

臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究

The Study on The Characteristics of The Coastal Highway Flooding and The Nearshore Morphology

主管單位：交通部運輸研究所

蕭士俊¹

蘇青和²

李俊穎²

陳鈞彥²

Hsiao, Shih-Chun

Su, Ching-Ho

Lee, Chun-Ying

Chen, Chi-Shan

¹交通部運輸研究所

²國立成功大學

摘要

本研究主要為針對「台9線」海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性進行研究，除針對該區域相關背景資料蒐集外，亦須建置適合模擬臺東海岸水動力與地形變遷之數值模式，並進行台9線公路溢淹和沿岸中長期地形變遷特性探討，以瞭解拓寬之公路(如台9線)可能造成災害影響。依據相關背景資料蒐集，已分析台9線往昔易致災路段，並透過現場勘查作業，瞭解目前台9線公路現況及後續災害分析之重要區域。透過衛星影像蒐集及分析，研析台9線海岸長期變化情況及受海岸結構物設置後灘線變化情形，另以影像分析方式評析海岸漂砂季節性變化行為。本研究主要以「數值模擬」與「特性災害分析」方式探討台9線災害特性，因此數值模式方面，已完成遠域、中域及近域數值模式建置，並與觀測資料進行波浪、潮位及流速等相關驗證，證明目前數值模式模擬計算之可靠性，地形變遷模式則透過與觀測資料進行比對，調校相關參數使其模擬地形變遷趨勢較具合理性；另災害特性分析方面，則透過遠域數值模式計算結果與長期觀測資料結果進行分析，估算波浪設計條件與代表性波浪條件，以分別做為公路溢淹與地形變遷評估模擬之邊界條件。最後，依據數值模擬成果分析台9線海岸公路致災潛勢區域，並標示「公路溢淹」、「侵蝕災害」及「淤積災害」三種災害類型潛勢區域，俾利未來施工或防災作業之參酌。

關鍵詞：台9線、公路溢淹、地形變遷

Abstract

This study is to analyze the characteristics of the coastal highway flooding and the nearshore morphology of the Provincial Highway No. 9. To understand the effect due to road widening (e.g., Provincial Highway No. 9), environmental data collection, the establishment of the wave-coupled hydrodynamic model and the sediment transport model for Taitung, and the analysis of the highway flooding and nearshore morphology are performed. The regions which have a higher risk on the Provincial Highway No. 9 is figured out by the collected history data and the field survey. The long-term variation of

the nearshore morphology because of the coastal structures are investigated through the satellite images. Besides, the seasonal sediment transports are analyzed. The well-validated wave-coupled hydrodynamic model and the sediment transport model by comparing with the measured data were constructed. The design and representative wave conditions for analysis of the highway flooding and nearshore morphology are obtained by the numerical simulation and the long-term field observation. Finally, three types of disaster including highway flooding, erosion disaster, and deposit disaster are analyzed for the regions which have a higher risk. The achievements in this study will be helpful for construction and disaster prevention.

Keywords : Provincial Highway No. 9, Highway flooding, Morphological change.

一、前言

本研究配合屬交通部港灣研究中心年科技綱要研究「海洋及交通運輸防災技術研究」之細部研究「港灣環境資訊整合及防災應用研究」執行，其研究成果可提供交通部、公路總局、水利署及第八河川局等相關單位作為未來施政與後續研究作為參考，俾利擬定相關防治對策。

台 9 線為連結臺灣花東地區與南部地區之主要運輸交通幹道，往昔受地形限制、公路設計標準偏低、線型不佳、縱坡起伏大及路寬不足等限制，易因災害受損而交通中斷，對區域性經濟發展、產業運輸及民眾通行等有所影響。因此，於民國 100 起開始實施台 9 線公路拓寬工程，以利強化公路運輸系統通行品質。往昔於颱風與強風季節時，台 9 線公路常有因大浪侵襲導致公路溢淹災害事件發生，此不僅影響公路上通行車輛與人員之安危，亦因長期波浪侵襲下，易產生沙灘流失及海岸線不斷地往內陸退縮之情況，進而提升近岸大浪直接襲擊公路溢淹之可能性，其碎波波浪更可能直接淘刷台 9 線公路之底部基座，造成更嚴重之災情。除此之外，臺東海岸沿岸漂沙的問題存在已久，長期沿岸漂沙變化所導致的海岸地形變遷現象，已對臺東沿海公共工程（包括公路地基維護及海岸養灘工程）或漁業經濟層面（如大武漁港航道長期淤塞問題）造成長期負面的影響。然，拓寬工程於實施中或實施後時，均有影響海岸現況變化之可能性（漂沙趨勢變化、地形變遷及灘線變化等情況），進而導致台 9 線公路致災情況，例如：如香蘭至大鳥路段辦理公路車道拓寬，因颱風及強風季節大浪襲擊，產生沙灘流失及海岸線不斷地往內陸退縮；如金崙大橋路段，新建橋段較接近海岸，是否有因漂沙變動而於墩柱周圍產生淘刷之可能性；而大武漁港現階段仍有長期淤塞，且漁船通行困難等問題存在。鑑於上述，台 9 線公路實施拓寬工程後，有重新評估災害潛勢（公路溢淹及地形變遷特性）與因應對策研擬之必要性。本研究主要是透過「往昔資料蒐集」、「數值評估」及「災害特性分析」等方法，運用科學方式針對該台 9 線海岸公路進行災害特性分析，並劃定台 9 線海岸公路易致災潛勢區域，其成果可做為未來改善工法或策略之參酌，俾供相關單位擬訂改善對策之依據。

二、台 9 線海岸公路資料蒐集與分析

2.1 易致災區資料蒐集與分析

彙整過往文獻將台 9 線公路易致災路段做劃分，相關彙整分析資料如表 1 所示，大致可將易致災區域劃分為 6 個區域，分別為南興路段、大武漁港、多良路段、香蘭路段、美和海岸、三和海岸及太麻里路段等 6 區域。其中，大武漁港主要受「漂砂淤積」影響，使港口經常性淤積，導致漁船無法出港作業。而因大武漁港地形上影響，其「突堤效應」導致位於南方的南興路段海岸有「海岸侵蝕」現象發生，使其岸線逐漸縮短進而常於颱風事件時發生「波浪侵襲」之現象；多良、大溪、大竹及加津林路段亦有部分路段因公路鄰近海灘區域，易有「波浪侵

襲」現象發生(黃學美和朱志誠, 民國 102 年); 香蘭、美和及太麻里路段過往則均有「海岸侵蝕」之現象發生; 本研究套疊臺東海岸 50 年重現期暴潮溢淹潛勢, 顯示三和海岸為「暴潮溢淹」潛勢區域。

表 1. 台 9 線公路易致災路段相關資料分析表

地點	災害分類	致災情況	資料來源
大武漁港	漂砂淤積	大武漁港受地形和潮流影響, 每年 10 月到隔年 3 月, 經常被海砂堵住港嘴, 造成漁船無法出海。	1.新聞 2.潮流作用下臺灣漁港淤砂研究(2012) 3.臺東海岸(尚武段)監測調查研究(2/2)
南興路段	海岸侵蝕 波浪侵襲	因極端氣候、人為濫墾等因素, 加上大武漁港「突堤效應」, 漁港南端海岸線侵蝕嚴重。此外, 於蘇迪勒颱風期間, 有海浪侵襲現象發生; 天兔颱風侵襲臺東時, 南興路段受災嚴重, 因離海岸近, 有觀察到可能為被大浪帶到公路上的砂石。	1.新聞 2.應用地理資訊系統建置臺灣主要商港溢淹災害潛勢圖之研究
多良、大溪、大竹及加津林	公路溢淹	強颱(萬宜)外圍環流影響, 長浪侵襲路段造成傷亡。	1.新聞 2.台 9 線海岸公路防浪保護工程之探討(2013)
美和海岸	海岸侵蝕	長期變化: 民國 68 年 10 月至民國 75 年 12 月期間, 美和海灘呈現往海側延伸淤積; 於民國 75 年 12 月至民國 88 年 1 月期間, 則全面性地往陸側後退侵蝕。 短期變化: 以民國 88 年 1 月~民國 89 年 6 月間之變化進行討論, 前灘與後灘地形變遷部分是大致不變的, 然而在灘線附近則同時出現一些礫石砂堆的堆積發展現象。	臺東知本海岸與美和海岸變遷之研究

三和海岸	公路溢淹	<p>在 50 年重現期水位下，淹水深度達 1 m 以上區域。</p> <p>本年度(107 年 9 月)山竹颱風事件，有浪襲致災情況發生。</p>	<p>1.本研究圖資套疊</p> <p>2.新聞</p>
太麻里段 香蘭段	海岸侵蝕	<p>太麻里鄉海岸因直接面臨太平洋深海波浪衝擊，又海底地形陡峭，當颱風波浪由外海傳遞至近岸時，因底床摩擦力較小，波浪能量不易折減。在近岸碎波時，對水體產生之擾動容易對近岸造成較明顯的海岸地形變遷，尤以颱風季節最為顯著。</p> <p>香蘭段海岸常年受颱風巨浪侵襲影響，以致於沿岸防風林崩塌嚴重，尤其波浪溯上急遽作用常夾帶大量砂石推進至高灘上，其衝擊力常造成沿岸防護設施的破壞。</p>	<p>1.臺東太麻里海洋及河口營力對海岸地形變遷之數值模擬研究(2011)</p> <p>2.臺東海岸(太麻里段)環境營造改善研究(2/2)</p> <p>3.臺東海岸(香蘭段)監測防護研究(2-2)</p>

