

次集水區降雨觀測於橋梁防災預警之研究

陳文信¹

賴佳聖²

陳進發³

公路總局公路防災中心

摘 要

公路橋梁流域管理為公路防災預警應變之主要觀念之一，其主要是藉由歷史資料統計律定單一特徵雨量站以代表整體流域之降雨情形，同時透過預警、警戒及行動之降雨指標，據以執行各項防災預警應變工作，然而橋梁所處之流域範圍甚廣，單一特徵雨量站之代表性有待商榷，同時目前中央氣象局所建置及介接之實體雨量站，對於全台灣已佈設雨量觀測站之地區，已能準確掌握降雨分佈及降雨強度，不過受限於台灣地勢險峻，於河川流域佈設足夠密度之雨量站以觀測整體流域降雨情形，仍存有其困難性，因此本文主要依據水土保持局將整體流域細緻區分為162個次集水區，同時利用中央氣象局之定量降水估計（Quantitative Precipitation Estimate, QPE），藉由網格化降雨分布計算各次集水區之平均降雨量，並比對各次集水區之水情變化，據以律定各次集水區之降雨觀測指標，後續可透過颱風豪雨事件之降雨量即時演算，據以執行防災預警應變工作。

關鍵字：流域管理、次集水區、定量降水估計

一、前言

台灣公路遍佈平原及山區，自民國38年公路局成立，即肩負公路橋梁維護及安全之重責大任，以往防救災體系主要於災害發生後被動災情通報、搶通及救災，對於用路人安全往往缺乏積極確保作為；至100年公路總局摒棄以往之舊思維，並將風險管理導入既有災害管理制度，進而開啟公路防災預警之新思維，而橋梁流域管理即是公路防災預警應變之主要觀念之一，其主要觀念是藉由歷史颱風豪雨事件，分析各實體雨量站之降雨量測敏感度，並據以律定上游單一特徵雨量站，同時分析上游特徵雨量站累積雨量與流域內水位站之水位關係，透過上游水位站與監控標的橋梁水位之最大流量洪峰時間差，求得該事件之洪峰時間及流速，以取得足夠之應變時間[1]，如圖1所示。

台灣所屬流域眾多且各流域之流系分佈甚廣，僅採用單一雨量站所量測之上游降雨量，進而代表整體流域各集水區之降雨分佈及水流匯集情形，似乎較缺乏客觀性及代表性；此外，若為全面採實體雨量站監控整體流域之降雨情形，其實體雨量站之設置密度需平均分佈於各流域內，然而，中央氣象局目前於全台灣介接及建置之實體雨量站，對於全台灣已佈設雨量站之地區，已能準確掌握降雨分佈及降雨強度，不過受限於台灣地勢險峻，於河川流域佈設足夠密度之雨量站以觀測整體流域降雨情形，仍存有其困難性。

目前中央氣象局利用定量降水估計（Quantitative Precipitation Estimate, QPE），透過雷達觀測與實體

雨量站量測值，進行比對及誤差修正，藉此提供大範圍、空間上較均勻且解析度較高之降雨資訊，以解決實體雨量觀測站佈設密度不足之侷限[2]；此外，為細緻觀察河川行經之水情，本文依據水土保持局之次集水區劃分範圍，將整體流域區分數個次集水區，並利用定量降水估計計算各次集水區之平均降雨量，透過各次集水區之降雨門檻值律定及即時降雨演算比較，即可啟動公路防災預警應變機制，如圖2所示。

