

探討桃園市坡地災害風險減輕與氣候變遷調適策略

Exploring on Slope Disasters Risk Reduction and Resilience

Adaptation Strategies for Taoyuan City

劉佳怡¹ Liu, Chia-Yi

國立中央大學災害防治研究中心專案工程師

李姿儀² Li, Zih-Yi

國立中央大學災害防治研究中心專案經理

鐘志忠³ Chung, Chih-Chung

國立中央大學災害防治研究中心副主任

摘 要

本研究考量氣候緊急威脅，藉由整合災害風險減輕(Disaster Risk Reduction, DRR)和氣候變遷調適(Climate Change Adaptation, CCA)等概念減少氣候改變負面衝擊，參考第九屆行政院專諮會韌性城市操作流程，運用國家災害防救科技中心所產製之 AR6 多空間尺度氣候變遷坡地災害風險圖，分析桃園市現況及未來面對坡地災害風險的脆弱性議題，進而探討後續之防災調適策略作為，以因應現階段氣候緊急下的極端災害威脅。

關鍵詞：氣候變遷、坡地災害、災害風險、韌性城市

一、前 言

全球暖化所導致的氣候變遷影響日益顯著，面臨極端高溫日數增加、颱風強度增強、乾旱發生頻率增加等環境衝擊，聯合國災害風險減輕辦公室(UNDRR)啟動「讓城市有抗災韌性」運動(2010)，制定增進城市韌性之十大基本要素，目的是提高城市對災害風險的認知及減災意識，反映出現今社會對城市抗災韌性之重視。

近年來考量極端氣候狀態下之威脅及為與國際接軌因應氣候變遷衝擊，我國 2023 年公告修訂「氣候變遷因應法」，完備氣候法制基礎以順應國際趨勢，並研擬「國家氣候變遷調適行動計畫(112-115 年)」，除推動固定暖化情境、調適框架設定及公眾參與等重要概念外，提出我國目前面臨氣候變遷威脅下之七大調適領域，包含維生基礎設施、水資源、土地使用、海岸、能源供給及產業、農業生產及生物多樣性與健康等領域，詳細陳述各領域所受氣候變遷的衝擊與挑戰，並且提出完整的因應調適策略。另外此計畫進一步將災害風險評估及韌性提升納入能力建構做為其他調適領域架構之骨幹，並指出政府應考量氣候變遷環境衝擊下災害適應能力低、高脆弱性的高風險族群。據此建議加強社會扶助，協助高風險族群調整適應環境風險，因此明定地方政府需制定「氣候變遷調適執行方案」強化因地制宜之調適策略，推動我國社會、經濟及環境之永續發展。

呼應國際社會對災害風險管理的重視，及健全我國因應氣候變遷的能力，第九屆行政院災害防救專家諮詢委員會(以下簡稱專諮會)，以上述 UNDRR 所提及之十大基本要

素為藍圖，建構「極端災害下之韌性城市」操作方法及八大韌性要素，包含災防體系的完備、掌握災害風險情境、增加財務面向的韌性、城鄉發展與設計應考量災害風險、重視及加強社會韌性、加強基礎設施因應災害之能力、精進災害應變能力及平時即重視及培育復原重建能力等要素，提供建構韌性城市的架構。因此本研究以坡地災害為例，參考我國現今韌性城市操作流程及防災、減災之策略建議，分析桃園市現況及未來面對坡地災害的脆弱性議題，進而探討後續防災調適策略作為，因應現階段氣候緊急下的極端災害威脅。

二、研究內容與執行方式

1、研究方法

據前言所述，本研究參考第九屆專諮會「極端災害下之韌性城市」之建構韌性城市操作方法，如圖 1 所示。並且根據 2012 年聯合國政府間氣候變遷專門委員會(IPCC)於特別報告中強調災害風險減輕(DRR)與氣候變遷調適(CCA)兩者間相互依賴的關係，同時考量災害風險減輕及氣候變遷調適的觀點，如圖 2 所示，將韌性城市操作方法調整為韌性防災調適流程，作為策略規劃工具，並初步應用國家災害防救科技中心(2023)所產製之 AR6 多種空間尺度氣候變遷坡地災害風險圖，作為危害情境分析工具，建構桃園市完善之氣候變遷長期調適因應策略，目標是將災害風險減輕(DRR)與氣候變遷調適(CCA)融合，考量長期氣候變化風險的影響，最後落實以具體化實際作為。

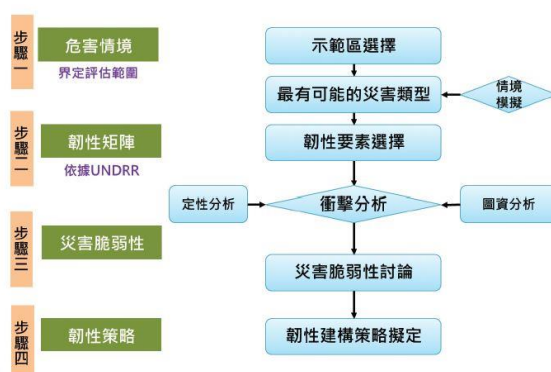


圖 1 韌性城市操作方法流程圖(行政院災害防救專家諮詢委員會，2020)

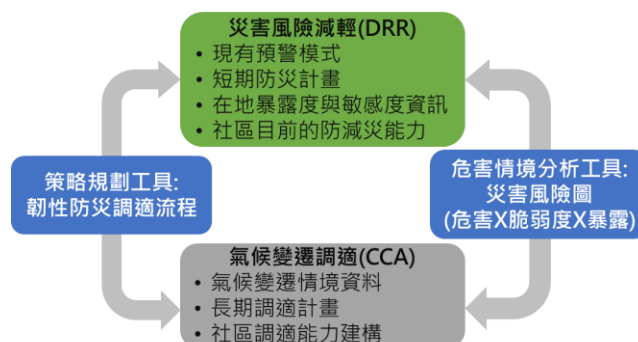


圖 2 本研究韌性防災調適概念圖

2、桃園市坡地災害議題探討

桃園市位於臺灣西北部，面積約 1,220 平方公里，共有 13 個行政區，如圖 3 所示，其中面積最大為復興區 350 平方公里，約佔桃園市面積的 1/3。地形呈現西北向東南之狹長形，自石門水庫起經大溪區東北出市境之大漢溪，將桃園市劃分為東南和西北兩大部分。東南部分為標高三百公尺以上之丘陵地、階地及山岳，地勢向東南漸次升高，山勢峻峭；西北部地勢則較為平緩，臺地、階地甚為發達，河流短而呈放射狀入海。

