



應用開源分布式降雨逕流模式推估土石流潛勢溪流之流量以中港溪與後龍溪為例

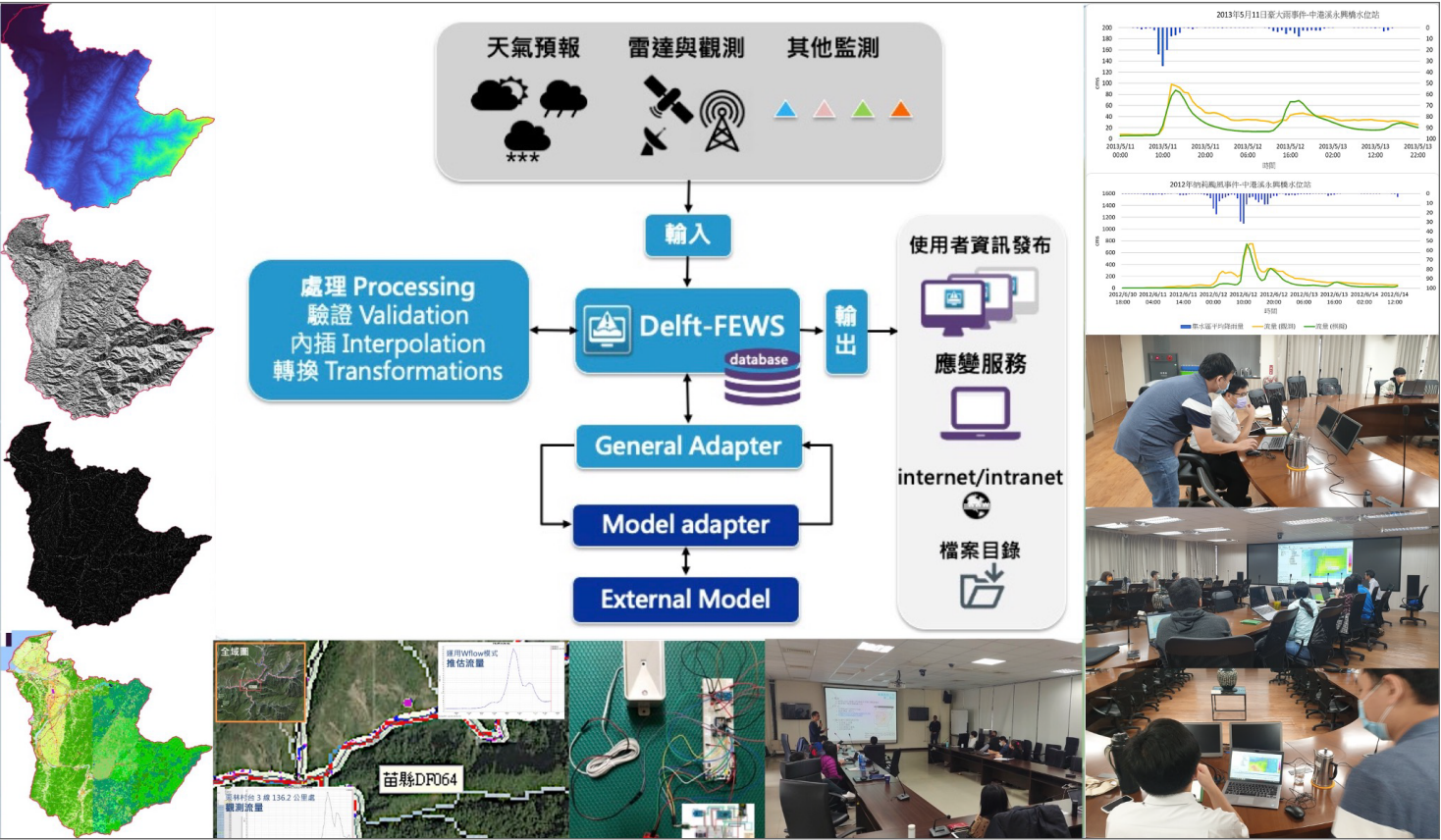
成果報告書

110
年度

應用開源分布式降雨逕流模式推估土石流潛勢溪流之流量以中港溪與後龍溪為例

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110年12月

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
潛勢溪流之流量以中港溪與後龍溪為例
Open Source Distributed Rainfall Runoff
Model to Estimate the Potential Debris
Flow Torrent Streamflow in
Zhonggang and Houlong River**

執行單位：國立臺北科技大學

執行期間：110 年 1 月 27 日至 110 年 12 月 31 日

計畫主持人：張哲豪教授

行政院農業委員會水土保持局 編印

中華民國 110 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之流量

以中港溪與後龍溪為例

摘要

在面對土石流潛勢溪流災害問題時，有效了解降雨事件發生前後，流域集水區的降雨(降雨強度、累積降雨量)及流量的時間空間分布情況。可以協助研究人員了解土石流潛勢溪流發生可能的原因。並且進一步針對災害防治與改善提出可能的評估方案。因此有效掌握降雨量與流量資訊，有助於對於災害事件的掌握。

而流量推估方式主要透過現場儀器監測進行觀測與搭配水文模式進行。在透過測試 IoT 感測器技術應用評估。以作為後續模式模擬分析的準確度與正確性之。

此外目前在各國模式發展應用趨勢上，已經朝向開源模式為主。透過開源方式可以讓更多人參與開發與測試，透過不同使用者的回饋，持續提升與改善模式成果與效能。因此應用荷蘭國家水文研究院 Deltares 所開發的 Wflow 開源分布式降雨逕流模式，完成中港溪、後龍溪整體集水區模式建置。並且搭配 Delft_FEWS 平台進行水文氣象與模式資料的串接。可以有效進行流域集水區之土石流潛勢溪流的降雨量與流量推估。同時透過與水利署跨單位資料交換的機制探討，有助於在共同的水文氣象資訊整合平台進行水文氣象資料與模式交換。並且透過跨單位資料整合與成果共享過程，討論如何有效針對共同需的資料與模式成果進行交換，達到有效落實數位治理的應用與發展。

關鍵詞：開源軟體、分布式降雨逕流、土石流潛勢溪流、交換機制

Abstract

When facing potential debris flow torrent disaster, it is useful to understand the spatio-temporal distribution of rainfall (rainfall intensity, cumulative rainfall) and flow in the catchment during the disaster event. That can help researchers to understand the possible causes of potential debris flow torrent, and to propose possible assessment options for disaster prevention and improvement.

The flow estimation method is mainly through field instrument monitoring observation and hydrological model. The IoT sensor technology application evaluation could accurate and correct the model simulation analysis. In addition, the current trend of model development and application in various countries has moved toward open-source models. Through the open-source approach, more people can participate in the development and testing, and through the feedback from different users, the model results and performance can be continuously improved. Therefore, the Wflow open-source distributed rainfall-runoff model developed by Deltares was applied to complete the construction of the overall catchment model for the Zhonggang river and Houlong river. In addition, the hydrological and meteorological data can be linked with the Delft_FEWS platform. It can effectively estimate the rainfall and streamflow of the potential debris flow torrent in the catchment area. It also helps to exchange hydrological and meteorological data and models on a common hydrological and meteorological information integration platform by exploring the inter-unit data exchange mechanism with the Water Resources Agency. In addition, through the cross-unit data integration and results sharing process, we discuss how to effectively exchange common data and model results for digital governance applications.

**Keyword: open-source, potential debris flow torrent, distributed
rainfall-runoff model, data exchange mechanisms**

目次

摘要	I
Abstract	II
目次	IV
表次	VI
圖次	VII
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 流域集水區資料收集	2-1
第一節 地文資料收集	2-1
第二節 水文氣象資料收集	2-3
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 中港溪與後龍溪模式建置	3-4
第四章 Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台整合	4-1
第一節 Delft-FEWS 平台介紹	4-1
第二節 整合流程步驟	4-3
第三節 系統維護與使用操作教材	4-10
第五章 颱風豪雨應用案例測試驗證	5-1
第一節 模式測試驗證流程	5-1
第二節 中港溪流域模式流量初步驗證成果	5-2
第三節 後龍溪流域模式流量驗證成果	5-11
第四節 模擬成果對照災害事件	5-19
第五節 3D 列印氣象站評估	5-24
第六章 跨單位資料共享探討	6-1

第一節	資料內容與型態討論	6-1
第二節	資料交換頻率與方式	6-3
第三節	參與公私協力會議	6-4
第七章	整體工作進度	7-1
第八章	結論與建議	8-1
第一節	結論	8-1
第二節	建議	8-2
參考文獻		參-1
附錄		附錄-1
附錄一、Wflow 模式理論介紹		附錄-1
附錄二、期初審查意見回覆		附錄-8
附錄三、期中審查意見回覆		附錄-10
附錄四、期末審查意見回覆		附錄-12

表次

表 5-1	中港溪平安橋模式測試驗證成果	5-3
表 5-2	中港溪永興橋模式測試驗證成果	5-4
表 5-3	後龍溪打鹿坑模式測試驗證成果	5-12
表 5-4	後龍溪恭敬橋模式測試驗證成果	5-12
表 5-5	苗栗縣 2006 年~2021 年坡地災害事件	5-20
表 5-6	自建氣象站方案優缺點比較表	5-27
表 6-1	交換類型與資料內容	6-2
表 7-1	計畫執行甘特表	7-1
表 7-2	計畫重要工作項目進度檢核表	7-2

圖次

圖 1-1	研究架構圖	1-5
圖 2-1	GOOGLE EARTH ENGINE 應用分析成果.....	2-2
圖 2-2	中港溪流域集水區範圍與土石流潛勢溪流位置	2-2
圖 2-3	後龍溪流域集水區範圍與土石流潛勢溪流位置	2-3
圖 2-4	雷達降雨量與土石流潛勢溪流空間位置	2-4
圖 2-5	土石流潛勢溪流對應之雷達降雨網格空間分布	2-4
圖 2-6	土石流潛勢溪流對應之雷達降雨時間序列	2-5
圖 3-1	WFLOW 模式應用國家空間分佈	3-2
圖 3-2	WFLOW_SBM 模組降雨逕流概念	3-2
圖 3-3	分布式降雨逕流模式輸入輸出概念	3-3
圖 3-4	模式建置對應資料夾與資料夾內容	3-3
圖 3-5	中港溪流域基本圖資準備內容	3-5
圖 3-6	後龍溪流域基本圖資準備內容	3-6
圖 3-7	模式專案資料夾	3-7
圖 3-8	建立模式專案設定檔 WFLOW_SBM.INI 內容	3-7
圖 4-1	澳洲氣象局 HYFS 介面	4-2
圖 4-2	DELFT-FEWS 平台各國應用空間分布情況.....	4-2
圖 4-3	DELFT-FEWS 運作概念圖	4-4
圖 4-4	模式銜接架概念圖	4-4
圖 4-5	FEWS 平台 WFLOW 模式銜接成果示意圖	4-5
圖 4-6	中港溪流域 WFLOW 作業流程設定	4-5
圖 4-7	中港溪流域 WFLOW 作業流程設定成果.....	4-6
圖 4-8	中港溪 WFLOW 成果與苗栗縣 DF009 土石流潛勢溪流 位置	4-6

圖 4-9	中港溪流域苗栗縣 DF009 土石流潛勢溪流下游匯流點 流量資訊.....	4-7
圖 4-10	後龍溪流域 WFLOW 作業流程設定.....	4-7
圖 4-11	後龍溪流域 WFLOW 作業流程設定成果.....	4-8
圖 4-12	後龍溪 WFLOW 模擬成果與苗栗縣 DF067 土石流潛 勢溪流位置.....	4-8
圖 4-13	後龍溪流域苗栗縣 DF067 土石流潛勢溪流下游匯流 點流量資訊.....	4-9
圖 4-14	DELFT-FEWS 平台基本教育訓練教材.....	4-11
圖 4-15	DELFT-FEWS 平台操作介紹動畫內容.....	4-11
圖 5-1	中港溪平安橋 2012 年納莉颱風計算成果.....	5-5
圖 5-2	中港溪平安橋 2012 年蘇拉颱風計算成果.....	5-5
圖 5-3	中港溪平安橋 2013 年 5 月 11 日豪雨事件計算.....	5-6
圖 5-4	中港溪平安橋 2013 年蘇力颱風計算成果.....	5-6
圖 5-5	中港溪平安橋 2013 年潭美颱風計算成果.....	5-7
圖 5-6	中港溪平安橋 2019 年 6 月 14 日豪雨事件計算成果.....	5-7
圖 5-7	中港溪永興橋 2012 年納莉颱風計算成果.....	5-8
圖 5-8	中港溪永興橋 2012 年蘇拉颱風計算成果.....	5-8
圖 5-9	中港溪永興橋 2013 年 5 月 11 日豪雨事件計算.....	5-9
圖 5-10	中港溪永興橋 2013 年蘇力颱風計算成果.....	5-9
圖 5-11	中港溪永興橋 2013 年潭美颱風計算成果.....	5-10
圖 5-12	中港溪永興橋 2019 年 6 月 14 日豪雨事件計算.....	5-10
圖 5-13	後龍溪打鹿坑 2012 年納莉颱風計算成果.....	5-13
圖 5-14	後龍溪打鹿坑 2012 年蘇拉颱風計算成果.....	5-13
圖 5-15	後龍溪打鹿坑 2013 年 5 月 11 日豪雨事件計算成果.....	5-14
圖 5-16	後龍溪打鹿坑 2013 年蘇力颱風計算成果.....	5-14

圖 5-17	後龍溪打鹿坑 2013 年潭美颱風計算成果	5-15
圖 5-18	後龍溪打鹿坑 2019 年 6 月 14 日豪雨事件計算	5-15
圖 5-19	後龍溪恭敬橋 2012 年納莉颱風計算成果	5-16
圖 5-20	後龍溪恭敬橋 2012 年蘇拉颱風計算成果	5-16
圖 5-21	後龍溪恭敬橋 2013 年 5 月 11 日豪雨事件計算	5-17
圖 5-22	後龍溪恭敬橋 2013 年蘇力颱風計算成果	5-17
圖 5-23	後龍溪恭敬橋 2013 年潭美颱風計算成果	5-18
圖 5-24	後龍溪恭敬橋 2019 年 6 月 14 日豪雨事件計算	5-18
圖 5-25	苗栗縣中港溪流域與後龍溪流域坡地災害分布圖	5-21
圖 5-26	苗栗縣大湖鄉栗林村台 3 線崩塌事件點位	5-21
圖 5-27	苗栗縣大湖鄉栗林村台 3 線崩塌事件點位雷達降雨 量	5-22
圖 5-28	苗栗縣大湖鄉栗林村台 3 線崩塌事件點位鄰近流量 資訊	5-22
圖 5-29	苗栗縣 DF064 土石流潛勢溪流集水區降雨量空間分 布資訊	5-22
圖 5-30	苗栗縣 DF064 土石流潛勢溪流分布式降雨逕流網格 流量	5-23
圖 5-31	苗栗縣 DF064 土石流潛勢溪流之匯流點推估流量	5-23
圖 5-32	NCAR 3D 列印自動氣象站 (IoTwx) 部分元件印製 成果	5-28
圖 5-33	以 ARDUINO 開放硬體建立自動氣象站之電路圖	5-28
圖 5-34	以 ARDUINO 開放硬體測試自動氣象站	5-29
圖 5-35	測試 ARDUINO 開放硬體自動氣象站現場情況	5-29
圖 5-36	市售專業級整合型氣象站：DAVIS 6110M VANTAGE VUE	5-30
圖 5-37	DAVIS 氣象站手機應用程式畫面	5-30

圖 5-38	DAVIS 氣象站網頁統計表	5-31
圖 5-39	DAVIS 氣象站功能訂閱比較	5-32
圖 6-1	資料交換機制	6-3
圖 6-2	公私協力會議紀錄照片：110 年 3 月 5 日	6-5
圖 6-3	公私協力會議紀錄照片：110 年 5 月 11 日	6-6

第一章 緒論

聯合國氣象組織目前在發展的全球山洪預報系統 Flash Flood Guidance System (簡稱 FFGS)架構中提到，山洪暴發是世界上最致命的自然災害之一，每年造成 5000 多人喪生，並對社會、經濟和環境造成重大影響。山洪暴發與河川洪水災害有不同的特性，特別是時間尺度短且發生在空間尺度也較小的地區，而山洪暴發的預報與傳統洪災預報方法完全不同。因此在山洪預報中，主要關注重點在"強降雨"和"飽和土壤上的降雨量"。世界各國在發生山洪時，對應時間門檻值在幾分鐘到幾小時之間不等，取決於該地區的地形，地貌和水文氣候特徵。有效了解土石流與坡地災害發生前，對應的降雨量與逕流量的資訊，有助於研究人員了解土石流潛勢溪流，在颱風豪雨期間可能發生的狀況。而透過流域集水區的降雨量及流量的時間空間分布情況，搭配坡地災害調查與分析成果，更可針對土石流災害與集水區評估土石流潛勢溪流流量資訊內容進行完整量化的評估。

結合目前世界各國開放科學政策趨勢。由開放資料、開放軟體社群、與開放研究成果等議題，透過開源分布式降雨逕流方式結合雷達降雨資料內容。在開放資料架構下，應用開源軟體與免費軟體進行資料與模式整合的標準化與作業化處理流程，有助於研究成果於流域整體數位治理應用上持續累積與循環再應用，同時搭配跨單位資料交換與整合的效益，對於管轄區域的水土保持之水文與地文資料對應之時間與空間特性，建立完整的資料來源與統計資訊，以提供更完整的應用與服務。

第一節 研究背景

為了有效了解土石流潛勢溪的降雨空間分佈與土石流事件發生前後流量資訊變化，傳統上透過水位流量站進行監測外，隨著模式發展與監測技術不斷提升下。分布式降雨逕流模式的模擬分析成果，有助於了解流域集

水區內完整的流量空間與時間分布情況與土石流潛勢溪流位置的流量資訊。在模式應用與推廣上，考量後續推廣與應用可能性，計畫中應用開源分布式降雨逕流模式 Wflow 模式，搭配 Delft_FEWS 平台自由軟體(Free software)進行水文氣象資料與 Wflow 模式的串接，以有效進行土石流潛勢溪流流量資訊推估作業流程。

此外而長期以來各單位間，一旦出現跨單位間資料的交換與共享往往受限在專業領域應用的差異與需求不同，同時透過開放與標準的作業流程與架構，有助於後續產學研單位與政府部門，使用相同的水文氣象資訊成果進行模式與資料交換流程。

而彙整上述研究背景與目標，本報告成果以中港溪、後龍溪流域為示範區域預計完成下列五項主要成果。

- (一) 土石流潛勢溪流發生前後流量變化情況的推估
- (二) 開源分布式降雨逕流模式應用與推廣
- (三) 自動化與標準化水文氣象資料與模式整合流程驗證
- (四) 跨單位資整合資料整合與共享應用探討

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，以中港溪與後龍溪集水區為示範區域(包含上游集水區對應土石流潛勢溪流範圍)，進行降雨逕流模式的建置；並且搭配荷蘭國家水文研究院 (Deltares)所發展的水文氣象與模式整合平台(Delft-FEWS)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) 流域集水區土石流潛勢溪流及水文與地文資料收集

針對中港溪與後龍溪流域集水區範圍內的水文氣象資料與流

量資訊、數值高程地形模型、土地利用、土壤類形、集水區範圍、水系圖資、土石流潛勢溪流與集水區範圍進行收集。並且確認中港溪與後龍溪現有共 60 條土石流潛勢溪流置點位資訊。由於部分環境監測資料如蒸發散、土壤含水量等資料較為不完整，計畫執行過程中搭配使用 Google Earth Engine(簡稱 GEE) 取得流域集水區對應物理量數值。計畫執行期間配合 BigGIS 系統現有收集資料成果，進行更完整的模式基礎資料更新工作。在既有資料收集過程中以開放資料為基礎，並且結合目前水土保持局巨量空間資訊系統圖資成果加以細緻化。當開放資料來源出現資料不足與缺乏情況，則使用巨量空間資訊系統之圖資來源進行模式基礎地文資料更新工作。

(二) Wflow 分布式降雨逕流模式建置

在降雨逕流模式的選擇上，應用荷蘭國家水文研究院(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。Wflow 模式為 GNU 通用公眾授權條款第三版本 (GPL v3)，可以提供商業用途、學術研究用途、修改、發布、專利使用。後續若有針對模式程式內之演算法進行更新與改版，則需延續 GPL v3 規則對外發布修改的程式內容與項目。

搭配前述收集的流域集水區數值高程地形模型、土地利用、土壤種類，進行模式建模的工作。在模式使用的輸入檔案內容為降雨量，在計畫中使用的降雨量資料選擇 QPESUMS 雷達降雨觀測成果。而模式輸出檔案內容為流量資訊。其解析度為使用之數值地形高程模型網格解析度。

(三) Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台整合

模式建置完成後，若可以透過自動化執行例行性分析模擬工

作，可以大幅度提高模式建置與分析之效益，因此當分布式降雨逕流模式建置完成後，利用荷蘭國家水文研究院(Deltares)所開發的 Delft-FEWS 平台進行整合，模式使用"通用模式銜接技術(General Adapter)"，進行模式介接流程，以便後續工程師與研究人員可以透過指定作業流程的方式，自動化進行模式的模擬與計算工作。運算完成的成果，可以提供中港溪與後龍溪流域集水區範圍完整的流量網格分析資料，並且可以針對土石流潛勢溪流位置提供對應空間上完整的流量資訊。

(四) 颱風豪雨應用案例測試驗證

在模式與平台建立完整自動化作業排程後，接著利用流域集水區歷年較大的颱風豪雨事件案例，進行模式運算分析成果的評估與驗證。此外在現場即時的水文資料內容的比對嘗試利用開放硬體的 IoT 感測器(優先針對降雨量、土壤含水量、水位計等感測器元件)於中港溪或後龍溪流域集水區現場進行資料收集的測試工作，作為後續模式資料驗證參考使用。此外目前 QPESUMS 降雨量尚未成為開放資料，因此在計畫進行時會優先向貴局申請在計畫中應用 QPESUMS 觀測降雨量之使用授權，後進行資料分析與處理，而計畫執行期間取得貴局應用氣象局不同數值天氣預報產品的資料使用授權，整合到 FEWS 平台中提供 Wflow 模式作為預報時間段的降雨資料來源。在 Wflow 模式檢定驗證上使用中港溪與後龍溪流流域集水區內近年較大的三場颱風豪雨事件進行流量成果比對分析。資料數據檢核點位優先以有水位流量觀測站的位址點進行比對與驗證。

(五) 跨單位資料共享探討

針對中港溪與後龍溪流域集水區之降雨逕流模式建置過程

中，所需資料內容與成果與目前水利單位進行流量預報或水文分析作業流程中所需資料進行盤點，說明資料共同與差異之處，並且進一步透過工作會議與參與公私協力會議。探討整體流域集水區在資料面上與模式成果合作可行方向與內容。在資料共享上針對作業需求提出政府機關間資料交換的建議方式，接著針對學術與產業界資料交換與供應方式提供可行的建議方案。

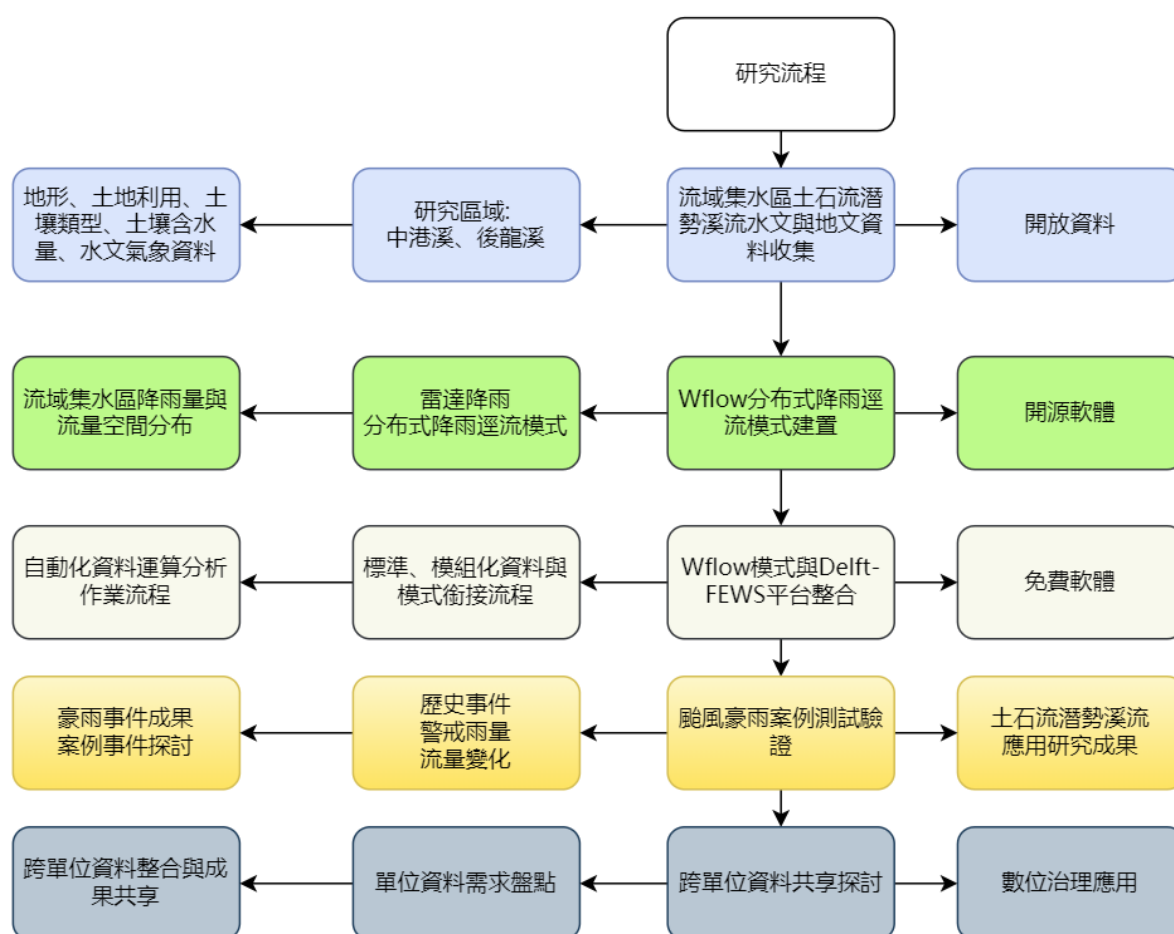


圖 1-1 研究架構圖

第二章 流域集水區資料收集

第一節 地文資料收集

針對中港溪與後龍溪流域集水區範圍內的水文氣象資料與流量資訊、數值高程地形模型、土地利用、土壤類形、集水區範圍、水系圖資、土石流潛勢溪流與集水區範圍進行收集。並且確認中港溪 22 條與後龍溪 38 條現有共 60 條土石流潛勢溪流資訊。此外由於部分環境監測資料如蒸發散、土壤含水量等資料較為不完整，計畫執行過程搭配使用 Google Earth Engine(簡稱 GEE) 取得流域集水區對應蒸發散、土壤含水量數值，如圖 2-1 為在中港溪流域應用 GEE 進行衛星影像、數值高程模型等高線資料的分析與擷取成果。如圖 2-2 與圖 2-3 為中港溪流域與後龍溪流域集水區範圍與現有土石流潛勢溪流位置分布。

計畫執行期間配合 BigGIS 系統現有收集資料成果，進行更完整的模式基礎資料更新工作。在既有資料收集過程中以開放資料為基礎，並且結合目前水土保持局巨量空間資訊系統圖資成果加以細緻化。當開放資料來源出現資料不足與缺乏情況，則向貴局提出申請優先使用巨量空間資訊系統圖來源進行模式基礎資料更新工作。同時針對中港溪與後龍溪相關研究報告成果與水情資訊進行彙整與收集，以了解中港溪與後龍溪集水區相關基礎水情資訊。

