

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(2/2)

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

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(102)年度計畫進行新北市、基隆市、宜蘭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升趨勢研究，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(102)年度計畫為第二年計畫，以新北市、基隆市、宜蘭縣沿海之東北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 臺灣東北地區海岸防災系統現狀

海岸防災系統主要為海堤，其主要功能為消滅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，本計畫進行東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。研究區位在新北市、基隆市及宜蘭縣海岸，現勘範圍主要以水利署第一及第十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 氣候變遷下東北海岸水環境情境分析

為進行臺灣東北海岸地區海岸脆弱度與海岸災害風險分析，本計畫除蒐集新北、基隆與宜蘭地區有關之海氣象基本資料以外，並利用統計方式推算新北、基隆、宜蘭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，得到新北、基隆、宜蘭海域 2020 年至 2039 年海平面變遷量變動範圍約在 2.18 至 11.62 公分，颱風最大波高可能增加 61%，颱風最大暴潮偏差可能增加 77%。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 北基宜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 (坡面型式、前後側 坡度、保護工重量)	堤前灘線 寬度 (m)	堤面 寬度 (m)	堤面高程 最高 (最低) (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
下福海堤	一般性 海堤	新北市 林口區	200	拋石護面	僅堤兩側出 現約10m寬 淤沙		5.14 (5.12)		林口電廠， 且緊鄰 台15線	71	水利署 第十河川局	
寶斗厝 海堤	一般性 海堤	新北市 林口區	220	堤前為階梯混凝土 1:2鋪面，另堤前 有1:7拋石保護； 拋石部份則為1: 10		5.3	5.82 (5.57) 拋石部份 3.00		住宅，且緊 鄰台15線	101	水利署 第十河川局	含400m新建 之拋石堤部份
八里海堤 十三行段	離岸堤	新北市 八里區	400	離岸堤(消波塊)	約150~ 200m寬沙 灘		5.01 (3.90)		沙灘地	85	水利署 第十河川局	已埋入沙中，失 去原有作用
八里汙水 處理廠海 岸保護工	突堤3座 導流堤2 座	新北市 八里區	514	消波塊	約150m寬 沙灘		4.20 (3.92)		沙灘地及 防風林		水利署 第十河川局	已埋入沙中，失 去原有作用
八里海岸 保護工	消波塊	新北市 八里區	339	漿砌塊石及 塊石護岸	約150~ 200m寬沙 灘		5.36 (3.64)		林地		水利署 第十河川局	
油車口 海堤	一般性 海堤	新北市 淡水區	350	1:3拋石護岸			5.16 (5.08)		駕訓班及 住宅	86	水利署 第十河川局	堤面已作為自 行車道
新埔海堤	一般性 海堤	新北市 淡水區	715	土堤及1:10拋石 鋪面及消波塊	寬廣之礫石 淺灘		4.88 (4.75)		軍事碉堡 (已廢棄)		水利署 第十河川局	含新埔海岸保 護工275m



榮興海堤位於望海巷漁港東側沿北部濱海公路至深澳灣西側，海堤全長約為850m。海堤本身為一土堤，堤後一大片高灘線地公園上層設有防墜欄杆，護基部份則鋪設塊石進行保護，本海堤外海側主要以礁岩地型為主，由現場拍攝照片可知，本海堤海側以塊石保護及自然礁石為主。就現況而言，本區域受波浪作用較大，但因自然條件特殊，以礁岩地形消減波能。

