

經濟部



MOEAWRA1080447

# 提升即時淹水模擬效能之研究

The Study on Enhancing Real-Time 2D Flooding Simulation  
Efficiency



主辦機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

執行單位：國立臺北科技大學

中華民國 108 年 12 月

提升即時淹水模擬效能之研究

中華民國  
108  
年  
12  
月

經濟部水利署  
水利規劃試驗所

# 提升即時淹水模擬效能之研究

The Study on Enhancing Real-Time 2D Flooding Simulation  
Efficiency

主辦機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

執行單位：國立臺北科技大學

計畫主持人：張哲豪



# 目錄

表目錄.....	表-1
圖目錄.....	圖-1
摘要.....	摘-1
Abstract.....	A-1
結論與建議.....	結-1
第一章 前言.....	1-1
一、計畫緣起.....	1-1
二、計畫目的.....	1-4
三、研究工作範圍.....	1-4
四、研究架構.....	1-5
第二章 國內外相關資料搜集.....	2-1
一、國內外相關系統與文獻搜集.....	2-1
二、整合流程與管理.....	2-15
三、新技術應用與發展.....	2-22
四、提升效能方向.....	2-26
第三章 運算結構之研究與探討.....	3-1
一、作業化淹水模式探討.....	3-1
二、系統架構與運算資源.....	3-2
三、運算結構與流程之改善.....	3-9
第四章 水理模式演算機制探討.....	4-1
一、工作概述.....	4-1
二、模式演算方法.....	4-3
三、地文資料.....	4-4
四、水文條件設定.....	4-13
五、構造物設定.....	4-44
六、現地感測設備.....	4-60
第五章 運算結構最佳化設定.....	5-1
一、工作概述.....	5-1

二、不同伺服器主機效能測試 .....	5-2
三、排程流程化規劃與調整 .....	5-4
四、模式運算效能與功能 .....	5-14
第六章 案例測試與檢討 .....	6-1
一、案例事件說明 .....	6-1
二、臺南地區案例分析 .....	6-2
參考文獻 .....	參-1
附錄一 HyDEM 簡介 .....	附 1-1
附錄二 D-Flow FM 模式介紹 .....	附 2-1
附錄三 即時淹水模式資料的正確性與完整性探討 .....	附 3-1
附錄四 即時淹水模型調校流程說明 .....	附 4-1
附錄五 作業化平台穩定性說明 .....	附 5-1

## 表目錄

表 2-1	現階段國外淹水模擬之型態與模式.....	2-12
表 2-2	國外相關系統與文獻分析.....	2-13
表 2-3	本節參考文獻整理表.....	2-14
表 2-4	探討主題與方向彙整.....	2-26
表 3-1	作業化淹水模擬方式比較表.....	3-1
表 3-2	二維即時淹水預報成果發布供應服務與範圍.....	3-4
表 3-3	各縣市模式專案與數量.....	3-6
表 3-4	各縣市淹水模擬網格尺寸與維度.....	3-6
表 3-5	現有二維即時淹水預報主機資源列表.....	3-6
表 4-1	不同 DEM 解析度成果比對 (海棠颱風).....	4-9
表 4-2	不同 DEM 解析度成果比對 (0813 淹水事件).....	4-10
表 4-3	三種集水區劃分尺度之比較.....	4-14
表 4-4	三種尺度最大淹水面積比較 (海棠颱風).....	4-17
表 4-5	不同降雨量事件淹水面積統計.....	4-23
表 4-6	集水區 CN 值設定值.....	4-27
表 4-7	最大淹水時間與面積：0611 豪雨.....	4-27
表 4-8	最大淹水時間及面積：海棠颱風.....	4-28
表 4-9	集水區參數敏感度分析項目.....	4-36
表 4-10	臺南安南區鹽水溪區排測試集水區 SCS 參數與降雨量.....	4-36
表 4-11	上游集水區 SCS 降雨逕流模式參數敏感度分析成果.....	4-36
表 4-12	中游集水區 SCS 降雨逕流模式參數敏感度分析成果.....	4-37
表 4-13	下游集水區 SCS 降雨逕流模式參數敏感度分析成果.....	4-37
表 4-14	崑山抽水站抽水機組操作水位表.....	4-44
表 4-15	土庫抽水機操作水位表.....	4-46
表 4-16	正義抽水機操作水位表.....	4-48
表 4-17	崑山抽水站起抽水位調整.....	4-51
表 4-18	抽水站抽水量調整.....	4-52
表 5-1	不同主機進行 SOBEK 模式運算過時間評估.....	5-3
表 5-2	二維即時淹水共同作業排程表.....	5-5

表 5-3	屏東地區二維即時淹水模擬作業排程表 .....	5-6
表 5-4	高雄地區二維即時淹水模擬作業排程表 .....	5-7
表 5-5	臺中地區二維即時淹水模擬作業排程表 .....	5-8
表 5-6	臺南地區二維即時淹水模擬作業排程表 .....	5-9
表 5-7	本年度防汛作業值勤供應事件一覽.....	5-10
表 5-8	四縣市 6 小時排程運算測試成果.....	5-11
表 5-9	四縣市 12 小時排程運算測試成果.....	5-12
表 5-10	四縣市 24 小時排程運算測試成果.....	5-13
表 5-11	鹽水河流域鄰近雨量站各重現期距設計降雨之尖峰雨量 .....	5-16
表 5-12	各種有效網格模擬梅姬颱風淹水結果比較 .....	5-16
表 5-13	計算點間距對於計算效能與模擬精確度的影響 .....	5-19
表 5-14	D-Flow FM 與 SOBEK 模式之比較 .....	5-21
表 5-15	D-Flow FM 與 SOBEK 鄉鎮淹水模擬成果統計 .....	5-24
表 6-1	臺南地區颱風洪事件列表.....	6-1
表 6-2	臺南市 0813 豪雨淹水感測器資訊統計表 .....	6-3
表附 1-1	HyDEM 與傳統 DEM 規格表 .....	附 1-2
表附 2-1	淹水模式規格比較表.....	附 2-2



## 圖目錄

圖 1-1	歷年淹水模式精進階段.....	1-2
圖 1-2	計畫工作架構圖.....	1-6
圖 2-1	淹水模式資料處理流程與驗證關聯性.....	2-3
圖 2-2	利用 DEM 產生集水區流路與不同解析度下集水區面積差異.....	2-4
圖 2-3	數值模擬方式呈現淹水模擬狀況.....	2-4
圖 2-4	美國德州案例模擬成果與淹水現況比對.....	2-5
圖 2-5	離線式即時淹水潛勢圖流程.....	2-5
圖 2-6	USGS 開發的離線式即時淹水潛勢圖.....	2-6
圖 2-7	NWS AHPS 提供離線式即時淹水潛勢圖位置.....	2-6
圖 2-8	NWS AHPS 離線式即時淹水潛勢圖位置.....	2-7
圖 2-9	S-uiPS 模式概念 (以道路計算為例).....	2-7
圖 2-10	S-uiPS 模式概念.....	2-8
圖 2-11	S-uiPS 模式概念 (新增住宅開放空間).....	2-8
圖 2-12	S-uiPS 模擬區域道路高程資訊.....	2-9
圖 2-13	日本雨水下水道系統模擬滿管情況.....	2-9
圖 2-14	S-uiPS 模式模擬道路淹水情況.....	2-10
圖 2-15	S-uiPS 模式成果 (道路與住宅).....	2-10
圖 2-16	S-uiPS 模式成果 (下水道).....	2-11
圖 2-17	上海浦東新區模式與系統架構圖.....	2-11
圖 2-18	上海浦東新區二維即時淹水模擬資訊.....	2-11
圖 2-19	上海浦東新區預報水位系統畫面.....	2-12
圖 2-20	美國 AHPS 淹水潛勢圖整合流程圖.....	2-16
圖 2-21	美國 AHPS 淹水潛勢圖整合流程圖(1/3).....	2-17
圖 2-22	美國 AHPS 淹水潛勢圖整合流程圖(2/3).....	2-18
圖 2-23	美國 AHPS 淹水潛勢圖整合流程圖(3/3).....	2-19
圖 2-24	AHPS 資料檢核表格.....	2-20
圖 2-25	CIWEM 都市排水模型建置資料搜集流程.....	2-20
圖 2-26	CIWEM 都市排水系統流量監測點位建議.....	2-21
圖 2-27	CIWEM 都市排水系統事件驗證重點.....	2-21

圖 2-28	CIWEM 都市排水模式維護更新建議.....	2-22
圖 2-29	Google 利用 ML 改善基礎資料.....	2-23
圖 2-30	Google 透過大量運算搭配機械學習改善淹水模擬計算成果 .....	2-23
圖 2-31	富士通應用水桶模式搭配機械學習提供水位流量預測資訊 .....	2-24
圖 2-32	JACOBS 透過 Flood Cloud 提供二維雲端運算的架構.....	2-24
圖 2-33	新一代淹水模式整合發展.....	2-25
圖 2-34	新一代淹水模式應用.....	2-25
圖 2-35	整體提升即時淹水模擬效能之實驗架構 .....	2-27
圖 3-1	作業化淹水模擬分類圖.....	3-2
圖 3-2	二維即時淹水模擬與預報服務架構.....	3-3
圖 3-3	二維即時淹水模擬與預報伺服器服務架構 .....	3-4
圖 3-4	預報排程時間管理設定.....	3-5
圖 3-5	臺中地區即時淹水模式各分區專案範圍 .....	3-7
圖 3-6	臺南地區即時淹水模式各分區專案範圍 .....	3-7
圖 3-7	高雄地區即時淹水模式各分區專案範圍 .....	3-8
圖 3-8	屏東地區即時淹水模式各分區專案範圍 .....	3-8
圖 3-9	運算結構最佳化設定實驗與測試內容 .....	3-10
圖 4-1	水理模式演算機制探討完整實驗內容 .....	4-2
圖 4-2	即時預報之模擬分區.....	4-3
圖 4-3	本研究採用之 HyDEM 圖幅範圍.....	4-4
圖 4-4	導入建築物增加於 HyDEM 資料.....	4-5
圖 4-5	根據 HyDEM 新增鹽水溪模式渠道分布圖.....	4-6
圖 4-6	DEM 與 HyDEM 斷面比較.....	4-7
圖 4-7	二仁溪河道交會處.....	4-8
圖 4-8	斷面資料更新前後差異案例.....	4-8
圖 4-9	海棠颱風案例淹水模擬網格成果比對 (範圍一).....	4-10
圖 4-10	海棠颱風案例淹水模擬網格成果比對 (範圍二).....	4-11
圖 4-11	海棠颱風案例淹水模擬網格成果比對 (範圍三).....	4-11
圖 4-12	0813 淹水事件淹水模擬網格成果比對 (範圍一).....	4-12
圖 4-13	0813 淹水事件淹水模擬網格成果比對 (範圍二).....	4-12
圖 4-14	臺南地區水系分級範圍.....	4-13

圖 4-15	Scale1 集水區劃分圖 .....	4-15
圖 4-16	Scale2 集水區劃分圖 .....	4-15
圖 4-17	Scale3 集水區劃分圖 .....	4-15
圖 4-18	臺南市安南區平均降雨組體圖 (海棠颱風事件).....	4-16
圖 4-19	四草潮位站觀測值 (海棠颱風事件).....	4-17
圖 4-20	Scale1 最大淹水範圍 .....	4-18
圖 4-21	Scale2 最大淹水範圍 .....	4-18
圖 4-22	Scale3 最大淹水範圍 .....	4-18
圖 4-23	渠道位置與流量比較圖 (海棠颱風事件).....	4-19
圖 4-24	最大淹水範圍比較：Scale1 vs Scale2.....	4-20
圖 4-25	最大淹水範圍比較：Scale2 vs Scale3.....	4-20
圖 4-26	最大淹水範圍面積變化圖 (海棠颱風).....	4-21
圖 4-27	路面水位計觀測與位置圖 (海棠颱風事件).....	4-22
圖 4-28	臺南市安南區平均降雨組體圖 (0611 豪雨事件).....	4-24
圖 4-29	四草潮位站觀測值 (0611 豪雨事件).....	4-24
圖 4-30	0611 豪雨事件-最大淹水範圍模擬圖 .....	4-25
圖 4-31	海棠颱風事件-最大淹水範圍模擬圖 .....	4-25
圖 4-32	0611 豪雨、海棠颱風事件淹水範圍比較圖.....	4-25
圖 4-33	渠道位置與流量比較圖 (0611 豪雨事件).....	4-26
圖 4-34	選用集水區位置圖.....	4-28
圖 4-35	CN*1.00 最大淹水範圍：0611 豪雨 .....	4-28
圖 4-36	CN*0.95 最大淹水範圍：海棠颱風.....	4-29
圖 4-37	CN*1.05 最大淹水範圍：海棠颱風.....	4-29
圖 4-38	流量比較-渠道位置圖 .....	4-29
圖 4-39	CN 值調整前後流量比較圖：0611 豪雨.....	4-30
圖 4-40	CN*1.00 最大淹水範圍：海棠颱風.....	4-31
圖 4-41	CN*0.95 最大淹水範圍：海棠颱風.....	4-31
圖 4-42	CN*1.05 最大淹水範圍：海棠颱風.....	4-31
圖 4-43	CN 值調整前後流量比較圖：海棠颱風.....	4-32
圖 4-44	不同門檻值劃分之集水區.....	4-33
圖 4-45	集水區與對應流路.....	4-34

圖 4-46	單一渠道沿岸入流點位細緻化成果 .....	4-34
圖 4-47	降雨逕流模式 SCS 模組敏感度分析試驗架構 .....	4-38
圖 4-48	SOBEK 降雨逕流模式 SCS 模組設定項目 .....	4-38
圖 4-49	降雨逕流參數敏感度分析位置點分布與資訊 .....	4-39
圖 4-50	上游集水區 CN 值敏感度分析 .....	4-40
圖 4-51	上游集水區面積敏感度分析 .....	4-40
圖 4-52	中游集水區 CN 值敏感度分析 .....	4-40
圖 4-53	中游集水區面積值敏感度分析 .....	4-41
圖 4-54	下游集水區 CN 值敏感度分析 .....	4-41
圖 4-55	下游集水區面積值敏感度分析 .....	4-41
圖 4-56	集水區不同降雨量成果測試 .....	4-42
圖 4-57	上游集水區不同降雨量對應流量資訊 .....	4-42
圖 4-58	中游集水區不同降雨量對應流量資訊 .....	4-42
圖 4-59	下游集水區不同降雨量對應流量資訊 .....	4-43
圖 4-60	不同降雨量對應應最大流量數值成果 .....	4-43
圖 4-61	崑山抽水站抽水範圍 .....	4-45
圖 4-62	淹水數值模式增設崑山抽水站 .....	4-45
圖 4-63	崑山抽水站抽水機於 SOBEK 功能設定 .....	4-46
圖 4-64	土庫抽水站抽水範圍 .....	4-47
圖 4-65	淹水數值模式增設土庫抽水站 .....	4-47
圖 4-66	正義抽水站抽水範圍 .....	4-48
圖 4-67	淹水數值模式增設正義抽水站 .....	4-49
圖 4-68	崑山關閉一台抽水機與全開動之差值 .....	4-50
圖 4-69	崑山關閉二台抽水機與全開動之差值 .....	4-50
圖 4-70	抽水機起抽水位下降對淹水深度之模擬結果 .....	4-51
圖 4-71	調整抽水站抽水量之模擬結果 .....	4-52
圖 4-72	關閉崑山抽水站之模擬結果 .....	4-53
圖 4-73	關閉崑山、正義抽水站之模擬結果 .....	4-54
圖 4-74	抽水機設定條件造成之水位差異 .....	4-54
圖 4-75	抽水站加入前淹水模擬成果 .....	4-55
圖 4-76	抽水站加入後淹水模擬成果 .....	4-56

圖 4-77	抽水站抽水改善情況.....	4-56
圖 4-78	導入抽水站後淹水區域深度 5cm 之模擬範圍 .....	4-57
圖 4-79	導入抽水站後淹水區域深度 10cm 之模擬範圍 .....	4-57
圖 4-80	導入抽水站後淹水區域深度 15cm 之模擬範圍 .....	4-58
圖 4-81	導入抽水站後淹水區域深度 30cm 之模擬範圍 .....	4-58
圖 4-82	崑山抽水站上游水位與抽水運作狀態 .....	4-59
圖 4-83	土庫抽水站上游水位與抽水運作狀態 .....	4-59
圖 4-84	正義抽水站上游水位與抽水運作狀態 .....	4-59
圖 4-85	IoT 設備與平台資料交換方式.....	4-61
圖 4-86	物聯網監測數據與淹水模式之即時整合應用 .....	4-61
圖 4-87	水工構造物即時控制設定內容.....	4-62
圖 4-88	預報水位即時校正模式之理論示意圖 (Wu et al., 2015).....	4-64
圖 4-89	權重半變異數模式(WSVM)示意圖 (Wu et al., 2011).....	4-64
圖 4-90	路面淹水預報即時校正模式(RTEC_2DIS) 概念圖 .....	4-64
圖 4-91	路面淹水預報即時校正模式(RTEC_2DIS) 流程圖 .....	4-65
圖 4-92	RTEC_TS&TS 校正水位過程示意圖 (Wu et al.,2012).....	4-66
圖 4-93	二維淹水網格校正處理流程圖.....	4-67
圖 4-94	採用 08-24 02:00 預報時間段之淹水模擬成果.....	4-68
圖 4-95	採用 08-24 03:00 預報時間段之淹水模擬成果.....	4-68
圖 4-96	採用 08-24 04:00 預報時間段之淹水模擬成果.....	4-69
圖 4-97	採用 08-24 05:00 預報時間段之淹水模擬成果.....	4-69
圖 4-98	採用 08-24 06:00 預報時間段之淹水模擬成果.....	4-70
圖 4-99	採用 08-24 02:00 時間段之淹水模擬校正成果.....	4-70
圖 4-100	採用 08-24 03:00 時間段之淹水模擬校正成果.....	4-71
圖 4-101	採用 08-24 04:00 時間段之淹水模擬校正成果.....	4-71
圖 4-102	採用 08-24 05:00 時間段之淹水模擬校正成果.....	4-72
圖 4-103	採用 08-24 06:00 時間段之淹水模擬校正成果.....	4-72
圖 4-104	採用 08-24 02:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值.....	4-73
圖 4-105	採用 08-24 03:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值.....	4-73
圖 4-106	採用 08-24 04:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值.....	4-74
圖 4-107	採用 08-24 05:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值.....	4-74

圖 4-108	採用 08-24 06:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值.....	4-75
圖 4-109	採用 08-24 02:00 時間段於安中站 500m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-75
圖 4-110	採用 08-24 03:00 時間段於安中站 500m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-76
圖 4-111	採用 08-24 04:00 時間段於安中站 500m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-76
圖 4-112	採用 08-24 05:00 時間段於安中站 500m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-77
圖 4-113	採用 08-24 06:00 時間段於安中站 500m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-77
圖 4-114	採用 08-24 02:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-78
圖 4-115	採用 08-24 03:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-78
圖 4-116	採用 08-24 04:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-79
圖 4-117	採用 08-24 05:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-79
圖 4-118	採用 08-24 06:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對 .....	4-80
圖 4-119	採用 08-24 02:00 時間段於安中站不同距離範圍模擬與校正值比對... .....	4-80
圖 4-120	採用 08-24 03:00 時間段於安中站不同距離範圍模擬與校正值比對 .....	4-81
圖 4-121	採用 08-24 04:00 時間段於安中站不同距離範圍模擬與校正值比對 .....	4-81
圖 4-122	採用 08-24 05:00 時間段於安中站不同距離範圍模擬與校正值比對 .....	4-82
圖 4-123	採用 08-24 06:00 時間段於安中站不同距離範圍模擬與校正值比對 .....	4-82

圖 5-1	即時淹水模擬平台運算資源分配概念圖 .....	5-2
圖 5-2	主機效能測試採用模式專案：臺南 Zone3 TNAZ3U01.lit .....	5-3
圖 5-3	主機效能測試實驗區域 24 小時累積降雨量空間分布 .....	5-4
圖 5-4	決定 DEM 有效網格之情境降雨組體圖 .....	5-17
圖 5-5	鹽水溪集水區及雨量站徐昇氏網套疊圖 .....	5-17
圖 5-6	各重現期極端降雨情境所產製的有效網格 .....	5-17
圖 5-7	2016 年梅姬颱風降雨型態 .....	5-18
圖 5-8	鹽水溪區排與大州排水集水區資空間套疊於 D-Flow FM .....	5-20
圖 5-9	模式網格加密區域範圍 .....	5-21
圖 5-10	模式網格四分樹加密細緻化概念 .....	5-21
圖 5-11	模擬區域對應鄉鎮降雨量與潮位 .....	5-22
圖 5-12	SOBEK 模式網格測試範圍 .....	5-25
圖 5-13	SOBEK 模式模擬成果 .....	5-25
圖 5-14	SOBEK 模式模擬與網格套疊 .....	5-25
圖 5-15	運用 D-Flow FM 之模擬成果比對 .....	5-26
圖 5-16	運用 D-Flow FM 之測試區域 .....	5-26
圖 5-17	運用 D-Flow FM 搭配加密版本之模擬成果 .....	5-27
圖 5-18	運用 D-Flow FM 搭配無加密版本之模擬成果 .....	5-27
圖 6-1	臺南地區淹水感測器分布圖 .....	6-2
圖 6-2	臺南市 0813 豪雨 12 小時累積降雨量分布 .....	6-4
圖 6-3	EMIC 淹水回報點位主要位於 12 小時累積降雨量 200mm 等雨量線範圍 .....	6-4
圖 6-4	路面淹水感測器監測數據 .....	6-5
圖 6-5	EMIC 回報位置點位 (0813 豪雨事件) .....	6-5
圖 6-6	淹水感測器有監測數據位置 (0813 豪雨事件) .....	6-6
圖 6-7	淹水模擬與 EMIC 回報點位 (0813 豪雨事件) .....	6-6
圖 6-8	淹水模擬與 EMIC 回報點位 (0813 豪雨事件) .....	6-7
圖 6-9	淹水模擬與淹水感測器點位 (0813 豪雨事件) .....	6-8
圖 6-10	淹水感測器位置淹水模擬成果 (0813 豪雨事件) .....	6-9
圖 6-11	EMIC 回報點位對應淹水模擬成果(0813 豪雨事件) .....	6-10
圖附 1-1	HyDEM 與 DEM 之差異 .....	附 1-2

圖附 1-2	HyDEM 與 DEM 之水道顯示差異.....	附 1-3
圖附 1-3	HyDEM 與 DEM 之建物顯示差異.....	附 1-3
圖附 2-1	美國華盛頓特區 D-Flow FM 一二維都市淹水模擬介面.....	附 2-2
圖附 2-2	美國華盛頓特區 D-Flow FM 淹水模擬網格與排水路測試.....	附 2-3
圖附 2-3	美國華盛頓特區不同情境下之 D-Flow FM 淹水潛勢圖.....	附 2-3
圖附 3-1	大斷面測量資料與 DEM 地形高程的比對.....	附 3-2
圖附 3-2	高精度地形資料判斷越堤界線與高程.....	附 3-2
圖附 3-3	二維淹水模式斷面資料更新維護流程.....	附 3-4
圖附 3-4	一維河道幾何與二維 DEM 等高線.....	附 3-5
圖附 3-5	一維河道大斷面與二維 DEM 行水區.....	附 3-5
圖附 4-1	一維河道走向與二維 DEM 空間對位問題.....	附 4-2
圖附 4-2	下水道管徑檢核示意圖.....	附 4-3
圖附 4-3	下水道人孔與 DEM 高程檢核調整.....	附 4-3
圖附 4-4	全區、區塊(Part)、分區(Zone)及計算單元的示意圖.....	附 4-5
圖附 4-5	建置 DEM 有效網格所採用之情境降雨組體圖.....	附 4-5



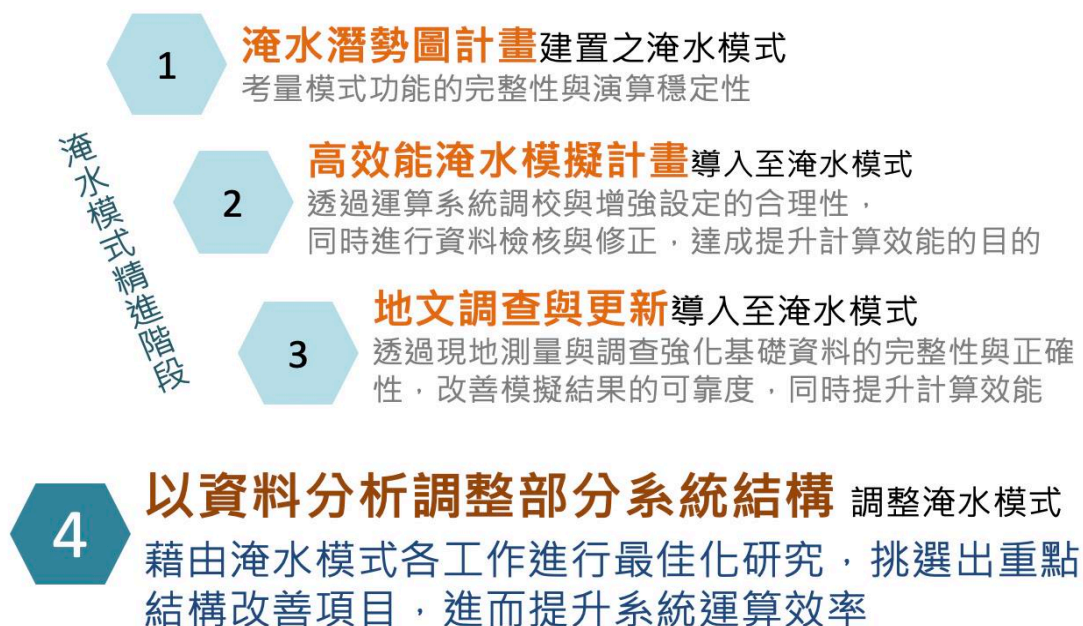
# 摘要

## 一、前言

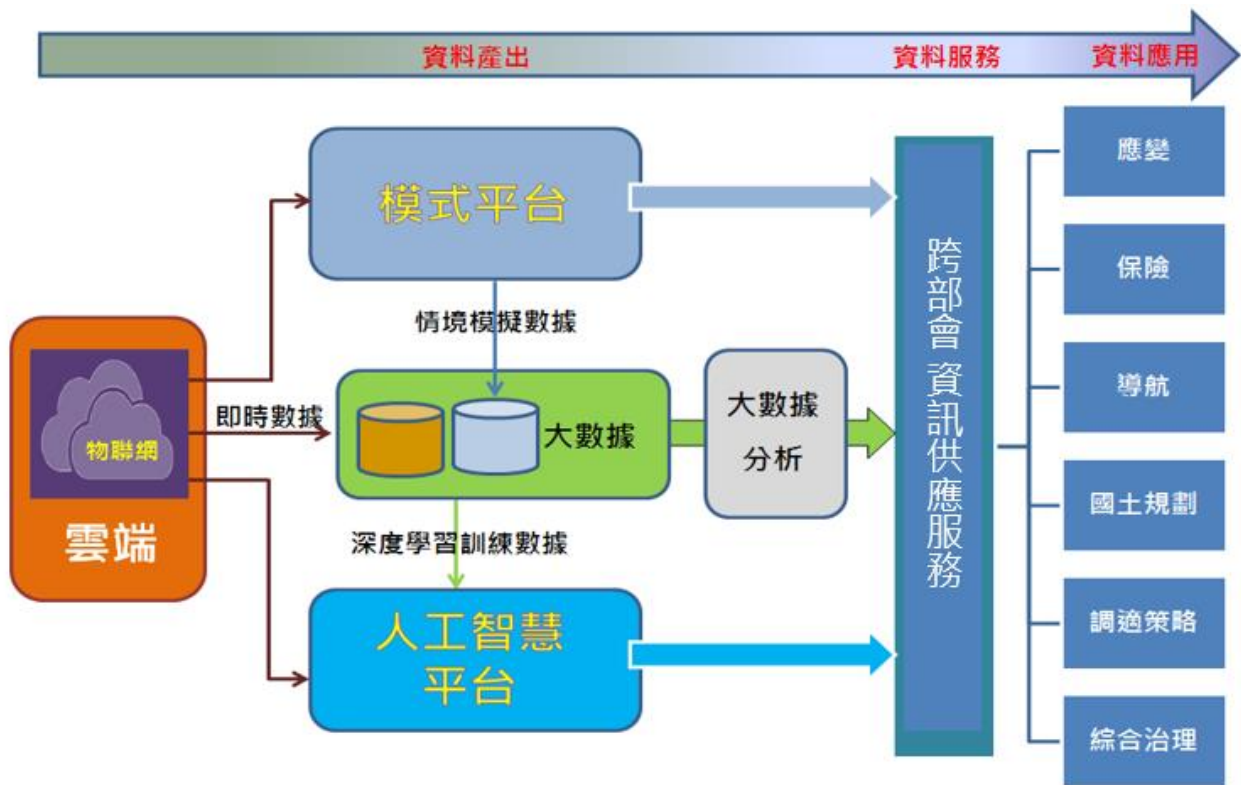
為提升淹水模式對水災模擬的有效性，從淹水潛勢圖計畫起，本所針對淹水模式，其淹水模式精進階段如摘圖 1 所示，以全面、快速，逐漸要求模擬條件正確化與細緻化，三項階段性的逐步改善下，逐年提升精進重點。

現階段為使預報成果與現地情況更加相似，本所針對系統中運算結構及資料進行盤點，藉由資料分析調整部分系統結構，以提升即時淹水模擬效能。本計畫持續搜集國內外文獻，以瞭解運算結構及改善方法，藉由歷年的計畫成果中，發現影響即時淹水模擬的主要因素，包含基礎資料來源、模式架構與作業化平台等三大條件，並整理出目前提供即時淹水模預報的方式，其可區分為：「以二維淹水模式進行即時演算」，以及「透過事先演算成果，提供最相似的淹水模擬成果」二種。

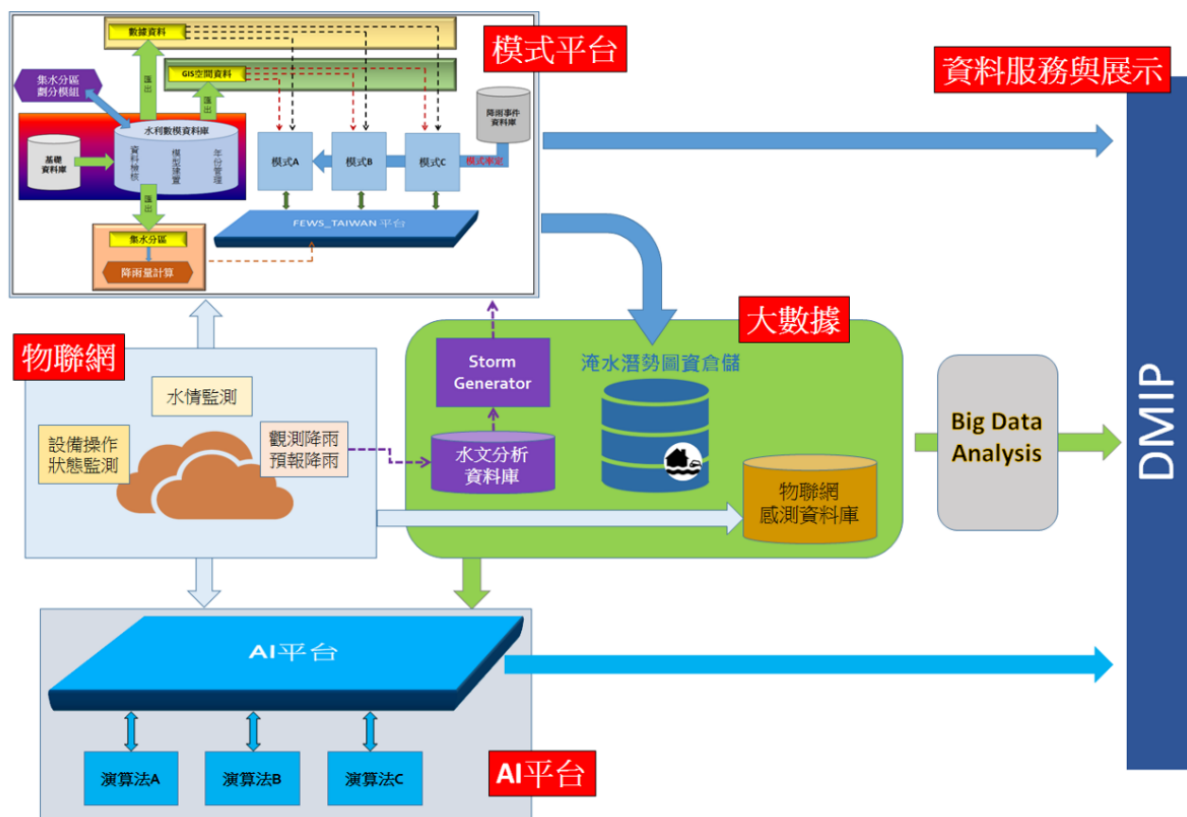
而在目前水文水理模式的發展應用上，透過結合物理模式的機械學習應用越來越受到各國的重視。在科技部應科計畫的概念與架構上，如摘圖 2、摘圖 3 所示，其也提出結合物理模式搭配目前相關 IoT 技術與 AI 應用。



摘圖 1 歷年淹水模式精進階段



摘圖 2 新一代淹水模式整合發展



摘圖 3 新一代淹水模式應用

## 二、國內外相關資料搜集

本工作藉由搜集海外諸國的相關文獻，以了解目前世界各國對淹水模擬工作的趨勢與方向，以提供更完整的資料與訊息供計畫與研究參考，如摘表 1 為彙國內外淹水模擬之型態與模式，而本節參考文獻重點，如摘表 2 所列。

而為了找出提升效能的方向，綜觀所搜集資料內容，與國內外相關文獻資訊後，將提升淹水模式效率的改善與方法彙整如下，其概念為當模式正確性與合理性提升後，運算成果效率可以提升。

運算結構之研究與探討內容區分為兩大主軸，分別為提升運算正確與合理性來探討模式調整後，對於淹水範圍與淹水深度的不確定性；與提升運算效能來探討運算效能與成本等內容。主要探討主題與方向彙整，如摘表 3 所示，包含地文、水文、邊界條件、模式整合、運算方式等議題。

將上述內容針對模式中可能的造成淹水範圍與深度不確定影響的內容，進行各別模組或小區域的測試，利用改善前後對於淹水範圍與淹水深度的影響提供參考，並且就對應的成本，做為效能提升優先順序建議。整體效能提升主要內容，如摘圖 4 所示。

摘表 1 現階段國內外淹水模擬之型態與模式

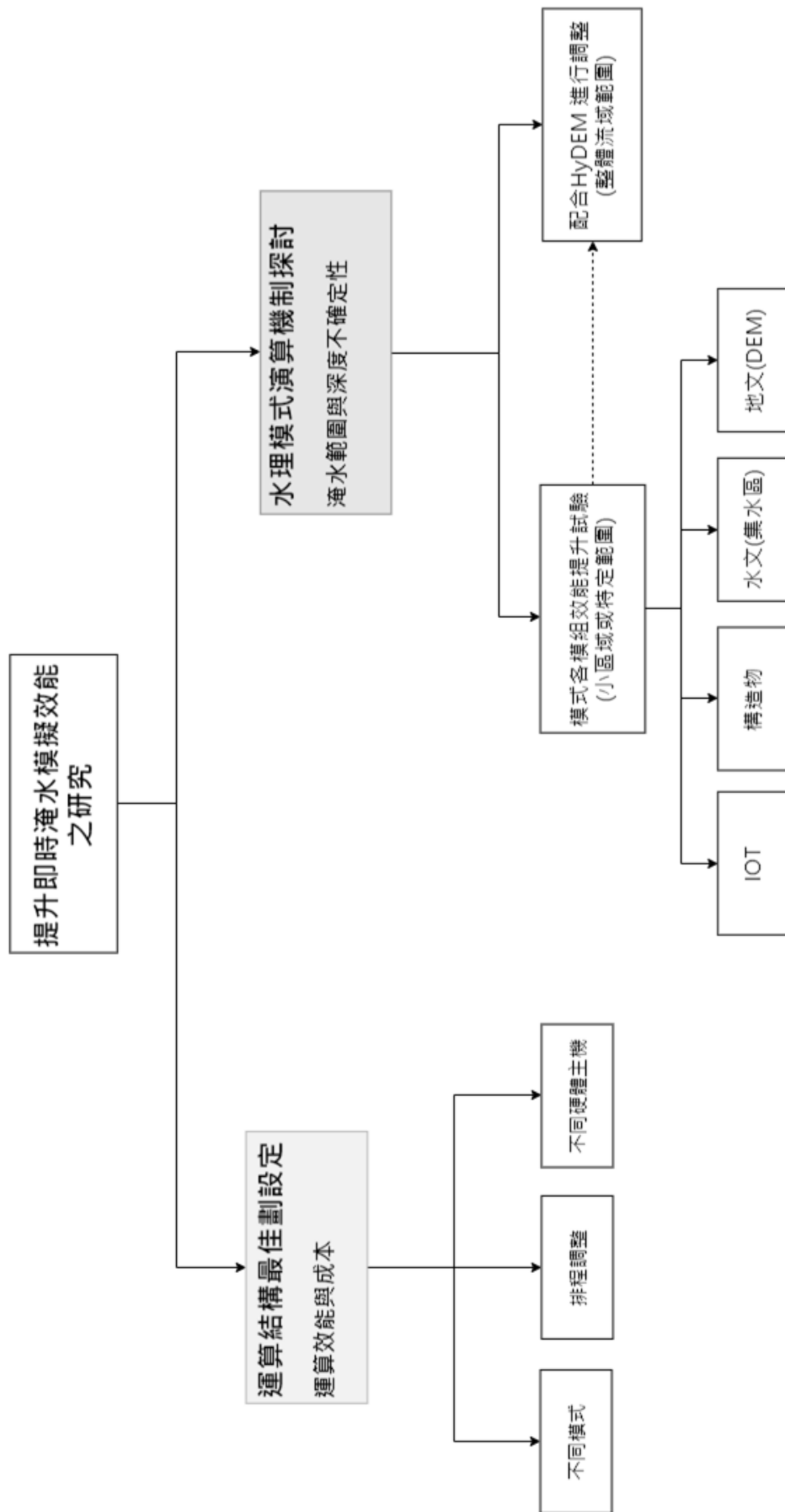
淹水模擬型態	模式
即時	SOBEK、3Di、DFlow-FM、 德州大學阿靈頓分校_高效能淹水演算、 Google ML 日本早稻田大學 S-uiPS
離線	HEC-RAS (美國 NWS USGS)

摘表 2 國外相關系統與文獻分析

參考文獻來源	淹水模擬技術	資料分析趨勢
德國	利用 6 組 HEC-RAS 2D 模式專案，搭配監視器影像處理進行即時運算。	透過感測器、手機影像、CCTV 影像、遙測影像等成果進行比對與分析，或者搭配公民科學群眾等新一代資料搜集方式，來取得現地資料內容
美國	美國德州大學阿靈頓分校，透過高速電腦搭配分散式運算架構，進行高解析度二維淹水模式演算	在都市區域淹水模式架構，包含集水區、降雨量、降雨逕流、淹水模擬等內容資料與模式間具有一定程度的影響性與關連。透過基礎資料持續驗證與率定，將有助於提升與改善淹水潛勢圖
日本	早稻田大學關根正人教授，所發展都市淹水潛勢預報系統 S-uiPS，進行東京都會區淹水預報系統的發展。	模式在資料需求上需要有河道、下水道系統、建物線、道路高程、下水道匯流分區、地下道、建築物邊界等完整資訊，同時需要有對應水位監測資訊，搭配高解析度降雨雷達提供即時與完整降雨量資訊。
荷蘭	SIM-CI 搭配三維虛擬實境展示淹水的建置的環境，呈現空間內水工構造物位置與環境，並且搭配淹水模擬成果展示。	進一步探討淹水範圍與受影響戶數之間的關聯分析，以及當淹水預報失準的時候，如何緊急因應與改善。
中國	上海浦東新區利用 SOBEK 模式搭配 Delft-FEWS 平台，進行即時二維都市淹水之模擬。	未來規劃因應任務需求，預計轉換成為作業化系統，同時配合模式發展，布在下一階段更換為 D-FlowFM (Delft3D FM) 模式，以提供更完整的模擬應用。

摘表 3 探討主題與方向彙整

項目	內容	備註
地文	數值地形、網格解析度、多重網格	配合地形資料更新
水文	集水區架構、水文參數	因應地形資料更新與斷面新增，調整集水區相關資訊
邊界條件	降雨量、水位、流量、潮位、IoT	探討模式輸入水文氣象資料對於淹水範圍影響
模式整合維護	資料 QA 與 QC、版本管理	模式整合流程與版本管理
運算方式	平行、高速運算，與 AI (ML or DL)	伺服器主機運算效能排程管理 (AI 議題搜集相關文獻)



摘圖 4 整體提升即時淹水模擬效能之實驗架構

### 三、運算結構之研究與探討

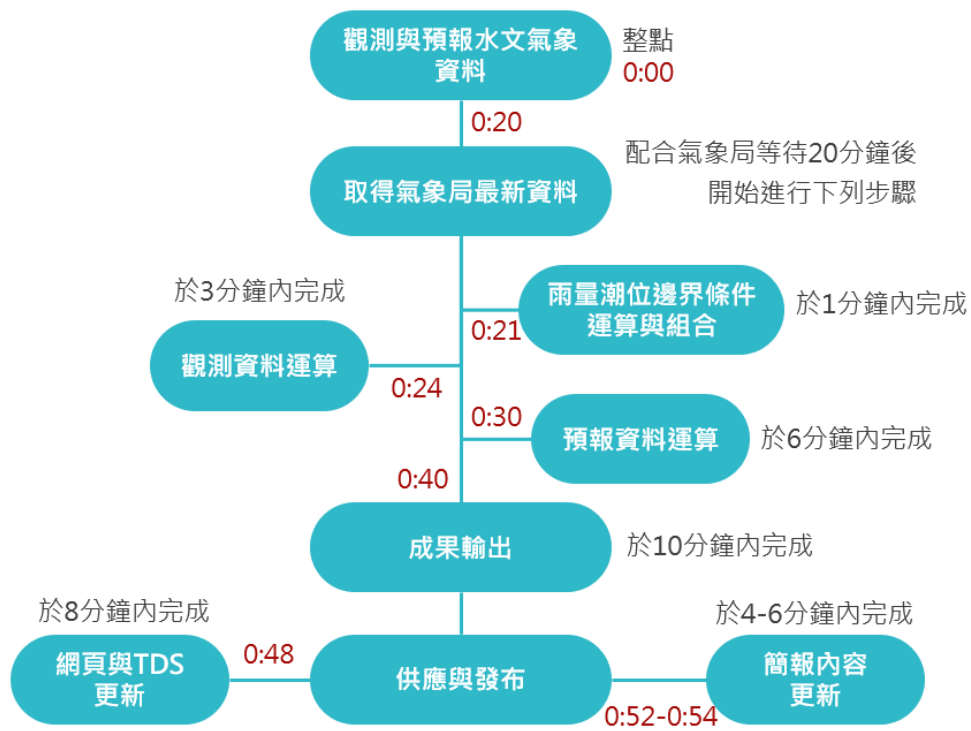
在 FEWS 伺服器架構與排程上，防汛作業過程中需要作業化 24 小時不間斷運作，持續更新與提供最新預報與模擬成果。考量自動化資料處理流程與模式運算所需的大量運算資源，因此透過伺服器主機架構的配置，將 FEWS\_Taiwan 平台對應的功能與服務轉換成為網路架構。

上述整體資料作業流程在既有的預報作業流程中，目標為每一小時提供最新的淹水預報成果，目前測試在每小時內提供最新預報成果，搭配現有主機預算資源，完成未來三小時淹水預報模擬計算與成果供應服務。因此在整體作業流程，需要將相關運算服務進行最佳化的調整，評估對應排程可能最大影響與延遲時間，摘圖 5 為每小時伺服器主機運作的相關時間設定與對應作業流程。摘表 4 則為整體服務資料供應內容與項目。

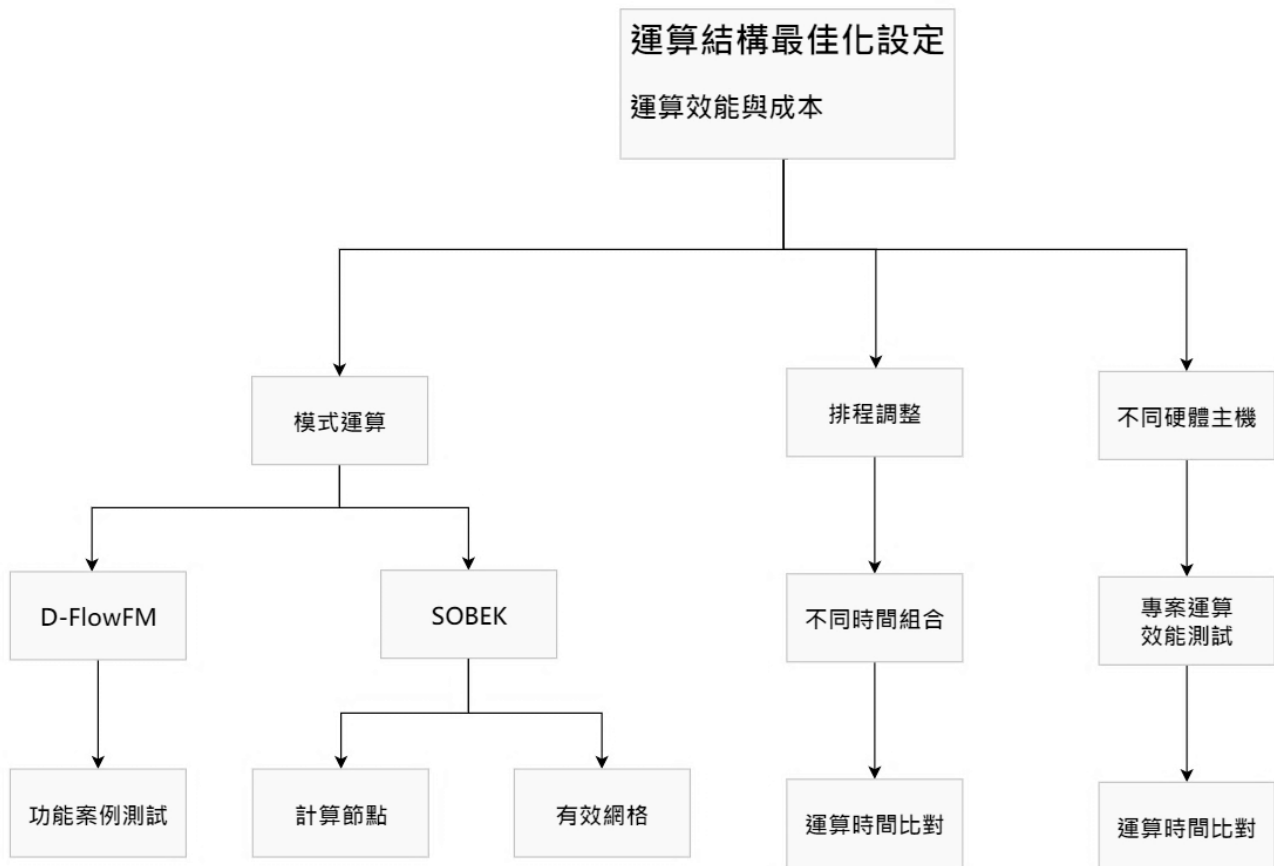
此外，考量模式發展測試不同模式的運算作業需求與內容，做為下一階段模式版本維護更新之參考，為此，根據摘圖 5 的整體架構，延伸至運算結構最佳化設定，如摘圖 6 所示，在有限運算效能與成本的條件下，使用不同主機環境進行模式專案的測試效能評估、搭配不同時間長度資料供應服務排程測試，評估可行的二維即時淹水模擬成果資料供應服務，並評估應用不同模式進行二維即時淹水模擬所需注意事項。

摘表 4 二維即時淹水預報成果發布供應服務與範圍

供應服務	範圍
網頁	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區
簡報	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區
串流服務	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區



摘圖 5 預報排程時間管理設定



摘圖 6 運算結構最佳化設定實驗與測試內容

#### 四、水理模式演算機制探討

在模型建置與模擬過程中，如何有效提高模型建置的合理性與模擬結果的準確性，是即時淹水預報水理模式演算機制優化的重要目標。

為達到此目標，將淹水模式所使用的不同模組，透過特定區域範圍的實驗。測試各模組與功能調整前後的影響，與對應調整所需的時間與人力成本，作為模式資料維護更新過程中的優先順序參考，以下將簡述其中幾項重點成果，其餘詳細實驗成果可再參閱報告內容。

在地文資料部份，根據內政部地政司所產製之 HyDEM，識別出來的河川堤防與渠道溢堤圖徵，本計畫新增既有鹽水溪模式模式缺漏的渠道。新增渠道長度佔原模式總長度 43%，共計新增渠段 429 段合計 162km，新增斷面數 791 個，如摘圖 7 所示。另為解決斷面與 DEM 這兩種異質性資料存在的差異，亦利用高解析度 DEM 所顯示的河寬的堤岸高程來調整斷面。

實驗範圍以摘圖 8 為二仁溪河道交匯處為例，圖中為模式進行調整前後的河道與斷面位置分布，可明顯看出經調校過後之河道走向較符合 DEM 河道走向，且於河道銜接處抑或是斷面分布較少的渠道上，有新增虛擬斷面。

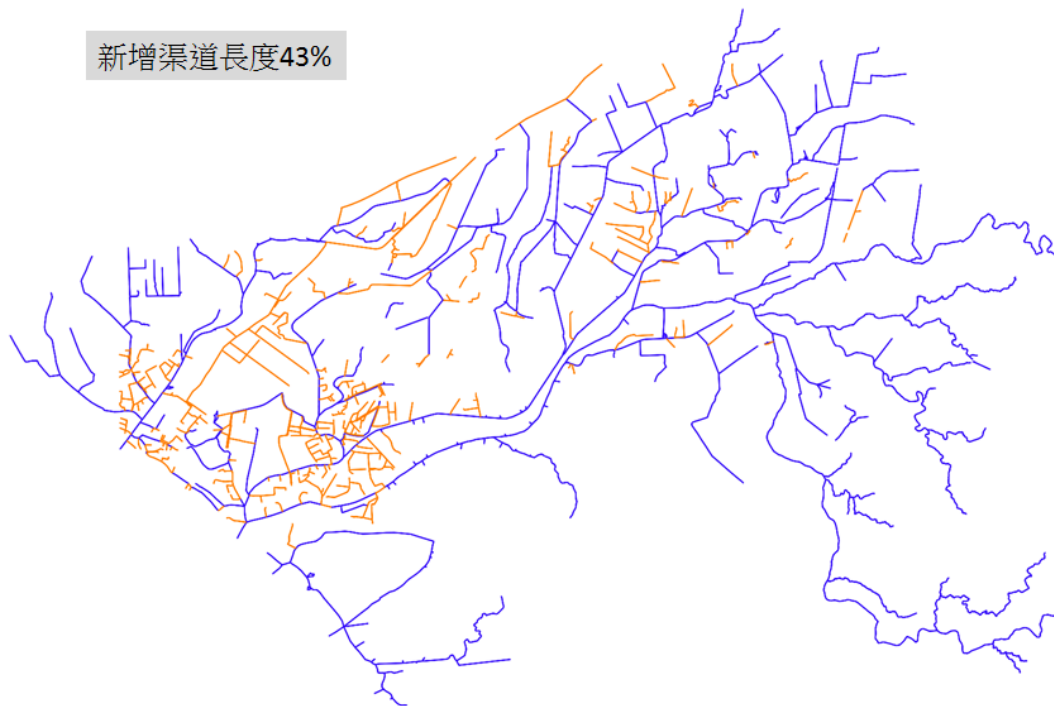
而在構造物部份，利用海棠颱風事件進行模擬，分別呈現在三爺溪增加抽水站前之淹水模擬成果，摘圖 9 為抽水站加入前之淹水模擬成果，摘圖 10 為抽水站加入後之模擬成果。

以現有資料搭配相關抽水機操作規則進行模擬，經測試後，改善積淹水面積範圍 8.787 公頃 (最大淹水深度超過 5cm 以上變化區域)，減少淹水淹水體積 8,122m<sup>3</sup>(以標準游泳池體積 1,890m<sup>3</sup> 換算)，約 4.29 個標準游泳池。

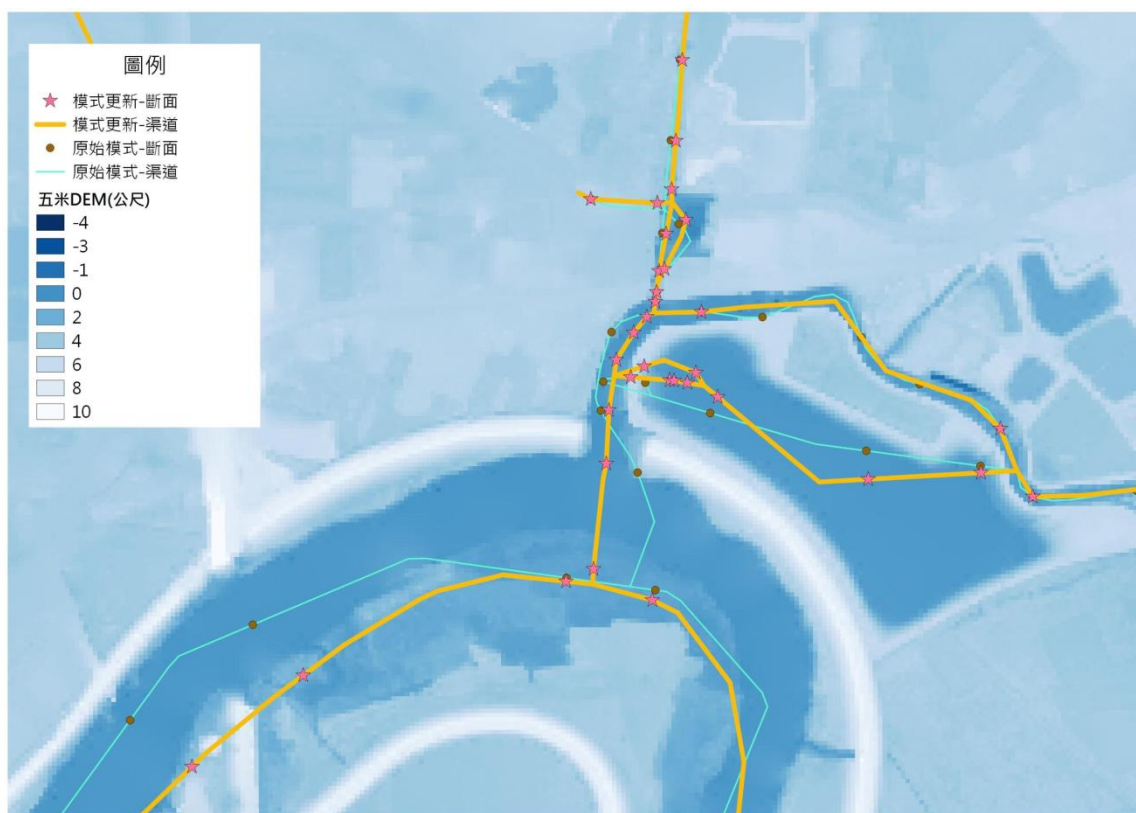


- 模式既有渠道593段，合計376公里，斷面數2851
- 根據圖徵新增渠道429段，合計162公里，新增斷面數791

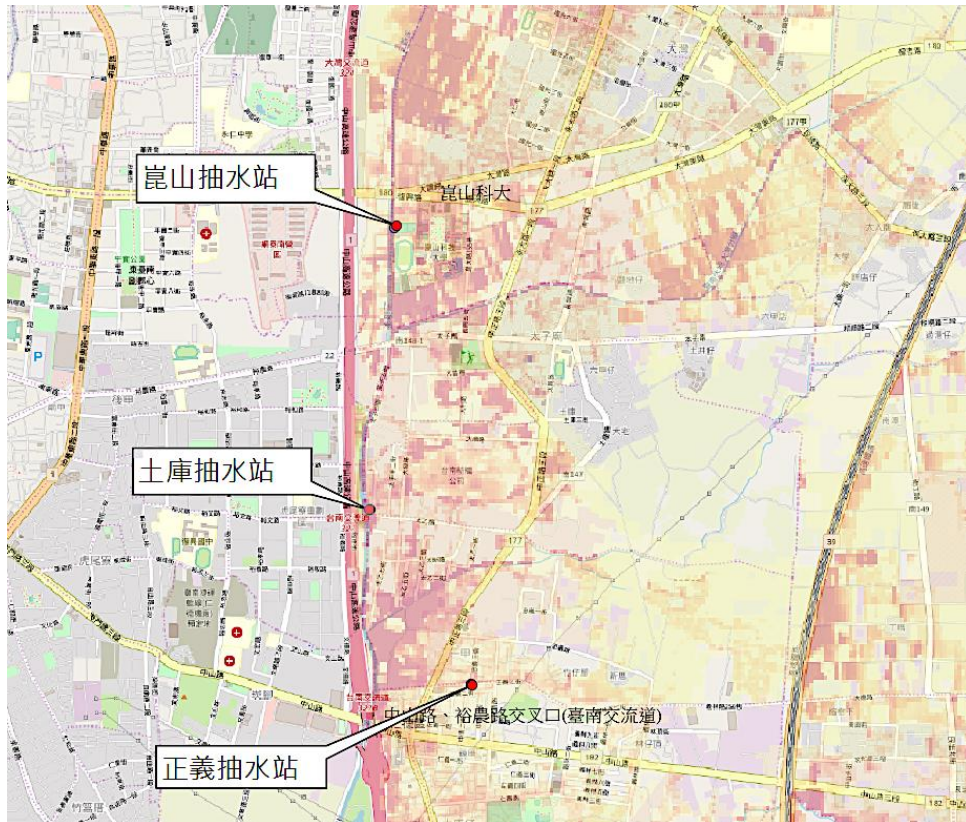
新增渠道長度43%



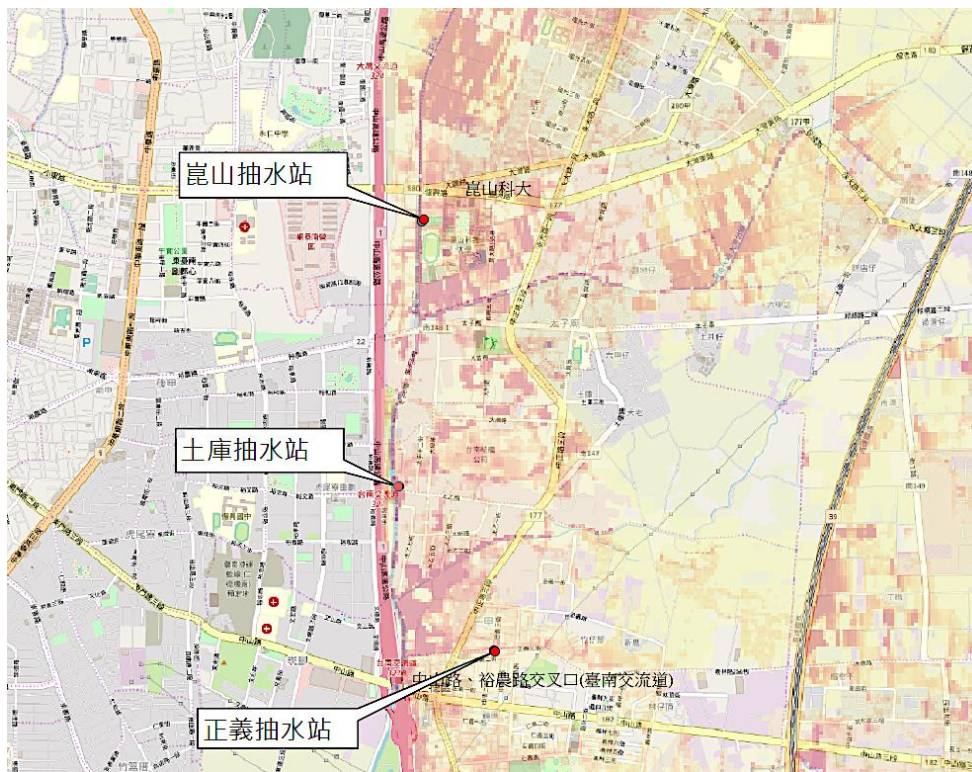
摘圖 7 根據 HyDEM 新增鹽水溪模式渠道分布圖



摘圖 8 二仁溪河道交會處



摘圖 9 抽水站加入前淹水模擬成果



摘圖 10 抽水站加入後淹水模擬成果

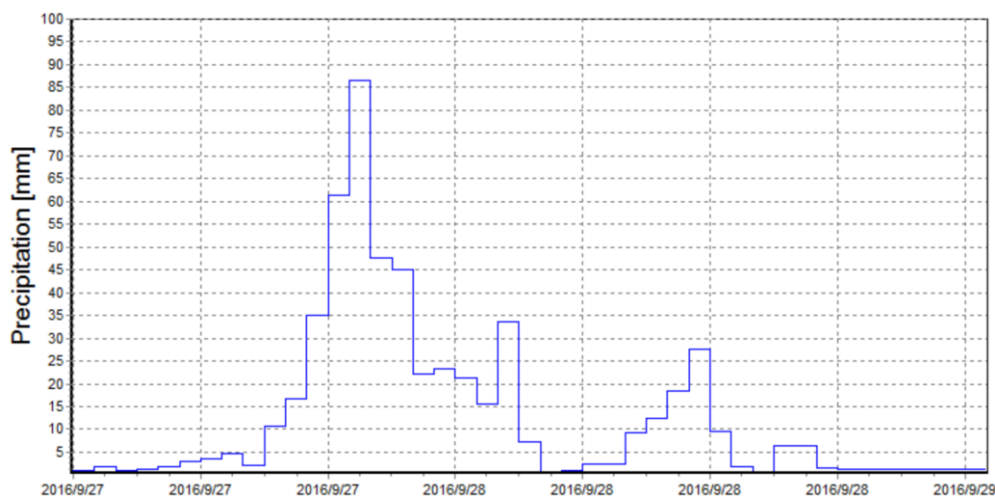
## 五、運算結構最佳化設定

在運算結構最佳化的設定過程中，主要仍以 SOBEK 模式內有效網格為主要影響因子，與一維計算節點的影響進行測試與評估，以下將以臺南鹽水溪流域為範例介紹。

### (一)有效網格設定對於計算效能的影響

採用高重現期距的極端降雨情境進行淹水模擬，可以識別出有效 (active) 網格。摘圖 11 為 2016 年梅姬颱風於臺南鹽水溪流域的降雨組體圖，由於降雨具有空間變異性，此處僅隨機由 QPESUMS 雨量紀錄取一點位，來示意降雨型態。採用五種有效網格 DEM 分別進行模擬，再以 200 年重現期有效網格 DEM 的模擬結果為比較基準，計算淹水面積校驗係數及淹水深度平均誤差。

根據 QPESUMS 雨量資料分析，梅姬颱風降雨期間發生的最大時雨量為 86.6 mm，與鹽水溪流域鄰近的 9 個雨量站各重現期尖峰雨量相差不多，且有效網格是採用極端降雨情境，刻意延長尖峰降雨強度所產生的，因此這五種有效網格 DEM 應該都適用，從淹水面積校驗係數顯示 97% 相似性，且淹水深度平均誤差都不到 1cm 可以獲得佐證，表示採用這五種有效網格 DEM 的模擬是相當的。但從計算效能來看，10 年重現期有效網格 DEM 的計算耗時僅為 200 年的 75%。因此，選取適當且適用的有效網格，將有助於計算效能的提升。



摘圖 11 2016 年梅姬颱風降雨型態

## (二)計算點間距對於計算效能的影響

摘表 5 將鹽水溪模式的計算點分別採用 50m、100m 及 200m 模擬梅姬颱風。若以 50m 間距的結果為比較基準，100m 間距的結果其淹水面積校驗係數下降至 90%，但計算耗時卻僅有 71%，顯然 100m 間距的適用性，是效能與精確度兩者間取捨的問題。至於 200m 間距，由於淹水面積校驗係數進一步下降，但計算效能的提升卻相對有限，因此可將 200m 間距評定為不適用。

由於現場地形與河道型態的樣態太多，很難找到一致的特性，因此要建立計算點布置的通則，還需要更多的案例累積、歸納與分析。

**摘表 5** 計算點間距對於計算效能與模擬精確度的影響

計算點間距(m)	與間距=50m 比較		與間距=100m 比較		CPU Time (hr/min/sec)	計算效能比
	淹水面積校驗係數	淹水深度平均誤差(m)	淹水面積校驗係數	淹水深度平均誤差(m)		
50	—		—		5h/26m/57s	1.00
100	0.9028	0.0467	—		3h/51m/45s	0.71
200	0.8376	0.0743	0.8893	0.0501	3h/27m/41s	0.66
20m 解析度 有效網格 (Active cell)			516,268			
20m 解析度 總網格 (Total cell)			1,514,390			

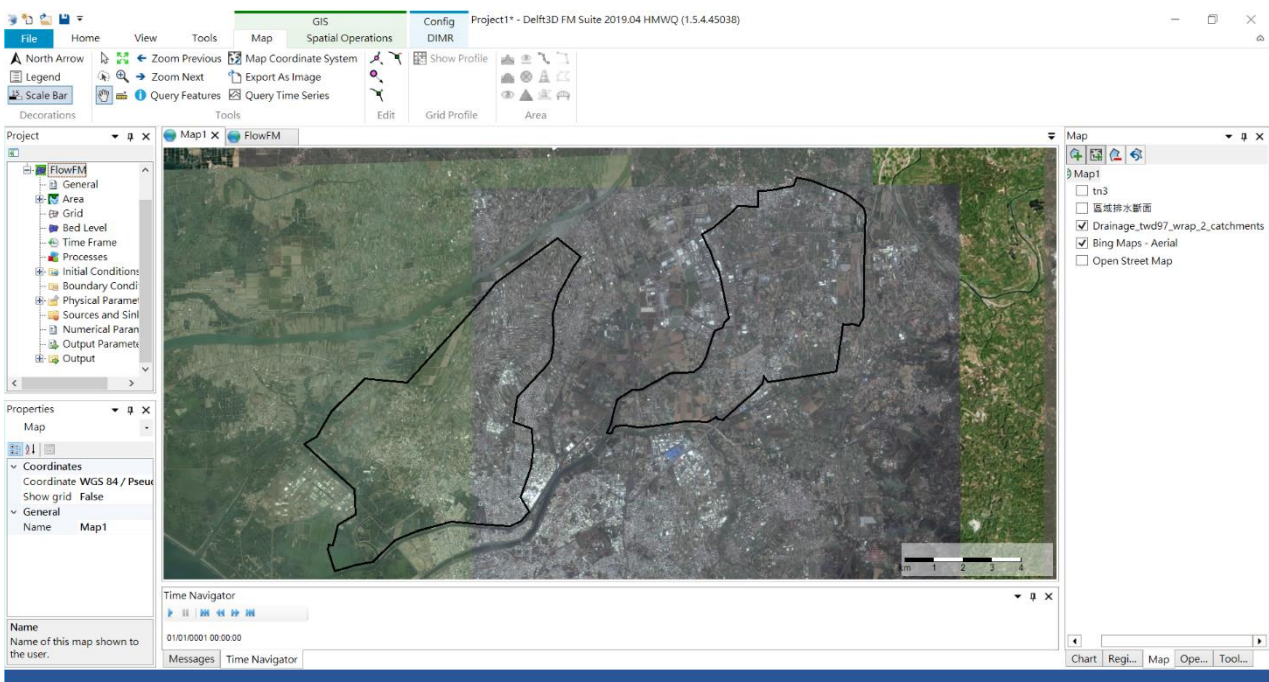
處理器型號 Intel® Core™ i7-3770K CPU @ 3.50GHz

## 六、D-Flow FM 淹水模擬測試

在前述運算結構最佳化的設定過程中，為了下一階段模式的準備，其透過 D-FlowFM 的測試模擬，進行未來淹水模擬軟體適用性的評估工作。針對 D-Flow FM 淹水模擬，如摘圖 12 的介面圖所示，已經完成介面的測試。

測試結果顯示，系統可支援國內常用的坐標投影系統，同時也支援對應網路地圖服務 WMTS，將有助於在模式建模過程中，對於現場狀況與空間資料處理及判斷將更為方便。

由於 D-Flow FM 模式仍在持續發展與開發中，同時目前國內應用之 SOBEK 模式建置的淹水潛勢圖使用之 SCS 降雨逕流模組尚未完成整合，因此，在本計畫優先採用邊界點流量點匯入方式，直接匯入流量成果進行二維即時淹水模擬。



摘圖 12 鹽水溪區排與大州排水集水區資空間套疊於 D-Flow FM

**關鍵字：**即時淹水預警、IoT、SOBEK、DFlow



## Abstract

In recent years, with the improvement of hydrological observation technology, many hydrological observation techniques have been gradually applied to drainage planning. WRPI has verified the hydrological model applicable to Taiwan through the verification of the local observation data. Also, through the establishment of the SOP of building the hydrological model, the accuracy and computational efficiency of the hydrological model was able to improve.

To implement regional flood prevention, since 2015 Water Resources Planning Institute (WRPI) has used the results of the third-generation Flood Inundation Map to build the integrated platform for the application of high-performance 2D inundation simulation called "Flood Early Warning System." It has successfully integrated the FEWS\_Taiwan to the Flood Inundation Map. In the system, the SOBEK model for Taichung City and Tainan City in Flood Inundation Map uses the forecast data of the CWB to predict the possible flooding range for the next three hours. After integrating SOBEK 2D flooding mode, FEWS\_Taiwan has improved the flooding mode from static situational simulation to dynamic real-time data simulation through immediate and forecasted rainfall information, which is a crucial milestone for early warning of flooding areas. As the computer computing speed increases, the use of FEWS\_Taiwan has stabilized the scheduling capability, coupling with a fast parallel computing architecture and the stable update of the basic data that improves the correctness and calculation speed of the model, the goal of instant flood warning can be achieved.

In order to make the forecasting results faster and simulation similar to the local situation, this year WRPI evaluation and analysis the operational system structure and data of the system and adjusts part of the system structure by data analysis to improve the efficiency of the real-time flooding forecasting.

The project will continue to collect domestic and foreign literature to understand the computing structure and improvement methods, through the previous years' project achievements, found the main factors affecting real-time flood simulation, including the basic data source, model structure and operational platform.

For the computing structure part, there are two suggested directions at this stage:

one is the flexible expansion and reduction of computing resources; the other is to remove computing resources for other requirements during non- typhoon flooding.

In the part of the hydraulic model calculation mechanism, the factors affecting the accuracy of real-time flooding simulation can be roughly divided into three aspects: the model calculation method, the geographic data and the rainfall-runoff module. At the same time using new hydraulic model D-Flow FM (base on the opensource model) to testing the possibility of 2D flooding simulation model transfer in the future.

Finally, the real-time 2D flooding simulation in Tainan area will be used as a target to test several flood events in the area in recent years, analyze the forecast results and review the improvement methods to find out the effect of improving the immediate flooding simulation.

***Keyword : real-time flooding simulation, hydraulic model, SOBEK, DFlow-FM***



# 結論與建議

## 一、結論

- (一)藉由德國、美國、日本、荷蘭、中國等相關發展與應用情況，這些國家不斷持續應用 AI 與 ML 技術，提升淹水預報與分析的準確度，但在核心理論與處理過程中，仍需要仰賴物理模式。而背後的所需的物理機制、演算法，及模式所需的基礎資訊更新與改善更為重要，才能持續提升模式模擬成果正確與合理性。
- (二)在運算結構與流程之改善上，已建立標準流程與模式版本管理資料庫，並搭配運算資源與效能的評估，進行運算結構的優化，並搭配定時與定期的基礎資料維護與更新，才能不斷提昇模式成果正確性。
- (三)透過實驗組與對照組概念，完成水理模式演算機制探討，包含：地文資料、水文條件設定（集水區與降雨逕流模式）、構造物設定（抽水站與抽水機）、現地感測設備等不同方案的調整：
- 1、地文資料探討上，以臺南地區鹽水溪、三爺溪兩個流域作為效能提升與精進的測試區域。並更新鹽水溪區排渠道長度增加 43%。
  - 2、水文條件設定，優先針對集水區匯入流點的影響進行測試，以評估集水區匯入流點位差異。分析結果顯示，包含區域排水、縣市管排水與雨水下水道之模型，其模擬成果與路面水位計觀測值較為相似。
  - 3、以抽水機運作模式作為構造物設定的主題。分析結果顯示，抽水機運作能有效改善臺南市崑山科大周邊，積淹水面積範圍減緩 8.787 公頃，減少淹水淹水體積  $8,122\text{m}^3$  (約 4.29 個標準游泳池)。
  - 4、現地感測設備資料的加入，可配合抽水機的運作，達到以淹水感測訊號作為機器啟動的技術。而本研究已針對三爺溪三座抽水站完成情境模擬，以盡可能貼近現場實際狀況。又以現地感測設備資料為基礎，發展路面預報淹水深度與範圍二維即時校正模組，並完成銜接與初步測試。
- (四)現有 SOBEK 模式運算效能的改善與條件，在一維模式的運算結構調整上，依模擬區域範圍重要性，計算節點設定為 50~100m 間距，即可有

效提昇運算速度，同時不影響淹水模擬成果。降雨逕流模式設定過程中，SCS 模式參數誤差需要小於 10%，可以有效降低流量的不確定性。使用 100 年重現期距網格大小作為二維淹水網格模擬範圍，亦可有效減少運算量與提昇運算時間。

- (五)在運算結構最佳化的設定上，針對 SOBEK 模式以完成有效網格、計算點間距，在運算時間的評估與測試，並就 6 小時、12 小時與 24 小時預報模式所需運算時間，進行測試與評估。以 6 小時長度預報資料為例，在有限的資源下配置一對一排程方式，高雄地區約 11 分鐘、屏東地區約 33 分鐘、臺南地區約 18 分鐘、臺中地區約 22 分鐘內可以完成。
- (六)完成 D-Flow FM 淹水模式使用者介面與淹水網格處理流程，並以鹽水溪區排與大州排水集水區為案例，執行 D-Flow FM 淹水模式之案例測試。惟 D-Flow FM 資料內容未包含下水道系統排水系統，所以在淹水面積的模擬數據上，有大於 SOBEK 模式的趨勢。

## 二、建議

- (一)配合高解析度數值高程模型的發展，持續提昇模式空間解析度已經是世界各國趨勢，但對應的基礎資料相關參數資訊內容（如：土壤類型、土地利用、抽水機、堰、水門、滯洪池、下水道系統等水工構造物）也需要持續提昇資料解析度，才能持續提昇模式成果。
- (二)建議若能配合後續在水利數值地形模型(HyDEM) 的資料基礎，則有效強化淹水模擬之地形構築。另外，搭配 D-Flow FM 的新一代淹水模式的研發，藉由支援非格網資料的特性，以滿足未來在建置細緻化區域淹水模式的需求。
- (三)即時淹水模擬工作的基礎，雖僅從淹水模擬演算、成果展示與發布，以及模式檢討與驗證這三類進行限縮；但是就整體循環來看，必須從資料的調查、建立數值模擬模型、參數環境設定，直到模擬，發布，檢討與驗證。並透過基礎資料的持續更新，建立共同的事件比對案例資料來源，各模式在運算過程中所需邊界條件與對應案例的彙整，在相同資料來源

供應方式下進行成果比對。以減少各單位資料收集、彙整與重複建置的時間，同時減少資料缺漏的問題，則將即時淹水模擬的工作應用發揮至最大。

(四)由於淹水模擬的相關核心演算機制、演算法流程可能會有差異，因此在模式成果測試實驗環境建置過程中，需要考慮在相同的比較基礎與環境上進行比對，以便完整論述模式計算成果的差異性。因此，未來在不同模式成果比對上，建議需要在相同的測試實驗環境下，使用相同的邊界條件，與資料處理流程進行比對。以便說明使用硬體資源 (CPU、記憶體)、作業系統、模式邊界條件、模擬事件長度、前處理流程、後處理流程、模式成果差異性。

(五)各專案建立的模式成果，為國家水利重要的資產與成果。透過長期累積各模式專案成果與資料，以及模式版本管理資訊的建立，將有助於對於歷年成果的檢視與模式改善。同時瞭解各階段基礎資料收集過程中，需要持續更新與改善的方向。

(六)水利模式與成果朝向開源模式與開放資料的推動。目前世界各國在發展過程中不斷透過開源模式與開放資料的發展，目的是透過開源方式讓更多使用者與單位，可以參與相關資訊與瞭解資料內容；同時，結合眾人智慧發想，改善與提昇模式成果與應用。在未來發展過程中，數值模式逐漸朝向開源模式或自由軟體方向發展。模擬內容未來也會有去除機敏性與個資化資訊後，採用開放資料方式供應的趨勢，以持續提昇模式與資料的使用效益。



# 第一章 前言

以往二維淹水模式介接至 FEWS\_Taiwan 平台的實施過程中，在模式驗證時發現，若要求得二維即時淹水模擬在計算正確性，或是計算速度上，獲得更進一步的提升，首重基礎資料的完整供應，且各項基礎與驗證資料需要盡可能周全。基礎資料的提供包含：堤防高程與地面高程銜接合理性、淹水資料搜集來源。

從淹水潛勢計畫起，加上持續性的淹水模擬結構與流程的檢討與優化，從各地小處累積的結果，則為淹水模擬精進的重點與價值。

## 一、計畫緣起

為提升淹水模式對水災模擬的有效性，從淹水潛勢圖計畫起，本所針對淹水模式，如圖 1-1 所示，逐年提升精進重點：

- (一)從過往的單一流域進行淹水演算為基礎，到 103 年至 105 年第三代淹水潛勢圖計畫的執行過程中，淹水模式所需要思考的範圍，以淹水模式功能與演算完整性，作為建立可運行之全臺淹水模式。
- (二)其次，由於即時模擬的需求日益提升，在分散式運算的可行性評估與例證後，透過運算系統調教與增強設定的合理性，使得淹水模擬工作得以高效能的方式進行，也開啟了即時淹水模擬演算的里程碑。
- (三)在高效能淹水演算得以實施的同時，為了強化地文資料對於淹水模式的影響，透過現地測量與調查，強化基礎資料的完整性與正確性，作為改善模擬結果的可靠度為目標，同時也因為地文資料的有效更新，使得數值模擬在計算上得以提升與收斂。
- (四)從前開以全面、快速，逐漸要求模擬條件正確化與細緻化，三項階段性的逐步改善下，為了能反映各項淹水模擬工作，能夠得出最佳演算成果與最少演算成本。在接下來的改善重點上，會藉由淹水模式各工作的盤點，分別進行最佳化研究。並挑選重點結構的改善項目，以資料分析的方式，持續降低淹水模擬過程中的不確定性，以提升系統演算效率與正確性。

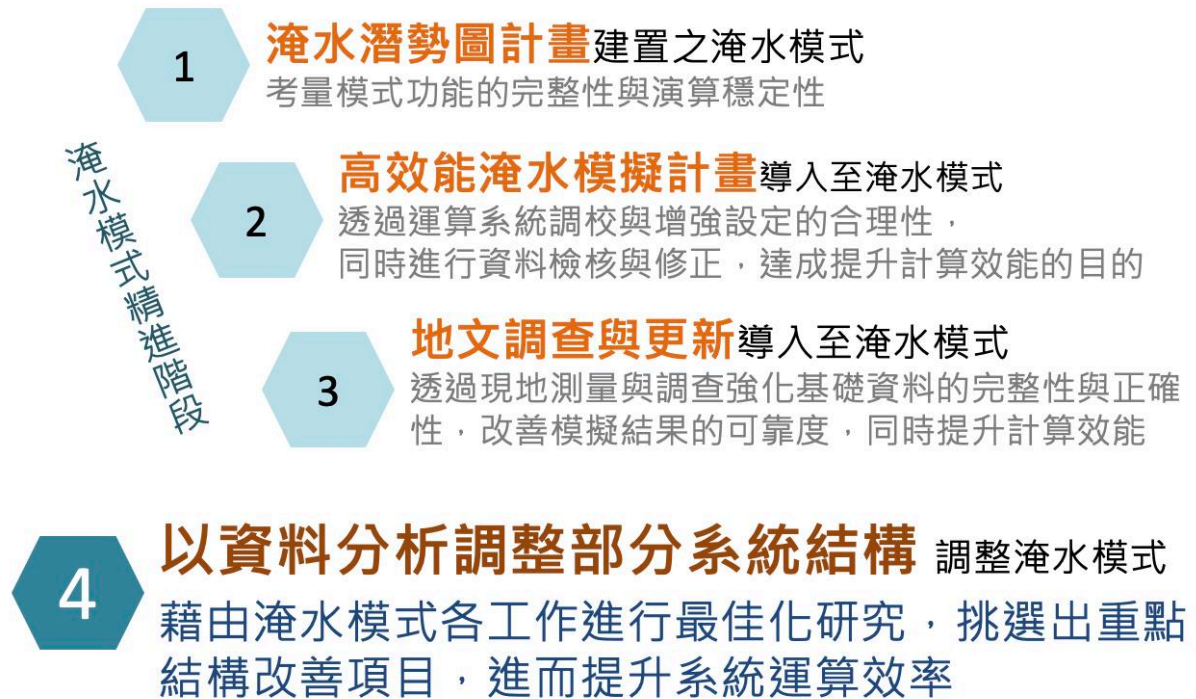


圖 1-1 歷年淹水模式精進階段

透過上述計畫背景瞭解與說明顯示，若想持續提升淹水模式中的模擬品質、資料的正確取得與分析，將是影響淹水模擬演算結果正確性的關鍵；另外，如何利用國土調查成果其加值資料，也會對降雨逕流模組產生影響，故研擬此二項議題作為關鍵問題探討。

#### (一) 歷史淹水資料取得需結合新一代資料搜集方式

淹水模擬的演算因素包羅萬象，舉凡模式 DEM 空間解析度、集水區劃分精度、SCS 降雨逕流物件中 CN 值參數、集流長度與坡度的推估等，雖能透過現場調查與經驗法，作為各項因素的考量；但是現場仍存在太多的不確定性因素，以至於模式很難做到完全擬真的程度。為此，可藉由歷史觀測數據的引用，或是利用模式率定與驗證的方式協助處理，共同提高模擬結果的準確性。

在歷史資料的取得上，可分結構性與非結構性，結構性資料例如：河川水位監測儀、雨量站等，在一個點上搜集精確數值；在非結構性方面，主要以人員通報、或是事後淹水調查，透過淹水痕跡的觀察或是口說描述，取得淹水概略訊息。

然而，淹水範圍資料量仍無法對應更細緻的淹水景況，特別是當結構與非結構資料的取得後，如何彙整成單一且可分析的圖層，也是在後續資料應用與保存上最大的問題之一。

為補強上述在資料量與整合度的品質，透過近年政府所推動前瞻基礎建設，可影響水利相關單位逐步建立智慧河川、智慧防汛等 IoT 設備，預期將有大量即時現地資觀測資料可以取得，這些資料取得不僅是只有限定於河川周邊，亦可拓展至村里保全區域；另外一方面，透過通報系統提供更詳細的非結構性資料，透過環域分析進行範圍的劃定，並結合大量的淹水監測資料，皆可作為未來在淹水觀測中數值模式修正的依據，有助於提高淹水模擬結果的準確性。

## (二) 模式不確定因素眾多需找出優先改善項目

前開提及淹水模擬演算的影響因素眾多，從淹水模式對模擬成果的精進、運算速度的影響，甚至是淹水的驗證方式，都是值得探討的範圍。

然而，部分淹水模擬影響因素，甚至是模擬與檢討流程，雖透過經驗法則與討論共識，歷年來逐步所累積的成果。但是仍有改良與探討空間；為此，可透過二維淹水數值模式之運算結構、水理模式與資料處理等分類因素，進行盤點與優先順序的檢討，並透過歷史資料的比較，尋找合適之模式測試與回饋等建議方針，作為未來在模式全面改善下的研發基礎。

由上述關鍵問題顯示，無論是盤點研究區域內的歷史淹水資料、二維淹水數值模式的影響因素與改善流程，甚至是藉由資料回饋機制的建立，都有助於建置出細緻化與正確性的區域淹水模式，以利模擬結果的符合真實。

配合 106 與 107 年的「淹水預警功能之測試與運作」的成果，利用二維淹水模式在臺南地區的適用性，針對單點預報成果進行淹水全歷程比較，並以通報資料與預報結果進行比對，顯示在淹水範圍的掌握，能夠有獲得一定效果的淹水趨勢與歷程。

本計畫藉此搜集國內外針對水災模擬系統測試、水理模式資料及運算處理等文獻，以瞭解運算結構及改善方法，且針對系統中需提升的部分提出相對應的精進建議。此外對水理模式進行全面性檢視，以氣象資料處理、地文

資料建置及模式演算方法等問題剖析對模擬結果的影響程度。依據上述探討的工作類型，進行最佳化研究，挑選出重點結構改善系統誤差並利用後處理方式改善隨機誤差，進而提升系統運算效率。另外將以數場颱風事件進行測試，分析預報結果並檢討改善方法。

## 二、計畫目的

藉由歷年的計畫成果中，包含基礎資料來源、模式架構與作業化平台等三大條件，發現影響即時淹水模擬的衍生因素，並對照目前提供即時淹水模預報的方式，作為未來在二維即時淹水預報的精進基礎。

## 三、研究工作範圍

本計畫工作項目的部份，包含「國內外相關資料搜集」、「運算結構之研究與探討」、「水理模式演算機制探討」、「運算結構最佳化設定」，與「案例測試與檢討」等重點課題，為未來在提升即時淹水模擬效能的研究上，能有更完整的技術支援。以下針對工作範圍進行說明：

- (一)國內外相關資料搜集：搜集國內外有關係統測試、水理模式資料處理、資料分析及後處理等相關文獻以瞭解提升系統精度之方法。
- (二)運算結構之研究與探討：針對既有之淹水預報系統盤點其運算結構及資料，並參考國內外相關精進方法測試，針對系統須精進部分提出相對應之研究方法，再依據本所需求及執行效率針對系統改善提出相關建議。
- (三)水理模式演算機制探討：全面性檢視水理模式中降雨逕流模組、地文資料及模式演算方法，並以資料分析角度進行敏感度分析、交叉驗證等方法研究，以釐清模式各部分對模擬結果影響，其中淹水模擬演算需採 2 種整合型模式。
- (四)運算結構最佳化設定：針對系統中氣象預報資料、水理模式模擬及系統平台架構進行探討，以資料分析方法尋找最佳運算效率，提升預報準確性。
- (五)案例測試與檢討：為瞭解系統精進研究之成果，以數場颱風事件進行測



試，檢視其運算效率是否符合預期，並針對預報結果進行檢討提出改善建議。

#### 四、研究架構

本研究工作繪製工作架構如圖 1-2 所示。可分為「國內外相關資料搜集」、「運算模式及水理模式探討」與「案例測試與檢討」階段項目，而根據工作屬性的不同，每個階段又各自延伸出其擴充議題及探討，以符合研究工作需求。

為此，透過項目的分類與各項內容的規劃，在此更進一步說明計畫工作項目間，其串連與工作流程如下：

- (一)在「國內外相關資料搜集」階段，將會搜集國內外有關係統測試、水理模式資料處理、資料分析及後處理等相關文獻，並藉由歷年的計畫成果，找出影響即時淹水模擬的主要因素，以提升即時淹水模擬系統精度之方法。
- (二)而「運算模式及水理模式探討」階段，將會分別進行「運算結構之研究」及「水理模式演算機制」之探討，在運算結構之研究方面，參考 AHPS 的淹水潛勢圖發展案例，將針對淹水模擬區域規劃前置作業、水文水理圖資處理與分析、平台整合流程的三個方向進行探討，並延伸出後續「運算結構最佳化設定」之部份；而在水理模式演算機制部份，將會全面性檢視水理模式中降雨逕流模組、地文資料及模式演算方法，並以資料分析角度進行敏感度分析、交叉驗證等方法研究，以釐清模式各部分對模擬結果影響。
- (三)最後，在「案例測試與檢討」方面，將會以數場颱風事件進行測試，檢視前項工作項目，其運算效率是否符合當初之預期，並針對其結果進行檢討並提出改善建議，並搭配工作會議進行討論與調整。

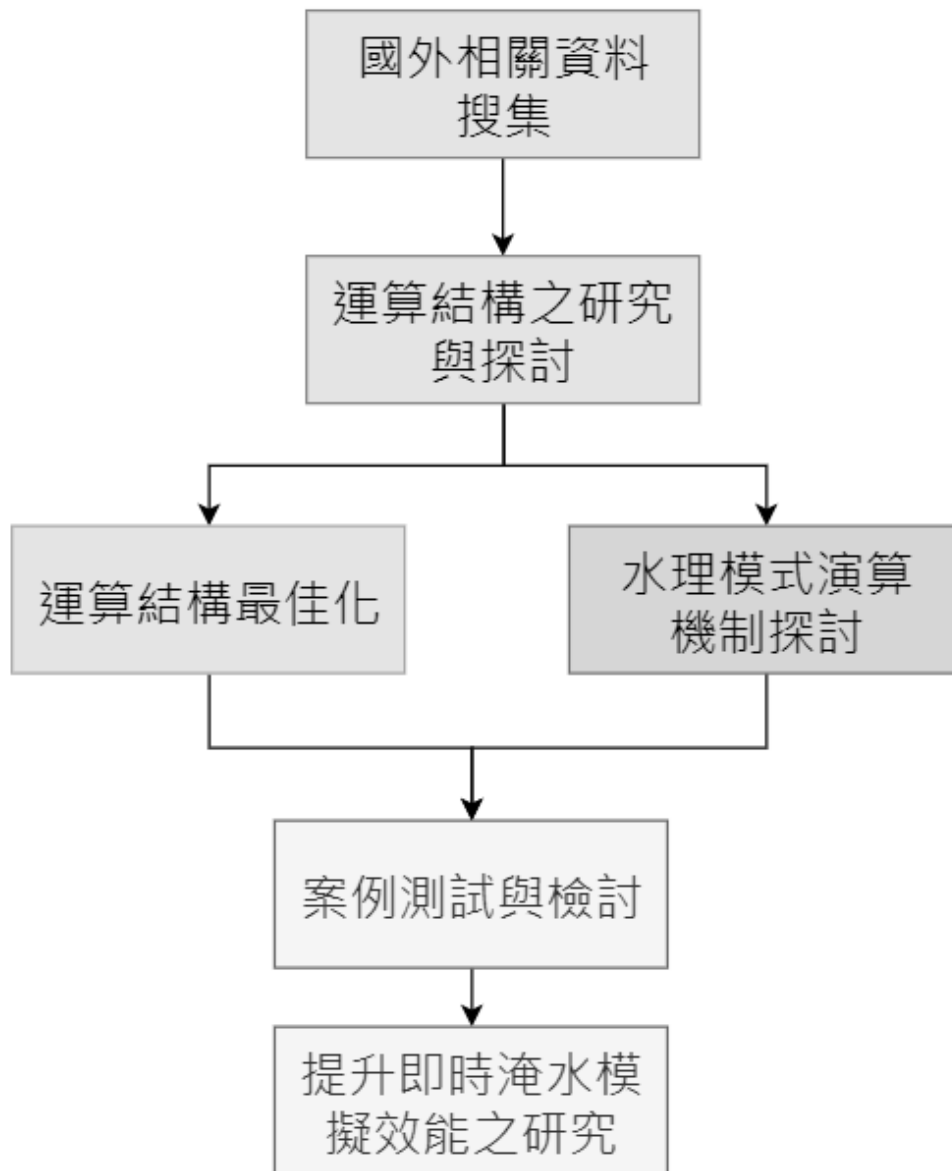


圖 1-2 計畫工作架構圖

## 第二章 國內外相關資料搜集

藉由搜集國內外有關係統測試、水理模式資料處理、資料分析及後處理等相關文獻，以瞭解及評估後續提升系統之正確性與合理之方法。在因應極端氣候下治水與防災的挑戰中，如何有效應用現有資源與成果提升即時淹水模擬效能，讓相關成果可以有效應用於防災應變的資訊供應，同時成果可以持續應用於未來綜合治理的方案中，成為在地分析研判資料來源。

在《仙台減災綱領 2015-2030》(Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030) 框架下，四個主要重點中，包含：「理解災害風險、強化災害風險治理」、「管理災害風險、投資減少災害風險」、「提高抗災能力、強化備災作出有效響應」，以及「在復原恢復與重建過程中，讓災區重建的更好」等四大優先重點。而透過共同的資訊系統，來改善跨國與區域的災害風險，為目前世界各國發展的重要目標。

### 一、國內外有關係統與文獻搜集

由歷年的計畫成果中，可以發現影響即時淹水模擬的主要因素，包含基礎資料來源、模式架構與作業化平台等三大條件。而持續提升預報準確度與穩定性的工作上，可以透過持續提升與驗證模式的正確性與完整性來加以改善。同時搭配作業化平台效能與流程，來提升整體運作上的穩定性。

#### (一)資料多樣化與淹水數值模式的改善關聯

在都市區域淹水模式架構，資料與模式間具有一定程度的影響性與關連。透過基礎資料持續驗證與率定，將有助於提升與改善淹水潛勢圖。淹水地圖成果的繪製如圖 2-1 所示。其內容包含集水區、降雨量、降雨逕流、淹水模擬等內容 (Abedin and Stephen 2019)。

如圖 2-2 所示，為集水區範圍在不同 DEM 解析度差異時產生的邊界影響。同時在資料比對時，可透過各資料成果的提升來改善淹水模式的成果。而資料驗證的過程中，來源傳統上以透過現場淹水調查為主；然而從近年來的技術顯示，隨著資訊技術不斷提升，針對災後事件驗證的資料，可以透過感測器、手機影像、CCTV 影像、遙測影像等成果進行比對與分析，或者搭配公民群眾等新一代資料搜集方式，來取得現地資料內容 (Bhola et al. 2019)。

此外，荷蘭顧問公司 SIM-CI 搭配三維虛擬實境，展示淹水的建置的環境，如圖 2-3 所示，呈現空間內水工構造物位置與環境，並且搭配淹水模擬成果展示。

## (二)即時淹水模預報之供應分類

目前提供即時淹水模預報的方式，主要可區分為：「以二維淹水模式進行即時演算」，以及「透過事先演算成果，提供最相似的淹水模擬成果」。

前開「以二維淹水模式進行即時演算」的單位，如美國德州大學阿靈頓分校，透過高速電腦搭配分散式運算架構，進行高解析度二維淹水模式演算 (Noh et al. 2019)，而其應用成果如圖 2-4 所示；在德國利用 6 組 HEC-RAS 2D 模式專案，搭配監視器影像處理進行即時運算(Bhola et al. 2019)。

