



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)



主辦機關：經濟部水利署

執行單位：國立成功大學

中華民國 108 年 12 月

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)

主辦機關：經濟部水利署

執行單位：國立成功大學

中華民國 108 年 12 月

摘要

執行動機：

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，目前報告辦理情況分述如后：

執行方法：

依據計畫需求擬訂「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，且計畫執行主要架構可分為四部分，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。其中，第一部分於國外案例方面於兩年度計畫中，各會針對兩個案例進行蒐集與分析，並提出具體在地化建議；第二部分會依據氣候變前情境條件進行蒐集與分析，並研提「海象」與「降雨」兩種氣候變遷情境；第三部分與第四部分則會依據兩年度不同計畫區域，配合氣候變遷情境條件與數值模式分別進行氣候變遷衝擊評估，並重新繪製海岸風險地圖，本年度(民國108年)則以彰化、雲林及嘉義為計畫區域；第四部分則於第2年度計畫中，擇選示範區域進行海岸韌性評估。

執行成果：

- 一、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。由案例文獻可知，荷蘭治水主軸計畫為三角洲計畫(Delta Works)，早期治水方式是以封閉大部分的入潮口來抵禦(對抗)海水入侵內陸，惟仍因暴潮影響而有災害事件發生，進而由「對抗」思維轉換為「還地於河、與水共生」

的觀念。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。

二、除國外案例蒐集分析外，本計畫亦針對國內歷史災害進行資料蒐集與分析，目前已針對本年度計畫區域進行災害事件彙整，且透過災害原因、背景條件、致災區域及發生原因等層面進行研討，俾利瞭解各歷史事件致災之源由。另各計畫區域之相關背景資料蒐集亦為本計畫執行之重要項目，因此蒐集計畫區域海岸概況與自然環境背景概況，藉以提供數值模擬建模及事件驗證所用。此外，參酌前述國外案例海岸韌性評估方法與指標，進行國內與海岸韌性提升相關資料蒐集，以利第二年度改善示範區域所用，蒐集相關資料包含海堤資料、防洪設施、治水對策等。

三、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。海象方面為設計波高、暴潮偏差及海平面上升，其中設計波高與暴潮偏差均是考量50年重現期之極值分析結果，透過氣候變遷增量數值，進行情境條件建立，另於天文潮方面則採用潮汐能量法建立各計畫區域代表潮型，配合暴潮偏差值擬訂暴潮情境，而代表潮位變化可配合降雨歷線分布進行推估，藉以合理模擬漲退潮之情境，同時引入運研所海平面上升資料，來做為氣候變遷條件下海域起始水位條件。降雨方面，取得分別在基期及近未來、5公里解析度的統計降尺度逐日雨量資料，進一步透過頻率分析，得出在50年重現期五個GCM模式降雨的空間分布，並採取BCC-CSM1-1模組之模擬成果做為情境條件。

四、本計畫已建置所需之「海洋模式」與「淹水模式」，並透過事件資料(梅姬颱風事件與823水災事件)分別進行模式驗證。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：

1. 暴潮溢淹範圍不大，多集中在沿海的魚塢，尤以雲林縣林台西鄉與口湖鄉、以及嘉義縣東石鄉與布袋鎮的沿海地區較為明顯。基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。
2. 同時考量降雨與暴潮的影響時，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石筍排水、洋仔厝排水，雲林縣北港鎮的山子內大排、以及嘉義縣義竹鄉的新庄大排附近淹水範圍增加較多。
3. 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。

五、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。

關鍵字：氣候變遷、海岸風險評估、海岸韌性

Abstract

Motivation:

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 current report is described below:

Methodology:

According to the requirements of the project, ‘collecting and analysis of coastal disaster prevention cases in foreign countries’, ‘collecting data on historical coastal disasters in Taiwan’, ‘climate change situation analysis’, ‘evaluation of impact of climate change on coastal disasters’, ‘climate change risk assessment of lower coastal disasters’ and ‘evaluation of impact of climate change impacts on coastal resilience’ are implemented. The main structure of the plan can be divided into four parts, that are ‘background data collection’, ‘situation analysis and impact assessment operation’, ‘coast disaster risk evaluation operation’ and ‘coast resilience impact assessment’. In this two-year project, the first part will collect and analyze the two cases and propose specific suggestions for Taiwan. The second part will collect and analyze according to the pre-climate change conditions, and propose the climate change scenarios for ocean and rainfall.

Achievement:

1. The coastal resilience from the United States, Japan, New Zealand, and the Netherlands are collected. The Netherlands is selected this year. It can be known from the literature that the Dutch water treatment plan is Delta Works. The early method was to close most of the tidal inlets to resist seawater intrusion into the inland, but disasters still happen due to the impact of the storm. As a result, the method changes from ‘resist’ to ‘making room for

the river'. The delta alliance has developed a resilience wheel method to assess the resilience of a city. It also applies this method to Rotterdam. Based on the characteristics of coastal cities, it develops an index to assess resilience. 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.

2. In addition to the collection and analysis of foreign cases, this plan also collects and analyzes data on domestic historical disasters. Presently, disaster events have been aggregated and analyzed to understand the major factor causing disasters. Besides, the collection of relevant background information of each project area is also important. Therefore, the coast of the project area and the natural environment background are collected to provide numerical modeling and verification. In addition, referring to the aforementioned foreign case, we will collect domestic and coastal resilience improvement related data for improving the demonstration area in the second year. Collecting relevant data includes seawall data, flood prevention facilities, and water control measures.
3. In terms of analysis of climate change situation conditions, there have been collection and analysis of ocean and rainfall scenario factors. The former mainly collect GCM climate change data and then use numerical simulation analysis and statistical downscaling analysis to establish climate change conditions. The later applied TCCIP's statistical downscaling rainfall data to formulate climate change situation conditions, and the two factors are aggregated to formulate this plan to consider the climate change situation. In terms of ocean conditions, the design wave height, the storm surge, and the sea level rise. Moreover, the design wave height and the storm surge are considered a 50-year return period. The increment value due to climate change is used to establish the conditions. Besides, the tidal energy method is used to establish representative tidal patterns in each area, and the scenario is formulated in accordance with the storm surge. At the same time, the sea level rise data evaluated from the Institute of Transportation, MOTC is introduced as the initial water level conditions. In terms of rainfall, we obtained statistical downscaling daily rainfall data in the base period and near future with a resolution of 5

km, and further analyzed the spatial distribution of the 5 GCM rainfall patterns in the 50-year return period through frequency analysis, and adopted BCC-CSM1 as a scenario.

4. The plan has implemented the ocean and flooding models and conducted verification through event data (typhoon Megi and 823 flood events). 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. The results show:
 - i. The flooding area due to storm surge is not large, and it is mostly concentrated in the fish salamanders near the coast, especially in the coastal areas of Taixi Township and Kouhu Township of Yunlin County, and Dongshi Township and Budai Town of Chiayi County. The flooding area and inundation depth of the base period are slightly larger than those in the near future scenario, and the increase in the area of Wanggong Fishing Port in Fangyuan Township, Changhua County, Guangxi Village, Kouhu Township, Yunlin County, and Luangang Township, Dongshi Township, Chiayi County, is more significant, indicating the sea level rise in the near future scenario will increase the tidal level during storms, which will cause the flooding in some specific areas along the coast to be slightly more serious.
 - ii. Considering the effects of rainfall and storm surge simultaneously, the flooding around rivers and regional drainage have increased significantly. Among them, Beigang, Puzi, and Pa-Chang rivers are the most obvious. The flooding area in the mountains near Beigang Township of Yunlin County and the Xinzhuang Village in Yizhu Township of Chiayi County increased greatly.
 - iii. 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.

Taking into account 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

目錄

摘要.....	I
Abstract	IV
目錄.....	VIII
表目錄.....	X
圖目錄.....	XII
第一章 前言.....	1-1
1-1 計畫緣起及目的	1-1
1-2 計畫工作項目	1-1
1-3 工作方法及步驟	1-4
1-4 執行進度(Gantt Chart).....	1-7
第二章 國外因應海岸韌性防災案例蒐集與深入分析.....	2-1
2-1 前言	2-1
2-2 案例背景說明-荷蘭	2-13
2-3 海岸韌性評估方法說明-荷蘭	2-18
2-4 對策與成效說明-荷蘭	2-27
2-4-1 洪氾溢淹	2-27
2-4-2 暴潮溢淹	2-32
2-4-3 民眾教育(治水管理遊戲-Waas City).....	2-35
2-5 在地化具體建議	2-36
2-5-1 評估方法建議	2-36
2-5-2 對策建議	2-39
第三章 國內海岸背景與歷史災害相關資料蒐集.....	3-1
3-1 海岸概況	3-1
3-1-1 計畫區海岸地區範圍	3-1
3-1-2 海岸地質與地形概況	3-3
3-2 計畫區自然環境資料蒐集	3-4
3-2-1 氣象資料	3-4
3-2-2 海象資料	3-7
3-2-3 水文資料	3-9

3-2-4	地文資料	3-13
3-3	災害與治理	3-22
3-3-1	歷史重大颱風事件災害整理	3-22
3-3-2	歷史重大災損淹水事件分析	3-24
3-3-3	海岸防護設施	3-29
3-3-4	計畫區域海岸地區綜合治水對策案例	3-37
第四章	氣候變遷情境分析	4-1
4-1	海象情境分析	4-1
4-2	降雨情境分析	4-28
4-3	情境案例擬訂	4-32
4-4	情境分析差異探討	4-36
第五章	氣候變遷對海岸溢淹災害之衝擊評估	5-1
5-1	評估流程說明	5-1
5-2	數值模式建構	5-1
5-3	數值模式驗證	5-16
5-4	海岸溢淹災害衝擊評估	5-25
5-4-1	暴潮溢淹潛勢評估	5-25
5-4-2	海岸溢淹災害衝擊評估	5-48
第六章	氣候變遷下海岸災害之風險評估	6-1
第七章	結論與建議	7-1
7-1	結論	7-1
7-2	建議	7-3
參考文獻	參-1
附錄一	海象統計降尺度模式及方法	附錄一-1
附錄二	第三代頻譜風浪模式	附錄二-1
附錄三	不同波向之波高分布	附錄三-1
附錄四	「因應氣候變遷之海岸風險評估(1/2)」委託服務計畫 期中審查意見及處理情形	附錄四-1
附錄五	「因應氣候變遷之海岸風險評估(1/2)」委託服務計畫 期末審查意見及處理情形	附錄五-1

表目錄

表2-1-1	國外海岸韌性之發展概況	2-3
表2-3-1	韌性面向-恢復力(Haitsma, 2016).....	2-19
表2-3-2	韌性面向-抵抗力(Haitsma, 2016).....	2-19
表2-3-3	韌性面向-適應力(Haitsma, 2016).....	2-20
表2-3-4	韌性面向-人口脆弱度(Haitsma, 2016).....	2-20
表2-3-5	韌性面向-組織力(Haitsma, 2016).....	2-21
表2-3-6	韌性輪採用的分數、說明及其對應之色塊(Haitsma, 2016).....	2-21
表2-3-7	韌性輪指標之定義及評分標準(Haitsma, 2016).....	2-21
表2-5-1	海岸災害風險指標	2-37
表2-5-2	各指標對應比較分析	2-38
表2-5-3	在地化對策建議	2-40
表3-0-1	海岸地區基本資料蒐集類別一覽表	3-1
表3-2-1	彰化雲林嘉義地區風速風向統計值表(1966~2018)	3-6
表3-2-2	臺灣本島侵臺颱風發生月分統計表	3-6
表3-2-3	台中港至將軍附近潮位站天文潮位比較表	3-8
表3-2-4	台灣週遭海域海水位上升速率研究成果綜整	3-8
表3-2-5	濁水溪口周邊海岸段主要河川特性	3-11
表3-2-6	臺灣重要河川紀錄最大洪峰量與含沙量	3-11
表3-2-7	計畫區主要河川重現期洪峰流量成果表	3-12
表3-2-8	計畫區主要河川重現期洪峰輸沙量成果表	3-12
表3-2-9	彰化地區冬季風波浪條件下海岸斷面漂沙指標特性分析結果	3-15
表3-2-10	本計畫區及鄰近海域歷年水深地形調查工作彙整表	3-16
表3-3-1	彰化地區近年重大颱風淹水事件調查表	3-23
表3-3-2	雲林海岸沿海鄉鎮歷年重大颱風淹水事件總表	3-23
表3-3-3	嘉義海岸沿海鄉鎮歷年重大颱風淹水事件總表	3-24
表3-3-4	彰化雲林嘉義河川局屬海堤斷面資料彙整情形一覽表	3-32
表3-3-5	彰化縣滯洪池資料表	3-35

表3-3-6	海岸區域災害成因以及應變作為	3-45
表4-1-1	分布函數相關統計量	4-3
表4-1-2	暴潮偏差與颱風波高推算值(彰化區域).....	4-4
表4-1-3	暴潮偏差與颱風波高推算值(雲林區域).....	4-4
表4-1-4	暴潮偏差與颱風波高推算值(嘉義區域).....	4-4
表4-1-5	IPCC提供AR5的GCM相關資料來源與空間解析度.....	4-9
表4-1-6	數值模式分析之氣候變遷海象情境增量條件	4-9
表4-1-7	依據統計降尺度流程篩選GCM模式結果	4-20
表4-1-8	統計降尺度之氣候變遷海象情境增量條件	4-20
表4-1-9	臺灣附近海域平均海平面永久服務中心(PSMSL)資料庫之潮位站資訊	4-21
表4-1-10	臺灣附近海域中央氣象局資料庫之潮位站資訊。排序方式以 基隆潮位站為起始點，並以順時針方向排序.....	4-21
表4-1-11	利用潮位站資料估算1993-2012 臺灣周圍絕對海平面上升速率	4-24
表4-1-12	天文潮邊界成份資料	4-26
表4-1-13	簡化潮位之調和分析水位邊界條件資料	4-26
表4-3-1	氣候變遷海象情境條件	4-33
表4-3-2	氣候變遷情境條件項目	4-36
表4-3-3	情境分析差異探討	4-36
表5-3-1	調查與模擬的淹水與退水時間比較	5-24
表5-4-1	各計畫區模擬網格與元素數量	5-26
表6-1-1	海岸災害風險評估指標資料來源說明	6-5
表6-1-2	海岸災害風險考量指標及權重	6-6
表6-1-3	各指標分級標準	6-6

圖目錄

圖1-3-1	課題分析流程圖	1-5
圖1-3-2	計畫工作流程與執行架構	1-6
圖2-1-1	韌性防災基本架構圖	2-1
圖2-1-2	NOAA定義海岸韌性地區的防災機制圖.....	2-3
圖2-1-3	仙台市的防災環境都市政策發展方向圖	2-5
圖2-1-4	仙台市岸邊到居民居住地之防災策略斷面圖	2-5
圖2-1-5	仙台市提高道路高程路段圖	2-6
圖2-1-6	海濱公園居民短期疏散區域示意圖	2-6
圖2-1-7	海嘯疏散塔	2-6
圖2-1-8	國小室外疏散樓梯	2-6
圖2-1-9	仙台市疏散設施及路線鳥瞰圖	2-7
圖2-1-10	Oakura地區的沿海計畫圖	2-10
圖2-1-11	Urenui地區的沿海計畫圖	2-11
圖2-1-12	規劃及評估流程圖	2-11
圖2-1-13	美國紐約區海岸地形對應的危害風險評估圖	2-12
圖2-1-14	美國紐約區房屋型態對應的危害風險評估圖	2-12
圖2-1-15	美國紐約區提高海岸韌性方法對應之災害防護成效評估圖	2-12
圖2-1-16	三角洲國際聯盟會員分布圖	2-13
圖2-2-1	荷蘭及其鄰近的國家	2-15
圖2-2-2	荷蘭1953年淹水事件導致的西南部淹水區域	2-16
圖2-2-3	荷蘭1953年的洪水造成堤防毀損	2-16
圖2-2-4	荷蘭三角洲計畫	2-17
圖2-2-5	還地於河計畫中的九種主要之工程規劃設計方法	2-18
圖2-3-1	Haitsma (2016)提出之韌性輪(包含指標及分數之表示方法).....	2-18
圖2-3-2	鹿特丹城市圖	2-23
圖2-3-3	變電站失效	2-24
圖2-3-4	基礎設施風險潛勢圖	2-24
圖2-3-5	房屋高程架高	2-24

圖2-3-6	房屋基礎架高，防護結構	2-24
圖2-3-7	發展新興建築模式(漂浮屋).....	2-24
圖2-3-8	防災設施與環境結合(步道).....	2-24
圖2-3-9	變電站高程提高	2-24
圖2-3-10	岸邊作階梯式的堤防或坡地	2-24
圖2-3-11	堤防功能因海平面上升而喪失	2-25
圖2-3-12	人員傷亡及經濟損失預估及洪水災害潛勢圖	2-25
圖2-3-13	鹿特丹評估能兼具調適及經濟的最佳方案	2-25
圖2-3-14	鹿特丹的韌性輪分析成果(Haitsma, 2016)	2-26
圖2-3-15	暴潮屏障 - Maeslant Barrier.....	2-26
圖2-4-1	鹿特丹強降雨防護設施相對位置圖	2-27
圖2-4-2	倍恩特姆水廣場廣場俯視圖	2-28
圖2-4-3	倍恩特姆水廣場儲水前後對比照	2-28
圖2-4-4	水盆底部及排水溝堆積沙跟垃圾	2-29
圖2-4-5	降雨前後對照圖	2-29
圖2-4-6	地下蓄水槽施工前後對比照	2-30
圖2-4-7	Eendragtspolder公園	2-30
圖2-4-8	Eendragtspolder公園建置前後	2-31
圖2-4-9	Eendragtspolder公園蓄洪示意圖	2-31
圖2-4-10	荷蘭防範暴潮溢淹案例位置	2-32
圖2-4-11	Maeslantkering風暴潮屏障	2-33
圖2-4-12	自動關閉洪水閘門示意圖	2-33
圖2-4-13	自動關閉洪水閘門啟動前後	2-34
圖2-4-14	位於海牙岸邊的斯海弗寧恩大道	2-34
圖2-4-15	階梯狀堤防	2-35
圖2-4-16	治水管理遊戲-Waas City遊戲畫面	2-36
圖3-2-1	侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(38年~108年11月).....	3-7
圖3-2-2	臺灣地區主要河川分布圖	3-12
圖3-2-3	彰雲嘉地區底質中值粒徑空間分布及取樣位置圖	3-13
圖3-2-4	雲林外海及外傘頂洲沙灘底質中值粒徑分布	3-14

圖3-2-5	彰化地區民國81年至90年累積下陷量圖	3-19
圖3-2-6	彰化地區民國90年至107年累積下陷量圖	3-20
圖3-2-7	雲林地區民國81年至88年累積下陷量圖	3-20
圖3-2-8	雲林地區民國88年至107年累積下陷量圖	3-21
圖3-2-9	嘉義地區民國80年至106年累積下陷量圖	3-21
圖3-2-10	嘉義地區民國93年至106年累積下陷量圖	3-22
圖3-3-1	87水災泛濫概況範圍圖	3-26
圖3-3-2	雲林南部沿海地區六一二水災淹水範圍圖	3-27
圖3-3-3	歷史災難性暴雨個案比較圖(左：87水災 中:88風災 右:823水災)	3-28
圖3-3-4	彰化海岸海堤分布圖	3-30
圖3-3-5	雲嘉海岸海堤分布圖	3-31
圖3-3-6	滯洪池分布	3-36
圖3-3-7	舊濁水溪排水綜合治水方案10年重現期淹水範圍圖	3-38
圖3-3-8	萬興排水綜合治水方案10年重現期淹水範圍圖	3-40
圖3-3-9	彰化南部區域排水綜合治水方案10年重現期淹水範圍圖	3-41
圖3-3-10	雲林南部區域排水綜合治水方案布置圖	3-42
圖4-1-1	氣候變遷海象情境分析流程圖	4-2
圖4-1-2	數值模式分析之流程圖	4-4
圖4-1-3	現階段暴潮偏差以Weibull分布套配結果(彰化區域)	4-5
圖4-1-3	(續)現階段颱風波高以極端值I分布套配結果(彰化區域)	4-5
圖4-1-4	現階段暴潮偏差以Weibull分布套配結果(雲林區域)	4-6
圖4-1-4	(續)現階段颱風波高以Weibull分布套配結果(雲林區域)	4-6
圖4-1-5	現階段暴潮偏差以Weibull分布套配結果(嘉義區域)	4-7
圖4-1-5	(續)現階段颱風波高以極端值I分布套配結果(嘉義區域)	4-7
圖4-1-6	所有模式計算之50年設計極值差異平均值(設計波高)	4-10
圖4-1-7	所有模式計算之50年設計極值差異平均值(暴潮偏差)	4-10
圖4-1-8	氣候型態統計降尺度之方法流程圖	4-12
圖4-1-9	統計降尺度模型之資料時間長度設定	4-14
圖4-1-10	台灣以東海域受湧浪影響之空間範圍，紅線部分為忽略的區域，藍線由目標點繪至海陸交界之交點，其所覆蓋之範圍則視為評估空間計算域	4-15

圖4-1-11	台灣以東海域波浪能量通分布率之空間分布與其能量傳遞時間	4-15
圖4-1-12	台灣以西海域受湧浪影響之空間範圍，紅線部分為忽略的區域，藍線由目標點繪至海陸交界之交點，其所覆蓋之範圍則視為評估空間計算域.....	4-16
圖4-1-13	台灣以西海域波浪能量通率之空間分布與其能量傳遞時間	4-16
圖4-1-14	統計降尺度對台灣海域之驗證結果圖	4-18
圖4-1-15	統計降尺度模擬成果與再分析波浪資料比較圖	4-18
圖4-1-16	RCP8.5情境下的示性波高變化倍率.....	4-19
圖4-1-17	臺灣附近海域之潮位站資料涵蓋時間圖	4-23
圖4-1-18	臺灣附近海域潮位站位置分布圖。背景為 ETOPO1海底地形圖	4-23
圖4-1-19	實際潮位與簡化潮位之比較	4-26
圖4-1-20	彰化海域代表潮型	4-27
圖4-1-20	(續1)雲林海域代表潮型.....	4-27
圖4-1-20	(續2)嘉義海域代表潮型.....	4-27
圖4-2-1	動力降尺度與統計降尺度結果比較(資料來源：TCCIP).....	4-29
圖4-2-2	不同氣變情境下統計降尺度日雨量比較(資料來源：TCCIP).....	4-29
圖4-2-3	不同GCM模式在基期與近未來之50年重現期日雨量分布	4-30
圖4-2-4	彰雲嘉雨量站之無因次雨型	4-32
圖4-3-1	本計畫氣候變遷情境擬訂流程圖	4-33
圖4-3-2	彰化海域代表天文潮與暴潮分布(基期).....	4-34
圖4-3-2	(續)彰化海域代表天文潮與暴潮分布(近未來).....	4-34
圖4-3-3	雲林海域代表天文潮與暴潮分布(基期).....	4-34
圖4-3-3	(續)雲林海域代表天文潮與暴潮分布(近未來).....	4-35
圖4-3-4	嘉義海域代表天文潮與暴潮分布(基期).....	4-35
圖4-3-4	(續)嘉義海域代表天文潮與暴潮分布(近未來).....	4-35
圖5-1-1	氣候變遷衝擊評估流程圖	5-2
圖5-2-1	排水口-節點法示意圖	5-7
圖5-2-2	計畫區域範圍內之流域分布	5-8
圖5-2-3	彰雲嘉區域土地利用	5-9

圖5-2-4	彰雲嘉區域地形高程	5-10
圖5-2-5	彰雲嘉區域雨量站	5-11
圖5-2-6	彰雲嘉區域水位站	5-12
圖5-2-7	彰雲嘉區域潮位站	5-13
圖5-2-8	彰雲嘉區域排水分布	5-14
圖5-2-9	彰雲嘉區域抽水站	5-15
圖5-3-1	2016梅姬(MEGI)颱風事件路徑圖	5-17
圖5-3-2	2016梅姬颱風事件風場模擬結果圖	5-17
圖5-3-3	波高分布比較圖(龜山島測站).....	5-18
圖5-3-3	(續1)波高分布比較圖(花蓮測站).....	5-18
圖5-3-3	(續2)波高分布比較圖(蘇澳測站).....	5-18
圖5-3-3	(續3)波高分布比較圖(新竹測站).....	5-19
圖5-3-3	(續4)波高分布比較圖(富貴角測站).....	5-19
圖5-3-3	(續5)波高分布比較圖(澎湖七美測站).....	5-19
圖5-3-3	(續6)波高分布比較圖(七股測站).....	5-20
圖5-3-4	2018年8月23~24日彰雲嘉累積雨量圖	5-21
圖5-3-5	0823事件彰雲嘉淹水範圍(來源：經濟部水利署).....	5-22
圖5-3-6	0823豪雨事件彰雲嘉潮位時序圖	5-22
圖5-3-7	0823豪雨事件淹水點位驗證	5-24
圖5-3-8	0823豪雨事件淹水範圍驗證	5-25
圖5-4-1	海岸地區範圍圖	5-28
圖5-4-2	彰化海岸地區範圍圖	5-29
圖5-4-3	雲林海岸地區範圍圖	5-31
圖5-4-4	嘉義海岸地區範圍圖	5-33
圖5-4-5	彰化海岸網格分布與地形水深圖	5-34
圖5-4-5	(續1)雲林海岸網格分布與地形水深圖.....	5-34
圖5-4-5	(續2)嘉義海岸網格分布與地形水深圖.....	5-35
圖5-4-6	彰化海岸基期波高分布圖	5-36
圖5-4-7	雲林海岸基期波高分布圖	5-37
圖5-4-8	嘉義海岸基期波高分布圖	5-38

圖5-4-9	基期彰化海岸暴潮溢淹分布圖	5-39
圖5-4-10	基期雲林海岸暴潮溢淹分布圖	5-41
圖5-4-10	(續)近未來雲林海岸暴潮溢淹分布圖.....	5-42
圖5-4-11	基期嘉義海岸暴潮溢淹分布圖	5-43
圖5-4-11	(續)近未來嘉義海岸暴潮溢淹分布圖.....	5-44
圖5-4-12	氣候變遷衝擊之彰化海岸暴潮溢淹變異增量分布圖	5-45
圖5-4-13	無降雨情境下50年重現期暴潮溢淹模擬範圍	5-49
圖5-4-13	同時考量降雨與暴潮情境下50年重現期淹水模擬範圍	5-49
圖6-1-1	彰化現況沿海 海堤長度相對比分級圖	6-7
圖6-1-2	雲嘉現況沿海 海堤長度相對比分級圖	6-7
圖6-1-3	彰化現況沿海 海堤高度相對比分級圖	6-7
圖6-1-4	雲嘉現況沿海 海堤高度相對比分級圖	6-7
圖6-1-5	彰化現況沿海 防潮門相對比分級圖	6-7
圖6-1-6	雲嘉現況沿海 防潮門相對比分級圖	6-7
圖6-1-7	彰化現況沿海人為設施分級圖	6-8
圖6-1-8	雲嘉現況沿海人為設施分級圖	6-8
圖6-1-9	彰化現況沿海高程分級圖	6-8
圖6-1-10	雲嘉現況沿海高程分級圖	6-8
圖6-1-11	彰化現況沿海坡度分級圖	6-8
圖6-1-12	雲嘉現況沿海坡度分級圖	6-8
圖6-1-13	彰化現況沿海潮差分級圖	6-9
圖6-1-14	雲嘉現況沿海潮差分級圖	6-9
圖6-1-15	彰化現況沿海海地層下陷分級圖	6-9
圖6-1-16	雲嘉現況沿海海地層下陷分級圖	6-9
圖6-1-17	彰化現況沿海侵蝕速率分級圖	6-9
圖6-1-18	雲嘉現況沿海侵蝕速率分級圖	6-9
圖6-1-19	彰化現況沿海土地利用分級圖	6-10
圖6-1-20	雲嘉現況沿海土地利用分級圖	6-10
圖6-1-21	彰化現況沿海環境地理分級圖	6-10
圖6-1-22	雲嘉現況沿海環境地理分級圖	6-10

圖6-1-23	彰化現況沿海人口密度分級圖	6-10
圖6-1-24	雲嘉現況沿海人口密度分級圖	6-10
圖6-1-25	彰化現況沿海教育程度分級圖	6-11
圖6-1-26	雲嘉現況沿海教育程度分級圖	6-11
圖6-1-27	彰化現況沿海社會經濟分級圖	6-11
圖6-1-28	雲嘉現況沿海社會經濟分級圖	6-11
圖6-1-29	彰化現況沿海企業報酬分級圖	6-11
圖6-1-30	雲嘉現況沿海企業報酬分級圖	6-11
圖6-1-31	彰化現況沿海社會經濟分級圖	6-12
圖6-1-32	雲嘉現況沿海社會經濟分級圖	6-12
圖6-1-33	彰化現況沿海脆弱度分級圖	6-12
圖6-1-34	雲嘉現況沿海脆弱度分級圖	6-12
圖6-1-35	彰化現況沿海暴潮及降雨溢淹深度(24hr)分級圖	6-12
圖6-1-36	雲嘉現況沿海暴潮及降雨溢淹深度(24hr)分級圖	6-12
圖6-1-37	彰化現況沿海暴潮及降雨溢淹範圍(24hr)分級圖	6-13
圖6-1-38	雲嘉現況沿海暴潮及降雨溢淹範圍(24hr)分級圖	6-13
圖6-1-39	彰化現況沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)危害度分級圖	6-13
圖6-1-40	雲嘉現況沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)危害度分級圖	6-13
圖6-1-41	彰化現況沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖 (AHP疊加).....	6-13
圖6-1-42	雲嘉現況沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖 (AHP疊加).....	6-13
圖6-1-43	彰化近未來沿海海堤高度相對比分級圖	6-14
圖6-1-44	雲嘉近未來沿海海堤高度相對比分級圖	6-14
圖6-1-45	彰化近未來沿海人為設施分級圖	6-14
圖6-1-46	雲嘉近未來沿海人為設施分級圖	6-14
圖6-1-47	彰化近未來沿海暴潮及降雨溢淹深度(24hr)分級圖	6-14
圖6-1-48	雲嘉近未來沿海暴潮及降雨溢淹深度(24hr)分級圖	6-14
圖6-1-49	彰化近未來沿海暴潮及降雨溢淹範圍(24hr)分級圖	6-15
圖6-1-50	雲嘉近未來沿海暴潮及降雨溢淹範圍(24hr)分級圖	6-15

圖6-1-51	彰化近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)危害度分級圖	6-15
圖6-1-52	雲嘉近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)危害度分級圖	6-15
圖6-1-53	彰化近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖 (AHP疊加).....	6-15
圖6-1-54	雲嘉近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖 (AHP疊加).....	6-15
圖6-1-55	海岸災害風險之風險矩陣	6-16
圖6-1-56	彰化現況沿海考量暴潮及 降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖 (風險矩陣).....	6-16
圖6-1-57	雲嘉現況沿海考量暴潮及 降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖 (風險矩陣).....	6-16
圖6-1-58	彰化近未來沿海考量暴潮 及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖 (風險矩陣).....	6-17
圖6-1-59	雲嘉近未來沿海考量暴潮 及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖 (風險矩陣).....	6-17

第一章 前言

1-1 計畫緣起及目的

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平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，以期提供相關工作推動執行時之專業技術支援。

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。

1-2 計畫工作項目

與本計畫相關的研究及往昔辦理情形說明如下：

(一)以往相關之研究/以前年度辦理情形

- 1.99年度「強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(1/2)」。
- 2.100年度「強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(2/2)」。
- 3.101年度「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)」。
- 4.102年度「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)」。

(二)整體工作項目/年度工作項目

整體工作項目：

- 1.國外因應海岸韌性防災案例蒐集與深入分析。
- 2.導入氣候變遷海岸情境，進行彰化、雲林、嘉義、臺南、高雄、屏東等地區之海岸數值模擬。
- 3.更新繪製海岸溢淹風險地圖。
- 4.氣候變遷衝擊對海岸韌性影響評估。

年度工作項目：

第一年度(108年)

- 1.國外因應海岸韌性防災案例蒐集與深入分析。
 - (1)國外因應海岸韌性防災案例蒐集(至少1個案例)。
 - (2)上述國外案例之深入分析，並提供在地化應用之具體建議。
 - (A)案例背景分析，並與國內海岸災害背景進行評析
 - (B)案例防災方案探討(工法方案、作法及功效)
 - (C)案例成功經驗於在地化應用之具體建議
- 2.國內歷史海岸災害相關資料蒐集。
 - (1)國內歷史「海岸溢淹」案例相關資料蒐集。
 - (2)歷史案例背景資料蒐集。(包含：降雨量、淹水區域資料、海象資料及河川流量等)
 - (3)國內海岸災害韌性評估。

- 3.導入氣候變遷海岸情境，進行彰化、雲林、嘉義等地區之海岸數值模擬。
 - (1)建立氣候變遷情境條件(如海平面上升、降雨、統計降尺度條件計算之波浪等)。
 - (2)進行氣候變遷衝擊下海岸數值模擬(依上述建立之情境條件進行模擬評估)。
 - (A)氣候變遷之海平面上升情境條件
 - (B)氣候變遷之降雨情境條件
 - (C)統計降尺度條件計算之波浪情境條件
- 4.更新繪製海岸溢淹風險地圖。
- 5.本署指示配合及協助事項。
 - (1)出席會議、行政配合及交辦事宜。
 - (2)提供相關事項技術協助。

第二年度(109年)

- 1.國外因應海岸韌性防災案例蒐集與深入分析。
 - (1)國外因應海岸韌性防災案例蒐集(至少1個案例，由計畫工作會議確認)。
 - (2)上述國外案例之深入分析，並提供在地化應用之具體建議。
 - (A)案例背景分析，並與國內海岸災害背景進行評析
 - (B)案例防災方案探討(工法方案、作法及功效)
 - (C)案例成功經驗於在地化應用之具體建議
- 2.導入氣候變遷海岸情境，進行臺南、高雄、屏東等地區之海岸數值模擬。
 - (1)建立氣候變遷情境條件(如海平面上升、降雨、統計降尺度條件計算之波浪等)。
 - (2)進行氣候變遷衝擊下海岸數值模擬(依上述建立之情境條件進行模擬評估)。
 - (A)氣候變遷之海平面上升情境條件
 - (B)氣候變遷之降雨情境條件
 - (C)統計降尺度條件計算之波浪情境條件
- 3.更新繪製海岸溢淹風險地圖。
- 4.氣候變遷衝擊對海岸韌性影響評估。

- (1)擇選1區域探討氣候變遷對海岸韌性之影響。
 - (2)參酌國外成功經驗及因應對策，進行該區域在地性海岸韌性提升規劃與評估
 - (A)提升海岸韌性因應對策規劃
 - (B)評估對策之功效
- 5.貴署指示配合及協助事項。
- (1)出席會議、行政配合及交辦事宜。
 - (2)提供相關事項技術協助。

1-3 工作方法及步驟

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1-3-1為問題分析流程圖，相關說明如下：

一、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。

二、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。

三、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。

四、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。

五、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。

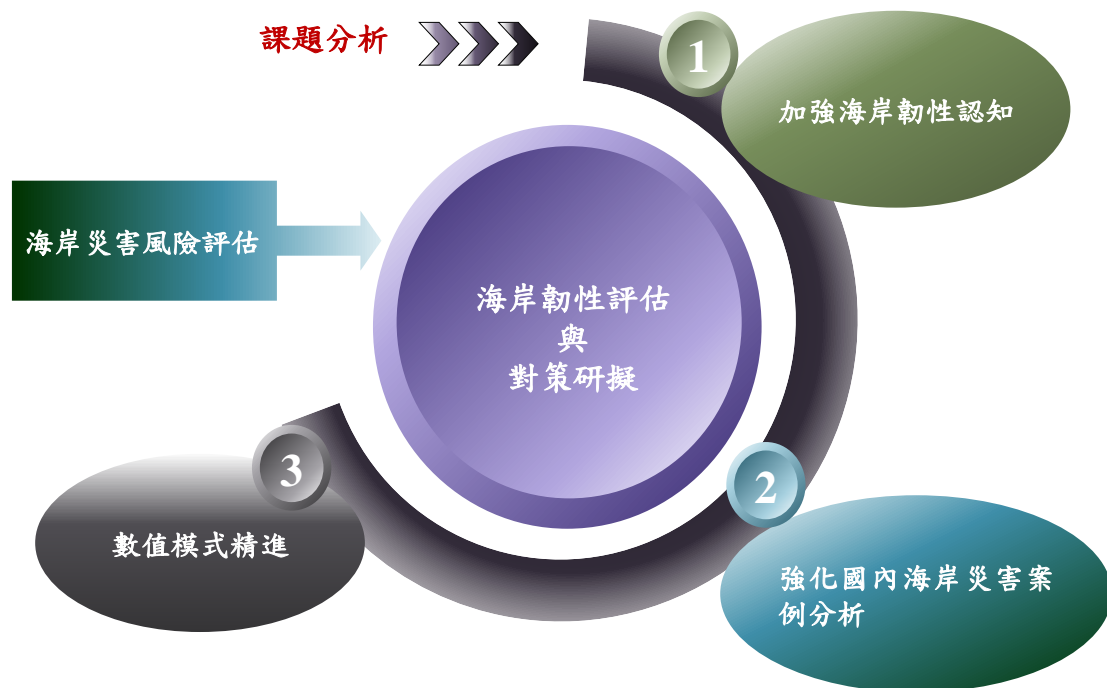


圖1-3-1 課題分析流程圖

依據上述計畫委辦工作需求與問題分析，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1-3-2所示。

各作業階段概述如下：

一、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。

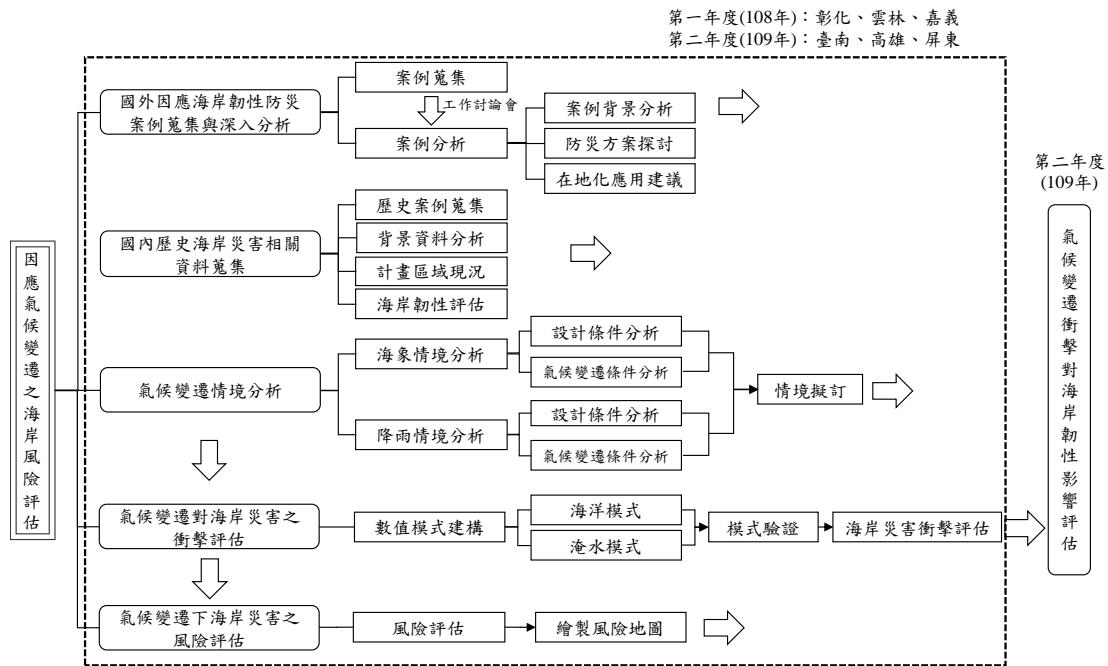


圖1-3-2 計畫工作流程與執行架構

二、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。

三、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。

四、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。

1-4 執行進度(Gantt Chart)

工作項目	月次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
	年別	108 年												
	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
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		■												
評估氣候變遷對海岸災害之衝擊分析					■									
氣候變遷下海岸災害之風險評估								■						
報告編印							108/6 期中報告 ■					108/11 期末報告 ■		
預定進度累計百分比		1	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	100	
■ 已完成進度 ■ 未完成進度														

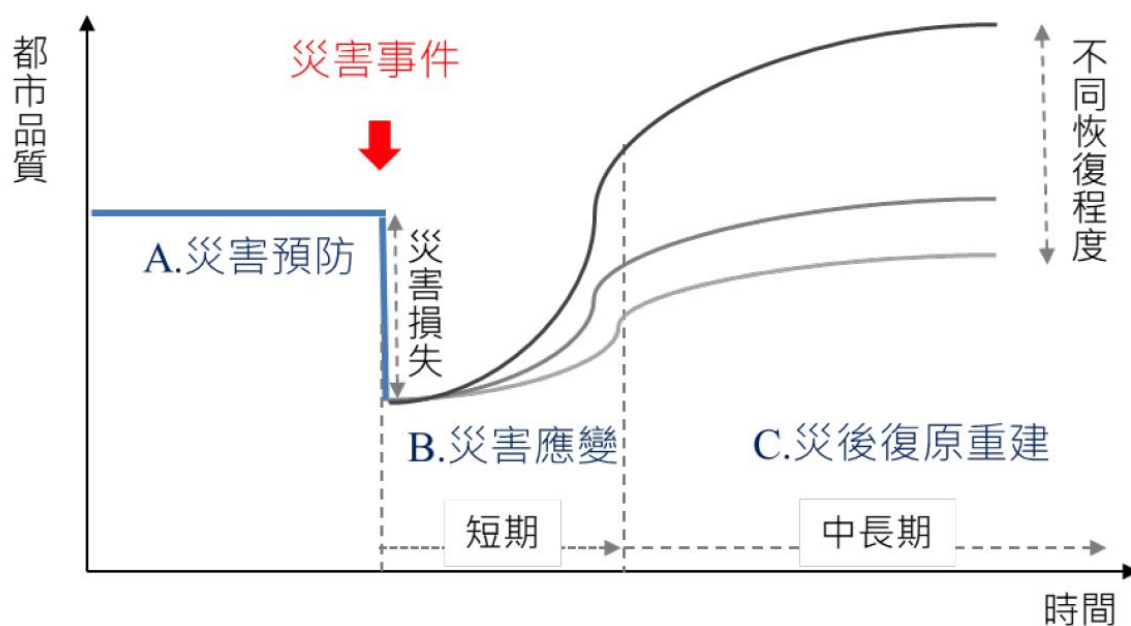
註：為加強資本門支出管制，各受託單位於計畫甘梯圖「工作項目」欄內將資本門支出之進度單獨填列一項，俾使追蹤。

第二章 國外因應海岸韌性防災案例 蒐集與深入分析

本章節主要為蒐集國外因應海岸韌性防災案例，進行深入探討，並研提在地化具體建議。此工作項目具獨立目的性，因此以「專題」方式加強論述，以明確各項內容，其專題各節分別為前言、案例背景、海岸韌性評估方法、對策與成效說明(包含分析政策層面、執行層面及現狀之執行進度等)及在地化具體建議(包含國內海岸韌性評估相關方法說明即在地化具體建議)。各節內容如后所示：

2-1 前言

海岸韌性防災之基礎以「韌性防災」為主，而韌性防災基本架構為災害韌性操作程序 (Operational Process of Urban Disaster Resilience, OPUDR)，主要說明韌性研究進行的基本邏輯架構，如圖2-1-1所示。操作程序可分成三個階段，包含「災害預防」、「災害應變」，以及「災後復原重建」(Hung et al., 2016)。



資料來源：參考Cutter et al. (2008); Hung et al. (2016)繪製

圖2-1-1 韌性防災基本架構圖

一、災害預防

災害預防(圖2-1-1中A 部分)係指區域既有之實質環境與社會經濟條件，此部份會與海岸面對可能之潛在災害事件與氣候變遷產生互動，進而影響災害衝擊程度。

災害預防包含海岸面對天然災害特性(如災害類型、頻率、強度、持續時間、區位與範圍等)，及氣候變遷導致可能形成的相關影響(例如，極端雨量、增溫、海平面上升等)。這些災害與氣候變遷現象，可視為外來可能影響源，其會與海岸的既有環境條件發生互動，而產生不同層面衝擊，亦會塑造不同類型的區域韌性特質。

構成災害預防之要素，包含實質環境與天然條件、社會經濟條件、建成環境(例如，土地使用與開發、基礎設施等)，與社區內家戶特性(例如，人口特性、弱勢、教育程度等)、行為及與社區互動關係。這些特性會構成海岸整體災害韌性，當發生災害事件或氣候變遷威脅，海岸條件會與這些外來威脅產生互動，而產生不同程度衝擊與影響。

二、災害應變

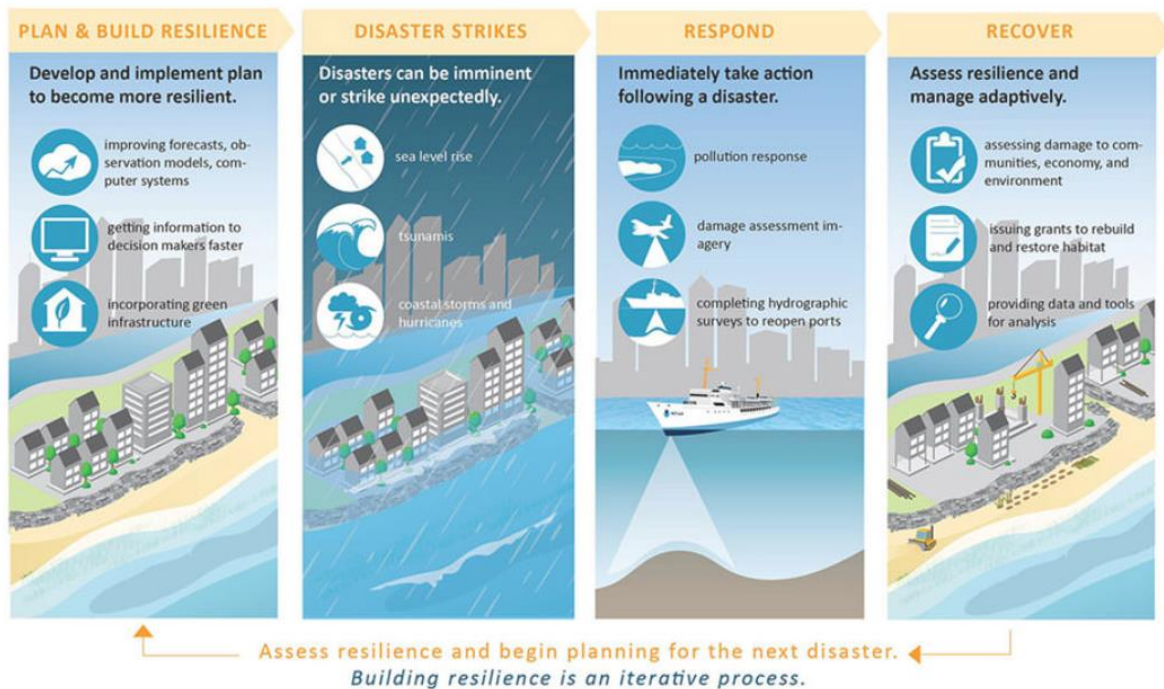
災害應變(圖2-1-1中B 部分)為海岸整體或個別家戶對個別災害事件之回應與應變機制(如預警機制、疏散避難計畫、庇護所設置、災害訊息提供等)。災害應變會決定災害對海岸影響之即時或短期效應。當具備較佳應變機制，有助於降低災害損失與負面衝擊。而個別家戶之應變能力，則是海岸社區條件與家戶特性的函數(即家戶與社區整體環境的互動關係)。

三、災後復原重建

災後復原重建(圖2-1-1中C 部分)為中長期之災後復原、調適與學習能力。海岸具備良好之「調適力」與「學習能力」，有助於提升對於災害衝擊之容受力與韌性，以降低災害損害與衝擊。當海岸具備良好之「調適力」(即有較佳調適機制，如妥適之土地使用策略與災害保險等)，便可提升對災害容受力與受創門檻以降低災害衝擊。「學習能力」代表從對災害觀察與抗災經驗增加社會學習力以強化社區集體韌性，可改善海岸原有條件的不足、增強面對災害衝擊的應變能力，及增加社區從災害衝擊恢復生活機能與進行重建之能力。

根據NOAA對海岸韌性(coastal resilience)的定義，韌性係指適應環境與狀態的改變和在緊急狀況下承受並快速回復的能力，也可說是災害發生後的恢復能力。韌性的概念適用於個體大小社區、基礎設施及環境。隨著氣候及環境的變化，人們所要面對的自然及人為災害越多，沿海地區即是第一衝擊地區(直接面對暴潮、洪水及海嘯等災害衝擊)，故提高沿海城市的海岸韌性極為重要。圖2-1-2簡單說明海岸韌性城市的防災機制，依序為計畫和建立韌性、災害發生後的應對、恢復原有的城市型態。

NOAA **COASTAL RESILIENCE** *Bouncing back & building beyond.*



資料來源：NOAA

圖2-1-2 NOAA定義海岸韌性地區的防災機制圖

本專題則是以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，各國案例將於此節分述，簡述於表2-1-1。2-2節將以「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2-1-1 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：土地の利用、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」。

一、日本

日本的沿海地區集中了許多人口與產業，且被多樣化及高密度地使用，而逐漸被視為國際轉運基地的角色。日本政府將海岸發展的方向分為三大類：沿岸區域的區域活性與轉運基地設計、沿岸區域安全與防災、沿岸環境確保。以下為日本海岸韌性相關策略：

- 1.增訂及修訂災害相關法律，例：國土強韌化法、首都直下地震對策法、地震對策法、基本災害對策法、港口法等。
- 2.檢修沿海保護設施。
- 3.進行沿海暴潮及大浪的觀測。
- 4.港灣改建時，須將生態、環境以及防災納入規劃。
- 5.進行各港灣的生態再生計畫。

日本仙台市海岸約每40年會發生7級的地震，重要歷史事件包含1978年宮城縣近海地震、2011年311東日本大地震，造成建築物破壞以及人員傷亡。因為過去的歷史教訓，仙台市政府將其都市發展訂為防災環境都市(Disaster-resilient environment-friendly city)，三個主要的發展方向為低碳(Low carbon)、宜居(Ease of living)以及防災回復力(Disaster resilience)，其發展方向圖(如圖2-1-3所示)。

因2011年311東日本大地震引發海嘯，造成仙台市多人死亡及失蹤，故仙台市的防災策略主要為海嘯防範，其防災策略斷面圖(如圖2-1-4所示)。仙台市的防災策略如下：

1.提高道路高程(elevated road)

仙台市提高部分道路高程(如圖2-1-5所示)，使道路兼具堤防及交通往來功能。

2.種植防災林以及改善沿海公園

仙台市於沿海種植防災森林，並改善防災森林後的海濱公園。仙台市政府改善海濱公園的休憩場所，並於每一休憩區域建造一高度約為10到15公尺的小山坡，該小山坡可作為居民短時間疏散的區域，其示意圖(如圖2-1-6所示)。

3.建立疏散設施與疏散空間利用協議

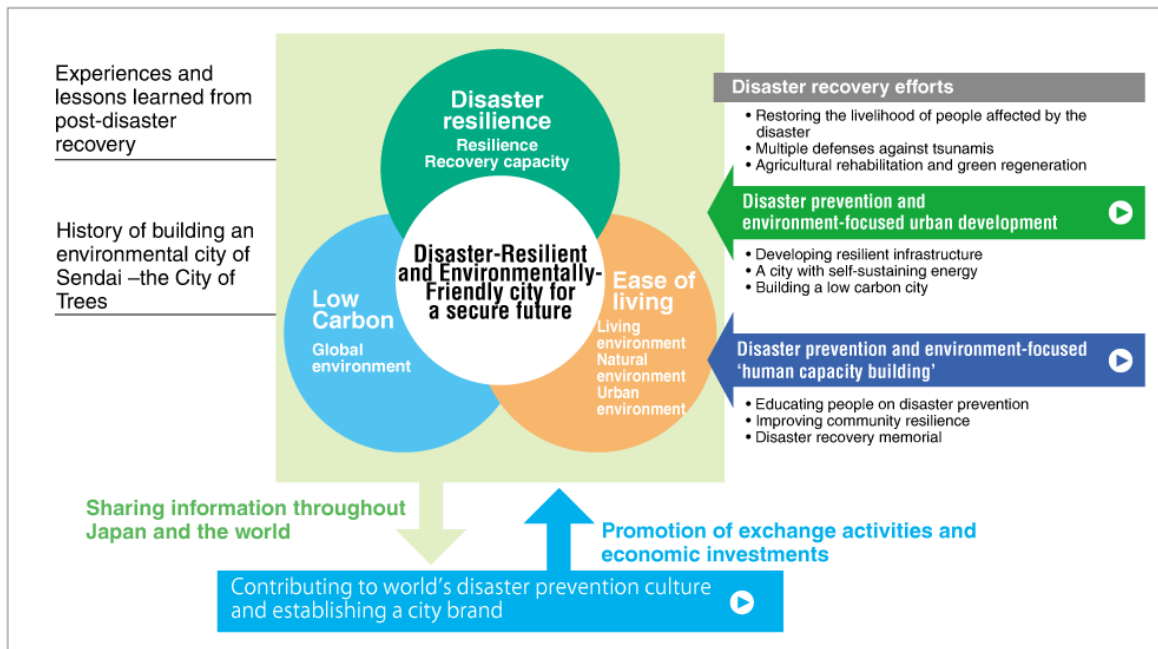
仙台市於各處興建疏散設施，其中設施包含室內空間以提供物資存放使用，如：海嘯疏散塔，如圖2-1-7所示。於中小學外建造室外疏散樓梯，提供居民疏散使用，如圖2-1-8所示。仙台市亦與私人公司簽訂臨時海嘯疏散避難所使用協議。

4. 建立避難地圖並改善道路

建立建議路線疏散路線，加寬主要疏散道路、並安裝疏散指標，其建議疏散路線地圖(如圖2-1-9所示)。

5. 房屋遷移

協助災害風險區居民搬遷至其他地區，提供房屋重建及搬遷補貼。



資料來源：仙台市災害韌性及環境友善城市推廣辦公室

圖2-1-3 仙台市的防災環境都市政策發展方向圖



資料來源：仙台市災害韌性及環境友善城市推廣辦公室

圖2-1-4 仙台市岸邊到居民居住地之防災策略斷面圖



資料來源：仙台市災害韌性及環境友善城市推廣辦公室

圖2-1-5 仙台市提高道路高程路段圖



資料來源：仙台市災害韌性及環境友善城市推廣辦公室

圖2-1-6 海濱公園居民短期疏散區域示意圖



資料來源：仙台市災害韌性及環境友善城市推廣辦公室

圖2-1-7 海嘯疏散塔



圖2-1-8 國小室外疏散樓梯

Bird's-eye view map



資料來源：仙台市災害韌性及環境友善城市推廣辦公室

圖2-1-9 仙台市疏散設施及路線鳥瞰圖

二、紐西蘭

紐西蘭政府於2006年提出未來20年的海岸策略，其主旨：「New Plymouth District的海岸-一個繁榮、穩定成長，且人與環境所需平衡的地區。」針對New Plymouth District的海岸的八個主要政策方向考慮人口成長、經濟發展、基礎建設、地方認同、

開放及娛樂空間、沿海災害、環境、土地所有權。

紐西蘭政府針對訂定出的海岸策略，提出奧克拉(Oakura)和烏雷努伊(Urenui)地區的社區未來計畫，其計畫包含住宅擴建、沿海災害管理，以及娛樂計畫。以下針對奧克拉和烏雷努伊地區沿岸政策說明：

1.奧克拉

奧克拉地區的沿海計畫圖(如圖2-2-10所示)。奧克拉的海岸策略分為以下幾點：

- (1)於侵蝕較為嚴重的公路(Ahu Ahu RD~Wairau RD)做離岸暗礁結構物(off shore reef structure)，以增加海灘的自然砂丘區域，並回復近岸自然環境。
- (2)針對近岸的土地作植栽及保護自然生長植物方針作調查，考慮是否可以由志工或是土地所有者執行保護策略。
- (3)對於近岸的私人土地區域，進行海岸侵蝕評估，並要求土地所有者要善盡海岸的保護責任。
- (4)評估民眾到海邊的路線對岸邊砂丘的影響性，並找出對環境影響較小的路徑。

2.烏雷努伊

烏雷努伊地區的沿海計畫圖(如圖2-1-11所示)。烏雷努伊的海岸策略分為以下幾點：

- (1)工程層面來說，擬訂三種工程手段，分別為建造海堤、建造離岸潛堤及人工養灘。海堤建造是為了短期間內能夠達到保護岸邊建物與人民的安全，惟經常時間來說，亦可能加劇海岸侵蝕現象；離岸潛堤則可以囚固漂砂，再造沙灘，增加海岸遊憩成效，惟成本較高；養灘工程可穩定灘岸，使之達動態平衡效果。然，該政府考量經費與期程，最後決議先利用在地材料於西部海岸建造砌石海堤(rock seawall)以短期提升海岸防護效果，另再延長改善對策研究期程，研擬較適合之改善方式。而就韌性提升而言，加強海岸防護工法亦為提升韌性的一環。
- (2)細分烏雷努伊河從海岸到高地的河段以提供未來建設計畫的區域方針。
- (3)針對沿海地區的採砂活動訂定法令。
- (4)擬訂公路周圍建物或居民搬移之規劃，藉以降低沿岸災害。

三、美國

美國紐約市濱海區長達520英里且非常多樣化，每塊區域都有自己所面臨的狀況以及嚴重程度，因此紐約市政府調查各區域的高程、海岸組成及型態、居住型態等，再針對各個區域作客製化的海濱規劃。其規劃及評估步驟(如圖2-1-12所示)，以下為各步驟介紹：

1. 識別研究領域以及規劃之內容

此步驟的目標是確定分析的地理範圍，並在必要時將其劃分為更易於管理的子區域。整個過程中，分析將涉及整個研究區域和各個子區域。子區域的邊界可以由具有共同特徵和共同危險暴露的水體和地理特徵來界定。此外，在此步驟有必要了解研究的計劃背景。這意味著需要通過公眾參與來確定利益相關者、其他相關計劃或項目，並評估現有條件、趨勢和目標。

2. 評估周圍危害、脆弱性以及風險

此步驟的目標是了解整個研究區域和各個子區域的脆弱性和風險。這些因地而異，並且有可能隨時間而改變。

3. 識別潛在策略

在此步驟中，基於對第二步的分析以及該區域的地貌和土地利用特徵，確定了各個子區域的潛在策略。在此步驟結束時，為整個研究領域開發了替代方案。替代方案可以包括不同規模的不同策略的多種組合，協同作用以解決多種危害。

4. 評估替代方案

評估這些替代方案的總體成本和效益，包括風險降低效益和財務成本，以及其他考慮因素，如環境品質(environmental quality)、城市設計以及與其他社區目標的一致性。評估應該要確定那些在潛在成本方面具有最大化潛在效益的策略，包括現有資源的成本效益使用和氣候變化及其他趨勢的長期結果。這種評估應該使人們了解哪些替代方案對於哪些領域以及短期，中期和長期而言最具成本效益及符合現實。

5. 開發適應途徑

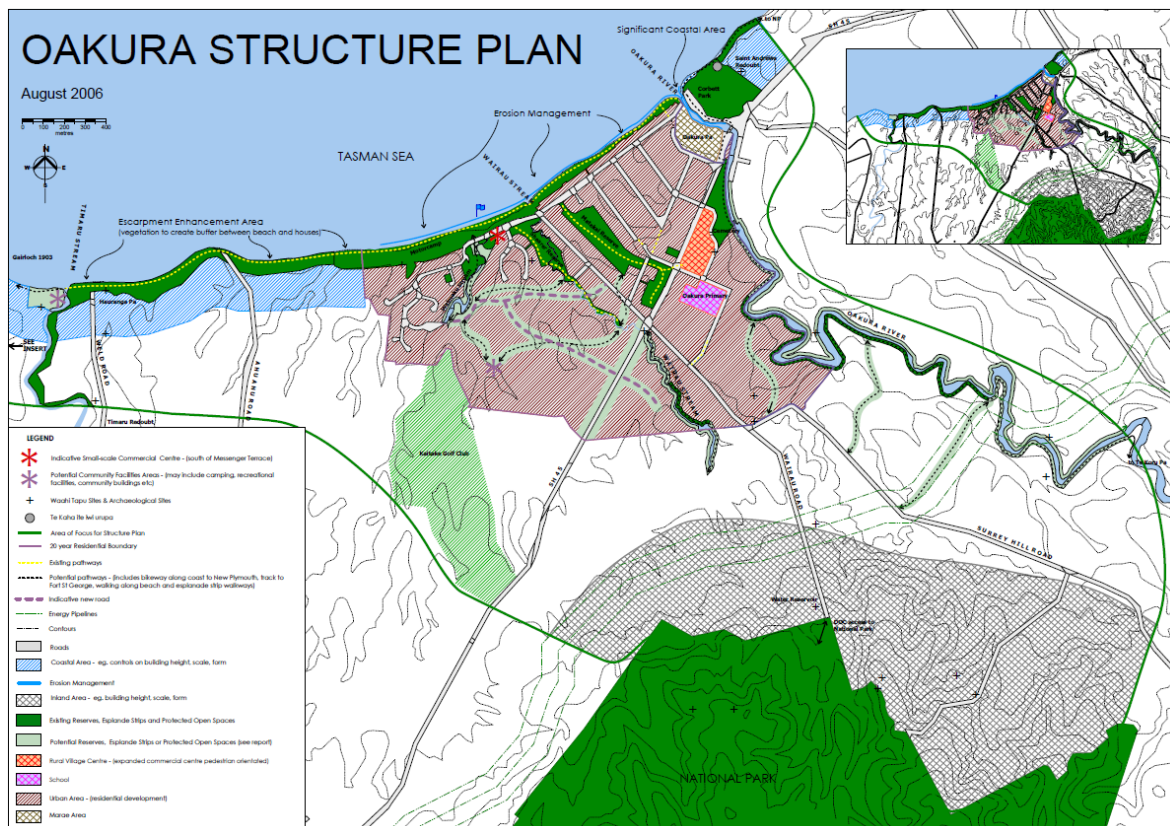
適應途徑是如何將短期內可採取的一系列行動與長期定期決策點相結合的靈活計劃，以解決長期目標。一旦根據廣泛的潛在成本和效益以及考慮多個未來時

間框架對替代方案的成本效益進行評估，可以將它們縮小為一組對於給定子區域具有成本效益的替代方案。這種途徑應包括那些滿足短期需求成本效益之手段，且包括長期成本效益方法之步驟。途徑還應包括預先確定的步驟，以便重新評估實施的進展以及氣候預測和其他風險因素的變化。

6. 實行計畫

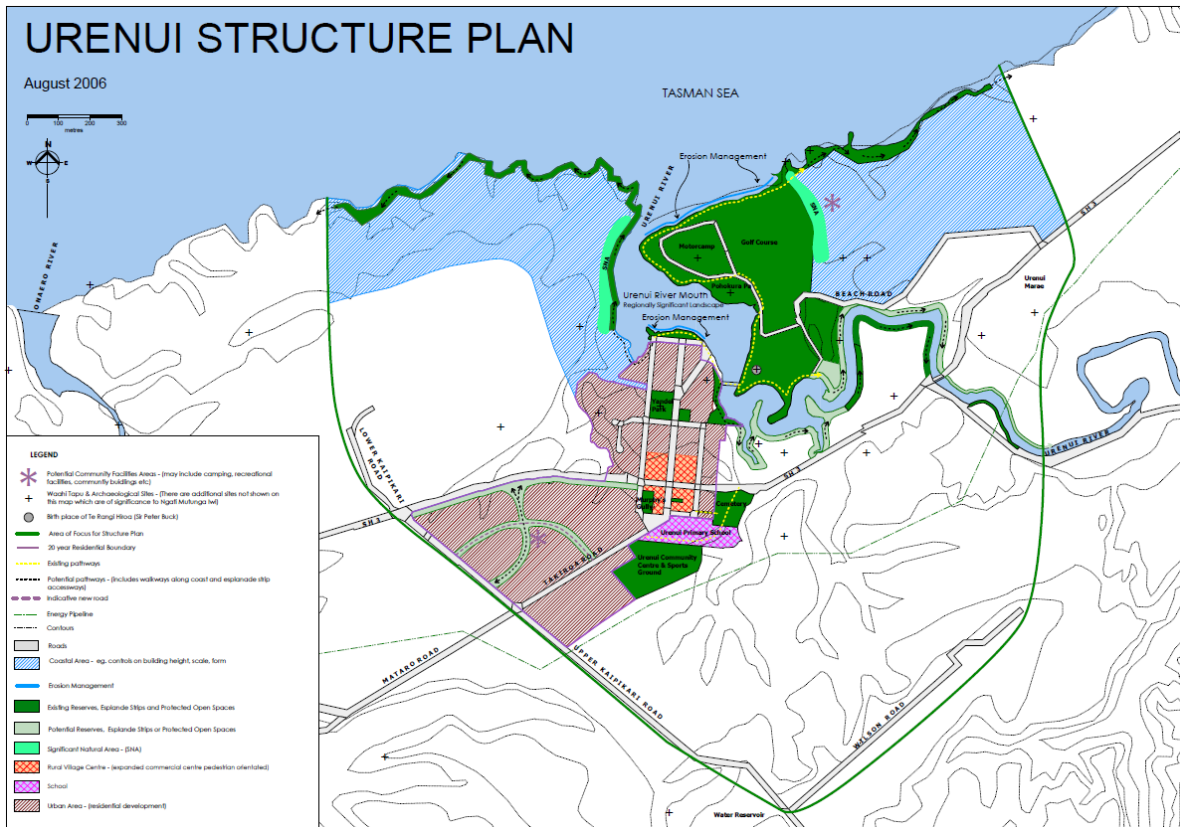
在大多數規模上，韌性策略不可能由個人或具有單個項目的實體實施。相反的，它需要許多人和許多組織一起的協調行動。在每個規模上都涉及多個參與者，所有參與者都發揮著重要作用。實施不僅包括確定需要做什麼，還包括需要在各種行動範圍內做什麼。

海岸韌性評估的內容包含：土地利用、海岸利用狀況、評估區域的地形(如圖2-1-13所示)、海岸受波浪危害高低、房屋建造型態(如圖2-1-14所示)等。評估海岸韌性後，將可能增加海岸韌性且降低災害之項目再做評估，藉以確立執行工程的優先順序(如圖2-1-15所示)。



資料來源：New Plymouth District Council

圖2-1-10 Oakura地區的沿海計畫圖



資料來源：New Plymouth District Council

圖2-1-11 Urenui地區的沿海計畫圖



資料來源：紐約城市規劃部

圖2-1-12 規劃及評估流程圖

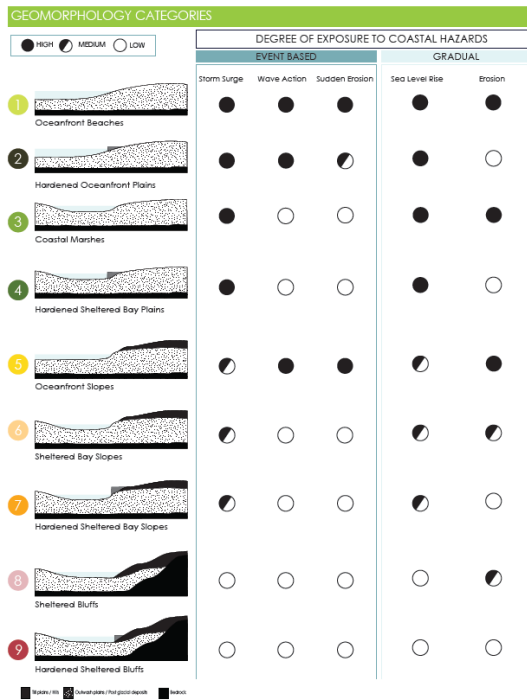


圖2-1-13 美國紐約區海岸地形對應的災害風險評估圖

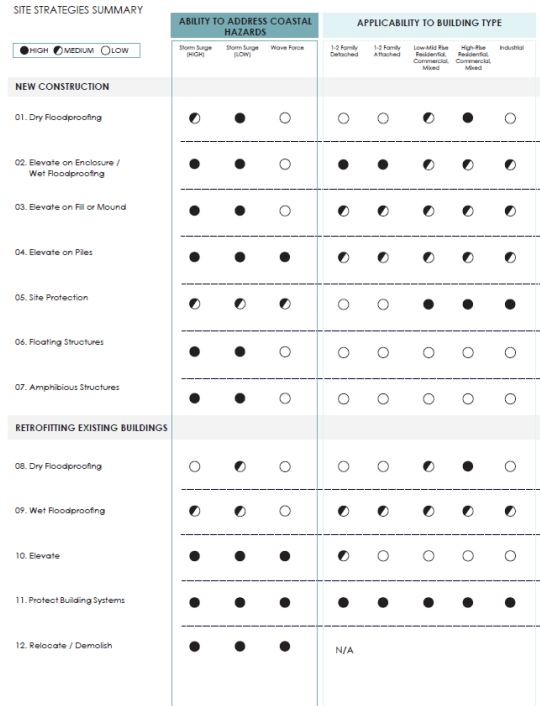
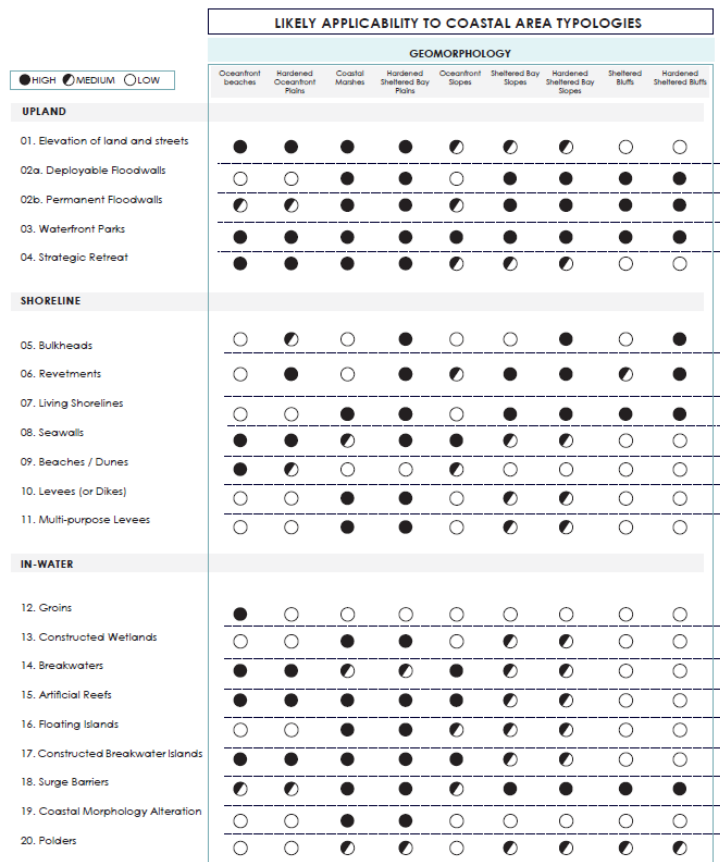


圖2-1-14 美國紐約區房屋型態對應的災害風險評估圖



資料來源：紐約城市規劃部

圖2-1-15 美國紐約區提高海岸韌性方法對應之災害防護成效評估圖

四、荷蘭

荷蘭有一大部分的土地在萊茵河(Rhine)、馬士河(Meuse)、斯海爾德河(Scheldt)沖積而成的，且因國土大部分低於海平面，故荷蘭有最低的國家之稱。1937年荷蘭公共工程部發表當海平面上升或暴潮時，荷蘭會有很多地區受到侵害，故荷蘭政府提出封閉河口的解決方案，但其方案仍無法抵禦1953年的洪水，而該場洪水造成約15萬公頃的土地被淹沒及2,000以上的死亡人數。因1953年洪水所帶來的重大破壞，荷蘭政府組織三角洲委員會，考慮安全、經濟等因素，提出三角洲計畫。

在執行三角洲計畫的過程中，荷蘭政府意識到因工程忽略環境，而造成出海口生態衝擊，且於1993、1995年萊茵河及馬士河河水位暴漲和溢堤造成市區淹水，使得荷蘭政府的治水策略從傳統上與水爭地的思維轉成還地於水。除此之外，於2011年成立一非政府間國際組織 - 三角洲國際聯盟(Foundation Delta Alliance International)，其宗旨乃強化全球三角洲地區之「適應」及「復原」能力，以期降低天然災害造成的損失，進而建構環境永續發展，目前共有15個會員，台灣亦為其中之一。本年度海岸韌性防災專題將以「荷蘭」為案例進行說明，並挑選「荷蘭鹿特丹」海岸城市做為海岸韌性案例討論之主要對象。



資料來源：三角洲國際聯盟

圖2-1-16 三角洲國際聯盟會員分布圖

2-2 案例背景說明-荷蘭

荷蘭是一個地勢平坦，全國超過一半以上土地低於海平面的國家，自古以來飽受北海暴潮的海水倒灌，以及萊茵河(Rhine)和馬士河(Mass)等河水暴漲之威脅。為了與

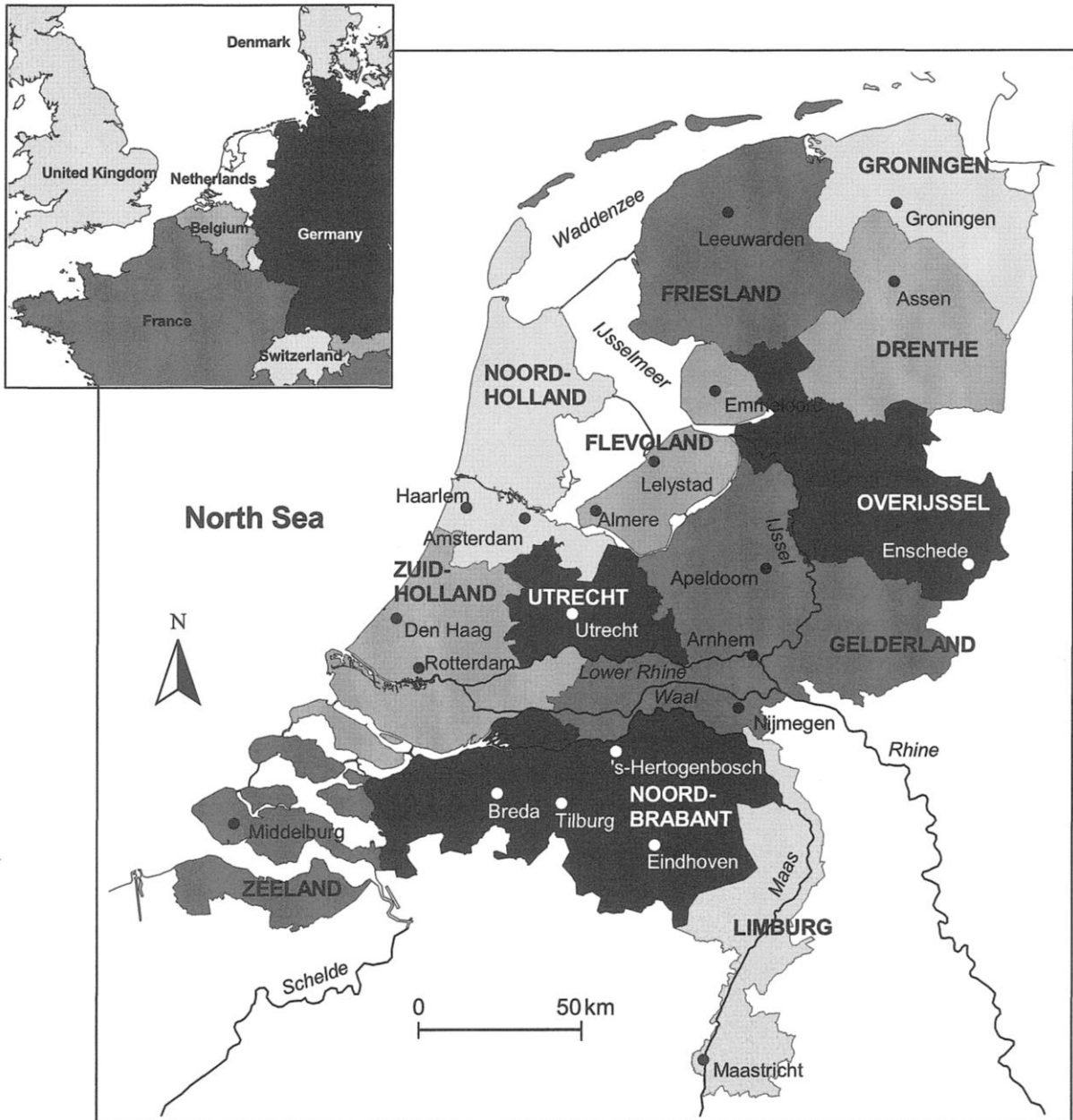
大自然抗衡，增加可用的土地面積以及抵擋水患，荷蘭人建造堤防阻擋海水，利用風車將低地之水排出。西方諺語：「上帝創造了大地，但荷蘭人創造了荷蘭(God created the earth, but the Dutch created the Netherlands.)」這句話充分反應荷蘭在排洪造地方面的成就。

20世紀的荷蘭完成了兩個非常重大的計畫(Hoeksema, 2006)：西北部大規模的填海造陸，以及西南部的三角洲防洪工程。兩者有著許多相似之處：1. 非急迫的解決問題，而是進行一個長遠的規劃；2. 計畫執行由簡入繁，透過經驗以及技術的積累，進而提升高難度工程的品質；3. 計畫花費的時間超出原規劃的期程；4. 計畫完成後，需求面也已改變，導致了新的方法、結構及發展的研發。

荷蘭西南部的三角洲主要是由萊因河(Rhine)、馬士河(Maas)和須耳德河(Schelde)沖積而成，如圖2-2-1所示。1953年1月31日至2月1日，北海的大潮(high spring tide)和暴潮(storm surge)沖毀了合計800 km的堤防、形成67個開口(flow gap, 使海水於低潮位時仍不斷流入內陸區域)、淹水面積達2,000 km²、3,000棟房屋被破壞(43,000棟受損)、造成1,835人死亡、以及72,000被迫撤離(Hoeksema, 2006)。圖2-2-2及圖2-2-3分別為此事件的淹水分布及堤防損壞情形。

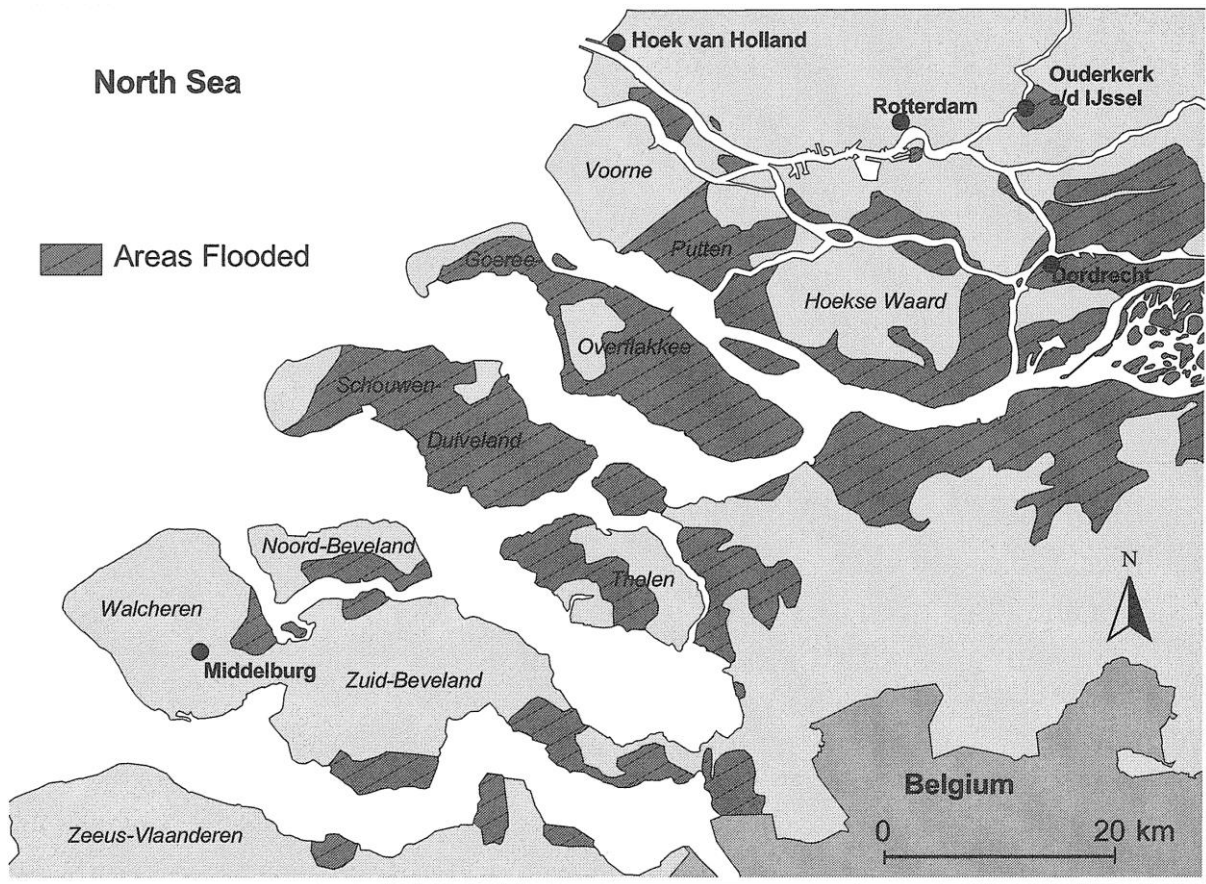
為此，荷蘭的運輸及公共工程部(Ministry of Transport and Public Works)於1953年2月21日，成立一個以工程師為主體的三角洲委員會(Delta Commission)，主要的任務是避免再次發生如此嚴重的淹水事件。當時的委員會提出了兩個選擇(Hoeksema, 2006)：1. 提高總長達700 km的海堤(sea wall)和堤防(dike)；2. 封閉大部分的入潮口(tidal inlet)，並提高海岸及航道上的堤防高度。由於，在此之前的研究指出後者具有將「侵入式建築侷限於海岸線之外(limit intrusive construction to the outer coastline)」以及「顯著的縮短北海海岸長度(significantly reduce the length of North Sea coast)」的優點。縮短海岸線能減少未來海堤的維護及升級費用，並且此方法已非常成功的運用在西北部須德海(Zuiderzee)的填海造陸工程。

因此，荷蘭展開了世界知名的三角洲計畫(Delta Works, Delta Project, Dutch Deltawerken)。計畫於1953年開始，1997年結束，共花費45年的時間，斥資50億美元興建「水壩(dam)」、「暴潮屏障(storm surge barrier)」、「水閘(locks)用以阻隔鹽水與淡水」和「更高的海堤(sea dike)」。三角洲計畫對當時的荷蘭水利工程師而言依然是個巨大的挑戰，因此為了能順利完成各項工程，三角洲委員會依「需求」和「工程難易度」制訂了施工的優先順序。首先進行的是受水患威脅最大的區域，接著從難度較低的工程開始，透過這些過程經驗的積累，最終完成了許多高難度的水利設施，例如：Oosterschelde Barrier和Maeslant Barrier，如圖2-2-4所示。



資料來源：Hoeksema (2006)

圖2-2-1 荷蘭及其鄰近的國家



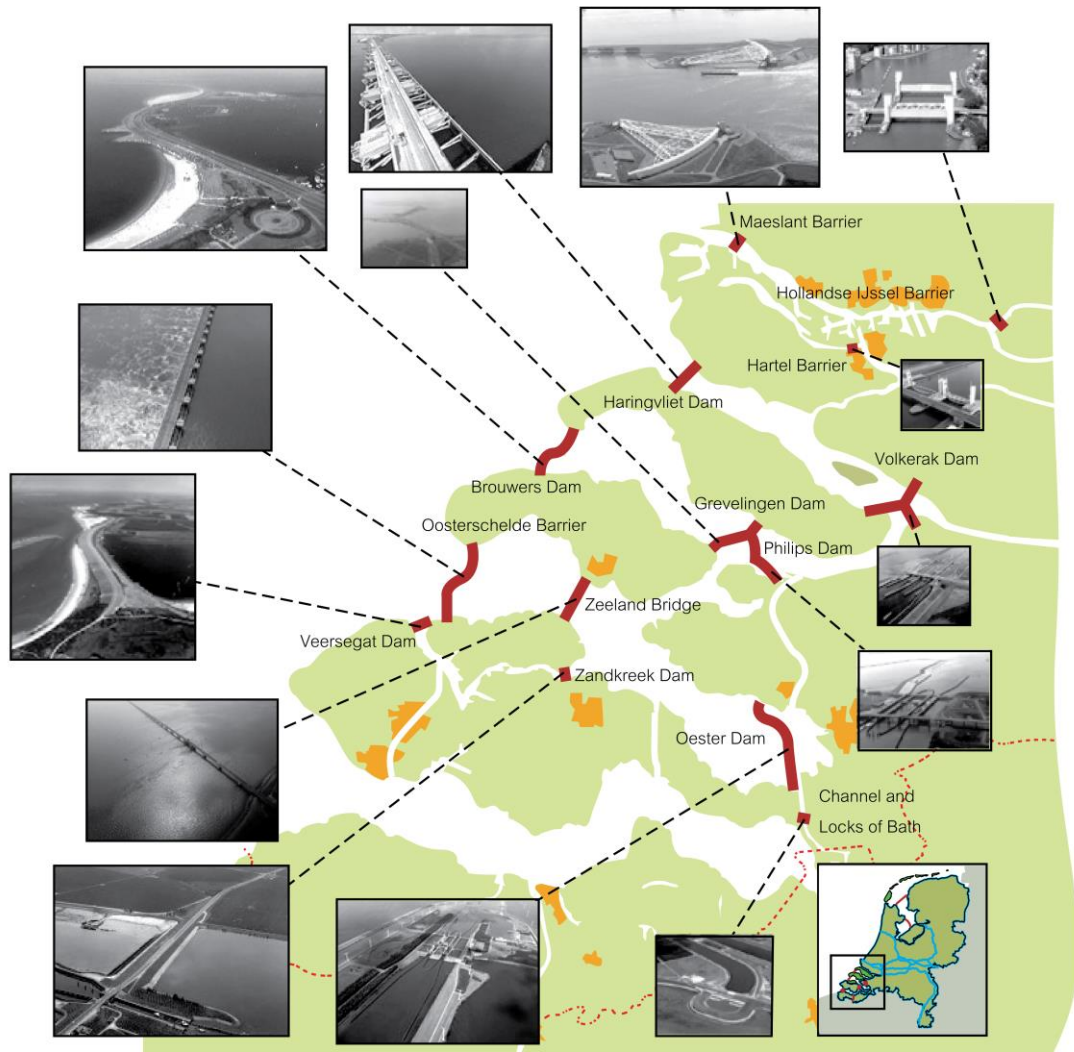
資料來源：Hoeksema (2006)

圖2-2-2 荷蘭1953年淹水事件導致的西南部淹水區域



資料來源：Hoeksema (2006)

圖2-2-3 荷蘭1953年的洪水造成堤防毀損



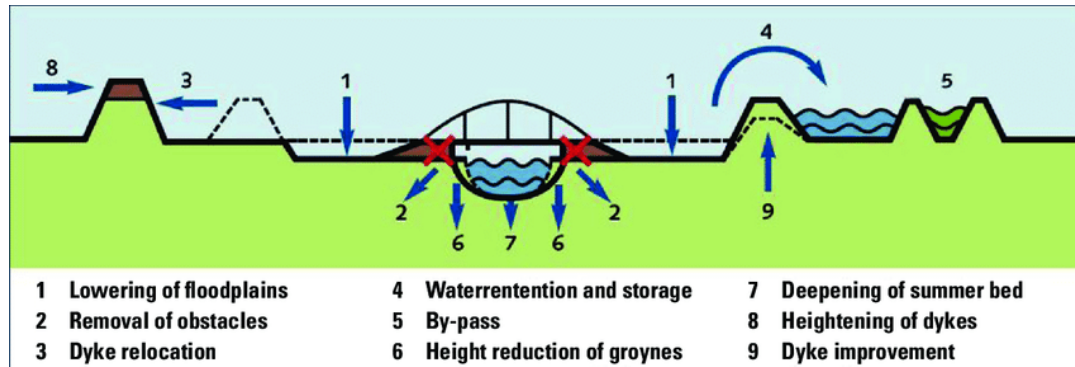
資料來源：Delta Works Online Foundation

圖2-2-4 荷蘭三角洲計畫

1993年10月，法國和比利時的阿登因持續性的大雨，進而造成馬士河水位暴漲，導致Limburg(可參考圖2-2-1)發生嚴重的水患，8,000多位居民被疏散。荷蘭皇家委員會提出水利專業的建議：疏浚河床，設立滯洪區和加蓋堤防。1995年1月，再一次的持續性大雨造成Limburg面臨了更為嚴重的水患，多達20萬居民被疏散。當下，荷蘭政府的立即反應是建設更高更長的堤防，同時加快疏濬速度，但由於經費及技術的問題，這些計畫並不如預期的順利進展(van de Ven 2004)。

三角洲計畫雖然成功抵禦了海水入侵內陸的問題，但由於終止了河口潮汐的變動，使水域的水質產生惡化，徹底改變了潮間帶的生態環境。除此之外，大堤完全阻斷了鮭魚迴游的路線，對於生態及漁業都帶來了相當大的衝擊。荷蘭在體認到三角洲計畫因忽略工程對於生態環境帶來的影響，以及1993年和1995年的河水暴漲造成的淹水後，荷蘭治水的策略開始從傳統上的「與水爭地」轉變為「與水共存」。荷蘭水利局基礎設施及環境管理部(Rijkswaterstaat)於2007年至2015年進行的「還地於河計畫(Room

for the River)」，其目的是將萊因河的尖峰流量自15,000 cms提升至16,000 cms，共花費23億美元。採用之主要工法共有9種(如圖2-2-5所示)，分別為：1. 降低洪泛平原高度、2. 移除結構物、3. 堤防遷移、4. 儲水、5. 分流、6. 降低丁壩高度、7. 增加夏季底床深度、8. 增加堤防高度、9. 增加堤防結構強度。

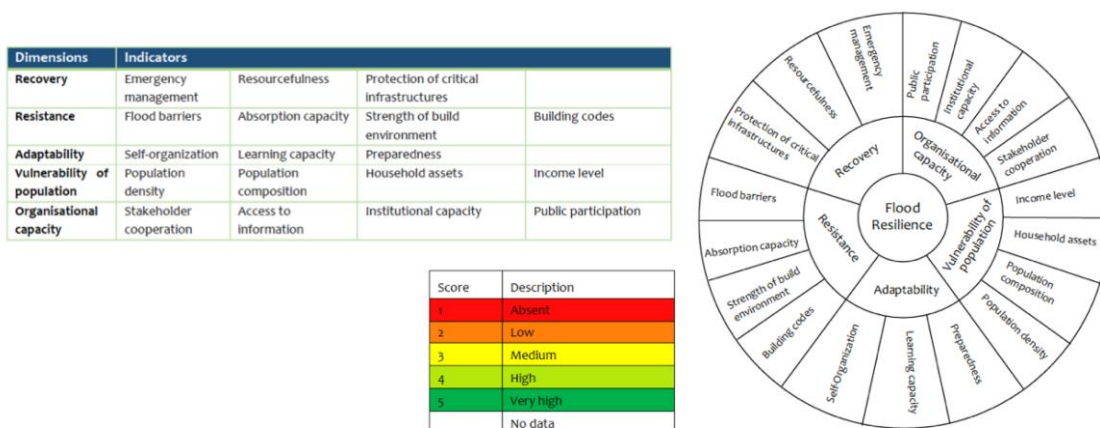


資料來源：Zevenbergen et al. (2015)

圖2-2-5 還地於河計畫中的九種主要之工程規劃設計方法

2-3 海岸韌性評估方法說明-荷蘭

除了硬體(工程)的改變之外，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2-3-1所示。每個面向再細分成3至4個指標，共18個指標。指標名稱及其說明列於表2-3-1至表2-3-5，採用之分數表示方式列於表2-3-6。評分方式綜整於表2-3-7，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2-3-1 Haitsma (2016)提出之韌性輪(包含指標及分數之表示方法)

表2-3-1 韌性面向-恢復力(Haitsma, 2016)

指標名稱	說明
<p>緊急管理 Emergency management</p>	<p>緊急管理代表城市中的各種疏散計劃、預警系統和援助協調程序(Hamilton, 2009)。例如：醫院和消防隊在緊急管理中佔有至關重要的角色。</p> <p>Emergency management is defined as the full range of evacuation plans, warning systems and aid coordination procedures in a city (Hamilton, 2009). Hospital services and the fire brigade are of main importance in the emergency management.</p>
<p>後備資源 Resourcefulness</p>	<p>Andrew et al. (2016)定義之後備資源：代表具備組織識別、排列優先順序和資源調動(即貨幣、物資、技術和人力資源)以滿足內部功能需求和當地社區外部需求的能力。</p> <p>Andrew et al. (2016) defines resourcefulness: “The ability and capacity of organisations to identify, prioritise, and mobilise resources (that is, monetary, physical, technological, and human resources) to meet internal functional needs and the external demands of a local community”.</p>
<p>重要基礎建設的保護 Protection of critical infrastructure</p>	<p>如同後備資源，對關鍵基礎建設的保護能確保城市繼續運作。關鍵基礎建設是一套設施，能夠確保城市之運作(Barocca, 2013)。例如：發電廠、地鐵、鐵路、水處理廠、通信網絡和機場。它們可以通過增加高程或防洪屏障來防止洪水入侵，避免對其造成損害。</p> <p>Just as resourcefulness, the protection of critical infrastructures also guarantees the continuing of a cities functioning. Critical infrastructures are a set of facilities ensuring necessary services for a city to operate (Barocca, 2013). Examples are power-plants, subways, railways, water treatment plants, communication networks and airports. They can be protected by their elevation or the use flood barriers to prevent water to reach the critical infrastructures and cause damage to it.</p>

表2-3-2 韌性面向-抵抗力(Haitsma, 2016)

指標名稱	說明
<p>防洪屏障 Flood barriers</p>	<p>Aerts et al. (2013)解釋：人為屏障(堤防、水壩和海堤)和天然屏障(例如：紅樹林)是保護城市免受洪水侵襲的措施。</p> <p>Aerts et al. (2013) explains that physical flood barriers (dikes, dams, sea walls) and natural barriers (e.g. mangrove forest) are measures to protect cities against flooding.</p>
<p>吸收能力 Absorption capacity</p>	<p>當城市被洪水淹沒時，其吸收能力決定了城市能在多大的程度上保持運作。吸收能力是指城市以降級模式運行的能力，與系統在其一個或多個組件發生故障後，能提供的替代方案相關(Lhomme et al., 2013)。</p> <p>When a city gets flooded, its absorption capacity determines to what extent the city can continue its functioning. Absorption capacity is the ability of a city to operate in a degraded mode, related to alternatives that can be offered by the system following the failure of one or more of its components (Lhomme et al., 2013).</p>
<p>建築強度 Strength of build environment</p>	<p>建築強度是指因建築物之材料和風格，對抵禦洪水能力的影響。環境中的建築強度越高，其韌性就越高(Chan et al., 2012)。</p> <p>The indicator ‘strength of build environment’ is the resistance of buildings to flooding caused by their material and building style. The stronger the buildings in an environment the higher its level of resilience (Chan et al., 2012).</p>
<p>建築規範 Building codes</p>	<p>Brown et al. (2012)指出：建築規範是對建築物高度或適應性的規定和實施，以使它們具備防洪能力。Aerts et al. (2013)也提到住房和運輸系統的選址和設計也是建築規範的一部分。</p> <p>Brown et al. (2012) states “Building codes are prescriptions and implementation on elevation or adaptation of buildings to make them flood-proof”. According to Aerts et al. (2013) also choices in the siting and design of both housing and transport systems are part of building codes.</p>

表2-3-3 韌性面向-適應力(Haitsma, 2016)

指標名稱	說明
自組織 Self-organization	<p>一個城市的適應力部分取決於其居民的自組織。自組織是指個人能在不等待外援(政府或援助機構)的情況下，組織自己或系統來修復損害和清理的程度(Djordjević et al., 2011; Liao, 2012)。</p> <p>The adaptability of a city is partly determined by the self-organization of its residents. Self-organization is the degree to which individual persons are able to organise themselves or the system in fixing damage and cleaning up without waiting for external help (government or aid agencies) (Djordjević et al., 2011; Liao, 2012).</p>
學習能力 Learning capacity	<p>根據Lu and Stead (2013)的說法：學習能力是指能從過去的洪水經驗中，學習到應對未來類似情況的能力。例如：基於早期洪水的經驗，進行氣候變化適應相關的教育計劃或機構調整。</p> <p>According to Lu and Stead (2013): “Learning capacity is the ability to learn from previous floods in the city in order to deal with similar conditions in the future”. Examples of learning capacity are educational plans or institutional adaptations related to climate change adaptation based on earlier floods.</p>
準備程度 Preparedness	<p>在文獻中經常會提到準備程度作為一般的韌性特徵。由於缺乏定義，因此應對氣候變化調適做好準備，並根據在防洪系統設計中考慮未來預測的氣候變化準備程度的假設。</p> <p>Preparedness was often mentioned in the literature review as characteristic for resilience in general. Since a definition was lacking, preparedness is applied on climate change adaptation and based on assumption defined as the extent to which is prepared for climate change by taking future projections into account in the design of flood protection systems.</p>

表2-3-4 韌性面向-人口脆弱度(Haitsma, 2016)

指標名稱	說明
人口密度 Population density	<p>當人口密度越高時，更容易因洪水氾濫而受到傷害或損失，故人口密度意味著脆弱性。人口密度以每平方公里的人口數表示(Farhan and Lim, 2011)。</p> <p>The population density indicates vulnerability since a higher population density in an area causes a higher vulnerability to experience harm or damage in case of flooding. The population density is expressed in the amount of people per km² (Farhan and Lim, 2011).</p>
人口組成 Population composition	<p>Kotzee and Reyers (2016)將人口組成定義為65歲以上和14歲以下的人口占該城市總人口之百分比。一般認為，與成年人相比，孩子和老人通常缺乏自立，更容易受到傷害。</p> <p>Kotzee and Reyers (2016) defined the population composition as the proportion of the city’s population above the age of 65 and below the age of 14 as percentage of the total population in the city. There is assumed that kids and elderly are in general less self-reliant and more vulnerable than mature people.</p>
家用資產 Household assets	<p>Joerin et al. (2014)定義的家用資產為：電視、廣播、手機、機動車輛，非機動車輛(例如腳踏車)，基本家具。</p> <p>Joerin et al. (2014) defined household assets: “The access of households to television, radio, mobile telephone, motorised vehicle, non-motorised vehicle, basic furniture”.</p>
收入水平 Income level	<p>收入水平代表一個人受洪水影響的應對能力，擁有較多財富的家庭通常比較貧困的家庭能更快克服災難並恢復(Joerin et al., 2014)。</p> <p>The income level indicates a person’s capacities to deal with the impacts of flooding. Households with greater wealth and features are generally abler to overcome disasters and recover their losses more quickly than poorer households (Joerin et al., 2014).</p>

表2-3-5 韌性面向-組織力(Haitsma, 2016)

指標名稱	說明
利益相關者協作 Stakeholder cooperation	Borba et al. (2015)定義此指標代表：具淹水風險之利益相關者間(例如：政策制訂者、(地方)政府官員、安全組織、工程師及非政府組織)的互動。 Borba et al. (2015) defines this indicator: “Stakeholder cooperation is the interaction among the main stakeholders affected by storm water drainage risks – policymakers and (local) government officials, safety organisations, engineers and NGO’s”.
資訊的取得 Access to information	獲取和理解有關政策制定者和科學家的洪水信息能夠幫助制定基於氣候資訊的政策和空間干預(Moench, 2014)。 The access to and understanding of information about flooding for policymakers and scientists can help to develop policy and spatial interventions based on climate information (Moench, 2014).
機構能力 Institutional capacity	Godschalk (2003)將”機構能力”指標定義為在都市運作的正式和非正式協會(包含：學校、組織、工作小組)於災難發生期間，社區網絡必須能在極端和獨特的條件下保持運作，進而增強城市的韌性(Godschalk, 2003; Joerin et al., 2014)。 The indicator ‘Institutional capacity’ is defined by Godschalk (2003) as the formal and informal associations that operate in an urban area: schools, organizations, task forces. During a disaster, the community networks must be able to survive and function under extreme and unique conditions which enhances a city’s resilience (Godschalk 2003; Joerin et al. 2014).
公眾參與 Public participation	Lu and Stead (2013)指出：公眾參與是指公眾參與政策決策的能力，包括告知公眾和回應公眾關注的問題。例如：網路公民小組以及與居民的政策制訂資訊交流(Lu and Stead, 2013)。 Lu and Stead (2013) stated: “Public participation is the ability to involve the public in policy decisions, both in terms of informing the public and responding to concerns from the public”. Examples are online citizens’ panels and communication of information from policy to residents (Lu and Stead, 2013).

