

以 SOBEK 評估氣候變遷下有才村

在地滯洪之 NbS 效益

Assessing the benefits of Nature-based Solutions with farmland detention in You-Cai village under climate change by using SOBEK simulation.

逢甲大學水利工程與資源保育學系

教授

研究生

許少華

黃星豪

Shaohua Marko Hsu

Xing-Hao Huang

摘 要

由於全球持續暖化，造成降雨型態改變，國際上為了緩解氣候變遷所帶來的影響，以自然為本的解決方案(Natural-based Solution, NbS)逐漸發展，而臺灣政府為了減輕極端降雨致災的風險，提出在地滯洪的構想，利用加高田埂或是農地旁的道路，將農地作為雨水暫存的空間，讓土地承擔與吸納洪水，在減少工程措施的同時並維持土地生產力。本研究以在地滯洪示範區：雲林縣褒忠鄉有才村為研究區域，並利用臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(Taiwan Climate Change information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP)所公布的 IPCC 第五次評估報告(AR5)中暖化情境 RCP4.5 之降雨改變率推估研究區域於 2036 年至 2065 年各重現期(10 年、25 年、50 年、100 年)降雨量，並將其帶入 SOBEK 模式進行淹水模擬。

本研究以經濟效益與滯洪效益探討在地滯洪之 NbS 效益，經濟效益顯示出相較於傳統治洪池，在同樣成本下在地滯洪可增加更多滯洪空間；SOBEK 模式模擬結果顯示出在地滯洪所提供的滯洪效益有助於減少住戶淹水情形，並以 10 年重現期效果最佳。

關鍵詞：氣候變遷，以自然為本的解決方案，在地滯洪，SOBEK 模式

Abstract

Due to ongoing global warming, changes in rainfall patterns have been observed. In response to mitigating the impacts of climate change, Nature-based Solutions (NbS) have been progressively developed internationally. In Taiwan, to reduce the risk of disasters caused by extreme rainfall, the government has proposed the concept of farmland detention. This involves utilizing raised field ridges or roads adjacent to farmlands to use agricultural land as temporary water storage spaces, allowing the land to absorb and retain floodwaters. This approach aims to minimize engineering measures

while maintaining land productivity. This study focuses on the farmland detention demonstration area in Youcai Village, Baozhong Township, Yunlin County. It employs the rainfall change rate estimation from the RCP4.5 warming scenario in the IPCC Fifth Assessment Report (AR5), published by the Taiwan Climate Change Information and Adaptation Knowledge Platform (TCCIP). The study estimates the rainfall for different return periods (10-year, 25-year, 50-year, and 100-year) from 2036 to 2065 in the study area and inputs these estimates into the SOBEK model for flood simulation.

This study examines the benefits of Nature-based Solutions (NbS) brought by farmland detention through economic benefits and flood mitigation benefits. The economic benefits shows that, compared to traditional detention pond, farmland detention can provide more flood storage space at the same cost. The SOBEK model simulation results indicate that the flood mitigation benefits provided by farmland detention help reduce residential flooding, with the best results observed under a 10-year return period scenario.

Keywords : Climate Change , Nature-based Solutions , Farmland Detention , SOBEK Model

一、前言

氣候變遷是指地球長期且非突發性的氣象模式和統計數據發生顯著變化的現象，這種變化包含氣溫、降雨、風速、海平面等方面。根據聯合國政府間氣候變化專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC) 氣候變遷第五次評估報告(AR5)-第一工作小組報告，1950 至 2010 年間觀測到的過半暖化現象是由人類活動所引起，且自 1950 年起，全球陸地和海洋表面溫度一直呈現線性上升趨勢，在持續全球持續暖化的情況下使得極端氣候事件較以往更容易發生，其中極端降雨事件，使得依照防洪標準興建的河川、排水等防洪構造物在未來可能無法達到預期得防洪效果。因此，為了調適氣候變遷所帶來的極端氣候事件，國際自然保育聯盟(International Union for Conservation of Natural, IUCN)與世界銀行於 2008 年提出名為基於自然的解決方案(Natural-based Solutions, NbS)的構想，國內又稱為自然解方，指出可使用較為自然的方法因應氣候變遷所帶來的社會挑戰，這些方法與傳統的解決方案相比往往有更高永續性，對環境與生態的影響也較小。

