

試驗流域建置與長期水文監測： 以宜蘭河流域為例

Long-Term Field Monitoring in the Yilan River Experimental Watershed

台灣颱風洪水研究中心 副研究員 穰順忠 SHUN-CHUNG TSUNG	台灣颱風洪水研究中心 副技術師 李士強 SHIHH-CHIANG LI	台灣颱風洪水研究中心 專案研究助理 石欣軒 HSIN-HSUAN SHIH
---	--	--

摘 要

水文水理模式於防災預警中扮演重要角色，因此模式需要足夠現場資料進行檢定驗證，以確保模式可以合理反應模擬區域內水文現象。台灣流域內水文現象愈趨複雜，因此需更密集資料進行模式檢定驗證。流域內缺少全洪程流量與淹水歷程資料，主因為未建立穩定連續流量觀測程序與自動化淹水水位監測。為提高水文監測密度與提供水文水理模式充足驗證資料，本研究自 2012 年起建置於宜蘭河試驗流域，監測項目包含雨量、河川水位、河川表面流速與淹水水位，至 2015 年為止已有 66 站。宜蘭河試驗流域最大特色為河川表面流速與淹水水位之監測。河川表面流速站主要應用指標流速法，配合聲波都卜勒流速儀現場流量觀測，以推估河川全洪程流量。於易淹區域設置可連續記錄之淹水水位站，以改善現有淹水監測調查不足。宜蘭河試驗流域中即時水情與歷史監測資料可由網站 <http://wraew.ttfri.narl.org.tw/> 查詢與下載。目前已經提供 21 場颱風事件水文監測資料。

關鍵詞：試驗流域、宜蘭河、流量推估、淹水歷程

Abstract

Numerical models play an important role in disaster warning system, especially flood warning system in Taiwan. Warning information based on simulations can lead better decision making of disaster prevention and mitigation before flood. Monitoring data in field are essential for calibrations and validations of numerical model. However, monitoring data are often insufficient for watersheds in Taiwan. To increase monitoring data and improve accuracy of simulations, this study, therefore, established experimental watershed in the Yilan River basin since 2012. In the Yilan River Experimental Watershed, totally 66 sites were installed including rainfall, river water level, river surface velocity and inundation water level.

Measurements of river surface velocity and inundation water level are unique in the world. River surface velocity data are applied to estimate discharge history during flood using index velocity method and inundation water level are monitored continuously to improve current manual work. All monitoring data in the Yilan River Experimental Watershed can be downloaded on the website <http://wraew.tfri.narl.org.tw/>.

Keywords: Experimental Watershed, Yilan River, Discharge, Inundation.

一、前言

台灣面積為 36,000 km²，水文監測方面共有中央氣象局雨量站 496 站[5]，水利署雨量站 215 站及台電雨量站 34 站[18]，水利署水位站 141 站[19]；以雨量站而言，總數量雖多但測站分布並不均勻且多位於平地。此外水位站部分，常見支流分歧但無水位站同時監測主支流水理變化。以上情況對於水文水理模式而言易造成極大的模擬誤差。對於降雨逕流模式而言，山區降雨因地形高程變化大而變異性大於平地，但山區雨量站少使得各雨量站控制面積大而無法詳細描述降雨差異。對於河道演算模式而言，河道中除上下游邊界外，中間河段水位站數目則決定演算水位驗證的細緻度，充足站數可提供模式進行河道各參數合理調整；此外對於支流分歧河川，若於支流無設置水位站則無法監測支流水理狀況與評估支流匯入前後對主流水理的影響，如此將降低河道演算可信度。

對於河道演算模式，需要入流流量資料做為上游邊界條件，而下游邊界條件則為下游水位資料[4]。目前台灣河川計有水位流量站 103 站[19]，其流量資料為利用水位流量率定曲線進行推估，而率定曲線為利用現場流量觀測資料進行分析與繪製[16]，但高流量資料觀測不易。颱風期間高流量時觀測不易之主因除考慮人員於風雨中作業安全外，其規範觀測方式無法符合需求[20]，尤其無法掌握快速流量變化[6,7,17]。規範流量觀測方式對於台灣地區流域特性無法提供穩定測值與完整颱風歷程監測，同時流量觀測資料不足則將大幅影響水位流量率定曲線制訂與水文水理模式模擬結果之可信度。