依據「山坡地保育利用條例」之定義山坡地來劃分，則桃園市之山坡地面積約有 306 平方公里，範圍涵蓋復興區、龜山區、蘆竹區、龍潭區、大溪區、楊梅區、桃園區與平鎮區等八區，而山坡地範圍若再包含國有林事業區、保安林地(221 平方公里)，則其總面積約為 527 平方公里，佔全市面積約 43%。另外桃園市境內分布有岩屑崩滑、岩體滑動、落石、順向坡等坡地災害潛勢區，總計共有 53 條土石流潛勢溪流，其中有 3 條為高風險等級，座落於復興區奎輝里與羅浮里。據上所述，在面臨極端氣候威脅下，桃園市針對坡地災害之氣候變遷調適計畫刻不容緩，為使研究議題聚焦，本研究依據桃園市政府所公告之氣候變遷調適執行方案(2024)之內容，針對坡災所列之具有急迫性的調適缺口，作為此次主要分析的三大議題，包含以下 3 大調適領域，如土地使用領域、維生基礎設施領域、水資源領域等，討論桃園市未來推估受到氣候變遷影響之坡地災害風險程度以及面臨極端氣候情境下坡地災害之韌性調適策略擬定。

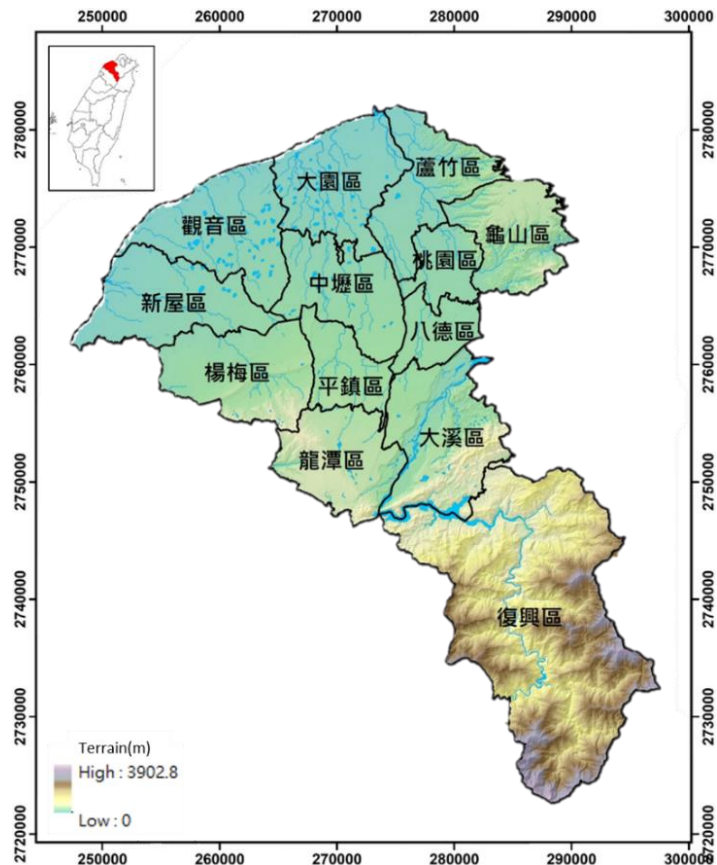


圖 3 桃園市行政區與地形分布圖

3、AR6 情境下多種空間尺度氣候變遷坡地災害風險圖

(1)風險圖之組成元素

本研究為了解桃園市受到氣候變遷影響所可能帶來的坡地災害衝擊，根據「112-115 年國家氣候變遷調適行動方案」提出之國家情境設定及調適框架，採用固定暖化情境設定作為風險評估與辨別調適缺口之共同參考情境，因此本研究應用由國家災害防救科技中心(以下簡稱 NCDR)所產製之多種空間尺度氣候變遷坡地災害風險圖做為危害情境之依據，並以建議之固定暖化情境，世紀中(西元 2041~2060 年)全球升溫 2°C 情境下以國科會「臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)」提供之 CMIP6(Coupled Model Intercomparison Project Phase 6)模式資料，進行後續坡地災害危害度評估。

坡地災害風險是指山坡地在氣候變遷極端降雨下，具有崩塌潛勢區域可能衝擊暴露的人或資產的損失，分級方式呈現風險高低，等級越高，風險越高，其組成包含危害度、脆弱度、暴露度等面向，有關指標說明如表 1。指標等級評估方法則採用等分類法將所有樣本數依數值由小到大排序，再將其分為 5 個等級，每個等級區間樣本數的個數相同。以坡地災害風險圖計算為例，將多種空間尺度計算下獲得之危害度、脆弱度及暴露度各指標原始數值分別以 Quantile 法分級，獲得各等級數值後，依風險矩陣計算方法疊加危害度、脆弱度及暴露度等級，依照數值區間再等分成 1~5 級，風險等級 5 為最高風險等級，反之風險等級 1 為較低風險等級。同時氣候變遷災害風險具有不確定性，相關坡地災害風險圖資之組成架構，如圖 4 所示。本研究將於研究成果中，進一步說明如何運用坡地災害風險圖中的危害度、脆弱度、暴露度等三項指標，疊加不同地方性圖資，分析桃園市坡地災害風險相關議題。

表 1 坡地災害風險指標組成

風險指標	坡地災害		資料來源
危害度	一日降雨量超過 350mm 機率		TCCIP-AR6(2023)
脆弱度	地質災害潛勢	順向坡、岩屑崩滑、岩體滑動、落石	經濟部地礦中心(2016)
	裸露地面積比指標	福衛判釋全島崩塌地圖	農業部林業及自然保育署(2018)
暴露度	現況人口密度(鄉鎮市、最小統計區)		內政部戶政司(2022)
空間尺度	鄉鎮市、最小統計區、網格 5 公里		-
增溫情境	近似 1°C、1.5°C、2°C、4°C		本研究採世紀中 2°C 增溫情境(西元 2041~2060 年)