近年來，經濟部水利署提出「在地滯洪」非工程策略理念，透過將沿海或低窪等易淹水地區利用高程管理與逕流分擔概念，將低窪且耐淹農地規劃為滯洪區，利用將田埂或農田旁道路加高形成滯洪空間，在地滯洪與傳統滯洪池相比，除了在施工經費與整體工時上有明顯優勢，又能達成減輕洪水漫淹至村落的風險外，同時保障農民耕種的權利，這種基於自然且能從中獲得多重效益的措施正與國際上提倡的 NbS 理念相近。

因此本研究將在 SOBEK 模式中建置出有才寮在地滯洪示範區的實際範圍，

並利用臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(Taiwan Climate Change information and Adaptation Knowledge Platform, TCCIP)所公布的 IPCC 第五次評估報告(AR5)中暖化情境 RCP4.5 之降雨改變率推估研究區域世紀中(2036 年~2065 年)10 年、25 年、50 年、100 年)重現期一日降雨量，將其帶入 SOBEK 模式進行淹水模擬，最後從結果討論基期降雨與未來降雨條件中在地滯洪的滯洪效益，並從所需成本與建設時間比較在地滯洪與滯洪池的經濟效益，從中分析兩者的利弊，以了解 NbS 設施相較於傳統水利防洪設施的優勢為何。

二、 文獻回顧

2-1 氣候變遷

陳玄芬等人(2017)臺灣降雨量自 1998 年後有增長之趨勢，各級大雨發生頻率及降雨強度在 2000 年後明顯增強，林佩瑩等人(2022)預計未來臺灣東北部春季以及全臺颱風季降雨日數減少，但臺灣西部梅雨以及颱風降雨強度及頻率增加；汪中和(2015)提出因暖化所致，臺灣自 1950 年後降雨開始極端化，雖然乾旱造成的衝擊逐漸變小，但豪大雨造成的威脅日益增加。國家災害防救科技中心年報(2017)利用氣候變遷模擬推估情境，對淡水河流域進行模擬，結果指出極端颱風事件將造成淡水河與大漢溪部分河段出現溢堤與出水高不足情形，增加淹水風險；呂冠毅(2022)使用 TCCIP-AR5 未來降雨改變率計算將軍河流域於世紀中(2036 年~2065 年)降雨量，再利用 HEC-RAS 二維水理模式進行淹水模擬，探討流域中各都市計畫區中於公共設施用地應用逕流暫存措施以及透過農地進行在地滯洪的滯洪成效。

2-2 以自然為本的解決方案(Nature-based Solution, NbS)

Alva et al.(2022)，NbS 具備減緩氣候威脅以及生物多樣性喪失的潛力，謝喬安(2022)面對極端氣候所帶來的災害，傳統工程構造物無法提供全面的防護，而近年提出的 NbS 治水概念強調與水共生，除了運用原有工程構造物外也應思考如何多元治水，賴明倫(2022)農塘與農田皆具備滯洪功能，將兩者結合蓄水操作可減少洪災風險，並提升生態及水資源涵養之功效，Zoran Vojinovic et al.(2021)指出灰色基礎設施無法滿足防洪需求，若將大、小規模 NbS 設施一同與灰色基礎設施結合使用的防洪效果最好。Meredith Hovis et al.(2022)透過在北卡羅來納州東部應用 NbS 設施控制該地區在風暴事件下的逕流量，並估算建立與維護 NbS 設施之成本，結果得出濕地復育的成本最高，但防洪效果最好；覆蓋作物(如大豆)、免耕作法(減少土壤翻擾)以及農林業最為便宜，但防洪效果較差。邱昱嘉等人(2024)美濃地區應用符合以自然為本的解決方案精神的在地滯洪非工程策略理念，將農田作為滯洪空間，以減少進入渠道的逕流量。施上粟(2022)以美國重塑蜿蜒河道及溼地復育與日本生態滯洪池營造案例，講述現今面臨氣候變遷、人居環境改變以及永續發整等挑戰下，以生態水利與自然解方的概念，將水利工程從過往的單解方走向多解方的思維。Prashant Kumar et al.(2021)自然為基礎的解決方案(NbS)在減少和管理水文氣象風險(Hydro-Meteorological Risks, HMRs)

方面受到關注，但缺乏全面評估其性能和成本效益的方法。由於對 NbS 的效益評估仍在發展中，現有模型（如 MIKE-SHE、SWMM、WRF 等）主要針對微觀和流域尺度以進行，無法進行全面的評估，因此需定制化的建模工具來全面評估 NbS 的多重效益，以促進其推廣和應用。