表2-3-6 韌性輪採用的分數、說明及其對應之色塊(Haitsma, 2016)

分數	說明	顏色
1	缺乏	紅色
2	低	橘色
3	中	黃色
4	高	淺綠色
5	非常高	深綠色
-	無資料	白色

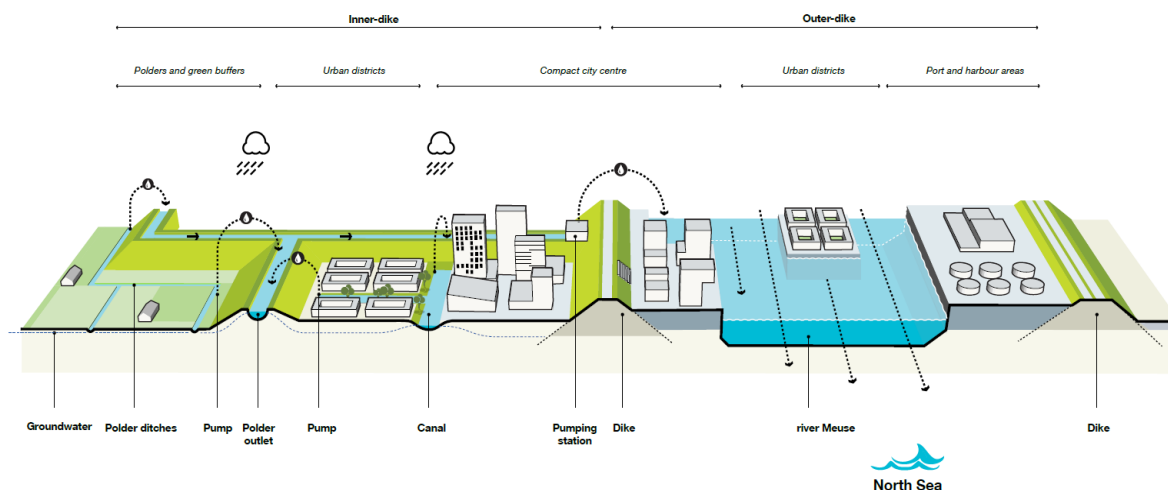
表2-3-7 韌性輪指標之定義及評分標準(Haitsma, 2016)

面向	指標	操作型定義	分數
恢復力	緊急管理	疏散計劃、警報系統和援助協調程序的可用性(Hamilton, 2009)	1 = 無可用性 – 5 = 非常高可用性
	後備資源	水和能源儲備的財政預算(Andrew et al., 2016)	1 = 無儲備 – 5 = 非常大量的儲備
	重要基礎建設的保護	能源、交通、供水和機場的保護(Aerts et al., 2013)	1 = 無保護 – 5 = 非常高的保護

表2-3-7 (續)韌性輪指標之定義及評分標準(Haitsma, 2016)

面向	指標	操作型定義	分數
抵抗力	防洪屏障	堤防和紅樹林的存在(Albrito, 2012)	1 = 無防洪屏障 - 5 = 非常高的防洪屏障
	吸收能力	購物中心、車站、水及能源供應處在空間上的分散程度	1 = 向中心集中 - 5 = 極度分散
	建築強度	適用於存在洪水風險之建築物的材料和設計(Albrito, 2012)	1 = 低強度 - 5 = 高強度
	建築規範	適合用於存在洪水風險之建築物的建築計劃和建築法規(Aerts et al., 2013)	1 = 無建築規範 - 5 = 非常廣泛的建築規範
適應力	自組織	居民在洪水後組織自己去修復損壞和清理家園的能力(Liao, 2012), 可於洪水報告中評估	1 = 無自組織 - 5 = 非常高度的自組織
	學習能力	合適的洪水教育規劃和制度調整(Liao, 2012)	1 = 無規劃和調整方法 - 5 = 非常廣泛的規劃及調整方法
	準備程度	在防洪的政策和設計規劃中考慮對未來之預測	1 = 無考慮對未來之預測 - 5 = 非常廣泛的考慮對未來之預測
人口脆弱度	人口密度	每平方公里的平均人口數	1 => 15,000 人/km ² 2 = 5,000-15,000 人/km ² 3 = 1,000-5,000 人/km ² 4 = 500-1,000 人/km ² 5 = 0-500 人/km ²
	人口組成	65歲以上和14歲以下人口占總人口的比例(Joerin et al., 2014)	1 = 60-75% 2 = 45-60% 3 = 30-45% 4 = 15-30% 5 = 0-15%
人口脆弱度	家用資產	擁有無線電、行動電話和汽車的都市人口百分比(Siebeneck, 2015)	1 = 0-20% 2 = 20-40% 3 = 40-60% 4 = 60-80% 5 = 80-100%
	收入水平	平均一個家庭的年均可支配收入(Kotzee and Reyers, 2016)	1 = \$0-\$5,000 2 = \$5,000-\$10,000 3 = \$10,000-\$20,000 4 = \$20,000-\$30,000 5 >= \$30,000
組織力	利益相關者協作	政策制定者與(地方)政府、安全組織、工程師和非政府組織之間建立的合作量(Joerin et al., 2014)	1 = 無合作 - 5 = 非常大量的合作
	資訊的取得	提供資訊(包含：氣候資訊和風險評估)以利風險之降低(Moench, 2014)	1 = 無法取得資訊 - 5 = 能取得非常多的訊息
	機構能力	運作中的正式和非正式協會之數量, 包含學校、組織、工作小組(Godschalk, 2003; Joerin et al., 2014)	1 = 無協會 - 5 = 非常大量的協會
	公眾參與	公眾參與降低洪水風險政策和措施的程度(Lu and Stead, 2013), 可透過公民小組、諮詢小組和其他參與方法的數量來衡量	1 = 無參與 - 5 = 非常高度的參與

鹿特丹(Rotterdam)位於萊因河及馬士河的匯流處並與北海相接，是一個河海交會的城市，西歐海運的大門。然而，鹿特丹是荷蘭所有都市當中，地勢最低的地方，亦是受氣候變遷影響極深的都市。鹿特丹主要是藉由用堤防、抽水、都市溝渠、排水溝等硬性工法(如圖2-3-2所示)，和改變建築型態、調整都市計畫等軟性工法作為氣候變遷之調適。



資料來源：鹿特丹政府

圖2-3-2 鹿特丹城市圖

鹿特丹於2013年的城市計畫中，調整氣候變遷調適策略，將環境、社會、經濟、環保作連結，鹿特丹將城市願景訂為以下六點：

城市與城市的居民是受到保護，不被洪水及海水侵害。

城市與城市的居民不會因為降雨過多或過少而對生活有影響。

鹿特丹的港口能維持安全與航行。

居住在鹿特丹的居民知道氣候變遷對都市的影響，並且知道他們可以對此作出行動。

氣候變遷調適可帶給鹿特丹經濟的效益。

鹿特丹因應氣候變遷作出的調適可以讓城市更宜居。荷蘭三角洲計畫報告表示2100年海平面會上升約35到85公分，鹿特丹將面臨四大問題：海平面及河水面提高、產生密集型降雨、乾旱週期增長、熱浪週期增長。荷蘭政府針對鹿特丹所面臨的四大問題做以下風險評估及所做出的調適，茲以海平面及河水面提高為例做簡述。當遇海平面及河水面提高荷蘭政府進行內外水的淹水模擬，繪製區域的溢淹及風險潛勢圖。以下為評估結果及實施的調適對策：

1. 堤外區(outer-dike areas)

堤外區的風險潛勢分析結果顯示水面的上升可能會影響到維生基礎設施的運作，甚至會造成失靈，如圖2-3-3所示，故荷蘭政府繪製鹿特丹地區的基礎設施風險潛勢圖(如圖2-3-4所示)。

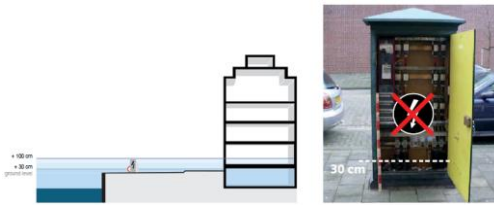


圖2-3-3 變電站失效



圖2-3-4 基礎設施風險潛勢圖

資料來源：鹿特丹政府

針對堤外區的災害防護，荷蘭政府的調適方法有：將房屋高程架高(如圖2-3-5所示)並作濕式防護(如圖2-3-6所示)、發展新興建築模式(如：漂浮屋，圖2-3-7所示)，以及將防災設施與環境結合(如：步道，圖2-3-8所示)。鹿特丹地區針對潛勢圖做現階段的調適有提高變電站的高程(如圖2-3-9所示)，以及將岸邊作階梯式的堤防或坡地(如圖2-3-20所示)。



圖2-3-5 房屋高程架高



圖2-3-6 房屋基礎架高，防護結構



圖2-3-7 發展新興建築模式(漂浮屋)



圖2-3-8 防災設施與環境結合(步道)



圖2-3-9 變電站高程提高



圖2-3-10 岸邊作階梯式的堤防或坡地

資料來源：鹿特丹政府

2. 堤內區(inner-dike areas)

基準水位上升會造成部分堤防失效(如圖2-3-11所示)。因堤防失效造成的溢堤，

效造成的溢堤，可能會造成人員的傷亡以及經濟的損失，故荷蘭政府繪製溢堤可能造成的人員傷亡及經濟損失預估圖，並標示出需要再增高的堤防(如圖2-3-12所示)。鹿特丹地區提出的解決方案是改變當地的城市地貌，評估能兼具調適及經濟的最佳方案(如圖2-3-13所示)。

三角洲國際聯盟的報告中，針對鹿特丹的城市韌性進行了分析及評分，其結果如圖2-3-14所示，結果顯示鹿特丹具有高度的抵抗力(4.25分)，以及適應力(4.00分)。高抵抗力的原因主要歸功於具備一個大型的暴潮屏障(Maeslant Barrier，如圖2-3-15)、沿岸堤防達10米高和高規格的建築法規。高適應力的結果反映出鹿特丹在面臨災害時，具備相當良好的調適能力。需要注意的是較低分的指標為「自組織」及「後備資源」。前者因鹿特丹具備了良好的洪水防護，反而降低了居民對洪水帶來風險的危機意識，使其過度依賴政府提供的緊急救援；後者則因能源主要集中於港口且缺少備用能源，此外，鹿特丹政府的財政預算並未編列充足的預費用在洪水期間的緊急支出。即便如此，鹿特丹在五大指標的得分皆在3分以上，顯示此城市是一個相當健全發展的韌性城市(綜合分數為3.78分)，其優缺點皆值得我們借鏡。

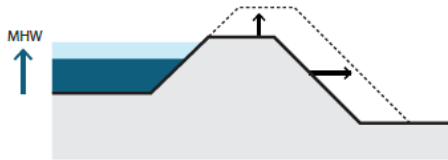


圖2-3-11 堤防功能因海平面上升而喪失

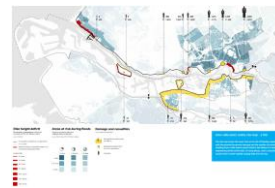
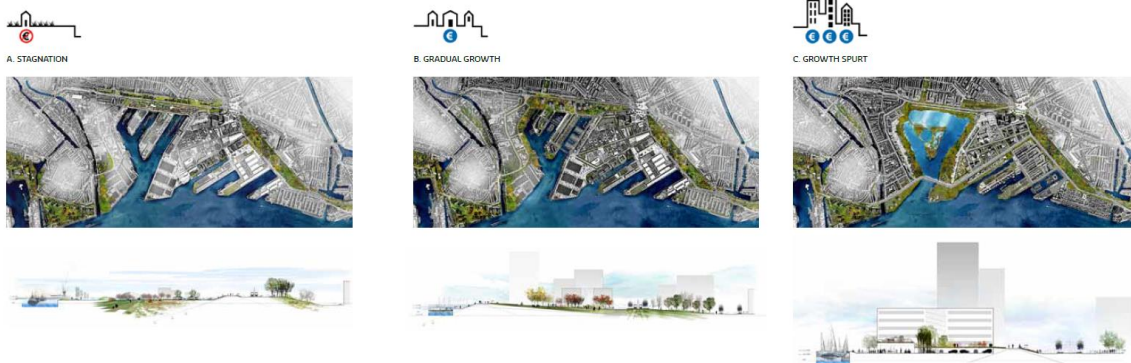


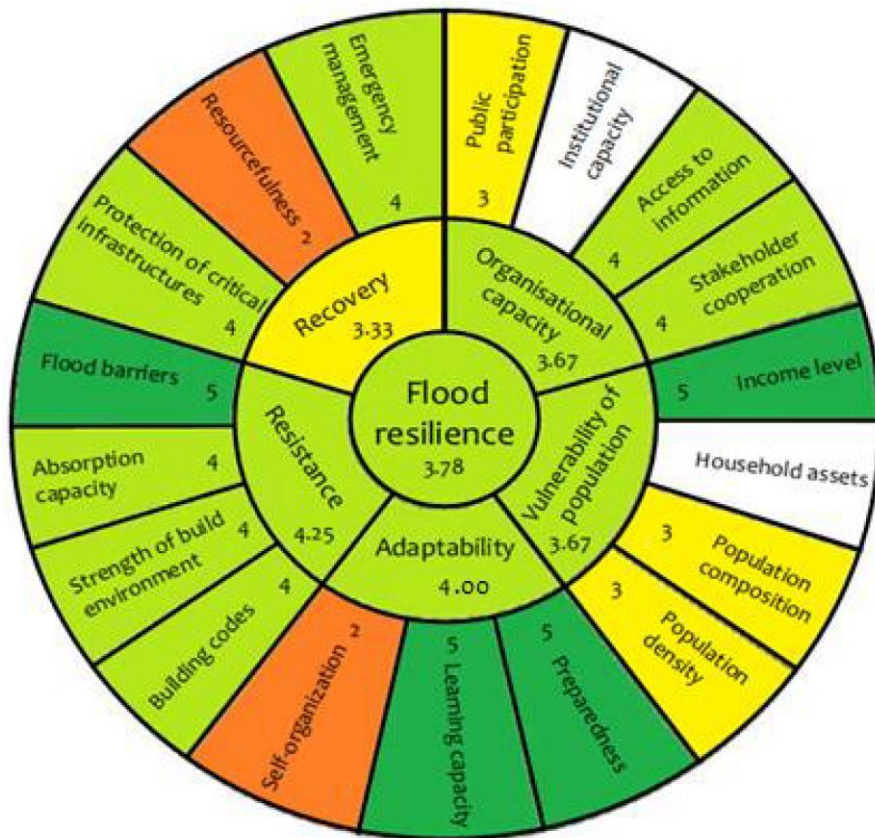
圖2-3-12 人員傷亡及經濟損失預估及洪水災害潛勢圖

資料來源：鹿特丹政府



資料來源：鹿特丹政府

圖2-3-13 鹿特丹評估能兼具調適及經濟的最佳方案



資料來源：Haitsma (2016)

圖2-3-14 鹿特丹的韌性輪分析成果(Haitsma, 2016)



資料來源：Wikipedia

圖2-3-15 暴潮屏障 - Maeslant Barrier

2-4 對策與成效說明-荷蘭

本節以洪氾溢淹、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，並依序彙整如下。

2-4-1 洪氾溢淹

洪氾溢淹的防治主要透過爭取集水空間，以減少地表逕流。以積少成多的方式，鹿特丹政府迄今已建立許多蓄水空間，包括公共空間如博物館、公園、停車場等的地下蓄水區域，並逐步地將防洪、蓄水設施納入城市景觀。這些設施(水廣場、水道和池塘區域)能或多或少補充地下水，同時減少市區洪災及改善城市宜居性。以下針對鹿特丹都會區的蓄水設施舉例說明，各設施相對位置示意圖如圖2-4-1所示。

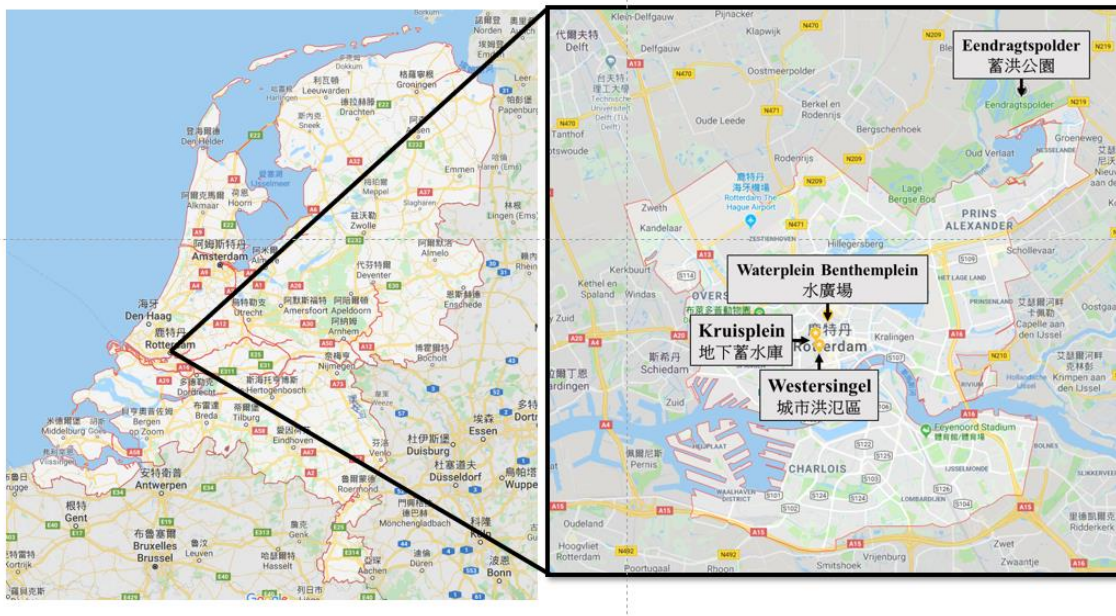


圖2-4-1 鹿特丹強降雨防護設施相對位置圖

一、倍恩特姆水廣場(Waterplein Benthemplein)

倍恩特姆水廣場位於鹿特丹市，於2013年完工，設計理念為多功能型之設施，占地5500平方公尺，可提供足球、排球、籃球和滑冰等體育活動，還包含戶外劇院及舞蹈空間等遊憩場 (Johansson, 2019)。晴天就其設計功能性為之，雨天則成為滯洪池。廣場主要由三個蓄水區域組成，兩個較淺；一個較深。雨水會優先儲存在較淺的兩個，較深的只會在大雨時儲存雨水，三個水盆的總儲存量可達1700立方公尺，如圖2-4-2。一年之中，90%的時間是乾季，廣場可以使用，據統計每年僅會用予儲水一次，滿水頻率約十年。蓄水前、後之影像紀錄如圖2-4-3。然此設施之缺點

為缺乏植被，且水盆底部及排水溝容易堆積沙跟垃圾，難以維護清潔，如圖2-4-4。

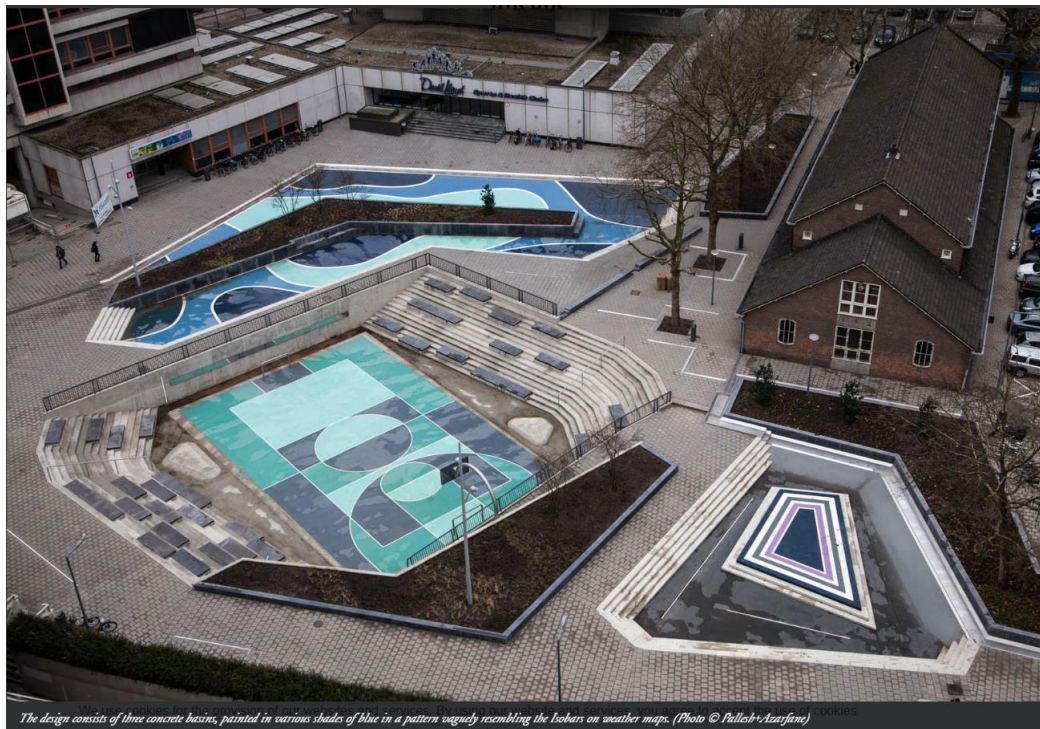


圖2-4-2 倍恩特姆水廣場廣場俯視圖¹

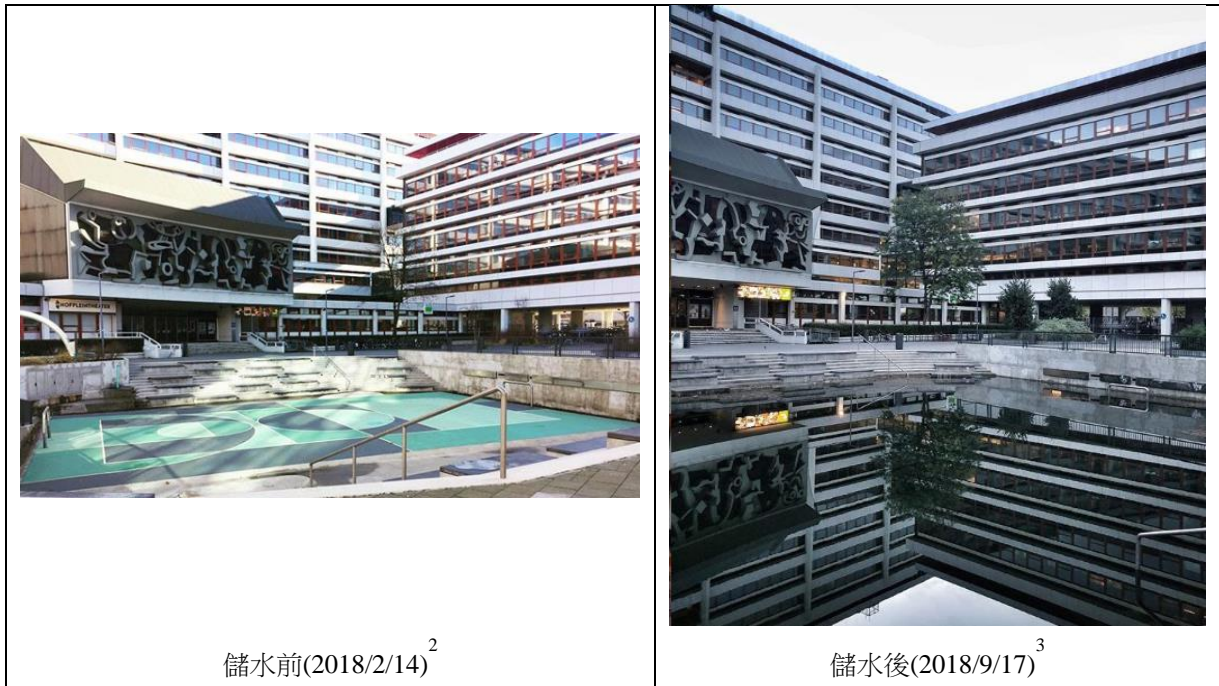


圖2-4-3 倍恩特姆水廣場儲水前後對比照

¹資料來源：<http://www.uncubemagazine.com/blog/13323459>

²資料來源：<https://www.instagram.com/p/BfJhVEzhm9p/>

³資料來源：<https://www.instagram.com/p/Bn0rG6Tixkh/>



圖2-4-4 水盆底部及排水溝堆積沙跟垃圾⁴

二、城市洪氾區

都市區域由於使用不透水鋪面，如瀝青、不透水磚等，導致雨水無法入滲，使得地表逕流增加，進而造成洪水氾濫等災害。考量與水共存及災害韌性等規劃，位於Westersingel設置了城市洪氾區，允許在強降雨時河道旁的人行道溢淹，做為暫時的蓄水區域 (de Graaf, 2012)。如圖2-4-5為該區域遭受降雨前後對照圖。



圖2-4-5 降雨前後對照圖⁵

⁴資料來源：<https://reurl.cc/gvM4KR>

⁵資料來源：de Graaf, R. (2012). Adaptive urban development. Rotterdam, NL: Rotterdam University.

三、地下蓄水槽

地下蓄水槽的概念為利用空心結構的道路鋪面，使得道路以下具相當容量之蓄水空間。位於Kruisplein的地下蓄水槽於2013年完工，滿載可容納240萬公升洪水，當該地區水位因強降雨上升10厘米時，水經排水系統流入地下蓄水槽，待洪水位下降後，再使水流入下水道。此工法的成本相對低廉，所需之混凝土及鋼筋較少，而大小如長寬高等可依實際所需調整適應之，實際工程岸例如圖2-4-6所示。



圖2-4-6 地下蓄水槽施工前後對比照

四、Eendragtspolder公園

Eendragtspolder公園平時作為划船、自行車等娛樂用途(圖2-4-7)。而當羅特河(Rotte river)水位上漲時，可用以作為蓄水空間，可儲存水量超過400萬立方公尺，避免/減緩鹿特丹洪水氾濫(Raadgever, 2013)。公園設置前後相對位置示意圖如圖2-4-8，圖2-4-9則是水流向及蓄洪示意圖。



圖2-4-7 Eendragtspolder公園⁸

⁶資料來源: <https://reurl.cc/310149>

⁷資料來源: Google map 街景



圖2-4-8 Eendragtspolder公園建置前後⁹

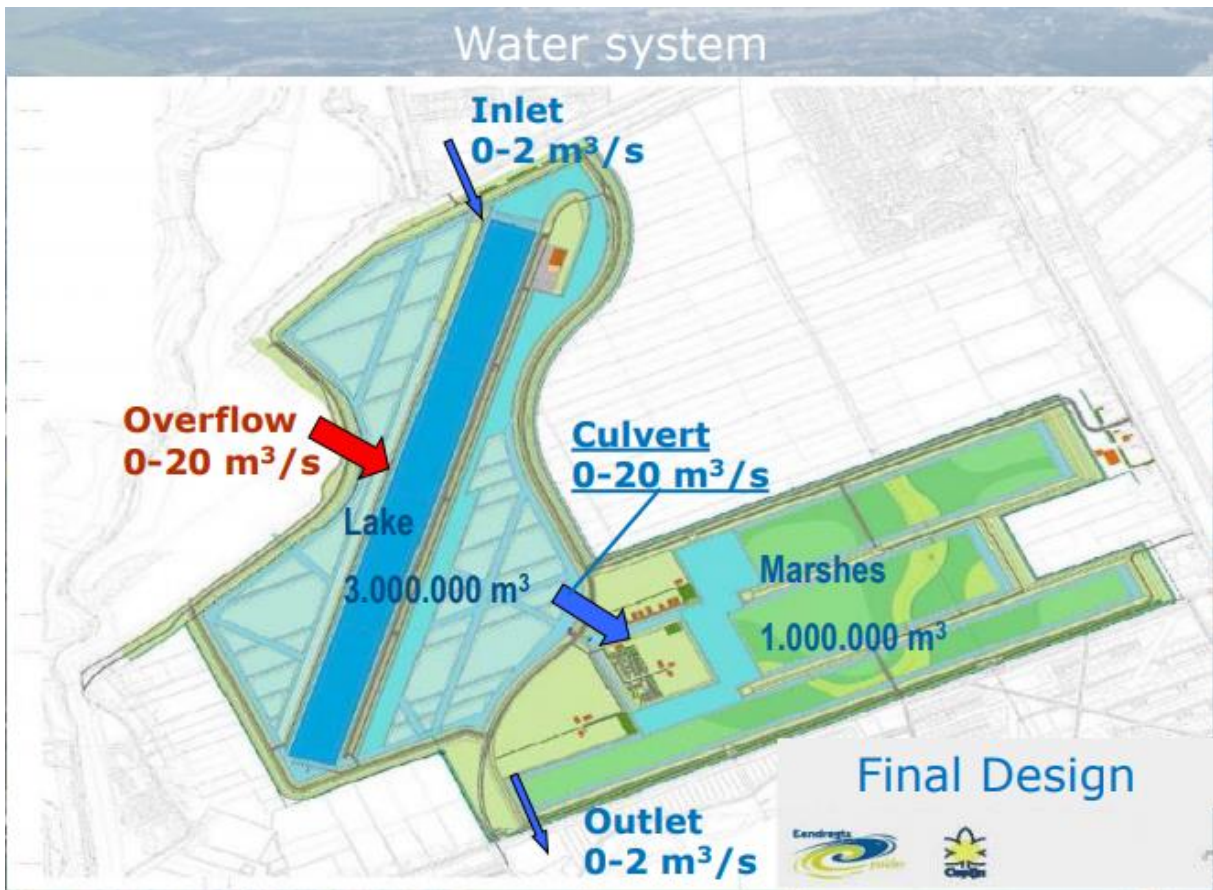


圖2-4-9 Eendragtspolder公園蓄洪示意圖¹⁰

⁸資料來源: <https://waterwindow.org/case/rainwater-flooding-17>

⁹資料來源: Google earth

¹⁰資料來源: <http://edepot.wur.nl/315093>

2-4-2 暴潮溢淹

防範暴潮溢淹須因地制宜，不同地區需有不同的應對措施，以下針對荷蘭沿岸及河口地區的設施及政策進行舉例說明。由於鹿特丹城市並非直接緊鄰海岸，故此節闡述相鄰之海岸城市所遭受暴潮溢淹災害及其防治對策及成效，所挑選之案例地點相對位置如圖2-4-10。



圖2-4-10 荷蘭防範暴潮溢淹案例位置

一、鹿特丹風暴潮屏障

Maeslantkering(風暴潮屏障，圖2-4-11)，其自1997年完工後，於2007年11月8日第一次啟動防護機制，成功抵擋洪水入侵。



圖2-4-11 Maeslantkering風暴潮屏障

二、自動關閉洪水閘門

2017年荷蘭中部的斯帕肯堡(Spakenburg)漁港建立了世界最長的300米自動關閉洪水閘門，閘門是由水壓驅動，隨著水位上升閘門自動上升(最高至80公分)，水退則閘門自動放下，原理示意圖如圖2-4-12。它所佔用的空間小，也不會破壞漁港景觀。閘門啟動前後景觀變化如圖2-4-13。

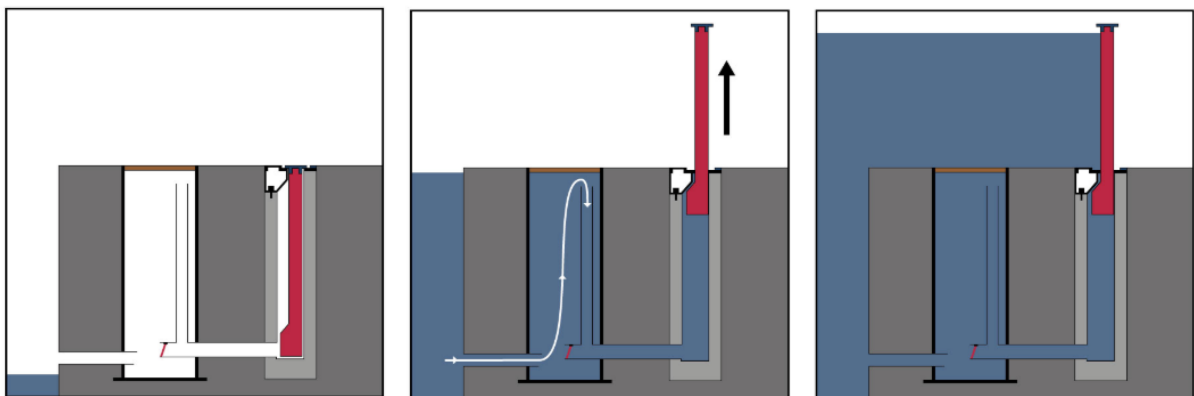


圖2-4-12 自動關閉洪水閘門示意圖¹¹

¹¹資料來源: <https://reurl.cc/5gMgWG>



圖2-4-13 自動關閉洪水閘門啟動前後¹²

三、海牙地區海岸防護

由於海平面的上升且緊臨海，海牙政府重金投資，加強海岸防護，目前已達到2050年的海岸防護標準，如圖2-4-14為位於海牙岸邊的斯海弗寧恩大道，具休閒遊憩及海岸保護的功能。



圖2-4-14 位於海牙岸邊的斯海弗寧恩大道¹³

¹²資料來源: Google map 街景

¹³資料來源: <https://reurl.cc/M7R7nv>

四、階梯狀堤防

位於Den Oever的海堤，因未達到50年防護標準，需將總長900公尺的海堤加高3公尺並加寬，但因空間問題遭居民反對。因此設計階梯狀的加高堤防，階梯狀使波浪碎波降低溯升高度，使堤防僅需要再加高最多1.5公尺，符合考慮氣候變遷下的50年防護標準，並於2019年完工，如圖圖2-4-15。比起平滑斜坡堤防與直立式堤防，階梯狀堤防的能量消耗最大造成波浪溯升體積最少。根據Kerpen et al. (2019)，利用階梯直徑 k_h ($k_h = \cos\alpha \times S_h$ ，其中 α 為堤防波度， S_h 為階梯高度)及示性波高 H_{mo} ，提出階梯比例(k_h/H_{mo})在 $0.5 < k_h/H_{mo} < 2$ 的效果最好，相較平滑斜坡堤防可減少約60%的越波量。



圖2-4-15 階梯狀堤防¹⁴

2-4-3 民眾教育(治水管理遊戲-Waas City)

由DELTA RES公司開發的治水管理遊戲，考慮到未來的不確定性，由不同利益相關者的觀點，制定水管理計畫。參與者在決定政策時除了需要考慮洪水及乾旱的負面影響外，還要考慮永續的三大指標:居民們的支持、經濟成長及自然影響。參與者做出決策後會收到反饋，也能在政策訂定的過程中了解合作與討論的重要性，找出最合適的解決方案。Waas City操作介面如圖2-4-16。

¹⁴資料來源: https://www.youtube.com/watch?time_continue=1&v=IbCZ_a0sf8c

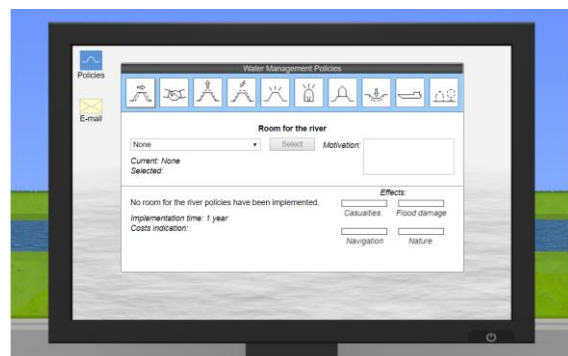
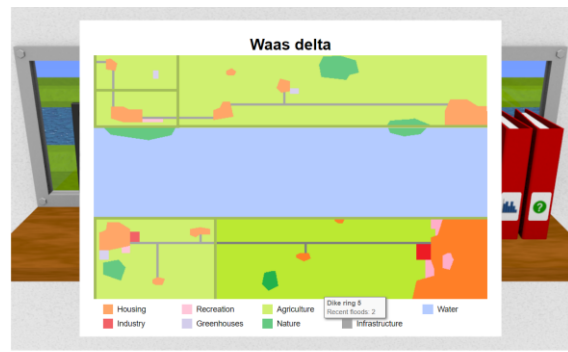
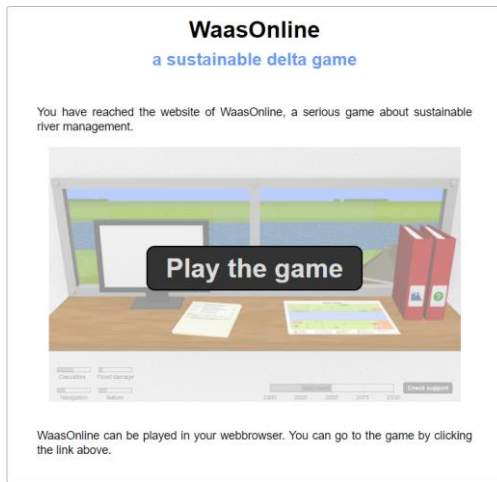


圖2-4-16 治水管理遊戲-Waas City遊戲畫面¹⁵

2-5 在地化具體建議

透過本年度案例(荷蘭)蒐集與分析成果，研提在地化具體建議。配合目前案例分析成果區分為「評估方法建議」與「對策建議」兩類進行分述，評估方法建議主要是針對目前國內針對海岸韌性評估相關方式進行研討，並與國外案例所提的海岸韌性評估內容比對，以提出相關建議；對策建議方面，則借鏡國外案例所提之改善對策，給予國內海岸韌性提升之建議。

2-5-1 評估方法建議

國內目前針對海岸災害評估方面，是以「風險評估」為主。根據國家災害防救科技中心提出災害風險評估技術基本概念為脆弱度具有社會性(Social)、環境性(Environmental)、實質性(Physical)及經濟性(Economic)；危害具有地質性(Geophysical)、氣象性(Meteorological)、水文性(Hydrological)、生物性(Biological)、環境性(Environmental)及科技性(Technological)，當危害與脆弱度交會時才会有風險(強化臺灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研究計畫(1/2)，100年)。表2-5-1為國內海岸災害風險評估之考

¹⁵資料來源: <http://waasonline.deltares.nl/>

量指標項目，分別為脆弱度(13項指標)與危害度(4項指標)兩類指標，將各指標因子以層級分析法(analytic hierarchy process, AHP)加權分析套疊後，則可繪製海岸風險地圖。

表2-5-1 海岸災害風險指標

層面	構面	指標
脆弱度	人為設施	海堤長度相對比
		海堤高度相對比
		防潮門相對比
	環境地理	高程
		坡度
		潮差
		地層下陷速率
		海岸侵蝕速率
		土地利用
		人口密度
	社會經濟	教育程度相對值
		扶養比
		企業報酬
企業報酬		
危害度	危害因子	洪氾溢淹範圍
		洪氾溢淹深度
		暴潮溢淹範圍
		暴潮溢淹深度

資料來源：「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)」(水利署，103年)

往昔研究概已針對國內各海岸區域進行風險評估，並繪製各區域海岸災害風險地圖。然，於既有海岸風險評估指標項目，可與國外海岸韌性考量指標進行比對，以瞭解國外考量「海岸韌性」指標項目與國內「風險評估」各指標項目之差異性。於前述(第2-3節)已有針對荷蘭評估韌性之方法進行分析，因此本專題針對「海岸風險評估方法」(國內)與「韌性輪」(荷蘭)進行比較分析，並研提相關評估建議，分析內容如后所示：

一、指標項目數與權重

國內海岸災害風險評估指標共分為兩大類，共17項指標項目，並透過AHP建立各指標之權重值，風險指標分級共分為5級(1~5級)；韌性輪評估指標項目共有18項，各項指標無權重分配，透過各指標評分後(1~5分及無資料)，再推估平均分數做為韌性評估指標。

二、指標內容

為瞭解兩評估方法指標內容之差異，概彙整各指標對應內容，並列於表2-5-2中。其中，兩評估方法於指標項目中，有部分指標相似，例如：人為設施脆弱度對

應防洪屏障抵抗力、社會經濟脆弱度部分項目對應人口脆弱度。然於指標類型來說，風險評估較著重於「災害對海岸的衝擊影響」，而韌性輪指標除考量海岸對災害的抵抗力外，適應力、恢復力與組織力三項指標，是風險評估指標項目中較無考量的層面。而此三項指標於韌性輪中，較屬於受災害衝擊中、後期所考量之項目。由此可知，目前國內針對海岸所採用的風險評估方法於海岸韌性評估中，應屬於災前整備之評估。

三、評估方法

於風險評估方法的指標項目大多可以透過資料蒐集、推估及數值模擬來進行量化評估。相較來說，韌性輪指標中以「人口脆弱度」較有量化分級，並可透過相關資料蒐集進行評分，其它項目概以資料蒐集後，進行定性評分，藉以評定區域之海岸韌性分數。

四、因地制宜性

韌性輪指標項目之決定較風險評估方法更為彈性。換言之，可以依據評估地點不同而針對指標項目進行替換，例如：於Flood Resilience in Delta Cities (2016)中，分別對鹿特丹(荷蘭)與達卡(孟加拉)進行韌性輪的分析。相較於鹿特丹，達卡水資源專家在評估時，於韌性輪中加入「防洪庇護所」與「排水系統」兩項新指標。其中，防洪庇護所能夠在洪水來臨時給予居民保護，降低受害者的數量；排水系統的發展程度代表了排水速度，功能完善的排水系統可以防止水災，並使城市在水災後快速恢復。

表2-5-2 各指標對應比較分析

海岸災害風險評估(國內)	韌性輪(荷蘭)	說明
人為設施(脆弱度指標項目)： 海堤長度相對比、海堤高度相對比、防潮門相對比	抵抗力： 防洪屏障、吸收能力、建築強度、 建築規範	1. 風險評估針對海堤與防潮門有較量化之定義 2. 韌性輪指標中，針對人為設施部分主要為「防洪屏障」，需對屏障功能進行評估。 3. 抵抗力指標中，亦有針對承受災害能力相關指標進行考量(吸收能力、建築強度、建築規範)
環境地理(脆弱度指標項目)： 高程、坡度、潮差、地層下陷速率、 海岸侵蝕速率、土地利用	無直接對應指標	韌性輪指標中，無直接針對環境地理作考量，惟於抵抗力指標中會納為屏障功能評估上

表2-5-2 (續)各指標對應比較分析

海岸災害風險評估(國內)	韌性輪(荷蘭)	說明
社會經濟(脆弱度指標項目)： 人口密度、教育程度相對值、扶養比、企業報酬	人口脆弱度： 人口密度、人口組成、家用資產、收入水平	1. 人口密度為兩指標共同項目 2. 扶養比可對應人口組成項目 3. 經濟部分韌性輪是以家用資產與收入水平量化指標；風險評估則以企業報酬為主
危害因子(危害度指標項目)： 洪氾溢淹深度、洪氾溢淹範圍、暴潮溢淹深度、暴潮溢淹範圍	無直接對應指標	韌性輪指標中，無直接針對危害因子作考量，惟於抵抗力指標中會納為屏障功能評估上。

於前述國內、外對於國內海岸風險評估與荷蘭韌性輪評估方法之差異分析中，概可研提國內未來針對海岸災害評估方法上之建議，相關內容如后：

- 一、目前國內雖有海岸風險評估方法，但並無針對海岸韌性進行評估，可嘗試將韌性輪評估方法運用於國內海岸評估。然，韌性輪各項指標所需資料，仍須加強蒐集分析，並檢視其可行性。此外，韌性輪中定量指標項目（例如：人口脆弱度）亦需檢核其門檻值用於國內之適用性。
- 二、韌性輪中各指標項目大多為定性評分，建議可透過目前海岸風險評估項目中，部分與之相似的指標進行定量分析，藉此可避免評估結果過於主觀。例如：韌性輪抵抗力指標部分可透過危害度評估方式進行量化評估，惟於韌性評估上需納入現況屏障設施，進行防護功能評估，以利量化抵抗力指標。
- 三、國內海岸溢淹災害除暴潮直接越堤侵襲陸域外，亦常發生強降雨事件，且逢漲潮期間，使內水長時間內無法退去，進而造成更嚴重的災害。為瞭解國內海岸對此類型災害之災害容許力，建議於國內海岸韌性指標上，加入「排水系統」與「滯洪池設施」相關項目，以利合適評估韌性強度。
- 四、韌性輪指標可透過比較國內、外案例之差異，以建立各指標評分思維。此評估結果，不僅可做為各海岸區域韌性基準，亦可做為國內政策改善海岸韌性之標的，俾利海岸地區韌性提升長期規劃參酌。

2-5-2 對策建議

依據第2-4章節案例(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。

表2-5-3 在地化對策建議

議題	建議
<p>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。</p>	<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、濕地及魚塭等。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塭用地外，仍有村落、社區及學校等民眾聚集地，可於周圍興建蓄水公共設施(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。
<p>落實民眾防災教育及強化政府與民眾對防災之連結。</p>	<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。
<p>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。</p>	<p>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。</p>

第三章 國內海岸背景與歷史災害相關資料蒐集

基本資料蒐集範圍以海岸地區資料為主，蒐集類別為海岸概況、自然環境、災害與治理，其詳細內容如下表所示：

表3-0-1 海岸地區基本資料蒐集類別一覽表

類別	項目	目的	資料來源	
1	海岸概況	海岸環境特性、社會經濟及人文活動。	瞭解海岸環境概況及特性。	內政部、營建署、水利署、縣市政府
2	自然環境	包含氣象、海象、水文和地文。	瞭解海岸自然營力的機制及特性。	交通部港灣研究中心、中央氣象局、水利署、中央地調所
3	災害與治理	海岸災害、地層下陷、治理計畫與規劃報告(含河川、排水及海岸)及既有海岸防護設施。	瞭解海岸災害特性、致災原因以及目前治理狀況。	內政部、水利署、消防署、縣市政府

資料來源：水利署水利規劃試驗所，「海岸防護整合規劃及海岸防護計畫擬訂作業參考手冊(草案)」。

3-1 海岸概況

3-1-1 計畫區海岸地區範圍

依據內政部107年8月3日台內營字第1070812160號公告海岸地區範圍。

一、海岸地區劃設原則

- 1.依據海岸管理法(以下簡稱本法)第五條規定，中央主管機關應於本法施行後六個月內，劃定海岸地區範圍後公告。海岸地區經公告後為本法之適用範圍，未來各級主管機關及相關單位並得依本法進行海岸研究、規劃、教育、保護及管理，為使劃設海岸地區有一致性之標準，特訂定本原則。
- 2.中央主管機關劃設海岸地區範圍時，應考量生態環境特性及完整性、海陸交界相互影響性、管理必要性及可行性。並應包含濱海陸地、平均高潮線及近岸海域等，其中濱海陸地及平均高潮線，比例尺不得小於五千分之一；公告時應繪製於適當之背景圖資上，並應包含濱海陸地及近岸海域界限之文字說明。
- 3.本法所稱濱海陸地，指以平均高潮線至第一條省道、濱海道路或山脊線之陸域為界。

二、濱海陸地之劃設原則如下：

濱海陸地以距海岸線三公里所涵蓋之區域為原則。以地形地物為劃設依據者，其優先順序如下：

- 1.以最近海岸線之山脊線為主。
- 2.山脊線如距海岸線超過三公里，則以最近海岸線之省道為主，濱海道路、明顯山頭之連線及行政區界為輔。
- 3.最近海岸線之省道或濱海道路如距離海岸線小於一公里，以其他省道、濱海道路或行政區界為主。
- 4.若無其他明顯參考界線，必要時得以與海岸為主劃設國家公園或國家風景特定區所公告之範圍為界。

三、近海區域

近岸海域，指以平均高潮線往海洋延伸至三十公尺等深線，或平均高潮線向海三哩涵蓋之海域，取其距離較長者為界，並不超過領海範圍之海域與其海床及底土。

前項近岸海域及直轄市、縣(市)近岸海域管轄範圍之劃設原則如下：

- 1.以直轄市、縣(市)行政界線及平均高潮線之交點往海洋延伸。
- 2.前款往海洋延伸，依據內政部公告「區域計畫之直轄市縣(市)海域管轄範圍」之延伸方式辦理。
- 3.三十公尺等深線，以比例尺五萬分之一之海圖為主，其他比例尺海圖為輔。
- 4.近岸海域部分之轉折點，得以坐標標示。

四、彰雲嘉海岸地區範圍

1.彰化海岸

彰化縣位於台灣西部沿海之中心，東倚八卦山脈，西臨台灣海峽，中為彰化平原。彰化縣由26個鄉鎮市所構成，南北向長約43.19 km，東西向寬約40 km；北以烏溪(大肚溪橋以下俗稱大肚溪)與台中市龍井區相隔，南以濁水溪與雲林縣為鄰。濱海鄉鎮包括伸港鄉、線西鄉、鹿港鎮、福興鄉、芳苑鄉及大城鄉。總海岸線長約76.9公里(直線距離長度約47公里)。本段海岸屬於砂質海岸，海岸線呈現北北東—南南西走向。早期受到濁水溪、烏溪甚至大甲溪漂砂影響，形成隆起沖積平原，海灘坡降極為平緩；加以潮差大緣故，退潮時海岸潮間帶灘地寬達3~5公里。近年來，雖受到工業區開發與海岸構造物興建影響而有局部海岸侵蝕退後狀況發生，但整體上彰化海岸除工業區外側海域外，其他地區海岸仍約

有1.4~5.6公里砂灘露出。

2.雲林海岸

雲林海岸海岸線長度約55公里。濁水溪口以南灘地呈現侵蝕，近80年間已退後約100公尺。離岸沙洲島漸消退，愈往南後退量愈大。離島基礎工業區係填海造地方式開闢，包括麥寮、臺西鄉西側海岸。工業區內包括臺塑六輕、麥寮港等。養殖漁業發達，但嚴重地層下陷面積甚大，除沿海之麥寮、臺西、四湖、口湖等4鄉鎮外，近年來已逐漸往內陸延伸。

3.嘉義海岸

嘉義海岸海岸線長度約41公里，位於北港溪及八掌溪之間，多為沙洲，其中以外傘頂洲最具代表性，為嘉義沿海最重要之自然防護。沿岸均屬雲嘉南濱海國家風景區。東石、布袋一帶地層下陷問題嚴重，早期為要西南部重要鹽場，近年來則有布袋商港與遊艇港之開發。鰲鼓濕地森林園區除為西南沿海候鳥遷移及棲息的重要地點，其規劃兼顧海岸、濕地、草澤、農田、森林等景觀。

3-1-2 海岸地質與地形概況

彰化、雲林、嘉義整體在地質分區上本段海岸屬於第四紀沖積層狀況，主要以沉泥質砂為主，夾雜沉泥質黏土或黏土質沉泥。本海岸段因受到季風與海潮的影響，粒徑大小的空間分布會因河川水量的變化、河道變遷、地形的差異、小溪流的干擾及潮汐等因素改變。以下就三個行政區愈分述之：

1.彰化海岸

彰化海岸屬於砂質海岸，海岸線呈現北北東—南南西走向。早期受到濁水溪、烏溪甚至大甲溪漂砂影響，形成隆起沖積平原，海灘坡降極為平緩；加以潮差大緣故，退潮時海岸潮間帶灘地寬達3~5公里。近年來，雖受到工業區開發與海岸構造物興建影響而有局部海岸侵蝕退後狀況發生，但整體上彰化海岸除工業區外側海域外，其他地區海岸仍約有1.4~5.6公里砂灘露出。

2.雲林海岸

雲林海岸早年因有外海砂洲之阻隔，外海潮浪不易直接入侵，故雖然沿海之保護工均甚簡陋，但仍勉強可以禦潮。雲林海岸由於北鄰濁水溪，早期濁水溪未整治前，因濁水溪新舊虎尾溪及北港溪等河川供應豐富輸砂源及沿岸流作用影

響，使得海岸線一直持續向西擴張，因此形成不少海埔新生地、濱外砂洲、濕地等海岸地形，沿海多為河川入海物質及未膠結之粘土、粉砂、砂、礫石等鹼性沖積土組成的砂質海岸。惟歷年來由於各河川相繼整治、砂石外移、砂源減少，各離岸砂洲群島亦已逐漸消退以致完全消失。

3.嘉義海岸

嘉義海岸早年受北港溪、朴子溪、八掌溪及上游端濁水溪部份輸砂供應，漂砂豐沛，濱外砂洲相當發達，同時孕育多處濕地環境。目前主要濱外砂洲有外傘頂洲與壽島砂洲，而好美里浮洲目前已與好美里事業海堤相接，海岸濕地部分較著名的有鰲鼓濕地、朴子溪口濕地、好美里濕地及布袋鹽田濕地。然而，由於近年河川輸砂供給量減少，復受沿海垂直突出岸線之結構物破壞輸砂平衡，以致於在海洋營力長期作用下，布袋商港以北海岸線多已緊鄰堤趾。

3-2 計畫區自然環境資料蒐集

3-2-1 氣象資料

1.風速與風向

根據經濟部水利署『水文年報』鹿港地區平均風速約介於1.1~6.9m/s之間，冬季期間(10月至2月)東北季風強勁且風向穩定，以北北東風向為主，平均風速大多在4.0~4.6 m/s之間；夏季期間(5月至8月)季風減弱，風向以北北東及南向為主，平均風速一般2.6 m/s以下。

麥寮氣象站統計結果顯示，記錄期間平均風速為7.28 m/sec，最大風速為2012/06/20的25 m/sec(泰利颱風期間)，風向為S；最大陣風為2010/09/19的34.6 m/sec(凡那比颱風期間)。冬季(10月至隔年3月)平均風速為9.15 m/sec，主要風向為NNE向；夏季(4月至9月)平均風速為5.44 m/sec，其風向則較為紛紜，4月和5月時風向仍同冬季為NNE向，但6月及8月風向則轉為S~SW向，9月風向則轉為NNE向，可知本區域全年風向主要為NNE向(約75%)，其次為SW向(約16.7%)及S向(約8.33%)。

塭港地區平均風速約介於3.2~4.6m/s之間，冬季期間(10月至2月)東北季風強勁且風向穩定，以北北東風向為主，平均風速大多在4.0~4.6 m/s之間；夏季期間(5月至8月)季風減弱，風向以北北東及南向為主，平均風速一般2.6 m/s以下。

綜合觀測資料顯示，彰化至嘉義全年最多風向為NNE，僅6月及8月為S向，年平均風速為6.9m/s，月平均風速為4.1~10.8m/s，最大風速為23.4m/s(SW向，7月)，最大陣風達29.1m/s；以上風向資料顯示本區域之海岸風力以冬季的東北季風最為顯著。

2. 氣溫及氣壓

(1) 氣溫

彰化至嘉義氣象資料顯示月平均氣溫介於14.0~30.1°C，其中最高溫為7~8月，最低溫為1~2月，整體全年平均溫度為攝氏22.2~23.2度。

(2) 氣壓

根據經濟部水利署水文年報(第四部分-近海水文)資料顯示，彰化至台南氣象站各月份平均氣象之統計資料顯示，全年月平均氣壓則介於1000.6~1,018.5百帕之間，全年平均氣壓為1010.6百帕，月平均氣壓最高為1月的1018.5百帕，月平均氣壓最低為8月的1000.6百帕。

3. 降雨量

我國雨量來源主要為梅雨季及颱風季節。因此各年每月降雨天數集中在每年4-8月間。彰化至台南氣象站顯示計畫地區受梅雨季節與颱風之影響，平均降水日數以6月份最高為15日，全年降雨量以六月份較多，冬季受東北季風影響雨量較少，以10月~2月平均降水日數最少，甚至整月無降雨，相關降雨量以及氣象資訊整理如表3-2-1。

4. 颱風

颱風為威脅臺灣地區最嚴重之自然災害，歷年來因颱風而損失之生命及財產實不可勝數。尤其當颱風直接侵襲時，經常對海岸結構物造成極大之衝擊。一般颱風常見於夏、秋兩季，較少發生於冬季及春季。根據中央氣象局發佈颱風警報之資料統計，整理如表3-2-2，由表得知侵臺颱風最早出現之月份為5月，最晚發生之月份為12月。自1949年至2019年間侵臺颱風總數為210次，各月份發生颱風侵臺次數以8月份最高，約佔總數之31.9%；其次依序分別為7月及9月，分別佔總數之23.3%及22.9%。

依交通部中央氣象局侵台颱風分析資料庫系統將侵台颱風路徑分成十類(1~9路徑及特殊路徑)，如圖3-2-1所示，其中以路徑3、4、7與9分類的颱風對本區域較

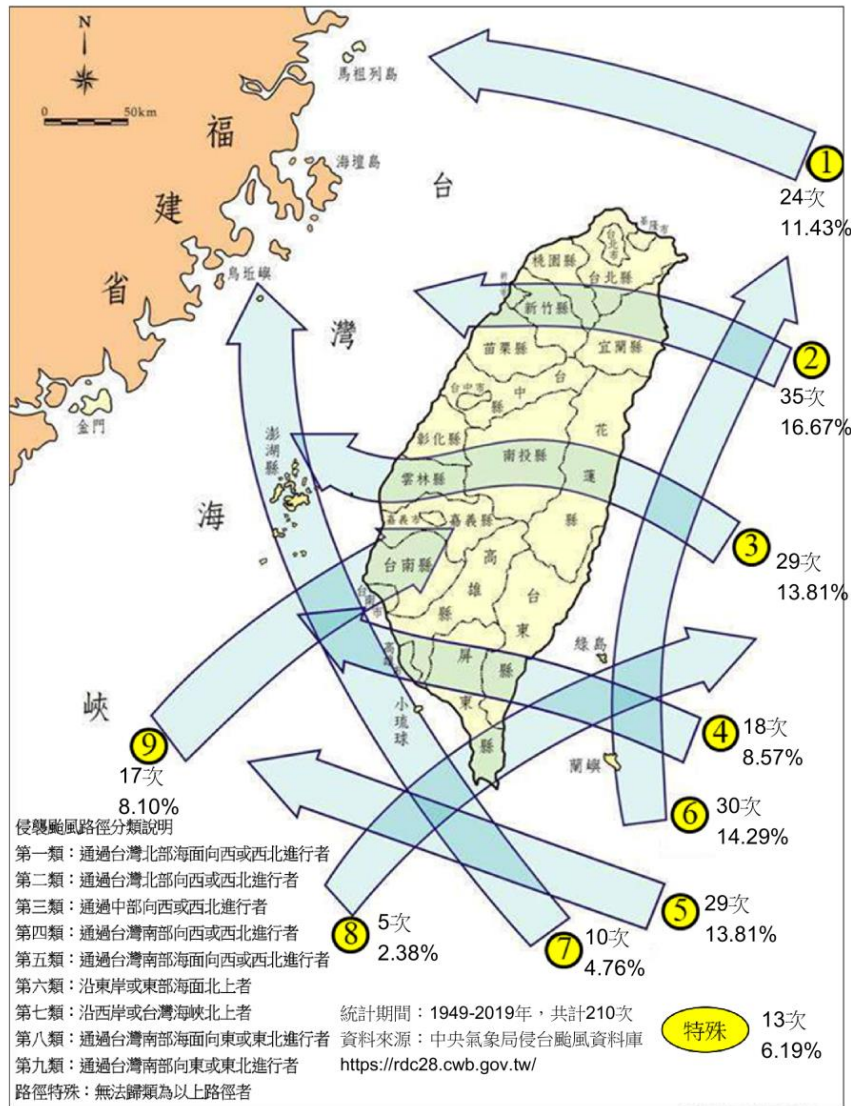
具威脅，過去70年上述路徑之颱風共發生74次佔35.2%，平均每年發生1.06次。

表3-2-1 彰化雲林嘉義地區風速風向統計值表(1966~2018)

項目	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
鹿港地區												
平均風速	7.3	6.8	6.3	5.1	4.4	4.3	3.8	3.6	5.1	7.0	8.1	8.1
最大風速	16.4	18.8	18.1	16.2	15.4	13.2	17.1	22.7	18.6	21.2	25.7	19
最多風向	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	S	S	NNE	NNE	NNE	NNE
最大氣溫	25.5	26.1	28.1	31.3	30.9	33.1	33.6	32.9	33.3	30.2	29.4	27.2
平均氣溫	16	17.1	19.3	22.6	25.6	27.1	28.2	28.2	27	24.3	21.2	18.1
最大氣壓	1028.7	1026.2	1028.4	1019.6	1016.2	1014.3	1014.0	1013.5	1015.8	1020.0	1023.2	1028.4
平均氣壓	1018.5	1017.5	1015.0	1012.1	1008.2	1006.4	1005.8	1005.0	1007.9	1013.1	1016.1	1019.4
降雨量	2.5	17	24.5	66.5	89.5	539.5	182	82	21	48.5	7	4.5
麥寮地區												
平均風速	6.5	6.2	5.6	4.5	4.1	4.4	4.2	3.8	4.6	5.7	7.0	6.7
最大風速	15.8	16.0	14.2	17.9	12.8	14.4	17.2	20.3	17.3	16.4	20.6	15.8
最多風向	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	SW	SW	S	NNE	NNE	NNE	NNE
最大氣溫	26.5	27	28.4	30.2	31.1	32	32.8	32.3	32.8	30.2	28.6	29.5
平均氣溫	16.6	17.8	20	23.6	26.2	27.4	28.4	28.4	27	24.4	21.4	18.3
最大氣壓	1028.9	1026.3	1028.3	1019.9	1016.0	1014.2	1014.4	1014.3	1015.9	1020.2	1023.0	1028.4
平均氣壓	1018.8	1017.7	1015.2	1012.1	1008.2	1006.5	1005.9	1005.0	1007.6	1013.1	1016.4	1017.6
降雨量	3.5	2	23.5	79	68	925	271	114.5	19	58.5	21.5	5.5
塭港地區												
平均風速	4.3	4.3	4.0	3.7	3.6	4.2	4.3	3.9	3.8	3.7	4.3	4.6
最大風速	12.5	11.1	11.2	11.2	11.4	17.4	22.3	18.7	19.8	16.2	19.3	12.7
最多風向	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	S	S	S	NNE	NNE	NNE	NNE
最大氣溫	25.6	25.4	26.2	28.8	31.2	31.9	33.1	32.9	31.7	31.2	29.4	28.7
平均氣溫	16.8	17.9	20.2	23.5	26.4	27.7	28.6	28.6	27.3	25	20.8	15.4
最大氣壓	1028.7	1026.3	1028.5	1019.9	1015.9	1014.3	1013.9	1013.8	1015.7	1020.6	1023.3	1028.6
平均氣壓	1018.8	1017.8	1015.5	1012.6	1008.8	1007.0	1006.4	1005.5	1007.6	1013.2	1013.1	1018.3
降雨量	0.5	1.5	9.5	93	103.5	412.5	28.5	57.5	30.5	44.5	12	5.5
七股地區												
平均風速	8.7	7.9	7.2	5.8	5.4	5.4	5.3	4.9	6.1	6.6	8.6	9.3
最大風速	20.2	18.5	17.8	16.9	12.4	13.8	23.1	18.2	22.4	18.3	27.5	22.6
最多風向	NNE	NNE	NNE	NNE	NNE	S	SSW	S	NNE	NNE	NNE	NNE
最大氣溫	25.4	27.3	28.4	30.7	32.4	33.9	33.2	33.4	31.7	31.2	30.2	28.2
平均氣溫	17.1	18.2	21.3	24.5	27.6	30.2	28.9	28	27.9	26.1	24.4	20.1
最大氣壓	1025.4	1025.7	1024.3	1019.1	1014.2	1011.7	1013.6	1012.7	1014.9	1020.7	1023.4	1025.9
平均氣壓	1019.2	1018.1	1016.6	1013.3	1009.1	1007.9	1004.5	1004.9	1008.9	1012.5	1016.1	1018.5
降雨量	16.5	25.5	9	48.5	247	41.5	256.5	769	223.5	51	0.5	21

表3-2-2 臺灣本島侵臺颱風發生月分統計表

月份	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
個數	0	0	0	0	7	16	49	67	48	19	3	1
平均	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	3.33%	7.62%	23.33%	31.90%	22.86%	9.05%	1.43%	0.48%



資料來源：中央氣象局颱風資料庫

圖3-2-1 侵襲臺灣之颱風路徑統計圖(38年~108年11月)

3-2-2 海象資料

1. 潮汐潮位

中央氣象局於彰化設置有芳苑潮位站，台中海岸設置有台中港潮位站，雲林設置有箔子寮潮位站。台中港潮位站觀測統計自2013~2018年間，最高高潮位3.34m；箔子寮位站觀測統計自2013~2018年間，最高高潮位2.58m。另外比較塭港、東石及將軍潮位站之觀測資料，根據各潮位站蒐集之天文潮資料，依最高暴潮位、最高潮位、大潮高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位、大潮低潮位及最低低潮位資料彙整，並依天文潮位資料換算成潮差後，彙整列於表3-2-3，根據表中四站設計潮位統計值之比較可知，平均潮差由北側台中港、箔子寮、塭

港、東石至南邊將軍站依次遞減，大潮差也是呈現由北向南遞減之趨勢。

2.海平面上升

本計畫彙整「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)」(水規所，103年)、「一般性海堤禦潮功能檢討」(水規所，103年)、「彰化海岸防護基本資料調查」(第四河川局，102~103年)與「臺灣四周海域長期性之海水面變化趨勢評估」(運研所，104年)等報告，彙整近年國內外有關海水位上升高之研究成果整理如表3-2-4所示，根據運研所分析結果顯示，彰化至嘉義年海平面上升速率約在3~5(mm/yr)之間。

表3-2-3 台中港至將軍附近潮位站天文潮位比較表

潮位名稱	台中港 (2013~2018)	箔子寮 (2013~2018)	塭港 (2013~2018)	東石 (2013~2018)	將軍 (2013~2018)
最高潮位	+3.34	+2.58	+1.74	+1.96	+1.58
大潮平均 高潮位	+2.43	+1.97	+1.12	+1.34	+1.12
平均高潮位	+2.14	+1.76	+1.01	+1.24	+1.00
平均潮位	+0.17	+0.60	+0.14	+0.42	+0.38
平均低潮位	-1.82	-0.45	-0.39	-0.35	-0.19
大潮平均 低潮位	-3.01	-0.60	-0.66	-0.53	-0.36
最大潮差	6.36	3.71	3.21	2.87	2.82
平均潮差	3.96	2.19	1.67	1.59	1.19
大潮平均潮差	4.72	2.57	2.00	1.88	1.48

資料來源：中央氣象局及潮汐觀測資料年報

潮高基準：相對臺灣高程基準(TWVD2001)

表3-2-4 台灣週遭海域海水位上升速率研究成果綜整

地點	出處	實測資料分析海平面變化結果(mm/yr)		
		基隆	高雄	台中與其它地點
郭金棟(1997)		1971-1994 3.98 1947-1994 0.29	1971-1994 1.03 1961-1995 3.59	台中港 1971-1994 -5.04
郭金棟(1997)引用 Emery et al. (1991)		1904-1924 0.40	1904-1924 -2.4	
施學銘(2000)		max. 0.472		
張憲國、許泰文(2001) 引用黃金維(1999)		1981-1987 -4.6±0.7 1988-1995 10.5±0.4	1970-1997 -1.2±0.5	台中 1971-1984 -17.8±1.3 1985-1991 32.1±2.2 東石 1993-1998 47.8±2.1 箔子寮 1995-1998 4.1±4.6 將軍 1970-1984 0.2±1.1 1985-1991 14.6±0.8
張憲國、許泰文(2001)引用黃 金維(1999)		台灣附近之西太平洋區 6.7 (此為測高衛星觀測結果)		
聯合國氣候 變化綱要公約		0.35	0.61	台中 -3.64

表3-2-4 (續)台灣週遭海域海水位上升速率研究成果綜整

地點	出處	實測資料分析海平面變化結果(mm/yr)		
		基隆	高雄	台中與其它地點
劉啟清(1987)引用 Gutenberg(1941)	1904-1924	1.1	1904-1933	2.5
董東璟等人(2008)	5.91 (1980-2002)		3.64 (1975-2007)	
曾于恒等人(2009)	0.8 (1948~2006) -0.34 (1993-2003)		1.9 (1949~2006) 7.3 (1993-2003)	
范光龍等人(2009)				台灣地區 3.2
運研所, (2013~2016)	4.91±0.65		3.58±0.77	梗枋 3.22±0.69 蘇澳 1.59±0.64 花蓮 1.58±0.95 成功 4.60±0.81 富岡 3.97±0.68 後壁湖 3.82±1.15 罽廣嘴 3.23±0.81 東港 3.00±1.24 將軍 5.48±0.88 東石 5.77±0.97 塭港 3.56±1.10 澎湖-0.20±0.70 箔子寮 2.44±0.99 台中 4.19±1.00 新竹 2.01±0.72

3-2-3 水文資料

1.計畫區河川概況

計畫區內主要河川排水系統由北往南有濁水溪、北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪。就自然環境而言，主要河川均發源於標高1,000 m以上山地，上游坡陡流急，無涵蓄作用，下游地勢平坦，流速減緩，泥沙淤積，天然災害頻繁，各河川概況如下：

(1)濁水溪

是位於臺灣中部，屬於中央管河川，全長約186.6 km，是臺灣最長的河川。流域面積達3,156.90平方公里，計畫洪水量為每秒24,000立方公尺，流域面積與河口百年洪峰流量皆僅略次於高屏溪。依水流等級，本流屬六級河，但達五級河的支流只有陳有蘭溪，清水溪跟丹大溪。而濁水溪主流長落差有3200 m，平均坡降1/56，以鼻子頭隘口下坡降最緩，平均為1/438

(2)北港溪

北港溪原屬濁水溪四大入海分流之一，民國元年林內第一、二號堤防興建完成後，乃自成水系。北港溪水系發源於阿里山脈西麓丘陵地帶林內鄉七星嶺(標高516公尺)，流域跨越雲林、嘉義二縣，北為新虎尾河流域，南鄰朴子河流域，東接濁水溪支流清水河流域。本流域上游多支流山坑，形如掌狀，於雲林縣斗六市八德里海豐崙為虎尾溪，沿線納入雲林溪、林內溪、石牛溪、大湖口溪、湳子排水、延潭排水、三疊溪、崙子排水、埤子頭排水與三間厝排水等支流，蜿蜒西行，至河口段向北匯入蔦松、尖山等排水，於雲林縣口

湖鄉台子村附近注入台灣海峽，幹流長82公里，平地面積約占80%，流域面積645平方公里，河床平均坡降約為1/159。

(3) 朴子溪

朴子溪源於阿里山系之四天王山芋菜坑，起點標高1,421 m，河流貫穿嘉南大圳區域後至東石鄉附近出海，流域整體地勢由東南向西逐漸降低，朴子溪流域橫貫嘉義縣境，以嘉義市為中心，涵蓋嘉義縣朴子、布袋、民雄、新港、六腳、東石、鹿草、水上、太保、竹崎與番路等鄉鎮市。流域中下游位於嘉南平原，交通以陸運為主，全區交通頗為發達，鐵路方面有縱貫鐵路經嘉義市可連絡全台各地區，尚有台糖鐵路及阿里山森林鐵道，運輸或觀光均稱便利。朴子溪全長約76 km，河床平均坡降1/53，流域面積約427平方公里，平地面積287.6平方公里佔總面積之2/3，山區地形坡降約1/25，平地地形坡降約1/1,200。

(4) 八掌溪

八掌溪流域位於嘉義縣、市和台南市交界處，北側與朴子溪流域為鄰，東與曾文水庫上游集水區相接，南為白河水庫及急水溪流域。八掌溪發源於阿里山奮起湖，標高1,940 m，略成東西流向，於流經嘉義縣水上鄉中和村中庄附近匯入支流赤蘭溪，並於臺南市白河區蓮潭至北埔附近匯入支流頭前溪，繼經南靖、菁寮、義竹、新塢等地，最後於嘉義縣布袋鎮之好美村附近注入臺灣海峽。八掌溪主幹流長約80.9 km，平均坡降1/42，流域面積約474.7平方公里。

(5) 急水溪

急水溪主流發源於阿里山邁關子嶺附近，流經臺南市的白河區、新營區、鹽水區、學甲區、柳營區、東山區、北門區、後壁區、六甲區、下營區等行政區，自上游由白水溪與六重溪合流後，再匯合龜重溪，流經新營再納溫厝廓溪及新田寮排水，於南鯤鯓附近出海，主流長度約65 km，流域面積約397平方公里，河床平均坡降為1/118。

2. 河川基本資料

整體水文年報統計之，計畫區河川基本資訊如表3-2-5，由表3-2-6顯示濁水溪最大洪峰流量遠高於計畫區內所有河川之總和，依據「臺灣重要河川資料冊(修正版)」，以及計畫區內各治理規劃檢討報告，各河川頻率年洪峰流量如表3-2-7所示，進一步根據水文年報(2015~2018年)其流量與輸沙量之關係，將頻率年洪峰

流量，換算其洪峰輸沙量結果如表3-2-8。

圖3-2-2為水利署公布之臺灣地區主要河川分布圖，各種河川顏色代表該河川之沙石適合之用途，1. 藍色(鳳山溪、頭前溪、中港溪、後龍溪、大安溪、大甲溪、濁水溪、高屏溪、東港溪、蘭陽溪、和平溪、花蓮溪、秀姑巒溪、卑南溪、士林堰、石岡壩、集集堰、高屏堰)：集中於大甲溪、大安溪、濁水溪、高屏溪等，其沙石適合做為營造使用。2. 紅色(淡水河、曾文溪、鹽水溪、二仁溪、阿公店溪、四重溪、石門水庫、曾文水庫、南化水庫)：包含淡水河、曾文溪等，其蘊含之沙石用途廣泛，除營造用之外，亦可做為一般土方使用(如回填、鋪設等等)。3. 綠色(北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪)：以中南部河川為主，包含北港在內共計四條主要河川；因其沙石顆粒特性之故，僅能做為填土方使用，亦或無相關的使用價值。由圖可知，計畫區中北港溪、朴子溪、八掌溪、急水溪，沙石顆粒特性皆屬於沉泥以及黏土居多，其此種粒徑特性之河川輸沙，即使有河川沙源其對海岸沙源補充仍然有限。

表3-2-5 濁水溪口周邊海岸段主要河川特性

河川 RIVER	流域 編號 BASIN NO.	起點 ORIGIN		出海口 ESTUARY	主流長度 (公里) MAIN RIVER LENGTH (KM)	主流河床 平均坡降 MAIN RIVERBED MEAN SLOPE	流域面積 (平方公里) DRAINAGE AREA (KM2)
		地點 SITE	標高(公尺) EL.(M)	地點 SITE			
濁水溪 Choshui C.	1510 (290)	合歡山 Hohuangshan	3416	麥寮鄉 Maillao	186.60	1/190	3156.90
北港溪 Peikang C.	1540 (330)	七星嶺 Chishingling	516	東石鄉 Tungshih	82.00	1/59	645.21
朴子溪 Potzu C.	1550 (350)	芋菜坑 Yutsaikeng	1421	東石鄉 Tungshih	75.87	1/53	426.60
八掌溪 Pachang C.	1580 (370)	奮起湖 Fenchihu	1940	北門鄉 Peiman	80.86	1/42	474.74
急水溪 Chishui C.	1590 (390)	白水溪 Paishuichi	550	北門鄉 Peiman	65.00	1/118	379.00

表3-2-6 臺灣重要河川紀錄最大洪峰量與含沙量

流域 RIVER	站名 STATION	代表站 SELECTED GAUGING STATION								
		集水 面積 (平方 公里) CATCHME NT (KM2)	年平均流量 ANNUAL MEAN DISCHARGE(CMS)		紀錄最大洪峰量 RECORDED MAX. FLOOD PEAK(CMS)		紀錄最枯流量 RECORDED MIN. DISCHARGED(CMS)		實測最大懸移質 含沙量 RECORDED MAX. SEDIMENT (PPM)	
			歷年 HISTO- RICAL	中華民國 107年 2018	歷年 HISTO- RICAL	中華民國 107年 2018	歷年 HISTO- RICAL	中華民國 107年 2018	歷年 HISTO- RICAL	中華民國 107年 2018
濁水溪 Choshui C.	彰雲橋 Chyun B.	2906.32	142.29	78.83	28000.00	3680	0.27	15.81	105500	17100
北港溪 Peikang C.	北港 Peikang	597.46	25.25	28.79	3740.00	1057.21	0.00	8.01	16534	1140
朴子溪 Potzu C.	灣內橋 Wannei B.	282.89	13.93	18.55	2660.00	1559.58	0.06	0.8	11160	922
八掌溪 Pachang C.	義竹 Ichu	441.02	20.89	↓	5980.00	↓	0.00	↓	39364	↓
急水溪 Chishui C.	新營 Hsinying	226.66	9.39	15.95	1600.00	1501.34	0.00	0.31	77965	1739

資料來源：水文年報 2016 (資料統計期間：自民國 1949 至 2018 年)

表3-2-7 計畫區主要河川重現期洪峰流量成果表

單位：cms

位置 河口	重現期距(年)							
	Q200	Q100	Q50	Q25	Q20	Q10	Q5	Q2
濁水溪	27000	24000	20000	17500	15000	12000	9000	4540
北港溪	5440	5000	4300	3720	3540	2970	2390	1520
朴子溪	3,280	2,960	2,630	2405	2277	1,830	1,460	900
八掌溪	4630	4,000	3,600	3075	2910	2,600	2,200	1,400
急水溪	2,980	2,680	2,380	2120	1,970	1,650	1,310	790

(資料來源：水利規劃試驗所，「北港溪治理規劃檢討報告」，2013)

表3-2-8 計畫區主要河川重現期洪峰輸沙量成果表

單位：tom/s

位置 河口	重現期距(年)							
	Q200	Q100	Q50	Q25	Q20	Q10	Q5	Q2
濁水溪	2912.34	2366.67	1716.57	1356.78	1034.15	698.03	420.53	125.98
北港溪	69.07	59.51	45.59	35.30	32.34	23.71	16.15	7.26
朴子溪	10.08	8.33	6.72	5.27	4.83	3.56	2.41	1.06
八掌溪	86.12	67.85	52.25	39.22	35.28	24.95	16.18	6.95
急水溪	36.29	27.87	21.02	15.44	13.80	9.58	6.14	2.69

(資料來源：水利規劃試驗所，「北港溪治理規劃檢討報告」，2013，水文年報。本計畫整理)

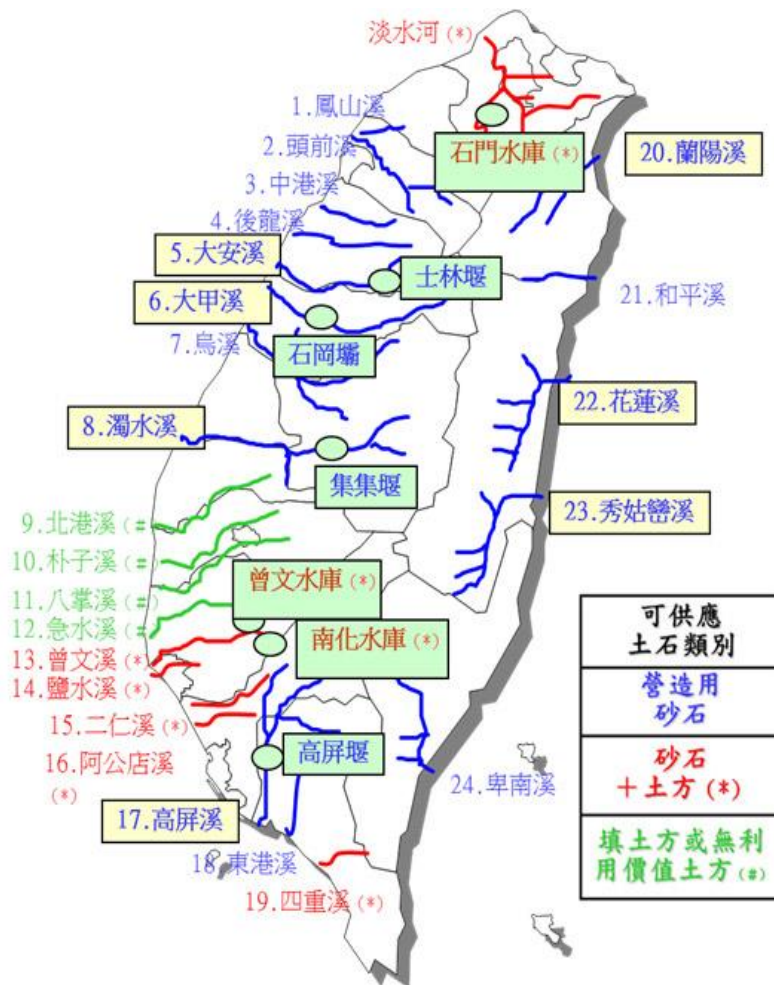


圖3-2-2 臺灣地區主要河川分布圖

3-2-4 地文資料

1. 漂沙粒徑特性

(1) 彰化海岸

粒徑分析結果顯示，砂樣之顆粒以細砂居多，粗砂較少，其分布之水深並不一致。經粒徑分析後，本區域砂樣之粒徑分布曲線相當接近，其粒徑分布甚為平均，中值粒徑大小約在0.074~0.42mm之間，依分類標準來看，係屬中細砂的粒徑範圍。

依據95年9月起至98年3月在彰濱工業區海域底質粒徑底質調查結果；底質絕大部份組成為砂，極少部份為泥，中值粒徑介於0.15~0.56mm。如將中值粒徑的空間分布繪如圖3-2-3，可見彰化海域沿岸北側的底質粒徑普遍較南側為大，至於向離岸方向粒徑分布的規則性並不顯著，此與理論上因波浪篩分作用造成底質粒徑分布由近岸往遠岸顆粒逐漸變細之現象並不一致，判斷此海域底質傳輸與分布受到多重因子影響。

(2) 雲林海岸：

根據「雲林離島式基礎工業區永續環境管理計畫」結果顯示，沙灘底質粒徑調查點位自新興區以南至外傘頂洲西側最南端(SEC25~SEC67)共計53處，取樣點位標示如圖3-2-3，其成果如下：

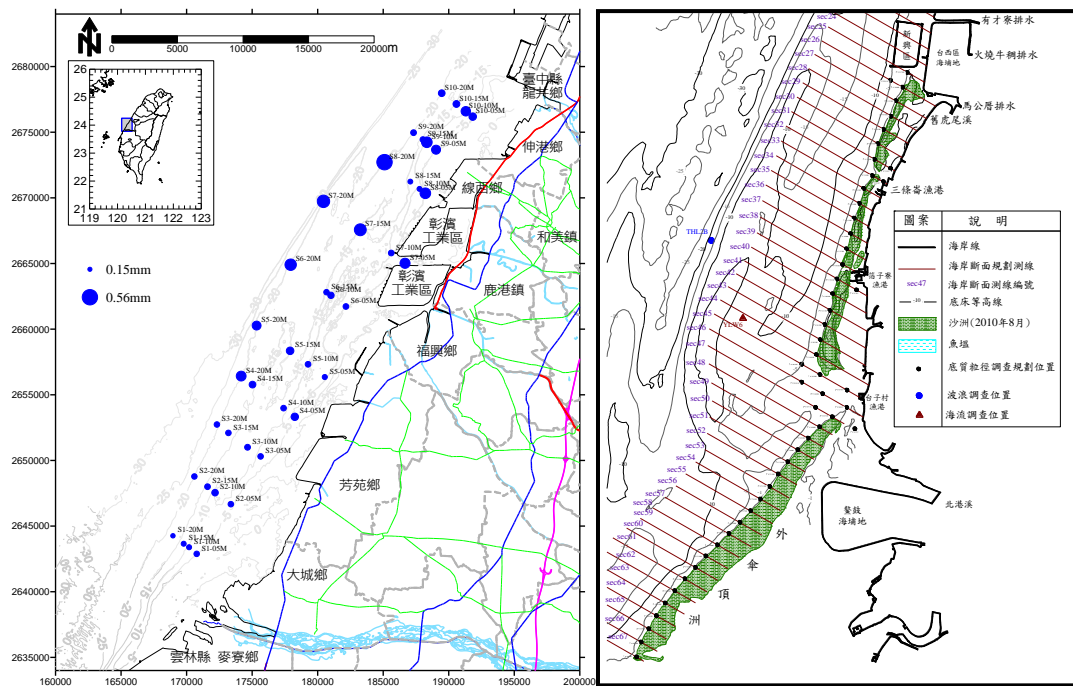


圖3-2-3 彰雲嘉地區底質中值粒徑空間分布及取樣位置圖

- a. 雲林海岸沙洲底質(SC25B~SC46C)：歷年的中值粒徑呈現粗細化夾雜的情形，其中粒徑大小較劇烈改變的點位(圖3-2-4)，多位在沙洲的南北兩端或是缺口處，當粒徑由粗變細時，通常伴隨含泥量大幅增加，故可推測此時沙灘為淤積；反之，當粒徑由細變粗時，含泥量會大幅減少，此時沙灘轉向侵蝕。
- b. 外傘頂洲沙灘底質(SC47A~SC67B)：歷年的中值粒徑大多呈現小幅變動，其中SC47B、SC62B和SC63B等點位，中值粒徑有較明顯的變動，顯示這些區位曾在侵淤之間數次轉換，代表此處沙洲有較明顯的地形變遷。另依據中值粒徑分布，外傘頂洲接近末端處(SC63B~SC67B) (圖3-2-4)，中值粒徑普遍較大，可能代表此處侵蝕程度較嚴重，只有粒徑較大的沙灘底質能被保留下來。

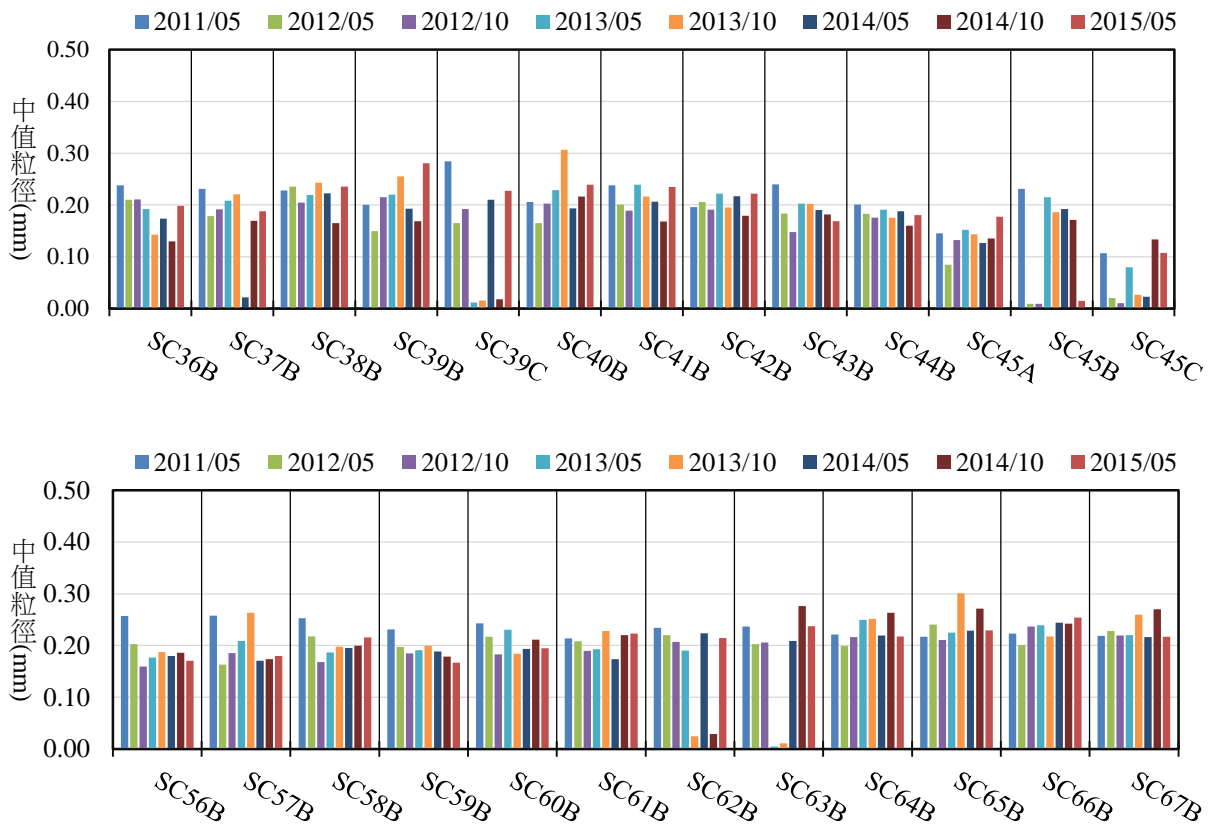


圖3-2-4 雲林外海及外傘頂洲沙灘底質中值粒徑分布

第四河川局『彰化海岸防護基本資料調查』(102、103年)底質調查數據與89~91年夏季6~8月份波浪資料(經濟部工業局彰濱工業區開發計畫)推估測線S01~S06斷面之各項漂沙指標(參表3-2-9)知本計畫區夏季各海岸斷面呈現堆積以及變遷型為主，冬季季風作用下則全面為侵蝕型海岸。

表3-2-9 彰化地區冬季風波浪條件下海岸斷面漂沙指標特性分析結果

冬季季風波浪 代表性週期=6.511sec, 群波波速=5.688m/s, 代表性波高=1.833m					
站名	低潮線中質粒徑 (mm)	碎波水深 (m)	漂沙表層移動水深 (m)	漂沙全面移動水深 (m)	海岸判定 類型
S01	0.153	1/352	1.448	2.039	侵蝕型
S02	0.238	1/629	1.267	1.813	侵蝕型
S03	0.157	1/441	1.387	1.963	侵蝕型
S04	0.17	1/215	1.657	2.297	侵蝕型
S05	0.218	1/994	1.185	1.708	侵蝕型
S06	0.239	1/616	1.275	1.823	侵蝕型

2.漂砂動向分析

計畫區海域在波高較小狀況下，漂砂活動主要受潮汐的影響，潮流在漲退之間可得一北或東北向之平均流，因此夏季時之淨漂砂方向可能由南向北或東北。而冬季時因受強烈東北季風的作用且波浪較大，漂砂主要可能受風驅流或由波浪所引起的沿岸流所影響，二者的方向都是沿者海岸向南或向西南方向，因此淨漂砂的方向主由北向南或向西南。但由於冬季時的平均波浪波高較夏季大，沿岸流所帶動漂砂量大於夏季，因此全年總和的淨漂砂方向多為沿海岸由北或東北向南或西南移動。

然而嘉義東石至雙春地區海岸，由於東北季風期間波浪受外傘頂州遮蔽影響，全年總和的淨漂砂方向多為沿海岸由西南往北移動。

3漂砂收支

(1)彰化海岸：

彰化地區之主要河川烏溪及濁水溪每年所夾帶可觀的泥沙出海，為區域內漂沙之主要沙源，烏溪之年輸沙量為 6.79×10^6 公噸，濁水溪之年輸沙量為 63.87×10^6 公噸。彰化海域夏季月平均波高較小約在0.5m左右，冬季月平均波高則較大約在1.5m~2.0m之間，作用時間亦較長，因此濁水溪所供應由西南往東北的漂砂量並不大，大多集中在大城區域附近，故烏溪為本區最主要漂沙來源，平均每年提供 $1.5 \times 10^5 \text{m}^3$ 之沙源(參彰濱工業區開發工程自然及地理背景資料手冊，經濟部工業局，85年3月)。由於本地區海底比降不大，海灘寬長，碎波點亦遠，以致漂砂不易流失而沿岸移動，據前土資會調查研究，近年漂沙移動僅在於增高灘地，而不再向外海延伸，反有內侵之趨勢；低潮線以下則海底潛沙洲密布，每遇冬夏風暴，其變化極大。以沙質海岸進化過程而言，已由堆積興盛之沙洲時期，進而降至潛沙洲期，雖仍具有相當之堆積

性能，但已有侵蝕出現，難以再永久維持平衡，一但沙源供給減少，即可能變成為侵蝕性海岸。

(2)雲嘉海岸：

早期外傘頂沙洲主要沙源系由濁水溪輸沙提供，於日據時代開始整治濁水溪(約1911年)，截斷北港溪等支流，主流改由西螺溪入海。此後，北港溪自成水系，輸沙量也因此銳減。再者於1973年後，雲林海埔地陸續開發，如離島工業區台西區(1973~1975年)、新興區(1984~1987年)及麥寮區(1991~1997年)等，阻擋濁水溪南向之輸沙，以往資料顯示濁水溪之年輸沙量為 63.87×10^6 公噸，其於主要河川八掌溪、朴子溪及急水溪，等河川輸砂量均不到濁水溪的1/10，之漂沙於一般情況下，河川其平均粒徑分類皆介於細沙至淤泥之間，此等粒徑分布大多無法沉積於計畫區海岸，此區域面前呈現侵蝕退縮海岸。