台灣地區短延時強降雨頻繁常造成排水不及而淹水。除低窪地區外，多數淹水狀況則屬局部區域[11]。目前淹水監測方式多以人工記錄，因此無法掌握完整淹水時序變化。現缺乏完整淹水歷程記錄以供檢定驗證，將導致淹水模式可信度降低，亦將影響淹水模擬結果與淹水潛勢區域範圍[21]。

以上各類水文監測密度與觀測方式若未改善，則將造成水文水理模式無法獲得良好水文監測資料進行模式檢定驗證，進而使水文水理模式無法合理表現流域內水理現象。參考國際間作法[3]，本研究選定宜蘭河流域建置試驗流域，針對雨量、河川水位、河川表面流速與淹水水位等項目進行測站評估與建置，並進行長期監測與維運。為改善現有颱風期間高流量與淹水歷程觀測瓶頸，研究中同時說明現場流量觀測方式、全

洪程流量推估方法以及淹水水位監測方式。

二、試驗流域

宜蘭河流域位於台灣東北方，其地理位置如圖 1 所示。宜蘭河由小礁溪、大礁溪、五十溪及大湖溪所構成，其水系分佈如圖 2 所示。流域面積為 149.06 km²，主流長度為 17.25 km，都市面積佔流域 12%，山坡地與森林區域則佔 20% [9]。

宜蘭河流域為整治完善河系，主支流河道大部分已築有堤防[8]。流域內農業灌溉與排水系統多，最大排水系統為美福排水，匯流至宜蘭河並於匯流處設置防潮閘門[10]。流域內設有雨水下水道系統及抽水站[21]。此外宜蘭河流域美福排水下游美福村與新南村區域具有高淹水潛勢[12,13,14,15]，如圖 2 中斜線區域所示。



