102-18-7667
MOTC-IOT-101-H2DB006c

以水下自動化載具進行多音束測深之研究(4/4)

交通部運輸研究所

中華民國 102 年 2 月

102-18-7667
MOTC-IOT-101-H2DB006c

以水下自動化載具進行多音束測深之研究(4/4)

著者：邱永芳、薛憲文、張富東、黃茂信

交通部運輸研究所
中華民國 102 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

以水下自動化載具進行多音束測深之研究(4/4)/
邱永芳等著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，
民 102.02
面 ； 公分
ISBN 978-986-03-6013-4 (平裝)

1.海洋探測 2.水中聲學

351.9 102001617

以水下自動化載具進行多音束測深之研究(4/4)

著 者：邱永芳、薛憲文、張富東、黃茂信
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＞本心出版品)
電 話：(04) 26587176
出版年月：中華民國 102 年 2 月
印 刷 者：
版(刷)次冊數：初版一刷 80 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定 價：200 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：1010200250 ISBN：978-986-03-6013-4（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：以水下自動化載具進行多音束測深之研究(4/4)

國際標準書號	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN978-986-03-6013-4(平裝)	1010200250	102-18-7667	101-H2DB006c

本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：邱永芳、張富東 研究人員：黃茂信、林賢銘 聯絡電話：04-26587120 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：國立中山大學 計畫主持人：薛憲文 研究人員：王兆璋、陳信宏、陳陽益、李忠潘、吳泓毅、王韋樺、王聖瀚、張信齊 地址：80424 高雄市鼓山區蓮海路 70 號 聯絡電話：07-5255067	研究期間 自 101 年 2 月 至 101 年 11 月

關鍵詞：多音束測深、水下定位、水下載具

摘要：

本研究主要的研究目的為(1)在局部範圍測量時，以 DVL 演算結果作為水下定位之精度探討，(2)多重解析度資料 2D 及 3D 之展示技術之研發，(3)多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究，(4)船隻與水下載具之多音束測深成果與側掃聲納資料之應用。本研究主要的成果與結論有以下 5 點:

1. 載台受海流影響造成劇烈之上下起伏，Heave 資料可以取代頻率較低的深度計水深資料。
2. 本研究疊合分析可以進行 Roll 角修正，並分析 Yaw 角的修正量，可改善水下多音束系統的測量品質。
3. 以 DVL 做為水下定位系統搭配水下多音束測深系統，可以增加水下特徵物的辨識度。
4. 本研究已完成多音束與側掃聲納兩系統資料整合，若能再以多音束測深之回訊資料配合底質取樣來進行底質分類，則可使海床資訊更為完整。
5. DVL 偏差校正後可大幅提升水下定位估算的精確度。若能以多音束測深之回訊資料配合底質取樣來進行底質分類，則可使海床資訊更為完整。

本研究成果效益以及後續應用包含有：

1. 水下自動化載具進行多音束測深，可以提供國內各港務局、海巡署與漁業署等應用，提升運輸安全、效率與效益。
2. 本研究可以加速國內多音束測深相關技術與國際接軌。
3. 本研究未來可以提供水下多音束測深的作業模式及規範。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
102 年 2 月	178	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。

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 on Automatic Underwater Vehicle (4/4)

ISBN	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
978-986-03-6013-4 (pbk)	1010200250	102-18-7667	101-H2DB006c

DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER
DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang, Chang Fu-tong
PROJECT STAFF: Huang Mao Hsin, Lin Hsien Ming
PHONE: 04-26587115
FAX: 04-26564418

PROJECT PERIOD
FROMFebruary 2012
TO December.2012

RESEARCH AGENCY: National Sun Yat-sen University
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Shianhn-Wern Shyue
PROJECT STAFF: Chau-Chang Wang,Hsin-Hung Chen, Yang-Yih Chen, Chung-Pan Lee,Hung-Yi Wu, Wei-Hua Wang, Sheng-Han Wang,Shen-Chai Chang
ADDRESS: No. 70, Lienhai Rd., Kaohsiung 80424, Taiwan, R.O.C.
PHONE: 07-5255067

KEY WORDS:
MULTIBEAM ECHO SOUNDING, UNDERWATER POSITIONING SYSTEM, UNDERWATER VEHICLE

ABSTRACT:

The topics of the project are：(1)DVL as underwater positioning system in local area and investigating its accuracy,(2) developing the display of multi-resolution data in 2D and 3D,.(3) integrating multibeam bathymetric data and side scan sonar data together,(4) The application of multibeam echo sounding system using ship and underwater towed platform, and sidescan sonar data result.

There are five conclusions:
1. heave data from motion sensor for the depth of platform instead of using depth sesnor when up and down of the platform is high due to current.
2. correct roll misalignment and use features on the seabed to correct yaw misalignment for our patch test. The data quality of the the underwater multibeam system had been improved after performing this calibration.
3. Under constant speed condition, using DVL as underwater positioning system for multibeam system can effectively increase the ability of identifying underwater features.
4. This study has completed to integate multibeam and side scan sonar system data.
5. DVL misalignment correction can significantly enhance the location estimation for the underwater platform.

This research benefits and applications include:

1.The DVL as underwater positioning system can provide some capability which like transportation safety, efficiency, and benefit in Harbor Bureaus, Coast Guard Administration, and Fisheries Agency.

2.The research can promote DVL as underwater positioning system technologies.

3.The research can developing the display of multi-resolution data in 2D and 3D.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
February 2013	178	200	☐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 VIII
第一章　前言 1-1
1.1　計畫摘要 1-1
1.2　計畫背景分析 1-2
1.3　研究範圍與對象 1-3
1.4　研究內容與工作項目 1-4
1.4.1　研究內容 1-4
1.4.2　工作項目 1-6
1.5　預期成果 1-5
1.5.1　本年度(第三年)預期成果 1-5
1.5.2　計畫效益及其應用 1-5
第二章　實驗規劃 2-1
2.1　實驗設計 2-3
2.1.1　載台佈放 2-3
2.1.2　DVL 定位精度之探討 2-5
2.1.3　載台不同入水深度之探討 2-5
2.1.4　Snippet 資料之接收 2-5
2.2　實驗流程 2-6
第三章　水下多音束測深系統定位 3-1

3.1 對準偏差對 DVL 定位軌跡的影響 3-2
3.1.1 艏向角對準偏差對縱移運動定位的影響 3-3
3.1.2 縱搖角對準偏差對縱移運動定位的影響 3-4
3.1.3 橫搖角對準偏差對縱移運動定位的影響 3-5
3.1.4 艏向角對準偏差對橫移運動定位的影響 3-5
3.1.5 縱搖角對準偏差對橫移運動定位的影響 3-6
3.1.6 橫搖角對準偏差對橫移運動定位的影響 3-7
3.2 對準偏差校正演算法 3-7
3.3 對準偏差校正實驗 3-10
3.4 水下多音束測深儀定位 3-13
第四章 水下多音束資料處理技術之探討 4-1
4.1 水面多音束測量 4-2
4.2 水下多音束系統資料處理技術之探討 4-5
4.2.1 起伏(Heave)值之修正 4-5
4.2.2 水下載台之疊合修正 4-9
4.2.3 多音束測深系統與側掃聲納之整合 4-13
4.3 多重解析度之影像融合 4-17
4.4 水下載具之多音束測深與側掃聲納資料之應用 4-22
第五章 結論與建議 5-1
5.1 結論與建議 5-1
5.2 成果效益及後續應用 5-2
參考文獻 R-1
附錄一 期中報告審查意見處理表 ..... 附 1-1
附錄二 期末報告審查意見處理表 ..... 附 2-1

附錄三　期中簡報資料.....附 3-1
附錄四　期末簡報資料.....附 4-1
附錄五　歷年研究成果.....附 5-1
附錄六　歷年審查意見回覆.....附 6-1
附錄七　水面多音束測量各輪胎尺寸圖.....附 7-1
附錄八　入水 5 米多音束測量各輪胎尺寸圖.....附 8-1
附錄九　入水 10 米多音束測量各輪胎尺寸圖.....附 9-1

圖 目 錄

圖 1.1　足印與水深關係示意圖 1-2
圖 1.2　四年工作計畫流程圖 1-3
圖 1.3　利用卡曼濾波整合 LBL 與 DVL 之水下載台定位結果 1-5
圖 2.1　載台設計示意圖 2-4
圖 2.2　載台佈放示意圖 2-4
圖 2.3　實驗流程圖 2-6
圖 2.4　現場實驗照片 2-10
圖 3.1　DVL 對準偏差角度定義 3-3
圖 3.2　DVL 對準偏差校正之載具運動定義 3-3
圖 3.3　對準偏差校正之數值迭代演算流程 3-9
圖 3.4　成功大學拖航水槽 3-10
圖 3.5　DVL 定位系統架設於拖航水槽台車下方 3-11
圖 3.6　對準偏差校正前在不同速度下之縱移運動 DVL 定位軌跡 .3-11
圖 3.7　對準偏差校正前在不同速度下之橫移運動 DVL 定位軌跡 .3-11
圖 3.8　對準偏差校正後在不同速度下之縱移運動 DVL 定位軌跡 .3-12
圖 3.9　對準偏差校正後在不同速度下之橫移運動 DVL 定位軌跡 .3-12
圖 3.10 水下載台深度資訊 3-13
圖 3.11 GPS 定位軌跡與水下載台之 MB 定位軌跡比較 3-17
圖 4.1　水面多音束測量軌跡圖 4-1
圖 4.2　載台施放照片 4-1
圖 4.3　水深 13m 之水面多音束測量成果(網格圖) 4-2
圖 4.4　水深 13m 之水面多音束測量成果(點雲圖) 4-3

圖 4.5　水下輪胎影像(輪胎編號 2).....4-4
圖 4.6　水下載台垂直方向之變化.....4-5
圖 4.7　水下載台之三軸變化量.....4-6
圖 4.8　Heave 與深度計之時序列變化 4-7
圖 4.9　水下載台經 Heave 修正後之測深資料 4-7
圖 4.10 載台入水深度變化.....4-8
圖 4.11 載台入水 5 米與水面多音束系統之剖面比較.....4-9
圖 4.12 兩系統之斜率變化比較圖.....4-10
圖 4.13 Roll 值修正後之地形斜率比較.....4-11
圖 4.14 載台入水 10 米與水面多音束系統之剖面比較.....4-11
圖 4.15 水下載台測量成果.....4-12
圖 4.16 水下載台多音束測量成果.....4-13
圖 4.17 水面多音束系統測量成果.....4-13
圖 4.18 側掃聲納資料接收原理示意圖.....4-14
圖 4.19 Snippet 資料接收原理示意圖 4-15
圖 4.20 Snippet 影像 4-15
圖 4.21 入水 5 米多音束測深結果.....4-16
圖 4.22 入水 5 米 Snippet 影像.....4-16
圖 4.23 入水 5 米多音束結合 Snippet 影像 4-17
圖 4.24 多重解析度影像合併.....4-18
圖 4.25 多重解析度影像合併(經平移).....4-18
圖 4.26 水面多音束測量成果側視圖.....4-18
圖 4.27 多重解析度影像合併俯視圖(經平移).....4-19
圖 4.28 多重解析度影像合併俯視圖(經平移、旋轉).....4-19

圖 4.29 入水 10 米多重解析度影像合併俯視圖(經平移、旋轉).....4-20
圖 4.30 載台入水 5 米之加速度變化圖.....4-21
圖 4.31 多重解析度影像合併俯視圖(經平移、旋轉).....4-21
圖 4.32 影像結合底質分類建立珊瑚棲地成果.....4-22
圖 4.33 水下多音束資料之應用.....4-23

表 目 錄

表 2.1 多音束測深系統儀器規格表.....2-1
表 2.2 各儀器乾濕重.....2-5
表 4.1 輪胎實際尺寸與水面多音束量測尺寸一覽表.....4-3

第一章　前　言

1.1 計畫摘要

傳統多音束測深技術大多是以船隻為載具，然而多音束測深系統之橫搖(roll)、縱搖(pitch)、起伏(heave)、平擺(yaw)等船隻姿態，極易受到海面波浪、沿岸海流及潮汐之影響，而導致測深品質不一，需要花費較多的時間來進行資料篩選及品管。另外多音束測深之足印(footprint)大小與水深成正比，若採用多音束測深儀，例如:Reson Seabat 8125，此測深儀每次可以收發 240 筆水深，測深之張角(swath angle)為 120 度，每個音束之束寬(beam width)為 0.5 度，若在水深 100m 之水域進行多音束測深時，其足印大小介於 0.87m-3.55m，亦即每一筆水深可能涵蓋的海床範圍約介於 1-4m，且約間隔 1.44m 才會有一筆水深資料，這些先天的限制條件並不利於水下管線狀態之探測、微地形(micro-topography)或水下特徵物之搜尋等工作之進行。

本計畫最初之設想是將多音束測量系統安裝於水下自動化載具(如:AUV、ROV)，但由於可能使用的自動化載具因故無法配合，所以本團隊另行建置一無動力之載台，載台藉由海流帶動前進，藉此方式模擬自動化載具之運動情形。

本案為四年計畫之第四年，由前三年的研究結果顯示，使用超短基線定位系統與水下載具來輔助多音束測深作業，只要定位感測器與姿態感測器之間的對準偏差可以精確校正，便可提升水下目標物的定位精度。但若要得到更高品質、更高精度的水下定位資料，則以使用長基線定位系統為佳。本研究第三年度計畫整合長基線與都卜勒流速計(DVL)進行水下載台定位之計算，其水下定位之誤差可控制在3m左右，然而長基線定位系統需佈放多支水下應答器並進行定位校正，往往耗費大量作業時間成本。此外，以水面船隻為載具的測深作業著重於絕對定位精度，而水下載台的測深作業則著重於相對定位精度。因此，本年度計畫將以DVL進行水下載台之定位，探討水下載台可獲得

之相對定位精度。

本年度的研究主題重點分兩大類:

(一) 嘗試在局部範圍測量時，探討以都卜勒流速計為基礎（DVL-Based）做水下載台定位之估算，借此降低長基線水下定位系統之作業成本。

(二) 整合不同來源的測量成果:

1.多重解析度資料 2D 及 3D 之展示技術之研發。

2.多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究。

3.船隻與水下載具之多音束測深成果與側掃聲納資料之整合應用。

1.2 計畫背景分析

多音束測深系統的資料解析度經常是以角度表示，與測量慣用的長度觀念差異甚大，角度與長度的最大差異是足印(Footprint)與測量斜距(測量儀器至目標的距離)成正比，簡而言之，多音束測深系統的足印大小與水深成正比，可參照下圖 1.1。而多音束測深系統發展至今，0.5 度的音束束寬是目前較高解析度機種，若要更進一步提升解析度及縮小足印的方法，唯有縮短音鼓至目標的距離，也就是將多音束音鼓安裝至水下載具。

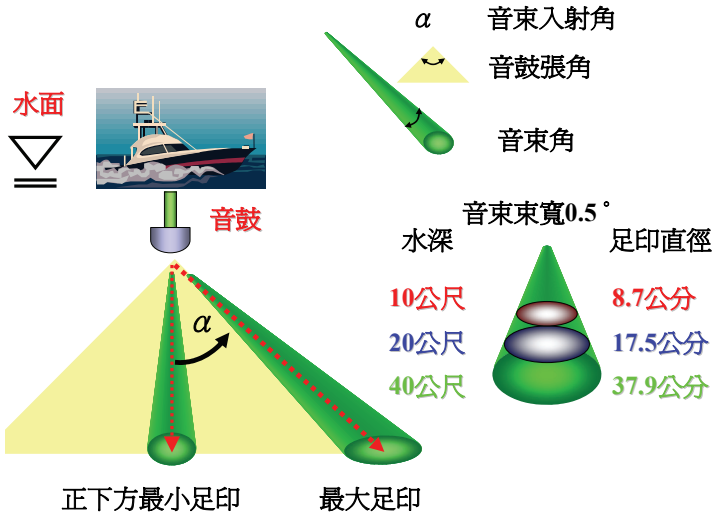


圖 1.1 足印與水深關係示意圖

為有效的解決測深解析度之問題，將多音束測深系統安裝在水下載台是一種極為有效之方案，但國內尚無此種解決方式之案例。由前三年的研究結果已證實多音束測深系統安裝在水下載台上確實可提高其解析度(在離海床 5m 的高度下，可辨識高於海床 15cm 的物體)，對於澎湖、東沙及南沙等島嶼之珊瑚礁及環礁附近之微地形測量，與港灣水下結構物之測繪等方面之應用將會有很大的幫助。

1.3 研究範圍與對象

本計畫為有效的解決測深解析度之問題，將多音束測深系統安裝在水下載具是一種極為有效之方式，因此本研究四年之主題包括下列相關之研究課題，可參照下圖 1.2。

以水下自動化載具進行多音束測深系統之研究

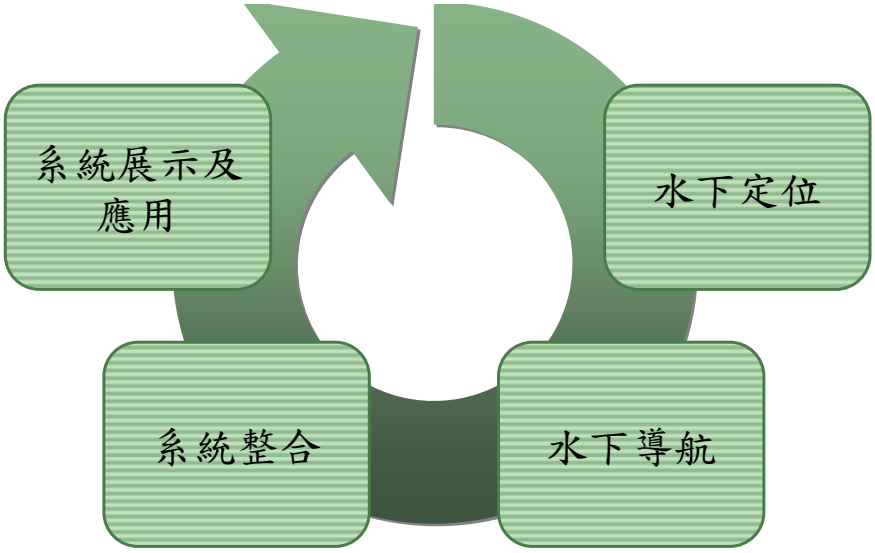


圖 1.2 四年工作計畫流程圖

第一年：探討超短基線之水下定位系統的精度，探討多音束測深系統測量水下定位系統底碇架三維坐標之精度，開發超短基線水下定位系統介面之研究。

第二年：探討長基線之水下定位系統的精度，開發長基線水下定

位系統之導航介面，探討衛星即時動態差分(RTK)與後期處理(Post-Processing)模式應用在多音束測深系統之精度。

第三年：以多音束測深資料之整合技術研發為主軸，探討水下多音束測深系統各感測器資料之同步收集、水下多音束測深之資料處理技術，及船隻與水下載具之多音束測深的多重解析度資料之整合技術之研發。

第四年：在局部範圍測量時，利用 DVL 進行水下載台之定位，以多重解析度資料 2D 及 3D 之展示技術之研發為主軸，探討多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究、以及船隻與水下載台之多音束測深成果與側掃聲納資料整合的應用。

1.4 研究內容與工作項目

1.4.1 研究內容

由前三年的研究結果顯示，使用超短基線定位系統與水下載台來輔助多音束測深作業，只要定位感測器與姿態感測器之間的對準偏差可以精確校正，便可提升水下目標物的定位精度。然要得到更高品質、更高精度的水下定位資料，則以長基線定位系統為佳，但長基線定位需佈放多組水中應答器並進行校正，會耗費大量作業的成本與時間，然而因為測試區範圍極小且測試時間較短，因此本年度將僅採用都卜勒流速計做為水下載台定位來探討其定位精度。因此本年度研究案重點有兩大項:

(一)在局部範圍測量時，進行都卜勒流速計為基礎（DVL-based）之水下載台定位估算技術探討，以降低水下定位作業成本。

(二) 整合不同來源的測量成果，分為下列三點:

1.多重解析度資料 2D 及 3D 之展示技術之研發。

2.多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究。

3.船隻與水下載台之多音束測深成果與側掃聲納資料之整合應用。

由第三年計畫之長基線定位測試結果發現，長基線定位誤差最主要的來源為定位資料更新率以及訊號遮蔽導致斜距量測資料中斷。經過卡曼濾波器(Kalman filter)融合DVL資訊之後，能將航行軌跡平滑化如圖1.3所示，顯見利用DVL來預測載具速度資訊，能夠有效改善長基線定位誤差。然而DVL因為積分的關係，在短暫的作業時間內可以提供精確的相對定位精度，但若作業時間拉長之後定位會有漂移的現象發生。因此，為了減少長基線水下定位作業的成本與時間，本年度將嘗試在局部範圍的測量時單獨以DVL進行水下載台定位，探討其可行性。

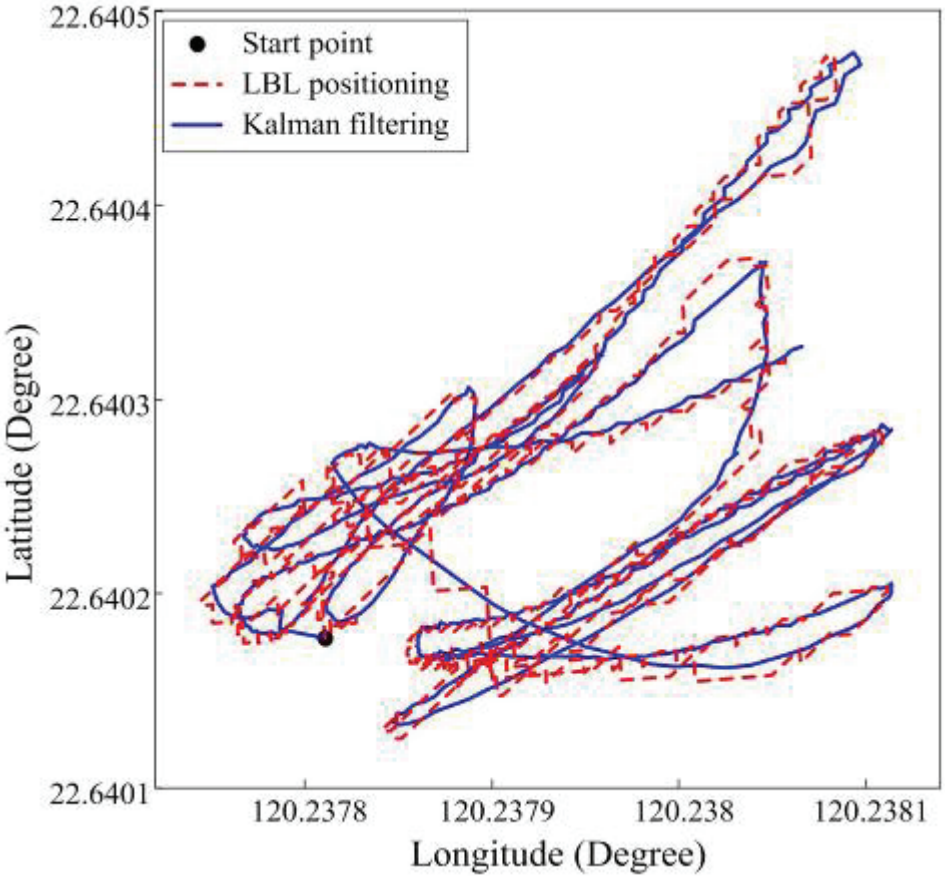


圖1.3 利用卡曼濾波整合LBL與DVL之水下載台定位結果

去年嘗試將水下載台多音束測量成果與傳統水面上多音束測深結果以鑲嵌方式作一結合，以獲得較佳的測量成果圖，今年則嘗試在現有的基礎上，結合多音束與側掃聲納的測量成果。

拖式側掃聲納之拖魚易受到船隻運動及海流之相互影響，其定位精度僅約為 20-40m，然而拖魚在操作時會儘量施放接近海床，故其影像解析度較高，因此常被用來執行棲息地判讀及分類、底質特性分類、珊瑚礁監測、海拋區之監測、海洋放流管監測、水下考古等工作。

傳統上這兩種設備之優點可以互補，故常需要互相搭配進行外業資料收集，但傳統作業至今，仍然各做各的，欲在地理資訊系統中整合兩者的成果資料較為困難，因此如何整合兩資料系統為一，是值得研究的重要課題之一。

1.4.2 工作項目

本年度之工作項目包括以下四項：

1. 在局部範圍測量時，進行都卜勒流速計為基礎（DVL-based）之水下載台定位估算技術探討。
2. 多重解析度資料 2D 及 3D 之展示技術之研發。
3. 多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究。
4. 船隻與水下載具之多音束測深成果與側掃聲納資料之整合應用。

第二章　實驗規劃

今年所使用之儀器為 Reson 7125 多音束系統，具備 200/400khz 兩種頻率，其波束數目於等角模式(equi-angle mode)為 320 或 512 束，等距模式(equi-distance mode)為 320 或 512 束(依據使用聲波頻率或模式而定)，測量深度為水深 0.5 到 400m，測掃範圍最大為 140-165 度(依據使用聲波頻率或模式而定)，最小並可調整到 45 度。表 2.1 為本次實驗所使用之儀器規格

表 2.1 多音束測深系統儀器規格表

名稱	廠牌	型式	精度	照片
GPS 衛星定位儀	TOPCON	NET-G3	靜態精度 3mm +0.5ppm。 RTK 精度水平 100mm+1ppm，垂直 15mm+1ppm。 可接收 GPS, Glonass 及 Galileo 等三種衛星。	
GPS 衛星定位儀	TOPCON	Hyper Lite+	靜態,快速靜態：水平精度 3mm+0.5ppm 及垂直精度 5mm+0.5ppm。 RTK 精度：水平精度 10mm+1ppm 及垂直精度 15mm+1ppm。 可接收 GPS 及 GLONASS 等二種衛星。	
GPS 衛星定位儀	TOPCON	GB1000	靜態,快速靜態：水平精度 3mm+0.5ppm 及垂直精度 5mm+0.5ppm。 RTK 精度：水平精度 10mm+1ppm 及垂直精度 15mm+1ppm。 可接收 GPS 及 GLONASS 等二種衛星。	
自動潮位儀	Sea-Bird	SBE39	溫度精確度為±0.002℃。 解析度則為 0.0001℃。 壓力範圍在水深 20m 以內。 精度 2cm。 解析度 0.04cm。	

名稱	廠牌	型式	精度	照片
多音束測深儀	Reson	7125	頻率為 200/400KHz。 音束數目：240/512Beams。 音束束寬：0.5*1 度。 測深角度：140-165 度	
表面聲速儀	Applied MicroSystems	SVPlus	導電度解析度：一般海水 0.00005, 高濃度 0.00007, 淡水 0.00001。 溫度解析度：0.0001℃。 壓力解析度：0.002%量測範圍。	
鹽溫深儀	Seabird	SBE19	導電度解析度：一般海水 0.00005, 高濃度 0.00007, 淡水 0.00001。 溫度解析度：0.0001℃。 壓力解析度：0.002%量測範圍。	
船隻姿態收集儀	OCTANS	100	動態精度：Roll&Pitch 為±0.01°，Heave 為 5cm 或量測值的 0.5% (以最高者為準)。 船艏向測精度約為±0.2 度。 海上作業所需穩定時間為 5 分鐘。 可入水 100m。	
都卜勒流速計 DVL	Link-Quest Inc.	NavQuest 600P Micro DVL	頻率: 600 kHz 精度: 0.2% ± 1mm/s 最大深度: 110 m 最小深度: 0.3 m 最大速度: ± 20 knots 入水最大深度: 800 m 最大拍發頻率 5 Hz	
深度計	Valeport	miniIPS	精度: < 0.01% Full scale 解析度: < 0.001% Full scale 入水最大深度: 1000 m	

2.1 實驗設計

本次實驗之目的有四:

(一) 使載台維持獨立系統，儘量避免船隻本身之運動情形影響到載台之平衡。

(二) DVL 定位精度之探討。

(三) 增加載台不同的入水深度，比較其解析度。

(四) 接收 Snippet 資料。

2.1.1 載台佈放

本年度沿用去年所製作之載台，載台設計如圖 2.1 所示，在去年的實驗中，是以工作船透過吊放繩提供載具浮力，主要目的在於保護載台本身的安全，然而工作船本身易受風浪之作用，間接影響到水下載台之平衡。

參考審查委員去年之意見，本年度以浮體直接負擔載台之重量，將兩套系統整合安裝於載台上，載台的上方懸掛著一浮體，用四條纜繩與載台連結，載台浮力由此浮體提供，而載台的入水深由四條纜繩的長度來決定。實驗地點選擇有水下特徵物之區域(採用大小不一之廢輪胎由潛水人員安置排列於海床上)，再以連接繩連接工作船與浮體，如此一來載台本身之運動可視為獨立之系統，載台施放示意圖如圖 2.2 所示。

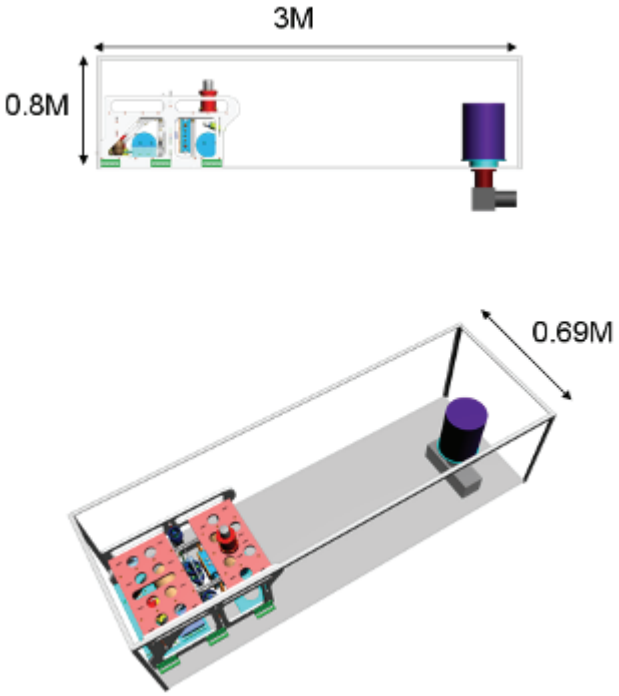


圖 2.1 載台設計示意圖

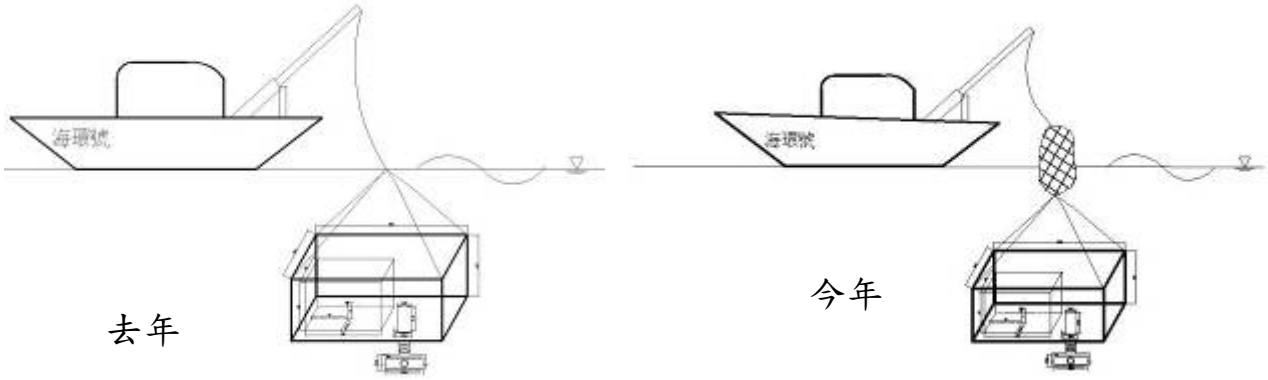


圖 2.2 載台佈放示意圖

由於去年與今年所使用之多音束測深儀不同，載台本身之重量也有所改變，今年載台上各儀器之乾溼重如表 2.2 所示，另外由於水下定位系統少了長基線之感應器，重量較去年輕，另外在多音束測深系統的位置懸吊浮材以增加浮力，且載台在實驗現場由潛水人員進行平衡測試與調整。

表 2.2 各儀器乾濕重

儀器	空氣中重量(Kg)	水中重量(Kg)
水下定位系統	65.9	11
多音束音鼓	25.2	19.1
船隻姿態收集儀	9	2
總重	115	38

2.1.2 DVL 定位精度之探討

本年度僅利用 DVL 做定位,DVL 在小範圍的測量精確度應是可信賴的，但以目前的實驗條件，DVL 的精度之極限為何，是我們想要了解得。故在本次現場實驗中，將載台固定在工作船旁邊，就工作船 GPS 實測軌跡與載台 DVL 推算之軌跡做一比較，藉以探討 DVL 之定位精度。

2.1.3 載台不同入水深度之探討

載台入水深度會影響多音束測量解析度與測帶寬度，以 Reson 7125 系統而言，側掃範圍最大可達到 165 度，音束最大可達 512 束，在今年實驗中是將載台施放至 1/3 及 2/3 水深，試就不同之入水深度，探討其測深可獲得之解析度。

2.1.4 Snippet 資料之接收

將多音束測量成果與側掃聲納之影像結合也是本研究的課題之一，因此今年度之實驗增加了 Snippet 資料之接收，其原理與側掃聲納類似，但相位解析度較側掃聲納為佳。

2.2 實驗流程

本年度現場實驗於 5 月 6 號與 7 號完成，本次實驗流程如圖 2.3 所示，與去年相比較，少了長基線水下定位系統應答器的佈放與定位，增加了 DVL 定位測試。

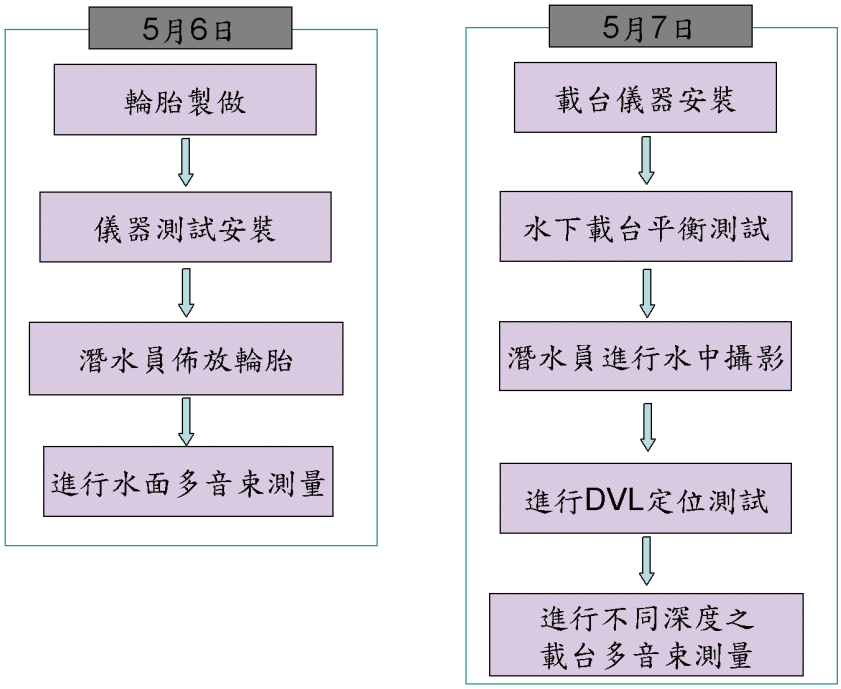


圖 2.3 實驗流程圖

本年度實驗之水下特徵物仍以輪胎為主，但在輪胎的排列上增加了一些改變。

(一)本年度載台設定最接近海床之入水深約 10 米左右，即離海床高度約 3 至 4 米，測帶寬度約 10 至 14m，為增加測帶所涵蓋之輪胎測得的數量，除了增加輪胎的個數外，並將輪胎的置放間距由 1m 改為 50cm。

(二)為增加測量的面積，將部份輪胎中空的部份用木板釘起來，並以實心輪胎與空心輪胎間隔排列。

(三)為探討垂直方向測量的解析度，輪胎在垂直方向的堆疊也增

加了 1 至 3 顆的組合方式，另外也嘗試將較小直徑之腳踏車胎放入其中。

輪胎佈放之前置作業照片如圖 2.4，說明如下：

1.輪胎鑽洞，其目的為避免內胎殘留空氣而使輪胎因有浮力無法穩定的固定於海床。

2.將輪胎中空處以三合板覆蓋，並將輪胎外緣的木板切除，以呈現輪胎原始外圍圓圈形狀。

3.於三合板中央鑽洞，以 T 型鐵條穿入並固定於海床。

4.預先在碼頭邊排列所需之形狀。

5.用尼龍繩連接每個輪胎，並固定輪胎與輪胎間隔約 50cm。

6.將水泥塊置於中心，並當重錘連結全部之輪胎。

7.選定實驗位址後，潛水員與輪胎一同入水，在水中佈放方式以平行海岸線方向為主。

1.鑽洞

2.鎖上三合板並修飾

3.中心鑽洞加置 T 型鐵條

4.排列

5.固定間距	6.輪胎下水
7.潛水員下水	

圖 2.4 現場實驗照片

第三章 水下多音束測深系統定位

水下多音束測深系統的定位方面，本計畫整合 Bottom-Lock DVL、姿態感測器、以及深度計求得 DVL 的定位軌跡，再根據 DVL 與多音束測深系統架設於水下載台的相對位置，透過座標轉換求得多音束測深系統的水下定位軌跡。由於 DVL 的定位精度受到對準偏差影響很大，為了獲得可靠的多音束測深系統定位軌跡，本計畫也進行 DVL 與姿態感測器的對準偏差校正。

DVL 的對準偏差校正，主要在修正 DVL 參考座標軸與姿態感測器參考座標軸之間的角度偏差量，包括艏向角偏差量、縱搖角、偏差量、以及橫搖角偏差量。一旦有角度偏差量存在，DVL 藉由速度積分後的位移軌跡必定偏離實際軌跡，這種特性與超短基線(USBL)水下定位系統之對準偏差類似(Chen, 2008)。本計畫依循 (Chen, 2008) 發展的校正方式，利用 DVL 進行橫移(Sway)與縱移(Surge)運動的定位軌跡，分別探討艏向角偏差量、縱搖角偏差量、橫搖角偏差量對 DVL 定位軌跡的影響，藉此建立 DVL 定位系統的對準偏差校正演算程序。接著，本研究利用成功大學系統及船舶機電工程學系的拖航水槽進行DVL對準偏差校正量測實驗，並估算出艏向角、縱搖角、以及橫搖角偏差量。最後利用估算出來的偏差角度來修正實海域多音束測深實驗之DVL水下定位，以獲得可靠的多音束測深系統定位資訊。

本章第一節探討 DVL 與姿態感測器之對準偏差角度對 DVL 定位軌跡的影響。第二節根據第一節的推導結果，建立了對準偏差校正演算法。第三節介紹於成大拖航水槽進行之 DVL 對準偏差校正實驗與數據分析結果。第四節根據校正實驗所估算的對準偏差角度來修正實海域多音束測深實驗之 DVL 定位，進而求得多音束測深系統的定位軌跡，並與水面工作船的 GPS 軌跡進行比較。

3.1 對準偏差對 DVL 定位軌跡的影響

DVL 感測器對準偏差校正，主要在校正安裝於載台上的 DVL 與姿態感測器兩個參考座標軸之間的角度偏差量，包括艏向角偏差量α、縱搖角偏差量β、橫搖角偏差量γ。偏差量α、β、γ的定義如圖 3.1 所示，其中 $O_dX_dY_dZ_d$ 是 DVL 的參考座標系統，$O_aX_aY_aZ_a$ 則是姿態感測器的參考座標系統。根據圖 3.1 的座標系統定義，可以推導出以下齊次座標轉換矩陣：

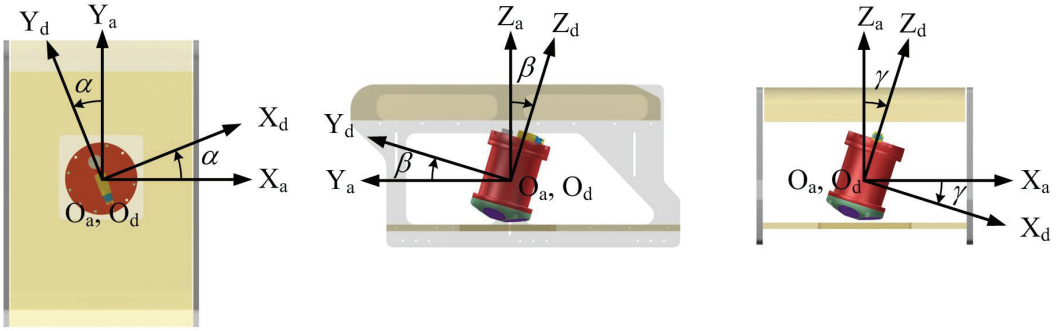
$$\mathbf{T}_{da}^{\alpha}=\begin{bmatrix}\cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0\\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \tag{1}$$

$$\mathbf{T}_{da}^{\beta}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \cos\beta & \sin\beta & 0\\ 0 & -\sin\beta & \cos\beta & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \tag{2}$$

$$\mathbf{T}_{da}^{\gamma}=\begin{bmatrix}\cos\gamma & 0 & -\sin\gamma & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ \sin\gamma & 0 & \cos\gamma & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix} \tag{3}$$

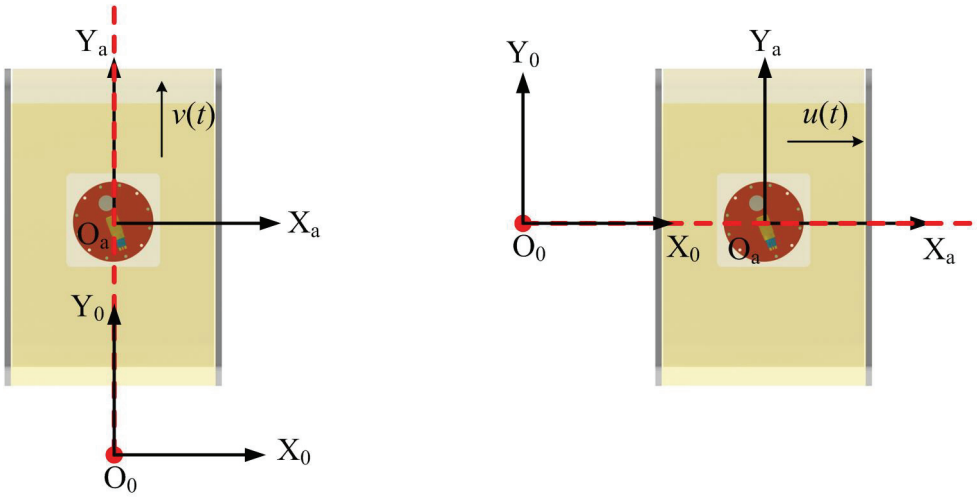
其中，$\mathbf{T}_{ij}^{k}$ 表示從 j 座標系統轉換至 i 座標系統的轉換矩陣，上標 k 則代表艏向角偏差量(α)、縱搖角偏差量(β)、或是橫搖角偏差量(γ)。

考量 DVL 與姿態感測器存在對準偏差的狀況下，本計畫利用載具縱移(Surge)與橫移(Sway)運動的 DVL 定位軌跡特性，來探討各對準偏差角度對 DVL 定位軌跡的影響。圖 3.2 為定義之載具縱移與橫移運動，其中虛線為載具運動軌跡。此外，為了比對載具真實運動軌跡與 DVL 推導之定位軌跡，我們定義了一個右手座標系統 $O_0X_0Y_0Z_0$，其座標原點位於載具運動軌跡的起點。當載具進行縱移運動時，Y_0 軸指向載具運動方向；當載具進行橫移運動時，X_0 軸指向載具運動方向。



(a) 艏角向偏差　　(b) 縱搖角偏差　　(c) 橫搖角偏差

圖 3.1 DVL 對準偏差角度定義



(a) 縱移運動　　(b)橫移運動

圖 3.2 DVL 對準偏差校正之載具運動定義

3.1.1 艏向角對準偏差對縱移運動定位的影響

在座標系統 $O_0X_0Y_0Z_0$ 下，當水下載具以速度 $\mathbf{V}_{surge}=[0, v(t), 0]^T$ 進行縱移運動時，其真實運動軌跡可表示為：

$$\mathbf{P}_{0\_surge}=\begin{bmatrix}0\\ \int v(t)dt\\ 0\\ 1\end{bmatrix} \tag{4}$$

如果角度對準偏差為零，載具由 DVL 所定位的軌跡也會是

$\mathbf{P}_{0\_surge}$。一旦 DVL 與姿態感測器存在艏向角對準偏差α，DVL 所量測的載具速度變為：

$$\mathbf{V}_{\text{surge}}^{\alpha}=\mathbf{T}_{da}^{\alpha}\begin{bmatrix}0\\ v(t)\\ 0\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0\\ -\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0\\ 0 & 0 & 1 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ v(t)\\ 0\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}v(t)\sin\alpha\\ v(t)\cos\alpha\\ 0\\ 1\end{bmatrix} \tag{5}$$

造成 DVL 推導出的載具運動軌跡為：

$$\mathbf{P}_{0\_surge}^{\alpha}=\begin{bmatrix}x_{0\_surge}^{\alpha}\\ y_{0\_surge}^{\alpha}\\ z_{0\_surge}^{\alpha}\\ 1\end{bmatrix}=\int\mathbf{V}_{\text{surge}}^{\alpha}\,dt=\begin{bmatrix}\sin\alpha\int v(t)dt\\ \cos\alpha\int v(t)dt\\ 0\\ 1\end{bmatrix} \tag{6}$$

其在 X_0-Y_0 平面的軌跡方程式可表示如下：

$$y_{0\_surge}^{\alpha}=\cot\alpha\, x_{0\_surge}^{\alpha} \tag{7}$$

所以當存在艏向角對準偏差α時，DVL 推導的載具縱移運動軌跡在 X_0-Y_0 平面的斜率為 $\cot\alpha$。

3.1.2 縱搖角對準偏差對縱移運動定位的影響

在座標系統 $O_0X_0Y_0Z_0$ 下，當 DVL 與姿態感測器存在縱搖角對準偏差β時，DVL 所量測的載具速度為：

$$\mathbf{V}_{\text{surge}}^{\beta}=\mathbf{T}_{da}^{\beta}\begin{bmatrix}0\\ v(t)\\ 0\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\ 0 & \cos\beta & \sin\beta & 0\\ 0 & -\sin\beta & \cos\beta & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}0\\ v(t)\\ 0\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}0\\ v(t)\cos\beta\\ -v(t)\sin\beta\\ 1\end{bmatrix} \tag{8}$$

將造成 DVL 推導出的載具縱移運動軌跡為：

$$\mathbf{P}_{0\_surge}^{\beta}=\begin{bmatrix}x_{0\_surge}^{\beta}\\ y_{0\_surge}^{\beta}\\ z_{0\_surge}^{\beta}\\ 1\end{bmatrix}=\int\mathbf{V}_{\text{surge}}^{\beta}\,dt=\begin{bmatrix}0\\ \cos\beta\int v(t)dt\\ -\sin\beta\int v(t)dt\\ 1\end{bmatrix} \tag{9}$$

其在 Y_0-Z_0 平面的軌跡方程式可表示如下：

$$z^{\beta}_{0\_surge} = -\tan\beta\, y^{\beta}_{0\_surge} \tag{10}$$

所以當存在縱搖角對準偏差β時，DVL 推導的載具縱移運動軌跡在 Y_0-Z_0 平面的斜率為 $-\tan\beta$。

3.1.3 橫搖角對準偏差對縱移運動定位的影響

在座標系統 $O_0X_0Y_0Z_0$ 下，當 DVL 與姿態感測器存在橫搖角對準偏差γ時，DVL 所量測的載具縱移速度為：

$$\mathbf{V}^{\gamma}_{\text{surge}} = \mathbf{T}^{\gamma}_{da}\begin{bmatrix} 0 \\ v(t) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\gamma & 0 & -\sin\gamma & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ \sin\gamma & 0 & \cos\gamma & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 0 \\ v(t) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ v(t) \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{11}$$

將造成 DVL 推導出的載具縱移運動軌跡為：

$$\mathbf{P}^{\gamma}_{0\_surge} = \begin{bmatrix} x^{\gamma}_{0\_surge} \\ y^{\gamma}_{0\_surge} \\ z^{\gamma}_{0\_surge} \\ 1 \end{bmatrix} = \int \mathbf{V}^{\gamma}_{\text{surge}}\, dt = \begin{bmatrix} 0 \\ \int v(t)dt \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

將 $\mathbf{P}^{\gamma}_{0\_surge}$ 與方程式(4)比對，可發現 DVL 定位軌跡與載具真實軌跡相同。所以當載具進行縱移運動時，載具的 DVL 定位軌跡不受橫搖角對準偏差影響。

3.1.4 艏向角對準偏差對橫移運動定位的影響

在座標系統 $O_0X_0Y_0Z_0$ 下，當水下載具以速度 $\mathbf{V}_{\text{sway}} = [u(t), 0, 0]^{\text{T}}$ 進行橫移運動時，其真實運動軌跡可表示為：

$$\mathbf{P}_{0\_sway} = \begin{bmatrix} \int u(t)dt \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} \tag{13}$$

如果角度對準偏差為零，載具由 DVL 所定位的軌跡也會是 $\mathbf{P}_{0\_sway}$。一旦 DVL 與姿態感測器存在艏向角對準偏差α，DVL 所量測的載具速度變為：

$$\mathbf{V}_{\text{sway}}^{\alpha}=\mathbf{T}_{da}^{\alpha}\begin{bmatrix}u(t)\\0\\0\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\alpha & \sin\alpha & 0 & 0\\-\sin\alpha & \cos\alpha & 0 & 0\\0 & 0 & 1 & 0\\0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u(t)\\0\\0\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}u(t)\cos\alpha\\-u(t)\sin\alpha\\0\\1\end{bmatrix} \tag{14}$$

造成 DVL 推導出的載具橫移運動軌跡為：

$$\mathbf{P}_{0\_sway}^{\alpha}=\begin{bmatrix}x_{0\_sway}^{\alpha}\\y_{0\_sway}^{\alpha}\\z_{0\_sway}^{\alpha}\\1\end{bmatrix}=\int\mathbf{V}_{\text{surge}}^{\alpha}\,dt=\begin{bmatrix}\cos\alpha\int u(t)dt\\-\sin\alpha\int u(t)dt\\0\\1\end{bmatrix} \tag{15}$$

