

因應氣候變遷之海岸風險評估(1/2)

Assessment of coastal risks to climate change-related impacts(1/2)

主管單位：經濟部水利署

蕭士俊^{1,2}

江文山²

張駿暉¹

吳漢倫¹

Hsiao, Shih-Chun^{1,2}

Chiang, Wen-Son²

Jang, Jiun-Huei

Wu, Han-Lun

1

¹ 國立成功大學水利及海洋工程學系

² 國立成功大學水工試驗所

摘要

為因應氣候變遷衝擊海岸，需針對防災策略及衝擊評估進行深入探討。本計畫主要針對海岸韌性防災案例、國內歷史災害案例、氣候變遷情境分析及氣候變遷衝擊評估等項目進行研討，並彙整國外海岸韌性防災案例，研提具體在地化建議，且蒐集國內歷史災害案例資料，進行分析以瞭解各事件致災之情況與原因。另需辦理氣候變遷情境條件蒐集與分析，並配合數值模式進行衝擊評估模擬，且再實行海岸風險地圖之重新繪製。

已針對各國(美國、日本、紐西蘭及荷蘭)進行「海岸韌性」防災資料蒐集，並概述各國針對海岸韌性提升所實行之辦法與評估方式，並於本年度計畫選定「荷蘭」做為案例分析之對象。除韌性評估方法蒐集分析外，亦有針對荷蘭目前針對海岸韌性提升所執行的改善對策資料進行彙整，並以國內目前針對海岸災害之「評估方法」研提納入韌性因子相關建議，及針對本年度計畫區域提供改善對策之建議。透過已調校後的數值模式進行各計畫區氣候變遷衝擊評估，先以海洋模式，配合海象情境條件進行基期與近未來暴潮溢淹模擬，並萃取近岸區域河口水位與越波水位資訊後，提供淹水模式做為下游邊界，再由淹水模式完成海岸溢淹災害衝擊評估。其成果顯示，降雨與暴潮同時影響下，淹水大幅增加的原因，應為河川與排水系統的下游水位受到暴潮的頂托，排水能力大幅下降，上游山區降雨逕流流入河道的水量無法宣洩，使得河道水位高漲；同時若降雨同時發生在平地區域，將導致地表漫地流無法順利排入區排之中，最終造成內水淹水的範圍、深度、以及延時同步增加。考量現況環境與氣候變遷衝擊成果，分別繪製基期(現況)與近未來情境下，海岸災害風險地圖。其中，脆弱度中的堤前波高資訊與危害度中的溢淹資訊，亦有依據本計畫模擬成果更新，暴潮溢淹因子亦以考量現有海堤情況給予條件，以利繪製較符合現況的海岸風險地圖。

關鍵詞：氣候變遷、海岸風險評估、海岸韌性

Abstract

In order to deal with the impact of climate change on the coast, discussions on disaster prevention strategies and impact assessments are needed. This project focuses on case studies for coastal resilience disaster prevention and domestic historical disaster, and scenario analysis and impact assessment for climate change. Besides, the overseas coastal resilience disaster prevention, the specific suggestions for Taiwan, the collection of domestic history disaster case data, are analyzed. It is also necessary to collect and analyze the climate change conditions, to cooperate with numerical models for impact assessment simulation, and implement the redrawing of coastal risk maps.

The coastal resilience from the United States, Japan, New Zealand, and the Netherlands are collected. The Netherlands is selected this year. In addition to the collection and analysis of the assessment method, there is also a compilation of data on the improvement measures currently implemented by the Netherlands for the improvement of coastal resilience. Finally, the recommendations for the current assessment method in Taiwan to include the resilience index is proposed. Using the adjusted numerical model to evaluate the impact of climate change in each project area. The ocean model considered the base period and near future storm surge conditions to provide downstream boundaries for the flooding model. Then, the disaster impact assessment will be completed by the flooding model. Under the simultaneous influence of rainfall and storm surge, the reason for the drastic increase in flooding should be that the downstream water levels of the river and the drainage system are supported by the storm surge, and the drainage capacity is greatly reduced. At the same time, if rainfall occurs in flat areas, the ground surface current cannot be smoothly discharged into the zonal discharge, and eventually the scope, depth, and time delay of internal flooding increase simultaneously. Finally, considering the impact of the current environment and climate change, a map of coastal disaster risk in the base period and near-future scenarios is drawn. Among them, the wave height in front of the dike and the flood in the hazard are also updated based on the simulation results of this plan, and the storm surge flood factor is also given in consideration of the existing seawall conditions to facilitate the mapping to derive the current situation coastal risk map.

Keywords : climate change, coastal risk assessment, coastal resilience

一、前言

氣候變遷影響下，臺灣海岸將面臨不確定性的災害衝擊(如海岸溢淹、地形變遷)，而海岸因應災害之韌性不足時，易導致海岸居民安全與財產受到威脅(如波浪衝擊岸邊建物、海岸溢淹危害、內陸淹水無法排放至外海)。海岸韌性可分為容許力與恢復力兩個層面，容許力主要為海岸面對災害衝擊時(如颱風、強降雨)，讓海岸災情最小化之能力；恢復力則代表海岸受到衝擊後恢復，並達到新平衡的能力，而「海岸數值模擬」則

為提升海岸韌性的重要工具。透過合理的海岸數值模擬，可較精確地預測致災情況(如海水溢淹)，其資訊可提供海岸防災策略研擬與災後復原政策訂定之重要參考。

過去諸多研究成果已顯示，氣候變遷將導致平均海面上升與颱風規模增強，均會提升海岸溢淹致災風險。此外，於強降雨情況下，潮位漲退影響亦可能導致內陸淹水無法排出外海，致使海岸地區或較低窪處發生「滯水不退」之情況，此並非傳統僅考量「海岸溢淹」之數值模式所能夠評估之現象。為促進海岸韌性提升並強化海岸災害之預測能力，需辦理包含國內歷史海岸災害相關資料蒐集、國外海岸韌性防災案例之深入分析、以氣候變遷情境進行海岸數值模擬、更新既有海岸溢淹風險地圖，以及氣候變遷衝擊對海岸韌性影響評估等作業，爰成立本計畫進行相關工作推動。本計畫分兩年度實施(108~109年度)第一年度主要針對彰化、雲林及嘉義海岸地區於氣候變遷情境下之衝擊評估，並更新繪製海岸溢淹風險地圖。此外，亦著重於國內外海岸韌性相關案例資料蒐集，以利後續因應對策之參酌；第二年則除針對台南、高雄、屏東海岸地區於氣候變遷下之衝擊評估外，亦需引用國外提升海岸韌性成功經驗，研提在地化因應對策規劃。計畫工作主要分成三大項，1.國外因應海岸韌性防災案例蒐集與深入分析；2.國內歷史海岸災害相關資料蒐集；3.導入氣候變遷海岸情境，進行彰化、雲林、嘉義、台南、高雄及屏東等地區氣候變遷衝擊評估；4.更新繪製海岸溢淹風險地圖，並於第二年度進行氣候變遷衝擊對海岸韌性影響評估，並研擬提升海岸韌性因應對策規劃，以供決策機關參考。