圖 1 宜蘭河試驗流域位置

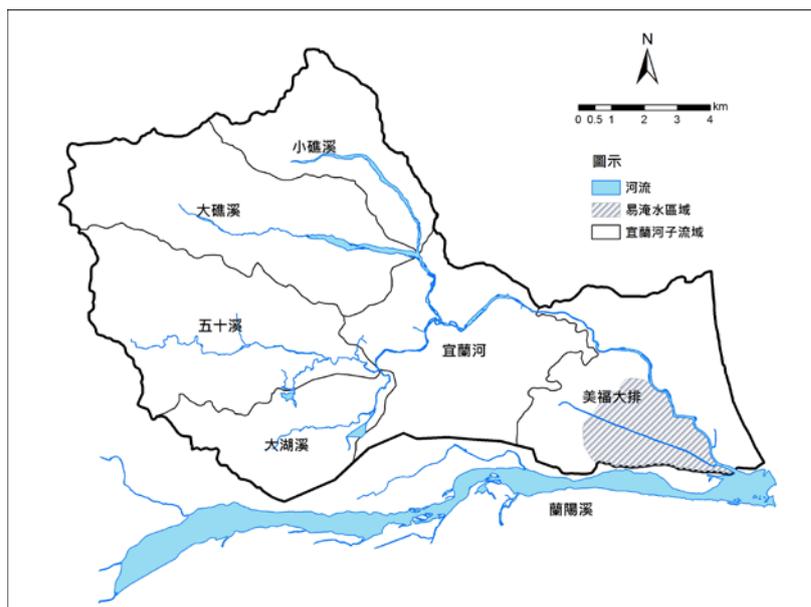


圖 2 宜蘭河試驗流域水系分佈

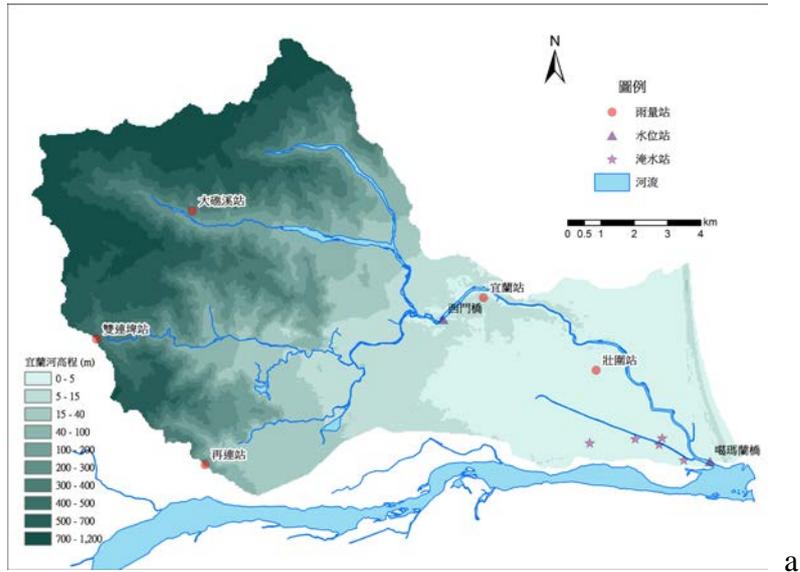
三、水文測站與儀器

2012 年起台灣颱風洪水研究中心(以下簡稱颱洪中心)與水利署水利規劃試驗所(以下簡稱水規所)合作進行宜蘭河試驗流域建置，建置初期以監測傳統水文資料，其中包括雨量與河川水位；此外為改善河川流量推估與記錄淹水歷程，流域內亦設置河川表面流速與淹水水位監測站。宜蘭河試驗流域建置前，測站計有中央氣象局雨量站 5 站及水位站 2 站。以上測站數目少，尤其河川水位監測部分；若用於河道演算模擬則僅能提供上下游邊界資料，兩水位站間並無其他水位資料可供檢核。此外，水利署第一河川局(以下簡稱一河局)為監測美福新南地區淹水情況，2011 年於該區域設有 5 站淹水水位監測站。宜蘭河試驗流域建置前之水文測站分佈如圖 3a 所示。

為提高宜蘭河試驗流域內水文監測站密集度，自 2012 年起逐步新建測站。考慮已有測站位置與流域特性後，各類新設測站站址選擇原則說明如下。雨量站：考慮流域地形變化與測站分佈均勻性。河川水位站：增設主流測站以掌握洪水運動變化與提供水位檢核資訊。河川表面流速站：提供模式上游邊界流量條件。淹水水位站：以易淹地區為首要選擇。目前宜蘭河試驗流域內計有測站 66 站(雨量：11；河川水位：14；河川表面流速 5；淹水水位：36)。圖 3b 顯示宜蘭河試驗流域中各類測站位置與分佈。

設置河川表面流速站主要目的為進行流量推估並應用於河川洪水演算，因此先期測站設置皆選擇河川上游河段，並搭配河川水位站設置。目前宜蘭河試驗流域內計有河川表面流速站 5 站，做為上游邊界流量推估測站計有員山大橋站、新城橋站及東津橋站(美福排水)，而西門橋站與宜興橋站則規劃為流量檢核站。建置河川表面流速站另一目的為改善現有流量觀測方式及推估颱洪期間全洪程流量，並將流量資料提供水文水理模式使用。