其在 X_0-Y_0 平面的軌跡方程式可表示如下：

$$y_{0\_sway}^{\alpha}=-\tan\alpha\, x_{0\_sway}^{\alpha} \tag{16}$$

所以當存在艏向角對準偏差α時，DVL 推導的載具橫移運動軌跡在 X_0-Y_0 平面的斜率為 $-\tan\alpha$。

3.1.5 縱搖角對準偏差對橫移運動定位的影響

在座標系統下 $O_0X_0Y_0Z_0$，當 DVL 與姿態感測器存在縱搖角對準偏差β時，DVL 所量測的載具橫移速度為：

$$\mathbf{V}_{\text{sway}}^{\beta}=\mathbf{T}_{da}^{\beta}\begin{bmatrix}u(t)\\0\\0\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}1 & 0 & 0 & 0\\0 & \cos\beta & \sin\beta & 0\\0 & -\sin\beta & \cos\beta & 0\\0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u(t)\\0\\0\\1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}u(t)\\0\\0\\1\end{bmatrix} \tag{17}$$

將造成 DVL 推導出的載具橫移運動軌跡為：

$$\mathbf{P}_{0\_\text{sway}}^{\beta}=\begin{bmatrix}x_{0\_\text{sway}}^{\beta}\\ y_{0\_\text{sway}}^{\beta}\\ z_{0\_\text{sway}}^{\beta}\\ 1\end{bmatrix}=\int\mathbf{V}_{\text{sway}}^{\beta}\,dt=\begin{bmatrix}\int u(t)dt\\ 0\\ 0\\ 1\end{bmatrix} \tag{18}$$

將 $\mathbf{P}_{0\_\text{sway}}^{\beta}$ 與方程式(13)比對，可發現 DVL 定位軌跡與載具真實軌跡相同。所以當載具進行橫移運動時，載具的 DVL 定位軌跡不受縱搖角對準偏差影響。

3.1.6 橫搖角對準偏差對橫移運動定位的影響

在座標系統 $O_0X_0Y_0Z_0$ 下，當 DVL 與姿態感測器存在橫搖角對準偏差 γ 時，DVL 所量測的載具橫移速度為：

$$\mathbf{V}_{\text{sway}}^{\gamma}=\mathbf{T}_{da}^{\gamma}\begin{bmatrix}u(t)\\ 0\\ 0\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\gamma & 0 & -\sin\gamma & 0\\ 0 & 1 & 0 & 0\\ \sin\gamma & 0 & \cos\gamma & 0\\ 0 & 0 & 0 & 1\end{bmatrix}\begin{bmatrix}u(t)\\ 0\\ 0\\ 1\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}u(t)\cos\gamma\\ 0\\ u(t)\sin\gamma\\ 1\end{bmatrix} \tag{19}$$

將造成 DVL 推導出的載具橫移運動軌跡為：

$$\mathbf{P}_{0\_\text{sway}}^{\gamma}=\begin{bmatrix}x_{0\_\text{sway}}^{\gamma}\\ y_{0\_\text{sway}}^{\gamma}\\ z_{0\_\text{sway}}^{\gamma}\\ 1\end{bmatrix}=\int\mathbf{V}_{\text{sway}}^{\gamma}\,dt=\begin{bmatrix}\cos\gamma\int u(t)dt\\ 0\\ \sin\gamma\int u(t)dt\\ 1\end{bmatrix} \tag{20}$$

其在 X_0-Z_0 平面的軌跡方程式可表示如下：

$$z_{0\_\text{sway}}^{\gamma}=\tan\gamma\, x_{0\_\text{sway}}^{\gamma} \tag{21}$$

所以當存在橫搖角對準偏差 γ 時，DVL 推導的載具橫移運動軌跡在 X_0-Z_0 平面的斜率為 $\tan\gamma$。

3.2 對準偏差校正演算法

根據 3.1 節的推導結果可知，DVL 縱移運動定位軌跡會受到艏向角與縱搖角對準偏差影響，而 DVL 橫移運動定位軌跡則會受到艏向角

與橫搖角對準偏差的影響。據此，本計畫發展一套對準偏差校正演算程序，說明如下：

1. 艏向角對準偏差會影響 DVL 縱移運動定位，也會影響 DVL 橫移運動定位。當存在艏向角對準偏差α時，載具縱移運動的 DVL 定位軌跡在 X_0-Y_0 平面的斜率為 cotα，載具橫移運動的 DVL 定位軌跡在 X_0-Y_0 平面的斜率為 $-\tan\alpha$。因此，假設在沒有縱搖與橫搖角度對準偏差狀況下，艏向對準偏差可以透過載具縱移或是橫移運動的 DVL 定位軌跡斜率估算出來。令載具縱移或橫移運動的 DVL 定位軌跡在 X_0-Y_0 平面的斜率為 m_{xy}，則可估算艏向角對準偏差如下：

$$\begin{cases} \alpha = \cot^{-1}(m_{xy}) & \text{for surge} \\ \alpha = -\tan^{-1}(m_{xy}) & \text{for sway} \end{cases} \tag{22}$$

2. 縱搖角對準偏差會影響 DVL 縱移運動定位軌跡，但不會影響 DVL 橫移運動定位軌跡。因此，假設在沒有艏向與橫搖角度對準偏差狀況下，令載具縱移運動的 DVL 定位軌跡在 Y_0-Z_0 平面的斜率為 m_{yz}，則可估算縱搖角對準偏差如下：

$$\beta = -\tan^{-1}(m_{yz}) \tag{23}$$

3. 橫搖角對準偏差會影響 DVL 橫移運動定位軌跡，但不會影響 DVL 縱移運動定位軌跡。因此，假設在沒有艏向與縱搖角度對準偏差狀況下，令載具橫移運動的 DVL 定位軌跡在 X_0-Z_0 平面的斜率為 m_{xz}，則可估算橫搖角對準偏差如下：

$$\gamma = \tan^{-1}(m_{xz}) \tag{24}$$

方程式(22)~(24)任何一個對準偏差估算公式，都是在假設其他兩個偏差角度為零的條件下所推導出來的。因此，為了精確估算對準偏差角度，需要透過數值迭代運算重複執行以上步驟 1~3，直到三個對準偏差角度的估算值皆收斂為止。迭代演算流程如圖 3.3 所示。

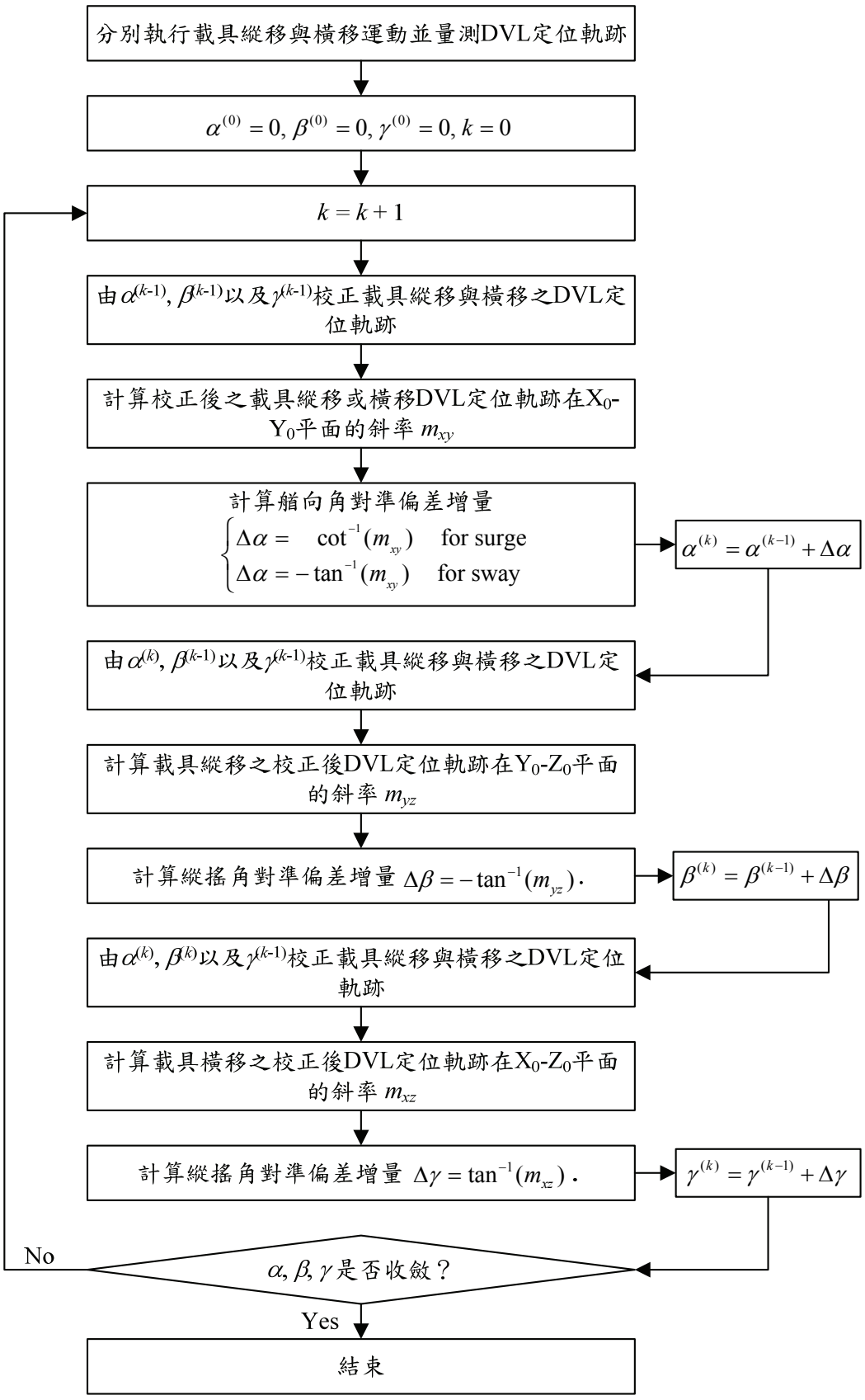


圖 3.3 對準偏差校正之數值迭代演算流程

3.3 對準偏差校正實驗

本計畫透過成功大學系統及船舶機電工程學系之拖航水槽(圖 3.4)進行 DVL 對準偏差校正實驗，將 DVL 定位系統架設於水槽台車的升降桿上(圖 3.5)，使之沒入水中，然後驅動台車帶動 DVL 定位系統進行縱移與橫移運動，同時收集 DVL 與姿態感測器之資料。

由於 DVL 與姿態感測器架設於台車下方隨著台車移動，所以其水平運動軌跡為一直線，而且水深不會變化。本研究分別以 0.3 m/s 與 0.6 m/s 的速度移動台車，尚未校正對準偏差之前，經由 DVL 定位所得之運動軌跡如圖 3.6 與圖 3.7 所示。由圖 3.6 與圖 3.7 可以看出，DVL 定位之水平軌跡為斜直線，而且 DVL 定位深度隨距離改變，顯然存在對準偏差。利用本研究建立之對準偏差校正方法，進行 DVL 對準偏差之估算，求出對準偏差分別為 $\alpha = -5.22^\circ$、$\beta = 1.85^\circ$、$\gamma = -0.39^\circ$。利用求得之對準偏差角度進行 DVL 定位修正，修正後之 DVL 定位軌跡如圖 3.8 與圖 3.9 所示，可以發現縱移之 X_0Y_0 平面軌跡斜率趨近無窮大、橫移之 X_0Y_0 平面軌跡斜率趨近於零，顯示艏向對準偏差(α)已獲得修正。此外， DVL 定位深度變化也明顯降低，顯示縱搖(β)與橫搖(γ)對準偏差已正確修正。

圖 3.4 成功大學拖航水槽

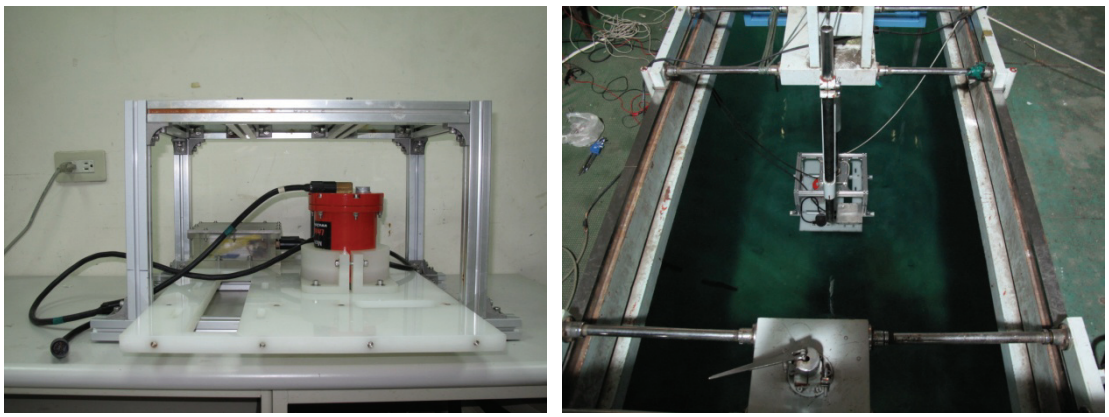
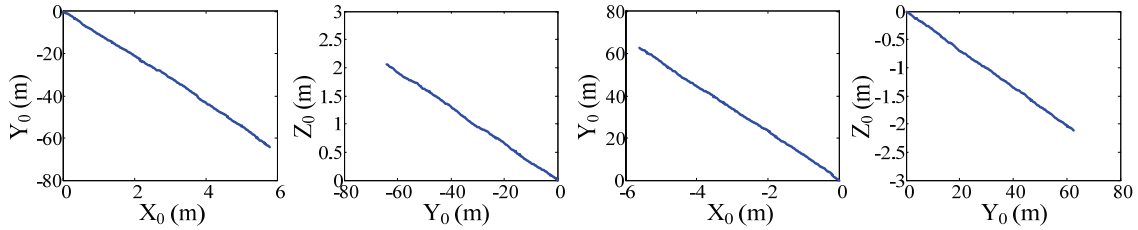
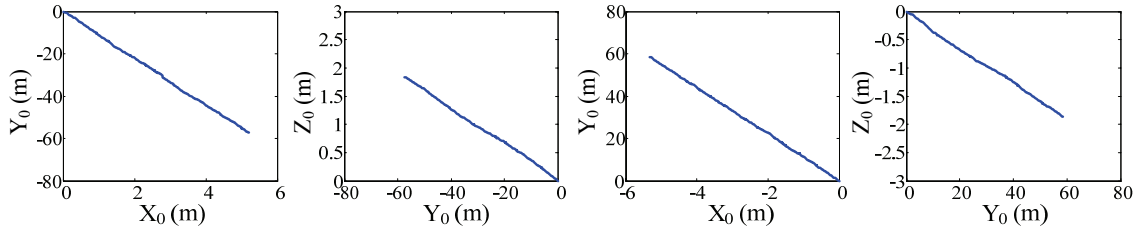


圖 3.5 DVL 定位系統架設於拖航水槽台車下方

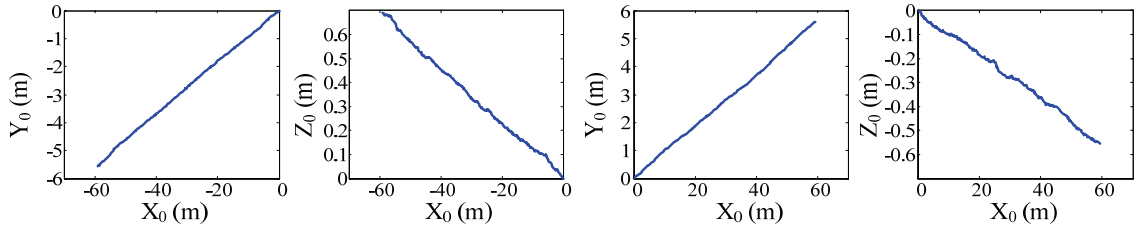


(a) Surge backward at 0.3 m/s (b) Surge forward at 0.3 m/s

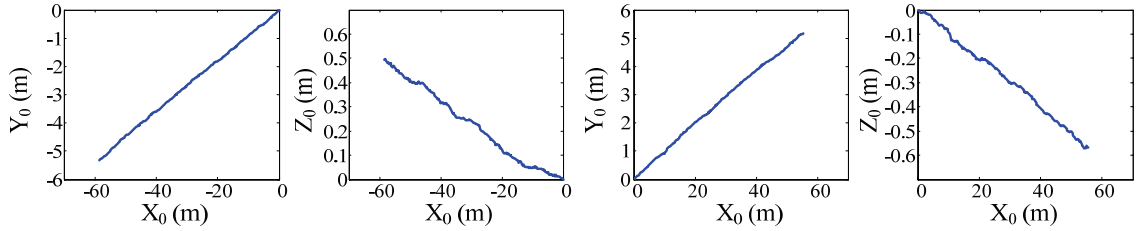


(c) Surge backward at 0.6 m/s (d) Surge forward at 0.6 m/s

圖 3.6 對準偏差校正前在不同速度下之縱移運動 DVL 定位軌跡

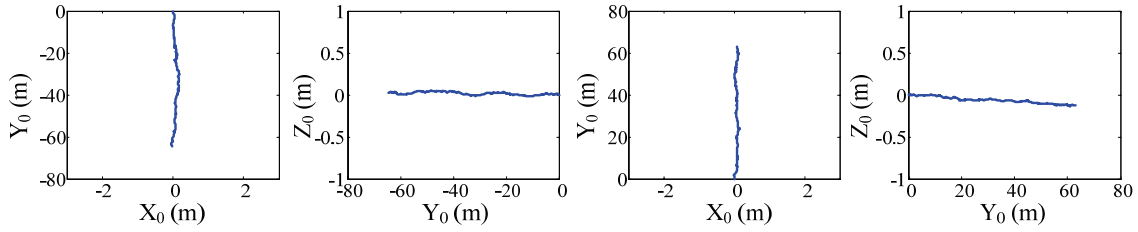


(a) Sway backward at 0.3 m/s (b) Sway forward at 0.3 m/s

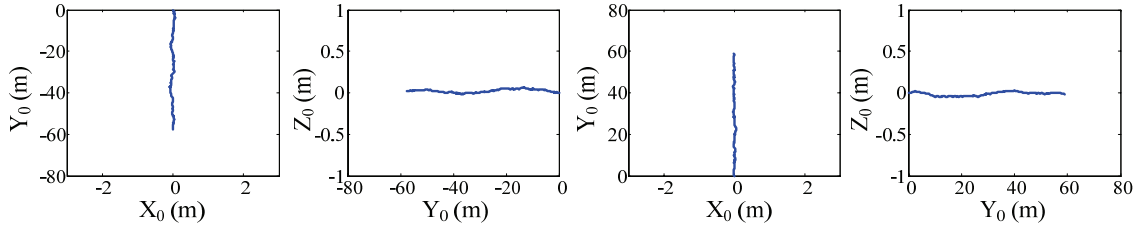


(c) Sway backward at 0.6 m/s (d) Sway forward at 0.6 m/s

圖 3.7 對準偏差校正前在不同速度下之橫移運動 DVL 定位軌跡

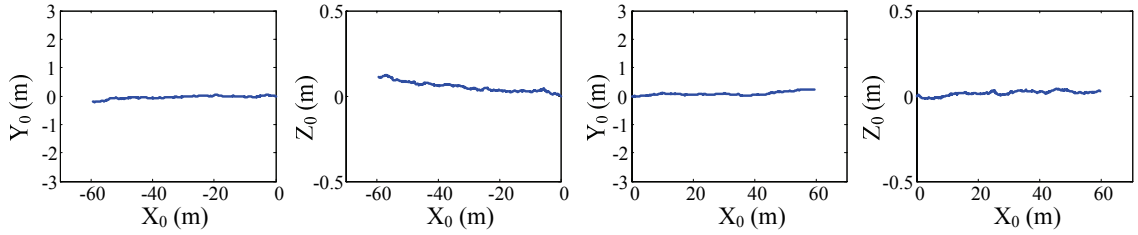


(a) Surge backward at 0.3 m/s (b) Surge forward at 0.3 m/s

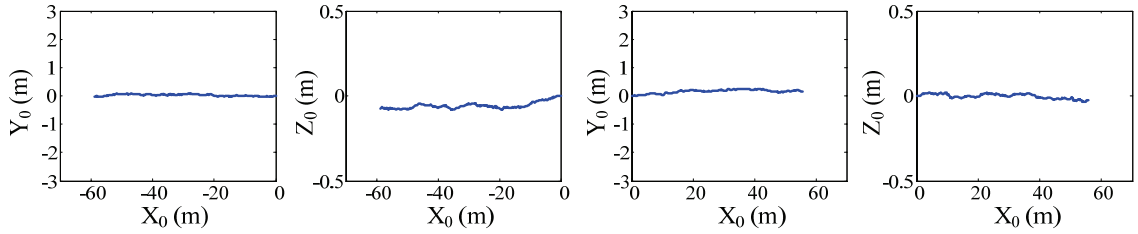


(c) Surge backward at 0.6 m/s (d) Surge forward at 0.6 m/s

圖 3.8 對準偏差校正後在不同速度下之縱移運動 DVL 定位軌跡



(a) Sway backward at 0.3 m/s (b) Sway forward at 0.3 m/s



(c) Sway backward at 0.6 m/s (d) Sway forward at 0.6 m/s

圖 3.9 對準偏差校正後在不同速度下之橫移運動 DVL 定位軌跡

3.4 水下多音束測深儀定位

為了進行水下多音束測深儀之定位，本次實驗於水下載台上裝置DVL、深度計、運動姿態感測器、以及聲速計等儀器，以取得水下載台之運動速度、深度、姿態（包括艏向、縱搖角、橫搖角）、以及水層聲速等資料。整合這些資料進行運算處理後，可提供水下載台多音束測深儀作為定位之用。由於 DVL 每秒約可量測 5 筆速度資訊，利用速度對時間積分，則水下多音束測深儀的定位資料更新率約為 5 Hz。

以水下載台多音束測深儀進行海床地形量測時，本實驗將水下載台下放至預定深度，並將水下載台以浮體懸吊於水面船隻舷邊，水面船則透過風與海流的作用於海床目標物上方漂流，並藉由 GPS 量測取得水面船漂流軌跡。水下載台之入水深度時序如圖 3.10 所示，此次實驗預計於入水深 5 m 與 10 m 進行多次水下載台之多音束測深儀之海床地形量測，而實際佈放入水深約為 5.8m 與 10m，且由佈放的 CTD 資料中可知在實驗期間實驗區域的水層聲速並無太大的變化。

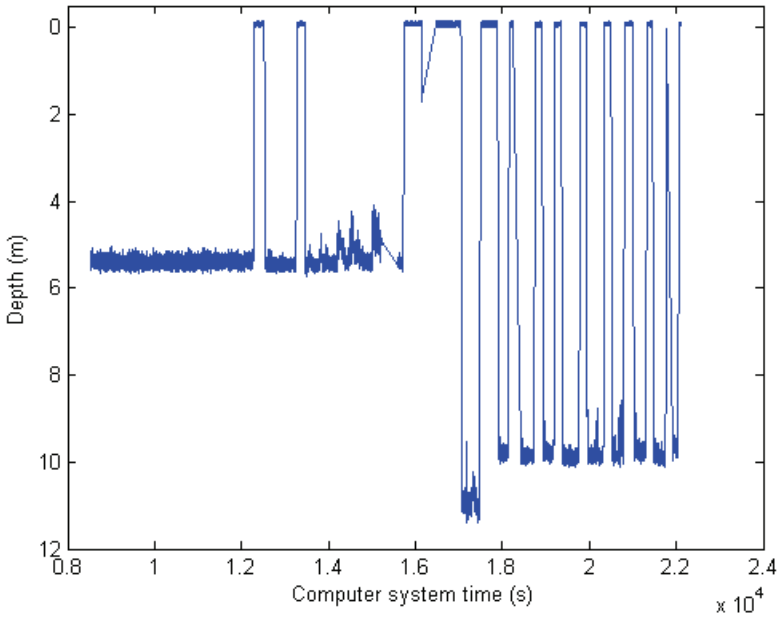
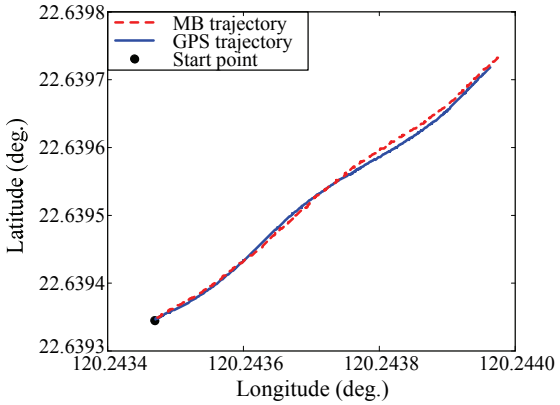


圖 3.10 水下載台深度資訊

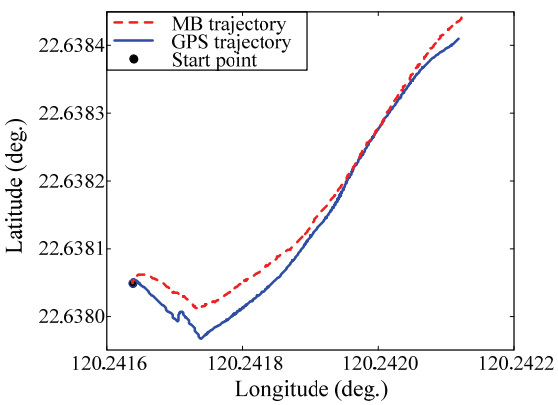
在多音束測深儀定位方面，本研究根據上一節所求得的艏向、縱搖、以及橫搖對準偏差角度對 DVL 的量測速度進行校正，再根據姿態感測器量測的水下載台姿態（艏向、縱搖角、橫搖角）將 DVL 校正後

的速度轉換到導航座標上，並進行積分以取得 DVL 定位軌跡。接著，根據 DVL 與多音束測深儀之間的相對幾何位置，透過座標轉換求得多音束測深儀在水下的位移軌跡。

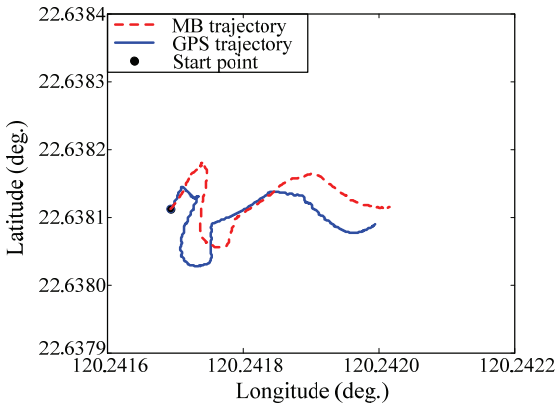
進行水下載台多音束測深實驗時，水下載台以浮體懸吊於船邊且藉由海流帶動漂流。船上裝載 GPS 天線可得知水面船於海上的位移軌跡，而水下載台上的多音束測深儀則可經由 DVL 定位系統計算求得其位移軌跡。因為 DVL 定位只能求得其相對位移量，因此多音束測深系統的定位軌跡必須要有一參考起點。由於水下載台懸吊於船舷外跟著水面船一起漂流，為了觀察水面船與水下載台之間的漂流軌跡關係，於是將多音束測深儀的位移起點設定為水面船 GPS 定位軌跡的起點。圖 3.11 為多音束測深儀位移軌跡與水面船隻定位軌跡之比較，其中虛線為水面船漂流的 GPS 軌跡，實線則為水下載台之多音束測深儀位移軌跡，實心圓點則為漂流的起始點。進行漂流時，水下載台受海流作用，而水面船則受風與海流的作用，所以兩者軌跡會有些微差異。此外，有時海流會帶動水下載台遠離水下目標物區域，故會啟動船隻引擎將水下載台拉回水下目標物附近，此時的水下載台運動特性會與水面船有較大的差異，使得兩者位移軌跡較不吻合。由圖 3.11 可以看出，水下載台進行穩定漂流時，水中多音束測深儀的漂流軌跡與水面船的漂流軌跡趨勢大致吻合。



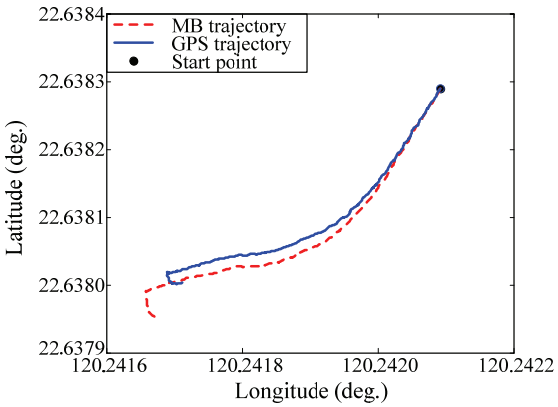
(a)第一次漂流軌跡



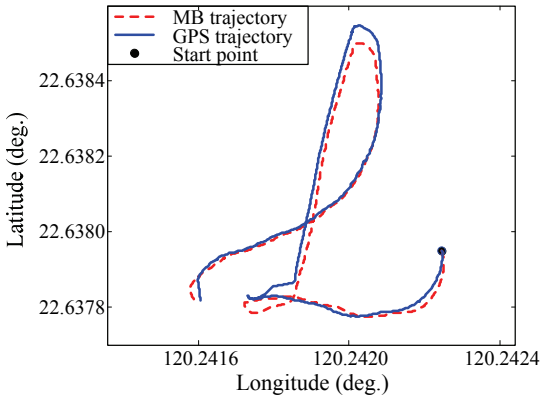
(b)第二次漂流軌跡



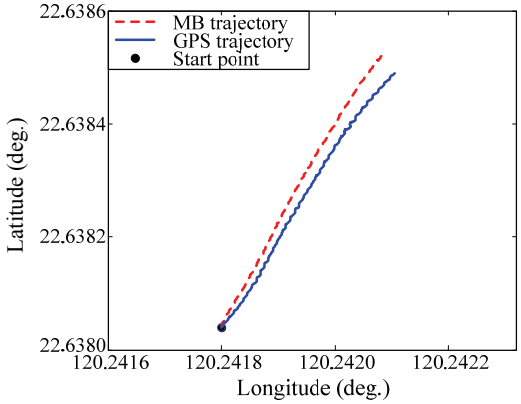
(c)第三次漂流軌跡



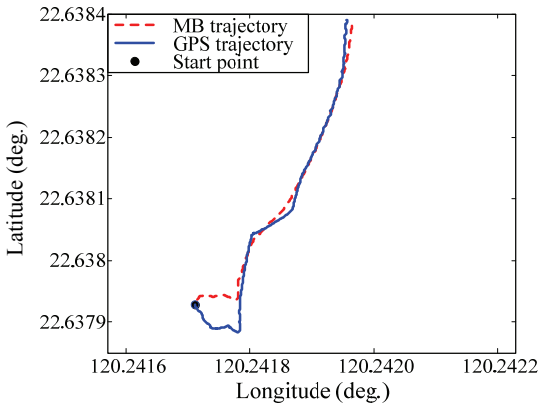
(d)第四次漂流軌跡



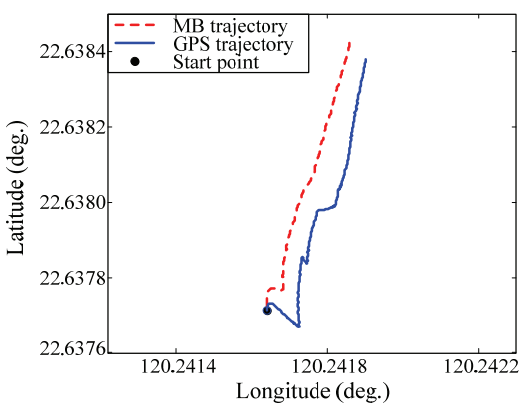
(e)第五次漂流軌跡



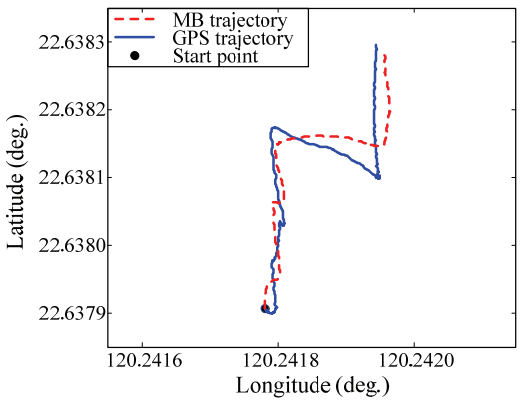
(f)第六次漂流軌跡



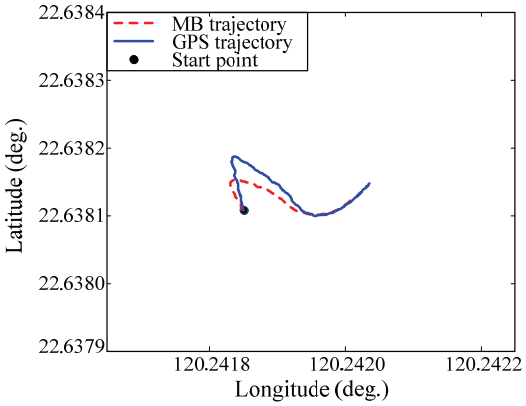
(g)第七次漂流軌跡



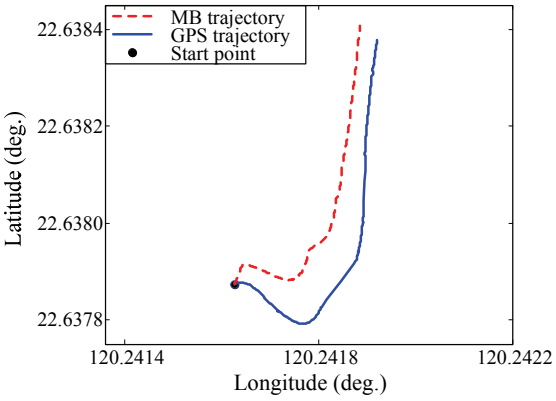
(h)第八次漂流軌跡



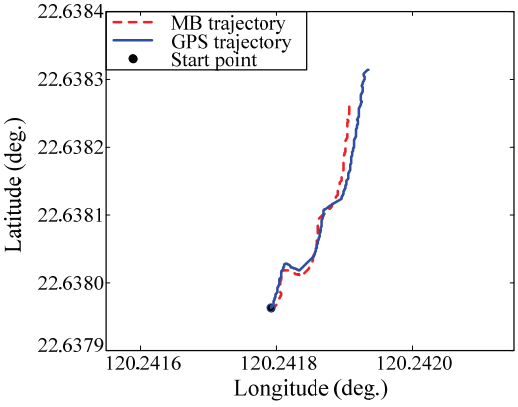
(i)第九次漂流軌跡



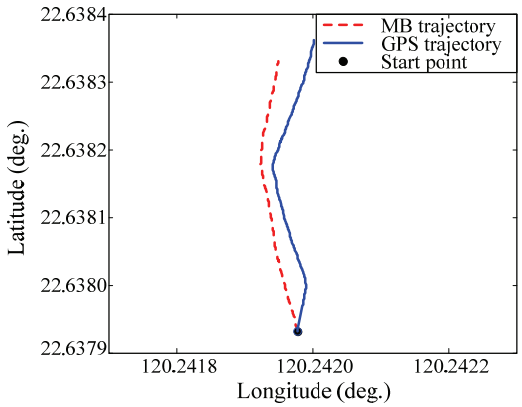
(j)第十次漂流軌跡



(k)第十一次漂流軌跡



(l)第十二次漂流軌跡



(m)第十三次漂流軌跡

圖 3.11 GPS 定位軌跡與水下載台之 MB 定位軌跡比較

第四章 水下多音束資料處理技術之探討

本年度整合多音束測深及以 DVL 為主之水下定位系統，選擇高雄西子灣外海水深約 13 米為實驗區域，各儀器資料之整合以時間為基準，在實驗過程皆用 1PPS 作為時間校正的工具。

5 月 6 日水面多音束測量軌跡圖如圖 4.1 所示。

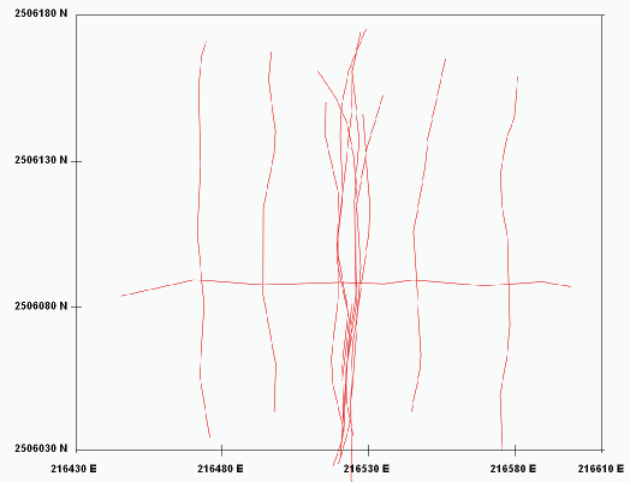


圖 4.1 水面多音束測量軌跡圖

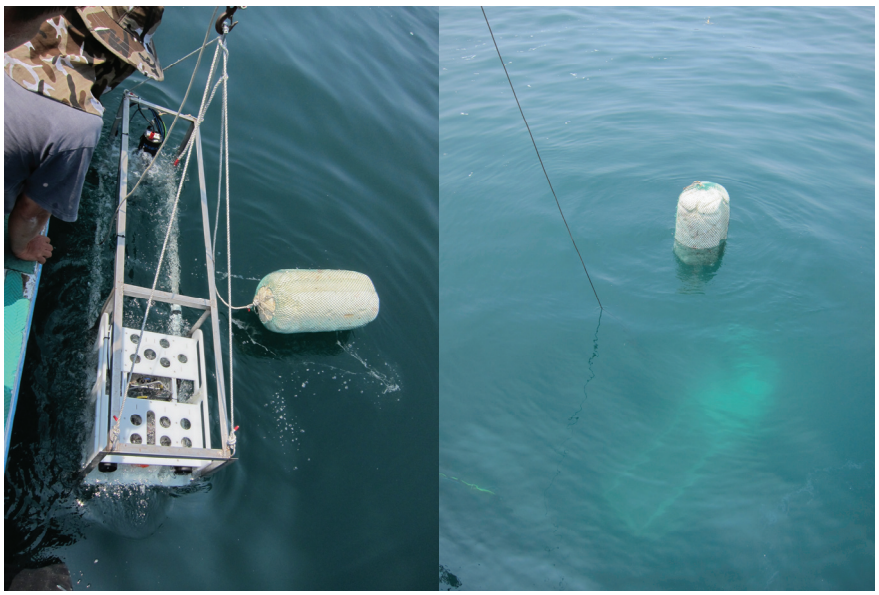


圖 4.2 載台施放照片

4.1 水面多音束測量

今年所使用之多音束測深系統音束的數目比去年增加兩倍，所得之結果與去年相比較，解析度提升許多，水面上多音束測量結果之0.25 米網格圖如圖 4.3，點雲圖如圖 4.4 所示，輪胎編號 1、3、5、7、8 皆加釘木板將洞口封住，以期望增加測量到水下輪胎的資料密度，由點雲圖當中可明顯看出不同，但特徵物的形狀依舊沒有很明顯差異。表 4.1 為比較輪胎實際尺寸與透過多音束測深資料處理後所量測估計之尺寸，由比較表中可發現平面量測之誤差最大為 5cm(輪胎編號 3)，高程量測之誤差最大為 7cm(輪胎編號 8 與 10)，因為有平面位置之誤差有一部份與輪胎並非垂直的重疊有關，圖 4.6 為輪胎編號 2 之水下影像，經由海流的影響，輪胎呈現半懸空狀態；由結果可看出在離海床 13m 水深，多音束測量對於高於海床 11cm 的特徵物並無法有效解析(輪胎編號 2、9、11)。

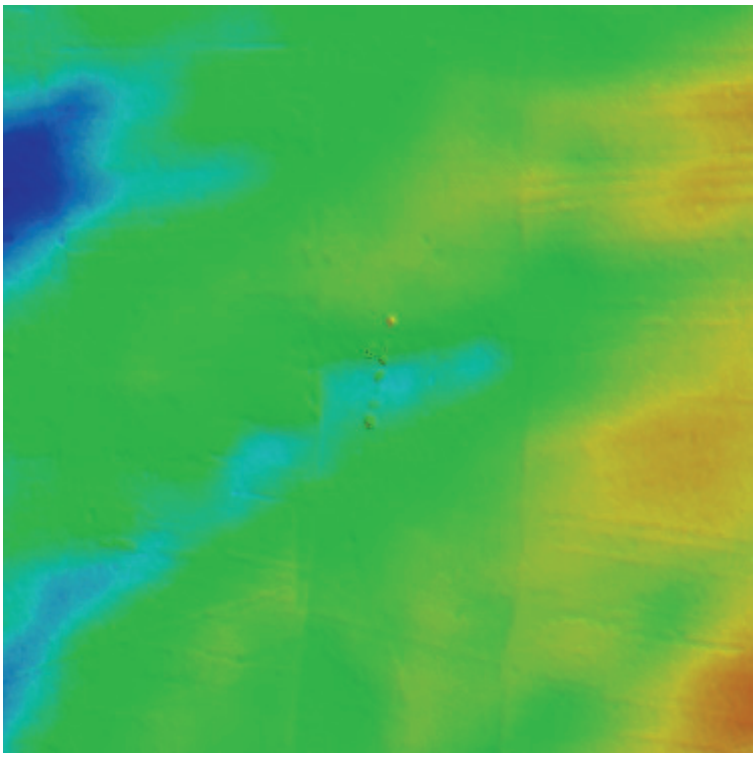


圖 4.3 水深 13m 之水面多音束測量成果(網格圖)

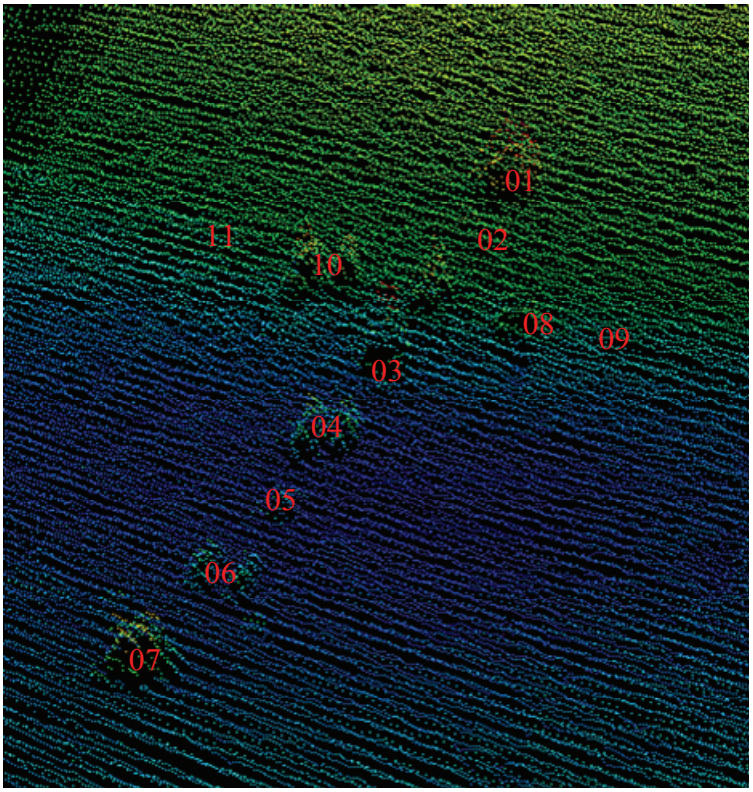


圖 4.4 水深 13m 之水面多音束測量成果(點雲圖)

表 4.1 輪胎實際尺寸與水面多音束量測尺寸一覽表

編號	輪胎照片	實際外徑 (cm)	實際高度 (cm)	水面多音束外徑(cm)	水面多音束高度(cm)	平面差異 (cm)	高程差異 (cm)
01		55	36	58	33	3	-3
02		40	11	無法辨識	無法辨識		
03		56	48	61	46	5	-2
04		54	33	55	31	1	-2

05		40	19	36	16	-4	-3
06		56	16	59	18	3	2
07		63	36	67	34	4	-2
08		63	36	62	29	-1	-7
09		60	5	無法辨識	無法辨識		
10		56	16	54	9	-2	-7
11		60	5	無法辨識	無法辨識		

圖 4.5 水下輪胎影像(輪胎編號 2)

4.2 水下多音束系統資料處理技術之探討

本年度針對水下多音束系統資料處理進行更深入之研究，主要針對起伏(Heave)值與深度計的比較、疊合修正作一探討，並將多音束資料結合側掃聲納做資料的呈現。

4.2.1 起伏(Heave)值之修正

水下載台多音束系統之資料處理與水面多音束之資料處理最大的不同點在於起伏值的應用，一般而言，在處理水下載具(ROV、AUV)之水深資料時，常以深度計所包含之深度變化來取代起伏值，其原因在於水下載具在水中受到的垂直方向之擾動相較於海面上來的小。

由圖 4.6 中可以看出由載台深度計所得到的入水深度已包含起伏值的變化，若同時使用深度計與起伏值，會重複使用載台垂直方向的修正量，造成地形資料之不正確。

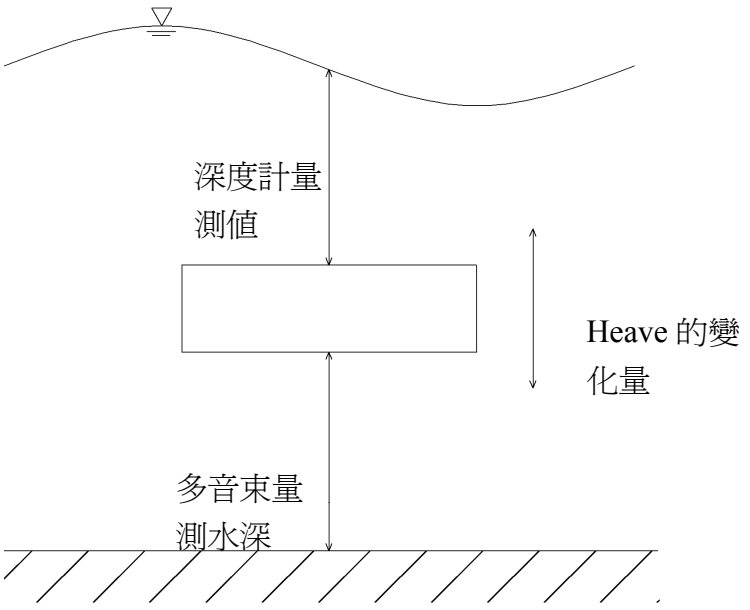


圖 4.6 水下載台垂直方向之變化

在本次實驗中，由於載台之浮力是由浮體提供，而浮體浮載海面上，載台間接可能受到海表面波浪的影響，在垂直方向的變化量可能會比一般的水下載具來的劇烈，因此，若仍以深度計作為垂直方向之

補償量，則需探討深度計的量測精度與更新率，是否滿足水下多音束系統之需求。

由圖 4.7 顯示出水下載台測量時 Heave(紅線)、Roll(綠線)、Pitch(藍線)之變化量，其中 Heave 之變化量約在正負 20cm 左右，Roll 約在正負 4 度，Pitch 約在正負 5 度之間，相比之下 Pitch 的變化較劇烈，這與載台浮體之配重可能有關。

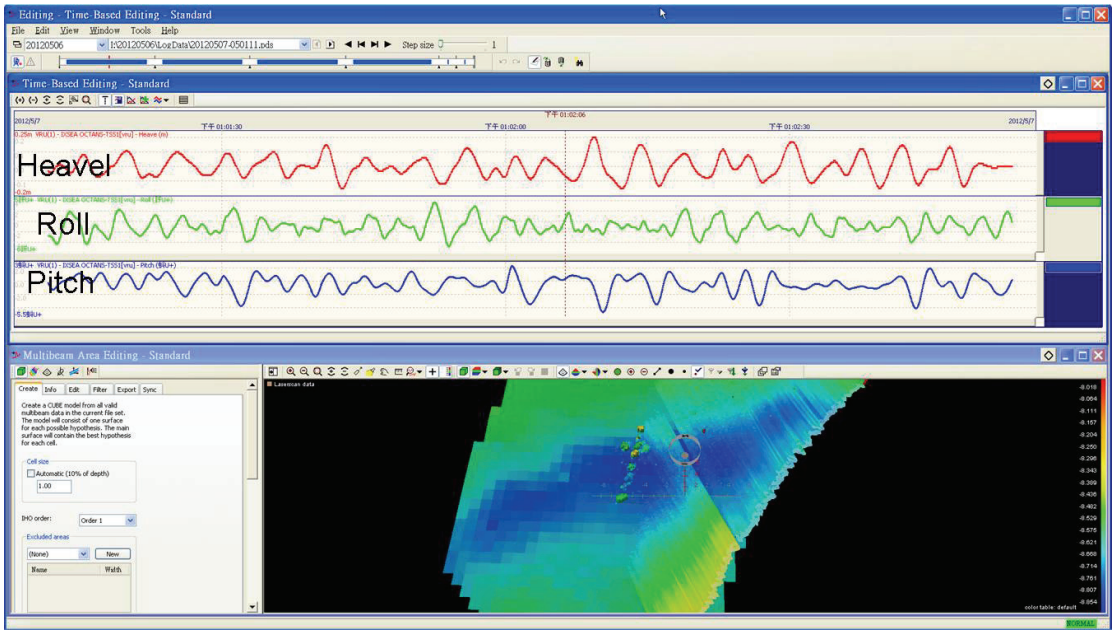


圖 4.7 水下載台之三軸變化量

在處理水下多音束資料時，首先針對深度計與船隻姿態感測器兩者的硬體規格作一比較，其中：深度計之精度<0.0001Bar，更新率為 30Hz，船隻姿態感測器中之 Heave 的動態精度為±5cm 或測量值的 0.5%(取最高者)，更新率為 50Hz，以本次測量之水深(4~8m)而言，兩者的精度規範差異不大。圖 4.8 為擷取一條測線作兩者之比較，紅線為深度計資料，藍線為 Heave 值，由圖中可看出兩者的變化趨勢大約一致，但時序列與振幅的變化上仍有些許的差異。