二、研究方法與流程

綜合本計畫標的與工作項目研提擬本計畫課題分析，以做為工作項目編列與內容之基礎，圖1為問題分析流程圖，相關說明如下：

1. 加強海岸韌性認知：

國內目前對海岸韌性之認知較為陌生，因此針對國外岸韌性評估方法與提升海岸韌性因應策略必須有所瞭解後，才能嘗試運用於提升國內海岸區域韌性。瞭解國內與國外海岸韌性差異後，借鏡國外成功案例經驗，俾利有效研提國內因應海岸韌性提升之具體策略。

2. 強化國內海岸災害案例分析：

進行國內海岸韌性評估之前提，需先針對國內海岸區域之海岸災害案例進行剖析，俾利深入瞭解引致海岸災害案例之相關原因及背景條件。這些相關資料的蒐集將為後續評估海岸韌性之重要環節。

3. 精進數值模式之能力：

過往氣候變遷評估研究，其評估流程與方法雖具完整性，惟其採用的海洋模式能力有所限制，使其無法完整模擬面狀海岸溢淹及越波之現象。以斷面模擬成果做為區域資料之方式，雖亦有其代表性，但採用精進的模擬方式進行研討，仍為必須考量之重要工作。另，於氣候變遷情境設定上，應導入較具邏輯性之氣候變遷因子，以提升情境設定之合理性與完整性。此外，依美國NOAA提升海岸韌性作法中，「可靠的海岸數值模擬」為提升海岸韌性之重要前期發展項目。合理的海岸數值模擬分析，可提升海岸風險評估之可靠度，並可做為海岸防災策略研擬之參酌。

4. 更新海岸風險評估：

除透過精進數值模式方法，提升海岸衝擊評估合理性外，具邏輯性的氣候變遷情境擬訂亦為評估之重要背景資料。藉由前端強化衝擊評估之可靠性後，後端則需重新進行海岸風險評估與風險地圖繪製工作。

5. 海岸韌性思維運用：

藉由國外海岸韌性資料蒐集與分析，強化海岸韌性相關思維後，配合完善的衝擊評估成果，對國內海岸現況與氣候變遷衝擊情境下進行韌性評估，並研擬提升海岸韌性之具體對策。

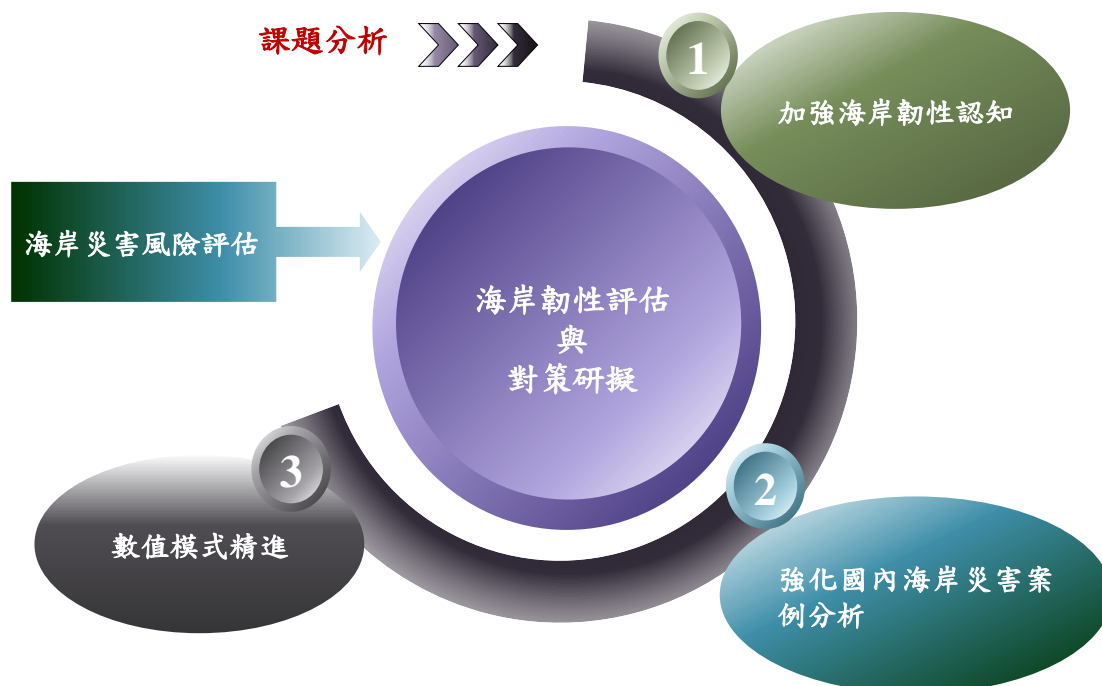


圖1 課題分析流程圖

依據計畫需求與問題分析，擬訂「國外因應海岸韌性防災案例蒐集與深入分析」、「國內歷史海岸災害相關資料蒐集」、「氣候變遷情境分析」、「氣候變遷對海岸災害之衝擊評估」、「氣候變遷下海岸災害之風險評估」及「氣候變遷衝擊對海岸韌性影響評估」等六項工作項目，且主要架構可分為三部分，第一部分為「基礎資料蒐集作業」階段；第二部分為「情境分析及衝擊評估作業」階段；第三部分為「海岸災害風險評估作業」階段；最後，則為第四部分「海岸韌性影響評估」作業階段。整體計畫工作項目及步驟流程如圖2所示。各作業階段概述如下：

1. 基礎資料蒐集作業階段

此階段工作項目包含「國外因應海岸韌性防災案例蒐集與深入分析」，與「國內歷史海岸災害相關資料蒐集」。國外案例蒐集方面，主要為各國針對海岸韌性防災資訊進行蒐集，包含海岸韌性評估方法、提升海岸韌性案例及其相關背景等，並進行深入分析，做為國內提升海岸韌性之借鏡，俾利研擬相關建議；國內案例蒐集方面，主要為進行國內至今海岸災害相關案例，並進行其案例背景與致災原因分析，以做為後續風險評估及既有海岸韌性評估之基礎。

2. 情境分析及衝擊評估作業階段

此階段工作項目包含「氣候變遷情境分析」，與「氣候變遷對海岸災害之衝擊評估」。透過氣候變遷資料蒐集與分析，藉以擬訂此計畫氣候變遷情境方案，以做為氣候變遷對海岸災害衝擊評估之情境案例。於海岸災害方面，為考量於氣候變遷下海象情境與降雨情境所造成的衝擊，將運用「海洋模式」及「淹水模式」兩種數值模式來進行衝擊評估作業。

3. 海岸災害風險評估作業階段

此階段工作項目主要為「氣候變遷下海岸災害之風險評估」，參酌海岸風險評估方式，進行海岸災害評估，並更新繪製風險地圖，以做為未來政策及提升海岸韌性相關對策參考之依據。

4. 海岸韌性影響評估作業階段

此階段工作項目主要為「海岸韌性影響評估」，參酌此計畫蒐集之海岸韌性相關資料，擇選示範區域進行海岸韌性相關評估作業。除研擬提升海岸韌性相關因應對策建議外，亦需針對對策功效進行評估，探討其對策之合適性，相關評估經驗可做為未來海岸韌性評估與因應對策研擬之參考，此階段作業擬於計畫第2年度辦理。