而透過事先淹水模擬成果選擇最相似的淹水地圖，在資料需求上需要仰賴上下游完整的邊界與預報水位與流量資訊 (Bhola et al. 2018)，如圖 2-5 所示。同樣的概念在美國 USGS、美國氣象局 NWS AHPS 服務，提供如圖 2-6 至圖 2-8 所示。

## (三)日本都市淹水潛勢預報系統：S-uiPS

在日本政府為了配合 2020 東京奧運，將利用早稻田大學關根正人教授所發展都市淹水潛勢預報系統 S-uiPS (スイプス, Sekine's urban inundation Prediction System)進行東京 23 區(東京都會區) 淹水預報系統的發展。該預報系主要著重於道路中斷影響、地下道與車站淹水風險。

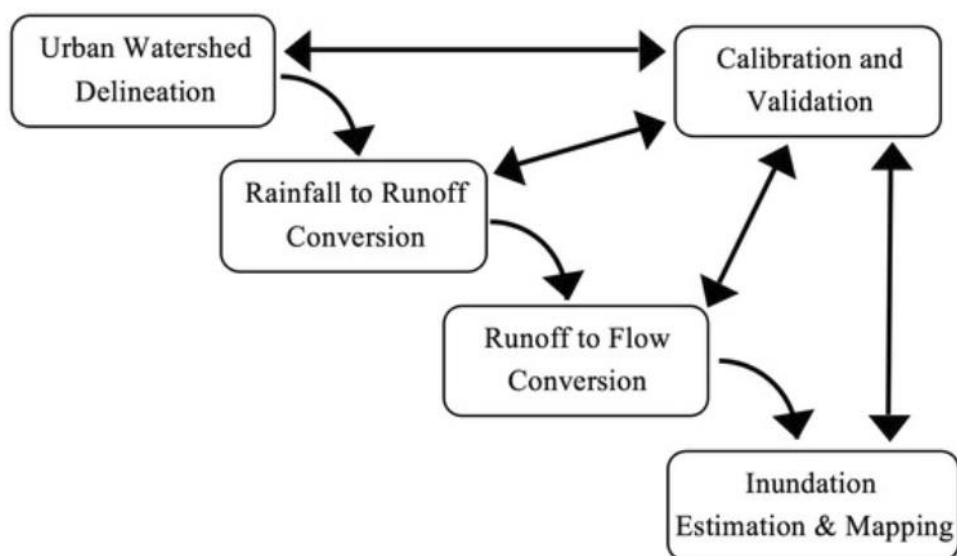
模式概念為：在都市區域河水與雨水主要在河道、道路、下水道等系統進行水體的交換。而落在建物的雨水假設透過匯入流，直接進入雨水下水道。道路的雨水會向低處流，並持續進入下水道系統，最終透過抽水站排水系統進入主要河道最後流入出海口。上述概念如圖 2-9 至圖 2-11 所示，以持續修正模式匯入降雨量資訊與位置點之設定，同時原先模擬成果之針對道路與雨水下水道系統，進行預測與模擬工作，並持續提升到住宅區或開放空間的模擬。

而為了完成上述模擬，該模式在資料需求上需要有河道、下水道系

統、建物線、道路高程、下水道匯流分區、地下道、建築物邊界等完整資訊，同時需要有對應水位監測資訊如：路面淹水感測器、下水道監測水位等，作為下水道滿管與相關車站淹水時間與地點的驗證。如圖 2-12 為研究區域中針對道路高程資料的展示。圖 2-13、圖 2-14 分別為模式模擬雨水下水道滿管與道路淹水之情況。而圖 2-15 為模式在不同區域計算的道路住宅區開放空間與雨水下水道系統淹水之情況。此外另外一個議題，為該系統在降雨量資料中，使用 X-band 雷達做為主要降雨資料來源，其網格空間解析度 250m x 250m。時間解析度為每分鐘一筆。提供東京 23 區未來 30 分鐘的淹水預報資訊。

#### (四)中國上海浦東新區都市淹水潛勢預報系統：FEWS 浦東

在中國上海浦東新區利用 SOBEK 模式搭配 Delft-FEWS 平台，進行即時二維都市淹水之模擬。模式集水區範圍約 2,200km<sup>2</sup>、8,173 個斷面、1,673 個集水區、58 個抽水站、59 個雨量站、13 個潮位站。除了因應任務需求轉換成為作業化系統，同時配合模式發展，在下一階段更換為 D-FlowFM (Delft3D FM) 模式，以提供更完整的模擬應用。如圖 2-17 為上海浦東 SOBEK 模式所使用的元件清單資訊與系統架構圖。圖 2-18 及圖 2-19 為上海浦東二維淹水網格模擬成果，並利用街區邊界範圍統計各項預報，最後透過 FEWS 平台介面進行展示。



資料來源：Abedin and Stephen 2019

圖 2-1 淹水模式資料處理流程與驗證關聯性



資料來源：Abedin and Stephen 2019

圖 2-2 利用 DEM 產生集水區流路與不同解析度下集水區面積差異



資料來源：SIM-CI.com

圖 2-3 數值模擬方式呈現淹水模擬狀況

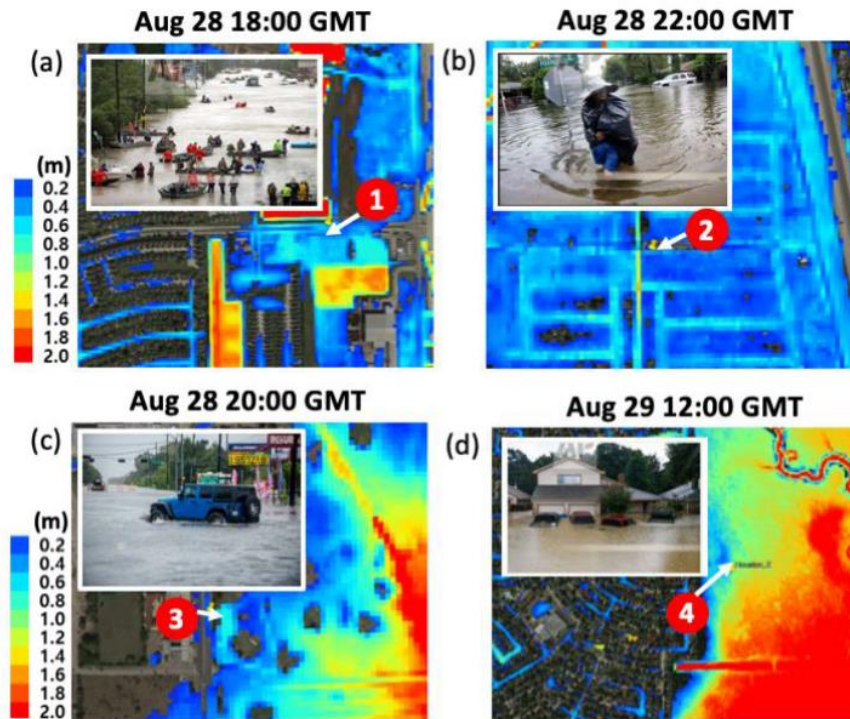
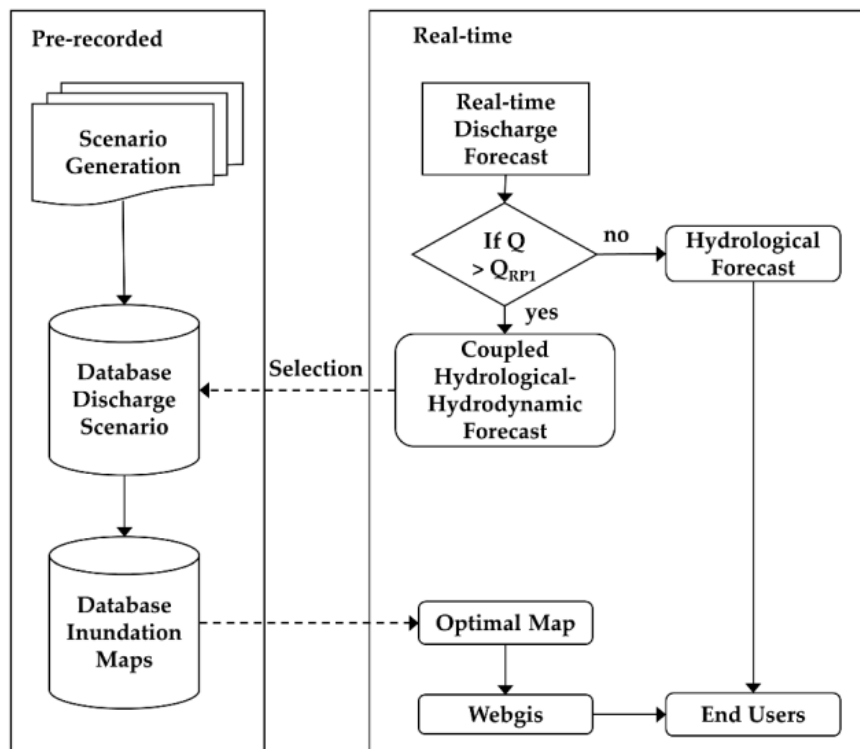


圖 2-4 美國德州案例模擬成果與淹水現況比對



資料來源：Bhola et al. 2018

圖 2-5 離線式即時淹水潛勢圖流程

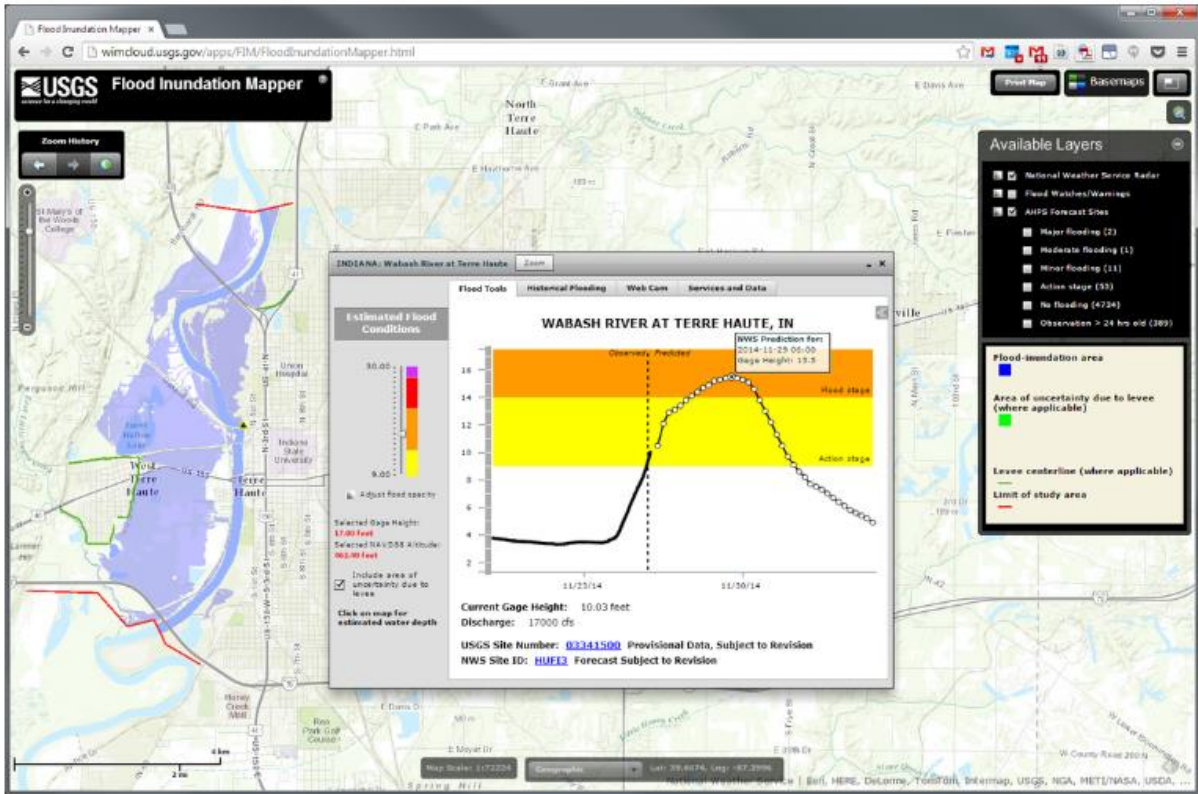


圖 2-6 USGS 開發的離線式即時淹水潛勢圖

NOAA PARTNERED GUIDELINES FOR THE DEVELOPMENT OF ADVANCED HYDROLOGIC PREDICTION SERVICE FLOOD INUNDATION MAPPING

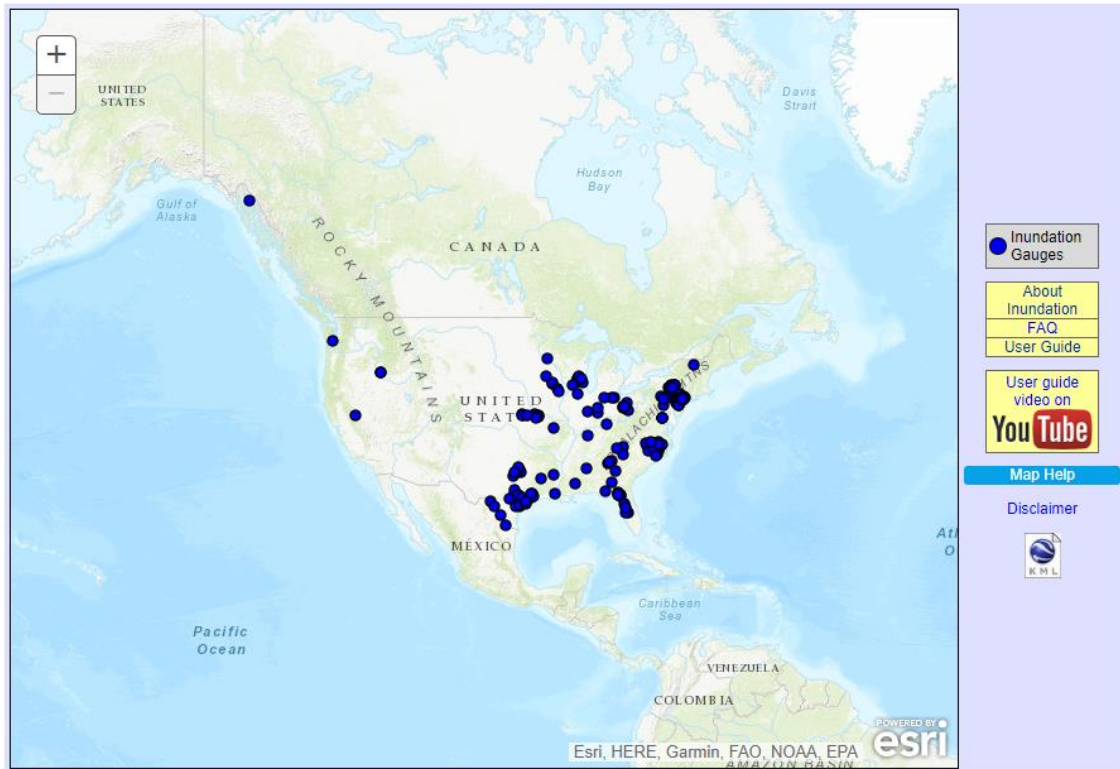


圖 2-7 NWS AHPS 提供離線式即時淹水潛勢圖位置



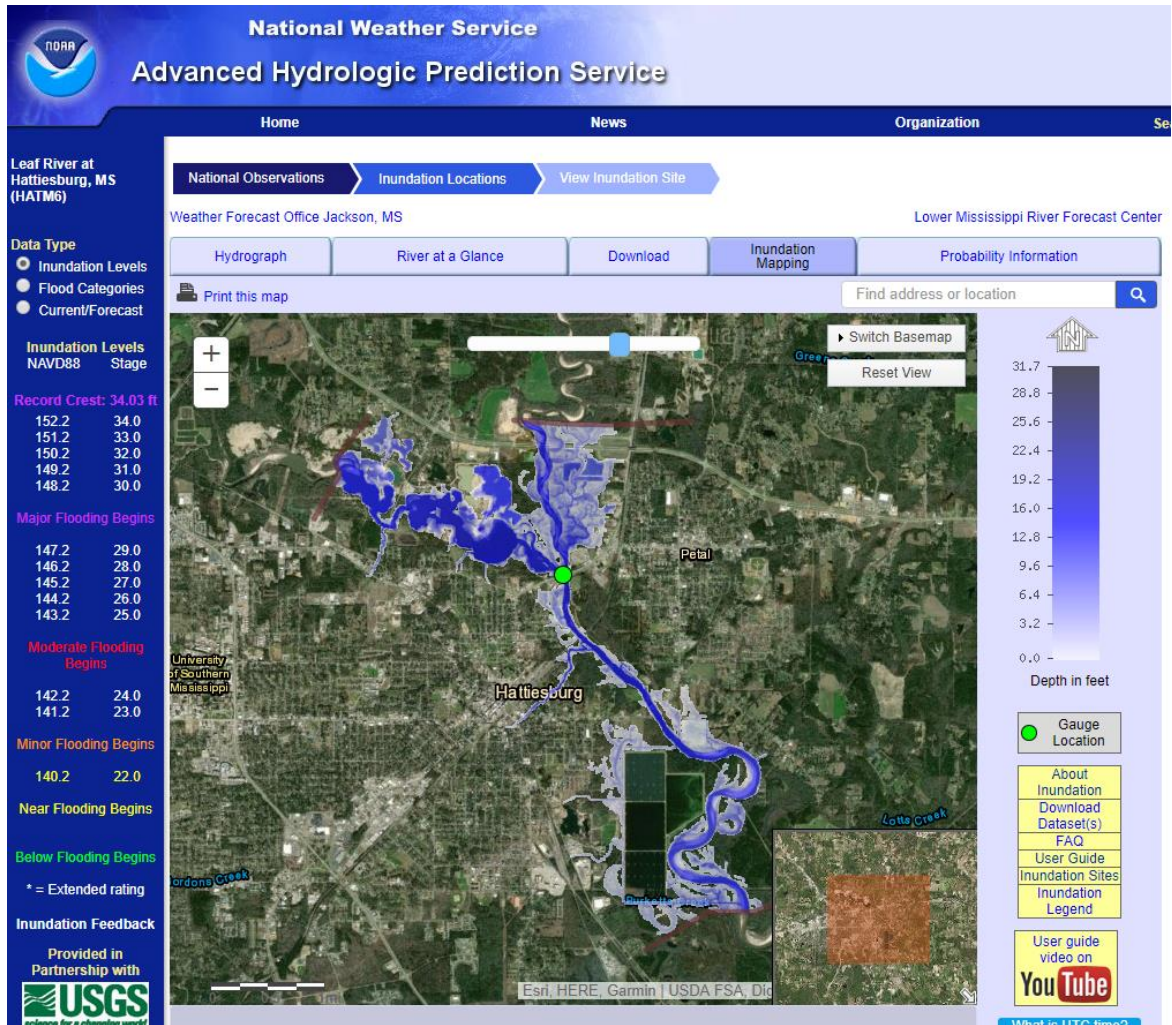


圖 2-8 NWS AHPS 離線式即時淹水潛勢圖位置

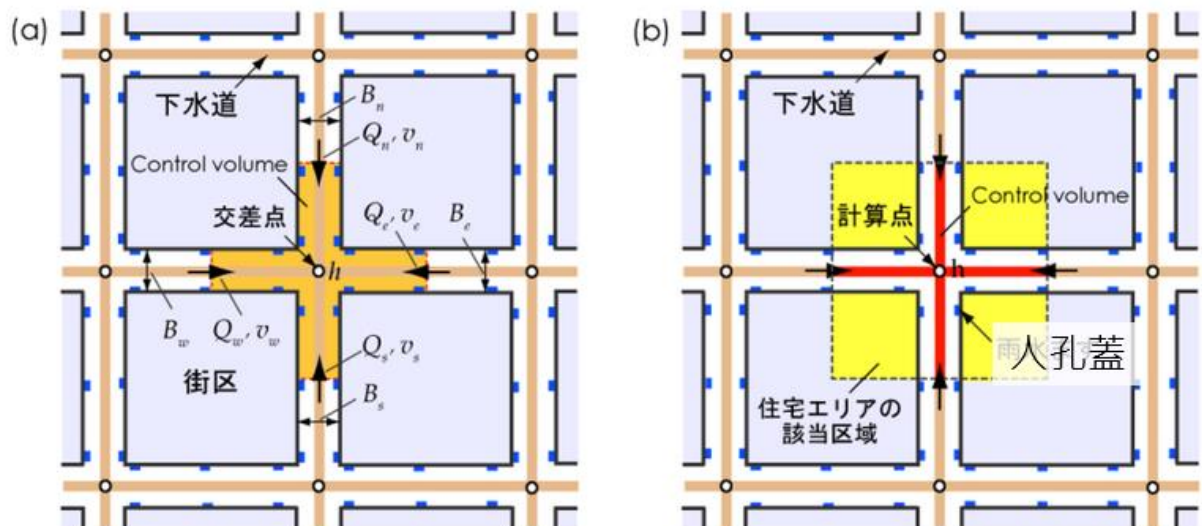


圖 2-9 S-uiPS 模式概念 (以道路計算為例)

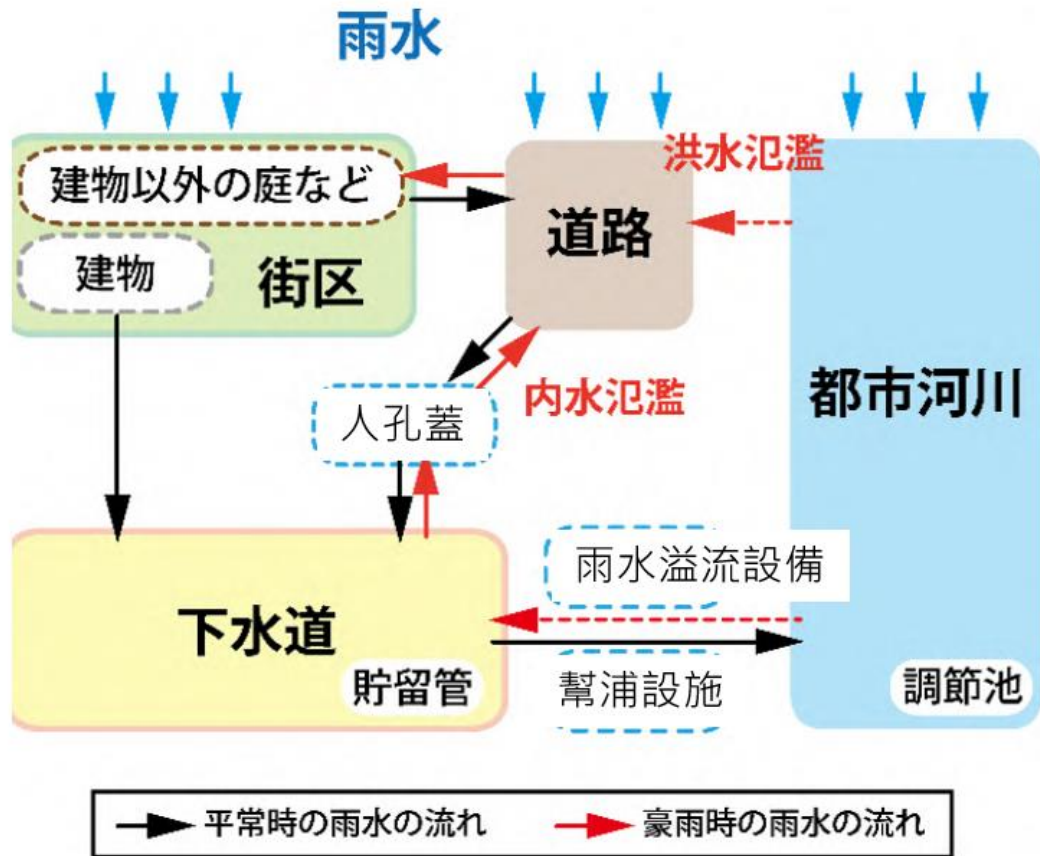


圖 2-10 S-uiPS 模式概念

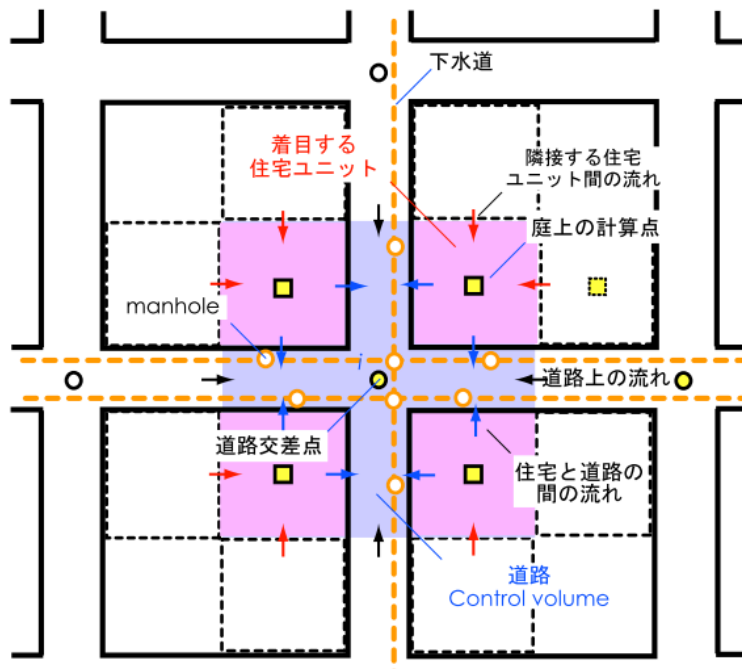


圖 2-11 S-uiPS 模式概念 (新增住宅開放空間)

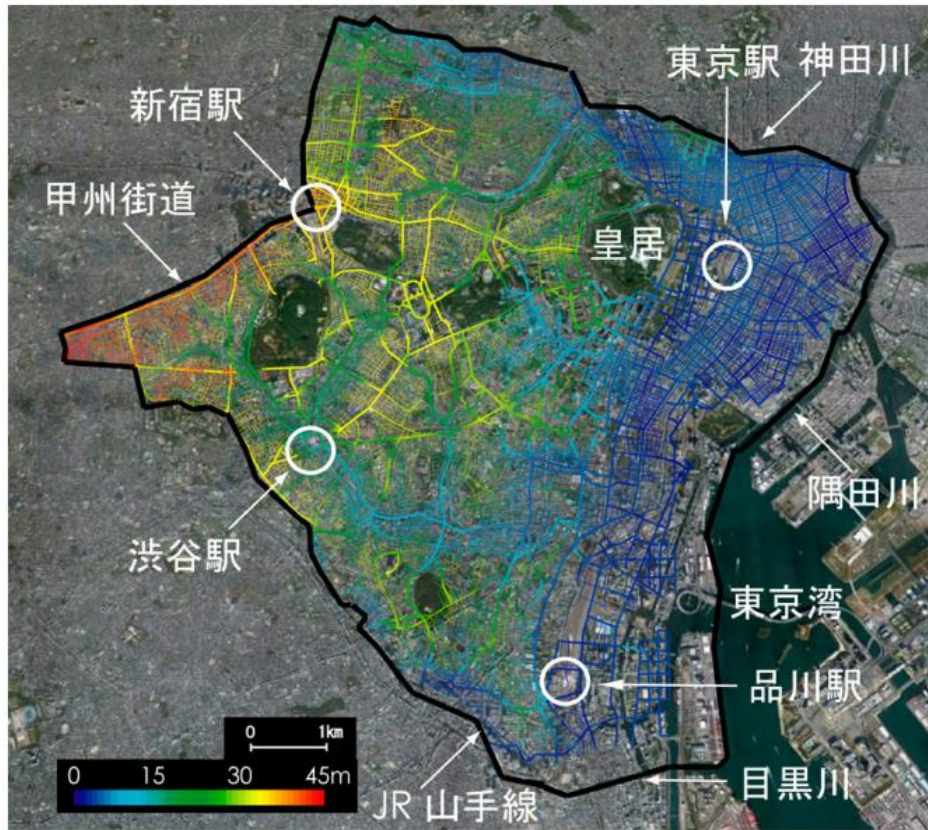


圖 2-12 S-uiPS 模擬區域道路高程資訊

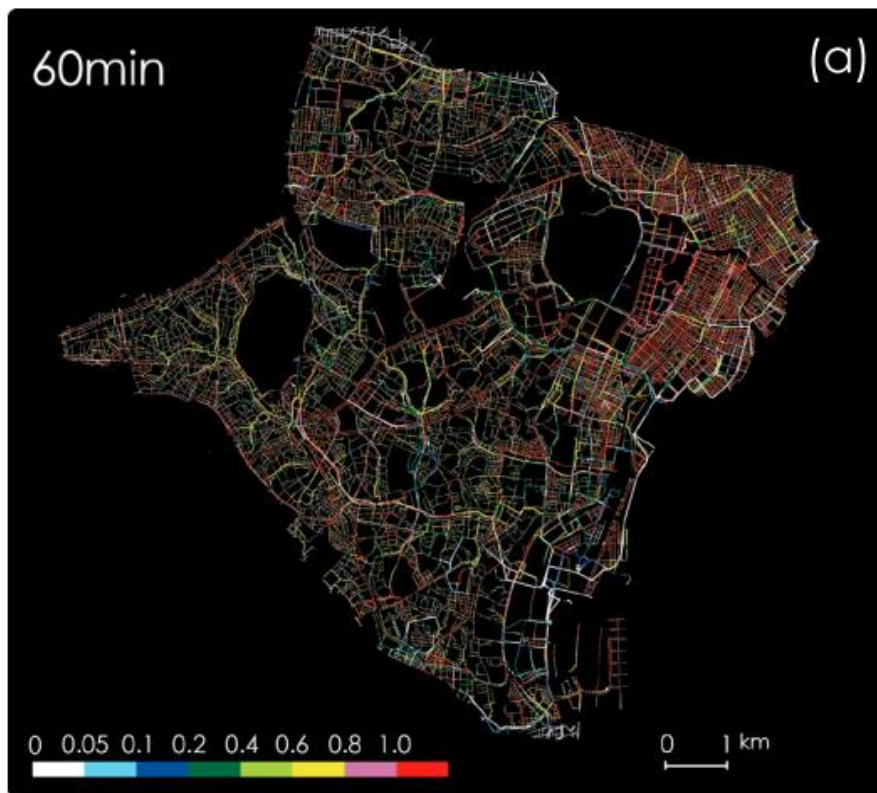


圖 2-13 日本雨水下水道系統模擬滿管情況

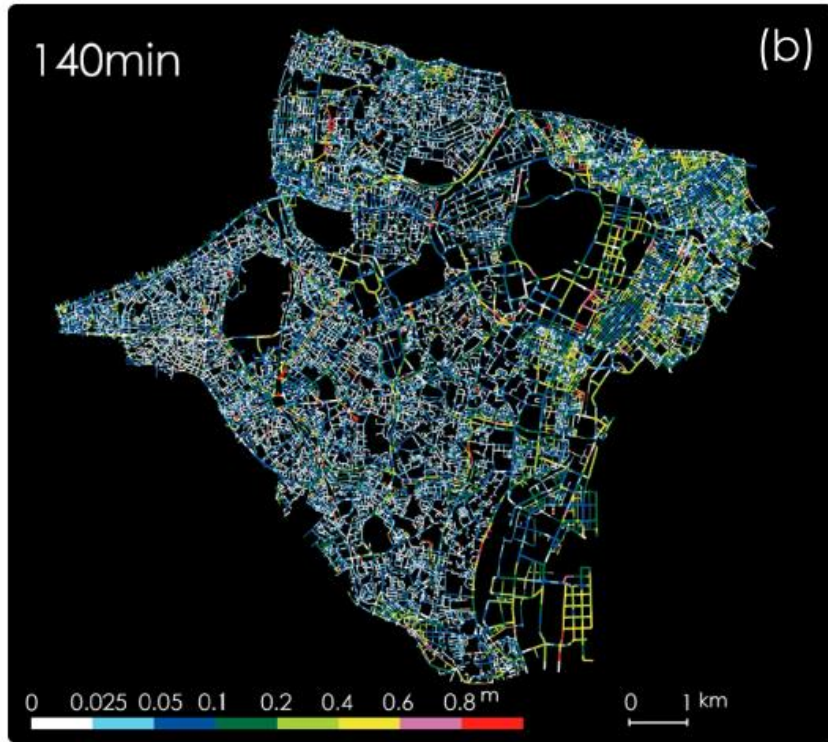
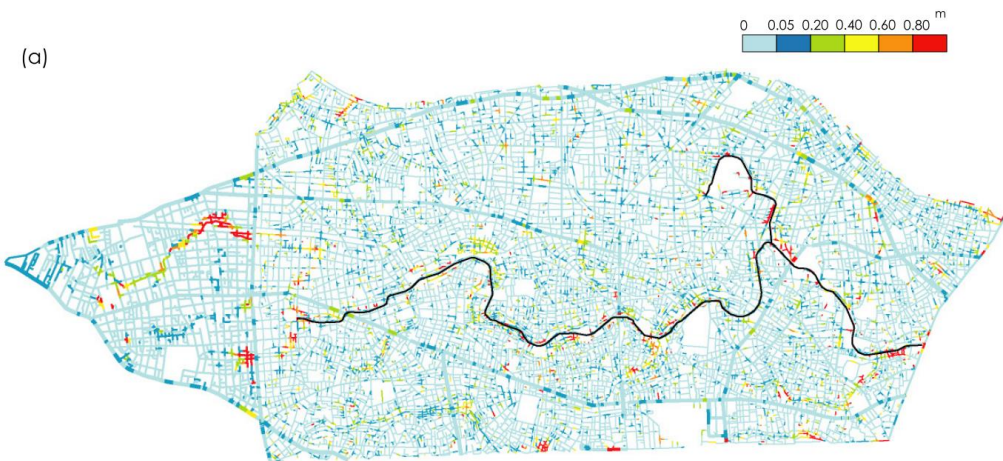


圖 2-14 S-uiPS 模式模擬道路淹水情況

道路



住宅開放空間

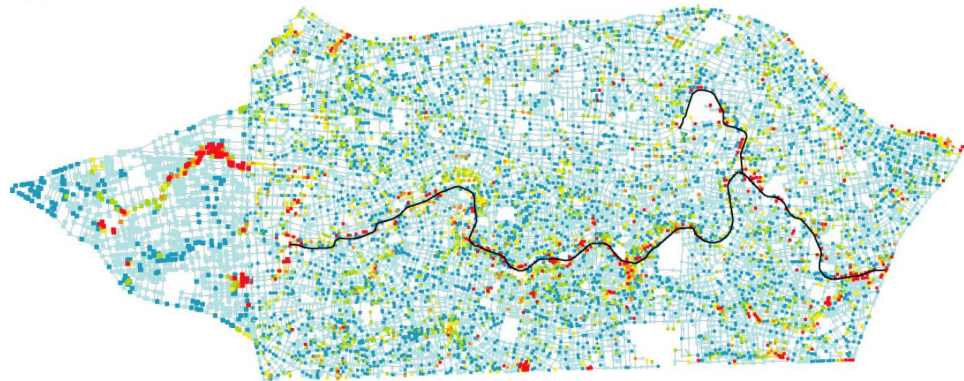


圖 2-15 S-uiPS 模式成果 (道路與住宅)

下水道滿管情況

(c)



圖 2-16 S-uiPS 模式成果 (下水道)

SOBEK 1D River model

- Whole Pudong plus fengxian and mir together(2200km<sup>2</sup>)
- 884 Rivers with 8173 cross sections
- 1673 catchments including 77 pumps sub ;
- 58 pumps and gates
- 59 rainfall stations
- 13 tide sites

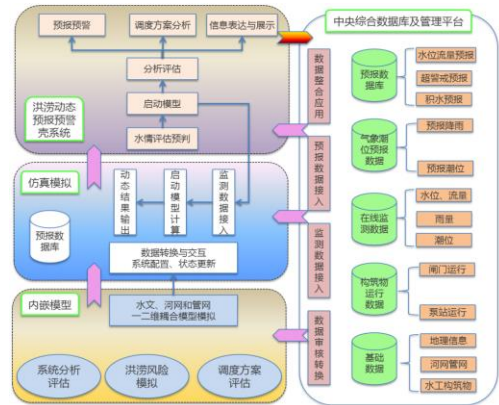


圖 2-17 上海浦東新區模式與系統架構圖

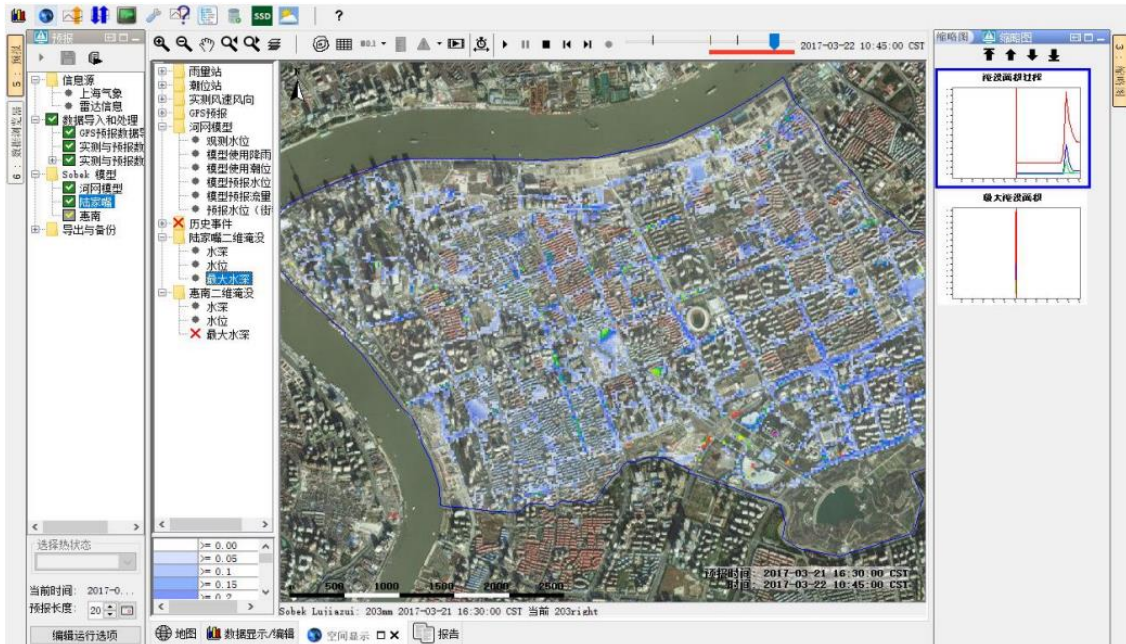


圖 2-18 上海浦東新區二維即時淹水模擬資訊

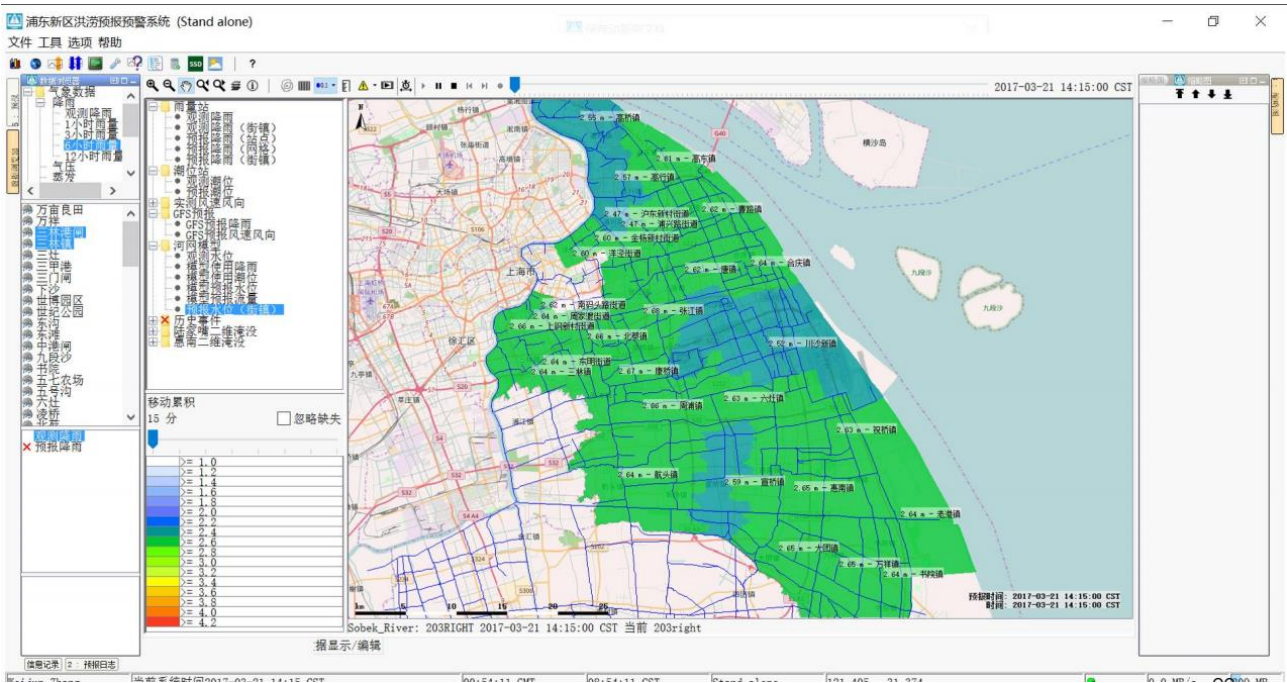


圖 2-19 上海浦東新區預報水位系統畫面

### (五)小結

本工作藉由搜集海外諸國的相關文獻，以了解目前世界各國對淹水模擬工作的趨勢與方向，並整理表 2-1 為彙國內外淹水模擬之型態與模式。而本節參考文獻重點，如表 2-2 與表 2-3 所列。

表 2-1 現階段國外淹水模擬之型態與模式

淹水模擬型態	模式
即時模擬	SOBEK、3Di、DFlow-FM、 德州大學阿靈頓分校_高效能淹水演算、 Google ML 日本早稻田大學 S-uiPS
離線模擬	HEC-RAS (美國 NWS USGS)

表 2-2 國外相關系統與文獻分析

參考文獻 來源	淹水模擬 技術	資料分析 趨勢
德國	利用 6 組 HEC-RAS 2D 模式專案，搭配監視器影像處理進行即時運算。	透過感測器、手機影像、CCTV 影像、遙測影像等成果進行比對與分析，或者搭配公民科學群眾等新一代資料搜集方式，來取得現地資料內容
美國	美國德州大學阿靈頓分校，透過高速電腦搭配分散式運算架構，進行高解析度二維淹水模式演算	在都市區域淹水模式架構，包含集水區、降雨量、降雨逕流、淹水模擬等內容資料與模式間具有一定程度的影響性與關連。透過基礎資料持續驗證與率定，將有助於提升與改善淹水潛勢圖
日本	早稻田大學關根正人教授，所發展都市淹水潛勢預報系統 S-uiPS，進行東京都會區淹水預報系統的發展。	模式在資料需求上需要有河道、下水道系統、建物線、道路高程、下水道匯流分區、地下道、建築物邊界等完整資訊，同時需要有對應水位監測資訊，搭配高解析度降雨雷達提供即時與完整降雨量資訊。
荷蘭	SIM-CI 搭配三維虛擬實境展示淹水的建置的環境，呈現空間內水工構造物位置與環境，並且搭配淹水模擬成果展示。	進一步探討淹水範圍與受影響戶數之間的關聯分析，以及當淹水預報失準的時候，如何緊急因應與改善。
中國	上海浦東新區利用 SOBEK 模式搭配 Delft-FEWS 平台，進行即時二維都市淹水之模擬。	未來規劃因應任務需求，布轉換成為作業化系統，同時配合模式發展，布在下一階段更換為 D-FlowFM (Delft3D FM) 模式，以提供更完整的模擬應用。

表 2-3 本節參考文獻整理表

參考文獻來源	資料分析趨勢	參考文獻
德國	透過多種成果進行比對與分析，或者搭配公民群眾之資料搜集方式，來取得現地資料內容	Bhola, P. K., Nair, B. B., Leandro, J., Rao, S. N., and Disse, M. (2019). "Flood inundation forecasts using validation data generated with the assistance of computer vision." <i>Journal of Hydroinformatics</i> , 21(2), 240–256.
美國	資料多樣化與淹水數值模式的改善	Abedin, S., and Stephen, H. (2019). "GIS Framework for Spatiotemporal Mapping of Urban Flooding." <i>Geosciences</i> , 9(2), 77.
	透過高速電腦搭配分散式運算架構，進行高解析度二維淹水模式演算	Noh, S. J., Lee, J.-H., Lee, S., and Seo, D.-J. (2019). "Retrospective Dynamic Inundation Mapping of Hurricane Harvey Flooding in the Houston Metropolitan Area Using High-Resolution Modeling and High-Performance Computing." <i>Water</i> , 11(3), 597.
	透過事先淹水模擬成果選擇最相似的淹水地圖	Bhola, P. K., Leandro, J., and Disse, M. (2018). "Framework for Offline Flood Inundation Forecasts for Two-Dimensional Hydrodynamic Models." <i>Geosciences</i> , 8(9), 346.
日本	東京 23 區(東京都區)淹水預報系統的發展	関根正人，「東京で発生する大規模浸水・都市河川洪水と。そのリアルタイム予測」，日本気象学会 2018 年度夏季大学。 関根正人、古木 雄、関根貴広，「東京都心部の内水氾濫と大規模地下空間浸水の危険度に関わる数値解析」，土木学会論文集 B1 (水工学) 71(4), I_1435-I_1440, 2015
荷蘭	搭配三維虛擬實境展示淹水的建置的環境	SIM-CI, SIM · SAFE, <a href="https://sim-ci.com/sim-safe/">https://sim-ci.com/sim-safe/</a>
中國	中國上海浦東新區都市淹水潛勢預報系統	Zhang, W. (2018), Introduction to the Pudong (Shanghai) FEWS System.



## 二、整合流程與管理

在國內政府研究資訊系統中，以水文與水理模式整合的概念，在民國 82 年開始出現，截至民國 108 年共有 107 筆相關研究，探討水文或水理模式整合的技術與方式。在模式發展過程中，隨著資訊技術不斷提升。對於模式的資料交換與版本管理工作、模式循環再應用概念，逐漸成為各國在水利資訊上的長期維護管理的重要議題。

而前述在美國氣象局 Advanced Hydrologic Prediction Service (AHPS) 淹水潛勢圖供應的流程中，主要延續美國地質調查所 USGS 所發展的淹水潛勢圖成果，搭配觀測與預報水位或流量提供的即時淹水潛勢圖成果 (USGS 2019)。

在 AHPS 的淹水潛勢圖供應服務過程中，為了確保後續服務與資料來源符合相關要求，因此透過系統的整合參考手冊，提供淹水潛勢圖前置規劃注意事項、水文與水理模式及圖資處理內容，與後續發布到 AHPS 系統上的整合流程參考資訊，提供相關的淹水潛勢圖協力團隊進行參考 (NOAA 2011)，如圖 2-20~圖 2-23 所示為 AHPS 淹水潛勢圖整合的流程圖，透過此流程可讓各協力團隊，在進行資料產出與成果供應時，可以依照參考文件的定義與規範的內容，進行資料產出以利後續整合工作。手冊內容針對資料檢核的內容如圖 2-24 所示。流量資料選用水理模式、水利構造物確認、淹水範圍資料驗證與率定、檢核點水位誤差範圍確認等項目。

而在英國水環境管理學會 Chartered Institution of Water and Environmental Management (CIWEM) 提出的都市排水水理模式建模參考手冊，其內容包含針對資料搜集、模式整合方式、模式檢定驗證與模式管理維護等相關流程提供相關參考與注意事項，如圖 2-25 為資料搜集的流程與注意事項。圖 2-26 為針對都市排水系統流量監測點位建議位置。圖 2-27 模式驗證重點與建議的檢核標準。圖 2-28 模式維護更新的機制，上述相關資訊，將彙整為模式與系統精進參考方向與內容。

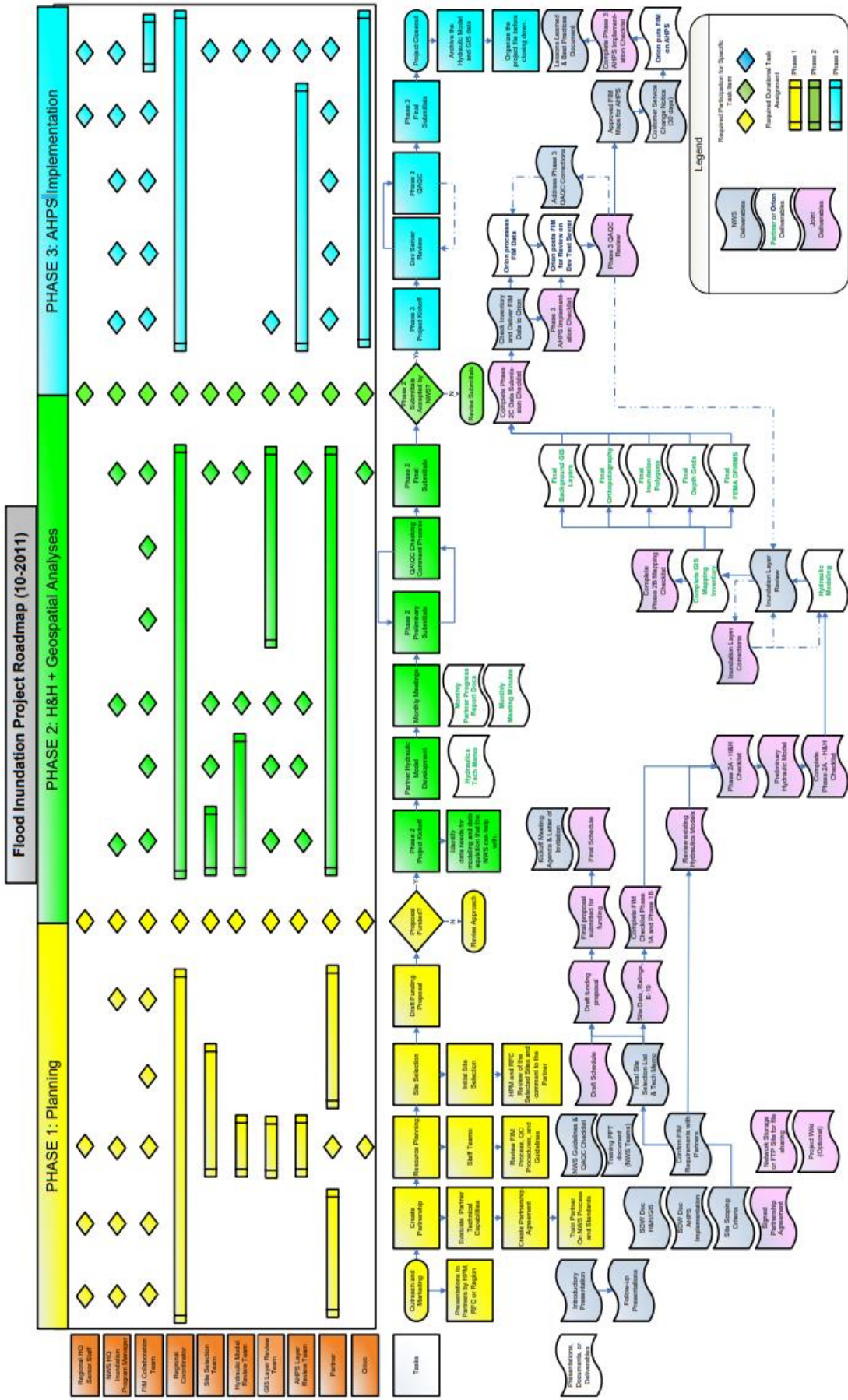


圖 2-20 美國 AHPS 淹水潛勢圖整合流程圖

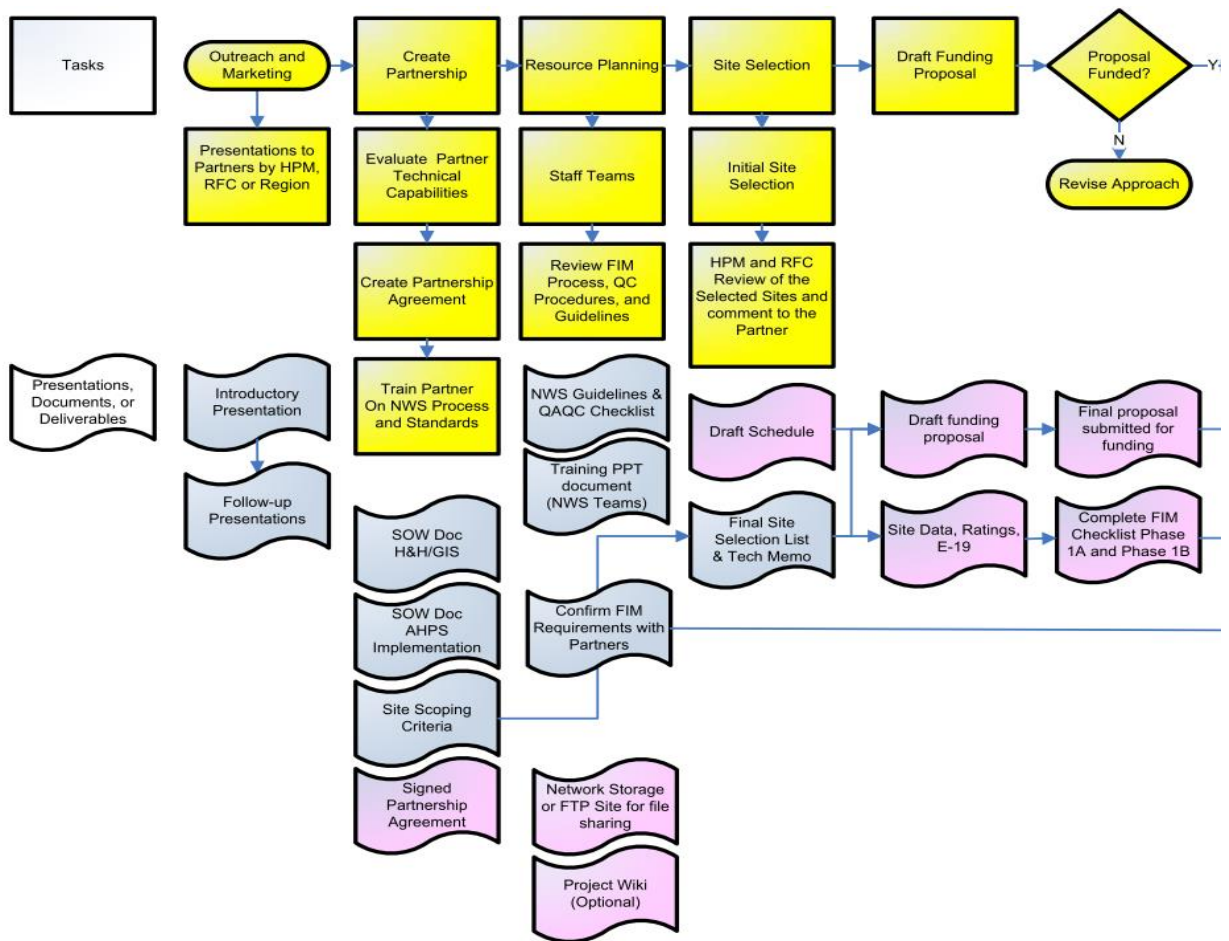
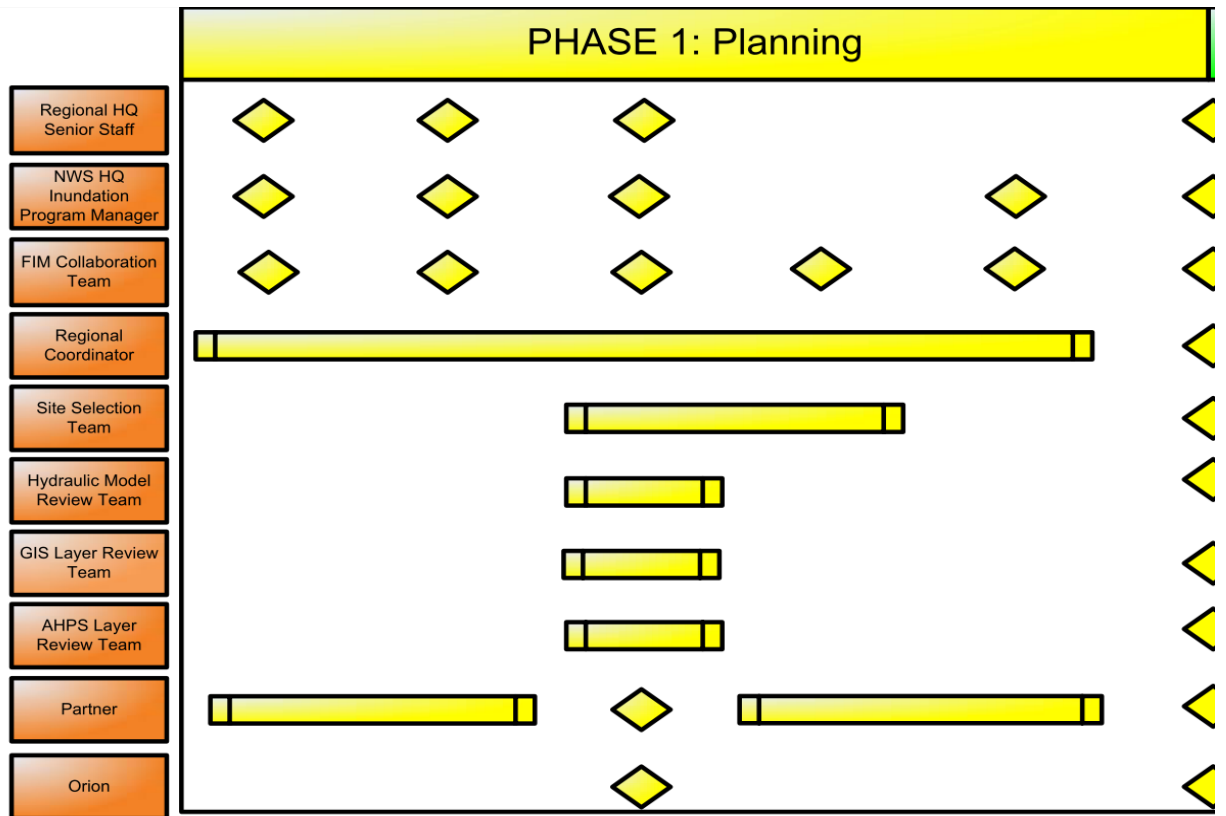


圖 2-21 美國 AHPS 淹水潛勢圖整合流程圖(1/3)

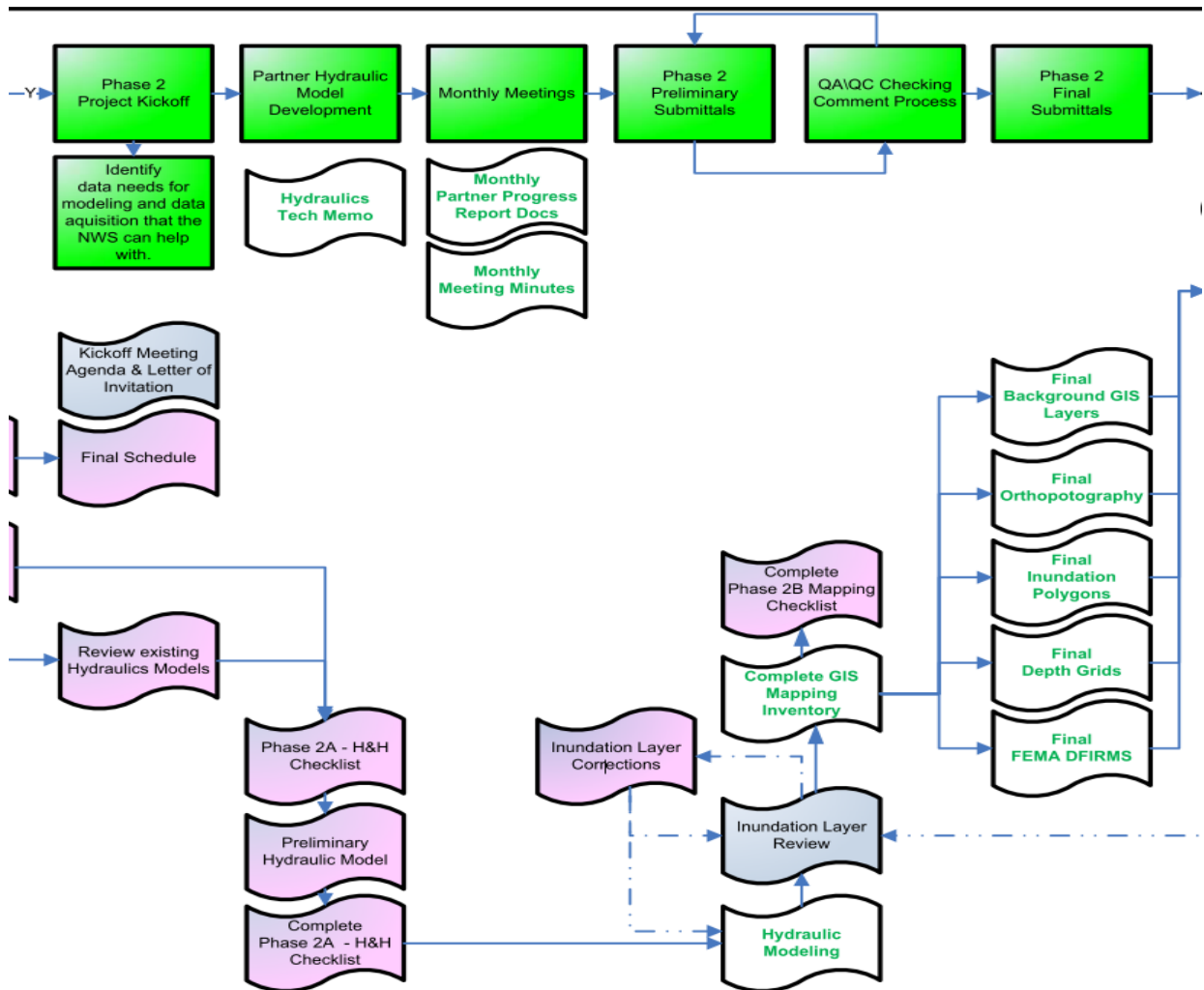
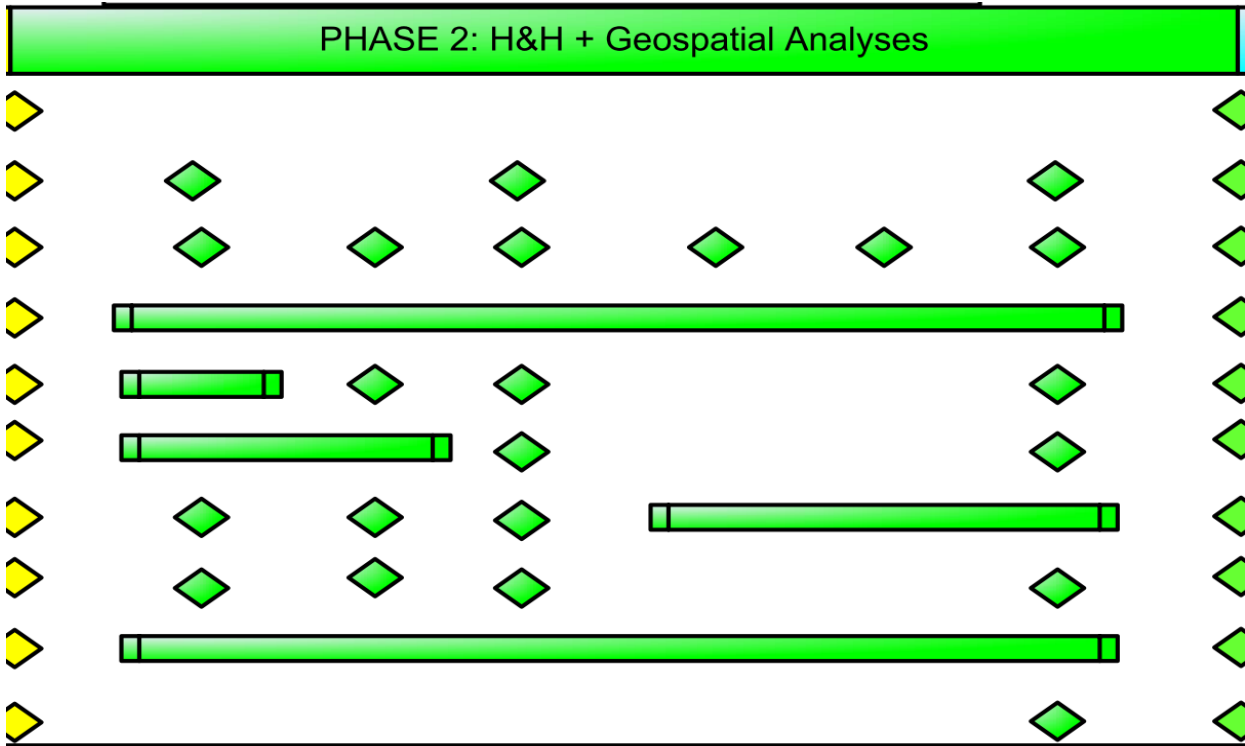


圖 2-22 美國 AHPS 淹水潛勢圖整合流程圖(2/3)

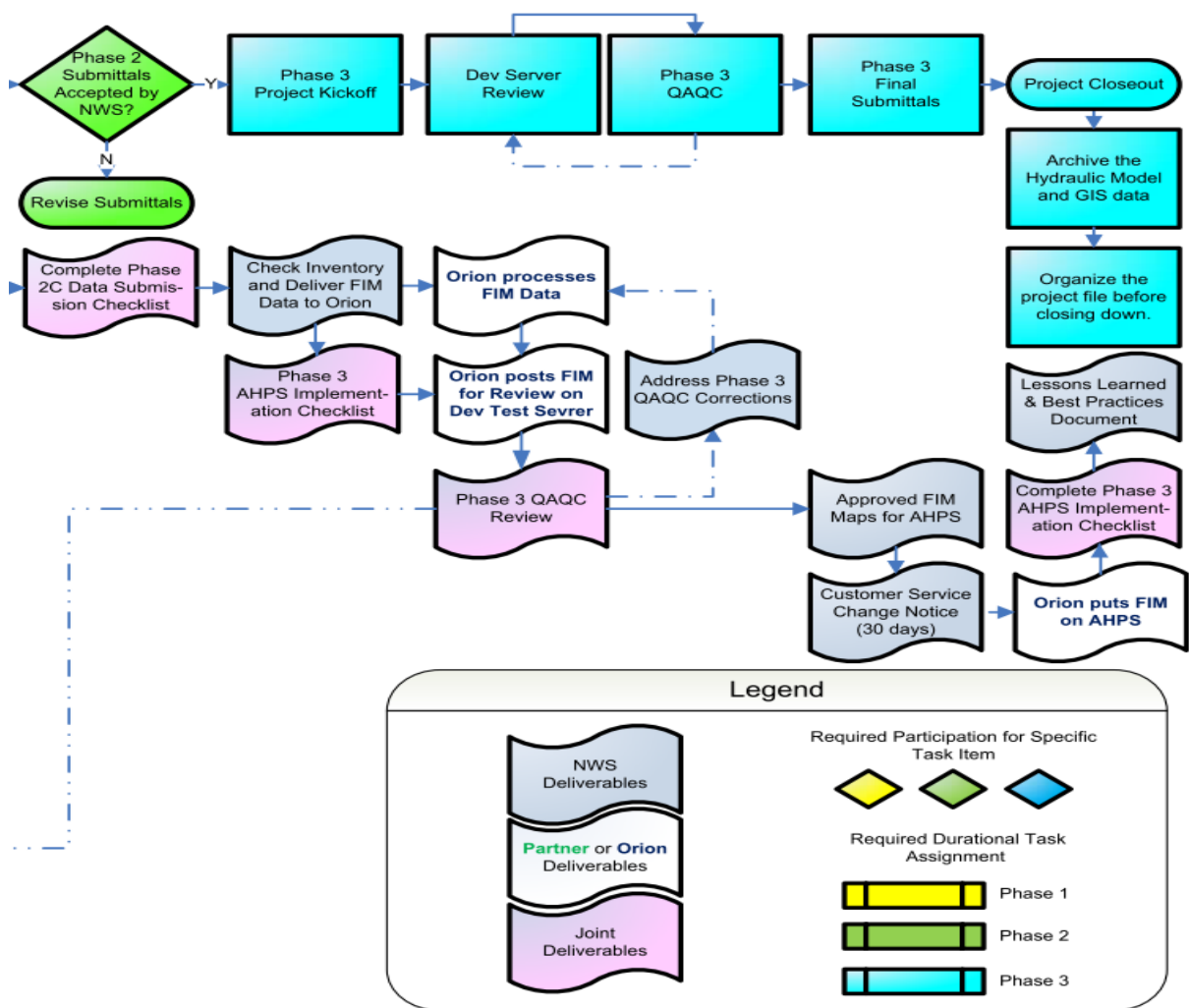
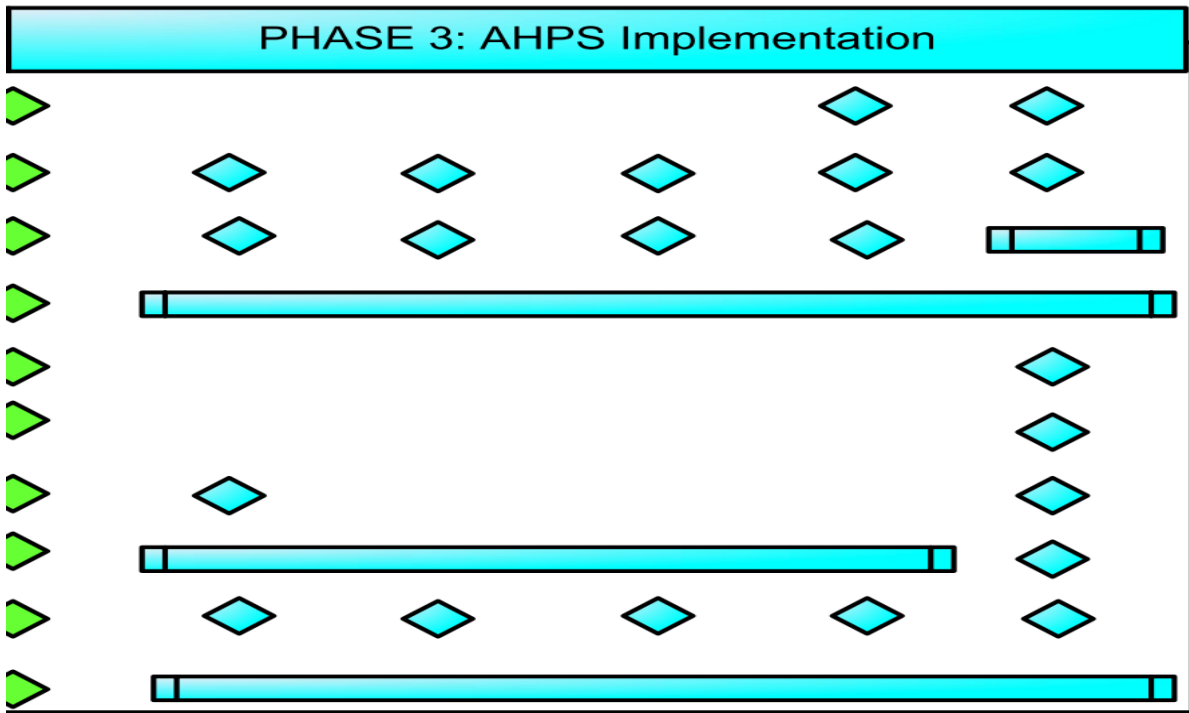


圖 2-23 美國 AHPS 淹水潛勢圖整合流程圖(3/3)

PHASE 2A - HYDROLOGIC AND HYDRAULIC ANALYSES				
Category	Explanation	Applicable	Project Chief Comments	Reviewer Comments
<b>Hydrologic Analyses</b>				
Discharge Selection	Discharges selected from rating curve to achieve incremental WSEL profiles	YES		
<b>Hydraulic Modeling</b>				
Model conversion	Pre-existing hydraulic model adapted to workable FEMA approved model (if needed).	YES		
Hydraulic structure verification	Coordinate with local/state transportation agency to verify hydraulic model represents current bridge/structure and to determine imminent plans for structure replacement and/or revision	YES		
Profile validation/calibration	WSELS validated/calibrated against HWM and other historical gage data or other study data (if available). Check agreement with FEMA Flood Insurance Study (if available and current).	YES		
Target WS elevations	Verify for each Q, modeled WSEL at gage +/-0.1 foot of rating.	YES		
Technical Summary	Complete Technical Summary Checksheet	YES		
Review-quality mapping development	Create review-quality (post RAS / RASMapper without refinement) floodplain boundaries for use by reviewer(s). Used to check appropriate use of ineffective flow area, possible overland flow, discharge loss, etc.	YES		

Mandatory review at this point.	Target Date	Reviewed and Approved By	Date(s)

圖 2-24 AHPS 資料檢核表格



圖 2-25 CIWEM 都市排水模型建置資料搜集流程

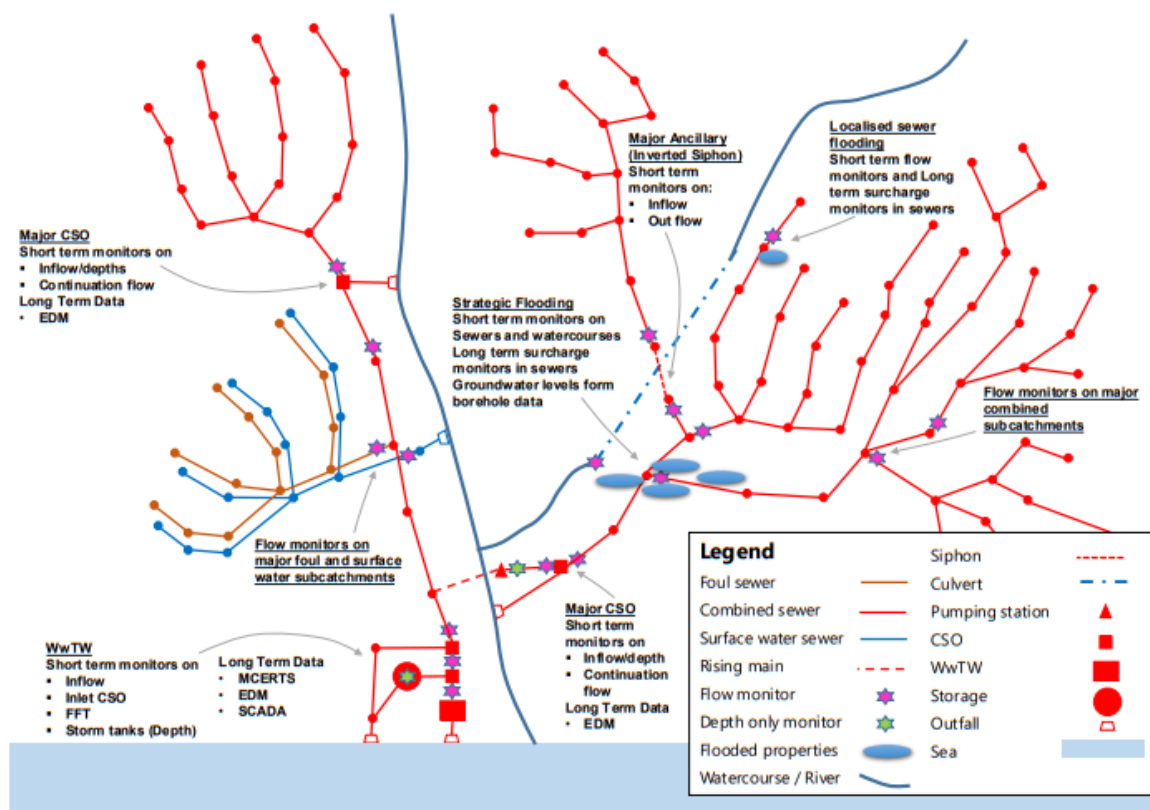


圖 2-26 CIWEM 都市排水系統流量監測點位建議

Parameter	General	Critical Locations	Comments
Shape	Good match (NSEC if used >0.5)	Good match (NSEC if used >0.5)	An evaluation technique may be used to compare the shape such as the Nash-Sutcliffe Efficiency Co-efficient (NSEC) method together with a visual check. More information on this approach is included in <b>Appendix G</b>
Time of peaks and troughs	±0.5 hour	±0.5 hour	The timing of the peaks and troughs should be similar having regard to the duration of the event
Peak depth (un-surcharged)	±0.1m or ±10% whichever is greater	±0.1m	
Peak depth (surcharged)	+0.5m to - 0.1m	±0.1m	Relaxation may be appropriate in deep sewers. Where coupled 1D-2D models are used the 'critical locations' criteria should apply
Peak flow	+ 25% to -15%	±10%	
Flow volume	+20% to -10%	±10%	Excluding poor / missing data

圖 2-27 CIWEM 都市排水系統事件驗證重點

Maintenance Type	Advantages	Disadvantages
<b>Only when model needs to be used.</b>	Potential saving as no updates needed to the model if it does not need to be used	Delay in availability of the model when needed to be used again, due to need to update the model. Potential to use an out of date model if insufficient time to update.
<b>Fixed Time, e.g. every 5 years</b>	Updates can be done as part of a programme. Models never more than a fixed period out of date.	Potential to update models when not needed to be used. Model will still be out of date and may still require an update when needed to be used.
<b>Update models after a certain number of changes</b>	Similar to fixed time updates, but updates will only be done when there are sufficient changes, potentially focussing effort where needed. Models never more than a certain number of changes out of date.	Potential to update models when not needed to be used. Model may still be out of date when needed to be used.
<b>Live Models</b>	Model is updated as soon as new information is received. Models are up to date for immediate use.	Potential to update models when not needed. Costly and challenging to manage. May still need to periodically maintain models due to for example change in water use and occupancy rates.

圖 2-28 CIWEM 都市排水模式維護更新建議

### 三、新技術應用與發展

除了參考美國 AHPS 淹水潛勢圖系統整合流程與英國 CIWEM 都市排水水理模式建模參考手冊，作為模式維護更新與管理參考外。在未來水利模式，在人工智慧與機械學習的應用成果將會逐漸增加。如圖 2-29 與圖 2-30 所示，為 Google 在印度與當地政府合作，透過 Machine learning (ML) 處理大量的遙測影像資料，產製高解析度的地形資料，並且結合水文與水理模式，提供空間解析度較高的洪水預報，搭配手機簡訊發布預警資訊內容 (Nevo et al. 2018)。

在日本富士通公司，利用機械學習方式提升水桶模式的預測準確度。搭配觀測與預報降雨量及觀測水位資訊提供未來水位的預報如圖 2-31 所示。而在模式運算與服務上的應用，虛擬主機與雲端化服務則是未來水理模式運算資訊服務提供的主要方式。



JACOBS 公司透過 Flood Cloud 搭配 Parallel Works 平行運算技術提供大量的水理模式運算服務，如圖 2-32 所示，此一平行運算技術現階段已應用於 FloodModeller、TUFLOW、HEC\_RAS 等不同模式 1D 與 2D 模式的雲端運算服務概念 (“JACOBS” 2019)，進行提升淹水模式效能的相關工作。

因此透過結合物理模式的機械學習應用，在目前水文水理模式的發展應用上，越來越受到各國的重視。如圖 2-33、圖 2-34 所示在科技部應科計畫的概念與架構上，也提出結合物理模式搭配目前相關 IoT 技術與 AI 應用。

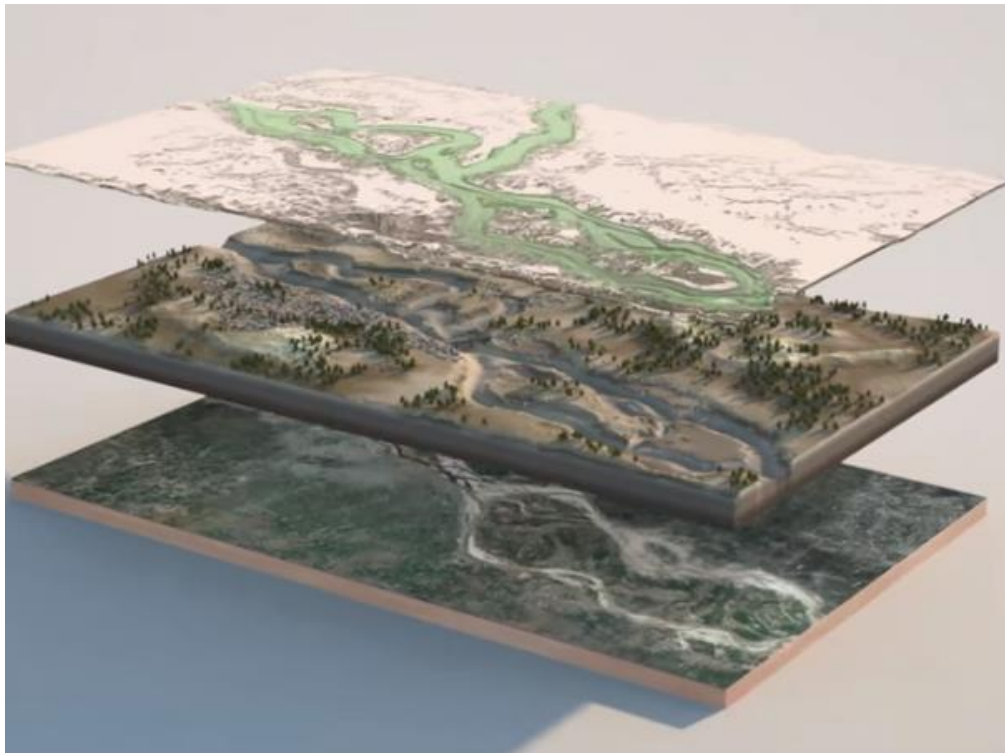


圖 2-29 Google 利用 ML 改善基礎資料

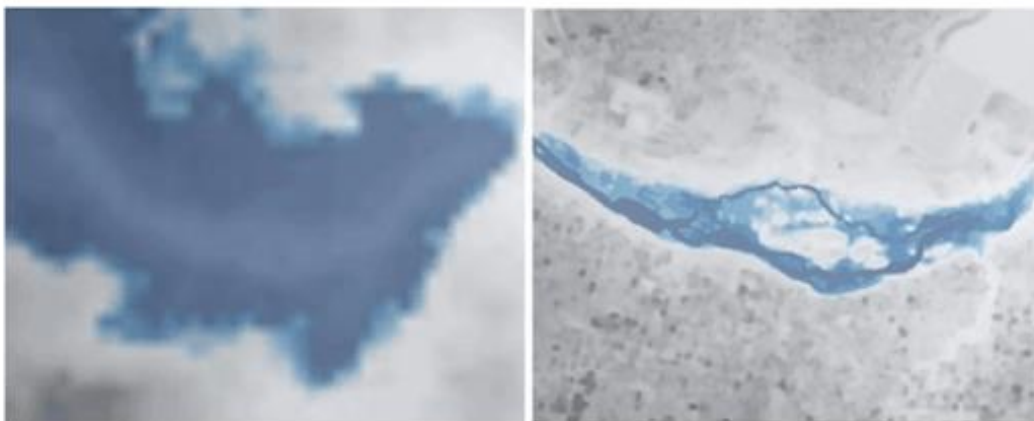


圖 2-30 Google 透過大量運算搭配機械學習改善淹水模擬計算成果

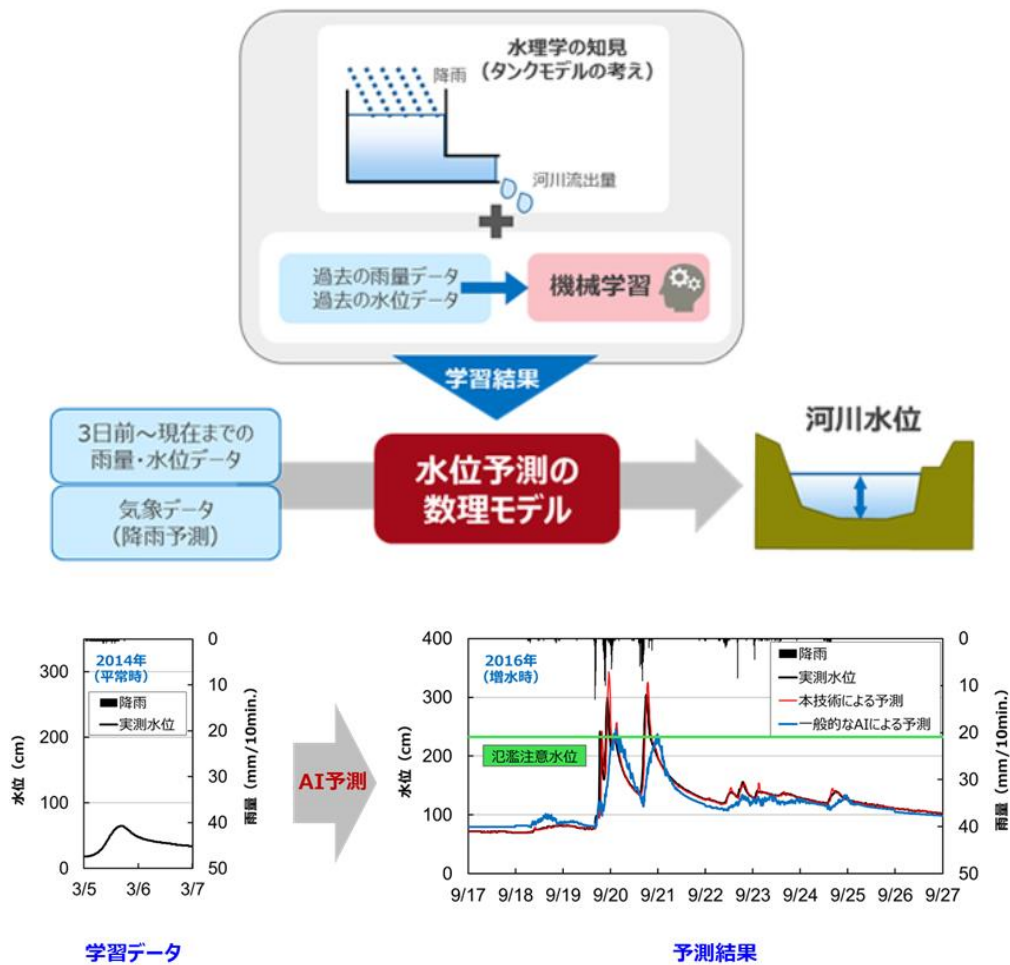


圖 2-31 富士通應用水桶模式搭配機械學習提供水位流量預測資訊

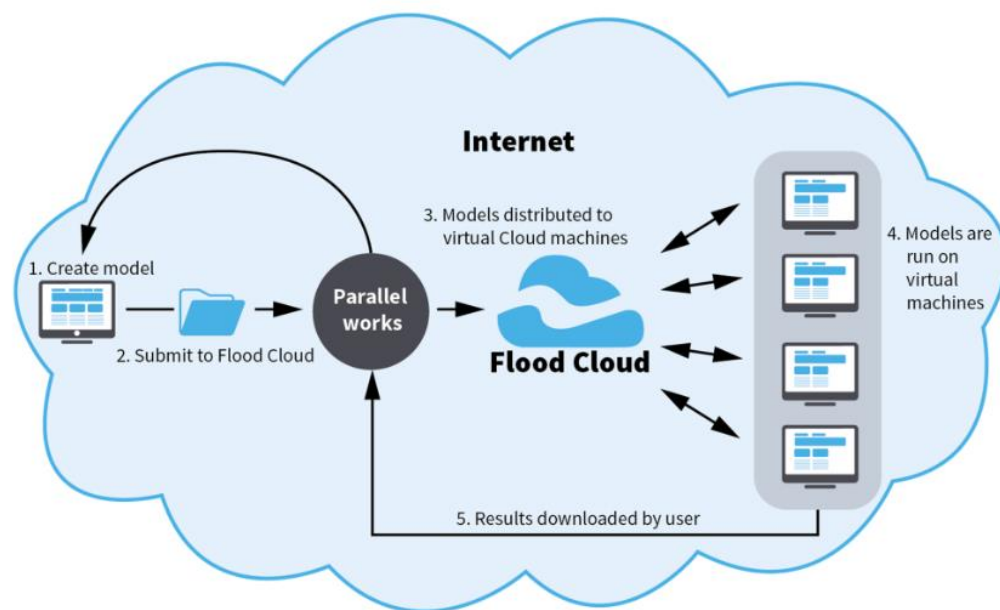


圖 2-32 JACOBS 透過 Flood Cloud 提供二維雲端運算的架構

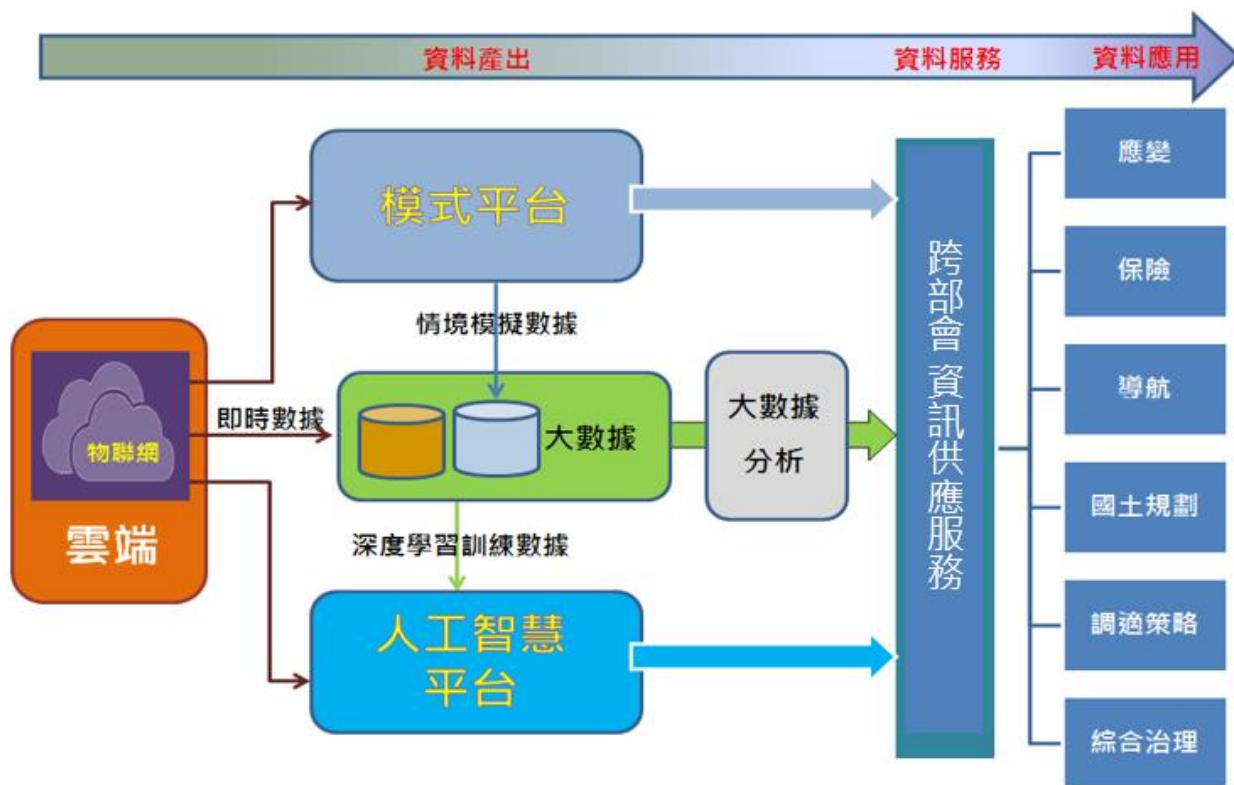


圖 2-33 新一代淹水模式整合發展

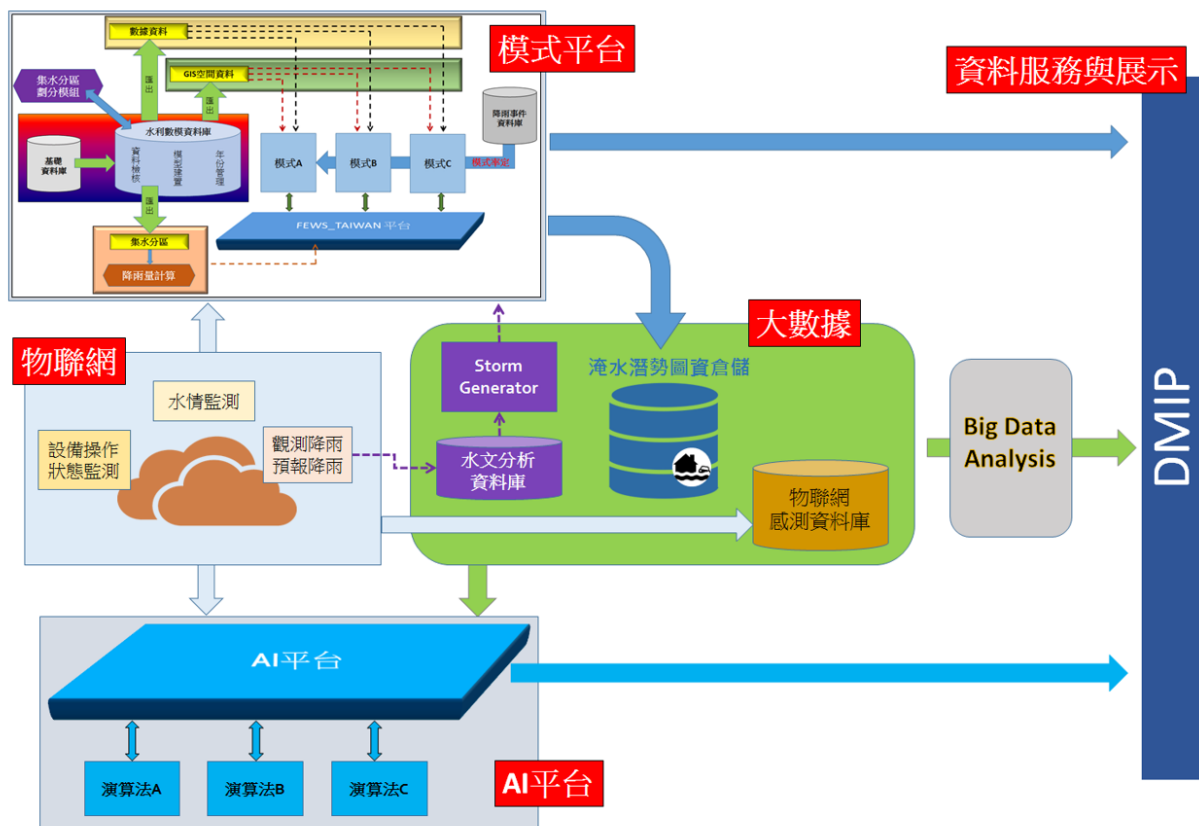


圖 2-34 新一代淹水模式應用

#### 四、提升效能方向

當模式正確性與合理性提升後，運算成果效率可以提升。為此，進一步彙整上述搜集資料內容，與國內外相關文獻資訊，將提升淹水模式效率的改善與方法進行彙整。

而運算結構之研究與探討內容，區分為兩大主軸，分別為：提升運算正確與合理性，來探討模式調整後對於淹水範圍與淹水深度的不確定性，以及提升運算效能，來探討運算效能與成本等內容。如表 2-4 所示，在效能提升方向上，區分為：地文、水文、邊界條件、模式整合、運算方式等議題。

