

應用 SWMM 模式模擬氣候變遷下滯洪池規劃區位與滯洪量體變化量之研究

王與新⁽¹⁾ 吳俊毅⁽²⁾

摘 要

受極端氣候影響，近年來暴雨事件之特性為強度大且集中，屢創各雨量站之歷史紀錄；此外，隨著經濟產業快速發展，都市範圍日益擴張及集水區土地高度開發利用，造成地表逕流增加，既有水路負荷量增加，致低窪地區易受淹水威脅。本文應用 SWMM 模式模擬二種滯洪池規劃方案，結合氣候變遷條件，探討開發前及開發後同屬 RCP8.5 情境下滯洪池需求量體變化，並檢討現行滯洪池設計之安全係數是否適用。結果顯示，如現階段設置滯洪池欲滿足開發後 RCP8.5 情境下雨量變化率百分位 50% 之情形，則滯洪池之安全係數採用 1.3 倍較佳。如依據開發前及開發後同屬 RCP8.5 情境下設計暴雨改變率推估，得出 1.2 倍安全係數設計之滯洪池，面對氣候變遷仍具一定承洪能力。

(**關鍵詞**：SWMM、出流管制、SCS-CN、RCP8.5)

Study on the Planning Location and Changes in Detention Volume of Detention Ponds under Climate Change Using the SWMM Model

Yu-Hsin Wang⁽¹⁾ Chun-Yi Wu⁽²⁾

Master ⁽¹⁾, Associate Professor⁽²⁾, Department of Soil and Water Conservation,

National Chung-Hsing University, Taichung, Taiwan 402, R.O.C.

ABSTRACT

Under the influence of extreme climate events, historical rainfall records at various stations have been repeatedly broken. Additionally, with the rapid development of the economy and industries, the expansion of urban areas and the intensive land use within watersheds have resulted in increased surface runoff, thereby overburdening existing drainage systems and exacerbating the flood risk in low-lying areas. In this paper, applies the SWMM to simulate two types of detention pond planning schemes, and combined with climate change conditions, the changes in the demand of detention ponds under the

(1)國立中興大學水土保持學系 碩士

(2)國立中興大學水土保持學系 副教授(通訊作者 e-mail: cywu@nchu.edu.tw)

RCP8.5 scenario before and after development are discussed, and whether the safety factor of the current detention tank design is applicable is reviewed. The study also reviews whether the current safety factor used in detention pond design is still applicable. The results indicate that, at the current stage, in order to design a detention basin that satisfies the 50th percentile rainfall change under the RCP8.5 scenario post-development, it is recommended to adopt a safety factor of 1.3 for optimal performance. Based on the projected design storm change rates under the same RCP8.5 scenario before and after development, a detention basin designed with a safety factor of 1.2 would still provide sufficient flood mitigation capacity to address the risks posed by climate change.

(Key Words : runoff control ,SWMM, SCS-CN, RCP8.5)

前言

世界各地受極端氣候影響，暴雨事件之特性為強度大且集中，屢創各雨量站之歷史紀錄，水患機率提高。此外，隨著經濟產業快速發展，都市範圍日益擴張及集水區土地高度開發利用，市郊地區相繼轉為工業及住宅用地，農業經營型態轉型為精緻農業，因而改變原有之地文與水文條件，地表逕流增加，集流時間縮短，既有水路負荷量增加，致低窪地區易受淹水威脅。

出流管制之理念為，將土地開發行為所致增加洪峰流量滯蓄於開發區內，且不得轉移淹水至他處，以避免提高開發區下游及周遭的淹水潛勢。依據「出流管制計畫書與規劃書檢核基準及洪峰流量計算方法」(經濟部水利署，2019)，進行規劃評估及設計，滿足研究區開發後排水出流 2 年、5 年及 10 年重現期距之洪峰流量依序應分別不大於開發前 2 年、5 年及 10 年重現期距之洪峰流量，並訂定出流管制量。減洪設施以設計滯洪池形式，設計滯洪池之安全係數為 1.2。此外，研究區開發後 10 年重現期距之排水出流洪峰流量不得造成聯外排水路溢流或人孔冒水。

賴明倫(2015)以小集水區之兩案例評估

適合於出流管制或逕流分擔理念，擇定最佳之治洪池配置分式，以達成減災防洪之目標。

林秀芳(2012)為有效改善洋子厝溪區域排水問題，訂定綜合治水方式，以有效降低洪水及災害。考量以往淹水分析時多使用一維淹水模式，其成效不理想，故以合理化公式、三角單位歷線法及 SCS 三角形單位歷線法推求洪峰流量之合理性。最終因 SCS-CN 曲線法以實際土地利用情境下，搭配土壤分類型態估算曲線號碼(CN 值)，得出有效降雨量(P_e)，較能充分反映實際之地表逕量，故採用以 SCS 三角形單位歷線法推估洪峰流量，並藉由 SOBEK 二維淹水模式(WL Delft Hydraulics, 2001)演算淹水之分布。

曾雪芬(2015)為研究淹水熱點區位，以 SCS-CN 曲線法依據開發前及開發後之平均 CN 值計算，考量開發後增加大量不透水鋪面，造成地表逕流量增加，需評估最優滯蓄區位，以收集增加之地表逕流。搭配 DEM 劃分滯蓄區位及蓄水容量，將重點滯蓄區位規畫為公共設施保留地，優先進行營造，既可於暴雨期間蓄洪洪水量，亦可做為補助地下水、遊憩及農用等用途，以提升山坡地整治成效。

