

# 應用都市洪水即時預警模式進行滯蓄洪設施整合減災

## 調適技術研究

### Application of an Urban Real-Time Predicted Inundation Model to the Adaptation and Mitigation Technologies of Detention Pond

主管單位：內政部建築研究所

羅偉誠<sup>1</sup>

蔡綽芳<sup>2</sup>

白櫻芳<sup>2</sup>

巫孟璇<sup>1</sup>

Lo, Wei-Cheng

Tsai, Chou-Fang

Bai, Ying-Fang

Wu, Meng-Hsuan

<sup>1</sup> 國立成功大學水利及海洋工程學系

<sup>2</sup> 內政部建築研究所

## 摘要

都市積淹水之因素眾多且複雜，縱然有防洪設施之建設，但一旦雨量強度過大、下游潮位過高引發潮位上溯排水系統等，排水設施亦可能渲洩不及甚至溢流。滯蓄洪設施是近期都市減洪規劃中重要設施，然可能因啟動操作之時機影響其運作效能，進而衍生都市地區存在無法排除之有害逕流造成積淹水之問題。為避免逕流疊加造成更嚴重的局部地區淹水問題，需先分析在現有防洪設施基礎下，暴雨事件造成之都市區域地表逕流量，以進一步規劃減災調適之策略以容蓄洪水避免災害。

本研究以「極端降雨引致都市洪水即時預警模式與減災調適技術整合應用研究」之研究成果為基礎，測試演算民國 106 年尼莎暨海棠颱風、民國 107 年 0823 豪雨事件、民國 108 年 0813 豪雨事件等 3 場颱風事件作為檢定與驗證案例。由模式演算結果與水位測站實測水位資料比較可知，民國 106 年尼莎暨海棠颱風安順橋測站第 60 小時即第 2 峰值之後模擬水位較實測水位低很多，水位趨勢與雨量一致，第 2 峰值與第 3 峰值間降雨有間歇，模式模擬排水較實測快。研究區域於民國 108 年 0813 豪雨期間模式演算結果與淹水站 13、15、28 及 57 之實測水深歷程相符，模式演算地面積淹 30 公分之到達時間亦與淹水感測器測得時間相近。

由民國 107 年 0823 豪雨事件演算結果之流量歷線與降雨歷程互相比較可知，流入淹水區域之流量歷線之形狀與降雨歷線較為相近，即直接反應降雨產生地表逕流；而流出淹水區域之流量歷線，因受地表逕流、滯蓄與滯洪池蓄洪之影響，先反應第 1 個較大的峰值後以一平緩多峰歷時 20 小時後才開始退水。於第 1 峰值後發生前開始抽水，抽水開始後滯洪池水位即開始下降，可知滯洪池於退水開始即進行抽水機操作，可有效迅速降低滯蓄洪水位，強化滯蓄洪設施功能。

為進一步分析滯蓄洪設施優化條件，以連續 2 場重現期 10 年豪雨事件(間隔 12 小時)，搭配在不同延時啟動抽水機，演算水深以分析滯蓄洪設施操作減洪效果。以水深之平均降低值分析減洪效果，結果顯示啟動抽水機的時約在洪峰過後 4 小

時，可以有較佳的降低滯洪池水位的成效。初步分析仁德常淹水地區後，初擬可以研究區域內面積較大之校園綠地規劃增加約 4 萬立方公尺之滯蓄洪空間，並以 2 年重現期一日降雨事件模擬評估減洪效果，由校園水位變化可知，此一規劃於降雨歷程前 4-10 小時可發揮約 10cm-20cm 之減洪作用。進一步探討其周邊區域之水位變化，可發現水位歷線洪峰約可延遲 0.5 至 1 小時，可發揮約 5cm 之減洪作用。

**關鍵詞：滯蓄洪設施、減災、調適、即時預警**

## **Abstract**

The causes of inundation in urban areas were numerous and complex. Even though there were flood mitigation facilities, once the rainfall intensity and the downstream tidal level were exceedingly high, the flood in drainage could not be drained in time or even overflow. Detention pond was an important flood mitigation facility in recent years. However, the detention efficiency might be affected by the timing of the operation. The harmful runoff that cannot be drained caused flooding in the urban areas. In order to avoid the problem of flooding in the local area caused by the superposition of runoff, it was necessary to analyze the surface runoff of the urban areas caused by the storm events on the basis of the current flood mitigation facilities.

The establishment of the PHD model was carried out to test the calculus of Typhoon Nesat in 2017, extremely heavy rainfall events 0823 in 2018 and 0813 in 2019 as a verification case. The water level between the simulated and measured results of the typhoon and rainfall events was compared. These results shows a good agreement in the peak value of water level, and the PHD model can reasonably calculate the runoff.

Analyze the optimal conditions of the detention facilities. Based on two consecutive 10-year heavy rain events (with an interval of 12 hours), and start pumping at different delays, calculate the water depth to analyze the flood reduction effect of the detention facilities. Analysis of the flood reduction effect based on the average reduction of water depth, the results show that when the pumping is started about 4 hours after the flood peak, the effect of lowering the water level of the detention pond can be better.

After preliminary analysis of the flooded area in Rende District, it is initially planned that the campus space in the area can be increased by about 40,000 m<sup>3</sup> of flood detention storage, and the flood mitigation will be evaluated by a 24-hr rainfall event simulation of the 2-year return period. The effect can be seen from the change of the campus water level. This plan can exert a flood mitigation effect of about 10cm-20cm 4-10 hours before the rainfall course. Further exploring the changes of the water level in the surrounding area, it can be found that the flood peak of the water level can be delayed by about 0.5 to 1 hour, and it can exert a flood mitigation effect of about 5 cm.

**Keywords : detention pond, mitigation, adaptation, real-time prediction.**

## 一、前言

都市積淹水之因素眾多且複雜，縱然有防洪設施之建設，但一旦雨量強度過大、下游潮位過高引發潮位上溯排水系統等，排水設施亦可能渲洩不及甚至溢流。滯蓄洪設施是近期都市減洪規劃中重要設施，然可能因啟動操作之時機影響其運作效能，進而衍生都市地區存在無法排除之有害逕流造成積淹水之問題。為避免逕流疊加造成更嚴重的局部地區淹水問題，需先分析在現有防洪設施基礎下，暴雨事件造成之都市區域地表逕流量，以進一步規劃減災調適之策略以容蓄洪水避免災害。

本研究以滯蓄洪設施為中心，綜合檢討分析都市地區之現有防洪設施，如排水系統與抽水站，各防洪設施之運作對都市防洪機制之影響，進而探討降雨事件之都市積淹過程各滯蓄洪設施如何運作，規劃佈設臨時抽水機位置，提高淹水時抽水效率、縮短退水時間等，加強淹水時之應變能力，以發揮其較佳效能，達到減災調適之目的。

## 二、研究案例選定及資料蒐集

經濟部水利署為因應未來水資源科技政策，於2017年開始推動「智慧水管理產業創新發展計畫」，主要包含多個面向如智慧防汛、智慧灌溉、地下水及水庫智慧管理等，其中選定臺南市執行「智慧防汛網建置計畫」。臺南市37區中，仁德區為易淹水區域，臺南市政府為減緩仁德區淹水情形，建設有仁德滯洪池、港尾溝滯洪池等滯蓄洪設施，此外，根據臺南市政府民政局統計資料，自2010年至2018年共計8年間，仁德區人口逐年成長，具都市發展潛力，隨著都市逐漸發展，土地利用、地形地貌改變，地表逕流量也隨之增加，若排水系統之改善與擴充有限或受限，則有尋求都市容洪與操作滯蓄洪設施以減輕淹水災害之需求，因此本研究選定臺南市仁德區為案例研究區域，案例研究區域之地理位置如圖1所示。



圖1、研究區域之地理位置圖

本研究選定之研究區域為臺南市仁德區，因臺南市位處嘉南平原，地勢平坦，易有越域水流現象發生，仁德行政區範圍及其鄰近區域內有兩條中央管河川，分別為鹽水溪及二仁溪，本研究為考量越域水流之影響，因此模式進行降雨逕流模擬時，

將以鹽水河流域及二仁河流域為模擬演算區域，並蒐集其水文、地文等相關資料分述如下。

## 2.1 水文資料

水文資料包括雨量、水位、流量及潮位等，降雨歷程作為本研究地文性淹排水模式之演算輸入水文條件，潮位歷程為模式下游邊界條件，水位及流量則可供模式進行檢定與驗證之用。本計畫研究區域內設置有許多水文記錄測站，包括雨量測站、記錄水位、流量等水文測站及潮位測站等，分別說明如下。