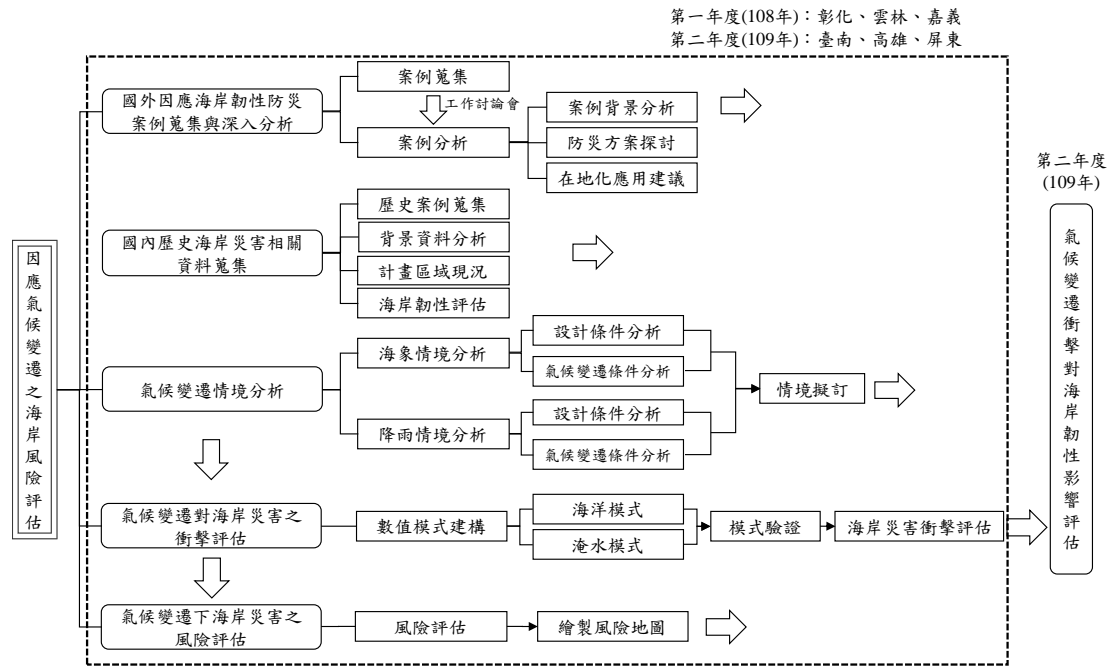


圖2 畫工作流程與執行架構

三、研究成果

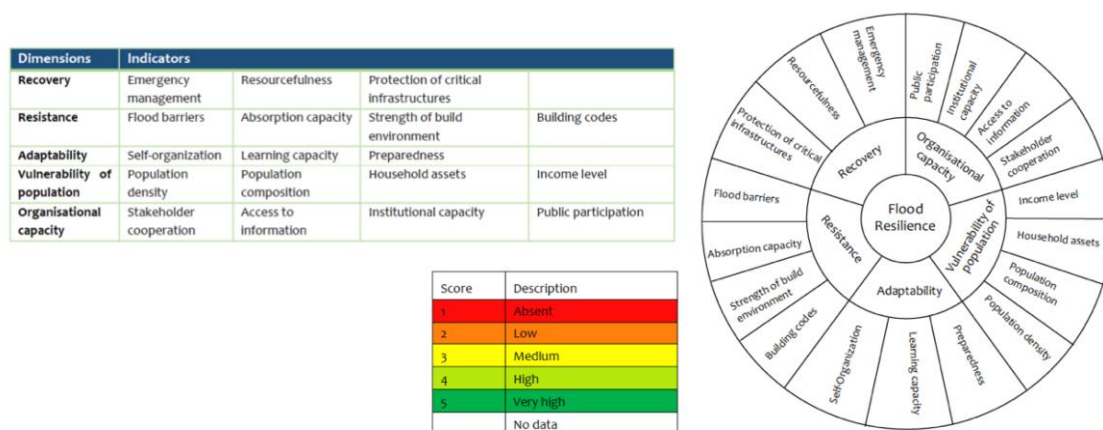
3.1 國外因應海岸韌性防災案例蒐集與深入分析

本成果主要為蒐集國外因應海岸韌性防災案例，並進行深入分析，研提在地化建議為目的。於案例擇選之前，需先針對國外因應海岸任行提升之相關資料進行蒐集與分析，俾利研提本年度專題所需探討之案例。目前蒐集日本、美國、紐西蘭及荷蘭等四個國家之海岸韌性防災策略與執行案例相關資料，簡述於表1所述。本計畫則以「荷蘭」為案例進行背景說明，除先針對荷蘭治水之方式及轉變做說明外，並進一步以「荷蘭鹿特丹」為例，說明一個韌性城市的發展及其特色。

表 1 國外海岸韌性之發展概況

國家	韌性發展概況
日本	日本已擬訂海岸韌性防災相關策略，仙台市因往昔海嘯襲擊關係，對於海岸韌性防災執行較為完整。
紐西蘭	紐西蘭政府於 2006 年提出未來 20 年的海岸策略，以策略為基礎，提出海岸地區的社區計畫。
美國	建立評估步驟，依據不同地區，擬訂個別的海岸韌性規劃。海岸韌性評估的內容包含：土地的利用、海岸的利用狀況、評估區域的地形、海岸受波浪危害高低、房屋的建造型態等。
荷蘭	提出「三角洲計畫」防止荷蘭的海岸被侵略，減少洪水與海水倒灌的發生頻率，並推動氣候變遷相關之水議題在調適及減緩的研究與規劃。近年來，治水策略從傳統上「與水爭地」的思維轉成「還地於水」。

於海岸韌性評估方法方面，由荷蘭為首之三角洲國際聯盟的研究報告(Verschuur et al., 2017)指出Haitsma (2016)提出之韌性輪(Resilience Wheel)指標，可用以幫助城市檢視自身的韌性強度。韌性輪共分為五個面向：恢復力(Recovery)、抵抗力(Resistance)、適應力(Adaptability)、人口脆弱度(Vulnerability of population)和組織力(Organisational capacity)，如圖3所示。每個面向再細分成3至4個指標，共18個指標。指標項目的評分中，有4種是採用定量的方式，例如：人口密度在小於500人/km²時，可獲得最高分，而超過15,000人/km²時則會得到最低分。然而，大部分的指標並無絕對之標準，例如：防洪屏障之高低應依據當地面臨之環境條件判斷其優劣。



資料來源：Verschuur et al. (2017)

圖3 Haitsma (2016)提出之韌性輪(包含指標及分數之表示方法)

針對荷蘭提升海岸韌性之對策與成效說明方面，以洪氾溢淹、暴潮溢淹及民眾教育等三面向說明荷蘭因應海岸災害之對策與成效。由於將防治對策與成效結果轉換成正式文字的研究報告或者新聞報導有限，於此嘗試透過新興之社群媒體找尋相關災害前後相關照片及資訊，表2為案例對策蒐集情況。然，由目前蒐集內容可知，大部分對策多屬於提升韌性輪中的「抵抗力」與「適應力」兩項指標，其它指標政策因較具在地性，因此資料蒐集上較為困難。依據案例(荷蘭)對策資料蒐集分析，可知荷蘭為提升海岸韌性所執行改善對策概況。引此，透過相關資料瞭解後，研提在地化改善對策建議(如表3所

示)。

表 2 荷蘭提升海岸韌性相關對策項目說明表

類型	對策項目
防制洪氾溢淹災害	水廣場
	城市洪氾區
	地下蓄水槽
防制暴潮溢淹災害	風暴潮屏障
	自動關閉洪水閘門
	海牙地區海岸防護
	階梯狀堤防
民眾教育	治水管理遊戲