圖 1 北基宜海堤防災特性說明範例

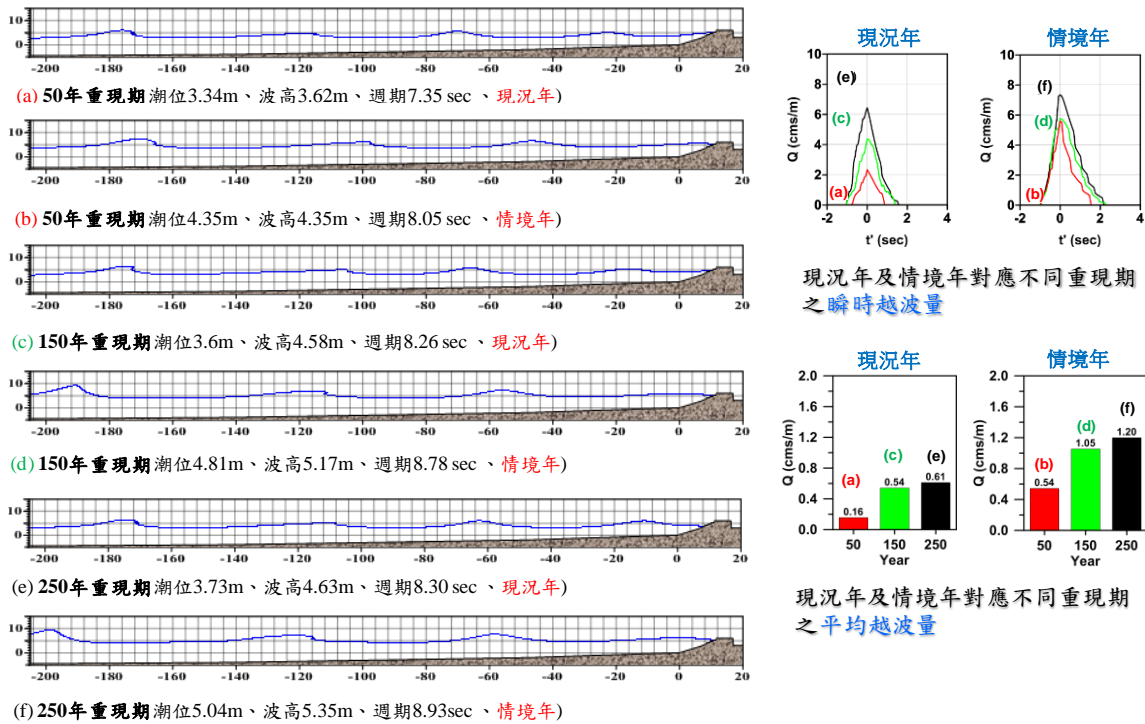


圖 2 波浪溯升與越波情境模擬案例

2.3 海堤安全性分析

新北、基隆、宜蘭地區各海堤現階段及未來情境(2020~2039)依不同重現期颱風及潮位海堤安全性分析結果，整理如表 2 及表 3 所示。在現況分析方面，除新庄子海堤與十八王公海堤因堤頂高程較低，在 5 年重現期外力條件下無法滿足 0.02 cms/m 之溢流量標準外，其餘海堤皆可滿足溢流量標準，然隨著重現期拉長，無法滿足標準之海堤亦隨之增加。宜蘭部分，目前宜蘭海堤現況在 5 年、10 年、20 年重現期下皆可滿足溢流量標準而不致產生危害。另外，大於 10 年之重現期颱風波浪對新北市、基隆市及宜蘭地區海堤均已會產生大於規範之溢流量。在考慮未來情境(2020~2039)下，新北市、基隆市、宜蘭縣海堤均無法滿足 10 年重現期颱風波浪及潮位作用下之溢流量安全，顯示在未來氣候變遷之假設條件下，新北、基隆與宜蘭地區之海堤皆面臨海堤高度不足之情況。

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

表 2 新北市與基隆市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	堤面高程(m)	海側坡度	迴歸期							海堤名稱	堤面高程(m)	海側坡度	迴歸期						
			5	10	20	50	100	150	200				250	5	10	20	50	100	150
下福海堤	5.07	1:2/1:6	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
寶斗厝海堤	6.00	1:2/1:10	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
八里海堤	6.75	1:6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
油車口海堤	5.00	1:1.5/1:3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
新埔海堤	2.00	1:10	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
後厝海堤	8.90	1:3/1:6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
新庄子海堤	5.10	1:1/1:6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
坎仔腳海堤	8.23	1:0.5/1:5	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
崩山口海堤	3.50	1:0.5/1:5	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
石門海堤	5.09	1:3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
草里海堤	4.78	1:2/1:6	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X
海大海堤	6.62	1:1(亂拋)	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
番仔澳海堤	5.07	1:1.5/1:4	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
洞頂海堤	6.75	1:12~1:20	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
龍洞海堤	5.00	1:2	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
真理村海堤	8.39	1:6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
卯澳海堤	8.90	1:3	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
馬崗海堤	7.67	1:1.5/1:6	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
鶯歌石海堤	5.10	1:1.5/1:6	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

表 3 宜蘭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	堤面高程(m)	海側坡度	迴歸期							海堤名稱	堤面高程(m)	海側坡度	迴歸期						
			5	10	20	50	100	150	200				250	5	10	20	50	100	150
石城海堤	6.00	1:6	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
大里海堤	6.50	1:6	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
大溪海堤	6.00	1:1.5/1:6	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
橋板湖海堤	7.00	1:1.5/1:10	O	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X
更新海堤	7.00	1:1.5/1:6	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
外澳海堤	6.50	+6.84 (+6.42)	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
港口海堤	6.80	+6.93 (+6.77)	O	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
大坑海堤	7.00	+7.29 (+6.71)	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
竹安海堤	6.70	+6.87 (+6.51)	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
內埤海堤	6.50	+9.75	O	O	O	O	O	O	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X

