

# 水聲無線通訊技術於底碇式波流監測系統之應用

羅冠顯<sup>1</sup> 李俊穎<sup>2</sup> 鍾揚棋<sup>3</sup>

<sup>1</sup>交通部運輸研究所運輸技術研究中心 副研究員

<sup>2</sup>交通部運輸研究所運輸技術研究中心 研究員兼科長

<sup>3</sup>工業技術研究院綠能與環境研究所 工程師

## 摘要

港口波流場即時監測資訊，對於港埠管理及營運相當重要，傳統底碇式波流即時觀測系統以海底電纜做為儀器與使用者間通訊媒介，而海底電纜易受底拖網作業而損壞，使監測資料無法即時回傳，本研究嘗試以水聲通訊數據機取代海底電纜，發展無線式底碇波流即時監測系統，研究過程發現，如單以 AWAC 透過水聲數據機傳輸監測數據，傳輸效率將大幅降低，水中控制器的加入，有助於傳輸效率的提升，本研究 2024 年成功於基隆海域完成 100 m 以上資料傳輸，水聲數據機平均傳輸速率為 83.02 bytes/s，約需 270 s 即可完成 AWAC 每半小時傳輸量，水聲傳輸特性分析發現，傳輸速率與檔案大小成正相關，若導入無線式底碇波流即時監測系統，將可縮短潛水員水中作業時間，降低海域作業風險，並有助於港口海象觀測能量提升。

## 一、前言

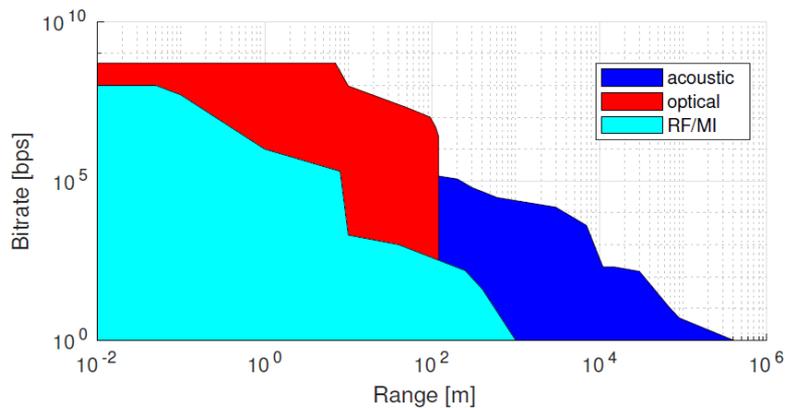
臺灣為為典型海島型國家，海上運輸對我國經濟貿易扮演相當重要之角色，如何即時掌握海域海象資訊，為船商、引水人及港區管理單位重要之課題，交通部運輸研究所（以下簡稱本所）、臺灣港務股份有限公司、連江縣政府及金門縣政府已於基隆港、蘇澳港、花蓮港、高雄港、安平港、布袋港、臺中港、臺北港以及離島金門、馬祖與澎湖港等 11 個港區，在港口附近設置長期性波流場監測系統，提供即時波浪及海流等重要資訊。現行底碇式波流即時觀測系統係透過海底電纜做為水下資料傳輸媒介，此方式易受漁船底拖網作業而使纜線受損，導致即時資料傳輸中斷。

陸上無線通訊技術雖已逐漸普及，卻礙於傳輸介質不同無法有效應用於水下，水中有線傳輸可透過鋪設海底光纜、海底電纜達成，無線傳輸則可藉由光、電磁波及聲納等方式傳送，光及電磁波因傳輸方式較直接，於大氣環境中為較常使用之傳輸方式，但在水中卻存在很大限制，係因其傳輸方式在淡海水中容易被吸收或散射，而導致穿透深度不足，影響傳輸品質與成功率，相對光及電磁波傳輸方式，聲波於水中之穿透力則較佳，如已廣泛應用之聲納。本研究嘗試將無線通訊技術導入本所運輸技術研究中心（以下簡稱運技中心）底碇式波流即時觀測系統，以水中無線通訊設備取代海底電纜，發展一套可於港口長期執行波流場即時監測作業之無線式底碇波流即時觀測系統，無線式底碇波流監測系統可提升建置、檢修及維運等階段作業效率，縮短潛水員水中作業時間，降低海域作業風險，系統可於監測海域布設多處監測點，近岸端僅需設置 1 處接收站，將單點監測擴展至線監測網，強化港口海象監測能量。

## 二、水下通訊技術種類及數據機選擇

本研究參考 Filippo Campagnaro 等人 2020 年發表於海洋科學與工程期刊” Wireless Remote Control for Underwater Vehicles” ，該文蒐集多款水下射頻、磁感應 (MI)、光及水聲等通訊產品，繪製出不同水下通訊技術傳輸速率-通訊距離關係圖 (如圖 1)，圖中藍色區域代表水聲通訊，紅色為光通訊，青色為射頻及磁感應通訊，使用者可透過此關係圖，挑選合適通訊設備。本所採用底碇式波流觀測儀為 Nortek 生產 Acoustic Wave and Current Profiler (以下稱 AWAC)，常設置於離外廓堤約 500~800 m 不等，為保留測站未來遷移或外推之彈性，本研究將水下直線通訊距離定為 1 km。

以 AWAC 每半小時回傳 1 筆觀測數據，且每筆原始資料 (raw data) 檔案大小約 25 KB 即通訊速率 0.056 kbps，依此條件對應至前述關係圖，水聲 (藍色區) 及磁感應/射頻 (青色區) 通訊應可符合本研究需求，惟目前市售水中通訊產品多以水聲技術為主，磁感應技術多用於無線充電，基於水中無線通訊設備後續發展考量，及數據機產品線完整度與成熟度，選用德國 EvoLogics S2CM 18/34 中頻水聲通訊數據機 (如圖 2)，做為本研究水下無線通訊系統測試及評估的基礎，該數據機傳輸速率 13.9 kbps，最大通訊距離為 3.5km，操作深度可達 2 km，有利於外海觀測站監測距離的延伸。



(資料來源：F. Campagnaro, A. Signori, and M. Zorzi, “Wireless Remote Control for Underwater Vehicles” , Journal of Marine Science and Engineering, 2020, Vol.8(10), pp.736-768.)

