



推估土石流潛勢溪流與農塘流量資訊
應用開源分布式降雨逕流模式

成果報告書

108
年度

行政院農業委員會水土保持局

應用開源分布式降雨逕流模式 推估土石流潛勢溪流與農塘流量資訊

成果報告書



行政院農業委員會水土保持局

與您一起打拼



行政院農業委員會水土保持局
54044南投市中興新村光華路6號
<http://www.swcb.gov.tw>



行政院農業委員會水土保持局 編印
中華民國108年12月

應用開源分布式降雨逕流模式推估土石流
潛勢溪流與農塘流量資訊
**Open Source Distributed Rainfall Runoff
Model to Estimate the Potential Debris
Flow Torrent and Agricultural Pond
Streamflow**

執行單位：中華民國地球科學學會

執行期間：108 年 2 月 20 日至 108 年 12 月 31 日

計畫主持人：沈志全 博士

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 108 年 12 月

（本報告書內容及建議純屬執行單位意見，僅供本局施政參考）

應用開源分布式降雨逕流模式推估土石流潛勢溪流與 農塘流量資訊

摘要

在面對土石流潛勢溪流產生的坡地災害與農塘滯洪保水的研究分析與調查過程中。降雨事件發生後，如何有效了解流域集水區的降雨及流量的時間空間分布情況。將有助於助研究人員了解土石流潛勢溪流與農塘現場可能發生的狀況，進一步針對土石流災害與農塘集水區的滯洪保土功能進行改善與分析量的評估。

而一般流量推估方式主要透過現場儀器監測進行觀測，或利用水文模式進行流量推估。監測儀器數值若可以搭配模式分析計算成果，有助於提高模式準確度與提供鄰近區域更完整的流量資訊內容。而在降雨逕流模式中集塊式降雨逕流模式只能取得單一點位流量分析資訊，而透過分布式降雨逕流模式可以獲得整體集水區範圍網格的流量空間與時間分布，對於整個集水區水情資訊有更全面的了解。

本計畫中應用開源分布式降雨逕流模式 Wflow 模式，搭配自由軟體 Delft-FEWS 平台進行水文氣象資料與模式資料平台串接，可以有效進行土石流潛勢溪流與農塘流量資訊推估，並進行視覺化成果展示。同時有助於國內目前在學研單位與政府單位應用相同的水文氣象資訊整合平台進行模式資料交換與及國際上在水土保持議題的合作。

關鍵詞：開源軟體、分布式降雨逕流、水庫集水區、土石流潛勢溪流、農塘

Open Source Distributed Rainfall Runoff Model to Estimate the Potential Debris Flow Torrent and Agricultural Pond Streamflow

Abstract

In the process of analysis of landslides caused by potential debris flow torrent and water conservation in agricultural ponds. Understanding the temporal and spatial distribution of rainfall and streamflow in the catchment area. That will help the researchers to understand the possible situation of the potential debris flow torrent and the agricultural ponds.

The streamflow estimation method mainly observes through on-site instrument monitoring or uses the hydrological model for estimation. Monitoring instrument values can be combined with the model to help improve model accuracy and provide more complete flow of information content in adjacent areas. IN the rainfall-runoff model, the lumped model can only obtain the single-point flow, and the distributed models can obtain the flow space and time distribution of the overall catchment area.

In this project, we use the open-source distributed rainfall-runoff model (Wflow model), and the free software Delft-FEWS platform connects the hydrometeorological data with the model platform to effectively carry out the development of the potential debris flow torrent and the agricultural pond streamflow information estimation and visualize the results. At the same time, it helps the domestic research institutes and government agencies to apply the same hydrometeorological information integration

platform for model data exchange and international cooperation on soil and water conservation issues.

Keyword : opensource, distributed rainfall-runoff model, reservoir watershed, potential debris flow torrent, agricultural ponds

目次

摘要.....	I
Abstract.....	III
目次.....	V
表次.....	VII
圖次.....	VIII
第一章 緒論.....	1-1
第一節 研究背景.....	1-1
第二節 研究架構.....	1-2
第二章 工作執行方法與步驟	2-1
第一節 水庫集水區資料收集.....	2-1
第二節 水文氣象資料收集.....	2-6
第三章 Wflow 分布式降雨逕流模式建置	3-1
第一節 Wflow 模式介紹	3-1
第二節 Wflow 模式建置前處理	3-3
第四章 Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台整合.....	4-1
第一節 模式銜接.....	4-1
第二節 模式運作環境建置與展示設定	4-4
第五章 颱風豪雨應用案例測試驗證與成果持續供應架構	5-1
第一節 颱風豪雨案例測試與驗證	5-1
第二節 成果持續供應架構.....	5-18
第六章 工作進度與交付項目	6-1
第一節 計畫甘特圖.....	6-1
第二節 計畫交付項目	6-2
第七章 結論及建議	7-1
第一節 結論.....	7-1

第二節 建議.....	7-2
參考文獻.....	參-1
附錄.....	附錄-1
附錄一 期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-1
附錄二 期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-5
附錄三 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形	附錄-7
附錄四 WFLOW 模式理論介紹	附錄-9
附錄五 Delft_FEWS 介紹.....	附錄-17
附錄六 Delft_FEWS 使用者介面說明.....	附錄-19

表次

表 1-1 計畫重要工作項目進度檢核表	1-5
表 2-1 集水區地文空間資料收集來源	2-2
表 2-2 農塘面積資訊統計資訊	2-3
表 2-3 計畫選取前 10 大農塘面積與位置資訊	2-3
表 3-1 WFLOW 檔案名稱說明	3-1
表 4-1 WFLOW 模式專案資料夾內容說明	4-4
表 4-2 鯉魚潭水庫集水區 100M 專案資料夾內容	4-5
表 5-1 2013 年蘇力颱風案例模擬成果	5-5
表 5-2 2012 年蘇拉颱風案例模擬成果	5-5
表 5-3 2008 年辛樂克颱風案例模擬成果	5-5
表 5-4 土石流潛勢溪流降雨量與流量推估成果	5-6
表 5-5 農塘流量推估成果	5-6
表 6-1 計畫甘特圖與實際進度對照表	6-1

圖次

圖 1-1 研究架構示意圖	1-4
圖 2-1 水庫集水區鄰近雨量站與土石流潛勢溪流位置	2-4
圖 2-2 水庫集水區 QPESUMS 網格與 100M DEM 空間分布	2-4
圖 2-3 鯉魚潭水庫集水區及周邊農塘調查位置分布	2-5
圖 2-4 鯉魚潭水庫集水區農塘調查位置分布	2-5
圖 2-5 鯉魚潭水庫運轉月報報表	2-7
圖 2-6 鯉魚潭水庫月報運轉歷線圖	2-7
圖 2-7 QPESUMS 降雨網格空間分布	2-8
圖 2-8 QPESUMS 降雨網格時間序列	2-8
圖 3-1 Wflow 模式應用國家空間分布	3-2
圖 3-2 Wflow_sbm 模組降雨逕流概念	3-2
圖 3-3 鯉魚潭水庫 Wflow 模式資料彙整	3-3
圖 3-4 鯉魚潭水庫集水區降雨量與流量之對應圖	3-4
圖 3-5 鯉魚潭水庫集水區流量成果展示	3-5
圖 4-1 Delft-FEWS 運作概念圖	4-2
圖 4-2 模式銜接架概念圖	4-2
圖 4-3 平台操作介面示意圖	4-3
圖 4-4 Delft-FEWS 平台各國應用空間分布情況	4-3
圖 4-5 Wflow 模式專案資料夾結構	4-5
圖 4-6 Wflow 模式執行流程設定檔	4-6
圖 4-7 Wflow 模式執行設定檔	4-6
圖 4-8 鯉魚潭水庫集水區流量成果展	4-7
圖 4-9 鯉魚潭水庫集水區流量空間分布展示	4-7
圖 5-1 2013 年蘇力颱風路徑	5-7
圖 5-2 2013 年蘇力颱風降雨量與流量成果比對	5-7

圖 5-3 2012 年蘇拉颱風路徑	5-8
圖 5-4 2012 年蘇拉颱風降雨量與流量成果比對	5-8
圖 5-5 2008 年辛樂克颱風路徑	5-9
圖 5-6 辛樂克颱風（2008）降雨量與流量成果比對	5-9
圖 5-7 土石流潛勢流苗栗縣 DF056 集水區範圍	5-10
圖 5-8 2013 年蘇力颱風土石流潛勢流流量推估成果	5-10
圖 5-9 2012 年蘇拉颱風土石流潛勢流流量推估成果	5-11
圖 5-10 2018 年辛樂克颱風土石流潛勢流流量推估成果	5-11
圖 5-11 水庫集水區農塘與土石流潛勢溪流量輸出位置點	5-12
圖 5-12 蘇力颱風水庫集水區農塘流量推估成果	5-12
圖 5-13 水庫集水區農塘流量 100M 專案網格計算成果 1	5-13
圖 5-14 水庫集水區農塘流量 20M 專案網格計算成果 1	5-13
圖 5-15 水庫集水區農塘流量 100M 專案網格計算成果 2	5-14
圖 5-16 水庫集水區農塘流量 20M 專案網格計算成果 2	5-14
圖 5-17 水庫集水區農塘流量 100M 專案網格計算成果 3	5-15
圖 5-18 水庫集水區農塘流量 20M 專案網格計算成果 3	5-15
圖 5-19 水庫集水區農塘流量推差異較大點位 20M 與 100M 網格比 對	5-16
圖 5-20 鯉魚潭水庫模式與資料處理自動化作業流程架構	5-18
圖 5-21 美國 NOAA National Water Model 概念	5-19
圖附 5-1 水文氣象觀測整合平台架構	附-18
圖附 5-2 預報流域範圍	附-18
圖附 6-1 使用者介面	附-19
圖附 6-2 時序列展示	附-20
圖附 6-3 網格資料展示	附-21
圖附 6-4 預報作業流程	附-22

圖附 6-5 預報成果管理	附-23
圖附 6-6 資料庫檢視	附-24

第一章 緒論

在面對土石流潛勢溪流產生的坡地災害與農塘滯洪保水的研究分析與調查過程中。當降雨事件發生後，有效了解流域集水區的降雨及流量的時間空間分布情況。將可協助研究人員了解土石流潛勢溪流與農塘現場可能發生的狀況，進一步針對土石流災害與農塘集水區的滯洪保土功能進行改善與分析量的評估。同時考量後續推廣與應用之可行性，應用開源軟體或自由軟體進行相關研究成果的建置。

第一節 研究背景

為了有效了解土石流潛勢溪與農塘的可能的流量資訊，傳統上除了使用水位流量觀測儀器進行監控外，隨著基礎資料完整性不斷提升也可，透過降雨逕流模式的模擬流域可能的流量空間分布情況。搭配模式成果進行應用，有助於了解流域集水區內的流量時間與空間分布資訊。為了有效確保集水區下游流量資訊成果可以驗證，研究中選用鯉魚潭水庫集水區範圍，搭配分布式降雨逕流模式。模擬集水區內完整的流量空間與時間分布情況，進一步透過分布式降雨逕流模式推估集水區內土石流潛勢溪流與農塘位置的對應流量資訊，作為後續研究與分析參考。

模式與系統建置完成後最大的效益是模式與系統可以持續被使用與處理資料內容，因此考量後續推廣與應用。計畫中應用開源分布式降雨逕流模式 Wflow 模式，自由軟體(Free software) Delft-FEWS 平台進行水文氣象資料與模式資料平台的串接，以有效進行土石流潛勢溪流與農塘流量資訊推估的發展，並進行視覺化成果展示。有助於後

續學研單位與政府部門，應用相同的水文氣象資訊整合平台進行模式與資料交換與合作。

而彙整上述研究背景與目標，本計畫成果以苗栗縣鯉魚潭水庫集水區為應用示範區域，完成下列四項主要成果：

- (一)水庫集水區土石流潛勢溪流與農塘模擬流量資訊供應。
- (二)水庫集水區分布式降雨量模式建置。
- (三)水庫集水區動態網格降雨及流量時間與空間分布視覺化成果展示。
- (四)完成水庫集水區作業化 Wflow 分布式降雨逕流模式與 Delft-FEWS 平台整合。

第二節 研究架構

為了有效提供上述集水區內完整的土石流潛勢溪流與農塘流量資訊，在計畫中選擇用開源軟體的 Wflow 分布式降雨逕流模式，以苗栗縣鯉魚潭水庫集水區為研究區域，進行降雨逕流模式的建置；並且搭配荷蘭三角洲研究院(Deltares)所發展的水文氣象與模式整合平台自由軟體，Delft-FEWS 平台進行分布式降雨逕流模式與降雨資料模式的整合。其研究架構如圖 1-1 所示，而完整研究流程與概念說明如下。

一、水庫集水區資料收集

針對苗栗縣鯉魚潭水庫集水區範圍內的水文氣象資料與水庫入流量資訊、數值高程地形模型(DEM)、土地利用(Land Use)、土壤種類(Soil Type)、集水區範圍、水系向量圖檔、土石流潛勢溪流、農塘位置與範圍進行收集。並且評估後續供

應流量位置點位資訊。

二、Wflow分布式降雨逕流模式建置

應用荷蘭三角洲研究院(Deltares)發展 Wflow 開源分布式降雨逕流模式，Wflow_sbm 模組進行模式建置。搭配水庫集水區集水區數值高程地形模型、土地利用、土壤種類，進行模式建置工作。模式的輸入檔案內容包含降雨量或特定位置點的流量資料，在計畫中降雨量資料選擇 QPESUMS 雷達降雨觀測成果，進行演算，而模式輸出檔案內容為數值地形高程模型網格解析度為基礎的動態網格流量資訊。

三、Wflow模式與Delft-FEWS平台整合

當分布式降雨逕流模式建置完成後，利用荷蘭三角洲研究院(Deltares) 所開發的 Delft-FEWS 平台進行整合，將模式使用"通用模式銜接技術 (General Adapter)"，進行模式介接與整合，方便工程師可以有效進行模式的模擬與計算共作。並且提供鯉魚潭水庫集水區範圍動態流量網格資料展示的視覺化的輸出設定與針對土石流潛勢溪流與農塘位置進行流量成果的展示。

四、颱風豪雨應用案例測試驗證與成果持續供應架構

當模式與平台均建立完成後，進行後續作業化成果的供應，本計畫優先利用水土保持局與氣象局及水利署，共同合作的 QPESUMS 系統之雷達降雨產品，進行颱風豪雨事件的測試驗證。後續並提出持續運作的系統架構建議與方案。

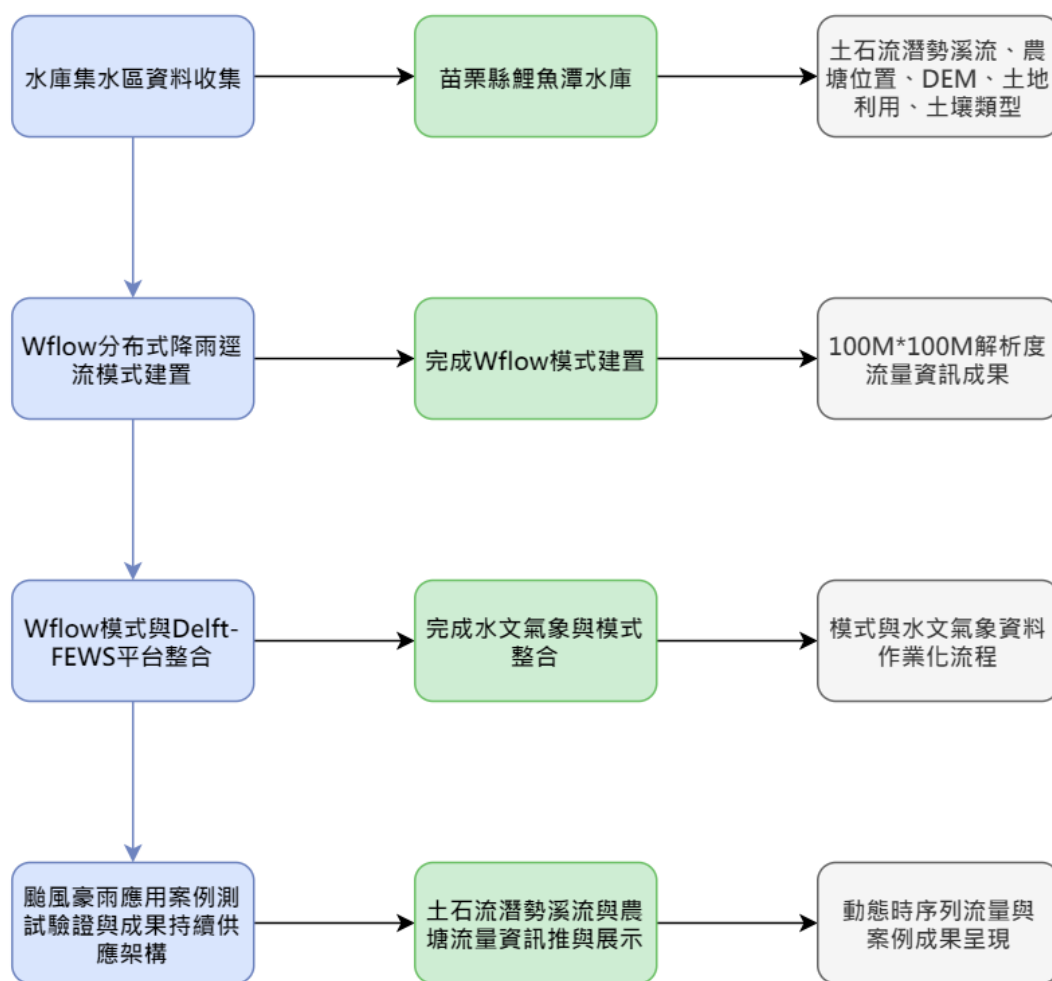


圖 1-1 研究架構示意圖

表 1-1 計畫重要工作項目進度檢核表

重要工作項目	工作比重 %	預定進度	108 年				備註
			2-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	
集水區資料收集彙整	10	內容	地文資料收集	水文氣象資料收集			
		累積百分比	50	100	100	100	
Wflow 分布式降雨逕流模式建置	35	內容		模式建置	模式驗證	模式調整	
		累積百分比	0	50	80	100	
Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台整合	35	內容		環境架構建置	模式銜接與測試	系統調整	
		累積百分比	0	40	90	100	
颱風豪雨應用案例測試驗證與成果持續供應架構	20	內容		降雨量資料測試	流量資料驗證	成果供應確認	
		累積百分比	0	40	90	100	
累計總進度	百分比		5	48	86	100	

資料來源：本計畫整理

第二章 工作執行方法與步驟

整體水庫集水區資料收集工作項目上，主要針對苗栗縣鯉魚潭水庫集水區範圍內的水文氣象資料與水庫入流量資訊、數值高程地形模型 (DEM)、土地利用 (Land Use)、土壤種類 (Soil Type)、集水區範圍、水系向量圖檔、土石流潛勢溪流、農塘位置與範圍進行收集。以作為後續分布式降雨逕流 Wflow 模式的資料來源。

第一節 水庫集水區資料收集

在基礎資料收集的工作項目，主要針對苗栗縣鯉魚潭水庫集水區範圍內的集水區範圍、水系資料、數值高程模型、土壤資料、土地利用、土石流潛勢溪流、農塘資料進行收集。

在集水區範圍及水系資料及雨量站等資料來源，主要利用水利署水利地理資訊服務平台、與水資料分享網站，所提供的開放資料進行資料收集。數值高程模型，目前使用內政部地政司，所提供的開放資料，分別有 20M 與 100M 網格數值地形模型資料。

而在土壤資料、土石流潛勢溪流資訊，則使用行政院農委會開放平台之成果進行資料收集。目前集水區範圍內的土石流潛勢溪流有 1 處 (苗栗縣 DF056) 及雨量站位置，如圖 2-1，而農塘依據目前依據 2017 年"中苗地區重要水庫集水區農塘保水優化及農塘活化計畫之調查成果"，目前位於鯉魚潭水庫集水區及周邊有 176 口農塘。計畫執行過程中，優先選擇水庫集水區內面積排行前 10 大之農塘。土地利用資料則是使用內政部開放資料平台成果進行收集與分析。

相關收集數值高程地形模型 (DEM)、土地利用 (Land Use)、土壤種類 (Soil Type)等資訊內容，而基礎資料不完整的情況下，透過衛

星遙測資料進行空間內插方式進行補遺，或收集相關報告成果進行數值上的設定或使用。而針對水庫集水區內的採用的數值高程模型以 100M 為例搭配使用的 QPESUMS 降雨網格空間分布情況如圖 2-2 所示。相關基礎資料收集來源如表 2-1 所示。

另外，已確認水庫集水區內的農塘位置進行空間位置，如圖 2-3 所示為農塘資料原先鯉魚潭水庫集水區與周邊區域調查的成果共有 176 點，其中 74 點位於鯉魚潭水庫集水區內，對應調查與實際的集水區內之成果，如表 2-2 所示。而在水庫集水區範圍內前 10 大農塘與土石流潛勢溪流位置分布，如圖 2-4 所示。

表 2-1 集水區地文空間資料收集來源

資料內容	資料來源	備註
水系、雨量站	水利地理資訊服務平台	
集水區範圍	水資料分享網站	鯉魚潭水庫集水區
數值高程模型	政府資料開放平台	100M,20M
土壤圖	行政院農委會開放平台	向量資料
土地利用	內政部資料開放平台	國土利用調查成果
農塘	中苗地區重要水庫集水區農塘保水優化及農塘活化計畫報告	74 個農塘
土石流潛勢溪流	行政院農委會開放平台	DF056

表 2-2 農塘面積資訊統計資訊

面積(公頃)	鯉魚潭水庫及周邊	鯉魚潭水庫集水區內
<0.1	150	71
0.1~0.3	23	3
0.7~1	1	0
>1	2	0
合計	176	74

表 2-3 計畫選取前 10 大農塘面積與位置資訊

ID	TWD97_X	TWD97_Y	面積(平方公尺)
鯉魚潭 4	233221	2693795	2981.8
鯉魚潭 9	234135	2695460	2677
鯉魚潭 1	231374	2693994	1160.9
鯉魚潭 3	233093	2693767	818.8
鯉魚潭 6	233141	2694144	754.6
鯉魚潭 21	234798	2693360	586.2
鯉魚潭 7	233168	2694205	574.9
鯉魚潭 26	234687	2693072	558.4
鯉魚潭 37	234570	2691942	507.3
鯉魚潭 5	233286	2694097	495.7

