

河道演算模擬改善與差異分析： 以宜蘭河試驗流域為例

Improvements of River Routing Simulations in the Yilan River Experimental Watershed

國家實驗研究院台灣颱風洪水研究中心

佐理研究員

石欣軒

副研究員

權順忠

HSIN-HSUAN SHIH SHUN-CHUNG TSUNG

摘要

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；然而部分流域內水位測站數目少，使得河道演算模擬結果可信度降低。以宜蘭河為例，主流河段僅西門橋與噶瑪蘭橋兩處水位站，且分別為河道演算之上下游邊界。此外上游邊界流量資料亦影響河道演算正確性，目前西門橋流量推估主要根據水利署公告之水位流量率定曲線，但下游處設有堰，因此低水位時流量推估可信度低。本研究為改善宜蘭河於河道演算困境，於2012年起建置試驗流域，並於西門橋與噶瑪蘭橋間設置宜興橋、黎霧橋及壯圍大橋等三處水位站，並於西門橋設置表面流速儀量測河川表面流速，並搭配聲波都卜勒流速儀進行現場流量觀測作業，以指標流速法推估颱風期間流量歷線。為說明增加水位測站與改善上游流量推估後之效益，本研究針對2012至2015年間6場颱風事件以HEC-RAS進行河道演算，其模擬案例規劃主要考慮公告水位流量率定曲線、以表面流速所推估流量與有無加入新設水位測站等狀況。模擬主要調整模式中河道曼寧 n 值以達模擬水位趨近實測資料。研究結果顯示：1)以指標流速法推估流量做為模式上游邊界條件，其各站水位驗證結果則有大幅改善；2)河道中增加水位測站有助河道演算模式參數合理調整與驗證。

關鍵詞：宜蘭河試驗流域、河道演算、指標流速法、水位流量率定曲線

Abstract

For river routing simulations, sufficient water level sites can improve accuracy of simulations and reliability of parameters adjustments. However, some river basins in Taiwan have few water level sites and provide insufficient monitoring data for model calibrations and validations. In the Yilan River, two water level sites, Ximem Bridge and Kamalan Bridge, were built for upstream and downstream boundary. In addition, discharge data highly influence correctness of river routing simulations. Head-discharge rating curve is officially used at the Ximem Bridge for discharge estimation. However, a weir locates at the downstream side which influences reliability of used head-discharge rating curve. To improve accuracy of river routing simulations in the Yilan River, this study builds three new water level sites between the Ximem Bridge and Kamalan Bridge. A new method is also developed for discharge estimation. Sensors for river surface velocity measurement are also installed at the Ximem Bridge for discharge estimations with operation of acoustic Doppler current profiler, and then using “Index velocity method” to estimate discharge series of typhoon flood. To highlight the promotion of new sites, HEC-RAS is used and six flood events are considered from 2012 to 2015. The simulations consider two different estimated discharges and monitoring data before and after new sites installed. The results present that new discharge estimation method can highly improve accuracy of river routing simulations in the Yilan River and more water level sites can make parameters, such as manning’s n value, reasonable in model.

Keywords: Yilan River Experimental Watershed, River routing model, Index velocity method, Head-discharge rating curve.

一、前言

台灣河川常存在觀測站不足的問題，以致不同河段間其河道水理變化過程無法明確掌握。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於不同河段進行河道各參數合理調整。此外，做為模式演算上游邊界的河川流量觀測值常有不確定性高或缺漏現象，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，此方式常因為流量觀測資料不足而影響水位流量率定曲線之可信度，並導致水文水理模式模擬結果正確性。

有鑑於此，參考國際知名試驗流域的規劃與發展，2012 年起台灣颱風洪水研究中心與水利署水利規劃試驗所合作進行宜蘭河試驗流域建置；提高宜蘭河試驗流域內水文監測站密集度，確實掌握水文觀測資料的變化歷程並提供水文水理模式檢定驗證合理依據。為了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[2]與日本國際水災害與風險管理中心 (ICHARM) 作法[1]，連續量測河川表面流速並搭配現場流量觀測作業推估颱風期間完整流量歷程，現場流量觀測為利用聲波都卜勒流速儀 (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)。