2-3 SOBEK 模式相關應用

周揚鈞等人(2012)探討水田區河床摩擦係數曼寧 n 值與地表摩擦係數 kn 值改變對於模擬結果的影響，結果得出曼寧 n 值之設定與實際渠道情況愈相近，模擬成果愈佳；但無法反映 kn 值校正前後之影響。陳世帆(2013)模擬蘭陽溪流域 5 年、10 年、25 年、50 年、100 年及 200 年重現期降雨，以及國科會 TCCIP 計畫提供之未來氣候變遷條件下之颱風降雨事件，其中邊界條件使用普通潮位以及歷年最大暴潮位，得出蘭陽溪流域於不同降雨與潮位條件下的淹水潛勢圖，最後從中探討氣候變遷下之淹水災害調適策略，例如興建滯洪池或防潮大壩與進行河川疏濬皆有減災成效。賴俊名(2015)比較兩種多重尺度網格相互搭配(5m*5m 搭配 20m*20m、5m*5m 搭配 10m*10m)以及全區細網格(5m*5m)模擬結果的差異，成果顯示以 5m*5m 搭配 10m*10m 最佳，可同時達到增加模擬效率並不失其精準度。鍾婷羽(2017)使用多重尺度網格細化街道與建物，研究典寶溪流域應用 LID 設施減輕洪水威脅的效益，結果顯示 LID 設施對於地勢低平地區的改善效果較佳，且能有效減輕低重現期降雨事件都市淹水面積。

三、 研究區域

本研究將以雲林縣有才寮大排之集水區作為研究區域，並以褒忠鄉有才村為重點關注區域，該集水區位於雲林縣北部，面積約 92 平方公里，集水區狹長，東西長約 30 公里，南北最寬處約 6 公里，地勢平緩，高程介於海平面下 -1 公尺至 38 公尺間，自東向西逐漸遞減，集水區平均坡度約為 1/1000。研究區域範圍與重點關注區高程變化如圖 3.1 所示。

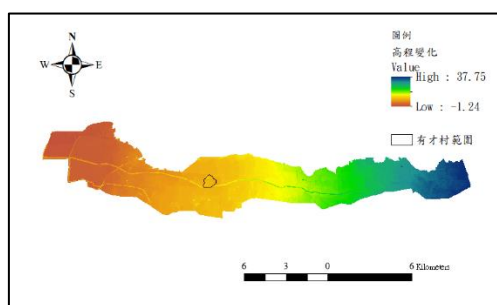


圖 3.1 研究區域與重點關注區高程變化圖

研究區域屬副熱帶季風氣候，年均溫介於 22°C 至 24°C 間，夏季炎熱，平均溫度約為 30°C，冬季平均溫度約為 16°C，年降雨量約為 1200 毫米，歷年月平均降雨量如圖 3.2 所示，雨季集中於五月至九月，本期間降雨占全年降雨約 80%，降雨高度依賴梅雨以及颱風，雨季也容易因高強度的降雨引發淹水災害。

四、 研究方法

4-1 研究區域在地滯洪

在地滯洪概念係通過於保全對象(易淹水地區)周圍以高程管理與逕流分擔的概念將低窪農地設置為滯洪區，透過適當加高田埂與道路或是在自然蓄洪的情況下將洪水暫置於滯洪區內，此外，在地滯洪區的農地並非被政府徵收，而是提供滯水獎勵金並對滯洪期間產生的農業損失進行補償，在減輕保全對象之淹水災害的同時，也能保障農民耕作的權益。

水利署先於 2020 年將雲林縣褒忠鄉有才村鄰近的 2.06 公頃台糖農地規畫為在地滯洪試行區，經評估後可改善有才村約 18 公頃之淹水情形，爾後將在地滯洪規模擴大至 1150 公頃，全體工程於 2022 年 4 月完工，規畫中，在地滯洪區外圍農路或田埂被加高至田地平均高程 50 公分，使在地滯洪區最多可蓄存 500 毫米雨量。於實際操作中，在地滯洪區有設置手動水門，視雨量及有才寮水位決定是否開啟，以提高滯洪效益。

4-2 SOBEK 模式

SOBEK 系統軟體系列中，包含區域排水(Rural)、都市排水(Urban)以及河川(River)三種模式可供使用，模式中包含九個模組可供使用，分別是：降雨-逕流模組(Rainfall-runoff)、漫地流模組(Overland Flow)、渠流模組(Channel Flow)、水質模組(Water Quality)、下水道模組(Sewer-flow)、排放模組(Emissions)、即時控制模組(Real-time Control)、河川水流模組(River Flow) 以及地下水模組(Ground Water)等，本研究將使用到 SOBEK- Rural 模式進行後續水理演算。