上述內容針對既有淹水模式，可能的造成淹水範圍與深度不確定影響的內容，進行小區域的測試，利用改善前後對於淹水範圍與淹水深度的影響提供最終參考，並且歸納效能提升的優先順序建議。而整體效能提升主要內容，綜整圖 2-35 所示。

(一)水理模式演算機制探討優先利用 SOBEK 模式中，針對特定模組與小區域範圍進行測試與調整內容，包含：地文 (優先以 DEM，渠道為測試案例)、水文 (優先以集水區為測試範圍)、構造物 (以抽水站測試對象)、IoT (即時控制)的應用。完成後搭配 HyDEM 資料更新進行完整成果驗證。

(二)而在運算結構最佳化設定的實驗內容，主要針對運算效能與成本進行探討。針對不同主機、排程調整、不同模式(D-Flow FM) 的測試內項目進行運算時間上的差異說明，以作為整體效能提升之建議與參考。

表 2-4 探討主題與方向彙整

項目	內容	備註
地文	數值地形、網格解析度、多重網格	配合地形資料更新
水文	集水區架構、水文參數	因應地形資料更新與斷面新增，調整集水區相關資訊
邊界條件	降雨量、水位、流量、潮位、IoT	探討模式輸入水文氣象資料對於淹水範圍影響
模式整合維護	資料 QA 與 QC、版本管理	模式整合流程與版本管理
運算方式	平行運算、高速運算、AI (ML or DL)	伺服器主機運算效能、排程管理 (AI 議題搜集相關文獻)

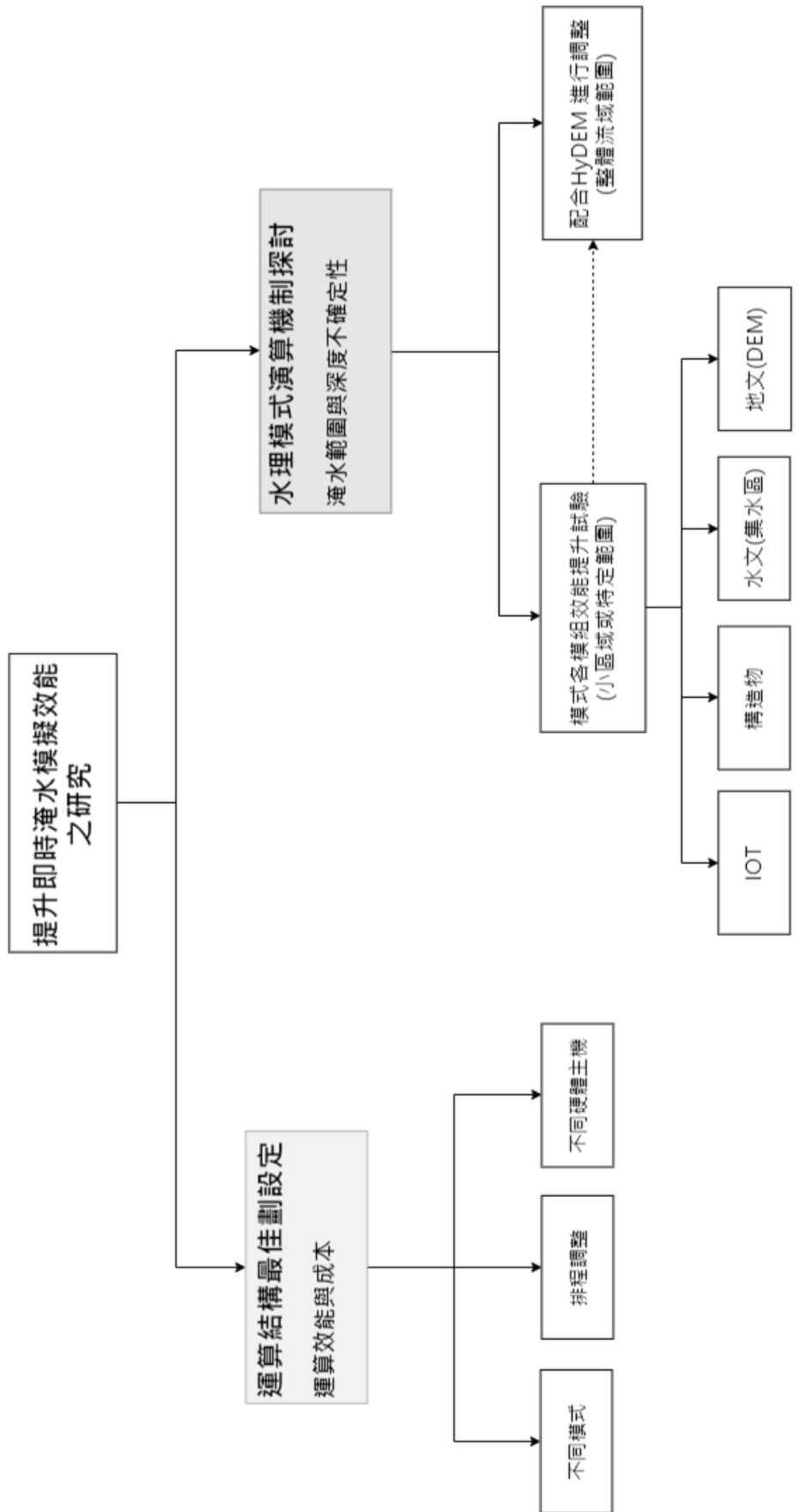


圖 2-35 整體提升即時淹水模擬效能之實驗架構



### 第三章 運算結構之研究與探討

本章節內容針對既有之淹水預報系統盤點其運算結構及資料，並參考國內外相關精進方法測試，針對系統須精進部分提出相對應之研究方法，並透過工作會議討論各項實驗測試與注意方向，最後依據本所需求及執行效率與系統改善，提出相關建議。

#### 一、作業化淹水模式探討

如圖 3-1 的分類，現階段作業化淹水模擬系統主要可以區分為 AI、搜圖、1D-2D 物理模式等三種，主要類別對應國內外作業化淹水模式。主要可以區分為三大類分別為 AI 模式 (智慧即時動態區域淹水預報系統)、淹水模擬圖搜尋機制 (淹水模擬圖資搜尋展示平台、美國大蘇河預警系統)、即時演算 1D-2D 物理模式 (作業化即時淹水預警平台)，其各模擬方式的比較如表 2-1 所列。

目前在淹水模擬圖搜尋機制(以下簡稱「搜圖」)與 AI 模式的發展與建置過程中，還是需要倚賴 1D-2D 物理模式作為基礎資料來源。故本研究仍優先針對 1D-2D 物理模式，其淹水模式效能提升進行說明，以下進一步針對系統架構與運算資源、運算結構與流程之改善內容進行說明。

表 3-1 作業化淹水模擬方式比較表

	美國 AHPS	淹水模擬圖 搜尋機制	1D-2D 物理模式
作業時輸入	河川流量	鄉鎮降雨量	降雨量、邊界條件
運算方式	事先運算	事先運算	即時運算
應變時期 所需運算資源	較少	較少	較大
前期運算資源需求	較大	較大	較少
淹水動態資訊	無	無	有
應用模式成果	全動力模式	全動力模式	全動力模式
考量實際降雨特性	隱含在流量機制中	鄉鎮	集水區

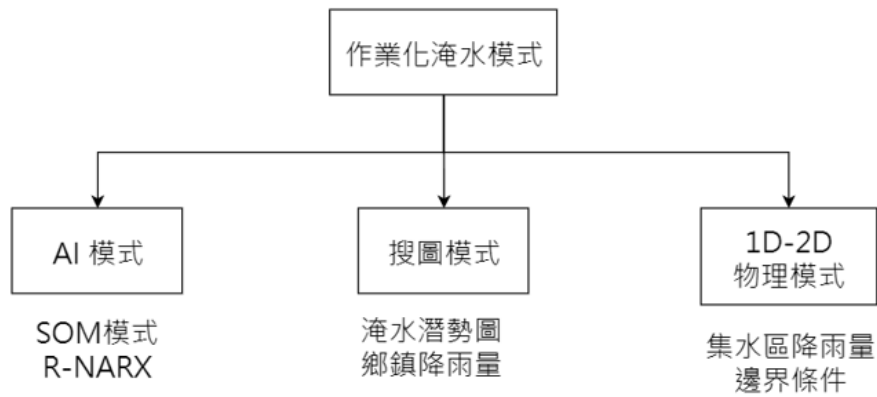


圖 3-1 作業化淹水模擬分類圖

## 二、系統架構與運算資源

### (一) 二維即時淹水模擬服務架構與流程

在整體二維即時淹水模擬與預報服務架構，主要區分為五個主要面向，分別為：資料來源、模式前處理、模式運算、模式後處理、成果供應等內容。而每一個面向對應的工作內容，在資料處理與轉換過程中，均需要配合對應的時間與成果產出，才能順利完成淹水模擬成果的供應服務。從圖 3-2 為目前二維即時淹水模擬預報系統架構來看，服務架構處理流程仍以 FEWS\_Tawian 平台為核心，進行相關作業流程的管理與設定。在作業過程中為確保相關資料可以正常供應與產出，在平台中每一個資料處理流程，都可以透過排程管理方式執行，並且可以依照資料處理順序與時間點進行運算或分析。

以下針對二維淹水模預報系統的處理流程進行盤點，以作為在整體系統與效能改善的基礎：

- 1、在運作過程中，首先進行資料來源的匯入與轉換流程，依照模式需求進行資料前處理，針對模式所需的邊界條件進行，空間資料轉換(降雨量資料內插至集水區範圍)、時間序列資料轉換(配合模式運算需求，進行對應的時間序列組合與轉換)。
- 2、接著啟動模式進行模式運算，將前處理資料內容利用標準的資料交換格式，提供給模式進行運算，完成後將成果匯回平台進行模式後處理，並轉換成 FEWS\_Taiwan 平台對應的空間位置與時間序列內容。
- 3、相關運算成果在透過 Web API 技術進行成果供應，提供網頁介面、簡



報資料與時間序列 API 供應服務。

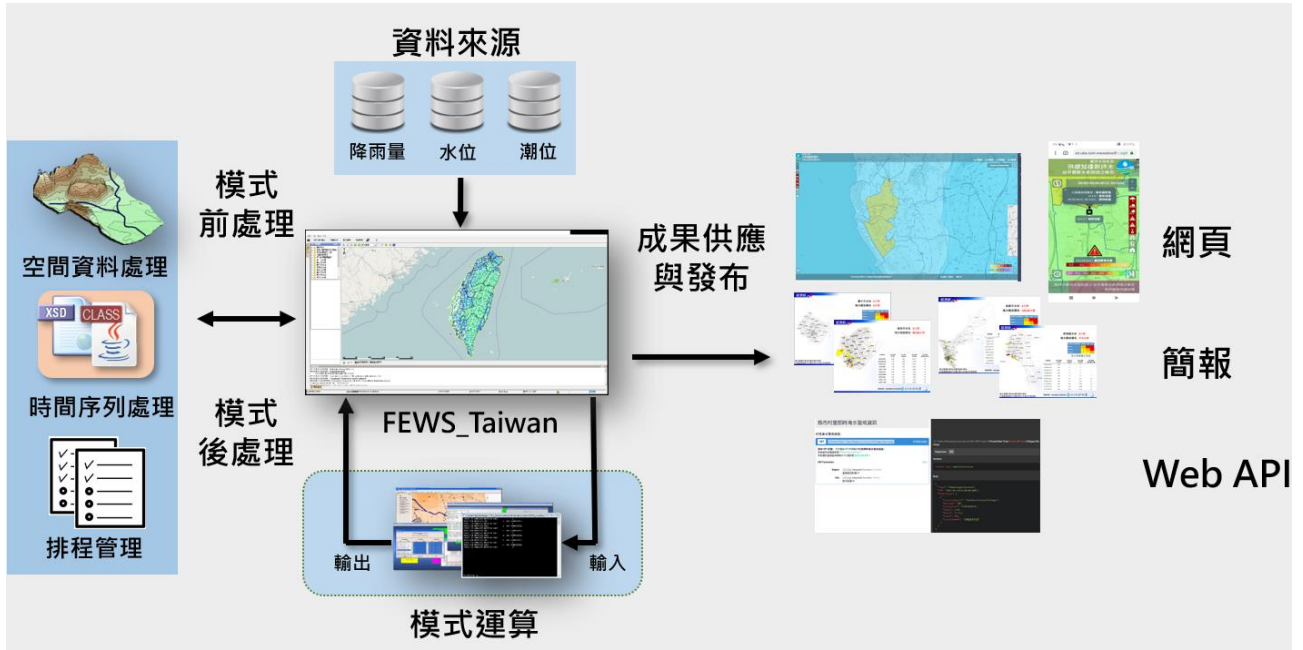


圖 3-2 二維即時淹水模擬與預報服務架構

## (二)伺服器架構與排程

在防汛作業過程中需要作業化 24 小時不間斷運作，持續更新與提供最新預報與模擬成果。考量自動化資料處理流程與模式運算所需的大量運算資源。因此將前節流程與架構，透過伺服器主機架構的配置。將 FEWS\_Taiwan 平台對應的功能與服務轉換成為網路架構。

在伺服器上每一個運算資源(以虛擬主機 VM 為單位)都具有完整 FEWS\_Taiwan 針對資料來源、模式前處理、模式運算、模式後處理、成果供應的功能。透過伺服器相關設定檔案的版本控制與排程管理，進行最佳運算資源配置與調整；同時，將資料儲存與供應流程透過檔案目錄伺服器方式加以供應，以提升網路存取與共享的效能及便利性。在網路版的伺服器架構如圖 3-3 所示。

而上述整體資料作業流程在既有的預報作業流程中，目標為每一小時提供最新的淹水預報成果，目前測試在每小時內提供最新預報成果，搭配現有主機預算資源，完成未來三小時淹水預報模擬計算與成果供應服務。因此在整體作業流程，需要將相關運算服務進行最佳化的調整，評估對應排程可能最大影響與延遲時間，圖 3-4 所示為每小時伺服器主

機運作的相關時間設定與對應作業流程。表 3-2 為整體服務資料供應內容與項目。

表 3-2 二維即時淹水預報成果發布供應服務與範圍

供應服務	範圍
網頁	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區
簡報	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區
串流服務	臺中地區、臺南地區、高雄地區、屏東地區

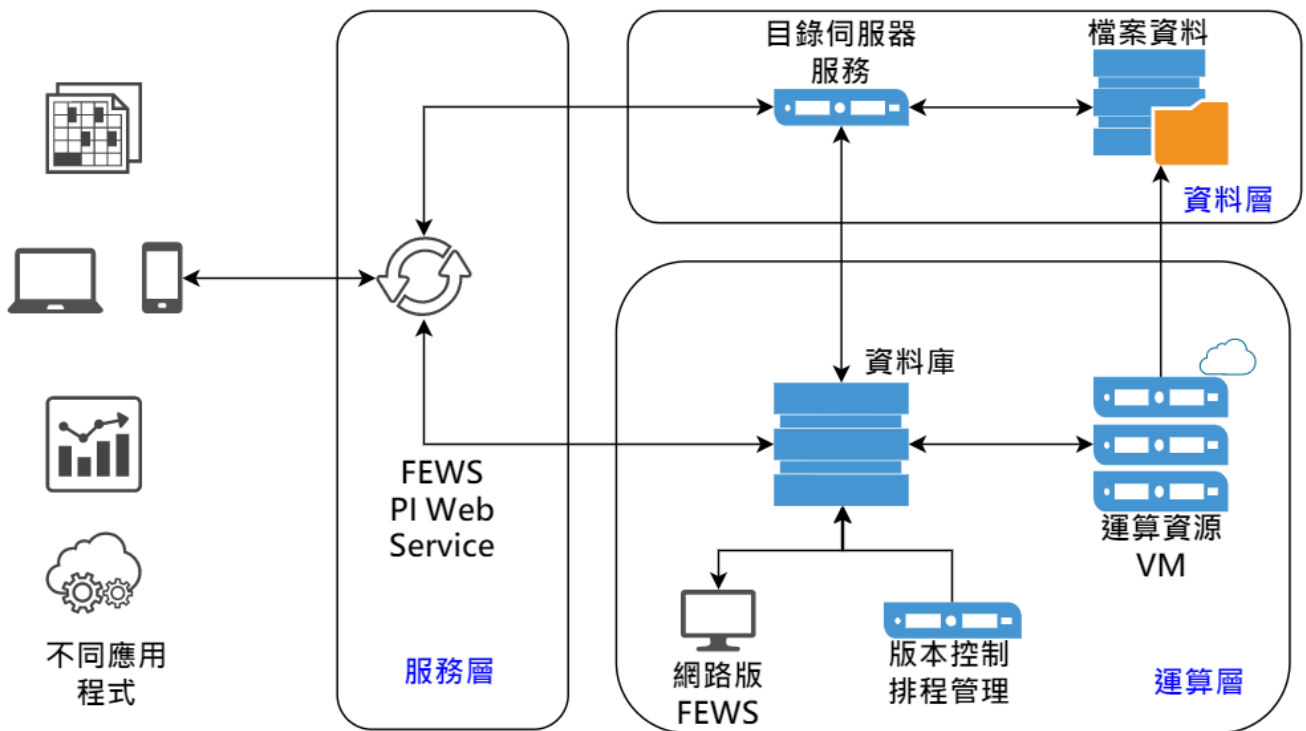


圖 3-3 二維即時淹水模擬與預報伺服器服務架構

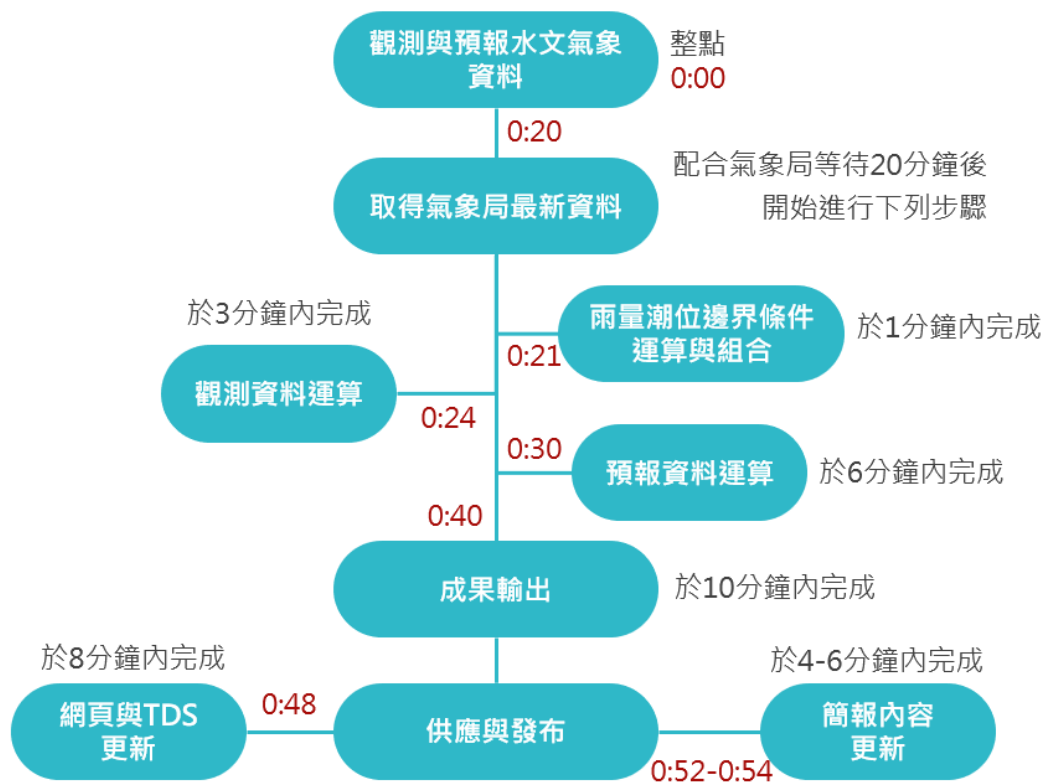


圖 3-4 預報排程時間管理設定

### (三)預報區域與模式專案配置

截至目前為止，二維即時淹水預報區域主要有四個縣市，如圖 3-5 至圖 3-8 分別顯示臺中、臺南、高雄、屏東地區模式使用各分區專案範圍。

二維即時淹水模擬所供應資料內容運算資源、淹水網格資料內容彙整模式專案數量，目前包含：臺中地區 SOBEK 淹水模式主要區分為 3 個分區共 7 個專案，臺南地區 SOBEK 淹水模式 7 個分區共計 8 個專案，高雄地區 SOBEK 淹水模式 4 個分區共計 4 個專案，以及屏東地區 SOBEK 淹水模式 5 個分區共計 5 個專案。

而上述四縣市内各分區專案在完成淹水模擬後，會進行該縣市淹水網格的合併工作，合併後的淹水網格資訊如表 3-4 所示。整體而言，目前所使用之 24 個 SOBEK 淹水模式專案檔案，搭配如表 3-5 所示之運算資源，採用 32 個虛擬主機進行對應運算流程的執行工作，搭配排程設定，進行 24 小時全天候運算模擬工作。

表 3-3 各縣市模式專案與數量

區域	專案分區	數量
臺中地區	臺中 40M_zone 大肚 臺中 40M_zone 烏溪_unit01 臺中 40M_zone 烏溪_unit02 臺中 40M_zone 烏溪_unit03 臺中 40M_zone 烏溪_unit04 臺中 40M_zone 烏溪_unit05 臺中 40M_zone 塭寮	7
臺南地區	臺南 20M_zone1_unit01 臺南 20M_zone1_unit02 臺南 40M_zone2_unit01 臺南 20M_zone3_unit01 臺南 40M_zone4_unit01 臺南 20M_zone5_unit01 臺南 40M_zone6_unit01 臺南 40M_zone7_unit01	8
高雄地區	高雄 40M_zone1 高雄 40M_zone2 高雄 40M_zone3 高雄 40M_zone4	4
屏東地區	屏東 40M_zone1 屏東 40M_zone2 屏東 40M_zone3 屏東 40M_zone4 屏東 40M_zone5	5

表 3-4 各縣市淹水模擬網格尺寸與維度

區域	網格尺寸	列	欄
臺中地區	40m*40m	1395	931
臺南地區	40m*40m	1477	1302
高雄地區	40m*40m	2309	1833
屏東地區	40m*40m	2745	120640

表 3-5 現有二維即時淹水預報主機資源列表

型態	核心數量	記憶體容量	硬碟空間	數量	服務項目
MC	2 Core	6 Gb	200 Gb	2	排程管理
FSS	4 Core	6 Gb	600 Gb	32	運算單元
Archive	8 Core	20 Gb	2 Tb	1	資料儲存
DB	8 Core	16 Gb	2 Tb	1	資料庫

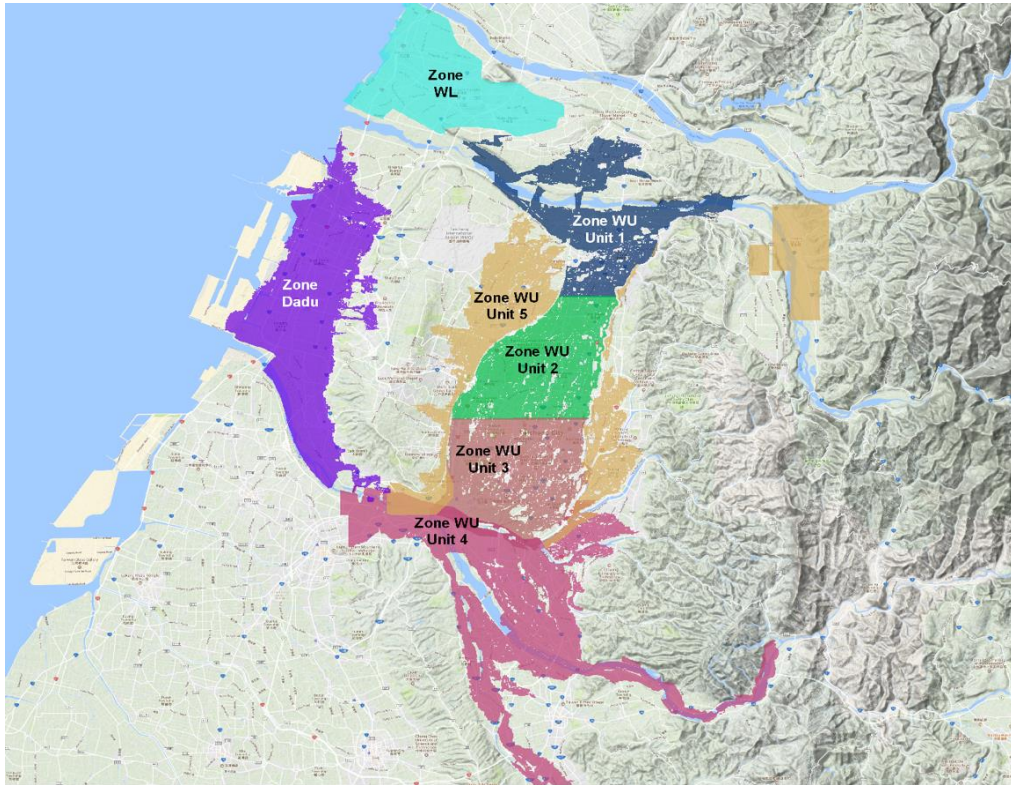


圖 3-5 臺中地區即時淹水模式各分區專案範圍

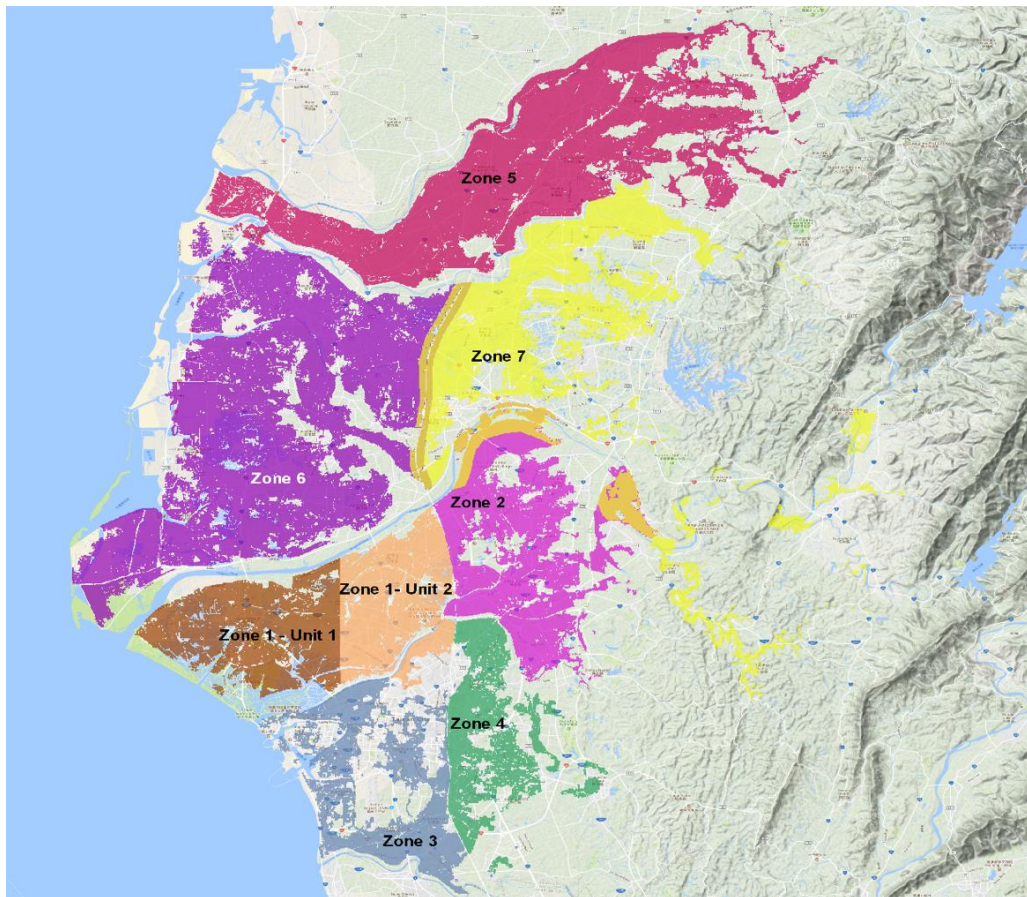


圖 3-6 臺南地區即時淹水模式各分區專案範圍

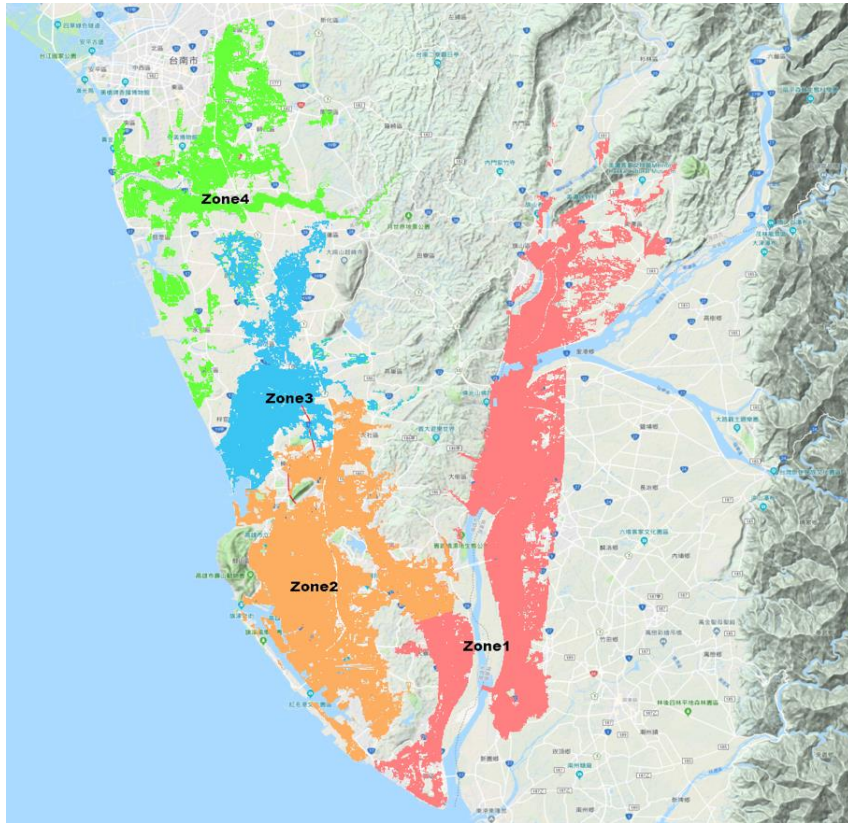


圖 3-7 高雄地區即時淹水模式各分區專案範圍

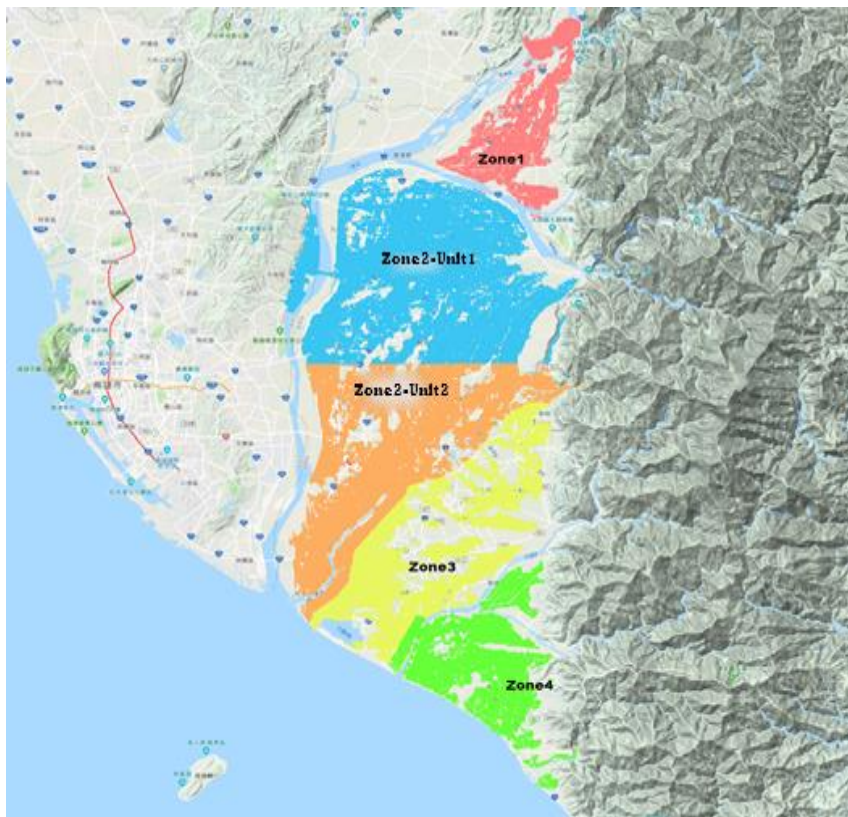


圖 3-8 屏東地區即時淹水模式各分區專案範圍

### 三、運算結構與流程之改善

從整體二維即時淹水預報之作業流程，包含資料來源、模式前處理、模式運算、模式後處理、成果供應等五大面向進行介紹，且前開已完成整體作業流程的優化與排程的運算調整。

而在整體預報系統的成果改善上，則區分為模式與基礎資料維護、系統管理維護等兩個議題。另參考第二章美國 AHPS 與英國 CIWEM 的在模式整合流程，針對模式維護與管理的內容進行評估，搭配運算資源測試與調整，提升運算結構效率與流程。

#### (一)模式與基礎資料維護管理

由於即時作業化系統在運作上，需要使用最新觀測預報資料進行模擬與分析作業。因此當資料來源有出現異動或調整時，需要配合資料來源供應方式與內容，調整對應資訊供應服務的內容，以確保資料與模式運算可以穩定供應。此外，當現場環境出較大規模異動時，對應的模式專案內容更新，工作也需要配合作業與資訊需求進行調整。

但過於頻繁的資料異動可能會造成系統負擔，或資料出現錯誤狀況。因此建議透過模式專案版本管理方式，進行模式專案的維護更新工作。

另外，針對模式與水文氣象資料內容的處理，採用相同的 (Coding standards) 編碼與命名規則，使物件的定義可以一致，並且搭配模式詮釋資料的建置，使模式循環再利用的概念可以進行延伸。同時透過定期資料更新、模式率定等資料專案維護，作為提供模式進行自動化的更新服務，進一步發展成為模式自動化模擬運算服務。

因此在模式與基礎資料管理維護上，透過文件化方式搭配模式資料庫的建置與版本管理，有效加速與提供更完整的模式資料處理服務。

#### (二)運算資源與效能的評估

在淹水預報作業過程中，需要定期執行大量的水文氣象資料處理程序與模式運算整合的服務。而如何配置硬體資源與排程的調整與優化，將會影響模式運算的效能與成果供應的服務，因此在運算結構最佳化的設定工作上，將利用相關運算資源與主機，進行不同資料供應服務模式運算時程的評估，使資料運算過程中可以在有限的資源，完成運算服務

工作，同時透過排程的調整，評估不同資料供應方式與使用需求，達到最大化效益。

此外，考量模式發展測試不同模式的運算作業需求與內容，做為下一階段模式版本維護更新之參考，為此，根據圖 2-34 的整體架構延伸至運算結構最佳化設定，如圖 3-9 所示，在考量運算效能與成本的條件下，使用不同主機環境進行模式專案的測試效能評估、搭配不同時間長度資料供應服務排程測試，評估可行的二維即時淹水模擬成果資料供應服務，以及提供不同模式進行模擬工作時所需注意事項。

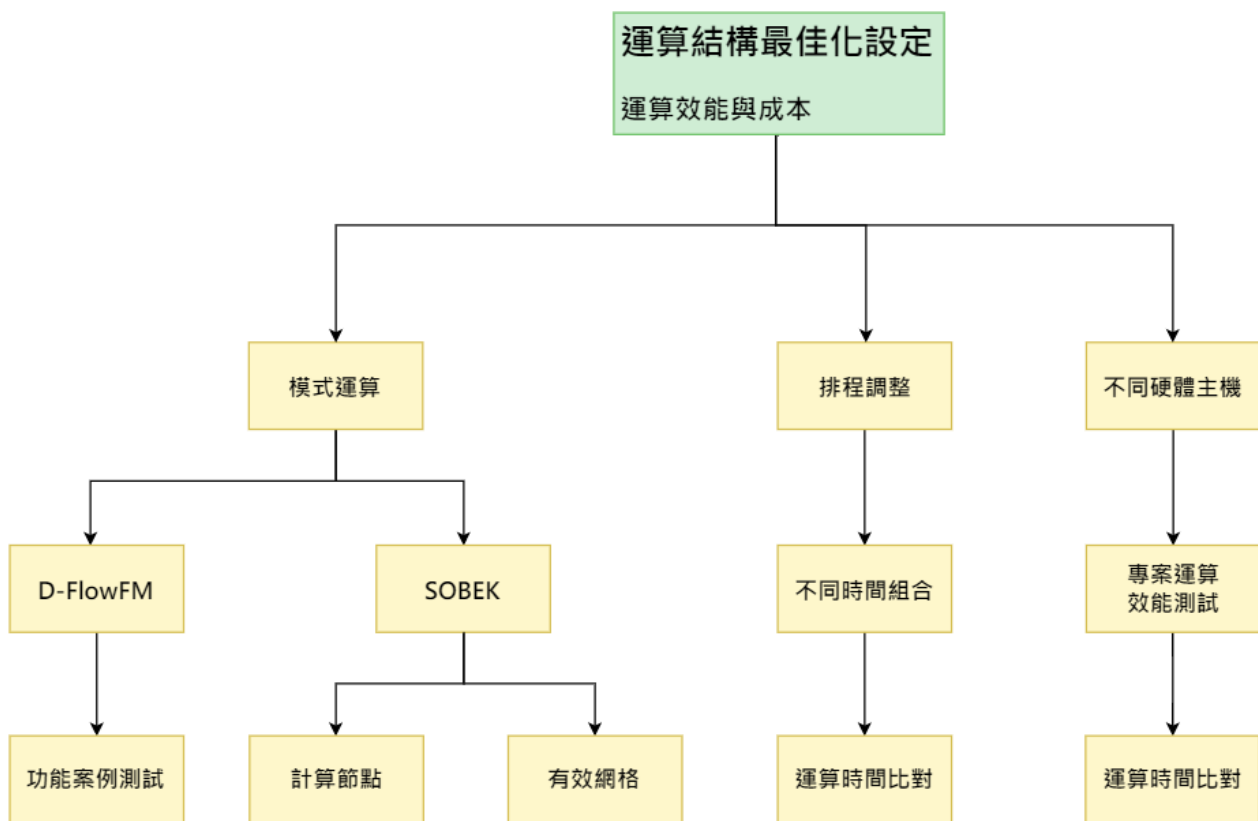


圖 3-9 運算結構最佳化設定實驗與測試內容



## 第四章 水理模式演算機制探討

提升淹水模擬結果的準確性與效率，除了運算結構之調整外，針對水理模式演算模式之調校，更是核心的工作項目之一。在模型建置與模擬過程中，如何有效提高模型建置的合理性與模擬結果的準確性，是即時淹水預報水理模式演算機制優化的重要目標。而影響即時淹水模擬成果的深度與範圍準確性的因素，包括：模式完整性、合理性、正確性、穩定性、模式架構、DEM 空間解析度、集水區劃設尺度、降雨逕流模式 SCS 模組與 CN 值參數、集流長度與坡度的推估、底床糙度係數與時間序列解析度等。

### 一、工作概述

透過將上述淹水模式所使用的不同模組，透過特定區域範圍的實驗，測試各模組與功能調整前後的影響，與對應調整所需的時間與人力成本，作為模式資料維護更新過程中的優先順序參考。因此延續第三章所提的提升效能方向，進一步將提升方向，拓展成為細部實驗測試內容。

#### (一)地文資料

針對地文資料對於模式的影響評估，主要變動項目為 DEM 與斷面資料，因此將地文實驗項目優先以 DEM 與斷面資料，其更新前後影響為實驗內容。

#### (二)水文條件設定 (集水區與降雨逕流模組)

而水文條件設定的影響內容主要是地形與土地利用的影響，因此利用集水區大小的尺度，與對應搭配集水區參數敏感度分析，作為實驗的測試，藉此說明集水區尺度大小與集水區參數對模式產出的影響，並評估淹水模擬過程中選擇合適的集水區大小與參數的資訊的處理。

此外，為有效了解集水區降雨逕流模式中，SCS 模組對於參數影響情況，針對模式專案選擇上、中、下游各一個集水區進行測試。

#### (三)構造物設定 (抽水站與抽水機)

對於抽水機資料的應用，雖僅用於規劃設計報告為主。但在抽水機或抽水站完工或進行擴充後，對於淹水模式相關設定，仍有些許關鍵性的影響。因此在本計畫實驗中納入抽水機資料更新的測試，評估二維淹

水模式搭配抽水站操作的影響情況。

(四) 現地感測設備

IoT 感測器在建置成本逐漸降低後，可以提供大量布建的可能性。因此，透過目前淹水感測器的資料進行，模式資料校正或模式即時控制元件的啟動。使淹水模擬成果可以更加準確。

綜合上述資料內容，將模式各模組在效能提升的試驗內容，延續圖 2-34 加以展開，如圖 4-1 所示。而各模組在小區域或特定範圍的實驗成果，提供未來在 HyDEM 資料更新調整(整體流域範圍) 參考方式。

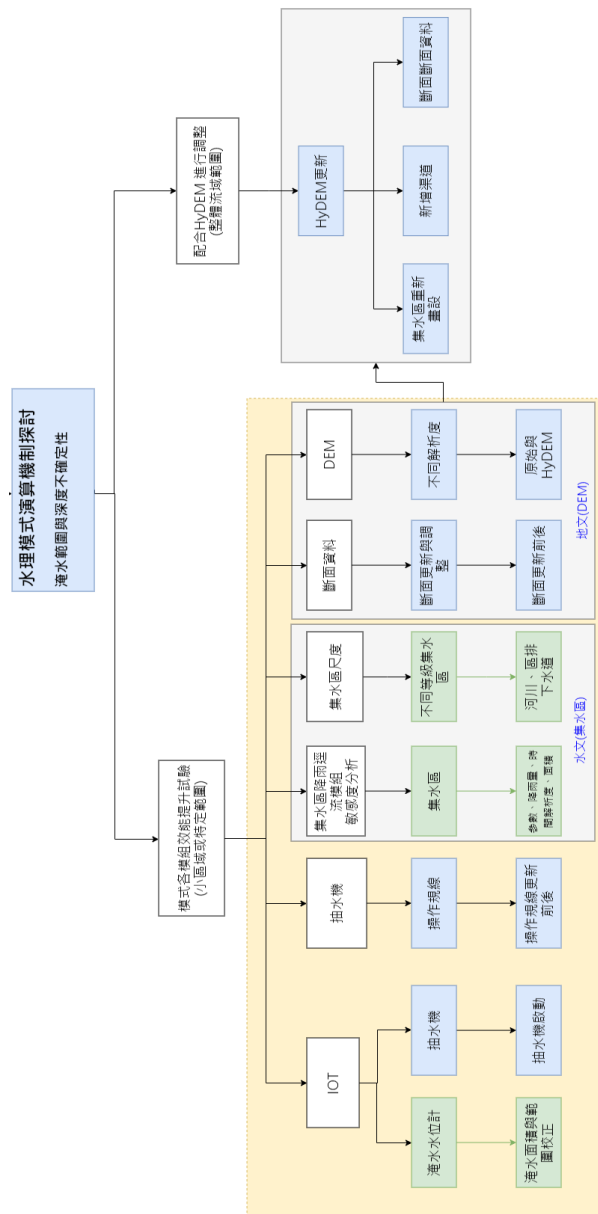


圖 4-1 水理模式演算機制探討完整實驗內容

## 二、模式演算方法

計畫以臺南地區鹽水溪、三爺溪兩個流域作為效能提升與精進的測試區域，執行範圍如圖 4-2 所示。在實驗過程中，淹水模擬的專案採用現有即時預報的 8 個分區架構，包含鹽水溪於 Unit1、Unit2，三爺溪則為 Unit3、Unit4。利用以下四種模式或資料進行測試與分析評估。

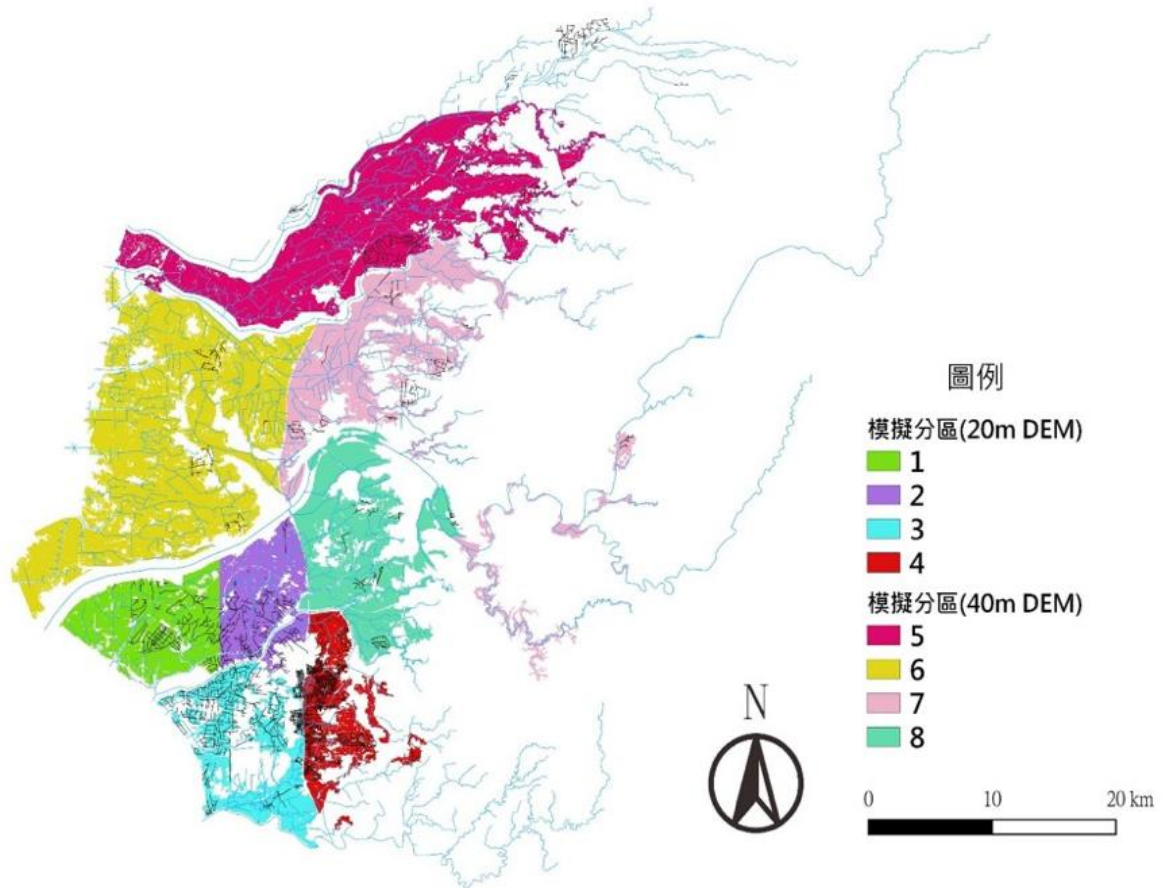


圖 4-2 即時預報之模擬分區

### (一)資料搜集項目

- 1、既有之即時預報高效能模式 (以下簡稱既有高效能模式): 以既有高效能模式為基礎，進行水工結構物精進調整，並利用 HyDEM 重新精進之高效能模式(以下簡稱 HyDEM 高效能模式)。
- 2、IoT 感測紀錄。
- 3、EMIC 通報資料及淹水調查資料。

### (二)資料需求

- 1、地文資料：最新 HyDEM、原 DEM(99、100 年版數值地形)、水工結

- 構物、土地利用、土壤型態。
- 2、水文資料：集水分區、降雨-逕流參數。
  - 3、降雨資料：雨量站、QPESUMS。
  - 4、IoT 感測紀錄：水位站、淹水感測器、移動式抽水機位置、移動式抽水機啟動、抽水站機組啟動紀錄等。
  - 5、其它工具：一維校正模式、二維校正模式。

### 三、地文資料

#### (一)DEM 更換之影響實驗案例與流程說明

內政部地政司針對鹽水河流域第一批產製的 HyDEM 圖幅範圍如圖 4-3，相較於整個流域仍有部分區域未被涵蓋，為此，僅能以原 DEM 來補遺，並且配合資料內容進行建物處理如圖 4-4 所示。

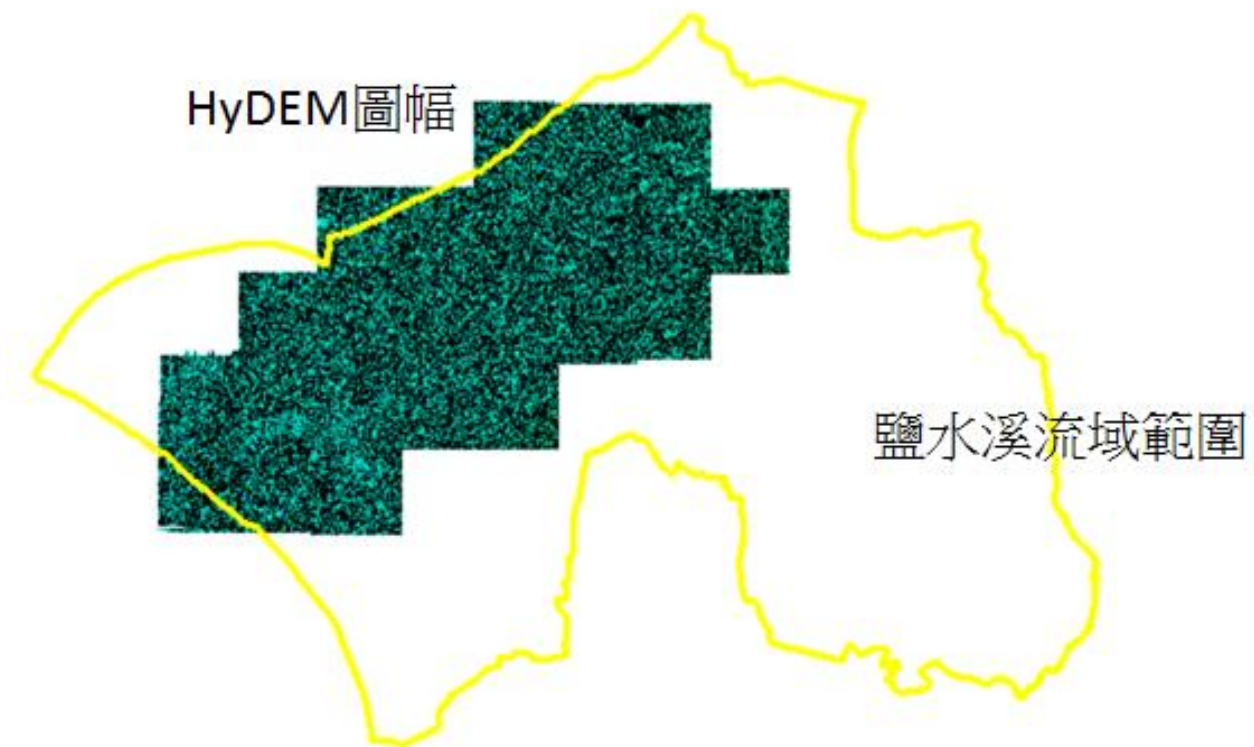
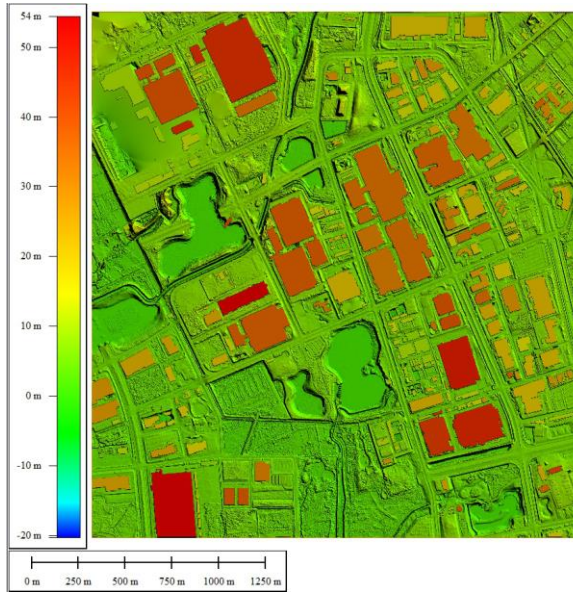
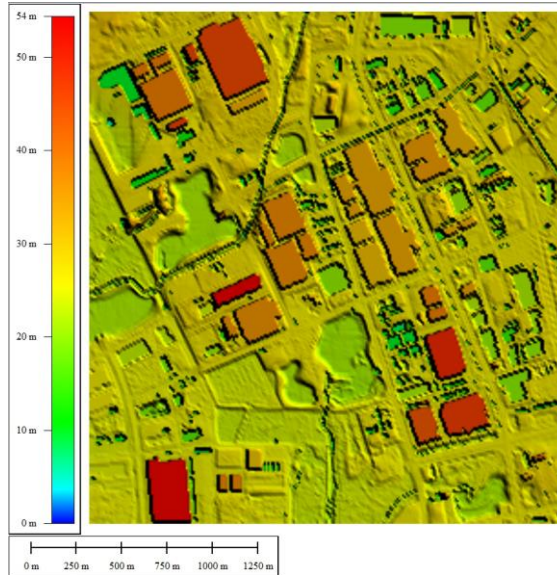


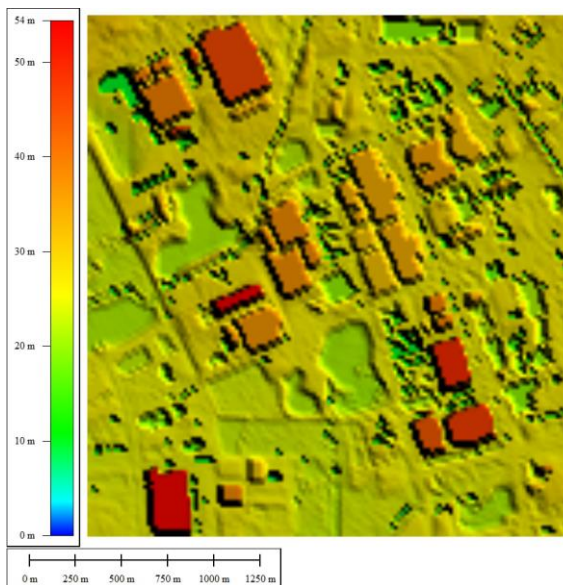
圖 4-3 本研究採用之 HyDEM 圖幅範圍



解析度 1M



解析度 10M



解析度 20M

圖 4-4 導入建築物增加於 HyDEM 資料

## (二)DEM 更換之影響分析成果說明

根據 HyDEM 識別出來的河川堤防與渠道溢堤圖徵，本計畫新增既有鹽水溪模式模式缺漏的渠道。新增渠道長度佔原模式總長度 43%，共計新增渠段 429 段合計 162km，新增斷面數 791 個。

- 模式既有渠道593段，合計376公里，斷面數2851
- 根據圖徵新增渠道429段，合計162公里，新增斷面數791

新增渠道長度43%

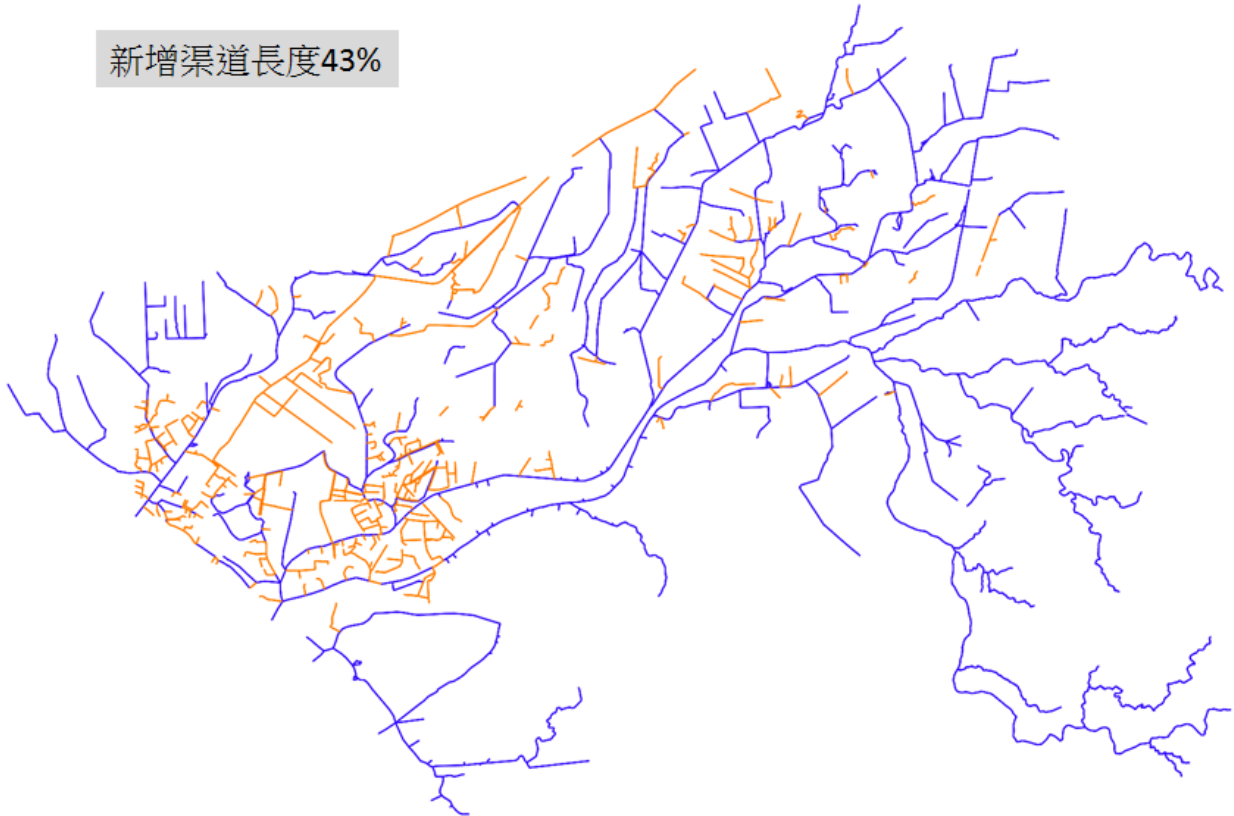


圖 4-5 根據 HyDEM 新增鹽水溪模式渠道分布圖

## (三)構造物/斷面資料更新案例與流程說明

HyDEM 亦利用渠道溢堤圖徵，透過空間交集抓取該位置之點雲高程值，並將此高程值回饋至 HyDEM 的溢堤圖徵位置，如圖 4-6 所示此斷面兩岸之溢堤位置與高程，更能明確辨識差異位置。

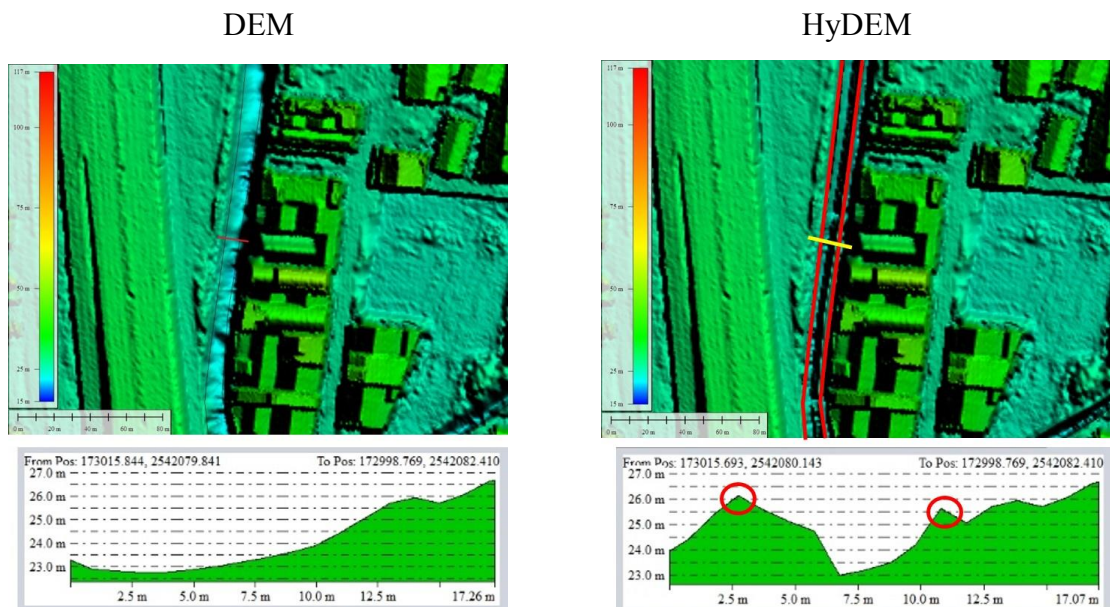


圖 4-6 DEM 與 HyDEM 斷面比較

#### (四)斷面資料更新實作

高效能二維淹水模式為確保異質性資料具有一致性及合理性，進行一系列的調校流程，達到一二維空間對位，模式以 5m DEM 為依據進行整體調校，於調整過程中除將河道走向調整至符合 DEM 之流向外，亦會在主支流斷面分布較少處，或主支流交匯處新增虛擬斷面，為解決斷面與 DEM 這兩種異質性資料存在的差異，亦利用高解析度 DEM 所顯示的河寬的堤岸高程來調整斷面。

實驗範圍以圖 4-7 為二仁溪河道交匯處為例，圖中為模式進行調整前後的河道與斷面位置分布，可明顯看出經調校過後之河道走向較符合 DEM 河道走向，且於河道銜接處抑或是斷面分布較少的渠道上，有新增虛擬斷面，斷面根據 DEM 調整後變化，可從圖 4-8 左側之斷面更新前後的比較圖來顯示，該位置調整過後的形式不變，但參考 DEM 高程後將整體斷面高程，抬升至銜接 DEM 地表高程；圖 4-8 右側的斷面經調整後可看出斷面的寬度、形式、兩岸高程皆已改變。



圖 4-7 二仁溪河道交會處

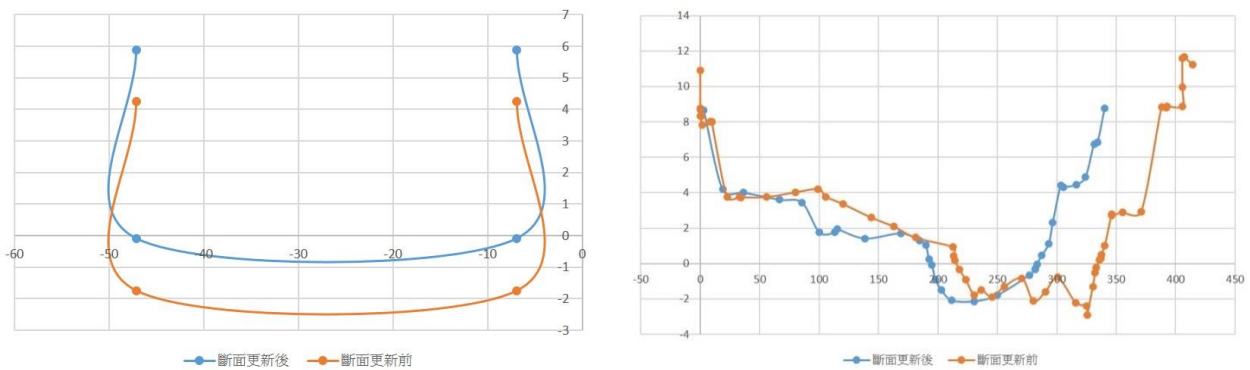


圖 4-8 斷面資料更新前後差異案例

#### (五)不同 DEM 解析度對模擬範圍影響

目前作業化淹水模式運作，受到運算時間的限制，仍以 40m 解析度進行運算模擬。然而，為了展現 20m 解析度模擬的結果，故延續前述資料更新前後的差異比對概念，故在影響範圍的評估上，以採用 20m 與 40m 解析度資料，進行不同解析度資料成果之差異說明：



## 1、模擬區域說明

模擬區域為臺南市安南區，使用模擬 DEM 分別為 20m 與 40m，模式事件為海棠颱風與 2019 年 8 月 13 日豪雨，比較不同解析度的模擬網格結果差異。

## 2、模擬範圍比較

### (1)海棠颱風模擬案例結果

在研究區挑選三個範圍進行比對，成果如圖 4-9 至圖 4-11 所示，由圖面中可以明顯看出 40m 網格的淹水範圍大於 20m 網格模擬範圍，兩種解析度的 DEM 淹水範圍與深度比較如表 4-1，統計顯示 40m 淹水面積較 20m 大，但平均水深較 20m 低。

### (2)20190813 豪雨模擬案例

在研究區域挑選二個範圍進行比較，其成果如圖 4-13 及圖 4-13 所示，在 0813 案例中淹水模擬成果仍以 40m 網格之淹水範圍較大，二個範圍淹水面積與深度統計資訊如表 4-2 所示，由統計統計淹水面積數值上 40m 網格範圍較大，但淹水深度則是 20m 網格深度深。

表 4-1 不同 DEM 解析度成果比對 (海棠颱風)

	海棠颱風	20m	40m
最大淹水水深(m)	範圍一	3.408	2.740
	範圍二	1.882	1.931
	範圍三	4.170	2.158
淹水網格數	範圍一	13071	4101
	範圍二	11958	4310
	範圍三	12862	3599
淹水總面積(km <sup>2</sup> )	範圍一	5.228	6.562
	範圍二	4.783	6.896
	範圍三	5.145	5.758

表 4-2 不同 DEM 解析度成果比對 (0813 淹水事件)

	0813 淹水事件	20m	40m
最大淹水水深(m)	範圍一	1.337	1.081
	範圍二	4.437	2.316
淹水網格數	範圍一	8754	3154
	範圍二	2873	1031
淹水總面積(km <sup>2</sup> )	範圍一	3.502	5.046
	範圍二	1.149	1.650

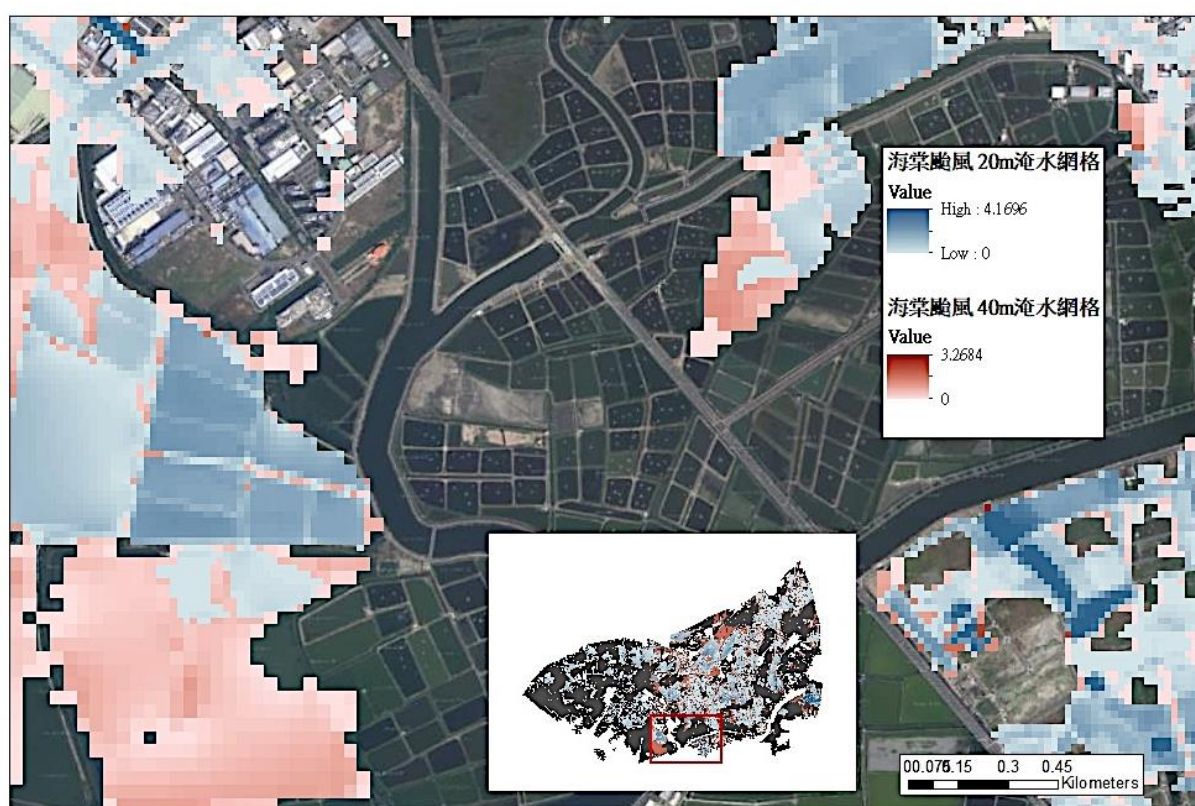


圖 4-9 海棠颱風案例淹水模擬網格成果比對 (範圍一)

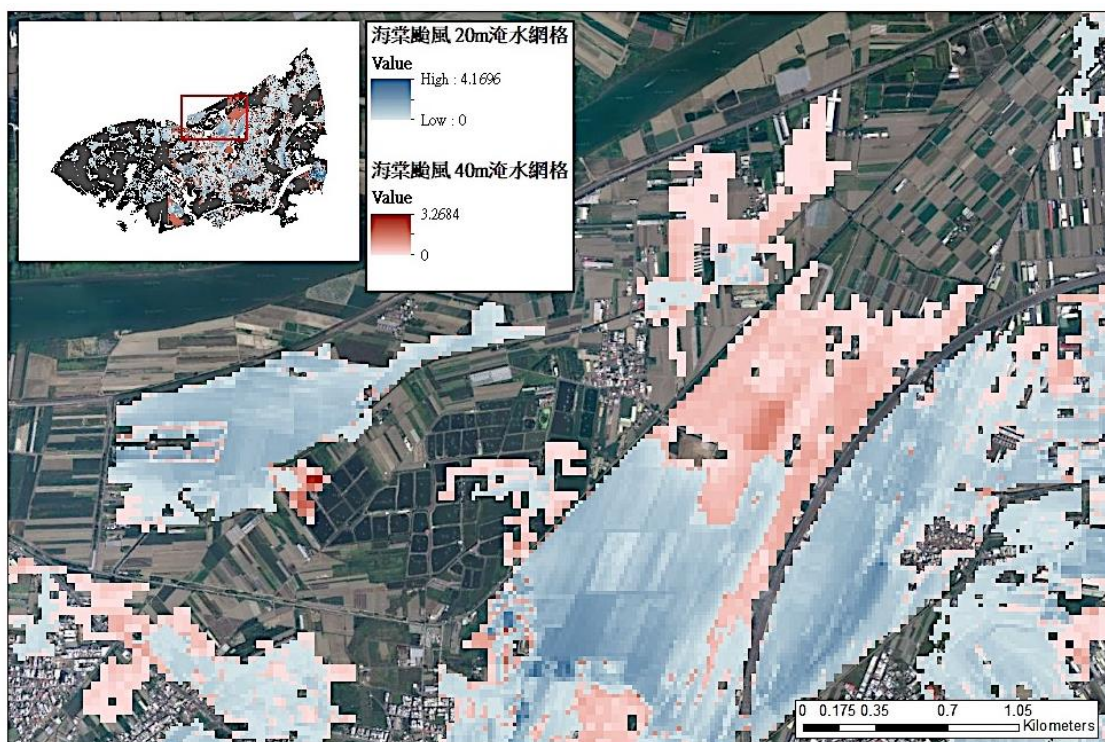


圖 4-10 海棠颱風案例淹水模擬網格成果比對 (範圍二)

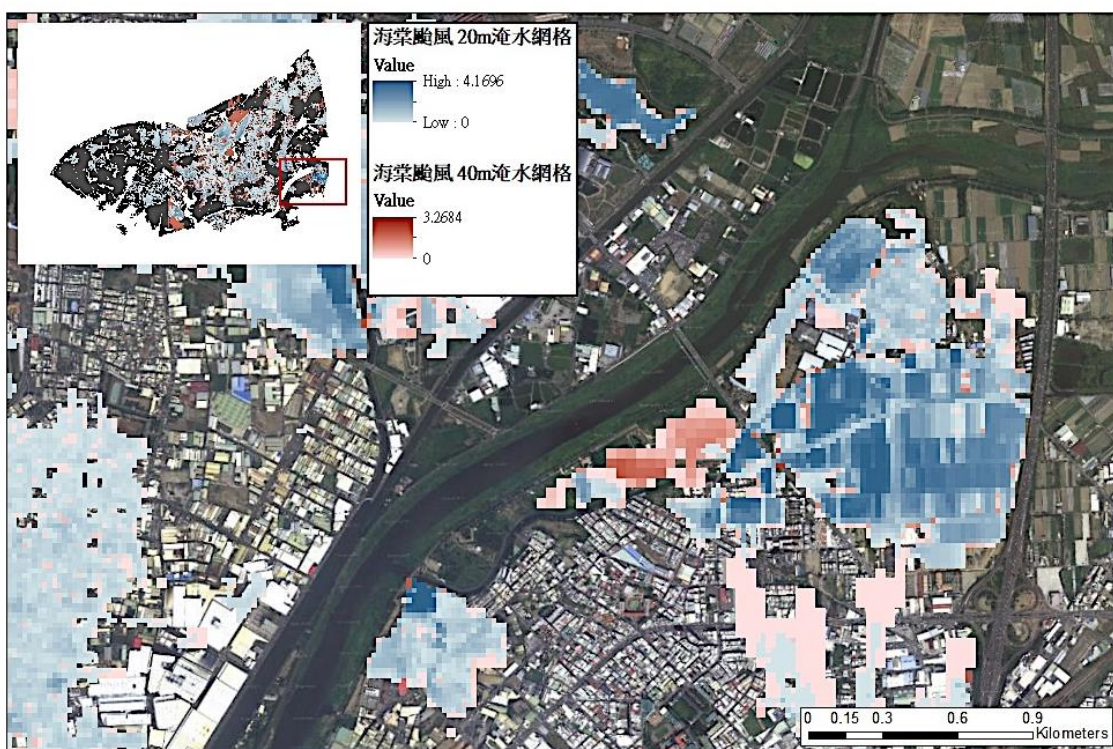


圖 4-11 海棠颱風案例淹水模擬網格成果比對 (範圍三)

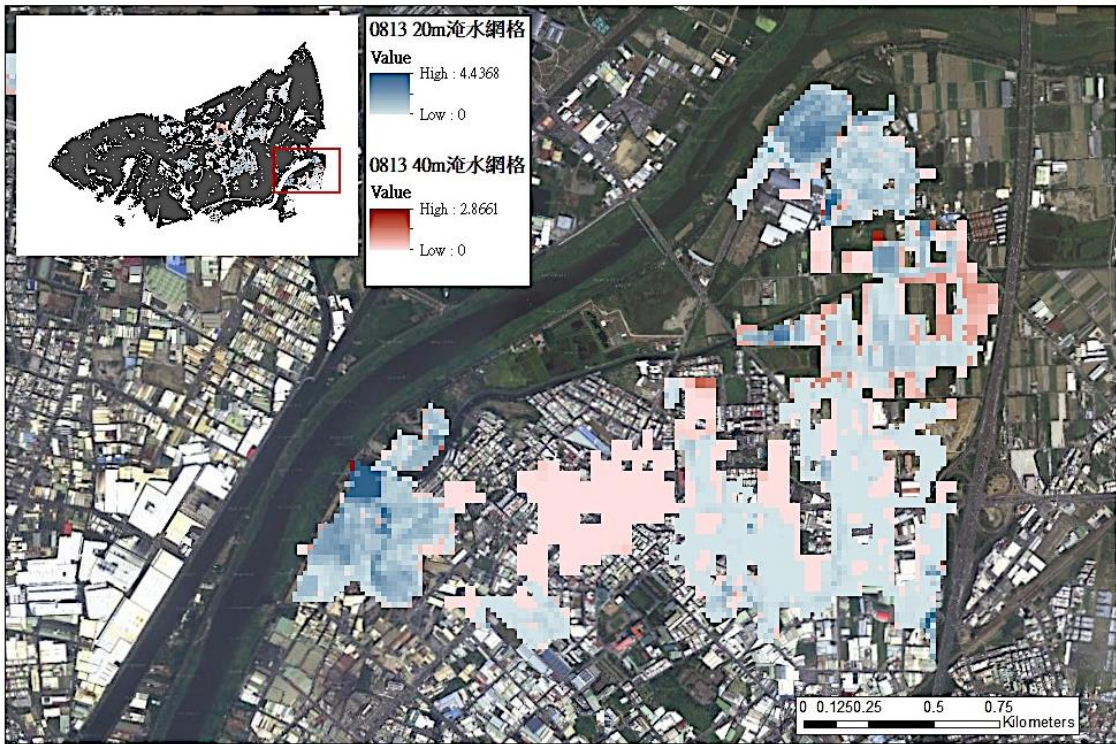


圖 4-12 0813 淹水事件淹水模擬網格成果比對 (範圍一)

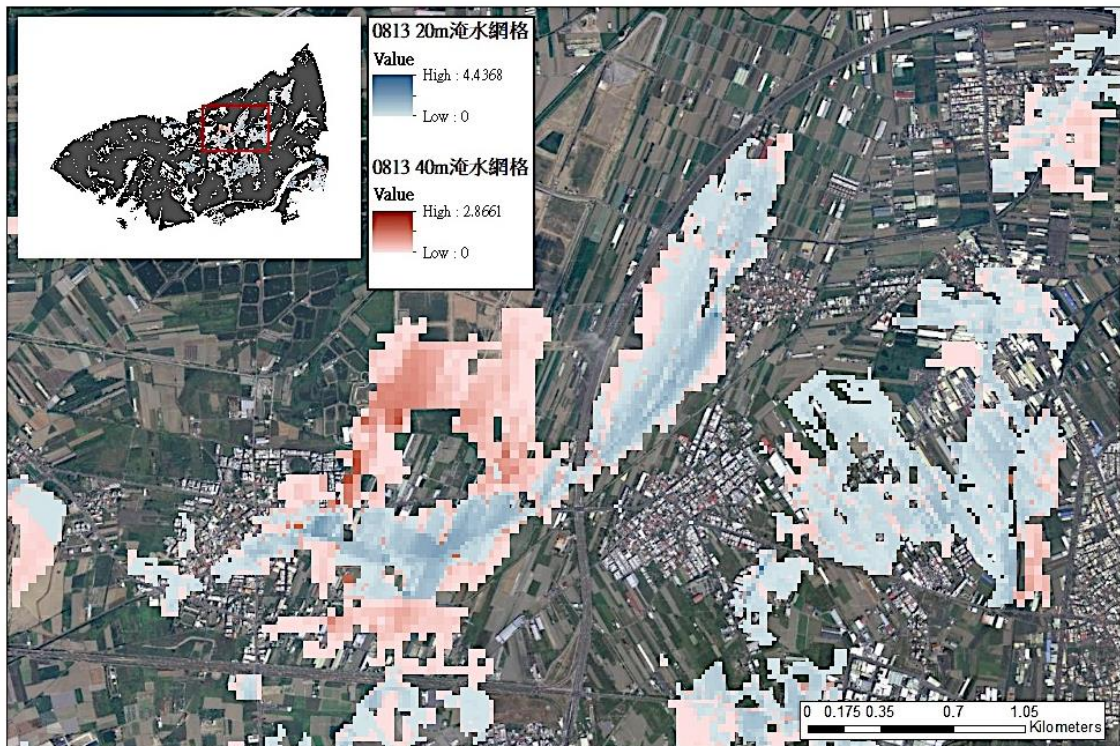


圖 4-13 0813 淹水事件淹水模擬網格成果比對 (範圍二)

## 四、水文條件設定

降雨逕流模組對於即時淹水的影響性，則以集水區大小劃分做為探討的基礎，評估不同大小的集水區所反應的 CN 值參數、集流長度與坡度推估、底床糙度係數等參數所帶來的差異性，藉由圖 4-14 臺南地區作為實驗範圍。

### (一)工作範圍

為了有效測集水區降雨逕流模組，在匯入淹水模式成果中的影響，由於先前執行過程中發現，降雨逕流匯入流點位置在集流時間與洪峰時間的差異，會對淹水模式產生較大的影響，因此測試上優先針對集水區匯入流點的影響進行測試，以評估集水區匯入流點位差異，對於流量與淹水範圍的影響。

並且針對不同尺度集水區進行測試，同時搭配集水區參數敏感度分析來確認模式參數可能造成的影響。

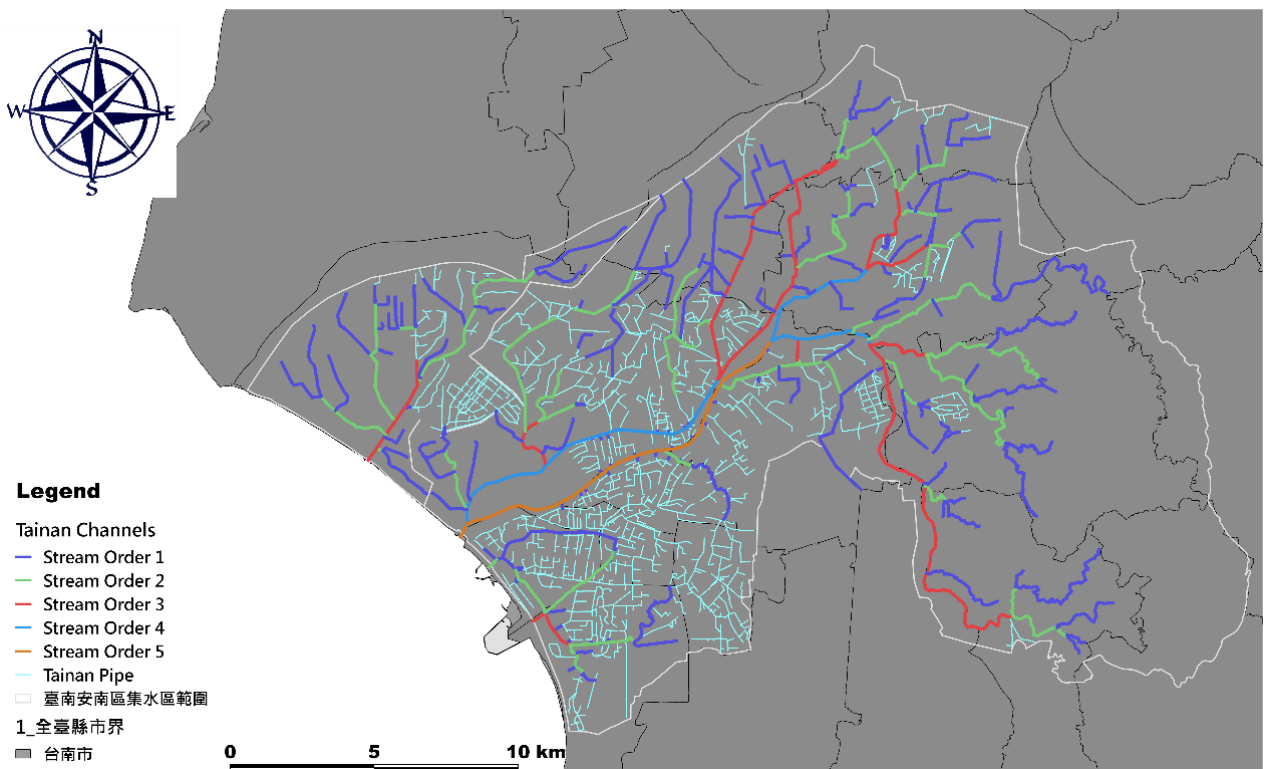


圖 4-14 臺南地區水系分級範圍

## (二)不同尺度集水區大小實驗案例與流程說明

### 1、三種尺度集水區模擬

#### (1)三種尺度集水區說明

為探討集水區劃分尺度對二維淹水模式的影響，使用本所建置之鹽水溪區域排水淹水模式，採用 SOBEK 模式，以一維渠道二維漫地流方式建置。將集水區劃分為三個不同尺度，由粗至細分別為 Scale1、Scale2 及 Scale3，三個尺度分別建置不同級別的渠道，並進行集水區劃分。

Scale1 為僅建置區域排水渠道時，劃分之集水區尺度，如圖 4-15 所示；Scale2 為建置區域排水集農田排水時，劃分之集水區尺度，如圖 4-16 所示；Scale3 為建置區域排水、農田排水及雨水下水道系統之情況下的集水區劃分尺度，如圖 4-17 所示。三種集水區劃分尺度資訊比較表如表 4-3 所示，並以這三種版本之模式，進行相同事件之模擬，藉此探討集水區劃分尺度對模擬成果之影響。

表 4-3 三種集水區劃分尺度之比較

不同尺度版本	渠道級別	渠道總長度 (km)	子集水區總數
Scale1	區域排水	75.37	272
Scale2	區域排水 農田排水	125.513	372
Scale3	區域排水 農田排水 雨水下水道	226.356	961

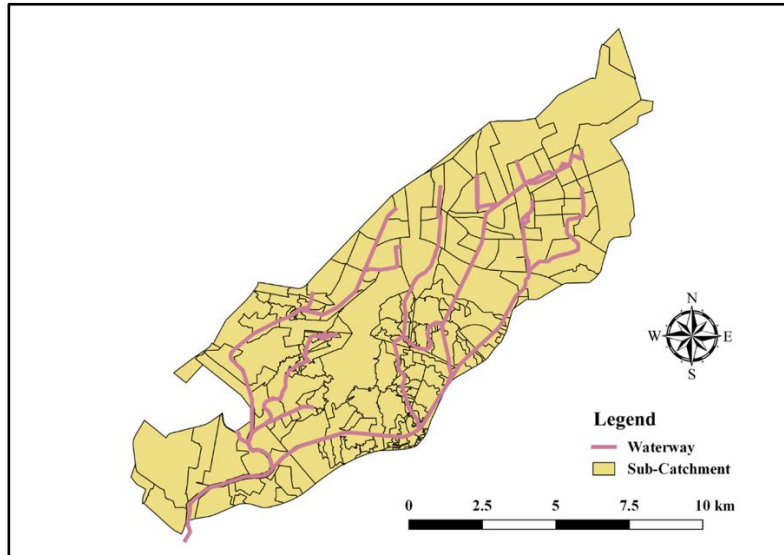


圖 4-15 Scale1 集水區劃分圖

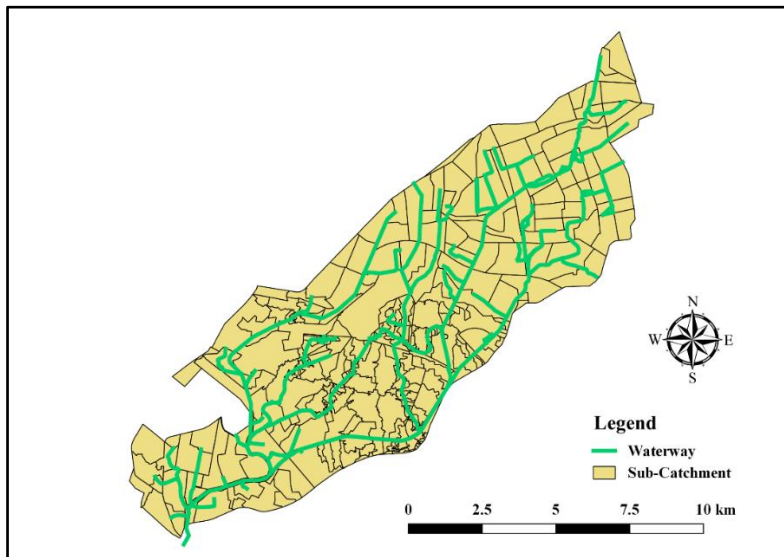


圖 4-16 Scale2 集水區劃分圖

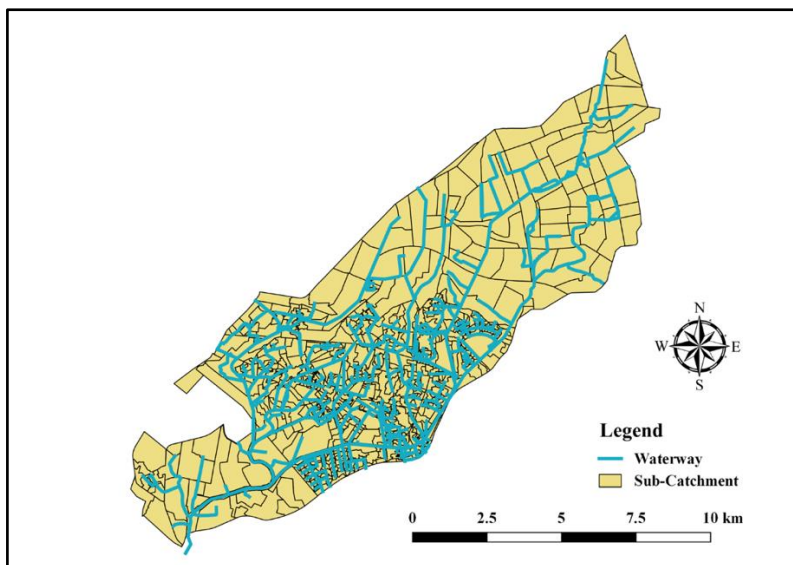


圖 4-17 Scale3 集水區劃分圖

(2) 案例挑選：以海棠颱風事件為例

2017 年的尼莎颱風與海棠颱風接連登陸臺灣，是 50 年來首次同時發布海陸警報的颱風事件，兩颱風登陸時間相隔不到 20 小時。強烈降雨造成臺南市、高雄市、屏東縣等地的河川與排水溝水位暴漲，經現勘發現，臺南市與屏東縣等地主要淹水原因，為中上游的強降雨使外水暴漲，中下游低窪地區內水排出不易造成積淹水災情。

臺南市為本次淹水通報點位最多的地區，集中於安南區、仁德區、南區、東區、永康區等沿海地區，且多位於地勢相對低窪的地區，其主要降雨來自 7 月 30 日 20:00 至 31 日 12:00 為止，海棠颱風侵襲期間，累積雨量約達 300~400mm，最大時雨量則發生在仁德一帶，達 71.5mm。

回溯當年事件在安南區的平均降雨組體圖於圖 4-18 所示，在降雨延時共計 48 小時的情形下，總雨量達 398.37mm，其中以四草潮位站之觀測數據如圖 4-19 為例，最大潮位則超過 1.2m。

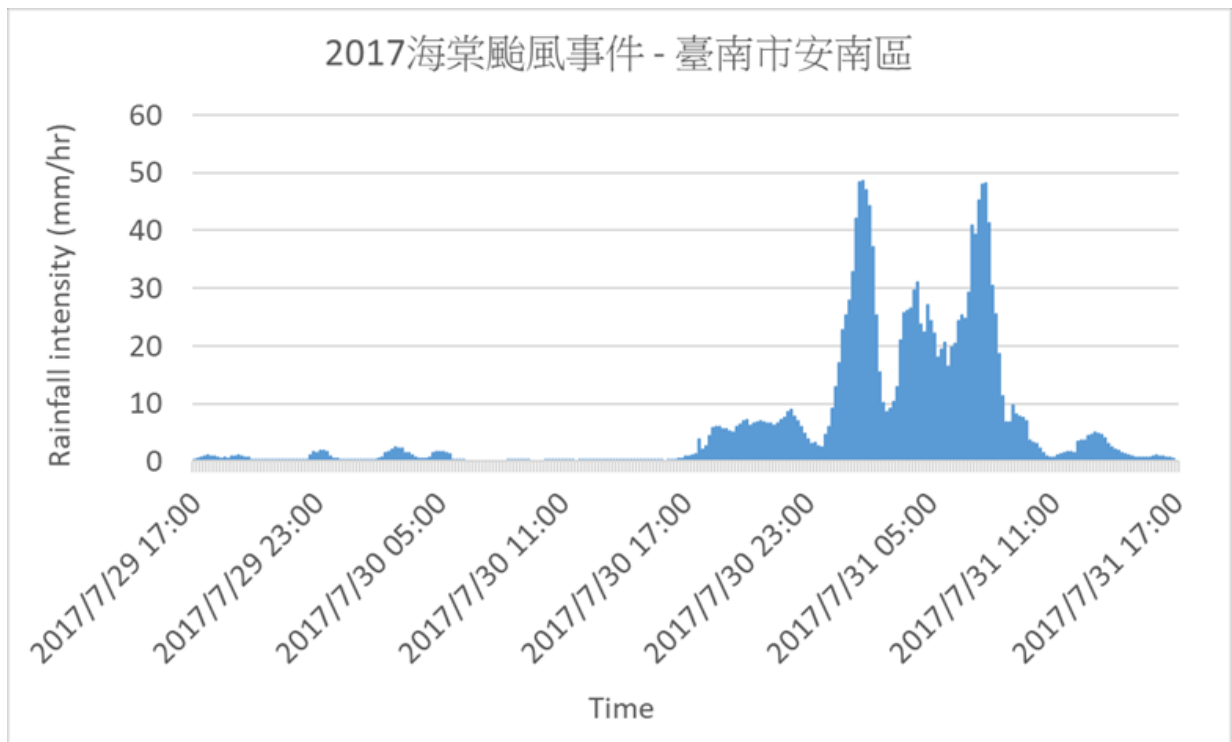


圖 4-18 臺南市安南區平均降雨組體圖 (海棠颱風事件)