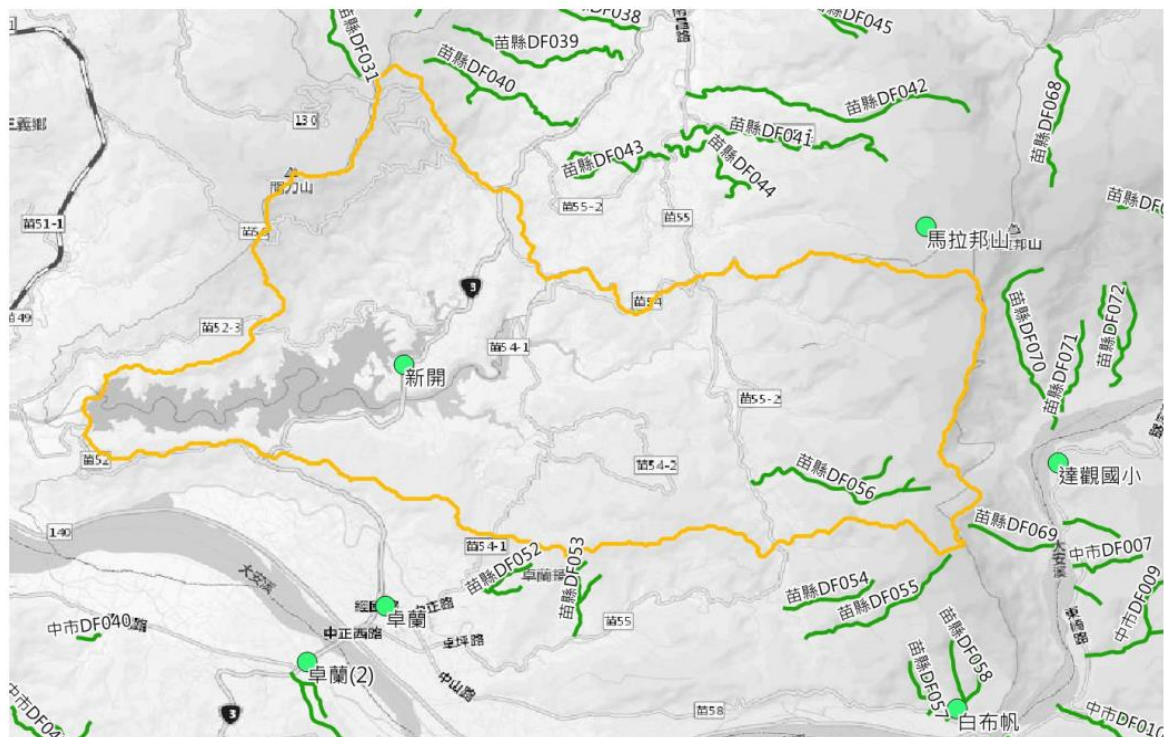


圖 2-1 水庫集水區鄰近雨量站與土石流潛勢溪流位置

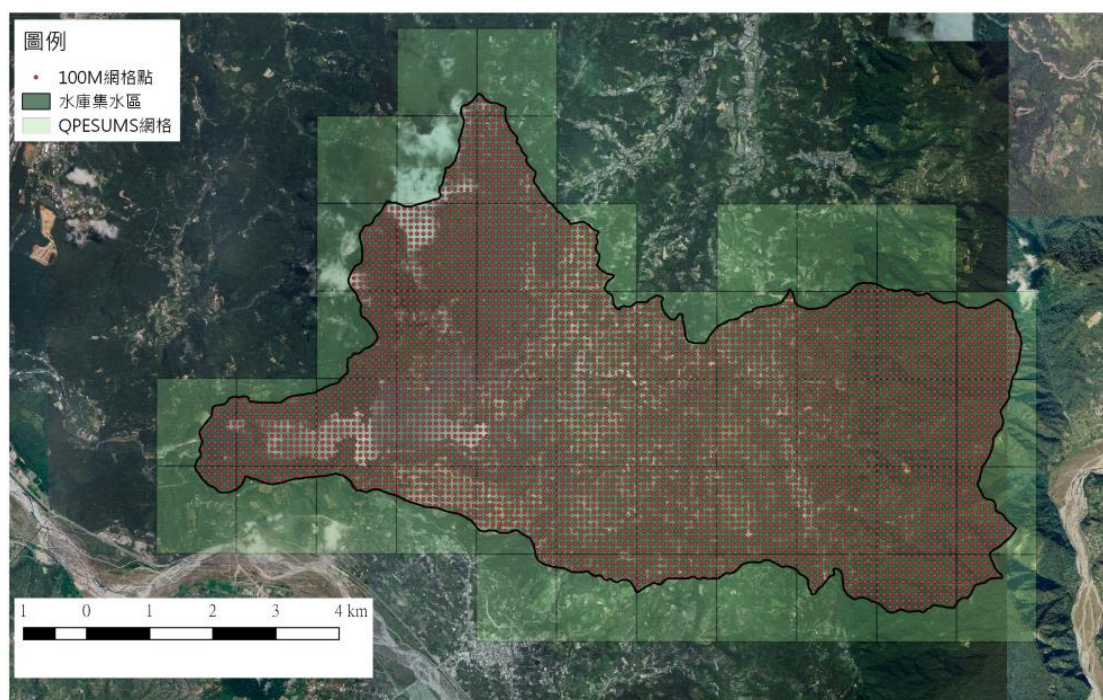


圖 2-2 水庫集水區 QPESUMS 網格與 100M DEM 空間分布

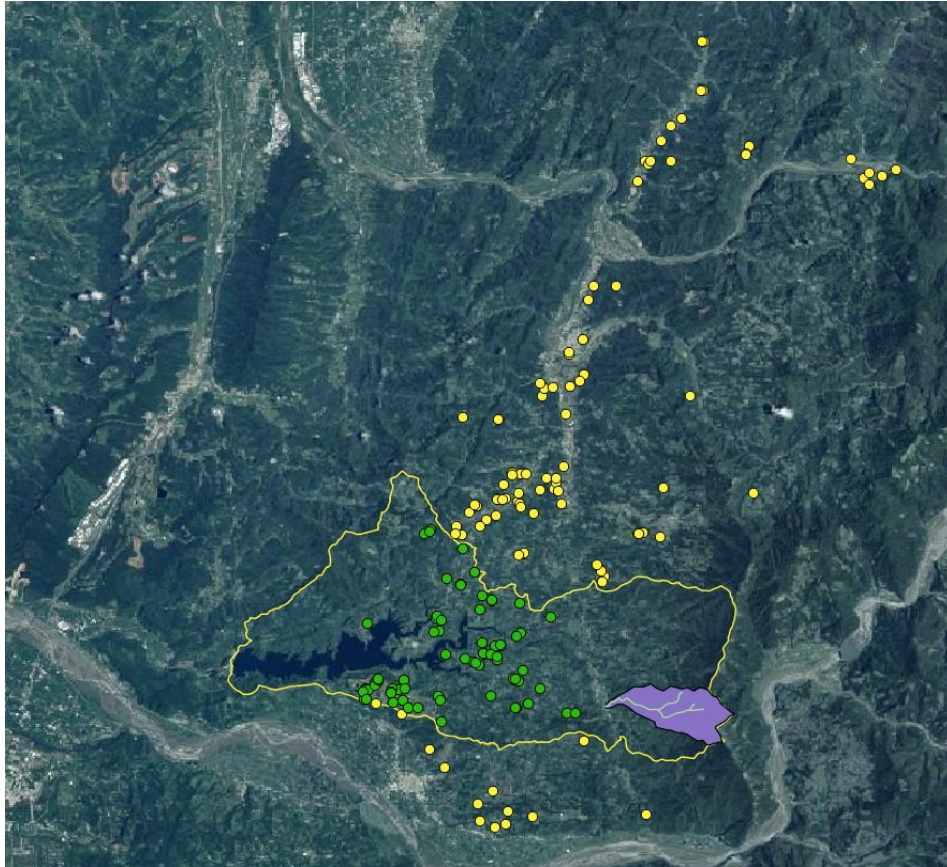


圖 2-3 鯉魚潭水庫集水區及周邊農塘調查位置分布

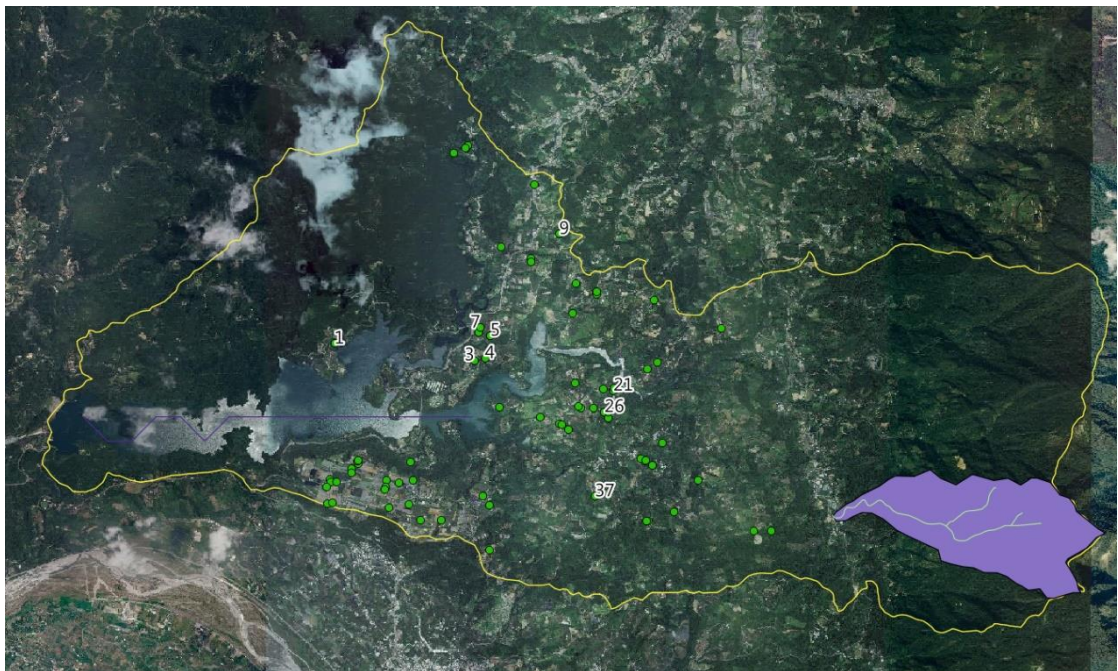


圖 2-4 鯉魚潭水庫集水區農塘調查位置分布

第二節 水文氣象資料收集

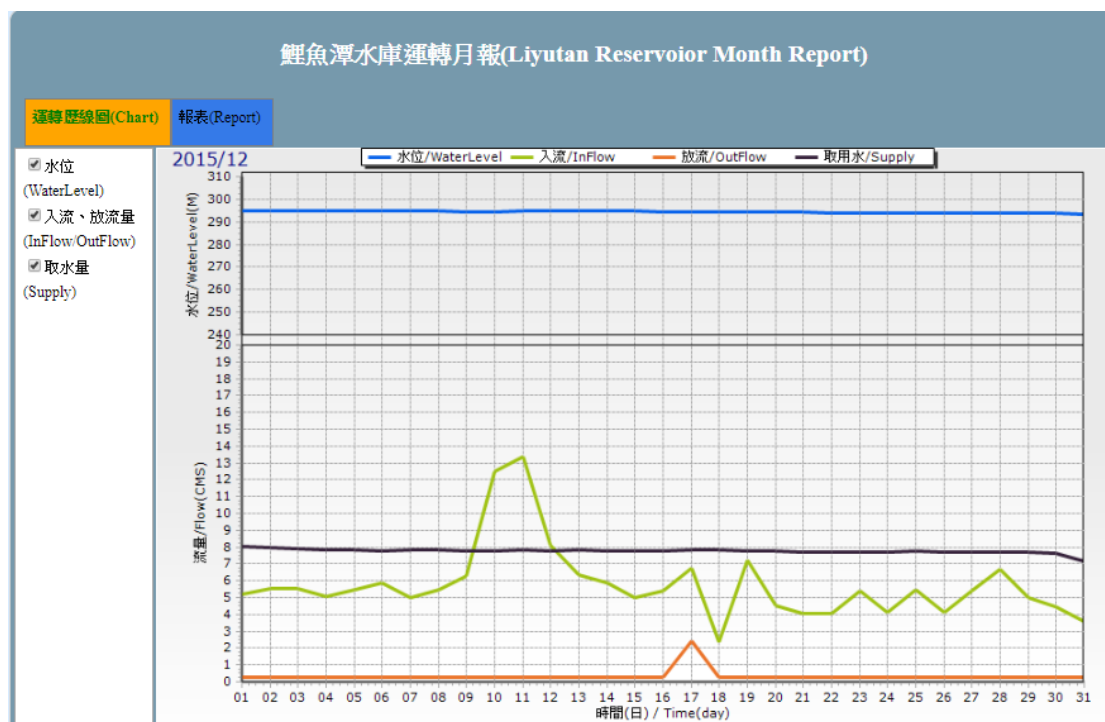
而相關水文氣象資料內容，目前主要收集資料來源為水利署中區水資源局鯉魚潭水庫，根據月報資歷內容進行彙整。由民生物公共聯網取得水庫集水區鄰近的雨量站降雨資料內容。並且針對鯉魚潭水庫相關研究報告成果與水情資訊進行彙整與收集，以了解鯉魚潭水庫集水區相關基礎水情資訊，如圖 2-5 與圖 2-6 所示，為鯉魚潭水庫月報流量資訊。內容包含鯉魚潭水庫集水區水位、入庫流量、庫容、用水量、雨量站與平均降雨量資訊等內容。

此外針對在模式計算過程中使用的 QPESUMS 雷達降雨量資訊進行資料的彙整與收集。QPESUMS 是由中央氣象局、水利署、水保局及美國劇烈風暴實驗室，共同合作所發展之劇烈天氣監測系統 (QPESUMS, Quantitative Precipitation Estimation and Segregation Using Multiple Sensor)，自 2003 年開始運作後，陸續推廣到全國各級單位，其資料除了整合雨量站與氣象站資訊外，並且結合氣象雷達站（五分山、花蓮、七股、墾丁、馬公、清泉崗）提供全臺每 10 分鐘一筆之降雨網格資訊（約 1.3×1.3 平方公里）之監測資訊。將有助於提升水庫集水降雨空間分布的完整性。如圖 2-7 與圖 2-8，分別為 QPESUMS 網格空間分布與時間序列資料內容。

鯉魚潭水庫運轉月報(Liyutan Reservoir Month Report)															
運轉歷線圖(Chart)		報表(Report)													
12月(2010/12)															
序號 No.	蓄水情形/Storage Situation			總入 流量 /Total InFlow (cms)	下游放流量/DownStream OutFlow (cms)					取用水 量/FlumeFlow (cms)		標的供水 量/Supply (萬 噸)/Public Supply	集水區雨量/Catchment Rainfall		
	水位 (m)/WaterLevel	有效蓄 水量 (萬 噸)/Volume	蓄水率 (%) /Volume Rate		溢洪 道/Spillway Flow	出水工 一/Outlet Works1	出水工 二/Outlet Works2	生態放 流/Ecology Supply	總放流 量/Total OutFlow	第一 原水 管/Water Pipe1	第二 原水 管/Water Pipe2		鯉魚潭 (5%)/Liyutan	新開 (47%)/Shinkai	其他 (48%)
01	291.78	8,330.64	72.0	3.57	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	7.34	-	63.42	0.0	0.0	0.0
02	291.68	8,295.46	71.7	3.83	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	6.79	-	58.64	0.0	0.0	0.0
03	291.60	8,267.32	71.5	4.30	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	6.85	-	59.16	0.0	0.0	0.0
04	291.53	8,242.69	71.3	3.06	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	6.83	-	59.00	0.0	0.0	0.0
05	291.43	8,207.51	71.0	3.05	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	6.82	-	58.94	0.0	0.0	0.0
06	291.33	8,172.32	70.7	3.84	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	6.79	-	58.68	0.0	0.0	0.0
07	291.25	8,144.18	70.4	3.03	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	6.80	-	58.75	0.0	0.0	0.0
08	291.15	8,109.00	70.1	4.44	0.00	1.50	0.00	0.30	1.80	8.33	-	72.00	0.0	0.0	0.0
09	291.01	8,059.75	69.7	3.09	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	10.34	-	89.34	0.0	0.0	0.0
10	290.82	7,994.52	69.1	3.04	0.00	0.00	0.00	0.30	0.30	7.10	-	61.38	0.0	0.0	0.0

資料來源：經濟部水利署中區水資源局網站

圖 2-5 鯉魚潭水庫運轉月報報表



資料來源：經濟部水利署中區水資源局網站

圖 2-6 鯉魚潭水庫月報運轉歷線圖

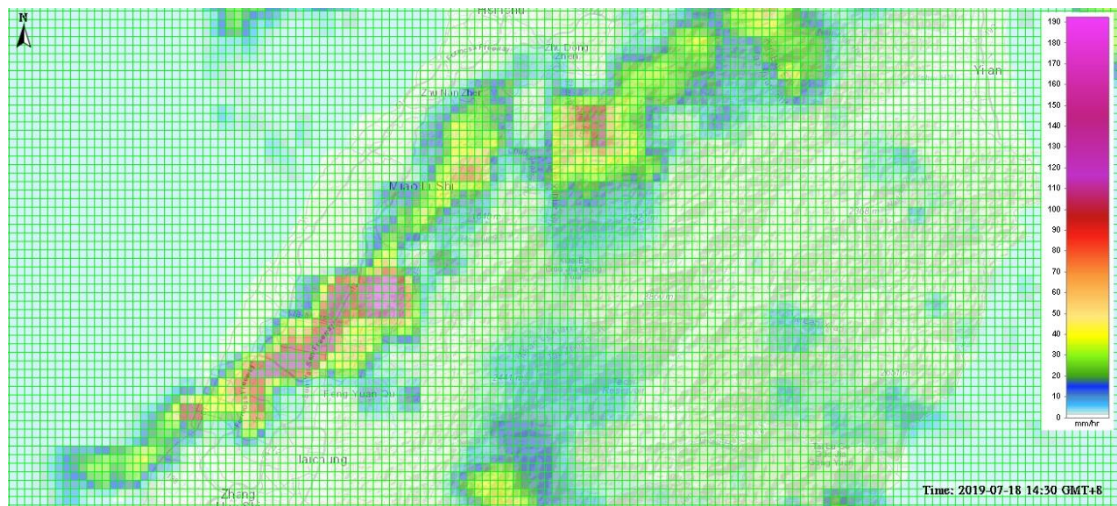


圖 2-7 QPESUMS 降雨網格空間分布

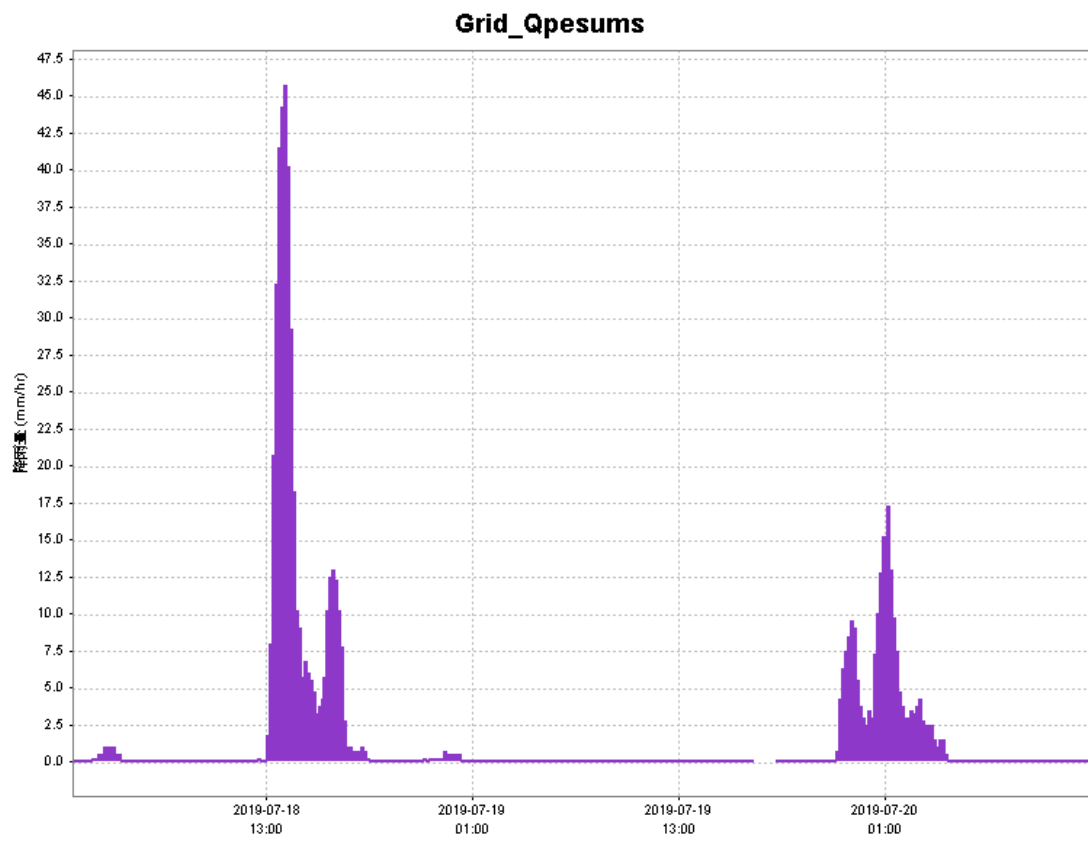


圖 2-8 QPESUMS 降雨網格時間序列

第三章 Wflow 分布式降雨逕流模式建置

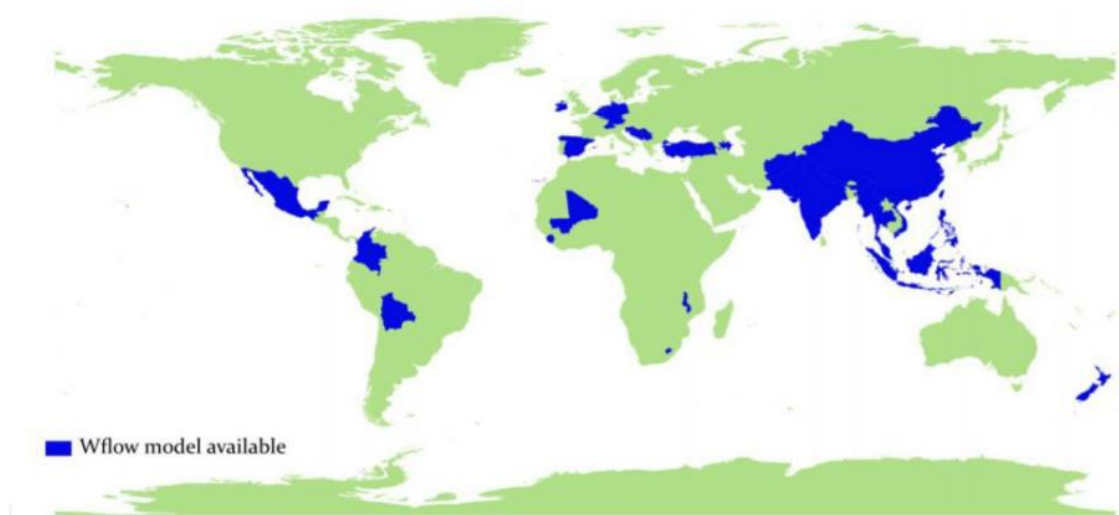
第一節 Wflow 模式介紹

Wflow 模式為荷蘭三角洲研究院(Deltares)使用 Python 程式語言所成發的開源分布式降雨逕流模式，在模式運算流程中考慮降雨逕流模式、土壤模式、運動波模式等內容。目前已應用於美洲、歐洲、非洲、亞洲等不同國家，如圖 3-1 所示。