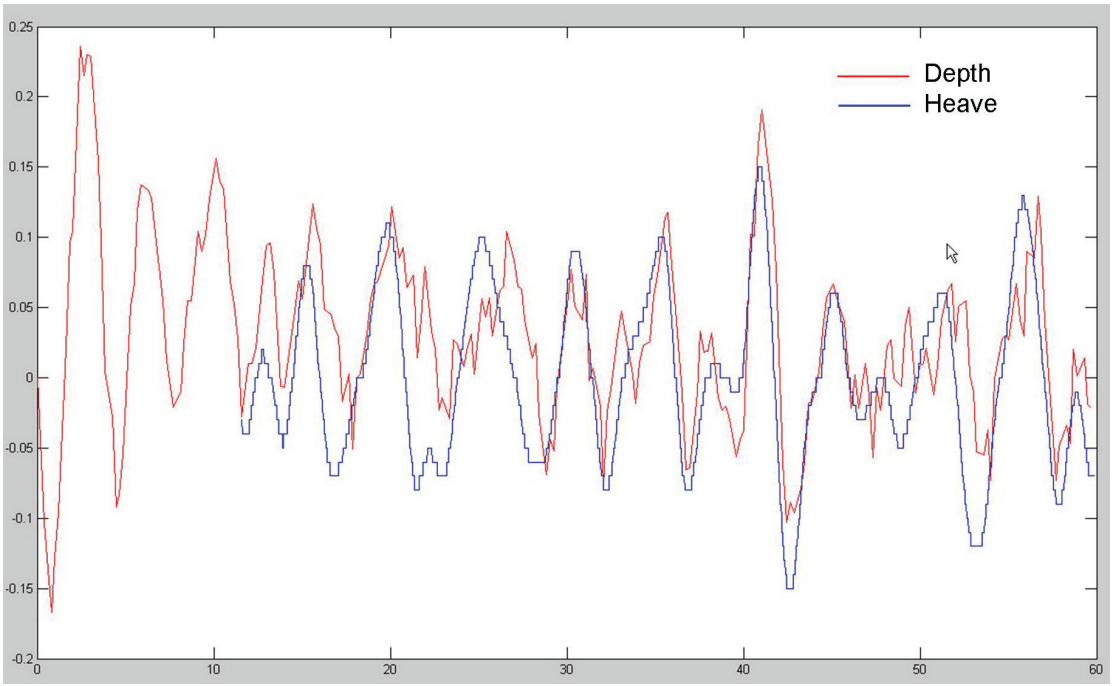


圖 4.8 Heave 與深度計之時序列變化(縱座標單位為公尺)

深度計之資料是搭配水下定位之資料匯入多音束處理軟體進行後處理，因此其資料密度受限於水下定位之更新率(3Hz)，造成在細部的變化上不如船隻姿態感測器來的平滑，因此，本實驗將以 Heave 之資料取代深度計之縱向變化量，圖 4.9 為測深資料經過 Heave 的修正之後之影像，圖中紅線所框的位置為地形剖面圖的位置，剖面方向為沿測線方向，較易看出 Heave 的變化量。

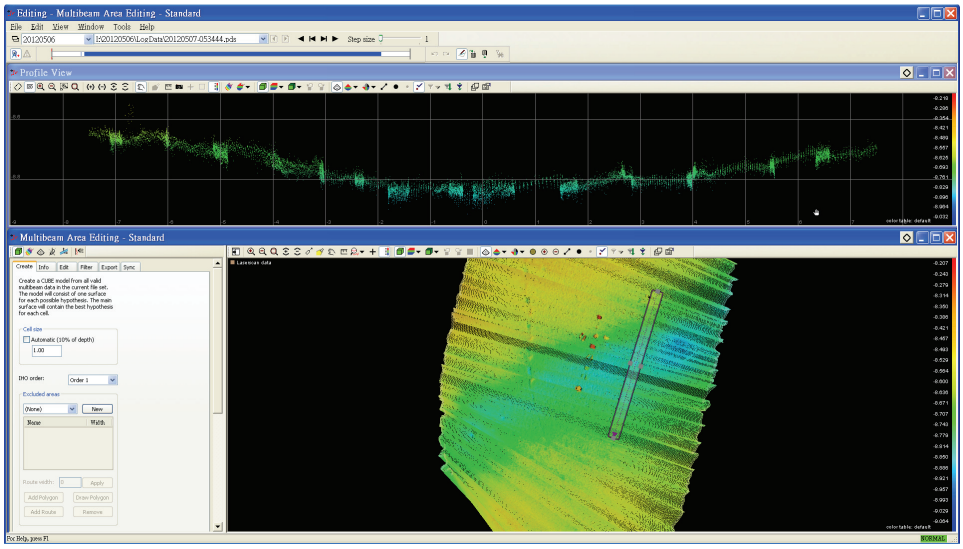


圖 4.9 水下載台經 Heave 修正後之測深資料

由 Heave 之修正值所得到之水深資料為相對水深，意即為相對於當時施放深度之水深，與絕對水深之間存在一個入水深度的差值，因此，接下來將進行入水深度之計算。

先前有提過深度計之資料與 Heave 之變化量有關，若要單獨求得入水深度，則需要找到 Heave 為 0 時所對應之深度值。

船隻姿態補償儀在計算 Heave 與 Roll、Pitch 的方式不一樣，Roll 與 Pitch 所求得的角度值為絕對值，而 Heave 所得到的深度變化為相對於前一位置的垂直方向的變化量，意即為當船隻姿態感測器往上提升了 1m，Heave 值為 1，但當船隻姿態感測器維持在 1m 的高度時，Heave 值會遞減為 0，因此，在求取 Heave 值為 0 時，需避免擷取剛入水時的資料，此時的船隻姿態感測器尚未穩定。

取一條載台入水 6 米的資料來求得入水深度，在這條測線中當 Heave 為 0 時計有 83 個點，平均值為-5.85，標準差為 0.025，圖 4.10 為入水深度變化圖，圖中縱座標為入水深度(單位為 m)，橫坐標為筆數，即為載台在此條測線施放之入水深度為-5.85m。

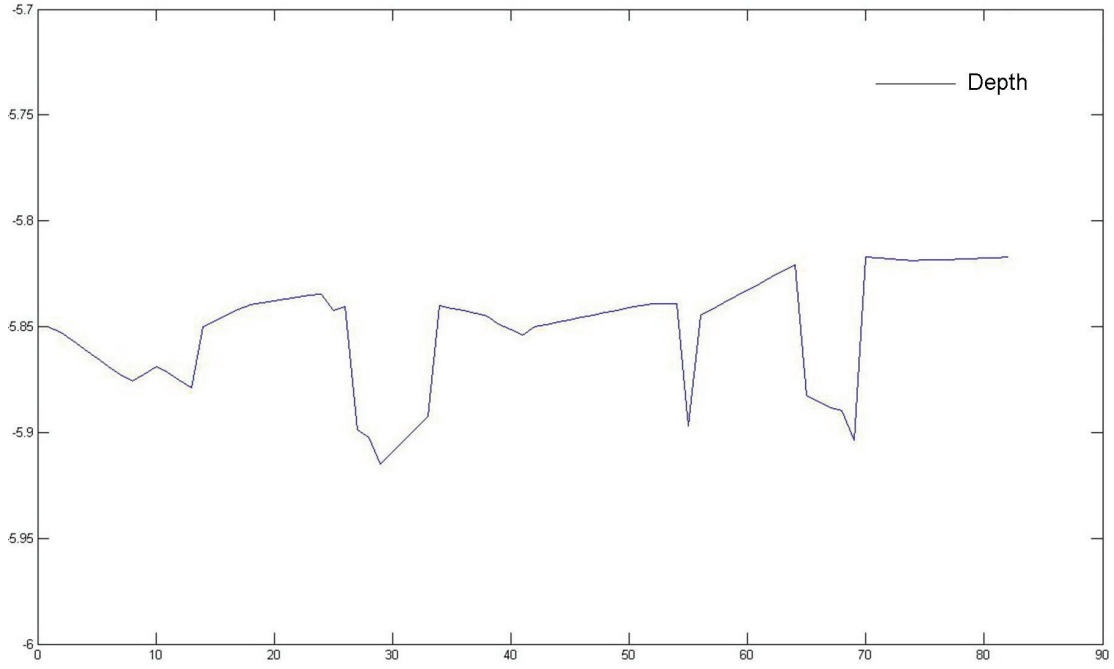


圖 4.10 載台入水深度變化(縱座標單位為公尺)

4.2.2 水下載台之疊合修正

經過入水深度之修正之後，比較水下載台與水面多音束測量成果如圖 4.11 所示，在圖中可看出經入水深度修正之後兩系統之水深已很接近，但仍有一偏差角之存在，圖中紫色的線為水下多音束系統所得到之海床表面坡度，藍綠色的線為水面多音束測深系統所得到之海床表面坡度，地形剖面之選取方向為垂直測線方向，以便觀察 Roll 所帶來的量測誤差。

在去年的報告中有提到，由於水下載台本身無動力，要進行傳統之疊合修正(Patch Test)步驟有其困難，此外，載台的水下定位精度也是影響疊合修正的主要原因之一。

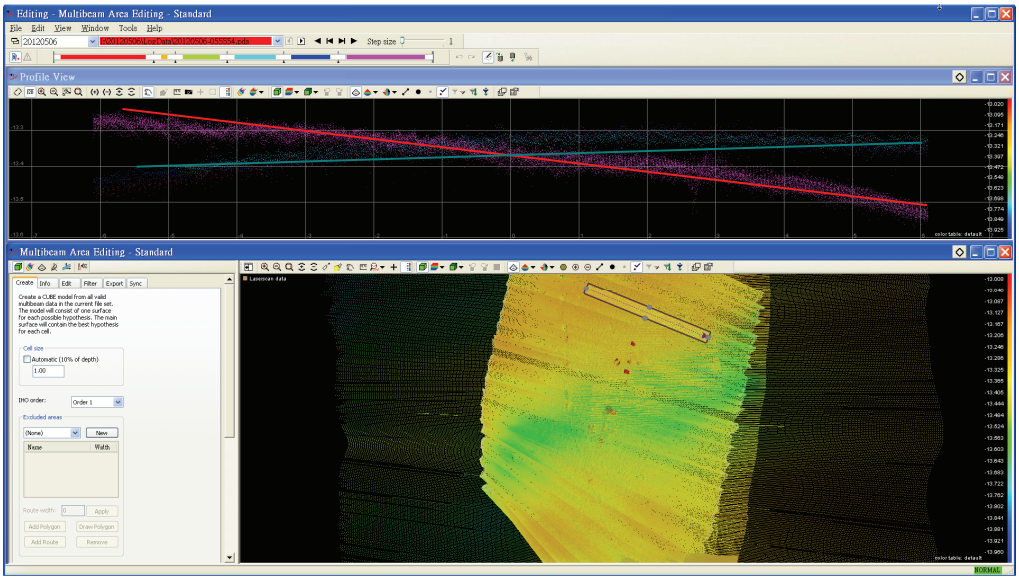


圖 4.11 載台入水 5 米與水面多音束系統之剖面比較

由於水面多音束測深系統可藉由標準程序進行疊合修正得到正確的測量結果，因此，可將水面多音束測深系統所得到之地形視為正確之地形；而對於實驗過程中無法掌控行進方向的水下載台而言，欲進行正規的疊合修正是有其困難性。本年度之嘗試修正作法為，在同一平坦之區域內，將水面多音束量測結果之地形假設為正確地形並作為基準，取水下載台之一測線中每個 Swath 與同樣位置水面多音束測量所得到的地形，計算其單獨斜率差值，將其視為 Roll 的修正值，在平坦的區域中，不同位置的地形變化差異並不大，意即當定位誤差在 3 米 (超短基線的最大誤差值) 以內時，地形的斜率變化並不大，

因此，在定位精度不足的情況下仍可嘗試對 Roll 進行修正。

以 052849 測線為例，這段測線的資料與水面多音束測量成果作斜率變化之比較如圖 4.12 所示，由圖中藍線為水面多音束的地形斜率變化，紅線為水下載台的地形斜率變化，兩相比較藍線之斜率變化較為穩定，此現象與當初之假設吻合。從這條測線中擷取了 1205 條 Swath 資料，每筆 Swath 資料包含 512 個測深點，計算出來的平均角度差為-1.75，標準差為 0.23。

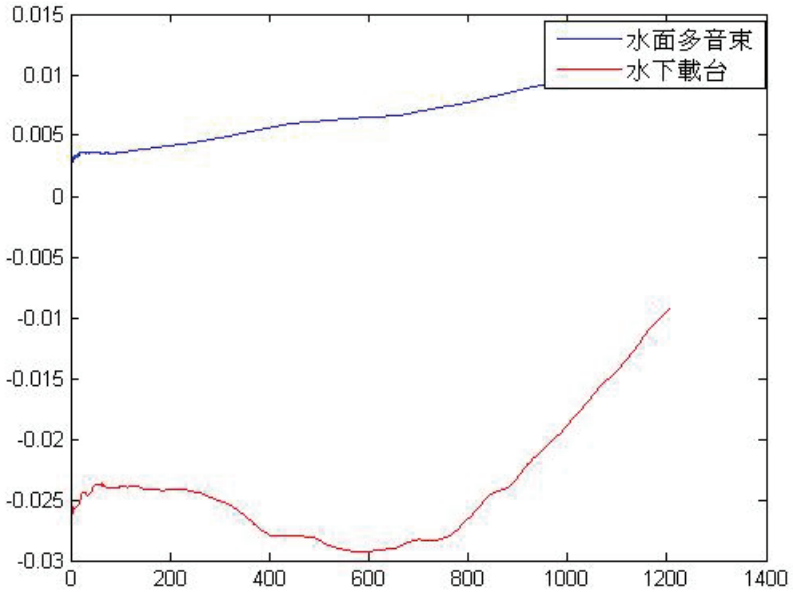


圖 4.12 兩系統之斜率變化比較圖

圖 4.13 為水下載台資料經過 Roll 的修正之後與水面多音束測深資料比對，做過 Roll 值的修正之後可看出地形的變化趨於一致。

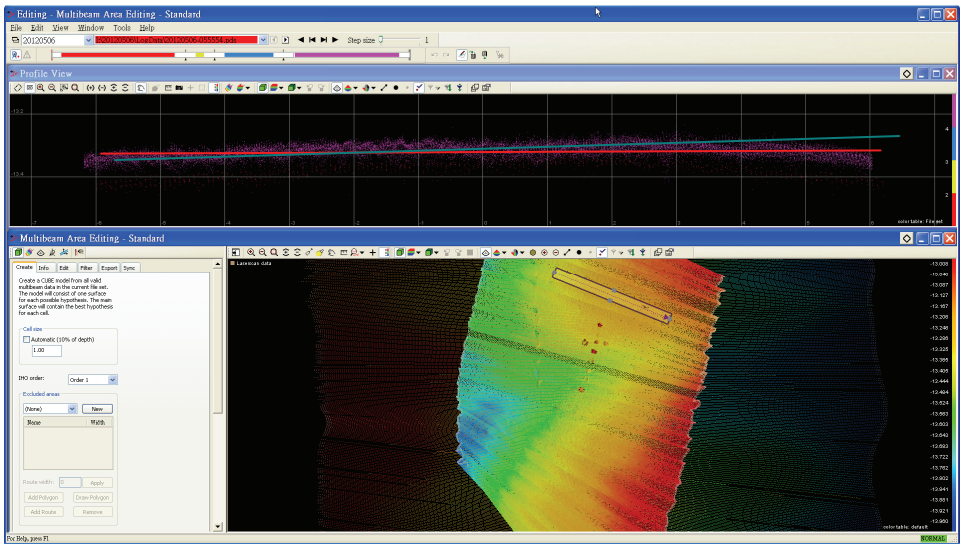


圖 4.13 Roll 值修正後之地形斜率比較

圖 4.14 為載台入水 10 米與水面多音束測量結果之剖面比較圖，圖中綠點為水下載台之點雲，紅點為水面多音束之點雲，在斷面圖中每一網格的單位為 10cm，在未經過 Roll 值的修正情形之下，可以看出斷面的趨勢仍然一致，造成此現象的主原因在於載台距海床的高度約只有 4 米，儀器安裝的偏差角在淺水所造成的誤差量不容易被發現。

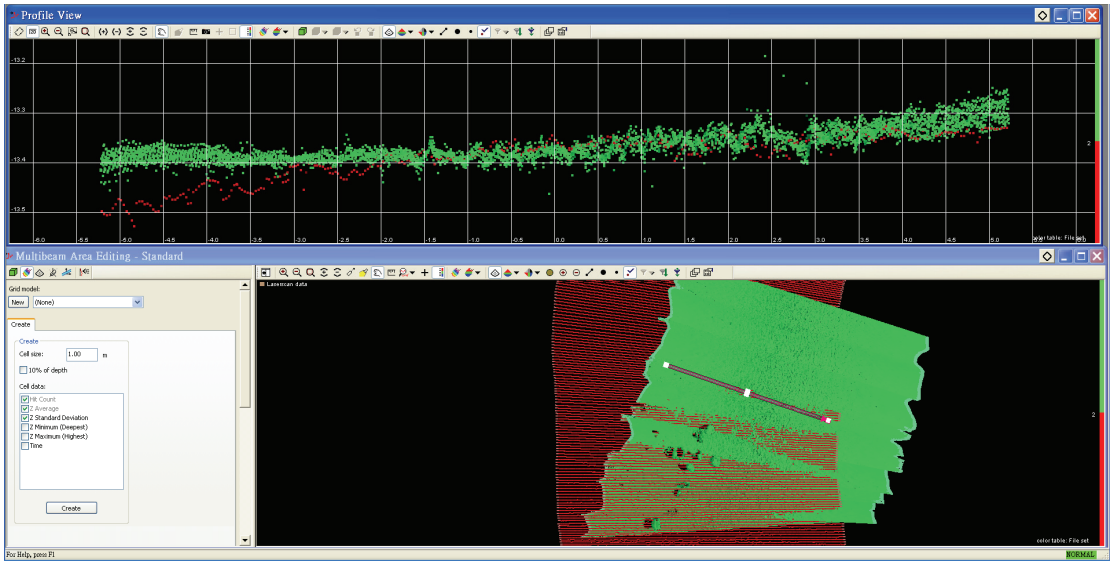


圖 4.14 載台入水 10 米與水面多音束系統之剖面比較

然而，傳統的疊合修正中，除了 Roll 的修正外， 還需進行 Pitch 與 Yaw 的修正，其需要斜坡或特徵物來幫助修正值的計算；而 Pitch

與 Yaw 的修正對於定位精度的要求比較高。在水下載台實驗中，由於定位系統的精度介於長基線搭配 DVL 的定位誤差 1.5m，至超短基線的定位誤差 3m 之間，如果沒有精確的定位系統，則修正值無法被有效的計算出來，因此，以現有的水下定位精度而言，似乎仍無法進行完整的疊合修正。

將水下載台之資料經入水深度與 Roll 值之修正之後，其成果如圖 4.15 所示。由圖中可以看出在圖的右下角紅色圈處地形似乎有不連續的狀況，但若比較兩個黑色方框，地形變化仍有一定之趨勢性，造成此現象的原因可能在於 Pitch 與 Yaw 的誤差所影響。

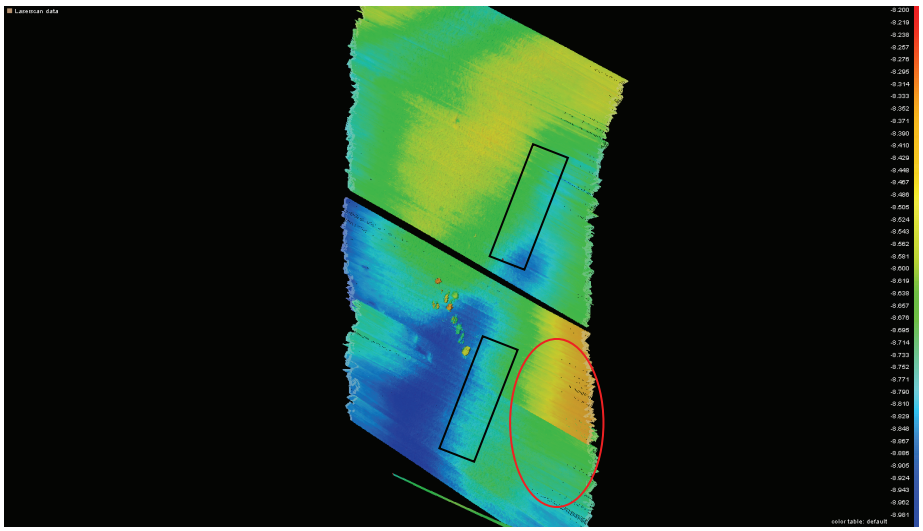


圖 4.15 水下載台測量成果

圖 4.16 與 4.17 中各顯示水下載台與水面多音束之測量成果，由圖中可看出水下載台多音束系統在經過修正之後的資料，水下輪胎特徵物較為明顯，即其解析度與資料密度皆優於水面多音束系統。

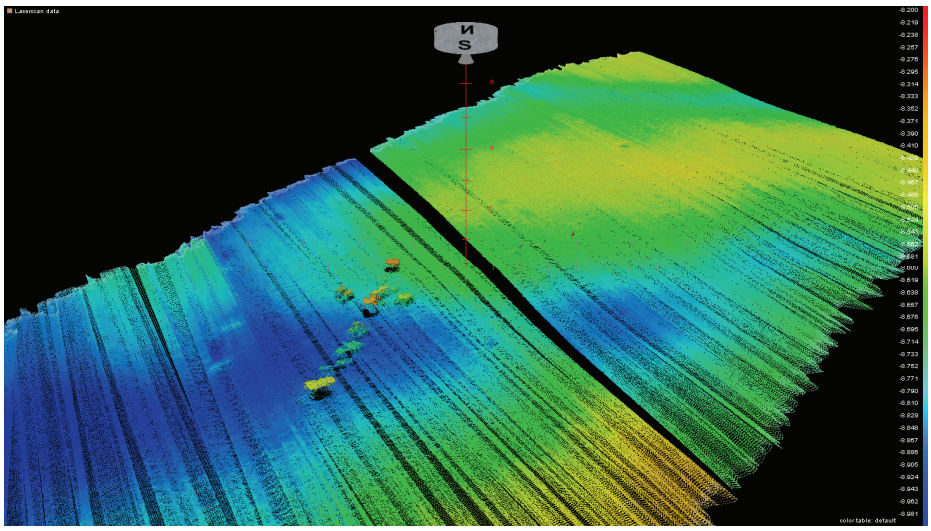


圖 4.16 水下載台多音束測量成果

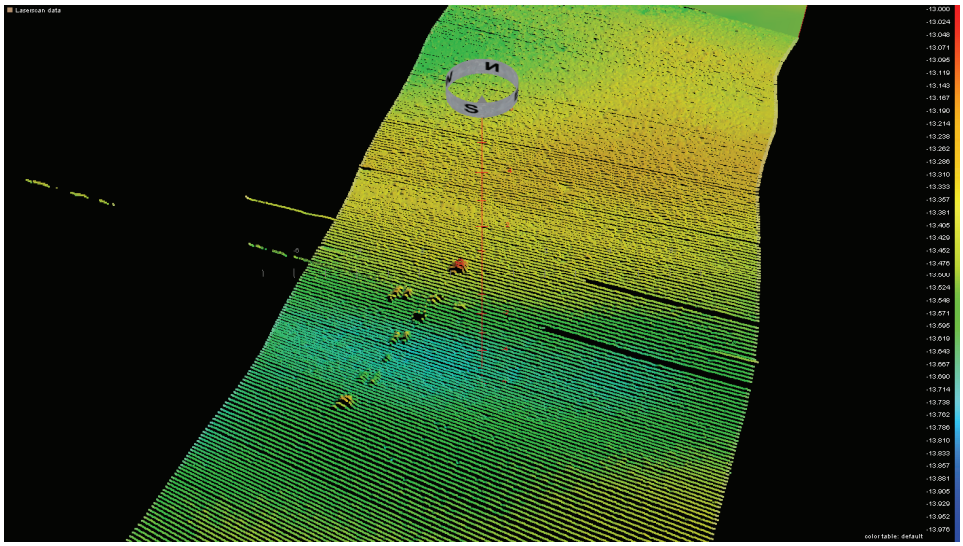


圖 4.17 水面多音束系統測量成果

4.2.3 多音束測深系統與側掃聲納之整合

本研究目的係採用多音束測深系統有較佳定位精度之長處，來配合拖曳式側掃聲納以及水下載台影像之解析度較佳的優點，藉由兩種影像的融合獲取同時具有高影像解析度及高定位精度的合成影像，以提升側掃聲納影像以及多音束測深結果之品質。

聲納測量的基本物理過程是以聲波射向海床，再由其回波之物理性質獲取海床資訊，第一次回波的時間可以計算海床深度，其回波之強度乃至聲波頻譜之改變則可以間接反映出海床的物理特性，如海床

表面硬度、沉積物粒徑大小或地形崎嶇度等。目前聲納系統常使用回波強度作為了解海床底質特性的依據，其中最典型的範例就是側掃聲納。然而側掃聲納亦有其先天的不便之處，它必須使用拖曳方式測量以取得聲波影像，目前側掃聲納系統皆有搭配船隻姿態儀用來修正定位結果，在水深30米左右其定位精度約為3~5m，若水深更深則定位誤差會增加，如搭配水下定位系統則定位精度可達1.5~3m。側掃聲納接收原理如圖4.18所示，左右兩側發射器各拍發一個聲波，再以時間序列為基準對於接收回來的數據進行採樣。

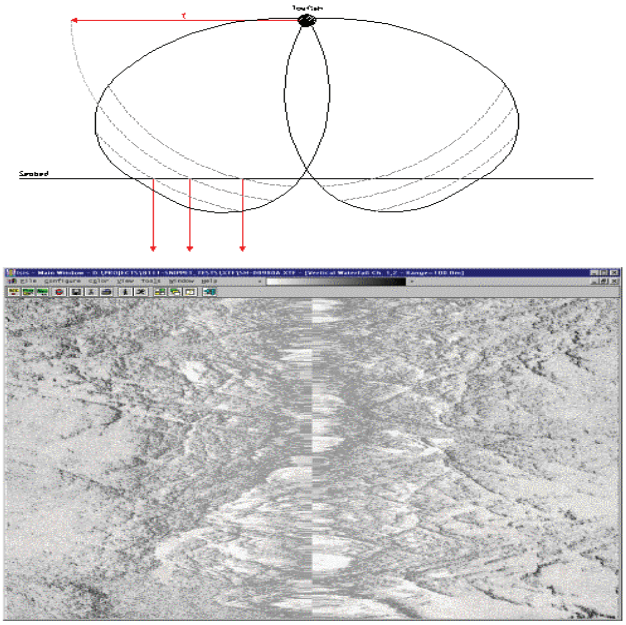


圖 4.18 側掃聲納資料接收原理示意圖

目前多音束聲納也有收集回波強度的功能稱之為 Snippet，其原理與側掃聲納類似，不同點在於 Snippet 是接收每個音束的回波強度，對於接收資料的位置品質會比側掃聲納來的好，Snippet 接收原理如圖 4.19 所示。

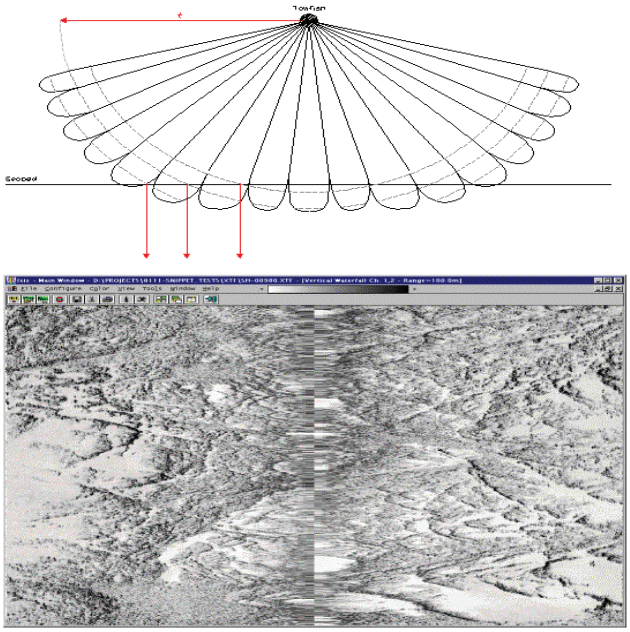


圖 4.19 Snippet 資料接收原理示意圖

Reson 7125 多音束測深系統可同時接收 Snippet 資料，Snippet 為多音束每個音束的回波強度，其原理類似側掃聲納。圖 4.20 為 Snippet 的接收影像，圖中紅框為佈放之輪胎。

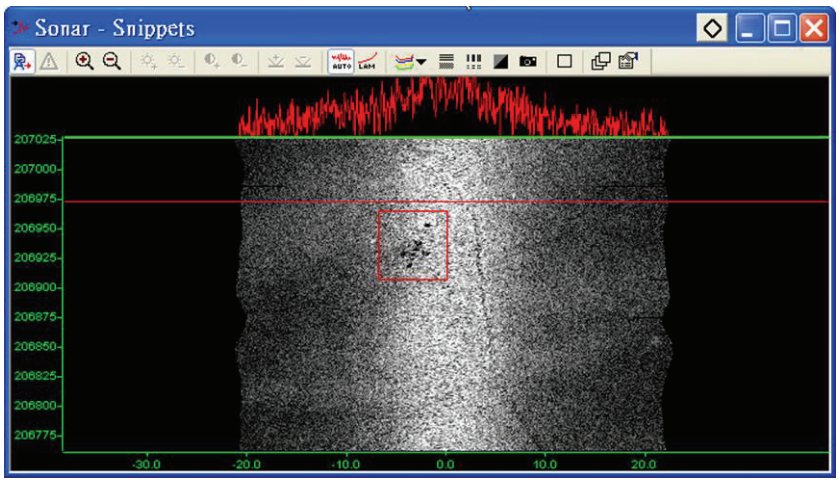


圖 4.20 Snippet 影像

側掃聲納測量的基本物理過程是以聲波射向海床，再由其回波之物理性質獲取海床底質資訊，第一次回波的時間可以計算海床深度，其回波之強度乃至聲波頻譜之改變則可以間接反映出海床的底質特性。多音束測深所接收之 Snippet 資料雖然在定位品質上比傳統

拖曳式側掃聲納好，但缺點在於其音鼓較拖曳式側掃聲納離海床的距離較遠，較無法細緻的呈現水下特徵物，唯本年度水下載台之多音束音鼓較貼近海床，可得到較清晰之海床影像。

音束測量成果是以 DEM 或 3D 點雲圖的方式呈現，而 snippet 成果則類似影像圖片，一般在結合立體 DEM 與影像的方式，多為將影像貼在 DEM 上，缺點為影像容易隨高程之誇張度改變而造成變形。

多音束測量所得之 DEM 或 3D 點雲圖，皆以高程值做為色階之依據，本研究嘗試以 snippet 所得之灰階值給定 DEM 或 3D 點雲圖之色階，其作法為比對 DEM 或 3D 點雲之平面位置與 snippet 相對位置，以 snippet 之灰階顏色套用在多音束測量的水深點上。

圖 4.21 為三維多音束測深結果，圖 4.22 為經過斜率修正之後的 Snippet 影像，圖 4.23 為多音束測深系統與側掃聲納資料之整合。

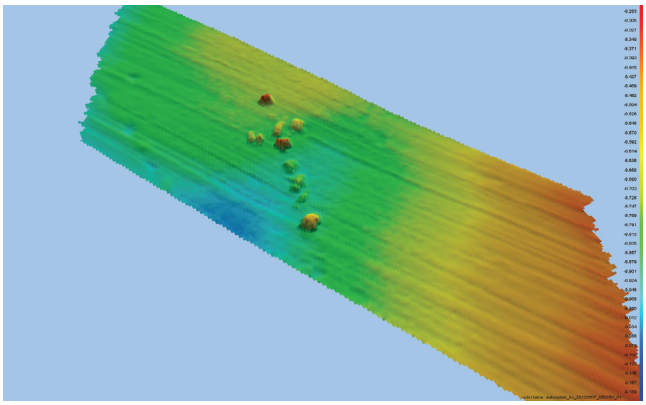


圖 4.21 入水 5 米多音束測深結果

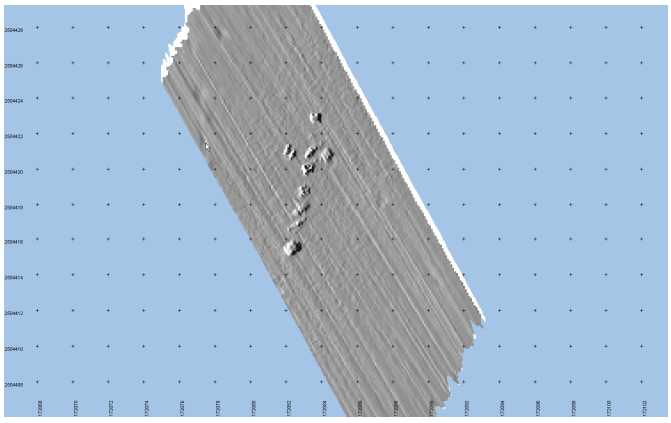


圖 4.22 入水 5 米 Snippet 影像

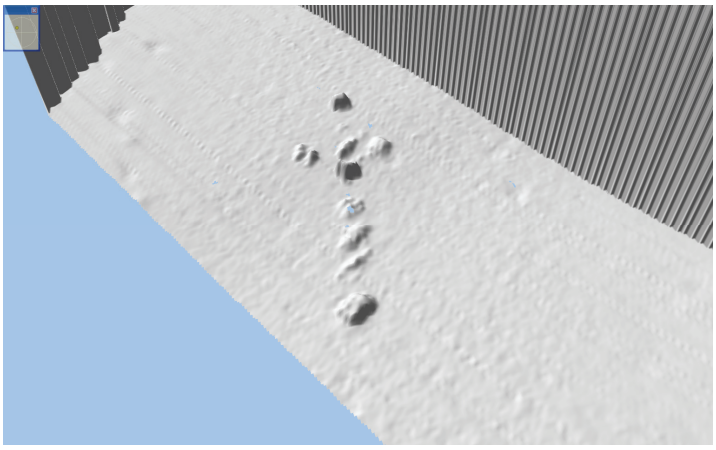


圖 4.23 入水 5 米多音束結合 Snippet 影像

4.3 多重解析度之影像融合

水下多音束系統之優點在於能得到高密度、高解析度的海床資料，而水面多音束系統則能提供較佳的定位系統，本實驗嘗試結合兩者之優點，把水面與水下載台之多音束測深資料做一融合。

融合的定義為把不同時間、不同傳感器系統和不同分辨率的眾多影像進行複合變換，生成新的影像的技術。圖 4.24 為水下載台與水面多音束系統所得之影像疊合，疊合後可明顯看出兩系統存在定位偏差，如何計算誤差之偏移量為本節之探討重點。

以下將針對平移修正、Yaw 角修正及影像扭曲等進行說明探討。

1.平移修正

選取圖中方型與圓型所標示的兩組輪胎，考慮到輪胎為圓形特徵物，因此先擷取輪胎之水深資料(x,y,z)，計算其測得之坐標 X 與坐標 Y 的分別平均值，將此值視為輪胎之中心點位，再依此方式算出兩系統坐標 X 軸與坐標 Y 軸的偏差量，所得為水下多音束系統應進行之平移結果如圖 4.25。

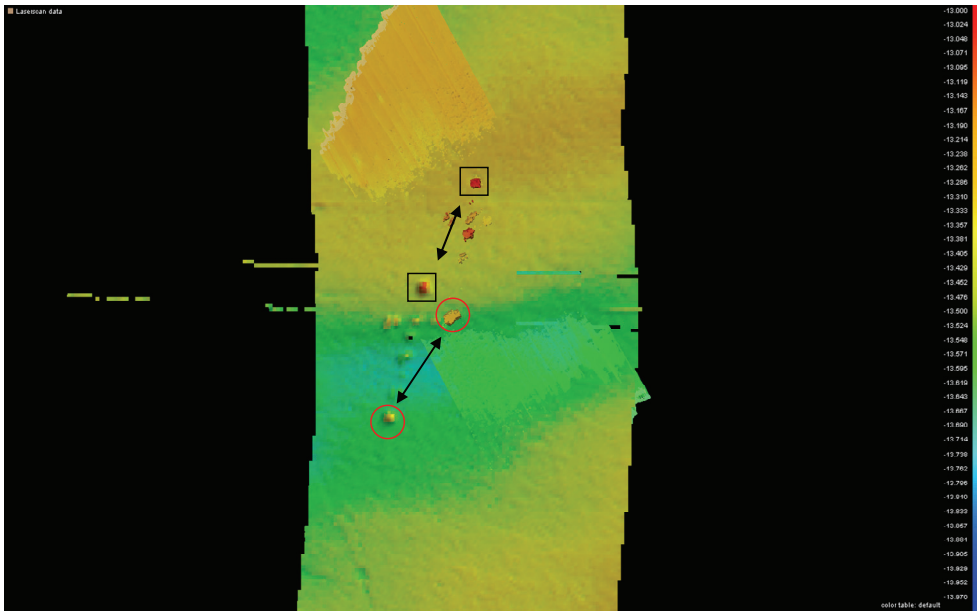


圖 4.24 多重解析度影像合併

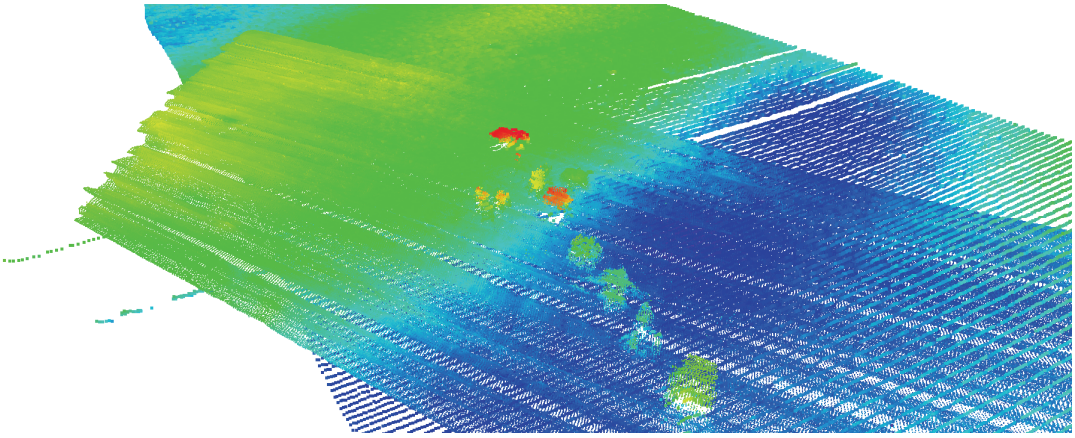


圖 4.25 多重解析度影像合併(經平移)

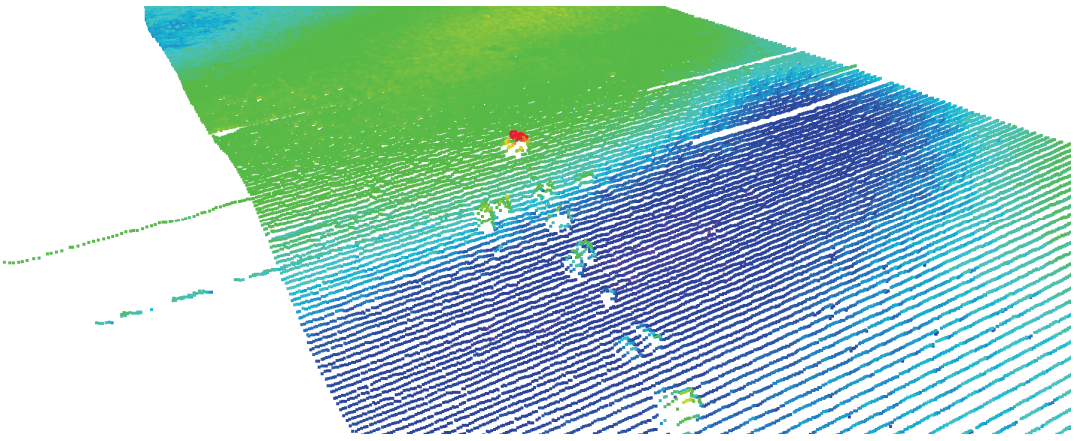


圖 4.26 水面多音束測量成果側視圖

圖 4.26 為水面多音束測量成果，比較圖 4.25 與 4.26 可看出經多

重解析度融合之測量成果，確實能增加特徵物的辨識度，然而在本次實驗當中，雖然增加了特徵物的資料密度，但是特徵物仍有扭曲的現象，探究其原因在於，本次實驗的特徵物之尺寸過小，且載台本身為無動力系統，在這兩個主要因素的限制。圖 4.27 為影像融合之俯視圖，由圖中可看出水下多音束測量成果經平移之後，與水面多音束測量成果在黑線框中的影像有重疊，但在南邊的輪胎卻出現偏移誤差，因此需要進行角度的旋轉修正，探究此誤差產生之原因在於水下載台的船隻姿態感應器與多音束音鼓的 Heading 並未一至，因此此修正亦可視為 Yaw 值的修正。

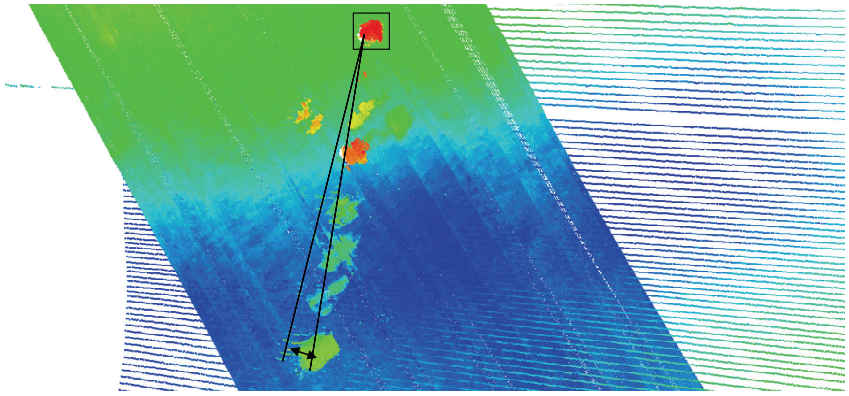


圖 4.27 多重解析度影像合併俯視圖(經平移)

2 旋轉角度修正

修正方式為選取直線上每個輪胎之中心作一迴歸線，計算兩系統所得之迴歸線夾角，即可視為水下多音束系統所需旋轉之角度。

將水下多音束資料經過 9.13 度的旋轉之後與水面多音束測深資料疊合如圖 4.28 所示，由圖中可看出輪胎影像已無位移現象呈現。

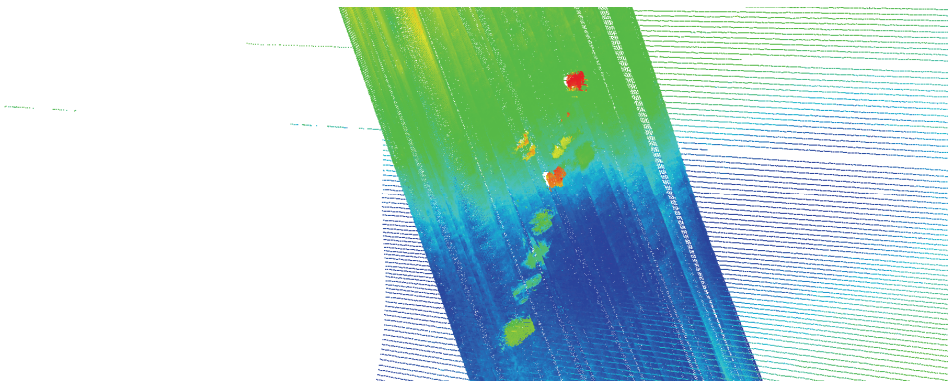


圖 4.28 多重解析度影像合併俯視圖(經平移、旋轉)

3 影像扭曲之探討

圖 4.29 為載台入水 10 米之多重解析度影像合併之成果俯視圖，已經過平移及旋轉修正，其旋轉角度代入入水五米所求得之修正角 9.13，並與水面多音束測深資料疊合。比較圖 4.28(入水 5 米)與圖 4.29(入水 10 米)可看出兩影像在垂直方向的解析度差異不明顯，但入水 5 米的資料在水平方向的影像呈現扭曲，相較之下，入水 10 米的輪胎影像辨識度已有提升。

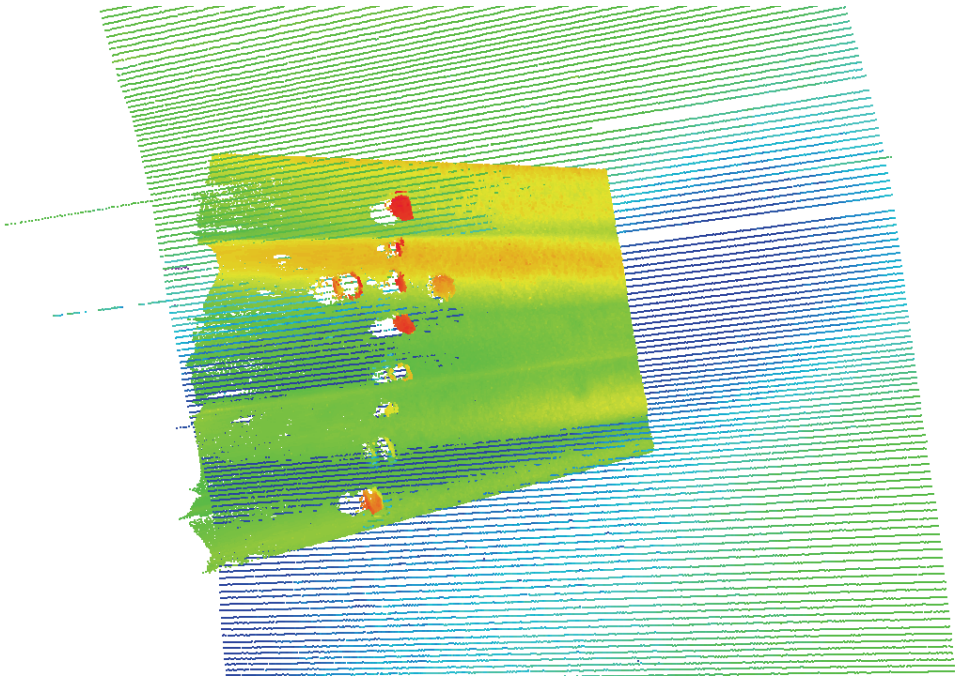


圖 4.29 入水 10 米多重解析度影像合併俯視圖(經平移、旋轉)

為探究圖形扭曲之原因，擷取出載台的速度資訊來做研究，只要速度大小改變、或方向改變均有加速度，接下來將針對載台的加速度做一比較。

圖 4.30 為載台入水 5 米的影像與工作船 GPS 之加速度比較圖，圖 4.31 為載台入水 10 米的影像與工作船 GPS 之加速度比較圖，圖中之斷面為加速度的變化量。由斷面圖可看出載台入水 5 米之加速度並不穩定，載台入水 10 米之加速度變化相對較小，在圖中黑圈部份的輪胎之成像較為清晰，所對應的加速度變化為黑色方框，其加速度趨近於 0，表示載台維持在一穩定的速度。歸納此數據顯示，由於本次實驗的特徵物之大小介於 50~60cm，若載台本身為無穩定之速

度，以目前水下定位之精度並不容易處理細小特徵物的影像。

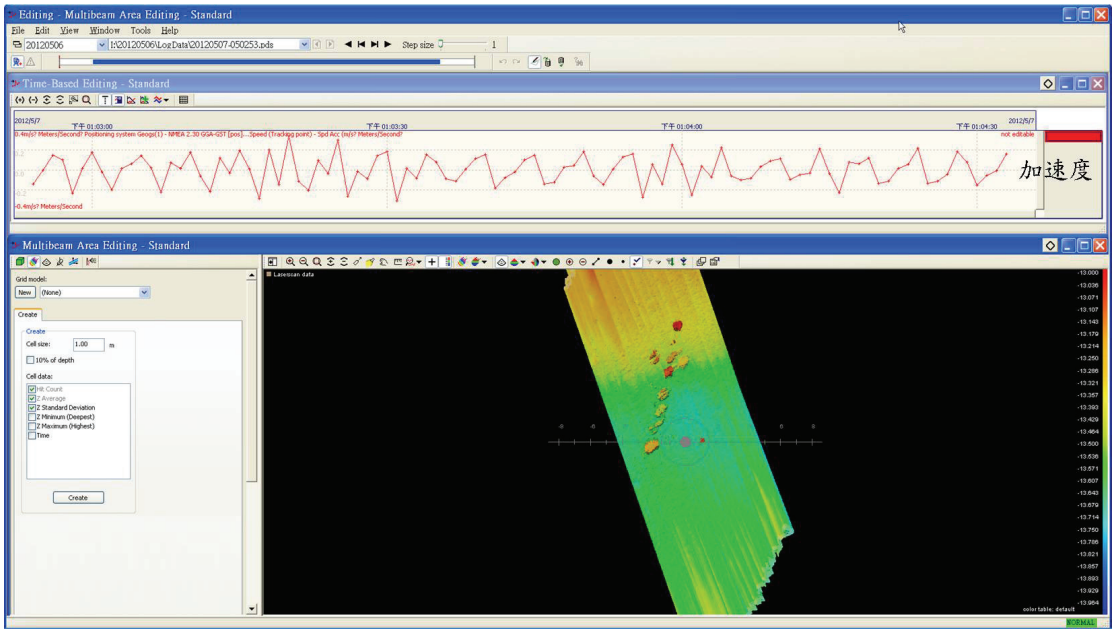


圖 4.30 載台入水 5 米之加速度變化圖

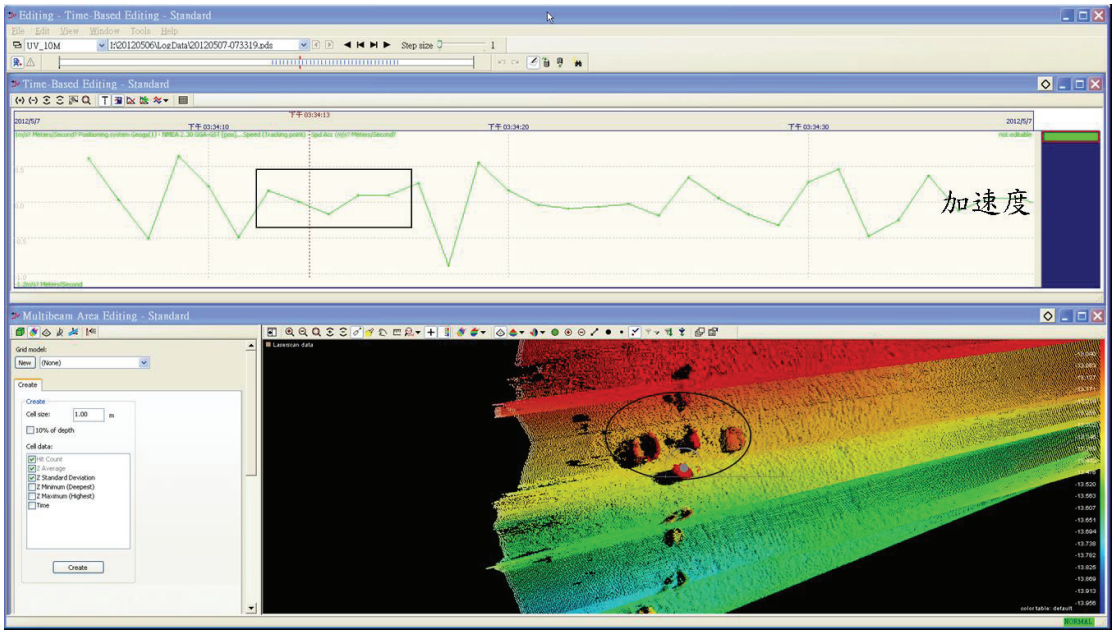
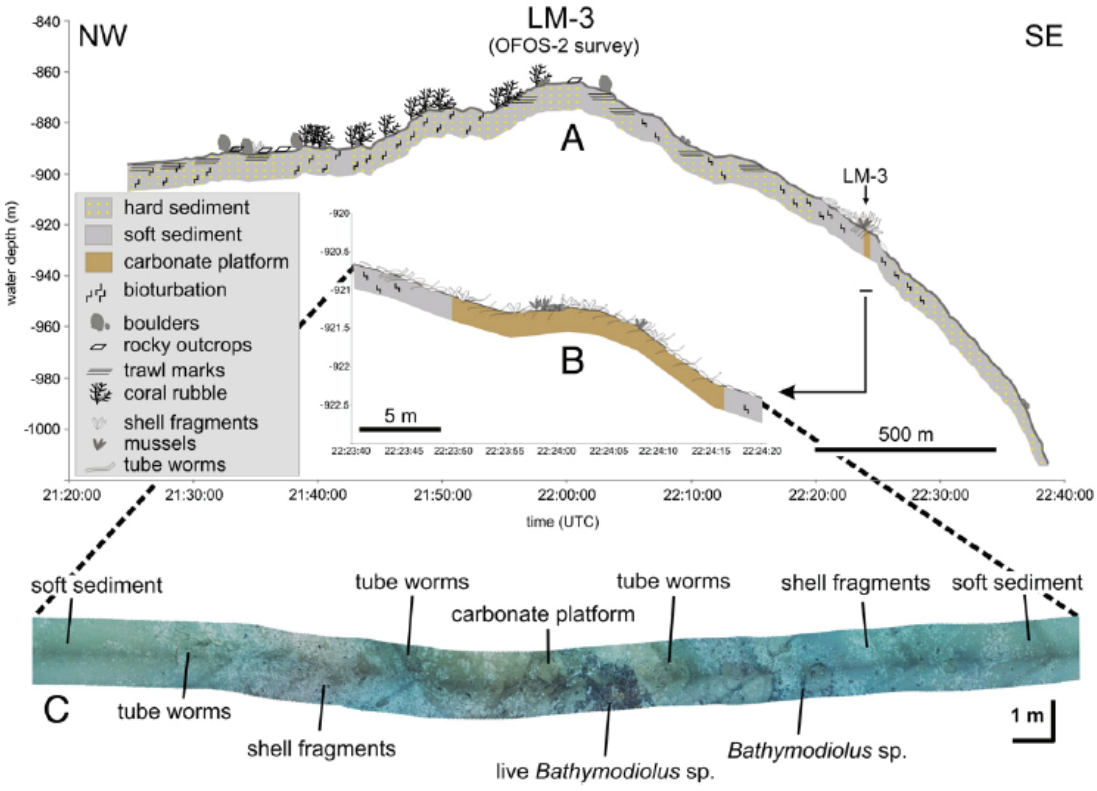