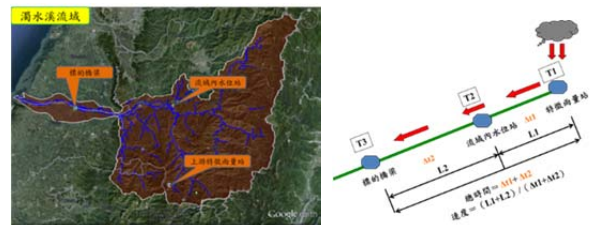


圖1 單一特徵雨量站之流域管理示意圖

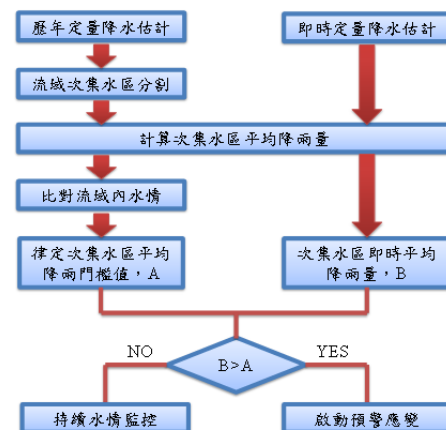


圖2 流域次集水區降雨觀測流程圖

二、全流域降雨觀測

目前水利署已將全台劃分數個流域分區，然而各流域所包含之流系甚廣，若以整體流域範圍進行平均降雨量之計算及監控，因範圍較廣以致無法細緻反應局部集水區之水情資訊，且許多橋梁座落於同一流域內，若以同一流域平均降雨指標監控不同橋梁，其客觀性亦有待商榷。因此，為了客觀且細緻地監控整體流域，本文利用水土保持局所劃分之次集水區範圍，將全台流域範圍細緻區分為162個次集水區，如圖3所示，並透過實體雨量站修正氣象雷達觀測訊號後，可進行各次集水區範圍之平均降雨量計算。

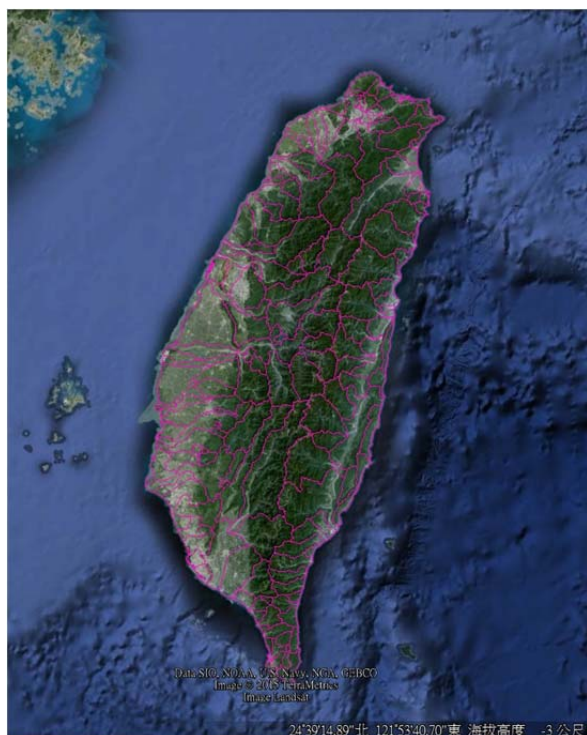


圖3 全台次集水區劃分範圍

次集水區之平均降雨量計算，主要是利用中央氣象局氣象雷達訊號與實體雨量站修正後之網格雨量，透過次集水區內之總網格雨量及總網格數，據以計算求得，如圖4所示，其計算方式如公式（1）所示

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N r_i}{N} \quad (1)$$

其中

R ：次集水區平均降雨量

r_i ：單一網格降雨值

N ：總網格數

藉由水土保持局之次集水區域劃分及中央氣象局網格化定量降水估計之演算，即可細緻掌握全台集水區或流域之降雨情形，同時為能量化各次集水區之平均降雨量，本局協請中央氣象局將各次集水區之逐時及分時平均降雨量客制化建置於劇烈天氣

監測系統（QPESUMS），如圖5所示，透過量化之監控，更能清楚掌握降雨分布及流域降雨情形。

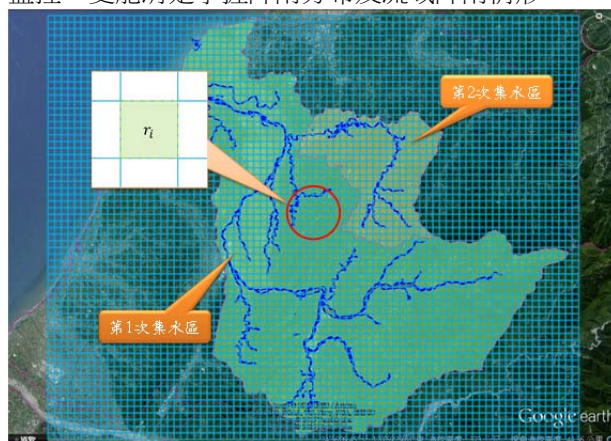


圖4 雷達訊號網格涵蓋次集水區之示意圖



圖5 次集水區平均降雨量建置於QPESUMS

三、橋梁防災預警管理

有效的觀測及管理機制，必須建置管理標準，而管理標準可藉由歷史資料進行統計，本文主要利用中央氣象局歷史颱風豪雨事件之定量降水估計所計算之次集水區平均降雨量，並比對統計次集水區內之水位站水位變化，以律定溪水暴漲之平均降雨指標，後續透過各流域水位站之洪峰水位比對，可求得溪水行經各集水區間之時間，以爭取預警時間。