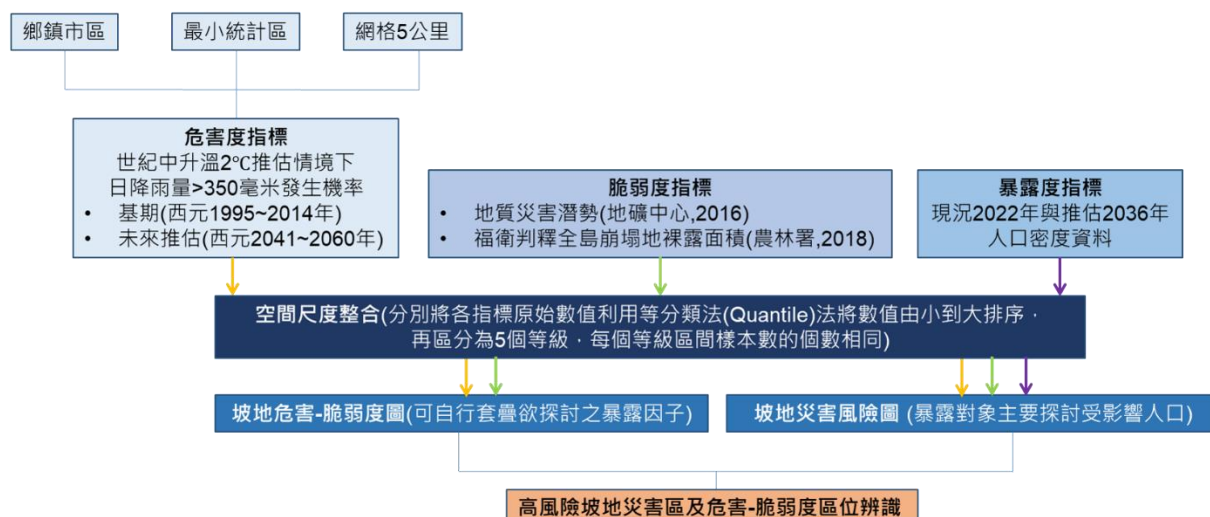


圖 4 氣候變遷坡地災害風險圖資組成說明圖(整理自 NCDR，2024)

(2)不同空間尺度之氣候變遷坡地災害風險圖分析

NCDR 所產製之多空間尺度坡地災害風險圖，主要有三種空間尺度供研究者依據不同研究議題套疊相關圖資。第一種為鄉鎮市區尺度，為製作災害風險圖最大的空間單元，以行政單元劃設，對行政機關而言較好判讀及執行相關規劃，較適用於全國國土計畫或縣市國土計畫；第二種為最小統計區尺度，為政部統計區分類系統裡人口或社會經濟資料蒐集及彙整的最小空間單元，資料易讀性高，其區域內的資料盡量會呈現均勻的特性，因此在製作災害風險圖可明顯分析出位於人口集中的區位，也保存原始資料的空間分布特性，較適用於縣市層級，或以人口為討論對象的政策規劃；第三種為網格 5 公里尺度，其依據 TCCIP 應用統計降尺度 5 公里 × 5 公里的高解析度網格來做分析，由於是氣候資料的空間尺度，其資料不確定較低，但尺度相較於地質災害潛勢範圍較大，易造成資料受均質化的影響，建議適用於全國層級，像是不同領域之應用(如農業等產業)。

針對固定暖化情境世紀中升溫 2°C 情況下，組成坡地危害風險圖之各指標空間分布如圖 5 所示。以尺度單元為最小統計區之桃園市坡地災害風險圖為例評估相對高風險區位，如圖 5 所示，危害度圖分為現況及未來推估坡地致災降雨機率空間分布，危害度等級較高之區域主要分布於桃園市山區如復興區及大溪區，龜山區及楊梅區次之；在脆弱度圖方面，以現況地質脆弱因子分析高脆弱度區主要分布於復興區三光里、澤仁里及霞雲里等地區，顯示其地質災害潛勢較高；暴露度圖則是以現況最小統計區人口密度來分析，目前無分析未來人口推估資料，其現況之高暴露度區位於復興區三光里、澤仁里、羅浮里及龜山區免坑里。將三指標圖疊加後得到桃園市坡地災害風險圖，高風險區分布以復興區為主，另外於龜山區、大溪區等區域也為較高風險區，需針對高風險區位優先規劃調適措施。