圖 4.31 多重解析度影像合併俯視圖(經平移、旋轉)

4.4 水下載具之多音束測深與側掃聲納資料之應用

水下載具(AUV、ROV)擁有作業時間長、活動範圍大等優點，可廣泛應用在海底地形地貌勘查、海洋資源調查、水文參數測量和生物考察等很多領域。

一般而言，水下載具多搭載水下攝影機或機械手臂進行採樣及攝影，近年來開始搭配多音束測深系統，廣泛應用在生物(魚類、珊瑚)棲地的探測(Orange et al,2002、Naudts et al,2010、Micallef et al,2011)。Masson et al(2011)將多音束測深系統與側掃聲納安裝於 ROV 來研究海床的沉積過程，其優點在於可結合即時的影像與側掃聲納的底質分類資訊，建立出完整棲地的背景資訊，如下圖 4.32 所示。

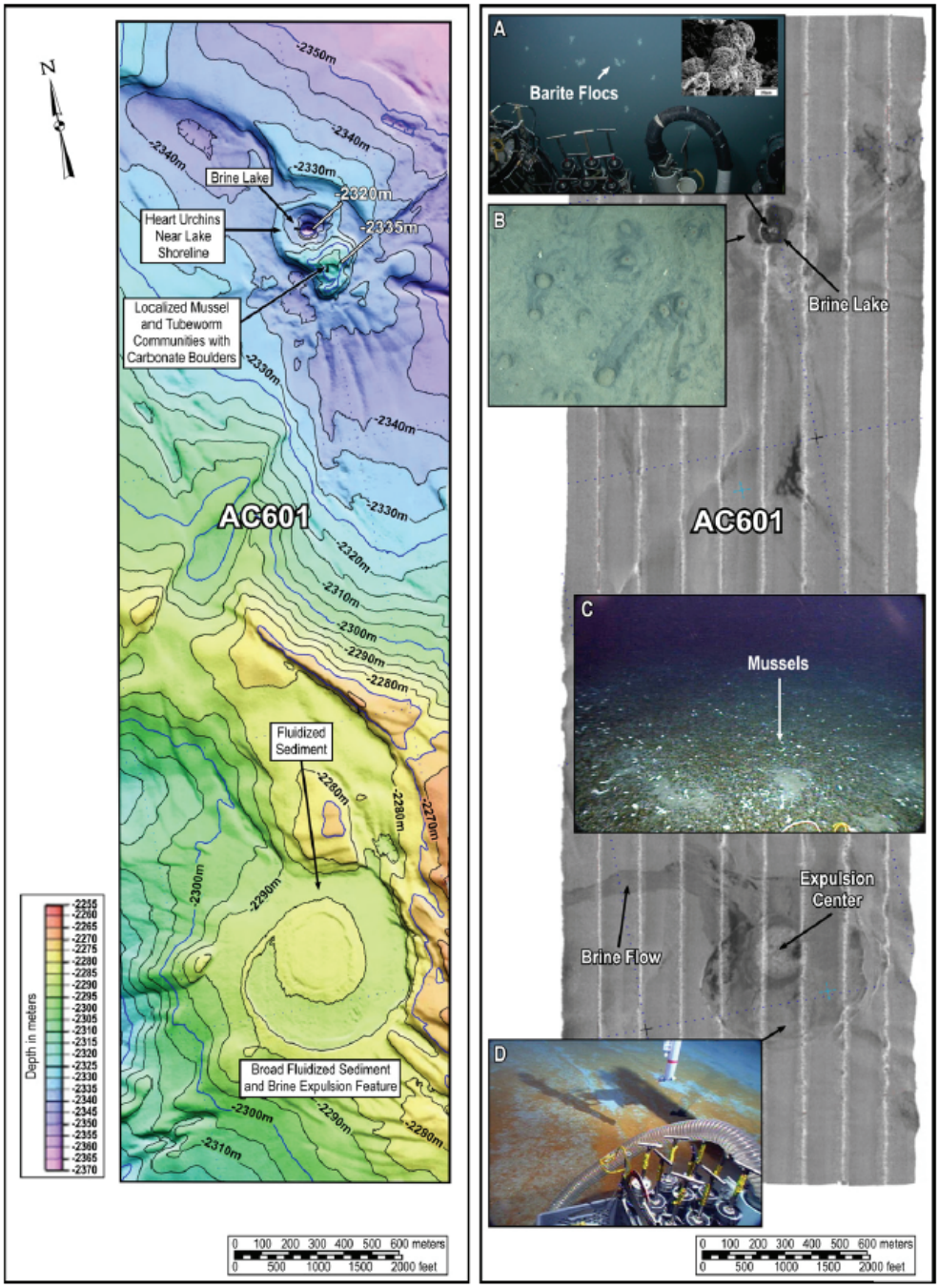


資料來源：Lieven Naudts (2010)。

圖 4.32　影像結合底質分類建立珊瑚棲地成果

此外，近年來海底能源(甲皖冰、石油) 的探勘也是海洋科學積極發展的一部份，在開採之前期作業，水下載具亦可扮演重要角色(李一平，2006、Shitashima et al,2008)，藉由多音束測深系統來描繪出地

形特徵，再搭配影像輔助，可提供施工區域的背景資料如圖 4.33 所示。



資料來源：Lieven Naudts (2010)。

圖 4.33 水下多音束資料之應用

Doble et al(2009)提到，在高緯度的河道或海面常會結冰，若用傳統多音束測量來測量會有困難，因此，水下載具在此情況下能克服結冰問題，發揮其優點。

然而，水下載具主要是用於水下攝影、拍照或是底質採樣，其所需定位精度之要求並不高，但若要進行多音束的測量作業，其定位精度最好能夠達到公寸或公分級之水準，以目前的水下定位技術而言，仍不易符合其定位精度需求，但若水下載具搭配多音束測深系統不僅能提供錄影、側掃聲納等影像及地形資料外，更能建立更全面完整的背景調查。

本研究案受限於搭配水下載台的因素，並無法以真正的水下載具搭配多音束測深系統進行實海域的測試，僅得以水下載台搭配多音束測深系統來執行實驗，因此也遭遇到一般水下載具不會面臨到的問題(載台本身受水面影響較不穩定)，然而，本實驗針對水下定位系統的探討、定位系統與多音束測深系統的整合，及水下多音束測深資料處理技術之改善等相關議題，皆可應用在相關之實驗當中。

第五章　結論與建議

近年來學界及產業界極積投入水下載具的設計與製作，並嘗試將多音束測深系統(multibeam echo sounding system)、側掃聲納(side scan sonar)及水下攝影系統整合在水下載具上，本計劃嘗試探討不同系統整合所帶來的問題。

本計劃在前兩年針對水下定位精度做探討，比較超短基線及長基線兩種系統，其精度介於 1m(長基線)~3.5m(超短基線)之間，定位間隔為 1.5 秒(超短基線)~3 秒(長基線) (詳見附錄四)，由於所採用之長基線水下定位系統需要一一對水下應答器詢答，以致需要收集水下定位系統之速度資訊，所以第三年是以長基線水下定位系統搭配 DVL 進行水下定位精度之探討，且第三年開始進行水下定位與水下多音束系統之整合，第四年則探討僅採用 DVL 進行水下之相對定位，並進一步將水下多音束與側掃深納影像結合，且探討多重解析度資料之融合。本研究的具體結論及建議如下：

5.1 結論與建議

1.若載台本身受海流影響造成劇烈之上下起伏，則可使用船隻姿態儀中的 Heave 修正來取代採樣頻率較低的深度計。

2.與水面多音束系統比較起來，水下載具之疊合修正因受限於水下定位的精度，到目前為止並沒有一套標準作業流程可供參考，故本研究以已知之平坦地形來進行 Roll 角修正，並用特徵物之已知特定點來進行 Yaw 角的修正，已可初步改善水下多音束系統測量平面位置之品質。

3.在等速的運動情形之下，DVL 定位搭配水下多音束測深系統，可有效增加水下特徵物的辨識度。

4.側掃深納與多音束測深資訊之整合將是水下載具未來可能的研究方向，其優點在於可提供海床之地形數值與底質分類之訊息，本實

驗已完成兩系統資料之結合，若能搭配海床之砂樣分析，則可進一步完成底質分類，使海床資訊更為完整。

5.DVL 的參考座標軸與姿態感測器參考座標軸之間存在一角度偏差量，經 DVL 對準偏差校正之後可大幅提升定位估算。

6.本實驗受限於無動力載台，帶來了許多實作與資料處理的困擾，若能將本系統應用在 ROV 或 AUV 上將可帶來更多實質上的應用。

7.水下多音束系統能提供三維的地理資訊背景，若能搭配照相機進行海床影像之擷取，對於建構海床特徵物或是建立生物棲地，會有更大的幫助。

5.2 成果效益及後續應用

本研究的成果效益以及後續應用包含有：

1. 水下自動化載具進行多音束測深，可以提供國內各港務局、海巡署與漁業署等應用，提升運輸安全、效率與效益。
2. 本研究可以加速國內多音束測深相關技術與國際接軌。
3. 本研究未來可以提供水下多音束測深的作業模式及規範。

參考文獻

1.Aaron Micallef, Timothy P. LeBas, Veerle A.I. Huvenne, Philippe Blondel, Veit Huhnerbach And Alan Deidun , 2012, A multi-method approach for benthic habitat mapping of shallow coastal areas with high-resolution multibeam data. Continental Shelf Research, No. 39–40 P.14–26.

2.Canadian Hydorgraphic Services, Aug 1998, Standards for Hydrographic Surveys.

3.Canadian Hydorgraphic Services, Feb 2003, Minimum Standards for Hydrographic Surveys.

4.Daniel L. Orange, Janet Yun, Norman Maher, James Barry And Gary Greene, 2002, Tracking California seafloor seeps with bathymetry, backscatter and ROVs. Continental Shelf Research, No.22, P.2273–2290.

5.D.G. Masson, V.A.I. Huvenne, H.C. deStigter, R.G. Arzola And T.P. LeBas, 2011, Sedimentary processes in the middle Nazare Canyon. Deep-Sea Research II, No.58, P.2369–2387.

6.Federal Geographic Data Committee, June 1998, Content Standards for Digital Geospatial Metadata.

7.Federal Geographic Data Committee, June 2001, Shoreline Metadata Profile of the Content Standards for Digital Geospatial Metadata.

8.H.H. Roberts, W.Shedd And J.HuntJr., 2010, Dive site geology: DSV ALVIN (2006) and ROV JASON II (2007) dives to the middle-lower continental slope, northern Gulf of Mexico. Deep-Sea Research II, No.57, P.1837–1858.

9.International Hydrographic Organization, 1982, A Manual on Technical Aspects of the United Nations Convention on the Law of the Sea.

10.International Hydrographic Organization, Nov 2001, IHO Transfer

Standard for Digital Hydrographic Data, 3.1th Edition, Special Publication No. 57.

11.International Hydrographic Organization, February 2008, IHO Standards for Hydrographic Surveys, 5th Edition, Special Publication No. 44.

12.James C. Kinsey and Louis L. Whitcomb, 2002, Towards In-Situ Calibration of Gyro and Doppler Navigation Sensors for Precision Underwater Vehicle Navigation, IEEE International Conference On Robotics And Automation

13.James C. Kinsey and Louis L. Whitcomb, 2003, Preliminary Field Experience with the DVLNAV Integrated Navigation System for Oceanographic Submersibles , Preprint submitted to Elsevier Science.

14.Kiminori Shitashima, Yoshiaki Maed, Yuichi Koike And Takashi Ohsumi, 2008, Natural analogue of the rise and dissolution of liquid CO2 in the ocean. I n t e rna t i o n a l journa l of greenhouse gas control 2, P.95–104.

15.Land Information New Zealand, Aug 1999, Provisional Swath Sonar Survey Specifications.

16.Lockhart, Doug, Edward Saade and Jerry Wilson, New Developments in Multi-beam Backscatter Data Collection and Processing, Fugro Pelagos,Inc.,http://www.fugro-pelagos.com/papers/newdevinmulitbeam backscatter/TGPI_Backscatter.htm

17.Louis L. Whitcomb, Dana R. Yoerger, and Hanumant Singh , 1999, Combined Doppler/LBL Based Navigation of Underwater Vehicles, 11th International Symposium on Unmanned Untethered Submersible Technology.

18.Martin Jonathan Doble, Alexander L. Forrest, Peter Wadhams And Bernard E. Laval, 2009, Through-ice AUV deployment: Operational and technical experience from two seasons of Arctic fieldwork. Cold Regions Science and Technology, No.56, P. 90 – 97.

19.National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), 1997,

Nautical Chart User's Manual.

20.National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), Jun 2000, NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.

21.National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), April 2007, NOS Hydrographic Surveys Specifications and Deliverables.

22.National Oceanic & Atmospheric Administration (NOAA), March 2007, Field Procedures Manual.

23.T. P. LE BAS and D. C. MASON, 1996, Automatic Registration of TOBI Side-Scan Sonar and Multi-Beam Bathymetry Images for Improved Data Fusion, Marine Geophysical Researches.

24.U.S. Army Corps of Engineers, Mar 1983, Dredging and Dredged Material Disposal.

25.U.S. Army Corps of Engineers, Sept 1987, Confined Disposal of Dredged Material.

26.U.S. Army Corps of Engineers, Aug 1996, Engineering and Design Policies, Guidance, and Requirements for Geospatial Data and Systems.

27.U.S. Army Corps of Engineers, Nov 1996, Navigation and Dredging Operations and Maintenance Guidance and Procedures.

28.U.S. Army Corps of Engineers, Jul 1998, Engineering and Design Geospatial Data and Systems.

29.U.S. Army Corps of Engineers, Jan 2002, Engineering and Design Hydrographic Surveying.

30.日本海上保安廳，2002，日本水路測量各等級測量規則。

31.公共工程委員會，2000，港灣工程施工綱要規範。

32.內政部，2003，領海及鄰接區海域基本圖測量規範(草案)。

33.行政院國家科學委員會，2010，融合多音束測深儀影像及拖式側掃聲納影像之研究報告。

34.交通部運研所，2003，港灣水域水深測量(草案)。

35.交通部運研所，2005，淺水域多音束量測水深技術研究(1/4)。

36.交通部運研所，2006，淺水域多音束量測水深技術研究(2/4)。

37.交通部運研所，2007，淺水域多音束量測水深技術研究(3/4)。

38.交通部運研所，2007，淺水域多音束量測水深技術研究(4/4)。

39.陳威呈，2010，水下技術於水下考古之應用-以澎湖水下文化遺址搜尋為例。國立中山大學海下科技暨應用海洋物理研究所，碩士論文。

40.薛憲文，1997，應用測量學講義。

41.李一平，燕奎臣，2006，自製水下機器人在深海採礦系統湖試中的應用，海洋工程期刊。

附錄一 期中報告審查意見處理表

計畫名稱：MOTC-IOT-101-H2DB006c

水下自動化載具進行多音束測深之研究(4/4)

執行單位：國立中山大學

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
黃明志教授： 1. 姿態感測器量測艏向、縱搖、橫搖等來進行水下載台定位與前言敘述多音速測深系統之橫搖、縱移、起伏、平擺等不一致。附圖品質可再加予改善。	1. 感謝委員指正，將於期末報告再加強。	符合規範要求。
2. 多音束測深與側掃聲納多重解析度資料常未進行，但表 3.2 現場實驗實際進度 100%是否矛盾。	2. 由於側掃聲納的現場實驗已於 5 月 6 日完成，但由於資料在期中報告之前尚未處理完成，因此並未在報告中寫入相關文字，感謝委員提醒，未來會注意相關之措辭。	已依照委員意見辦理。
3. 公式(b)重覆以往報告印刷錯誤。	3. 感謝委員指正，相關公式以在期末報告中拿除。	
4. 表 2.1 標題多音束測深系統儀器規格表是否更改較符合其內容，此外應提供側掃聲納規格。	4. 感謝委員提醒，由於本次實驗所使用之側掃聲納系統為 Reson7125 之 Snippet 影像，其解析度與多音束系統相同。	
5. 實驗規劃中請提供實際照片(圖 4.1、圖 4.2)載台固定於工作船旁邊之實際照片亦應提供。	5. 感謝委員提醒，補充載台固定照片於期末報告之圖 4.2。	
6. 實驗結果與討論一章中內	6. 感謝委員意見，於期末報	

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
文無圖 5.6、5.7、5.8…等敘述，此外編圖錯誤(5.2 圖 5.6 為 5.5)，5.3.2 節水深應為入水深。	告修訂。	
7. 5.4 節「側掃聲納與多音束測量」結合一節內文與標題不符。	7. 已於期末報告中修正章節之編排。	
8. 附錄應標示初始位置。	8. 感謝指正。	
方志中教授： 1. P2-9 DVL 無法即時輸出定位資料為何?	1. DVL 在此次實驗中只負責及時輸出速度資訊,再經由後處理運算而得定位資訊,此次實驗架構無法及時運算出定位資訊。	符合規範要求。
2. GPS 與DVL 之差異是否已進行座標原點較正?(圖 5.2)	2. GPS 與 DVL 已進行原點校正,DVL 的漂流原點是利用已知的 GPS 天線的位置,經過 GPS 天線與 DVL 在實驗船上的相對位置推算而得。	
3. DVL 與 OCTANS 之加速度計是否可互相 check 軌跡資料(圖 5.2)	3. 可以,但 OCTANS 本身與姿態感測器之間也是有對準偏差角度的問題,所以就算使用 OCTANS 所運算出來的定位軌跡,也不一定是精確的。	
4. 圖 5.2 是否可增加軌跡之時間歷程圖?	4. 圖之座標軸為經緯度，其時間序列為由左至右遞增。	已依照委員意見辦理。
5. Pitch：縱搖，請修正。	5. 感謝指正。	
張金機委員: 1. 水下載台定位雖增加浮標，但其移動軌跡仍受工作船限制，定位誤差將落	1.確實，在本次實驗中，載台確實會受到工作船之影響。	符合規範要求。

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
在一定範圍。 2. 實驗輪胎佈放完成後，建議增加水下拍照及測繪，以了解佈放後輪胎是否傾斜、埋入，表 5.1 比較才有意義。 3. P5-6 後可能因報告圖文建議再作正。。 4. 水下載台速度 transverse 及 normal 均在一定範圍漂動，但 longitudinel 速度由正轉負為何?	2.在輪胎佈放完之後，請潛水人員進行水下攝影，當中，在編號 2 之輪胎，有浮起之現象，以附註在期末報告 4.5。 3. 感謝委員指正。 4. 於期末報告修正。	已依照委員意見辦理。
蔡進發 組長： 1. 船舶運動名詞改成動名詞如 Roll->Rolling、pitch->pitchig(縱搖)。 2. DVL 校整結果應有明確的數值表示。 3. 應以高速來校正 DVL 的精確度。 4. 圖 5.14 水層聲速顯示的尺度應改成可適度看出聲速的差化值。	1. 船舶運動的名詞解釋在不同領域有些微的變化，依據海測之相關文獻，還是以名詞使用者居多，且參考國家教育院之名詞解釋，也有使用 Roll 或 Pitch，故維持原本之用法，請委員見諒。 2. 於期末報告中修正。 3. 受限於非動力之載台，故無法進行高速校正。 4. 感謝委員指正，此圖於期末報告中已被刪除。	符合規範要求。 已依照委員意見辦理。
何良勝科長： 1. 報告排編方式、章節名稱與部份內容於期末報告時建議適當修正。 2. 於期末報告中增列前三年研究成果說明。	1. 感謝委員指正，遵照辦理 2. 遵照辦理。	已依照委員意見辦理。

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
3. 補充說明相關試驗成果和實際應用的可能誤差性及差異性。	3. 感謝委員提醒，將於期末報告中探討其差異性。	已依照委員意見辦理。
林柏青研究員: 1. 海中進行實驗測點位置的水深變化與岸邊潮位變化如兩者距離太遠，實際上會有時間差出現，因此以岸邊架設潮位計來作測點之水位修正可能造成錯誤，何況現場還有水面波浪運動，水位計或測深儀校正還是應該在實驗室或靜穩水域內以量尺施行比較好。	1. 高雄的潮差約一米，本實驗的實驗場為西子灣外海，離岸約2公里，基本上使用高雄港之潮位資料是可行的。若有相關合適的場合，在平穩的水域中進行儀器之校正確實是可以達到較好的效果。	符合規範要求。
2. 只要是浮體都會受海面波動及水流的影響，不管是船隻吊放或懸掛在水面浮體下。本系統若要達到實用分段尚必須克服海面較大波浪或流強時的考驗，此時載體平衡、定位及姿態的準確校正都會增加困難度，所以實際應用時應說明其適用範圍。另外，在海上實際作業時，普遍在在的斜溫層或河口海域的密度層對於音速及音波折射角度的影響也必須隨時作適時修正。	2. 本實驗受限於載台的因素，只能模擬水下載具之運動情形，因此，本實驗最大之目的在於提供相關整合之經驗，在未來的實際的自動化載具的應用。 本實驗皆有施放聲速剖面儀進行修正。	符合規範要求。

附錄二 期末報告審查意見處理表

計畫名稱：MOTC-IOT-100-H2DB006c

水下自動化載具進行多音束測深之研究(4/4)

執行單位：國立中山大學

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
黃明志教授：		
1. 限於無配合執行之水下自動化載具，本計畫建置之無動力載台延生實作與資料處理困擾。惟四年研究期間，針對超短基線、長基線、DVL 三種方式之水下定位進行精度探討；亦針對水下定位與水下多音束系統整合，水下多音束與側掃聲納整合進行研究，有助於後續水下自動化載具搭載多音束系統之實作。	1. 感謝委員肯定。	符合規範要求。
2. 本報告附錄五檢附第一年度、第二年度、第三年度期末審查意見及第三年度、第四年度期中審查意見，為求完整及一致性，是否也檢附第一年度及第二年度的期中審查意見。	2. 感謝委員意見，將補充於定稿的附錄 5。	已依照委員意見辦理。
3. 更新率 30Hz，50Hz，每秒三筆(3Hz)請統一。	3. 感謝委員指正，更新於定稿 P4-7。	已依照委員意見辦理。
4. 錯別字請更正，如側掃深(聲)納等。	4. 感謝委員指正，修正於定稿 P4-22、P4-24。	
5. 本報告中 4.3 多重解析度	5. 水下載台受限於定位精	已依照委員意見辦

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
之影像融合需利用事先佈置之特徵物進行平移與旋轉修正，應說明在真實海床之處理方式。	度不足，並無法有效的進行疊合修正，本實驗利用已知的特徵物來進行姿態感測器與音鼓的相位角偏差修正，初步達到修正的效果，若應用到真實海床，仍建議佈放已知之特徵物，便於進行相關的參數修正。	理。
方志中教授： 1. 請補充各年度之計畫績效指標並討論。 2. 各年度成果(附錄四)中，各成果與總計畫之關連性應列表或繪圖表示。 3. 載台及系統之應用範圍(天候、水深)應明列。 4. 應探討以本系統是否可實際應用於 ROV &AUV(38kg 重，表 2.2)。	1. 於定稿本中增列於附錄七。 2. 已增加說明於附錄四 3. 以本實驗之設備而言，載台應用受限於天候與纜線長度(10 米)，然而，若是實際之 ROV&AUV 則與本身之動力有關(抗流)，氣候較無受限，水深的部份則與儀器本身之規格有關。 4. 以本單位之系統並不適用於 ROV&AUV 上，因為多音束測深之處理器無法置入水中，然而，本實驗之目的在於提供水下定位與多音束測深系統之整合經驗，若搭配為水下載台設計之多音束系統，此整合經驗是可行的。	已依照委員意見辦理。 符合規範要求。 符合規範要求。
張金機委員:		

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
1. 載台穩定度 heave，Rolling，pitching，Yaw 等需任由姿態儀修正，載台形狀影響穩定度，建議未來能加強載台形狀與穩定度分析，例如錐形浮筒是否比長形穩定。	1. 感謝委員意見。	符合規範要求。
2. 工作船、浮體、載台均為近似自由體，無法按規劃測線完成測深工作，且在載台漂離測區較遠時，需利用工作船拉回。建議未來能利用水面浮體為控制系統，再懸吊圖錐形(或其他較佳形狀)。	2. 感謝委員意見。	符合規範要求。
3. 部份圖座標不清楚，缺單位。第四章 p4-6 後影像圖、圖標、說明均不清楚應加強。	3. 於期末報告修正圖 4-7~10、4-30~31。	已依照委員意見辦理。
蔡進發 組長： 1. 本研究中船隻與載台為獨立漂浮單位，但在研究中用船隻的運動感測器來修正載台的姿勢修正，在實務上可能產生影像處理的結果。	1. 本研究中，運動感測器是安裝於載台上，以目前的研究顯示影像之扭曲是因為載台非等速度運動所造成。	符合規範要求。
2. 本研究使用水下無動力載台搭載多音束儀器欲改進水面多音束量測的解析度，與當初規劃使用自主式水下載具(可抗流、可定位)因此花很多時間在解	2. 與本計劃搭配之水下載台研發，在計畫第二年結束後便終止，以至於後續之實驗遭遇許多預期以外的困難，但最終仍嘗試提供一套系統整合之流	符合規範要求。

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
決載台運動所造成的各項誤差，致使研究成果與預期有差距。	程供後續之參考。	
何良勝科長： 1. 報告格式，請依本所規定辦理。 2. 請補充增列前三年之研究成果彙整。 3. 請適度修正摘要內容。 4. 報告內之單位宜統一，例如”m”、”公尺”等。	 1. 遵照辦理。 2. 詳見附錄五。 3. 於定稿修正摘要部份。 4. 遵照辦理。	已依照委員意見辦理。
林柏青研究員: 1. 本研究具實用價值，成果豐碩。 2. 希望委託單位能繼續推動，將之具體實用化。	 1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。	符合規範要求

附錄三　期中簡報資料

交通部運輸研究所

以水下自動化載具進行多音束測深之研究（4/4）

期中簡報

計畫主持人暨簡報者：薛憲文副教授
協同主持人：陳陽益教授、李忠潘教授、
王兆璋教授、陳信宏副教授

國立中山大學
中華民國101年7月11日

1

簡報內容

一、前言

二、研究內容及工作項目

三、實驗規劃

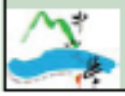
四、實驗結果與討論

五、期中結論及未來工作

2

一、前言(1)

- 本計畫最初之設想是將多音束測量系統安裝於水下自動化載具(如:AUV、ROV)，但由於自動化載具因故無法採用，本團隊另行建置一無動力之載台，載台藉由海流帶動前進，以此方式模擬自動化載具之運動情形。



3

一、前言(2)

- 本案為四年計畫之第四年，由第一年的研究結果顯示，使用超短基線定位系統與水下載具來輔助多音束測深作業，只要定位感測器與姿態感測器之間的對準偏差可以精確校正，便可提升水下目標物的定位精度。

- 第二年計畫探討長基線之定位精度，而第三年度計畫則整合長基線與都卜勒流速計進行水下載台定位之計算，其水下定位之誤差可控制在3公尺左右。

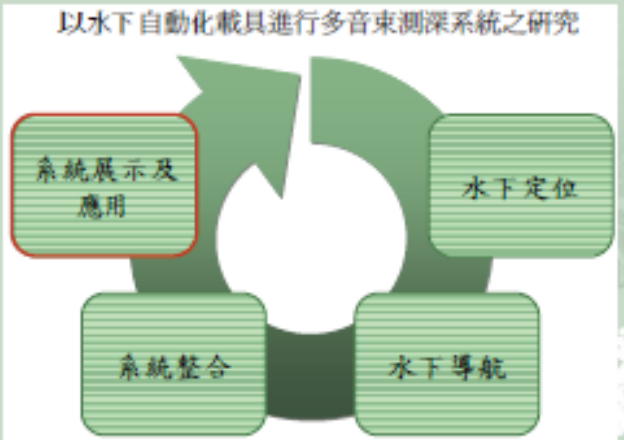
4

一、前言(3)

- 然而長基線定位系統需佈放多支水下應答器並進行定位校正，往往耗費大量作業時間成本。此外，以水面船為載具的測深作業著重於絕對定位精度，而水下載台的測深作業則著重於相對定位精度。
- 本年度計畫將以DVL進行水下載台之定位，提供水下載台可靠之相對定位精度。

二、研究內容及工作項目(1)

四年工作計畫流程圖



二、研究內容及工作項目(2)

四年工作計畫內容

第一年	進行多音束探討超短基線之水下定位系統的精度，探討多音束測深系統測量水下載具三維坐標之精度，開發水下定位系統介面之研究。
第二年	以提升水面及水下精度為主軸，探討長基線系統之水下定位精度技術及衛星即時動態定位(RTK)與後期處理(Post-Processing)模式應用在多音束測深系統之精度，另外配合長基線水下定位系統開發導航介面。
第三年	以多音束測深資料之整合技術之研發為主軸，探討水下多音束測深系統各感測器資料之同步收集、水下多音束測深之資料處理技術，及船隻與水下載具之多音束測深的多重解析度資料之整合技術之研發。
第四年	在局部範圍測量時，利用DVL進行水下載台之定位，以多重解析度資料2D及3D之展示技術之研發為主軸，探討多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究，及船隻與水下載具之多音束測深成果整合的應用。

二、研究內容及工作項目(3)

本年度工作項目

A

在局部範圍測量時，進行都卜勒流速計為基礎（DVL based）之水下載台定位估算技術開發。

B

多重解析度資料2D及3D之展示技術之研發。

C

多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究。

D

船隻與水下載具之多音束測深成果與側掃聲納資料之應用。

8

三、實驗規劃(1)

實驗設計

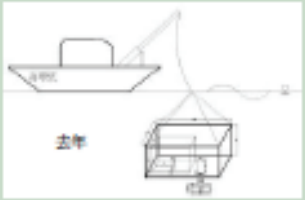
- 本次實驗之目的有四：
- （一）使載台維持獨立系統，避免船隻本身之運動情形影響到載台之平衡。
- （二）DVL定位精度之探討。
- （三）增加載台不同的入水深度，比較其解析度。
- （四）接收Snippet資料。

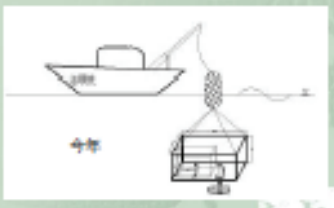
9

三、實驗規劃(2)

實驗設計-載台佈放

- 參考審查委員去年之意見，本年度以浮體直接承載載台之重量，將兩套整合系統安裝於載台上，載台的上方懸掛著一浮體，用四條纜繩與載台連結，載台浮力由此浮體提供。



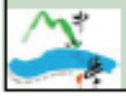


10

三、實驗規劃(3)

實驗設計-DVL定位精度探討

- 本年度僅利用DVL做定位，DVL在小範圍的測量精確度是可信賴的，但仍需要深入探討DVL的精度之極限為何? 故在本次現場實驗中，將載台固定在工作船旁邊，就工作船GPS實測軌跡與載台DVL推算之軌跡做一比較，藉以探討DVL定位精度之經驗值。



三、實驗規劃(4)

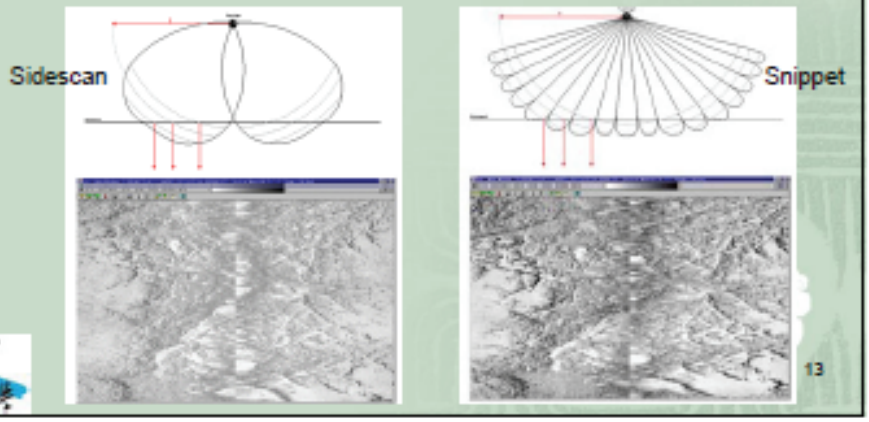
實驗設計-載台不同入水深之探討

- 載台入水深度會影響多音束測量解析度與測帶寬度，以Reson 7125系統而言，側掃範圍最大可達到165度，音束最大可達512束，在今年實驗中是將載台施放約至1/3及2/3水深，試就不同之入水深度，探討其解析度。

三、實驗規劃(5)

實驗設計-Snippet

- 多音束測量成果與側掃聲納之影像結合也是本研究的課題之一，今年度之實驗增加了Snippet資料之接收，其原理與側掃聲納類似，但相位解析度較側掃聲納為佳。

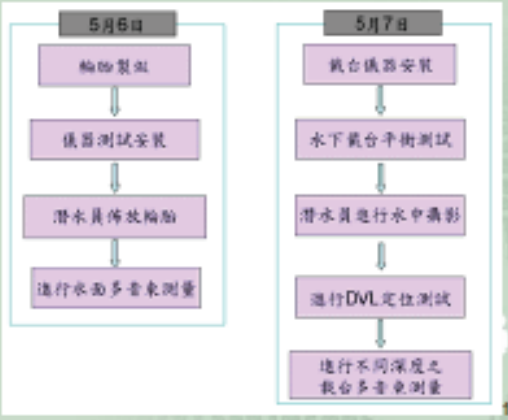


13

三、實驗規劃(6)

實驗流程

- 本年度現場實驗於5月6-7日完成，本次實驗流程如下圖，與去年相比較，少了水下應答器的佈放與定位，增加了DVL定位測試。



14

三、實驗規劃(7)

實驗特徵物

- 本年度實驗之水下特徵物仍以輪胎為主，但在輪胎的排列上增加了一些改變。
- (一)本年度載台設定最接近海床之入水深約10米左右，即離海床高度3至4米，測帶寬度約10至14公尺，為增加測帶所涵蓋之輪胎測得的數量，除了增加輪胎的個數外，並將輪胎的置放間距由1公尺改為50公分。
- (二)為增加測量的面積，將部份輪胎中空的部份用木板釘起來，並以實心與空心輪胎間隔排列。
- (三)為增加垂直方向的多樣性，輪胎的堆疊也增加了1至3顆的組合方式，另外也嘗試將腳踏車胎放入其中。

15

三、實驗規劃(8)

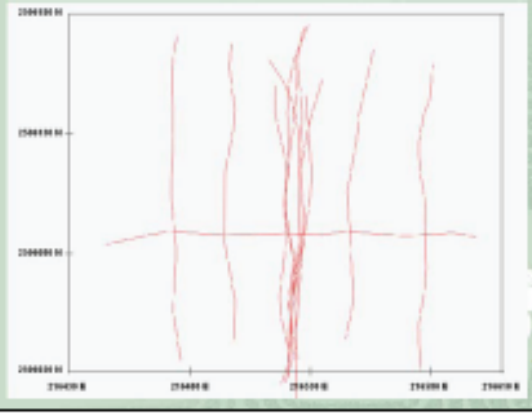
現場照片

16

四、實驗結果與討論(1)

水面多音束航跡圖

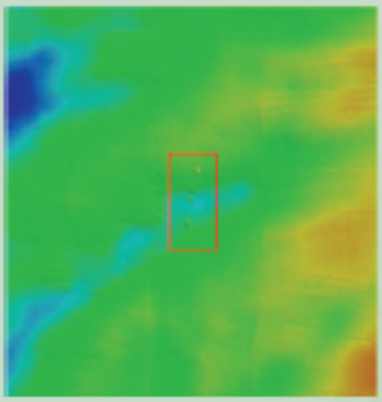
- 本年度整合多音束測深及以DVL為主之水下定位系統，選擇高雄西子灣外海水深約13米為實驗區域，各儀器資料之整合以時間為基準，在實驗過程皆用1PPS作為時間校正的工具。

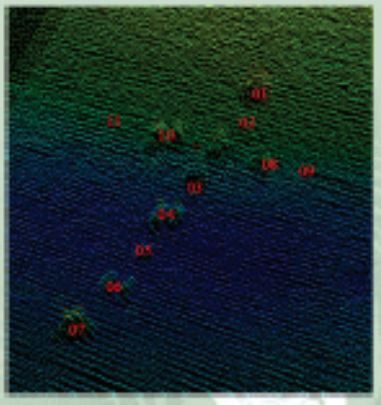


17

四、實驗結果與討論(2)

水面多音束成果





18

- 水面多音束測量尺寸與實際尺寸比較表

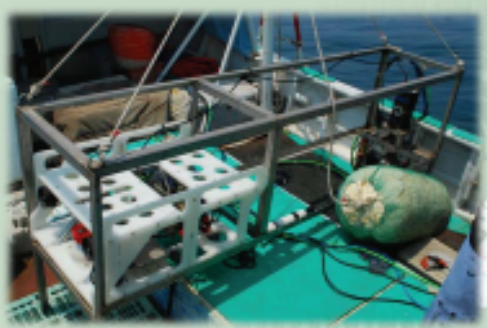
編號	輪胎照片	實際外徑(cm)	實際高度(cm)	水面多音束外徑(cm)	水面多音束高度(cm)	dr	dr/r	dh	dh/h
01		55	36	58	33	3	0.05	-3	-0.08
02		40	11	無法辨識	無法辨識				
03		56	48	61	46	5	0.09	-2	-0.04
04		54	33	55	31	1	0.02	-2	-0.06
05		40	19	36	16	-4	-0.1	-3	-0.16
06		56	16	59	18	3	0.05	2	0.01
07		63	36	67	34	4	0.06	-2	-0.06
08		63	36	62	29	-1	-0.02	-7	-0.19
09		60	5	無法辨識	無法辨識				
10		56	16	54	9	-2	-0.04	-7	-0.44
11		60	5	無法辨識	無法辨識				

19

四、實驗結果與討論(3)

DVL定位資料分析

- 為了進行水下多音束測深儀之定位，本次實驗於水下載台上裝置DVL、深度計、運動感測器、以及聲速計等儀器，以取得水下載台之運動速度、深度、姿態（包括艏向、縱搖角、橫搖角）、以及水層聲速等資料。



水下載台

20

四、實驗結果與討論(4)

DVL定位資料分析

- 水下載台多音束測深儀進行海床地形量測時，本實驗將水下載台下放至預定深度，並懸掛於水面船隻舷邊，水面船則透過風與海流的作用於海床目標物上方漂流，並藉由GPS量測取得水面船漂流軌跡。

水下載台懸掛於舷邊

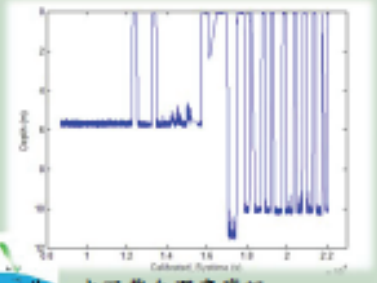
水下載台懸掛於舷邊並下放於海中

21

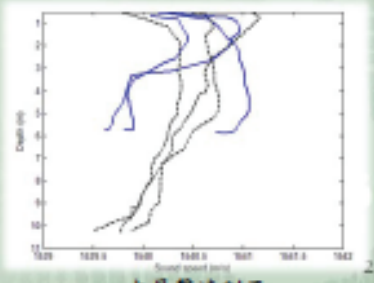
四、實驗結果與討論(5)

DVL定位資料分析

- 水下載台之入水深度時序如下圖左所示，本次實驗分別於水深6 m與10 m 進行多次水下載台多音束測深儀之海床地形量測。實驗中使用CTD logger量測水層聲速，水深6m與10m的水層聲速剖面如下圖右所示，其中實線代表水深6m的聲速，虛線代表水深10m的聲速。



水下載台深度資訊



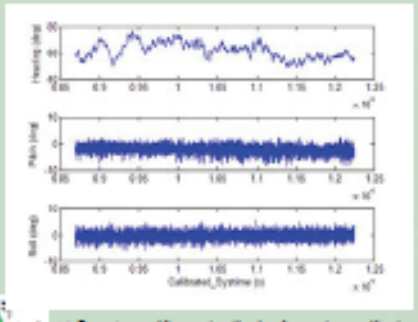
水層聲速剖面

22

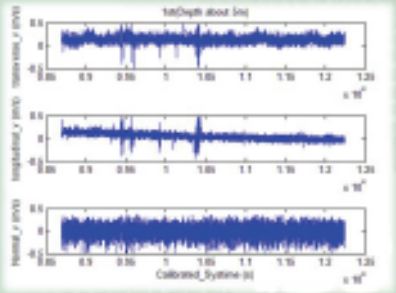
四、實驗結果與討論(6)

DVL定位資料分析

- 水下載台多音束測深儀進行海床地形量測時，分別取得水下載台的姿態與移動速度資料，以完成水下載台之水下定位。左圖為水深6m第一次漂流時的水下載台姿態資料，右圖為DVL所量測的水下載台速度資料。



於水深5m進行第一次漂流時之水下載台姿態

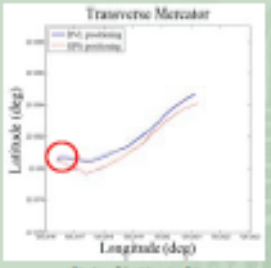


於水深5m進行第一次漂流時之DVL量測之水下載台速度

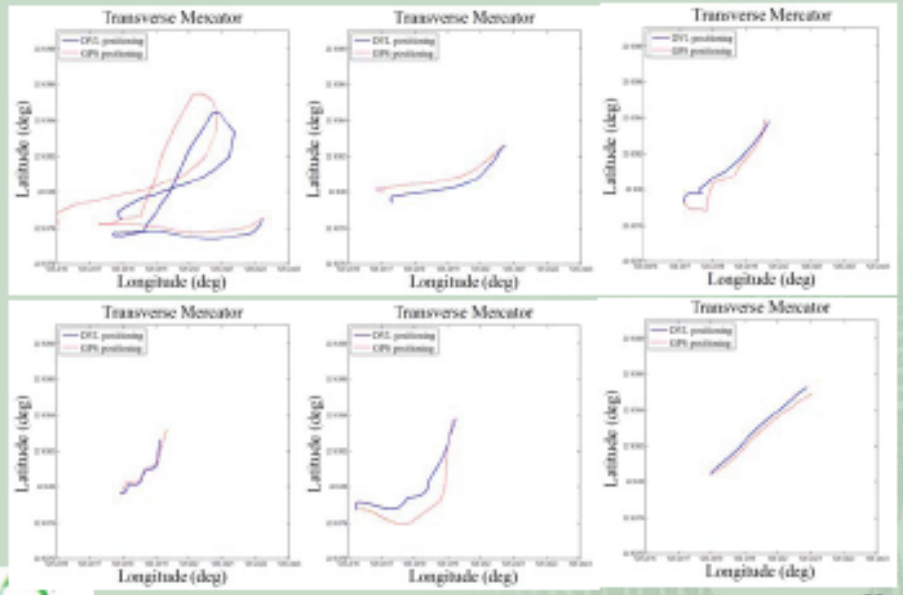
四、實驗結果與討論(7)

DVL定位資料分析

- DVL之定位乃是將量測的速度資料對時間積分，以估算水下載台所移動的位移，其位移軌跡趨勢應該近似於水面船的GPS位移軌跡。為了方便比對DVL定位軌跡與水面船GPS定位軌跡的趨勢，在此**假設每段漂流路徑的水面船GPS初始位置亦為DVL的初始位置**，下圖為水面船漂流的GPS軌跡與水下載台之DVL定位軌跡的比較。



定位軌跡比較



定位軌跡比較

25

四、實驗結果與討論(8)

DVL定位資料分析

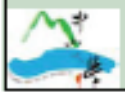
- DVL定位軌跡與水面船漂流的GPS軌跡趨勢大致上吻合，但仍有些許差異，主要原因是DVL與姿態感測器參考座標軸之間的角度對準偏差(Angular misalignment)尚未校正。依據DVL對準偏差校正演算程序，未來本研究將進行DVL定位系統的對準偏差校正，以修正DVL定位軌跡。

26

五、期中結論及未來工作

期中結論

- (一)已完成本年度外業工作。
- (二)提出新的疊合修正模式，應用於水下載台之實驗。
- (三)DVL定位估算之精度可符合水下載台測量之定位要求。

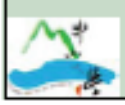


27

五、期中結論及未來工作

未來工作

- (一)持續進行DVL定位估算之修正。
- (二)進行水下載台疊合修正之測試。
- (三)將本年度所收集的之資料進行多重解析度資料2D及3D之展示技術之研發與多音束測深的多重解析度資料之整合技術研究，及船隻與水下載具之多音束測深成果與側掃聲納資料之應用。



28

附錄四 期末簡報資料

交通部運輸研究所

以水下自動化載具進行多音束測深之研究（4/4）

期末簡報

計畫主持人：薛憲文副教授
協同主持人：陳陽益教授、李忠潘教授、
王兆璋教授、陳信宏副教授
簡報者：李忠潘

國立中山大學
中華民國101年11月14日

1

簡報內容

一、前言

二、實驗規劃

三、水下多音束測深系統定位

四、水下多音束資料處理技術之探討

五、結論與建議

2

一、前言

- 本計畫最初之設想是將多音束測量系統安裝於水下自動化載具(如:AUV、ROV)，但由於自動化載具因故無法採用，本團隊另行建置一無動力之載台，載台藉由海流帶動前進，以此方式模擬自動化載具之運動情形。

3

一、前言

- 本案為四年計畫之第四年，由第一年的研究結果顯示，使用超短基線定位系統與水下載具來輔助多音束測深作業，只要定位感測器與姿態感測器之間的對準偏差可以精確校正，便可提升水下目標物的定位精度。
- 第二年計畫探討長基線之定位精度，而第三年度計畫則整合長基線與都卜勒流速計進行水下載台定位之計算，其水下定位之誤差可控制在1.5~3公尺左右。

4

一、前言

- 然而長基線定位系統需佈放多支水下應答器並進行定位校正，往往耗費大量作業時間成本。此外，以水面船為載具的測深作業著重於絕對定位精度，而水下載台的測深作業則著重於相對定位精度。
- 本年度計畫將以DVL進行水下載台之定位，提供水下載台可靠之相對定位精度。

一、前言

四年工作計畫流程圖

圖1-1：四年工作流程圖

一、前言

本年度工作項目

A

在局部範圍測量時，進行都卜勒流速計為基礎（DVL based）之水下載台定位估算技術開發。

B

多重解析度資料2D及3D之展示技術之研發。

C

多音束測深資料與側掃聲納資料之整合等相關的技術研究。

D

船隻與水下載具之多音束測深成果與側掃聲納資料之應用。

7

二、實驗規劃

實驗設計

- 本次實驗之目的有四：
- （一）使載台維持獨立系統，避免船隻本身之運動情形影響到載台之平衡。
- （二）DVL定位精度之探討。
- （三）增加載台不同的入水深度，比較其解析度。
- （四）接收Snippet資料。