### 1. 雨量

本計畫蒐集研究區域內所有中央氣象局及水利署所轄測站之雨量資料總計24站，其中氣象局20站，水利署4站，分布位置如圖2所示。

### 2. 水文測站

鹽水溪及二仁河流域範圍內現存之水位站共有52站，其中屬於水利署架設有12站，臺南市政府架設有40站。其中鹽水溪新市站、二仁溪南雄橋(阿蓮(2))及崇德橋等3站亦同時記錄流量資料，分布位置如圖3所示。

### 3. 潮位測站

在海象資料部分，本計畫亦蒐集鹽水溪及二仁溪河口周圍潮位資料，潮位測站分布位置如圖3所示。

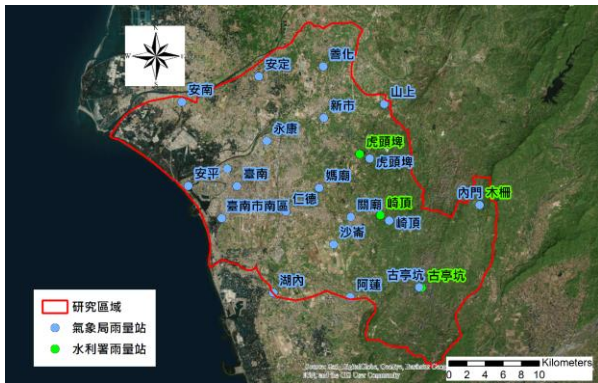


圖2、研究區域內雨量站分布圖

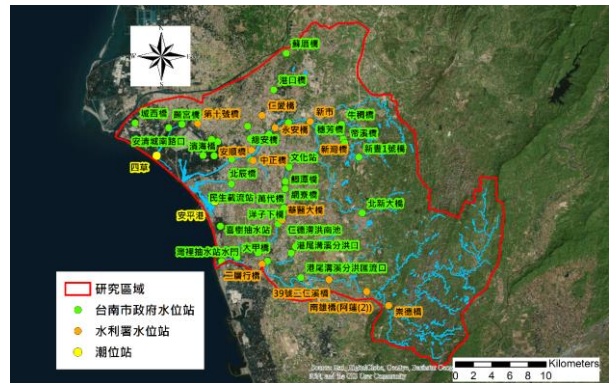


圖3、研究區域內水文站分布圖

## 2.2 地文資料

地文資料包括地形地勢、交通系統、土地利用及水利設施等，上述地文資料作為本研究地文性淹排水模式佈置研究都市非結構性格網之依據。

### 1. 地形地勢

研究區域內鹽水溪及二仁河流域之高程，大致上皆為東向西遞減，除了臺南市新化區、龍崎區及高雄市田寮區及內門區地勢較高，其餘地區高程皆為小於50公尺的平原地區，高程分布情形詳如圖4。

### 2. 交通系統

研究區域聯外交通路線發達，除了高鐵及台鐵之外，尚有國道一號公路(中山高速公路)、國道三號公路(南部第二高速公路)、台86線(東西向快速道路)、台1線、台3線、台17線、台19線、台20線及市區道路等聯外道路，交通路網分布情形如圖

5所示。

### 3. 土地利用

根據內政部營建署國土測繪中心民國96年國土利用調查資料，研究區域範圍內土地利用以農業用地為主，主要分布在鹽水溪流域及二仁溪流域中下游，約佔全區面積38.87%；其次為森林用地，主要集中在二仁溪中上游，約佔全區面積22.52%；第三則為建築用地，主要集中在舊臺南市區及永康區、仁德區及新營區，約佔全區面積13.65%，其餘各土地利用之比例及分布情形如圖6及圖7所示。

考量到環境的快速變化及實際需求，本計畫蒐集內政部國土測繪中心於105年更新之土地利用調查資料，以了解研究區域範圍內的土地利用情形。分析仁德區更新前後之土地利用情形可知，相較96年與105年調查成果可發現農業用地減少約8%、其他用地減少約1%，主要變更為交通、水利、公共及建築使用，各項用地變化及分布情形如圖8、圖9所示。

### 4. 水利設施

研究區域內之水利設施依防洪構造物、水門、抽水站、滯蓄洪設施分別說明如下。

#### (1) 防洪構造物

鹽水溪現有防洪構造物，左岸計有安平堤防、鄭子寮堤防、鹽行堤防、三民堤防、車行堤防等；而右岸計有四草堤防、溪心寮堤防、安順堤防、大洲堤防、北勢堤防等，共計36,271公尺。二仁溪現有防洪構造物，左岸計有圍子內堤防；右岸計有灣裡堤防及大甲堤防，共計3,758公尺，各防洪構造物詳如表1所示。

#### (2) 水門

研究區域內水門資料共計1,695筆，其中位於鹽水溪流域內計有409筆，二仁溪流域內計有1,286筆，水門分布位置如圖10示。

#### (3) 抽水站

研究區域內共設有174站抽水站，其中包含固定式抽水站36站及移動式抽水站138站，分布位置如圖11所示。固定式抽水站統計總抽水量451.1cms。

#### (4) 滯蓄洪設施

研究區域內共有18處滯洪池，總滯洪量為441.19萬噸，其中鹽水溪流域有15處，主要集中在新市區的南部科學工業園區，二仁溪流域則有3處，皆位於仁德區，各滯洪池之概況及分布位置如表2及圖12所示。



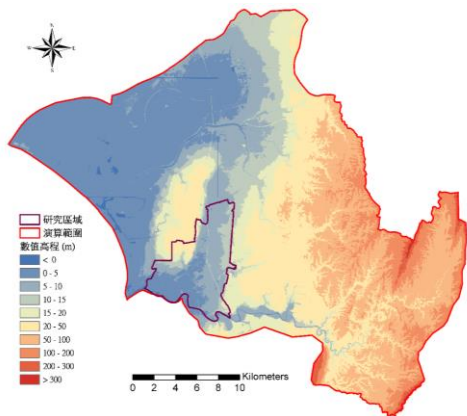


圖4、研究區域內數值高程圖

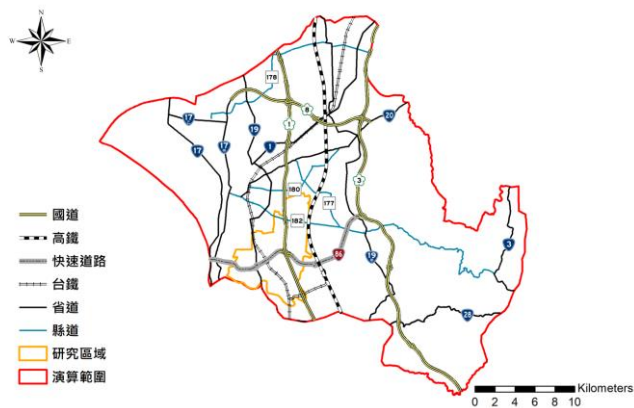


圖5、研究區域內交通路網圖

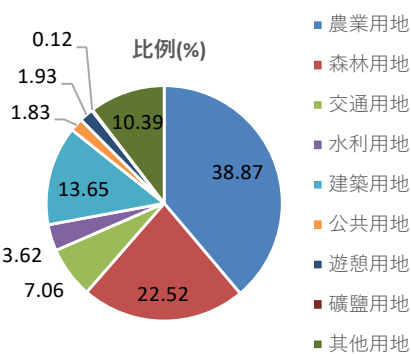


圖6、土地利用面積之比例

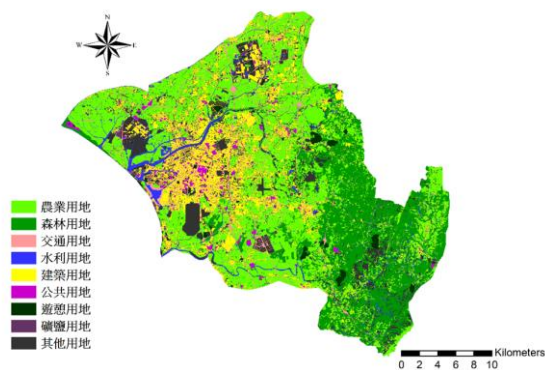


圖7、研究區域內土地利用概況圖

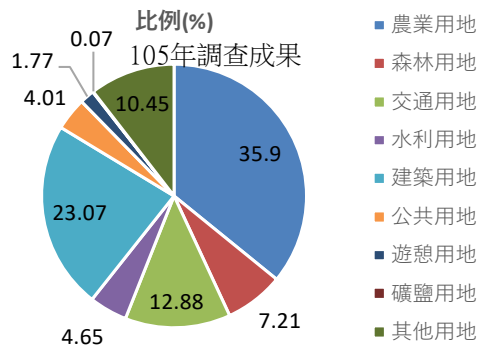
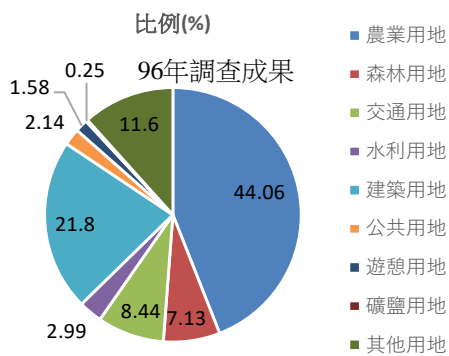


