

強化臺灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適

能力研究計畫(1/2)

A study of adaptation capacity of coastal disasters due to climate change in order to strengthen northwest and northeast areas of Taiwan (1/2)

主管單位：經濟部水利署

許泰文^{1,2}

黃清哲²

Hsu, Tai-Wen^{1,2}

Huang, Ching-Jer²

¹ 國立臺灣海洋大學河海工程學系

² 國立成功大學水利及海洋工程學系

摘要

近年來，隨著全球暖化效應及海洋氣候變遷的影響，全球海水位的抬昇以及颱風頻繁的發生等問題已迫切攸關到我們所生存的環境，波浪與暴潮對人類活動之影響也已引起各國政府和科學家的廣泛關注。臺灣每年夏秋季遭受颱風侵襲，颱風暴潮所產生異常水位常對臺灣沿海造成重大災害，造成臺灣海洋環境的發展產生了極大的衝擊。唯有準確地掌握近岸區域之實際海氣象特性，才能使海象資訊進一步發揮功效，並且提高防救災效率。為能審慎評估全球氣候變遷可能造成之衝擊及相關調適策略，本計畫進行強化臺灣西北及東北地區因應氣候變遷海岸災害調適能力之研究工作。計畫為兩年期計畫，本(101)年度計畫進行桃園縣、新竹縣、苗栗縣沿海海岸地區於氣候變遷下各假設目標年之海岸災害因子情境分析，進行沿海地區海岸災害之衝擊模擬、脆弱度與風險評估及地圖製作，並研擬因應之調適策略與提出行動方案之效益分析，以供決策機關參考。

關鍵詞：氣候變遷、海岸災害、脆弱度、危害度、災害風險、調適策略、行動方案

Abstract

In recent years, the influences of global warming effect and oceanic climate change are regarded worldwide. The problems of sea level elevation as well as more frequent typhoon attack have threatened the environment we live in. Governments and international scientists pay extensive attention to the effect of waves and storm surge on human's activities. In Taiwan, the coastal zone usually suffers from three to four typhoons in one year and the exceptional sea level induced by storm surge always results coastal disasters and hinders the development in oceanic environment. The understanding of the marine and meteorological characteristics in coastal zone is conducive to raise the

defended efficiency on coastal disasters. The project aims to investigate the adaptation capacity of coastal disasters due to climate change in order to strengthen northwest and northeast areas of Taiwan against natural calamities in future. The influences due to climate change upon some assumptive object years are carried out. These results provide useful information to set up the adaptation tactic and to implement the benefit analysis of operation program.

Keywords : climate change, coastal disaster, vulnerability, hazard level, disaster risk, adaptation strategies, action plans.

一、前言

「氣候變遷」已成為自然科學界所最關注的議題之一。跨政府間氣候變遷小組(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)於第四次評估報告(The Fourth Assessment Report, AR4)針對最新的全球氣候變遷趨勢提出了警告。報告中指出大部份大陸和海洋的觀測證據都顯示，許多自然系統正在受到區域氣候變化的影響。根據氣候變遷引發海水位長期的抬昇趨勢研究，全球海水位以每年 3.32mm 之上升速率逐漸升高。臺灣位處西太平洋颱風路徑之要衝，每年平均約有 3.75 次颱風侵襲臺灣海域。近年來，隨著全球暖化效應及海洋氣候變遷的影響，全球海水位的抬升以及颱風頻繁的發生等問題已迫切攸關到我們所生存的環境。颱風暴潮所產生異常水位常對臺灣沿海造成重大災害，由於暴潮巨浪直接侵襲海岸，造成海岸侵蝕，並越過堤頂而導致海水倒灌及沿海區域之溢淹，對農作物損害、魚塭魚苗流失等，造成臺灣海洋環境的發展產生了極大的衝擊。因此，唯有準確地掌握近岸區域之實際海氣象特性，才能使海象資訊進一步發揮功效，並且提高防救災效率。

本計畫為「氣候變遷對水環境之衝擊與調適研究計畫」子類別-「調適策略及方案規劃」之分項子計畫，目的係整合臺灣西北及東北海岸地區海岸相關水文因子情境設定、衝擊評估、脆弱度及風險評估等及進行該區因應氣候變遷下海岸災害調適能力研究，建立氣候變遷下該區海岸災害脆弱度評估及風險地圖，並提出調適策略及因應之行動方案。全程計畫共 2 年，本(101)年度計畫為第一年計畫，以桃園縣、新竹縣、苗栗縣海岸地區進行因應氣候變遷海岸災害調適能力之研究，藉由本計畫提升水利署因應氣候變遷下海岸災害調適能力並提供決策機關參考。