在計畫中選用 Wflow_sbm 模組 (Simple bucket model)，而這一個模組是由 Topog_SBM (Vertessy and Elsenbeer 1999)模式的概念衍生，經過調整後可支援不同土地利用特性與不同集水區、水庫操作等；同時適用於小集水區，並且支援坡度較陡峭或土壤厚度較薄的集水區範圍。而在土壤中水流動的解析方式，採用簡單顯示法(simple explicit scheme)。地下水流動方式，在模式中主要參考地形而不是實際水頭高度，。則是透過設定方式，強制模式每次重新計算地下水流向，以提供更符合現況的地下水狀態。Wflow 檔案名稱說明如表 3-1 所列。

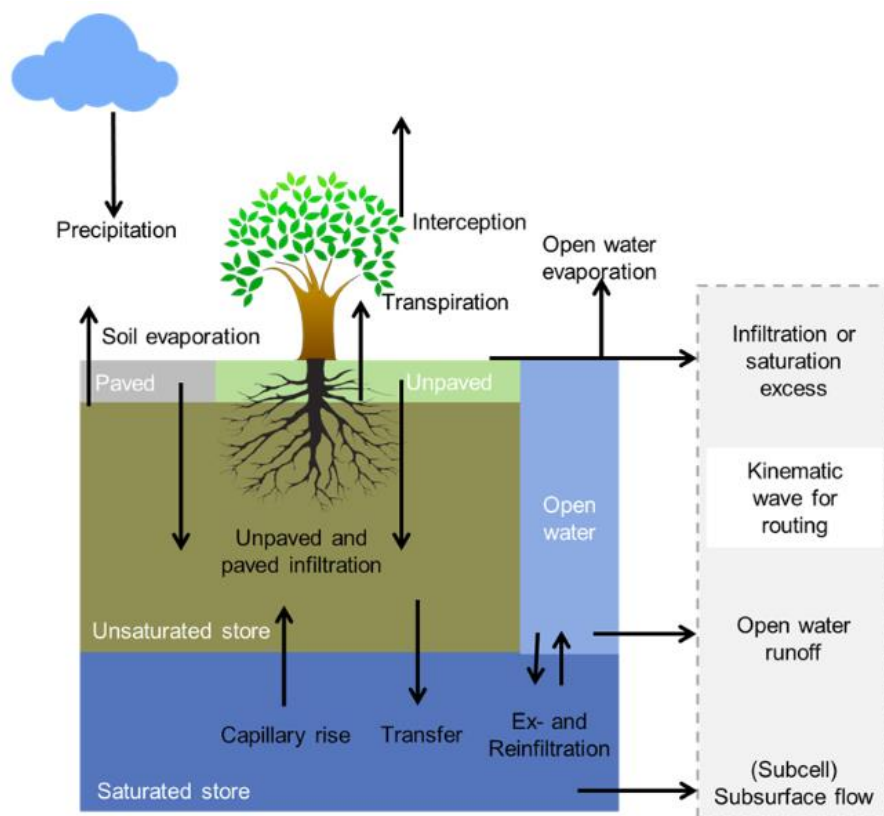
表 3-1 Wflow 檔案名稱說明

邊界檔名稱	說明
wflow_subcatch.map	集水區邊界
wflow_gauges.map	指定網格輸出時序列資料
wflow_river.map	集水區河系
wflow_dem.map	集水區數值地形模型
wflow_landuse.map	集水區土地利用分類



資料來源：Wflow 模式 2018 使用者會議簡報

圖 3-1 Wflow 模式應用國家空間分布

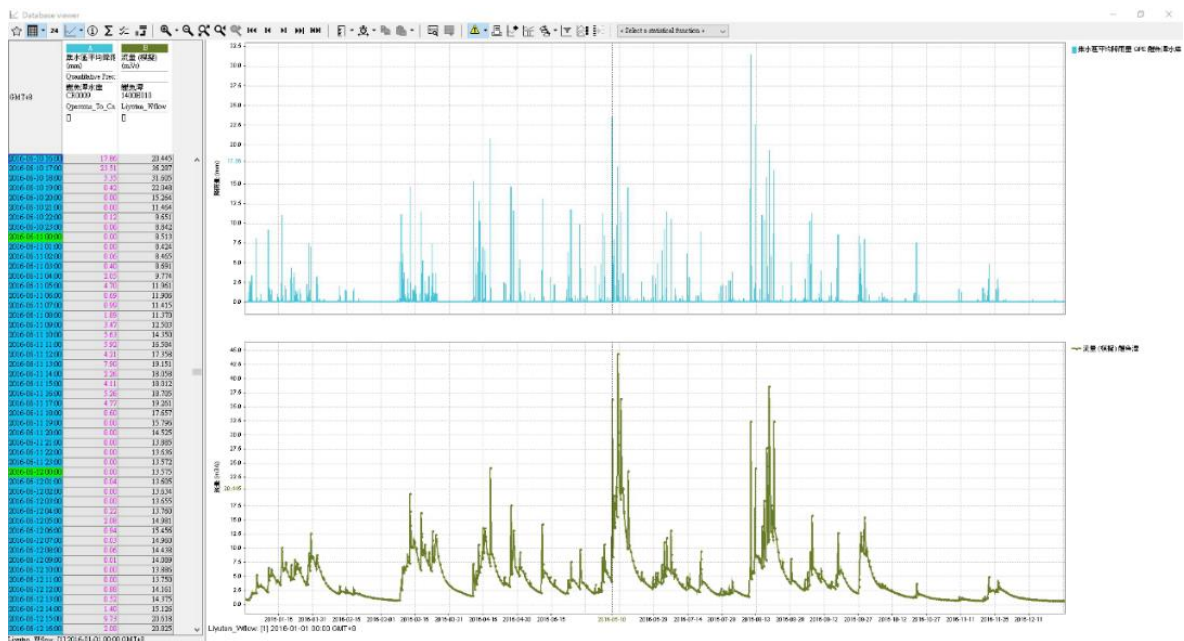


資料來源：Wflow 模式官方網站

圖 3-2 Wflow_sbm 模組降雨逕流概念

水庫入流量資訊作為模式率定驗證的主要檢核點。搭配颱風豪雨事件進行效率係數與相對誤差進行成果比對。

在計畫中由於鯉魚潭水庫集水區範圍大小約 52.7 平方公里，整體鯉魚潭水庫集水區和 QPESUMS 網格交集的範圍共有 50 個網格點。概念如同在集水區內有 50 個雨量站，可提供完整的降雨時間與空間分布資訊，並可以進一步了解水庫集水區降雨分布情況，以圖 3-4 為例，可清楚顯示降雨量與流量之對應圖。同時應用 100m*100m 數值高程模型架構，可產出 5,270 點流量資訊成果，可以有效了解土石流潛勢溪流與農塘網格之可能之流量資訊。針對模式基礎資料網格進行處理成果，如圖 3-5 所示。模式的輸入資料來源，包含降雨量或特定位置點的流量資料，而模式輸出檔案為以數值地形高程模型網格解析度為基礎的網格流量資訊。



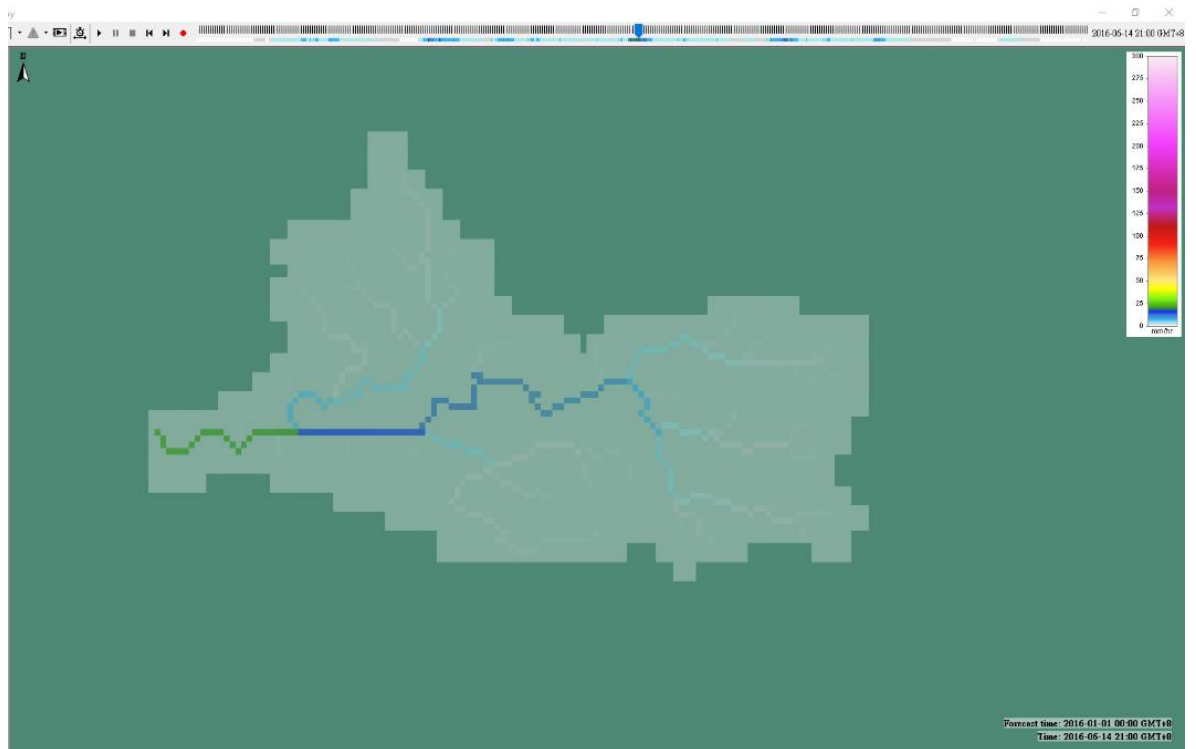


圖 3-5 鯉魚潭水庫集水區流量成果展示

第四章 Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台整合

第一節 模式銜接

當分布式降雨逕流模式建置完成後，為了持續有效結合觀測降雨量成果進行流量成果供應。計畫為滿足匯入、驗證、內差、資料轉換，展示與備份等多項功能，如圖 4-1 所列，利用荷蘭三角洲研究院 (Deltares)，所開發的 Delft-FEWS 平台進行整合(Werner et al. 2013)，以概念如圖 4-2 為例，將模式使用"通用模式銜接技術" (General Adapter)，透過標準化的轉換流程經由 Delft-FEWS 匯出模式所需的輸入降雨量成果並且，啟動模式進行運算，當偵測模式計算完成後，將模式運算成果轉會成為標準格式回傳給 Delft-FEWS 平台，完成模式的串接工作。

接著針對 Wflow 模式輸出成果進行動態網格資料展示的視覺化的輸出設定與針對土石流潛勢溪流與農塘位置進行流量成果的展示。如圖 4-3 所示為平台之操作介面，使用者依照作業需求透過 XML 標註語言進行相關介面設定與調整。

而目前在國內已有經濟部水利署與、國家災害防救科技中心、成功大學、臺北科技大學、國家高速網路與計算機中心等單位，以 Delft-FEWS 為核心，各自發展 FEWS_Tawian 與 NCDR-FEWS 等相關平台與應用，並且介接不同模式進行作業化分析或研究。

而在國外美國氣象局與澳洲氣象局，則分別利用 Delft-FEWS 平台建立 CHPS 與 HyFS 系統，進行該國官方的洪水預報與水文氣象資料的處理流程(Adams et al. 2018)。此外，Delft-FEWS 平台已經應用在世界各國超過 90 個以上的作業化系統，如圖 4-4 所示。因此後續在

國內跨單位的合作與國際技術合作上，將有助於在水土保持領域應用上，提供完整的水文氣象資料與水土保持相關模式整合內容。

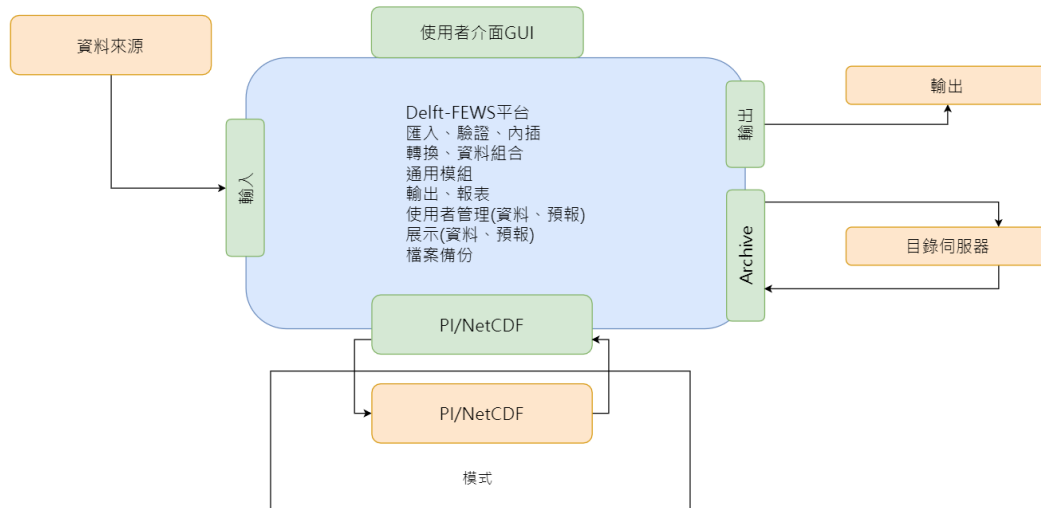


圖 4-1 Delft-FEWS 運作概念圖

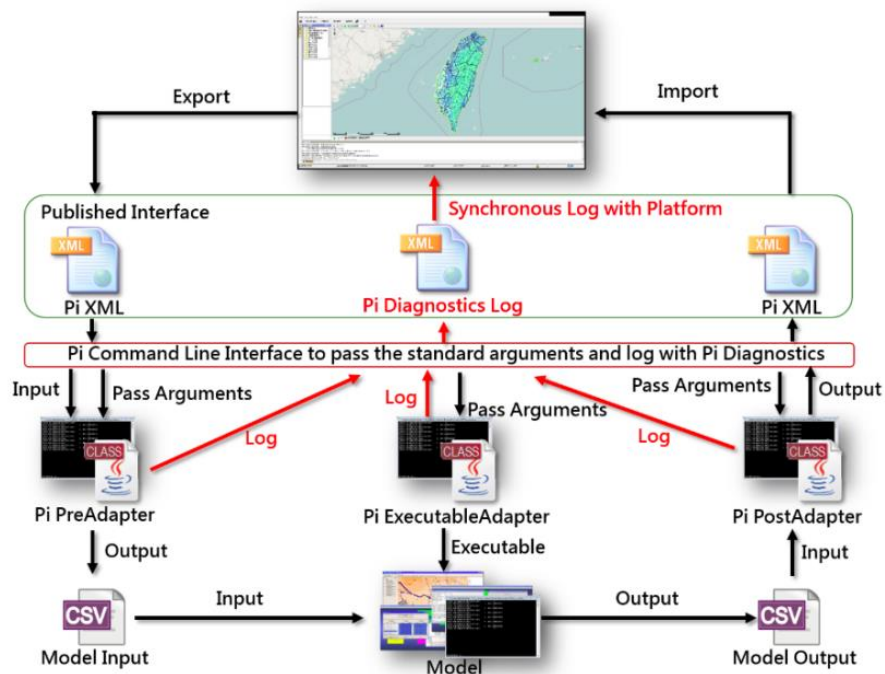


圖 4-2 模式銜接架概念圖

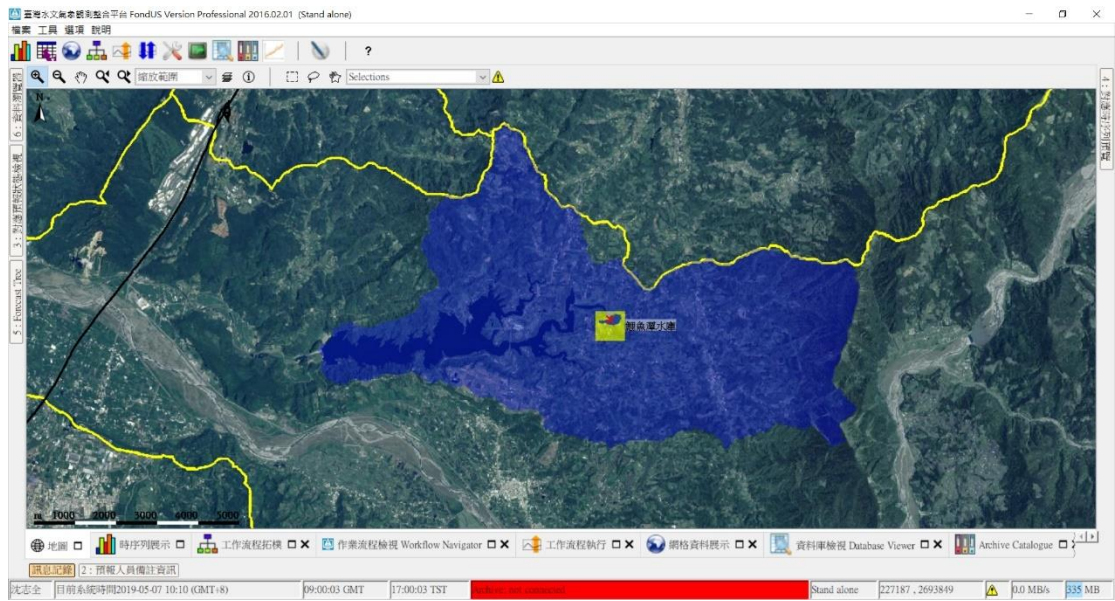


圖 4-3 平台操作介面示意圖

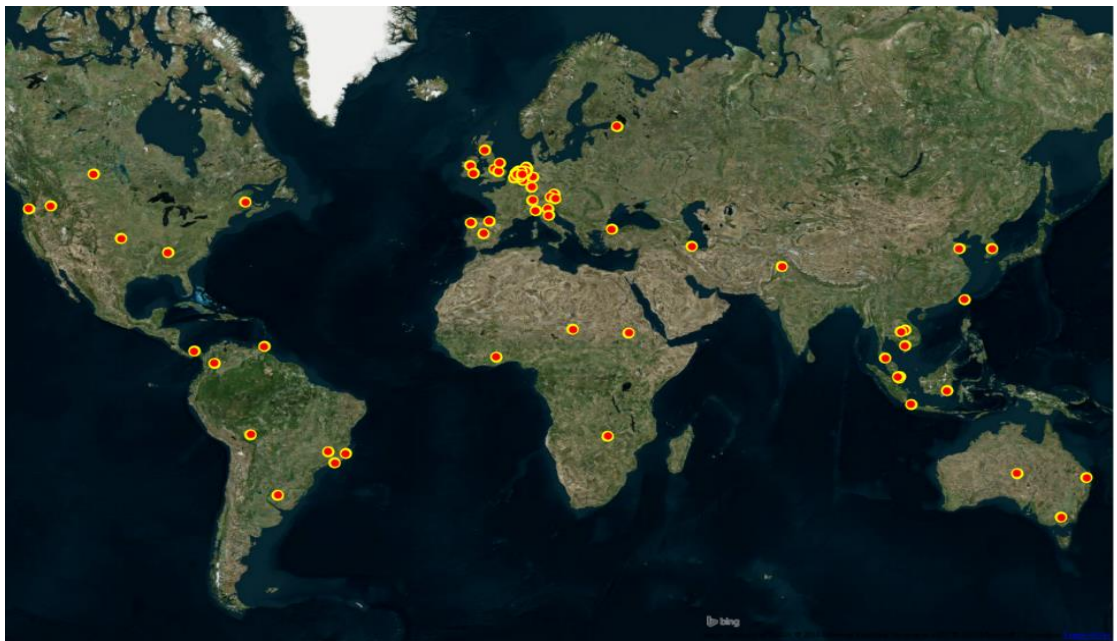


圖 4-4 Delft-FEWS 平台各國應用空間分布情況

第二節 模式運作環境建置與展示設定

延續前開資料內容，應用圖 4-1 與圖 4-2 概念進行模式串接的流程與執行環境建置。在平台建立對應的執行環境與資料交換的資料夾。以便後序模式專案參數資料更新，與水文氣象資料交換使用。建置如圖 4-5 的內容結構，與相關檔案資料夾路徑，其資料夾詳細內容，如表 4-1 與表 4-2 所示。

在搭配模式執行流程設定檔，如圖 4-6 與圖 4-7 模式專案設定檔案內容，進行完整水文氣象資料交換，與模式對應的設定工作。確認模式執行過程中相關資料可以順利產出並且提供對應的輸出入與輸出檔案後即完成模式串接流程確認。接著可以針對模式輸出成果進行設定，其成果如圖 4-8 與圖 4-9 所示。

表 4-1 Wflow 模式專案資料夾內容說明

資料夾檔案名稱	說明	備註
bin-wflow\	WFLOW 模式執行程式	
Liyutan\	鯉魚潭水庫集水區 100M	
Liyutan20\	鯉魚潭水庫集水區 20M	
wflow_adapt.log	WFLOW 模式執行記錄檔	

表 4-2 鯉魚潭水庫集水區 100M 專案資料夾內容

資料夾檔案名稱	說明	備註
inmaps\	輸入邊界調條件資料夾	雨量或流量資料
instate\	輸入狀態檔資料夾	起始狀態檔
intbl\	參數檔案資料夾	參數設定檔
outstate\	輸出狀態檔	模擬狀態檔
run_default\	執行資料夾	
staticmaps\	靜態圖資	
wflow_sbm.ini	模式執行專案設定檔	