圖8、仁德區土地利用變化

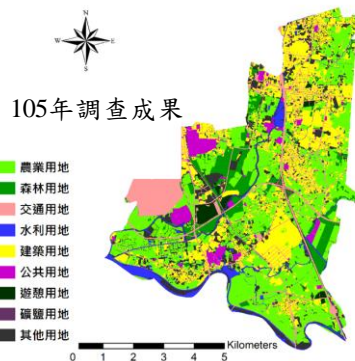
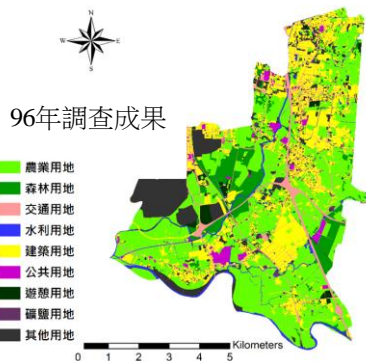


圖9、仁德區土地利用概況圖

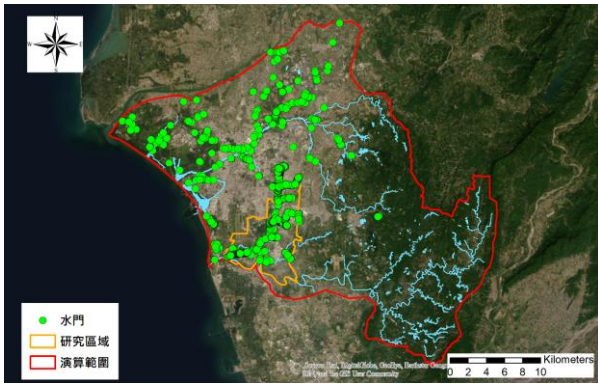


圖10、研究區域內水門分布圖

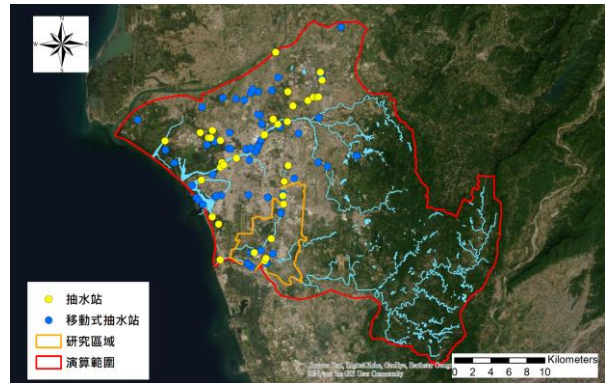


圖11、研究區域內抽水站分布圖

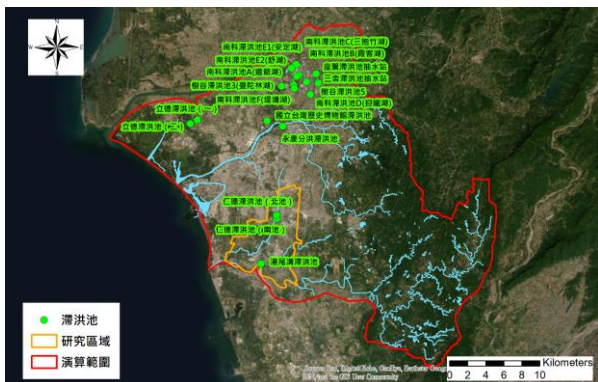


圖12、研究區域內滯蓄洪設施分布圖

表1、研究區域防洪構造物一覽表

流域	岸別	堤防名	長度
鹽水溪	左岸	安平堤防	2,680
		鄭子寮堤防	5,611
		鹽行堤防	3,460
		三民堤防	3,555
		車行堤防	1,603
	右岸	四草堤防	770
		溪心寮堤防	8,599
		安順堤防	3,950
		大洲堤防	2,869
北勢堤防	3,174		
小計			36,271
二仁溪	左岸	圍子內堤防	1,776
	右岸	灣裡堤防	1,086
		大甲堤防	896
小計			3,758

(資料來源：「臺南市淹水潛勢圖(第二次更新)」，經濟部水利署水利規劃試驗所，民國 104 年)

表2、研究區域內滯洪池概況表

名稱	TWD97 X	TWD97Y	滯洪量 (萬噸)	呆水位 (m)	滿水位 (m)	抽水機 (組)	抽水量 (cms)	閘門 數
三舍滯洪池 抽水站	177419	2555441	13.48	1.50	5.00	2	4.80	2
永康分洪	173589	2550583	5.46	1.80	5.10	2	8.00	0

滯洪池								
立德滯洪池(一)	163335	2550883	3.87	0.80	3.20	0	0.00	2
立德滯洪池(二)	164129	2551284	3.65	0.30	3.10	0	0.00	2
南科滯洪池A(道 爺湖)	176135	2555464	13.36	1.20	5.30	0	0.00	1
南科滯洪池B(霞 客湖)	175380	2556230	43.94	1.20	5.50	0	0.00	1
南科滯洪池C(三 抱竹湖)	175076	2557409	16.91	2.20	6.00	0	0.00	1
南科滯洪池D(迎 曦湖)	176644	2554094	30.00	2.50	6.00	5	20.00	2
南科滯洪池 E1(安定湖)	174549	2556974	47.94	1.50	6.50	0	0.00	5
南科滯洪池 E2(舒湖)	175131	2556085	10.04	1.70	6.00	0	0.00	3
南科滯洪池F(堤 塘湖)	174910	2554811	38.05	1.00	5.00	0	0.00	5
座駕滯洪池	177283	2556370	15.03	1.50	5.00	2	4.80	2
國立臺灣歷史博 物館滯洪池	171836	2551177				0	0.00	2
樹谷滯洪池3(曼 陀林湖)	173478	2554994				0	0.00	2
樹谷滯洪池5	174767	2555103				0	0.00	1
仁德滯洪池(北 池)	172931	2540770	9.6			0	0.00	1
仁德滯洪池(南 池)	172927	2540404	43			0	0.00	1
港尾溝滯洪池	171291	2535333	30			12	6.00	2

(資料來源：臺南市政府資料開放平台)

### 三、地文性淹排水模式建置與應用

都市地表逕流與降雨之時空分布及地面水流動現象有關，因此在進行都市地表逕流模擬時，需考慮演算範圍內之水文、地文條件。本研究分析演算範圍內之地形地貌及土地利用情形，應用地理資訊系統軟體佈置演算格網，格區間選擇適當之水流方程式演算地面水流，以擬似二維流觀念建置地文性淹排水模式，做為都市洪水即時預警模式演算核心，進一步應用都市洪水即時預警模式進行滯蓄洪設施整合減災調適技術研究。

#### 3.1 模式建置

本研究以擬似二維流觀念建置地文性淹排水模式，依模式之基本方程式、數值方法與邊界條件分述如下。

##### 1. 基本方程式

研究區域之相鄰格區間應用擬似二維流理論之水流連續方程式及適當之流量律連接，以分析格區水位及格區間之流量，說明如下：

##### (1) 水流連續方程式

研究區域佈置演算格網後，任一格區 $i$ 與其相鄰各格區間之水流連續方程



式可表如(1)式：

$$As_i \frac{dh_i}{dt} = Pe_i + \sum_k Q_{i,k}(h_i, h_k) \quad (1)$$

式中， $As_i$  為  $t$  時刻  $i$  格區之面積； $Pe_i$  為  $t$  時刻  $i$  格區之每單位時間超滲降雨體積，等於超滲降雨強度與  $i$  格區面積之乘積； $Q_{i,k}$  為由  $k$  格區流入  $i$  格區之流量，正值代表水流由  $k$  格區流入  $i$  格區，負值代表水流由  $i$  格區流入  $k$  格區； $h_i$  為  $t$  時刻  $i$  格區之水位； $h_k$  為  $t$  時刻  $k$  格區之水位。