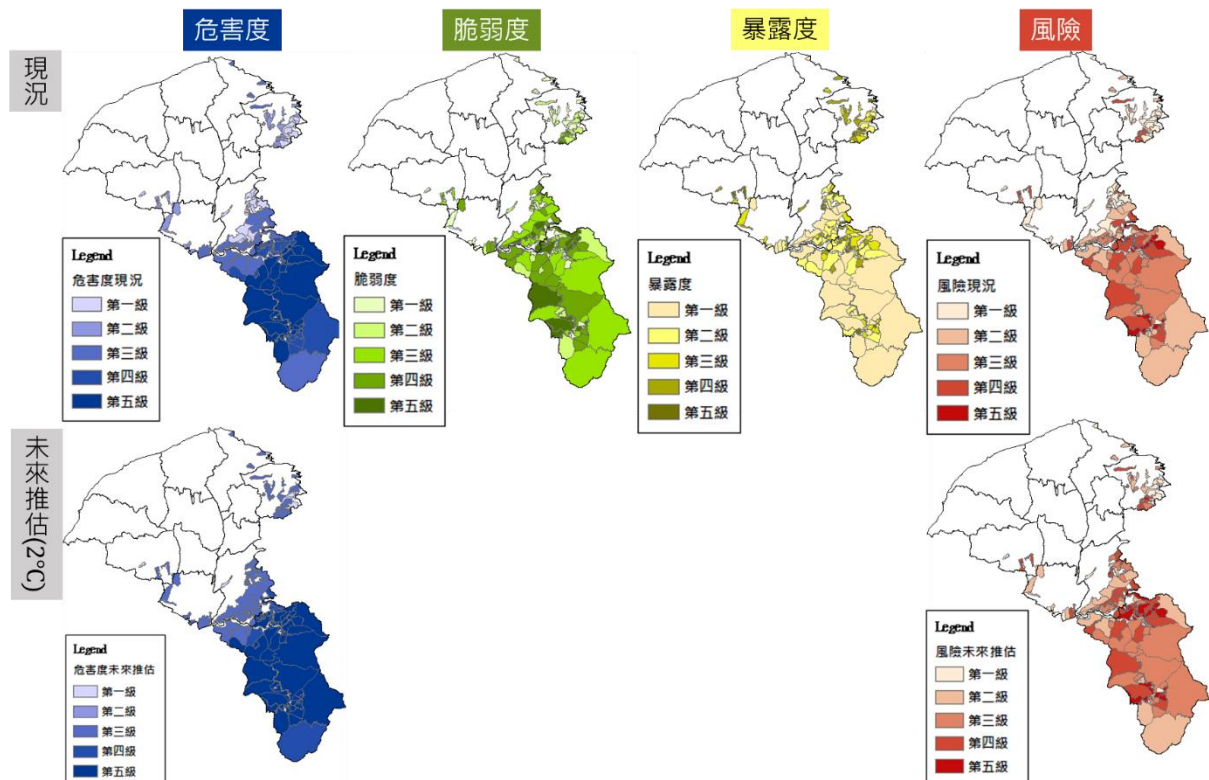


圖 5 組成坡地危害風險圖之各指標空間分布

三、坡地災害議題研究分析成果

過去評估坡地災害風險相關研究，大多利用數值模擬法或統計分析法針對「特定的研究區域（如流域、特定崩塌面）」評估極端降雨、河川土砂量及土石流數量之變化，較無整體考量人口暴露度的風險資訊。本研究應用之 TCCIP 全球暖化情境下坡地災害風險圖採用「指標法」，針對坡地災害問題，選擇適用的關鍵因子指標，考量坡地致災降雨機率空間分布、地質脆弱因子及多空間尺度之人口暴露度因子，得到桃園市面臨極端氣候情境下之坡地災害風險等級。根據前述章節不同空間尺度之氣候變遷坡地災害風險圖分析，研判桃園市較高風險區位於桃園市復興區、大溪區及龜山區等區域，初步辨識高風險區後，本研究依照韌性防災調適流程，示範區之評估範圍以「桃園市氣候變遷調適執行方案」（桃園市政府，2024）之潛在衝擊課題為基礎，延伸地方政府既有之研擬課題，包含土地利用領域、維生基礎設施領域及水資源領域等討論桃園市所面臨之坡地災害風險議題。並以坡地災害之危害-脆弱度圖為主要危害情境圖資，以韌性防災矩陣方式套疊其他各議題所需之圖資方式呈現桃園市氣候變遷高風險熱點區域空間分布，進行後續韌性防災脆弱性討論，考量災害風險減輕(DRR)與氣候變遷調適(CCA)融合，建構桃園市因應氣候變化風險之短、中及長期調適因應策略。

1、土地利用領域

(1)圖資應用說明

土地利用領域考量國土空間係人居生活、產業發展、資源系統等多元活動之載體，面臨氣候變遷所帶來之極端降雨事件趨勢下易誘發邊坡災害，除了破壞週遭環境及基礎設施外，也進一步危害人民生命財產安全。為了因應坡地災害對居住安全及經濟發展造成之衝擊，需優先辨識高風險地區。由前述多空間尺度之氣候變遷坡地災害風險圖可知於未來推估情境下，桃園市大溪區、龜山區及復興區為面臨坡地災害之較高風險區，其中又以復興區為現況及未來推估情境下都屬於最高風險區。

根據桃園市復興區 113 年 6 月發布的最新統計資料，該區總人口約 13,185 人，其中 9,517 人為原住民族，約佔行政區人口的 72%，族群以泰雅族為主。又依原住民族委員會 113 年 6 月之公告，復興區核定的部落數計有 58 個，分布於復興區 10 個里中，有約半數部落之核定範圍涉及山崩地滑地質敏感區及大規模崩塌潛勢區，請參閱圖 6。因此探討復興區之坡災高風險區，顯示應考量原住民族需求，過去研究顯示疏散避難政策在原民部落推動遇到極大挑戰，係因原民部落公共事務決策模式，與漢人由上而下宣導之政策導向制度不完全相同，通常需由部落所有人共同決定，可透過具法律效力的「部落會議」，或是透過部落較信賴的「教會系統」，共同商討，「由下而上」地達成共識後自發性推動，政策才能有效落實，因此針對原民部落進行「風險溝通」更顯重要性(吳杰穎，2021)。本研究應用 NCDR 空間尺度 5km 網格不同增溫情境下坡地危害-脆弱度圖，以風險揭露的角度，識別出桃園市復興區風險較高之區域，並將相關研究成果提供予地方政府和社區，使其採取更積極的防災措施並擬定應變計劃，以應對未來可能帶來的挑戰，減輕災害對人民生命財產的影響，確保社區的安全和健康。

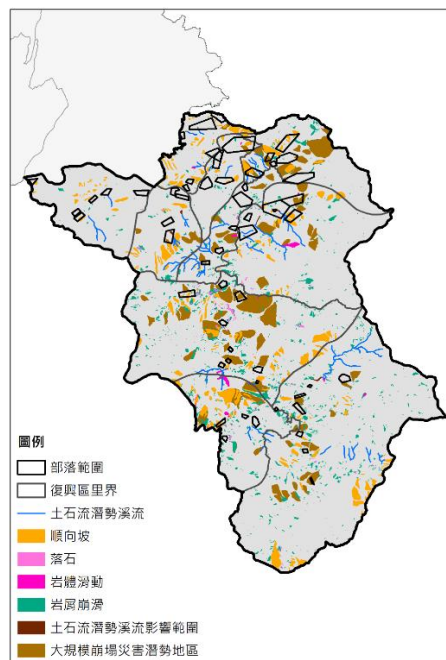


圖 6 桃園市復興區 58 個部落與環境敏感區分布圖

(2)坡地災害脆弱性分析

本研究套疊桃園市部落範圍、原住民族委員會 2024 年公告之易成孤島地區及農業部 2024 年公告之大規模崩塌潛勢區及土石流潛勢溪流，目的是辨識未來推估情境下高危害-脆弱度地區之高風險部落，如圖 7 所示。根據部落地理位置綜整於表 2 及表 3。其中華陵里之上巴陵部落、後光華部落及高義里之雪霧鬧部落同時位於大規模崩塌區及易成孤島地區，顯示未來可能受到坡地災害風險影響較高。另外大規模崩塌之衝擊範圍相對土石流影響面積高出許多，因此部落的避難場所規劃可能也是影響疏散避難行為之因素。因此針對復興區三大高風險部落，建議地方政府能根據災害風險評估結果，優先針對高風險區別擬定相關韌性防災策略。