本研究於宜蘭河試驗流域進行 HEC-RAS 河道演算，探討宜蘭河新建的水位站對於模式中河道曼寧 n 值的調校影響，另外，模式上游流量邊界條件分別採公告水位流量率定曲線與表面流速搭配現場流量觀測作業推估流量進行模擬，並利用宜蘭河新建的水位站檢定驗證，藉由水位驗證結果來探討給予流量之可信度。共選取 2012 至 2015 年間 6 場颱風事件進行案例分析，針對兩種不同流量邊界的水位模擬結果與觀測值比較。

二、宜蘭河流域及流量推估

2.1 流域介紹與測站安排

宜蘭河流域位於宜蘭縣境內，屬蘭陽溪河系。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 1 所示。流域面積為 149.06 km^2 ，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%。

宜蘭河流域完善整治，主支流河道大部分已築有堤防。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)。本研究著重上游表面流速站推估的流量對於下游水位站水位驗證之影響探討。

水利署於宜蘭河設有西門橋與噶瑪蘭橋兩處水位站，其中，西門橋已建立水位流量率定曲線。試驗流域建置後於西門橋與噶瑪蘭橋間設置宜興橋、黎霧橋及壯圍大橋等三處水位站，並於西門橋設置表面流速儀量測河川表面流速用以推估流量。水位測站分佈如圖 1 所示。

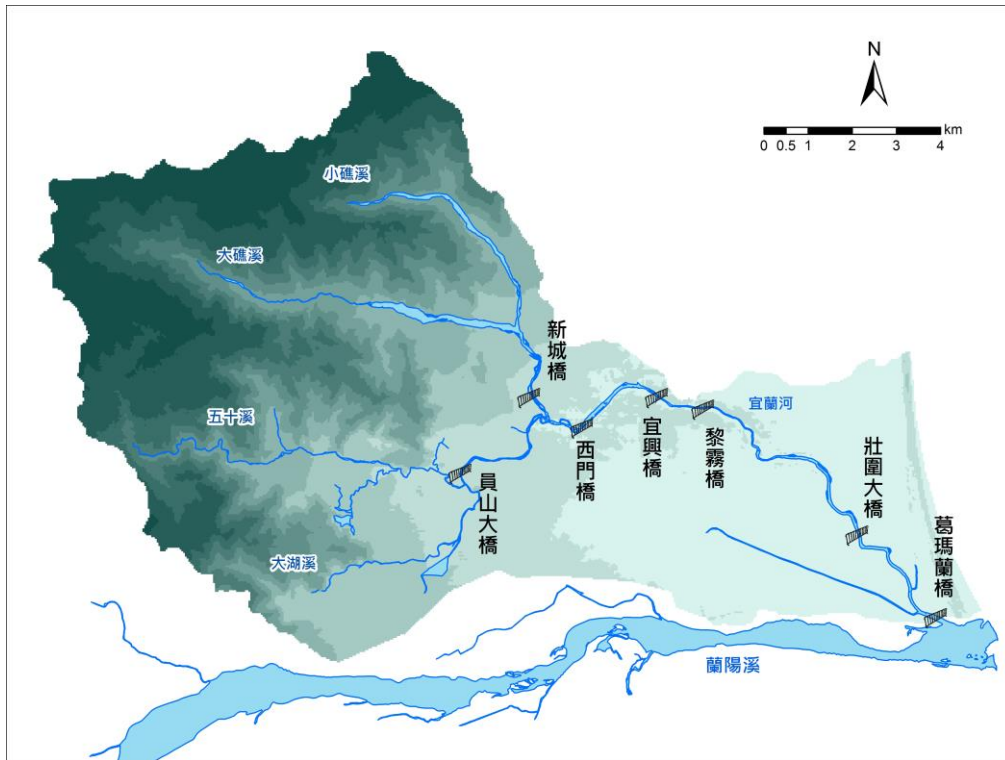


圖 1 宜蘭河流域水位測站分布圖

2.2 儀器與流量推估

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，以微波雷達表面流速儀量測連續河川表面流速並搭配現場流量觀測作業，以推估颱風期間流量，測站佈置如圖 2 所示。現場流量觀測為利用聲波都卜勒流速儀(Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP)。