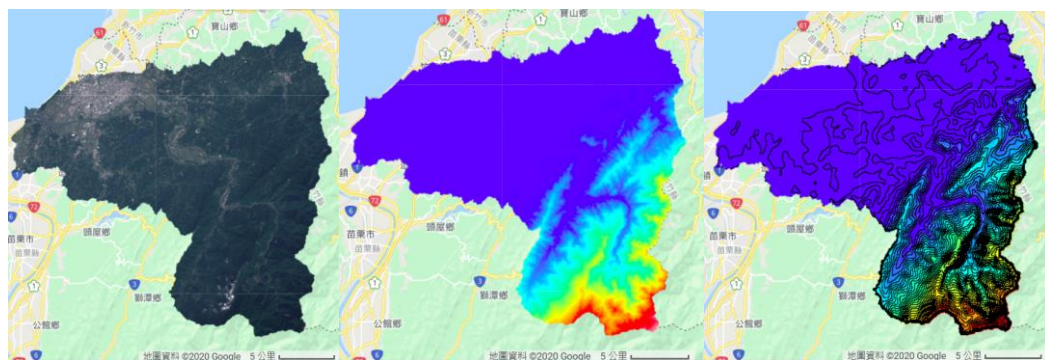


圖 2-1 Google Earth Engine 應用分析成果

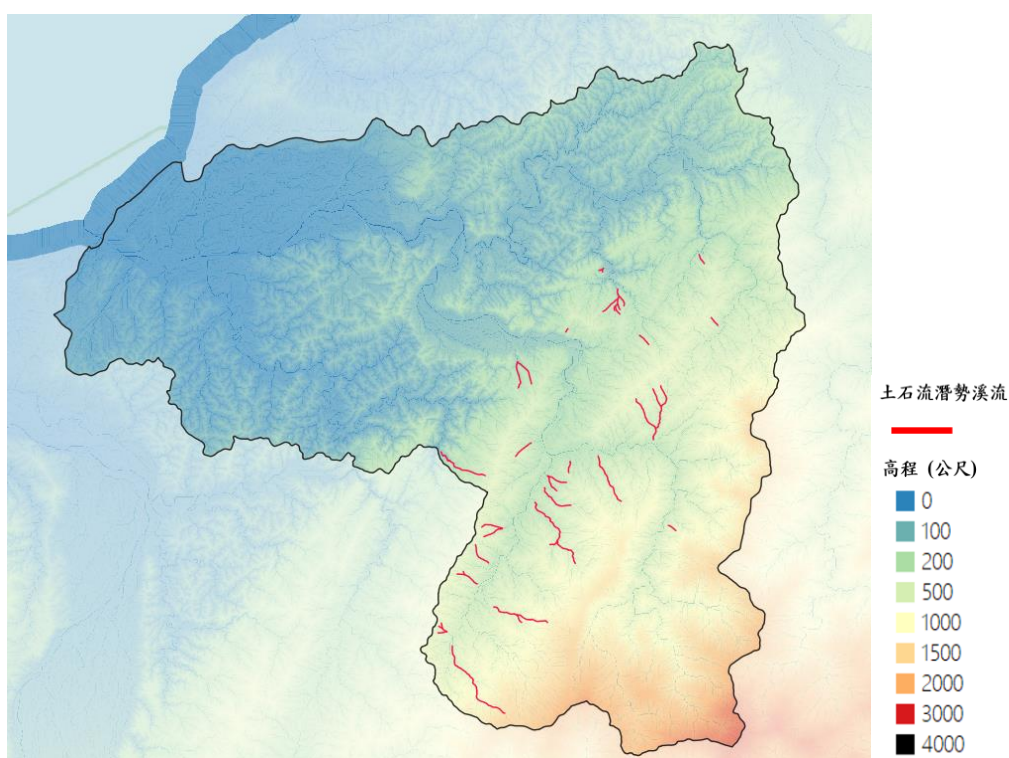


圖 2-2 中港河流域集水區範圍與土石流潛勢溪流位置

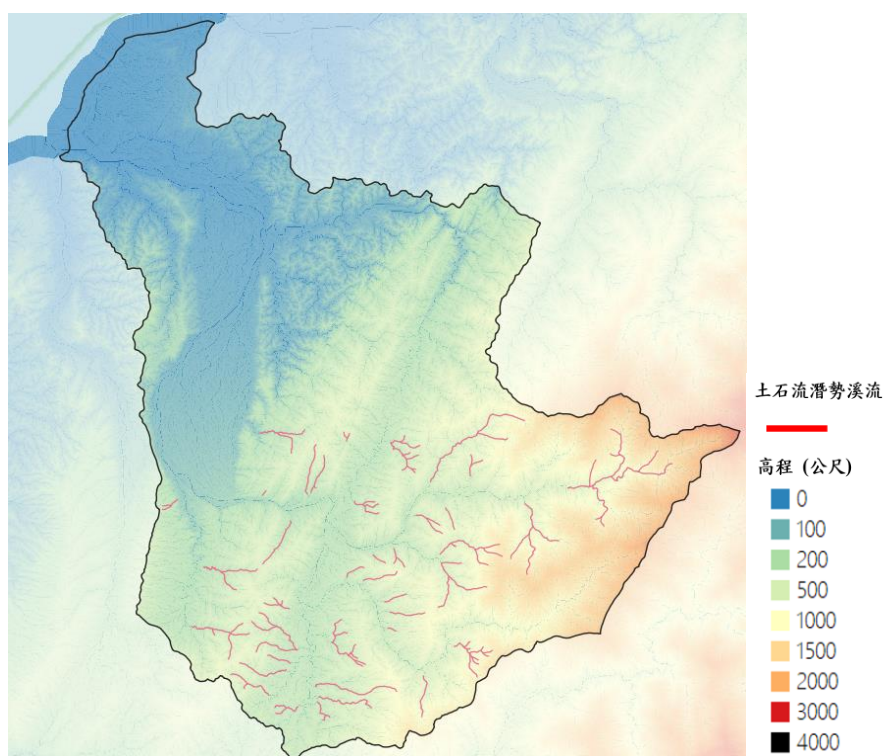


圖 2-3 後龍河流域集水區範圍與土石流潛勢溪流位置

第二節 水文氣象資料收集

而針對目前現有中港溪與頭前溪流域之水文氣象資料內容。包含 QPESUMS 雷達降雨量、雨量站、水位流量站資訊與土壤含水量與蒸發散資訊對應之時間序列資料進行資料收集。主要收集內容為近年較大的颱風豪雨事件，分別為 2012 年納莉颱風、2012 年蘇拉颱風、2013 年 5 月 11 日豪雨事件、2013 年蘇力颱風、2013 年潭美颱風、2015 蘇迪勒、2016 米勒、2019 年 6 月 14 日豪雨事件等 8 場事件。如圖 2-4 所示為 2012 年納莉颱風在中港溪與後龍溪流域降雨情況。而圖 2-5 為雷達降雨網格與土石流潛勢溪流位置空間套疊之情況，圖 2-6 土石流潛勢流對應雷達降雨網格之降雨時間序列資料內容。

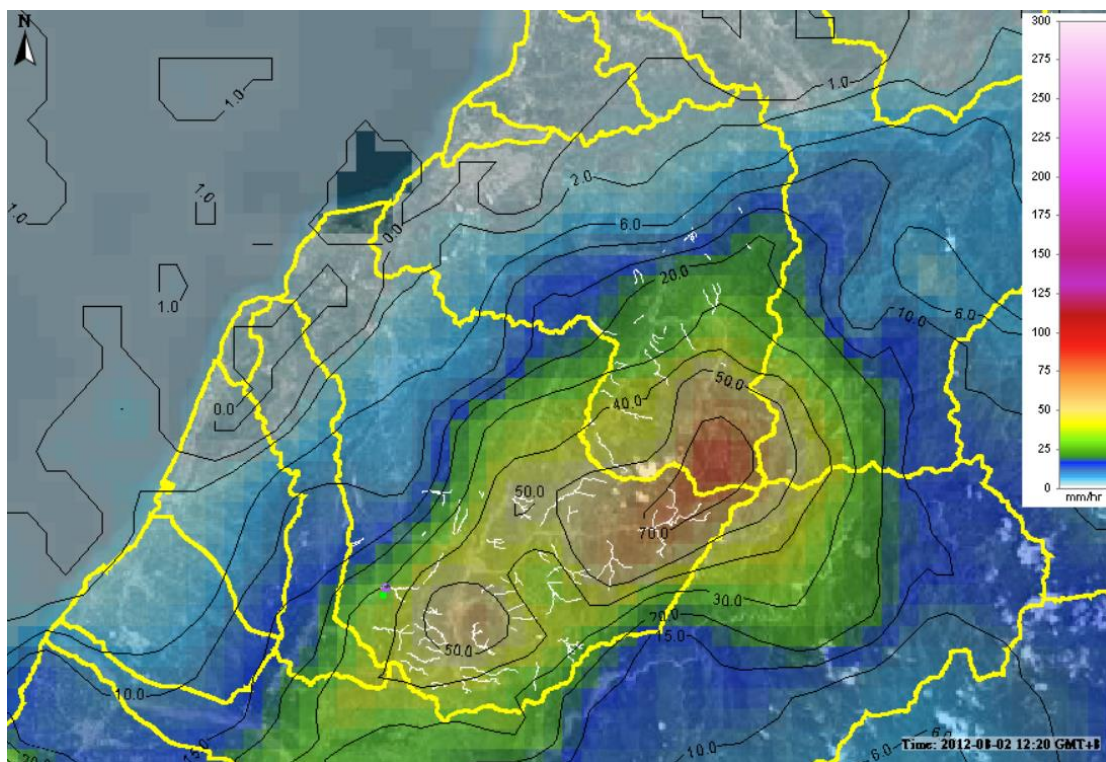


圖 2-4 雷達降雨量與土石流潛勢溪流空間位置

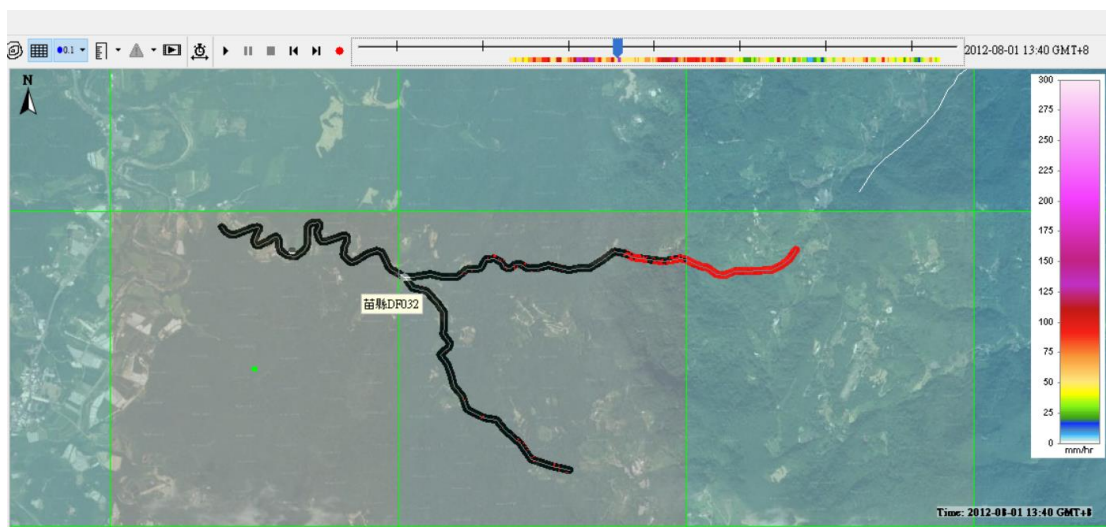


圖 2-5 土石流潛勢溪流對應之雷達降雨網格空間分布

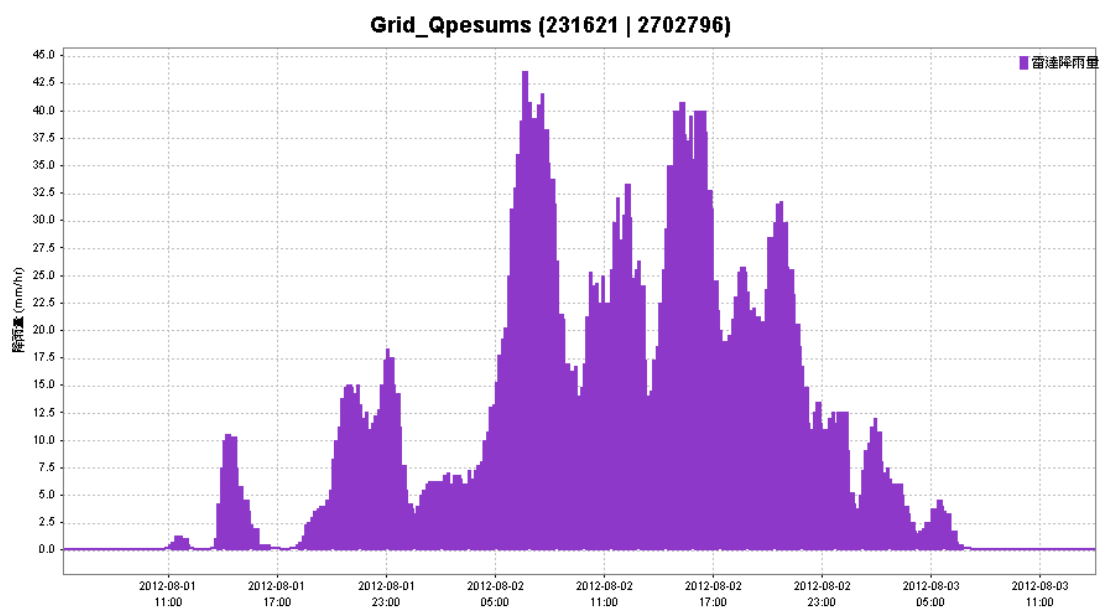


圖 2-6 土石流潛勢溪流對應之雷達降雨時間序列

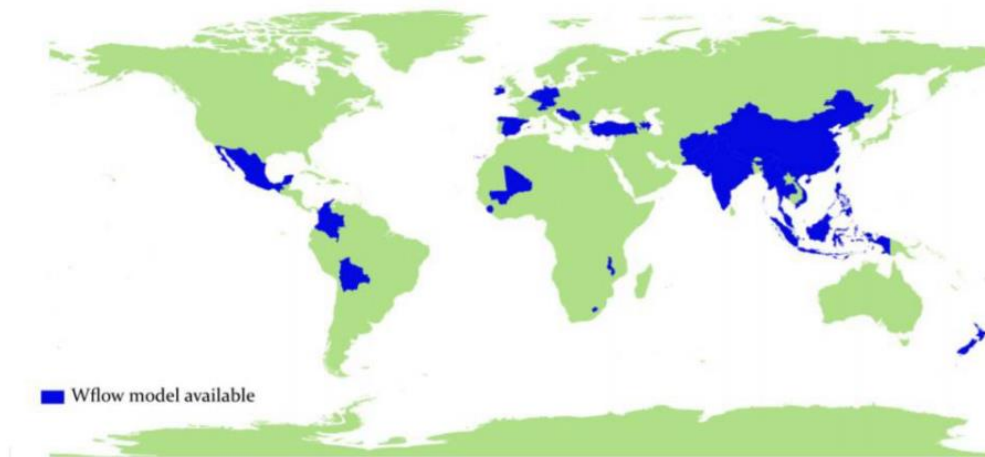
第三章 Wflow 分布式降雨逕流模式建置

第一節 Wflow 模式介紹

Wflow 模式為荷蘭國家水文研究院 (Deltares) 使用 Python 程式語言，所開發的開源分布式降雨逕流模式目前為 PL3 授權，模式運算中考慮了降雨逕流模式、土壤模式、運動波模式等內容，目前已應用於亞洲、歐洲、美洲、非洲等不同國家，如圖 3-1 所示。

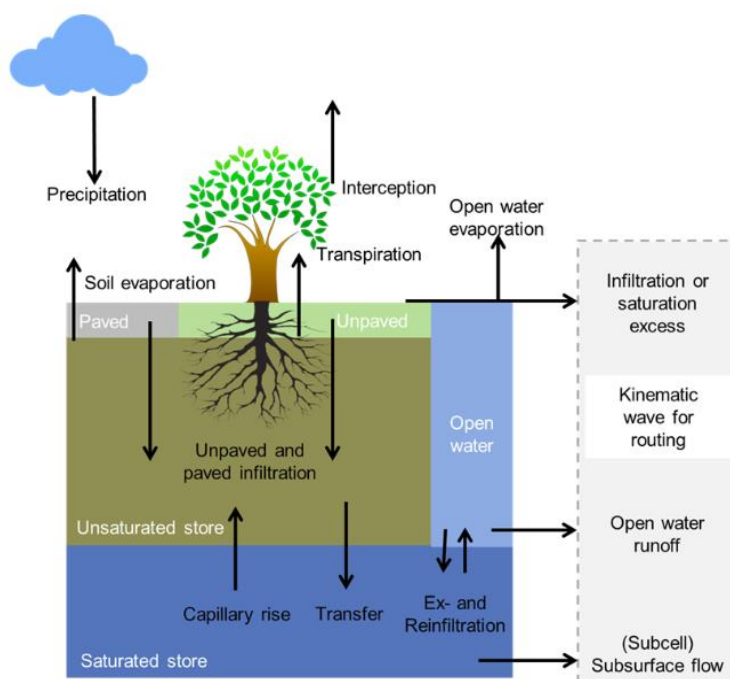
在計畫中選用 Wflow_sbm 模組(Simple bucket model)，此模組是由 Topog_SBM (Vertessy and Elsenbeer 1999) 的概念衍生，經過調整後可已支援不同土地利用特性與不同與集水區水庫操作等應用，其運作概念如圖 3-2 所示。整體模式採用網格式(Raster)資料型態方式進行建置。而在整體模式建置資料中會使用到集水區數值高程地形模型、土地利用、土壤種類等資訊，同時搭配向量資料的集水區範圍、河川路網進行模式基礎資料建置，以確保模式資料與成果完整性，如圖 3-3 所示。模式的輸入資料來源，可包含降雨量或特定位置點的流量資料，而模式輸出檔案為以數值地形高程模型網格解析度為基礎的網格流量資訊。

目前集水區數值高程模型使用國土測繪中心所提供的 20m*20m 的數值高程模型進行建置。搭配行政院農業委員會資料開放平台所提供的土壤類型資料進行建置。完成模式建置後預計以使用水利署中港溪與後龍溪水位站流量資訊作為模式率定驗證的。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。而模式專案資料資料夾名稱與對應內容，如圖 3-4 所示。分別包含輸入資料、模式狀態檔、網格對應參數、遮罩、輸出狀態、SBM 模式專案資料夾、網格基本圖資、SBM 模式設定檔等內容。



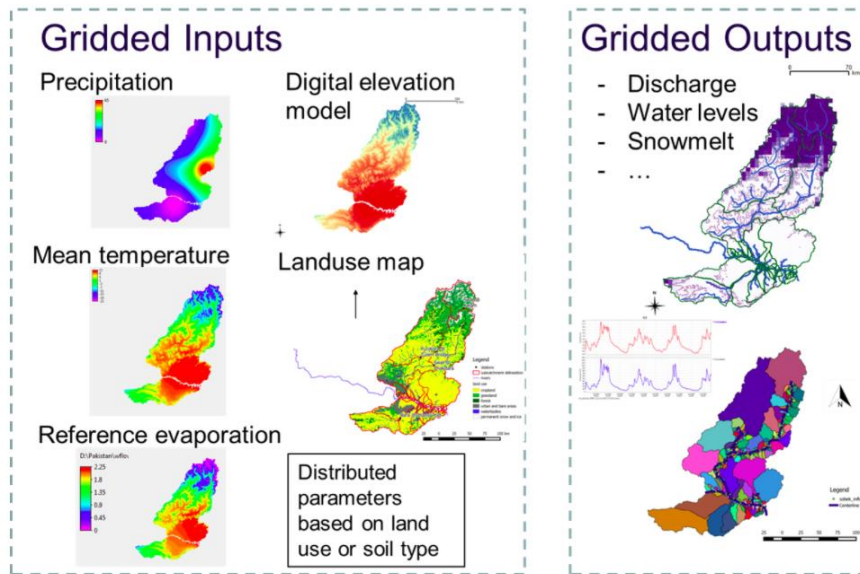
資料來源：Wflow 模式 2018 使用者會議簡報

圖 3-1 Wflow 模式應用國家空間分佈



資料來源：Wflow 模式官方網站

圖 3-2 Wflow_sbm 模組降雨逕流概念



資料來源：Wflow 模式官方網站

圖 3-3 分布式降雨逕流模式輸入輸出概念

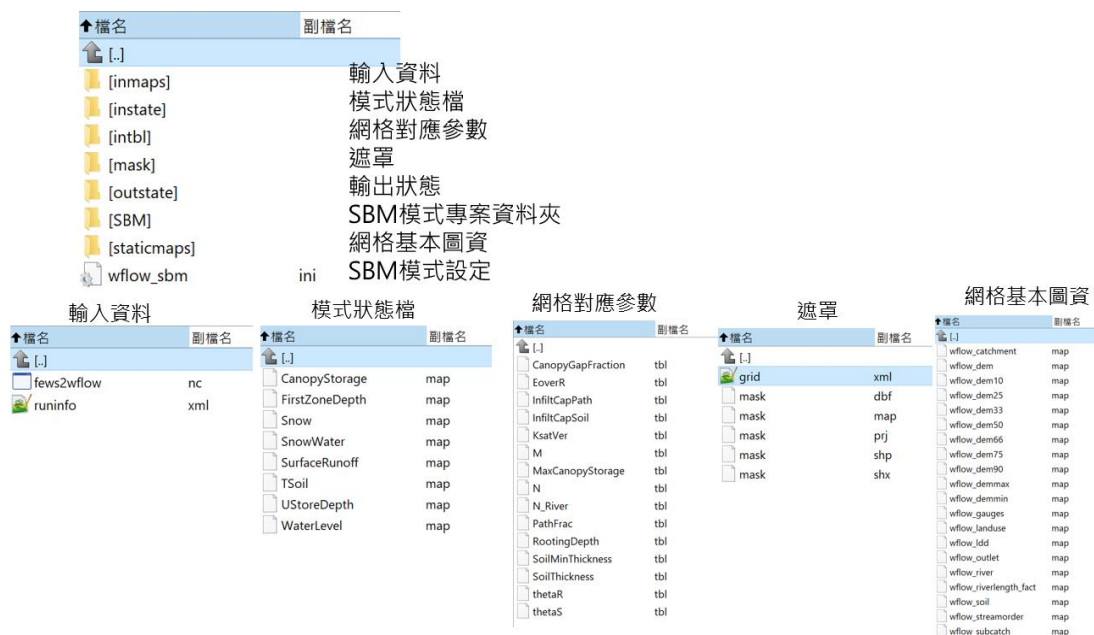


圖 3-4 模式建置對應資料夾與資料夾內容

第二節 中港溪與後龍溪模式建置

依照圖 3-4 建立中港溪與後龍溪對應模式專案資料夾，並且利用中港溪與後龍溪數值高程資料，建立流域集水區流向資訊、與對應之河川級序資訊搭配土地利用、土壤類型等資訊，如圖 3-5~圖 3-6 所示。並且依照圖 3-7 內與架構，完成模式專案建置分別包含輸入資料夾、模式狀態檔資料夾、網格對應參數資料夾、遮罩資料夾、輸出狀態資料夾、SBM 模式專案資料夾、網格基本圖資資料夾、SBM 模式設定檔等內容。而在 SBM 模式設定檔等內容則包含輸入來源 (可包含降雨量、蒸發、溫度、特定點為入流、入流資訊等內容)，模式外部參數資訊(土地利用、植被等)、執行時間設定 (起訖時間、時間解析度等)、圖資保存、模式基本設定、執行環境與輸出格式設定、網格大小、輸出圖檔內容、輸出時間序列、起始變數、輸出 CSV 格式內容，如圖 3-8 所示。

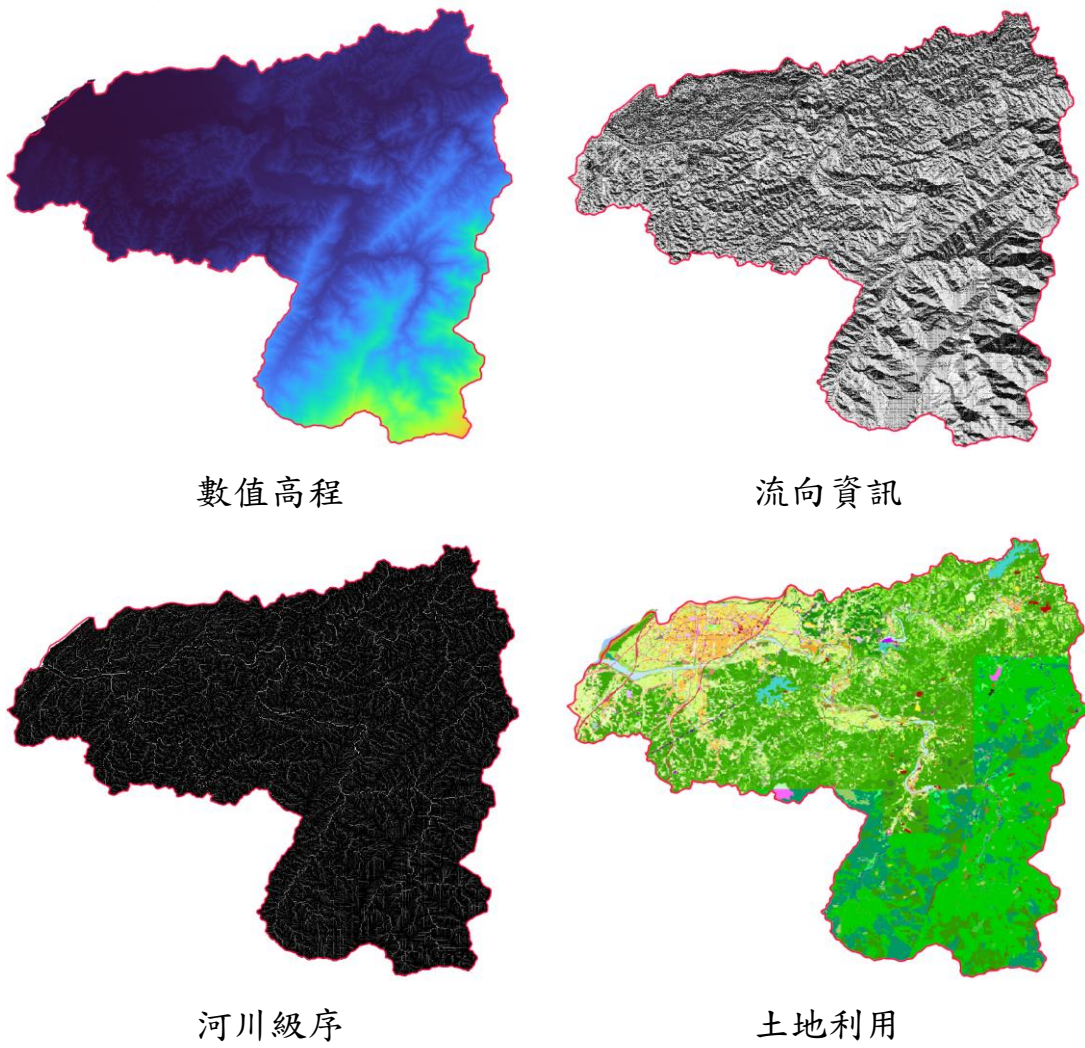


圖 3-5 中港河流域基本圖資準備內容

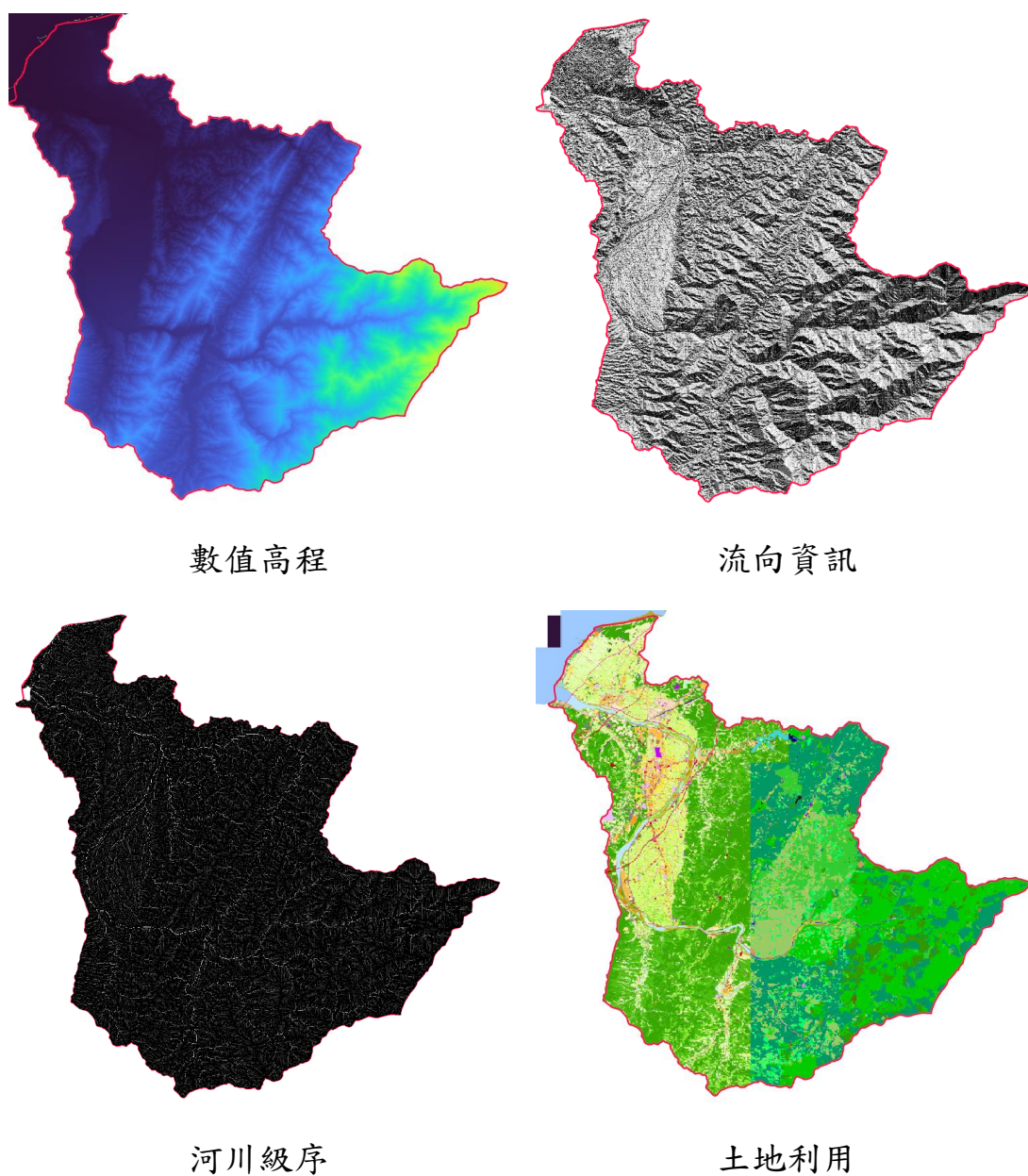


圖 3-6 後龍河流域基本圖資準備內容

檔名	副檔名
↑ [..]	
[inmaps]	輸入資料
[instate]	模式狀態檔
[intbl]	網格對應參數
[mask]	遮罩
[outstate]	輸出狀態
[SBM]	SBM模式專案資料夾
[staticmaps]	網格基本圖資
wflow_sbm	ini SBM模式設定檔