2.2 近岸結構物對海岸影響之探討

透過太遙中心免費介接圖資（每年均有一張衛星圖資），探討分析台 9 線海岸區域近岸結構物對海岸影響情況。其中，因大武漁港周圍長期以來的近岸結構物變化較為頻繁，使海岸變化較為顯著，因而本章節以大武漁港周圍海域為對象進行海岸長期變化之探討。

由 1999 年至 2017 年太遙中心免費介接圖資中可瞭解，大武段漁港周圍海岸變化情況(參見圖 2.9)。而大武漁港周圍，因長年來周遭常有結構物建置，使之地形變動現象較為顯著。相關地形變化概述如下：

- (1)1999 年明顯看出大武漁港港口周圍已有漂砂累積現象產生，而該處漂砂概多由上游河川輸砂往南部帶動，再因漁港地形影響，使之易累積漁港口造成漁船通行不便。
- (2)2000 年時，大武漁港北側攔砂堤已建置完成，藉以攔截上游輸砂，降低港口淤積現象發生。
- (3)2006 年時，大武漁港北側海岸已有顯著堆淤現象產生。

- (4)2008 年時，可看到漁港口內部有淤積現象發生。依據過往文獻（溫志中等人，2012 年）指出 6 月後因攔砂堤處砂灘淤滿，由北往南傳送之漂砂越過攔砂堤，傳至漁港南段，導致漁港口淤積。
- (5)2009 年影像顯示，大武漁港內側有大量漂砂累積於港內，此現象可能與 2009 年 8 月莫拉克颱風事件有關。依據過往新聞報導表示，莫拉克颱風時，大武溪出海口淤積極大量砂石漂移造成大武漁港淤積嚴重，所以港區漁民亦可歸屬莫拉克受災戶。
- (6)於 2010 年影像中，可看到懸浮載分布情況，由此可看到北側攔砂堤效應對懸浮載運動影響，使之造成北側淤積；南側港口出口處反而較無漂砂補助之情況。
- (7)於 2014 年影像中可知，為解決南側海岸侵蝕問題，漁港南側興建凸堤與離岸堤進行攔砂。
- (8)2015 年影像中已可看到攔砂之成效，於漁港南側形成海灣灘岸。
- (9)2017 年時，因將草埔隧道拓寬工程清出的土方用於南側養灘，因此影像中顯示南側海岸砂灘顯著增加，而本團隊於今年度（民國 107 年）於該處現勘時，已無發現離岸堤，應為堆積土砂掩埋。

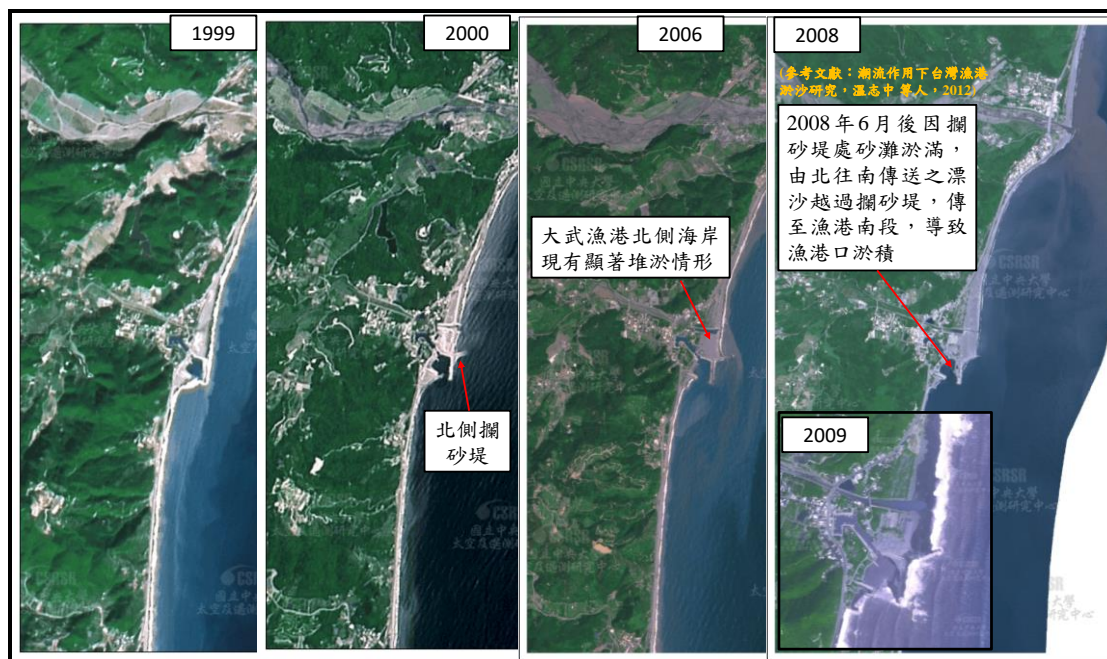


圖 1. 大武漁港周圍海域長期地形變遷情況。

2.3 季節性漂砂變化分析探討

本研究透過衛星影像來分析季節性的漂砂變化情況，影像資料方面則以無償下載的 SPOT 衛星圖資為時間密度較高且較完整之圖資，因而可合理運用於該項分析。鑑於影像完整度，此分析擇選 2006 年一系列的衛星影像，來進行季節性漂砂變化探討。其中，以每個月衛星影像中漂砂範圍做為探討對象，透過影像分析方式，劃設出各月份的漂砂範圍，並計算其面積，藉以瞭解台 9 線沿岸漂砂季節變化趨勢。然目前漂砂變化分析僅以「漂砂範圍」面積為主，而無法分析其範圍內的「漂砂濃度」。除非能夠獲致品質較佳之衛星影像，再配合現場懸浮值濃度量

測，進行影像調校與率定，才能更為完善定義漂砂整體量值，目前僅簡易的範圍分析來判斷季節性的漂砂分布情況。

各衛星影像漂砂範圍分析方法流程如圖 2 所示，首先調整影像對比，以利漂砂分布較為顯著；再者，分析各衛星影像之像素等值分布，可繪出像素等值圖；最後，再篩選各影像之像素門檻值，劃設門檻值之範圍，即為各影像漂砂範圍分布，配合 ArcGIS 軟體或 Matlab 即可求得各漂砂範圍之面積。