林志儒(2016)為探討土地利用變遷與氣

候變遷對水文通量之影響，以 CLUE-s 模式 (Verburg et al., 2004) 模擬未來土地利用變遷之情形，結合臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)所提供之氣候變遷情境，最終以 SWAT 水文模式(Gassman et al., 2007)估算水量。結果顯示氣候變遷對鳳山溪流域的蒸發散量有較為顯著的影響，在流量方面則為氣候變遷與土地利用變遷交互作用之影響；土地利用的分布情形確實會對鳳山溪流域之地表逕流造成影響，但其影響力相對於土地利用的面積變化影響較小。氣候變遷對鳳山溪流域之地表流造成之影響在各情境之間在近未來的變化趨勢並不明顯。

徐筱婷(2014)為解決都市化造成之洪水問題，故考量設置透水性鋪面，增加其土壤之入滲，以減緩地表逕流量，透過 SWMM 模式模擬不同鋪面之洪峰流量。分析成果發現天然土壤>停車格植草磚鋪面>停車間格連鎖磚>車道連鎖磚之成效，若將現場改為不透水鋪面之停車場，則出流體積將增加 15%、洪峰流量增加 10%。此外，以 SWMM 模式模擬單一子集水區納入 LID 模組，可有效減緩出流量體及洪峰流量，並針對低重現期距暴雨量(一、二、五年)可削減至少 10%之出流量體。

本研究根據研究區開發前、後因土地利用變化，搭配美國土壤保持局 (Soil Conservation Service, SCS) 之 CN 方法推估降雨事件超滲逕流，設計規劃滯洪池區位以符合出流管制精神，並應用 SWMM 模式模擬滯洪池需求量體。依據氣候變遷情境條件，以不同滯洪池區位，並採用不同雨量改變率，分析開發區滯洪池之需求量體變化情形。

研究區域與研究材料

1. 研究區概述

本研究區位於臺中市大平霧都市計畫區內之西側，屬於霧峰區坑口里，南側接育德路，西側接中正路，北側臨牛欄貢溪排水，面積達 0.52 公頃，如圖 1 所示。區內地勢平坦，整體地勢呈南向北傾斜。研究區重要聯外道路為省道台 3 線，可由霧峰交流道銜接國道 3 號。

地形高程依據內政部 98 年「高精度及高解析度數值地形模型測製工作」之 5m×5m 數值資料 (DEM)，研究樣區高程介於 EL.+ 55.23 ~ + 56.78 公尺。



圖1 研究區域

2. 雨量資料

雨量資料除可採用經濟部水利署公開之時雨量值，統計年限自 1949-2024 年，如研究區鄰近區域已有經濟部水利署核定之相關規劃報告，亦可參考採用。本研究蒐集並參考「臺中縣管區域排水乾溪排水系統治理規劃報告」(經濟部水利署第三河川局，2009)，研究區係位於臺中市管區域排水乾溪排水系統集水區範圍內，故可採用其水文分析內容之各重現期距暴雨量成果。2 年、5 年及 10 年重現期距一日降雨量分別達到 149.8、219.5 及

273.2 毫米，利用經濟部水利署草屯(4)站 1 日到 173.8、254.6 及 316.9 毫米，如表 1 所示。轉 24 小時之轉換係數為 1.16 進行計算，2 年、5 年及 10 年重現期距 24 小時降雨量分別達

表1 本研究各重現期距 24 小時暴雨量表

分析方式	各重現期距						備註
	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年	
一日	149.8	219.5	273.2	350.4	415	486.2	—
一日轉 24 小時	173.8	254.6	316.9	406.5	481.4	564.0	採用

註：原規劃為「臺中縣管區域排水乾溪排水系統治理規劃報告」(經濟部水利署第三河川局，2009)

3. 土壤資料

參考農業部農業試驗所土壤資料供應查詢平台，本研究區區域土類屬砂頁岩非石灰性新沖積土。研究區於 111 年 7 月 30~31 日進行鑽探，鑽孔編號 AH-3 鑽探深度 10 公尺，經鑽探成果顯示研究區地質屬沖積層，土壤地質組成由地表往下分別為回填層及黏土層粉質土等 2 種，地表層土壤為 B 類，區域土類及鑽探土壤圖詳圖 2 (張景明，2022)。

4. 土地利用

開發前根據內政部國土測繪中心之土地利用調查成果，主要為農業使用、溝渠使用、臨時性商業及雜林草地等，搭配實測土壤鑽探成果並對應之土壤分類，計算開發前 CN 值；



圖2 區域土類及鑽探土壤圖土地利用資料

開發後則以臺中市大平霧地區都市細部計畫之土地利用分區，主要為住宅區、廣場兼停車場及溝渠使用等，搭配實測土壤鑽探資料，計算開發後之 CN 值；開發前、後土地利用圖詳圖 3 所示。