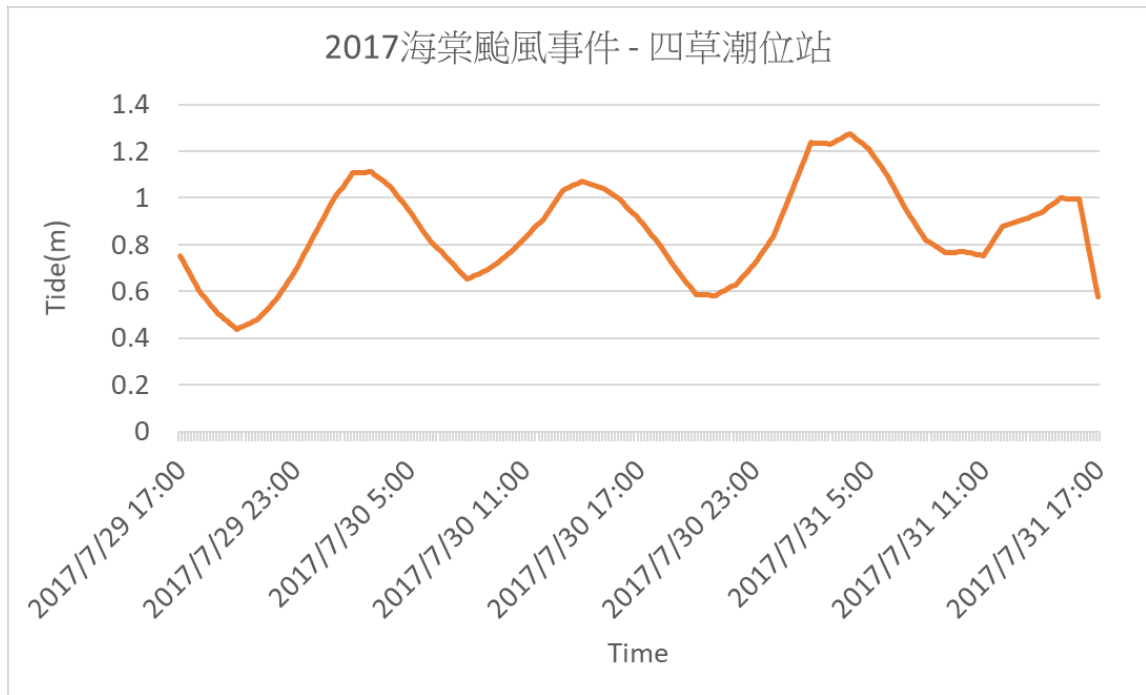


圖 4-19 四草潮位站觀測值 (海棠颱風事件)

### (3)三種尺度集水區以海棠颱風模擬成果

將集水區劃分為 Scale1、Scale2 及 Scale3 三個不同尺度，並由海棠颱風進行測試，測試後以 Scale1 作為基準進行比較，其結果如圖 4-20 至圖 4-22 所示，渠道位置與流量比較如圖 4-23。

而三者之間的比較圖，分別以 Scale1 比較 Scale2 的差異如圖 4-24，且 Scale2 vs Scale3 的比較如圖 4-25。

從表 4-4 可看出，由於 Scale3 在模式處理上較為細膩，因此反映在淹水面積的模擬，將比原始之 Scale1 尺度大於近兩倍。最大淹水範圍面積變化如圖 4-26 所示。

表 4-4 三種尺度最大淹水面積比較 (海棠颱風)

降雨事件 模式版本	淹水面積(km <sup>2</sup> )	面積增加比
	海棠颱風	
<b>Scale 1</b>	3.7096	-
<b>Scale 2</b>	4.2556	14.7%
<b>Scale 3</b>	6.4276	73.3%

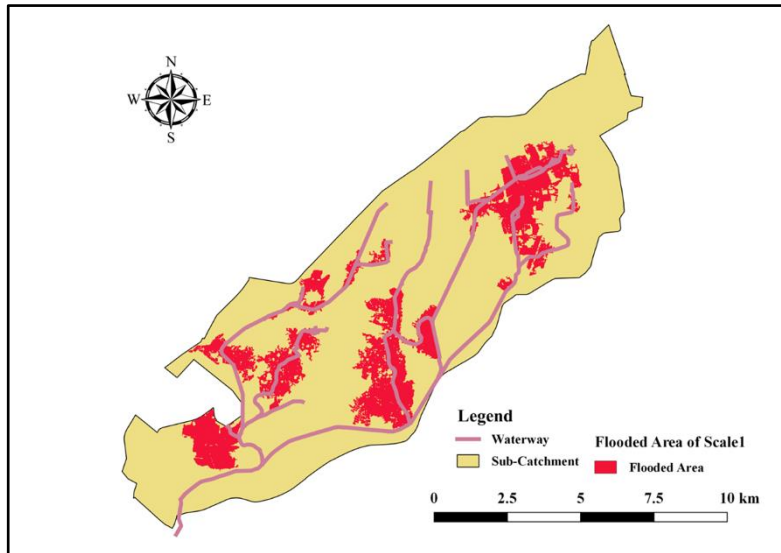


圖 4-20 Scale1 最大淹水範圍

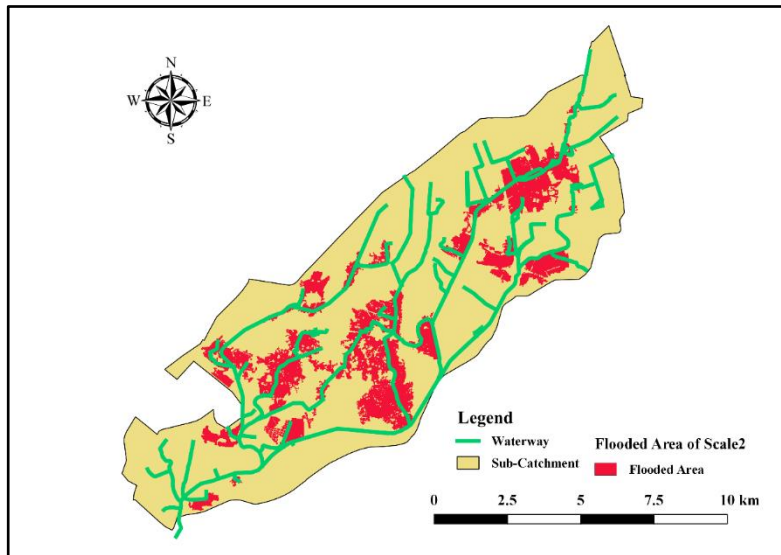


圖 4-21 Scale2 最大淹水範圍

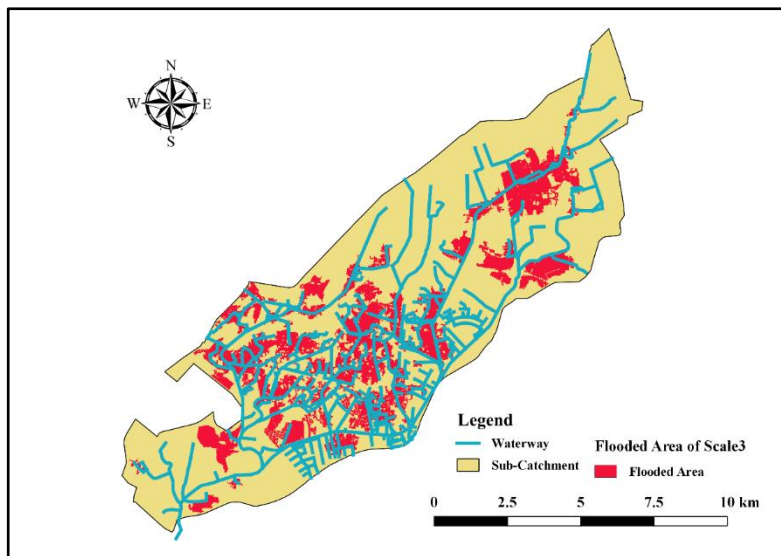
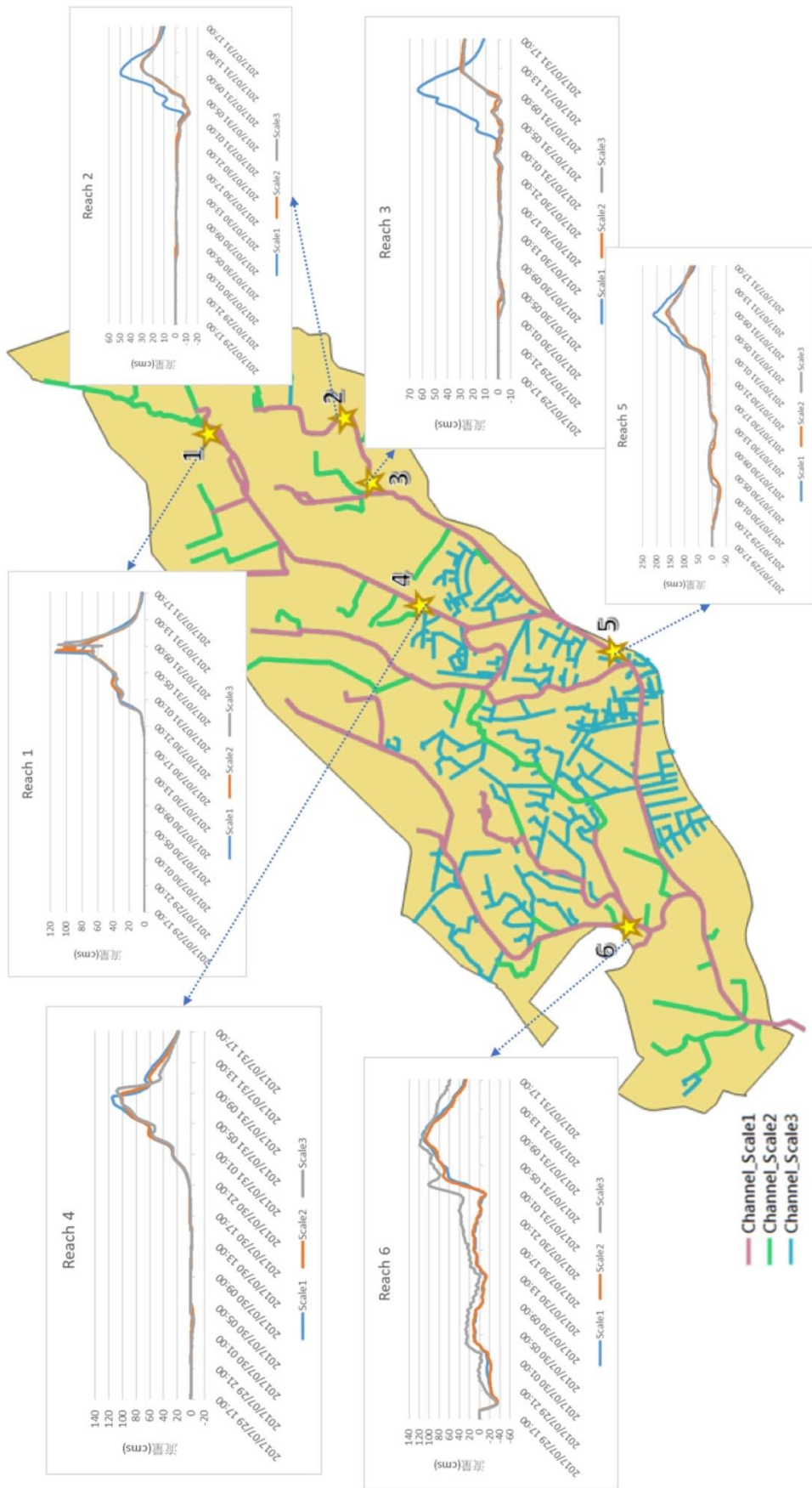


圖 4-22 Scale3 最大淹水範圍



範圍：臺南市安南區

圖 4-23 渠道位置與流量比較圖 (海棠颱風事件)

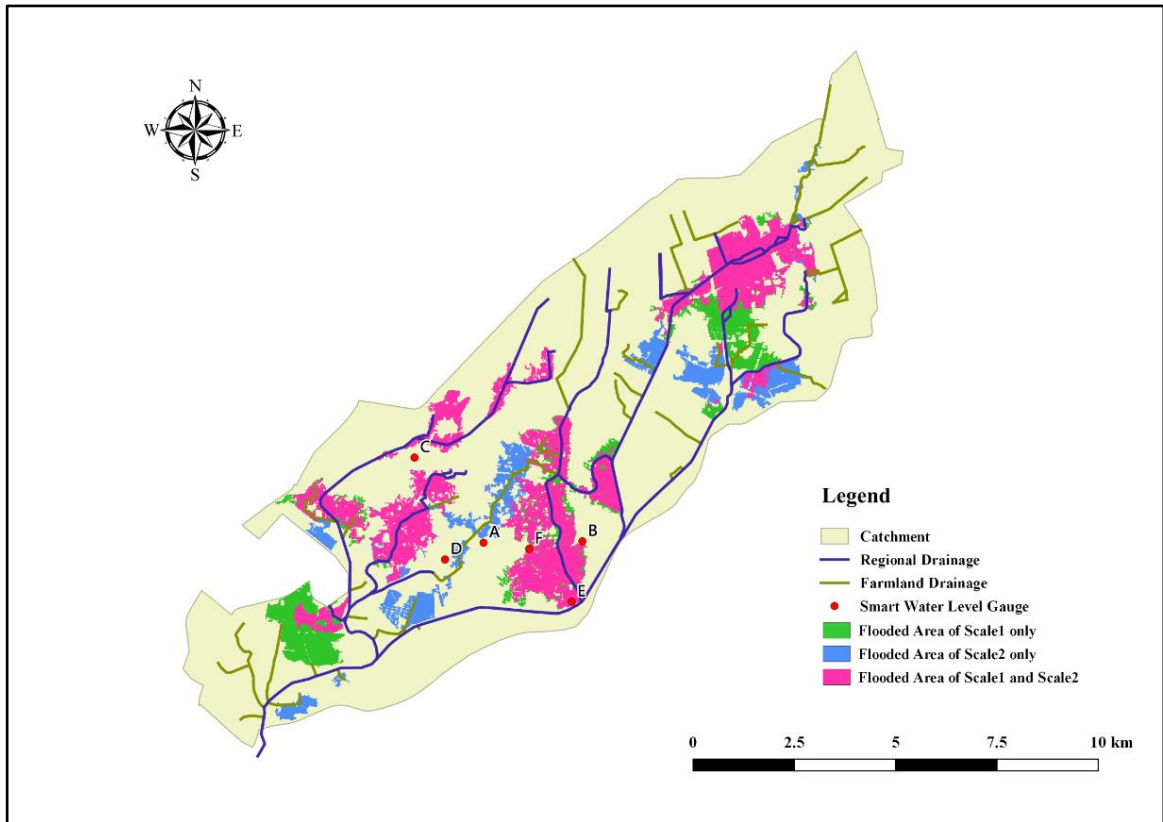


圖 4-24 最大淹水範圍比較：Scale1 vs Scale2

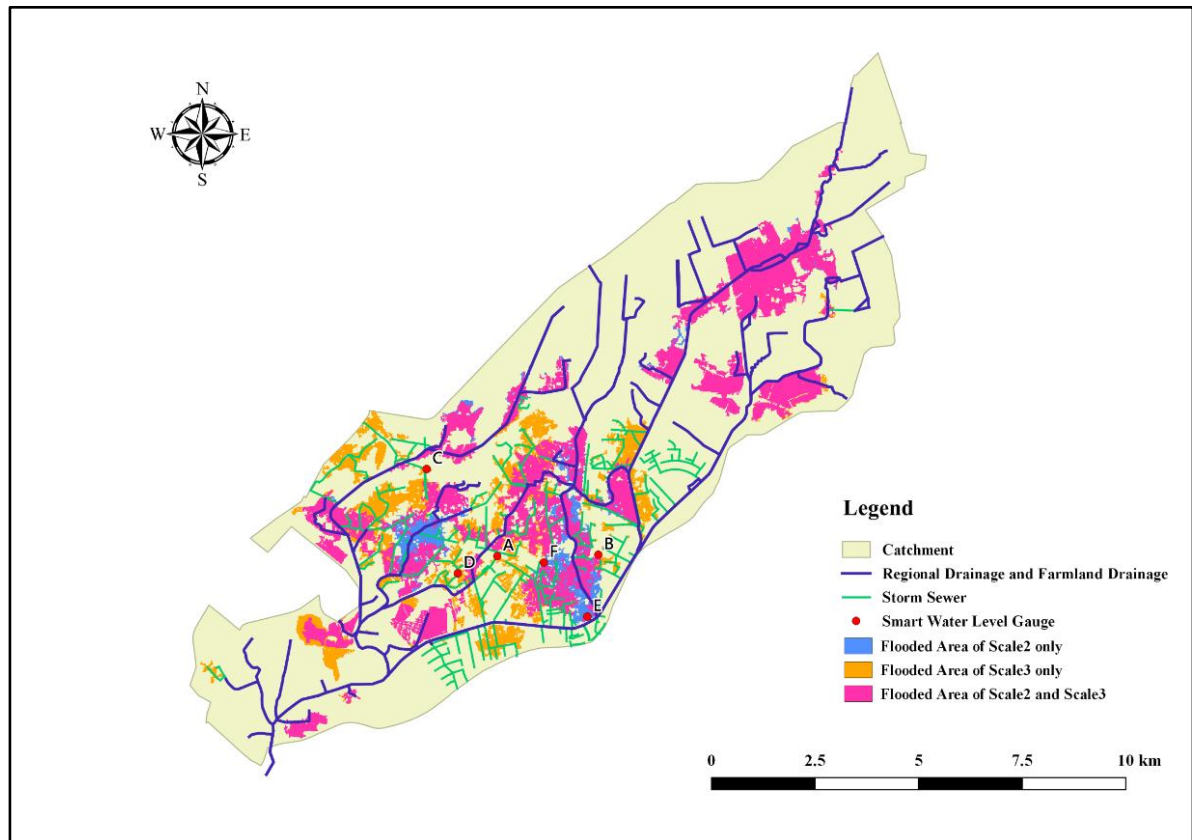


圖 4-25 最大淹水範圍比較：Scale2 vs Scale3

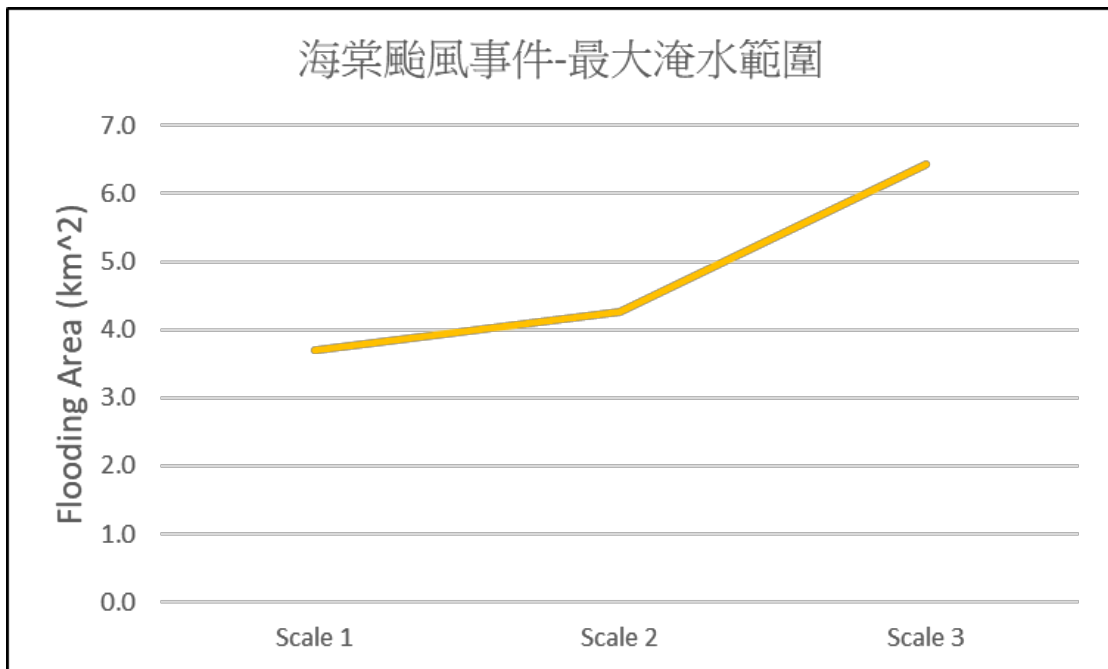
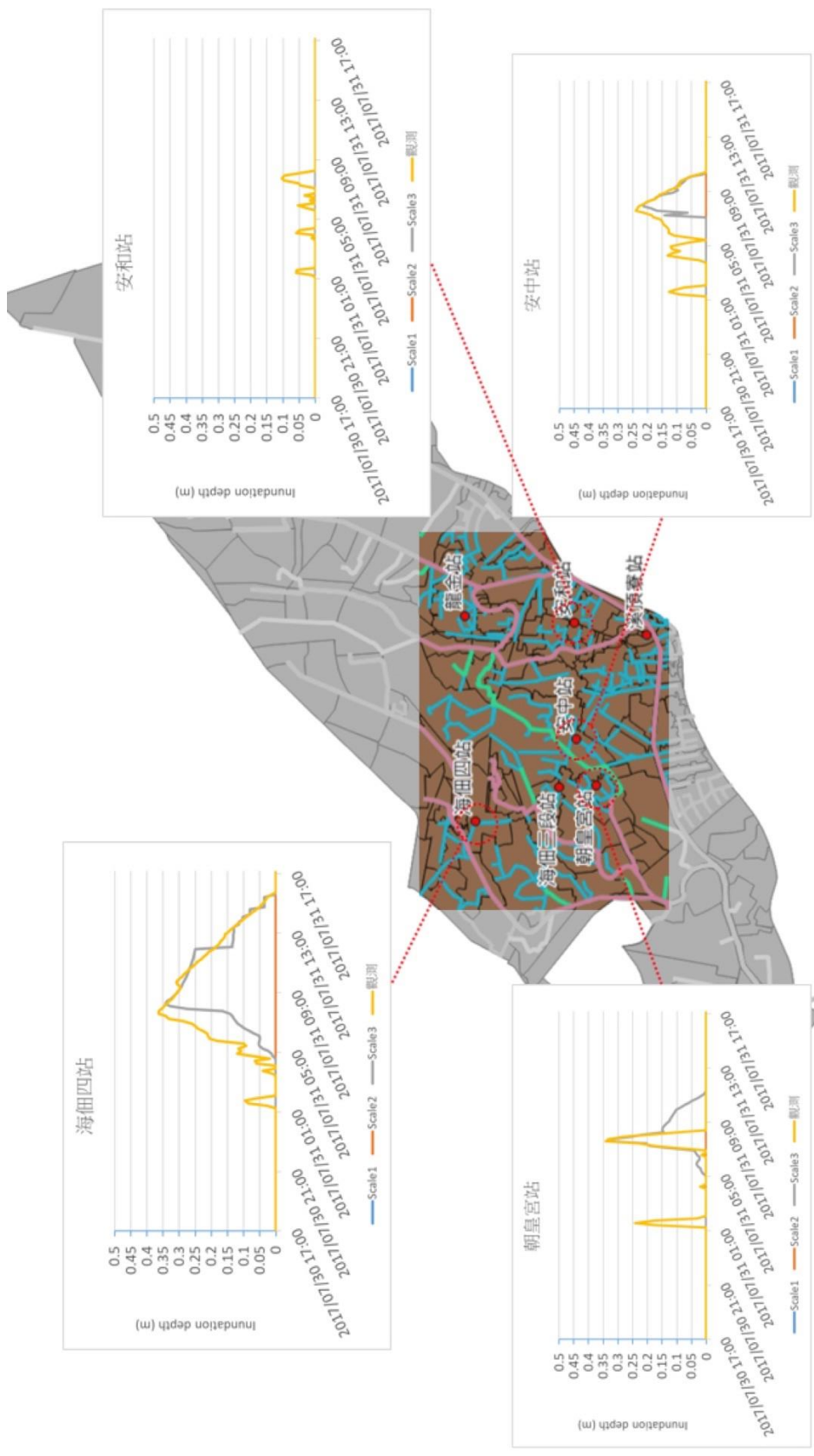


圖 4-26 最大淹水範圍面積變化圖 (海棠颱風)

#### (4)三種模擬結果與感測器比對結果

路面淹水感測器於鹽水溪區排範圍內共有 7 站，分別為安中站、海佃四段站、安和站、溪頂寮站、海佃三段站、龍金站及朝皇宮站。

如圖 4-27 所示，海棠颱風事件有 4 站測得淹水數值，其餘 3 站未觀測到淹水情況同時也無模擬出淹水成果。



說明：其餘3站沒觀測到淹水，並且也沒模擬出任何淹水深度

圖 4-27 路面水位計觀測與位置圖 (海棠颱風事件)

## 2、0611 豪雨事件跟海棠颱風事件分析說明

比較三種不同尺度集水區後，比對感測器與三種尺度集水區的淹水模擬後，以 Scale3 表現較好，因此實驗持續以 Scale3 進行測試。

測試不同降雨強度事件於集水區表現，以 Scale3 的集水區進行模擬，模擬兩場事件分別為 0611 豪雨事件與海棠颱風，降雨延時皆為 48 小時，0611 豪雨事件總雨量為 209.65mm，0611 降雨組圖與潮位如圖 4-28 及圖 4-29，海棠颱風事件總雨量為 398.37mm，海棠颱風降雨組圖及潮位如圖 4-18 及圖 4-19。

0611 豪雨事件的淹水模擬結果如圖 4-30，海棠颱風的淹水模擬結果如圖 4-31，從模擬成果顯示當降雨量越大時，淹水面積則會增加，兩場事件淹水面積分別如表 4-5 所示。圖 4-33 為挑選模式中六處觀測點擷取 0611 事件與海棠颱風兩場事件的模擬流量，從圖中可看出當降雨强度高時流量則增加。

而除了 Reach1 處外，圖 4-33 顯示河道 Reach5 與 Reach6 之模擬成果，其主因為流量於在四草潮位站漲潮時間，當潮位高於河道水位時，會出現負流量之模擬計算成果，同時河道位置越接近出海口，其流量受潮位影響越顯著。

表 4-5 不同降雨量事件淹水面積統計

事件	0611 豪雨	海棠颱風
臺南市安南區 淹水面積 (單位:km <sup>2</sup> )	0.4208	6.4276

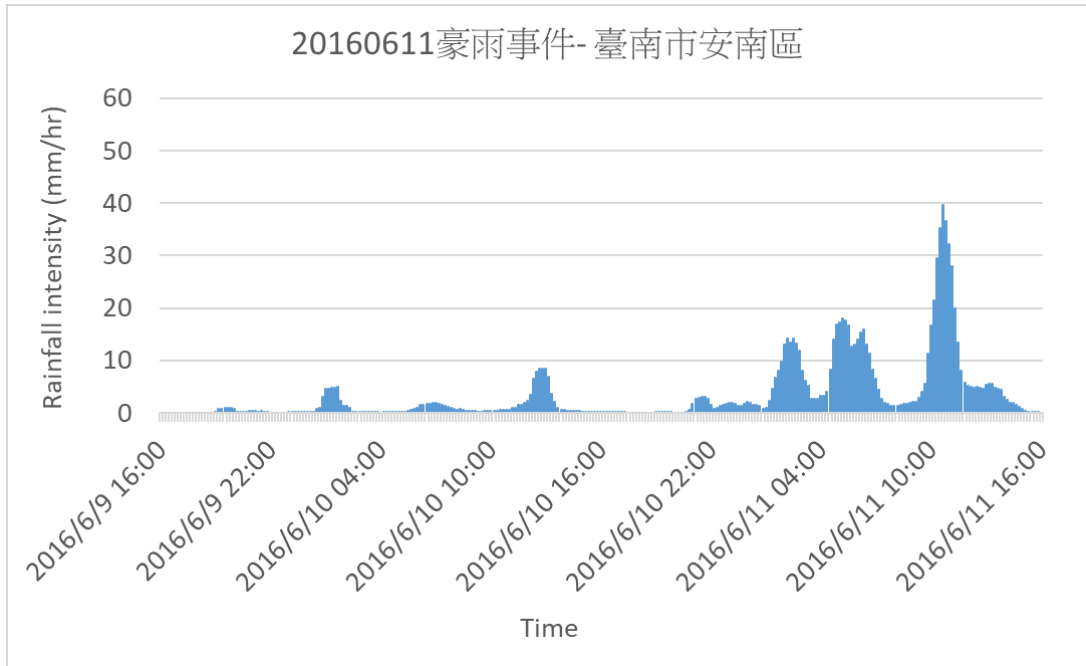


圖 4-28 臺南市安南區平均降雨組體圖 (0611 豪雨事件)

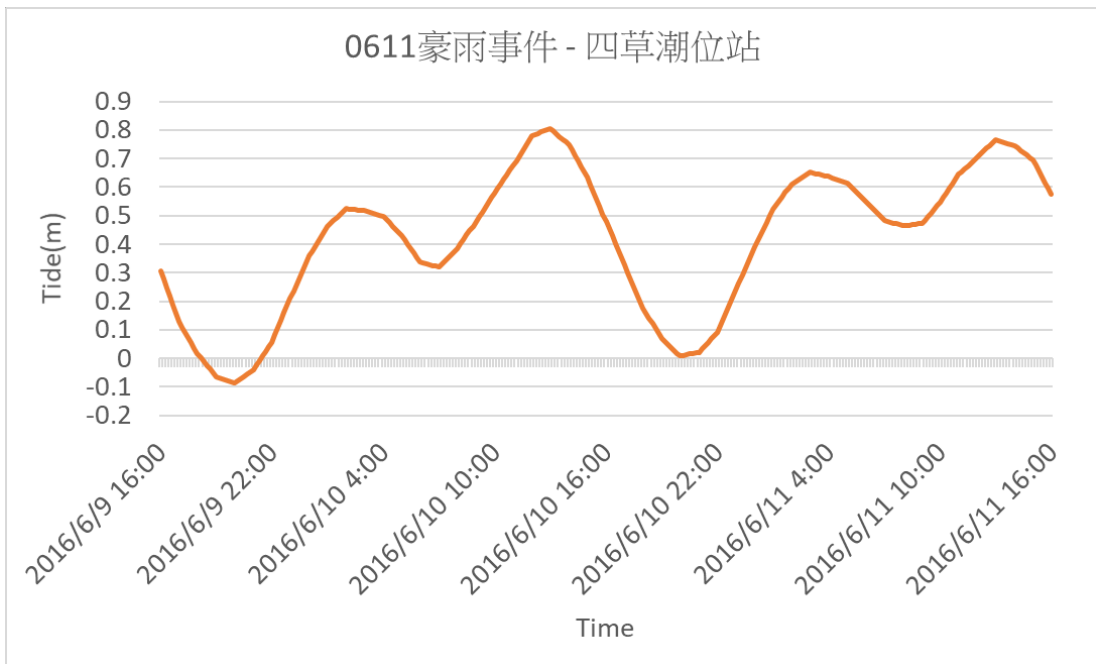


圖 4-29 四草潮位站觀測值 (0611 豪雨事件)



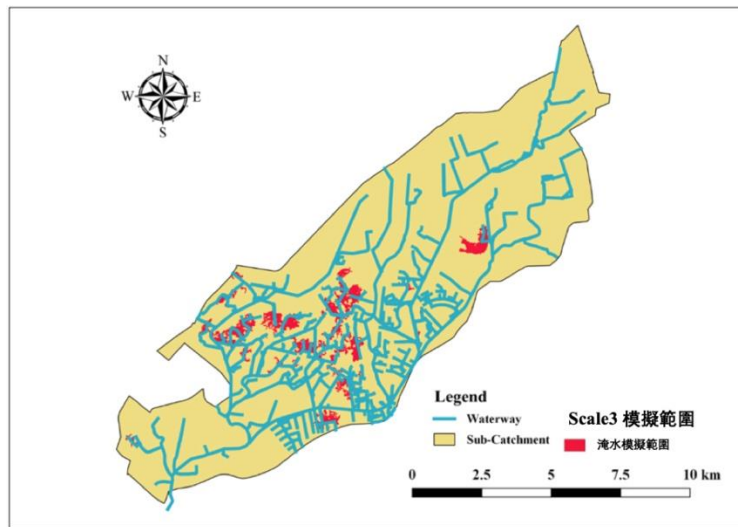


圖 4-30 0611 豪雨事件-最大淹水範圍模擬圖

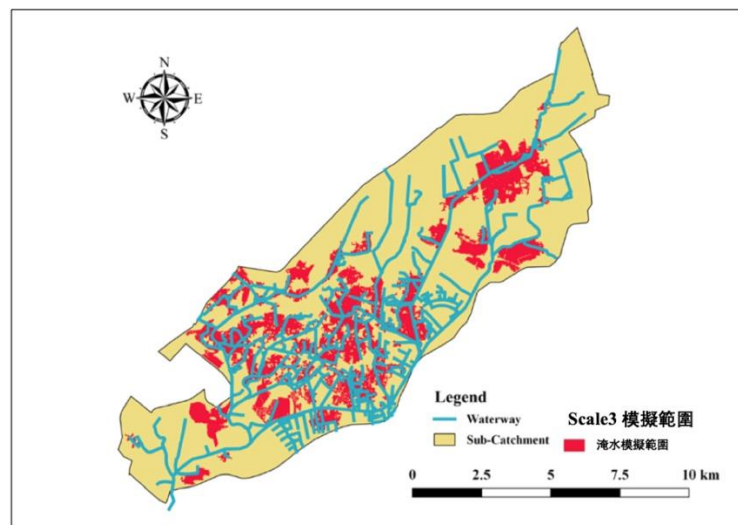


圖 4-31 海棠颱風事件-最大淹水範圍模擬圖

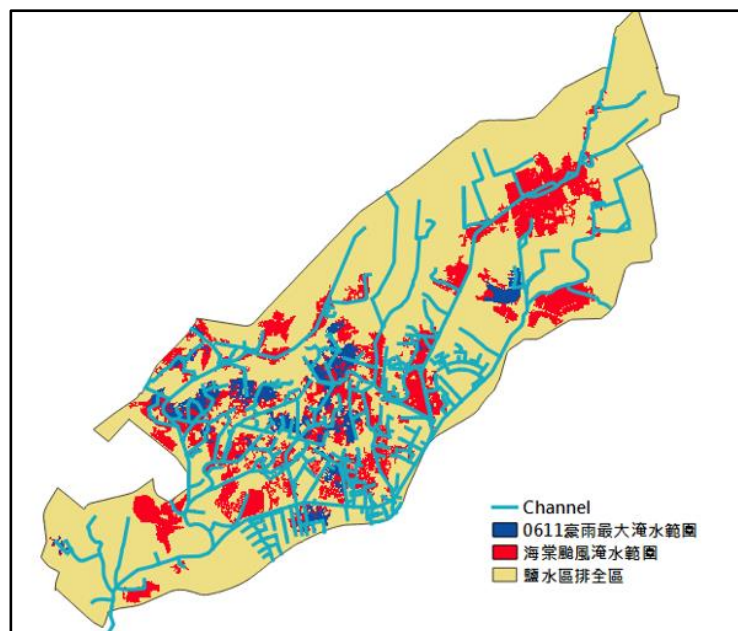
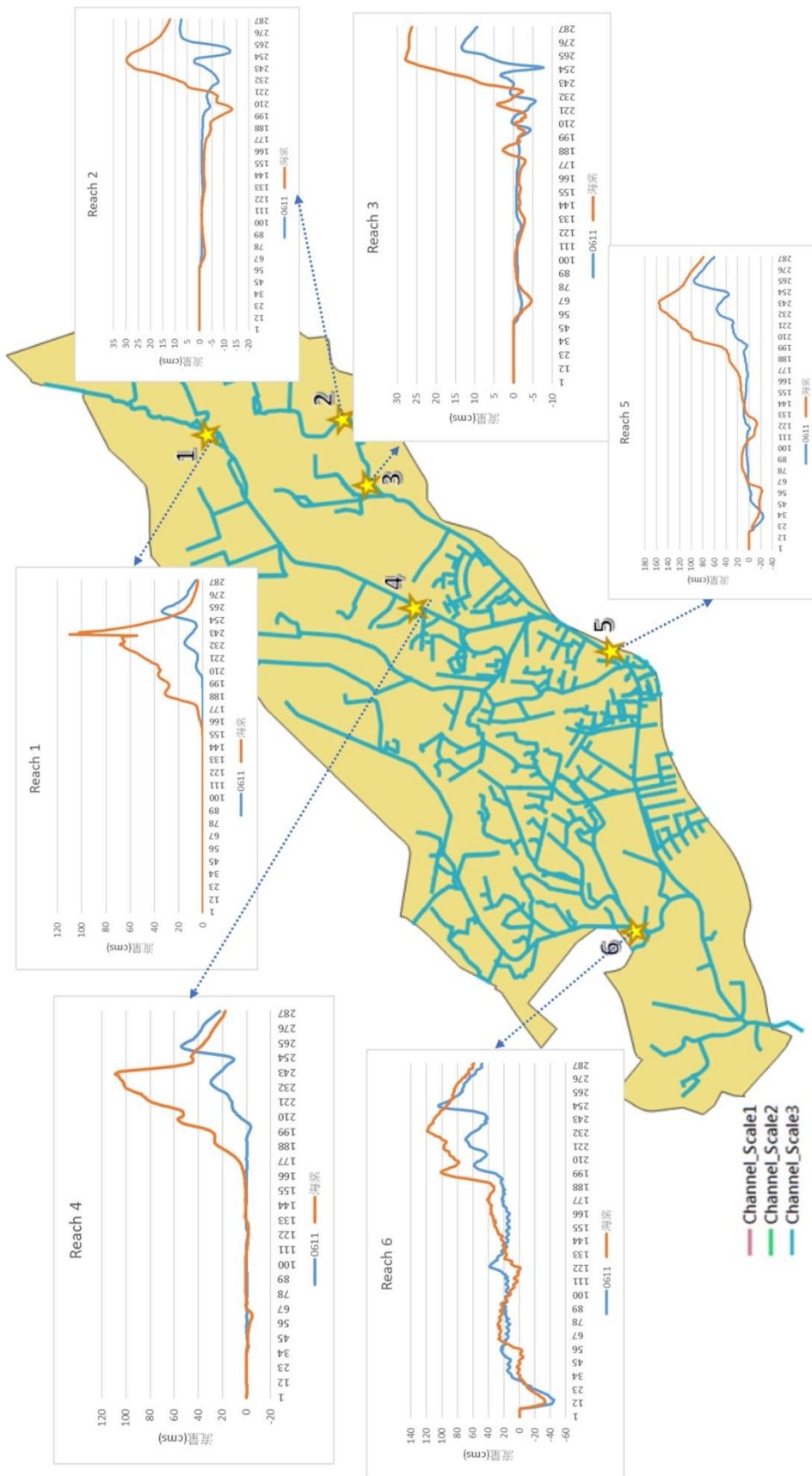


圖 4-32 0611 豪雨、海棠颱風事件淹水範圍比較圖



範圍：臺南市安南區

圖 4-33 渠道位置與流量比較圖 (0611 豪雨事件)

### 3、集水區參數調整於集水區的影響

#### (1)不同降雨量搭配 CN 調整，集水區參數說明

試驗模式整體對於不同強度降雨量之表現後，以海棠颱風模擬成果挑選一處淹水區域，針對淹水區域涵蓋到的集水區更改參數，測試其集水區參數對於不同降雨量之敏感度，比較其淹水面積與流量的改變，本測試案例使用降雨逕流物件為 SCS 降雨逕流模組，可更改的集水區參數有集水區面積、集水區坡度與入滲係數值 (CN 值)，主要測試參數為設定中的 CN 值，CN 值是以土地利用與土壤類別交集計算而得，圖 4-34 為更改參數的四個集水區位置；集水區參數調整則以模式設定值加減 0.5% 作為測試，集水區參數調整設定如表 4-6 所列。

0611 豪雨事件模擬結果如圖 4-35 至圖 4-37，淹水範圍並無明顯改變，面積比較如表 4-7，更改參數的對應渠道周遭，原始 CN 值設定時就未發生淹水，也未因 CN 值調高而產生淹水情況。

圖 4-40 至圖 4-42 則是海棠颱風的模擬結果，面積比較如表 4-8 對應 CN 值調整，淹水面積有約 0.3km<sup>2</sup> 的增減，圖 4-39 和圖 4-43 則是兩場事件中流量的變化，流量反應皆是當 CN 值調高時，流量增加，反之調低時，則流量減少。

表 4-6 集水區 CN 值設定值

集水區	1.00*CN	0.95*CN	1.05*CN
S3_100	72	68.4	75.6
S3_99	72	68.4	75.6
S3_117	71	67.45	74.55
S3_114	74	70.3	77.7

表 4-7 最大淹水時間與面積：0611 豪雨

降雨事件 模式版本	最大淹水時間	淹水面積(km <sup>2</sup> )
	0611 豪雨	
1.00*CN	2016/6/11 10:20	0.4208
0.95*CN	2016/6/11 10:20	0.4204
1.05*CN	2016/6/11 10:20	0.4212

表 4-8 最大淹水時間及面積：海棠颱風

降雨事件 模式版本	最大淹水時間	淹水面積(km <sup>2</sup> )
	海棠颱風	
1.00*CN	2017/7/31 8:00	6.4276
0.95*CN	2017/7/31 8:00	6.396
1.05*CN	2017/7/31 8:00	6.4548

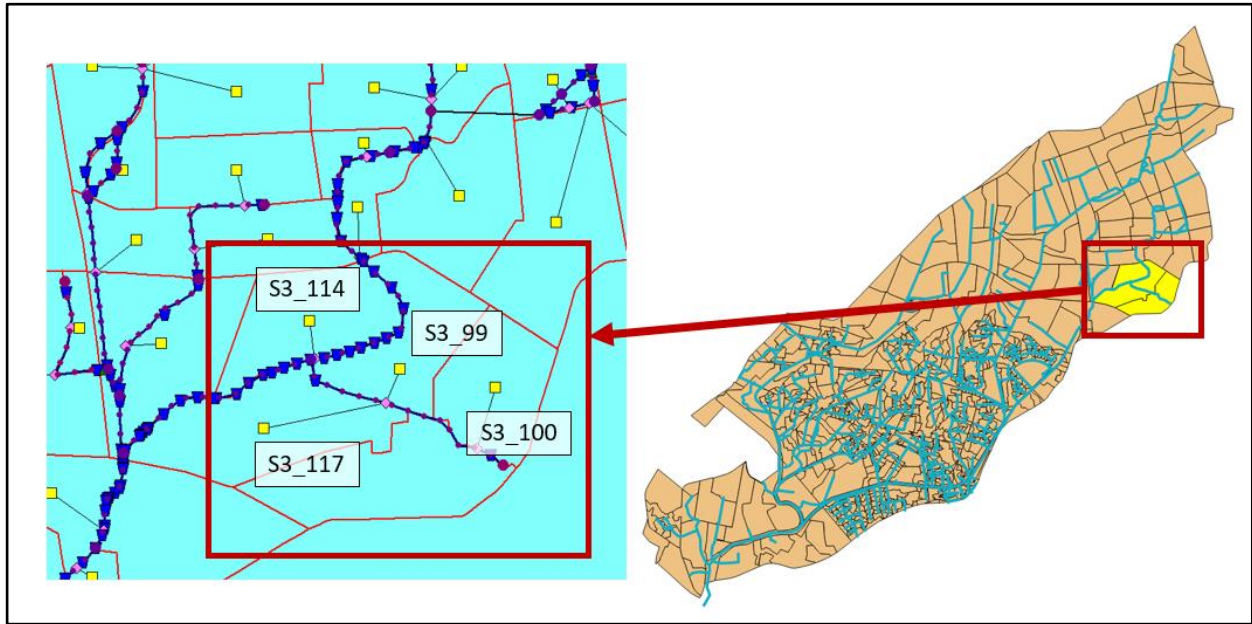


圖 4-34 選用集水區位置圖

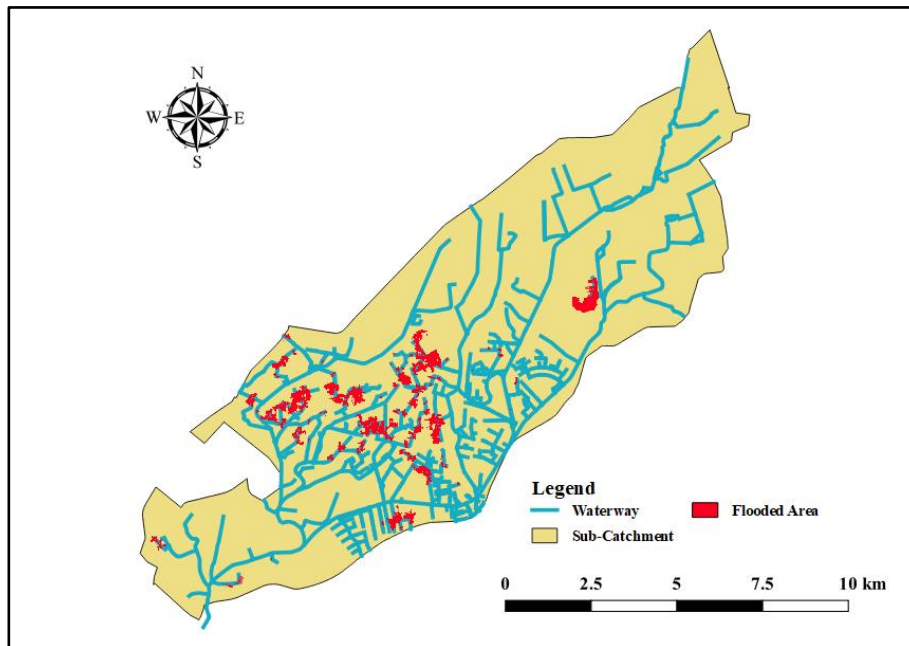


圖 4-35 CN\*1.00 最大淹水範圍：0611 豪雨

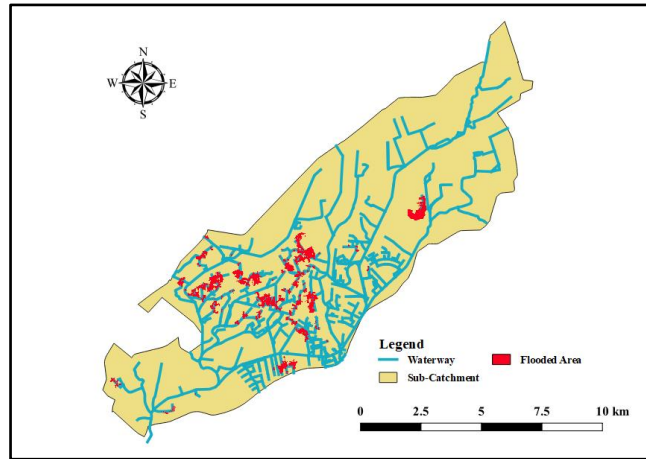


圖 4-36 CN\*0.95 最大淹水範圍：海棠颱風

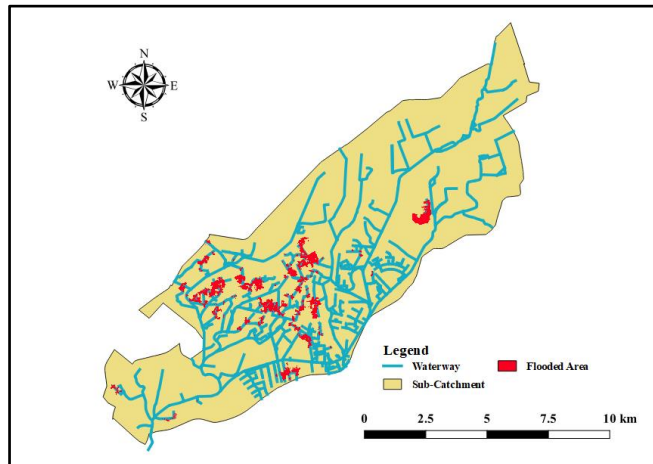


圖 4-37 CN\*1.05 最大淹水範圍：海棠颱風

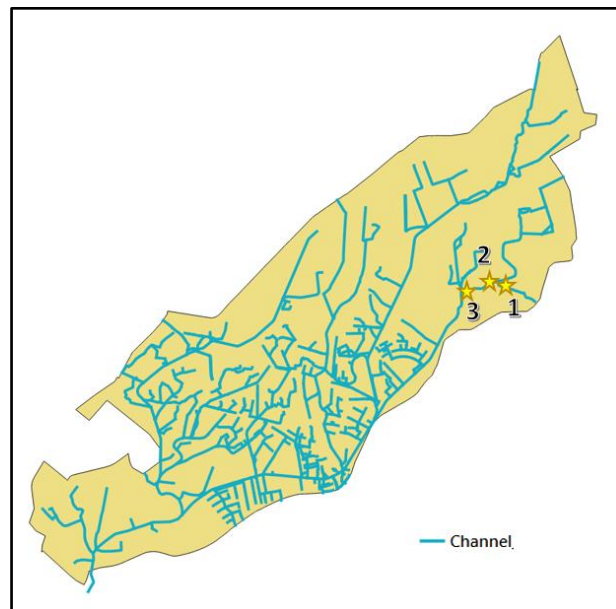


圖 4-38 流量比較-渠道位置圖

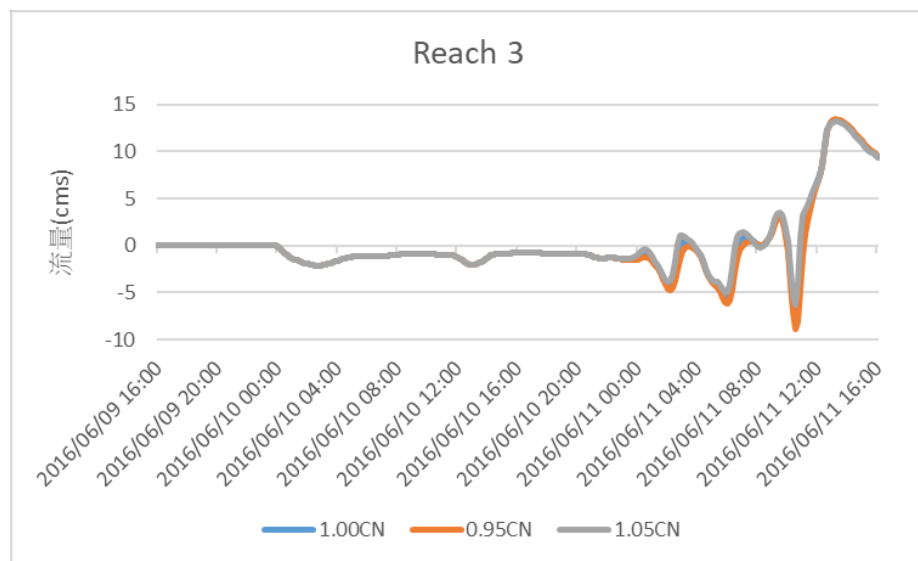
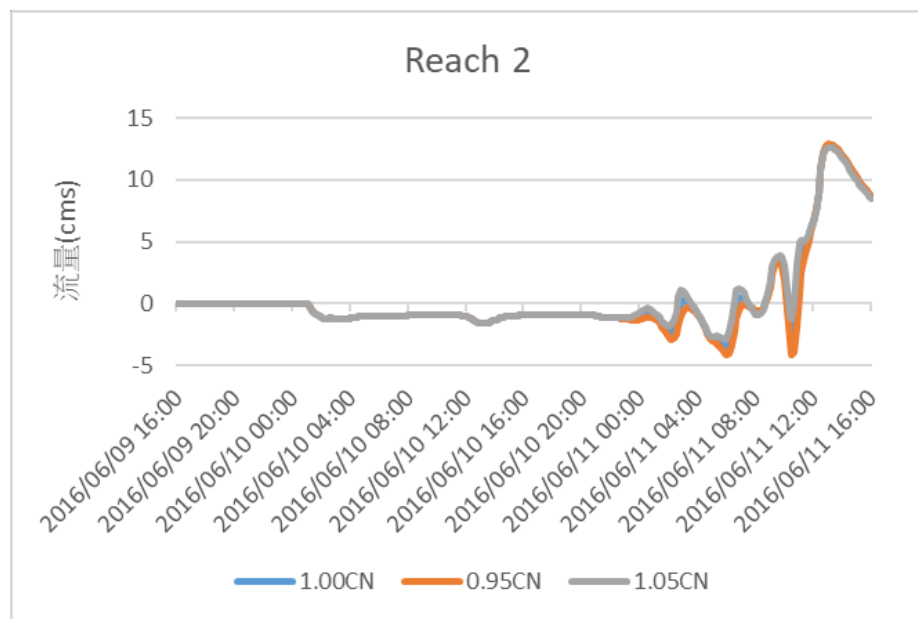
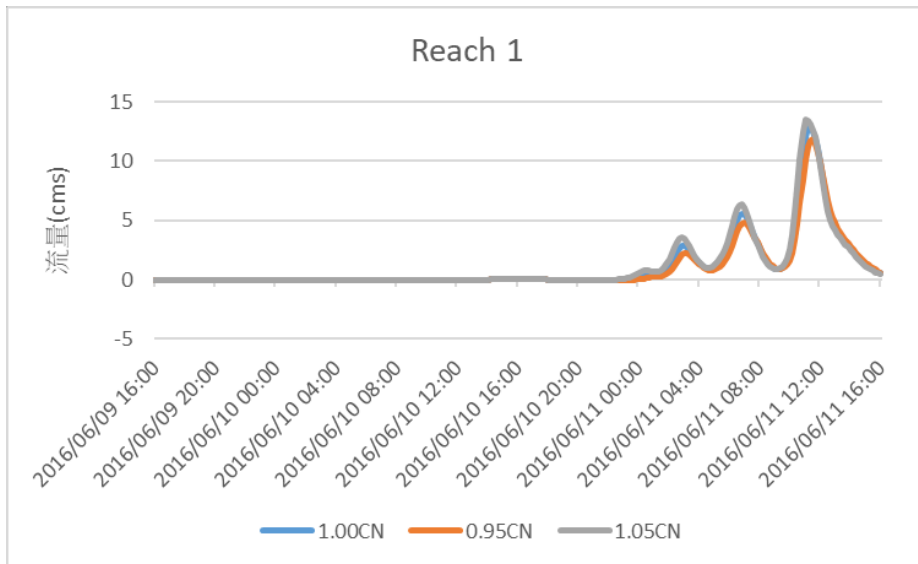


圖 4-39 CN 值調整前後流量比較圖：0611 豪雨

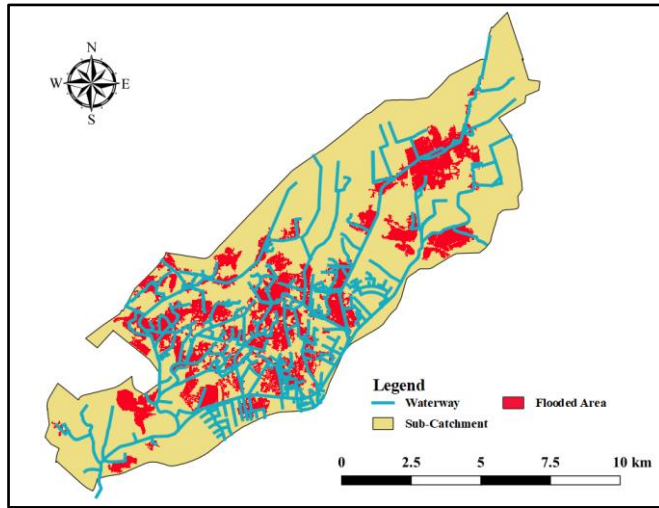


圖 4-40 CN\*1.00 最大淹水範圍：海棠颱風

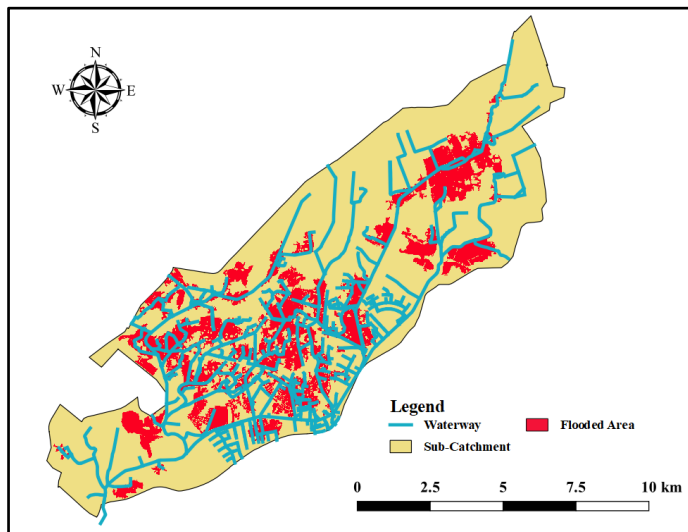


圖 4-41 CN\*0.95 最大淹水範圍：海棠颱風

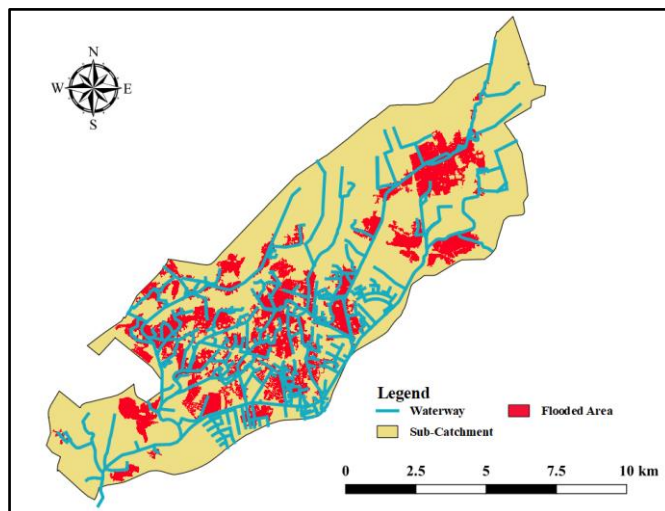


圖 4-42 CN\*1.05 最大淹水範圍：海棠颱風

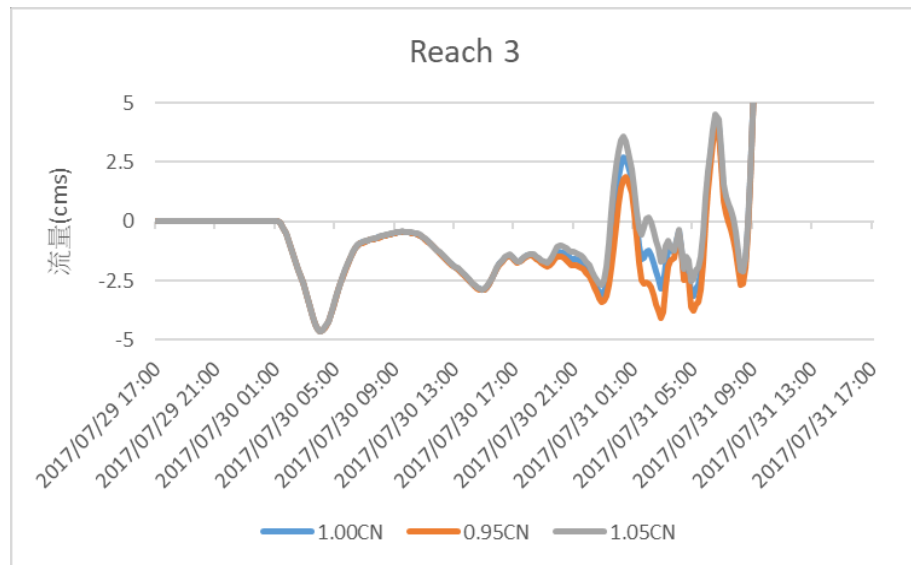
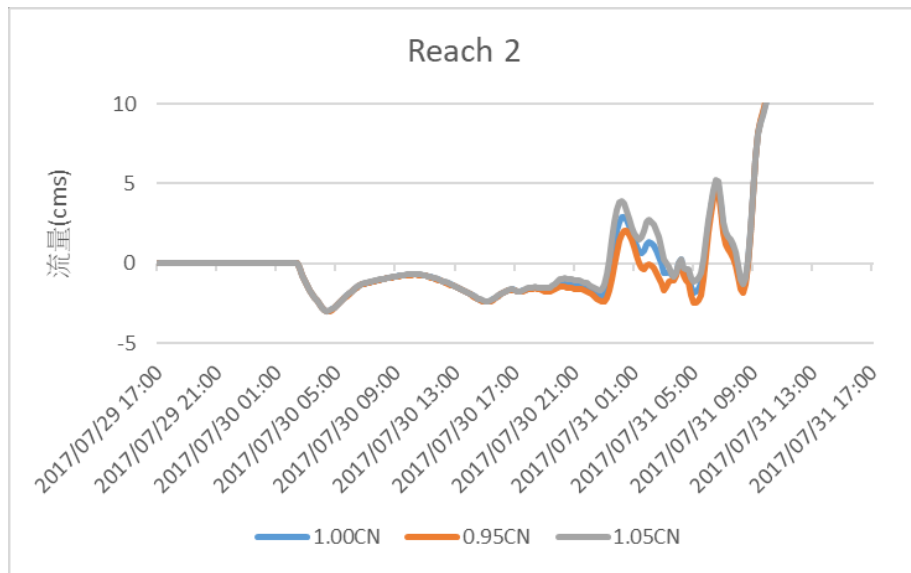
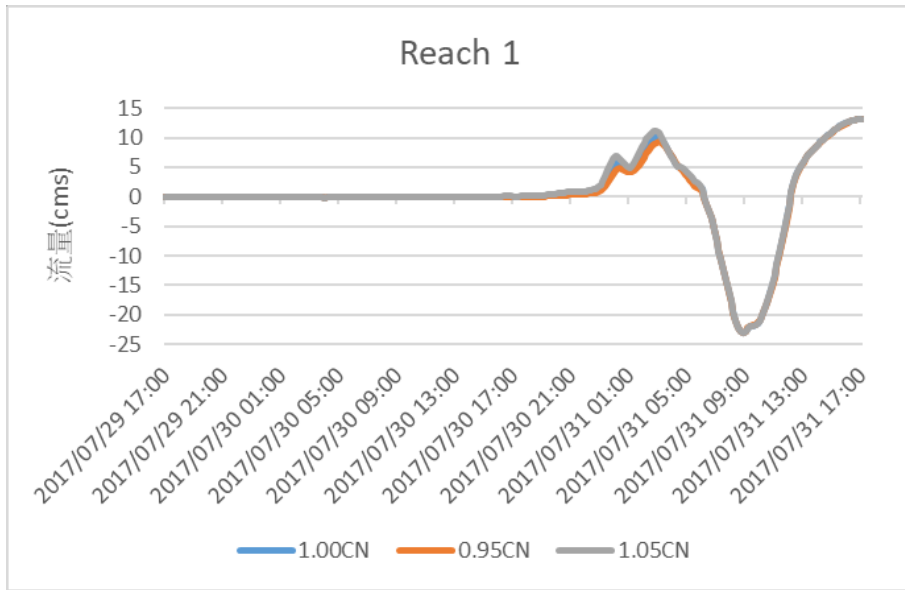


圖 4-43 CN 值調整前後流量比較圖：海棠颱風



### (三)不同尺度大小模式分析成果

在淹水模擬過程，位於渠道左右岸對應淹水型態與特性可能不同。因此在淹水模擬計算網格區域，集水區匯入流位置，在資料解析度足夠區分為渠道左岸與右岸，將有助於淹水模擬成果流量分布之正確性與完整性。

延續上述概念針對集水區進行細緻度的分析與測試。集水區劃設軟體使用 ArcGIS 的 TauDEM 模組，採用 5m DEM 進行三爺溪集水區劃分，TauDEM 模組中使用者可以根據需求調整劃分集水區的門檻值，模組會依照設定的門檻值不同，產出解析度不同的集水區內容，如圖 4-44 所示，並同時產製相對應之流路供使用者做為判斷入流的依據，如圖 4-45。

依照前開實驗設計搭配組合不同門檻值之集水區，針對渠道沿線的集水區入流細緻化，並計算不同集水區大小組合下，所對應的集水區參數，比較反映至模擬中的差異性，渠道沿線細緻化成果如圖 4-46。在 5m DEM 資料使用 TauDEM 模組，當集水區分區門檻值設定為 2,000 時，可以有效將集水區範圍依照渠道位置，細緻化區分為左右岸集水區。

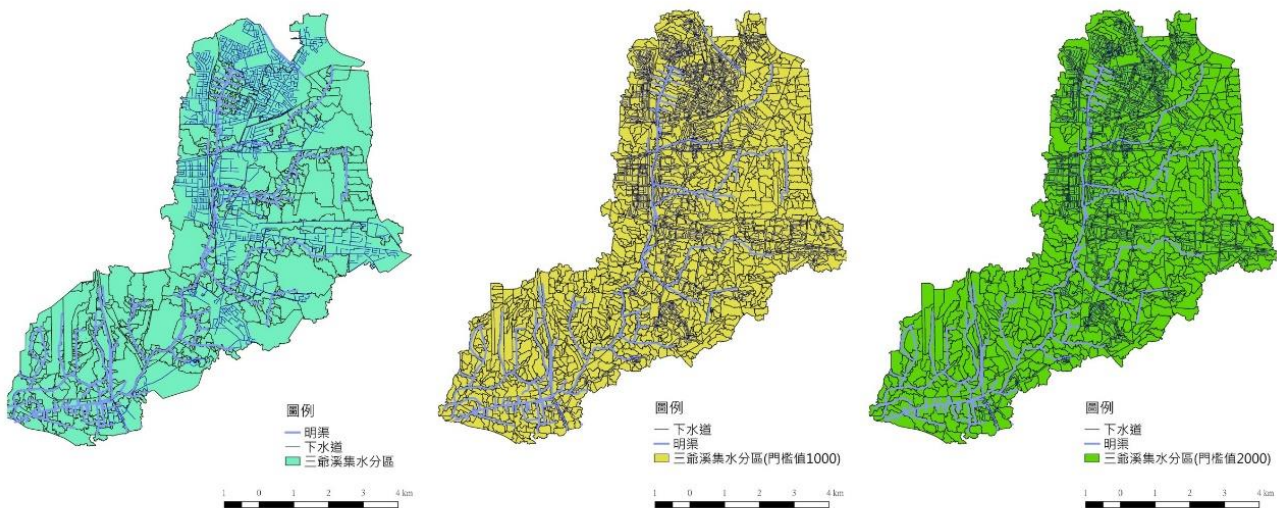


圖 4-44 不同門檻值劃分之集水區

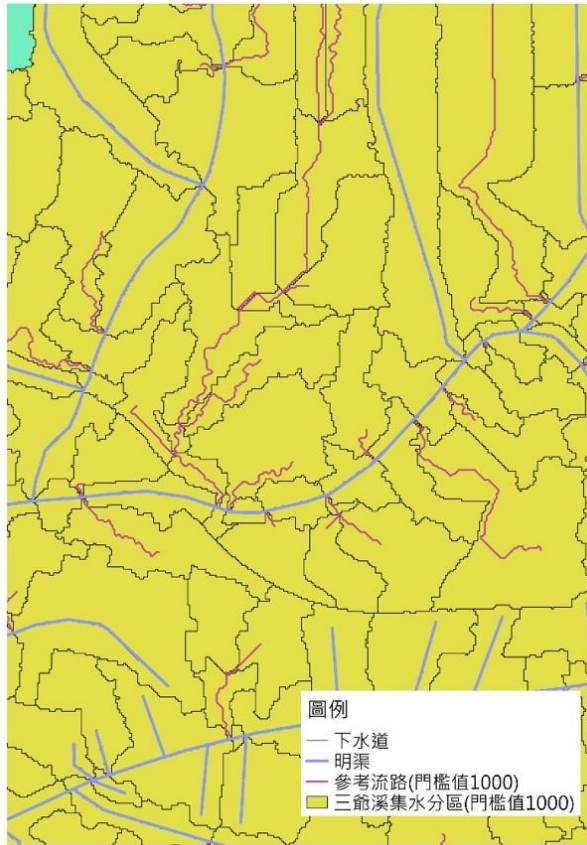


圖 4-45 集水區與對應流路

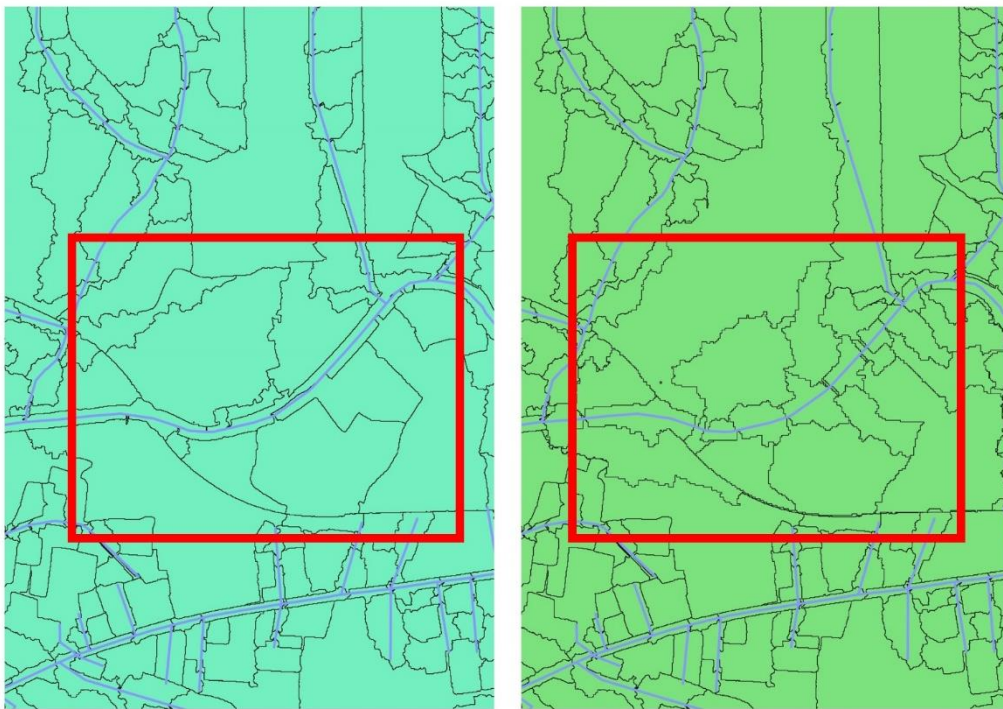


圖 4-46 單一渠道沿岸入流點位細緻化成果

#### (四)集水區參數敏感度分析案例說明

學理上，當集水區降雨逕流模式中，修正 SCS 模組則會對參數有些許影響。為了證明前開改變某些操作條件之下，是否會對集水區的模擬產生變異，進而嘗試實施參數敏感度分析。

本項工作以臺南安南區鹽水溪區排模式專案為例，選擇上、中、下游各一個集水區進行測試集水區，面積分別約為 5km<sup>2</sup>、0.5 km<sup>2</sup> 與 1.5 km<sup>2</sup> 等三種尺度集水區。在測試的實驗內容中主要包含面積的影響、時間解析度的影響、不同降雨量的影響、不同 CN 值參數的影響，以有效評估模式在不同情境下，可能產生洪峰流量的差異。

實驗架構如圖 4-47 所示。並且將實驗內容彙整成為表 4-9。敏感度分析成果中利用流量數值進行比對，評估集水區總逕流量、尖峰流量、稽延時間等內容。圖 4-48 為目前 SOBEK 降雨逕流模式 SCS 模組參數設定相關內容。表 4-10 為選用測試集水區對應集水區參數與原始案例累積降雨量。表 4-11~表 4-13 分別利用三個集水區置換不同 CN 值、不同面積大小進行流量數值敏感度的探討。

在集水區 SCS 降雨逕流模式 CN 值與面積參數不變情況下，進一步利用鹽水溪區集水區 24 小時累積降雨量 451.5mm，最大降雨量 97.1mm(約 100 年重現期降雨量)，並產生對應 10 組降雨量，進行不同降雨量敏感度測試。如圖 4-56 為集水區測試不同的降雨量數值。圖圖 4-57~圖 4-59 分別為模式上中下游集水區，利用不同降雨量成果產出的流量資訊。在上游集水區最大降雨量，與最大洪峰時間之稽延時間為 2 至 5 小時；在中游集水區最大降雨量，與最大洪峰時間之稽延時間小於 1 小時；在下游集水區最大降雨量，與最大洪峰時間之稽延時間 1 至 2 小時。

在不同降雨量資料測試下，圖 4-60 顯示在大於 5 km<sup>2</sup> 以上的集水區面積參數的敏感度與 CN 值敏感度影響較高，稽延時間 2 至 5 小時，小於 1.5 km<sup>2</sup> CN 值敏感度大於面積大小敏感度，稽延時間 1-2 小時。集水區小於 0.5 km<sup>2</sup>，CN 值敏感度大於面積大小敏感度，稽延時間小於 1 小時。

表 4-9 集水區參數敏感度分析項目

測試案例	CN 值	面積	時間解析度	降雨量
不同降雨量	相同	相同	1 小時	不同降雨量 (10 組)
不同 CN 值	±5%差異	相同	1 小時	相同降雨量
不同時間解析度	相同	相同	10 分鐘 1 小時	相同降雨量
不同面積	相同	±5%差異	1 小時	相同降雨量
新興開發區	土地利用 + 地形改變 + CN 變化			
設計降雨量	參考區域內相關水文分析報告			

表 4-10 臺南安南區鹽水溪區排測試集水區 SCS 參數與降雨量

集水區	面積 (km <sup>2</sup> )	降雨量 (mm)	面積敏感度	CN 值敏感度
上游	5.56	382.6	12.22	14.32
中游	0.517	289	0.2	1.24
下游	1.5	336.2	0.6	4.06

測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排

表 4-11 上游集水區 SCS 降雨逕流模式參數敏感度分析成果

上游集水區	項目	流量 (CMS)	項目	流量 (CMS)
面積	最大總逕流量	423.78	最大洪峰流量	46.23
	最小總逕流量	385.44	最大洪峰流量	41.82
	總逕流量差異	38.34	洪峰流量差異	4.40
	標準偏差	11.94	標準偏差	1.30
CN 值	最大總逕流量	424.41	最大洪峰流量	45.42
	最小總逕流量	380.58	最大洪峰流量	41.81
	總逕流量差異	43.83	洪峰流量差異	3.61
	標準偏差	13.92	標準偏差	1.09

測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排

表 4-12 中游集水區 SCS 降雨逕流模式參數敏感度分析成果

中游集水區	項目	流量 (CMS)	項目	流量 (CMS)
面積	最大總逕流量	29.31	最大洪峰流量	4.02
	最小總逕流量	29.30	最大洪峰流量	4.02
	總逕流量差異	0.01	洪峰流量差異	0.0011
	標準偏差	0.0023	標準偏差	0.00032
CN 值	最大總逕流量	31.10	最大洪峰流量	4.34
	最小總逕流量	27.31	最大洪峰流量	3.80
	總逕流量差異	3.79	洪峰流量差異	0.54
	標準偏差	1.17	標準偏差	0.17

測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排

表 4-13 下游集水區 SCS 降雨逕流模式參數敏感度分析成果

下游集水區	項目	流量 (CMS)	項目	流量 (CMS)
面積	最大總逕流量	130.81	最大洪峰流量	17.140
	最小總逕流量	130.79	最大洪峰流量	17.138
	總逕流量差異	0.02	洪峰流量差異	0.002
	標準偏差	0.01	標準偏差	0.001
CN 值	最大總逕流量	137.32	最大洪峰流量	18.235
	最小總逕流量	124.86	最大洪峰流量	16.697
	總逕流量差異	12.46	洪峰流量差異	1.538
	標準偏差	3.92	標準偏差	0.458

測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排

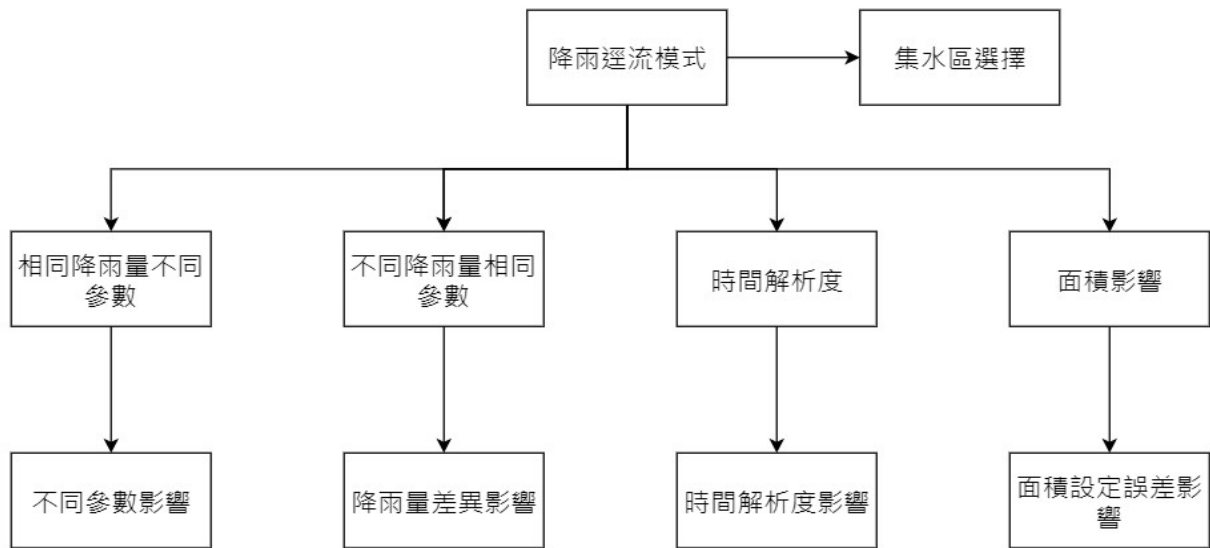
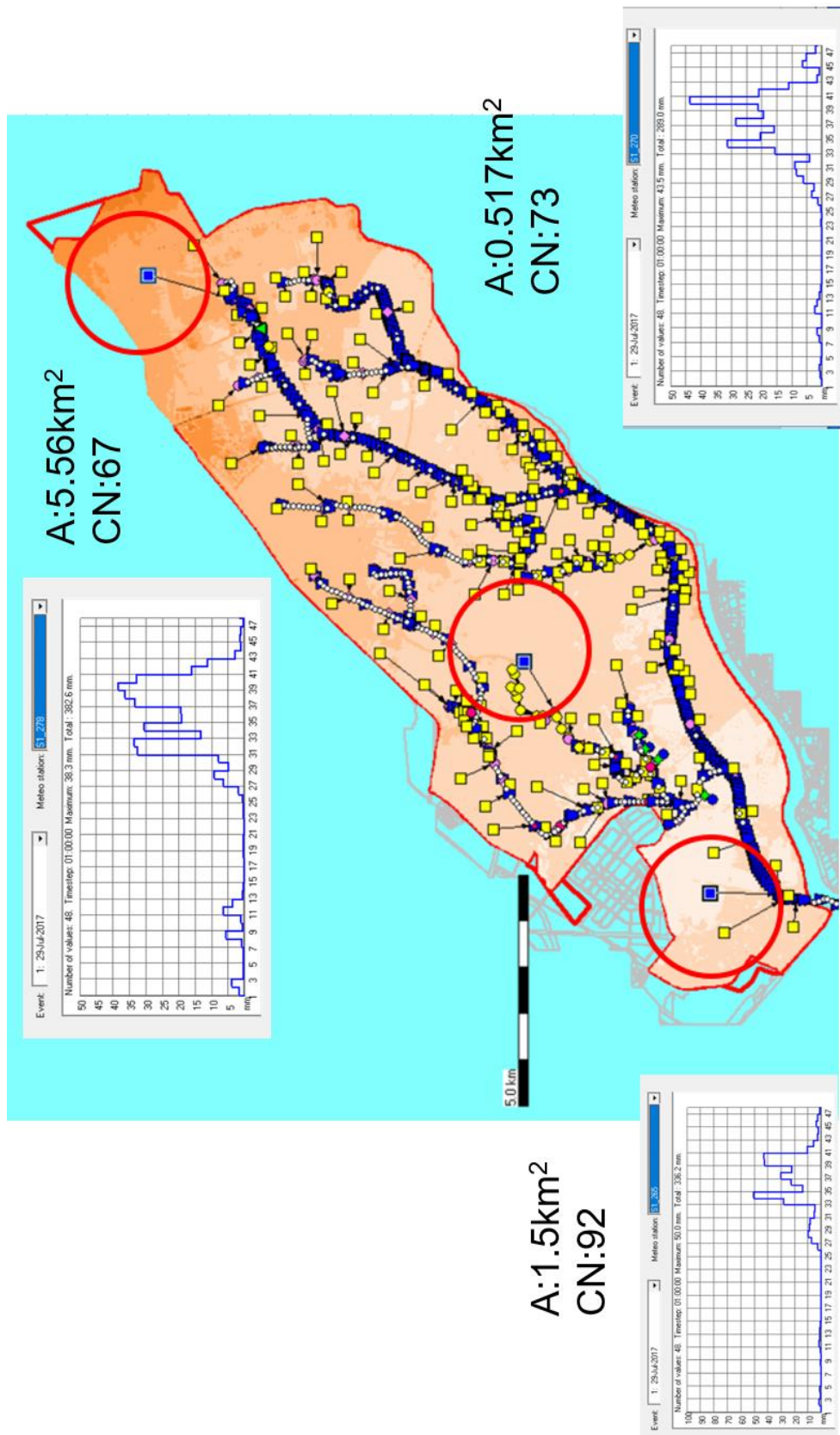


圖 4-47 降雨逕流模式 SCS 模組敏感度分析試驗架構

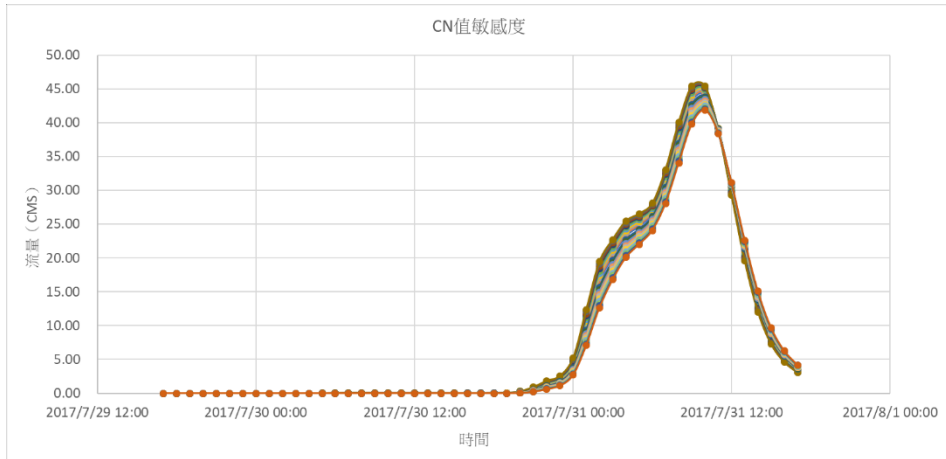
ID	Area [m <sup>2</sup> ]	Basin Slope [m/m]	Flow Path Length [m]	SCS Curve Number	Unit Hydrograph	Initial AMC	Time Lag	Time Lag [hours]	Meteo Station [-]	Area Adjustment Factor [-]
SCS-RR-323	8684	0.00013	237	93.64	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-451	1
SCS-RR-324	7880	0.07693	88.2	97.55	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-452	1
SCS-RR-333	2496	0.00013	254.1	98	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-461	1
SCS-RR-347	9868	0.01334	371	83.58	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-475	1
SCS-RR-348	7060	0.03719	97.6	96.83	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-476	1
SCS-RR-349	12212	0.03478	145.9	96.56	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-477	1
SCS-RR-369	12028	0.02487	176.8	97.8	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-488	1
SCS-RR-375	9072	0.04222	105.4	98	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-503	1
SCS-RR-602	12528	0.00503	371.8	97.69	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-677	1
SCS-RR-622	57160	0.01292	355.3	96.99	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-693	1
SCS-RR-655	7572	0.01649	269.8	89.61	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-724	1
SCS-RR-656	20932	0.02018	238.4	97.42	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-725	1
SCS-RR-683	23964	0.01315	321.6	92.09	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-752	1
SCS-RR-741	51084	0.01007	678.5	94.55	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-800	1
SCS-RR-758	3436	0.00013	227.3	97.64	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-816	1
SCS-RR-759	5116	0.00733	308.5	97.85	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-817	1
SCS-RR-775	7956	0.0207	274.8	95.51	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-831	1
SCS-RR-804	14572.51	0.00013	238.2	89.19	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-858	1
SCS-RR-827	19940	0.0271	253.1	97.88	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-881	1
SCS-RR-828	11600	0.00446	448.5	93.2	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-882	1
SCS-RR-833	26416	0.02194	300	59.08	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-886	1
SCS-RR-910	18581.24	0.01598	211.6	98	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-929	1
SCS-RR-911	24584.27	0.02572	249.1	97.84	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-930	1
SCS-RR-912	21079.73	0.01539	274.2	97.17	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-931	1
SCS-RR-913	12014.61	0.01761	231.9	95.96	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-932	1
SCS-RR-927	119224.1	0.00516	861.5	86.71	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-945	1
SCS-RR-960	38884	0.00013	238.2	89.19	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-855	1
SCS-RR-328	8132	0.04277	156.8	94.97	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-456	1
SCS-RR-621	46376	0.018	365.4	94.9	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-692	1
SCS-RR-360	14064	0.02787	174.3	94.27	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-497	1
SCS-RR-600	22340	0.02106	275.9	97.71	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-675	1
SCS-RR-601	21644	0.01738	366.5	97.74	SCS Unit Hydrograph	II (Average, Default)	None		CNSY-676	1

圖 4-48 SOBEK 降雨逕流模式 SCS 模組設定項目



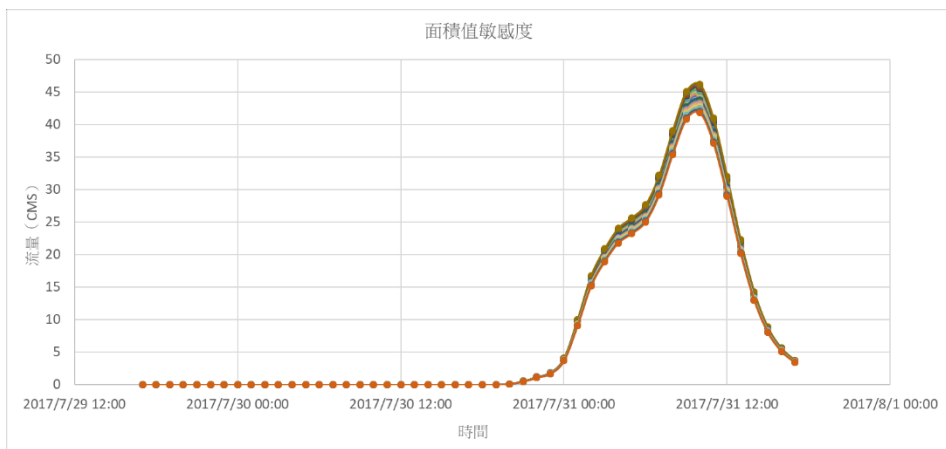
測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排

圖 4-49 降雨逕流參數敏感度分析位置點分布與資訊



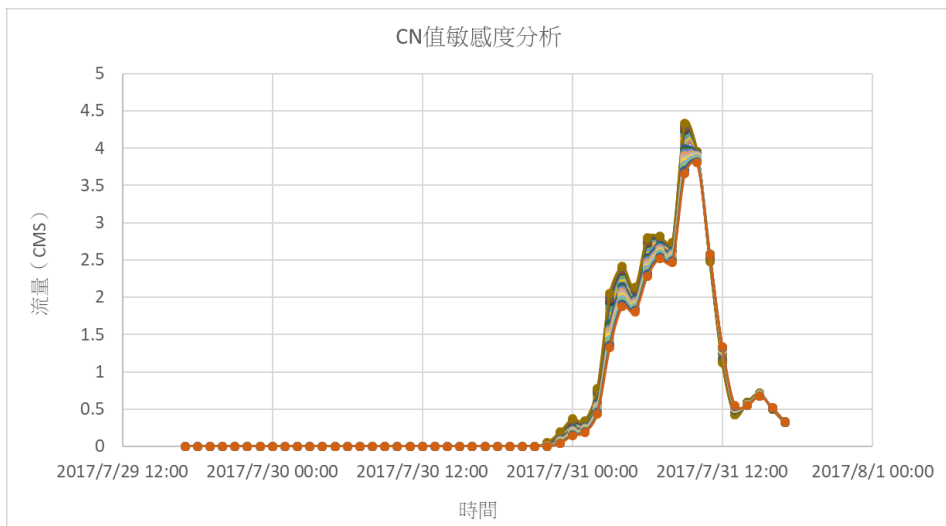
測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排上游

**圖 4-50** 上游集水區 CN 值敏感度分析



測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排上游

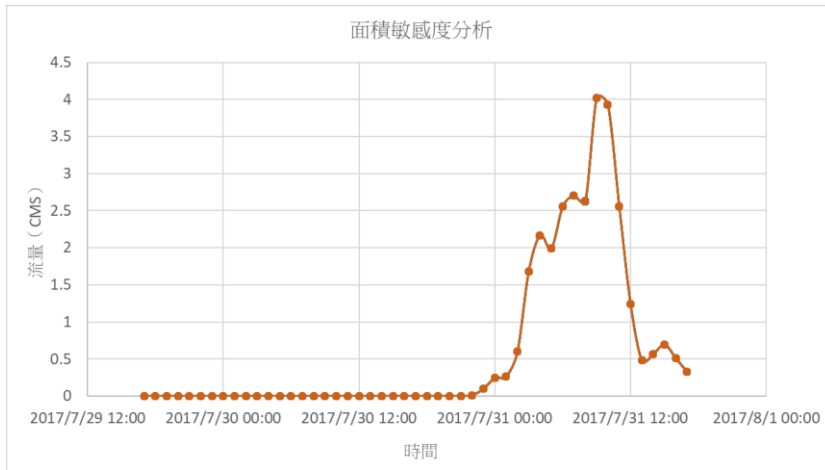
**圖 4-51** 上游集水區面積敏感度分析



測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排中游

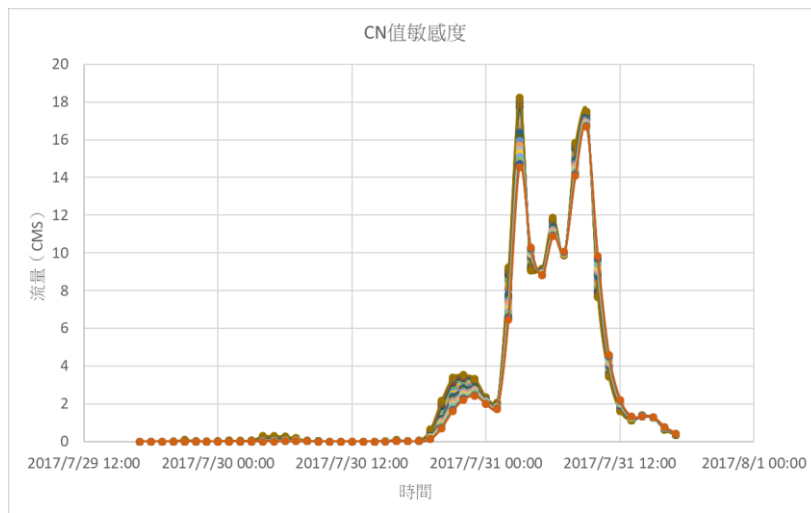
**圖 4-52** 中游集水區 CN 值敏感度分析





測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排中游

**圖 4-53** 中游集水區面積值敏感度分析



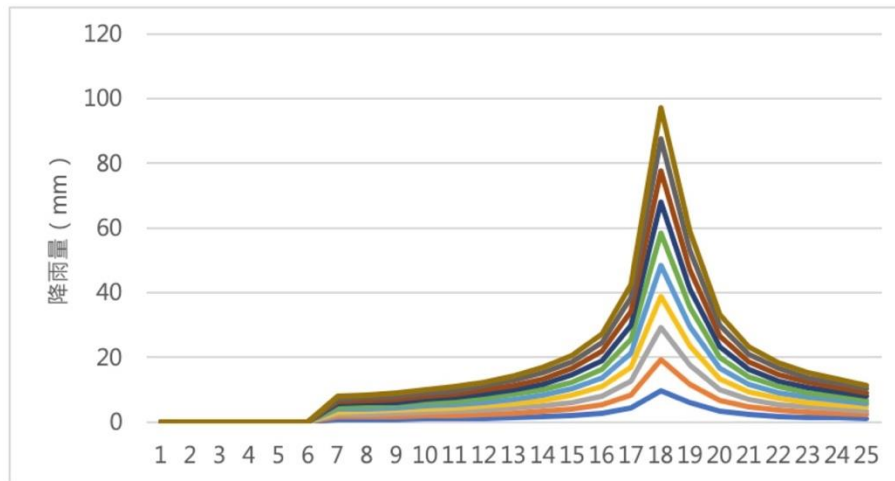
測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排下游

**圖 4-54** 下游集水區 CN 值敏感度分析



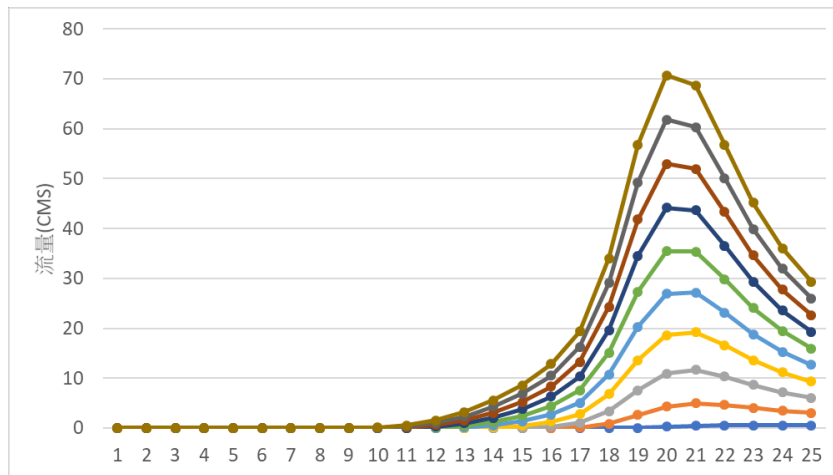
測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排下游

**圖 4-55** 下游集水區面積值敏感度分析



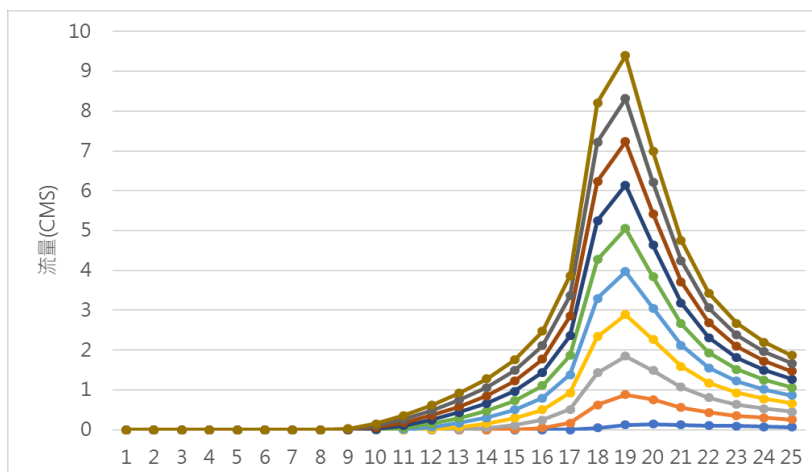
測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排