流量推估程序如圖 3 所示，因為程序與 USGS 所採用流量推估方法類似，故亦稱為「指標流速法」。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($Q = \alpha * u_s * A$)。

由試驗流域建置以來多場颱風事件結果發現推估流量與 ADCP 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[8]。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。如圖 4 所示，以 2015 年杜鵑颱風西門橋站為例，指標流速法推估之全洪程流量與水位流量率定曲線關係所得之流量存在極大落差，兩者洪峰流量差距接近 $200 \text{ m}^3/\text{s}$ ，將於後續模式驗證分析來佐證兩種方法所得流量之可信度。

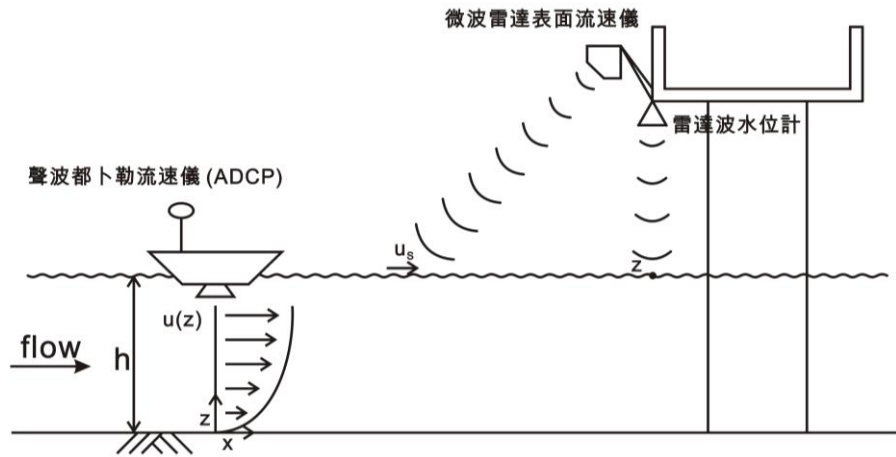


圖 2 宜蘭河試驗流域內用以推估流量之測站佈置

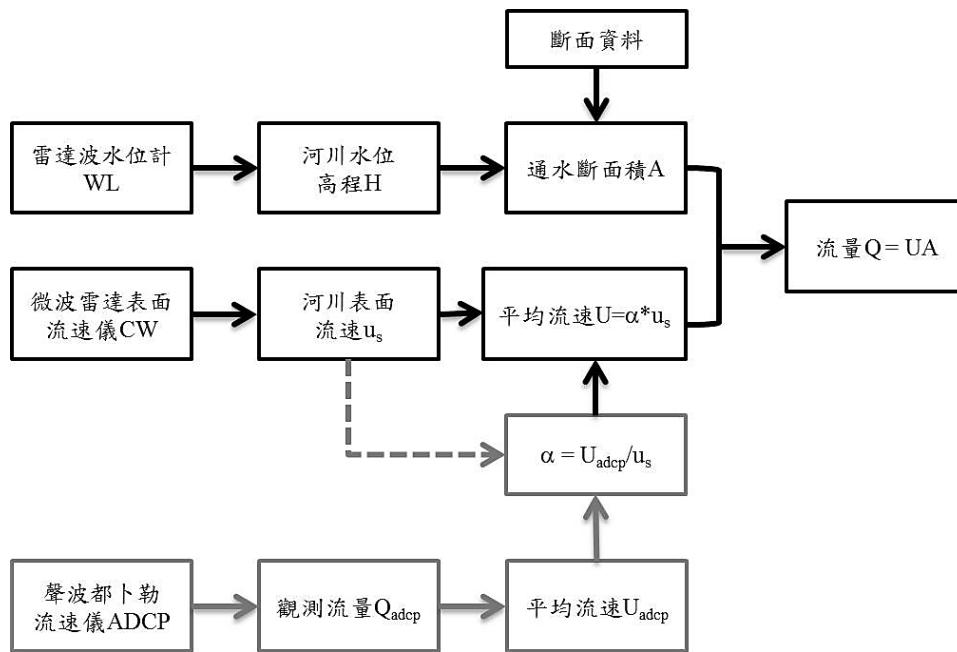


圖 3 宜蘭河試驗流域內颱風期間流量推估程序：指標流速法

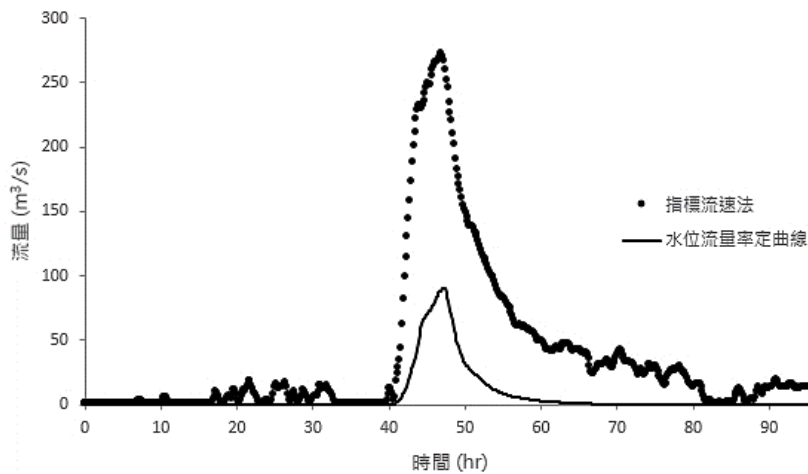