圖 1 不同型式水下通訊技術傳輸速率-通訊距離關係圖



(資料來源：EvoLogics S2C M 18/34 Modems Brochure.)

圖 2 EvoLogics 系列產品傳輸速率及通訊距離參考示意

### 三、無線式底碇波流觀測系統大型斷面水槽通訊測試

運技中心現有底碇式即時波流觀測系統資料傳輸原理，如圖 3，採用之傳輸纜線主要供港口外觀測儀器 AWAC 電力及觀測數據傳輸使用，AWAC 電力供給有 2 種方式，(1)海側：附加電池桶供電、(2)陸側：透過海底傳輸纜線供給，儀器本身將優先選擇(2)做為電力來源，如纜線產生異常，則自行切換改由(1)供給電力。每筆觀測數據除儲存於 AWAC，亦透過纜線傳送至岸上資料擷取傳輸設備，同步回傳至運技中心海氣象監控室儲存，岸上資料擷取傳輸設備除可供應外海 AWAC 所需電力外，亦為使用者與水下儀器溝通介面，使用者於後臺監控主機對各商港下達資料回傳命令，各港岸上 4G\5G 數據機收到該命令後，經傳輸纜線對外海 AWAC 下達命令，儀器收到使用者命令後，該筆觀測數據由 AWAC 傳出，經由傳輸纜線傳送至岸上 4G\5G 數據機，即時回傳至本所運技中心，系統指令暨資料傳輸架構，如圖 4 所示。

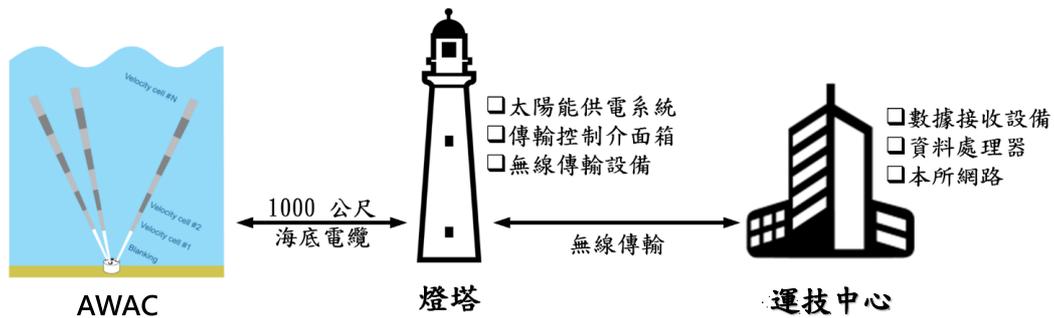


圖 3 底碇式波流觀測系統資料傳輸原理示意圖



圖 4 底碇式觀測系統指令暨資料傳輸架構

在無線系統於外海設置運作前，需先瞭解無線式底碇波流觀測系統傳輸特性，鑑此，本研究特於國立成功大學水工試驗所大型斷面試驗水槽（如圖 5）實施水下通訊測試，斷面水槽尺寸長 300 m、寬 5 m、深 5.2 m。無線通訊系統配置分為發送端、接收端及測試用電腦，發送端置於可移動式臺車，接收端設於固定式三腳架，2 端通訊數據機於水中，試驗水深 3 m，岸上配有 WIFI-RS232 訊號轉換器。岸上測試電腦透過 WIFI 發送訊號至發送端 WIFI-RS232 轉換器，經

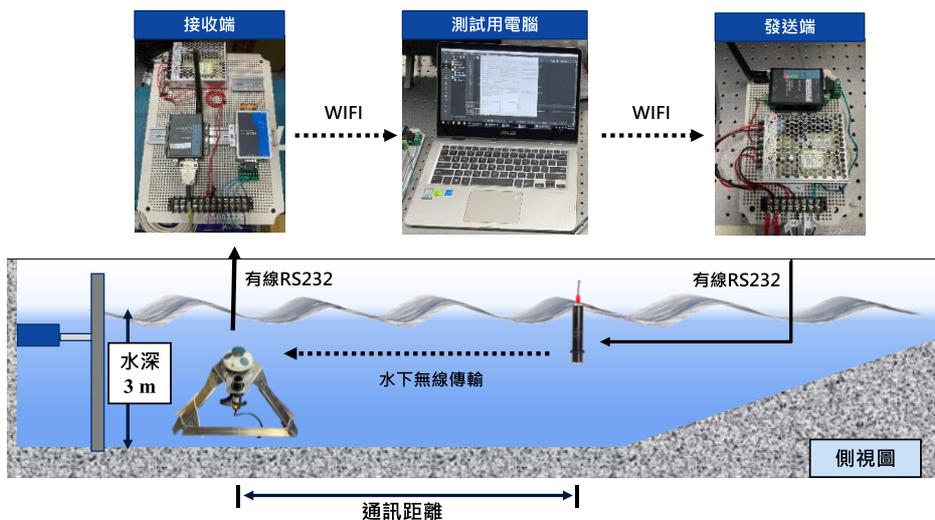
RS232 傳輸至發送端水下數據機，數據機將訊息傳輸至接收端水下數據機，經 RS232 傳遞至岸上 WIFI-RS232 轉換器，最後透過 WIFI 將資訊回傳至測試用電腦，測試配置如圖 6 所示。



圖 5 國立成功大學水工試驗所大型斷面水槽



(a)



(b)

圖 6 無線式底碛波流觀測系統大型斷面水槽測試配置

表 1~表 2 為傳輸固定檔案大小資料於不同通訊距離 (0、1、3、5、10、15 及 20 m)，所需時間與傳輸速率，同一通訊距離均會施作 3 組，測試結果顯示：