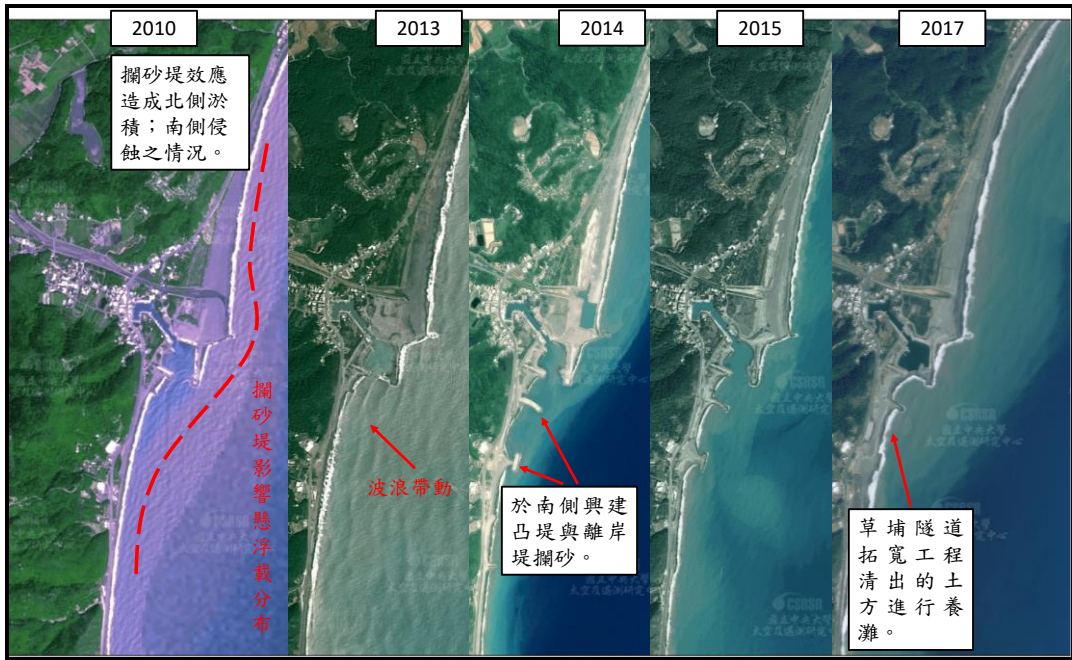


圖 1.(續) 大武漁港周圍海域長期地形變遷情況。

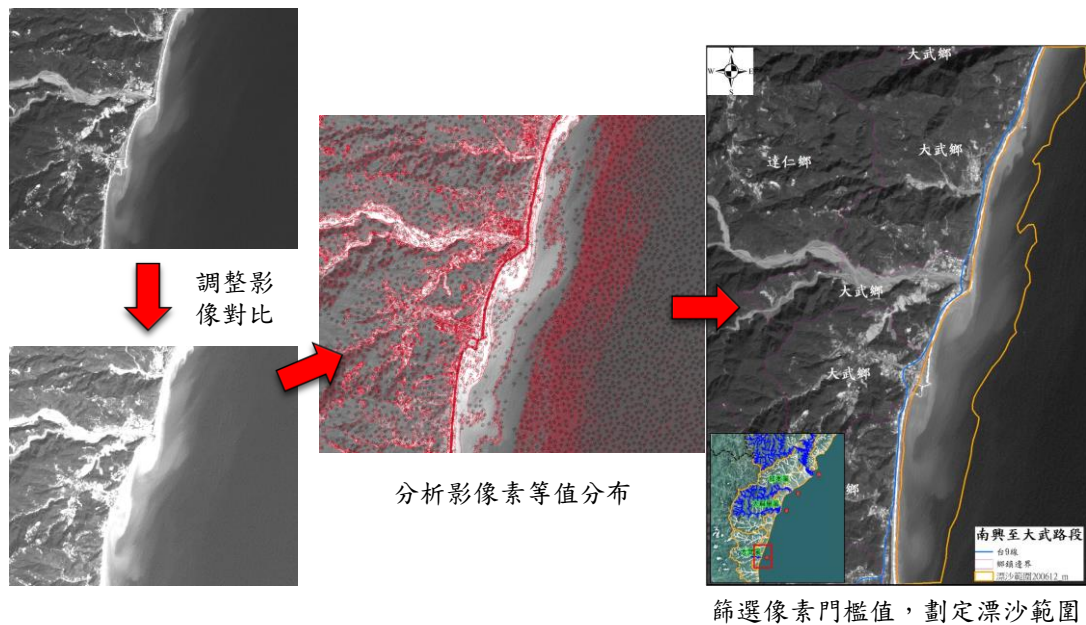


圖 2. 漂砂範圍分析流程。

茲以三區塊範圍來進行漂砂分析結果說明，分別為「南興至大武段」、「加津林至多良段」及「香蘭至三和段」，目前僅以「南興至大武段」各區塊 5 月及 12

月之漂砂範圍分析結果，如圖 3 所示。而由各月份漂砂範圍分析結果可量化其漂砂範圍面積，並繪製各區塊於各月份漂砂面積分布變化（參見圖 4），其顯示台 9 線海岸漂砂趨勢由 10 月份至隔年 2 月份時較為顯著，3 月份至 7 月份較不顯著。由此可知，海岸漂砂分布範圍與東北季風盛行時段關係密切。此外，2006 年 8 月衛星影像拍攝時間，剛好接近「寶發颱風」事件發生時段，因而有漂砂趨勢較為顯著之現象發生。

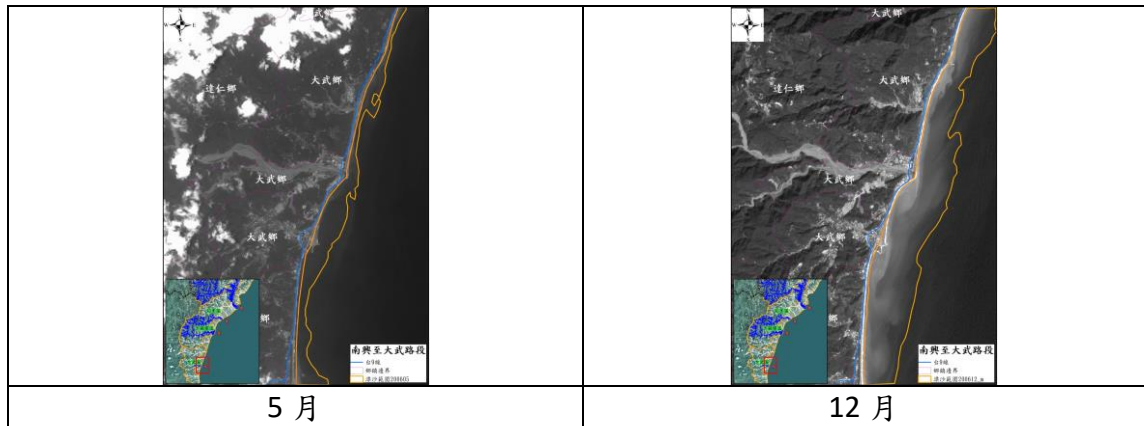


圖 3. 南興至大武段漂砂範圍分析結果

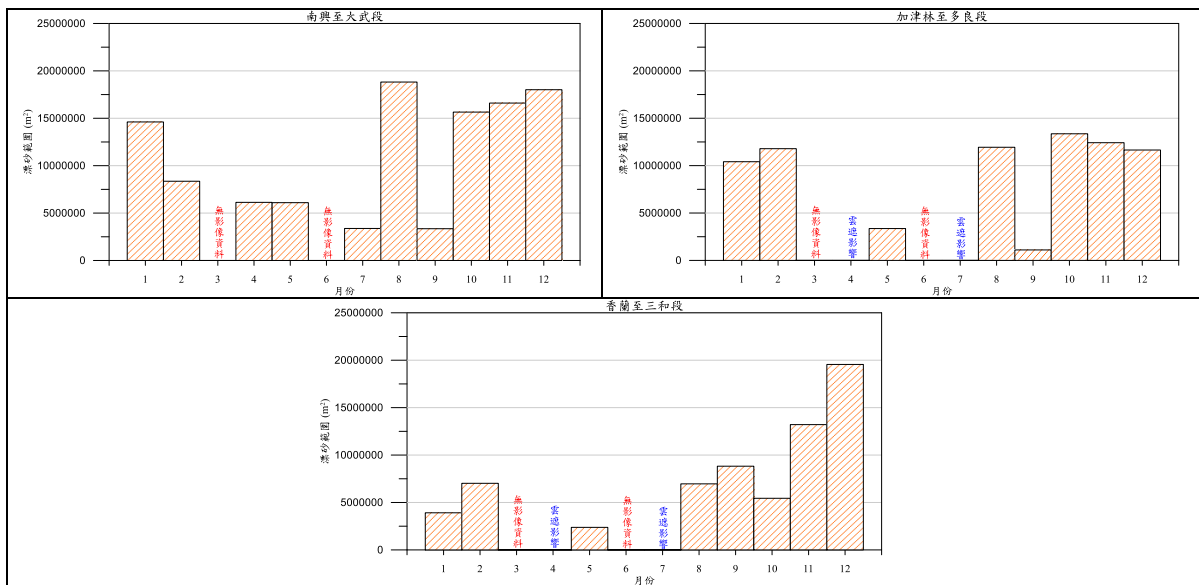


圖 4. 台 9 線海岸漂砂變化分布圖

三、數值模式評估

3.1 數值模式評估架構

考量本研究數值評估之完整性，必須運用到遠域模式、中域模式及近域模式三種數值評估方式。本節則針對各模式於本研究之評估內容進行說明，以利瞭解各模式與各評估作業之連結性。圖 5 為本研究數值評估流程圖與相關評估作業內容，其中可概分為三階段，分述說明如下：

(1)遠域模式：運用 ADCIRC 與 SWAN 耦合模式進行大範圍模擬計算，產出成果包

含暴潮偏差與波浪資訊。本研究透過此模式進行歷史颱風暴潮偏差及颱風波高計算(民國 78 至民國 106 年之颱風事件)，計算結果透過頻率分析方式推求波浪設計條件，並透過氣象局潮位資料與暴潮偏差結果推算設計水位，藉以做為本研究設計條件之重要資訊。

- (2)中域模式：透過遠域求得設計條件結果做為中域模式之邊界條件，計算中域範圍內波流場變化，再配合 PTM 模式計算河川輸砂分布範圍。藉由中域模式計算成果，再配合台 9 線易致災區資料蒐集成果，可明確劃定致災區模擬範圍，及後續近域尺度模擬範圍界定。
- (3)近域模式：近域模式主要是透過 CMS 與 PTM 來進行各近域區塊的數值模擬，其中包含水動力模擬(近岸波流場與水位變化)與地形變遷模擬。各近域區塊模擬結果將提供後續針對台 9 線海岸公路災害特性分析加值運用。

