



# 集水區 埤塘演變 及其對滯洪潛在影響

## — 以 台南橋頭 港橋上游集水區 為例

侯佳秀／國立成功大學水利及海洋工程學系 碩士

詹錢登／國立成功大學水利及海洋工程學系 特聘教授

徐郁超／國立成功大學水土保持生態工程研究中心 副研究員

賴東暘／國立成功大學水利及海洋工程學系 博士候選人

本研究以台南橋頭港橋上游集水區為研究區域，探討埤塘變遷（包含農塘與魚塢兩大類）及其存在對降低洪峰的潛在效果。此研究區域可分為菁埔埤排水、南廊排水及瓦瑤埤排水等三個子集水區。首先分析埤塘 1904 年至 2018 年間的變遷，然後使用 SWMM 模式，以 2018 年研究區域地文條件（地形、高程、排水路、土地利用及埤塘分布）為基礎，在五種埤塘滯洪情境（方案一至方案五）及四種重現期（2、5、10 及 25 年）暴雨條件下，模擬前述 3 個子集水區的地表逕流及減洪效果。方案一假設埤塘（農塘及魚塢）都不可用於滯洪、方案二假設只有農塘可用於滯洪（滯洪水深為 1.0 m）、方案三假設只有魚塢都可用於滯洪（滯洪水深 0.5 m）、方案四假設農塘及魚塢都可用於滯洪（滯洪水深分別為 1.0 m 及 0.5 m）、及方案五增加農塘及魚塢可滯洪水深 0.5 m。模擬結果顯示埤塘（農塘與魚塢）具有顯著減洪效果，對於較小重現期暴雨事件其滯洪效果尤佳。方案五是防災超前佈署方案，暴雨前先將埤塘水位降低 0.5 m，增加埤塘滯洪能力，結果顯示增加埤塘可滯洪水深可大幅降低洪峰流量。縮減埤塘面積或降低埤塘滯洪能力將導致洪峰流量的增加，增加渠道溢堤淹水風險；反之，增加埤塘面積或增加埤塘滯洪水深可顯著提升減洪效果。

關鍵詞：埤塘、SWMM 模式、滯洪水深、洪峰、減洪

### 前言

台灣擁有豐富埤塘歷史，埤塘包含「農塘」與「魚塢」兩大類。「農塘」係指在低窪地區或溪流適當地點，構築堤壩攔蓄逕流，以提供滯洪、農業等用水及改進生態環境並供休閒、遊憩之用。「魚塢」係指在陸地圍築、挖築或以建構室內養殖池設備，供繁殖或養殖水產動植物之設施。埤塘最初是為灌溉、漁業或是水產養殖而建造的，但隨著時間的推移，部分埤塘也成為受歡迎的休閒旅遊區。埤塘具有生產、生態及生活等三生功能，在農業、經濟和文化發展中發揮重要的作用。然而隨著人口增長，經濟發展，伴隨產業型態的快速轉變，

埤塘數量與面積發生大幅增加或減縮的變化。近年來台灣地區土地利用方式發生劇烈變化，農業發展衰退，農田面積縮減，灌溉需求減少，加上大型水利設施與灌溉圳路的興建，河道寬度縮減甚至渠道化，導致早期台灣提供農業灌溉的埤塘被荒廢、面積縮小或是被填平變更為其他用途<sup>[1]</sup>。以台北市南港區後山埤、新庄仔埤及三重埔埤三個埤塘為例，2015 年埤塘面積相較於 1904 年分別減少 82%、76% 及 92%<sup>[2]</sup>。再以桃園市埤塘為例，1999 年埤塘數量（1545 口）相較於 1926 年（4521 口）減少約 66%；1999 年埤塘面積（2,926 公頃）相較於 1926 年（6,658 公頃）減少約 56%<sup>[3]</sup>。

埤塘面積減少量與該地區人口增加量及土地開發量的關係最為密切。此外，水質變差導致埤塘逐漸失去功能<sup>[4]</sup>，傳統灌溉方式逐漸被新的灌溉系統所取代<sup>[3]</sup>，石門水庫與石門大圳的興建使得原有灌區的埤塘功能式微<sup>[5]</sup>，這些也都是造成埤塘減縮的原因。埤塘縮減原因可歸納成四大類：(1) 產業型態由農業轉型為工商業（灌溉需求降低）、(2) 工商業發展土地需求增加（填埤塘造土地）、(3) 埤塘水質遭受污染，不再適灌溉而任其淤積荒廢、以及(4) 公共建設用地取得不易，優先考量公有埤塘用地<sup>[1]</sup>。簡言之，埤塘面積的減少與當地人口成長、土地利用變遷、工業化、都市化、水質汙染及水利建設等息息相關。

埤塘除了具有生產、生態及生活等三生功能之外，還有滯洪功能。洪佳瑩<sup>[6]</sup>曾經以 Vensim 軟體模式建構水資源系統動力模組，依當地集水區水文及地文條件，模擬評估桃園大圳二支線之埤塘滯洪能力，結果顯示埤塘對於暴雨重現期小於 5.27 年的滯洪效果較好。翁國豪<sup>[7]</sup>使用 HEC-HMS 分析濁水溪下游集水區水稻田與農塘的滯洪效果，結果顯示水稻田與農塘對於 2 年重現期暴雨的滯洪效果較好（16%~52%），對於 100 年重現期暴雨的滯洪效果有限（大約只有 3%~8%）。為了進一步深入埤塘的滯洪效果，本研究以台南橋頭港橋上游集水區為研究區域，先分析埤塘（含農塘與魚塢）的歷史變遷，然後以研究區域地文條件（地形、高程、排水路、土地利用及埤塘分布）為基礎，使用 SWMM 模式，在有埤塘、無埤塘及埤塘不同面積或不同蓄水深度情境下，評估埤塘減洪效果。

## 研究區域

### 基本地文條件

本研究以台南將軍溪排水系統橋頭港橋上游集水區為研究區域（如圖 1 所示），位於官田區及六甲區內。自古以來即為台灣南部農業發展的大宗，為使農業的發展不受天氣影響而缺水灌溉，在農田周圍開鑿埤池蓄水備用，造成此區域擁有大量的埤塘，其中最著名的為菁埔埤、橋頭仔港埤、瓦寮埤等。經過多年的歷史變遷埤塘逐漸縮減，以橋頭港橋上游集水區為例，於 2008 至 2018 年間，埤塘面積減少約 19.8%。比對過往豪雨淹水事件及淹水潛勢圖可知部分易淹水區即為過去埤塘所在地。

研究區域總面積約 29.92 km<sup>2</sup>，按排水系統可區分為菁埔埤排水（約 10.51 km<sup>2</sup>）、南廊排水（約 19.41 km<sup>2</sup>）及瓦瑤埤排水（約 7.60 km<sup>2</sup>）等三個子集水區，其中瓦瑤埤排水集水區在南廊排水集水區內，如圖 2 所示。此區域高程變化小，坡度平緩，高程介於 1.3 至 32.1 m 之間，平均高程為 13.7 m，坡度介於 0~70.6%，大部分為一級坡（佔 90.8%），平均坡度只有 1.9%。以國土測繪中心土地利用分析為依據，此區域大致可分為農業用地、人為開發用地、水利用地、森林用地、以及裸露地及荒地五大類，如圖 3 所示。以 2008 年為例，研究區域農業用地宗佔 21.13 km<sup>2</sup>（71.04%），人為開發用地佔 7.01 km<sup>2</sup>（23.0%），水利用地佔 1.12 km<sup>2</sup>（3.69%）、森林用地 0.62 km<sup>2</sup>（2.12%）、以及裸露地及荒地佔 0.04 km<sup>2</sup>（0.15%）。研究區域土地利用分布。此外，根據行政院農委會農業試驗所土壤資料庫平地土壤調查報告，研究區域土壤質地分布，如圖 4 所示。研究區域內大多為沖積土，此類土壤多為耕地土壤，大都由丘陵地上之砂頁岩沖積而成，其次為台灣黏土，此土壤之土層深厚，質地粘而緊密，不適合農耕，多發展為魚塢用地。