1. 本研究所採用之水聲數據機傳輸特性，在相同通訊距離下，傳輸速率隨著檔案大小增加而遞增，即大檔案傳輸可獲得較佳傳輸速率，以通訊距離 3 m、檔案 10 Byte~20 KB 為例：
  - (1) 10 Byte：0.91、1.66、0.60 Byte/sec。
  - (2) 100 Byte：15.95、13.19、13.22 Byte/sec。
  - (3) 1 KB：33.04、37.75、37.19 Byte/sec。
  - (4) 10 KB：37.45、41.49、43.83 Byte/sec。
  - (5) 20KB：43.20、48.28、43.22 Byte/sec。
2. 於此測試環境，通訊距離大於 5 m 時，傳輸較大 (>10KB) 之檔案，中途傳輸失敗風險大幅上升，研判係因訊號反射干擾所導致。
3. 隨著通訊距離增加，資料傳輸呈現較不穩定性情形，以檔案大小 100 Byte、通訊距離 15 m 為例，3 組試驗所需秒數為 130.91 s、39.57s 及 60.66 s，傳輸秒數最多相差近 3 倍。
4. 以目前本所 AWAC 波流場設定，每半小時會即時回傳 1 筆觀測數據 (約 25KB)，允許資料傳輸時間為 2 分 30 秒，試驗水槽測試期間最高傳輸速率為 328.54 Byte/sec，以此傳輸速率傳輸每筆 AWAC 觀測數據約需 80 秒，尚於系統允許資料傳輸時間內，惟不同測試場域 (如外海) 及通訊距離皆會影響傳輸結果，仍需視不同環境調整。

**表 1 傳輸固定大小檔案所需時間 ( sec )**

水中通訊距離 (m) \ 檔案大小(Byte)	0	1	3	5	10	15	20
10	3.63	2.30	10.96	3.56	16.01	38.01	5.20
	2.70	3.75	6.04	8.00	14.00	2.33	8.77
	3.28	6.14	16.70	1.36	6.19	21.64	28.43
100	7.10	7.33	6.27	30.47	39.17	130.91	16.23
	4.07	10.67	7.58	26.33	15.68	39.57	5.36
	2.76	18.41	7.57	37.03	13.64	60.66	4.51
1000	7.88	27.53	30.27	90.59	80.18	19.47	72.82
	4.42	14.18	26.49	45.43	56.95	33.93	93.08
	5.02	21.24	26.89	94.59	49.44	21.53	86.80
10000	35.34	112.41	267.05	-	-	-	-
	36.33	126.23	241.01	-	-	-	-
	32.11	114.01	228.14	-	-	-	-
20000	60.88	243.21	462.93	-	-	-	-
	70.41	244.87	414.23	-	-	-	-
	66.04	247.90	462.75	-	-	-	-

備註：「-」表示通訊失敗。

表 2 傳輸固定大小檔案所需速率 ( Byte/sec )

水中通訊距離 (m) \ 檔案大小(Byte)	0	1	3	5	10	15	20
10	2.76	4.34	0.91	2.81	0.62	0.26	1.92
	3.71	2.67	1.66	1.25	0.71	4.29	1.14
	3.05	1.63	0.60	7.33	1.62	0.46	0.35
100	14.08	13.64	15.95	3.28	2.55	0.76	6.16
	24.57	9.38	13.19	3.80	6.38	2.53	18.67
	36.26	5.43	13.22	2.70	7.33	1.65	22.15
1000	126.95	36.32	33.03	11.04	12.47	51.35	13.73
	226.09	70.52	37.75	22.01	17.56	29.47	10.74
	199.24	47.09	37.19	10.57	20.23	46.46	11.52
10000	282.94	88.96	37.45	-	-	-	-
	275.26	79.22	41.49	-	-	-	-
	311.46	87.71	43.83	-	-	-	-
20000	328.54	82.23	43.20	-	-	-	-
	284.07	81.68	48.28	-	-	-	-
	302.83	80.68	43.22	-	-	-	-

備註：「-」表示通訊失敗。

水槽測試雖已滿足數據機原廠所建議之運行環境（長 3 m、寬 2 m、高 2 m，數據機距水面及固體邊界需 1 m），惟測試結果仍未符合預期，推斷係因水中通訊遭受干擾，而導致訊號傳輸不穩定，為進一步釐清原因，將測試過程中不同通訊距離時，發送、接收端所收到數據，繪製反射訊號（或路徑）統計圖（如圖 7），理想通訊狀態下，於發送端送出 1 筆數據，接收端僅會收到 1 筆資料，從圖可發現通訊距離為 0 m 時，使用者自發送端送出 1 筆數據，且訊號完整性接近 400（>100 代表可接受，<100 代表較差），於接收端卻收到 2 筆，此現象隨著通訊距離拉長而愈加明顯，且訊號完整性逐漸遞減，距離至 1 m 時，發送端除偵測到 1 筆由自身送出之數據，另收到 2 筆訊號完整性較差的反射數據，此情況亦發生於接收端數據機，通訊距離拉長至 10 m 以上時，發送、接收端而外收到 6~7 筆反射數據，且訊號完整性普遍低於 100，主頻訊號隨著通訊距離拉長，因反射影響而使完整性驟減，最佳及最弱主頻訊號完整性差約 300~350，顯示訊號反射對數據機運作之影響。試驗水槽測試環境雖已優於數據機原廠建議值，但訊號於水中之反射情況仍無法避免，訊號傳遞隨著通訊距離增加，水槽內的反射狀況會愈加明顯，研判每筆傳播出去的訊息會在水中多次反射，水下傳輸直線傳播路徑與反射路徑示意，如圖 8，影響主頻訊號強度，降低水中通訊品質，造成通訊失敗。AWAC 波流觀測模組運作與數據傳輸同時間僅能擇一執行，數據傳輸與 AWAC 觀測排程重疊時，儀器將自動暫停該次波流場觀測作業，且水聲數據機沒有重傳機制，需要外掛控制器進行資料緩衝（Buffer）、檢驗及排序，將每筆觀測數據先暫存於控制器內，使用者僅需針對控制器內存資料定期抓取，而不影響 AWAC 觀測排程，依此概念修正圖 4 傳輸架構如圖 9，做為系統海域測試配置參考。