圖 3-7 模式專案資料夾

```

1  # wflow outputmaps to save per timestep
2  # valid options for the keys are:
3  # Runoff <-- Default, always saved
4  [inputmapstacks]
14 [modelparameters]
37 [run]
51 [model]
65 [misc]
68 [framework]
91 [layout]
95 [outputmaps]
112 [outputtss]
137 [statvariables]
140 [outputcsv_0]

```

圖 3-8 建立模式專案設定檔 Wflow_sbm.ini 內容

第四章 Wflow 模式與 Delft-FEWS 平台整合

第一節 Delft-FEWS 平台介紹

Delft-FEWS 平台是荷蘭國家水文研究院(Deltares)所開發維護的免費軟體，最早主要應用於防洪預警作業流程中模式與水文氣象資料的銜接與自動化作業排程之工作。而隨著不同模式資料應用需求與領域不斷擴大。成為各國氣象水利部門與研究單位處理水文氣象資料與模式整合的平台。

在國內使用 Delft-FEWS 平台的單位，包含本局、經濟部水利署、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、臺灣海洋大學等單位，使用 Delft-FEWS 平台介接不同模式進行作業化分析或研究議題探討。而在國外目前在美國、澳洲分別利用 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)，如圖 4-1 所示。

此外，目前 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 4-2 所示。以利水土保持領域上能更有效率於國內進行跨單位的合作，甚至有機會向海外各單位進行討論與合作。

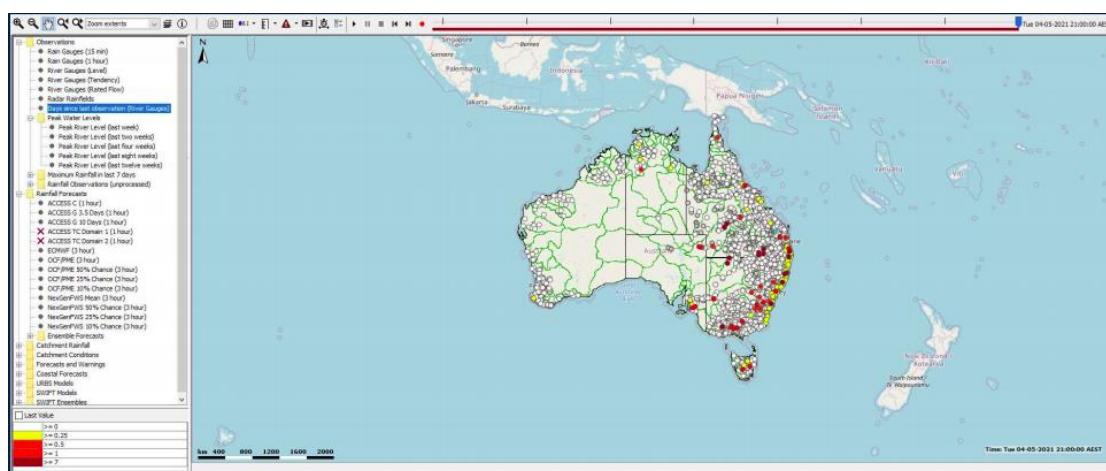


圖 4-1 澳洲氣象局 HyFS 介面

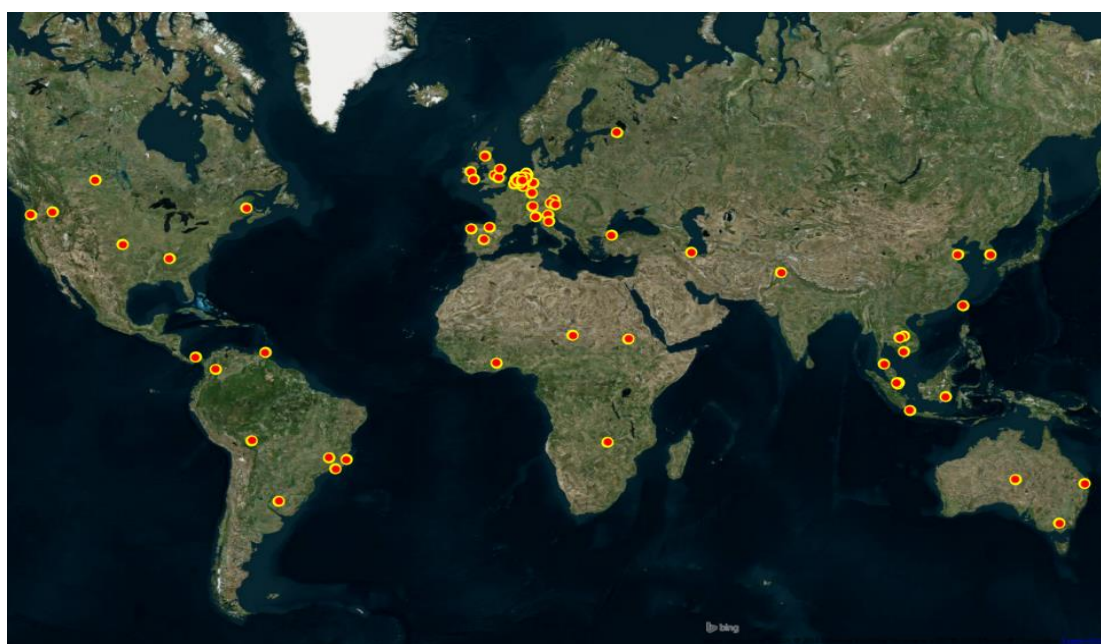


圖 4-2 Delft-FEWS 平台各國應用空間分布情況

第二節 整合流程步驟

當分布式降雨逕流模式專案建置完成後，為了持續有效結合觀測降雨量成果進行流量成果供應。接著利用 Delft-FEWS 平台進行整合(Werner et al. 2013)，將模式使用"通用模式銜接技術(General Adapter)"，其概念如圖 4-4 所示，透過標準化的轉換流程經由 Delft-FEWS 匯出模式所需的輸入雷達降雨量成果後，接著啟動 Wflow 模式進行運算，當確認 Wflow 模式計算完成後，會將 Wflow 模式運算流量成果轉換成為標準格式(NETCDF)回傳給 Delft-FEWS 平台，後續搭配時間序列展示與降雨量與流量空間展示設定，完成模式的串接工作

而模式與平台資料交互的格式目前主要可以透過 XML 格式或 NETCDF 檔案方式進行成果交換，目前在 Wflow 模式使用 NETCDF 檔案進行交換。

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位置進行流量成果的展示。如圖 4-5 所示為平台之操作介面，使用者依照作業需求透過 XML 進行相關使用者介面、作業流程、設定與調整。

此外將相關設定檔透過樣板檔的方式進行設定，透過模組名稱轉換為參數進行設定之方法，可以加快模式建置整合的作業流程。如圖 4-6~圖 4-13 分別為中港溪流域與後龍溪流域模式作業流程設定內容與對應設定後的成果。透過作業流程樣板的設定可完成雷達降雨量計算與轉換、Wflow 模式啟動運算與成果輸出等作業流程。並針對測站點位與土石流潛勢溪流點位進行完整的設定。方便使用者透過點選就可以自動畫完成資料匯入、模式運算、成果輸出等工作。

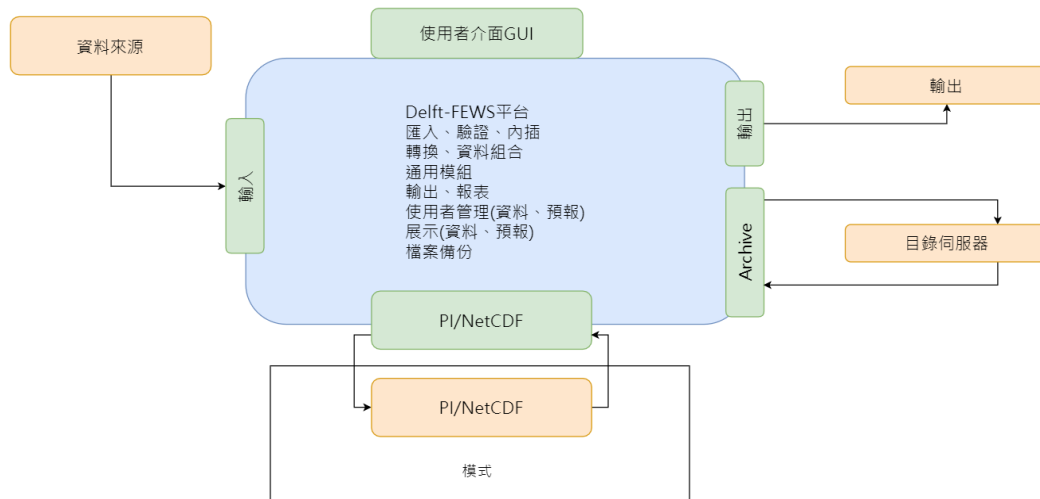


圖 4-3 Delft-FEWS 運作概念圖

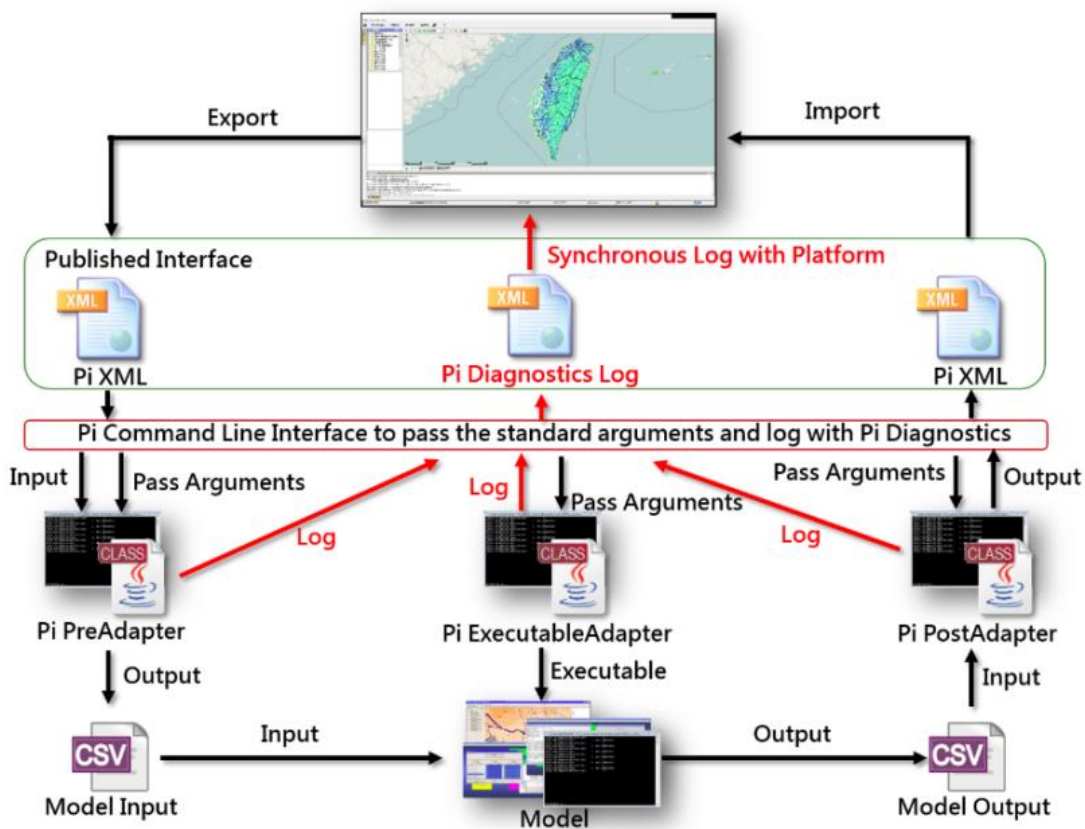


圖 4-4 模式銜接架概念圖

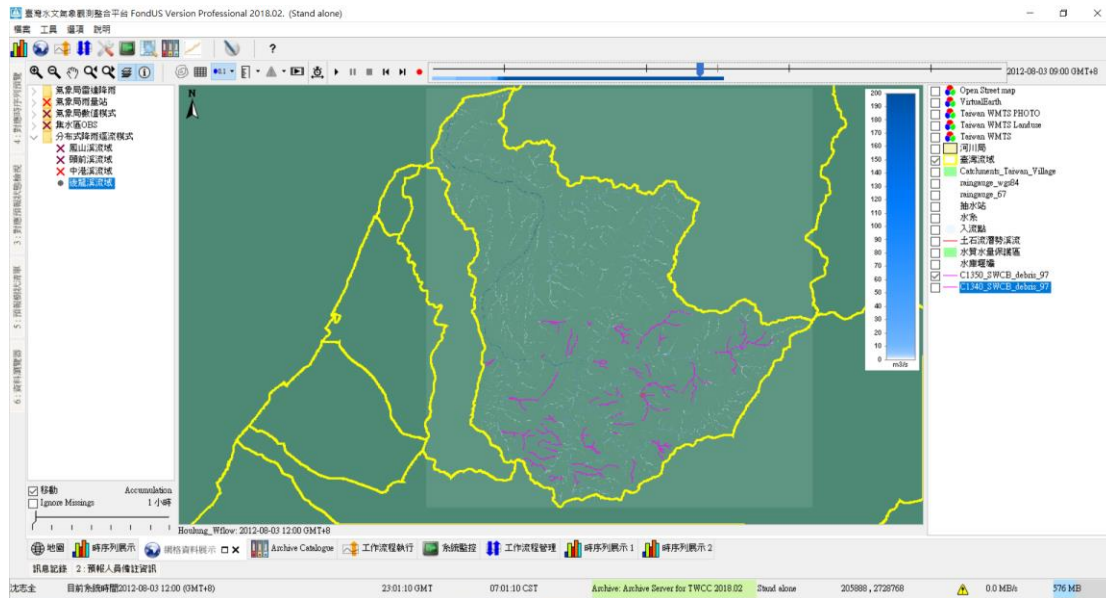


圖 4-5 FEWS 平台 Wflow 模式銜接成果示意圖

```

1 <?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
2 <workflow xmlns="http://www.wildelft.nl/fews" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance"
3   xsi:schemaLocation="http://www.wildelft.nl/fews http://fews.wildelft.nl/schemas/version1.0/workflow.xsd" version="1.0">
4   <properties>
5     <!-- Global Properties -->
6     <string key="LOCATIONS_BASIN_GRID" value="Grid_Wflow_Jhonggang"/>
7   </properties>
8   <activity>
9     <runIndependent>true</runIndependent>
10    <moduleInstanceId>Opesums_To_Catchment_Grid</moduleInstanceId>
11    <moduleConfigFileName>Template_Opesums_To_Catchment_Grid_Wflow</moduleConfigFileName>
12  </activity>
13  <activity>
14    <properties>
15      <string key="GA_WFLOW_IDMAP_IMPORT" value="Jhonggang_Wflow_Import"/>
16      <string key="GA_WFLOW_IDMAP_EXPORT" value="Jhonggang_Wflow_Export"/>
17      <string key="BASIN_NAME" value="Jhonggang"/>
18      <string key="MODULE_WFLOW" value="Jhonggang_Wflow"/>
19    </properties>
20    <runIndependent>true</runIndependent>
21    <moduleInstanceId>Jhonggang_Wflow</moduleInstanceId>
22    <moduleConfigFileName>Template_Wflow_GA</moduleConfigFileName>
23  </activity>
24  <activity>
25    <properties>
26      <string key="MODULE_WFLOW" value="Jhonggang_Wflow"/>
27      <string key="LOCATIONS_BASIN_GRID" value="Grid_Wflow_Jhonggang"/>
28      <string key="LOCATIONS_WFLOW" value="Jhonggang_Wflow_Gauges"/>
29    </properties>
30    <runIndependent>true</runIndependent>
31    <moduleInstanceId>Process_Wflow</moduleInstanceId>
32    <moduleConfigFileName>Template_Process_Wflow</moduleConfigFileName>
33  </activity>
34 </workflow>

```

圖 4-6 中港溪流域 Wflow 作業流程設定



圖 4-7 中港流域 Wflow 作業流程設定成果

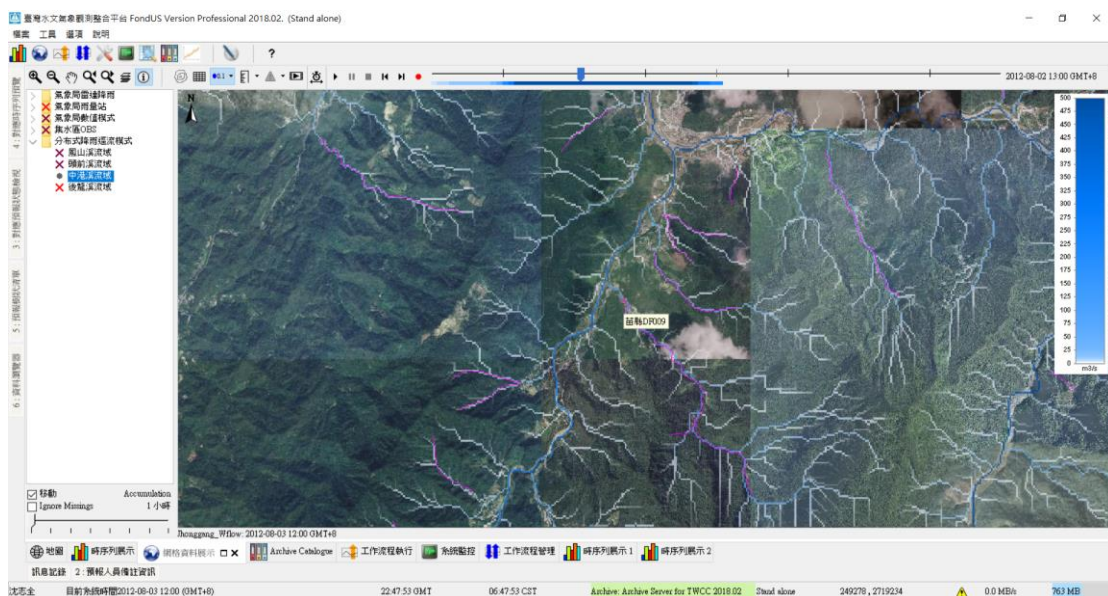


圖 4-8 中港溪 Wflow 成果與苗栗縣 DF009 土石流潛勢溪流位置

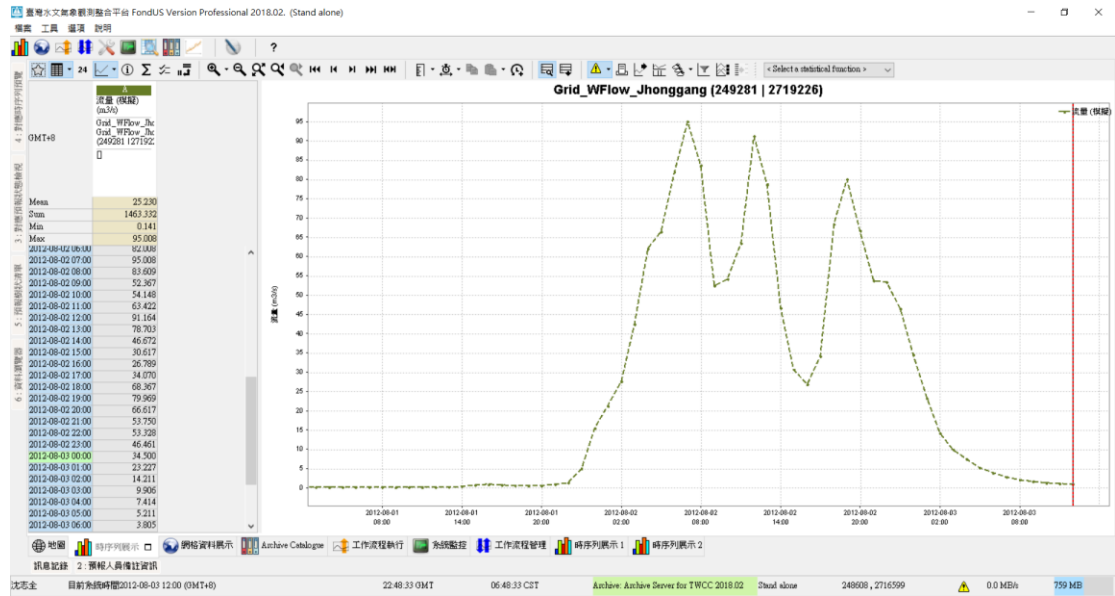


圖 4-9 中港河流域苗栗縣 DF009 土石流潛勢溪流下游匯流點流量資訊

```

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   "http://www.wldelft.nl/fews http://fews.wldelft.nl/schemas/version1.0/workflow.xsd" version="1.0">
4   <properties>
5     <!-- Global Properties -->
6     <string key="LOCATIONS_BASIN_GRID" value="Grid_WFlow_Houlung"/>
7   </properties>
8   <activity>
9     <runIndependent>true</runIndependent>
10    <moduleInstanceId>Qpesums_To_Catchment_Grid</moduleInstanceId>
11    <moduleConfigFileName>Template_Qpesums_To_Catchment_Grid_Wflow</moduleConfigFileName>
12  </activity>
13  <activity>
14    <properties>
15      <string key="GA_WFLOW_IDMAP_IMPORT" value="Houlung_Wflow_Import"/>
16      <string key="GA_WFLOW_IDMAP_EXPORT" value="Houlung_Wflow_Export"/>
17      <string key="BASIN_NAME" value="Houlung"/>
18      <string key="MODULE_WFLOW" value="Houlung_Wflow"/>
19    </properties>
20    <runIndependent>true</runIndependent>
21    <moduleInstanceId>Houlung_Wflow</moduleInstanceId>
22    <moduleConfigFileName>Template_Wflow_GA</moduleConfigFileName>
23  </activity>
24  <activity>
25    <properties>
26      <string key="MODULE_WFLOW" value="Houlung_Wflow"/>
27      <string key="LOCATIONS_BASIN_GRID" value="Grid_WFlow_Houlung"/>
28      <string key="LOCATIONS_WFLOW" value="Houlung_Wflow_Gauges"/>
29    </properties>
30    <runIndependent>true</runIndependent>
31    <moduleInstanceId>Process_Wflow</moduleInstanceId>
32    <moduleConfigFileName>Template_Process_Wflow</moduleConfigFileName>
33  </activity>
34 </workflow>

```

圖 4-10 後龍河流域 Wflow 作業流程設定

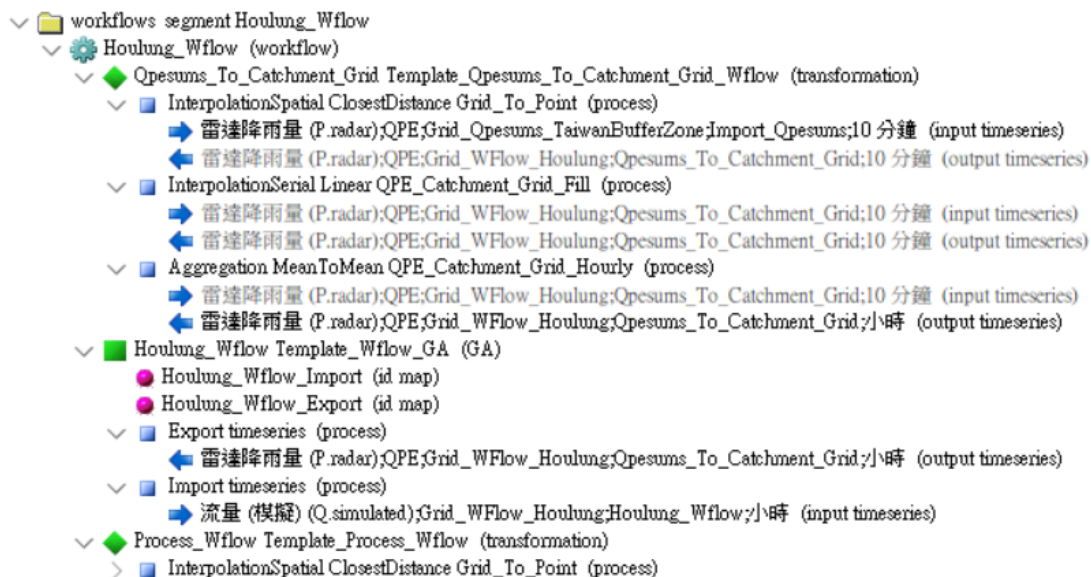


圖 4-11 後龍溪流域 Wflow 作業流程設定成果

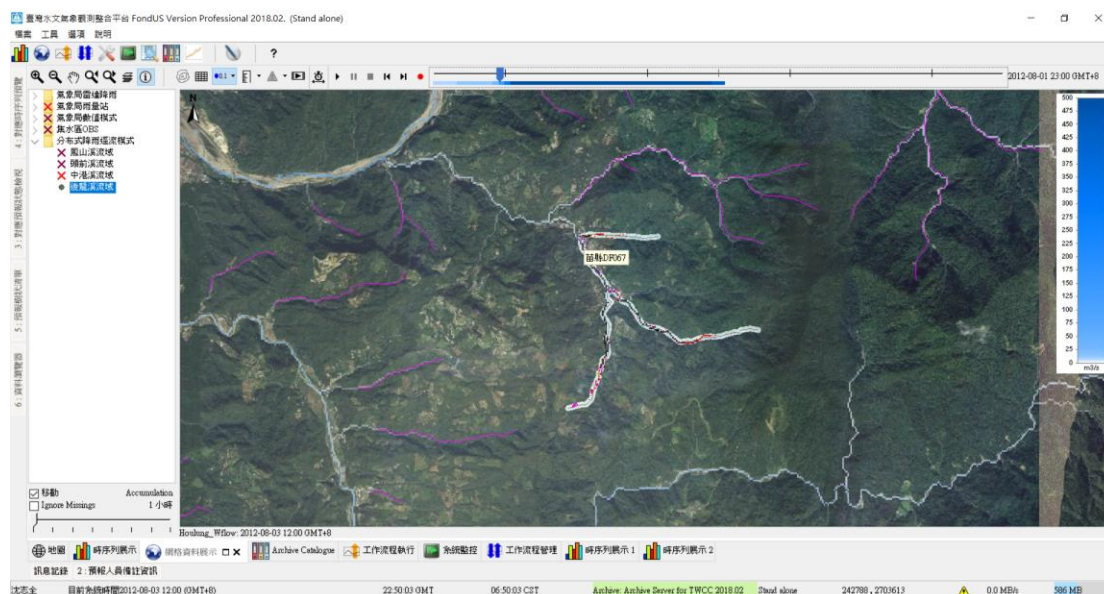


圖 4-12 後龍溪 Wflow 模擬成果與苗栗縣 DF067 土石流潛勢溪流位置

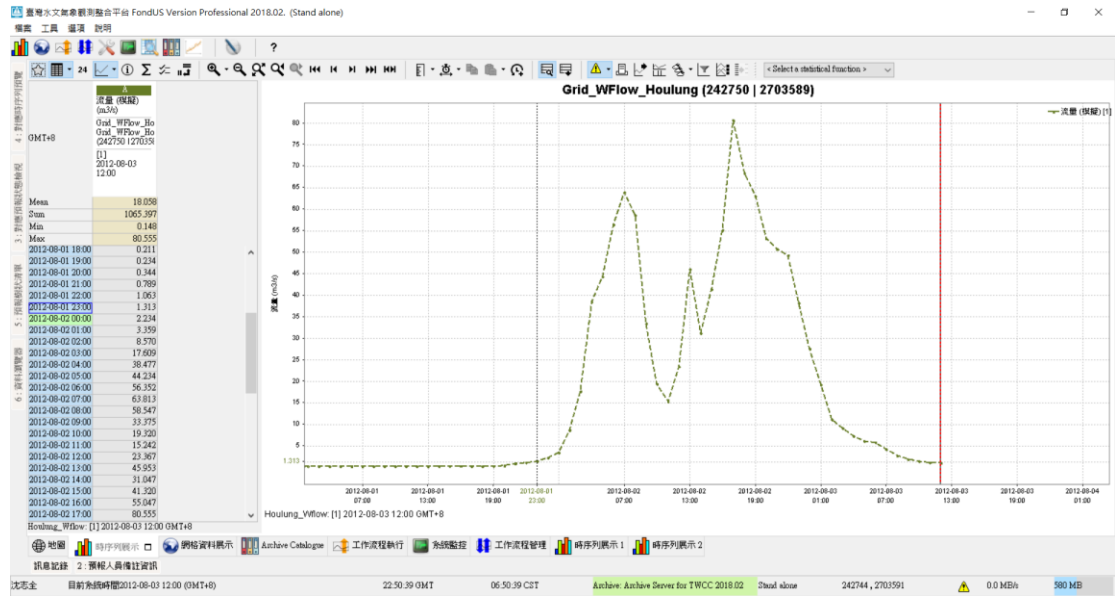


圖 4-13 後龍溪流域苗栗縣 DF067 土石流潛勢溪流下游匯流點流量資訊

第三節 系統維護與使用操作教材

為了有效讓相關同仁可以更加瞭解系統操作與架構，預計透過系統操作搭配對應的設定檔說明方式進行。初步課程規劃內容規劃下面 9 個主題進行教材的內容的規劃。

- (一) 系統架構介紹 (整體系統資訊傳遞流程與架構)
- (二) 功能介紹 (時間序列展示、資料統計)
- (三) 使用者介面 (地圖介面、時間序列展示、動態網格展示)
- (四) 作業流程設定 (資料匯入、模式運算)
- (五) 資料匯入 (雷達降雨、雨量站、水位站資料)
- (六) 資料時間序列展示 (雷達降雨、測站資料、Wflow 模式)
- (七) 資料空間展示 (雷達降雨、Wflow 模式二維網格)
- (八) Wflow 模式銜接
- (九) 成果輸出與應用