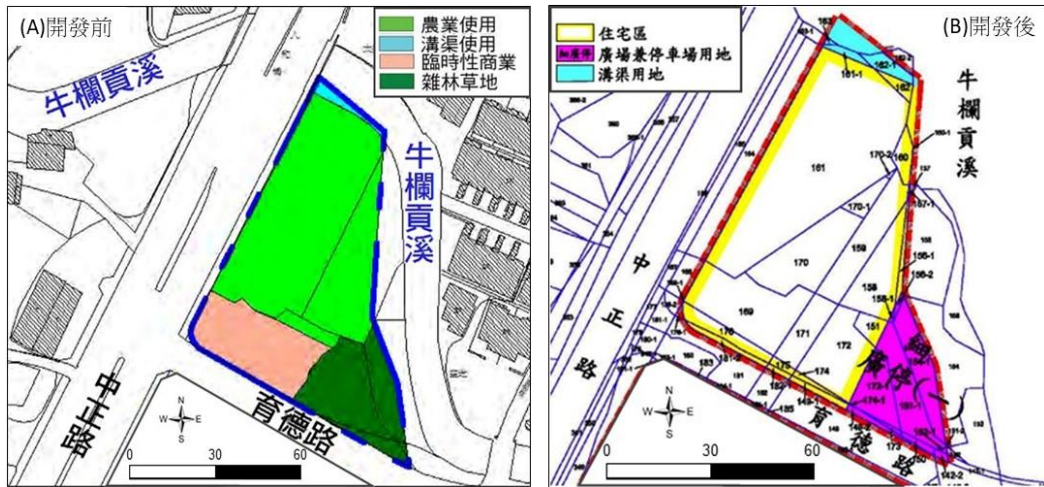


圖3 開發前、後土地利用圖

研究方法

本研究針對育和重劃區案例進行探討，以出流管制方式分析為主，並以 SWMM 模式模擬滯洪需求水量體成果。基本資料分為水文資料及土地資料等 2 種。水文資料包含雨量及外水位資料，雨量資料以暴雨頻率分析結果評估現況開發後滯洪需求水量體。氣候變遷條件下(RCP8.5)之設計暴雨改變率，則為評估氣候變遷後之滯洪需求水量體；外水位資料為 SWMM 模式之邊界條件。土地資料包含土壤、土地利用及 DEM。以 SCS-CN 法結合土壤及土地利用因素，計算開發前、後之 CN 值。藉由 DEM 資料設計本次規劃之滯洪池區位及入流管線之高程。依上述基本資料，針對本次二種滯洪池規劃方案，分別以出流管制洪峰流量計算，搭配 SWMM 模式，建立本研究區設置之滯洪池及入流系統，進而推求開發後之滯洪需求量。此外以 SWMM 模式探討氣候變遷時，原設計滯洪量體變化量，評估滯洪池安全係數是否可承受氣候變遷變化。並針對開發前及開發後同屬 RCP8.5 情境下滯洪池需求水量體變化，檢討現行訂定滯洪池設計之安

全係數是否適用，流程圖如圖 4。

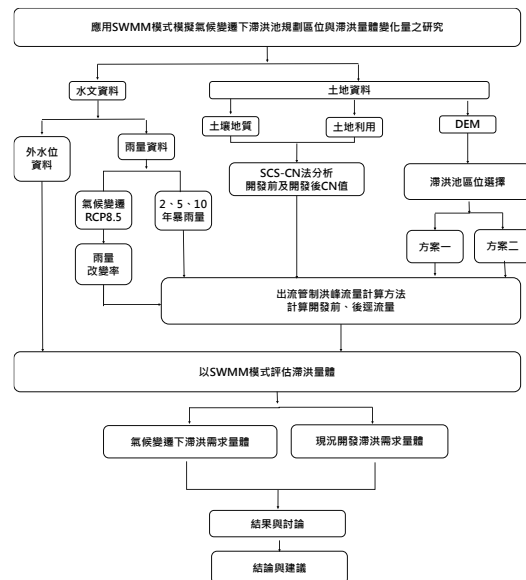


圖4 研究流程圖

1. 滯洪池設計區位

方案一，考量集水區內地形最低處，屬集水區北處之區位，即為以地形設置滯洪池之最佳選擇。方案二，考量土地利用分類，以廣場兼停車場之分區，位在研究區南側，即為以土地利用設置滯洪池之最佳選擇，詳圖 5 (王與新，2024)。

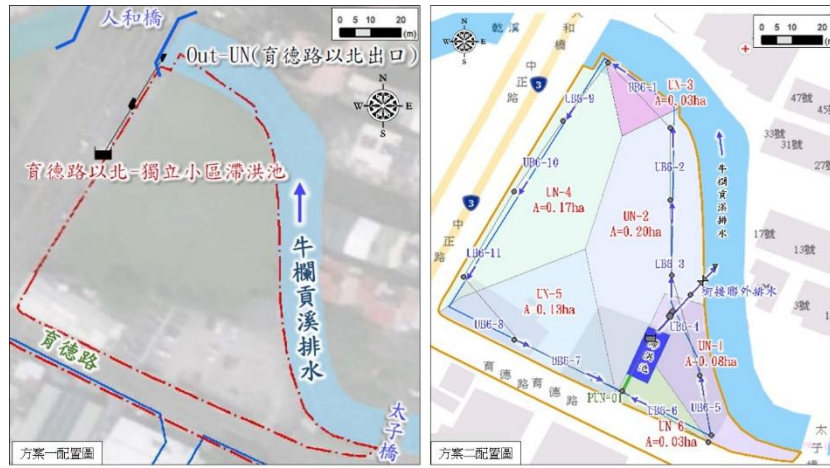


圖5 方案一、二配置圖

2. 有效降雨量

為考慮降雨損失以求出有效降雨量，降雨損失計算以 SCS 之曲線編號法(Curve Number，簡稱 CN)分別依開發區內之土壤性質分類及土地利用型態(經濟部水利署水利規劃試驗所，2010)進行計算，如式(1)、(2)

$$P_e = \frac{(P-0.2Y)^2}{P+0.8Y} \dots\dots\dots(1)$$

$$Y = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \dots\dots\dots(2)$$

其中， P_e 為有效降雨量(毫米)， P 為降雨量(毫米)， Y 為集水區最大蓄水量(毫米)， CN 為曲線編號(詳表 2)。其中 Y 值必須根據各土地利用類別所占面積百分比乘以各類別 CN 值後計算之。

3. 集流時間分析

開發前集流時間(T_c)係指降雨落下之雨滴，自集水區最偏遠處到達某指定位置(通常是指水文控制點)所需花費的時間，一般為流入時間(漫地流階段)與流下時間(渠流階段)之