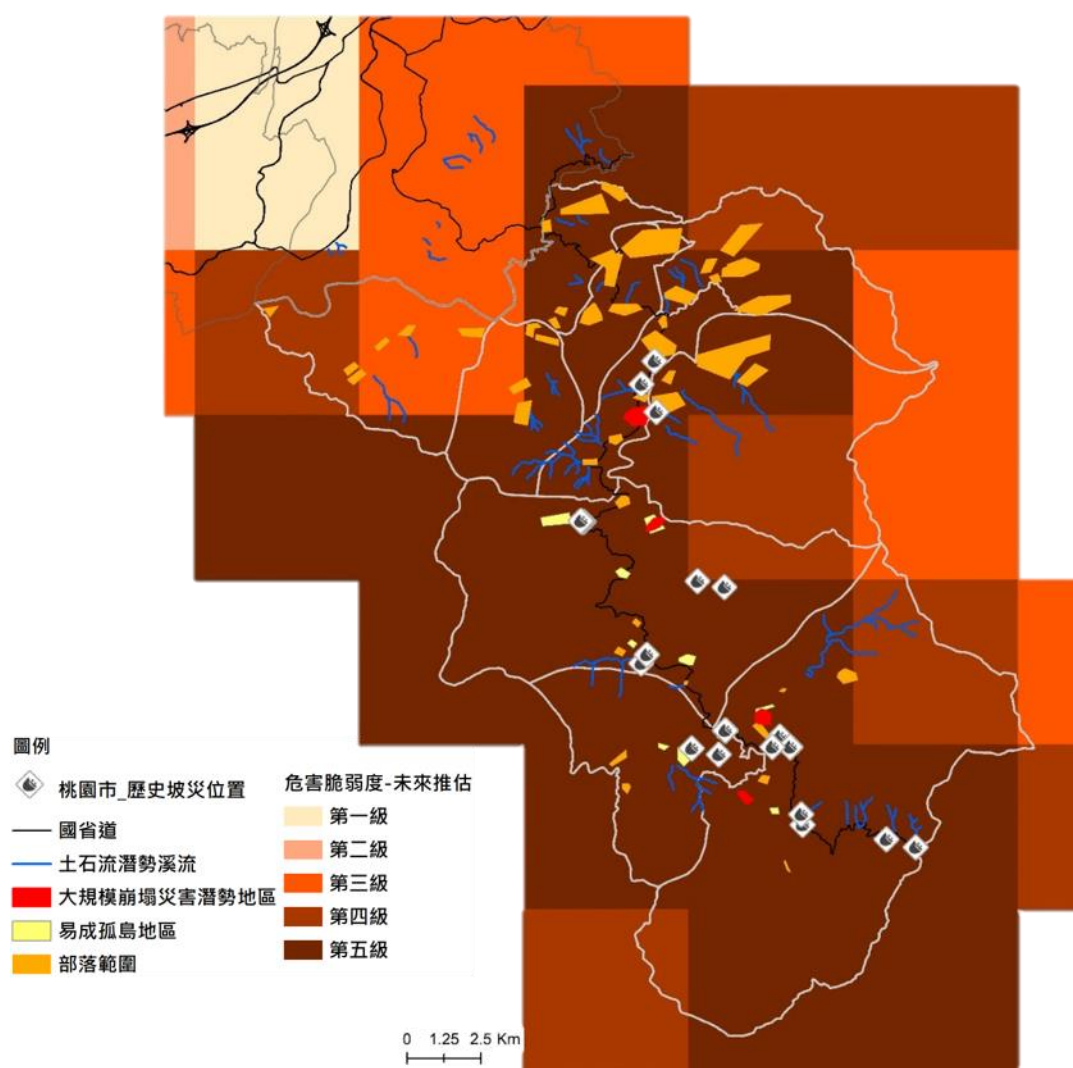


圖 7 未來推估情境下之危害-脆弱度與復興區環境敏感區分布圖

表 2 復興區部落範圍位於大規模崩塌潛勢區及土石流潛勢地區列表

區別	里別	部落名稱	危害-脆弱度等級 (未來推估)	地理位置
復興區	華陵里	上巴陵部落	第五級	堰塞湖型，大規模崩塌區內
	高義里	雪霧閣部落	第五級	堰塞湖型，大規模崩塌區內
	義盛里	義興部落	第五級	堰塞湖型，大規模崩塌區內
	華陵里	後光華部落	第五級	土石流型，大規模崩塌區內
	羅浮里	合流部落	第五級	土石流潛勢溪流下游，大規模崩塌區內
	澤仁里	霞雲坪部落	第五級	土石流潛勢溪流下游
	奎輝里	嘎色閣部落	第五級	土石流潛勢溪流下游

資料來源：農業部農村發展及水土保持署，2024

表 3 桃園市易成孤島地區

區別	里別	部落名稱	危害-脆弱度等級 (未來推估)	孤島總戶數	孤島總人數	保全戶數	保全人數
復興區	華陵里	光華道路	第五級	143	369	0	0
	華陵里	巴陵地區	第五級	382	1015	1	1
	高義里	雪霧閣部落	第五級	40	181	24	51
	高義里	台七線地區	第五級	90	258	0	0
	高義里	蘇樂部落	第五級	20	57	0	0
	高義里	高義蘭部落	第五級	100	315	0	0
	高義里	內奎輝部落	第五級	15	58	0	0
	三光里	復華道路	第五級	102	357	0	0
	三光里	三光部落	第五級	137	441	2	6

資料來源：原住民族委員會，2023

(3)初步研擬之韌性防災策略

地方政府應判釋和理解其可能面臨之各種災害風險，包括危害、暴露及脆弱性，並將判釋出來之風險，作為決策之參考依據。首要辨識高風險地區後，依據評估結果和脆弱性分析，本研究擬定相關韌性防災策略整理列表如表 4，提供地方政府規劃決策之參考。

針對華陵里之上巴陵部落、後光華部落及高義里之後光華部落同時位於大規模崩塌區及易成孤島地區，短期內建議政府相關單位定期檢視坡地監測系統之維運，另外也可考慮培訓高風險地區之自主防災社區及發展天然災害保險之相關補助條款，藉由教育訓練及民眾財務面的保障當作誘因，望提高民眾防災意識的同時減少災害來臨時之衝擊。

表 4 土地使用領域之韌性防災調適策略

議題一：識別高風險地區，採取積極防災措施	
短期韌性調適策略	
1	加強坡地社區地質監測，於災害發生前發送警告訊息提醒居民採取應變措施。
2	培訓土石流防災專員，經營自主防災社區，使土石流自主防災社區永續經營。
3	以誘因或強制規定將山區聚落民眾納入天然災害保險，以補足財務面之不足。
長期韌性調適策略	
1	持續維護監測系統，並定期巡檢系統確保其功能正常運作。
2	強化部落災害應變能力，持續進行防災演練及相關宣導，落實整備及擴增防災能量。
3	建立財產損失之政府協助 / 補助估算模式，做為各年度匡列災害準備金編列預算之依據。