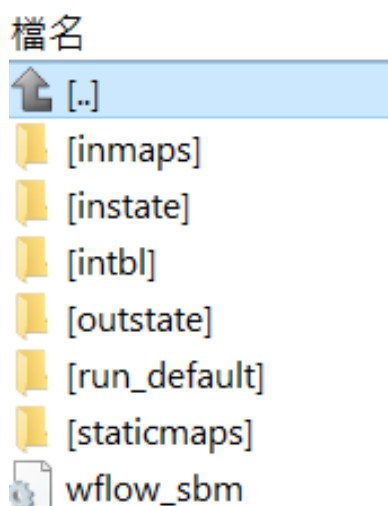


圖 4-5 Wflow 模式專案資料夾結構

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <workflow xmlns="http://www.wldelft.nl/fews" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" >
3   <properties>
4     <!-- Global Properties -->
5     <string key="LOCATIONS_BASIN_GRID" value="Liyutan_Wflow_Grid"/>
6     <string key="LOCATIONS_BASIN_POINTS" value="Catchment_Liyutan_Wflow"/>
7     <string key="LOCATIONS_BASIN" value="CR0009"/>
8   </properties>
9   <activity>
10    <runIndependent>true</runIndependent>
11    <moduleInstanceId>Qpesums_To_Wflow_Catchment_Grid</moduleInstanceId>
12    <moduleConfigFileName>Template_Qpesums_To_Wflow_Catchment_Grid</moduleConfigFileName>
13  </activity>
14  <activity>
15    <runIndependent>true</runIndependent>
16    <moduleInstanceId>Qpesums_To_Catchment_Average</moduleInstanceId>
17    <moduleConfigFileName>Template_Wflow_Grid_To_Catchment_Average_Year</moduleConfigFileName>
18  </activity>
19  <activity>
20    <properties>
21      <!-- Local Properties -->
22      <string key="GA_WFLOW_IDMAP_IMPORT" value="Liyutan_Wflow_Import"/>
23      <string key="BASIN_NAME" value="Liyutan"/>
24      <string key="MODULE_WFLOW" value="Liyutan_Wflow"/>
25      <string key="LOCATIONS_GAUGE" value="CR0009"/>
26    </properties>
27    <runIndependent>true</runIndependent>
28    <moduleInstanceId>Liyutan_Wflow</moduleInstanceId>
29    <moduleConfigFileName>Template_Wflow_GA</moduleConfigFileName>
30  </activity>
31 </workflow>

```

圖 4-6 Wflow 模式執行流程設定檔

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<generalAdapterRun xmlns="http://www.wldelft.nl/fews" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" >
  <general>
    <rootDir>%REGION_HOME%\Modules\Wflow</rootDir>
    <workDir>%ROOT_DIR%</workDir>
    <exportDir>%ROOT_DIR%\$BASIN_NAME$\inmaps</exportDir>
    <exportDataSetDir>%REGION_HOME%\Modules\Wflow</exportDataSetDir>
    <importDir>%ROOT_DIR%\$BASIN_NAME$\run_default</importDir>
    <importIdMap>%GA_WFLOW_IDMAP_IMPORT$</importIdMap>
    <dumpFileDir>%GA_DUMPFILEDIR$</dumpFileDir>
    <dumpDir>%ROOT_DIR%\$BASIN_NAME$</dumpDir>
    <diagnosticFile>%ROOT_DIR%\dummy.xml</diagnosticFile>
    <missVal>-999.0</missVal>
    <convertDatum>true</convertDatum>
  </general>
  <activities>
    <startUpActivities>
      <purgeActivity>
        <filter>%ROOT_DIR%\$BASIN_NAME$\inmaps\*. *</filter>
      </purgeActivity>
      <purgeActivity>
        <filter>%ROOT_DIR%\$BASIN_NAME$\run_default\outmaps\*. *</filter>
      </purgeActivity>
    </startUpActivities>
    <exportActivities>
      <exportMapStacksActivity>
        <exportFile>P.xml</exportFile>
        <gridFile>
          <locationId>%LOCATIONS_BASIN_GRID$</locationId>
          <gridName>P??????.???</gridName>
        </gridFile>
        <gridFormat>pcrgrid</gridFormat>
      </exportMapStacksActivity>
    </exportActivities>
  </activities>
</generalAdapterRun>

```

圖 4-7 Wflow 模式執行設定檔

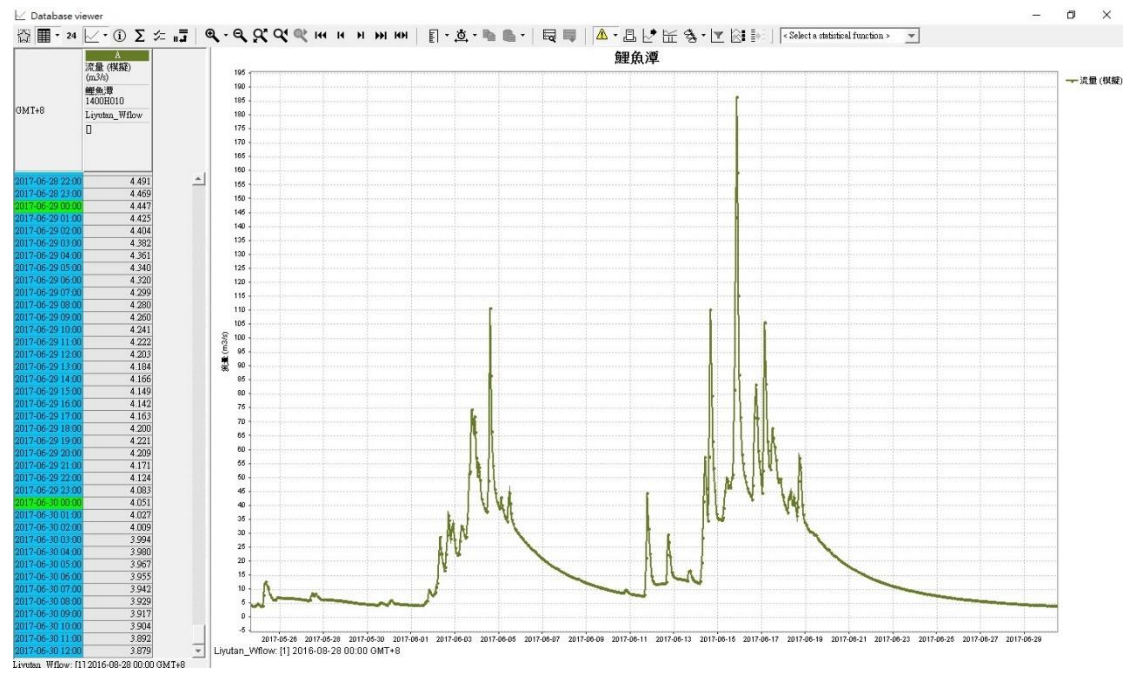


圖 4-8 鯉魚潭水庫集水區流量成果展

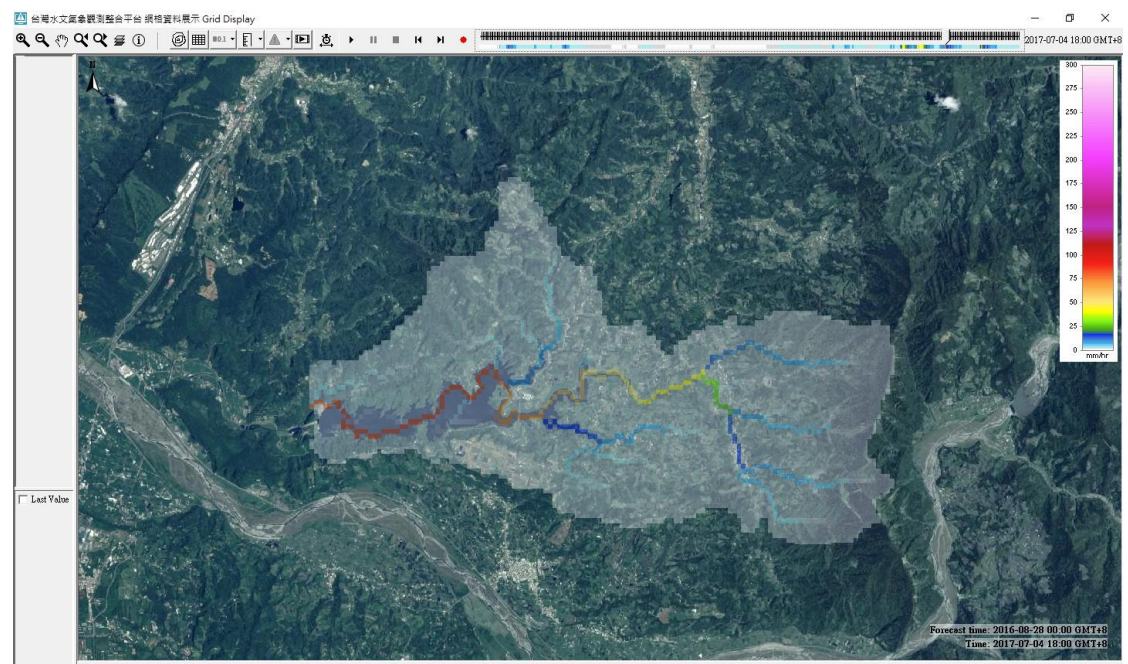


圖 4-9 鯉魚潭水庫集水區流量空間分布展示

第五章 颱風豪雨應用案例測試驗證與成果持續供應 架構

在分布式降雨逕流模式與平台建立完成後，進行作業化成果的供應測試。

第一節 颱風豪雨案例測試與驗證

在計畫執行階段將優先利用水土保持局與氣象局及水利署共同合作的 QPESUMS 系統之雷達降雨產品，進行颱風豪雨事件的測試驗證。並選擇水庫集水區在颱風豪雨事件較大的降雨事件進行短延時的水庫入流量模擬成果比對分析(使用案例分別為 2013 蘇力、2012 蘇拉、2008 辛樂克颱風)。同時進行水庫集水區土石流潛勢溪流與農塘流量資訊的成果檢視。在水庫入流量資訊使用 Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (NSE)效率係數進行成果說明計算公式如 5.1 所示

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \overline{Q_o})^2} \quad (5.1)$$

Q_o ：觀測流量， Q_m ：模式模擬流量， $\overline{Q_o}$ ：觀測值平均

在 2013 年蘇力颱風路經如圖 5-1，主要影響時間約為 7 月 12 日至 7 月 14 日，累積降雨約 476.5mm，最大時雨量 43mm 發生在 7 月 13 日 10 時。觀測流最大為 414.3 (CMS) 發生在 7 月 13 日 12 時與最大觀測降雨量發生時間約有 2 個小時間差。

而模擬流量中，100M 與 20M 專案中最大洪峰流量分別為，349.4CMS 與 403.0CMS，與觀測中最大流量分別差異為 64CMS 與 11.3CMS。最大洪峰發生的時間差為 1 小時，100M 專案提早一小時。100M 與 20M 專案 NSE 效率係數分別為 0.348 與 0.4426。計算成果如圖 5-2 所示，降雨量與流量數據內容彙整，如表 5-1 所示。

如圖 5-3 2012 年蘇拉颱風路徑，主要影響時間約為 8 月 1 日至 8 月 3 日累積降雨約 663.2mm，最大時雨量 39.7mm 發生在 8 月 2 日 16 時。觀測流最大為 553.14 (CMS) 發生在 8 月 2 日 20 時與最大觀測降雨量發生時間約有 4 個小時間差。而模擬流量中 100M 與 20M 專案中最大洪峰流量分別為，436.46CMS 與 472.82CMS，與觀測中最大流量分別差異為 116.68CMS 與 80.32CMS。最大洪峰發生的時間差為 2 小時，模擬成果較觀測成果延遲 2 兩時。100M 與 20M 專案 NSE 效率係數分別為 0.747 與 0.846。計算成果如圖 5-4 2012 年蘇拉颱風降雨量與流量成果比對所示，降雨量與流量數據內容，彙整如表 5-2 2012 年蘇拉颱風案例模擬成果所示。

在 2008 辛樂克颱風路經如圖 5-5 所示，主要影響研究區域時間約為 9 月 12 日至 9 月 15 日累積降雨約 830.4mm，最大時雨量 56.3mm 發生在 9 月 14 日 19 時。觀測流最大為 763.8 (CMS) 發生在 9 月 14 日 18 時與最大觀測降雨量發生時間約有 1 個小時間差。而模擬流量

中 100M 與 20M 專案中最大洪峰流量分別為，631.55CMS 與 619.12CMS，與觀測中最大流量分別差異為 132.55CMS 與 144.68CMS。最大洪峰發生的時間差為 1~2 小時，100M 專案最大流與最大降雨尖峰發生時間相同一小時，但 20M 專案最大洪峰延遲 2 小時。100M 與 20M 專案 NSE 效率係數分別為 0.712 與 0.77。計算成果如圖 5-6 辛樂克颱風（2008）降雨量與流量成果比對所示，降雨量與流量數據內容彙整，如表 5-3 所示。

而在鯉魚潭水庫集水區土石流潛勢溪流編號為苗栗縣 DF056。其集水區範圍，如圖 5-7 所示。表 5-4 與圖 5-8~圖 5-10 分別為三場颱風事件，推估之降雨量與對應流量資訊。20M 專案與 100M 專案所計算之流量成果推相似。同時進一步針對水庫集水區內前 10 大農塘流量推估成果進行探討圖 5-11，利用三場事件於農塘所在位置點計算流量成果進行彙整，而表 5-5 發現在編號 1,7,37 等三個農塘之位置，在 20M 解析度專案中不在主支流的位置點上，對應模擬計算之流量相對較小。在 100M 解析度專案中網格解析度較低，對應流量差異較不明顯。圖 5-13~圖 5-19 所示分別為農塘點位於 20 公尺與 100 公尺解析度網格位置之分布情況。由農塘 3 與農塘 4 的模擬成果中，農塘 3 模擬流量資訊在 20 公尺解析度上模擬成果流量較 100 公尺解析度數值大，如圖 5-20。農塘 5 與農塘 7 模擬成果中，農塘 7 位置點並未在主

要流路上，在 20 公尺解析度流量模擬較 100 公尺解析度模擬流量為低，農塘 5 兩種解析度模擬成果相似，如圖 5-21。由於模式資料解析度的不同，當使用在 20 公尺解析度資料，農塘位置點若未在降雨逕流模式中的主要的匯入流網格中（主要流路上），流量模擬數值會較低，可以有效突顯不同空間解析度下流量空間分布的特性與差異。因此推估農塘流量資訊時，建議使用較高解析度資料進行分析在研究中建議使用 20 公尺解析度資料。而土石流潛勢溪之流量推由於集水區面積較大，受模式空間尺度大小影響較不顯著。

表 5-1 2013 年蘇力颱風案例模擬成果

	降雨量(mm)	100M(CMS)	20M(CMS)	觀測(CMS)
最大值	43	349.4	403.0	414.3
最大值發生時間	07-13-10:00	07-13 11:00	07-13 12:00	07-13 12:00
總降雨量	476.5	-	-	-
效率係數(NSE)	-	0.348	0.4426	-

表 5-2 2012 年蘇拉颱風案例模擬成果

	降雨量(mm)	100M(CMS)	20M(CMS)	觀測(CMS)
最大值	39.7	436.46	472.82	553.14
最大值發生時間	08-02 16:00	08-02 22:00	08-02 22:00	08-02 20:00
總降雨量	663.2	-	-	-
效率係數(NSE)	-	0.747	0.846	-

表 5-3 2008 年辛樂克颱風案例模擬成果

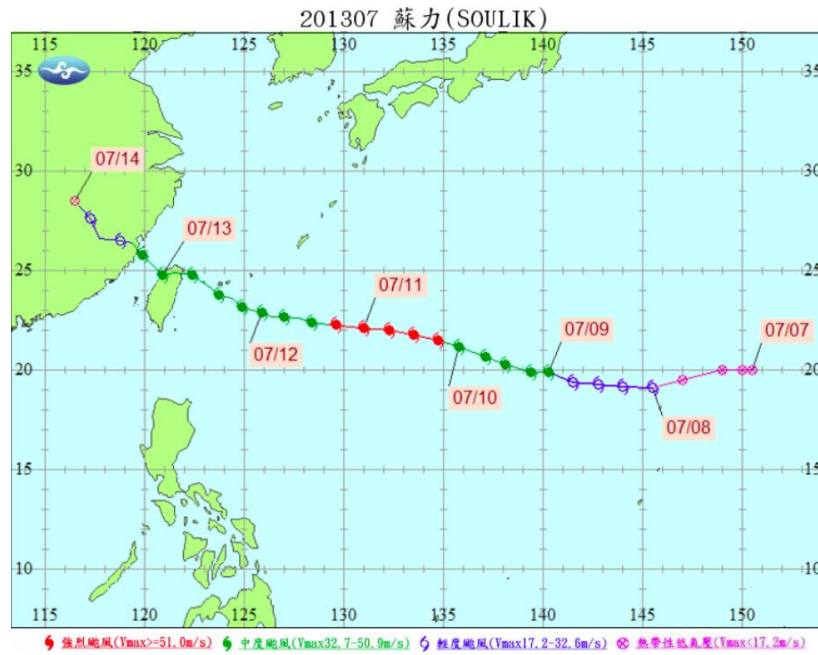
	降雨量(mm)	100M(CMS)	20M(CMS)	觀測(CMS)
最大值	56.3	631.55	619.12	763.8
最大值發生時間	09-14 19:00	09-14 19:00	09-14 21:00	09-14 18:00
總降雨量	830.4	-	-	-
效率係數(NSE)	-	0.712	0.77	-

表 5-4 土石流潛勢溪流降雨量與流量推估成果

		降雨量 (mm)	20M(CMS)	100M(CMS)
蘇力 2013	累積	532.9		
	最大	47.2	33.327	29.267
蘇拉 2012	累積	662.8		
	最大	44.4	33.6	33.8
辛樂克 2008	累積	894.3		
	最大	59.6	44.969	45.472

表 5-5 農塘流量推估成果

	蘇力 2013		蘇拉 2012		辛樂克 2008	
農塘編號	20M (CMS)	100M (CMS)	20M (CMS)	100M (CMS)	20M (CMS)	100M (CMS)
SWCB_POND_1	0.004	0.4	0.004	0.61	0.006	0.889
SWCB_POND_21	0.129	0.091	0.155	0.082	0.247	0.128
SWCB_POND_26	0.1	0.454	0.103	0.674	0.156	0.934
SWCB_POND_3	0.509	0.114	0.532	0.099	0.82	0.147
SWCB_POND_37	0.004	0.291	0.004	0.245	0.005	0.463
SWCB_POND_4	0.165	0.109	0.171	0.097	0.265	0.142
SWCB_POND_5	0.395	0.479	0.43	0.531	0.645	0.746
SWCB_POND_6	0.745	0.992	0.792	1.252	1.291	1.738
SWCB_POND_7	0.015	0.425	0.013	0.423	0.019	0.593
SWCB_POND_9	0.183	0.117	0.209	0.112	0.301	0.157



資料來源：中央氣象局

圖 5-1 2013 年蘇力颱風路徑

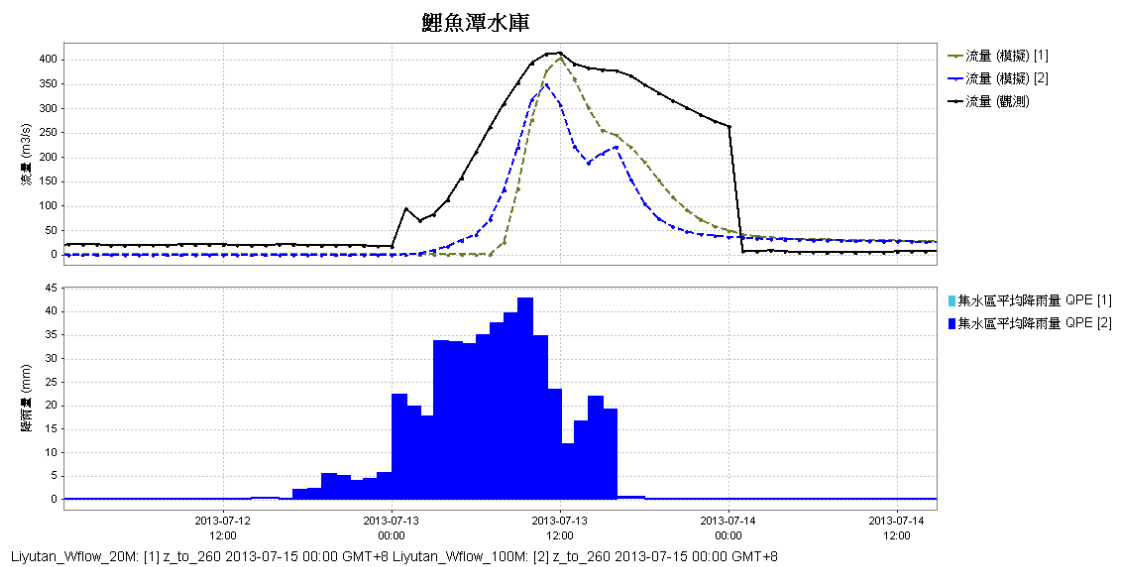
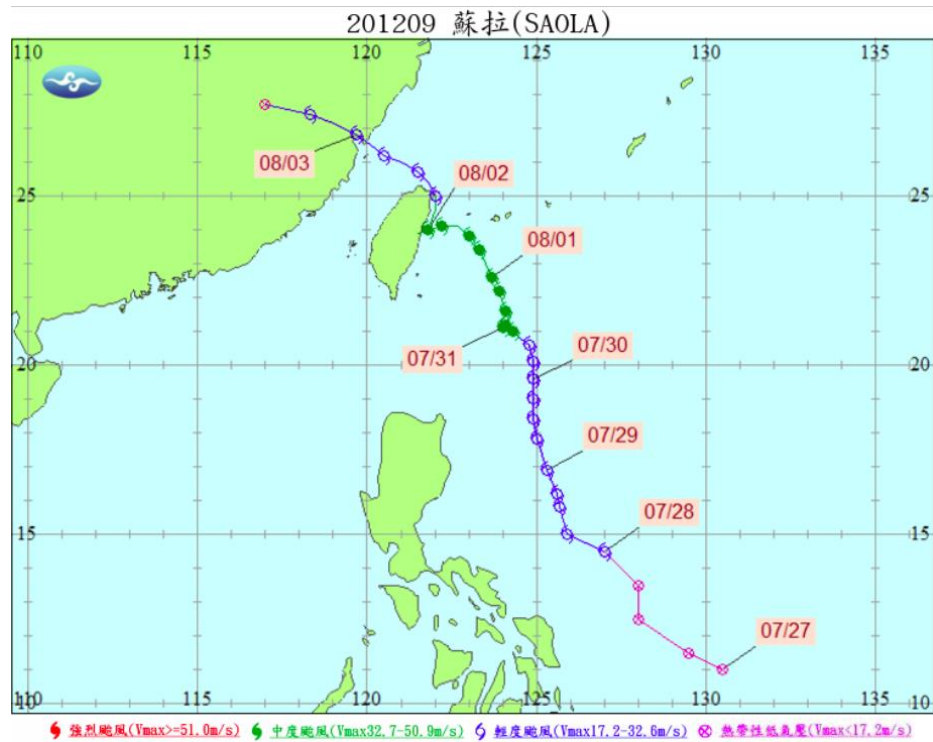


