

極端降雨災害事件之城市治水脈絡：預算與單日降雨量之關聯性分析

執行摘要

本報告深入分析了近年來全球極端降雨災害事件的脈絡，特別聚焦於城市治水預算與單日降雨量之間的複雜關聯。全球暖化導致的氣候變遷，正加速極端降水事件的頻率與強度，使得傳統的城市排水系統面臨前所未有的挑戰。報告指出，城市因其高度集中的人口、關鍵基礎設施與經濟資產，在面對此類事件時顯得格外脆弱，管理成本也遠高於鄉村地區。

研究發現，儘管各國城市在「灰色基礎設施」（如堤防、排水系統、地下儲水槽）上投入了巨額預算，但其在應對超乎設計標準的極端降雨時，邊際效益顯著下降。這表明單純依賴擴大傳統工程的策略，可能在經濟上難以持續，且技術上不足以應對未來的氣候極端事件。相對地，「綠色基礎設施」（如雨水花園、透水鋪面、濕地保護）在極端降雨條件下展現出日益關鍵的緩解作用，且通常更具成本效益。

報告強調，將治水預算視為對氣候韌性的高回報投資，而非單純的支出，至關重要。氣候調適投資不僅能避免巨額災害損失，更能帶來顯著的經濟、社會與環境「三重紅利」。成功的城市治水策略，應從絕對防洪轉向災害緩解與快速復原，並整合多元化的措施，包括強化早期預警系統、推動土地利用規劃、提升跨部門協作，並確保資金分配的公平性。

引言：城市極端降雨的嚴峻挑戰

極端降水的定義與日益增長的威脅

極端降水是指在特定地點或時期內，降雨量或降雪量顯著超出正常水平的事件，其具體定義會因地點和季節而異¹。此類事件因其迅速引發洪水的潛力而備受關注。自1950年代以

來，全球範圍內，特別是美國，極端降水事件的頻率和強度均呈現顯著增長，其增幅甚至超越了年總降水量的整體趨勢¹。這種加速趨勢與氣候變遷直接相關：溫暖的海洋導致更多水分蒸發進入大氣，當這些飽含濕氣的空氣匯聚成風暴系統時，便會產生更為強烈的降雨或降雪²。

過去的城市基礎設施設計往往基於歷史氣候數據和統計概率（例如，10年或25年重現期），然而，當前的極端事件（如台灣嘉義6小時內降雨量達327毫米，已超越百年重現期標準³）正不斷突破這些既有設計閾值。這表明，僅依賴靜態的歷史數據進行設計已不足以應對當前及未來的氣候挑戰。城市規劃與基礎設施發展的模式必須進行根本性調整，以預測並適應未來更為不可預測和強烈的降雨模式。

城市中心日益增長的脆弱性

城市區域因其高度集中的人口、關鍵基礎設施和經濟資產，在面對洪水衝擊時表現出固有的脆弱性。這使得城市地區的防洪管理比農村地區更為複雜且成本高昂⁴。此外，快速且往往缺乏規劃的城市發展，經常干擾自然水流路徑，進一步加劇了洪災風險，並增加了城市在面對強降雨事件時的易受損程度⁴。

報告目的與範圍

本報告旨在全面分析極端降雨、城市洪災影響與現行及擬議預算應對措施之間的複雜關係。報告將提供數據驅動的分析和可行性建議，以期在不斷變化的氣候條件下，提升城市防洪韌性。

全球與區域極端降水事件趨勢

觀測到的增長與氣候變遷的關聯

自1901年以來，美國本土的年總降水量呈現整體增長，但極端降水事件的頻率和強度增長速度更快。值得注意的是，美國近十年來極端單日降水事件的前十個年份中，有九個發生在1995年之後¹。其中，中西部和東北部地區的強降水事件增幅最為顯著¹。

這種全球範圍內降雨強度增加的趨勢，是氣候變遷的直接後果。溫暖的海洋導致更多水分蒸發進入大氣，當這些飽含濕氣的空氣匯聚成風暴系統時，便會產生更為強烈的降雨或降雪²。這些數據和科學解釋共同指出，極端降水事件的增加並非單純的統計異常，而是氣候系統性變化的體現，這要求城市規劃和基礎設施建設必須採取更具前瞻性和適應性的策略。