表 3 在地化對策建議

議題	建議
依據本計畫後續執行「氣候變遷衝擊評估」(第五章)與「海岸風險評估」(第六章)之成果，可知彰化、雲林及嘉義海岸地區目前海堤防護成效顯著，部分堤區雖於50年重現期暴潮侵蝕或近未來情境條件下，仍有議題之可能性，惟越波量並不多。而導致海岸溢淹嚴重的原因，主要來自於洪氾溢淹導致的內陸淹水，遇到漲潮情境，使其內水無法有效宣洩，進而使淹水時間與範圍擴張。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 依據本計畫氣候變遷衝擊評估結果(第五章)，彰化、雲林及嘉義海岸區域，造成較顯著溢淹處，概均為海埔地、濕地及魚塢等。而因地勢關係，使溢淹災害發生後，導致災害範圍擴張。借鏡國外案例對策經驗，可嘗試於易溢淹區域周圍增設滯洪設施，增加集水空間，以減少地表逕流。 2. 部分沿海地區(例如：雲林)為大範圍農地，亦可盤點目前農地使用率，將部分荒廢農地整治為滯洪設施，並引入水廣場概念，同時考量公共遊憩功能，藉以強化災害中吸收能力，提升災後復原能力。 3. 沿海地區除農地或魚塢用地外，仍有村落、社區及學校等民眾聚集地，可於周圍興建蓄水工共設施(例如：地下蓄水庫)，在透過排水系統宣洩強降雨之逕流，提升村落社區容許災害之能力。
落實民眾防災教育及強化政府與民眾對防災之連結。	<ol style="list-style-type: none"> 1. 目前國內不同單位(水利署或消防局)均有進行防災知識相關宣導，強化與當地民眾之溝通，讓民眾瞭解災害應變流程與政府防災策略內容，有助於提升防災韌性中「適應力」與「組織力」兩項指標。 2. 各社區所做的防災教育訓練，會因民眾參與度或區域限制，使知識普遍化與回饋力較為受限。因此，建議因應地區辦理教育宣導外，亦可搭配建立較能廣泛推廣防災觀念之工具。例如：開發防災遊戲軟體，開放民眾下載使用，除於軟體中至入政府相關決策外，也可透過遊戲瞭解不同類型民眾對防災的觀點，以達廣泛宣導防災理念與回饋民眾想法之成效。
於韌性輪中「機構能力」指標，旨在建立防災機構，且於正式和非正式單位運作上都能夠傳遞一致的災害與防災訊息。	目前國內各單位均有進行防災和韌性提升之相關研究，惟於資訊整合上並未統一。此方面可能造成民眾接收資訊不一致之情況，應而導致面對災害時，民眾應變能力有所差異。為強化機構能力，建議於海岸防災資訊上需經由上級單位統一率定，再進行防災宣導，以達民眾接收一致防災訊息之成效。

3.2 氣候變遷情境分析

此計畫主要針對氣候變遷對海岸災害衝擊進行評估，一般而言，海岸災害概以「海

岸溢淹」為主要災害，而海岸溢淹之情況概分為四種，即(1)暴潮與波浪越過堤頂之海岸溢淹；(2)河口或集水區暴漲之河口周圍海岸溢淹；(3)強降雨漫地流累積所導致之海岸溢淹(4)海堤或海岸結構物潰堤，潮浪入侵之海岸溢淹。除第四項屬於結構物破壞後，引致海岸溢淹災害外，其餘三項均為自然營力導致海岸災害(為此計畫考量之項目)。由此可知，完整的海岸溢淹災害評估，除考量海象條件外，降雨條件亦為重要因子。因此，此計畫所採用之氣候變遷情境需包含海象情境與降雨情境兩種條件，並進行案例搭配擬訂，以強化氣候變遷衝擊海岸災害評估之可靠性。

於氣候變遷海象情境方面，透過「數值分析法」與「統計降尺度法」，推估氣候變遷海象條件增量條件，並再將此增量條件套至現階段海象設計條件，推估氣候變遷海象情境條件，另氣候變遷情境條件對於近岸水動力之衝擊影響因子還須考量氣候變遷下「水平面上升條件」及「代表性天文潮型」，相關推估流程如圖4所示。

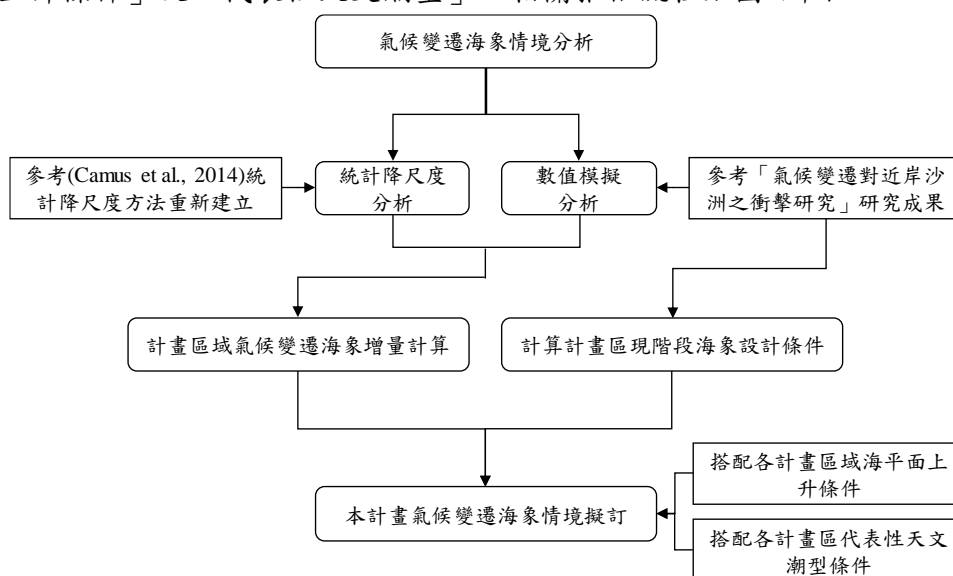


圖4 氣候變遷海象情境分析流程圖

於海象增量條件分析成果可知，數值模式分析法之增量成果較統計降尺度成果顯著，因而採用數值模式分析法成果為主，海平面上升則採用運研所(2017)研究成果，天文潮代表潮位則透過「潮位能量法」(Lesser, 2009)進行分析，以推估各計畫區域(彰化、雲林及嘉義)代表潮型，海象情境條件分析成果如表4所示。

表4 氣候變遷海象情境條件

地點	設計條件(基期)		氣候變遷增量情境(近未來)				海平面上升(mm/yr)
	波高(m)	暴潮偏差(m)	數值模式分析		統計降尺度分析		
			波高	暴潮偏差	波高	暴潮偏差	
彰化	8.111	0.931	1.0070	1.1166	1.0065	1.1166	4.19±1
雲林	8.247	0.695	1.0213	1.1187	1.0053	1.1187	2.44±0.99
嘉義	6.584	0.674	1.0351	1.1160	1.0021	1.1160	3.56±1.1

