查(Pipeline route surveys)等，其中多項應用層面與港灣工程應用直接相關或部份相關的應用分為五大項目：

1. 水深地形概況調查：調查海床基本現況，其資料做後續工程設計及進階測量的背景資料。
2. 疏浚測量：河道或航道疏浚前後測量，其資料可做為土方計價及浚後驗收用途。
3. 管線調查：調查管線現況，檢核覆土是否被淘空?管線是否裸露?
4. 水下結構物檢測：調查防波堤、橋墩、護岸、消波塊等水下結構物調查。
5. 礙航物調查：調查水中懸浮或海床上可能防礙航行的物體。

本章節以收集文獻方式了解多音束測深技術在港灣工程(防波堤、碼頭、疏浚等)施工及監測(沖刷、侵蝕、移位等)之應用概況，進而探討多音束聲納系統在港灣構造物之檢核應用。

2.1.2 多音束聲納系統檢測港灣構造物的限制條件

1.分析各種構造物的檢測需求。

首先分析各種構造物，例如：管線、渠道、消波塊、基腳、沈箱、...等人工結構物的特性，分析構造物尺寸大小、排放方式、平整性、檢測的可能性...等，了解各種結構物檢測的基本需求，以管線異常狀況探測為例，首重管線是否懸空?其次為管線是否裸露在海床上？

2.分析多音束聲納系統的解析度及精度。

在平坦的海床上要描繪一個凸出物體，至少要三個點以上，較為精密的描述至少要 5 個點以上，點和點間的距離即為最小解析度要求。

多音束測深的解析度稱為足印(footprint)，足印隨著音束角、水深與入射角有所不同，常見的淺水式多音束角為 0.5 度及 1.5 度，下圖分別為音束角 0.5 度及 1.5 度時的足印變化圖，在同樣水深，以 0.5 度音束角為例，正下方的足印最小(音束角 0~0.5 度)，外部音束足印最大(音束角 59.5~60 度)。

大部份的人工結構物都不是平坦座落在海床上，因此音束入射角與足印亦是本章節探討的主題。

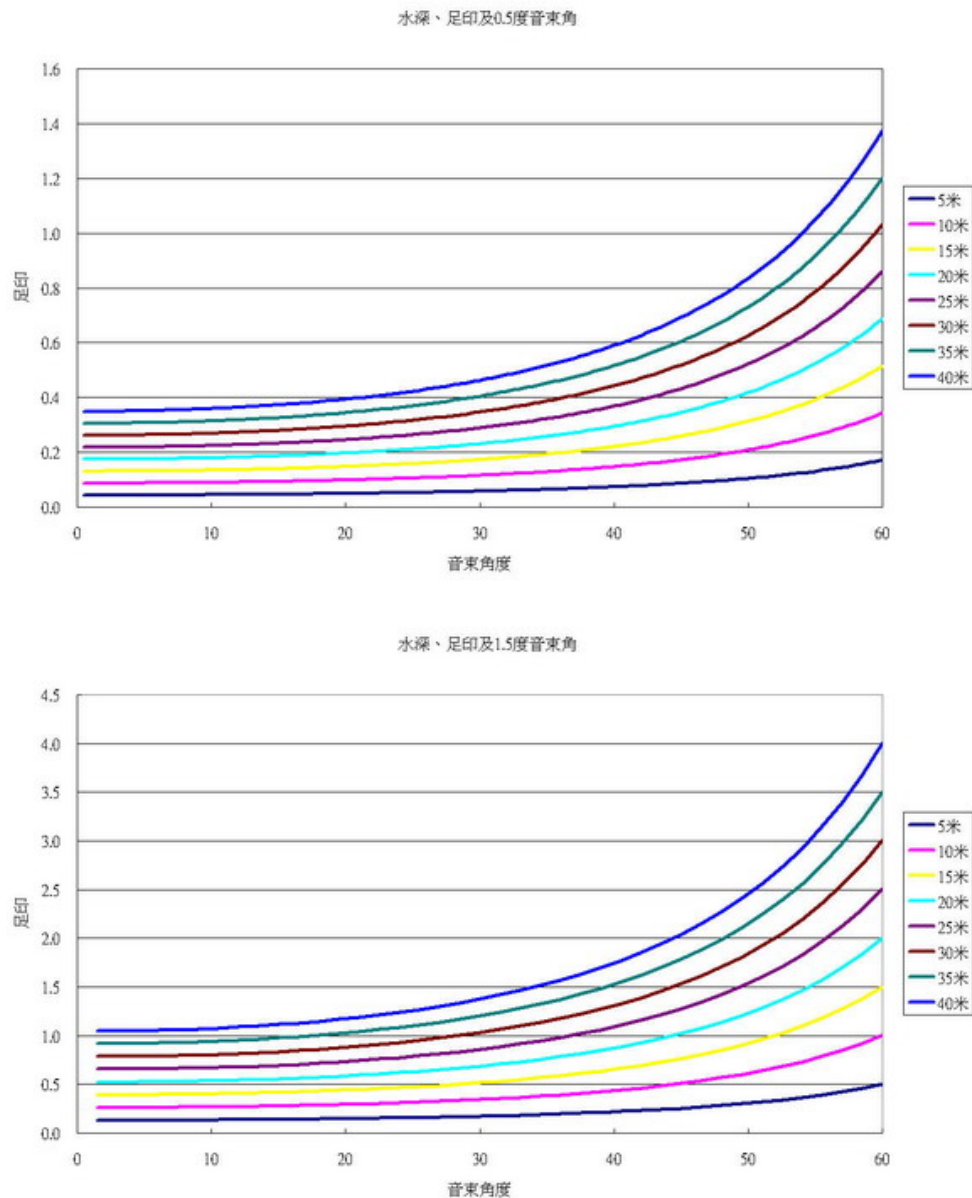


圖 1 足印與水深及音束角的關係圖

統除了聲納以外，包括：定位儀、電羅經、船隻姿態儀、聲速剖面儀及潮位儀，每一種儀器各有其精度限制，可以總誤差傳播(TPE)分析方式，探討整個多音束測深系統的誤差及精度。

2.1.3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法

本章節根據前章節提出的港灣構造物檢測需求及多音束測深系統精度，探討各種構造物的檢測作業步驟。

為了增加垂直壁的測量範圍，可將音鼓傾斜至張角一側接近水平，如下圖所示。配合不同的結構物檢測，必須調整的船速限制、傾斜張角、定位精度、疊合檢校(Patch Test)、作業水深...等，都將逐一探究。

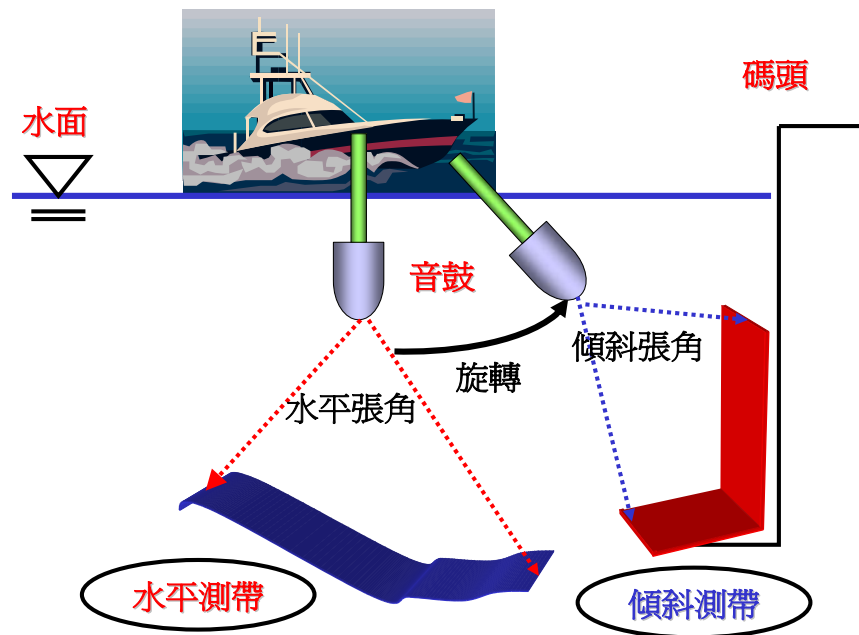


圖 2 音鼓右傾示意圖

2.1.4 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的差異

傳統的檢測方式以水下攝影為主，為雇用具有合法潛水執照的潛水員，以水下拍照、攝影、皮尺及水尺量測等方式檢測水下結構物之損害情形，攝影作業時以連續攝影觀測為原則。

二種檢測方法各有其優缺點，本章節探究檢測方法及成果差異性：

1. 人員的安全性。
2. 光學與聲學檢測的作業差異。
3. 成果資料的密度。

4. 成果的量化性。
5. 成果在時間軸的比對性。
6. 成果為相對性或絕對性。

2.2 多音束聲納系統偵測海床特徵物之評估研究

多音束聲納量測作業可獲得三項資訊：回波時間、回波反射及回波散射；解算回波時間可得到測深值，分析回波反射及回波散射可得到海床表面特性；測深值可繪製海底地形圖，海床表面特性可繪製海床表面底質分類圖；匯整海底地形圖及海床表面底質分類圖可得到海床表面三維底質分類圖。

過去對於海床特徵物的判斷，主要依賴潛水人員或儀器採樣方式，由多音束測深的地形圖研判特徵物的能力，經常受限於特徵物的高程差及水深等條件，本章節找尋另外的判讀特徵物的方法，探究以海床表面特性配合海底地形圖，以分析判斷海床特徵物，研究及量測流程如下圖。

簡而言之，本章節利用多音束測深資料繪製立體圖，並且分析加掛側掃聲納得到的回波反射(seabed echo)及散射(backscatter)資訊，以區分目標物與海床表面特性的差異，達到分析海床特徵物的特性。

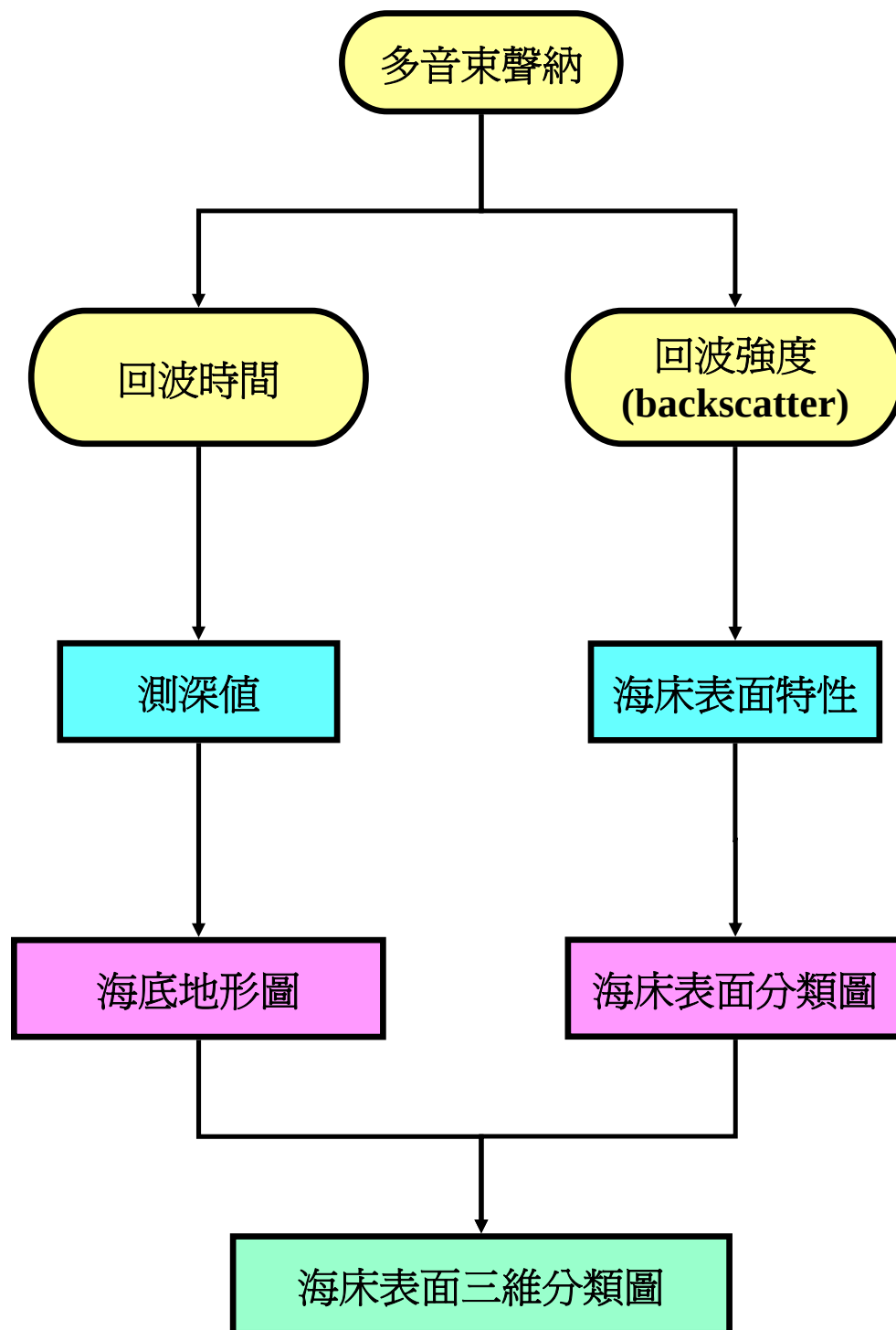


圖 3 多音束聲納資料及成果流程圖

2.2.1 利用多音束測深資料建立海底地形圖

本計畫過去三年已經對多音束測深有完整的介紹，下圖為多音束測深流程。

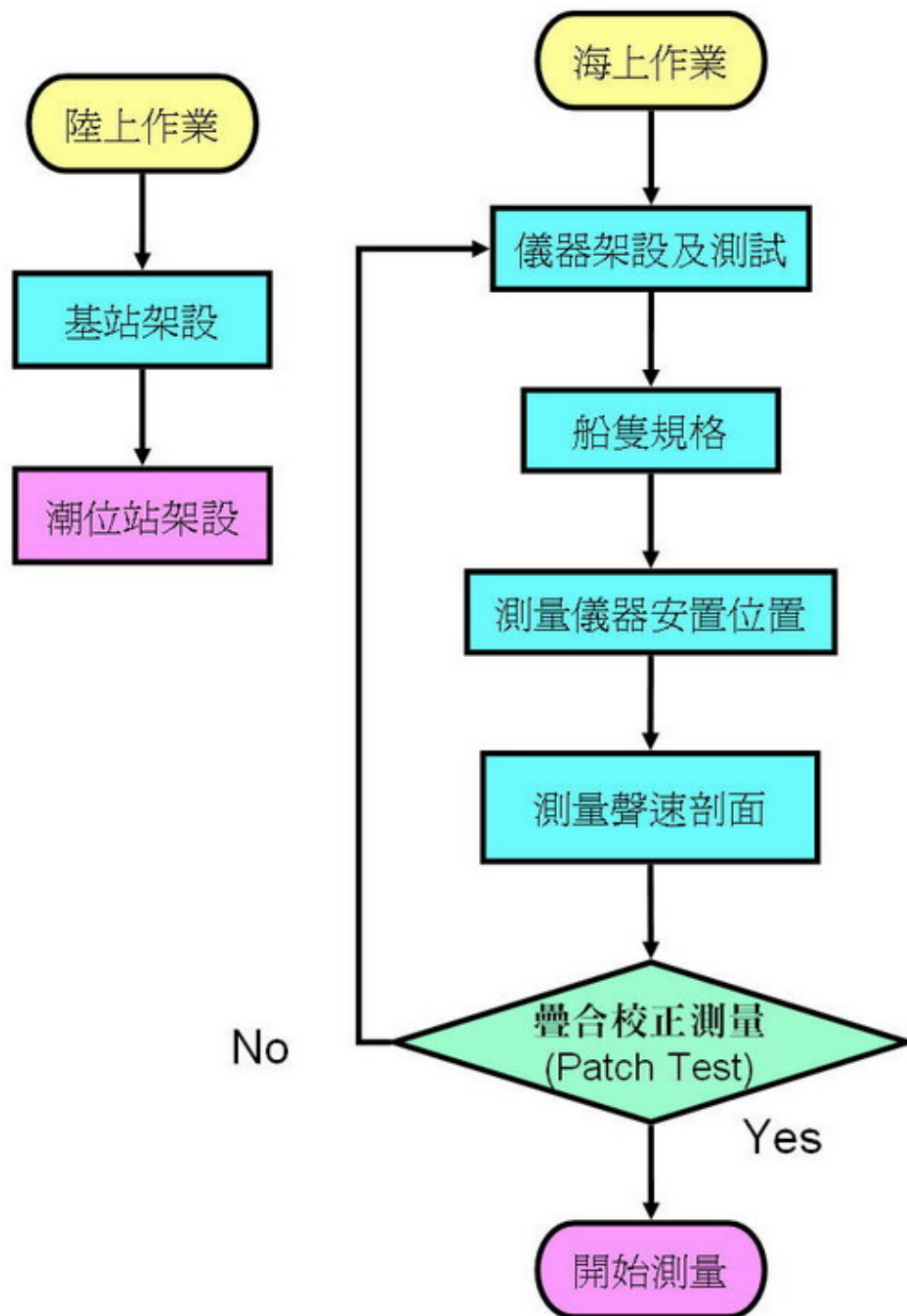
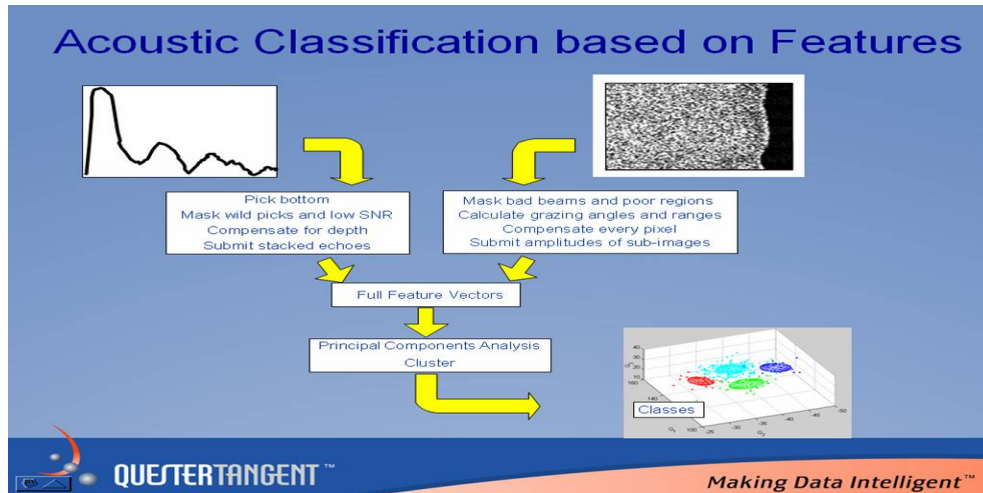


圖 4 多音束測深流程圖

2.2.2 利用海床表面特性建置海床表面分類圖

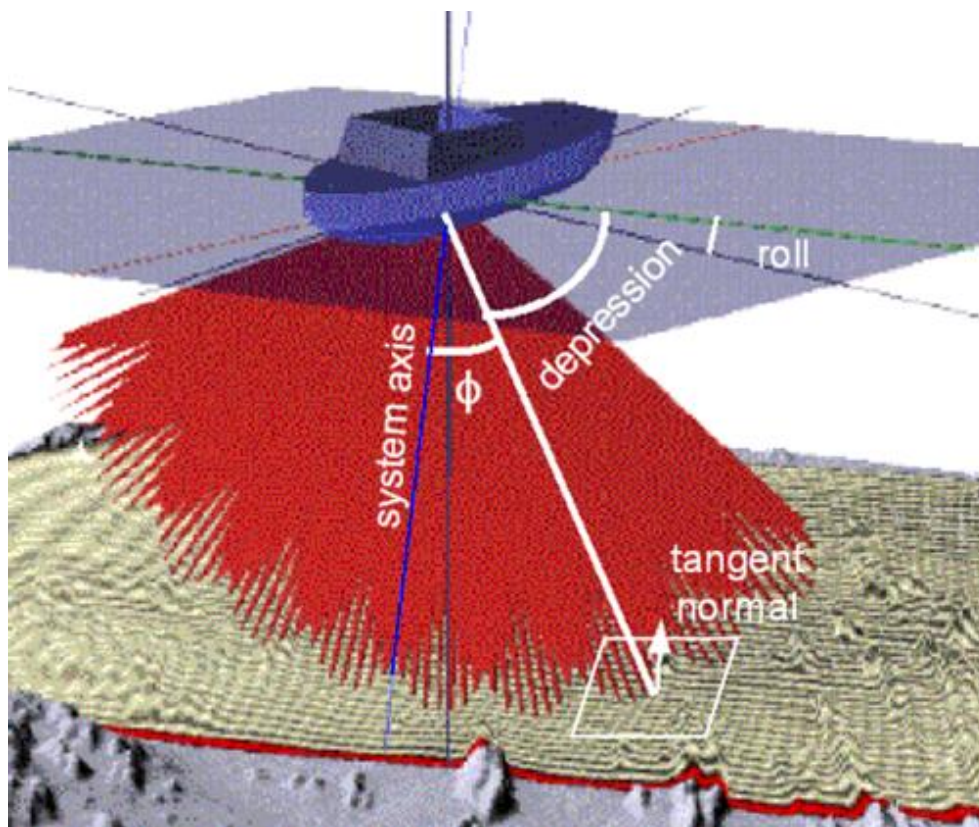
多音束測深時同步蒐集側掃聲納回跡影像，利用 QTC (Quester Tangent Corporation)公司的 Multiview 套裝軟體進行底質分類比對分析，分析流程可參照下圖。



摘自 MultiView 手冊

圖 5 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 6 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，且此過程是循環(iterative)的，可參照下圖。

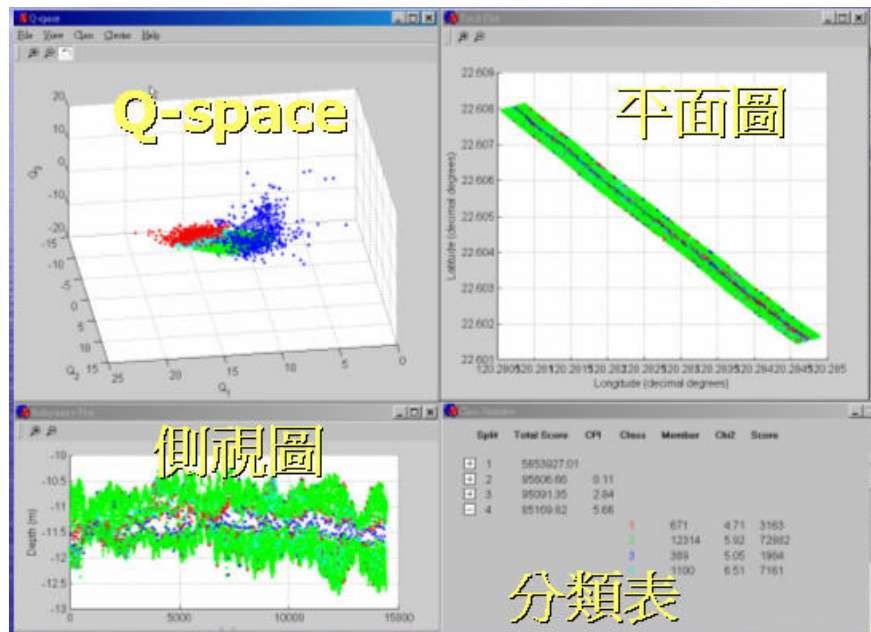


圖 7 底質分類 Q-Space 分類圖

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。

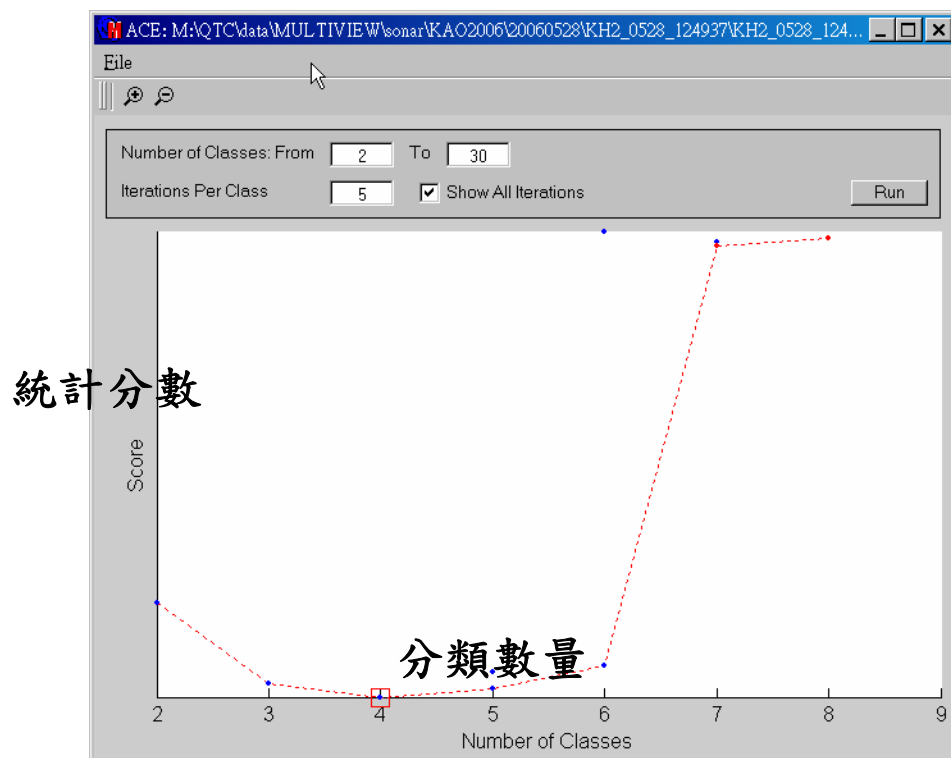


圖 8 底質自動分類統計分數及分類數量結果

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。

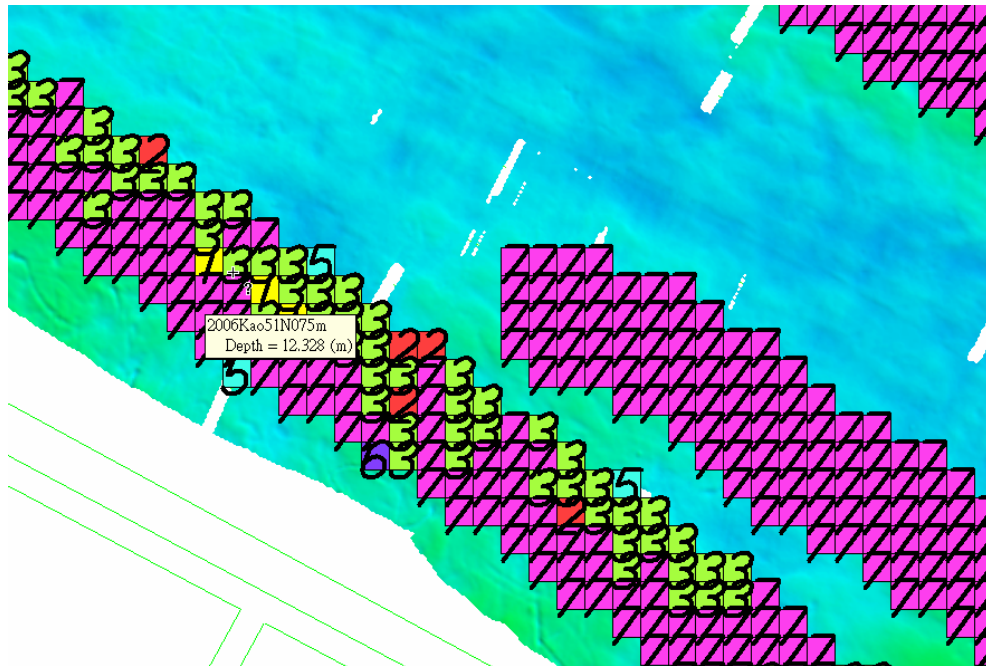


圖 9 底質分類結果圖

2.2.3 整合多音束聲納成果分析特徵物

本計畫去年針對臺南外海人工漁礁分析成果顯著，如下圖考量人工漁礁高程差，今年針對海床上高程差異較小的區域進行量測分析，預期能分離泥、砂及岩等較為明顯的海床表面底質類別。

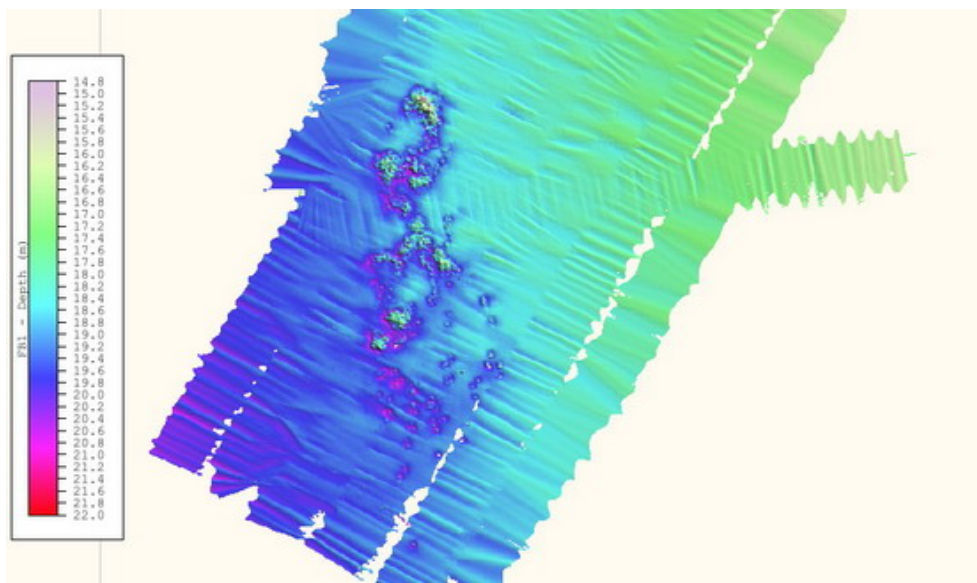


圖 10 臺南外海人工漁礁水深色階圖

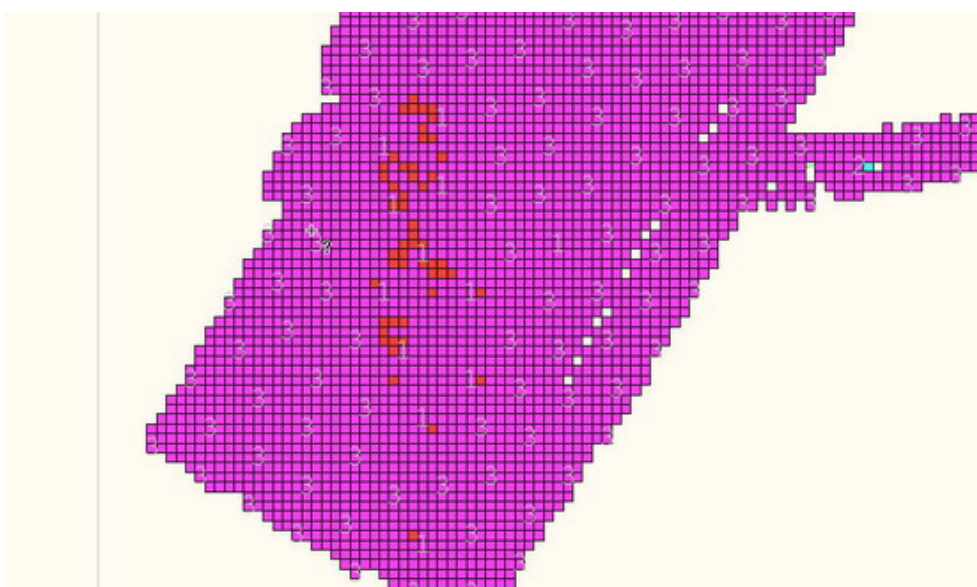


圖 11 臺南外海人工漁礁表面底質分類圖

2.3 匯整多音束測深技術及規範文件

國際海測組織(International for Hydrographic Organization, IHO)公佈『國際水深測量標準』(IHO Standards for Hydrographic Surveys,S-44)，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。但該項規範終究是以海圖量測為目的，加拿大海洋測量局(Canadian Hydrographic Services, CHS) 亦感到使用目的的不足性，除了以四個等級水域為基本分級外，另外增加 CHS 特級水域，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，定位精度提升為 1 公尺以內。本計畫於 94 年提出「港灣水域多音束測深規範(草案)」，96 年則針對疏浚工程之精度評估，提出更精密的探討，以補規範不足之處。另一方面，美國海洋大氣總署(NOAA)的”NOS HYDROGRAPHIC SURVEYS SPECIFICATIONS AND DELIVERABLES”，亦於 2007 年四月更新內容，本章節同步匯整更新內容。



NOS HYDROGRAPHIC SURVEYS SPECIFICATIONS AND DELIVERABLES

April, 2007

圖 12 NOAA 水深測量規範

第三章 多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究

3.1 多音束聲納系統應用模式回顧

在過去的的文獻中，多音束測深儀的應用範圍涵蓋廣泛，從港灣工程、疏浚工程、生態研究、地形及地質調查至水壩檢測...等層面。多音束測深儀製造商 Reson 將應用範圍分為：水深基本調查(General Hydrographic Surveying)、防波堤調查(Breakwater Surveying)、碼頭及河流調查(Harbor and River Surveys)、漁業研究(Fisheries research)、淺水研究(Shallow water research)、生物量估算(Biomass estimation)、魚類棲息地地形調查(Fish school topography)、魚類行為分析(Behavior analysis)、水庫測量(Reservoir Surveys)、疏浚前調查(Pre-dredging Surveys)、疏浚後調查(Post-dredging Surveys)、礙航物調查(Obstacle Avoidance)、地形現況調查(Condition Surveys)、橋墩調查(Bridge Abutment Surveys)、洪氾區評估(Flood Damage Assessment)、護岸調查(Retement Surveys)及水壩檢測(Dam Inspections)、管線調查(Pipeline inspection)、管線路徑調查(Pipeline route surveys)等，其中多項應用層面與港灣工程應用直接相關或部份相關的應用分為五大項目：

1. 水深地形概況調查：調查海床基本現況，其資料做後續工程設計及進階測量的背景資料。
2. 疏浚測量：河道或航道疏浚前後測量，其資料可做為土方計價及浚後驗收用途。
3. 管線調查：調查管線現況，檢核覆土是否被淘空?管線是否裸露?
4. 水下結構物檢測：調查防波堤、橋墩、護岸、消波塊等水下結構物調查。
5. 礙航物調查：調查水中懸浮或海床上可能防礙航行的物體。

本章節以收集文獻方式了解多音束測深技術在港灣工程(防波堤、碼頭、疏浚等)施工及監測(沖刷、侵蝕、移位等)之應用概況，進而探討多音束聲納系統在港灣構造物之檢核應用。

3.2 多音束聲納系統檢測港灣構造物的限制條件

1.分析各種構造物的檢測需求。

首先分析各種構造物，例如：管線、渠道、消波塊、基角、沈箱、...等人工結構物的特性，分析構造物尺寸大小、排放方式、平整性、檢測的可能性...等，了解各種結構物探測的基本需求，以管線異常狀況探測為例，首重管線是否懸空?其次為管線是否裸露在海床上?

