

淡水河表面流速監測系統設置與量測

溫志中¹ 葉秀貞² 蔡涵任² 許師瑜³ 李俊穎⁴ 蔡立宏⁵

¹ 弘光科技大學環境與安全衛生工程系副教授

² 弘光科技大學環境與安全衛生工程系計畫助理

³ 交通部運輸研究所運輸技術研究中心助理研究員

⁴ 交通部運輸研究所運輸技術研究中心研究員兼科長

⁵ 交通部運輸研究所運輸技術研究中心主任

摘要

淡水河下游為典型感潮河段，水文特性受潮汐、水庫操作與降雨共同影響，常呈現流向可逆、流速劇變等現象，對傳統水下流速監測設備構成極大挑戰。為因應極端天候事件下的觀測需求，本研究於關渡橋設置非接觸式表面流速計長期自動化水文監測系統，並結合太陽能供電與 4G 無線通訊技術，完成一套具即時遠端監控能力之觀測系統。表面流速計監測系統即便歷經 2024 年山陀兒與康芮等颱風，仍能穩定回傳流速與水位資料，顯見其具備高度環境耐受性與可靠性。相較傳統聲學流速儀於極端水況下易受懸浮雜物、泥沙干擾或結構損壞，本儀器透過非接觸式雷達量測技術，有效避開物理性風險，並能精準辨識流向與流速變化。觀測結果顯示，本儀器能完整記錄風雨事件前後之水文變異，對於防災應變、水文模擬與輸沙研究具高度參考價值。本研究結果說明非接觸式表面流速計在感潮河段應用之可行性與優勢，未來若搭配資料品管與長期資料庫建置，將有助於提升極端氣候下水文監測能量，支援河川管理與永續規劃之需求。

一、前言

淡水河為臺灣北部主要河川之一，其下游河段屬典型之感潮河口區域，受潮汐、水庫操作及降雨逕流共同影響，具有流向可逆、流速劇變等水文特性。此環境特性對流速量測儀器及設備為構成極大挑戰，尤其在極端事件發生期間(如豪雨、颱風或水庫放水)，因水流湍急且夾帶大量懸浮雜物與泥沙，常造成傳統水下聲學流速儀器量測數據失真，甚至設備受損或遺失。此外，設置於水下之自記式流速測站，不僅需定期潛水維護與儀器更替，亦面臨數據資料遺漏風險，由於颱風事件期間環境變化劇烈，確保監測資料之完整性與準確性實屬不易。然而，颱風事件期間所取得之相關水文資訊，對於都市防洪模擬、水質模式校驗、河口地形變遷及生態影響評估等領域皆具高度價值，因此，建構一套耐環境干擾、資料連續穩定以及低維護成本之長期自動監測系統，有其重要性與必要性。

臺灣過去於感潮河段裝設表面流速監測系統案例甚少，且關渡橋橋面距離淡水河水面大約 15-18m，較其他應用場域為高，經審慎比較，本研究選用奧地利 Sommer Messtechnik 公司研製之 RQ-30a+非接觸式流速與水位監測系統(以下簡稱表面流速計或本儀器)，該設備以雷達技術進行表面流速與水位量測，並能自動判別流向，且可避免水下安裝所需之工程施作與維修風險，適用於感潮與高風險水域。本研究於 2024 年 9 月完成淡水河關渡橋之表面流速計安裝工作，同時結合太陽能供電系統及無線數據傳輸機制，建立一套具即時遠端監控功能之表面流速長期監測系統。期能藉此持續蒐集淡水河長期水文資料，並提升極端事件下數據監測之完整性，且未來可望擴展應用於河川防災預警、水文模擬與輸沙推估等領域，為河川管理與永續發展，提供更具效率與準確的長期數據資料庫。