於降雨情境分析方面，本計畫已經取得TCCIP提供之五種GCM模式(各模式的背景介紹如表4-3-12)，在RCP8.5氣候變遷情境下，分別在基期以及近未來、5公里解析度的統計降尺度逐日雨量資料；然後，進一步透過頻率分析，得出在50年重現期下、五個GCM模式日降雨量在基期(1981-2010)與近未來(2036-2065)的空間分布，如圖5所示。整體而言，除了MPI-ESM-LR外，近未來的日雨量都呈現增加的趨勢，其中尤以BCC-CSM1-1

與IPSL-CM5A-MR的雨量增加率最為明顯。然而，IPSL-CM5A-MR在基期與近未來的雨量分布上，平地與山區呈現不一致的增加趨勢，此點與其他模式相比差異較大。因此，根據整體時間與趨勢的一致性分析後，本研究採取BCC-CSM1-1的日雨量模擬結果，進行後續之淹水模擬。

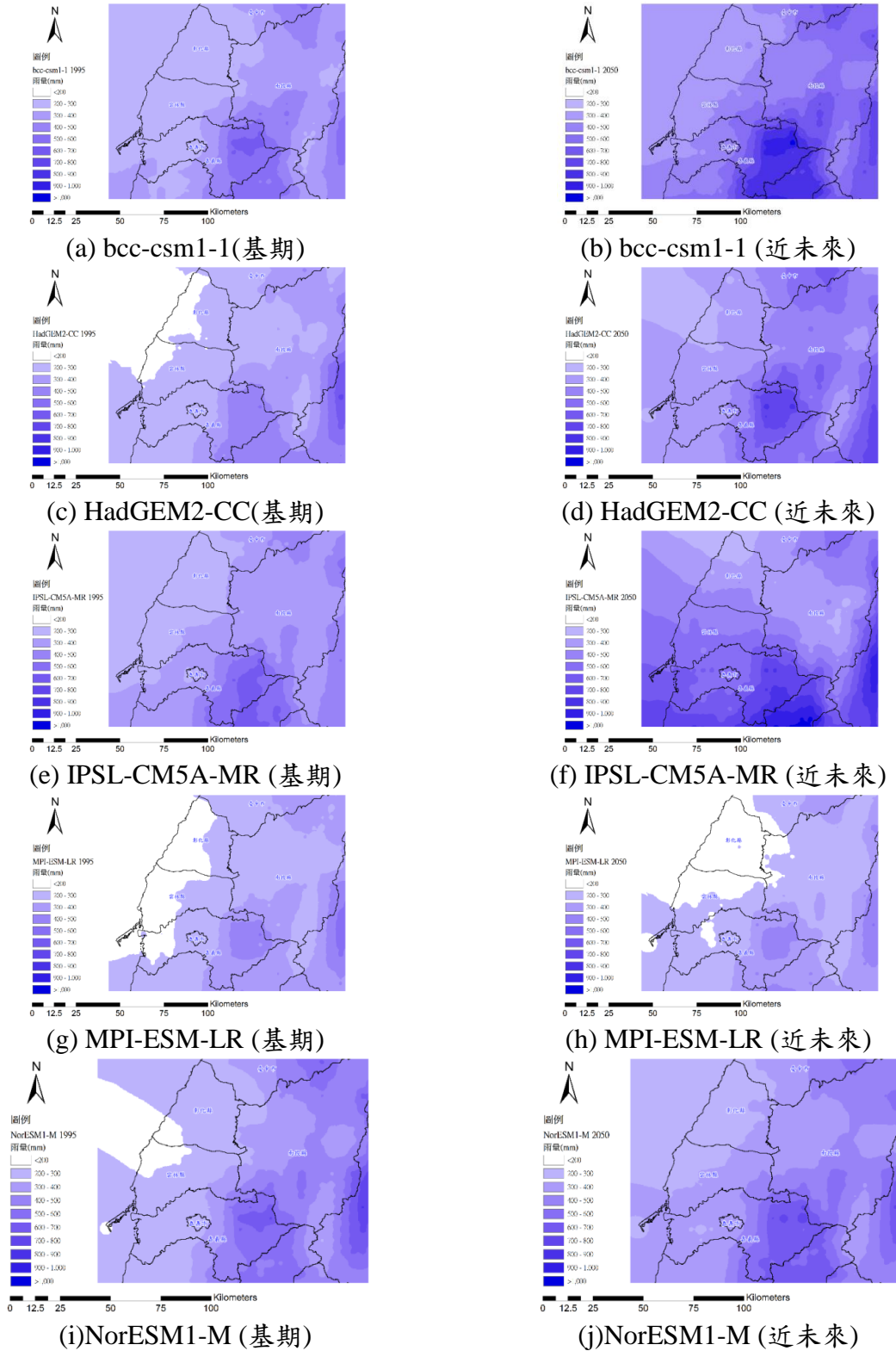


圖5 不同GCM模式在基期與近未來之50年重现期日雨量分布

3.3 氣候變遷對海岸災害之衝擊評估

於本工作項目中，需針對氣候變遷影響下各計畫區域（彰化、雲林、嘉義）海岸災害進行衝擊評估，其中災害分析是以「海岸溢淹」為主要分析對象。本計畫擬以數值模式做為衝擊評估之主要分析工具，透過前述所擬訂的氣候變遷情境方案，配合數值模式模擬計算以瞭解氣候變遷情境所造成的海岸災害衝擊情況，其結果再提供後續進行海岸災害風險評估，並繪製風險地圖。

為考量海岸溢淹災害評估之完整性，「暴潮溢淹」、「降雨漫地流溢淹」與「河口與集水區溢淹」之綜合影響均需納入衝擊評估。於「海岸管理法」（內政部，2015年）中，有定義四大海岸災害，包含暴潮溢淹、洪氾溢淹、海岸侵蝕及地層下陷，其分類中的「暴潮溢淹」則泛指暴潮與波浪所導致的海岸溢淹災害；「洪氾溢淹」則包含上述強降雨漫地流導致溢淹及河口與集水區溢淹等海岸災害情況。為完整模擬海岸災害情境，於數值模式擇選上，必須考量「海洋模式」與「淹水模式」兩種模式來進行衝擊評估。海洋模式主要是運用於海洋水動力及近岸越波量模擬，並將其越波量資料做為淹水模式之下游邊界設定；淹水模式除考量河川上游流量造成的溢淹災害之外，必須同時考慮降雨造成的漫地流情況。藉由兩數值模式的連結，即可同時考量暴潮溢淹（暴潮和波浪侵襲）與洪氾溢淹（河口與集水區溢淹、強降雨）兩種災害因子。此工作項目執行說明包含評估流程說明、數值模式建構、數值模式檢定與驗證及海岸災害衝擊評估等內容，各內容分述如下。

3.3.1 暴潮溢淹潛勢評估

透過上述「氣候變遷情境分析」與「數值模式建構」則可進行，各情境方案數值模擬（評估流程可參見4-4-1節）。於前期計畫中，已針對彰化、雲林及嘉義海岸地區進行暴潮溢淹潛勢評估，並探討各區域溢堤位置及「基期」與「近未來」暴潮溢淹之差異。圖6~圖8分別為彰化、雲林及嘉義溢堤位置分布圖。彰化海岸溢堤點為「王功新生地海堤」、「永興海埔地海堤」、「大城海堤」；雲林溢堤點為「蚊港安檢所」、「台西海埔地海堤」、「新港海堤」、「台子村海堤」；嘉義海岸溢堤點則為「東石海堤」、「網寮海堤」、「白水湖海堤」。圖9為基期與近未來之溢淹變異增量分布，惟其溢淹面積與範圍均較基期情境更為擴大。然，該資料仍須進一步納入淹水模式進行整體評估，透過海洋模式估算河口或排水溝水位變化及越堤水位變化，做為淹水模式下游邊界條件，配合淹水模式考量較可靠之河堤高度分布、排水系統及河道地形進行溢淹模擬，才能獲得更為合理之海岸溢淹衝擊評估結果。