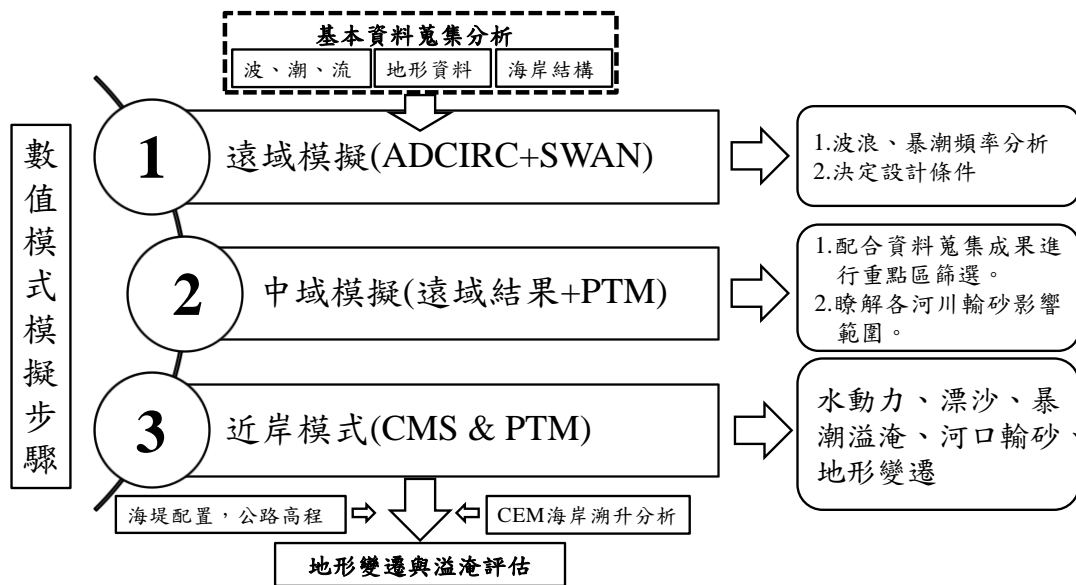


圖 5. 數值評估流程圖

3.2 遠域模式 - 設計條件評估

考臺東海岸防護研究(第八河川局，106 年)，可知臺東海岸防護結構設計年限為 50 年。為評估台 9 線整體安全，需針對海域 50 年重現期暴潮偏差及颱風波浪設計條件進行推估。為達上述目的，需就歷史颱風事件進行模擬。

中央氣象局於民國 78~106 年發布警報的颱風，共計 171 場，但發布警報的颱風未必對研究區皆有顯著影響。一般來說，暴風範圍在颱風眼邊緣是颱風風力最強的地方，然後愈向外風愈小，自颱風中心向外一直到平均風速每小時 50 km 的地方(每秒 14 m(7 級風風速下限))，這一段距離稱為暴風半徑。在暴風半徑內的區域，即為暴風範圍。颱風的暴風半徑平均約為 200 至 300 km，故本研究以臺東為中心，將通過該處半徑 300 km 範圍內之歷史颱風軌跡視為對研究區有顯著影響的颱風事件。經篩選後，對研究區影響較顯著之颱風事件共計 101 場。而為決定臺東地區代表性設計波高與暴潮偏差，選擇多良村外海水深約 1038 m 處之計算結果進行頻率分析。因該處颱風波浪未受近岸地形影響，可做為颱風波浪入射近岸

之代表值。

頻率分析方面則採用 Weibull 分布的套配方法，分析多良村外海水深約 1038 m 處之 50 年暴潮偏差與颱風波高，其結果分別為 0.59 m 及 15.71 m。設計潮位實際呈現雖僅為單一數值，但可配合考量特定因子分別解析計算，藉以推求評估所需條件數值。就海岸防護設施之設計基準而言，為因應不同海岸特性、防護需求、災害風險…等，並參考目前國內海岸防護設施普遍採用之設計潮位考量方式，本就設計潮位之定義，針對上述各潮位考量因子選擇適用值，並將各項考量潮位因子疊加計算。亦即：

$$\text{設計潮位} = \text{天文潮} + \text{氣象潮} + \text{長期海水位變化量}$$

上式中，天文潮採用平均高潮位計算，根據中央氣象局臺東潮位站資料(1976-2017)顯示，其值為 0.73 m，氣象潮則按各重現期暴潮偏差推估結果代入；至於長期海水位變化量部分，本研究則暫不納入考量。故彙整上述遠域數值計算結果可知，本研究設計條件分別為颱風波高 15.71 m；颱風時刻風浪週期為 3.83*(颱風波高)0.5；設計潮位為 1.32 m。

3.3 中域模式 - 致災區範圍劃定

本研究主要標的是針對台 9 線海岸公路進行災害特性分析，此需要以水動力與地形變遷模擬結果為背景資料進行分析。為顧及災害特性分析所需背景資料之精確性，得藉由較細緻的網格系統來進行數值計算，以產出較為可靠的結果進行特性分析。然，細緻網格系統所需計算量及時間較大，因而本研究將研究區域劃分為若干近域範圍進行較細緻網格系統模擬，藉以兼顧計算效率與精確度。近域(致災區)範圍之劃定則需以「資料蒐集分析成果」與「中域模式模擬結果」做為依據，來進行合理的劃定作業。其中，資料蒐集分析成果主要以往昔致災區域資料與台 9 線公路高程為參考依據；中域模式模擬則是以岸前波高與河川輸砂趨勢模擬結果為考量。

由前述台 9 線易致災區分析中可知，南興、多良及三和路段均有公路溢淹發生之記錄；而大武漁港則受長年淤積災害影響；南興和太麻里太麻里(包含香蘭段)則有海岸侵蝕之相關研究記錄，依上述所蒐集資料做為致災區劃定之參酌。另依據本研究蒐集台 9 線樁點資料，可繪製海岸公路高程分布圖(參見圖 6a)，其中除高架路段外，有部分路段高程較低，尤以「南興段至大武段」(圖中 A 紅框範圍)及「加津林至多良段」(圖中 B 紅框範圍)最為顯著。

中域模式用於主要包含由設計條件模擬之岸前波高與河川輸砂趨勢兩種評估。其中，設計波浪條件模擬結果如圖 6b，由圖可見臺東因其海岸水深較深，外海波浪傳遞至近岸時波浪能量不易衰減，整體相位平均波高衰減程度不大。於此計算結果中，擷取公路海岸的岸前波高(參見圖 6c)顯示，加津林至多良段(B 紅框範圍)與香蘭至三和段(C 紅框範圍)，其岸前波高均於較大；而河川輸砂模擬方面(輸砂給定條件參見 2.4.2 節)，研究區域內大多數河川輸砂其底質皆沉積於河口位置。於研究區南部河川對岸邊比較有補注趨勢，圖 6d 所示。

綜上，彙整「致災區資料分析」、「公路高程分布」、「岸前波高」及「河川輸

砂趨勢」等結果，已將研究區域劃定為「南興至大武段」、「加津林至多良段」及「香蘭至三和段」等三個致災區範圍(即近域模擬區塊)，其均可參見圖 3.28、圖 3.30 及圖 3.31 中紅框區塊(A、B 及 C 三個紅框區塊)。