4-3 模式建置

本研究申請使用第三代淹水模型-雲林北部排水系統作為基礎進行在地滯洪設置，透過調整研究區域中在地滯洪區之地表高程，使其具備至少 0.5 公尺之滯洪深度。

考慮到研究區域淹水災害多發生在颱風豪雨等長時間降雨，因此採用 24 小時連續降雨為暴雨設計延時，並以鄰近之褒忠(2)雨量站為代表雨量站，雨量資料及檢定參考自水利署水利防災中心雨量站各延時降雨及頻率分析網站；潮位使用麥寮潮位站 7~10 月大潮平均高、低潮位，大潮平均高、低潮如圖 4.1。

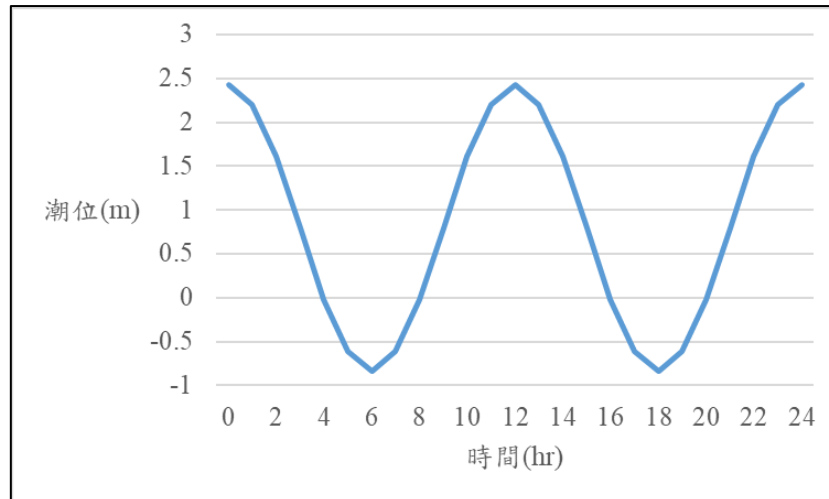


圖 4.1 麥寮潮位站大潮平均高、低潮位

4-4 氣候變遷降雨改變率

本研究利用 TCCIP 產製之氣候變遷降雨改變率，該資料使用 AR5 統計降尺度日雨量進行分析，以 1976~2005 年為歷史基期推估世紀中 2036~2065 年未來降雨改變率，其中 RCP4.5(中度暖化情境)與 RCP8.5(重度暖化情境)分別使用到 29 與 33 個全球氣候模式(Global climate model,GCM)進行未來設計暴雨改變率計算，推估 5、25、50、75 及 95 百分位數對應結果，的未來降雨改變率作為計算研究區域世紀中(2036 年~2065 年)降雨量並以盒鬚圖表示，兩種暖化情境之未來降雨改變率如圖 4.2、圖 4.3 所示。