3.3.2 海岸溢淹災害衝擊評估

本研究以TCCIP提供、在RCP8.5的氣候變遷情境下之GCM降雨資料，搭配海洋模式做為下游潮位邊界條件，分別進行基期與近未來50年重現期，彰、雲、嘉三縣市洪泛溢淹及暴潮溢淹的耦合淹水模擬分析，總共分為四種情境，分別為無降雨基期潮位、無降雨近未來潮位、基期降雨基期潮位、近未來降雨近未來潮位，其模擬結果分別如圖10及圖11所示。

在不考慮降雨的影響下，從圖10(a)與(b)中可以發現暴潮溢淹範圍不大，多集中在沿

海的魚塢，尤以雲林台西鄉與口湖鄉、以及嘉義縣東石鄉與布袋鎮的沿海地區較為明顯。而與基期相比，近未來溢淹的範圍稍大、深度也稍深，其中以彰化縣芳苑鄉的王功漁港、雲林縣口湖鄉港西村和嘉義縣東石鄉塭港一帶增加較為顯著，顯示近未來海平面上升將使暴潮時的潮位增高，導致沿海某些特定地區溢淹稍加嚴重。而當同時考量降雨與暴潮的影響時，圖11(a)與(b)的耦合淹水模擬結果與圖10(a)與(b)相比，最大的差異河川與區域排水周遭的淹水情況大幅增加，其中河川以北港溪、朴子溪和八掌溪最為明顯，區域排水則以彰化的田尾排水、洋仔厝排水，雲林縣的尖山大排、牛挑灣大排、蔦松大排以及嘉義縣六腳排水、荷包雨排水、考試潭排水、龍宮排水附近淹水範圍增加較多。

造成降雨與暴潮同時影響下，淹水大幅增加的原因，主要是因為河川與排水系統的下游水位受到暴潮的頂托，排水能力大幅下降，上游山區降雨逕流流入河道的水量無法宣洩，使得河道水位高漲；此時，若降雨同時發生在平地區域，將導致地表漫地流無法順利排入區排之中，最終造成內水淹水的範圍、深度、以及延時同步增加。在此情況之下，過多的內水無處可去，只好集中在地表最低窪的地方，正好就是雲林台西鄉到嘉義布袋鎮的沿海，地表高程低於海平面的區域，由於內水難以宣洩的原因，其淹水的嚴重程度直接正比於降雨量。這個現象解釋了為何在2018年0823豪雨期間，嘉義沿海某些村落淹水時間長達一週的原因。相較之下，彰化沿海由於地勢較高，可以看出較不受到氣候變遷降雨量增加之影響。