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 3 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 4，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 4 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。

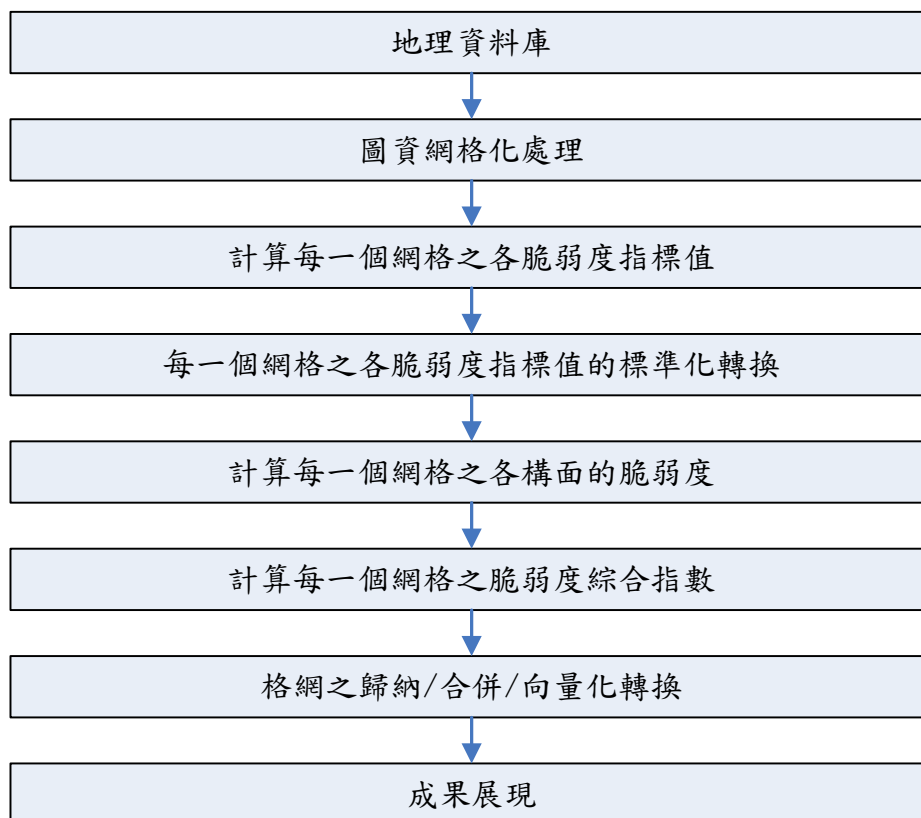


圖 3 災害脆弱度綜合指數之完整計算流程

表 4 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	0.327	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	0.548	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，圖 4 為北基宜沿海地區現況及調適策略模擬結果的五級制災害風險地圖，脆弱度與風險度現況及調適策略模擬結果差異分別如圖 5、圖 6 所示。根據本計畫分析評估結果顯示，現階段北基宜海岸災害脆弱度較高地區為基隆中正區（4 級）與宜蘭蘇澳鎮（5 級）；海岸災害風險度較高的區域位於基隆市之中山區、中正區及宜蘭縣之頭城鎮、壯圍鄉、五結鄉與蘇澳鎮為 3 至 4 級。至於考慮調適策略後的海岸災害脆弱度與風險評估，在調適策略的部份，以增加海堤長度及高度的方式做為調適方法，連接現有海堤之間短缺的部份增加海堤的涵蓋範圍，海堤高度部分則平均加高 2 米。分析結果顯示(圖 5、圖 6)，新北市、基隆市、宜蘭縣脆弱度與風險度整體而言約下降 1 級。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、因應氣候變遷臺灣東北沿海地區海岸災害調適策略與行動方案

關於新北、基隆、宜蘭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北基宜沿海海域，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。