圖 4 西門橋於杜鵑颱風期間流量歷線

2.3 模擬案例

模擬案例選取自 2012 年試驗流域建置以來至 2015 間對宜蘭河流域影響顯著之颱風事件，共計 6 場颱風事件，分別為蘇拉、蘇力、麥德姆、鳳凰、蘇迪勒和杜鵑颱風。以 HEC-RAS 進行一維河道演算模擬，根據對應年份斷面高程資料建置河道模型與設定橋樑等水工結構物，宜蘭河河道沖刷情況和緩故採以定床方式模擬。

每場颱風均為獨立事件，模式上游邊界為西門橋並給予入流流量，以噶瑪蘭橋站水位為下游邊界。上游設定分別使用兩種入流流量，一為利用水位流量率定曲線關係所推估流量；二為指標流速法所推估流量。HEC-RAS 河道演算採變量流(unsteady flow)方式，於各河段間進行河道曼寧 n 值參數調整驗證，與觀測水位進行比較。

水利署於宜蘭河只設有西門橋與噶瑪蘭橋兩處水位站，為模式上下游邊界，因此可供驗證之水位站明顯不足，試驗流域建置後於西門橋與噶瑪蘭橋間以新設之宜興橋、黎霧橋及壯圍大橋等三處水位監測資料進行模式檢定。本研究將藉由河道模擬，探討提高水位站密集度是否增加每個河段調校河道曼寧 n 值的檢核機會，並檢視與規劃報告建議的河道曼寧 n 值的差異。此外，比較兩種推估流量方法的適用性，將其做為模式模擬之上游邊界，並討論下游新設水位站驗證水位模擬結果的準確度。