二、基本資料

2.1 臺灣西北地區海岸防災系統現狀

海岸防災系統主要為海堤，其主要功能為消減波浪並減少越波量以保障後側人民土地財產之安全，為深入瞭解計畫區之海岸防災系統特性，本計畫進行西北海岸災害防護設施現況之蒐集與調查，並彙整、分析及評估現有防災能力。研究區位在桃園縣、新竹縣及苗栗縣海岸，現勘範圍主要以水利署第二河川局所管轄之海堤範圍為主，以掌握計畫區之環境現況特性。除建立整體評估系統外(表 1、圖 1)，亦對特定示範區域建立相關基本資料，俾供本計畫後續進行模擬分析之用。

2.2 氣候變遷下西北海岸水環境情境分析

為進行臺灣西北海岸地區海岸脆弱度與海岸災害風險分析，本計畫除蒐集桃園至苗栗地區有關之海氣象基本資料以外，並利用統計方式推算桃園、新竹、苗栗海域不同重現期之最大波高與最大潮位。此外，針對現階段與情境年海平面變遷、颱風設計波浪與暴潮之變遷分析，得到桃園、新竹、苗栗海域 2020 年至 2039 年海平面變遷量變動範圍約在 4.02 至 11.82 公分，颱風最大波高可能增加 50.3%，颱風最大潮位(暴潮+天文潮)可能增加 38%。計畫同時建立溯升與越波水環境因子情境分析模式，進行不同重現期情境之溯升與越波模擬(圖 2)。

表 1 桃園縣海岸一般海堤綜整表(部份例)

海堤名稱	海堤種類	鄉鎮	長度(m)	主要構造型式			堤前灘線寬度(m)	堤頂寬度(m)	堤頂高程最高(m)	堤後防汛道路高程(m)	堤後土地使用狀況描述	整建年份	管理單位	備註
				坡面型式、前後側坡度、保護工重量)										
沙崙海堤	一般海堤	桃園縣大園鄉	391	階梯式混凝土堤，海側堤腳為大面積緩坡拋石(約1:20)接消波塊保護；路側為一般道路。	約50		5.0	4.5	野植生、綠地	89	水利署第二河川局			
新街溪出海海口海堤	多重保護工	桃園縣大園鄉	1,820	混凝土堤、非階梯段堤前後坡度約1:1.5；海側有拋石與消波塊保護。	100~200	4.0	5.3		野植生、防風林	92	水利署第二河川局			
內海海堤	護岸/一般海堤	桃園縣大園鄉	1,475	混凝土堤，部分堤段路側為漿砌卵石面；非階梯段堤前後坡度約1:1；海側有拋石、消波塊保護。	50~200	4.0	5.3		濕地	88	水利署第二河川局			
北港海堤	多重保護工	桃園縣觀音鄉	1100	階梯式混凝土堤，堤後接一般道路，海側以混凝土框條內拋石保護。	約100	4.0	6.0		野草地、植栽防風林	95	水利署第二河川			
樹林段海堤	多重保護工/護岸	桃園縣觀音鄉	497	混凝土堤；非階梯段海側緩坡拋石約(1:20)，堤後接一般道路；海側有混凝土框內填卵石(坡度約1:6)與消波塊保護。	約300		5.2	4.6	野植生	95	水利署第二河川局			
白玉海堤	護岸	桃園縣觀音鄉	1,005	混凝土堤/土堤，堤頂為透水磚；海側為自然斜坡，路側坡度約1:1。	約450	3.0	5.2		防風林、野植生、風力發電機	69	水利署第二河川局			
觀音海堤	一般海堤	桃園縣觀音鄉	435	混凝土堤，堤頂為漿砌卵石；兩個坡度約1:1。	約300		5.2		雜草地	72	水利署第二河川局	堤頂長滿雜草；可能因海岸淤積之故，已形成內陸堤，失去海堤功用		



北港海堤，總長約1.1km，堤高約5.0m。整段堤線皆平行海岸線而無轉折，沿線堤型亦無變化(a)，屬階梯式混凝土堤，靠海側則以混凝土框條內拋石為保護。

圖 1 桃竹苗海堤防災特性說明範例

表 3 新竹縣不同重現期颱風及潮位海堤安全性分析結果

現階段				未來(2020~2039)									
海堤名稱	堤頂高程 (m)	海側坡度	重現期										
			5	10	20	50	100	150	200	250			
新豐海堤	5.0	1:2/1:5	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
紅毛港海堤	5.0	1:5/1:10	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
鳳坑海堤	5.2	1:5	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X	X
港南海堤	6.2	1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X
海埔地海堤	6.2	1:1.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X
香山海堤	5.7	1:2	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X
鹽水港海堤	5.7	1:2	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X	X
南港海堤	5.7	1:1.5/1:8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