和，其影響研究區開發前、後之洪峰流量計算。集流時間小於 10 分鐘者，以 10 分鐘計(依據「出流管制計畫書與規劃書檢核基準及洪峰流量計算方法」(經濟部水利署，2019))，集流時間計算公式如下：

$$T_c = T_1 + T_2 \dots\dots\dots(3)$$

式中， T_c 為集流時間(小時)， T_1 為流入時間(小時)， T_2 為流下時間(小時)。

依據「出流管制計畫書與規劃書檢核基準及洪峰流量計算方法」(經濟部水利署，2019)，研究區屬漫流型態者，流入時間 T_1 採 SCS 集流時間公式計算：

$$T_1 = L^{0.8} \times \frac{(Y+25.4)^{0.7}}{4238 \times H^{0.5}} \dots\dots\dots(4)$$

式中， L 為漫地流流動長度(公尺)， Y 為集水區最大蓄水量(毫米)， H 為集水區地表平均坡度(%)。

表2 SCS 曲線編號法

SCS 分類	土地利用情形	土壤分類			
		A	B	C	D
	耕地：				
1	無保護措施	72	81	88	91
2	有保護措施	62	78	78	81
	牧草地或放牧地：				
3	不良情況	68	79	86	89
4	良好情況	39	61	74	80
5	草地：良好情況	30	58	71	78
	森林：				
6	稀疏、少覆蓋、無覆蓋物	45	66	77	83
7	良好覆蓋	25	55	70	77
	空地、林間空地、公園、高爾夫球場、墓地等：				
8	良好情況：草地覆蓋超過 75%面積	39	61	74	80
9	稍好情況：草地覆蓋 50%至 75%面積	49	69	79	84
10	商業區(85%面積不透水)	89	92	94	95
11	工業區(72%面積不透水)	81	88	91	93
	住宅：平均每塊建地大小	平 均			
	不透水面積				
12	≤1/8 英畝 65%	506 平方公尺	77	85	90
13	1/4 英畝	1,012 平方公尺	61	75	83
14	1/3 英畝	1,349 平方公尺	57	72	81
15	1/2 英畝	2,024 平方公尺	54	70	80
16	1 英畝	4,047 平方公尺	51	68	79
17	鋪石(混凝土或柏油)停車場、屋頂、道路等	98	98	98	98
18	街道	98	98	98	98
19	鋪石(混凝土或柏油)道路及雨水下水道	76	85	89	91
20	碎石道路及泥土道路	72	82	87	89
21	水體	98	98	98	98

資料來源：USACE, 2000。

4. 開發前後洪峰流量計算分析

為計算本研究區範圍在開發前、後排水逕流量之變化，參考「出流管制計畫書與規劃書檢核基準及洪峰流量計算方法」(經濟部水利署，2019)進行分析，主要係利用 SCS 無因次單位歷線之時間與洪峰到達時間比、流量與洪峰流量比，以集水區單位歷線之洪峰流量及洪峰到達時間轉換成單位歷線，如公式(5)~(8)。

$$T_p = \frac{T_r}{2} + T_{log} \dots \dots \dots (5)$$

$$T_{log} = 0.6 \times T_c \dots \dots \dots (6)$$

$$T_b = 2.67 + T_p \dots \dots \dots (7)$$

$$Q_p = \frac{0.208 \times A \times P_e}{T_p} \dots \dots \dots (8)$$

其中， T_{log} 為洪峰稽延時間(小時)， T_c 為集流時間(小時)， T_p 洪峰到達時間(小時)， T_r 單位降雨延時(小時)，採 1/6 小時(10 分鐘)， T_b 為逕流歷線基期(小時)， Q_p 為洪峰流量(秒立方公尺)， A 為集水區面積(平方公里)， P_e 為有效降雨量(毫米)。

5. 出流管制量(Q_a)訂定

為評估開發前、後及滯洪設施設置後之效果，需選擇適當檢核點以進行開發前、後洪峰流量變化檢算。此外，考量開發後 10 年重現期距之排水出流洪峰流量不得造成聯外排水路溢流或人孔冒水，在訂定出流管制量(Q_a)時，亦須通盤考量聯外排水路之流量承受能力。

6. SWMM 模式

SWMM(Lewis et al., 2022)為美國環保署公開發行應用於暴雨逕流管理之軟體，係於1971年首次發行，隨後歷經多次的重大修定及升級，其除可模擬集水區或都市內因雨量衍生逕流量對排水系統所衍生之水量變化的現象，亦可模擬其所衍生之水質變化現象。

模式上游邊界為雨水流入計畫區造成逕流量之值，下游邊界條件則是由計畫區邊界流入下游任一河川、排水、側溝、海洋等任一情形，本計畫實際上、下游邊界採用說明如下：方案一，由於無需設計水路等收集系統，故以入流量歷線輸入滯洪池，作為本計畫之上游邊界條件。由於研究區下游本身已有流體，故下游邊界排出點，以聯外排水之外水位歷線為下游邊界條件。另外，因受地形影響，滯洪池之水無法以重力流排放，故以抽水機動力抽排，出流量即以動力抽排量進行設定。方案二，由於需設計水路收集系統匯入滯洪池，故以入流量歷線輸入至上游集水井，作為本計畫之上游邊界條件。下游邊界同方案一情形，以聯外排水之外水位歷線為下游邊界條件。且同樣以抽水機動力抽排排出，出流量以動力抽排量進行設定。二方案藉由此模式進行滯洪體積需求演算及檢核。

7. 氣候變遷情境

在 IPCC 第五次評估報告中，是以「代表濃度途徑」(途徑所指的是濃度的變化歷程)來重新定義四組未來變遷的情境，並以輻射強迫力(radiative forcing)在2100年與1750年之間的差異量當作指標性的數值來區分之。共分為四種情境，依序為 RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5。RCP2.6 的情境意味著每