淹水水位站總計有 36 站，測站位置皆位於低窪與易淹水區域，大部份淹水水位測站則位於美福排水集水區內。圖 4 為蘇拉颱風(2012/7)美福排水集水區內淹水情況，因此為掌握該區域小範圍淹水歷程，研究中則於美福排水下游右岸區域增設自記式淹水水位站。對民眾而言淹水為最有影響之降雨災害，因此為改善傳統人工方式紀錄淹水、掌握淹水歷程並提供淹水模式驗證資料，流域內建置許多淹水水位站，此監測項目為國際上試驗流域所少有故為最大特點。



a



b

圖 3 宜蘭河試驗流域水文監測站分佈：a 建置前；b 建置後

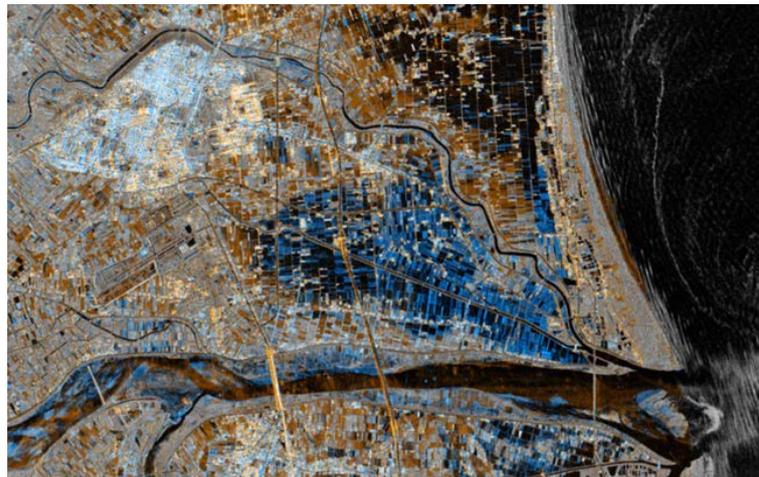


圖 4 蘇拉颱風期間美福排水集水區淹水況；藍色部分表示水體（影像來源：TerraSAR-X 雷達影像，2012/8/2 6pm）

四、監測資料與分享

宜蘭河試驗流域自 2012/7 開始進行水文監測並彙整監測資料。監測資料彙整方式除以逐月整理外，另整理颱風事件期間之水文監測。目前已經整理 21 場颱風事件監測資料，如表 1 所列。

為使研究者取得監測資料與管理單位掌握即時水情，研究中建置宜蘭河試驗流域水文監測展示與資料庫，其網址為 <http://wraew.ttfri.narl.org.tw/>。目的為銜接與整合自動化水文監測站傳回資料及存放彙整後水文監測資料。套用 Google Maps 地圖資訊標示宜蘭河流域地理位置及各水文監測站，並以彈出式視窗提供即時水文監測資料展示。圖 5 顯示宜蘭河試驗流域內宜興橋站過去 24 小時內河川水位變化。

表 1 宜蘭河試驗流域颱風事件整理

年份	颱風事件名稱	颱風編號	警報時間	監測資料時距
2012/7	蘇拉	201209	7/30-8/3	7/29-8/4
2012/8	0807 豪雨			8/6-8/9
2012/8	啟德	201213	8/14-8/15	8/12-8/16
2012/8	天秤	201214	8/21-8/28	8/21-8/25
2012/9	杰拉華	201217	9/27-9/28	9/26-9/29
2013/7	蘇力	201307	7/11-7/13	7/10-7/14
2013/7	西馬隆	201308	7/17-7/18	7/16-7/19
2013/8	潭美	201312	8/20-8/22	8/19-8/23
2013/8	康芮	201315	8/27-8/29	8/26-9/1
2013/9	天兔	201319	9/19-9/22	9/18-9/23
2013/10	菲特	201323	10/4-10/7	10/3-10/8
2014/7	麥德姆	201410	7/21-7/23	7/20-7/24
2014/8	0809 豪雨			8/6-8/14
2014/9	鳳凰	201416	9/19-9/22	9/18-9/26
2015/5	紅霞	201506	5/10-5/11	5/9-5/12
2015/5	梅雨			5/21-5/27
2015/7	蓮花	201510	7/6-7/9	7/6-7/9
2015/7	昌鴻	201509	7/9-7/11	7/9-7/11
2015/8	蘇迪勒	201513	8/7-8/10	8/7-8/9
2015/8	天鵝	201515	8/22-8/23	8/22-8/23
2015/9	杜鵑	201521	9/27-9/29	9/27-9/30