圖 5-2 2013 年蘇力颱風降雨量與流量成果比對



資料來源：中央氣象局

圖 5-3 2012 年蘇拉颱風路徑

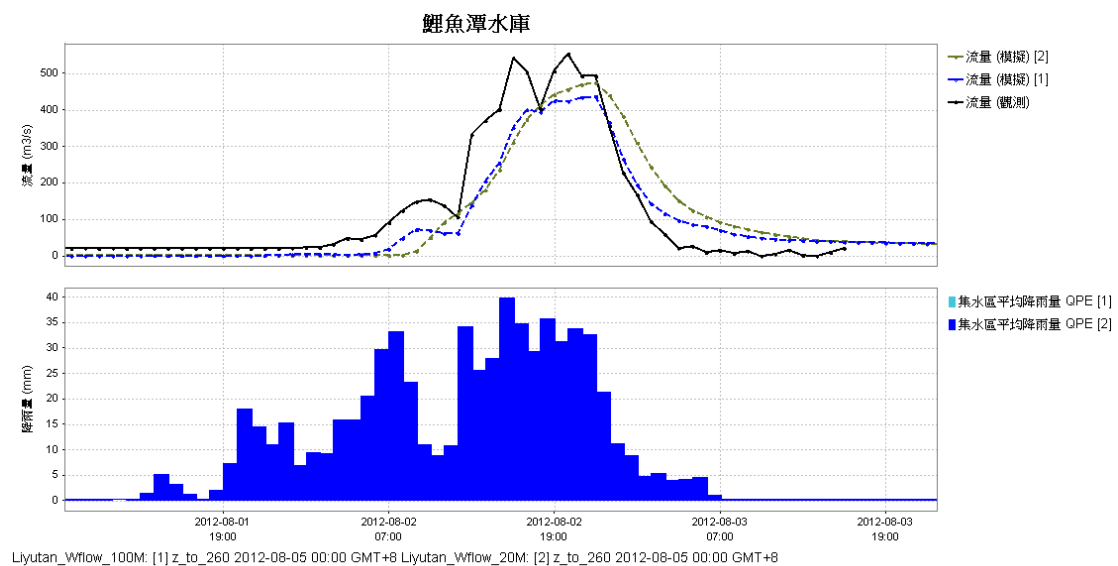
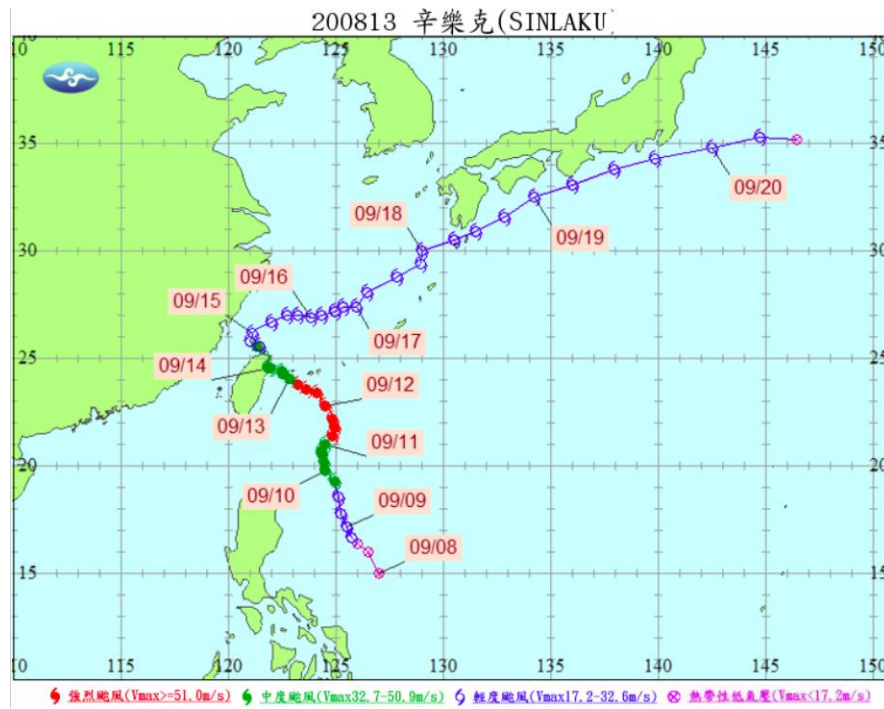