表 4 苗栗縣不同重現期颱風及潮位海堤安全性分析結果

現階段				未來(2020~2039)									
海堤名稱	堤頂高程 (m)	海側坡度	重現期										
			5	10	20	50	100	150	200	250			
登龍海堤	6.2	1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	X
竹南防潮堤	6.4	1:1.5/1:4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
海軍防潮堤	5.7	1:1.5	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X
外埔海堤	7.2	1:1.5/1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
後寮海堤	7.2	1:1.5/1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
瑞港海堤	5.7	1:1.5/1:6	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X
白沙屯海堤	6.2	1:1.5/1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
新埔海堤	6.2	1:1.5/1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
通霄灣海堤	6.2	1:1.5/1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
海尾海堤	5.7	1:1.5	0	0	0	0	0	X	X	X	X	X	X
苑裡海堤	6.2	1:2/1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
虎頭海堤	6.2	1:2/1:6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

三、氣候變遷下海岸災害之脆弱度與風險評估

3.1 海岸脆弱度指標(Coastal vulnerability indicators, CVI)

海岸脆弱度指數是指每一個國家顯示其相對的弱點暴露於自然災害和其個人所能應付能力。本計畫所定義之海岸災害脆弱度，係指沿海系統因氣候變遷導致暴雨產生洪水過程或海平面上升造成海岸潛在災害的評估，參考國內外相關研究及衡量國內現況環境及資料取得難易程度等，研擬適合於本計畫使用之海岸脆弱度指標，將海岸脆弱度分為三個構面來進行，分別是：人為設施、環境地理及社會經濟，每一構面採用數個適合的指標來予以建構及量化，總計有 13 個指標值。在人為設施構面上，是指水利工程構造物的保護設施等，包含了海堤長度相對比、海堤高度相對比及防潮閘門相對比；在環境地理構面上，包含了沿海地區之高程、坡度、潮差、地層下陷速率、海岸侵蝕速率及土地利用(港口、工業區、農業區及國家公園)等；在社會經濟構面上，則包含了人口密度、教育程度相對值、扶養比及企業報酬等。所有指標均採用五級制，該五級的強弱是依據指標大小的相對性而言，分別是：1 級—不脆弱；2 級—稍微脆弱；3 級—普通；4 級—脆弱；5 級—非常脆弱。

3.2 海岸脆弱度評估方法

災害脆弱度綜合指數的整個計算流程如圖 2 所示。在分析權重方面以 AHP 權重分析較能反應實際情況。AHP 之計算是將所欲研究的問題，分解成簡單的階層架構

關係，接著藉由評比手段來找出各個階層要素(因子)的優先順序或貢獻程度，再加以綜合成最後各方案(因子)的優先順序。

本研究根據專家學者問卷採用 AHP 分析訂出權重值分析結果如表 5，專家學者的專業背景以從事土木水利工程及海洋環境科學為主要調查對象，包含大專院校教授及各河川局、港務局及研究人員等。從表 5 中顯示在海岸脆弱度分析的構面上以環境地理構面對海岸災害脆弱度影響較高，其次是人為設施，有無保護或水利工程設施會影響該區之脆弱度，最低者為社會經濟層面。

3.3 海岸災害風險度評估方法

災害風險評估需整體性考量，包含整體脆弱度與危害分析，除實體層面外，尚須將經濟面、社會面及環境面納入探討。聯合國減災組織 (UNDRO) 於 1979 年在 Natural disasters and vulnerability analysis 報告中 (UNDRO, 1980)，針對災害風險 R 提出一個操作性定義： $R = H(\text{hazard}) \times V(\text{vulnerability})$ ，呈現災害風險與災害潛勢 H 及脆弱度 V 的可能組合關係。

本計畫在海岸災害風險分析方面 AHP 方法訂各指標權重。關於海岸災害風險評估項目與指標因子層級，包含前述所提到之脆弱度(AHP 權重比值 0.596)以及災害潛勢(AHP 權重比值 0.404)兩個層面。災害潛勢為因危害因子包含暴潮、颱風造成沿海地區溢淹等災害，災害潛勢之危險因子包含 4 個指標：洪氾溢淹深度(AHP 權重比值 0.271)、洪氾溢淹範圍(AHP 權重比值 0.384)、暴潮溢淹深度(AHP 權重比值 0.186)、暴潮溢淹範圍(AHP 權重比值 0.159)。海岸災害風險評估流程與脆弱度相同如圖 3。