上述內容每一個講解大約 10~15 分鐘。搭配簡報與線上操作。其目標為讓參與者對於系統的架構可以有充分的了解。並且能夠知道在那一個位置與介面可以取得所需要的資訊內容。同時未來進一步若有需要調整相關功能與模組時，可以由哪邊開始或知道可以參考對應的設定說明文件，進行系統功能模組調整。另外搭配輔助的 Delft-FEWS 平台基本教育訓練教材簡報內容與操作動畫，如圖 4-14 與圖 4-15 所示。來強化使用者對於平台與基礎操作的熟悉程度。

READ FIRST - 開始前置作業.pdf

Module01 課程介紹.pdf

Module02 系統介紹.pdf

Module03 使用者介面.pdf

Module04 設定檔架構.pdf

Module05 模組與作業流程.pdf

Module06 執行作業流程.pdf

Module07 測站群組.pdf

Module08 時間與時間序列設定.pdf

Module09 匯入資料.pdf

Module10 處理資料.pdf

Module11 圖表視覺化展示.pdf

Module12 空間網格展示.pdf

練習.pdf

	Module01CourseIntroduction	mp4
	Module02DelftFEWSIntroduction	mp4
	Module03GettingStartedAndUsingTheInterface	mp4
	Module04ConfigurationOverview	mp4
	Module05ModulesAndWorkflows	mp4
	Module06RunningWorkflows	mp4
	Module07LocationSets	mp4
	Module08TimeAndTimeSeriesSets	mp4
	Module09ImportingData	mp4
	Module10ProcessingData	mp4
	Module11VisualisingDataInPlots	mp4
	Module12UsingSpatialDataDisplays	mp4

圖 4-14 Delft-FEWS 平台基本教育訓練教材

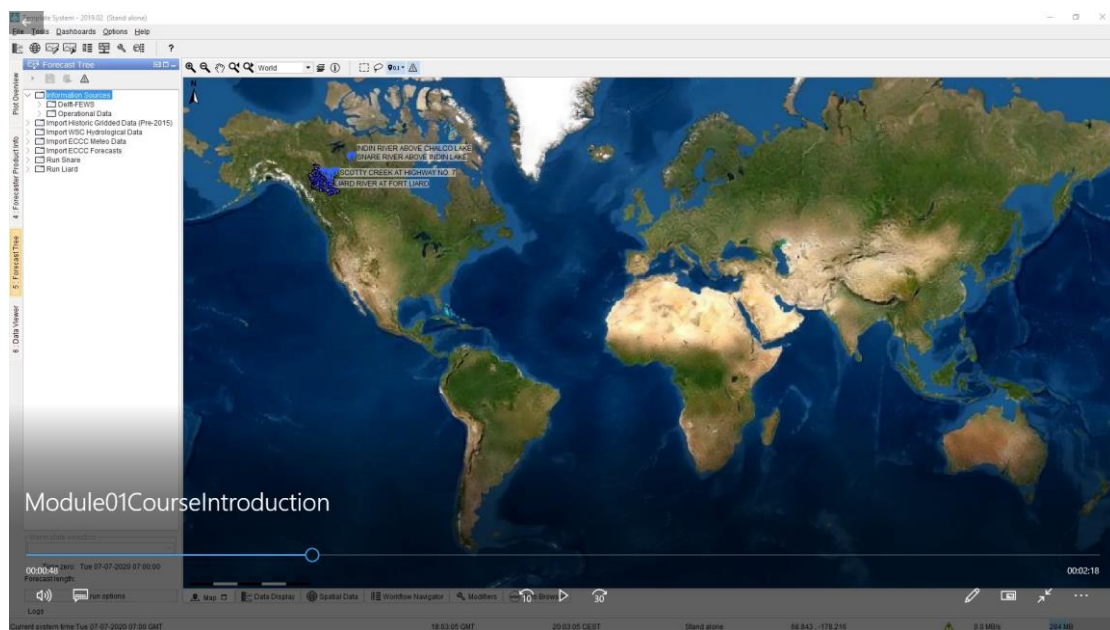


圖 4-15 Delft-FEWS 平台操作介紹動畫內容

第五章 颱風豪雨應用案例測試驗證

第一節 模式測試驗證流程

針對模式資料成果的測試與驗證過程中，針對歷史事件成果的比對上，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流量測試驗證。並選擇流域集水區在颱風豪雨事件較大的降雨事件進行比對與驗證，在中港溪後龍溪流域的分別選用 2012 年納莉颱風、2012 年蘇拉颱風、2013 年 5 月 11 日豪雨事件、2013 年蘇力颱風、2013 年潭美颱風、2019 年 6 月 14 日豪雨事件等六場事件進行初步測試。而透過模式計算控制點流量資訊與對應河川流量控制點為之觀測數據進行檢核比對工作。針對模式計算成果的檢核項內容與方式，主要利用常用水文模式檢定驗證統計指標，如效率係數(Coefficient of Efficiency, CE)、洪峰誤差百分率(Error of Peak discharge, EQP)、洪峰到達時間誤差(Error of time to Peak, ETP)等 3 種統計指標，進行觀測與模擬成果之差異比對。相關驗證指數之說明如下：

(一) 效率係數 (CE)

$$CE = 1 - \frac{\sum(Q_{OBSs} - Q_{EST})^2}{\sum(Q_{OBS} - \bar{Q}_{obs})^2}$$

式中 Q_{OBS} 為實測流量； Q_{EST} 為計算流量。當 CE 趨近 1.0 時，表示計算流量與實測流量接近。

(二) 洪峰誤差百分率 (EQP)

$$EQ_p = \frac{(Q_{P,EST} - Q_{P,OBS})}{Q_{P,OBS}} \times 100\%$$

式中， $Q_{P,OBS}$ 為實測流量洪峰值； $Q_{P,EST}$ 為計算流量洪峰值。

(三) 洪峰到達時間誤差 (ETP)

$$ET_P(\text{hours}) = T_{P,EST} - T_{P,OBS}$$

式中 $T_{P,OBS}$ 為實測流量之洪峰到達時刻； $T_{P,EST}$ 為計算流量之洪峰到達時刻。

第二節 中港河流域模式流量初步驗證成果

利用上述模式檢定驗證評估統計方式，針對中港河流域平安橋與永興橋水位站之流量進行初步驗證。分別選用 2012 年納莉颱風、2012 年蘇拉颱風、2013 年 5 月 11 日豪雨事件、2013 年蘇力颱風、2013 年潭美颱風、2019 年 6 月 14 日豪雨事件，進行第一階段模式檢定驗證成果，其模式測試驗證成果如表 5-1 所示，對應降雨量與模擬流量及觀測流量成果如圖 5-1~圖 5-6 所示。在資料成果中發現平安橋在 2012 年納莉颱風、2012 年蘇拉颱風效率係數介於 0.91~0.7 之間而其四場事件效率係數均未達 0.5。進一步檢視資料內容發現 2013 潭美颱風雨與 20190614 豪雨觀測流量大於模擬流量。2013 蘇力颱風則是觀測流量小於模擬流量，而 20130511 豪雨在第二波降雨量推估之流量較觀測流量高。

永興橋在 2012 年納莉颱風與 2019 年 6 月 14 日豪雨事件效率係數約 0.7，而其餘四場事件效率係數均未達 0.5。而在 2012 年蘇拉颱風、2013 年蘇力颱風、2013 年潭美颱風模式推估之流量高於觀測流量。2013 年 5 月 11 日豪雨事件成果與觀測流量在第一波降雨洪峰時趨勢相似，但在第二波降雨時模擬流量反應之流量高於觀測流量之情況。六場案例測試驗證統計成果如

表 5-2 所示。永興橋各場事件模式之計算成果與對應集水區平均降雨量資訊，如圖 5-7~圖 5-12 所示。2013 年蘇力颱風對應之兩個水位站之觀測水文量似乎有偏低情況，經過與水利署討論，由於流量資料使用水位流量率定曲線進行轉換，若該年度率定曲線資料未包含高流量資訊時，可能會導致，對應水位流量數值偏低之情況。檢視對應觀測水位資訊與對應流量資訊將差異較多的事件與測站清單列出，提供後續使用者參考。此外針對初始條件，與地文參數等內容進行參數之定期維護更工作，以持續提升模式流量推估之準確度。

表 5-1 中港溪平安橋模式測試驗證成果

颱風事件	效率係數 (CE)	洪峰誤差 EQP (%)	均方根 誤差 (RMSE)	模擬 洪峰 (m ³ /s)	觀測 洪峰 (m ³ /s)	最大 降雨量 (mm/hr)
2012 年 納莉颱風	0.912	-18.238	48.580	651.641	797	31.69
2012 年 蘇拉颱風	0.706	31.333	266.306	2202.461	1677	34.85
2013 年 5 月 11 日 豪雨事件	-0.367	13.758	23.033	111.938	98.4	34.43
2013 年 蘇力颱風	-256.980	2134.238	705.151	2942.492	131.7	45.57
2013 年 潭美颱風	0.370	-36.289	352.426	978.594	1536	22.44
2019 年 6 月 14 日 豪雨事件	0.331	-69.360	129.494	333.977	1090	34.42

表 5-2 中港溪永興橋模式測試驗證成果

颱風事件	效率係數 (CE)	洪峰誤差 EQP (%)	均方根 誤差 (RMSE)	模擬 洪峰 (m ³ /s)	觀測 洪峰 (m ³ /s)	最大 降雨量 (mm/hr)
2012 年 納莉颱風	0.706	-0.888	86.300	746.313	753	31.69
2012 年 蘇拉颱風	-0.372	49.511	303.220	1472.688	985	34.85
2013 年 5 月 11 日 豪雨事件	0.422	-10.818	14.789	87.398	98	34.43
2013 年 蘇力颱風	-6.835	258.436	444.418	2638.086	736	45.57
2013 年 潭美颱風	0.405	84.768	89.989	757.547	410	22.44
2019 年 6 月 14 日 豪雨事件	0.721	4.315	15.377	172.641	165.5	34.42

