

OAC-113-015 (研究報告)

測深無人船結合光達進行海岸地形測繪

(成果報告)

海洋委員會補助研究

中華民國 113 年 08 月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

OAC-113-015 (研究報告)

測深無人船結合光達進行海岸地形測繪

(成果報告)

學校：國立高雄科技大學

指導教授：藍文浩

學生：黃凱彥

研究期程：中華民國113年3月至113年10月

研究經費：新臺幣十萬元

海洋委員會補助研究

中華民國 113 年 08 月

「本研究報告僅供海洋委員會施政參考，並不代表該會政策，該會保留採用與否之權利。」

「本研究報告絕無侵害他人智慧財產權之情事，如有違背願負民、刑事責任。」

目 次

表次.....	II
圖次.....	III
摘要.....	1
第一章 前言.....	2
第一節 研究緣起.....	2
第二節 問題背景.....	3
第三節 現況分析.....	4
第四節 研究目的及研究重點.....	4
第五節 預期目標.....	5
第二章 研究方法與過程.....	6
第一節 無人船水深測量外業步驟.....	6
第二節 無人船水深測量內業步驟.....	11
第三節 無人船水深和LIDAR點雲資料整合.....	16
第三章 結果與討論.....	19
第四章 結論.....	20
參考文獻.....	21

表 次

表1-1 工作進度甘特圖	5
--------------------	---

圖 次

圖1-1 MARTAC對於Keokuk水壩底部進行結構測量之成果圖	3
圖2-1 LIDAR 安裝於無人船上之示意圖	6
圖2-2 於安平港使用Otter Pro進行測深測試作業	8
圖2-3 無人船於安平港和安平運河進行地形觀測範圍	8
圖2-4 架設GNSS接收儀	9
圖2-5 投放NORBIT聲速剖面儀	9
圖2-6 無人船組裝	10
圖2-7 電腦即時監測無人船水深測量作業	10
圖2-8 濾除安平港水深資料雜點前	12
圖2-9 濾除安平港水深資料雜點前-3D視角	12
圖2-10 高雄港水深資料雜點前-3D視角	13
圖2-11 濾除雜點後之安平港水深資料	13
圖2-12 濾除雜點後之安平港水深資料-3D視角	14
圖2-13 濾除雜點後之高雄港水深資料-3D視角	14
圖2-14 安平港水深網格成果	15
圖2-15 高雄港水深網格成果	15
圖2-16 無人船航線軌跡	16
圖2-17 濾除雜點前之LIDAR點雲資料	17
圖2-18 光達掃描水上結構物之成果	17
圖2-19 水深資料和LIDAR點雲初步整合成果-俯視圖	18
圖2-20 水深資料和LIDAR點雲初步整合成果-3D圖	18

摘要

臺灣做為海島國家，對海上航行安全的關注不斷提升。電子航行圖是提供船舶海上航行安全的必要工具，而水深數值為其重要資料內容。然而，在近岸和港灣區域，傳統的有人船水深測量方法不易獲取水深數據。因此，本計畫使用多音束測深儀裝配的無人船，實現了自動化水深測量，並結合光達(LIDAR)技術進行港域及海岸地形的資料收集。本研究已將LIDAR安裝於測深無人船，並於112/11/22高雄港和113/04/22-113/04/25台南安平港等地點進行無人船外業水深測量。本計畫至今已完成多音束水深資料與LIDAR點雲資料處理及計算，並將多音束水深和LIDAR點雲進行資料整合，達成水上水下一體化地形數據之測繪目標，並已整合出該區域之水面上和水下點雲一體化之地形測繪成果。此成果有助於更全面理解港區海底地形和地上物特徵，對於資料整合、視覺化效果提升以及後續應用(如結構物傾斜分析)將有更加全面性發展。

關鍵詞：LIDAR、測深無人船、多音束水深、點雲資料整合

第一章 前言

第一節 研究緣起

美國Ameren Corporation公司委託Maritime Tactical Systems (MARTAC) 在愛荷華州密西西比河對於Keokuk水壩進行結構測量，MARTAC已研發多種類型無人船，目前可在開闊海域、近岸、海灣、港口及河道上測量。圖1-1為MARTAC對於Keokuk水壩底部進行結構測量之成果圖。近幾年來波蘭Gdansk University of Physical Education and Sport亦開始利用無人船進行水深測量，並將水深成果應用於電子航行圖[Specht et al., 2020]。而加拿大位於高緯度，並由於全球氣候變遷導致該地夏季無冰期時間增長，行駛船隻數量增加，然而該地卻僅有10%海域適合船隻航行，且因氣候變遷導致海岸線逐漸變化，使得加拿大沿岸水深資料需要經常更新[Seto and Crawford, 2015]。近年來，法國OceanAlpha和挪威 NORBIT分別亦發展無人船，並且可結合LIDAR同時進行水面上與水面下的測量作業。

LIDAR觀測技術已達到成熟階段，具備在短時間內收集高精度及高密度的三維點雲資料的能力。這項技術在多個領域已獲得成功的應用。例如：1. 它廣泛應用於建立數值表面模型（Digital Surface Model, DSM）與數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM），這些模型對於都市設計、土地使用規劃、自然資源管理以及地理資訊系統（Geographic Information System, GIS）等領域至關重要。2. LIDAR技術在結構建築測量和文化古蹟的保護工作中，特別是在古建築物的三維修復過程中(如展示和復原)，LIDAR扮演了極其重要的角色。3. LIDAR技術在自動駕駛汽車(簡稱自駕車)、無人機（Unmanned Aerial Vehicle, UAV）、無人船（Unmanned Surface Vehicle, USV）及機器人的障礙物偵測、環境感知和導航領域亦展現出其重要性。4. LIDAR被用於監測地球表面的升降變化，例如冰川的變化與海岸線的侵蝕。一般而言，LIDAR系統可分為多種類型，依據尺寸和重量大小而言可分為輕量型與大型LIADR兩種，輕量型LIDA較適合應用於自駕車、無人機以及無人船等移動平台上。

本研究將結合測深無人船和LIDAR儀器，同時對於港域進行地上結構物和海岸地形進行資料蒐集，並將多音束水深資料與光達點雲資料進行整合，以達成水上水下地形一體化測繪目標。