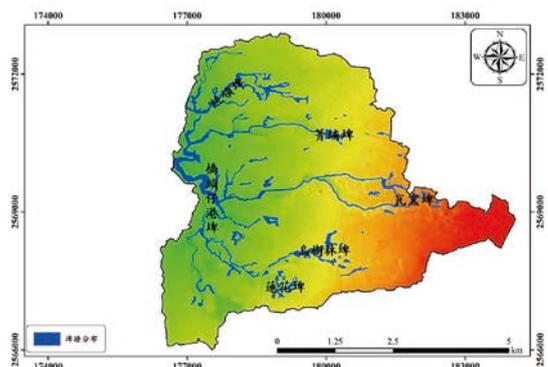


圖 1 研究區域水系及主要埤塘位置

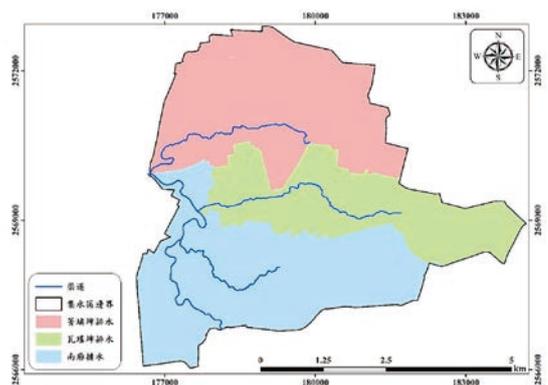


圖 2 研究區域三個主要排水系統及集水區邊界

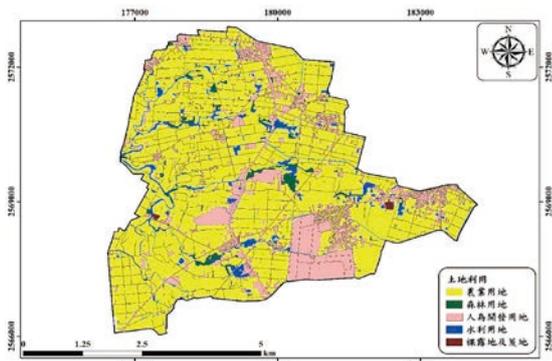


圖 3 研究區域土地利用分布情形

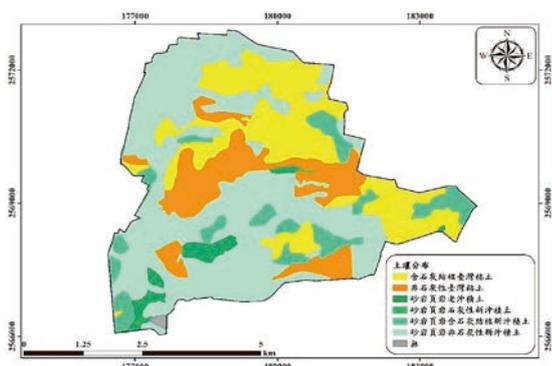
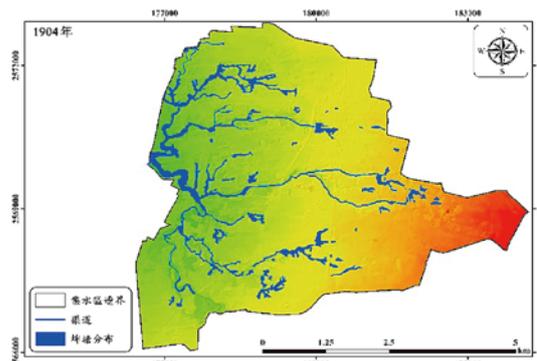


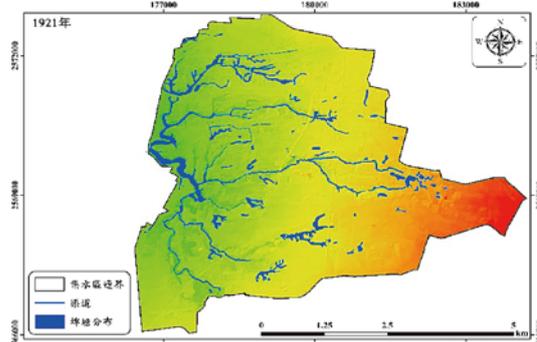
圖 4 研究區域土壤質地分布

### 研究區域埤塘變遷

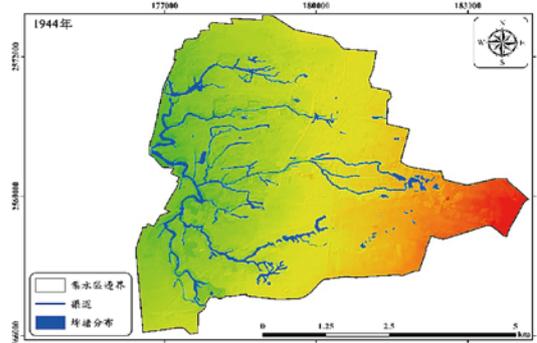
為了瞭解研究區域埤塘的歷史變遷，本研究由地理資訊科學研究專題中心百年歷史地圖檔中取得 1904 及 1921 年日據版二萬五千分之一地形圖、1944 及 1955 年美軍版二萬五千分之一地形圖及 1999 年經建版二萬五千分之一地形圖，並由 Google 衛星雲圖資取得 2008 及 2018 年影像圖資，來分析研究區域埤塘（農塘及魚塢）之變遷。前述 1904 至 1955 年的圖資只能辨識埤塘但無法分辨是魚塢或農塘，埤塘分布情形如圖 5 所示。1904 年為日據時期，此區域農田多為水田，主要產物是稻米及菱角，需要埤塘來蓄存水源，其中以橋頭子港埤、菁埔埤與瓦窯埤為最主要的埤塘。上述 7 個年度的埤塘面積分別為 204.29、164.14、150.67、165.34、290.28、343.89 及 275.86 ha，如圖 6 所示。前 4 個年度（1904~1955）埤塘面積的變化不大，但隨著人口增加，農業發展及養殖業的興盛，1955 年至 2008 年埤塘面積遽增，由 165.34 ha 增加到 343.89 ha（一倍有餘）。後續由於經濟發展轉型，農業及養殖較疲弱，埤塘面積降為 275.86 ha（低於 1999 年埤塘面積）。相較於 2008 年，2018 年埤塘面積減少約 19.8%。2008 至 2018 年橋頭子港埤已轉變為渠道，埤塘面積持續減少。橋頭子港埤 1904 年至 2008 年的平均寬度由 160 m 至 2008 年僅剩 30 m（約只有 1904 年寬度的五分之一）。