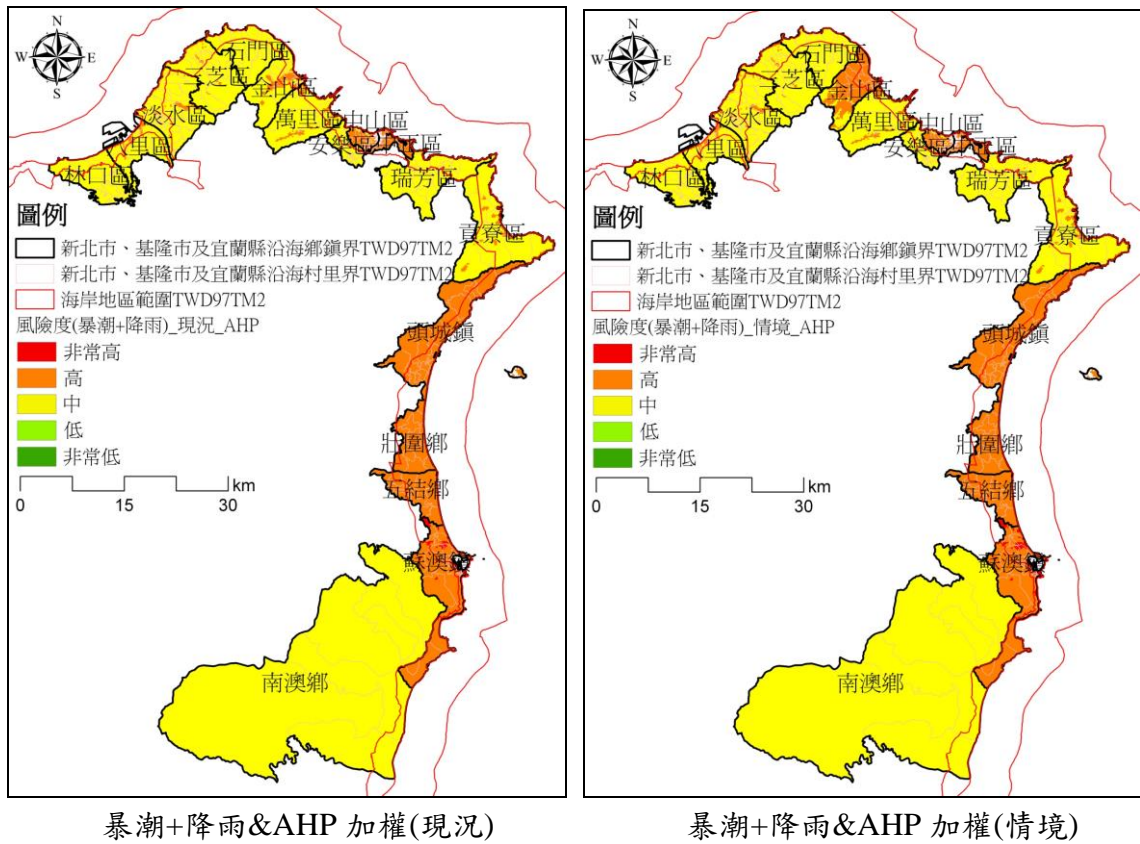


圖 4 北基宜沿海地區海岸災害風險度現況及情境年模擬結果

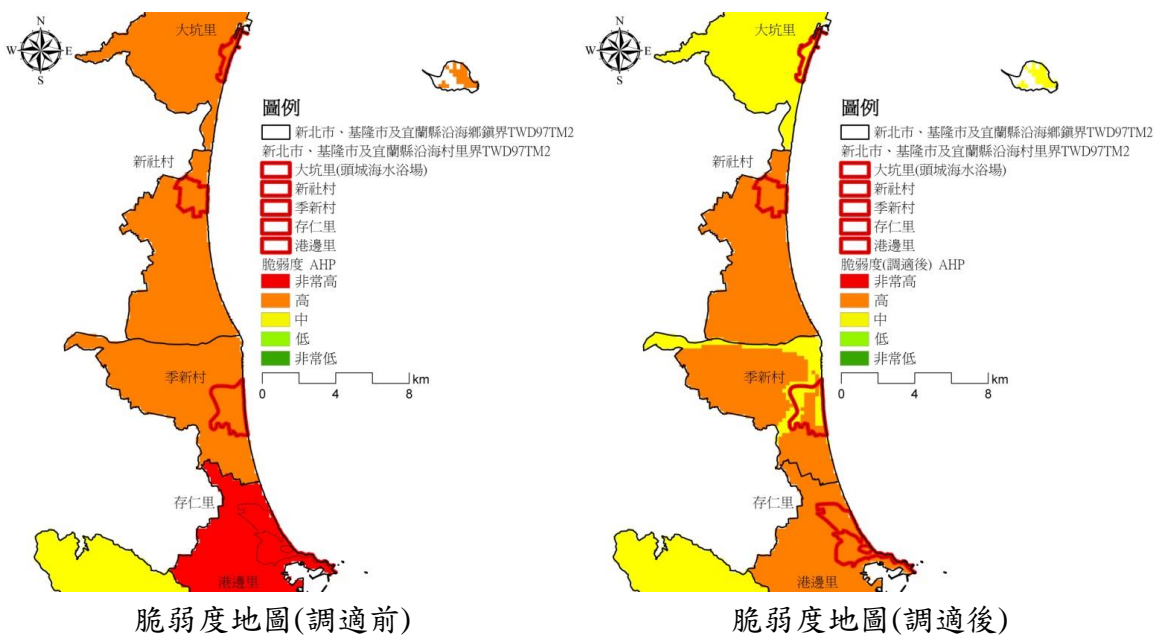


圖 5 宜蘭縣海岸脆弱度分析結果(現況與考慮調適策略後)