圖 4-56 集水區不同降雨量成果測試



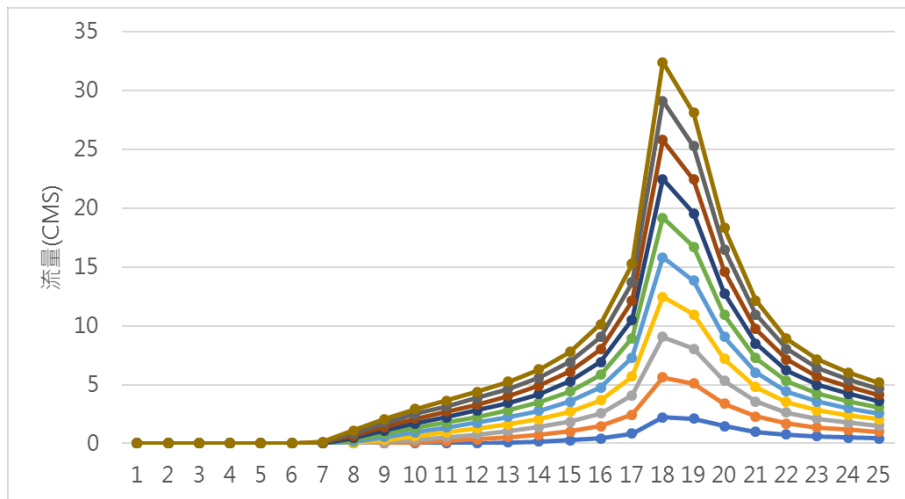
測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排上游

圖 4-57 上游集水區不同降雨量對應流量資訊



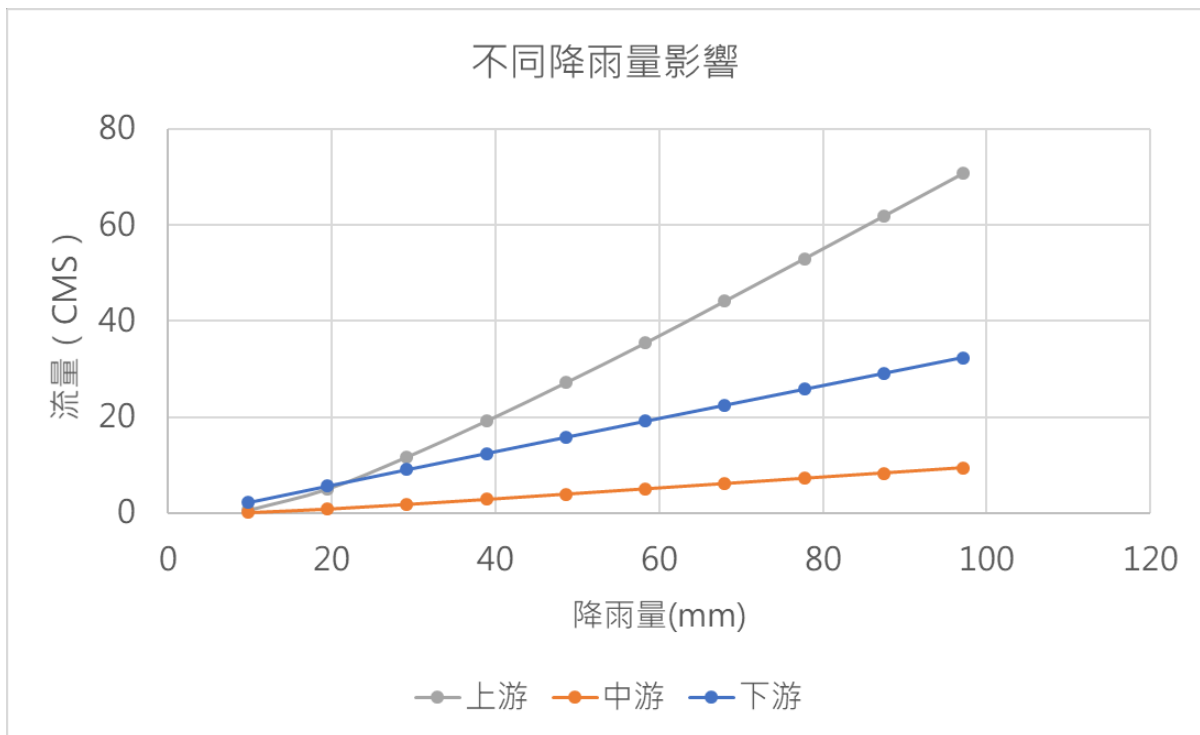
測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排上游

圖 4-58 中游集水區不同降雨量對應流量資訊



測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排下游

圖 4-59 下游集水區不同降雨量對應流量資訊



測試範圍：臺南安南區鹽水溪區排

圖 4-60 不同降雨量對應應最大流量數值成果

## 五、構造物設定

在現有二維淹水模型建置過程中，雖有抽水站與抽水機模組的設定資訊內容，但在抽水機操作運轉與環境現況條件內容較不完整，主要原因為模式專案設定內容，係參考設計規劃報告之條件進行設定；而抽水站由規劃、設計、施工到完工，實際施作內容可能與規劃設計不同，同時現場維護管理狀況也容易與當初的設定值產生較大差異。

因此在實驗中優先利用已完工之抽水站為案例，與過去僅用規劃報告的設定有所不同，透過不同條件的假設，針對其對應的模組設定內容進行測試，盡可能去模擬現場運作狀況，藉此評估抽水站增設與否，對於淹水模擬成果的影響。

### (一)抽水站增設於數值模型之說明

在臺南市三爺溪流域範圍目前共有崑山抽水站、土庫抽水站及正義抽水站，本實驗案例以既有二維即時淹水模式，包含三爺溪流域範圍在內之 UNIT3~UNIT4，並新增上述三座抽水站，進行操作影響測試。以下對抽水站由北至南分項說明：

#### 1、崑山抽水站

坐落於崑山科技大學內，主要針對大灣排水進行抽水，如圖 4-61，抽水站前池底部高程為-0.7m，長 19.5m，總抽水量 21cms，各機組操作表 4-14，模式增設抽水站位置圖 4-62 所示。

表 4-14 崑山抽水站抽水機組操作水位表

機組數	抽水量(cms)	起抽水位(M)	停抽水位(M)
1	7	5	3.5
2	7	5.2	3.6
3	7	5.4	3.7



圖 4-61 崑山抽水站抽水範圍



圖 4-62 淹水數值模式增設崑山抽水站

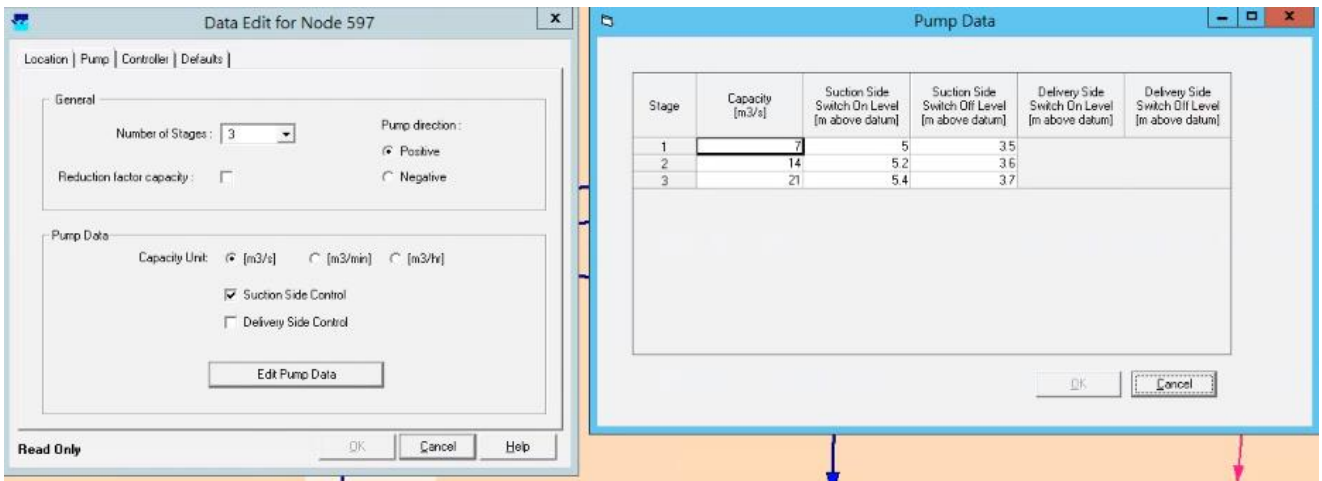


圖 4-63 崑山抽水站抽水機於 SOBEK 功能設定

## 2、土庫抽水站

坐落於太乙路與三爺溪交會處，主要針對土庫溝排水與石橋排水進行抽水，如圖 4-64。為舒緩太乙工業區支淹水情況，於 106 年增設一部 4.5cms 的抽水機組。前池底部高程-1.25m，長 20.8m，共三部抽水機組，各機組操作水位表 4-15，模式增設抽水站位置如圖 4-65。

表 4-15 土庫抽水機操作水位表

機組數	抽水量(cms)	起抽水位(M)	停抽水位(M)
1	3	5	4.5
2	3	5.1	4.6
3	4.5	5.2	4.7



圖 4-64 土庫抽水站抽水範圍

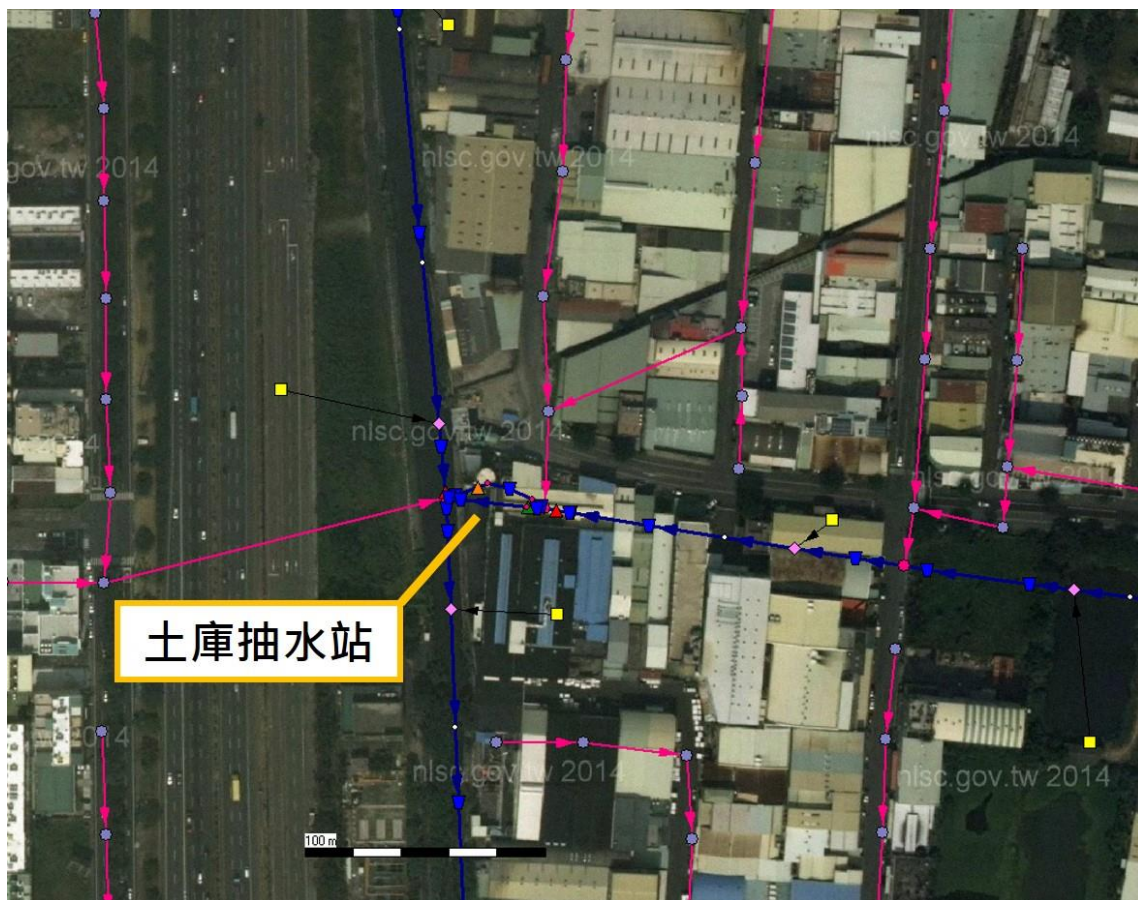


圖 4-65 淹水數值模式增設土庫抽水站

### 3、正義抽水站

坐落於正義三街與三爺溪交會處，主要針對一甲排水與正義三街兩水下水道的引入水進行抽水，如圖 4-66。前池底部高程-0.33m，長 15.2m，共三部抽水機組，各機組操作水位表 4-16。模式增設抽水站位置如圖 4-67 所示。

表 4-16 正義抽水機操作水位表

機組數	抽水量(cms)	起抽水位(M)	停抽水位(M)
1	2	3	2
2	2	3.1	2.1
3	2	3.2	2.2



圖 4-66 正義抽水站抽水範圍



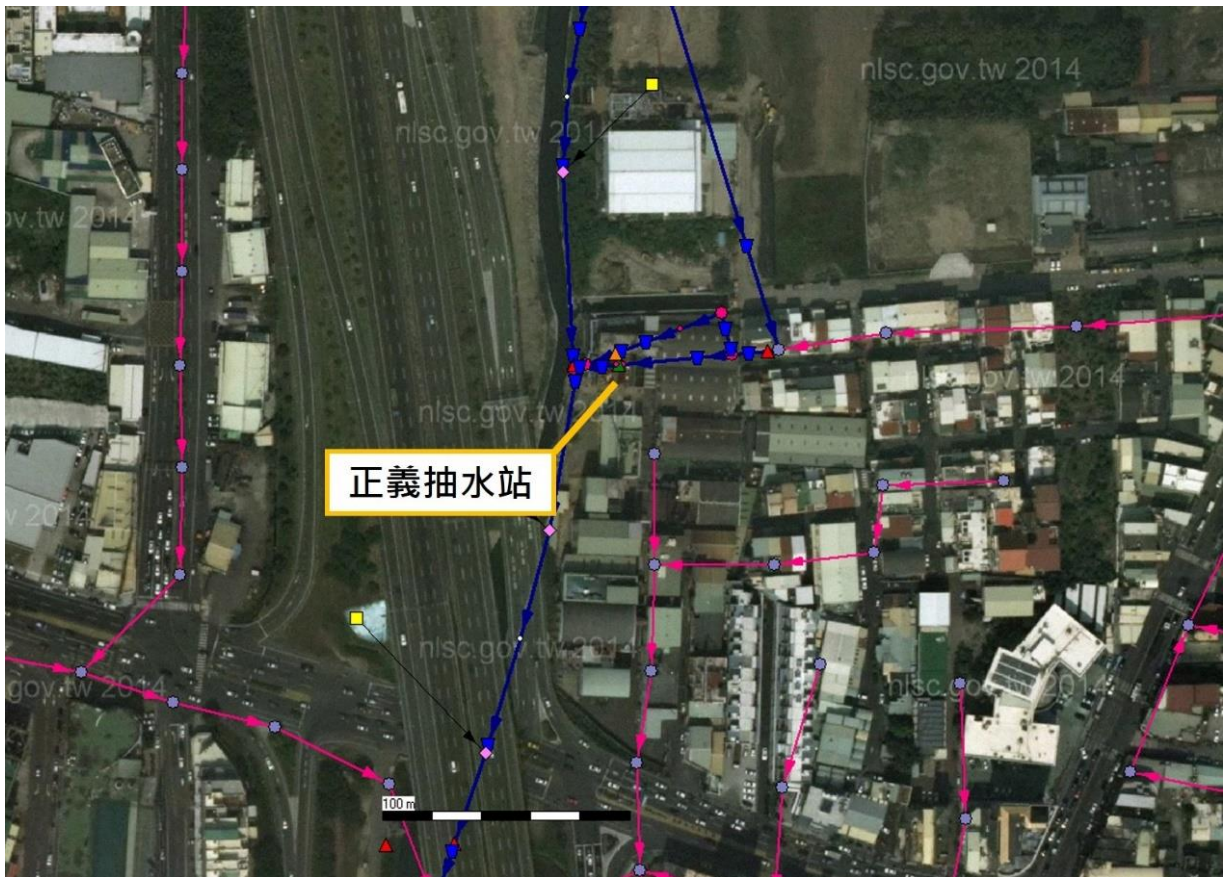
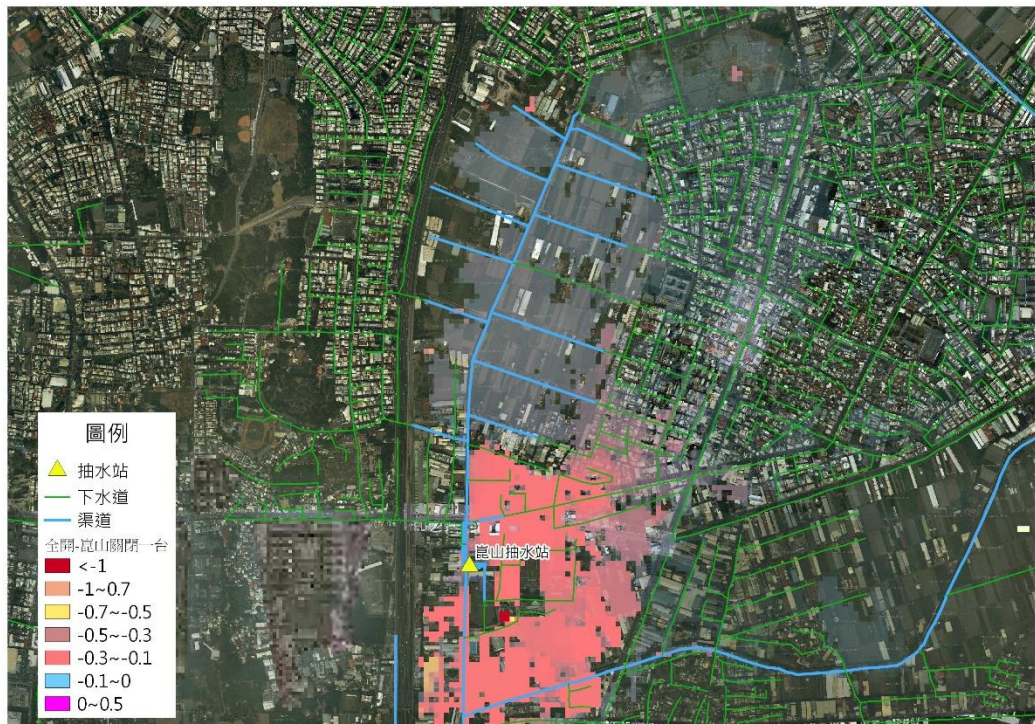


圖 4-67 淹水數值模式增設正義抽水站

## (二)抽水機測試

### 1、抽水機開啟機組數對淹水深度影響

崑山抽水站共有 3 台抽水機組，分別測試關閉一台抽水機與兩台抽水機對於抽水範圍之淹水深度影響，圖 4-68 為崑山抽水站 3 台抽水機開啟的淹水深度減掉關閉 1 台抽水機的淹水深度的淹水差值，從圖上可看到差值落在  $-0.1\sim-0.3\text{m}$  之間，圖 4-69 則是關閉兩台抽水機之深度差值，關閉一台及兩台抽水站在淹水上並無明顯差異表現。



說明：崑山抽水站共有 3 台抽水機組，而本測試則為崑山抽水站關閉 1 台抽水機

圖 4-68 崑山關閉一台抽水機與全開動之差值



說明：崑山抽水站共有 3 台抽水機組，而本測試則為崑山抽水站關閉 2 台抽水機

圖 4-69 崑山關閉二台抽水機與全開動之差值

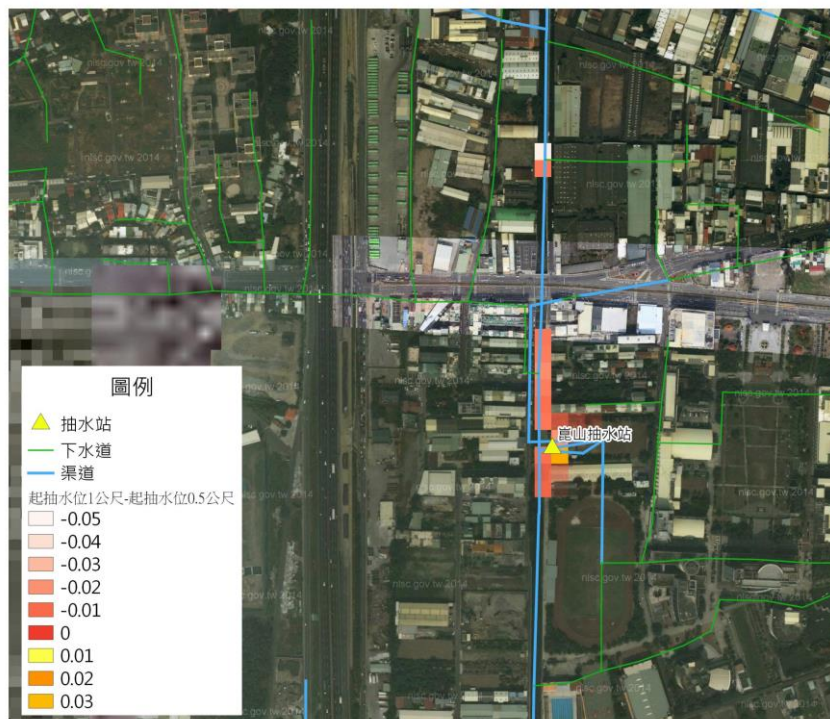
## 2、抽水機起抽水水位下降對淹水深度影響

改變起抽水水位則會影響抽水機啟動時間，測試起抽水水位改變是否能改善淹水情況，分別將啟抽水水位下降 1m 跟 0.5m，崑山抽水機各機組原始起抽水水位與改變起抽水水位後設定如表 4-17。

崑山抽水站於模擬海棠颱風事件時，起始淹水時間是 2017/07/30 21:00，比較該時間的兩種起抽水水位的淹水水深差異，圖 4-70 為兩者相減之水深差值，水深差值是以起抽水水位下降 1m 減掉起抽水水位下降 0.5m，從圖上顯示差值為正，表示起抽水水位下降 1m 時於該時刻淹水深度較低。

表 4-17 崑山抽水站起抽水水位調整

機組	原始起抽水水位	改變後起抽水水位 (-1m)	改變後起抽水水位 (-0.5m)
1	5	4	4.5
2	5.2	4.2	4.7
3	5.4	4.4	4.9



說明：崑山抽水站起抽水水位下降 1m 減掉起抽水水位下降 0.5m 之差值，資料時間：2017/07/30 21:00

圖 4-70 抽水機起抽水水位下降對淹水深度之模擬結果

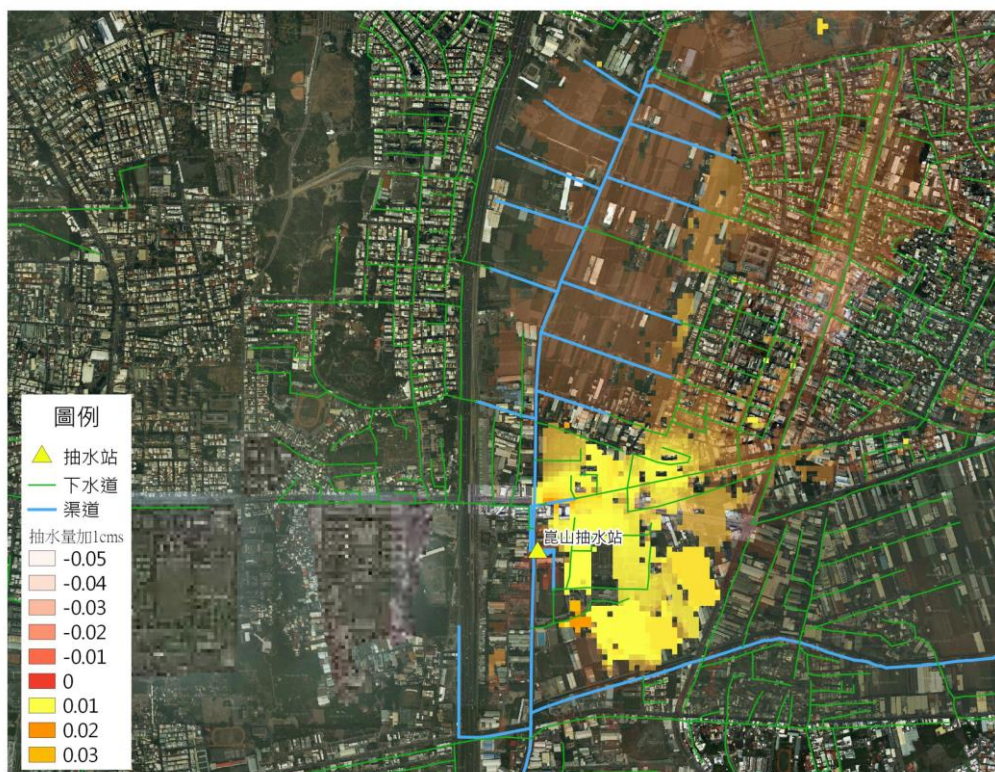
### 3、調整抽水站抽水量

本案例測試抽水站若增加抽水量能否改善淹水，崑山抽水站的三台機組抽水量皆是 7 cms，案例假定抽水量為 8 cms，設定如表 4-18，模擬成果如圖 4-71，各機組抽水量增加 1cms 後改善深度約在 1cm 左右。

除抽水機敏感度實驗外，亦對三爺溪上的崑山、土庫及正義抽水機進行操作測試，分別關閉崑山及正義抽水站，探討其對淹水深度及範圍的影響。

表 4-18 抽水站抽水量調整

機組	原始抽水量 (cms)	改變後抽水量 (cms)
1	7	8
2	7	8
3	7	8

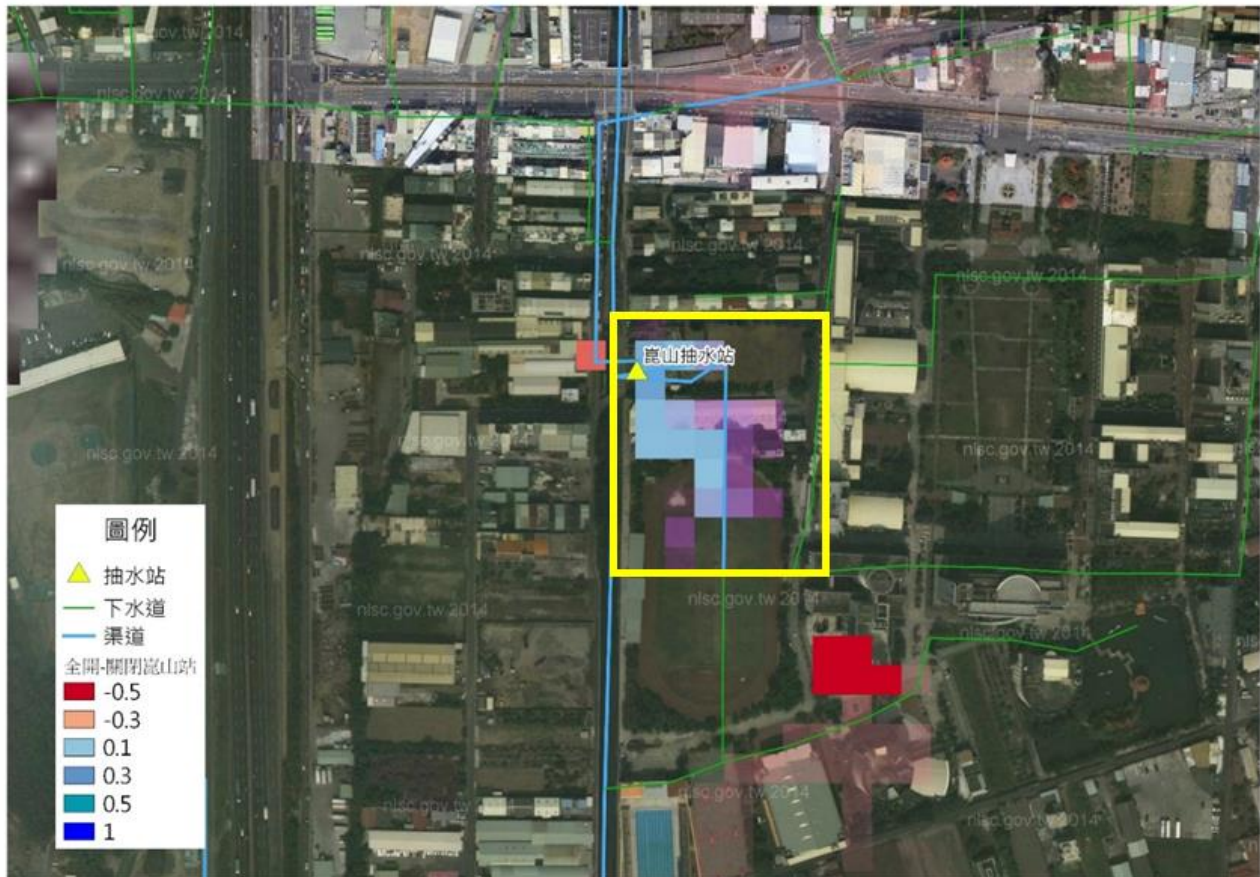


說明：崑山抽水站原始抽水量淹水深度減掉調整抽水量淹水深度之差值，資料時間：2017/07/30 21:00

圖 4-71 調整抽水站抽水量之模擬結果

#### 4、關閉崑山抽水站

圖 4-72 為水深差值 (抽水站全開減掉關閉崑山抽水站)，關閉崑山抽水站後抽水站周遭淹水深度反而下降，目前評估可能之原因為於模式中抽水站停止作用時，抽水站區域區回水效應降低。

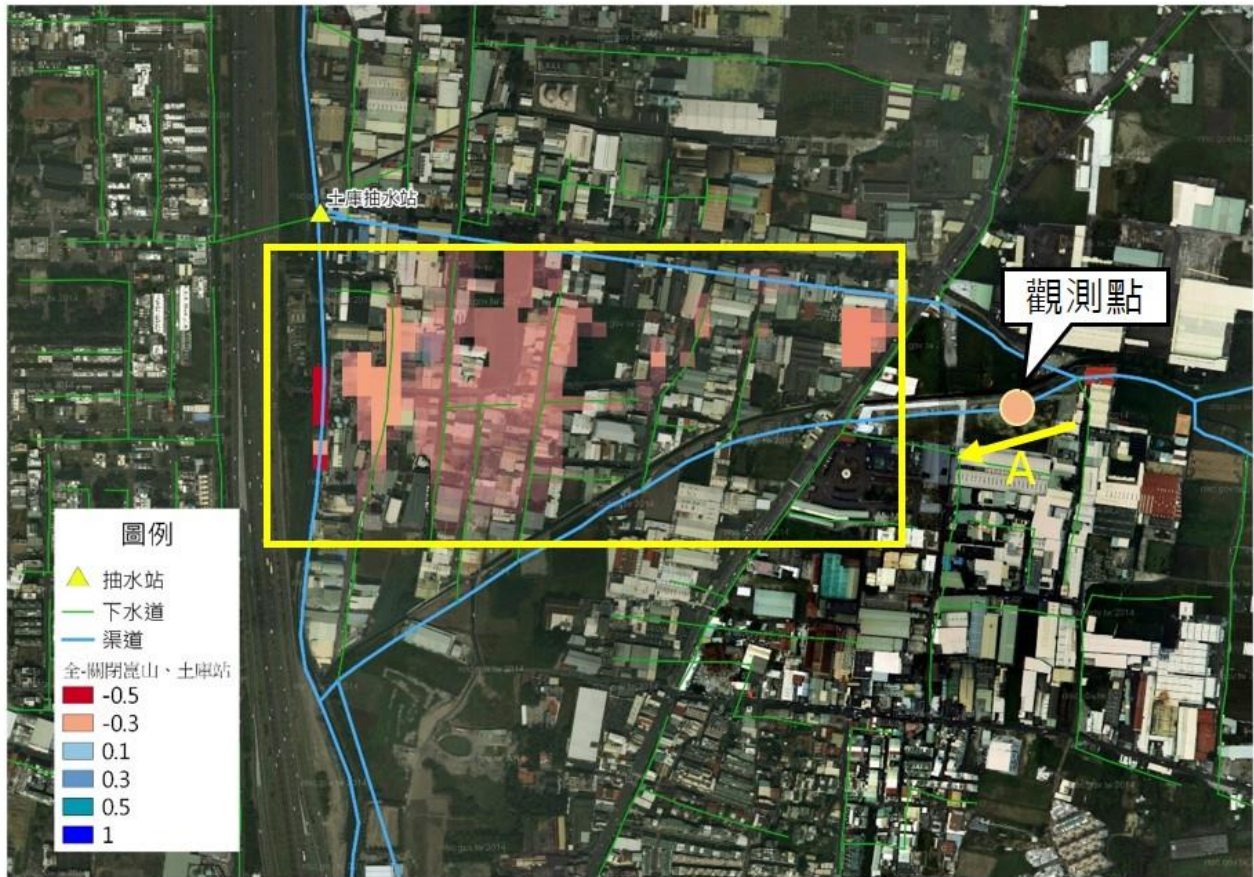


說明：崑山抽水站開啟與否之間的差異，資料時間：2017/07/30 21:00

圖 4-72 關閉崑山抽水站之模擬結果

#### 5、關閉崑山、正義抽水站

關閉崑山與正義抽水站後，淹水範圍有較大差異的位置如圖 4-73，正義抽水站不抽水後，會造成圖中黃色框選處淹水，原因判斷為上游分流時，會往圖面的 A 觀測點方向流動，水位如圖 4-74 所示，A 觀測點測流量增多，進而造成下水道入流壅塞導致淹水發生。



說明：崑山、正義抽水站全開，與全數關閉之差異，資料時間：2017/07/30 21:00

圖 4-73 關閉崑山、正義抽水站之模擬結果

崑山、土庫站不抽水及土庫站抽水的觀測點水位差異

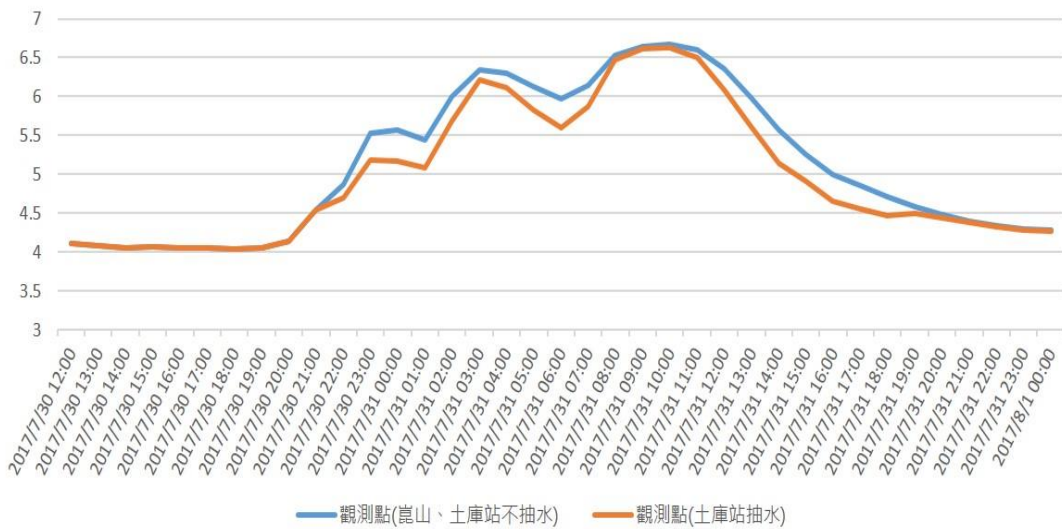


圖 4-74 抽水機設定條件造成之水位差異

### (三)抽水機操作之影響分析成果

將上述資料內容建置完成後，並且利用海棠颱風事件進行模擬，呈現在三爺溪增加抽水站前之淹水模擬成果。

以現有資料搭配相關抽水機操作規則進行模擬，經測試後，改善積淹水面積範圍 8.787 公頃 (最大淹水深度超過 5cm 以上變化區域)，減少淹水淹水體積 8,122m<sup>3</sup> (以標準游泳池體積 1,890m<sup>3</sup> 換算)，約 4.29 個標準游泳池。

圖 4-75 為抽水站加入前之淹水模擬成果，圖 4-76 為抽水站加入後之模擬成果，圖 4-77 至圖 4-81 分別呈現抽水站增加前後，其淹水水深模擬差異。三個抽水站上游水位及運作的抽水量資訊如圖 4-82 至圖 4-84 所示。

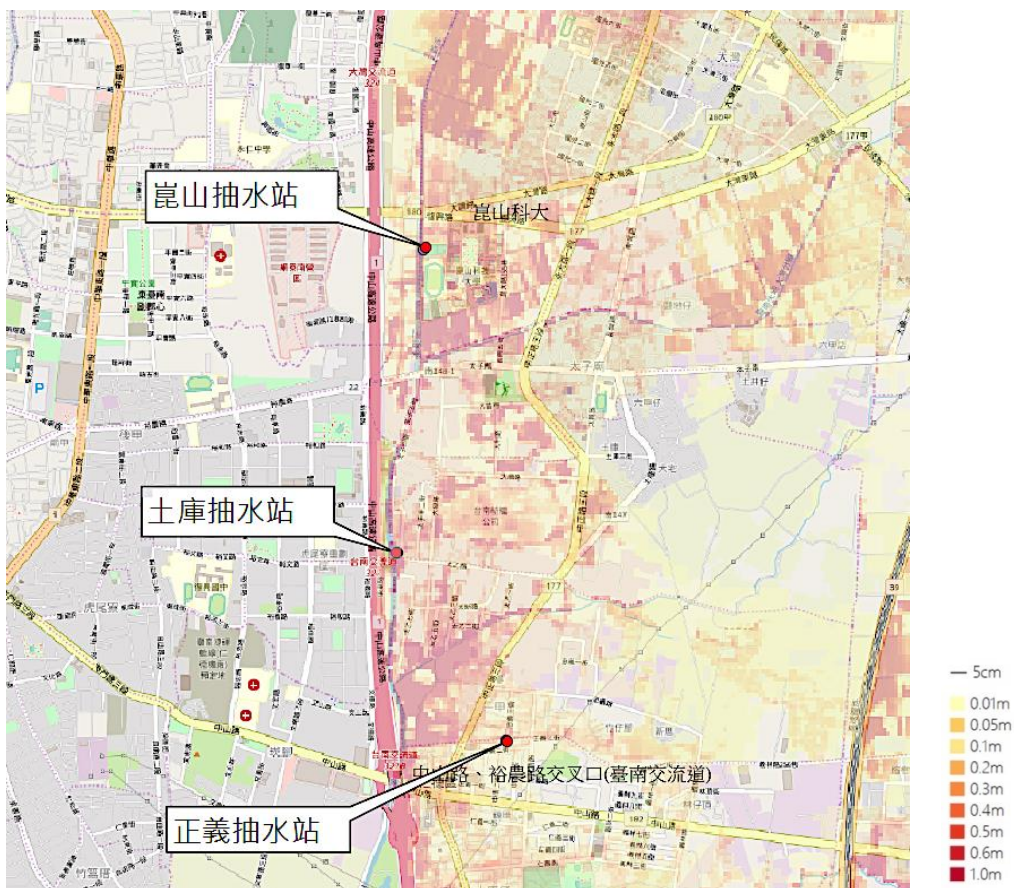


圖 4-75 抽水站加入前淹水模擬成果

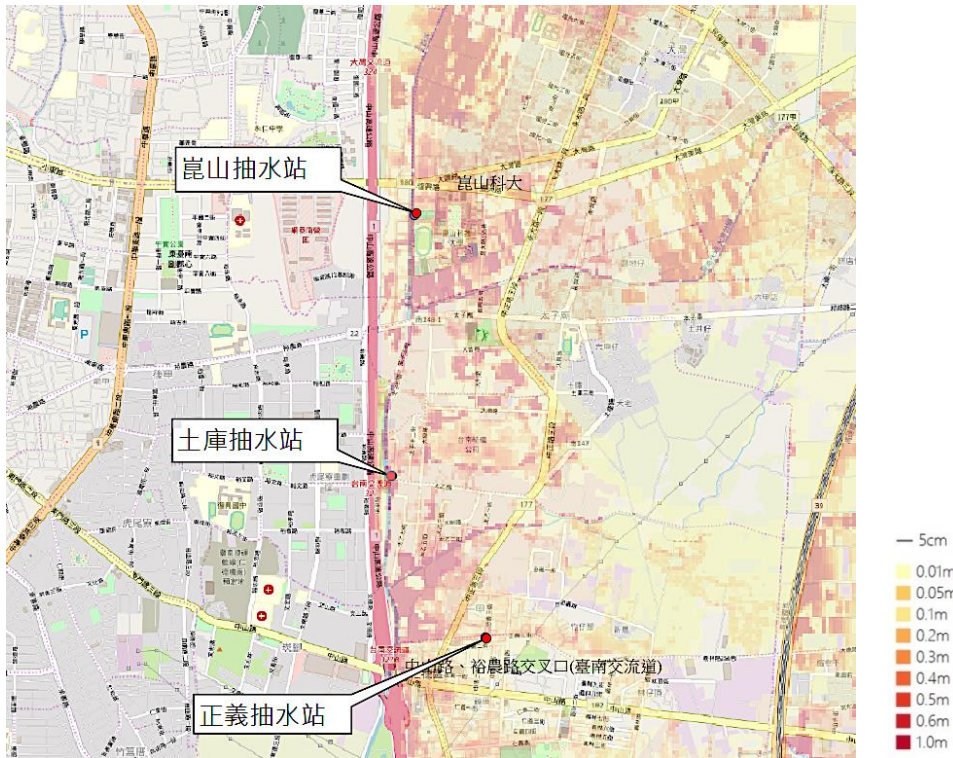


圖 4-76 抽水站加入後淹水模擬成果

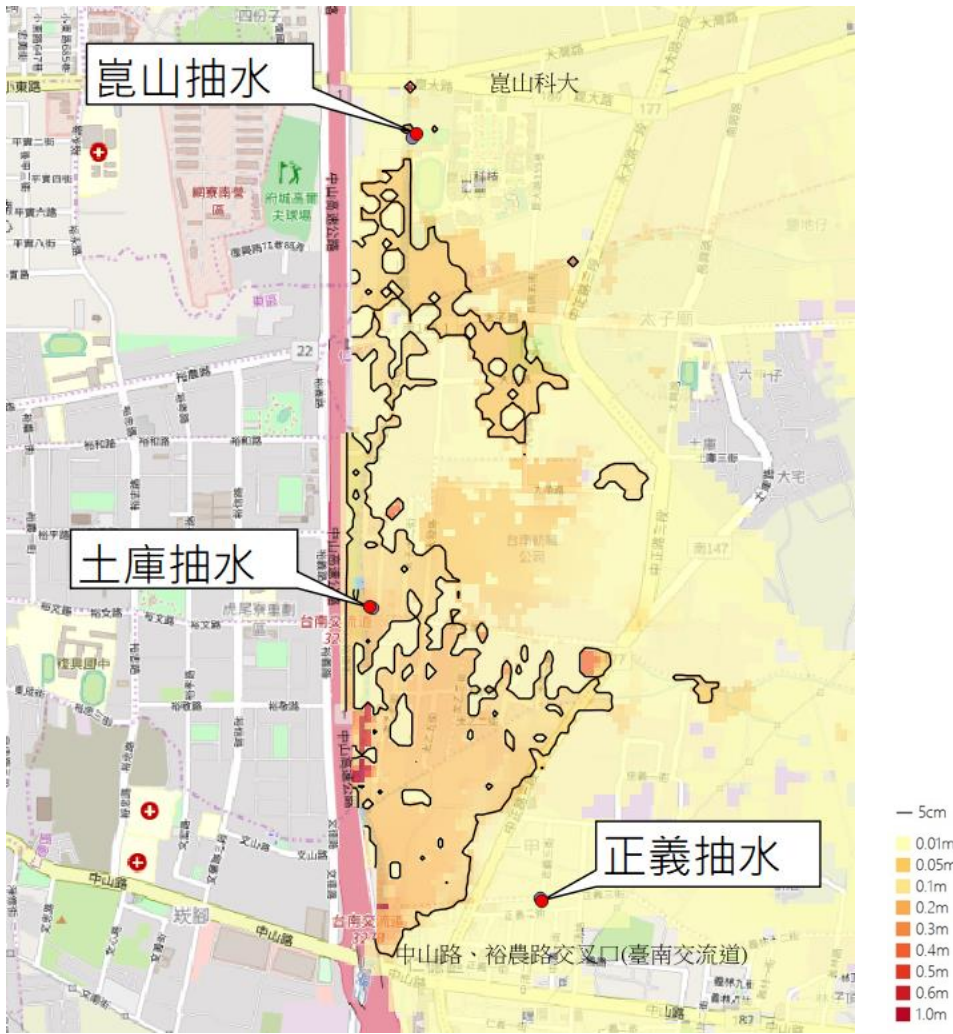


圖 4-77 抽水站抽水改善情況



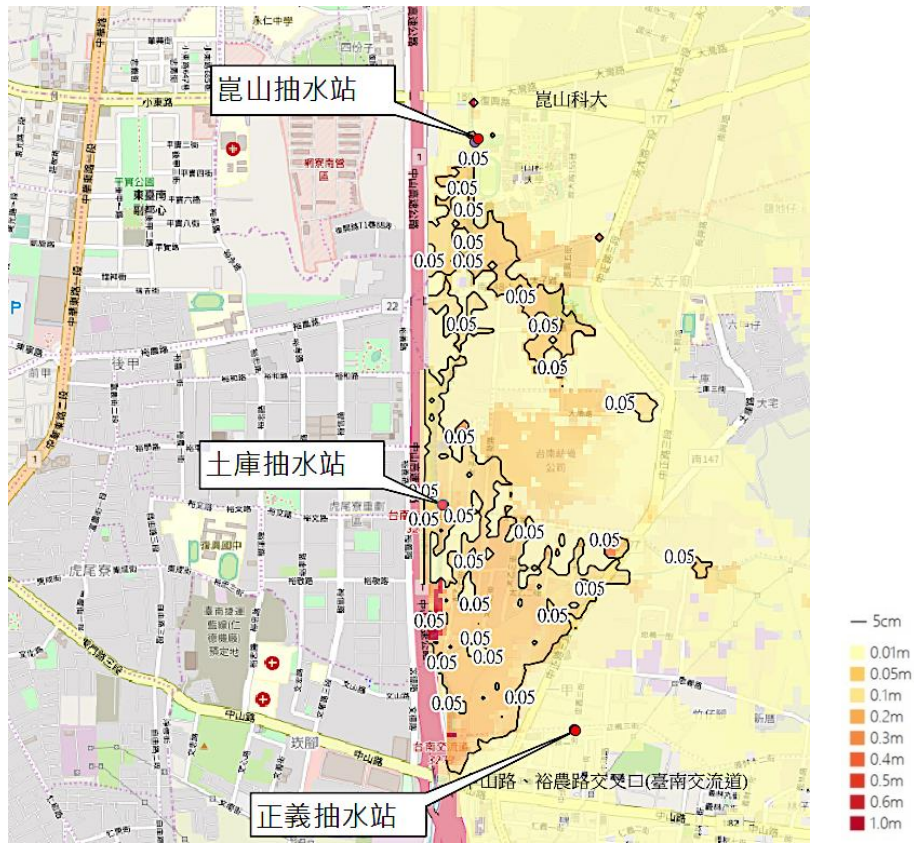


圖 4-78 導入抽水站後淹水區域深度 5cm 之模擬範圍

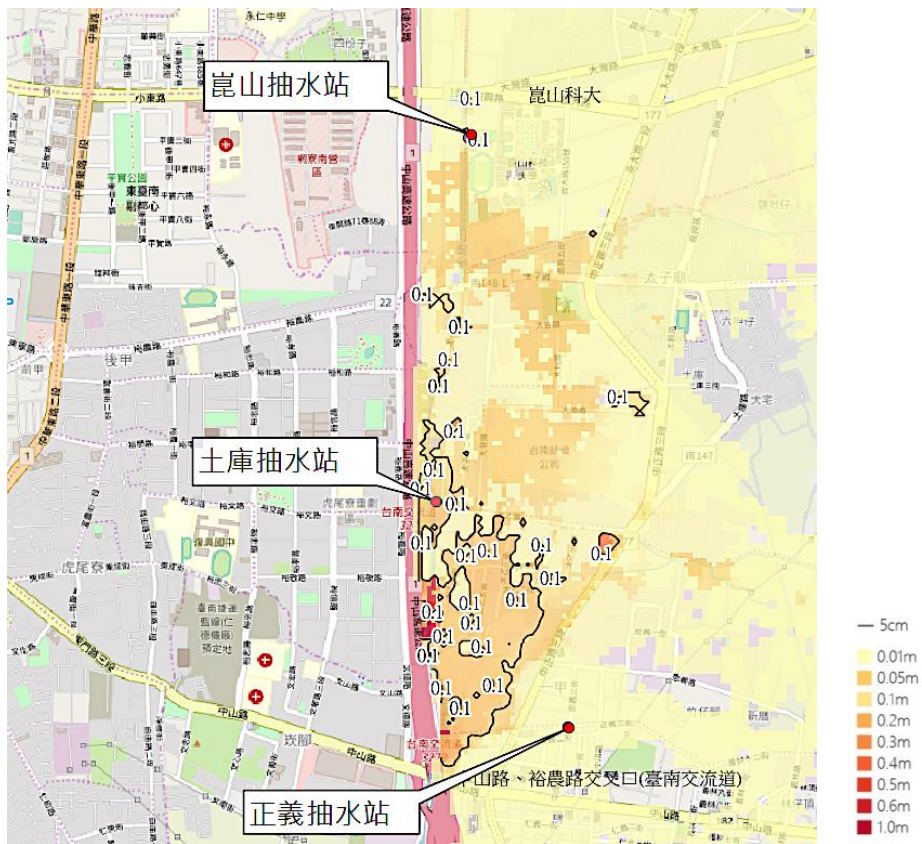


圖 4-79 導入抽水站後淹水區域深度 10cm 之模擬範圍

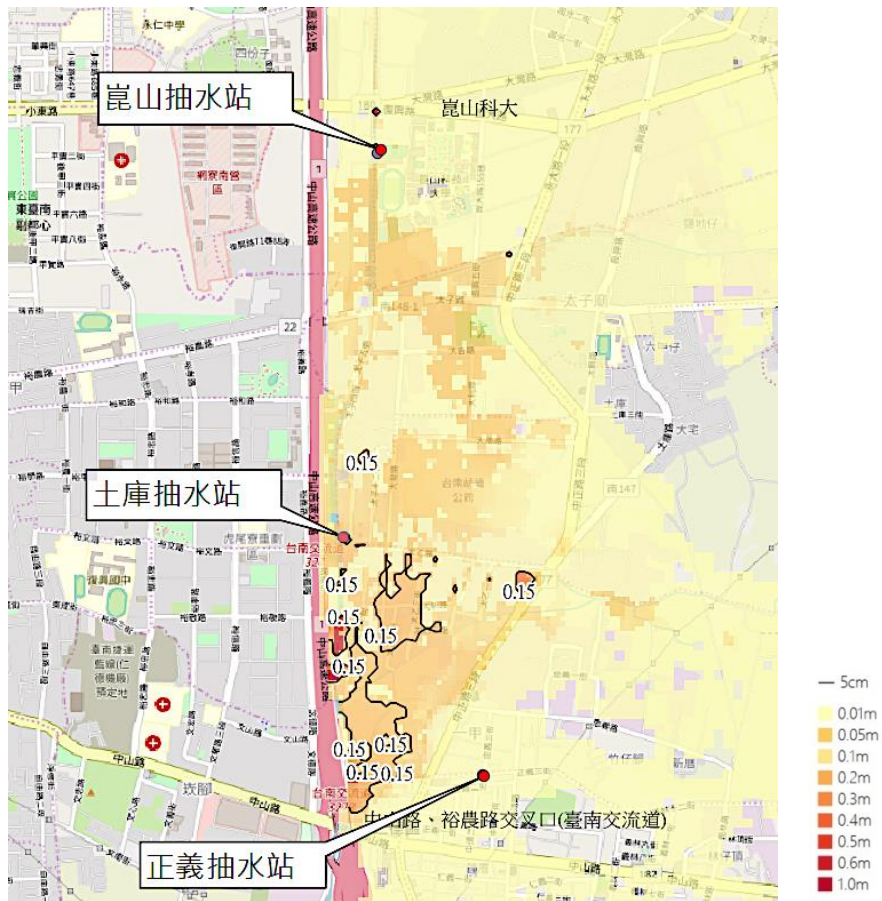


圖 4-80 導入抽水站後淹水區域深度 15cm 之模擬範圍

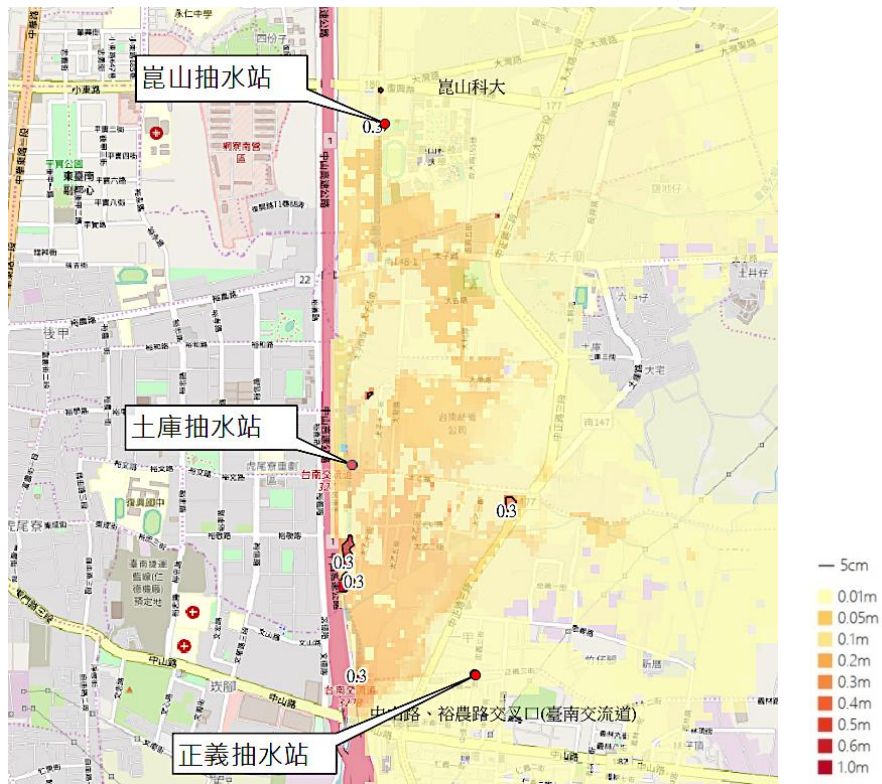
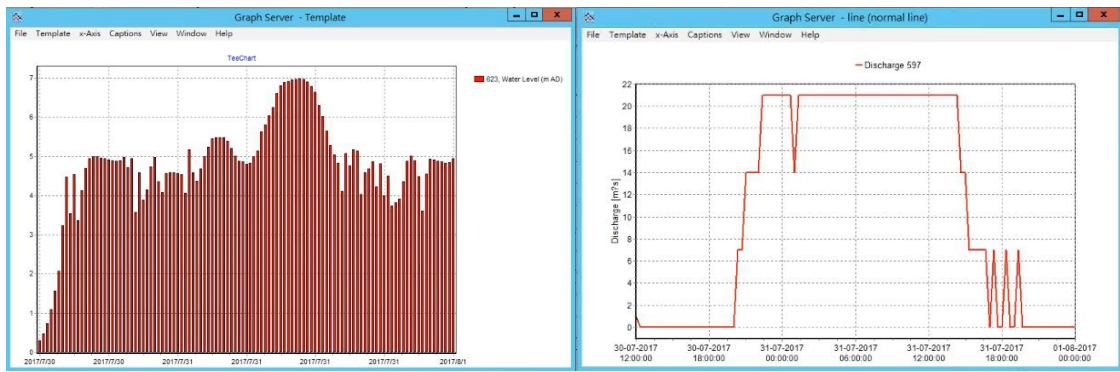
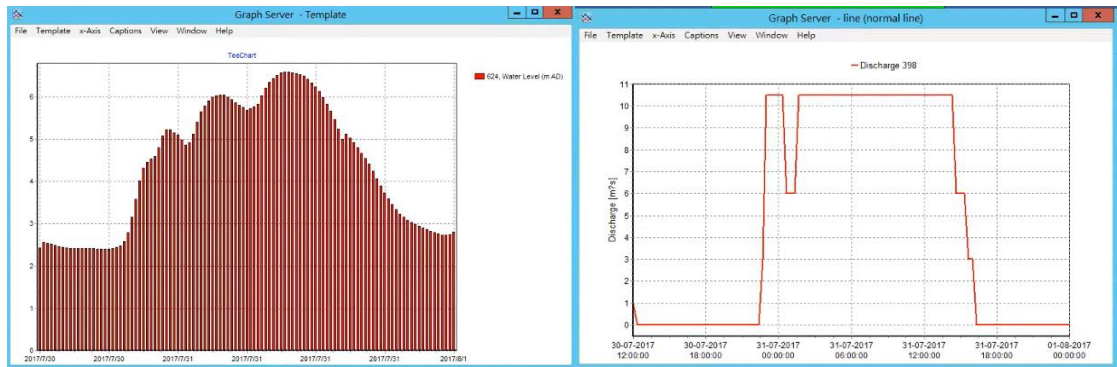


圖 4-81 導入抽水站後淹水區域深度 30cm 之模擬範圍



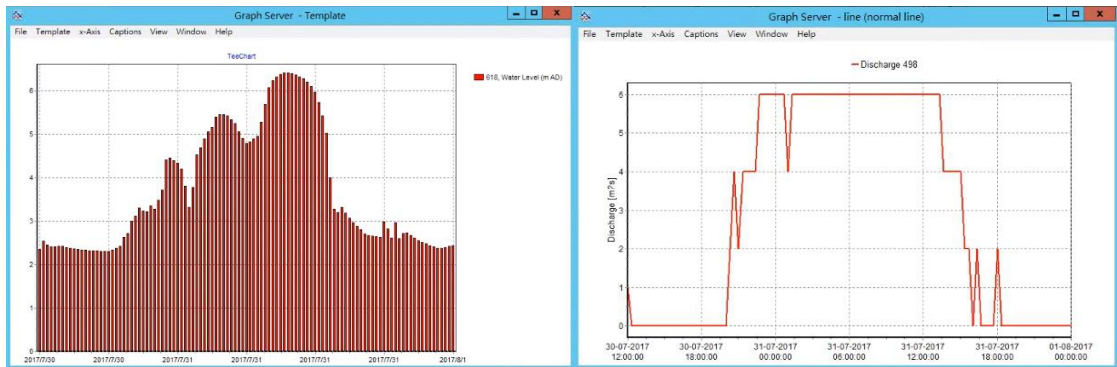
■ 水位 — 流量

圖 4-82 崑山抽水站上游水位與抽水運作狀態



■ 水位 — 流量

圖 4-83 土庫抽水站上游水位與抽水運作狀態



■ 水位 — 流量

圖 4-84 正義抽水站上游水位與抽水運作狀態

## 六、現地感測設備

物聯網監測 IoT 設備是前瞻計畫的重要產出成果，扮演著下一代水情即時資訊的重要來源，即時監測數據進行更多延伸應用，也是發展智慧防汛的重要關鍵。

在監測數據可分為水情監測與防汛設備狀態監測兩大類，這兩類資料與模式資料交換方式如圖 4-85 所示，都是先由水情預報平台利用 API 介接水資源物聯網即時數據，再由預報平台來控制或改變淹水模型內的相關設定檔 (Control.def) 進行外部資料反饋，或是將水情監測資訊轉為 XML 格式，提供即時校正模式使用。

水情監測的應用，分為河川水位監測數據與路面淹水感測數據，前者可用於預報水位即時校正，後者可用於淹水深度與範圍的即時校正。另一方面，常見的防汛設備有抽水站、移動式抽水機與閘門等，透過物聯網監測可以將設備狀態的改變即時回傳雲端，如抽水機啟動抽水、閘門開度等訊號，此時應該將這些即時訊號反饋到模式去改變相關設定，讓模式能反映現場實際情況。

本計畫中針對現地感測設 IoT 資訊在即時淹水的影響，將以兩個方向進行探討，其構如圖 4-86 所示：

- (一)淹水結果：以路面淹水感測器即時傳輸之淹水數據，整合人工智慧及地理統計方法，發展可即時修正淹水計算之演算法。
- (二)反饋模式狀態：目前淹水模式對於抽水站、閘門的設定，係參考操作手冊或人員操作經驗，訂定相關模式物件的操作規則，但經由 IoT 設備傳回抽水站或閘門的操作狀態資訊，會是更準確的反應實際現況的資訊。

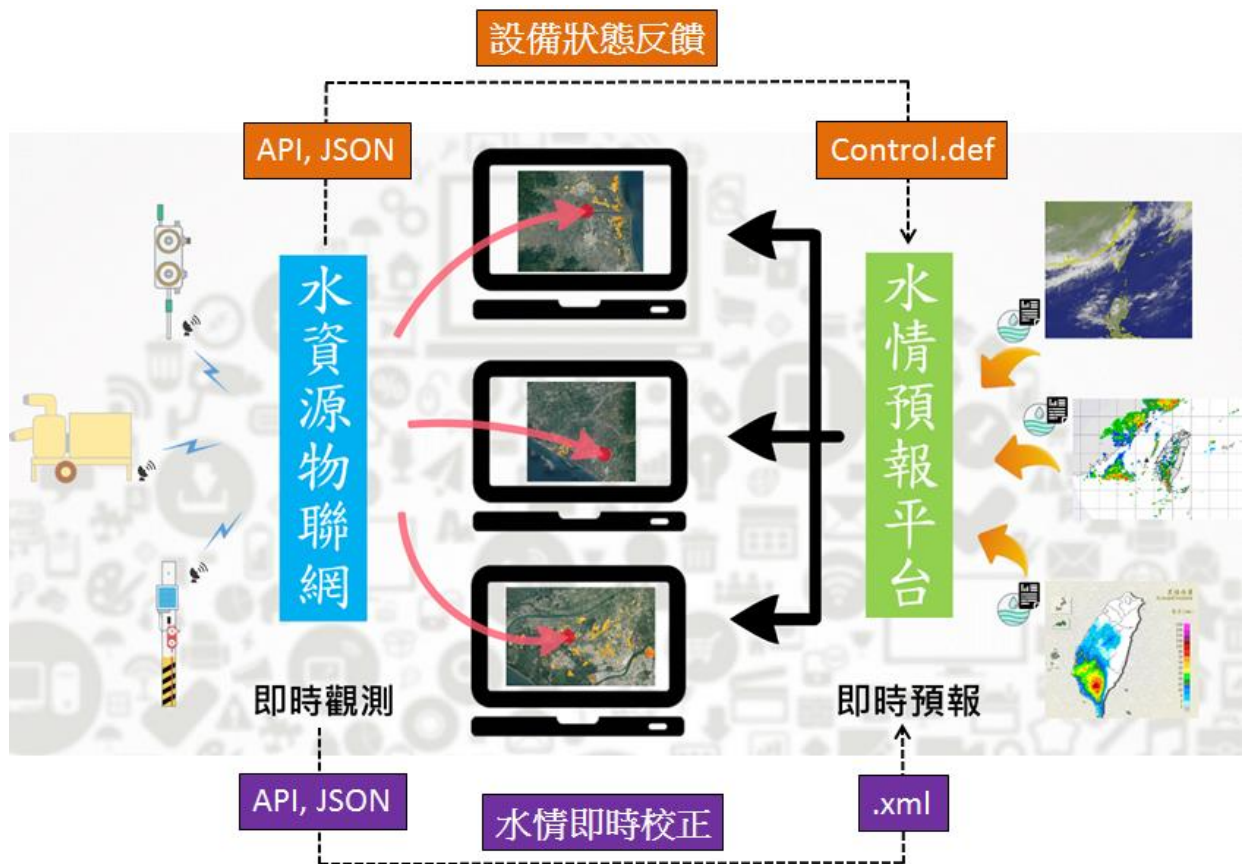


圖 4-85 IoT 設備與平台資料交換方式

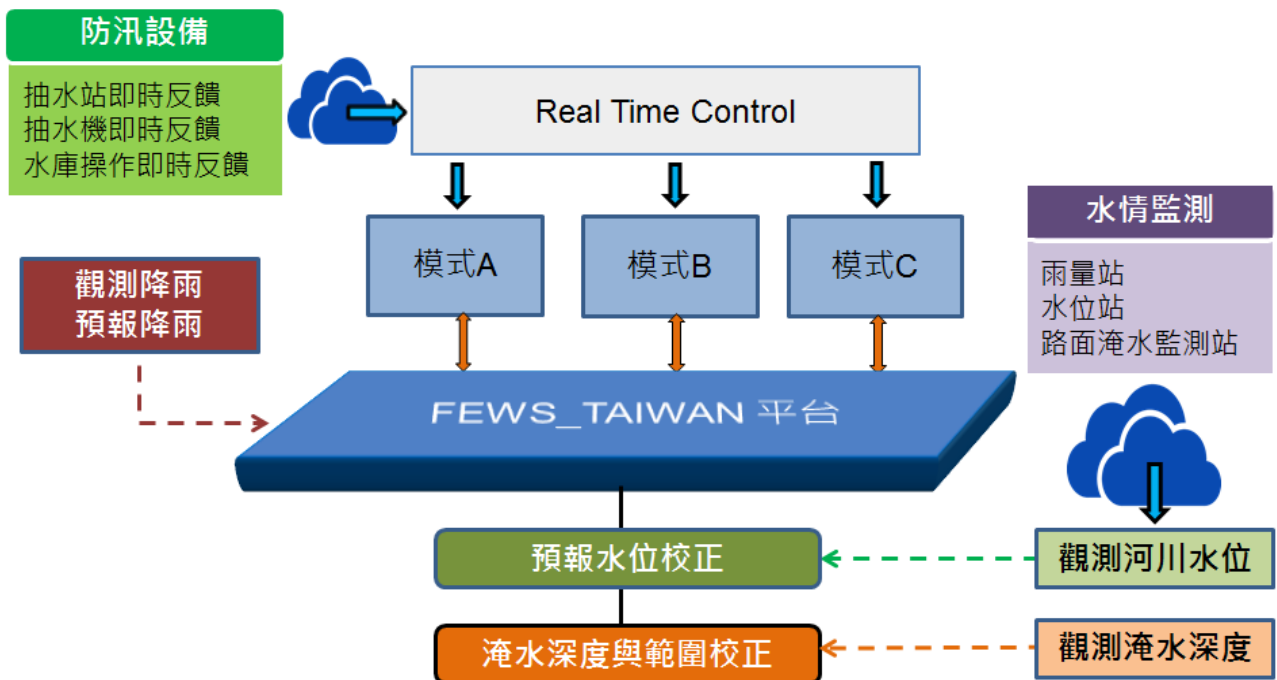


圖 4-86 物聯網監測數據與淹水模式之即時整合應用

(一)抽水機操作之影響案例與流程說明

抽水站操作影響，主要利用 IoT 感測器偵測抽水機是否處於運作狀態。當抽水機開始運作時，回傳的訊號啟動模式中的抽水機元件進行抽水的動作。因此在測試過程中，將優先利用模擬之 IoT 訊號，傳送給啟動模式進行抽水程序，以評估模式在抽水站抽水情況，並且評估對於淹水範圍的影響。

測試範圍以前節所使用的三爺溪三座抽水站模式專案進行測試，作為抽水站啟動後對應的邊界條件，也可以反映現場實際狀況。如圖 4-87 為水工構造物即時操作的設定內容。

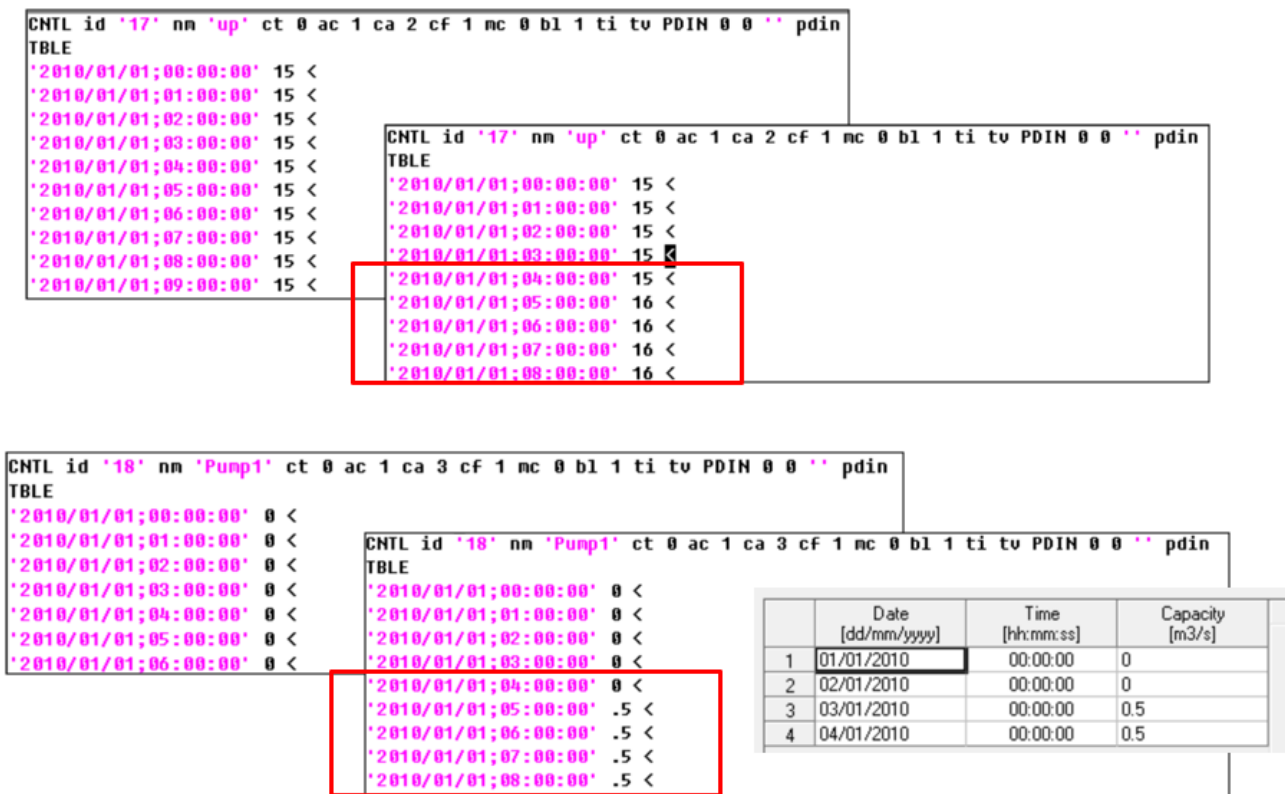


圖 4-87 水工構造物即時控制設定內容

## (二)物聯網感測設備對於淹水即時校正之流程說明

為降低水文、氣象及地文等不確定性因素造成淹水預報結果之誤差，提高預報之可靠度。在颱風豪雨事件可運用淹水感測器即時資料，並整合人工智慧方法及地理統計方法，發展可即時進行修正淹水預測模式參數之人工智慧即時修正演算法；且當路面淹水感測器新增或位置變更時亦可配合調整模式。為完成上述工作，本計畫擬整合採用時間序列法(Time series method)及卡門濾波法(Kalman filtering method)所發展之一維預報水位即時校正模組(RTEC\_TS&KF)(Wu et al., 2011)(如圖 4-88 所示)與地理統計方法，與權重半變異數模式(Weighted semivariogram model, WSVM) (Wu et al., 2006)(如圖 4-89)，建置二維淹水預報即時校正模組(Real-time correction of 2D inundation simulation, RTEC\_2DIS)。如圖 4-90，圖 4-91 為 RTEC\_2DIS 模式概念與流程圖。主要分為二部份：

### 1、預報水位一維即時校正模組

在路面淹水感測器之地點首先採用 RTEC\_TS&KF 模式，配合降雨事件過去幾小時(或幾分鐘)淹水水深觀測值及計算值之誤差，推估未來數小時(分鐘)之預報水位誤差值與趨勢並加以校正，如圖 4-92 為 RTEC\_TS&TS 校正水位過程示意圖，紅色實線為觀測值、綠色實線為模擬值與預測，利用時間序列計算兩種資料差異，搭配卡爾曼濾波方式推估預報值，進行預報值校正。

### 2、路面預報淹水深度與範圍二維即時校正模組

延續上述一維水位校正成果，將推估的一維校正預報淹水深度搭配權重半變異數模式 (WSVM)進行二維淹水範圍內插成果之推估與擬合。搭配研究區域未設淹水感測器地點之預報水位資訊與差值，並且修正各點位之預報水位，進而完成預報淹水範圍之校正。

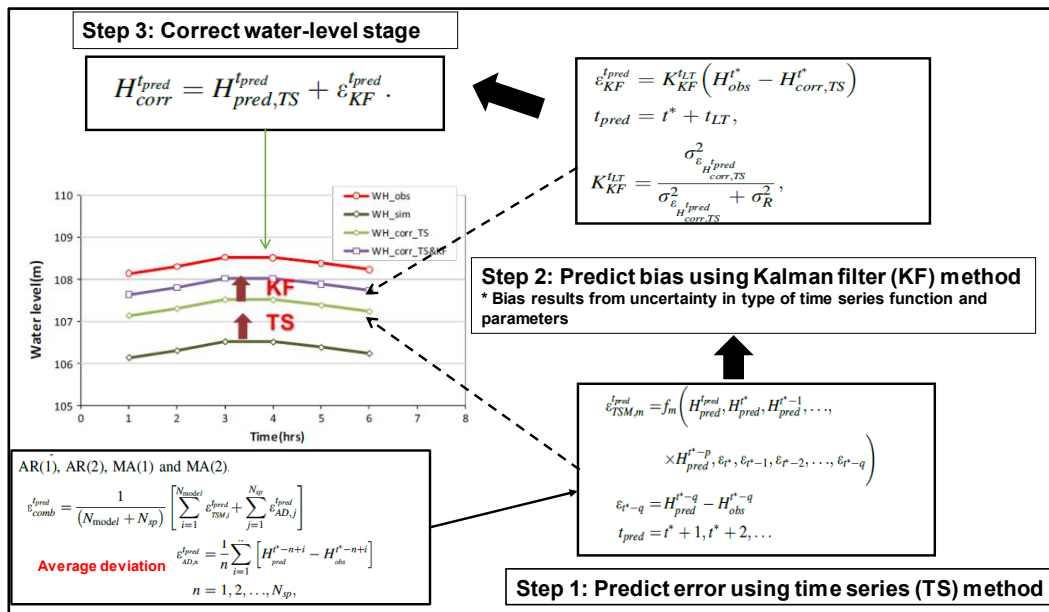


圖 4-88 預報水位即時校正模式之理論示意圖 (Wu et al., 2015)

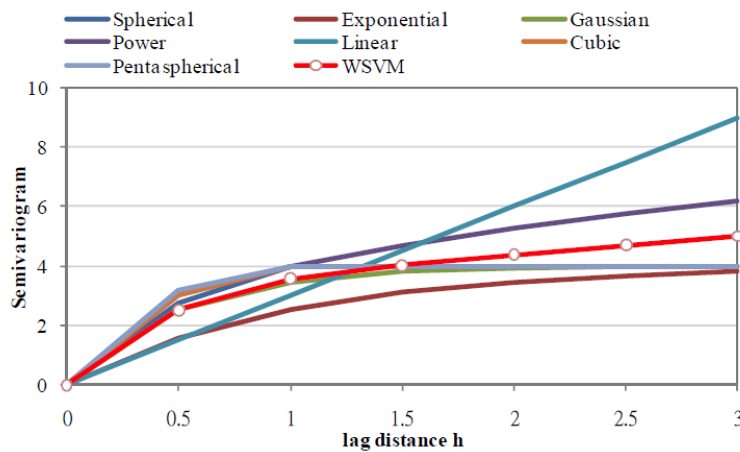


圖 4-89 權重半變異數模式(W SVM)示意圖 (Wu et al., 2011)

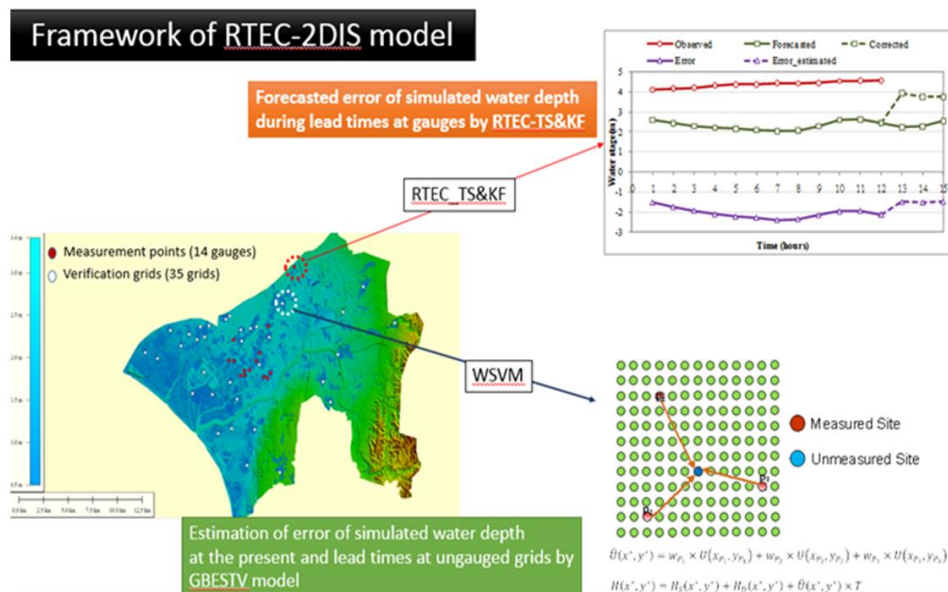


圖 4-90 路面淹水預報即時校正模式(RTEC\_2DIS) 概念圖



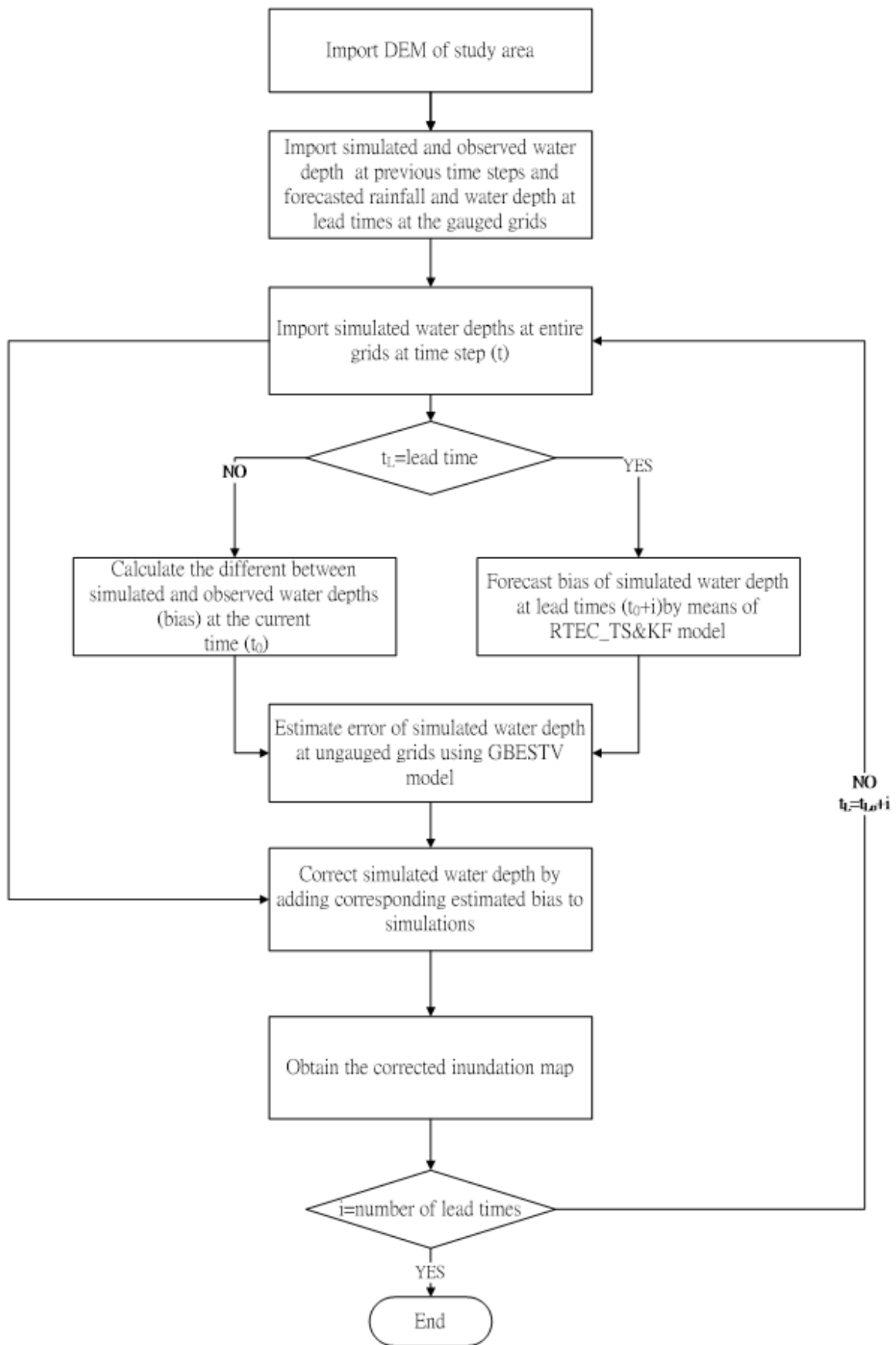


圖 4-91 路面淹水預報即時校正模式(RTEC\_2DIS) 流程圖

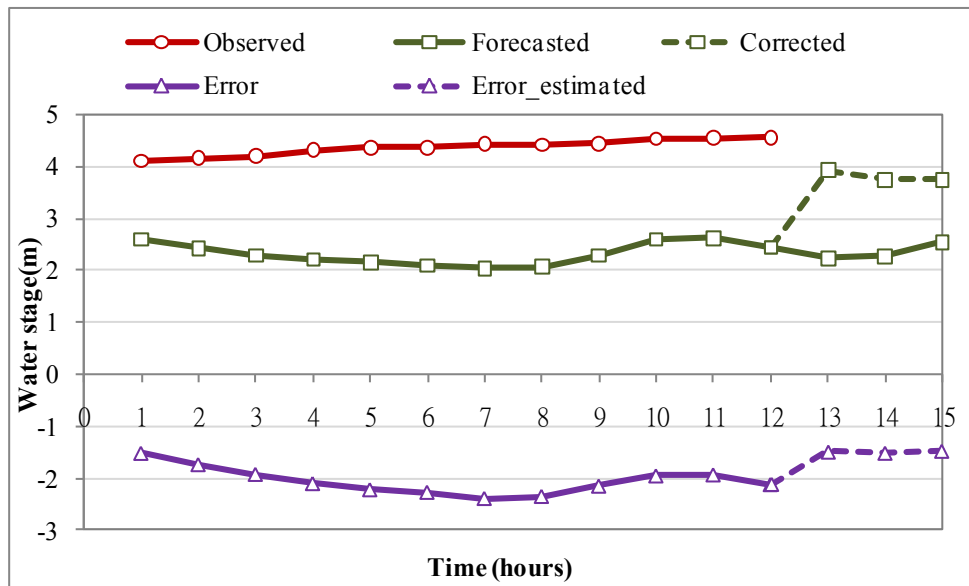


圖 4-92 RTEC\_TS&TS 校正水位過程示意圖 (Wu et al.,2012)

### (三)物聯網感測設備對於淹水即時校正之成果說明

藉由路面淹水感測器數值，內插輸出淹水感位置之預報水位資訊、預報淹水網格、一維水位校正模式、一維校正水位、二維淹水校正模式、二維淹水校正網格等內容，整體運作流程概念如圖 4-93 所示。利用預報水位為資料基礎，採一維即時校正模組與二維即時校正模組進行測試。測試時間選擇 2018 年 0823 熱帶低壓豪雨事件，以淹水感測器觀測之淹水深度為真值進行比對，茲說明步驟與結果如下：

- 1、對照組資料時間點分別為 08/24 02:00、08/24 03:00、08/24 04:00、08/24 05:00，以及 08/24 06:00 等五個時間段。每一個時間點提供未來 1 至 3 小時的淹水網格預報成果數值。
- 2、實驗組即為時校正的成果，比較前述 5 時間 08/24 03:00 ~09:00 的預報資料，藉由實驗組與對照組所產生的預報資料進行比對，說明即時二維校正模式成果。
- 3、淹水模式計算成果，如圖 4-94~圖 4-98 所示主要淹水區域位於主要：安中站、頂安站以北與十三佃與總頭寮之間淹水深度介於 30~70cm，透過校正模式進行資料修正，模擬與預報校正結果差異約 10~20cm 之間，如圖 4-99~圖 4-103 為二維淹水模式使用淹水感測器校正之成

果，圖 4-104~圖 4-108 為校正與未校正結果之差異空間分布。藉由淹水感測器鄰近 500m 與 1000m 網格平均值進行校正結果進行統計與比對淹水感測器資訊之情況，如圖 4-109~圖 4-118 所示。

- 4、又於圖 4-119~圖 4-123 的時間段中，在距離 500m 資料，其平均模擬深度約 25~27cm 之間，校正成果約 27~30cm 在當日 2:00~5:00 成果有高估現象，但於 6:00 效果較佳。而 1000m 資料範圍在 3:00 校正之平均模擬深度約 20cm，校正成果約 22~25cm。資料在 2:00~3:00 之間有高估現象，而 4:00 過後校正效果較為理想。由於校正模式在處理資料過程中會依照觀測值時間序列與趨勢進行校正預報值修正。
- 5、由於安中站在 2:00~4:00 之水位由 20cm 降到 10cm，由於監測淹水水深之數值斜率較陡，使得校正值修正後仍有偏高之現象。5:00~6:00 之校正結果，對照觀測淹水深度趨勢更為相符。目前已經完成資料與模式銜接流程，可以持續測試在不同點位與研究區，以持續改善與提升二維淹水模式校正之可靠度。