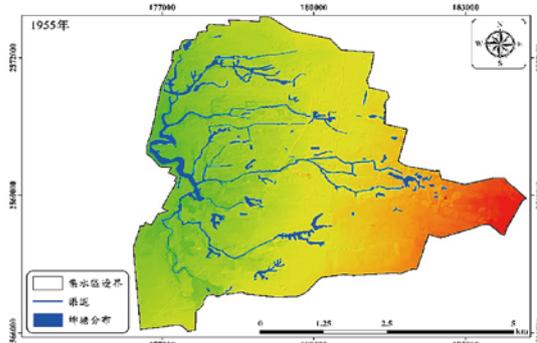
(a) 1904 年



(b) 1921 年



(c) 1944 年



(d) 1955 年

圖 5 研究區域在 1904 至 1955 間 4 個年度埤塘分布圖

研究區域 1999、2008 及 2018 年間埤塘（農塘及魚塢）分布如圖 7 所示，埤塘（農塘與魚塢）面積變化如表 1 所示。

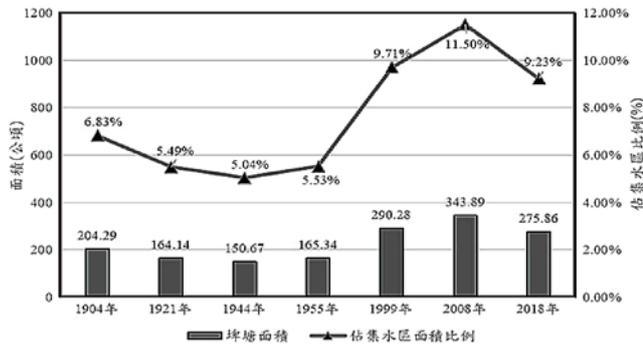
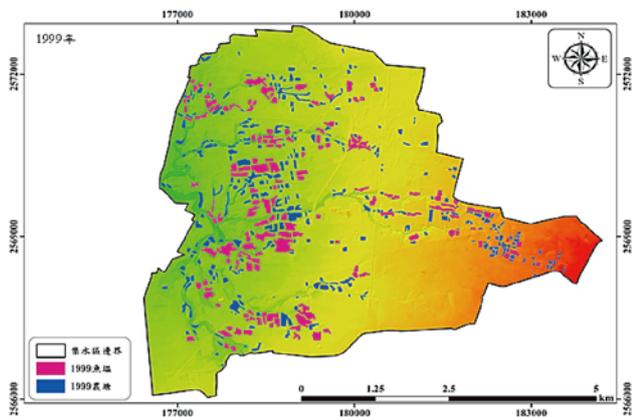
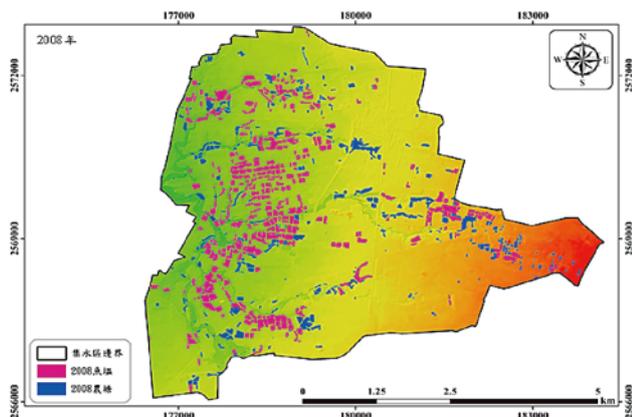


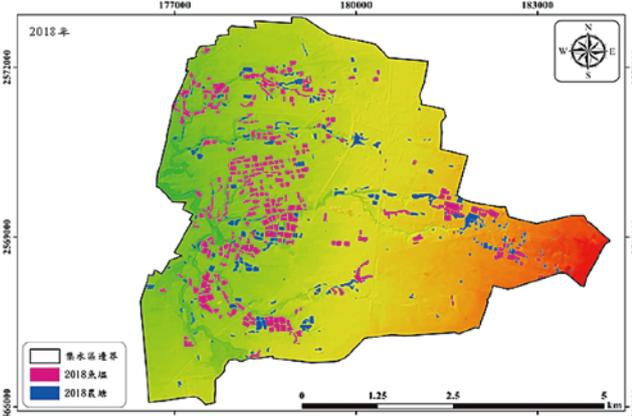
圖 6 研究區域在 1904 至 2018 間 7 個年度的埤塘面積變化



(a) 1999 年



(b) 2008 年



(c) 2018 年

圖 7 研究區域 1999、2008 及 2018 年農塘 (藍色) 與魚塢 (紅色) 分布圖

表 1 研究區域 3 個時期農塘、魚塢及整體埤塘之變化

年分		1999 年	2008 年	2018 年
農塘	個數	308	363	293
	個數變化	55		-70
	個數變化比例 (%)	17.86		-19.28
	總面積 (公頃)	130.64	114.19	82.31
	總面積變化 (公頃)	-16.45		-31.88
	總面積變化比例 (%)	-12.59		-27.92
	佔集水區面積比例 (%)	4.36	3.81	2.75
佔集水區面積比例差 (%)	-0.55		-1.06	
魚塢	個數	150	428	400
	個數變化	278		-28
	個數變化比例 (%)	185.33		-6.54
	總面積 (公頃)	159.64	229.7	193.55
	總面積變化 (公頃)	70.06		-36.15
	總面積變化比例 (%)	43.89		-15.74
	佔集水區面積比例 (%)	5.33	7.67	6.46
佔集水區面積比例差 (%)	2.34		-1.21	
埤塘	總面積 (公頃)	290.28	343.89	275.86
	總面積變化 (公頃)	53.61		-68.03
	總面積變化比例 (%)	18.47		-19.78
	佔集水區面積比例 (%)	9.69	11.48	9.21
	佔集水區面積比例差 (%)	1.79		-2.27

由前述 1999 年的經建版地圖判釋成果，當時農塘約 308 處，面積約 130.64 ha (佔集水區面積比例 4.36%)；魚塢約 150 處，面積約為 159.64 ha (佔集水區面積比例 5.33%)；埤塘總面積 (農塘加上魚塢面積) 約 290.28 ha，相較於 1955 年 (165.34 ha)，大幅增加 124.94 ha。由 2008 及 2018 年衛星影像判釋成果，2008 年農塘約 363 處，面積約 114.19 ha (佔集水區面積比例 3.81%)；魚塢約 428 處，面積約 229.7 ha (佔集水區面積比例 7.67%)；埤塘總面積約 343.89 ha，相較於 1999 年，增加 53.61 ha。在 2018 年農塘減為 293 處，面積約 82.31 ha (佔集水區面積比例 2.75%)；魚塢約 400 處，面積約 193.55 ha (佔集水區面積比例 6.46%)；埤塘總面積約 275.86 ha，相較於 2008 年，減少 68.03 ha。

前述資料經由比較可得知在 1999 至 2008 年之間雖然農塘數量增加 55 處 (約 17.86%)，但面積反而減少約 16.45 ha (約 12.59%)，主要原因是較大面積的農塘被分割為多個較小面積的農塘。這段期間魚塢數量增加 278 處 (約 185.33%)，面積也增加約 70.06 ha (約 43.89%)，此時期魚塢面積大幅增加，說明此時期養殖業的興盛。在 2008 至 2018 年間農塘數量減少 70 處 (約 19.28%)，面積也減少約 31.88 ha (約 27.92%)，反映農塘需求降低。這段期間魚塢數量也減少 28 (約 6.54%)，面積也減少約 36.15 ha (約 15.74%)。農塘及

魚塢面積減少原因除了部分消失外，最主要是農塘及魚塢個別面積的縮減。若以佔集水區面積比例來看，魚塢與農塘各減少 1.06% 與 1.21%，合計 2.27%，此期間集水區可蓄水空間減少 2.27%，也就是說減少滯洪能力。埤塘蓄水空間的減少使得洪水期間其下游的出流量及洪峰流量增加。由本研究現地調查資料顯示研究區域的魚塢深度大約 3.5 m，農塘深度大約 2.5 m，推估研究區域在 2008 至 2018 年間埤塘蓄水空間（可滯洪水量）減少約 2.06 百萬立方公尺（相當於烏山頭水庫設計總容量 154.16 百萬立方公尺的 1.3%）。

## 暴雨水管理模式（SWMM）

### SWMM 模式概述

在分析集水區埤塘對滯洪的影響時，需要考慮埤塘的容積和水位、降雨和逕流的關係、埤塘周圍的地形和植被等因素。本研究採用美國環保署暴雨水管理模式（Storm Water Management Model, SWMM），模擬集水區在不同暴雨頻率及不同埤塘情境下之地表逕流，藉以分析埤塘的減洪效果。SWMM 模式是一種用於模擬暴雨水流和其對城市基礎設施影響的軟體，水利工程師及相關專業人員常使用它來計算暴雨水的流量和排放量，以利進行暴雨水評估及管理規劃設計之參考<sup>[8]</sup>。當暴雨落在地表，扣除入滲及地表滯留，經由漫地流匯集進入節點（Node），再由節點進入排水渠道（Link），而排水渠道在流路途中持續有水流由節點匯入，整個排水系統形成一個複雜的流況。SWMM 模式採用一維緩變量流聖維南（Saint-Venant）方程式，在渠道中要滿足連續方程式及動量方程式，在節點處要滿足連續方程式，藉此了解各渠道中流量變化以及可能溢流位置及溢流量。張向寬等人<sup>[9]</sup>曾經使用 SWMM 模式分析嘉義縣後鎮大排集水區魚塢的減洪效益，並以重現期 25 年 24 小時雨量為條件，評估排水路溢淹風險，結果顯示魚塢地的存在可大幅降低排水路溢堤風險。