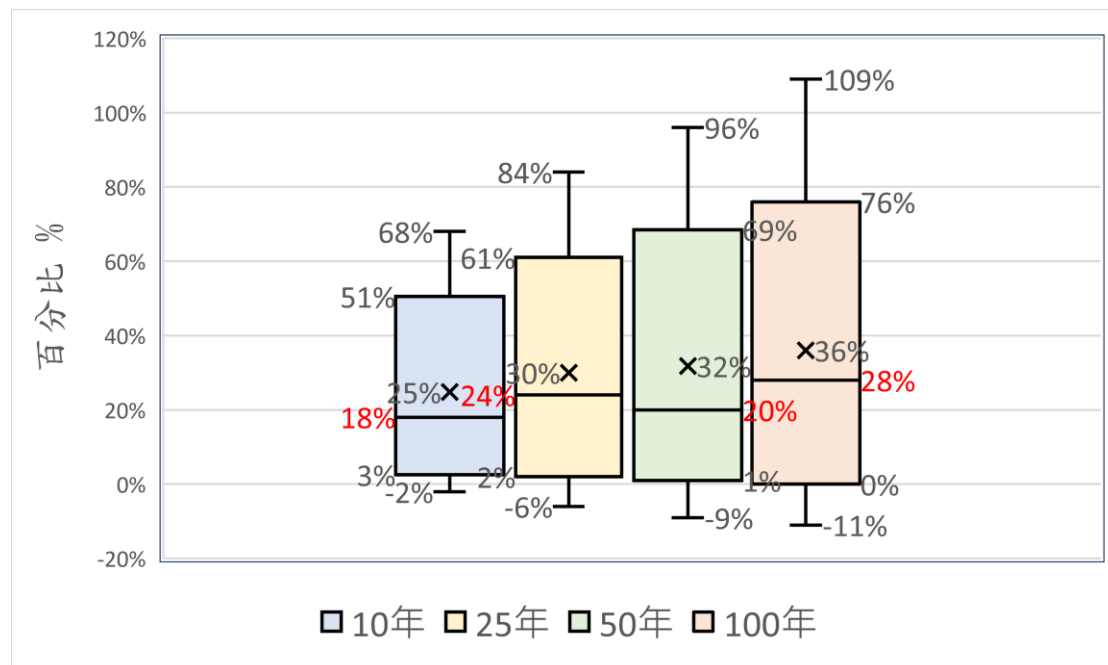


圖 4.2 暖化情境 RCP8.5 各重現期降雨改變率

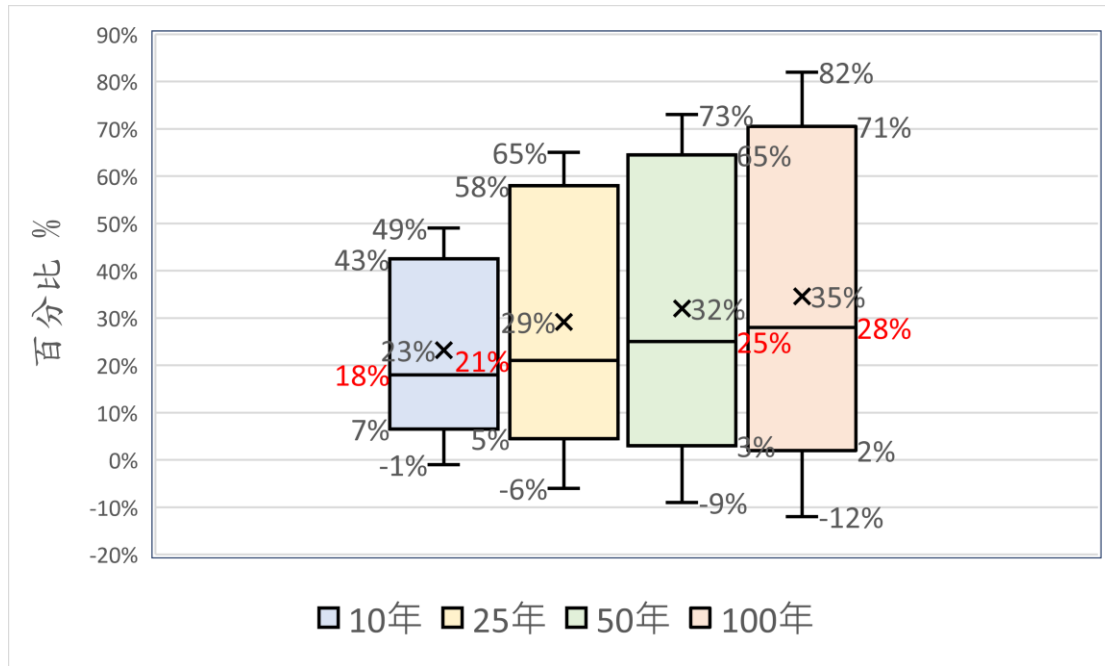


圖 4.3 暖化情境 RCP4.5 各重現期降雨改變率

本研究選用對應 50 百分位數的未來降雨改變率進行後續未來降雨量計算，以避免計算結果過於極端，並且由於兩種暖化情境中對應 50 百分位數的未來降雨改變率相近，因此本研究僅採用 RCP4.5 未來降雨改變率計算研究區域未來降雨量，基期降雨量及未來降雨量如表 4.1。

表 4.1 基期降雨量及未來降雨量對應表

重現期距	基期降雨量(mm)	未來降雨量(mm)
10 年	338	398
25 年	428	517
50 年	497	622
100 年	569	758

五、 結果分析

5-1 經濟效益

NbS 相較於傳統工程設施除了可提供的多方面的功能性以外，在成本效益方面也優於傳統工程設施，可使用較低的成本達到與傳統工程設施相近的成果；本研究彙整水利署第五河川局有才寮排水在地滯洪預期效益報告中興建傳統滯洪池與在地滯洪所需工期與經費，以及所需經費與有才寮在地滯洪相當的嘉義縣新埤排水滯洪池工程之工期以及經費估算，以展示在地滯洪於經濟層面的優勢為何，詳細資料如表 5.1。