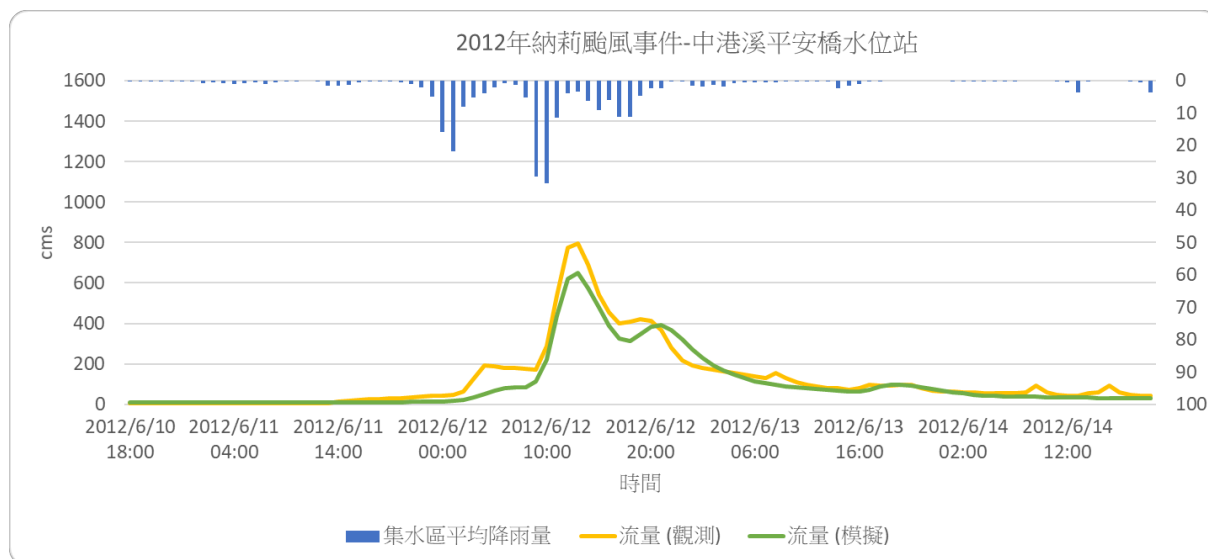


圖 5-1 中港溪平安橋 2012 年納莉颱風計算成果

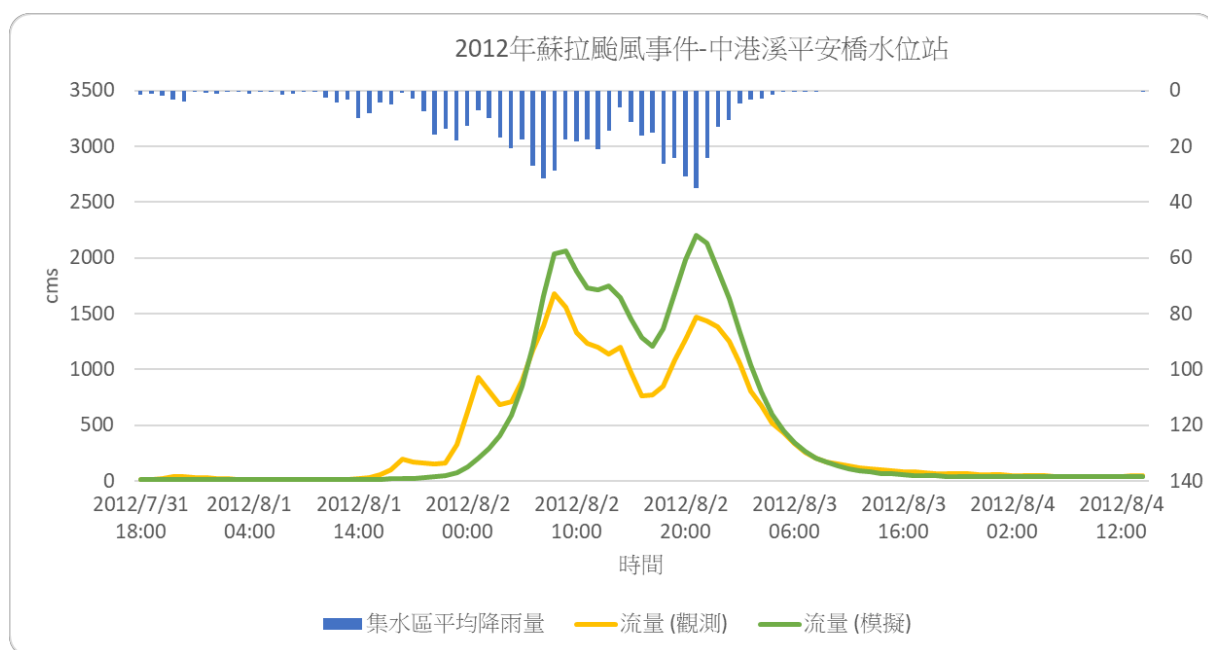


圖 5-2 中港溪平安橋 2012 年蘇拉颱風計算成果

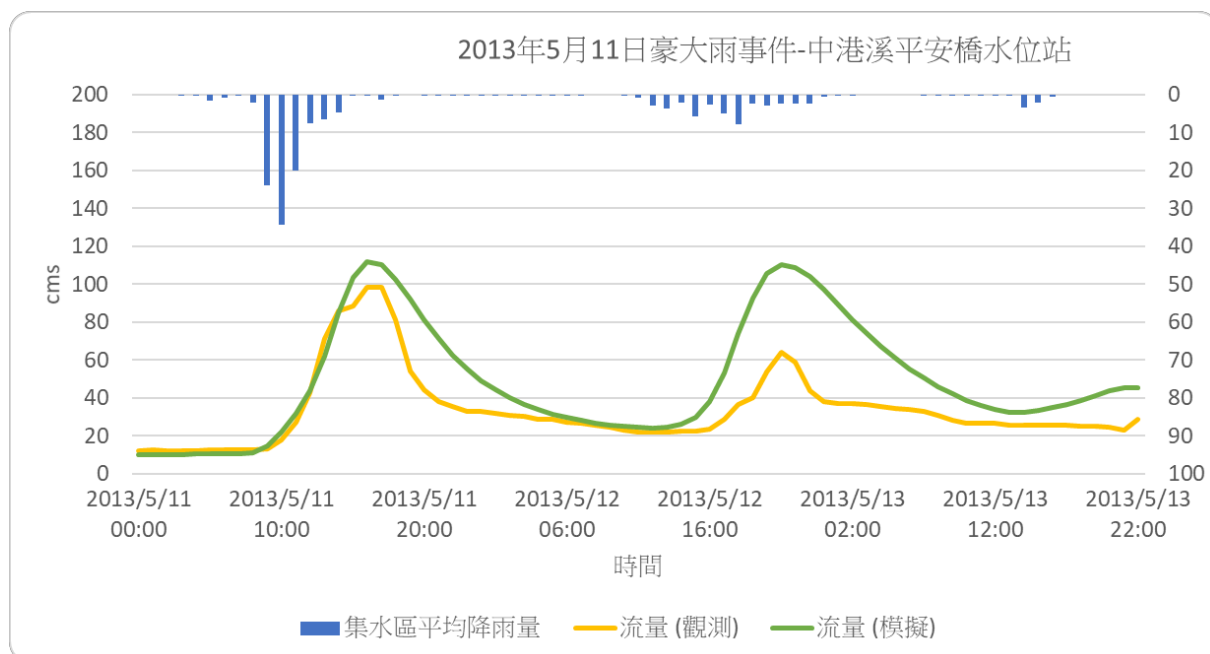


圖 5-3 中港溪平安橋 2013 年 5 月 11 日豪雨事件計算

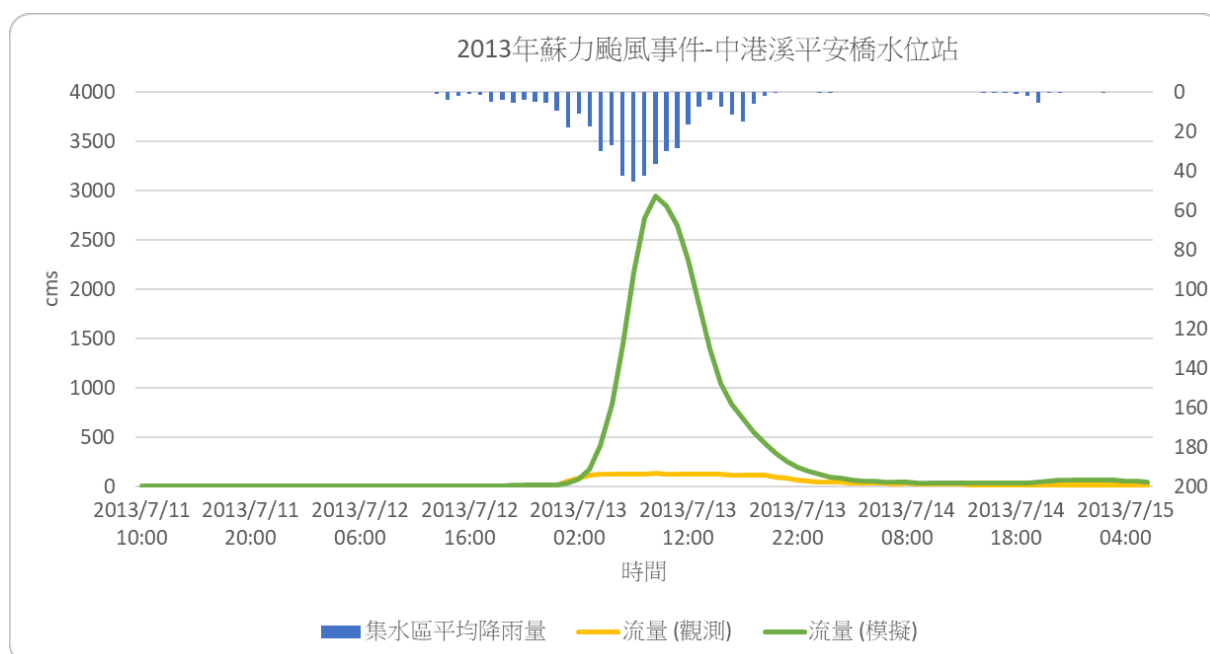


圖 5-4 中港溪平安橋 2013 年蘇力颱風計算成果

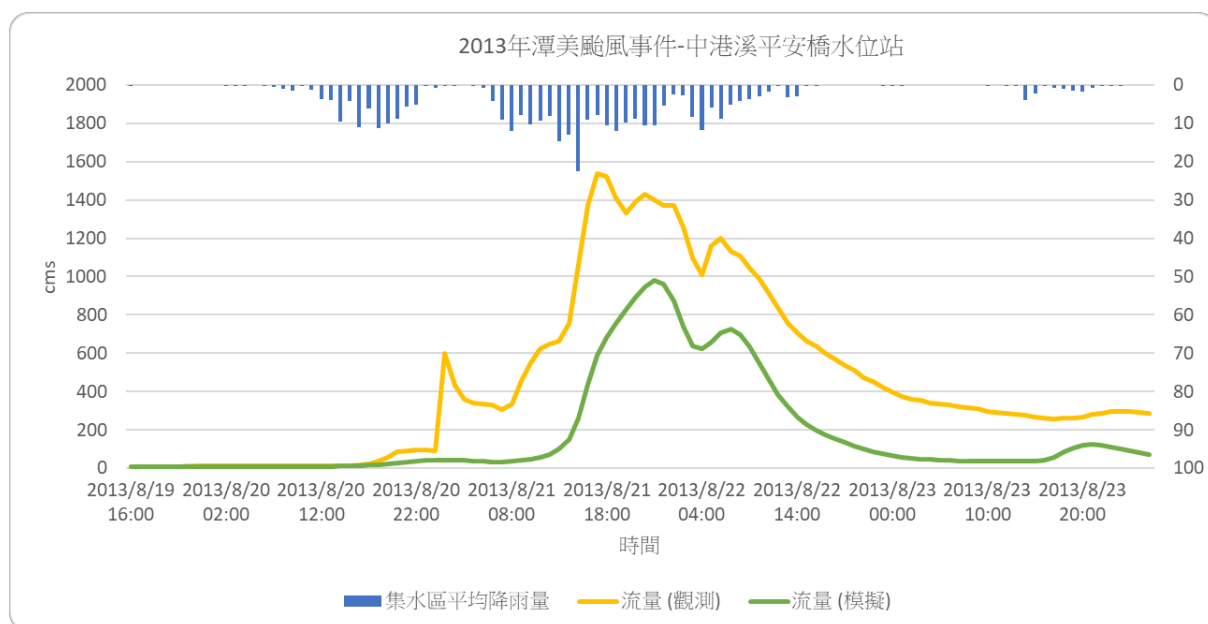


圖 5-5 中港溪平安橋 2013 年潭美颱風計算成果

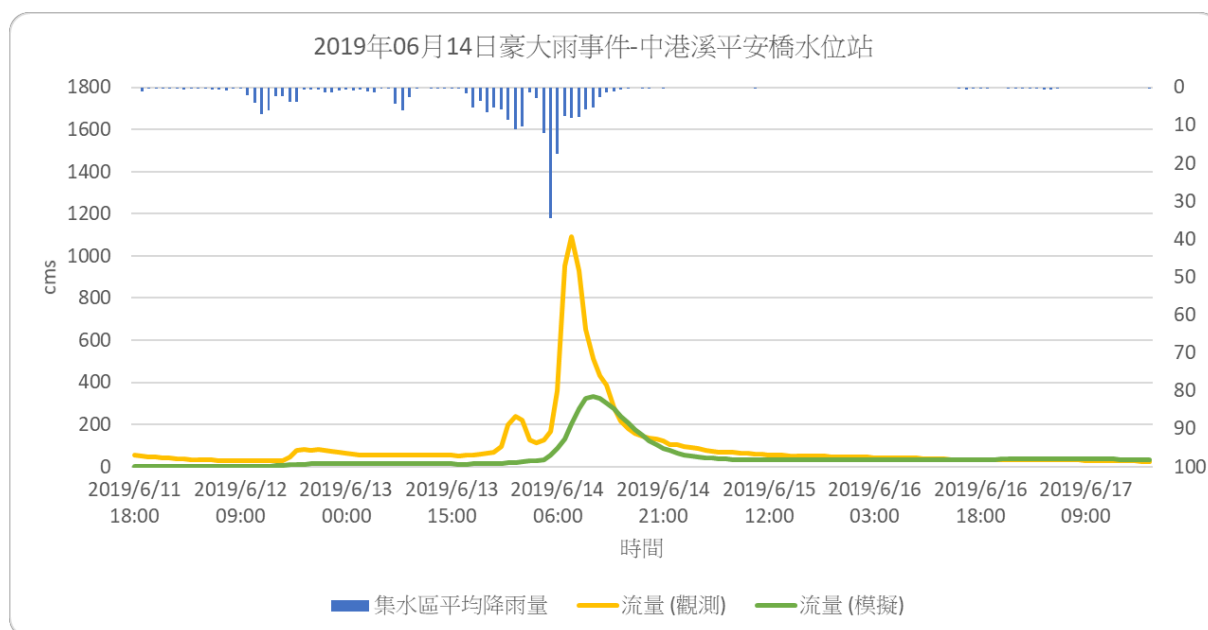


圖 5-6 中港溪平安橋 2019 年 6 月 14 日豪雨事件計算成果

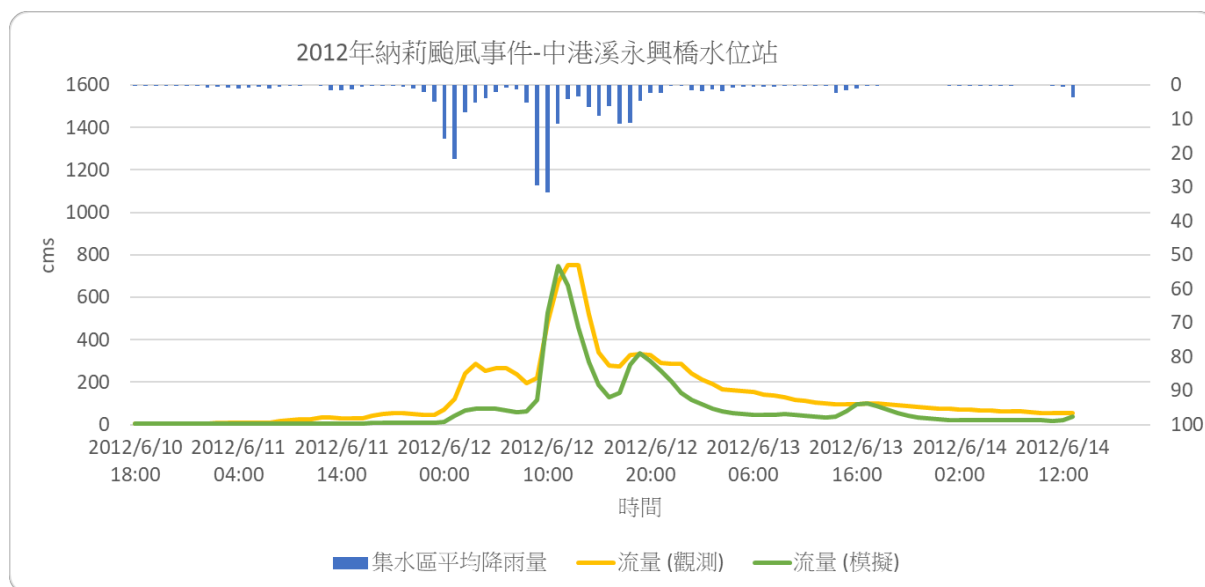


圖 5-7 中港溪永興橋 2012 年納莉颱風計算成果

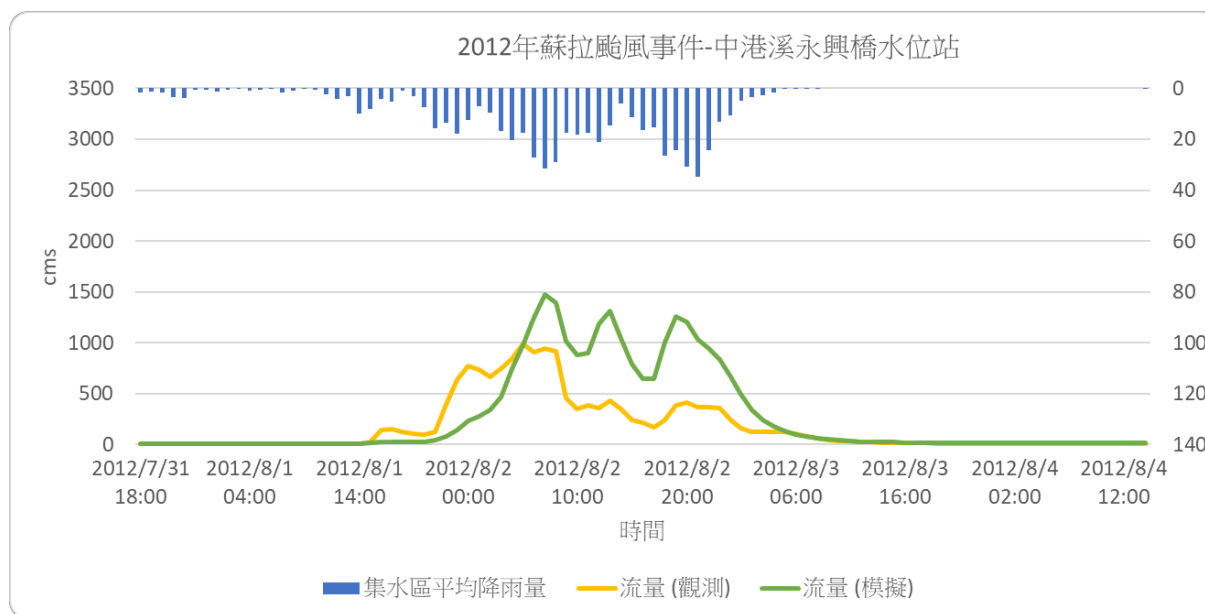


圖 5-8 中港溪永興橋 2012 年蘇拉颱風計算成果

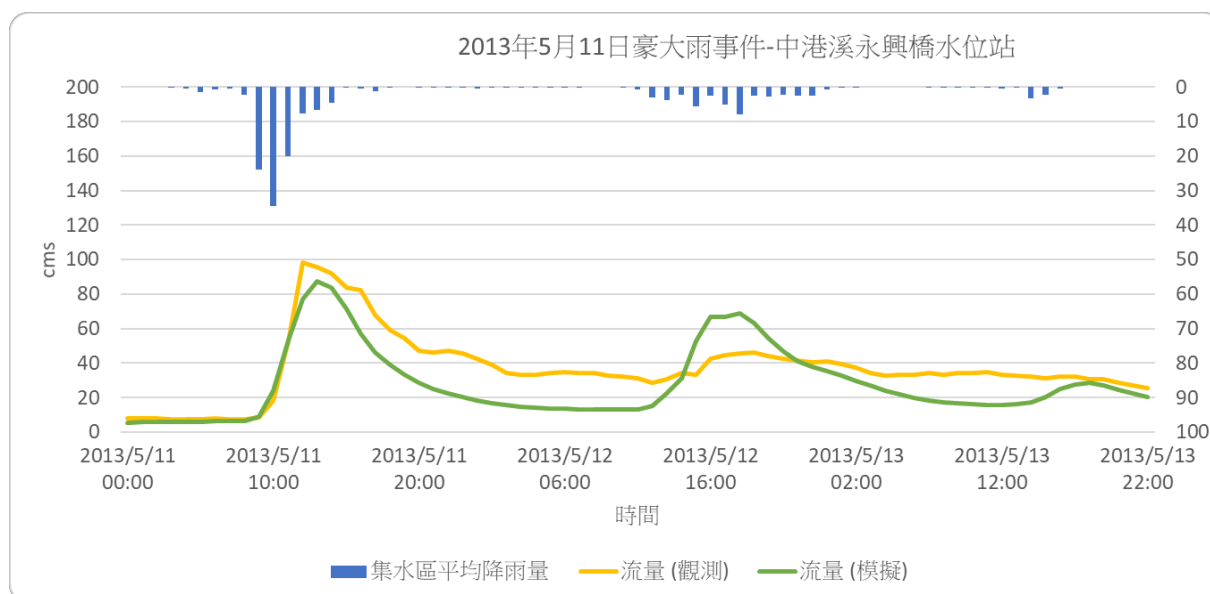


圖 5-9 中港溪永興橋 2013 年 5 月 11 日豪雨事件計算

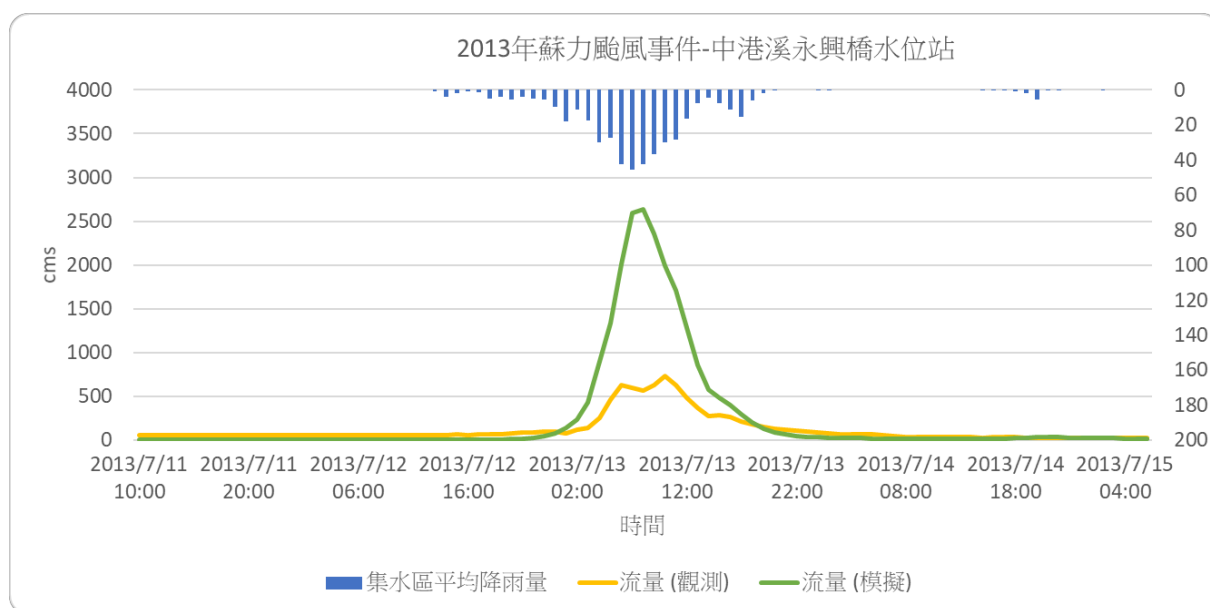


圖 5-10 中港溪永興橋 2013 年蘇力颱風計算成果

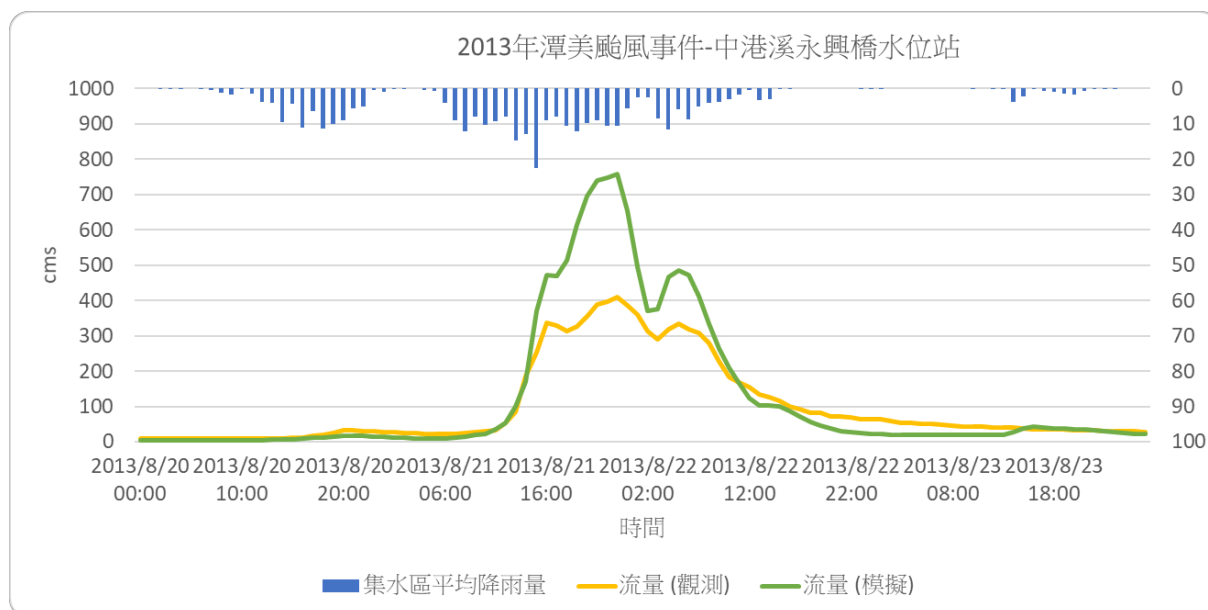


圖 5-11 中港溪永興橋 2013 年潭美颱風計算成果

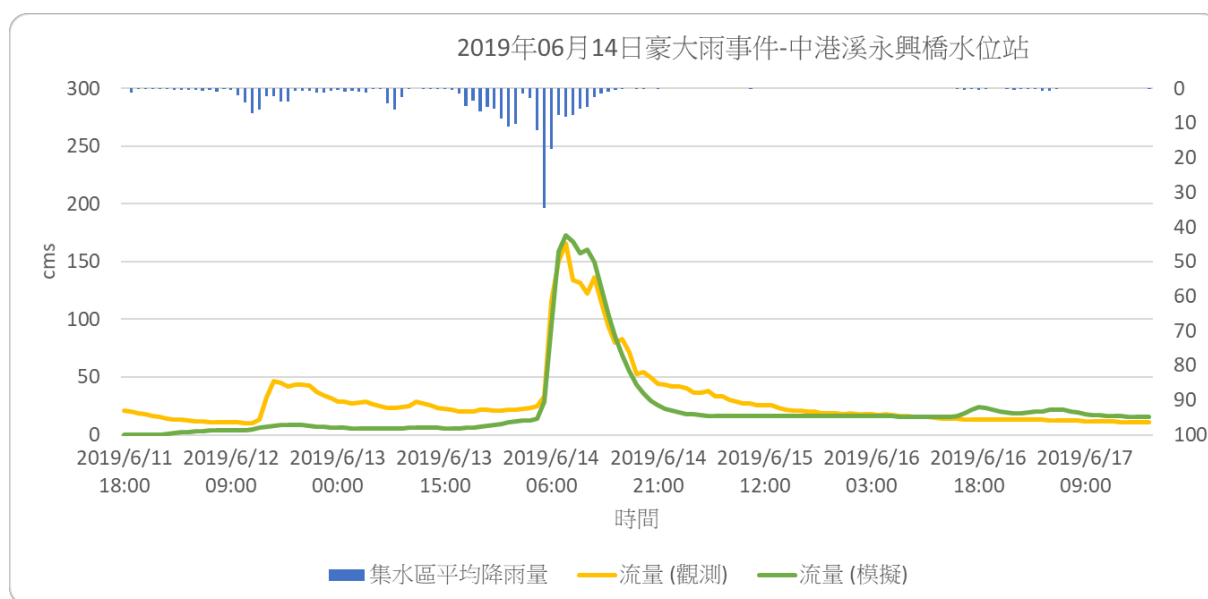


圖 5-12 中港溪永興橋 2019 年 6 月 14 日豪雨事件計算

第三節 後龍溪流域模式流量驗證成果

後龍溪流域模式測試驗證，主要利用打鹿坑與恭敬橋水位站之流資訊進行驗證。打鹿坑站在 2012 年納莉颱風、2012 年蘇拉颱風、2013 年 5 月 11 日豪雨事件、2013 年蘇力颱風、2013 年潭美颱風、2019 年 6 月 14 日豪雨事件中效率係數介於 0.94~0.54 之間。在 2013 年 5 月 11 日豪雨事件、2013 年蘇力颱風、2013 年潭美颱風之案例觀測流量大於模擬流量事件。

而在恭敬橋站 2012 年納莉颱風、2012 年蘇拉颱風、2013 年 5 月 11 日豪雨事件、2013 年蘇力颱風、2013 年潭美颱風、2019 年 6 月 14 日豪雨事件中，有兩場事件效率係數未達 0.5，分別為 2012 年蘇拉颱風、2019 年 6 月 14 日豪雨事件，其餘事件效率係數介於 0.9~0.67 之間。在 2012 年蘇拉颱風、2019 年 6 月 14 日豪雨事件模擬流量高於觀測流量之情況。

經過與水利署討論，由於流量資料使用水位流量率定曲線進行轉換，若該年度率定曲線資料未包含高流量資訊時，可能會導致，對應水位流量數值偏低之情況。檢視對應觀測水位資訊與對應流量資訊差異較多的事件與測站清單列出，提供後續使用者參考。此外針對初始條件，與地文參數等內容進行參數之定期維護更工作，以持續提升模式流量推估之準確度。

表 5-3 後龍溪打鹿坑模式測試驗證成果

颱風事件	效率係數 (CE)	洪峰誤差 EQP (%)	均方根 誤差 (RMSE)	模擬 洪峰 (m ³ /s)	觀測 洪峰 (m ³ /s)	最大 降雨量 (mm/hr)
2012 年 納莉颱風	0.734	22.709	96.932	1184.141	965	25.21
2012 年 蘇拉颱風	0.942	-6.597	210.761	2669.461	2858	34.58
2013 年 5 月 11 日 豪雨事件	0.628	-60.683	39.991	181.055	460.5	32.02
2013 年 蘇力颱風	0.543	-37.291	928.359	2821.891	4500	43.13
2013 年 潭美颱風	0.548	-37.931	413.598	1155.734	1862	24.62
2019 年 6 月 14 日 豪雨事件	0.672	-10.644	83.187	915.008	1024	22.21

表 5-4 後龍溪恭敬橋模式測試驗證成果

颱風事件	效率係數 (CE)	洪峰誤差 EQP (%)	均方根 誤差 (RMSE)	模擬 洪峰 (m ³ /s)	觀測 洪峰 (m ³ /s)	最大 降雨量 (mm/hr)
2012 年 納莉颱風	0.670	11.240	42.409	470.547	423	25.21
2012 年 蘇拉颱風	-1.754	143.157	238.301	1181.742	486	34.58
2013 年 5 月 11 日 豪雨事件	0.733	-34.488	7.505	65.25	99.6	32.02
2013 年 蘇力颱風	0.904	-14.729	87.537	1169.914	1372	43.13
2013 年 潭美颱風	0.831	0.199	48.703	435.867	435	24.62
2019 年 6 月 14 日 豪雨事件	-1.000	120.512	47.639	458.664	208	22.21