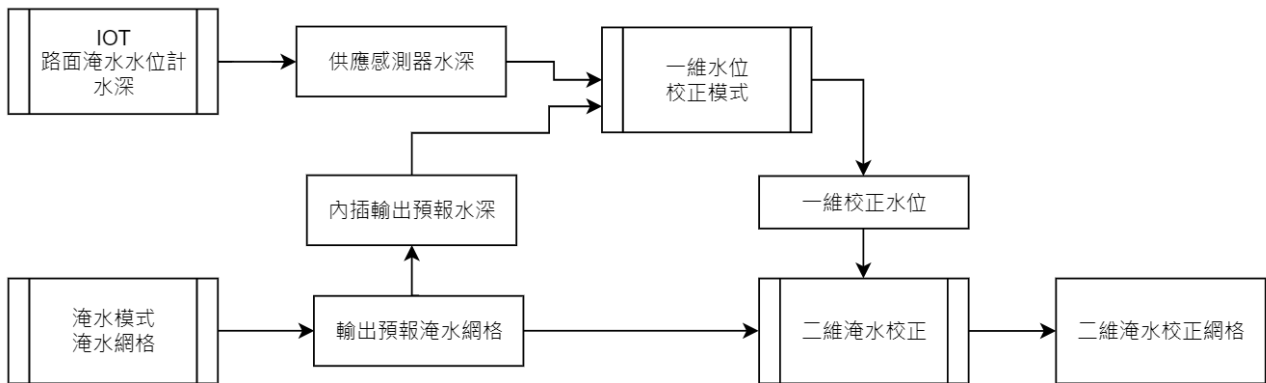


圖 4-93 二維淹水網格校正處理流程圖

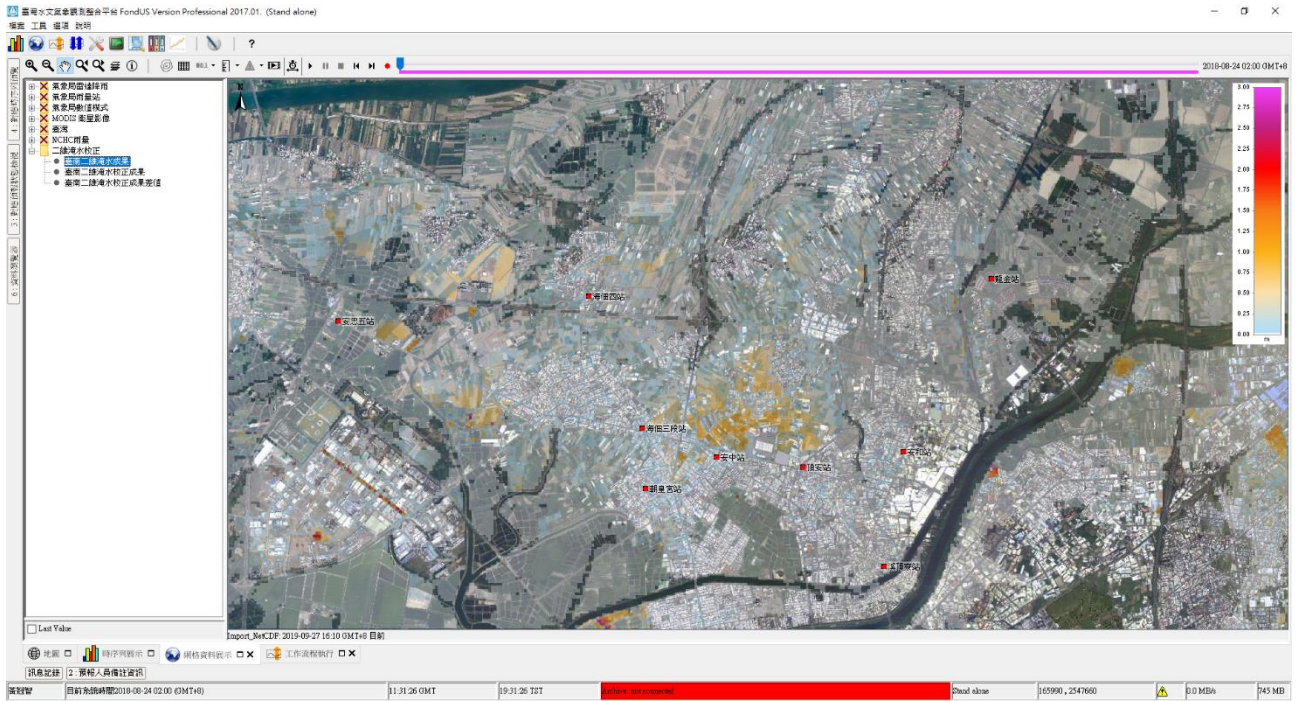


圖 4-94 採用 08-24 02:00 預報時間段之淹水模擬成果

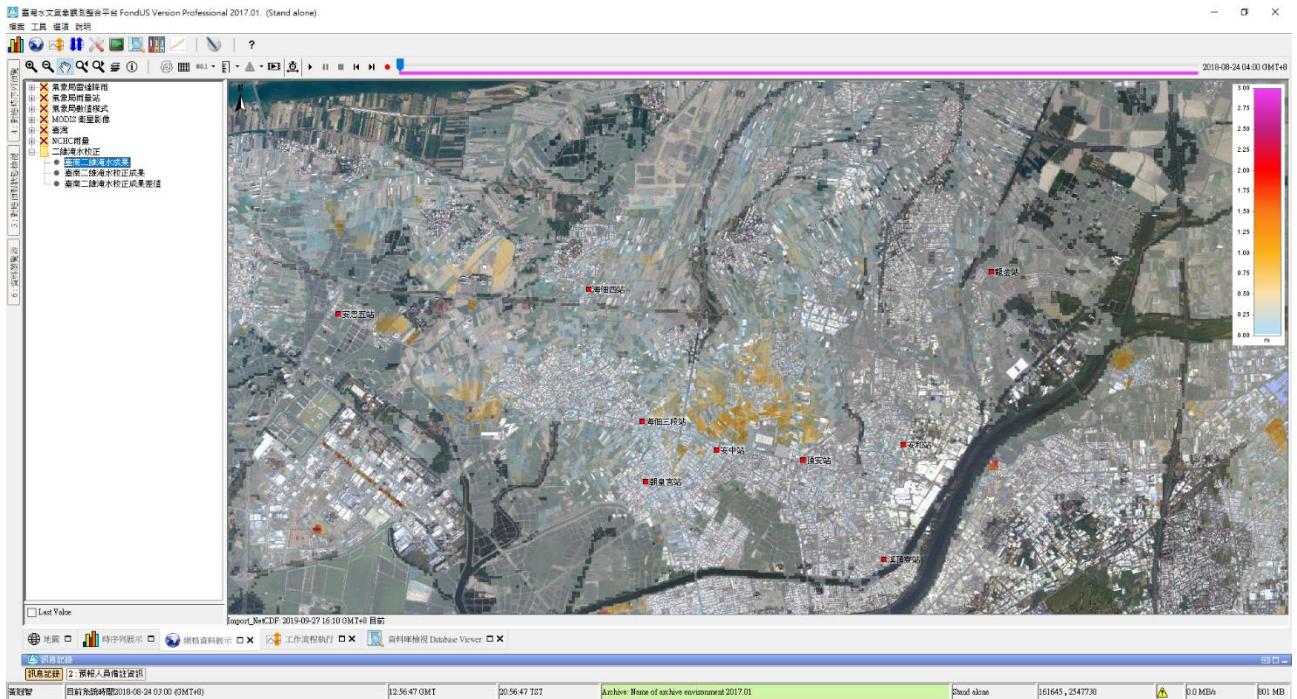


圖 4-95 採用 08-24 03:00 預報時間段之淹水模擬成果

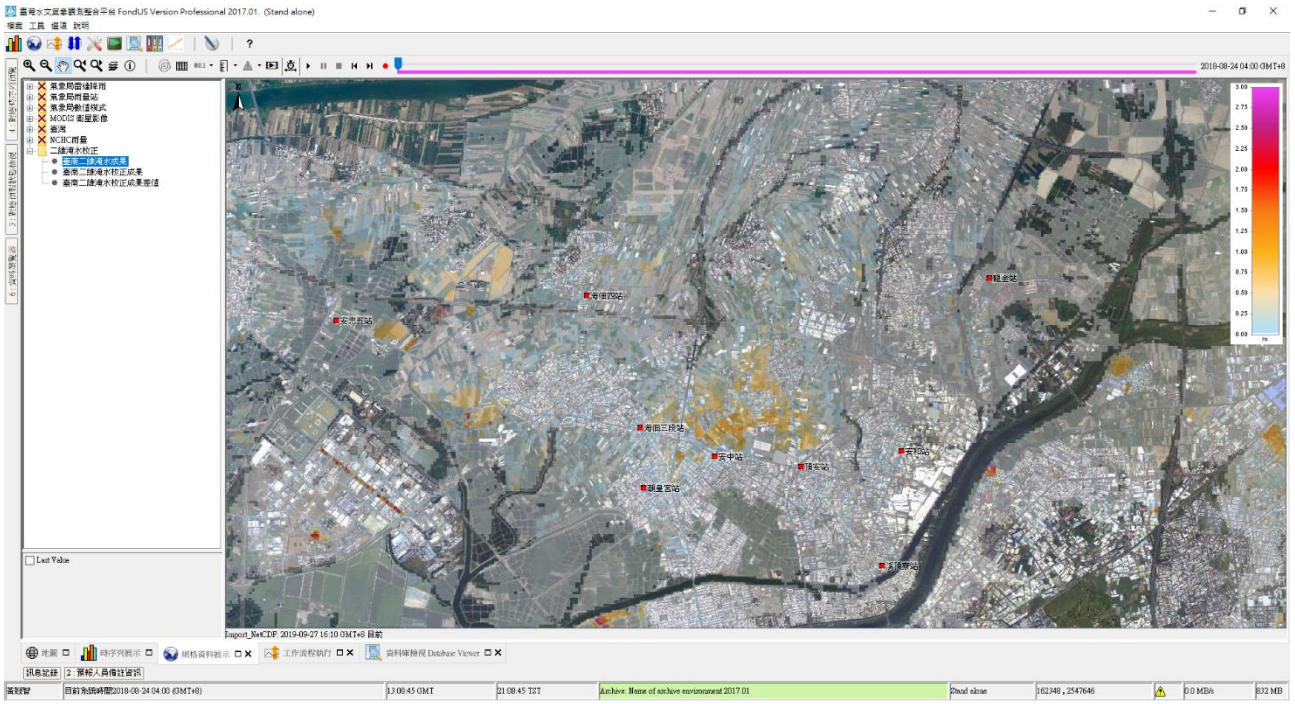


圖 4-96 採用 08-24 04:00 預報時間段之淹水模擬成果

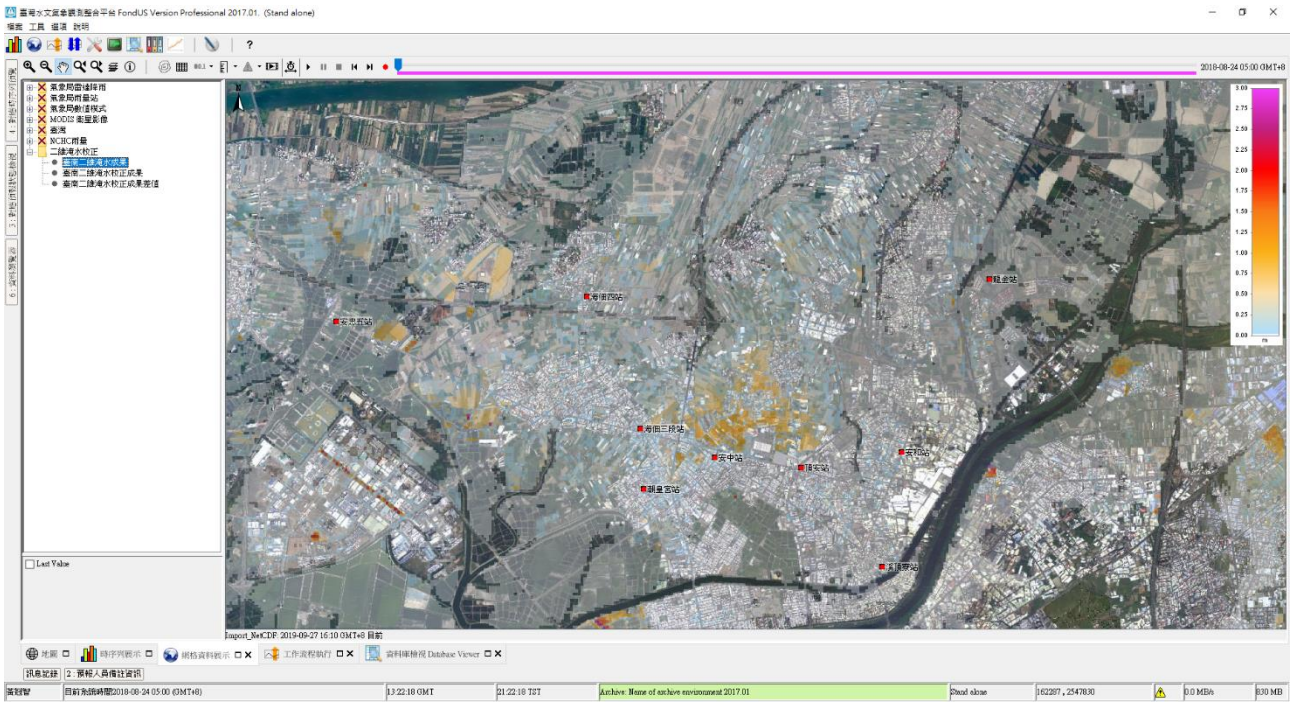


圖 4-97 採用 08-24 05:00 預報時間段之淹水模擬成果

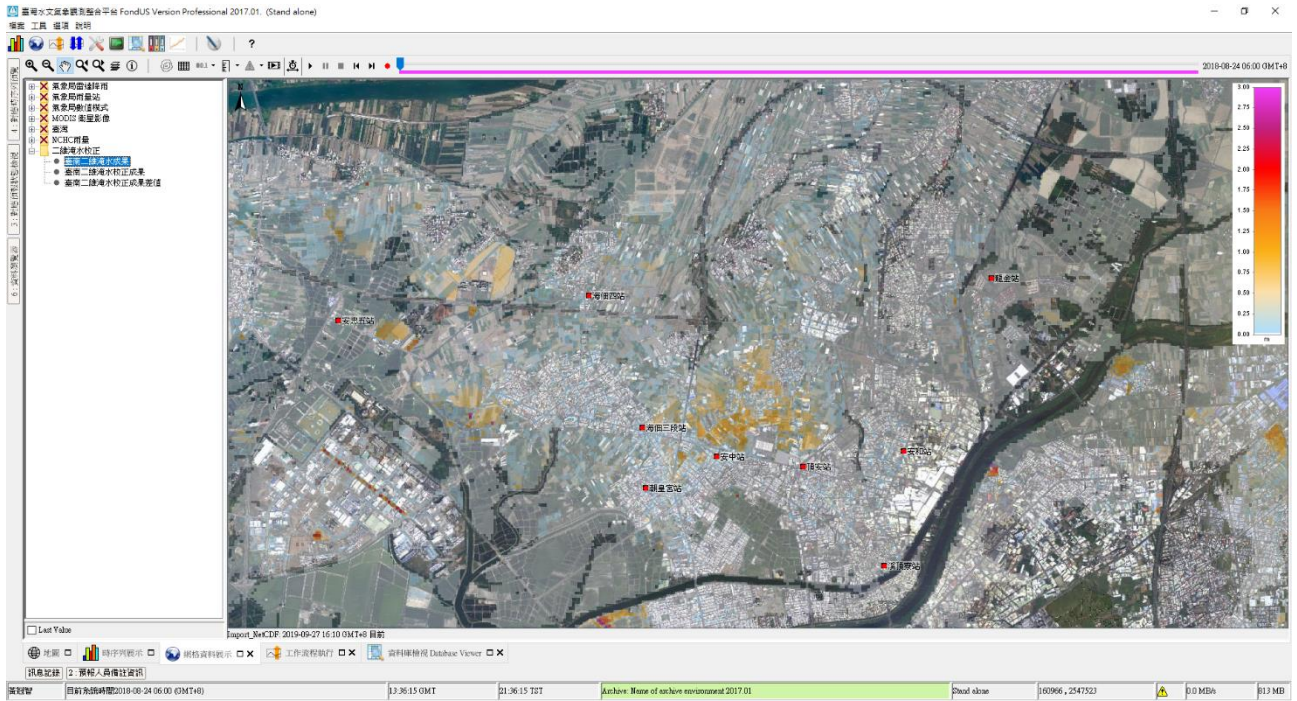


圖 4-98 採用 08-24 06:00 預報時間段之淹水模擬成果

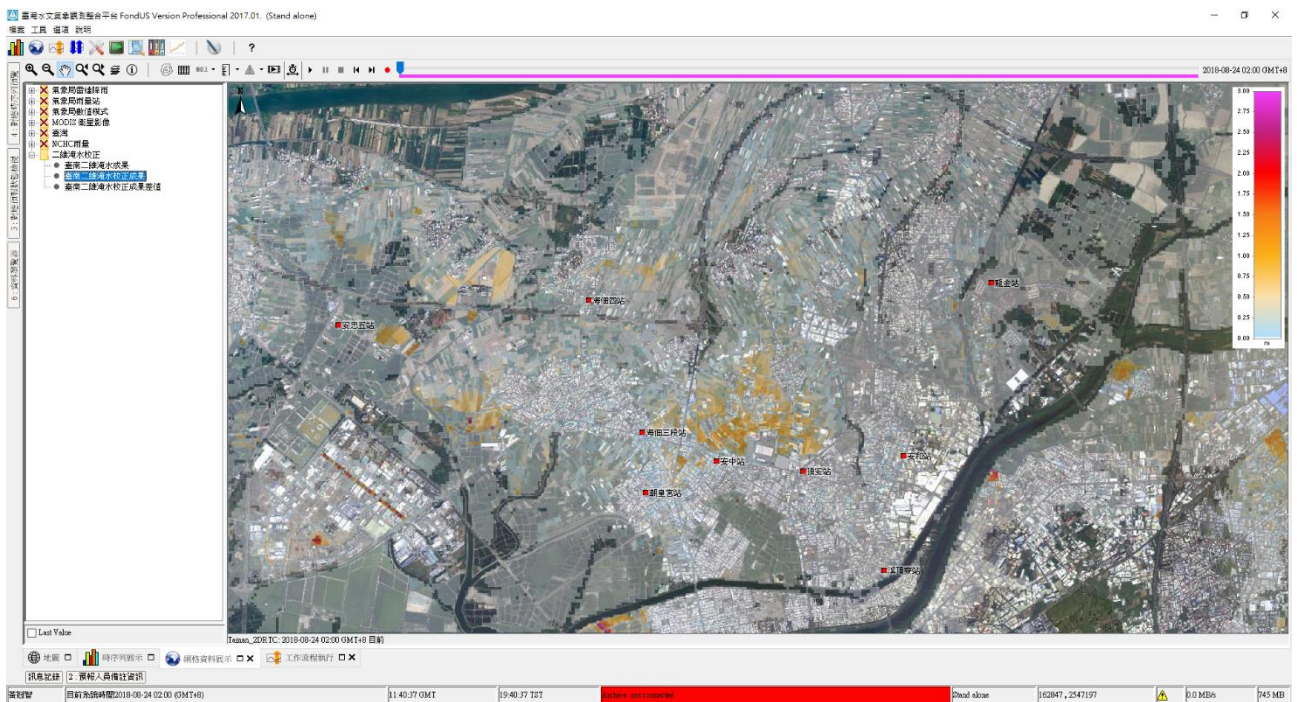


圖 4-99 採用 08-24 02:00 時間段之淹水模擬校正成果

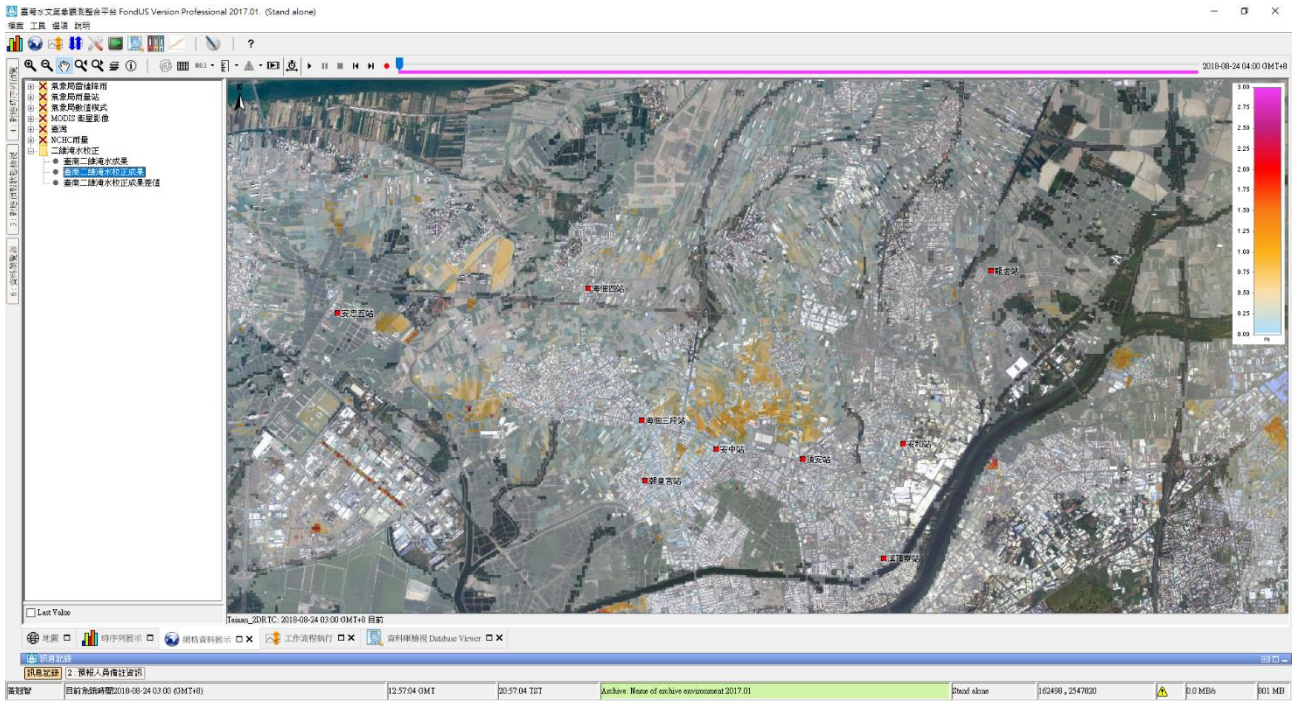


圖 4-100 採用 08-24 03:00 時間段之淹水模擬校正成果

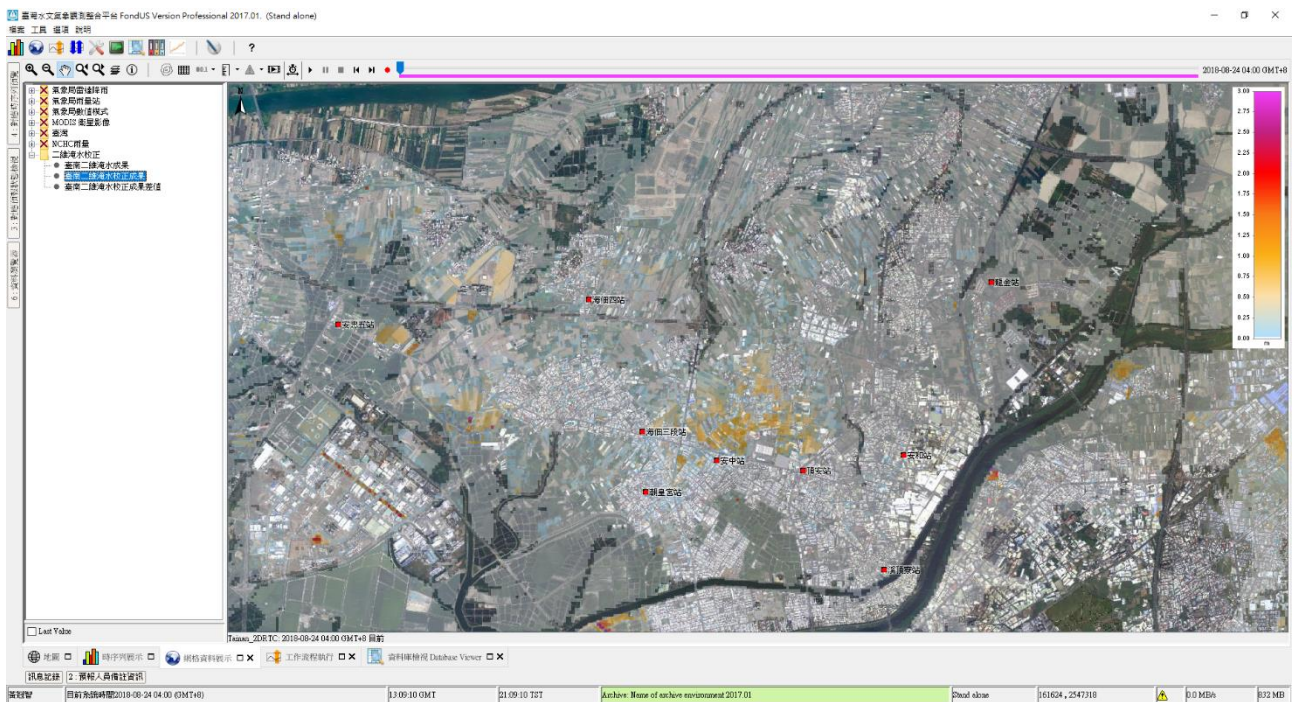


圖 4-101 採用 08-24 04:00 時間段之淹水模擬校正成果

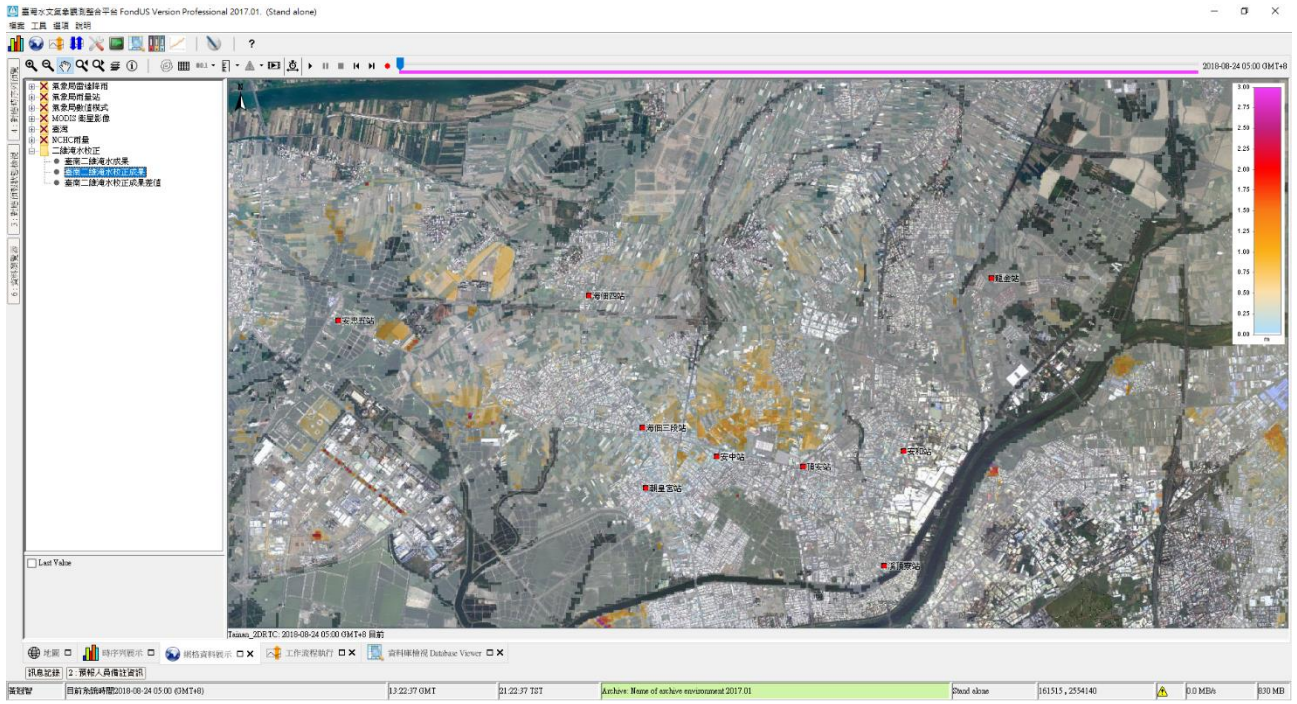


圖 4-102 採用 08-24 05:00 時間段之淹水模擬校正成果

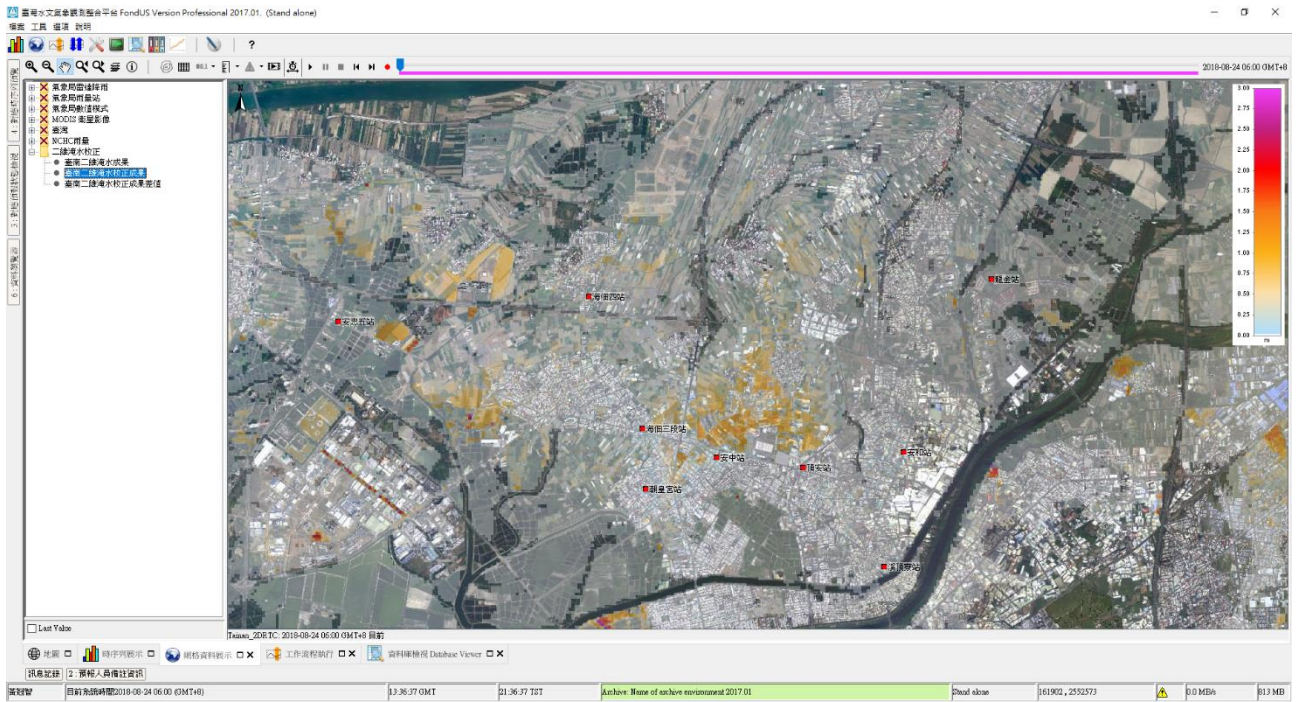


圖 4-103 採用 08-24 06:00 時間段之淹水模擬校正成果



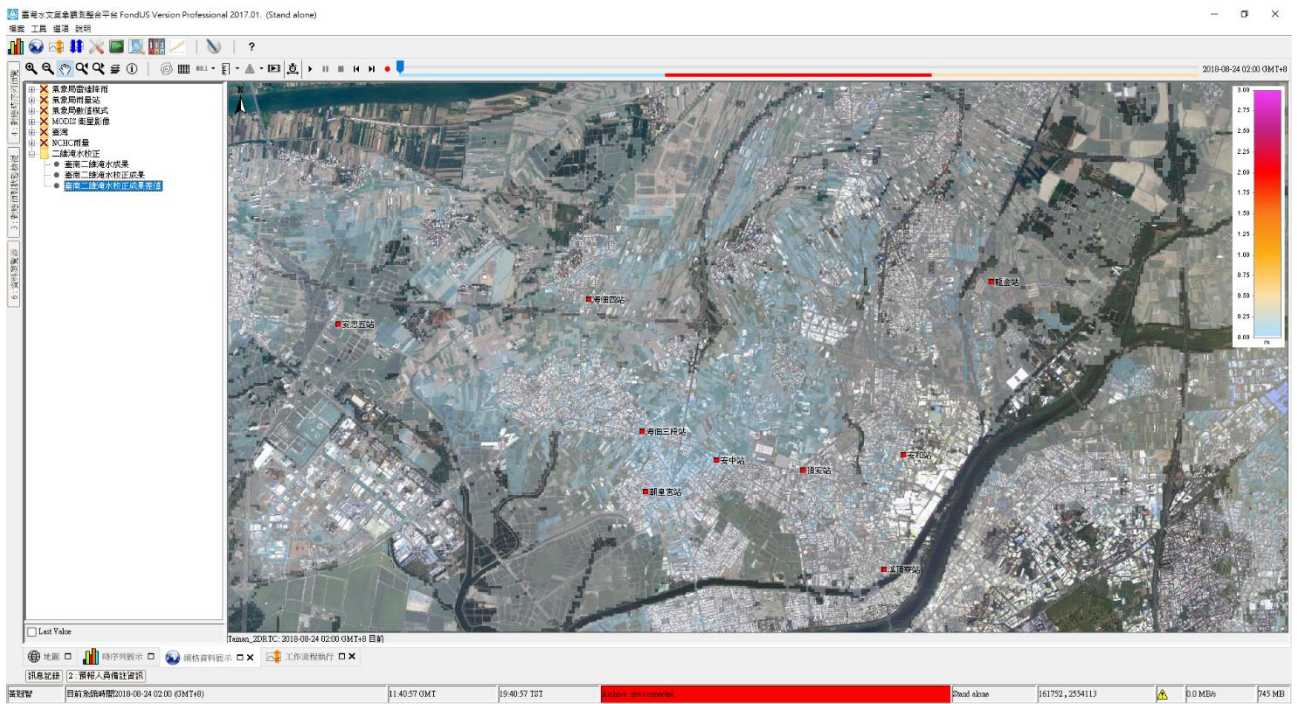


圖 4-104 採用 08-24 02:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值

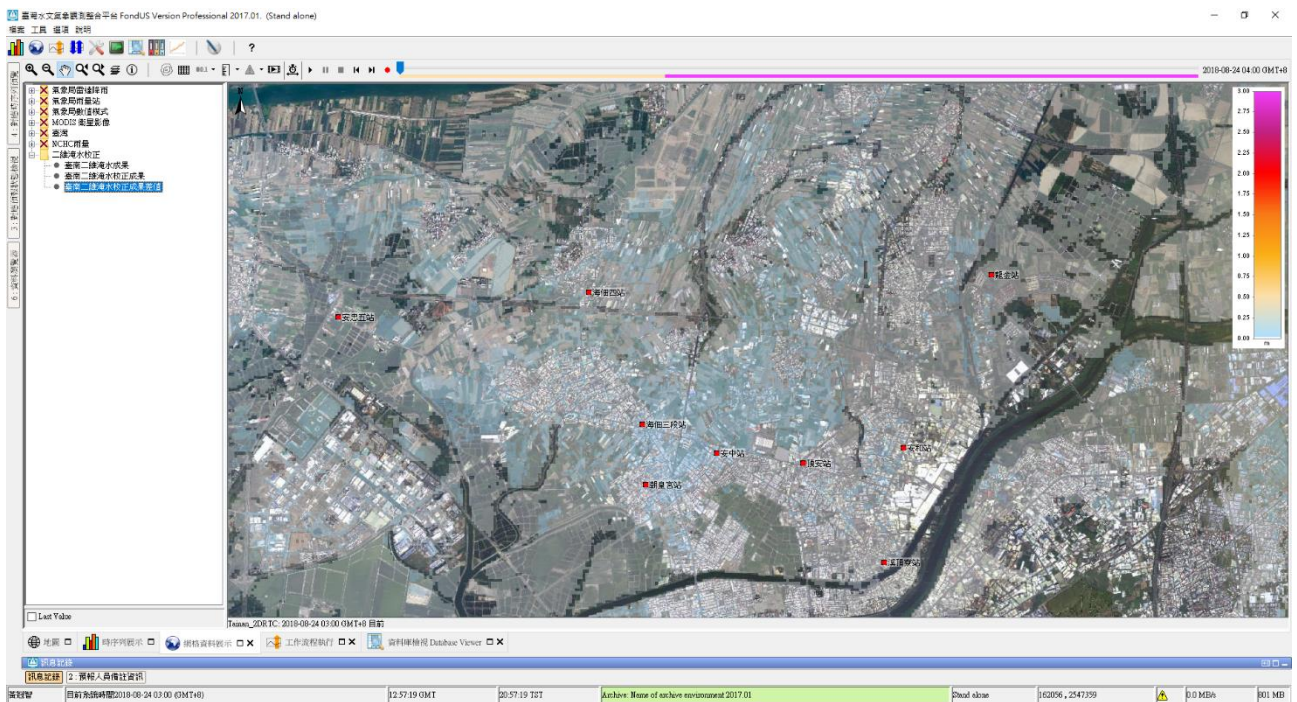


圖 4-105 採用 08-24 03:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值

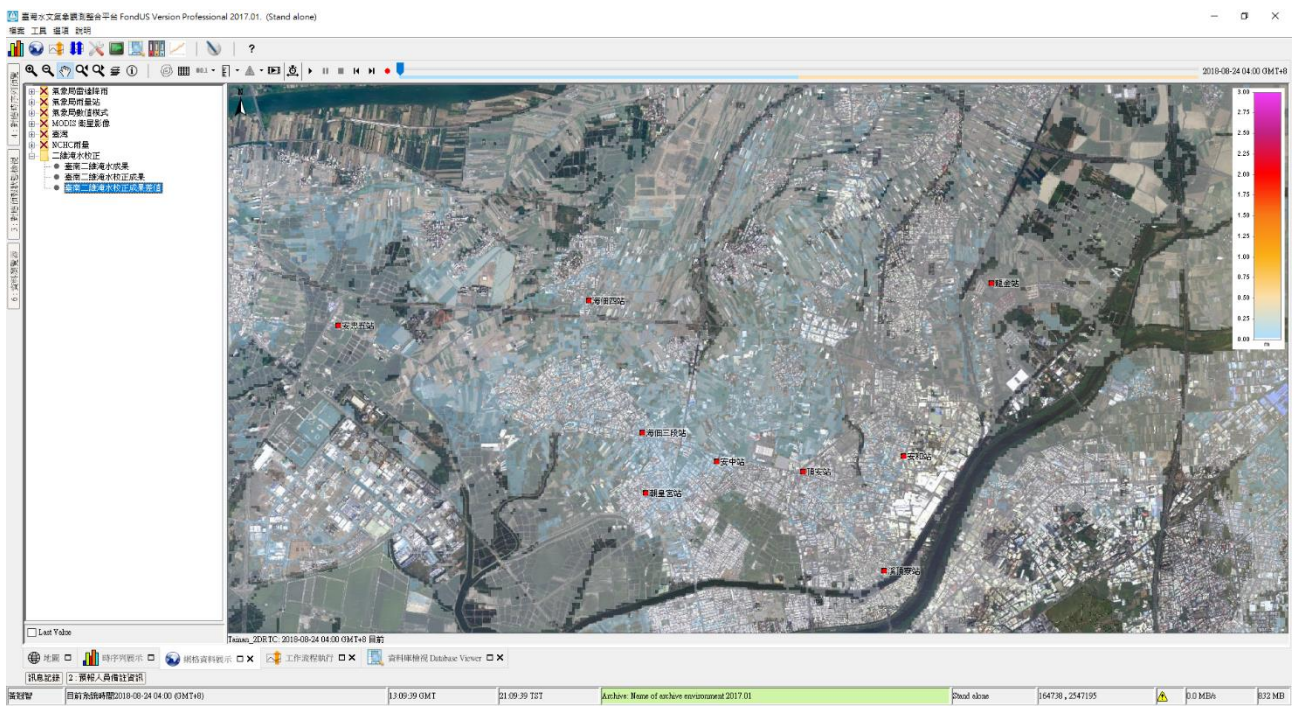


圖 4-106 採用 08-24 04:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值

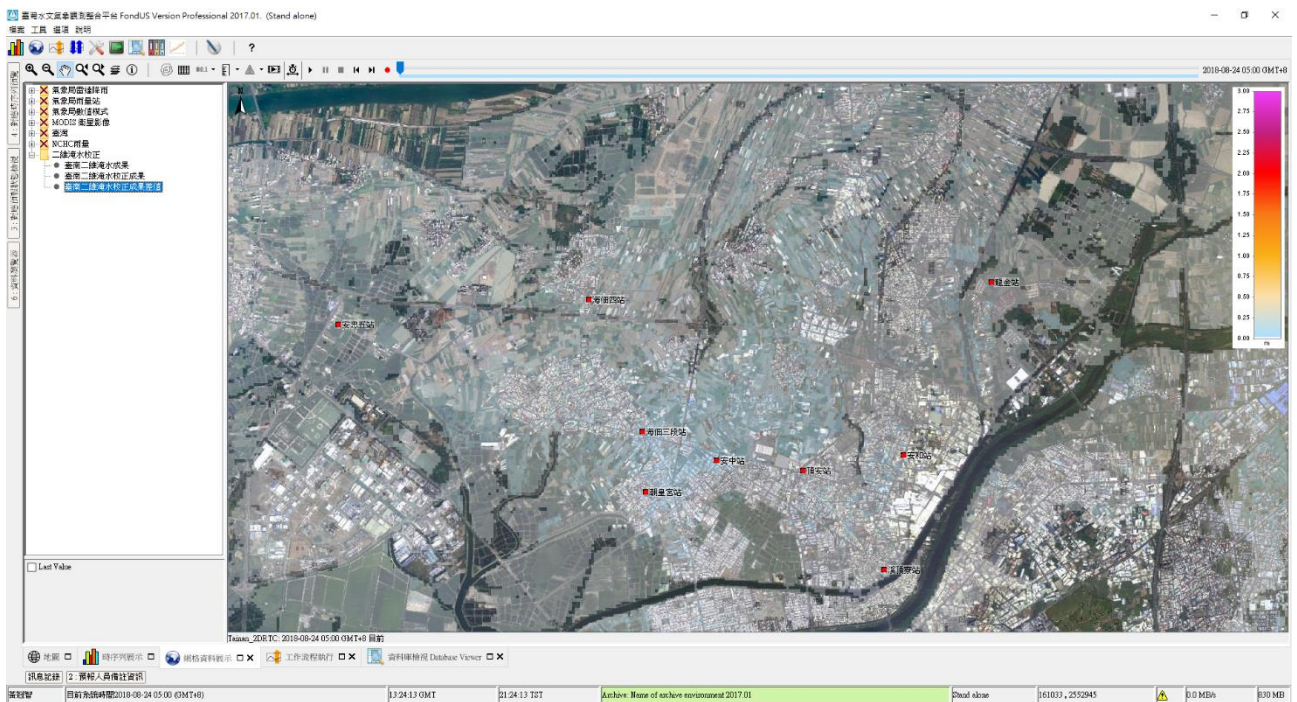


圖 4-107 採用 08-24 05:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值

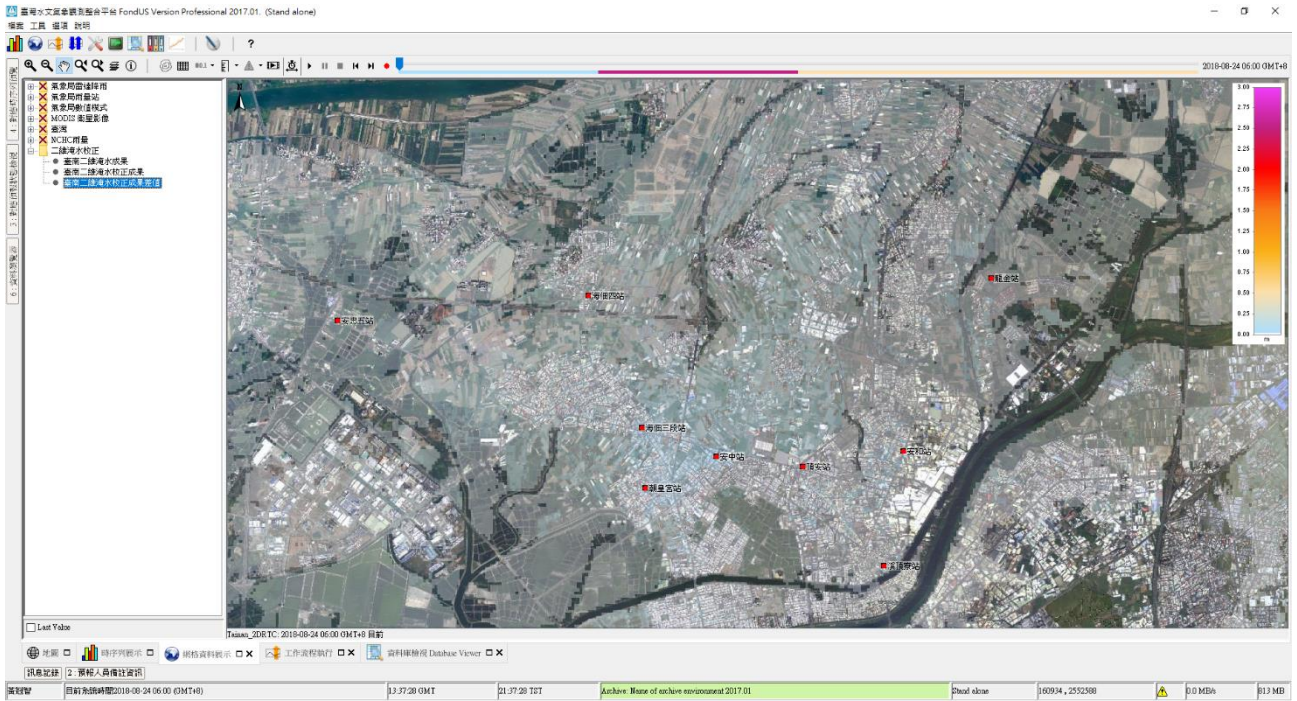


圖 4-108 採用 08-24 06:00 時間段之淹水模擬校正與成果差值

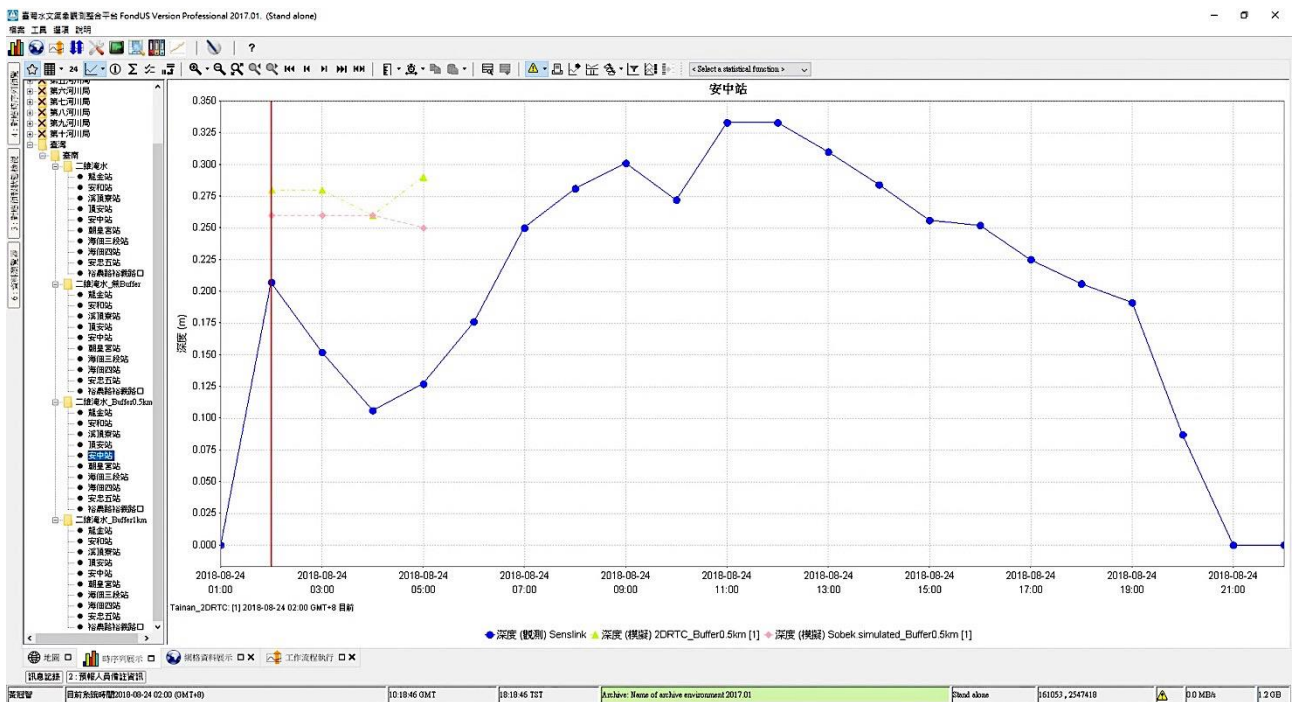


圖 4-109 採用 08-24 02:00 時間段於安中站 500m 範圍模擬成果與校正值比對

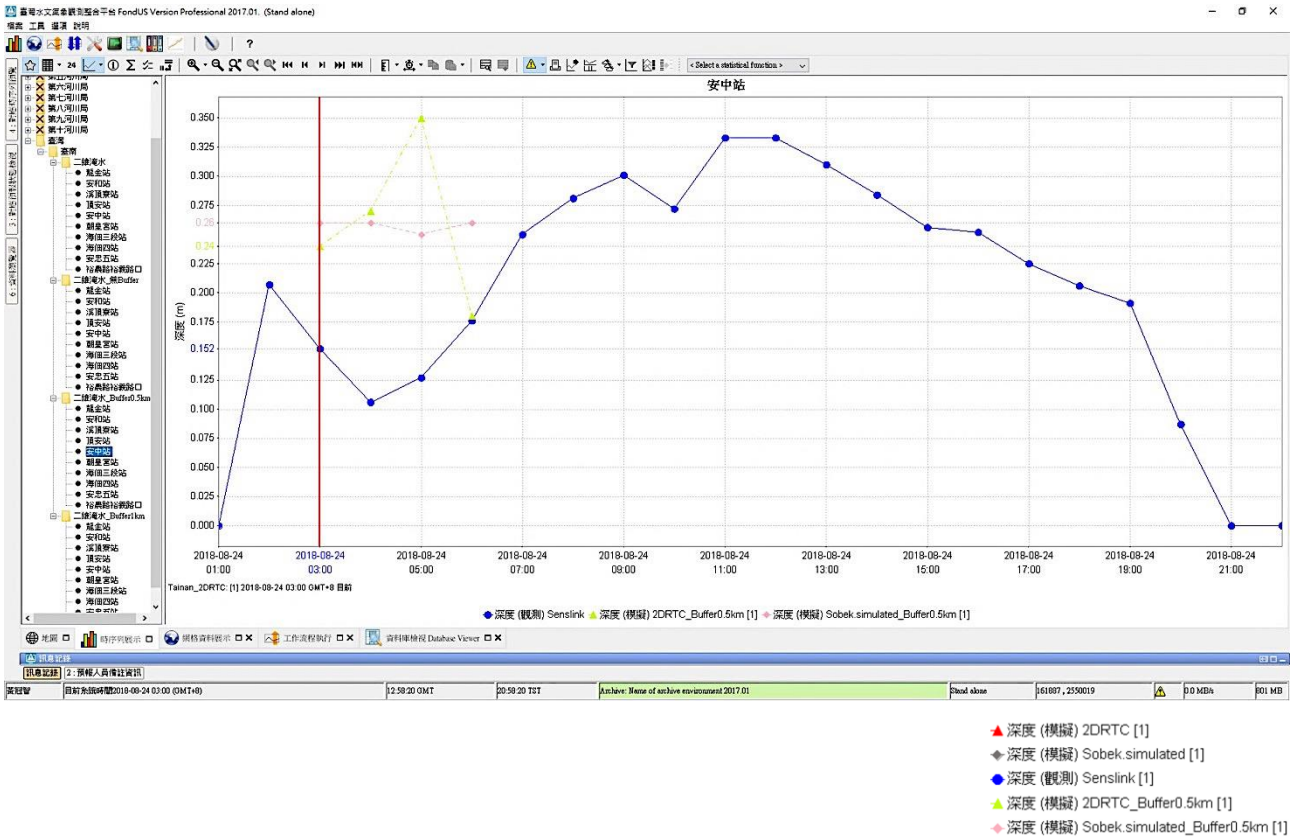


圖 4-110 採用 08-24 03:00 時間段於安中站 500m 範圍模擬成果與校正值比對

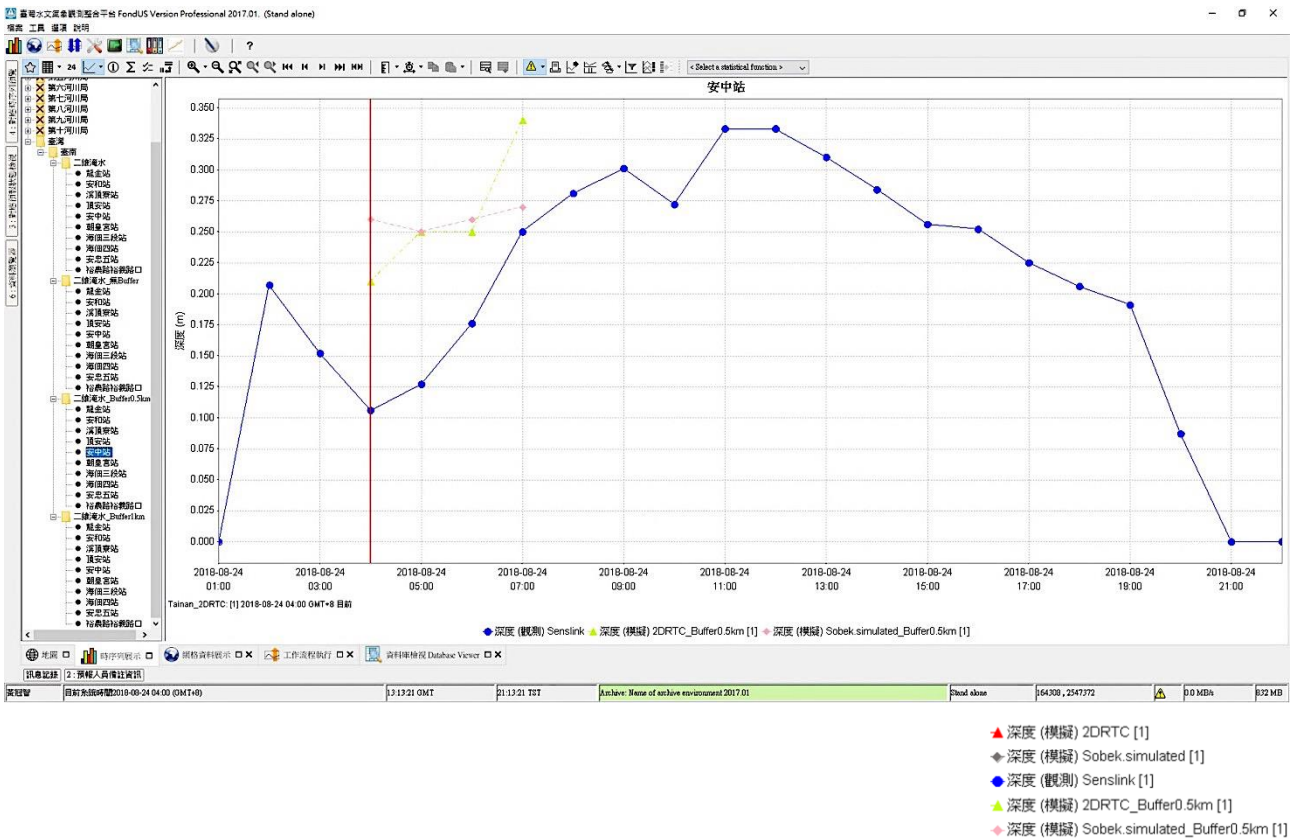
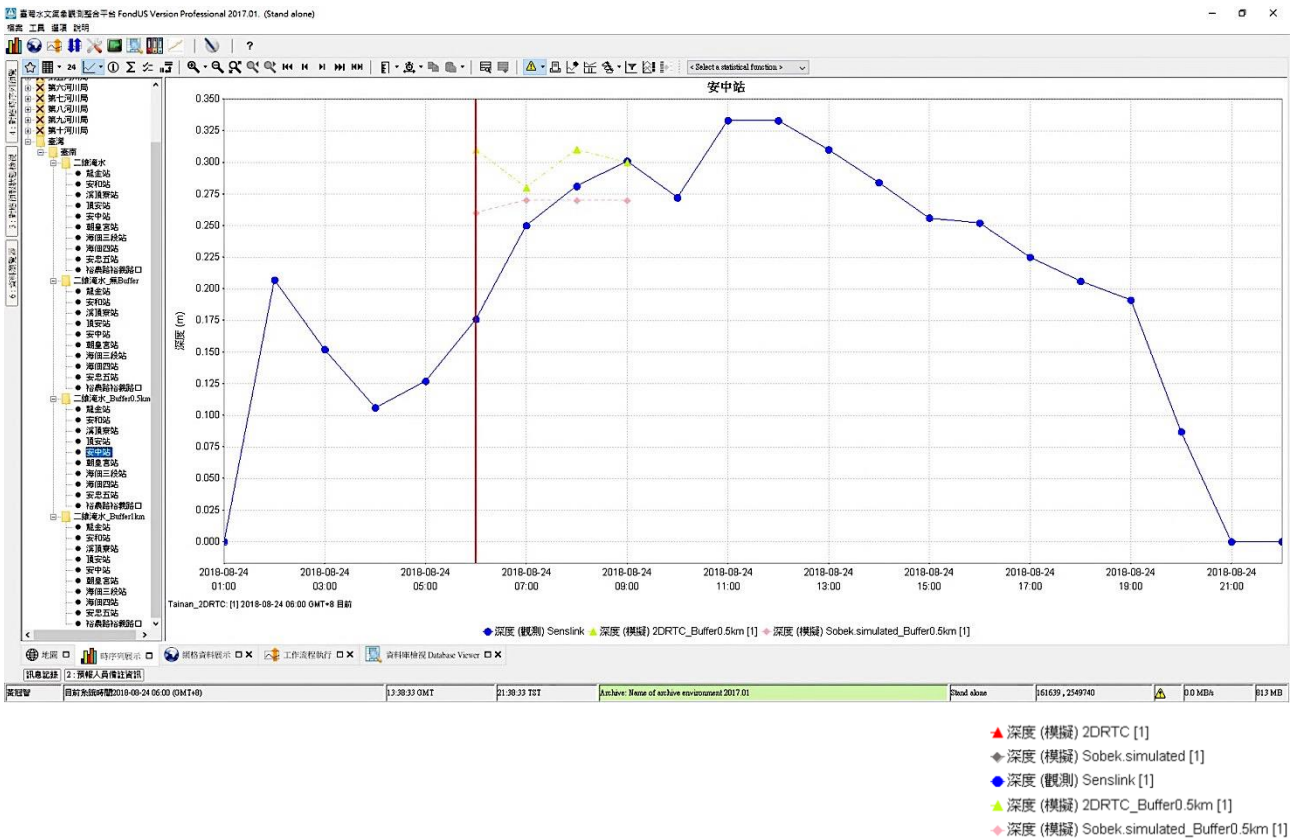
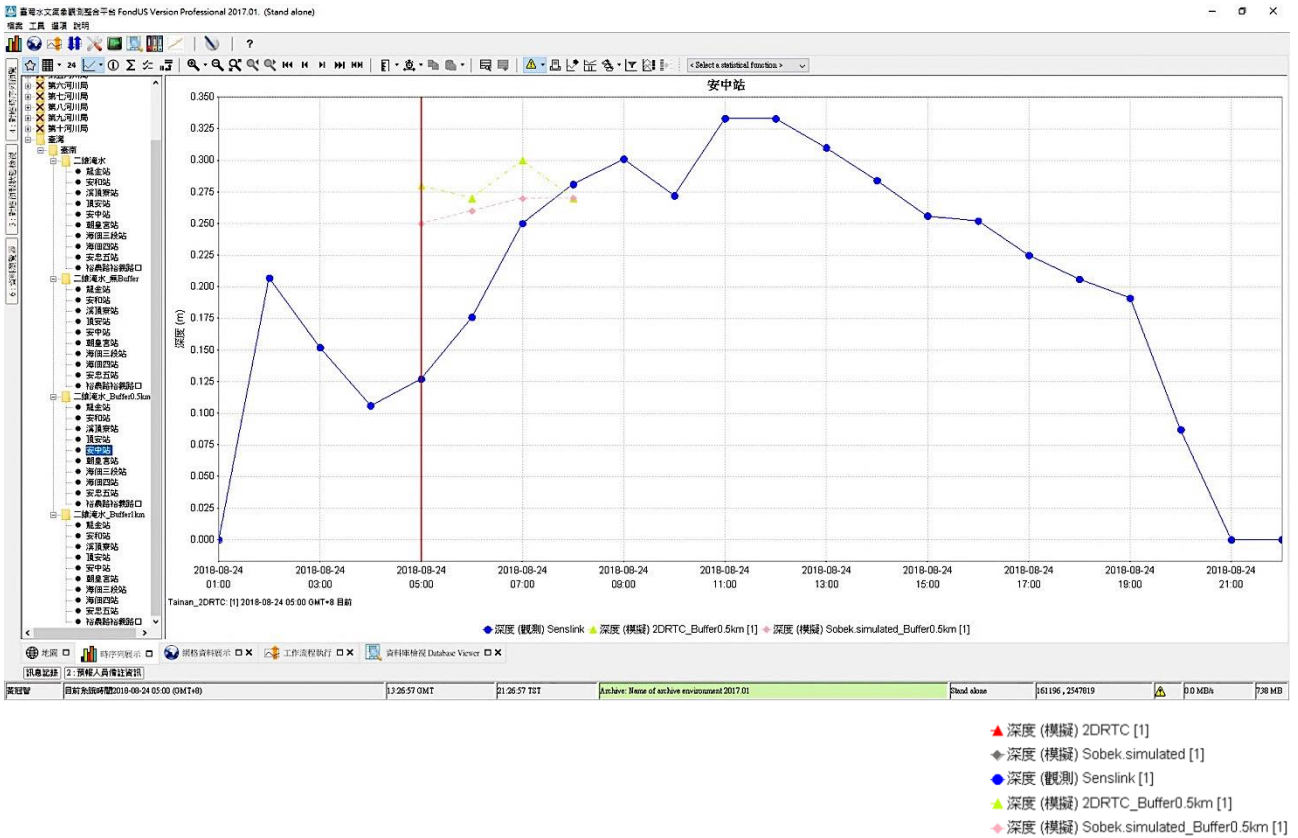


圖 4-111 採用 08-24 04:00 時間段於安中站 500m 範圍模擬成果與校正值比對



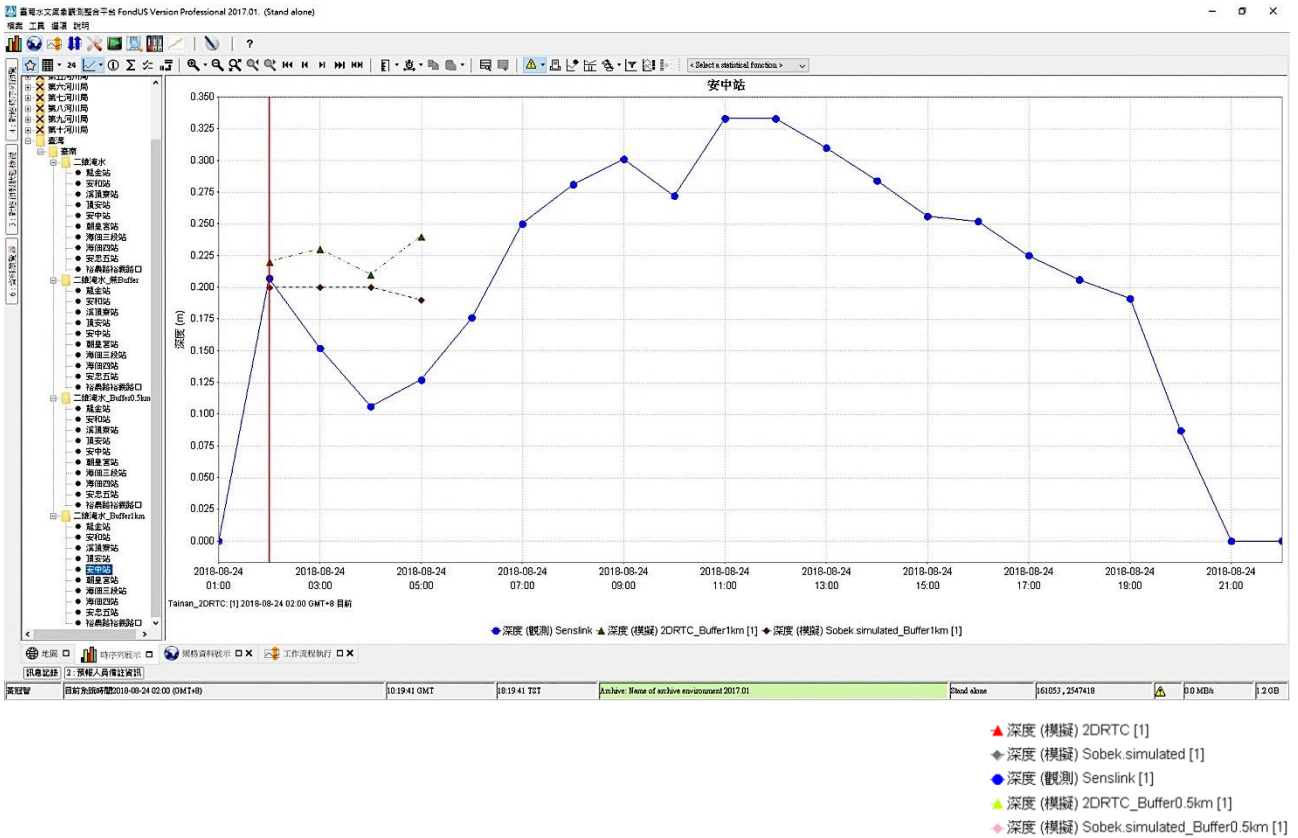


圖 4-114 採用 08-24 02:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對

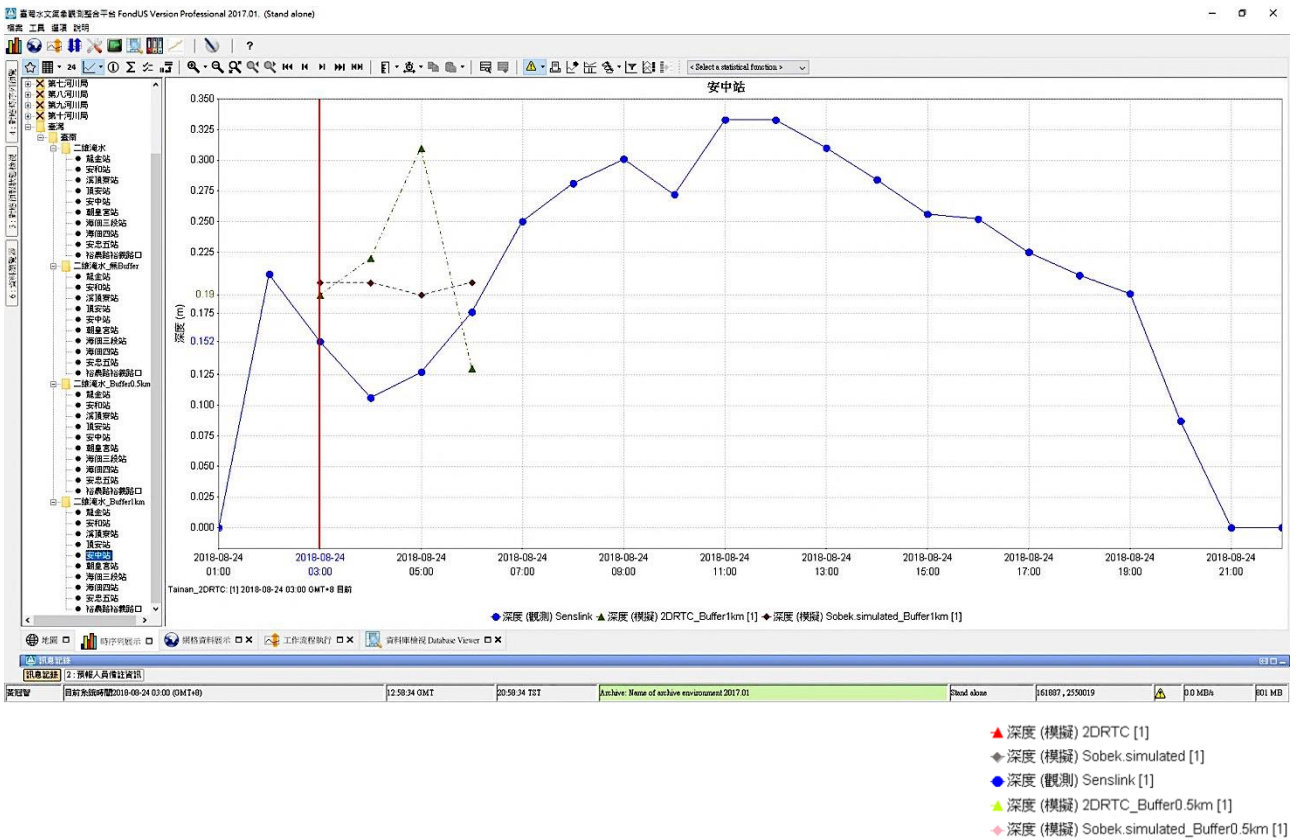


圖 4-115 採用 08-24 03:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對

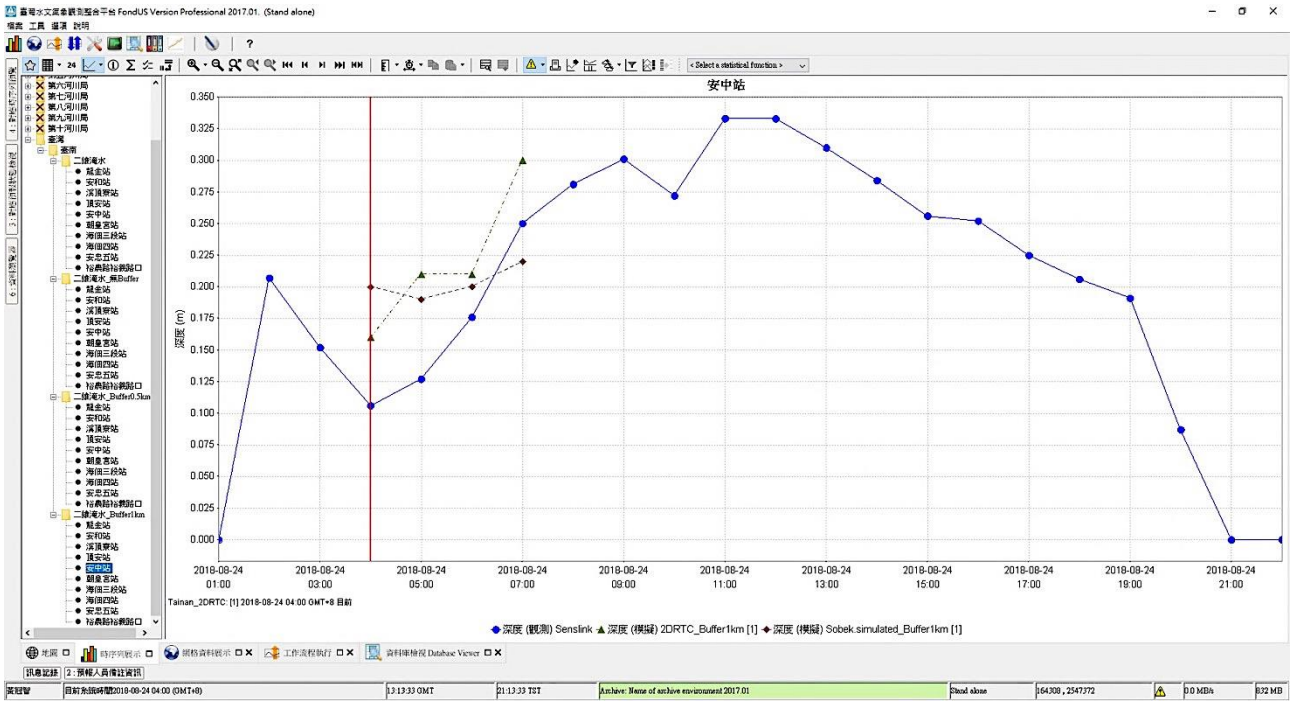


圖 4-116 採用 08-24 04:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對

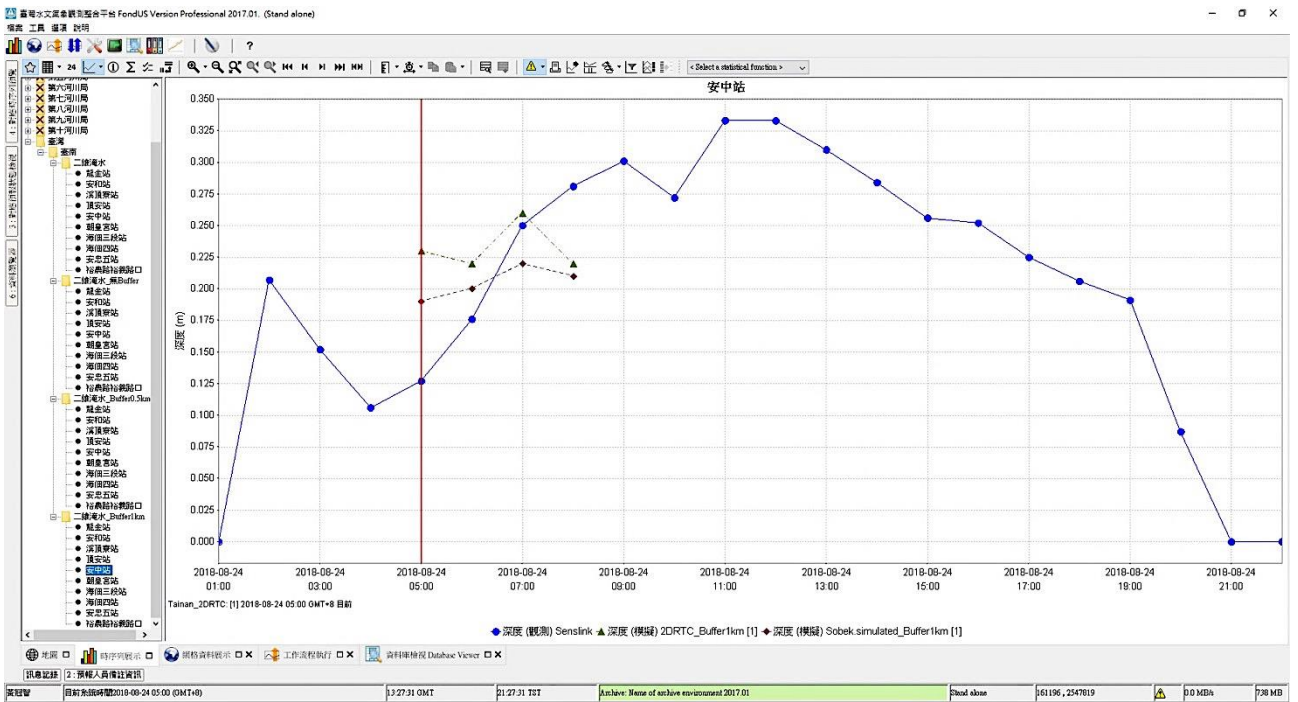


圖 4-117 採用 08-24 05:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對

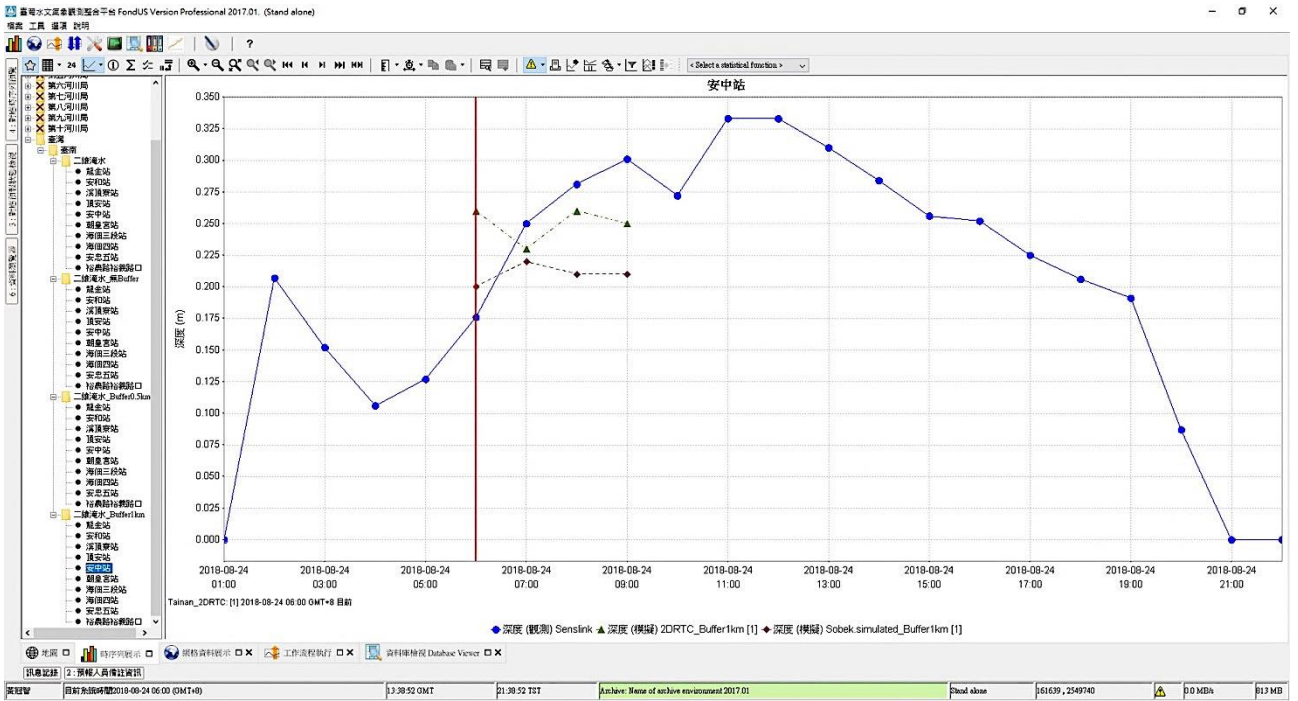


圖 4-118 採用 08-24 06:00 時間段於安中站 1000m 範圍模擬成果與校正值比對

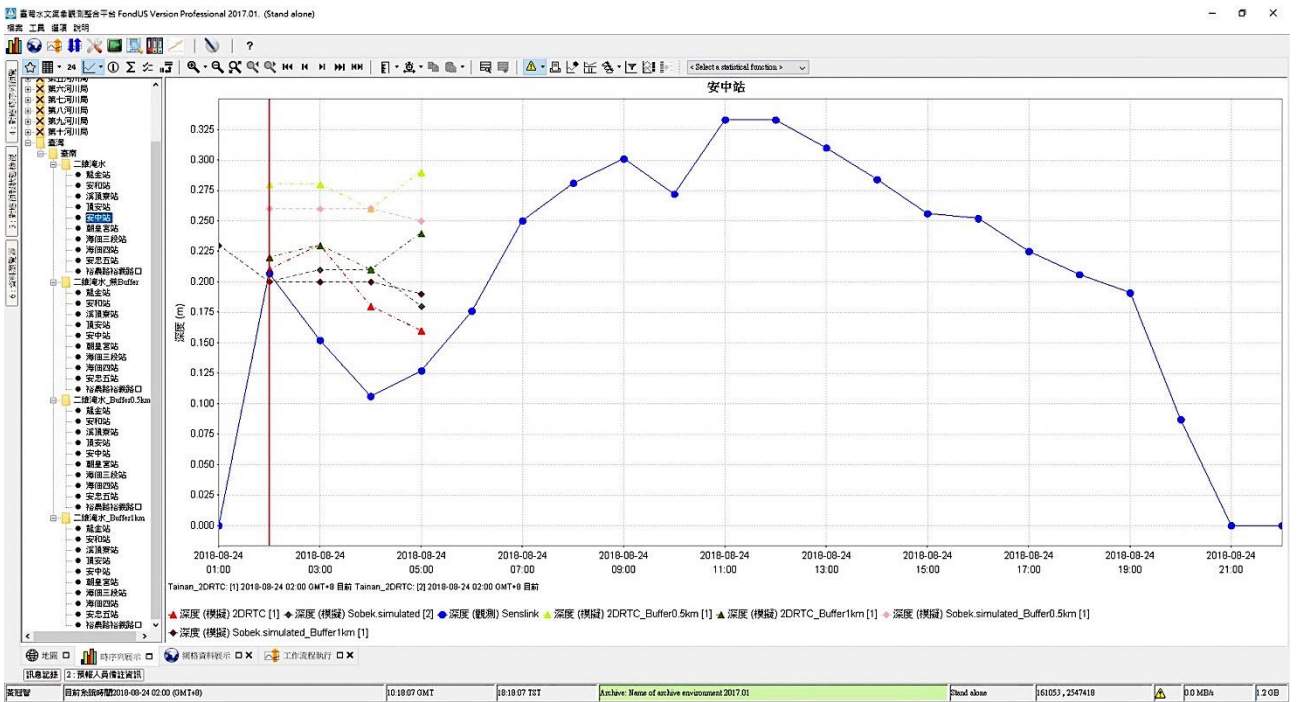


圖 4-119 採用 08-24 02:00 時間段於安中站不同距離範圍模擬與校正值比對



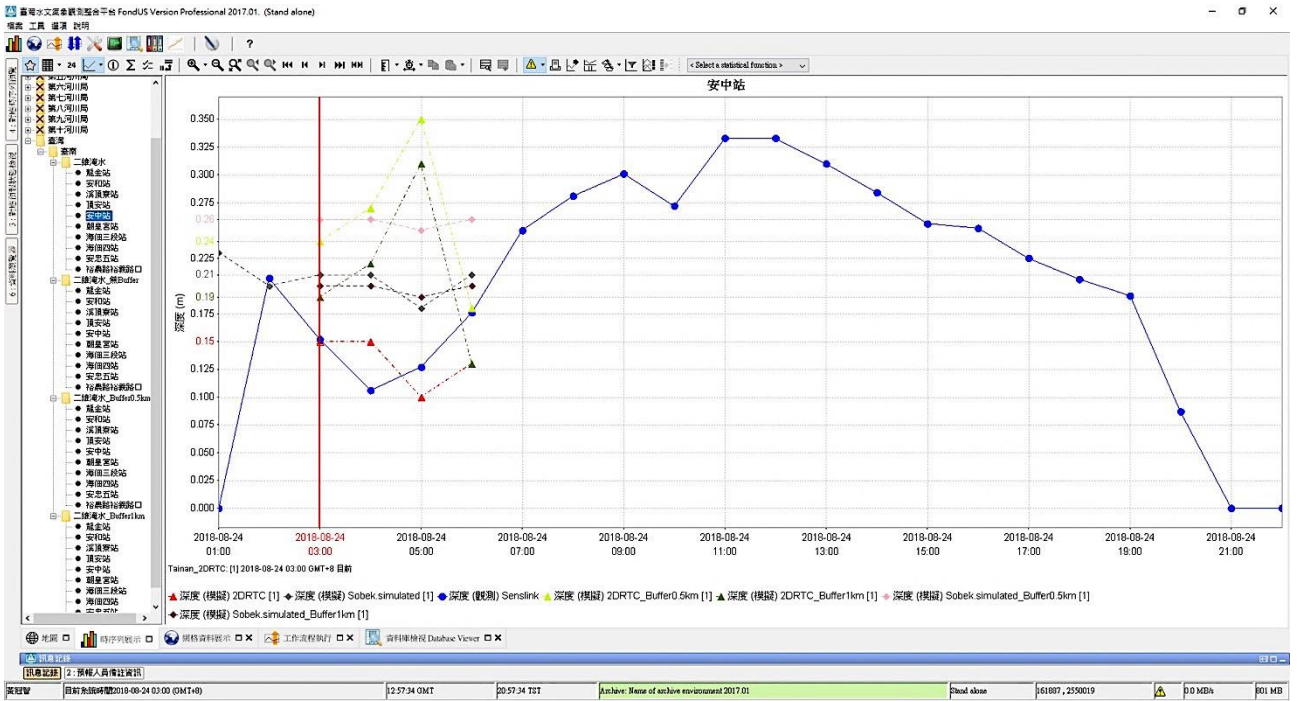


圖 4-120 採用 08-24 03:00 時間段於安中站不同距離範圍模擬與校正值比對

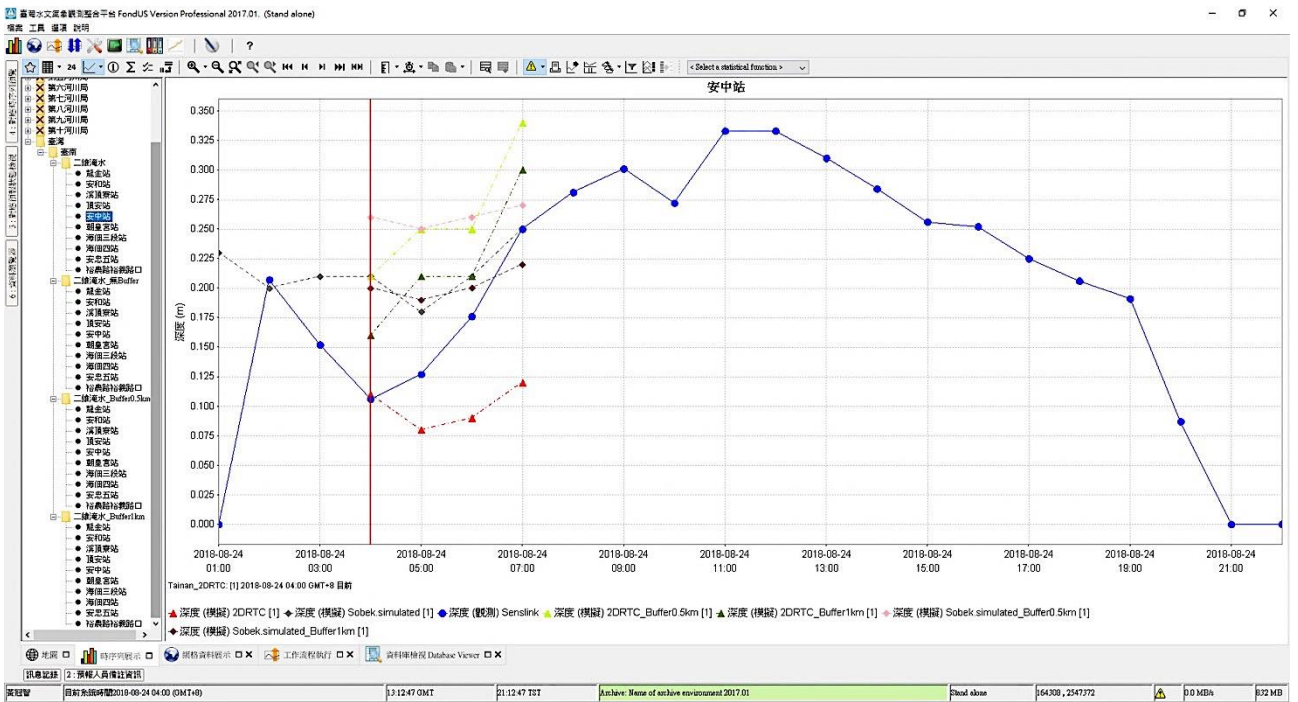
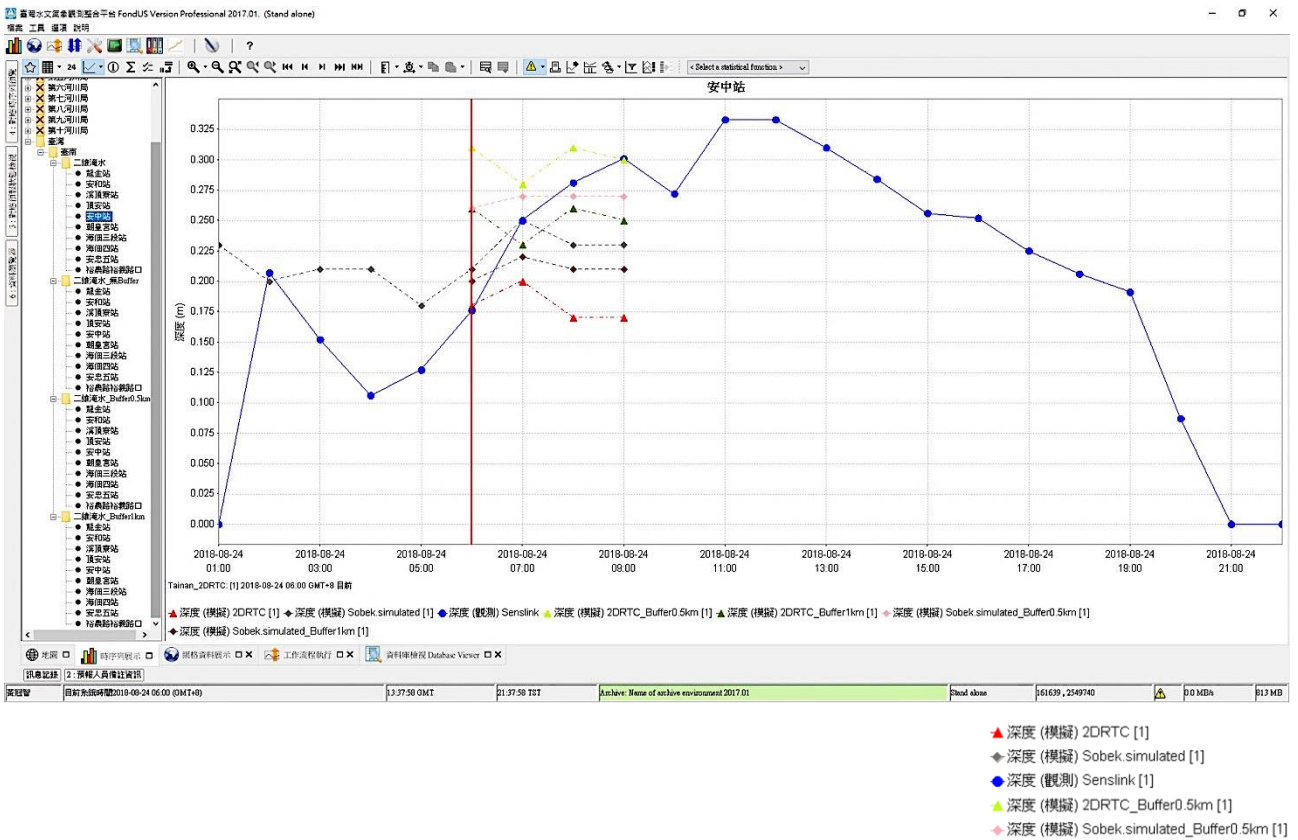
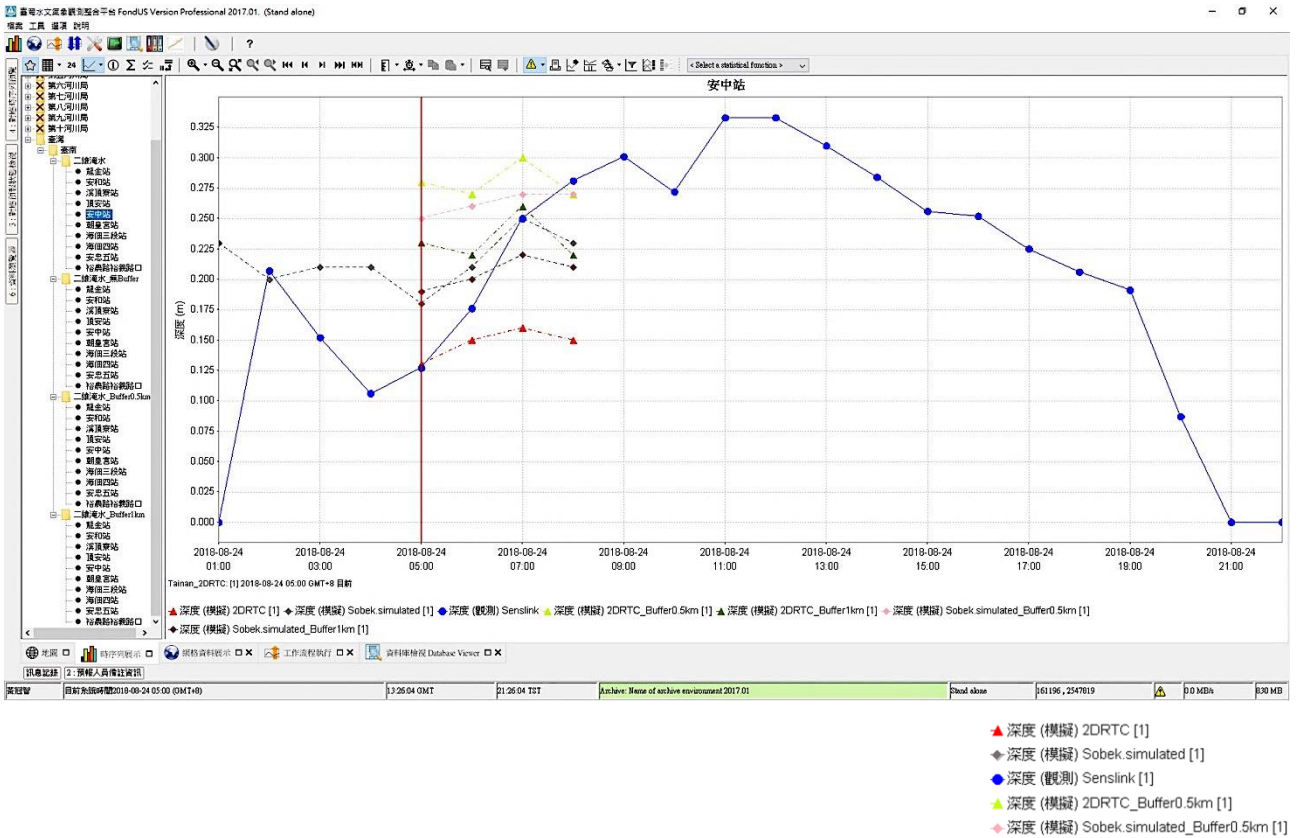


圖 4-121 採用 08-24 04:00 時間段於安中站不同距離範圍模擬與校正值比對



## 第五章 運算結構最佳化設定

前開內容主要針對水理模式演算機制探討，而本章就平台整合流程進行最佳化研究的說明。

由於過往在執行淹水預警功能測試等相關計畫，在平台整合流程須投入相當的資源，以滿足颱風期間能夠穩定供應淹水預報成果。加上實際運行結果發現，二維即時淹水模擬所需要的計算資源，較傳統河川水位預報高上許多。

為了達到複雜的即時淹水模擬，又要講求資料時效性，綜觀國內外進行淹水預報的系統，多採用平行運算與分散式運算的平台架構，在淹水整合模式無法達到平行運算的功能前，分散式運算能夠解決淹水預報大量計算資源需求的作法。

然而，颱風事件並非無時不刻都在發生，特別是在非汛期期間發生的機會較少，是否需要常時維持如此龐大的計算資源，本所認為在運算結構最佳化的探討中，平台的維運效益是首要課題。

### 一、工作概述

在運算結構最佳化設定的實驗上，由於會進行運算效能與成本的評估，並探討運算效能提升與運算成本之差異性，因此在實驗上主要針對不同主機差異、排程的調整、分區的影響進行評估。透過排程調整的前後差異、不同硬體主機運算差異、模式分區調整前後差異，進行運算時間效能的比對與運算資源差異的探討，相關測試與比對架構如圖 3-9 所示。

此外，如何取得平台維運效益的最佳化結果，主要方向有兩個：首先，是計算資源的彈性擴展與縮小，非颱風期間僅需要維持最小規模的運轉，使得淹水預報系統能持續接收並分析氣象水文資料，當到達一定警戒雨量時，再彈性擴充進行淹水模擬的計算主機群。

其二，在非颱風期間將計算資源移去做其它需求使用，在前面的國內外資料搜集當中，亦提到 AHPS 提供離線的淹水潛勢資料供參考，或者可利用淹水潛勢模式配合多情境雨量事件進行淹水模擬，並將成果提供給人工智慧模式進行訓練。即時淹水模擬平台運算資源分配則如圖 5-1 所示。

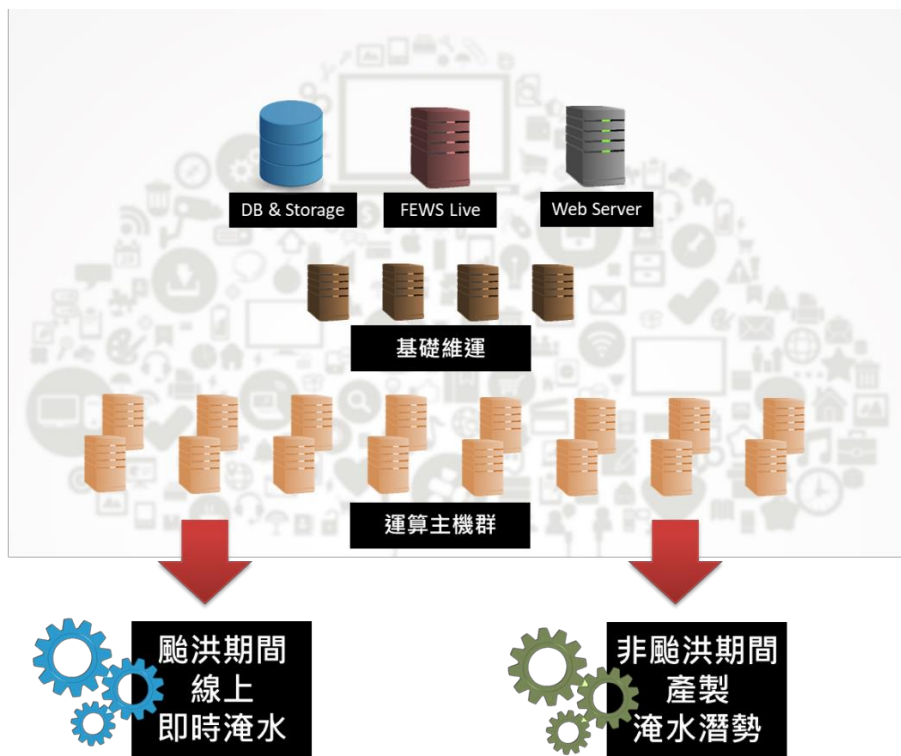


圖 5-1 即時淹水模擬平台運算資源分配概念圖

## 二、不同伺服器主機效能測試

為了有效了解不同主機硬體資源架構下對於模式運算的時間影響，分為下列步驟：

- (一)在伺服器主機環境的比較上，採用水利署、國立臺北科技大學、國家高速網路與計算機中心等不同資訊環境，進行模式運算效能的比對。
- (二)比對內容採用相同專案、相同降雨量、相同模擬時間進行，並且確認運算結果一致，進行伺服器主機運算時間的統計。
- (三)在案例中統一使用相同之專案內容進行模擬分析。選用臺南 Zone3 TNAZ3U01.lit 其模式專案內容如圖 5-2 所示，採用 2019 年 06/10 13:00~2019 年 06/11 12:00 共計 24 小時延時，作為降雨事件的案例。該事件造成集水區平均累積雨量約 105mm，集水區最大累積雨量 203mm，降雨量空間分布如圖 5-3。
- (四)將同一個模式專案分別在不同運算主機資源上進行運算效能測試。以各組積運算的時間加以統計，評估運算資源在模式運算過程中的計算效能。

(五)各運算資源對應模式運算時間結果統計如表 5-1 所列，可看出四個單位所運算出來的結果，差異約數秒至 6 分鐘不等的差距。對照在 SOBEK 模式在運算過程中，主要取決於 CPU 頻率，當 CPU 基礎頻率越高效能越高其運算時間相對較快。

表 5-1 不同主機進行 SOBEK 模式運算過時間評估

維護單位	主機規格	運算時間
國立臺北科技大學	8700k vm 主機	13m58s
經濟部水利署	2U 實體主機 vm	20m12s
經濟部水利署	Azure Stack vm 主機	19m44s
國家高速網路中心	OpenStack vm 主機	15m00s