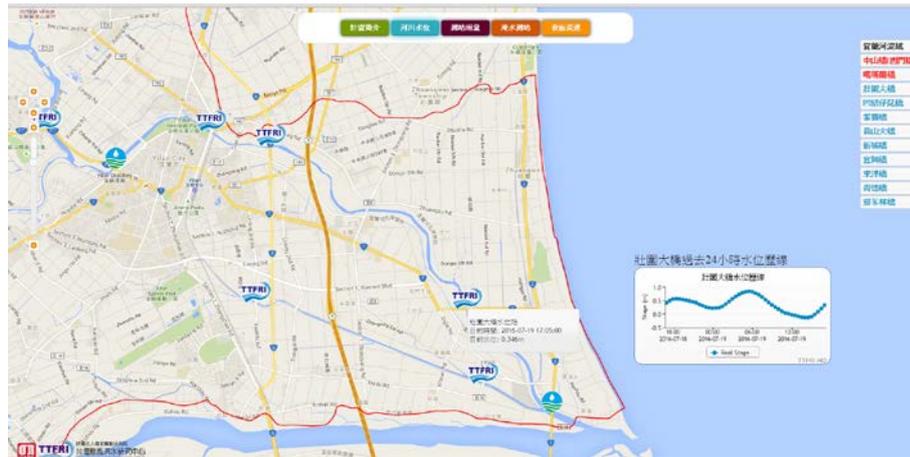


圖 5 宜蘭河試驗流域內河川水位變化展示頁面

五、河川流量推估

目前水利署河川流量推估方式主要採用水位流量率定曲線，而建立水位流量率定曲線之流量觀測資料則以普萊式流速儀、浮標或手持式雷達測速槍測得流速後計算；以上操作皆需人工進行且無法掌握完整洪水歷程觀測。本研究中為降低人員於颱風期間流量觀測作業危險性、掌握颱風期間完整流量歷線以及提高流量資料正確性，參考美國地質調查所(USGS)採用指標流速法(Index velocity method) [2]與日本國際水災害與風險管理中心(ICHARM)作法[1]，本研究連續量測河川表面流速並搭配現場流量觀測作業，測站佈置如圖 6 所示。現場流量觀測為利用聲波都卜勒流速儀(acoustic Doppler current profiler, ADCP)。

本研究流量推估程序如圖 7 所示。測得之河川水位高程(H)與斷面資料可計算通水斷面積(A)；利用微波雷達表面流速儀測得河川表面流速(u_s)，並利用濾波理論(LOESS)以除去離群值與降低雜訊；再以 ADCP 測得流量(Q_{adcp})計算平均流速(U_{adcp})，以建立平均-表面流速比值($\alpha=U_{adcp}/u_s$)；最後將此比值應用於颱風期間全洪程流量推估($Q = \alpha * u_s * A$)。圖 8 為員山大橋站於蘇迪勒颱風期間之流況與全洪程流量推估結果，並與現場流量觀測結果比較。由結果發現推估流量與觀測流量一致，如此可確保研究中所提出流量推估方式具有較高可信度。利用此方式可獲得颱風期間高流量，並改善僅以低流量資料建立水位流量率定曲線。