表 5.1 在地滯洪與滯洪池所需工期及經費對照

	傳統滯洪池	在地滯洪	新埤滯洪池
工程費(億)	12	0.8	0.81
用地徵收費(億)	32.4	-	-
獎勵及補償費(億/年)	-	0.19	-
工期(月)	36~48	6	9
滯洪面積(ha)	100	1150	5.2
滯洪體積(萬 m ³)	200	575	32.8

從表中可得知若要在研究區域採用興建傳統滯洪池，除了工程費以外仍需要龐大的用地徵收費，總金額達 44.4 億元，對地方政府財政負擔大，並且工期是在地滯洪的 6 到 8 倍；新埤滯洪池興建經費與有才寮在地滯洪相當，但所能提供的滯洪量僅有在地滯洪的十分之一，顯示出工程經費相近的滯洪池工程所能提供的滯洪量也不如在地滯洪，此外在地滯洪在實施上並不會徵收農民土地，而是以簽訂契約並提供農民滯水獎勵金，在不危害農民工作權的同時減少淹水的風險。

5-2 滯洪效益

在地滯洪於基期降雨以及氣候變遷後降雨條件下所減少之淹水面積及體積如表 5.2，基期降雨條件下在地滯洪後所減少的淹水面積介於 60~138 公頃，減少淹水體積介於 14~64 萬立方公尺，其中包含減少建築用地淹水面積 1~19.2 公頃，淹水體積 2.1~7.07 萬立方公尺；而在氣候變遷的降雨條件下在地滯洪則能減少 137~283 公頃淹水面積，減少淹水體積介於 15.6~66.8 萬立方公尺，其中包含減少建築用地淹水面積 8.7~20 公頃，淹水體積 3.4~18.3 萬立方公尺。

表 5.2 在地滯洪減少淹水面積與體積

重現 期距	基期降雨		氣候變遷後(未來)降雨	
	減少淹水 面積(ha)	減少淹水 體積(萬 m ³)	減少淹水 面積(ha)	減少淹水 體積(萬 m ³)
10 年	60	14	147	28.6
25 年	138	63	137	15.6
50 年	104	64	283	66.8
100 年	87	54	198	18.5

表 5.3 各情境中建築用地淹水面積與體積對照表

重現 期距	基期降雨		氣候變遷後(未來)降雨	
	減少淹水面積(ha)	減少淹水體積(萬 m ³)	減少淹水面積(ha)	減少淹水體積(萬 m ³)
10 年	60	14	147	28.6
25 年	138	63	137	15.6
50 年	104	64	283	66.8
100 年	87	54	198	18.5

六、 結論與建議

6-1 結論

1. 滯洪效益顯示研究區域於台糖農場應用在地滯洪相較於未應用在地滯洪，基期降雨條件下共減少淹水體積介於 14~64 萬立方公尺，減少淹水面積介於 60~138 公頃；未來降雨條件下共減少淹水體積介於 15.6~66.8 萬立方公尺，減少淹水面積介於 137~283 公頃。
2. 在地滯洪有助於減少研究區域住戶淹水情形，並以 10 重現期的效果最佳，基期降雨條件下共可減少 40.6%淹水面積與 42.8%淹水體積，未來降雨條件下共可減少 29.5%淹水面積與 33.1%淹水體積。
3. 從經濟效益方面顯示出在地滯洪相較於傳統滯洪池，在同樣的成本下可獲得更多的滯洪體積，並能保障農民的工作權，使農地在維持生產力的同時減少淹水的風險。
4. 本研究計算有才寮大排集水區於 2036 年至 2065 年之降雨量得出未來 10 年重現期降雨量將逼近基期 25 年重現期降雨量，未來 25 年、50 年重現期降雨量則分別大於基期 50 年、100 年降雨量，將造成渠道負擔增大，內水難以排除，使得研究區域淹水風險進一步增加。
5. SOBEK 模式模擬結果得出潮位對研究區域下游影響明顯，於基期 25 重現期開始已出現外水頂托造成內水難以排除之現象。