（一）次集水區水情觀測

透過網格化之定量降雨估計方式，可全面性計算次集水區內之平均降雨量，而其降雨量與各次集水區之相關性，則必須藉由歷史資料比對統計據以瞭解並律定降雨指標進行監控。因此，本文主要依據歷次颱風豪雨事件期間次集水區範圍內之水位站量測水位值，律定水情急遽變化之水位，並記錄歷次事件達該律定水位之逐時及分時次集水區平均降雨量，同時藉由各事件結果，統計驅動各次集水區

內水情變化之關鍵降雨指標，以瞭解降雨情形與次集水區內水情之關係。如圖6所示，考量動員時間律定預警水位高度 H 代表次集水區水量匯流遽增，並比對達該水位時之逐時及分時次集水區平均降雨量以律定監控降雨指標。

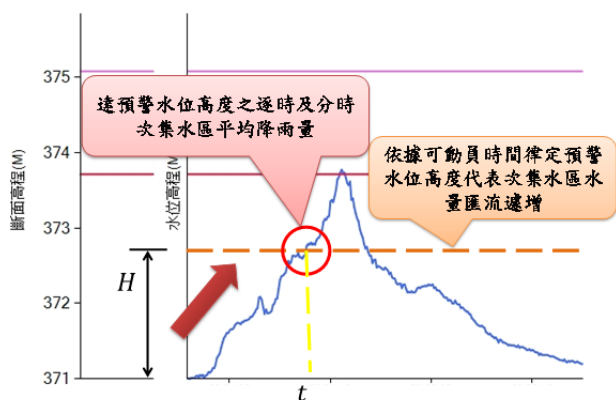


圖6 次集水區律定監控降雨指標示意圖

依據歷次颱風豪雨事件及次集水區內水位站之資料統計，可瞭解次集水區內平均降雨量與該集水區內水情變化之關係，若所關切之高風險路段位於流域之最上游次集水區，則僅需監控該集水區內平均降雨量；反之，若所關切之路段位於中下游次集水區，除需監控所處位置之次集水區，亦必須監控鄰近次集水區之平均降雨量，同時瞭解溪水自鄰近次集水區匯流到該路段次集水區之時間，以爭取預警時間。

因各次集水區是利用區域內之平均降雨量與水位站統計集水區水情變化，因此上游次集水區之水流至下游次集水區之集流時間，可透過兩次集水區內之水位站於歷次颱風豪雨事件之水位洪峰時間差求得，如圖7所示，圖中上游次集水區水位站於時間 T_1 量得最高水位，而鄰近下游次集水區於時間 T_2 量得最高水位，因此兩次集水區域水流時間差 $\Delta T = T_2 - T_1$ ，因此當觀測上游次集水區平均降雨量達門檻值時，約 ΔT 後水流將到達下游次集水區。

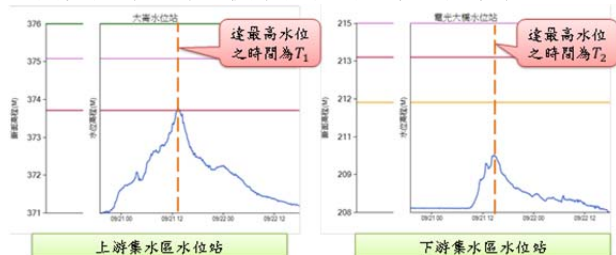


圖7 上、下游集水區水流時間差示意圖

(二) 一級監控橋梁降雨監控

本局轄管公路橋梁眾多，依據各橋梁現況及可能受天然災害影響之風險程度，共計22座橋梁列為一級監控橋梁，且各橋梁座落於不同流域及次集水

區範圍內，如圖8所示。因並非流域內所有次集水區之集流情形與橋梁皆有其相關性，故需篩選影響橋梁所跨越河川流況之次集水區，並藉由歷史次集水區之水位與平均降雨量之關係，律定各橋梁次集水區平均降雨量之預警、警戒及行動觀測指標，同時輔以燈號以利防災人員監控及執行各項應變工作，如圖9所示。



圖8 一級監控橋梁於次集水區位置圖



圖9 氣象局客制化QPESUMS監控一級監控橋梁

四、案例分析

本局轄管22座一級監控橋梁，藉由歷史個案重新演算各次集水區之平均降雨量，並透過次集水區範圍內水位站所測得之水位值比對，逐一定預警、警戒及行動觀測降雨指標，各觀測指標仍須透過未來個案進行滾動檢討及調整，以更符合情形。