8

二、實驗規劃

實驗設計-載台佈放

- 參考審查委員去年之意見，本年度以浮體直接承載載台之重量，將兩套整合系統安裝於載台上，載台的上方懸掛著一浮體，用四條纜繩與載台連結，載台浮力由此浮體提供。

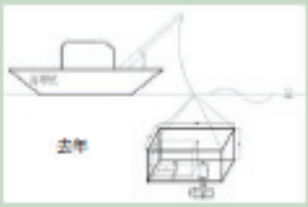


圖2-1：載台佈放示意圖

二、實驗規劃

實驗設計-DVL定位精度探討

- 本年度僅利用DVL做定位，DVL在小範圍的測量精確度是可信賴的，但仍需要深入探討DVL的精度之極限為何？故在本次現場實驗中，將載台固定在工作船旁邊，就工作船GPS實測軌跡與載台DVL推算之軌跡做一比較，藉以探討DVL定位精度之經驗值。

二、實驗規劃

實驗設計-載台不同入水深之探討

- 載台入水深度會影響多音束測量解析度與測帶寬度，以Reson 7125系統而言，側掃範圍最大可達到165度，音束最大可達512束，在今年實驗中是將載台施放約至1/3及2/3水深，試就不同之入水深度，探討其解析度。

11

二、實驗規劃

實驗設計-Snippet

- 多音束測量成果與側掃聲納之影像結合也是本研究的課題之一，今年度之實驗增加了Snippet資料之接收，其原理與側掃聲納類似，但相位解析度較側掃聲納為佳。

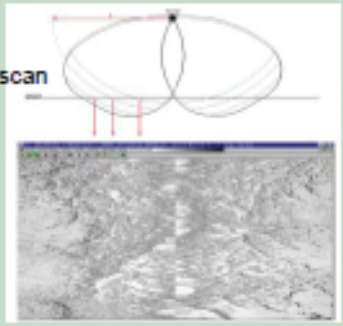


圖2-2 ：Sidescan成像原理

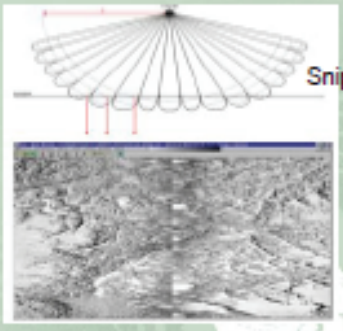


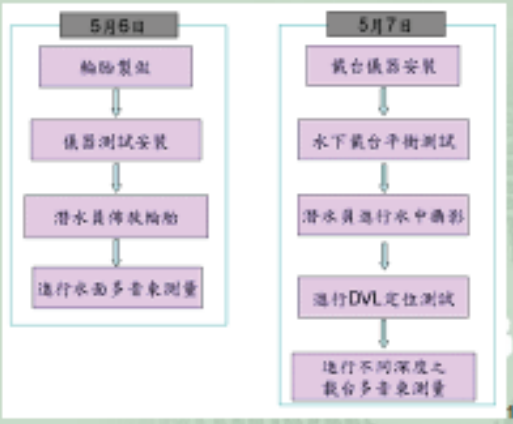
圖2-3 ：Snippet 成像原理

12

二、實驗規劃

實驗流程

- 本年度現場實驗於5月6~7日完成，本次實驗流程如下圖，與去年相比較，少了水下應答器的佈放與定位，增加了DVL定位測試。



13

二、實驗規劃

實驗特徵物

- 本年度實驗之水下特徵物仍以輪胎為主，但在輪胎的排列上增加了一些改變。
- (一)本年度載台設定最接近海床之入水深約10米左右，即離海床高度3至4米，測帶寬度約10至14公尺，為增加測帶所涵蓋之輪胎測得的數量，除了增加輪胎的個數外，並將輪胎的置放間距由1公尺改為50公分。
- (二)為增加測量的面積，將部份輪胎中空的部份用木板釘起來，並以實心與空心輪胎間隔排列。
- (三)為增加垂直方向的多樣性，輪胎的堆疊也增加了1至3顆的組合方式，另外也嘗試將腳踏車胎放入其中。

14

三、實驗規劃

現場照片

圖2-4：現場作業照片

15

三、水下多音束系統定位

1. 水下載台之定位-多音束測深系統定位

- 在水下多音束測深系統的定位方面，本計畫整合Bottom-Lock DVL、姿態感測器、以及深度計求得DVL的定位軌跡，再根據DVL與多音束測深系統架設於水下載台的相對位置，透過座標轉換求得多音束測深系統的水下定位軌跡。由於DVL的定位精度受對準偏差影響很大，為了獲得可靠的多音束測深系統定位軌跡，本計畫也進行DVL與姿態感測器的對準偏差校正。

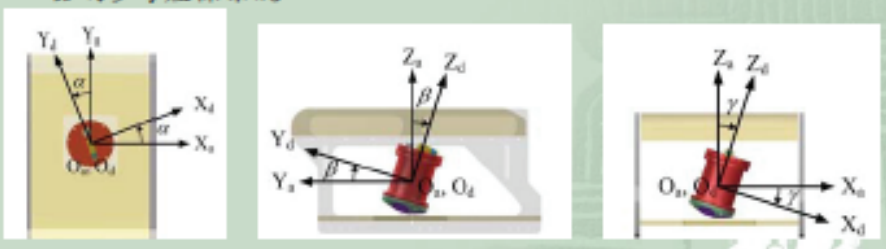
- 本計畫依循 (Chen, 2008) 發展的校正方式，利用 DVL進行橫移(Sway)與縱移(Surge)運動的定位軌跡，分別探討艏向角偏差量、縱搖角偏差量、橫搖角偏差量對DVL 定位軌跡的影響，藉此建立對準偏差校正演算程序。本研究利用成功大學系統及船舶機電工程學系的拖航水槽進行DVL對準偏差校正量測實驗，最後利用估算出來的偏差角度來修正實海域多音束測深實驗之DVL水下定位，以獲得可靠的多音束測深系統定位資訊。

16

三、水下多音束系統定位

I. 水下載台之定位-對準偏差對DVL定位軌跡的影響

- DVL感測器對準偏差校正，主要在校正安裝於載台上的DVL與姿態感測器兩個參考座標軸之間的角度偏差量，包括艏向角偏差量α、縱搖角偏差量β、橫搖角偏差量γ。定義如圖3-1所示，其中$O_dX_dY_dZ_d$是DVL的參考座標系統，$O_aX_aY_aZ_a$則是姿態感測器的參考座標系統。



(a) 艏角向偏差　(b) 縱搖角偏差　(c) 橫搖角偏差

圖3-1：DVL對準偏差角度定義

17

三、水下多音束系統定位

I. 水下載台之定位-對準偏差對DVL定位軌跡的影響

- 本計畫利用載具縱移(Surge)與橫移(Sway)運動的DVL定位軌跡特性，來探討各對準偏差角度對DVL定位軌跡的影響。圖3-2為定義之載具縱移與橫移運動，其中虛線為載具運動軌跡。為了比對載具真實運動軌跡與DVL推導之定位軌跡，我們定義了一個右手座標系統$O_0X_0Y_0Z_0$，其座標原點位於載具運動軌跡的起點

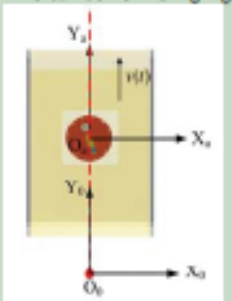


圖3-2 ：(a)縱移運動

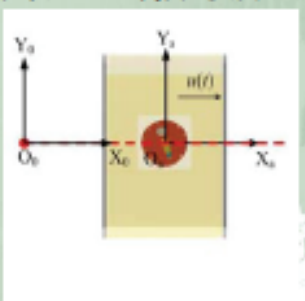


圖3-2(b) ：橫移運動

18

三、水下多音束系統定位

1. 水下載台之定位-對準偏差校正演算法

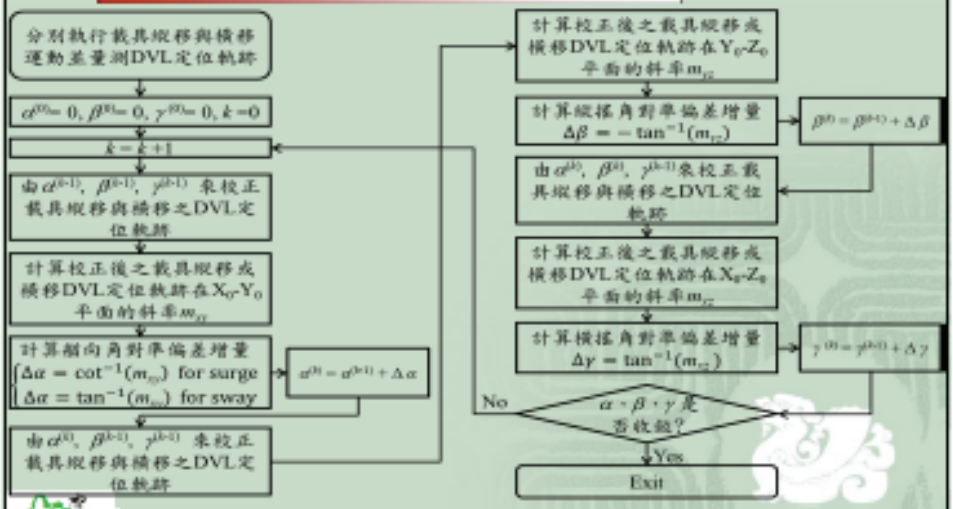


圖3-3：對準偏差校正之數值迭代演算流程

19

三、水下多音束系統定位

1. 水下載台之定位-對準偏差校正實驗

- 本計畫透過成功大學系統及船舶機電工程學系之拖航水槽(圖3-4)進行DVL對準偏差校正實驗，將DVL定位系統架設於水槽台車的升降桿上(圖3-5)，使之沒入水中，然後驅動台車帶動DVL定位系統進行縱移與橫移運動，同時收集DVL與姿態感測器之資料。

圖3-4：成大拖航水槽

圖3-5：DVL定位系統架設圖

20

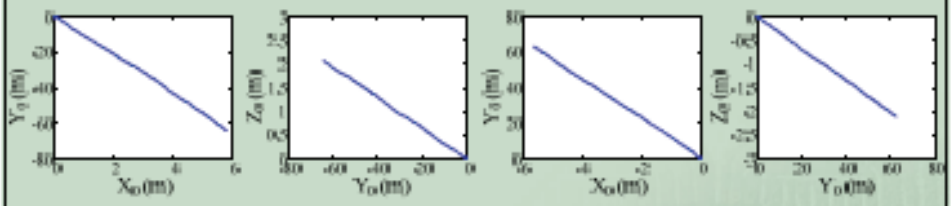
三、水下多音束系統定位

I. 水下載台之定位-對準偏差校正實驗

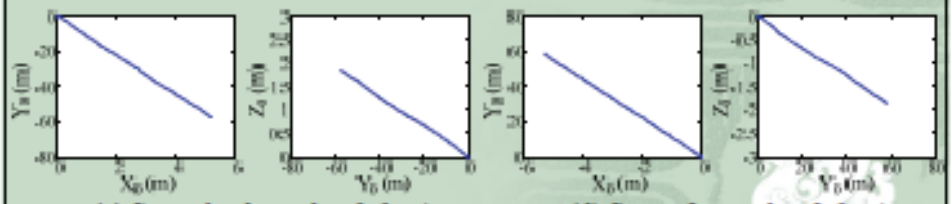
- 由於DVL與姿態感測器架設於台車下方隨著台車移動，所以其水平運動軌跡為一直線，而且水深不會變化。本研究分別以0.3 m/s與0.6 m/s的速度移動台車，尚未校正對準偏差之前，經由DVL定位所得之運動軌跡如圖6與圖7所示。由圖6與圖7可以看出，DVL定位之水平軌跡為斜直線，而且DVL定位深度隨距離改變，顯然存在對準偏差。

三、水下多音束系統定位

I. 水下載台之定位-對準偏差校正實驗



(a) Surge backward at 0.3 m/s　(b) Surge forward at 0.3 m/s



(c) Surge backward at 0.6 m/s　(d) Surge forward at 0.6 m/s

圖3-6：對準偏差校正前在不同速度下之縱移運動DVL定位軌跡

三、水下多音束系統定位

1. 水下載台之定位-對準偏差校正實驗

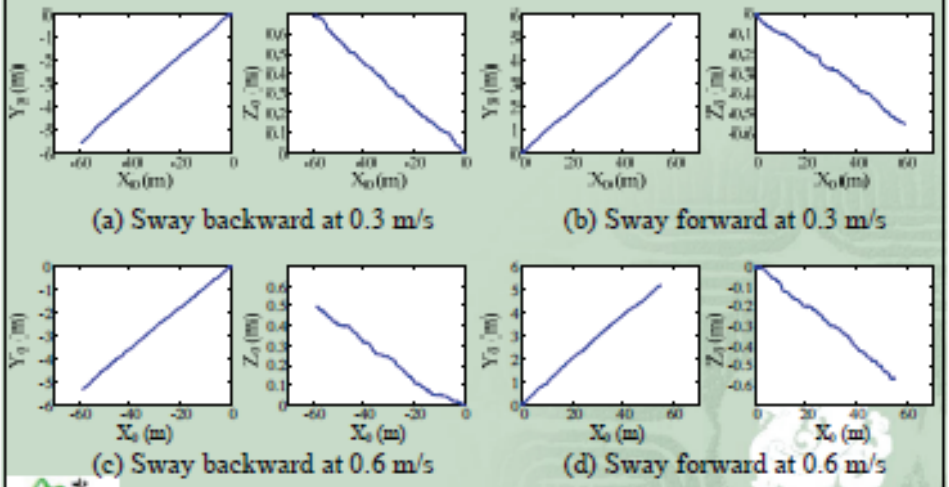
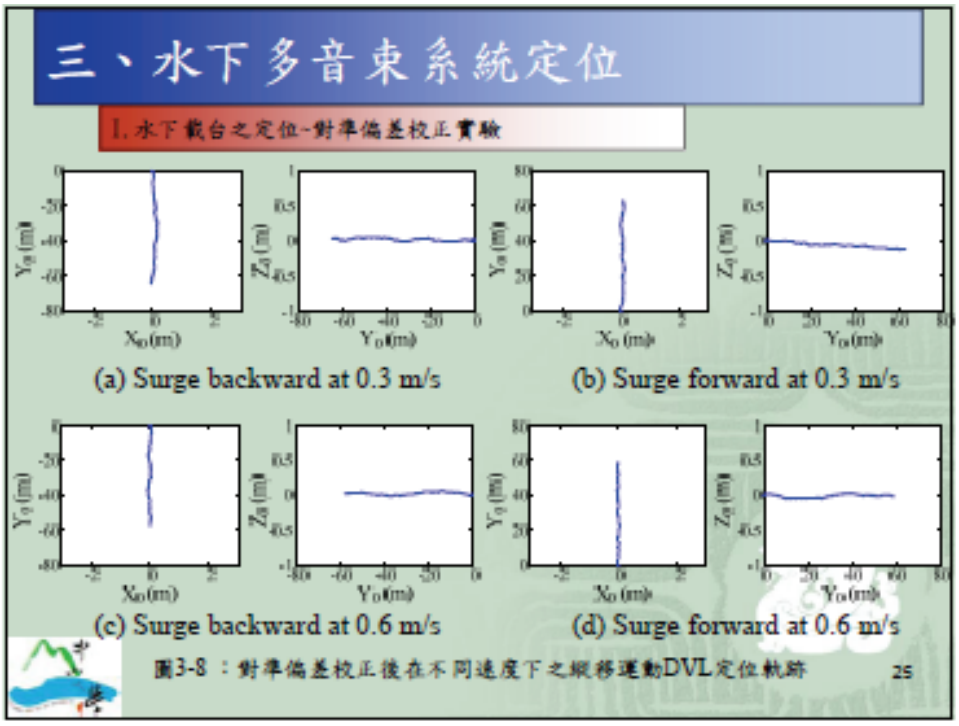


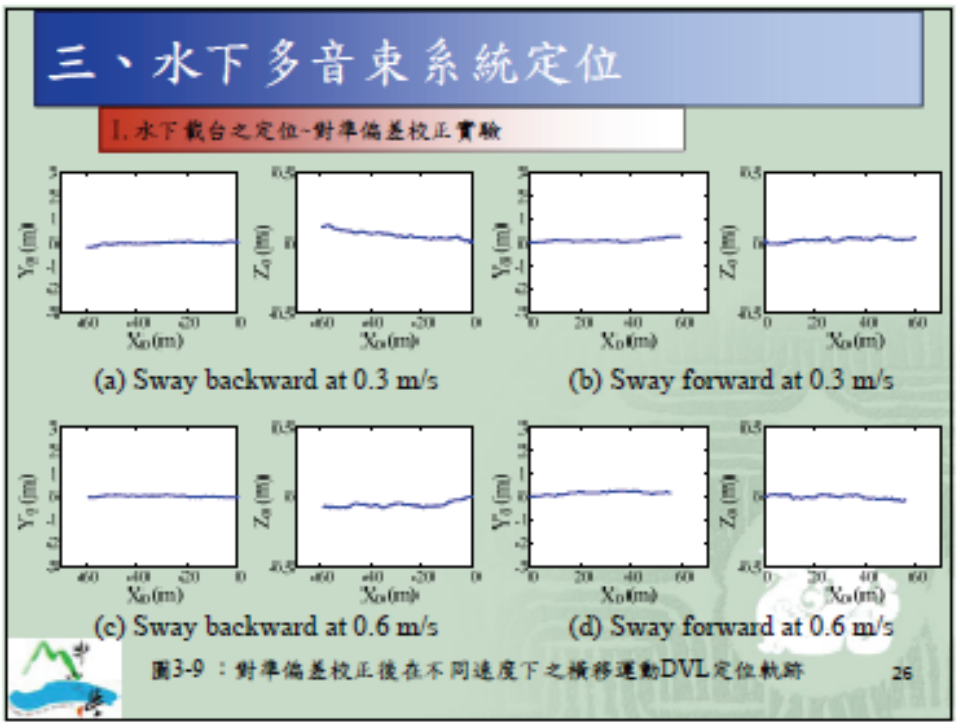
圖3-7：對準偏差校正前在不同速度下之橫移運動DVL定位軌跡

三、水下多音束系統定位

1. 水下載台之定位-對準偏差校正實驗

- 利用本研究建立之對準偏差校正方法，進行DVL對準偏差之估算，求出對準偏差分別為 $\alpha = -5.22^{\circ}$、$\beta = 1.85^{\circ}$、$\gamma = -0.39^{\circ}$。利用求得之對準偏差角度進行DVL定位修正，修正後之DVL定位軌跡如圖3-8與圖3-9所示，可以發現縱移之X_0Y_0平面軌跡斜率趨近無窮大、橫移之X_0Y_0平面軌跡斜率趨近於零，顯示艏向對準偏差(α)已獲得修正。此外，DVL定位深度變化也明顯降低，顯示縱搖(β)與橫搖(γ)對準偏差已正確修正。


三、水下多音束系統定位
1. 水下載台之定位-對準偏差校正實驗
(a) Surge backward at 0.3 m/s
(b) Surge forward at 0.3 m/s
(c) Surge backward at 0.6 m/s
(d) Surge forward at 0.6 m/s
圖3-8 ：對準偏差校正後在不同速度下之縱移運動DVL定位軌跡
25


三、水下多音束系統定位
1. 水下載台之定位-對準偏差校正實驗
(a) Sway backward at 0.3 m/s
(b) Sway forward at 0.3 m/s
(c) Sway backward at 0.6 m/s
(d) Sway forward at 0.6 m/s
圖3-9 ：對準偏差校正後在不同速度下之橫移運動DVL定位軌跡
26

三、水下多音束系統定位

1.水下載台之定位-實海域資料分析

- 於2012年5月7日西子灣外海進行水下多音束測深實驗，本次實驗於水下載台上裝置DVL、深度計、運動感測器、以及聲速計等儀器，以取得水下載台之運動速度、深度、姿態（包括艏向、縱搖角、橫搖角）、以及水層聲速等資料。

圖3-10：水下載台

三、水下多音束系統定位

1.水下載台之定位-實海域資料分析

- 由於DVL之定位乃是將量測的速度資料對時間積分來估算水下載台所移動的位移，積分出來的定位軌跡利用姿態感測器來修正外力對水下載台的影響，且經由估算出來的對準偏差角度來校正DVL與姿態感測器之間的偏差角度來提高定位精度，再由DVL與Multibeam(MB) 的相對位置利用座標轉換求得Multibeam在水下的位移軌跡。

- 其中漂流軌跡比較圖中藍色的實線為水面船在漂流時GPS所接收到的軌跡，而紅色虛線為水下載台於水底的漂流軌跡，實點為水面船於每次漂流時的起始位置。

三、水下多音束系統定位

1. 水下載台之定位-實海域資料分析

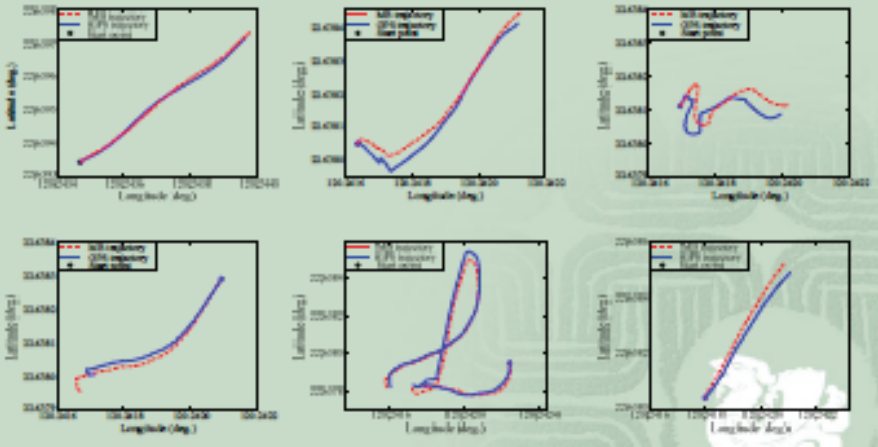


圖3-11(a) ：漂流軌跡比較圖

29

三、水下多音束系統定位

1. 水下載台之定位-實海域資料分析

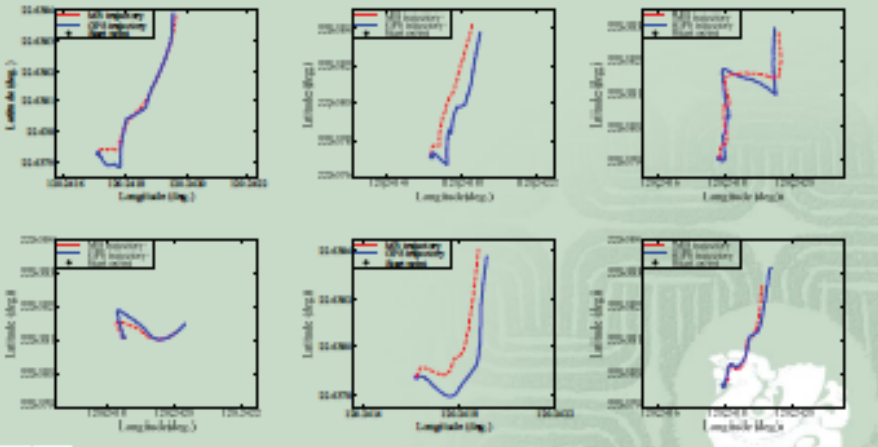


圖3-11(b) ：漂流軌跡比較圖

30

三、水下多音束系統定位

1. 水下載台之定位-實海域資料分析

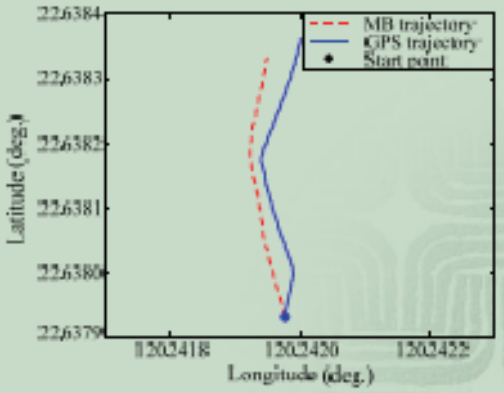


圖3-11(c)：漂流軌跡比較圖

31

四、水下多音束資料處理技術之探討

水面多音束航跡圖

- 本年度整合多音束測深及以DVL為主之水下定位系統，選擇高雄西子灣外海水深約13米為實驗區域，各儀器資料之整合以時間為基準，在實驗過程皆用1PPS作為時間校正的工具。

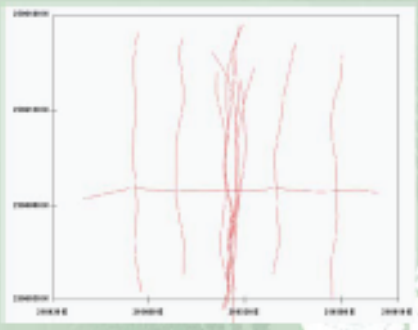


圖4-1：水面多音束航跡圖

32

四、水下多音束資料處理技術之探討

Heave修正

- 一般而言，在處理水下載具(ROV、AUV)之水深資料時，常以深度計所包含之深度變化來取代起伏(Heave)值，其原因在於水下載具(ROV、AUV)在水中受到的垂直方向之擾動相較於海面上來的小。

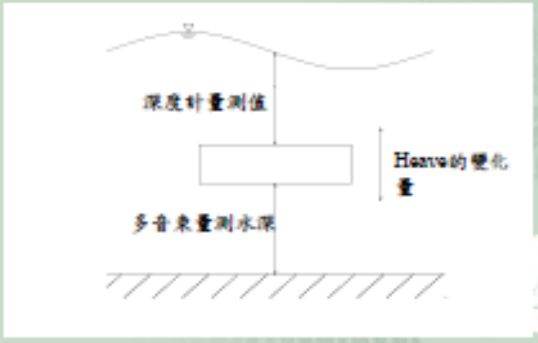


圖4-2：水下載台垂直方向之變化

33

四、水下多音束資料處理技術之探討

Heave修正

- 在本次實驗中，由於載台之浮力是由浮體提供，而浮體浮載海面上，載台間接受到海表面的波浪影響，在垂直方向的變化量會比一般的水下載具(ROV、AUV)來的劇烈，因此，若仍以深度計作為垂直方向之補償量，則需考慮深度計的精度與更新率，是否滿足水下多音束系統之需求。

- 圖4-3顯示出水下載台測量時Heave(紅線)、Roll(綠線)、Pitch(藍線)之變化量，其中Heave之變化量約在正負20公分左右，Roll約在正負4度，Pitch約在正負5度。

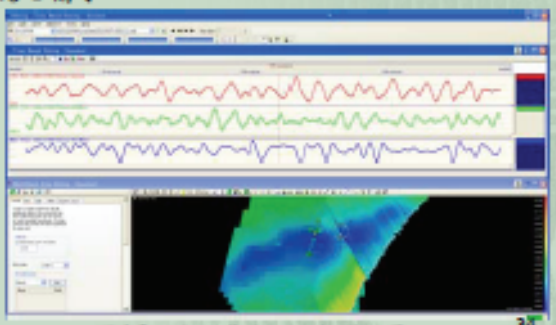


圖4-3：水下載台之三軸變化量

34

四、水下多音束資料處理技術之探討

Heave修正

- 圖4-4為擷取一條測線作兩者之比較，紅線為深度計資料，藍線為Heave值，由圖中可看出兩者的變化趨勢大約一致，但時序列與振幅的變化上仍有些許的差異。

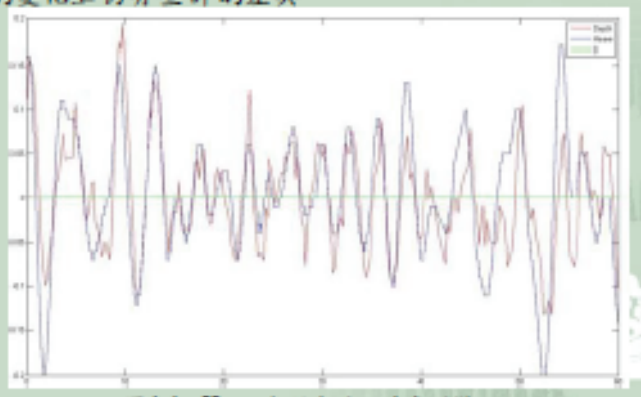


圖4-4：Heave與深度計之時序列變化

35

四、水下多音束資料處理技術之探討

Heave修正

- 深度計之資料是搭配水下定位之資料匯入多音束處理軟體進行後處理，因此其資料密度受限於水下定位之更新率(一秒三筆)，造成在細部的變化上不如船隻姿態感測器來的平滑，因此，本實驗將以Heave之資料取代深度計之縱向變化量。

- 由Heave之修正值所得到之水深資料為相對水深，意即為相對於當時施放深度之水深，與絕對水深之間存在一個入水深度的差值。

- 船隻姿態儀所量測之Heave值為相對於前一位置的垂直方向的變化量，意即為當船隻姿態感測器往上提升了1公尺，Heave值為1，但當船隻姿態感測器維持在1公尺的高度時，Heave值會逐減為0，因此，在求取Heave值為0時，需避免擷取剛入水時的資料，此時的船隻姿態感測器尚未穩定。

36

四、水下多音束資料處理技術之探討

Heave修正

- 取一條載台入水6米的資料來求得入水深度，在這條測線中當Heave為0時計有83個點，平均值為-5.85，標準差為0.025，圖4-5為入水深度變化圖，圖中縱座標為入水深度(單位為公尺)，橫坐標為筆數，即為載台在此條測線施放之入水深度為-5.85公尺。

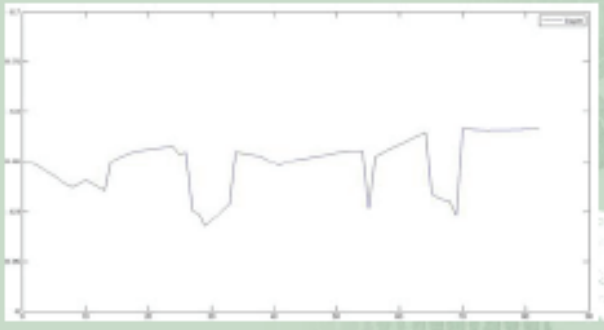


圖4-5：Heave與深度計之時序列變化

37

四、水下多音束資料處理技術之探討

Heave修正

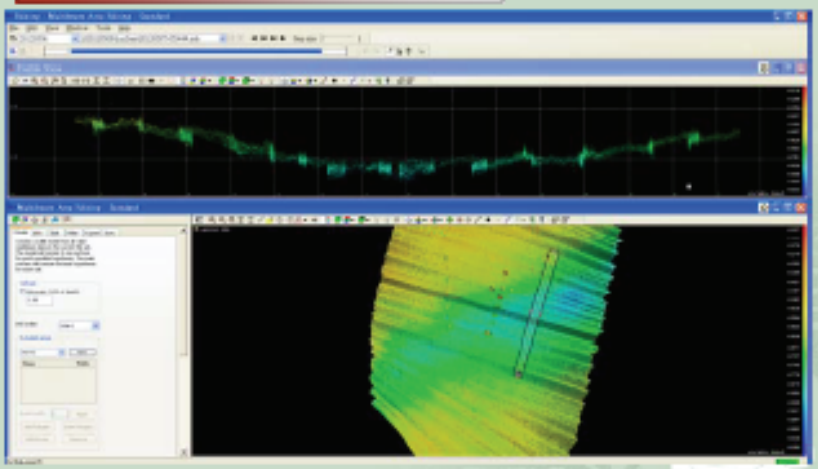


圖4-6：水下載台經Heave修正後之測深資料

38

四、水下多音束資料處理技術之探討

Roll修正

- 經過入水深度之修正之後，比較水下載台與水面多音束測量成果如圖4-7所示，在圖中可看出經入水深度修正之後兩系統之水深已很接近，但仍有一偏差角之存在，圖中紫色的線為水下多音束系統所得到之海床表面坡度，藍綠色的線為水面多音束測深系統所得到之海床表面坡度。

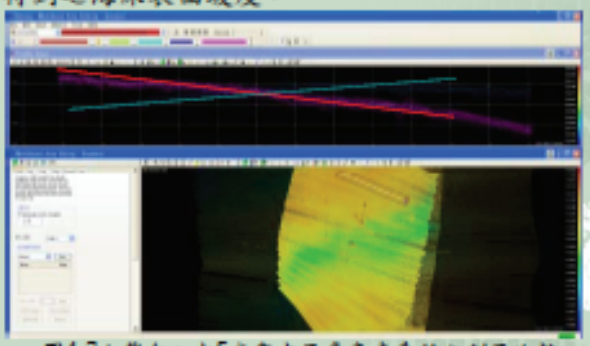


圖4-7：載台入水5米與水面多音束系統之剖面比較

四、水下多音束資料處理技術之探討

Roll修正

- 由於水面多音束測深系統可藉由標準程序進行疊合修正得到正確的測量結果，因此，可將水面多音束測深系統所得到之地形視為正確之地形；而對於實驗過程中無法掌控行進方向的水下載台而言，欲進行正規的疊合修正是有其困難性，本年度之嘗試修正作法為，在同一平坦之區域內，將水面多音束量測結果之地形假設為正確地形並作為基準，計算水下載台取一測線中每個Swath與同樣位置水面多音束測量所得到的地形之單獨斜率差值，將其視為Roll的修正值。

四、水下多音束資料處理技術之探討

Roll修正

- 以052849測線為例，這段測線的資料與水面多音束測量成果作斜率變化之比較如圖4-8所示，由圖中藍線為水面多音束的地形斜率變化，紅線為水下載台的地形斜率變化，兩相比較藍線之斜率變化較為穩定，此現象與當初之假設吻合。從這條測線中擷取了1205條Swath資料，每筆Swath資料包含512個測深點，計算出來的平均角度差為-1.75，標準差為0.23。

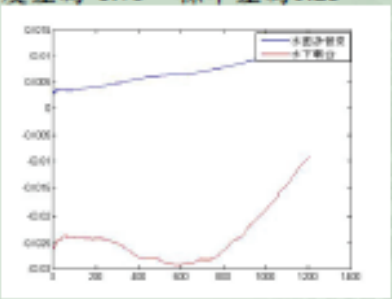


圖4-8：兩系統之斜率變化比較圖

41

四、水下多音束資料處理技術之探討

Roll修正

- 圖4-9為水下載台資料經過Roll的修正之後與水面多音束測深資料比對，做過Roll值的修正之後可看出地形的變化趨於一致。

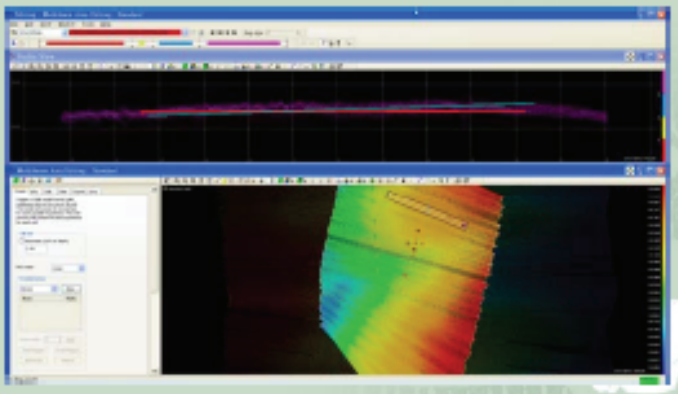


圖4-9：Roll值修正後之地形斜率比較

42

四、水下多音束資料處理技術之探討

多重解析度之比較

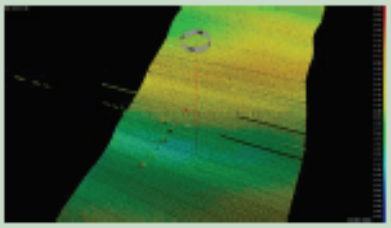


圖4-10：水面多音束成果

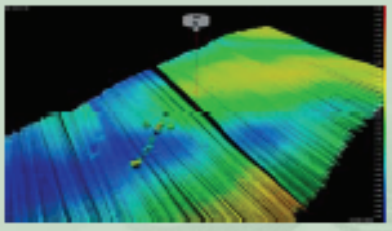


圖4-11：入水5米多音束成果

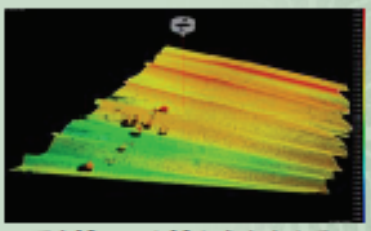


圖4-12：入水10米多音束成果

四、水下多音束資料處理技術之探討

多重解析度之影像融合

- 水下多音束系統之優點在於能得到高密度、高解析度的海床資料，而水面多音束系統則能提供較佳的定位系統，本實驗嘗試結合兩者之優點，把水面與水下載台之多音束測深資料做一融合。
- 圖4-13 為水下載台與水面多音束系統所得之影像疊合，疊合後可明顯看出兩系統存在定位偏差，如何計算誤差之偏移量為本節之探討重點。

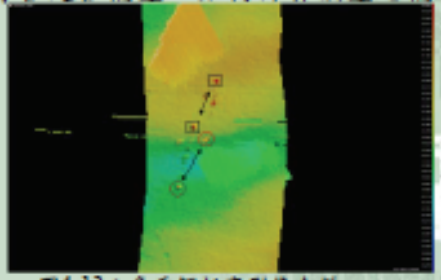


圖4-13：多重解析度影像合併

四、水下多音束資料處理技術之探討

多重解析度之影像融合-平移修正

- 選取圖4-13中方型與圓型所標示的兩組輪胎，考慮到輪胎為圖形特徵物，因此先擷取輪胎之水深資料(x,y,z)，計算其測得之坐標X與坐標Y的分別平均值，將此值視為輪胎之中心點位，再依此方式算出兩系統坐標X軸與坐標Y軸的偏差量，所得為水下多音束系統應進行之平移結果如圖4-14。

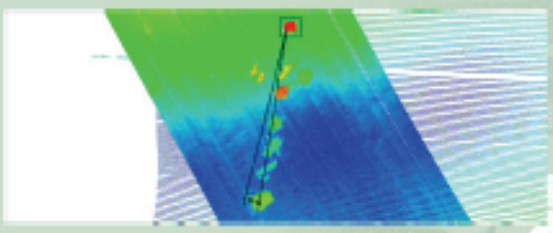


圖4-14：多重解析度影像合併俯視圖(經平移)

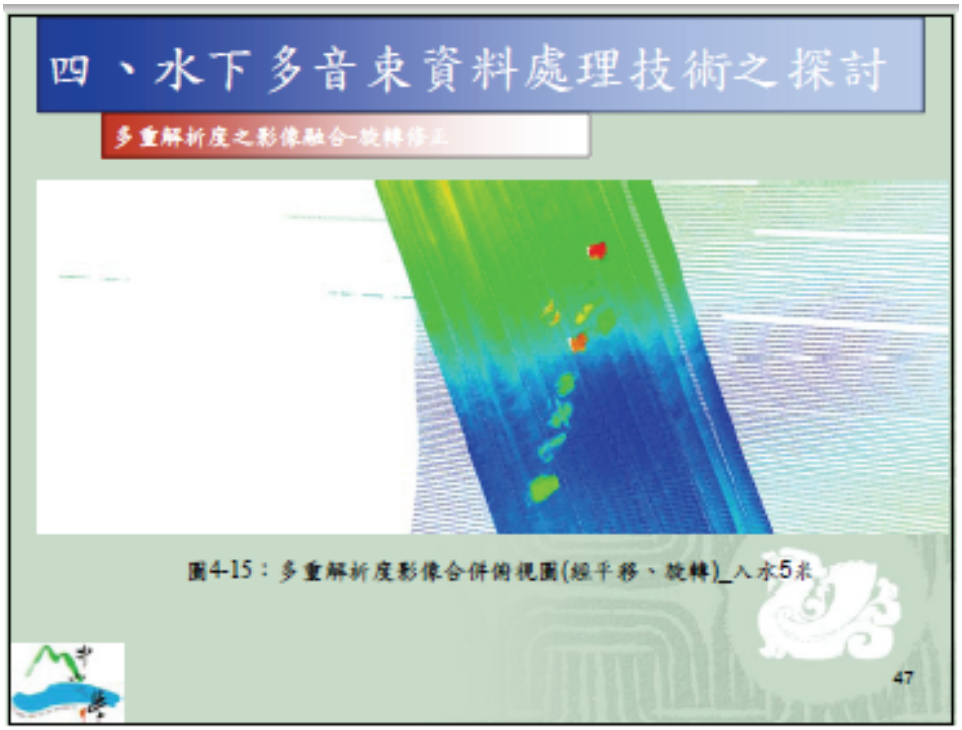
四、水下多音束資料處理技術之探討

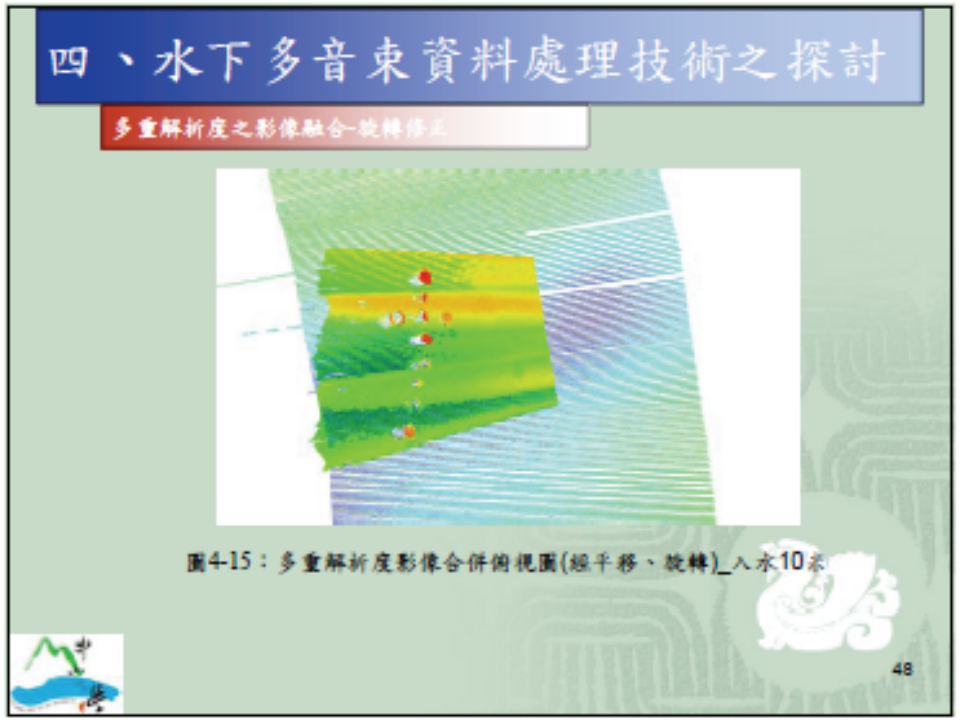
多重解析度之影像融合-旋轉修正

- 圖4-14為影像融合之俯視圖，由圖中可看出水下多音束測量成果經平移之後與水面多音束測量成果在黑線框中的影像有重疊，但在南邊的輪胎卻出現偏移誤差，因此需要進行角度的旋轉修正，此修正亦可視為Yaw的修正。

- 修正方式為選取直線上每個輪胎之中心作一回歸線，計算兩系統所得之回歸線夾角，即可視為水下多音束系統所需旋轉之角度。

- 將水下多音束資料經過9.13度的旋轉之後與水面多音束測深資料疊合如圖4-15所示，由圖中可看出輪胎影像已無位移現象呈現。


四、水下多音束資料處理技術之探討
多重解析度之影像融合-旋轉修正
圖4-15：多重解析度影像合併俯視圖(經平移、旋轉)_入水5米
47


四、水下多音束資料處理技術之探討
多重解析度之影像融合-旋轉修正
圖4-15：多重解析度影像合併俯視圖(經平移、旋轉)_入水10米
48

四、水下多音束資料處理技術之探討

多重解析度之影像融合-影像扭曲之探討

- 水下多音束測深成果雖能有效提高垂直方向的解析度，但卻發現影像呈現扭曲的情況，以致於在進行特徵物的辨識時，仍有其困難，接下來針對影性扭曲進行探討。
- 圖4-16為入水5米之影像與工作船加速度之比較，由斷面圖可看出加速度並不穩定。
- 圖4-17為入水10米之影像與工作船加速度之比較，由斷面圖可看出在圖中黑圈部份的輪胎之成像較為清晰，所對應的加速度變化為黑色方框，其加速度趨近於0，表示載台維持在一穩定的速度。

四、水下多音束資料處理技術之探討

多重解析度之影像融合-影像扭曲之探討

- 圖4-16為入水5米之影像與工作船加速度之比較，由斷面圖可看出加速度並不穩定。

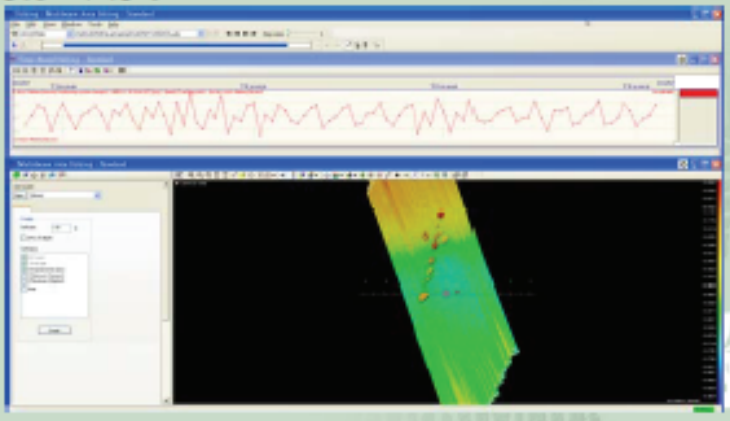


圖4-16：載台入水5米之加速度變化圖

四、水下多音束資料處理技術之探討

多重解析度之影像融合-影像拼合之探討

- 圖4-17為入水10米之影像與工作船加速度之比較，由斷面圖可看出在圖中黑圈部份的輪胎之成像較為清晰，所對應的加速度變化為黑色方框，其加速度趨近於0，表示載台維持在一穩定的速度。

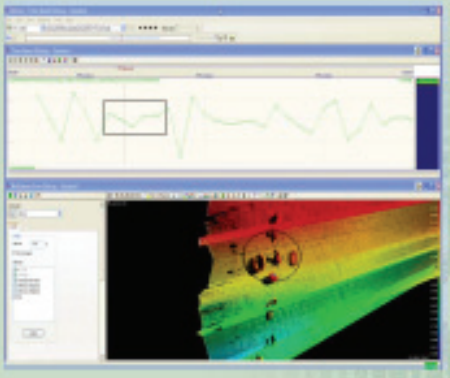


圖4-17：載台入水10米之加速度變化圖

51

四、水下多音束資料處理技術之探討

多音束測深系統與側掃聲納之整合

- 本研究目的係採用多音束測深系統有較佳定位精度之長處，來配合拖曳式側掃聲納以及水下載台影像之解析度較佳的優點，藉由兩種影像的融合獲取同時具有高影像解析度及高定位精度的合成影像，以提升側掃聲納影像以及多音束測深結果之品質。

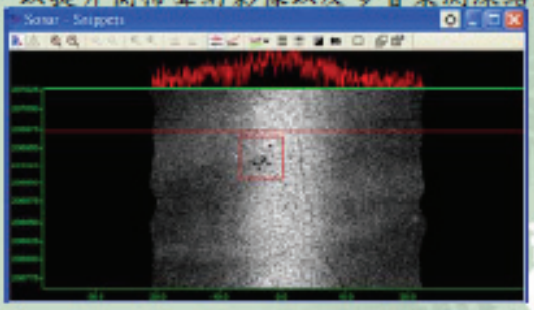


圖4-18：Snippet影像

52

四、水下多音束資料處理技術之探討

多音束測深系統與側掃聲納之整合

- 本音束測量成果是以DEM或3D點雲圖的方式呈現，而snippet成果則類似影像圖片，一般在結合立體DEM與影像的方式，多為將影像貼在DEM上，缺點為影像容易隨高程之誇張度改變而造成變形。
- 多音束測量所得之DEM或3D點雲圖，皆以高程值做為色階之依據，本研究嘗試以snippet所得之灰階值給定DEM或3D點雲圖之色階，其作法為比對DEM或3D點雲之平面位置與snippet相對位置，以snippet之灰階顏色套用在多音束測量的水深點上。

四、水下多音束資料處理技術之探討

多音束測深系統與側掃聲納之整合

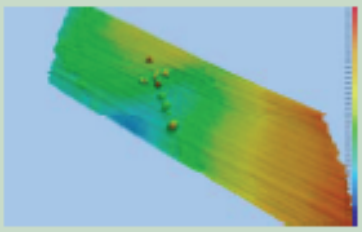


圖4-19：入水5米多音束成果

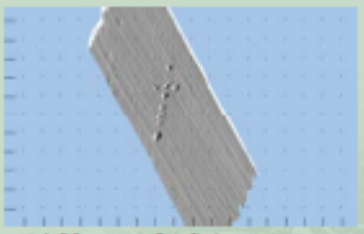


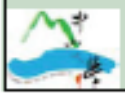
圖4-20：入水5米Snippet影像

圖4-21：入水5米多音束結合Snippet影像

四、水下多音束資料處理技術之探討

水下載具之多音束測深與側掃聲納資料

- 一般而言，水下載具多搭載水下攝影機或機械手臂進行採樣及攝影，近年來開始搭配多音束測深系統，廣泛應用在生物(魚類、珊瑚)棲地的探測(Orange et al,2002)(Naudts et al,2010)(Micallef et al,2011)。Masson et al(2011)將多音束測深系統與側掃聲納安裝於ROV來研究海床的沉積過程，其優點在於可結合即時的影像與側掃深納的底質分類資訊，建立出完整棲地的背景資訊，如下圖4-22所示。



55

四、水下多音束資料處理技術之探討

水下載具之多音束測深與側掃聲納資料

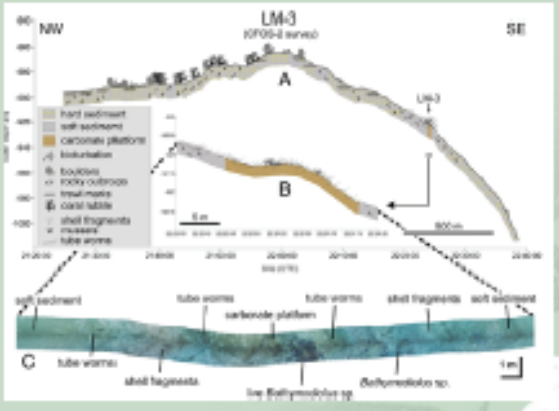
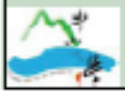


圖4-22：影像結合底質分類建立珊瑚棲地成果



56

四、水下多音束資料處理技術之探討

水下載具之多音束測深與側掃聲納資料之應用

- 此外，近年來海底能源(甲烷冰、石油)的探勘也是海洋科學積極發展的一部份，在開採之前期作業，水下載具亦可扮演重要角色(李一平，2006)(Shitashima et al,2008)，藉由多音束測深系統來描繪出地形特徵，再搭配影像輔助，可提供施工區域的背景資料如圖4-23。