2、維生基礎設施領域

(1)圖資應用說明

臺灣山區聚落與其聯外道路常因山區降雨豐沛且集中，易誘發道路沿線各種土石災害，因而致使山區道路阻斷，影響維生基礎設施之維運，進一步造成人員輸送及物資補給困難，同時亦可能增加災害來臨時之疏散及救援難度。黃全謚等人(2012)探討土石流潛勢溪流影響範圍內保全住戶之疏散避難路線與時機，指出目前由農業部擬訂土石流警戒基準值，依據中央氣象署之未來 24 小時降雨預報及實際降雨數據發佈土石流警戒，於汛期時，由地方政府消防局依據農業部之土石流災害整備規劃，引導土石流潛勢溪流影響範圍內之保全住戶依據規劃進行疏散避難演練，並於紅黃色警戒發佈後，必須進行疏散避難；然交通部公路總局於山區重點監控路段橋梁亦擬定有公路預警機制，該操作機制則依據災前歷史紀錄作一統計分析後，率定在不同情況之雨量下之管制基準，配合氣象署雨量資料防災預警機制達到監控行動值時進行道路封閉措施。

前述二主管機關單位擬訂之預警機制雖皆為依據中央氣象署之降雨資訊，惟所針對保全對象之空間與時間不盡相同，故同一地區可能出現兩種以上之管制基準，不同單位啟動防災預警之機制亦隨不同之雨量值而啟動，故聚落可能因疏散避難未於公路總局封路之前實施而形成孤島。因此議題二主要重點為討論桃園市防災預警機制，為求保全住戶於疏散避難之時，避免遭受次生災害威脅，並安全快速通達避難處所，藉由套疊土石流潛勢溪流及重點監控路短等圖資(如圖 8)，研討疏散避難路線以及疏散時機的綜合評估。

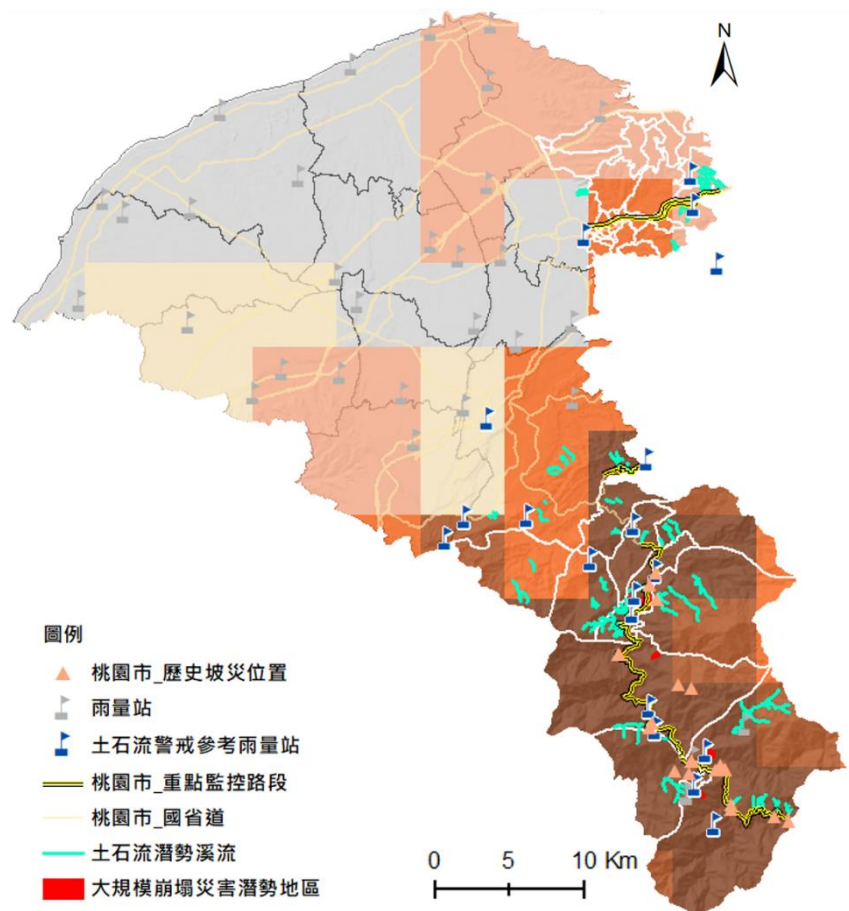


圖 8 桃園市土石流潛勢溪流及重點監控路段分布圖

(2) 坡地災害脆弱性分析

整合有關桃園市防災預警機制之資料，根據農業部及公路總局最新公告資訊(2024)彙整如表 5 及表 6，桃園市共計有 53 條土石流潛勢溪流，除分布於復興區之 41 條土石流警戒基準值較低以 350mm 為主，其餘土石流警戒基準值皆為 550mm；山區重點監控路段則共計 7 段，主要一級監控道路為台 7 線路段，為復興區各里之主要連外道路，羅浮至巴陵段(22.0K~46.4K)監控行動值為 350 毫米，巴陵至西村段(46K+900~60K+700)監控行動值則為 200 毫米。藉由土石流警戒值與監控道路行動值比較可知，復興區華陵里之道路監控行動值小於土石流警戒基準值，因此為避免擇定之疏散避難路線於土石流警戒發布前已經封閉，於疏散避難路線上需特別注意避免通過公路總局重點監控路段，並且決策者需預先評估其疏散避難替代方案，如是否提早實施疏散等決策，擬定相關疏散避難計畫。另外復興區之羅浮里及澤仁里之土石流警戒基準值與道路監控行動值相同，也需特別注意土石流警戒發佈之時間與監控道路封閉之措施，事先評估其他疏散避難替代方案，避免聚落無聯外道路而形成孤島。

表 5 桃園市土石流警戒值與監控道路警戒值比較列表

區	里	危害-脆弱度 等級	土石流警戒值		監控道路警戒值	
		(未來推估)	潛勢溪流	警戒基準值	警戒值	行動值
復興區	華陵里	第五級	DF026	350	180	200
復興區	羅浮里	第五級	DF030~34		200	350
復興區	澤仁里	第五級	DF039~44		200	350
大溪區	新峰里	第三級	DF020~21	550	300	-
龜山區	龍壽里	第三級	DF002~3、 DF006~7		400	500
龜山區	龍華里	第二級	DF008		400	500