4.水深地形

彰化、雲林、嘉義整體在地質分區上本段海岸屬於第四紀沖積層狀況，主要以沉泥質砂為主，夾雜沉泥質黏土或黏土質沉泥。整體海岸其坡度較緩，本計畫範圍及其鄰近海域歷年地形水深調查資料如表3-2-10所列，包括科技部臺灣周圍海域200 m地形圖，經濟部工業局彰濱工業區海岸及雲林離島海岸地形，經濟部水利署第四河川局、第五河川局及水利規劃試驗所最新調查資料，與高雄港分公司之行資料；歷年地形資料除了分析其地形變遷情形外，於海岸計算模式計算方面，本計畫將採用較新之地形水深調查資料，進行地形變遷及侵淤模擬分析使用之條件，不足部分再用較舊資料補之。

表3-2-10 本計畫區及鄰近海域歷年水深地形調查工作彙整表

計畫名稱	測量範圍		測量日期	備註
國科會自然處海洋學門資料庫 海底地形圖	東經 119 度-123 度 北緯 21 度-26 度		--	科技部
國科會	濁水溪口至彰濱工業區		98 年	
	新興區至大城		100~101 年	
彰化海岸概況調查	濁水溪口至彰濱工業區		91/08	第四河川局
彰化王功海岸地形監測研究計畫 (1/2)	王功海岸周邊	灘地~水深-20 m	94/07、94/10	
彰化王功海岸地形監測研究計畫 (2/2)	王功海岸周邊	灘地~水深-20 m	95/06	
彰化海岸地形監測調查計畫	大城至王功	灘地~水深-20 m	98/12、99/03	
彰化海岸防護基本資料調查(1/2)	大城海岸周邊	灘地~水深-20 m	102/03、102/11	
彰化海岸防護基本資料調查(2/2)	王功海岸周邊	灘地~水深-20 m	103/05、103/10	
彰化海岸環境營造規劃(1/2)	大城海岸周邊	灘地~水深-20 m	104/05、104/09	
彰化海岸環境營造規劃(2/2)	王功海岸周邊	灘地~水深-20 m	105/05、105/09	

表3-2-10 (續)本計畫區及鄰近海域歷年水深地形調查工作彙整表

計畫名稱	測量範圍		測量日期	備註
雲林離島式基礎工業區 永續環境管理計畫	濁水溪口至外傘頂洲南側		1991	經濟部工業局
			1993	
			1994	
			1996	
			1997	
			1998	
			1999	
			2001	
			2002	
			2003	
		2012~2015	成大水工試驗所	
--	外傘頂洲北側至 曾文溪口南側	近岸至水深-7m	2000年08月	經濟部水利署 水利規劃試驗所
--	外傘頂洲北側至 安平商港北側	近岸至水深-22m	2001年06月	
--	北港溪口至 曾文溪口	近岸至水深-15m	2002年05月	
--	台子村至 曾文溪口北側	近岸至水深-40m	2003年05月	
雲林海岸基本資料調查	三條崙至箔子寮	灘地~水深-20 m	2014年04月	第五河川局
	箔子寮至台子村	灘地~水深-20 m	2015年05月	
嘉義海岸基本資料 監測調查計畫	布袋商港 至急水溪 N2575~2587 km	灘地~水深-20 m	2004年6月	第五河川局 (僅測量至防風林 區海側灘地)
		灘地~水深 -7 m	2004年9月 (艾利颱風後)	
		灘地~水深 -7 m	2004年10月	
嘉義海岸一般性海堤功能評估及 防護基本資料調查	外傘頂洲北側至 急水溪口南側	近岸至水深-10m	2018年7月	第五河川局
100年布袋國內商港整體規劃施工 期間環境監測計畫	朴子溪至急水溪	水深 -2~-7 m	2011年7月	高雄港分公司
101年布袋國內商港整體規劃施工 期間環境監測計畫	朴子溪至急水溪	水深 -2~-7 m	2012年4月	
103年布袋國內商港整體規劃施工 期間環境監測計畫	朴子溪至急水溪	水深 -2~-7 m	2014年4月	

5.地層下陷

地層下陷對於海岸地區之影響為造成沿海地形改變，加深海岸地帶海域，碎波線內移，波高增加且波能變大，增強其侵蝕能力，導致海岸侵蝕及沙洲侵蝕(水規所，2005；林宗儀等，2007)，下面就分彰化，雲林嘉義及台南雙春地帶，就地層下陷情況分別討論。

(1)彰化海岸：

彰化地區原含水層豐厚，但於產業發展後地表水源供應不足，乃開發地下水。60年代後養殖業興盛，沿海地區開始大量抽取地下水，造成地下水位持續下降。根據「107年度彰化及雲林地區地層下陷監測及分析」結果顯示，民國81~90年彰化地區因為沿海養殖業大量抽取地下水導致下陷地區集中在芳苑鄉與大城鄉(圖3-2-5)。惟經政府相關單位治理與改善，地層下陷量呈現

逐年減輕的趨勢。於民國90年至107年期間(圖3-2-6)分析結果顯示，彰化地區地層下陷情況逐漸受到控制，最大下陷速率有逐年減緩的趨勢，由民國90年的17.6公分/年減低至107年的3.4公分/年，且顯著下陷面積(年平均下陷速率大於3公分/年以上之面積)亦由原先的408平方公里下降至今年的9.1平方公里，顯示沿海地區地層下陷已大為減輕。

(2)雲林海岸：

雲林地區為我國地層下陷相當嚴重之行政區，地層下陷實際上也可視為相對之海面上升。根據「107年度彰化及雲林地區地層下陷監測及分析」結果，將雲林地區民國81年～107年期間的下陷量，分成民國81年～88年與民國88年～107年兩個階段繪製累積下陷量圖（如圖3-2-7與圖3-2-8）。由圖3-2-7中顯示，民國81～88年，主要下陷以沿海的麥寮為主要下陷中心，逐次往內陸下陷遞減；民國88～107年(圖3-2-8)的下陷趨勢產生變化，主要下陷中心集中在內陸地區，尤其為虎尾、土庫、元長與褒忠四個鄉鎮，而雲林沿海的四個鄉鎮其下陷情形相對比較減緩。雲林地區地層下陷情況於民國92年至102年間有逐年改善的情況，最大下陷速率由12.2公分/年減低至4.5公分/年，且顯著下陷面積(年平均下陷速率大於3公分/年以上之面積)亦由原先的703.1平方公里下降至106.4平方公里，但自民國102年後，區域內地層下陷情況又開始逐漸增加，至民國106年，最大下陷速率與顯著下陷面積分別上升至6.7公分/年與366.2平方公里，而107年度則略微下降至6.6公分/年與296.2平方公里。

(3)嘉義海岸：

嘉義地區歷年地面水準高程檢測結果，依據經濟部水利署分析嘉義沿海地區於民國80年至106年間地層下陷量如圖3-2-9。經由民國80年至106年之量測資料比較分析，嘉義地區26年來總下陷量在60公分以上之下陷區，涵蓋有東石鄉、布袋鎮、朴子市、義竹鄉與六腳鄉等鄉鎮；其中最主要的下陷中心為東石鄉與布袋鎮，最大的累積下陷地區發生在東石鄉。

根據嘉義地區近年水準檢測成果，嘉義縣自102年起下陷已明顯趨緩，然若因降雨條件不佳，產業用水需求未減少，則下陷情勢會因此增加。106年度下陷速率3公分以上的鄉鎮為六腳及新港，最大年下陷速率達3.2公分/年，下陷速率超過3公分/年之顯著下陷面積為7平方公里。分析嘉義地區民國106年～107年平均下陷速率，最大年下陷速率為4.7公分/年(位於布袋鎮與義竹鄉)，顯著下陷面積（下陷超過3公分/年以上）為114.2平方公里。套疊民國

93至106年下陷量圖(圖3-2-10)，顯示近幾年嘉義地區主要下陷位置發生在東石鄉、布袋鎮、義竹鄉、新港鄉、六腳鄉及朴子市，下陷速率約為1~4公分/年。

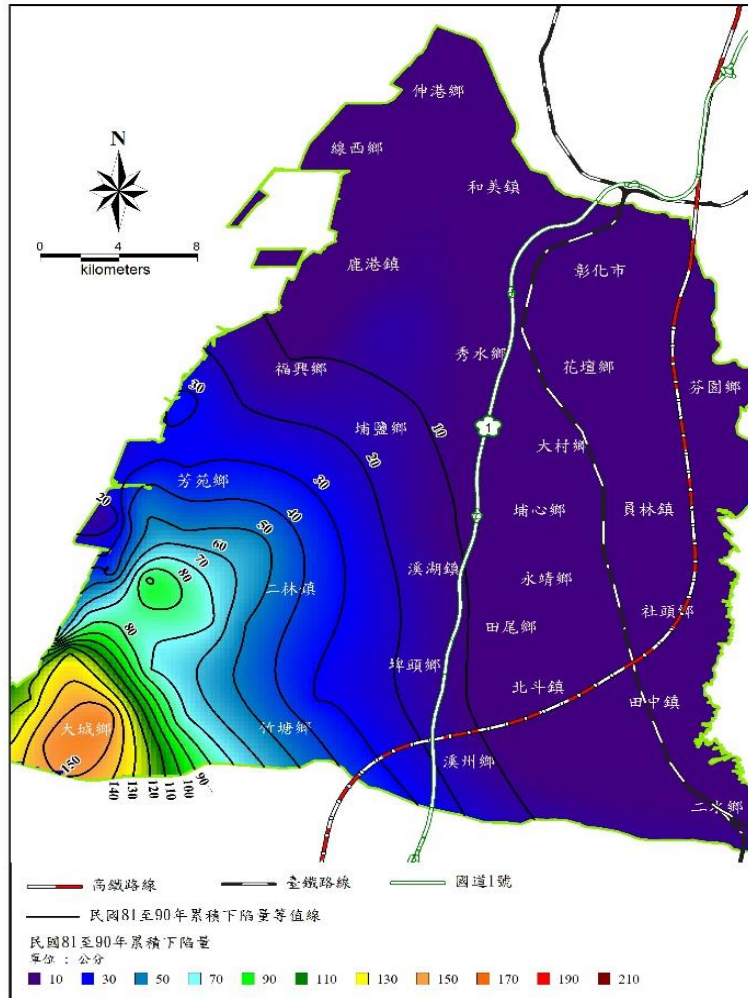


圖3-2-5 彰化地區民國81年至90年累積下陷量圖

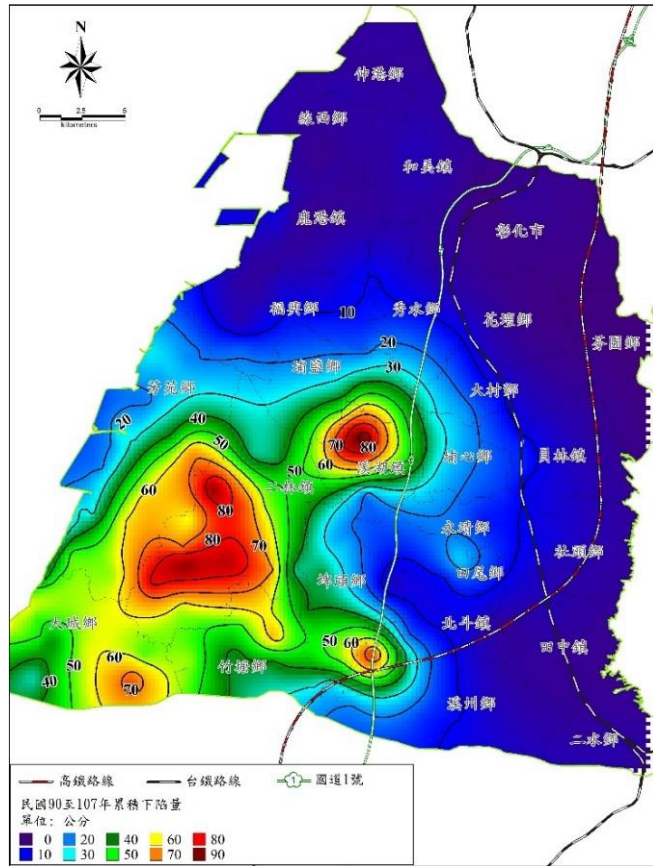
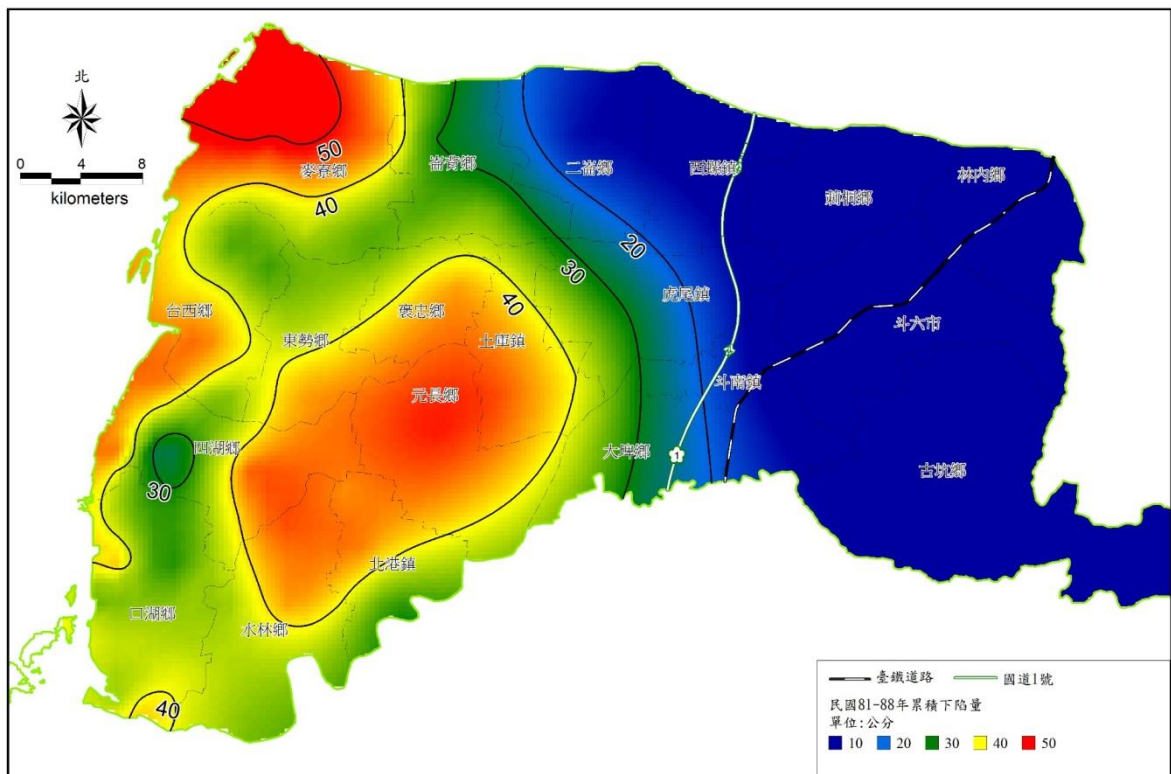
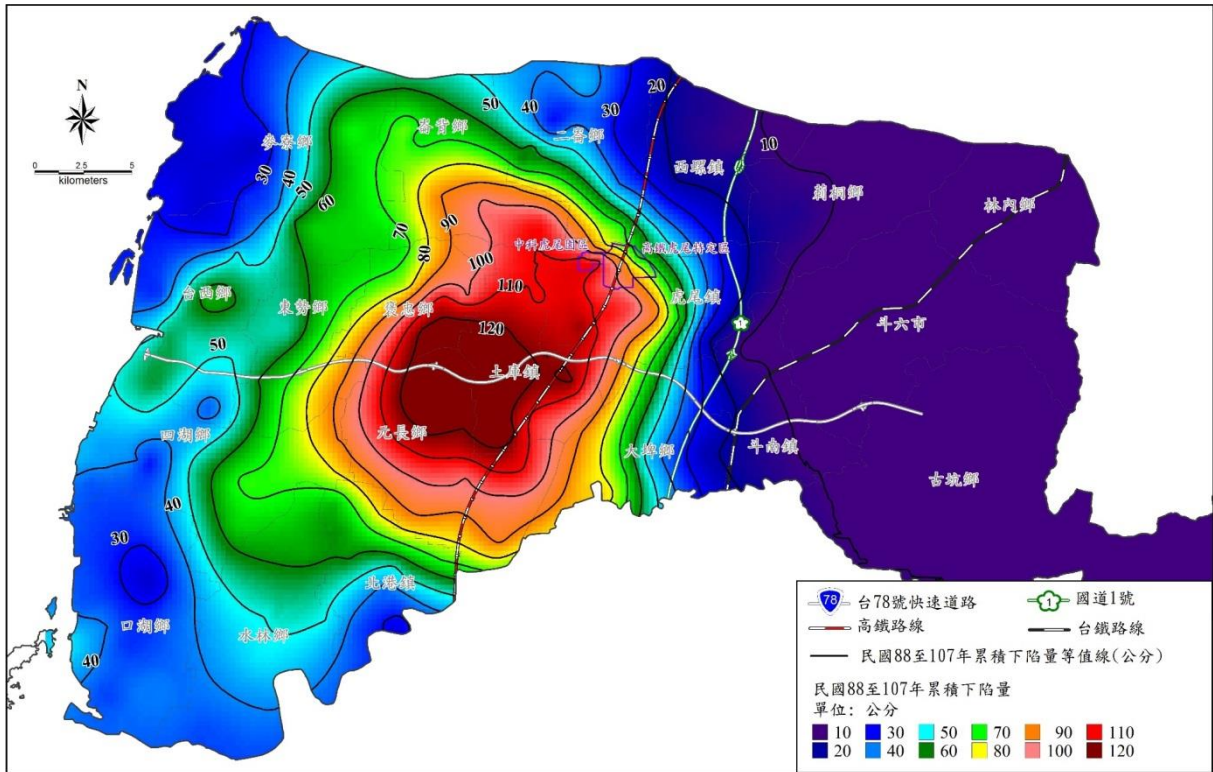


圖3-2-6 彰化地區民國90年至107年累積下陷量圖



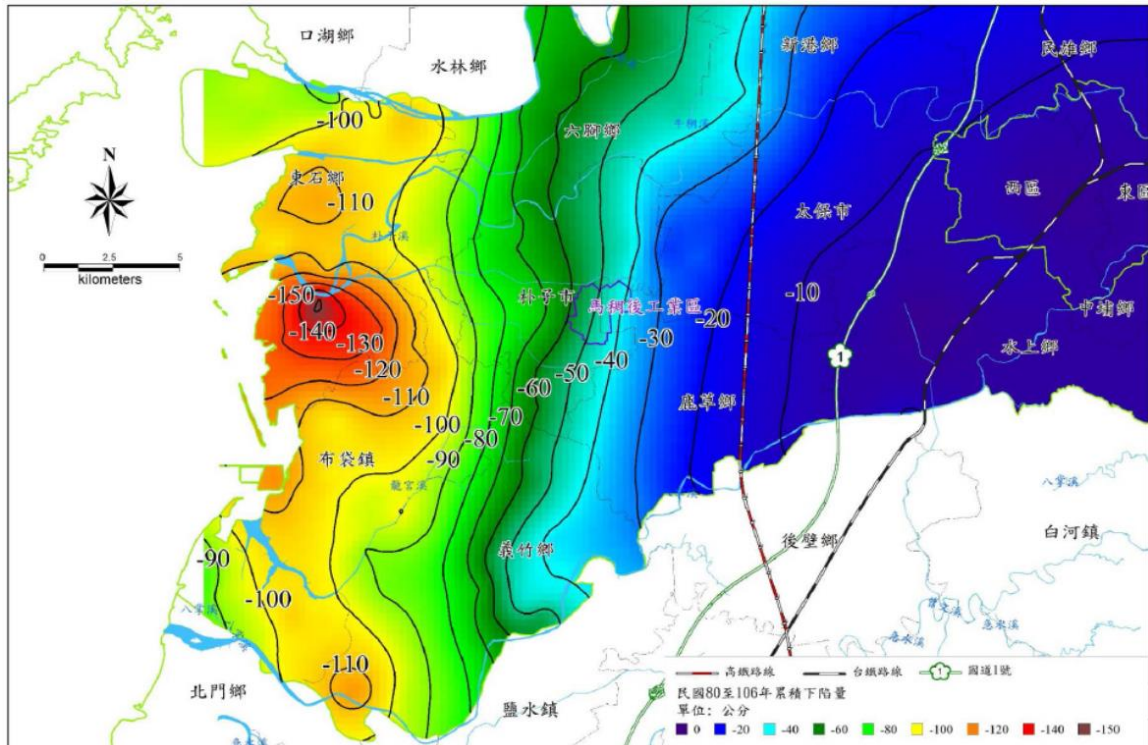
資料來源：經濟部水利署，107年度彰化及雲林地區地層下陷監測及分析

圖3-2-7 雲林地區民國81年至88年累積下陷量圖



資料來源：經濟部水利署，107年度彰化及雲林地區地層下陷監測及分析

圖3-2-8 雲林地區民國88年至107年累積下陷量圖



資料來源：地層下陷防治資訊網

圖3-2-9 嘉義地區民國80年至106年累積下陷量圖

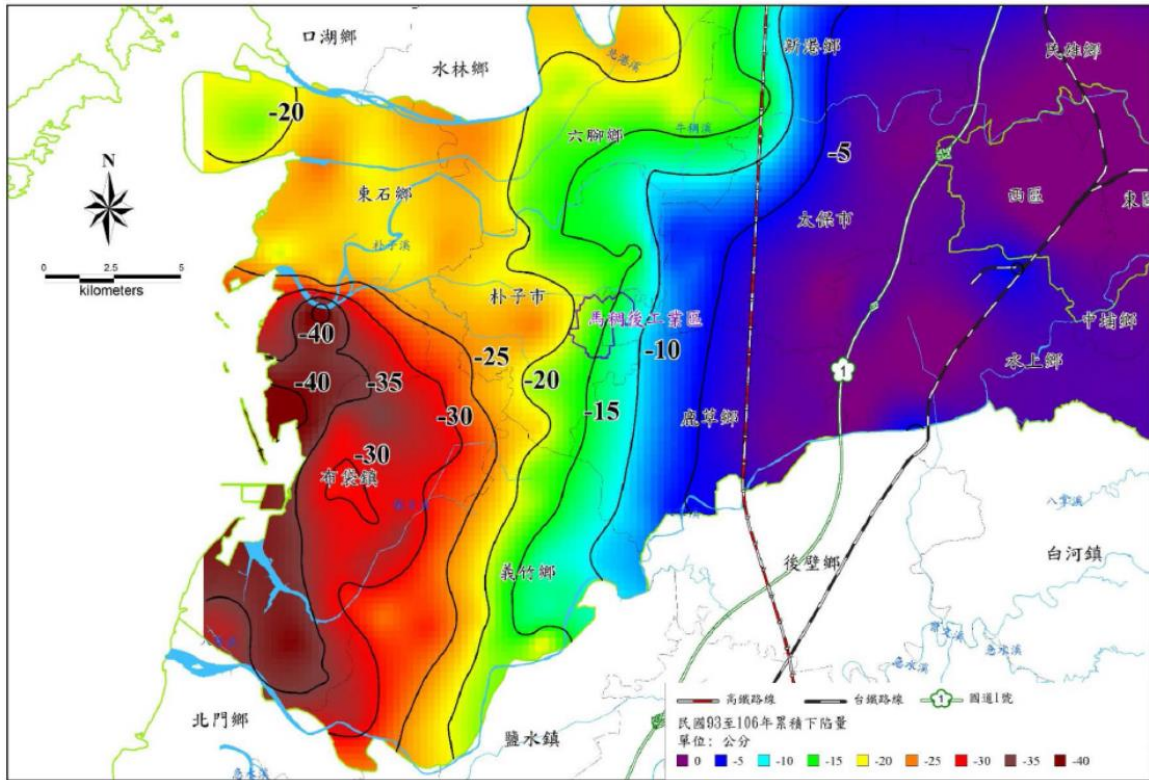


圖3-2-10 嘉義地區民國93年至106年累積下陷量圖

3-3 災害與治理

3-3-1 歷史重大颱風事件災害整理

雲嘉南在海堤因災受損紀錄方面，根據既有資料及文獻顯示，有兩次較為顯著之受損情況。其一是韋恩颱風過境期間，根據中央氣象局出版颱風調查報告(1986)中，指出韋恩颱風雖為中度颱風，但因其侵襲路徑詭異且首次直接侵襲臺灣雲嘉地區，強度未遭中央山脈破壞，以致在臺灣西南部陸地造成慘重之災情。其二為1996年之賀伯颱風，其颱風中心由宜蘭登陸，且颱風眼通過台灣北部地區，再由新竹附近出海進入台灣海峽北部。另根據水利署水利規劃試驗所(2013)「海岸防護工程保護標準與非工程措施」，以及水利署第五河川局2016年，彰化、雲林以及嘉義海岸溢淹災害調查結果如表3-3-1～表3-3-3，表為主在針對計畫區內特定海岸溢淹事件，由表可見大多數海岸溢淹，多屬於暴潮加上海岸排水不良，計畫將近一步對特定事件加以蒐集分析，並為後續研析海岸災害成因與擬定相關防治對策之依循基礎，以下就特定事件加以說明。

表3-3-1 彰化地區近年重大颱風淹水事件調查表

日期	原因	萬興(2)站降雨量(毫米)	主要淹水區域	備註
1990年8月19日 ~8月20日	楊希颱風 (中度) 西北	最大時雨量：49.0、 最大日雨量：241.0 連續24小時最大降雨量：287.0 總降雨量：309.0	全縣各鄉鎮	河水溢堤 排水不良海水倒灌
1995年6月8日 ~6月9日	荻安娜 颱風 (輕度) 北北東	最大時雨量：78.0、 最大日雨量：198.0 連續24小時最大降雨量：295.0 總降雨量：377.0	員林鎮、 二林鎮埔鹽鄉	河水溢堤 排水不良
1996年7月31日 ~8月1日	賀伯颱風 (強烈) 西北	最大時雨量：40.0、 最大日雨量：203.0 連續24小時最大降雨量：271.0 總降雨量：315.0	大城鄉、 芳苑鄉線西鄉、 伸港鄉	河水溢堤 排水不良海水倒灌
1998年10月15日 ~10月16日	瑞伯颱風 (中度) 北	最大時雨量：(無雨量紀錄) 最大日雨量：(無雨量紀錄) 連續24小時最大降雨量： (無雨量紀錄) 總降雨量：(無雨量紀錄)	員林鎮、 大城鄉	排水不良 海水倒灌
2001年7月28日 ~7月31日	桃芝颱風	最大時雨量：54.0 最大日雨量：183.0		河水溢堤 排水不良
2004年6月28日 ~7月3日	敏督利 颱風	最大時雨量：62.0 最大日雨量：161.0	大城鄉、芳苑鄉、 鹿港鎮	
2013年8月20日 ~8月22日	潭美颱風	最大時雨量：29.0 最大日雨量：126.0	線西鄉、鹿港鎮、 福興鄉、芳苑鄉、 大城鄉	強降雨適逢大潮滿 潮，洪水宣洩不及
2013年8月27 ~8月30日	康芮颱風	最大時雨量：40.0 最大日雨量：159.0	社頭鄉、鹿港鎮、 福興鄉、芳苑鄉、 大城鄉	強降雨適逢大潮滿 潮，洪水宣洩不及 海水倒灌

表3-3-2 雲林海岸沿海鄉鎮歷年重大颱風淹水事件總表

日期	原因	路徑	雨量分析(mm)	主要淹水地區	備註
1986年8月22日~9月3日	韋恩 (中度)西北西	特殊路徑	最大日雨量：762.4	林厝寮海堤	海水倒灌
2001年6月22~24日	奇比颱風 (中度)	7	最大時雨量：60.0 (嘉義站)	三條崙海堤 後寮北段 海堤	堤面破損 海水倒灌
2001年9月17~19日	納莉颱風 (中度)	特殊路徑	最大時雨量：160.0	洋稠厝 防潮堤 新港防潮堤	海水倒灌
2004年7月2~4日	敏督利颱風 (中度)	6	最大日雨量(7/2) 253.5 最大日雨量(7/3) 231 (嘉義站)	新興海堤	潰堤 海水倒灌
2015年9月27~29日	杜鵑颱風	2	最大日雨量：804 (宜蘭站)	三條崙海堤	潰堤 海水倒灌

表3-3-3 嘉義海岸沿海鄉鎮歷年重大颱風淹水事件總表

日期	原因	路徑	雨量分析(mm)	主要淹水地區	備註
1986年8月22日~9月3日	韋恩 (中度)西北西	特殊路徑	最大日雨量：762.4	東石 布袋	海水倒灌
1996年7月31日~8月1日	賀伯颱風 (強烈)西北	2	最大時雨量：112.5 最大日雨量：1094.0 連續24小時最大降雨量：1748.5 總降雨量：1994.0 (阿里山站)	東石 布袋	海水倒灌 排水不良 八掌溪、朴子 溪堤防潰決
1997年8月7日	豪雨		最大時雨量：216.0 (嘉義站)	東石 布袋	地層下陷致 海水倒灌
1997年8月17~18日	溫妮颱風 (中度)西北西	1		布袋	海水倒灌
1998年6月1~11日	豪雨		最大時雨量：12.5 累積日雨量：154.3 (嘉義站)	東石	地層下陷致 海水倒灌
1998年7月9~10日	妮寇兒颱風 (輕度)西北	9	最大時雨量：12.5 (嘉義站)	布袋	海水倒灌
1999年8月6~8日	瑪姬颱風 (中度)	5	最大時雨量：12.5 (嘉義站)	東石 布袋	海水倒灌
2000年8月22~23日	碧利斯颱風 (強度)	3	最大時雨量：75.0 (嘉義站)	東石 布袋	海水倒灌
2000年10月31日~11月1日	象神颱風 (中度)	6	最大時雨量：61.0 (嘉義站)	布袋	海水倒灌
2001年6月22~24日	奇比颱風 (中度)	7	最大時雨量：60.0 (嘉義站)	東石 布袋	海水倒灌
2001年7月4~5日	尤特颱風 (中度)	5	最大時雨量：20.0 (嘉義站)		海水倒灌
2001年7月29~30日	桃芝颱風 (中度)	3	最大時雨量：78.0 (嘉義站)	東石 布袋	海水倒灌
2001年9月17~19日	納莉颱風 (中度)	特殊路徑	最大時雨量：160.0 (嘉義站)	東石 布袋	海水倒灌
2004年7月2~4日	敏督利颱風 (中度)	6	最大日雨量(7/2)253.5 最大日雨量(7/3)231 (嘉義站)	東石 布袋	海水倒灌 排水不良
2005年6月12~16日	豪雨		最大時雨量：102 連續24小時最大降雨量：467 累計總降雨量：888 (鰲鼓站)	東石 布袋	地勢低窪 排水不良
2008年10月5~7日	卡玫基颱風	2	最大日雨量(7/18)237.5	東石 布袋	海水倒灌
2009年8月6~10日	莫拉克颱風	3	最大日雨量(8/9)365.0	東石 布袋	地勢低窪 排水不良

資料來源:水利署水利規劃試驗所『嘉義沿海地區國土復育及永續發展規劃』 歷史颱風災害資訊系統

3-3-2 歷史重大災損淹水事件分析

彰化、雲林、嘉義區域計畫區地勢低窪、排水不良問題嚴重，每逢暴雨經常造成淹水災害，早期相關單位均缺乏實際洪災資料，常無法瞭解實際淹水範圍以及淹水損失情形，能收集到之洪災資料有限，故計畫蒐集中南部地區著名之歷史上前4名嚴重之，颱風或是暴雨淹水災情列於後：

時期	1959年 八七水災	2005年 六一二水災	2009年 八八風災	2018年 八二三水災
最大降雨量	*一小時 176 毫米(嘉義大湖山站) *三小時 346 毫米(嘉義大湖山站) *六小時 460 毫米(嘉義大湖山站) *十二小時 651 毫米(臺中市臺中站)	*一小時 109.5 毫米(雲林宜梧站) *三小時 259 毫米(雲林宜梧站) *六小時 344 毫米(雲林宜梧站) *十二小時 493.5 毫米(屏東瑪家站)	*一小時 136 毫米(嘉義內埔站) *三小時 325.5 毫米(嘉義阿里山站) *六小時 548.5 毫米(嘉義阿里山站) *十二小時 965 毫米(嘉義石磐龍站)	*一小時 110 毫米(雲林縣口湖鄉誼梧站) *三小時 273 毫米(雲林縣口湖鄉誼梧站) *六小時 384 毫米(雲林縣口湖鄉誼梧站) *十二小時 620.5 毫米(嘉義縣鹿草鄉鹿草站)
淹水戶數	139,436 戶 受災面積 136,500 公頃，受災人數約 30 餘萬人	淹水地區約達 58,827 公頃，淹水深度達 30 公分至 120 公分不等	140,424 戶 淹水救助戶數(50 公分)139,587 戶 淹水面積 82,500 公頃	初估淹水面積 42,090 公頃、影響戶數 29,085 戶
災情	死亡人數：669 人 失蹤人數：408 人 房屋全毀：27,466 間 房屋半毀：18,303 間	死亡人數：18 人 房屋全毀：0 間	死亡人數：643 人 失蹤人數：60 人 房屋全毀：1,662 間	死亡人數：7 人 房屋全毀：0 間

1.1959年八七水災

1959年8月7日，日本南方海面的颱風艾倫因藤原效應作用，把東沙島附近的熱帶性低氣壓081號引進臺灣，7日下午5時熱帶低壓於嘉義縣布袋鎮登陸，登陸後因受陸地影響而逐漸減弱，並因中央山脈阻擋，於埔里鎮附近即漸漸消失，並於中央山脈東側的花蓮、新港間誘生出副低壓後繼續向北北東移動。惟此一熱帶低氣壓於臺灣上空移動期間，造成臺灣中部及南部地區極不穩定之天氣，形成強大的西南氣流，並引起豪雨。

豪雨自8月7日晚上6時左右開始降下，直到8日下午方才緩和，中南部山地之西南斜面及鄰近之西部平原地區，出現500公釐以上的雨量，導致於8月7日至9日連續三日臺灣中南部的降雨量高達800至1,200公釐，特別是8月7日一日降雨量高達500至1,000公釐，接近其平均全年降雨量，日雨量超過500公釐者達15處之多。主要的暴雨中心集中在：苗栗、豐原、芬園、烏溪上游、斗六與阿里山等處。由於地面積水難以消退，再加上山洪爆發，導致河川水位高漲決堤，大水沖毀房屋及農田，造成空前的大水災，受災範圍包括臺灣所有的農業區域，受災情形極為嚴重。

災區廣大就行政區域而言，概括新竹縣、苗栗縣、臺中縣、臺中市，南投縣、彰化縣、雲林縣、嘉義縣、臺南縣、臺南市、高雄縣、高雄市、屏東縣等13縣、市。人口死亡的669人，失蹤377人，災民410,097 人外，災害損失之總值計達新提幣34億餘元。佔全年國民所得總值之十五分之一強，並幾乎等於當年度之臺灣省總預算。

1959年8月7日發生的87水災是臺灣史上死亡與失蹤人數最多的大水災，也是唯

一一次，因水災而由總統發布緊急命令的最重大水災。其泛濫概況列如圖3-3-1。災害成因主要河川堤防崩潰情形及其災害，早期台灣之河流在水工學均屬「荒溪」類。其特徵為流量不均，常年木能通航，坡陡流激，沖刷猛烈，岩石崩裂下墜，在臺灣西部尤以陡溪之下即為廣大平原，石砂累聚河床高昇。故一朝傾盆大雨，倉卒之間川溪排洩不暢，甚致沖毀堤防，導致巨浸成災。

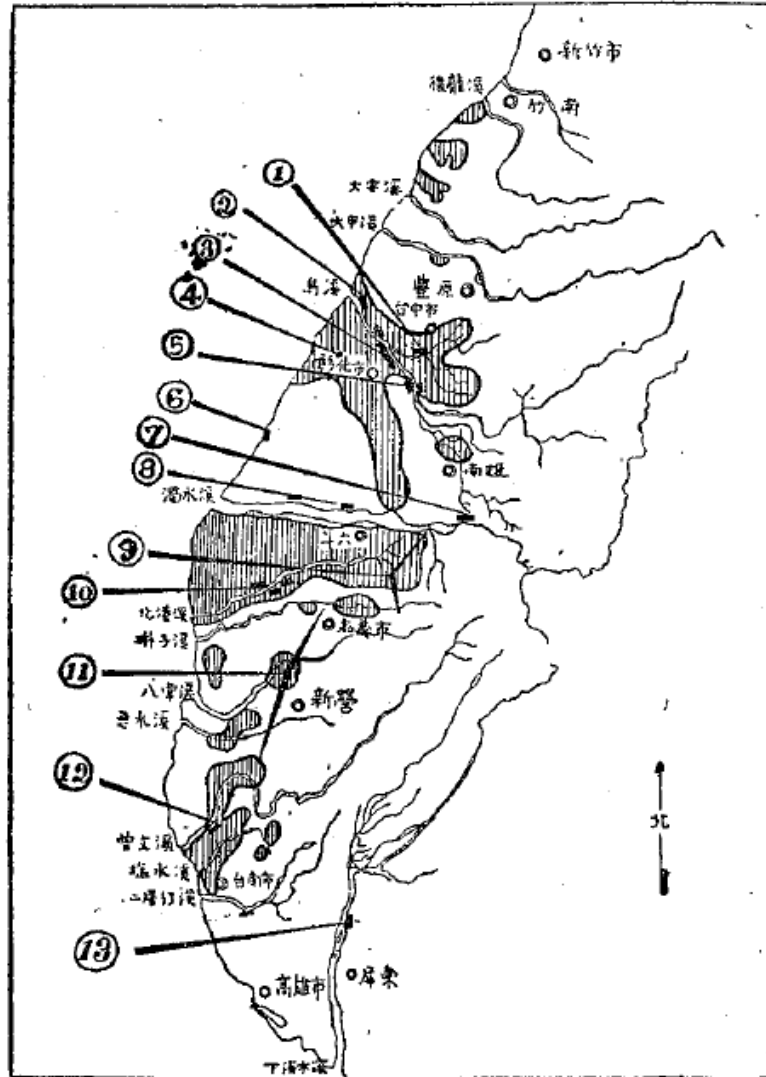


圖3-3-1 87水災泛濫概況範圍圖

2.2005年六一二水災

民國94年6月12~18日暴雨侵襲台灣南部地區，帶來相當大之豪雨，在雲林沿海地區造成相當嚴重之積水災害，甚多村落浸水，包括台西、口湖、四湖等鄉鎮廿多個村落都泡在水中，主要皆位於本計畫區內，農漁業損失相當嚴重。依據雲林沿海地區內之四湖及植梧自計雨量站之雨量資料顯示，植梧及四湖站連續24小時雨量分別為506mm、407mm，均超過100年重現期。六一二水災雲林沿海

地區主要淹水範圍詳如圖3-3-2所示，雲林地區六一二水災淹水損失初步概估農、漁業、畜禽養殖及水利工程設施總損失金額約為9.7億元，其中農業損失部份約3.1億元，漁業損失部份約1.6億元，畜禽損失部份約1.2億元，水利工程設施損失部份約3.8億元。

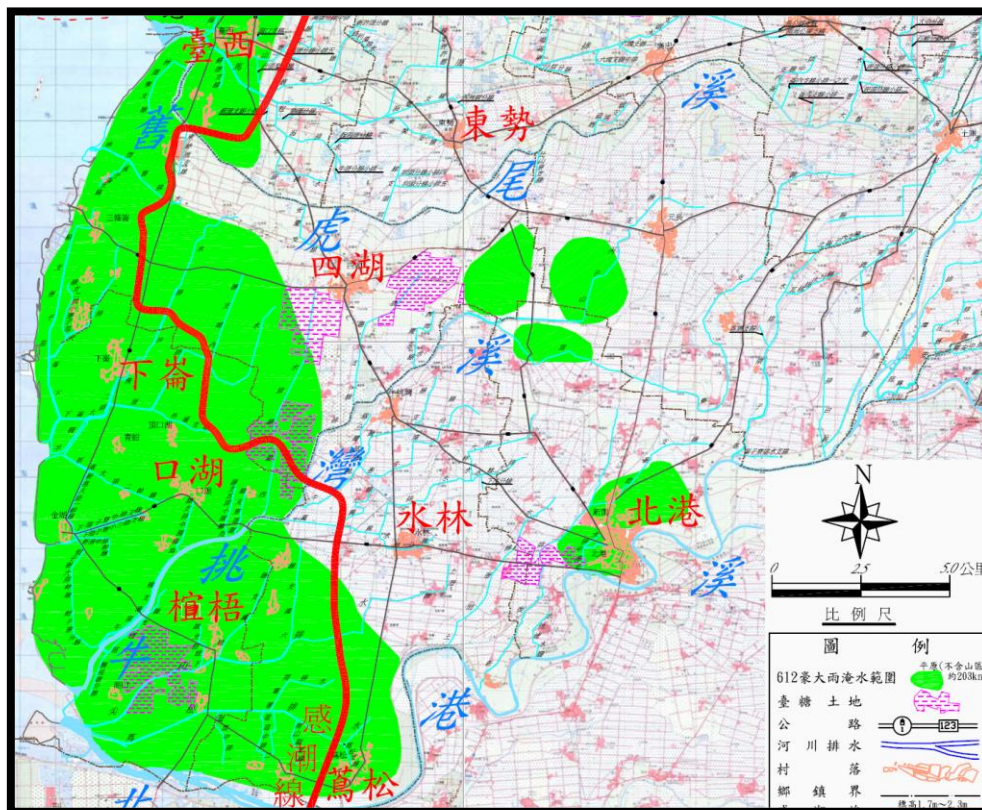


圖3-3-2 雲林南部沿海地區六一二水災淹水範圍圖

3.2009年八八風災

莫拉克颱風及與其相關的西南氣流等天氣系統是帶來災害的主因。2009年8月7日23時50分左右中度颱風莫拉克在花蓮市附近登陸，8月8日11時左右中度颱風莫拉克減弱為輕度颱風，並於14時左右於桃園附近出海，8月9日18時30分左右臺灣本島脫離莫拉克颱風暴風圈，在2009年八月七日以前，全臺已長期缺水，各水庫多有低水位旱象，因此莫拉克颱風初近臺灣之時，各家媒體皆歡欣報導，旱象可望解除但是由於颱風帶來超乎預期之雨量，導致臺灣各縣市陸續傳出災情，受到莫拉克的影響，除金門縣及連江縣外，各縣市於2009年8月7日均全日停止辦公、停止上課；而金門縣及連江縣則於上午照常辦公、上課；臺北股市也休市；2009年8月8日，除臺東縣、花蓮縣、金門縣、澎湖縣外，其餘各縣市繼續全日停止辦公、停止上課；而8月9日，臺中縣、臺中市以南各縣市、臺東縣、連江縣繼續全日停班停課。在此期間，莫拉克颱風挾帶大量強風豪雨，山區雨量三日累積近3000毫米，造成全臺灣人民生命財產極大損害，故稱八八水

災。

4.2018年八二三水災

2018年8月下旬臺灣暴雨是指2018年8月23日到8月30日因熱帶性低氣壓與西南季風輻合產生劇烈降雨，熱帶性低氣壓於22日8時形成，形成前處於一個低壓帶。23日6時由屏東登陸，24日4時於彰化出海，在陸地時間長達22小時，23日於雲嘉附近滯留，導致雲林以南多處出現時雨量100毫米以上之強降雨，24日低壓滯留雲嘉，降雨中心略北移，造成嘉南一帶日累積雨量達600毫米左右。其系統消散後衍生一個滯留於華南的大低壓帶中心，以致引來後續的西南氣流所發生的自然災害，雲林、嘉義、南投、高雄、屏東等地區均曾多處傳出淹水，甚至在局部地區持續淹水長達接近一個禮拜，為八八水災之後影響台灣最劇烈之暴雨事件。

5.暴雨綜合比較

歷史災難性暴雨個案比較如圖3-3-3。比較歷史性在難洪水事件，87水災大氣環境場與823水災類似，同因熱帶性低氣壓於臺灣西南部登陸、配合旺盛西南風帶來顯著降雨，影響區域略有差異。823水災於雲、嘉、南、高沿海地區之降雨較87水災大。2009年莫拉克颱風在中南部引發劇烈降雨，山區雨量三日累積近3000毫米，造成88水災。823水災平地雨勢與88水災相當，在雲嘉沿海更較88水災雨量為大。分析發生海岸洪水溢淹災難之成因，其因素皆為受熱帶性低壓及西南氣流影響，發生罕見強降雨現象造成山洪暴發，於海岸地帶期間適逢大潮，增加排水難度。故報告將以最近一次洪水災害事件(823水災)，作為設計條件，加以推估分析海岸溢淹等情況。

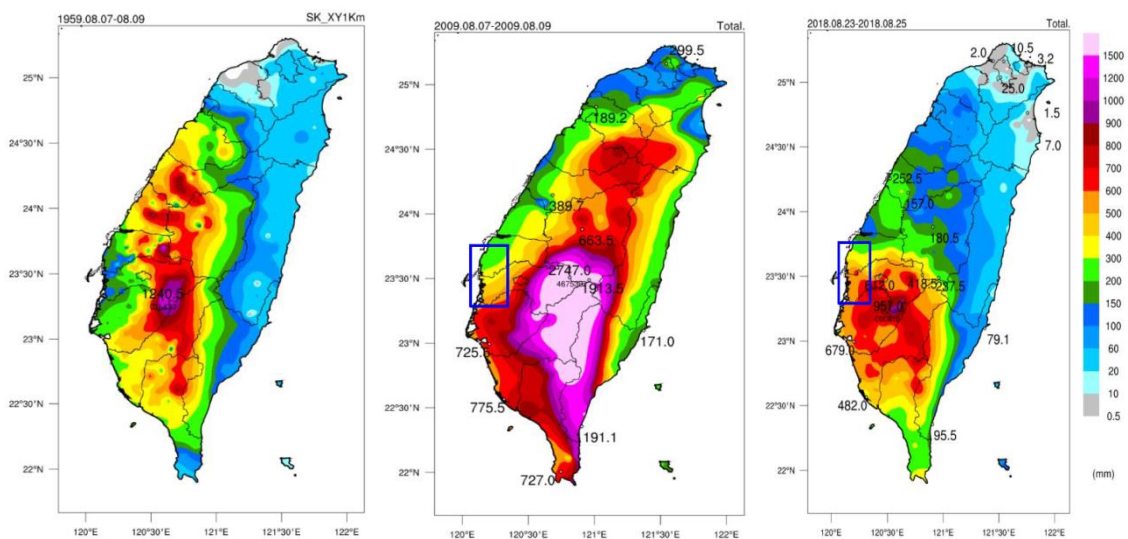


圖3-3-3 歷史災難性暴雨個案比較圖(左：87水災 中:88風災 右:823水災)

3-3-3 海岸防護設施

依據海岸防護計畫中海岸防護措施之防護功能進行檢討，原則上均符合安全之要求，惟局部地區因使用年限較久或有局部損壞必須進行改善，海岸防護如設施如下。

一、海堤設施

1. 彰化海岸：

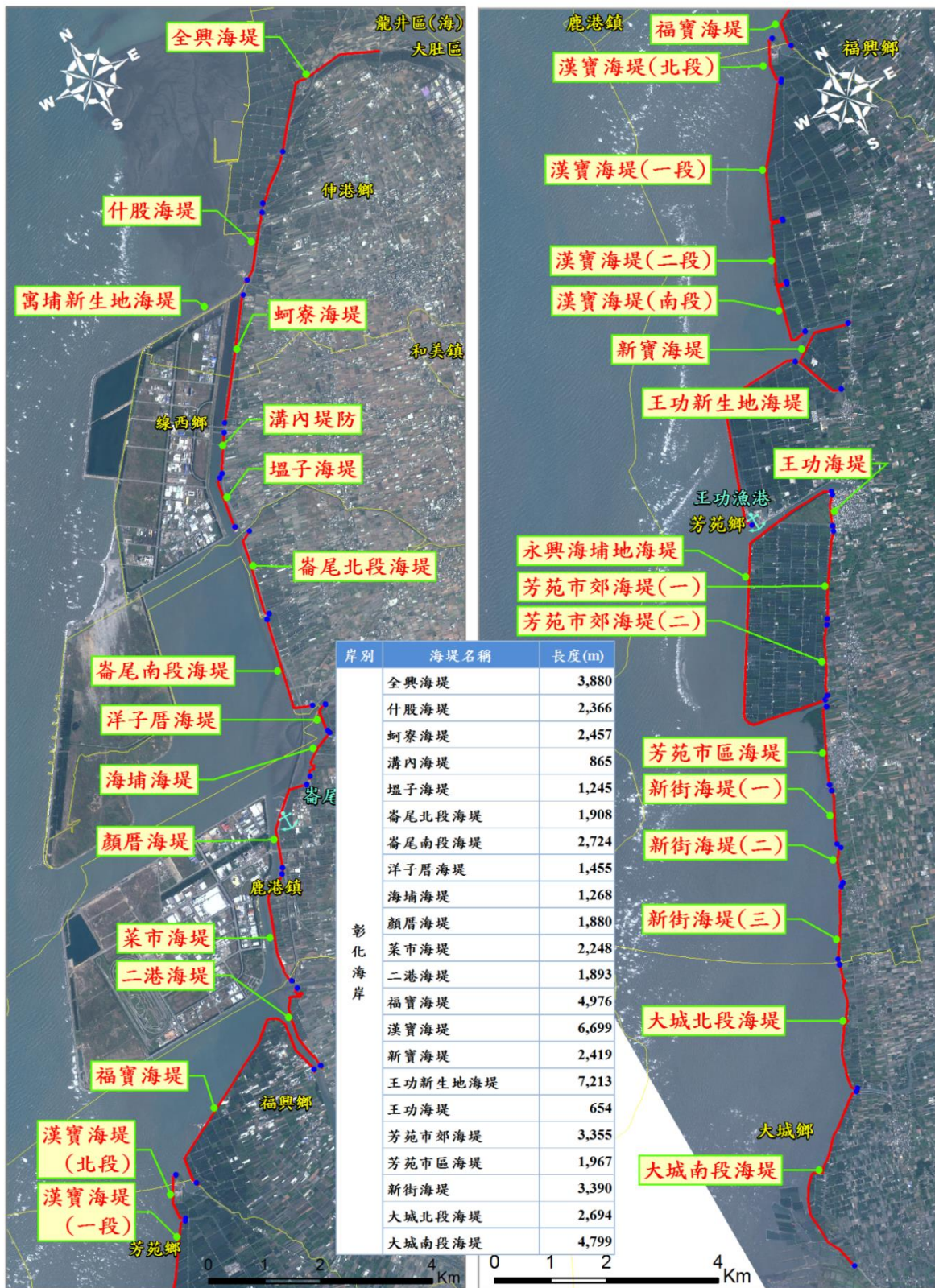
水利署第四河川局所管轄海岸防護措施不含彰化濱海工業區海堤，可分為一般性海堤與事業性海堤(永興海埔地海堤)，位於伸港鄉、線西鄉、鹿港鎮、福興鄉、芳苑鄉及大城鄉，綿延6鄉鎮。根據本團隊執行「彰化海岸環境營造規劃(1/2)」(第四河川局，104年)所測量成果，彰化海岸計有海堤43處，總長共71,136 m，其中含防潮堤16處，總(長16,641 m)。而海堤水門分布105處，共565道水門。各段海堤資料整理於表3-3-4，海堤分布位置如圖3-3-4。

2. 雲林海岸：

經濟部水利署於民國89年全面檢討自民國63年開始興建的海堤，民國92年開始推動五年「海岸環境營造計畫(93~97年度)」、「海岸環境營造計畫(98~103年度)」及海岸中長程下一階段「海岸環境營造計畫(104~109年度)」；調查顯示境內海岸設施計有大型海工結構物包括麥寮工業區(含麥寮工業港)及新興區，漁港計有計有台西、三條崙、箔子寮、五條港、金湖及臺子村等六個主要的漁港，海岸防護措施計有後寮海堤等13處海堤，海堤長度約36,000m及另有防潮堤共16,716m。

3. 嘉義海岸：

嘉義海岸海堤由日據時代即開始興建，光復後由省、縣及地方人民接手興建，惟因受經費限制及缺乏整體規劃，故工程設計、品質難期符合標準。又由於本省常受颱風侵襲，沿海居民遭受損失極大，中央及所屬各級政府認為海堤有全面檢討之必要，遂於民國六十一年九月正式成立「臺灣省水利局海堤規劃設計總隊」負責辦理全省海堤整建之全盤調查、規劃，並於民國六十三年完成「臺灣省海堤整建計畫書」開始有計畫性興建。依據經濟部水利署編『嘉義縣出口排水及海堤區域勘測計畫』嘉義海岸海堤北起嘉義縣鰲鼓海埔地事業堤、南迄台南市雙春海堤，嘉義海岸防護設施詳如下表3-3-4示，海堤分布位置如圖3-3-5。



資料來源：一般性海堤禦潮功能檢討(水規所，2014)

圖3-3-4 彰化海岸海堤分布圖



資料來源：一般性海堤禦潮功能檢討(水規所，2014)

圖3-3-5 雲嘉海岸海堤分布圖

表3-3-4 彰化雲林嘉義河川局屬海堤斷面資料彙整情形一覽表

岸別	河川局別	海堤名稱	堤體型式	長度	堤頂高	堤頂寬	堤坡		堤前概況				備註
				(m)	(EL.m)	(m)	外	內	沙灘寬(m)	底床坡度	堤面護坦	消波保護工或其他防護設施	
彰化海岸	四	全興海堤	混凝土面陡坡堤	3,880	4.0~4.2	5.0	1:2	1:2	-	-	-	前方為魚塭地	
	四	什股海堤	混凝土面陡坡堤	2,366	3.3~6.4	3.0	1:2	-	-	1:3	拋塊石	堤腳拋石	路堤
	四	蚵寮海堤	混凝土面陡坡堤	2,457	4.2~6.1	4.0	1:2	1:1.5	-	1:7	拋塊石(1:4)	前有海埔地	前方水道
	四	溝內海堤	混凝土面陡坡堤	865	5.3~6.2	-	1:2	-	-	1:3	拋塊石	前有海埔地	前方水道
	四	塭子海堤	混凝土面陡坡堤	1,245	4.1~4.8	0.5	1:2	1:1.5	-	1:3	拋塊石	前有海埔地	前方水道
	四	崙尾北段海堤	混凝土面陡坡堤	1,908	4.2~4.7	3.0	1:2	1:1.5	-	1:30	拋塊石	前有海埔地	前方水道
	四	崙尾南段海堤	混凝土面陡坡堤	2,724	5.6~5.8	3.0	1:1.5	1:1	5~480	1:8~1:500	拋塊石	前有海埔地	前方水道
	四	洋子厝海堤	混凝土面陡坡堤	1,455	3.5~6.7	3.0	1:2	1:1.5	250	1:90	拋塊石	前有海埔地	
	四	海埔海堤	混凝土面陡坡堤	1,268	5.2~5.5	2.0	1:2	1:1.5	20	1:3	拋塊石	前有海埔地	
	四	顏厝海堤	混凝土面陡坡堤	1,880	5.3~5.7	3.0	1:1.5	1:1.5	-	1:3	拋塊石	前有海埔地	前方水道
	四	菜市海堤	混凝土面陡坡堤	2,248	4.5~5.5	3.0~3.2	1:2	1:1.5	-	1:10	拋塊石	天允塊	前方水道
	四	二港海堤	混凝土面陡坡堤	1,893	4.9~5.7	3.0	1:1.5	1:1	-	1:4	-	堤腳林克塊	
	四	福寶海堤	混凝土面陡坡堤	4,976	4.5~5.9	4.0	1:2	1:1.5	15~750	1:135	-	混凝土塊	
	四	漢寶海堤	混凝土面陡坡堤	6,699	5.4~5.6	4.0	1:2	1:1.5	1470	1:1130	-	林克塊、天允塊	
	四	新寶海堤	混凝土面陡坡堤	2,419	4.1~5.5	2.0	1:1.5	1:1.5	10~55	1:10	-	三腳空心鼎塊、林克塊	排水出口
	四	王功新生地海堤	複合式緩坡堤	7,213	4.3~6.2	4.0	1:2.5	1:2	350~1500	1 : 1460	拋塊石(1:6)	安卡塊	
	四	王功海堤	複合式緩坡堤	654	2.5~2.9	3.0	1:2	1:1.5	-	-	拋塊石(1:4)	-	內陸堤
	四	芳苑市郊海堤	混凝土面陡坡堤	3,355	2.8~3.2	3.0	1:2	1:1	-	-	拋塊石	-	內陸堤
四	芳苑市區海堤	混凝土面陡坡堤	1,967	5.9~6.0	3.0	1:2	1:1.5	2110	1 : 1150	拋塊石	三和塊、紅樹林		

表3-3-4 (續1)彰化雲林嘉義河川局屬海堤斷面資料彙整情形一覽表

岸別	河川局別	海堤名稱	堤體型式	長度	堤頂高	堤頂寬	堤坡		堤前概況				備註
				(m)	(EL.m)	(m)	外	內	沙灘寬(m)	底床坡度	堤面護坦	消波保護工或其他防護設施	
彰化海岸	四	新街海堤	混凝土面陡坡堤	3,390	5.0~5.5	3.0	1:2	1:1.5	730~3350	1:430	拋塊石	天允塊	
	四	大城北段海堤	階梯與緩坡混合式	2,694	5.5~6.2	3.0	1:3	1:2	430	1:420	拋塊石(1:4)	-	
	四	大城南段海堤	混凝土面陡坡堤	4,799	5.9~6.2	3.0	1:2	1:2	0~1520	1:3~1:55	-	林克塊	
雲林海岸	五	後安寮海堤(1)	混凝土砌石陡坡堤	3,200	3.7~4.4	2.5	-	1:2	-	-	-	-	內陸堤
	五	後安寮海堤(2)	混凝土砌石陡坡堤	1,400	6.18	5.0	1:2	1:2	-	-	拋塊石	5T 混凝土塊 4 排	內陸堤
	五	台西海埔地海堤	複合式緩坡堤	6,300	3.6~4.3	2.0	1:2	1:2	-	-	拋塊石(1:3、1:6)	三和塊、前有海埔地	前為水道
	五	海口海堤	複合式緩坡堤	540	4.43	4.0	1:1.5	1:1.5	-	-	拋塊石(1:6)	5T 混凝土塊 3 排	排水出口
	五	海新海堤	混凝土面陡坡堤	700	4.56	4.0	1:1.5	1:1.5	-	-	拋塊石		排水出口
	五	林厝寮海堤	複合式緩坡堤土堤	4,800	5.8~5.9	3.6~5.0	1:2	1:2	1,350	1:1430	拋塊石(1:6)	混凝土塊	
	五	三條崙海堤	複合式緩坡堤土堤	4,400	5.2~5.4	4.0~5.2	1:2	1:2	850~900	1:950	拋塊石(1:6)	10T 混凝土塊 3 排	
	五	箔子寮海堤	複合式緩坡堤	860	5.85	5.0	1:2	1:2	-	-	拋塊石(1:6)	10T 混凝土塊 3 排	未監測
	五	下崙海堤	複合式緩坡堤	2,840	5.67	6.0	1:2	1:2	-	1:30~1:300	拋塊石(1:6)	10T 混凝土塊 4 排	
	五	羊稠厝海堤	混凝土面陡坡堤	2,450	5.46	4.0	1:2	1:1	-	1:165	拋塊石	5T 混凝土塊	
	五	青蚶海堤	混凝土面陡坡堤	1,880	4.0	3.0	1:1	1:1	-	-	拋塊石(1:6)	-	排水出口
	五	新港海堤	複合式緩坡堤	4,330	6.09	5.0	1:2	1:2	-	1:166	拋塊石(1:6)	10T 混凝土塊 3 排	
	五	台子村海堤	複合式緩坡堤	2,980	5.97	5.0	1:2	1:2	0~60	1:130~1:215	拋塊石(1:6)	10T 混凝土塊 3 排	

表3-3-4 (續2)彰化雲林嘉義河川局屬海堤斷面資料彙整情形一覽表

岸別	河川局別	海堤名稱	堤體型式	長度	堤頂高	堤頂寬	堤坡		堤前概況				備註
				(m)	(EL.m)	(m)	外	內	沙灘寬(m)	底床坡度	堤面護坦	消波保護工或其他防護設施	
嘉義海岸	五	東石海堤(副瀨段)	混凝土面陡坡堤	1,075	4.88	4.0	1:1.5	1:1.5	-	-	-	堤腳拋石	防潮堤
	五	東石海堤(新吉段)	複合式緩坡堤	1,684	4.68	4.0	1:1.5	1:1.5	-	-	拋塊石(1:6)	5T 林克塊 3 排	監測中
	五	東石海堤(型厝段)	複合式緩坡堤	900	4.91	4.0	1:1.5	1:1.5	-	-	拋塊石(1:6)	5T 六腳塊 3 排	監測中
	五	東石海堤(塹港段)	複合式緩坡堤	1,359	4.55	4.0	1:1.5	1:1.5	-	-	拋塊石(1:6)	-	漁港段
	五	東石海堤(猿樹段)	混凝土面陡坡堤	714	5.33	4.0	1:2	1:2	-	-	-	堤腳拋石 5T 消波塊 2 排 7T 消波塊 3 排	監測中
	五	網寮海堤	複合式緩坡堤	4,039	4.6~4.7	5.0	1:1.5	1:1.5	-	-	拋塊石(1:6)	-	監測中
	五	白水湖海堤	複合式緩坡堤	2,860	4.9~5.3	5.0	1:1.5	1:1.5	-	-	拋塊石(1:6)	-	監測中
	五	布袋鹽場海堤(二工區)	混凝土面陡坡堤	1,333	5.60	5.1	1:2	1:2	-	-	-	堤腳拋石、消波塊	監測中
	五	布袋鹽場海堤	混凝土面陡坡堤	1,300	5.60	5.0	1:2	1:2	-	-	-	堤腳拋石、10T 消波塊	監測中

二、滯洪池

滯洪設施根據「沿海地陷區蓄洪設施水資源之應用研究」(水利規劃試驗所，98年)指出，主要有兩大優點：

- 1.滯洪池除防洪減洪功用外，亦具提供水資源再利用之潛能，可將豐水期過剩降雨蓄留，經妥善處理水質後，提供作為枯水期用水所需。
- 2.透過減抽地下水而達防治地層持續下陷，同時滿足現今生態環境與水資源永續發展之目標。

可見滯洪設施的存在有助於改善內陸排洪與防治地層持續下陷目標，對於可納入海岸環境營造考量因子之一。目前已規劃滯洪池分布(圖3-3-6)與統計資料(表3-3-5)，沿海鄉鎮滯洪池面積介於2.5公頃~42公頃間，滯洪池體積介於6.8 萬及49.5萬立方公尺。

表3-3-5 彰化縣滯洪池資料表

	編號	滯(蓄)洪池名稱	所屬鄉鎮	用地(公頃)	滯(蓄)洪池容量(立方公尺)
彰化	1	草港尾滯洪池	鹿港	1.4	36,300
	2	萬興排水滯洪池	二林	35	873,600
	3	第四放水路滯洪池	二林	23	624,000
	4	新寶排水滯洪池	芳苑	10	240,000
	5	新街南排水蓄洪池	大城	2.5	73,200
	6	過湖排水蓄洪池	大城	5.5	147,600
	7	外五間寮蓄洪池	大城	8.6	208,800
	8	魚寮溪下遊北岸蓄洪池	大城	16.4	382,400
	9	頂西港排水蓄洪池	大城	19.5	405,000
	10	下海墘排水蓄洪池	大城	18	390,000
	11	山寮排水蓄洪池	大城	13	323,200
	12	蓄社排水上游田中滯洪池	社頭 田中	23	664,000
	13	南分圳排水上游滯洪池	鹿港	2.5	68,000
	14	石苟排水上游滯洪池	員林 大村	20	530,000
彰化	15	花壇排水上游滯洪	花壇	10	253,000
	16	麻剪溝排水台糖土地滯洪池	鹿港	10	178,000
	17	彰化市公園用地滯洪池	彰化市	5.6	140,000
	18	員林鎮公園用地滯洪池	員林	3.7	92,500
	19	埤腳排水滯洪池	芳苑	2.7	58,680
	20	和美滯洪池	和美	2.83	47,953
	21	牛埔排水中彰滯洪沉砂池	彰化市	3.5	51,000
	22	虎仔坑滯洪池	芬園	1.79	18,394

表3-3-5 (續)彰化縣滯洪池資料表

	編號	滯(蓄)洪池名稱	所屬鄉鎮	用地(公頃)	滯(蓄)洪池容量(立方公尺)
彰化	23	縣庄坑滯洪池	芬園	1.95	19,560
	24	圳寮二排滯洪池	溪洲	3.77	76,000
	25	十三戶排水滯洪池	芳苑	3.50	70,000
雲林	26	有才寮排水系統滯洪池	臺西	1.1	28000
		崙豐村村落滯洪池	臺西	0.8	25000
		新山寮大排滯洪池	臺西	5	113000
		溪頂大排滯洪池	臺西	2	45000
		北溪尾中排滯洪池	四湖	2	45000
		海豐排水滯洪池	麥寮	19.9	335000
		植梧滯洪池	口湖	1.1	28000
嘉義		龍宮溪排水新塭滯洪池	布袋	42	495000
		四股村村落圍堤滯洪池	東石	1.3	15000
		考試潭排水系統—內田滯洪池	布袋	68	1500000
		嘉義白水湖第一滯洪池	東石	56	560000
		嘉義白水湖第二滯洪池	東石	150	1912000



資料來源：彰化海岸防護整合規劃，108年度

圖3-3-6 滯洪池分布

3-3-4 計畫區域海岸地區綜合治水對策案例

台灣彰雲嘉沿海地區地勢原本低窪，地表坡降平緩，受超抽地下水導致地層持續下陷之影響，排水功能日趨低落，廣大面積土地地面高程低於大潮平均高潮位，許多排水路尚未整治，排水出口閘門功能不佳。面對高潮位之威脅，排水堤岸安全稍有疏忽或防潮閘門、抽水站管理稍有不慎，即可能造成嚴重之海水倒灌；每逢暴雨成災，人民財產損失不貲，區域產業經濟發展頗為困難。

然政府雖已逐年補助經費辦理排水路整治、防潮閘門、抽水站及村落淹水防護設施抽排等工程，以減輕淹水災害，但淹水情形仍然嚴重，民國93年72水災及94年612水災在本地區造成民眾數億之財產損失。為有效減輕淹水災害，跳脫以往排水改善規劃思維，進行整體性之低地排水改善。

本計畫蒐集易淹水計畫以及綜合治水對策內容，針對彰雲嘉沿海海岸地區之現海海岸防洪設施與策略，做初步蒐集以及探討。

一、舊濁水溪排水

1.地理位置

舊濁水溪排水系統計畫區域面積 177 平方公里，位於員林大排以南，萬興排水及二林溪排水以北，上游臨濁水溪。行政區域包含福興鄉、埔鹽鄉、溪湖鎮、埤頭鄉、溪州鄉、田尾鄉、北斗鎮、田中鎮、二水鄉等鄉鎮。

2.綜合治水對策

- (1)排水路整治：排水路用地拓寬無問題者，建議以拓寬方式改善；改善排水路斷面(拓寬或浚深排水路)，以暢通水流，增加河槽通水能力及降低洪水位，建立排水路之基本排洪能力，以滿足保護需求。本計畫排水改善仍以排水路整治為主，需辦理改善長度計82 公里。
- (2)截流分洪及改道：對於經過建物密集段之排水路，檢討於其上游截流改道，避開建物密集區段，解決拓寬困難之問題。經研擬評估結果，需辦理溪湖埔鹽排水下游出口段改道工程(長度250 公尺)、溪湖鎮148 公路截流箱涵工程(1,985 公尺)。
- (3)滯洪池減洪：排水路兩旁建物密集無法拓寬者，考量於上游適當位置設滯洪池減洪，降低下游洪峰流量，以達保護需求。本計畫檢討於清水溪排水上游

田中工業區東側農地設置滯洪池方案，經評估比較結果，因需大量徵收私有土地且所需經費太龐大，未來執行不易，故採用既有水路拓寬改善案，滯洪池列為替代方案。

- (4)取水閘門改善：舊濁水溪排水系統灌排兩用渠道眾多，排水路沿線設置取水閘門取水灌溉，部分斷面太小形成通水瓶頸，應一併辦理改建。現有制閘門部分為手動操作之捲揚式閘門，未來改善應朝自動控制設計，本計畫建議採用傾倒式閘門。
- (5)沿海地勢較低之中小排出口，需設置防潮閘門防止外水倒灌，自動閘門採設有配重設備改善，以提高排洪效率。



資料來源：彰化海岸防護整合規劃，108年度

圖3-3-7 舊濁水溪排水綜合治水方案10年重現期淹水範圍圖

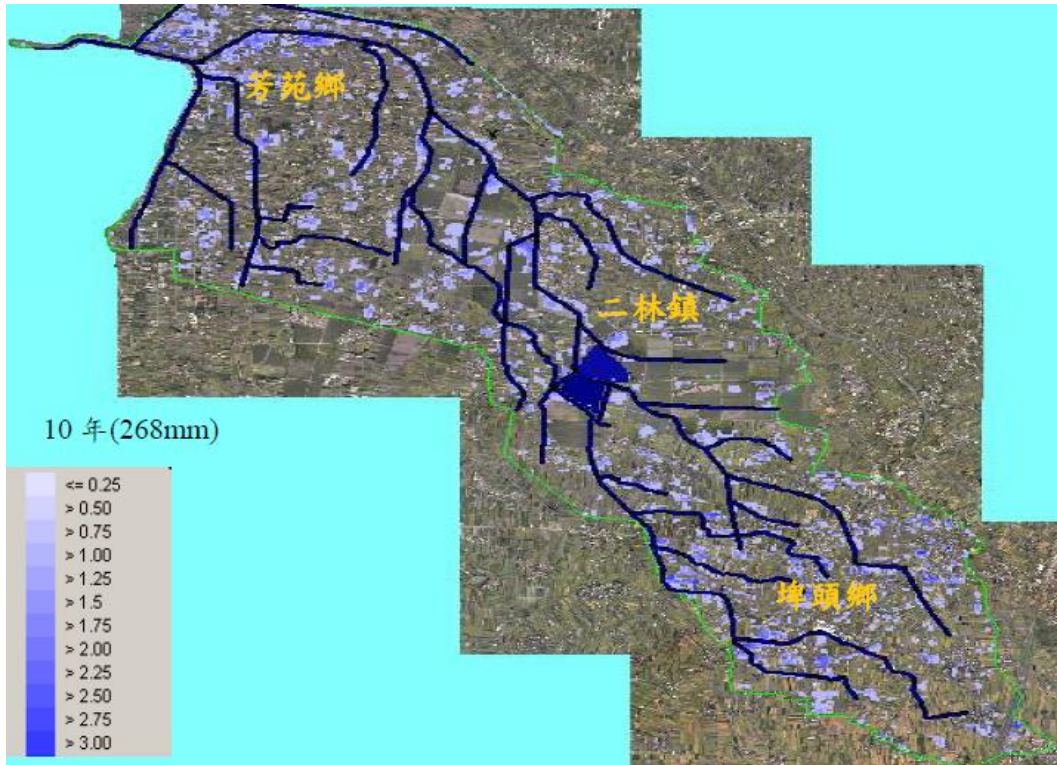
二、萬興排水

1.地理位置

萬興排水系統計畫區域面積 88 平方公里，位於舊濁水溪排水以南，舊趙甲排水及二林溪排水以北。行政區域包含芳苑鄉、二林鎮、埤頭鄉、溪州鄉等鄉鎮。

2.綜合治水對策

- (1)排水路整治及滯洪池：排水路用地拓寬無問題者，建議以拓寬方式改善；整治排水路斷面(拓寬或浚深排水路)以暢通水流，增加河槽通水能力及降低洪水位，建立排水路之基本排洪能力，以滿足保護需求。另外，考量於萬興排水及第四放水路中游配置滯洪池減洪，經研擬檢討結果，需於大排沙農場設置萬興排水滯洪池面積約30.7 公頃，第四放水路滯洪池面積約21.8 公頃，以及在新寶橋附近設置新寶排水滯洪池面積約10 公頃左右。搭配滯洪池減洪外，本計畫排水改善仍以排水路整治為主，需辦理改善長度之排水路計48 公里長。
- (2)截流分洪：對於經過建物密集段之排水路，考量於上游截流改道，避開建物密集區段，解決拓寬困難之問題。經研擬檢討結果，需辦理新寶支線排水截流溝工程(1,070 公尺)。
- (3)取水閘門改善：萬興排水系統灌排兩用渠道眾多，排水路沿線設置取水閘門取水灌溉，部分斷面太小形成通水瓶頸，應一併辦理改建。現有制水閘門部分為手動操作之捲揚式閘門，未來改善應朝自動化控制設計，本計畫建議採用傾倒式閘門取代傳統捲揚式閘門。
- (4)利用暨有都市計畫區之公園綠地等佈設減洪措施，如雨水貯流設施及增加入滲措施(透水性鋪面)等，減少及延緩降雨排出量，提升下游水路保護標準。
- (5)沿海地勢較低之中小排出口，需設置防潮閘門防止外水倒灌，自動閘門採設有配重設備改善，以提高排洪效率。



資料來源：彰化海岸防護整合規劃，108年度

圖3-3-8 萬興排水綜合治水方案10年重現期淹水範圍圖

三、彰化南部綜合治水

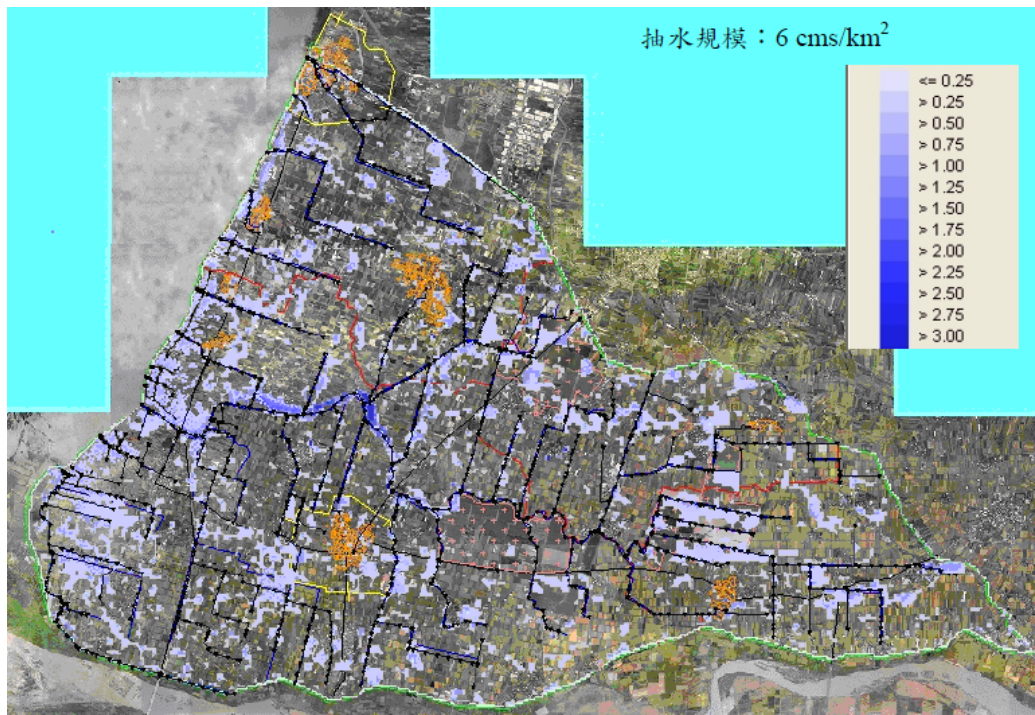
1. 地理位置

大城地區位於彰化縣西南方，集水區介於二林溪以南至濁水溪之間，計畫區面積約90 平方公里，包含直接出海之芳苑二排、路上大排、新街排水、新街南排水、過湖排水、外五間寮排水、頂西港排水、下海墘排水。行政區包含大城鄉、芳苑鄉、二林鎮及竹塘鄉等4 鄉鎮。

2. 綜合治水對策

- (1) 排水路整治+低地蓄洪搭配抽排方案：針對排水路拓寬整治後，仍無法有效減輕淹水之低地排水區，搭配設置抽水站及蓄洪池減洪。抽水站設置含芳苑二排、新街排水、下海墘排水及西港村北側等。蓄洪池位置含新街南排水、過湖排水、外五間寮排水、頂西港排水、下海墘排水、山寮排水下游，及魚寮溪排水出口北岸等。
- (2) 地貌改造：從長遠著想，低窪地區地貌重整方案以新闢之蓄洪池挖方及其他土方填土改造地貌，升高地表高程，搶救失落之地平線，復育國土，可徹底改善淹水災害，提高土地利用價值，重塑鄉村新風貌，確保區域產業之發

展，使國土得以永續經營。惟所需土方龐大，不易達到足夠之填土高程。由於蓄洪池挖方不足以填到低地地表完全可重力排水之高程，故要改善低地排水不良問題，仍須採行前述相關排水改善方案，才能減輕淹水災害。



資料來源：彰化海岸防護整合規劃，108年度

圖3-3-9 彰化南部區域排水綜合治水方案10年重現期淹水範圍圖

四、雲林南部沿海地區

1.地理位置

本計畫區域為雲林縣，位於臺灣本島西方的中南部，本縣轄區共分為1市5鎮14鄉，縣政府設於斗六市。本計畫區域內之中央管河川為濁水溪及北港溪，其幹流長度為186公里及53公里，流域面積為3156.9平方公里及654.8平方公里，縣管河川為新虎尾溪，幹流長度為50公里，中央管排水為興安排水及興安中排四，縣管區排共139條，雲林縣境內並無運轉中的水庫，目前在斗六丘陵西麓闢建湖山水庫。

2.綜合治水對策

(1)排水路整治+低地蓄洪搭配抽排方案：針對排水路拓寬整治後，仍無法有效減輕淹水之低地排水區，搭配設置抽水站及搭配滯洪或蓄洪設施，支線出口抽排較適當之抽水規模約為0.3~1.5cms/km²。

(2)沿海地勢較低之中小排出口，需設置防潮閘門防止外水倒灌，自動閘門採設

有配重設備改善，以提高排洪效率。

(3)地貌改造：從長遠著想，低窪地區地貌重整方案以新闢之蓄洪池挖方及其他土方填土改造地貌，升高地表高程，搶救失落之地平線，復育國土，可徹底改善淹水災害，提高土地利用價值，重塑鄉村新風貌，確保區域產業之發展，使國土得以永續經營。惟所需土方龐大，不易達到足夠之填土高程。由於蓄洪池挖方不足以填到低地地表完全可重力排水之高程，故要改善低地排水不良問題，仍須採行前述相關排水改善方案，才能減輕淹水災害。



資料來源：水利署雲林南部沿海地區示範區

圖3-3-10 雲林南部區域排水綜合治水方案佈置圖

五、嘉義沿海地區綜合治水規劃

1. 地理位置

嘉義位於台灣西南部，濱海鄉鎮包括布袋鎮、東石鄉，此區排水路系統大部分仍是早期為農田排水目的所設計之排水路，排水量採經濟比流量或日暴雨日平均排出之設計，與目前區域排水採洪峰流量瞬間排出之設計流量，相差甚多，地層下陷後，低地排水區受潮位或河川水位之影響，已無原設計之排水能力，僅能延遲排出或藉機械抽排。此外集水面積地面高程大半低於7~10月大潮平均

高潮位，排水不良問題嚴重，尤以台17線公路以西部份為甚，重力排水困難，在地面感潮線內之許多排水路在退潮時最有利的排水條件下，約僅有1/10,000~1/5,000之水面坡降，由於水面坡降相當平緩，導致流速小、積水排出緩慢，排水條件相當差。。

2.綜合治水對策

- (1)排水路整治+低地蓄洪搭配抽排方案：流經低地含大面積高地之排水路幹線、承納甚多支流抽排量之排水路幹線及漁塭抽排區(漁塭區遇連續降雨常自行抽排)之排水路潰堤、溢堤，易導致低地嚴重淹水災患者應優先辦理整治，設置較安全穩固、足夠堤頂高的堤防；而對於集水區幾乎全為低地排水路，則首先應設置完善之閘門(捲揚式閘門及自動閘門雙重閘門防護)，以避免外水倒灌。計畫區以集水區中、上游蓄洪功能較佳且較易取得、可兼俱水源供應及休閒遊憩等功能之大面積土地為考量，計畫區內用地較易取得、面積較大之土地為台糖溪墘農場、新庄農場之土地。於汛期時多功能滯洪池可先蓄集無法立即排出水量，以達到防洪減災之功能，於平時可做為親水、景觀休憩等空間使用，讓鄰近民眾可以放風箏、散步、嬉戲等活動，並可提供戶外教學的場所，讓民眾、學童瞭解其淨化機制與成效，溪墘農場及新庄農場結合周邊之灌溉系統及養殖漁塭，可兼俱調節補充灌溉與養殖用水等功能。
- (2)高地排水路可採重力即時排水：由於現況渠寬不足，排水能力無法顯著提升，若其中上游未設置滯洪或蓄洪設施搭配，其排水路整治須有足夠之有效通水斷面；低地排水路因無法即時排水，需搭配滯洪或蓄洪設施，排水可依現況渠寬整治，若無抽排量匯入，出口已有雙重閘門保護，應避免再設置高堤。
- (3)沿海地勢較低之中小排出口，需設置防潮閘門防止外水倒灌，現有靠閘門上下游水位差自動啟閉之閘門，大多為不銹鋼或鑄鐵材質，因重量太重，可開啟度小且水密性不佳，降低閘門通水能力，延長淹水退水時間，應逐漸以設有配重之自動閘門取代。
- (4)鹽田溼地蓄洪：布袋鹽場總面積約近2,000公頃，目前鹽灘地呈現濕地型態。由於鄰近鹽田區域豐水期之地下水位頗高(詳鄰近布袋鹽場錦湖站及東石站之長期觀測紀錄：錦湖站豐水期地下水位約標高-0.6公尺至+0.2公尺；東石站豐水期地下水位約標高-3.0公尺至-1.0公尺，接近鹽田區域之實測水面高程(布袋鎮南側最低約-1.0公尺，東石鄉朴子溪南側最低約-2.0公尺)，且因本地

區之潮位因素(大潮平均低潮位約-0.6公尺至-1.0公尺)，設置滯洪區若無配置機械抽排，重力排水不易。故本計畫對於鹽田滯洪區之規劃，僅係用經檢討蓄洪功能較佳之部份鹽灘地佈置滯洪區，以改善淹水。計畫區內建議鹽田濕地蓄洪之土地為在考試潭排水幹線出口南側內田排水北側鹽田區域、贊寮溝排水幹線出口南側及新塭地區(龍宮溪排水幹線與八掌溪間)利用廢鹽田，設置滯(蓄)洪池，於汛期時多功能滯(蓄)洪池可先蓄集無法立即排出水量，以達到防洪減災之功能，於平時可做為親水、景觀休憩等空間使用場所。

(5)地貌改造：從長遠著想，低窪地區地貌重整方案以新闢之蓄洪池挖方及其他土方填土改造地貌，升高地表高程，搶救失落之地平線，復育國土，可徹底改善淹水災害，提高土地利用價值，重塑鄉村新風貌，確保區域產業之發展，使國土得以永續經營。惟所需土方龐大，不易達到足夠之填土高程，應急之法可先行對於低窪地區村落之主要聯絡道路應予以加高，以利於災害之避難及搶救。由於蓄洪池挖方不足以填到低地地表完全可重力排水之高程，故要改善低地排水不良問題，仍須採行前述相關排水改善方案，才能減輕淹水災害。

(6)利用休耕農田蓄洪案與養殖改善案

近年來由於農耕技術精進，為達到農糧產銷供需平衡之目的，農田休耕轉作面積逐年增加，利用休耕轉作綠肥、休閒農田蓄洪，蓄存之雨水暴雨過後，可進一步補充供應灌溉用水、養殖用水或其他次級用水。利用休耕農田蓄洪之操作，以由縣府成立綜合治水指揮中心雇工統一操作為宜。嘉義南部沿海之各養殖漁業生產區，建議權責單位應逐步規劃設置海水供水系統或辦理養殖區土地重劃設置完善之養殖區供排水系統，以解決養殖供水與排水相衝突問題。養殖漁業應輔導為海水養殖，以減抽地下水減緩地層下陷，有助於地層下陷區國土之復育。而對於一些海水不易供應之漁塭區或零散之漁塭區，則建議休養或轉作其它用途使用。

六、結論

綜合上述案例台灣西南部沿海海岸可歸納下面幾點因素：

- 1.地勢低窪，地面坡降平緩，排水條件差。
- 2.地層下陷，外水位相對升高，排水問題更加惡化。
- 3.甚多堤岸水門構造脆弱，增加潰堤風險。
- 4.排水出口淤積，降低排水功能。

- 5.漁塭養殖利用排水路取海水，降低防潮閘門功能，增加淹水災害及維護管理困難。
- 6.排水改善及維護管理經費不足，無法提升保護基準、完全發揮排水功能。

歸納目前國內整體海岸改善目標及原則分別為：

1.改善原則：

應用綜合治水對策，結合國土復育策略方案，因地制宜、整體考量，擬定適當之綜合治水方案，除為減輕淹水災害外，兼顧生態保育、景觀、親水遊憩、水源供給等需求。

2.改善目標：

綜合治水設施完成後，既有村落淹水保護標準(重現期距)提升到10年，低地農田、漁塭保護標準提升到5年，重要排水幹支線由大多不到2年提升到10年 (25年不溢堤)。於人口密集地區或重大建設地區，另增加規劃以搭配滯洪、蓄洪、分洪、墊高基地等方式治理，以使地區外水保護程度達50年重現期距以上為目標。在減輕淹水災害同時減緩地層下陷、維護生態環境、提升生活環境品質、確保自然資源之永續利用。

就以往報告對海岸地區治水規劃規畫，較著重於海岸災害預防，其策略大多以皆以減輕淹水災為主，且其規劃相當完善；但是就海岸韌性定義而言，海岸韌性包含：(一)、災害預防、(二)、災害應變、以及(三)、災後復原重建。端看國內治水策略於後兩者災害應變以及災後復原重建的策略及規畫上其力道尚嫌不足，綜合國內現有海岸治水災害成因以及應變作為如表3-3-6。

表3-3-6 海岸區域災害成因以及應變作為

海岸溢淹災害風險因素	災害預防策略	災害應變	災後復原重建
1.地勢低窪，坡降平緩，排水條件差。 2.地層下陷，排水問題惡化。 3.多數堤岸水門構造脆弱。 4.排水出口淤積，減低排水功能。 5.漁塭養殖利用排水路取海水，降低防潮閘門功能，增加淹水災害及維護管理困難。 6. 經費不足，無法提升保護基準	1.海堤防潮閘門設置維護 2.排水路整治 3.高地排水路改道重力即時排水 4.魚塭、鹽田溼地蓄洪(興建蓄洪池) 5.養殖改善 6.地貌改造(取土墊高，經費龐大)	1.抽排方案調控 2.休耕農田蓄洪調控案	1.地貌改造，(針對河川氾濫後土地遭土石淹沒之低窪區直接改造地貌重建)

第四章 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(為本計畫考量之項目)。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。

另考量國際對於氣候變遷相關研究皆採用IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 模式輸出成果做為分析依據，而國家災害防救科技中心 (National Science and Technology Center for Disaster Reduction, NCDR)亦建議國內氣候變遷相關資訊，可依循IPCC對於氣候變遷之相關研究成果。本計畫兩種因子之情境分析概述如后所示：

4-1 海象情境分析

於氣候變遷海象情境方面，可概分為「波浪與暴潮」及「海平面上升」兩種情境條件。於「波浪與暴潮」方面，本計畫採用「數值模擬分析」與「統計降尺度分析」兩種方式來評估氣候變遷海象情境。圖4-1-1為本計畫氣候變遷海象情經分析之流程圖，其中數值模擬分析方面，採用本團隊往昔執行計畫之相關成果，進一步針對本計畫區域分析所需情境資料；統計降尺度方面，國內目前還無海象統計降尺度的方法與資料，因此本計畫導入國外分析方法(Camus et al., 2014)，建構海象統計降尺度之流程，並進行相關情境分析；海平面上升情境方面，本計畫引用交通部運輸研究所港灣技術研究中心 (以下簡稱運研所)針對海平面上升之研究報告，藉以擬訂海平面上升之情境條件。各海象情境分析概述如后：

一、氣候變遷海象情境分析-數值模擬分析

本團隊往昔於「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究」2年度計畫中，有針對臺灣氣候變遷海象情境進行分析，該情境分析相關流程如圖4-1-2所示。藉由推估現階段海象條件設計條件 (包含波浪與水位) 與氣候變遷海象情境條件增量，以計算氣候變遷下海象條件之情境條件。其中，現階段設計條件是將歷史颱風事件相關條件 (中央

氣象局發佈颱風警報單上的中心位置、中心氣壓與風速) 代入螺旋模型風場 (Rankin Vortex Model, RVM) 計算颱風時期風場與壓力場分布情況，再透過極值分析(採用超量選用法)與頻率配套方式推估計畫區鄰近海域之設計波高與設計水位，藉以做為「現階段海象設計條件」；氣候變遷增量則是透過蒐集大氣情境條件資料 (NCDR與IPCC)，再經由水動力數值模式進行模擬分析，並配合統計方法 (極值分析與頻率配套) 分別依據計畫區域分析其基期與近未來(2020年~2039年)代表性海象設計條件，且計算氣候變遷海象條件增量。最後，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。

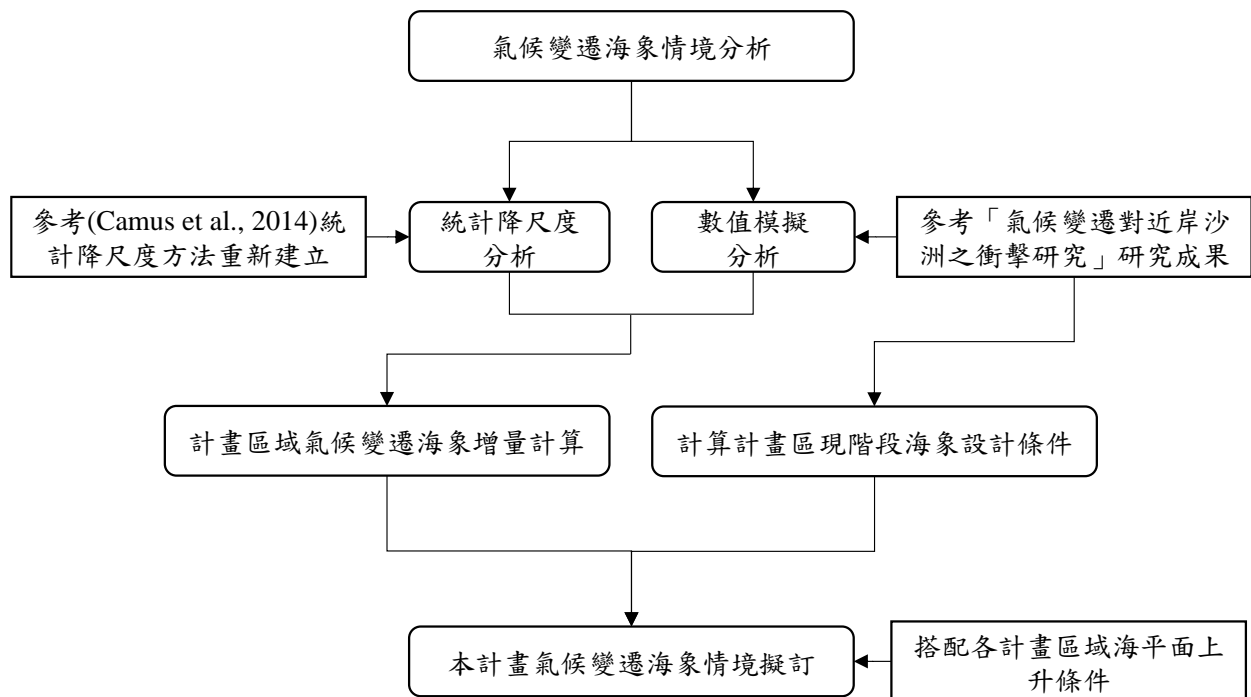


圖4-1-1 氣候變遷海象情境分析流程圖

於現階段海象設計條件方面，本團隊過往採用採用波流耦合模式針對歷史颱風進行波流計算，此可同時考慮波與流之交互作用。納入1989年~2017年歷史颱風事件，藉由RVM模擬風場與中心低氣壓條件，並進行數值計算以模擬各颱風事件之水位與波浪分布情況。而海象設計條件則是先於計畫區域鄰近海域擇選適合位置，進行頻率分析後所求得，其位置擇選除須考量位於計畫區域鄰近海域外，亦須考量該地點受近岸地形或結構物影響較不顯著之點位，以提高設計條件做為颱風波浪入射近岸之代表性。頻率分析主要依據「海岸工程學」及「臺北港波浪條件推算及設計波高基準之探討」(運研所，95年)極值統計方法及步驟，所用套配模式及根據CEM(Coastal Engineering Manual, 2002)之建議，選用適合用以分析長期波浪極值之極值I型(FT-I型，又稱Gumbel)和Weibull之累積機率分布函數：

1.極值I型 (Gumbel)

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (4-1)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{-\frac{x-B}{A}} e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}} \quad (4-2)$$

2.Weibull 分布

$$F(x) = 1 - e^{-\left(\frac{x}{A}\right)^k}, 0 \leq x < \infty \quad (4-3)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{A}\right)^k} \quad (4-4)$$

其中 x 為樣本變數， $f(x)$ 為機率密度函數 (probability density function)， $F(x)$ 為累積機率函數 (cumulative probability function)， A 、 B 為描述機率密度函數形狀之參數， B 與樣本平均值 (mean)有關，稱為位置參數 (location parameter)，而 A 值為變異數 (variance)，稱為尺度參數 (scale parameter)， k 為形狀常數， k 值大小決定機率函數之尖扁形狀，如表4-1-1所示。

表4-1-1 分布函數相關統計量

分布函數	平均值	變異數
極值I型分布	$B + A\gamma$	$\pi A / \sqrt{6}$
Weibull 分布	$B + A\Gamma(1+1/k)$	$A[\Gamma(1+2/k) - \Gamma^2(1+1/k)]^{1/2}$
註： $\Gamma(\quad)$ 為Gamma函數， γ 為Euler數		

針對兩分布函數以最大概似法進行推定，並以均方根誤差(RMSE)做為檢定標準，評估兩分布函數之暴潮偏差與波高統計誤差。於本計畫中，引用過往模擬成果，並進一步針對此兩年度計畫區域 (彰化、雲林、嘉義、臺南、高雄及屏東) 各鄰近海域進行該配套分析，以求得各計畫區域所需現階段設計條件。圖4-1-3~圖4-1-5則分別為本年度計畫區域(彰化、雲林及嘉義)之頻率分析相關成果，表4-1-2~表4-1-4則為頻率分析配套各計畫區域於各重現期下所對應的暴潮偏差及颱風波高結果，並以50年重現期條件做為本計畫各區域「基期海象設計條件」，以利情境條件推估與衝擊評估所用。

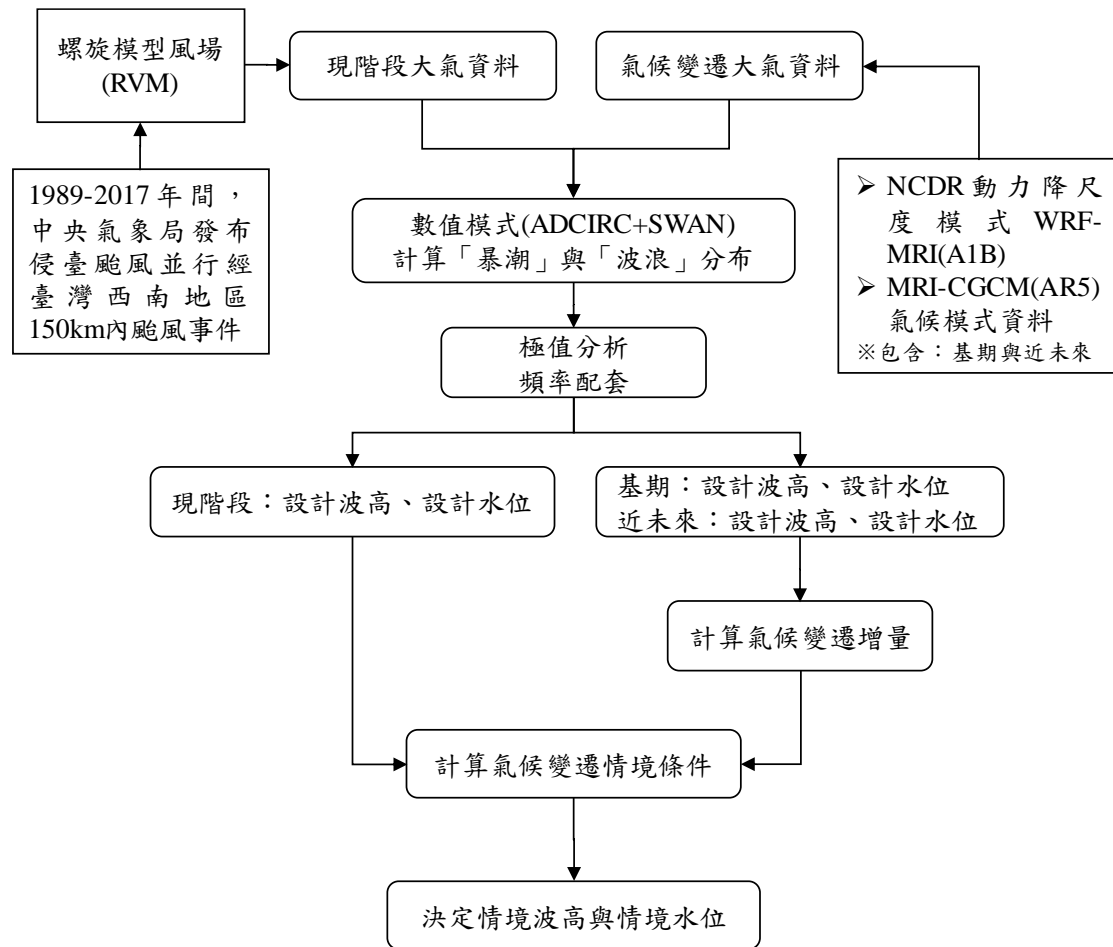


圖4-1-2 數值模式分析之流程圖

表4-1-2 暴潮偏差與颱風波高推算值(彰化區域)