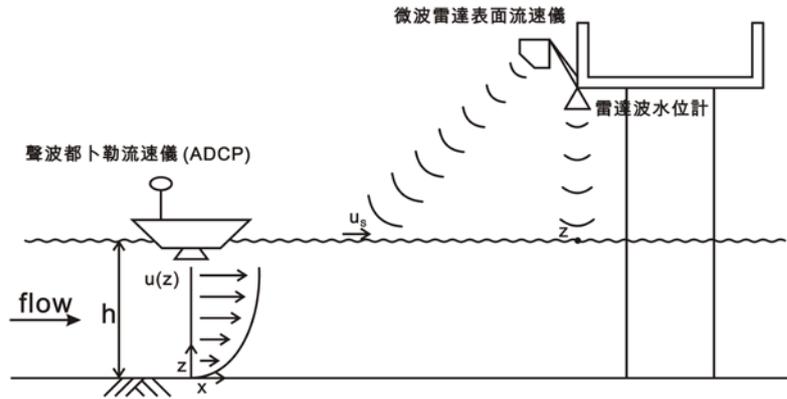


圖 6 宜蘭河試驗流域內用以推估流量之測站佈置

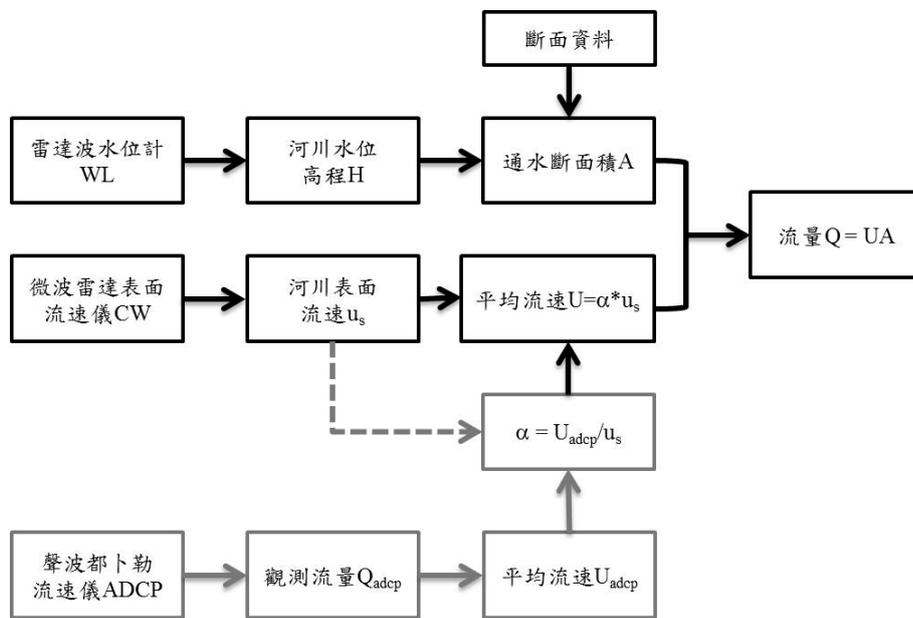


圖 7 宜蘭河試驗流域內颱風期間全洪程流量推估程序

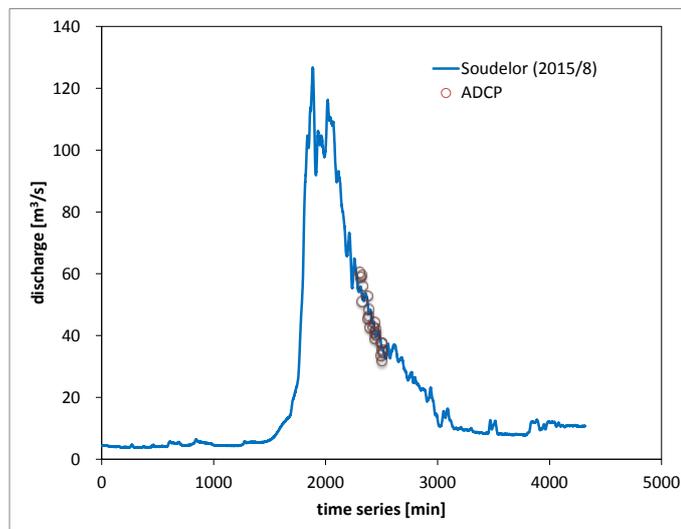


圖 8 宜蘭河員山大橋站於蘇迪勒颱風期間觀測流量與推估流量比較結果

六、淹水歷程監測

目前常用淹水監測方式計有利用水痕尺記錄最高淹水深度(圖 9a)、設置淹水深度看板於災中以人工記錄(圖 9b)及進行災後訪查等方式，並將收集的資料用以劃定淹水範圍與說明淹水深度。然而以上方式無法監視完整淹水歷程且，因此研究中採用壓力式水位計監測淹水水位，如圖 10，測站皆設置於易淹區域。