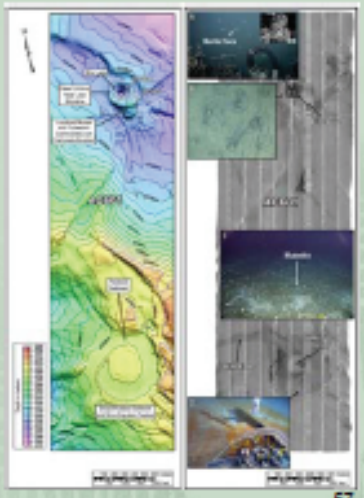


圖4-23：水下多音束資料之應用

57

五、結論與建議

- 近年來學界及產業界極積投入水下載具的設計與製作，並嘗試將多音束測深系統(multibeam system)、側掃聲納(side scan sonar)及水下攝影系統整合在水下載具上，本計劃嘗試解決不同系統整合所帶來的問題，提供有效的解決方案。

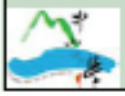
- 本計劃在前兩年針對水定位精度做探討，比較超短基線、短基線及長基線三種系統，其精度介於1公尺(長基線)~3.5公尺(超短基線)之間，定位間隔為1.5秒(超短基線)~3秒(長基線)（詳見附錄二），第三年開始進行水下定位與水下多音束系統之整合，第四年則進一步將水下多音束與側掃深納影像結合，及多重解析度資料融合之探討。具體研究成果及建議彙整如下：

58

五、結論與建議

結論

- 1.若載台本身受海流影響造成劇烈之上下起伏，則可使用更新率較高之船隻姿態儀中的Heave修正來取代採樣頻率較低的深度計。
- 2.與水面多音束系統比較起來，水下載具之疊合修正因受限於水下定位的精度，到目前為止並沒有一套標準作業流程可供參考，故本研究以已知之平坦地形來進行Roll角修正，並用特徵物之已知特定點來進行Yaw角的修正，已可初步改善水下多音束系統測量之品質。
- 3.在等速的運動情形之下，DVL定位搭配水下多音束測深系統，可有效增加水下特徵物的辨識度。



59

五、結論與建議

結論

- 4.側掃深納與多音束測深之整合將是水下載台未來的研究方向，其優點在於可提供海床之地形數值與底質分類之訊息，本實驗已完成兩系統資料之結合，若能搭配海床之砂樣分析，則可進一步完成底質分類，使海床資訊更為完整。
- 5. DVL的參考座標軸與姿態感測器參考座標軸之間存在一角度偏差量，經DVL對準偏差校正之後可大幅提升定位估算。

60

五、結論與建議

建議

- 1.本實驗受限於無動力載台，帶來了許多實作與資料處理的困擾，若能將本系統應用在ROV或AUV上將可帶來更多實質上的應用。
- 2.水下多音束系統能提供三維的地理資訊背景，若能搭配照相機進行海床影像之擷取，對於建構海床特徵物或是建立生物棲地，會有更大的幫助。

61

62

附錄五 歷年研究成果

(一)第一年度(98 年)

1.本研究利用超短基線感測器對準偏差校正之演算法，可以有效率地估算出 heading、pitch、roll 三個對準偏差角度，提升超短基線定位系統的定位精度。這個演算法乃是利用船隻航行直線測線來收集海床應答器的定位資料，並根據 heading、pitch、roll 三個角度的對準偏差對於應答器定位的影響，分別推導出各個偏差角度的計算公式。由於此一演算法是依據各個偏差角度造成應答器定位之幾何特性所推導出來的，所以具有非常快速的收斂速度，而且其運算結果也非常穩定與一致。此一演算法也利用實海域量測資料進行驗證，證實此演算法可以在四、五次的迭代運算之後，三個對準偏差角度的估測值便能穩定收斂。此外，本研究也針對偏離航跡誤差發展出一套修正方法，即使利用不具備動態定位系統的船隻來收集超短基線定位資料，也能夠精確估算出超短基線定位系統的對準偏差角度，大大提升了此一演算法的實用性。

2.當採用超短基線系統進行水下目標物定位時，本研究分析不同水深與不同半錐角對定位精度的影響，其結果顯示定位精度隨著水深增加而變差；水深 32 m、76 m、以及 110 m 的最大定位誤差分別在 1m、2.5m、以及 3.5m 左右。此外，隨著半錐角增大，定位精度也跟著變大；在這三種不同水深下，半錐角 30 度以內的定位精度可控制在約 2m 以內。因此，利用超短基線進行水下載具定位時，應盡量將工作母船控制在水下載具正上方附近，可以有效降低定位誤差。

3.當以多音束測深系統測量三個水下定位系統之底碇架之平面位置，再與三個水下定位系統所測量得到之平面位置平均值比較後，發現在平面位置之差異(dN,dE)分別為 0.203m, 0.099m，因此可視為兩者之平面位置約為一致。若考慮潮位修正及三個水下定位系統應答器與兩個相鄰浮桶之水深差異後，發現兩者之高程相差應在 0.1m 以內。在本實驗中亦同時安裝壓力式水位計於第三個水下定位系統應答器下約 0.2m，可以發現水位計與水下定位之量測深度相差約

0.10m，而多音束測深與水位計量測之水深差值約為 0.41m，若扣除潮位修正約 0.20m 後，兩者約相差 0.21m，此值已較國際海測組織(IHO)之海測規範(S-44)中在 30m 水深之特等測深精度 0.30m 為高。

4.在使用超短基線水下定位系統的基礎下，本研究建構之水下載具定位與導航介面，整合了水下載具感測器與外部感測器（GPS、電羅經、運動感測器），可以即時提供水下載具的位置。此外，具備友善、直覺、互動的 3D 虛擬介面與 2D 圖形顯示介面，也有助於操作員確實掌握水下載具的動態。

(二)第二年度(99 年)

1.定位精度、足印尺寸及疊合測量率定作業是為多音束測深系統精度三項關鍵因子。

2.定位誤差會被疊合測量率定參數吸收，而率定參數的偏差會將誤差傳播至全部測線。

3.後期處理(PP)定位模式可獲得較即時差分定位(RTK)高的精度，對於水下管線搜尋探測、水下人工結構物或小型目標的判視為較佳的定位模式。

4.本研究案例對於水下垂直結構物量測時，會有水平位置偏差量(RTK 1m,PP 0.5m)，其誤差源主要來自定位誤差，但疊合測量之率定參數會吸收其它誤差，引發誤差傳播效應。疊合測量率定參數的原理為以部份測線的率定成果來校正全部的量測成果，其誤差則可能會使誤差擴大。

5.本研究建構長基線定位系統之水下載具導航介面，整合了水下載具感測器（航向、深度）與外部感測器（GPS、運動感測器），可即時提供水下載具的方向與位置。此一導航介面具備 3D 虛擬介面與 2D 圖形顯示介面，有助於操作員確實掌握水下載具的動態。

6.水下載具進行多音束測深作業時，必須以一定速度航行，無法固定不動。因此，利用長基線定位系統進行詢答作業時，收發器依序詢答四支答應答器的位置不會相同，亦即各支應答器斜距的量測基

準點不一樣，以致於進行最小平方位置估算時，會產生誤差。由數值模擬的結果可以看出，收發器詢答間隔時間越長、船速越快（亦即收發器詢答間隔位移量越大），長基線系統的定位誤差便會越大，若需要較準確的定位結果，必須倚賴融合其他外部感測資料，方可降低定位誤差。

7.由實海域測試資料分析結果可以看出，長基線定位誤差的主要來源在於無法連續收到應答器的回訊。本研究透過整合載具速度量測資訊來估算收發器詢答位置，以改善長基線定位精度，並將水下載具定位誤差控制在 1~1.5m 左右。因此，利用長基線系統進行水下載具定位時，應儘量避免聲訊遮蔽以免無法收到應答器回訊，並融合其他感測資訊以降低定位誤差。

(三)第三年度(100 年)

1.定位、船隻姿態及水深資料，這三者間若存在時間不同步，對於水深測量資料品質皆會產生很大的影響。時間不同步的原因除了電腦紀錄時所產生的誤差之外，來源不同的時間彼此之間也會存在時間差(如 GPS 時間與 UTC 時間存在潤秒)。時間基準以 GPS 之 ZDA 格式搭配 1PPS 訊號，可有效提高時間的精度，使得各種感測器之資料能夠同步。

2.實驗證明以水下載台進行多音束測深，確實可以增加測深之解析度，依本次實驗之設計，在離海床 5m 左右，船速在 0.5 節時的解析度可明顯辨識高於海床 15cm 的物體，達到提升測深足印解析度之目的。

3.由於載台本身無動力所造成的影響，除了產生測深速度不一，水下定位之線性內插會造成局部水平位置誤差外，無往返重疊測線也導致進行載台的疊合修正不易，因此若欲整合水面及水下多音束測深多重解析度資料，尚須克服特徵物由水面及水下多音束測深所產生位置差異之轉換問題。

4.本年度使用長基線作為定位，已將定位誤差控制在 3m 左右，但其有效的定位時間間隔約為 3 秒，若載台本身無固定之船速，則容易造成推估的定位與實際的位置有所差異。

附表 5-1 歷年工作成果簡表

工作項目	歷年成果
水下定位系統	第一年成果: 1.本研究利用超短基線感測器對準偏差校正之演算法，可以有效率地估算出 heading、pitch、roll 三個對準偏差角度，提升超短基線定位系統的定位精度。 2.在使用超短基線水下定位系統的基礎下，本研究建構之水下載具定位與導航介面，整合了水下載具感測器與外部感測器(GPS、電羅經、運動感測器)，可以即時提供水下載具的位置。
	第二年成果: 1.本研究建構長基線定位系統之水下載具導航介面，整合了水下載具感測器（航向、深度）與外部感測器（GPS、運動感測器)，可即時提供水下載具的方向與位置。 2.長基線定位誤差的主要來源在於無法連續收到應答器的回訊。本研究透過整合載具速度量測資訊來估算收發器詢答位置，以改善長基線定位精度，並將水下載具定位誤差控制在 1~1.5m 左右。
多音束測深系統	第一年成果: 1. 當以多音束測深系統測量三個水下定位系統之底碇架之平面位置，再與三個水下定位系統所測量得到之平面位置平均值比較後，發現在平面位置之差異(dN,dE)分別為 0.203m, 0.099m，因此可視為兩者之平面位置約為一致。
	第二年成果: 1. 後期處理(PP)定位模式可獲得較即時差分定位(RTK)高的精度，對於水下管線搜尋探測、水下人工結構物或小型目標的判視為較佳的定位模式。

兩系統整合	第三年成果: 1. 定位、船隻姿態及水深資料，這三者間若存在時間不同步，對於水深測量資料品質皆會產生很大的影響。時間不同步的原因除了電腦紀錄時所產生的誤差之外，來源不同的時間彼此之間也會存在時間差(如 GPS 時間與 UTC 時間存在潤秒)。時間基準以 GPS 之 ZDA 格式搭配 1PPS 訊號，可有效提高時間的精度，使得各種感測器之資料能夠同步。 2.實驗證明以水下載台進行多音束測深，確實可以增加測深之解析度，依本次實驗之設計，在離海床 5m 左右，船速在 0.5 節時的解析度可明顯辨識高於海床 15cm 的物體，達到提升測深足印解析度之目的。 3.由於載台本身無動力所造成的影響，除了產生測深速度不一，水下定位之線性內插會造成局部水平位置誤差外，無往返重疊測線也導致進行載台的疊合修正不易，因此若欲整合水面及水下多音束測深多重解析度資料，尚須克服特徵物由水面及水下多音束測深所產生位置差異之轉換問題。 4.本年度使用長基線作為定位，已將定位誤差控制在 3m 左右，但其有效的定位時間間隔約為 3 秒，若載台本身無固定之船速，則容易造成推估的定位與實際的位置有所差異。
	第四年成果: 1 若載台本身受海流影響造成劇烈之上下起伏，則可使用船隻姿態儀中的Heave修正來取代採樣頻率較低的深度計。 2.本研究以已知之平坦地形來進行 Roll 角修正，並用特徵物之已知特定點來進行 Yaw 角的修正，已可初步改善水下多音束系統測量平面位置之品質。 3.在等速的運動情形之下，DVL 定位搭配水下多音束測深系統，可有效增加水下特徵物的辨識度。 4.本實驗已完成兩系統資料之結合，若能搭配海床之砂樣分析完成底質分類，使海床資訊更為完整。 5. DVL 的參考座標軸與姿態感測器參考座標軸之間存在一角度偏差量，經 DVL 對準偏差校正之後可大幅提升定位估算。

附錄六 歷年審查意見回覆

(一)第一年度(98 年)期中審查意見

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
蔡進發教授： 1. 請計算出圖 26 經過補償後的定位精度。 2. 請依儀器的精度修正報告中的數值的有效位數。 3. 是否可算出 α、β、γ 的麥應(單位角度)可以直接反推偏差角度判視成功率為何？	1. 圖 26 的補償前定位精度約為 50 公尺，補償後約為 20 公尺。 2. 遵照委員意見辦理。 3. 可約略估計。。	
黃明志教授： 1. 本年度工作項目第二項「以多音束測深系統測量水下載具三維坐標之精度探討」以文義解釋可視為用多音束測深系統來測量水下載具位置，但實務操作上應只是用超短基線來測量水下戴具位置，建議修正這大項標題。 2. 船體運動建議中文標準譯名。	1. 參照委員意見辦理，工作項目第二項修正為「以多音束測深系統測量水下定位系統底碇架三維座標之精度探討」。 2. 參照委員意見辦理，本文船體運動名詞統一如下：橫搖角(roll)、縱搖角(pitch)及航偏角(yaw)角。	
邱永芳主任： 1. 請計畫主持人依據本所之研究主題與重點，檢討改進研究方向，期中審查結論與建議將列入期末審查追蹤考核。	1. 遵照委員意見辦理。	

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. 政府機關研究計畫 GRB 表請計畫主持人趕快上網填寫。	2. 遵照委員意見辦理	

(二)第一年度(98 年)期末審查意見

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
張順雄教授： 1. 期中報告委員意見部份應另表回覆修正結果。	1. 遵照委員意見辦理，期中審查意見處理情形表及期末審查意見處理情形表附加於期末報告附件。	
2. 本期計劃預期有效解決國內各港務局水深測量，內政部或經濟部水利署等海岸測量之解析度無法統一之部份，是否有專章(節)討論。	2. 「解決水深測量的解析度無法統一的問題」為本案最終目標之一，受限聲納的設計原理，其解析度大多以等角度定義之，與陸測解析度以等距離，明顯不同，本研究除了概述多音束測深解析度的概念(等角度)，並探討配套儀器的精度與作業流程，預定最後一年加入專章討論。	
3. 水下定位系統介面開發宜考慮模組化及親切性規劃。	3. 遵照委員意見辦理，目前水下定位系統介面整合至 ROV 操控介面模組化及人性化介面，是本介面的重要目標。	
4. 超短基線之水下定位系統的精度分析是否與文獻中之成果比較。	4. 依據已蒐集的文獻中並未出現比對多音束測深與超短基線水下定位系	

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
	統的精度分析，本研究主題可算是首創。	
劉景毅教授： 1. 成果具應用性，可改善深水區之測量精度。 2. 水下定位系統今年計對定點進行測試，以後可針對動態之應答器進行測試，尤其在深度部份之精度。	1. 感謝委員鼓勵。 2. 參照委員意見辦理，本團隊贊同針對動態應答器的精度進行深入研究，並著手設計動態應答器的實驗流程，將其入列明年的重點研究項目。	
黃明志教授： 1. 工作項目第二項已修正為「以多音束測深系統測量水下定位系統底碇架三維座標之精度探討」。 2. 多音束測深系統，水下定位系統量測深度比較部份，是否與壓力式深度計比較。	1. 參照期中審查黃委員意見辦理。已將工作項目修正為「以多音束測深系統測量水下定位系統底碇架三維座標之精度探討」。 2. 遵照委員意見辦理，補充壓力式深度計的水深值。	
余進利組長： 1. 在超短基線系統，應答器是在海床上或是懸浮在水中，如果是懸浮在水中，是否有考慮海流之影響? 2. 請補充說明都卜勒流速計如何用於協助戴具的定位及導航。	1. 超短基線系統應答器可安裝在海床上或懸浮在水中，如果懸浮在水中一定會受到海流作用而運動，故本文調整實驗內容，水下載台採用固定於海床上的載台。 2. 遵照委員意見補充，可參照 p20~p22。	
邱永芳主任： 1. 符合規劃需求。	1. 感謝委員肯定。	

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. 應用性上應事先再釐清。	2. 實際應用層面應以長基線水下定位系統才足以搭配水下載台上多音束測深系統所要求的定位精度，本案依序由超短基線至長基線，其緣由是長基線佈放在海床後，其精確坐標的率定原理類似超短基線的定位與率定步驟，本年度的應用性是過程中重要的探討項目。	

(三)第二年度(99 年)期中報告

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
方志中教授： 1. 長基線水下定位精度分析期中報告已完成，待期末報告再討論。 2. 長基線水下定位界面開發(水下定位)已初步完成。 3. 多音束測深系統之定位精度作業(水面定位)已完成(RTK及後期處理之精度分析)應加強： (1)定位程式分析。 (2)定位模式優缺點分析。 (3)多音速聲納足印尺寸分析。	1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員肯定。 3. 遵照委員意見辦理，加強下列三項項目報告內容。	
劉景毅教授： 1. 本研究以水下載具來增加多音束測深的精度，報告中是否增加蒐集水下自動化載具的介紹，例如	1. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充說明。	

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
ROV、AUV 的說明。現有的水下定位如何進行使用短基或長基定位? 2. 報告內容的編排，建議可以進行適當的調整，例如第三章專案時程及工作進度說明可以歸到 1.7 節或最後一章。2.3 節的內容可與第四章結合。 2.1 和 2.1 節可與第 5 章結合，page16 和 48 頁的公式可以結合為一。 3. RTK 和 PP 的比較有實例成果相當好，但建議可以加強案例內容之說明。例如 Page57 應用在垂直結構物成果之比較是很有應用價值的比較。圖 21 的成果可以做詳細的說明。	2. 參照委員意見辦理，修正期中報告書。 3. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充。	
黃明志教授： 1. 4.3.2 節內文數字與表 8 不符，請修正。 2. 4.4 節 PatchTest 條件之設定有何理論基礎，請說明。率定實驗說明不清楚。 3. 5.3 節數值模擬如何進行，請說明。 4. 圖 24-27?軸座標標示不符，請修正。 5. 報告 5.1 節公式與 2.2.3 節公式重覆，差別只在於三個應答器與四個應答器是否精簡或說明。	1. 遵照委員意見辦理，修正 4.3.2 節內文數字。 2. 遵照委員意見辦理，補充率定實驗說明。 3. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充說明。 4. 遵照委員意見辦理，修正期中報告書。 5. 遵照委員意見辦理，修正期中報告書。	

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
余進利組長： 1. 建議第一章 1.5 節之參考文獻列在文章的最後面而參考文獻之列法亦應注意。 2. 建議第三章專案時程及工作進度說明移到第一章，如此閱讀起來會比較順暢。 3. 期中結論的第 4 及第 5 點未增在內文討論到，不宜在此就下結論。 4. 整體的內容太簡略，建議補強。	1. 遵照委員意見辦理，參考文獻移至最後。 2. 遵照委員意見辦理。 3. 遵照委員意見辦理，移至內文內討論，而非列為結論。 4. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充更為詳細。	
何良勝 科長： 1. 本研究為 4 年期之第 2 年計畫，建議於期末報告中增列前第 1 年之研究成果。 2. 下列請於期末報告中修正或補充說明。 (1) p9、p18、p19 中部份內容方式宜以肯定方式說明，例如「預定」「預計」可修正。 (2) p15 之圖 6 增加中文說明。 (3) 部份專有名詞，請增加中文說明。 (4) p34 之內文與表 8 之對照修正。 3. 部份工作項目之報告內容較為簡略，請於期末報告時，加強補充及說明。	1. 遵照委員意見辦理，將增列前 1 年之研究成果。 2. 遵照委員意見辦理修正事項。 3. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充。	

(四)第二年度(99 年)期末審查意見

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
方志中教授：		
1. RTK 及 PP 模式對多音速測深儀的精度比較均以水面船作分析，未來如何應用至水下載具?	1. 水下定位系統所獲得的定位資料都是採用相對坐標系統，轉換絕對坐標系統皆需應用水面定位模式。	
2. 長基線收發器之安裝，是否有限制需要(潛水伕?)，(水深、地質、流速…)未來如何應用至實際量測工作(安裝、回收等作業…) 。	2. 長基線系統應用於水下載具作業時，須先將收發器安裝於船底來定出四支應答器的位置。完成應答器定位後，再將收發器安裝於水下載具上，以進行載具之定位。應答器佈放之前，必須將應答器安裝於固定架上，並整合浮力設計、配重設計、耐壓設計、以及聲學釋放儀，便可將應答器佈放至作業水深之海底。完成定位作業後，只要啟動聲學釋放儀以釋放配重，待應答器上浮至水面後便可回收。佈放應答器時，需避開鬆軟底質之海床，以免發生應答器沈陷的危險。由於本研究作業水深約 30 米，在考慮成本與作業風險下，僅利用潛水伕將應答器底定於海底。	
3. 收發器及多音束測深儀之重量是否等符合水下載具之戴重規格，是否已有假	3. 要整合收發器、都卜勒流速計(DVL)、多音束測深儀、以及運動感測器於水	

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
想之水下載具規格。	下載具上，必須考量水下載具之荷重(Payload)能力。目前除了國家實驗研究院台灣海洋研究中心正在採購的 3000 米 ROV 可以符合之外，國內並無適合的水下載具可以搭載這些儀器。本研究未來會將收發器、DVL、多音束測深儀、以及運動感測器裝置於水下平台上(類似 depressor)，利用研究船拖行水下平台移動以模擬水下載具作業。	
李良輝 教授： 1. 本研究探討長基線水下定位系統 精度並開發其導航介面，研究深度足夠，方法嚴謹，程序完整，成果且有未來應用之參考。 2. 全文之上頁標題請修正為「期末報告書」計畫編號改為 99。 3. AGPS 有無可能替代 RTK 之定位。 4. 水平位置 RTK 有 1 公尺偏差，PP 為 0.5mm，其具體原因為何?如何改善?	1. 謝謝委員肯定。 2. 遵照委員意見辦理。 3. 科技日新月異，新的定位方法及原理有可能獲得較高的定位精度而取代 RTK 模式，AGPS 是其中一種可能性。 4. 本研究案定位精度分析著重在定位模式、音束足印及率定偏差量三個項目，尚未對 TPU 作全面性的評估，其主因應是單一誤差源擴散與率定的誤差相乘	

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
	效應的結果，可從理論上的數值模擬推敲各種誤差源特性，並增加率定項目的檢測以降低關鍵誤差總量。	
黃明志教授： 1. 已完成衛星即時動態定位與後期處理模式應用在多音束測深系統之精度探討、長基線系統之水下定位精度探討二大工作項目，符合計畫內容進度。 2. 期中報告委員意見已在期末報告內修正增補，容內充實完整。 3. 長基線定位改善主要利用載具速度量測資訊來來估算 Transceiver 位置，本實驗尚未實際使用水下載具，往後應驗 IE DVL 在水下載具狀況下之定位改善。	1. 謝謝委員肯定。 2. 謝謝委員肯定。 3. 本研究未來會整合 DVL 的速度量測資料，以提高載具定位估算的精度。	
何良勝 科長： 1. 報告內容修正之處： (1) 請依本所出版品規定，辦理報告修正稿。 (2) 第五章章名修正為「結論與建議」。 2. 有關 2.5.3 節之疊合率定測量僅次貨櫃作為驗證，建議後續工作能增加其他之驗證成果。 3. 2.6 節中有關 RTK 與 PP 之比較，兩者有何差異?如何	1. 遵照委員意見辦理，排版方式遵照貴 所出版品規定，並將第五章修正為「結論與建議」。 2. 參照委員意見辦理，儘可能增加其它特徵物的疊合率定驗證。 3. 二者大致可以時效性及精準度區分，以疏浚作業為	

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
分別使用?可否提供更可行之具體方式?	例，RTK 的即時性適用現場判斷是否已浚挖至設計水深，PP 則可提供誤差較小的土方計量量測。	
4. 有關長基線定位資料之測量驗證中相關改善方法除由藉用輔助預測收發處外，是否有其他方式?	4. 在軟體方面，收發器的位置估算是改善水下定位精度的主要方法。在硬體方面，本研究採用之長基線收發器，每次只能詢答單支應答器，若改採可以同時詢答多支應答器的收發器，便可改善長基線定位誤差。	

(五)第三年度(100 年)期中審查意見

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
黃明志教授： 1. 已完成水下載台設計製作及水下多音速測深系統感測器資料同步收等方法二大項工作，符合進度。	1. 謝謝委員肯定。	
2. 設計水下載台時是否有參考 CT3 漁船船長操作意見。	2. 此載台在設計時有請船長一同討論。	
3. 水下載台測試結果並未在期中報告中呈現。	3. 由於本計劃中載台主要目的在提供儀器於水中能安裝的平台，因此只針對平衡部份作測試，修正方式為增加浮材以達到平衡，這部份於現場實驗時已完成。	
4. 第五章各圖表標示不夠清楚，圖 5-2 建議標示尺寸及系統各組件名稱。	4. 遵照委員意見辦理，期末報告中補充。	
5. P8「應答器定位估算」小節內文敘述反而沒有圖 2-1 流程圖清楚，建議補充。	5. 已遵照委員意見針對「應答器定位估算」之內容詳細補充說明。	
6. P13 公式(14)有誤。	6. 原 P13 公式(14)（期中報告修訂版本之公式(18)）可參照以下論文： (1)N. Brokloff, “Matrix algorithm for doppler sonar navigation,” *Proceedings of MTS/IEEE Oceans 1994*, Brest, France, 13-16 Sept. 1994, Vol. 3, pp. 378–383.	

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)R. Eustice, R. Camilli, and H. Singh,"Towards athymetry-optimized Doppler re-navigation for AUVs," *Proceedings of MTS/IEEE Oceans 2005*, Washington, DC, USA, 17-23 Sept. 2005, Vol. 2, pp. 1430–1436. 尚請委員指正公式錯誤之處。	
7. P14 DVL 位移公式(19)由積分而得，是否有實測數據來探討其收斂性或 Low-frequency trend 等問題。	7. DVL 位移積分效能將由本年度計畫實海域測試的定位結果來呈現積分漂移(Integration drift)的情況。其定位結果將呈現於期末報告中。	
8. P17 與 P21 船隻姿態收集儀之精度 0.5%，5%不一致。	8. 遵照委員意見辦理，期末報告中修正。	
9. P35 圖 4-9 Beam angle 定義不清楚，應標示。	9. 遵照委員意見辦理修正事項。	
方志中教授： 1. 船舶運動名詞應採用教育部公布之"船舶名詞"以標準化。Ex：a)Roll 橫搖、b)Pitch 縱移、c)Heaue 起伏、d)Yau 平擺。	1. 遵照委員意見於期末辦理修正事項。	
2. 英文摘要多處文法錯誤，應修正。報告格式應與港研中心規定相符。	2. 報告格式遵照委員意見於期末辦理修正事項，英文摘要文法尚請委員指正錯誤之處。	
3. 載台尺寸 300x69x80cm 設計應再考量! 。	3. 載台的設計主要目的為安裝各系統，尺寸部分應	

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
排水量(海水)：170kg 轉船：50kg 載重：115kg 負載：5kg←太少 重心位置：1m trim←無法平衡 $\overline{GM}$ ≒0.06m←浮力不足	無問題，浮力的部份，會以浮材來增加其承載力。	
劉景毅組長： 1. 本年度為4年計畫的第三年，建議報告中可以描述前二年之重要成果，且委員意見與回覆應整理於報告後。 2. 本計畫為以水下自動化載具進行之多音束測量研究。因自動化載具的研究已有停止研究，是否文中說明，以利讀者瞭解計畫的轉折演變。 3. 下半年要進行實測作業，能否說明海域實測分析之規劃，例如：區位?水深?使用載具?如何做驗證? 4. 期中結論之前三點，建議在期末報告可以整合為一。 5. 本研究規劃之未來應用方向為何?	1. 遵照委員意見於期末辦理修正事項。 2. 遵照委員意見於期末增加敘述。 3. 遵照委員意見於期末進行說明。 4. 遵照委員意見於期末辦理修正事項。 5. 目前國內並無將多音束測深系統安裝於水下載具之上，希望本研究可提供一個經驗，以利未來研究之參考。	
江文山組長： 1. 本計畫第一年針對超短基線水下定位系統探討，第	1. 謝謝委員肯定。	

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
二年針對長基線水下定位系統探討，由第二年的研究成果得知長基線水下定位系統，可將水下定位誤差控制在 1.0~1.5m。第三年計畫預計整合長基線、都普勒流剖儀與深度計等，未提昇水下定位精度，目標明確可行。 2. 從報告中可知，水下定位誤差可分為時間誤差與空間誤差，其中牽涉到多重儀器的誤差疊合，使得誤差分析相對複雜，建議於期末報告中列表說明各種誤差的範圍，並評估其綜合效益。 3. 載台承受水壓與沒水時的水密問題的考量，請於報告中說明。 4. 載台外形請再考量。	2. 感謝委員意見，會將此部分描述於實驗結果裡。 3. 遵照委員意見於期末增加敘述。 4. 載台的設計主要目的為安裝各系統，外型部分應無問題。	
何良勝科長： 1. 請於期末報告中修正部份章節編排，如第三章、參考文獻，補強前二年研究成果等，並依本所出版品編排方式辦理。 2. 建議增列本計畫各項工作整合情況之流程表。 3. 有關應答器位置估算(圖 2-1)之誤差影響因素為何?同時，圖 2-1 流程與後	1. 遵照委員意見於期末辦理修正事項。 2. 遵照委員意見於期末增加敘述。 3. 應答器位置估算誤差主要來自於水層聲速隨時	

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
面(2)~(4)項有何關連?	間與空間的變動。根據第二年度計畫的研究結果，應答器的位置估算誤差約在 10 cm 左右。 長基線定位需要在海床上佈放三支以上的應答器，而且需要事先知道每支應答器的位置坐標。因此，本研究利用圖 2-1 流程來估算應答器位置，一旦應答器的位置估算出來之後，便可進行長基線定位來量測水下載具的位置。 然而，無法連續收到應答器的詢答回訊是長基線定位誤差的主要來源，因此本研究透過卡曼濾波技術來整合長基線系統與都卜勒流速計，以提高水下載具的定位精度。	
曾相茂研究員: 1. 研究步驟正確有條理，報告十分詳實，方法正確，所以成果應有具實性，且研究團隊對問題之認知及未來的貢獻應有期待。	1. 謝謝委員肯定。	

(六)第三年度(100 年)期末審查意見

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
黃明志教授： 1. 完成本年度預定工作項目。 2. 附圖品質可再加予改善。 3. 是否可提供實驗時吊掛水下載台的照片？ 4. 圖 6.2 示意圖請標示構件名稱 5. 圖 6.11 請標正座標，軌跡比較應校正為同一座標係才能清楚顯示其重疊性。 6. 是否增加不同水深的實驗結果以供比較。	 1. 謝謝委員肯定。 2. 遵照委員意見於期末定稿會將圖的部份以彩色影印。 3. 遵照委員意見於期末定稿增加圖 6.11 於 P6-7。 4. 遵照委員意見於期末定稿增加標示。 5. 遵照委員意見於期末定稿修正水下定位軌跡圖於 P6-9 圖 6.13~6.15。 6. 感謝委員意見，會於明年度實驗加入考量。	
方志中教授： 1. 水下載台本身無動力，除測得速度不穩定外，如何控制載台本身之縱向及橫向平衡及方向穩定性(海流作用下)。 2. 研究成果與預期十分符合。 3. 應建議目前系統之適用水深及環境限制。 4. 成果明確建議進行第四年度計畫。	 1. 本年度實驗當中，載台本身之運動狀況無法控制，僅靠海流控制其漂流之方向。 2.感謝委員肯定。 3.本年度所設計之實驗模式並無水深之限制，惟受限於本校儀器電纜之長度，故載台入水僅能達到 9 至 10m。 4. 感謝委員肯定。	

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
劉景毅組長： 1. 依據前言之說明，應用多音速進行深水處的水深量測，有其精度限制，因此本計畫以水下載具進行多音速測深研究的目標相當明確。但報告第三頁則又敘述本研究成果可應用於瑚礁、環礁或港灣水下結構物之測量，而計畫的現地試驗也選在水深 15cm 處之海域進行。建議計畫目標的撰寫應前後一致，才不會失焦，目前的應用研究似乎以較淺水深為主。	1. 感謝委員意見。本計劃在一開始之目的就是希望能改善多音束測深之解析度會隨深度而變差，因此，將整套測深系統置於水下載台上，此種方式除了可在深海測深(如沉船搜尋)有效提高解析度之外對於淺水域之微地形測量(如珊瑚礁或港灣水下結構物)也很有幫助，受限於本校儀器電纜之長度，今年度之實驗僅能以淺水域為主，若移至深海實驗，載台入水所帶來的解析度之改善並無法顯現出來，故實驗區域選擇水深在 15m 左右，若有適當之儀器設備，整套實驗方式亦可用於深海之測量。	
2. 第六章的現場測試成果為本年度計畫之重點，但實驗結果之照片或影像均不夠清晰，難以判讀。且與傳統測量結果之比較，應加強定量之分析，以更明確表達本研究之成果或貢獻。例如，第一點結論主要定性描述統一不同資料來源的時間可提高精度，應更精準的比分析，統一不同資料來源的時間對精	2. 感謝委員指正，遵照委員意見於期末修訂表 6.3 比較兩套系統之優劣。	

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
度的改善程度。而第二點結論僅說明以載台進行多音速測深，可提高足印解析度，但更重要的是要依水平定位與垂直深度來探討分析本研究成果與傳統測量之優劣，釐清本研究之整體解析度是否比傳統測量方式為佳。 3. 目前載台為無動力，隨海流漂動，但也會生出誤差。不知現在試驗時之流速約多大？水下儀器有包括 DVL，可否用其校正流速之影響？在執行現地試驗時，是否曾考慮以漁船拖行載台？下一個年度的計畫，對於現有載台缺點，有何改善對策？	3. 遵照委員意見於期末進行說明。	
江文山組長： 1. 計畫成果符合預期對定位精確度與微地形測量有明顯改善。 2. 目前載具無動力，因此實務應用上尚待改善，建議後續針對此部份研究改善方案，以提高實務應用價值。 3. 中英文摘要中補述今年成果。 4. P.1-7 預期成果第一點與本實用係不明確。 5. 建議後續研究可考量從體整合著手。	1. 謝謝委員肯定。 2. 感謝委員意見，明年度會將今年之實驗結果列入實驗設計當中。 3. 遵照委員意見於期末定稿增加敘述。 4. 遵照委員意見於期末定稿修正。 5. 感謝委員意見。	

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. 報告中語句"預計…"，應修改為完成式。 7. P3-3 章節說明不符報告內容。 8. 報告中單位"公尺"、"米"、"m"，應統一。 9. 圖的清晰度改善。	6. 遵照委員意見於期末定稿修正。 7. 遵照委員意見於期末定稿修正。 8. 遵照委員意見於期末定稿修正。 9. 遵照委員意見於期末定稿修正。	
何良勝科長： 1. 摘要，參考文獻等作部份修正。 2. 報告各章節名稱，建議作部份修正。 3. 簡報內容與報告內容不符處，請修正。	1. 遵照委員意見於期末定稿辦理修正事項。 2. 遵照委員意見於期末定稿修正第二與第六章名稱。 3. 遵照委員意見於期末定稿修正。	
曾相茂研究員: 1. 本案已經過三年的研究，試驗與探討，其成果已具有實用價值，且進度已達到本計畫之需求是值得肯定，且報告相當嚴謹。	1. 謝謝委員肯定。	

(七)第四年度(101)年期中審查意見

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
黃明志教授： 1. 姿態感測器量測艏向、縱搖、橫搖等來進行水下載台定位與前言敘述多音速測深系統之橫搖、縱移、起伏、平擺等不一致。附圖品質可再加予改善。	1. 感謝委員指正，將於期末報告再加強。	
2. 多音束測深與側掃聲納多重解析度資料常未進行，但表 3.2 現場實驗實際進度 100%是否矛盾。	2. 由於側掃聲納的現場實驗已於 5 月 6 日完成，但由於資料在期中報告之前尚未處理完成，因此並未在報告中寫入相關文字，感謝委員提醒，未來會注意相關之措辭。	
3. 公式(b)重覆以往報告印刷錯誤。	3. 感謝委員指正，相關公式以在期末報告中拿除。	
4. 表 2.1 標題多音束測深系統儀器規格表是否更改較符合其內容，此外應提供側掃聲納規格。	4. 感謝委員提醒，由於本次實驗所使用之側掃聲納系統為 Reson7125 之 Snippet 影像，其解析度與多音束系統相同。	
5. 實驗規劃中請提供實際照片(圖 4.1、圖 4.2)載台固定於工作船旁邊之實際照片亦應提供。	5. 感謝委員提醒，補充載台固定照片於期末報告之圖 4.2。	
6. 實驗結果與討論一章中內文無圖 5.6、5.7、5.8…等敘述，此外編圖錯誤(5.2 圖 5.6 為 5.5)，5.3.2 節水深應為入水深。	6. 感謝委員意見，於期末報告修訂。	
7. 5.4 節「側掃聲納與多音束測量」結合一節內文與	7. 已於期末報告中修正章節之編排。	

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
標題不符。 8. 附錄應標示初始位置。	 8. 感謝指正。	
方志中教授： 1. P2-9 DVL 無法即時輸出定位資料為何? 2. GPS 與 DVL 之差異是否已進行座標原點較正?(圖 5.2) 3. DVL 與 OCTANS 之加速度計是否可互相 check 軌跡資料(圖 5.2) 4. 圖 5.2 是否可增加軌跡之時間歷程圖? 5. Pitch：縱搖，請修正。	 1. DVL 在此次實驗中只負責及時輸出速度資訊,再經由後處理運算而得定位資訊,此次實驗架構無法及時運算出定位資訊。 2. GPS 與 DVL 已進行原點校正,DVL 的漂流原點是利用已知的 GPS 天線的位置,經過 GPS 天線與 DVL 在實驗船上的相對位置推算而得。 3. 可以,但 OCTANS 本身與姿態感測器之間也是有對準偏差角度的問題,所以就算使用 OCTANS 所運算出來的定位軌跡,也不一定是精確的。 4. 圖之座標軸為經緯度，其時間序列為由左至右遞增。 5. 感謝指正。	
張金機委員: 1. 水下載台定位雖增加浮標，但其移動軌跡仍受工作船限制，定位誤差將落在一定範圍。 2. 實驗輪胎佈放完成後，建議增加水下拍照及測繪，以了解佈放後輪胎是否傾斜、埋入，表 5.1 比較才有意義。	 1.確實，在本次實驗中，載台確實會受到工作船之影響。 2.在輪胎佈放完之後，請潛水人員進行水下攝影，當中，在編號 2 之輪胎，有浮起之現象，以附註在期末報告 4.5。	

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
3. P5-6 後可能因報告圖文建議再作正。。 4. 水下載台速度 transverse 及 normal 均在一定範圍漂動，但 longitudinel 速度由正轉負為何?	3. 感謝委員指正。 4. 於期末報告修正。	
蔡進發 組長： 1. 船舶運動名詞改成動名詞如 Roll->Rolling、pitch->pitchig(縱搖)。 2. DVL 校整結果應有明確的數值表示。 3. 應以高速來校正 DVL 的精確度。 4. 圖 5.14 水層聲速顯示的尺度應改成可適度看出聲速的差化值。	1. 船舶運動的名詞解釋在不同領域有些微的變化，依據海測之相關文獻，還是以名詞使用者居多，且參考國家教育院之名詞解釋，也有使用 Roll 或 Pitch，故維持原本之用法，請委員見諒。 2. 於期末報告中修正。 3. 受限於非動力之載台，故無法進行高速校正。 4. 感謝委員指正，此圖於期末報告中已被刪除。	
何良勝科長： 1. 報告排編方式、章節名稱與部份內容於期末報告時建議適當修正。 2. 於期末報告中增列前三年研究成果說明。 3. 補充說明相關試驗成果和實際應用的可能誤差性及差異性。	1. 感謝委員指正，遵照辦理 2. 遵照辦理。 3. 感謝委員提醒，將於期末報告中探討其差異性。	
林柏青研究員: 1. 海中進行實驗測點位置的水深變化與岸邊潮位變化	1. 高雄的潮差約一米，本實驗的實驗場為西子灣外	

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
如兩者距離太遠，實際上會有時間差出現，因此以岸邊架設潮位計來作測點之水位修正可能造成錯誤，何況現場還有水面波浪運動，水位計或測深儀校正還是應該在實驗室或靜穩水域內以量尺施行比較好。	海，離岸約2公里，基本上使用高雄港之潮位資料是可行的。若有相關合適的場合，在平穩的水域中進行儀器之校正確實是可以達到較好的效果。	
2. 只要是浮體都會受海面波動及水流的影響，不管是船隻吊放或懸掛在水面浮體下。本系統若要達到實用分段尚必須克服海面較大波浪或流強時的考驗，此時載體平衡、定位及姿態的準確校正都會增加困難度，所以實際應用時應說明其適用範圍。另外，在海上實際作業時，普遍在在的斜溫層或河口海域的密度層對於音速及音波折射角度的影響也必須隨時作適時修正。	2. 本實驗受限於載台的因素，只能模擬水下載具之運動情形，因此，本實驗最大之目的在於提供相關整合之經驗，在未來的實際的自動化載具的應用。 本實驗皆有施放聲速剖面儀進行修正。	

(八)第四年度(101)年期末審查意見

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
黃明志教授： 1. 限於無配合執行之水下自動化載具，本計畫建置之無動力載台延生實作與資料處理困擾。惟四年研究期間，針對超短基線、長基線、DVL 三種方式之水下定位進行精度探討；亦針對水下定位與水下多音束系統整合，水下多音束與側掃聲納整合進行研究，有助於後續水下自動化載具搭載多音束系統之實作。	1. 感謝委員肯定。	
2. 本報告附錄五檢附第一年度、第二年度、第三年度期末審查意見及第三年度、第四年度期中審查意見，為求完整及一致性，是否也檢附第一年度及第二年度的期中審查意見。	2. 感謝委員意見，將補充於定稿的附錄 5。	
3. 更新率 30Hz，50Hz，每秒三筆(3Hz)請統一。	3. 感謝委員指正，更新於定稿 P4-7。	
4. 錯別字請更正，如側掃深(聲)納等。	4. 感謝委員指正，修正於定稿 P4-22、P4-24。	
5. 本報告中 4.3 多重解析度之影像融合需利用事先佈置之特徵物進行平移與旋轉修正，應說明在真實海床之處理方式。	5. 水下載台受限於定位精度不足，並無法有效的進行疊合修正，本實驗利用已知的特徵物來進行姿態感測器與音鼓的相位角偏差修正，初步達到修正的效果，若應用到真實	

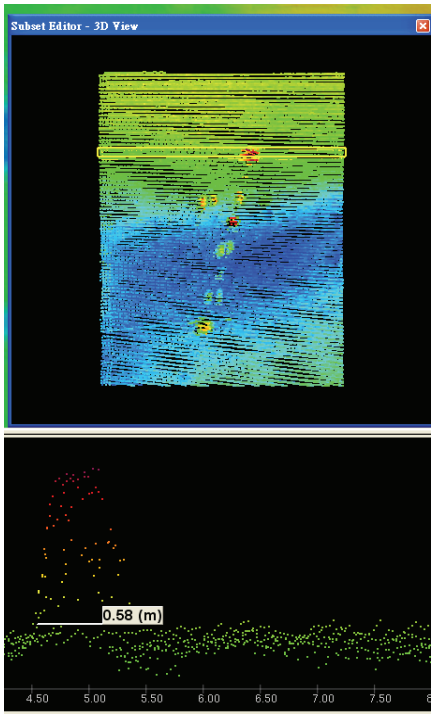
參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
	海床，仍建議佈放已知之特徵物，便於進行相關的參數修正。	
方志中教授： 1. 請補充各年度之計畫績效指標並討論。 2. 各年度成果(附錄四)中，各成果與總計畫之關連性應列表或繪圖表示。 3. 載台及系統之應用範圍(天候、水深)應明列。 4. 應探討以本系統是否可實際應用於 ROV &AUV(38kg 重，表 2.2)。	1. 於定稿本中增列於附錄七。 2. 已增加說明於附錄四 3. 以本實驗之設備而言，載台應用受限於天候與纜線長度(10 米)，然而，若是實際之 ROV&AUV 則與本身之動力有關(抗流)，氣候較無受限，水深的部份則與儀器本身之規格有關。 4. 以本單位之系統並不適用於 ROV&AUV 上，因為多音束測深之處理器無法置入水中，然而，本實驗之目的在於提供水下定位與多音束測深系統之整合經驗，若搭配為水下載台設計之多音束系統，此整合經驗是可行的。	
張金機委員: 1. 載台穩定度 heave，Rolling，pitching，Yaw 等需任由姿態儀修正，載台形狀影響穩定度，建議未來能加強載台形狀與穩定度分析，例如錐形浮筒是	1. 感謝委員意見。	

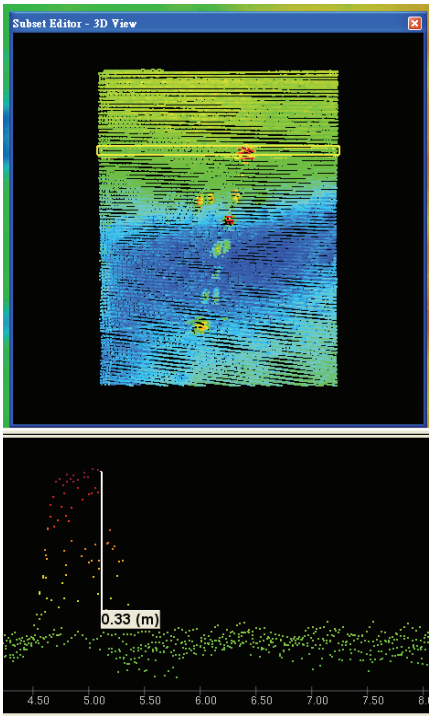
參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
否比長形穩定。 2. 工作船、浮體、載台均為近似自由體，無法按規劃測線完成測深工作，且在載台漂離測區較遠時，需利用工作船拉回。建議未來能利用水面浮體為控制系統，再懸吊圖錐形(或其他較佳形狀)。 3. 部份圖座標不清楚，缺單位。第四章 p4-6 後影像圖、圖標、說明均不清楚應加強。	2. 感謝委員意見。 3. 於期末報告修正圖4-7~10、4-30~31。	
蔡進發 組長： 1. 本研究中船隻與載台為獨立漂浮單位，但在研究中用船隻的運動感測器來修正載台的姿勢修正，在實務上可能產生影像處理的結果。 2. 本研究使用水下無動力載台搭載多音束儀器欲改進水面多音束量測的解析度，與當初規劃使用自主式水下載具(可抗流、可定位)因此花很多時間在解決載台運動所造成的各項誤差，致使研究成果與預期有差距。	1. 本研究中，運動感測器是安裝於載台上，以目前的研究顯示影像之扭曲是因為載台非等速度運動所造成。 2. 與本計劃搭配之水下載台研發，在計畫第二年結束後便終止，以至於後續之實驗遭遇許多預期以外的困難，但最終仍嘗試提供一套系統整合之流程供後續之參考。	
何良勝科長： 1. 報告格式，請依本所規定辦理。	1. 遵照辦理。	

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. 請補充增列前三年之研究成果彙整。 3. 請適度修正摘要內容。 4. 報告內之單位宜統一，例如”m”、”公尺”等。	2. 詳見附錄五。 3. 於定稿修正摘要部份。 4. 遵照辦理。	
林柏青研究員: 1. 本研究具實用價值，成果豐碩。 2. 希望委託單位能繼續推動，將之具體實用化。	1. 感謝委員肯定。 2. 感謝委員肯定。	