	各階段	套配模式	均方根誤差	不同重現期下統計值			
				5年	10年	20年	50年
暴潮偏差 (m)	現階段	極端值I	0.081	0.741	0.792	0.832	0.874
	現階段	Weibull	0.037	0.732	0.803	0.863	0.931
颱風波高 (m)	現階段	極端值I	0.283	7.327	7.628	7.863	8.111
	現階段	Weibull	0.284	7.369	7.762	8.083	8.437

表4-1-3 暴潮偏差與颱風波高推算值(雲林區域)

	各階段	套配模式	均方根誤差	不同重現期下統計值			
				5年	10年	20年	50年
暴潮偏差 (m)	現階段	極端值I	0.105	0.469	0.523	0.565	0.610
	現階段	Weibull	0.015	0.434	0.520	0.599	0.695
颱風波高 (m)	現階段	極端值I	0.326	7.043	7.358	7.603	7.862
	現階段	Weibull	0.316	7.091	7.515	7.863	8.247

表4-1-4 暴潮偏差與颱風波高推算值(嘉義區域)

	各階段	套配模式	均方根誤差	不同重現期下統計值			
				5年	10年	20年	50年
暴潮偏差 (m)	現階段	極端值I	0.114	0.445	0.500	0.543	0.588
	現階段	Weibull	0.017	0.402	0.491	0.573	0.674
颱風波高 (m)	現階段	極端值I	0.184	6.060	6.259	6.417	6.584
	現階段	Weibull	0.191	6.088	6.337	6.540	6.763

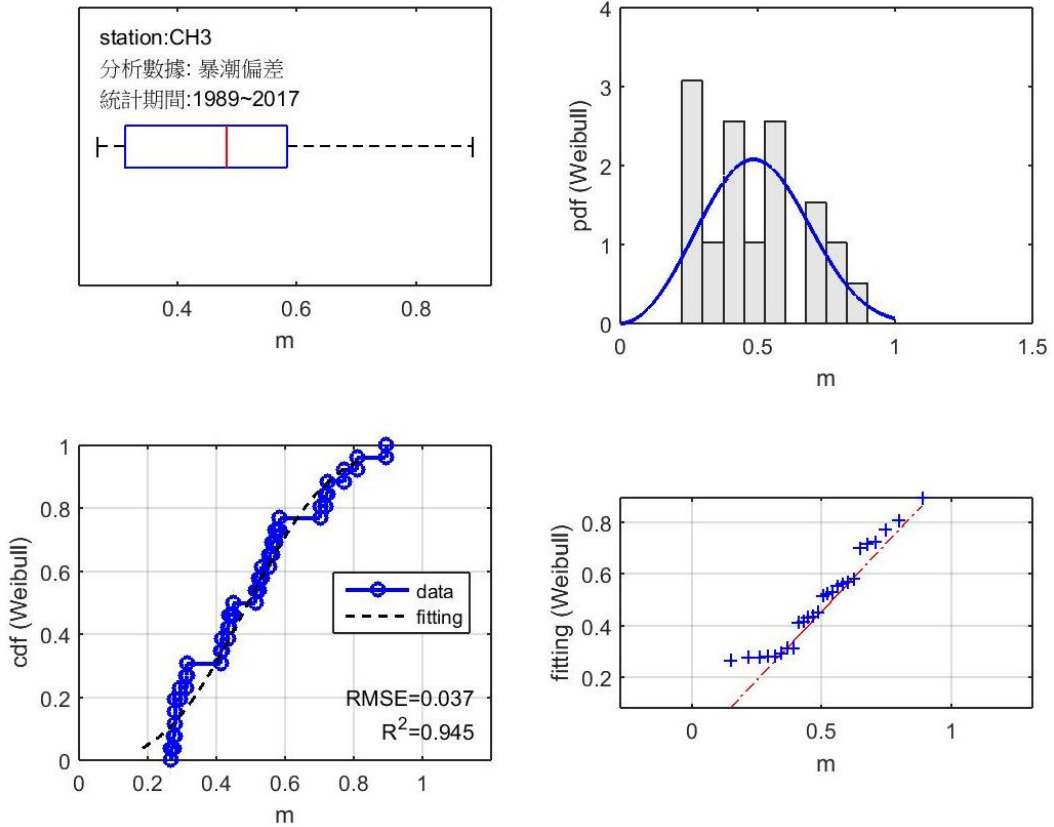


圖4-1-3 現階段暴潮偏差以Weibull分布套配結果(彰化區域)

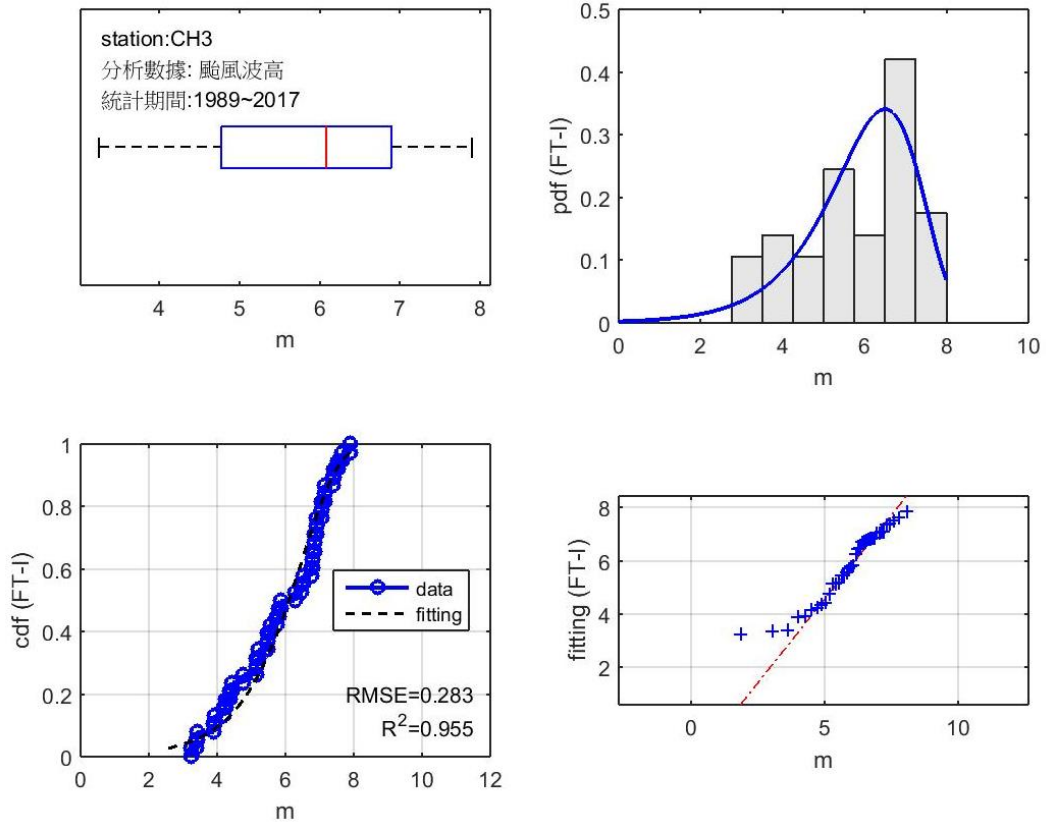


圖4-1-3 (續)現階段颱風波高以極端值I分布套配結果(彰化區域)

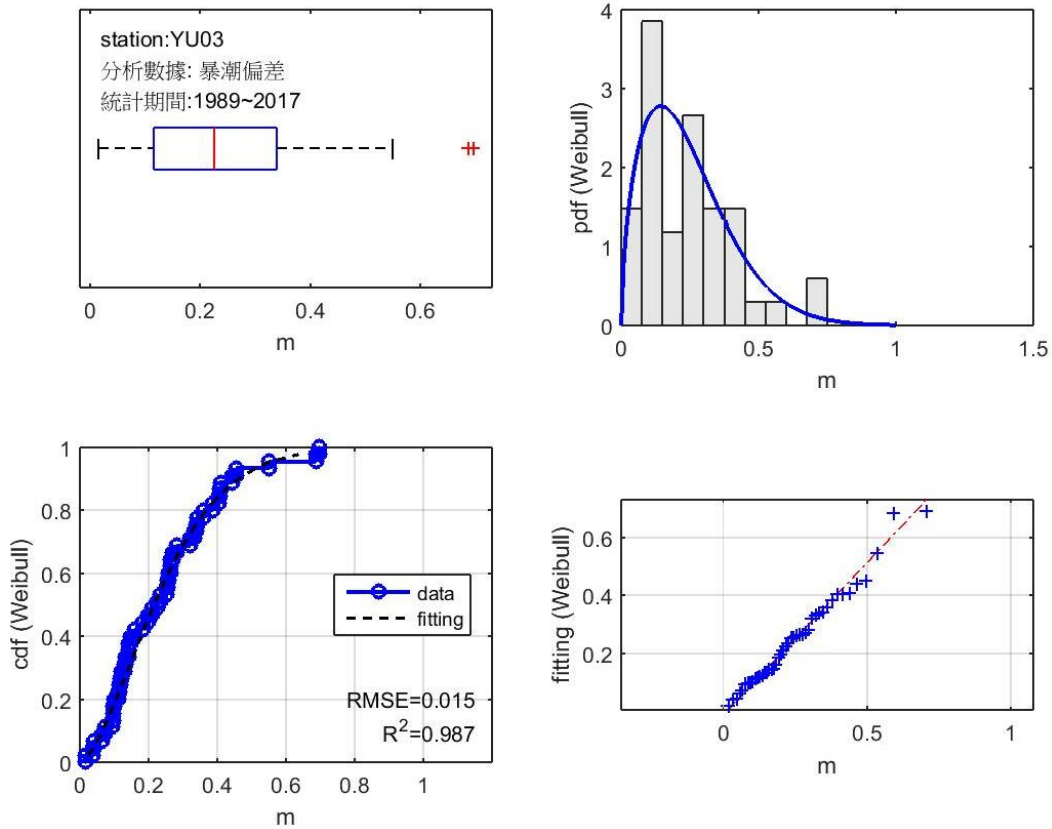


圖4-1-4 現階段暴潮偏差以Weibull分布套配結果(雲林區域)

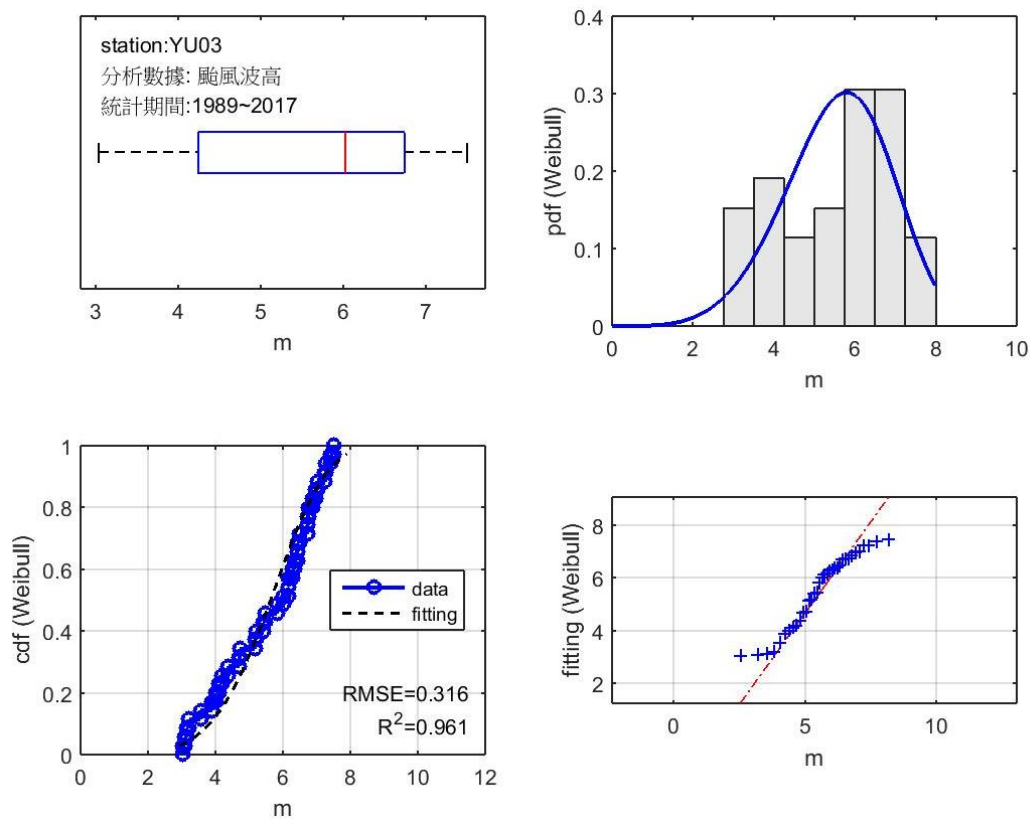


圖4-1-4 (續)現階段颱風波高以Weibull分布套配結果(雲林區域)

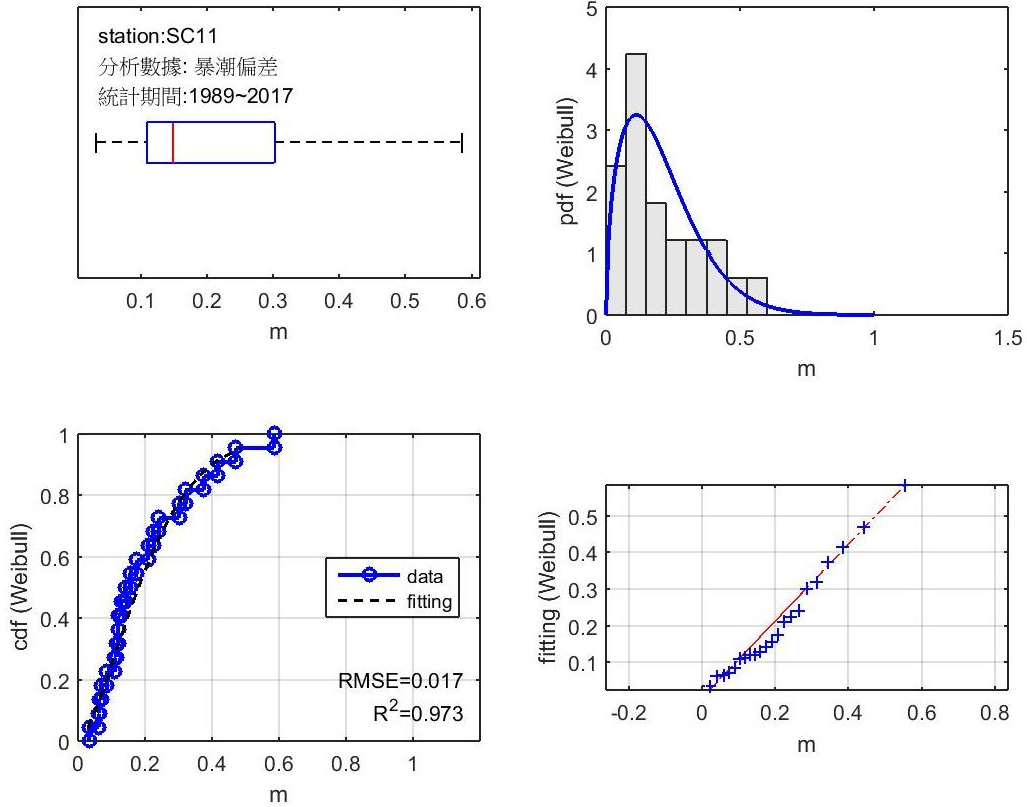


圖4-1-5 現階段暴潮偏差以Weibull分布套配結果(嘉義區域)

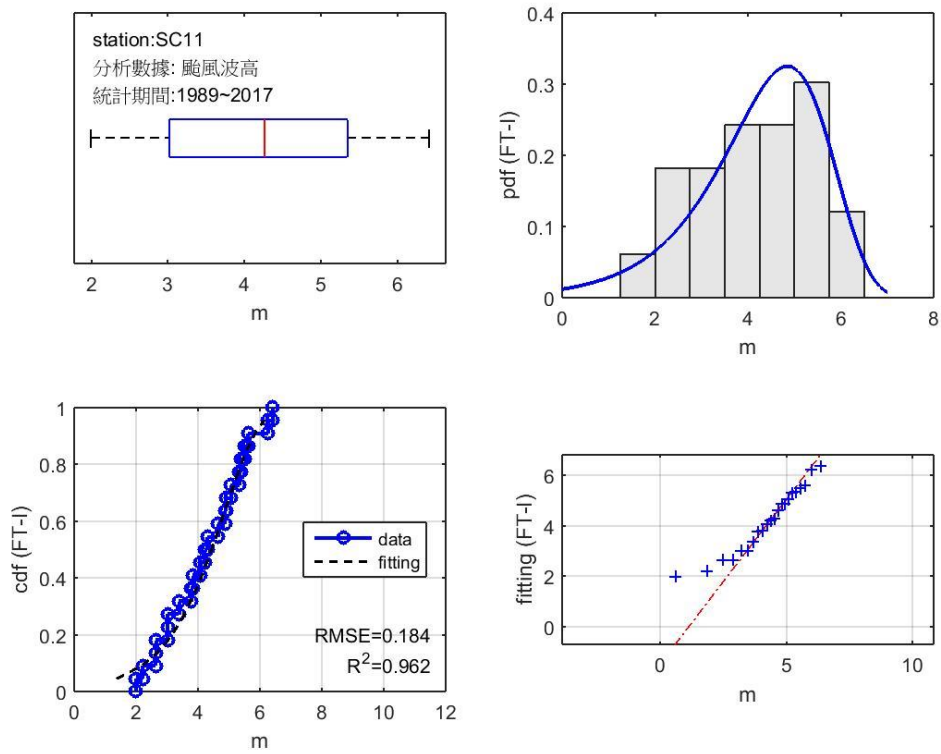


圖4-1-5 (續)現階段颱風波高以極端值I分布套配結果(嘉義區域)

於氣候變遷海象情境分析方面，過往曾利用NCDR提供之動力降尺度模式(WRF-MRI(A1B))颱風結果模擬及分析近未來颱風事件，並與基期颱風事件結果進行比對，其結果顯示，未來之風場條件或波浪條件及暴潮條件都比基期樂觀，此與一般常理不太一致。雖然全球氣候變遷，並不代表臺灣或是研究區域一定受影響，為慎重起見，還是需多方參考其他模式的結果，這樣可以較為客觀的方式評估氣候變遷之變化。故進一步採用IPCC第五次評估報告(AR5)中之MRI_CGCM氣候模式資料進行計算，其結果顯示，臺灣周圍波浪設計條件有增大之趨勢。由此可知，全球氣候模式(GCM)之結果常存在差異性與不確定性(Uncertainty)；另一方面，不同研究團隊對於模式操作過程中所使用的數值方法或初始設定都不同，或是知識上的缺乏使得每一個團隊提供之結果都有其不確定性存在。此外，世界各國均積極發展大氣環流模式，不同環流模式利用相同溫室氣體情境往往模擬結果也不完全相同。加上為考量電腦模擬能力，模擬結果之空間解析度與研究所需空間尺度往往不同，所以需要應用降尺度技術進行資料轉換，不同降尺度方法也可能帶來不確定性。因此，本團隊藉由許多相同目的研究成果之比對，探討其一致性(consistency)。若所有研究成果均有相同結論，則代表此結果有相當高之一致性，對此結果亦可具較高之信心，即其發生之可能性較高。對於研究結果之可能性可以機率來表達，其發生的機率稱為可能性，可藉由彙整許多研究成果，並統計不同研究結果之機率。可藉函數描述，經由機率分布與統計分析方法，得到具有代表性且符合真實情況的結果(詳細內容可參考「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究」計畫)。

本團隊過往蒐集IPCC官方網站公佈AR5的GCM資料(參見表4-1-5)，為由23不同國家單位建立之共39個GCM模式，經篩選後選定10組GCM模式(如表紅字部分)，藉由分析其氣候模式之風場成果，進一步得到未來波候條件變化，獲得模式中之基期與近未來氣候條件變化資訊。氣候模式情境分析方式，擇選的氣候模式(GCM)之風場資料，逐時以風浪模式計算波浪場，再利用年最大波法選取年度極值波浪條件；暴潮則統計海平面極值壓力變化根據氣壓倒轉效應推估之，其中極值分布則採用Weibull分布統計配套計算。彙整極值差異分布結果，即可匯出各模式於計畫區域氣候變遷情境變化情況。最後，再平均所有情境結果，可獲致於近未來氣候條件下，臺灣50年設計條件波高與暴潮偏差之平均增量(如圖4-1-6與圖4-1-7所示)。依據上述分析方式，針對本計畫區域進行分析，可分別求得彰化、雲林及嘉義海域之設計波高與暴潮偏差之平均增量，如表4-1-6所示。

表4-1-5 IPCC提供AR5的GCM相關資料來源與空間解析度

模式名稱	模式機構	使用國家	空間解析度 (lat.*lon.)
ACCESS1.0	CSIRO-BOM	Australia	1.25° *1.9°
ACCESS1.3	CSIRO-BOM	Australia	1.25° *1.9°
BCC-CSM1.1	Beijing Climate Center	China	2.8° *2.8°
BCC-CSM1.1(m)	Beijing Climate Center	China	1.12° *1.12°
BNU-ESM	College of Global Change and Earth System Science	China	2.8° *2.8°
CanCM4	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canada	2.8° *2.8°
CanESM2	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis	Canada	2.8° *2.8°
CCSM4	National Center for Atmospheric Research	USA	0.94° *1.25°
CMCC-CESM	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Italy	3.71° *3.75°
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Italy	0.75° *0.75°
CMCC-CMS	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Italy	1.9° *1.9°
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Météorologiques	France	1.4° *1.4°
CSIRO-Mk3.6.0	CSIRO-QCCCE	Australia	1.9° *1.9°
EC-EARTH	EC-EARTH	Netherlands/Ireland	1.1° *1.1°
FGOALS-g2	LASG-CESS	China	2.8° *2.8°
FGOALS-s2	LASG-CESS	China	1.7° *2.8°
GFDL-CM3	NOAA-GFDL	USA	2° *2.5°
GFDL-ESM2G	NOAA-GFDL	USA	2° *2.5°
GFDL-ESM2	NOAA-GFDL	USA	2° *2.5°
GISS-E2-H	NASA/GISS (Goddard Institute for Space Studies)	USA	2° *2.5°
GISS-E2-R	NASA/GISS (Goddard Institute for Space Studies)	USA	2° *2.5°
HadCM3	Met Office Hadley Centre	UK	2.5° *3.75°
HadGEM2-AO	Met Office Hadley Centre	UK	1.25° *1.9°
HadGEM2-CC	Met Office Hadley Centre	UK	1.25° *1.9°
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre	UK	1.25° *1.9°
INM-CM4	Institute for Numerical Mathematics	Russia	1.5° *2°
IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre Simon Laplace	France	1.9° *3.75°
IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre Simon Laplace	France	1.25° *2.5°
IPSL-CM5B-LR	Institut Pierre Simon Laplace	France	1.9° *3.75°
MIROC-ESM	MIRCO	Japan	2.8° *2.8°
MIROC-ESM-CHEM	MIRCO	Japan	2.8° *2.8°
MIROC4	MIRCO	Japan	0.56° *0.56°
MIROC5	MIRCO	Japan	1.4° *1.4°
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology	Germany	1.9° *1.9°
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology	Germany	1.9° *1.9°
MPI-ESM-P	Max Planck Institute for Meteorology	Germany	1.9° *1.9°
MRI-CGCM3	Meteorological Research Institute	Japan	1.1° *1.1°
MRI-ESM1	Meteorological Research Institute	Japan	1.1° *1.1°
NorESM1-M	Norwegian Meteorological Institute	Norway	1.9° *2.5°

※紅字為數值模擬分析所用；黃底為統計降尺度分析所用

表4-1-6 數值模式分析之氣候變遷海象情境增量條件

地點	設計波高平均增量	暴潮偏差平均增量
彰化	1.0070	1.1166
雲林	1.0213	1.1187
嘉義	1.0351	1.1160

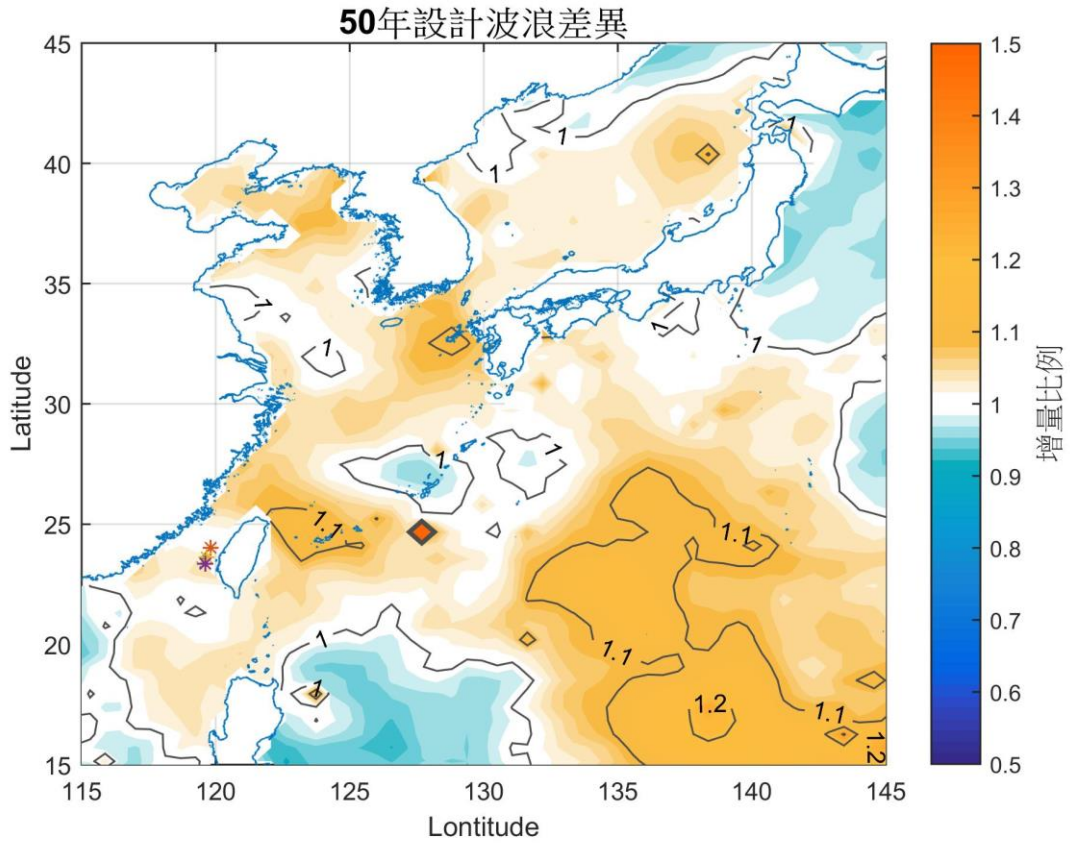


圖4-1-6 所有模式計算之50年設計極值差異平均值(設計波高)

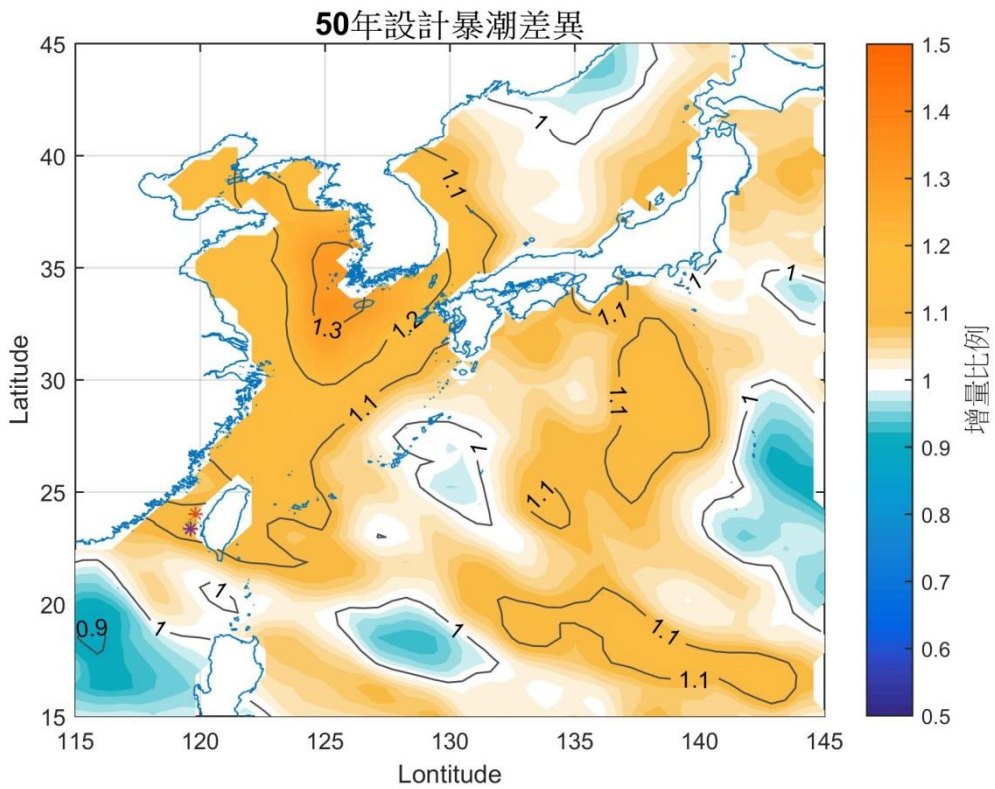


圖4-1-7 所有模式計算之50年設計極值差異平均值(暴潮偏差)

二、氣候變遷海象情境分析-統計降尺度分析

為使氣候變遷海象情境分析更為完整，本計畫進一步考量統計降尺度海象條件進行分析，並納入氣候變遷情境條件設定，以強化氣候變遷海象情境條件之可靠度。運用氣候型態統計降尺度之方法架構(Camus et al., 2014)，提高波浪資料的空間解析度，並對數個GCM大氣數據在不同情境條件下預測臺灣海域之海象分布情況，即可針對未來情境評估與模擬，以獲得統計降尺度之海象情境條件，並納入氣候變遷海象情境方案，進一步進行後續衝擊評估。

AR5提供各國團隊透過全球氣候模式(GCM)所得到在假設未來條件下之大氣資料，做為模擬預測未來氣候變遷之影響重要的情境來源，但由於其空間解析度不佳，若經由動力模式進行降尺度需要大量高解析度資料作為邊界輸入，造成GCM資料未能達到預期空間降尺度之效果，再加上計算成本高執行不易，因此有統計降尺度作為替代方法。相較於前述之缺點，統計降尺度定義預測因子(predictor)與預測值(predictand)，為了避免真實觀測資料受儀器所造的資料缺陷，因此以歷史再分析資料(historical reanalysis data)當作半真實(quasi-real)資料並做為模型之輸入。在空間解析度方面，預測因子不須以高解析度資料作為輸入，因此補足GCM資料空間解析度不足的問題亦提升計算效率，並可從GCM提供未來的資訊進行統計模型之預測；在降尺度方面，統計降尺度之原理先以空間低解析度之預測因子與高解析度之預測值作為基底建立統計關係，再由不同來源的預測因子求解預測值，已達到空間降尺度的目的。

圖4-1-8為統計降尺度之計算流程，其流程說明如下：

1. 蒐集歷史(historical)再分析資料其中包括大氣資料與波浪資料，於此使用海平面壓力與示性波高資料。
2. 以ESTELA (a method for Evaluating the Source and Travel time if the wave Energy reaching a Local Area) 方法(Perez et al., 2014) 尋找波浪生成的位置與傳遞過程，透過計算波浪能量在空間上的分布找尋高能量區域並視其為波浪生成位置且經由大圓(great circle)軌跡傳遞，再透過能量傳遞的時間以每日平均一筆之方式定義海平面壓力資料之時間尺度。
3. 以主成份分析法，將海平面壓力資料進行壓縮、降低維度，再由K-Means集羣分析法進行分類，在此主成份分析將原始資料經由特徵值、特徵向量與其正交性質定義新的空間方向(維度)，且在這些維度上具有原始資料之最大變異數，其轉換結果與原始值無過大的偏差。於此過程中，需簡化K-Means分類過程得以減少計算時間，其分類的依據是透過資料間的相似性並以變數間距離之總合

作為指標，而降低維度減少加總次數避免分類過程過於集中的問題。最後，由分類結果可知，以「海平面壓力分布」做為條件之氣候型態(weather types)，則每一類之氣候型態 WT_i 都有各自的發生頻率 N_i ，其分類之數目是由壓力分布在不同時刻之集合，或是以發生機率 p_i (occurrence probability) 表示，其定義為被分類至該氣候型態之筆數除以海平壓力資料之總筆數，且 $\sum_{i=1}^M p_i = 1$ ， M 為分類的總數。

4.將空間每一點之波浪資料進行分類，依據每一氣候型態中所對應的時刻歸為同一類，透過歷線圖的方式表現波浪資料在各個氣候型態中的分布狀況，並擬合適當的機率分布連結氣候型態與波浪條件資訊。

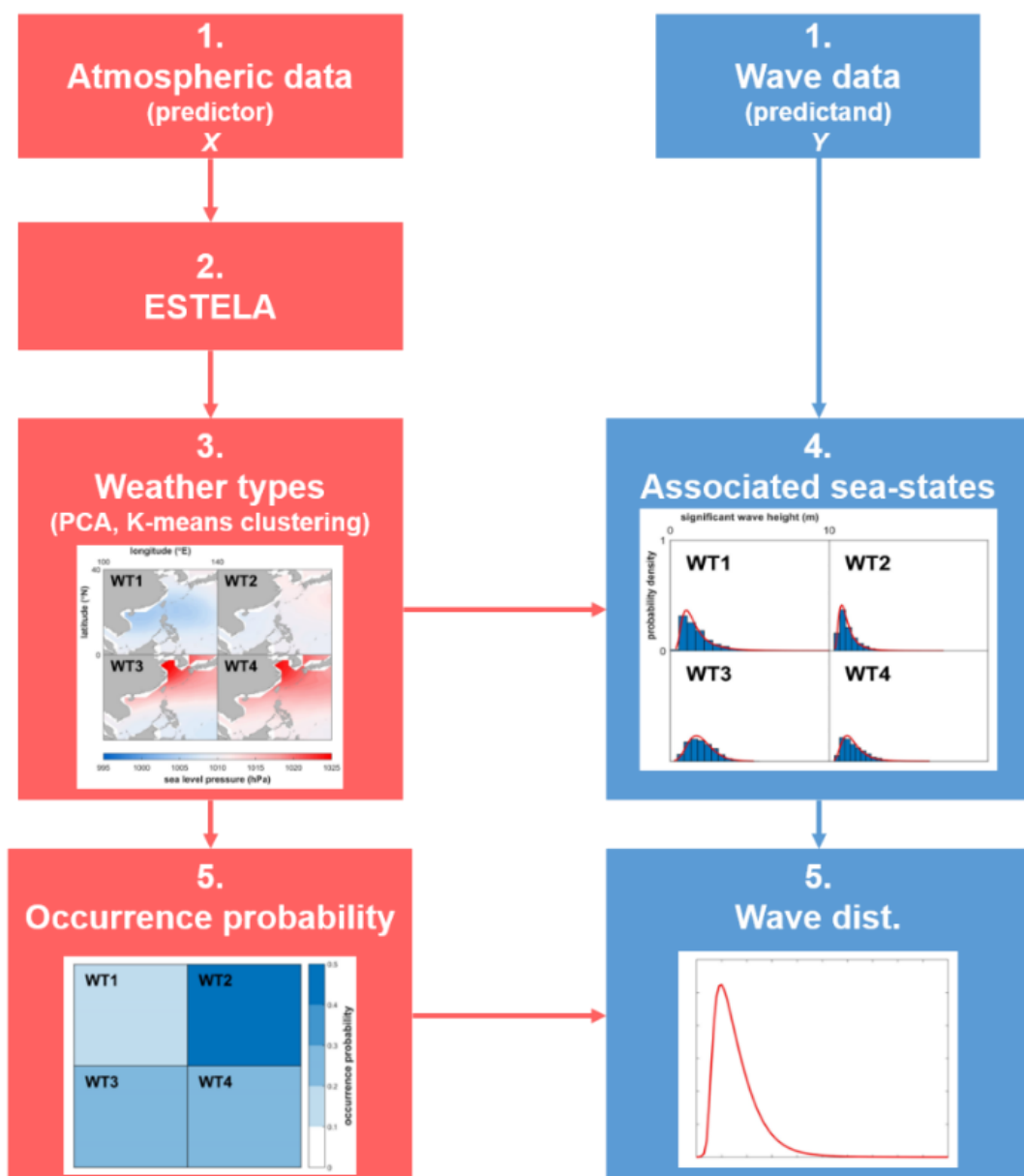


圖4-1-8 氣候型態統計降尺度之方法流程圖

5.在1.至4.說明了參考週期在建立統計模型時所需的資料輸入與統計方法並找到期間數個氣候型態之壓力分布與其對應的波浪條件，最後須對此模型進行驗證。先定義驗證週期其不與參考週期重疊，目的是確認模式在模擬不具參考週期資訊的情況下，是否也能有良好的結果。接著選取該期間之海平面壓力作為模式輸入，在改變期間的同時其對於氣候型態之發生機率也跟著改變，而整個波浪之統計分布也隨之變化由下式表示：

$$f'(y) = \sum_{i=1}^M p_i' \cdot f_i(y) \quad (4-5)$$

其中 p_i' 表示在參考週期以外的氣候型態發生機率。於本計畫中，依據每月之發生機率建立波浪分布且求其平均值與再分析波浪資料的月平均值進行驗證。蒐集歷史(historical)再分析資料其中包括大氣資料與波浪資料，於此使用海平面壓力與示性波高資料。

上述各步驟詳細方法說明可參見附錄一。

經由上述步驟建置統計模型後，需先進行「資料輸入與定義」、「模式設定」與「驗證」等三步驟，才能進行統計降尺度演算。於資料輸入方面，統計藉由預測因子推估預測值，找到兩者間關聯性；建立統計降尺度模型前，必須先透過低解析度的大氣資料與高解析且感興趣的氣候觀測變數資料找到兩者間的統計關係，因此需要先行定義。Wang等人(2012)希望統計關係中包含大氣與湧浪間的資訊，因此選擇海平面壓力與示性波高透過多變量線性回歸的方式找到彼此間的關係進而模擬；Camus等人(2014)與Perez等人(2015)也透過相同的變數，經由氣候型態的方法建立統計模式。本計畫希望藉由相同的方式定義資料輸入與其來源：

(1)預測因子(predictor)：選定海平面壓力(sea level pressure)做為統計降尺度之預測因子，資料來源於國家環境預測中心(National Center for Environmental Prediction, NCEP)與國家大氣研究中心(National Center for Atmospheric Research, NCAR) 提供之再分析資料Kalnay等人(1996)，並整合多個測量儀器透過資料同化 (assimilation) 方式分析，其大氣再分析資料橫跨1948年至迄今。於本計畫中，以空間尺度： 2.5° (lat.) \times 2.5° (lon.)、時間尺度：6小時每筆、資料長度分為兩段：從1980年至2004年作參考週期輸入；從2005年至2017年做驗證週期輸入。

(2)預測值(predictand)：選定再分析之示性波高(significant wave height)作為統計降尺度之預測值，資料來源於歐洲中期天氣預報中心 (European Centre for

Medium-Range Weather Forecasts, ECMWF) 其提供多個數據集(datasets)作選擇，本計畫選用較新的ERA-interim數據集之波浪再分析資料，其透過多個大氣模式並與多個測量數據進行資料同化改善先前ERA-40數據集的大氣循環強度過大之問題。解析度方面空間上選擇 0.125° (lat.) \times 0.125° (lon.)、時間上選擇6小時每筆、資料長度從1980年至2004年作參考週期輸入。

(3)GCM資料：選定IPCC官方網站公佈AR5的GCM資料 (參考表4-1-5)，於本計畫中選擇空間解析度不限、時間解析度具6小時每筆、大氣資料具海平面壓力、未來情境具RCP4.5與RCP8.5者，則做為未來情境模擬之推估因子。經過篩選之後，以表4-1-5黃底標示者為被選定之GCM模式，利用其15個海平面壓力資料進行模擬與預測。

(4)定義資料時間長度：由上述三點所描述之資料來源，接著須定義建立統計模式所需的時間長度如圖4-1-9所示，主要使用的資料可分為再分析資料以及GCM資料，選用再分析資料作為半真實資料透過大氣與波浪資料在參考週期(reference period)中建立統計模型，並在驗證週期(validation period)中以大氣資料作為模式資料輸入，比較模式與再分析資料計算結果進行驗證，本計畫定義參考週期為1980至2004年結束；驗證週期為2005至2017結束。驗證完成後，以歷史的GCM在參考週期間比對再分析資料間的相似性進行評估，進而篩選GCM模式，最後以未來情境RCP4.5與RCP8.5模擬未來的波浪變化。

模式設定方面，統計模式透過預測因子與預測值建立統計關係，於前述中已定義其分別為海平面壓力與示性波高，兩者間的變異性與其各自的空間分布有關，

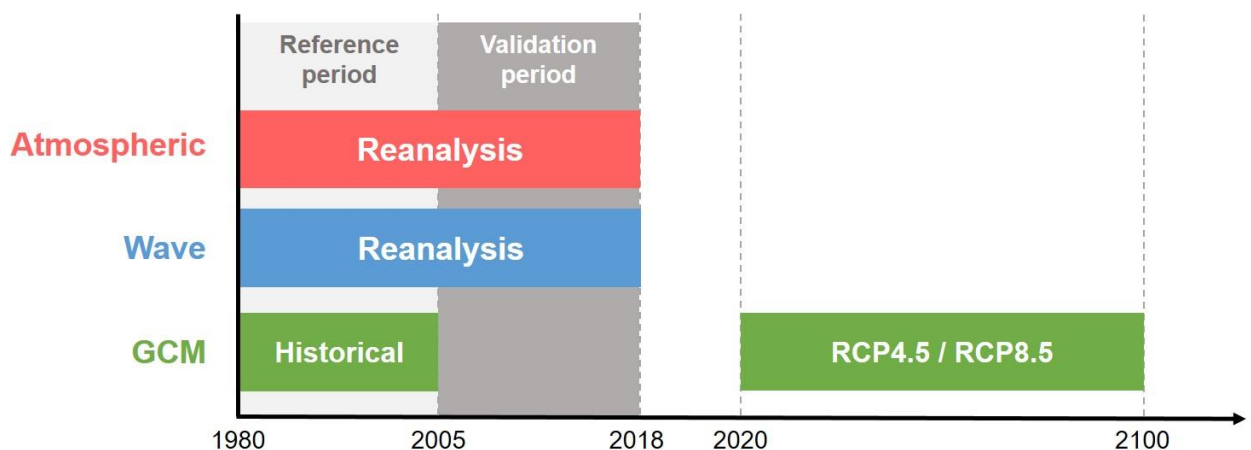


圖4-1-9 統計降尺度模型之資料時間長度設定

因此於建立模型時先界定空間之計算域。ESTELA法可計算能量在空間上的分布追蹤湧浪來源做為評估局部地區的波浪受遠域湧浪影響之可能範圍，本計畫將

臺灣地區分為東、西兩部份分別計算，圖4-1-10為台灣東部海域可能受湧浪的空間範圍，橫跨太平洋中低緯度之區域，圖4-1-11為在此空間範圍中的能量通率分布，高能量區域大致位於赤道附近、西經100至160度之間，計算求得傳遞時間大約為12到18天，因此統計模型在以海平面壓力作為預測因子的條件下，須考慮台灣地區之海域波浪會受到將近約兩周前形成的湧浪之影響，計畫中以當天並往前推算湧浪生成的天數對每筆資料做平均。同理，圖4-1-12為臺灣西部海域可能受湧浪的空間範圍，相較台灣東部其涵蓋範圍小，由圖4-1-13顯示台灣以西附近海域相較東部海域之能量通率小，可能受到湧浪影響小。經由ESTELA的評估後，選定數個空間大小並同時考慮湧浪生成所需的傳遞時間進行試誤法。

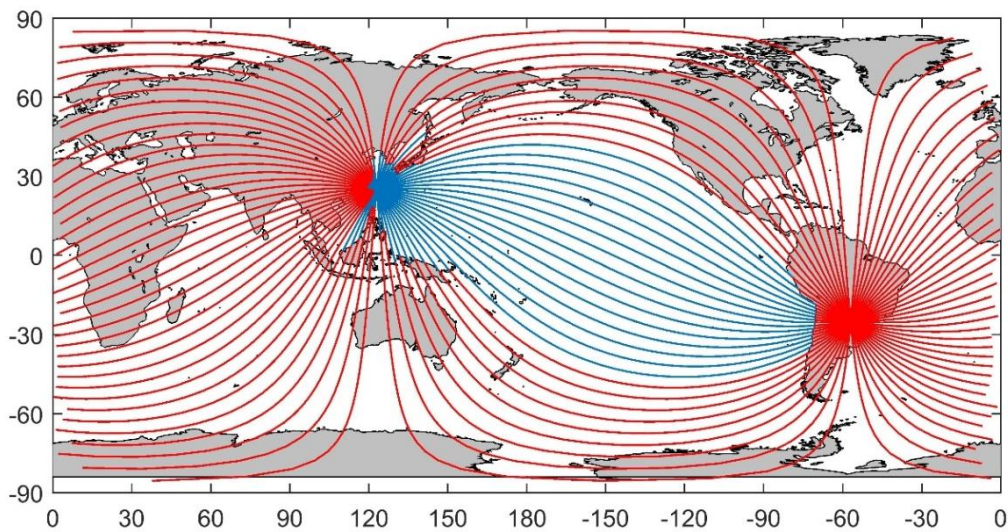


圖4-1-10 台灣以東海域受湧浪影響之空間範圍，紅線部分為忽略的區域，藍線由目標點繪至海陸交界之交點，其所覆蓋之範圍則視為評估空間計算域

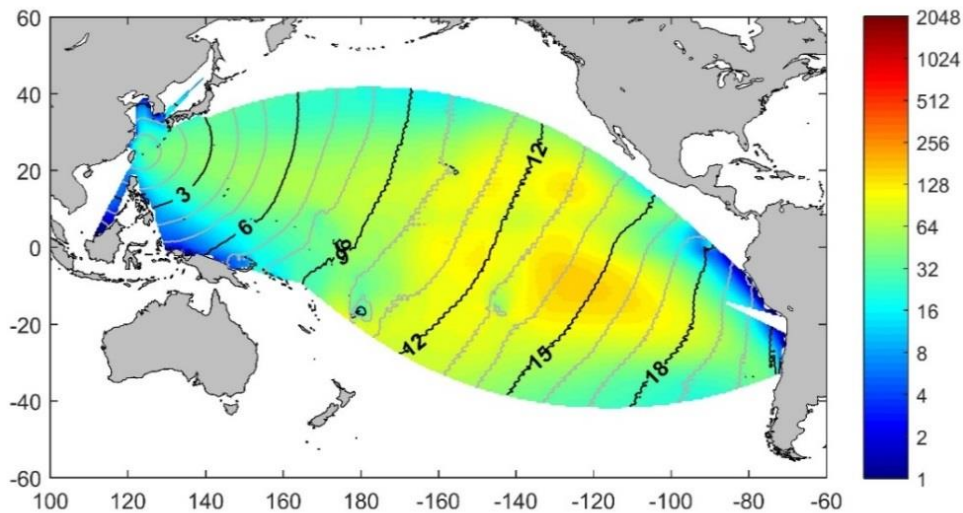


圖4-1-11 台灣以東海域波浪能量通分布率之空間分布與其能量傳遞時間(單位：天)

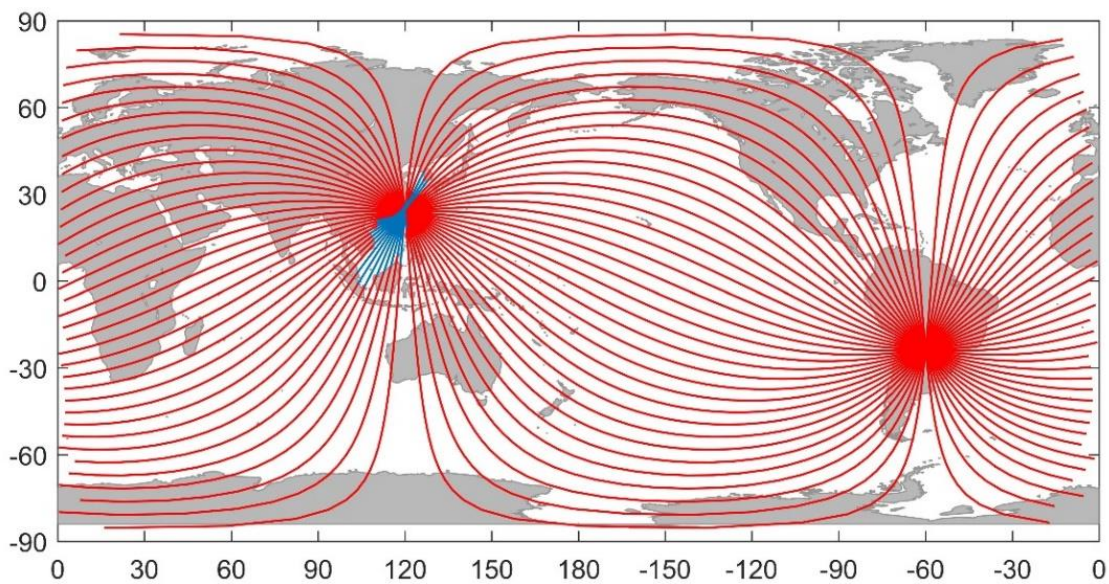


圖4-1-12 台灣以南海域受湧浪影響之空間範圍，紅線部分為忽略的區域，藍線由目標點繪至海陸交界之交點，其所覆蓋之範圍則視為評估空間計算域

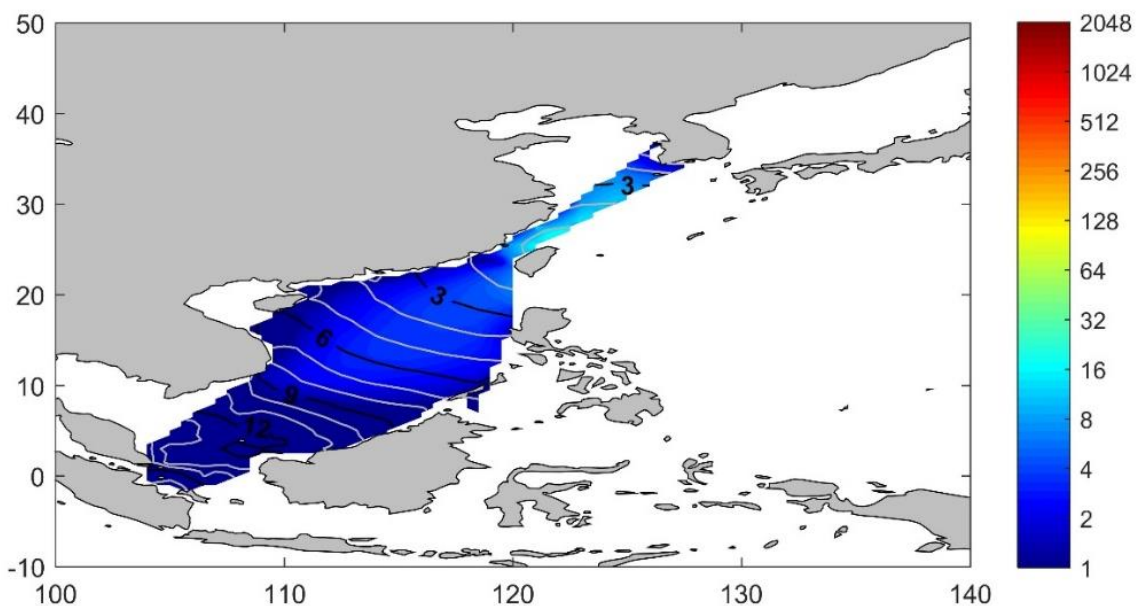


圖4-1-13 台灣以南海域波浪能量通率之空間分布與其能量傳遞時間(單位：天)

除了設定海平面壓力資料空間計算域之外，使用K-Means集群分析法從海平面壓力決定了數個氣候型態，但此數量並非絕對，其與選址之氣候特性、區域大小有關，因此只能透過試誤法的方式先行測試找到最適當的分類數量。本計畫以中選用4、16、25、50、100、180、190、200、210、225、250、300共12種不同的分類數量。

於開始使用統計模型進行未來情境模擬預測前，必須先確定模式及方法是否能於現

有的波浪資料模擬並比對達到預期的效果。本計畫建立氣候型態之統計降尺度模型的同時，連同海平面壓力在不同的空間大小的條件之下並考慮湧浪傳遞的時間，以及選定不同的分類數量進行試誤法找到最佳的模式設定與驗證。透過參考週期分類海平面壓力之氣候型態，並將相對應的氣候型態與示性波高資料進行直方圖(histogram)分析，擬合適當的機率分布，在此選擇GEV(generalized extreme value)分布，求得海平面壓力之氣候型態所對應空間某一點的示性波高分布之關係，而往後計算藉由每一氣候型態的發生機率做為權重，對波高分布進行線性組合計算，透過其分布之平均值做為驗證數據。於驗證週期中以每個月為單位，將海平面壓力資料對求得的氣候型態進行分類，依據K-Means之理論以歐幾里德距離作為指標將相似之壓力分布分為同一類，使得在驗證週期期間每月都有各自的氣候型態之發生機率，同時也從分布求得該月的平均示性波高，再比對同一時間的再分析波高資料進行驗證。圖4-1-14為統計降尺度模型之模擬成果與再分析波浪資料在驗證週期中的月平均示性波高之比較圖(以相關係數方式呈現)。每一點代表波高在空間上的位置，波高的空間大小為台灣周邊海域位於北緯20至27度、東經119至123度，其值為比對模式計算結果與在分析波浪資料後求得之相關係數，相關係數之計算方式以下式表示：

$$\rho = \frac{\text{cov}(H_{s, \text{reanalysis data}}, H_{s, \text{SD model}})}{\sigma_{H_{s, \text{reanalysis data}}} \sigma_{H_{s, \text{SD model}}}} \quad (4-6)$$

以台灣周圍海域部分來看，西部北緯23.5度以上區域，相關係數大約在0.87~0.88之間，挑選西部海域地區最高的相關係數之驗證結果圖4-1-15(比較北緯24度、東經120.25之點位，相關係數為0.87)所示，藉由統計模型模擬之結果在北緯24度、東經120.25度的位置上，藍線與紅線分別為再分析資料以及統計模型之計算結果，圖上每一點皆為月平均之示性波高其趨勢尚有良好的表現，但對於極值的部分未能接近符合，甚至大部分都小於極值，從時間軸選出波峰部分可以發現，極值部分都發生在冬季12月至2月期間，可能原因為台灣屬於季節性風帶地區，在冬季會有東北季風，造成較為強烈的風浪，因此統計模式若以湧浪影響為主做統計關係，會造成風浪較強的情況下無法符合極值。

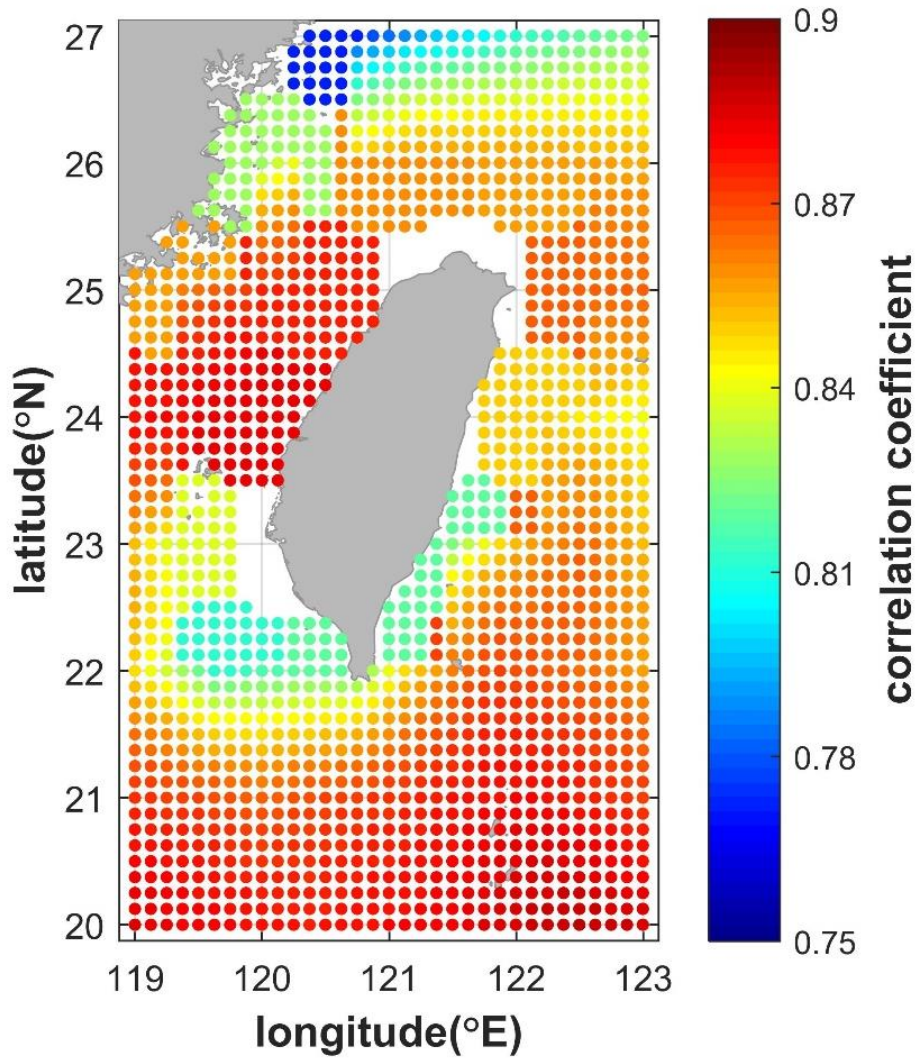


圖4-1-14 統計降尺度對台灣海域之驗證結果圖

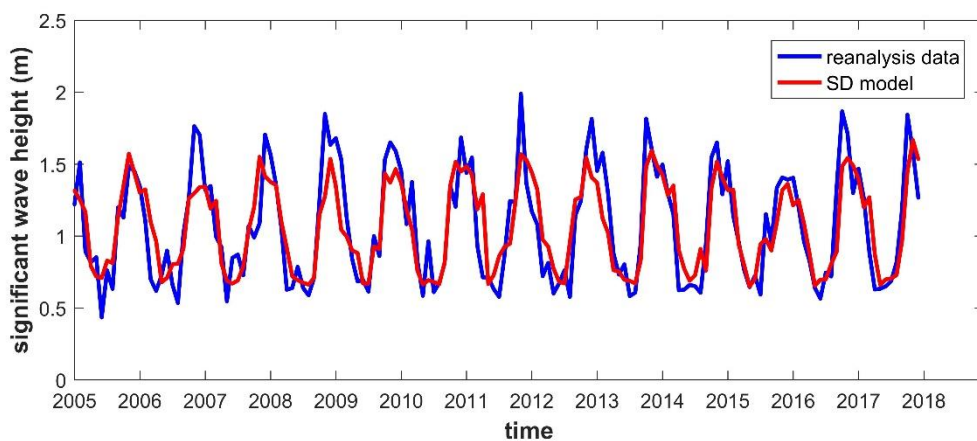


圖4-1-15 統計降尺度模擬成果與再分析波浪資料比較圖

進一步利用統計模型進行未來情境之預測，透過GCM提供的海平面壓力資料在不同碳排放的強度條件下比較兩者間造成台灣地區海域的示性波高變化程度。透過上述統計降尺度評估方法，比較參考週期期間再分析與GCM海平面壓力資料對於統計模

式中氣候型態之分類結果，透過相似性與一致性進行篩選，並藉由四分位距的方式找出離群者，篩選成果如表4-1-7所示，其門檻值為該指標之全部模式平均值加上1倍標準差，只要超過任一指標之門檻值則放棄該GCM模式，經由篩選後紅色部分為被去除的模式。

從GCM模式篩選將差異性較大者去除過後，接著對不同的未來情境做模擬，在此選擇RCP8.5做為情境條件，於2020至2099年結束對台灣附近海域進行未來波高預測。首先將未來80年的時間等分成四個階段2020至2039年、2040至2059年、2060至2079年、2080至2099年，比較短期、中期、長期在不同情境下彼此間的波高變化。首先將篩選後的多個GCM模式與RCP8.5情境之海平面壓力資料都分成上述四個階段，接著依依輸入至統計模型中，透過K-Means方法進行分類，求得該階段的波高統計分布進而得到平均值，同時比較參考週期與四個階段的波高變化率。圖4-1-16為在四個不同階段中RCP8.5情境經由統計降尺度模型對示性波高預測結果，圖上的值以參考週期之示性波高為基準，比較此四個階段中從各個GCM模式模擬的未來平均值比較過去到未來的變化倍率並將全部結果加以平均作為整體呈現。從相同階段不同情境來看，在2020年至2039年結束期間，臺灣西北與中部區域較沒有顯著變化；進入下一階段後之情境卻如同前一段並無明顯的增減。在2060年至2079年結束期間，大致呈現相同的變化趨勢，在西部海域最為強烈其他區域就相較沒有明顯變化；在下一階段之情境在東、南部海域明顯驟降。從階段的演進來看在前三個情境階段無明顯變化，在最後階段中才有顯著的減小趨勢。本計畫將採以近未來(2020至2039年)做為氣候變遷衝擊之情境條件。

於上述統計降尺度分析結果中，萃取本計畫各區域進行氣候變遷增量分析，可分別求得彰化、雲林及嘉義海域之設計波高之平均增量，如表4-1-8所示。

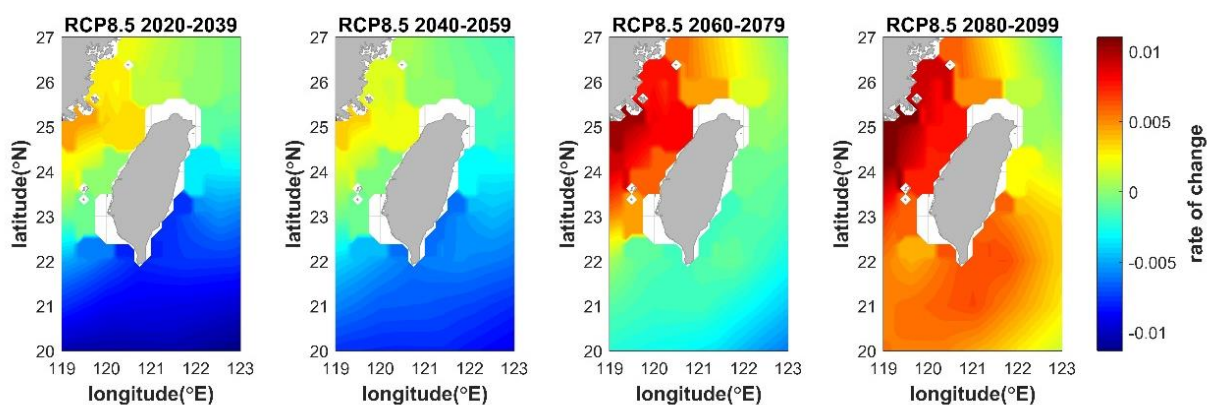


圖4-1-16 RCP8.5情境下的示性波高變化倍率

表4-1-7 依據統計降尺度流程篩選GCM模式結果

Number	Model	SI	RE	SI _{DJF}	SI _{MAM}	SI _{JJA}	SI _{SON}	Consist
	Thresholds	1.1642	0.34901	1.4839	1.4078	2.9167	2.1282	Q1-1.5IQR Q3 +1.5IQR
01	ACCESS1.0	0.84861	0.30549	1.0607	1.1626	2.2984	1.1873	V
02	ACCESS1.3	0.78381	0.29707	1.0509	1.1759	2.0092	1.2533	V
03 (out)	BCC-CSM1.1	0.80672	0.28307	1.889 (out)	1.0292	1.8046	0.92347	V
04	BCC-CSM1.1 (m)	0.5974	0.2255	1.1457	0.69792	1.5467	0.90639	V
05	CSIRO-Mk3.6.0	1.1583	0.34492	1.2135	0.96464	2.8657	2.073	V
06 (out)	EC-EARTH	1.2283 (out)	0.28726	0.95511	0.79653	2.9883 (out)	1.9432	V
07	FGOALS-g2	1.0595	0.3096	1.0589	0.68667	2.7441	1.8833	V
08 (out)	HadGEM2-CC	0.82492	0.28391	1.6712 (out)	2.3255 (out)	1.9813	2.0489	V
09	INMCM4.0	1.1583	0.34492	1.2135	0.96464	2.8657	2.073	V
10 (out)	IPSL-CM5A-LR	1.3434 (out)	0.38374 (out)	1.0969	1.2699	3.695 (out)	1.8915	V
11	IPSL-CM5A-MR	1.1173	0.29927	1.2096	0.88747	2.809	1.7871	V
12	IPSL-CM5B-LR	0.95428	0.28512	0.97581	1.207	2.6142	1.5767	V
13 (out)	MIROC-ESM	1.018	0.35731 (out)	1.4049	0.97158	1.7834	2.1804 (out)	V
14 (out)	MIROC-ESM- CHEM	0.93801	0.36205 (out)	1.0879	0.90883	1.7446	2.1406 (out)	V
15 (out)	MIROC5	1.0388	0.30204	1.563 (out)	0.92053	1.8438	2.1133	V
16	MPI-ESM-LR	0.78211	0.21206	0.82947	0.81181	1.9495	1.356	V
17	MPI-ESM-MR	0.79375	0.2345	0.73004	0.63769	1.9562	1.4553	V

※紅字部分為被去除之模式

表4-1-8 統計降尺度之氣候變遷海象情境增量條件

地點	設計波高平均增量	暴潮偏差平均增量
彰化	1.0065	1.1166
雲林	1.0053	1.1187
嘉義	1.0021	1.1160

※此方法適用於波高推估，因此暴潮偏差採用數值分析結果

三、海平面上升分析

在全球氣候變遷下，海平面上升將直接淹沒沿海沙灘，造成海岸線之後退，國土面積之損失自無可避免。因此，本計畫於海象氣候變遷情境條件分析中，除針對海象條件中波浪和水位進行分析外，亦須考量海平面上升之情境條件。運研所為計算與分析臺灣周海域之絕對海平面變動速率、海平面上升加速特性及海平面上升可能造

成暴潮溢淹區域，進行為期四年完整且系統性的研究 (2013~2017年)，該研究中臺灣附近海域之潮位站資料是由平均海平面永久服務中心、中央氣象局、經濟部水利署及運研所等四個單位提供，平均海平面永久服務中心(PSMSL)的潮位站詳細資訊如表4-1-9(平均海平面永久服務中心(PSMSL)的潮位站依地區分類，依序為中國大陸、日本以及菲律賓)所示，中央氣象局、經濟部水利署與運研所提供的潮位站之詳細資訊如表4-1-10所示，各潮位站時間分布如圖4-1-17所示，而點位分布如圖4-1-18所示。

表4-1-9 臺灣附近海域平均海平面永久服務中心(PSMSL)資料庫之潮位站資訊

Country	Station ID.	Station name			Lon(°)	Lat(°)	Data period	
		Ch.	Eng.	Abbr.			RLR	Metric
China	610002	間坡	Zhapo	ZP	111.8	21.6	1959-2012	1959-2012
	610004	西沙	Xi Sha	XS	112.3	16.8	1990-2012	1989-2012
	610016	坎門	Kanmen	KM	121.3	28.1	1959-2012	1959-2012
	611007	橫闌島	Waglan Island	WGI	114.3	22.2	1987-2012	1987-2012
	611010	則魚為	Quarry Bay	QB	114.2	22.3	1986-2012	1986-2012
	611012	大廟灣	Tai Miu Wan	TMW	114.3	22.3	1997-2012	1997-2012
	611014	大浦害	Tai Po Kau	TPK	114.2	22.4	1963-2012	1963-2012
	611017	尖鼻咀	Tsim Bei Tsui	TBT	114	22.5	1974-2012	1974-2012
	611023	石壁	Shek Pik	SP	113.9	22.2	1998-2012	1998-2012
Japan	646003	內斯	Nase	NS	129.5	28.5	1981-2012	1981-2012
	646011	中之島	Nakano Sima	NKNS	129.9	29.8	1984-2012	1965-2012
	646021	沖繩	Okinawa	OKNW	127.8	26.2	1975-2012	1975-2012
	646024	那霸	Naha	NH	127.7	26.2	1966-2012	1966-2012
	646042	石垣島	Ishigaki	IGK	124.2	24.3	1986-2012	1986-2012
Philippines	660021	黎牙實比	Legaspi	LGSP	123.8	13.2	1947-2012	1947-2012
	660101	宿霧	Cebu	CB	123.9	10.3	1935-2012	1935-2012

資料來源：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

表4-1-10 臺灣附近海域中央氣象局資料庫之潮位站資訊。排序方式以基隆潮位站為起始點，並以順時針方向排序

Ch.	Station name		Station ID.	Lon(°)	Lat(°)	Records (minutes)	Data period	Originator
	Eng.	Abbr.						
基隆	Keelung	KL	1511	121.7	25.2	60	1991-1995	基隆港務局
			151	121.7	25.2	6	1995-2000	基隆港務局
			1514	X	X	6	2003-2004	港灣技術研究中心
			1513	X	X	6	2005-2006	基隆港務局
			1516	121.8	25.2	6	2006-2012	中央氣象局
梗枋	Gengfang	GF	153	121.9	24.9	60	1992-1996	經濟部水利署
			123	121.9	24.9	6	1996-2008	中央氣象局

X: 表示原始資料中未提供該項資訊

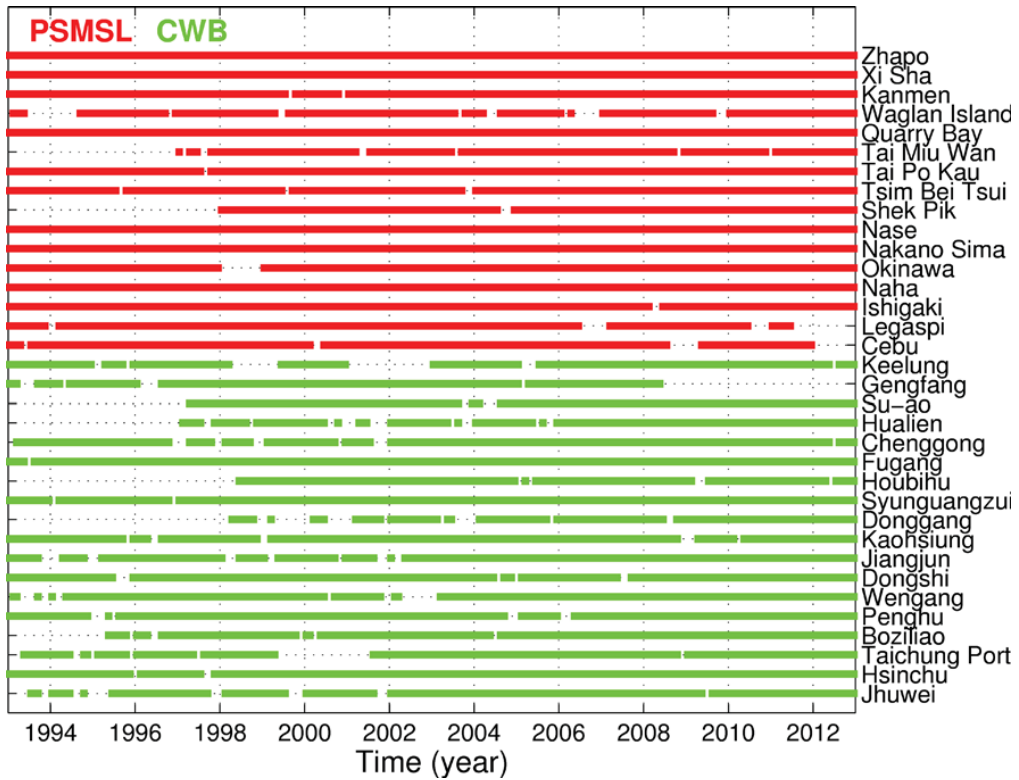
資料來源：交通部運輸研究所港灣技術研究中心

表4-1-10 (續)臺灣附近海域中央氣象局資料庫之潮位站資訊。排序方式以基隆潮位站為起始點，並以順時針方向排序

Station name			Station	Lon(°)	Lat(°)	Records (minutes)	Data period	Originator
Ch.	Eng.	Abbr.	ID.					
蘇澳	Su-ao	SA	124	121.9	24.6	6	1991-2005	中央氣象局
			1246	121.9	24.6	6	2005-2012	中央氣象局
花蓮	Hualien	HL	125	121.6	24	6	1991-2003	中央氣象局
			1256	121.6	24	6	2003-2012	中央氣象局
成功	Chenggong	CHG	127	121.4	23.1	6	1993-2005	中央氣象局
			1276	121.4	23.1	6	2002-2012	中央氣象局
富岡	Fugang	FG	158	121.2	22.8	60	1976-2002	經濟部水利署
			1586	121.2	22.8	6	2001-2013	經濟部水利署
後壁湖	Houbihu	HBH	119	120.7	21.9	6	1996-2007	中央氣象局
			1196	120.7	21.9	6	2007-2012	中央氣象局
蟬廣嘴	Syunguangzui	SGZ	149	120.7	22	60	1976-2002	經濟部水利署
			1496	120.7	22	6	2001-2012	經濟部水利署
東港	Donggang	DG	118	120.4	22.5	6	1998-2003	中央氣象局
			1186	120.4	22.5	6	2003-2012	中央氣象局
高雄	Kaohsiung	KS	148	120.3	22.6	60	1987-2004	高雄港務局
			1486	120.3	22.6	6	2004-2012	內政部
將軍	Jiangjun	JG	146	120.1	23.2	60	1979-2001	經濟部水利署
			1176	120.1	23.2	6	2002-2012	中央氣象局
東石	Dongshi	DS	116	120.1	23.4	6	1993-2004	中央氣象局
			1162	120.1	23.4	6	1999-2012	中央氣象局
			1166	120.1	23.5	6	2012-2012	中央氣象局
塹港	Wengang	WG	1361	X	X	60	1963-2002	經濟部水利署
			1366	120.1	23.5	6	2003-2012	中央氣象局
澎湖	Penghu	PH	135	119.6	23.6	60	1991-2007	中央氣象局
			1356	119.6	23.6	6	2007-2012	中央氣象局
箔子寮	Boziliao	BZL	115	120.1	23.6	6	1995-2004	中央氣象局
			1156	120.1	23.6	6	2004-2012	中央氣象局
台中	Taichung Port	TCP	1433	120.5	24.3	10	1993-1997	港灣技術研究中心
			143	120.5	24.3	6	1997-1999	港灣技術研究中心
			1434	120.5	24.3	6	2001-2004	港灣技術研究中心
			1436	120.5	24.3	6	2004-2012	內政部
新竹	Hsinchu	HSC	112	120.9	24.8	6	1992-2012	中央氣象局
竹圍	Jhuwei	JW	111	121.2	25.1	6	1992-2007	中央氣象局
			1116	121.2	25.1	6	2007-2012	中央氣象局

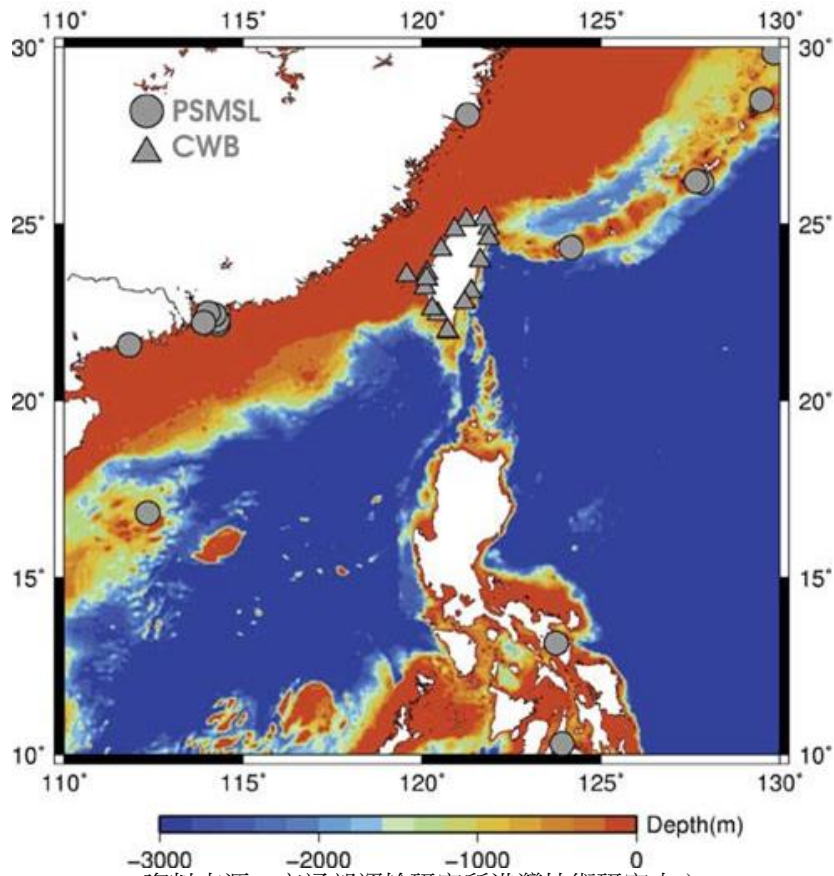
X: 表示原始資料中未提供該項資訊

資料來源：交通部運輸研究所港灣技術研究中心



資料來源：交通部運輸研究所臺灣技術研究中心

圖4-1-17 臺灣附近海域之潮位站資料涵蓋時間圖



資料來源：交通部運輸研究所臺灣技術研究中心

圖4-1-18 臺灣附近海域潮位站位置分布圖。背景為 ETOPO1 海底地形圖

於「臺灣海域海平面上升之加速特性研究」(運研所, 2017年)中, 考慮2013至2015年數據, 利用衛星海洋數據存檔、驗正與解釋(AVISO)衛星測高資料估算臺灣四周海域(緯度: 10°N~30°N、經度: 110°E~130°E) 在考慮氣候因子前後1993-2012年絕對海平面上升速率, 分別為 5.23 ± 0.31 mm/year 與 2.43 ± 0.32 mm/year。而考慮氣候因子前後1993-2015年臺灣周圍絕對海平面上升速率分別為 3.52 ± 0.25 mm/year 與 2.55 ± 0.18 mm/year。在未考慮氣候因子影響下, 速率差異約 1.71 mm/year, 其原因為自2014年起聖嬰現象增強導致臺灣周圍海平面顯著下降所導致。由潮位站資料估算海平面上升速率與海洋數據存檔、驗正與解釋(AVISO)成果一致, 利用六參數擬合(six-parameters)估算之海平面上升速率受到氣候因子影響, 臺灣周圍海平面上升速率由北往南逐漸增快; 而考慮氣候因子影響下, 估算之絕對海平面上升速率則較一致, 潮位站資料估算之速率平均值由 3.5 mm/year降至 2.3 mm/year, 其臺灣各地區成果如表4-1-11。綜整上述, 本計畫參考該計畫研究成果, 擇選各計畫區域接近之點位 (表4-1-11紅色標註) 進行海平面上升速率分析。

表4-1-11 利用潮位站資料估算1993-2012 臺灣周圍絕對海平面上升速率

Country	Station	Sea level trends (mm/yr)					
		AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic, AVISO)			RADs (Radar Altimeter Data Acquisition, RADs)		
		Six-parameters	Multivariable	Difference	Six-parameters	Multivariable	Difference
China	ZP	2.36±0.73	-0.28±1.11	-2.64	2.17±0.73	-0.47±1.11	-2.64
	XS	6.24±0.76	2.36±1.11	-3.88	4.74±0.76	0.86±1.11	-3.88
	KM	2.40±0.69	0.65±1.14	-1.75	2.20±0.69	0.45±1.14	-1.75
	WGI	2.39±1.12	-1.34±1.63	-3.73	2.13±1.12	-1.25±1.62	-3.38
	QB	1.83±0.78	-1.25±1.19	-3.08	1.44±0.78	-1.64±1.19	-3.08
	TMW	1.98±1.52	-3.43±1.77	-5.41	0.96±1.52	-4.45±1.77	-5.41
	TPK	2.31±0.76	1.56±1.18	-0.75	1.63±0.76	0.88±1.18	-0.75
	TBT	2.34±0.83	-1.10±1.33	-3.44	1.78±0.83	-1.66±1.33	-3.44
SP	1.28±1.10	-1.51±1.26	-2.79	-0.17±1.10	-2.96±1.26	-2.79	
Taiwan	KL	3.47±0.40	4.91±0.65	1.44	3.09±0.40	4.59±0.65	1.5
	GF	3.76±0.61	3.22±0.69	-0.54	3.45±0.61	2.90±0.69	-0.55
	SA	1.37±0.49	1.59±0.64	0.22	0.86±0.49	1.21±0.64	0.35
	HL	1.05±0.71	1.58±0.95	0.53	0.49±0.71	1.17±0.95	0.68
	CHG	2.79±0.52	4.60±0.81	1.81	2.18±0.52	3.99±0.81	1.81
	FG	3.66±0.43	3.97±0.68	0.31	2.89±0.44	3.28±0.69	0.39
	HBH	3.46±0.98	3.82±1.15	0.36	3.11±1.00	3.66±1.14	0.55
	SGZ	4.95±0.52	3.23±0.81	-1.72	5.04±0.52	3.64±0.81	-1.4
	DG	6.77±1.00	3.00±1.24	-3.77	6.17±0.98	2.80±1.24	-3.37
	KS	4.99±0.51	3.58±0.77	-1.41	4.94±0.50	3.74±0.76	-1.2
	JG	4.78±0.56	5.48±0.88	0.7	4.73±0.56	5.43±0.88	0.7
	DS	4.70±0.61	5.77±0.97	1.07	4.62±0.62	5.99±0.96	1.37
WG	3.92±0.73	3.56±1.10	-0.36	4.00±0.72	4.14±1.09	0.14	

※：紅色標註為與本計畫區域位置接近之點位

※：Six-parameters 與 Multivariable 分別為在擬合時未考慮與考慮海平面資料中氣候因子影響

※：AVISO 與RADs分別表示改正測站地表垂直變動時所使用的測高資料來源

表4-1-11 (續)利用潮位站資料估算1993-2012 臺灣周圍絕對海平面上升速率

Country	Station	Sea level trends (mm/yr)					
		AVISO (Archiving, Validation and Interpretation of Satellite Oceanographic, AVISO)			RADs (Radar Altimeter Data Acquisition, RADs)		
		Six-parameters	Multivariable	Difference	Six-parameters	Multivariable	Difference
Taiwan	PH	2.23±0.46	-0.20±0.70	-2.43	0.91±0.46	-1.47±0.72	-2.38
	BZL	4.44±0.67	2.44±0.99	-2	4.27±0.66	2.32±0.96	-1.95
	TCP	4.48±0.52	4.19±1.00	-0.29	4.05±0.51	4.44±0.98	0.39
	HSC	2.92±0.47	2.01±0.72	-0.91	2.43±0.46	1.96±0.72	-0.47
Japan	NS	2.41±0.59	3.52±0.97	1.11	2.82±0.59	3.93±0.97	1.11
	NKNS	2.84±0.54	0.92±0.86	-1.92	2.95±0.54	1.03±0.86	-1.92
	OKNW	2.92±0.62	4.06±0.99	1.14	2.67±0.62	3.81±0.99	1.14
	NH	2.52±0.63	3.27±1.00	0.75	2.23±0.63	2.98±1.00	0.75
	IGK	3.25±0.70	4.38±1.09	1.13	1.82±0.70	2.95±1.09	1.13
Philippines	LGSP CB	7.61±0.64	4.07±0.73	-3.54	7.02±0.64	3.48±0.73	-3.54
		7.88±0.69	3.48±0.81	-4.4	7.27±0.69	2.87±0.81	-4.4
All regions		3.52	2.31	-1.22	3.06	1.96	-1.1

※：紅色標註為與本計畫區域位置接近之點位

※：Six-parameters 與 Multivariable 分別為在擬合時未考慮與考慮海平面資料中氣候因子影響

※：AVISO 與RADs分別表示改正測站地表垂直變動時所使用的測高資料來源

四、潮汐能量法

往昔進行氣候變遷情境分析時，天文潮部分大多以最高高潮位做為代表水位，並無考量潮位漲退潮之情況。因此，於情境設定上僅一單純潮位高度為基準，配合設計條件之暴潮偏差進行疊加，來進行情境模擬。此方式雖可進行極端條件下波浪衝擊海岸之估算，惟配合降雨情境(不同降雨延時或降雨量)時，會因無漲退潮之現象，而導致兩種物理情境連結度較不顯著(例如：24小時雨型情境下，潮位均處於高潮位，使之內水幾乎無法退除之情況)。為強化「海象」與「降雨」氣候變遷情境之連結性，應配合降雨兩型產出各計畫區域之代表性潮位分布，再配合暴潮偏差值，才能夠合理耦合兩種情境條件。本計畫目前採用「潮汐能量法」，推估各計畫區域之代表性天文潮型，再輔以海象設計條件，則能夠獲得較合理之漲退潮特性，再配合兩型產生相對應之歷線分布，則可以較合理方式連結兩種情境條件，進行氣候變遷衝擊評估。

首先將各計畫區潮位資料(模式邊界潮位依據全球潮位模式Nao99b來獲得)進行調和分析得到主要的數個分潮如表4-1-12，表僅列最南以及最北兩潮汐。簡化潮位之作法，在於保持這些主要分潮合成總能量不變的原則下，保留主要分潮M2不變，將其餘潮汐成份合成以一個或數個潮位資料以一個或數個虛擬分潮表示，本計畫根據

Lesser (2009)的作法，選擇震幅強度第二以及第三之分潮合成為次要分量，故合成潮將以一個全日的合成潮 C_1 配上原來的半日潮從新調整成一日週期的潮位條件，其中震幅為 $C_1 = \sqrt{2S_2K_1}$ ，相位 $\varphi_{C1} = \frac{\varphi_{S2} + \varphi_{K1}}{2}$ ，根據震幅能量的比例，總能量與合成後的新振幅比約為1.06(不同地點可能有不同結果，約在1.02~1.2之間)，故新潮型以 $1.06*(C_1+M_2)$ 成分合成，合成後的係數如表4-1-13，進而降低合成潮位變動的週期為一天，之後為週而復始地再現，如此達到簡化潮位的目的，潮位合成後如圖4-1-19。透過上述方法則可推估彰雲嘉各區域之代表潮型(參見圖4-1-20)。

表4-1-12 天文潮邊界成份資料

Tidal constituent	Amplitude NW	Phase NW	Amplitude SW	Phase SW
M2	1.245	311.64	0.656	296.43
S2	0.37	350.51	0.179	334.41
K1	0.266	264.98	0.233	268.03
N2	0.234	284.48	0.131	269.89
M4	0.209	223.78	0.201	226.43
O1	0.085	260.69	0.075	264.24

表4-1-13 簡化潮位之調和分析水位邊界條件資料

Tidal constituent	Amplitude NW	Phase NW	Amplitude SW	Phase SW
M2	1.2801	311.64	0.6747	296.43
C1	0.6024	307.75	0.3923	301.22

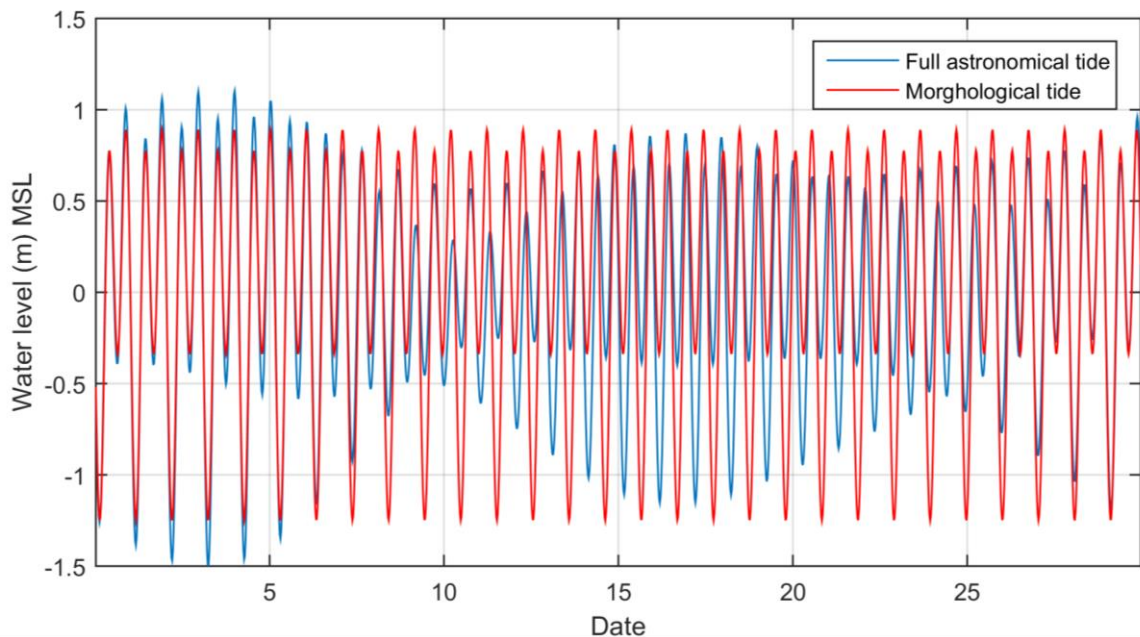


圖4-1-19 實際潮位與簡化潮位之比較

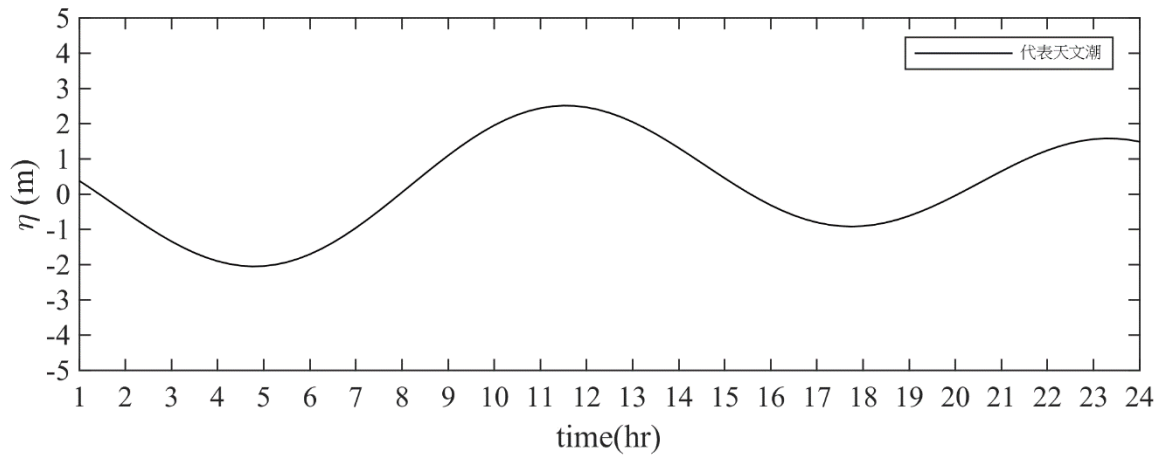


圖4-1-20 彰化海域代表潮型

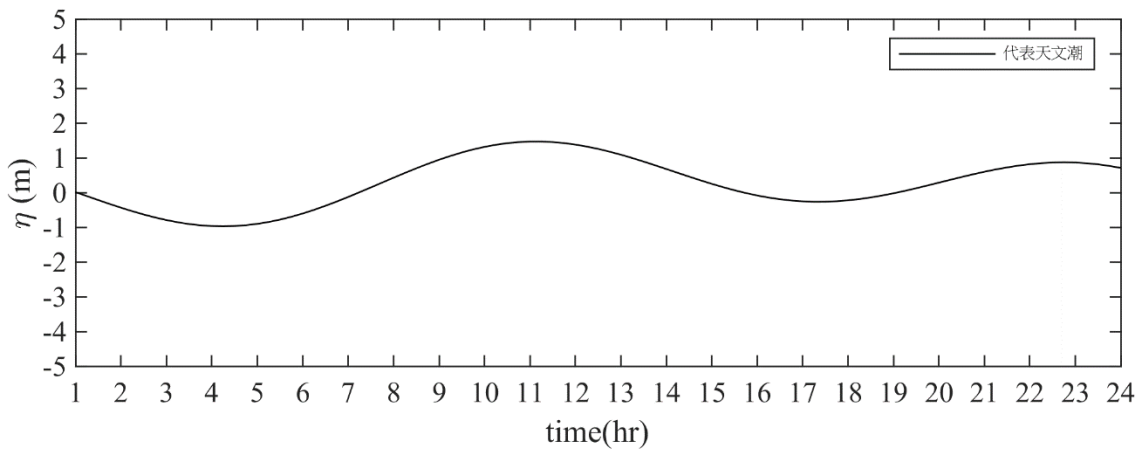


圖4-1-20 (續1)雲林海域代表潮型

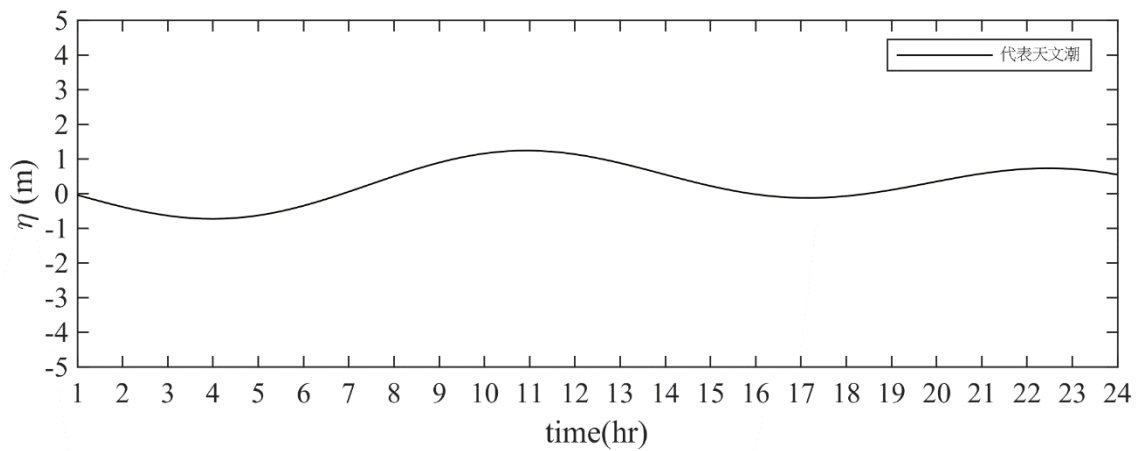


圖4-1-20 (續2)嘉義海域代表潮型

4-2 降雨情境分析

本計畫採用科技部臺灣氣候變遷推估資訊與調適知識平台(TCCIP)的計畫成果中，針對現況與未來的降雨情境分析結果，作為淹水模式的雨量輸入條件。目前，TCCIP平台以最新版的IPCC-AR5(IPCC, 2013)的全球模式為基礎，提供外界高解析度的動力降尺度與統計降尺度的氣候模擬資料。其中，動力降尺度使用區域氣候模式(Regional Climate Model, 簡稱RCM)，將GCM所做的低解析度氣候推估資料進行降尺度，藉以提高解析度來精準地呈現小範圍地區的地理及氣候特質。目前，NCDR利用日本氣象廳(Japan Meteorological Agency, JMA) 氣象研究所(Meteorological Research Institute, MRI)發展的AGCM高解析度(20公里)大氣環流模式資料(Mizuta et al., 2014; Kitoh and Endo, 2016)，進行動力降尺度分析；以2075-2099年間IPCC-AR5的RCP8.5暖化情境，包含現況、近未來、以及世紀末三種情境下，產製整個台灣與離島水平解析度5公里，前10名颱風事件之時雨量資料。