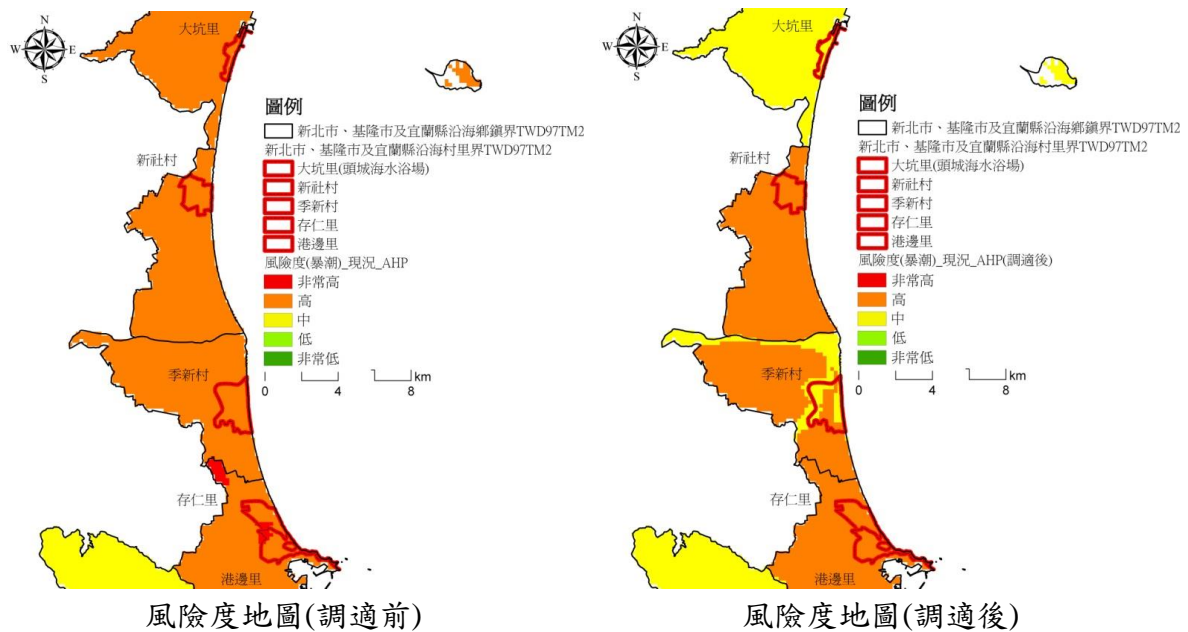


圖 6 宜蘭縣海岸災害風險度分析結果(現況與考慮調適策略後)

在現階段東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，評估立即性具體調適策略建議：

1. 因應海水位上升衝擊具體調適策略：(a) 持續收集高精度之海水位資料。(b) 持續監控高度較為不足之海堤，必要時須予以加高。

2. 因應波浪強度增強對海堤安全性衝擊具體調適策略：(a) 現勘結果顯示，新北市淡水河口以北有多處海堤前方有自然礁岩地形削減波能，建議未來進行海堤防護時，可考慮搭配自然地形之波浪消能效果，藉以有效較低防護成本。(b) 新北市淡水河口以南為砂質海岸，為確保海堤之保護功能，需持續監控海堤前塊石及消波塊是否持續下陷，必要時須強化堤址之保護。(c) 新庄子海堤與十八王公海堤短期之內可能無法滿足溢流量標準；十八王公海堤後舊有住宅已遷移，以此建議可優先強化新庄子海堤之保護功能。(d) 經本計畫情境年(2020-2039)模擬後發現，基隆附近海域於路徑一颱風之最大波高加上最大暴潮偏差(暴潮+天文潮)之高度最高。基隆海洋大學海堤距離水深 -5m 等深線頗近，波浪易直接衝擊海堤。該海域雖已設有180m 長之潛堤進行波浪消能，仍建議未來需持續針對此地區海堤防護功能進行監控。(e) 相較於本計畫研究區域內之其他海堤，龍洞海堤的前側坡度較陡。一般而言，陡坡式土石堤較不易減低波浪溯升，且較易造成堤址之沖刷(臺灣省水利局，1979)。建議未來需持續針對此地區之海堤防護功能進行監控。(f) 由情境年(2020-2039)數值模擬以及分析後發現，蘇澳附近海域於路徑二颱風之最大波高加上最大暴潮偏差之高度最高。建議未來需持續針對此地區之海堤防護功能進行監控。