三、結果與討論

3.1 河道曼寧 n 值比較

利用水位流量率定曲線所得之流量做為河道模擬上游邊界；噶瑪蘭橋站水位為下游邊界，整段河道曼寧 n 值則參考水利規劃試驗所 2016 年「蘭陽溪治理規劃」於宜蘭河系的建議值 0.03，做為模式初始設定。以杜鵑颱風期間黎霧橋水位為例(圖 5)；河道曼寧 n 值為 0.03 的模擬結果與實際觀測水位落差極大，故嘗試調整整段河道曼寧 n 值，調整的結果顯示當曼寧 n 值調整至 0.07 時，模擬水位與觀測值落差縮減但差距仍大。然而，如此曼寧 n 值與實際河道現況相比已不合理，亦不符合一般通用之「河道斷面粗糙率表」中建議。檢視其他場次颱風事件模擬結果，不同地點之水位站均有上述相同的情況。

河道演算水位的幅度變化取決於上游流量大小與河道曼寧 n 值，新增設的宜興橋、黎霧橋及壯圍大橋三處水位站給予模式結果細部檢核的機會，然而河道曼寧 n 值調整影響水位變化幅度有限且結果不佳，其他 5 場案例場次模擬情況均是如此，故需針對上游流量給予進行調整，以提升水位模擬結果正確性。

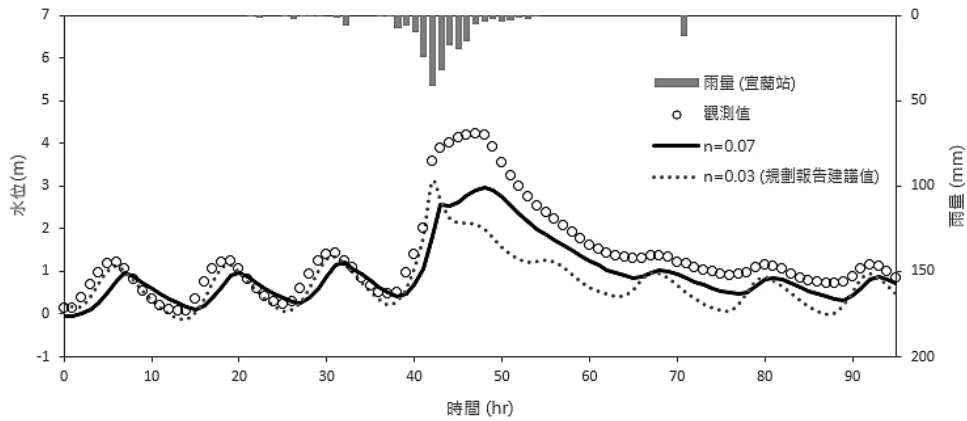


圖 5 黎霧橋於杜鵑颱風期間河道曼寧 n 值調校與模擬結果

3.2 流量給定差異

河道演算模擬的上游入流量分別使用兩種方法，一為水位流量率定曲線關係所推估；二為指標流速法所推估。下游邊界條件均為噶瑪蘭橋站觀測水位，河道曼寧 n 值分河段視情況調校，以杜鵑颱風期間黎霧橋與宜興橋水位為例(圖 6、圖 7)。在每個水位站均採微調後固定曼寧 n 值，比較應用兩推估流量之模擬結果，各站使用指標流速法所推估入流量的模擬水位均可良好擬合觀測水位，明顯優於利用水位流量率定曲線的結果。

依水位站分段，每個河段率定後的河道曼寧 n 值如表 1 所列，其值在 0.03 – 0.033 之間，各河段間之河道曼寧 n 值變化微小，也因此可知與「蘭陽溪治理規劃」所建議的宜蘭河河道曼寧 n 值 0.03 一致。

表 1 HEC-RAS 模式中宜蘭河各段河道曼寧 n 值

河段	中山橋	宜興橋	黎霧橋	壯圍大橋	噶瑪蘭橋
治理規劃建議值	n=0.03				
參數調校	n=0.03	n=0.03	n=0.03	n=0.0327	n=0.033