港灣構造物的特性大致可區分三類：凹槽式特徵物、凸起式特徵物及垂直式特徵物。

(1)凹槽式特徵物

凹槽式特徵物泛指凹槽型式構造物：管線渠道、航行渠道、迴船池...等，以及其他間接造成的凹槽，例如：突堤效應的凹陷、繫纜錨鼓的凹陷、特徵物沈陷造成的凹陷...等。

A.管線渠道

海底管線之埋設工程為避免管線裸露在海床上，通常在安置管線前會先挖掘管線渠道(或稱管溝)，佈放管線前、中、後都需要以多音束聲納測量渠道狀況，佈放前中後的量測目標分別為背景地形測量、渠道測量及掩埋測量(完工測量)。背景地形測量目的為搜尋適合理管的路徑，渠道測量目的為檢查渠道寬度及深度是否足夠?掩埋測量目的為驗收埋管後渠道回填是否確實?

管線直徑從數十公分~數公尺不等，渠道寬度及深度約為管線直徑 1.5~2 倍，目標物尺寸攸關測量的規範要求，其與多音束測深的足印、水深及音束的入射角極為相關。當足印解析度不足以量

測管線渠道時，可考量使用側掃聲納輔助渠道施工中的渠道測量，特別是當管線直徑小於 30 公分。

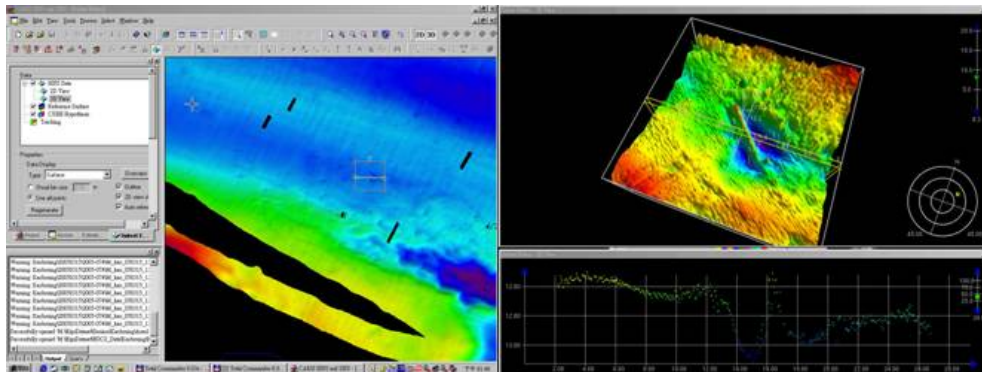


圖 13 管線裸露在海床上

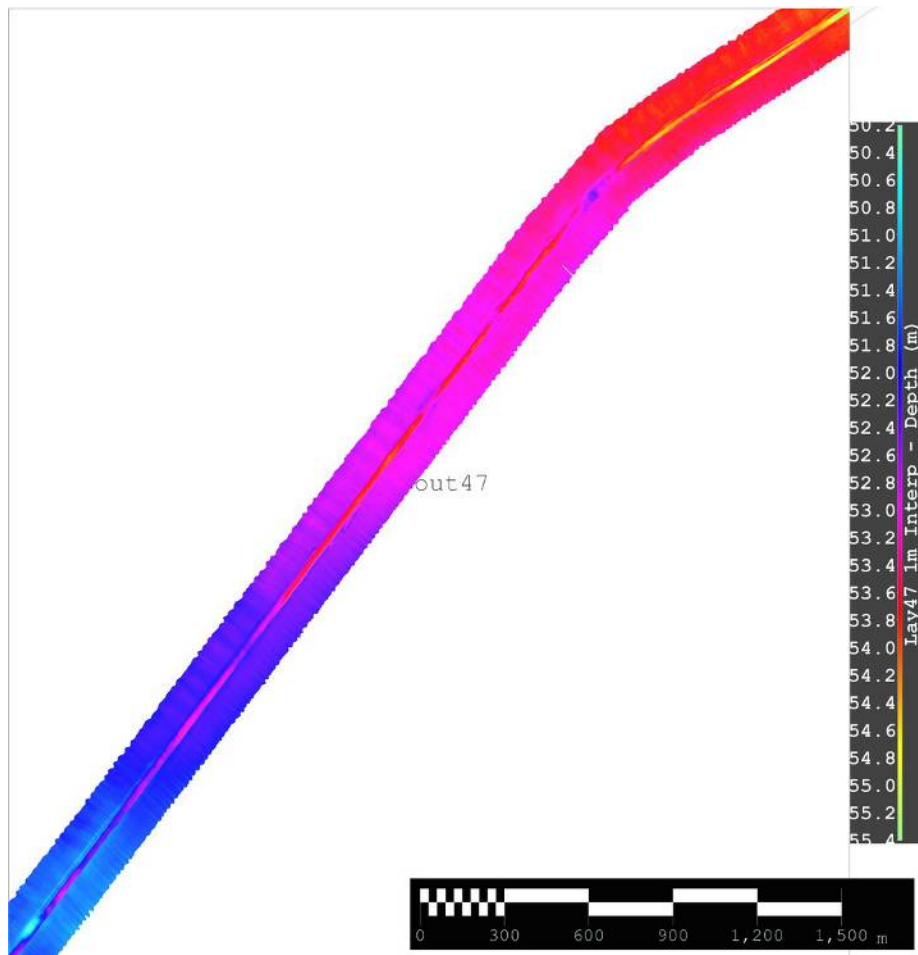


圖 14 未掩埋之管線渠道

B.航行渠道(channel)及迴船池

航行渠道及迴船池皆屬航行用途渠道，航行渠道為直線，迴船池為圓形，多音束聲納可以檢查水深是否足夠?可以進行渠道邊坡之坡度測量及提供是否會坍塌之判斷?渠道剖面可參照下圖。

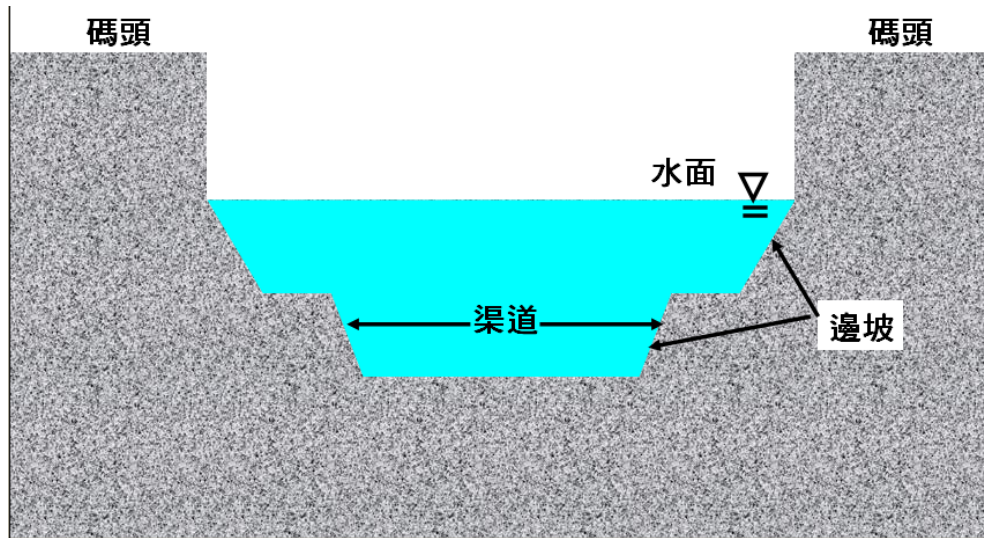


圖 15 渠道剖面示意圖

航行渠道為航行使用，迴船池為船隻在港區內迴轉時的安全水域，航道及迴船池尺度甚大，多音束測深作業量測並無技術上的問題，在港區量測主要的問題是船隻進出頻繁，測量船必需經常迴避船隻，以及船隻長期靠泊船席的水域，航道及迴船池的示意圖可參照下圖。

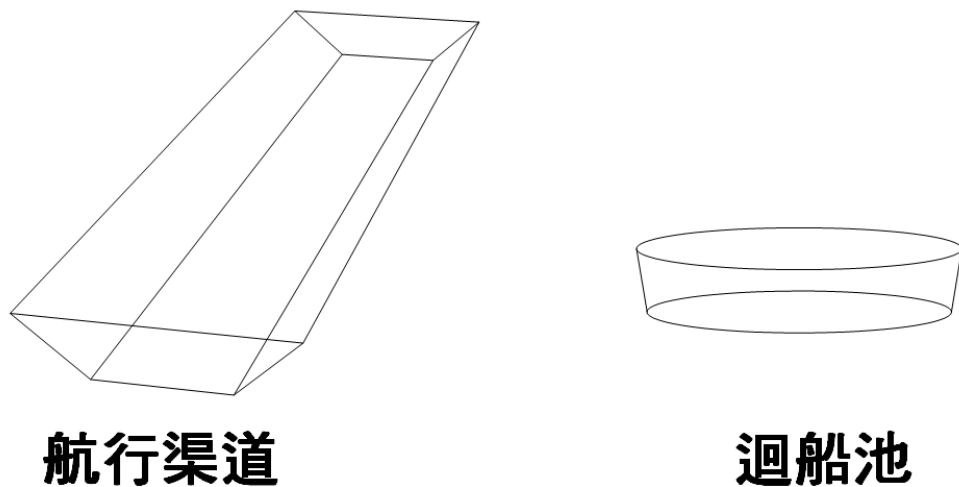


圖 16 航行渠道及迴船池剖面示意圖

C.間接造成的凹槽

指大型海岸結構物如港口防坡堤(jetty)、導流堤或突堤群(groin)會阻絕沿岸輸沙(longshore transport)，而導致輸沙上游側海岸堆積，輸沙下游側侵蝕的現象稱為突堤效應。過去對於突堤效應的研究著重在理論推導與水工模型實驗，單音束測深資料密度不足以量化侵蝕的程度，多音束測深成果可促進突堤效應的實務研究，可參照下圖。近岸測量的困難之處在於航行安全，當沿著防波堤航行除了需要注意淺灘、岩石與突然凸出的消波塊，也必需注意湧浪將船隻推向堤防。

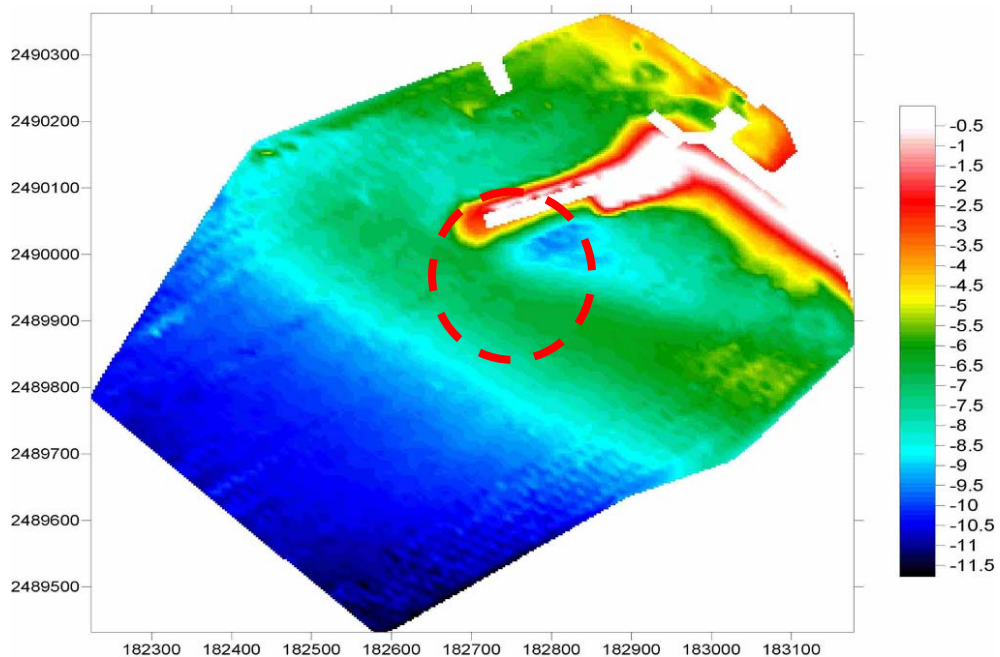


圖 17 鳳鼻頭防波堤堤頭反射效應

非碼頭式的船席前後各有一個繫纜錨鼓以固定船隻，繫纜錨鼓的纜繩雖然很細，干擾海流的程度不如突堤明顯，但在船尾強勁的推進流影響下，繫纜錨鼓也會產生了些許凹陷，在高雄港內的案例可以分為二類：圓形及水滴形，可參照下圖。量測時測量船沿著船隻二側測量，儘可能接近停泊的船隻，若船隻太大測帶不足以重疊則會留下未測縫隙。

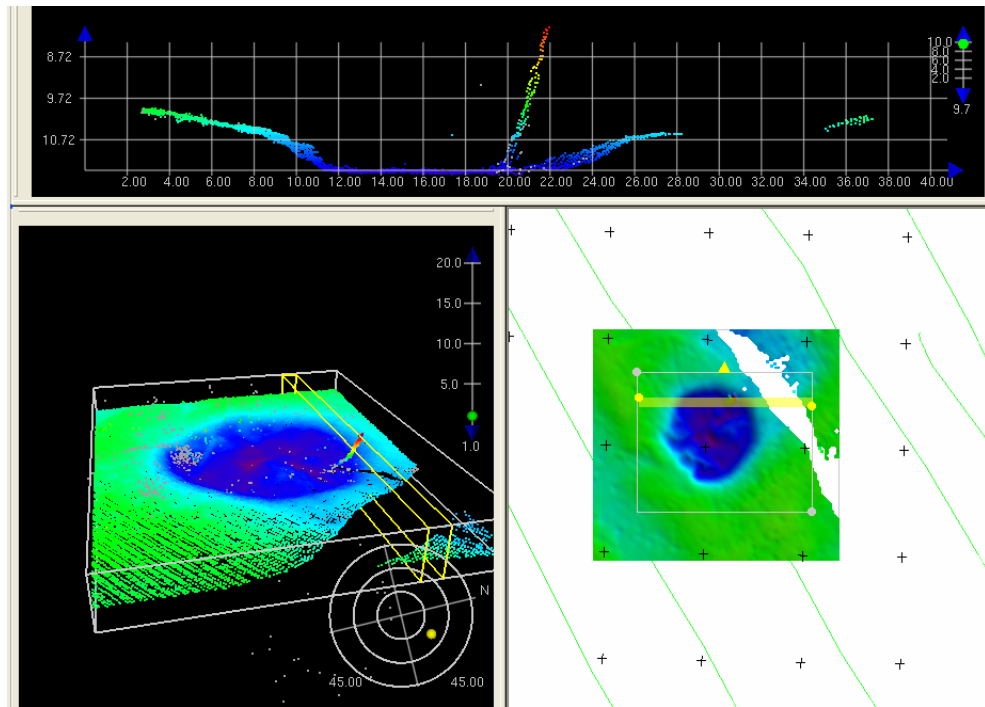


圖 18 繫纜錨鼓圓形凹槽

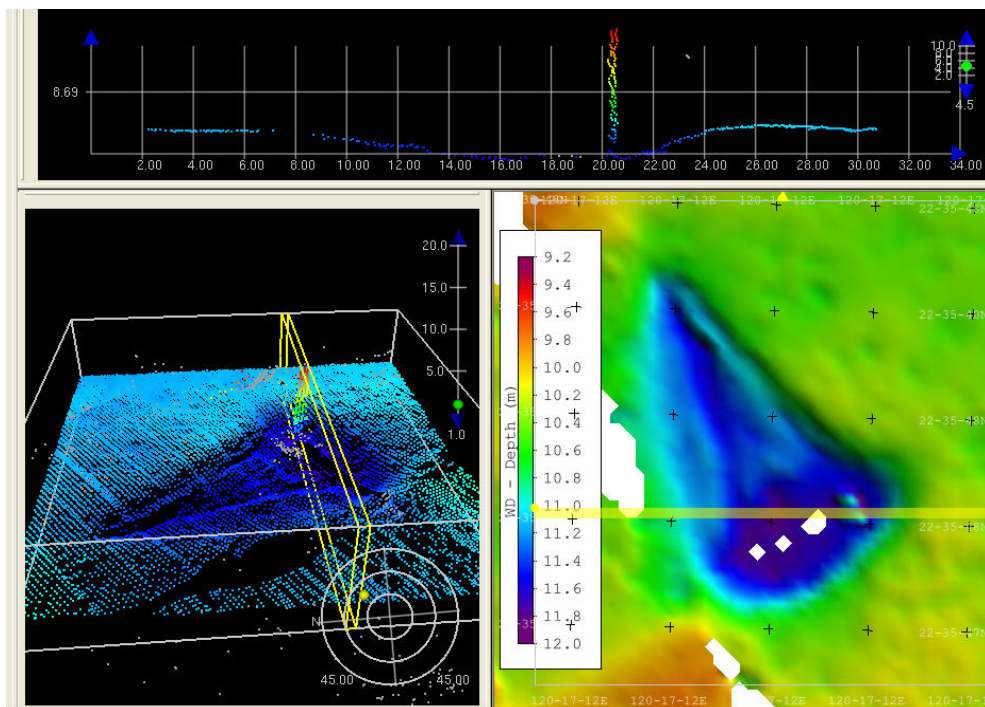


圖 19 繫纜錨鼓水滴形凹槽

海床上特徵物受到海流的作用會產生沖刷效應，因為特徵物非固定在海床上，因受重力影響，特徵物會逐漸朝著刷深的方向

沈陷，單一流向的海流會造成水滴狀的凹陷，非單向的海流則產生接近圓形的凹陷。下圖為(臺南外海的電桿礁)田字形混凝土人工漁礁沈陷狀況，2mx2mx2m 的漁礁大約造成 4 公尺的凹槽，多個漁礁堆疊或鄰接則產生不規則的凹槽型態。使用多音束量測時需考量足印與水深的影響，需先確認解析度是否足以量測特徵物尺寸。港區雖然不會拋放漁礁，但是由船隻或岸上落下於海床上的物體是可能被發現的，因此在港區定期疏浚時這些海床上的礙航物可能會損壞疏浚的機具或影響疏浚清理的速度，這些礙航物的形狀特性及尺寸可能由沈陷凹槽間接的推估。

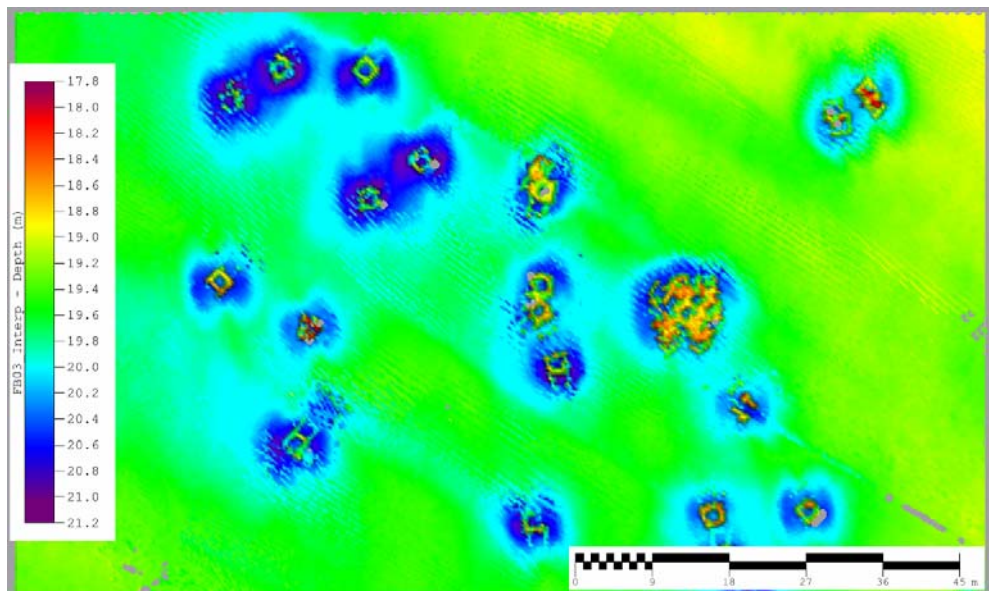


圖 20 臺南永安外海沈陷中的田字形混凝土人工漁礁

(2) 凸起式特徵物

大部份海床上的特徵物都是凸出物體，舉凡燈標、消波塊、助導航設施、堤防、塊石、基石、繫纜錨鼓、淺礁、沈底木頭、半沈浮木、錨鍊、管線...等都屬此類，由於種類甚多，依其特性分為：懸浮物、點狀、線狀及面狀物。

A. 懸浮物：

多音束測深系統可偵測半沈浮木、浮動式燈標，繫纜錨鼓、魚群、大型海草、漁網...等，國際期刊中有多篇論文使用多音束測深系統搜尋生態棲息地及計算生態組群數量等應用，港區較少偵查懸浮物，當浮動式燈標及繫纜錨鼓損壞，可量測其損毀情形，疏浚前常以多音束偵測水中或水底的異常物體並且打撈，避免疏浚機具的損壞。

B.點狀物：

足印解析度取決於水深、音束角及音束入射角，以長度定義點狀物並不恰當，故點狀物的定義是以足印數量定之，1~5 個足印為點狀物。量測時先推算足印解析度在何種條件下才足以量測點狀物。

C.線狀物：

線狀物的寬度定義為 1~3 個足印以內，長度為 6 個足印以上。常見線狀物為海底管線或電纜、沈底木頭、錨鍊、繫纜錨鼓的鋼纜或鍊條。線狀物測量的影響因素除足印解析度外，平行線狀物長軸是最佳的量測航向，如下圖所示，航向與長軸垂直目標物時，目標物可能位於足印間距中的縫隙。

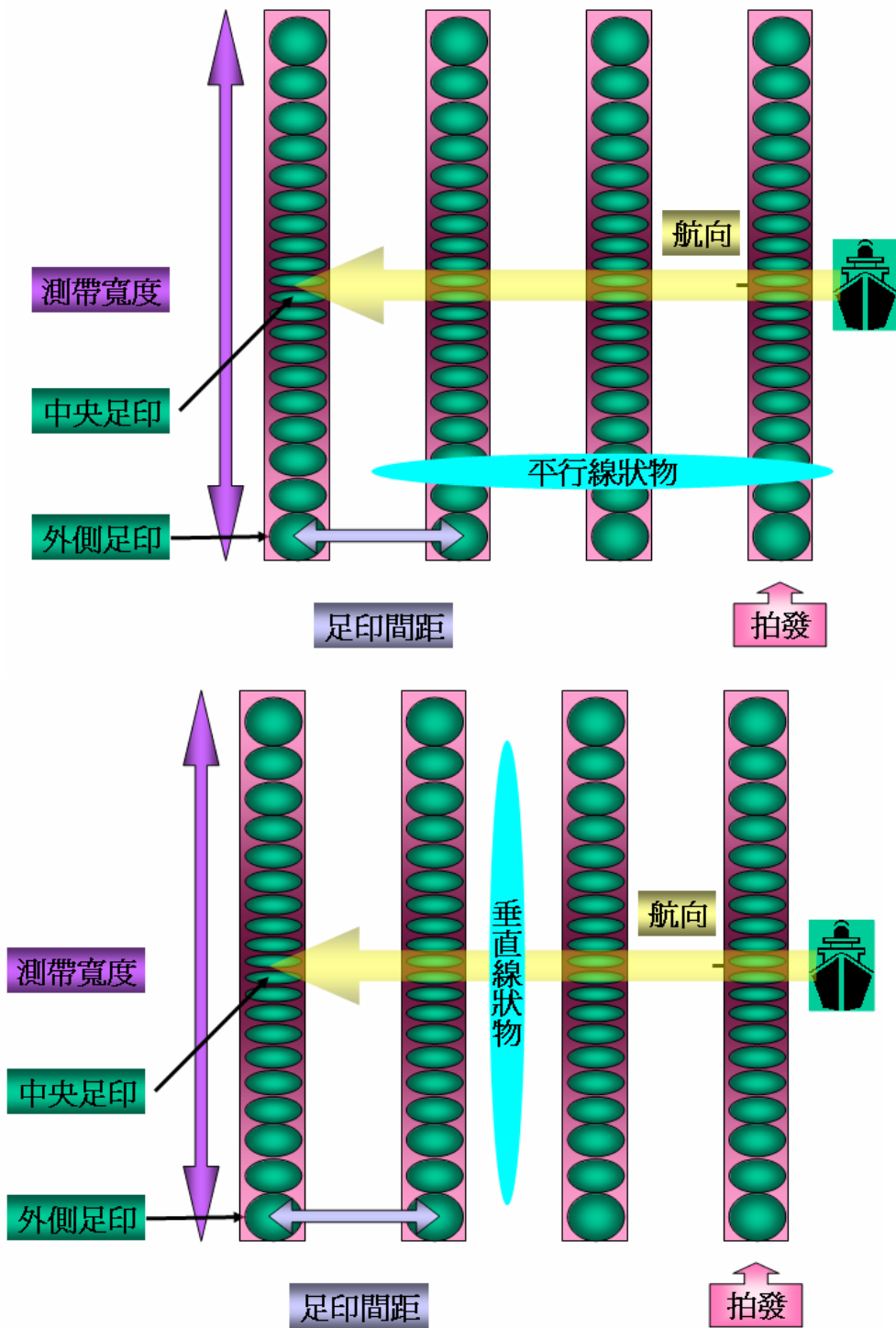


圖 21 多音束量測航向與線狀物軸向的關係

D.面狀物：

面狀物的定義為 4x5 個足印以上，量測面狀物需注意外部音束的足印可能為正下方音束的足印三倍以上。

(3)垂直式特徵物

垂直式特徵物的量測與水平特徵物最大的不同是音束入射角方向及最小足印的方向，可參照下圖，當多音束向下量測海床時，最小足印位於音鼓正下方，與海床的入射角(α)越大足印越大。當多音束朝水平方向量測垂直目標，最小足印為音鼓水平方向，與垂直壁的入射角(β)越大足印越大。

船隻越接近垂直壁足印越小，量測效果越佳，但航行安全則是另一個需要注意考量的事項，當沿著碼頭進行近距離的測量時需注意側面湧浪可能會將船隻推向岸上。

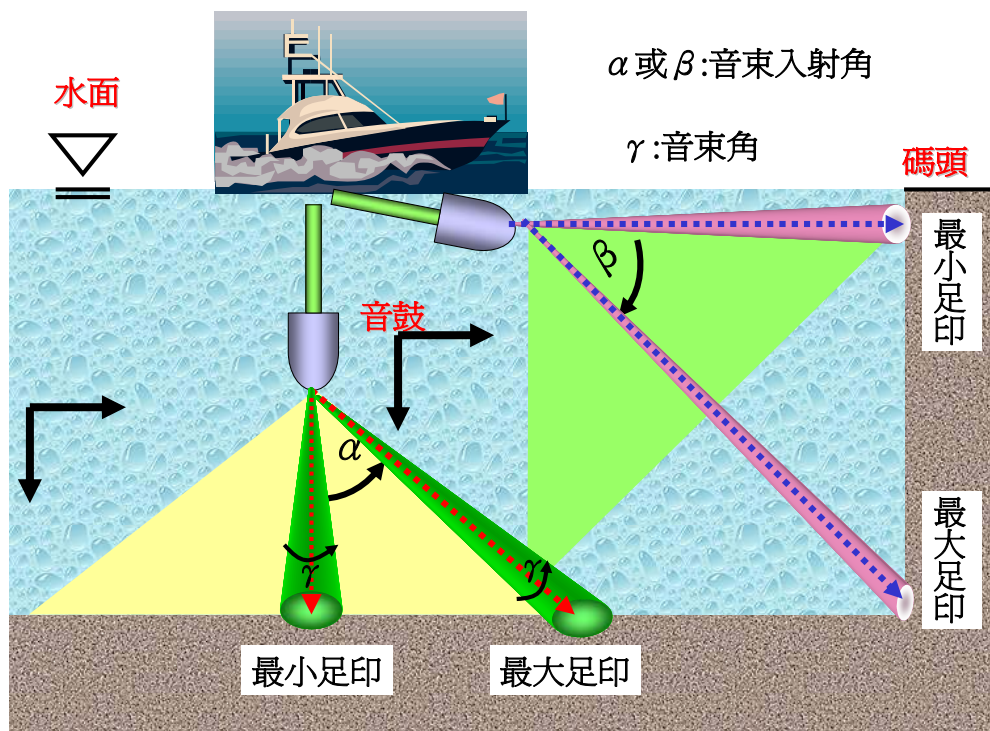


圖 22 多音束量測水平及垂直物體的足印示意圖

2.分析多音束聲納系統的足印及精度。

在平坦的海床上要描繪一個凸出物體，至少要三個點以上，較為精密的描述至少要 5 個點以上，點和點間的距離即為量測基本單位。

多音束測深的音束投影在目標上尺寸的稱為足印(footprint)，隨著音束角、水深與音束入射角有所不同，可視為量測偵搜基本單位，足印分為縱向(longitudinal)解析度及橫向(latitudinal)解析度。縱向解析度為船艏向，橫向解析度為左右弦向，縱橫向解析度不一定相同，常見的音束角為 0.5 度及 1.5 度，橫向解析度並排不重疊，縱向解析度受船速及水深影響可能會重疊，可參照圖 21 所示，音束橫向距離以音鼓正下方最短，外部音束橫向距離最長，音束縱向距離固定，但足印間距由航速及拍發頻率(次/秒)決定，造成縱向足印長度及間距不等，可能重疊或有縫隙。目前己有多音束製造廠商克服足印橫向距離不等的現況，其系統可採用等距離或等角度足印。

水深、足印(footprint)及音束角(beam width)及音束角度(beam angle)的定義如可參照圖 22，下圖為音束角 0.5 度時的足印變化圖，量測前先驗算所需之足印解析度。量測垂直特徵物的足印分析表與下圖相同，將水深改為音鼓至垂直面的距離。

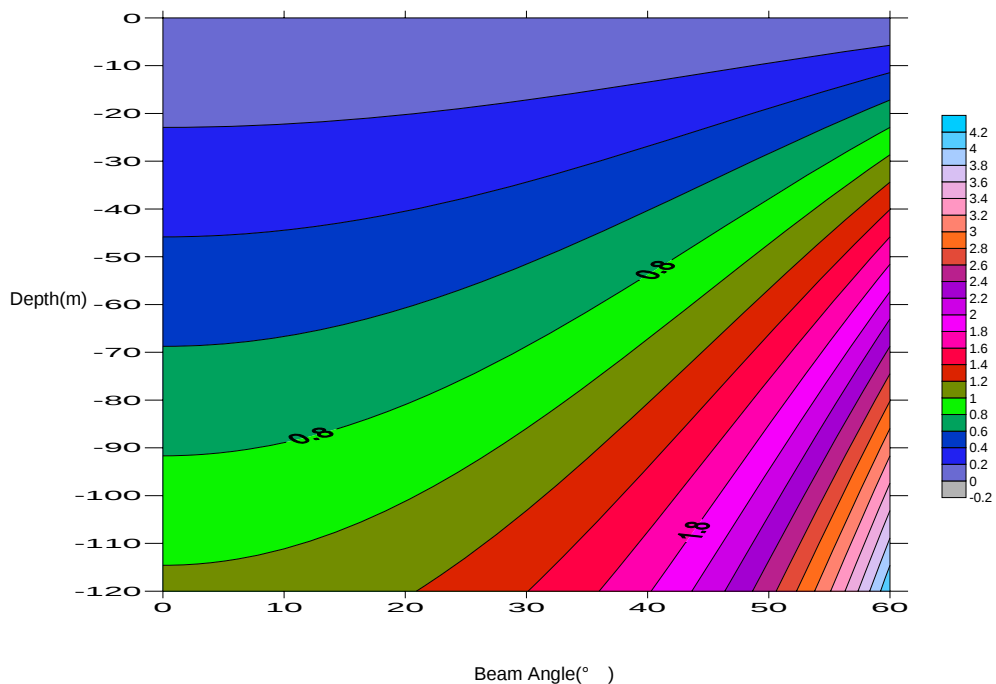


圖 23 水深、音束入射角之等足印圖

足印要求為多音束聲納最基本的要求，只針對聲納(echo sounder)一項，整個多音束測深系統除了聲納以外，包括：定位儀、電羅經、船隻姿態儀、聲速剖面儀及潮位儀，每一種儀器各有其精度限制：