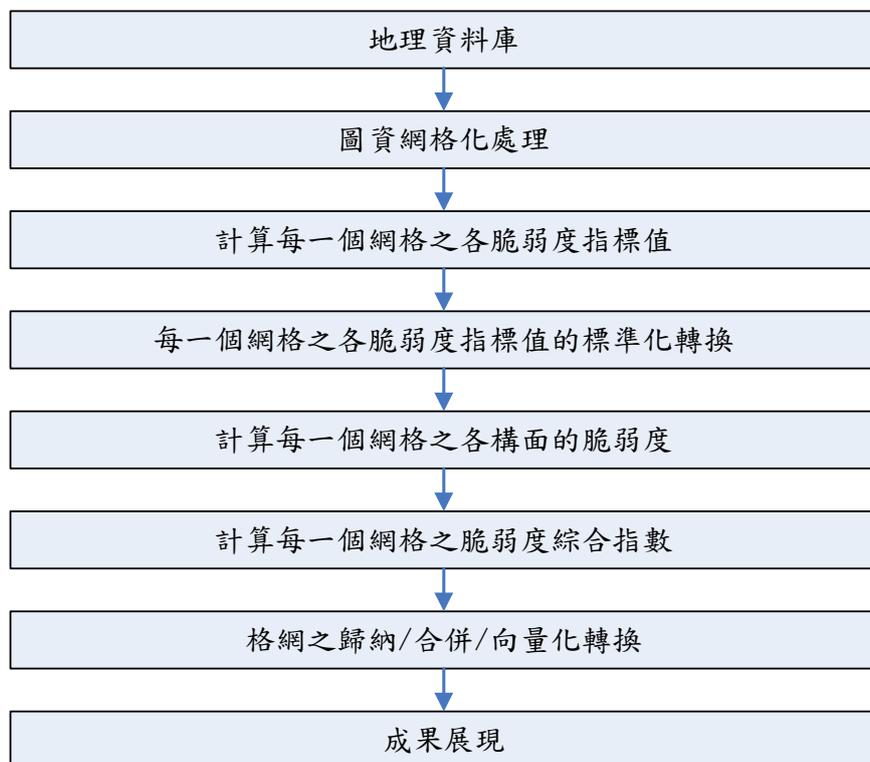


圖 3 災害脆弱度綜合指數之完整計算流程

表 5 海岸災害脆弱度指標權重之 AHP 評估分析表

層面	構面	權重比值	指標	權重比值
脆弱度	人為設施	0.326	海堤長度相對比	0.257
			海堤高度相對比	0.499
			防潮門相對比	0.244
	環境地理	0.549	高程	0.139
			坡度	0.098
			潮差	0.086
			海岸侵蝕速率	0.359
			地層下陷速率	0.226
			土地利用	0.093
	社會經濟	0.125	人口密度	0.415
			教育程度相對值	0.223
			扶養比	0.166
			企業報酬	0.196

註：一致性比例(C.R.)=0.02<0.1(檢定合格)

3.4 海岸災害之脆弱度與風險分析結果

本計畫評估現階段、情境(2039 年)與考慮調適策略後之海岸脆弱度與風險，其中未來情境(2039 年)新竹縣竹北市的海岸脆弱度與災害風險，會比現況之 3 至 4 級增加為 4 至 5 級。至於本計畫在調適策略上，模擬將原先高程不足 6 公尺的海堤加至 6 公尺，以及降低海岸侵蝕速度(降低 60%)，分析對海岸脆弱度及風險度的影響。圖 4 為桃竹苗沿海地區脆弱度現況及調適策略模擬結果的五級制脆弱度圖，顯示在考慮調適策略後，桃園縣大園鄉、觀音鄉及新竹市北區、香山區脆弱度下降。風險度現況及調適策略模擬結果差異如圖 5 所示，顯示在考慮調適策略後，桃園縣大園鄉、觀音鄉風險度下降。將調適策略模擬與現況進行差異分析，結果顯示等級 4 之面積佔 99.16%(現況&AHP 權重)，而(調適&AHP)位於等級 4 之面積則佔 98.89%，風險減少的區域面積約有 2.2 平方公里，分佈在桃園縣蘆竹鄉及新竹縣竹北市。綜合以上，顯示調適策略發揮了效果，降低了研究範圍內部分鄉鎮的脆弱度與風險。

四、因應氣候變遷臺灣西北沿海地區海岸災害調適策略與行動方案

關於桃園、新竹、苗栗海岸災害調適策略與行動方案之擬定，除依據本計畫之脆弱度及風險評估結果外，同時參考國外既有或發展中之調適策略，評估其執行項目、技術需求、應用之海岸環境是否適用於桃竹苗沿海海域，並參考現階段臺灣已發展之調適策略或是其他海域已執行中的行動方案，多項整合評估以篩選出最適宜研究區域之調適策略方案；最後再配合地區性海岸環境特徵及海岸發展計畫目標，對於欲採行之方案略為調整以提升其應用範圍，最後提出適合目標區域之行動方案以減緩未來氣候變遷所造成之衝擊。策略擬定研究流程參考聯合國發展署(United