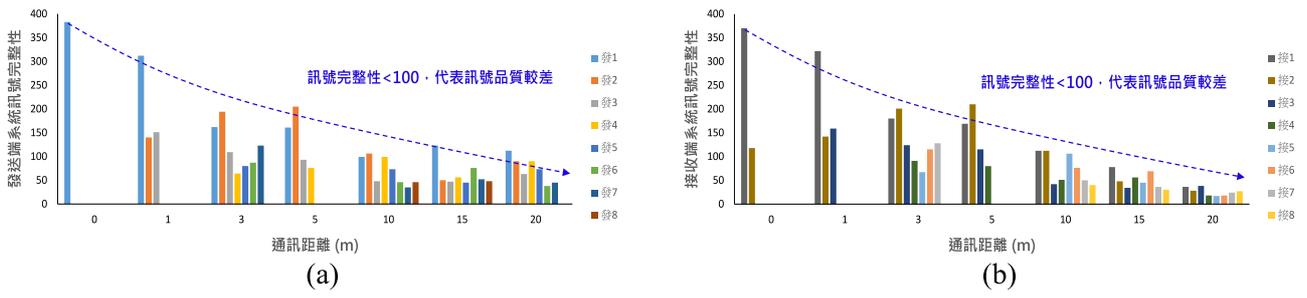


圖 7 水槽測試反射訊號 (或路徑) 統計

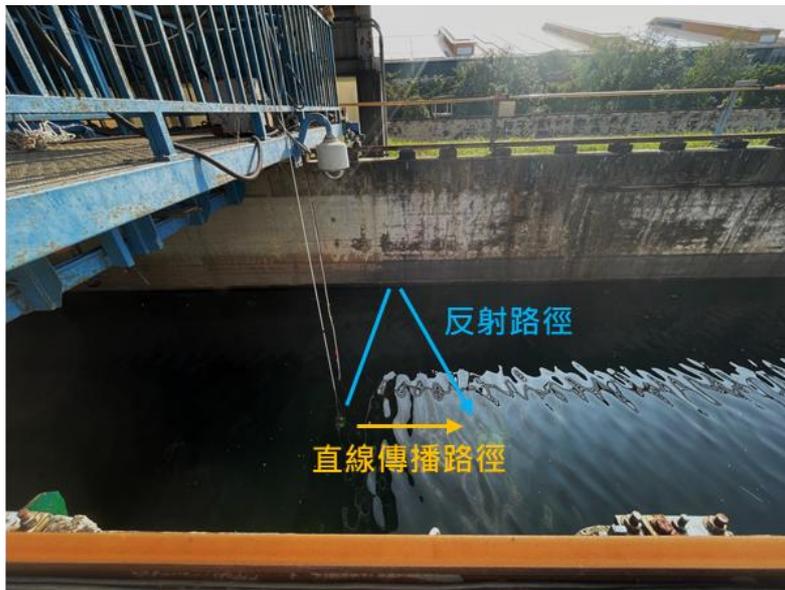


圖8 水下傳輸直線傳播路徑與反射路徑示意圖



圖 9 無線式底碇波流觀測系統架構

#### 四、無線式底碇波流觀測系統海域測試

在海域測試部分，2024 年主要針對無線式系統於實際海域運作時，紀錄並分析其傳輸特性(短期設置)，做為 2025 年即時系統建置(長期監測)調校參考，依據大型斷面水槽試驗結論，水聲數據機單筆傳輸檔案越大，傳輸速率越快，單筆傳輸的檔案越大，可獲得較佳傳輸速率，惟如讓 AWAC 監測數據直接透過水聲數據機傳輸，會使資料以每次 20~512 Byte 大小零散傳出，大幅降低數據機傳輸效率，而數據機無重傳與封包機制，會使資料產生順序錯亂或遺失狀況，導致該次傳輸作業失敗。為解決此問題，水下控制器加入即相當重要，圖 10 為無線式底碇波流觀測系統海域測試傳輸架構，分為離岸水下發射站(以下稱 Remote 端)、近岸水中接收站(以下稱 Local 端) 2 部分，Remote 端配有 AWAC、水中控制器、水聲數據機、24V 鋰鐵電池及充放電控制器，Local 端含水中控制器、水聲數據機、24V 鋰鐵電池與充放電控制器。Remote、Local 端功能如下：

##### 1. Remote 端

- (1) 與AWAC交互命令，控制儀器狀態、量測及接收監測數據。
- (2) 將來自AWAC監測數據分批封包，並加上檢查碼，單筆封包數據大小為1038 Byte，最後不足1038 Byte部分，以該次傳輸任務中，檔案所剩餘最終大小傳出。
- (3) 水下通訊順序管理及重傳。
- (4) 波流場原始監測副檔名為wpr檔數據備份。
- (5) 休眠省電功能。

##### 2. Local 端

- (1) 與電腦交互命令，回傳指令答覆。
- (2) 驗證來自Remote端數據封包是否正確完整。
- (3) 水下通訊順序管理及重傳要求。
- (4) 更新AWAC設定參數與狀態。
- (5) Remote端狀態控制。
- (6) 波流場原始監測副檔名為wpr檔數據備份。
- (7) 休眠省電功能。