雖然動力降尺度可提供較高精度的時雨量資料，但僅能提供獨立事件而非頻率分析的推估降雨量，與一般治水工程常採用的重現期概念有所落差，難以搭配評估。為了克服此點，TCCIP平台在動力降尺度之外，同時提供統計降尺度的雨量情境資料，作為防災實務分析之用。統計降尺度是利用長期的觀測資料作為推估因子，與氣候模式的推估變量進行比對，以統計方法修正降尺度時可能造成的誤差，進而算出臺灣區域的氣候推估值。並將此推估因子與推估變量間的統計關係，應用到近未來及世紀末的降雨量推估上。目前TCCIP選用IPCC AR5中33個AGCM模式的月平均降雨資料(解析度250km)，以Quantile Mapping方法進行統計降尺度分析，目前已經可提供與動力降尺度相同的空間解析度(5km)的日雨量資料，以1990/5/1-1990/6/30梅雨季為例，統計降尺度的結果與動力降尺度結果比較差異不大(如下圖4-2-1)，但卻能更快速更簡單的產製，並進行後續的頻率分析。

根據IPCC第五次評估報告AR5，未來氣候變遷的情境包含RCP2.6、RCP4.5、RCP6.0與RCP8.5四種情境，分別代表未來不同的溫室氣體排放濃度變化趨勢。其中，在RCP2.6情境中，西元2100年二氧化碳的濃度將會達到421 ppm；RCP4.5情境將達到538 ppm；RCP6.0情境將達到670 ppm；而RCP8.5情境則將會達到936 ppm。如此，將會造成2100年與1750年之間每平方公尺的輻射強迫力(radiative forcing)，分別增加了2.6瓦、4.5、6.0與8.5瓦，因此命名之。整體而言，RCP2.6代表暖化減緩的情境(輻射強迫力在2100年呈減少趨勢)；RCP4.5與RCP6.0代表穩定的情境(輻射強迫力的變化在2100年呈較為穩定狀態)；RCP8.5則為溫室氣體高度排放的情境(輻射強迫力在2100年呈持續增加趨勢)。目前，TCCIP可提供過去基期(34組)，未來RCP2.6情境(22組)、RCP4.5情境(30組)、RCP6.0情境(17組)，以及RCP8.5情境(33組)的統計降尺度日雨量資料，其比

較分析如圖4-2-2所示，由圖中可看出RCP8.5所造成的降雨量增量最大，因此，本研究採用RCP8.5的統計降尺度雨量資料進行後續淹水模擬。

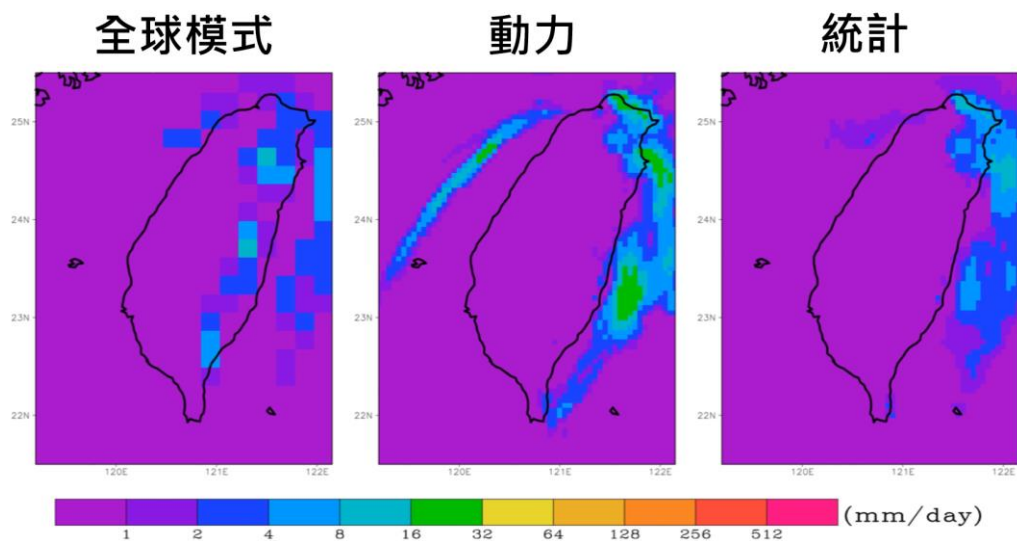


圖4-2-1 動力降尺度與統計降尺度結果比較(資料來源：TCCIP)

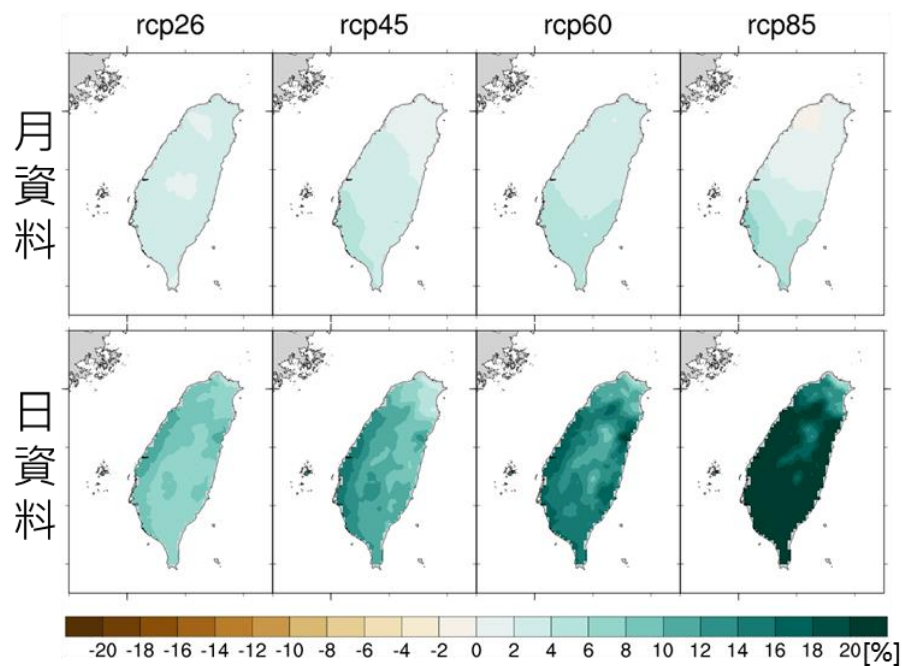


圖4-2-2 不同氣變情境下統計降尺度日雨量比較(資料來源：TCCIP)

本研究首先取得TCCIP提供之五種GCM模式(各模式的背景介紹如表4-2-1)，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，如圖三所示。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。

表4-2-1 氣候變遷大氣環流模式(GCM)背景說明

模式名稱	背景說明
BCC-CSM1-1	由NCAR(美國國家大氣研究中心)CCSM 2.0.1開發，為完全耦合的Global Climate-Carbon Model，包含不同的模組，其中大氣部分為BCC-AGCM2.1、海洋部分為MOM4-L40、陸地部分為BCC-AVIM1.0以及海冰SISM合併相互作用，可考慮交互式植被及全球碳循環，彼此間通過動量、能量、水和碳的通量相互影響。
HadGEM2-CC	第二代的HadGEM模式，具有高解析度平流層和地球系統的組件。包含模組：大氣部分為HadGAM、海洋部分為HadGOM2、地表部分為MOSES2、植被部分為TRIFFID、海洋生物地球化學部分為diat-HadOCC。
IPSL-CM5A-MR	包含完整的地球系統模式，除了物理的大氣-陸地-海洋-海冰模式外，還包括碳循環，及氣懸膠體(aerosols)在平流層及對流層的化學模式。
MPI-ESM-LR	通過能量、動量、水以及重要的微量氣體如二氧化碳之間的交換來耦合大氣、海洋和陸地表面。
NorESM1-M	NorESM是以NCAR開發的CCSM4模式為基礎設計的，海洋的部分被MICOM的開發版本所取代，大氣部分則直接利用線上計算氣懸膠體，可用於研究並評估人為可能造成的氣候變遷的結果。

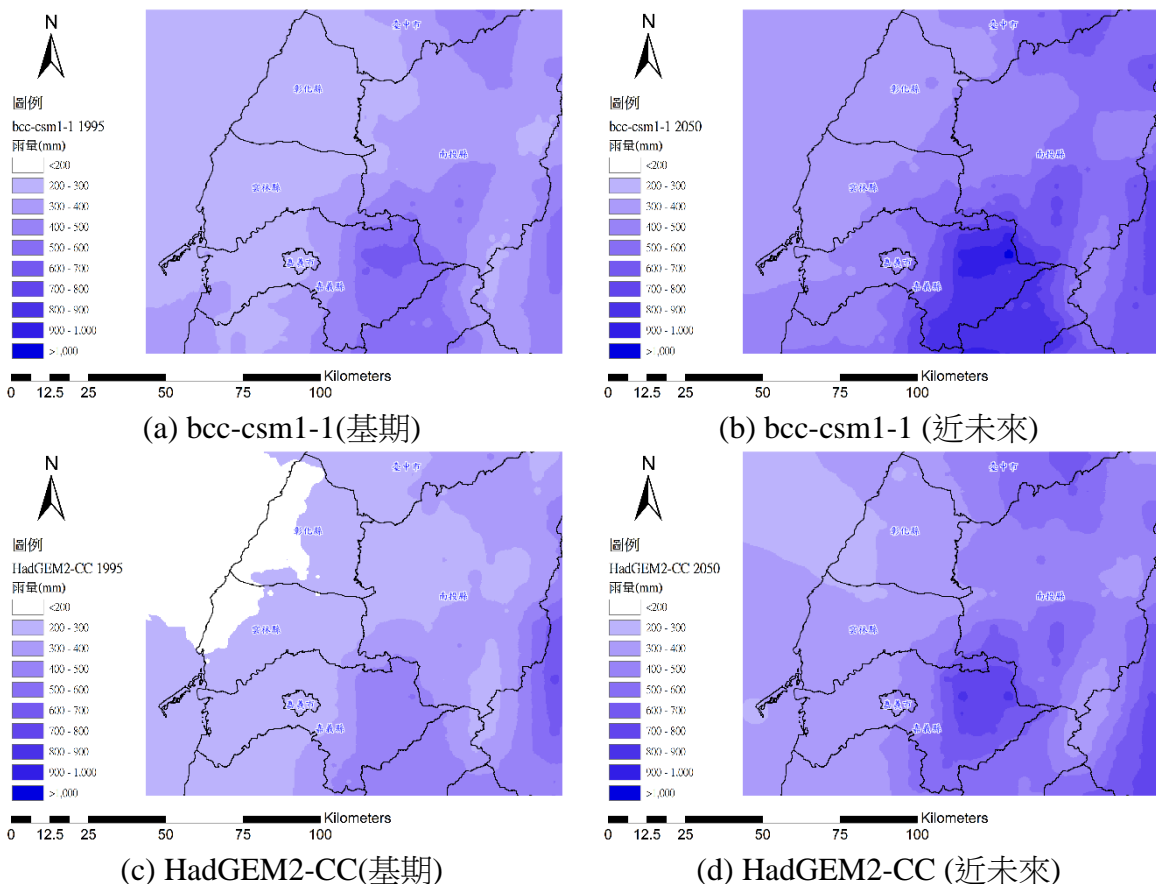
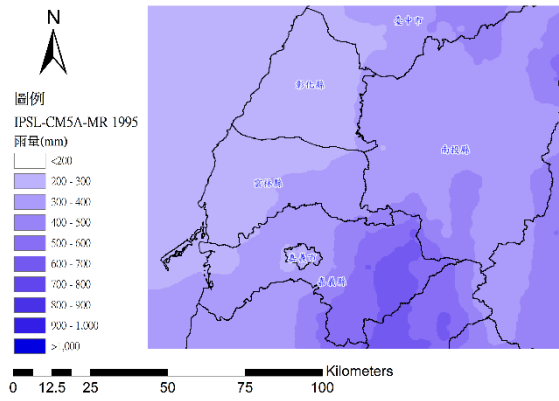
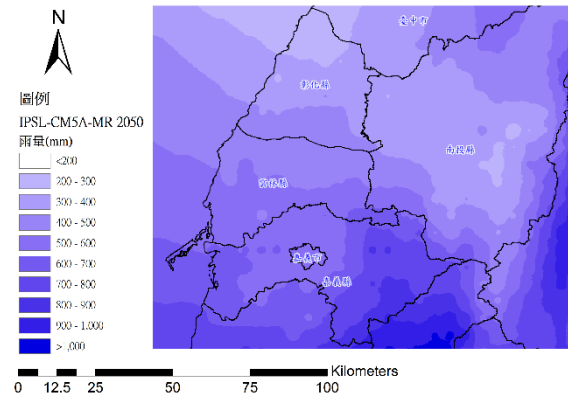


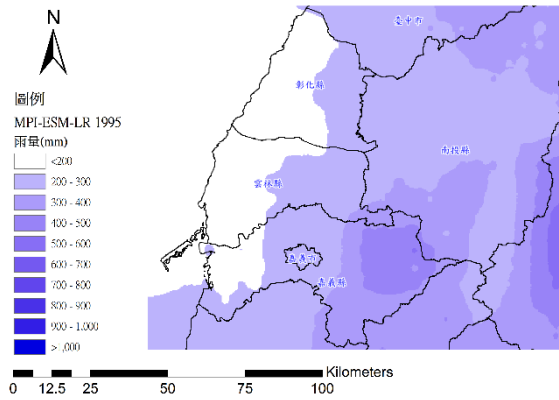
圖4-2-3 不同GCM模式在基期與近未來之50年重現期日雨量分布



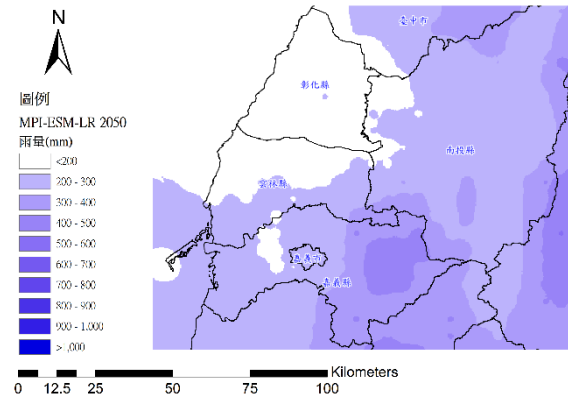
(e) IPSL-CM5A-MR (基期)



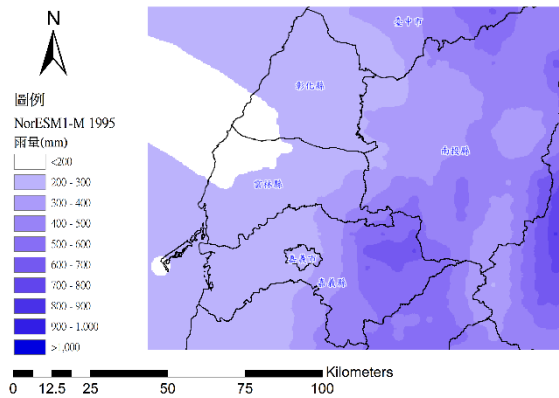
(f) IPSL-CM5A-MR (近未來)



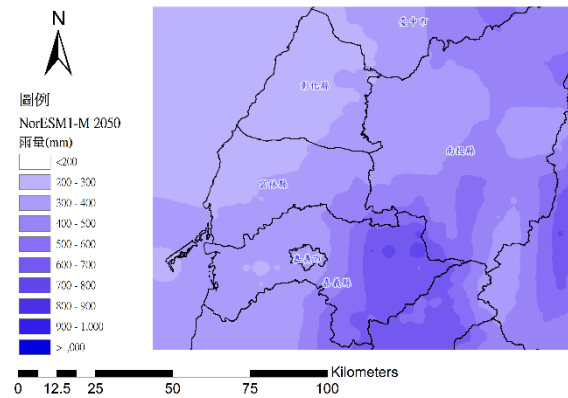
(g) MPI-ESM-LR (基期)



(h) MPI-ESM-LR (近未來)



NorESM1-M (基期)

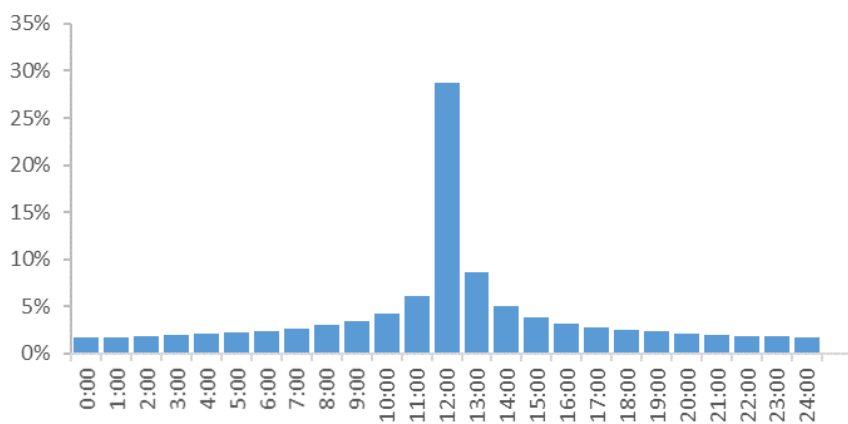


NorESM1-M (近未來)

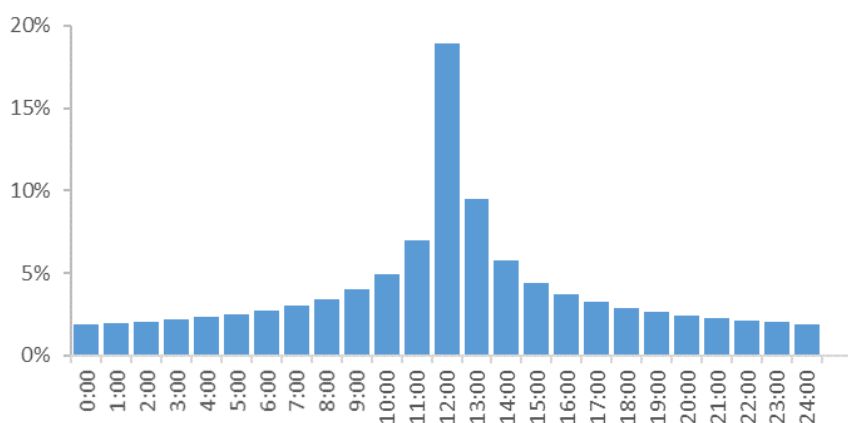
圖4-2-3 (續)不同GCM模式在基期與近未來之50年重現期日雨量分布

為了進行高精度的淹水模擬，日雨量資料並不够細緻，必須進一步進行時間降尺度。本研究依據全台雨量站歷史雨量之頻率分析結果所產製之50年重現期Horner公式(經濟部水資源局，2001)，採用交替組體法建構全台雨量站24小時之無因次雨型，選擇彰、雲、嘉其中3個雨量站展示結果如圖4-2-4。在得出日雨量之雨型分布後，即可將GCM模擬出來之日雨量帶入無因次雨型產製時雨量之空間分布，做為淹水模擬的上游

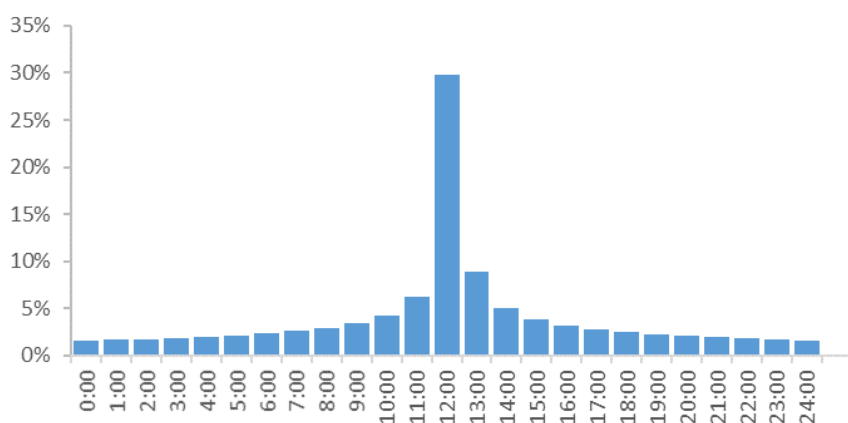
降雨條件；下游則搭配海洋模式的模擬潮位作為邊界條件，進行基期與近未來50年重現期下，降雨及暴潮共同影響下之彰雲嘉海岸淹水圖。



(a)彰化溪州雨量站



(b)雲林北港雨量站



(c)嘉義朴子雨量站

圖4-2-4 彰雲嘉雨量站之無因次雨型

4-3 情境案例擬訂

綜合「海象情境分析」與「降雨情境分析」分析成果，擬訂本計畫氣候變遷情境條

件，其流程如圖4-3-1所示。「海象情境分析」透過數值模擬分析與統計降尺度分析後，會獲得計畫各區域之氣候變遷海象情境條件，再配合各區域海平面上升情境，可擬訂海象情境案例，如表4-3-1所示。其中，氣候變遷增量情境方面，數值模式分析所得海象情境條件均較統計降尺度分析嚴重，因此本計畫將擇選數值模式分析增量計算結果做為海象氣候變遷之情境條件。而暴潮潮型方面，則考量數值模式分析增量所得之暴潮偏差，再透過歷線分析，疊加至各計畫區域之代表性潮位分布(參見圖4-3-2至圖4-3-4)。「降雨情境分析」方面，則透過統計降尺度分析，並以BCC-CSM1-1的日雨量模擬結果做為氣候變遷降雨情境條件。最後，藉由海象與降雨情境組合，擬訂氣候變遷情境案例(參見表4-3-2)，俾利做為後續衝擊評估之背景情境條件。

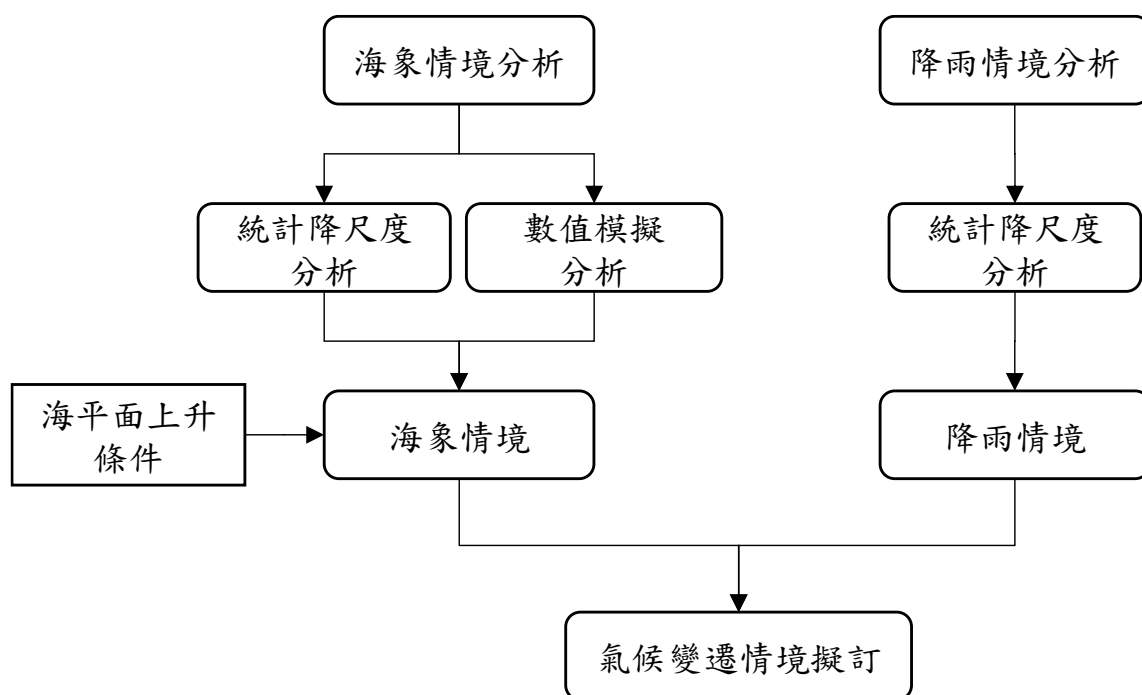


圖4-3-1 本計畫氣候變遷情境擬訂流程圖

表4-3-1 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

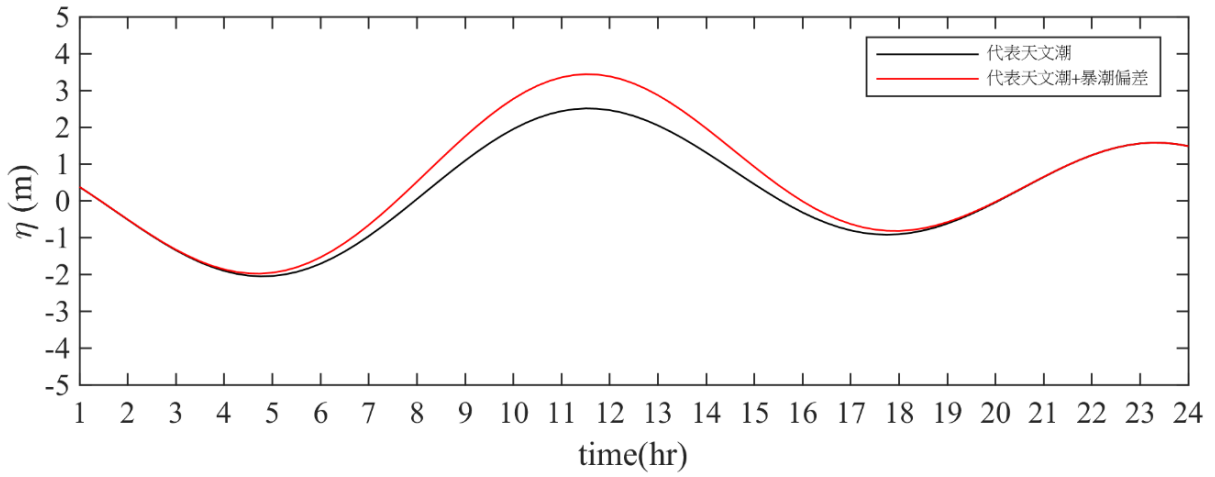


圖4-3-2 彰化海域代表天文潮與暴潮分布(基期)

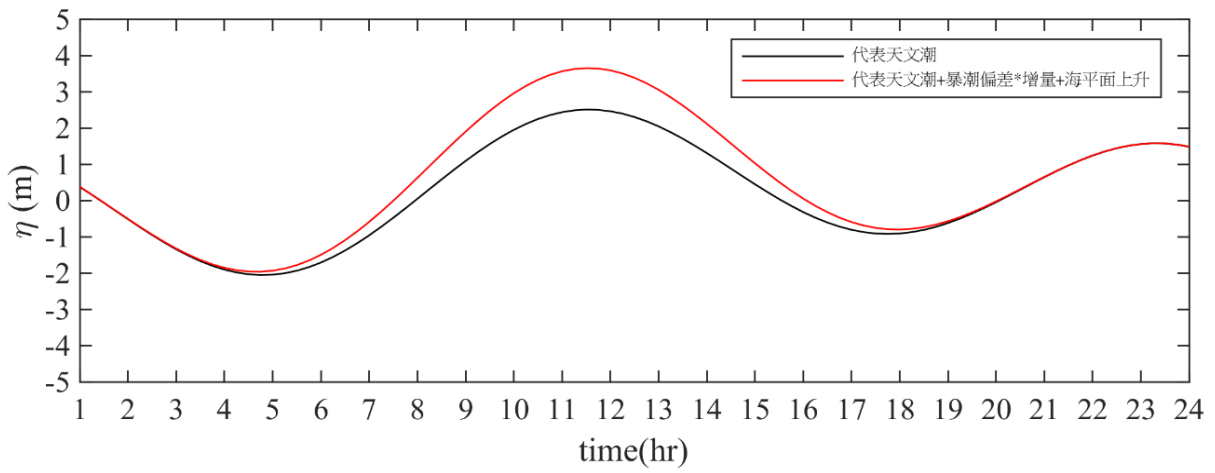


圖4-3-2 (續)彰化海域代表天文潮與暴潮分布(近未來)

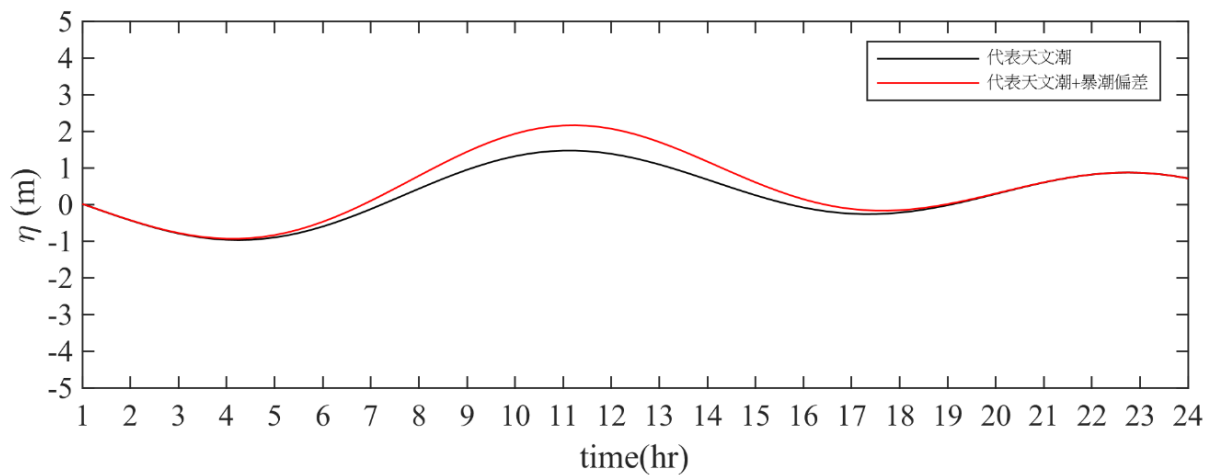


圖4-3-3 雲林海域代表天文潮與暴潮分布(基期)

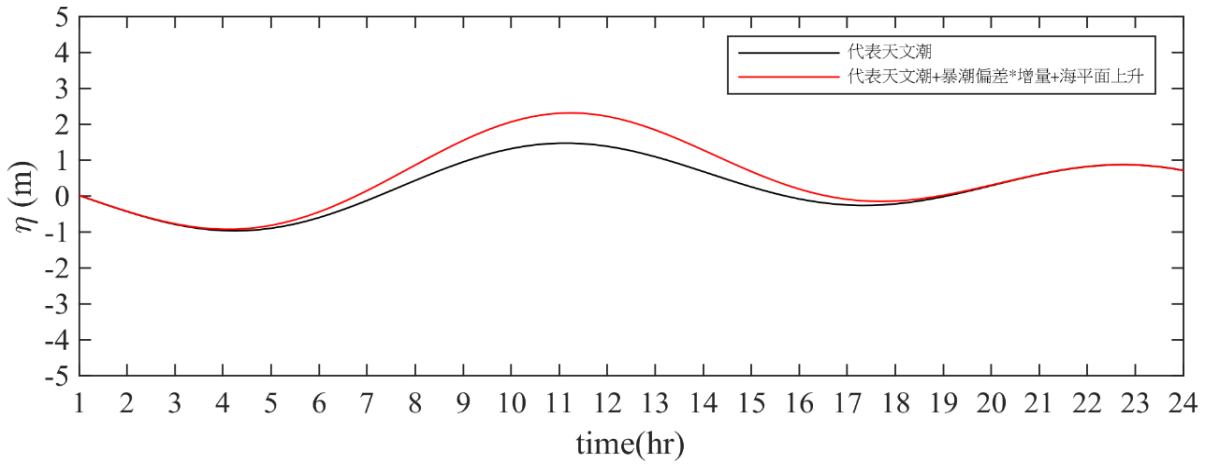


圖4-3-3 (續)雲林海域代表天文潮與暴潮分布(近未來)

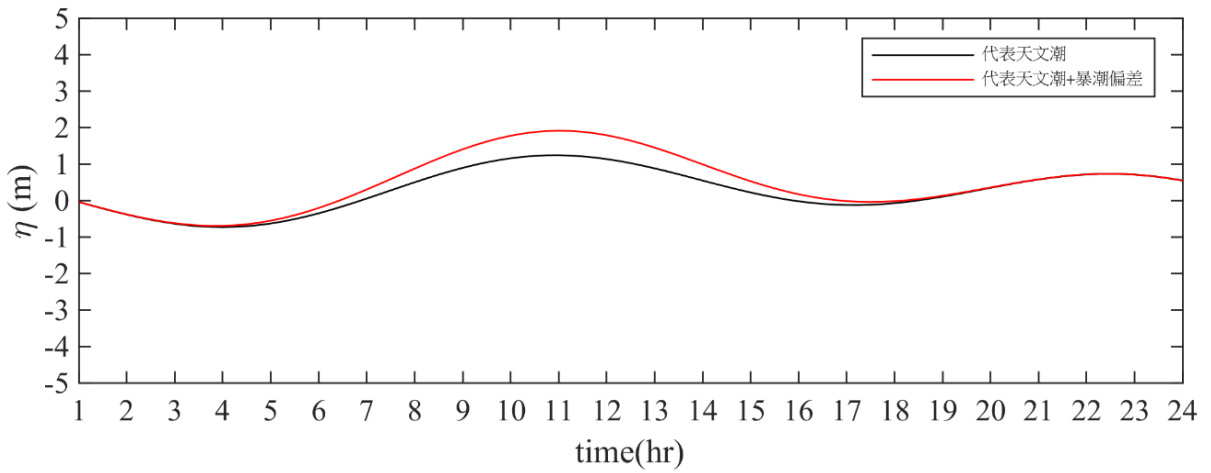


圖4-3-4 嘉義海域代表天文潮與暴潮分布(基期)

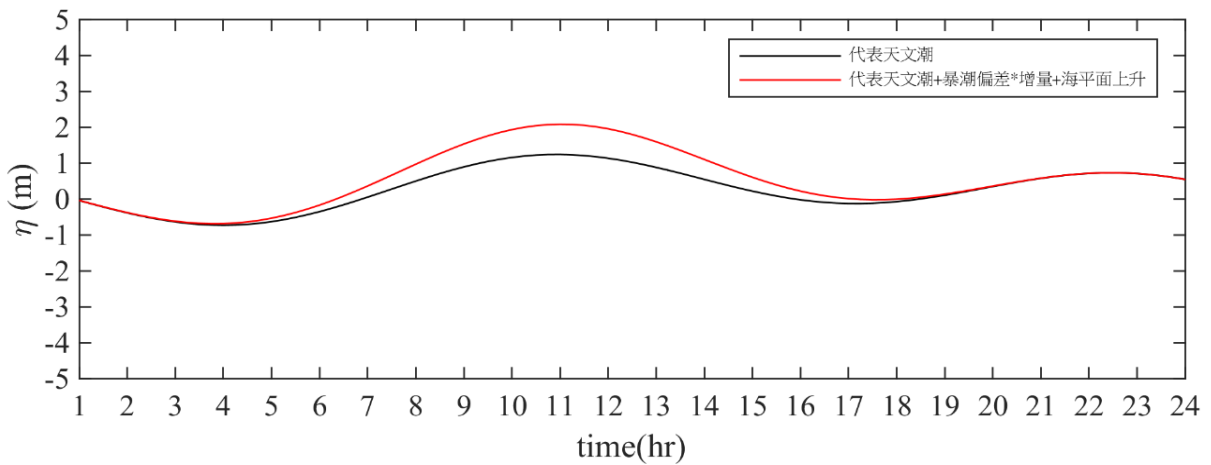


圖4-3-4 (續)嘉義海域代表天文潮與暴潮分布(近未來)

表4-3-2 氣候變遷情境條件項目

海象情境條件			降雨情境條件			
項目	情境	需考量之物理參數	項目	情境	需考量之物理參數	重現期
數值模式分析	基期、近未來	波高、暴潮、代表性天文潮及海平面上升	統計降尺度	基期、近未來	降雨量	50年

4-4 情境分析差異探討

本章節主要探討本計畫氣候變遷情境分析方法與往昔研究方法之差異。往昔研究在考量海象情境上大多以極端條件為主，惟此種考量方式可能會有高估現象發生，且對於氣候變遷因子之考量較少。本計畫於海象情境方面，引用GCM相關資料，透過「數值模式分析」與「統計降尺度分析」方式，估算海象情境條件，藉以導入氣候變遷因子，做為情境分析案例，強化情境分析之完整性。降雨情境方面，於往昔研究參酌統計降尺度(AR4)資料，做為降雨情境條件，本計畫亦導入統計降尺度降雨情境資料，惟已更新採用AR5之資料。

於海象情境潮位條件方面，往昔研究概以單一潮位(最高天文潮潮位)疊加暴潮偏差值來做為情境條件，惟於同時考量降雨時，兩種物理情境較難銜接。過往研究概以單一潮位資料配合不同降雨情境，然此方式較難瞭解漲退潮與降雨之間的相互影響。因此，本計畫引入「潮汐能量法」藉以推估各計畫區域天文潮代表潮型，並配合降雨雨型設定暴潮歷線型態，以媒合降雨情境條件。藉此應可用更具邏輯性方式，同時導入海象與降雨兩種情境條件。

同時考量「海象」與「降雨」兩情境事件時，大都以暴潮導致的越波量做為淹水模式的下游邊界，藉此才能同時考慮洪氾溢淹與暴潮溢淹兩種情況。因此，越波資料為兩種模式銜接之重要媒介，往昔研究在越波條件考量上，先以二維斷面模式進行各段代表海堤之斷面越波模擬，推求各斷面越波量後，再給予淹水模式做為下游邊界。因僅以斷面範圍考量關係，較無法獲得面狀越波資訊。本計畫則以二維平面模式，由海域模擬至近岸整體越波情況，再將越波水位與河川水位做為邊界條件，以利整體計算溢淹情況(詳細內容可參閱第五章)。

如上述，往昔研究與本計畫情境分析之差異如表4-3-3所示。

表4-3-3 情境分析差異探討

項目	本計畫分析方法	往昔分析方法
降雨情境條件	導入統計降尺度AR5資料	導入統計降尺度AR4資料
海象情境條件	導入GCM資料：數值模擬分析與統計降尺度分析	極端條件分析
暴潮情境條件	天文潮代表潮型 + 暴潮偏差	最高高潮位 + 暴潮偏差
越波情境條件	二維平面模式計算整體越波情況	二維斷面模式計算越波情況

第五章 氣候變遷對海岸溢淹災害之衝擊評估

於本章節中，需針對氣候變遷影響下計畫各區域（第1年度：彰化、雲林、嘉義；第2年度：臺南、高雄、屏東）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。本章節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。

5-1 評估流程說明

衝擊評估流程相關說明，如圖5-1-1所示。本計畫採用SCHISM (Semi-implicit Cross-scale Hydrosience Integrated System Model) 做為海洋模擬之數值模式；淹水模式則採用採用國立成功大學開發的地表下水道耦合淹水模式(COS-Flow, Coupled Overland-Sewer Flow model)。透過情境方案條件給定，分別透過兩種模式模擬各方案計畫區域海岸溢淹情況，俾供後續針對各計畫區域進行衝擊評估與海岸風險評估。

5-2 數值模式建構

一、海洋模式建構

本計畫以SCHISM (Zhang et al., 2016))做為氣候變遷衝擊評估系統中，海洋及近岸水動力模擬之數值工具。SCHISM 模式為SELFE (Semi-implicit Eulerian-Lagrangian

Finite Element model, Zhang and Baptista, 2008) 模式之改良進化版，使用半隱式有限元素法，可使用較大時距(time step)進行數值計算，不受Courant–Friedrichs–Lewy穩定條件限制 (CFL stability constraints)。SELFE與SCHISM因其可擴充性、穩定性與高度運算效能已被廣泛應用於海嘯波傳遞模擬(Zhang et al., 2011)及颱風引致之都市與集水區風暴潮溢淹模擬(Wang et al., 2014；Chen and Liu, 2016)等。由上可知，於該此模式能夠有效處理乾濕邊界問題，可有效運用在計算海岸溢淹相關的物理問題。此外，因非結構性網格特性，可於結構物處進行加密，更能夠有效模擬近岸堤防越波相關物理問題，並藉以計算出計畫區域範圍中整體海堤越波量，並取其值做為淹水模式之下游邊界條件。

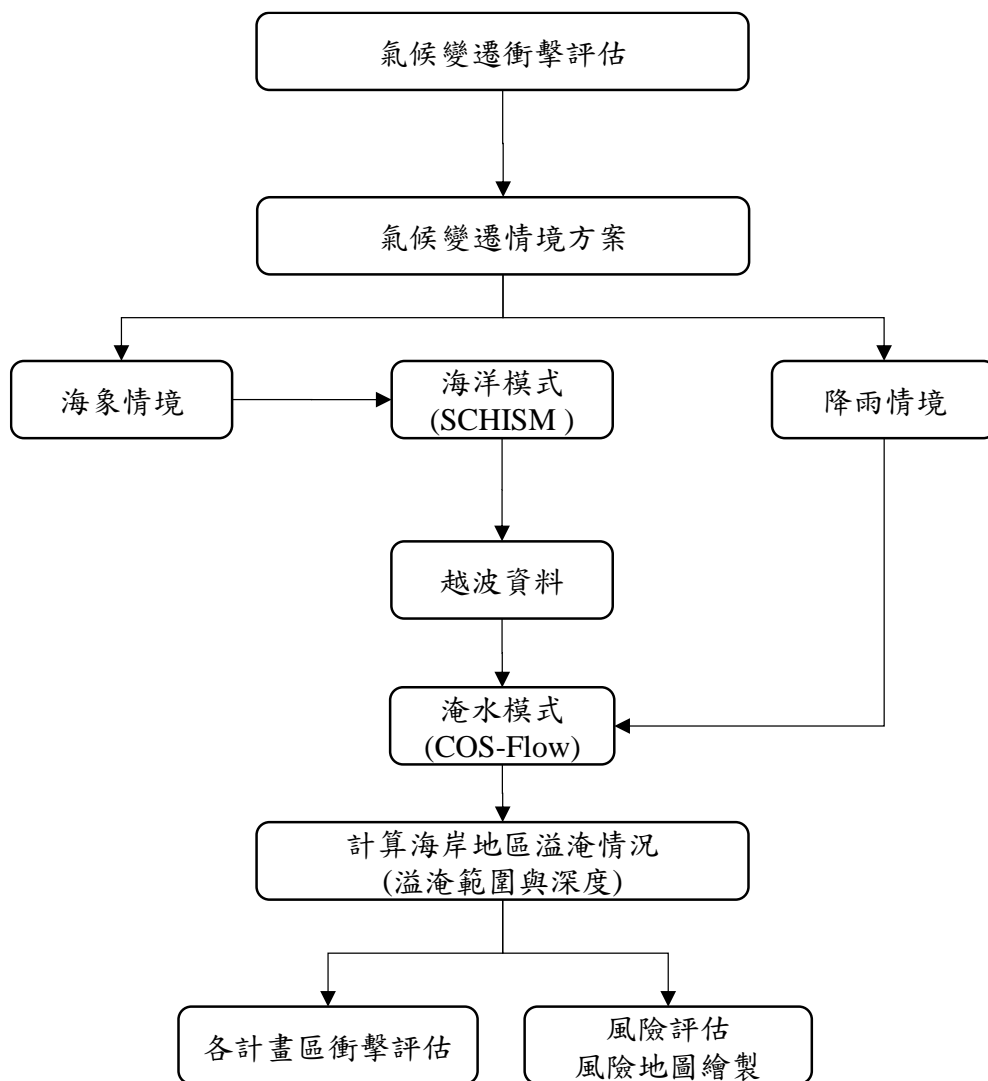


圖5-1-1 氣候變遷衝擊評估流程圖

此外，SCHISM模式為波-流耦合模式，結合WWM-III (Wind Wave Model III, Roland et al., 2012) 可模擬颱風風浪演變。透過SCHISM模式將風速、深度平均流速與水面

高程傳遞至風浪模式；而WWM-III模式則將輻射應力傳遞二維海岸水動力模式，以達天文潮-暴潮-風浪全耦合計算效果。於水理計算方面，本計畫為降低模式運算時間，使用深度積分之平面二維SCHISM模式，SCHISM-2D進行水理部分模擬。SCHISM-2D基於靜水壓與布氏假設，求解淺水波方程式 (shallow-water equations) 之自由液面高度與 x, y 方向之流速，卡式坐標下二維控制方程式可表示如下：

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial vH}{\partial y} = 0 \quad (5-1)$$

$$\frac{Du}{Dt} = fv - \frac{\partial}{\partial x} \left\{ g(\eta - \alpha\hat{\psi}) + \frac{P_A}{\rho_0} \right\} + \frac{\tau_{sx} + \tau_{rx} - \tau_{bx}}{\rho_0 H} \quad (5-2)$$

$$\frac{Dv}{Dt} = -fu - \frac{\partial}{\partial y} \left\{ g(\eta - \alpha\hat{\psi}) + \frac{P_A}{\rho_0} \right\} + \frac{\tau_{sy} + \tau_{ry} - \tau_{by}}{\rho_0 H} \quad (5-3)$$

其中， $\eta(x, y, t)$ 為自由液面高程； $H = \eta(x, y) + h(x, y)$ 為總水深，自由液面高程加上地形深度 $h(x, y)$ ； $u(x, y, z, t)$ 與 $v(x, y, z, t)$ 為 x, y 方向的水平流速； f 為科氏因子； g 為重力加速度； $\hat{\psi}$ 為地球潮汐潛勢； α 為效率地球彈性因子； ρ_0 參考水體密度； $P_A(x, y, t)$ 為自由液面之大氣壓力。方程式中風剪應力於 x, y 方向分量 τ_{sx} 、 τ_{sy} 可以方程式表示如下：

$$\tau_{sx} = \rho_a C_s \sqrt{(W_x + W_y)^2} W_x \quad (5-4)$$

$$\tau_{sy} = \rho_a C_s \sqrt{(W_x + W_y)^2} W_y \quad (5-5)$$

其中， w_x 和 w_y 為距自由液面 (free-surface) 10公尺高處之 x, y 方向風速； ρ_a 為空氣密度； C_s 風拖曳係數， C_s 的數值隨風速提高而增大，然而，Powell et al., (2003) 建議 C_s 數值需要設定上限。SCHISM-2D中 C_s 與合成風速 W 的關係可以下列方程式表示：

$$C_s = 1.0^{-3} \begin{cases} (0.61 + 0.063 \times 6.0), & W < 6.0 \\ (0.61 + 0.063W), & 6.0 \leq W \leq 50.0 \\ (0.61 + 0.063 \times 50.0), & W > 50.0 \end{cases} \quad (5-6)$$

底部邊界層不易於在一般海洋模式中描述，因此，控制方程式中底床剪應力於 x, y 方向分量 τ_{bx} 、 τ_{by} 可以下式表達：

$$\tau_{bx} = \rho C_b \sqrt{u^2 + v^2} u \quad (5-7)$$

$$\tau_{by} = \rho C_b \sqrt{u^2 + v^2} v \quad (5-8)$$

其中， C_b 為底床拖曳係數，於SCHISM-2D中，可透過曼寧公式 (Manning's n formula) 計算後獲得：

$$C_b = g n^2 / H^{1/3} \quad (5-9)$$

根據臺灣海底底床地質特性， n 值於模式中設定為0.025。由方程式(4-4-9) 可知， C_b 將隨總深度 H 而變化。

τ_{rx} 與 τ_{ry} 為風浪引起之輻射應力在 x, y 方向之分量，採用Longuet-Higgins and Stewart (1962, 1964) 研究成果所建議之方法，可以下列方程式表示：

$$\tau_{rx} = -\frac{\partial S_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad (5-10)$$

$$\tau_{ry} = -\frac{\partial S_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (5-11)$$

S_{xx} 、 S_{xy} 與 S_{yy} 為輻射應力張量之分量，由風浪模式計算而得，依據Battjes (1974) 所提出之建議，可以下列方程式表示之：

$$S_{xx} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} N \sigma \frac{C_g}{C_p} \sin(\theta) d\theta d\sigma \quad (5-12)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} N \sigma \left[\frac{C_g}{C_p} (\cos^2(\theta) + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma \quad (5-13)$$

$$S_{yy} = \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} N \sigma \left[\frac{C_g}{C_p} (\sin^2(\theta) + 1) - \frac{1}{2} \right] d\theta d\sigma \quad (5-14)$$

其中， N 為波作用密度(wave action density)， σ 為風浪之相對角頻率， θ 為波向， C_g 與 C_p 分別表示波之群速度及相速度。

另外，本計畫於衝擊評估方面，主要是以氣候變遷情境條件為考量，因此僅模擬波

浪與暴潮演變過程，風效應並無納入模擬因子，而波浪模式相關介紹請參閱附錄二所示。

海域地形建置方面，擬蒐集科技部臺灣周圍海域200 m數位地形資料做為數值模式所需之水深地形，於近岸海域地區則須透過各計畫區域相關調查報告，獲得更細緻之水深地形資料，以利較完整建構模擬區域海域與海岸之地形。此外，亦須蒐集海岸防護設施相關資訊，並於模擬區域建構海岸結構物，以利海洋模式能夠模擬海岸區域溢淹與越波之現象。另，海洋模式外圍入射邊界條件則採用上述氣候變遷情境條件方案來給定，包含海平面上升水位條件、波浪條件及暴潮水位條件等，以模擬各方案水動力變化情形，瞭解海水侵襲海岸之衝擊情況。

二、淹水模式建構

1. 模式介紹

本計畫採用國立成功大學開發的地表下水道耦合淹水模式(COS-Flow, Coupled Overland-Sewer Flow model)，進行各種氣候變遷情境不同降雨量與潮位影響下，海岸溢淹造成的淹水範圍與深度模擬。本模式在106年科技部計畫(MOST 106-2221-E-006-248)的支持下完成開發，可進行高精度街廓等級的淹水動態模擬，同時考量河川、抽水站、滯洪池、閘門、區域排水路、雨水側溝、暗管等水工設施的效應，也能個別考量不同土地利用，例如建物、道路、公園等，不同的入滲與摩擦係數對水流運動的影響。本模式主要分為二維漫地流與一維渠道流兩個模組，在地表漫地流之二維模式部分，採用零慣性波理論，以交替方向顯示有線差分法均勻網格進行模擬。一維模式部分包含河川、區排、下水道的物理模組，皆採用動力波求解聖維南方程式，茲分別將理論方法敘述如下：

在地表漫地流之二維模式部分，採用零慣性波(或稱擴散波)理論(顏清連，1989；Hsu et al.，2000)，其控制方程式如下：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} = q + \frac{Q_{2D}}{A_0} \quad (5-15)$$

$$\frac{\partial(h+z)}{\partial x} = -u \left[\frac{n_x^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} + \frac{q}{hg} \right] \quad (5-16)$$

$$\frac{\partial(h+z)}{\partial y} = -v \left[\frac{n_y^2 \sqrt{u^2 + v^2}}{h^{4/3}} + \frac{q}{hg} \right] \quad (5-17)$$

其中式(5-15)為連續方程式，式(5-16)與(5-17)為動量方程式。 u 、 v 各為x與y方向流速； q 為有效雨量； h 為水深； z 為地表高程； g 為重力加速度； n 為曼寧係數； Q_{2D} 為單位面積由下水道流出地表面之流量(源項)。為了在時間與空間上達到更高的精度，在求解的過程中，數值方法採用交替方向有限差分法，交替演算x與y方向之質量與動量交換，將演算時間(Δt)等分為兩個階段，每前進一個階段即分別求解x與y方向之流速及水深。

本計畫的一維模式部分，為了同時考量下水道滿管與非滿管的狀態，以及普里茲曼細槽理論(Preissmann slot Method；Cunge and Wegner，2004)，在下水道管路上方開通一細槽，其控制方程式如下：

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial(VA)}{\partial s} = \frac{Q_{1D}}{L} \quad (5-18)$$

$$\frac{\partial(VA)}{\partial t} + \frac{\partial(V^2A)}{\partial s} = -gA \frac{\partial(H+Z)}{\partial s} - \frac{gAn_s^2 |V|V}{R^{4/3}} \quad (5-19)$$

$$H = \begin{cases} f(A) & \text{if } A \leq A_p \\ D + (A - A_p) / B_s & \text{if } A > A_p \end{cases} \quad (5-20)$$

其中； A 為河川、區排或下水道的通水斷面積； A_p 為下水道的細槽通水斷面積，在河川或區排的明渠流情況時，設定與渠道同寬； R 為水力半徑； $H = z + h$ 為水面高程； Z 為管底高程； a 為壓力速度； B_s 為槽寬； D 為渠道深度或管徑。此處 Q_{1D} 值為側入流，由地表水頭高程、河川、區排、下水道之水頭高差來決定，其細節不詳述於此。一維模式採用隱式尤拉向後有限差分法(implicit backward Euler method；Ascher and Petzold, 1998)，以皮卡疊代法(Picard, 1890)提高數值的穩定性。

在COS-Flow模式中，一維、二維的水體交換發生在兩種情形：(1)河川、區排、與漫地流之間(2)下水道與漫地流之間。第一種情形發生的時機，來自於河川區排水位高過堤防溢淹到平地形成漫地流，或是漫地流經由閘門或抽水機排入河川區排當中；第二種情形發生在漫地流經過雨水側溝流入下水道，或是下水道

滿管之後透過人孔溢淹至地表再度形成漫地流。無論哪一種情形，在COS-Flow 模式中都是以排水口-節點(inlet-node, Jang et al., 2018)方法進行處理，透過建立二維網格與一維的節點一對一的關係，讓漫地流與渠流彼此以分散式的方式互相獨立連接，考量介接元件的水工設施特性(閘門、堰流、抽水站、側溝蓋等等)，分別計算其交換的流量，排水口-節點法的水體交換示意圖如圖5-2-1，藉由獨立的路面排水口，將地表漫地流排入與2D網格單元相交的管段中心節點，而當河川、區排、或下水道的水頭超過漫地流水頭時，將溢淹回到最近的二維網格單元中心。一維節點和二維網格之間的對應關係可以利用GIS平台進行處理，具有以下優點：(1)自動建立1D和2D元素之間的對應關係;(2)每個單元內管段斜率、長度、高度、深度和直徑的數值已經建立完成，不需要任何人工輸入;(3)如果有了新版本的管網或網格，可以輕鬆更新數據。

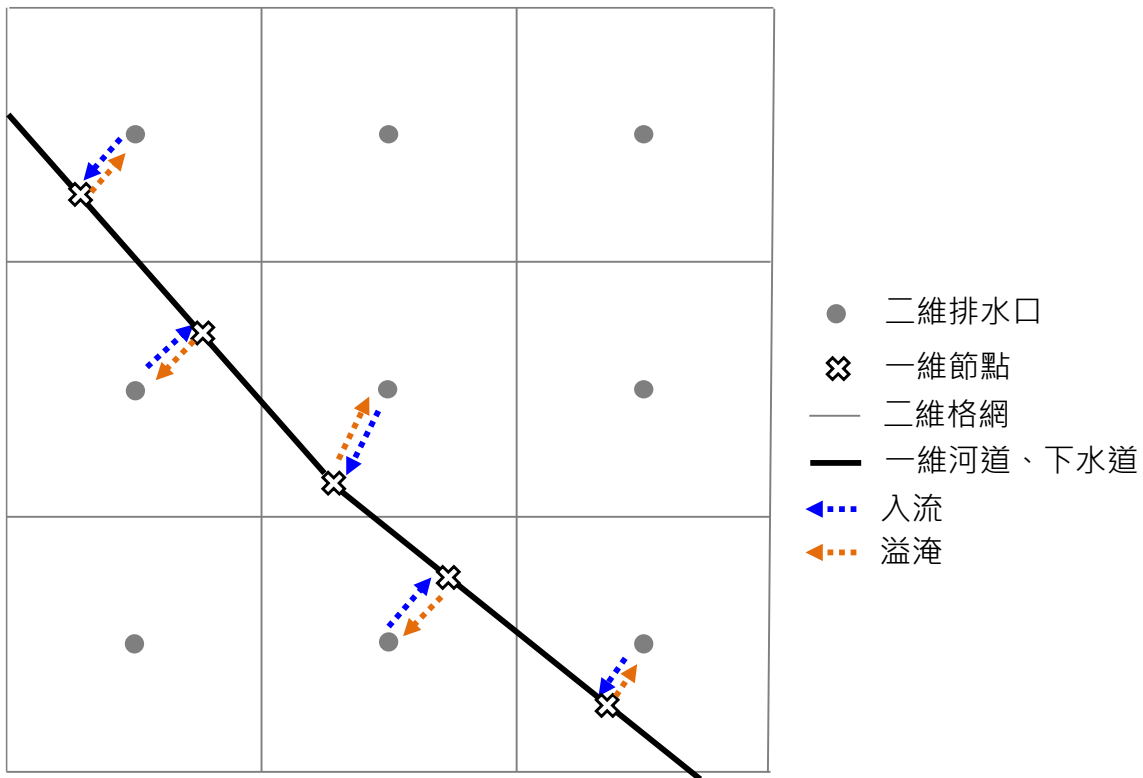


圖5-2-1 排水口-節點法示意圖

2.流域範圍

本年度的計畫區域範圍包含彰化、雲林、嘉義三個縣市，共計有7條中央管河川，包含烏溪、濁水溪、北港溪、朴子溪、八掌溪、曾文溪、高屏溪，其中，可細分為烏溪、洋子溪、鹿港溪、舊濁水溪、濁水溪、崙背沿海、新虎尾溪、虎尾溪、北港溪、新港沿海、朴子溪、布袋沿海、八掌溪等，共13個子流域(圖5-2-2)，

總面積為6,541平方公里。由於需要模擬的面積廣大，為了減少模擬時間，以往在進行淹水潛勢模擬時，常分成小集水區分別模擬再進行圖層套疊。然而，考量本區地勢低窪，若區分為小集水區模擬，恐難以描述漫地流跨域的現象，因此，本計畫在建置COS-Flow模式的時候，不採用小區域模擬，而是將此13個流域一併納入二維淹水格網之中，以40公尺的網格解析度進行整體淹水模擬，彰雲嘉全區域共計有781萬個網格。為了降低電腦運算時間，COS-Flow模式採用OpenMP優化程式碼，利用多核心電腦進行平行化計算，可有效加快模擬速度。

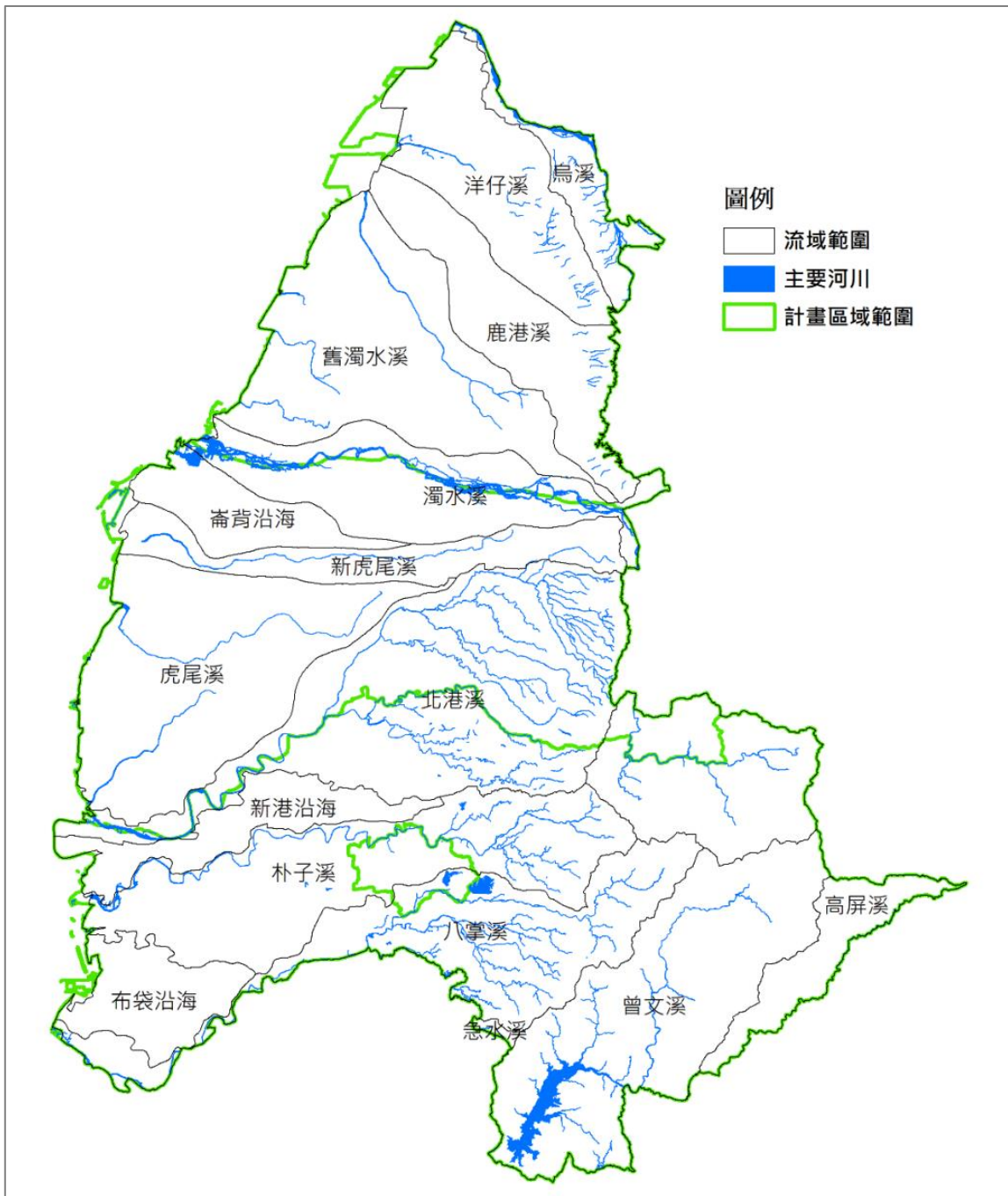


圖5-2-2 計畫區域範圍內之流域分布

3.地文資料

本計畫研究區域內之土地利用情形如圖5-2-3所示；彰雲嘉境內土地多為農業使用，其中彰化縣農地面積約622平方公里，佔全縣58%，其次為建築與都市計畫用地，佔25%；雲林縣農地面積約874平方公里，佔全縣約68%，其次為森林面積約104平方公里，佔約8%，都市區域約8%；嘉義縣市農地約860平方公里，佔44%，其次為森林用地，約731平方公里，佔37%，都市佔7%。為了考慮入滲，採用美國農業部製定(Hjelmfelt, 1991)的逕流曲線值(CN)法計算超滲降雨量。CN法是通過考慮降雨量、逕流量、滲透量和最大蓄留量之間的經驗關係進行開發，這種關係隨土地利用和臨前水文條件而變化。CN法特別適用於分布式二維逕流模擬，因為它反映了每個單元的滲透率變化，並且已經在實際應用中廣泛使用，並附有詳細的參考手冊可供參考(NRCS, 2004)。堤防位置蒐集水利署近年淹水潛勢更新相關計畫中的最新數據，潮位與流量則分別由海洋模式與降雨逕流模式，在氣候變遷情境下模擬演算得出之結果。本模式的固定邊界條件包含地表的高程與堤防高度，本計畫所採用之DTM資料為內政部地政司衛星測量中心公佈的台灣20公尺解析度DTM，如圖5-2-4所示。

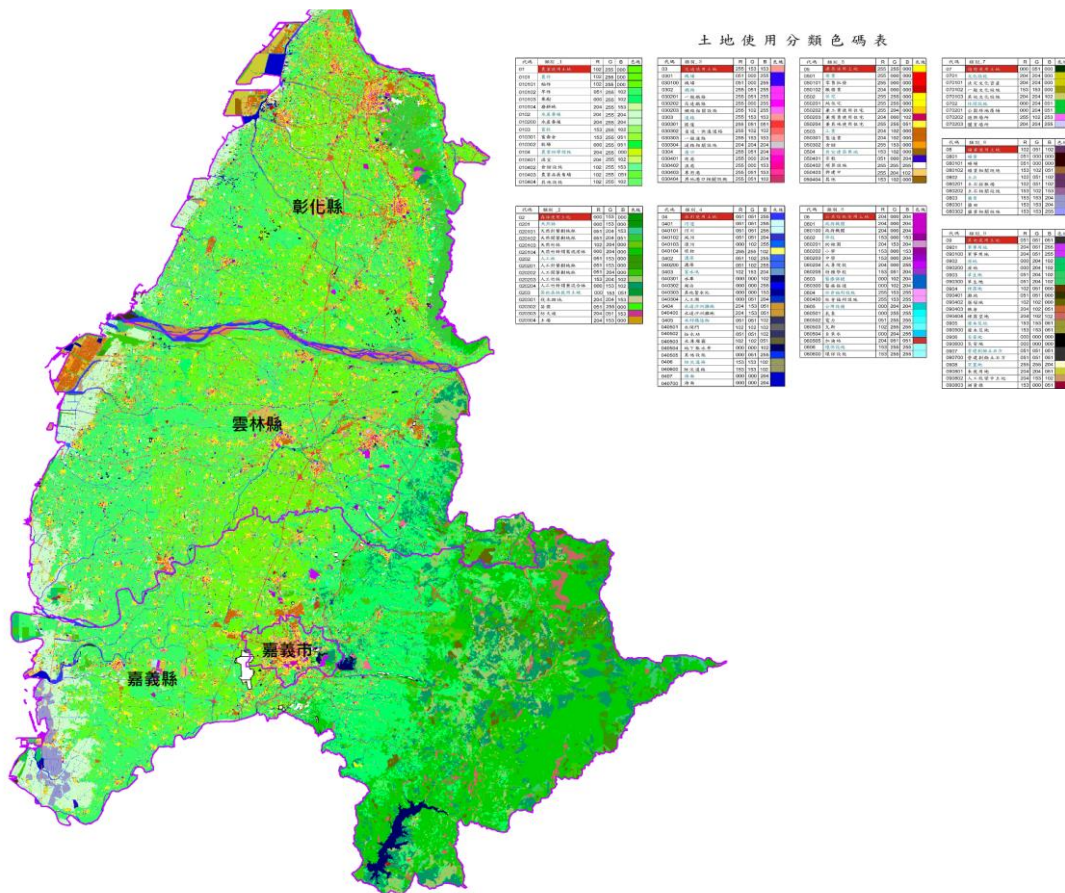


圖5-2-3 彰雲嘉區域土地利用

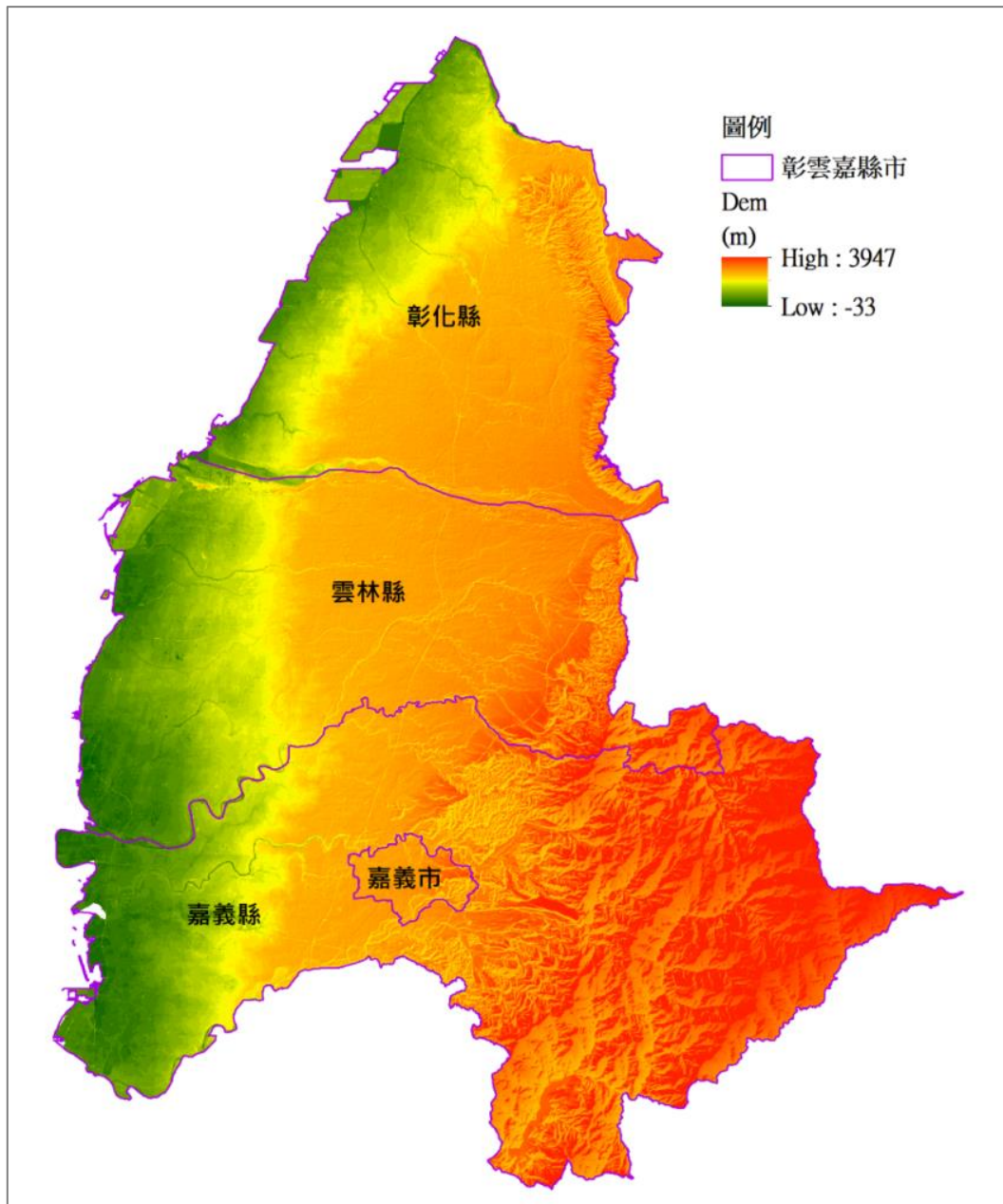


圖5-2-4 彰雲嘉區域地形高程

4. 水文資料

本計畫模擬區內，彰化縣現存雨量測站有24個、雲林縣現存雨量測站有30個、嘉義縣市內現存之雨量站有32個，其分布如圖5-2-5所示。彰、雲、嘉水利署現存之水位站32站，如圖5-2-6所示；潮位站五站，如圖5-2-7所示。

5. 水利工程

本研究已經蒐集彰雲嘉三縣市的區域排水系統資料，其分布如圖5-2-8所示。彰雲嘉三縣市的抽水站如圖5-2-9所示，滯洪池包含鹿港鎮頭崙埔排水的草港尾滯

洪池、員林市過溝排水上游多功能滯洪池、雲林縣大埤鄉延潭大排、北港鎮後庄抽水站附屬滯洪池、虎尾鎮慶圳大排平和滯洪池、嘉義縣民雄鄉頭橋排水滯洪池、嘉義縣太保市新埤排水勞工住宅調洪池、以及嘉義縣水上鄉內溪洲排水滯洪池。



圖5-2-5 彰雲嘉區域雨量站

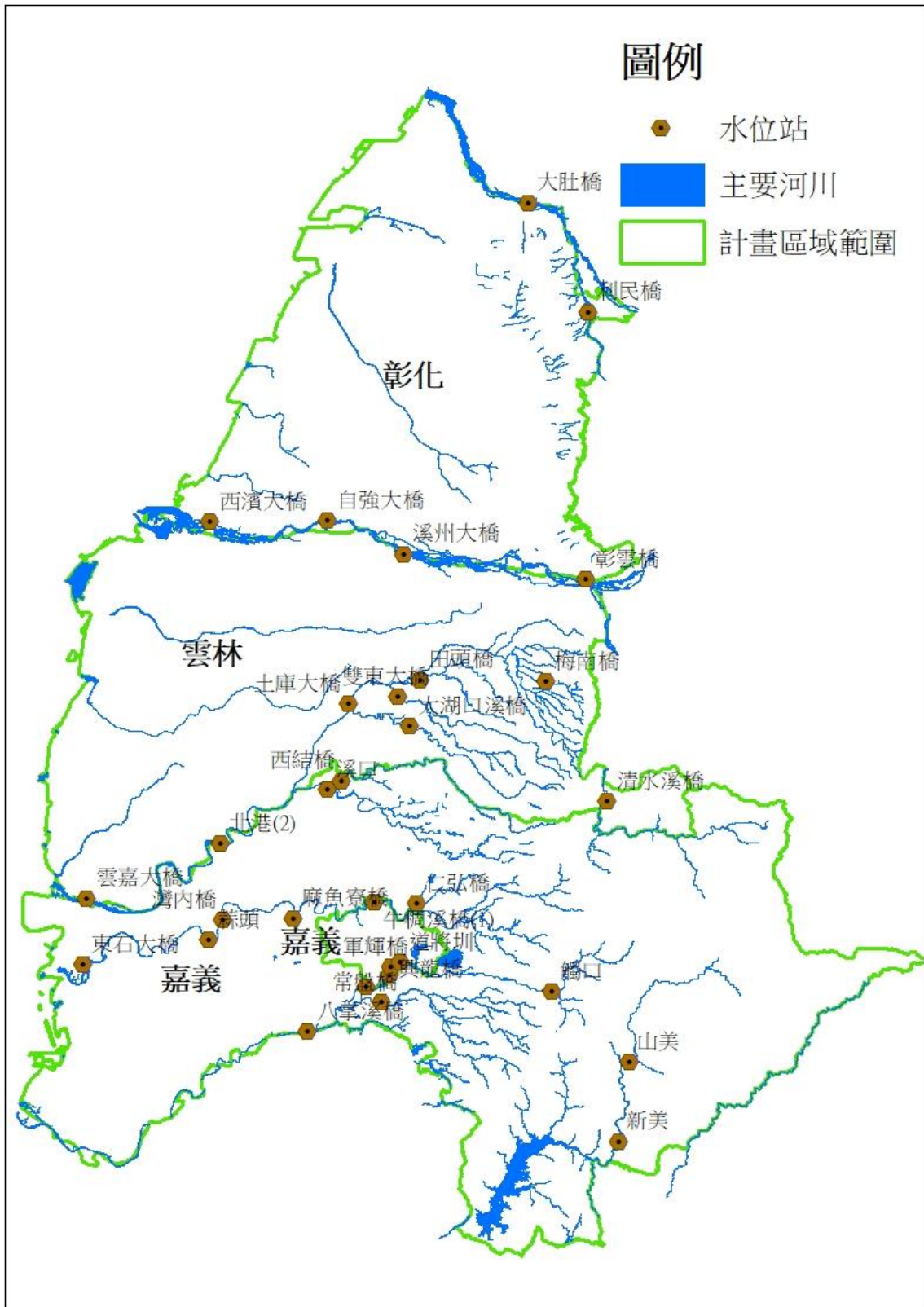


圖5-2-6 彰雲嘉區域水位站

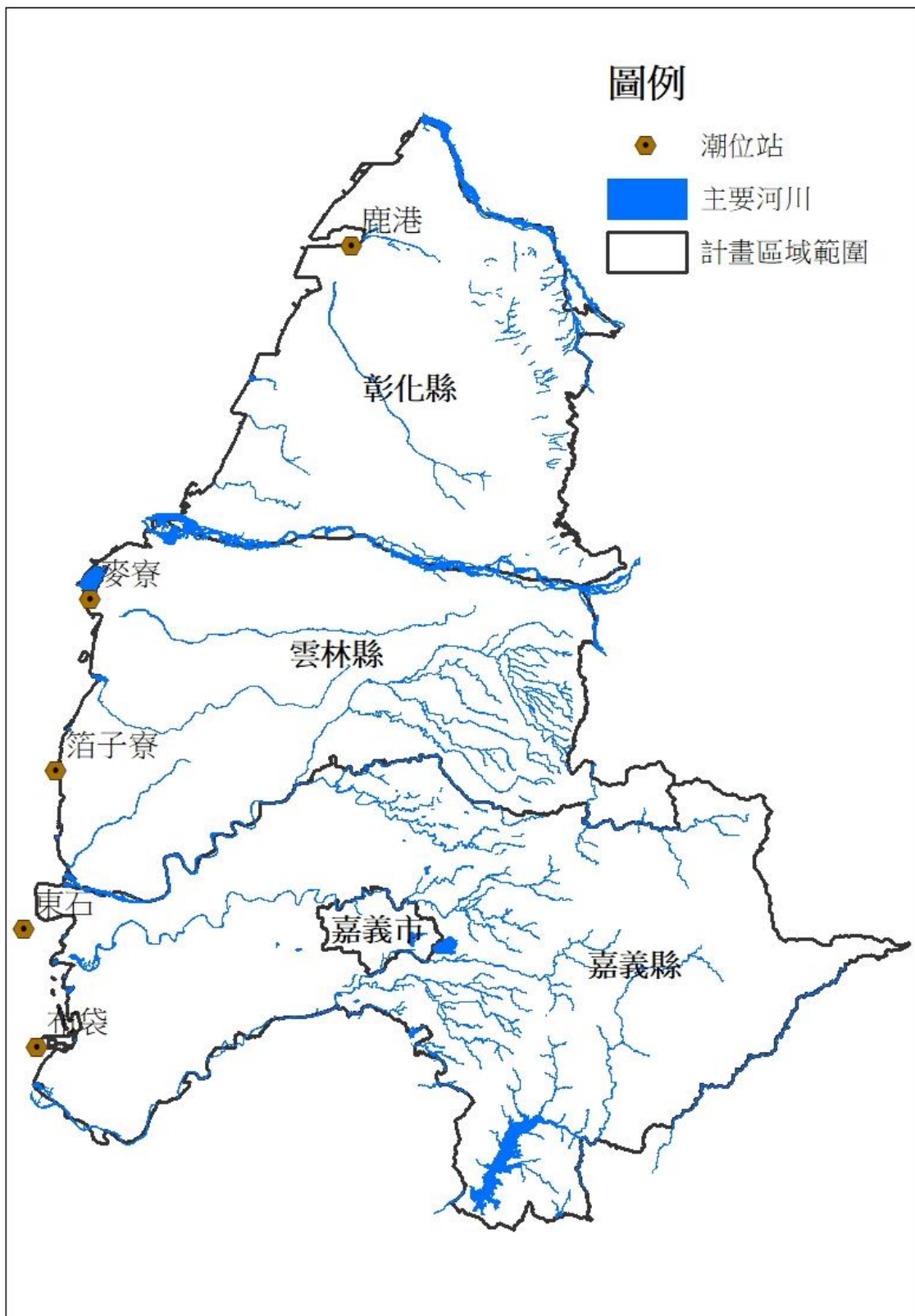


圖5-2-7 彰雲嘉區域潮位站

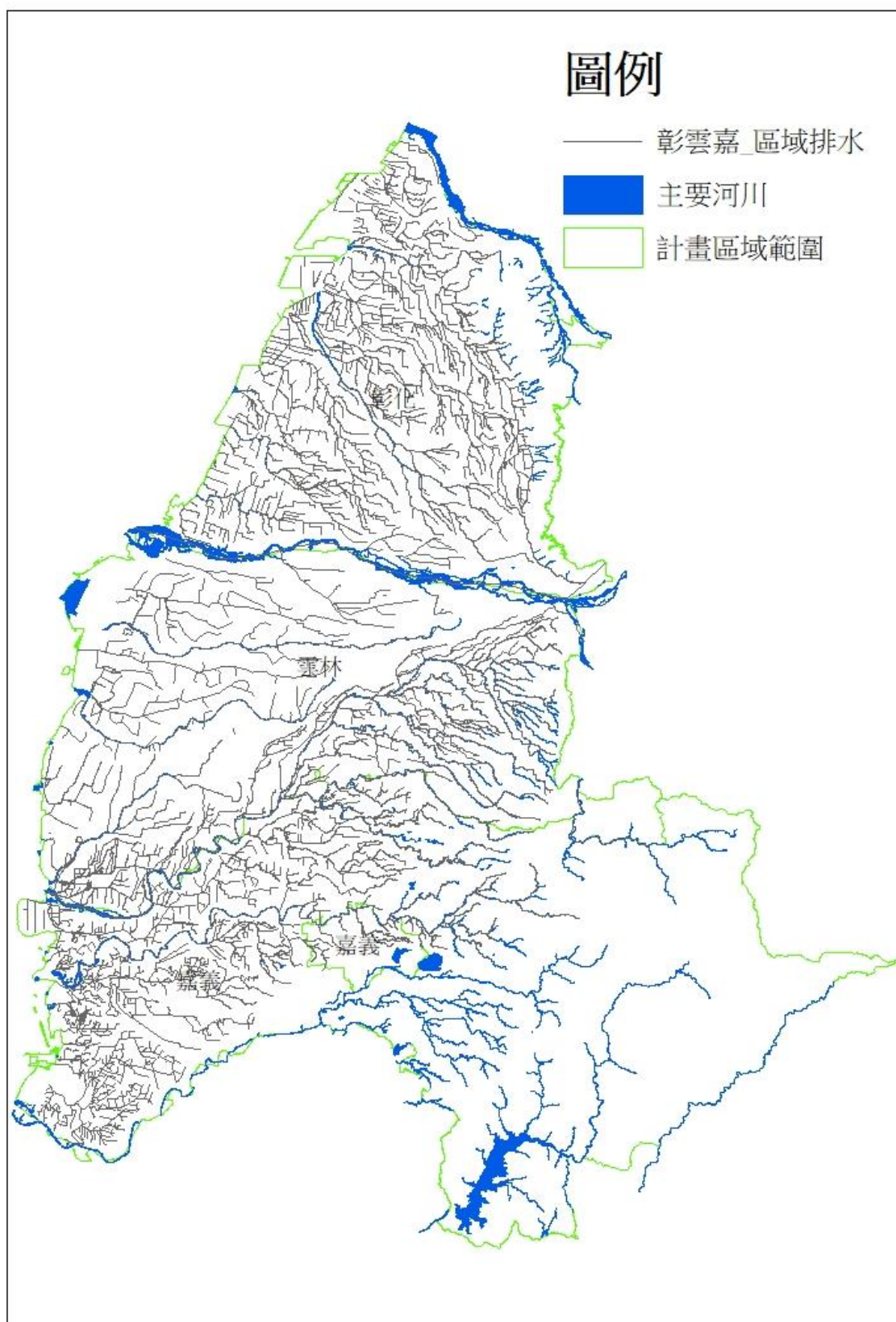


圖5-2-8 彰雲嘉區域排水分布

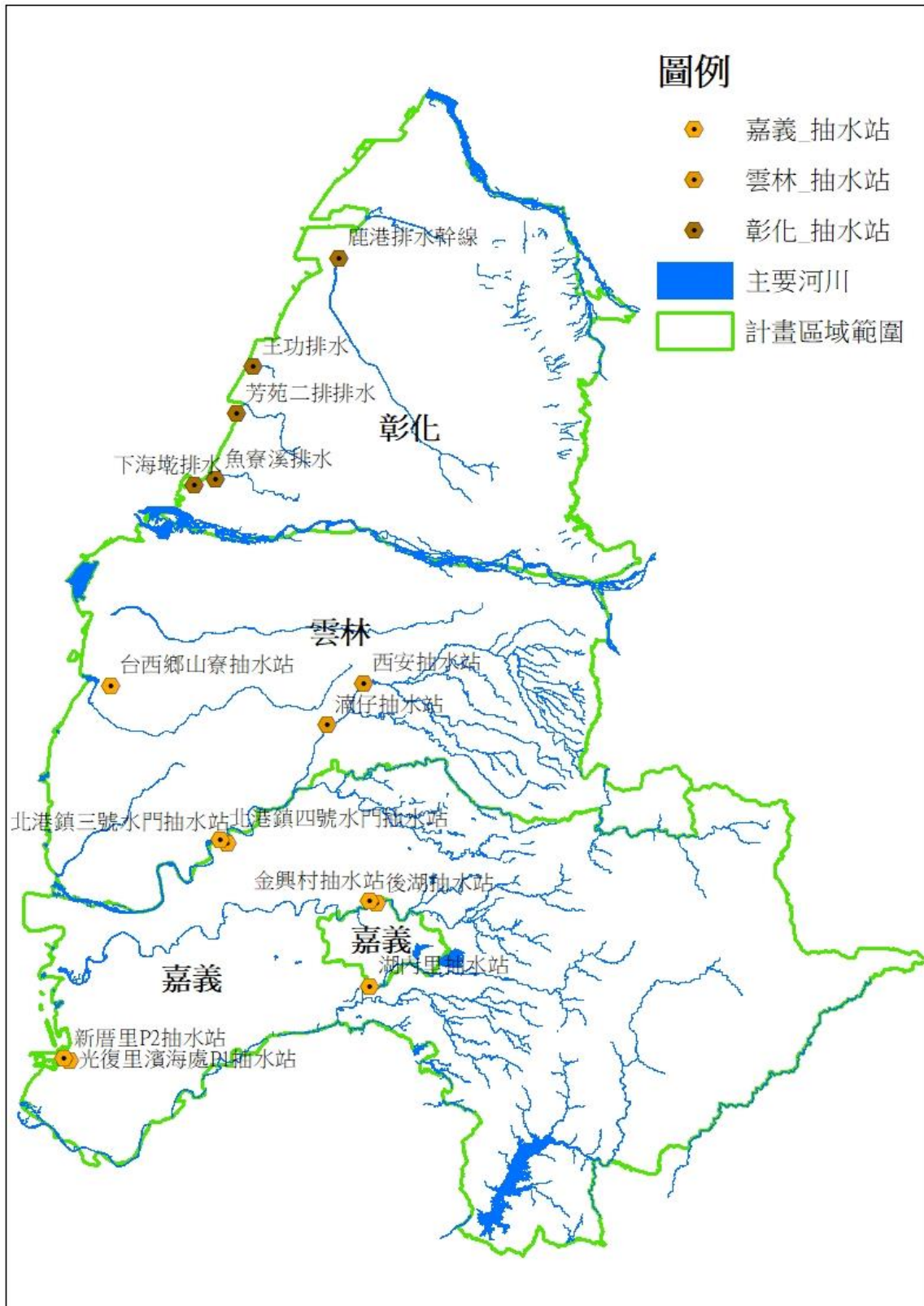


圖5-2-9 彰雲嘉區域抽水站

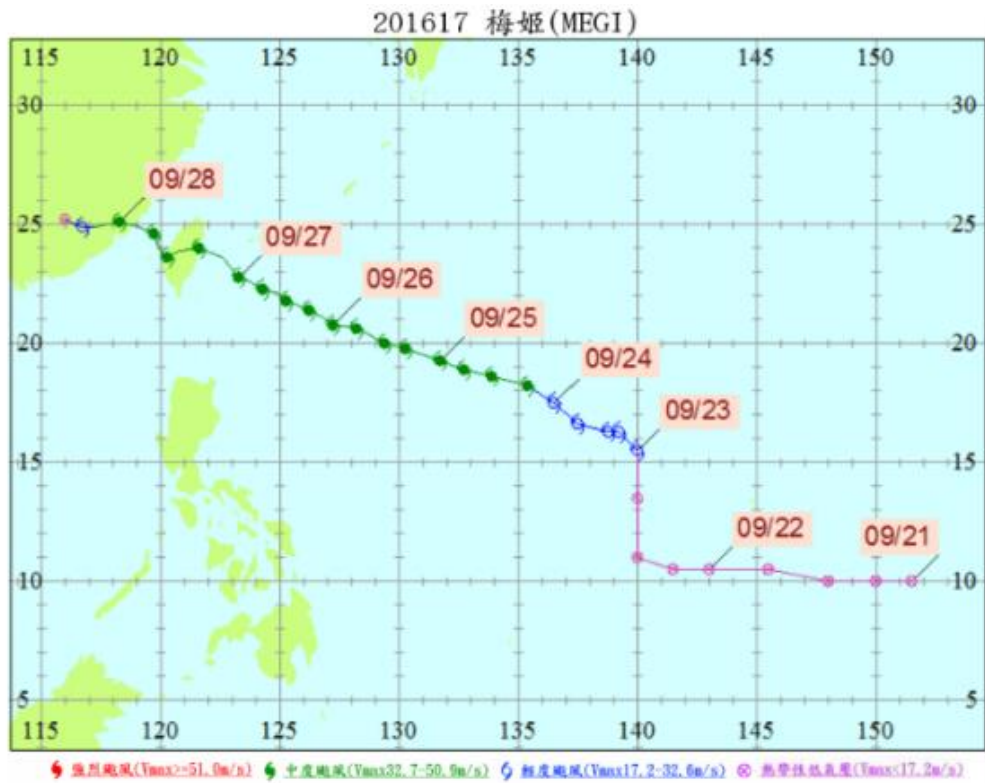
5-3 數值模式驗證

一、海洋模式

運用數值模式須進行模擬前，均需執行模式驗證作業，以利確認該模式能合理描述本計畫探討之水動力特性，才能進一步應用於海岸溢淹與越波現象之研析。於本計畫中，是以考量氣候變遷衝擊評估為主要目的，除邊界條件需給定設計波高外，亦需給予暴潮偏差與海平面上升所提高之水位資訊。其中，暴潮偏差值與海平面上升值，均是以定值抬升水位方式設定，而較需調校之水動力現象則為波浪分布變化行為。因此，本計畫於海洋模式驗證方面則以驗證波浪分布變化為主，透過時序列風場資料的給定，模擬因風場所引致之海面波浪變化，再藉由觀測資料進行比較分析，俾利瞭解數值模式之適用性。

一般來說，外海時序列波浪資料取得較為不易，因此於波浪邊界給定有所難度。因此，本計畫蒐集ECMWF的公開風場資料來做為模式風場來源。ECMWF中ERA-Interim的資料庫為較新的全球大氣再分析資料，可藉由網站公開下載，其內容包含10米高度之水平風速、垂直風速與氣壓資料，其時間解析度為6小時，空間解析度為0.125度。往昔研究亦有透過該風場資料模擬颱風波浪分布變化，其結果均具合理性(Shao et al., 2018)。因此，本計畫亦採用相同的再分析資料進行颱風波浪模擬，並與觀測資料進行比較分析，以瞭解目前模式之可靠性。

目前選定2016年梅姬颱風事件做為數值模擬波浪分布之驗證對象，圖5-3-1為梅姬颱風之路徑圖，颱風由臺灣東南側入境，穿越臺灣由臺灣西側離開。模擬時間為2016年9月22日08時至2016年10月1日08時，圖5-3-2為該事件風場模擬結果，圖5-3-3則為各測站波浪分布比較結果。由示性波高分布比較結果可知，目前數值模式模擬颱風事件所引致之波浪分布變化與觀測資料具一致性，於臺灣東部海域，模擬值與觀測值相當吻合，最大波高分布亦能有效掌握；而於臺灣西側，除新竹與七股測站外，其餘測站概呈現模擬值較觀測值略偏低，惟整體趨勢大都相似。於新竹測站波高驗證結果，顯示模擬值之波高最大值接近觀測值次高值(7.11公尺)，惟與觀測波高最高值(10.2公尺)仍具差異性；而七股測站驗證結果，顯示波高最大值偏低之現象，此與颱風路徑影響有所關連。往昔颱風模擬大都採用RVM 風場，惟其會因背景風場與地形之影響，並不能準確的模擬台灣海峽內之風場分布情況，導致在台灣西部之颱風風浪推算準確性偏低(廖建明, 2001)。而本計畫參酌Shao et al., 2018研究，引入ECMWF在分析風場，已強化風場受地形效應之合理性，惟波浪傳遞至西海岸時，亦受陸域影響使其波高分布有偏低現象產生，而其波高分布趨勢仍能合理模擬。



資料來源：中央氣象局

圖5-3-1 2016梅姬(MEGI)颱風事件路徑圖

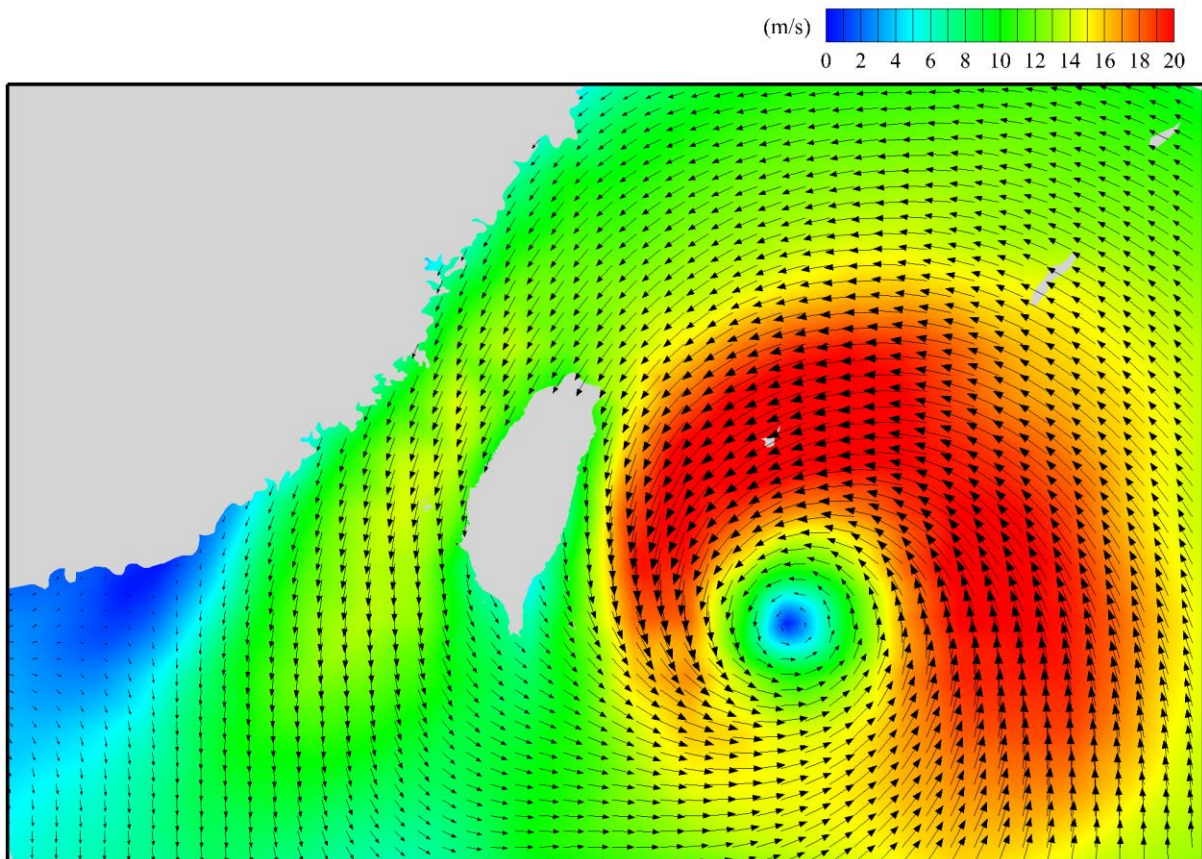


圖5-3-2 2016梅姬颱風事件風場模擬結果圖

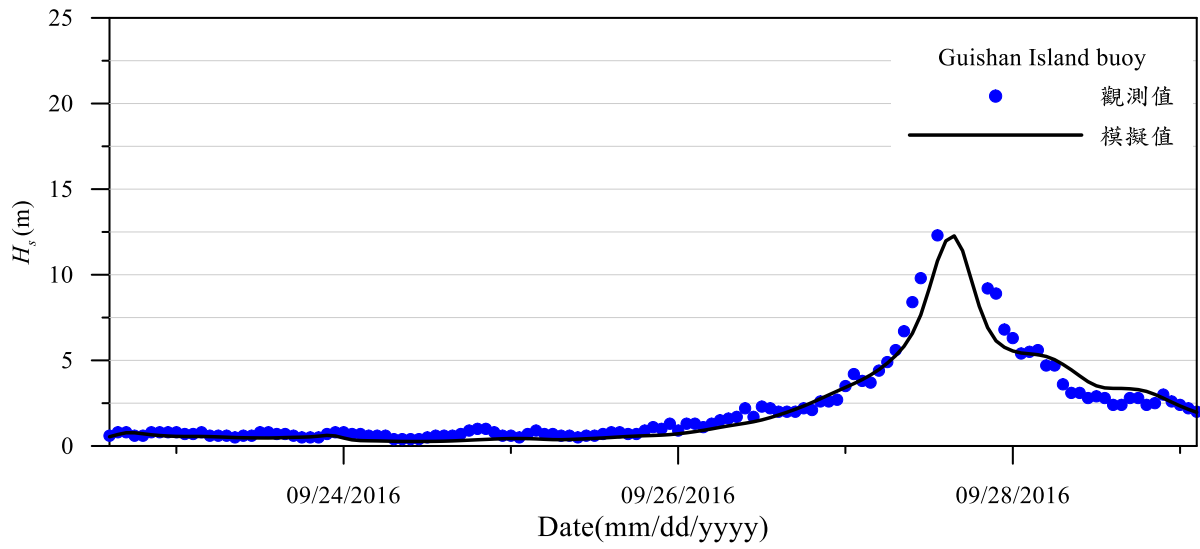


圖5-3-3 波高分布比較圖(龜山島測站)