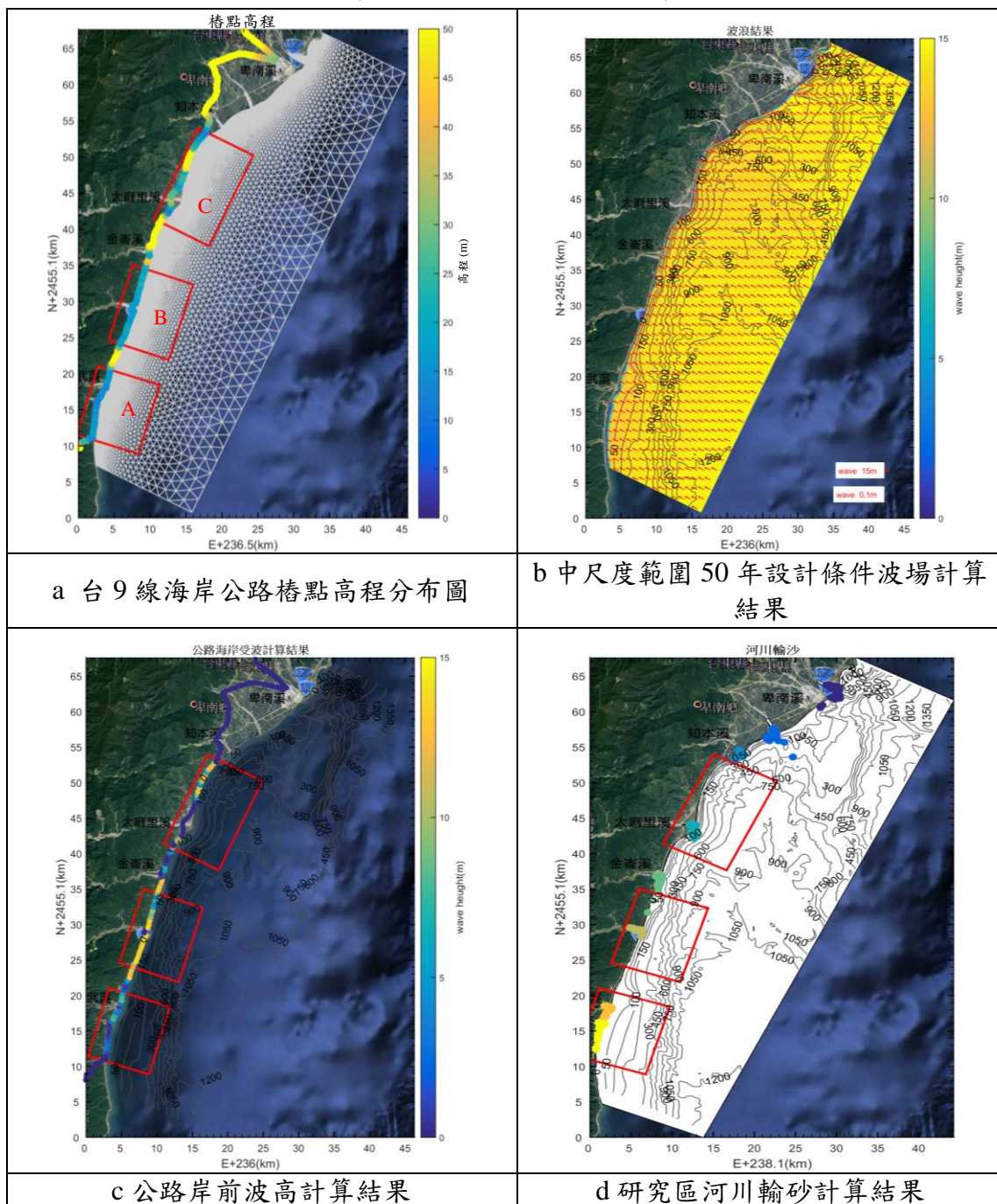


圖 6. 中域模式成果圖

3.4 近域模式 - 災害特性分析方法建立

透過中域模式數值模擬成果與資料蒐集成果進行分析，已劃定本研究近域模式模擬區塊及範圍。近域模式主要運用 CMS 與 PTM 兩模式來進行水動力與地形變遷模擬計算，進一步加值分析計算成果，俾利後續特性分析作業。

為使本研究災害特性分析標的更為明確，因而將以「公路溢淹」、「侵蝕災害」

及「淤積災害」三種災害類型來做為後續災害特性分析之方向，各災害類型之相關定義與災害特性分析之流程如圖 7 所示。

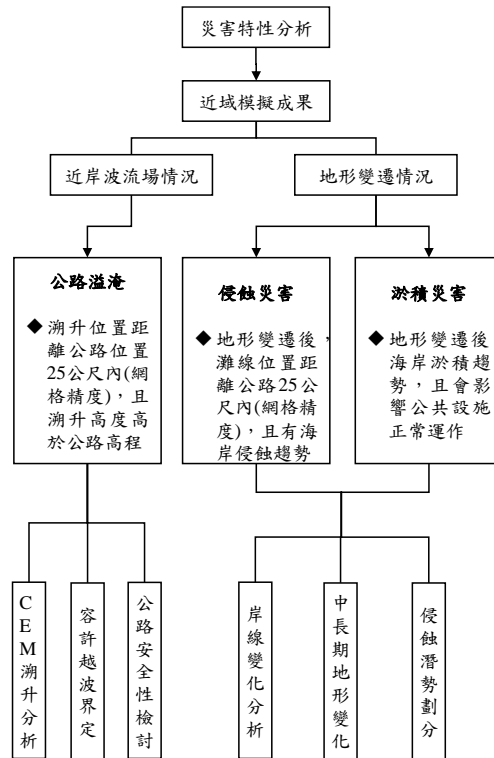


圖 7. 本研究災害分類、定義與分析內容

四、公路致災區段災害特性分析

4.1 公路溢淹致災區段特性分析

本章節主要探討台 9 線海岸公路易產生「公路溢淹」災害之區段，並進行該災害類型之相關分析。依據所擇取海岸段環境與水深地形特徵，藉由潮位與波浪等之海象蒐集資料，配合本研究近域劃分範圍，進行各區域海岸線況波浪數值模擬與分析，並透過相關溯上公式推算海岸公路沿岸波浪溯升之情況及越波量，藉以檢討現有海岸防護設施之安全性海水溯上之情況，並劃定公路溢淹災害潛勢區段。

透過 CMS 計算結果，可得到岸邊結構物前之波高分布(例如：堤前波高)，再進一步配合波浪溯升評估公式，對公路側海岸計算其波浪溯上高度及越波量。最後，再針對「公路溢淹」災害類型進行特性分析，藉以研提台 9 線海岸公路具有公路溢淹災害潛勢區段，並提供該區段相關越波量資訊，俾供未來工程實施和防災策略參酌。圖 8~圖 10 為相關分析結果，其分述如下：

- (1)南興至大武段：**錯誤！找不到參照來源。**8 為南興至大武段「公路溢淹」災害分布圖，其顯示大武漁港以北 435K+000~435K+500 路段之間及 434K+000~434K+500 路段間均屬於災害潛勢區段，該兩區段溯升高度均約達 16m，而公路高程分別約為 8m 與 10m，因而有導致公路溢淹災害之可能性；大武漁港以

南至南興路段，於 439K+500~441K+000 之間路段具災害潛勢特性，然該路段區域溯升高度較上述兩處偏低約 10m，惟因該區域公路高程均低於 10m，導致仍有公路溢淹災害之危機。於錯誤! 找不到參照來源。8 越波分析結果可知，各「公路溢淹」災害潛勢路段中，435K+500 周圍區域越波量有大於 10^{-3} (cms/m) 現象發生，其餘潛勢路段均介於 10^{-4} ~ 10^{-3} (cms/m) 之間。由此顯示，各潛勢區段均滿足護岸之容許越波量 (5×10^{-2} (cms/m)) 以下，除了南興路段接近臨界值外，其餘路段均未滿足交通安全之越流量(至少需低於 5×10^{-4} (cms/m))。

(2)加津林至多良段：圖 9 為加津林至多良段「公路溢淹」災害分布圖，該區域為三區域中「公路溢淹」災害較為嚴重之路段，其顯示 421K+500~422K+000 路段之間、422K+000~422K+500 路段間、423K+500~425K+000 路段間及 425K+500~426K+000 路段間，均有多處災害潛勢區段。其中，423K+500~424K+000 路段間溯升高度較高(最高約達 15m)，且亦位於公路高程相對低處(最低高約為 11m)，此處為易導致公路溢淹災害之區塊，必須謹慎關注。其餘區段溯升高度均約低於 15m；公路高程約 11m~13m 左右。於圖 9 越波分析結果可知，各「公路溢淹」災害潛勢路段中，424K+000 周圍區域越波量有約於 5×10^{-2} (cms/m)，其餘潛勢路段均介於 10^{-3} ~ 2×10^{-2} (cms/m) 之間。由此顯示，除 424K+000 周圍潛勢區段未滿足護岸之容許越波量 (5×10^{-2} (cms/m)) 以下外，其餘路段大都符合，而各潛勢路段均未滿足交通安全之越流量(至少需低於 5×10^{-4} (cms/m))。

(3)香蘭至三和段：圖 10 為香蘭至三和段「公路溢淹」災害分布圖，該區域為三區域中「公路溢淹」災害潛勢區最少之路段，其顯示僅 395K+500 路段周圍為災害潛勢區段。主要原因為該區域公路高程大多較高，使之溯升高度影響公路較小，395K+500 路段於此區域中為公路高程較低路段，且離岸距離較近，使其納為「公路溢淹」災害潛勢區域，其中溯升高度最高約達 10 m，且公路高程則略低於 10m。此外，407K+000 路段雖亦有相對高之溯升高度，惟其公路段離灘岸較遠，因而並未納入「公路溢淹」災害潛勢區域之中。於圖 10 越波分析結果可知，各「公路溢淹」災害潛勢路段中，395K+500 路段越波量約為 2×10^{-3} (cms/m)，其滿足護岸之容許越波量 (5×10^{-2} (cms/m)) 以下，惟未滿足交通安全之越流量(至少需低於 5×10^{-4} (cms/m))。因此，於颱風事件發生時，該處仍有車輛仍須注意通行安全，避免浪襲越波導致生命安全受到威脅。