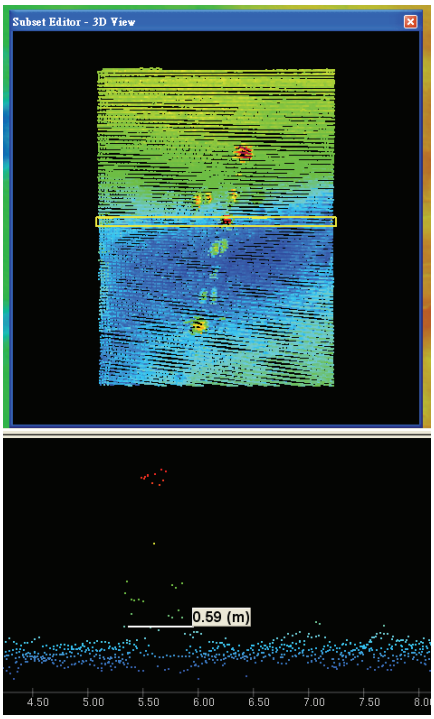
附錄七 水面多音束測量各輪胎尺寸圖

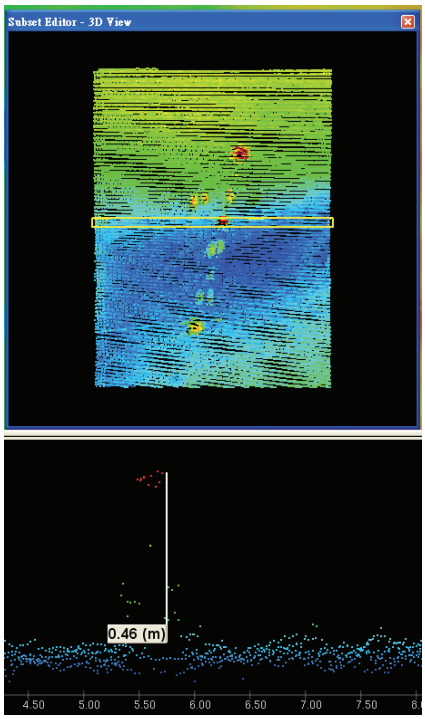
輪胎編號 1



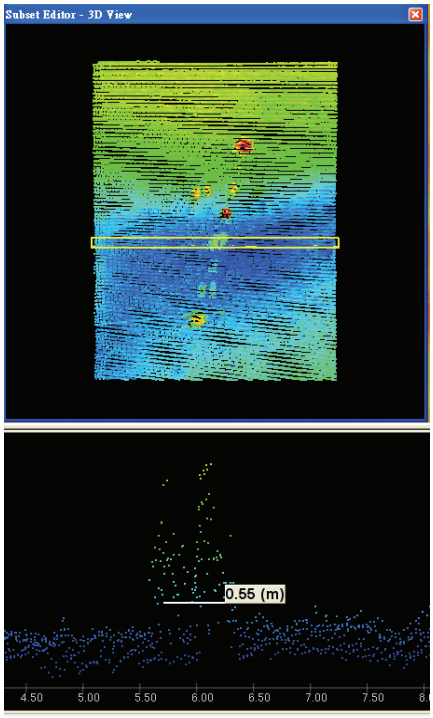


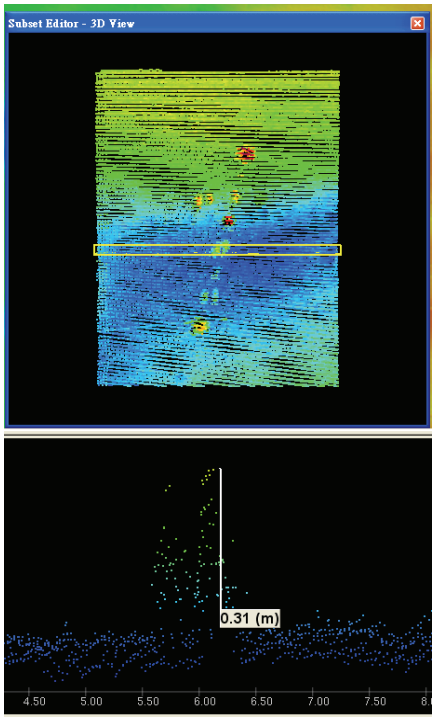
輪胎編號 3



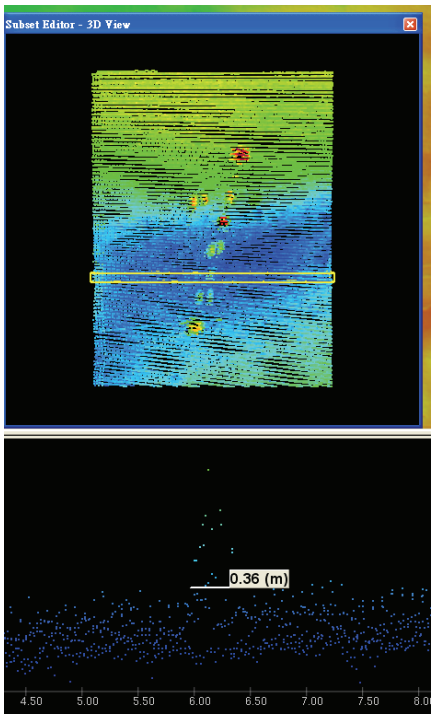


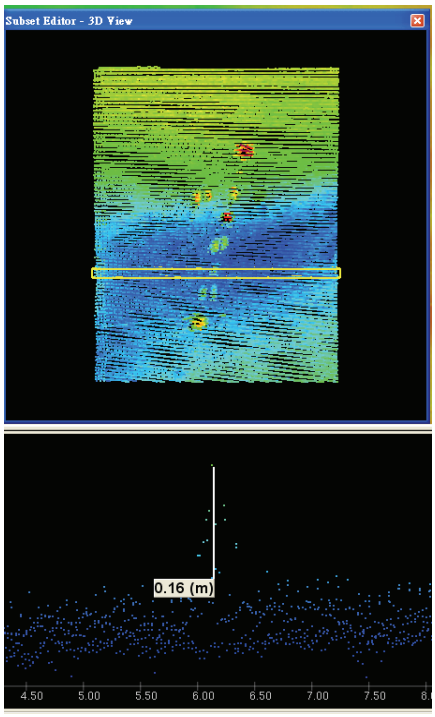
輪胎編號 4


Subset Editor - 3D View
0.55 (m)
4.50
5.00
5.50
6.00
6.50
7.00
7.50

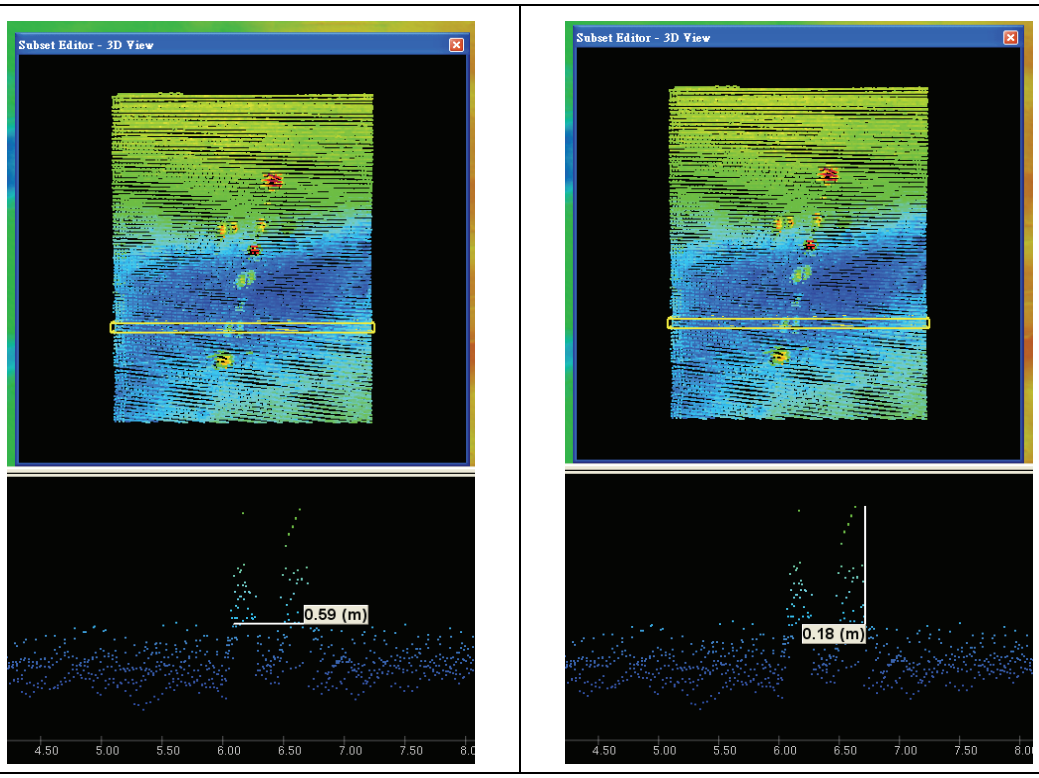

Subset Editor - 3D View
0.31 (m)
4.50
5.00
5.50
6.00
6.50
7.00
7.50

輪胎編號 5

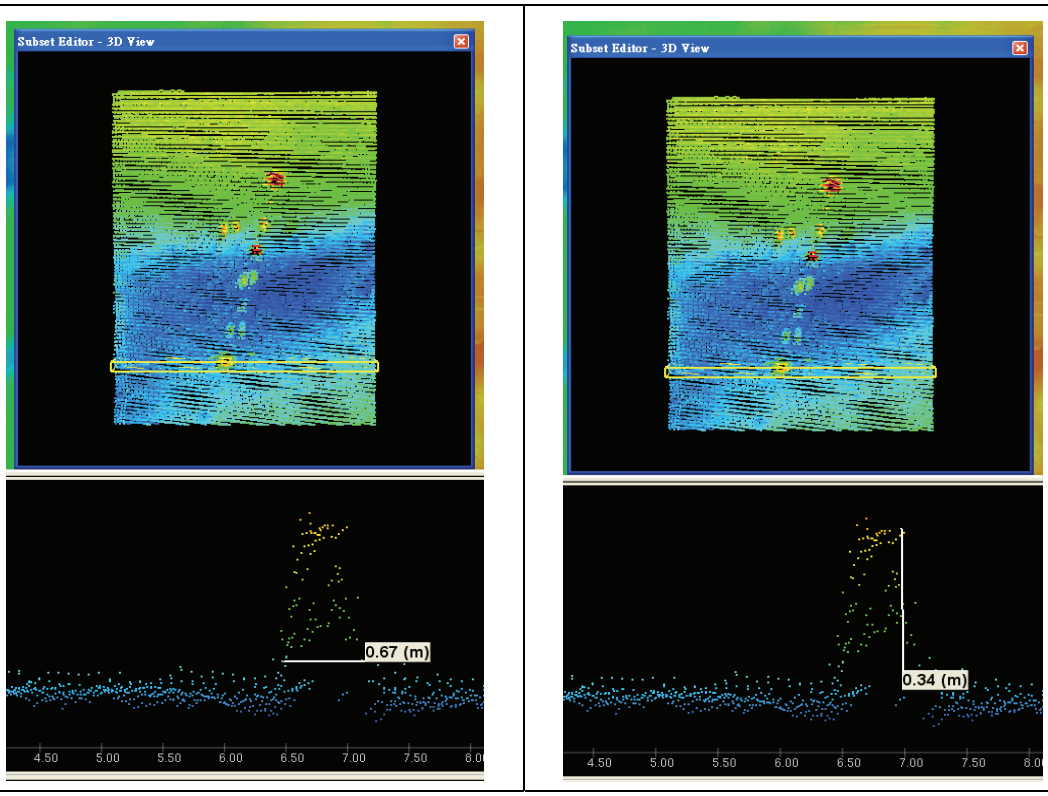

Subset Editor - 3D View
0.36 (m)
4.50
5.00
5.50
6.00
6.50
7.00
7.50


Subset Editor - 3D View
0.16 (m)
4.50
5.00
5.50
6.00
6.50
7.00
7.50

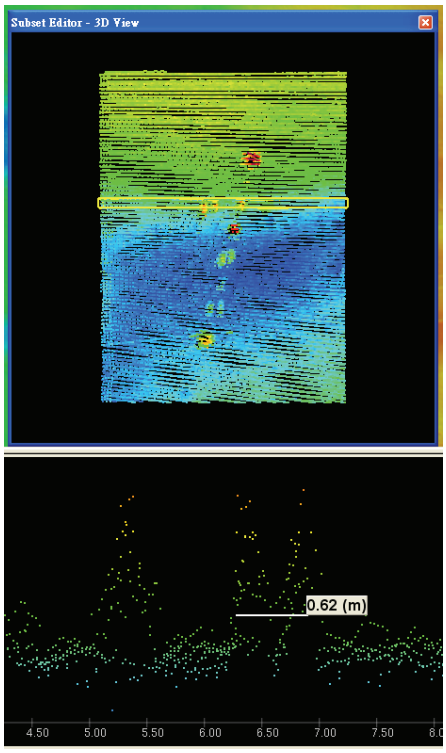
輪胎編號 6

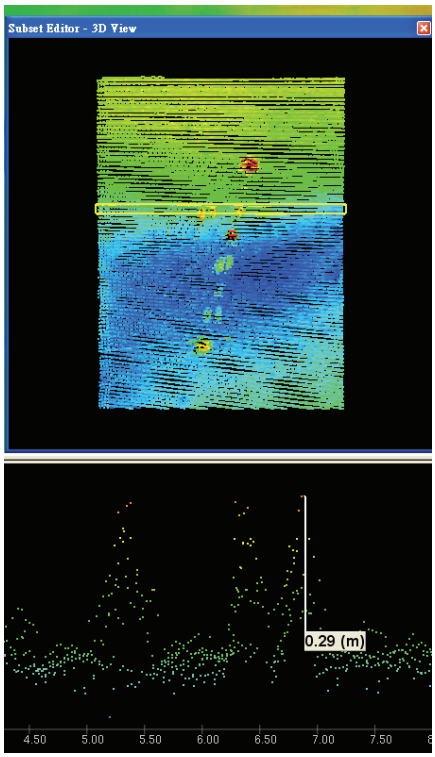

Subset Editor - 3D View
0.59 (m)
4.50 5.00 5.50 6.00 6.50 7.00 7.50
Subset Editor - 3D View
0.18 (m)
4.50 5.00 5.50 6.00 6.50 7.00 7.50

輪胎編號 7

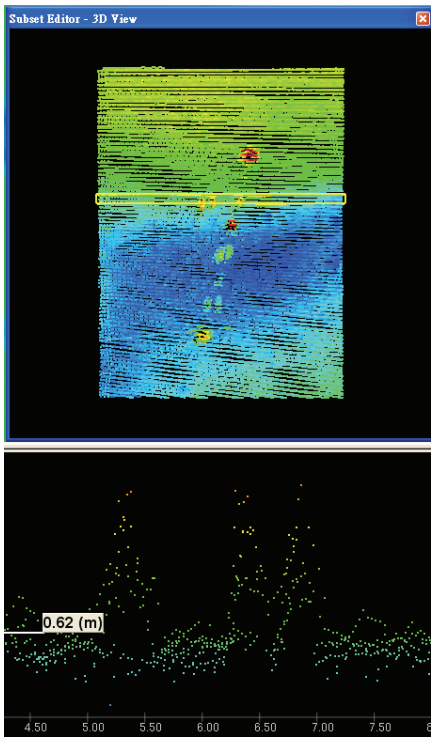

Subset Editor - 3D View
0.67 (m)
4.50 5.00 5.50 6.00 6.50 7.00 7.50
Subset Editor - 3D View
0.34 (m)
4.50 5.00 5.50 6.00 6.50 7.00 7.50

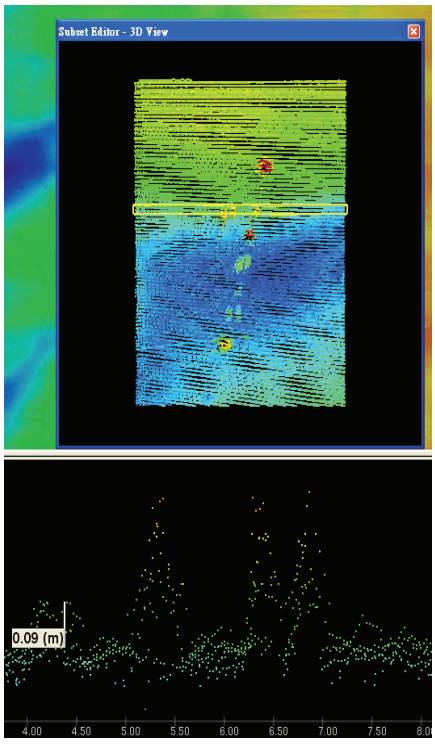
輪胎編號 8



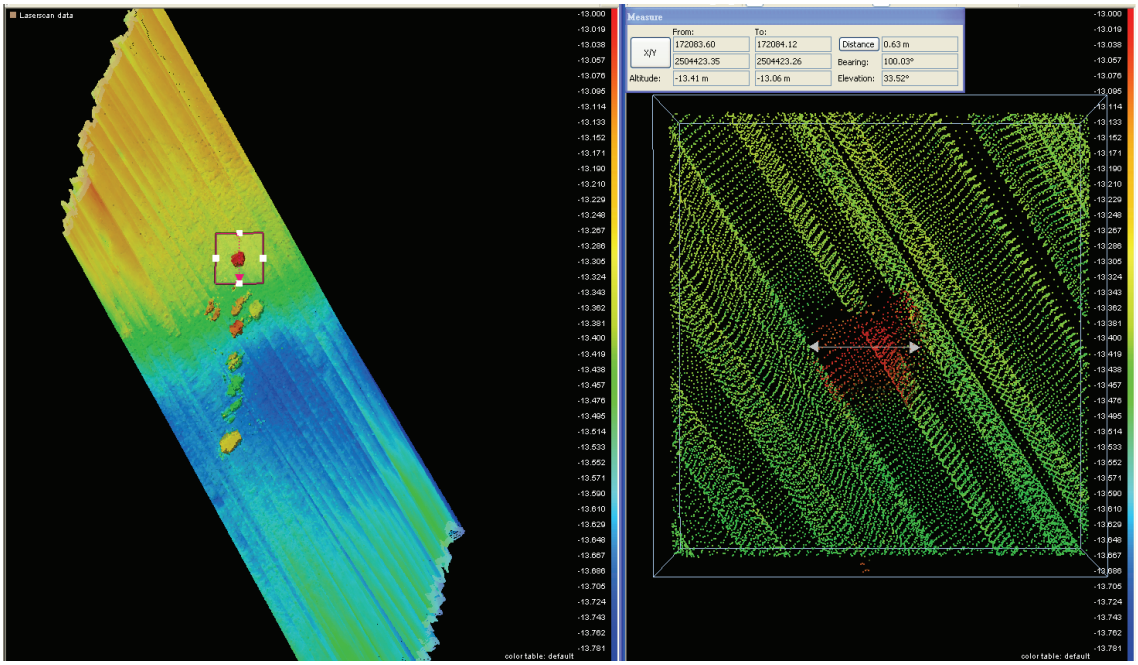
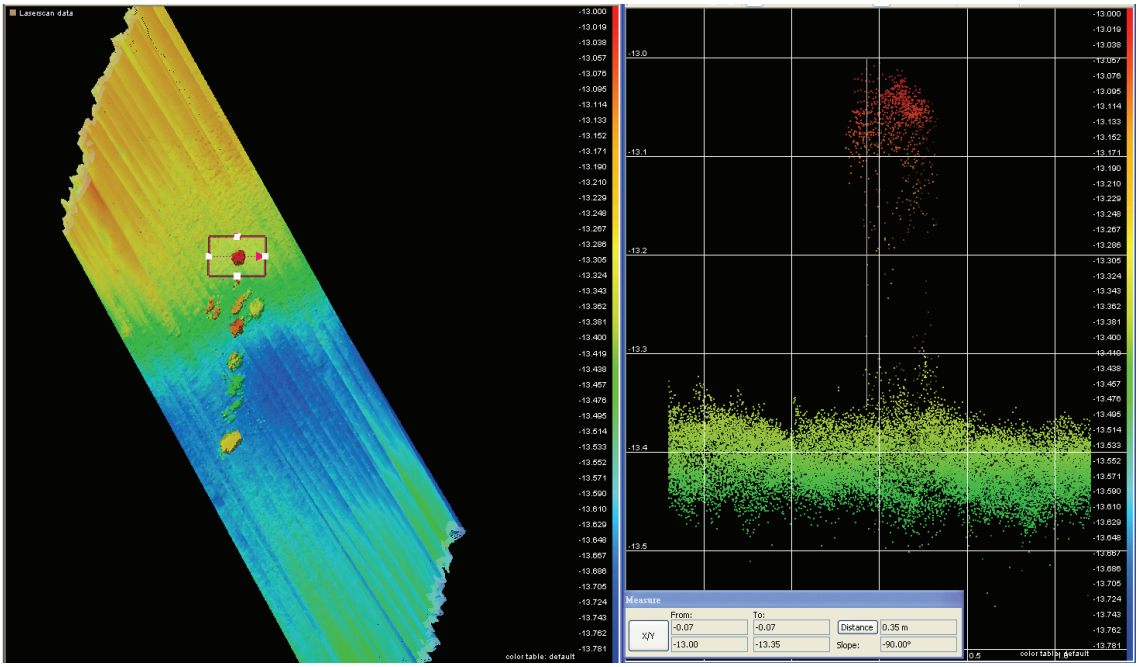