(1)定位儀：

一般地形測量定位精度 2 公尺已經足夠，但若作為工程使用，應採用公分級的定位方法。

(2)電羅經：最小單位為 0.1 度。

(3)船隻姿態儀：最小角度單位 0.01 度，最小距離單位 0.1cm。

(4)聲速剖面儀：最小單位為 0.1 公尺/秒。

(5)潮位儀：最小單位為 0.1 公分。

每一項儀器都有獨立的精度與誤差，合併所有精度與誤差傳播的分析結果稱為總誤差傳播(TPE)，理論上多音束測深預期精度未達標準，則必須針對不足原因更換精度較高之儀器。現實中每個音束每次量測的傾角(roll, pitch etc.)都不相同，必須歸算所有量測結果才會得到正確的總誤差傳播值，因此實務上的作法是測量並歸算後，再刪除未達總誤差傳播標準的測深資料。

多音束測深系統測量精度來自測深、定位及潮位儀器等精度的限制及人為誤差，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)則較難估算，若將所有的儀器精度及人為誤差傳播累積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)。

A.相對位置或及角度(Offset)。

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

- a. MRU to Transducer(x,y,z)：船隻姿態儀至音鼓三個軸向的相對位置。
- b. Navigation To Transducer(x,y,z)：定位儀至音鼓三個軸向的相對位置。
- c. 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。

B.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

- a. Motion Gyro：量測航向的標準差。
- b. Heave % Amplitude：湧浪瞬間變化的標準差。
- c. Heave：量測湧浪的標準差。
- d. Roll：量測左右搖擺角的標準差。
- e. Pitch：量測前後傾斜的標準差。
- f. 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

- g. Timing Trans：音鼓拍發時間的標準差。
- h. Nav Timing：定位時間的標準差。
- i. Gyro Timing：量測船艏向時間的標準差。
- j. Heave Timing：量測湧浪時間的標準差。
- k. Pitch Timing：量測前後傾斜時間的標準差。
- l. 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

- m. Offset X：量測儀器安置相對位置在 x 軸向的標準差。
- n. Offset Y：量測儀器安置相對位置在 y 軸向的標準差。
- o. Offset Z：量測儀器安置相對位置在 z 軸向的標準差。
- p. Vessel Speed：量測航速的標準差。
- q. Loading：船隻油水載重變化。
- r. Draft：量測船隻吃水的標準差。
- s. 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

- t. 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。
- u. 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。

3.3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法

海床上的港灣構造物可採用標準的作業模式，對於垂直結構物或船隻載具不易進入的水域，可旋轉音鼓的 roll 角至張角一側接近水平，以增加測量的測帶寬度，相對而言增加的測帶內外部音束的足印較大解析度較差，港區常見的應用是檢測淺礁、淺水區的消波塊或碎浪帶的海床。

如果量測的對象是垂直結構物，音束越接近水平角足印越小解析度越佳，可參照圖 2 及圖 22。調整音鼓傾角後，多音束量測作業基本的作業流程都相同，唯一要調整的部份是疊合檢校(Patch Test)的規則，旋轉音鼓不影響 Latency 及 Pitch 的檢校條件，Roll 及 Yaw 的檢校條件可參照下圖，但規劃測深時需考量左右測帶寬度不相同。

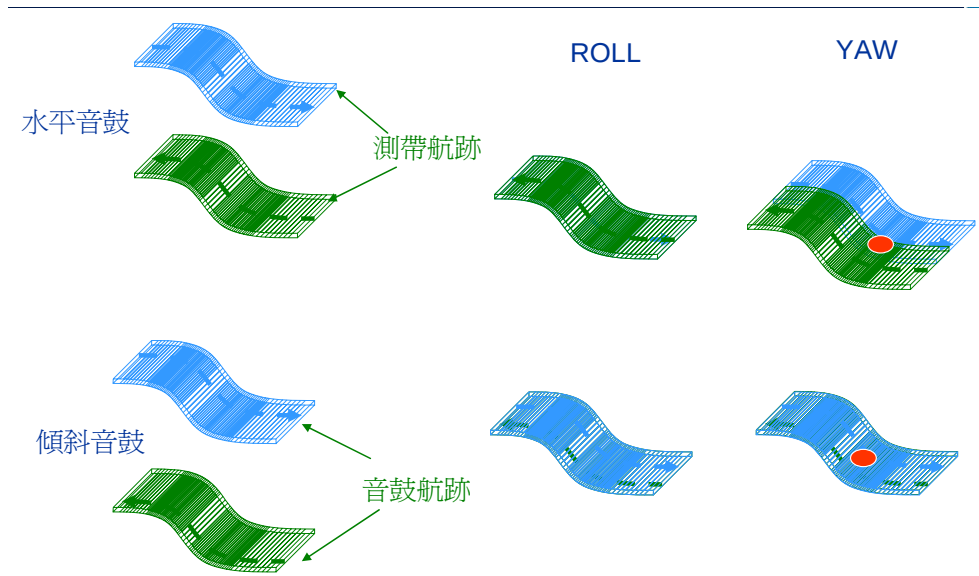


圖 24 水平音鼓及傾斜音鼓 Roll 及 Yaw 的檢校條件示意圖

3.4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的海象限制

多音束測深團隊皆已儘可能降低各種儀器所可能產生之誤差，即使操作人員作業仔細的程度及流程皆達到最佳化，但仍有部份變數難以完全掌控，而在國際水深測量規範並未特別提醒海象所可能產生之限制，但是測量員必須謹慎的選擇海象良好的時段來進行測深作業，則測深成果的雜訊才會降低，且資料良率的提升有助於精度等級的提升。

目前以多音束測深技術來檢測港灣構造物的方法尚需要深入發展，由於目前商用測深處理軟體並非採用真實的三維內插模式，實質上皆以二維(一個位置只有一個水深)的假設作為計算準則，缺乏對於垂直的物體或漂浮物的處理能力，使用多音束測深系統檢測港灣構造物時，經常受到內插模式的限制，只能以原始測點的點雲來展示(display)。

視覺成果的呈現與測量精度並無實質的關連，因此測深規範也未提及測深成果視覺化應有的限制條件，從過去花蓮港沈箱以多音束來檢測經的驗，即使測量精度達到 IHO 測深標準，pitch 及 yaw 效應也會造成測深資料疏密不均，進而影響測量成果的解讀。由於在波峯時 pitch

效應會使聲納掃描同一位置，造成資料緊密重疊，但在波谷時 pitch 效應會使聲納掃描間距增加，造成資料相對密度降低，造成資料疏密不均的現象容易讓人對成果展示圖產生誤判，其原理示意圖可參照下圖。

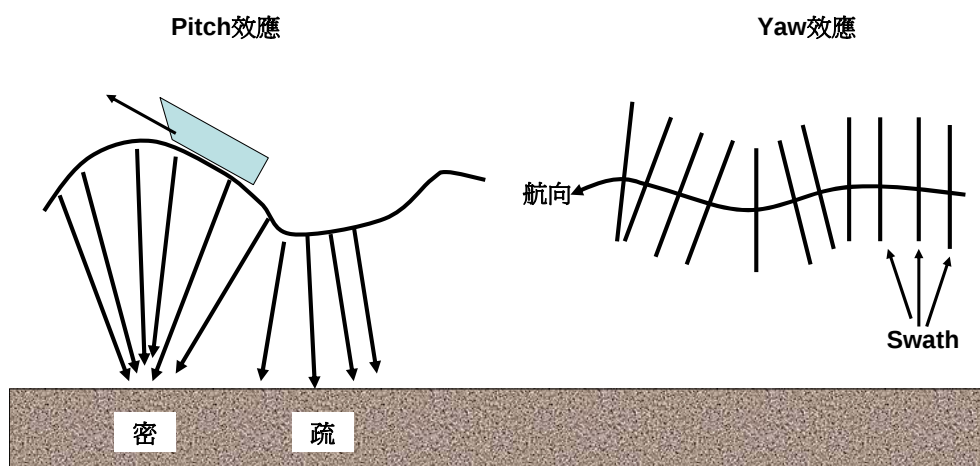


圖 25 Pitch 效應及 Yaw 效應示意圖

比較花蓮港沈箱檢測量在三種不同的海象狀況下(可參照表 1)，若取 1 分鐘的水深測量成果，採用同一視角來展示，可以參閱圖 26~圖 28。

表 1 花蓮港沈箱測量之海象條件範例

日期	海象	湧浪(heave)	前後起伏(Pitch)
2007/11/1	外海有白浪，近岸湧浪很大	約正負 1 公尺	12 個波峯/分鐘，變化量約 9 度
2008/6/6	外海風平浪靜，近岸有小湧浪	約正負 60~70 公分	24 個波峯/分鐘，變化量約 7 度
2008/6/7	外海及近岸風平浪靜	約正負 50~60 公分	17 個波峯/分鐘，變化量約 5 度

2007 年 11 月 1 日的測量成果受風浪不佳影響，測量成果精度較差，需花費大量時間消除雜訊，而 2008 年 6 月 6 日外海的風浪佳，但

近岸有湧浪，雖然測深資料雜訊不多，但量測成果同樣受到湧浪影響，而 2008 年 6 月 7 日的海面如同鏡面一般，則可以發現測量成果頗佳。

11 月已經進入冬季，大多屬於長浪的型態，花蓮港東碼頭旁的湧浪由下圖中看出約正負 1 公尺左右，因為屬於長浪，pitch 的頻率只有每分鐘 12 波峯左右，當日的湧浪強勁，逆浪及逆風航行時幾乎動彈不得，測量結果資料疏密不均。下圖中紅色橢圓中間為在波峯時 pitch 所造成的資料重疊效應，對於不了解多音束測量原理的檢查者，資料亮點重疊容易造成視覺誤判以為有一條水管，而在波谷時 pitch 所造成資料密度降低，藍色橢圓中資料稀疏，不易判視檢測物狀況。而綠色橢圓中碼頭堤腳(藍色等深線)部份資料密集，深水區(黃色等深線)資料較為疏離，這是因瞬間航向快速變化(yaw 效應)所造成測帶左右疏密不均的結果。

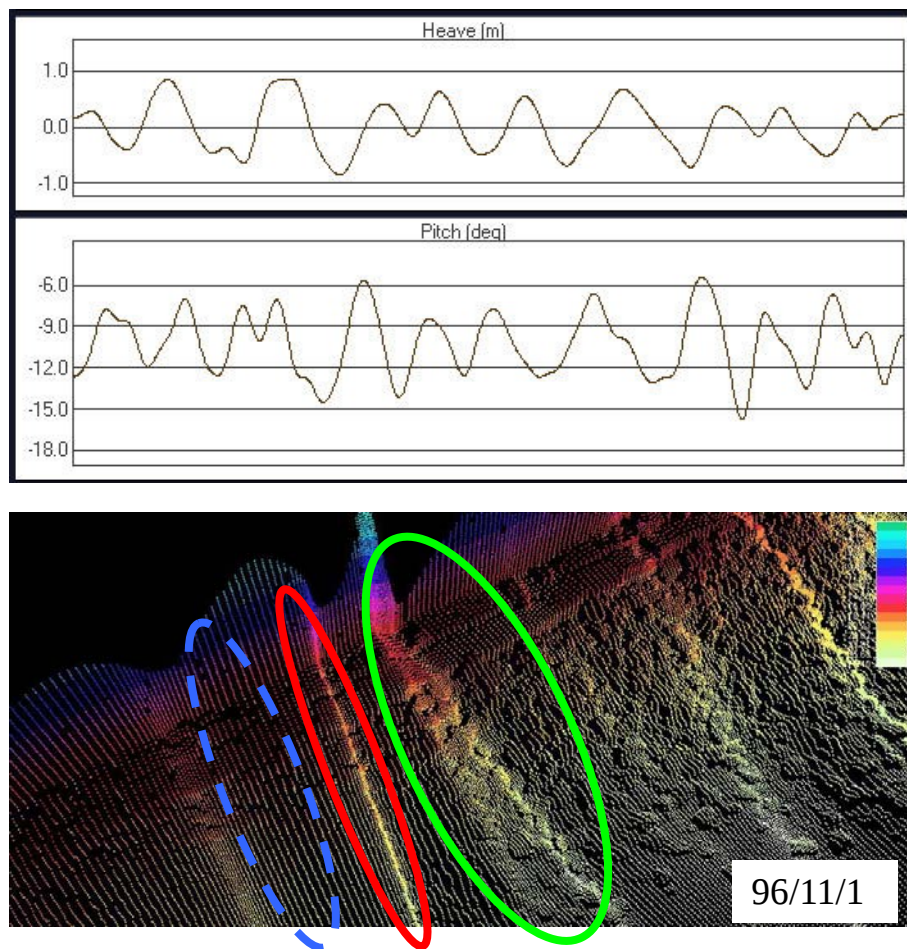


圖 26 96 年 11 月 1 日花蓮港沈箱檢測成果

6月6日為作業的第一天，外海平靜無波，但花蓮港東碼頭外有明顯的湧浪與碎波，與冬季比較湧浪已趨於平緩，湧浪已減至正負 60~70 公分，但是波浪屬於短週期，每分鐘約有 24 個波峯，為 11 月冬季的二倍，測量結果仍有 pitch 效應，可參照下圖紅色橢圓中，除了水管視覺效應，原來應該垂直海床的沈箱面，視覺上也有皺摺的感覺。本日架設儀架、開始測量時約中午 12 點左右，依據經驗當地的季節風約是上午 10 點以後開始起風。

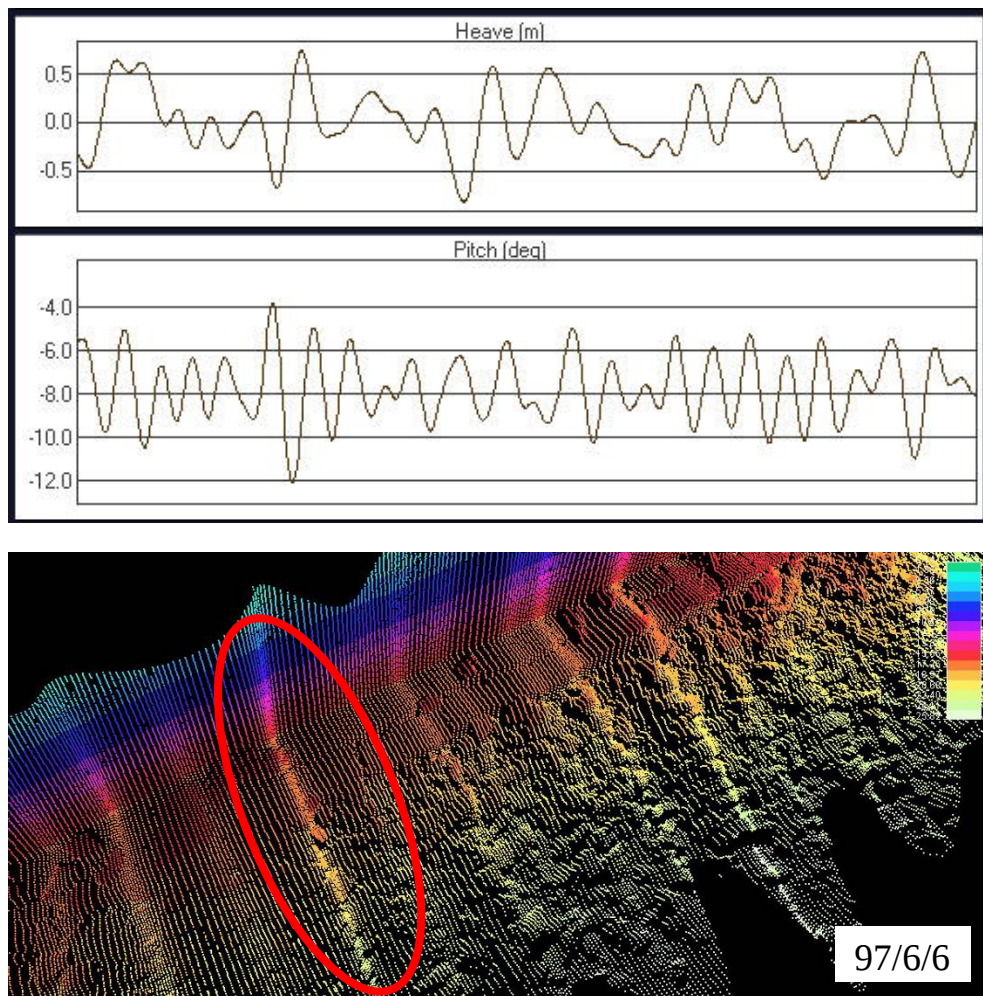


圖 27 97 年 6 月 6 日花蓮港沈箱檢測成果

有鑑於前一日的作業海象不夠理想，6月7日加測一次，並於早上 7 點未起風時開始作業，當時外海平靜無波，且花蓮港東碼頭外只有緩慢的湧浪，但是沒有白色碎浪，本次作業湧浪減至正負 50~60 公分。由於海面接近平緩無波浪，每分鐘 pitch 仍約有 17 個波峯，因此下圖

中的 pitch 波型極有可能單純由船隻運動造成的結果，本日作業的成果資料疏密度較為一致，資料檢查員比較不會受到視覺上效應而造成誤判。

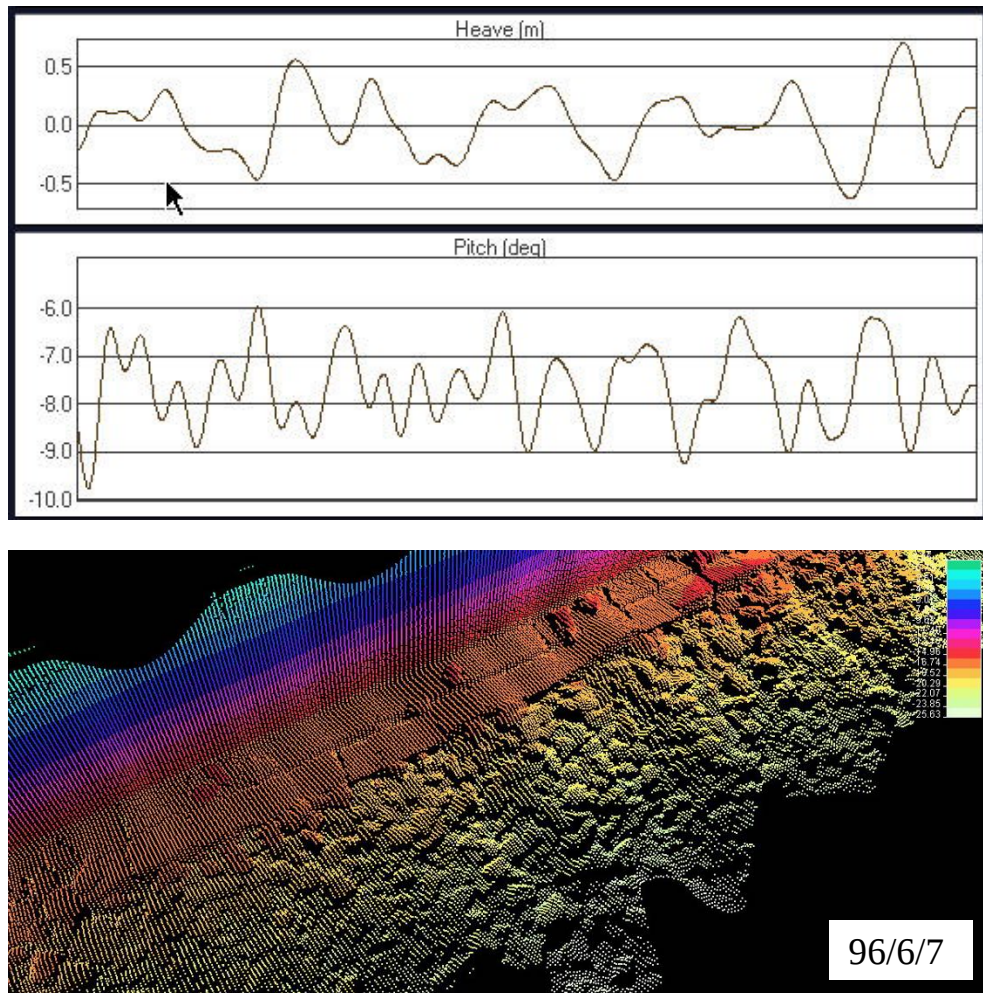


圖 28 97 年 6 月 7 日花蓮港沈箱檢測成果

3.5 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的差異

傳統檢測沈箱作業，為雇用具有合法潛水執照的潛水員，以水下拍照、攝影、皮尺及水尺量測等方式檢測水下結構物之損害情形，攝影作業時以連續攝影觀測為原則，通常沿防波堤胸牆由上往下觀測，自觀測點向外海延伸約 5 公尺，攝影觀測資料需清晰。一般而言，超過水下 5 米時，潛水人員受到波浪影響較小，唯依照海域地形不同，

海象不佳時，拍照及攝影的限制需視水中的透視度好壞而定，皮尺及水尺量測的限制需考量潛水人員可達到的安全水域。另外潛水人員在水下作業時，對於所處的位置通常不易立即知道，除了隨身配掛水下定位系統，再用後處理方式才可能以時間將影像與潛水位置互相連接在一起。

一般而言，使用多音束聲納測量水深，若音束之入射角超過 45 度時，足印(footprint)大小遞增，量測水深所代表的精度遞減。在量測水下結構物及垂直壁時，為求量測到較多的水下構造物，應調整音鼓傾斜角使音鼓測量的範圍平行於水面。疊合校正(Patch Test)的結果會直接影響測量結果的精度，常見未修正的情形是水下特徵物變形或分離為二個。

作業時船隻越接近目標物，則測深足印越小，精度越高資料品質較佳，海象狀況也會影響極近岸測量作業的航行安全，因此水深測量作業時，船隻測線的遵循(trackline following)與資料品質經常相互關連。由於聲學式測深儀的聲波遇到水中氣泡會立即反射，若消波塊與波浪的作用產生大量的氣泡，接近水面的結構物不易被聲學式水深測量系統量測到。二種檢測方法各有其優缺點，以下探究檢測方法及成果差異性：

表 2 光學式及聲學式檢測優缺點比較表

	光學式	聲學式
限制條件	水下透視度及湧浪	海象及氣泡
坐標系統	描述性坐標	絕對坐標，可提供正確的施工位置
長期比對	不易，每年拍攝角度位置不同	採用絕對坐標，可比對歷年測量資料
結構物表面損害狀況	潛水人員可拍攝光學影像，提供肉眼分析研判	獲得聲學影像，需要經驗來分析研判讀之
人員風險性	風險較高	風險較低

沈箱間縫隙	人員進入量測風險大	縫隙夠寬及測角適當時，可量測之
作業時間	2~3 個工作天	6~8 小時
作業速度	1 節或更慢	5 節或更快
資料處理	簡易(照片整理及影片處理)	複雜(合併 6 種儀器資料及解算)
所需費用	較低	較高

新舊二種水下結構物的檢測成果特性相異，以資料整體性而言，水下攝影檢測資料較為片段，多音束檢測成果具有完整的空間輪廓，但水下攝影較接近人的視覺判斷，因此將二種特性資料加以匯整，以三維點雲(point clouds)為基準，位置相同部份以交叉比對方式，可視為水深測量品管檢核作業之必要作法，例如二種作業方法都可以量測沈箱裂縫的寬度如下圖所示。

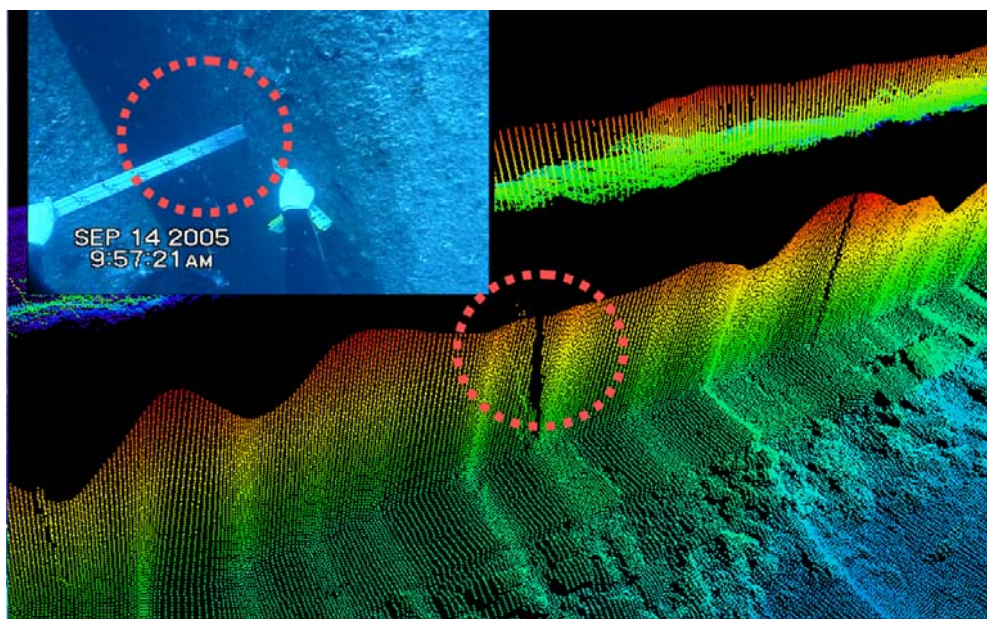


圖 29 沈箱裂縫寬度比對

部份區域潛水人員無法到達或量測，例如潛水人員無法進入沈箱裂縫內，但多音束測深則無此限制，只要角度合適，多音束聲納可能量測沈箱縫隙的深度，如下圖所示。

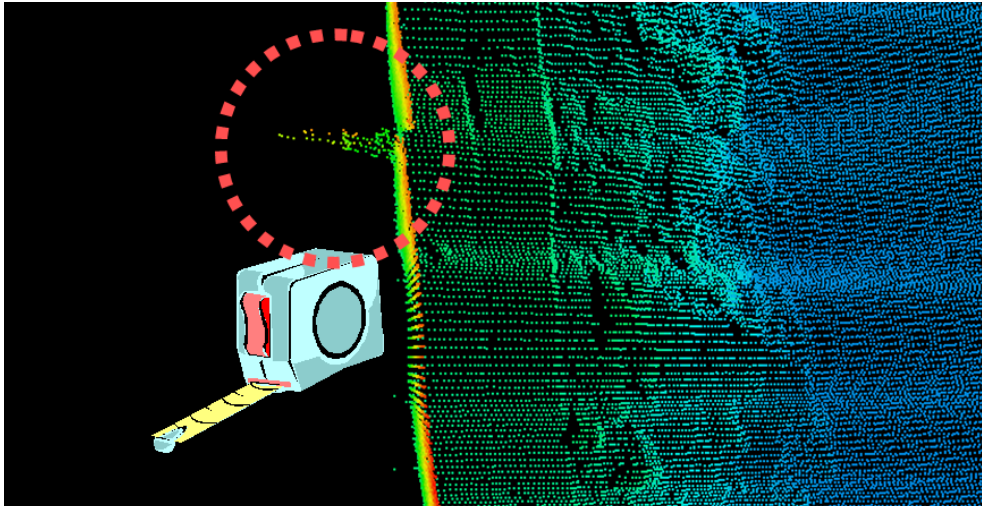


圖 30 以多音束測深方式測量沈箱裂縫深度

受限於水中的能見度，由於攝影的位置及拍攝角度每次皆不相同，無法以量化的方式來進行沈箱監測比對。雖然多音束測深系統每年監測資料之間的比對可以點雲圖比較之，但其定位精度必需以 RTK 測量方法達到公分級，並且各種儀器校正參數達到一定精度，如果精度不足，誤差傳播造成的特徵物偏移量可能超越實際的變化量，以 1 公尺直徑的輪胎為例，若僅以 DGPS 的定位方式來測量，則二次量測中心位置可能會偏移 1 公尺或以上，如下圖所示。

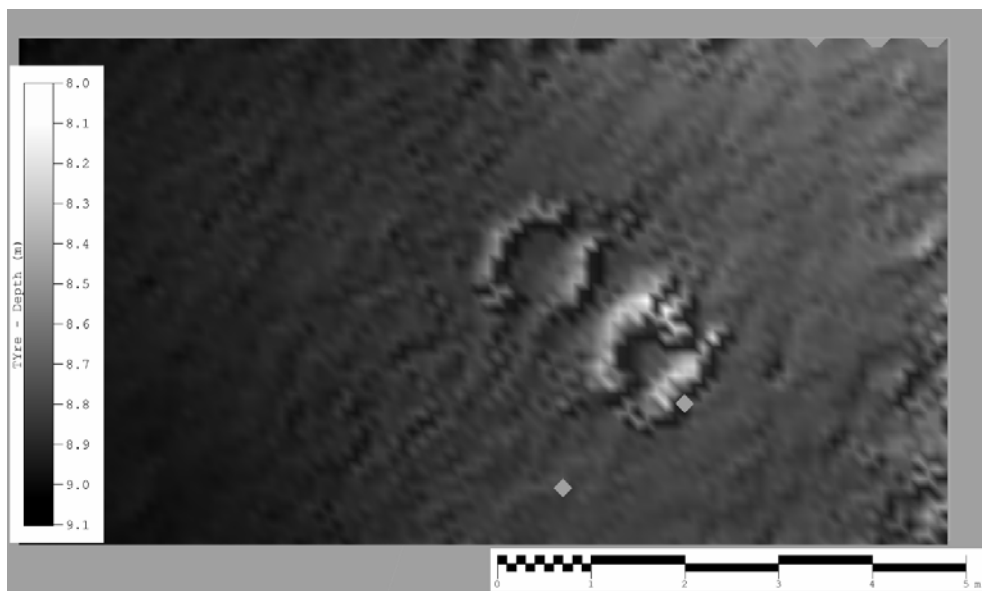


圖 31 海床上輪胎之位置偏移約 1 公尺

第四章 多音束聲納系統偵測海床特徵物之評估研究

4.1 多音束聲納作業條件

4.1.1 資料解析度的限制

1. 測深解析度。

水深測量最小解析度為足印(footprint)，足印、水深、音束角、音鼓張角與音束入射角的關係可參照下圖。足印與水深及音束角成正比，常見的多音束音束角為 0.5 度、1 度及 1.5 度等，足印與音束入射角關係較為複雜，基本上音鼓正下方($\alpha=0$)時足印最小，音束入射角越大足印也越大。

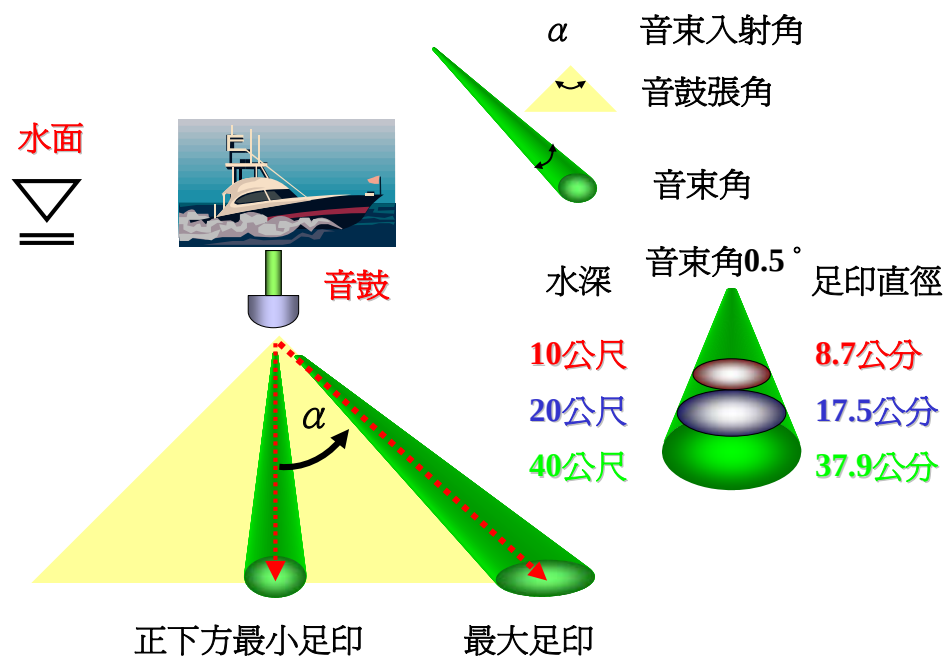


圖 32 音束角、音鼓張角、音束入射角及水深與足印的關係

判視一個海床上的突出物體至少需要三個足印，若是要識別 1 公尺的特徵物，足印至少控制在 0.33(1/3)公尺內。由於影響足印的參數

較多，繪制成足印尺寸變化圖是簡單易懂的方式，對於音鼓而言，音束角及音鼓張角是固定的角度。其餘的參數音束入射角及水深與足印對照關係可參照下圖，圖中音束角為 0.5 度，橫軸為音束入射角，縱軸為水深，右側為足印等深線圖例。假設要控制足印小於 0.8 公尺，水深 40 公尺時，音束入射角限制在 50 度以內，水深 70 公尺時，允許的音束入射角在 30 度以內。