使用 SWMM 模式，簡要流程包括：(1) 輸入數據，輸入研究區域基本水文及地文數據，如降水數據、地形數據、排水系統結構數據等；(2) 模型創建，將真實環境轉換為數學表示，並創建模擬分析網格、入流節點、渠道和水流控制其他組件；(3) 水文模擬，模擬暴雨地表逕流過程，包括逕流、滲透和窪蓄；(4) 水力模擬，模擬水在系統中通過渠道的流速和水深；(5) 演算：進行水流在地表、渠道排水系統中的流動聯

合演算，演算過程考慮渠道網絡、蓄水網格以及各種組件的高程條件；(6) 結果輸出，輸出流量歷線用於評估暴雨事件期間系統的性能，包括流量和流速、水位以及可能發生的洪水溢流<sup>[8-11]</sup>。

### 建構 SWMM 模式所需資料收集與整理

應用 Horner 公式計算研究區域各頻率（2、5、10、25 年重現期）之暴雨強度。

$$I = [a / (T + b)]^c \quad (1)$$

其中  $I$  (mm/hr) 為暴雨延時  $T$  (min) 對應之暴雨強度， $T$  為暴雨延時；參數  $a$ 、 $b$  及  $c$  是與集水區特性及暴雨頻率有關之待定參數。參考經濟部水利署<sup>[12]</sup>「易淹水地區水患治理計畫—台南縣管區域排水將軍溪排水系統規劃報告」，採用對數皮爾遜三型暴雨頻率分析結果，2、5、10 及 25 年重現期一日暴雨量分別為 159、225、272 及 336 mm；上述 4 個重現期對應之待定參數，如表 2 所示。另外，參考「83 年曾文溪水系治理規劃報告」假設每小時降水損失量為 3.5 mm。

本研究建構 SWMM 模式需要先進子集水區、渠道、節點、蓄水空間等資料的收集，如圖 8 所示。子集水區資料的處理，本研究經由內政部地政司資料系統取得 2008 年 5 公尺 DEM 資料、由全國土地使用分區資料查詢系統取得土地利用資料，及由區域排水整合系統取得將軍溪集水區邊界。渠道資料的處理，由區域排水整合系統取得區域排水渠道位置，由水利規劃試驗所取得區域排水渠道斷面型態資料，在農田水利會地理空間圖資處理平臺取得農田排水渠道位置，以及經由本研究現地量測取得排水渠道斷面及埤塘深度相關資料，現地調查照片詳圖 9。排水節點的處理，則通過水利規劃試驗所取得區域排水渠道斷面高程及現地量測取得農田排水渠道高程，來確定節點位置。蓄水空間（農塘及魚塢）的辨別，則通過 Google Earth 衛星雲圖取得 2008 年及 2018 年農塘及魚塢分布情形，並由現地量測取得農塘及魚塢平均深度。研究區域 SWMM 模式建構完成之分析渠道網格示意圖如圖 10 所示。

表 2 各重現期 Horner 公式參數  $a$ 、 $b$  及  $c$

重現期 (年)	$a$	$b$	$c$
2	1460.5	19.7	0.6896
5	1581.0	17.6	0.6057
10	1599.5	15.9	0.6215
25	1505.4	10.6	0.5762

資料來源：經濟部水利署<sup>[12]</sup>

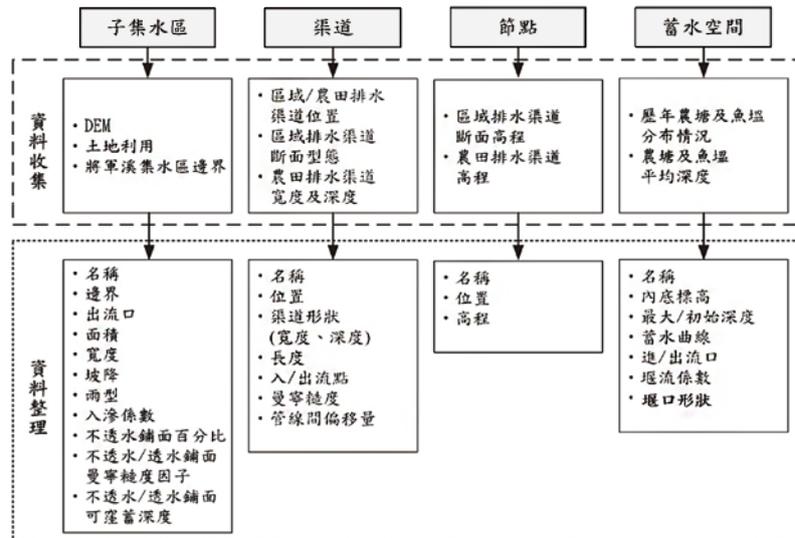


圖 8 建構 SWMM 模式需收集與整理的相關資料



(a) 使用手持雷射測距儀量測渠寬 (b) 使用雷射測距槍量測渠寬 (c) 使用 RTK 量測渠頂高程 (d) 使用 DEEPER 智能聲納探測器量測水深

圖 9 現地量測取得排水渠道断面及埤塘深度相關資料

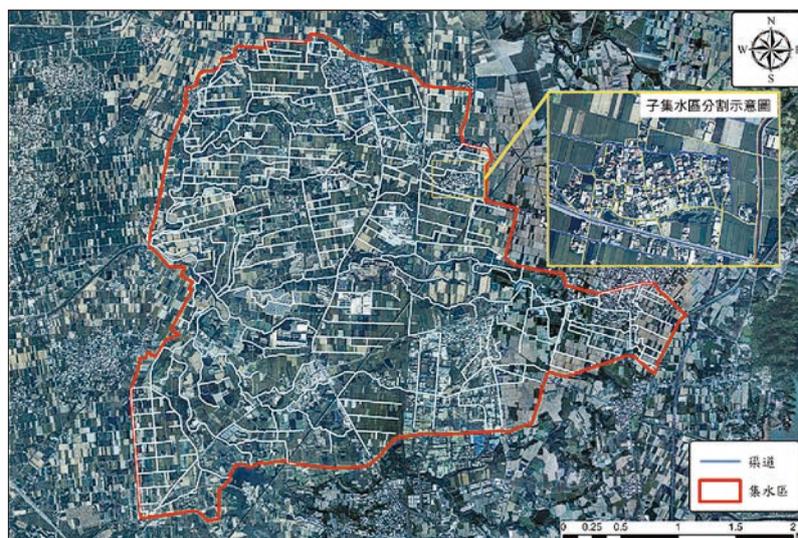


圖 10 研究區域 SWMM 模式建構完成之分析渠道網絡示意圖

## 模式驗證

### 與三角形單位歷線計算結果比較

集水區排水路規劃常以三角形單位歷線來推估集水區出口洪峰流量。三角形單位歷線假設單位時間之超滲雨量所形成的流量歷線呈三角形。本研究參考「易淹水

地區水患治理計畫—台南縣管區域排水將軍溪排水系統規劃報告」<sup>[12]</sup>，依美國水土保持局之經驗公式，洪峰流量  $Q_p$  (cms) 與集水區面積  $A$  ( $\text{km}^2$ )、超滲雨量 (mm) 及開始漲水至洪峰發生之時間  $T_p$  (hr) 之關係為：

$$Q_p = 0.208 A (R_e / T_p) \quad (2)$$

其中  $T_p = D/2 + 0.6 T_c$ ， $D$  為單位降雨延時 (hr)， $T_c$  為集流時間 (hr)，洪峰流量發生至歷線終端的时间  $T_r$  (hr) = 1.67  $T_p$ 。本研究採用加州公路局經驗公式估算集流時間<sup>[11]</sup>。將使用 SWMM 模式計算結果與三角形單位歷線模式計算結果相比較，以評估所建構 SWMM 模式的適用性。