Nations Development Programme, UNDP)所研擬的調適策略架構。

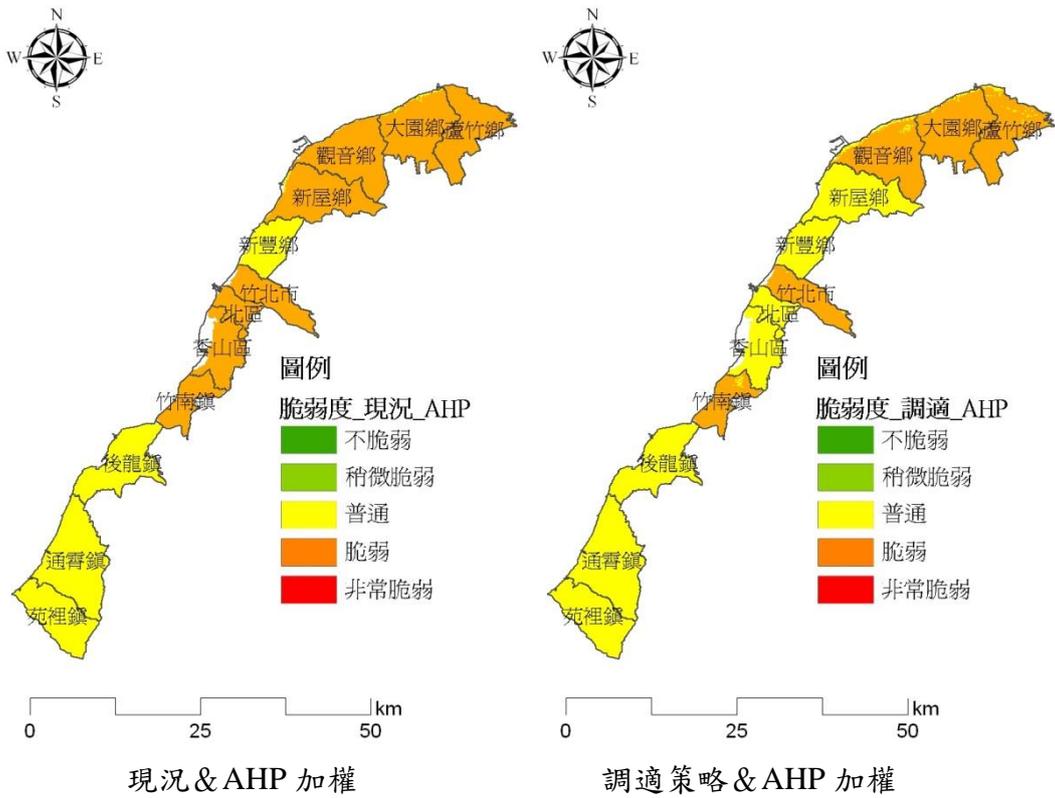


圖 4 桃竹苗沿海地區脆弱度現況及調適策略模擬結果差異

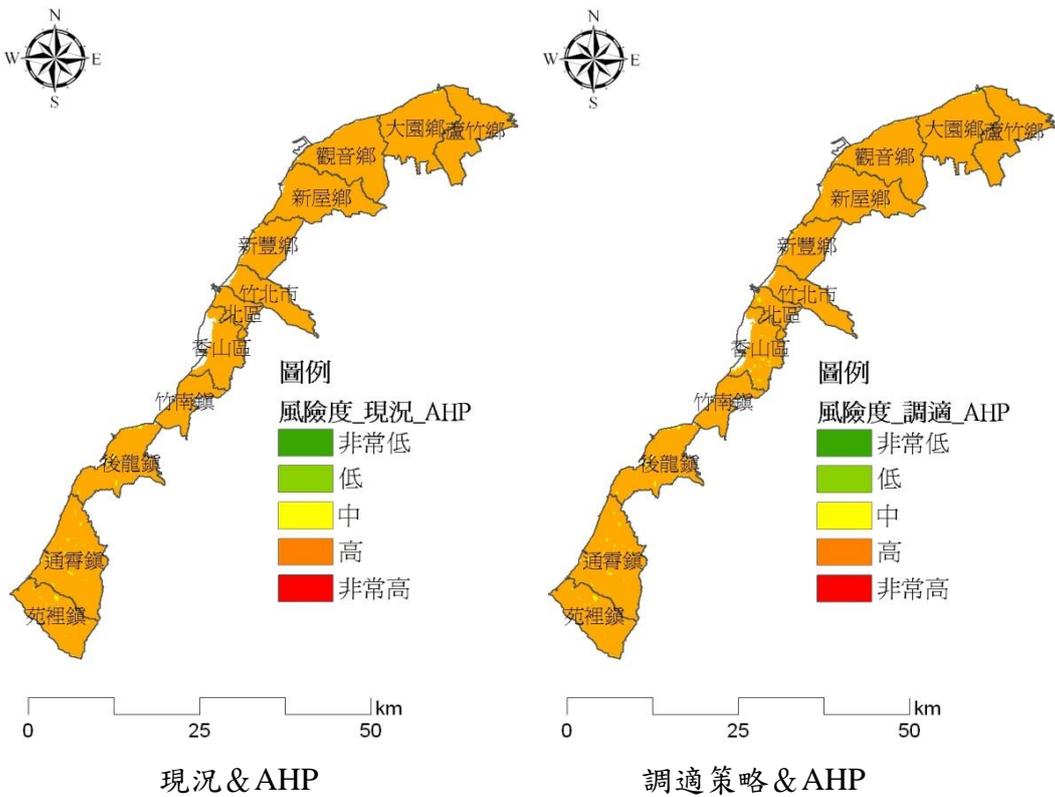


圖 5 風險度現況及調適策略模擬結果差異

在現階段西北沿海地區之各項防護設施與海洋環境條件下，依據本計畫分析結果，在未來氣候變遷下研究區域主要受到的衝擊，評估立即性對策如下建議：

1. **因應海水位上升衝擊立即性因應對策：**(a) 提升監測技術與資料精度。(b) 增設海岸防護設施以減少高潮位對海岸線的危害。(c) 評估是否須撤離沿海居民、產業及基礎設施。