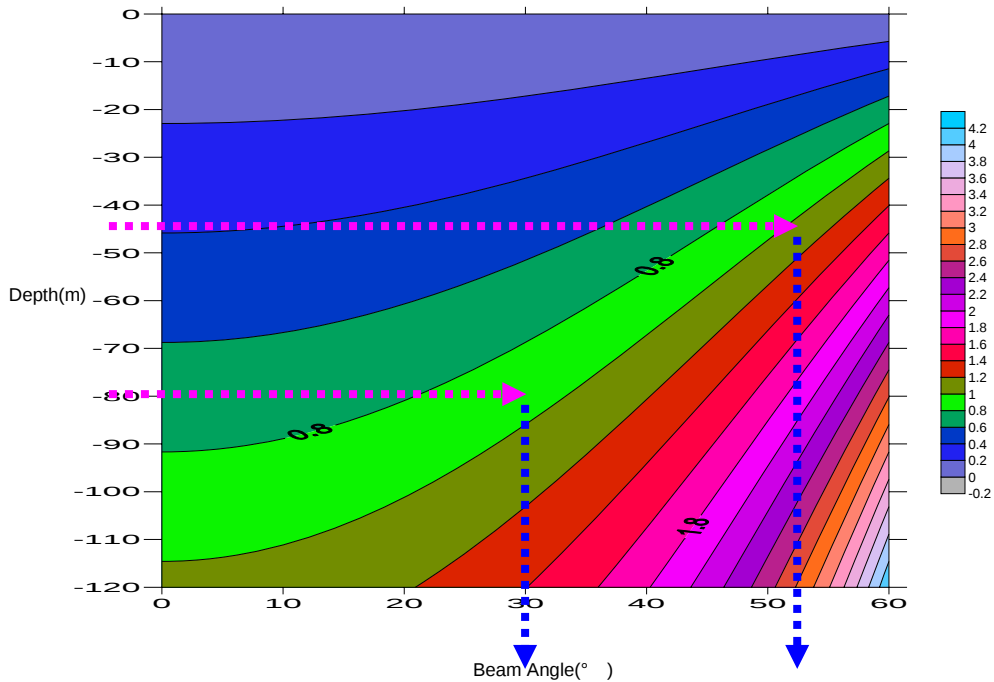


圖 33 音束入射角及水深與 0.5 音束角的等足印圖

2.底質分析解析度。

本文採用之底質分類軟體為 QTC Multiveiw，可選擇的足印數分別為：9,17,33,65,129,257,513 個測深值，採用分析的最小基本單為位 9x9 共 81 個足印，解析度遠低於測深的最小單位。本研究假設 81 足印中有一定比例的異質性底質，可造成底質分類的差異，進而反推特徵物存在的可能性，特別是對於海床地形變化不是很明顯的區域。

4.1.2 作業模式差異

多音束聲納依照不同的使用目的有不同的操作準則，測深作業的準則是適當調整功率(Power)和增益(Gain)以獲取最佳的測深成果，依照不同的多音束測深系統還可以調整其他參數，例如：斜距(Slant Range)、聲波波長(Pulse Length)、散播度(Spread)和吸收度(Absorption)...等，執行底類分類作業準則是採用固定聲學模式(FILE ID)，因為不同聲學模式的比較基準不同，另外由於聲學模式與功率(Power)及聲波波長(Pulse Length)有互動關係，底質分類作業時，不可調整這二項參數，以 reson xtf 為例，聲學模式與聲波波長(Pulse Length)的對照可參照表 3。

二者作業模式有明顯的衝突，基於固定聲學的考量，有二種方案：
1.同一作業區內找到一組適當的參數，功率(Power)及聲波波長(Pulse Length)可以不用改變。
2.重複在有代表性的小區域內作業，將各種聲學模式(FILE ID)都作過一次，當作實測作業的基準資料。

表 3 聲波波長與模式對照表

FILE ID	PULSE LENGTH (μs)	FILE ID	PULSE LENGTH (μs)
01	<10	18	<600
02	<15	19	<700
03	<20	20	<1000
04	<30	21	<1024
05	<40	22	<1200
06	<50	23	<1500
07	<60	24	<2000
08	<70	25	<2048
09	<80	26	<2400
10	<90	27	<3000
11	<100	28	<4100
12	<128	29	<5000
13	<200	30	<7000
14	<256	31	<8000
15	<300	32	<8192
16	<500	33	<10000
17	<512	34	<=16000
		35	>16000

4.2 由海底地形圖判視特徵物

由海底地形圖判視特徵物通常有二種型態：1.繪製測深值三維圖：點雲圖(Cloud)。2. 繪製內插測深值三維圖：網格圖(DEM)。前者適用小型目標物，後者適用地形地貌或大型特徵物。

4.2.1 船型漁礁案例

船型漁礁是很好的案例，下圖中網格圖及點雲圖皆可容易判視長度約 50 公尺的船型特徵物，局部放大點雲圖甚至可看出甲板上的破洞。

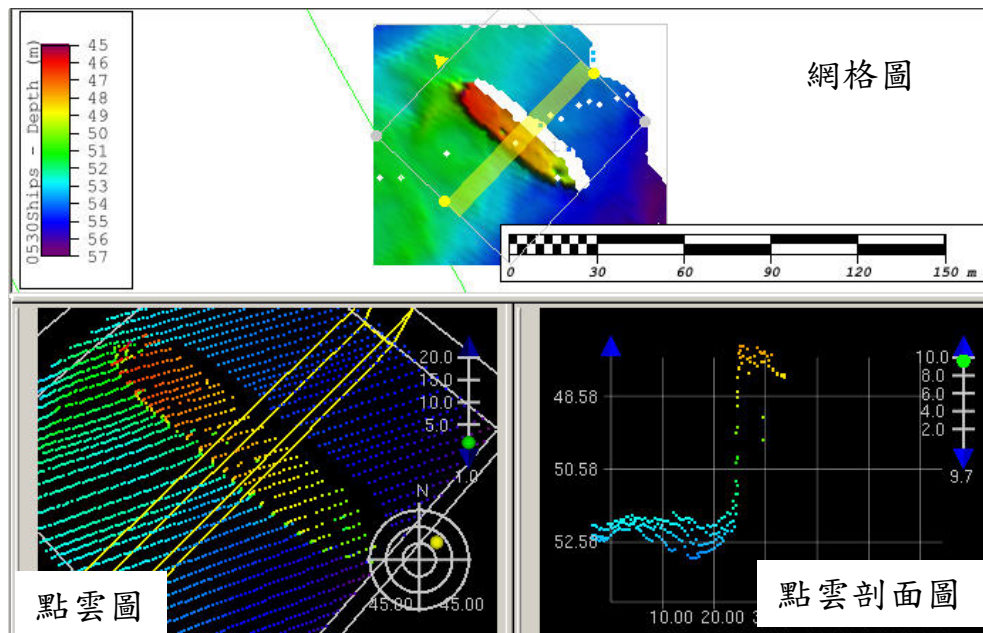


圖 34 50 公尺沈船案例

圖 35 及圖 36 船型特徵物長度別為 30 公尺及 20 公尺，這三個特徵物可以算是解析度較佳的案例，三個案例分別在不同水深層 15 米、25 米及 55 米，概略計算其長度及寬度約 50x10 個足印，大約 500 個足印特徵物上能夠清楚展現輪廓。

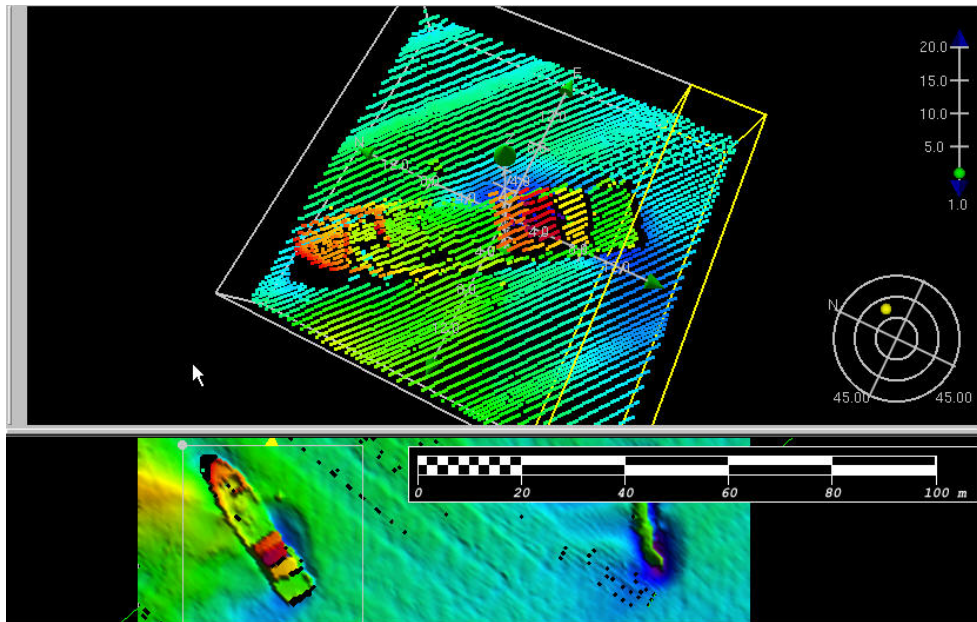


圖 35 30 公尺沈船案例

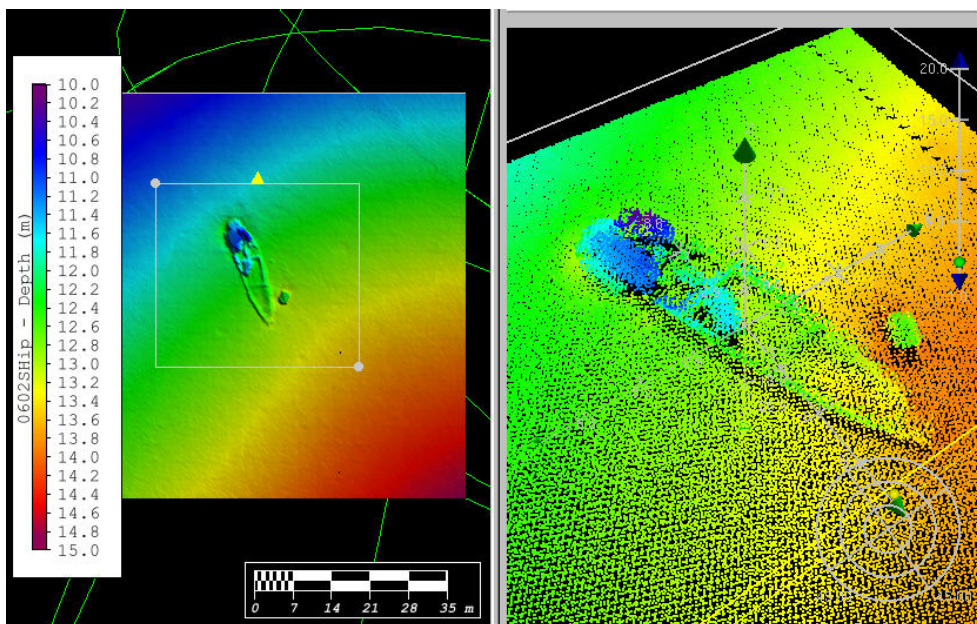


圖 36 20 公尺沈船案例

4.2.2 疑似沈箱案例

澎湖附近水域發現一大型長方型特徵物，長度 40 公尺、寬度 7 公尺、高度 3 公尺。由於尺寸遠比貨櫃大，可能是沈箱類的人工結構物。

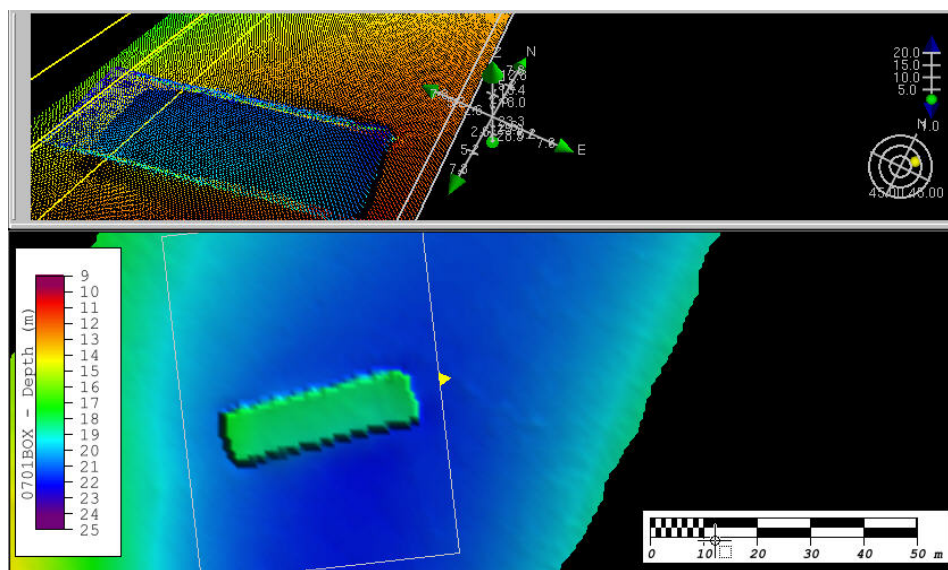


圖 37 疑似沈箱案例

4.2.3 方形結構物案例

水深 40 公尺處有一個長 5 公尺，長 5 公尺的特徵物。

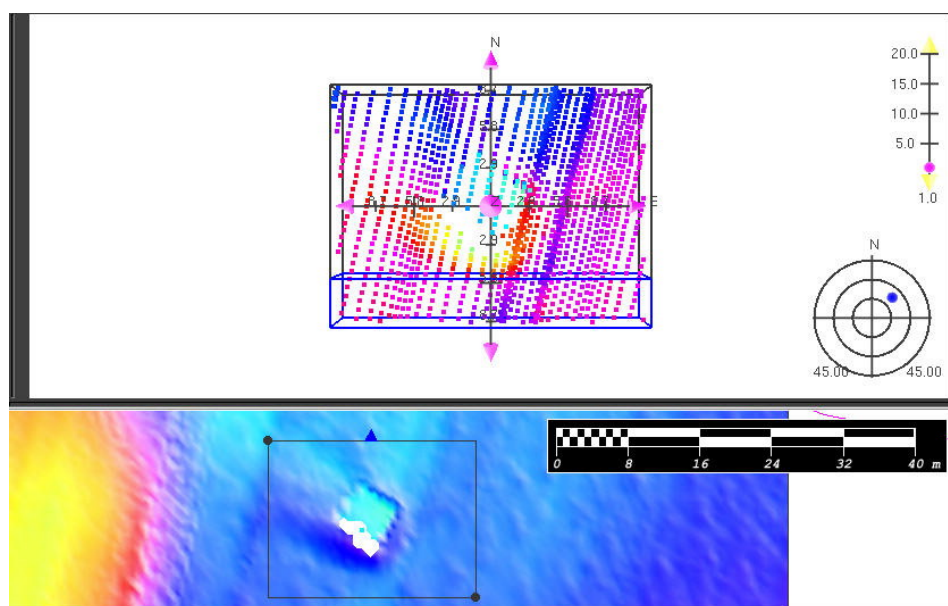


圖 38 方形結構物案例

4.2.4 沙漣案例

下圖中的①沙漣的波峯及波谷高程差約 1 公尺，②沙漣的波峯及波谷高程差約 5 公尺，海底沙漣的存在明顯說明接近海床的海流非常強勁。

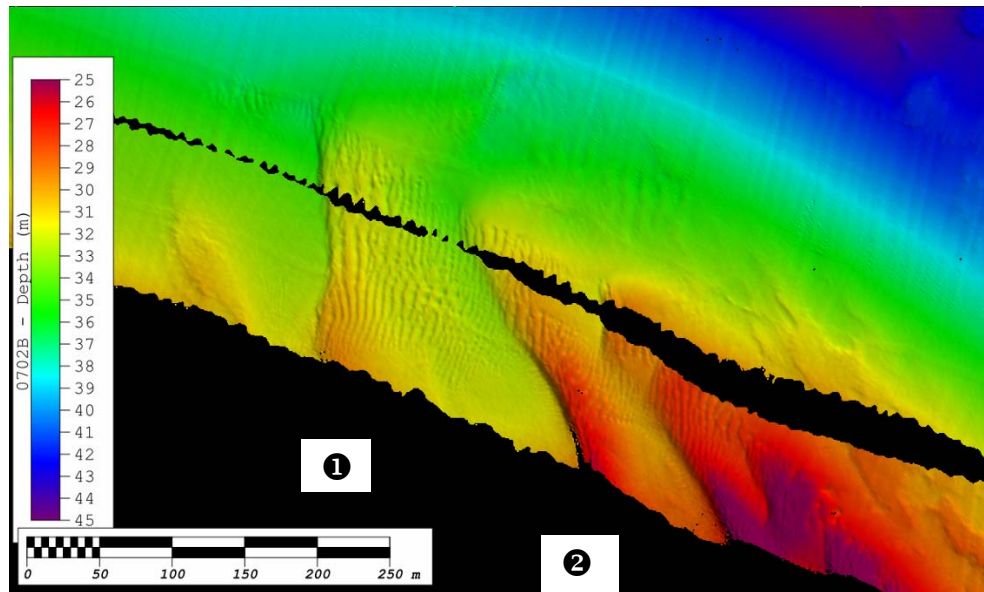


圖 39 沙漣案例(一)

下圖中沙漣範圍更為廣大，並且有一定界線。

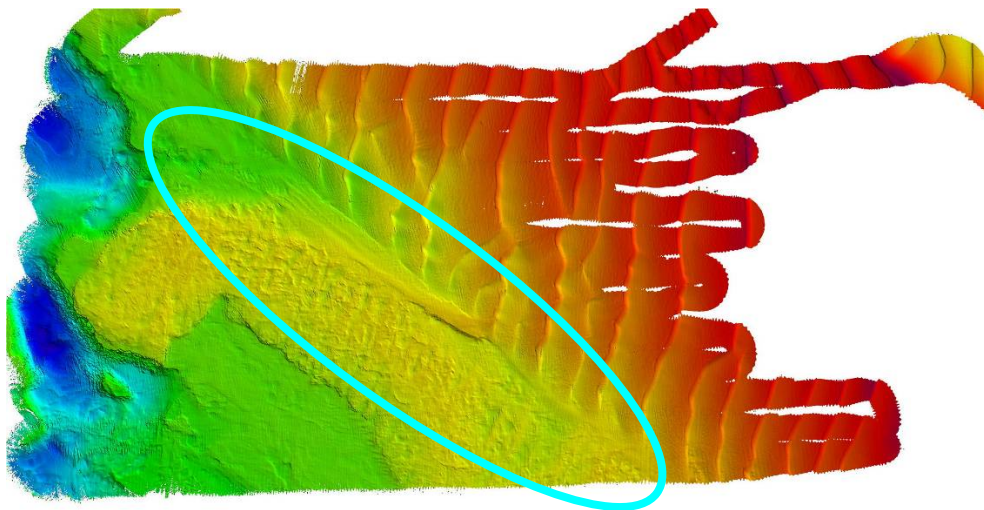


圖 40 沙漣案例(二)

4.2.5 沙漣上的特徵物案例

大部份沙漣呈現平滑的流線型，下圖中沙漣的波峯及波谷之間有特徵物時，沙漣的平滑狀態明顯被破壞。

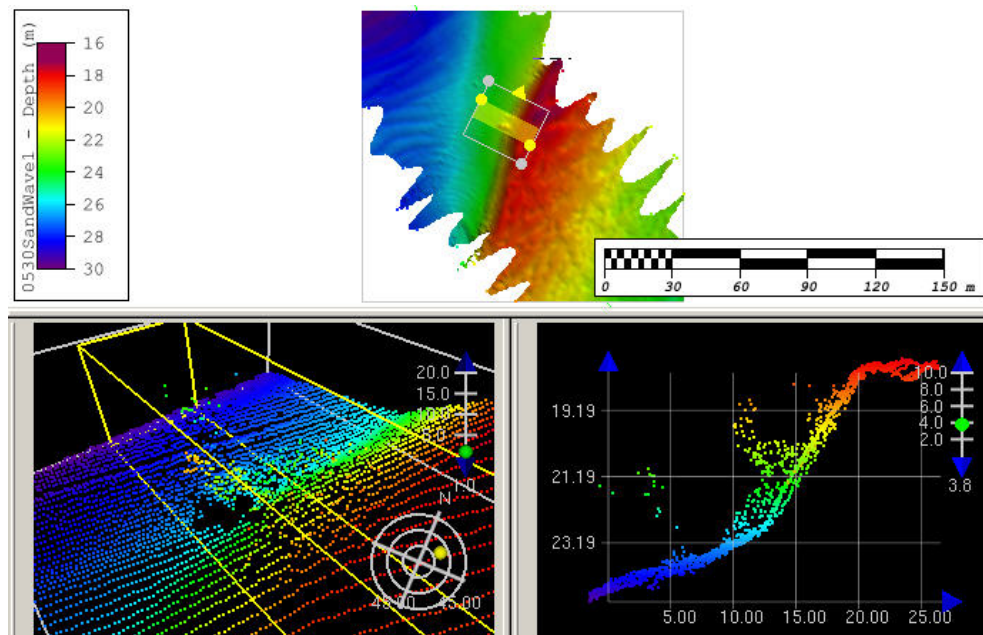


圖 41 沙漣上的特徵物案例

4.2.6 海床上管線溝渠案例

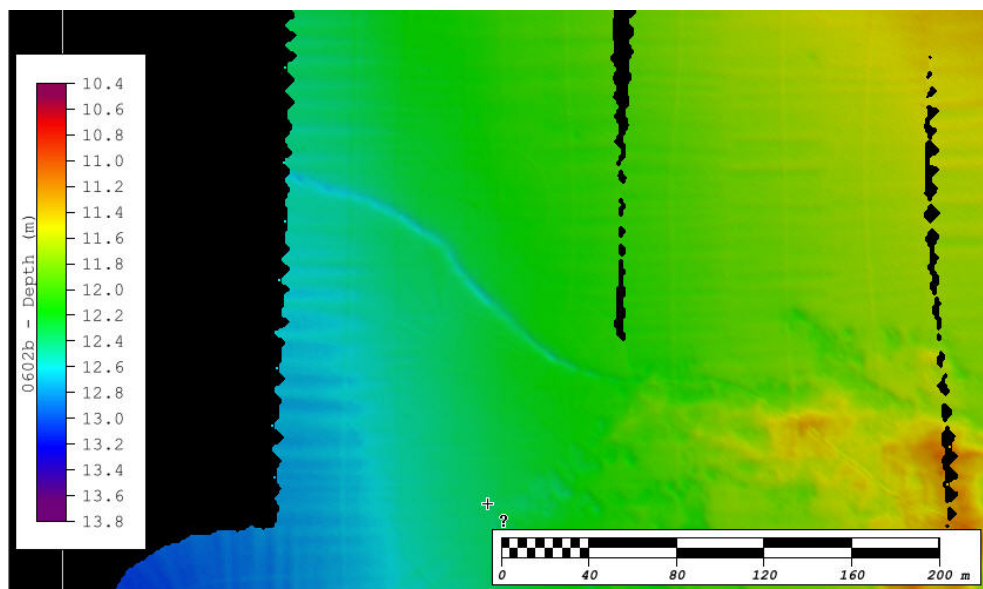


圖 42 海床上管線溝渠案例

4.2.7 海床斷崖案例

大部份海床而都是平緩變化的地形，下圖中水深 50 公尺左右，40 公尺左右的距離，高程驟降 8 公尺，幾乎可以稱為斷崖。

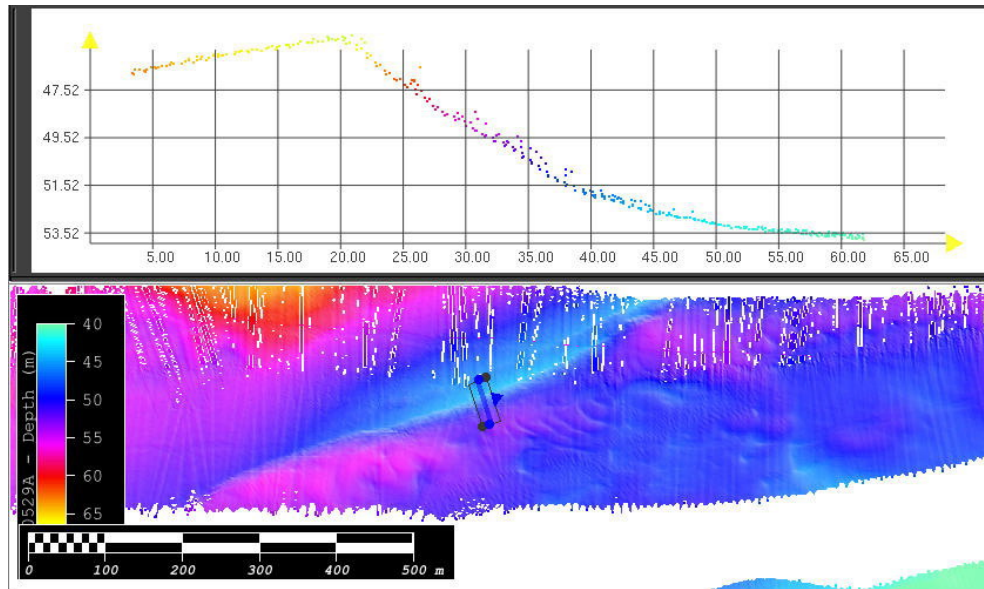


圖 43 海床斷崖案例

4.2.8 沈陷物推算案例

泥質或砂質海床上有一特徵物，如果沒有被拖網拖走，一段時日後會沈陷，並且形成一個凹槽，過了更久才會完全復原。

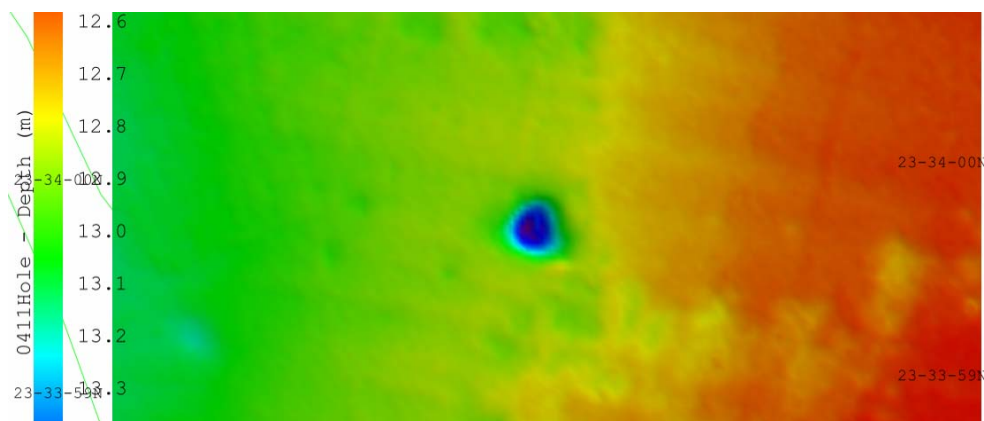


圖 44 特徵物沈陷後的凹槽案例

4.3 由底質分類圖輔助判視特徵物

本研究案分別在 95 年度及 96 年度分別針對工漁礁及疏浚區的底質特性進行分析，下圖中方框內為疏浚區，疏浚後底質特性(綠色為疏浚區)明顯與未疏浚區不同，高雄港內海床多數為細泥，推測疏浚後原始底質與海床表面細泥差異很大，分類效果顯著。

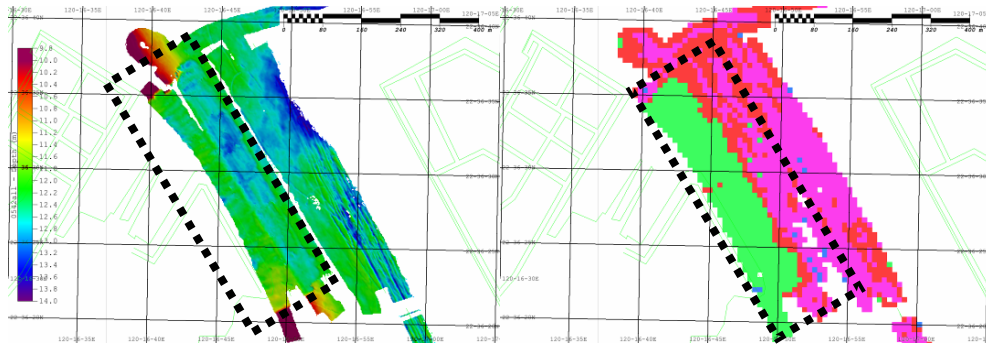


圖 45 高雄港疏浚區海床地形及底質分類圖

另一個案例是針對人工漁礁與附近底質的非監督式分類，分類結果如下圖，初步判讀二張圖片對於漁礁的分佈型態近似，仔細檢視落單的漁礁完全不會反應在底質分類圖內，可以分類出與底質差異的漁礁群大約 0 顆以上漁礁才能底質分類中顯現。推測可能的原因至少有二個：1.漁礁逐漸沈陷，表面可能被植物或生物附著，其聲學特性逐漸與背景海床同化。2.底質分類最小單位為 9x9 個足印，Reson8125 在水深 20 公尺海床上 9 個足印大約界於 2~6 公尺，漁礁尺寸只有 2 公尺，分類成果也顯示大約 10 個漁礁才能反應分類差異。

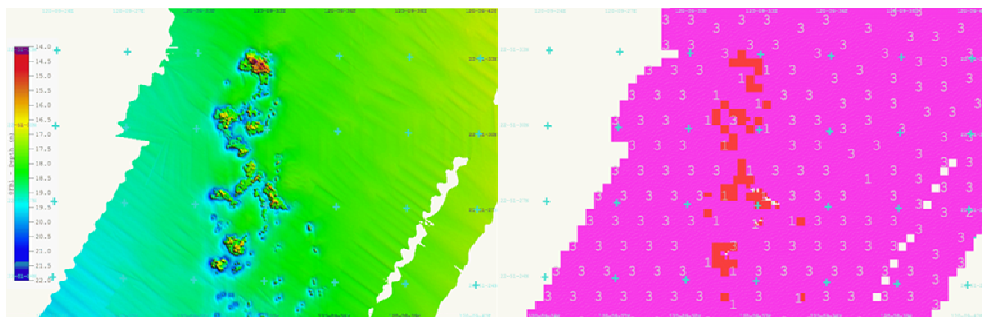


圖 46 人工漁礁海床地形及底質分類圖

分析澎湖水域 29 個工作日的多音束測深資料與底質分析資料，澎湖水域海床地形特性非常多樣性，由水深資料繪製的海底地形圖成果豐富，相對而言，利用底質分類圖判識特徵物成效不如預期，只有少數案例可同時判讀地形圖與底質圖中的特徵物。

第一個案例也是漁礁群聚的結果，下圖中方格為底質分成果，數值 2,3,4 表示與海床背景 0 不同。方格與方格的間隔約 30 公尺，來自底質分類最小單位的限制因素，最小單位有個分量，x 方向是垂直航向，y 方向是垂直航向，在平坦的海床中，x 方向的足印大小與音束入射角相關，y 方向的足印大小與航速及聲納拍發頻率(次/秒)相關，原則上每條測帶(Swath)上(x 方向)音束足印是緊緊相鄰，相鄰測帶(Swath) (y 方向)的音束足印可能重疊、鄰接或分離。

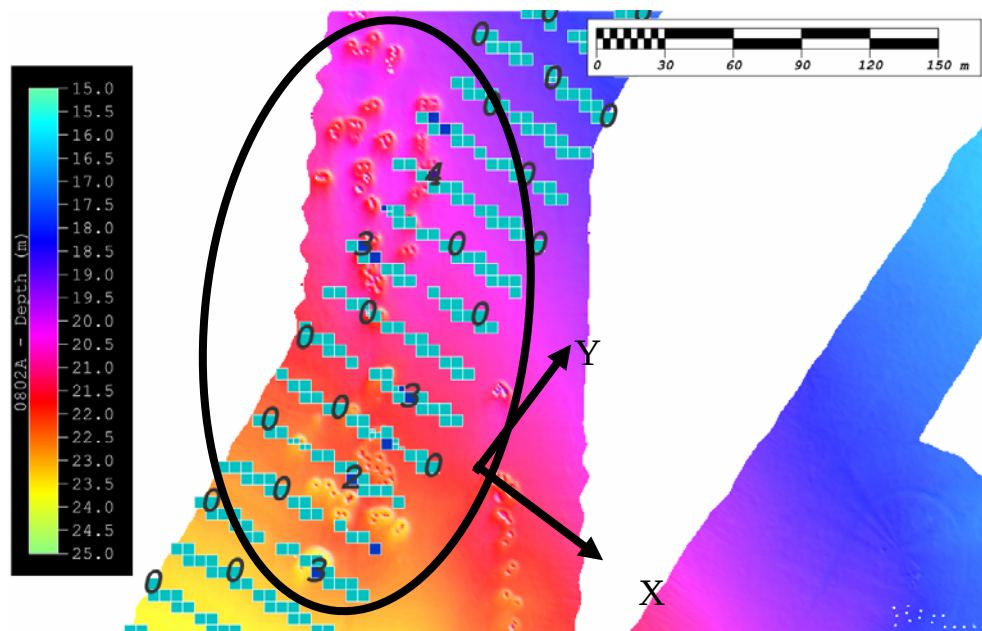


圖 47 群聚的人工漁礁海床地形及底質分類圖

第一個案例是海床管線的掩設先挖管線渠道，接著放置管線並且回填，經常看到的結果是回填土方被海流沖刷，下圖為裸露在海床上的管線溝渠，比對地形圖與底質圖大致符合。

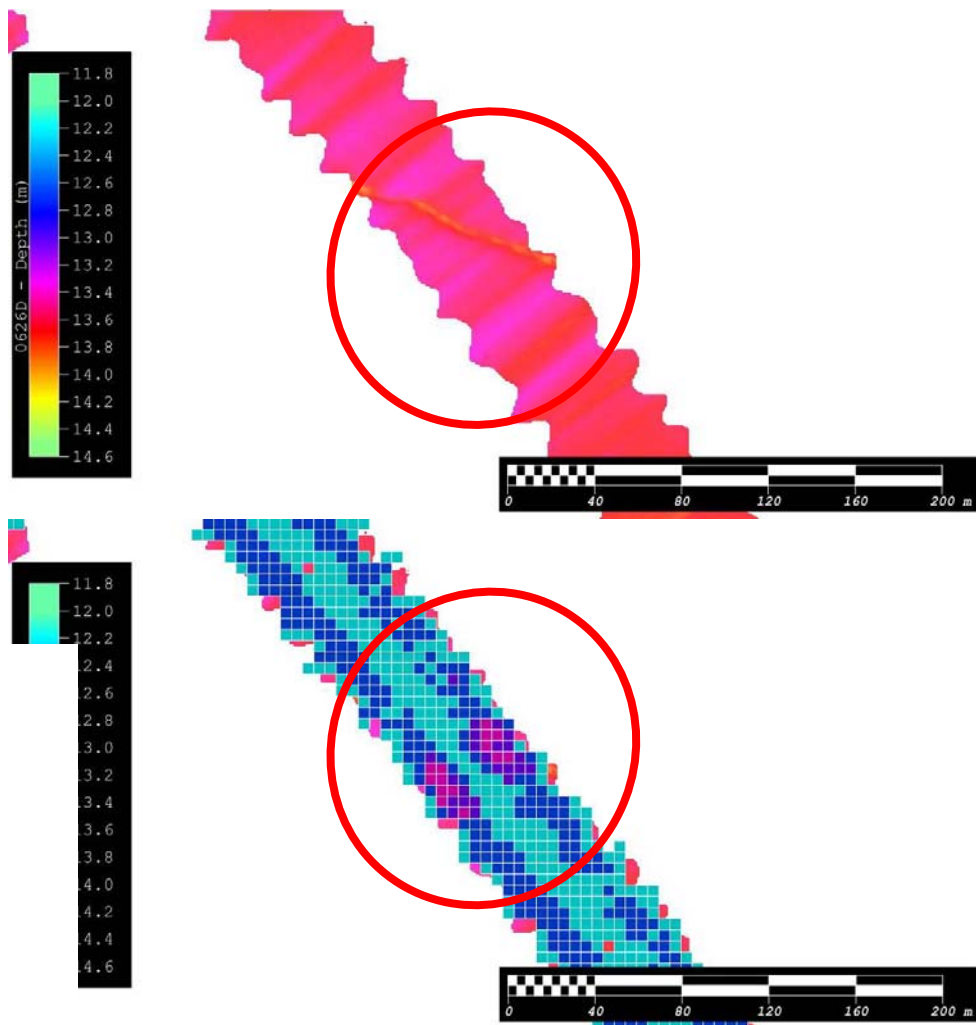


圖 48 水下管線溝渠海床地形及底質分類圖

第五章 多音束測深技術及規範文件

5.1 國際海測規範(IHO SP44)第五版

5.1.1 章節調整

2008 年 2 月國際海測規範第五版的章節刪除「附件 A 深海測深等級(Classification Criteria for Deep Sea Soundings)」，此外將第四章名稱調整，並且增加了「資料處理準則(Guidelines for Data Processing)」，其中「品質管制的準則(Guidelines for Quality Control)」與「資料處理準則(Guidelines for Data Processing)」，最終會移至國際海測標準手冊(Manual on Hydrography, M-13)。

表 4 國際海測規範章節異動表

章節	章節內容	第五版異動
第一章	測量分類(Classification of surveys)	未變更
第二章	定位(Positioning)	未變更
第三章	測深(Depths)	未變更
第四章	「多樣量測(Various measurements)變更為 「其它量測(Other measurements)」	變更名稱
第五章	資料屬性(Data attribution)	未變更
第六章	可疑資料的刪除(Elimination of doubtful data)	未變更
第七章	品質管制準則(Guidelines for quality control)	移至附件 A
附件 A	深海測深等級(Classification Criteria for	刪除

	Deep Sea Soundings)	
無	資料處理準則 (Guidelines for Data Processing)	新增附件 B

5.1.2 第五版主要異動內容

1. 在「海床完全偵搜(full sea floor search)」的規範項目中，將一等測深分為必需要偵搜(1a)及不需要偵搜(1b)。
2. 刪除三等測深的精度，最低的精度等級要求為二等。
3. 以「不確定性(uncertainty)」及「誤差和(Errors)」取代「精度(accuracy)」及「誤差 (error)」字眼，用以區分「量測值」及「真值」的差異，其原因是所有的「量測值」皆帶有「誤差 (error)」，無法得知正確的真值」。這二項專有名詞摘自 2007 年 ISO/IEC 99 文件：“International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)”。

5.1.3 第五版前言概述

This publication is designed to provide a set of standards for the execution of hydrographic surveys for the collection of data which will primarily be used to compile navigational charts to be used for the safety of surface navigation and the protection of the marine environment.