以菁埔埤排水 5 年重現期暴雨評估結果為例，前述兩種模式所得出口處洪水歷線評估結果相近，如圖 11 所示，但是三角形單位歷線模式所得結果洪峰有延遲現象，洪峰時間差約 36 分鐘，洪峰流量略高約 5.4%。使用 SWMM 模式及三角形單位歷線模式所得菁埔埤排水出口 2 年、5 年、10 年、25 年重現期暴雨洪峰流量結果列於表 3。對於重現期愈長的暴雨，兩種模式洪峰流量評估結果的差異也愈大一些，但至多為 14.6%，在可接受範圍內。其他兩個子集水區（南廊排水及瓦瑤埤排水）也有類似的結果，顯示本研究所建構 SWMM 模式具有合理的適用性，可作為後續分析使用。

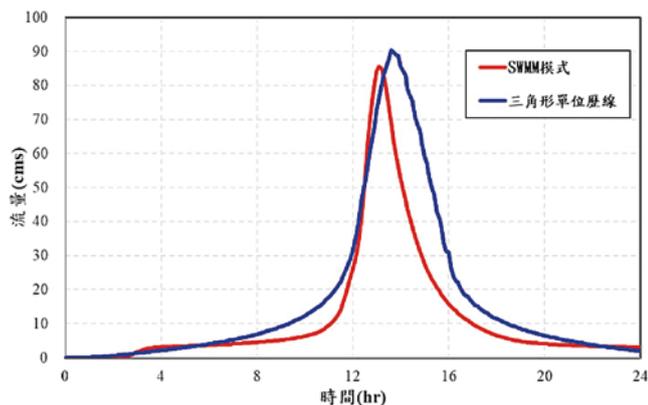


圖 11 菁埔埤排水 5 年重現期暴雨出口處洪水歷線

表 3 菁埔埤排水兩種模式所得各重現期暴雨所對應之洪峰流量

重現期 (年)	三角形單位歷線模式 (cms)	SWMM 模式 (cms)	差異百分比 (%)
2	74.8	72.10	3.6
5	90.5	85.63	5.4
10	116.9	110.32	5.6
25	135	115.35	14.6

## 溢堤位置模擬

以 2009 年 8 月莫拉克颱風暴雨淹水事件進行溢堤淹水位置模擬結果之比較。莫拉克颱風暴雨事件研究區域附近下營雨量站暴雨資料顯示最大 48 小時暴雨為 784.5 mm（發生在 2009/8/7 14:00 到 2009/8/9 14:00），最大 1 小時暴雨量約 68 mm（發生在 2009/8/8 21:00）。淹水主要發生在橋頭仔港埤及其下游處，如圖 12 所示。本研究以此暴雨資料及 2008 年埤塘分布情境，使用 SWMM 模式進行莫拉克颱風暴雨事件地表逕流模擬演算，結果顯示有多處渠段會發生溢流，發生溢流的渠段總共長度約 1,800 m，溢流渠段位置與實際淹水範圍相符，反映 SWMM 模式演算結果具有相當好的可信度，後續用此模式進行埤塘減洪效益分析。

## 應用 SWMM 模式評估埤塘減洪效果

### 埤塘分布

本研究以研究區域 2018 年相關地文條件及埤塘分布，在不同暴雨頻率及不同埤塘情境下，使用 SWMM 模式模擬評估研究區域菁埔埤排水、南廊排水及瓦瑤埤排水等三個子集水區埤塘的減洪效果。其中瓦瑤埤

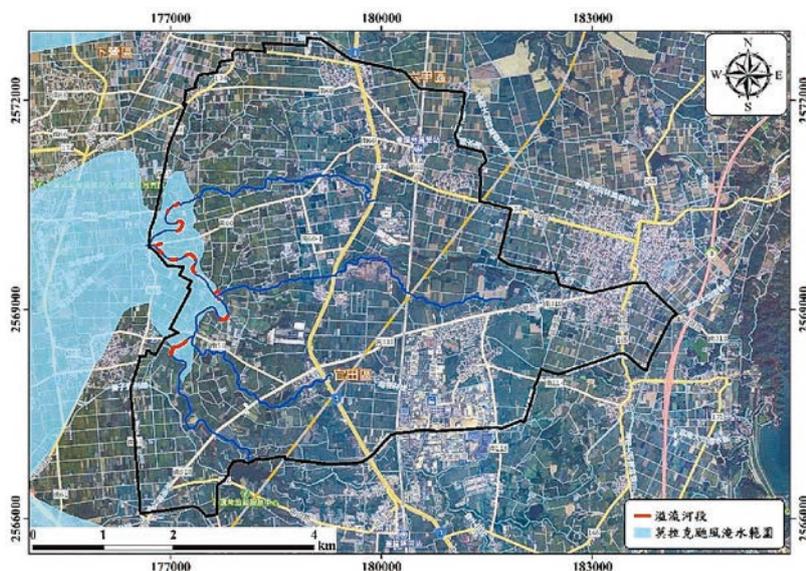


圖 12 莫拉克颱風渠道溢流淹水段模擬結果與實際淹水區域相符

排水集水區在南廊排水集水區內，因此在模擬分析南廊排水集水區時，包含瓦瑤埤排水集水區的範圍。前述三個子集水區 2018 年的魚塢及農塘分布如圖 13 及圖 14 所示，對應之面積資料列於表 4，其中埤塘面積為魚塢及農塘之合計面積。

### 埤塘不同情境下滯洪效果之比較

考量五種不同埤塘情境，使用 SWMM 模式進行集水區地表逕流模擬。方案一：假設農塘及魚塢都不用於滯洪；方案二：假設只有農塘可用於滯洪（可滯洪水深 1.0 m），但是魚塢不能用於滯洪；方案三：假設只有魚塢可用於滯洪（可滯洪水深 0.5 m），但是農塘不能用於滯洪；方案四：假設農塘及魚塢同時可用於滯洪

（可滯洪水深分別為 1.0 m 及 0.5 m）。方案五：增加埤塘（農塘及魚塢）可滯洪水深 0.5 m。模擬演算時上述方案一至方案四使用集水區 2018 年相關地文條件、土地利用情形及埤塘（農塘及魚塢）分布。以方案一的

表 4 研究區域三個子集水區 2018 年魚塢、農塘及埤塘面積統計

名稱	菁埔埤排水	南廊排水 (含瓦瑤埤排水)	瓦瑤埤排水
集水區面積 (ha)	1,050	1,940	760
魚塢面積 (ha)	61.1	132.3	70.5
魚塢佔集水區比例 (%)	5.8	6.8	9.3
農塘面積 (ha)	23.7	48.9	22.9
農塘佔集水區比例 (%)	2.3	2.5	3.0
埤塘面積 (ha)	84.8	181.2	93.4
埤塘佔集水區比例 (%)	8.1	9.3	12.3