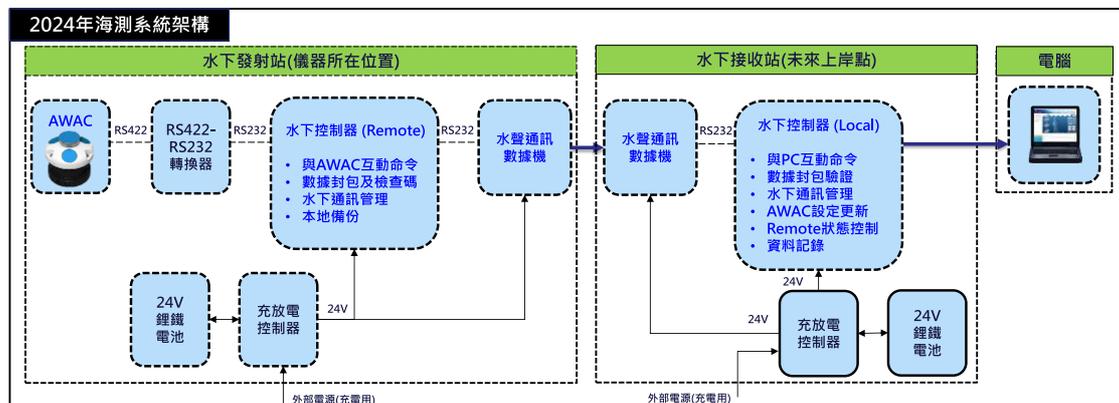


圖 10 無線式底碇波流觀測系統海域測試傳輸架構

由圖 10 可知 AWAC 原始監測數據副檔名為 wpr 檔 (簡稱 wpr 檔)，將分別儲存於 AWAC、Remote 端控制器及 Local 端控制器 3 個位置，與以往纜線傳輸系統僅可由 AWAC 下載原始監測數據不同，因監測數據將以聲波方式於水體中進行傳輸，外部雜訊干擾可能造成原始數據在傳輸過程中，部分遺失或產生錯誤字元，導致 wpr 檔解算失敗。因此，Remote 端與 Local 端水下控制器間必需建立一套通訊協議，此協議可用於辨別與驗證指令，能有效解決傳輸過程中可能出現之錯誤問題，確保近岸 Local 端與離岸 Remote 端能理解彼此傳輸的資料行為、字串長度及資料編號，使訊息能依序傳輸並完整排列至 wpr 檔中。以符合系統未來需於無人職守情況下，執行使用者所交付之命令，在系統產生異常時，控制器需有能力判別並除錯，圖 11 為控制器邏輯驗證架構，此處暫以 PC 替代 AWAC，隨機產生字元錯誤、0~20 s 資料傳遞延遲情境，並於數據傳輸完成後，比對 PC 端、Local 端控制器及 Remote 端控制器中之 wpr 檔，圖 12 比對結果顯示 PC、Local 及 Remote 端 wpr 檔吻合，證明該通訊協議的穩定性與可靠性，在系統運行過程中，控制器可有效處理水下傳輸中潛在的錯誤與延遲問題。

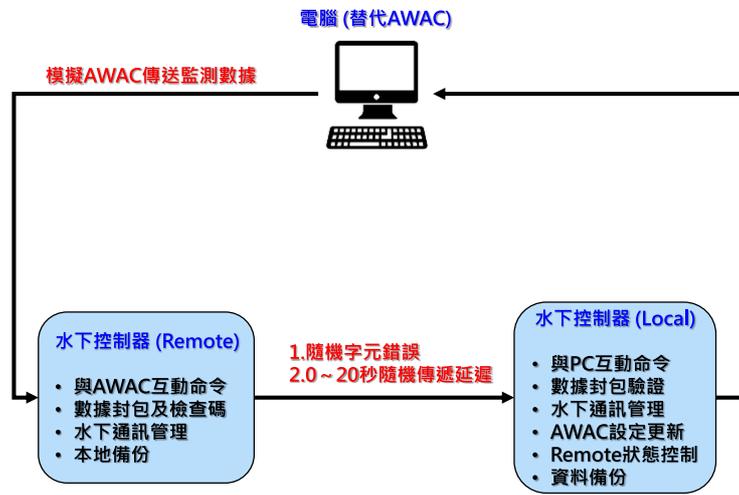


圖 11 控制器邏輯驗證架構

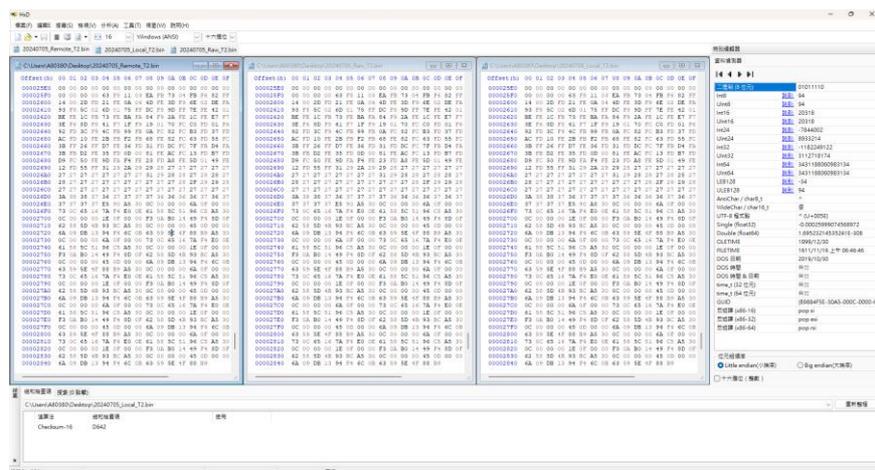


圖 12 wpr 檔驗證- Remote 端 (左)、PC 端原始資料 (中)、Local 端 (右)

圖 13 為 Remote、Local 端控制箱外觀實照，箱體防水等級為 IP68，控制箱雖有防水功能，惟設備入水後水壓力恐造成箱體損壞或滲漏，導致設備故障或破損，本研究另設計不銹鋼水密

箱體，控制箱置於其內部，分別製作 Remote、Local 端 2 座（如圖 14），Remote 端另增可附掛 AWAC 之底座，箱體直徑 0.6 m，高度 0.45 m，搭載數據機後總高為 1 m，單座總重約 210 公斤，內含 24V-75 安培小時鋰鐵電池組及 IP68 電控箱體，箱體內部透過 O-ring 與矽油施作防水，AWAC 及水下無線數據機在濕接頭(含連接線)部分，選用與本所目前現場同款之 Subconn Micro Circular 接頭，該接頭經本所多年現場實測，布放水域由 10~40 m 不等，其水密性及耐久度皆可符合本所需求，用以做為不鏽鋼水密箱體內外通訊媒介，水密箱體完成實照，如圖 15 所示。