2. **因應海堤安全性衝擊立即性因應對策：**(a) 目前桃園海堤在大於 50 年之重現期颱風波浪對桃園地區海堤已會產生大於規範之溢流量，建議可增加拋石使得坡度變緩或增加堤高，方能減低溢流量之影響。(b) 為減輕對堤後民眾生命財產安全之影響，除可視民眾居住密度較高之區域適度予以將海堤高度加高外，或建立第二道海堤亦是可行之解決之道。

3. **因應淹水災害衝擊立即性因應對策：**(a) 落實「易淹水地區水患治理計畫」執行成效。(b) 改善沿海低窪地區排水系統。(c) 落實河道區域的疏濬清淤作業。(d) 針對淹水災害衝擊影響較明顯之區域規劃布設緊急抽水設備。

4. **因應沿海脆弱度衝擊立即性因應對策：**(a) 落實「易淹水地區水患治理計畫」執行成效。(b) 檢討河堤設計標準並考慮堤岸加高之可行性。(c) 健全災害應變體系，降低災害生命財產損失。(d) 針對高脆弱度之區域規劃布設緊急抽水設備。

本計畫彙整國內外因應氣候變遷之海岸災害調適策略相關資料，作為擬定本計畫調適策略及行動方案之參考。根據西北沿海地區(桃園、新竹與苗栗海岸)氣候變遷衝擊分析及風險評估結果，為有效減緩未來氣候變遷的影響下的衝擊，擬定中、長期調適策略如下建議：

1. **持續性的監測海水位變動與紀錄更新：**持續監測海平面的變化，並定期將新觀測紀錄與歷史紀錄分析比對，檢驗是否近年來海平面上升速率確實有增加的趨勢，並根據新測海平面變動資料推估未來海平面的上升。

2. **海岸防護設施防護能力的加強與提升：**根據海堤管理辦法，管理機關在中央為經濟部水利署，並由各該海堤所在水利署所屬河川局執行各項管理事項；在直轄市為直轄市政府；在縣(市)為縣(市)政府，或由其設置機關管理之。根據現況分析，大於 50 年之重現期颱風波浪對桃園地區海堤會產生大於規範之溢流量。根據未來(2020~2039 年)階段之模擬結果，10 年以上重現期之颱風波浪及潮位情境會對現有多數的西北海岸海堤產生相當大之溢流量，海堤大多面臨海堤高度不足之情況。在海水位及暴潮位增加速率不斷上升的情況下，海岸設施防護能力及耐災能力的提升是應當優先因應的問題。另外定期性的檢測既有防護設施的結構強度與維持其防護能力，也是未來必須執行的排程工作項目之一。

3. **改善沿海地區排水系統：**依據研究區域海岸災害資料的蒐集，並綜整臺灣西北沿海鄉鎮淹水災害的致災原因可發現，在颱風或大潮事件影響下，苗栗沿海地區地處低窪，曾經因為有河段未設置堤防，又適逢大潮期間，排水宣洩困難而造成淹水；桃園沿海地區則因為河川斷面不足，曾因為雨量過大橋樑為垃圾所阻以致洪水流四溢；新竹沿海鄉鎮則曾因為颱風洪水暴漲，原颱風受損堤防遭洪水沖衝毀，或

是溪水暴增導致溢堤。因此在未來桃竹苗沿海地區河川、海水溢堤風險增加的狀況下，提升排水能力是刻不容緩的工作。建議的工作項目有：抽水機(站)的增加、排水路線的規劃、排洪渠道的清淤、滯洪池的規劃以及現有堤防的強化等。現階段經濟部水利署致力於「易淹水地區水患治理」的計畫工作項目，而此部分也需要地方政府或相關機關的協助配合，以減少沿海地區居民因淹水災害而導致的生命財產損失。

4. **海岸侵蝕的控制與海灘養護**：根據水利署網頁所提供資料，臺灣西北之桃竹苗海岸屬於侵淤互現之情形。海岸侵蝕速率的增加使得海岸災害發生的風險提高且災害影響的範圍與程度也會增加，因此海岸侵蝕的控制也就能保護自然海岸線，配合各項海灘養護的措施，讓自然海岸逐漸恢復既有的防護能力，以降低海岸災害的發生機率及災害影響程度，並減少對於大型硬體防護結構物的依賴。而未來在因應氣候變遷的海岸衝擊，可運用海灘養護為基礎作法，配合海堤或其它結構性措施的海岸防護能力，建立多層次的海岸保護防線。根據海洋污染防治法，主管機關在中央為行政院環境保護署；在直轄市為直轄市政府；在縣(市)則為縣(市)政府。