平方公尺的輻射強迫力在2100年增加了2.6瓦，而 RCP4.5、RCP6.0 及 RCP8.5 則代表每平方公尺的輻射強迫力分別增加了4.5、6.0 與8.5 瓦。四種情境中，RCP2.6 屬暖化減緩的情境；RCP4.5 及 RCP6.0 屬於穩定的情境；RCP8.5 屬溫室氣體高度排放的情境(臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台，2024)

8. RCP 情境滯洪量體變化量分析

為探討氣候變遷下滯洪需求量體變化量，本研究採用臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台計畫(TCCIP)之一日設計暴雨改變率為降雨量變量因子，並以現行暴雨量乘上設計暴雨改變率，推估 RCP8.5 情境之暴雨量，其餘因子則假設與現行相同。

考量滯洪設計方案之生命週期由現況經歷至氣候變遷 RCP8.5(即為開發前為現況，開發後為 RCP8.5)，及設計方案未來於氣候變遷 RCP8.5 進行設計之情境(即為開發前、後皆為 RCP8.5)等2種情境，將分別將2種滯洪設計方案對應2種時間變化情境，得出4種成果進行比較說明，以了解現況設計之滯洪池於未來 RCP8.5 情境，逕流變化量及現行訂定滯洪池設計之安全係數是否可承受氣候變遷變化。

研究結果與討論

1. 有效降雨量

本研究區依式(1)、(2)計算開發前 CN 值，地表層土壤為 B 類，並依據開發前土地利用現況圖(圖3)，計有農業使用、溝渠使用、臨時性商業及雜林草地等，依表2計算，可得本研究區現況加權統計 CN 值為71，如表3。同理，開發後 CN 值，地表層土壤同為 B 類，

並依據開發後土地利用現況圖(圖 3)，計有住宅區、廣場兼停車場及溝渠使用等，可得本研究區開發後加權統計 CN 值為 82。

經上述 CN 值加權統計，依式(1)、(2)計算即得出開發前、後各重現期距有效降雨量，如表 4。

表3 開發前現況 CN 值加權統計成果表

土地 使用 分區	土地利用分類(B 類土壤，本研究區)		SCS 分 類	CN	面積(ha)	百分比(%)
	農業使用	農業附帶設施-其他設施-稍好情況：草地覆蓋面積 50~75%	9	69	0.3216	61.55
	溝渠使用	溝渠-溝渠-街道	18	98	0.0087	1.67
	臨時性商業	商業-服務業-住宅-商業區(85%面積不透水)	10	92	0.0893	17.09
	雜林草地	其他使用土地-草生地-草生地-草地：良好情況	5	58	0.1029	19.69
合計					0.52	100
加權統計 CN				71		

表4 開發前、後有效降雨量計算表

採用 CN 值	集水區最大 蓄水量 Y(mm)	各重現期距累積 降雨量 P(mm)			各重現期距累積 有效降雨量 Pe(mm)		
		2 年	5 年	10 年	2 年	5 年	10 年
開發「前」							
71	108.86	173.8	254.6	316.9	88.6	158.7	215.6
開發「後」							
82	55.13	173.8	254.6	316.9	121.6	198.6	259.2

2. 集流時間

開發前：本研究區之現況，除邊界周圍有排水溝渠(區排、道路側溝)，且範圍內並無完整排水系統，故流下時間 $T_2=0$ ；整體言之，開發前降雨逕流為漫地流型態。漫地流長度為 150 公尺，地表平均坡度約為 0.33%，CN 值為 71，開發前集流時間為 0.7(hr)，如表 5。

開發後：集水區內降雨收集系統由房舍或地表截流雨水，並流入側溝系統進行收集，因考量開發後已完成整地，集流時間為流入

時間與渠流時間之和。 T_1 流入時間為 5~10 分鐘，本研究考量實際情形及保守估算，開發後之 T_1 採計 5 分鐘； T_2 流下時間自漫地流或側溝等進入下水道管渠或主要水路開始至排水出口時間，採渠流流速法計算。

表5 開發前集流時間計算成果表

曲線號 碼 CN 值	集水區 最大 蓄水量 Y(mm)	流路長 度 L(m)	集水區 地表 平均坡 度(%)	流入 時間 T_1 (hr)	流下 時間 T_2 (hr)	集流 時間 T_c (hr)
71	108.86	150	0.33	0.70	0	0.70

其中，方案一，以地形最易收集區內逕流之區位，即為集水區最下游處設置，雖基地內並無設計水路，然考量實際收水情形，以現況道路側溝長度計算流入時間，以貼切現況設計，方案一開發後集流時間計算如表 6。方案二，以土地利用分區為主要考量，廣場兼停車場分區設置滯洪池，方案二開發後集流時間計算如表 7。

表6 方案一開發後集流時間計算表

排水 路長 度 L(m)	平均 坡度 S(%)	渠寬 W(m)	渠深 H(m)	出水 高度 n	糙度 係數 n	流速 V (m/s)	T ₁ (min)	T ₂ (min)	T _c (hr)
86.5	0.30	0.6	0.7	0.2	0.015	1.20	5.0	1.21	6.21

表7 方案二開發後集流時間計算表

排水 路長 度 L(m)	平均 坡度 S(%)	渠寬 W(m)	渠深 H(m)	出水 高度 n	糙度 係數 n	流速 V (m/s)	T ₁ (min)	T ₂ (min)	T _c (hr)
285	0.24	0.6	0.7	0.2	0.015	1.07	5.0	4.44	9.44