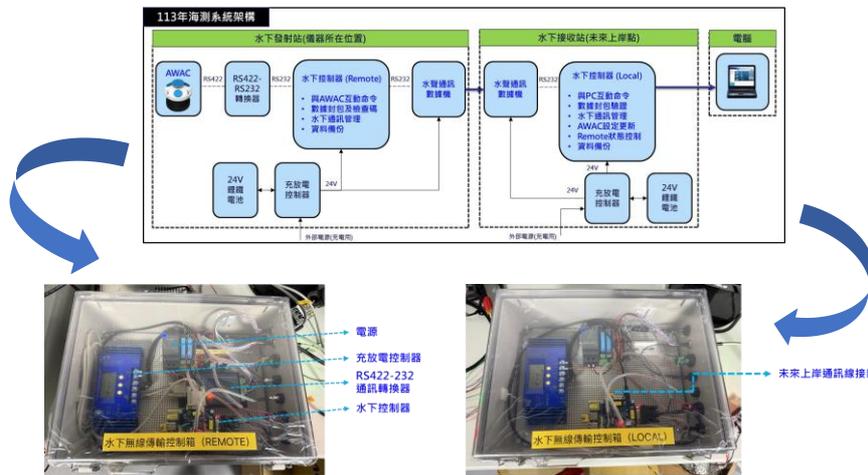
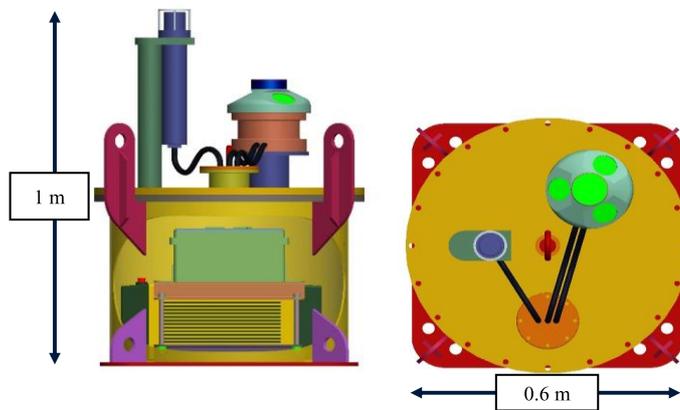
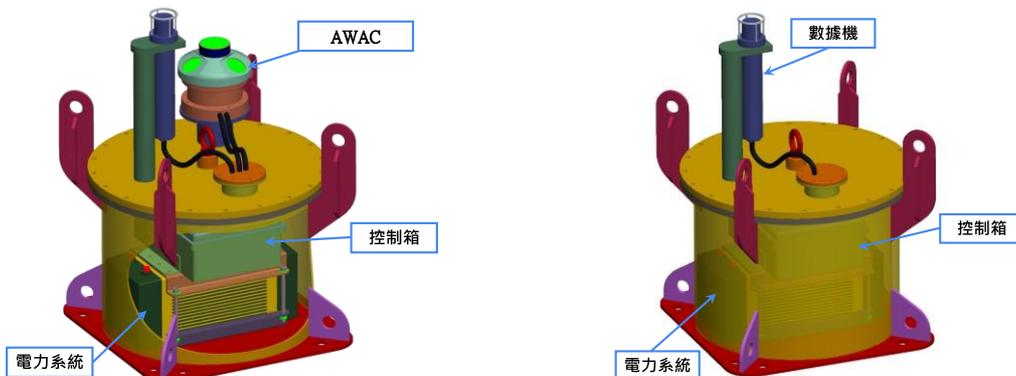


圖 13 海域實測 Remote、Local 端控制箱



(a) 箱體尺寸



(b) Remote 端

(c) Local 端

圖 14 Remote、Local 端水中不鏽鋼箱體設計圖

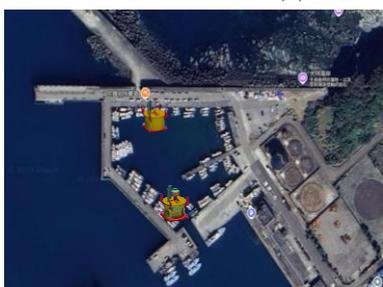


圖 15 Remote、Local 端不鏽鋼密封箱實照

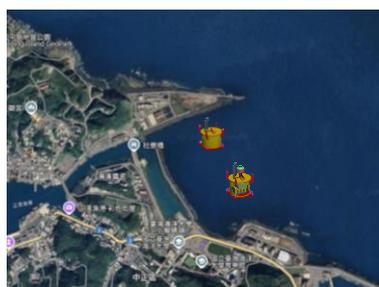
海域實測分 2 天執行，第 1 天(2024 年 11 月 15 日)試驗場域為基隆八斗子漁港內，WGS84 座標 N 25° 8'47.1" E 121° 47'34.1"，Remote、Local 端距離約 120 m，水深 5~15 m；第 2 天(2024 年 11 月 16 日)於和平島東南方海域實施，WGS84 座標 N 25° 9'14.4" E 121° 46'41.4"，Remote、Local 端相距約 150 m，水深 25~30 m，施放位置及作業過程，如圖 16~圖 17 所示。



(a) 港內、外施作位置



(b) 11 月 15 日港內測試



(c) 11 月 16 日港外測試

圖 16 2024 年 11 月 15 日~16 日海域實測位置

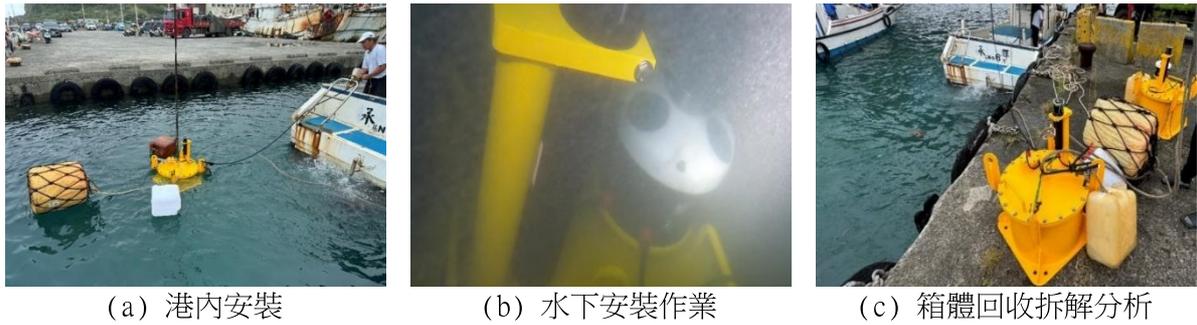


圖 17 2024 年 11 月 15 日~16 日實測作業

圖 18 為 11 月 15 日~16 日系統運作歷程，設備於 11 月 15 日上午開始於八斗子漁港內實施測試，Remote、Local 端系統於 8：20 開機，AWAC 於 9：20 開始傳輸數據，10：25 不銹鋼箱體下水，16 日上午將港內水下設備移至和平島東南方海域執行港外測試，設備於 16 日 11：43 回收。可發現 15 日 9：20~10：25 設備雖尚未入水，但數據機於空氣中仍具備一定通訊能力，間歇性傳輸約 100 筆數據，因不明原因設備 10：25 入水後不久，Remote、Local 兩端即通訊中斷，直至當日 17：35 開始恢復傳輸，因通訊中斷期間 AWAC 仍在自主監測海域波流場資料，當系統於 17：35 恢復傳輸後，Remote 端將期間 AWAC 所蒐集到之數據開始傳輸至 Local 端，此時可觀察到數據開始產生密集傳輸情況，累積數據傳輸完成後，系統即維持穩定頻率進行傳輸，直到 11 月 16 日上午設備移動至外海過程，數據機於 9：11 通訊再次中斷，直至設備 11：43 回收。