以蘇拉颱風(2012/7/29-8/4)造成新南村附近淹水為案例，如圖 11 所示。然而災情報告中並無詳細淹水歷程，因此彙整淹水水位監測資料，美福排水右岸區域降雨與淹水深度變化歷程如圖 12 所示。由圖可知道最早發生淹水地點與時間分別為新南橋站及 2012/7/31 21:00，最長淹水時距為 60 hr。最大淹水深度為 137 cm，發生於美福防潮閘門站。此監測方式除呈現各測站淹水深度監測資料外，亦可依照各站淹水深度變化時間順序說明淹水範圍變化，亦可分析淹水過程並做為整治參考。



圖 9 淹水紀錄方式：a 水痕尺；b 淹水深度看板



圖 10 淹水水位測站：a 具即時傳輸設備；b 自記式壓力式水位計



圖 11 宜蘭河流域於蘇拉颱風期間美福排水旁新南地區淹水情況

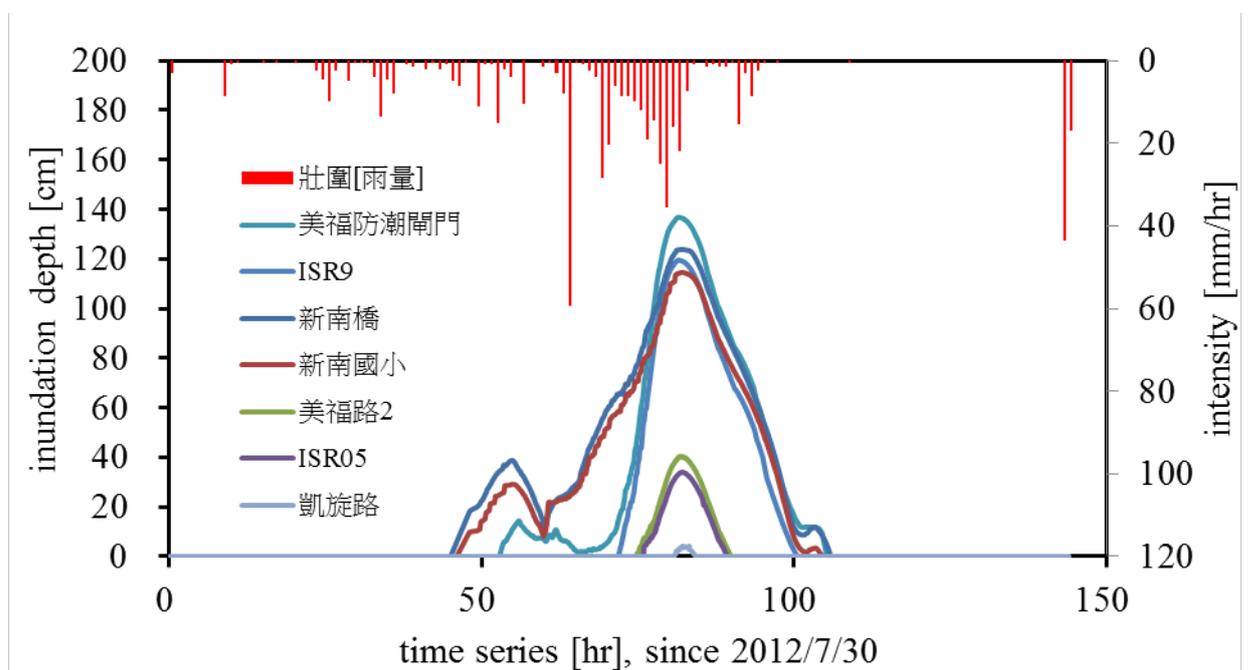


圖 12 宜蘭河流域於蘇拉颱風期間美福排水右岸區域淹水深度歷程

七、結論與建議

宜蘭河流域試驗流域研究結論歸納如下：

1. 試驗流域之最大特色則為具有密集及長期監測資料。宜蘭河試驗流域內測站數已由建置前 12 站增加至 66 站。監測項目包含雨量、河川水位、河川表面流速及淹水水位。
2. 網址 <http://wraew.ttfri.narl.org.tw/> 提供宜蘭河試驗流域即時與歷史水情資訊，包含逐月與 21 場颱風事件。
3. 為掌握颱風期間完整流量歷線，研究中採用微波雷達自動且連續量測河川表面流速，並搭配聲波都卜勒流速儀(ADCP)於颱風期間現場流量觀測資料，建

立河川表面流速與平均流速之關係，用以推估颱風期間全洪程流量。

4. 為掌握完整淹水歷程，流域內易淹水區域建置淹水水位監測站，並於美福排水兩岸高淹水潛勢地區提高測站密度。

八、參考文獻

1. Atsuhiko YOROZUYA, Yoshiki MOTONAGA, Kazuhiko FUKAMI, (2012) “Establishment of automatic water-discharge measurement system and subjects,” 河川流量觀測の新時代, 3, 15-22.
2. Levesque, V. A., Oberg, K. A., (2012) “Computation Discharge Using the Index Velocity Method,” Techniques and Method, 3-A23, USGS.