二、表面流速計設備介紹

本研究選用之表面流速計，為奧地利 Sommer Messtechnik 公司開發之非接觸式水文監測系統，專為開放水道、感潮河段及無法設置水下設備之場域所設計，其電源供應範圍為 6~30 VDC，內建反接與過壓保護機制，確保系統穩定運作。設備裝置在 12 VDC 供電下，待機電流僅約 1 mA，而在儀器運作量測時平均功耗約為 140 mA，具備低功耗特性，適合搭配太陽能系統於戶外長期部署。操作與儲存溫度範圍皆為-40~60°C，相對濕度耐受範圍為 0~100%，能適應嚴寒、高溫與高濕環境。本儀器防護等級為 IP67，具防塵防水能力，外殼採用粉體塗裝鋁合金材質，亦可選配不鏽鋼殼體以加強耐候性與防破壞性。在資料輸出方面，本儀器擁有完整之通訊與控制介面，數位輸出包括 RS-485(支援 ASCII 與 MODBUS RTU 協議)、SDI-12 與 GSM/GPRS 模組，可供遠端資料存取與即時監控之用。另內建四組獨立 4~20 mA 類比輸出，對應水位、流速、流量與額外輸出(AUX)，具備 14 位元解析度，最大負載阻抗為 250 Ω ，可直接對接現場之 PLC、自動控制系統或警報設備。整體儀器裝置尺寸為 338*154*333 mm，重量約為 5.4 kg，並支援管徑 34~48 mm 之標準安裝支架，適用於多數橋梁或渠道岸壁等安裝位置。

表面流速計採用 26 GHz K-band 脈衝雷達進行水位量測，其原理為雷達模組垂直向水面發射短脈衝電磁波，並接收水面反射之回波，藉由計算訊號往返時間，得出感測器至水面之距離。水位量測解析度為 1 mm，精度為 $\pm 0.025\%FS$ ，標準量測距離為 0-35m，雷達波束開角約為 10°；非接觸式流速量測係利用雷達，以固定入射角向水面發射 24 GHz 之連續微波訊號，當訊號照射至移動的水面時，將因都卜勒效應產生頻率偏移，接收端可擷取反射波並與原始發射訊號進行比對，以量測頻率偏移量，進而推算水面之瞬時表面流速。此外，系統可根據頻移方向與大小，自動辨識流向變化。表面流速量測解析度為 1 mm/s，精度為 ± 0.001 mm，標準量測距離範圍為 0.5-35m，雷達波束開角約為 12°，儀器內建傾角感測器，能即時進行垂直補償，以修正安裝角度偏差對量測精度之影響。本儀器詳細規格技術，如表 1 所示。

本儀器資料記錄器選用 Campbell CR310，數據傳輸器則使用 ADVANTECH EKI-1642I，由於現場無固定電力供應，因此使用 100W 太陽能系統供電，透過 50Ah 以上的太陽能專用循環充放電電池，確保系統能夠穩定運行。

表 1 RQ-30a+規格技術表

物理與環境參數		流速模組		水位模組	
電源供應	6~30VDC	測量範圍	0.08~15 m/s	量測距離	0~35 m
工作功耗	12VDC:140mA	流速精度	±0.01 m/s		
工作溫度	-40~60°C	流速解析度	1 mm/s	雷達頻率	26 GHz
相對濕度	0~100%	單次量測時間	5~240 sec		
防護等級	IP 67	量測間隔	8 sec~5 hr	水位精度	±0.025% FS
外殼材質	粉體塗裝鋁材	雷達頻率	24 GHz		
安裝支架	Ø34-48 mm	雷達開角	12°	水位解析度	2 mm
外觀尺寸	338*154*333mm	與水面距離	0.5~35 m		
重量	5.4 kg	流向辨識	可辨別正反向	水位雷達開角	10°

三、安裝工作說明

為確保表面流速計系統監測數據的代表性，本研究選擇於關渡大橋靠出海口側安裝表面流速計，該區域水流穩定且流速較高，能有效反應河段水流特性，表面流速計安裝位置，如圖 1 所示。所有儀器設備及太陽能供電設備安裝於欄杆外側，如圖 2 所示，避免佔用到人行道區域，導致危險發生，採用夾鎖固定方式，使用 U 型螺絲等固定方式，以最大化減少佔用到人行道之空間。流速及水位儀器因量測水面需要，延伸約 180 公分出去至無阻擋區域，且考量後需維護作業便利性，採模組化設計，分別為固定座模組及流速儀器桿模組。儀器設定每 30 分鐘進行一次流速與水位測量，並透過 4G 無線網路即時傳輸至遠端資料庫系統。系統處理作業示意圖，如圖 3 所示。安裝完成之表面流速計監測系統，如圖 4 所示。