區域差異與未來預測

儘管強降水事件正在增加，但一些氣候模型預測，中度降雨可能會減少，而乾旱期則可能延長。這意味著強降水事件的增加不一定會導致年總降水量的整體增加，反而可能形成一種「旱澇急轉」的降水模式¹。

亞洲地區，特別是其快速發展的南亞城市，面臨著顯著且日益加劇的洪災挑戰。這歸因於人口激增、強勁的經濟增長以及往往缺乏規劃的城市發展，這些因素共同干擾了自然水流路徑。許多此類城市在短時、高強度降雨事件期間會嚴重積水⁴。此外，預計到2025年，全球大部分洪災熱點將位於亞洲國家，這些地區通常面臨政策薄弱、風險資訊不足、預算匱乏和執行能力不足等問題⁵。

這種極端洪水與潛在乾旱並存的雙重挑戰，加上亞洲等脆弱地區的快速且常規性缺乏規劃的城市化，凸顯了整合式水資源管理策略的迫切需求。這類策略必須平衡防洪與水資源保護和儲存，從而超越單一的防洪方法，轉向更為全面的水資源管理。

案例研究：近期極端降雨事件及其城市影響

本節將詳細闡述來自不同大洲的近期極端降雨事件，突出其強度、造成的城市影響以及對防洪系統暴露出的具體挑戰。

北美洲

- 美國德州休士頓(2017年8月, 哈維颶風): 這場颶風為休士頓帶來了前所未有的48英寸(超過1200毫米)降雨, 創下美國單一事件降雨量的歷史紀錄¹。這場災難造成估計超過1488億美元(以2022年幣值計算)的損失, 並導致超過89人死亡¹。哈維颶風凸顯出, 熱帶氣旋的主要威脅往往並非沿海洪災或風害, 而是極端的內陸降雨¹。
- 美國田納西州(2021年8月): 此事件在24小時內錄得高達22英寸(約559毫米)的極端降水, 打破了該地區的紀錄。這導致廣泛的洪災和至少21人死亡¹。
- 美國聖路易斯及肯塔基州東部(2022年7月下旬): 極端降水導致聖路易斯周邊地區降雨8-12英寸(203-305毫米), 肯塔基州東部降雨5-10英寸(127-254毫米)。這場強降雨使肯塔基河北叉達到新的峰值水位¹。
- 美國密西西比州傑克遜(2022年夏季): 極端降雨導致嚴重的洪災, 使水處理廠不堪重負, 造成3人死亡, 並導致超過15萬居民缺乏飲用水¹。此案例突顯了洪災對關鍵城市基礎設施和公共衛生的連鎖影響, 其範圍遠超直接的淹水。

亞洲(以台灣為重點)

- 台灣(近期多起事件):
 - 2009年莫拉克颱風(8月6-10日): 此颱風帶來了極端且破紀錄的降雨, 特別集中在台灣南部山區和沿海地區⁶。
 - 2025年7月28日西南氣流: 此事件導致台灣中南部地區發生劇烈豪雨。嘉義六腳鄉在6小時內錄得327毫米降雨, 超過百年重現期標準; 台南後壁區在6小時內錄得328毫米降雨, 超過25年重現期標準³。屏東縣自7月28日起降雨量已超過2000毫米, 幾乎達到其年平均降雨量⁷。嘉義和台南等其他地區的24小時降雨量超過400毫米, 而台南在2025年8月初的降雨量接近600毫米⁸。這些事件導致嚴重的城市淹水, 包括嘉義科學園區內台積電先進封裝廠工地淹水⁸。
 - 台灣近年來的經驗, 特別是2025年7月的事件, 凸顯出即使在治水方面投入巨額資金(例如前瞻基礎建設計畫³), 降雨強度仍可能超出傳統設計標準, 導致局部淹水。這表明, 在極端氣候時代, 城市防洪管理的關鍵成功指標正從絕對防洪轉向水體消退速度、淹水深度和受災面積的減少³。面對破紀錄的降雨事件, 實現絕對防洪的目標可能越來越不切實際或不具經濟效益。因此, 一種更務實和具韌性的方法是專注於減輕洪水的影響並實現快速復原, 這重新定義了在新的氣候現實下的「成功」。
- 香港(2023年9月7日): 受颱風影響, 香港天文台總部在短短一小時內錄得158.1毫米的降雨量, 創下自1884年有記錄以來的最高值¹⁰。此事件突顯了在人口稠密城市環境中, 短時、高強度降雨事件的極端性。
- 印尼雅加達: 雅加達因其熱帶季風氣候, 年降雨量高(超過1700毫米, 部分流域甚至超