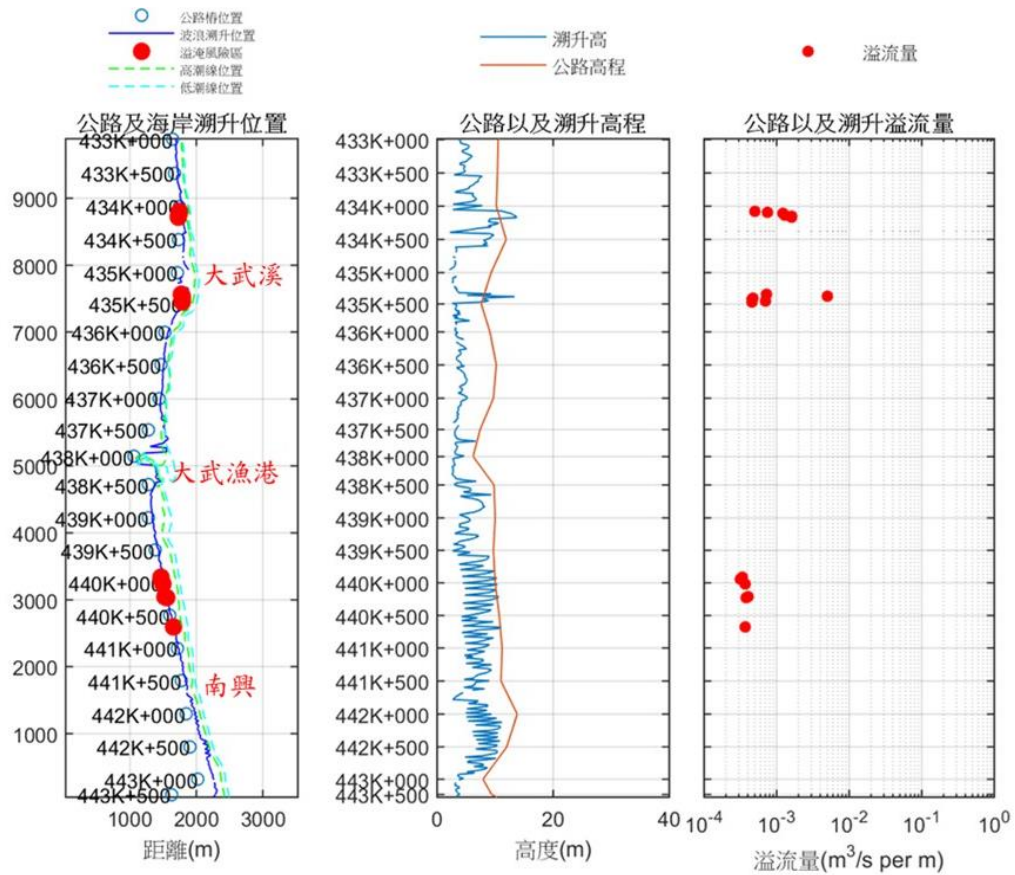


圖 8. 南興至大武路段「公路溢淹」災害分布圖

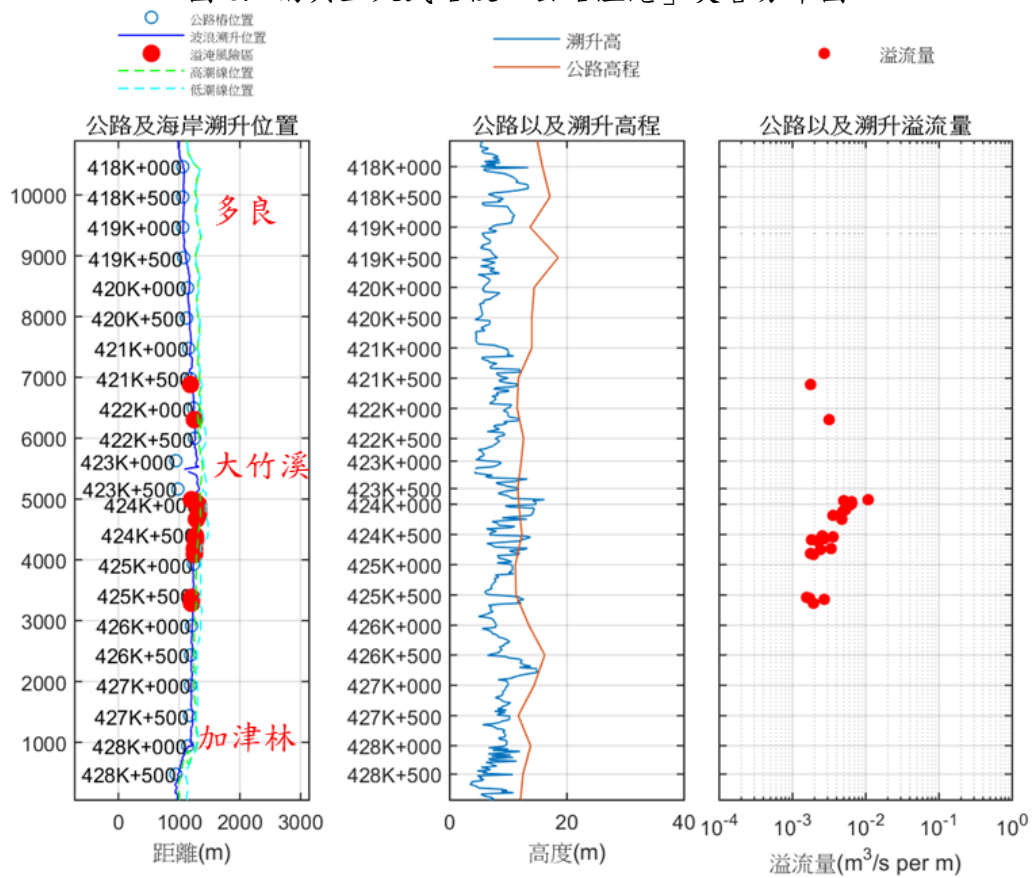


圖 9. 加津林至多良路段「公路溢淹」災害分布圖

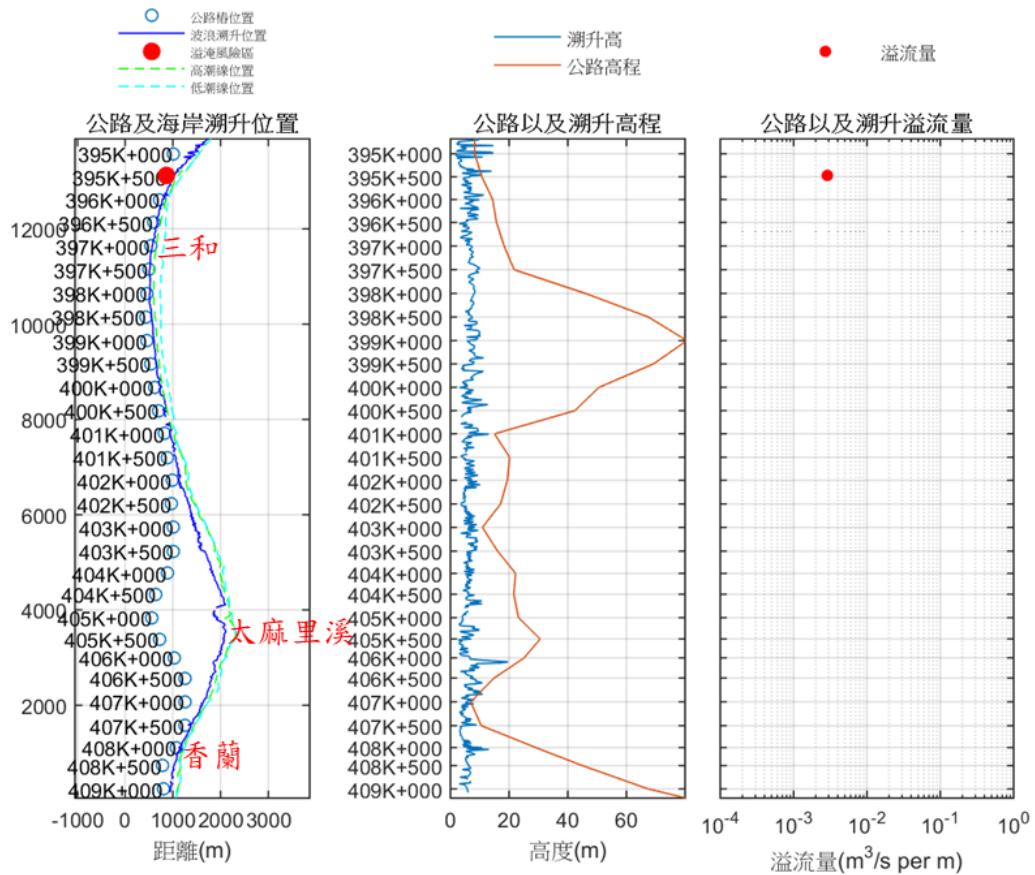


圖 10. 香蘭至三和路段「公路溢淹」災害分布圖

4.2 沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析

為瞭解臺東海岸公路沿岸中長期地形變遷特性，進行近岸水動力及地形變遷數值模擬，針對易致災區段進行兩種不同情境模擬分析：1.外海入射代表性波浪；2.夏、冬季代表性波浪條件。並藉由代表波浪條件模擬成果，針對中長期地形變遷進行分析，其成果概述如下：

研究中長期地形變遷，首先分析研究區長期代表性波浪趨勢。外海波浪條件則蒐集中央氣象局臺東外海觀測浮標之長期波浪觀測資料，資料長度為2010/09~2018/03。進一步將夏季以及冬季分開統計，根據季節性示性波高、週期之累積機率分布可推估本研究區內在夏季季風期間表性波高=1.43 m 代表性週期=5.81 s 主要波向 ESE 群波波速=4.81 m/s。冬季代表性波高=1.74 m 代表性週期=6.44 s 主要波向 E 群波波速=5.55 m/s；全年度代表性波高=1.62 m 代表性週期=6.12 s 主要波向 E 群波波速=5.16 m/s。