圖 5-4 2012 年蘇拉颱風降雨量與流量成果比對



資料來源：中央氣象局

圖 5-5 2008 年辛樂克颱風路徑

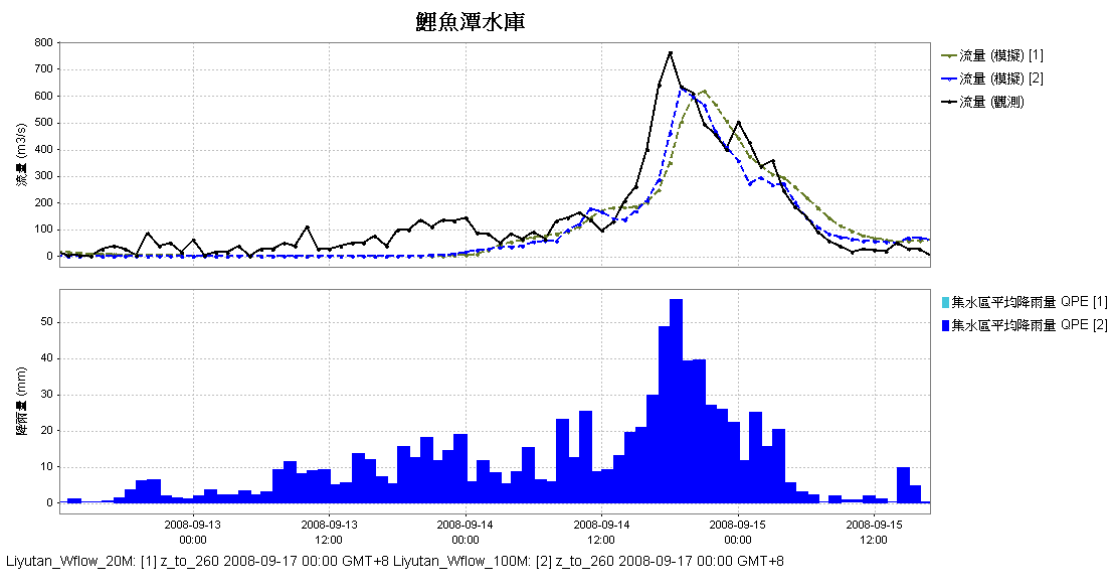


圖 5-6 辛樂克颱風（2008）降雨量與流量成果比對

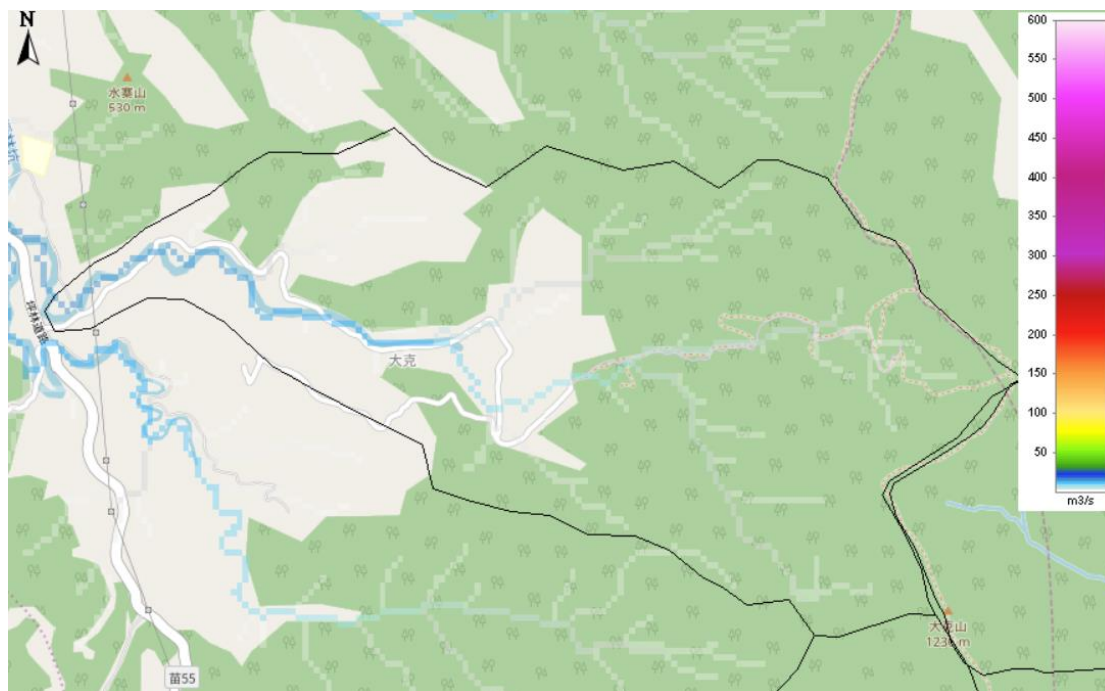


圖 5-7 土石流潛勢流苗栗縣 DF056 集水區範圍

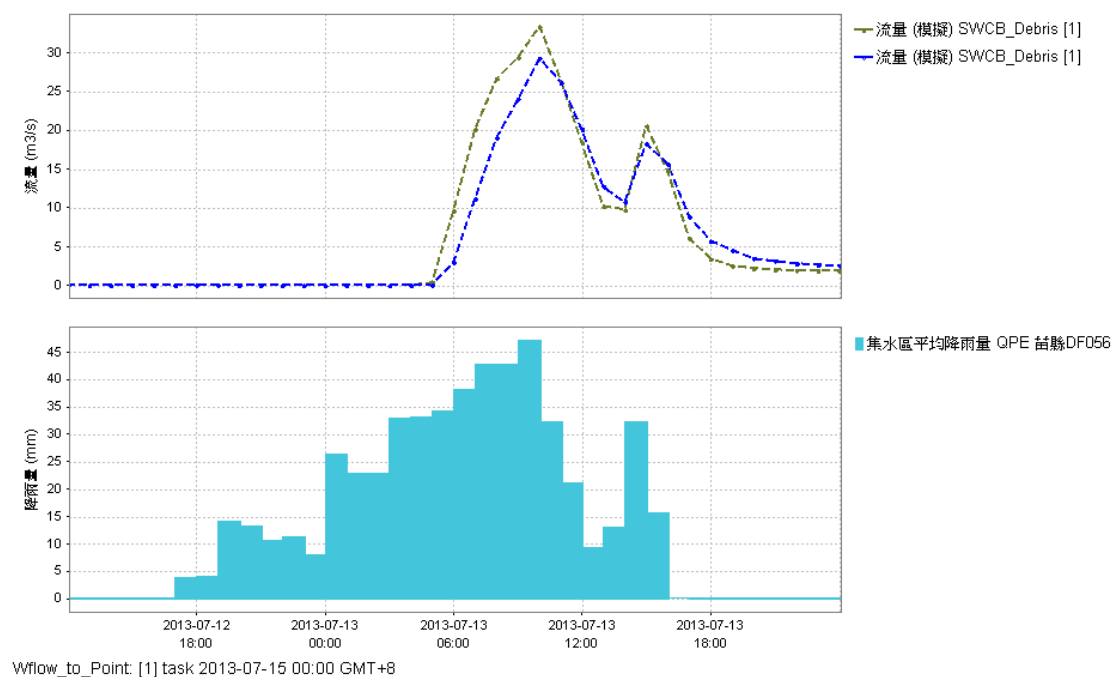


圖 5-8 2013 年蘇力颱風土石流潛勢流流量推估成果

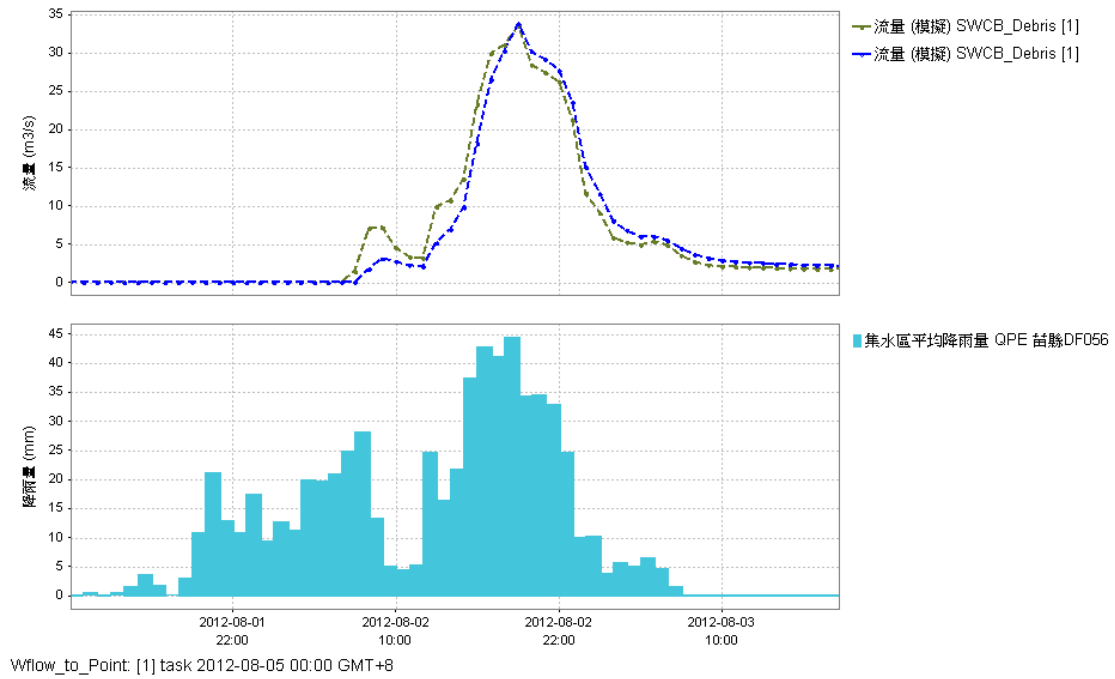


圖 5-9 2012 年蘇拉颱風土石流潛勢流流量推估成果

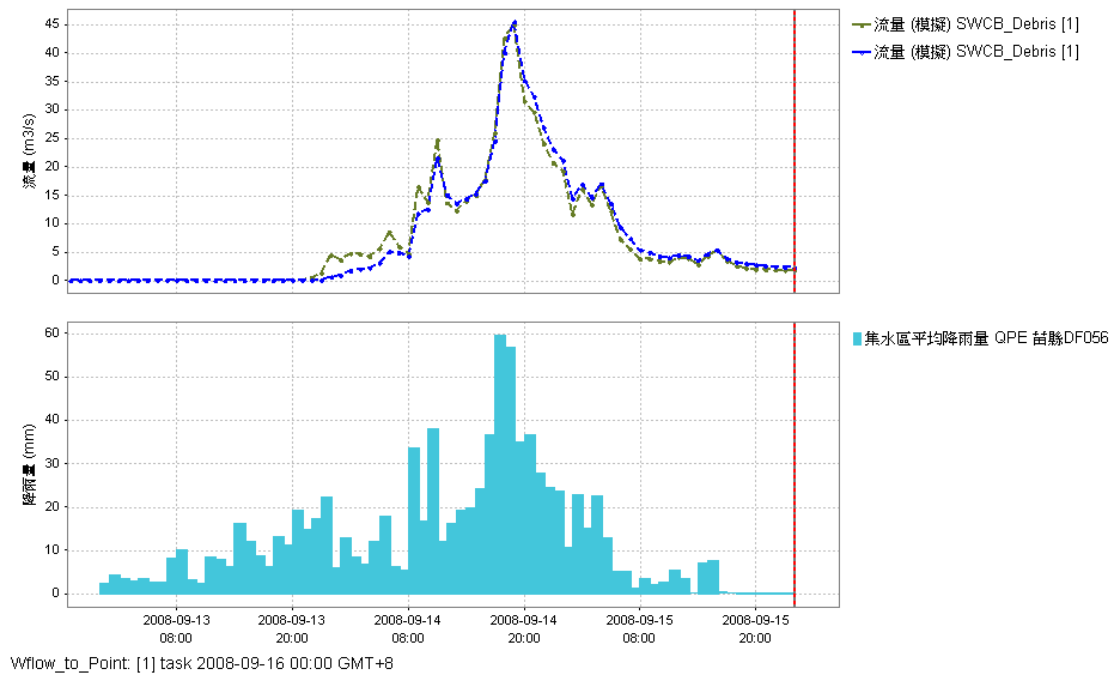


圖 5-10 2008 年辛樂克颱風土石流潛勢流流量推估成果



圖 5-11 水庫集水區農塘與土石流潛勢溪流量輸出位置點

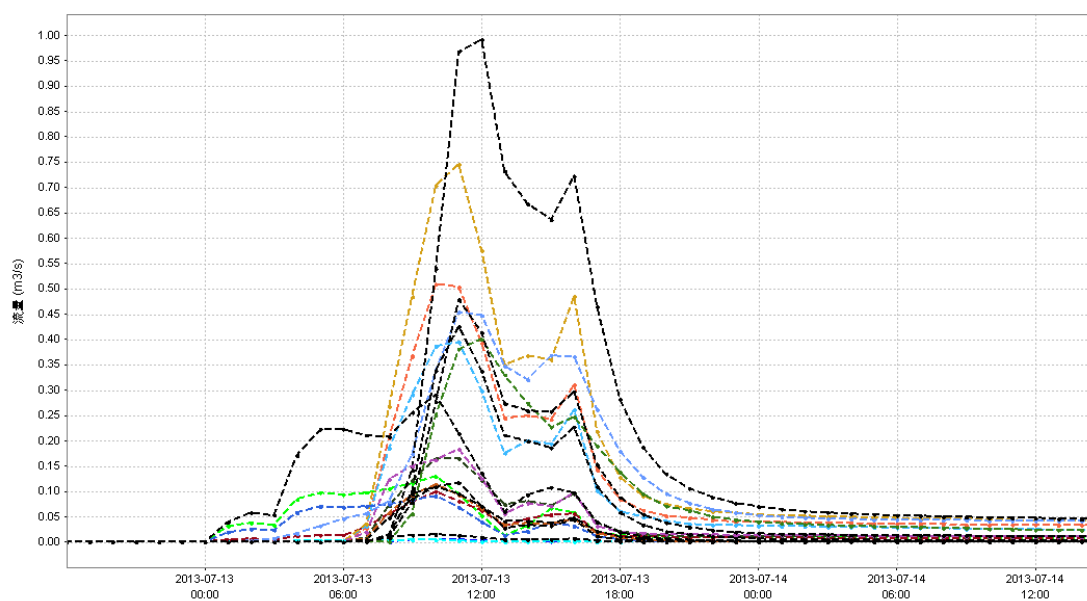


圖 5-12 蘇力颱風水庫集水區各農塘流量推估成果

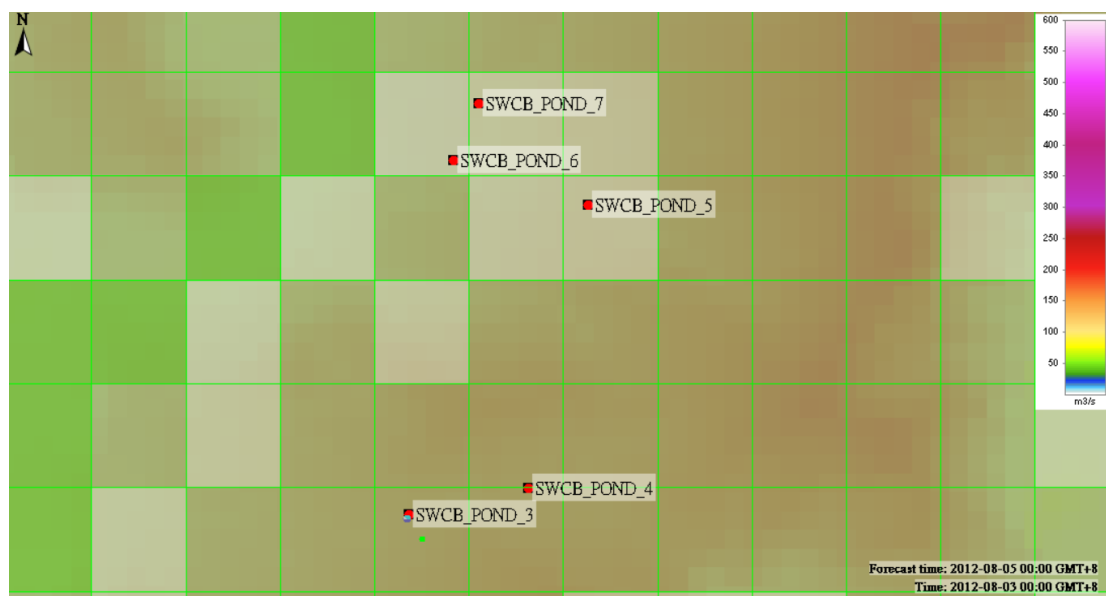


圖 5-13 水庫集水區農塘流量 100M 專案網格計算成果 1

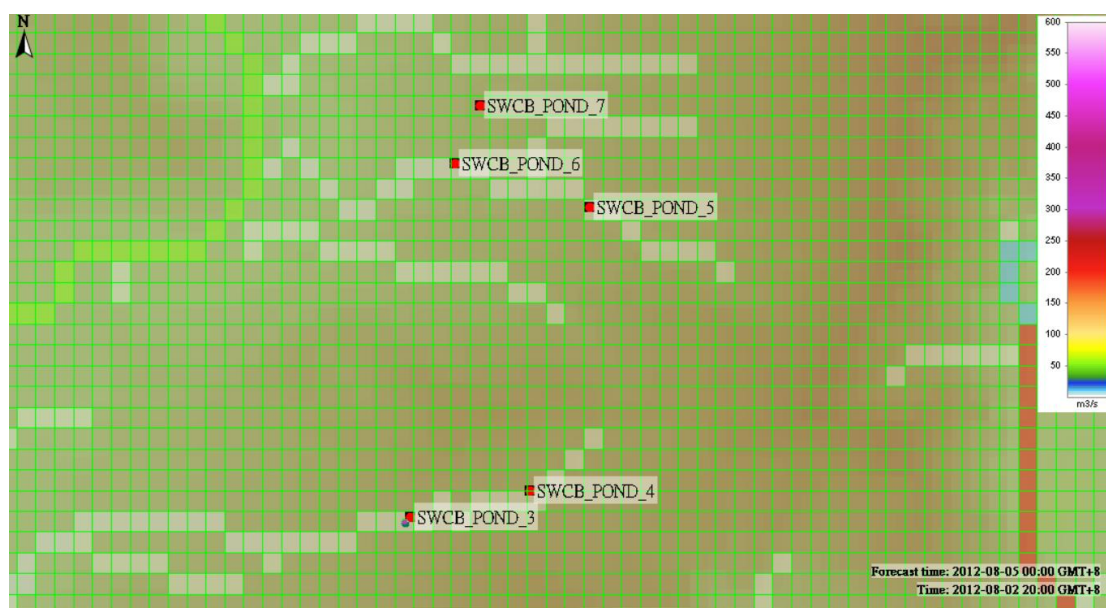


圖 5-14 水庫集水區農塘流量 20M 專案網格計算成果 1

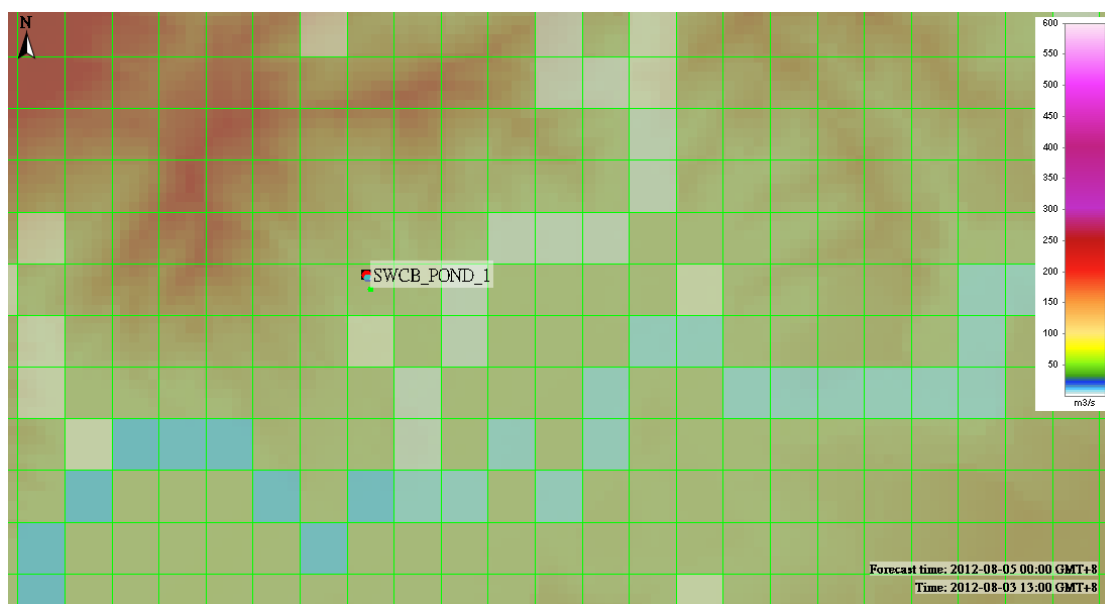


圖 5-15 水庫集水區農塘流量 100M 專案網格計算成果 2

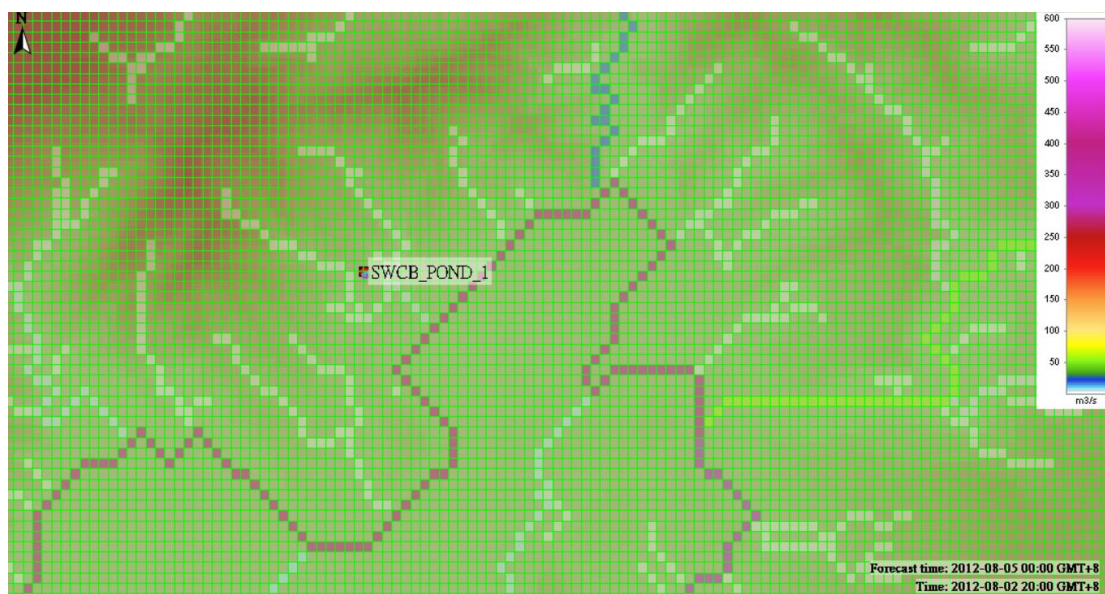


圖 5-16 水庫集水區農塘流量 20M 專案網格計算成果 2

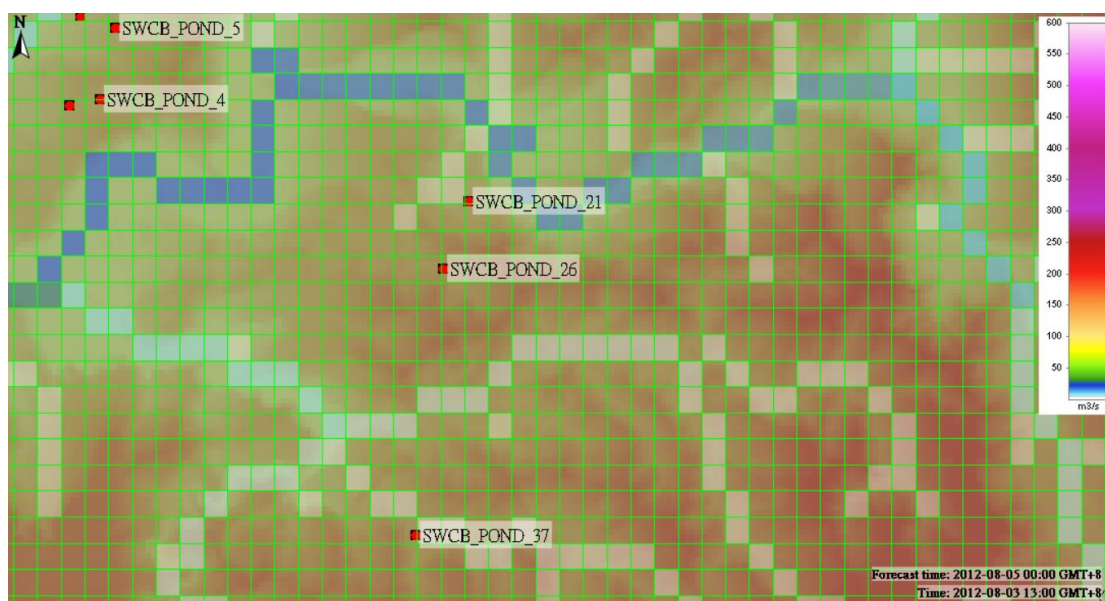


圖 5-17 水庫集水區農塘流量 100M 專案網格計算成果 3

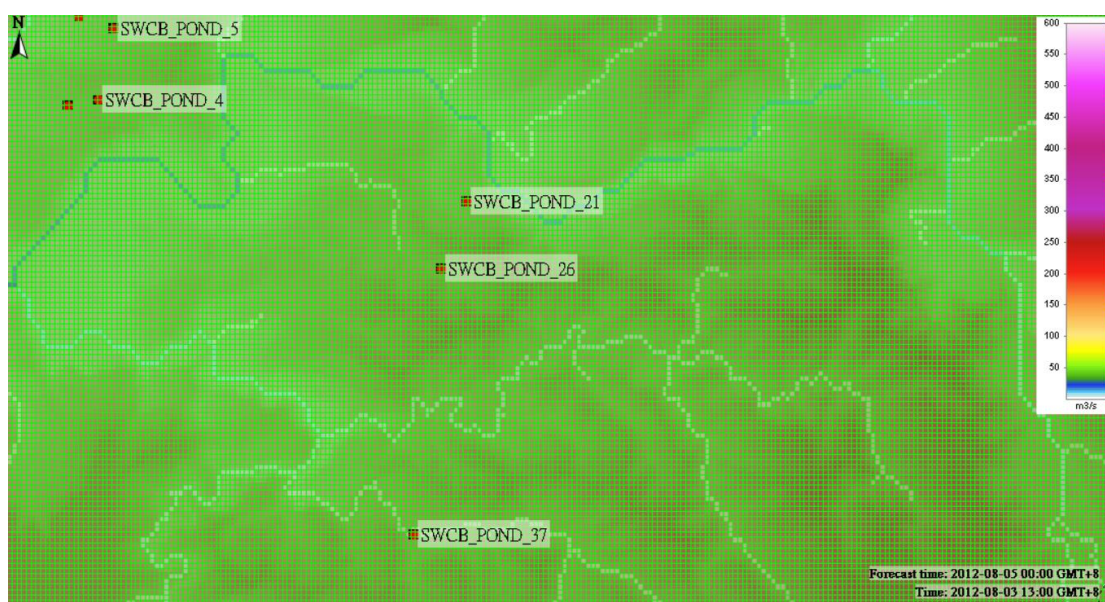


圖 5-18 水庫集水區農塘流量 20M 專案網格計算成果 3



圖 5-19 農塘流量推差異較大點位 20M 與 100M 網格位置分布

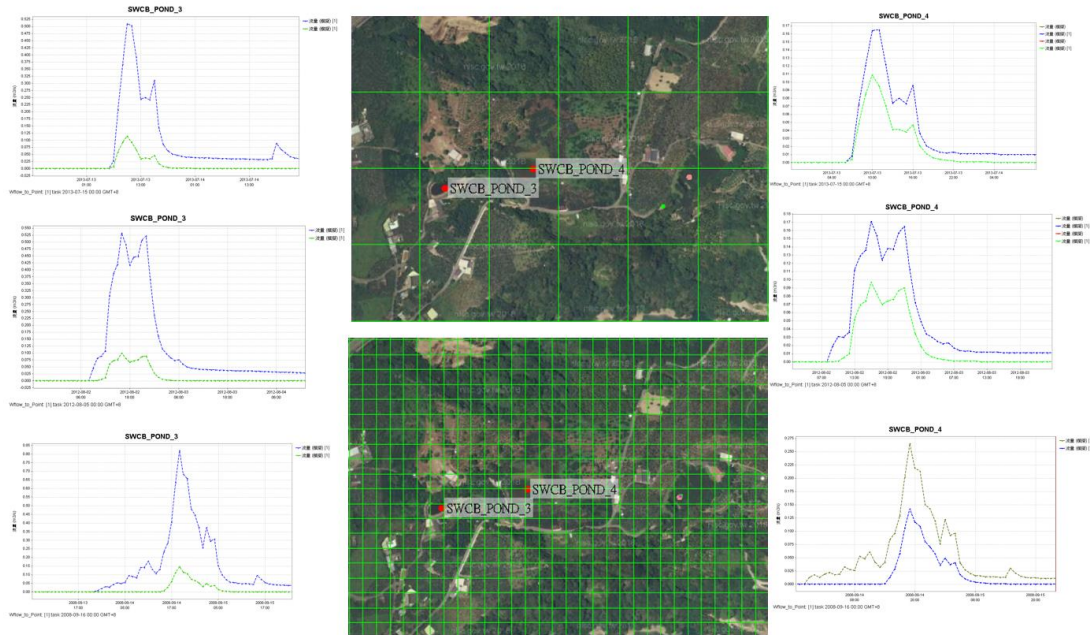


圖 5-20 各颱風事件在農塘 3 與農塘 4 不同解析度流量計算成果

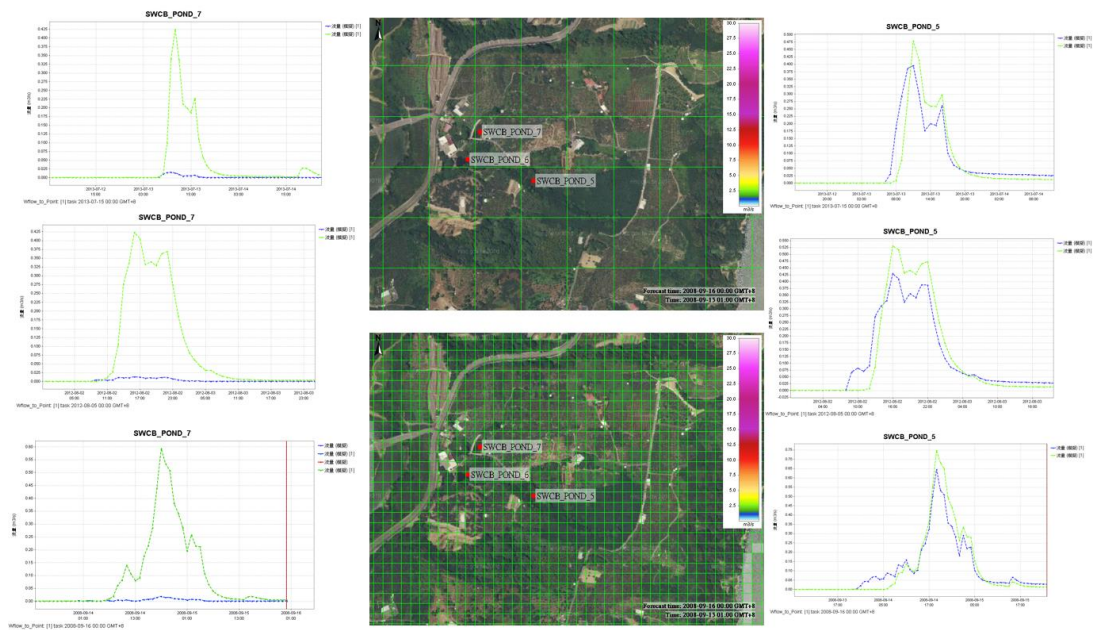


圖 5-21 各颱風事件在農塘 7 與農塘 5 不同解析度流量計算成果

第二節 成果持續供應架構

針對未來自動化持續作業的可行性與方式進行說明。目前已經完成鯉魚潭水庫 100 公尺與 20 公尺兩種解析度的分布式降雨逕流模式建置。並且與 Delft-FEWS 完成自動化串接流程。後續持續取得 QPESUMS 降雨量資料內容，即可透過自動化流程進行水庫集水區流量資訊的供應計算，如圖 5-22 所示。以利後續持續提供水庫集水區土石流潛勢溪流與農塘時間與空間分布的流量資訊。為了有效掌握農塘與土石流潛勢溪可能的流量資訊，後續可以進一步參考美國 NOAA National Water Model 概念，如圖 5-23，完成全臺分布降雨逕流模式建置，每一個網格點上均可以提供短、中、長期完整的流量參考資訊，並且搭配現場觀測儀器與基礎資料的更新提昇流量正確性。同時應用 UCAR 所發展的 THREDDS Data Server 目錄式資料儲存服務架構，可以有效將 QPESUMS 成果與流量計算成果與各單位進行分享與整合。

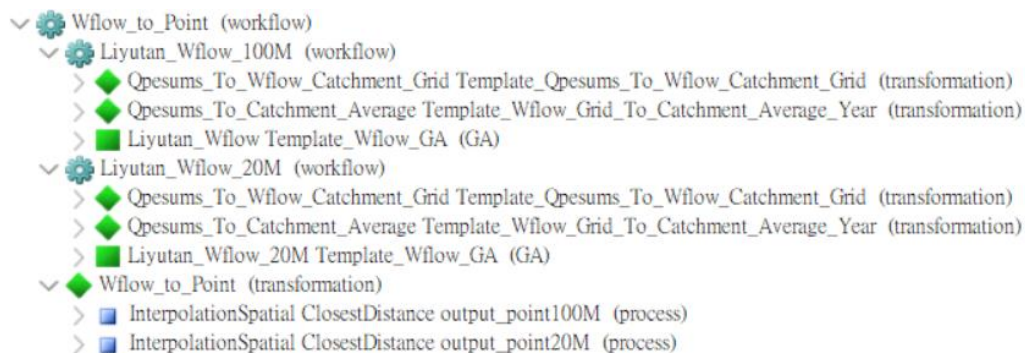


圖 5-22 鯉魚潭水庫模式與資料處理自動化作業流程架構

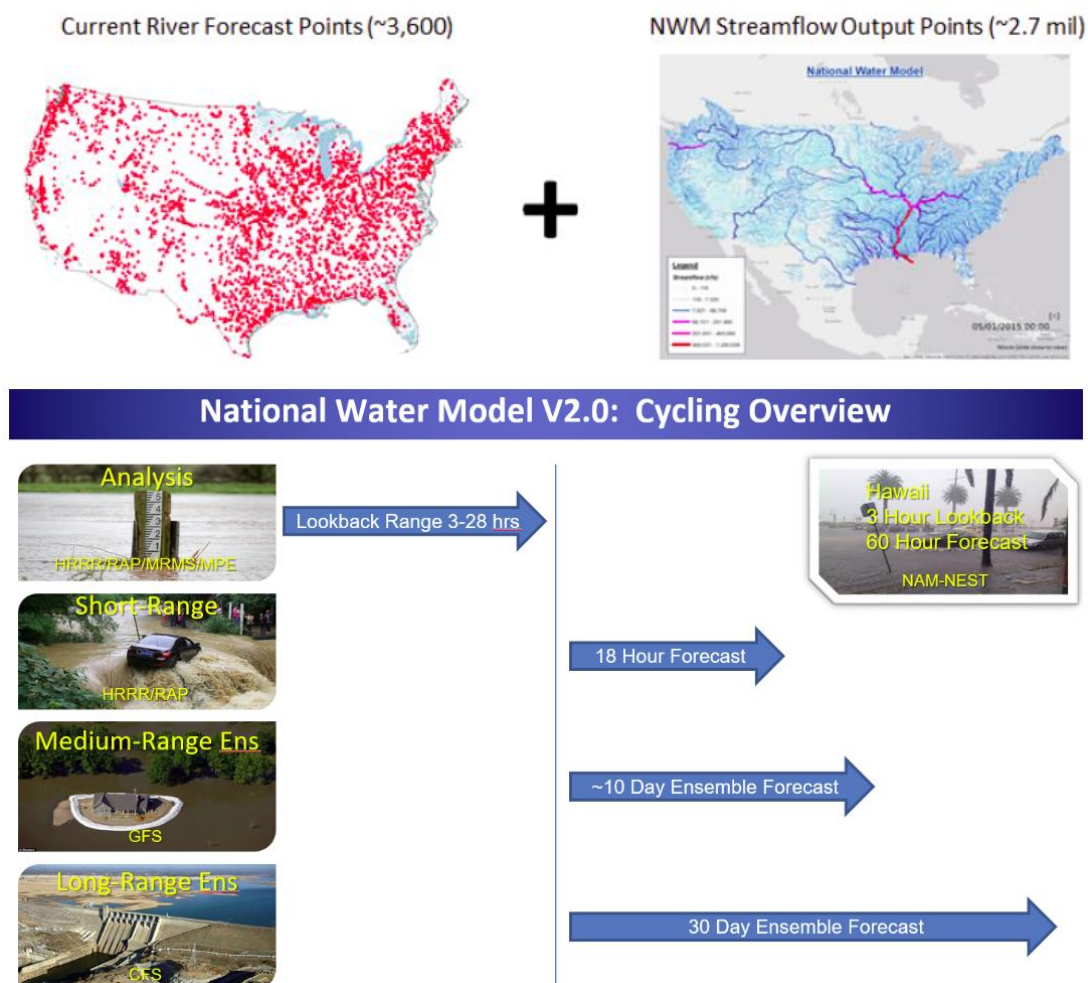


圖 5-23 美國 NOAA National Water Model 概念

第六章 工作進度與交付項目

第一節 計畫甘特圖

配合報告工作項目內容，集水區資料收集彙整、Wflow 分布式降雨逕流模式建置、Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台整合、颱風豪雨應用案例測試驗證與成果持續供應架構；與對應報告繳交時程分別為工作執行計畫書 5/10、期中報告 8/9、期末報告 11/15、成果報告 12/24 等項目。將整體計畫時程之甘特圖資訊彙整，如表 6-1 所示。

表 6-1 計畫甘特圖與實際進度對照表

工作項目		108 年										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
集水區資料收集彙整	規劃	■	■	■	■	■						
	實際	■	■	■	■	■						
Wflow 分布式降雨逕流模式建置	規劃			■	■	■	■	■	■	■	■	
	實際			■	■	■	■	■	■	■	■	
Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台整合	規劃			■	■	■	■	■	■	■	■	
	實際			■	■	■	■	■	■	■	■	
颱風豪雨應用案例測試驗證與成果持續供應架構	規劃			■	■	■	■	■	■	■	■	
	實際			■	■	■	■	■	■	■	■	
報告繳交	規劃				■			■			■	■
	實際				■			■			■	■
整體進度		5	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

第二節 計畫交付項目

計畫整體成果交付項目，除了成果報告外，同時包含鯉魚潭水庫集水區資料收集成果、鯉魚潭水庫集水區 Wflow 分布式降雨逕流模式與案例成果、應用鯉魚潭水庫集水區建置之 Delft-FEWS 平台與對應的操作說明手冊等四大項如下列所示：

(一)計畫成果報告

(二)鯉魚潭水庫集水區資料收集成果

(三)鯉魚潭水庫集水區 Wflow 分布式降雨逕流模式與案例成果

(四)鯉魚潭水庫集水區建置之 Delft-FEWS 平台與手冊

第七章 結論及建議

第一節 結論

為了有效了解農塘與土石流潛勢溪流可能的流量資訊。本年度透過鯉魚潭水庫集水區分布式降雨逕流模式建置工作。來建立水庫集水區完整的時間與空間流量分布資訊。並且應用 WFLOW 開源模式與 Delft-FEWS 自由軟體，完成資料模式與作業平台的整合工作。以下彙整本年度計畫主要成果：

一、完成鯉魚潭水庫集水區基本資料收集工作

鯉魚潭水庫集 DEM 資料（100 公尺、20 公尺）、土壤資料、土地利用、QPESUMS 降雨量資料、水庫集水區入流資訊。

二、完成鯉魚潭水庫集水區分布式降雨逕流模式的建置

應用開源分布式降雨逕流模式（WFLOW）完成 20 公尺解析度與 100 公尺解析度模式建置工作。並且利用 QPESUMS 觀測降雨量資料作為模式雨量資料來源。提供水庫集水區完整空間流量分布資訊。

三、完成鯉魚潭水庫集水區分布式降雨逕流模式自動化作業流程的整合

利用 Delft-FEWS 平台完成 WFLOW 模式輸入、運算、輸出流程的自動化整合工作。提供使用者可以透過時間軸動

態方式檢視雷達降雨量空間分布與流量空間分布情況。並且可以產出水庫集水區、土石流潛勢溪流、農塘等流量資訊內容。

四、颱風豪雨案例驗證與成果持續供應流程

計畫中利用 2013 蘇力、2012 蘇拉、2008 辛樂克颱風事件，進行水庫入流量與模式計算成果的檢核與驗證。在 NSE 效率係數上除 2013 蘇力颱風事件未達 0.5 外，在 2012 蘇拉、2008 辛樂克颱風事件，20 公尺解析度與 100 公尺解析度模式計算水庫入量 NSE 效率係數達到 0.7 以上。表示在模式具有一定程度的正確性與可靠度。後續搭配自動化作業流程，可自動完成相關模式成果計算與供應。