本規範之設計目的主要用於海測調查所需要的資料蒐集標準，而蒐集所得的資料主要提供製作航行海圖，應用在海上航安及海洋環境保護。

It must be realised that this publication only provides the minimum standards that are to be achieved. Where the bathymetry and expected shipping use requires it, hydrographic offices / organisations wishing to gather data may need to define more stringent standards. Also, this publication does not contain procedures for setting up the necessary equipment, for conducting the survey or for processing the resultant data.

These procedures (which are a fundamental part of the complete survey system) must be developed by the hydrographic office/organisation wishing to gather data that is compliant with these Standards. Consideration must be made of the order of survey they wish to achieve, the equipment they have at their disposal and the type of topography that they intend to survey. Annexes A and B provide guidelines for Quality control and Data Processing and it is intended that these will be moved to the Manual on Hydrography (IHO Publication M-13) which provides further guidance on how to perform hydrographic surveys. There is nothing to stop users adopting these Standards for other uses. Indeed, such a broadening of the use of these Standards is welcomed. However, users who wish to adopt these for other means must bear in mind the reason why they were written and therefore accept that not all parts may be suitable for their specific needs. To be compliant with an S-44 Order a survey must be compliant with ALL specifications for that order included in these Standards.

本規範僅提供最低所需要的標準，海測機關若基於水深測量及預期航運的特別需求，應該訂定更嚴格的規範。另外本規範並未包含安裝架設必要儀器的程序、量測作業程序及資料處理程序，以上程序必須由海測機關依據測深規範來制訂。這些程序必須考慮測量等級之需求、可以使用的設備及測區之地形特性等。附件 A 及附件 B 中的品質管制及資料處理準則，未來將打算移至海測手冊(IHO 第 13 號刊物)，該手冊將提供執行海測程序進一步之準則說明。

各海測機關可將本規範應用於其他目的，但是其他目的之使用者必需先了解規範制訂的前因後果，應該僅接受適合該目的之規範。

為達成 IHO 第 44 號文件的某測深等級，必須同時符合該等級的所有相關標準之要求。

It is also important to note that the adequacy of a survey is the end product of the entire survey system and processes used during its collection. The uncertainties quoted in the following chapters reflect the total propagated uncertainties of all parts of the system. Simply using a piece of equipment that is theoretically capable of meeting the required uncertainty

is not necessarily sufficient to meet the requirements of these Standards. How the equipment is set up, used and how it interacts with the other components in the complete survey system must all be taken into consideration.

測量的完整性必須在資料收集過程中注意測量系統的產出及資料處理的過程，在後續章節中所提到的不確定值(uncertainties)意指測深系統所有儀器的總傳播不確定值。若僅有單一儀器的不確定值符合理論上的要求，並無法保證整個量測系統必能達到測深規範的要求，而儀器的架設安裝、使用及與其他儀器的連接互動都必需謹慎處理。

All components and their combination must be capable of providing data to the required standard. The hydrographic office / organisation needs to satisfy itself that this is so by, for example, conducting appropriate trials with the equipment to be used and by ensuring that adequate calibrations are performed prior to, as well as during and, if appropriate, after the survey being carried out. The surveyor is an essential component of the survey process and must possess sufficient knowledge and experience to be able to operate the system to the required standard. Measuring this can be difficult although surveying qualifications (e.g. having passed an IHO Cat A/B recognised hydrographic surveying course) may be of considerable benefit in making this assessment. It should be noted that the issue of this new edition to the standard does not invalidate surveys, or the charts and nautical publications based on them, conducted in accordance with previous editions, but rather sets the standards for future data collection to better respond to user needs.

測深系統的所有儀器設備及其組合所提供的資料都必需達到需求規範的要求。海測機關為了瞭解該測深系統是否可以達到規範要求，必須於作業前進行該測深系統的測試，並確定在測量前、測量中及測量後能夠提供足夠的檢校程序。海測員也是量測程序重要的一部份，他必須具備足夠的專業知識和經驗來操作測深系統以達到規範的要求，要評估海測員的能力並不容易，但具備海測證照(例如國際海測組織 A 級/B 級海測課程)或許可以列入考量評估項目。值得注意的是新規範

與採用舊規範所測量、產製的海圖或導航刊物並不違背，只是為了更符合將來使用者資料收集的需求而制定新的規範。

It should also be noted that where the sea floor is dynamic (e.g. sand waves), surveys conducted to any of the Orders in these Standards will quickly become outdated. Such areas need to be resurveyed at regular intervals to ensure that the survey data remains valid. The intervals between these resurveys, which will depend on the local conditions, should be determined by national authorities.

另一項值得注意是海床的變化是動態(例如：沙丘)，任何等級的測深標準都可能過時，這類水域應該定期測量以確保資料的時效性，此需由該國之主管機關針對各水域之變遷狀況來訂定重新測量的週期。

A glossary of terms used in this publication is given after Chapter 6. Terms included in the glossary are shown in the text in italic type and in the electronic version are hyperlinked to their definition. The following “Fundamental Definitions” from the glossary are considered essential to the understanding of these Standards.

第六章後有名詞解釋的介紹，電子檔的本文中有斜體字部份可超連結至名詞解釋，下一小節的基本定義(Fundamental Definitions)是由名詞解釋摘錄出來，作為本規範的基礎觀念。

5.1.4 基本定義(FUNDAMENTAL DEFINITIONS)

Feature detection: The ability of a system to detect features of a defined size. These Standards specify the size of features which, for safety of navigation, should be detected during the survey.

特徵物偵側：是指測深系統偵測特定尺寸特徵物的能力，本標準是指以航行安全為目的在測量時可以偵測到特徵物的尺寸。

Full sea floor search: A systematic method of exploring the sea floor undertaken to detect most of the features specified in Table 1; utilising adequate detection systems, procedures and trained personnel. In practice,

it is impossible to achieve 100% ensonification / 100% bathymetric coverage (the use of such terms should be discouraged).

海床完全偵搜：是指一個可以偵測到表一所敘述之海床上大部份特徵物的系統性方法；採用足夠的偵測系統、程序及受過訓練的人員。實際上確實不可能完全獲得 100% 聲學海床覆蓋或 100% 的水深覆蓋。

Reduced depths: Observed depths including all corrections related to the survey and post processing and reduction to the used vertical datum.

歸化後水深：量測水深經過所有修正程序，並歸化至水深基準面所獲得之水深，而修正程序包括：現場測量時及資料後期處理相關之改正。

Total horizontal uncertainty (THU): The component of total propagated uncertainty (TPU) calculated in the horizontal plane. Although THU is quoted as a single figure, THU is a 2 Dimensional quantity. The assumption has been made that the uncertainty is isotropic (i.e. there is negligible correlation between errors in latitude and longitude). This makes a Normal distribution circularly symmetric allowing a single number to describe the radial distribution of errors about the true value.

總水平方向之不確定值(THU)：為水平面上所計算而得之總傳播不確定值。雖然 THU 為一個單一值，但它為一個二維的數量，不確定值是假設具有等向性，此會產生圓形對稱的正常分布，是允許以單一值來描述繞著真值的輻射方向之誤差值。

Total propagated uncertainty (TPU): the result of uncertainty propagation, when all contributing measurement uncertainties, both random and systematic, have been included in the propagation. Uncertainty propagation combines the effects of measurement uncertainties from several sources upon the uncertainties of derived or calculated parameters.

總傳播不確定值(TPU)：所有不確定值的傳播結果，包含所有隨機及系統性量測的不確定值。不確定值的傳播包括許多計算或演繹之不確定值而產生之量測不確定值。

Total vertical uncertainty (TVU): The component of total propagated uncertainty (TPU) calculated in the vertical dimension. TVU is a 1 Dimensional quantity.

總垂直方向之不確定值(TVU): 為垂直維度上所計算而得之總傳播不確定值。TVU 為一維度之數量。

5.2 建議修訂之量測等級

本專案於 94 年提出之「多音束測深規範(草案)」為依據 SP-44 第四版的精度規格，建議更新其精度等級，將一等測深分為一等測深甲級和一等測深乙級，表 5 及表 6 分別表為舊版及新版的測量精度表。根據 SP-44 第五版修訂的「多音束測深規範(草案)」可參照附件。

表 5 淺水多音束測量精度規範(舊版)

等級	特等測深	一等測深	二等測深
典型水域範 例	港區、錨泊區和重要 航道等需最少 船底淨空水域或 浚挖及海岸工程	港區、進港航道、建 議航道與水深 100 公 尺以內的海岸水域 或浚挖及海岸工程	非特等或一等 水域且水深在 200 公尺以內水 域或浚挖及海 岸工程
水平位置精 度 (95 % 信 賴區間)	2 公尺	5 公尺+5%水深	20 公尺+5%水 深
水深測量精 度 (95 % 信 賴區間) * 備註一	a = 0.25 公尺 b = 0.0075	a = 0.5 公尺 b = 0.013	a = 1.0 公尺 b = 0.023
100% 底床 搜尋	必要 * 備註二	特定地區為必要 * 備註二	選擇性

等級	特等測深	一等測深	二等測深
偵測海床特徵物的能力 * 備註三			
水深<40m	1 公尺	2 公尺	4 公尺
水深>40m	2.5%水深	5%水深	10%水深

表 6 淺水多音束測量精度規範(新版)

等級	特等測深	一等測深甲 級	一等測深乙 級	二等測深
適用水域描述	水深 40 公尺以內的港區、錨泊區和重要航道等需要船底淨空水域	水深 100 公尺以內的港區、進港航道、建議航道船底淨空需求較少的水域	水深 100 公尺以內，沒有船底淨空需求的水域。	水深超過 100 公尺的水域
總預測水平精度 (95 % 信賴區間)	2 公尺	5 公尺+5%水深	5 公尺+5%水深	20 公尺+5%水深
總預測高程精度 (95 % 信賴區間)* 備註一	a = 0.25 公尺 b = 0.0075	a = 0.5 公尺 b = 0.013	a = 0.5 公尺 b = 0.013	a = 1.0 公尺 b = 0.023
全覆式海床搜尋	必要*備註二	必要*備註二	非必要*備註二	非必要*備註二
偵測海床特徵物的能力 *備註三	>1 公尺	>2 公尺	不需要	不需要

等級	特等測深	一等測深甲 級	一等測深乙 級	二等測深
固定助導航 設施和地形 特徵物	2 公尺	2 公尺	2 公尺	5 公尺
海岸線和其 他地形特物	10 公尺	20 公尺	20 公尺	20 公尺
浮動的助導 航設施平均 位置	10 公尺	10 公尺	10 公尺	20 公尺

第六章 結論與建議

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。並獲得以下述效益。

1. 建置高雄國際商港作為示範測區，分析比較兩年期間漂沙回淤率，獲得疏浚週期參數。
2. 獲得傳統測量法(單音束測深)及新測量法(多音束測深)之成果差異，瞭解疏浚測量必須採用多音束測深的原因。
3. 制訂「港灣水域之多音束測深規範(草案)」建立國內多音束測深準則。
4. 培訓約 30 人次港務局水深測量相關業務從事人員接受多音束測深技術訓練。
5. 建立多音束測深技術在港灣水域疏浚工程應用之作業模式。
6. 建立多音束測深技術在港灣水域疏浚工程之作業規範。
7. 提升多音束聲納系統測繪港灣構造物的能力。
8. 探討多音束測深系統進行海床底質分類之作業模式，加強港灣疏浚的估算可能性。
9. 探討多音束測深技術在港灣工程施工及監測之應用範例、軟硬體系統需求極可能之作業限制分析。
10. 獲得多音束聲納系統偵搜水下特徵物的能力特性。

6.1 結論

1. 過去以光學式檢測水下結構物之狀況，僅能檢核出點或線狀異常情況，因此檢驗結果可能會有疏漏之處，本研究引進高密度的多音束測深系統，對水下結構物之檢測結果可以延伸成面狀，因而獲得全面而完整的三維空間資料，而水下攝影監測雖然在涵蓋面不如高密度聲納測量完善，但其所獲得之光學影像可作為多音束測深結果的交互驗證。
2. 水深資料的量測是海岸工程設計及碼頭維修最基礎的資訊，多音束測深系統的發展已漸趨成熟，測量密度高且測量資料的涵蓋面完整，遠比傳統式光學式檢測方式更能獲得完整的檢測背景資訊，提供水下結構物在施工與維護時，更能提供翔實且精確的資訊。
3. 使用點雲圖辨識水下結構物時，受到湧浪影響甚劇，Pitch 波峯效應造成資料過於密集的問題，可由資料減量消除，但 Pitch 波谷效應造成資料過於稀疏則無法判讀水下結構物的狀況。
4. 以多音束聲納系統偵測海床特徵物之仍然著重於測深值，特別是小型目標，與足印的關係是主要限制條件。相對而言，聲納回波(backscatter)對於小目標的判視能力不足，但對於大範圍底質分類辨識有一定的成效。
5. 從疏浚區底質分類的結果分析，可以假設在均質的海床上投放異質目標物，短期內可由聲納回波(backscatter)辨別，但長期而言，異質目標物受到海床背景的底質覆蓋或生物附著，最終對於聲波的反射型態逐漸與背景同化。
6. 國際海測規範第五版的規範以預測精度驗證(TPU)及實測精度驗證(Cross Check)為核心，將程序及品管部份移至作業手冊 M-13，簡明扼要的規範彰顯二個理念：1.包容新科技的緩衝能力：新科技不一定適用現行的作業程序，舉例來說：聲速剖面修正只適用聲學測量，並不適用光學原的空載雷射。另一個例子是，音束入射角超過 45 度~60 度後足印尺寸劇增，按照過去經驗不可作為最終的成果，但是如果新的技術宣稱可以達到精度要求，驗證後也達到精度規定，

規範對此有一定的包容力。2.提供海測機關完整資訊，作為自訂標準的基礎文件：IHO 強調 SP-44 是最低要求標準，有鑑於第四版提到測量的作業程序不足，IHO 將海測標準作業程序匯集成為手冊(M-13)，作為當地海測機關自訂規範的重要文獻。

6.2 建議

1. 國際海測規範第五版(SP-44 5th)建議將品質管制與資料處理準則移入國際海測手冊(M-13)，該手冊頁數高達 500 頁以上，與過去對於海測規範與作業程序手冊合併並在一起的概念顯然不同，海測作業也不是每一項儀器運作正常資料品質就會達到規範要求。本次改版的趨勢是規範內容越來越簡短，手冊描述越來越詳細。
2. 由國際海測規範的修訂趨勢來看，海測主管機關應針對使用目的及使用需求訂定專屬海測規範，至於要達到專屬海測規範需採用何種等級儀器、作業程序及人員專業能力，應由測量廠商根據國際海測手冊(M-13)提出適當證明，並由專業監審單位判定，專業監審單位必須同時熟悉國際海測規範(SP-44)及國際海測手冊(M-13)的能力。目前海測業界對國際海測手冊(M-13)認知有限，未來可以 M-13 為提升海測品質的重要研究文獻。

第七章 專有名詞解釋及中英文對照表

7.1 專有名詞解釋

1. 精確度(accuracy)：量測值與真值差異的程度。
2. 推測曲面模型(bathymetric model)：將觀測水深經由內插得到的海床地形網格曲面之模型，又稱為海床表面模型(seabed surface model)、海底表面模型(seafloor surface model)或海床模型(seafloor model)。
3. 海床搜尋(bottom search)：為了偵察海床上所有特徵物的位置，使用完全覆蓋海床的探測方法。
4. 信賴程度(confidence level)：誤差不超過最大容許值的百分比。
5. 修正值(correction)：將觀測值或函數值加以修正，藉以減少或消除誤差，來提高觀測值或函數值之精確度。(IHO S32 ed.1994, #1079)
6. 誤差值(error)：觀測值或解算值和理想值或真值之間的差值。(IHO S32 ed.1994, #1671)
7. 特徵物偵測(Feature detection)：是指測深系統偵測特定尺寸特徵物的能力，本標準是指以航行安全為目的在測量時可以偵測到特徵物的尺寸。
8. 海床完全偵搜(Full sea floor search)：是指一個可以偵測到表一所敘述之海床上大部份特徵物的系統性方法；採用足夠的偵測系統、程序及受過訓練的人員。實際上確實不可能完全獲得 100%聲學海床覆蓋或 100%的水深覆蓋。
9. 測地統計學(geostatistics)：由觀測值來估計地形內插信賴程度的統計。

- 10.湧浪補償器(heave compensator)：蒐集船隻上下起伏(heave) 數值的量測儀器。
- 11.航跡線 (line of position, LOP)：由觀測或量測時船隻航行位置的連線。也稱作軌跡線(position line)(IHO S32 ed.1994, #2848)
- 12.詮釋資料(metadata)：關於描述資料的規定和用法方面的資訊。
- 13.船隻姿態收集器(motion sensor)：蒐集船隻前後傾斜(pitch)角度、左右搖擺(roll)角度及上下起伏(heave)數值的量測儀器。
- 14.船隻姿態收集器安置角度(Mounting angle)：船隻姿態收集器固定後其感測器與水平面基準偏差角度。量測完畢後一併修正。
- 15.音鼓率定(Patch Test)：量測音鼓與三軸坐標(船中心線、左右弦及水平垂直軸)的偏差角度，以及系統的遲滯時間以提供系統修正使用。
- 16.精度(precision)：重複量測的統計值，通常以變異數及標準差表示之。可顯示量測系統的穩定性。
- 17.品質保證(quality assurance)：執行有計畫且有系統的必要性措施，此作法足以確保測量程序或成果能滿足品質要求之規定。
- 18.品質控制(quality control)：確保所有成果達到規定標準和規格的所有程序。
- 19.歸化後水深(Reduced depths)：量測水深經過所有修正程序，並歸化至水深基準面所獲得之水深，而修正程序包括：現場測量時及資料後期處理相關之改正。
- 20.總水平方向之不確定值(Total horizontal uncertainty, THU)：為水平面上所計算而得之總傳播不確定值。雖然 THU 為一個單一值，但它為一個二維的數量，不確定值是假設具有等向性，此會產生圓形對稱的正常分布，是允許以單一值來描述繞著真值的輻射方向之誤差值。

21.總傳播不確定值(Total propagated uncertainty, TPU):所有不確定值的傳播結果，包含所有隨機及系統性量測的不確定值。不確定值的傳播包括許多計算或演繹之不確定值而產生之量測不確定值。

22.總垂直方向之不確定值(Total vertical uncertainty, TVU):為垂直維度上所計算而得之總傳播不確定值。TVU 為一維度之數量。

7.2 中英文對照表

表 10 中英文對照表

英文	中文
Accuracy	精確度
Anti-Spoofing	AS 效應
Bandpass filter	帶通濾波器
Bandwidth	頻寬
Bar Check	測深校正板檢校
Base station	基站
Baseline survey	基線測量
Bathymetry	測深學
Bathymetric model	推測曲面模型
Bathymetric survey	水深測量
Beam array	音束陣列
Beamfoam	音場
Beamwidth	音束發射角度
Bell-shaped	鐘形
Bias	偏差
Bottom sampling	海床底質採樣分析
Bottom search	海床搜尋
Boundary	邊界
Bubbler gauge	氣泡式驗潮儀

英文	中文
Buoy	浮標
C/A code	C/A 電碼
Calibration	校正
Canadian Hydrographic Services, CHS	加拿大海洋測量局
Carrier wave	載波
Carrier phase	載波相位
Cartographic feature	地圖地物
Cell	圖幅單元
Channel	水道
Chart datum	製圖基準面
Compass	電羅經
Confidence interval	信賴區間
Confidence level	信賴水準
Control point	控制點
Correction	改正
Counterweight	平衡器
Cross Check	垂直檢線檢核
Cross line	垂直檢核線
CTD	溫鹽深儀
Cycle slip	週波脫落
Data editing	資料編輯
Datum level	水準基準面
Deflection angle	偏角
DGPS, differential GPS	差分式全球定位系統, 差分定位
DOP, Dilution of Precision	精度因子
Draft	吃水
DTM	數值地形模型
Echo sounder	音響測深儀

英文	中文
Echogram	水深紀錄圖/檔
Electronic Chart Display and Information Systems, ECDIS	電子海圖顯示與資訊系統
Electronic positioning system	電子定位儀
Elevation angle	仰角
Ellipsoidal height	橢球面高
ENC	電子海圖
Ephemeris	星曆表
Error	誤差值
Event mark	事件記錄線
Feature detection	特徵物偵側
Feature object	圖徵物件
Full sea floor search	海床完全偵搜
FGDC	美國聯邦地理資料委員會
Filter	濾波器
Footprint	足印
Full coverage	全覆蓋
Gain	聲速回訊之音量
Geometric height	幾何高
Geostatistics	測地統計學
Global positioning system	全球定位系統
Grid	網格
Gridding method	網格內插法
Gyro-compass	電羅經
Heading	航向
Heave	上下起伏
Heave compensator	湧浪補償器
Horizontal datum	水平基準面

英文	中文
Hydrographic office	海道測量局
Hydrographic software	海測軟體
Hydrographic surveyor	海道測量員
Hydrography	水道測量學
International for Hydrographic Organization, IHO	國際海道測量組織
International Maritime Organization, IMO	國際海事組織
Lead lines	測深纜
Light direction and ranging, LIDAR	空載雷射測深儀
Line of position, LOP	航跡線
Low water, L.W.	低潮
Mean sea level – M.S.L	平均海水面
Metadata	詮釋資料
Motion sensor	船隻姿態收集器
Mounting angle	船隻姿態收集器安置角度
Multibeam echo sounder	多音束測深儀
Nautical chart	海圖
Neap rise	小潮升
Object	物件
Offset	偏移量
Orthometric height	正高
Outer beams	外側音束
Patch test	音鼓率定
Pitching	前後起伏
Position line	軌跡線
Positional accuracy	定位精度
Post processing	後期處理
Precision	精度

英文	中文
Pressure gauge	壓力式潮位儀
Projection	投影
Pseudo-kinematic or pseudo-static or intermittent static or reoccupation positioning	虛擬動態測量
Pseudo range	虛擬距離
Quality assurance	品質保證
Quality control	品質控制
Quality of position	定位品質
Random errors	偶然誤差或隨機誤差
Real time kinematic positioning, RTK	即時動態測量法
Real time positioning	即時定位
Reduced depths	歸化後水深
Reduction	歸算
Rolling	左右擺動
Root mean square, RMS	均方根誤差
Scale	比例尺
Seafloor model	海床模式
Seafloor surface model	海底表面模式
Selective availability	SA 效應
Sensor	感測器
Ship motion	船隻姿態
Sidereal hours	恆星時
Single beam echo sounder, SBES	單音束測深儀
Sled	平底雪橇
SOP	標準監驗程序
Sound velocity	聲速剖面
Sound velocity profiler	音速量測儀

英文	中文
Sounding	音響測深
Sounding pole	測深桿
Speed log	船速記錄
Spring range	大潮差
Spring rise	大潮升
Squat and settlement	船隻吃水量動態變化
Squat correction	音鼓吃水動態修正
Standard error	標準誤差
Static positioning	靜態測量法
Swath	測帶
Swath width	測帶寬
Tidal current	潮流
Tidal observations	潮汐觀測
Tide gauge	驗潮儀
Topographic map	地形圖
Total horizontal uncertainty, THU	總水平方向之不確定值
Total propagated uncertainty, TPU	總傳播不確定值
Total vertical uncertainty, TVU	總垂直方向之不確定值
Total station	全站測量儀
Transducer	音鼓
Transverse Mercator projection	橫麥卡托投影
Triangulated irregular network, TIN	不規則三角網
True or actual value	真值
U.S. Army Corps of Engineers, USACE	美國陸軍工兵署
Underkeel clearance	船底淨空
Yaw	航向旋轉

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. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), April 2007, NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.
17. National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), March 2007, Field Procedures Manual.
18. Land Information New Zealand, Aug 1999, Provisional Swath Sonar Survey Specifications.
19. International Hydrographic Organization, Febr 2008, IHO Standards for Hydrographic Surveys, 5th Edition, Special Publication No. 44.
20. 日本海上保安廳，2001，日本水路業務法施行令。
21. 日本海上保安廳，2002，日本水路業務法施行規則。
22. 日本海上保安廳，1989，日本水路測量業務準則施行細則。
23. 日本海上保安廳，2002，日本水路測量各等級測量規則。
24. 日本海上保安廳，2001，日本水路業務法。
25. 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。
26. 薛憲文，1997，應用測量學講義。
27. 公共工程委員會，2000，港灣工程施工綱要規範。
28. 內政部，2003，領海及鄰接區海域基本圖測量規範(草案)。
29. 交通部運研所，2003，港灣水域水深測量(草案)。

30. 交通部運研所，2005，淺水域多音束量測水深技術研究(1/4)。
31. 交通部運研所，2006，淺水域多音束量測水深技術研究(2/4)。
32. 交通部運研所，2007，淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)。

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-97-H2DB008

計畫名稱：淺水域多音束量測水深技術研究(4/4)

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. 本年度之研究內涵包括「多音束測深技術報告及規範匯整」，及「構造物與水下物之測繪、偵搜」，前者為持續性之研究，後者似為較有差異之課題。此一部份目前是否有參考規範？本研究是否將產出規範？ 2. 點狀物、線狀物、面狀物，之定義有無文獻根據？目前所列之值由多音束之成果判視成功率為何？	1. 「構造物與水下物之測繪、偵搜」為研究性質，其目的是研究多音束測深系統在偵搜方面之潛能。 2. 本項課題為本研究所提出，目前尚未見有相關文獻紀錄，而點狀物、線狀物、面狀物的定義是由本研究經由港灣實作經驗所累積自行分類。	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。
岳景雲 副教授： 1. 資料蒐集詳細，工作值得肯定，提升國內測深技術品質。 2. 重要文獻回顧可否放入參考文獻，另外加前人研究。 3. 一個航次二項成果，漂沙回淤率如何計算。 4. 多音束水深測量技術規範文件與廠牌、音束涵蓋範圍、測深大小、解析度、聲納頻率？是否受到限制條件。	1. 謝謝委員支持。 2. 遵照辦理。 3. 漂沙回淤率為本研究第二年之研究項目，可參閱第二年之研究報告。 4. 多音束水深測量技術規範的精神是因應測深目的以最低需達到的量測精度為準則，不針對特定廠牌，令因儀器研發技術會逐年精進不應限制於某特定儀器之規格，。另外本年度為研	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。

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
	究案為第四年，將於期末匯整前三年報告。	
李良輝 副教授： 1. 多音束系統定位精度不足會產生目標物位移現象，精度達多少才可避免？ 2. 光學式及水下聲學式量測之差異最大之處為何？ 3. 實際進度與預計進度吻合。	1. 定位精度不足只是多音束測深誤差的一部份，依不同量測目標，精度要求也不相同，海圖測繪為 2 公尺，本研究探討的偵搜應用，建議採用公分級的定位精度，實務上即時定位精度達到 10 公分內，實測成果合併其他儀器的誤差，水平精度也可能降至 30 公分左右。此外對於 1 公尺足印的測深值，公分級的的定位意義不大。 2. 差異最大之處是聲學量測成果為全面性連續成果，但光學式之量測成果較符合眼睛所見，符合人類直覺判斷。 3. 謝謝委員支持。	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。 3. 符合。
邱永芳 主任： 1. 多音束測深訓練班之舉行是否可以配合開班。 2. 多音束測深之規範應及早提出。 3. 四年報告應整合成總結報告。 4. 疏浚測量實施之時間點何者最佳，應如何避免誤差過大。 5. 垂直結果物旁的水深如何解決其量測精度為何？	1. 若有需求可以考慮在適當時機配合辦理。 2. 參照辦理，已提送，未來會配合貴單位提送文件。 3. 遵照辦理，期末報告時補充。 4. 疏浚前一週左右，並應注意儘量避免浚前測量至開始疏浚其間有颱風直接行經的影響。 5. 圖中垂直目標物的 Picth 效應造成資料疏密不均，間接影響視覺效果，會考慮以 nearest neighbor interpolation 方式處理解決之。各項儀器皆已達到最佳的量測精度，風浪不佳時量	1. 依處理情形辦理。 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。

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
6. 公分級的定位方法應有明確之說明並提出校驗方式。 7. 報告應依研究報告之格式來撰寫。	測會放大所有誤差值，期末報告時將補充的 Picth 效應的結果。 6. 目前測量界公認 RTK 之定位精度可達公分級，而海上定位精度之檢校方式大多是以雙重定位系統藉以比對之。 7. 遵照辦理。	6. 依處理情形辦理。 7. 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-97-H2DB008

計畫名稱：淺水域多音束量測水深技術研究(4/4)