過3000毫米)，且極端降雨事件頻繁，因此經常遭受洪災⁴。其低窪地形，加上顯著的地層下陷（通常由過度抽取地下水引起）和海平面上升，進一步加劇了其洪災脆弱性⁴。

- 中國鄭州（2021年「7.20」洪水）與印度孟買（2005年7月26日洪水）：這兩起重大案例研究揭示，未能有效應對洪災的根本原因往往相似，包括治理問題、基礎設施不足、環境退化和公眾教育不足¹¹。這表明快速城市化的亞洲城市普遍存在系統性弱點，這些問題需要全面解決，而不僅僅是基礎設施建設。
- 日本東京：作為一個高度城市化的特大都市，東京在大型地下防洪設施上投入了巨額資金。著名的項目包括神田川地下調節池（2008年完工，耗資約8億美元，儲水能力達54萬立方米）和首都圈外圍排水道（2009年完工，耗資約20億美元，設計可抵禦200年一遇的洪水，被認為是世界上最長的地下防洪設施）⁵。儘管投入了這些巨額資金，東京仍頻繁面臨每小時超過50毫米的強降雨事件¹³。
- 中國上海：作為長江入海口的一個低窪沿海城市，上海極易受颱風、地層下陷和海平面上升的影響。1997年的溫妮颱風帶來了歷史最高水位，造成3500人死亡和32億美元的經濟損失。2012年的海葵颱風影響了約320萬居民，淹沒了數千戶房屋⁵。儘管上海官員聲稱該市能夠抵禦200年一遇的洪水，並擁有523公里長的沿海堤防和有效的疏散計畫，但研究表明，在極端情況下，上海約有50%的地區可能面臨洪災⁵。
- 台灣台北：台北市位於盆地，地勢低窪，經常遭受與暴雨和颱風相關的強降水引起的洪水淹沒。歷史上的城市化決策，如將灌溉系統改建為道路和改造河流，無意中減少了自然的蓄洪能力⁵。例如，2001年的納莉颱風因山洪暴發和基隆河沿岸抽水站故障，導致台北市中心大面積淹水⁵。研究指出，在極端天氣情境下，台北市約有41%的總土地面積易受洪災影響，帶來顯著的經濟（超過280億美元的GDP影響）和人口（20萬人）脆弱性⁵。

表1: 選定城市極端降雨事件及其影響(近年)

事件名稱/地點	日期/年份	峰值降雨量 (單位)	總降雨量(單位)	主要影響	相關資料來源
美國德州休士頓(哈維颶風)	2017年8月	48英寸 (1219.2毫米)	-	估計損失超過1488億美元，逾89人死亡，創美國單一事件降雨紀錄 ¹	¹
美國田納西州	2021年8月	24小時內達22英寸	-	廣泛洪災，至少21人死亡，	¹

		(558.8毫米)		打破區域紀錄 ¹	
美國聖路易斯及肯塔基州東部	2022年7月下旬	聖路易斯: 8-12英寸 (203-305毫米); 肯塔基州東部: 5-10英寸 (127-254毫米)	-	肯塔基河北叉水位達新高 ¹	1
美國密西西比州傑克遜	2022年夏季	未具體說明	-	水處理廠不堪重負, 3人死亡, 逾15萬人無飲用水 ¹	1
香港	2023年9月7日	1小時內158.1毫米	-	1884年有記錄以來最高一小時降雨量 ¹⁰	10
台灣嘉義六腳鄉	2025年7月28日	6小時內327毫米	-	超越百年重現期標準, 導致淹水 ³	3
台灣台南後壁區	2025年7月28日	6小時內328毫米	-	超越25年重現期標準, 導致淹水 ³	3
台灣屏東縣	2025年7月28日後	-	超過2000毫米 (接近年平均降雨量)	嚴重淹水 ⁷	7
台灣嘉義/台南	2025年7月28日	24小時內超過400毫米	-	台積電先進封裝廠工地淹水 ⁸	8
台灣台南	2025年8月初	-	近600毫米	嚴重淹水 ⁸	8