第二節 建議

一、持續進行模式資料與範圍成果更新

本年度完成模式與平台建置工作，可以自動化提供完整的水庫集水區降雨與流量空間與時間分布資訊。建議持續利用觀測資料計算水庫集水區降雨量與流量成果。並且擴增到全臺不同流域集水區範圍，以提昇模式與平台整合的效益。並且搭配不同使用需求，應用不同空間解析度網格進行流量推估分析應用。

二、建立山坡地短中長期完整流量資訊

為了有效了解與應用管轄區域之流量資訊作為相關治理規劃與保水空間應用，建議可參考美國 NOAA National Water Model 架構概念，建立山坡地流域集水區完整的短、中、長期流量資訊成果。提供所屬單位在工程設計與防災整備上應用。

三、基礎資料整合與開放

在基礎資料的收集上，目前國內已經有相當多開放資料與來源，但資料分散在不同管理單位中。以土壤資料為例，目前主要供應單位為行政院農業委員會農業試驗所，建議相關資料內容可以與水土保持局發展的 Big GIS 巨量空間資訊系統加以整合，不只是提供坡地土壤圖，還可提供更完整範圍的土壤資訊，並且參考世界土壤資訊中心網站(soilgrids.org)，提供不同厚度的土壤查詢成果，將有助於整體環境資料整合的應用。

參考文獻

1. 黃冠智，碩士論文，建立開源分布式降雨逕流模式於水情測預報平台之研究，國立臺北科技大學，2017。
2. 梁博超，碩士論文，整合資料同化與分布式降雨逕流模式於水情測預報平台之研究，國立臺北科技大學，2015。
3. Wflow 網站，<https://oss.deltares.nl/web/wflow> , 2019
4. Wflow 使用手冊，
https://wflow.readthedocs.io/en/latest/wflow_sbm.html
5. Delft_FEWS 網站，<https://oss.deltares.nl/web/delft-fews/> ,2019
6. Adams, T. E., Chen, S., and Dymond, R, Results from Operational Hydrologic Forecasts Using the NOAA/NWS OHRFC Ohio River Community HEC-RAS Model, Journal of Hydrologic Engineering, 23(7), 04018028, 2018.
7. Vertessy, R. A., and Elsenbeer, H, Distributed modeling of storm flow generation in an Amazonian rain forest catchment: Effects of model parameterization.” Water Resources Research, 35(7), 2173–2187,1999.
8. Werner, M., Schellekens, J., Gijsbers, P., van Dijk, M., van den Akker, O., and Heynert, K, The Delft-FEWS flow forecasting system, Environmental Modelling & Software, 40, 65–77, 2013.
9. Noah J. Finnegan et al 2005 Controls on the channel width of rivers: Implications for modeling fluvial incision of bedrock”

10. Wigmosta, M. S., L. J. Lane, J. D. Tagestad, and A. M. Coleman, Hydrologic and erosion models to assess land use and management practices affecting soil erosion, Journal of Hydrologic Engineering, 14(1), 27-41, 2009.
11. 政府資料開放平台，<https://data.gov.tw/datasets/search?q=DEM>，
[2019](#)
12. 經濟部水利署水資料分享網站，
<http://wise.wra.gov.tw/dataset/catchmentareaofliyutanreservoir>，
[2019](#)
13. 內政部資料開放平台國土利用調查成果
<https://data.moi.gov.tw/MoiOD/Data/DataDetail.aspx?oid=AFE32870-721A-4368-B2A9-D762B8CC4B69>
14. The National Water Model，<https://water.noaa.gov/about/nwm>，
[2019](#)
15. THREDDS Data Server (TDS)，
<https://www.unidata.ucar.edu/software/tds/current/>, 2019

附錄

附錄一 期初審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	委員意見	意見回覆情形
報告內容審查意見：		
一	DEM 網格能否使用 20 m x 20 m，以適切呈現地形與河道。	感謝委員建議，在計畫原先構想上，優先測試水庫集水區流域流量推估之合理性，接著進行對應流域範圍內的土石流潛勢溪流與農塘位置點流量的推估工作，而為了減少因河川匯流所造成的流量差異的影響，因此選擇水庫集水區範圍進行測試。在模式上配合相關基礎資料如土地利用、土壤類型等資解析度，優先使用 100m 進行模式測試與驗證，以確認模式在集水區流量推估之可行性。模式可以依照需求調整對應 DEM 網格大小，以進行較高解析度的資料計算工作，但相關基礎參數的空間解析度也需要適度搭配才能有效提升模擬成果的完整性。配工作執行計畫書審查委員建議利用 20m 網格進行，模式建置以有效推估農塘為置之流量。目前在期中報告中完成模式的建置與測試工作。後續將持續進行 20m 資料的驗證與測試。
二	能否評估農塘的滯洪效果？	在本年度計畫，將優先評估模式推估農塘與土石流潛勢溪流所在位置與區域的流量的資訊，有關滯洪效果後續還需要進一步取得農塘水位變化與與蓄水方式及蓄水量資訊等內容才能進行滯洪效果評估。
三	僅使用 3 場颱風豪雨事件流量作認證，是否應加入非極端事件之流量？	感謝委員建議，在模式資料分析過程中可以進行長時間模擬與短時間的極端事件模擬，報告後續將呈現長時間資料模擬的成果與對應短延時的極端事件資料模擬成果。

項次	委員意見	意見回覆情形
四	後續技術轉移或維運方式為何？	後續將提供完整單機版系統，與相關使用操作手冊給水土保持局同仁使用，後續建議可以搭配種子工程師與教育訓練方式進行技術移轉。而維運方式當平臺與模式建置完成後，可以安裝在伺服器主機上，進行自動化排程運作，定期檢視與確認資料模擬成果，並且配合相關環境監測資料的定期更新，更新模式基礎資料與對應之參數內容，以持續提升模式的可靠度與正確性。
五	Wflow 模式之基本假設及使用限制建請補充。	相關內容請參閱報告與附錄內容。
六	引進模式的關鍵在於其參數的取得和檢定路徑，試說明之。	感謝委員建議，在選擇 WFLOW 模式時，主要考量模式建置過程中，是否可以方便取得模式建模過程中所需資料與對應的參數資訊相關內容請參閱報告。
七	建議以附錄試說明 Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台的相間內容。	相關內容請參閱報告與附錄內容
八	此模式對於小集水區的應用是否有相關文獻；此外，應用於農塘時，集水區範圍如何確定呢？	目前使用 WFLOW 模式的 SBM 模組其概念遵循 topog_sbm 模式，該模式可用於小集水區，在相關論文中指出在應用的小集水區面積 0.75 公頃，相關文獻請參閱參考文獻資訊。而有關農塘集水區範圍，的確認，目前在模式中透過 D8 網格方式進行流量的推估工作，當農塘集水區位於模式專案區域範圍內，會利用網格對應的農塘最鄰近的點位(或下游的點位)，作為代表該農塘之流量資訊點為。
九	為何採用鯉魚潭水庫做為演算案例，這與題目名稱似較不相符。	在分析過程中，為了減少模式分析過程中其它支流或河川對於下游邊界資料的影響，因此優先選擇上游水庫集水區進行分析。同時選擇水庫集水區具有土石流潛勢溪流與農塘。
十	建請把模式參數的敏感度分析文獻列出。	感謝委員建議，在模式使用手冊中有提到主要影響參數為 M、Manning N、KSAT、FirstZoneCapacity、RunoffGeneratingGWPerC 等參數內容，而模式敏感度相關參考文獻

項次	委員意見	意見回覆情形
十一	水庫集水區面積較大，對於外營利之反應有時間延遲性，研究標的為土石流潛勢溪流及農塘，故應推演小面積推估模式；農塘除選擇前十大農塘，建請評估選擇中小型農塘，做為陡坡地形推廣構築小型、多量農塘，以達到全面保水，降低洪峰之成效。	感謝委委員建議，使用水庫集水區的目的主要作為模式流量推估合理性與參數資料驗證的參考。透過分布式降雨逕流模式建置的成果，可以針對模式集水區範圍內的任意網格點進行流量的查詢。後續搭配不同解析度的網格提供農塘與土石流潛勢溪流量推估流量成果。
十二	台中分局近年農塘調查分析成果，建請納入研究參據。	感謝委員建議，目前選用的分析農塘資料成果即參考臺中分局中苗地區重要水庫集水區農塘保水優化及農塘活化計畫之成果。
十三	Wflow 之網格為 100 m x 100 m (一公頃) 是否足夠模擬坡面及不同級序下之集水區降雨逕流特性？	感謝委員建議，使用 100m x100m 網格在整體集水區分析過程成中可以呈現較集塊式降雨逕流模式完整的流量空間分布資訊。河川級序較小的區域可能會有所不足，因此需要配合分析探討目標內容選擇合適的 DEM 網格大小。
十四	入滲條件或地下水效應宜加入考慮。	感謝委員建議，有關入滲與地下水的效應在模式中有考慮其影響。
十五	溪流起點如何確定？模式是否有案例驗證其可行性，建請於期中報告補充。	在模式中主要透過數值高程模型進行水系流路的建置工作，可以配向量圖資資料進行數值地形的修正。整體模式集水區建置方式可以透過單點方式(指定最下游點位)。或框選方式建立對應集水區專案模式資料。
十六	Wflow 降雨逕流模式，其使用參數是否有足夠事件資料進行率定與驗證。	感謝委員建議，在資料驗證與比對上，工作上配合其出審查委員建議，利用長期資料比對與事件案例進行交互驗證。
十七	模式之輸出為網格式流量，是否有農塘監測流量資料，可供比對。	本年度優先建立流量推估之架構，後續將持續配合水保局相關研究成果評估可能的監測流量來源以便與計算模擬成果進行比對。而現階段優先利用下游大壩入流量資訊作為模式比對與驗證的參考來源。

項次	委員意見	意見回覆情形
十八	模式使用地形資料為 100 m x 100 m，則不同地形精度是否可提升預測結果？	模式本身可以支援不同空間解析度網格的應用，但主要考量是對應的土壤與土地利用等參數的完整性，是否可以與選用的數值高程模型進行搭配。提升模式使用的地形資料解析度確實可增加資料呈現的細節，但對應參數的維調與率定工作會較複雜。
十九	使用此模式推估土石流潛勢溪流流量是否有監測資料可供比對？	目前研究區域土石流潛勢溪流尚無實際觀測流量資料可以比對。
二十	以大面積集水區所得到之流量時間與空間分布資訊，於小集水區之應用，似可評估區域性熱雷雨造成山洪爆發之洪水預警的可行性，並進一步應用於山區野溪施工之防災應變。	感謝委員建議，本年度整體計畫目標是優先利用研究區域建置農塘與土石流潛勢溪流流量推估之可行性，後續可以在針對不同區域河段流量資訊提供參考資訊或針對特定區域的野溪提供流量推估工作。

附錄二 期中審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	委員意見	意見回覆情形
報告內容審查意見：		
一	附錄二中，運動波模式中， Q 之單位（ m^2/sec ）有誤，應為（ m^3/sec ）， $\beta=3/5\neq 0.5$ ，附錄頁 9 中，附 2-16 應為 2-18。另式(2-23) 假設溼周為定值，不隨 Q 而改變，其正確性應加以檢核。	感謝委員指正，相關公式內已修正。
二	應用附(2-23)，如何選擇合適的 $\Delta t, \Delta x$ 以得到正確且收斂的結果，應補充說明。	感謝委員建議。後續將進一步收集相關文獻補充說明內容。
三	推估土石流潛勢溪流之流量，其目的何在？應補充說明。圖 4-8 中 Wflow 求得鯉潭水庫集水區流量歷線，是否有與流量站檢核？其歷線變動甚大，呈鋸齒變化，應檢視其合理性。	感謝委員建議。整體計畫目標上，是應用分布是降雨逕流模式搭配平台，自動化計算集水區任一點的流量資訊成果。因此目前在農塘保水與土石流潛勢溪流分析過程中，降雨量與流量資訊都是重要的參考資訊。可作為後續分析與研判使用。目前在鯉潭水庫集水區是透過大壩入流量監測資訊作為整體模式檢定驗證參考。圖 4-8 為長期流量運算成果，當有較大降雨事件時，流量就會產生對應的變化情況，而不是短時間的模式振盪。
四	以 100m 或 20mDEM 演算出集水區之流量尖峰值差異性為何？請補充說明。	兩種不同解析度模式成果，會隨著空間解析度產生的地形變化的差異，而在流量上產生時間與數值上的差異。
五	P2-3, 表 2-2 中農塘面積資訊，農塘面積小於 01 公頃有 71 處，介於 0.1~0.3 公頃者有 3 處，本研究使用 100m*100mDEM 作為模式建置地型使用，其單位面積約大於農塘面積 10 倍，對於推估農塘流量是否合宜？請補充說明。	感謝委員建議，計畫中透過不同解析度 DEM 資料進行模式銜接主要進行農塘可能流量推估。在沒有觀測資料的情況，優先了解該區域可能的流量資訊大小。並且透過不同解析度模式成果，了解地形效應對可能產生的差異。後續流量正確性仍建議搭配儀器進行更完整的監測。
六	P3-5, 圖 3-5 之結果為使用 100m*100m DEM 所推估之流量成果，是否有實際流量站或水位站資訊可以檢核。另本研究是否有使用	感謝委員建議，目前報告中分別使用 100m*100m DEM 與 20m*20m DEM 進行水庫大壩、土石流潛勢溪流、集水區前 10 大農塘之流量推估與比對工作。以比較補同地形細致度產出的

項次	委員意見	意見回覆情形
	20m*20m 進行模式建置並推算流量,以比較不同地型精度對流量之差異性分析。	流量成果差異。
七	p5-3、圖 5-1 鯉魚潭水庫大壩流量推估結果是以 2017 年尼莎颱風事件建置,請補充水庫大壩實測流量,用以比對模式精確度。	感謝委員指正,目前報告內容已經修採用 2008 辛樂克颱風、2012 蘇拉颱風、2013 蘇力颱風。相關事件均有對應大壩實際流量監測數值進行比對。
八	P5-1 撰述應用案例使用 2008 辛樂克颱風、2012 蘇拉颱風、2013 蘇力颱風及 2017 年尼莎颱風,但在 P5-3 僅看到尼莎颱風之估算流量,其它案例請再補充說明。	感謝委員指正,報告使用 2008 辛樂克颱風、2012 蘇拉颱風、2013 蘇力颱風成果進行比對相關內容請參閱,報告第五章。
九	P5-3,此頁之模擬結果僅使用 100mDEM 資料推估,是否可與 20mDEM 建置之結果進行比對分析。	感謝委員建議,成果比對內容已經調整,100m DEM 資料成果會與 20m DEM 推估成果進行比對。相關內容請參閱報告第五章。
十	附錄頁 8,運動波模式中提及水力半徑應為 $R=A/P$,請修正,後續推導公式錯誤亦請修正。	感謝委員指正,相關公式內容已經誤植內容已經修正。

附錄三 期末審查會議紀錄暨回覆辦理情形

項次	委員意見	意見回覆情形
報告內容審查意見：		
一	建議模式針對較多歷史雨型、雨量進行再檢核、修正，未來應用會更廣。	感謝委員建議，未來持續應用更多降雨量成果進行成果比對。同時配合相關監測資料進行成果比對與修正。
二	此研究之模式約可推估出多大面積農塘點位的流量(鯉魚潭集水區約 75 口農塘，其中 50%小於 0.1ha)?請說明。	目前模式使用兩種不同解析度資料進行運算，20 公尺解析度可以計算最小網格大小為 400 平方公尺 (0.04 公頃)。100 公尺解析度可以計算最小網格大小為 10000 平方公尺 (1 公頃)。
三	此研究中推估出農塘點位的流量，後續建議可和農塘細部調查的物理資訊，如面積(容量)、深度、出入流設施(大小)等結合，推估出整個集水區在降雨事件中，坡地農塘所能提供的蓄洪、滯洪的量體及洪峰的延時以作為農塘效益的說明。	感謝委員建議，模式運算結果需要搭配現場監測資料內容，才能發揮最大效益。同時持續應用現場基礎資料進行更新與改正。未來相關重要農塘若有監測資料將可以進一步進行流量成果比對。以提供完整的集水區蓄洪、滯洪的量體及洪峰資訊的參考應用。
四	農塘如有閘門，此研究之模式能否模擬不同放流狀況之影響?請說明。	感謝委員建議，模式可以提供類似水庫操作的資訊。透過放流量資訊與入流量資訊模擬不同流量的變化情況。
五	土石流潛勢溪流所得之流量為降雨逕流或土石流流量，應於以釐清。	感謝委員建議，目前推估流量資訊為針對空間上特定点位(網格位置)推估的降雨逕流之流量成果，並非土石流流量。在實際作業過程中或研究分析上可以作為土石流潛勢溪流集水區流量參考。
六	此研究之模式計算結果是否有與傳統集水區流量計算方法($Q=CIA$)所得之量體進行差異比較?請說明。	感謝委員建議，在本年度在模式上只優先利用分布式降雨逕流模式進行土石流潛勢溪流與農塘位流量推估。尚未應用傳統 $Q=CIA$ 流量計算方式進行比對。在平台上未來可以應用不同模式或經驗公式進行多模式的整合。以提供完整的流量趨勢參考資訊。
七	農塘間之連結狀況，推估是否受串聯或並聯影響?請說明。	感謝委員建議，目前在模式中流量資料中是搭配地形資料進行流量推估之成果。由地形變化推演流量的變化情況，若農塘間在空間上有上下游之關係，則會有串連影響情況發生。在

項次	委員意見	意見回覆情形
		本年度研究中尚未考慮農塘間人工串連或並聯的問題。
八	此研究之模式是否有尺度之極限?請說明。	感謝委員建議，就模式運算上主要建立在數值高程模型基礎上。目前現有數值高程模型可以提供的解析度理論上均可計算。但相關對應的模式基礎資料如土壤類型、土壤厚度、土地利用資料也需要能有對應的空間解析度。模式的運算效益與合理性才會比較理想。

附錄四 WFLOW 模式理論介紹

針對 WFLOW SBM 模組主要可以區分為降雨截流模式、土壤模式及河道運動波模式三大項目，在計畫中節錄梁博超論文針對 WFLOW 模式的介紹與說明資訊，作為模式介紹說明文件。

一、降雨截流模組

降雨截流模式分析的理論是應用簡化的 Rutter's numerical model(Gash, 1978)，模式計算時間間距以日為計算單位，其中樹冠層截流量門檻 P_G [mm/day]計算式如下：

$$P_G = \frac{-S}{\bar{E}} \ln[1 - \bar{E}(1 - p - p_t)^{-1}] \quad (\text{附 4.1})$$

式中， S ：樹冠層截流容量[mm/day]；

$\bar{E}$ ：樹冠層平均蒸發量[mm/day]；

p ：自由穿透係數，降水落至地面比例；

p_t ：植流量，降水留在植生物本體比例，其數值極小，在模式中設為自由穿透係數 p 的十分之一；

截流量計算方式共分為兩種，其一為事件降雨量 P 大於節流門檻；其二為降雨量小於等於節流門檻，如附表 4.1 所示。

附表 4-1 降雨截流計算表

	I_{wet}	I_{sat}	I_{dry}	I_{trunc}	I_{stem}
$P > P_G$	$[(1 - p - p_t)P_G] - S$	$\bar{E}(P - P_G)$	S	S_t	$p_t * P$
$P \leq P_G$	$(1 - p - p_t)P$	0	0	0	$p_t * P$

表中 I_{wet} ：樹冠層截流量[mm/day]；

I_{sat} ：樹冠層蒸發量[mm/day]；

I_{dry} ：樹冠層截流容量[mm/day]；

I_{trunc} ：樹幹儲水量[mm/day]，因數值過小，模式中假設為 0；

I_{stem} ：植生物本體截流量[mm/day]

而降雨落至地面水量(P_{throw})則由事件降雨量 P 扣除上表中五項截流量，但總截流量(I_{total})計算不包含植生物本體截流量 I_{stem} 。

$$P_{throw} = P - I_{wet} - I_{sat} - I_{dry} - I_{trunc} - I_{stem} \quad (\text{附 4.2})$$

$$I_{total} = I_{wet} + I_{sat} + I_{dry} + I_{trunc} \quad (\text{附 4.3})$$

二、土壤模組

土壤模式是採用 Simple Bucket Model(以下稱 SBM)為理論基礎(Vertessy,1999)。模式中將土壤假設成一深度為 z_t 水桶，水桶中含有飽和儲存深度 S 及非飽和儲存深度 U 。並在飽和儲存深度頂部形成一假設水位深度 z_i ，其飽和儲存深度計算式如下：

$$S = (z_t - z_i)(\theta_s - \theta_r) \quad (\text{附 4.4})$$

其中， θ_s 為土壤完全飽和含水量與體積比(土壤有效飽和度)， θ_r 為土壤完全乾燥含水量與體積比(土壤殘餘含水比)。而非飽和儲存深度亦可再細分為可儲存深度 U_s 及殘餘深度 U_d ，其計算式分別如下：

$$U_d = (\theta_s - \theta_r)z_i - U \quad (\text{附 4.5})$$

$$U_s = U - U_d \quad (\text{附 4.6})$$

在 SBM 中，所有降水最先進入土壤為入滲機制。入滲水會由非飽和儲存深度轉至飽和儲存深度，且傳導速率 st 是由水力傳導係數 K_s 控制：

$$st = K_s U_s / S_d \quad (\text{附 4.7})$$

式中， S_d 為土壤含水飽和差：

$$S_d = (\theta_s - \theta_r)z_t - S \quad (\text{附 4.8})$$

模式假設水力傳導係數 K_s 會隨著土壤深度 z 而降低：

$$K_s = K_0 \exp(-fz) \quad (\text{附 4.9})$$

式中 K_0 代表土壤表面之水力傳導係數(ms^{-1})， f 為衰減尺度參數：

$$f = (\theta_s - \theta_r)/m \quad (\text{附 4.10})$$

式中 m 為定義水力傳導係數隨深度遞減之參數，單位為 mm 。再者飽和儲存深度會經由側向地下水流排出：

$$sf = K_0 \tan(\beta) \exp(-S_d/m) \quad (\text{附 4.11})$$

式中 β 為土壤斜坡角， sf 為計算側向排水量，由每單位寬度所排出體積量為單位(m^3/s)。

傳統 SBM 模式中並無考慮蒸散及植生物毛細現象概念，而在 wflow_sbm 中若植生根深度(RootingDepth, D_r)達到假設水位深度 z_i ，則植生物造成之蒸散將為首要將土壤飽和儲存深度含水量排出機制。若飽和儲存深度無法滿足植生物造成之蒸散，則植生根將會由非飽和儲存深度進行蒸散作用。首先植生根濕度比 W_r 可由 Sigmoid 函數表示：

$$W_r = 1.0 / (1.0 + e^{-S_n(WT - D_r)}) \quad (\text{附 4.12})$$

式中 WT 為地下水位深度， S_n 為銳度值為一較大負數-80000.0。此預設值是為了將 Sigmoid 函數最後結果趨近於三

種呈現方式，當植生根深度大於地下水深度，則植生根濕度比會趨近 1(完全濕潤)、當植生根深度與地下水深度相等，則植生根濕度比會趨近 0.5(半濕潤)、當植生根深度小於地下水深度，則植生根濕度比會趨近 0(乾燥)。飽和儲存深度蒸散量 (Actual Evaporation of Saturation store, AES)可由下式計算：

$$AES = PT \times W_r \quad (\text{附 4.13})$$

式中 PT 為潛在蒸散量(Potential Evaporation)，其值若蒸發量小於降雨模式中總截流量為 0，反之其值為蒸發量扣除總截流量。若潛在生散量未完全由飽和區排出，則剩餘潛在蒸發量(Rest Potential Evaporation, RPE)可由下式計算：

$$RPE = PT - AES \quad (\text{附 4.14})$$

接著剩餘潛在蒸發量將由非飽和儲存深度排出，排出量可由下式計算：

$$ACU = \min(1.0, \max(0.0, (WT - D_r)/D_r + 1)) \quad (\text{附 4.15})$$

$$AEU_{max} = ACU \times U \quad (\text{附 4.16})$$

$$AEU = \min(AEU_{max}, RPE, U) \quad (\text{附 4.17})$$

式中 ACU 為非飽和除儲存深度可蒸發容量 (Available Capacity of Unsaturation store)、 AEU_{max} 為非飽和儲存深度最大蒸發量、 U 為先前定義之非飽和儲存深度、 AEU 為非飽和儲存深度蒸發量。