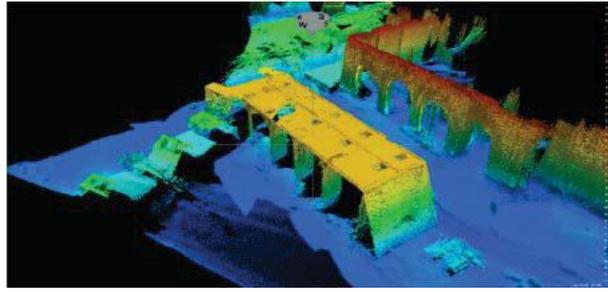


圖1-1: MARTAC對於Keokuk水壩底部進行結構測量之成果圖[Rowley, 2018]。

第二節 問題背景

考量到傳統有人船體積和重量限制，有人船在港口內外蒐集水深資料時常遇到困難，其原因為近岸水深較淺，容易造成有人船擱、船體損壞，甚至多音束聲納損毀。為降低船體和多音束聲納儀器損壞可能導致預算大幅升高，一般而言有人船於近岸5公里內常使用單音束聲納收集水深資料，故近岸無法高效率 and 精確的進行水深數據收集。現今發展無人船進行水深測量技術被視為減少有人船載具的人為風險的有效策略，同時也能夠更為詳細地蒐集近岸或淺灘的水深資料，特別是在港內地形複雜且船舶眾多的情況下，無人船搭配多音束聲納儀器使用可以有效地完成港口內外海底地形的測量工作。此外，透過結合LIDAR儀器可蒐集地上的結構物資料，無人船不僅能夠觀測海底地形，還能夠精確測繪地面上的建築物和其他結構物，從而將海面以上和以下的資料結合為一個整體的三維模型。此整合技術能幫助港口權責單位進行更有效管理和結構物維護計劃，詳細的地上結構物資料亦將有助進行基礎設施的監測、改善和規劃，特別是在防災和都市改造項目中發揮關鍵作用。

第三節 現況分析

本計畫工作項目之時程和完成進度已按照規畫如期完成。在利用無人船進行地形資料收集發現，在正常情形下無人船確實能於港口內外有效地進行水深測量，可代替傳統有人船進行觀測，但觀測時仍然會受到氣候不佳等問題影響，例如在下雨天或風浪較大時，無人船並不適合進行觀測，除了儀器可能會損壞，若風浪較大甚至可能無人船翻覆，因此天氣因素大大提升作業難度。本計畫已於安平港在氣候不佳時操作無人船進行水深測試作業，但觀測結果相當不理想，表示無人船受天氣因素影響相當大。目前我們會根據氣象署預報，選擇氣候良好日子才進行無人船外業水深測量。

第四節 研究目的及研究重點

本計畫研究目的及重點為將LIDAR儀器整合至無人船上，利用測深無人船和LIDAR儀器同時對於港域進行地上結構物和海岸地形進行資料蒐集，在開始整合多音束水深與光達點雲資料之前，須將水深和光達點雲資料各自進行處理和計算，以便達成水上水下一體化測繪。因此，結合無人船和LIDAR技術的創新應用不僅促進了海洋和地理資訊科學的進步，也為港口和沿海區域的綜合管理提供了一個更高效、更安全的數據收集和分析工具，更進一步推動了空間資訊科技在海洋研究和管理領域的應用前景。

第五節 預期目標

表1-1:工作進度甘特圖

工作項目	第1個月	第2個月	第3個月	第4個月	第5個月	第6個月	第7個月	第8個月	備註
將LIDAR安裝於無人船上並於高雄港和安平港進行外業實測	■	■							
無人船之水深資料和光達點雲資料之處理和計算			■	■	■	■			
整合多音束水深資料與光達點雲資料					■	■	■	■	
自動化濾除水深資料雜訊演算法測試						■	■	■	
工作報告			■			■			
預定進度% (累積數)	12%	24%	36%	48%	61%	74%	87%	100%	

預期:

實際:

第二章 研究方法與過程

第一節 無人船水深測量外業步驟

本研究利用光達(LIDAR)觀測技術搭配多音束測深儀無人船，能在近岸和港灣區自動化進行水深測量，並同時對港域地上結構物進行資料收集。由於LIDAR依靠雷射光測量反射時間來觀測物體和LIDAR感測器間距離，進而求得觀測物體之三維作標，因此LIDAR安置地點需要擁有足夠的視野，故應安裝在船體的最高位置，如圖2-1所示。將LIDAR安裝在船體高處後，我們利用Hysweep軟體設定了量測軸角和固定臂的偏差，並將LIDAR與聲納同步收集數據。

本研究已將LIDAR安裝於多音束測深無人船，並於112/11/22高雄港和113/04/22-113/04/25台南安平港等地點進行無人船外業水深測量，其中本計畫水深和LIDAR資料為本研究室和成大團隊共同合作進行無人船外業測量。目前外業部分已收集高雄港和安平港等港區之海底地形水深量測和光達點雲資料，後續將分別說明水深測量外業和內業步驟。

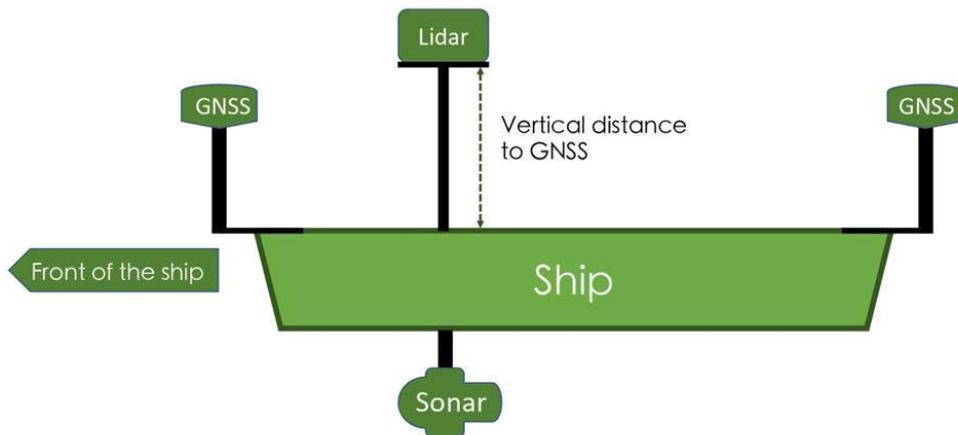


圖2-1: LIDAR 安裝於無人船上之示意圖。

本案已於高雄港和台南安平港等地點進行Otter Pro無人船外業水深測量(圖2-2)，其中安平港觀測當天氣候較不穩定，港口風浪較大，因此我們觀測地點為安平港區和安平運河交界處，如圖2-3所示。無人船水深測量外業步驟如下：