3. 開發前後洪峰流量

依式(5~8)估算無因次單位歷線，再依各項參數推算單位歷線，其中有效降雨為 1 公分，配合前述之雨型、集流時間、單位歷線及暴雨頻率分析結果，以單位歷線與 Horner 雨型計算開發前、後之逕流歷線，洪峰流量成果如表 8。開發後因滯洪池設置區位選擇，分為兩種方案。方案一及二之集水面積、CN 值、有效降雨量皆相同，僅因集流時間不同造成洪峰流量不同。

表8 開發前、後各重現期距洪峰流量

開發前 各重現期距洪峰 流量(cms)			開發後方案一 各重現期距洪峰 流量(cms)			開發後方案二 各重現期距洪峰 流量(cms)		
2年	5年	10年	2年	5年	10年	2年	5年	10年
0.069	0.103	0.121	0.155	0.200	0.219	0.141	0.183	0.202

4. 出流管制量(Q_a)

研究區聯外排水通洪能力良好，依「出流管制計畫書與規劃書檢核基準及洪峰流量計算方法」(經濟部水利署，2019)相關規定，本區可分別排放不大於開發前之 2、5 及 10 年重現期距洪峰流量，出流管制量如表 9。

表9 出流管制量表

方案	重現 期距 (年)	(1) 開發前 洪峰流量	(2) 開發後 洪峰流量	(3) 出流管制 流量 Q _a
方案一	2	0.069	0.155	0.069
	5	0.103	0.200	0.103
	10	0.121	0.219	0.121
方案二	2	0.069	0.141	0.069
	5	0.103	0.183	0.103
	10	0.121	0.202	0.121

5. SWMM 模式應用

本研究利用 SCS 無因次單位歷線轉換成研究區單位歷線，方案一開發後無設計水路等收集系統，僅設置滯洪池空間配置抽水機，以溢流堰孔口排水，如圖 6。



圖6 方案一 S W M M模擬出流設施平面圖

方案二為設置滯洪池於土地利用分區之最佳區位，故受地形地勢影響，需設置環繞研究區外圍之排水溝，將集水區內水源收集至中上游處之滯洪池。如圖 7。



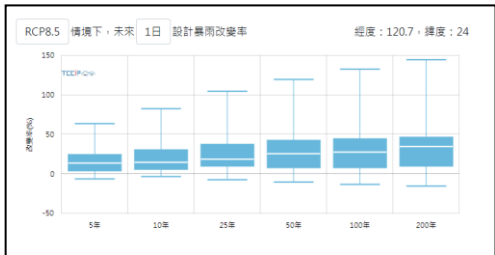
圖7 方案二 S WMM模擬出流設施平面圖

6. RCP 情境滯洪量體變化量分析

1 日設計暴雨改變率，以鄰近本研究區之雨量站經濟部水利署草屯(4)站作為代表，10 年重現期距之不同百分位數設計暴雨改變率如圖 8 及表 10。

為探討開發後於 RCP8.5 情境之 10 年重現期距之滯洪需求水量變化，即開發前採用現況水文資料，開發後採用 RCP8.5 情境之水文資料，進而推求滯洪池由現況經歷至氣候變化 RCP8.5 情境之逕流變化量。以鄰近之草屯(4)站 10 年重現期距為例，以現況 10 年重現期距之 24hr 暴雨量 316.9mm，推算各雨量

改變率之設計暴雨量，設計暴雨改變率如表 3。對應各雨量改變率 RCP8.5 情境之 24 小時設計暴雨量，計算 RCP8.5 情境下開發後之逕流量如表 11。



資料來源：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台之草屯(4)站

圖8 草屯(4)站氣候變遷降雨頻率分析之一日設計暴雨改變率盒狀圖

表10 草屯(4)站氣候變遷降雨頻率分析之設計暴雨改變率表

RCP8.5	各重現期距					
	P ₅	P ₁₀	P ₂₅	P ₅₀	P ₁₀₀	P ₂₀₀
5%	-6	-3	-7	-10	-13	-15
25%	4	6	10	8	8	10
50%	14	15	19	26	28	35
75%	25	31	38	43	45	47
95%	65	83	105	120	133	147
全距(R)	59	80	98	110	120	132
四分位距(IQR)	21	25	28	35	37	37

資料來源：臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台之草屯(4)站

表11 開發後各雨量改變率之對應逕流量

百分位		-	5%	25%	50%	75%	95%
雨量改變率		未改變	-3%	6%	15%	31%	83%
逕流量	方案一	0.219	0.211	0.234	0.256	0.295	0.422
	方案二	0.202	0.195	0.215	0.236	0.272	0.390

(1)RCP8.5 情境下開發前逕流變化量
開發前逕流量分為兩種情境討論，第一

種以現況雨量條件為設定值(無考量 RCP8.5 情境)，探討現況設計之滯洪池於未來 RCP8.5 情境時，滯洪需求水量變化，及現行訂定滯洪

池設計之安全係數是否可承受氣候變遷變化(以「現況設計情境」簡稱)。第二種以開發前及開發後同屬 RCP8.5 情境下,探討此情形之滯洪池需求量體變化,及現行訂定滯洪池設計之安全係數是否適用(以「同 RCP8.5 設計情境」簡稱)。計算開發前逕流量,現況設計情境之逕流量為 0.121 cms,同 RCP8.5 設計情境之逕流量依改變率分別為 0.116、0.131、0.145、0.171 及 0.254 cms,此兩種情境之暴雨量及逕流量計算如表 12。

(2) RCP8.5 情境下滯洪量體變化量

開發後暴雨量採用各雨量改變率推算之設計暴雨量值,計算開發後之逕流量,探討滯洪量體變化量。因開發前分為「現況設計情境」及「同 RCP8.5 設計情境」二種情境,搭配開發後滯洪池設置二種方案,將分別以「現況設計情境」+方案一、「現況設計情境」+方案二、「同 RCP8.5 設計情境」+方案一及「同 RCP8.5 設計情境」+方案二,等 4 種成果進行說明如表 13,各情境搭配方案之雨量變化率與滯洪需求量體變化關係如圖 9。