## (2) 流量律

相鄰兩格區之水流交換型式，可歸納為川流連接型、堰流連接型、箱式涵洞連接型，各類型流量律分述如後。

### A. 川流連接型

若相鄰兩格區間之水流交換無局部障礙，則視為漫地流式之流動，可使用曼寧公式或謝希公式等，計算流過兩格區間交界面之流量。本研究採用曼寧公式計算流過兩格區間交界面之流量。

以  $i$  格區而言，由  $k$  格區流至  $i$  格區的流量為：

$$Q_{i,k} = \frac{h_k - h_i}{|h_k - h_i|} \cdot \Phi(\bar{h}_{i,k}) \cdot \sqrt{|h_k - h_i|} \quad \text{for } \frac{\partial Q_{i,k}}{\partial h_i} \leq 0 \quad (2)$$

$$Q_{i,k} = \Phi(h_k) \cdot \sqrt{|h_k - h_i|} \quad \text{for } \frac{\partial Q_{i,k}}{\partial h_i} > 0 \quad (3)$$

式中  $\bar{h}_{i,k}$  為  $i$  格區與  $k$  格區交界處之水位。

$$\bar{h}_{i,k} = h_k + (1 - \alpha)h_i, \quad 0 \leq \alpha \leq 1 \quad (4)$$

而  $\Phi(h)$  為：

$$\Phi(h) = \frac{A(h)R(h)^{2/3}}{n\sqrt{\Delta x}} \quad (5)$$

$\Delta x$  為  $i$ 、 $k$  兩格區之中心距； $n$  為兩格區間之曼寧糙率係數； $A$ 、 $R$  分別為兩格區交界處之通水面積和水力半徑。

當 $i$ 格區水深小且水位下降， $k$ 格區流至 $i$ 格區的流量減少時，為消除 $i$ 格區水位之影響，令(4)式之 $\alpha = 1$ ， $k$ 格區流至 $i$ 格區的流量以(3)式計算。

#### B. 堰流連接型

若相鄰兩格區間以道路、堤防、田埂、塹堤、天然岸堤或自由溢流之水庫堰壩等為交界，則可將交界視為寬頂堰，以堰流公式計算流過兩格區間交界面之流量。

若以 $h_k > h_i$ 之情形而言，可分為自由堰流及潛沒堰流兩種形式。

自由堰流 $(h_i - h_w) < \frac{2}{3}(h_k - h_w)$ ：

$$Q_{i,k} = \mu_1 b \sqrt{2g} (h_k - h_w)^{3/2} \quad (6)$$

潛沒堰流 $(h_i - h_w) \geq \frac{2}{3}(h_k - h_w)$ ：

$$Q_{i,k} = \mu_2 b \sqrt{2g} (h_i - h_w) (h_k - h_i)^{1/2} \quad (7)$$

以上二式中， $h_w$ 為堰頂高程，即交界處之路面、堤頂或地面高程； $b$ 為堰頂之有效寬度，即相鄰兩格區之交界長； $g$ 為重力加速度； $\mu_1$ 、 $\mu_2$ 分別為自由堰流及潛沒堰流之堰流係數， $\mu_1 = 0.36 \sim 0.57$ ， $\mu_2 = 2.6 \mu_1$ 。

#### C. 涵洞連接型

若相鄰兩格區間為道路分隔，且道路下以涵洞連接，則以涵洞流量公式計算相鄰兩格區間之流量。

此種流況較為複雜，至少包括閘流、堰流與管流等三種類型

#### D. 人為操作影響

為使模式之模擬更為符合現地情況，宜考慮人為操作所造成之格區水量交換情形。

若格區設置抽水站，則兩相鄰格區之水量交換，依據抽水站操作原則，於格區水位超過啟抽水水位時，依據抽水機抽水量進行格區間水量交換。

$$\text{格區水位超過啟抽水水位 } h_i \geq h_p : Q_{i,k} = Q_p \cdot \Delta t \quad (8)$$

$$\text{格區水位未超過啟抽水水位 } h_i < h_p : Q_{i,k} = 0 \quad (9)$$

式中， $h_p$ 為抽水站操作規則之啟抽水水位， $\Delta t$ 為 $t$ 時刻至下一時刻 $t+1$ 之

時間增量， $Q_p$  為  $\Delta t$  時間中之抽水率(cms)。

## 2. 數值方法

地文性淹排水模式為依據擬似二維流基本方程式以顯式有限差分法建立數學模式。水流連續方程式(1)式以顯示有限差分法離散化如(10)式所示：

$$\Delta h_i = [Pe_i + \sum Q_{i,k}(h, h_k)] \Delta t / As_i \quad (10)$$

$\Delta h_i$  為  $\Delta t$  時間中之水位增量，底床不沖淤時，亦等於水深增量。 $Q_{i,k}$  可依交界條件及流況選用適當之流量公式計算之。 $t$  時間之水位(或水深)加上水位增量(或水深增量)即為  $(t + \Delta t)$  時間之水位(或水深)。

都市地區多建置有雨水下水道與區域排水系統連結，本研究為更合理模擬都市地區淹排水情形，以地文性淹排水模式耦合SWMM模式之雨水下水道演算，雨水下水道格點與地面格區產生連結，進行水流交換演算，雨水下水道管路則以相關之區域排水格區水位做為下游邊界，模擬雨水下水道與區域排水系統交界間自由跌流或迴水雍高等水理現象。

## 3. 邊界條件

演算範圍中，以演算範圍之邊界為部份邊界之格區稱為邊界格區，無水流進出之邊界(如分水嶺、邊界堤防等)模式中定義為封閉邊界；若有水流進出邊界(如潮流、水庫洩洪進流等)模式中定義為開放邊界。開放邊界之邊界格區應給予進出水流之邊界條件，包括相鄰海域之潮位歷線、水庫之洩洪流量歷線等。故以演算範圍內之降雨歷程及相鄰海域之潮位歷線作為輸入水文條件及下游邊界條件，可據以演算豪雨過程中之淹水現象。

### 3.2 佈置研究都市非結構性格網

降雨及其水流相關區域均會發生淹水現象，皆應納入分析降雨-淹水演算之研究區域。因地面水之流動現象主要受地形、地貌、地物之影響，故分析地表逕流現象時，應考量上述地文條件之影響。

本研究先依地形、地貌、地物之分布情形，將研究區域佈置為適當之演算格網，每一網格即為一演算格區，每一演算格區之形狀及大小，因地形、地貌、地物而異。部分邊界為研究區域邊界之格區模式中定義為邊界格區，其餘之格區模式中定義為內部格區。內部格區中，位於陸地之格區模式中定義為陸地屬性格區，位於排水路、河流或湖泊之格區模式中定義為渠流屬性格區。

演算範圍之地形可利用數值高程資料得之，分析數值高程資料以給定每一演算格區之高程值。研究區域之河系及集水區可以地理資訊系統軟體ArcMap進行分析，繪製研究區域水系中各支流之集水區，每個集水區之河流或排水路及其兩側均可各佈置若干演算格區。集水區格網初步劃分完成後，若有特殊地貌，則分析後套疊至

現有格網上；再套疊土地利用、道路系統、航照等圖層，進行格網細部劃設。位於山區之網格主要依等高線進行細部劃分，位於平原都市區域之格網因排水路與交通系統密佈其中，故道路、堤防均視為格區邊界，再將格網細分，都市中之路塹型重要街道，可視同水路，劃分為街道演算格區，並依蒐集之測量資料設定其寬度。埤塘、湖泊、滯蓄洪設施與水庫之劃分方式均相同，可依庫底高程資料進行細部劃分。魚塢、水田、鹽田、聚落等區域，可視演算格網整體格網大小與密度適度調整上述區域之大小。圖13為本研究以上述原則劃分研究區域演算網格之成果圖，研究區域面積約788平方公里，共劃分為11,052格，演算格網之精度為598.4平方公尺至602,626平方公尺。本研究之研究案例區域—臺南市仁德區，面積約51平方公里，共計1,100格。