5. **自然海岸生態環境的維護**：臺灣西北海岸地區有許多海岸風景區以及多處國家級(如新竹香山濕地)與地方級的海岸濕地，多樣化的海岸環境生態是重要自然資產。因此在現階段氣候變遷的影響衝擊下，為了達到「永續海岸整體發展」的策略目標，應有目標性地執行各項海岸生態環境保育計畫，對於海岸自然保護區的治理，可階段性地評估各期對於自然海岸生態環境的保護成果；並透過地方民眾的聯合力量，監督並檢舉自然保護區內的不法人為活動，使美麗且豐富的自然海岸資產能夠永續經營、發展。

6. **持續監控地層變遷情況**：依據「嚴重地層下陷地區劃設作業規範」(民國 94 年 10 月 12 日)所公告者，桃園縣、新竹縣、新竹市及桃園縣轄區內之沿海鄉鎮無嚴重地層下陷區域劃設地段，但仍需持續監控，藉以防範於未然。因此目前仍應做好地層下陷的防治工作，管制每年之地下水使用量低於容許出水量，達到地下水減量使用的目標。

7. **計畫性地管制海岸地區開發活動**：此項方案之目的是針對脆弱度較大之海岸區域，有效控管海岸地區之開發，藉以避免未來發生更嚴重之災情。本計畫研究範圍區域內有大園工業區(桃園縣大園鄉)及觀音工業區(桃園縣觀音鄉)以及竹南工業區(苗栗縣竹南鎮)等經濟活動頻繁區預。根據本計畫前述之桃竹苗沿海地區之脆弱度分析結果可發現，桃園縣大園鄉、觀音鄉以及苗栗縣竹南鎮屬於普通到脆弱之等級。而根據情境&AHP 加權的脆弱度分析結果，則發現上述三個鄉鎮屬於脆弱到非常脆弱之等級。未來在經濟發展建設與海岸環境保護兼顧的狀況下，中央主管機關及地方政府在審核開發計畫書時應當有計畫性地限制開發，並於施工過程之中監督開發單位是否有完善地執行海岸保護措施，並要求未來營運單位確實執行海岸地區防護工作，且定期呈報各項觀測報告以利後續各階段的評估作業。

8. **規劃洪災救難計畫及落實防洪教育**：應重新檢視現階段之洪災救難計畫是否可因應未來氣候變遷條件的衝擊，並進一步根據氣候變遷影響的程度而調整防救災

應變計畫內容，確保計畫行動的適用性及執行力。除了防洪救難計畫的完善之外，地區性防洪教育的推廣也是重要的工作項目之一，整理過往沿海淹水災害案例的調查報告可發現，某些災害在人為因素影響的層面較大，如民眾並無事先災害預防作為、閘門開啟時機不當或無法貫徹災害應變計畫等因素。因此對於沿海地區高風險海岸災害的居民，應推廣宣導淹水防治教育，結合社區組織或地方行政單位(鄉鎮市公所、村里辦公室等)，對於地方單位主管進行防洪教育訓練以及洪水緊急應變計畫的演練，對於沿海居民以文宣品或廣告宣導防洪器材的準備與防洪觀念的養成；此外可定期性的舉辦洪水應變計畫演練，讓地方政府與民眾確實掌握行動流程，確保在未來洪災發生時能發揮應變計畫的成效，並使沿海地區民眾及早準備、及早因應。

9. **擬定整合性海岸地區管理計畫：**我國海岸管理的權責頗為分歧，海岸立法在內政部營建署、海岸林管理歸農委會林務局、海堤興建禦潮為經濟部水利署、海岸未登陸土地管理屬財政部國有財產局，致使海岸似若三不管的邊陲地帶，是故強化「整合管理」實有必要。整合性海岸帶管理的目標是為能解決海岸帶使用目的複雜而產生的衝突。因此應以多方面去思考如生態保育、教育研究、漁業資源或海岸帶開發等因素，以不破壞環境自然資源為前提條件下，進而滿足人類活動及開發需求。整合性海岸帶管理需要長期的監控與持續有效的管理作業方式，參與的專家學者或海洋事務管理機關除理論上的研究分析之外，也應尋求實務上的變通，如參考世界各國各項整合性海岸帶管理案例，師法其他各國海岸治理的優點，且依據目標治理海岸地區的特性，歸納整合適合治理區的管理計畫，以期在不損害生態資源環境的情況下且與海岸地區開發並重的發展下，達到永續海洋發展的目標。

10. **海岸溢淹預警能力的強化：**海岸地區的淹水預警可說是前述相關防護方法之外的另一條防線。透過有效的預警機制，搭配後端移動式抽水設備的調配，降低海岸地區的淹水災情。這對於海岸保護與重要經濟發展地區的管理與策略擬定，有其重要性。