今(104)年5月20日因鋒面影響所引致之豪雨事件，24日主要降雨熱點集中於西南部及南部山區，最大單日累積雨量達388毫米，同時主要降雨熱點範

圍亦涵蓋本局轄管一級監控橋梁，台1線八掌溪橋及縣165線赤蘭溪橋，此2座橋梁座落於八掌溪流域八掌溪次集水區範圍內，如圖10所示。24日下午9時及11時，八掌溪次集水區之平均降雨量觸發QPESUMS之預警及警戒值，並於25日上午0時觸發行動值，如圖11所示，本局所屬現場工務段人員隨即發布封橋簡訊通報。另依據水利署之水位觀測，台1線八掌溪橋及縣165線赤蘭溪橋於25日上午0時約達本次事件之最高水位，如圖12至13所示。此外，透過台1線八掌溪橋之CCTV監控影像亦可瞭解，豪雨影響前尚可透過水位標尺觀察水位高度，如圖14所示，而水位洪峰後，其水位仍接近帽梁之梁底，如圖15所示，因此更遑論當5月25日洪峰水位到達時，其流量及流速使得該橋梁處於高風險之環境下，然而透過本局防災預警機制啟動，執行橋梁預警性封閉，進而降低用路人罹災之風險。

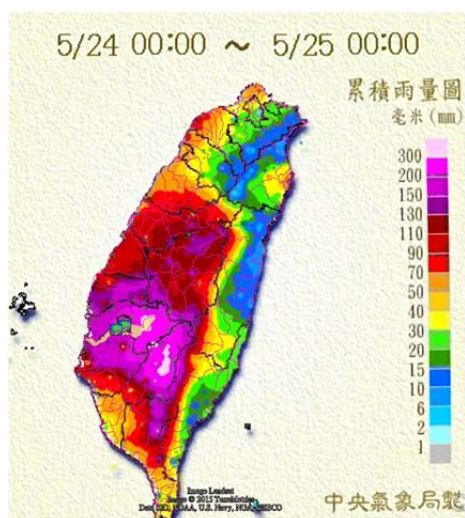


圖10 一級監控橋梁座落於主要降雨熱點



圖11 八掌溪次集水區之平均降雨量觸發行動值

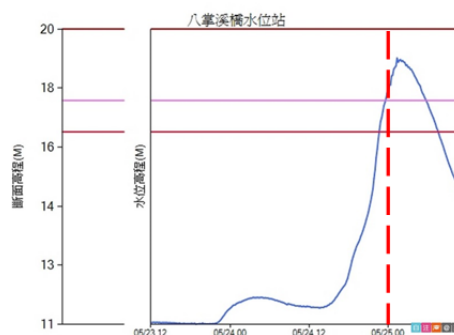


圖12 台1線八掌溪橋水位歷線圖

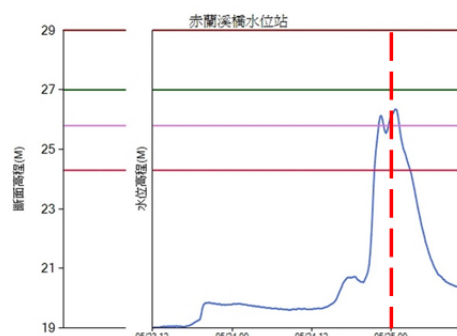


圖13 縣169線赤蘭溪橋水位歷線圖

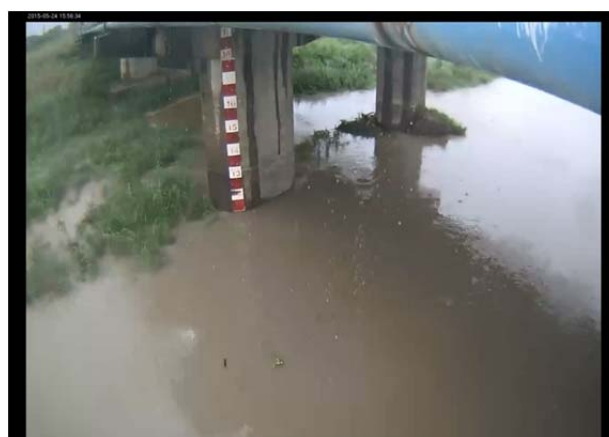


圖14 台1線八掌溪橋5月24日15時54分之水位



圖15 台1線八掌溪橋5月25日4時57分之水位

五、未來加值與應用

(一) 全流域降雨全時監控

本文所提出之全流域次集水區降雨觀測，主要利用實體雨量站之雨量觀測值修正氣象雷達訊號，並進行次集水區平均降雨量計算，同時透過水情比對據以律定雨量觀測指標，且藉由不同燈號顯示執行各項防災預警應變工作。然而，為使防災人員能夠確切瞭解平均降雨量達預警、警戒及行動值之次集水區位置及範圍，同時達全時監控之原則，後續可將客制化QPESUMS所顯示之預警、警戒及行動值燈號，透過Google Earth平台顯示，如圖16所示，同時藉由公路防救災資訊系統自動發送示警簡訊，以達全時監控，提升防災效益。

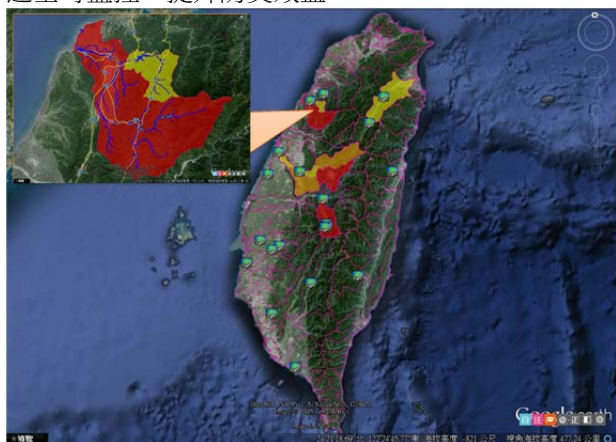


圖16 Google Earth顯示次集水區降雨警示

(二) 公路淹水監控