輪胎編號 10

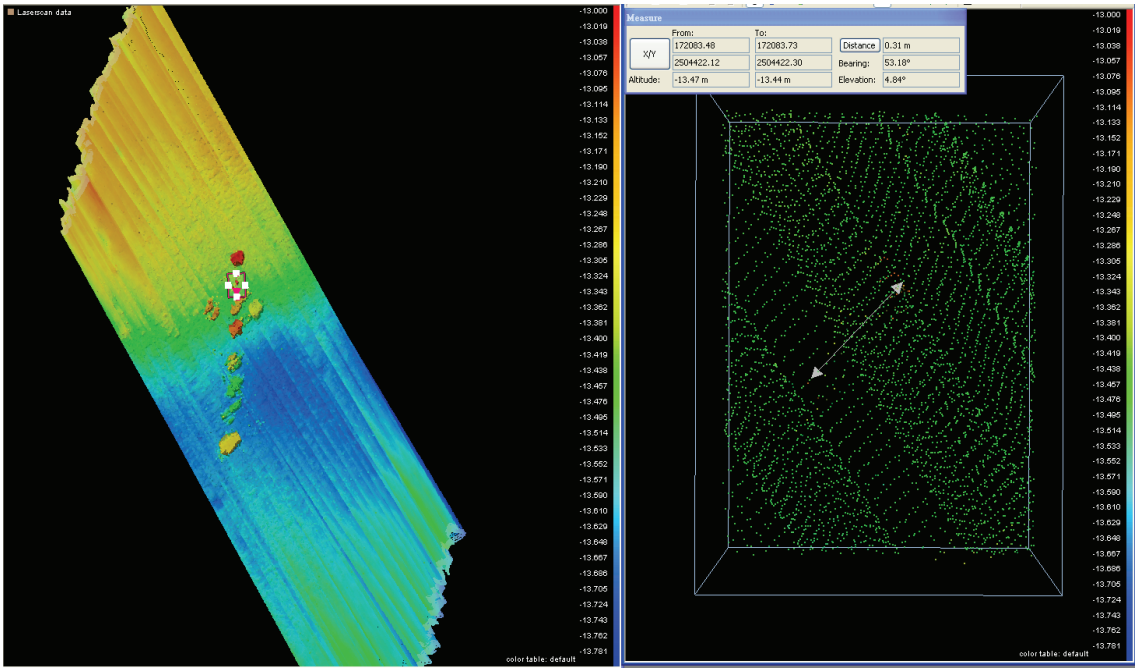




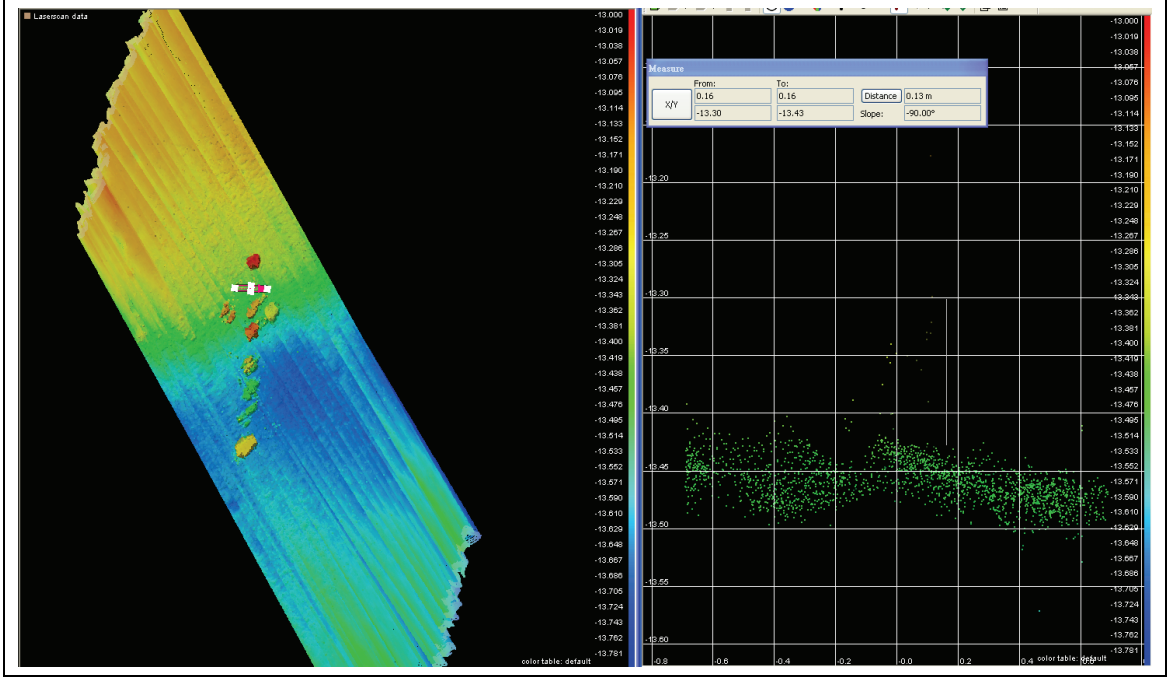
附錄八 入水 5 米多音束測量各輪胎尺寸圖

輪胎編號 1_水平

輪胎編號 1_垂直


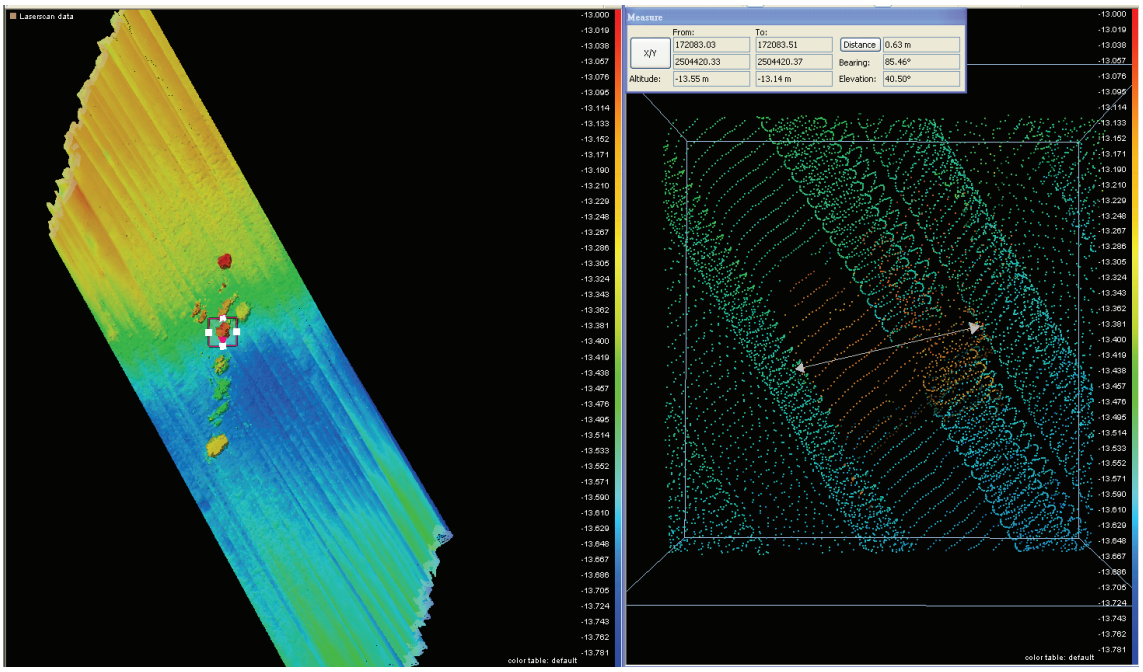
輪胎編號 2_水平



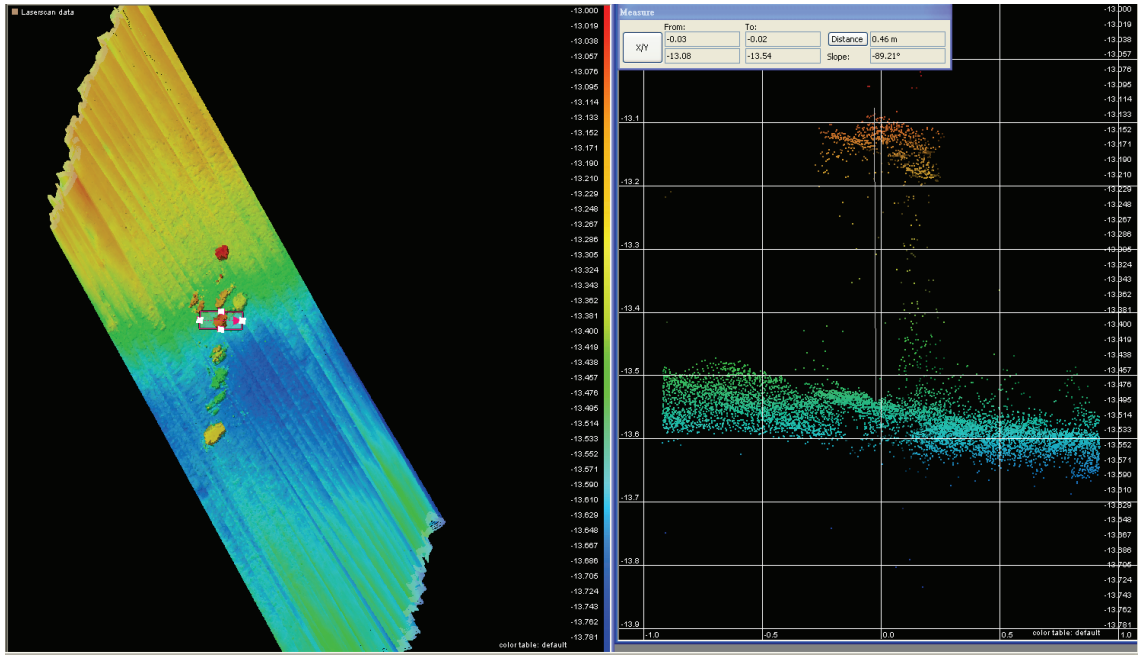
輪胎編號 2_垂直



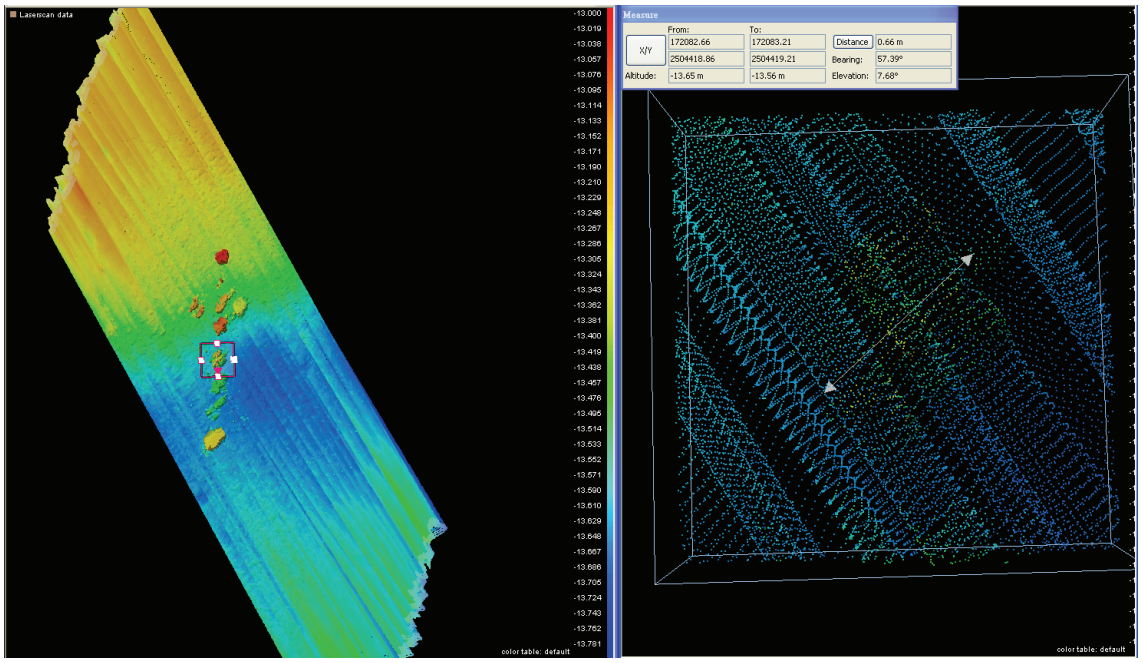
輪胎編號 3_水平



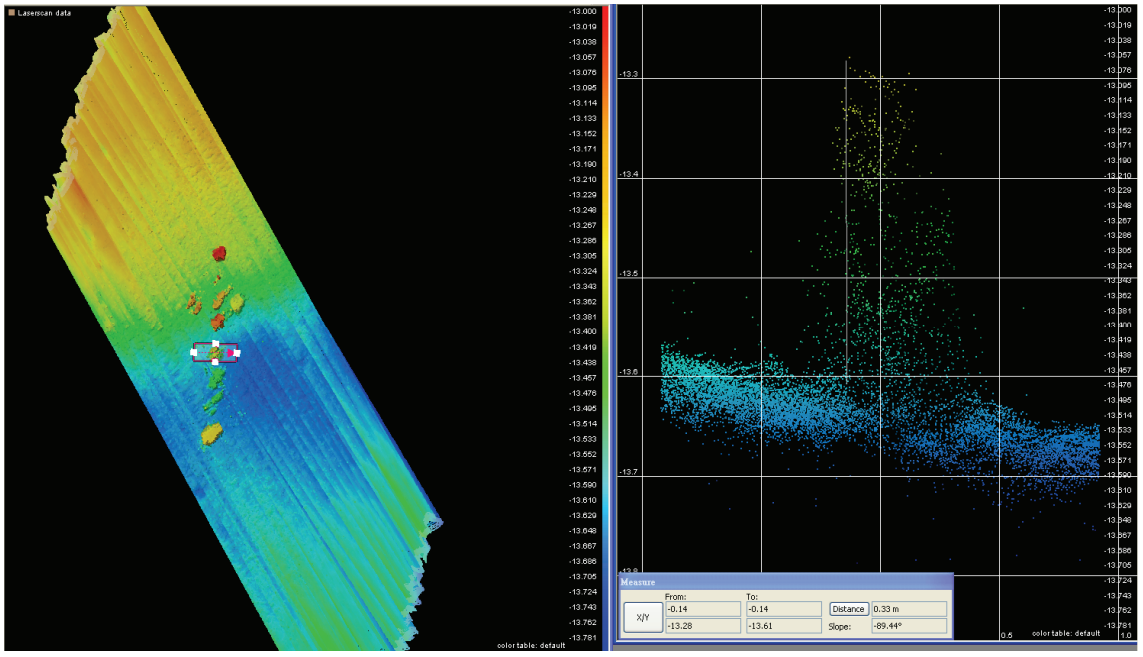
輪胎編號 3_垂直



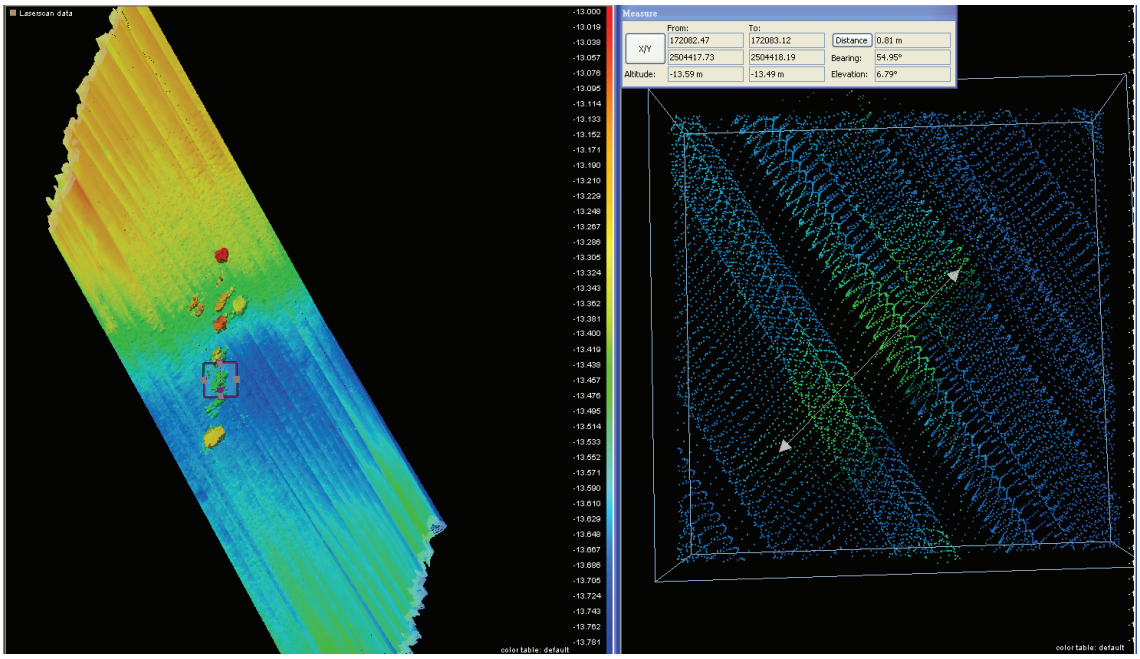
輪胎編號 4_水平



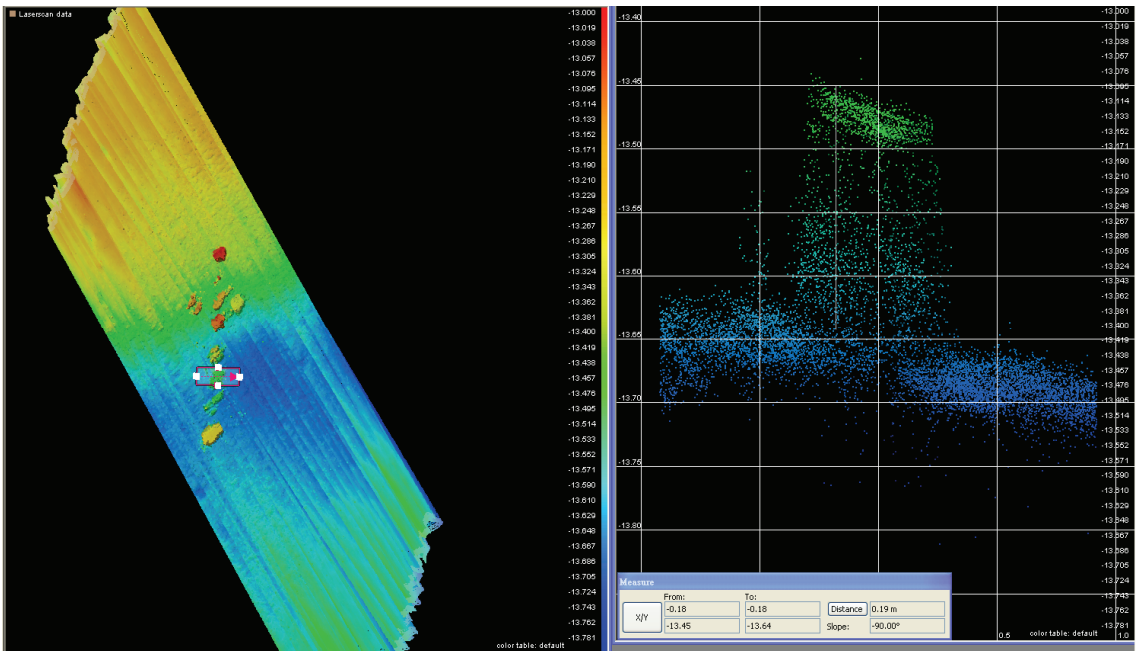
輪胎編號 4_垂直



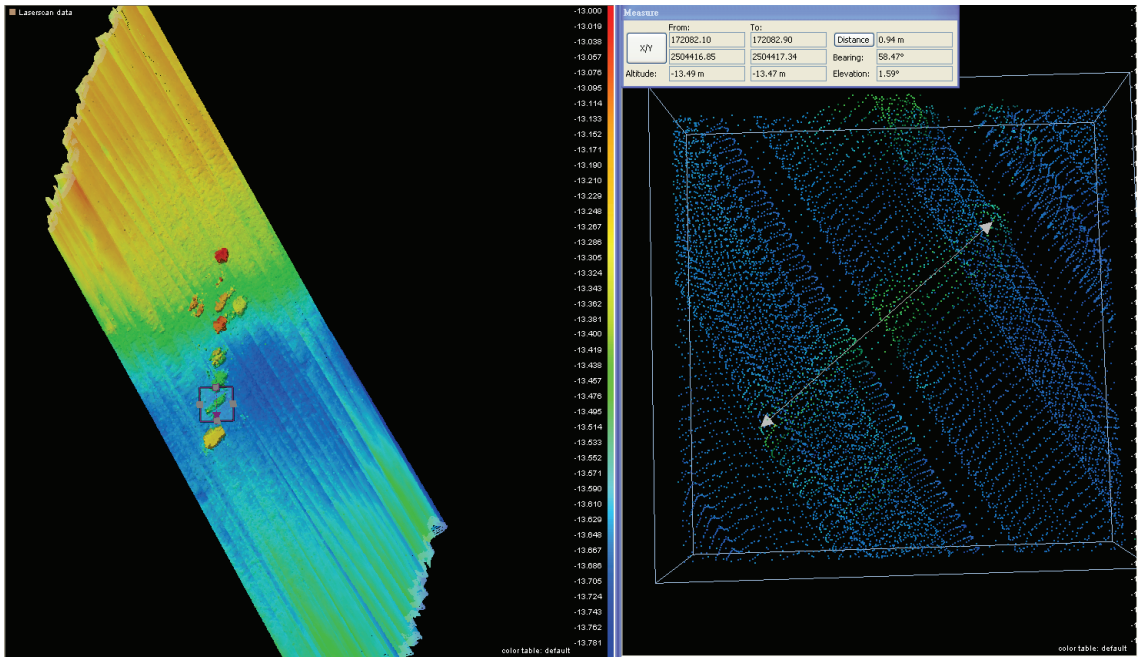
輪胎編號 5_水平



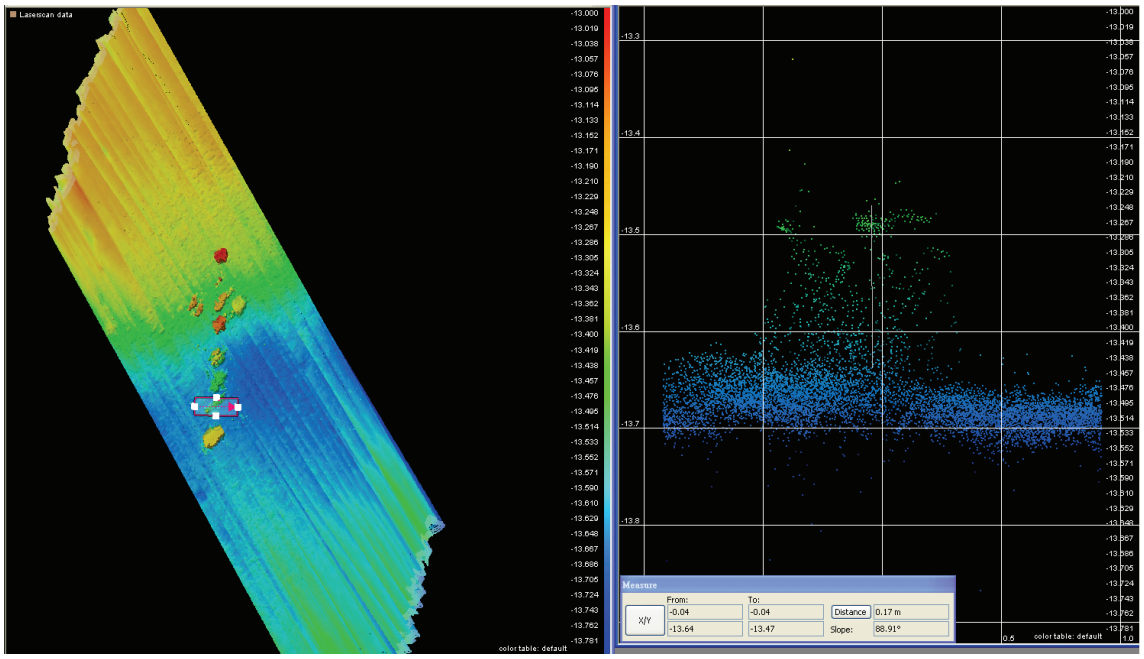
輪胎編號 5_垂直



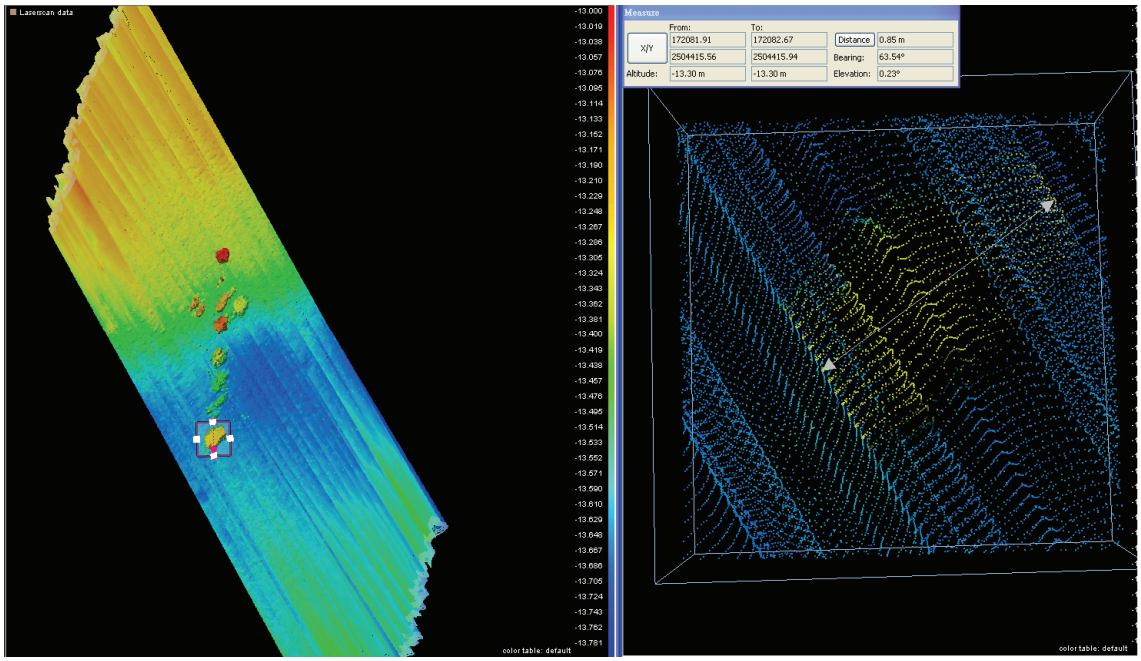
輪胎編號 6_水平



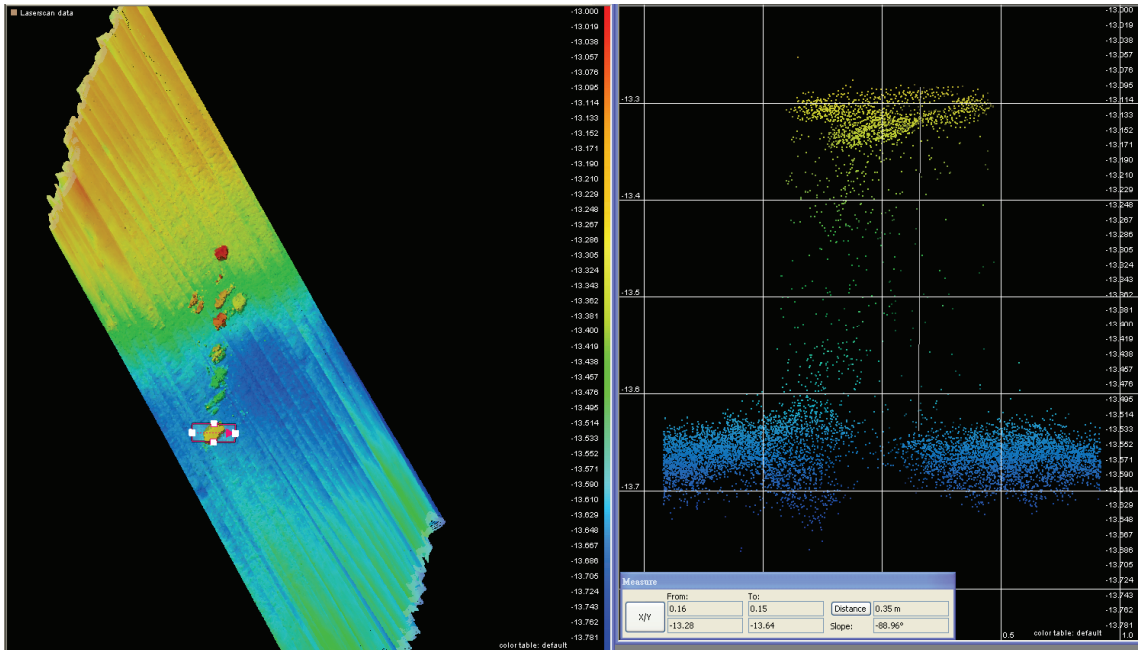
輪胎編號 6_垂直



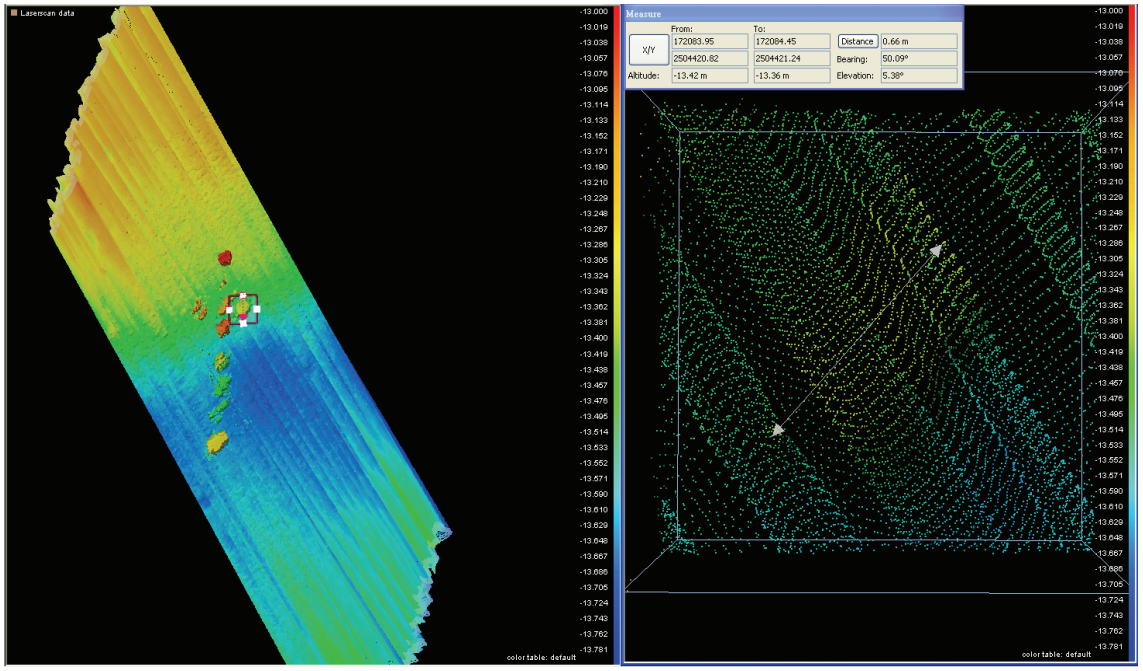
輪胎編號 7_水平



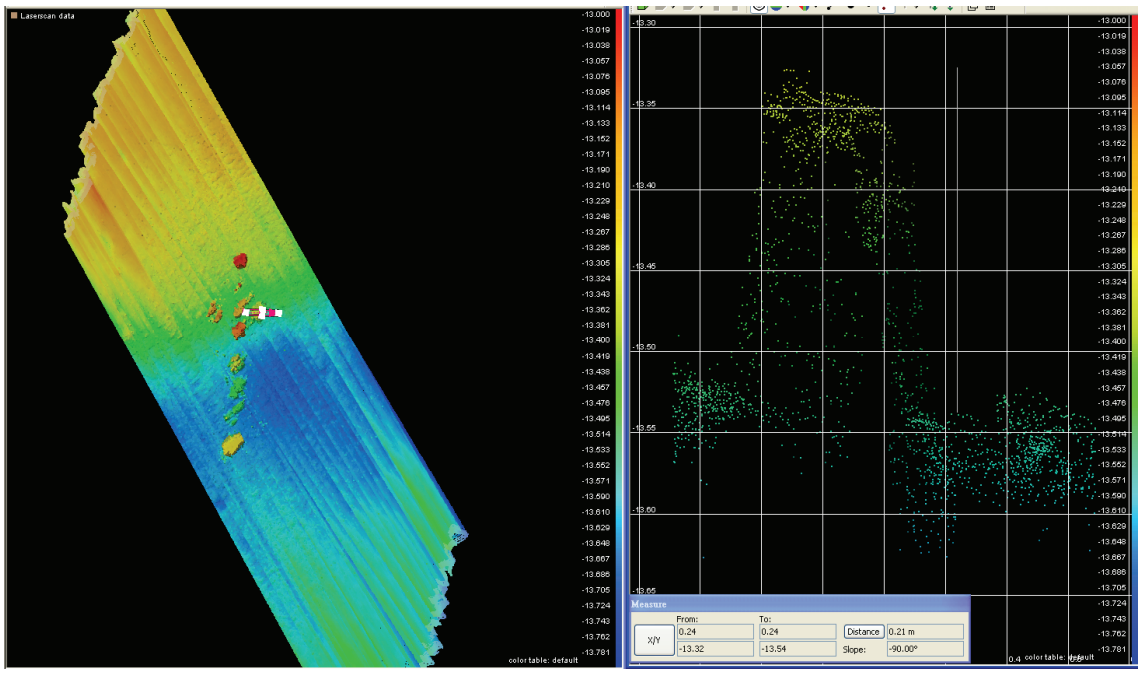
輪胎編號 7_垂直



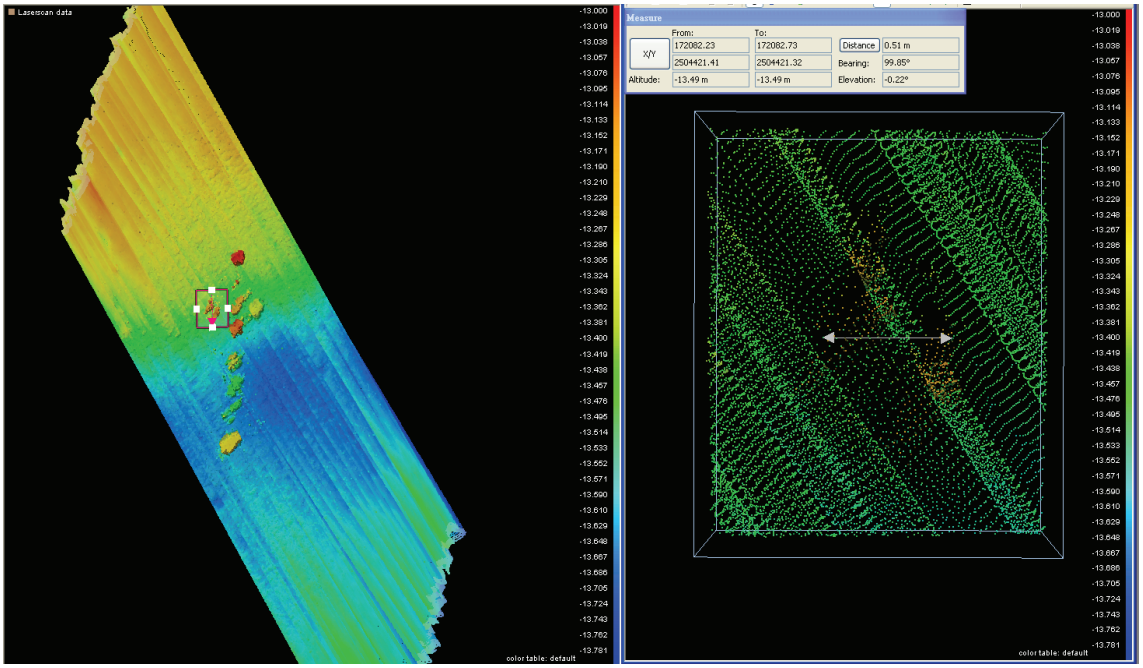
輪胎編號 8_水平



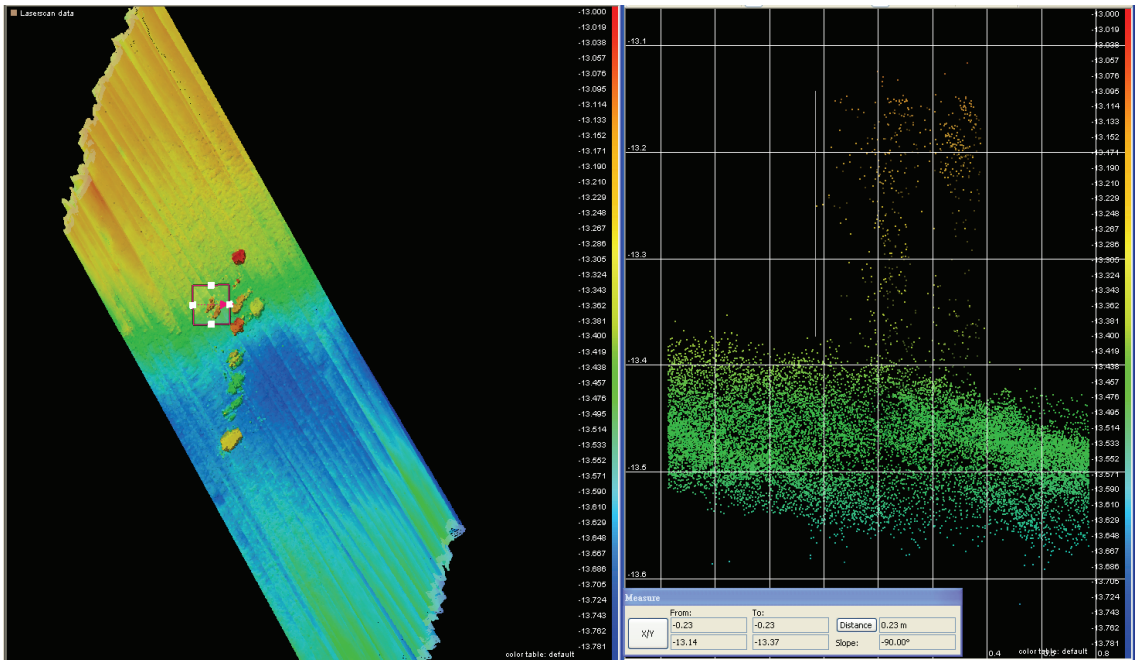
輪胎編號 8_垂直



輪胎編號 10_水平

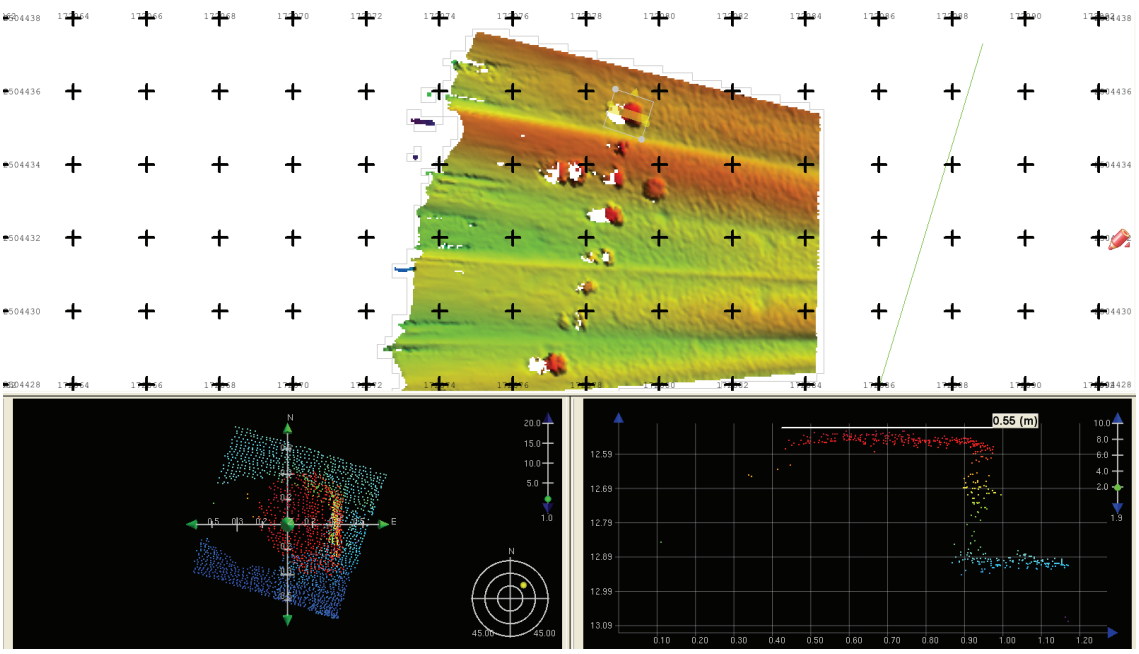


輪胎編號 10_垂直

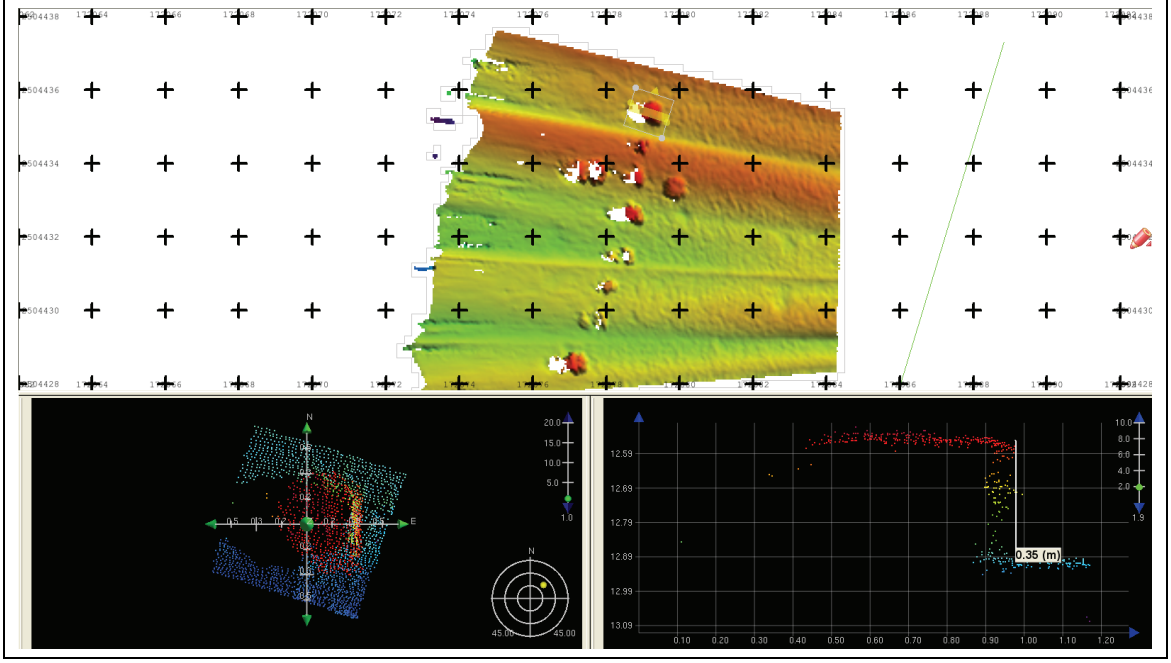


附錄九 入水 10 米多音束測量各輪胎尺寸圖

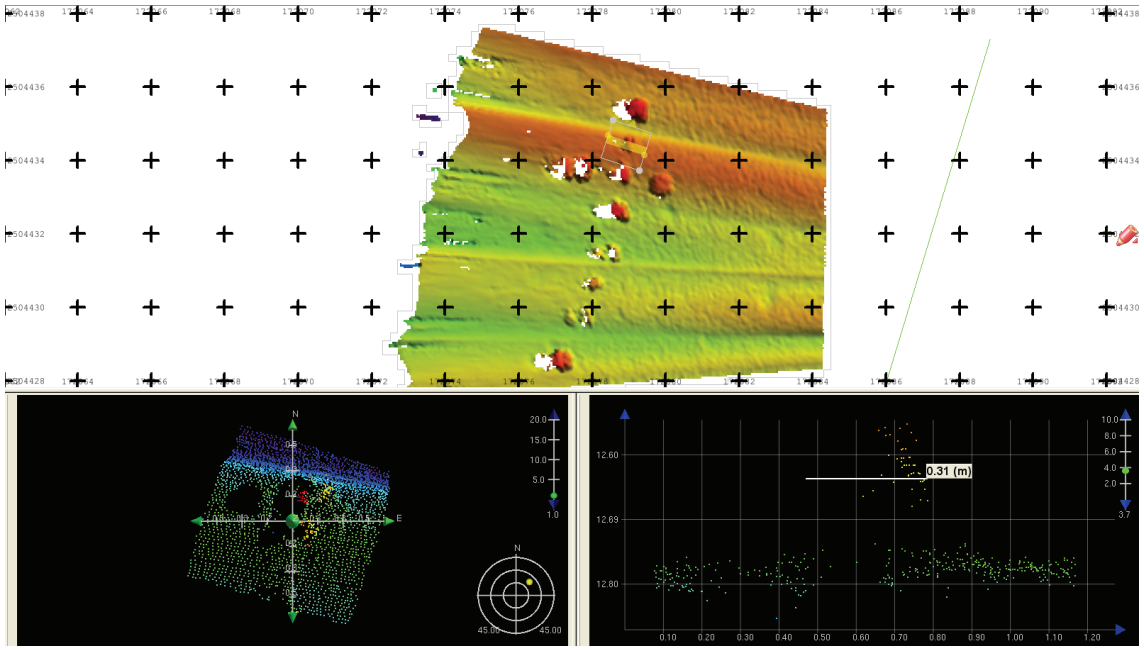
輪胎編號 1_水平



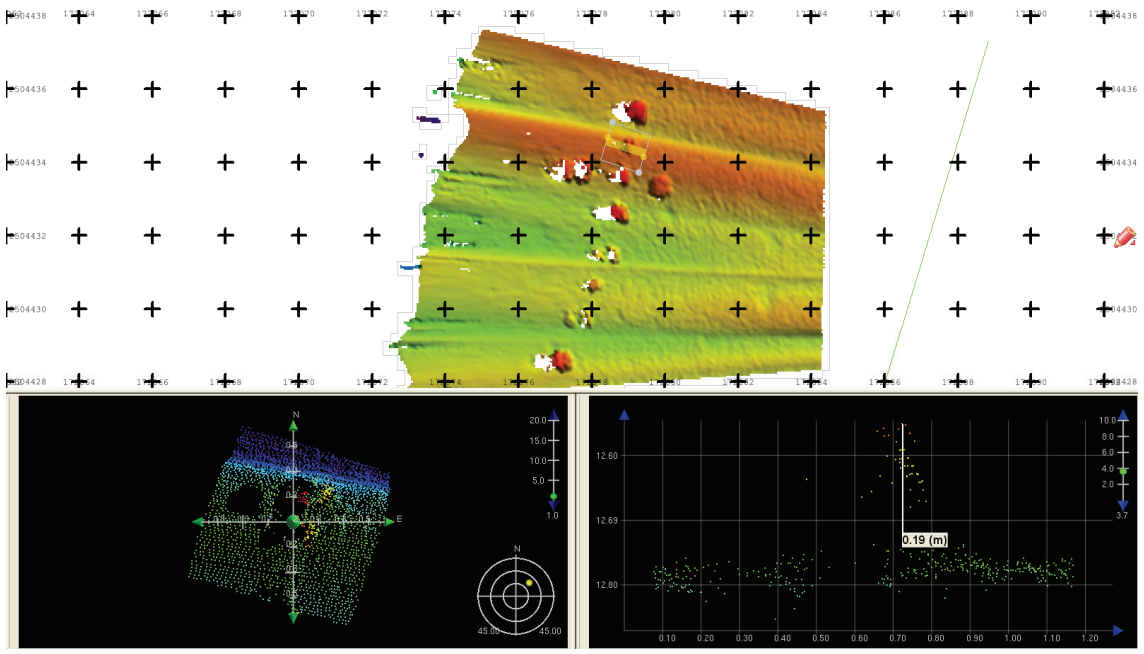
輪胎編號 1_垂直



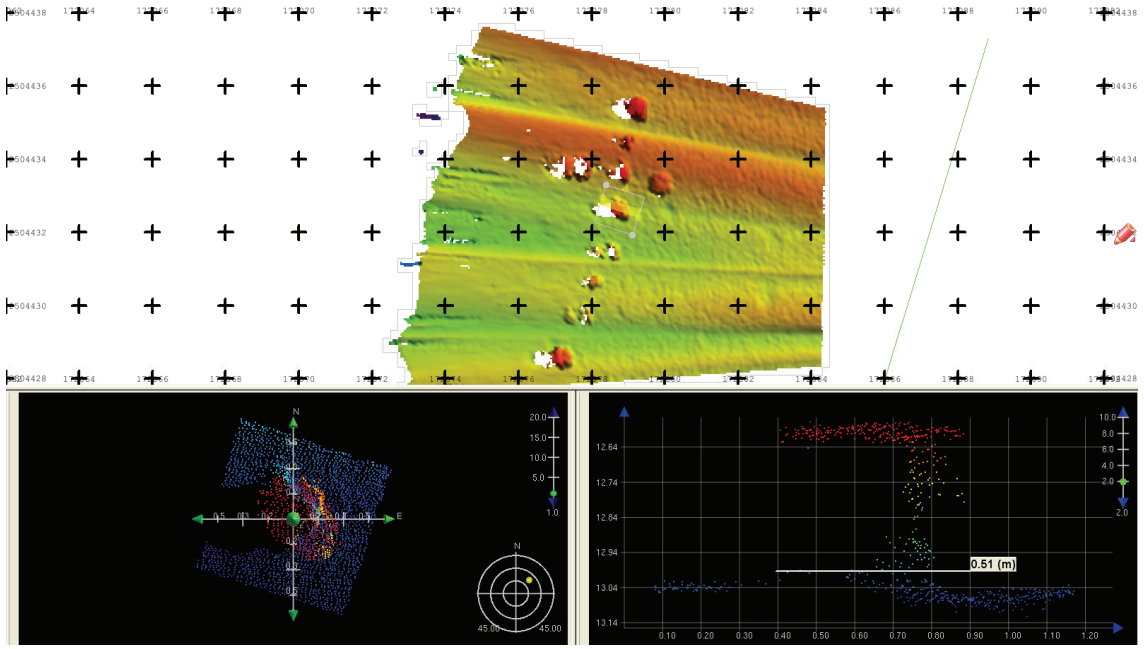
輪胎編號 2_水平



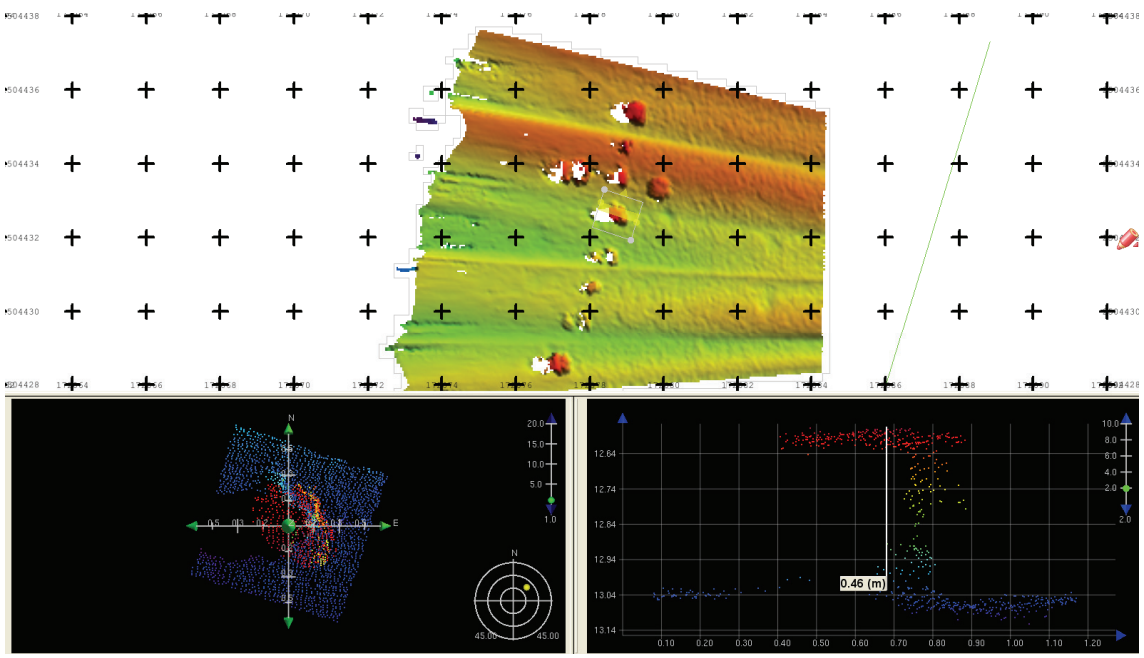
輪胎編號 2_垂直



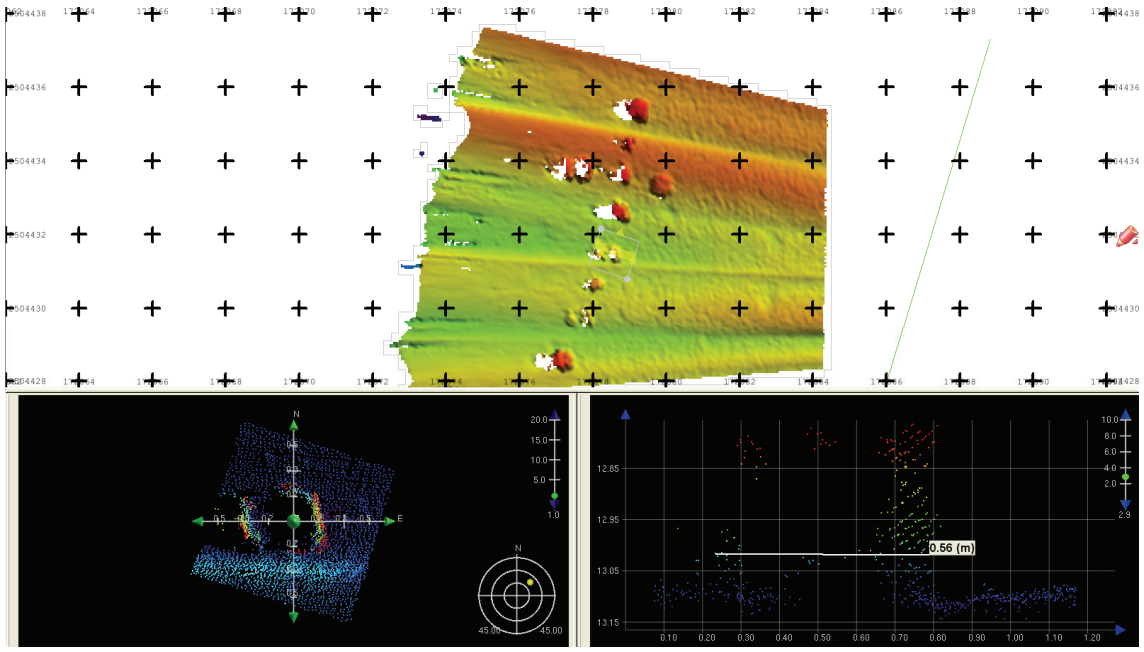
輪胎編號 3_水平



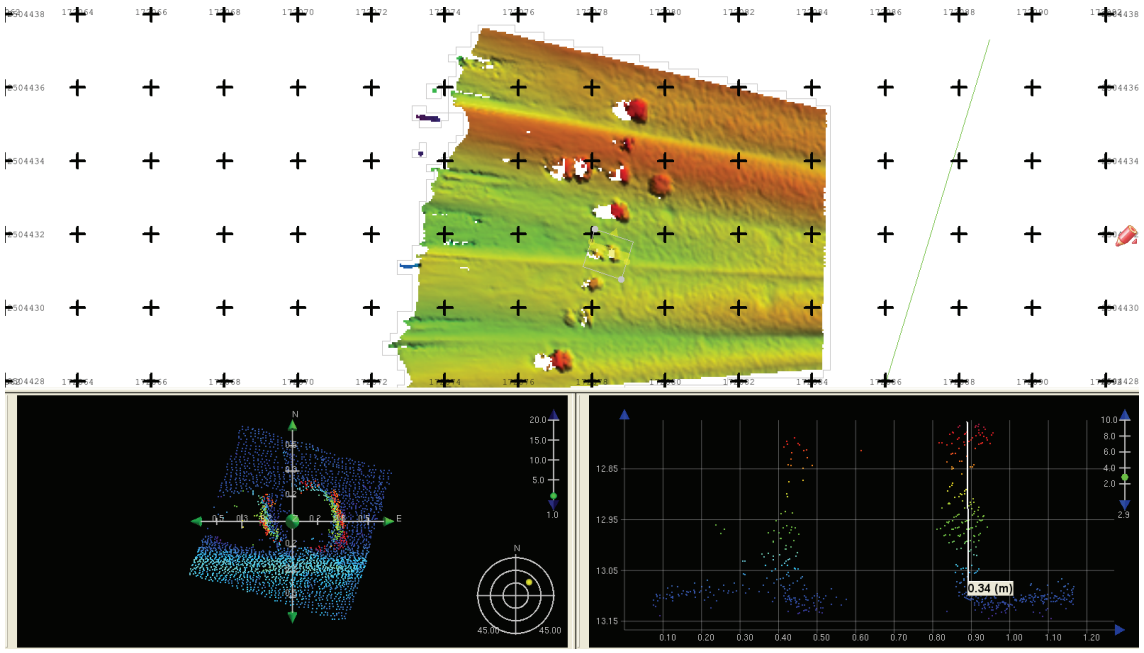
輪胎編號 3_垂直



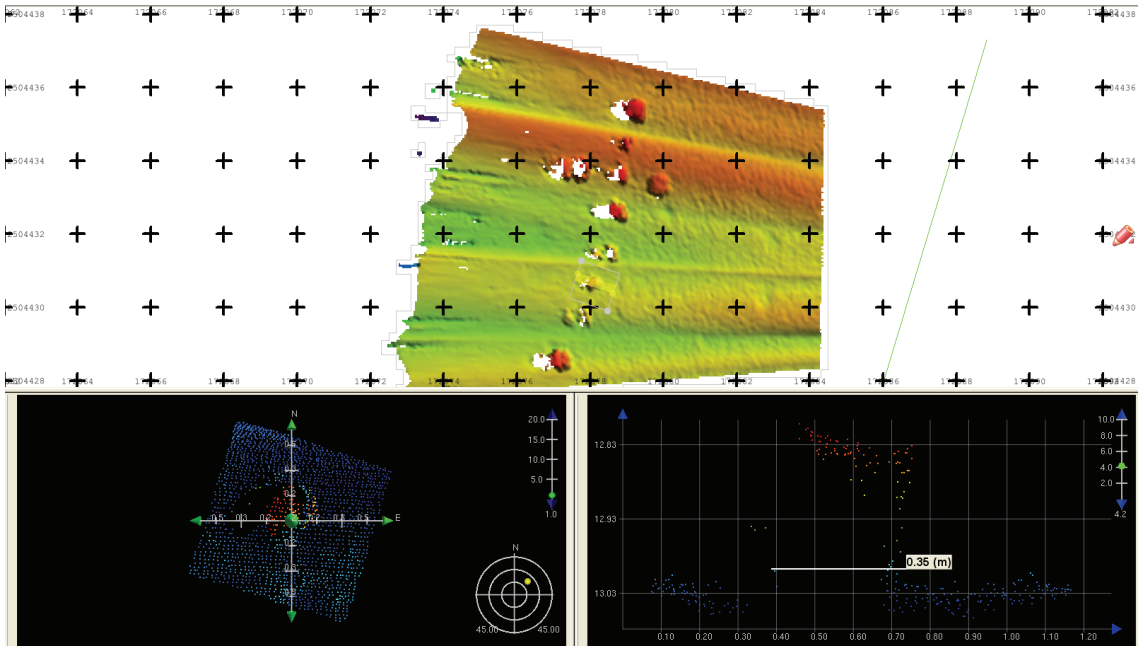
輪胎編號 4_水平



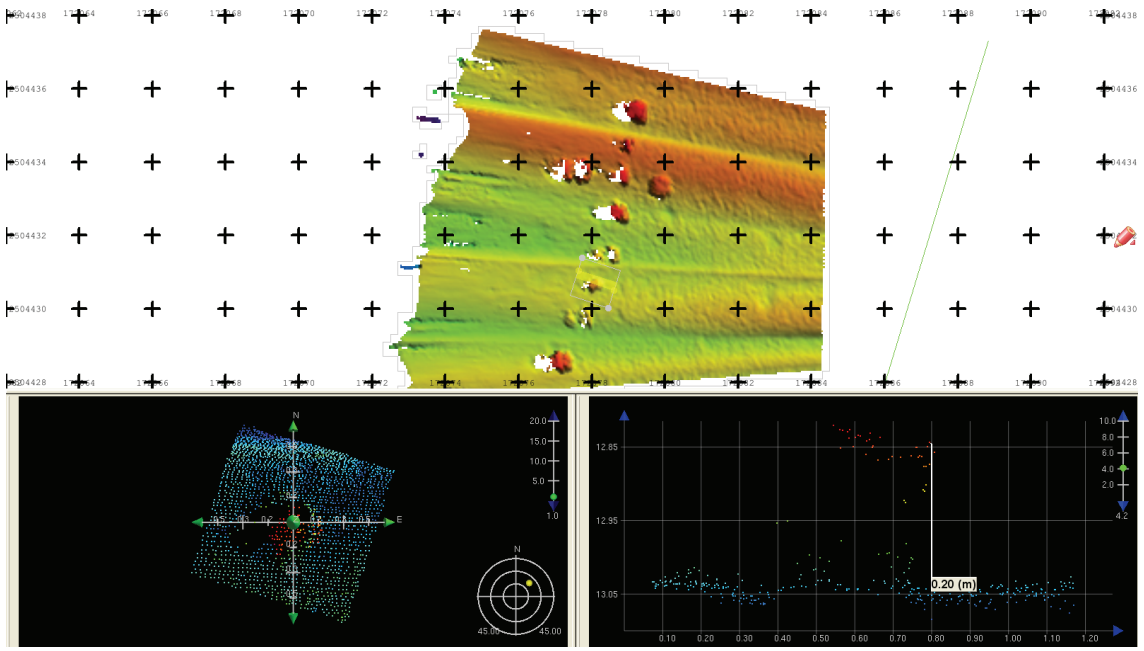
輪胎編號 4_垂直



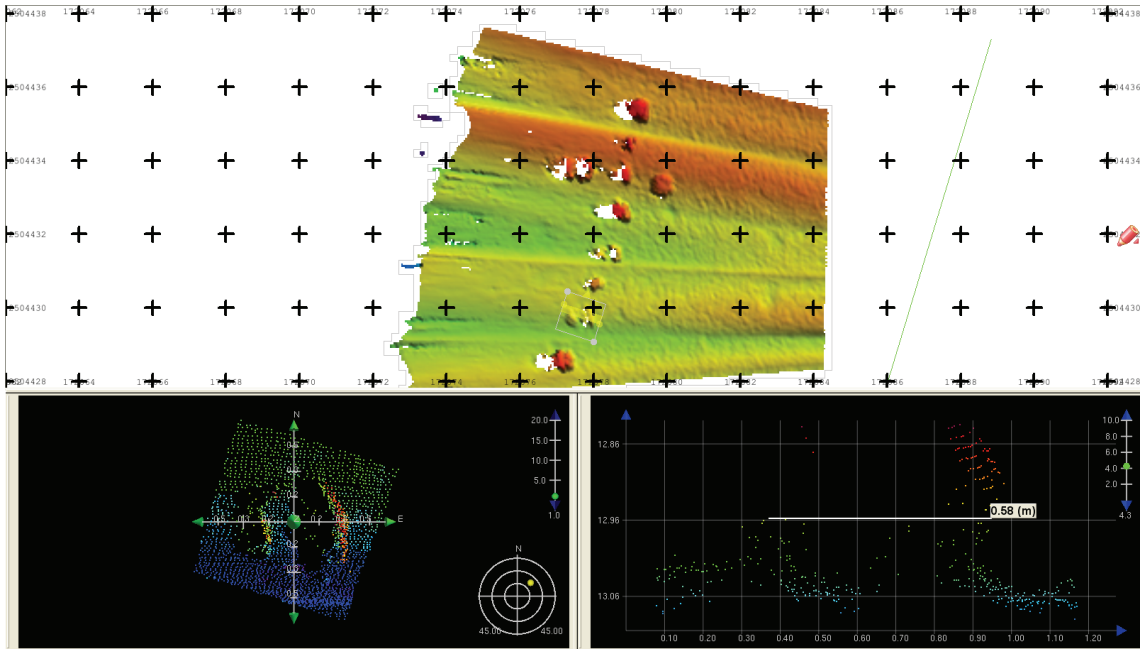
輪胎編號 5_水平



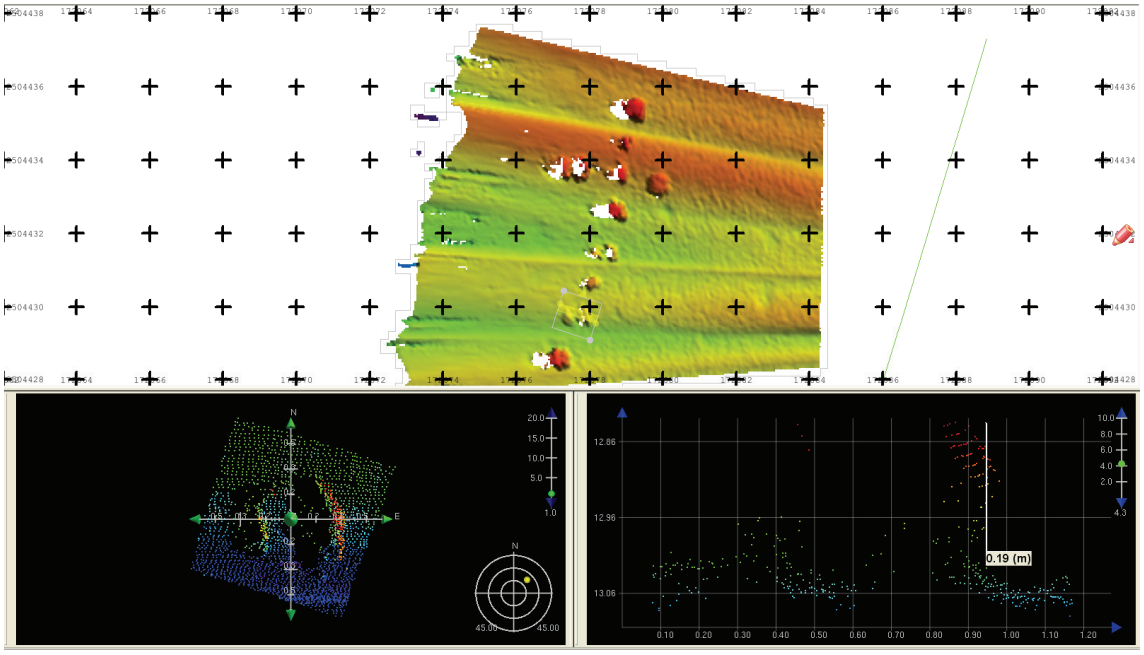
輪胎編號 5_垂直



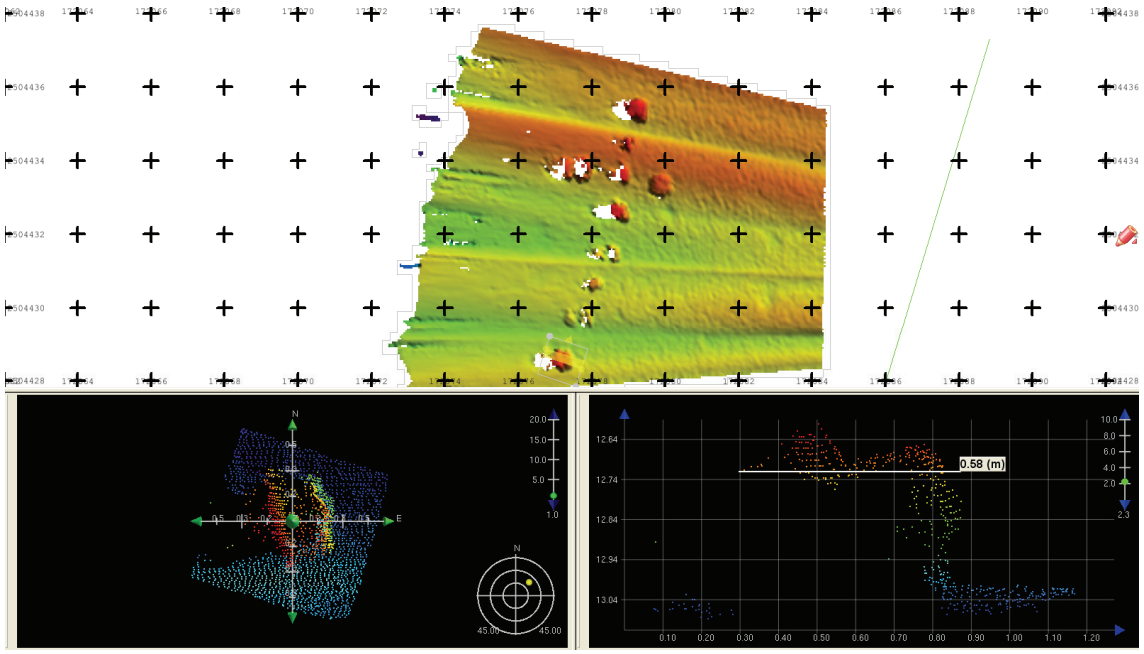
輪胎編號 6_水平



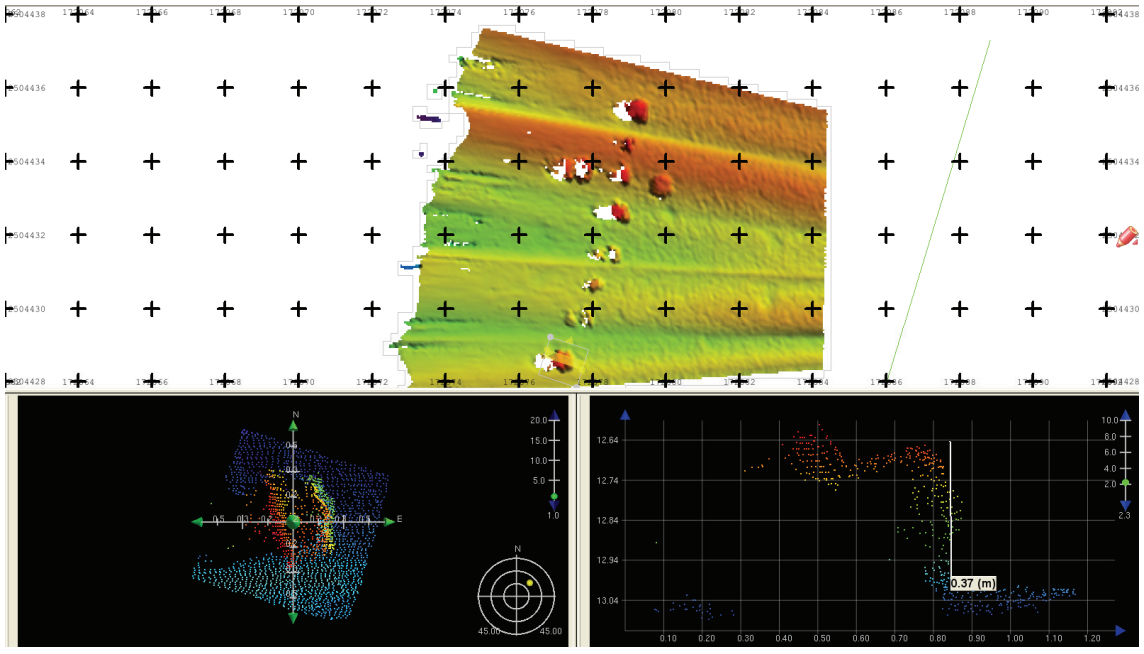
輪胎編號 6_垂直



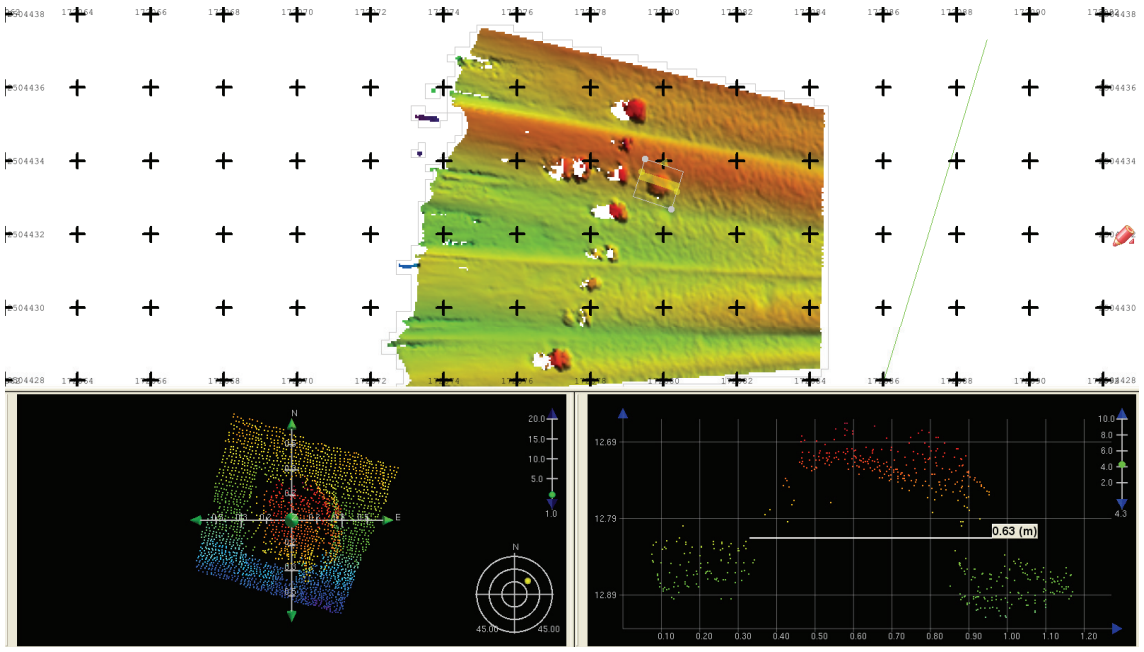
輪胎編號 7_水平



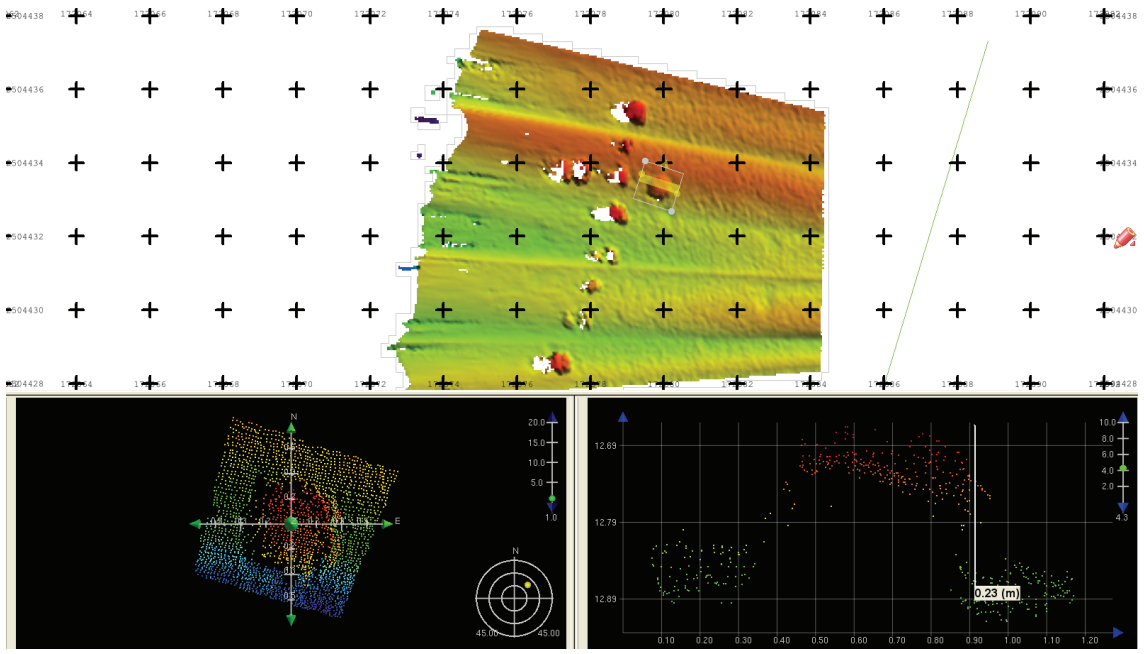
輪胎編號 7_垂直



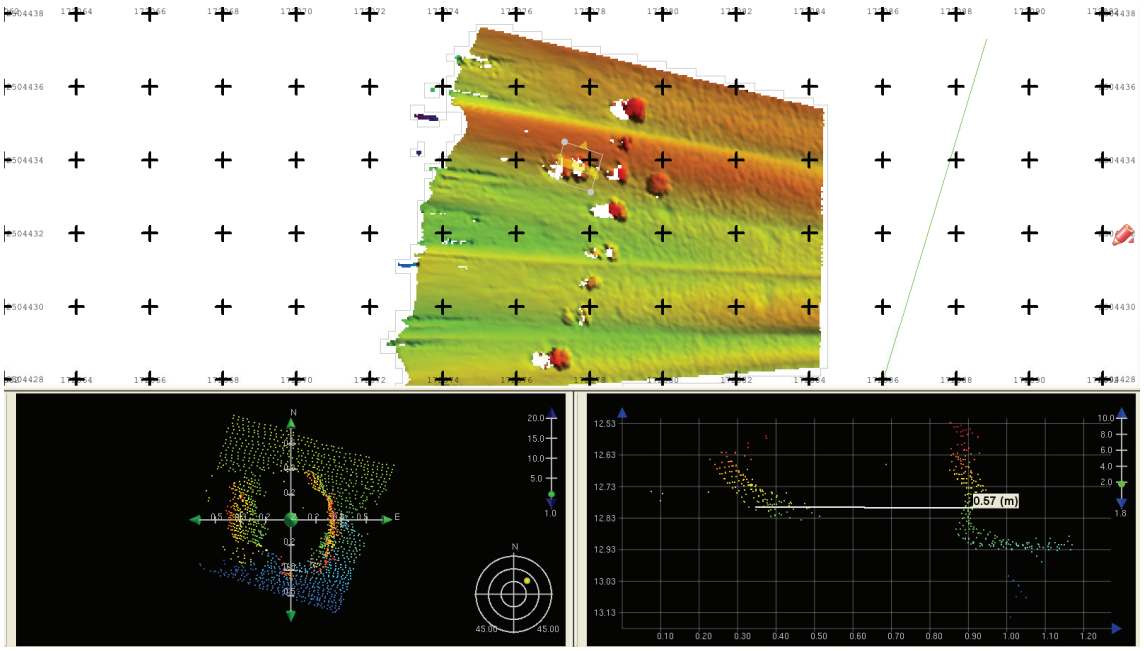
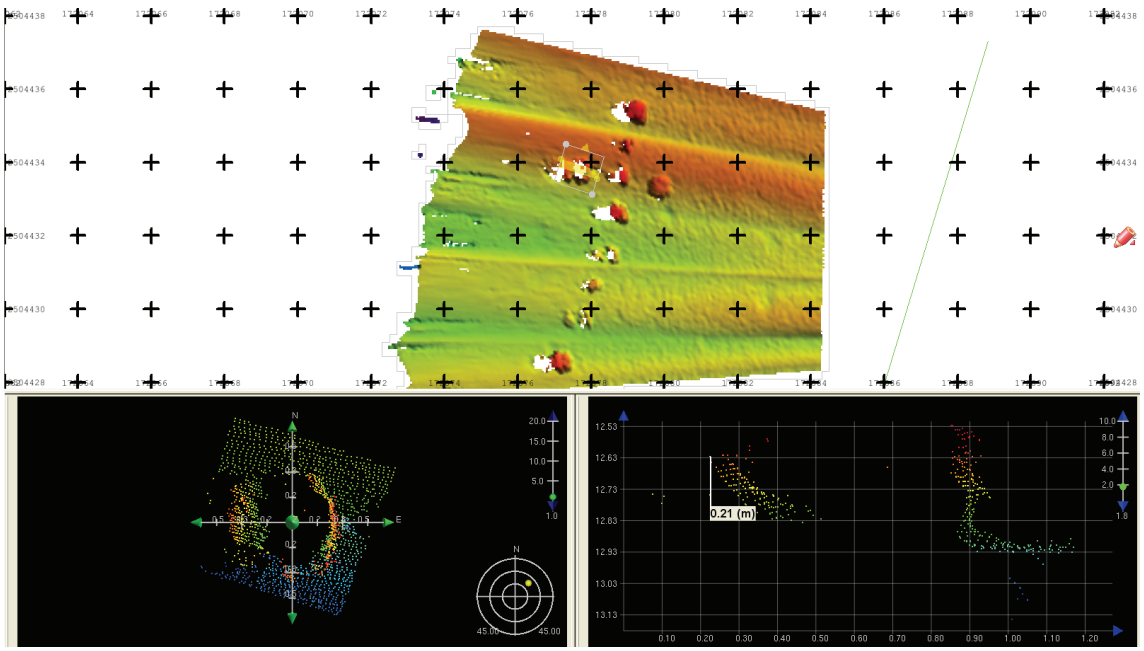
輪胎編號 8_水平



輪胎編號 8_垂直



輪胎編號 10_水平



輪胎編號 10_垂直