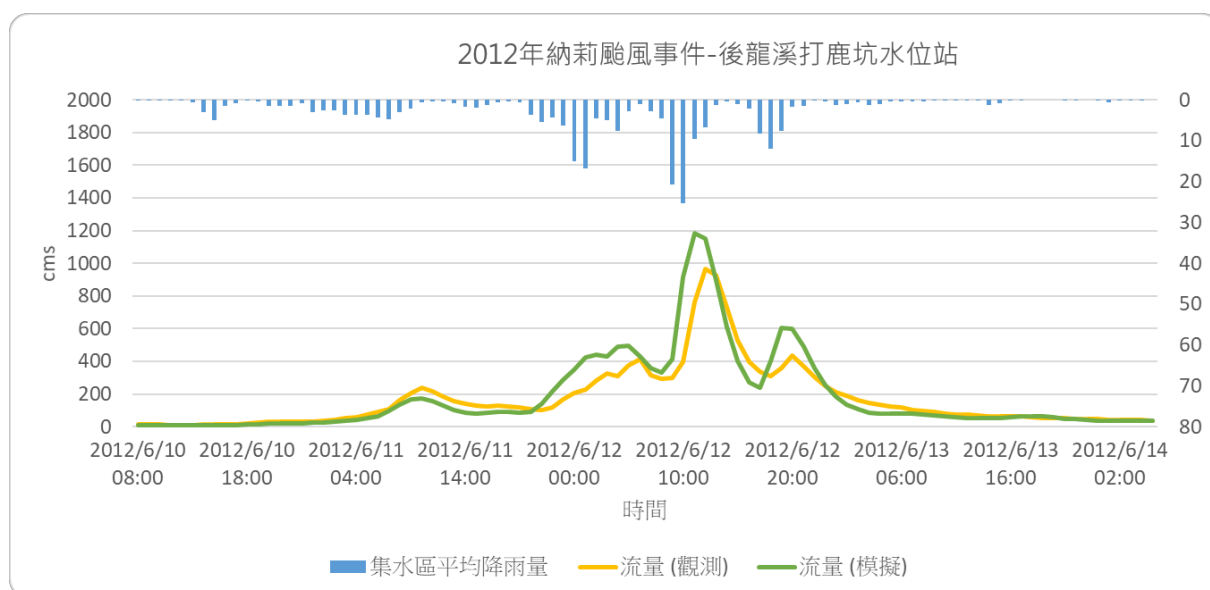


圖 5-13 後龍溪打鹿坑 2012 年納莉颱風計算成果

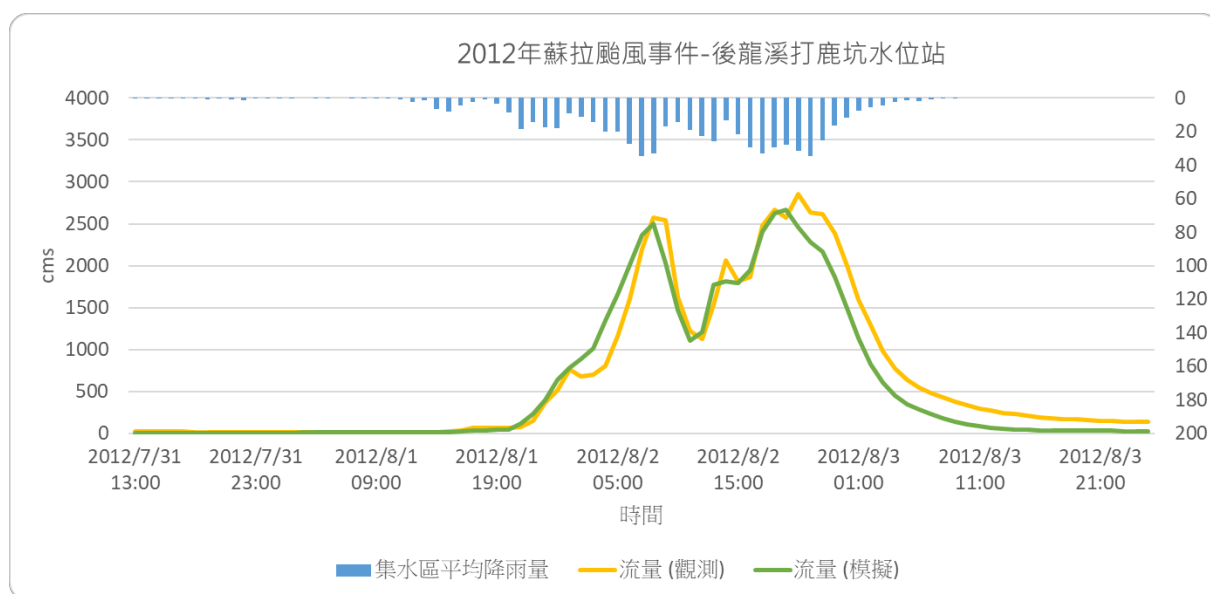


圖 5-14 後龍溪打鹿坑 2012 年蘇拉颱風計算成果

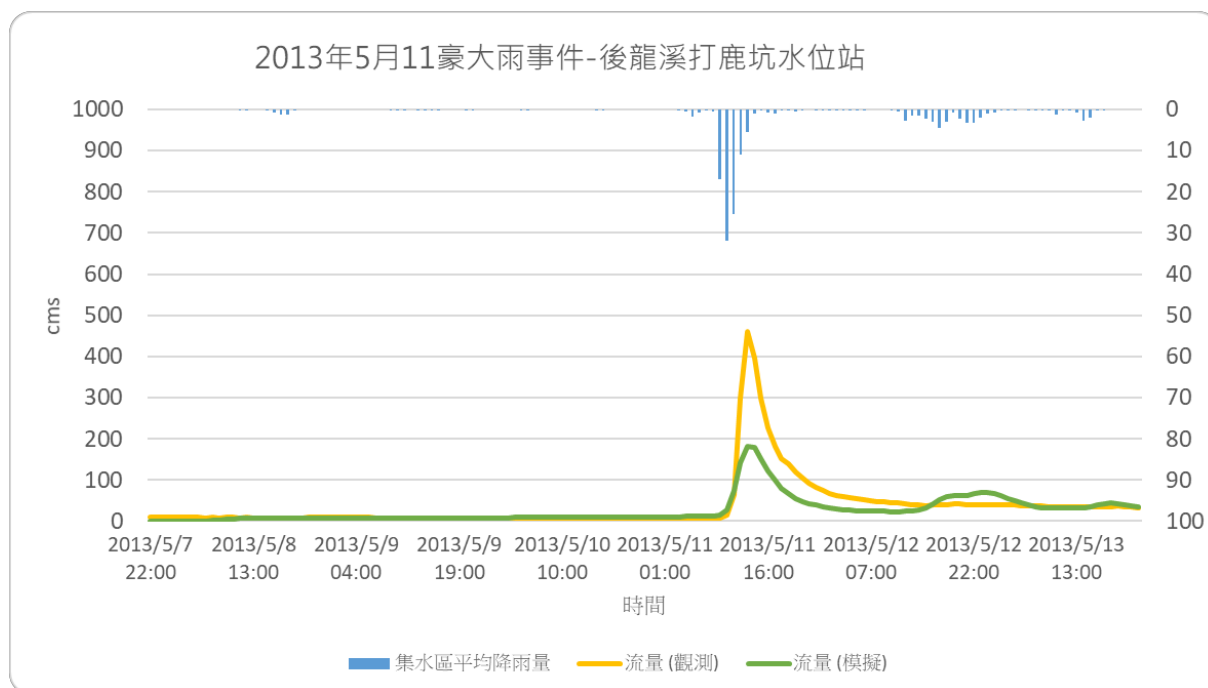


圖 5-15 後龍溪打鹿坑 2013 年 5 月 11 日豪雨事件計算成果

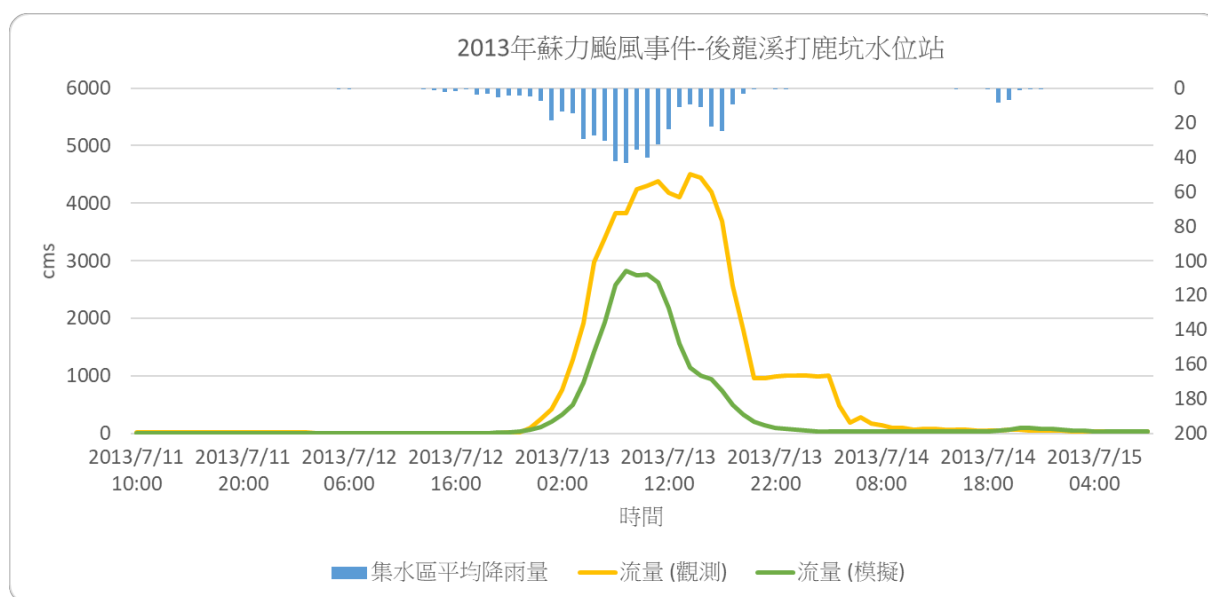


圖 5-16 後龍溪打鹿坑 2013 年蘇力颱風計算成果

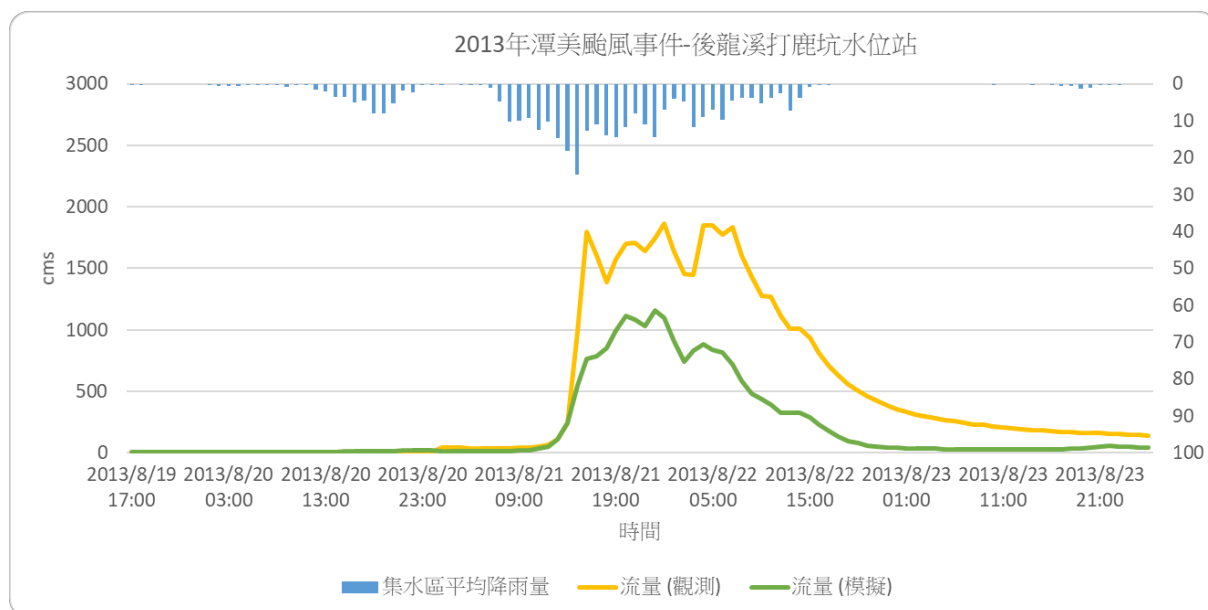


圖 5-17 後龍溪打鹿坑 2013 年潭美颱風計算成果

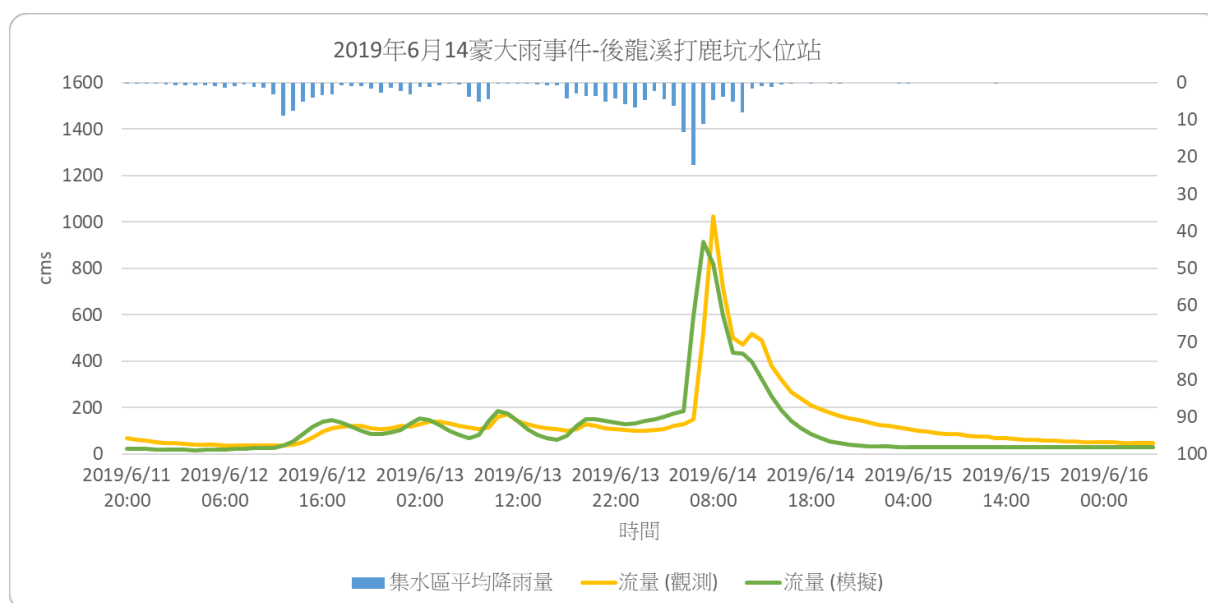


圖 5-18 後龍溪打鹿坑 2019 年 6 月 14 日豪雨事件計算

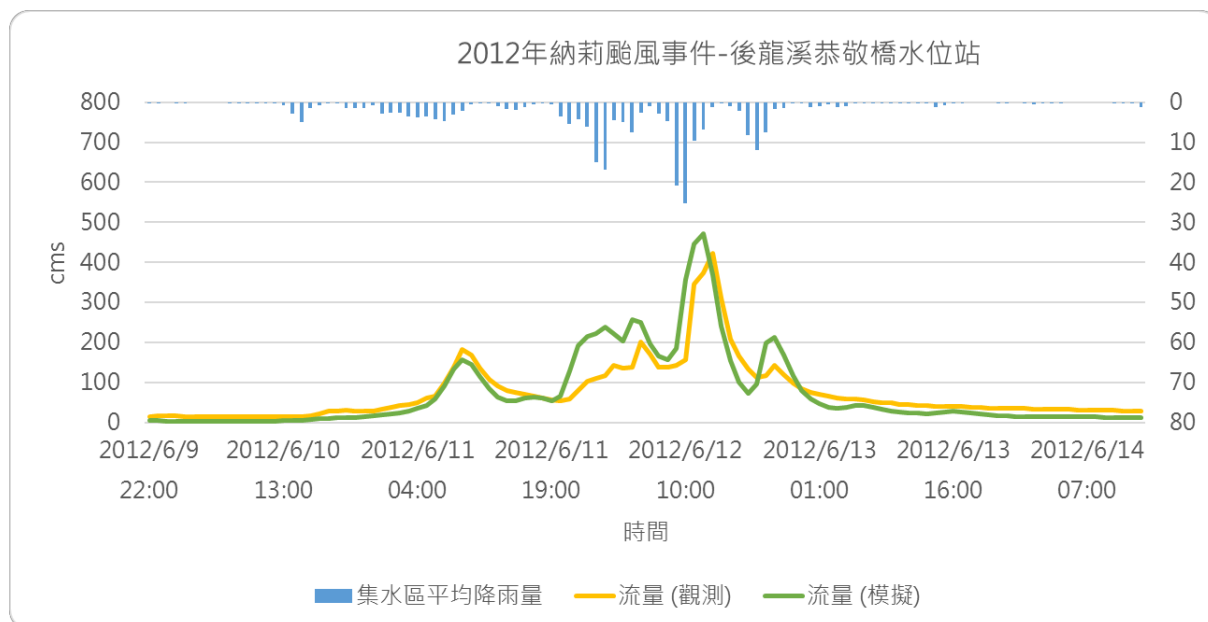


圖 5-19 後龍溪恭敬橋 2012 年納莉颱風計算成果

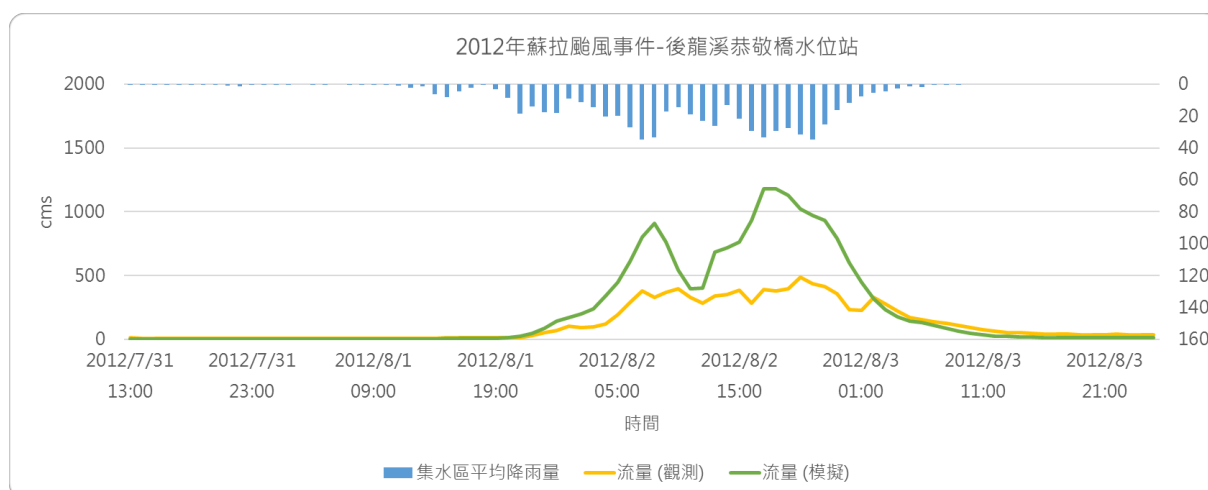


圖 5-20 後龍溪恭敬橋 2012 年蘇拉颱風計算成果

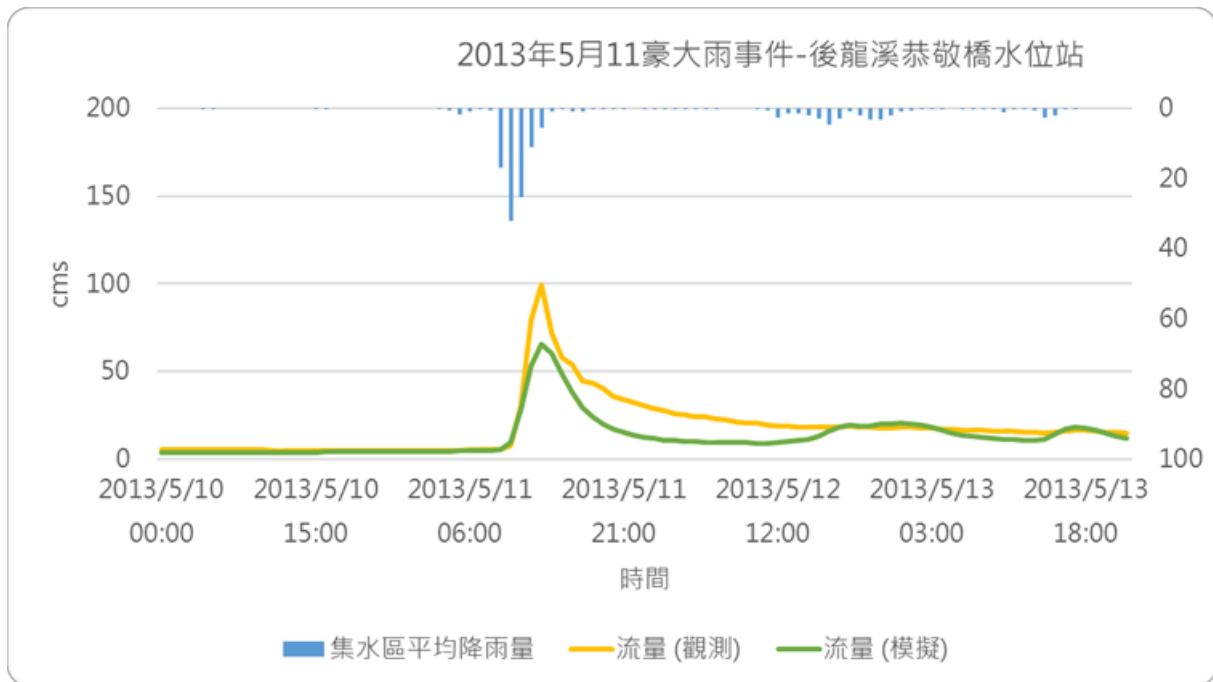


圖 5-21 後龍溪恭敬橋 2013 年 5 月 11 日豪雨事件計算

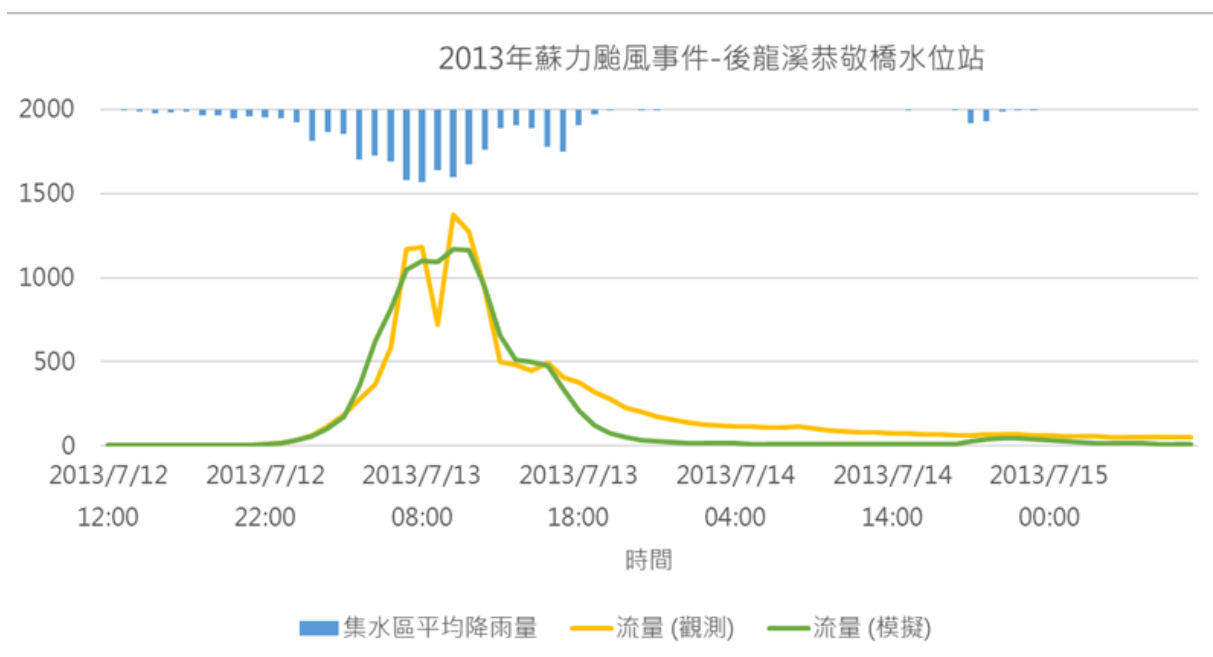


圖 5-22 後龍溪恭敬橋 2013 年蘇力颱風計算成果

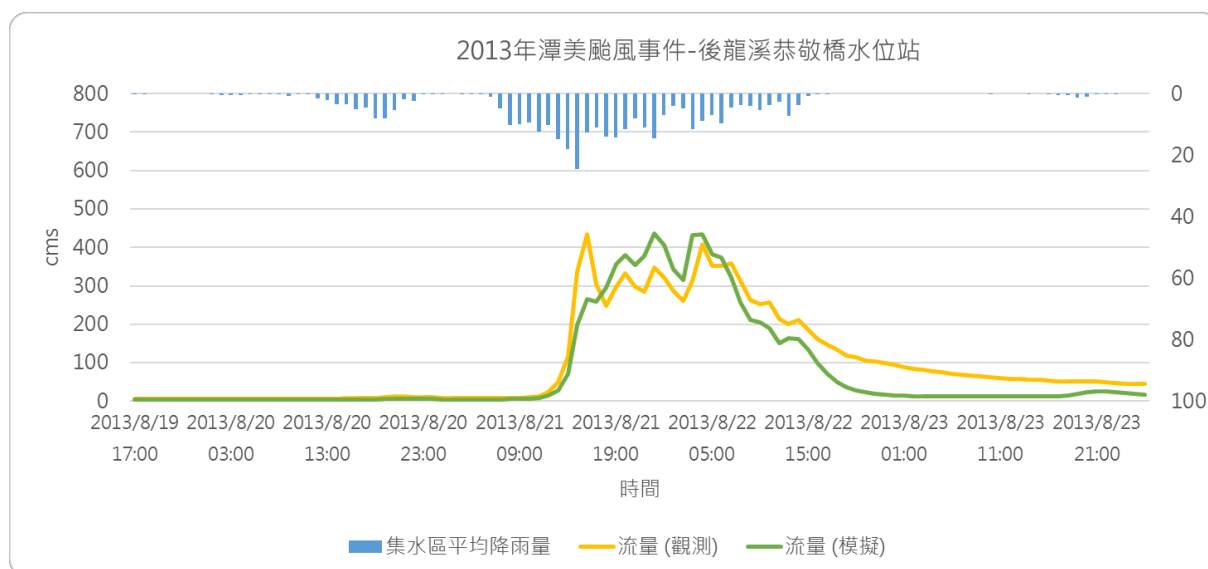


圖 5-23 後龍溪恭敬橋 2013 年潭美颱風計算成果

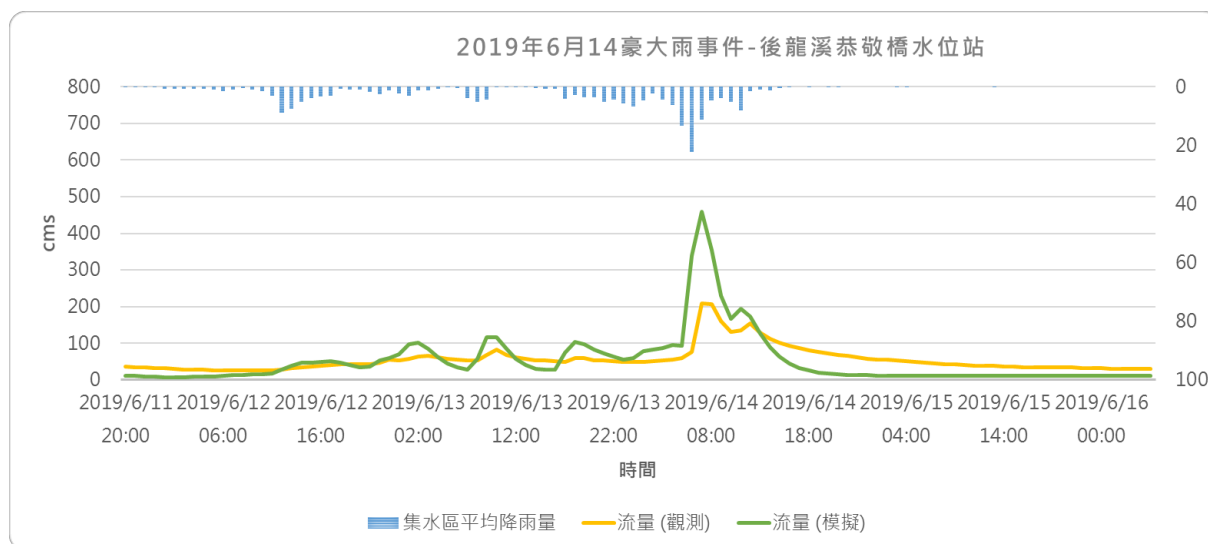


圖 5-24 後龍溪恭敬橋 2019 年 6 月 14 日豪雨事件計算

第四節 模擬成果對照災害事件

收集苗栗縣中港溪流域與後龍溪流域，如圖 5-25 所示，透過 2006 年~2021 年坡地災害事件共 15 場事件，如表 5-5 所示。在案例說明上，利用在 2021 年 8 月 7 日因為盧碧颱風影響在苗栗縣大湖鄉栗林村台 3 線 136.2 公里處發生崩塌事件，與苗栗縣 DF064 土石流潛勢溪流為案例進行說明，如何透過 FEWS 平台取得災害點位，對應之流域集水區對雷達降雨網格資料與流量計算成果。

在苗栗縣大湖鄉栗林村台 3 線崩塌事件為例，由崩塌點提供之災害點位，並未位於主要逕流點模擬位置點上，因此使用最鄰近的流量計算網格方式作為流量參考資訊，同時搭配點位對應的雷達降雨量網格，呈現如圖 5-27~圖 5-28 所示。

而在八月颱風豪雨事件中苗栗縣 DF064 土石流潛勢溪流之流量為後龍溪流域內最大之土石流潛勢溪流推估流量，可以提供土石流潛勢溪流匯流點流量或各網格點之流量資訊，並且可以搭配集水區平均降雨量。提供平時與應變期間參考，其成果如圖 5-29~圖 5-31 所示。

表 5-5 苗栗縣 2006 年~2021 年坡地災害事件

項次	時間	縣市	鄉鎮	村里	事件名稱	位置描述	X	Y	災害原因
1	2021 8 月 7 日	苗栗縣	大湖鄉	栗林村	110 年盧碧 颱風暨 0806 水災	栗林村台 3 線 136.2 公里處	234711	2697163	崩塌
2	2021 6 月 13 日	苗栗縣	南庄鄉	東河村	110 其他	苗 21 線 6.5K 處	254841	2719675	崩塌
3	2021 6 月 30 日	苗栗縣	南庄鄉	富興村	110 其他	苗 62 線 2K 處	238632	2704218	崩塌
4	2018 3 月 8 日	苗栗縣	南庄鄉	東河村	其他	301 農路	253347	2714675	沖蝕
5	2017 7 月 14 日	苗栗縣	泰安鄉	中興村	0613 豪雨	司馬限部落	243678	2699997	崩塌 沖蝕
6	2013 7 月 14 日	苗栗縣	大湖鄉	武榮村	蘇力颱風	武榮村 8 鄰 (坪林道路)	237136	2695313	崩塌
7	2012 8 月 3 日	苗栗縣	南庄鄉	南富村	蘇拉颱風	如苑山莊	250007	2723968	崩塌
8	2012 8 月 2 日	苗栗縣	大湖鄉	大寮村	蘇拉颱風	台 3 線 134.2K	236307	2700456	崩塌
9	2008 9 月 15 日	苗栗縣	頭屋鄉	鳴鳳村	辛樂克颱風	縣道苗 22 夢幻桐花步 道入口意象 旁農路南側 邊坡	239785	2717254	地滑
10	2008 9 月 15 日	苗栗縣	銅鑼鄉	盛隆村	辛樂克颱風	電桿編號麻 園幹 108 號	232719	2703047	地滑
11	2008 9 月 14 日	苗栗縣	大湖鄉	武榮村	辛樂克颱風	苗 55 經武 樂橋往坑尾 寮方向約 1.3 公里處	236279	2696897	地滑
12	2007 10 月 7 日	苗栗縣	苗栗市	水源里	柯羅莎颱風	台 6 線 6.7k 處龜山便 橋。	230661	2714777	洪水
13	2007 9 月 18 日	苗栗縣	獅潭鄉	新豐村	韋帕颱風	八角坑產業 道路與野溪 會合處	237876	2708418	土石流
14	2007 6 月 8 日	苗栗縣	泰安鄉	梅園村	0604 豪雨	司馬限林道 14k 處	246921	2700195	洪水
15	2006 6 月 10 日	苗栗縣	苗栗市	新英里	0609 豪雨	台鐵台中線 k145 處	228867	2715394	崩塌