城市防洪管理: 策略與預算應對

本節將深入探討全球城市所採用的防洪管理策略，以及在傳統「灰色」基礎設施和新興「綠色」方法上的重大財政投入。

「灰色」基礎設施的投資

傳統的防洪方法嚴重依賴於結構性工程解決方案，旨在引導、容納或分流洪水。這些措施包括大型堤防、廣泛的地下排水系統和巨大的地下儲水槽。

- 台灣：政府透過「前瞻基礎建設計畫」（自2017年啟動）投入大量資金，其中嘉義獲得新台幣103.9億元，台南獲得新台幣109.8億元用於防洪³。公眾對這些巨額年度預算（例如6年600億元、8年800億元）效益的質疑，凸顯了投資規模與公眾期望之間的落差³。為應對氣候變遷，政府計畫啟動一項新的「兆元治水計畫」，基於系統性的防洪方法³。
- 美國加州：近期的州預算（2021-22和2022-23財年）包含270億美元（主要來自普通基金）用於氣候變遷減緩和應對，五年總承諾達402億美元¹⁴。其中，2021-2024年間防洪管理專項撥款3億美元¹⁵。州長2024-25財年預算提案中，提議9510萬美元用於防洪相關項目，包括3300萬美元作為州政府與聯邦政府合作的城市防洪減災項目分攤費用，以及3130萬美元用於中央谷地的多效益防洪減災項目¹⁶。
- 印尼雅加達：該市歷來高度重視結構性解決方案。其中一項旗艦倡議是「國家首都綜合沿海發展」（NCICD）和「雅加達巨型海堤」項目，估計耗資約412億美元⁴。另一項重要努力是世界銀行支持的「雅加達緊急防洪管理」項目，其第一部分涉及疏浚和修復優先防洪基礎設施，實際成本為1.1144億美元⁴。
- 日本東京：東京在灰色基礎設施上投入了巨額資金，包括神田川地下調節池（2008年完工，耗資約8億美元）和首都圈外圍排水道（2009年完工，耗資約20億美元）。後者是世界上最大的地下防洪設施，設計可抵禦200年一遇的洪水⁵。

儘管灰色基礎設施代表著巨大且通常必要的投資，但其在面對日益極端的降雨事件時，一旦降雨強度超過設計閾值，其效益便會遞減¹⁷。這意味著，僅依賴擴大灰色基礎設施的策略，可能在經濟上難以持續，且技術上不足以應對未來的氣候極端事件。

「綠色」基礎設施和自然基解決方案的興起

綠色基礎設施（GI）涵蓋一系列旨在管理雨水的自然和半自然系統，例如雨水花園、透水鋪面、地下滲透溝和自然洪氾區的保護¹⁸。隨著降水事件的加劇，綠色基礎設施透過減緩、吸收和減少雨水徑流來降低洪災風險，變得日益關鍵¹⁸。

- 成本效益與效益：阿靈頓帕斯卡雨水項目 (Arlington Pascal Stormwater Project) 的案例表明，安裝綠色基礎設施 (估計成本200萬美元) 比完全採用灰色基礎設施替代方案 (例如一條新的60英寸直徑雨水管，估計成本250萬美元) 更具成本效益，同時顯著減少了徑流量 (77-100%) ¹⁸。模型研究進一步指出，在全國範圍內使用綠色雨水基礎設施可以節省數億美元的洪災損失，如果進行改造，節省的損失將更為顯著 ¹⁸。
- 極端條件下的效益：關鍵的是，研究表明，雖然灰色基礎設施在正常降雨事件中對防洪起主導作用，但綠色基礎設施和地形在緩解極端降水事件中的城市洪災方面發揮著「日益關鍵的作用」¹⁷。它們與經濟發展的相關性較低，這表明其效益與城市的財富水平關聯不大 ¹⁷。