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. 本研究計畫兼顧研究與實務，成果豐碩。 2. 本計畫即將結束，建議製作完整之總結報告，並配合教育訓練，以擴大本所計畫之成效。 3. 建議編列名詞、符號之對照表，並依照一般論文格式，引用之圖、表、文示、說明參考文獻，並於報告之後詳列所有參考文獻。 4. 建議於高程基準中，列入橢球高。測深成果應同時提供橢球高與潮位為基準之深度。	1. 謝謝委員支持。 2. 遵照辦理，總結報告書預定年底前完成，將儘可能配合甲方時程辦理教育訓練。 3. 將遵照辦理，配合甲方總結報告製作排版方式。 4. 目前水深之基準是採用正高，唯目前國際擬採用橢球高，未來可以視國際發展之進度考慮加入之。	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。
岳景雲 副教授 1. 中山大學海洋科技中心研究團隊成果豐碩，可做工程上水深測量之參考，實用性高。 2. 建議增加中、英名詞對照表、符號說明。 3. 草案內容圖 1 字體過小請加強清晰度。 4. 草案內容表 1 備註一……精度…… = ±負號是否必要？	1. 謝謝委員支持。 2. 遵照辦理，將配合甲方排版方式調整中、英文及符號名詞對照。 3. 遵照辦理，調整草案字體。 4. 草案是依據國際規範擬定，其精度表示符號乃依據	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。

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
5. 本研究與內政部(2003.-4?) 領海及鄰接海域基本圖測量 規範差異?	該國際規範訂定之。 5. 內政部規範目的為領海及 鄰接海域(外海)地形量測 與本案草案目的及應用於 港灣層面並不相同。	5. 依處理情形辦理。
李良輝 副教授 1. 本計畫依預定進度及預期 成果完成。 2. 多音束測深規範更新具體 內容為何? 3. 工程應用定位精度宜採公 分級, 如何達成? 4. 本計畫全程計畫已結束, 有 無技術移轉的問題? 5. 利用多音束檢測港灣構造 物時, 海象不同所得結果之 差異如何修正?	1. 謝謝委員肯定。 2. 測深規範主要更新測量等 級, SP44-第五版刪除「三 等測深」與本草案不謀而 合, 另外本草案第十章及 第十一章可考慮另外擬定 「海測手冊」而非「海測 規範」。 3. 「公分級定位方法」是海 測定位需求的目標, 目前 乃指 RTK 等級的 GPS, 實務上海上定位由於船隻 持續運動, 測量成果不如 陸上精準, 評估考量也有 實質上困難, 一般而言, 陸測公分級的儀器, 海測 時精度下降至公分級。 4. 本案除研究內容外, 測深 規範之草案為重要的成 果。 5. 海象影響成果分為二個部 份, 疏密不均及構造物位 移, 資料過密可刪除過多 資料, 資料稀疏則無法補 救。	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。
張哲豪 副教授 1. 已經建立了許多本土資料 庫內容, 以及工作執行經 驗, 除了以報告形式以外, 如何保存或是轉移這樣的 知識內容, 提供給港研中心 來利用?	1. 報告內容將會放置在網路 上供大眾下載, 本土資料 則交付給甲方。	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. 針對規範修正部分，是否需要因應本土狀況而有需要調整之處？如果有，其原因與主要內容為何。 3. 綜合目前資料庫內容，以及技術上的修正，計畫執行單位覺得是否具有足夠的能力，將此技術提昇成足夠的作業標準？	2. 國際海測規範 SP-44 為最低標準，本草案依據港灣工程測量之需求修訂調整，其內容已於「專家會議」中概略討論。 3. 本案草擬之規範，實務上可執行，並且多數海測發包單位已經將其納入重要的採購規格。	2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。
邱永芳 主任： 1. 請提出 4 年的總結報告。 2. 十二月中旬前是否可再辦一次多音束水深測量訓練？ 3. 規範說明會年底前舉行。	1. 遵照辦理。 2. 參照辦理，唯年底前辦理有執行困難，未來將儘量配合甲方之時程辦理 3. 年底前將測深規範(草案)送港研中心，未來若時程允許將儘量配合執行。	1. 依處理情形辦理。 2. 依處理情形辦理。 3. 依處理情形辦理。

附錄三 期中簡報資料

交通部運輸研究所

淺水域多音束量測水深技術研究(4/4)

期中簡報

國立中山大學
海洋地理資訊系統研究室

簡報日期:九十七年七月十五日



1

簡報內容

壹 計畫摘要及背景分析

貳 研究內容及工作項目

參 專案時程及執行進度

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四年，探討多音束聲納偵測海床特徵物之評估研究，探討多音束聲納偵測港灣構造物之評估研究，匯整多音束測深系統相關之應用技術及規範。



3

1-2、背景分析(1)

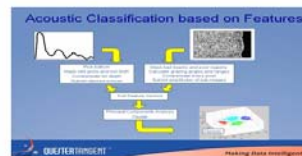
- 台灣每年平均受3-4個颱風的侵襲，使得防波堤在颱風期間受波浪之作用，亦引起消波式胸牆的破壞，造成防波堤必需經常加以維修與復建。除了短期的巨浪的損壞，經年累月的海水充洗與波浪作用同樣會消耗原有結構物之強度。
- 水面以上設施的損壞顯而易見，水面以下港灣設施的監測較為困難，傳統的水下監測以派遣潛水員拍攝水下設施的狀況，但經常受限於水中視界不足及船泊進出頻繁潛水人員安全威脅的影響，外防波堤的檢測，潛水人員更易受到湧浪效應作用產生危險，近年來高解析淺水多音束測深系統足以補強傳統式水下監測的缺點，本年度研究主題之一針對多音束偵測港灣構造物之作業模式及限制條件。



4

1-2、背景分析(2)

- 本計畫過去二年嘗試分析多音束聲納的回波強度(backscatter)資訊，累積多音束測量經驗，並蒐集海床表面底質分類的成果，預期以一個航次作業所需成本獲得二項成果：測深值及海床表面等性。



5

1-2、背景分析(3)

- 本計畫於94年提出「港灣水域多音束測深規範(草案)」，96年則針對疏浚工程之精度評估，提出更精密的探討，以補規範不足之處。另一方面，美國海洋大氣總署(NOAA)的「NOS HYDROGRAPHIC SURVEYS SPECIFICATIONS AND DELIVERABLES」，亦於去年四月更新內容，本計畫預定匯整四年多音束測深相關成果及更新技術規範。



NOS HYDROGRAPHIC SURVEYS
SPECIFICATIONS AND DELIVERABLES

April, 2007



6



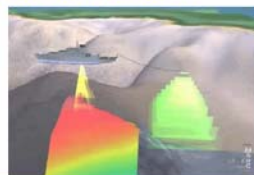
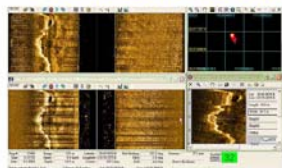
2-1、全程計畫之研究內容

第一年	進行多音束測深示範作業、多音束測深規範制定、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聲納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	探討多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究，研究多音束聲納系統偵測海床特徵物之評估，及彙整多音束測深技術及規範文件。

8

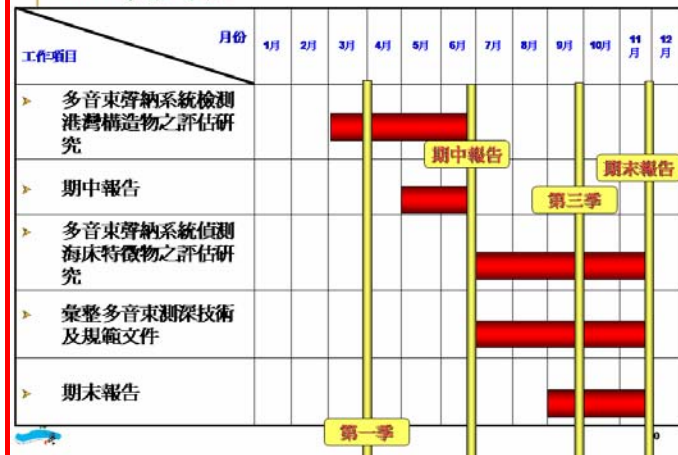
2-2、本年度(第四年)預期成果

- 多音束聲納系統測繪港灣構造物的程序及其限制。
- 多音束聲納系統偵搜水下特徵物的程序及其限制。
- 多音束測深技術報告及規範彙整。



9

3-1、專案時程



3-2、執行進度

項 目	預定進度	實際進度
一、多音束聲納系統測繪港灣構造物的程序及其限制	100%	100%
二、期中報告	100%	100%
三、多音束聲納系統偵測水下特徵物的程序及其限制	0%	0%
四、多音束測深技術報告及規範彙整	0%	0%
五、期末報告	0%	0%

11

3-3、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：多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究。
- 第五章：期中結論及未來工作。

12

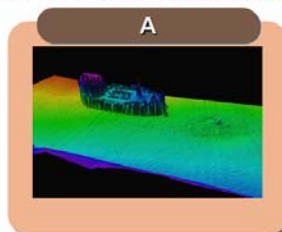
4-1、多音束聲納系統主要應用模式

- 水深地形概況調查：調查海床基本現況，其資料做後續工程設計及進階測量的背景資料。
- 疏浚測量：河道或航道疏浚前後測量，其資料可做為土方計價及浚後驗收用途。
- 管線調查：調查管線現況，檢核覆土是否被淘空？管線是否裸露？
- 水下結構物檢測：調查防波堤、橋墩、護岸、消波塊等水下結構物調查。
- 礙航物調查：調查水中懸浮或海床上可能防礙航行的物體。

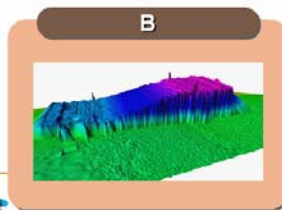


13

4-1-1 多音束測深技術相關應用



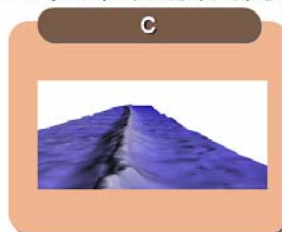
- A
1. Collected by: SeaBat 8125 Single head, run 4 knots
 2. Processed & Displayed by: SeaBat 6042 v. 7 by RESON / TerraVista 3D Viewer
 3. Location: Fjord outside Asker, Norway
 4. Date: November 1999
 5. Description: Image of "CLEONA", a wooden shipwreck 18 meters below the surface.



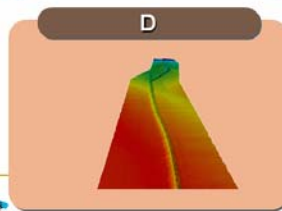
- B
1. Collected by: SeaBat 8125 Dual Head
 2. Processed & Displayed by: SeaBat 6042 v. 7 by RESON / TerraVista 3D Viewer
 3. Location: Zaltbommel, Southern Holland
 4. Date: August 1999
 5. Description: Steel structure in approximately 5m of water.



4-1-2 多音束測深技術相關應用



- C
1. Collected by: SeaBat 8125 Single Head
 2. Processed & Displayed by: SeaBat 6042 v. 7 by RESON / TerraVista 3D Viewer
 3. Location: Pipeline outside Santa Barbara, California
 4. Date: July 1999
 5. Description: Sewer outfall, 13-20 m water.

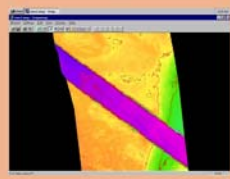


- D
1. Collected by: SeaBat 8125 Dual Head
 2. Processed & Displayed by: SeaBat 6042 v. 7 by RESON / TerraVista 3D Viewer
 3. Location: Pipeline outside Santa Barbara, California
 4. Date: July 1999
 5. Description: Sewer outfall, 13-20 m water.



4-1-3 多音束測深技術相關應用

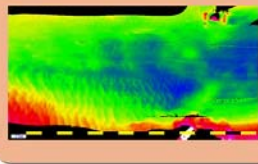
E



E

1. Collected by: SeaBat 9001.
2. Processed & Displayed by: DelphMap System by Triton Elies International Inc.
3. Location: Brest, France
4. Date: October 1997
5. Description: Zoomed-in view of color-coded depths with depth contours superimposed of survey area showing dredged canal.

F

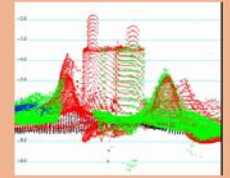


F

1. Collected by: SeaBat 9001.
2. Processed & Displayed by: UNB Ocean Mapping Group, realtime and post-processing software (SwathEd).
3. Location: St. John River, New Brunswick, Canada
4. Date: August 1997
5. Description: Depth encoded images of upstream region showing a bridge abutment and scour/deposition at base of those abutments.

4-1-4 多音束測深技術相關應用

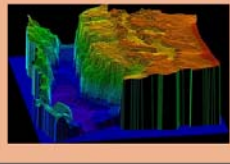
G



G

1. Collected by: SeaBat 9001.
2. Processed & Displayed by: UNB Ocean Mapping Group, realtime and post-processing software (SwathEd).
3. Location: St. John River, New Brunswick, Canada
4. Date: August 1997
5. Description: SwathEd side view screen showing definition of the structure and the location of erosion deposition about the base of the bridge abutment.

H

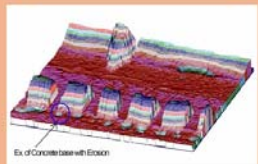


H

1. Collected by: SeaBat 9001.
2. Processed & Displayed by: David Evans & Associates Editing Software and TerraModel Plotting Software.
3. Location: Dalles River, Oregon
4. Date: 1996
5. Description: 3-dimensional plot of the Dalles Canyon showing the shear/vertical walls.

4-1-5 多音束測深技術相關應用

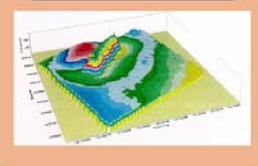
I



I

1. Collected by: SeaBat 9001.
2. Processed & Displayed by: SeaVisual Editing Software and TerraModel Plotting Software.
3. Location: Bonneville Dam, Columbia River, Oregon, USA
4. Date: 1996
5. Description: 3-dimensional plot of part of the Stilling Basin and showing the erosion of the concrete base and baffles.

J

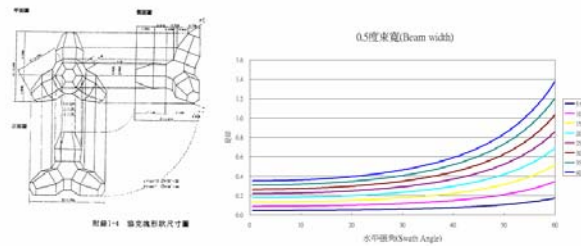


J

1. Collected by: SeaBat 8101.
2. Processed & Displayed by: HYSWEEP and TerraModel Plotting Software.
3. Location: Denmark
4. Date: 1997
5. Description: 3-dimensional plot of part of the seafloor that has a sunken vessel.

4-2 多音束聲納系統檢測港灣構造物的限制條件

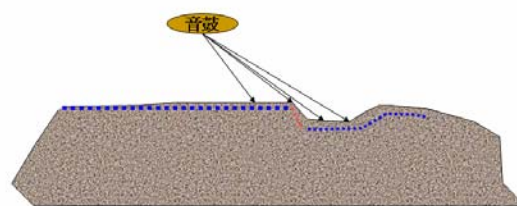
- 1. 分析各種構造物的檢測需求。
- 2. 分析多音束聲納系統的足印及精度。



19

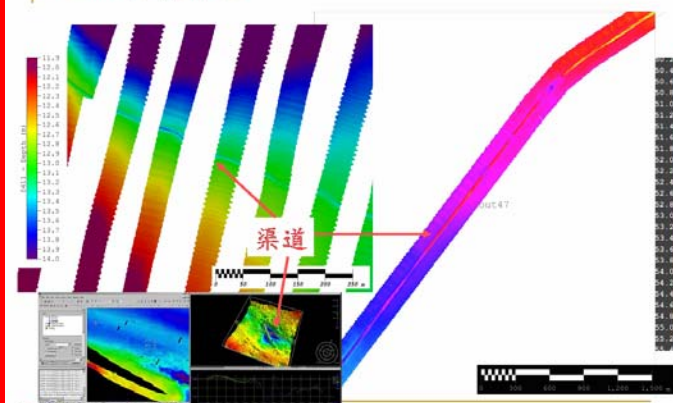
4-2-1 凹槽式特徵物

- (1)管線渠道
- (2)航行渠道(channel)及迴船池
- (3)間接造成的凹槽



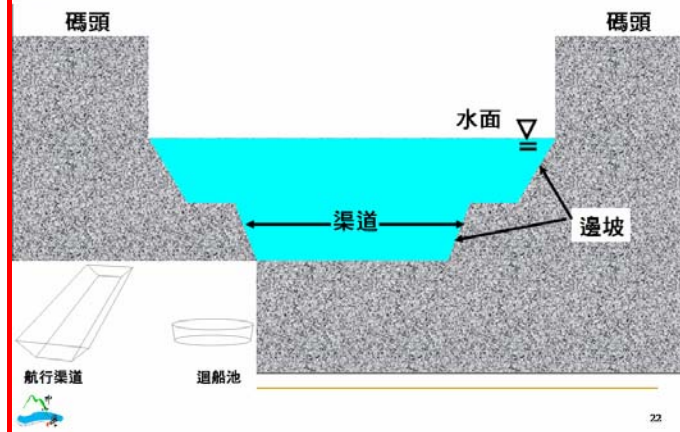
20

4-2-1-1 管線渠道



21

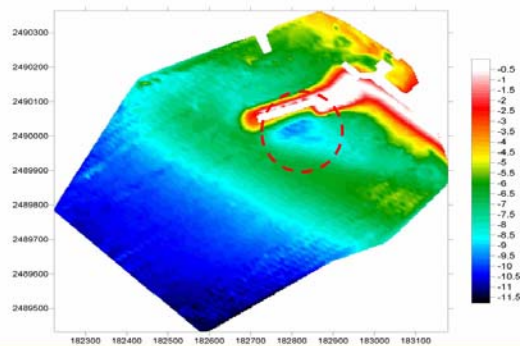
4-2-1-2 航行渠道(channel)及迴船池



22

4-2-1-3 間接造成的凹槽

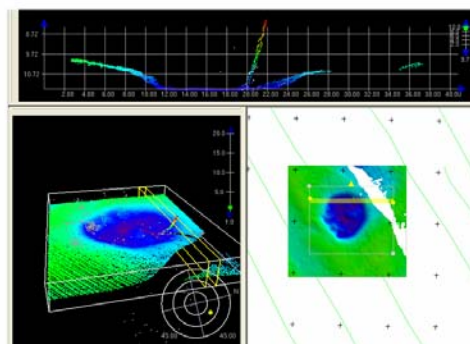
鳳鼻頭防波堤堤頭反射效應



23

4-2-1-3 間接造成的凹槽

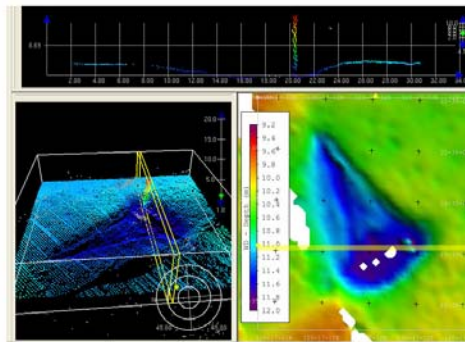
繫纜錨鼓圓形凹槽



24

4-2-1-3 間接造成的凹槽

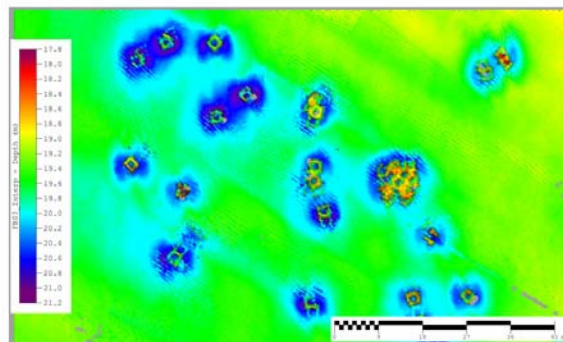
繫纜錨鼓水滴形凹槽



25

4-2-1-3 間接造成的凹槽

高雄縣永安外海沈陷中的混凝土人工漁礁凹槽



26

4-2-2 凸起式特徵物

- **懸浮物**：多音束測深系統可偵測半沈浮木、浮動式燈標，繫纜錨鼓、魚群、大型海草、漁網...等，國際期刊中有多篇論文使用多音束測深系統搜尋生態棲息地及計算生態組群數量等應用，港區較少偵查懸浮物。

27

4-2-2 凸起式特徵物

- **點狀物**：足印解析度取決於水深、音束束寬及音束入射角，以長度定義點狀物並不恰當，故點狀物的定義是以足印數量定之，**1~5個足印為點狀物**。量測時先推算足印解析度在何種條件下才足以量測點狀物。



28

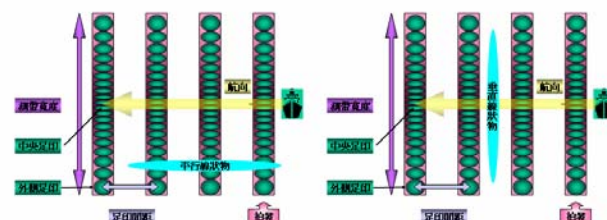
4-2-2 凸起式特徵物

- **線狀物**：線狀物的寬度定義為**1~3個足印以內**，**長度為6個足印以上**。常見線狀物為海底管線或電纜、沈底木頭、錨鍊、繫纜錨鼓的鋼纜或鍊條。線狀物測量的影響因素除足印解析度外，平行線狀物長軸是最佳的量測航向，如下圖所示，航向與長軸垂直目標物時，目標物可能位於足印間距中的縫隙。



29

4-2-2 多音束量測航向與線狀物軸向的關係



30

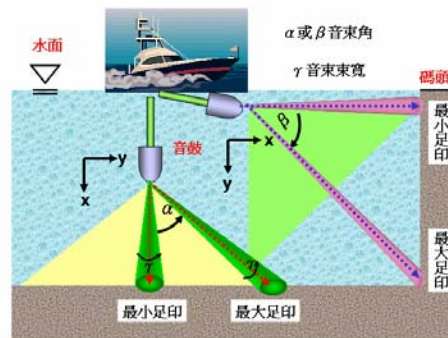
4-2-2 凸起式特徵物

- **面狀物**：疏浚前常以多音束偵測水中或水底的異常物體並且打撈，避免疏浚機具的損壞。面狀物的定義為**4x5個足印以上**，量測面狀物需注意外部音束的足印可能為正下方音束的足印三倍以上。



31

4-2-3 垂直式特徵物-足印示意圖

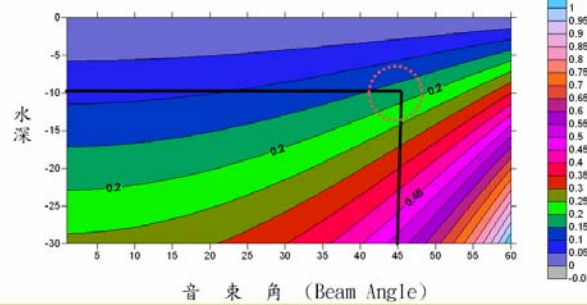


32

4-2-3 分析多音束聲納系統的足印及精度

水深10米、 α 或 β 音束角45時，足印約0.175公尺

0.5度音束寬 (Beam Width) 的足印對照表



33

4-2-3 系統中各種儀器的解析度之要求

- 定位系統：一般地形測量定位精度2公尺已經足夠，但若作為工程使用，應採用公分級的定位方法。
- 電羅經：最小方向解析度為0.1度。
- 船隻姿態儀：最小角度解析度0.01度，最小距離解析度0.1cm。
- 聲速剖面儀：最小聲速解析度為0.1公尺/秒。
- 潮位儀：最小潮位解析度為0.1公分。



34

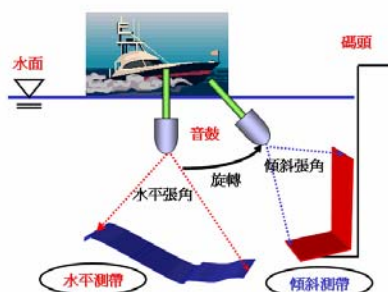
4-2-3 總誤差傳播(Total Propagated Error,TPE)

- 相對位置或角度(Offset)。
 - MRU to Transducer(x,y,z)：船隻安裝至音鼓三個軸向的相對位置。
 - Navigation To Transducer(x,y,z)：定位儀至音鼓三個軸向的相對位置。
 - 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。
- 標準差(StdDev)。
 - 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。
 - Motion Gyro：量測航向的標準差。
 - Heave % Amplitude：量測間隔變化的標準差。
 - Heave：量測湧浪的標準差。
 - Roll：量測左右搖擺角的標準差。
 - Pitch：量測前後傾斜的標準差。
 - Position Nav：定位的標準差。
 - Timing Trans：音鼓拍位時間的標準差。
 - Nav Timing：定位時間的標準差。
 - Gyro Timing：量測船艙向時間的標準差。
 - Heave Timing：量測湧浪時間的標準差。
 - Pitch Timing：量測前後傾斜時間的標準差。
 - Roll Timing：量測左右搖擺時間的標準差。
 - Offset X：量測儀器安置相對位置在X軸向的標準差。
 - Offset Y：量測儀器安置相對位置在Y軸向的標準差。
 - Offset Z：量測儀器安置相對位置在Z軸向的標準差。
 - Vessel Speed：量測航速的標準差。
 - Loading：船隻排水量變化。
 - Draft：量測船隻吃水的標準差。
 - Delta Draft：量測船隻動態吃水的標準差。
 - MRU Align StdDev Gyro：電羅經非置於船隻運動中心量測船艙向的標準差。
 - MRU Align StdDev Roll/Pitch：船隻安裝非置於船隻運動中心量測左右搖擺角的標準差。



35

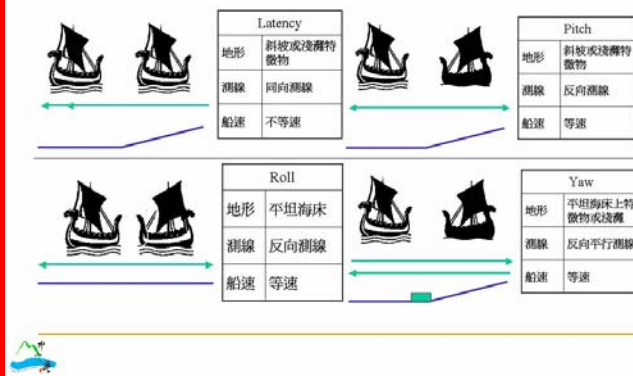
4-3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法



36

4-3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法

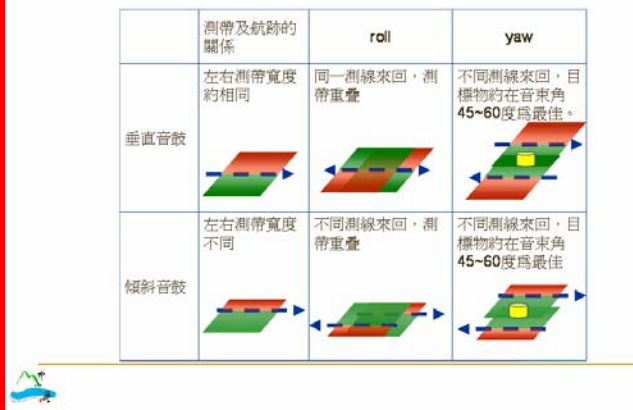
垂直音鼓Patch Test



37

4-3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法

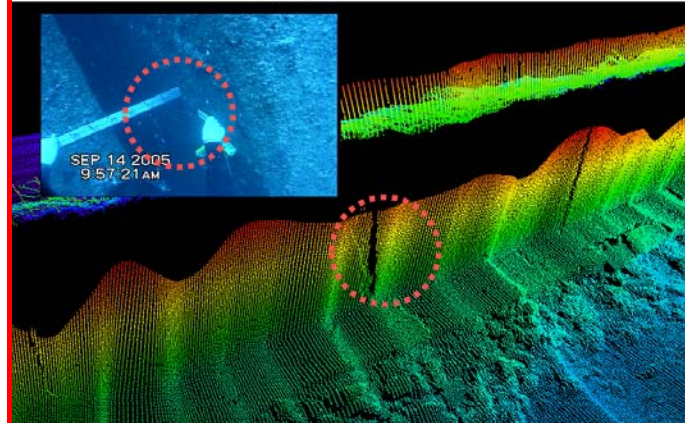
旋轉音鼓後，需調整的Patch Test項目



38

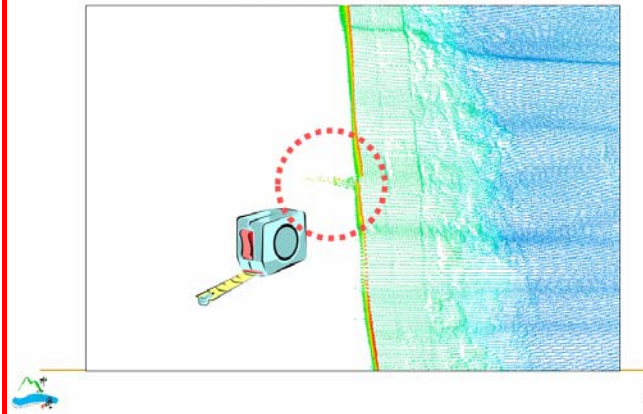
4.4 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的比較

聲學式及光學式量測比對



4.4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的優點

多音束測深系統可量測狹窄的細縫



40

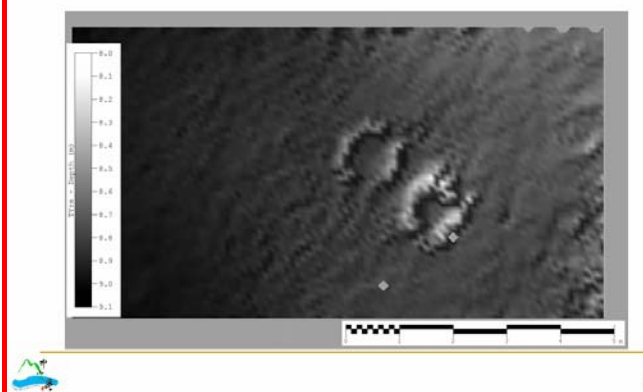
4.4 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的差異

	光學式	聲學式
➤ 限制條件	➤ 水下透視度及湧浪	➤ 海象及氣泡
➤ 坐標系統	➤ 描述性坐標	➤ 絕對坐標，可提供正確的施工位置
➤ 長期比對	➤ 不易，每年拍攝角度位置不同	➤ 採用絕對坐標，可比對歷年測量資料
➤ 結構物表面損害狀況	➤ 潛水人員可拍攝光學影像，提供肉眼分析研判	➤ 獲得聲學影像，需要經驗來分析研判讀之
➤ 人員風險性	➤ 風險較高	➤ 風險較低
➤ 沈箱間縫隙	➤ 人員進入量測風險大	➤ 縫隙夠寬及測角適當時，可量測之
➤ 作業時間	➤ 2~3個工作天	➤ 6~8小時
➤ 作業速度	➤ 1節或更慢	➤ 5節或更快
➤ 資料處理	➤ 簡易(照片整理及影片處理)	➤ 複雜(合併各種儀器資料及解算)
➤ 所需費用	➤ 較低	➤ 較高

41

4.4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的限制

多音束測深系統定位精度不足產生的輪胎位移結果



42

5-1 期中結論

- 過去以光學式檢測水下結構物之狀況，僅能檢核出點或線狀異常情況，因此檢驗結果可能會有疏漏之處，本研究引進高密度的多音束測深系統，對水下結構物之檢測結果可以延伸成面狀，因而獲得全面而完整的三維空間資料，而水下攝影監測雖然在涵蓋面不如高密度聲納測量完善，但其所獲得之光學影像可作為多音束測深結果的交互驗證。
- 水深資料的量測是海岸工程設計及碼頭維修最基礎的資訊，多音束測深系統的發展已漸趨成熟，測量密度高且測量資料的涵蓋面完整，遠比傳統式光學式檢測方式更能獲得完整的檢測背景資訊，提供水下結構物在施工與維護時，更能提供翔實且精確的資訊。



43



44

附錄四 期末簡報資料

交通部運輸研究所

淺水域多音束量測水深技術研究(4/4)

期末簡報

國立中山大學
海洋地理資訊系統研究室

簡報日期:九十七年十一月十七日

簡報內容

壹

計畫摘要及背景分析

貳

研究內容及工作項目

參

專案時程及執行進度

肆

研究成果說明

伍

結論及未來工作

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四年，探討多音束聲納偵測海床特徵物之評估研究，探討多音束聲納偵測港灣構造物之評估研究，匯整多音束測深系統相關之應用技術及規範。

1-2、背景分析(1)

- 台灣每年平均受3-4個颱風的侵襲，使得防波堤在颱風期間受波浪之作用，亦引起消波式胸牆的破壞，造成防波堤必需經常加以維修與復建。除了短期的巨浪的損壞，經年累月的海浪沖流作用同樣會消耗原有結構物之強度。
- 水面以上設施的損壞顯而易見，水面以下港灣設施的監測較為困難，傳統的水下監測以派遣潛水員拍攝水下設施的狀況，但經常受限於水中視界不足及船泊進出頻繁潛水人員安全堪慮的影響，外防波堤的檢測，潛水人員更易受到湧浪效應作用產生危險，近年來高解析淺水多音束測深系統足以補強傳統式水下監測的缺點，本年度研究主題之一針對多音束偵測港灣構造物之作業模式及限制條件。

1-2、背景分析(2)

➢ 本計畫過去二年嘗試分析多音束聲納的回波強度(backscatter)資訊，累積多音束測量經驗，並蒐集海床表面底質分類的成果，預期以一個航次作業所需成本獲得二項成果：測深值及海床表面特性。



1-2、背景分析(3)