圖 1 表面流速計系統安裝位置示意圖

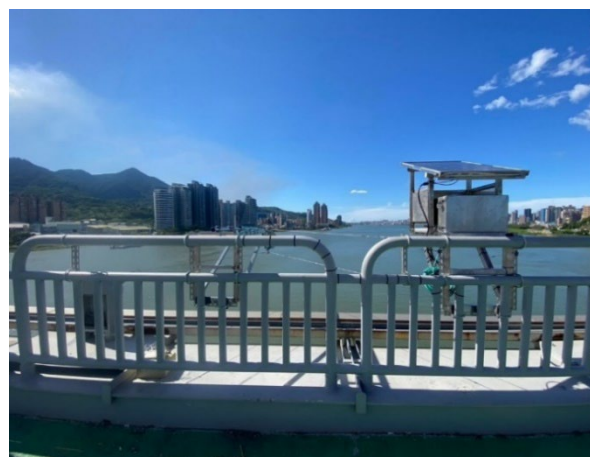


圖 2 表面流速計安裝完成圖

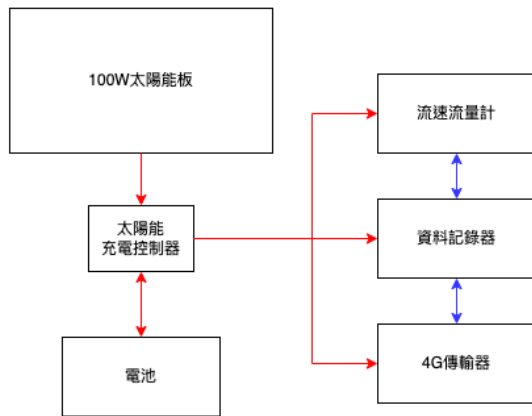


圖 3 系統處理作業示意圖



圖 4 表面流速計安裝完成之側視圖

四、水位校正說明

表面流速計之水位量測係採用非接觸式雷達感測技術，透過感測器發射固定頻率(26 GHz)之微波訊號，計算訊號自發射至水面反射回來所需之往返時間，藉以推算水面與感測器間之距離。水位資料則透過已知之安裝基準高度進行轉換，記錄水面相對於固定基準點之高程變化。因此，為確保水位量測數據之絕對準確性，本研究於表面流速計安裝完成後，進行高程測量作業，藉以校正設備原始回傳水位值。

本研究採用即時動態定位 VBS-RTK 方式進行高程測量作業，透過觀測載波相位並搭配即時差分修正資料，獲得流速計感測器之精密高程。關渡橋所屬區域之最鄰近控制點為設於新北市八里區龍源里之「獅子公園」一等水準點，其已知高程為 6 m。經現場 RTK 實測並基於此基準點進行轉換與校正後，得表面流速計之安裝高程為 18.62 m。控制點相關資訊，如表 2 所示，量測作業現地情形，如圖 5 與圖 6 所示。