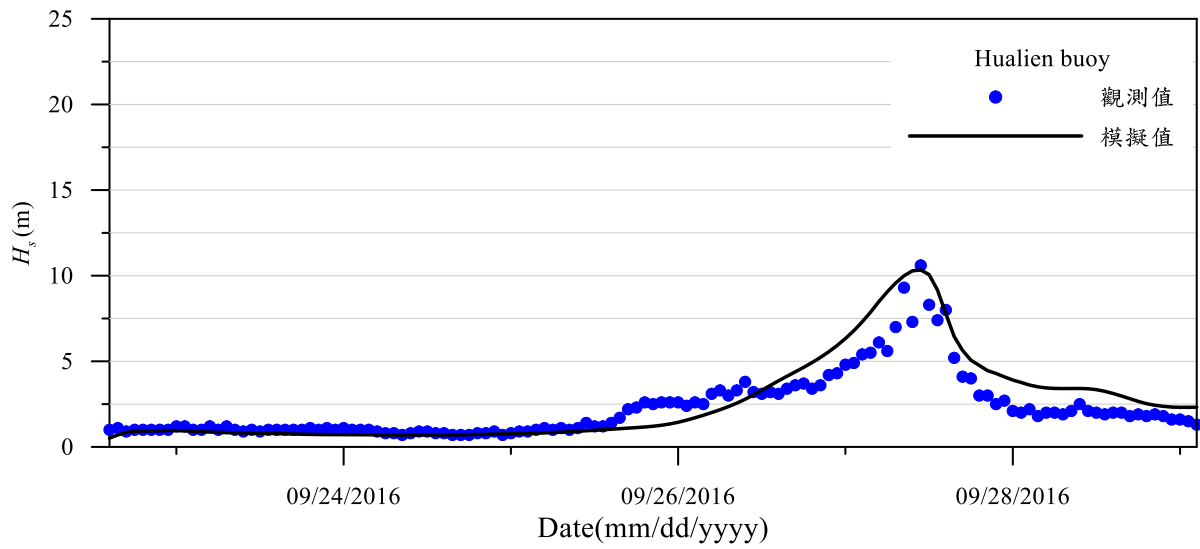


圖5-3-3 (續1)波高分布比較圖(花蓮測站)

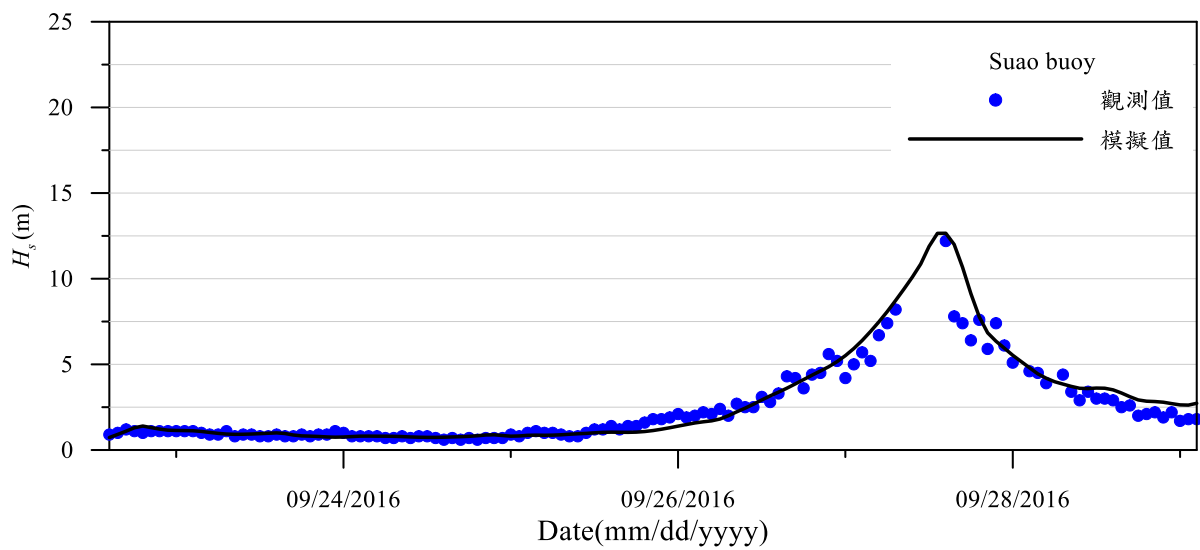


圖5-3-3 (續2)波高分布比較圖(蘇澳測站)

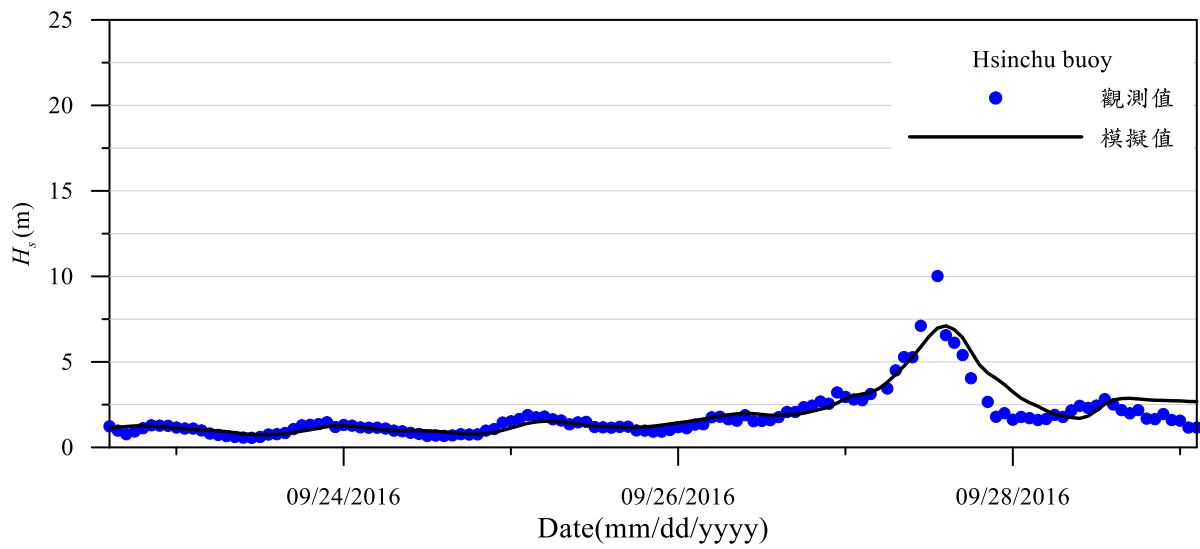


圖5-3-3 (續3)波高分布比較圖(新竹測站)

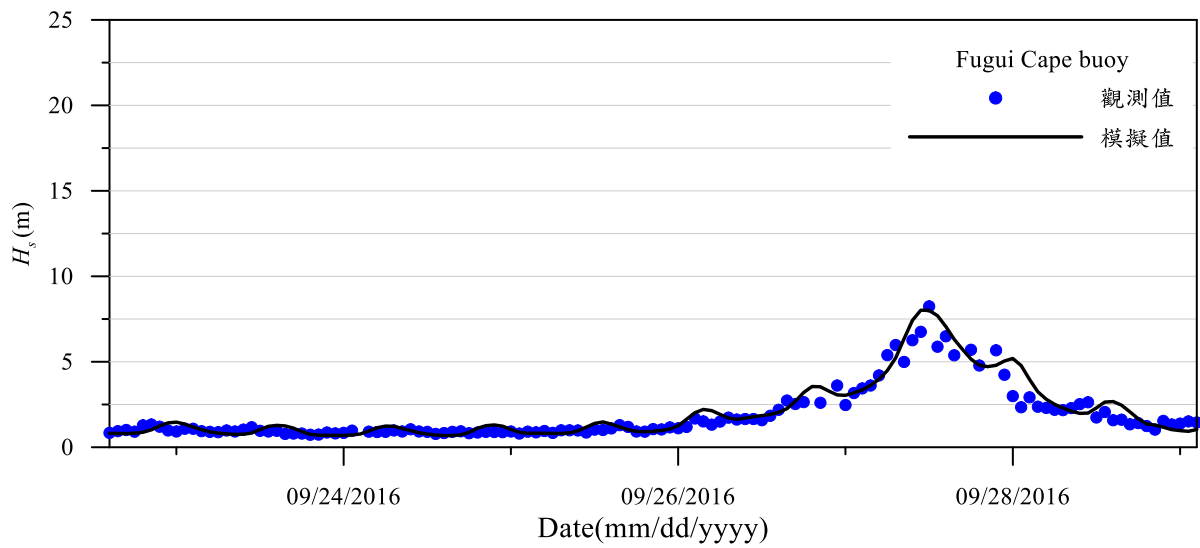


圖5-3-3 (續4)波高分布比較圖(富貴角測站)

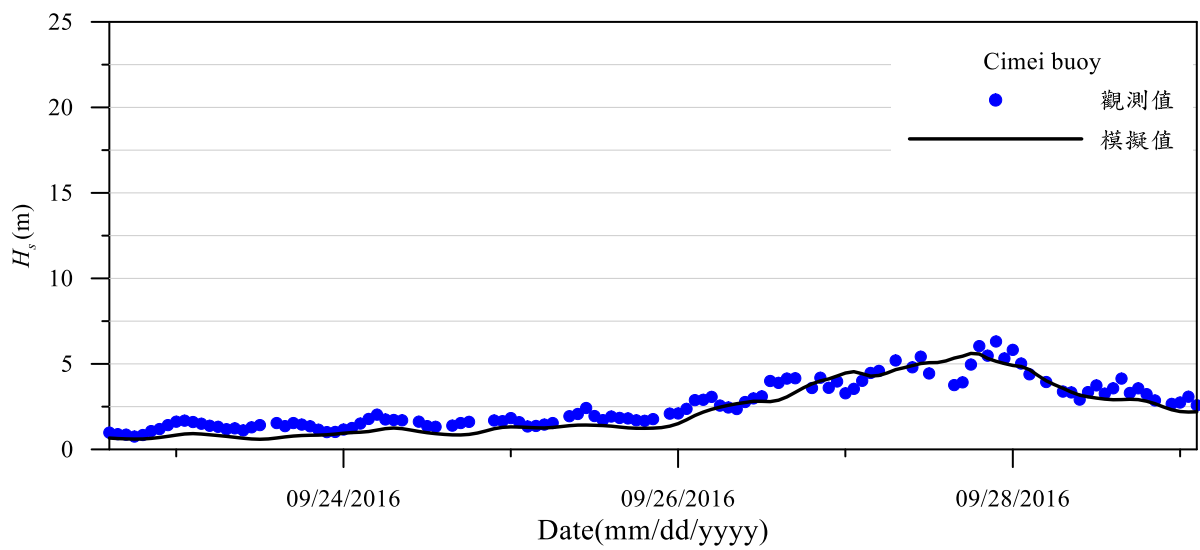


圖5-3-3 (續5)波高分布比較圖(澎湖七美測站)

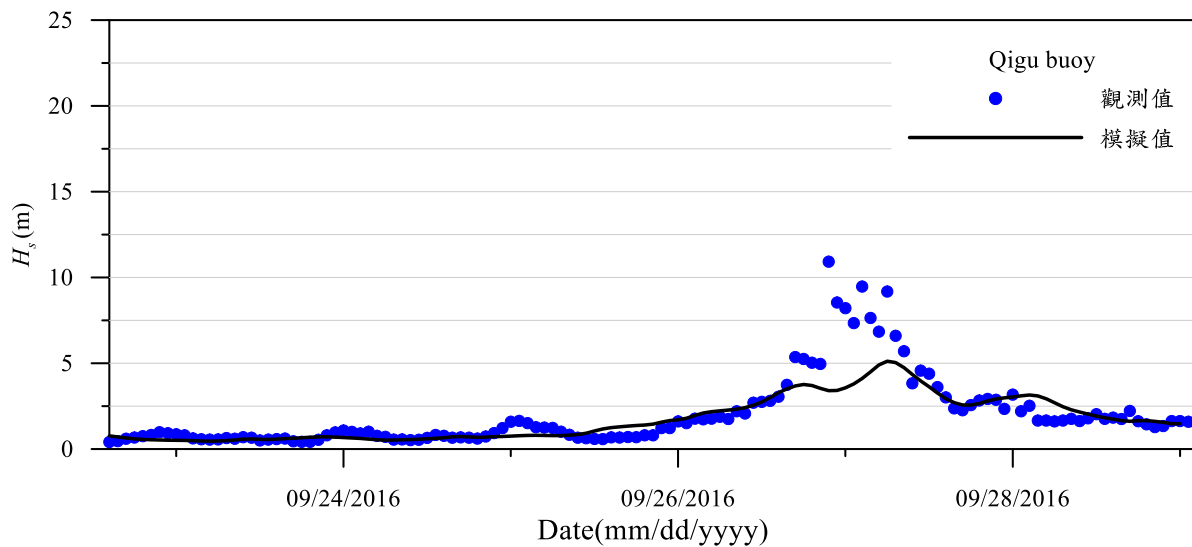


圖5-3-3 (續6)波高分布比較圖(七股測站)

二、淹水模式

1. 驗證事件

本計畫以2018年8月23日至24日期間，發生於台灣南部的豪雨淹水事件(以下簡稱為0823豪雨事件)為對象，進行淹水模式驗證。本次豪雨事件彰雲嘉之兩日累積雨量如圖5-3-4所示。嘉義縣之溪口站24小時最大降雨超過100年重現期；朴子站1、12、24小時皆超過200年重現期；布袋站1小時最大降雨超過200年重現期、3、6、12、24小時也都超過100年重現期；鹿草站1小時最大降雨超過50年重現期、3小時超過100年重現期、6、12、24小時皆超過200年重現期。

根據水利署統計，0823事件全臺有1,250處積淹水，淹水面積達45,872公頃，其中以嘉義最為嚴重，淹水範圍包含東石鄉、布袋鎮、朴子市、義竹鄉、鹿草鄉、水上鄉、六腳鄉、太保市、民雄鄉、新港鄉、中埔鄉、大林鎮及溪口鄉等，面積達33,296公頃，彰雲嘉縣市之淹水範圍如圖5-3-5所示。

除了雨量超過排水設計標準外，本次豪雨事件適逢大潮，外水高漲使得內水無法排出，也是重要致災原因。圖5-3-6為彰雲嘉沿海潮位時序列資料，由圖可看出嘉義最大潮位大約發生在8月24日上午8時左右，鹿港最大潮位2.5公尺、麥寮最大潮位2.2公尺、箔子寮最大潮位1.8公尺、東石最大潮位約1.50公尺、布袋最大潮位約1.3公尺。

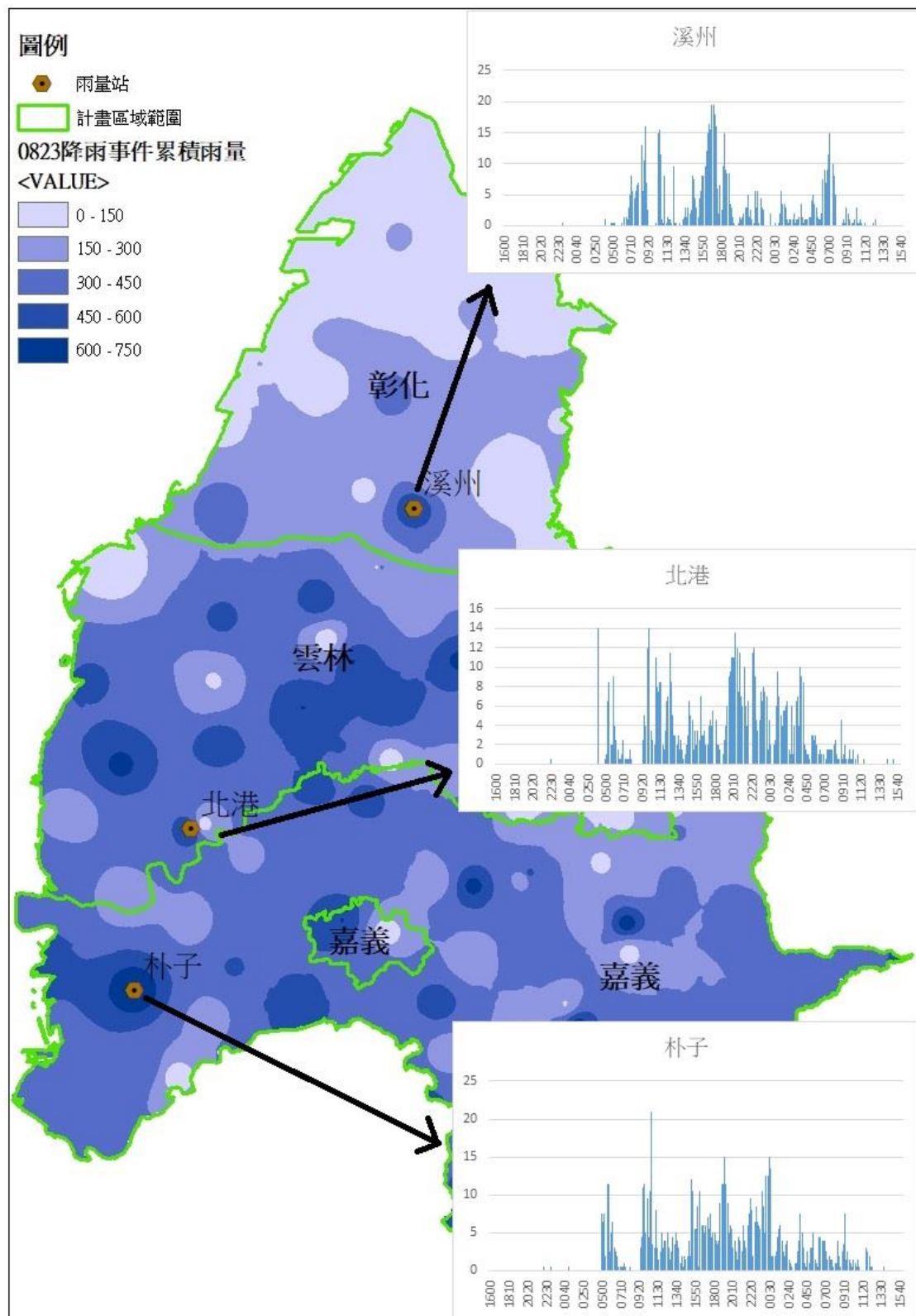


圖5-3-4 2018年8月23~24日彰雲嘉累積雨量圖

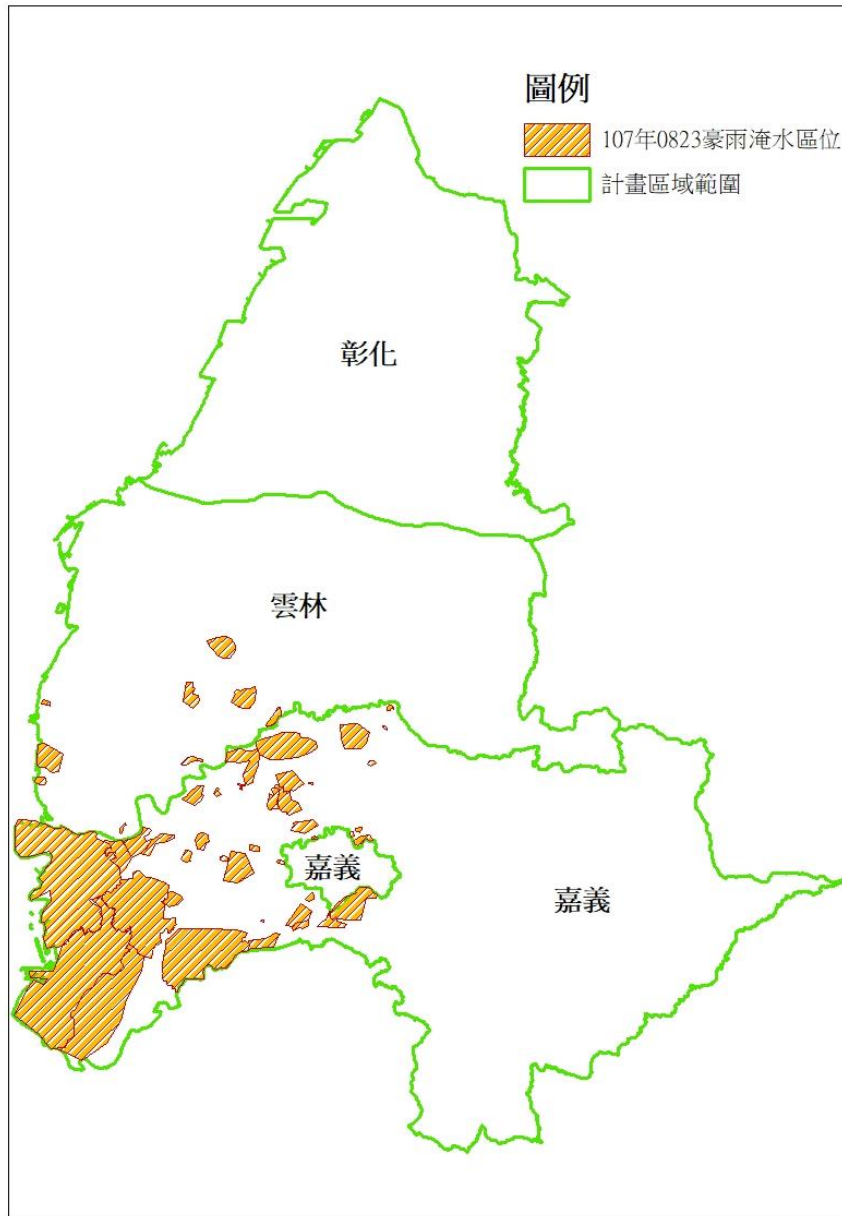


圖5-3-5 0823事件彰雲嘉淹水範圍(來源：經濟部水利署)

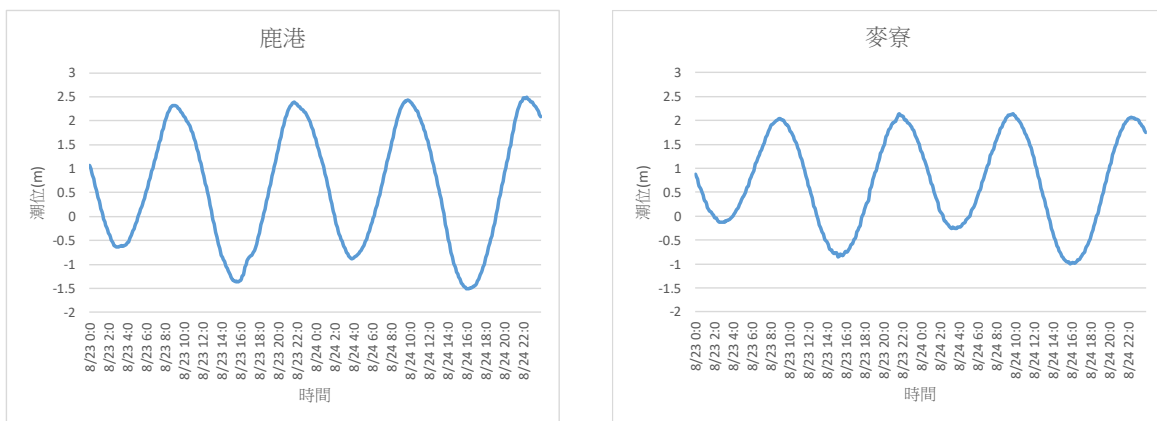


圖5-3-6 0823豪雨事件彰雲嘉潮位時序圖

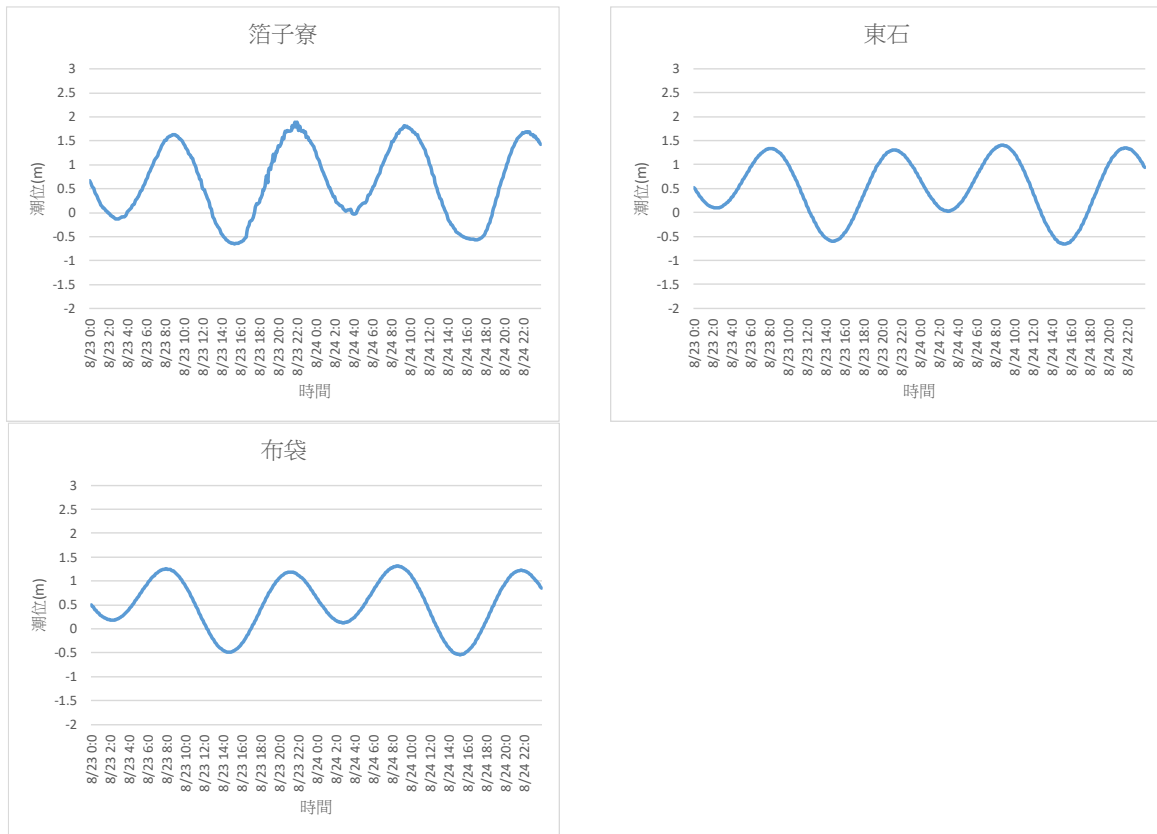


圖5-3-6 (續)0823豪雨事件彰雲嘉潮位時序圖

2. 驗證結果

0823事件淹水災點的驗證如圖5-3-7所示，其中可發現淹水照片所拍攝的點位與模擬淹水地點相當吻合，尤其在沿海一帶的掌潭村、栗仔崙等地方淹水相當嚴重。圖5-3-8為模擬淹水範圍與水利署事後調查的淹水範圍比較，可發現沿海低窪地區模擬與調查的淹水範圍相當一致，其中東石鄉、布袋鎮、朴子市受到海堤外潮位高漲，導致退水緩慢；而在中上游，淹水區域多在集中在區域排水與河道周遭，其中荷包嶼排水水位高漲，沿線村落之內水難以重力排除。

為了量化模式的精確度，本研究採用三種指標，包含正確率(OCR)、命中率(HTR)、誤報率(FAR)，分別定義如下 (Mason, 1982; Jang et al., 2012; Jang, 2015)：

$$\text{Overall Correctness Rater(OCR)} = \frac{h}{h + m + f + c} \quad (5-21)$$

$$\text{Hit Rate (HTR)} = \frac{h}{h + m} \quad (5-22)$$

$$\text{False Alarm Rate (FAR)} = \frac{f}{f + c} \quad (5-23)$$

其中， h 為正確預測到的淹水區域； m 為淹水但沒有預測到的區域； f 為沒有淹水但是誤報的區域； c 為沒有淹水也沒有預報的區域。整體而言，0823事件的命中率(HTR)達到75%，誤報率(FAR)為23%，整體正確率(OCR)為76%。

在淹水時間的驗證方面，根據水利署的訪查報告(水利署，2018)，本次淹水時間較長的區域主要為嘉義布袋鎮、東石鄉、以及義竹鄉的數個村里，調查與模擬的淹水與退水時間比較如下表。由表中可以看出，模擬與調查的淹水時間相當接近，誤差大約在4小時以內；而在退水時間比較上，除了義竹鄉後鎮村模擬的退水時間提早較多之外，誤差皆在3小時以內。

表5-3-1 調查與模擬的淹水與退水時間比較

淹水地點	淹水時間		退水時間	
	調查	模擬	調查	模擬
布袋鎮東港里	8/24 00:00	8/23 22:00	8/25 20:00	8/25 19:00
東石鄉掌潭村	8/24 00:00	8/23 20:00	8/29 15:00	8/29 13:00
東石鄉東崙村	8/23 23:00	8/23 19:00	8/28 02:00	8/28 05:00
東石鄉西崙村	8/23 16:00	8/23 17:00	8/29 17:00	8/29 15:00
義竹鄉後鎮村	8/23 23:00	8/23 21:00	8/27 08:00	8/26 21:00

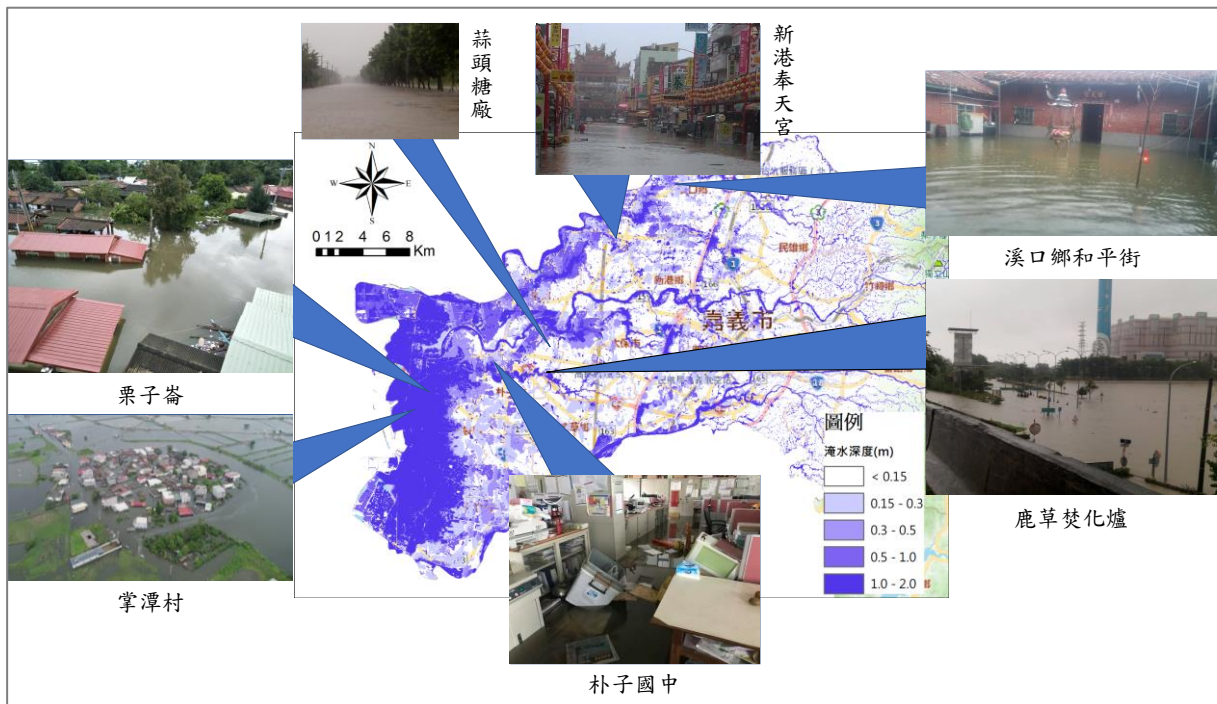


圖5-3-7 0823豪雨事件淹水點位驗證

等，進行各計畫區域模擬範圍區分。當海洋模式依據氣候變遷海象情境條件模擬出計畫區域波場與近岸水動力分布(包含溢淹與越波現象)後，將提供於情境條件下各河口之水位變化與海水越堤之水位變化，給予淹水模式做為下游邊界，以利整體考量於各氣候變遷情境條件下，洪氾溢淹與暴潮溢淹之影響性。目前已辦理基期與近未來之暴潮溢淹影響評估，相關敘述如后：

一、圖5-4-5為彰化、雲林及嘉義區域地形水深及網格分布圖，海域水深主要為海洋學門資料庫200m數位水深；近岸水深主要為水工試驗所現場調查之水深資料；陸域主要為5m解析度DTM資料建構；海堤方面則參酌本計畫第三章所蒐集的各計畫區海堤資訊，再建檔至陸域DTM上，以提升海堤資料之完整度。目前各計畫區域使用之網格與元素情況如表5-4-1所示。

表5-4-1 各計畫區模擬網格與元素數量

地點	網格	元素
彰化	71569	142768
雲林	90091	179703
嘉義	71218	142047

二、為評估暴潮溢淹衝擊，需先擇選各計畫區域影響較嚴重之波向，並分別以該波向引致暴潮溢淹結果來做為衝擊評估之情境條件。針對各計畫區域先進行7種波向評估，分別為北北西(NNW)、北西(NW)、西北西(WNW)、西(W)、西南西(WSW)、南西(SW)、南南西(SSW)等7種情境，各計畫區域所有波高分布成果可參閱附錄三，波向差異較小時，其波高分布差異並不顯著，為節省本文篇幅，內文僅擷取波高分布差異較顯著之波向來進行討論，分別為北北西、西及南南西等3個波向(參見圖5-4-6至圖5-4-8)，各波向之波高分布現象概述如下，

1.彰化海岸區域(圖5-4-6)：

波浪若從南南西方向入射彰化海岸，對其海岸衝擊影響較不顯著；而北北西與西波向於近岸區域波高影響較為顯著，其中又以北北西波向影響較大，此概為波向與地形分布較為正向入射之緣故。

2.雲林海岸區域(圖5-4-7)：

如同彰化海岸區域，波浪若從南南西方向入雲林海岸，對其海岸衝擊影響較不顯著；而北北西與西波向於近岸區域波高影響較為顯著，其中則以西波向影響較大(以沙洲影響更為顯著)，此概波向與地形分布較為正向入射之緣故。

3. 雲林海岸區域(圖5-4-8)：

相較於彰化與雲林海岸區域而言，波浪若從西向與南南西方向入嘉義海岸時，對其海岸衝擊影響最為顯著，其中又以南南西波向影響較大；波浪於北北西波向傳遞至嘉義海岸時，會因北側沙洲阻擋，使波浪繞射入嘉義海岸區域，惟其波浪能量已因地形效應而衰減。

計算各區域7種波向情境後，再配合溢淹情況進行代表波向擇選。於本計畫彰化、雲林及嘉義3個區域中，分別擇選西北西、西及南西做為各自情境代表波向，藉以評估各計畫區最嚴重之暴潮溢淹衝擊現象。

三、如上述，擇選各計畫區域代表性情境波向後，配合各計畫區域代表性暴潮最大潮位發生之時間點，計算各方案暴潮溢淹情況。圖5-4-9至圖5-4-11分別為彰化、雲林及嘉義於基期與近未來時，暴潮溢淹分布圖，其成果分述如后：

1. 彰化海岸區域(圖5-4-9)：

於近未來情境下，暴潮導致陸域溢淹之區域與基期情境大致相同，惟其溢淹面積與範圍均較基期情境更為擴大。溢淹潛勢區域分別為舊濁水溪與吉安水道交會處、永興海埔地海堤及大城北段海堤等三處。其中，永興海埔地海堤發生溢淹後，因後方大都為海埔地，其溢淹面積擴張較快速。

2. 雲林海岸區域(圖5-4-10)：

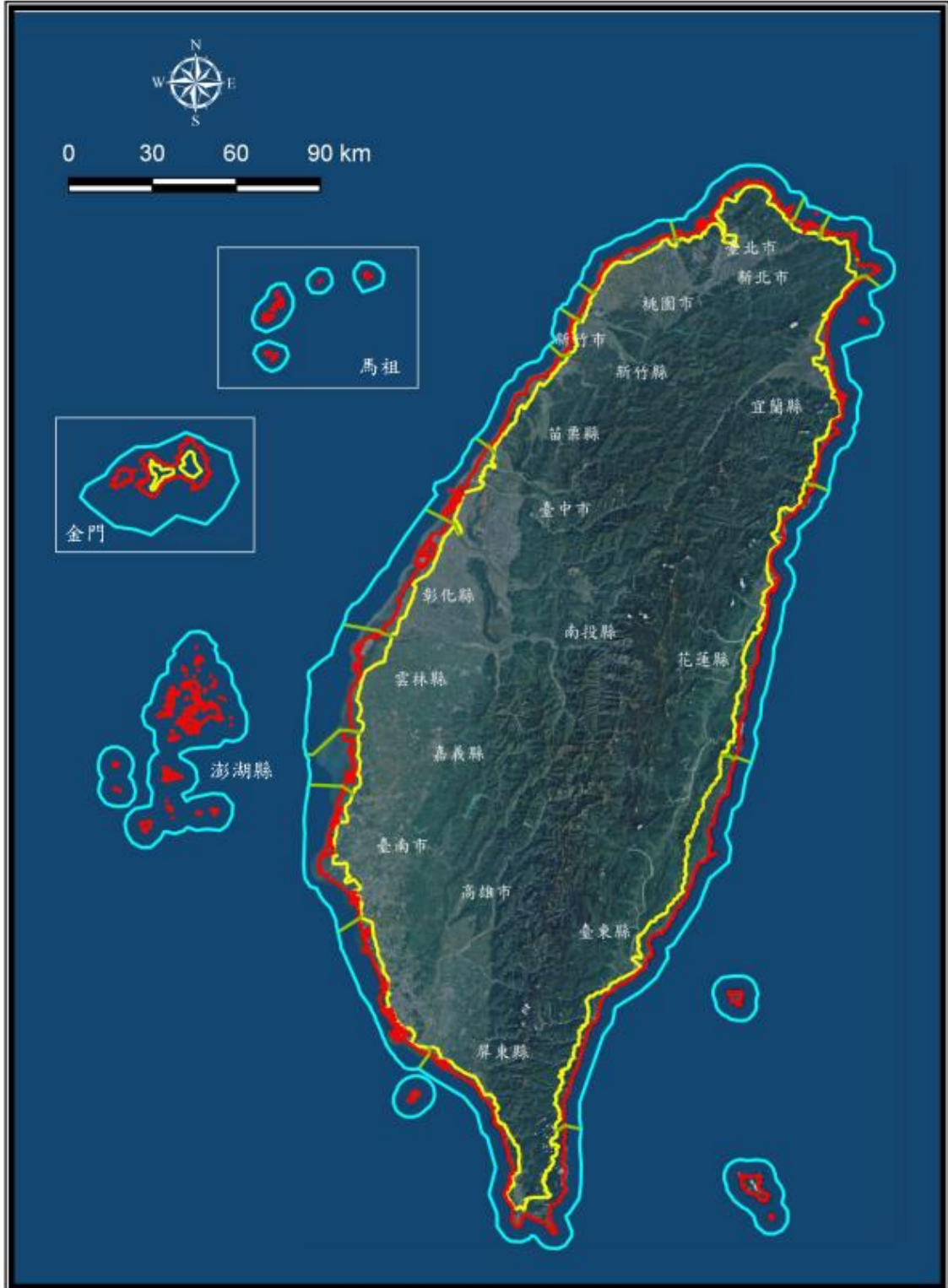
於近未來情境下，暴潮導致陸域溢淹之區域與基期情境大致相同，惟其溢淹面積與範圍均較基期情境更為擴大。溢淹潛勢區域分別為後安海堤處、蚊港安檢所周圍、台西海埔地海堤及外埔大海水溝。其中，台西海埔地海堤發生溢淹後，因後方地勢大都較低，其溢淹面積擴張較快速。

3. 嘉義海岸區域(圖5-4-11)：

於近未來情境下，暴潮導致陸域溢淹之區域與基期情境大致相同，惟其溢淹面積與範圍均較基期情境更為擴大。溢淹潛勢區域大都集中於嘉義海岸中央與南側(龍宮溪口周圍)，其中大都為魚塢區域，因此發生溢淹後，溢淹面積擴張較快速。

四、由三計畫區域基期與近未來之溢淹變異增量圖(參考圖5-4-12)可知，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

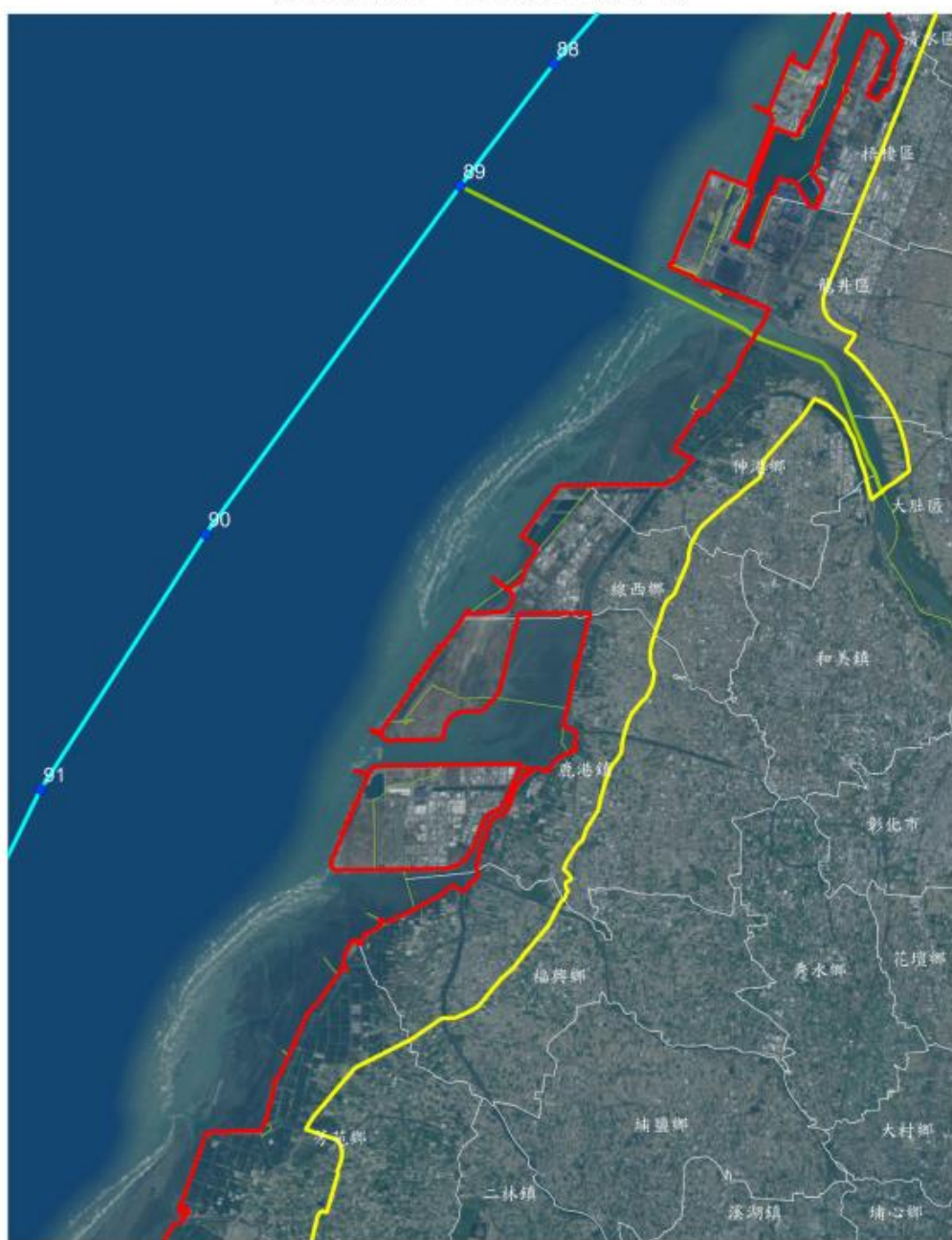
估，透過海洋模式估算河口或排水溝水位變化及越堤水位變化，做為淹水模式下游邊界條件，配合淹水模式考量較可靠之河堤高度分布、排水系統及河道地形進行溢淹模擬，才能獲得更為合理之海岸溢淹衝擊評估結果。



(來源：海岸管理法，內政部)

圖5-4-1 海岸地區範圍圖

彰化縣海岸地區範圍圖(1/2)



- 圖例：
- 濱海陸地範圍
 - 近岸海域範圍
 - 100 近岸海域轉折點及編號
 - 平均高潮線
 - 縣市界



內政部
107年8月

13

- 說明：
- (一)近岸海域：以30公尺等深線劃設。
 - (二)濱海陸地：
 1. 伸港鄉：自大肚溪（烏溪）之中彰大橋，轉以兩岸堤防及道路界（即以大肚溪口水鳥保護區之範圍為界），再接回省道台17線。
 2. 線西鄉：沿省道台17線劃設。
 3. 鹿港鎮：沿省道台17線，至鹿港市區往南接海浴路、崇文路、中山路、光復路、復興南路，再接鹿港鎮與福興鄉之行政區界。
 4. 福興鄉：沿省道台17線劃設。

(來源：海岸管理法，內政部)

圖5-4-2 彰化海岸地區範圍圖

彰化縣海岸地區範圍圖(2/2)



圖例：
 濱海陸地範圍
 近岸海域範圍
 ● 100 近岸海域轉折點及編號
 平均高潮線
 縣市界



內政部
 107年8月

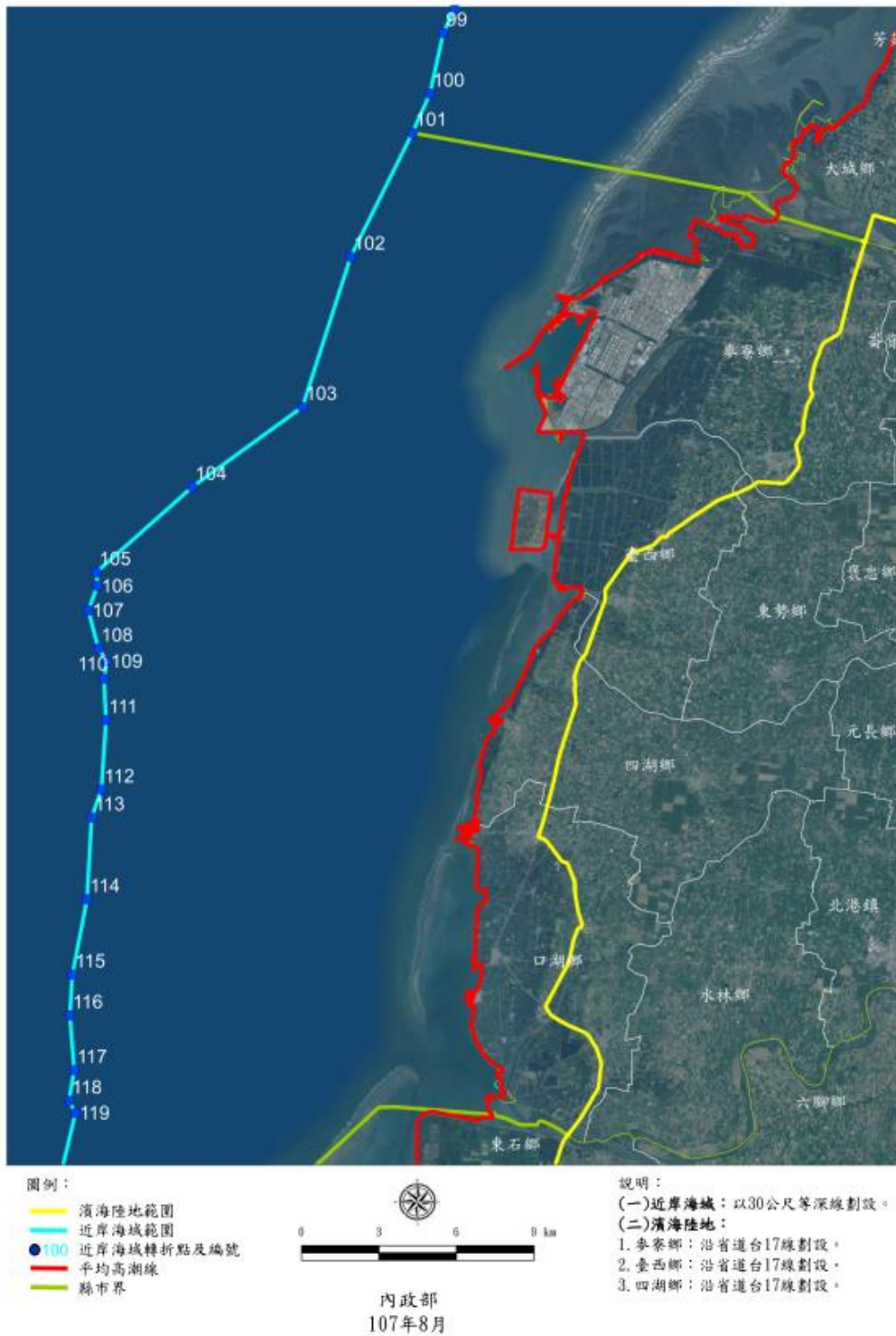
14

說明：
 (一)近岸海域：以30公尺等深線劃設。
 (二)濱海陸地：
 1. 芳苑鄉：沿省道台17線劃設。過新寶二橋後東轉沿堤防，接彰125至崙腳、彰123至寮湖、彰122至五圳、彰121至後寮、路上，再接彰158劃設。
 2. 大城鄉：沿彰158至豐美、彰159至吳厝寮及青埔等地，至濁水溪畔西轉接下海墘海堤，由西濱大橋過濁水溪，接省道台17線。

(來源：海岸管理法，內政部)

圖5-4-2 (續)彰化海岸地區範圍圖

雲林縣海岸地區範圍圖(1/2)

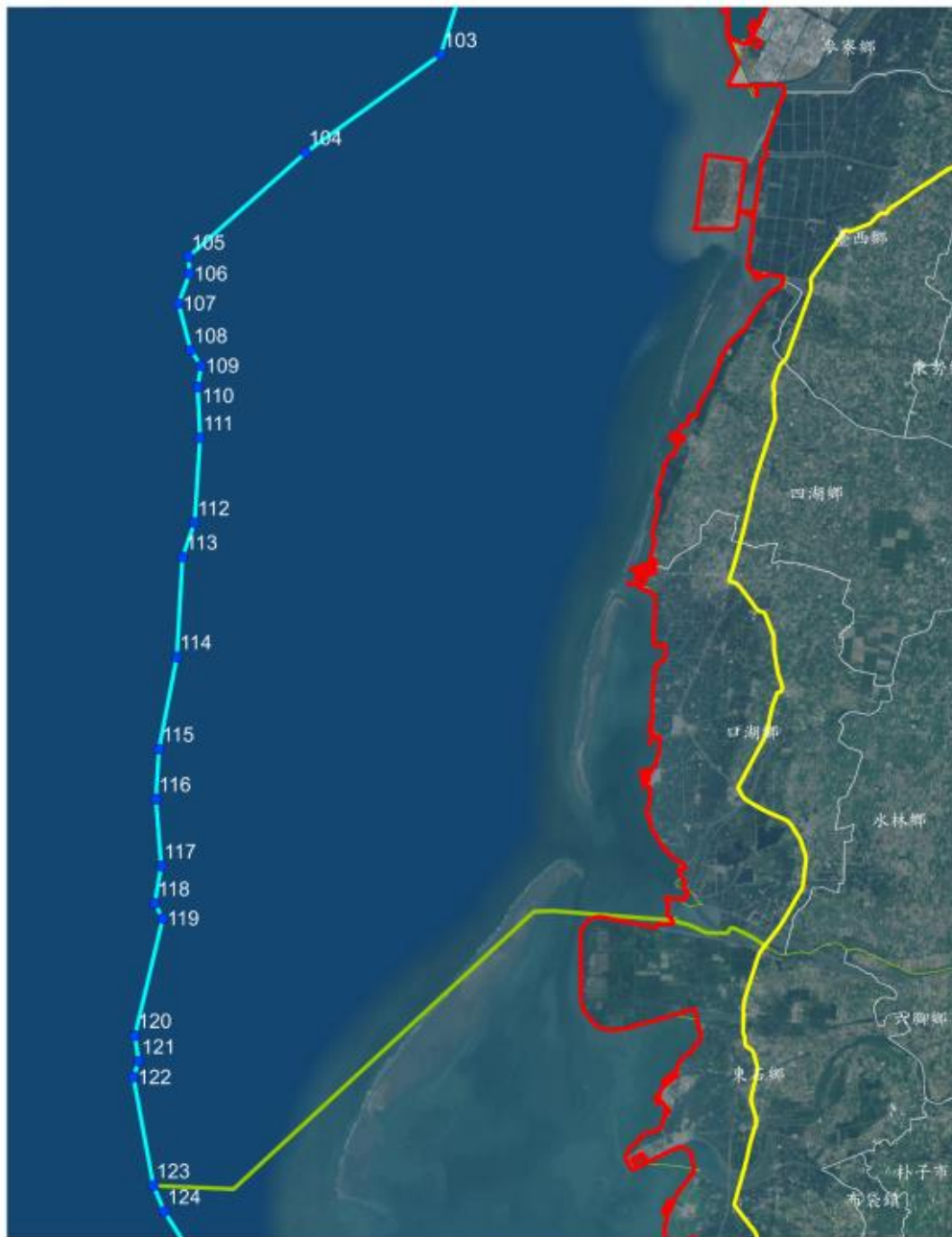


15

(來源：海岸管理法，內政部)

圖5-4-3 雲林海岸地區範圍圖

雲林縣海岸地區範圍圖(2/2)



- 圖例：
- 濱海陸地範圍
 - 近岸海域範圍
 - 100 近岸海域轉折點及編號
 - 平均高潮線
 - 縣市界



內政部
107年8月

- 說明：
- (一)近岸海域：以30公尺等深線劃設。
 - (二)濱海陸地：
 1. 四湖鄉：沿省道台17線劃設。
 2. 口湖鄉：沿省道台17線轉縣道131號至口湖、成龍，再沿省道台17線過雲嘉大橋。

16

(來源：海岸管理法，內政部)

圖5-4-3 (續)雲林海岸地區範圍圖

嘉義縣海岸地區範圍圖(1/1)



17

(來源：海岸管理法，內政部)

圖5-4-4 嘉義海岸地區範圍圖

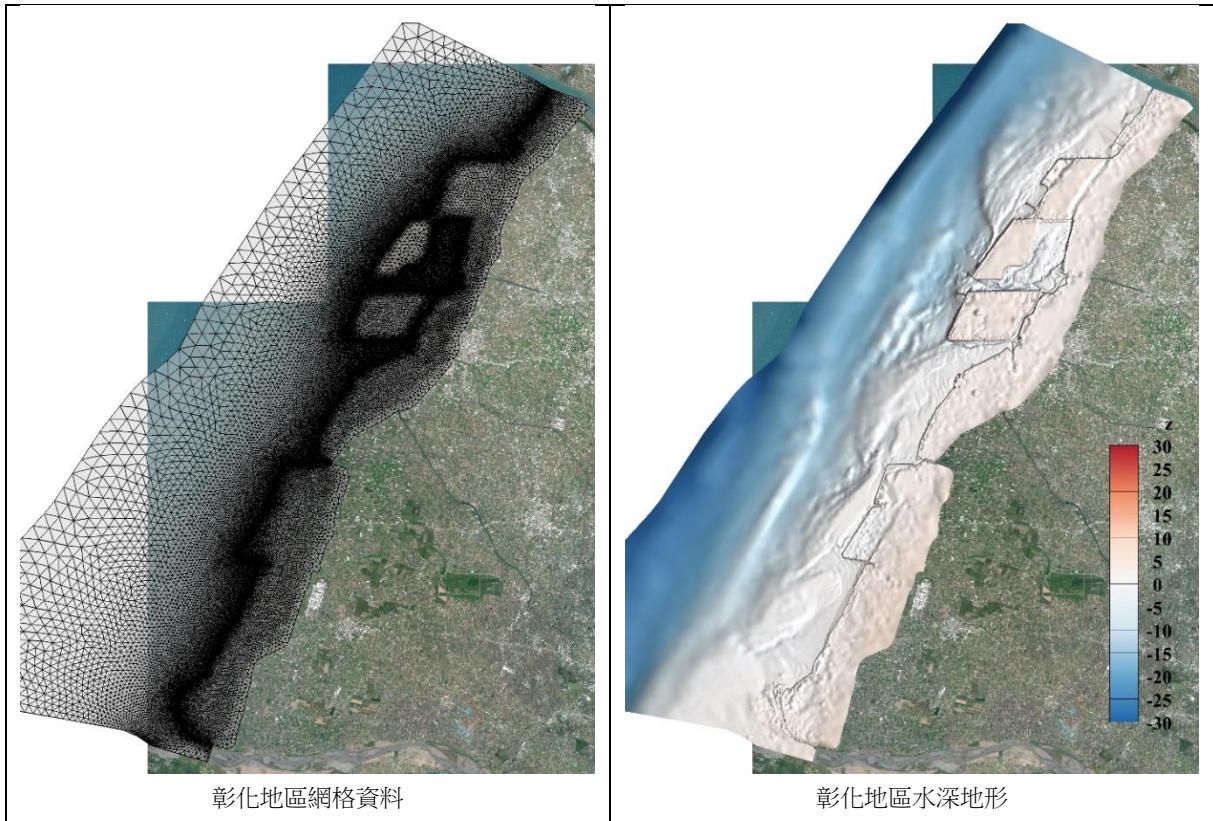


圖5-4-5 彰化海岸網格分布與地形水深圖

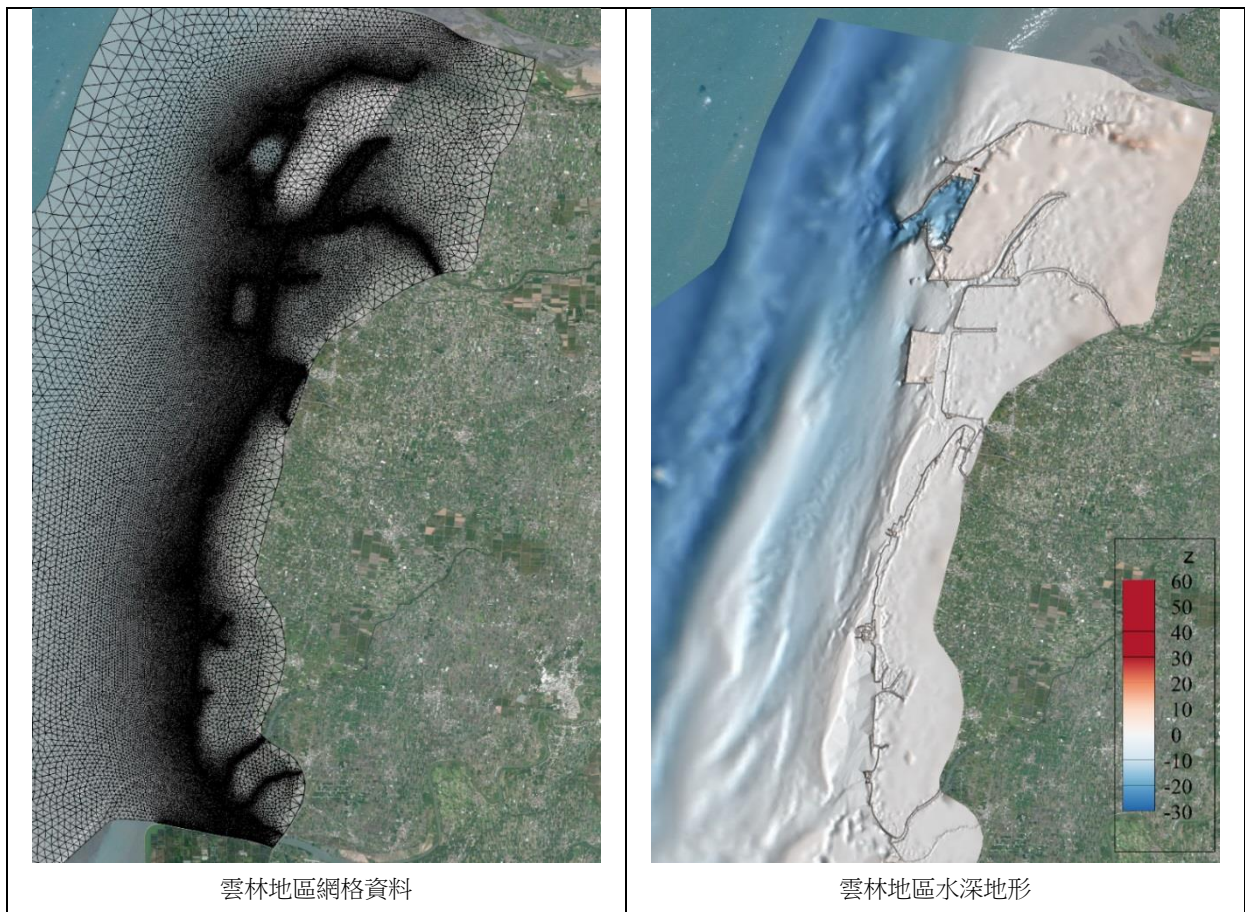


圖5-4-5 (續1)雲林海岸網格分布與地形水深圖

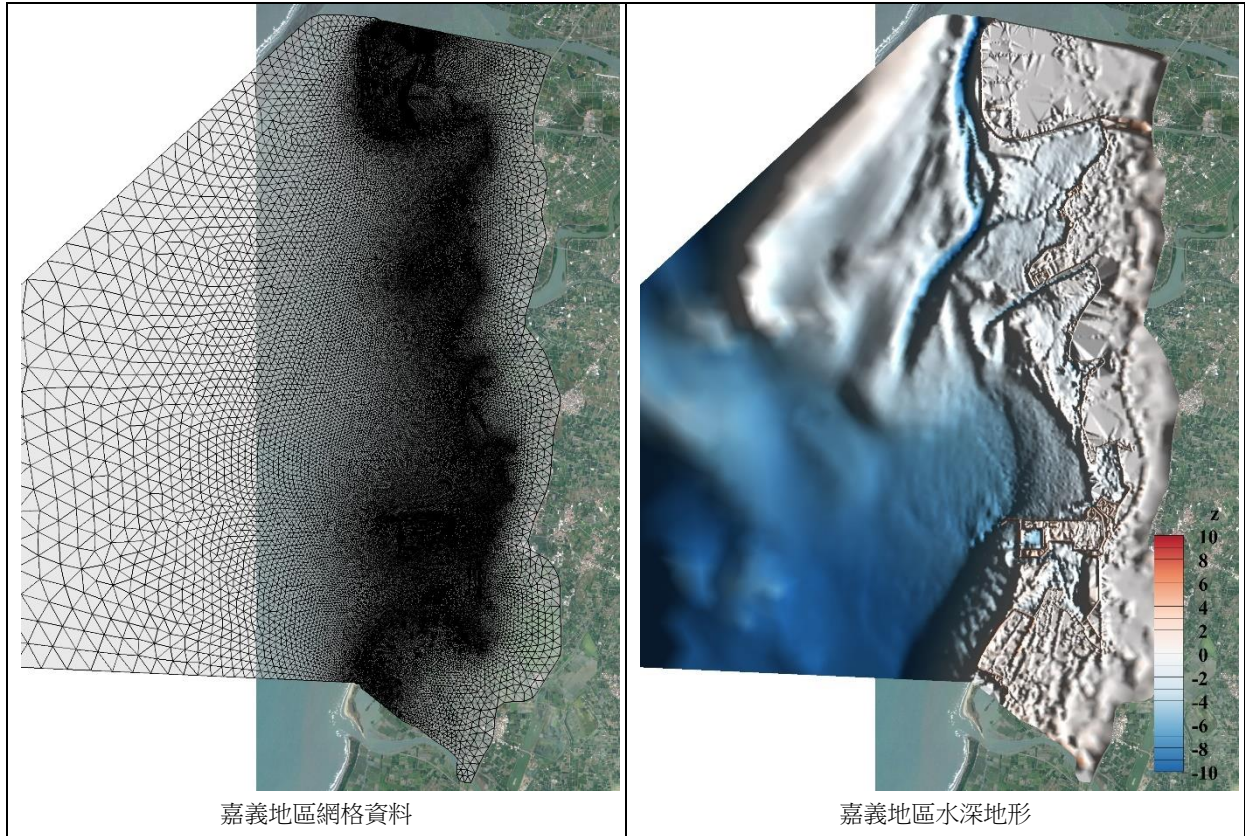


圖5-4-5 (續2)嘉義海岸網格分布與地形水深圖

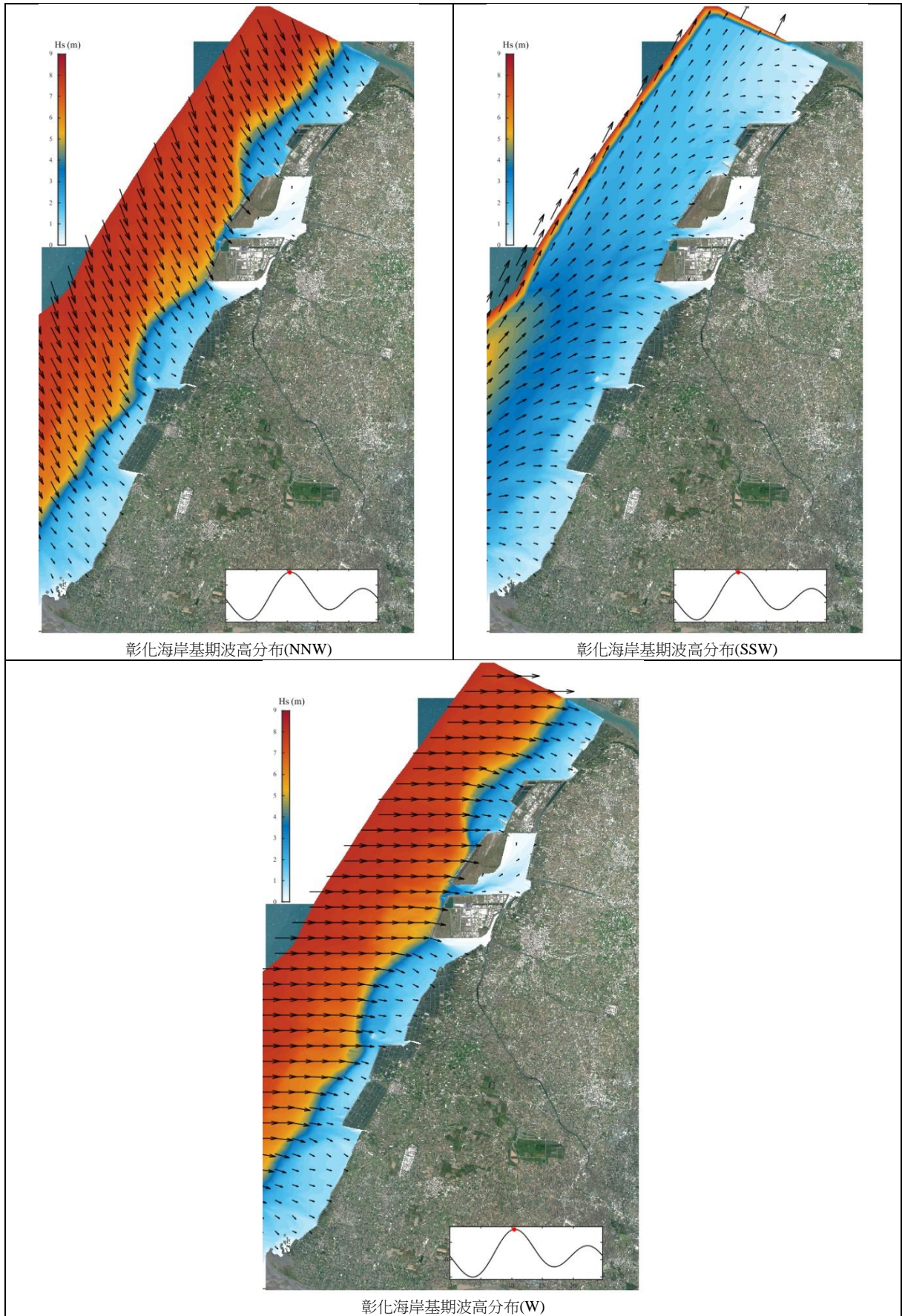


圖5-4-6 彰化海岸基期波高分布圖

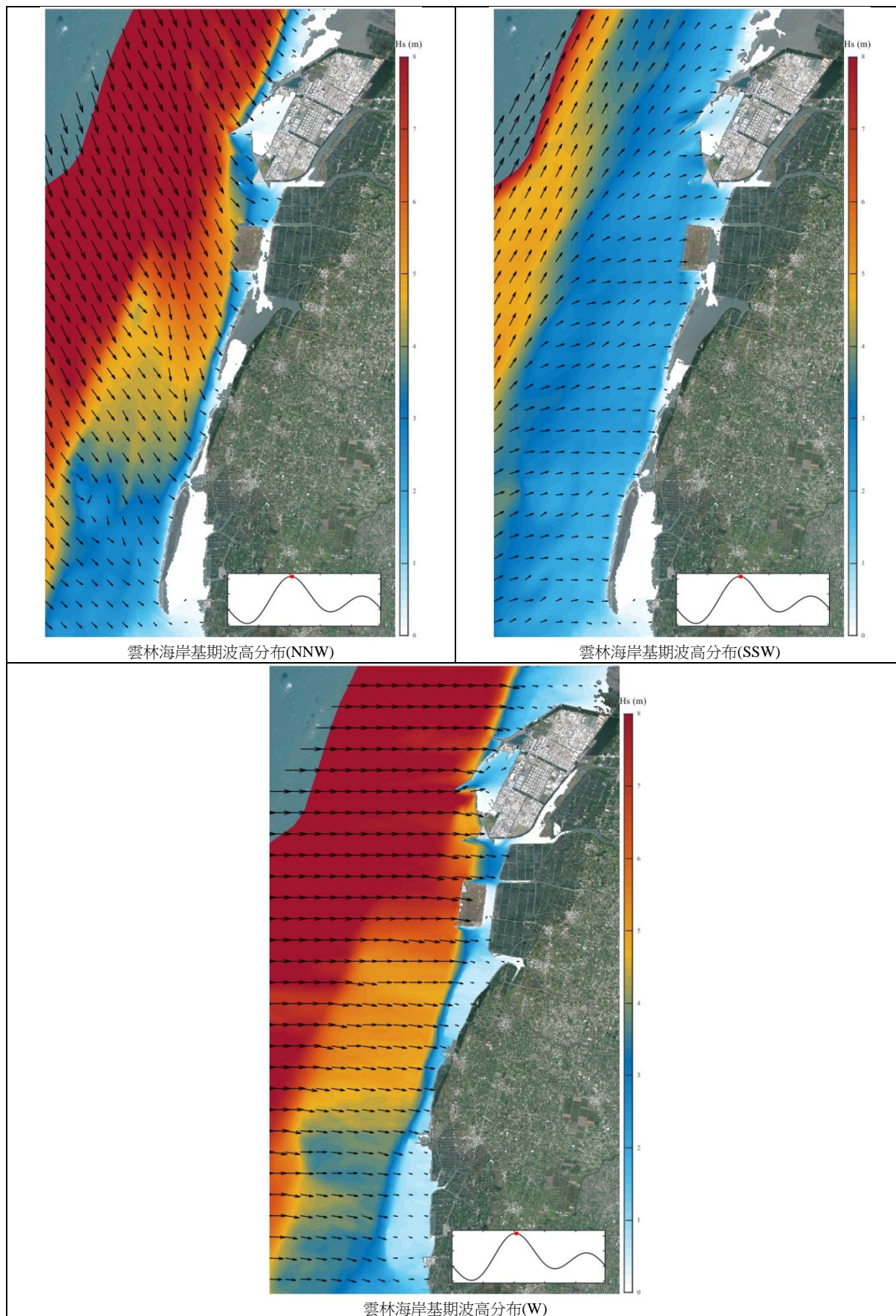


圖5-4-7 雲林海岸基期波高分布圖

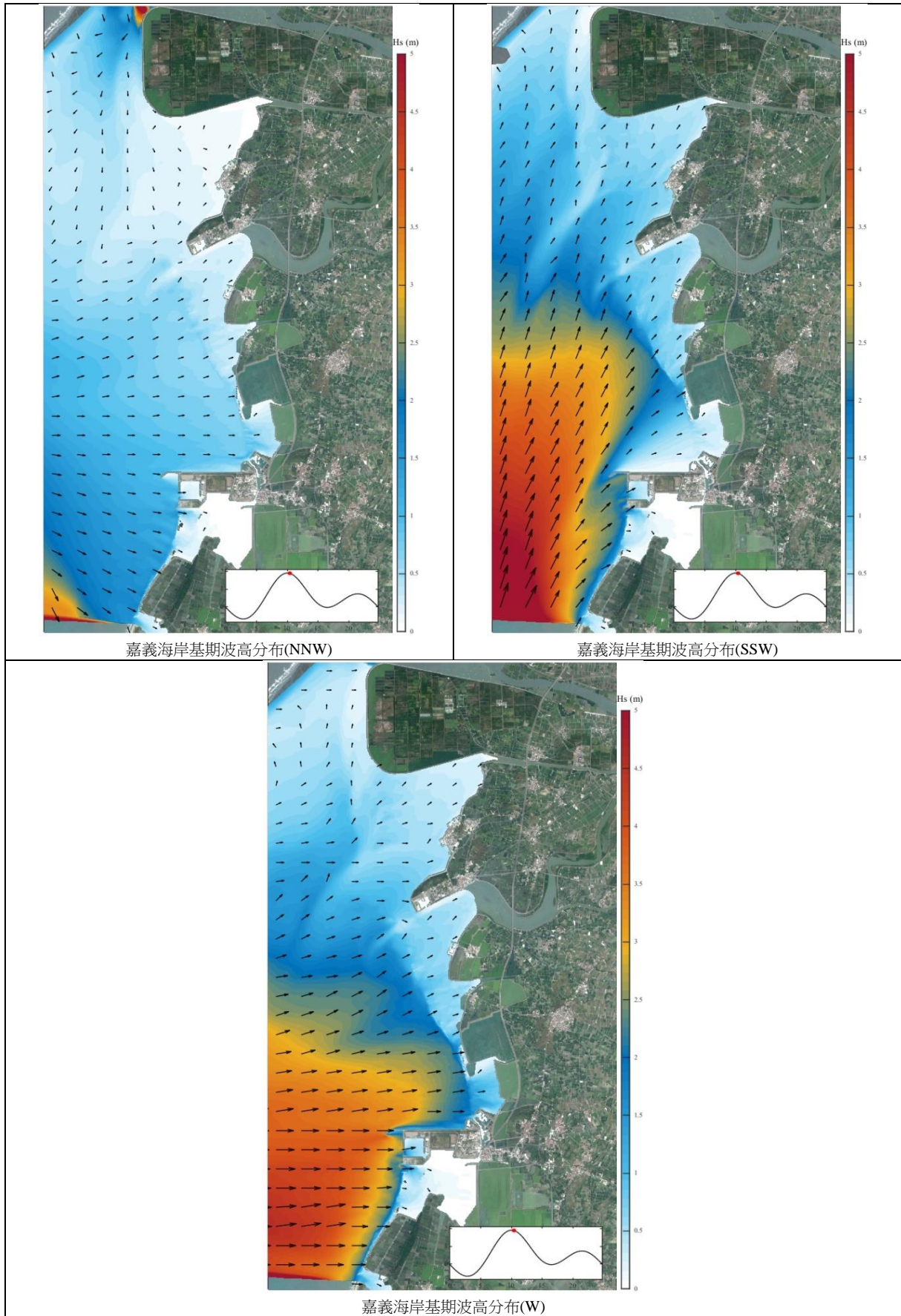


圖5-4-8 嘉義海岸基期波高分布圖

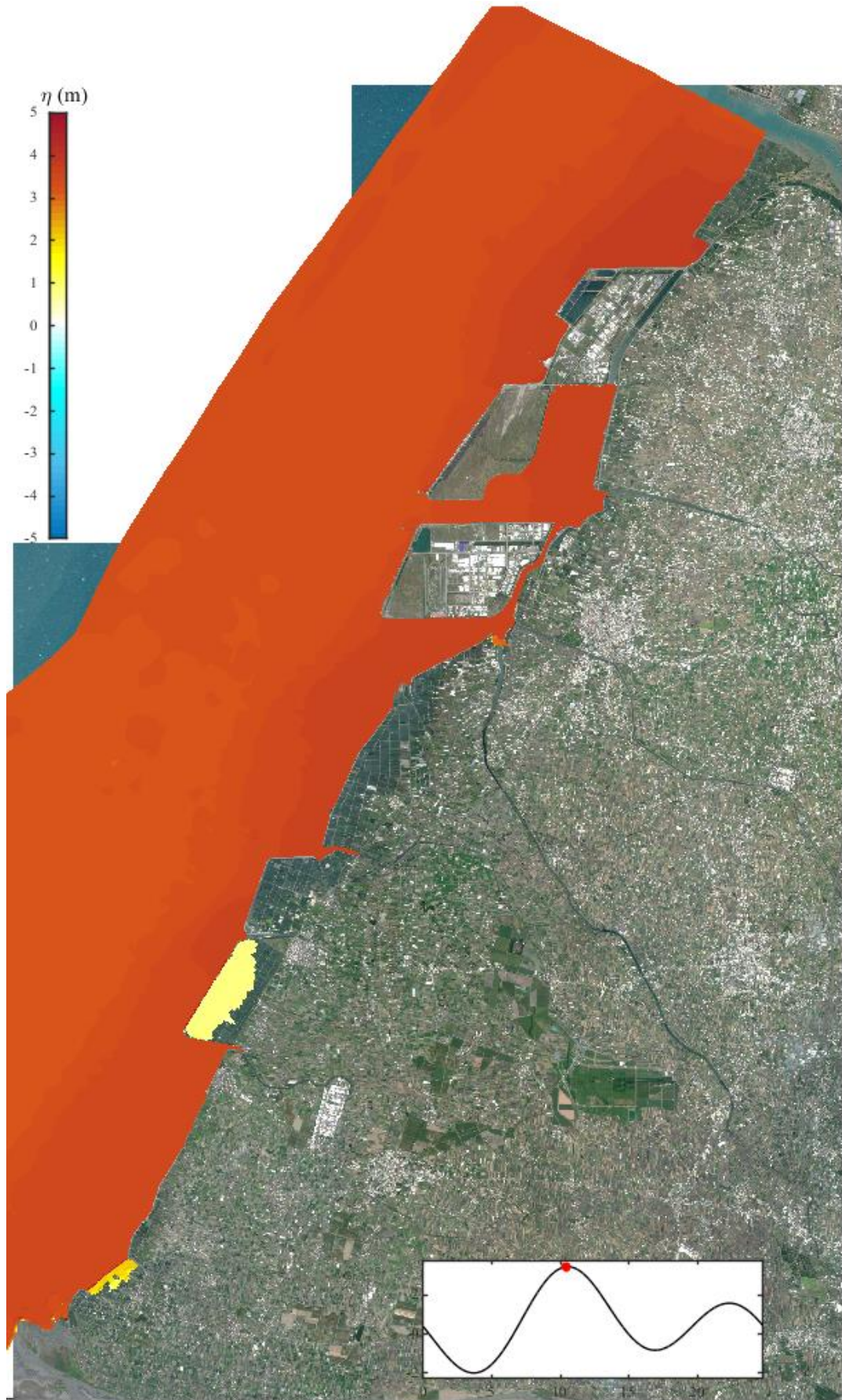


圖5-4-9 基期彰化海岸暴潮溢淹分布圖

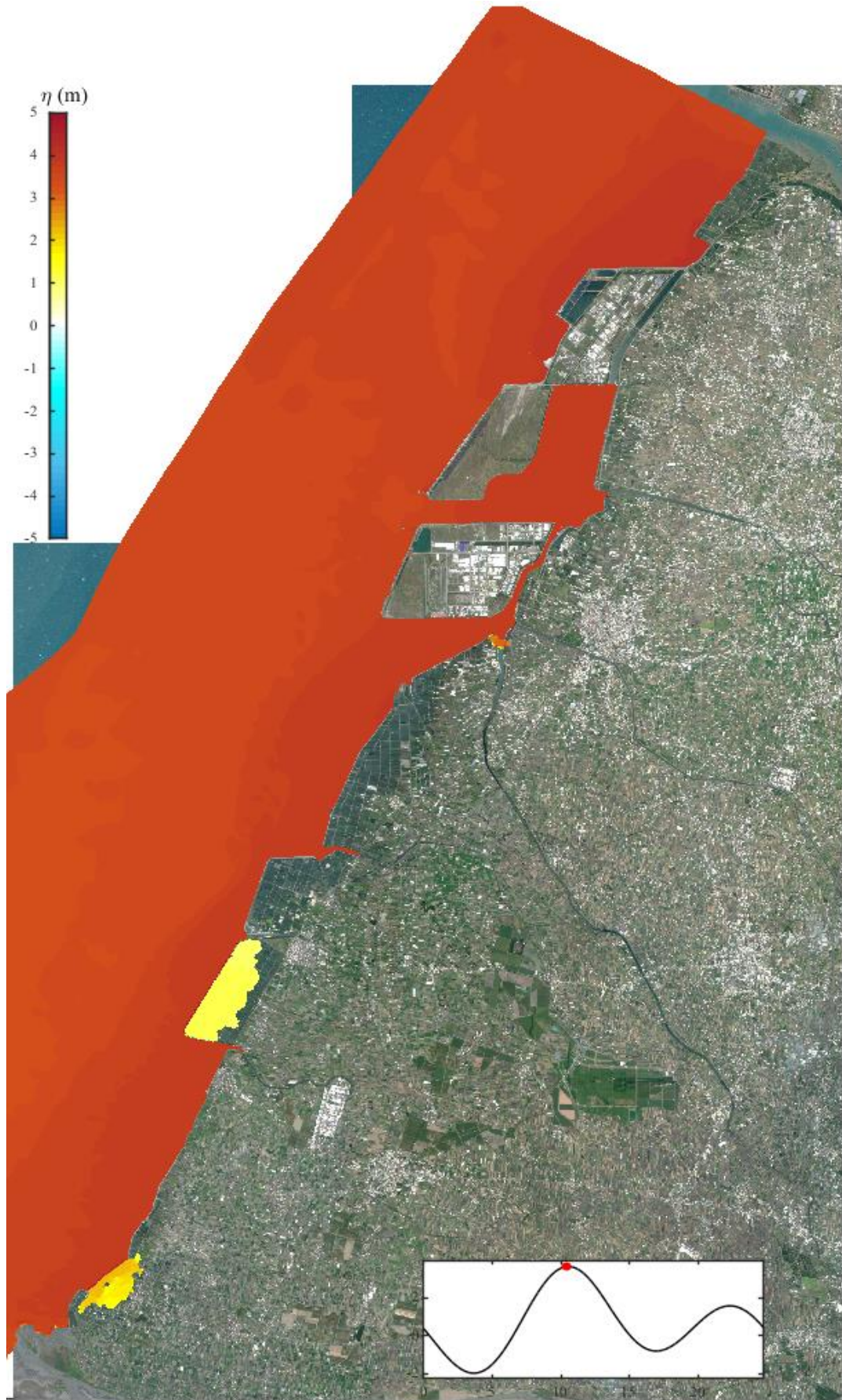


圖5-4-9 (續)近未來彰化海岸暴潮溢淹分布圖

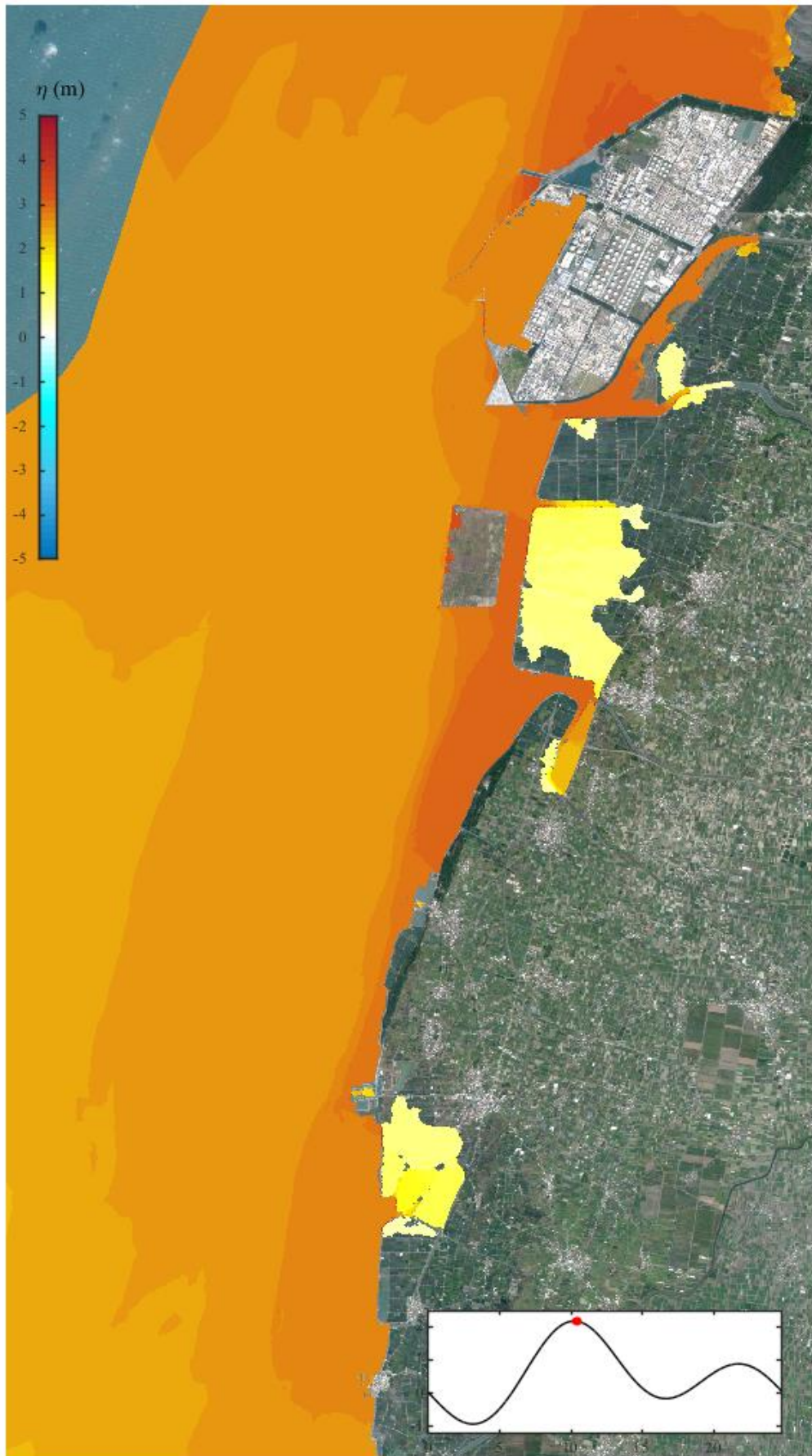


圖5-4-10 基期雲林海岸暴潮溢淹分布圖

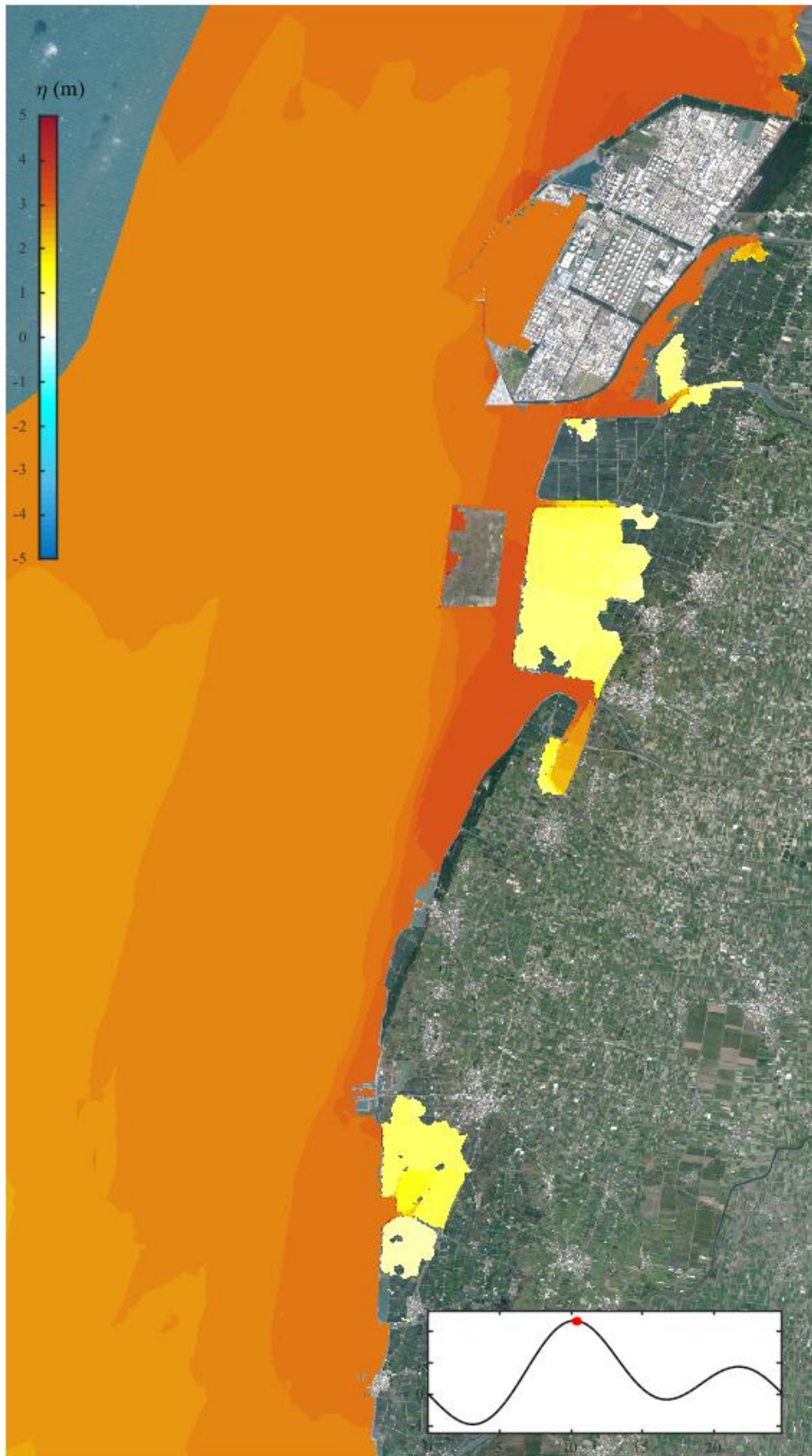


圖5-4-10 (續)近未來雲林海岸暴潮溢淹分布圖

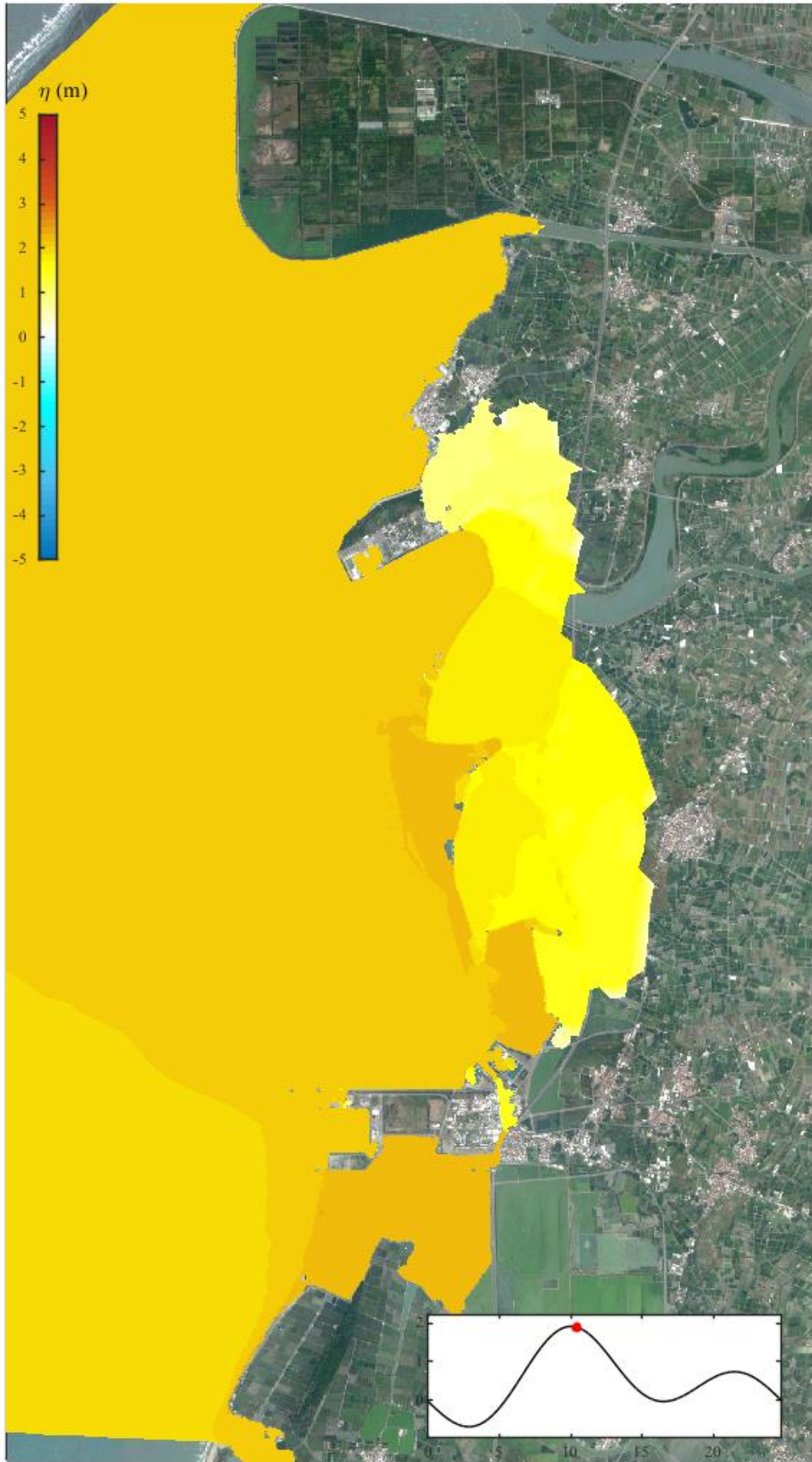


圖5-4-11 基期嘉義海岸暴潮溢淹分布圖

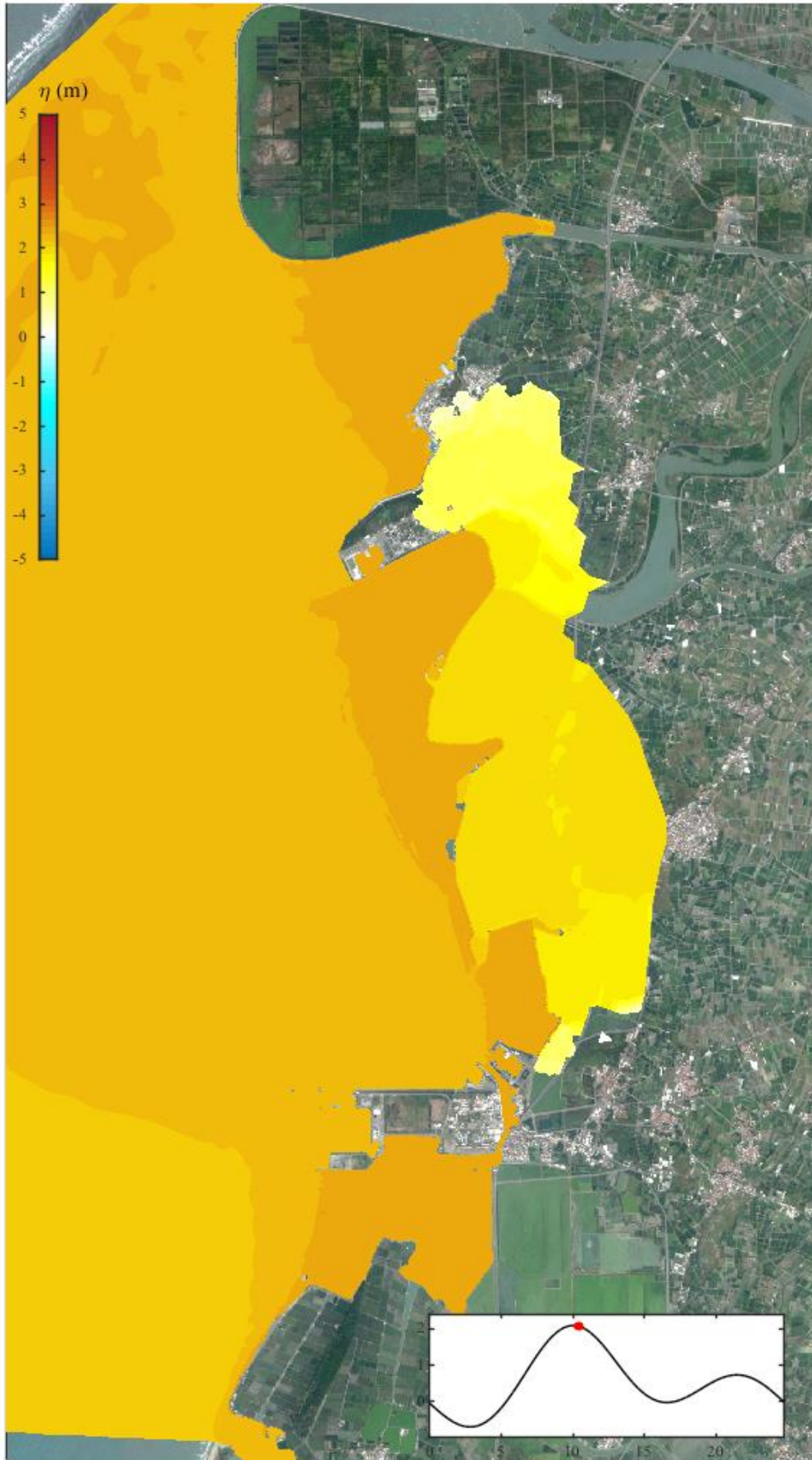


圖5-4-11 (續)近未來嘉義海岸暴潮溢淹分布圖

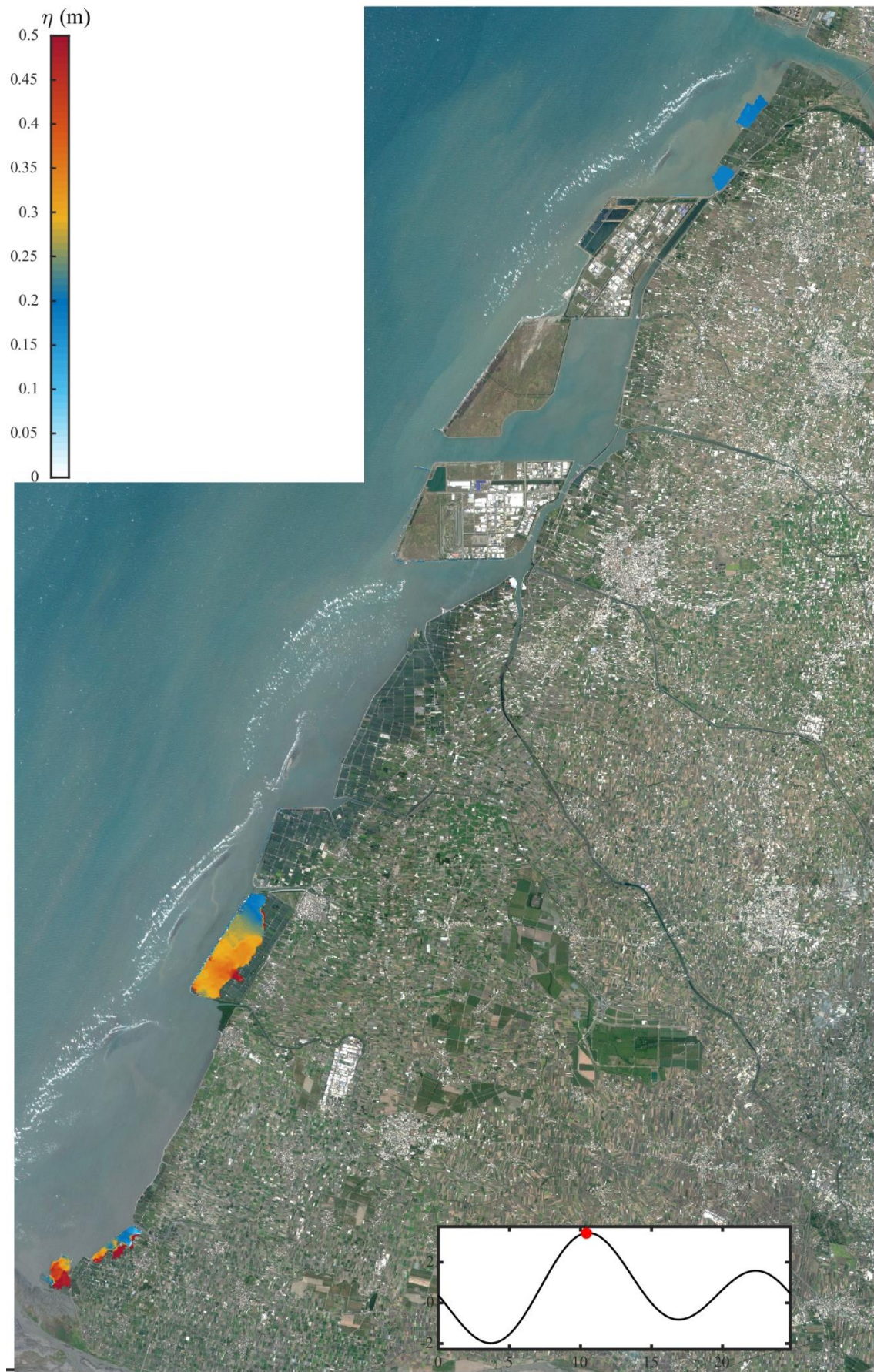


圖5-4-12 氣候變遷衝擊之彰化海岸暴潮溢淹變異增量分布圖

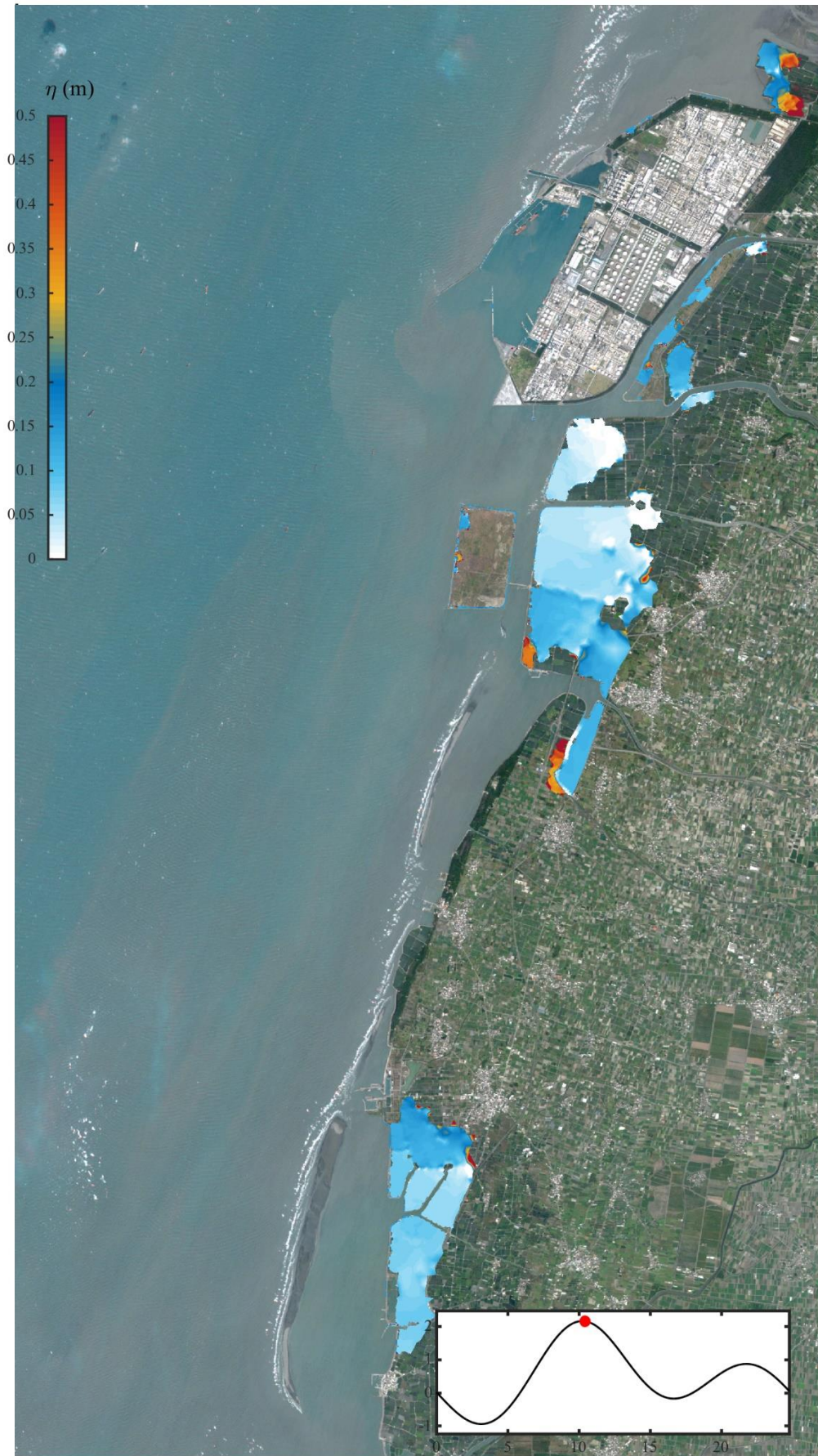


圖5-4-12 (續1)氣候變遷衝擊之雲林海岸暴潮溢淹變異增量分布圖

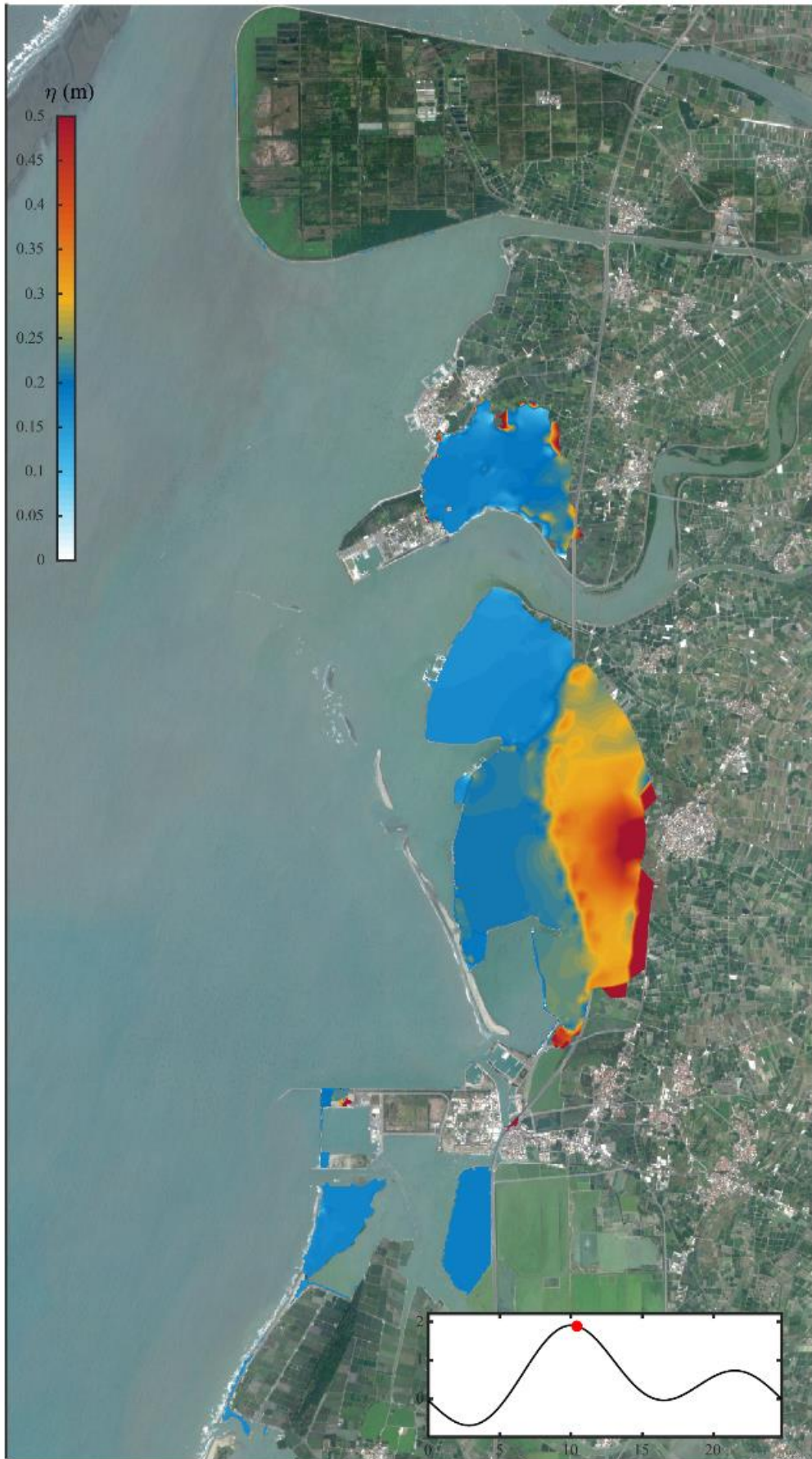


圖5-4-12 (續2)氣候變遷衝擊之嘉義海岸暴潮溢淹變異增量分布圖

5-4-2 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5-4-13及圖5-4-14所示。

在不考慮降雨的影響下，從圖5-4-14(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，尤以雲林縣林台西鄉與口湖鄉、以及嘉義縣東石鄉與布袋鎮的沿海地區較為明顯。而與基其相比，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5-4-14(a)與(b)的耦合淹水模擬結果與圖5-4-13(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流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，圖5-4-14當中淹水最嚴重的地方，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。