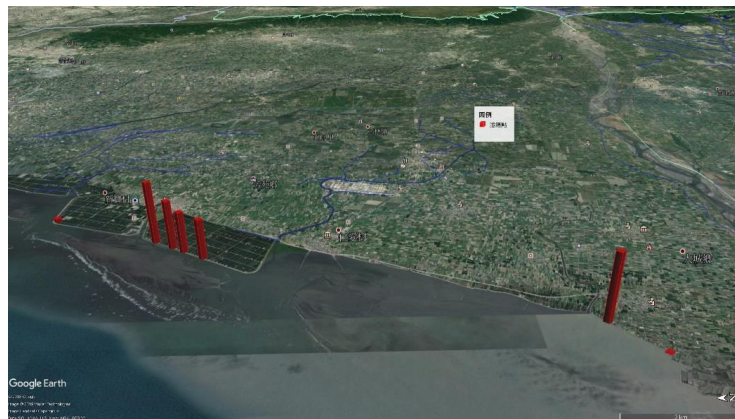


圖6 彰化海岸地區溢堤點分布圖

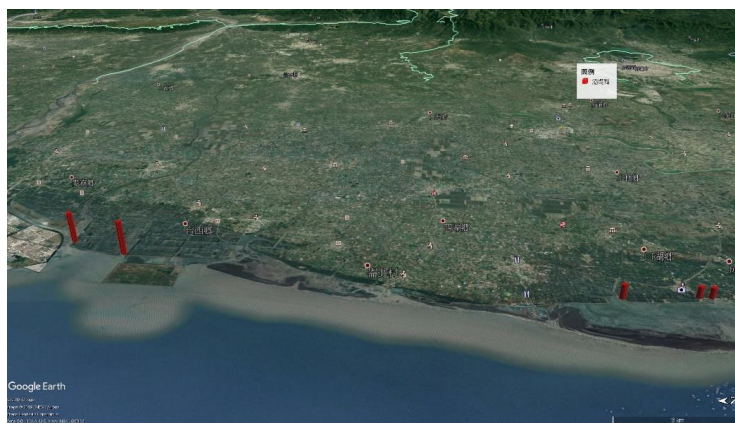


圖7 雲林海岸地區溢堤點分布圖

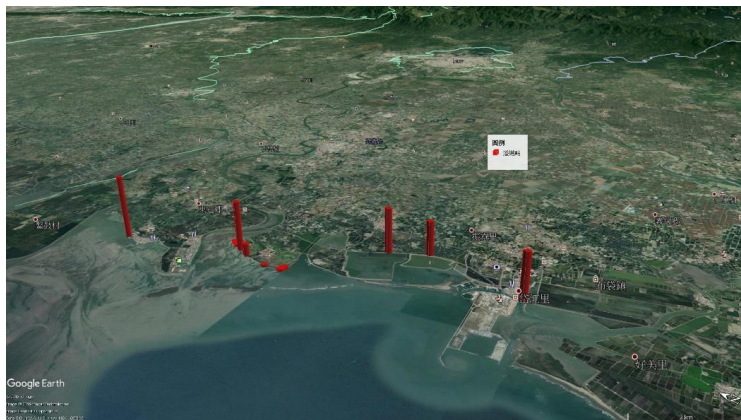


圖8 嘉義海岸地區溢堤點分布圖

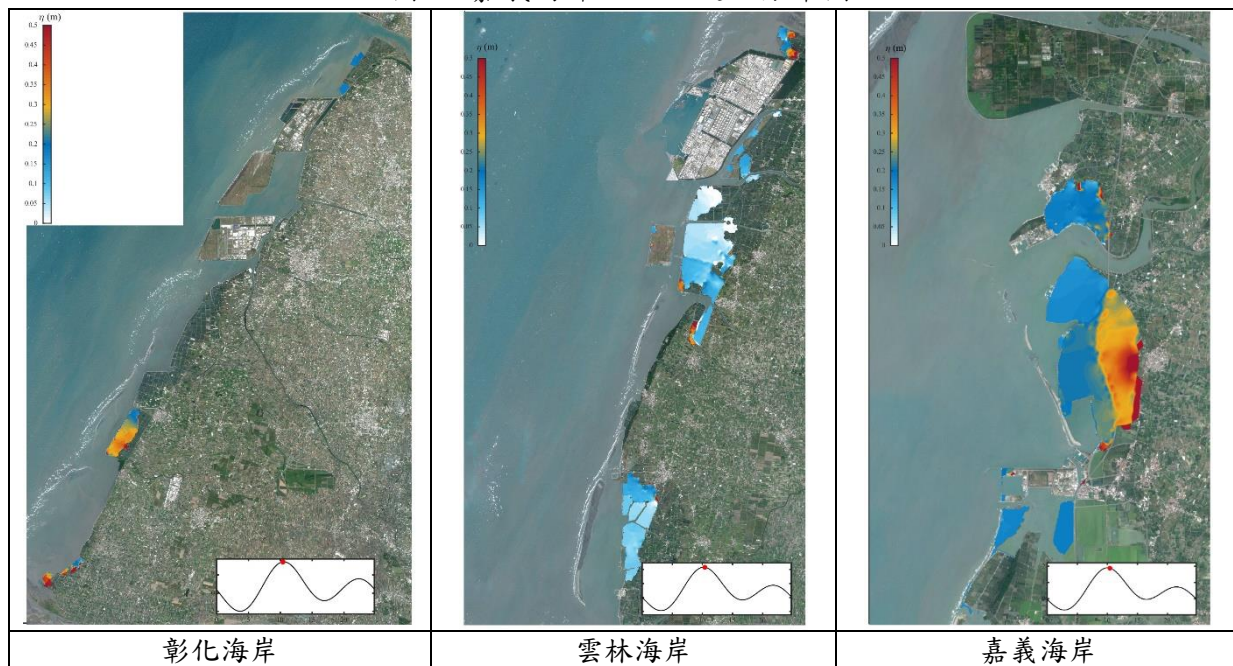


圖9 氣候變遷衝擊之海岸暴潮溢淹變異增量分布圖

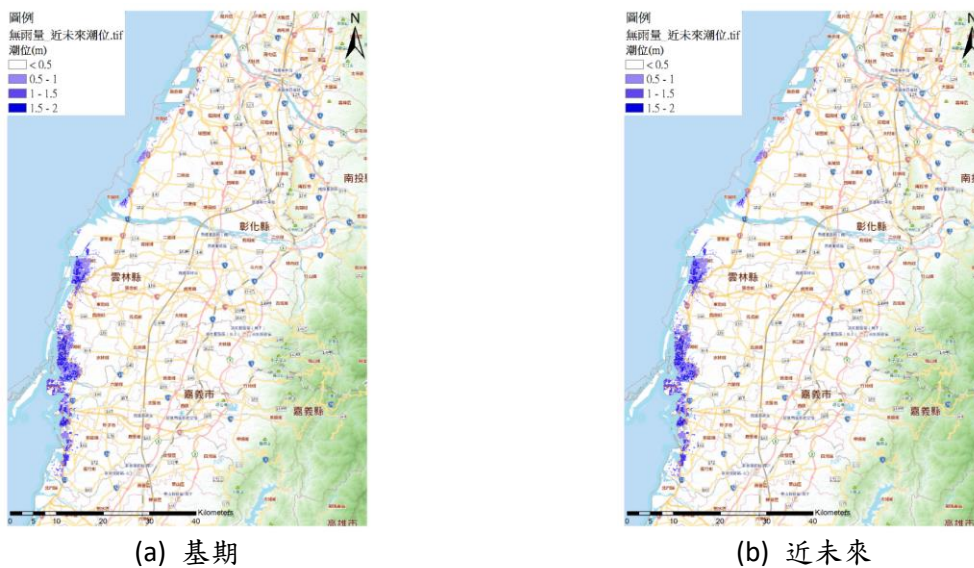


圖10 無降雨情境下50年重現期暴潮溢淹模擬範圍

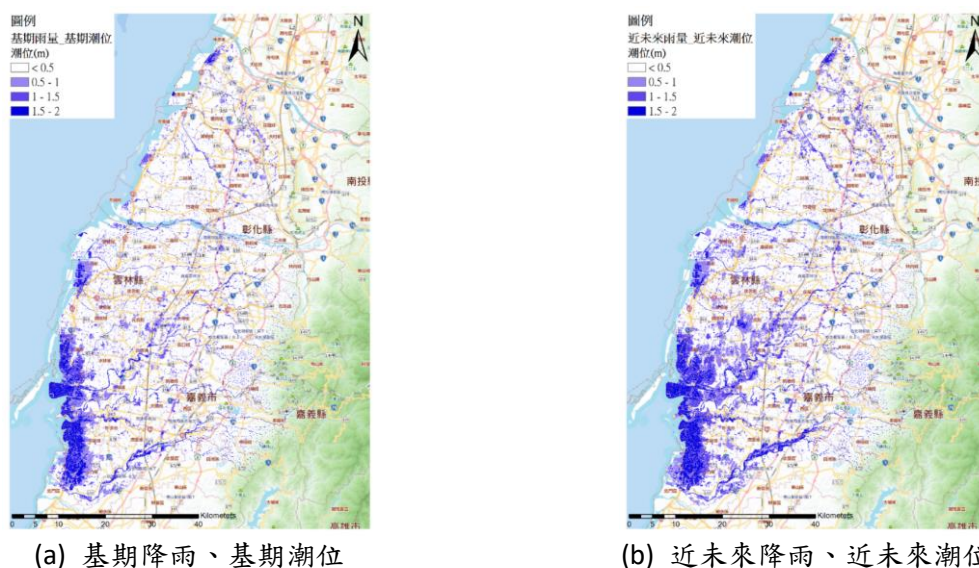


圖11 同時考量降雨與暴潮情境下50年重現期淹水模擬範圍

3.4 氣候變遷下海岸災害之風險評估

為建構本計畫海岸風險地圖，針對彰化縣至嘉義縣沿海地區，採用水利署「氣候變遷對中部(雲中彰)與花東海岸防護衝擊與調適研究(1/2)」(2014年)所提出的海岸風險分析方法，而各因子分級依據則參考水利署「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)」(2018年)因應「海岸管理法」(內政部，2015年)公告後所提出的分級方法，針對本計畫區域(彰化、雲林、嘉義)分析區域之海岸風險地圖，並比較現況海岸風險與氣候變遷衝擊下之差異。

在水利署「氣候變遷對中部(雲中彰)與花東海岸防護衝擊與調適研究(1/2)」(2014年)及水利署「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2-2)」(2018年)中，所考慮的脆弱度層面包含人為設施、地理環境及社會經濟構面；危害度層面包含危害因子構面，各構面所考量指標及各指標由國內專家學者問卷調結果經層級分析法(analytic hierarchy process, AHP)所決定權重值。各指標分為五個等級分別為非常脆弱、脆弱、普通、稍微脆弱及不脆弱對應分數5、4、3、2及1，再將同一構面下指標與其相對應權重乘積進行加總可得到該構面分級結果，再將各構面分數與相對應權重乘積進行加總可得到海岸脆弱度分級結果。於本計畫中，已針對彰化、雲林及嘉義海岸區域，重新繪製海岸風險地圖，其中含括現況與氣候變遷衝擊影響之風險地圖(參酌圖12與圖13)

四、結論與建議

4.1 結論

本計畫旨在因應氣候變遷衝擊，進行海岸風險評估與防災對策建議。透過國內外資料蒐集，研提海岸韌性提升對策建議，並導入氣候變遷情境條件，進行海岸災害(溢淹災害)衝擊評估，並重新繪製海岸災害風險地圖。最後，於既有資料的基礎上，探討提升海岸韌性之因應對策。本計畫第一年度(民國108年)結論整理如下：