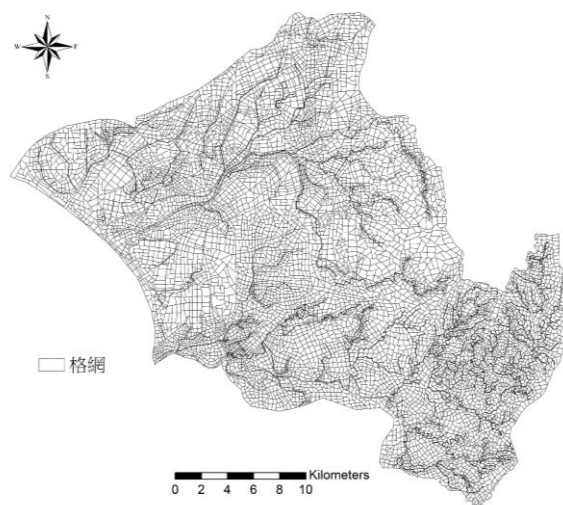


圖13、研究區域格網佈置

### 3.3 演算分析

#### 1. 演算結果與比較

本研究以數值地形高程並參考河道大斷面測量資料建置地文性淹排水模式之演算地形條件，選取發生於2017年之尼莎暨海棠颱風、2018年0823豪雨及2019年0813豪雨作為演算案例。

2017年尼莎暨海棠颱風與2018年0823豪雨期間洪水歷程分別與鹽水溪安順橋測站及二仁溪華醫大橋測站實測水位資料繪製比較圖分別如圖14至圖15所示，演算2019年0813豪雨期間洪水歷程分別與鹽水溪新市測站及二仁溪華醫大橋測站實測水位資料繪製比較圖如圖16。與雨量組體圖比較可知，雨型與水位歷線之分布十分類似，2017年尼莎暨海棠颱風與2018年0823豪雨分別均有1大3小4個峰值與1大與數個小峰值，2019年0813颱風則有1大1小2個峰值，屬多峰型降雨歷程，易形成流量疊加現象，則模式模擬之峰值、發生時間與實測水位相比亦有相同趨勢，顯示模式可合理演算降雨形成之逕流歷程。2017年尼莎暨海棠颱風安順橋測站第60小時即第2峰值之後模擬水位較實測水位低很多，水位趨勢與雨量一致，第2峰值與第3峰值間降雨有間歇，模式模擬排水較實測快。2018年0823豪雨與2019年



0813颱風2場豪雨降雨較無間歇現象，流量峰值較接近單峰形式。

研究區域於2019年0813豪雨期間模式演算之淹水範圍如圖17所示，臺南市近年已佈設多處地面淹水感測器，模式演算結果與淹水站13、15、28及57之實測水深歷程相符，模式演算地面積淹30公分之到達時間亦與淹水感測器測得時間相近。

以本研究之都市洪水即時預警模式演算臺南市未來3小時之淹水狀況，計算時間只需不到5分鐘，如能接收到準確之預測雨量，搭配智慧型水尺及地面淹水感測器資料即時修正演算數據，將有助於即時預警以進行防減災。

## 2. 降雨事件之逕流分析

演算案例地區10年與25年重現期設計暴雨事件，透過降雨事件逕流分析，可得出10年重現期一日暴雨逕流分析之最大可暫貯留空間約在第14.9小時，最大可暫貯留量約2,110萬立方公尺。25年重現期一日暴雨逕流分析之最大可暫貯留空間約在第14.7小時，最大可暫貯留量約2,090萬立方公尺。

## 3. 現有滯蓄洪設施分析

進行現有滯蓄洪設施分析，比較港尾溝滯洪池與保安抽水站兩站無操作與有操作之水位歷線，可知滯蓄洪設施經操作後，10年重現期與25年重現期之設計暴雨下，左右岸淹水區域約可降低0.6公尺至0.8公尺，且淹水延時均有縮短。滯蓄洪設施入口以堰流流入與出口以抽水流出均有其降低洪峰、洪峰到達時間後延之效。