透過 CMS 和 PTM 計算研究區域地形變遷情況，再進一步將夏、冬季以及全年度條件之地形變遷計算結果，擷取海岸零米線之變化分析，茲分別以「南興至大武段」、「加津林至多良段」及「香蘭至三和段」此三段近域範圍於冬夏季以及全年度長期條件下之地形變化趨勢計算結果進行探討與說明，相關分述如后所示：(1)南興至大武段(圖 11)：由計算結果顯示南興至大武段，位於大武漁港以北由 435K+000~438K+000，由於此區有河條河川之關係，這段海岸有明顯之淤積現

- 象，大武漁港南側至南興段長期結果屬於侵蝕趨勢，但皆未達災害潛勢的標準，此區較明顯之災害為淤積災害，位在 438K+000 大武漁港位置，由最左側海岸線顯示，此區剛好位於一個凹槽海岸地形，由前章節研究結果顯示，於大波浪時南北兩側流場皆會往此地帶聚集，這可能是造成此區域長期容易淤積之主因。
- (2)加津林至多良段(圖 12)：此區域普遍而言屬於略為侵蝕之趨勢，河口除外，由於海岸線屬於直線型，故其季節性變化差異不大，長期地形變遷分析結果顯示於 418k+000、420K+000 及 428K+000~428K+500 此三處位置，略為呈現中侵蝕潛勢，侵蝕情況尚不嚴重，建議定期注意其變化。
- (3)香蘭至三和段(圖 13)：此段海岸多數屬於侵蝕趨勢，除太麻里溪可口南側位置 404K+000~407K+000 為淤積，河口處其季節性侵淤差異較大，其中三和海岸 397K+500 位置處已達中潛勢侵蝕標準，且其距離公路較近，應密切注意其地形變化。