說明：選用 SOBEK 臺南 Zone3 TNAZ3U01.lit 其模式專案進行測試。

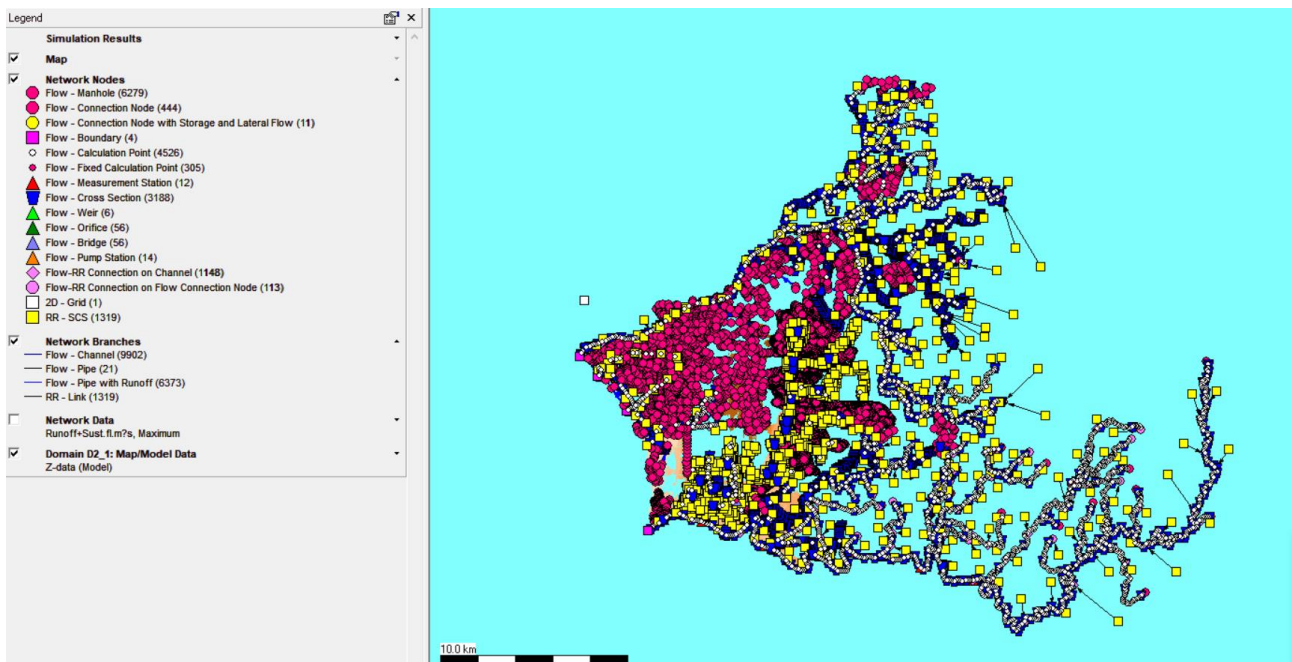


圖 5-2 主機效能測試採用模式專案：臺南 Zone3 TNAZ3U01.lit

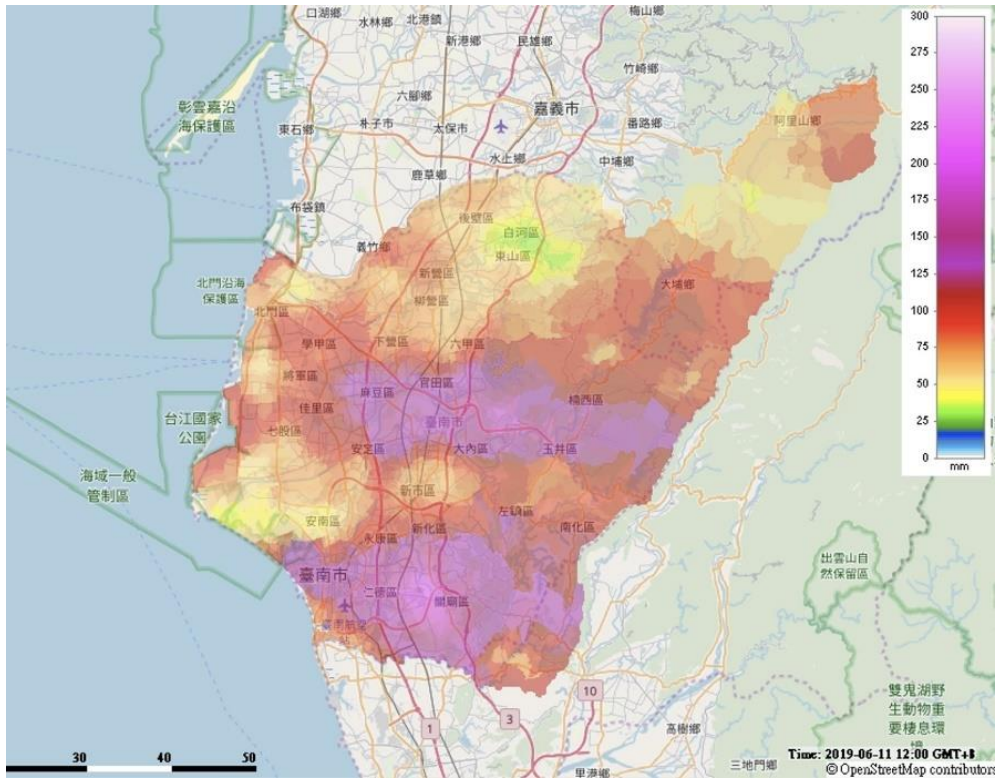


圖 5-3 主機效能測試實驗區域 24 小時累積降雨量空間分布

### 三、排程流程化規劃與調整

#### (一)伺服器排程作業流程與說明

在整體作業排程過程中，包含資料匯入、與共同資料轉換與處理之排程，觀測與預報資料匯入、降雨量時間序列處理、邊界條轉換等流程。而在臺中、臺南、高雄、屏東四縣市的排程作業，主要包含各分區初始狀態模擬、預報模擬、網格資料組合、淹水深度輸出等流程。對應共同作業排程與各縣市預報模擬分析所需要的作業流程，如表 5-2 至表 5-6 所示。

表 5-2 二維即時淹水共同作業排程表

Workflow ID	排程	說明
Import_CWB_WRF	04:00 GMT 10:00 GMT 16:00 GMT 22:00 GMT	輸入 CWB_WRF
Taiwan_Evaporation_FillZero	每小時第 10 分	蒸發散資料處理
Import_Qpesums_NTUT (2300hr Only)	01:12 GMT	輸入 QPESUMS 觀測
Import_Qpesums_Forecast_NTUT (2300hr Only)	01:12 GMT	輸入 QPESUMS 預報
Import_STMAS-WRF_NTUT (2300hr Only)	01:12 GMT	輸入 STMAS-WRF
Import_Qpesums_NTUT (2300hr Only)	01:21 GMT	輸入 QPESUMS
Import_Archive_Observed	每小時第 21 分	輸入觀測資料
Import_Archive_Forecasts	每小時第 22 分	輸入預報資料
Import_Qpesums_Forecast_NTUT	每小時第 23 分	輸入 QPESUMS 預報
Import_Qpesums_NTUT	每小時第 22 分	輸入 QPESUMS 觀測
Taiwan_Catchment_Average_Historical_IDW	每小時第 23 分	集水區降雨量站 IDW 內插
Taiwan_Catchment_Average_Forecast	每小時第 26 分	集水區預報降雨量處理
Export_Rainfall_Grids	每小時第 46 分	輸出降雨網格
Export_Rainfall	每小時第 46 分	輸出降雨量
Export_Taiwan_Catchment_Average	每小時第 46 分	輸出集水區平均降雨量
Export_Waterlevels	每小時第 46 分	輸出水位
Import_Archive_Observed (2300hr Only)	01:11 GMT	輸入 Archive 觀測資料
Import_Archive_Forecasts (2300hr Only)	01:11 GMT	輸入 Archive 預報資料

表 5-3 屏東地區二維即時淹水模擬作業排程表

Workflow ID	排程	備註
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone2_Historical	每小時第 27 分	屏東 40M_zone2 歷史模擬
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone1_Historical	每小時第 27 分	屏東 40M_zone1 歷史模擬
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone3_Historical	每小時第 27 分	屏東 40M_zone3 歷史模擬
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone4_Historical	每小時第 27 分	屏東 40M_zone4 歷史模擬
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone5_Historical	每小時第 27 分	屏東 40M_zone5 歷史模擬
Pingtung_GridMerge_40M_Zone_Historical	每小時第 31 分	屏東 40M 網格組合歷史模擬
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone1	每小時第 36 分	屏東 40M_zone1
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone2	每小時第 36 分	屏東 40M_zone2
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone3	每小時第 36 分	屏東 40M_zone3
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone4	每小時第 36 分	屏東 40M_zone4
Pingtung_SOBEK_2D_40M_Zone5	每小時第 36 分	屏東 40M_zone5
Pingtung_GridMerge_40M_Zone	每小時第 43 分	屏東 40M 網格組合
Export_Pingtung_SOBEK_Depth	每小時第 46 分	輸出屏東淹水深度



表 5-4 高雄地區二維即時淹水模擬作業排程表

Workflow ID	Schedule	備註
Kaohsiung_SOBEK_2D_40M_Zone1_Historical	每小時第 27 分	高雄 40M_zone1 歷史模擬
Kaohsiung_SOBEK_2D_40M_Zone2_Historical	每小時第 27 分	高雄 40M_zone2 歷史模擬
Kaohsiung_SOBEK_2D_40M_Zone3_Historical	每小時第 27 分	高雄 40M_zone3 歷史模擬
Kaohsiung_SOBEK_2D_40M_Zone4_Historical	每小時第 27 分	高雄 40M_zone4 歷史模擬
Kaohsiung_GridMerge_40M_Zone_Historical	每小時第 31 分	高雄 40M 網格組合歷史模擬
Kaohsiung_SOBEK_2D_40M_Zone1	每小時第 36 分	高雄 40M_zone1
Kaohsiung_SOBEK_2D_40M_Zone2	每小時第 36 分	高雄 40M_zone2
Kaohsiung_SOBEK_2D_40M_Zone3	每小時第 36 分	高雄 40M_zone3
Kaohsiung_SOBEK_2D_40M_Zone4	每小時第 36 分	高雄 40M_zone4
Kaohsiung_GridMerge_40M_Zone	每小時第 43 分	高雄 40M 網格組合
Export_Kaohsiung_SOBEK_Depth	每小時第 46 分	輸出高雄淹水深度

表 5-5 臺中地區二維即時淹水模擬作業排程表

Workflow ID	Schedule	備註
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_Dadu_Historical	每小時第 27 分	臺中 40M_zone 大肚 歷史模擬
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit01_Historical	每小時第 27 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit01 歷史模擬
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit02_Historical	每小時第 27 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit02 歷史模擬
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit03_Historical	每小時第 27 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit03 歷史模擬
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit04_Historical	每小時第 27 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit04 歷史模擬
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit05_Historical	每小時第 27 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit05 歷史模擬
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WL_Historical	每小時第 27 分	臺中 40M_zone 塹寮 歷史模擬
Taichung_GridMerge_40M_Zone_Historical	每小時第 31 分	臺中 40M 網格組合 歷史模擬
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_Dadu	每小時第 36 分	臺中 40M_zone 大肚
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit01	每小時第 36 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit01
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit02	每小時第 36 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit02
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit03	每小時第 36 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit03
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit04	每小時第 36 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit04
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WU_Unit05	每小時第 36 分	臺中 40M_zone 烏溪 _unit05
Taichung_SOBEK_2D_40M_Zone_WL	每小時第 36 分	臺中 40M_zone 塹寮
Taichung_GridMerge_40M_Zone	每小時第 43 分	臺中 40M 網格組合
Export_Taichung_SOBEK_Depth	每小時第 46 分	輸出臺中淹水深度

表 5-6 臺南地區二維即時淹水模擬作業排程表

Workflow ID	Schedule	備註
Tainan_SOBEK_2D_20M_Zone1_Unit01_Historical	每小時第 27 分	臺南 20M_zone1_unit01 歷史模擬
Tainan_SOBEK_2D_20M_Zone1_Unit02_Historical	每小時第 27 分	臺南 20M_zone1_unit02 歷史模擬
Tainan_SOBEK_2D_20M_Zone3_Unit01_Historical	每小時第 27 分	臺南 40M_zone3_unit01 歷史模擬
Tainan_SOBEK_2D_20M_Zone4_Unit01_Historical	每小時第 27 分	臺南 40M_zone4_unit01 歷史模擬
Tainan_SOBEK_2D_40M_Zone2_Unit01_Historical	每小時第 27 分	臺南 40M_zone2_unit01 歷史模擬
Tainan_SOBEK_2D_40M_Zone5_Unit01_Historical	每小時第 27 分	臺南 40M_zone5_unit01 歷史模擬
Tainan_SOBEK_2D_40M_Zone6_Unit01_Historical	每小時第 27 分	臺南 40M_zone6_unit01 歷史模擬
Tainan_SOBEK_2D_40M_Zone7_Unit01_Historical	每小時第 27 分	臺南 40M_zone7_unit01 歷史模擬
Tainan_GridMerge_Zone_Historical	每小時第 31 分	臺南 40M 網格組合歷史模擬
Tainan_SOBEK_2D_20M_Zone1_Unit01	每小時第 36 分	臺南 20M_zone1_unit01
Tainan_SOBEK_2D_20M_Zone1_Unit02	每小時第 36 分	臺南 20M_zone1_unit02
Tainan_SOBEK_2D_20M_Zone3_Unit01	每小時第 36 分	臺南 20M_zone3_unit01
Tainan_SOBEK_2D_20M_Zone4_Unit01	每小時第 36 分	臺南 40M_zone4_unit01
Tainan_SOBEK_2D_40M_Zone2_Unit01	每小時第 36 分	臺南 40M_zone2_unit01
Tainan_SOBEK_2D_40M_Zone5_Unit01	每小時第 36 分	臺南 20M_zone5_unit01
Tainan_SOBEK_2D_40M_Zone6_Unit01	每小時第 36 分	臺南 40M_zone6_unit01
Tainan_SOBEK_2D_40M_Zone7_Unit01	每小時第 36 分	臺南 40M_zone7_unit01
Tainan_GridMerge_Zone	每小時第 42 分	臺南 40M 網格組合
Export_Tainan_SOBEK_Depth	每小時第 45 分	輸出臺南淹水深度

## (二) 颱風豪雨時間檢核流程與作業程序與防汛值勤支援

配合本所與防災中心情資研判會議與防汛作業需求，協助進行防汛情情資供應服務，在防汛應變值勤期間，定時供應四縣市二維即時淹水模擬成果。本年度除了維護現有二維即時淹水模擬之作業排程之餘，國立臺北科技大學也額外投資運算資源，進行不同時間長度預報資料的供應與測試，以符合防汛作業過程中對於災前的研判、災中的應變與災後調查所需不同資訊內容。

在既有預報資料時間長度，區分有 24 小時、12 小時、6 小時等三種不同需求的應用，同時另搭配簡報產置與網頁成果供應。配合本年度白鹿颱風的作業需求，優先將原先 24 小時資料預報長度，調整為 12 小時預報成果的供應。在米塔颱風進一步將模式預報長度資料，調整為統一為 6 小時預報。

由於每一次值勤過程中，可能因應災害風險區域會有不同資料需求，因此仍需要配合值勤作業過程所需時間點進行調整，將系統進行相關排程整合與優化測試，並持續調整資料供應細節與內容。而針對 6 小時、12 小時與 24 小時排程模式運算時間的評估，如表 5-8~表 5-10 所示。

6 小時長度預報資料，在有限的資源下配置之測試結果，高雄 11 分鐘、屏東 33 分鐘、臺南 18 分鐘、臺中 22 分鐘內可以完成。12 小時長度預報資料，高雄 30 分鐘、屏東 73 分鐘、臺南 57 分鐘、臺中 60 分鐘內可以完成。而 24 小時資料預報長度高雄 53 分鐘、屏東 120 分鐘、臺南 112 分鐘、臺中 185 分鐘內可以完成。

表 5-7 本年度防汛作業值勤供應事件一覽

颱風名稱	資料供應時間	備註
丹娜絲	7/16-7/20	3+24 小時預報
利奇馬	8/07~8/10	3+24 小時預報
白鹿	8/23~8/25	3+12 小時預報
米塔	9/29~10/01	6 小時預報

表 5-8 四縣市 6 小時排程運算測試成果

縣市	預報長度	06hr				
	樣本	take 1	take 2	Average	Average	
	分區	Total Seconds	Total Seconds	Total Seconds	Minutes	Seconds
Kaohsiung	Zone 1	62	72	67	1	7
	Zone 2	144	144	144	2	24
	Zone 3	89	89	89	1	29
	Zone 4	175	170	172.5	2	52.5
	Merge	104	103	103.5	1	43.5
	Export	87	72	79.5	1	19.5
	小計			655.5	10	55.5
Pingtung	Zone 1	121	129	125	2	5
	Zone 2	492	497	494.5	8	14.5
	Zone 3	384	320	352	5	52
	Zone 4	231	240	235.5	3	55.5
	Zone 5	498	563	530.5	8	50.5
	Merge	174	169	171.5	2	51.5
	Export	41	38	39.5	0	39.5
小計			1948.5	32	28.5	
Tainan	Zone 1 Unit 1	265	282	273.5	4	33.5
	Zone 1 Unit 2	190	200	195	3	15
	Zone 2	194	215	204.5	3	24.5
	Zone 3	284	255	269.5	4	29.5
	Zone 4	214	245	229.5	3	49.5
	Zone 5	195	165	180	3	0
	Zone 6	207	255	231	3	51
	Zone 7	179	193	186	3	6
	Merge	208	196	202	3	22
	Export	46	48	47	0	47
小計			1075.5	17	55.5	
Taichung	Zone 1	206	221	213.5	3	33.5
	Zone 2	228	196	212	3	32
	Zone 3	232	211	221.5	3	41.5
	Zone 4	252	272	262	4	22
	Zone 5	242	288	265	4	25
	WL	250	307	278.5	4	38.5
	Dadu	148	157	152.5	2	32.5
	Merge	105	93	99	1	39
	Export	32	27	29.5	0	29.5
	小計			1308	21	48

表 5-9 四縣市 12 小時排程運算測試成果

縣市	預報長度	12hr				
	樣本	take 1	take 2	Average	Average	
	分區	Total Seconds	Total Seconds	Total Seconds	Minutes	Seconds
Kaohsiung	Zone 1	345	364	354.5	5	54.5
	Zone 2	356	350	353	5	53
	Zone 3	191	208	199.5	3	19.5
	Zone 4	449	503	476	7	56
	Merge	237	212	224.5	3	44.5
	Export	132	149	140.5	2	20.5
		小計			1748	29
Pingtung	Zone 1	203	221	212	3	32
	Zone 2	874	1057	965.5	16	5.5
	Zone 3	1086	1204	1145	19	5
	Zone 4	729	722	725.5	12	5.5
	Zone 5	772	936	854	14	14
	Merge	343	357	350	5	50
	Export	85	91	88	1	28
	小計			4340	72	20
Tainan	Zone 1 Unit 1	571	582	576.5	9	36.5
	Zone 1 Unit 2	464	334	399	6	39
	Zone 2	352	447	399.5	6	39.5
	Zone 3	578	580	579	9	39
	Zone 4	540	542	541	9	1
	Zone 5	1249	1259	1254	20	54
	Zone 6	703	704	703.5	11	43.5
	Zone 7	397	460	428.5	7	8.5
	Merge	372	385	378.5	6	18.5
	Export	90	98	94	1	34
	小計			3399.5	56	39.5
Taichung	Zone 1	620	566	593	9	53
	Zone 2	638	612	625	10	25
	Zone 3	716	634	675	11	15
	Zone 4	763	761	762	12	42
	Zone 5	714	706	710	11	50
	WL	850	832	841	14	1
	Dadu	389	385	387	6	27
	Merge	128	131	129.5	2	9.5
	Export	53	54	53.5	0	53.5
		小計			3558	59

表 5-10 四縣市 24 小時排程運算測試成果

縣市	預報長度	24hr				
	樣本	take 1	take 2	Average	Average	
	分區	Total Seconds	Total Seconds	Total Seconds	Minutes	Seconds
Kaohsiung	Zone 1	511	492	501.5	8	21.5
	Zone 2	807	765	786	13	6
	Zone 3	415	398	406.5	6	46.5
	Zone 4	900	940	920	15	20
	Merge	367	369	368	6	8
	Export	187	183	185	3	5
		小計		3167	52	47
Pingtung	Zone 1	259	248	253.5	4	13.5
	Zone 2	1484	1219	1351.5	22	31.5
	Zone 3	1850	2286	2068	34	28
	Zone 4	1161	1628	1394.5	23	14.5
	Zone 5	1286	1073	1179.5	19	39.5
	Merge	745	769	757	12	37
	Export	150	151	150.5	2	30.5
	小計		7154.5	119	14.5	
Tainan	Zone 1 Unit 1	1799	1579	1689	28	9
	Zone 1 Unit 2	117	112	114.5	1	54.5
	Zone 2	930	884	907	15	7
	Zone 3	1579	1435	1507	25	7
	Zone 4	1623	1498	1560.5	26	0.5
	Zone 5	1599	2117	1858	30	58
	Zone 6	1667	1284	1475.5	24	35.5
	Zone 7	1063	837	950	15	50
	Merge	724	707	715.5	11	55.5
	Export	135	138	136.5	2	16.5
	小計		6696	111	36	
Taichung	Zone 1	2122	2613	2367.5	39	27.5
	Zone 2	106	109	107.5	1	47.5
	Zone 3	2472	2559	2515.5	41	55.5
	Zone 4	3049	3053	3051	50	51
	Zone 5	3067	3118	3092.5	51	32.5
	WL	1145	1509	1327	22	7
	Dadu	755	727	741	12	21
	Merge	253	249	251	4	11
	Export	79	77	78	1	18
		小計		11056	184	16

#### 四、模式運算效能與功能

在運算結構最佳化的設定過程中，主要仍以 SOBEK 模式內有效網格為主要影響因子，與一維計算節點的影響進行測試與評估。而為了下一階段模式的準備，也可應用 D-FlowFM，進行淹水模擬的測試與評估工作。

##### (一)有效網格設定對於計算效能的影響

採用高重現期距的極端降雨情境進行淹水模擬，可以識別出有效 (active) 網格。這裡所謂的極端降雨情境，是指降雨組體圖刻意將後半段延時維持在尖峰降雨強度，如圖 5-4 所示，以考慮最為嚴重的淹水情況。如果在這樣極端強降雨事件下，都不曾發生過淹水的計算網格，在其它降雨情境下應該也不會發生淹水，即便雖有逕流通過，但計算網格無須被納入統計。而曾發生淹水的計算網格，則成為進行模擬演算用的有效網格。

另外，就模擬資料的判斷上，普遍認為模擬網格應該是越精細越好。但是考量運算時間、機器數量等其他成本下，追求細微的模擬需求，反而會耽誤資料時效性。而究竟要以何種重現期距來獲得有效網格，對於計算效能的影響如何，以下利用鹽水溪模式進行模擬分析，以瞭解不同重現期距設計降雨產生的有效網格對於計算效能與模擬精確度的影響。圖 5-5 為鹽水溪集水區及臺南雨量站徐昇氏網，從兩個圖層的交集情況來看，會影響鹽水溪水情的雨量站包括：曾文、和順、臺南、永康、善化、新市、虎頭埤、媽祖廟、大內及崎頂等 10 站，這些雨量站於各重現期設計降雨之尖峰雨量彙整如表 5-11。利用這些重現期設計降雨的極端降雨情境所產製的有效網格如圖 5-6 所示，DEM 解析度為 40m。

圖 5-7 為 2016 年梅姬颱風於臺南鹽水溪流域的降雨組體圖，由於降雨具有空間變異性，此處僅隨機由 QPESUMS 雨量紀錄取一點位，來示意降雨型態。採用上述五種有效網格 DEM 分別進行模擬，再以 200 年重現期有效網格 DEM 的模擬結果為比較基準，計算淹水面積校驗係數及淹水深度平均誤差，彙整如表 5-12。

根據 QPESUMS 雨量資料分析，梅姬颱風降雨期間發生的最大時雨量為 86.6 mm，與鹽水河流域鄰近的 9 個雨量站各重現期尖峰雨量相



差不多，且有效網格是採用極端降雨情境，刻意延長尖峰降雨強度所產生的，因此這五種有效網格 DEM 應該都適用，從淹水面積校驗係數顯示 97%相似性，且淹水深度平均誤差都不到 1cm 可以獲得佐證，表示採用這五種有效網格 DEM 的模擬是相當的。但從計算效能來看，10 年重現期有效網格 DEM 的計算耗時僅為 200 年的 75%。因此，選取適當且適用的有效網格，將有助於計算效能的提升。

為進一步測試有效網格的適用性，刻意將梅姬颱風的降雨強度提高一倍，至於降雨延時及降雨型態則維持不變，同樣以上述五種有效網格 DEM 分別進行模擬，分析結果彙整於同一表格的下半部。10 年重現期有效網格 DEM 的計算耗時雖然僅有 200 年的 72%，但淹水面積校驗係數卻下降至 88%，且淹水深度平均誤差放大至 8.6cm，說明其適用性已大為降低。

表 5-11 鹽水溪流域鄰近雨量站各重現期距設計降雨之尖峰雨量

重現期距 (年)	尖峰雨量 (mm)									
	虎頭埤	媽祖廟	臺南	崎頂	新市	永康	和順	善化	曾文	大內
10	83.25	79.29	81.67	74.82	84.07	78.08	74.04	73.07	89.80	80.6
25	90.65	84.02	93.22	80.91	96.33	89.03	87.60	88.03	110.52	91.1
50	95.73	85.63	100.85	85.37	106.44	96.21	95.72	98.82	126.73	98.5
100	98.42	88.16	110.26	89.11	119.87	102.78	105.02	107.36	141.81	105.6
200	100.54	92.55	119.02	93.97	130.30	108.89	116.01	117.91	158.53	112.5

表 5-12 各種有效網格模擬梅姬颱風淹水結果比較

降雨 情境	40m 有效 網格	與 200Y 比較		CPU Time (hr/min/sec)	有效網格 (Active cell)	總網格 (Total cell)	計算效 能比
		淹水面積 校驗係數	淹水深度 平均誤差 (m)				
梅姬 颱風	200Y	—	—	52m/28s	125,887	379,476	1.00
	100Y	0.9817	0.0045	49m/42s	111,798	379,476	0.95
	50Y	0.9807	0.0047	45m/52s	104,692	379,476	0.87
	25Y	0.9793	0.0051	44m/00s	99,732	379,476	0.84
	10Y	0.9761	0.0058	39m/36s	90,019	379,476	0.75
梅姬 颱風 (兩倍 降雨 強度)	200Y	—	—	1h/15m/14s	125,887	379,476	1.00
	100Y	0.9744	0.0216	1h/07m/45s	111,798	379,476	0.90
	50Y	0.9611	0.0321	1h/05m/01s	104,692	379,476	0.86
	25Y	0.9420	0.0448	59m/33s	99,732	379,476	0.79
	10Y	0.8807	0.0864	54m/13s	90,019	379,476	0.72

處理器型號 Intel® Core™ i7-3770K CPU @ 3.50GHz

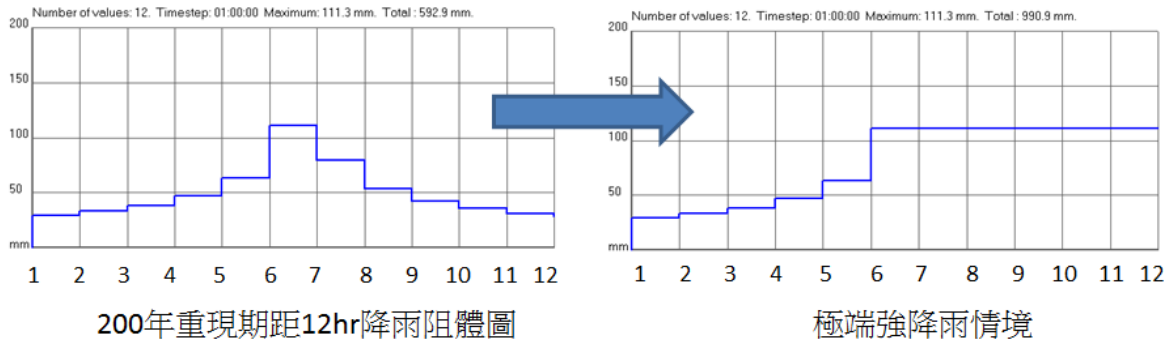


圖 5-4 決定 DEM 有效網格之情境降雨組體圖

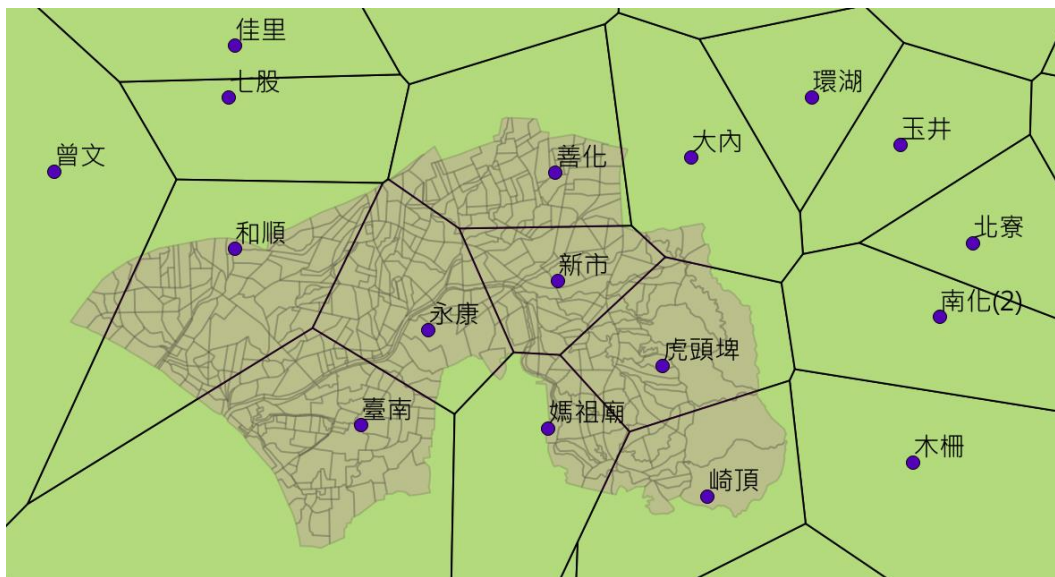


圖 5-5 鹽水溪集水區及雨量站徐昇氏網套疊圖

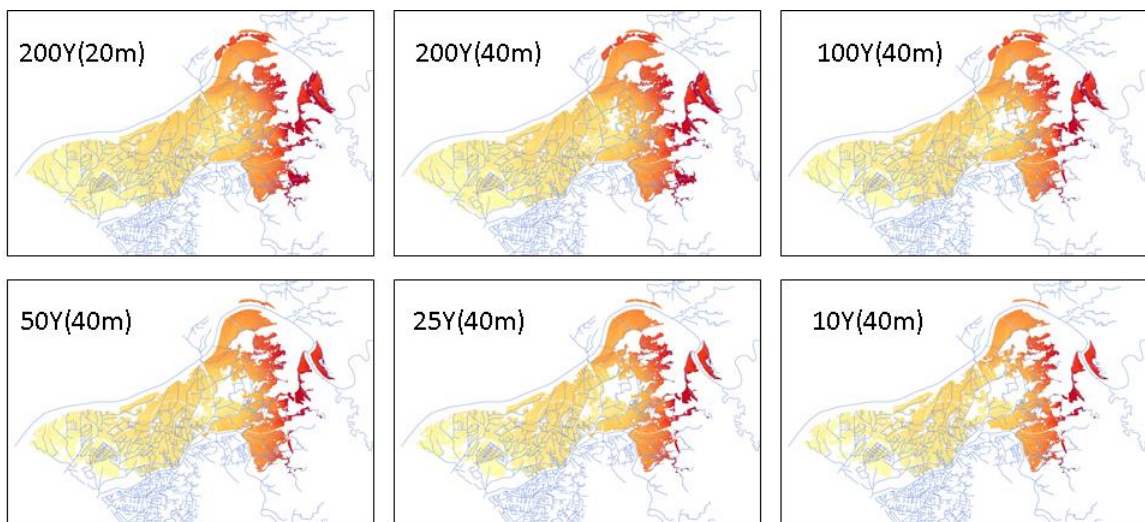


圖 5-6 各重現期極端降雨情境所產製的有效網格

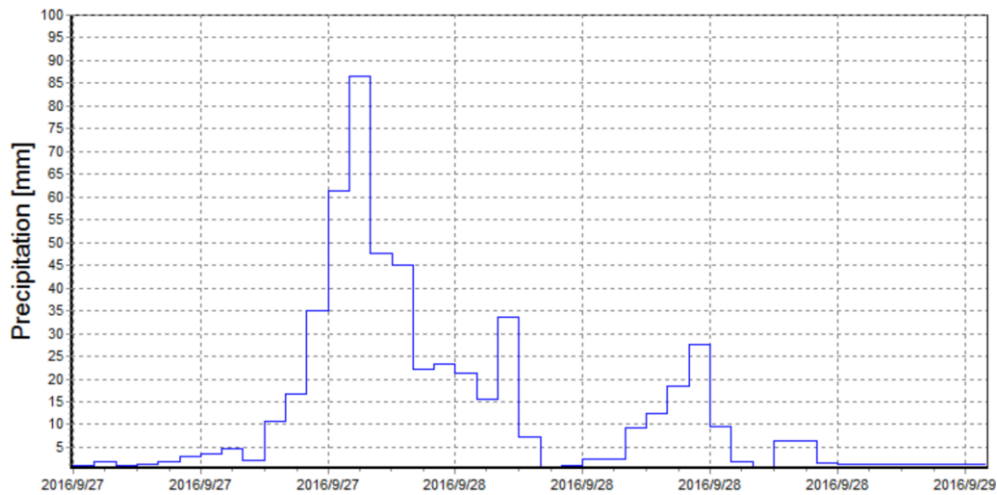


圖 5-7 2016 年梅姬颱風降雨型態

## (二) 計算點間距對於計算效能的影響

SOBEK 藉由一維渠道上的計算點與二維 DEM 網格進行耦合達到溢堤與退水的流量交換機制。正因為如此，除了 DEM 解析度會影響計算效能外，一維計算點的布置密度也是影響計算效能的重要因素，同時也會影響計算結果的精確度。因此，布建計算點時，如何在計算效能與模擬精確度間取得平衡，是值得探討的問題。

表 5-13 將鹽水溪模式的計算點分別採用 50m、100m 及 200m 模擬梅姬颱風。若以 50m 間距的結果為比較基準，100m 間距的結果其淹水面積校驗係數下降至 90%，但計算耗時卻僅有 71%，顯然 100m 間距的適用性，是效能與精確度兩者間取捨的問題。至於 200m 間距，由於淹水面積校驗係數進一步下降，但計算效能的提升卻相對有限，因此可將 200m 間距評定為不適用。

由於現場地形與河道型態的樣態太多，很難找到一致的特性，因此要建立計算點布置的通則，還需要更多的案例累積、歸納與分析。

表 5-13 計算點間距對於計算效能與模擬精確度的影響

計算點間距(m)	與間距=50m 比較		與間距=100m 比較		CPU Time (hr/min/sec)	計算效能比
	淹水面積校驗係數	淹水深度平均誤差(m)	淹水面積校驗係數	淹水深度平均誤差(m)		
50	—		—		5h/26m/57s	1.00
100	0.9028	0.0467	—		3h/51m/45s	0.71
200	0.8376	0.0743	0.8893	0.0501	3h/27m/41s	0.66
20m 解析度 有效網格 (Active cell)			516,268			
20m 解析度 總網格 (Total cell)			1,514,390			

處理器型號 Intel® Core™ i7-3770K CPU @ 3.50GHz

### (三)D-Flow FM 淹水模擬測試

針對 D-Flow FM 淹水模擬，如圖 5-8 的介面所示，已經完成介面的測試。

測試結果顯示，系統可支援國內常用的坐標投影系統，同時也支援對應網路地圖服務 WMTS，將有助於在模式建模過程中對於現場狀況與空間資料處理及判斷將更為方便。

由於 D-Flow FM 模式仍在持續發展與開發中，同時目前國內應用之 SOBEK 模式建置的淹水潛勢圖使用之 SCS 降雨逕流模組尚未完成整合，因此，本年度採用邊界點流量點匯入方式，直接匯入流量成果進行而二維即時淹水模擬。而 DEM 與網格資料處理與傳統使用 ESRI ASC 格式方式不同，需要將網格資料轉換成為 XYZ 格式或 NetCDF 格式，匯入 D-Flow FM 進行計算網格的處理與轉換，並調整與修正二維淹水模式的邊界條件之設定流程。

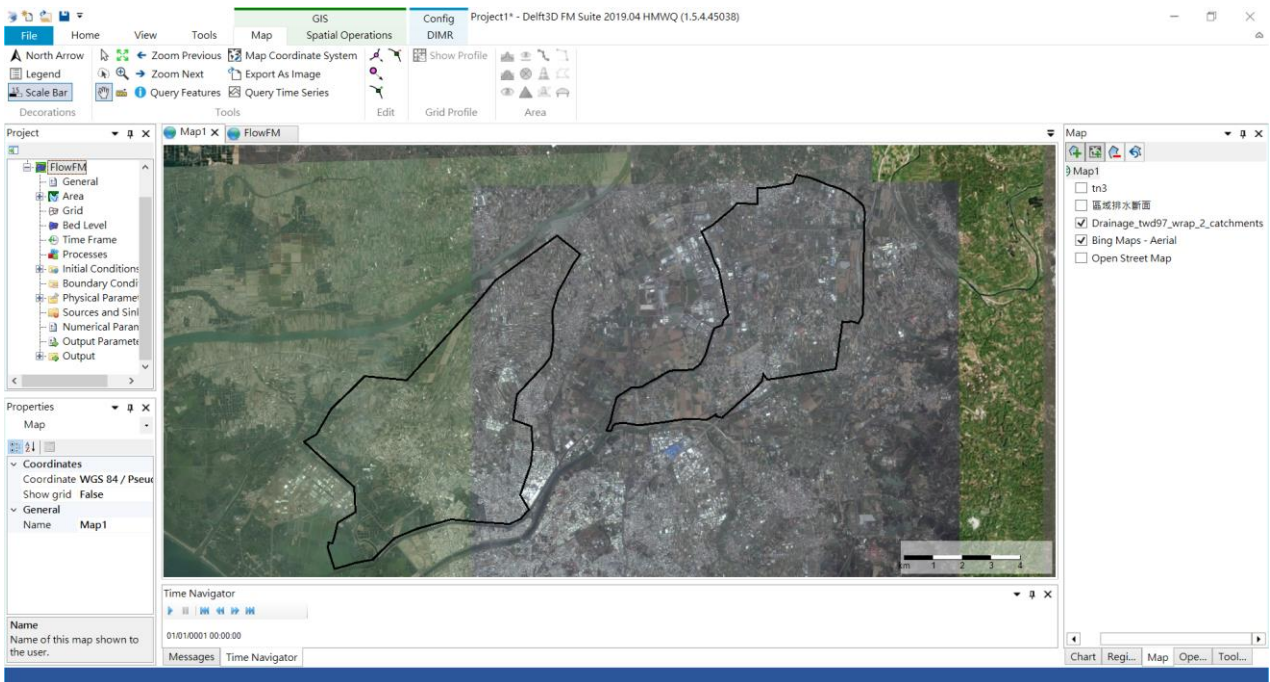


圖 5-8 鹽水溪區排與大州排水集水區資空間套疊於 D-Flow FM

## 1、測試案例說明

使用 D-Flow FM 模式進行不同網格大小測試，對比 SOBEK 既有模式，D-Flow FM 模式資料解析度與網格數量統計資訊如表 5-14 所列。

本計畫在測試上，係以模式模擬範圍進行局部加密，與既有網格兩種不同本版之測試以及成果比對。此兩種模式分別為「臺南 Zone1 20m 網格」版本，以及「臺南 Zone1 20m 部分加密版本」，圖 5-9 為 D-Flow FM 模式模擬案例區域與加密區域範圍（以下簡稱「非加密版本」與「加密版本」）。

加密版本是在非加密版本的基礎上，將部分區域以優先利用四分樹(Quadtree)方式，如圖 5-10 的概念進行網格的加密，因此可以針對特定地區，例如：商業區、住宅區或易淹水區域，進行網格資料加密，可以獲得較高解析度的淹水模擬成果。

表 5-14 D-Flow FM 與 SOBEK 模式之比較

模式	資料解析度	網格數量
SOBEK	20M	270,512
D-Flow FM 無加密	20M	289,359
D-Flow FM 部分加密	20M+5M	338,817

比對範圍：臺南 Zone1 20m 網格

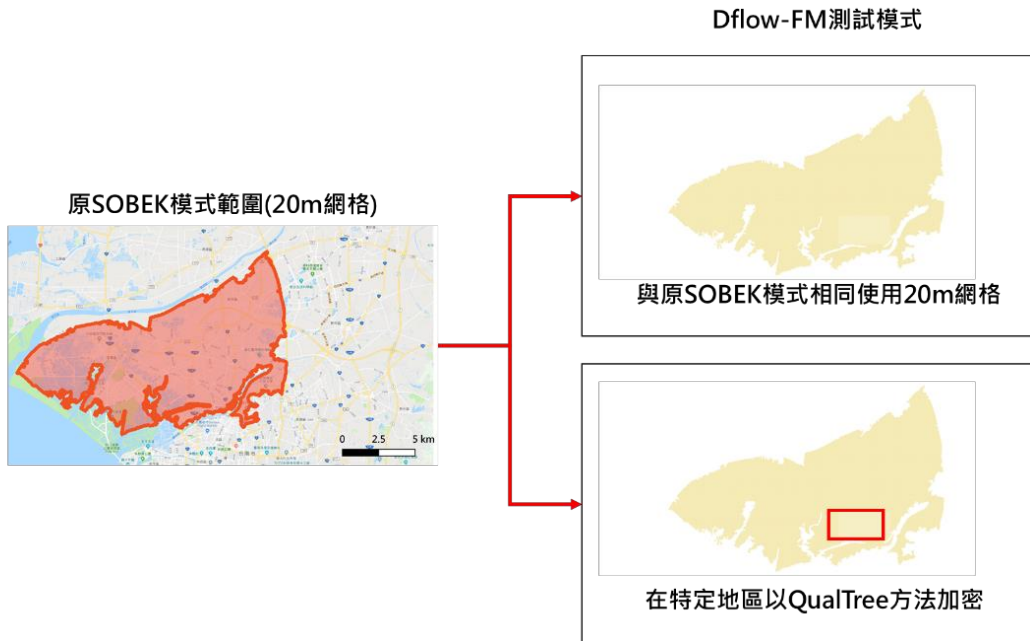


圖 5-9 模式網格加密區域範圍

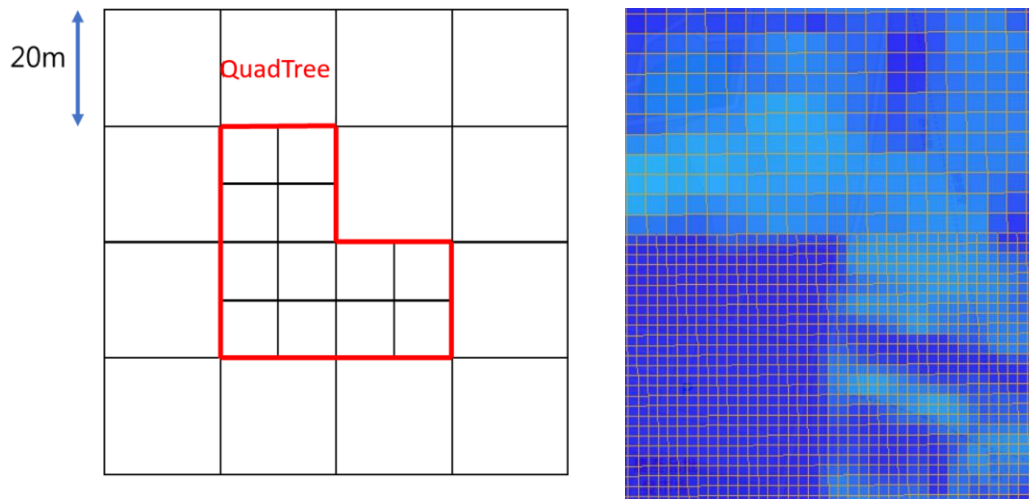


圖 5-10 模式網格四分樹加密細緻化概念

## 2、上下游邊界條件設定

- (1)在測試過程中，優先採用二維漫地流方式進行模擬，並暫時不考量一維河川水理演算機制。在下游的邊界條件，使用四草潮位站的觀測值。此次模式以 2016 年 9 月的梅姬颱風事件進行為測試資料，其中包含了雨量資料以及潮位的觀測資料。
- (2)梅姬颱風事件的資料採用起始時間為 2016-09-27 06:00 至 2016-09-29 02:00，共計 45 個小時。主要降雨間區間包含兩個時間段分別為 09-27 15:00~09-28 04:00 與 09-28 09:00~09-28 15:00，整體模擬事件累積降雨量介於 370mm~460mm 之間。如圖 5-11 模擬區域行政區範圍主要降雨量時間分布。
- (3)由於 D-Flow FM 仍在模式測試中，受限於降雨逕流模式尚未正式釋出功能模組。而為了與 SOBEK 模式成果架構相呼應，因此使用 SOBEK 模式降雨逕流 SCS 模組計算成果，作為上游邊界條件。
- (4)下游邊界潮位介於 0.19m~1.39m (受到颱風暴潮影響後潮位開始抬升，最大降雨尖峰過後最低潮仍高於 0.6m 以上)

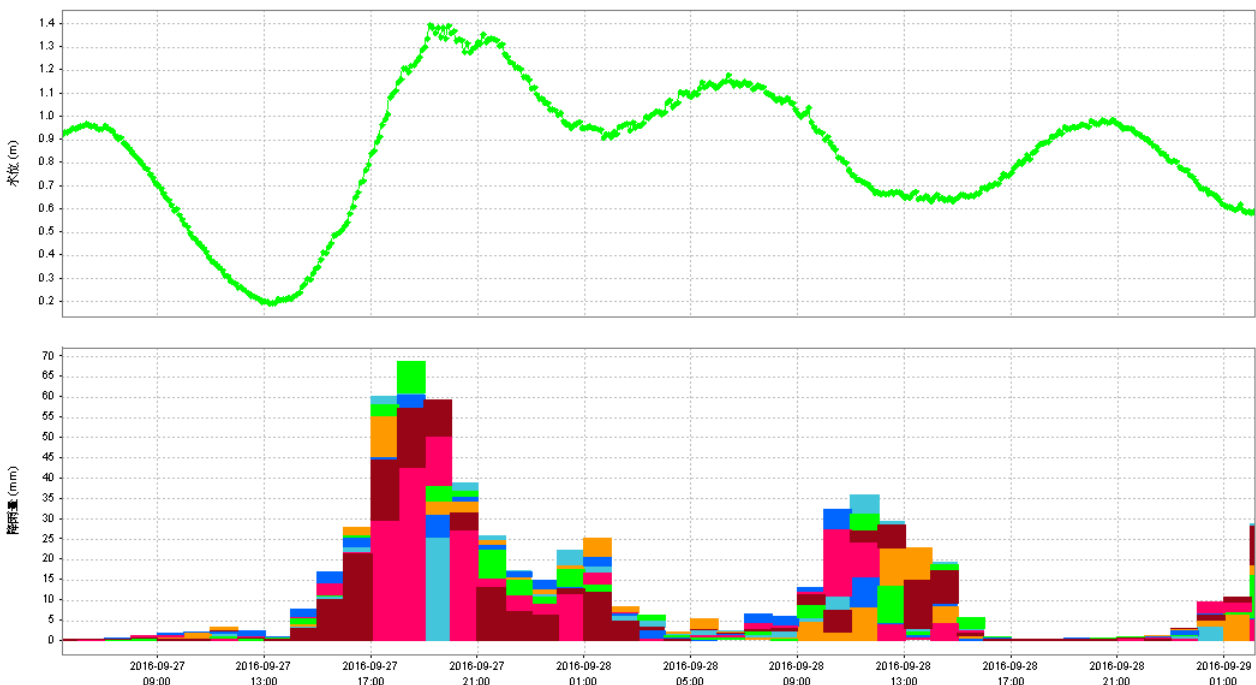


圖 5-11 模擬區域對應鄉鎮降雨量與潮位



### 3、模擬成果與淹水範圍統計與差異說明

#### (1) 案例成果比對

- A. 在硬體運算資源上使用 CPU 4 核 8 緒 3.6GHz 與記憶體 32Gb 的硬體資源進行運算，45 個小時模擬時間長度資料，所需運算時間：加密版本需 1 小時 20 分鐘。非加密版本需 1 小時 17 分鐘。
- B. 在資料中可以發現局部加密的測試案例，在街廓與建築物範圍的顯示成果上，5m 加密版本之成果明顯比 20m 原始網格資料更為明確與完整。在臺南市安南區怡安路綜合農產品批發市場周圍模擬網格上，可以看出 5m 解析度資料範圍，在建築物邊界範圍與細緻度，可以有效提升淹水情況之辨識程度。圖 5-12 ~ 圖 5-14 為 SOBEK 20m 解析度網格與模擬成果的空間分布情況。圖 5-15 為 D-Flow FM 分別使用無加密版本與加密版本進行模擬成果展示歷程，在網格加密的區域，可以呈現較完整的淹水模擬細節資訊。
- C. 進一步使用 D-Flow FM 模擬成果在安中路一段區域之淹水模擬成果資料進行檢視與比對，其範圍如圖 5-16 所示。在模式成果上加密版本 5m 解析度，在道路沿線上的積淹效果與周圍建物邊界範圍上，呈現效果較原先原始 20m 解析度更為顯著。
- D. 然而，從圖 5-17 ~ 圖 5-18 顯示，在安中路一段道路的沿線上淹水深度展示情況 20m 解析度在資料邊界範圍較為模糊，且部份區域資料淹水情況無法呈現出來。

#### (2) 兩模式 D-Flow FM 與 SOBEK 的成果比對

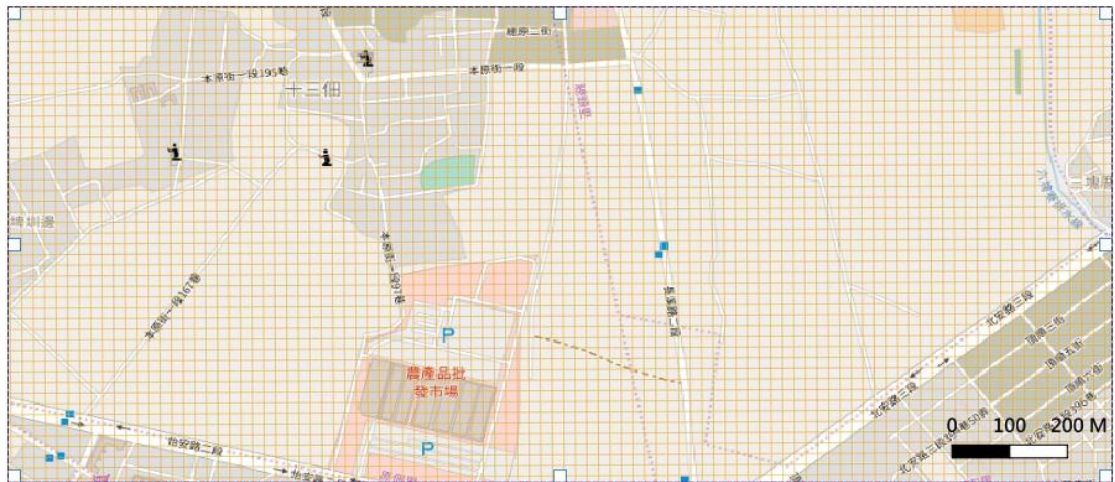
在淹水模擬成果深度與淹水面積資訊的比對上，目前針對模擬區域範圍所涵蓋之鄉鎮範圍，進行最大淹水深度與淹水範圍統計：

- A. 由於資料內容上，D-Flow FM 資料內容未包含下水道系統排水系統，所以在淹水面積的模擬數據上，有大於 SOBEK 模式的趨勢。

B.淹水深度除了在七股區最大淹水深度高於 SOBEK 模式外，其餘區域則小於 SOBEK 模式。模擬區域範圍淹水模擬成果統計如表 5-15 所列。

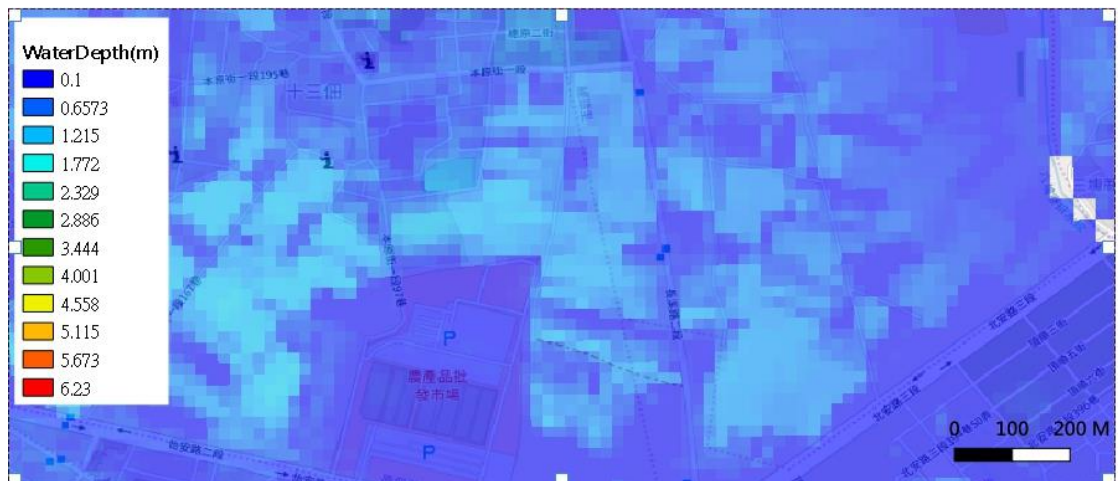
表 5-15 D-Flow FM 與 SOBEK 鄉鎮淹水模擬成果統計

鄉鎮名	累積降雨量(mm)	最大淹水深度(m)			淹水影響面積(km <sup>2</sup> )		
		SOBEK	D-Flow FM		SOBEK	D-Flow FM	
			加密	非加密		加密	非加密
臺南市七股區	441.6	0.8380	0.8980	0.8980	0.2524	0.2584	0.2584
臺南市北區	431.0	1.0610	0.0000	0.0000	0.0024	0.0000	0.0000
臺南市永康區	378.3	1.6750	5.0000	5.0000	4.7576	0.0004	0.0004
臺南市安定區	460.1	0.5500	0.3400	0.3400	17.6104	12.6260	12.6260
臺南市安南區	432.5	0.6410	0.4000	0.4010	64.9200	31.2896	31.1580
臺南市西港區	460.8	0.3700	0.3420	0.3420	1.8428	1.4020	1.4020
臺南市新市區	449.6	1.0630	0.7720	0.7720	1.4628	1.4116	1.4116



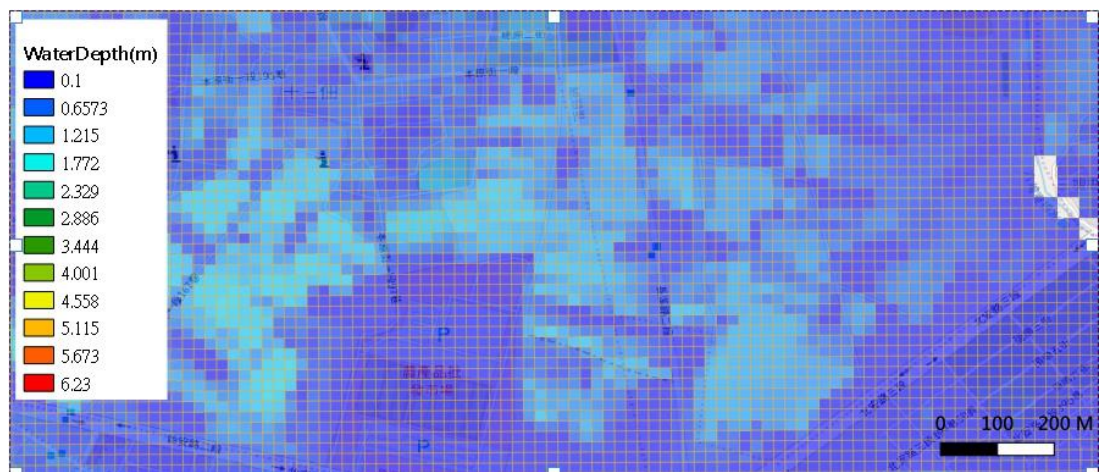
說明：臺南市安南區怡安路綜合農產品批發市場周圍

圖 5-12 SOBEK 模式網格測試範圍



說明：臺南市安南區怡安路綜合農產品批發市場周圍

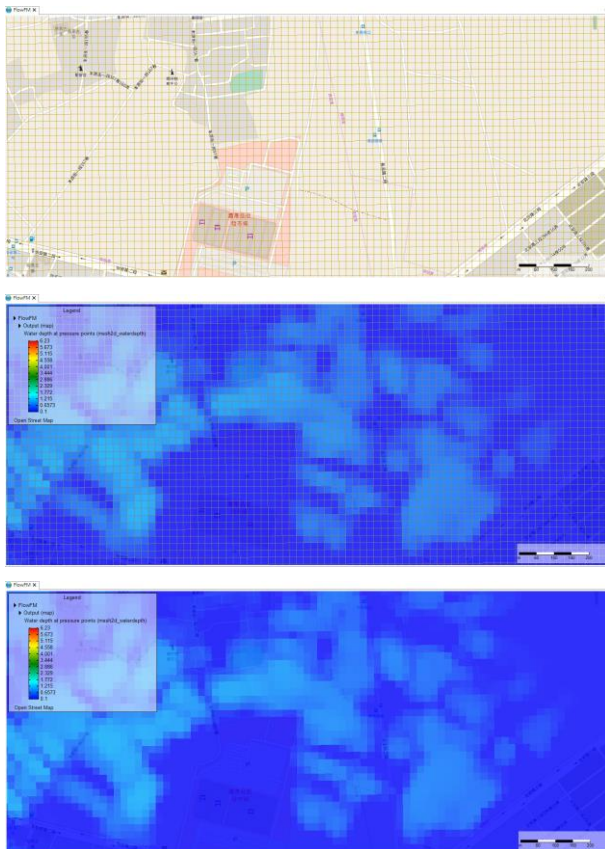
圖 5-13 SOBEK 模式模擬成果



說明：臺南市安南區怡安路綜合農產品批發市場周圍

圖 5-14 SOBEK 模式模擬與網格套疊

D-Flow FM 模式搭配無加密版本



D-Flow FM 模式搭配加密版本

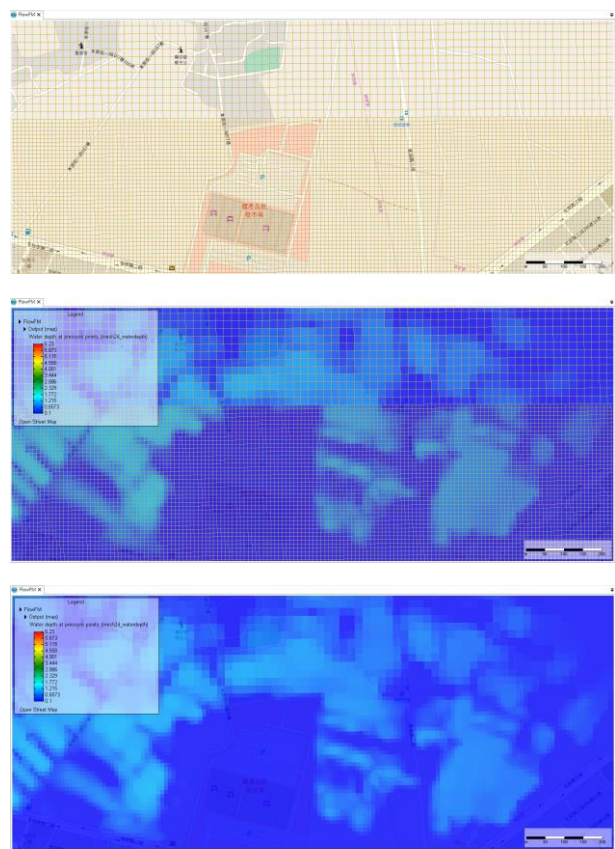
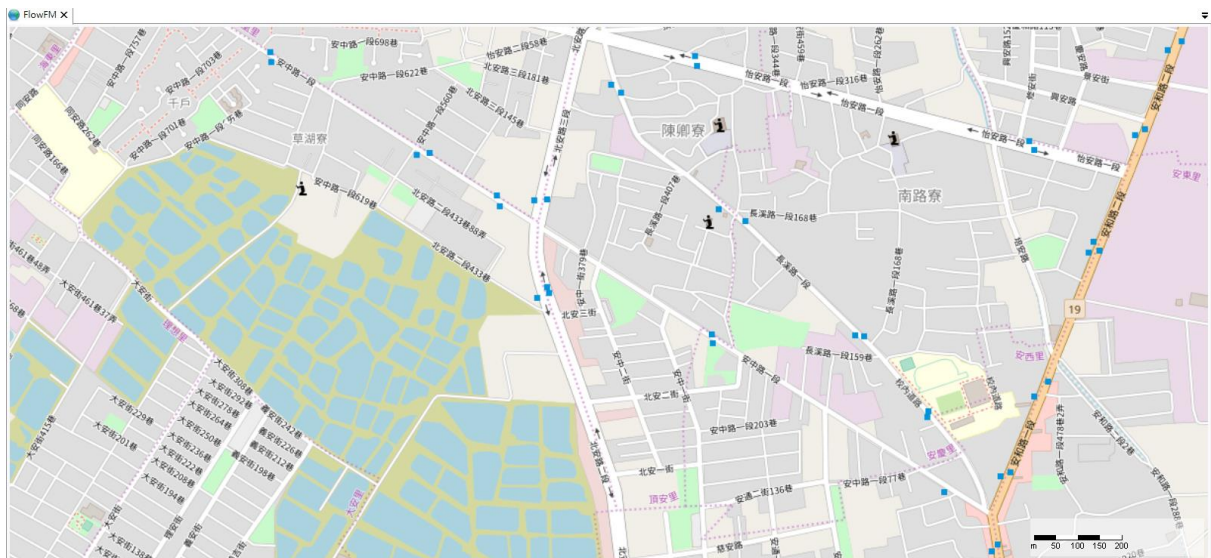


圖 5-15 運用 D-Flow FM 之模擬成果比對



說明：臺南市安中路一段周圍

圖 5-16 運用 D-Flow FM 之測試區域



說明：臺南市安中路一段周圍

圖 5-17 運用 D-Flow FM 搭配加密版本之模擬成果



說明：臺南市安中路一段周圍

圖 5-18 運用 D-Flow FM 搭配無加密版本之模擬成果



## 第六章 案例測試與檢討

為瞭解系統精進研究之成果與效益，並且綜合前述兩章節實驗內容與方式搭配 HyDEM、地文與水文成果，及水工構造物及 IoT 的應用。由於在臺南地區二維即時淹水模擬所使用基礎資料，與對應的淹水感測器資料，其監測時間長度與完整性，相對較其他四縣市資料完整。因此本計畫優先選擇臺南地區，進行二維即時淹水模擬的整合測試。

配合近年來在該地區致災的數場颱風事件進行測試，並將臺南地區近年 IoT 感測器所搜集之觀測淹水數據 (感測器分布如圖 6-1)，以及對應事件的 EMIC 通報點位，作為淹水事件驗證比對的參考依據。搭配相關計畫研究進行測試的 10 個淹水感測器外，在臺南地區尚有 62 個淹水感測器資訊，可以進行災害事件成果的檢測。

### 一、案例事件說明

表 6-1 為篩選自 2016 年後，在臺南地區造成淹水情事的颱風事件列表。透過臺南地區歷年颱風事件之驗證分析，搭配規劃實驗內容的比對預測試成果。彙整出模式中不同模組改善前後，對於淹水範圍與淹水深度的模擬則有效提升，也直接反映即時淹水模擬改善之比例與權重，此舉也能有助於本所在規劃方向之參考。

表 6-1 臺南地區颱風事件列表

事件名稱	起始時間點	結束時間點	延時(d:h)	IoT 觀測資料
梅姬颱風	2016/9/27 21:00	2016/9/29 22:00	2:01	有
尼莎颱風	2017/7/28 08:30	2017/7/30 14:30	2:06	有
海棠颱風	2017/7/29 17:30	2017/7/31 08:30	1:15	有
豪雨	2018/6/14 00:00	2018/6/16 00:00	2:00	有
豪雨	2018/6/18 20:00	2018/6/20 20:00	2:00	有
豪雨	2018/8/23 0:00	2018/8/25 0:00	2:00	有
豪雨	2018/8/26 0:00	2018/8/29 0:00	3:00	有
豪雨	2019/8/13 0:00	2019/08/13 14:00	0 : 14	有

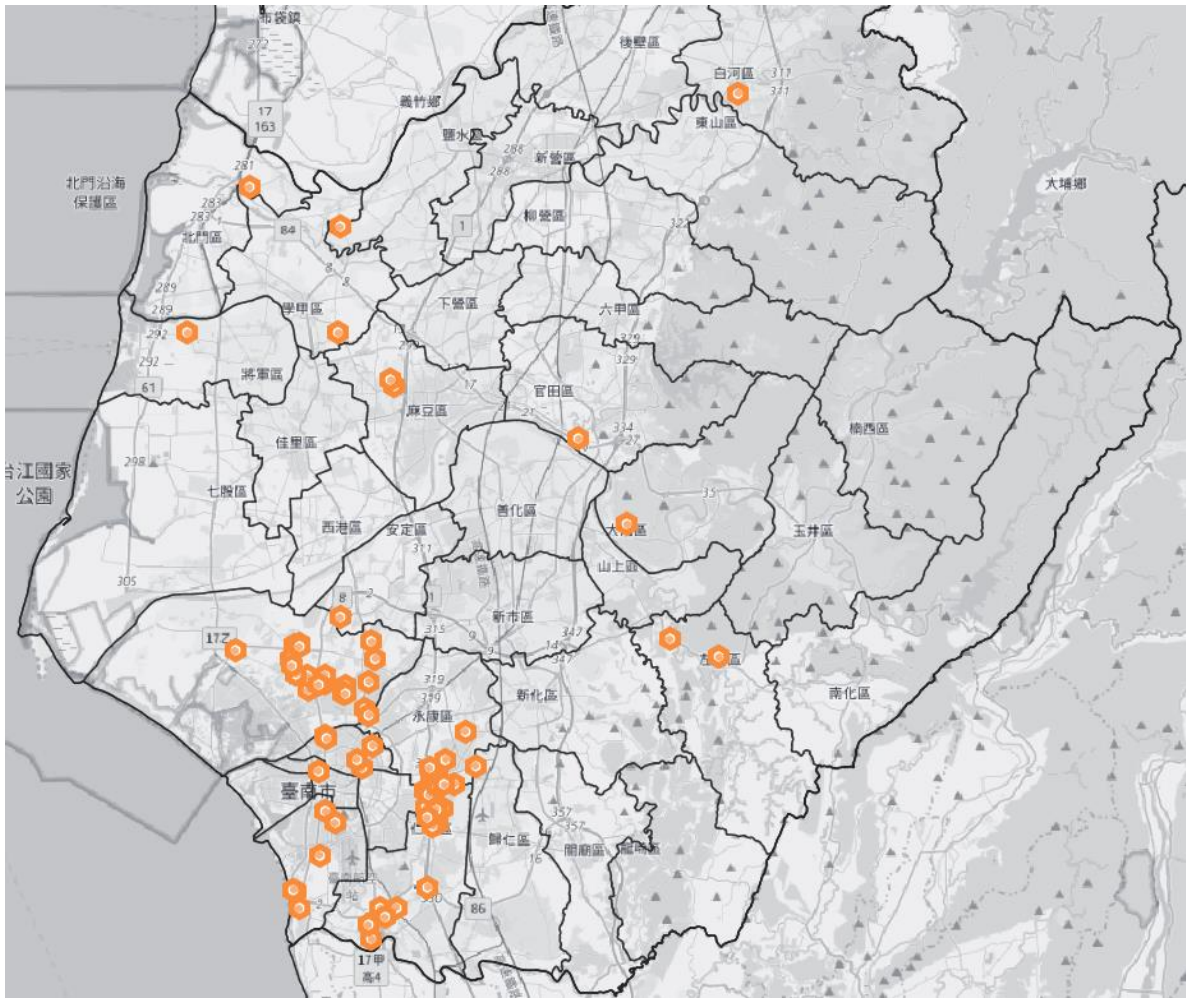


圖 6-1 臺南地區淹水感測器分布圖

## 二、臺南地區案例分析

為了有效搭配淹水感測器成果，案例採用今年度 0813 豪雨事件，進行案例說明，該事件在 8 月 13 日清晨開始降雨，QPESUMS 雷達觀測 12 小時累積降雨量在部份區域超過 300mm，如圖 6-2 所示，EMIC 淹水回報點位主要位於 12 小時累積降雨量達到 200mm 區域範圍，圖 6-3 所示。部份鄉鎮區平均降雨量累積超過 200mm。

淹水感測器資料主要在凌晨 3 點陸續開始出現淹水水深的紀錄成果，圖 6-4 所示，共有 22 站路面淹水水位計有紀錄到淹水變化歷程。其中有 12 站淹水深度超過 30cm，如表 6-2 所示，最大淹水深度發生時間主要在 5:00~7:00 之間。

將淹水感測器與 EMIC 回報點位，取環域分析半徑 250m 進行網格空間分析。計算環域範圍內有是否有對應之淹水網格，同時淹水模擬深度是否有



10cm，經過統計計算後淹水感測器在淹水模擬成果中，在中華南路二段 233 巷 142 號前(淹水站 51)、小東地下道(淹水站 22)、中山北路 344 巷(淹水站 42)等 3 站無對應之淹水模擬成果圖 6-10。

而在 139 點 EMIC 回報點位中有 97 點位有對應淹水模擬成果，42 個點位無淹水模擬成果對應網格，如圖 6-11 所示。後續將持續檢視模式在模擬過程中，針對淹水感測器無法與現場回報，並檢視對應區域的網格模式細部設定內容，以進一步了解模式成果在對應模擬條件下的差異性。

表 6-2 臺南市 0813 豪雨淹水感測器資訊統計表

名稱	經度	緯度	資料起始時間	資料結束時間	最大淹水深度(公尺)	最大淹水深度發生時間
保安路一段台鐵涵洞(淹水站12)	120.23272	22.93152	2019/8/13 04:55	2019/8/13 13:55	1.96	2019/8/13 12:35
太乙三街46號前(淹水站15)	120.25224	22.98064	2019/8/13 03:20	2019/8/13 13:55	0.75	2019/8/13 08:30
太子路高速公路涵洞下(淹水站23)	120.24802	22.99061	2019/8/13 02:54	2019/8/13 12:28	0.62	2019/8/13 05:33
太乙二街11號前(淹水站57)	120.25378	22.98083	2019/8/13 03:27	2019/8/13 13:53	0.58	2019/8/13 08:23
崑大路大灣路891巷口(淹水站61)	120.25478	22.99756	2019/8/13 03:11	2019/8/13 13:21	0.56	2019/8/13 06:31
長興五街27-1號前(淹水站13)	120.25444	22.99231	2019/8/13 03:31	2019/8/13 12:46	0.48	2019/8/13 05:31
北上仁德交流道開道下(淹水站10)	120.24889	22.97681	2019/8/13 04:52	2019/8/13 12:32	0.46	2019/8/13 05:42
灣裡路88巷12號前(淹水站5)	120.18005	22.93104	2019/8/13 04:35	2019/8/13 07:00	0.4	2019/8/13 05:25
保安路一段39號前(淹水站14)	120.22652	22.92682	2019/8/13 00:03	2019/8/13 06:35	0.36	2019/8/13 05:20
長興路87巷37弄6號旁(淹水站16)	120.25838	22.99342	2019/8/13 02:08	2019/8/13 15:46	0.36	2019/8/13 05:30
中正路28號前(淹水站28)	120.25203	22.97253	2019/8/13 03:40	2019/8/13 12:51	0.35	2019/8/13 05:41
保大路大廟五街131巷口(淹水站26)	120.27496	23.00295	2019/8/13 05:03	2019/8/13 11:51	0.32	2019/8/13 07:01
大灣路1102巷44之3號旁(淹水站41)	120.25086	22.99864	2019/8/13 03:22	2019/8/13 09:24	0.26	2019/8/13 05:34
中正路一段高速公路下(淹水站29)	120.24945	22.942	2019/8/13 04:42	2019/8/13 06:37	0.24	2019/8/13 05:32
太乙路中正路口(淹水站58)	120.25378	22.98217	2019/8/13 05:20	2019/8/13 12:29	0.21	2019/8/13 08:44
中山北路344巷(淹水站42)	120.26959	23.02	2019/8/13 01:19	2019/8/13 17:14	0.2	2019/8/13 06:59
復興路26巷62號前(淹水站40)	120.25011	23.00186	2019/8/13 03:42	2019/8/13 07:04	0.17	2019/8/13 05:34
正義二街中清二街口(淹水站56)	120.25448	22.97372	2019/8/13 03:33	2019/8/13 05:33	0.16	2019/8/13 05:23
裕農路987-1號前(淹水站24)	120.24764	22.99044	2019/8/13 00:04	2019/8/13 05:22	0.13	2019/8/13 04:34
長興一街54號旁(淹水站60)	120.26363	22.99395	2019/8/13 04:27	2019/8/13 13:41	0.11	2019/8/13 07:02
中華南路二段233巷142號前(淹水站51)	120.19095	22.95757	2019/8/13 03:27	2019/8/13 12:04	0.09	2019/8/13 04:50
小東地下道(淹水站22)	120.2137	23.00167	2019/8/13 10:44	2019/8/13 11:24	0.05	2019/8/13 11:24

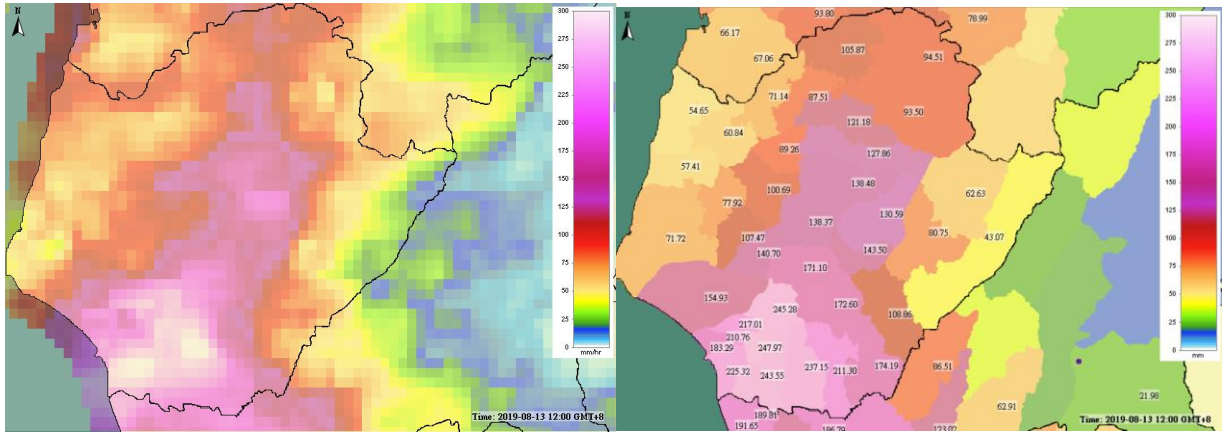


圖 6-2 臺南市 0813 豪雨 12 小時累積降雨量分布

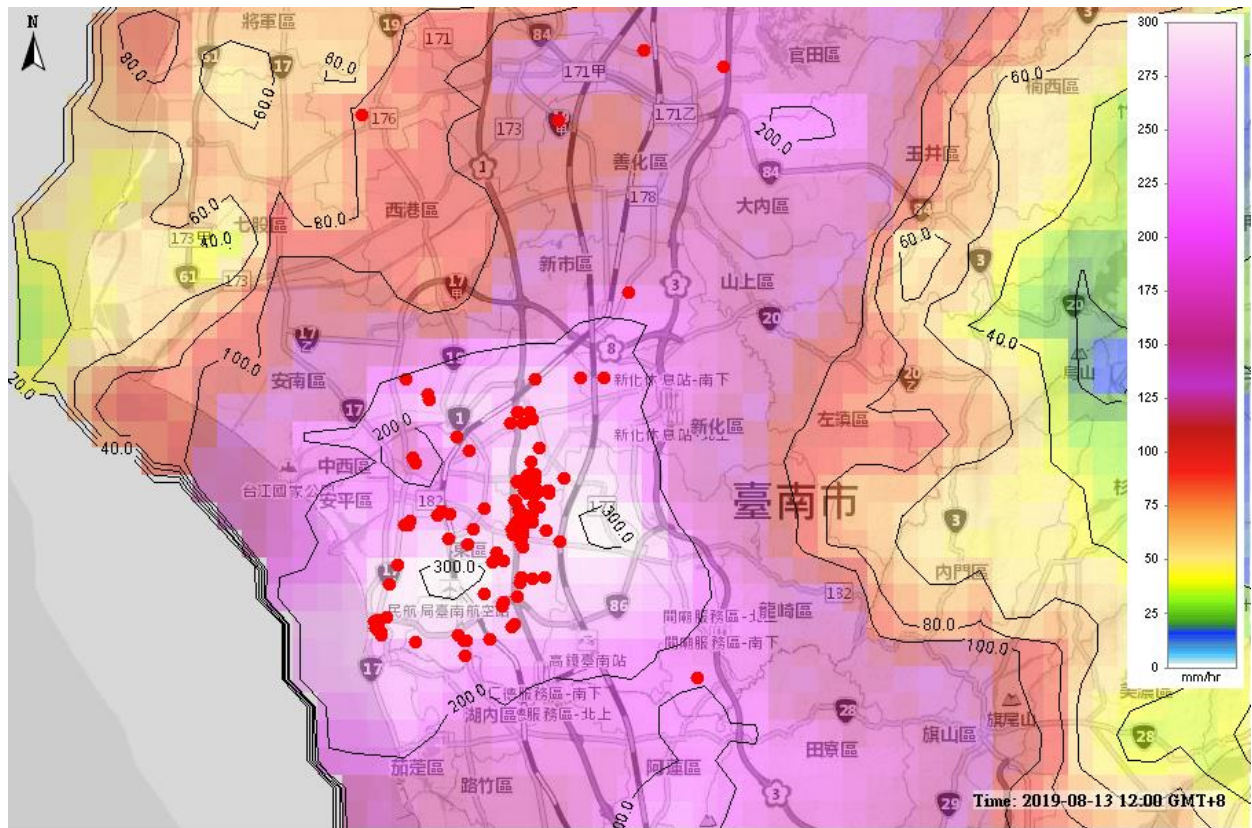


圖 6-3 EMIC 淹水回報點位主要位於 12 小時累積降雨量 200mm 等雨量線範圍

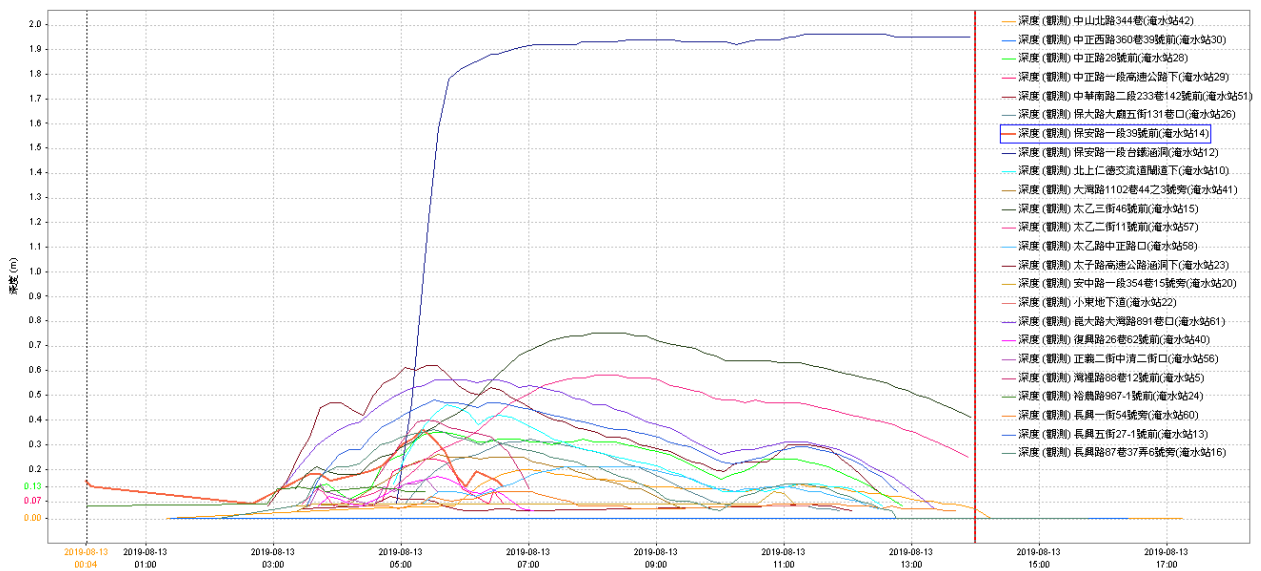


圖 6-4 路面淹水感測器監測數據

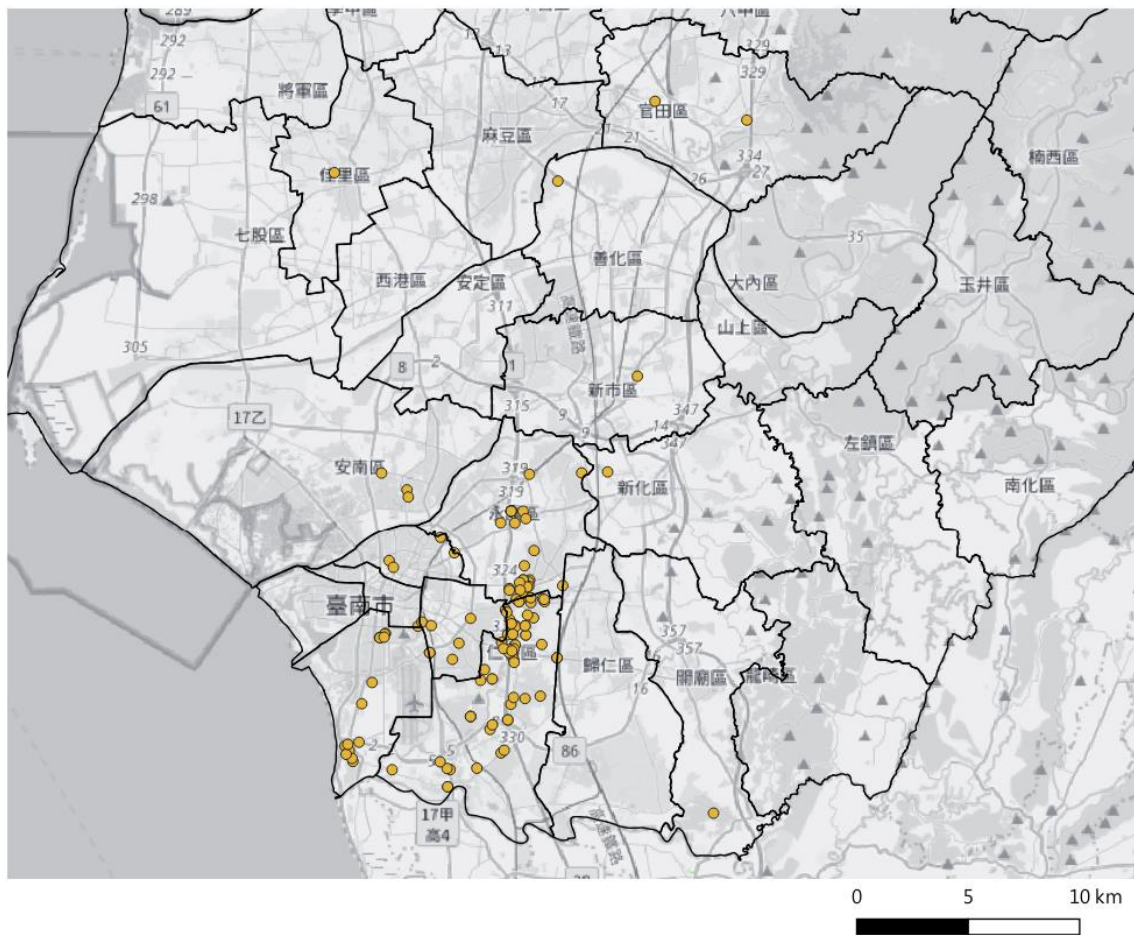


圖 6-5 EMIC 回報位置點位 (0813 豪雨事件)

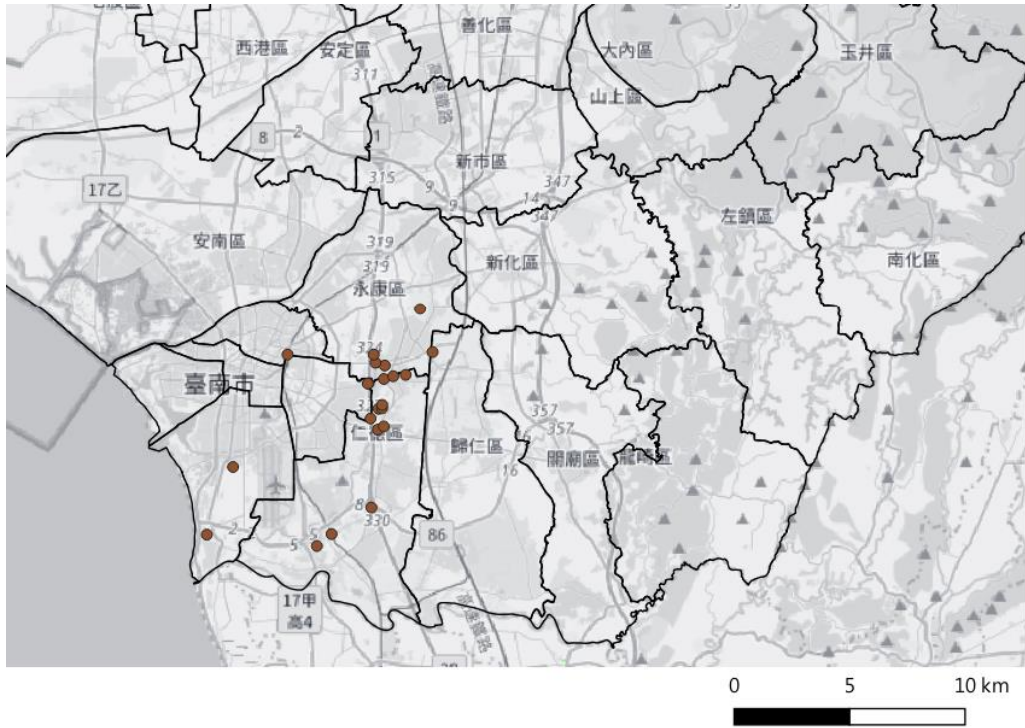
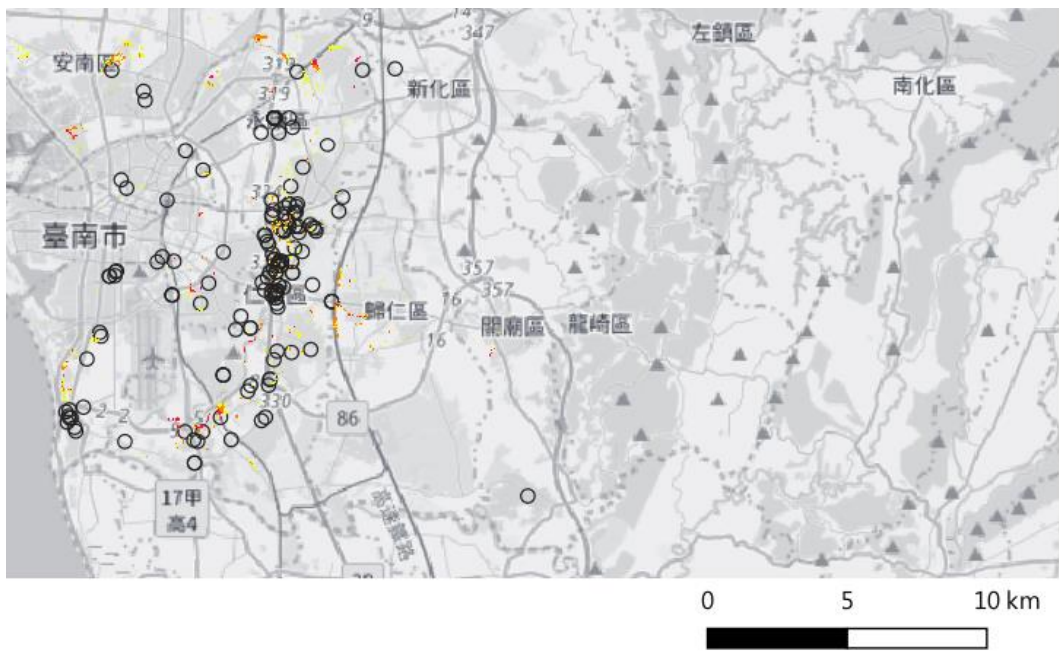
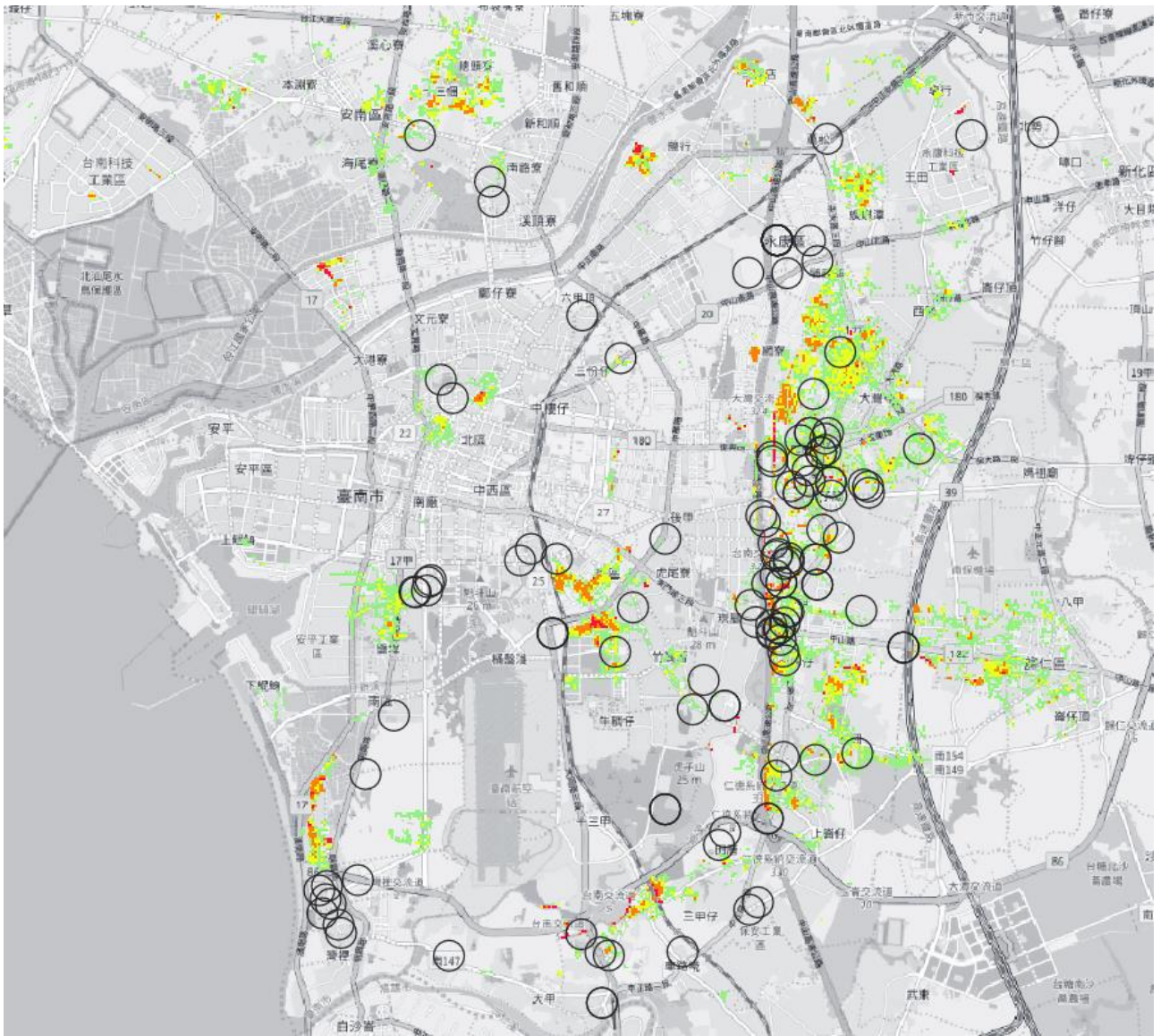


圖 6-6 淹水感測器有監測數據位置 (0813 豪雨事件)



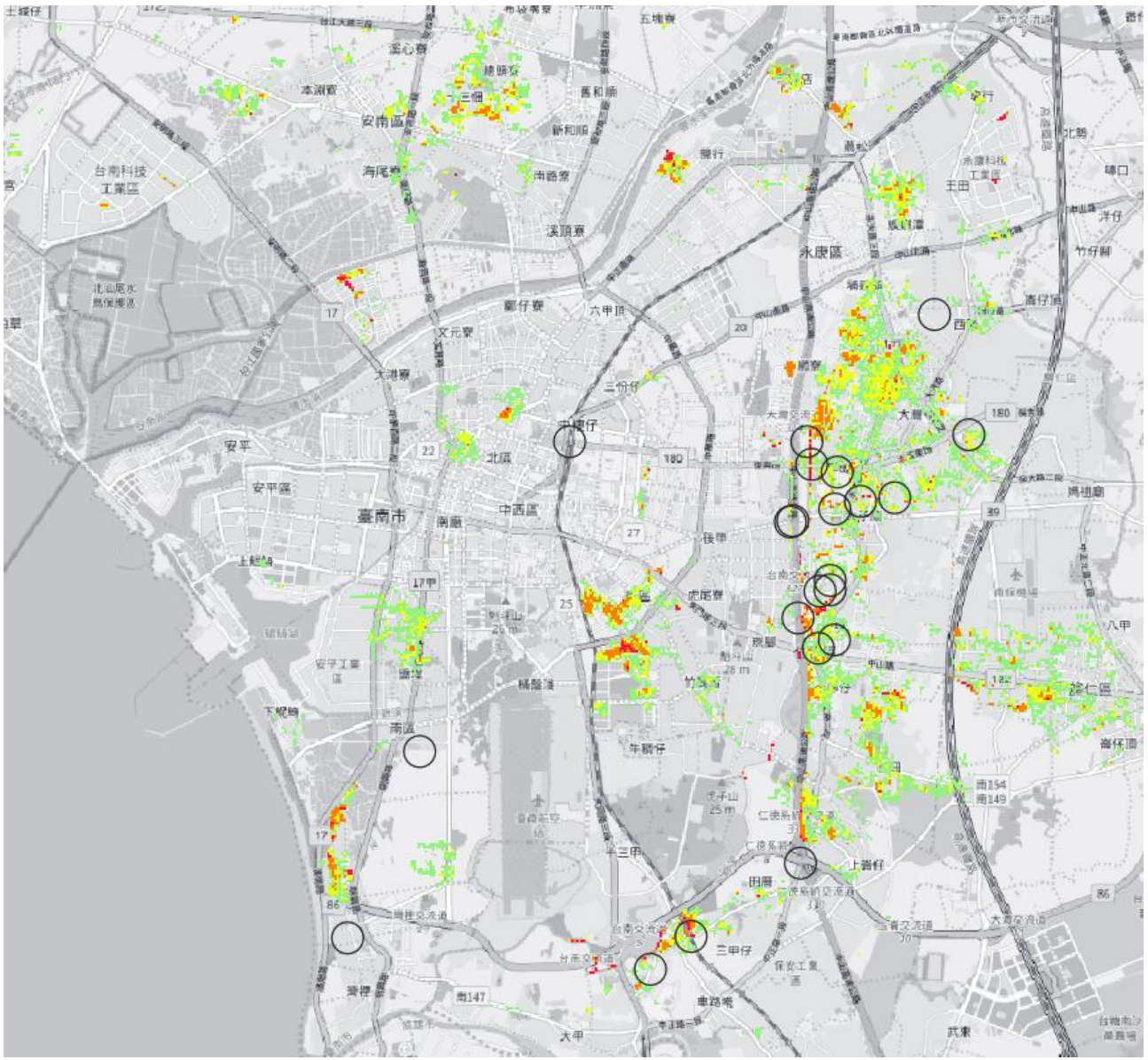
- EMIC回報淹水資訊
- 0.1m-0.3m
- 0.3m - 0.5m
- 0.5 m - 1.0m
- > 1.0m

圖 6-7 淹水模擬與 EMIC 回報點位 (0813 豪雨事件)



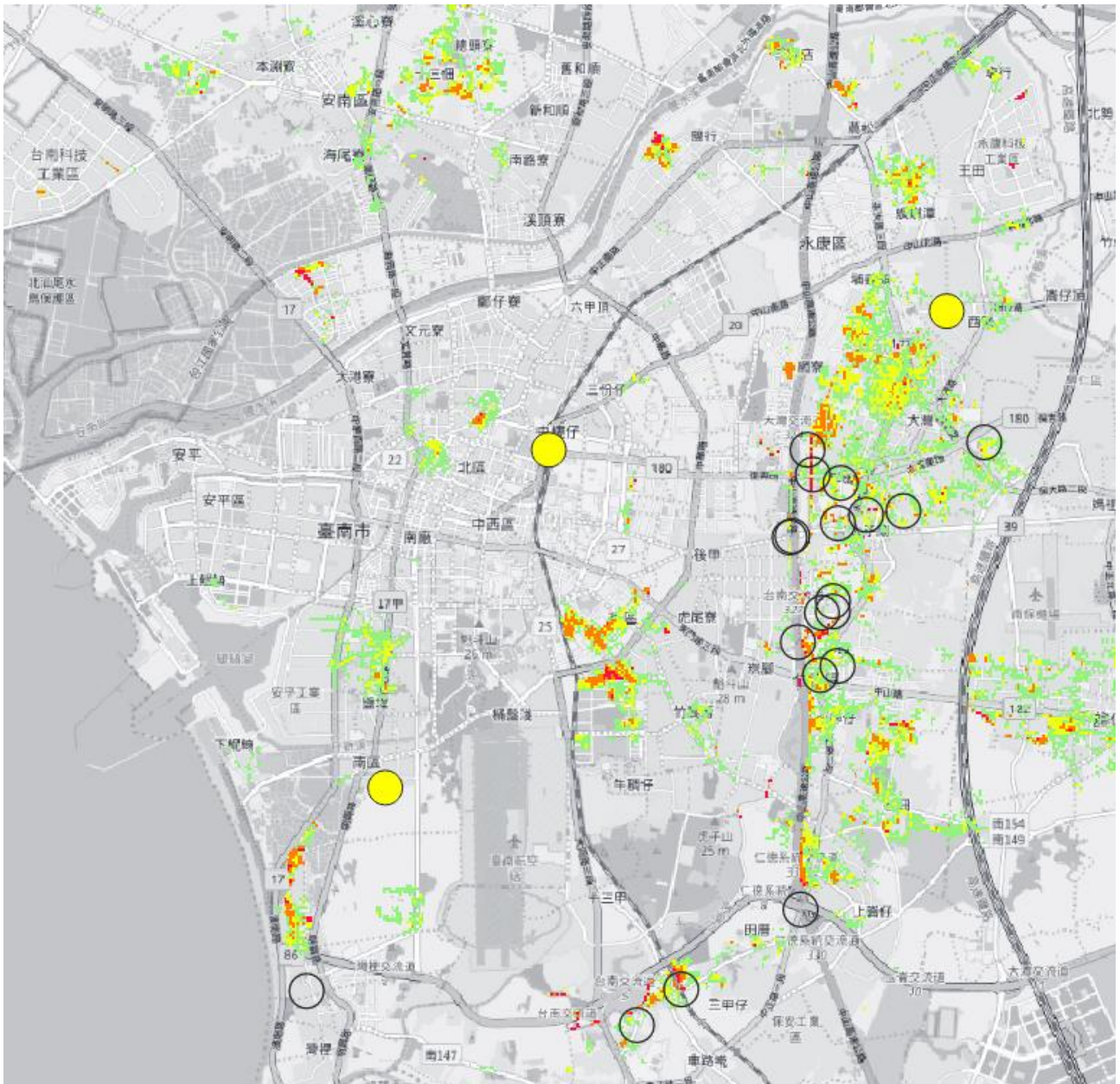
- 無淹水模擬網格，須檢視之範圍
- 淹水感測器資料有效範圍
- 0.1m-0.3m
- 0.3m - 0.5m
- 0.5 m- 1.0m
- > 1.0m

圖 6-8 淹水模擬與 EMIC 回報點位 (0813 豪雨事件)



- 無淹水模擬網格，須檢視之範圍
- 淹水感測器資料有效範圍
- 0.1m-0.3m
- 0.3m - 0.5m
- 0.5 m - 1.0m
- > 1.0m

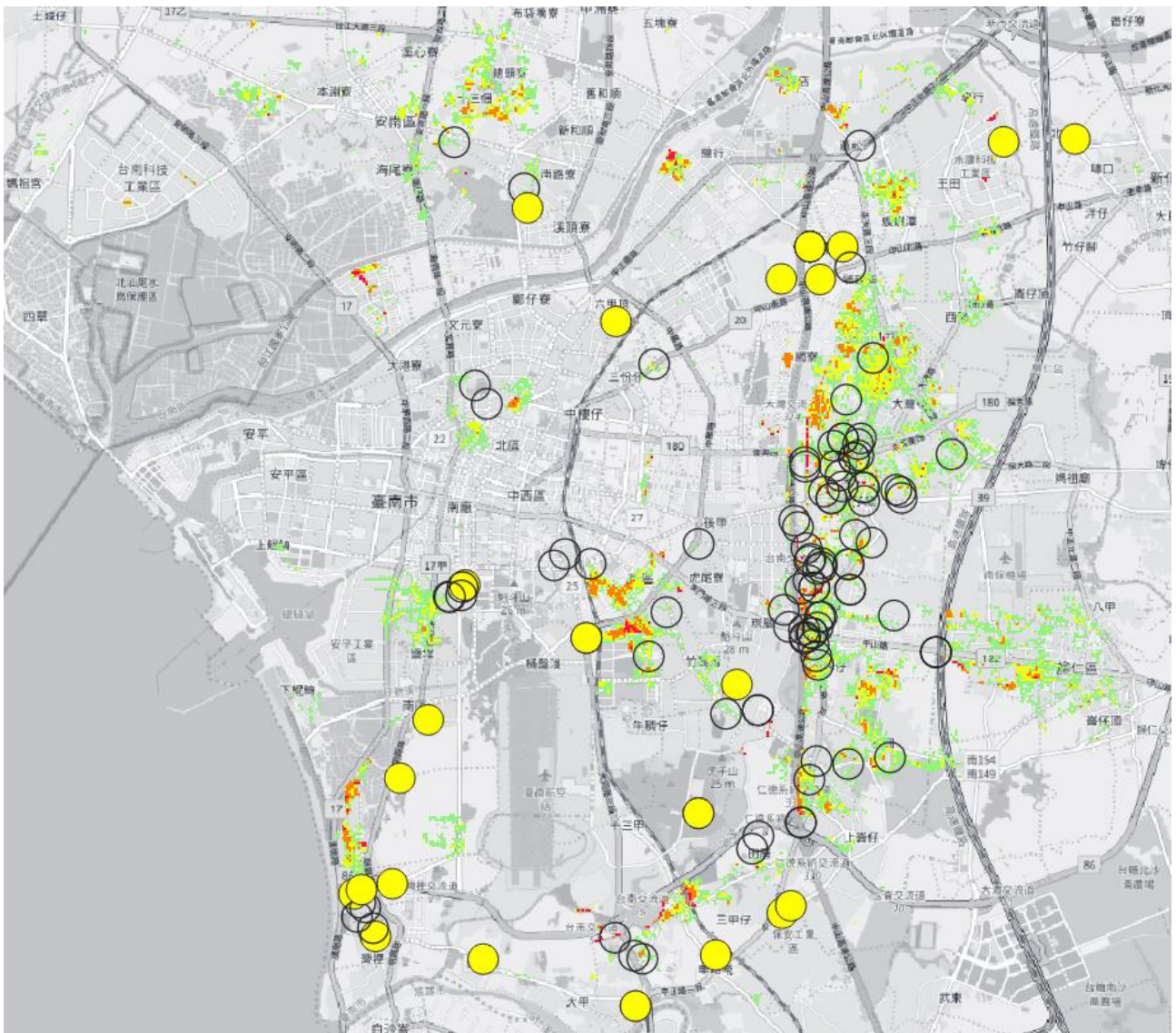
圖 6-9 淹水模擬與淹水感測器點位 (0813 豪雨事件)



- 無淹水模擬網格，須檢視之範圍
- 淹水感測器資料有效範圍
- 0.1m-0.3m
- 0.3m - 0.5m
- 0.5 m - 1.0m
- > 1.0m

說明：黃色點位為無淹水模擬網格

圖 6-10 淹水感測器位置淹水模擬成果 (0813 豪雨事件)



- 無淹水模擬網格，須檢視之範圍
- 淹水感測器資料有效範圍
- 0.1m-0.3m
- 0.3m - 0.5m
- 0.5 m- 1.0m
- > 1.0m

說明：黃色點位為無淹水模擬網格

圖 6-11 EMIC 回報點位對應淹水模擬成果(0813 豪雨事件)



## 參考文獻

1. Abedin, S., and Stephen, H. (2019). “GIS Framework for Spatiotemporal Mapping of Urban Flooding.” *Geosciences*, 9(2), 77.
2. Bhola, P. K., Leandro, J., and Disse, M. (2018). “Framework for Offline Flood Inundation Forecasts for Two-Dimensional Hydrodynamic Models.” *Geosciences*, 8(9), 346.
3. Bhola, P. K., Nair, B. B., Leandro, J., Rao, S. N., and Disse, M. (2019). “Flood inundation forecasts using validation data generated with the assistance of computer vision.” *Journal of Hydroinformatics*, 21(2), 240–256.
4. “JACOBS.” (2019). Flood Cloud, <<https://www.floodmodeller.com/products/flood-cloud/flood-cloud/>> (May 4, 2019).
5. Nevo, S., Anisimov, V., Elidan, G., El-Yaniv, R., Giencke, P., Gigi, Y., Hassidim, A., Moshe, Z., Schlesinger, M., Shalev, G., Tirumali, A., Wiesel, A., Zlydenko, O., and Matias, Y. (2018). “ML for Flood Forecasting at Scale.” Montréal, Canada., 4.
6. Noh, S. J., Lee, J.-H., Lee, S., and Seo, D.-J. (2019). “Retrospective Dynamic Inundation Mapping of Hurricane Harvey Flooding in the Houston Metropolitan Area Using High-Resolution Modeling and High-Performance Computing.” *Water*, 11(3), 597.
7. Wu, S.J.\*, Chen, P.H., and Yang, J.C., 2011. Application of Weighted Semivariogram Model (WSVM) based on fitness to experimental semivariogram on estimation of rainfall amount. *Hydrology and Earth System Science Discussion*. 8(2), 4229-4259.
8. Wu. S.J., Lien, H.C., Chang, C.H., and Shen, J.C., 2012. Real-Time Correction of Water Stage Forecast during Rainstorm Events Using Combination of Forecast Errors. *Stochastic Environment Research and Risk Assessment*, 26(4),519-531.
9. Shen, J.C., Chang, C.H., Wu. S.J.\*, Hsu, C.T., and Lien, H.C., 2015. Real-time Correction of Water Stage Forecast using Combination of Forecasted Errors by

Time Series models and Kalman Filter method. Stochastic Environment Research and Risk Assessment, 29(7), 1903-1920.