根據本計畫對桃竹苗沿岸地區的脆弱度評估結果，為減緩未來氣候變遷所可能造成的海岸災害，本計畫研擬建議桃竹苗沿海地區應採行的行動方案建議如下：

(1) 保護性技術

調適措施	近程行動方案	中程行動方案	遠程行動方案
提升海岸防護設施強度	建立氣候變遷下之海岸防護設施設計標準手冊	全面檢討現有防護設施並定期維護	提升高風險防護設施之防護強度
堤前灘地之保護	建造防護設施以減緩海岸侵蝕速率	海灘養護或種植海岸植物以穩固砂源	提升海岸環境自然容忍能力
推動海岸保護法規	檢討現行海岸地區治理相關法規	擬訂新制海岸法規且考慮氣候變遷影響衝擊	持續檢討並修訂海岸法規
維護海岸自然生態環境	調查現有海岸生態特徵，並提出不利於現有生態環境之因素。	限制不利於當地生態發展之經濟活動	結合地方居民之力量共同保護海岸生態

(2) 適應性技術

調適措施	近程行動方案	中程行動方案	遠程行動方案
改善沿海排水系統	檢討排水系統設計標準	提升易淹水地區治理計畫執行成效	鼓勵低窪地區住宅採用高耐洪性設計建材
製作脆弱度與風險地圖	編定沿海地區脆弱度與風險地圖製作手冊	依據脆弱度與風險地圖分析結果執行海岸保護治理	持續檢討規範手冊及風險地圖的可利用性
規劃海岸保護區	劃定應受嚴格保護的沿海地區	發展整合性海岸地區管理計畫	推動永續海岸環境發展計畫
規劃設施毀壞補救辦法	規劃替代設施或補強措施	減少設施破壞風險並延長使用年限	建造新式高強度防護設施
地層下陷控制	定期監測地層下陷速率	輔導地方產業轉型以降低地下水抽用量	實行地下水補注措施
完善工程技術與管理	檢討現行工程技術與設施運作	編定工程技術手冊並完善規範	積極國際合作以學習國外海岸治理經驗
持續海平面變遷之監測	持續收集資料，並提升觀測技術及資料分析方法。	推估臺灣西北海域可能海平面上升	持續檢討海平面上升量，並強化海水位與暴潮即時預警系統

(3) 後撤性技術

調適措施	近程行動方案	中程行動方案	遠程行動方案
限制海岸地區開發計畫	提高開發計畫審核標準	擬定海岸地區開發限制規範	人為開發與海岸環境保護並存
強化海岸災害應變計畫	落實地方防災教育並定期演練災害應變流程	檢討並改善現行緊急災害撤離路線與應變計畫	中央與地方協力健全海岸災害應變體系
規劃海岸災害緩衝區	劃定海岸緩衝區與災害防護區或是建置第二道海堤	配合海岸防護政策調整緩衝區範圍	妥善規劃緩衝區內居民及產業之管理
擬定整合性海岸地區管理計畫	規劃整合性海岸管理所需考慮之項目	根據海岸地區之現狀來排定海岸管理之先後順序	持續檢討並修訂管理計畫

五、結論

本研究目的在於整合臺灣西北海岸地區(桃園至苗栗)海岸相關水文因子情境設定、衝擊評估、脆弱度及風險評估等及進行該區因應氣候變遷下海岸災害調適能力研究，建立氣候變遷下海岸災害脆弱度評估及風險地圖，並提出調適策略及因應之行動方案。

根據本研究所進行之分析與研究成果，在未來氣候變遷下研究區域主要受到的衝擊，擬定：(1) 因應海水位上升衝擊、(2) 因應海堤安全性衝擊、(3) 因應淹水災害衝擊、(4) 因應沿海脆弱度衝擊 等 4 大領域 13 子項目立即性調適對策建議。另外，本研究擬定 10 項中長期調適策略建議包含：(1) 持續性的監測海水位變動與

紀錄更新、(2) 海岸防護設施防護能力的加強與提升、(3) 改善沿海地區排水系統、(4) 海岸侵蝕的控制與海灘養護、(5) 自然海岸生態環境的維護、(6) 持續監控地層變遷情況、(7) 計畫性地管制海岸地區開發活動、(8) 規劃洪災救難計畫及落實防洪教育、(9) 擬定整合性海岸地區管理計畫等、(10) 海岸溢淹預警能力的強化。

根據本計畫對桃竹苗沿岸地區的脆弱度與災害風險評估結果，為減緩未來氣候變遷所可能造成的海岸災害，本計畫研擬建議桃竹苗沿海地區應採行的行動方案，包含近程、中程、遠程行動方各 3 大領域技術 15 子項目。

參考文獻

1. IPCC 4th Report, [http : //www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm](http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm), Inter- governmental Panel on Climate Change (IPCC).
2. UNDP (United Nations Development Programme): Adaptation Policy Frameworks for Climate Change: Developing Strategies, Policies and Measures, Cambridge University Press (2004).