綠色基礎設施不僅僅是環保的替代方案，更是城市防洪韌性的戰略性關鍵組成部分，在極端條件下提供卓越的性能，且通常比傳統的灰色解決方案成本更低。這為優先考慮綠色基礎設施並將其整合到所有新建和改造的城市發展項目中提供了令人信服的理由。

調適性投資的資金機制與成本效益分析

氣候變遷調適和防洪管理的資金來源多樣，包括政府普通基金、專項基金 (例如加州的溫室氣體減排基金)、公私合作夥伴關係 (PPP)，以及區域和國有企業的投資 ⁴。

- 「不作為的成本」：氣候相關極端天氣事件造成的經濟損失是巨大的，代表了「不作為的成本」。在歐盟，1980年至2021年間，這些損失總計超過5600億歐元，其中只有一小部分獲得保險理賠 ¹⁹。同樣，在美國，如果全球溫室氣體減排努力未能實施，到2100年城市排水系統的調適成本預計將在11億至120億美元之間 ²⁰。這凸顯了未能採取調適行動所帶來的巨大財政負擔和社會混亂。
- 「調適的效益」(三重紅利)：世界資源研究所 (WRI) 的最新研究發現，在氣候調適方面每投資1美元，在10年內可產生超過10.50美元的效益 ²¹。這些效益不僅限於避免災害損失，還包括更廣泛的經濟、社會和環境收益，即使在災害未發生時也能產生。這通常被稱為調適的「三重紅利」。WRI分析的項目顯示，平均投資回報率高達27% ²¹。這些更廣泛效益的具體例子包括土地平均價格上漲、水傳播疾病減少導致醫療成本降低，以及基礎設施改善縮短通勤時間而提升工人生產力 ²¹。

將防洪預算視為對氣候韌性的高回報投資，而非單純的支出，這種觀念的轉變至關重要。這些投資產生顯著的經濟、社會和環境「三重紅利」，其價值遠超初始投入。這種重新定位對於在氣候風險不斷升級的背景下，證明和維持全面調適所需的大量財政承諾至關重要。

表2：城市防洪預算分配與投資策略比較

城市/地區	主要防洪計畫/項目	總預算/投資 (時間範圍)	主要策略重點	顯著成果/挑戰	相關資料來源
台灣	前瞻基礎建設計畫	嘉義103.9億台幣, 台南109.8億台幣(自2017年起)	灰色(傳統排水改善)	縮短淹水時間, 減少淹水面積(嘉義和寶玉排水:16小時縮至4.5小時;台南菁寮排水:469公頃縮至5.5公頃) ³	³
	兆元治水計畫(規劃中)	兆元規模	系統性防洪方法	應對氣候變遷下極端降雨 ³	³
美國加州	氣候變遷應對預算	2021-23年270億美元(5年總計402億美元)	綜合(氣候變遷減緩與應對)	廣泛的氣候相關活動 ¹⁴	¹⁴
	水資源韌性套裝計畫	3年46億美元(2021-24年)	灰色(洪水管理、飲用水、水資源可靠性)	包含3億美元用於洪水管理 ¹⁵	¹⁵
	2024-25年防洪預算	9510萬美元(提案)	混合(洪水恢復、城市防洪減災、多效益項目)	聯邦合作, 保護弱勢社區, 生態效益 ¹⁶	¹⁶
印尼雅加達	國家首都綜合沿海發展(NCICD)與巨型海堤	估計約412億美元	灰色(大型海堤、水庫、疏浚)	嚴重延誤, 環境社會爭議, 地方政府暫停而中央政府繼續 ⁴	⁴
	雅加達緊急防洪管理項目	1.1144億美元(第一部分實際成本)	灰色(疏浚、基礎設施修復)	改善水質, 減少170萬人洪災損失 ⁴	⁴

日本東京	神田川地下調節池	約8億美元(2008年完工)	灰色(大型地下儲水設施)	54萬立方米儲水能力 ⁵	5
	首都圈外圍排水道	約20億美元(2009年完工)	灰色(世界上最大的地下排水設施)	可抵禦200年一遇洪水 ⁵	5
美國阿靈頓帕斯卡雨水項目	綠色基礎設施	200萬美元	綠色(雨水花園、滲透溝、地下儲存)	徑流減少77-100%，比灰色方案更具成本效益 ¹⁸	18