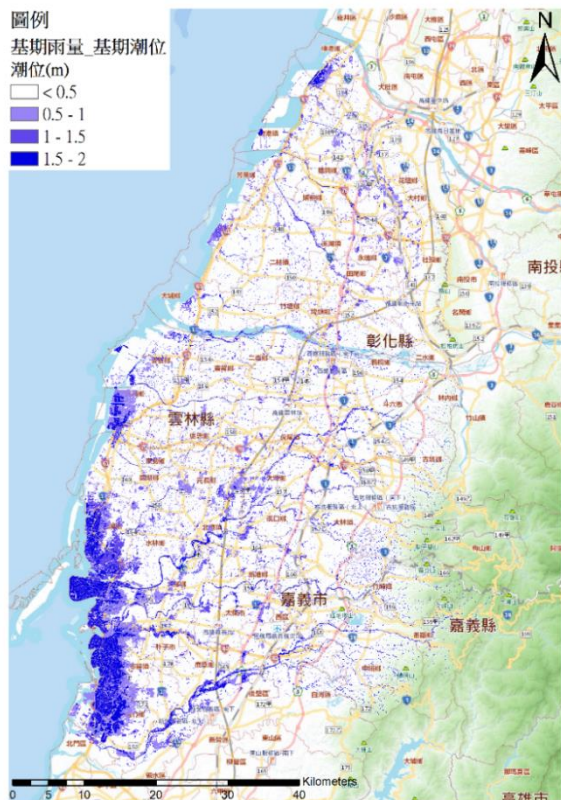


(a) 基期

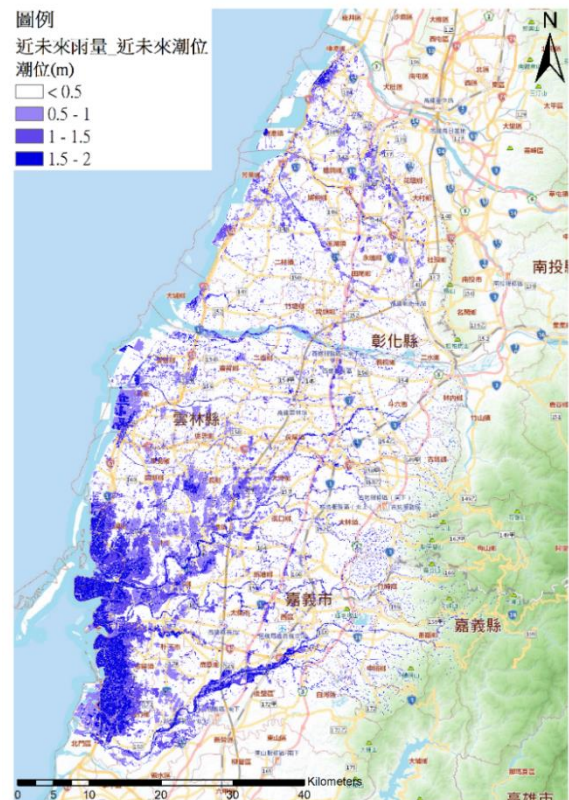


(b) 近未來

圖5-4-13 無降雨情境下50年重現期暴潮溢淹模擬範圍



(a) 基期降雨、基期潮位



(b) 近未來降雨、近未來潮位

圖5-4-13 同時考量降雨與暴潮情境下50年重現期淹水模擬範圍

第六章 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。

計畫區涵蓋彰化縣、雲林縣及嘉義縣沿海村里，此三縣市皆為「整體海岸管理計畫」(內政部，2017年)所公告一級海岸防護區。既有相關計畫包含「彰化海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)、「雲林、嘉義及台南雙春海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)及「台南海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)。

有關海岸災害風險地圖及海岸防護風險分析說明如下：聯合國減災組織(UNDRO)認為海岸災害風險包含海岸危害度與海岸脆弱度兩部分。危害度係造成海岸災害之條件因子，而脆弱度則是指暴露於海岸災害中的對象或易受影響的程度。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(如表4-3-9)。海岸風險地圖各項指標的處理及分析方法概述如下：

(F1)人為設施

(F11)海堤長度相對比：某沿海村里之海堤長度與其海岸線長度的比值。

(F12)海堤高度相對比：某沿海村里之海堤的平均高度與其對應平均最大波高的比值。

(F13)防潮閘門相對比：某沿海村里之防潮閘門數與該地河口或大排流入大海之個數的比值。計畫區沿海防潮閘門數及區域排水資料由「水利規劃試驗所區域排水整合查詢系統」獲得。

(F2)環境地理

(F21)高程：沿海村里之高程平均值。

(F22)坡度：沿海村里地形平均坡度值。

(F23)潮差：蒐集計畫區鄰近潮位站(台中港潮位站、鹿港潮位站、麥寮潮位站、箔子寮潮位站、塭港潮位站、東石潮位站)之平均潮差(平均高潮位減平均低潮位)，以線性內插方式得到各沿海村里潮差值。

(F24)地層下陷速率：引用「彰化海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)、「雲林、嘉義及台南雙春海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)及「台南海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)之地層下陷潛勢分析成果，分級如下：

- 第一級：歷年累積下陷量不超過50 cm且近5 年平均下陷速率 ≤ 2 cm/年之地區
- 第二級：歷年累積下陷量不超過50 cm且近5 年平均下陷速率 ≥ 2 cm/年之地區
- 第三級：歷年累積下陷量50 cm以上且近5 年平均下陷速率之地區 ≤ 2 cm/年之地區
- 第四級：歷年累積下陷量50 cm以上且近5 年平均下陷速率2~3 cm/年之地區
- 第五級：歷年累積下陷量50 cm以上且近5 年平均下陷速率 ≥ 3 cm/年之地區

(F25)海岸侵蝕速率：引用「彰化海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)、「雲林、嘉義及台南雙春海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)及「台南海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)之海岸侵蝕潛勢分析成果，分級如下：

- 第一級：近5 年平均高潮線每年後退量未達2 m
- 第二級：近5 年平均高潮線每年後退量達2 m以上，但未達5 m
- 第三級：近5 年平均高潮線每年後退量達5 m以上(或經中央主管機關調查評估為海岸嚴重侵蝕地區)
- 第四級：岸線退縮至結構物前
- 第五級：行政院公告13組侵淤熱點區域

(F26)土地利用：依照非都市計畫土地使用分區圖資，將其分為港口、工業區、農業區及國家公園等。脆弱性的高低是依據土地利用型態來進行界定，例如農業區的脆弱性傾向於較低，而工業區的脆弱性傾向於較高。

(F3)社會經濟

(F31)人口密度：由政府資料開放平臺取得2019年4月人口統計資料，並計算各村里人口數與該其面積的比值。

(F32)教育程度相對值：由政府資料開放平臺取得2018年人口教育資料，並計算各村里識字者人數與不識字者人數的比值。

(F33)扶養比：由政府資料開放平臺取得2019年9月人口統計資料，並計算各村里0-14歲及65歲以上的人口數與15-64歲人口數比值。

(F34)企業報酬：企業報酬＝利潤＋呆帳損失及移轉支出＋其他非營業支出－其他非營業收入中之投資收益及出售資產盈餘。計畫區的企業報酬資料取自「工商及服務業普查報告」(2011年)。

(F4)危害因子

由於本計畫區溢淹總體深度由波流與降雨淹水耦合模式計算而得，故將水利署「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)」(2018年)對於危害因子下洪氾溢淹深度(F41)、暴潮溢淹深度(F43)合併為F41'；洪氾溢淹範圍(F42)、暴潮溢淹範圍(F44)進行合併為F42'。根據「整體海岸管理計畫」海岸防護區位劃設與分級原則，海岸地區洪氾溢淹主要受暴潮位影響，應納入暴潮溢淹綜合考量，故分級上採用原暴潮溢淹的分級方法。

(F41)溢淹深度：參考水利署「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)」(2018年)之暴潮溢淹深度分級成果，說明如下：

- 第一級： $0 \leq \text{淹水深度} < 0.5\text{m}$
- 第二級： $0.5\text{m} \leq \text{淹水深度} < 1.0\text{m}$
- 第三級： $1.0\text{m} \leq \text{淹水深度} < 1.5\text{m}$
- 第四級： $1.5\text{m} \leq \text{淹水深度} < 2.0\text{m}$
- 第五級：淹水深度 $\geq 2.0\text{m}$

(F42)溢淹範圍：參考水利署「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)」(2018年)之暴潮溢淹範圍分級成果，說明如下：

- 第一級： $0 \leq \text{比值} < 0.2$

- 第二級：0.2 ≤ 比值 < 0.4
- 第三級：0.4 ≤ 比值 < 0.6
- 第四級：0.6 ≤ 比值 < 0.8
- 第五級：0.8 ≤ 比值 < 1.0

上述各指標資料來源整理於表6-1-1，將各指標統一劃分為50m×50m網格，上述各指標依表6-1-2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(表6-1-2)乘積進行加總可得到該構面分級結果，而各構面分數與相對應權重(表6-1-3)乘積進行加總可得到海岸脆弱度分級結果。

就所蒐集的資料中，河口區、外傘頂洲及其他離岸沙洲區域，缺乏人為設施構面、社會經濟構面及危害因子構面相關資料；在環境地理構面中更缺乏高程、坡度及地層下陷資料。在相關圖資缺乏的狀況下，若僅就環境地理構面中潮差(F23)、海岸侵蝕速率(F25)兩指標進行繪製，結果所得海岸風險地圖代表性不高，故本計畫海岸風險地圖不考慮河口區、外傘頂洲及其他離岸沙洲區域。

計畫區海岸現況各指標圖資繪製於圖6-1-1~圖6-1-59。人為設施構面(F1)中以防潮門相對比(F13)較差，屬於脆弱~非常脆弱等級，整體人為設施構面(F1)多介於不脆弱~普通等級。環境地理構面(F2)中，由於計畫區沿海海岸坡度低緩，致使沿海高程(F21)與沿海坡度(F22)均呈現非常脆弱等級；沿海潮差(F23)以彰化縣至雲林縣較差介於脆弱至非常脆弱等級；地層下陷速率(F24)以雲林縣較差多屬於非常脆弱等級；海岸侵蝕速率(F25)依「雲林、嘉義及台南雙春海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)及「台南海岸防護計畫規劃」(水利署，2018年)計畫成果，計畫區多位於中潛勢以上之海岸侵蝕區域、部份海段為行政院公告侵淤熱點區域及岸線退縮至結構物前等因素，為非常脆弱等級。整體環境地理構面(F2)多介於普通~非常脆弱等級。社會經濟構面(F3)中，以彰化縣南部至雲林縣教育程度(F32)較差呈現脆弱至非常脆弱等級，整體社會經濟構面(F3)介於不脆弱~稍微脆弱等級。依據表6-1-2權重進行疊加可得整體脆弱度分級圖(圖6-1-33及圖6-1-34)，整體脆弱度層面介於普通~脆弱等級。

危害因子構面(F4)中，溢淹深度(F41')分級上較脆弱地區集中在彰化縣線西鄉、雲林沿海及嘉義縣鰲鼓村屬於普通~非常脆弱等級。溢淹範圍(F42')分級尚介於不脆弱~普

通等級，整體危害因子構面(F4)較脆弱地區集中彰化縣線西鄉及嘉義縣鰲鼓村屬於脆弱等級。其中，雲林縣及嘉義縣危害因子構面分析成果與水利署「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)」(2018年)報告有較大差異，這是由於水利署「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)」(2018年)不考慮海堤存在為前提僅以暴潮位及地形高程進行分析，故所得溢淹範圍較廣；而本計畫則考慮海堤存在且以波流與降雨淹水耦合模式進一步探論溢淹時水動力傳播行為及影響程度，故溢淹範圍較為局部。整體現況海岸風險地圖(圖6-1-41~圖6-1-42)介於不脆弱~脆弱等級。

依第四章研究成果設定計畫區目標年計算條件，受情境影響分級圖繪製如圖6-1-43~圖6-1-54所示，與現況分級結果相比差異不大。

依據風險矩陣(圖6-1-28)相乘分級成果繪製如圖6-1-55~圖6-1-59。經由比較可知，經以層級分析(AHP)疊加較風險地圖相乘所得海岸災害風險成果在脆弱度等級較低的部分有較大差異，以層級分析(AHP)疊加所得分級較以風險地圖相乘所得海岸災害風險成果脆弱程度多一級；但兩者在脆弱~非常脆弱分布上則較一致。整體海岸災害風險以雲林縣、嘉義鰲鼓村風險相對較大為脆弱等級。

表6-1-1 海岸災害風險評估指標資料來源說明

層面	構面	指標	資料取得的尺度層級			原始資料結構	單位
			鄉鎮	村里	網格		
脆弱度	人為設施	F11海堤長度相對比		✓		線	公尺/公尺
		F12海堤高度相對比		✓		線	公尺/公尺
		F13防潮閘門相對比		✓		點；線	數目/公尺
	環境地理	F21高程			✓	網格	平方公尺
		F22坡度			✓	網格	度
		F23潮差		✓		點	公尺
		F24地層下陷速率		✓		點	公分/年
		F25海岸侵蝕速率		✓		點	無
	F26土地利用型態			✓	面	無	
	社會經濟	F31人口密度		✓		面	人數/平方公里
		F32教育程度相對值		✓		面	人數/人數
		F33扶養比		✓		面	人數/人數
		F34企業報酬	✓			面	新臺幣(千元)
危害度	危害因子	F41' 溢淹深度			✓	網格	公尺
		F42' 溢淹範圍			✓	網格	平方公尺

表6-1-2 海岸災害風險考量指標及權重

層面	構面	權重比值	指標	權重比值
脆弱度(L1) (0.596)	人為設施(F1)	0.328	海堤長度相對比(F11)	0.257
			海堤高度相對比(F12)	0.499
			防潮門相對比(F13)	0.244
	環境地理(F2)	0.547	高程(F21)	0.139
			坡度(F22)	0.098
			潮差(F23)	0.086
			地層下陷速率(F24)	0.226
			海岸侵蝕速率(F25)	0.358
			土地利用(F26)	0.093
	社會經濟(F3)	0.125	人口密度(F31)	0.415
			教育程度相對值(F32)	0.223
扶養比(F33)			0.166	
企業報酬(F34)			0.196	
危害度(L2) (0.404)	危害因子(F4)	1.000	溢淹深度(F41')	0.457
			溢淹範圍(F42')	0.543

資料來源：「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)」(水利署，2014年)及本計畫建議

表6-1-3 各指標分級標準

等級 指標	不脆弱(1)	稍微脆弱(2)	普通(3)	脆弱(4)	非常脆弱(5)
F11	0.81-1.00	0.61-0.80	0.41-0.60	0.21-0.40	0.00-0.20
F12	0.81-1.00	0.61-0.80	0.41-0.60	0.21-0.40	0.00-0.20
F13	60.53-75.33	45.72-60.52	30.91-45.71	16.11-30.90	0-16.10
F21	196.9-246.0	147.7-196.8	98.5-147.6	49.3-98.4	0-49.2
F22	28.58-35.71	21.44-28.57	14.29-21.43	7.15-14.28	0-7.14
F23	0.51-1.12	1.13-1.73	1.74-2.33	2.34-2.94	2.95-3.55
F24	歷年累積下陷量不超過50 cm且近5年平均下陷速率≤2 cm/年之地區	歷年累積下陷量不超過50 cm且近5年平均下陷速率≥2 cm/年之地區	歷年累積下陷量50 cm以上且近5年平均下陷速率之地區≤2 cm/年之地區	歷年累積下陷量50 cm以上且近5年平均下陷速率2~3 cm/年之地區	歷年累積下陷量50 cm以上且近5年平均下陷速率≥3 cm/年之地區
F25	近5年平均高潮線每年後退量未達2 m	近5年平均高潮線每年後退量達2 m以上，但未達5 m	近5年平均高潮線每年後退量達5 m以上(或經中央主管機關調查評估為海岸嚴重侵蝕地區)	岸線退縮至結構物前	行政院公告13組侵淤熱點區域
F26	森林、林班、河川局	一般農業區	鄉村區	特定農業區	都市計畫、工業局
F31	0-901	902-1519	1520-2137	2138-2755	2756-3373
F32	36.80-44.15	29.43-36.79	22.07-29.42	14.71-22.06	0-14.70
F33	0.00-0.20	0.21-0.40	0.41-0.60	0.61-0.80	0.81-1.00
F34	0-7086736.6	7086736.7-14086623.2	14086623.3-21086509.8	21086509.9-28086396.4	28086396.5-35086283.0
F41'	0.00- 0.500	0.501 - 1.000	1.001 - 1.500	1.501 - 2.000	2.001 - 10.000
F42'	0.00-0.20	0.21-0.40	0.41-0.60	0.61-0.80	0.81-1.00

資料來源：「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)」(水利署，2014年)及「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)」(水利署，2018年)

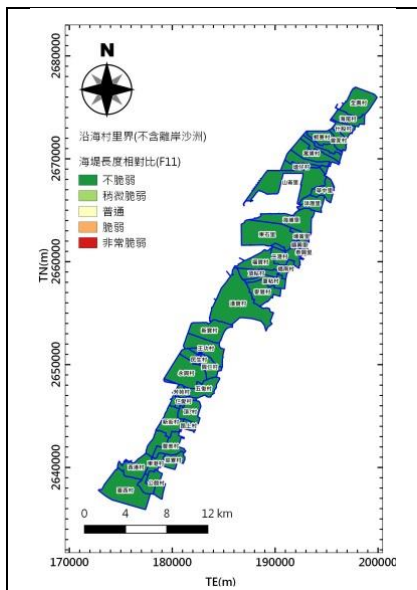


圖6-1-1 彰化現況沿海海堤長度相對比分級圖

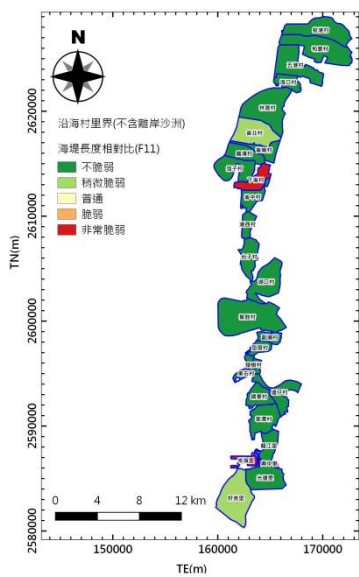


圖6-1-2 雲嘉現況沿海海堤長度相對比分級圖

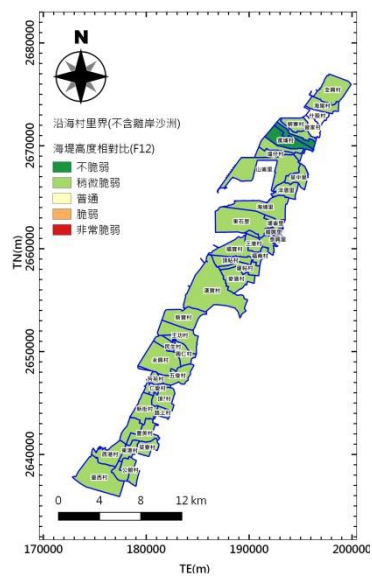


圖6-1-3 彰化現況沿海海堤高度相對比分級圖

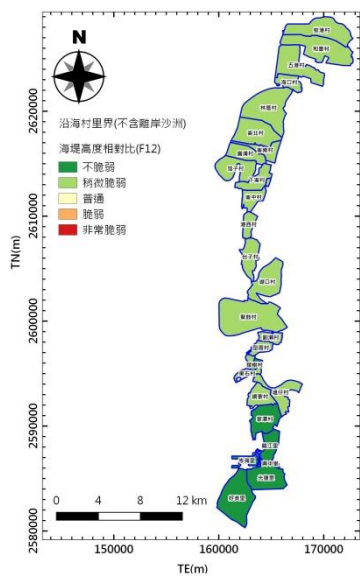


圖6-1-4 雲嘉現況沿海海堤高度相對比分級圖

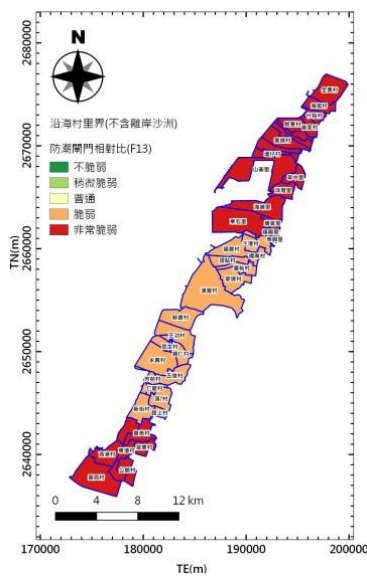


圖6-1-5 彰化現況沿海防潮門相對比分級圖

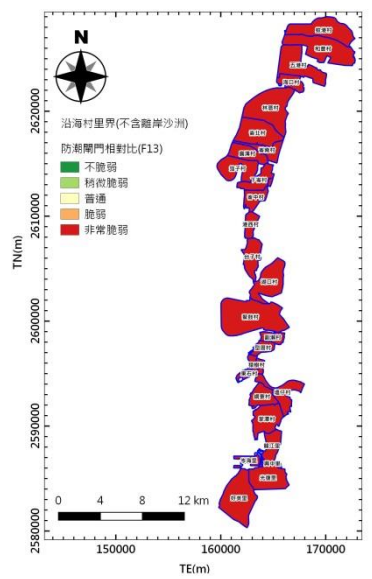


圖6-1-6 雲嘉現況沿海防潮門相對比分級圖

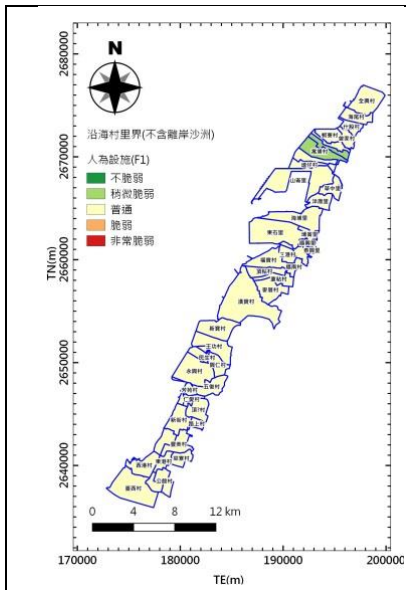


圖6-1-7 彰化現況沿海人為設施分級圖

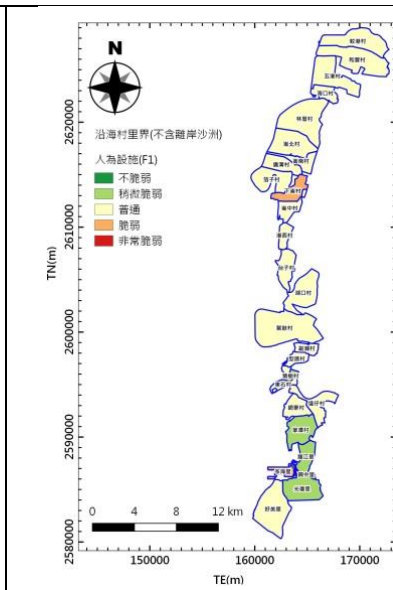


圖6-1-8 雲嘉現況沿海人為設施分級圖

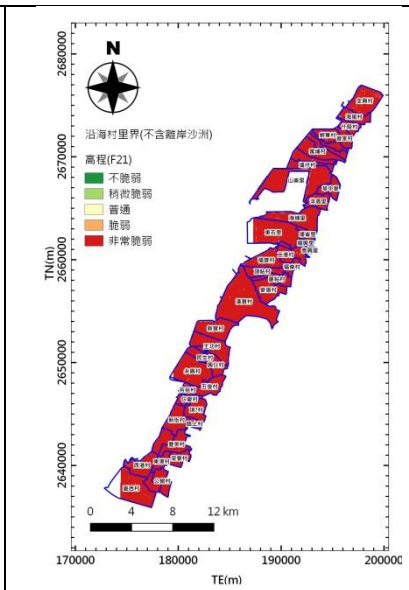


圖6-1-9 彰化現況沿海高程分級圖

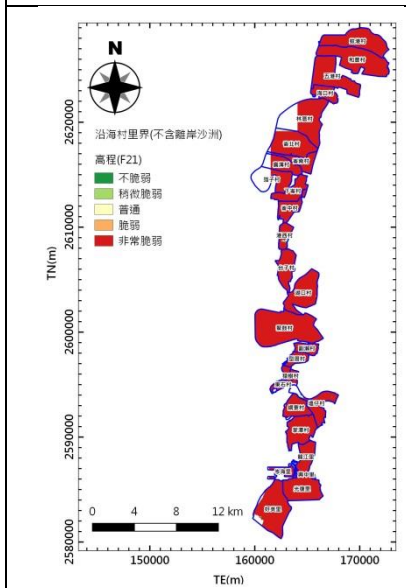


圖6-1-10 雲嘉現況沿海高程分級圖

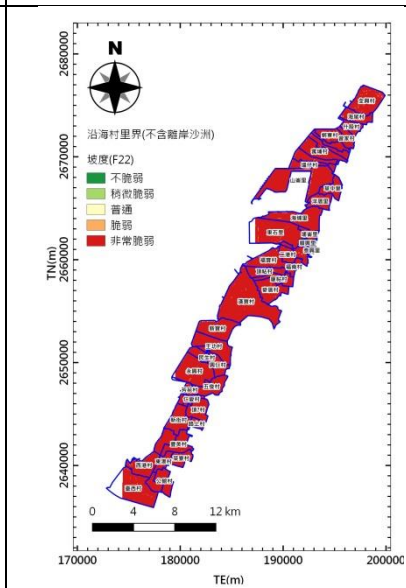


圖6-1-11 彰化現況沿海坡度分級圖

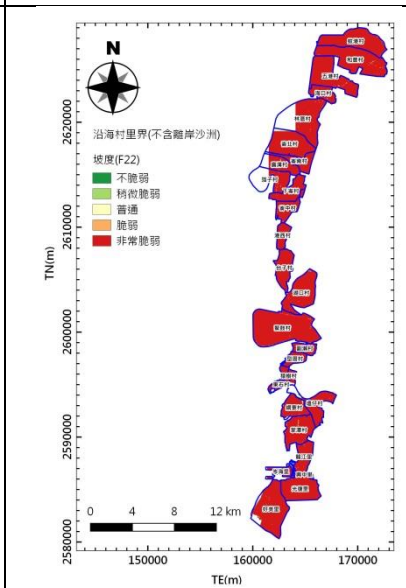


圖6-1-12 雲嘉現況沿海坡度分級圖

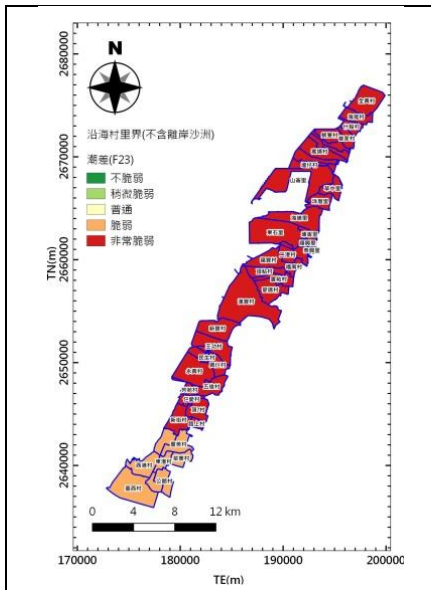


圖6-1-13 彰化現況沿海潮差分級圖

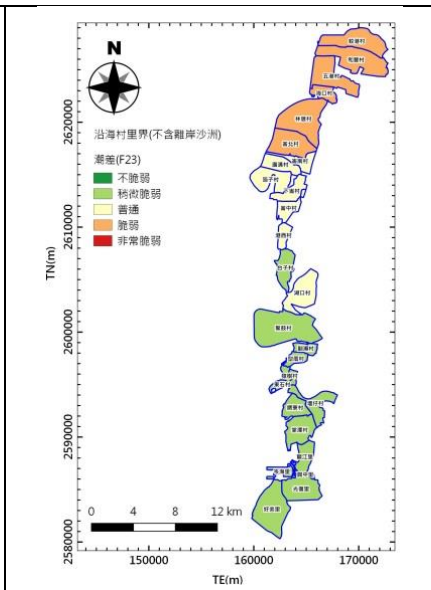


圖6-1-14 雲嘉現況沿海潮差分級圖

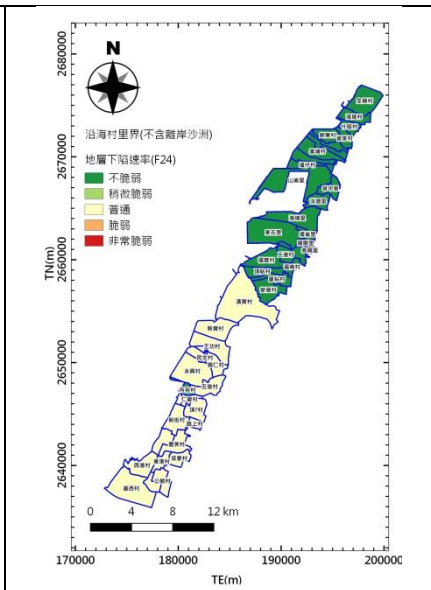


圖6-1-15 彰化現況沿海海地層下陷分級圖

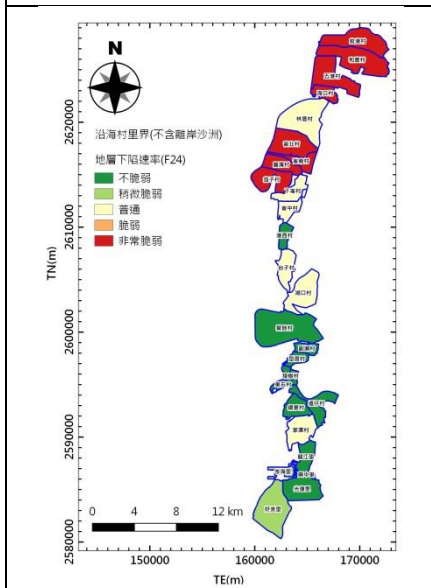


圖6-1-16 雲嘉現況沿海海地層下陷分級圖

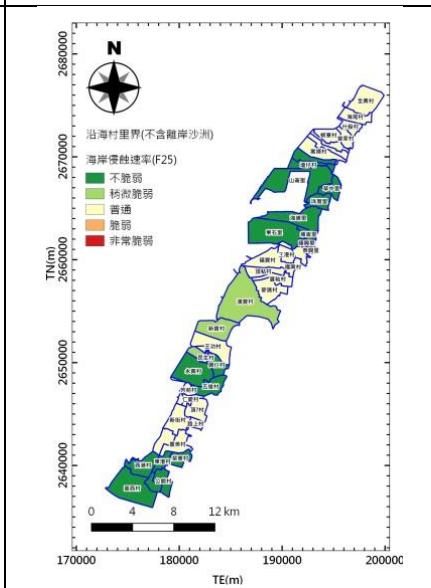


圖6-1-17 彰化現況沿海侵蝕速率分級圖

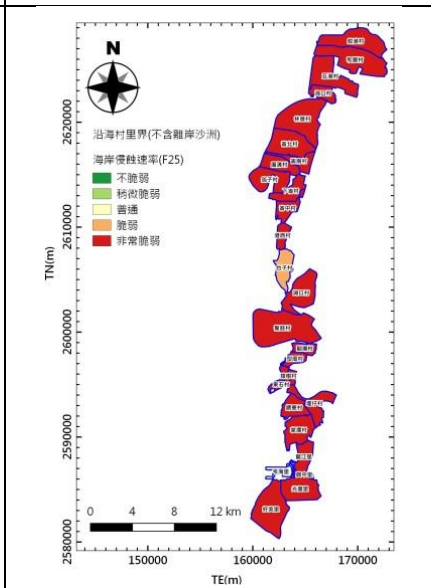


圖6-1-18 雲嘉現況沿海侵蝕速率分級圖

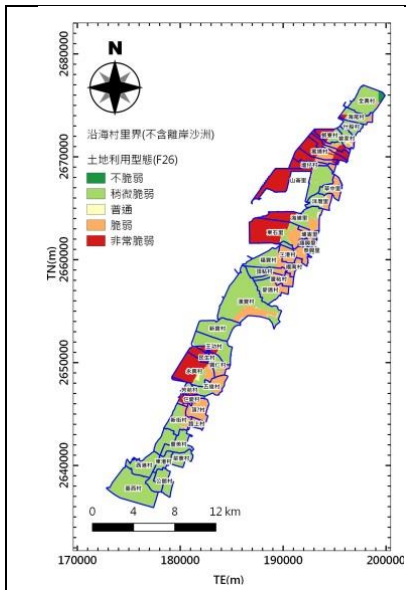


圖6-1-19 彰化現況沿海土地利用分級圖

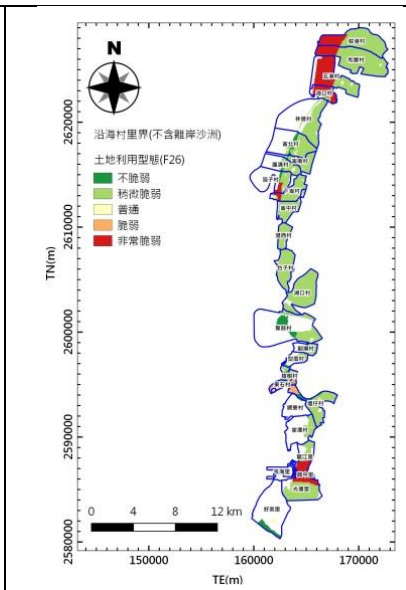


圖6-1-20 雲嘉現況沿海土地利用分級圖

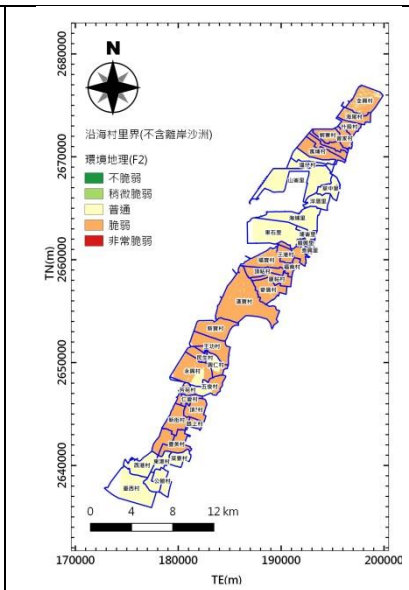


圖6-1-21 彰化現況沿海環境地理分級圖

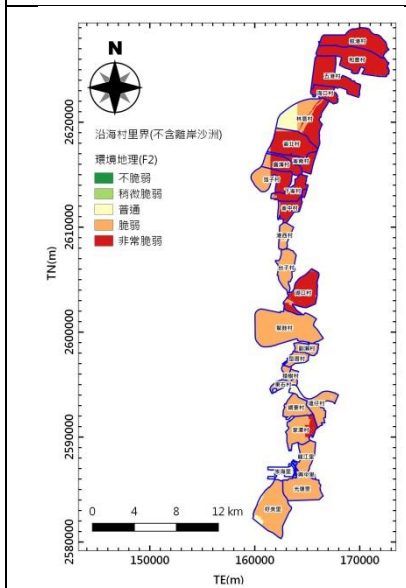


圖6-1-22 雲嘉現況沿海環境地理分級圖

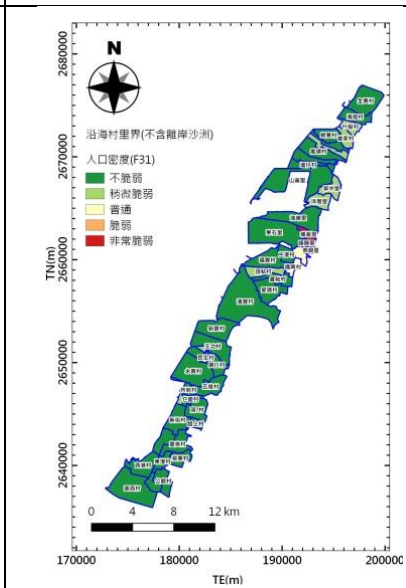


圖6-1-23 彰化現況沿海人口密度分級圖

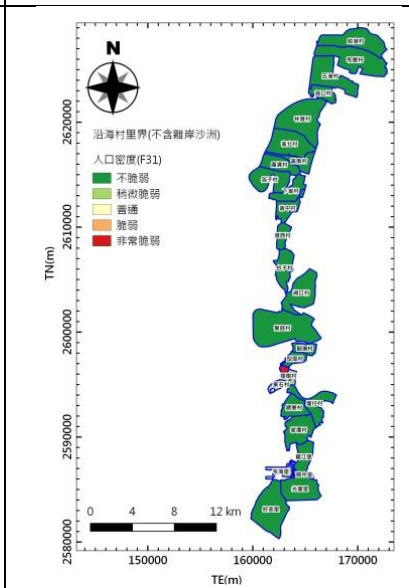


圖6-1-24 雲嘉現況沿海人口密度分級圖

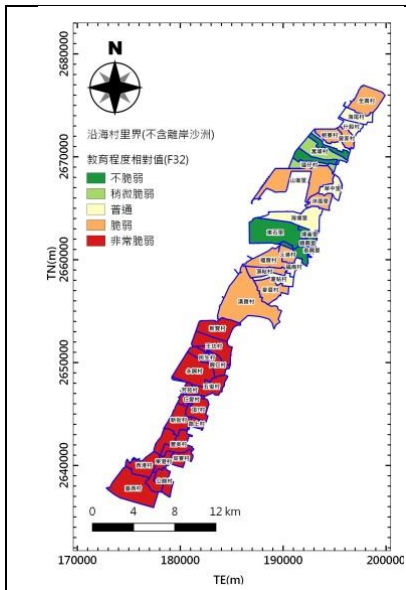


圖6-1-25 彰化現況沿海教育程度分級圖

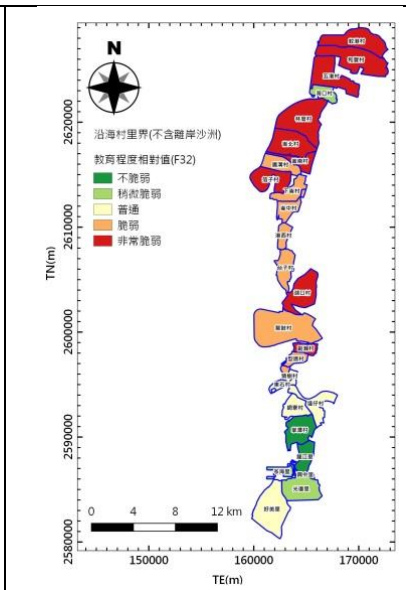


圖6-1-26 雲嘉現況沿海教育程度分級圖

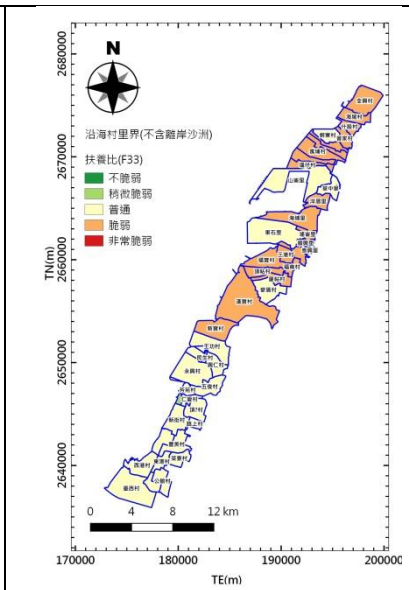


圖6-1-27 彰化現況沿海社會經濟分級圖

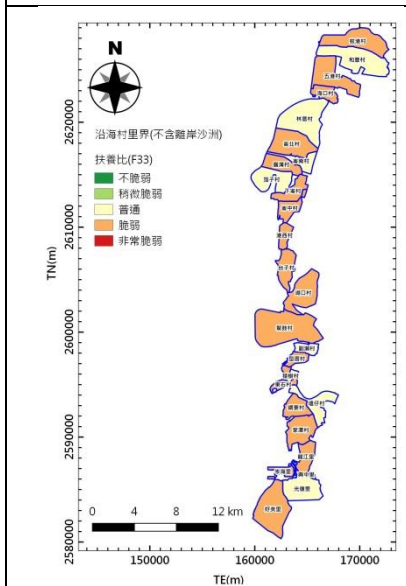


圖6-1-28 雲嘉現況沿海社會經濟分級圖

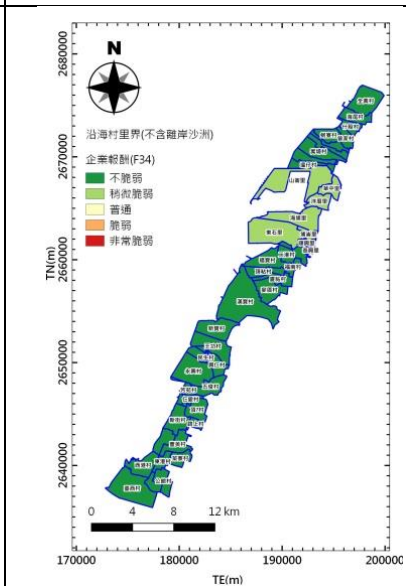


圖6-1-29 彰化現況沿海企業報酬分級圖

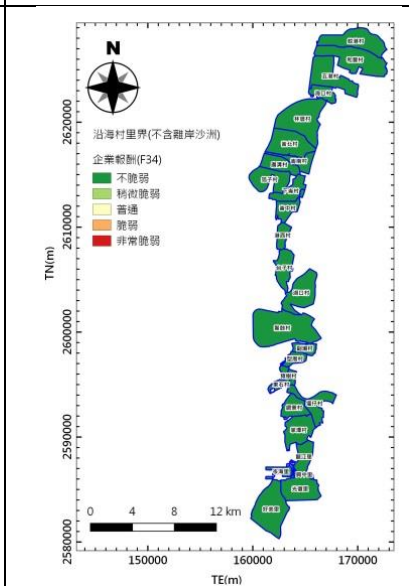


圖6-1-30 雲嘉現況沿海企業報酬分級圖

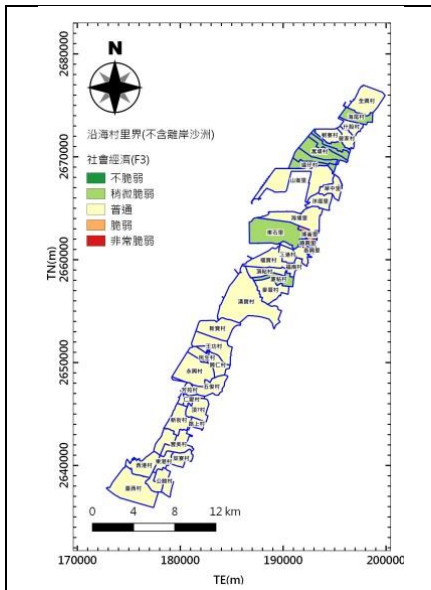


圖6-1-31 彰化現況沿海社會經濟分級圖

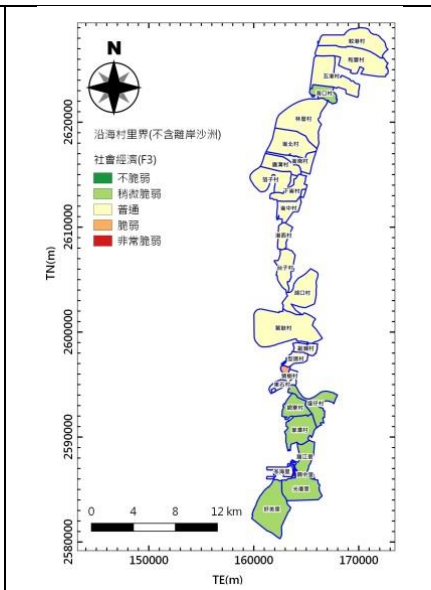


圖6-1-32 雲嘉現況沿海社會經濟分級圖

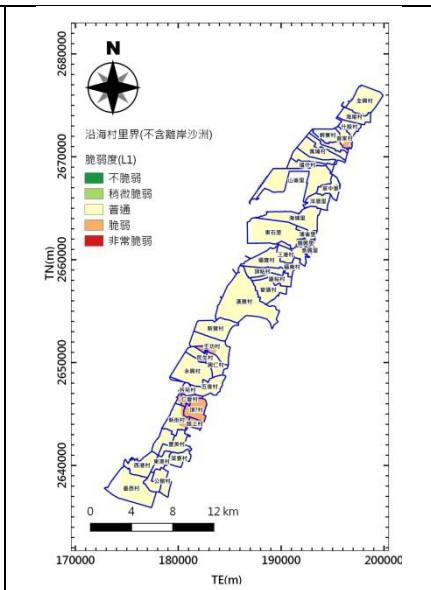


圖6-1-33 彰化現況沿海脆弱度分級圖

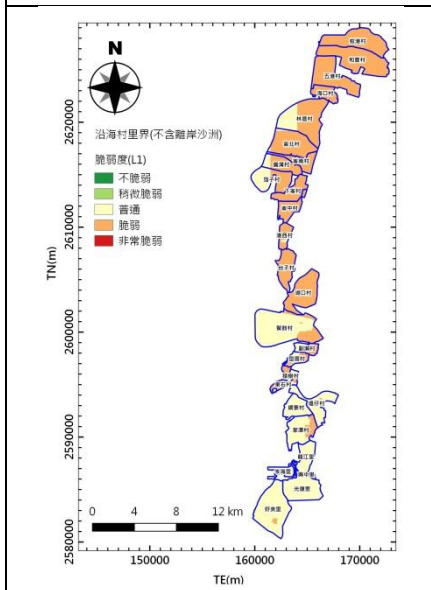


圖6-1-34 雲嘉現況沿海脆弱度分級圖

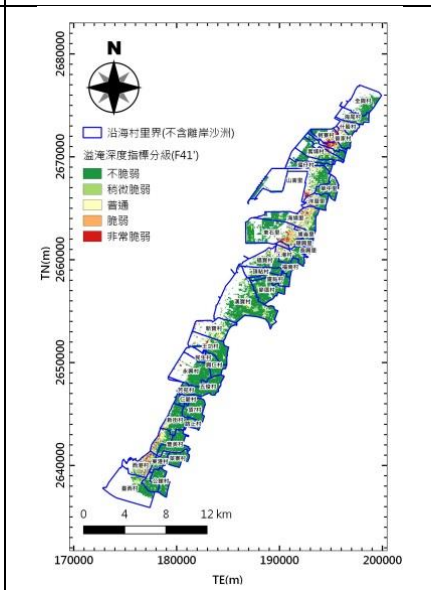


圖6-1-35 彰化現況沿海暴潮及降雨溢淹深度(24hr)分級圖

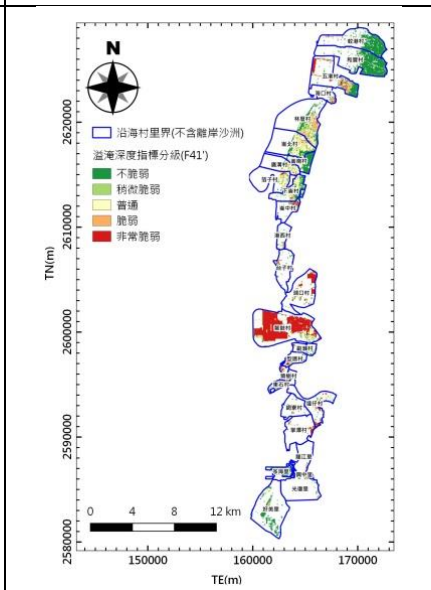


圖6-1-36 雲嘉現況沿海暴潮及降雨溢淹深度(24hr)分級圖

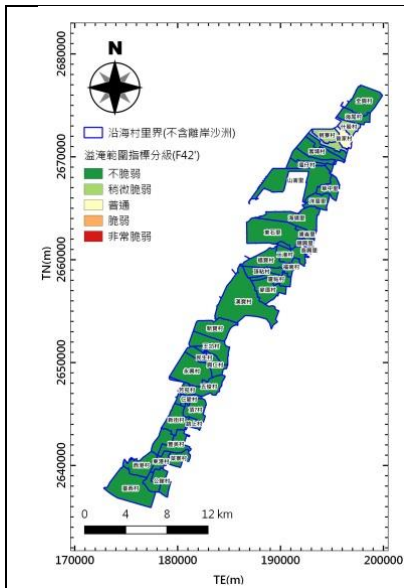


圖6-1-37 彰化現況沿海暴潮及降雨溢淹範圍(24hr)分級圖

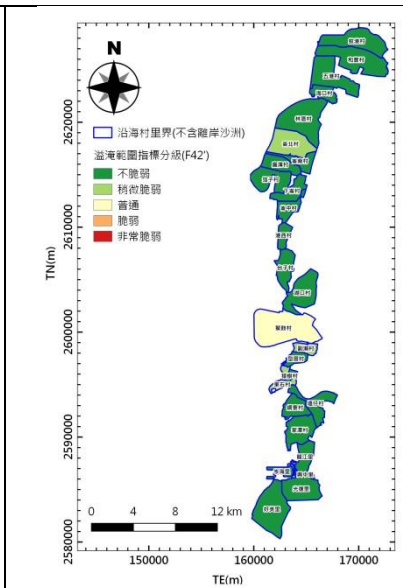


圖6-1-38 雲嘉現況沿海暴潮及降雨溢淹範圍(24hr)分級圖

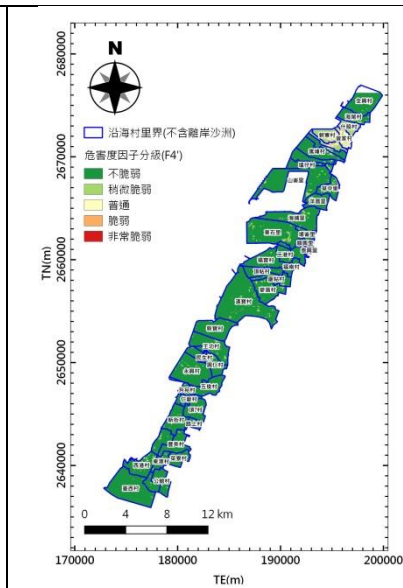


圖6-1-39 彰化現況沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)危害度分級圖

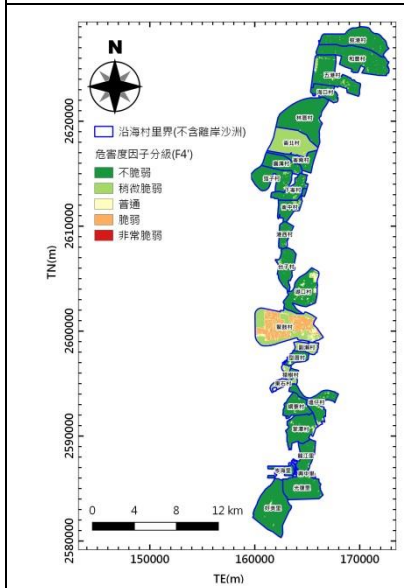


圖6-1-40 雲嘉現況沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)危害度分級圖

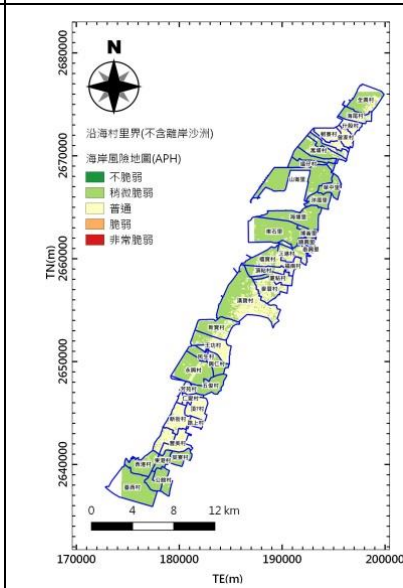


圖6-1-41 彰化現況沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖(AHP疊加)

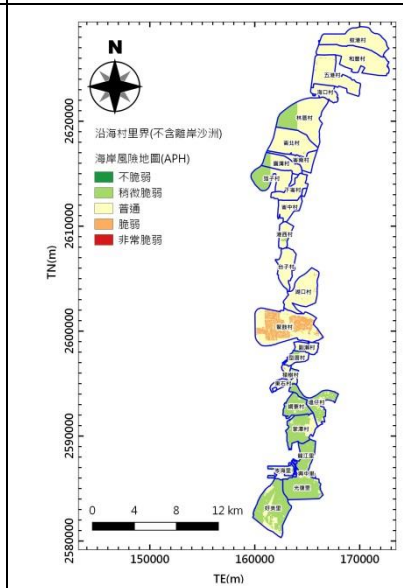


圖6-1-42 雲嘉現況沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖(AHP疊加)

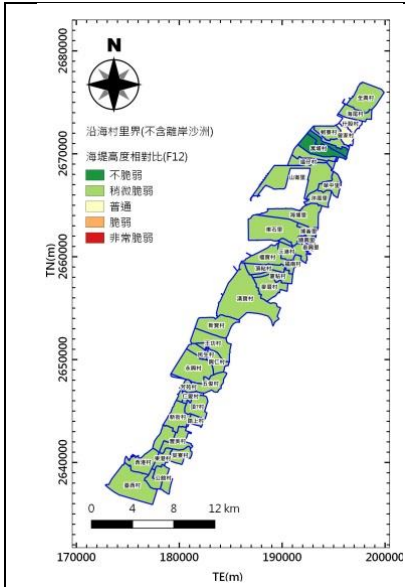


圖6-1-43 彰化近未來沿海海堤高度相對比分級圖

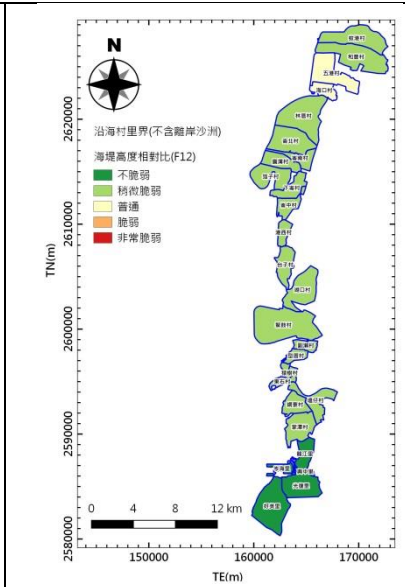


圖6-1-44 雲嘉近未來沿海海堤高度相對比分級圖

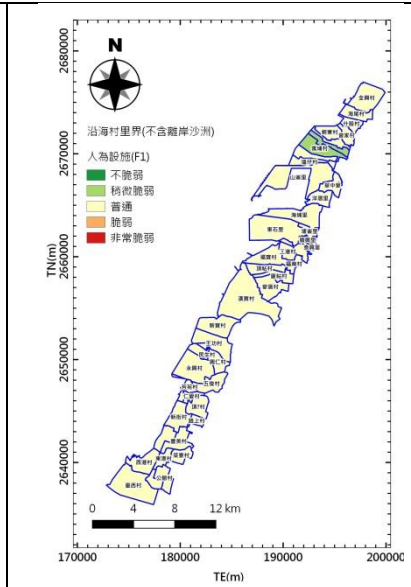


圖6-1-45 彰化近未來沿海人為設施分級圖

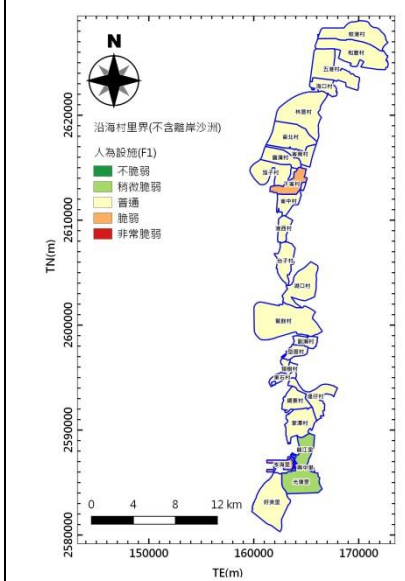


圖6-1-46 雲嘉近未來沿海人為設施分級圖

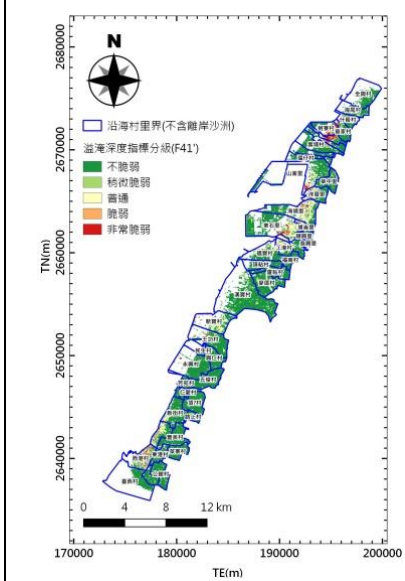


圖6-1-47 彰化近未來沿海暴潮及降雨溢淹深度(24hr)分級圖

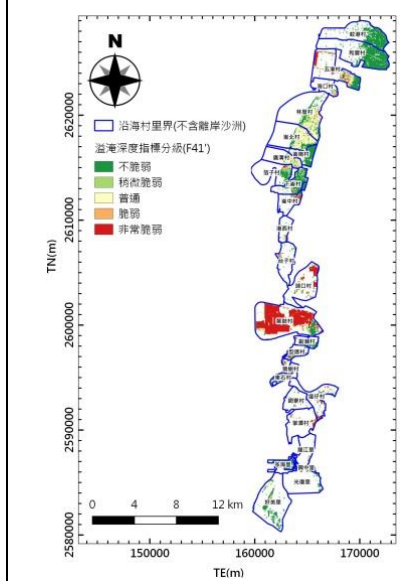


圖6-1-48 雲嘉近未來沿海暴潮及降雨溢淹深度(24hr)分級圖

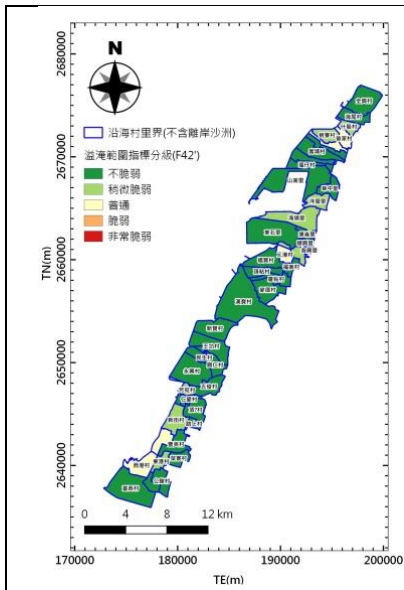


圖6-1-49 彰化近未來沿海暴潮及降雨溢淹範圍(24hr)分級圖

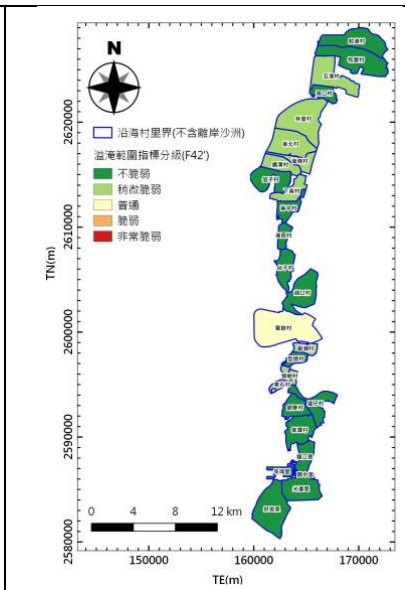


圖6-1-50 雲嘉近未來沿海暴潮及降雨溢淹範圍(24hr)分級圖

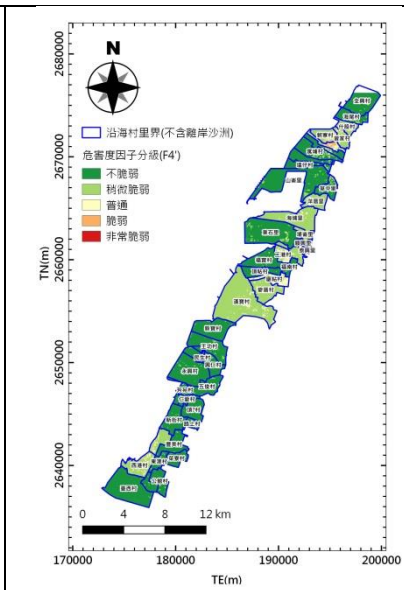


圖6-1-51 彰化近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)危害度分級圖

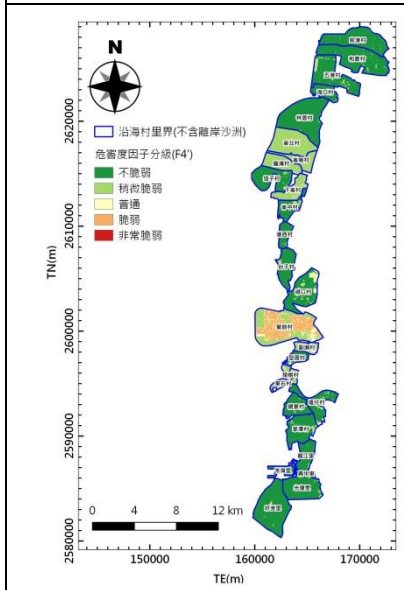


圖6-1-52 雲嘉近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)危害度分級圖

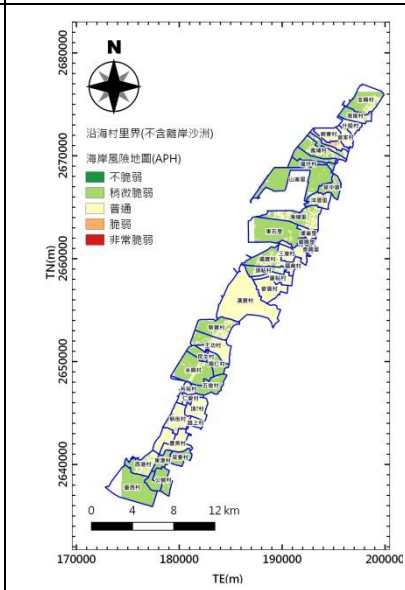


圖6-1-53 彰化近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖(AHP疊加)

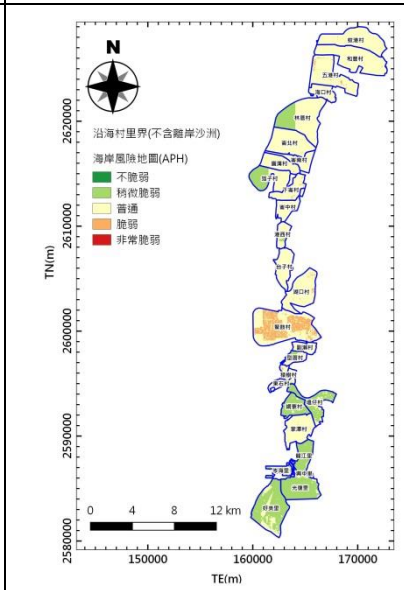
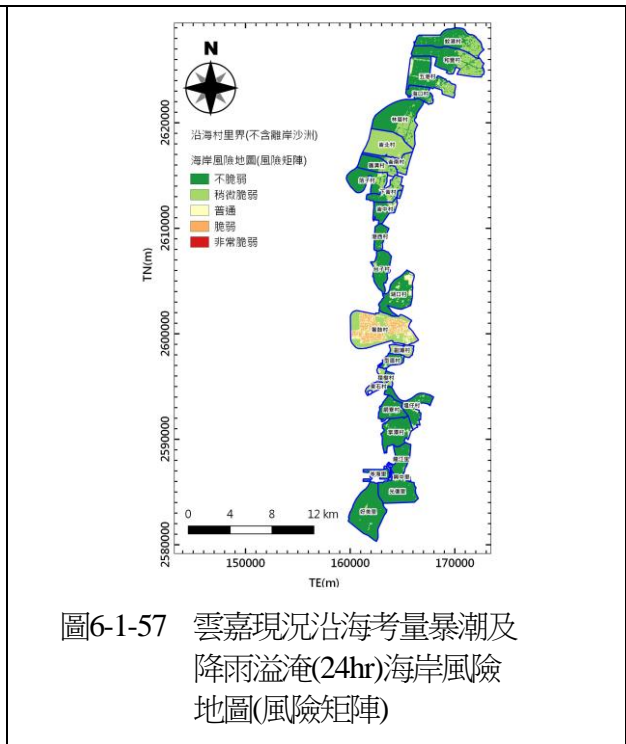
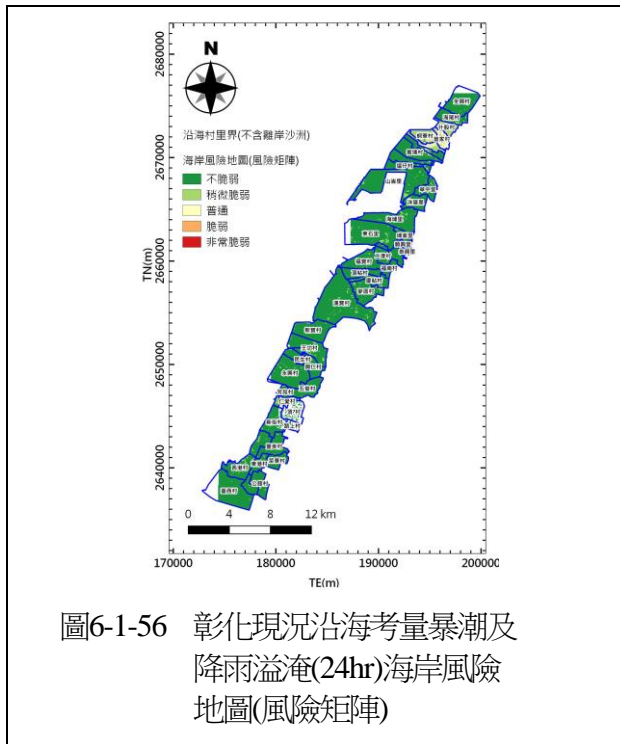


圖6-1-54 雲嘉近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖(AHP疊加)

危險度

		1	2	3	4	5
脆弱度	1	1	2	3	4	5
	2	2	4	6	8	10
	3	3	6	9	12	15
	4	4	8	12	16	20
	5	5	10	15	20	25

圖6-1-55 海岸災害風險之風險矩陣



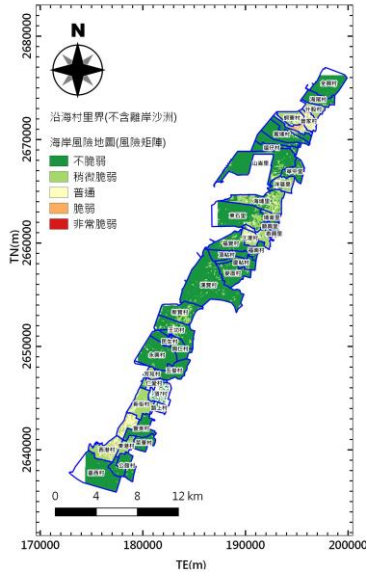


圖6-1-58 彰化近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖(風險矩陣)

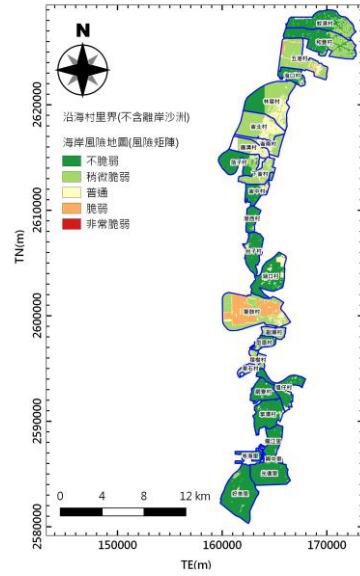


圖6-1-59 雲嘉近未來沿海考量暴潮及降雨溢淹(24hr)海岸風險地圖(風險矩陣)

第七章 結論與建議

7-1 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：

- 一、國外海岸韌性防災案例蒐集，目前已針對各國海岸韌性防災方法進行蒐集與概述，並於本年度選定「荷蘭」做為案例分析之對象。針對三角洲計畫成立精神、歷史演進及思維轉換過程均有概述，直至現今已由「與水爭地」的作法，逐漸轉換為「與水共存」思維。此外，亦蒐集三角洲國際聯盟針對「韌性」的評估方法與流程，並針對「荷蘭」之韌性評估成果進行研討。另，針對國內海岸災害背景進行評析，參酌國外案例經驗，研提國內在地化應用之具體建議。
- 二、國內於海岸災害評估方面，概以「風險評估」為主軸，惟其指標較無考量海岸韌性中「恢復力」層面之影響。因此，建議可透過荷蘭韌性輪的韌性指標項目進行補強，藉以未來除風險評估外，亦能考量韌性相關評估。然，韌性輪仍較多定性指標，建議可將目前風險評估部分量化指標，納入韌性輪做為指標項目，俾利海岸韌性評估具客觀性。
- 三、依據目前彰化、雲林及嘉義模擬成果，建議可於溢淹潛勢區域強化滯洪設施與排水系統，此可參考荷蘭韌性提升對策中，建置水廣場或地下蓄水系統等方式。同時應提升民眾防災知識與對策認知力，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」。
- 四、國內歷史海岸災害相關資料蒐集方面，已針對本年度計畫區域之背景資料進行蒐集，以供後續數值模式建置與驗證所用。另，有針對各計畫區域歷史災害事件，由災害原因、背景條件、致災區域及發生原因等層面進行研討，俾利瞭解各歷史事件致災之源由。
- 五、參酌國外海岸韌性防災案例蒐集資料，針對國內與海岸韌性評估和對策相關資料進行蒐集，以利第二年度擇選示範區與改善對策建議之參考。

- 六、氣候變遷海象情境方面，已透過數值模式分析方式，估算基期與近未來之海象條件(包含設計波高與暴潮偏差)，亦有針對海平面上升的資料進行彙整，以條列本年度計畫區所需條件。另，已建置海象統計降尺度之方法，並進一步完成模式驗證與情境資料輸出。透過海象情境條件比對，擇選「數值模擬分析」情境條件，做為本計畫氣候變遷海象情境條件。天文潮方面，則運用潮汐能量法估算各計畫區域之代表潮型，疊加暴潮偏差值，則能獲得各計畫區之暴潮情境。
- 七、氣候變遷降雨情境方面，已取得TCCIP提供之五種GCM模式，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，並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與近未來的空間分布，經比對擇選BCC-CSM1-1模組做為情境條件來源。
- 八、透過計畫區域背景資料蒐集，獲得海堤分布、海域水深、陸域地形及近岸水深地形等資料，並已建置彰化、雲林及嘉義地區數值模擬所需網格與地形資料，且進行數值模式波高分布驗證。配合氣候變遷情境分析成果，已針對雲林海岸進行基期與近未來暴潮溢淹案例模擬，可知局部區域有暴潮溢淹情況發生，惟暴潮溢淹範圍不大，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。
- 九、淹水模式方面，目前已經蒐集彰化、雲林、嘉義縣市的氣象、地文、水文、以及水工構造物資料，完成淹水模式建模，以2018年0823豪雨事件驗證，整體正確率可達76%。降雨與暴潮同時影響下，因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，此為導致淹水大幅增加的主要原因。當內水無法排出時，會集中地表最低窪處，此為雲林台西鄉到嘉義布袋鎮的沿海。
- 十、氣候變遷衝擊評估中，於暴潮溢淹方面，近未來溢淹的範圍和深度會較基期稍大，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。同時考量洪氾溢淹時，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。

十一、已依據本計畫模擬成果，分別繪製基期(現況)與近未來情境下，海岸災害風險地圖。並於暴潮溢淹因子中，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。

7-2 建議

- 一、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。
- 二、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。
- 三、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. Aerts, J. C., Botzen, W. J., Moel, H., & Bowman, M. (2013). Cost estimates for flood resilience and protection strategies in New York City. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1294(1), 1-104.
2. Albrito, P. (2012). Making cities resilient: Increasing resilience to disasters at the local level. *Journal of Business Continuity & Emergency Planning*, 5(4), 291-297.
3. Andrew, S., Arlikatti, S., Siebeneck, L., Pongponrat, K., & Jaikampan, K. (2016). Sources of organisational resiliency during the Thailand floods of 2011: a test of the bonding and bridging hypotheses. *Disasters*, 40(1), 65-84.
4. Ascher, U.M., Petzold, L.R., 1998. *Computer Methods for Ordinary Differential Equations and Differential-Algebraic Equations*. Society for Industrial and Applied Mathematics Philadelphia, PA.
5. Barroca, B., & Serre, D. (2013). Behind the barriers: a resilience conceptual model. *SAPI EN. S. Surveys and Perspectives Integrating Environment and Society*, (6.1).
6. Borba, M. L., Warner, J. F., & Porto, M. F. A. (2015). Urban stormwater flood management in the Cordeiro watershed, São Paulo, Brazil: does the interaction between socio-political and technical aspects create an opportunity to attain community resilience?. *Journal of Flood Risk Management*, 9(3), 234-242.
7. Brown, A., Dayal, A., & Rumbaitis Del Rio, C. (2012). From practice to theory: emerging lessons from Asia for building urban climate change resilience. *Environment and Urbanization*, 24(2), 531-556.
8. Camus, P., Méndez, F. J., Losada, I. J., Menéndez, M., Espejo, A., Pérez, J., ... & Guanche, Y. (2014). A method for finding the optimal predictor indices for local wave climate conditions. *Ocean Dynamics*, 64(7), 1025-1038.
9. Camus, P., M. Menéndez, F. J. Méndez, C. Izaguirre, A. Espejo, V. Cánovas, J. Pérez, A. Rueda, I. J. Losada, and R. Medina., 2014. A weather-type statistical downscaling framework for ocean wave climate. *J. Geophys. Res: Oceans*, 119.
10. Camus, P., Losada, I. J., Izaguirre, C., Espejo, A., Menéndez, M., & Pérez, J. (2017). Statistical wave climate projections for coastal impact assessments. *Earth's Future*, 5(9), 918-933.
11. Chan, S. L., Wey, W. M., & Chang, P. H. (2012). Establishing disaster resilience indicators for Tan-sui river basin in Taiwan. *Social Indicators Research*, 115(1),

387-418.

12. Chen, W.B., Liu, W.C., 2016. Assessment of storm surge inundation and potential hazard maps for the southern coast of Taiwan. *Natural Hazards*, 82(1), 591–616.
13. Cheng, K. S., Hueter, I., Hsu, E. C., & Yeh, H. C. (2001). A scale-invariant Gauss-Markov model for design storm hyetographs. *Journal of the American Water Resources Association*, 37(3), 723-735.
14. City of Rotterdam (2013). Rotterdam Climate Change Adaptation Strategy.
15. Coastal Engineering Manual (2002)
16. Courant, R.; Friedrichs, K.; Lewy, H., 1967. On the partial difference equations of mathematical physics", *IBM J. Res. Dev.* 11(2), 215–234.
17. Cunge, J. A., Wegner, M., 1964. Numerical Integration of Bane de Saint Venant's Flow Equations by Means of an Implicit Scheme of Finite Differences. Applications in the Case of Alternately free and Pressurized Flow in a Tunnel. *La Houille Blanche*, No. 1, 33–39.
18. Cutter, S. L., Barnes, L., Berry, M., Burton, C., Evans, E., Tate, E., & Webb, J. (2008). A place-based model for understanding community resilience to natural disasters. *Global Environmental Change*, 18(4), 598-606.
19. de Graaf, R. (2012). Adaptive urban development. Rotterdam, NL: Rotterdam University.
20. Department of city planning city of NewYork (2013). Urban Waterfront Adaptive Strategies.
21. Djordjević, S., Butler, D., Gourbesville, P., Mark, O., & Pasche, E. (2011). New policies to deal with climate change and other drivers impacting on resilience to flooding in urban areas: the CORFU approach. *Environmental Science & Policy*, 14(7), 864-873.
22. Farhan, A. R., & Lim, S. (2011). Resilience assessment on coastline changes and urban settlements: A case study in Seribu Islands, Indonesia. *Ocean & Coastal Management*, 54(5), 391-400.
23. Godschalk, D. R. (2003). Urban hazard mitigation: creating resilient cities. *Natural Hazards Review*, 4(3), 136-143.
24. Haitisma, R. (2016). Flood resilience in delta cities. Master's thesis, Wageningen University, 2016
25. Hamilton, W. A. H. (2009). Resilience and the city: the water sector. Proceedings of

- the Institution of Civil Engineers-Urban Design and Planning, 162(3), 109-121.
26. Hjelmfelt, A.T., 1991. Investigation of curve number procedure. *J. Hydr. Engrg.* 117(6), 725–737
 27. Hoeksema, R. J. (2006). Designed for dry feet: flood protection and land reclamation in the Netherlands. American Society of Civil Engineers.
 28. Hung, H. C., Yang, C. Y., Chien, C. Y., and Liu, Y. C. (2016). Building resilience: Mainstreaming community participation into integrated assessment of resilience to climatic hazards in metropolitan land use management. *Land Use Policy* 50 (2016), 48–58.
 29. Jang, J.H., Yu, P.S., Yeh, S.H., Fu, J.C., Huang, C.J., 2012. A probabilistic model for real-time flood warning based on deterministic flood inundation mapping. *Hydrol. Process.* 26(7), 1079–1089.
 30. Jang, J.H., 2015. An Advanced Method to Apply Multiple Rainfall Thresholds for Urban Flood Warnings. *Water* 7, 6056–6078.
 31. Jang, J.H., Chang, T.H., Chen., W.B., 2018. Effect of inlet modelling on surface drainage in coupled urban flood simulation. *J. Hydrol.* 562, 168–180.
 32. Joerin, J., Shaw, R., Takeuchi, Y., & Krishnamurthy, R. (2014). The adoption of a climate disaster resilience index in Chennai, India. *Disasters*, 38(3), 540-561.
 33. Johansson, J. (2019). Water plazas as innovative approaches for managing urban stormwater.
 34. Kalnay, E., Kanamitsu, M., Kistler, R., Collins, W., Deaven, D., Gandin, L., ... & Zhu, Y. (1996). The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 77(3), 437-471.
 35. Kerpen, N. B., Schoonees, T., & Schlurmann, T. (2019). Wave Overtopping of Stepped Revetments. *Water*, 11(5), 1035.
 36. Kotzee, I., & Reyers, B. (2016). Piloting a social-ecological index for measuring flood resilience: A composite index approach. *Ecological Indicators*, 60, 45-53.
 37. 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.
 38. Lhomme, S., Serre, D., Diab, Y., & Laganier, R. (2013). Analyzing resilience of urban networks: a preliminary step towards more flood resilient cities. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 13(2), 221-230.