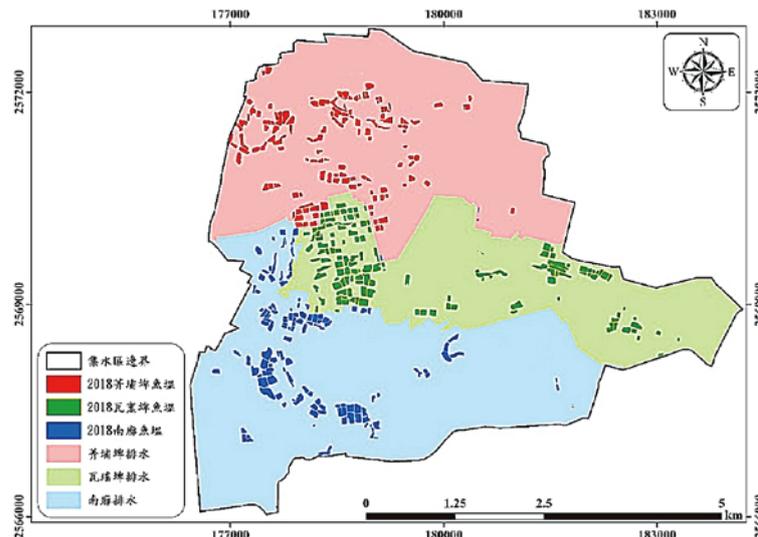


圖 13 研究區域三個子集水區 2018 年魚塢分布圖

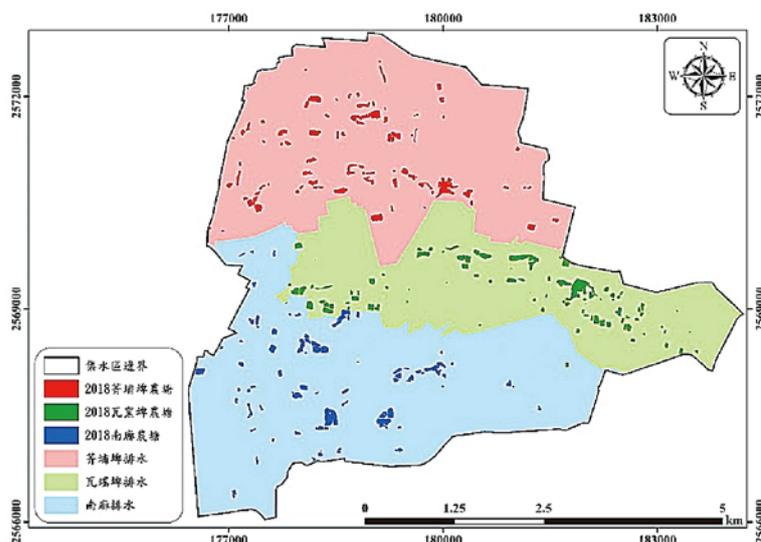


圖 14 研究區域三個子集水區 2018 年農塘分布圖

模擬結果為基礎，其他方案模擬結果進行比較，以探討埤塘（農塘及魚塭）不同情境下減洪效果。方案五為超前佈署方案，分析增加農塘與魚塭滯洪水深 0.5 m 對提升減洪效果的影響。

我國易淹水地區水患治理計畫規定以 10 年重現期洪水進行設計，並以 25 年重現期洪水不溢堤為基準。因此本研究以 25 年重現期暴雨事件為上限，進行 2 年、5 年、10 年及 25 年重現期暴雨之地表逕流模擬，暴雨延時為 24 小時。表 5 為菁埔埤排水集水區洪峰流量模擬結果彙整表。以 5 年重現期暴雨模擬結果為例，菁埔埤排水集水區在四種埤塘不同情境下之出口流量歷線，如圖 15 所示，方案一至方案四的洪峰流量分別為 85.63、67.87、75.96 及 61.19 cms；洪峰時間（hr:min）分別為 13:07、13:14、13:13 及 13:20。相較於方案一，方案二、三及四的洪峰降低量（減洪量）分別為 17.76、9.67 及 24.44 cms；對應之洪峰延遲時間

分別為 7、6 及 13 min。農塘及魚塭均有降低洪峰及延遲洪峰時間的效果，同時將農塘及魚塭同時納入滯洪功能考量（方案四）具有最佳的減洪效果。

後續說明菁埔埤排水集水區 2 年、5 年、10 年及 25 年重現期暴雨各方案之模擬結果，方案一模擬結果的洪峰流量分別為 72.10、85.63、110.32 及 115.35 cms；方案二的洪峰流量分別為 53.39、67.87、97.59 及 115.24 cms；方案三的洪峰流量分別為 60.78、75.96、100.56 及 114.77 cms；方案四的洪峰流量分別為 47.85、61.19、88.81 及 106.96 cms。相較於方案一，方案二 2 年、5 年、10 年及 25 年重現期暴雨集水區出口洪峰流量減少量分別為 18.71、17.76、12.73 及 0.11 cms；方案三的洪峰減少量分別為 11.32、9.67、9.76 及 0.58 cms；而方案四的洪峰減少量分別為 24.25、24.44、21.51 及 8.39 cms。以上結果點繪於圖 16，圖中顯示對於較大重現期暴雨，洪峰減少量較差。另外兩

表 5 菁埔埤排水集水區洪峰流量模擬結果彙整表

重現期	方案	洪峰時間 (hr:min)	洪峰延後時間 (hr:min)	洪峰流量 (cms)	洪峰減量 (cms)	洪峰減量比例 (%)
2 年	一	13:12	-	72.10	-	-
	二	13:24	00:12	53.39	18.71	26.0
	三	13:19	00:07	60.78	11.32	15.7
	四	13:26	00:14	47.85	24.25	33.6
5 年	一	13:07	-	85.63	-	-
	二	13:14	00:07	67.87	17.76	20.7
	三	13:13	00:06	75.96	9.67	11.3
	四	13:20	00:13	61.19	24.44	28.5
10 年	一	13:02	-	110.32	-	-
	二	13:06	00:04	97.59	12.73	11.5
	三	13:03	00:01	100.56	9.76	8.8
	四	13:10	00:08	88.81	21.51	19.5
25 年	一	13:45	-	115.35	-	-
	二	13:01	00:16	115.24	0.11	0.1
	三	13:00	00:15	114.77	0.58	0.5
	四	13:03	00:18	106.96	8.39	7.3

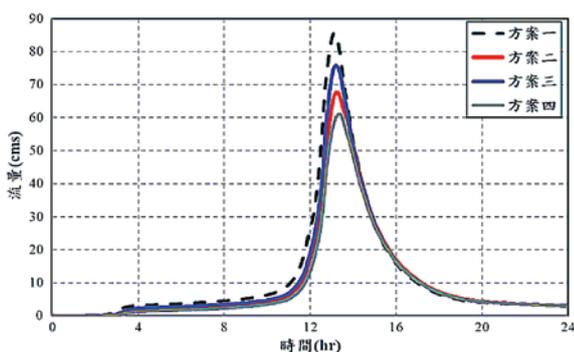


圖 15 比較菁埔埤排水 5 年重現期暴雨四種埤塘方案之模擬結果

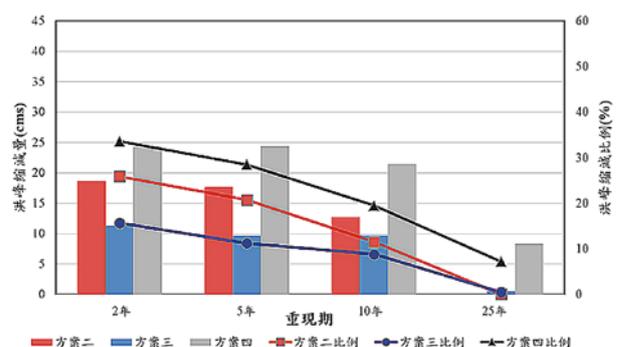


圖 16 菁埔埤排水方案二、三及四相較於方案一的洪峰縮減量

個集水區（瓦瑤埤排水集水區及南廊排水集水區）的模擬結果也得到相似之結果，如圖 17 及圖 18 所示。

對於 2 年、5 年、10 年及 25 年不同重現期暴雨，在農塘及魚塢同時可用於滯洪的情況（方案四），相較於完全沒有農塘及魚塢協助滯洪的情況（方案一），菁埔埤排水集水區的洪峰縮減比例為 33.6%、28.5%、19.5% 及 7.3%；南廊排水集水區洪峰縮減比例為 38.1%、30.3%、26.6% 及 18.8%；瓦瑤埤排水集水區洪峰縮減比例為 50.9%、43.6%、40.6% 及 30.0%。由結果可以看出，洪峰縮減比例與暴雨重現期呈相反趨勢（圖 19），也與埤塘（農塘及魚塢）在集水區分布及埤塘面積比有關，當埤塘面積佔集水區比例愈高，減洪