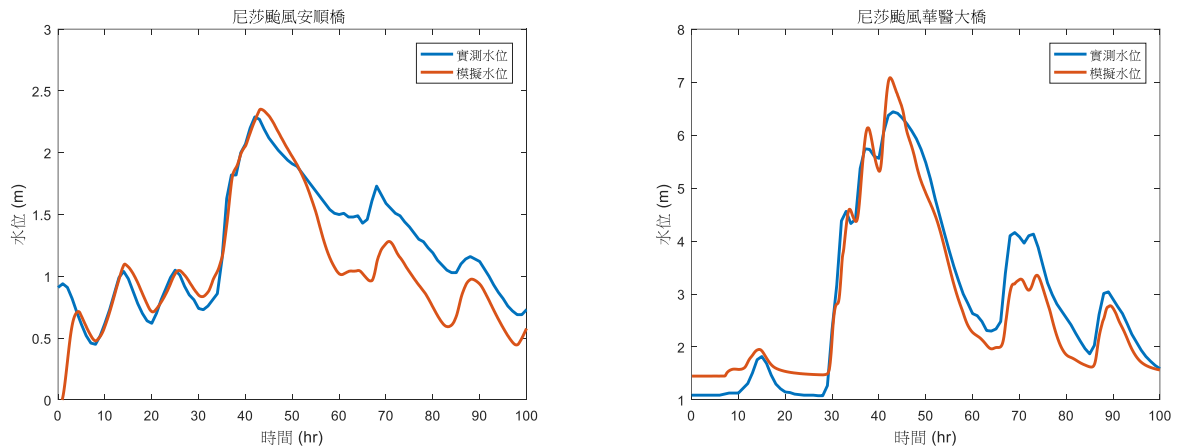


圖14、尼莎暨海棠颱風期間模式演算之洪水歷程與測站實測資料比較圖

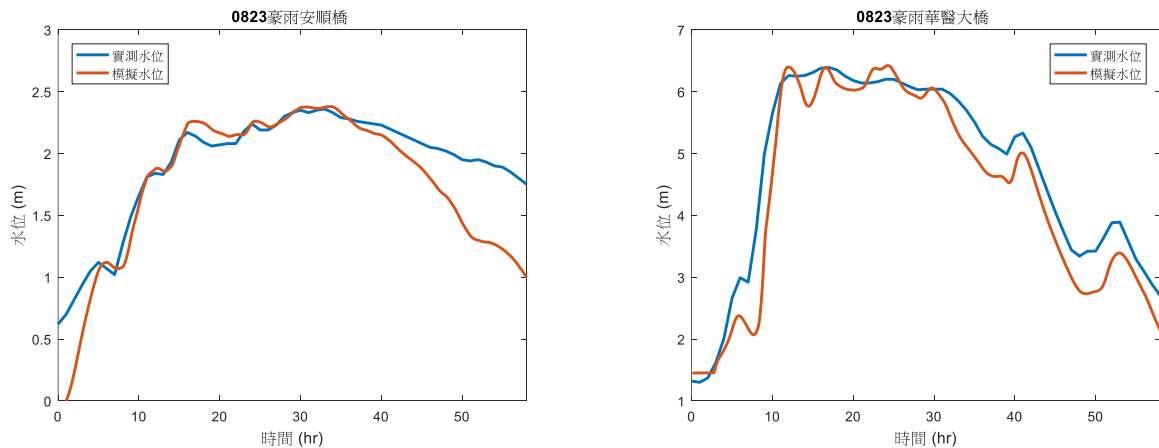


圖15、0823豪雨期間模式演算之洪水歷程與測站實測資料比較圖

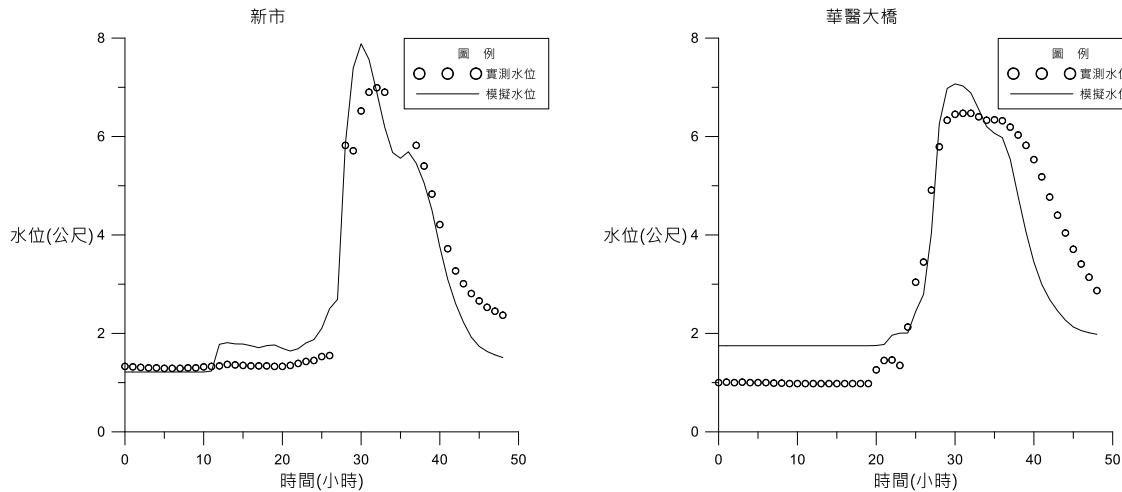


圖16、0813豪雨期間模式演算之洪水歷程與測站實測資料比較圖

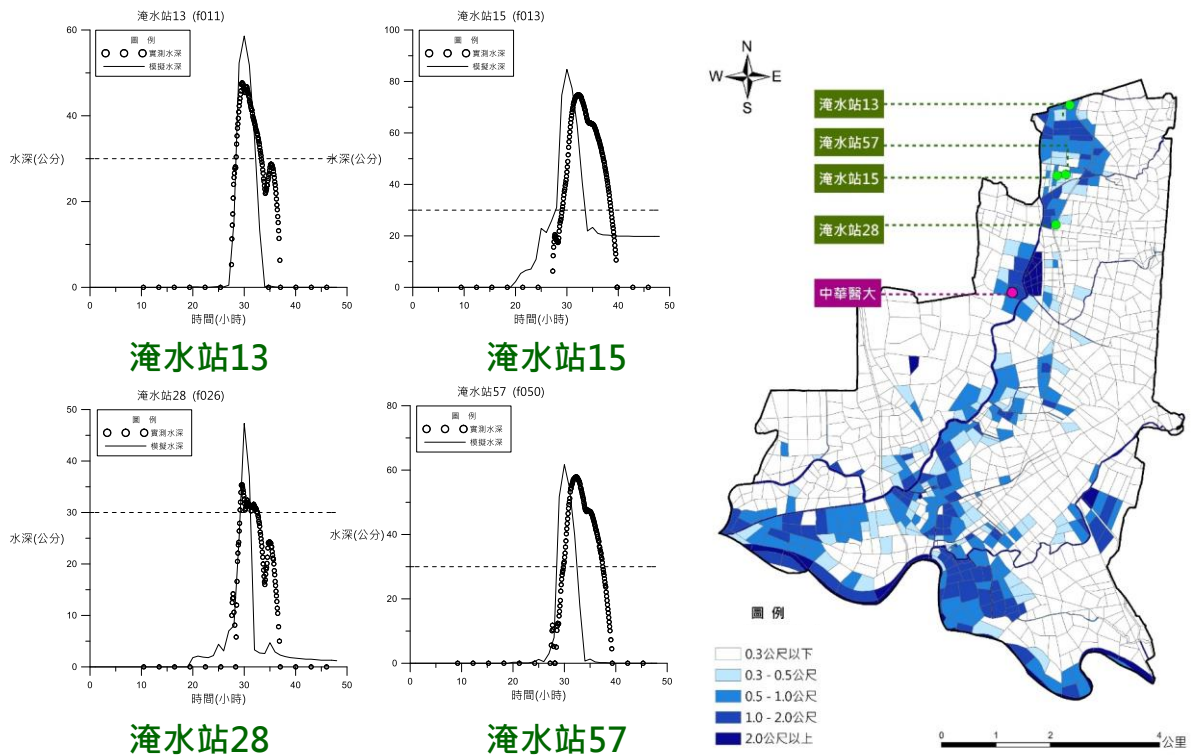


圖17、研究區域於0813豪雨期間模式演算之淹水範圍與淹水站之水深比較圖

#### 四、滯蓄洪設施優化

##### 4.1 滯蓄洪設施優化改善效能評估

以仁德滯洪池為例，應用重現期10年設計雨型，探討在仁德滯洪池在現況條件下，增加抽水設施，以不同情境進行滯蓄洪設施優化。

##### 1. 單一豪雨事件滯蓄洪設施優化

由重現期10年設計降雨演算結果可知，仁德滯洪池在第13小時達到最高水位，啟動自動水閘門的情境下，在外水位較低時，滯洪池會利用重力方式排水，

但若受外水頂托時，則滯洪池水位則會維持在側溢堰高程，如圖18所示。

為維持滯洪池蓄洪空間，在前述條件下，配合抽水機(5~10CMS)，可快速降低滯洪池水位，改善滯洪池效能，詳如圖19。

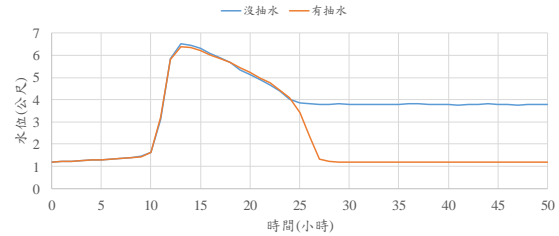
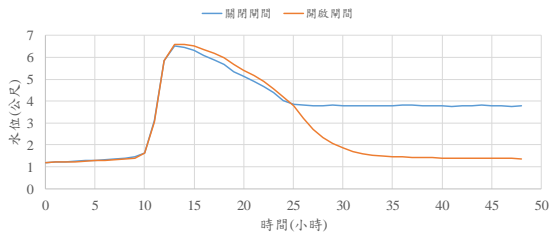


圖18、仁德滯洪池增加閘門控制條件下滯洪池水位變化

圖19、仁德滯洪池增加抽水機操作條件下滯洪池水位變化

## 2. 連續豪雨事件滯蓄洪優化

近年來因氣候變遷，豪雨事件變生頻率提高，間隔亦縮短，為使滯蓄洪設施得以提高效率，本研究以連續2場重現期豪雨進行降雨歷程分佈組合，降雨峰值間距分別為24小時及12小時，在外水頂托的情境下，兩個情境演算之滯洪池水位歷程如圖20所示，其水位尖峰亦間隔24小時及12小時。

以連續2場重現期豪雨事件配合抽水機進行滯蓄設施操作，演算成果如圖21及圖22所示，間隔24小時之降雨事件配合抽水機操作之水位降低成效較間隔12小時之降雨事件顯著。由演算成果可知，在豪雨尖峰過後，即進行抽水機操作，可迅速降低滯蓄洪水位，強化滯蓄洪設施功能。

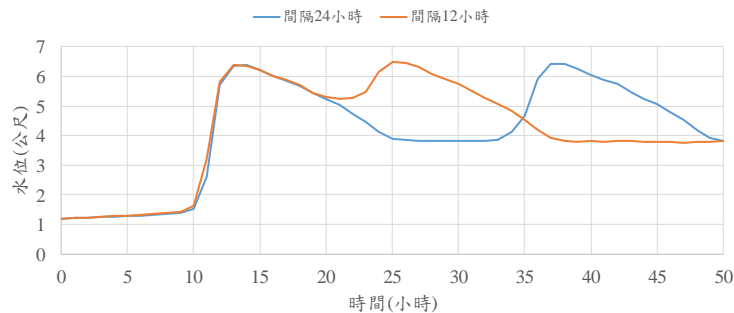


圖20、連續豪雨事件仁德滯洪池水位變化

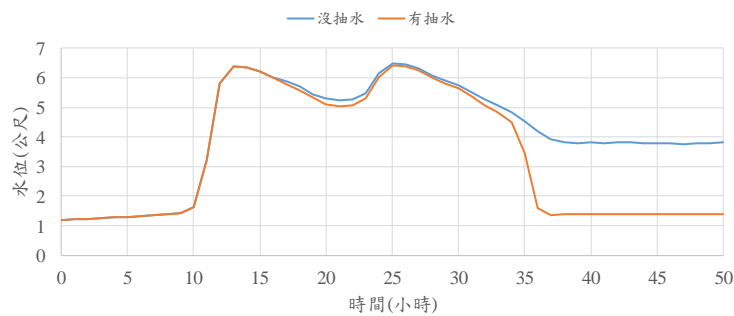


圖21、連續豪雨事件配合抽水機操作仁德滯洪池水位變化(峰值間隔12小時)