3. 因應颱風暴潮之淹水災害衝擊具體調適策略：(a) 根據本計畫之颱風暴潮模擬結果，臺灣東北海岸地區須嚴防路徑一以及路徑二侵襲之颱風。(b) 建立區域性暴潮預警系統。(c) 研擬天文潮高與暴潮高之複合海岸風險。(d) 建議未來可於經濟部水利署防災資訊服務網增列海堤水位警戒資訊。

4. **因應強降雨之淹水災害衝擊具體調適策略：**(a) 新北市八里區地勢較低，情境模擬之積淹狀況較明顯，建議未來可優先增設抽水設備。(b) 宜蘭縣礁溪鄉、壯圍鄉、宜蘭市、五結鄉、羅東鎮及冬山鄉情境模擬之積淹水狀況較明顯，建議未來優先改善排水系統。(c) 根據本計畫所研究東北沿海鄉鎮近 10 年易淹水區域分布圖可發現，宜蘭縣壯圍鄉與五結鄉之間的淹水次數偏高。該區域位於蘭陽溪下游出海口附近的南北側，因此除改善排水系統外，建議仍需強化該區域的河道疏浚以及河堤保護之工作。此外，蘭陽溪出海口的兩側的累積下陷量超過 30 公分以上，有必要針對此區域地層下陷現象進行持續監測與防治。

5. **因應氣候綜合變遷之海岸侵蝕與生態衝擊具體調適策略：**(a) 宜蘭縣大福、永鎮兩區海岸線有後退趨勢，其主要原因為颱風所造成。建議可利用離岸潛堤削減波能，藉以減緩海灘掏刷之現象。(b) 海岸侵蝕通常並非單單自然環境外力所造成的，人為影響的衝擊亦不容忽視。建議未來在增建海岸結構物時，可先透過數值模擬結合水工試驗等方式先行評估氣候變遷以及海工結構物綜合影響下對附近海岸之衝擊。(c) 現勘結果顯示，頭城海水浴場前方有部份消波塊位移顯著，顯示該區域受到波浪作用較大，屬波浪侵蝕嚴重區域，建議可透過離岸潛堤搭配人工養灘來進行保護。

6. **因應氣候綜合變遷於未來之潛在威脅具體調適策略：**(a) 依照本計畫風險矩陣分析結果，整體趨勢以基隆市中山區、中正區以及宜蘭縣頭城鎮、壯圍鄉、五結鄉及蘇澳鎮之風險較高。其中，中山區以及中正區的人口密度偏高，撤離策略推動不易，建議優先以海堤保護以及改善排水系統等調適策略為主。(b) 造成第一河川局轄區內災害較嚴重之地區(大坑里、新社村、季新村、存仁里以及港邊里)脆弱度提高的共同指標有：海堤長度相對比、海堤高度相對比、高程、坡度、扶養比。其中高程與坡度屬於天然地理條件，不易進行更動。扶養比則並非水利署所職掌之業務範圍。有鑑於此，建議優先針對上述地區之海堤長度以及高度進行調適。

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。根據東北沿海地區(新北、基隆與宜蘭海岸)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. **強化海平面監測能量：**針對長期海水高度之監測，目前國內外主要都是透過岸邊潮位站或是衛星高度計進行之。海象監測屬中央氣象局之業務職掌，國內的一些單位(包含水利署)，針對自身職掌業務之需求，也在某些海岸地區設置有岸邊潮位站。目前臺灣東北海岸地區，除淡水、基隆及蘇澳等三個潮位站外，其餘潮位站監測所得之潮位資料長度均不足 20 年。此外，潮位站基準可能會受到地層變動之影響，導致資料分析上產生的誤差恐無法避免。累加宜蘭地區民國 81 至 99 年累積下陷量發現，在蘭陽溪出海口的兩側，累積下陷量超過 30 公分以上。這樣的地層變動對於沿海水位觀測會造成一定程度之影響，需要定期檢測潮位站基準點，並予以適當的校正。衛星資料在觀測上雖不受地層變動之影響，但目前的資料長度僅十餘年，且時間解析度為七天。考慮海水位變遷量是以每年數公厘的尺度在變化，為能更有

效掌握臺灣東北海岸地區的海平面變遷量，實有必要持續提升監測技術與資料精度。

2. **強化海岸防護設施**：增設海岸防護設施屬於調適策略中的保護性策略。可透過硬性建設、軟性建設或是傳統性建設等方式減少高潮位所產生海水倒灌的風險。

3. **居民後撤與遷離之評估**：根據我國之災害防救法第 24 條規定，為保護人民生命、財產安全或防止災害擴大，直轄市、縣（市）政府、鄉（鎮、市、區）公所於災害發生或有發生之虞時，應勸告或強制其撤離，並作適當之安置。直轄市、縣（市）政府、鄉（鎮、市、區）公所於災害應變之必要範圍內，對於有擴大災害或妨礙救災之設備或物件之所有權人、使用人或管理權人，應勸告或強制其除去該設備或物件，並作適當之處置。然而遷移居民所需考量之層面並不單單僅是經費之問題，有時還必須考量到政治層面之議題。考慮到臺灣本身的地理條件屬於地稠人狹之情況，部分海岸地區已呈現高度之開發。後撤性策略屬於最後之手段，必須被謹慎地研擬，以避免對當地居民的生活起居造成嚴重之衝擊。