效果愈顯著。菁埔埤排水、南廊排水及瓦瑤埤排水三個子集水區埤塘面積佔集水區比例分別為 8.1%、9.3% 及 12.3%，所以就減洪量比例而言，菁埔埤排水集水區 < 南廊排水集水區 < 瓦瑤埤排水集水區。

此外，就上述 2 年與 25 年重現期暴雨所對應之洪峰流量縮減比例的差異來看，菁埔埤排水集水區為 26.3%，南廊排水集水區為 19.3%，瓦瑤埤排水集水區為 20.9%，如圖 17 所示。洪峰縮減量受限於到暴雨峰值到達前埤塘是否已經被水填滿，若埤塘已被雨水填滿那就沒有滯洪效果，其下游渠道的洪峰就不會得到縮減。當暴雨強度增加（高重現期暴雨）洪峰縮減效果會降低，因為高強度暴雨，部分較小面積的埤塘在暴雨峰值來臨前就已被填滿。比較魚塢與農塘的減洪效果，發現魚塢的面積較農塘大，但是魚塢洪峰縮減量較農塘小，其原因為魚塢需長期保持高水位，可滯洪深度較少（本研究假設魚塢及農塘可滯洪水深分別為 0.5 m 及 1.0 m）。

### 增加埤塘滯洪能力提升減洪效果分析

接下來進行為防災超前佈署方案，方案五：農塘與魚塢在暴雨事件前提前排水，增加可滯洪蓄水深度 0.5 m，即將方案四中的農塘與魚塢可滯洪水深分別改為 1.5 m 及 1.0 m，再進行地表逕流模擬，以探討提升埤塘蓄洪能力對集水區出流減洪的效果。以菁埔埤排水集水區 5 年重現期暴雨方案一、四及五的模擬結果為例（圖 20），提升埤塘滯洪能力（方案五）對集水區出流的減洪效果相當顯著。原方案四的 5 年重現期洪峰流量為 61.19 cms（相較於方案一的洪峰減量為 24.44 cms，減量比例為 28.5%），方案五的洪峰流量降為 51.30 cms（相較於方案一的洪峰減量為 34.33 cms，減洪量比例為 40.1%）。也就是說，方案五增加減洪量為 9.89 cms（增加減洪量比例為 11.6%）。表 6 為菁埔埤排水集水區方案一、四及五洪峰流量模擬結果的彙整表。表 5 顯示相較於方案一，方案四及五洪峰到達時間沒有顯著差異；對於 2 年、5 年、10 年及 25 年不同重現期暴雨，方案四及五減洪量及減洪量比例如圖 21 所示。相較於方案四，方案五減洪量增量（減洪量比例增量）分別為 10.77 cms（15.0%）、9.89 cms（11.6%）、17.61 cms（16.0%）及 20.34 cms（17.9%）。另外兩個集水區（瓦瑤埤排水集水區及南廊排水集水區）的模

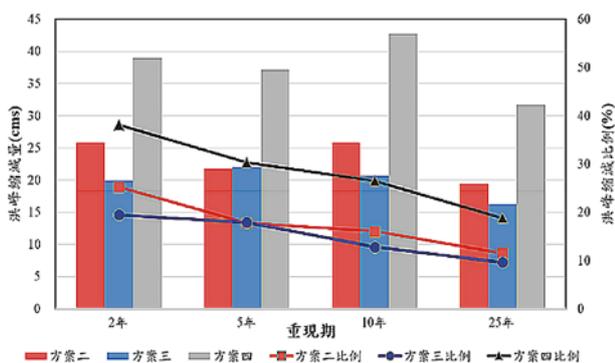


圖 17 南廊排水方案二、三及四相較於方案一的洪峰縮減量

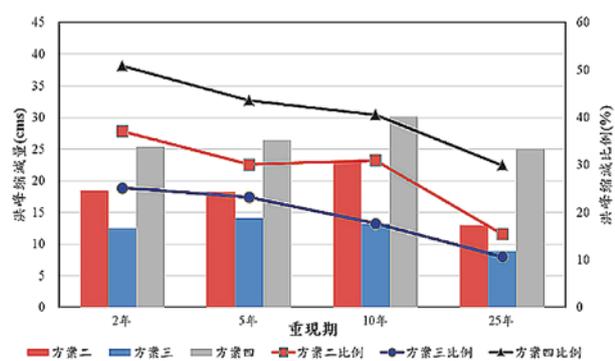


圖 18 瓦瑤埤排水方案二、三及四相較於方案一的洪峰縮減量

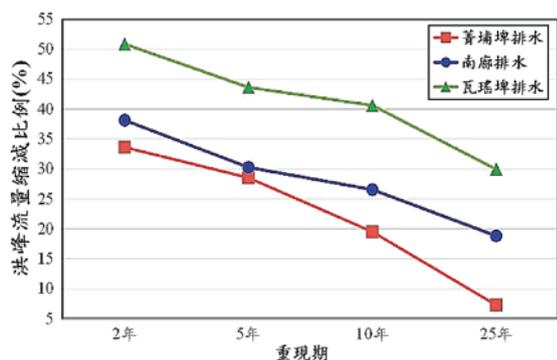


圖 19 方案四相對於方案一之三個子集水區洪峰流量縮減比例

表 6 菁埔埤排水集水區三種方案洪峰流量模擬結果彙整表

重現期	方案	洪峰時間 (hr:min)	洪峰延後時間 (hr:min)	洪峰流量 (cms)	洪峰減量 (cms)	洪峰減量比例 (%)
2 年	一	13:12	-	72.10	-	-
	四	13:26	00:14	47.85	24.25	33.6
	五	13:24	00:12	37.08	35.02	48.6
5 年	一	13:07	-	85.63	-	-
	四	13:20	00:13	61.19	24.44	28.5
	五	13:21	00:14	51.30	34.33	40.1
10 年	一	13:02	-	110.32	-	-
	四	13:10	00:08	88.81	21.51	19.5
	五	13:10	00:08	71.20	39.12	35.5
25 年	一	13:45	-	115.35	-	-
	四	13:03	00:18	106.96	8.39	7.3
	五	13:04	00:19	86.62	28.73	24.9