- (1). 在岸上基準點位架設全球導航系統 (Global Navigation Satellite System, GNSS) 接收儀(圖2-4)，並透過 e-GNSS進行點位觀測。
- (2). 架設臨時潮位站並每小時間隔量測水面與基準點間之高程，觀測潮位變化，以便後續進行潮位改正。
- (3). 每隔一小時以人工投放NORBIT聲速剖面儀(圖2-5)，測量海面到海底不同水層之聲速值，以便後續進行聲速改正。
- (4). 進行無人船組裝作業: 接取線路、安裝光達LIDAR、多音束聲納、GNSS天線盤、無人船控制系統、聲納用電腦、聲納控制系統等等(圖2-6)。
- (5). 將無人船放置於水面上，並測試其控制系統有無問題。
- (6). 疊合測試 (Patch Test): 以8字形進行Patch Test，確認角度偏差參數是否維持一致，並確認聲納系統與電腦之連結有無問題。
- (7). 開始進行水深測量，並配合電腦監測確認需掃描的地點(圖2-7)。
- (8). 掃描結束將船控制於岸邊進行收船，並開始進行儀器清洗作業。



圖2-2:於安平港使用Otter Pro進行測深測試作業。

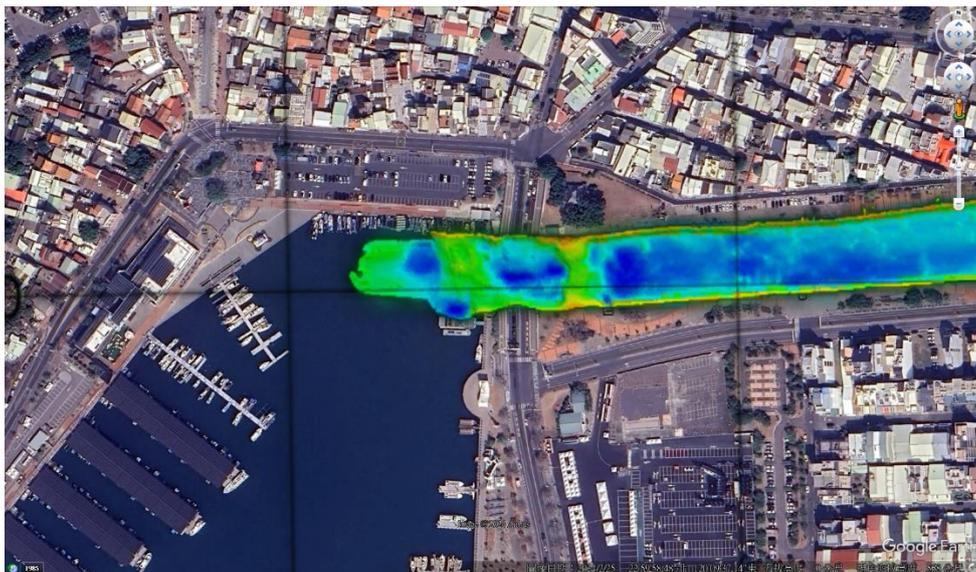


圖2-3:無人船於安平港和安平運河進行地形觀測範圍。



圖2-4: 架設GNSS接收儀。



圖2-5: 投放NORBIT聲速剖面儀。



圖2-6:無人船組裝。



圖2-7:電腦即時監測無人船水深測量作業。

第二節 無人船水深測量內業處理方式

高雄港和安平港進行水深測量外業作業已完成，而需要開始進行無人船之水深資料和光達點雲資料之處理和計算。本計畫水深資料處理為依據內政部「水深測量作業規範」，以下為已整理之無人船水深資料內業處理步驟 [內政部，2023]:

- (1). 潮位資料修正，將瞬時海表面至海底之測距修正為相對於最低天文潮位之水深資料，以確保水深資料之基準一致性。
- (2). 聲速資料修正，利用聲速剖面儀資料修正海水溫度和鹽度不同造成的聲速變化，以提高水深成果資料品質。
- (3). 儀器架設偏移參數修正以及疊合測試。
- (4). 船隻姿態改正，利用測深時船隻記錄的姿態(Roll、Pitch、Heading及Heave)以修正水深資料。
- (5). 利用重疊或交錯之資料相互比較差值，以剔除不符水深點。水深資料在濾除雜點之前，水深資料包含許多不合理點雲，以安平港和高雄港水深資料為例，如圖2-8~圖2-10所示。圖2-11~圖2-13為濾除品質不佳之水深資料後成果。
- (6). 評估水深成果是否符合國際海道測量組織(IHO)規範，並製作統計報表。
- (7). 濾除點雲後，依據需求將水深資料基準轉至最低天文潮面或WGS84橢球面，並內插成網格資料。以WGS84橢球面為基準之安平港和高雄港水深網格成果如圖2-14和圖2-15所示。