➢ 本計畫於94年提出「港灣水域多音束測深規範(草案)」，96年則針對疏浚工程之精度評估，提出更精密的探討，以補規範不足之處。另一方面，美國海洋大氣總署(NOAA)的「NOS HYDROGRAPHIC SURVEYS SPECIFICATIONS AND DELIVERABLES」，亦於去年四月更新內容，本計畫預定匯整四年多音束測深相關成果及更新技術規範。


NOS HYDROGRAPHIC SURVEYS
SPECIFICATIONS AND DELIVERABLES
April, 2007

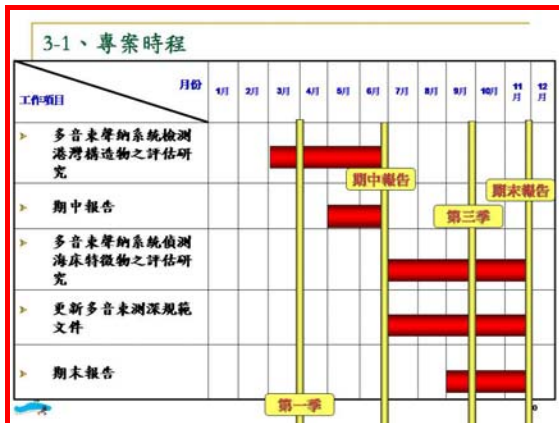


2-1、全程計畫之研究內容

第一年	進行多音束測深示範作業、多音束測深規範制定、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，探討評估示範區之測沙回淤率、開設多音束測深技術訓練班、建立多音束測深疏浚疏濬度資訊及船舶管線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測測在疏浚工程之應用；多音束測深精度提升因子之探討，探討管線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	探討多音束聲納系統檢測港灣構造物之評估研究，研究多音束聲納系統偵測海床特徵物之評估，及更新多音束測深規範文件。

2-2、本年度(第四年)預期成果

- 多音束聲納系統測繪港灣構造物的程序及其限制。
- 多音束聲納系統偵測水下特徵物的程序及其限制。
- 多音束測深規範文件更新。

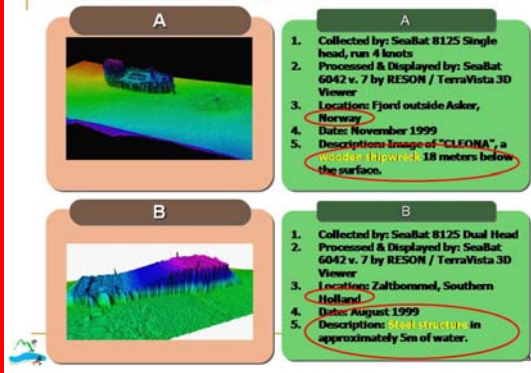


3-2、執行進度

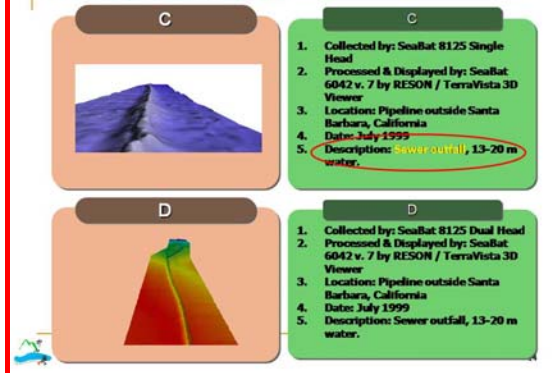
項目	預定進度	實際進度
一、多音束聲納系統測繪港灣構造物的程序及其限制	100%	100%
二、期中報告	100%	100%
三、多音束聲納系統偵測水下特徵物的程序及其限制	100%	100%
四、多音束測深規範更新	100%	100%
五、期末報告	100%	100%

- ### 4-1、多音束聲納系統主要應用模式
- 水下地形現況調查**：調查海床地形現況，其資料做後續工程設計及變遷調查的背景資料。
 - 疏浚測量**：河道或航道疏浚前後測量，其資料可做為土方計價及浚後驗收用途。
 - 管線調查**：調查管線現況，檢核覆土是否被淘空？管線是否裸露？
 - 水下結構物檢測**：調查防波堤、橋墩、護岸、消波塊等水下結構物狀況。
 - 礙航物調查**：調查水中懸浮或海床上可能防礙船隻航行的物體。

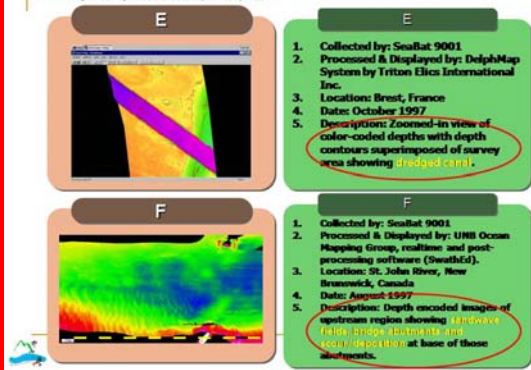
4-1-1 多音束測深技術相關應用



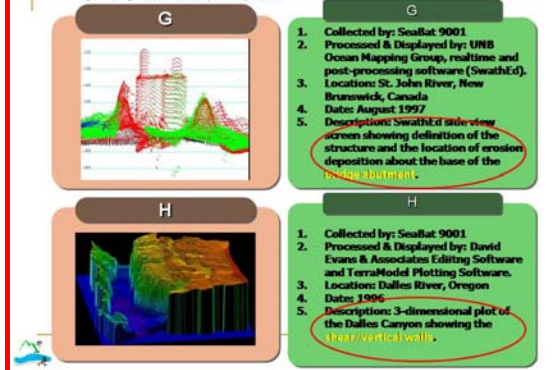
4-1-2 多音束測深技術相關應用



4-1-3 多音束測深技術相關應用



4-1-4 多音束測深技術相關應用

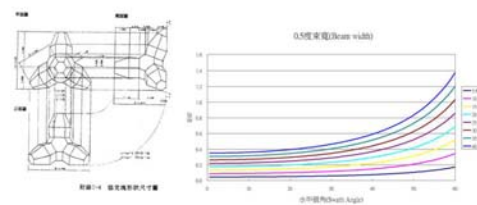


4-1-5 多音束測深技術相關應用



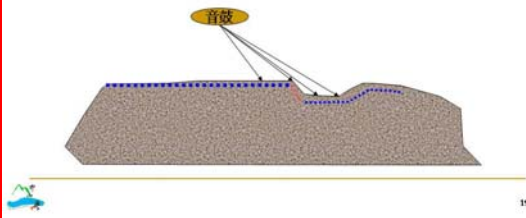
4-2 多音束聲納系統檢測港灣構造物的限制條件

1. 分析各種構造物的檢測規範需求。
2. 分析多音束聲納系統的足印及精度。



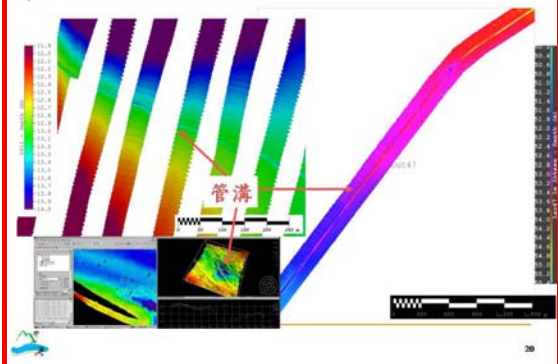
4-2-1 凹槽式特徵物

- (1)管線渠道
- (2)航行渠道(channel)及迴船池
- (3)間接造成的凹槽



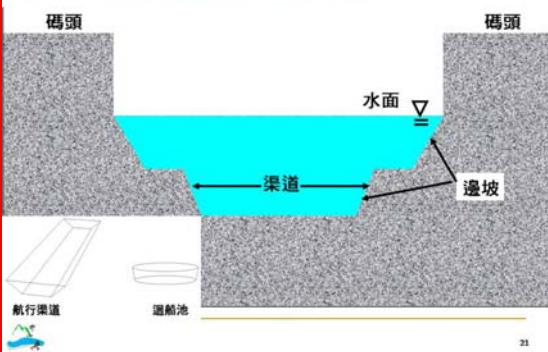
19

4-2-1-1 海底管線之管溝



20

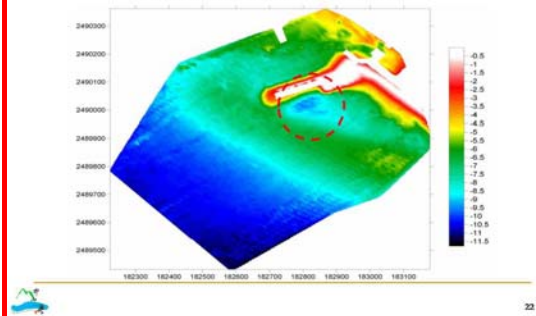
4-2-1-2 航行渠道(channel)及迴船池



21

4-2-1-3 浪流造成的凹槽

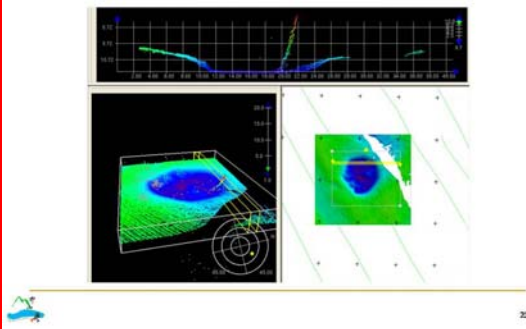
鳳鼻頭防波堤堤頭反射效應



22

4-2-1-3 船隻推進造成的凹槽

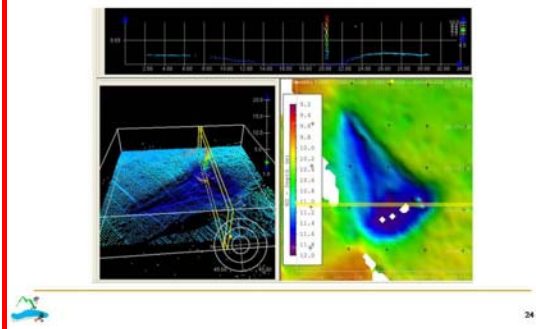
繫纜錨鼓圓形凹槽



23

4-2-1-3 船隻推進造成的凹槽

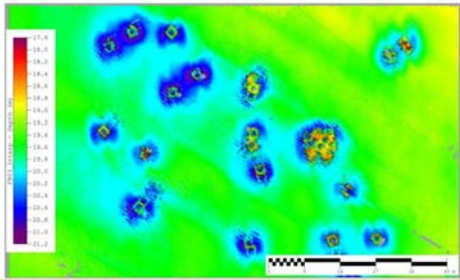
繫纜錨鼓水滴形凹槽



24

4-2-1-3 海流造成的凹槽

高雄縣永安外海沈陷中的混凝土人工漁礁凹槽



25

4-2-2 凸起式特徵物

- **懸浮物**：多音束測深系統可偵測半沈浮木、浮動式燈標、繫纜錨鼓、魚群、大型海草、漁網...等，國際期刊中有多篇論文使用多音束測深系統搜尋生態棲息地及計算生態組群數量等應用，港區較少偵查懸浮物。

26

4-2-2 凸起式特徵物

- **點狀物**：足印解析度取決於水深、音束寬度及音束入射角，以長度定義點狀物並不恰當，故點狀物的定義是以足印數量定之，1~5個足印為點狀物。量測時先推算足印解析度在何種條件下才足以量測點狀物。

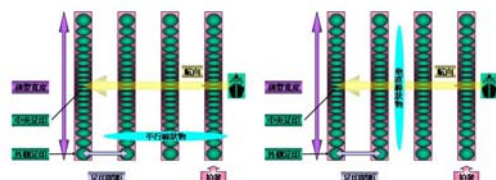
27

4-2-2 凸起式特徵物

- **線狀物**：線狀物的寬度定義為1~3個足印以內，長度為6個足印以上。常見線狀物為海底管線或電纜、沈底木頭、錨鍊、繫纜錨鼓的鋼纜或鍊條。線狀物測量的影響因素除足印解析度外，平行線狀物長軸是最佳的量測航向，如下圖所示，航向與長軸垂直目標物時，目標物可能位於足印間距中的縫隙。

28

4-2-2 多音束量測航向與線狀物軸向的關係



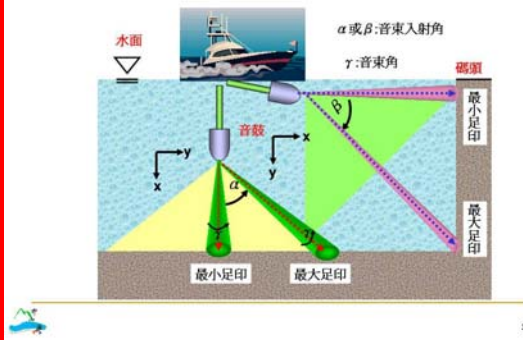
29

4-2-2 凸起式特徵物

- **面狀物**：疏浚前常以多音束偵測水中或水底的異常物體並且打撈，避免疏浚機具的損壞。面狀物的定義為4x5個足印以上，量測面狀物需注意外部音束的足印可能為正下方音束的足印三倍以上。

30

4-2-3 垂直式特徵物-足印示意圖



31

4-2-3 系統中各種儀器的解析度之要求

- 定位系統：一般地形測量定位精度2公尺已經足夠，但若作為工程使用，應採用公分級的定位方法。
- 電羅經：最小方向解析度為0.1度。
- 船隻姿態儀：最小角度解析度0.01度，最小距離解析度0.1cm。
- 聲速剖面儀：最小聲速解析度為0.1公尺/秒。
- 潮位儀：最小潮位解析度為0.1公分。



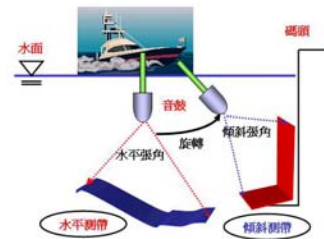
32

4-2-3 總誤差傳播(Total Propagated Error, TPE)

- 相對位置或角度(Offset)：
 - o MRU In Transducer(x,y,z)：船隻安裝後至音鼓三感軸的相對位置。
 - o Navigation In Transducer(x,y,z)：定位儀至音鼓三感軸的相對位置。
 - o Transducer Roll：同時使用二個音鼓或斜打作業時，安裝音鼓的傾角，由船向下修正。
- 標準差(StdDev)：
 - o Transducer Roll：同時使用二個音鼓或斜打作業時，安裝音鼓的傾角，由船向下修正。
 - o Motion Gyro：船隻航向的標準差。
 - o Heave % Amplitude：波浪與船殼間的標準差。
 - o Heave：船隻垂直的標準差。
 - o Roll：船隻左右搖擺的標準差。
 - o Pitch：船隻前後搖擺的標準差。
 - o Position Error：定位的標準差。
 - o Timing Error：音鼓接收時間的標準差。
 - o Wave Timing：定位時間的標準差。
 - o Gyro Timing：船隻航向時間的標準差。
 - o Heave Timing：船隻垂直時間的標準差。
 - o Roll Timing：船隻左右搖擺時間的標準差。
 - o Pitch Timing：船隻前後搖擺時間的標準差。
 - o Offset X：音鼓安裝位置在X軸上的標準差。
 - o Offset Y：音鼓安裝位置在Y軸上的標準差。
 - o Offset Z：音鼓安裝位置在Z軸上的標準差。
 - o Velocity Error：音鼓接收的標準差。
 - o Loading：船隻外殼變化的標準差。
 - o Draft：船隻吃水深的標準差。
 - o Delta Draft：船隻吃水深度變化的標準差。
 - o MRU Align StdDev Gyro：船隻安裝後至音鼓三感軸運動中心，船隻航向的標準差。
 - o MRU Align StdDev Roll/Pitch：船隻安裝後至音鼓三感軸運動中心，船隻左右搖擺的標準差。

33

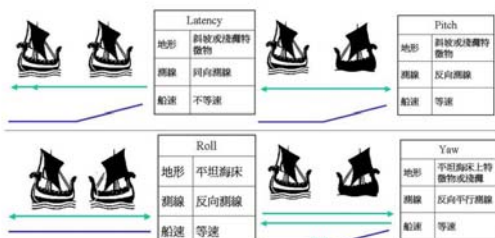
4-3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法



34

4-3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法

垂直音鼓Patch Test



35

4-3 多音束聲納系統檢測港灣構造物的作業方法

旋轉音鼓後，需調整的Patch Test項目

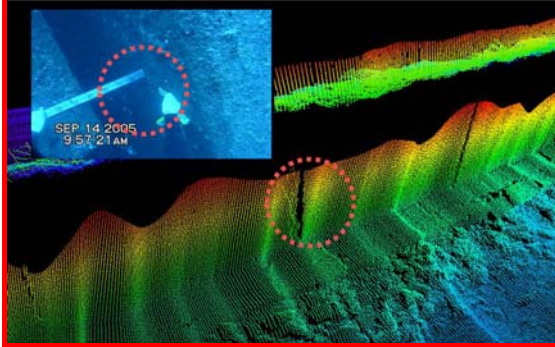
	測帶及航跡的關係	roll	yaw
垂直音鼓	左右測帶寬度約相同	同一航線來回，測帶重疊	不同航線來回，目標物約在音束角45-60度為最佳。
傾斜音鼓	左右測帶寬度不同	不同航線來回，測帶重疊	不同航線來回，目標物約在音束角45-60度為最佳。



36

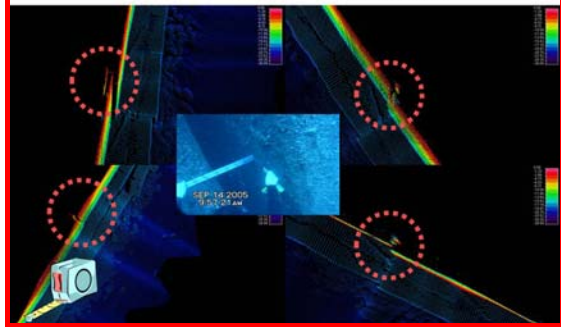
4.4 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的比較

聲學式及光學式量測比對



4.4 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的比較

聲學式及光學式量測比對
多音束測深系統可量測狹窄錯位的細縫



4.4 水下攝影與多音束聲納系統檢測港灣構造物的差異

	光學式	聲學式
限制條件	水下透視度及潮流	海象及風泡
坐標系統	網球性坐標	絕對坐標，可提供正確的施工位置
長期比對	不易，每年拍攝角度位置不同	採用絕對坐標，可比對歷年測量資料
結構物表面觀察狀況	潛水人員可拍攝光學影像，提供肉眼分析研判	獲得聲學影像，需要經驗來分析研判之
人員風險性	風險較高	風險較低
此種間隙	人員進入量測風險大	隨測距寬及測角適當時，可量測之
作業時間	2-3個工作天	6-8小時
作業速度	1節或更慢	5節或更快
資料處理	簡易(照片整理及影片處理)	複雜(含6秒儀器資料及解算)
所需費用	較低	較高

39

4.4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的限制

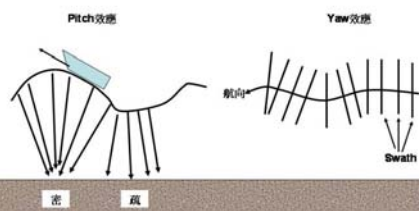
多音束測深系統定位精度不足產生的輪胎位移結果



40

4.4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的海象限制

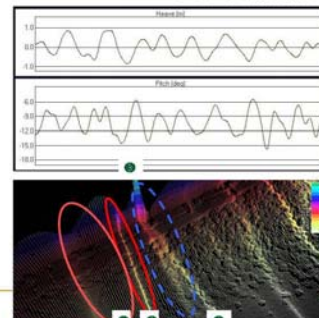
Pitch及Yaw造成資料疏密不均



41

4.4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的海象限制

97/11/1花蓮港沈箱檢測成果

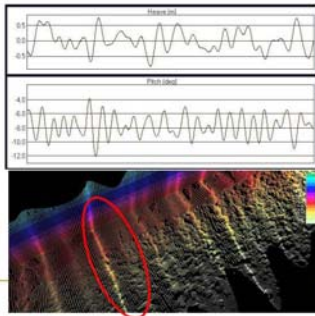


- Pitch波谷效應→疏
- Pitch波峰效應→密
- Yaw效應→密
- Yaw效應→疏

42

4-4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的海象限制

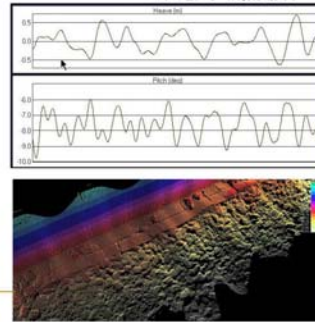
97/6/6 花蓮港沈箱檢測成果



43

4-4 多音束聲納系統檢測港灣構造物的海象限制

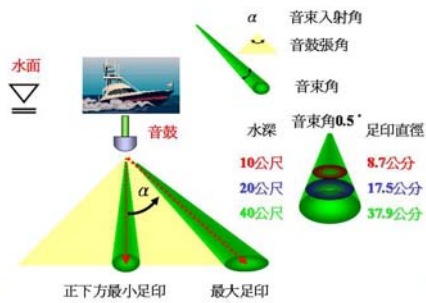
97/6/7 花蓮港沈箱檢測成果



44

5-1 多音束聲納作業條件

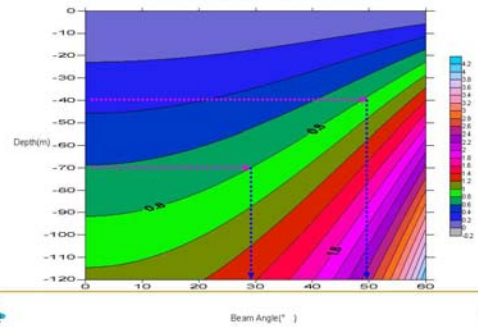
音束角、音波張角、音束入射角及水深與足印的關係



45

5-1 多音束聲納作業條件

音束入射角及水深與0.5音束角的等足印圖



46

5-1 多音束聲納作業條件

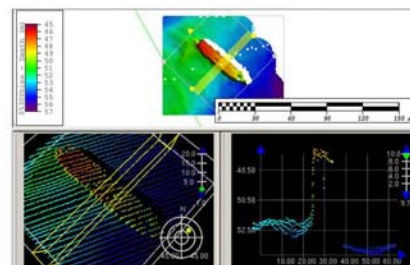
底質分類軟體QTC Multiview聲波波長與模式對照表

FILE ID	PULSE LENGTH (μs)	FILE ID	PULSE LENGTH (μs)
11	<10	18	<800
12	<10	19	<700
13	<10	20	<1000
14	<10	21	<1000
15	<10	22	<1000
16	<10	23	<1000
17	<10	24	<1000
18	<10	25	<1000
19	<10	26	<1000
20	<10	27	<1000
21	<100	28	<1000
22	<100	29	<1000
23	<100	30	<1000
24	<100	31	<1000
25	<100	32	<1000
26	<100	33	<1000
27	<100	34	<1000
28	<100	35	<1000

47

5-2 由海底地形圖判視特徵物

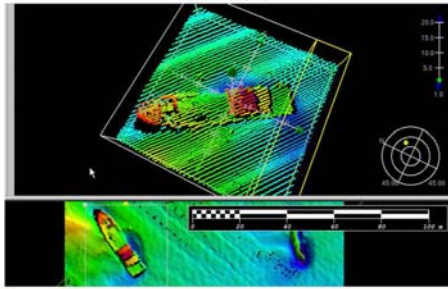
長50公尺沈船



48

5-2 由海底地形圖判視特徵物

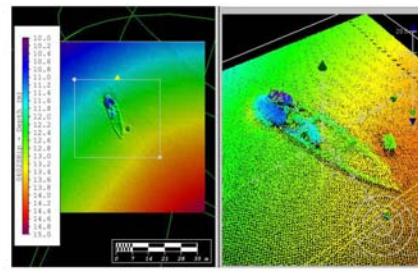
長30公尺沈船



49

5-2 由海底地形圖判視特徵物

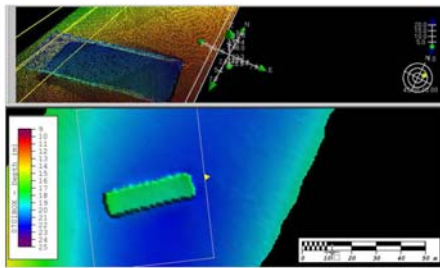
長20公尺沈船



50

5-2 由海底地形圖判視特徵物

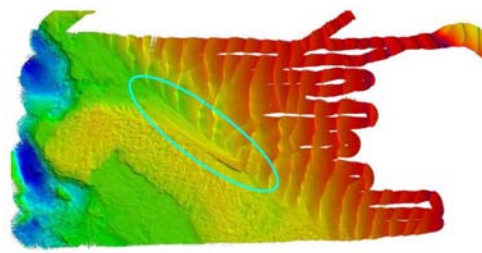
疑似沉箱



51

5-2 由海底地形圖判視特徵物

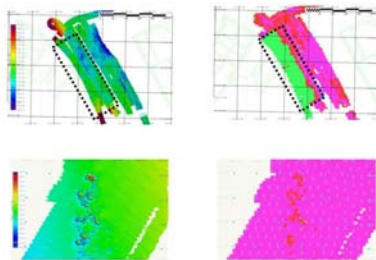
大型沙礁



52

5-3 由底質分類圖輔助判視特徵物

疏浚區及人工漁礁海底地形圖及底質分類圖比較



53

6-1 國際海測規範(IHO SP44)第五版

國際海測規範章節異動表

章節	章節內容	第五版異動
第一章	測量分類(Classification of surveys)	未變更
第二章	定位(Positioning)	未變更
第三章	測深(Depth)	未變更
第四章	「多樣量測(Various measurements)變更爲「其它量測(Other measurements)」	變更名稱
第五章	資料屬性(Data attribution)	未變更
第六章	可疑資料的刪除(Elimination of doubtful data)	未變更
第七章	品質管制準則(Guidelines for quality control)	移至附件A
附件A	深海測深等級(Classification Criteria for Deep Sea Soundings)	刪除
無	資料處理準則(Guidelines for Data Processing)	新增附件B

54

6-1 國際海測規範(IHO SP44)第五版

國際海測規範第五版前言概述

- 在「海床完全偵搜(full sea floor search)」的規範項目中，將一等測深分為必要偵搜(1a)及不必要偵搜(1b)。
- 刪除三等測深的精度，最低的精度等級要求為二等。
- 以「不確定值(uncertainty)」取代「誤差(error)」及「精確度(accuracy)」，而「量測值」及「真值」的差異為誤差(error)，但真值永遠無法得知，亦即誤差亦不可知。所以在統計上是以不確定值來評估誤差值。這二項專有名詞可參閱2007年ISO/IEC 99：“International Vocabulary of Metrology – Basic and general concepts and associated terms (VIM)”等文件。



55

6-1 國際海測規範(IHO SP44)第五版

國際海測規範第五版前言概述

- 本規範之設計目的主要用於海測調查所需要的資料蒐集標準，而蒐集所得的資料主要提供製作航行海圖，應用在海上航安及海洋環境保護。
- 本規範僅提供最低所需要的標準，海測機關若基於水深測量及預期航運的特別需求，應該訂定更嚴格的規範。另外本規範並未包含安裝架設必要儀器的程序、量測作業程序及資料處理程序，以上程序必須由海測機關依據測深規範來制訂。這些程序必須考慮測量等級之需求、可以使用的設備及測區之地形特性等。附件A及附件B中的品質管制及資料處理準則，未來將計算移至海測手冊(IHO第13號刊物)，該手冊將提供執行海測程序進一步之準則說明。



56

6-1 國際海測規範(IHO SP44)第五版

國際海測規範第五版前言概述

- 各海測機關可將本規範應用於其他目的，但是其他目的之使用者必需先了解規範制訂的前因後果，應該僅接受適合該目的之規範。
- 為達成IHO第44號文件的某測深等級，必須同時符合該等級的所有相關標準之要求。
- 測量的完整性必須在資料收集過程中注意測量系統的產出及資料處理的過程，在後續章節中所提到的不確定值(uncertainties)意指測深系統所有儀器的總傳播不確定值。若僅有單一儀器的不確定值符合理論上的要求，並無法保證整個量測系統必能達到測深規範的要求，而儀器的架設安裝、使用及與其他儀器的連接互動都必需謹慎處理。



57

6-1 國際海測規範(IHO SP44)第五版

國際海測規範第五版前言概述

- 測深系統的所有儀器設備及其組合所提供的資料都必需達到需求規範的要求。海測機關為了瞭解該測深系統是否可以達到規範要求，必須於作業前進行該測深系統的測試，並確定在測量前、測量中及測量後能夠提供足夠的檢校程序。海測員也是量測程序重要的一部份，他必須具備足夠的專業知識和經驗來操作測深系統以達到規範的要求，要評估海測員的能力並不容易，但具備海測證照(例如國際海測組織A級/B級海測課程)或許可以列入考量評估項目。值得注意的是新規範與採用舊規範所測量、產製的海圖或導航刊物並不違背，只是為了更符合將來使用者資料收集的需求而制定新的規範。



58

6-1 國際海測規範(IHO SP44)第五版

國際海測規範第五版前言概述

- 另一項值得注意的是海床的變化是動態(例如：沙丘)，任何等級的測深標準都可能過時，這類水域應該定期測量以確保資料的時效性，此需由該國之主管機關針對各水域之變遷狀況來訂定重新測量的週期。
- 第六章後有名詞解釋的介紹，電子檔的本文中有斜體字部份可超連結至名詞解釋，下一小節的基本定義(Fundamental Definitions)是由名詞解釋摘錄出來，作為本規範的基礎觀念。



59

6-2 建議修訂之量測等級

淺水多音束測量精度規範(舊版)

等級	特等測深	一等測深	二等測深
典型水域類別	碼頭、船塢和重要航運等處少數船隻停泊水域或底質及海岸工程	碼頭、港灣航運、建港航運與水深100公尺以內的海岸水域或底質及海岸工程	非特等或一等水域水深在200公尺以內水域或底質及海岸工程
水平位置精度(95%信賴區間)	2公尺	5公尺+5%水深	20公尺+5%水深
水深測量精度(95%信賴區間)*備註一	a=0.25公尺 b=0.0075	a=0.5公尺 b=0.013	a=1.0公尺 b=0.023
100%底床搜尋	必要*備註二	特定地區為必要*備註二	選擇性
偵測海床特徵的能力*備註三			
水深<40m	1公尺	2公尺	4公尺
水深>40m	2.5%水深	5%水深	10%水深



60

6-2 建議修訂之量測等級

淺水多音束測量精度規範(新版)

等級	特等測深	一等測深甲級	一等測深乙級	二等測深
適用水域描述	水深40公尺以內的淺海、湖泊和重要水道等需要航底聲納測量的水域	水深100公尺以內的淺海、港口、重要水道、重要航線等需要航底聲納測量的水域	水深100公尺以內的淺海、港口、重要水道、重要航線等需要航底聲納測量的水域	水深超過100公尺的水域
橫向測深精度(95%信賴區間)	2公尺	5公尺+5%水深	5公尺+5%水深	20公尺+5%水深
縱向測深精度(95%信賴區間)註一	a=0.25公尺 b=0.0075	a=0.5公尺 b=0.013	a=0.5公尺 b=0.013	a=1.0公尺 b=0.023
全覆蓋海底搜尋	必要*註二	必要*註二	非必要*註二	非必要*註二
偵測海底特徵物的能力*註三	>1公尺	>2公尺	不需要	不需要
固定助航設施和地形特徵物	2公尺	2公尺	2公尺	5公尺
海岸線和其他地形特徵物	10公尺	20公尺	20公尺	20公尺
浮動助航設施平均位置	10公尺	10公尺	10公尺	20公尺



61

7-1 期末結論

- 過去以光學式檢測水下結構物之狀況，僅能檢核出點或線狀異常情況，因此檢驗結果可能會有疏漏之處，本研究引進高密度的多音束測深系統，對水下結構物之檢測結果可以延伸成面狀，因而獲得全面而完整的三維空間資料，而水下攝影監測雖然在涵蓋面不如高密度聲納測量完善，但其所獲得之光學影像可作為多音束測深結果的交互驗證。
- 水深資料的測量是海岸工程設計及碼頭維修最基礎的資訊，多音束測深系統的發展已漸趨成熟，測量密度高且測量資料的涵蓋面完整，遠比傳統式光學式檢測方式更能獲得完整的檢測背景資訊，提供水下結構物在施工與維護時，更能提供翔實且精確的資訊。



62

7-1 期末結論

- 使用點雲圖判識水下結構物時，受到湧浪影響甚劇，Pitch波峯效應造成資料過於密集的問題，可由資料減量消除，但Pitch波谷效應造成資料過於稀疏則無法判識水下結構物的狀況。
- 以多音束聲納系統偵測海底特徵物之仍然著重於測深值，特別是小型目標，與足印的關係是主要限制條件。相對而言，聲納回波(backscatter)對於小目標的判視能力不足，但對於大範圍底質分類判識有一定的成效。
- 從疏浚區底質分類的結果分析，可以假設在均質的海床上投放異質目標物，短期內可由聲納回波(backscatter)辨別，但長期而言，異質目標物受到海床背景的底質覆蓋或生物附着，最終對於聲波的反射型態逐漸與背景同化。