以往公路淹水問題必須監控與致災路段相近之實體雨量站，然而，受限於實體雨量站建置密度不均之問題，所監控之實體雨量站可能與淹水致災路段相距較遠，其參考性仍須加以探討。本文所提出之方法是以整體流域之次集水區平均雨量進行監控，故可克服實體雨量站因地形險峻以致建置困難所衍生之密度不足問題，如102年8月29日康芮颱風造成本局台19甲線淹水，其淹水路段位於鹽水溪流域之鹽水溪次集水區，如圖17所示，藉由歷史資料重新演算及致災時間即可得知該次集水區導致公路淹水之降雨門檻值，後續可作為公路淹水預警應變之用。



圖17 康芮颱風台19甲線淹水路段所處次集水區

六、結論

本局目前所執行之公路防災預警機制，除於災前縝密之研判及部署，災中更藉由雨量觀測以啟動應變工作。以往橋梁流域管理之觀念，主要藉由上游特徵雨量站之雨量代表整體流域之降雨情形，同時透過上游降雨洪峰及標的橋梁洪峰水位時間比對，瞭解上游雨量集流至標的橋梁之時間，以爭取預警時間。

然而，單一特徵雨量站之雨量觀測代表整體流域降雨情形，其客觀性有待商榷，另礙於地形因素，實體雨量站建置較為困難，以致對於流域降雨觀測，其密度較為不足且分布不均。因此，本文採用水土保持局之次集水區分區，透過中央氣象局之定量降水估計可得全台共計162個次集水區之平均降雨量，同時依據本局轄管22座一級監控橋梁所座落之流域，可細緻化篩選出上游相關之次集水區，並藉由歷史事件重新演算及各次集水區之水情比對，即可監控整體流域內各次集水區之降雨情形，進而監控本局轄管一級監控橋梁。

此外，為能使防災人員確切瞭解所監控次集水區之位置及範圍，同時達全時監控之原則，未來可藉由Google Earth圖資平台，透過次集水區範圍之顏色不同，以代表次集水區達預警、警戒及行動之平均降雨門檻值，同時藉由公路防救災資訊系統全時監控並自動發送簡訊，後續亦可應用於公路淹水監控，以提升防災效益。

七、參考文獻

- [1] 陳進發，民國100年6月：“從橋梁之流域管理與山區公路之風險管理談公路總局之百年防汛”，臺灣公路工程，37卷，6期，2-21
- [2] Zhang, J., K. Howard, P.-L. Chang, P. T.-K. Chiu, C.-R. Chen, C. Langston, W.-W. Xia, B. Kaney, and P.-F. Lin, 2008: High-Resolution QPE System for Taiwan, Data Assimilation for Atmospheric,

Oceanic, and Hydrologic Applications. S. K. Park,
L. Xu, Ed(s), Springer-Verlag, 147 - 162.