4. **建立區域性颱風暴潮預警機制**：颱風的暴風圈雖屬於尺度較大的天氣系統，但造成海水位抬升主因之一的颱風眼低壓中心對於海岸地區的影響相對較為局部化。再加上不同海岸地區其底床坡度也相對不同，因此不同海岸地區因為風揚所造成的水位抬升效應也會有所差異。透過區域性颱風暴潮預警機制之建立，將能更有效準確的預測颱風暴潮對局部海岸區域所可能造成的災情，進而能針對相關防災資源進行更合理且有效的分配。

5. **評估複合型海岸災害之風險**：海岸災害通常是同時受到許多不同外在影響因素(如波浪、潮高以及海流等)的複合效應所造成。以往為簡化問題之複雜性，會將不同影響因素獨立分析後再直接線性加總。然而對於不同影響因素的複合效應則是考慮海岸風險管理的重要依據。如颱風所引起之暴潮若發生在天文大潮期間，其合成水位對海岸地區之衝擊風險較高；但颱風暴潮若發生於低潮時，海岸地區之風險就相對減小。因此在潮差較大之海岸地區，此一議題更顯緊要。颱風暴潮之特性較不易掌握，建議可配合統計模式分析長期之區域實測資料，建立起聯合機率概念，再加上先進的機率風險評估方法之研發，藉以釐清不同海域的水位抬昇風險。

6. **強化災害警戒資訊的公布管道**：透過前述策略掌握海域的水位抬昇風險之後，建議可透過適當管道(網際網路、鄉鎮公所)提供民眾相關之海堤警戒訊息。

7. **減緩波浪對海堤之衝擊**：海堤前水深相對較深，理論上海底床對波浪削減之效較為有限，亦即波浪受到波浪直接衝擊的機率相對較高。因此定期監測近岸地區海底床地形，若底床掏刷現象嚴重時，可進行沙源補充或是人工潛堤的方式，藉此消減波浪能量，進而保護海堤之安全。

8. **強化低窪地區排水能力**：在未來沿海地區河川、海水溢堤風險增加的狀況下，改善低窪地區排水能力是刻不容緩的工作。建議可進行的工作項目有：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。

9. **地層下陷之防治**：依據「嚴重地層下陷地區劃設作業規範」(民國 94 年 10 月 12 日)所公告之內容，累加宜蘭地區民國 81 至 99 年累積下陷量發現，在蘭陽溪出海口的兩側，包含五結鄉與壯圍鄉，累積下陷量超過 30 公分以上。需持續監控，

藉以防範於未然。因此目前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。

10. 控制海岸侵蝕：海岸侵蝕速率的增加易導致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。海岸侵蝕的有效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。

11. 自然海岸生態環境的維護：本計畫研究區域內設有自然保留區，如宜蘭縣蘇澳鎮的烏石鼻海岸自然保留區、無尾港水鳥保護區，新北三芝淺水灣到石門海岸的藻礁群綿延十多公里，這些都是海岸環境生態是重要自然資產。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。此外，可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，使自然海岸資產能夠永續經營、發展。

12. 整合性海岸地區管理：目前我國海岸管理的權責較為分歧，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(資料來源：海岸保育及復育方案(草案)，2009)。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，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，達到永續海洋發展的目標。

13. 規劃災害救難計畫：雖然現階段中央主管機關與地方政府皆已致力於易淹水地區的治理，但未來氣候變遷的影響下，海岸溢淹事件仍可能發生更為頻繁。所以應重新檢視現階段之溢淹災害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。

14. 落實防災教育：除了溢淹災害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、開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)，定期性的舉辦進行防洪教育訓練以及洪水緊急應變計畫的演練，讓地方政府與民眾養成防洪觀念並確實掌握行動流程，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。

根據本計畫對北基宜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，本計畫研擬建議北基宜沿海地區應採行的行動方案建議，針對不同行動方案面向所對應之具體內容綜整如下：