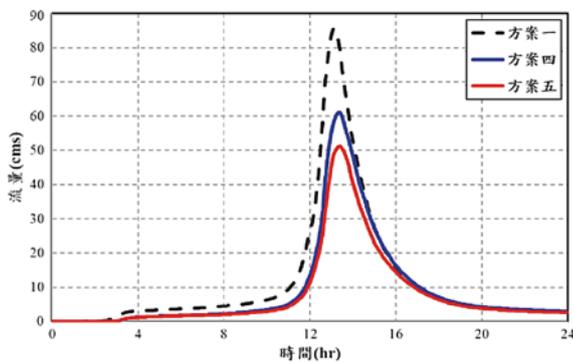


圖 20 菁埔埤排水集水區 5 年重現期暴雨三種方案流量歷線之比較

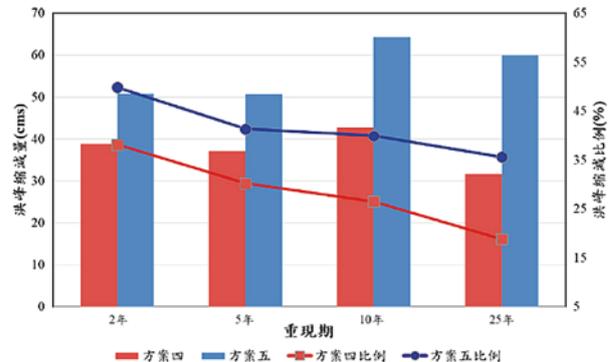


圖 22 南廊排水方案四及五的減洪效果比較

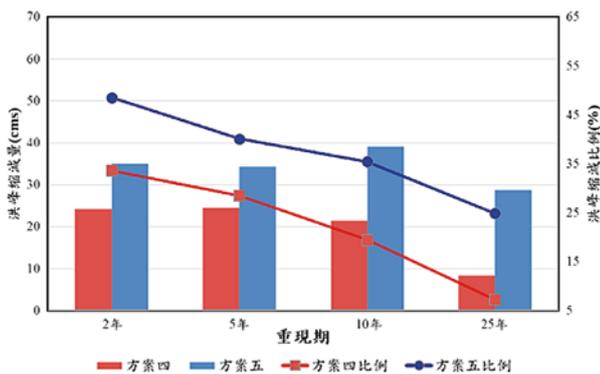


圖 21 菁埔埤排水方案四及五的減洪效果之比較

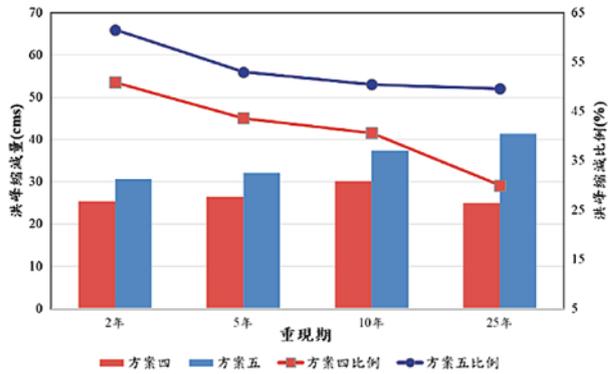


圖 23 瓦瑤埤排水方案四及五的減洪效果比較

擬結果也得到相似之結果，如圖 22 及圖 23 所示。模擬結果顯示提升埤塘蓄洪能力（方案五）可以大幅提升減洪效果，提升效果除了與暴雨頻率（重現期）有關之外，也與集水區及其埤塘特性有關。

### 結論與建議

本研究以台南橋頭港橋上游集水區為研究區域，探討集水區內埤塘（農塘及魚塢）的變遷及滯洪效果。研究區域包含菁埔埤排水、南廊排水及瓦瑤埤排水等 3

個子集水區，其中瓦瑤埤排水集水區包含在南廊排水集水區內。使用 SWMM 模式分析此 3 個子集水區在 5 種情境（方案一至方案五）及 4 種重現期暴雨（2 年、5 年、10 年及 25 年）條件下埤塘的減洪效果。所得結論與建議說明如下：

1. 圖資收集與判識的結果顯示研究區域在 1904、1921、1944、1955、1999、2008 及 2018 等 7 個年度的面積分別為 204.29、164.14、150.67、165.34、290.28、343.89 及 275.86 公頃。前 4 個年

度(1904~1955)埤塘面積的變化不大,但隨著人口增加,農業及養殖業的發展,埤塘面積遽增,1955年至2008年埤塘面積由165.34公頃增加到343.89公頃(一倍有餘)。後續經濟發展轉型,農業及養殖較為疲弱,2018年埤塘面積降為275.86公頃(低於1999年面積),相較於2008年,這10年間埤塘面積減少約19.8%。

- 在2018年菁埔埤排水、南廊排水、瓦瑤埤排水等三個子集水區的埤塘面積(佔其集水區面積比例)分別為84.8公頃(8.1%)、181.2公頃(9.3%)及181.2公頃(12.3%),其中魚塢(農塘)佔其集水區面積比例分別為5.8%(2.3%)、6.8%(2.5%)及9.3%(3.0%)。這三個子集水區魚塢面積約是農塘面積的2.5、2.7及3.1倍。
- 以2018年地文條件及埤塘分布為基礎,SWMM模式模擬結果,相較於方案一(假設埤塘沒有滯洪功能),埤塘(方案四)對菁埔埤排水、南廊排水及瓦瑤埤排水等三個集水區減洪效果,以2年重現期暴雨為例,分別為34%、38%及51%;以25年重現期暴雨為例,分別為7%、19%及30%。埤塘具有顯著減洪效果,減洪效果與集水區及其埤塘特性有關;對於較小重現期暴雨,埤塘減洪效率更顯著。
- 超前佈署方案(方案五),暴雨前先提升埤塘滯洪能力0.5 m,模擬結果顯示對於2年、5年、10年及25年重現期暴雨,超前佈署方案可增加菁埔埤排水的減洪率分別為15.0%、11.6%、16.0%及17.6%;可增加南廊排水的減洪率分別為11.8%、11.1%、13.4%及16.9%;可增加瓦瑤埤排水的減洪率分別為10.6%、9.4%、9.9%及19.6%,其中以25年重現期暴雨事件的減洪增加率最多。
- 提升埤塘面積或滯洪水深可顯著降低洪峰及淹水風險。反之,降低埤塘面積或可滯洪水深將會導致洪峰增大及增加淹水風險。土地開發利用規劃時,除要評估埤塘生產、生態及生活等三生功能外,更要重視埤塘的滯洪減災功能。此外,集水區埤塘的演變和滯洪效果受到多種因素的影響,隨著氣候變化和人類活動的持續影響,未來埤塘的演變和滯洪效果也將面臨更大的挑戰,需要綜合分析和有效管理加以應對。

## 誌謝

本研究承蒙國立成功大學「在地實踐社會責任計畫」及「水土保持生態工程研究中心」的支持,順利完成研究區域環境、埤塘、土地利用、渠道及相關水利設施等相關資料的收集彙整及現地調查工作,並依據收集及現地調查資料完成後續模擬分析之工作,特此誌謝。

## 參考文獻

- 林玲珠(2013),「因應氣候變遷應致力埤塘復育」,財團法人國家政策研究基金會。
- 郭櫻慧(2015),「臺北市南港三大埤塘的變遷探究」,臺北市立大學歷史與地理學系社會科教學碩士學位班碩士論文。
- 方偉達(2015),「埤塘濕地歷史變遷管理數位模式之探討」,濕地學刊,第4卷,第1期。
- 閻克勤、蔡宜穎、紀思寧(2014),「影響桃園市埤塘土地利用變遷因素之研究」,建築與規劃學報,第15卷,第2/3期,第193-214頁。
- 林暉淳(2015),「遙測影像應用於桃園地區埤塘之變遷分析」,國立臺灣大學生物環境系統工程學研究所碩士論文(指導教授:鄭克聲)。
- 洪佳瑩(2006),「桃園地區人工埤池對水資源輔助之分析研究」,國立中央大學水文科學研究所碩士論文(指導教授:李明旭)。
- 翁國豪(2015),「不同土地利用型態滯洪空間效益之探討—以濁水溪下游集水區為例」,銘傳大學都市規劃與防災學系碩士論文(指導教授:吳杰穎)。
- Gironás, J., Roesner, L.A., Davis, J. Davis (2009). "Stormwater Management Model Application Manual." U.S. Environmental Protection Agency.
- 張向寬、權順忠、賴進松、譚義績(2013),「魚塢區域之排洪特性與防止溢堤方案」,農業工程學報,第59卷第1期,第15-25頁。
- Kim, H.D., Kim, J.T., Nam, W.H., Kim, S.J., Choi, J.Y., and Koh, B.S. (2016). "Irrigation canal network flow analysis by a hydraulic model." Irrigation and Drainage (65), 57-65.
- 侯佳秀(2020),「應用SWMM模式分析埤塘對集水區地表逕流影響之研究—以台南橋頭港橋上游集水區為例」,國立成功大學水利及海洋工程學系碩士論文(指導教授:詹錢登)。
- 經濟部水利署(2009),「易淹水地區水患治理計畫—台南縣管區域排水將軍溪排水系統規劃報告」,水利規劃試驗所。

## 歡迎加入學會



www.ciche.org.tw

下載入會申請書



中國土木水利工程學會  
CIVIL AND HYDRAULIC ENGINEERING

e-mail: service@ciche.org.tw

電話: (02) 2392-6325

傳真: (02) 2396-4260