資料來源：農業部農村發展及水土保持署，2024；交通部公路總局，2024

(3)初步研擬之韌性防災策略

建議地方政府針對上述提及之鄰里進行疏散避難路線之檢討，初步擬定之調適策略如表 7 所示。除了平時山區聚落聯外道路之養護外，當地居民及相關機關也需了解警戒系統之發佈流程，利用現今網路媒體如 Line 群組及 NCDR 官方帳號之災情回報系統等多方管道進行災情回報，以利相關單位即時掌握在地災害情資，使土石流潛勢溪流影響範圍內之保全住戶可安全適時抵達避難處所。

表 7 維生基礎設施領域領域之韌性防災調適策略

議題二：極端災害事件造成土石崩落阻斷道路及沖毀橋樑，影響維生基礎設施	
短期韌性調適策略	
1	加強主要聯外道路之養護，並建立邊坡即時監測及感應系統，掌握災時道路即時資訊。
2	研擬山區道路中斷之維生物資運送替選方案，及規劃物資中繼儲存場所，建立物資管控系統，公開相關資訊以利物資調派。
3	利用 Line 群組及官方帳號進行警戒訊息快速傳遞，並提供民眾災情回報，以利快速掌握災情。
長期韌性調適策略	
1	規劃改善或新增山區聚落聯外道路。
2	定期檢視復原重建計畫，蒐集關鍵政策支援資訊、確定角色和責任，提升災後各項工作之管理效能。
3	持續維護監測系統，並定期巡檢系統確保其功能正常運作。

3、水資源領域

(1)圖資應用說明

石門水庫位於桃園市大溪區、龍潭區、復興區與新竹縣關西鎮之間的石門峽谷，攔截大漢溪溪水蓄水而成，總供水量最大可達 148 萬立方公尺，主要供應新北市、桃園市及新竹縣湖口鄉之公共用水，具有灌溉、給水、發電、防洪等多樣功能，其集水區範圍及桃園市主要輸水幹管分佈如圖 9 所示。根據水利署 2024 年之報告，受到全球氣候變遷影響下，可能引發高強度與長延時之降雨趨勢，使得水庫面臨颱風期間原水濁度急遽升高，嚴重影響供水，同時造成水庫大量淤積等問題。如民國 93 年艾利颱風，石門水庫集水區平均累計降雨量達 973mm，造成集水區 600 公頃大量崩塌，水庫有效容量減少 11%，嚴重影響水庫壽命。針對桃園市水資源議題，本研究套疊石門水庫相關堰壩設施及集水區內之大規模崩塌潛勢區等圖資，並進一步研擬此議題面臨氣候變遷威脅下之相關調適策略提供相關單位參考，望藉此達水庫永續發展之目標。

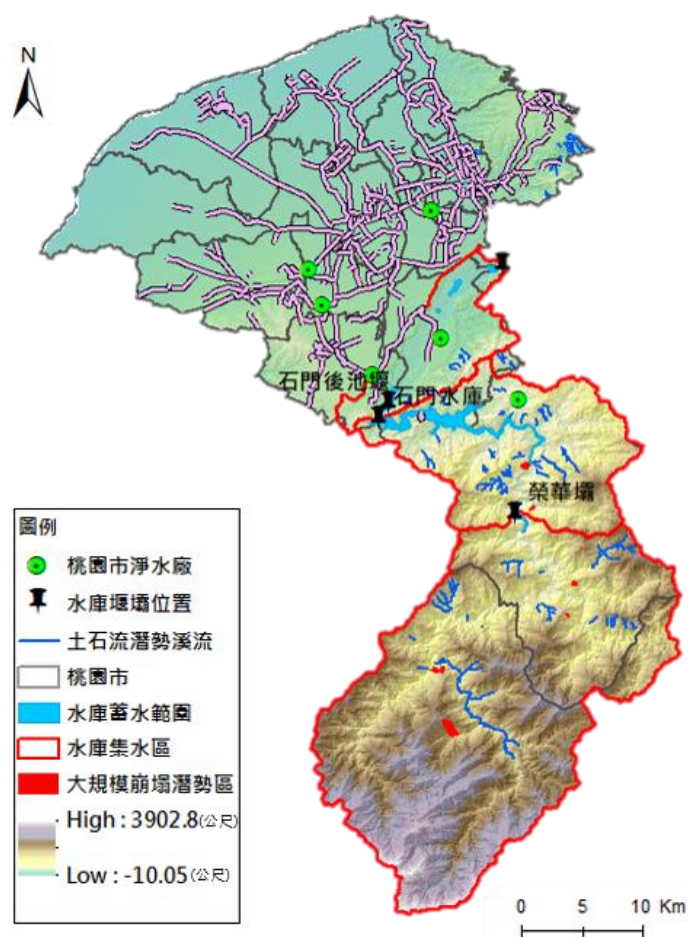


圖 9 桃園市石門水庫集水區範圍及輸水管線分佈圖

(2) 坡地災害脆弱性分析

石門水庫集水區上游多屬坡度陡峻且人員交通無法到達之原始林種土地利用區域，屬於無法治理土砂來源；另外中下游人口與經濟活動較集中地區因土地需求成長，侵蝕原有農地與自然生態系統，導致其調節氣候、洪水能力流失，造成逕流量增加、滯洪空間不足，引發坡/水災等複合性災害，其土石崩塌造成水庫土砂高速淤積，進一步降低水庫有效蓄水量與壽命，考驗桃園市地區供水系統維運能力。

水利署(2023)綜整石門水庫集水區於颱風事件之監測資料，評估石門水庫集水區產砂熱區為他開琴溪、薩克亞金溪、延老、秀巒、雪白山、太平、巴陵及卡議蘭等子集水區，其集水區地理位置如圖 10。其中上游子集水區他開琴溪、薩克亞金溪處地勢陡峻且人員交通運輸困難之無法治理區；中下游因地勢相對平緩，保育治理措施投入可行性高，針對石門水庫集水區道路可及治理熱區則為太平、巴陵、秀巒、卡議蘭等子集水區，又以卡議蘭子集水區之臨溪道路可及崩塌地為多，建議相關單位可優先規劃相關治理工作，加速崩塌地復育。