「現況設計情境」+方案一之原始滯洪池需容納量 Q_n 為 0.098cms,開發後氣候變遷各百分位之雨量改變率所需之滯洪量,與原始需容納量變化介於-7%~73%。「現況設計情境」+方案二之原始滯洪池需容納量 Q_n 為 0.081cms,開發後氣候變遷各百分位之雨量改變率所需之滯洪量,與原始需容納量變化介於-9%~78%。「同 RCP8.5 設計情境」+方案一之原始滯洪池需容納量 Q_n 為 0.098cms,氣候變遷後各百分位之雨量改變率所需之滯洪量,與原始需求值變化介於-3%~35%。「同 RCP8.5

設計情境」+方案二之原始滯洪池需容納量 Q_n 為 0.081cms,氣候變遷後各百分位之雨量改變率所需之滯洪量,與原始需求值變化介於-2%~35%。本研究以 10 年重現期距為例,分別以最佳地形區位及最佳土地分區使用區位兩種方式設置滯洪池,設計滯洪池體積已符合 1.2 倍安全係數。經模擬,兩種情境搭配二種方案,於滯洪需求變化率有明顯落差。

「現況設計情境」因考量現況雨量條件為設定值(無考量 RCP8.5 情境),探討現況設計之滯洪池於未來 RCP8.5 情境時,滯洪需求量體變化,同時評估滯洪池安全係數是否可承受氣候變遷變化。其模擬成果顯示,滯洪需求因雨量改變率有明顯變化,「現況設計情境」模擬二方案成果,1.2 倍安全係數之滯洪池體積,僅可容納之雨量變化率介於百分位 25% ~ 50%之間(表 14)。現階段設置滯洪池如欲滿足氣候變遷下雨量變化率百分位 50%之情形,則以滯洪池之安全係數採用 1.3 倍較佳。「同 RCP8.5 設計情境」為探討開發前及開發後同屬 RCP8.5 情境下,此情形之滯洪池需求量體變化,同時評估現行訂定滯洪池設計之安全係數是否適用。模擬成果顯示,滯洪需求變化幅度較「現況設計情境」小,「同 RCP8.5 設計情境」模擬二方案成果,1.2 倍安全係數之滯洪池體積,可容納之雨量變化率介於百分位 50% ~ 75%之間。依據氣候變遷後之水文資料進行演算,設計滯洪池體積採用現行規定之 1.2 倍安全係數,其 SWMM 模擬演算成果顯示,現行規定之 1.2 安全係數所設計之滯洪池,於同 RCP8.5 情境仍具一定承洪能力。

表12 開發前二情境之暴雨量及逕流量計算參數

開發前		「現況設計情境」 之雨量值					
雨量改變率		無改變	-3%	6%	15%	31%	83%
集水區面積(ha)		0.64					
CN 值		71					
24 小時降雨量 (mm)	10 年重現期距	316.9	307.393	335.914	364.435	415.139	579.93
集水區最大蓄水量 Y(mm)		108.86					
集流時間 T _c (hr)		0.70					
有效降雨量 P _e (mm)	10 年重現期距	215.6	206.8	233.3	260.1	308.1	467.1
洪峰稽延時間 T _{lag} (hr)		0.419					
洪峰到達時間 T _p (hr)		0.502					
洪峰流量 Q _p (cms)	10 年重現期距	0.121	0.116	0.131	0.145	0.171	0.254

表13 滯洪變化量分析成果

滯洪變化量 分析成果	「現況設計情境」	「同 RCP8.5 設計情境」
方案一	1.開發前以現況情境計算之開發前逕流量，開發後以各雨量改變率計算之開發後逕流量。	1.開發前以各雨量改變率計算之開發前逕流量，開發後以各雨量改變率計算之開發後逕流量。
方案二	2.與現況情境比較，開發後滯洪需求水量體差異。 3.比對二方案變化趨勢	2.開發前後皆為 RCP8.5 情境，比較此情境滯洪需求水量體差異。 3.比對二方案變化趨勢

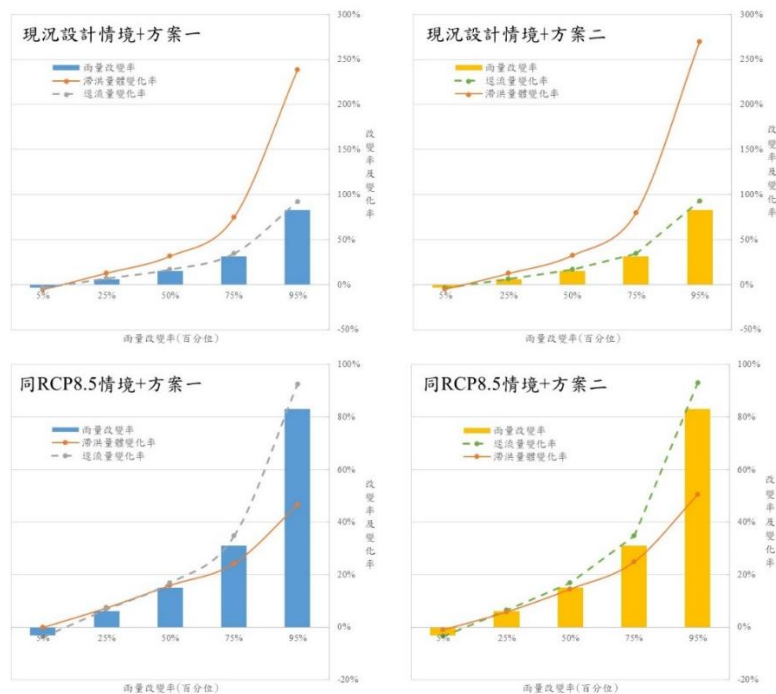


圖9 各情境搭配方案之雨量變化率與滯洪需求水量體變化關係圖

表14 本研究不同情境及方案之滯洪需求變化率比較表

滯洪需求體積變化率		雨量改變率				
		5%	25%	50%	75%	95%
		-3%	6%	15%	31%	83%
現況設計情境	方案一	-5%	13%	32%	74%	239%
	方案二	-5%	12%	32%	80%	270%
同 RCP8.5 情境	方案一	0%	7%	16%	24%	47%
	方案二	-1%	6%	15%	25%	50%