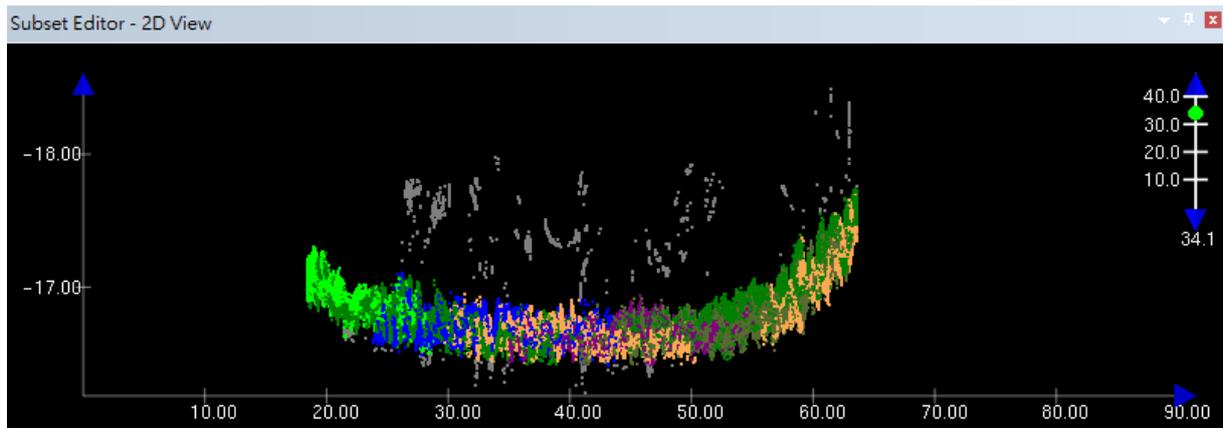


圖2-8:濾除安平港水深資料雜點前。

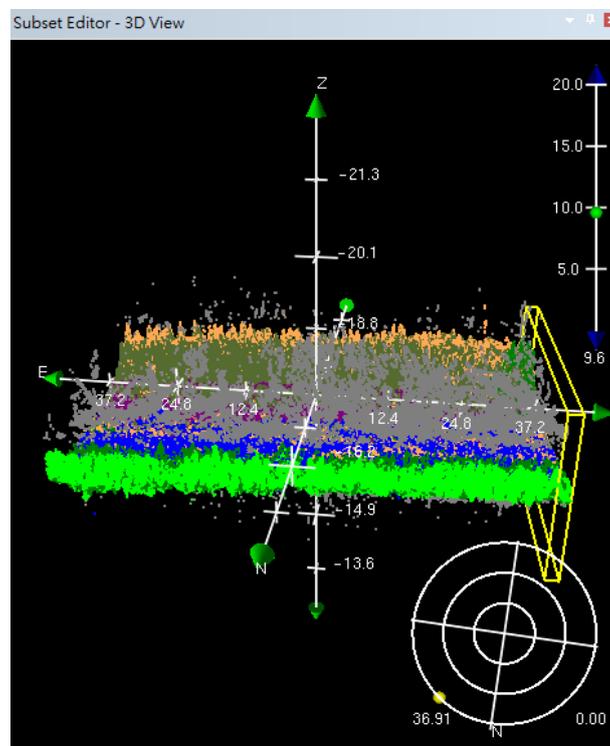


圖2-9:濾除安平港水深資料雜點前-3D視角。

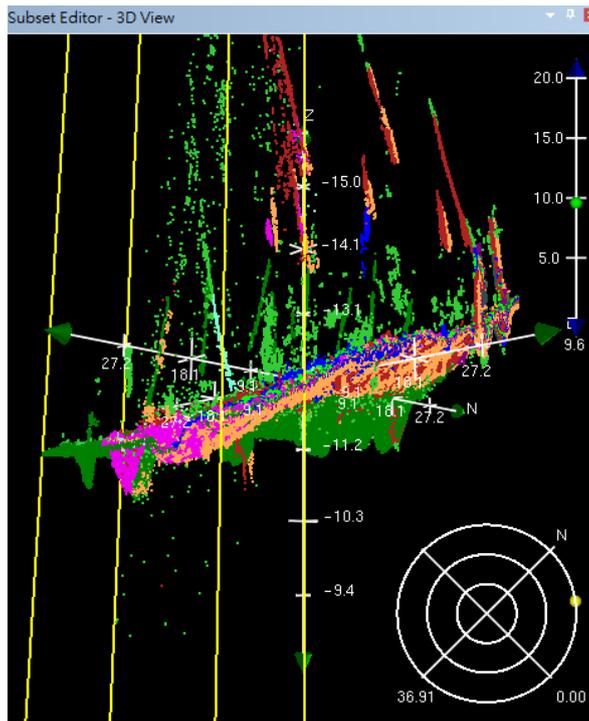


圖2-10:高雄港水深資料雜點前-3D視角。

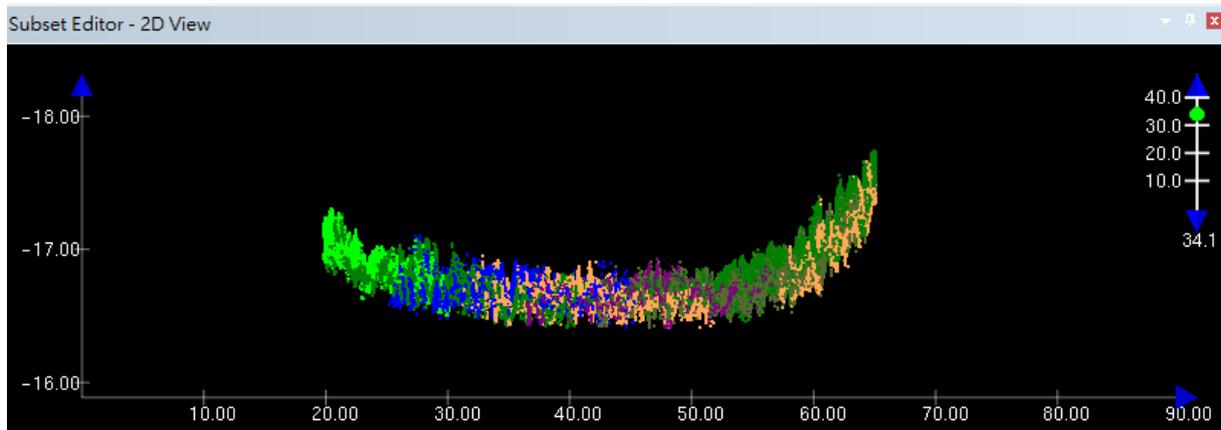


圖2-11:濾除雜點後之安平港水深資料。

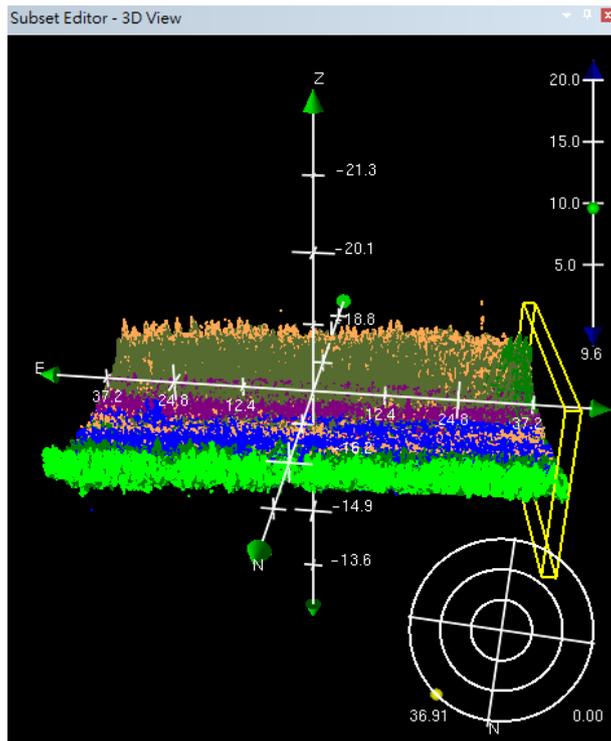


圖2-12:濾除雜點後之安平港水深資料-3D視角。