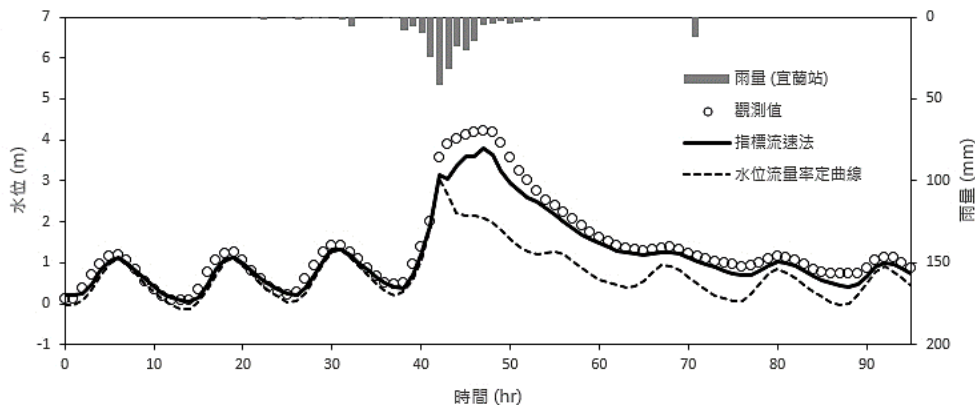


圖 6 黎霧橋於杜鵑颱風期間不同推估流量下之模擬結果

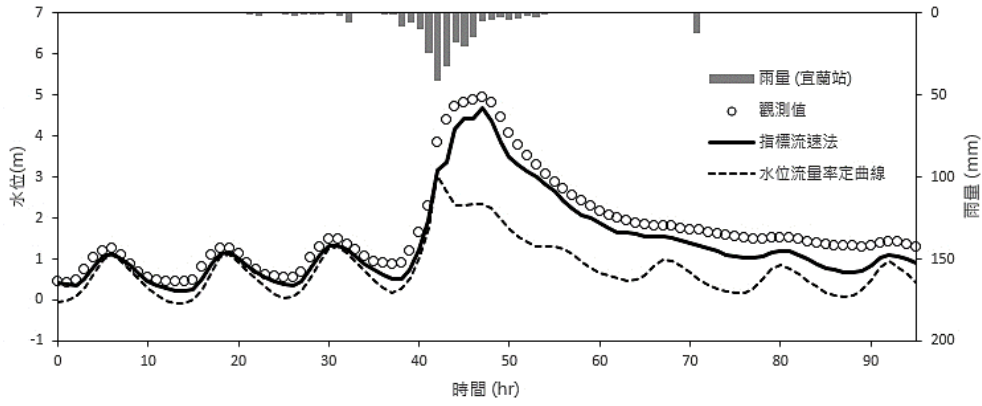


圖 7 宜興橋於杜鵑颱風期間不同推估流量下之模擬結果

以率定後之河道曼寧 n 值進行水位檢定驗證，除杜鵑颱風外另進行其他 5 場案例模擬，於新建置水位站模擬結果探討給予流量可信度，整體趨勢皆與杜鵑颱風相同；指標流速法所推估之流量所模擬水位與觀測值接近。各案例事件模擬結果以相關統計指標分析列表，其中以洪峰水深誤差百分比(Percent error in peak flow, PE)與代表模擬與觀測水位歷線擬合程度之效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)進行討論。

$$\text{洪峰水深誤差百分比(PE)} = \frac{\text{模擬水位} - \text{觀測水位}}{\text{觀測水位} - \text{底床高程}} \quad (1)$$

$$\text{效率係數(CE)} = 1 - \frac{\sum [H_{rec}(t) - H_{sim}(t)]^2}{\sum [H_{rec}(t) - \overline{H_{rec}}]^2} \quad (2)$$

其中， $H_{rec}(t)$ ： t 時刻之觀測水位， $H_{sim}(t)$ ： t 時刻之模擬水位， $\overline{H_{rec}}$ ：觀測水位平均值。