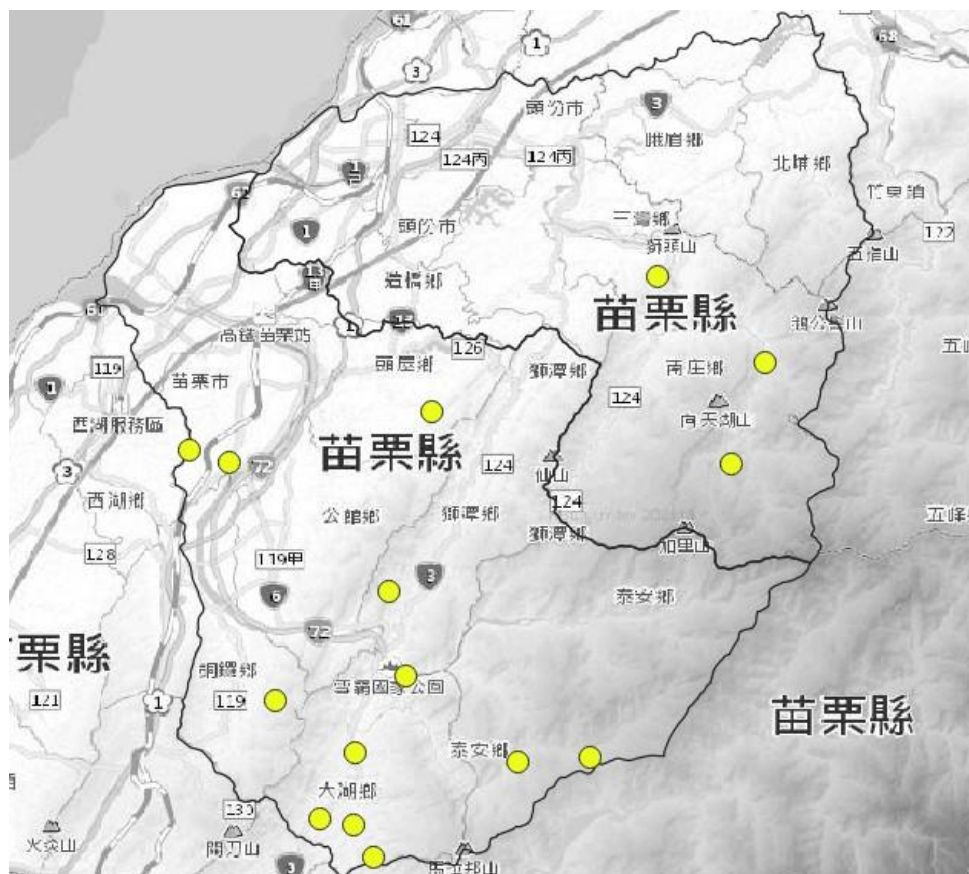


圖 5-25 苗栗縣中港溪流域與後龍溪流域坡地災害分布圖

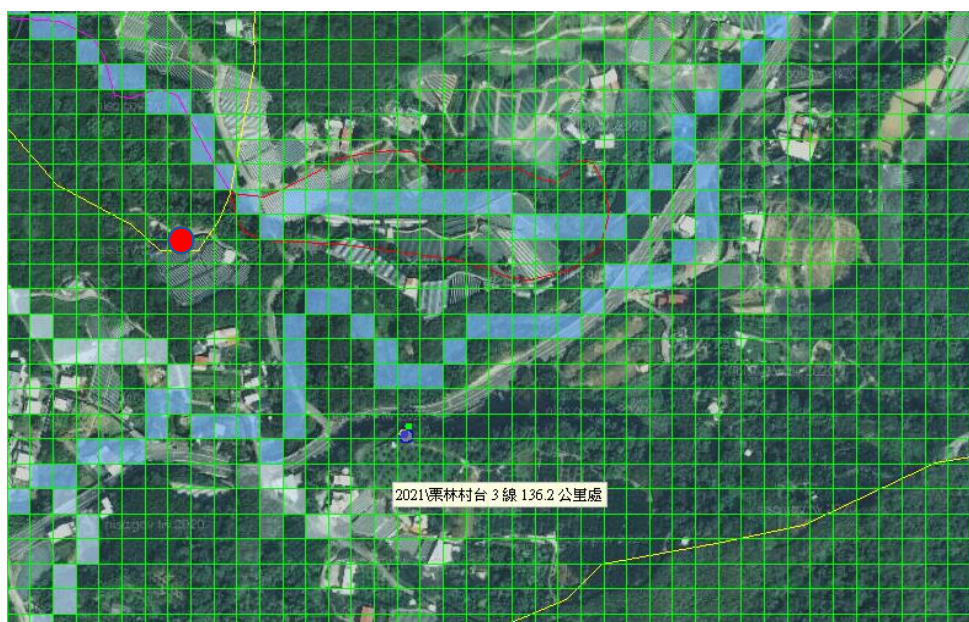


圖 5-26 苗栗縣大湖鄉栗林村台 3 線崩塌事件點位

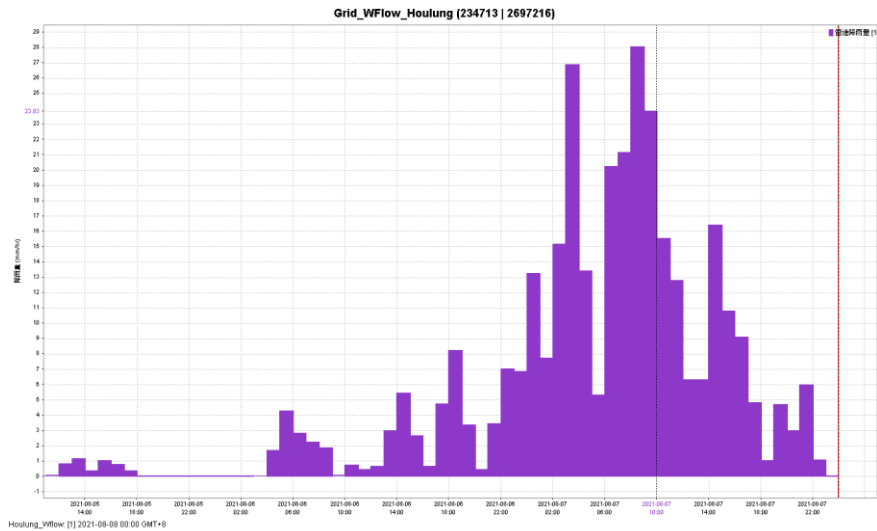


圖 5-27 苗栗縣大湖鄉栗林村台 3 線崩塌事件點位雷達降雨量

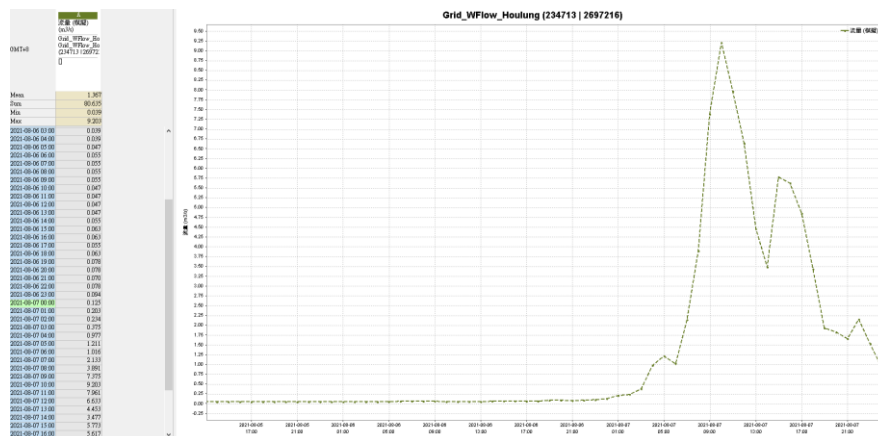


圖 5-28 苗栗縣大湖鄉栗林村台 3 線崩塌事件點位鄰近流量資訊

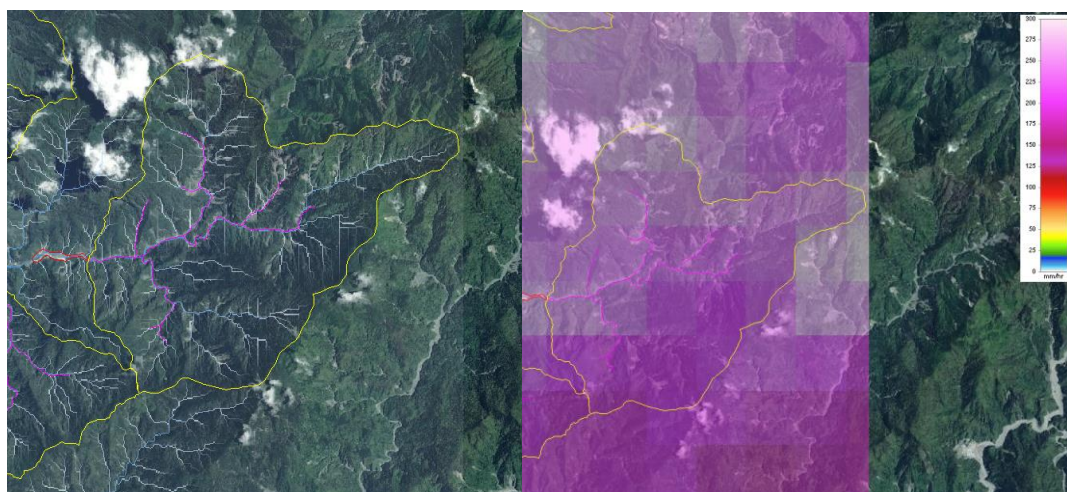


圖 5-29 苗栗縣 DF064 土石流潛勢溪流集水區降雨量空間分布資訊

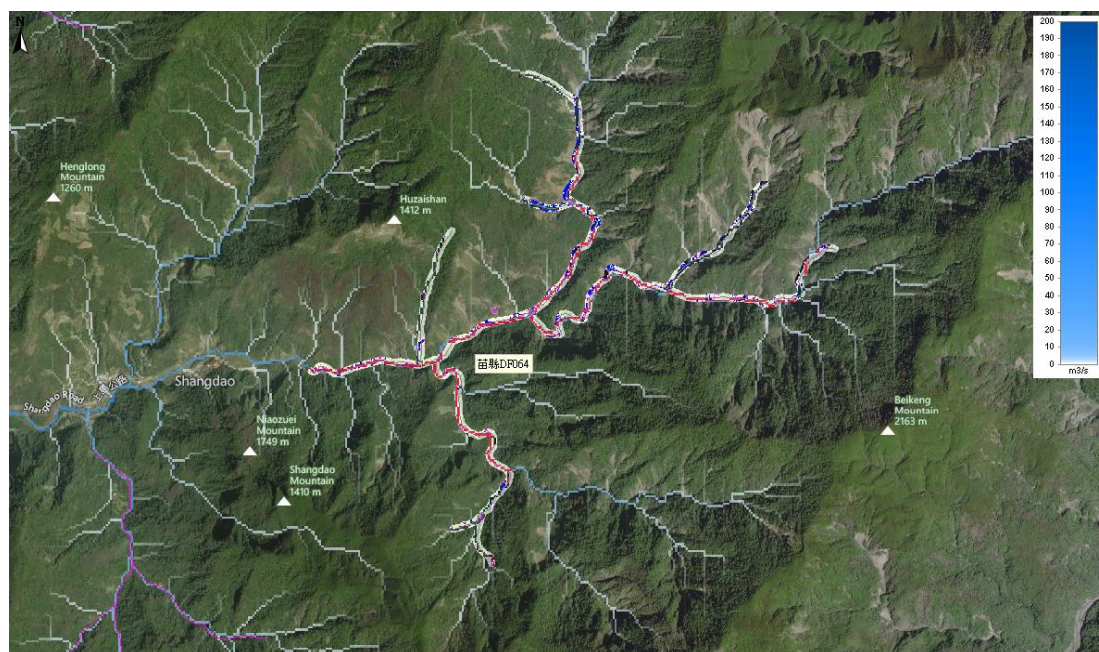


圖 5-30 苗栗縣 DF064 土石流潛勢溪流分布式降雨逕流網格流量

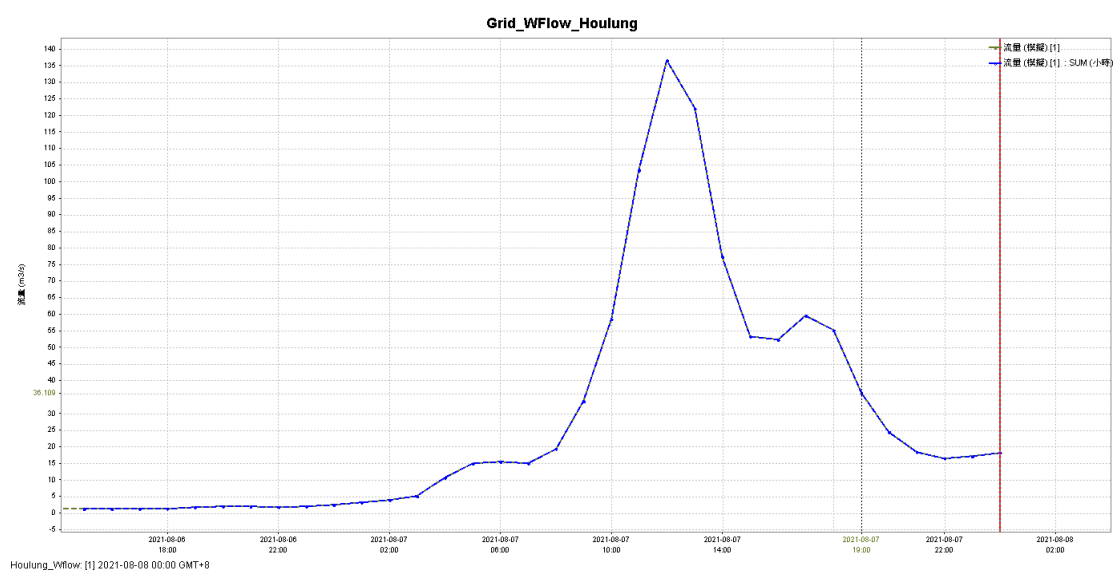


圖 5-31 苗栗縣 DF064 土石流潛勢溪流之匯流點推估流量

第五節 3D 列印氣象站評估

考慮到未來在監測資料自主取得的需求與便利性，因此以建立 IoT 氣象站架構的可行性為優先評估目標。有關 IoT 氣象站的架構，經由市售商品與開源資料進行相關的實測與評估，以確認後續監測資料自主取得的可行性。茲整理三種型態的小型氣象站說明如下：

(一) 以 3D 列印自動氣象站

在開源資料的部分，參考美國大氣科學研究大學聯盟 (NCAR)，所發展的 3D 列印自動氣象站 (IoTwx) 架構為基礎，原來 IoTwx 的設立目標，是以低成本與教育的觀念，協助中低開發國家設立社區型的氣象站。其印製成果如圖 5-32 所列。測試過程有發現，相關零件列印時會因為 3D 印表機的列印精度與尺寸影響，部分 3D 列印元件在列印後需要進一步打磨與調整，才能進行組裝，同時在感測線路與配置上需要一定的電子電機整合基礎，才有辦法進行電路整合與測試。

(二) 以 Arduino 或樹莓派開放硬體氣象站

透過 Arduino 或樹莓派 (Raspberry Pi) 開放硬體元件整合，透過開放硬體及自由軟體架構進行氣象站建置。而此類氣象站可以參考過 mysensors.org 網站的範例專案，進行氣象站建置，其內容包含對應感測器的清單、如圖 5-33 所列的電路圖，以及初階的程式碼。

經過實測後，雖然在零件清單與電路圖，如圖 5-34 所示，基本上都可以按圖索驥完成元件的購買與組裝，在程式碼的測試過程中，需要注意感測器元件程式碼版本與相容性的問題。如圖 5-35 為實際在野外進行氣象站測試過程，過程中發現資料傳輸容易出

現不穩定的情況，在網路環境設定上仍需要注意對應通訊品質。

(三) 市售模組化氣象站

市售氣象站種類多樣，且價格區間有很大的落差。不過，以現在資料取得的技術與需求而言，建議以功能模組化、無線方式進行數據紀錄與傳輸。目前在市售的商品中，以美國 Young 氣象站 (R. M. YOUNG COMPANY)、DAVIS (Davis Instruments) 系列的機種，在臺灣市場的通路容易取得。

本研究在市售的機種，如圖 5-36 所示，測試 DAVIS 6110M Vantage Vue 為例進行說明，DAVIS 氣象站可透過帳號綁定，自動讀取觀測數據於手機 APP (圖 5-37)，與網頁 Dashboard (圖 5-38) 上，並且透過自身監控數據搭配 DAVIS 公司提供的服務，可以取得該區域未來的天氣趨勢。這對監測資料自主取得的優勢上，具有相當大的協助，並且組裝技術門檻相當低，可讓使用者快速進入使用狀況。

DAVIS 資料傳輸機制可透過直接複製近期監測資料，或是透過 API 進行串接，但是必須訂閱專業功能。如圖 5-39 所列，會員訂閱制採年繳規定，並以「PRO」與「PRO+」進行功能的區隔，會員訂閱分別約新臺幣 1,300 或 3,000 元。

(四) 評估討論

三種方案在應用上各有其優缺點如，表 5-6 所示。在建置便利性上透過市售模組化氣象站速度最快但後續的資料取得方式與功能變動會受限廠商提供的服務方式與機制。而透過 Arduino 或樹莓派開放硬體氣象站，可以配合需求進行不同感測器的配置，相關感測器與元件模組雖然容易取得，但對應的機電整合與耐候性上需要特別注意。透過 3D 列印自動氣象站為三者客製化最

高的方案，但機電整合與配置是技術需求最高的方案，可以作為監測方案的先期測試開發應用。另外 3D 列印的便利性上，是可以提供零件抽換與高度客製化的需求。也可以針對其他兩種方案列印所需元件進行支援。

因此會建議在一般性且短時間快速資料取得上可以優先利用商業模組化方案。若需要考量不同監測資料的需求或較長時間觀測可以利用 Arduino 或樹莓派開放硬體氣象站選擇耐候性較佳的感測器模組，搭配 3D 列印方式進行自動氣象站與其它物理量的監測。

表 5-6 自建氣象站方案優缺點比較表

氣象站 類型	3D 列印 氣象站	以 Arduino 或樹莓 派感測器組裝 氣象站	市售專業級 整合型氣象站
資料 來源	NCAR IoTwx	mysensors.org	R. M. YOUNG COMPANY Davis Instruments 其他
價格	感測器元件 約 3,000 元/組 (3D 列印機與組裝 材料費另計)	感測器元件 約 3,000 元/組	DAVIS 6110M Vantage Vue 另購腳架總計約 27,500 元 若開通會員訂閱制，則年繳 1,300 元至 3,000 之間
資料 傳輸 方式	單機，需搭配 物聯網傳輸模組	單機，需搭配 物聯網傳輸模組	網頁、手機 APP、API 服務 (API 服務需要開通訂閱制)
技術 門檻	1. 3D 列印技術 2. 機構組裝技術 電子學	1. 電子學 2. 開源程式碼封裝 匯入與測試 3. 資料串流技術與 展示開發	僅透過帳號申請，即可完成機 器綁定
優點	1. 感測器模組化 成熟，在臺灣容 易取得。 2. 材料取得的成 本最低。	1. 感測器模組化成 熟，在臺灣容易取 得。 2. 模組取得成本相 對低價。 3. 可以隨著需求不 同設定資料回傳 的頻率。	1. 組裝門檻最低，僅需要透 過帳號開通與綁定機器，即 可立即開始運作。 2. 具有一定等級的防水能 力，無須擔心電子零件因強 降雨造成水損。 3. 可視需求添購功能模組。
缺點	1. 技術門檻最 高，需要透過多 元領域的技術互 相整合。 2. 資料串流服務 與展示網頁需要 另外開發。 3. 零件種類繁 雜，若有短少則 無法正常使用。 4. 受到 3D 列印機 的限制，容易會 有尺寸太大造成 無法列印的風 險。	1. 組裝門檻相對複 雜，需要多元領域 的技術互相整合。 2. 程式碼可能會隨 著元件版本的相 容性有所誤差，需 要針對各種程式 碼版本進行測試。 3. 需要考慮防水問 題。 4. 監測資料品質需 要另外測試。	1. 購買費用較高。且專業功 能與額外的模組，需要另外 花費添購與訂閱專業會員。 2. 需要考量機器售後服務與 維修之時間成本。 3. 市售氣象站可能有資安問 題，購買前建議需要進行產 品信譽查核。

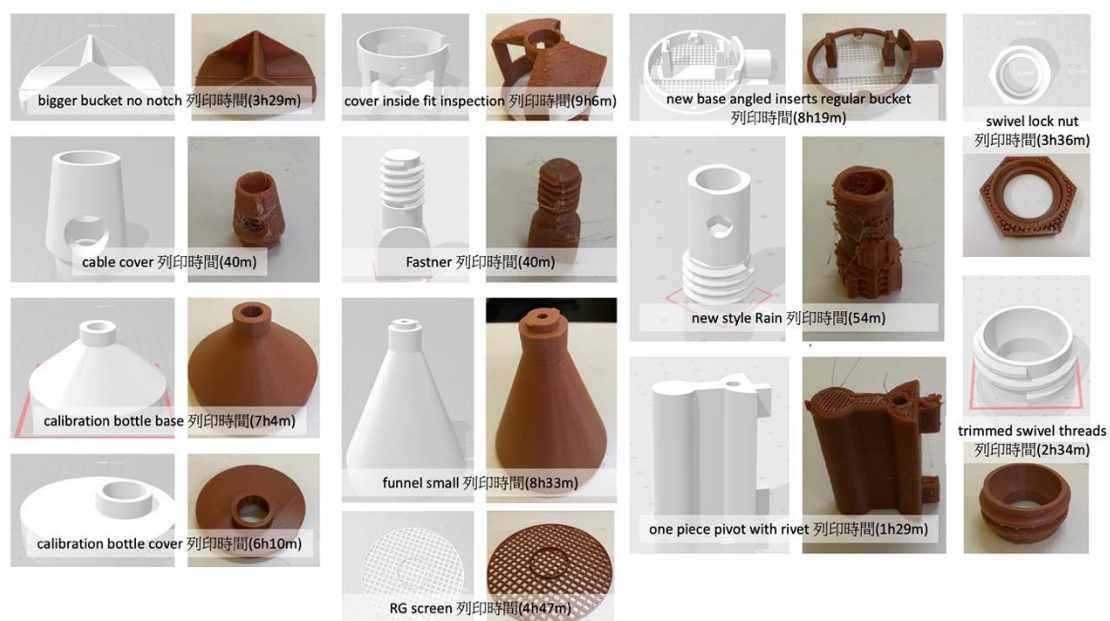
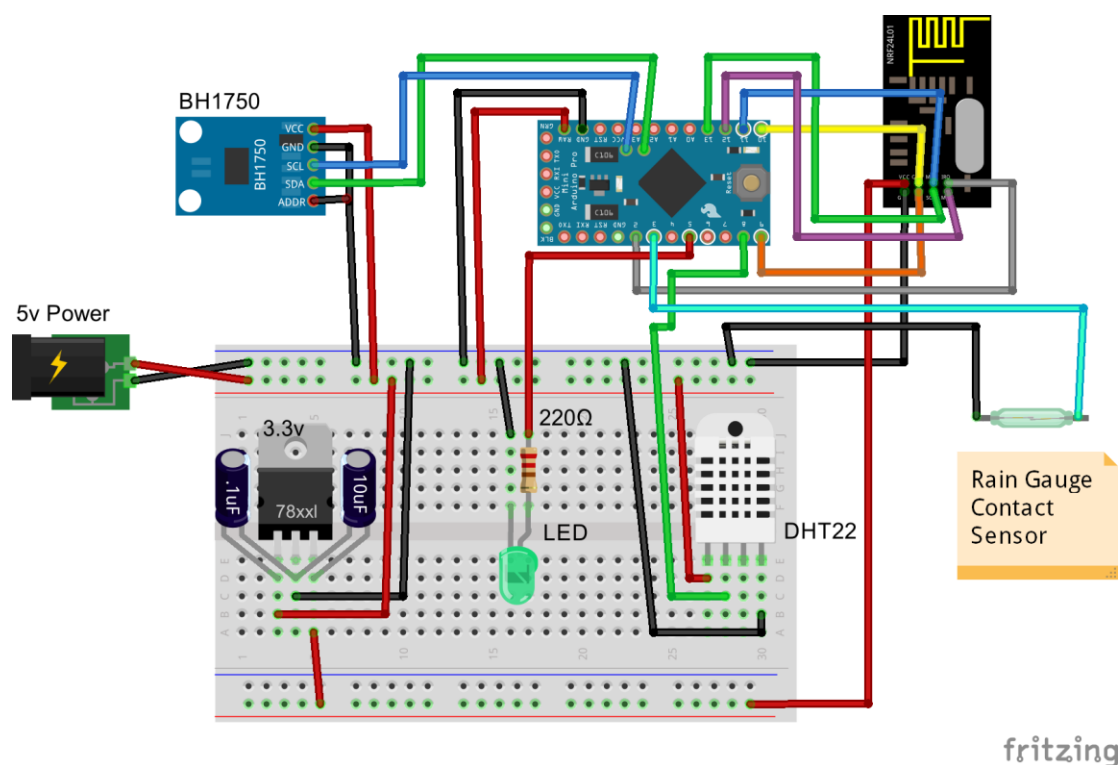


圖 5-32 NCAR 3D 列印自動氣象站 (IoTwx) 部分元件印製成果



資料來源: <https://www.mysensors.org/build/rain>

圖 5-33 以 Arduino 開放硬體建立自動氣象站之電路圖

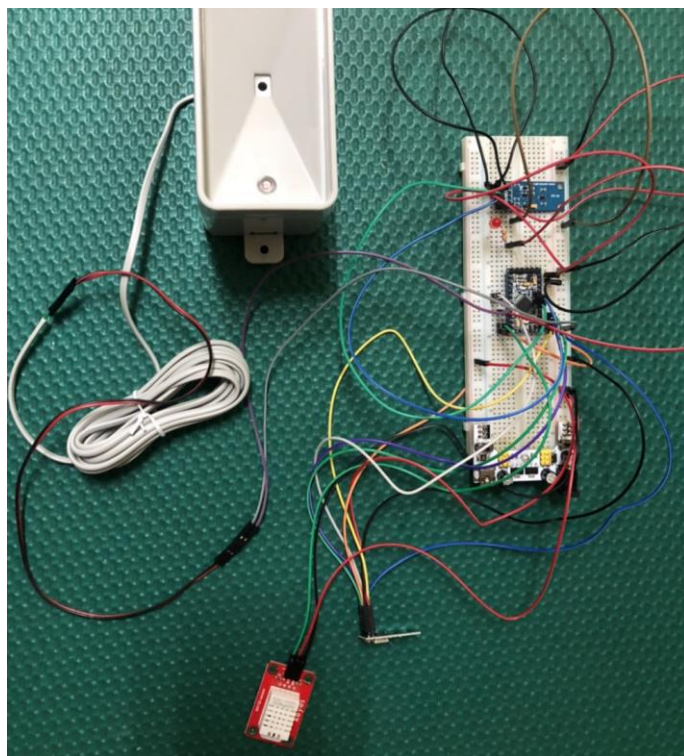


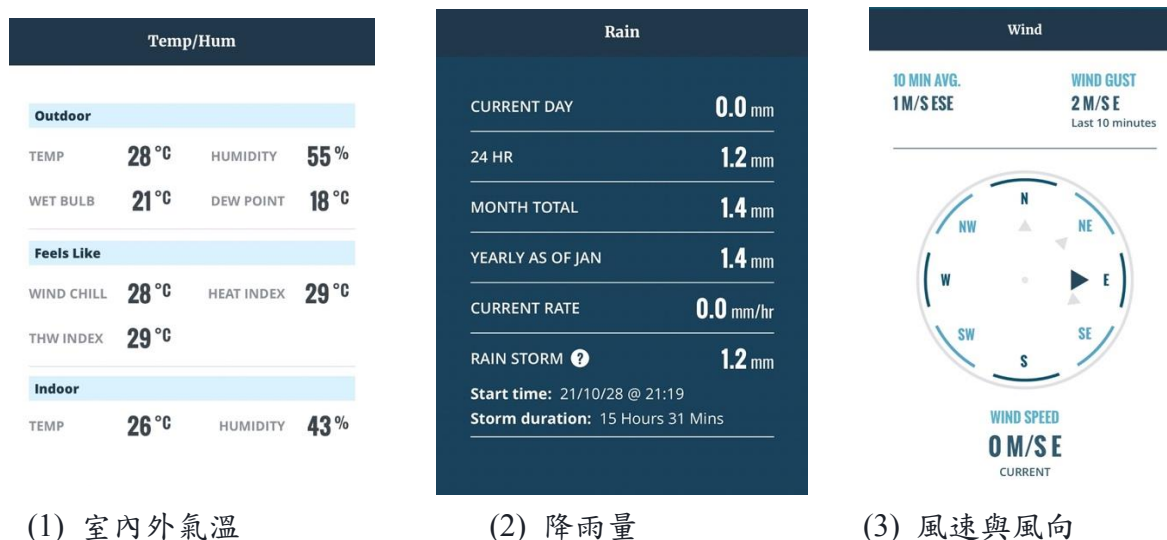
圖 5-34 以 Arduino 開放硬體測試自動氣象站



圖 5-35 測試 Arduino 開放硬體自動氣象站現場情況



圖 5-36 市售專業級整合型氣象站：DAVIS 6110M Vantage Vue



(1) 室內外氣溫

(2) 降雨量

(3) 風速與風向

圖 5-37 DAVIS 氣象站手機應用程式畫面

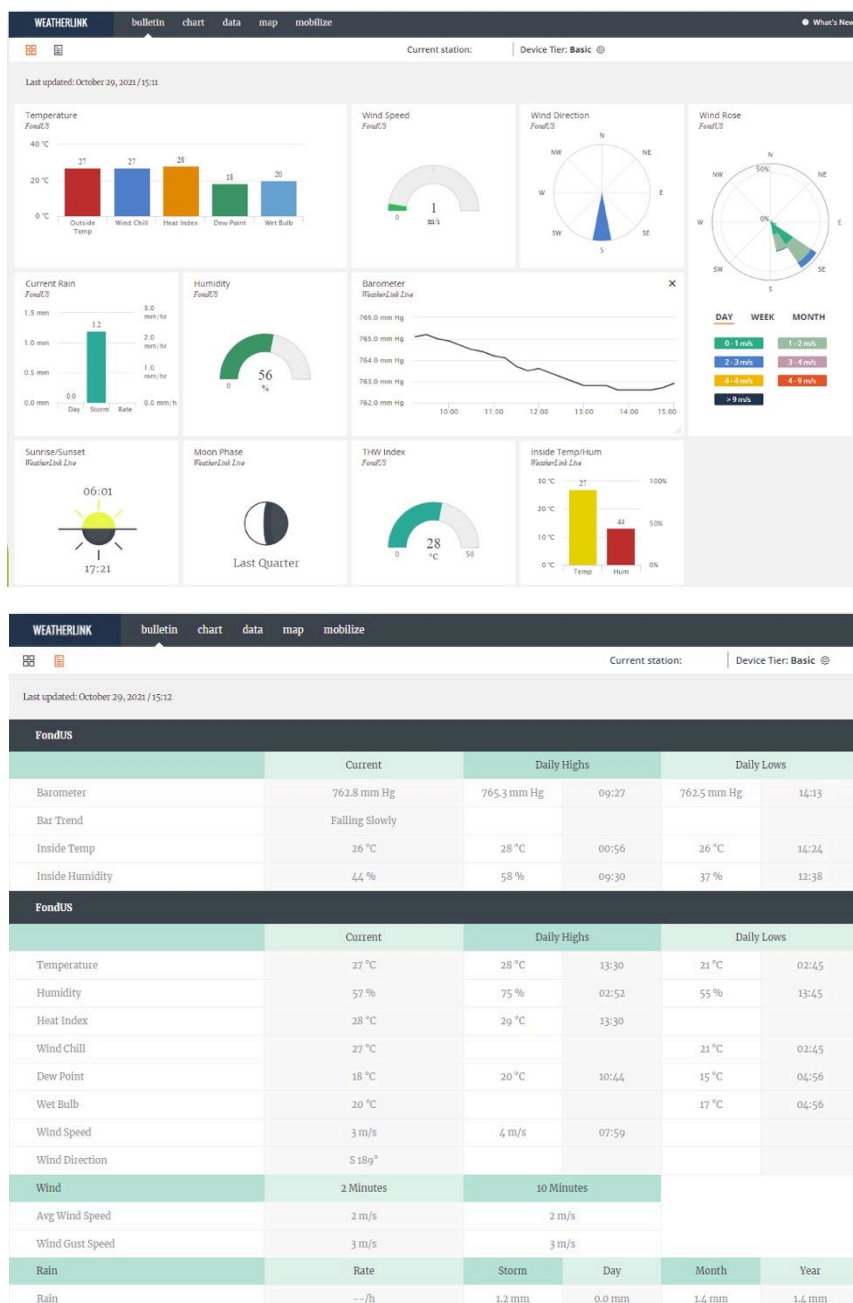


圖 5-38 DAVIS 氣象站網頁統計表

BASIC	PRO	PRO+
✓ Bulletin Data Tiles ✗ Data Viewing & Export ✓ WeatherLink Network Map ✗ Custom Charting ✗ Integrated Pest Management ✓ WeatherLink App ✗ Mobilize App Pro Shares x 0 3rd Party Intervals: 15 minutes	✓ Bulletin Data Tiles ✓ Data Viewing & Export ✓ WeatherLink Network Map ✓ Custom Charting ✗ Integrated Pest Management ✓ WeatherLink App ✓ Mobilize App Pro Shares x 6 3rd Party Intervals: 5 minutes	✓ Bulletin Data Tiles ✓ Data Viewing & Export ✓ WeatherLink Network Map ✓ Custom Charting ✓ Integrated Pest Management ✓ WeatherLink App ✓ Mobilize App Pro Shares x 10 3rd Party Intervals: Up to 1 minute
FREE Activate	30 Day FREE Trial 1 Year Plan: \$3.95 /mo per device Activate	1 Year Plan: \$8.95 /mo per device Activate
	Save 15% 3 Year Plan: \$3.35 /mo per device Activate	Save 15% 3 Year Plan: \$7.65 /mo per device Activate

圖 5-39 DAVIS 氣象站功能訂閱比較

第六章 跨單位資料共享探討

由流域整體治理或資料探討的角度上，在集水區上下游資料的交換與整合應該是緊密且完整的。但在實際作業過程中，由於各單位負責業務與專長也有所不同。因此在資料交換過程中往往對於資料內容的定義與解讀上可能會有所差異。因此在計畫執行過程中透過水利署與水保局公私協力的方式。探討不同部門之間在(開放)資料與模式資料整合過程中共同之處與不同之處。讓資料的整合與交換可以透過了解雙方的需求而進一步可以朝向符合對方需求的資料產出流程。

第一節 資料內容與型態討論

在資料交換與共享機制上，建議優先針對流域整體治理或資料探討等內容區如表 6-1 所示，分為三個主題分別為水文資料、地文資料、模式專案與成果。在水資料內容上包含降雨量、水位流量、土壤含水量等資訊。在地文資料內容包含衛星遙測影像、數值高模型、地質、土壤類型、河川河床粒徑、斷面資料、構造物資訊、土壤沖蝕指數(K)、降雨沖蝕指數(R)等資料內容。而在模式專案與成果在水文與水理模式於水利署與水保局資料應用中較為相關。

而在資料交換機制流程如圖 6-1 所示，優先列出目雙方針對討論議題可能資料交換清單與項目，盤點雙方在資料內容與項目共同與不同的內容。第二階段確認目前雙方是否有對應資料庫或 API。第三階段列出各資料內容編碼規則、物理量與更新頻率等項目，如果雙方均未建立資料庫或 API 或資料保存規則，即可透過工作會議方式討論建立新規，讓雙方後續可以共同參考使用；則若有一方已經建立規則，建議優先參考已建立方規則進行擴充；而若雙方均有建立自有資料內容，則建議評估擴充機制或考量資料完整性進行內容或調整架構，讓雙方後續資料可以在共同標準下進行互相

交換。第四階段建立共同交換機制，完成雙方資料交換機制確認，欄位名稱對應、編碼規則對應、物理量或屬性規則對應等內容，以便展開後續資料應用。而目前在斷面資料與土壤資料內容，建議可以擴大整合各單位之成果，避免重複建置與後續資料交換。

表 6-1 交換類型與資料內容

項目	水文氣象	地文資料	模式專案與成果
內容	降雨量 降雨量 水位 流量 土壤含水量	衛星遙測影像 數值高模型 地質 土壤類型 河川河床粒徑 斷面資料 構造物資訊 土壤沖蝕指數(K) 降雨沖蝕指數(R)	水文模式 水理模式 模式參數