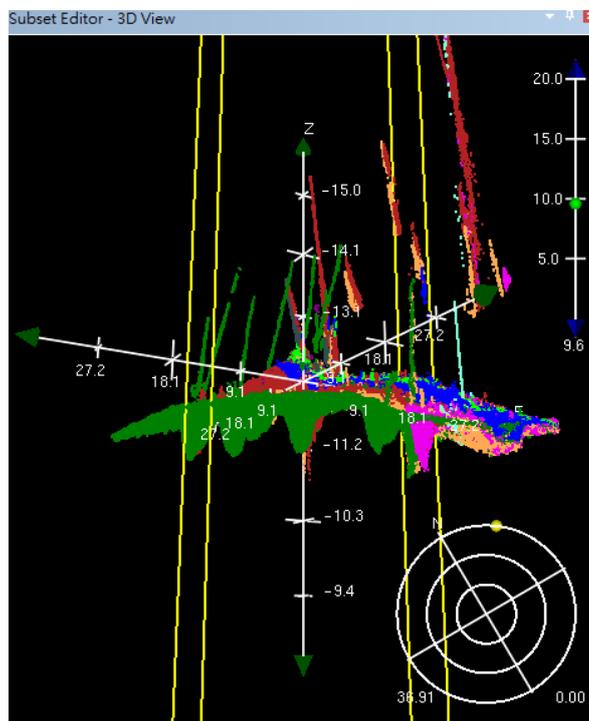


圖2-13:濾除雜點後之高雄港水深資料-3D視角。

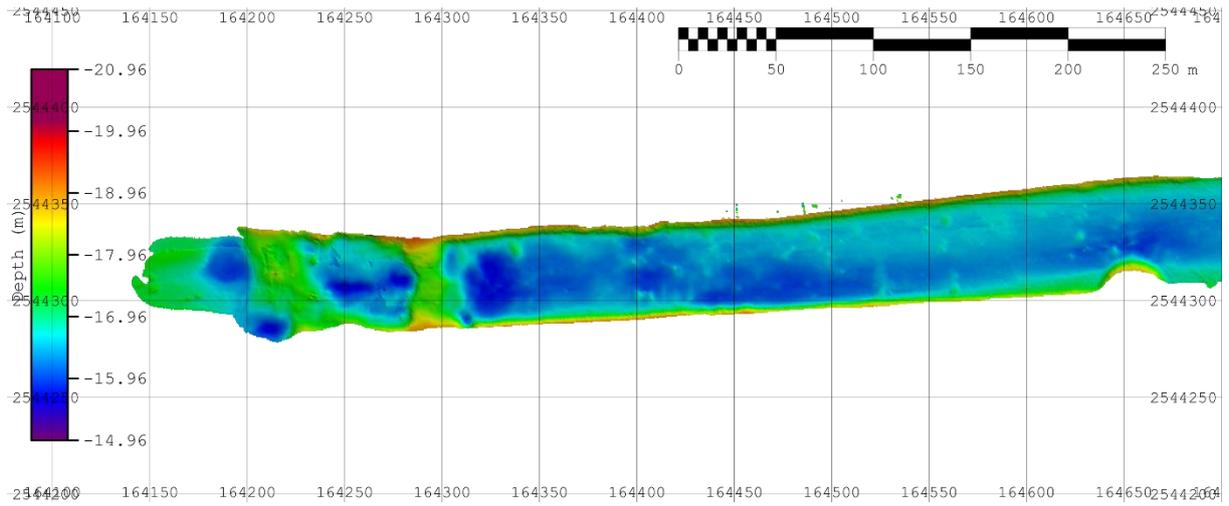


圖2-14:安平港水深網格成果(網格解析度:0.5 m)。

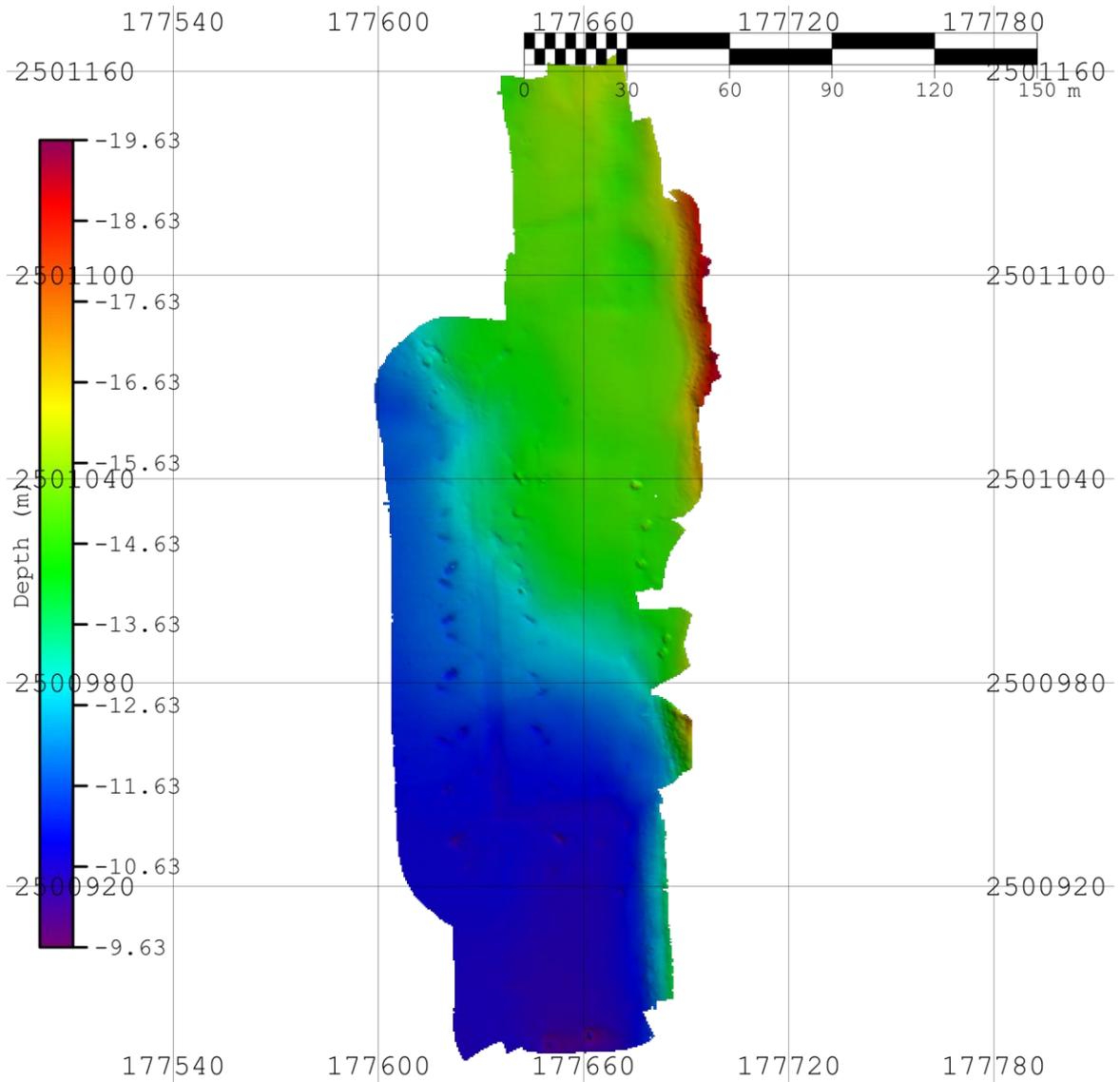


圖2-15:高雄港水深網格成果(網格解析度:0.5 m)。

第三節 無人船水深和LIDAR點雲資料整合

上述已完成無人船之水深資料處理和計算，以下為將無人船水深和 LIDAR 點雲資料整合處理步驟:

- (1). 利用GNSS 動態後處理(Post-Processing Kinematic, PPK)技術則可以得到精準航線軌跡，如圖2-16所示。
- (2). 自無人船航線軌跡中(圖2-16)選擇品質較佳航線之LADAR點雲。自圖2-17可知，LIDAR資料亦包含許多不合理點雲。
- (3). 利用現地影像和重疊資料相互比較，以剔除不符水深點，成果如圖2-18所示。
- (4). 由於LIDAR點雲資料座標基準為WGS84，因此將無人船0.5*0.5 m網格成果之基準轉換至WGS84。
- (5). 利用直接地理定位(direct georeferencing)光達點雲和無人船網格成果同時匯入開源點雲軟體—Cloudcompare，則可進行資料套疊，成果如圖2-19~圖2-20所示。