39. Liao, K. H. (2012). A theory on urban resilience to floods—a basis for alternative planning practices. *Ecology and Society*, 17(4).
40. Lu, P., & Stead, D. (2013). Understanding the notion of resilience in spatial planning: A case study of Rotterdam, The Netherlands. *Cities*, 35, 200-212.
41. Mason, S.J., 1982. A model for assessment of weather forecasts. *Aust. Meteorol. Mag.* 30, 291–303.
42. Mizuta, R., K. Oouchi, H. Yoshimura, A. Noda, K. Katayama, S. Yukimoto, M. Hosaka, S. Kusunoki, H. Kawai, and M. Nakagawa, 2006: 20-km-mesh global climate simulations using JMA-GSM model – mean climate states –. *J. Meteor. Soc. Japan*, 84, 165-185.
43. Moench, M. (2014). Experiences applying the climate resilience framework: linking theory with practice. *Development in Practice*, 24(4), 447-464.
44. New Plymouth district council (2006). Oakura Structure Plan.
45. New Plymouth district council (2006). Urenui Structure Plan.
46. NRCS (Natural Resources Conservation Service), 2004. National Engineering Handbook. Part 630 Hydrology, Chapter 10 – Estimation of Direct Runoff from Storm Rainfall. Washington, DC: Natural Resources Conservation Service.
47. Pérez, J., Méndez, F. J., Menéndez, M., & Losada, I. J. (2014). ESTELA: a method for evaluating the source and travel time of the wave energy reaching a local area. *Ocean Dynamics*, 64(8), 1181-1191.
48. Pérez, J., Menendez, M., Mendez, F. J., & Losada, I. J. (2014). Evaluating the performance of CMIP3 and CMIP5 global climate models over the north-east Atlantic region. *Climate dynamics*, 43(9-10), 2663-2680.
49. Pérez, J., Menendez, M., Camus, P., Mendez, F. J., & Losada, I. J. (2015). Statistical multi-model climate projections of surface ocean waves in Europe. *Ocean Modelling*, 96, 161-170.
50. Picard, E., 1890. Memoire sur la théorie des équations aux dérivés partielles et la méthode des approximations successives, *Journal de Mathématiques pures et appliquées* 6. 145–210.
51. Shao, Z., Liang, B., Li, H., Wu, G., and Wu, Z. 2018. Blended wind fields for wave modeling of tropical cyclones in the South China Sea and East China Sea. *Applied Ocean Research*, 71, 20-33.
52. Siebeneck, L., Arlikatti, S., & Andrew, S. A. (2015). Using provincial baseline

- indicators to model geographic variations of disaster resilience in Thailand. *Natural Hazards*, 79(2), 955-975.
53. van de Ven, G. P. (2004). *Man-made lowlands: history of water management and land reclamation in the Netherlands*, 4th ed., Matrijs, Utrecht, Netherlands.
 54. Verschuur, J., Kolen, B., & van Veelen, P. C. (2017). *Flood Delta City Index: Drivers to Support Adaptation of Cities*.
 55. Wang, X. L., Feng, Y., & Swail, V. R. (2012). North Atlantic wave height trends as reconstructed from the 20th century reanalysis. *Geophysical Research Letters*, 39(18).
 56. Wang, H.V., Loftis, J.D., Liu, Z., Forrest, D., Zhang, J., 2014. The storm surge and sub-grid inundation modeling in New York City during hurricane Sandy. *Journal of Marine Science and Engineering*, (1), 226–246.
 57. Wood, A.-W., E.-P. Maurer, A. Kumar, and D.-P. Lettenmaier, 2002: Long-range experiment hydrologic forecasting for the Eastern United States. *Journal of Geophysical Research*, 107, ACL 6-1 – 6-15.
 58. Wood, A.-W., L.R. Leung, V. Sridhar, and D.-P. Lettenmaier, 2004: Hydrologic implications of dynamical and statistical approaches to downscaling climate model outputs. *Climatic Change*, 62, 189-216.
 59. Zevenbergen, C., Rijke, J. S., Van Herk, S., Ludy, J., & Ashley, R. (2013). Room for the River: International relevance. *Water Governance*, 3 (2), 2013.
 60. Zhang, Y.J., Witter, R.C., Priest, G.R., 2011. Tsunami-tide interaction in 1964 Prince William Sound tsunami. *Ocean Modelling*, 40(3–4), 246–259.
 61. Zhang, Y., Ye, F., Stanev, E.V., Grashorn, S., 2016. Seamless cross-scale modeling with SCHISM, *Ocean Modelling*, 102, 64-81.
 62. 榎木亨，1982，漂沙と海岸侵蝕。
 63. 郭金棟，1995，〈海岸工程〉，中國土木水利工程學會。
 64. 經濟部水利署，2000~2017，水文年報。
 65. 經濟部水利署，2001，台灣重要河川資料冊(修正版)。
 66. 經濟部水利署，2002~2013，經濟部水利署海岸水文氣象年報。
 67. 經濟部水利署，2008，雲林南部沿海地區綜合治水規劃報告。
 68. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2009，雲林北部沿海地區綜合治水規劃
 69. 經濟部水利署，2009，強化台灣西南地區因應氣候變遷海岸災害調適能力研

究計畫。

70. 林李耀等，2010，臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫第一年期末報告(精簡報告)。
71. 林李耀等，2011，臺灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫第二年期末報告。
72. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2014，一般性海堤禦潮功能檢討。
73. 內政部，2015，海岸管理法。
74. 交通部運輸研究所港灣技術研究中心，2016，臺灣海域未來平均海平面升降變動率之推估。
75. 海岸防護計畫規劃參考手冊(草案)，2016，經濟部水利署水利規劃試驗所。
76. 內政部，2017，整體海岸管理計畫核定版。
77. 經濟部水利署，2017，氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(1/2)。
78. 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。
79. 經濟部水利署水利規劃試驗所，2017，海岸防護整合規劃及海岸防護計畫擬訂計畫參考手冊。
80. 經濟部水利署第五河川局，2018，雲林海岸防護整合規劃。
81. 經濟部水利署第五河川局，2018，嘉義海岸防護整合規劃。
82. 經濟部水利署，2018，氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究(2/2)。
83. 經濟部水利署，2018，107年0823熱帶低氣壓豪雨淹水檢討報告。
84. 經濟部水利署第四河川局，2018，彰化海岸防護整合規劃。
85. 經濟部工業局，2019，雲林離島式基礎工業區整體開發規劃委託技術服務。

附錄一 海象統計降尺度模式及方法

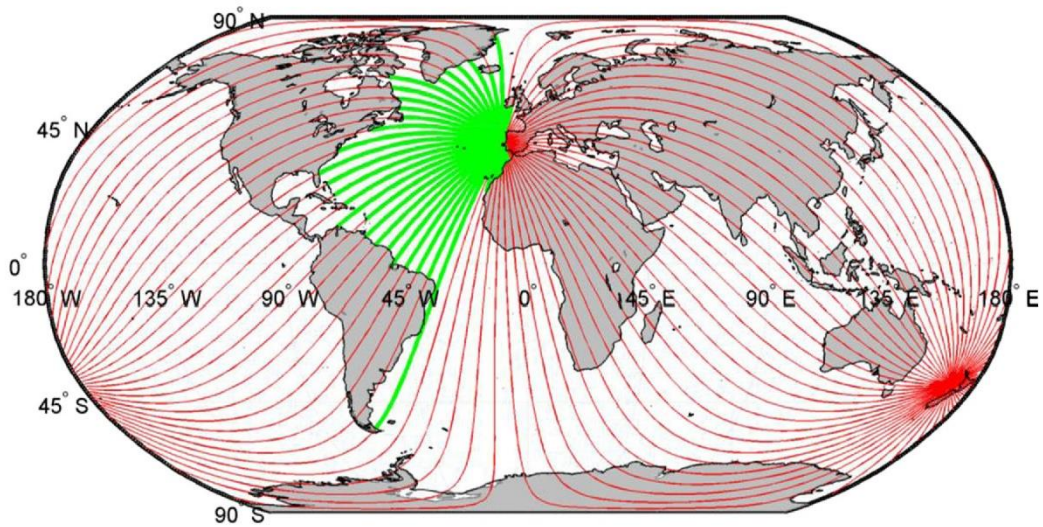
政府間氣候變遷專門委員會(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)為負責研究近年來人為造成的氣候變遷之單位，其每隔一段時間(5~6年)會發表全球氣候變評估報告，目前已至第五次評估報告(the fifth assessment report, AR5)，為各國之間在面對未來氣候變遷的影響之下推動政策的重要依據。其中AR5提供各國團隊透過全球氣候模式(GCM)所得到在假設未來條件下之大氣資料，作為模擬預測未來氣候變遷之影響重要的情境來源，但由於其空間解析度不佳，若經由動力模式進行降尺度需要大量高解析度資料作為邊界輸入，造成GCM資料未能達到預期空間降尺度之效果，再加上計算成本高執行不易，因此有統計降尺度作為替代方法。相較於前述之缺點，統計降尺度定義預測因子(predictor)與預測值(predictand)，為了避免真實觀測資料受儀器所造的資料缺陷，因此以歷史再分析資料(historical reanalysis data)當作半真實(quasi-real)資料並作為模型之輸入。在空間解析度方面，預測因子不須以高解析度資料作為輸入，因此補足GCM資料空間解析度不足的問題亦提升計算效率，並可從GCM提供未來的資訊進行統計模型之預測；在降尺度方面，統計降尺度之原理先以空間低解析度之預測因子與高解析度之預測值作為基底建立統計關係，再由不同來源的預測因子求解預測值，已達到空間降尺度的目的。本研究詳細之做法與流程由以下小節作為說明。

➤ ESTELA

ESTELA(a method for Evaluating the Source and Travel time if the wave Energy reaching a Local Area)為Perez等人在2014年提出之方法，對於波浪模擬之空間計算域與湧浪來源進行探討。波浪氣候在局部尺度(local scale)下，對於離岸及海岸工程具有極大的重要性，由於海洋波浪的組成包括局部生成之風浪以及由遠域暴風形成之湧浪，若在特定區域只考慮局部的波浪條件進行模擬，不足以描述其區域之波浪行為，必須在考慮湧浪的來源所產生的高能量對於特定區域的影響。因此本方法之目的為模擬湧浪之生成與其能量經過傳遞於選定之目標點(target point)，其能量在空間上之分佈，進而定義統計降尺度之海平面壓力(sea level pressure)資料之空間範圍。

在方法架構上，首先定義空間計算範圍，選定目標點與其穿過地球球心之另一端點，以固定間格沿著方位角(azimuth)繪製大圓弧(great circle)，使得海陸交界區域與大圓弧相交，其交點依序連線所涵蓋的空間區域視為計算域如附圖1-1所示。接著重建頻譜並透過Gerling(1992)與Hanson(2001)分別提出頻譜分區(spectral partitioning)的概念與方法，其用於二維波譜定義副峰值(sub-peaks)區分湧浪與風浪，經由JONSWAP各別計算湧浪與風浪之頻譜後進行加總。此方法由峰值週期(T_p)、波浪能量方向分佈(D)、方向散度(σ)計算，重建之方向頻譜(frequency-directional spectrum)由下式表示：

$$E(f, \theta) = \sum_{i=0}^n \rho g S_i(f) D_i(\theta) \quad (\text{附1-1})$$



附圖1-1 ESTELA方法之計算邊界，紅線部分為忽略的區域，綠線由目標點繪至海陸交界之交點，其所覆蓋之範圍則視為空間計算域。
(圖片來源：Perez(2014))

其中 ρ 為水密度、 n 為湧浪分區數目， $S_i(f)$ 為一維JONSWAP波譜如下式表示：

$$S(f) = \beta g^2 (2\pi)^{-4} f^{-5} \exp\left[-\frac{5}{4} \left(\frac{f}{f_p}\right)^{-4}\right] \gamma \exp\left[-\frac{1}{2} \left(\frac{f/f_p}{\sigma}\right)^2\right], \quad (\text{附1-2})$$

$$\beta = 0.033 \left(\frac{2\pi f_p U_{10}}{g}\right)^{2/3}$$

其中 β 為能量尺度參數(energy scale parameter)， f_p 為峰值頻率， γ 為形

狀參數，本研究以3.3做計算。 U_{10} 為海面上10公尺的風速。 $D_i(\theta)$ 為方向分佈以 \cos 形式表示：

$$D(\theta) = A_2 \cos^{2s} \left(\frac{\theta - \alpha}{2} \right) \quad \text{for } -180^\circ < \theta - \alpha < 180^\circ \quad (\text{附1-3})$$

其中 α 為源點(source point)指向目標點之方向角，參數 A_2 與 s 控制其分佈寬度表示為：

$$s = \frac{2}{\sigma^2} - 1, \quad \sigma = \sqrt{\int_{-\pi}^{+\pi} \left[2 \sin\left(\frac{1}{2}\theta\right) \right]^2 D(\theta) d\theta} \quad (\text{附1-4})$$

$$A_2 = \Gamma(s+1) / \left[\Gamma\left(s + \frac{1}{2}\right) 2\sqrt{\pi} \right], \quad \Gamma(x) = \int_0^\infty e^{-t} t^{x-1} dt \quad (\text{附1-5})$$

經過方向頻譜的重建後，需評估空間域中的有效能量通率並表示為：

$$F_{(r,\alpha,t)} = \int_0^\infty E_{(f;r,\alpha,t)} e^{-\mu r} c_g df, \quad \mu = 2 \frac{\rho_a}{\rho_w g c_g} \left(\frac{2\pi}{T} \right)^{5/2} \sqrt{2\nu_a} \quad (\text{附1-6})$$

其中 r 為源點與目標點間之距離、 μ 為經由黏性消散作用的空間衰減率、 $\rho_a / \rho_w = 0.0013$ 為空氣與水之間的比值、 $\nu_a = 1.4 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 為空氣之黏性係數。在(2-5)式中，定義能量通率由源點沿著大圓弧軌跡透過群波 c_g 傳遞至目標點，由於資料的解析度在實際空間上仍為粗糙，計算點之間距離過大，因此在計算須考慮傳遞過程中受到黏性影響造成的消散作用。最後以加權平均的方式計算能量傳遞至目標點的時間如下式表示：

$$\tau_{(r,\alpha,t)} = r \frac{\int_0^\infty E_{(f;r,\alpha,t)} e^{-\mu r} df}{F_{(r,\alpha,t)}} \quad (\text{附1-7})$$

其中 r 為源點與目標點間之距離、 $\frac{\int_0^\infty E_{(f;r,\alpha,t)} e^{-\mu r} df}{F_{(r,\alpha,t)}}$ 此項為平均群波速度 c_g 之倒數。

➤ 主成分分析

主成分分析(principal component analysis, PCA)在多變量統計分析中已被廣泛使用，其用於大量的變數資料透過線性轉換的方式，使得新變數之間不具相關性並且數量少於原始資料的情況之下，能保有最多的原始資訊，以達到降低維度、壓縮資料的效果。

若有一資料利用矩陣或向量形式表示多變數函數，則令一矩陣 \mathbf{X} 具有 m 個變數，且每個變數有 N 個觀測值隨時間函數變化，其表示為：

$$\mathbf{X} = \begin{bmatrix} x_1(t_1) & x_1(t_2) & \cdots & x_1(t_N) \\ x_2(t_1) & x_2(t_2) & \cdots & x_2(t_N) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_m(t_1) & x_m(t_2) & \cdots & x_m(t_N) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_m \end{bmatrix} \quad (\text{附1-8})$$

而透過線性轉換(linear transformation)的方式，對矩陣 \mathbf{X} 作處理則令轉換過後之矩陣為 \mathbf{Y} 其表示為：

$$\mathbf{Y} = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_m(t) \end{bmatrix} = \mathbf{C}^T \mathbf{X} \quad (\text{附1-9})$$

其中矩陣 \mathbf{C} 為係數矩陣。若矩陣 \mathbf{X} 變數間的關係以共變異數(covariance)表示：

$$\text{Cov}(x_i, x_j) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N (x_i(t_k) - \bar{x}_i)(x_j(t_k) - \bar{x}_j) \quad (\text{附1-10})$$

上式為共變異數矩陣，將矩陣 \mathbf{X} 代入其中則表示為：

$$\text{Cov}(\mathbf{X}) = \begin{bmatrix} E[(x_1 - \bar{x}_1)(x_1 - \bar{x}_1)^T] & E[(x_1 - \bar{x}_1)(x_2 - \bar{x}_2)^T] & \cdots & E[(x_1 - \bar{x}_1)(x_m - \bar{x}_m)^T] \\ E[(x_2 - \bar{x}_2)(x_1 - \bar{x}_1)^T] & E[(x_2 - \bar{x}_2)(x_2 - \bar{x}_2)^T] & \cdots & E[(x_2 - \bar{x}_2)(x_m - \bar{x}_m)^T] \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ E[(x_m - \bar{x}_m)(x_1 - \bar{x}_1)^T] & E[(x_m - \bar{x}_m)(x_2 - \bar{x}_2)^T] & \cdots & E[(x_m - \bar{x}_m)(x_m - \bar{x}_m)^T] \end{bmatrix} \quad (\text{附1-11})$$

其中上式矩陣為對稱矩陣，在對角項(diagonal term)部分為變異數其表示

\mathbf{X} 變數本身的變異程度；在非對角項部分表示 \mathbf{X} 變數間的變異程度，若值越大則代表兩變數間的相關性越大。而PCA之目的為經由線性組合求得的新函數 \mathbf{Y} ，其變數間不具相關性，若以共變異數矩陣表示：

$$Cov(\mathbf{Y}) = \begin{bmatrix} E[(y_1 - \bar{y}_1)(y_1 - \bar{y}_1)^T] & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & E[(y_2 - \bar{y}_2)(y_2 - \bar{y}_2)^T] & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & \cdots & E[(y_m - \bar{y}_m)(y_m - \bar{y}_m)^T] \end{bmatrix} \quad (\text{附1-12})$$

也就是預期成果在非對角項的部分為零，對角項部分再進一步推導，假設函數 \mathbf{X} 以經過零平均(zero-mean)處理：

$$\begin{aligned} Cov(\mathbf{Y}) &= \frac{1}{N} (\mathbf{C}^T \mathbf{X})(\mathbf{C}^T \mathbf{X})^T \\ &= \frac{1}{N} \mathbf{C}^T \mathbf{X} \mathbf{X}^T \mathbf{C} \\ &= \mathbf{C}^T \left(\frac{1}{N} \mathbf{X} \mathbf{X}^T \right) \mathbf{C} \\ &= \mathbf{C}^T Cov(\mathbf{X}) \mathbf{C} \end{aligned} \quad (\text{附1-13})$$

$Cov(\mathbf{Y})$ 為對角方陣、 $Cov(\mathbf{X})$ 為對稱方陣，由上式結果可以發現其型式即為正交對角化的過程，因此係數矩陣 \mathbf{C} 可以藉由 \mathbf{X} 的特徵向量求得且由正交特性得知其為單位矩陣，而特徵值即為 \mathbf{Y} 矩陣中每一變數的變異數，並從大小依序排列進行累加至占每一變異數總合的95%而其中包含 n 個變異數且 $n < m$ ，此時將相對應的特徵向量以新的係數矩陣 \mathbf{C}' ，使得 \mathbf{Y} 矩陣的變數縮減則以 \mathbf{Y}' 表示，整體如下式表示：

$$\mathbf{Y}' = \begin{bmatrix} y_1(t) \\ y_2(t) \\ \vdots \\ y_n(t) \end{bmatrix} = (\mathbf{C}')^T \mathbf{X} \quad (\text{附1-14})$$

➤ K-Means 集群分析法

集群分析(cluster analysis)為將資料中多個變數以及其觀測值，經由彼此

間的相似程度(the degree of similarity)進行分類，形成獨立的組別並依循操作者之研究目的決定分類各數。在本研究中使用的方法為K-Means集群分析法，若有一資料有m個變數，且每一變數具有N個觀測值，如同前述之2-8式表示，在方法程序上，首先由原始資料($\mathbf{X} = \{x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}\}, i = 1, 2, \dots, N$)中選定K個初始的集群中心(centroid)： $v = \{v_{1k}^0, v_{2k}^0, \dots, v_{Kk}^0\}, k = 1, 2, \dots, m$ 。其中以歐幾里德距離(Euclidean distance)作為相似程度的指標(Hastie, 2001)，其表示為：

$$d(x_i, v_j) = \sum_{k=1}^m (x_{ik} - v_{jk})^2 = \|x_i - v_j\|^2 \quad (\text{附1-15})$$

透過歐幾里德距離計算觀測值與集群中心間的相似程度，將與各個中心距離最近的分成同一類之後，再把各個集群內的觀測值加以平均，重新獲得K個集群中心 $v = \{v_1, v_2, \dots, v_K\}$ ，依循相同步驟進行疊代，直到集群中心不再改變為止。集群中心的疊代過程以下式表示：

$$v_j^{r+1} = \sum_{x_i \in C_j} \frac{x_i}{n_j} \quad (\text{附1-16})$$

其中 v_j^r 表示在第 r 次為疊代之第 j 個集群， C_j 表示 \mathbf{x} 附屬於第 j 個集群資料， n_j 為第 j 個集群資料之觀測值數目。

附錄二 第三代頻譜風浪模式

The WAMDI Group (1988) 的研究顯示，只要輸入足夠精確的海面風場，第三代頻譜風浪模式就具備有預測風浪之能力；而相位平均 (phase-averaged) 的頻譜風浪模式能有效率地應用於實際海況追報 (Komen et al., 1994)。因此，本研究計畫擬採用最新的非結構網格、第三代頻譜風浪模式 WWM-III (Wind Wave Model III, Roland et al., 2012) 模擬颱風風浪。WWM-III 已被使用在臺灣近海的長期浪高追報並，用以分析平均風浪能量最高之海域 (Su et al., 2018 ; Shih et al., 2018) ; Chen et al., (2017) 則使用 WWM-III 的前一版本 WWM-II，討論颱風風浪波揚(set-up) 對暴潮位模擬之影響。WWM-III 模式於卡式坐標下之控制方程式表示如下：

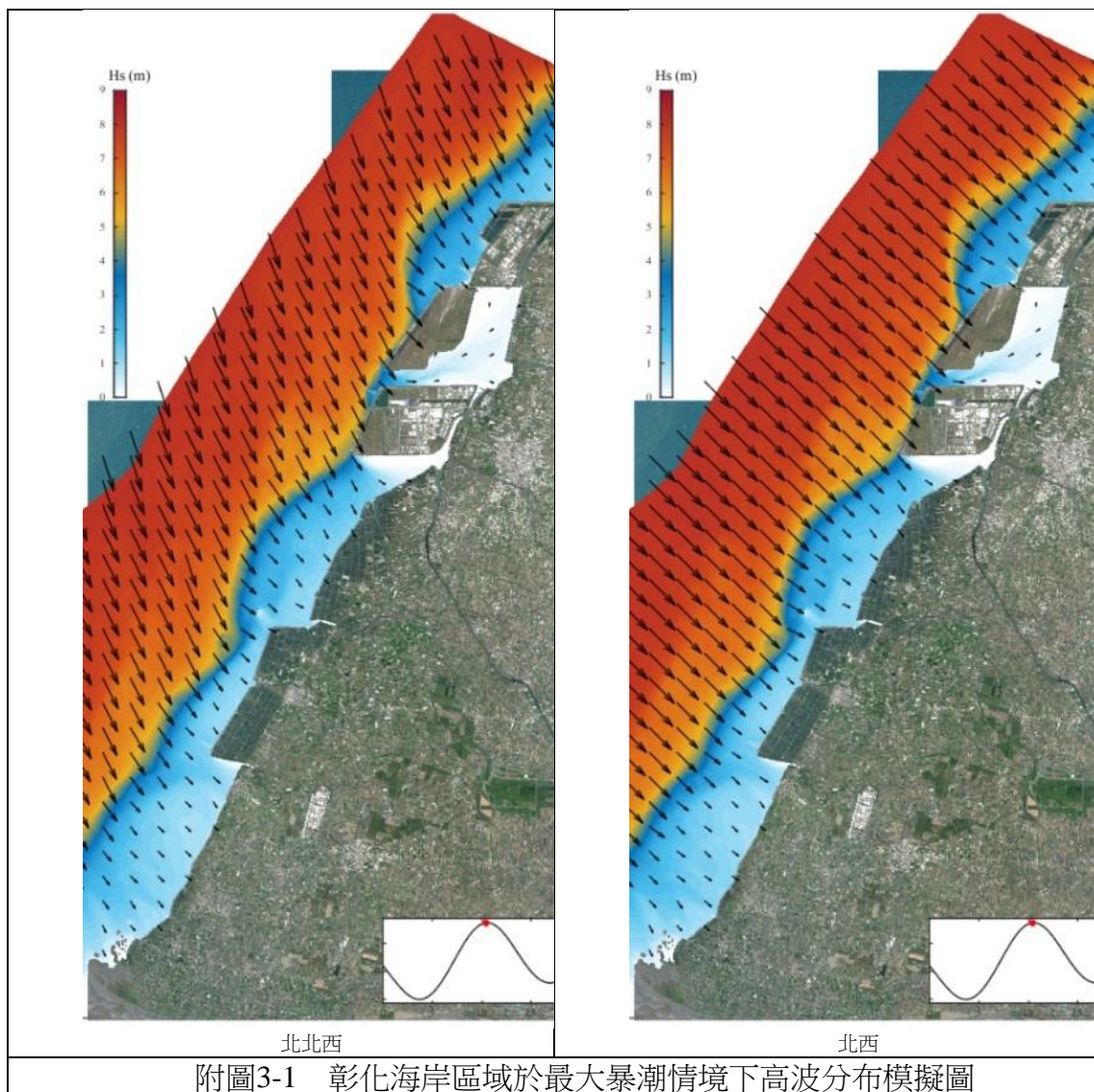
$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial(C_{gx} + u)N}{\partial x} + \frac{\partial(C_{gy} + v)N}{\partial y} + \frac{\partial(C_{\sigma}N)}{\partial \sigma} + \frac{\partial(C_{\theta}N)}{\partial \theta} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (\text{附2-1})$$

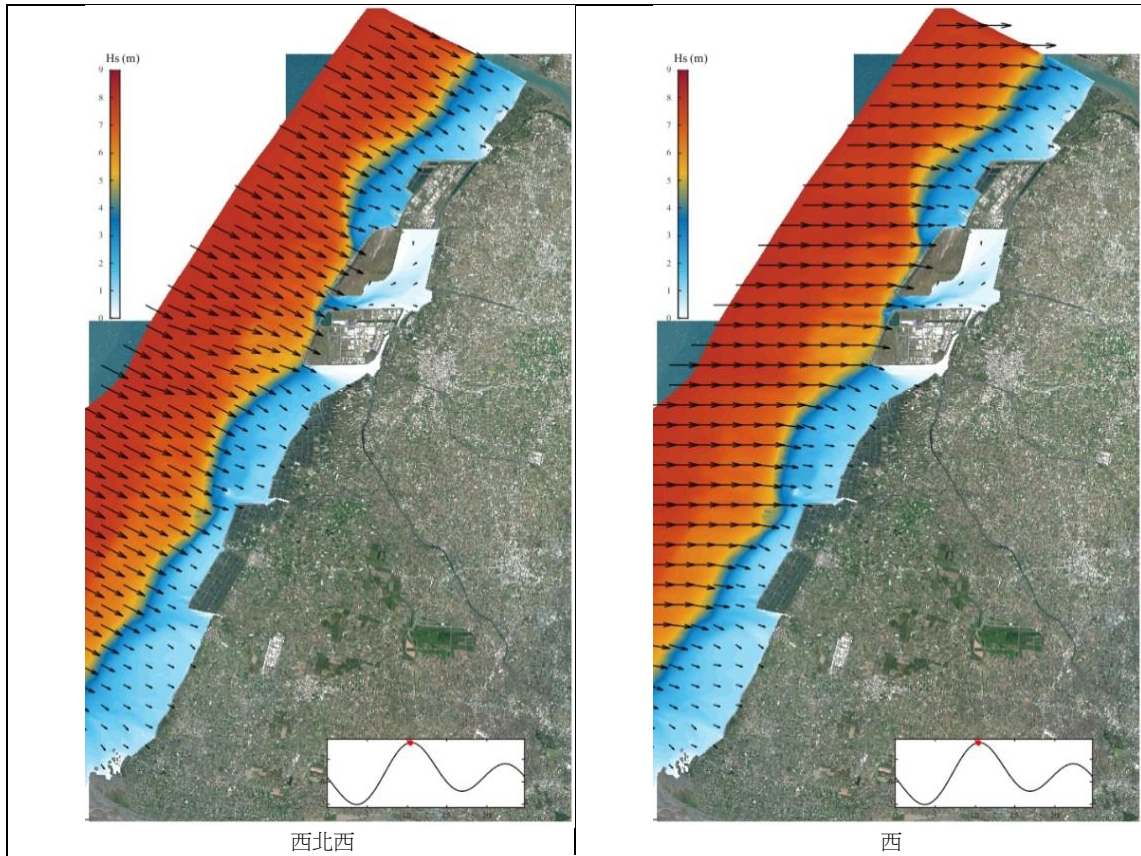
其中， N 為波作用密度頻譜； C_{gx} 與 C_{gy} 為波群速在 x, y 方向之分量； u 與 v 為流速在 x, y 方向之分量； σ 為波相對角頻率； θ 為波向； C_{σ} 與 C_{θ} 為 σ, θ 空間之傳播速度； S_{tot} 為波變異源項之總和。WWM-III 的最小波向為 0° ，最大波向為 360° ，分成 36 個 bin；離散波週期之最高與最低頻率限制分別為 0.03 Hz 及 1.0 Hz，同樣分為 36 個 bin；參考 JONSWAP (JOint North Sea WAve Project, Hasselmann et al., 1973) 底部摩擦係數設為 0.067；淺水區域之碎波計算使用 (Battjes and Janssen, 1978) 所提出之方法，碎波係數設定為 0.78；波-波交互作用之非線性項以 Hasselmann et al. (1985) 提出之離散交互近似 (Discrete Interaction Approximation, DIA) 加以處理。SCHISM-2D 模式將風速、深度平均流速與水面高程傳遞至風浪模式；而 WWM-III 模式則將輻射應力傳遞二維海岸水動力模式。SCHISM-WWM-III 天文潮-暴潮-風浪全耦合過程之詳細數值方法請參考 Roland et al. (2012)。

附錄三 不同波向之波高分布

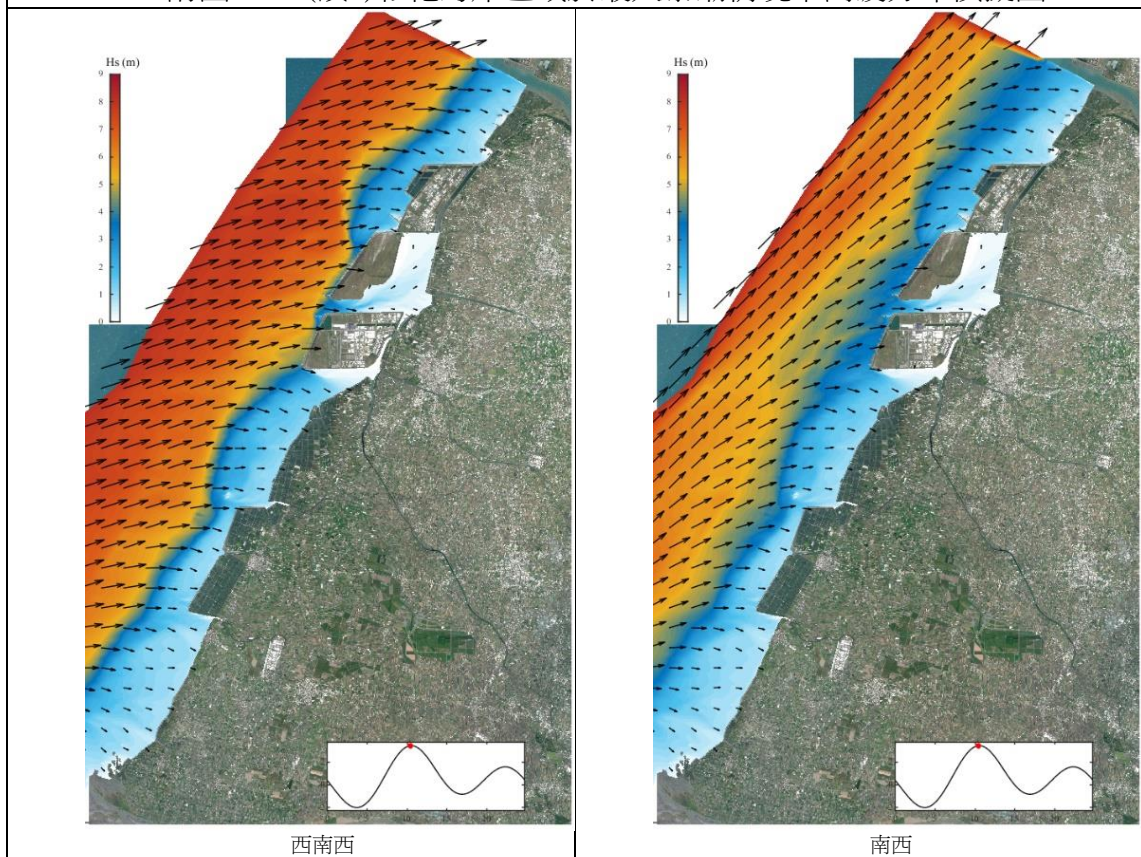
以下為彰化、雲林及嘉義海岸區域於不同波向情境之波高分布模擬結果，附圖3-1至附圖3-3分別為彰化區域、雲林區域及嘉義區域。各區域均分析七組波向，分別為北北西、北西、西北西、西、西南西、南西及南南西，且均為最大暴潮情境下之波高分布結果。

➤ 彰化區域

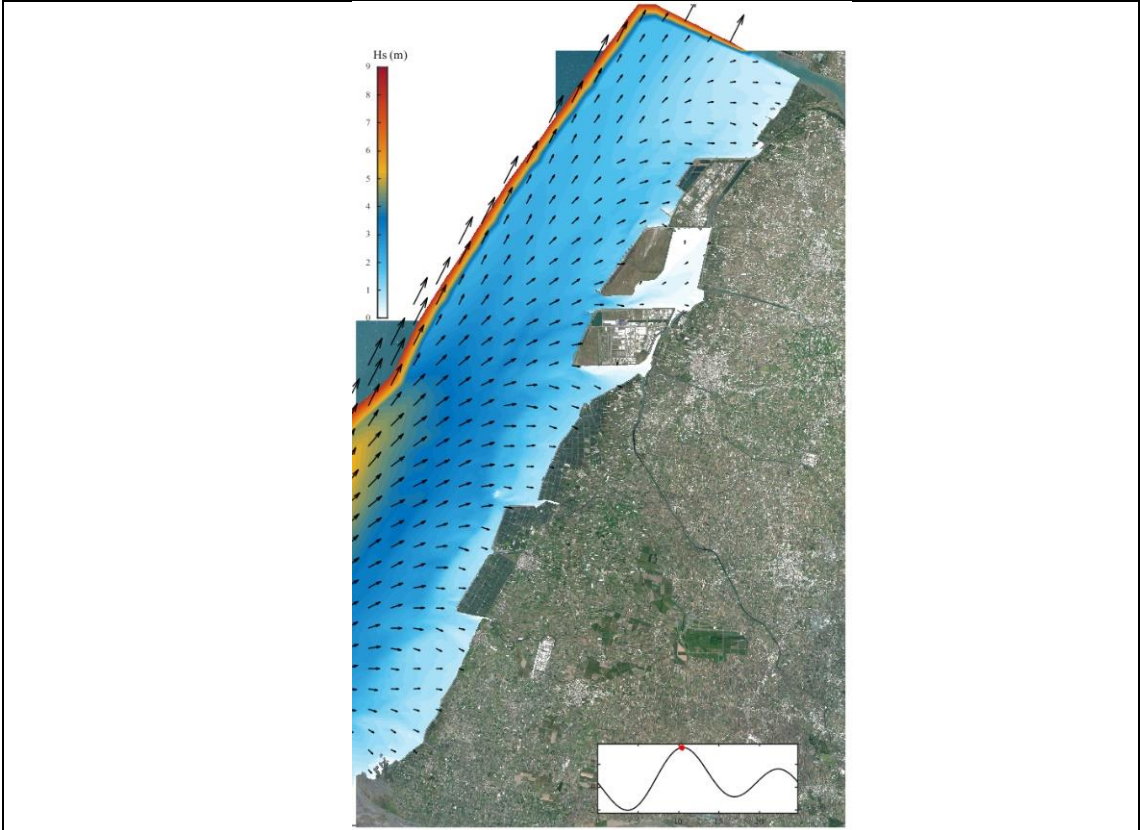




附圖3-1 (續1)彰化海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖



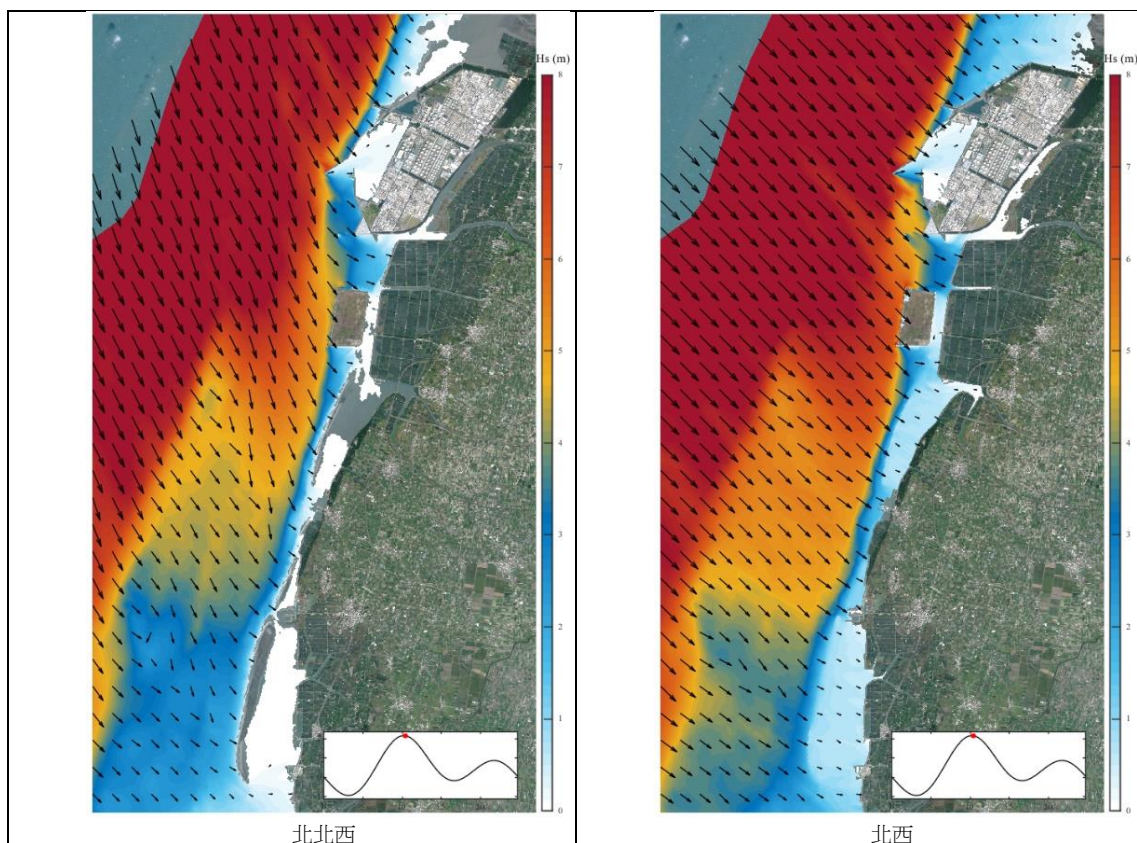
附圖3-1 (續2)彰化海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖



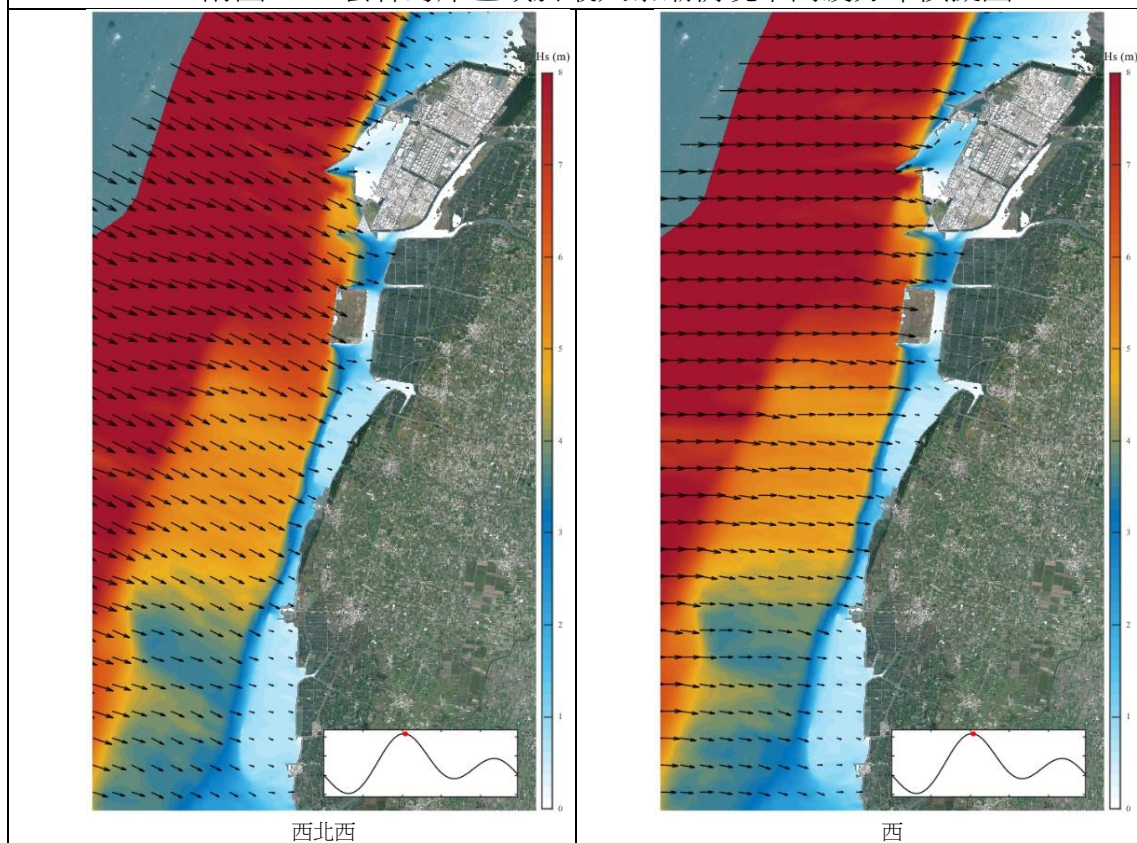
南南西

附圖3-1 (續3)彰化海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖

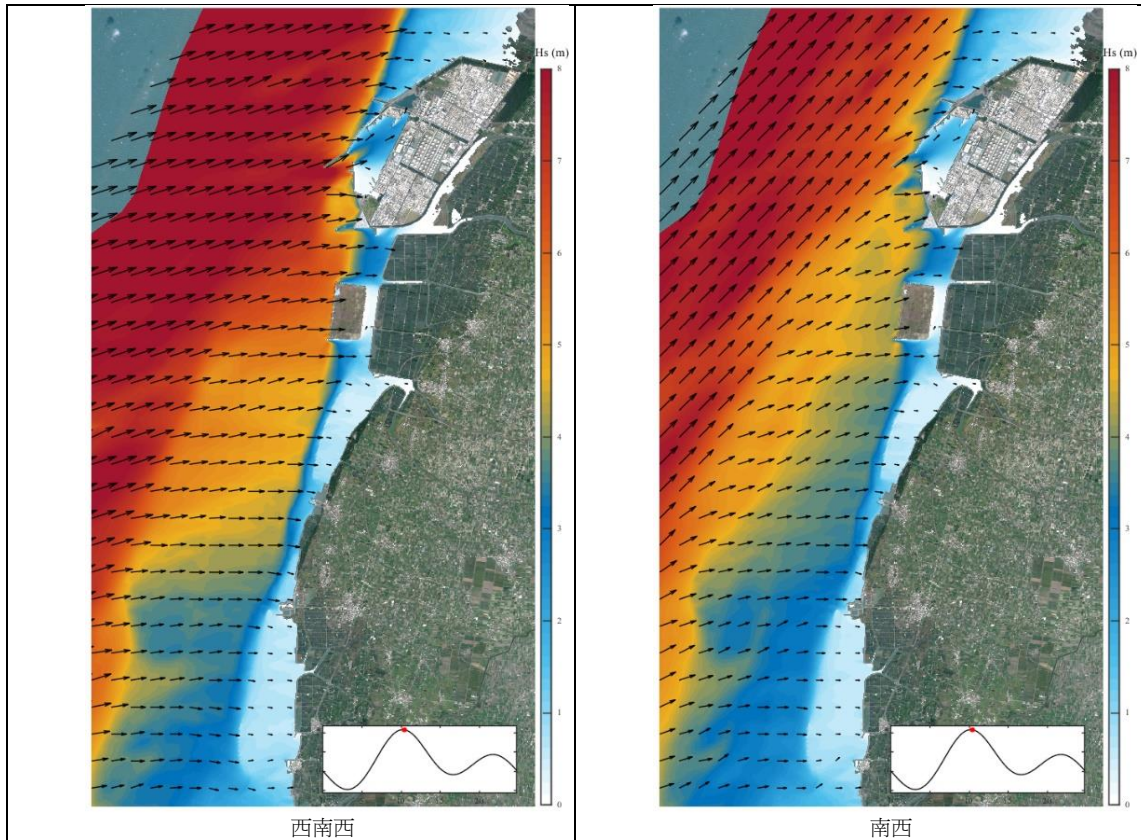
➤ 雲林區域



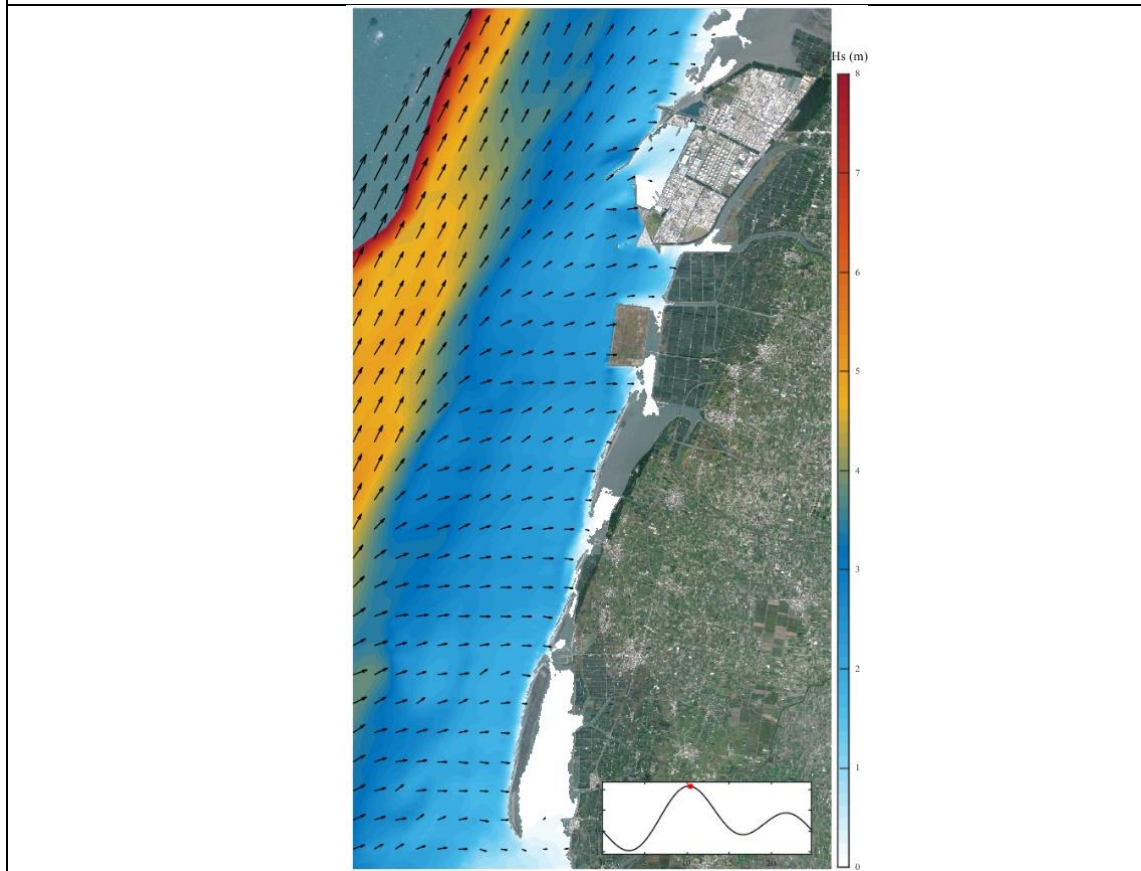
附圖3-2 雲林海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖



附圖3-2 (續1)雲林海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖

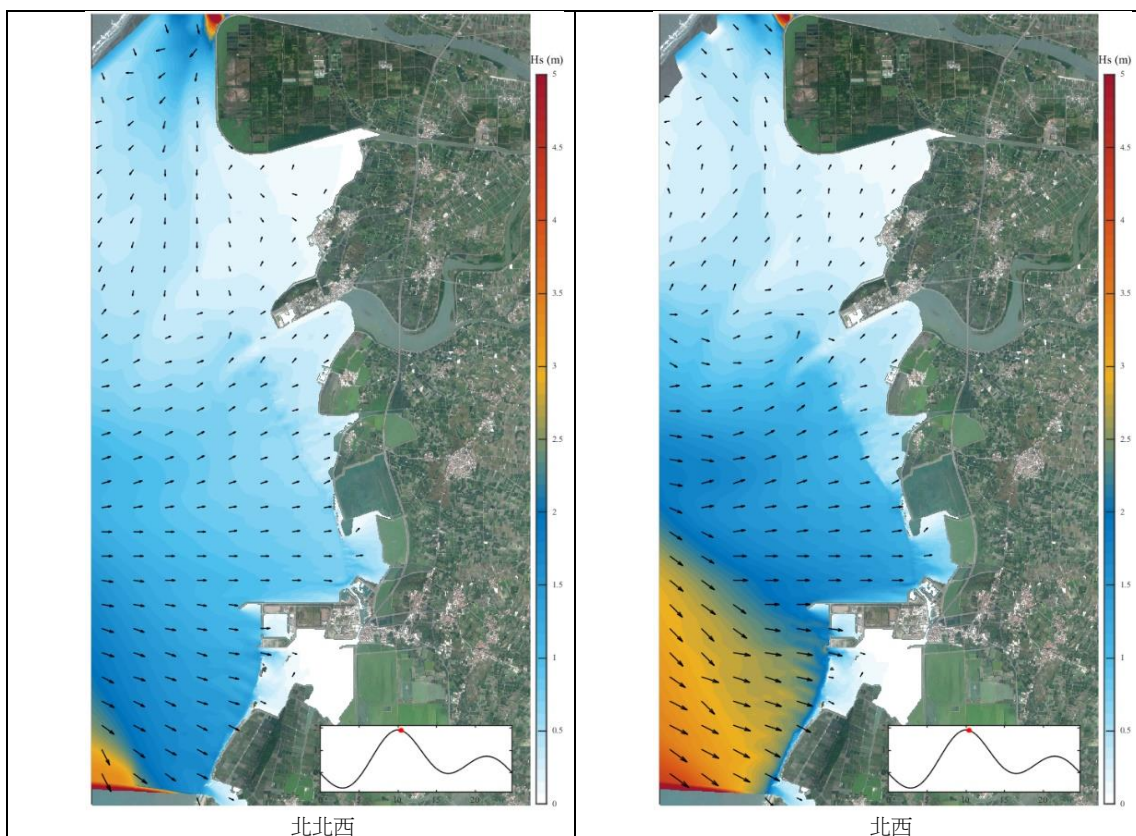


附圖3-2 (續2)雲林海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖

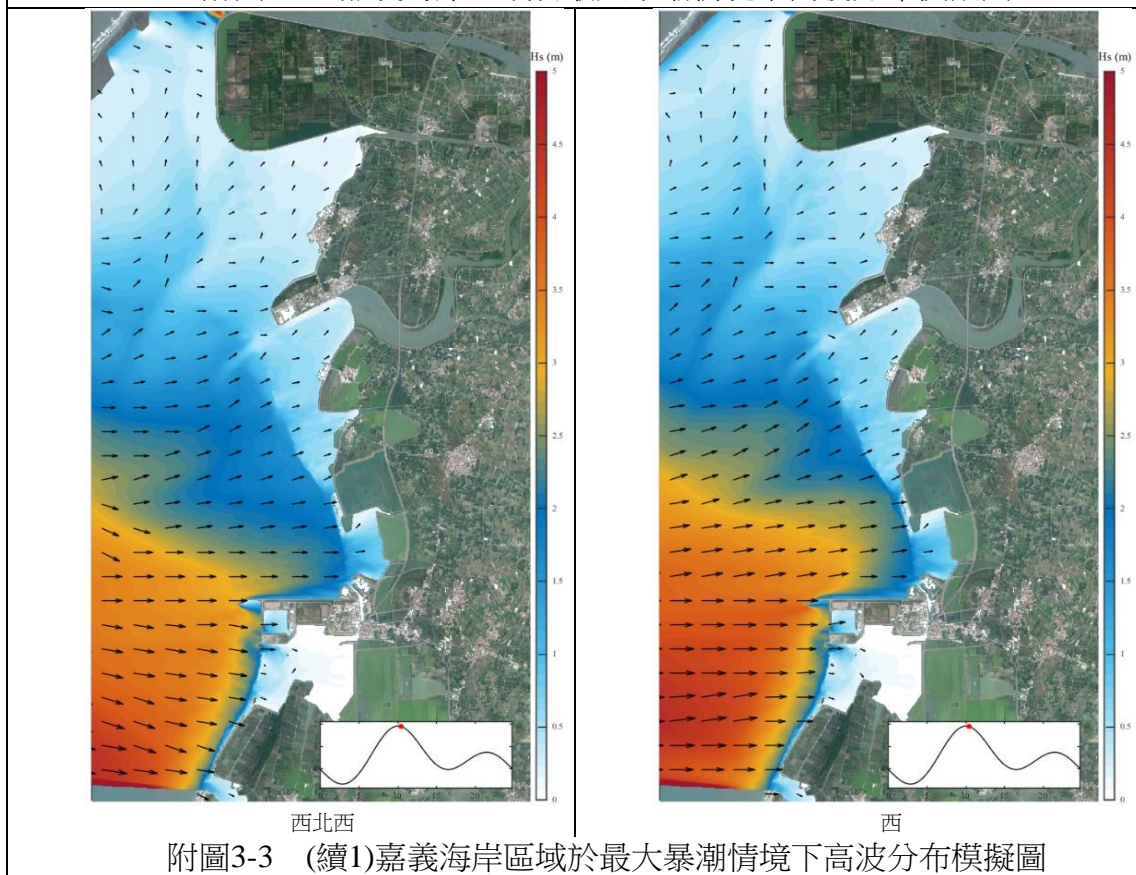


附圖3-2 (續3)雲林海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖

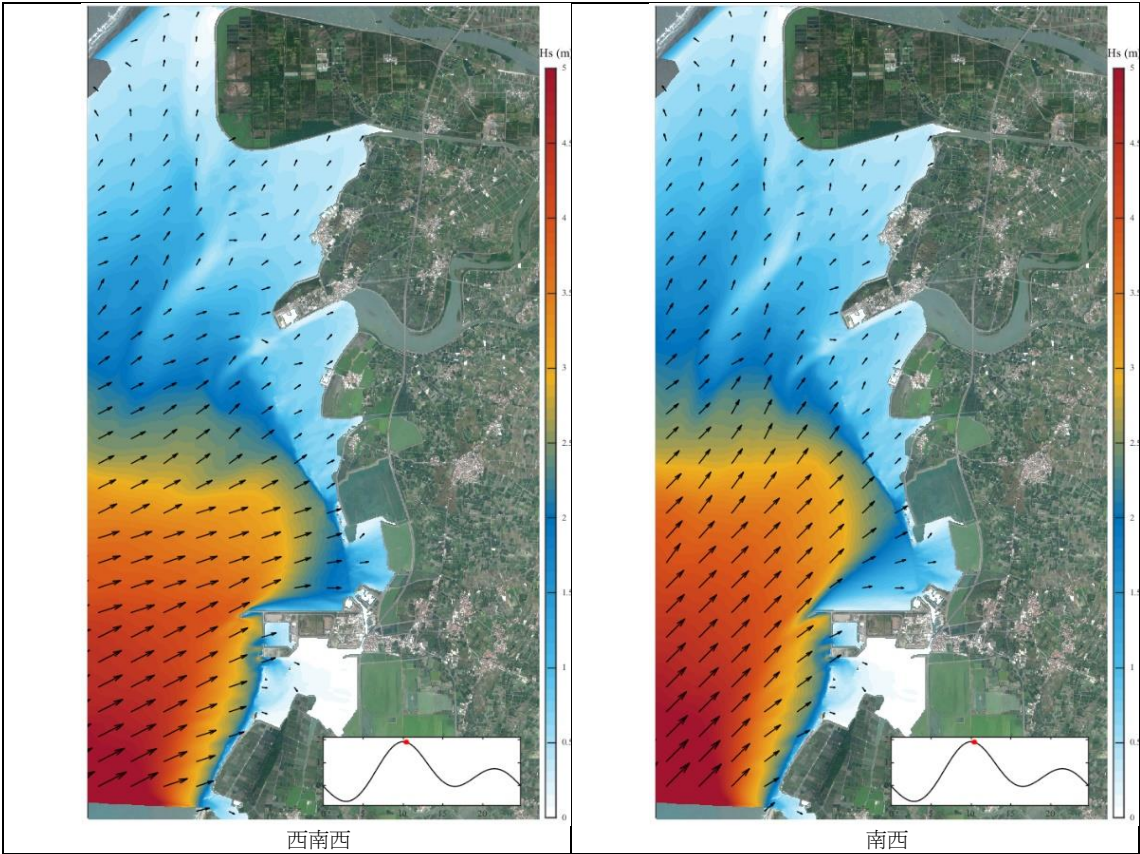
➤ 嘉義區域



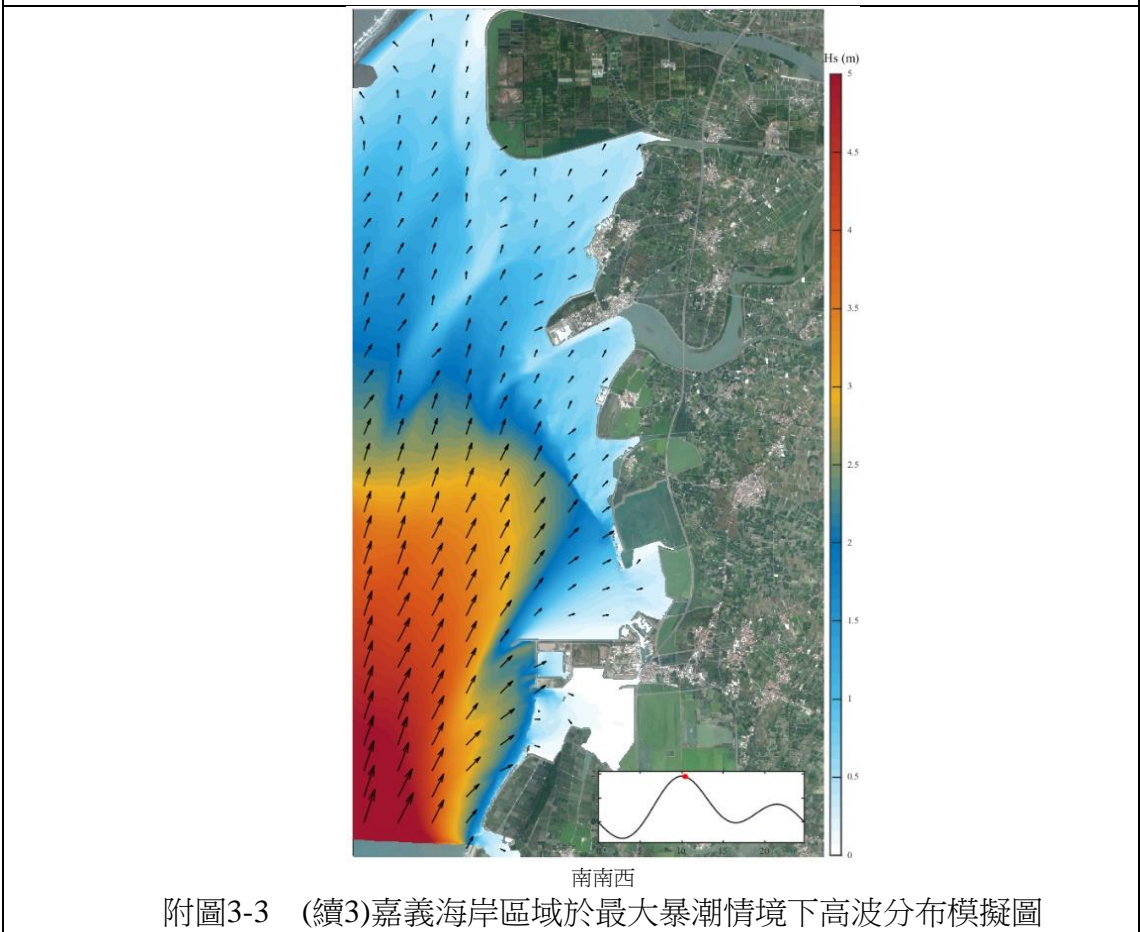
附圖3-3 嘉義海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖



附圖3-3 (續1)嘉義海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖



附圖3-3 (續2)嘉義海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖



附圖3-3 (續3)嘉義海岸區域於最大暴潮情境下高波分布模擬圖

附錄四 「因應氣候變遷之海岸風險評估(1/2)」 委託服務計畫期中審查意見及處理情形

(108.07.11)

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
滕委員春慈			
1. 計畫工作項目依照原定內容執行，成果豐碩。	感謝委員肯定。	--	--
2. 有關氣候變遷情境分析中，建議標示使用資料時間解析度如時資料、日平均、月平均等，以增加易讀性。	感謝委員意見，遵照辦理。	--	--
3. 統計降尺度分析氣候變遷海象情境，是否會低估劇烈天氣氣候變遷之情境？低估波浪、暴潮之情境模擬？	感謝委員意見。 本計畫為完整考量海象氣候變遷情境條件，故參酌國外文獻，建置國內統計降尺度技術與流程，目前分析結果統計降尺度氣候變遷增量分析成果，大都較本團隊透過數值模擬分析GCM資料方式所得成果低估，因此本計畫於海象氣候變遷增量方面均採用數值分析方式之成果來做為情境條件。然，統計降尺度若做為氣候變遷之季風條件，仍據其代表性，未來應該做為地形變遷影響分析之依據。	--	--
4. 圖4-1-10(12)、圖4-1-11(13)中所顯示的主要波浪影響大小，與臺灣附近天候型態主要影響之認知是否一致？有無互斥之處？	感謝委員意見。 目前台灣波浪觀測結果顯示，台灣海峽湧浪成分較小，台灣東岸湧浪成分較大，其氣候型臺與台灣當前認知一致。	第四章	p.4-15
5. 圖4-1-15冬季浪大、夏季浪小之氣候特徵有良好掌握，但劇烈天氣下是否仍有良好掌握？是否需要驗證？	感謝委員意見。 就目前統計降尺度計算方式而言，其以月份及季節性氣候掌握較佳，但是劇烈天氣資料將會被平均化，導致資訊將消失。	第四章	--
蕭委員松山			
1. 計畫各項工作進度應已達計畫要求，尤其肯定國內外相關案例資料蒐集、分析相當完整；惟文書編輯及用字等建議加強校對(如附勘誤)，所採用英文圖表說明或可提供中譯以方便參閱。	感謝委員指正。 報告勘誤部分，已依據委員提供資料進行期末報告內容修改。	--	--
2. 「2.1海岸韌性定義說明」主要為韌性防災之基本概念敘述，建議對所引用NOAA「海岸韌性」定義再詳加闡述，並以臺灣海岸為例說明之。	感謝委員意見。 依據期中審查水利署意見，已將本報告第二章以專題方式撰寫，內容亦列於期末報告第二章節。確實如委員所說「圖2-1-1 韌性防災基本架構圖」僅為韌性防災之基本概念敘述，概因希望以韌性防災廣域角度切入，再針對「海岸韌性」進行論述，進而已案例方式進行海岸韌性提升之方式作說明，最後則會引入國內海岸評估內容進行在地化建議。	第2-5節	p.2-36

審查意見		處理情形	期末報告書對應情形	
陳委員冠宇			章節/圖/表	頁次
1.	P.2-8 Urenui之韌性包含海堤建設，建議說明。	感謝委員意見。 烏雷努伊海岸地區的改善對策擬訂，應有三種改善方式，分別為造海堤、離岸潛堤及人工養灘，為最後政府考量經費與工期後，先以現地石材建構海堤，以做為短期間保護沿岸居民或建物之方法。而就韌性提升而言，加強海岸防護工法亦為提升韌性的一環，相關論述已補充於期末報告。	第二章	p.2-8
2.	表3-2-2潮位基準建議說明。	感謝委員意見。潮位基準已補充於報告中。	第三章	p.3-8
3.	P.3-33”整理如下” 是否為打字錯誤?	感謝委員指正。文字疏漏已更新於報告中。	第三章	p.3-26
4.	圖3-3-5 88風災?是否應改為”水災”?	感謝委員意見。 此事件目前於水利署仍然採用八八風災，因其能夠辨別此事件為颱風事件所引致，故仍沿用。	第三章	p.3-25
5.	P.4-6(圖4-1-3、4) pdf 之波浪與Weibull分布不一致	感謝委員指正。 該系列分析圖資均已修正，並補充於期末報告	第四章 圖4-1-3、4	p.4-5
6.	圖4-1-10~13 三個東海域、一個西海域，請確認。	感謝委員指正。 圖4-1-12圖名為誤植，應修正為西海域。	第四章 圖4-1-12	p.4-16
7.	部份英文縮寫(如AVIS0, PADs)應附全名。	感謝委員意見。 各英文縮寫之全名以補充於期末報告。	第四章 表4-1-11	p.4-24
8.	內文(如(5-17)下3)(5-2-1、5-2-2、5-3-5)引用有錯誤	錯植文字已經修正	第五章 第5-2節	p.5-5
9.	ECMWF之空間解析度請說明。	感謝委員意見。 ECMWF之空間解析度為0.125度，此資料已補充於報告中。	第五章	p.5-16
10.	海象→陸域淹水若高估，該如何?請說明。	感謝委員意見。 就目前海岸暴潮溢淹計算方式，為假設海堤不存在時陸域溢淹情況，此為較極端之條件，也是最大淹水之界線。本年度計算利用海堤存在之情境，重新檢討淹水潛勢，並與歷史事件校對，故應較無高估情形發生。	--	--
張副總工程師國強			章節/圖/表	頁次
1.	於海象模式驗證中，西海岸之波高差異較大，如新竹測站，差異約2公尺，應再詳細檢視其它測站位置，以及說明模擬上所受之影響與限制。	感謝委員意見。 已補充其它西海岸測站驗證結果於報告中(富貴角與七美)，然西海岸測站驗證成果大多呈現模擬值較觀測值略微偏低現象，惟於新竹測站中模擬最大波高僅能與觀測次高值(7.11公尺)接近，與觀測波高最高值仍有差異(10.02公尺)。往昔RVM 風場模式模擬時，會因背景風場與地形之影響，並不能準確的模擬台灣海峽內之風場分布情況，導致在台灣西部之颱風風浪推算準確性偏低(廖建明，2001)。目前參酌Shao et al., 2018研究，引入ECMWF在分析風場，已強化風場受地形效應之合理性。	第五章 5-3節 圖5-3-3	p.5-16

審查意見		處理情形		期末報告書對應情形	
張副總工程司國強				章節/圖/表	頁次
2.	海象條件之統計降尺度後續將持續分析?請再確認。	為顧及氣候變遷情境之完整性,本計畫建置海象統計降尺度模型,並推估各計畫區域海象增量,且與數值模式分析結果進行比較,擇選較嚴重之情境做為本計畫海象情境條件。		第四章 4-3節 表4-3-1	p.4-33
3.	於P.4-21中,所有潮位站之統計結果,均採用港灣研究中心資料,據知這兩年地政司與國土測繪中心,亦有執行許多潮位相關測量及標準海面之研究,建議再參考其成果,研議是否可納入本計畫並做為海岸風險分析之依據?	感謝委員建議,目前資料現顯示,地政司與國土測繪中心所測量之海平面上升結果皆偏小,因為其測量高程變化皆與附近一等水準點比對,但一等水準點的高程也可能發生變化,故還是沿用港研中心利用基隆水準的所分析之結果。		第四章	--
4.	國外三角洲計畫資料蒐集分析須加強分析政策層面、執行層面及現狀之執行進度等,建議可採用類似小專題之方式辦理。	感謝委員意見。 依據委員意見以專題方式撰寫,並列於期末報告內容。		第二章	p.2-1
張副總工程司廣智				章節/圖/表	頁次
1.	今年度國外防災韌性案例資料蒐集,是以「荷蘭」為主要案例對象。然,荷蘭於堤防設置上是採「複合」型式建構,是以內陸不淹水為主要目的;此工法思維與國內採用沿岸「線狀」建置堤防方式有所差異,請成大團隊需注意國外案例工法背景思維與國內防災精神之差異性	感謝委員意見。 本計畫於海岸韌性防災案例資料蒐集上,除針對案例進行蒐集與彙整外,亦會蒐集目前國內於海岸韌性方面有相關之作為,包含管理策略與工法方面,並綜合比較國外案例與國內之差異點,且研提在地化建議。相關內容已補充至期末報告。		第二章	p.2-36
2.	參考國外提升韌性作法需考慮國內法規及海岸適用性,於海岸風險評估應著重海岸流失及氣候變遷對海岸暴潮溢淹之影響。	感謝委員意見。 國內海岸風險評估確與海岸韌性評估有部分關聯性,本計畫已針對此方面進行比較分析,以研提評估層面之在地化建議。此外,本計畫目前是以海岸溢淹為探討主軸,因此會以「氣候變遷情境合理化」與「數值模擬精進化」為基礎,進行較合適的氣候變遷衝擊海岸溢淹之評估。		--	--
3.	成大團隊於此計畫中採用兩種氣候變遷情境,分別為「海象」與「降雨」。雖均為情境條件設定,惟需注意兩種物理情境連結上之合理性,並於期末報告中清楚說明。	感謝委員意見。 誠如委員所提,「海象」與「降雨」兩情境設定之合理性,為評估氣候變遷衝擊之重要基礎。往昔研究於海象情境方面大多無考量天文潮漲退潮之情況,均以單純潮位高度為基準,配合設計波高進行模擬,並搭配各種降雨情境(不同降雨延時或降雨量)進行衝擊評估,惟兩種物理情境連結之合理性較不顯著。目前本計畫透過「潮汐能量法」推估各計畫區域之代表性天文潮型,再輔以海象設計條件,則能夠獲得較合理之漲退潮特性,再配合兩型產生相對應之歷線分布,則可以較合理方式連結兩種情境條件,進行氣候變遷衝擊評估。相關內容已補充至期末報告。		第四章	p.4-1

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
張副總工程師廣智			
4. 海岸韌性定義與作法，建議應參考河川水文之韌性作法做適當調整，並避免發生海岸與河川水文韌性評估差異過大之情形。	感謝委員意見。 目前國外海岸韌性評估資料蒐集方面，是以「荷蘭」為案例，其中韌性評估方面是採用「韌性輪」方式來進行評估。依據案例分析成果可知，韌性輪可依據評估城市之特性，進行評估項目微調(例如：海堤設施或河堤設施)，惟評估準則仍以韌性輪為主。以此方式應可避免發生海岸與河川水文韌性評估差異過大之情形。	第二章	p.2-36
5. 建議成大團隊於海岸防護計畫之規範下，能提出降低氣候變遷衝擊海岸風險之適當方式。	感謝委員意見。 本計畫於海岸韌性案例分析上，會研提在地化建議，進而於第二年度擬擇選示範區進行因應氣候變遷衝擊下，海岸韌性提升之因應對策，藉以深入瞭解國內適當改善方式。	--	--
阮簡任正工程師香蘭			
1. 國外資訊蒐集部分本年度分析荷蘭經驗，無意見。荷蘭因國土多屬低地，因此水利工程發達；惟因幾次大型潮害、水害，其治理策略從對抗轉為還地於河與水共存，並發展漂浮城市。國外資訊蒐集評析，並非擬複製其作法，而是其發展概念可啟發我們發展適合本土發展之作法。如臺灣西南部因地層下陷之故，既易淹又易受暴潮溢淹，如欲治理至不淹水，或工程浩大，且其因易致災，原土地經濟價值低，產業發展受限；如若能將土地利用轉為容許淹水(與水共生)甚或成為長年水域，繼而發展為水生城市、水生產業，可能更具亮點，且可透過跨域治理，由本計畫成為驅動力，並促進新產業及新科技之發展。	感謝委員意見。 本計畫於海岸韌性防災案例資料蒐集上，除針對案例進行蒐集與彙整外，亦會蒐集目前國內於海岸韌性方面有相關之作為，包含管理策略與工法方面，並綜合比較國外案例與國內之差異點，且研提合適之在地化建議。此外，於第二年度計畫中，會擇選示範區域進行海岸韌性提升改善對策之探討，藉以研提適當之因應對策與評估成效。	第二章	p.2-36
2. 國內歷史災害蒐集，非僅蒐集水情、災情資料，應更進一步檢討該事件中若為風險管理或韌性提升，應有何因應作為建議，以累積決策支援能力。另歷史事件之影響期為何？亦可作為模式演算期之參考。	感謝委員建議 計畫於災害與治理章節中，增列國內種合計水計畫案例，並藉由個別事件案例，討論國內線有治水方式之共通性，並作為海岸策略建議之參考。	第三章	p.3-35
3. 模式精進部分，建議應將本署99年起之分析方法與結果，作一簡要概述與連結、比較。	感謝委員建議。 針對往昔研究與本計畫之分析方法進行比對，並已將此內容補充於期末報告。然，鑑於各研究所使用之情境條件或背景資料有所差異，因此於結果之內容則不於報告中論述。	第四章 4-4節	p.4-36
4. 未來風險評估建議應與社會因子，包括人口(不同年齡、性別)、商業、工業、聚落、產值等進行套疊分析。	於本計畫風險評估方面，會進行相關資料之套疊，其內容已補充至期末報告。	第六章	p.6-1

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
鄭科長欽韓			
1. 國外資料蒐集方面仍須持續加強彙整與分析，尤其針對國外案例與國內在地化建議連結上，須再進一步思考與補充。	感謝委員意見。 本計畫於海岸韌性防災案例資料蒐集上，除針對案例進行蒐集與彙整外，亦會蒐集目前國內於海岸韌性方面有相關之作為，包含管理策略與工法方面，並綜合比較國外案例與國內之差異點，且研提合適之在地化建議。相關內容已補充至期末報告。	第二章	p.2-36
鄭科長欽韓			
2. 淹水模式除考量「範圍性」之精確度外，還需考量「時間性」之準確度。因此，於該模式驗證中，應進一步考量時間性之準確性分析	感謝委員建議 除了淹水範圍外，已經補充淹水時間的準確性比較。	第五章 第5-3節	p.5-23
3. 於「風險評估」方面，請成大團隊思考如何更精進其評估方式。	感謝委員意見。 於本年度計畫中，將針對「荷蘭」案例進行分析，其中針對海岸韌性方面，是採用「韌性輪」方式來進行評估。因此，於在地化建議部分，本團隊針對國內海岸風險評估方式與韌性輪進行比對，以研提強化既有的風險評估方法，並納入韌性評估之考量。	第二章 第2-5-1節	p.2-36
4. 本計畫為科專計畫，至於使用那些模式分析，團隊建議我們皆可採納。	感謝委員肯定，本計畫目前所採用之海洋模式與淹水模式，分別為開源模式與自行研發之程式，均可依據計畫評估所需進行修改與客製化。因此，應均可符合本計畫透過「數值模式精進化」方式，進行氣候變遷衝擊之相關評估。	--	--
陳工程司彥宗			
1. P.3-1海岸地區範圍公告部分，內政部107.8.3已有修正公告，請再參酌	感謝委員建議，已參酌更新內容，其海岸劃設等大原則基本不變。	第三章	p.3-1
2. P.3-9、3-10，河川概況中所敘有將排水列入河川支流，或支流名稱有誤，請再洽河川局釐清修正。	感謝委員建議，已參酌水利署永續公共工程網站河川水系內容，並於河川概況敘述做部分更新。	第三章	p.3-10
3. P.3-12表3-2-6，河川重現期洪峰流量表中，數值與目前備查報告或核定治理計畫不同，請洽河川局修正。	感謝委員建議，已根據水利署核定版報告做部分更新修正。	第三章	p.3-10
4. P.3-21~3-29，海岸防護設施及歷史重大颱風事件災害等，可蒐集目前河川局辦理之海岸防護整合規劃或防護計畫內資料。	感謝委員建議，已參考海岸防護計畫做部分更新內容。	第三章	p.3-10
5. P.5-7流域範圍稱中央管河川包含新虎尾溪，惟該溪非中央管，請修正。	已將新虎尾溪屬於中央管河川之相關文字移除	第五章 第5-2節	p.5-7
6. P.5-5、5-6、5-19、5-20，文中錯植文字，請修正。	錯植文字已經修正	第五章 5-2節、 5-3節	p.5-5 、 p.5-6 p.5-21 p5-22

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
吳工程員乃光			
1. 本計畫頻率分析使用28年資料(1989-2017),年最大值應當為29筆;然機率紙上樣本點遠超過29點(圖4-1-3),請再確認是否使用”年最大”值或是”年超越”值並說明清楚?	感謝委員意見。 本計畫所採用極值分析,為超量選用法(partial-duration series),已於期末報告中補充。	第四章	p.4-2
2. 承上,頻率分析應先確認套配結果是否通過假設檢定。以圖4-1-3波高而言,其分佈與Weibull似乎差距甚異。請重新檢視其它套配函數(並非侷限於ET-I, Weibull)	感謝委員建議。 本計畫頻率分析所用套配模式,乃依據CEM(Coastal Engineering Manual, 2002)之建議,選用適合分析長期波浪極值之極值I型(FT-I型,又稱Gumbel)和Weibull之累積機率分布函數。然,於期中報告圖中標示均方根誤差(RMSE)與R ² 位置有誤植,並已於期末報告進行修正,而目前彰化區域擬合之均方根誤差是以FT-I型較低,約為0.283;R ² 約為0.955。	第四章 圖4-1-3	p.4-5
吳工程員乃光			
3. 嘉義地區5年重現值大於50年(表4-1-4)?請檢視合理性	感謝委員指正。 此為誤植,已於期末報告修正。	第四章 表4-1-4	p.4-4
4. 本案於氣候變遷情境下提供情境波高及水位,本署於海岸防護計畫中定期(5年)檢討海堤禦潮功能,將來此增量是否能配合重新檢討單位直接作加值使用,請考慮其相容性?(如增量可直接加入新檢討之50年外海波高或是堤址波高?做為不同計畫案、廠商執行檢討可直接加值使用可能性?)	本計畫所分析之情境,均是有以IPCC氣候變遷資料為基礎進行分析。因此,若是以考量目前氣候變遷資料(AR5)之下,應可進行加值使用。然,氣候變遷資料會進行滾動式檢討,因而需配合其資料更新,進行同步分析才能夠保持分析資料之合理性。	--	--
5. 表3-2-2請加入各站最大潮差、平均潮差、大潮平均潮差資訊。	感謝委員建議,謹遵委員意見辦理。	第三章 表3-2-3	p.3-8
徐正工程司浩仁			
1. 第二章國外韌性防災案例蒐集,雖已針對國外既有海岸韌性工法與評估方式進行彙整;惟應加強國外案例背景資料與國內海岸災害背景差異評析,藉以強化在地化之連結性,以利後續研提在地化之具體建議。	感謝委員意見。 本計畫於海岸韌性防災案例資料蒐集上,除針對案例進行蒐集與彙整外,亦會蒐集目前國內於海岸韌性方面有相關之作為,包含管理策略與工法方面,並綜合比較國外案例與國內之差異點,且研提合適之在地化建議。相關內容已補充至期末報告。	第二章 第2-5節	p.2-36
2. 第三章國內歷史海岸災害相關資料蒐集中,相關背景資料如颱風資訊及河川輸砂,未更新至最新資料,建議至期末持續更新至最新資料。	感謝委員建議,謹遵委員意見辦理	第三章 第3-2節	p.3-4
3. 第三章國內歷史海岸災害相關資料蒐集中,除目前針對計畫區域蒐集之背景資料及歷史災害事件外,應增加統整蒐集國內相關防災工法與策略,方能與國外海岸韌性防災案例進行連結。可嘗試透過公開資料蒐集計畫區域海岸韌性評估所需資料,並進行彙整與討論。	感謝委員建議 歷史災害蒐集增列,國內種合計水計畫案例,並藉由個別事件案例,討論國內線有治水方式之共通性,並作為海岸策略建議之參考。	第三章 第3-3節	p.3-20

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
徐正工程司浩仁			
4. 於海象氣候變遷情境中，計畫團隊有建構「統計降尺度」之方法，以利推估海象情境條件；惟於方法論方面，應再詳述清楚(包含方程式及理論等)，以利瞭解該方法評估細節。	感謝委員建議，謹遵委員意見辦理，詳細之理論方法及細節增列於期末報告附錄一。	附錄一	附錄一-1
5. 此計畫需考量「海象」與「水文」兩部分氣候變遷情境條件，針對情境條件組合與各相關條件資訊，應積極建構完成，以利後續進行氣候變遷衝擊評估。	感謝委員意見。 目前氣候變遷情境條件均已建構完成，並擇選較嚴峻之條件進行模擬評估，且已完成氣候變遷衝擊評估，並與現況做比較。	第四章 第五章	p.4-1 p.5-1
6. 此計畫期中報告書若干圖表編號缺失，請更正。	感謝委員意見。 相關缺失已於期末報告中修正。	--	--
7. 本案目前已至期中階段，目前分別完成海岸與淹水模式建置與驗證，尚未針對氣候變遷情境進行整合模擬。計畫團隊應依模式整合流程積極辦理相關情境模擬，以利評估氣候變遷對海岸之衝擊情況。	感謝委員建議。 本團隊已研提兩模式較具邏輯性之整合方式，並已針對氣候變遷海岸衝擊進行評估，相關成果已撰寫於期末報告。	第五章	p.5-1

附錄五 「因應氣候變遷之海岸風險評估(1/2)」 委託服務計畫期末審查意見及處理情形

(108.11.18)

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
滕委員春慈			
1. 計畫工作項目依照原定內容執行，成果豐碩。	感謝委員肯定。	--	--
2. 第四章在氣候變遷情境分析使用 ADCIR+SWAN和第五章溢淹災害衝擊評估，使用不同的模式模擬，請說明原因，及是否影響研究結果。	本團隊於過往計畫「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究,2018」已透過ADCIR+SWAN方式分析1989~2017年颱風事件，於本計畫中主要是利用該分析資料，配合不同計畫區域進行頻率分析，以利獲得氣候變遷海象條件情境資料。而本計畫第五章溢淹災害衝擊評估，主要是採用情境條件結果，並運用SCHISM模式可模擬乾濕情況之功能，來研討溢淹衝擊之情況。	--	--
3. 未來氣候變遷情境，是否可以和現階段暴潮偏差、颱風波高分布一樣，有機率分布圖，可以更清楚瞭解到模擬氣候情境。	感謝委員意見。 本團隊於過往計畫「氣候變遷對近岸沙洲之衝擊研究,2018」中，已針對未來氣候變遷情境進行相關分析，惟是採用多組GCM氣候變遷情境資料(10組)模擬分析，並綜合平均之結果，相關資料可參考往昔計畫成果。	--	--
4. 第五章所用的模式工具是海洋模式SCHISM+淹水模式COS-Flow，進行海岸地區溢淹模擬，未提到波浪模式?可是以波浪模擬大小是驗證項目之一，請補充波浪模式說明。在這章的模擬，波浪為輸入外力，為何以波浪驗證?氣候模擬情境也非為SCHISM進行，相關模式驗證是否再加以說明。	感謝委員意見。 SCHISM模式為波流耦合模式，於波浪模式方面是採用第三代頻譜風浪模式WWM-III (Wind Wave Model III, Roland et al., 2012)來模擬波浪運動情況，相關說明已補充於附錄二中。另，本計畫於衝擊評估方面，主要是以氣候變遷情境條件為考量，因此僅模擬波浪與暴潮演變過程，風效應並無納入模擬因子。而本計畫以颱風波浪為驗證對象，主要是希望透過較嚴謹的風場給定，模擬較佳的波高分布，以此做為目前模式能夠合理模擬波浪演變過程，俾利後續評估可以該模式進行波浪模擬。	5-2節	
蕭委員松山		章節/圖/表	頁次
1. P3-7潮汐潮位說明與表3-2-3之內容略有不同，請確認並統一。	感謝委員指正，已修正文字敘述與表格一致。	表3-2-3	P.3-8
3. 表3-2-6建議更新2018年水文年報。	感謝委員意見，謹遵委員意見辦理。	表3-2-6	P.3-11
4. P3-17地層下陷內容建議更新，請參考經濟部水利署「107年度彰化及雲林地區地層下陷監測及分析」報告成果。	感謝委員意見，謹遵委員意見辦理。	圖3-2-9 圖3-2-8 圖3-2-10	P.3-19 ~ P.3-22
5. 請說明文中「近未來」用詞之定義。	感謝委員意見。 本計畫近未來是以2020~2039期間為主。	4-1節	P.4-2

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
蕭委員松山		章節/圖/表	頁次
6. 表4-1-11中顯示本計畫選擇各計畫區域接近點位採用DG、KS、JG、WG、PH、BZL等潮位站資料估算海平面上升速率，其中標註採用而非DS站是否誤植？	感謝委員意見。 目前標示點位是以兩年期計畫區為主，而第2年度計畫區域為臺南、高雄及屏東區域，因此分別對應東港(DG)、高雄(KS)及將軍(JG)三測站。而目前嘉義區域是採用塹港點位(WG)，而非東石(DS)點位。	表4-1-11	P.4-24 P.4-25
7. P5-16 本計畫以ECMWF作為模式風場來源，在台灣西部測站之驗證成果模擬值皆較觀測值低，其中新竹測站波高差異約有3公尺以上，於本計畫溢淹潛勢計算時是否會有低估之情形。	感謝委員意見。 本計畫氣候變遷衝擊評估之海象條件是以「情境條件」為主，其中有針對1989~2017年颱風事件模擬後，需再針對其結果進行頻率分析，而每場颱風事件因路徑不同，其波高模擬結果亦有所差異，惟本計畫是採用超量選用法，可以排除模擬影響較小之颱風事件，再進行頻率分析，應可降低情境條件低估之可能性。	--	--
8. 圖6-1-1~圖6-1-59過於模糊難以判讀，建議提高圖像解析度。	感謝委員意見，謹遵委員意見辦理。	圖6-1-1~ 圖6-1-59	P.6-7~ P.6-17
陳委員冠宇		章節/圖/表	頁次
1. 本研究內容完整，有許多新的結果呈現得也很細緻，如何時淹水，何時退都有呈現，值得肯定。	感謝委員肯定。	--	--
2. 以統計模型決定情境，建議說明其發生機率，並利用歷史淹水紀錄進行驗證。	統計模型為使用情境條件判斷條件之一，其可做為氣候變遷條件參考情境之一，最後再依據保守原則選用，於史淹水紀錄，本研究選用823淹水事件淹水模式進行驗證。	--	--
3. P3-12至P3-15有部份打字錯誤，且說明與位置標示不夠清楚，請改進。	感謝委員指正，已更正文字錯誤並更換圖資。	--	--
4. 以代表性潮位代表潮，對淹水過程更能描述清楚，但建議在推算其真正的淹水概率時，應作調整。	感謝委員建議，計畫淹水概率已採用50年暴潮水位做為設計條件，只是設計水位採用代表性潮型，以符合實際淹水情況。	--	--
張副總工程師廣智		章節/圖/表	頁次
1. 用往昔資料去推估未來情勢的方法會有不確定性存在，請團隊避免跟「現況」資料進行比較，以減少數值模式計算結果與現況產生不符合之現象。	感謝委員意見。 本計畫於數值模式驗證上，採用往昔觀測資料進行比較分析。而於情境條件方面，大都透過氣候變遷條件分析所得。	--	--
2. 研究團隊目前所採用的分析方法均能有效連結本計畫之需求，惟海岸韌性中回復力之評估為重要項目，團隊目前所採用海岸風險評估方式，並無法將考量「韌性評估」，建議團隊仍須思考如何將荷蘭經驗(韌性輪評估方法)納入國內評估方法，以利契合本計畫海岸韌性評估之方向。	感謝委員意見。 於本計畫執行項目中，必須完成「海岸風險地圖重新(更新)繪製」，因此必須依據國內現行海岸風險評估方式，進行海岸衝擊評估。而海岸韌性評估方法，會於此第兩年度計畫中擬訂。除荷蘭案例外，會於第2年度再研討另一個國外案例，並綜彙兩年案例分析成果，擬訂適合國內海岸韌性評估之方法。	--	--

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
張副總工程師廣智		章節/圖/表	頁次
3. 氣候變遷衝擊下，海岸地形也會面臨變遷問題，期望團隊能夠整合各種影響因子，以達完整評估氣候變遷衝擊之目的。	<p>感謝委員意見。</p> <p>目前國內研究為因應海岸風險評估各指標內容，「海岸侵蝕」、「暴潮溢淹」及「洪氾溢淹」三種災害類型均分別評估，其原因在於往昔數值模式技術限制，而無法同時考慮綜合災害發生之情境，惟透過風險評估方法，藉由各指標權重分配與風險矩陣方式，仍可提供海岸風險評估資訊。承如委員所述，發展一個能夠統合所有災害之系統，才能達至完善評估氣候變遷衝擊之目的。本團隊於此兩度計畫中，除評估各計畫區域合理的氣候變遷情境條件外，亦有透過情境分析方法和數值模式之精進，完成海洋與淹水兩模式單向耦合，使「暴潮溢淹」與「洪氾溢淹」兩災害因子得以合併考量，之後團隊會朝地形變遷耦合方向努力，以利未來達到可同時模擬複合災害類型之標的。</p>	--	--
4. 要內容需把本計畫研究方法之特色清楚呈現出來。	感謝委員意見，遵照辦理。		
郭組長純伶		章節/圖/表	頁次
1. 海岸韌性與海岸風險評估關係為何？韌性防災如何回饋到風險評估？	<p>以目前蒐集「荷蘭案例」之海岸韌性評估方法作比較可知，兩評估方法於指標項目中，有部分指標相似，例如：人為設施脆弱度對應防洪屏障抵抗力、社會經濟脆弱度部分項目對應人口脆弱度。然於指標類型來說，風險評估較著重於「災害對海岸的衝擊影響」，而韌性輪指標除考量海岸對災害的抵抗力外，適應力、恢復力與組織力三項指標，是風險評估指標項目中較無考量的層面。而此三項指標於韌性輪中，較屬於受災害衝擊中、後期所考量之項目。由此可知，目前國內針對海岸所採用的風險評估方法於海岸韌性評估中，應屬於災前整備之評估。</p> <p>若依目前海岸韌性評估方法來說，風險評估應為韌性評估其中環節，惟於進行海岸韌性提升之作為後，應可提升海岸抵禦災害強度與災害回復力，此時再進行海岸風險評估，則可量化執行改善對策後之海岸風險資訊。</p>	--	--
2. 歷史重大颱風暴潮事件災害挑選原則，如何判別是降雨淹水或海岸溢淹？另外海岸防護設施納入滯洪池是否適宜？部分滯洪池於上游，宜有合理論述。	<p>感謝委員指教，目前計畫分析結果顯示，由於海岸海堤設計皆以50年重現其設計水位，故海岸溢淹多以暴潮其間，排水不良為主，故降雨與暴潮溢淹都有連帶關係，根據綜合治水計畫中的治水方案，其中高地適當引洪或提前排洪，可有效減低海岸溢淹情況，故某些位於較高地滯洪池可能減少一些流入低地的流量。</p>	--	--

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
郭組長純伶		章節/圖/表	頁次
3. 海岸法中海岸防護計畫、海岸管理計畫，可納入國內海岸韌性提升作為參考。	感謝委員意見。 海岸管理相關計畫確為海岸韌性評估之元素，此部分會於第2年度示範區域韌性評估上呈現。	--	--
4. 海洋模式的模式驗證，西部較不準確，相關資料應該要呈現，以利了解。	感謝委員意見。 已補充七股測站資料，以利瞭解	圖5-3-3	P.5-20
5. 淹水模式如何驗證可再考量。	本計畫採用之淹水模式，在地表漫地流模組部分曾應用在製作第一代淹水潛勢圖，可靠性獲得認可。而加入渠道/下水道模組的COS-Flow模式，除了在本計畫中以20150823的豪雨事件進行驗證之外，也曾以2015年6月14日豪雨，在台北市造成的淹水災情進行驗證，準確度可達到80%以上，成果陸續發表於國際知名期刊，顯示該模式之技術與精度已達國際水準。	--	--
6. AR5動力降尺度風場資料如何取得？水利署可以如何協助，可提出說明。	於氣候變遷資料方面，水利署與NCDR有合作備忘錄協定，應可透過此關係提出申請，惟鑑於動力降尺度風場生成需要時間，因此還得視NCDR分析進度而定。	--	--
黃副工程司爾強		章節/圖/表	頁次
1. P3-5中降雨量一節所述內容均為降雨天數，另表3-2-1之降雨量選用年限，建議補充說明。	感謝委員建議，報告中已修改相關敘述並增列年限。	表3-2-1	P.3-6
2. 依海岸管理法在暴潮溢淹的區域主要是針對陸域側之範圍，建議在P5-26中暴潮溢淹分布圖中補充，另增加基期與近未來之差異變增量圖。	感謝委員意見，遵照辦理。	圖5-4-12	P.5-45~ P.5-47
3. 暴潮溢淹之模擬中，對於海岸地形亦為一影響因子，而台灣西南部有岸沖淤情形複雜，因此，本研究如何納入未來情境？	感謝委員意見。 承如委員所述，發展一個能夠統合所有災害之系統，才能達至完善評估氣候變遷衝擊之目的。本團隊於此兩度計畫中，除評估各計畫區域合理的氣候變遷情境條件外，亦有透過情境分析方法和數值模式之精進，完成海洋與淹水兩模式單向耦合，使「暴潮溢淹」與「洪氾溢淹」兩災害因子得以合併考量，之後團隊會朝地形變遷耦合方向努力，以利未來達到可同時模擬複合災害類型之標的。	--	--
4. P6-2, F25中第五級，似以13處侵蝕熱點來分級，而此為點位如何應用在本指標？	海岸侵蝕速率圖資(F25)建立時，13處侵蝕熱點分佈範圍內村里給定為第五級，建立村里圖資，再切分為50m*50m方格。	--	--
5. 當危害度在洪氾溢淹及暴潮溢淹皆有發生之地區，其危害度如何選取？	由於本計畫區溢淹總體深度由波流與降雨淹水耦合模式計算而得，故將洪氾溢淹深度及暴潮溢淹兩者進行合併判斷危害度。	--	--

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
徐正工程司浩仁			
1. 在地化之具體建議部分，除闡述國內海岸風險與國外韌性輪指標之評估方式之不同，亦即評估方法之異同與對比外；文中亦提及國外韌性輪之評估指標多為定性評分，建議可於國內海岸風險評估項目中，與國外韌性輪指標相應之部分強化定量分析。如此，本計畫未來是否可依彰雲嘉及南高屏之研究經驗，試著設計適合國內各海岸地區之韌性評估指標，進而透過韌性評估瞭解韌性缺口，進而研提韌性提升之方案？	感謝委員意見。 目前海岸風險評估項目中，部分與之相似的指標進行定量分析，藉此可避免評估結果過於主觀。例如：韌性輪抵抗力指標部分可透過危害度評估方式進行量化評估，惟於韌性評估上需納入現況屏障設施，進行防護功能評估，以利量化抵抗力指標。此外，本計畫於第2年度再研討另一個國外案例，綜彙兩年案例分析成果，擬訂適合國內海岸韌性評估之方法，並擇選示範區域進行海岸韌性評估。	--	--
2. 國內海岸災害風險評估之各指標項目，多採類似過往水災風險評估之AHP方法以建立其權重，然AHP之分析方式往往有曠日費時且主觀性較強之特性，試問國內未來能否有更為簡練有效之風險分析方式，以具體評估海岸風險？	謝謝委員指教，AHP各指標權重值由國內專家學者問卷調結果經層級分析法所決定，並已應用在海岸風險評估多年，應有相當可信度，另外計畫也有依據風險矩陣法繪製風險地圖，比較兩者趨勢相當。	--	--
3. 在地化具體建議之對策建議部分，目前係以議題導向進行論述。惟考量全臺海岸線因地制宜之特性，未來能否以各分區海岸為對象，分別研析探討其海岸韌性提升對策？	感謝委員意見。 提升海岸韌性之改善對策確實有因地制宜之特性，因此第2年度建立國內海岸韌性評估之方法後，會擇選示範區域進行海岸韌性評估，再依據該地區特性，給予提升海岸韌性之對策建議，並透過數值模式評估對策之成效性。	--	--
4. 本計畫原有與NCDR合作之規劃，包含海象情境與水文情境之援引與繁衍等。請簡要說明下一年度各類情境之動力降尺度及統計降尺度之應用規劃。	目前已透過「數值模擬分析」與「統計降尺度分析」兩種方式分析GCM資料，已得到海象氣候變遷條件，後續若可取得AR5「近未來」動力降尺度資料，可再透過本年度海洋模式進行各事件模擬，並透過頻率分析再求得增量條件，以利完整探討海象情境條件。然，動力降尺度風場生成與事件模擬均需時間執行，因此還得視NCDR分析進度而定。	--	--
5. 第二章國外韌性防災案例蒐集，於期末報告中以專題方式撰寫，建議將此章節彙整為獨立檔案，並以利呈現「海岸韌性案例探討」專題形式。	感謝委員意見，將把該章節彙至獨立檔案。	--	--
6. 第六章氣候變遷下海岸災害風險評估之目的旨在透過海岸災害風險地圖瞭解現況(基期)與氣候變遷情境(近未來)之災害風險差異，因此報告內圖6-1-56至圖6-1-59應為本章節之重點圖資，建議應以較清晰方式呈現，以利清楚呈現衝擊影響差異。	謝謝委員指教，原圖資較為模糊，已更換相關圖資，以利清楚呈現。	圖6-1-56 ~ 圖6-1-59	P.6-16~ P.6-17

審查意見	處理情形	期末報告書對應情形	
		章節/圖/表	頁次
徐正工程司浩仁			
7. 團隊已經考量氣候變遷下，雨量與暴潮加乘作用影響下之淹水風險，未來可針對目前已經標示之高風險海岸溢淹區域，進行提高承洪韌性之方法研析。	感謝委員意見。本計畫未來將針對高風險海岸溢淹區域，進一步研析不同硬體減洪措施的成效，比如設置堤防、滯洪池或抽水機等，同時根據可能的造成的社會經濟衝擊和當地條件，研析高腳屋、低衝擊開發等軟性調適策略，以提高承洪韌性。	--	--
8. 團隊所考量的氣候變遷情境RCP8.5屬於最悲觀的未來狀況，若要更為精準的計算淹水風險，未來可以增加不同情境的分析與模擬，藉由不同情境的溢淹區域規劃經濟有效的防洪措施。	感謝委員意見。未來會進一步增加不同氣候變遷情境的海岸溢淹模擬，搭配區域在地特性，研擬分析有效的防洪措施。	--	--
9. 後續成果報告需依據本署報告格式補充英文摘要。	遵照辦理。	英文摘要	P.IV

國家圖書館出版品預行編目資料CIP

因應氣候變遷之海岸風險評估. (1/2) / 國立成功大學編著. -- 初版. --
臺北市：經濟部水利署, 2019.12

面；公分

ISBN 978-986-5442-94-1 (平裝)

1.海岸工程 2.防災工程 3.風險評估

443.3

108021542

因應氣候變遷之海岸風險評估(1/2)

出版機關：經濟部水利署

地址：台北市大安區信義路三段41-3號9-12樓

電話：(02) 37073000

傳真：(02) 37073124

網址：<http://www.wra.gov.tw>

編著者：國立成功大學

出版年月：2019年12月

版次：初版

定價：新台幣400元

展售門市：五南文化廣場 台中市中山路6號 (04) 22260330

<http://www.wunanbooks.com.tw>

國家書店松江門市 台北市松江路209號1樓 (02) 25180207

<http://www.govbooks.com.tw>

GPN：1010802502

ISBN：9789865442941

著作權利管理資訊：經濟部水利署保有所有權利。欲利用本書全部或部分內容者，須徵求經濟部水利署同意或書面授權。

聯絡資訊：經濟部水利署

電話 (02) 37073000



廉潔、效能、便民



經濟部水利署

台北辦公室

地址：台北市信義路三段41之3號9-12樓

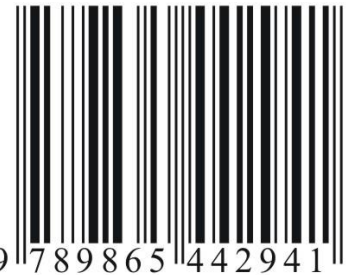
網址：<http://www.wra.gov.tw>

總機：(02)37073000

傳真：(02)37073166

免費服務專線：0800212239

ISBN：978-986-5442-94-1



GPN：1010802502

定價：新臺幣400元整