三、運動波模式

wflow_sbm 模式中運動波 (kinematic wave) 理論來自 Applied Hydrology 水文教科書 (周文德, 1988)。運動波水流動方程式，若忽略加速、位移及壓力梯度之影響，僅考慮重力與摩擦平衡時，其連續方程式組合如下：

$$\frac{\partial Q}{\partial X} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (\text{附 4.18})$$

$$S_0 = S_f \quad (\text{附 4.19})$$

式中 A ：河川流量通過斷面積 [m^2]；

Q ：河川流量 [m^3/s]；

q ：單位河川長度之側入流量 [m^3/s]；

t ：時間 [sec]；

X ：沿水流方向之距離座標 [m]；

S_0 ：河床坡度；

S_f ：摩擦坡度；

其中 S_f 若以曼寧公式 (公制) 表示，則式子可改寫為：

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2} \quad (\text{附 4.20})$$

式中 R 為水力半徑($R=A/P$)，P 為濕周，將 R 代入式 附 2.18 則可改寫為：

$$A = \alpha Q^\beta \quad (\text{附 4.21})$$

$$\alpha = \left(\frac{n P^{2/3}}{\sqrt{S_0}} \right)^\beta \quad (\text{附 4.22})$$

式中 $\beta=3/5=0.6$ ；n 為曼寧粗糙係數。再將式附 2.19 代入式附 2.18 可得運動波方程式：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (\text{附 4.23})$$

四、參數說明與內容

將模式參數資訊彙整如下：

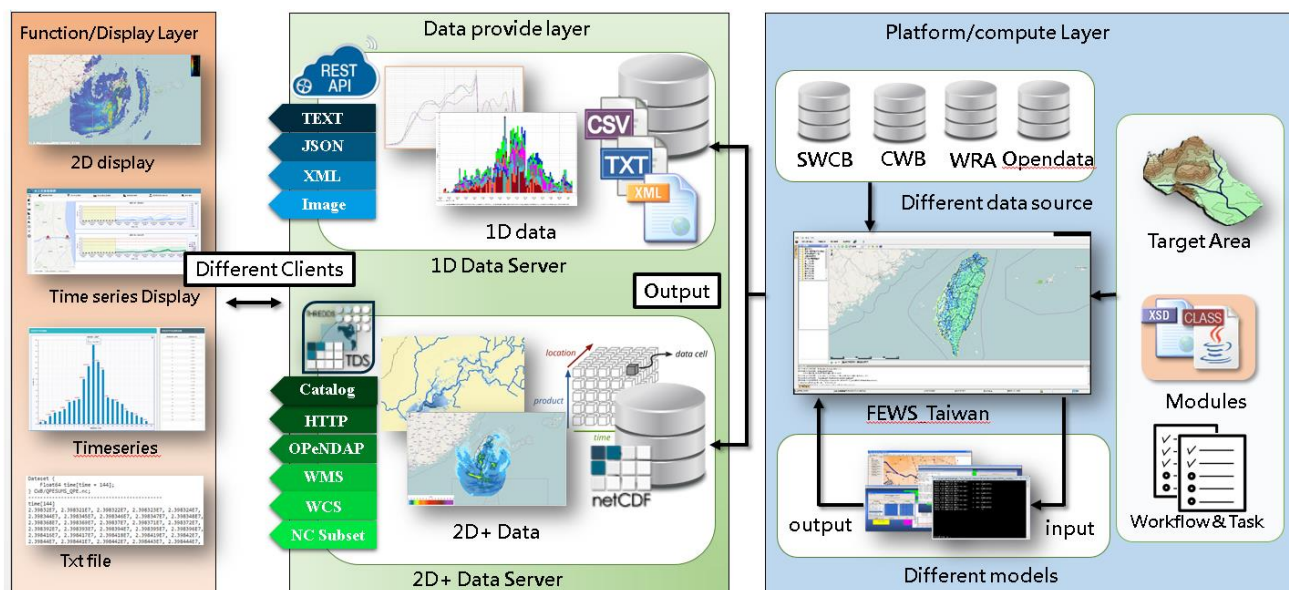
附表 4-2 WFLOW 主要模式參數內容

參數檔名稱	說明	預設值	敏感度高 參數
CanopyGapFraction	自由穿透係數	0.4	是
EoverR	植被平均蒸發散大於降雨強度 之機率	0.1	是
FirstZoneCapacity	土壤最大含水深度	5000mm	是
FirstZoneMinCapacity	土壤最小含水深度	500mm	是
FirstZoneKsatVer	土壤表面水力傳導係數	910mm	是
InfiltCapPath	緊密土壤(鋪面地)入滲率	10mm/day	是
InfiltCapSoil	土壤入滲率	500mm/day	是
M	衰減係數	2500mm	是
MaxCanopyStorage	樹冠層最大截流量	0.5mm	是
N	土壤地曼寧 N 值	0.2	
N_River	河道曼寧 N 值	0.045	
PathFrac	單位網格內面積密度	0.05	
RootingDepth	植生根深度	2500mm	
thetaR	土壤殘餘含水比	0.01	
thetaS	土壤有效飽和度	0.6	

附錄五 Delft_FEWS 介紹

Delft_FEWS 為荷蘭 Deltares 所開發的提供水文氣象預報與時間序列數據處理與管理的開放平台。目前在臺灣已經銜接水利署與氣象局完整之觀測與預報資料內容，並且支援多種格式與多空間與時間維度資料處理功能。同時提供標準地開放介面給外部模式(數值模式)進行串接。平台使用 XML 語言作為使用者介面、模式資料交換、作業流程、數據呈現等內容的設定格式。同時內建多種常用的模組，包含資料匯入、資料驗證、空間內插、時序列轉換、模式銜接、網頁報表、縱斷面、水位流量轉換等模組等功能。

因此應用模組化和流程化的彈性架構特性，可以提供簡易或高度複雜性的預報流程架構。同時平台可安裝於一般的個人電腦的操作環境中，或架設在全自動化的伺服器環境中，有效應用於資料存儲和預報作業任務，整體架構如圖附 5-1 所示。目前平台在水利署透過預報伺服器與排程管理伺服器，可以 24 小時自動提供全臺 26 條流域水位預報資訊、26 條流域子集水區平均降雨計算、26 條流域水位站上游集水區平均降雨計算、32 個水庫集水區平均降雨計算、19 個縣市區域平均降雨計算、352 鄉鎮區域平均降雨計算等功能，26 條流預報流域範圍如圖附 5-2 所示。



圖附 5-1 水文氣象觀測整合平台架構



圖附 5-2 預報流域範圍

附錄六 Delft_FEWS 使用者介面說明

一、基本介紹

在使用者介面上基本上分為四大區域，如附圖 6-1 所示。

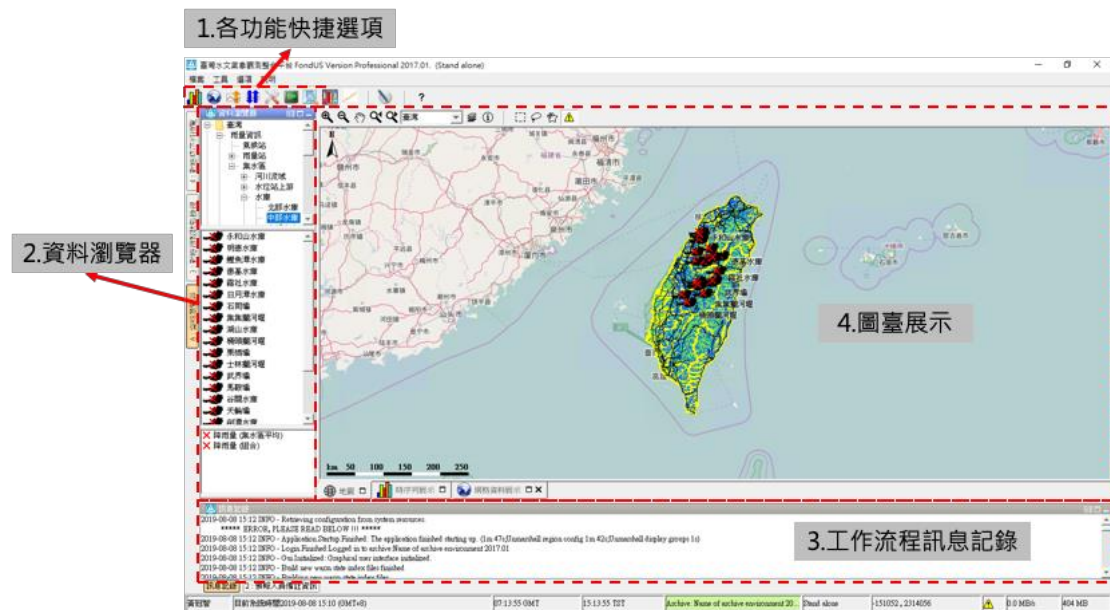
1.各功能快捷選項

- 時序序列展示：針對使用者所選區域及時序列資料進行圖表展示。
- 網格資料展示：依系統設定檔進行網格資料展示。
- 工作流程執行：工作流程執行操作介面。
- 工作流程管理：工作流程成果管理介面。
- 資料庫檢視：工作流程計算成果細節檢視。

2.資料瀏覽器：會依系統設定檔列出系統可供選擇之區域及相關資料。

3.工作流程訊息記錄：針對工作流程運行細節進行訊息展示及記錄。

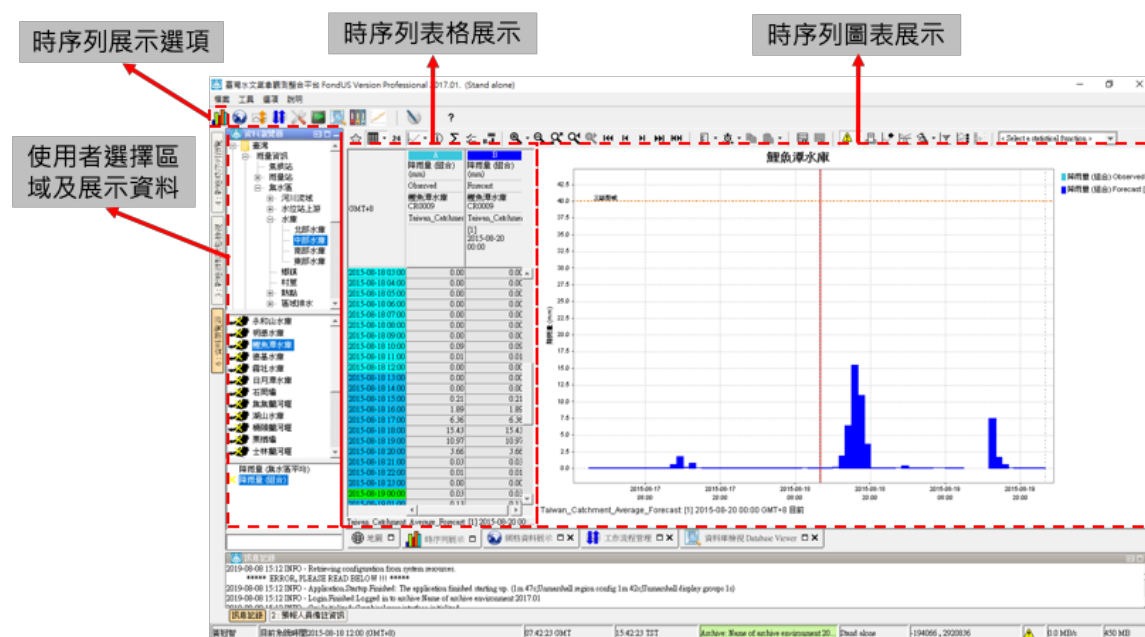
4.圖臺展示：依使用者所選區域進行相關圖資展示。



圖附 6-1 使用者介面

二、時序列展示

針對使用者所選區域及時序列資料進行圖表展示，如附圖 6-2 所示。使用者透過資料瀏覽器選取欲觀看之區域及相關資料，並點選使序列展示選項，即可觀看表格資料展示及相關繪製圖表內容。

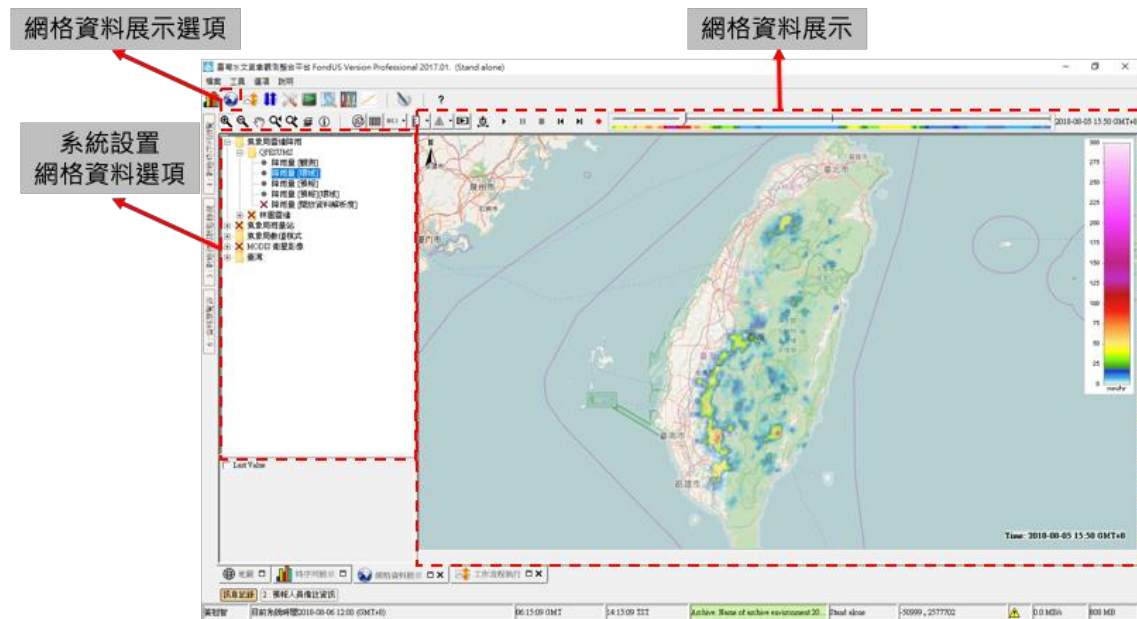


圖附 6-2 時序列展示

三、網格資料展示

網格資料展示依系統設定檔進行各式網格資料展示，如附圖 6-3 所示。

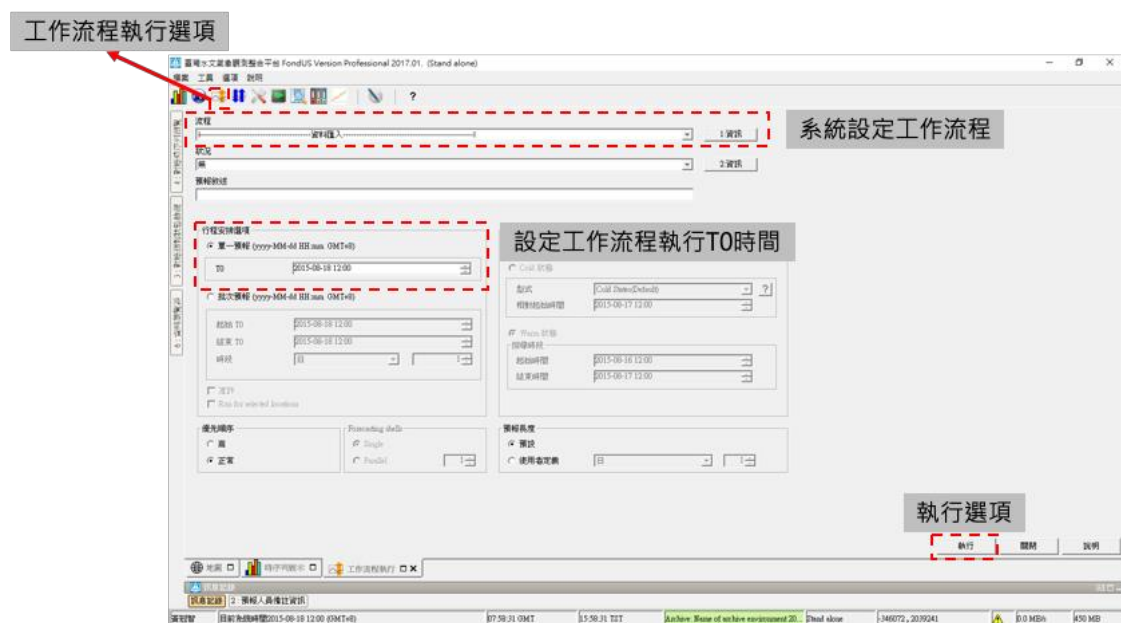
使用者可點選網格資料展示選項，即可看到系統設置網格資料選項，點選後即可在右邊觀看網格資料展示。



圖附 6-3 網格資料展示

四、預報作業流程

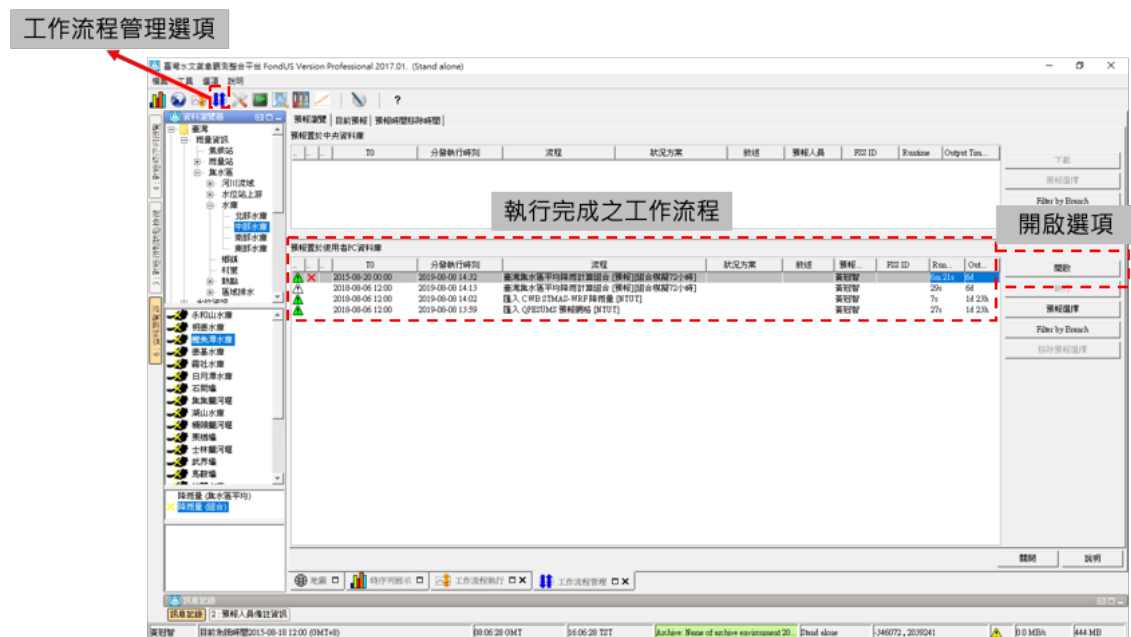
使用者執行相關工作流程之頁面，如附圖 6-4 所示。使用者可點選工作流程執行選項進入頁面，並選擇系統設定之工作流程及設定工作流程執行 T0 時間，選擇後按執行選項即可執行工作流程。



圖附 6-4 預報作業流程

五、預報成果管理

各預報流程執行完成之管理頁面，使用者可透過此頁面查看歷史工作流程成果，並搭配時序列展示及網格資料展示進行觀看，如附圖 6-5 所示。使用者可透過工作流程管理選項進入頁面，並可以在頁面中看執行完之工作流程，並可以選取歷史工作流程，選取後按開啟選項，即可查看歷史運算成果。



圖附 6-5 預報成果管理

六、資料庫檢視

使用者可透過資料庫檢視選項觀看各工作流程計算成果細節，如附圖 6-6 所示。使用者可在資料庫檢視中觀看個工作流程狀況，包含運行時間、成果輸出時間長度、流程名稱、執行時間...等，並可點選各工作流程觀看各成果細節，包含起始結束時間、資料屬性、資料間隔，並提供簡單的統計功能進行使用。

資料庫檢視選項

各工作流程狀態

Workflow ID	Time0	Location	Parameter	Parameter Group	Parameter Name	Qualifiers	Module	X	Y	Time Series Type	Value Type	Time Step	Start	End	Time Span	Time Step Count	Time Step Interval
1	2015-08-20 00:00	1	1	1	1	2	2			2	1	1	2015-08-17 00:00	2018-08-06 12:29	3554 12h	26190	26190
2	2015-08-20 00:00	1	1	1	1	2	2			2	1	1	2015-08-17 00:00	2018-08-06 12:29	3554 12h	26190	26190
3	2015-08-20 00:00	1	1	1	1	2	2			2	1	1	2015-08-17 00:00	2018-08-06 12:29	3554 12h	26190	26190

工作流程成果細節

Workflow ID	Time0	Location	Parameter	Parameter Group	Parameter Name	Qualifiers	Module	X	Y	Time Series Type	Value Type	Time Step	Start	End	Time Span	Time Step Count	Time Step Interval
1	2015-08-20 00:00	1	1	1	1	2	2			2	1	1	2015-08-17 00:00	2018-08-06 12:29	3554 12h	26190	26190
2	2015-08-20 00:00	1	1	1	1	2	2			2	1	1	2015-08-17 00:00	2018-08-06 12:29	3554 12h	26190	26190
3	2015-08-20 00:00	1	1	1	1	2	2			2	1	1	2015-08-17 00:00	2018-08-06 12:29	3554 12h	26190	26190

圖附 6-6 資料庫檢視