6-2 建議

1. 本研究僅使用單一精度地形高程(40m*40m)，無法建置出精細的在地滯洪區邊界，未來若進行相關研究可利用低精度地形高程配合高精度地形高程進行模型建置，以減少誤差。
2. 雖然在地滯洪量會隨著降雨量增加而上升，但在氣候變遷造成降雨量上升的情況下，研究區域淹水面積與體積也進一步增加，因此若要減少研究區域淹水風險，應擴大在地滯洪區面積或滯洪深度。
3. 研究區域雖有應用在地滯洪進行減洪，但氣候變遷所造成的降雨量增加將造成淹水情形進一步加劇，建議公部門可在研究區域之易淹水地區中推廣使用簡易型防汛擋板及防水閘門，並開辦防災教育訓練，增強民眾自主防災能力，以減少極端降雨時之淹水災害。
4. 本研究原先計畫使用水利署近年所推廣的 D-FlowFM 模式進行演算，D-FlowFM 模式相較於 SOBEK 模式，模擬中更貼近真實降雨逕流過程，但礙於授權以及第三代淹水潛勢模型因版本問題無法套用至 D-FlowFM 模式中，最後仍採用 SOBEK 模式進行在地滯洪建置，本研究建議未來可使用 D-FlowFM 模式進行模擬，以取得更貼近真實情況之模擬結果。

七、 參考文獻

1. Alva, A. (2022). A critical perspective on the European Commission's publications 'Evaluating the impact of nature-based solutions'. *Nature-based solutions*, 2, 100027.
2. Abbass, K., Qasim, M. Z., Song, H., Murshed, M., Mahmood, H., & Younis, I. (2022). A review of the global climate change impacts, adaptation, and sustainable mitigation measures. *Environmental Science and Pollution Research*, 29(28), 42539-42559.
3. Griffin, A., Kay, A., Sayers, P., Bell, V., Stewart, E., & Carr, S. (2022). Widespread flooding dynamics changing under climate change: characterising floods using UKCP18. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2022, 1-18.
4. Huang, W., Hashimoto, S., Yoshida, T., Saito, O., & Taki, K. (2021). A nature-based approach to mitigate flood risk and improve ecosystem services in Shiga, Japan. *Ecosystem Services*, 50, 101309.
5. Hovis, M., Cubbage, F., Hollinger, J. C., Shear, T., Doll, B., Kurki-Fox, J. J., ... & Potter, T. (2022). Determining the costs, revenues, and cost-share payments for the "FloodWise" program: Nature-based solutions to mitigate flooding in eastern, rural North Carolina. *Nature-Based Solutions*, 2, 100016.
6. Hanning, J. (2023). Storage improvement of urban water catchments in Ede using the SOBEK model (Bachelor's thesis, University of Twente).
7. Kundzewicz, Z. W. (2008). Climate change impacts on the hydrological cycle. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 8(2-4), 195-203.
8. Kumar, P., Debele, S. E., Sahani, J., Rawat, N., Marti-Cardona, B., Alfieri, S. M., ... & Zieher, T. (2021). Nature-based solutions efficiency evaluation against natural hazards: Modelling methods, advantages and limitations. *Science of the Total Environment*, 784, 147058.
9. Prinsen, G. F., & Becker, B. P. J. (2011). Application of SOBEK hydraulic surface water models in the Netherlands Hydrological Modelling Instrument. *Irrigation and drainage*, 60, 35-41.
10. Ramírez-Agudelo, N. A., Badia, M., Villares, M., & Roca, E. (2022). Assessing the benefits of nature-based solutions in the Barcelona metropolitan area based on citizen perceptions. *Nature-Based Solutions*, 2, 100021.
11. San, Z. M. L. T., Zin, W. W., Kawasaki, A., Acierto, R. A., & Oo, T. Z. (2020). Developing flood inundation map using RRI and SOBEK models: a case study of the Bago River Basin, Myanmar. *Journal of Disaster Research*, 15(3), 277-287.
12. Souliotis, I., & Voulvoulis, N. (2022). Operationalising nature-based solutions for the design of water management interventions. *Nature-Based Solutions*, 2, 100015.