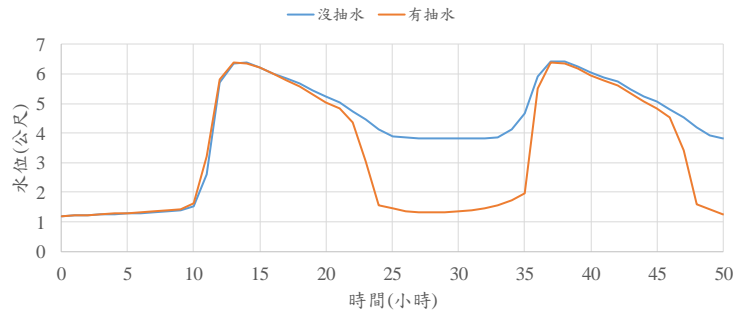


圖22、連續豪雨事件配合抽水機操作仁德滯洪池水位變化(峰值間隔24小時)

#### 4.2 滯蓄洪設施優化操作減洪效益即時演算及減災調適策略建議

以2018年0823豪雨事件與重現期10年設計豪雨事件進行滯蓄洪設施優化操作演算，分析與探討減洪效果並規劃佈設臨時抽水機位置。

##### 1. 0823豪雨事件滯蓄洪設施優化操作演算

演算0823豪雨事件案例地區淹水區域之流量歷線如圖23所示，與降雨歷程互相比較可知，流入淹水區域之流量歷線之形狀與降雨歷線較為相近，即直接反應降雨產生地表逕流；而流出淹水區域之流量歷線，因受地表逕流、滯蓄與滯洪池蓄洪之影響，先反應第1個較大的峰值後以一平緩多峰歷時20小時後才開始退水。於第1峰值後發生前開始抽水，抽水開始後滯洪池水位即開始下降，歷程中以豪雨尖峰過後開始退水之有無抽水之水位相差較大，滯洪池於退水開始即進行抽水機操作，可有效迅速降低滯蓄洪水位，強化滯蓄洪設施功能。

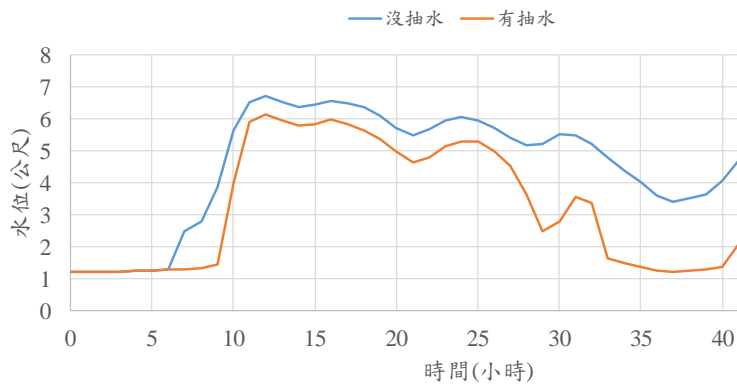


圖23、0823豪雨配合抽水機操作情境下仁德滯洪池水位變化

##### 2. 重現期豪雨滯蓄洪設施優化操作演算

為進一步分析滯蓄洪設施優化條件，以連續2場重現期10年豪雨事件(間隔12小時)，搭配在不同延時啟動抽水機，演算水深以分析滯蓄洪設施操作減洪效果。以水深之平均降低值分析減洪效果，分析滯蓄洪設施優化操作之流程如下：

- (1) 由圖21可知第1個洪峰約在第13小時，設定抽水機啟動時間為降雨開始後13小時，抽水延時為24小時(降雨開始後37小時)，進行滯蓄洪設施優化演算。再應用相同水文條件，抽水機啟動時間向後延遲1小時(啟動時間為降雨開始後14小時)抽水延時減少1小時(抽水延時為23小時)，抽水機停止時間為降雨開始後37小時，與前述相同，再進行滯蓄洪設施優化演算。重複此演算直至抽水



延時為0。

(2) 以連續2場重現期豪雨事件為背景值，計算不同抽水延時滯蓄洪池水位降低之平均值，如圖24所示。

由圖24可知，啟動抽水機的時約在洪峰過後4小時，可以有較佳的降低滯洪池水位的成效。為規劃颱風豪雨期間佈設臨時抽水機位置，由連續2場重現期10年豪雨事件(間隔12小時)演算仁德區之積淹地區，研判臨時抽水機佈設位置如圖25所示，由圖25可知，三爺溪排水之上游佈設1個，仁德滯洪池佈設1個，三爺溪排水下游兩岸易淹水地區佈設4個，港尾溝溪上游佈設1個，二仁溪中下游北岸之大甲里佈設3個，共10個臨時抽水機建議佈設位置。

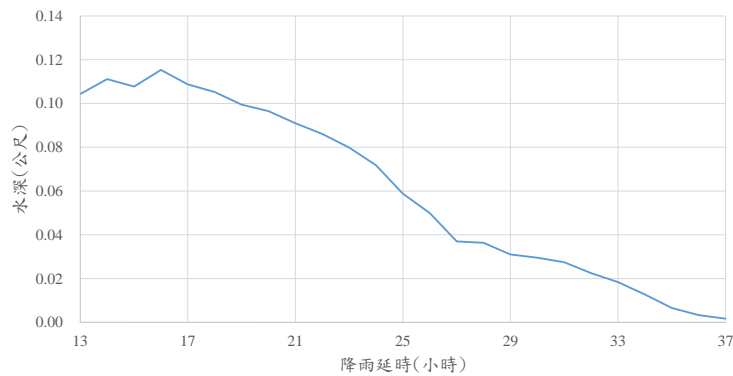


圖24、重現期10年豪雨在不同延時啟動抽水機仁德滯洪池水位平均降低值

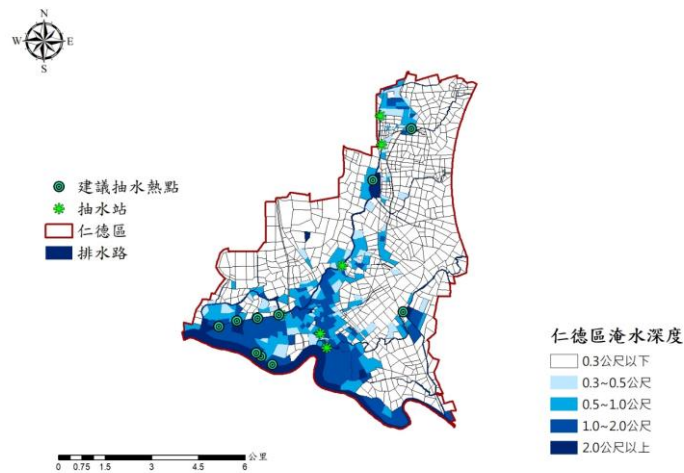


圖25、颱風豪雨期間抽水機建議佈設位置

## 五、都市減災調適技術評估

本研究以極端暴雨事件演算在既有之防洪及抽排水設施標準下，模擬造成案例地區淹水災害之有害逕流體積，再評估利用既有防洪及抽排水設施進行洪水調節後減少之逕流體積。以同一境況進行模擬，以逕流分擔、出流管制之概念，演算評估於都市區域規劃時以低衝擊開發進行出流管制後減少之逕流體積。進一步以演算豪

雨期間淹水區積貯水量之歷程找出最大貯蓄水量，評估尚需減洪之量體，找出可能之都市地區之滯蓄洪空間，如公園綠地、公共設施屋頂、學校操場等，藉由都市滯蓄洪空間境況演算評估減洪成效，期以應用上述都市減災調適技術達到提升都市耐洪韌性。

依土地使用分區，初步分析整理案例研究地區可供蓄滯洪水之容洪空間，公園綠地54處，面積共計56.75公頃，如圖26所示。

經分析仁德常淹水地區後，初擬可以研究區域內面積較大之校園綠地、運動場及停車場，施以整地、增加透水鋪面等工法規劃為滯洪設施，平時具有景觀遊憩功能，遇颱風豪雨時可遲滯洪水空間分佈如圖27所示。以校園綠地規劃增加約4萬立方公尺之滯蓄洪空間，以2年重現期一日降雨事件模擬評估減洪效果如圖28所示，由校園水位變化可知，此一規劃於降雨歷程前4-10小時可發揮約10cm-20cm之減洪作用。進一步探討以圖27所示之運動場作為滯蓄洪空間後，周邊區域之水位變化如圖29，由圖29可知，水位歷線洪峰約可延遲0.5至1小時，可發揮約5cm之減洪作用。