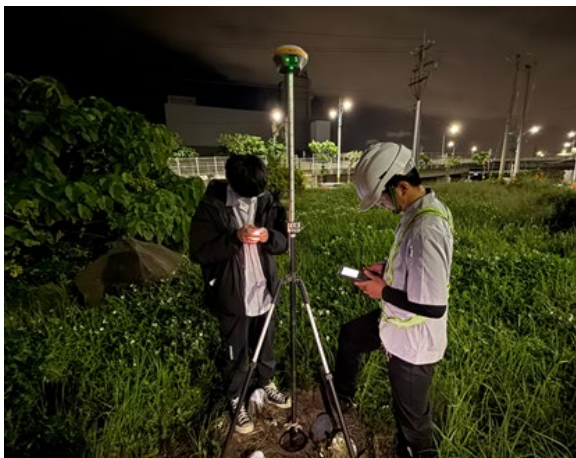


圖 5 控制點高程校正

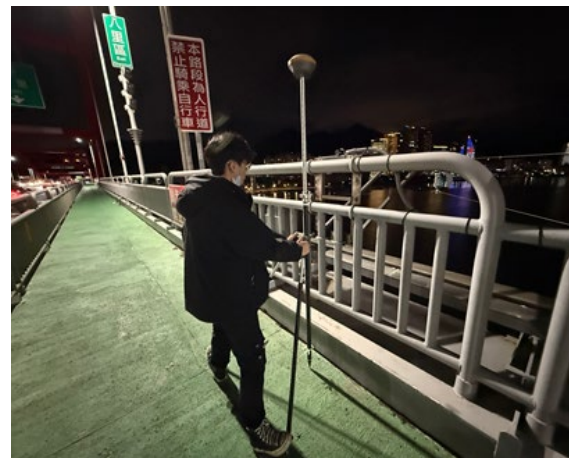
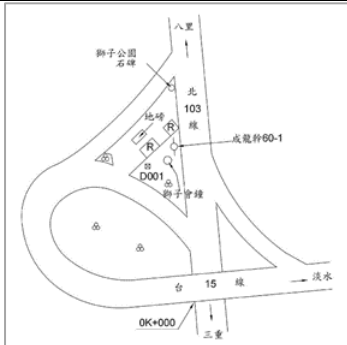
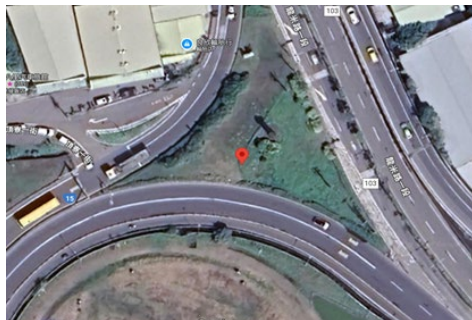


圖 6 表面流速計高程量測

表 2 獅子公園控制點點位資訊

控制點資訊			
點號	D001	點名	獅子公園
控制點等級	一等水準點	所在地	新北市八里區
測量方法	水準測量	座標系統	TWD97
地質狀況	泥土面	橫坐標(m)	121.4531
公告機關	內政部	縱坐標(m)	25.1244
測量日期	2020.01.14	高程(m)	6
			
路線圖		空照圖	
			
控制點與表面流速計位置示意圖			

五、結果與討論

淡水河關渡橋表面流速計於 2024 年 9 月 6 日(儀器架設當日)至 2025 年 1 月 31 日量測之流速與水位數據，如圖 7 與圖 8 所示，其中「正值」為往下游(退潮)時數據，意即水流由關渡橋往出海口之方向，「負值」則反之。目前表面流速計量測數據資料量尚不充足，暫無法有效依據過往數據庫資料，進行品質管並建立機制，因此為確保數值合理性，本研究以人工比對方式，挑選異常值，進行事件比對，如颱風、強降雨、陣風等。於量測期間共經歷 2 個颱風，分別為 2024 年 9 月 29 日至 2024 年 10 月 4 日的山陀兒颱風，以及 2024 年 10 月 29 日至 2024 年 11 月 1 日的康芮颱風。此外，於 2024 年 9 月表面流速計流速觀測數據中，有兩個較大之峰值，分別發生

於 2024 年 9 月 14 日以及 2024 年 9 月 22 日。圖 7 顯示 2024 年 9 月 14 日峰值發生於 11 時，根據 CODiS 氣候觀測資料查詢服務系統，關渡氣象測站(G2AI50)之氣象觀測資訊，如圖 9 所示，於該日同時間 11 時有最大瞬間風速發生，因此推測該峰值為陣風所致。另 2024 年 9 月 22 日 15 時開始有多筆流速資料大於 2m/s，根據 NCDR 災害示警公開資料平台即時示警訊息，2024 年 9 月 22 日 16 時開始全臺部分區域有降雨及豪雨發生，其中包含臺北市與新北市，如圖 10 與圖 11 所示。