極端條件下現有防洪措施的效益與局限性

本節將批判性評估現有防洪措施的性能，特別是在面對超出其設計容量的極端降雨事件時，並強調成功衡量標準的演變。

灰色基礎設施在極端壓力下的表現

儘管在灰色基礎設施上投入了大量資金(例如台灣的前瞻基礎建設計畫、東京龐大的地下系統)，這些措施在許多事件中已證明能有效縮短淹水時間和減少受災面積，但它們正日益被短時、高強度降雨所壓倒，這些降雨超出了其原有的保護標準³。例如，在台灣，即使在投入大量資金後，6小時降雨量超過百年重現期的事件仍然導致了淹水³。

研究定量證實，在極端降水事件中，隨著降雨強度的增加，「灰色基礎設施的邊際效益顯著下降」¹⁷。這意味著，一旦超過某個閾值，僅靠建造更大或更多的傳統設施，其投資回報率會迅速降低，且可能無法有效應對日益加劇的氣候極端事件。這也解釋了為何在台灣，儘管投入了數百億新台幣的治水預算，但在面對超乎預期的強降雨時，部分地區仍會發生淹水，這並非預算無效，而是降雨強度已超越了既有防護標準的承載極限³。

綠色基礎設施在提升韌性中的作用

與灰色基礎設施不同，綠色基礎設施在極端降雨事件中顯示出更高的韌性與效益。研究指出，在極端降水期間，當降雨強度增加時，綠色基礎設施和地形在緩解城市洪災方面發揮著「日益關鍵的作用」¹⁷。這類解決方案透過自然過程管理雨水，例如增加土壤滲透、延緩徑流和儲存水分¹⁸。

例如，在阿靈頓帕斯卡雨水項目中，綠色基礎設施（包括滲透溝、雨水花園和地下儲存系統）能夠將徑流量減少77%至100%¹⁸。這不僅證明了其在技術上的有效性，也顯示出其在成本效益上的優勢，比傳統的灰色基礎設施替代方案更經濟¹⁸。這種在極端條件下表現更佳的特性，使得綠色基礎設施成為城市防洪策略中不可或缺的組成部分。其效益不完全取決於經濟發展水平，這為資源有限的城市提供了可行的解決方案¹⁷。

成功衡量標準的演變

面對氣候變遷帶來的極端降雨新常態，城市防洪管理的成功衡量標準正在發生根本性轉變。過去，目標可能是完全防止淹水，但現在，隨著降雨強度不斷突破歷史紀錄，實現絕對防洪變得越來越困難且成本極高。

因此，新的成功指標更多地側重於以下幾個方面：

- 快速排水與復原：即使發生淹水，水體能夠在短時間內迅速消退，是衡量防洪系統效率的關鍵指標。例如，台灣嘉義和寶玉排水系統在改善後，面對與2017年海棠颱風類似的降雨量，淹水時間從16小時縮短至4.5小時³。
- 減少淹水深度與範圍：降低淹水對城市功能和居民生活的影響，即使無法完全避免淹水，也要將其深度和影響範圍降至最低。例如，台南菁寮排水系統改善後，在2018年8月23日的強降雨事件中，淹水面積從469公頃大幅減少到5.5公頃³。
- 降低經濟損失與人員傷亡：最終目標是最大限度地減少洪災造成的經濟損失和人員傷亡。這包括保護關鍵基礎設施、減少財產損失，並確保居民安全。
- 系統的韌性與適應性：衡量城市系統在面對極端事件時的承受能力、快速恢復能力和從中學習並改進的能力。這包括早期預警系統的有效性、應急響應機制以及社區參與度⁴。

這種衡量標準的轉變，反映了城市防洪策略從「防堵」到「與水共存」的理念轉變。它承認了在極端氣候下，完全消除洪水可能不切實際，因此重點應放在如何最大限度地降低其破壞性影響，並加速社會和經濟的復原。