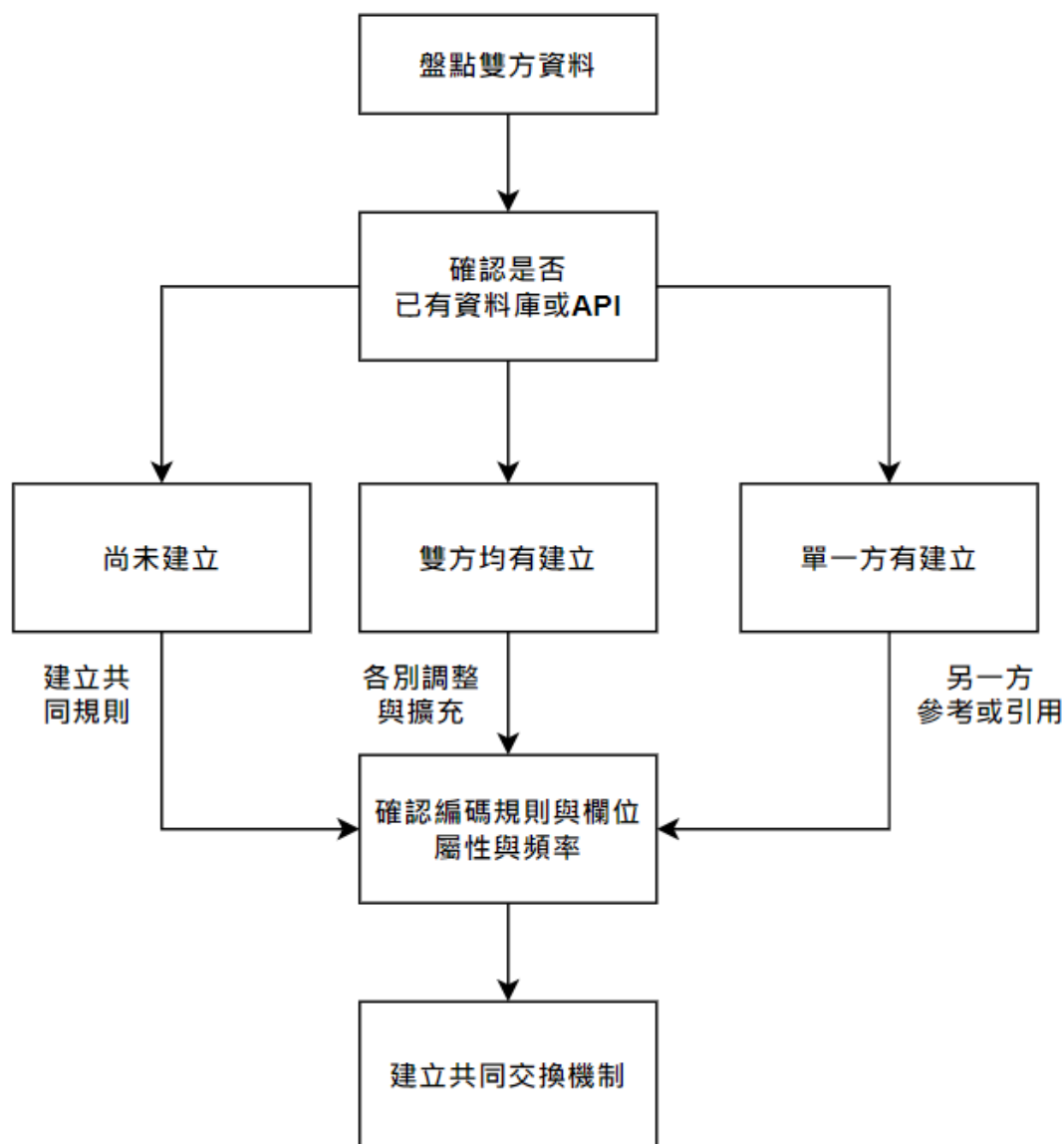


圖 6-1 資料交換機制

第二節 資料交換頻率與方式

資料交換方式，可以區分為交換方式與交換時間頻率方式。以水保局與水利署為例，目前在水文氣象資料交換上有共同的資料來源，為交通部中央氣象局雨量資料與 QPESUMS 雷達降雨量資料來源。在資料交換過程中，透過網路傳輸即時的檔案到特定專線或主機，在分享給水利署或水保局之所屬單位進行應用。其對應的交換頻率資料為每 10 分鐘或每小時一筆。

因此在前一小節所提之資料內容，隨著資料特性與資料型態的差異。在資料交換過程中可以透過檔案與資料方式，利用網路通訊方式（網頁、SFTP 等）進行交換或透過 API 方式進行交換。而交換頻率可以區分為定期與不定期：定期資料的頻率則可以 10 分鐘、1 小時、1 天、1 個月、1 年等時間頻率；不定期往往則是配合資料成果更新後，與不同單位申請後進行供應。

第三節 參與公私協力會議

在計畫執行過程中，持續參與水利署與水保局合作的公私協力會議並且搭配工作會議方式，討論資料交換內容與資料交換機制。持續探討與評估針對所屬專業領域資料應用情況，在單位之間與跨部門間資料交換可能面臨的問題與可能改善的方式進行討論。透過流域上下游資料交換的需求與機制，提出不同對象之間資料交換需要注意的內容與方向與可行的方式。以作為後續流域整體數位治理開放資料應用的參考。目前分別於 3 月 5 日及 5 月 11 日參與在水利署第二河川局舉辦之公私協力會議，如圖 6-2~圖 6-3 所示。評估與討論資料與模式交換共享之可行性。同時，也在 11/4 前往花蓮第九河川局參與「鯉溪與民共利協力會議」，評估與討論不同流域資料與模式交換共享之可行性。

在二河局與九河局公私協力會議討論中，不論是承辦人與在地社群夥伴均有表達資訊應用能力的落差是目前最需要優先克服的問題。在資料協調與交換過程中，希望可以透過更方便的資訊技術，來協助跨單位資料的溝通與討論。



圖 6-2 公私協力會議紀錄照片：110 年 3 月 5 日



圖 6-3 公私協力會議紀錄照片：110 年 5 月 11 日

第七章 整體工作進度

本計畫各階段報告繳交時程期初報告 4/11、期中報告 7/19、期末報告 11/15、成果報告 12/30 等項目。整體計畫重要工作項目進度檢核表與甘特圖資訊彙整，如下。

表 7-1 計畫執行甘特表

工作項目		110 年										
		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
流域集水區土石 流潛勢溪流水文 與地文資料收集	規劃	■	■	■	■	■						
	實際	■	■	■	■	■						
集水區分布式降 雨逕流模式建置	規劃			■	■	■	■	■	■	■	■	
	實際			■	■	■	■	■	■	■	■	
分布式降雨逕流 模式與 Delft-FEWS 平台 整合	規劃			■	■	■	■	■	■	■	■	
	實際			■	■	■	■	■	■	■	■	
颱風豪雨案例測 試與驗證	規劃				■	■	■	■	■	■	■	
	實際				■	■	■	■	■	■	■	
跨單位資料共享 探討	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

表 7-2 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	110 年				備註
			2-3 月	4-6 月	7-9 月	10-12 月	
流域集水區土石流潛勢溪流水文與地文資料收集	20	工作量或內容	基礎資料盤點與前處理	資料修正與調整			
		累積百分比	50	100	100	100	
集水區分布式降雨逕流模式建置	25	工作量或內容	模式建置與資料處理	模式建置與資料處理	案例測試與修正	模式輸出內容修正調整	
		累積百分比	0	50	80	100	
分布式降雨逕流模式與 Delft-FEWS 平台整合	25	工作量或內容	資料來源設定	模式處理流程串接與設定	案例測試與展示成果調整	細部成果調整	
		累積百分比	0	40	90	100	
颱風豪雨案例測試與驗證	20	工作量或內容	案例資料內容評估	對應流域集水區資料統計	案例測試與驗證	成果修正	
		累積百分比	0	40	90	100	
跨單位資料共享探討	10	工作量或內容	跨單位資料盤點	資料內容共享評估	資料內容共享與機制討論	建議方案提出	
		累積百分比	20	60	80	100	
累計總進度	百分比		32	64	92	100	

第八章 結論與建議

由整體流域綜合治理角度，具有完整的空間與時間分布的降雨量與流量資訊，將有助於在流域有效了解流域土砂災害的可能潛在發生原因。透過應用開源分布式降雨逕流模式(WFLOW)結合 Delft_FEWS 平台，可以提供研究區域中港溪與後龍溪流域，土石流潛勢溪流完整的流量資訊。後續建議可持續推動各流域土石流潛勢溪或土砂災害點位置點，以便建立長期降雨量與流量資料推估建立完整降雨量與流量資料集，並且進行跨單位的資料與模式共享機制，讓資料與模式成果應用能夠持續擴大，以提升流域數位治理的效益。以下針對結論與建議進一步加以說明。

第一節 結論

- (一) 完成中港溪 22 條與後龍溪 38 條，共 60 條土石流潛勢溪流資訊與 2006 年~2021 年坡地災害事件共 15 場事，及相關基礎地文與水文降雨資料收集。
- (二) 完成 Wflow 模式中港溪與後龍溪兩個流域，20 公尺與 100 公尺解析度，集水區分布式降雨逕流模式專案的建置工作。
- (三) 透過 Delft_FEWS 平台完成中港溪，與後龍溪集水區 Wflow 模式自動化運算整合流程。並且透過教育訓練課程，與教育訓練文件建置。在模式與資料串接過程中，應用樣板檔方式進行建置，可利用參數方式快速進行模式銜接，搭配自動化作業資料處理流程。可以自動匯入雷達降雨量、並轉換為流域集水區降雨量網格，提供給模式作為輸入資料、啟動模式進運算、將運算成果輸出為網格流量資訊，並且針對各土石流潛勢溪流影響位置與關注點位輸出對應流量資訊。

(四) 應用中央氣象局 QPESUMS 颱風豪雨資料，分別針對中港溪與後龍溪進行模式，利用效率係數(CE)、洪峰誤差百分率(EQP)、洪峰到達時間誤差(ETP)等統計指標進行驗證，其中港溪在平安橋與永興橋監測資料，驗證下 2012 年納莉颱風效率係數介於 0.7~0.9 之間。後龍溪在打鹿坑與恭敬橋的流量成果驗證率係數介於 0.54~0.94 之間。整體模式驗證上後龍溪模式成果較中港溪成果為佳。過程中也發現流量率定曲線資料不完整，可能導致觀測流量可能出現偏低或偏之狀況。此外收集 2006 年~2021 年期間，苗栗縣坡地災害點位，進行雷達降雨量資訊與對應點位鄰近流量成果進行模擬。可以有效推估各災害點位對應降雨量與流量資訊提供，將有助於坡地災害原因探討過程具有更完整的流量整合資訊內容。

(五) 在跨單位資料共享探討上，透過公私協力會議與資料模式交換機制的討論，在流域數位治理的目標上，透過資料與模式共享機制，可以針對各單位缺少的資料進行交換，減少重複建置狀況與達成資源模式成果再利用的情況。可有效減少各單位與單位之間的數位落差。有效整合水文氣象、地文資料、模式專案與成果等資訊，在時間與空間資料的差異，可以在有效落實流域數位治理應用。

第二節 建議

(一) 結合跨單位資料應用需求，建立全臺共享降雨量與流量資料內容與交換機制，有助於各單位在資料與成果上的應用，目前透過水利署與水保局合作的 Wflow 模式成果可以提供水保局在上游集水區土石流潛勢溪流之流量資訊內容，同時也可以提供水利署在中下游流域之流量資訊。

(二) 在 Wflow 模式建置上建議未來仍可持續透過模式更新，搭配更多不同來源的更新成果，讓數值模型逐步完善。另外，數值地理模型

的解析度提升，需要搭配應用情境之運算需求，提供不同時間與空間解析度的模擬資料，作為災害防救或治理規劃使用。

(三) 持續落實流域數位治理基礎建設，有效累積環境空間與時間監測資料，搭配模式與參數資料持續累積與收集，提供後續數值模式或研究分析使用。

(四) 減少數位資訊落差，持續透過有效分工與教育訓練及協力工作會議等方式，讓跨部門的作業資訊應用可以有效進行交換，同時了解在不同資料需求與內容，可以向那些單位取得與申請，減少作業過程與決策分析過程中，因為資訊落差可能造成的影響。

參考文獻

1. 黃冠智，碩士論文，建立開源分佈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，2016。
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 使用手冊，<https://Wflow.readthedocs.io>
4. Delft_FEWS 網站，<https://oss.deltares.nl/web/delft-fews/>
5. NCAR iotwx 氣象站手冊，<https://github.com/NCAR/iotwx-manual/>
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. Taguestad, 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. 澳洲氣象局 HyFS
https://oss.deltares.nl/documents/2355249/0/02-02a+Delft-FEWS+for+National+Monitoring_Chris+Leahy.pdf

12. 英國環境部 IMFS

https://oss.deltares.nl/documents/2355249/0/03-03+UK+Flood+forecasting+system_Deb+Summerskill+ao.pdf

附錄

附錄一、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。

(1) 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：

$$P_G = \frac{-S}{\bar{E}} \ln[1 - \bar{E}(1 - p - p_t)^{-1}] \quad (\text{附 1.1})$$

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 1.1 所示。

附表 1-1 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} 。

$$P_{throw} = P - I_{wet} - I_{sat} - I_{dry} - I_{trunc} - I_{stem} \quad (\text{附 1.2})$$

$$I_{total} = I_{wet} + I_{sat} + I_{dry} + I_{trunc} \quad (\text{附 1.3})$$

(2)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：

$$S = (z_t - z_i)(\theta_s - \theta_r) \quad (\text{附 1.4})$$

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：

$$U_d = (\theta_s - \theta_r)z_i - U \quad (\text{附 1.5})$$

$$U_s = U - U_d \quad (\text{附 1.6})$$

在 SBM 中，所有降水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：

$$st = K_s U_s / S_d \quad (\text{附 1.7})$$

式中， S_d 為土壤含水飽和差：

$$S_d = (\theta_s - \theta_r)z_t - S \quad (\text{附 1.8})$$

模式假設水力傳導係數 K_s 會隨著土壤深度 z 而降低：

$$K_s = K_0 \exp(-fz) \quad (\text{附 1.9})$$

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：

$$f = (\theta_s - \theta_r)/m \quad (\text{附 1.10})$$

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：

$$sf = K_0 \tan(\beta) \exp(-S_d/m) \quad (\text{附 1.11})$$

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成為首要的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：

$$W_r = 1.0 / (1.0 + e^{-S_n(WT - D_r)}) \quad (\text{附 1.12})$$

式中 WT 為地下水深度， 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：

$$AES = PT \times W_r \quad (\text{附 1.13})$$

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結流量。若潛在蒸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：

$$RPE = PT - AES \quad (\text{附 1.14})$$

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：

$$ACU = \min(1.0, \max(0.0, (WT - D_r)/D_r + 1)) \quad (\text{附 1.15})$$

$$AEU_{max} = ACU \times U \quad (\text{附 1.16})$$

$$AEU = \min(AEU_{max}, RPE, U) \quad (\text{附 1.17})$$

式中 ACU 為非飽和除儲存深度可蒸發容量(Available Capacity of Unsaturated 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。

(3)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：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \quad (\text{附 1.18})$$

$$S_0 = S_f \quad (\text{附 1.19})$$

式中 A ：河川流量通過斷面積[m²]；

Q ：河川流量[m³/s]；

q ：單位河川長度之側入流量[m³/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：

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S_0^{1/2} \quad (\text{附 1.20})$$

式中 R 為水力半徑($R=A/P$)， P 為濕周，將 R 代入式 附 1.18 則可改寫為：

$$A = \alpha Q^{\beta} \quad (\text{附 1.21})$$

$$\alpha = \left(\frac{n P^{2/3}}{\sqrt{S_0}} \right)^{\beta} \quad (\text{附 1.22})$$

式中 $\beta=3/5=0.6$ ； n 為曼寧粗糙係數。再將式附 1.19 代入式附 1.18 可得運動波方程式：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \alpha \beta Q^{\beta-1} \left(\frac{\partial Q}{\partial t} \right) = q \quad (\text{附 1.23})$$

(4) 參數說明與內容

模式參數資訊彙整如下。

附表 1-2 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	植生根系深度	2500mm	
thetaR	土壤殘餘含水比	0.01	
thetaS	土壤有效飽和度	0.6	

附錄二、期初審查意見回覆

項次	審查意見	回覆內容
一	Delft-FEWS 是廣為使用的模式，本計畫所發展的模式，建議把過程標準化，確認模式所輸入條件、格式，以及輸出成果展示的方法，未來可以介接到 BigGIS，應用到其他的流域。	感謝委員建議。在計畫執行的目標之一，即為透過標準化方式，模式對應的輸入輸出與成果展示方式整合於 Delft-FEWS 平台上。後續成果也希望可以應用於不同流域，資料提供給 BigGIS 進行介接。
二	報告書中，提到 3D 列印氣象站，資料也可以接進來。	感謝委員建議。計畫執行過程中，首要評估 3D 列印氣象站是否可行，接著會嘗試評估 3D 列印氣象站監測成果，介接於 Delft-FEWS 平台上。
三	視覺化應放在平台上，非僅是模式中。	感謝委員指正。視覺化成果會透過平台加以展示。
四	降雨流模式在推估上如何顯示清水流或土石流，水土保持規劃上係以設計頻率年加以操作，此計畫在歷年事件雨量測試驗證之用意，宜有應用上之說明。	目前在 Wflow 目前使用的模組，只包含清水流。而在後續作業過程中主要是透過實際觀測降雨量或者搭配預報降雨量進行模擬，推估對應的歷史模擬流量與預報流量資訊。而透過水位流量站進行驗證，主要確保模式參數資訊與對應模擬成果可以符合控制點對應之流量資訊。以便在後續模式推估成果可以較符合實際真實流量情況。
五	Wflow 主要模式參數在模擬上如何操作宜有說明。	在 Wflow 模式建置過程中是透過與集水區範圍對應的數值高程模型網格，搭配不同之參數網格資料，如土地利用、土壤類型等資訊進行模式設定，相關模式完整之參數設定請參閱報告附錄二。
六	土石流潛勢溪流、流量對土石流誘發之機制宜有說明。	在計畫執行過程中主要收集到的土石流潛勢溪流事件，進行對應的流量事件模擬。其目標為取得事件發生時，對應控制點位，最大流量發時間點，作為後續數值之參考。而在作業流程中，則是透過持續接收完整的水文氣象（觀測與預報）資料，進行模擬。推估各土石流潛勢溪流位置點流量資訊。搭配前述災害事件發生時對應之流量資訊進行評估與應用。
七	土石流潛勢溪流之流量如何驗證宜有說明。	由於並非所有土石流潛勢溪流均有完整之流量資訊可以檢核。因此以模式角度針對下游集水區控制點位，進行檢定驗證。當控制點位模擬結果在效率係數與時間序列統計成果與觀測值相符或趨勢接近時，可以表示在控制點以上之模式流量成果與實際相符或趨勢接近。而研究區域範圍內土石流

項次	審查意見	回覆內容
		潛勢溪流有對應流量時會用該點位進行檢核。
八	計畫選擇中港溪及後龍溪皆屬水利署二河局中央管河川範圍，建議本計畫重點實驗區可朝上游集水區，尤其包含土石流勢溪流之地區，較能呈現本計畫於水土保持之效益。	感謝委員建議，整體模式模擬範圍包含上游土石流潛勢溪流所在之集水區範圍。因此有機會呈現本計畫在水土保持之效益。
九	建議考量上游地區實際雨量及流量資料蒐集，可考慮 kriging 或 IDW 空間統方式求算。	感謝委員建議。透過 Delft-FEWS 平台進行相關作業流程中。在資料使用上可以抽換對應不同之降雨量資料內容，因此除了雷達降雨量外，也可以使用雨量站搭配 Kriging 或 IDW 對應之空間統計方式產出，降雨量網格，進行多資料來源降雨逕流模擬程序。
十	請說明模式推估出流域之出流量，如何進行驗證，是否有引入現場觀測資料？	模式推估之流域出流量資訊，會利用下游集水區之觀測水位流量資訊成果，進行檢核比對。
十一	土石流潛勢溪流流量中，所含之土砂量為水土保持所關注之焦點，本計畫模式推估之集水區流量，如何估計其可能之含砂量及未來可能造成之土砂問題之地點。	在本年度計畫目標是優先完成分布式降雨逕流量的推估工作。透過平台整合模式輸出特定點位或控制點數值成果。而 Wflow 模式的其他模組，具有支援泥沙運移的計算功能。建議可以於下年度計畫推動時優先執行。
十二	建議計範圍能否調整至土石流觀測資料較多之處，如南投縣信義鄉愛玉子溪。	感謝委員建議。後續模式研究區域持續擴充時，會優先以南投縣信義鄉為例、評估模式建置資料完整性。
十三	計畫使用 DTM 精度為何？其影響結果程度大小為何？	目前使用的數值高程模型為 20 公尺解析度。可以有效呈現 20 公尺解析度之地形地貌變化與流量資訊。而若把解析度調整為 100 公尺，小於 100 公尺地形地貌與流量無法呈現。同時運算時間會較 20 公尺解析度快。

附錄三、期中審查意見回覆

項次	審查意見	回覆內容
一	土石流潛勢溪流，土石流發生前之流量歷線涉及集水區崩塌、堰塞及潰決之含砂水流，與中下游之清水流不同，宜有具體之使用模式說明。	感謝委員建議，在模式模擬過程主要透過整體時間與空間分布之降雨雨量與推估流量進行成果進行產出。目前除了可以提供平時土石流發生前之流量產考資訊，透過完整的時間與空間分布流量資訊對應土石流潛勢溪流基礎的參考資訊，以作為後續進一步探討細部發生過程之流量變化細節。
二	本項研究係預警或工程整治回饋，宜有具體成果或效益說明。	感謝委員建議，流量資訊內容為相關預警與工程的重要參考資料內容，目前平台與模式架構，除了可以在災時透過即時降雨量與預報降雨量資訊提供對應各土石流潛勢溪流推估之可能現況流量與預測流量資訊內容外，更可以搭配長期降雨量資訊內容推估工程治理區歷年流量資訊內容。提供災時應變參考與工程治理規劃參考。
三	樣區宜以水土保持局轄區之土石流潛勢溪流及保全對象之區位關係，加以配置模擬探討。	感謝委員建議，在應用過程中主要針對整體流域進行模擬確保流量資料合理性，並針對流域集水區內的各土石流潛勢溪流量資訊提供完整的時間與空間降雨量與流量資訊。
四	宜對土石流發生機制加以回顧，並提出可能發生土石流之時空熱區，建置合理之模擬場域。	感謝委員建議，目前針對土石流潛勢溪流資訊，建立對應的時間與空間分析成果。並且將歷年重大災害點位加以套疊，以作為後續土砂災害熱區降雨量與流量參考。
五	建議 Wflow 模式在土石流發生之降雨-逕流歷線與平時之歷線，宜有明顯之特徵區別說明。	感謝委員建議，搭配重大土砂災例成果資料進行災害發生歷程降雨量與流量發生歷程進行說明。
六	模式驗證採下游測站，成果良好係反映非受上游土石流發生之影響，模式模擬好壞跟土石流發生之關係，宜有明確之論述。	感謝委員建議，由於目前在上游集水區無相關流量測站資訊可以供模式資料率定，因此選用中下游水測站進行檢定驗證，以確保整體流量資料的合理性。後續上游集水區有理想的檢定驗證資料來源則可以抽換對應的資訊進行比對驗證與率定。
七	P5-3~P5-16 內文及圖表之「2012 年納莉颱風」應有誤，請修正。	遵照辦理。
八	P54 表 5-1 及圖 5-4，平安橋水位站資料與雨型差異甚大，觀測值是否有誤，宜確認並說明探討。	感謝委員建議，在資料內容中有發現平安橋流量資料上有不合理之情況，與水利署承辦人討論資料問題與狀況。
九	第五章所示範之案例，請補充 SBM 模式輸入值俾供檢核。	感謝委員建議，在模式輸出資料內容中包含靜態資料與動態資料。靜態資

項次	審查意見	回覆內容
		料主要為數值高程、土地利用、土壤資料、河川、集水區等地文資料。在動態資料目前輸入內容為降雨量網格資訊。
十	P3-4SBM 模式外部參數如土地利用、植被等資料網格尺寸等宜說明;另，不同網格尺寸之資料處理係事前處理，或是可在 FEWS 平台內自動處理？	目前模式資料解析度使用 20m*20m 網格進行處理。模式地文資料主要透過資料前處理方式完成。在 FEWS 平台主要協助完成動態資料時間序列與空間內插流程，並且將動態資料轉換為模式可讀取之輸入格式，透過自動化作業流程啟動模式進行運算，運算成果匯入 FEWS 進行展示與統計。
十一	有關 Wflow 之操作手冊及教材分為 9 個主題方式進行，每個主題解講約 10-15min，此規劃構想適宜，另建議搭配操作錄影影片。	感謝委員建議。後續搭配教育訓練課程進行整體教學操作步驟影片的錄製工作。
十二	Wflow 模式每個網格之土壤厚度如何決定？每個網格之土壤含水量初始值如何決定？	目前土壤厚度是靜態地文參數資料目前主要參考農試所山坡地土壤調查報告與相關研究單位報進行設定。土壤含水量則是利用長期降雨量事件使用模擬方式推估之初始條件。
十三	Wflow 模式能否提供不同時間每個網格之土壤含水量，如可，是否可用來推估邊坡穩定狀況？	目前使用的版本，預設可以輸出完整之流量資訊與最終土壤含水量資訊。
十四	本研究模式目前仍以清水流之流量推估為主，唯因研究主題強調土石流潛勢溪流，建議模式中應將河道土砂運移部分納入考慮，同時嘗試推估在特定流量下之河道輸砂量，如此對水土保持局相關防砂工程設計發揮更大之功效。	感謝委員建議，後續會持續與荷蘭國家水文研究院相關研究人員，討論有關土砂運移的模組內容。由於 Wflow 的河川泥沙模型是由水文學架構為基礎而非水力學或流體動力學方式進行推估，在 Wflow 模組考量降雨沖蝕與泥沙沖蝕指數，支援泥沙運移沈積。
十五	計畫中所提 3D 列印氣象站評估過程中，建議增列成本工時分析、對戶外氣候耐用性分析及量測精確度等相關項目。	感謝委員建議。經過測試後考量時間成本與應用需求建議可以透過 3D 列印零件進作為臨時備品的來源，相關評估建議請參考報告內容說明。
十六	近期 0806 豪雨影響重大，Delft-FEWS 平台目前已建置模式中，是否有適合計算本次降雨量與影響之區域？	感謝委員建議，針對 0806 豪雨事件降配合重大災害案例事件，以苗栗大湖鄉栗林村崩塌與苗栗 DF064 土石流潛勢溪流進行資料說明。
十七	資料交換與公私協力部分，未來期待能擴大加值，目前能否參考國內外相關應用上，整體流域模式所缺乏的資料建議與可行規劃？	感謝委員建議。有關資料建議與可行規劃，新增於本報告結論與建議。

附錄四、期末審查意見回覆

項次	審查意見	回覆內容
一	蘇力颱風中港溪平安橋站觀測流量與模擬流量誤差較大之原因？	針對今年度中港溪與後龍溪流域模擬與驗證資料中，發現部分事件有出現觀測流量與模擬流量有出現差異較大的情況。針對流量差異較大的區域，進行檢視發現流量與對應降雨量之變化，與其他相似降雨量案例有出現較大差異。過程中與水利署承辦課室進行討論，評估應該是該年度測站“水位流量率定曲線”數值有偏低或偏高的情況。導致利用水位站觀測水位推估之流量出現偏低或偏高之狀況。後續推動過，可以針對模式與觀測比對成果差異較大的測站，列出對應之時間降雨量與與流量事件成果差異提供後續資料分析應用。
二	建議可利用現場簡易觀測站之建置，探討模擬成果之可信度。	感謝委員建議，後續將持續測試簡易觀測站資料與模式成果進行比對與驗證，以提升模式成果合理性。
三	系統於雨量後處理效果頗佳，後續 FEWS 的轉換平台在相關動床水文水理模式的延伸與連接，是否已有可用之模組，或如 HEC-RAS 與 CCHD2D 等模式如何銜接。	目前在平台中可以銜接不同模式，在其他計畫中有測試過 HEC-RAS 與 CCHD1D 模式。目前若可以取得模式使用者或開發者的授權之模式專案檔案內容，可以協助進行資料串接流程，與自動化作業流程。
四	目前若已有動床模組，可計算之粒徑大小，是否適用於輸砂與大粒徑之範圍？(如土石流、上游土砂運移等)	目前模式可以支援土砂運移的分析應用，目前在 WFLOW 模式同時有支援土壤沖蝕模組(垂直土壤沖蝕、水平輸砂量)、河川輸砂模組等兩個模組，搭配通用土壤沖蝕公式。模式分析流程中分析粒徑可依不同公式進行應用主要介於 2mm~10mm 之間。可提供後續土壤沖蝕與泥砂運技術相關模式進行測試與分析應用。
五	本計畫開發了一個土石流集水區流量推估的模式，且能自動化與雷達降雨資料整合，相關計畫成果有助於局內於應變期間對土石流集水區流量進行預報。	感謝委員建議，後續局內在應變過程中若更高強度定時定期之應變作業化的需求，可以協助進行相關排程與自動化流程的建置與教學讓局內可以取得完整分析計算成果，或後續透過水利署與水保局資料交換機制進行流量分析成果供應。