3. Renard, K. G., Nichols, M. H., Woolhiser, D. A., Osborn, H. B., (2008) “A brief background on the U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service Walnut Gulch Experimental Watershed,” Water Resources Research, 44(W05S02).
4. Subramanya, K., (1993) “Flow in Open Channels,” McGraw Hill.
5. 中央氣象局(2014), 「中央氣象局 103 年觀測年報」。
6. 中興大學(2001), 「河川流量新量測技術之研發(1/2)」, 經濟部水利署。
7. 中興大學(2002), 「河川流量新量測技術之研發(2/2)」, 經濟部水利署。
8. 水利規劃試驗所(2016), 「蘭陽溪治理規劃」, 經濟部水利署。
9. 台灣颱風洪水研究中心(2012), 「國家級防災監測及模式測試基地建置(1/3)」, 經濟部水利署水利規劃試驗所。
10. 宜蘭大學(2011), 「宜蘭縣自記式水位監測系統設立與淹水災損地理資訊系統整合規劃」, 經濟部水利署第一河川局。
11. 宜蘭大學(2012), 「蘭陽河流域淹水範圍監測系統建置計畫」, 經濟部水利署第一河川局。
12. 第一河川局(2015), 「杜鵑颱風宜蘭縣淹水災情調查報告」, 經濟部水利署。
13. 第一河川局(2013), 「蘇力颱風宜蘭縣區域排水水系淹水調查及檢討建議」, 經濟部水利署。

14. 第一河川局(2012),「蘇拉颱風宜蘭地區淹水調查及檢討建議」經濟部水利署。
15. 第一河川局(2015),「蘇迪勒颱風宜蘭縣淹水災情調查報告」,經濟部水利署。
16. 許盈松、周湘俊、曾鈞敏(2006),「天然河川水位-流量率定曲線分類研究」,中華水土保持學報,第37卷,第3期,第209-226頁。
17. 許盈松、童琮志、周湘俊、張國強、李建君、喻秉輝、黃柏彰(2006),「微波雷達流速儀觀測特性研究」,臺灣水利,第54卷,第3期,第82-91頁。
18. 經濟部水利署(2105),「中華民國一〇三年臺灣水文年報 第一部分—雨量」。
19. 經濟部水利署(2105),「中華民國一〇三年臺灣水文年報 第二部分—河川水位及流量」。
20. 經濟部水利署(2012),「地面水文觀測手冊【觀測作業篇】」。
21. 臺灣大學(2015),「宜蘭縣淹水潛勢圖(第二次更新)」,經濟部水利署水利規劃試驗所。