13. Song, C. (2022). Application of nature-based measures in China's sponge city initiative: Current trends and perspectives. *Nature-Based Solutions*, 2, 100010.
14. Sowińska-Świerkosz, B., & García, J. (2022). What are Nature-based solutions (NBS)? Setting core ideas for concept clarification. *Nature-Based Solutions*, 2, 100009.
15. Tol, R. S. (2018). The economic impacts of climate change. *Review of environmental economics and policy*.
16. Vojinovic, Z., Alves, A., Gómez, J. P., Weesakul, S., Keerakamolchai, W., Meesuk, V., & Sanchez, A. (2021). Effectiveness of small-and large-scale Nature-Based Solutions for flood mitigation: The case of Ayutthaya, Thailand. *Science of The Total Environment*, 789, 147725.
17. 國家災害防救科技中心年報 (2017)。氣候變遷之災害衝擊調適。20-22。
18. 行政院農業委員會水土保持局(2017)。水土保持手冊。
19. 王价巨、張馨心 (2016)。埤塘與滯洪空間關聯性探討—以桃園為例。都市與計劃, 43(2), 157-187。
20. 李冠曄 (2009)。氣候變異對於都市淹水影響之評估與應用研究〔碩士論文, 國立交通大學〕。
21. 李宗賢(2011)。土地利用對洪氾淹水影響之數值模擬〔碩士論文, 長榮大學〕。
22. 汪中和 (2015)。氣候暖化與台灣的水資源。鑛冶：中國鑛冶工程學會會刊, 59(2), 11-15。
23. 呂冠毅(2022)。探討氣候變遷下都市土地空間之減洪方案—以將軍溪流域為例。〔碩士論文。國立成功大學〕
24. 林俊成、詹為巽、徐韻茹 (2021)。融入基於自然的解決方案 (NBS) 強化國家氣候行動計畫內涵。林業研究專訊, 28(2), 1-7。
25. 周揚鈞 (2012)。SOBEK 模式於水田區之參數適用性研究。〔碩士論文。國立中興大學〕
26. 林佩瑩 (2022)。極端降雨相關指標在臺灣長期變化的分析：觀測、模擬及未來推估。〔碩士論文。國立臺灣師範大學〕
27. 邱昱嘉、游景雲、塗宗明、王澤琳、溫仲良 (2024)。美濃溪上游段以自然為本在地滯洪解決淹水方案。土木水利, 51(1), 59-65。
28. 施上粟 (2022)。漫談生態水利自然解方。土木水利, 49(2), 6-10。
29. 高思 (2014)。低衝擊開發於降低都市淹水之效率〔碩士論文, 國立交通大學〕。
30. 張向寬、林永峻、賴進松、譚義績 (2016)。跨集水區淹水模擬之影響與探討。農業工程學報, 62(3), 74-88。
31. 陳志鴻 (2005)。應用淹水模式評估都市區雨水下水道之效能〔碩士論文, 國立臺灣大學〕。
32. 陳世帆 (2013)。因應氣候變遷之淹水災害容忍門檻值評估與調適策略〔碩士

論文，國立臺北科技大學〕。

33. 陳文彬 (2017)。氣候變遷下的亞太區域糧食安全議題。臺灣經濟研究月刊，40(4)，47-53。
34. 陳玄芬、涂建翊 (2017)。以 TCCIP 資料分析臺灣降雨的氣候特徵與長期變化。中國地理學會會刊，(59)，1-20。
35. 國家災害防救科技中心 坡地與洪旱組(2021)。110 年度豪雨及颱風事件災情彙整報告。
36. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2020)。雲林縣有才寮排水台糖農場在地滯洪評估。
37. 經濟部水利署水利規劃試驗所、財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會、巫孟璇，NbS 於防洪減災之推動指引及案例研析，摘要，1-5 頁，經濟部水利署水利規劃分署出版，2021。
38. 經濟部水利署水利規劃試驗所(2022)。治水新思維「在地滯洪」-以雲林縣有才寮排水為例。水利署電子報 0469 期。
39. 經濟部水利署(2023)。112 年在地滯洪成效追蹤。
40. 廖柏華 (2014)。地層下陷區地下水優選調配對淹水潛勢之影響分析〔碩士論文，國立交通大學〕。
41. 賴炳樹、白仁德 (2012)。因應氣候變遷之洪災調適策略規劃。災害防救科技與管理學刊，1(1)，81-100。
42. 賴俊名 (2015)。多重尺度網格配置結合建物效應模擬街道淹水之研究〔碩士論文，國立交通大學〕。
43. 賴明倫 (2015)。逕流分擔與出流管制在小集水區之設計檢討。〔碩士論文。國立成功大學〕。
44. 謝喬安 (2022)。自然為基礎之治水策略推動分析—嘉義魚寮個案研究。〔碩士論文。國立成功大學〕。
45. 鍾婷羽 (2017)。設置低衝擊開發設施對都市淹水影響之研究。〔碩士論文。國立交通大學〕。
46. 簡傳彬、方文村、徐永昶 (2022)。農塘結合農田在地滯洪操作提高區域洪水調節功能分析。台灣水利，70(2)，43-60。
47. 顧玉蓉 (2022)。【與水同行 7】實踐 Nbs—以頭社盆地保水養地為例。中華防災學刊，14(1)，111-116。
48. 魏曉萍、李欣輯、葉克家、楊昇學、劉俊志 (2014)。極端颱風事件流量模擬之災害衝擊風險分析。農業工程學報，60(1)，1-14。