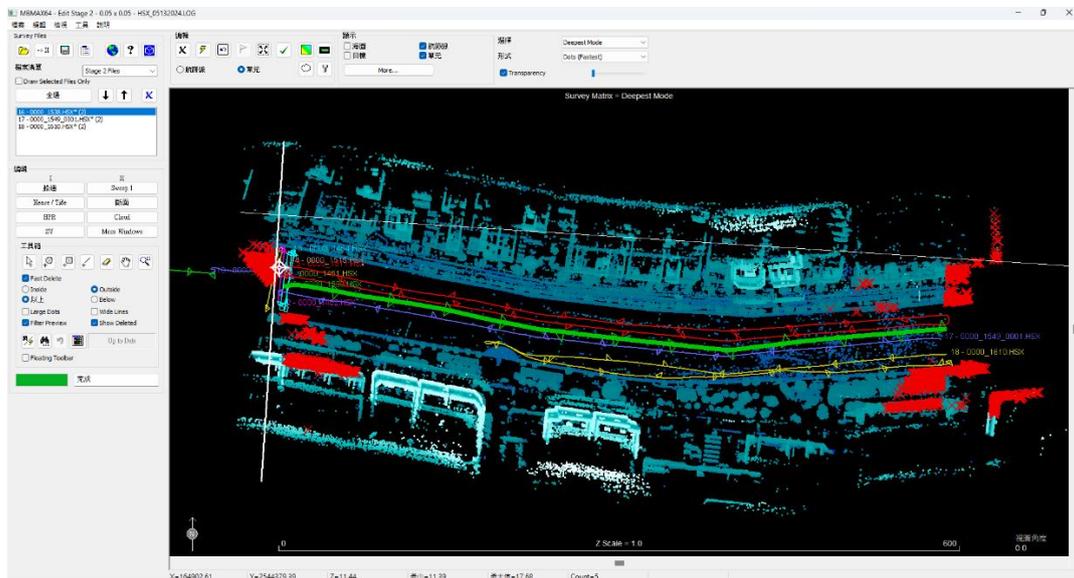


圖 2-16:無人船航線軌跡。

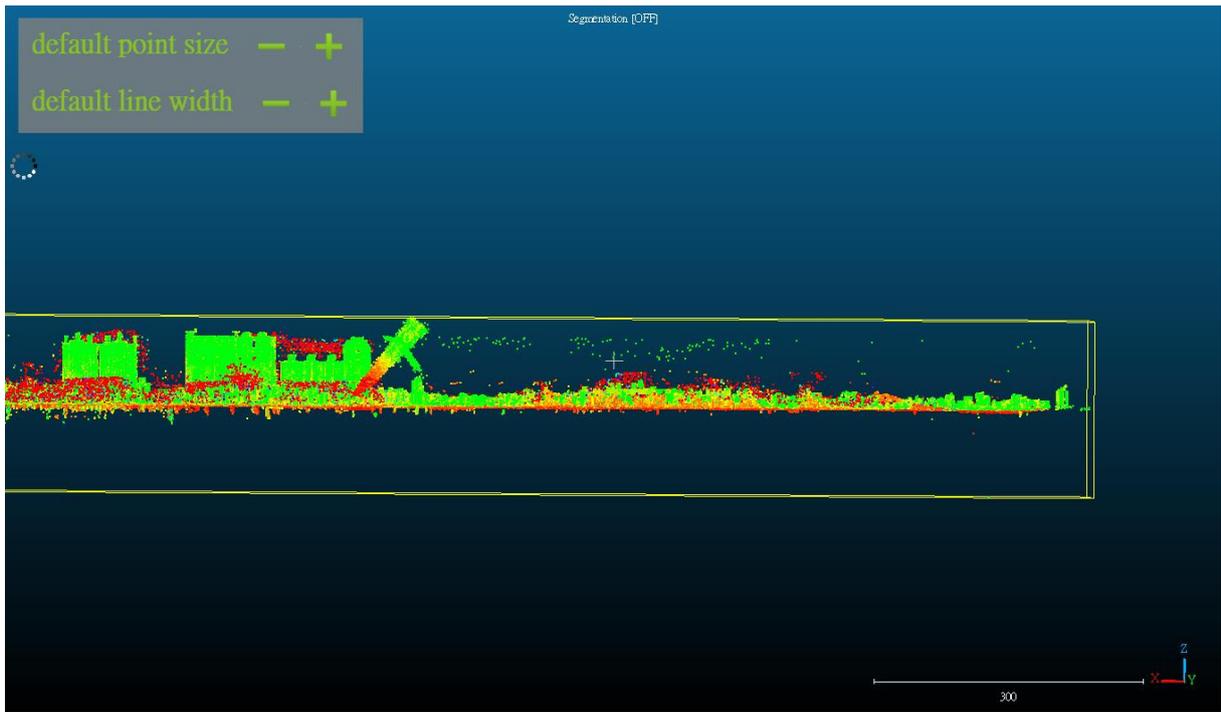


圖 2-17:濾除雜點前之 LIDAR 點雲資料。

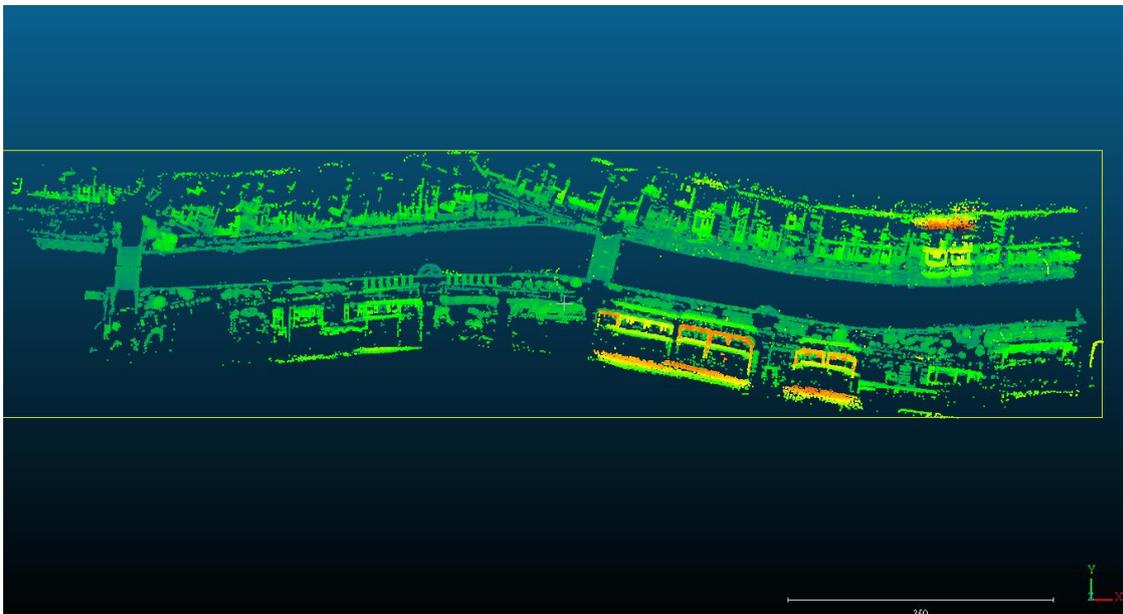


圖2-18:光達掃描水上結構物之成果。

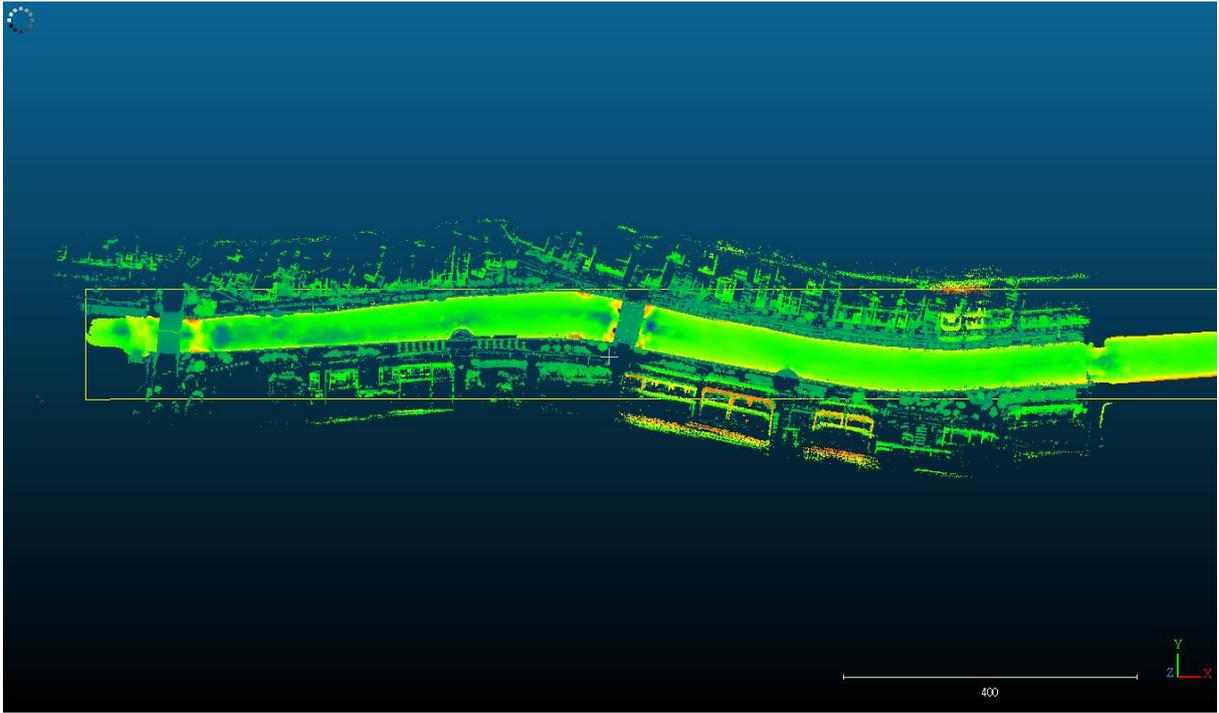


圖2-19:水深資料和LIDAR點雲初步整合成果-俯視圖。

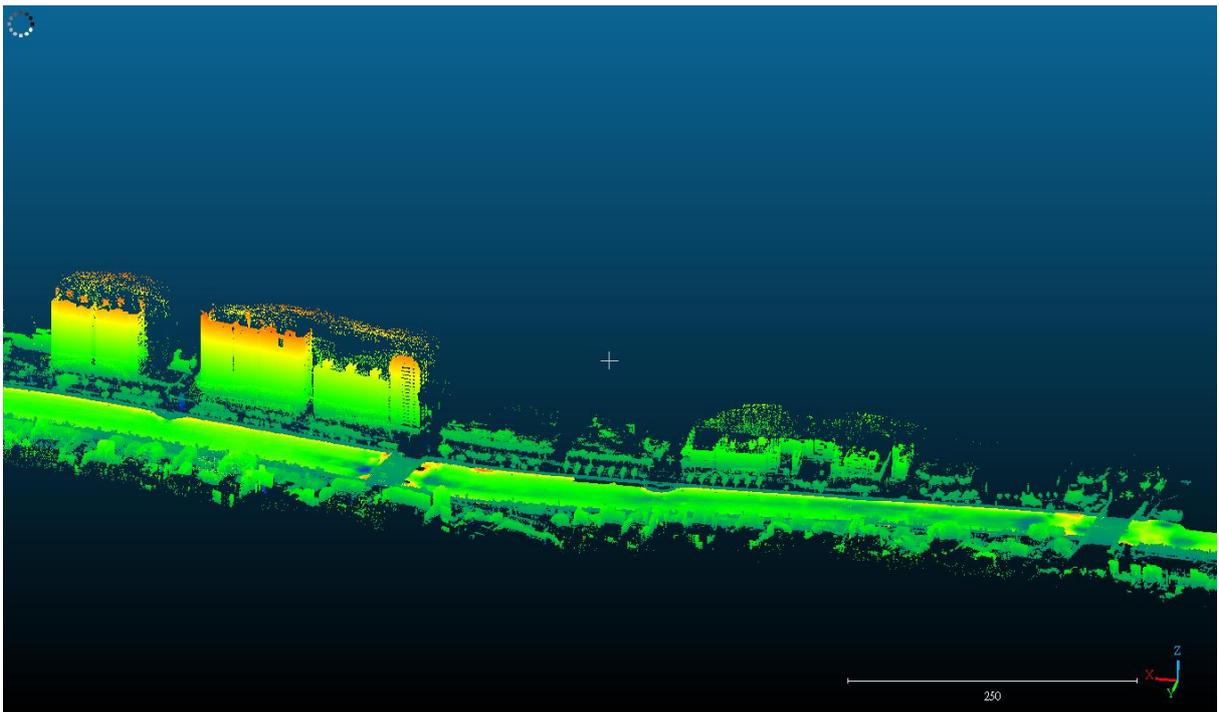


圖2-20:水深資料和LIDAR點雲初步整合成果-3D圖。

第三章 結果與討論

通過直接地理定位和疊合測試，本計畫成功實現LIDAR與聲納的水上水下一體化成果(圖2-19和圖2-20)。根據整合測試結果，雖然我們計畫成果已經確認LIDAR系統在無人船上觀測和整合方面的可行性，但對於LIDAR觀測角度和測線安排仍然有可以改進地方。另外，目前水深和LIDAR點雲並無重疊部分，因此在整合上可能有錯位問題，後續可以考慮增加控制點布設或是尋找明顯特徵物，使聲納和LIDAR系統可以共同測量，在整合時可提高資料完整性和精度。因此我們認為後續須調整LIDAR系統的資料蒐集方式和處理流程，對於點雲整合成果應可更進一步優化。

本計畫於高雄港進行測深作業時，發現在船隻停泊處，多音束聲納觀測到用於固定船隻的繩子(圖2-10和圖2-13)。在資料處理時，原本想將其當作雜點濾除，然而繩子是實際存在且會影響船隻航行安全，因此再三思慮後，認為需要將其保留於水深資料中，並在後續處理標記成地物。

第四章 結論

本計畫完成高雄港和安平港等港口之無人船水深測量作業，可以特別在傳統有人船無法進行測繪區域進行施測，以完善商港水深資料之蒐集。本計畫亦將測深無人船結合 LIDAR 系統進行水上水下地形一體化之測繪目標，可在港區同時進行岸上結構物檢測以及港區水深資料蒐集，將有助於更全面理解港區海底地形和地上物特徵，對於資料整合、視覺化效果提升以及後續應用(如結構物傾斜分析)將有更佳全面性發展。