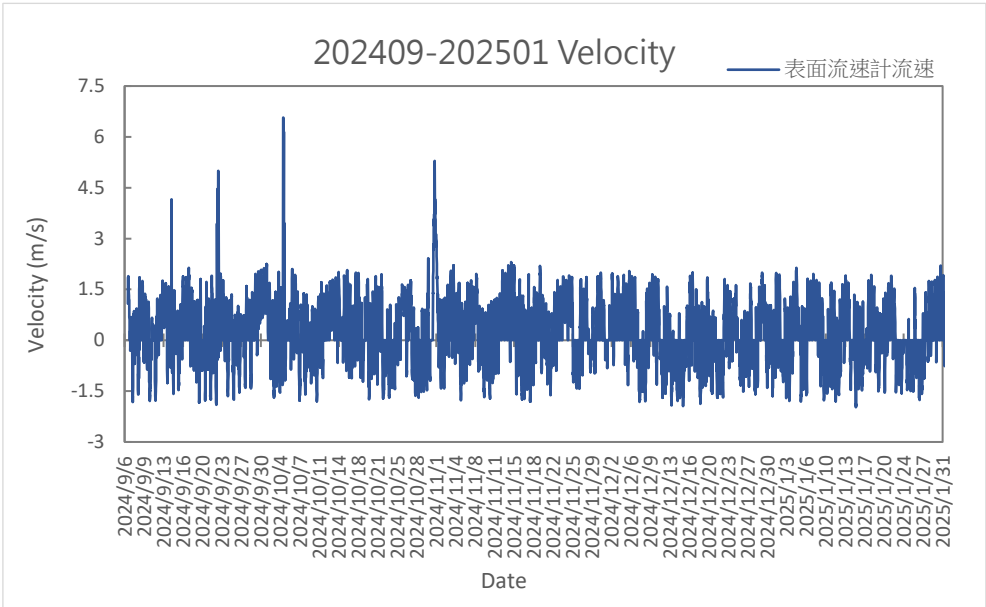


圖 7 表面流速計流速觀測圖

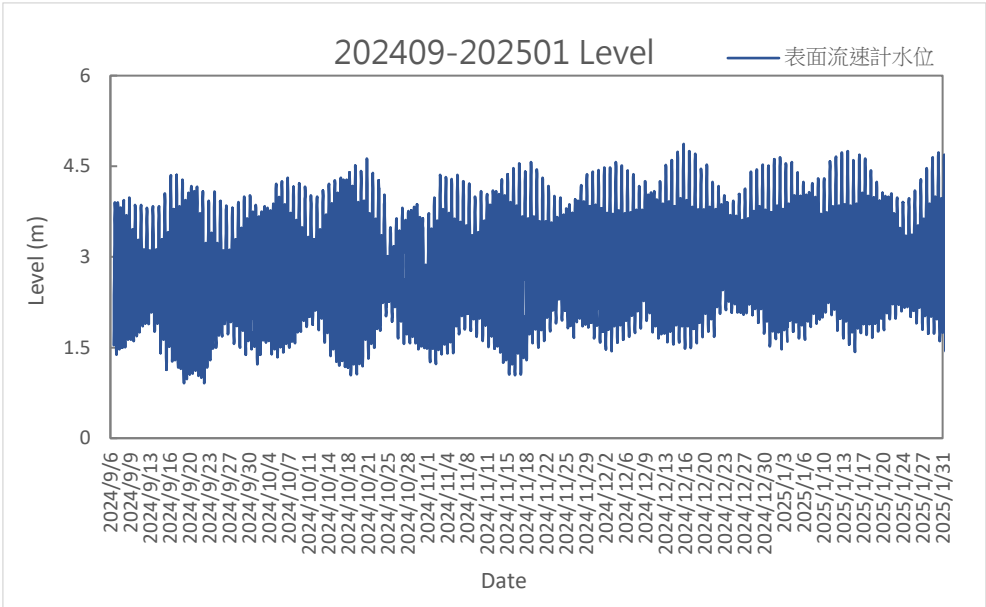


圖 8 表面流速計水位觀測圖

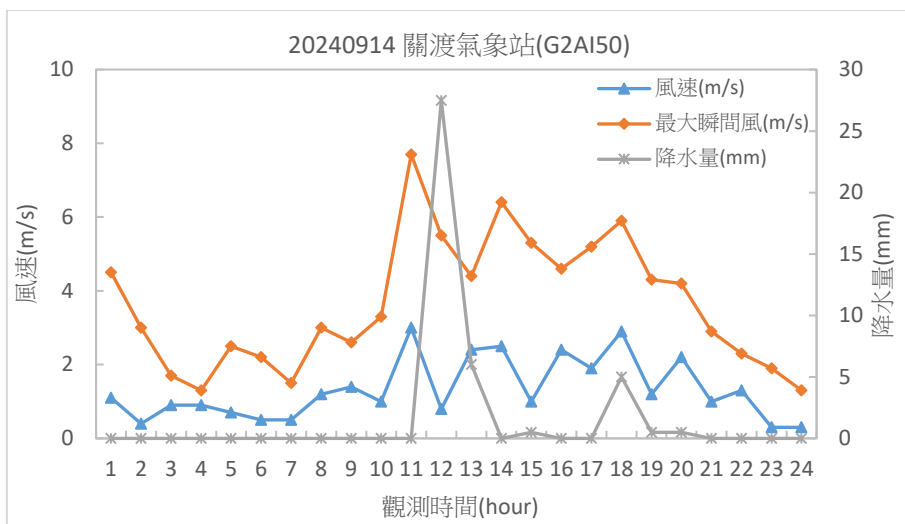


圖 9 2024 年 9 月 14 日關渡氣象站(G2AI50)資料

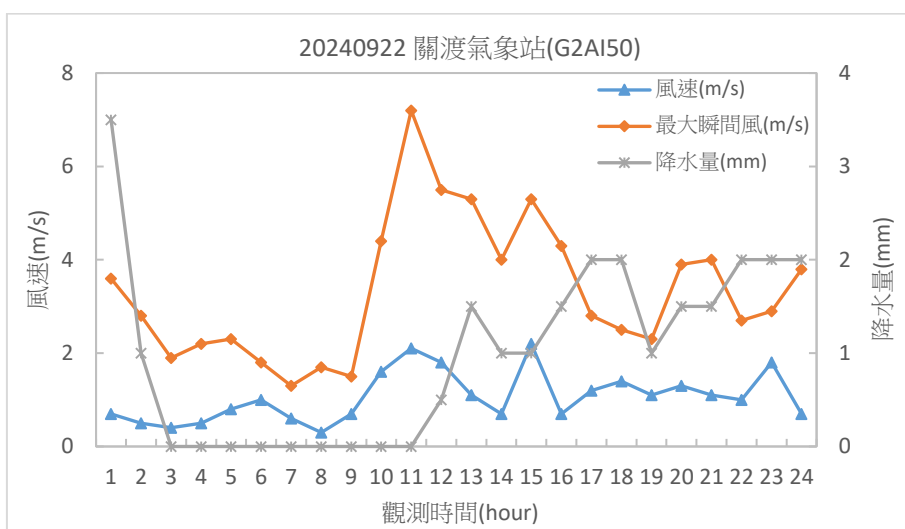


圖 10 2024 年 9 月 22 日關渡氣象站(G2AI50)資料

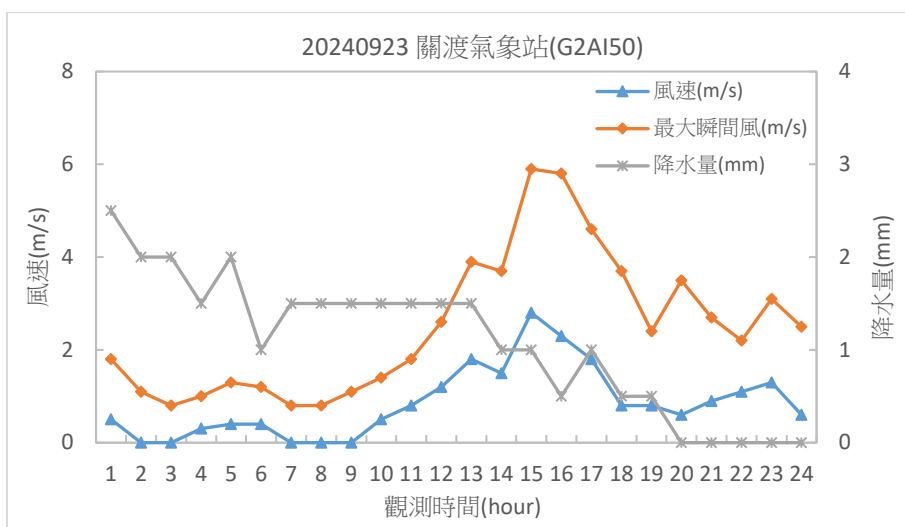


圖 11 2024 年 9 月 23 日關渡氣象站(G2AI50)資料

六、結論與建議

本研究於淡水河下游關渡橋建置非接觸式表面流速監測系統(RQ-30a+)，並結合太陽能供電與 4G 無線傳輸技術，完成感潮河段水文參數之連續觀測。觀測結果顯示，即便在颱風與強降雨等極端天候事件期間，系統仍能穩定回傳水位與流速數據，顯示其具備良好之環境耐受性與作業穩定性。傳統水下聲學流速儀器常於暴雨高流速條件下，因懸浮雜物撞擊、水中懸浮泥沙遮蔽、電源中斷或安裝結構鬆動等問題，導致資料缺漏甚至設備毀損，對極端事件期間最需即時且連續資料的分析階段產生嚴重影響與監測盲區。