10. 國家災害防救科技中心，「2015-2030 仙台減災綱領 (中文版)」，國家災害防救科技中心編譯，2015，台北。
11. SIM-CI,SIM・SAFE, <https://sim-ci.com/sim-safe/>
12. Big Sioux River Flood Information System(BSRFIS), <https://bigsiouxfis.org/>
13. Google AI Blog,An Inside Look at Flood Forecasting, <https://ai.googleblog.com/2019/09/an-inside-look-at-flood-forecasting.html>
14. Fujitsu,Fujitsu Develops AI Disaster Mitigation Technology to Predict River Flooding with Limited Data, <https://www.fujitsu.com/global/about/resources/news/press-releases/2019/0816-01.html>
15. National Oceanic and Atmospheric Administration (2011). Guidelines for the Development of Advanced Hydrologic Prediction Service Flood Inundation Mapping.
16. Rausch,and Cowman (2019). "the Big Sioux River Flood information system(BSRFI)"(June 20, 2019).
17. Noh, S. J., Lee, J.-H., Lee, S., Kawaike, K., and Seo, D.-J. (2018). “Hyper-resolution 1D-2D urban flood modelling using LiDAR data and hybrid parallelization.” Environmental Modelling & Software, 103, 131-145.
18. Meijer, D. (2018). Urban flooding and the Delft3D FM 1D2D capabilities: Washington, D.C.
19. Chisholm (2017), CIWEM UDG Code of Practice for the Hydraulic Modelling of Urban Drainage Systems.
20. Zhang, W. (2018), Introduction to the Pudong(Shanghai) FEWS System.
21. 関根正人，「東京で発生する大規模浸水・都市河川洪水とそのリアルタイム予測」，日本気象学会 2018 年度夏季大会。
22. 関根正人、古木 雄、関根貴広，「東京都心部の内水氾濫と大規模地下空間浸水の危険度に関わる数値解析」，土木学会論文集 B1 (水工学) 71(4), I\_1435-I\_1440, 2015

## 附錄一 HyDEM 簡介

數值地形模型(Digital Terrain Model, DTM) 乃以數值化方式來展現三度空間地形起伏變化情形。數值地表模型(Digital Surface Model, DSM) 為地表(如建築物、植被) 之三度空間數值模型。除了可應用於國土規劃外，對於民生、科技、建設等方面，亦具有極高的應用價值。

DTM 的製作基礎，主要以空載光達作為產製工具，而 DTM 主要分為數值高程模型(Digital Elevation Model, DEM)與數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM)。

DEM 係僅記錄地面高程，去除所有地面以上之物體，DSM 則記錄所有地面物的高程，即空載光達掃描時由俯視掃描第一層會遇到之構造物之高程，雖然保留了構造物之位置與高程訊息，但卻也保留了在水文水理模式在分析時，例如：植被、涼亭、高架橋等皆不會影響水體流動的物體特徵。嚴格來說，無論是 DEM 或是 DSM 皆無法符合水利數值模型使用上的需求。

為使地形資料更符合淹水模擬及建置模式需求，以內政部地政司提供之三維圖徵資料為基礎，並與經濟部水利署水利規劃試驗所，共同訂定水利數值地形模型(HyDEM)系列產品規格，以增加未來在水文水理模擬的效益。

以下針對 HyDEM 與傳統 DEM 之差異進行說明，並以圖 1-1 至圖 1-3 比較兩者差異：

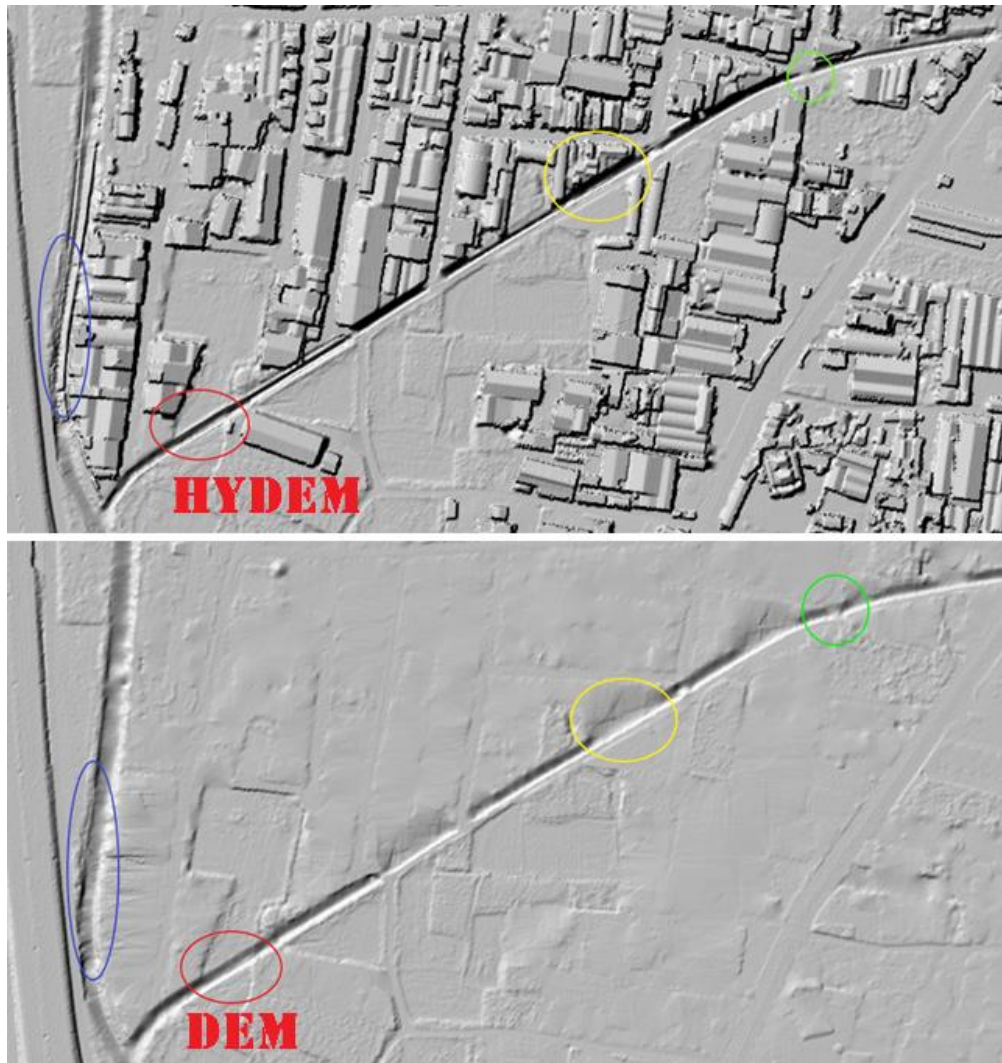
- (一)如圖 1-1 所示，DEM 未能包含三維圖徵資訊；但 HyDEM 則含有三維圖徵資訊。
- (二)以往 DEM 無能重視水道資訊之機制；而圖附 1-2 顯示，HyDEM 將渠道溢堤與河川堤防之三維圖徵加入地形內插過程，以改善水道兩側因點雲缺失而模糊化的地形，進而有效強化地形中之水道資訊。
- (三)從圖附 1-3 顯示，比起傳統 DEM 不包含建物高程資訊；而 HyDEM 將建物區塊之三維圖徵加入地形，將建物所在位置與高程值呈現於地形中，使其更符合現實情況。

而考量使用者對資料面需求的不同，HyDEM 分為三項產品，分別命名為「HyDEM1」、「HyDEM2」與「HyDEM3」供選擇使用，如表 1-1 所列，整理 HyDEM 系列產品之規格，並與傳統 DEM 之比較整理。茲說明三種產品之規格：

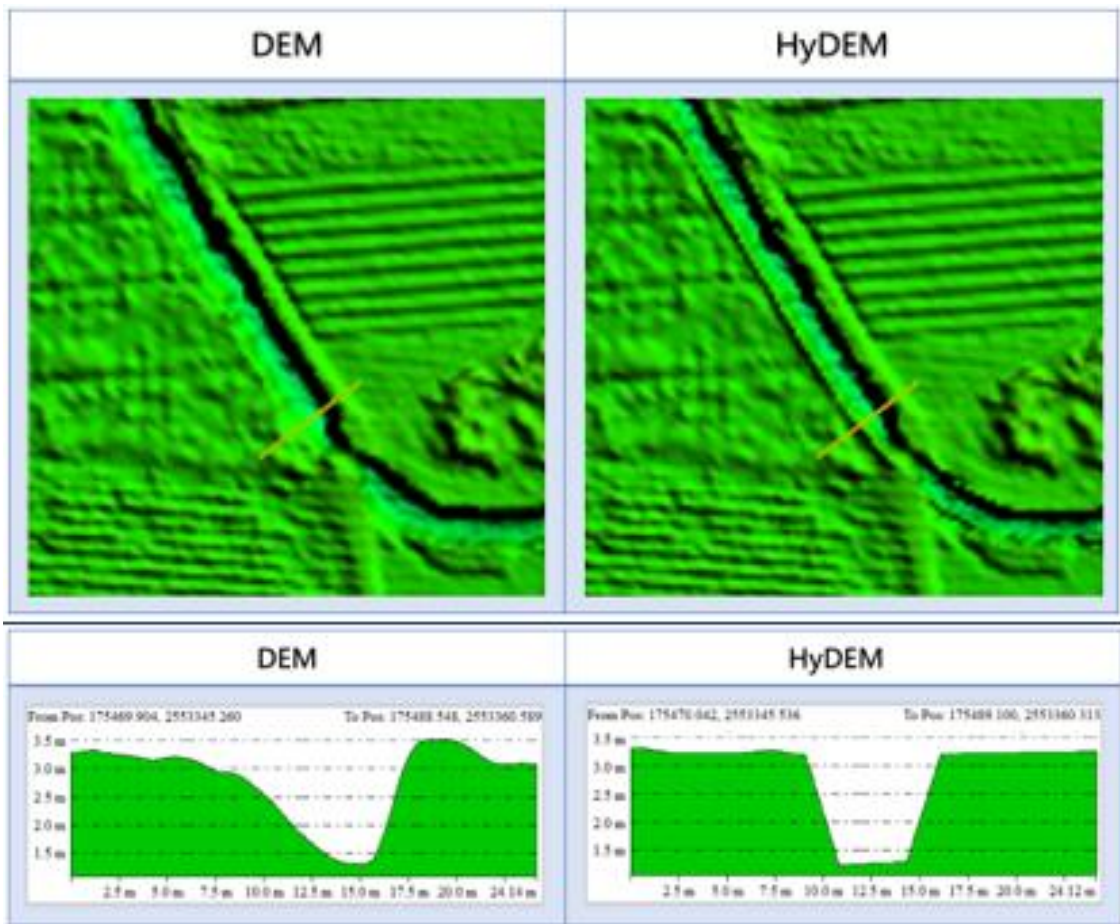
- (一)HyDEM1 產品內容，包含解析度 1m 的「傳統 DEM」與三維圖徵資料，以供使用者根據需求使用三維圖徵資料。
- (二)HyDEM2 產品內容則加入渠道溢堤線，與河川堤防線之三維圖徵為內插依據的 DEM 產品，最高解析度為 1m，網格內插時將三維圖徵作為 Breakline，改善 DEM 於水道兩側因點雲缺失而造成模糊化的地形。
- (三)HyDEM3 產品內容以 HyDEM2 為基礎，利用房屋區塊之三維圖徵將房屋高程呈現於 DEM 上，最高解析度亦為 1m，整體地形更符合現實情況。

表附 1-1 HyDEM 與傳統 DEM 規格表

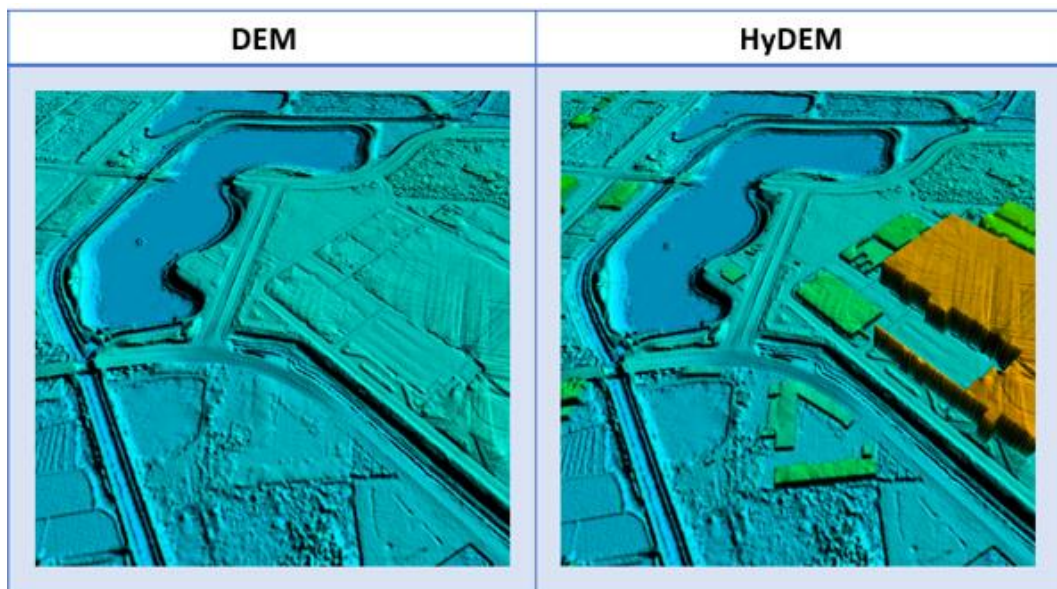
產品名稱	是否包含三維圖徵資料	DEM 資料內容
DEM	否	既有 DEM 成果
HyDEM1	是	既有 DEM 成果
HyDEM2	否	加入渠道、河川線內插之 DEM 成果
HyDEM3	否	加入渠道、河川線內插並呈現建物高程之 DEM 成果



圖附 1-1 HyDEM 與 DEM 之差異



圖附 1-2 HyDEM 與 DEM 之水道顯示差異



圖附 1-3 HyDEM 與 DEM 之建物顯示差異



## 附錄二 D-Flow FM 模式介紹

D-Flow Flexible Mesh (以下簡稱 D-Flow FM) 以 Delft3D 為基礎之淹水模擬軟體，D-Flow FM 的最大特色，透過表附 2-1 顯示，D-Flow FM 模式與過往採用 SOBEK 的最大差異，係除了支援規則格網，亦可支援非規則格網包含：Quadtree、TIN 或是 Curvilinear，並具有提升過往的運算效能 (例如支援多核心機器等)。

D-Flow FM 提供多維度 (1D, 2D 和 3D) 流體動力學模擬，可計算結構化和非結構化邊界擬合網格資料，包含：潮汐、氣象預報產生的非穩定流動和傳輸現象。

而 D-Flow FM 名稱所提的 FM，實為 Flexible Mesh 之縮寫，意指由三角形，四邊形，五邊形和六邊形組成的非結構化網格的靈活組合。D-Flow FM 在原理上，則使用交替方向隱式法 (Alternating direction implicit method) 進行連續性方程求解。而時間處理方向，以平流部分自動設定動態時間長度。透過正確的位置提升與和粗化計算網格來彌補與減少誤差。

D-Flow FM 針對二維和三維淺水方程式進行處理 (Kernkamp et al. 2011)，著重於質量和動量守恆。其數值方法如下：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (hu) = 0$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \nabla \cdot (huu) = -gh\nabla\zeta + \nabla \cdot (\nu h(\nabla u + \nabla u^T)) + \frac{\tau}{\rho}$$

$$\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)^T$$

$$\tau = -\frac{\rho g}{C^2} \|u\|u$$

其中， $\zeta$  為水位、 $h$  為水深、 $u$  為速度向量、 $g$  為重力加速度、 $\nu$  為黏置係數、 $\rho$  為水質密度、 $\tau$  為底床摩擦係數、 $C$  為蔡希參數 (Chézy coefficient)。而時間導數對應的動量方程式如下：

$$\frac{\partial hu}{\partial t} = h \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial h}{\partial t}$$

對應的淺水波方程式可以重新彙整如下，而在方程式中補充了初始條件水位與速度邊界條件：

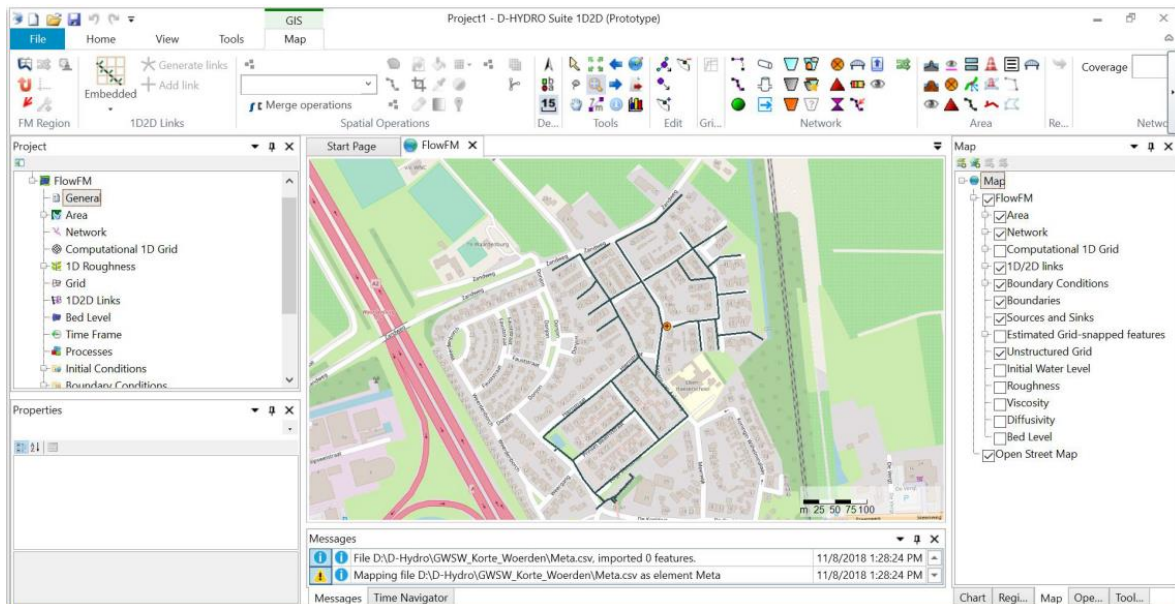
$$\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla \cdot (hu) = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{h} (\nabla \cdot (huu) - u \nabla \cdot (hu)) = -g\nabla\zeta + \frac{1}{h} \nabla \cdot (\nu h(\nabla u + \nabla u^T)) + \frac{1}{h} \frac{\tau}{\rho}$$

在軟體取得上，使用者目前可透過商業軟體服務進行購買，而商業版具有完整使用者介面。但是受到資料開源的趨勢下，完整開源軟體預計在 2020 年正式對外開放。在應用案例上，以圖附 2-1~圖附 2-3 為例，顯示荷蘭 Deltares 已運用 D-Flow FM 模擬美國華盛頓特區之情況。

表附 2-1 淹水模式規格比較表

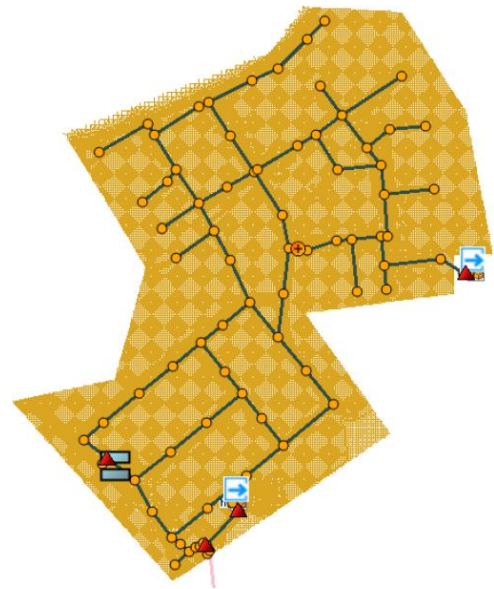
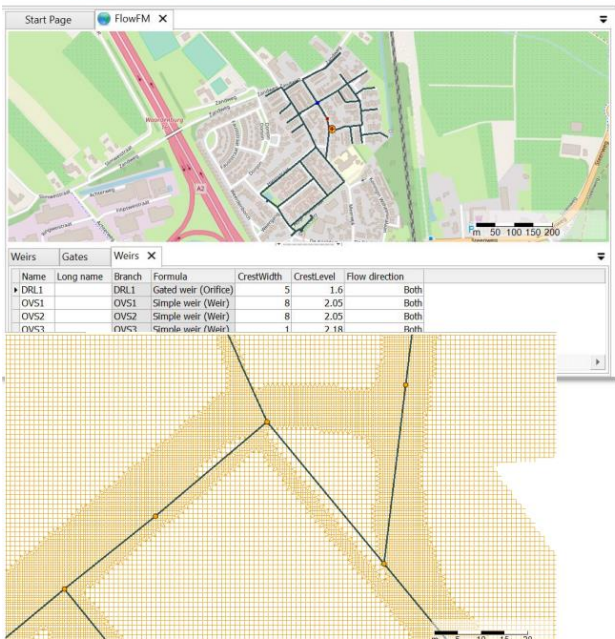
模式名稱	SOBEK	D-Flow FM
水理模組	1D,2D	1D,2D,3D
水文模組	可使用鋪面 (paved)、非鋪面 (unpaved)、溫室 (green house)、Sacramento、HBV、SCS、污水處理場等模組	可使用鋪面 (paved)、非鋪面 (unpaved)、溫室 (green house)、Sacramento、HBV、污水處理場等模組
計算網格	規則格網	規則與非規則格網
平行運算(MPI)	不支援	支援 (MPI)
作業系統	Windows	Windows/Linux
授權	商業軟體	具有完整使用者介面之商業軟體，以及僅供應程式碼之 Opensource 規格



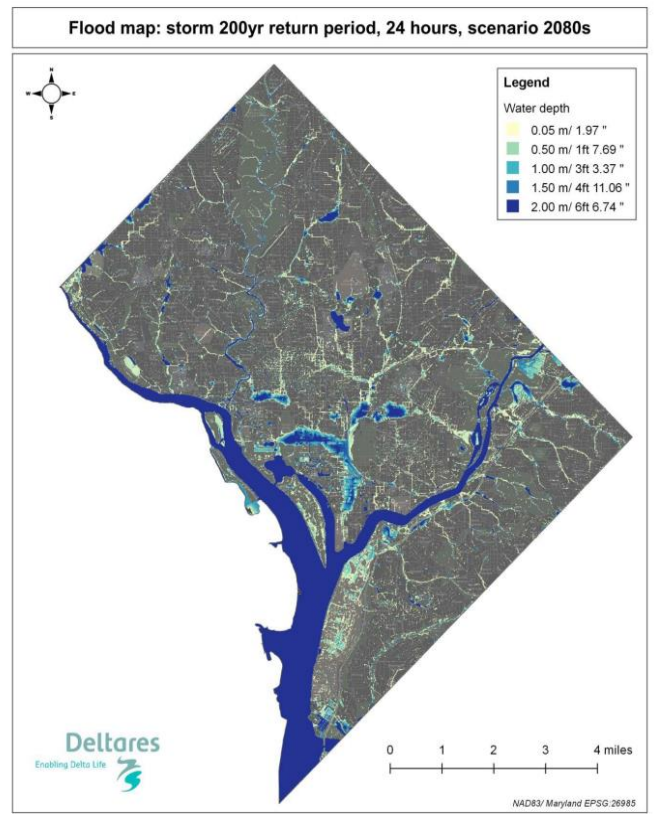
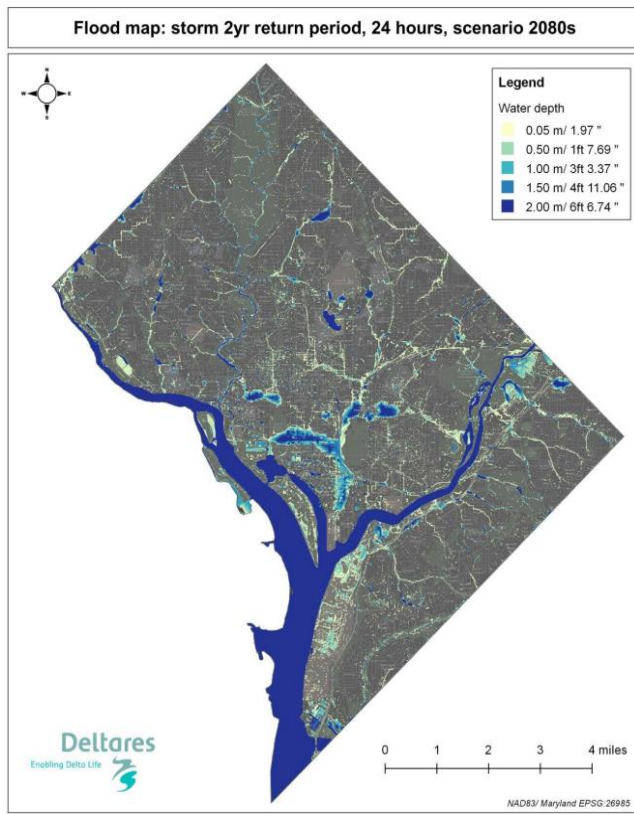
圖附 2-1 美國華盛頓特區 D-Flow FM 一二維都市淹水模擬介面



### 1D2D vertical stacked (urban)



圖附 2-2 美國華盛頓特區 D-Flow FM 淹水模擬網格與排水路測試



圖附 2-3 美國華盛頓特區不同情境下之 D-Flow FM 淹水潛勢圖



### 附錄三 即時淹水模式資料的正確性與完整性探討

物理模式應用的目的是用來描述現場實際情況的，如果基礎資料的品質太差，或者可供參照的資料太少或缺漏，所建置的數學模式便可能與實際情況有所出入，致使模擬結果與現況不符。更糟的情況，若數學模式中存在太多謬誤時，即便是發展良好且演算方法穩定的模式，也可能導致模式無法正常演算或影響其效率。舉例來說，下水道人孔高程與 DEM 地形高程不一致，極可能造成 1D-Urban Flow 模組與 2D-Overland Flow 模組的銜接出現不合理的現象，導致數值發散甚至模擬失敗。因此基礎資料的品質與正確性直接攸關模擬結果的正確性，這正是本計畫所強調的重點，希望透過一些作業流程的規範與檢核工作，俾使各種異質性資料在數值模式中的銜接能「合理」，讓這些經過調整的基礎資料成為「數模可用」的資料。

二維淹水模式建置所需要的基礎資料，主要包括以下四大類：

- (一)河道大斷面測量資料：用於一維河道水理模組；
- (二)DEM 地形高程資料：用於二維淹水模組；
- (三)下水道資料：用於下水道模組；
- (四)水工構造物相關資料：用於一維河道水理模組中，建置水工構造物及其操作規則。

建置一地區的數值模式，簡單來說就是將以上四大類異質性資料設定到模式中，並在模式中進行空間對位與高程銜接。倘若出現空間對位不正確，或高程銜接不合理，即稱之為基礎資料不正確。要修正此問題的方法有二，其一是重新施測取得現場最新資料，並依此修正模式，這是最直接有效的方法，但是當施測數量龐大時會衍生人力與費用的需求；其二則是將數值模式合理化，透過高解析度 DEM 或正射影像等輔助圖資來修正空間對位與高程銜接的問題，達到提高模式演算效能的作用，但此方法也僅能讓模式合理化，實際上正確的資料仍待後續新的測量資料來逐步更新。

有關上述資料的搜集，加上二維淹水模式建置的經驗與瞭解，針對現有二維淹水模式基礎資料問題的檢討，可從「基礎資料的正確性」、「基礎資料的完整性」，以及「模式資料的檢核與修正」三個面向來說明：

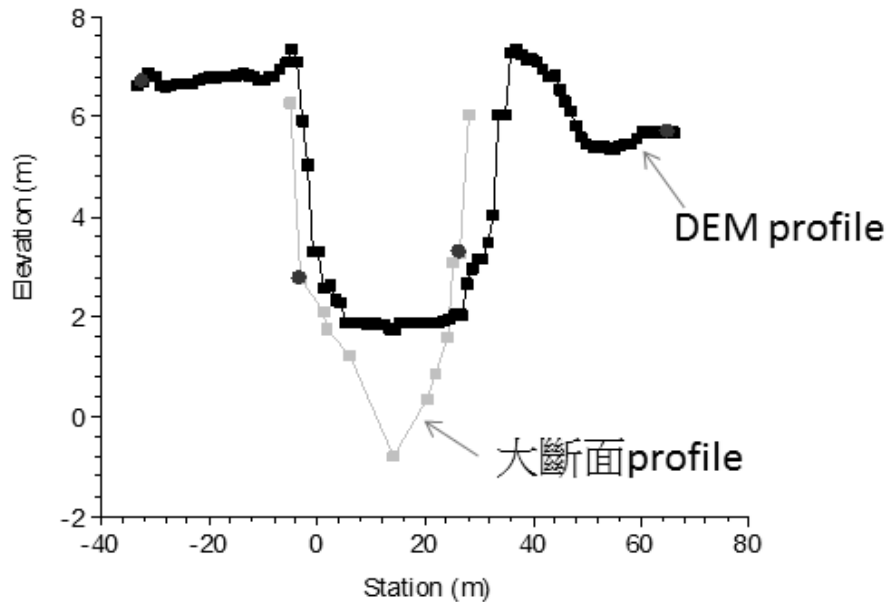
#### 一、基礎資料的正確性

以上各項資料分別來自於不同的權責單位，施測年份與空間解析度也不盡相同，透過數值模式的建置可以這些將不同來源的基礎資料依照空間坐標存放，不但能增加資料的可讀性，最重要的是方便檢核不同資料類別之相同屬性(如斷面高程、下水道高程、地形高程這三種資料類別，都具有高程屬性)於相同點位之相對合理性。舉例來說，下水道的高程必定要低於 DEM 地表高程，及斷面堤防高程與 DEM 地表高程的落差等，這屬於高程銜接的合理性；不同資料是否引用相同的坐標系統，如 97 或 67 二度分帶坐標，這屬於空間對位的合理性。如圖附 3-1，大斷面測量資料與 DEM 地形高程的比對，顯示出堤防高程與地面高程存在一明顯的落差，因而造成兩種資料銜接的問題。

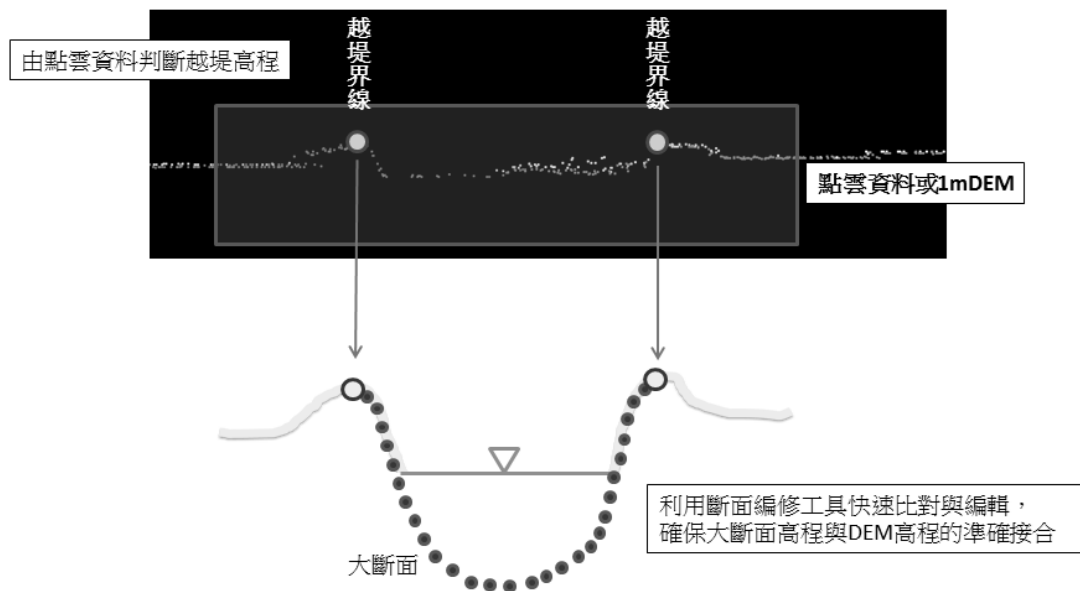
透過初步的比對與資料合理性判斷後，針對有疑慮的部分，最直接的處理方式就是透過現場探勘或補測的方式查核其正確性。但現有斷面資料與 DEM 高程比對結果顯示，高程不一致可能是普遍存在的現象，若要通通透過現場探勘或補測的方式來重新確認將需要耗費大量的人力與經費且曠日費時。因此就現有大斷面測量資料與 DEM 地形高程的檢核與修正，需要建立一套可行且有效率的執行方法，讓大部分資料能透過模式合理化的方式獲得快速的修正，並篩選出有限的斷面予以重新施測，如此方能在有限的經費條件下應付數以千計的大斷面修正工作。其目的就是要讓數值模式中的大斷面與 DEM 兩種異質且不同精度的資料能合理接合，避免模式中存在謬誤而造成模擬結果錯誤或降低

模式的收斂性。

數值模式中數量做多的資料就是河道斷面資料，此方面的模式合理化工作，建議可從高精度的地形資料來著手，例如原始的點雲資料或 1m 解析度 DEM，作為識別越堤界線與堤岸高程的主要依據，如圖附 3-2。此外，為了能有效率的處理大量的斷面資料，便需要開發一套較為自動化的檢核與修正工具，但礙於斷面型式的多樣性，恐怕難以制定一套完全自動化的修正公式，因此建議可透過斷面前處理工具，如 HEC-RAS 所提供的斷面編修功能，套疊大斷面與 DEM 橫向剖面來進行比對，應可加快相關的編修工作，來確保斷面堤岸高程與 DEM 高程的準確接合，以完善一、二維水利數值模式整合流程。



圖附 3-1 大斷面測量資料與 DEM 地形高程的比對

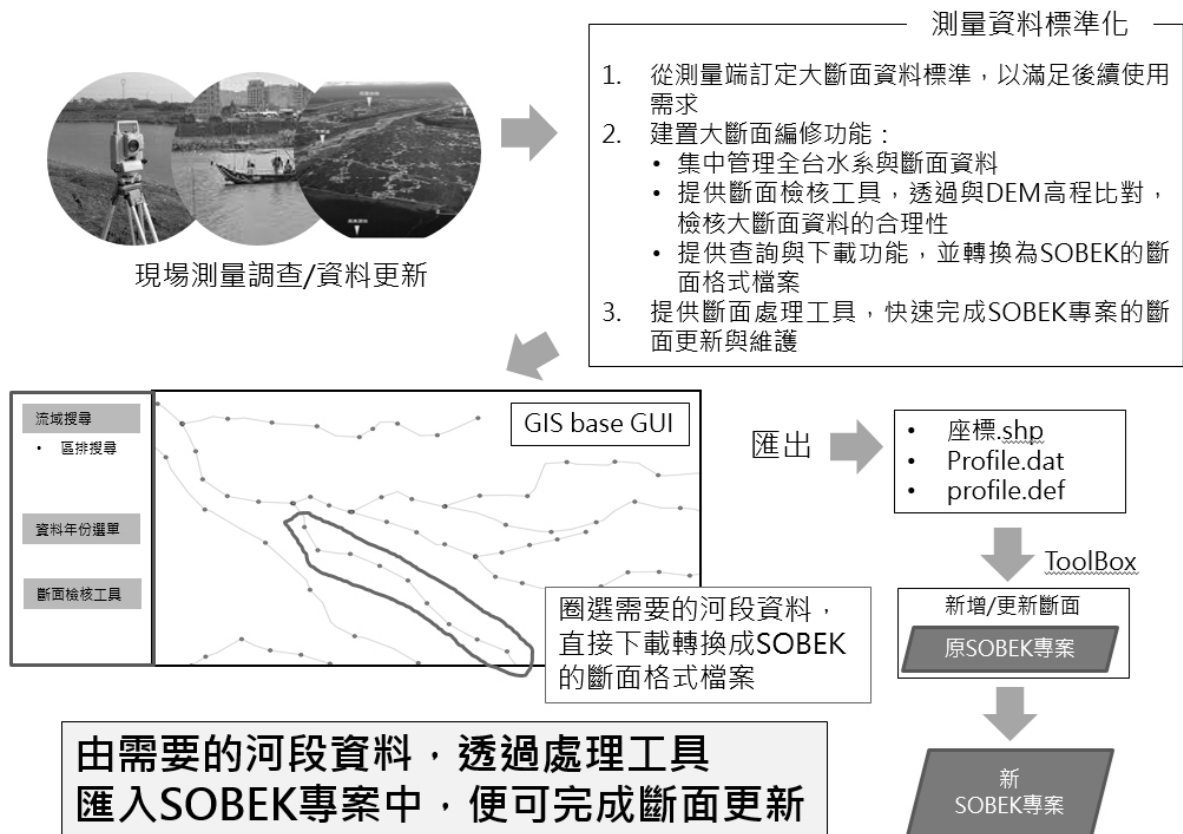


圖附 3-2 高精度地形資料判斷越堤界線與高程

## 二、基礎資料的完整性

就基礎資料的搜集，可能遭遇的問題與因應對策條列說明如下：

- (一)測量斷面搜集方面，可能遇到縣管河川與區域排水斷面，其基本資料缺乏或遺失問題，除盡可能搜集基本資料外，亦可利用規劃設計斷面、或縣府施工斷面取代，以因應資料遺缺部分。但這樣的處理方式，似乎無法有系統性的解決大斷面資料不足的問題，尤其是到了區域排水等級的小渠道，根本無測量資料可供參照。此外，大斷面的測量範圍並無明確的規範，有時候會延伸至堤內的範圍，因此河道行水區的範圍並不是定義的非常明確，部分資料僅從單一的大斷面剖面要判斷出行水區範圍，實在不是件容易的事，往往還需要輔以影像資料或 DEM 地形資料來加以判讀，也因此增加了資料使用的難度，也容易導致資料被誤用。由於河道斷面的數量非常的多，如臺中數值模式中超過 8,000 個斷面、臺南數值模式中有一萬三千多個斷面，若要逐一檢視每個斷面就需要耗費相當多的作業時間，從數值模式使用者的角度，建議未來應重新檢視大斷面測量資料可能存在的問題，由測量端開始，訂定大斷面的資料標準，期望能確切的滿足數值模式的使用需求，其概念如圖附 3-3 所示。
- (二)有關測量資料的標準化方面，其主要目的是透過高精度點雲，或地形高程資料，先由內業判斷左、右岸的越堤界線，兩點之間即為河道行水區，明確訂出這兩點之後，後續的大斷面測量便能以此兩點為界，提供範圍明確的河道行水區斷面資料，這就是此處所謂的大斷面資料標準化的概念。斷面資料標準化後，後續使用此項資料的使用者不用再判斷行水區範圍，降低資料被錯誤引用的可能性。有了標準化的斷面資料，未來淹水模式中大斷面更新的自動化才可能實現，否則每次面對新的斷面測量資料，都得逐一斷面重新去判斷行水區的範圍，並且重做大斷面測量資料與 DEM 地形高程的比對工作。
- (三)DEM 與土地管理(土地利用)資料，需由公務單位(不包含學校)向內政部提出申請，且 DEM 資料於軍事用地可能無法申請到高解析度者。土地管理資料亦有相似情況，可藉由 GOOGLE 影像或衛星影像協助辨識土地利用情況。
- (四)雨水下水道部分，因為建置時間久遠且埋管於地下而難以測量，都會區經過數十年的發展，地形地貌與土地利用情況都有很大改變，加上過去圖資多為紙本，缺乏數位資料，經過反覆翻印後可讀性與辨識度已降低很多，相關資料往往不易取得或有所缺漏。除營建署有雨水下水道資料，各縣市政府水管科亦有雨水下水道資料，但不齊全，或可至各鄉鎮公所搜集雨水下水道紙本資料，做為模式建置之基本資料，以因應資料不足之情況。
- (五)最新 1/5,000 航照數位正射影像部分，資料來源包括水利署中央管河川基本圖資及各縣市政府稅務科影像圖資外，許多發布 WMS 圖層的網站也可以線上載入影像圖資做為參照。



圖附 3-3 二維淹水模式斷面資料更新維護流程

### 三、模式資料檢核與修正

針對既有的淹水模式，如何進行模式資料檢核與修正，也是一項非常重要的工作，但同樣面臨著資料數量龐大的困擾。從長遠來看，模式更新必須自動化，而更新後的模式勢必又得面臨資料檢核與修正的問題。因此，建立一套標準化自動檢核流程確實有其必要性，以下說明幾項檢核的項目與原則，未來可陸續為這些檢核工作開發管理工具並建立有效率的檢核方法。

- (一)各項高程資料銜接時其相對高程的合理性：不論是河道大斷面高程資料、DEM 地形高程資料、下水道管徑高程、堰壩高程或抽水站啟動/關閉之運轉水位高程等，都可以利用鄰近資料的相對高程差異來初步檢核資料的合理性。
- (二)各項空間資料之坐標系統檢核：97 坐標 vs.67 坐標，各項空間資料必須引用一致的坐標系統。
- (三)一維河道空間幾何與二維 DEM 的一致性：如圖附 3-4 所示，透過二維 DEM 的等高線圖可以清楚看出河道的走向，依據過去的經驗往往與一維河道的走向有所偏移，此時便須修正一維河道的走向使其與二維 DEM 一致，如此才能正確建置 1D-2D 耦合模式，否則會造成左岸或右岸淹水的重大差異。
- (四)河道斷面修正：河道大斷面測量資料為 Y-Z 剖面格式，測量資料的左側起點與右側終點並不一定為斷面樁位置，其範圍可能延伸至堤內的地面高程，必須予以刪除，避免模式對越堤高程的判斷出現錯誤。
- (五)上游集水區面積與都市排水系統集水區面積檢核：SOBEK 模式可配合降雨-逕流模組計算集水區產生的逕流量，除了降雨-逕流模組中的參數需要率定之外，集水區面積的設定也必須正確才能獲得正確的逕流量，因此模式建置後必須檢核集水區總面積

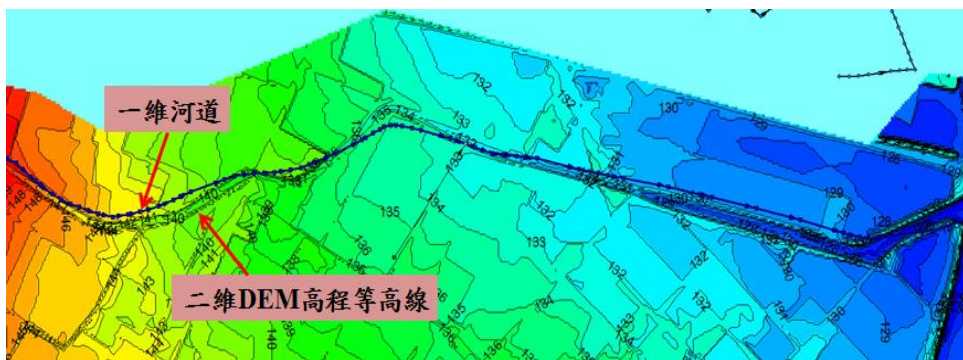
是否正確。集水區可區分為上游集水區及都市排水系統集水區，落於後者的雨量是經由雨水下水道系統集流後匯入渠道內。

(六)下水道管線高程布置與檢核：下水道管線高程布置可以參考竣工圖，但在缺乏資料情況下，可利用滿足下列三個條件的方式合理布置下水道管線高程：

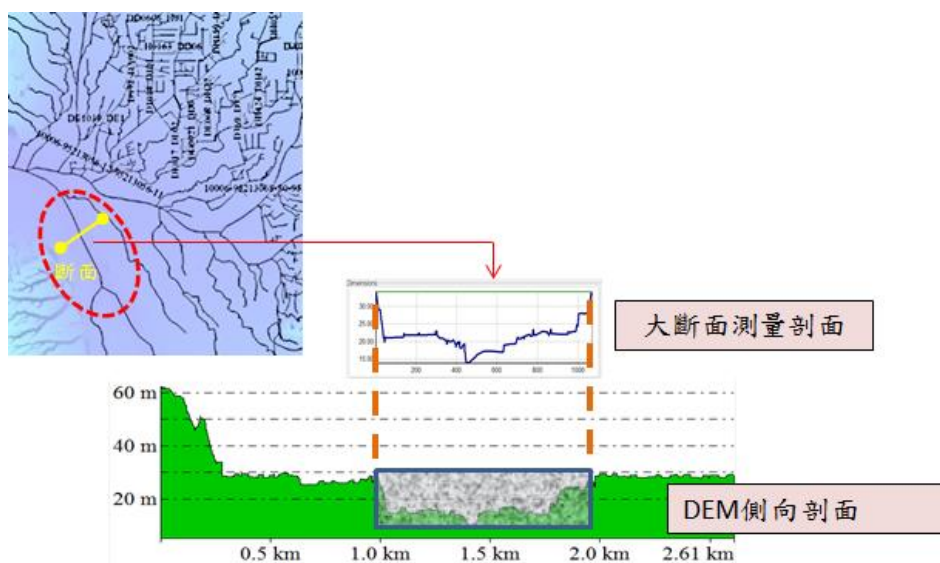
- 1、下水道管線高程必定低於地表高程；
- 2、保持下水道管線於流向上維持正向坡度；

3、下水道出口銜接河道，其出口高程可由河道治理報告中的沿程構造物調查資料中查找；若無，則可經由現地勘查的方式，或簡單經由出口位置的鄰近斷面高程來判斷合理的下水道出口高程。

(七)DEM河道行水區填補：如圖附 3-5 所示，由於 SOBEK 建置的是 1D-2D 耦合模式，在一維河道內與二維 DEM 上都存在河道行水區的空間。換言之，同樣的行水空間被重複計算，這會造成演算的錯誤，且洪水從一維河道溢淹到二維 DEM 後，由於 DEM 上仍存在河道行水空間，反而拘限了洪水在河道內向下游流動，而不是溢淹堤內的區域。因此，DEM 上的河道行水空間必須予以填補，以避免行水空間在 1D-2D 耦合模式中被重複計算的問題。DEM 河道行水區填補也是相當複雜且費時的工作，同樣需要開發適當的工具，才能有效率的執行。



圖附 3-4 一維河道幾何與二維 DEM 等高線



圖附 3-5 一維河道大斷面與二維 DEM 行水區





## 附錄四 即時淹水模型調校流程說明

模式調校之各項工作內容，最終目的在於透過最適化調校讓數值模式能在兼顧準確性與計算效能的前提下，成為一個可靠的淹水預報模式。從作業化需求的角度考量，淹水模式調校項目可歸納為以下幾項：

### 一、模型建置之完整性

河系的建置從小渠道至大渠道要儘可能建置完整，才能在模式中建構完整的水流搜集系統來呈現現場實際的集流過程。此外，還要依據現況建構橋梁、堰、壩、閘門、抽水站等各種水工結構物，並設定其操作規則，以符合現場實際情況，包括雨水下水道系統也應建置在模式中，方能正確模擬都市淹排水情況。

### 二、模型建置正確性

模型建置之正確性是指模式中每個物件(斷面、水工結構物等)的空間座標(x,y)及高程(z)都必須設定正確。只有當每個物件的空間位置都擺放正確，才能確保不同物件的空間對位正確無誤；高程泛指物件具有的各種高程屬性，如 y-z 斷面、堰頂高程、閘門坎頂高程(crest level)、抽水站起/閉水位等，都具有高程屬性值，只有當每個物件的高程都設定正確，才能確保不同物件的高程銜接正確無誤。

模型建置之正確性基本上取決於可參照的基礎資料是否完善，當基礎資料缺漏不足時，則可參照其它輔助資料來進行模型建置，例如 DEM 及影像資料等。就基礎資料缺漏的問題與因應對策說明如下：

- (一)測量斷面搜集上，可能遇到縣管河川與區域排水斷面基礎資料缺漏問題，仍有許多區域排水渠段缺乏斷面測量資料提供數值建模使用。針對這些沒有斷面測量資料的排水系統，可利用高解析度 DEM 剖面為依據，並利用正射影像圖、Google 影像與街景圖來輔助判斷，以因應資料遺缺部分。
- (二)計畫範圍之高解析度 DEM 資料取得。
- (三)雨水下水道部分，因為建置時間久遠且埋管於地下而難以測量，都會區經過數十年的發展，地形地貌與土地利用情況都有很大改變，加上過去圖資多為紙本，缺乏數位資料，經過反覆翻印後可讀性與辨識度已降低很多，相關資料往往不易取得或有所缺漏。對於資料不足，或下水道高程存在不合理之情況，可利用地表坡度來布置下水道管線沿程的高程變化。這是在極度缺乏可用資料的情況下所做的合理假設與實作方式。
- (四)最新 1/5000 航照數位正射影像部分，除水利署有中央管河川部分基本圖資及各縣市政府影像圖資外，不足之圖資可引用 google 影像或 WMS 圖資做為因應。

除了資料遺缺所需要補強的部分，另外，就數值模式所需要的基礎資料，則歸類於下列四大類：

- (一)河道大斷面測量資料；
- (二)DEM 地形高程資料；
- (三)雨水下水道資料；
- (四)水工構造物相關資料。

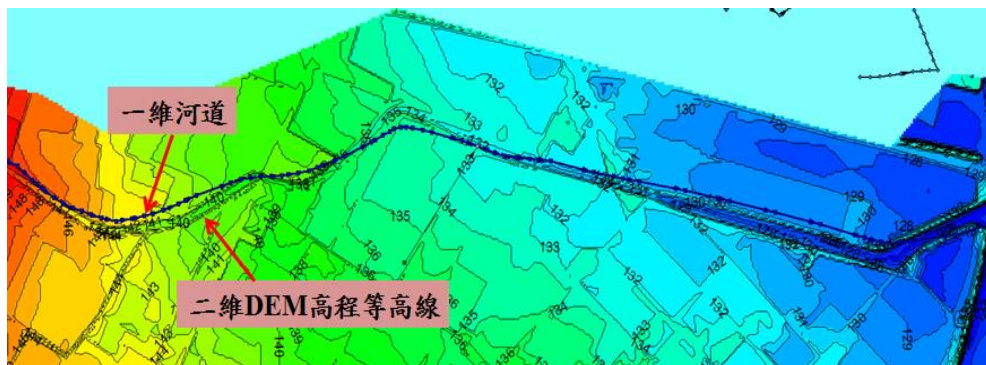
以上四種異質性資料分別來自於不同的權責單位，施測年份與空間解析度也不盡相同，透過數值模式的建置將這些不同來源的資料類別以物件的形式依照空間座標存放，

不但能增加資料的可讀性，最重要的是方便檢核不同物件之空間對位是否正確，以及高程銜接的一致性或相對合理性，例如河道走向與 DEM 等高線走向相符、下水道人孔高程與 DEM 高程一致、堤防與地面高程落差的合理性等。

當模式達到一定程度的合理性後，計算效能便可大幅提升，達到作業型預報模式的時效性要求。以下條列說明本計畫針對原有 1D-2D 耦合淹水模式主要進行的資料檢核與修正項目：

#### (一)一維河道走向與二維 DEM 的空間對位檢核

如圖附 4-1 所示，透過二維 DEM 的等高線圖可以清楚看出河道的走向，依據過去的經驗往往與一維河道的走向有所偏移，此時便須修正一維河道走向使其與二維 DEM 一致，如此才能確保異質性資料的空間對位正確，建置合理的 1D-2D 耦合模式，否則會造成左岸或右岸淹水的重大差異。



圖附 4-1 一維河道走向與二維 DEM 空間對位問題

#### (二)河道斷面與 DEM 高程銜接的合理性檢核

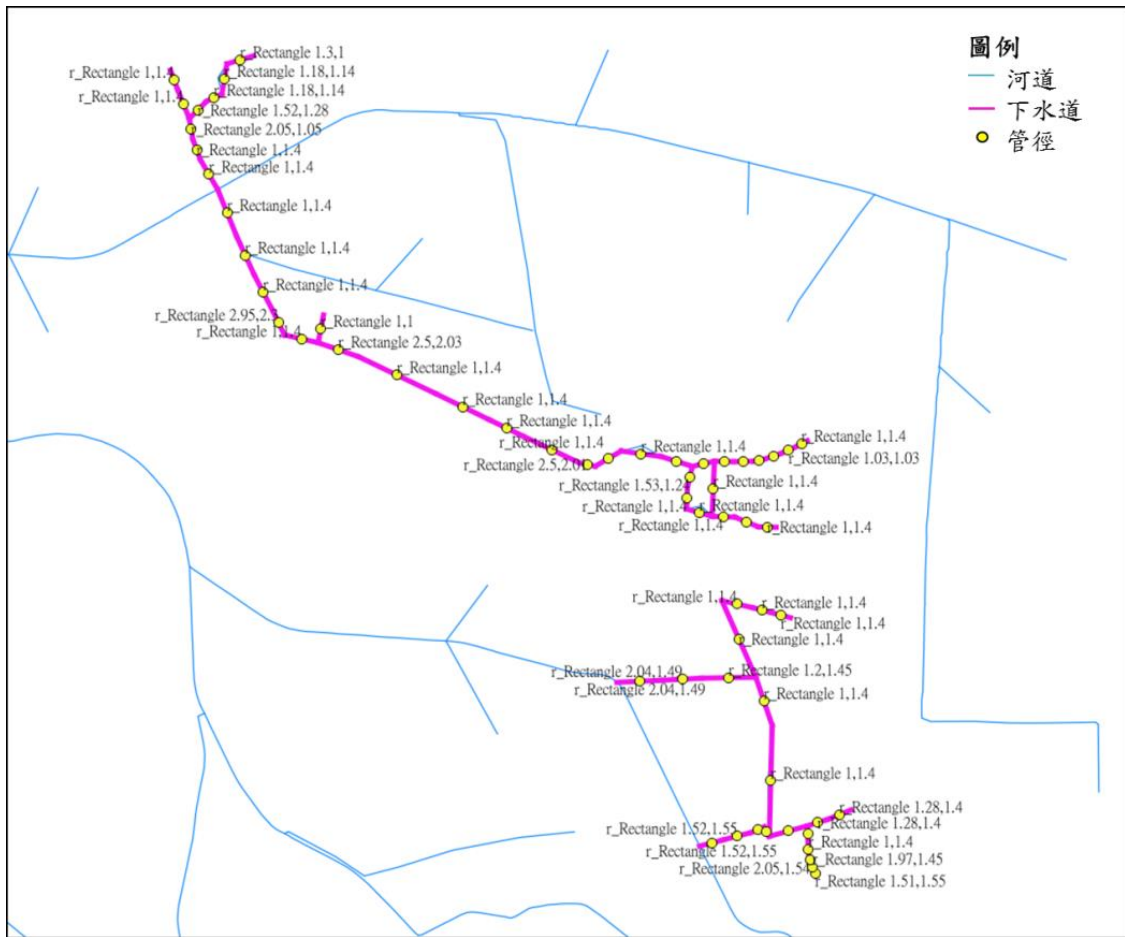
河道斷面與 DEM 這兩種異質性資料的高程檢核，利用高解析度 DEM 所顯示的河寬與堤岸高程為基準，當發現資料存在明顯謬誤時，修正的原則為：當斷面堤岸高大於 DEM 高程時，可視為存在堤防或防洪牆，此時便維持斷面堤岸的高度，反之，則將較低的斷面堤岸高程提升到 DEM 高程。但由於現場樣態太多，或原資料設定的問題，上述原則不見得都適用，仍須利用整體高程的合理範圍或參照上下游相鄰斷面的型態進行修正，並以 google 街景影像輔助判斷。

#### (三)下水道與 DEM 高程銜接的合理性檢核

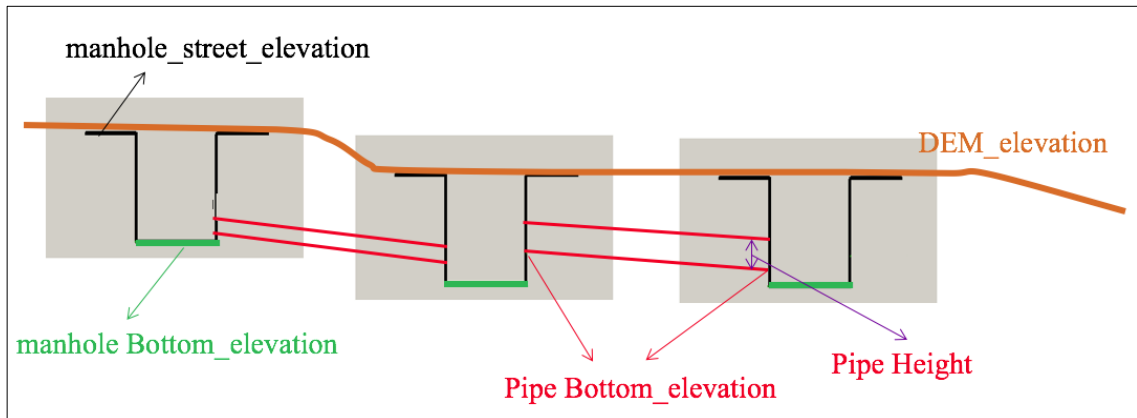
正常的下水道管徑分布應該是由上游向下游逐步增大，透過圖面可快速的檢視模式中下水道管徑的配置是否合理，如圖附 4-2，若出現管徑突然變小的瓶頸段，應再加以確認或進行合理化修正。此外，針對下水道的相關設定進行高程銜接的查核，如圖附 4-3，查核項目如下：

- 1、人孔高程是否與對應的 DEM 高程一致；
- 2、管徑底部高程+管徑高度是否低於人孔高程；
- 3、管徑底部高程是否高於人孔底部高程。

此外，下水道出口銜接河道，其出口高程可由河道治理報告中的沿程構造物調查資料中查找，若無則可由下水道出口，則以河道斷面的相對高度來判斷其高程。



圖附 4-2 下水道管徑檢核示意圖



圖附 4-3 下水道人孔與 DEM 高程檢核調整

模式調校後，後續便是更新與維護問題，讓模式更貼近於現場實際情況，這需要配合現地調查與測量工作以獲取現地資料，透過基礎資料持續的補充可讓模式持續的精進，俾使淹水預報的可靠度不斷的提升。此外，現場情況可能因新工程案的推動而改變，因此定期的進行模式更新是必要的。

### 三、模擬結果之準確性

模擬結果之準確性關乎到預報結果的可靠度，影響後續所採取的應變作為。因此，數值模式應用前都需經過檢定與驗證來率定各種水理/水文參數，如底床糙度係數、降雨-逕流參數等，以提高模擬結果之準確性。

影響模擬準確性的因素，與模式本身相關的部分尚包括集水區劃分精度，這關係到數值模式中整體流域之流量分配，且各分區之集流稽延時間有所差異，也會影響到洪峰量的大小，其影響程度預料會隨著集水區特性，如集水區面積、坡度及土地利用等，而有所差異。水利署於建置淹水模式時，對於集水區劃分已有所規範，要求平地 (100m 高程以下)每個集水分區的面積須小於 2 km<sup>2</sup>，因此已具備不錯的精細度。於淹水模式中利用 SCS 物件對應河道集水分區做降雨-逕流的轉換，其中的 CN 值參數係以土地利用與土壤類別進行推估。

綜整一下影響模擬準確性的因素，包括模式完整性、正確性、穩定性、模式架構、DEM 空間解析度、集水區劃分精度、SCS 降雨逕流物件中 CN 值參數、集流長度與坡度的推估、底床糙度係數等，加上現場存在太多的不確定性因素，以至於模式很難做到完全擬真的程度。對於總總因素造成的不確定性，可以根據歷史觀測數據利用模式率定與驗證的方式包裹處理，來提高模擬結果的準確性。

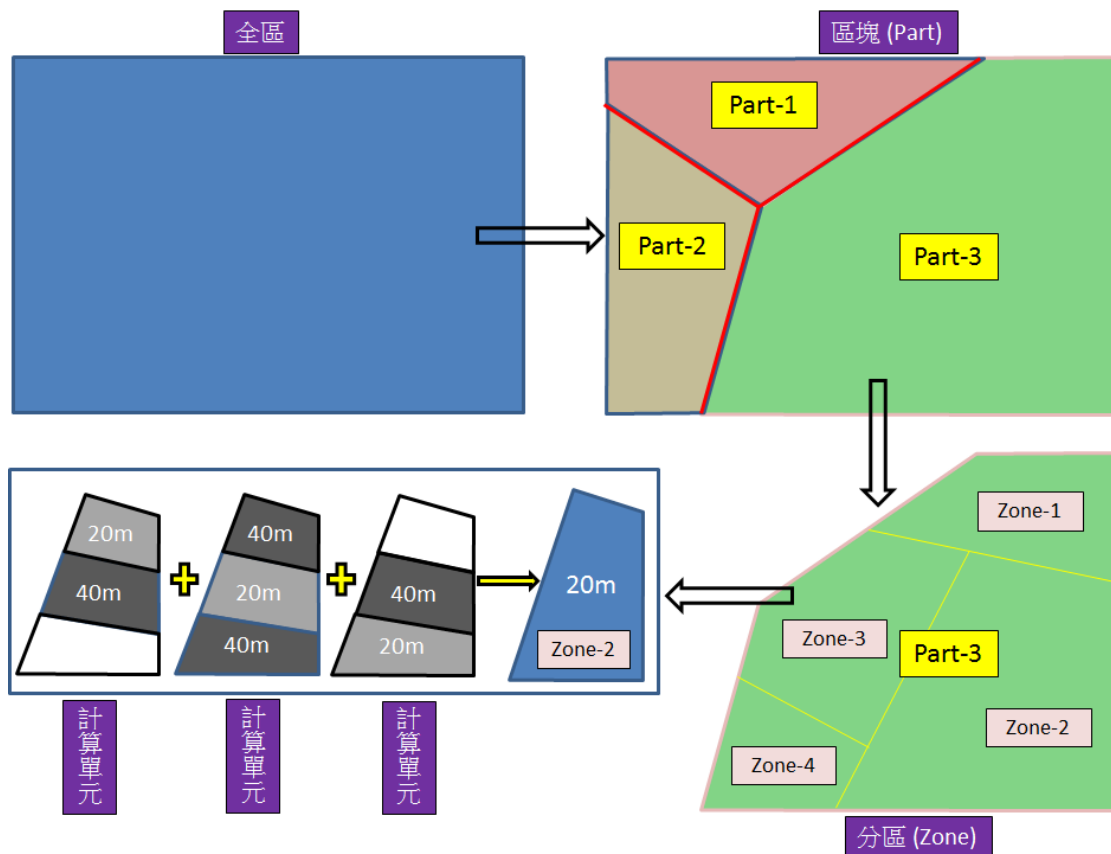
若將降雨觀測與預報和淹水模式看成一套系統，則整個系統的可靠度還得加計降雨及潮位等外部邊界條件的影響。

#### 四、高效能計算之區域劃分與多網格布置

理論上來說，針對較大範圍的淹水模擬區域，如果直接採用較高解析度的 DEM 資料，會因為計算網格數量過多而需要耗費大量的計算時間。就 SOBEK 模式而言，當二維 DEM 有效(active)計算網格數量達到七、八十萬等級時，計算效能就會明顯降低，如果再增加到百萬等級時，可能因為無法正常開啟所需的計算陣列而造成模式無法執行。因此，針對大範圍的模擬就必須仰賴一些數值技巧來完成，並且在解析度與計算效能之間取得平衡。

圖附 4-4 為有關全區、區塊(Part)、分區(Zone)及計算單元的示意圖，區域劃分的原因是考量模式的計算能力與執行效率，如前所述，SOBEK 模處理 DEM 資料的能力僅能容許至百萬等級左右的有效網格數，且計算效率隨著網格數增加而降低。因此，若要達到近即時演算的計畫目標，勢必要將大範圍的模擬區域劃分成多個小範圍的計算單元，而 SOBEK 模式便是針對各個計算單元進行演算。區域劃分的步驟與方式簡要說明如下：

- (一)由全區開始，根據顯著的地理特徵將整個範圍初步劃分成幾個獨立的區塊，一般來說，高山形成的分水嶺就是最為顯著的地理特徵，可做為區塊劃分的依據。如圖上方由左至右的過程，將原本全區劃分成 3 個區塊。
- (二)當個別區塊(Part)的面積仍然太大時，則需要進一步劃分成多個分區。如圖右側由上至下的過程，將一個區塊再劃成 4 個分區。具體的劃分方法，可採用高重現期距的極端強降雨情境進行淹水模擬，來劃分獨立的淹水區域。當然，如果個別區塊的面積已經很小，能滿足計算效能的需求時，此一區塊便成了獨立的計算單元，無須再進行劃分。
- (三)當個別分區(Zone) 的面積仍然太大時，由於找不到明確的區域劃分邊界，因而無法再進一步劃分成更小的區域。此時，可藉由多網格布置的方式將單一分區再細分成多個計算單元，其概念如圖左下角的示意，為了獲得較高解析度的模擬結果，可利用細網格與粗網格銜接的方式，組合成不同的計算單元，最後再整併所有計算單元的細網格模擬結果，得到各個分區的高空間解析度模擬結果，而分區的結果也可以再整併成區塊的結果，區塊的結果可以再整併成全區的模擬結果。當然，如果個別分區的面積已經很小，能滿足計算效能的需求時，此一分區便成了獨立的計算單元，無須利用多網格布置的方式再細分成多個計算單元。

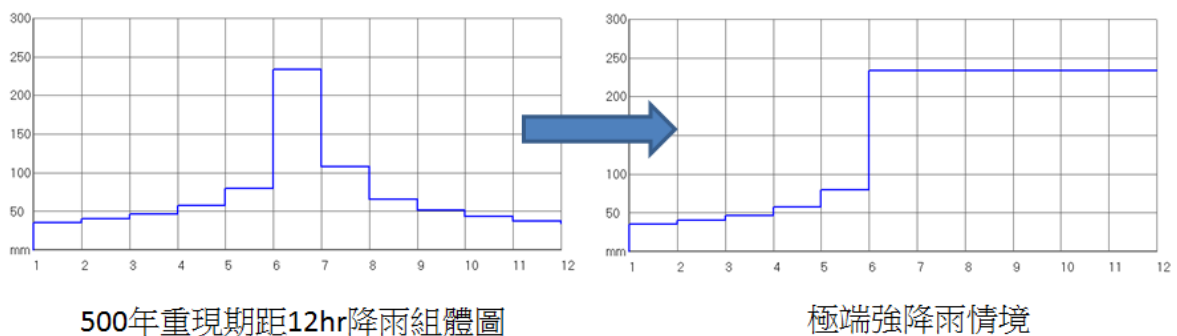


圖附 4-4 全區、區塊(Part)、分區(Zone)及計算單元的示意圖

以上針對區域劃分的原則與執行概念做了簡要的說明，其中由全區劃分區塊的方式只是藉由明顯的地理特徵便可完成，較為困難執行的部份是在區塊至分區的劃分方法，以及分區至多個計算單元的網格布建，以下針對此兩部份分節說明之。

### 五、區塊至分區的劃分方法

本計畫利用數值試驗來進行區塊至分區的劃分，具體的執行方法是採用 200 年重現期距的極端強降雨情境進行淹水模擬，在降雨組體圖的部分刻意將後半段延時維持在尖峰降雨量，如圖附 4-5 所示，以獲得最嚴重的淹水情況，再藉由此結果來判斷相對獨立的區域，也就是相鄰區域間沒有明顯的水流流通。



圖附 4-5 建置 DEM 有效網格所採用之情境降雨組體圖

事實上，透過極端強降雨數值試驗的方式可以獲得兩個目的，其一如前述所說，可藉由淹水動態流動情形來觀察不同區域間，是否存在顯著的水流交換，如果在這樣極端強降雨事件下，相鄰區域間都沒有顯著的水流流通，兩者之間便可視為區域劃分的邊界。

另一目的，則是識別出有效(active)網格，也就是說，如果在這樣極端強降雨事件下都不曾發生過淹水的計算網格，在一般降雨情境下應該也不會發生淹水，因此這些計算網格便可以設定為NODATA無須參與計算，其它曾發生淹水的計算網格便成為後續進行模擬演算用的有效網格。

為驗證分區的適用性，必須與單獨採用整個區塊網格的模擬結果進行比對。以確保分區的合理性與可用性。如果在精確度上有太大的偏差，極可能會影響模擬結果的可靠度，那就表示分區出現了問題，應該重新加以審視。以下的分析中，假設單獨採用整個區塊網格所獲得的模擬結果為「觀測值」，而分區的模擬結果為「計算值」，藉由淹水面積誤差校驗公式及淹水深度誤差校驗公式來檢核分區模擬與整個區塊模擬的差異性。

1、淹水面積誤差校驗公式定義如下：

$$A_a = \frac{A_c}{A_f + A_o - A_c} (\%)$$

其中， $A_f$ 為淹水調查面積(觀測值)； $A_o$ 為淹水模擬面積(計算值)； $A_c$ 為觀測值與計算值重疊面積。 $A_a$ 介於0~100%之間，0%代表完全錯誤，100%代表完全正確。

2、淹水深度誤差校驗公式定義如下：

$$D_a = \frac{\sum_{i=1}^n |D_o(i) - D_f(i)| * A_i}{\sum_{i=1}^n A_i}$$

其中， $D_f$ 為調查淹水深度(觀測值)； $D_o$ 為模擬淹水深度(計算值)； $A_i$ 是每個計算網格的面積，以10m解析度網格來說， $A_i$ 就是100m<sup>2</sup>。此公式是以面積為權重來計算最大淹水深度之整體平均誤差。

## 六、分區至計算單元的劃分方法

當計畫的目標是獲得全區40m解析度的結果，因此各計算單元的主要計算網格都是採用40m解析度網格，至於布置在上、下游的延伸網格，則盡可能的縮小範圍並採用80m解析度的網格以減少網格數降低計算時間。但究竟延伸網格需要延伸多大的範圍才是合理，其原則就是確保主要計算網格模擬結果的精確度，此一數值試驗的過程其實就是計算效能與精確度的平衡。

模式為了符合即時演算的時效性需求，必須將大範圍的模擬區域進行分區與多重網格布置，亦即將大範圍模擬工作拆解成多個計算單元，再藉由FEWS的自動化排程將各個計算單元分散到雲端虛擬計算資源上同時進行演算，最後再將各個計算單元40m解析度的模擬結果組合成分區的結果。但為了確保計算單元劃分的適用性，或者說是多網格布置的合理性，各計算單元的模擬結果必須與全區的結果進行比對分析，若在精確度上出現太大的偏差，極可能會影響模擬結果的精確度，便須重新加以調整，主要為DEM網格解析度的選取與布置方式。

檢核方法使用前述淹水面積誤差校驗公式與淹水深度誤差校驗公式，「觀測值」指的是分區模擬結果，而「計算值」指的是每個計算單元的主要計算網格之模擬結果。當淹水面積誤差校驗係數達到八至九成時，且淹水深度平均誤差在5cm以下時，可視為計算單元的劃分是合理且可用的。綜合上述說明，計算單元劃分的檢核標準可歸納為以下三

點：

- 1、每小時降雨演算最大耗時在 5 分鐘以內完成。
- 2、淹水面積誤差校驗係數必須達到八至九成。
- 3、淹水深度平均誤差必須在 5cm 以下。

一般來說，當淹水情況相對嚴重時，模式演算的時間會增加，一方面是因為淹水範圍較大，另一方面則是因為流場變的複雜而使得數值收斂的速度變慢。為了確保在一般情境降雨情況下模式每小時降雨演算最大耗時都能在 5 分鐘以內完成，因此選用 200 年重現期距 24 小時延時降雨情境做為計算單元劃分的時間驗證標準。換言之，只要劃分出來的計算單元在 200 年重現期距降雨情境下，每小時降雨演算最大耗時都能在 5 分鐘以內，那用於演算一般降雨情境時，應該都能滿足作業化的時效性要求。





## 附錄五 作業化平台穩定性說明

### 一、執行運算之穩定性

模式銜接平台後可透過自動排程運作來定期提供預報資料，為確保預報系統持續正常運作，首先必須要求模式運算的穩定性，無論是現場地形的空間變化、降雨強弱的時序列變化，漲水或是退水階段，抑或是水工結構物的操作等，模式都必須能穩定的運算來確保預報資料的產出。

至於影響運算穩定性的因素，一方面與模式採用的數值方法，及其對於例外狀況的近似處理方式有關，這屬於模式本身的先天條件。另一方面，則與數值建模的合理性有關，不合理的高程或參數設定都會降低模式運算的穩定性。上一步驟針對模型建置之正確性進行調校後，基本上可確保數值建模的合理性。

### 二、計算效能之時效性

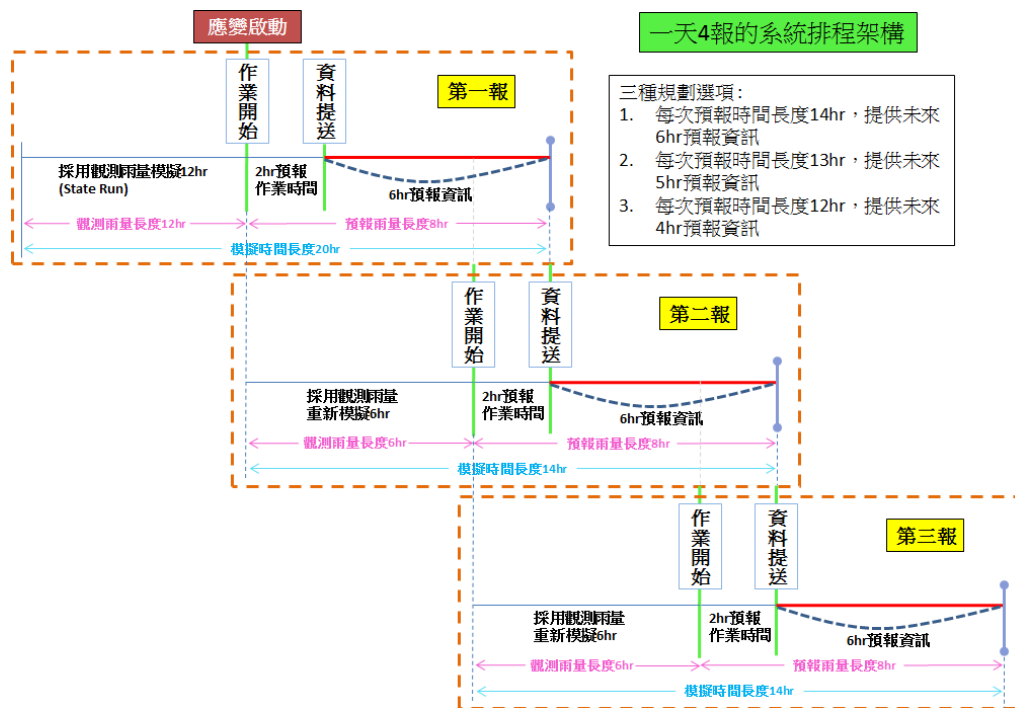
所謂的時效性是指滿足預報作業排程的時間限制。亦即在前後兩次預報的時間間隔中，扣除前期平台接收和處理外部資料(如雨量及潮位資料)所耗費的時間，及後期輔以人為研判、製作簡報和進行發布的作業時間，模式必須在剩餘時間內完成所需預報長度的模擬演算，這樣才能滿足預報作業之時效性要求。

數值地形空間解析度的選取對於即時淹水預報的時效性有著絕對性的影響。較高的DEM空間解析度代表DEM網格越細緻，能更準確地反映地形的變化，避免地形特徵因高程平均化而消失或變形，因此能得到精確度較高的模擬結果，但相對的必須付出更多的計算資源，模擬時間也會增加許多；反之，採用粗化的網格可以加快計算速度，但會降低模擬結果的精度。

DEM空間解析度的選取須視模式用於何處，若應用於即時淹水預報，則時效性為重要前提，可採用略為粗化的網格，目前水利署常採用40m解析度的網格；若應用於淹水潛勢圖的製作，則模擬精度為主要考量，可儘量採用較高解析度的網格。本計畫欲將淹水模式應用於預報作業，採用與水利署一致的40m解析度網格。

預報排程的設計需考量防災單位的業務需求，在此先以一天提供4次、24次預報資訊進行探討。整體預報作業所需執行的工作項目可簡單條列如下：

- 1、平台接收降雨觀測與預報資料，以及河口潮位資料
- 2、雨量資料的空間對位、時間對位、空間內插、資料檢核等處理程序
- 3、計算各子集水分區之平均降雨量
- 4、平台啟動2D淹水模擬
- 5、模擬結果處理及預報資料產出
- 6、預報資料檢核與提送



圖附 5-1 一日 4 報的作業排程規畫

另外在評估上，為一天提供 4 次預報資訊之排程規劃，也就是每隔 6 小時提供一次未來 6 小時的淹水預報資訊，由於每次提送預報資料的時間間隔較長，因此設定較長的作業時間為 2 小時。從應變中心開設啟動起，在模式進行第一次預報演算前，必須先採用之前的觀測雨量執行一次演算，稱之為狀態模擬(State Run)，目的是要獲得合理的起始水理條件。至於狀態模擬的時間長度，應該與流域集水區的大小有關，流域範圍越大集流時間越長，便需要設定較長的狀態模擬演算時間，如此才能得到合理的起始水理條件；反之，對於較小的集水區，則可以設定較短的狀態模擬演算時間。

圖中先以 12 小時的狀態模擬時間長度來表示，實作時可依各集水區的特性來彈性設定。圖中的「作業開始」，表示開始執行上述條列的各項工作，首先是平台接收外部資料，包括氣象局及水利署各雨量站的觀測資料、QPESUMS 觀測雨量及預報雨量資料等，之後由平台執行空間對位、時間對位、空間內插及資料檢核等處理程序，再計算各子集水分區的平均降雨量，而後將觀測雨量與預報雨量組合產出淹水模式所需之降雨歷線。

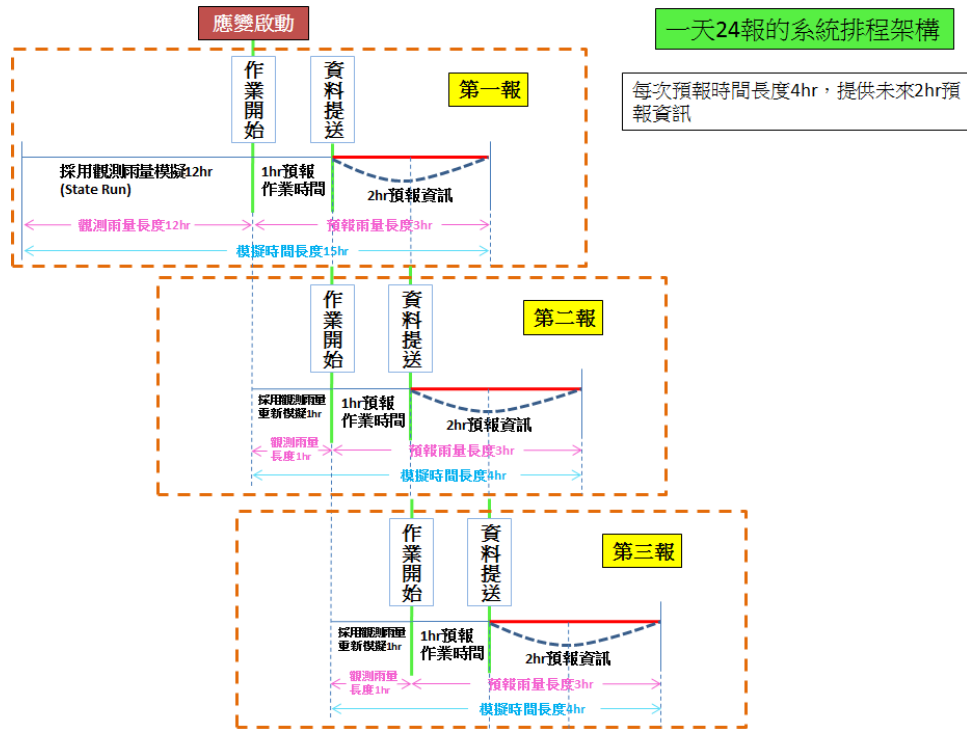
除了第一報需要執行狀態模擬外，後續的預報作業流程是相同且反覆執行的，每次進行演算所需要的降雨歷線是由前 6 小時觀測雨量及接續 8 小時預報雨量來組合產生的，因此每次模擬時間長度為 14 小時。其中需要以前 6 小時觀測雨量重新模擬的原因，是因為在前一次的預報當中，該段時間是以預報雨量來進行演算的，為了修正預報雨量與實際降雨的差異所造成的誤差，因此在後一次預報當中應該以觀測雨量重新模擬。待模式演算完成後，還需要再經過繪圖、分析與判讀等程序後，才能提送預報資料，圖中的「資料提送」便是完成所有相關作業並提送預報資料。

由圖中可以看出，雖然每次預報的模擬時間長度為 14 小時，但扣除前 6 小時重新模擬的部分，以及 2 小時預報作業的時間，實際提出的預報資訊可供參考的時間範圍為「資料提送」後的 6 小時。就計算時效性來看，應該在 80 分鐘內完成 14 小時的降雨模擬，以滿足 2 小時預報作業的時間要求。

就預報長度而言，不同應變單位需要的預報長度不盡相同。但從預報可靠度來考量時，未來三小時的預報雨量相對而言是比較準確的。因此，另一個排程設計是一日 24 報，亦即每小時提供一次預報資訊，目的是為了讓每次預報都盡可能的引用最新的預報雨量

資料來提高預報資訊的可靠度，降低預報雨量不確定性的影響。

每次進行演算所需要的降雨歷線是由前 1 小時觀測雨量及接續 3 小時預報雨量來組合產生的，因此每次模擬時間長度為 4 小時，作業時間設定為 1 小時，如圖 3-7。由圖中可以看出，雖然每次預報的模擬時間長度為 4 小時，但扣除前 1 小時重新模擬的部分，以及 1 小時預報作業的時間，實際提出的預報資訊可供參考的時間範圍為「資料提送」後的 2 小時。就計算時效性來看，應該在 20 分鐘內完成 4 小時的降雨模擬，以滿足 1 小時預報作業的時間要求。



圖附 5-2 一日 24 報的作業排程規畫

綜合以上兩種預報排程的作業時間要求，在尖峰雨量期間或淹水情況最嚴重的條件下，每小時降雨演算最大耗時若能在 5 分鐘以內完成，便能滿足作業化排程的時效性需求。



## 經濟部水利署水利規劃試驗所出版品版權頁資料

### 提升即時淹水模擬效能之研究

---

出版機關：經濟部水利署水利規劃試驗所

地址：臺中市霧峰區吉峰里中正路 1340 號

電話：(04) 2330-4788

傳真：(04) 2332-3303

網址：<https://www.wrap.gov.tw/>

編著者：國立臺北科技大學

出版年月：108 年 12 月

版次：初版

定價：新台幣 1000 元

EBN：10108F0057

著作權利管理資訊：經濟部水利署水利規劃試驗所保有所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求經濟部水利署水利規劃試驗所同意或書面授權。

電子出版：本書製有光碟片

聯絡資訊：經濟部水利署水利規劃試驗所

電話：(04) 2330-4788





廉潔、效能、便民



經濟部水利署水利規劃試驗所

地址：臺中市霧峰區中正路 1340 號

網址：<http://www.wrap.gov.tw/>

總機：(04)22304788

傳真：(04)22300282

EBN：10108F0057

定價：新臺幣 1000 元