63

7-1 期末結論

- 國際海測規範第五版的規範以預測精度驗證(TPU)及實測精度驗證(Cross Check)為核心，將程序及品質部份移至作業手冊M-13，簡明扼要的規範彰顯二個理念：1.包容新科技的發展潛力：新科技不一定適用現行的作業程序，舉例來說：聲速剖面修正只適用聲學測量，並不適用光學原理的空載雷射。另一個例子是，音束入射角超過45度~60度後足印尺寸劇增，按照過去經驗不可作為最終的成果，但是如果新的技術宣稱可以達到精度要求，驗證後也達到精度規定，規範對此有一定的包容力。2.提供海測機關完整資訊，作為自訂標準的基礎文件：IHO強調SP-44是最低要求標準，有鑑於第四版提到測量的作業程序不足，IHO將海測標準作業程序匯集成為M-13作業手冊，作為當地海測機關自訂規範的重要文獻。



64

7-2 未來研究方向

- 國際海測規範第五版(SP-44 5th)建議將品質管制與資料處理率則移入國際海測手冊(M-13)，該手冊頁數高達500頁以上，與過去對於海測規範與作業程序手冊合併並在一起的概念顯然不同，海測作業也不是每一項儀器運作正常資料品質就會達到規範要求。本次改版的趨勢是規範內容越來越簡短，手冊描述越來越詳細。
- 由國際海測規範的修訂趨勢來看，海測主管機關應針對使用目的及使用需求訂定專屬海測規範，至於要達到專屬海測規範需採用何種等級儀器、作業程序及人員專業能力，應由測量廠商根據M-13提出適當證明，並由專業監督單位判定，專業監督單位必須同時熟悉SP-44及M-13的能力。目前海測業界對M-13認知有限，未來M-13可以為提升海測品質的重要研究文獻。



65



66

附錄五 多音束測深規範(草案)

98-
MOTC-IOT-97-H2DB008

多音束測深規範(草案) (1.1 版)



交通部運輸研究所
中華民國 98 年 3 月

目 錄

目 錄	13-3
圖 目 錄	13-6
表 目 錄	13-6
第一章 總 則	13-7
1.1 規範目標	13-7
1.2 座標基準	13-7
1.2.1 平面基準	13-7
1.2.2 高程基準	13-7
1.2.3 投影座標系統	13-8
1.3 潮位觀測	13-8
第二章 測深分級	13-9
第三章 定位	13-11
3.1 定位系統	13-11
3.2 平面控制	13-11
3.2 測深的定位	13-11
第四章 測深	13-12
4.1 水深測量精度	13-12
4.2 深度測量	13-12
4.3 測線方向及間距	13-12
4.4 交錯檢核線	13-14

第五章 底質特性·····	13-15
第六章 潮位觀測·····	13-16
第七章 潮流調查·····	13-17
第八章 資料屬性·····	13-18
第九章 檢核驗收·····	13-19
第十章 品質管制的準則·····	13-21
10.1 品質管制之方式·····	13-21
10.2 作業證明·····	13-21
10.3 定 位·····	13-21
10.4 水 深·····	13-21
10.5 測深密度·····	13-22
10.6 誤差來源及總傳播誤差·····	13-22
10.7 品管及品保準則·····	13-22
第十一章 作業程序·····	13-26
11.1 規劃階段·····	13-26
11.1. 1 圖面規劃·····	13-26
11.1.2 現場踏勘·····	13-26
11.1.3 劃報告格式·····	13-27
11.2 作業階段·····	13-27
11.2.1 作業準備·····	13-27
11.2.2 現場實測·····	13-29

11.2.3 資料檢查及備份·····	13-30
11.3 資料處理階段·····	13-30

圖 目 錄

圖 1 多音束測深測線規劃原理·····	13-13
----------------------	-------

表 目 錄

表 1 淺水多音束測量精度規範·····	13-9
表 2 水深測量品管/品保之準則表·····	13-22
表 3 多音束測深品管/品保準則表(一)·····	13-23
表 4 多音束測深品管/品保準則表(二)·····	13-24

第一章 總 則

1.1 規範目標

1. 本規範目標為順利獲得高精度及高密度的水深及其他相關測量調查資料，做為港灣航安、浚挖及海岸工程施工的的參考依據，針對多音束水深測量，特制定本規範。
2. 本規範延用陸域基本控制測量系統。
3. 多音束水深測量工作可搭配：海底地形測量、潮汐觀測、潮流調查、底質調查及海床特徵物的測繪。

1.2 坐標基準

1.2.1 平面基準

1. 坐標系統之參考橢球體採用 1980 年國際大地測量學與地球物理學協會（International Union of Geodesy and Geophysics 簡稱為 IUGG）公布之參考橢球體 GRS80，其橢球參數如下：
 - (1)長半徑 $a=6,378,137$ 公尺。
 - (2)扁率 $f=1/298.257222101$ 。

1.2.2 高程基準

1. 臺灣本島以基隆驗潮站平均海水面為起算點(TWVD2001)，在其上者高程為正，在其下者高程為負。
2. 各離島之高程基準若未能採用臺灣本島之 TWVD2001 高程基準，則以各離島驗潮站觀測推算之平均海水面作為高程起算點。
3. 若有必要時，可以當地之最低低潮位面或築港高程系統為高程基準

，唯需同時引測 TWVD2001 高程基準與當地之最低低潮位面或築港高程系統間之高程差值。

1.2.3 投影坐標系統

1. 採用橫麥卡托坐標系統，經差二度分帶，中央子午線尺度比率為 0.9999，坐標原點為中央子午線與赤道之交點，橫坐標西移 250,000 公尺。
2. 臺灣本島地區以東經一百二十一度為中央子午線。
3. 澎湖地區以東經一百一十九度為中央子午線。

1.3 潮位觀測

乃於全國沿海若干地點裝置驗潮設備，不斷檢測潮汐之高低，以求得當地之平均海水面、最低低潮位面，及其與高程基準面(TWVD2001)之高程差。

第二章 測深等級

本規範的精度要求針對不同的港灣水域水深測量用途，分為三種測量等級：特等測深、一等測深及二等測深，針對不同的水深測量用途可參照表 1。

表 1 淺水多音束測量精度規範

等級	特等測深	一等測深甲 級	一等測深乙 級	二等測深
典型水域 範例	水深 40 公尺 以內的港區、 錨泊區和重要 航道等需要船 底淨空水域	水深 100 公尺 以內的港 區、進港航 道、建議航道 船底淨空需 求較少的水 域	水深 100 公尺 以內，沒有船 底淨空需求 的水域。	水深超過 100 公尺的 水域
水平位置 精度 (95 % 信賴區間)	2 公尺	5 公尺+5%水 深	5 公尺+5%水 深	20 公尺+5% 水深
水深測量 精度 (95 % 信賴區間) *備註一	a = 0.25 公尺 b = 0.0075	a = 0.5 公尺 b = 0.013	a = 0.5 公尺 b = 0.013	a = 1.0 公尺 b = 0.023
全覆式海 床搜尋	必要*備註二	必要*備註 二	非必要*備 註二	非必要*備 註二
偵測海床 特徵物的 能力*備 註三	>1 公尺	>2 公尺	不需要	不需要
固定助導	2 公尺	2 公尺	2 公尺	5 公尺

等級	特等測深	一等測深甲 級	一等測深乙 級	二等測深
航設施和 地形特徵 物				
海岸線和 其他地形 特物	10 公尺	20 公尺	20 公尺	20 公尺
浮動的助 導航設施 平均位置	10 公尺	10 公尺	10 公尺	20 公尺

備註一：量測精度（95%信賴區間）的公式 = $\pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2}$

其中： a = 固定水深誤差，如：所有固定水深誤差的總和。

b*d = 從屬水深誤差，如：所有從屬水深誤差的總和。

b = 從屬水深誤差因子。

d = 水深。

備註二：為了航安目的，在特等和一等水域採用側掃聲納以確定保持最小安全淨空水深，是可行的。

備註三：預計船隻的最大吃水量為 40 公尺。

說明：

第一列 「典型水域範例」，舉例說明此等級適用的水域。

第二列 「水平位置精度」，列出達到此等級所需的定位精度。

第三列 「水深精度」，說明此等級的歸算水深精度的特定參數。

第四列 「100%底床搜尋」，說明需要完整海底搜尋的時機。

第五列 「量測系統對海床特徵物的偵測能力」，說明量測系統對底床特徵物搜尋辨識應有的能力，至少有三個測深值。

第三章 定位

3.1 定位系統

1. 測量資料前後應執行標準程序檢核定位系統。
2. 若使用衛星定位系統，若使用衛星定位系統至少應同時紀錄五顆衛星並且 PDOP 應小於 3。

3.2 平面控制

協助海上定位的控制點精度限制如下：

1. 主要近岸控制點之距離較差應在二萬分之一以內，角度之較差在 10"以內，如果使用衛星定位其坐標分量較差之 95%信賴區間誤差不超過 10 公分。
2. 次要近岸控制點其距離較差應在一萬分之一以內，角度之較差在 20"以內，如果使用衛星定位其坐標分量較差之 95%信賴區間誤差不超過 10 公分。

3.3 測深的定位

1. 測深、礙航物及所有水下顯著的特徵物之定位，都應遵照表 1 規範的規定。
2. 測深的定位精度是指海床水深的平面位置在大地參考坐標系統上的精度。
3. 地形、地貌與其他重要特徵物的 95%信賴區間誤差之水平定位精度應依表 1 規定。

第四章 測深

4.1 水深測量精度

1. 預估的水深精度是指統計中 95%信賴程度所產生的總傳播誤差(Total Propagated Error, TPE)值，配合表 1 第三行的 a 與 b 常數，計算得到預估水深誤差必須小於表 1 所要求之水深測量精度。
2. 總傳播誤差應包含：
 - (1)量測系統及聲速誤差。
 - (2)潮汐量測及模式誤差。
 - (3)資料處理誤差。

4.2 深度測量

1. 特徵物的水深量測應符合特等測量的水深精度規範。
2. 量測水深應做潮位修正且歸算至 TWVD2001 高程。
3. 水深超過 200 公尺時可不做潮汐修正。

4.3 測線方向及間距

1. 測線方向以平行等深線為原則。
2. 多音束測深的測線間距以覆蓋率表示之。
3. 多音束測深之覆蓋率為 100%時重疊率為 0%，覆蓋率為 200%時重疊率為 100%，此時測線間距約為 1/2 測帶寬度，可參照圖 1。

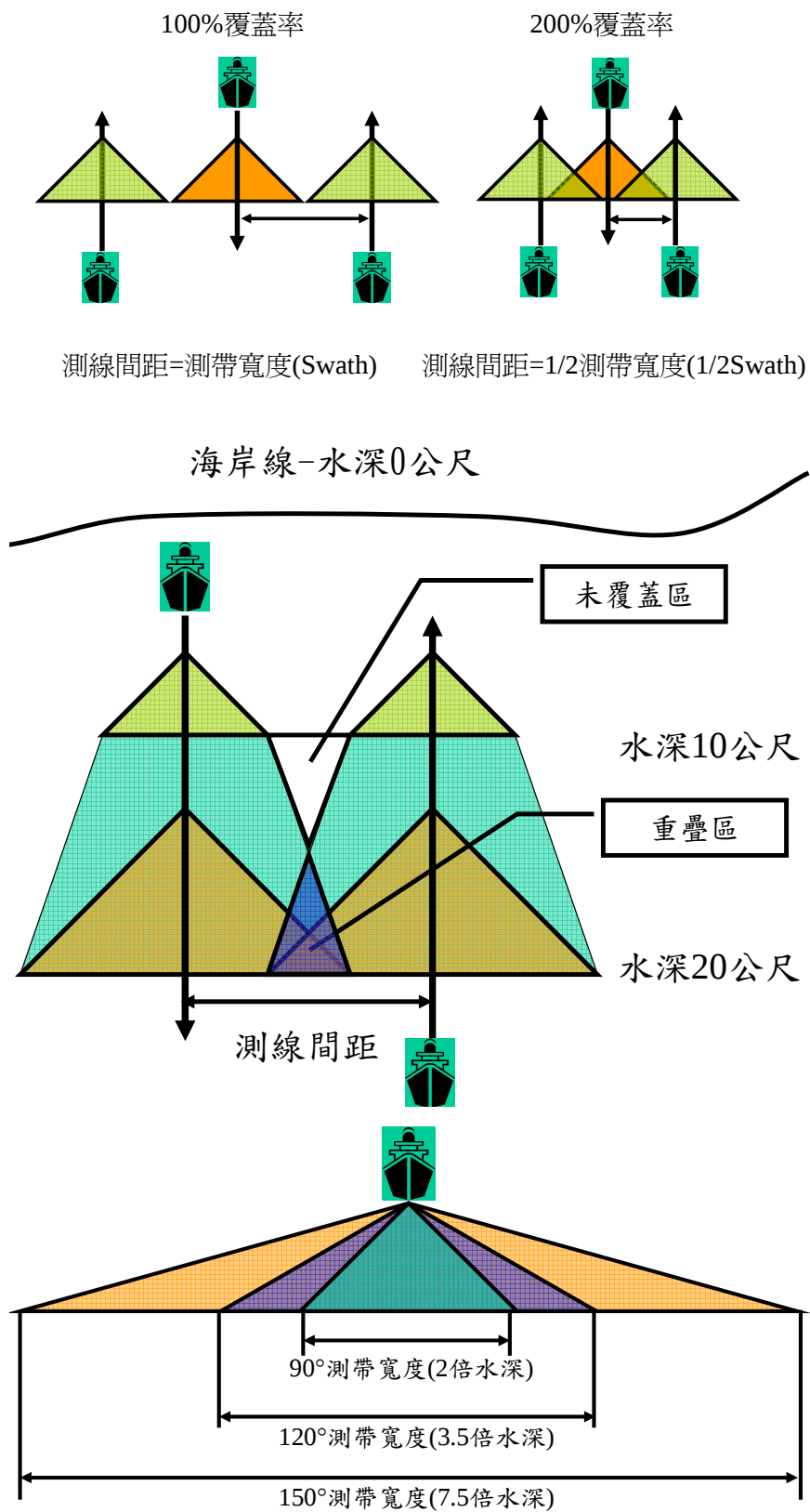


圖 1 多音束測深測線規劃原理

4.4 交錯檢核線

交錯檢核線間距之要求可依測區地形變化複雜度或水深測量等級之需求，選擇採用下列三種測線間距之一。其原則為，若測區地形變化較大或水深測量等級較高者，其交錯檢核線之間距應較密。交錯檢核線與主測線之交錯角度介於 60~90 度之間。

- (1)交錯檢核線之測線間距通常不超過製圖比例尺 10 公分的長度。
- (2)交錯檢核線之測線間距通常不超過主測線間距的 15~20 倍。
- (3)交錯檢核線長度至少應為主測線的 5%，且均勻分佈於測區。

第五章 底質特性

1. 使用多音束測深或任何間接推論方法進行海床底質分類時，應配合實地底質採樣來驗證之。
2. 重要地區必須進行大範圍底質採樣及分析。

第六章 潮位觀測

1. 在水深測量期間，需於潮位變化大之海域需增設測站以減少潮位修正誤差，以提供測深的潮汐修正。
2. 若定位系統或其他儀器提供測深地點之即時潮位資料，可取代傳統之潮位修正，例如 RTK 之高程可用於潮位修正。
3. 提供潮汐分析與預測所需之潮位觀測資料，應儘可能延長而且不少於 29 天。
4. 在特等測量中，95%信賴區間的潮位量測總誤差(含潮位儀與時間誤差)不應超過 ± 5 公分，其餘等級量測則不應超過 ± 10 公分。
5. 潮位觀測宜同時以 TWVD2001 與地心參考坐標系統來表示，而地心參考坐標系統則採用 GRS80 橢球原子。

第七章 潮流調查

1. 重要地區得設置潮流觀測站。
2. 潮流速度及方向在 95%信賴區間之量測誤差應分別小於 0.1 節及 10 度

第八章 資料屬性

1. 為廣泛的評估量測資料品質，某些資訊必須配合量測資料加以紀錄或書面化，資料品質書面化的過程稱為資料屬性化；資料品質的資訊稱為詮釋資料。
2. 詮釋資料至少應包含下列訊息：
 - (1)一般項目：施測日期、施測地點、使用儀器及其精度、測量載具名稱、操作人員及品管人員。
 - (2)所採用的大地參考坐標系統：水平及垂直坐標基準，若使用區域性坐標系統，應同時以 TWD97 坐標系統來表示。
 - (3)儀器檢校程序及其結果。
 - (4)聲速資料或測深修正板結果。
 - (5)潮位基準與潮汐修正。
3. 點狀資料屬性
 - (1)測量水深值應以交錯檢核法(Cross Check)估算其 95%信賴區間誤差，將其列入詮釋資料。
 - (2)定位時宜加入多餘觀測，測深時應加入檢核測線以確定其量測品質。

第九章 檢核及驗收

1. 為確保實測成果之精度及資料蒐集之完整，所有測量成果均明確訂定檢核與驗收標準，以確保測量成果資料之完整正確。
2. 水深資料的檢核比例：測量或匯整之水深資料的檢核比例為資料範圍的百分之十。
3. 岸線資料的檢核比例：測量或匯整之資料的檢核應採測區範圍內一處自然岸線及一處人工岸線比對檢核。
 - (1)高潮線測量誤差限制：除測定高潮線之正確位置外，並檢核岸線附近之地貌、地物及地質（如圖例所示岩岸、沙岸及石岸等），高潮線測定誤差在圖上不得超過一公厘。
 - (2)低潮線測量誤差限制：在圖上不得超過二公厘。
4. 導航相關設施資料的檢核比例：測量或匯整之資料的檢核比例為資料範圍的百分之十。
5. 陸上地形資料的檢核比例：測量或匯整之資料的檢核比例為資料範圍的百分之十。
6. 海底地形資料的檢核比例：測量或匯整之資料的檢核比例為資料範圍的百分之十。
7. 海洋資源及環境資料的檢核比例：測量或匯整之資料的檢核比例為資料範圍的百分之十。
8. 檢核取樣方式以均勻分佈為原則，若業主要求，可選擇重要區域為優先。
9. 驗收機制分為監驗、資料檢核及抽驗，可合併採用。
 - (1)監驗：監驗人員全程隨同測量人員監督量測程序及計算過程，並檢驗之。

(2)資料檢核：施測單位將測量成果資料及測量成果報告書，送交審查單位進行相關資料之正確性檢核。

(3)抽測驗收：使用同等級或更高級的儀器或方法，依上述各項資料檢核比例，進行抽測驗收作業。

10. 測量成果資料及測量成果報告書之送交，其格式由業主自行規定。
測量成果資料應包括以下資料：

(1)控制點記錄(或導線折角觀測及測距記錄)、輔助標交會記錄、重要航泊指示標記坐標經緯度、水深測量記錄、驗潮記錄、驗流記錄、助礙航標成果表、水準點點誌記、特徵物(地物)資料圖表記錄，繪圖完成之成果圖等有關執行測量之任何野測資料。

(2)測量成果報告書應包括下列內容：施測單位名稱、工作編組人員及狀況、工作方法，使用裝備情況，測量精度檢討，起訖日期，原始資料紀錄文字、圖、表及磁性檔，與計算過程所採用之參數、軟體名稱及成果。

(3)測量成果資料及測量成果報告書之送交：施測單位於抽測驗收工作完成後，將所有野測資料重新整理後並依成果驗收紀錄所列缺點改進後，繪製成果圖及成果報告書經審核後完成，始可燒錄於光碟片中併書面資料送交委辦單位，以為永久保存。

第十章 品質管制的準則

10.1 品質管制之方式

1. 品質管制之方式分為內部自我品質管制與外部品質管制。

內部自我品質管制應由施測單位的品管人員的海測人員監督或檢查為之。

外部品質管制由甲方選定監驗單位(丙方)，由丙方指派品管人員監督或檢查之。

10.2 作業證明

1. 作業證明(例如進出港紀錄)為品管紀錄的一部份，至少應記錄使用船隻、船長、測量人員、作業時間及海象條件等，格式由業主自行規定。

10.3 定位

1. 若無多餘定位觀測需常施以嚴密檢校，以確保定位品質。

10.4 水深

1. 水深資料的標準品管程序應以多餘的測深值檢核之，其差異需確定符合本規範表 1 之規定。若有異常之差異應進一步分析其可能發生的誤差來源，並對測繪成果加以改善或重新測量以解決之。
2. 轉彎或航向變化劇烈的水深值，不可用於產生最後的測深成果。
3. 多音束測深外部音束的測深值，若未達測深精度要求，不可用於產生最後的測深成果。

10.5 測深密度

1. 強制評估每一音束的量測精度，若任何外側音束超過容許誤差，則該音束所量測的水深資料都需予以刪除，若因刪除過多資料使測深密度不足時應補測之。

10.6 誤差來源及總傳播誤差

1. 而每一個音束可能存在的誤差包括：
 - 定位系統誤差。
 - 水深量測誤差。
 - 聲音在水中行進路徑為彎曲之不定性，包括聲速剖面誤差。
 - 船隻航向的量測誤差。
 - 音鼓安置角度所引起的誤差。
 - 船隻姿態收集器所引起的誤差，即船隻前後傾斜、左右搖擺與上下起伏的量測誤差。
 - 系統之時間遲滯誤差。
2. 建議測量單位探討其水深量測系統之誤差來源，並估算其總傳播誤差 (Total Propagated Error, TPE)。

10.7 品管及品保準則

1. 使用各種測深儀器基本的品管/品保準則可參照表 2。

表 2 水深測量品管/品保之準則表

等級	特等測量	一等測量	二等測量
聲速品管校正	> 2 次/日	2 次/日	1 次/日
平面位置檢校	1 次/日	1 次/計畫	1 次/計畫
品管測試	必需	必需	選擇性

最大容許偏差 (bias)	±3 公分	±6 公分	±15 公分
------------------	-------	-------	--------

2. 不同等級的多音束測深的品管/品保準則可參照表 3 及表 4。

表 3 多音束測深品管/品保準則表(一)

等級	特等測量	一等測量	二等測量
多音束水深測量之品管			
最大音束涵蓋角度	90 度	120 度	不限制
重疊率	10% - 50%	10%	不限制
音鼓固定軸系檢查	依據需求	依據需求	依據需求
音鼓軸系安置角度 及系統時間延遲修正	週期性	週期性	週期性
專案最淺水深			
現況水深測量	>6m	>6m	任意深度
最高測量航速限制			
	2-5 節	5-10 節	不限制
聲速剖面儀檢校			
執行聲速剖面檢校	> 2 次/天	2 次/天	2 次/天
聲速記錄之最小單位	0.30 公尺/秒	0.3 公尺/秒	0.3 公尺/秒
最高記錄聲速剖面 之深度間距	1.5 公尺	1.5 公尺	1.5 公尺
聲速剖面量測最大 容許差異	1.5 公尺/秒	1.5 公尺/秒	1.5 公尺/秒
檢校地點	測區內	接近測區	測區附近
聲速剖面儀內部系 統檢校	每週	每週	每月
其他檢查			

等級	特等測量	一等測量	二等測量
船隻動態吃水檢校	每年	每年	每年
船隻吃水變化檢查	2 次/天	2 次/天	2 次/天
品保測試			
需求	1 次/專案	1 次/專案	3 個月
最大錯誤	0.30 公尺	0.30 公尺	0.30 公尺
最大容許平均偏差	< 0.03 公尺	< 0.06 公尺	不限制
標準誤差(95%信賴區間)	參閱表 1		
記錄深度			
最大網格尺寸	1 公尺	5 公尺	依需求
深度記錄之最小單位	0.03 公尺	0.03 公尺	0.03 公尺

表 4 多音束測深品管/品保準則表(二)

	量測時段	修正程序	95%信賴區間 之容許偏差	改正方案
感測器軸系之調校與安置位置偏移量量測				
音鼓	開始安置	水準儀/全測站	0.5 度	重新安置
航向儀	開始安置	自我修正	製造規格	位置重放
船隻姿態收集器	計畫開始時	自我修正	0.1 度	重新安置
GPS 天線	開始安置	直接水準測量	0.03 公尺	重新安置
船隻動態下壓	每年	經緯儀 / 水準儀 / DGPS	0.03 公尺	無
船隻吃水動態變化	依實際需求	船隻吃水記號	0.03 公尺	無
音鼓安置軸系及時間遲滯校準試驗(殘餘偏差修正)				

	量測時段	修正程序	95%信賴區間 之容許偏差	改正方案
前後傾斜	開始安置 或更改時	海底斜坡面上測量 兩條相反方向線	0.06 公尺	修正軟體 內之設定
左右搖擺	開始安置 或更改時	海底平坦面上測量 兩條相反方向線	0.06 公尺	修正軟體 內之設定
時間遲滯	開始安置 或更改時	海底斜坡面上測量 兩對不等速之相反 測線	0.06 公尺	修正軟體 內之設定
方位角/航向 角	開始安置 或更改時	海底突出物上測量 兩對相鄰之測線	0.06 公尺	修正軟體 內之設定

第十一章 作業程序

11.1 規劃階段

11.1.1 圖面規劃

1. 測區與潮位站及陸上控制點之位置規劃：測區至潮位站之距離應考慮潮汐特性，測區至陸上控制點之距離應考慮無線電有效範圍及定位方法之距離及幾何強度限制與通視問題。若作業區寬廣超過作業距離需增加陸上控制點。若作業區潮時及潮位差可能超過潮位修正之需求，則需增加沿岸潮位站，或增加外海潮位觀測方法。
2. 導航背景圖規劃：選擇適當比例尺的海圖，數化海岸線、測量船進出港口位置(含防波堤)及規劃測線，測線長度應超過作業區域範。並將導航背景圖載入海測軟體。

11.1.2 現場踏勘

1. 現場勘查目的在檢視圖面作業無法查覺的事項，針對作業區範圍及周邊環境，檢視控制點、定位系統檢核點及潮位站，若無適當控制點或潮位站，則需引測之。並且檢查可能影響作業的環境，例如：陸上測量的遮蔽效應、無線電或雷達干擾、海上測量的航行障礙…等。依照不同的作業方式，現場踏勘的工作項目至少包括：
 - (1)控制點及定位系統檢核點：控制點及檢核點環境檢視與引測及檢核，並且記錄之。
 - (2)潮位站：潮位站環境檢視及引測與檢核，並且記錄之。
 - (3)船隻及港口：選擇合適的作業船隻及可進出港口，並且規劃設備安裝於船隻之配置。
 - (4)作業方法：考量作業方法可能產生的問題，例如：使用傳統光學測量定位儀器時，應注意控制點是否可通視作業區；使用衛星定位時應考量控制點附近衛星遮蔽角度及磁場源等；若使用無線電

設備時，應注意可能干擾無線電的因子，例如無線電站台及雷達等。

(5)作業區：使用船隻測量應考量航行安全及作業區是否有障礙物，使用空載雷射考量作業區的水質透視度。

(6)作業時段及潮位變化：影響可作業時段的因子，如季節風、颱風及潮位變化等，例如：冬季可作業工作天較少，每日工作時數也較夏天少；另外近岸作業時，工作時段特別容易受到潮位變化影響。

11.1.3 規劃報告格式

1. 水由業主規定，至少應包括以下項目：

(1)作業區圖文說明：作業區範圍圖、作業需求說明及規劃之測線。

(2)作業方法及儀器：作業方法說明、擬使用之定位、測深及其他輔助系統之規劃及其精度。

(3)潮位站之選擇、引測及高程檢核。

(4)控制點之選擇、引測及平面位檢核，定位系統檢核點資料。

(5)進出港口、船隻吃、噸位及設備配置資料。

(6)測量及品管人員之規劃。

11.2 作業階段

11.2.1 作業準備

1. 品管人員檢視波風力及並紀錄之，當海象不佳品管人員得視當時資料品質良窳來決定是否停止作業。

2. 定位系統檢核及修正：若定位系統可直接獲得坐標，則直接比對檢核點坐標是否符合表 1 之精度要求；未能直接獲得坐標的定位系統，則依照測量法及相關規定檢核之。

3. 儀器安置架設：船隻上所有儀器的安裝皆需完全固定，且感測器的位置儘可能安置於不受船隻姿態影響之處，通常為船隻重心。定位系統及測深音鼓儘可能安置於同一平面位置座標點上。多音束音鼓、船隻姿態及電羅經感測器應儘量平行船中心線；多音束音鼓應垂直水平面。品管人員應檢視架設之穩定性及正確性。
4. 各儀器連結至海測軟體並進行時間同步：將各儀器連結至海測軟體並確認傳輸正確，且調整電腦時間與定位系統時間同步。
5. 基本資訊記載：應完成記載本次測量基本資訊，由於各種海測軟體大多提供基本資訊的記載功能，建議表格之設計應配合使用者的軟體設施，但繳交基本資訊數值檔之格式可由業主另行訂定，應有以下項目之資料：
 - (1)計畫資訊：計畫名稱及工作項目。
 - (2)人員資訊：船長、海測操作員及海測品管員(記錄員)等。
 - (3)定位系統資訊：儀器名稱、儀器廠牌及型號、採用模式、基站資訊(使用信標差分可免填)及移動站資訊等。
 - (4)載具資訊：船隻示意圖、船隻長度及寬度、船名及噸位等。
 - (5)儀器配置資訊：原點位置、定位感測器相對坐標、船隻姿態收集器或湧浪補償器相對坐標、音鼓相對坐標及多音束音鼓軸系安置角度等。
 - (6)潮位資訊：潮位資料取得方式、潮位資料、所採用之潮位基準及潮位模式等。
 - (7)本次工作概述：包含本次工作之時程、遭遇之問題及其解決方式等。
6. 各感測器相對位置量測及記錄：以船隻重心為相對坐標中心，記錄及繪製感測器相對位置配置圖，包括：
 - (1)音鼓吃水：音鼓至水面距離。
 - (2)音鼓平面位置：音鼓至船隻中心相對位置。
 - (3)定位感測器高程：定位感測器至水面距離。
 - (4)定位感測器平面位置：定位感測器至船隻中心相對位置。

- (5)船隻姿態收集器：應儘量安置於船隻重心，若不能則應紀錄相對位置。
7. 感測器角度量測、記錄及修正：調整電羅經感測器方向需正對船艏與碼頭岸堤邊線一致以利與邊線方位檢核，計算船隻姿態收集器的安置角度。
8. 海測軟體參數設定、檢核及記錄：
- (1)輸入感測器相對位置、投影參數及預測潮位。
 - (2)調整資料紀錄間隔。
 - (3)定位系統若有原始坐標資料儲存記憶體，應在工作後下載保留之。測深記錄紙/檔亦應記錄日期、工作地點，並需在測深記錄紙上固定時間加入事件記號(event mark)及其測量時間或平面坐標，並留存之。
 - (4)檢視定位系統在導航背景圖上位置之合理性及量測水深之正確性。
 - (5)記錄所有輸入海測軟體之參數值。
 - (6)潮位資料蒐集：量測潮位資料，若使用現有潮位站則需設立潮位檢核站，並確定現有潮位站資料之可用性。
 - (7)定位資料自靠泊進出港開始記錄。
 - (8)測深校正板檢校及聲速剖面量測：以上檢校應儘量於作業區附近完成，單音束測深使用水深校正板檢校，作業前應量測第一次聲速剖面。
 - (9)多音束測深作業前後需執行音鼓軸系安置角度及系統時間遲滯試驗(patch test)。

11.2.2 現場實測

1. 航行安全是水上船隻測量第一要務。
2. 船隻通過海測軟體之背景圖內之特徵，例如：防波堤、堤頭等，需經常檢視相對位置的正確性。

3. 測深記錄紙/檔應自動標示事件記號(event mark)，包含時間及位置資訊。
4. 歷史資料可附加於海測軟體之背景圖內，以供經常檢視比對測量之合理性及其異常現象。
5. 水深記錄按照規劃之測線航行，應隨時注意測線之偏離、電源供應、通視問題、無線電干擾、收訊不良、音鼓固定、海象變化、測深值設定、水體溫鹽變化劇烈程度及其他異常狀況。
6. 多音束測深之測量密度儘可能在海上檢視之，若未達規定標準，應立即補測之。
7. 每日選擇日照最強或水溫溫差較大時段，量測第二次聲速剖面。在水體溫鹽變化劇烈區域應加測多次聲速剖面。
8. 作業結束後應在陸上檢核點檢核定位系統之正確性。
9. 所有異常現象應記錄。

11.2.3 資料檢查及備份

1. 下載各種儀器的原始記錄。
2. 檢查電子檔之檔案大小及內容是否合理。
3. 每日原始資料(含記錄紙及電子檔)備份二份。
4. 繳交當日原始資料或備份(含定位、水深、測深記錄紙/檔、潮位、船隻姿態、聲速剖面、儀器及感測器安置位置、軟體使用參數及進出港証明等)。

11.3 資料處理階段

1. 儘可能每日處理當日的資料。

2. 品管人員檢核及初步篩選可疑水深，並且逐一檢驗每條測線，若使用自動篩選應記錄篩選條件，被刪除之異常水深(例如：歸算前水深值為 0)亦應保留其原始記錄。
3. 檢核感測器安置位置。
4. 檢核潮位資料，並且修正水深。
5. 檢核聲速剖面資料，並且修正水深。
6. 檢核船隻姿態資料，並且修正水深。
7. 合併所有修正參數得到歸算水深。
8. 品管人員第二次檢核及篩選可疑水深，被刪除之異常水深亦應保留其原始記錄，若篩選之水深資料密度未達規定標準應補測之。
9. 針對特殊量測目的或特徵物探測，歸算後可疑水深應更嚴格篩選，必要時得重新測量或使用其他精度更高的系統量測。
10. 資料內插轉換為推測曲面，以供後續繪製及比較工作，多音束測深時，若水深資料密度足夠可直接使用其水深，則不必內插轉換。
11. 推測曲面的內插模式通常分為正交網格(GRID)或不規則三角網(Triangulated Irregular Network, TIN)，使用內插模式及參數應詳實記載。
12. 潮位資料可與預測潮位或附近潮位站資料比較，以確定其正確性。
13. 水深資料可與歷史水深資料比較，以確定其正確性，唯需同時注意其海岸變遷之狀況。