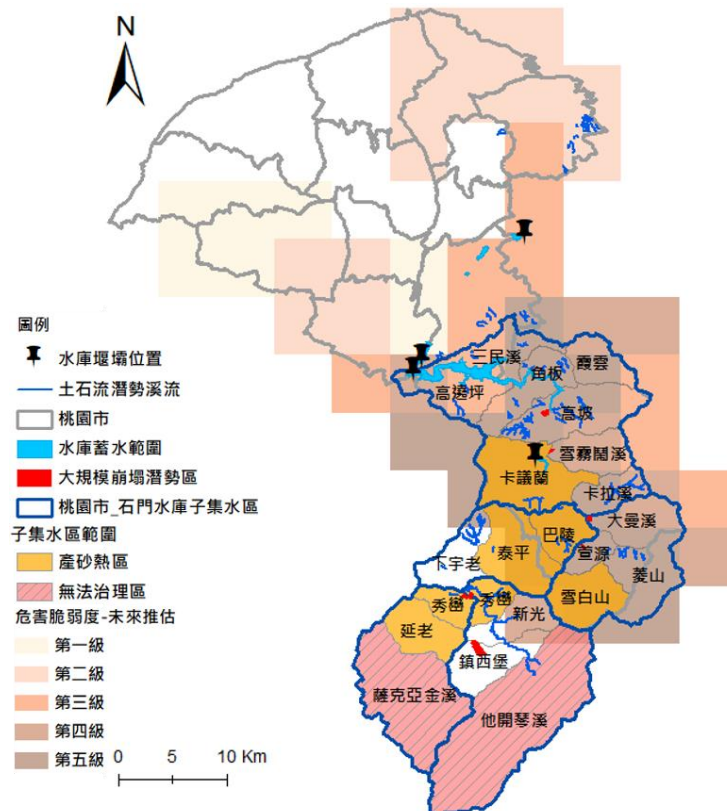


圖 10 桃園市石門水庫集水區分佈及產砂熱區圖

(3) 初步研擬之韌性防災策略

初步針對水資源領域擬定之策略如表 7 所示。除去石門水庫集水區上游無法治理區，於長期規劃可針對中下游之產砂熱點集水區評估相關治理工作，並且持續強化下游土砂即時監測系統，以強化下游水庫排砂應變操作，完善桃園市水資源調度系統及增加災害應變能力，以達永續水庫發展之目標。

表 7 水資源領域之韌性防災調適策略

議題三：提升政府水資源調適及供水系統之防災應變能力	
短期韌性調適策略	
1	建立即時監測系統，掌握並確保災時水資源資訊，持續監控崩塌土砂生成及土砂下移情況，以強化下游水庫排砂應變操作。
2	研擬調度系統，建立各地區之備援水資源計畫。
長期韌性調適策略	
1	抗災基礎強化等規劃設計，評估相關備援系統之必要性，針對確有需求之管線設施設置緊急連絡管、替代管線或備援幹管之方式，增加系統調度彈性。
2	持續訓練現場監測人員災害應變能力。
3	檢視上游地區山坡地崩塌潛勢及都市發展情形，修正使用分區或土地開發使用需強調保水策略，包含水土保持、鋪面透水率、綠覆率等相關管制事項。

四、結論與未來改善方向

桃園市面臨氣候變遷、環境劇變等影響，於土地使用、維生基礎設施和水資源等領域都面臨著極端氣候所帶來之坡地災害風險，本研究考量災害風險減輕(DRR)與氣候變遷調適(CCA)融合，以建構韌性城市操作方法作為策略規劃工具，透過評估氣候變遷環境衝擊下災害適應能力低、高脆弱性的高風險族群，建構桃園市面臨坡地災害風險之氣候變遷調適因應策略，提供地方政府相關規劃策略擬定並藉此提升城市韌性，緩和因氣候變遷所造成之損害。本研究後續將針對上述議題所研擬之策略，與地方政府以工作坊形式建立溝通管道，參考地方各局處相關單位之建議，持續深化各項議題的研究方向，以利促成更貼近在地實際情況的韌性防災調適策略。

參考文獻

- UNDRR, 2010. *Report on the Making Cities Resilient (MCR) Campaign: Comparing MCR and non-MCR cities*.
- UNISDR, 2005. *Hyogo framework for action 2005-2015: building the resilience of nations and communities to disasters*. World Conference on Disaster Reduction in Hyogo Japan. United Nations International Strategy for Disaster Reduction(UNISDR)
- IPCC, 2012. *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation (SREX)*.
- 中興工程顧問社, 2023. *水庫集水區入庫土砂量體觀測及囚砂區域評估規劃機制建立-以石門水庫為例(1/2)*, 經濟部水利署成果報告。
- 交通部通路總局公路防災中心, 2024. *一級監控路段*, 檢自
https://www.thb.gov.tw/News_Content_thbOpenData.aspx?n=13&s=454。
- 行政院專家諮詢委員會, 2020. *第九屆行政院災害防救專家諮詢委員會政策建議-極端災害下之韌性城市*。
- 吳杰穎、陳亮全、歐蜜偉浪, 2021. *大規模崩塌潛勢區原住民部落之風險溝通與疏散避難*。行政院農業委員會水土保持局成果報告。
- 桃園市政府, 2024. *桃園市氣候變遷調適執行方案(113 年-115 年)*。
- 桃園市復興區戶政事務所, 2024. *復興區統計人口資料*, 檢自
<https://www.fuxing-hro.tycg.gov.tw/cl.aspx?n=13856>。
- 原住民族委員會, 2024. *公報核定之部落一覽表*, 檢自
<https://www.cip.gov.tw/zh-tw/news/data-list/7CDD0E527E32B424/47DCC78D5EC386CD96EC7EA4291B1657-info.html>。
- 原住民族委員會, 2023. *112 年度易成孤島地區防救災資料—桃園市*, 檢自
<https://www.cip.gov.tw/zh-tw/news/data-list/7E24BEE2D99DE3DB/index.html?cumid=7E24BEE2D99DE3DB>。
- 黃全謚、鍾佩蓉、曹鼎志、黃效禹, 2012. *土石流警戒值與公路封路封橋標準於山區疏散避難規劃之探討*, 2012 年中華水土保持學會年會及學術研討論文集。
- 國家災害防救科技中心, 2023. *氣候變遷情境下(AR6)坡地災害風險圖*。
- 國家發展委員會, 2023. *國家氣候變遷調適行動計畫(112-115 年)*。
- 經濟部水利署北區水資源分署, 2024. *石門一甲子, 精彩六十年*。
- 農業部農村發展及水土保持署, 2024. *113 年度 65 處大規模崩塌潛勢區*, 檢自
<https://data.gov.tw/dataset/167443>。
- 農業部農村發展及水土保持署, 2024. *113 年度 1736 條土石流潛勢溪流圖*, 檢自
<https://data.gov.tw/dataset/167440>。
- 農業部農村發展及水土保持署, 2024. *土石流警戒基準值明細*, 檢自
<https://246.ardswc.gov.tw/Service/DownloadDebrisThreshold>。