此外，傳統水下儀器維護工作需潛水人力進行回收更換作業，過程中不僅耗費人力資源，更伴隨高度作業風險。相較之下，RQ-30a+表面流速計採用非接觸式雷達技術進行水面量測，可有效避開水下環境干擾與物理衝擊，且具高 IP67 防護等級與低功耗特性，能於無人維護條件下長期穩定運作，降低維護成本與風險負擔。

在 2024 年 9 月與 10 月期間，系統歷經山陀兒與康芮兩次颱風事件考驗，儀器仍穩定擷取高頻率流速變化資訊，準確呈現風力驟增或瞬時降雨所造成之水文變化，完整保留事件前、中、後之流況紀錄。此資料之連續性與高可靠性，不僅顯著提升極端事件期間之監測精度與即時應變能力，亦可為後續進行河川防災預警、水文模擬與河口輸砂推估等研究，提供關鍵性之基礎資料，展現本儀器於極端氣候條件下之實務應用潛力與長期價值。

建議未來隨資料累積增加，建立其品管機制，以提升觀測資料之準確性與參考性，並期盼透過表面流速長期資料庫之建置與深化，強化氣候變遷下水文變異之監控能力，支撐流域整體治理與水資源永續規劃。淡水河屬感潮河段，受潮汐交互作用影響，其上下水層流況變化劇烈，呈現流向反轉與流速突變等複雜水文現象，因此表面流速資料之解析與應用潛力，仍待後續進一步觀察與深入探討。