1. 三角洲國際聯盟針對「韌性」評估有擬訂「韌性輪」的方式，來針對各區域進行韌性評估，而亦有將此評估方式，運用於鹿特丹進行韌性分析，依據海岸城市之特性，擬

訂韌性指標內容藉以評估韌性情況。除韌性評估方法蒐集分析外，亦有針對荷蘭目前針對海岸韌性提升所執行的改善對策資料進行彙整，並以國內目前針對海岸災害之「評估方法」研提納入韌性因子相關建議，及針對本年度計畫區域提供改善對策之建議。

2. 於氣候變遷情境條件分析方面，已有針對「海象」與「降雨」兩種情境因子進行蒐集分析，海象方面主要蒐集GCM的氣候變遷資料，再透過「數值模擬分析」與「統計降尺度分析」兩種分析方式，進行氣候變遷海象條件之建立；降雨方面則是取得TCCIP的「統計降尺度」降雨資料來擬訂氣候變遷情境條件，彙整兩種情境因子則可擬訂本計畫考量氣候變遷情境所需條件。
3. 於氣候變遷衝擊評估方面，期之溢淹範圍與深度都較近未來稍大，並以彰化縣芳苑鄉的王功漁港、雲林縣口湖鄉港西村和嘉義縣東石鄉塭港一帶增加較為顯著，顯示近未來海平面上升將使暴潮時的潮位增高，導致沿海某些特定地區溢淹稍加嚴重。

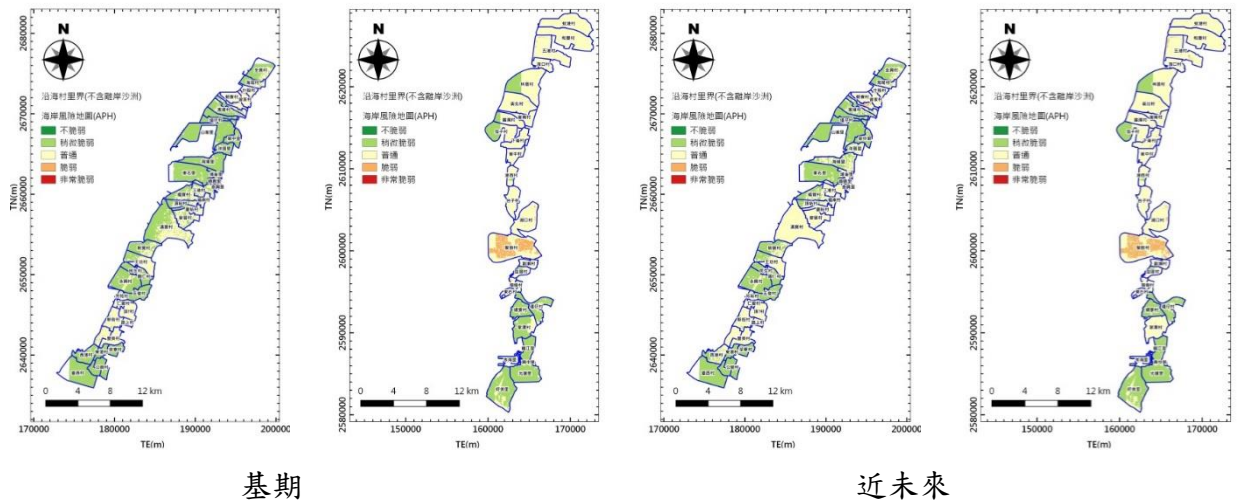


圖12 彰化、雲林及嘉義沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖(AHP疊加)

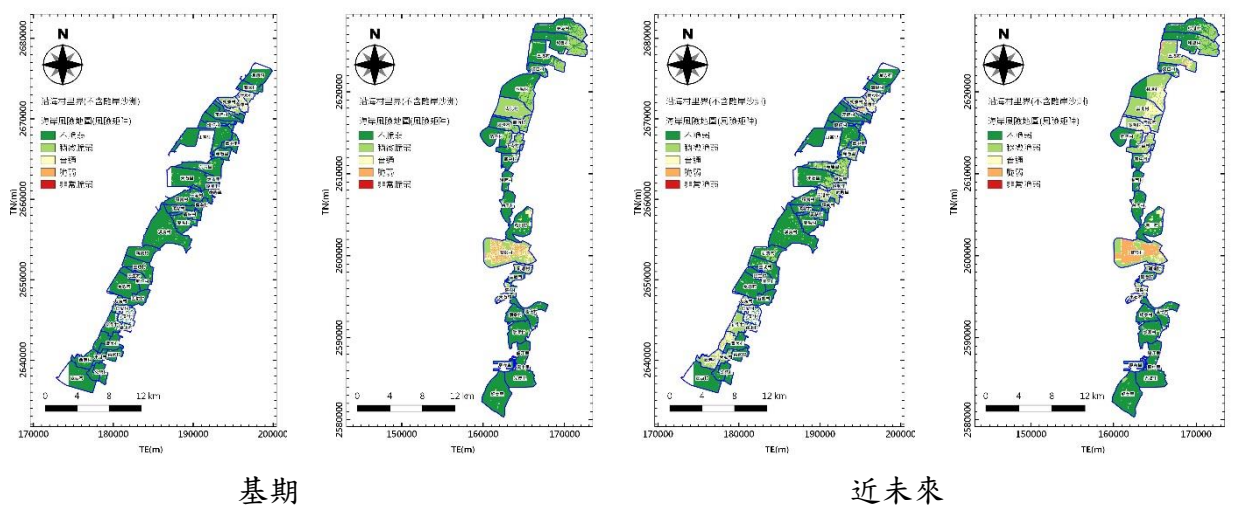


圖13 彰化、雲林及嘉義沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖(風險矩陣)

4.2 建議

1. 本年度國外海岸韌性防災案例蒐集，是以「荷蘭」做為案例分析之對象。建議未來可擇選亞洲地區國家(例如：日本)做為分析對象，由於其地理環境及災害情況與台灣相似，因此海岸韌性防災相關對策應較能符合地區性。
2. 目前降雨情境是採用統計降尺度產出之結果，未來若能取得動力降尺度(日)資料，及時雨量雨型資料，可更強化降雨情境之嚴謹性。
3. 本團隊往昔曾針對AR4之A1B情境進行分析，惟其海象情境較現況佳。若能取得AR5動力降尺度風場資料，將提升氣候變遷海象情境之完整性。

參考文獻

1. 經濟部水利署，2014，氣候變遷對中部(雲中彰)與花東海岸防護衝擊與調適研究(1/2)。
2. 內政部，2015，海岸管理法。
3. 港灣技術研究中心，2017，臺灣海域海平面上升之加速特性研究。
4. 經濟部水利署，2018，氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)
5. Haitsma, R. (2016). Flood resilience in delta cities. Master's thesis, Wageningen University, 2016
6. Lesser, G.R., (2009). An approach to medium-term coastal morphological modelling. PhD thesis, UNESCO-IHE & Delft University of Technology, Delft. CRC Press/Balkema. ISBN 978-0-415-55668-2.
7. Verschuur, J., Kolen, B., & van Veelen, P. C. (2017). Flood Delta City Index: Drivers to Support Adaptation of Cities.