結論與建議

本研究以出流管制洪峰流量計算方式，並應用 SWMM 模式進行本研究區之滯洪量體檢核，以探討氣候變遷下設計滯洪池之安全係數 1.2 是否仍適用。選擇設置滯洪池之區位分為兩種方案：方案一，以地形地勢最易收集區內逕流之區位，即集水區最下游處，設置合適大小之滯洪池。方案二，以土地利用分區為主要考量，開發後依據市地重劃都市計畫之土地使用計畫，將廣場兼停車場之分區做為設置多功能滯洪池之最佳區位。

開發前逕流量分為兩種情境討論，第一種以現況雨量條件為設定值，探討現況設計之滯洪池於未來 RCP8.5 情境時，滯洪需求體積變化，及現行訂定滯洪池設計之安全係數是否可承受氣候變遷變化(以「現況設計情境」簡稱)。第二種以開發前及開發後同屬 RCP8.5 情境下，探討此情形之滯洪池需求體積變化(以「同 RCP8.5 設計情境」簡稱)。對應 RCP8.5 之各雨量改變率之 24 小時設計暴雨量，以出流管制洪峰流量計算方式，推求二情境及二方案之逕流量。

分析成果顯示「現況設計情境」模擬二方案結果，1.2 倍安全係數之滯洪池體積，僅

可容納之雨量變化率介於百分位 25% ~ 50%之間，如現階段設置滯洪池欲滿足雨量變化率百分位 50%之情形，滯洪池體積之安全係數以 1.3 倍進行設計為較佳。「同 RCP8.5 設計情境」模擬二方案結果，1.2 倍安全係數之滯洪池體積，可容納之雨量變化率介於百分位 50% ~ 75%之間，顯示現行規定之 1.2 安全係數所設計之滯洪池，於同 RCP8.5 設計情境仍具一定承洪能力。

本研究採用 SCS-CN 方法推估降雨事件超滲逕流，設計規劃滯洪池區位以符合出流管制精神，並應用 SWMM 模式模擬滯洪池需求體積，未來建議可再納入降雨量、地表退流量變化、地表截流、土壤入滲量、地下水補注、蒸發量、土地利用及地形高程等參數，模擬滯洪需求體積，比較不同參數對預測能力之影響。此外，建議可適當規劃低衝擊開發，透過入滲、停留、蒸發、補注以及過濾等方法，減緩開發行為對都市水環境造成之衝擊，進而增加原設計滯洪池對氣候變遷之承受度。

參考文獻

1. 王與新(2024)，「應用 SWMM 模式模擬氣候變遷下滯洪池規劃區位與滯洪量體積變化量之研究」，國立中興大學水土保持學系碩士學位論文。

2. 林秀芳(2012),「淹水問題分析與改善對策之探討-以洋子厝溪排水為例」,國立中興大學水土保持學系碩士學位論文。
3. 林志儒(2016),「分析氣候及土地利用變遷情境對鳳山溪流域水文通量之影響」,國立中央大學土木工程學系碩士論文。
4. 徐筱婷(2014),「以 SWMM 模式評估透水性鋪搭配滲透導管對表逕流之影響」,逢甲大學水利工程與資源保育學系碩士論文。
5. 張景明(2022),「臺中市霧峰區育和自辦市地重劃區開發案-地質鑽探報告」。
6. 曾雪芬(2015),「以環境指標優選大肚台地水源涵養區位之研究」,國立中興大學水土保持學系碩士學位論文。
7. 經濟部水利署第三河川局(2009),「易淹水地區水患治理計畫-臺中縣管區域排水乾溪排水系統治理規劃報告」。
8. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2010),「出流管制技術手冊」。
9. 經濟部水利署(2019),「出流管制計畫書與規劃書檢核基準及洪峰流量計算方法」。
10. 賴明倫(2015),「逕流分擔與出流管制在小集水區之設計檢討」,國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
11. Gassman, Philip W.; Reyes, Manuel R.; Green, Colleen H.; Arnold, Jeffrey G. (2007) The Soil and Water Assessment Tool: Historical Development, Applications, and Future Research Directions.
12. Lewis A. Rossman and Michelle A. Simon. (2022) Storm Water Management Model User's Manual Version 5.2
13. U.S. Army Corps of Engineers (USACE) (2000). Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, 106.
14. Verburg, P. H., Veldkamp, T., Overmars, K., Lesschen, J. P. Kok, K., (2004) "Manual for the CLUE-S model."
15. WL Delft Hydraulics (2001), SOBEK Software User's Manual. Delft, The Netherlands.
16. 內政部(2007),「高精度及高解析度數值地形模型測製工作」之 5m×5m 數值資料 (DEM)。
17. 農業部農業試驗所土壤資料供應查詢平台, <https://tssurgo.tari.gov.tw/Tssurgo/Map>, 2024。
18. 臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台, <https://tccip.ncdr.nat.gov.tw/>, 2024。

113 年 10 月 22 日收稿

114 年 1 月 2 日修改

114 年 1 月 15 日接受