參考文獻

1. 溫志中、葉秀貞、蔡涵任、陳智恆、李俊穎、蔡立宏 (2024)，淡水河關渡橋流速推估與驗證，港灣季刊第 128 期，60-71 頁。
2. 許泰文、張憲國 (2001)，永續的鑽石海岸，經濟部水資源局。
3. 林柏青、周憲德、卡艾偉、林煒傑、何良勝 (2007)，95 年淡水河河口及附近海岸輸砂之研究，交通部運輸研究所。
4. 林柏青、衛紀淮、何良勝 (2014)，102 年港域近岸底床輸砂之現場觀測研究(1/4)，交通部運輸研究所。
5. 中華民國內政部國土測繪中心，控制點查詢系統，<https://ctl.nlsc.gov.tw/>。
6. 交通部中央氣象署，CODiS 氣候觀測資料查詢服務系統，關渡氣象測站(G2AI50)之氣象觀測資訊，<https://codis.cwa.gov.tw/StationData>。

7. 行政法人國家災害防救科技中心，民生示警公開資料平台，
<https://alerts.ncdr.nat.gov.tw/indexHome.aspx>。
8. 交通部運輸研究所運輸技術研究中心 (2023)，112 年淡水河及臺北港水下觀測站維護暨觀測資料品管分析。
9. 交通部運輸研究所運輸技術研究中心 (2024)，113 年淡水河及臺北港水下觀測站維護暨觀測資料品管分析。