表 2 與表 3 分別為所有案例下黎霧橋和宜興橋於兩種不同推估流量的模擬水位與觀測值的洪峰水深誤差以及利用指標流速法推估之流量所模擬水位的效率係數。表中顯示指標流速法推估之流量做為模式上游邊界之模擬，其洪峰水深誤差(PE)均於 10% 以下；相對來說，利用水位流量率定曲線之模擬誤差則相對大，約 11- 40% 間。此外，指標流速法搭配 ADCP 量測之入流量模擬方法於整體水位歷線的擬合程度極高，效率係數(CE)多達 0.9 以上，映證此新的流量推估方法具有較佳的可信與準確度。

而另一處壯圍大橋站，因靠近下游邊界，整體水位變化主要受下游邊界潮位控制，兩種流量方法的結果差異不大，所得到的模擬結果均理想，故不額外列表比較。

表 2 兩種流量推估方法下的洪峰水深誤差與效率係數—黎霧橋

黎霧橋	水位流量率定曲線	指標流速法	
	PE	PE	CE
2012 蘇拉	22.18	8.67	0.86
2013 蘇力	26.47	5.71	0.95
2014 麥德姆	11.44	6.05	0.95
2014 鳳凰	40.21	7.07	0.91
2015 蘇迪勒	--	--	--
2015 杜鵑	18.1	7.02	0.94

※註：蘇迪勒颱風事件造成黎霧橋水位站損毀，故缺乏觀測資料可比較。

表 3 兩種流量推估方法下的洪峰水深誤差與效率係數—宜興橋

宜興橋	水位流量率定曲線	指標流速法	
	PE	PE	CE
2014 鳳凰	36.08	10.56	0.90
2015 蘇迪勒	26.87	3.66	0.96
2015 杜鵑	36.94	5.22	0.90

※註：宜興橋為 2014 年最新建置水位站，故 2014 年之前無事件觀測資料。

四、結論

本研究以宜蘭河試驗流域所得水位觀測資料於河道演算模式中檢定驗證，發現良好的流量觀測方法與提高水位監測的密集度能改善模式模擬的準確度與細膩度，研究中所得到的結論以下：

1. 指標流速法搭配 ADCP 觀測所推估之全洪程流量觀測技術於模式中驗證結果，優於以水位流量率定曲線的流量推估法；有助於改善傳統率定曲線外延於高流量下的不合理情況。
2. 河道曼寧 n 值參數調整影響水位變化幅度有限，然而，觀測水位站的增加可給予模式結果細部檢核的機會，於宜蘭河檢核顯示細分各河段的河道曼寧 n 值變化很小，率定結果與「蘭陽溪治理規劃」建議值 0.03 吻合。
3. 河道演算模擬的正確性很大一部分取決於可靠的上游入流量邊界，良好的全洪程流量給予可提升颱風事件中變量流模擬品質和正確性。

五、參考文獻

1. Atsuhiko YOROZUYA, Yoshiki MOTONAGA, Kazuhiko FUKAMI, “Establishment of automatic water-discharge measurement system and subjects,” 河川流量觀測の新時代, 3, 15-22, 2012.
2. Levesque, V. A., Oberg, K. A., “Computation Discharge Using the Index Velocity Method,” Techniques and Method, 3-A23, USGS, 2012.
3. Gary W. Brunner, P.E. “Common Model Stability Problems When Performing an Unsteady Flow Analysis,” US Army Corps of Engineers -Hydrologic Engineering Center,2016.
4. 水利規劃試驗所，「蘭陽溪治理規劃」，經濟部水利署，2016。
5. 中興大學，「河川流量新量測技術之研發(1/2)」，經濟部水利署，2001。
6. 中興大學，「河川流量新量測技術之研發(2/2)」，經濟部水利署，2002。
7. 台灣颱風洪水研究中心，「典寶溪及宜蘭河防災測試基地監測及加值應用研究」，經濟部水利署水利規劃試驗所，2015。
8. 權順忠、李士強、李榮富、柳文成，「宜蘭河試驗流域長期水文監測」，農業工程學報 62(3)，2016。