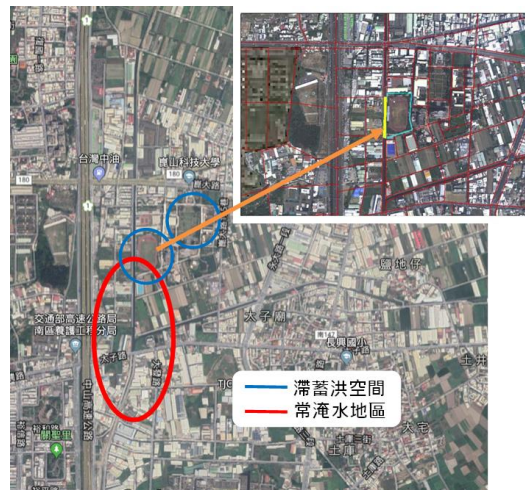


圖26、案例研究地區可供蓄滯洪水之容洪空間分佈

圖27、滯蓄洪空間分佈圖

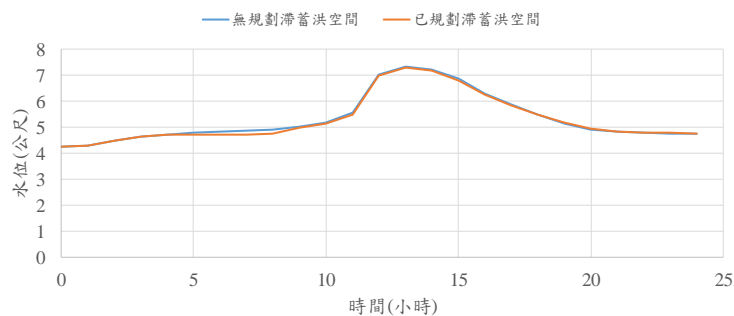


圖28、以崑山科技大學臨近三爺溪排水校地(運動場)建置滯蓄洪空間成效評估

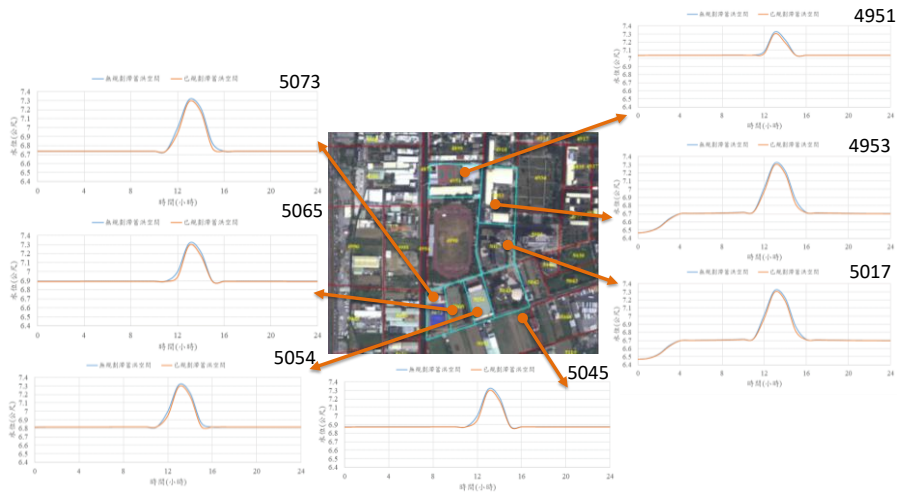


圖29、以崑山科技大學臨近三爺溪排水校地(運動場)建置滯蓄洪空間周邊區域減洪成效評估

## 六、結論與建議

### 6.1 結論

#### 1. 模式建置與演算分析

2019年0813豪雨期間模式演算結果與淹水站13、15、28及57之實測水深歷程相符，模式演算地面積淹30公分之到達時間亦與淹水感測器測得時間相近。以本研究之都市洪水即時預警模式演算臺南市未來3小時之淹水狀況，計算時間只需不到5分鐘，如能接收到準確之預測雨量，搭配智慧型水尺及地面淹水感測器資料即時修正演算數據，將有助於即時預警以進行防減災。

演算案例地區10年與25年重現期設計暴雨事件，透過降雨事件逕流分析，可得出10年重現期一日暴雨逕流分析之最大可暫貯留空間約在第14.9小時，最大可暫貯留量約2,110萬立方公尺。25年重現期一日暴雨逕流分析之最大可暫貯留空間約在第14.7小時，最大可暫貯留量約2,090萬立方公尺。進一步進行現有滯蓄洪設施分析，假設港尾溝滯洪池與保安抽水站皆不操作，港尾溝滯洪池與保安抽水站分別以均勻流量0.6cms與8cms進行操作，兩種假設境況在暴雨過程中港尾溝溪兩岸淹水區之水位歷線。比較兩站無操作與有操作之水位歷線可知滯蓄洪設施經操作後，10年重現期與25年重現期之設計暴雨下，左右岸淹水區域約可降低0.6公尺至0.8公尺，且淹水延時均有縮短。滯蓄洪設施入口以堰流流入與出口以抽水流出均有其降低洪峰、洪峰到達時間後延之效。

#### 2. 滯蓄洪設施優化

2018年0823豪雨事件與重現期10年設計豪雨事件進行滯蓄洪設施優化操作演算，分析與探討減洪效果並規劃佈設臨時抽水機位置。

2018年0823豪雨事件演算結果之流量歷線與降雨歷程互相比較可知，流入淹水區域之流量歷線之形狀與降雨歷線較為相近，即直接反應降雨產生地表逕流；而流出淹水區域之流量歷線，因受地表逕流、滯蓄與滯洪池蓄洪之影響，先反應第1個較

大的峰值後以一平緩多峰歷時20小時後才開始退水。於第1峰值後發生前開始抽水，抽水開始後滯洪池水位即開始下降，歷程中以豪雨尖峰過後開始退水之有無抽水之水位相差較大，滯洪池於退水開始即進行抽水機操作，可有效迅速降低滯蓄洪水位，強化滯蓄洪設施功能。

為進一步分析滯蓄洪設施優化條件，以連續2場重現期10年豪雨事件(間隔12小時)，搭配在不同延時啟動抽水機，演算水深以分析滯蓄洪設施操作減洪效果。以水深之平均降低值分析減洪效果，結果顯示啟動抽水機的時約在洪峰過後4小時，可以有較佳的降低滯洪池水位的成效。另以演算結果之仁德區之積淹地區，研判臨時抽水機佈設位置：三爺溪排水之上游佈設1個，仁德滯洪池佈設1個，三爺溪排水下游兩岸易淹水地區佈設4個，港尾溝溪上游佈設1個，二仁溪中下游北岸之大甲里佈設3個，共10個臨時抽水機建議佈設位置。

### 3. 都市減災調適技術評估

依土地使用分區圖，初步分析整理案例研究地區可供蓄滯洪水之容洪空間，公園綠地54處，面積共計56.75公頃。經分析仁德常淹水地區後，初擬可以研究區域內面積較大之校園綠地規劃增加約4萬立方公尺之滯蓄洪空間，以2年重現期一日降雨事件模擬評估減洪效果，由校園水位變化可知，此一規劃於降雨歷程前4-10小時可發揮約10cm-20cm之減洪作用。進一步探討其周邊區域之水位變化，可發現水位歷線洪峰約可延遲0.5至1小時，可發揮約5cm之減洪作用。

## 6.2 建議

### 1. 滯洪設施之優化操作策略：短期建議

建議將優化滯洪設施操作建議應用於實務，在即時掌握颱風期間現地水情資訊下，可以本研究之地文性淹排水模式進行滯洪設施排洪操作評估與建議，減少都市溢淹。

### 2. 土地因應氣候變遷減災調適技術研究：中長期建議

都市洪水逕流除以排水系統及滯洪設施排除外，土地亦需配合遲滯洪水，透過水理演算分析淹水區域，進一步藉由土地使用之規劃，將位於淹水風險較高區域之土地規劃為承洪或滯洪區，以提升都市耐洪減災能力，降低淹水損失。

## 參考文獻

1. 巫孟璇(2013)，「地文性淹水即時預報模式之發展與應用」，水利及海洋工程研究所博士論文，成功大學。
2. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2015)，「臺南市淹水潛勢圖(第二次更新)」。
3. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2015)，「鹽水溪及南科相關排水整體治理規劃檢討」。
4. 經濟部水利署第六河川局(2009)，「二仁溪治理規劃檢討(縱貫鐵路橋至德和橋、含支流牛稠埔溪)」。
5. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2018)，「極端降雨引致都市洪水即時預警模式與減災調適技術整合應用研究」。