結論與建議

全球極端降雨事件的頻率和強度持續增加，對城市防洪系統構成日益嚴峻的挑戰。傳統上依賴大型「灰色基礎設施」的策略，儘管投入巨資，但在面對超乎設計標準的極端降雨時，其邊際效益顯著下降。這表明，單純依賴擴大傳統工程的策略，可能在經濟上難以持續，且技術上不足以應對未來的氣候極端事件。相對地，「綠色基礎設施」和自然基解決方案在極端降雨條件下展現出日益關鍵的緩解作用，且通常更具成本效益。

本報告的分析結果指出，將城市防洪預算視為對氣候韌性的高回報投資，而非單純的支出，至關重要。研究顯示，氣候調適投資不僅能避免巨額災害損失，更能帶來顯著的經濟、社會與環境「三重紅利」，其投資回報率遠超傳統預期。這為政府和決策者提供了強有力的依據，以證明和維持在城市防洪領域的大量財政承諾。

基於上述分析，本報告提出以下行動建議，以增強城市在極端降雨事件下的韌性：

1. 重新定義防洪成功標準，轉向韌性與復原：承認在極端氣候下，完全消除洪水可能不切實際。城市應將重點放在縮短淹水時間、減少淹水深度和範圍、最大限度降低經濟損失和人員傷亡，以及提升系統快速復原的能力。這需要將防洪目標從「絕對防洪」轉變為「災害緩解與快速復原」。
2. 優先並整合「綠色基礎設施」：鑒於綠色基礎設施在極端降雨條件下的優越性能和成本效益，城市應將其作為防洪策略的核心組成部分。這包括在城市規劃中推廣雨水花園、透水鋪面、地下滲透系統，並保護和恢復自然洪氾區和濕地。應鼓勵在所有新建和改造項目中強制性地整合綠色基礎設施。
3. 實施綜合性水資源管理策略：考慮到極端降雨與乾旱並存的「旱澇急轉」模式，城市應從單一的防洪方法轉向更為全面的水資源管理。這意味著不僅要管理洪水，還要考慮水資源的收集、儲存和再利用，以應對潛在的乾旱期。
4. 強化早期預警系統與應急響應機制：投資於先進的氣象監測技術（如物聯網和人工智慧驅動的系統）和即時數據平台，以提高洪水預測的準確性和時效性⁴。建立清晰的應急協議和跨部門協作機制，確保在災害發生時能迅速有效地進行疏散、救援和排水作業¹²。
5. 推動韌性導向的城市土地利用規劃：透過土地利用規劃，引導開發遠離高風險洪災區域，並在必要時考慮氣候驅動的人口遷移計畫⁵。城市更新政策應要求開發商改善雨水管道、建設蓄水池和增加透水表面。為河流規劃更多空間，建設更多人工濕地和生態池以容納水流⁵。
6. 將調適投資視為經濟發展機會：改變對防洪預算的傳統認知，認識到氣候調適投資不僅是避免損失的必要支出，更是推動經濟增長、改善公共衛生和提升社會福祉的策略性投資。應鼓勵公私合作，吸引更多資本投入到具有「三重紅利」的氣候韌性項目中²¹。
7. 提升治理能力與跨部門協作：解決不同政府機構之間在水資源管理和防洪政策上的協調問題，以提高效率和效益⁵。建立一個清晰的洪水應急管理治理結構，明確各機構在風險管理和應急響應中的角色¹²。