- (1). **海岸監測**—近程：持續收集海水位資料，並提升觀測技術及資料分析方法。中、遠程：預測海平面變遷量並評估預測結果之信賴度。
- (2). **海岸結構物安全**—近程：檢討現行工程技術與設施運作，並建立氣候變遷下之海岸防護設施設計標準手冊。提升高風險防護設施之防護強度全面檢討現有防護設施並定期維護。中、遠程：積極國際合作以學習國外海岸治理經驗。發展創新的海堤防護技術。
- (3). **強化應變能力**—近程：評估於高脆弱度地區劃定海岸緩衝區或是建置第二道海堤的可行性。中、遠程：在近程方案確認可行的條件下，妥善規劃緩衝區內居民及產業管理。
- (4). **預警系統整合**—近程：發展區域性暴潮預警模式。中程：提高預警模式的時間以及空間解析度。遠程：持續改進模式預測之準確度。
- (5). **災害風險調查**—近程：評估複合海岸災害的聯合發生機率與其對應風險。編定沿海地區災害風險地圖。依據風險地圖結果執行海岸保護治理。中、遠程：持續更新相關資料，並檢討風險地圖的可利用性。
- (6). **資訊宣導與發布**—近程：結合鄉里活動中心做為資訊發布管道。於水利署防災資訊服務網增列海堤水位警戒資訊。結合智慧型手機軟體技術，發展警戒資訊發布技術。中、遠程：發展並評估其他可行資訊發布技術。
- (7). **降低災害風險**—近程：海堤前方水域之調查與海堤風險評估。針對破堤風險較大之海堤進行強化。檢討排水系統設計標準。針對淹水災害衝擊較明顯區域規劃布設緊急抽水設備。落實河道區域的疏濬清淤作業。中、遠程：持續進行海堤前方水域之調查與海堤風險評估。發展創新的海堤保護技術。鼓勵低窪區住宅採用高耐洪性設計建材。
- (8). **地層下陷區之因應**—近程：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。中、遠程：持續監測地層下陷速率。發展創新的地層下陷防治技術。
- (9). **海岸之養護**—近程：建造防護設施以減緩海岸侵蝕速率。中程：海灘養護或種植海岸植物以穩固砂源。遠程：提升海岸環境自然容忍能力。
- (10). **海岸調查及保護**—近程：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。中程：限制不利於當地生態發展之經濟活動。遠程：結合地方居民之力量共同保護海岸生態。
- (11). **海岸開發與管理原則**—近程：檢討現行海岸地區治理相關法規。劃定應受嚴格保護的沿海地區。中程：擬訂新制海岸法規且考慮氣候變遷衝擊。遠程：持續檢討並修訂海岸法規，推動永續海岸環境發展計畫。
- (12). **海岸災害應變**—近程：定期演練災害應變流程。中、遠程：中央與地方協力健全海岸災害應變體系。檢討並改善現行緊急災害撤離路線與應變計畫。

- (13).資訊宣導與公開—近程：定期於海岸地區活動中心舉辦防災教育課程。中、遠程：與教育主管單位以及當地學校合作，共同培育海岸防災教師資，將防災教育結合於地區中小學課程中。

五、結論

本研究目的在於整合臺灣東北海岸地區(新北、基隆及宜蘭)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)因應波浪強度增強對海堤安全性衝擊、(3)因應颱風暴潮之淹水災害衝擊、(4)因應強降雨之淹水災害衝擊、(5)因應氣候綜合變遷之海岸侵蝕與生態衝擊、(6) 因應氣候綜合變遷於未來之潛在威脅等 6 大領域 20 子項目立即性調適對策建議。另外，本研究擬定 14 項中長期調適策略建議包含：(1) 強化海平面監測能量、(2)強化海岸防護設施能力、(3)居民後撤與遷離之評估、(4)建立區域性颱風暴潮預警機制、(5)評估複合型海岸災害風險、(6)強化災害警戒資訊公布管道、(7)減緩波浪對海堤之衝擊、(8)強化低漥排水能力、(9)地層下陷防治、(10)控制海岸侵蝕、(11)自然海岸生態維護、(12)整合性海岸地區管理、(13)規劃災害救難計畫、(14) 落實防災教育。

根據本計畫對新北市、基隆市、宜蘭縣沿岸地的海岸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，本計畫研擬建議北基宜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 大領域技術與 13 行動方案面向。

參考文獻

1. IPCC 4th Report, <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).
3. UNDRO, Natural Disasters and Vulnerability Analysis, Report of Experts Group Meeting, UNDRO, Geneva (1980).
4. 臺灣省水利局，「海堤規劃手冊」(1979)。
5. 經濟部水利署，「嚴重地層下陷地區劃設作業規範」，<http://wralaw.wra.gov.tw/wralawgip/> (2005)。
6. 行政院國家永續發展委員會秘書處，「海岸保育及復育方案(草案)」(2009)。