本人於此計畫中學習無人船測深內、外業之處理流程，並從中獲取寶貴經驗，這些技術和方法的應用有助於提高測深作業的精確性、效率和可靠性，特別是在需要精確水深資料的電子航行圖或海洋環境工程等領域，期許對未來無人船測深之發展有些許貢獻。

參考文獻

- 內政部，〈110-111年度測深無人船辦理水深測量及建置線上精密單點定位服務系統研究工作案第4期成果報告書〉(民112)。
- J. Rowley. “Autonomous unmanned surface vehicles (USV): A paradigm shift for harbor security and underwater bathymetric imaging,” In Proceedings of the OCEANS 2018 MTS/IEEE (Oct. 2018), Charleston, SC, USA, 22–25 October 2018: 1–6.
- M.L. Seto, and A. Crawford. “Autonomous shallow water bathymetric measurements for environmental assessment and safe navigation using USVs.” In OCEANS 2015-MTS/IEEE (Oct. 2015), Washington, DC, USA, 19-22 October 2015: 1-5.
- M. Specht, C. Specht, M. Szafran, A. Makar, P. Dąbrowski, H. Lasota, and P. Cywiński. (2020). “The Use of USV to Develop Navigational and Bathymetric Charts of Yacht Ports on the Example of National Sailing Centre in Gdańsk.” Remote Sensing 12, no.16 (Aug. 2020): 19.