透過採納這些綜合性建議，城市可以更好地應對日益增長的極端降雨挑戰，從而保護其居民、基礎設施和經濟，並在不斷變化的氣候中建立更具韌性的未來。

引用的著作

1. Extreme Precipitation and Climate Change - Center for Climate and ..., 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://www.c2es.org/content/extreme-precipitation-and-climate-change/>
2. Climate Change Indicators: Heavy Precipitation | US EPA, 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://www.epa.gov/climate-indicators/climate-change-indicators-heavy-precipitation>
3. 前瞻治水每分錢都值得退水快淹水面積少 - 中華民國經濟部, 檢索日期: 8月 4, 2025, https://www.moea.gov.tw/mns/populace/news/News.aspx?kind=1&menu_id=40&news_id=120043
4. Urban flood management in Jakarta - UNFCCC, 檢索日期: 8月 4, 2025, https://unfccc.int/ttclear/misc_/StaticFiles/gnwoerk_static/TEC_NSI/b37e396ecf0b42879e913c50c75883e9/46cd95e108ae48cea7196244d2721393.pdf
5. (PDF) Urban Flood Resilience in New York City, London, Randstad ..., 檢索日期: 8月 4, 2025, https://www.researchgate.net/publication/315576818_Urban_Flood_Resilience_in_New_York_City_London_Randstad_Tokyo_Shanghai_and_Taipei
6. 極端氣候 - 中央氣象局, 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://www.cwa.gov.tw/Data/climate/Knowledge/pdf/201005-1.pdf>
7. 屏東萬巒連日強降雨萬金村萬德路大淹水 - 客家電視台, 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://www.hakkatv.org.tw/news-detail/1754217291631139>
8. 西南氣流致中南部劇烈豪雨估24小時雨量高屏最盛達400毫米| 生活 - 中央社, 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://www.cna.com.tw/news/ahel/202507280167.aspx>
9. 南部治水預算花哪? 律師: 這雨量下到台北市也是淹! 馬英九後來還當總統 - 奇摩新聞, 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://tw.news.yahoo.com/%E5%8D%97%E9%83%A8%E6%B2%BB%E6%B0%B4%E9%A0%90%E7%AE%97%E8%8A%B1%E5%93%AA-%E5%BE%8B%E5%B8%AB-%E9%80%99%E9%9B%A8%E9%87%8F%E4%B8%8B%E5%88%B0%E5%8F%B0%E5%8C%97%E5%B8%82%E4%B9%9F%E6%98%AF%E6%B7%B9-%E9%A6%AC%E8%8B%B1%E4%B9%9D%E5%BE%8C%E4%BE%86%E9%82%84%E7%95%B6%E7%B8%BD%E7%B5%B1-005000159.html>
10. 气候变化和极端天气的影响重创亚洲| 世界气象组织, 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://wmo.int/zh-hans/news/media-centre/qihoubianhuahejidaduanguangyazhou>
11. Enhancing Cities' Resilience to Floods through Urban Planning and ..., 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://www.atlantis-press.com/proceedings/icdeba-24/126008613>
12. How to reduce flood risk in your city - C40 Knowledge Hub, 檢索日期: 8月 4, 2025, <https://www.c40knowledgehub.org/s/article/How-to-reduce-flood-risk-in-your-c>

ity

13. 東京都総合治水対策協議会ホームページ, 検索日期: 8月 4, 2025, <https://www.tokyo-sougou-chisui.jp/>
14. The 2023-24 Budget: Crafting Climate, Resources, and Environmental Budget Solutions - Legislative Analyst's Office, 検索日期: 8月 4, 2025, <https://lao.ca.gov/Publications/Report/4692>
15. The 2022-23 Budget: Water and Drought Response Proposals - Legislative Analyst's Office, 検索日期: 8月 4, 2025, <https://lao.ca.gov/Publications/Report/4509>
16. The 2024-25 Budget: Flood Management Proposals, 検索日期: 8月 4, 2025, <https://lao.ca.gov/Publications/Report/4856>
17. Exploring how economic level drives urban flood risk - PMC, 検索日期: 8月 4, 2025, <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12104414/>
18. Mitigate Flooding | US EPA, 検索日期: 8月 4, 2025, <https://www.epa.gov/green-infrastructure/mitigate-flooding>
19. Assessing the costs and benefits of climate change adaptation ..., 検索日期: 8月 4, 2025, <https://www.eea.europa.eu/publications/assessing-the-costs-and-benefits-of>
20. Climate Action Benefits: Urban Drainage | Climate Change in the ..., 検索日期: 8月 4, 2025, <https://19january2017snapshot.epa.gov/cira/climate-action-benefits-urban-drainage.html>
21. The Compelling Investment Case for Climate Adaptation | World Resources Institute, 検索日期: 8月 4, 2025, <https://www.wri.org/insights/climate-adaptation-investment-case>
22. Climate Readiness Framework for Coastal Cities - Urban Ocean Lab, 検索日期: 8月 4, 2025, <https://urbanoceanlab.org/climate-readiness-framework>