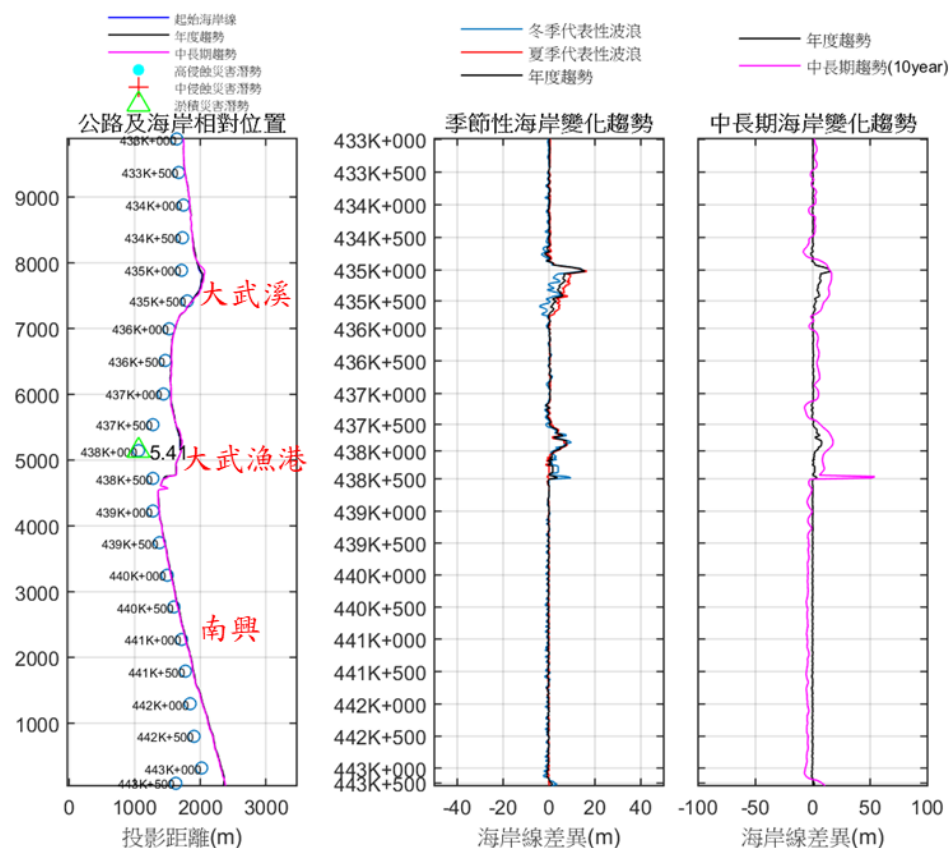


圖 11. 南興至大武路段海岸線侵淤趨勢變化成果

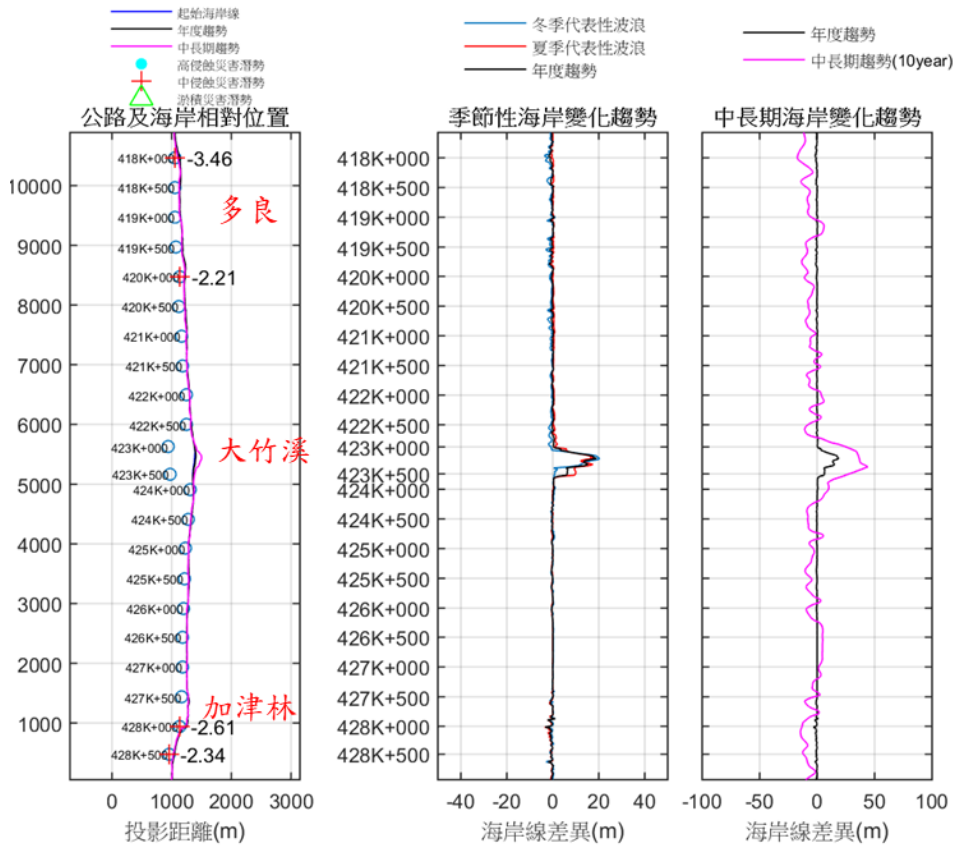


圖 12. 加津林至多良路段侵淤趨勢變化成果

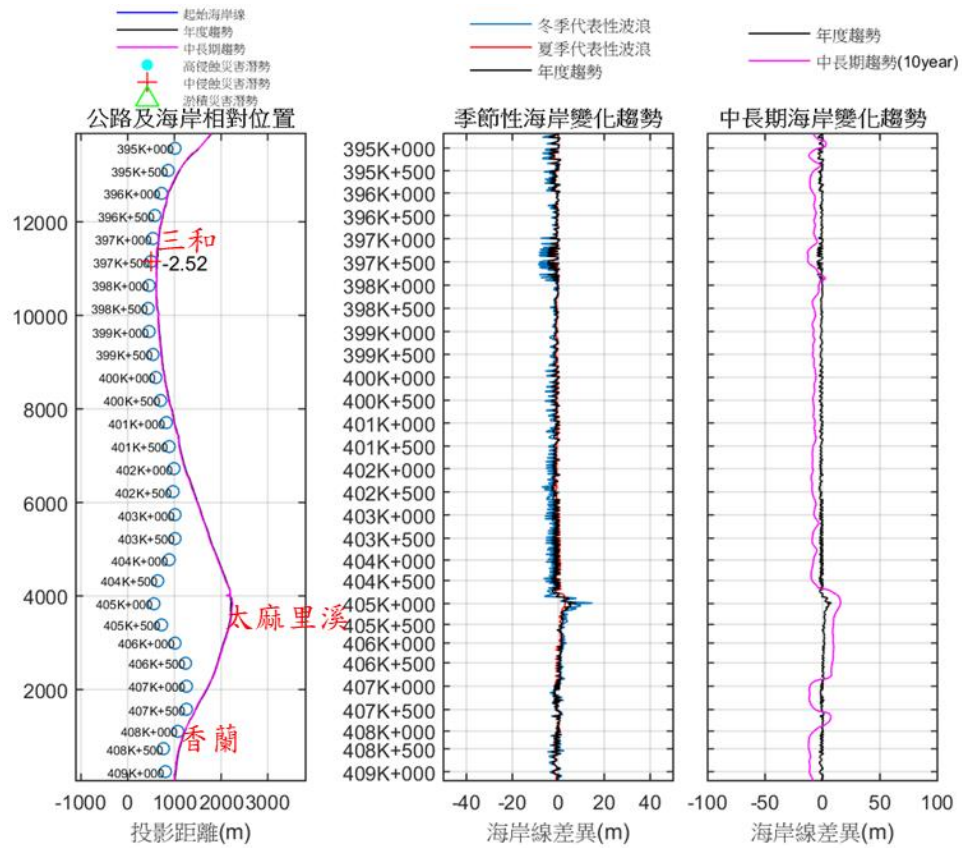


圖 13. 香蘭至三和路段侵淤趨勢變化成果

五、結論

本研究主要為針對「台 9 線」海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特災害性進行探討，除針對該區域相關背景資料蒐集外，亦須建置適合模擬臺東海岸水動力與地形變遷之數值模式，並進行台 9 線公路溢淹和沿岸中長期地形變遷特性探討，以瞭解拓寬之公路(如台 9 線)可能造成災害影響。依據相關背景資料蒐集，分析台 9 線往昔易致災路段，瞭解目前台 9 線公路現況及災害分析之重要區域。本研究主要運用「數值模擬」及「災害特性分析」方式進行評估，數值模式方面，運用遠域模式、中域模式及近域模式三種不同模擬方式，進行水動力與地形變遷模擬；災害特性分析方面，則採用數值模擬結果，進行加值分析，藉以劃定各災害類型（公路溢淹、侵蝕災害及淤積災害）於台 9 線海岸之災害潛勢區域分布情況，此可做為未來施工或防災作業之參酌。

1. 本研究蒐集往昔台 9 線海岸區域相關報告，彙整其環境背景資料與往昔曾致災區域位置及相關災情狀況。另透過現場勘查方式瞭解易致災區域之現況，並劃分後續需評估之致災區域與範圍。
2. 蒐集研究區往昔衛星影像資料，並進行分析探討。由衛星分析結果可瞭解台 9 線海岸長期變化情況，亦可探討因海岸結構物（防波堤、突堤及離岸堤等）設置影響，使其灘線與海岸環境變化之行為。另透過影像處理方式，可瞭解台 9 線沿岸漂砂季節性變化趨勢，俾利未來策略擬訂之參考。
3. 本研究以台 9 線海岸為模擬對象，建置適合數值模擬之模式，包含遠域模式、中域模式及近域模式。透過各模式模擬與相關資料分析，則可以較完善且邏輯的方式，探討台 9 線海岸災害特性。相關數模模式亦有透過本研究所蒐集之觀測資料，進行完整的驗證與調校，並確認目前模式所採用網格、邊界條件及數值地形等資料，能夠可靠的模擬台 9 線海岸相關物理問題。
4. 針對各情境模擬結果進行災害特性分析，藉以瞭解台 9 線海岸現況所會面臨之災害問題。本研究以「公路溢淹」、「侵蝕災害」及「淤積災害」三個災害類型，來進行海岸災害特性分析，並標記可能致災之潛勢路段。
5. 本研究於「公路溢淹」災害特性分析中，除針對溯升與越波量對公路影響進行評估外，亦有進行公路安全性檢討，並研析台 9 線海岸公路總體穩定性。依目前分析成果可知，台 9 線 440K+000 ~ 441K+000、424K+500 周圍及 396K+000 ~ 396K+500 均為公路溢淹災害較為顯著之路段。
6. 本研究於「侵蝕災害」與「淤積災害」災害特性分析中，除針對兩災害分別對

公路侵蝕威脅與公共設施營運影響進行評估外，亦有提供各災害中長期趨勢變化。依目前分析成果可知，大武漁港為淤積災害熱點，418K+000 周圍區域及 397K+500 為侵蝕災害之熱點。

參考文獻

1. Booij, N., L. H. Holthuijsen and R. C. Ris, "A The SWAN Wave Model for Shallow water," Proceedings of 24 International Conference on Coastal Engineering, Orlando, USA, Vol. 1, pp. 668-676 (1996)
2. Booij N., L. H. Holthuijsen and IJ. G. Haagama, "Comparison the Second-Generation HISWA Wave Model with the Third-Generation SWAN Wave Model," 5th International Workshop on Wave Hindcasting and Forecasting, Jan. 27-30, Melbourne, Florida, pp. 215-212 (1998).
3. Camenen, B. and Larson, M., "A general formula for noncohesive bed load sediment transport," Estuarine, Coastal, and Shelf Science, 63, 249-260 (2005).
4. Camenen, B. and Larson, M., "Phase-lag effects in sheet flow transport," Coastal Engineering, 56, 531-542 (2006).
5. Holthuijsen, L. H., N. Booij, R. C. Ris, J. H., Andorka Gal and I. C. M. de Jong, "A Verification of the Third-Generation Wave Model "SWAN" along the Southern North Sea Coast," Proceedings 3rd international Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis, WAVES, 97, ASCE, pp. 49-63 (1997).
6. Luetlich, R.A., Jr., J.J. Westerink, and N.W. Scheffner, "ADCIRC: an advanced three-dimensional circulation model for shelves coasts and estuaries, report 1: theory and methodology of ADCIRC-2DDI and ADCIRC-3DL," Dredging Research Program Technical Report DRP-92-6, U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station, Vicksburg, MS, 137p (1992).
7. Smith, J. M., "Breaking in a spectral wave model," Proceedings 4th International Symposium of Ocean Wave Measurement and Analysis, Waves 01, ASCE, 1022-1031 (2001).
8. Van Rijn, L.C., "The effect of sediment composition on cross-shore bed profiles," Proc. 26th ICCE. Copenhagen, Denmark (1998).
9. Van der Meer, J.W. and Stam, C.J.M., "Wave run-up on smooth and rock slopes of coastal structures." ASCE, Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering, 188(5), 534-550 (1992).
10. Watanabe, A., "3-dimensional numerical model of beach evolution." Proc. Coastal Sediments '87, ASCE, 802-817 (1987).
11. Westerink, J.J. and R.A. Luetlich, "Tide and storm surge predictions in the Gulf of Mexico using model ADCIRC-2D," Report to the US Army Engineer Waterways Experiment Station, July, (1991).

12. 榎木亨，漂砂と海岸侵蝕，(1982)。
13. Coastal Engineering Manual (CEM), (2002).
14. Coastal Engineering Manual (CEM), (2005).
15. Coastal Engineering Manual (CEM), (2006).
16. Douglass and Krolak, "Hydraulic Engineering Circular No. 25,"(2008).
17. Brown and Clyde, "HEC-11 Design of Riprap Revetment,"(1989).
18. 謝世圳、林呈、張禎罐、張澤龍、李鳴峻、賴文俊、蔡清標(2000)「臺東知本海岸與美和海岸變遷之研究」，第二十二屆海洋工程研討會論文集，第 410-416 頁。
19. 曹宴瑄、黃偉柏、張東宸、詹智為(2011)「臺東太麻里海洋及河口營力對海岸地形變遷之數值模擬研究」，第三十三屆海洋工程研討會論文集，第 399-404 頁。
20. 溫志中、張君名、莊文傑(2012)「潮流作用下臺灣漁港淤砂研究」，第三十四屆海洋工程研討會論文集，第 375-380 頁。
21. 黃學美、朱至誠(2013)「台 9 線海岸公路防浪保護工程之探討」，第三十五屆海洋工程研討會論文集，第 275-280 頁。
22. 徐如娟、張欽森、劉勁成、朱志誠、何良勝，「臺北港波浪條件推算及設計波高基準之探討」，交通部運輸研究所(2006)。
23. 經濟部水利署第八河川局，「臺東海岸(香蘭段)監測防護研究(2-2)」，經濟部水利署(2007)。
24. 成大水利海洋研究發展文教基金會，「海岸防護設施設計準則(草案)海堤篇」，經濟部水利署水利規劃試驗所(2010)。
25. 成大水利海洋研究發展文教基金會，「海岸防護及環境復育規劃參考手冊」，經濟部水利署水利規劃試驗所(2010)。
26. 經濟部水利署第八河川局，「台東海岸(太麻里段)環境營造改善研究」，經濟部水利署(2010)。
27. 經濟部水利署第八河川局，「臺東海岸(尚武段)監測調查研究(2/2)」，經濟部水利署(2010)。
28. 經濟部水利署第八河川局，「臺東海岸(太麻里段)環境營造改善研究(2/2)」，經濟部水利署(2012)。
29. 邱永芳、蔡金吉，「消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究(4-4)」，交通部運輸研究所(2013)。
30. 陳冠宇、陳陽益、邱永芳、蘇青和、單誠基、李俊穎，「應用地理資訊系統建置臺灣主要商港溢淹災害潛勢圖之研究(2/2)」，港灣研究中心(2016)。
31. 經濟部水利署第八河川局，「臺東海岸防護研究」，經濟部水利署(2017)。