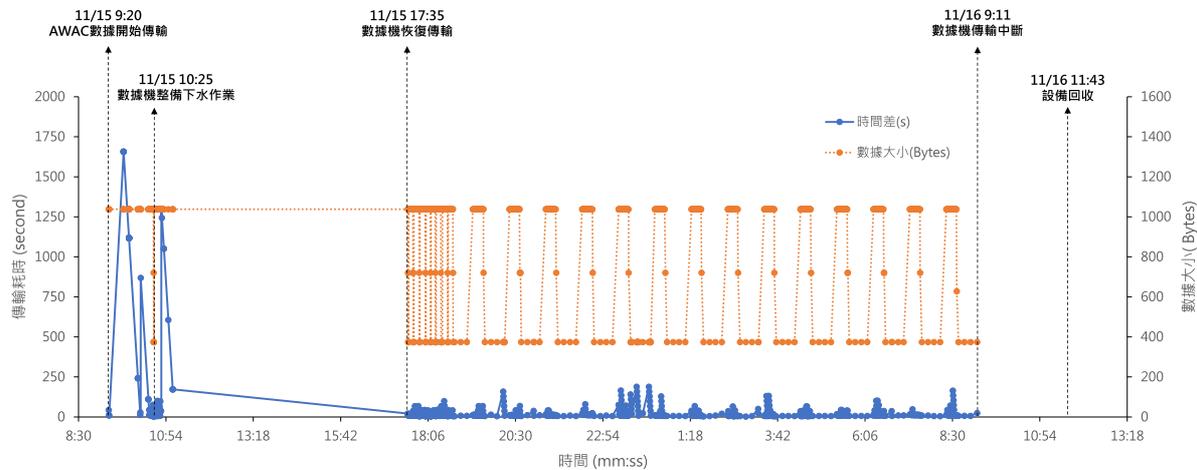


圖 18 系統海測歷程紀錄

本研究設備回收後 Remote、Local 端 wpr 檔進行比對分析(如圖 19)，比對結果顯示，Remote 端資料長度會大於 Local 端，其原因是在 AWAC 回收後，設備仍有足夠電力支應整套設備運作，此時 Remote 端仍持續在接受來自 AWAC 的 wpr 檔，直至電力系統中斷，因與 Local 端間被障礙物阻擋，Remote 端資料無法傳輸至 Local 端，而產生兩端 wpr 檔長度/大小會有不一致情形，此現象亦表示系統在兩端通訊異常情況下，Remote 端仍可維持數據擷取、備份之功能，待通訊恢復即可進行傳輸，接續比對 Remote、Local 端 wpr 檔長度重疊之部分，兩端數據完全一致，顯示在本次測試期間，AWAC 監測數據可透過 Remote 端成功並完整傳送至 Local 端。另透過 Nortek AWAC AST Dialup 軟體內建檢查碼 (Checksum) 檢驗功能，針對 Remote、Local 端 wpr



速率 83.02 bytes/s，約需 270 s 可完成現行 AWAC 每半小時傳輸量，搭配控制器數據儲存及排程傳輸功能，可同時兼具儀器觀測、數據傳輸多工處理，滿足海象觀測需求。

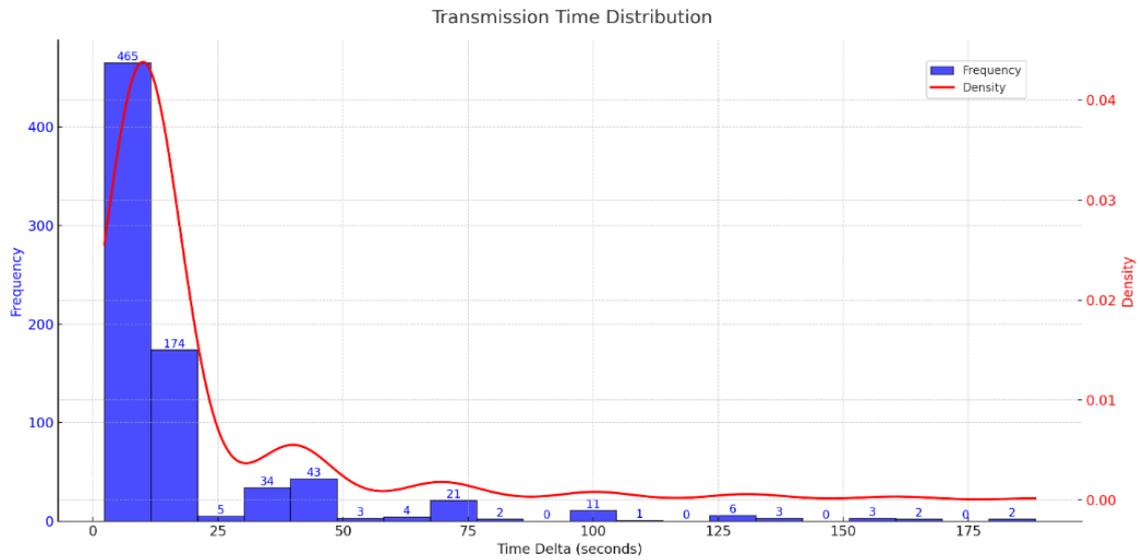


圖 21 數據傳輸時間分布直方圖

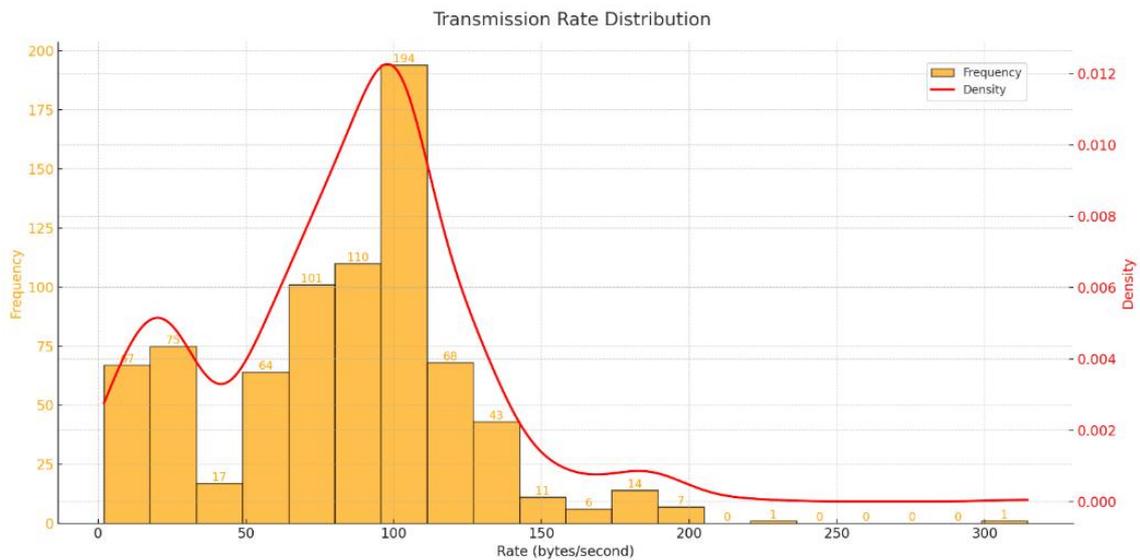


圖 22 數據傳輸速率分布直方圖

本研究所開發之水中控制器具備封包機制，Remote 端控制器將來自 AWAC wpr 檔，分為數個封包，每個封包檔大小為 1038 Byte，不足 1038 Byte 部分，以該次傳輸任務中檔案所剩餘最終大小傳出，將海測期間經 Remote 端送出之封包，以盒鬚圖方式統計繪製如圖 23，圖中縱軸為封包大小，橫軸為傳輸速率，由圖中可發現，封包大小分為 1038、720、628 及 374 Byte 等 4 種，628 Byte 僅 1 筆，在此不併入討論，就中位數而言，可發現數據機在傳輸 1038 Byte 檔案時，傳輸速率約落在 100 bytes/s，傳輸 720 Byte 檔案時，速率降至約 85 bytes/s，傳輸 374 Byte 檔案時，速率下降至接近 50 bytes/s，傳輸速率隨著檔案大小增加而上升，此結果與大型斷面水槽一致。

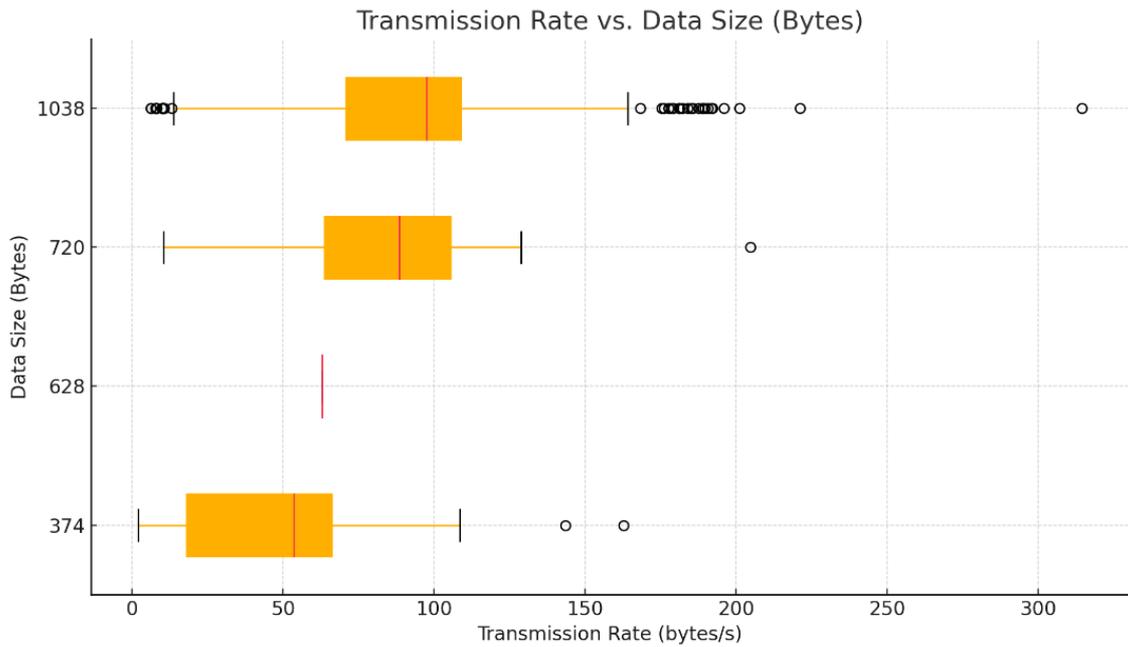


圖 23 不同封包大小傳輸速率盒鬚圖

## 五、結論

本研究依據大型斷面水槽試驗成果，改良優化無線式底碇波流觀測系統，並加裝控制器管控水聲傳輸系統，提升系統傳輸效率及穩定性，以利發展外海波流場長期監測作業，茲將研究成果臚列如下：

1. 依據大型斷面水槽測試成果，建議於無線傳輸系統中加裝控制器，以利提升傳輸效率，結果顯示，控制器可處理傳輸過程所產生之延遲與字元錯誤。
2. 海域實測傳輸速率分析結果，數據機平均傳輸速率為 83.02 bytes/s，約需 270 s 可完成 AWAC 每次觀測所需傳輸量，搭配水中控制器儲存及排程傳輸功能，可兼具儀器觀測、數據傳輸多工處理，滿足海象觀測需求。
3. 海域實測傳輸速率盒鬚圖分析結果，數據機在傳輸 1038 Byte 檔案時，傳輸速率約 100 bytes/s，傳輸 374 Byte 檔案時，速率約下降至 50 bytes/s，速率隨著檔案大小增加而上升，此結果與大型斷面水槽試驗一致。

## 參考文獻

1. F. Campagnaro, A. Signori, and M. Zorzi, "Wireless Remote Control for Underwater Vehicles", *Journal of Marine Science and Engineering*, 2020, Vol.8(10), pp.736-768.
2. Nortek Acoustic Wave and Current Profiler (AWAC) user manual.
3. Nortek Classic Integrator's Guide.
4. EvoLogics S2C M 18/34 Modems Brochure.
5. EvoLogics S2C M 18/34 Datasheet.