

108-017-7B08

MOTC-IOT-107-H3DB001d

# 臺東海岸公路溢淹及沿岸地形 變遷特性研究



交通部運輸研究所

中華民國 108 年 2 月

108-017-7B08

MOTC-IOT-107-H3DB001d

# 臺東海岸公路溢淹及沿岸地形 變遷特性研究

著者：蕭士俊、蘇青和、李俊穎、陳鈞彥

交通部運輸研究所

中華民國 108 年 2 月

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究 /  
蕭士俊等著. -- 初版. -- 臺北市：交通部運研  
所, 民 108.02  
面；公分  
ISBN 978-986-05-8556-8(平裝)

1.公路管理 2.防災工程

557

108000971

臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究

著者：蕭士俊、蘇青和、李俊穎、陳鈞彥

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 臺北市敦化北路 240 號

網址：[www.ihmt.gov.tw](http://www.ihmt.gov.tw) (中文版>中心出版品)

電話：(04)26587132

出版年月：中華民國 108 年 2 月

印刷者：采峰實業有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 70 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：250 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號•電話(04)22260330

GPN：1010800148

ISBN：978-986-05-8556-8 (平裝)

著作財產權人：中華民國(代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權

臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究

交通部運輸研究所

GPN: 1010800148

定價:250 元

## 交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究			
國際標準書號 978-986-05-8556-8	政府出版品統一編號 1010800148	運輸研究所出版品 編號 108-017-7B08	計畫編號 MOTC-IOT-107- H3DB001d
本所主辦單位：港研中心 主管：朱金元 計畫主持人：蘇青和 研究人員：陳鈞彥 聯絡電話：04-26587120 傳真號碼：04-26571329	合作研究單位：財團法人成大研究發展基金會 計畫主持人：蕭士俊 研究人員：吳漢倫、陳彥龍、林鼎傑、蕭郁 地址：701 台南市東區大學路 1 號 聯絡電話：06-2757575#50970	研究期間  自 107 年 02 月 至 107 年 12 月	
關鍵詞：台 9 線、公路溢淹、地形變遷、侵蝕災害、淤積災害			
<p>摘要：</p> <p>本計畫主要為針對「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，亦須建置適合模擬台東海岸水動力與地形變遷之數值模式，並進行台九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，已分析台九線往昔易致災路段，並透過現場勘查作業，瞭解目前台九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，研析台九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沙季節性變化行為。</p> <p>本計畫主要以「數值模擬」與「特性災害分析」方式探討台九線災害特性，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九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。</p>			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
108 年 2 月	236	250	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函價洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
<p>機密等級：</p> <p><input type="checkbox"/>密 <input type="checkbox"/>機密 <input type="checkbox"/>極機密 <input type="checkbox"/>絕對機密</p> <p>(解密條件：<input type="checkbox"/> 年 月 日解密，<input type="checkbox"/>公布後解密，<input type="checkbox"/>附件抽存後解密，<input type="checkbox"/>工作完成或會議終了時解密，<input type="checkbox"/>另行檢討後辦理解密)</p> <p>■普通</p>			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS  
INSTITUTE OF TRANSPORTATION  
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: The study on the characteristics of the coastal highway flooding and the nearshore morphology			
ISBN (OR ISSN) 978-986-05-8556-8	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010800148	IOT SERIAL NUMBER 108-017-7B08	PROJECT NUMBER MOTC-IOT-107- 3DB001d
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chu Chin-Yuan PRINCIPAL INVESTIGATOR: Su Ching-Ho PROJECT STAFF: Su Ching-Ho, Lee Chung-Ying, Chen Chun-Yen PHONE: (04) 26587132 FAX: (04) 26564415			PROJECT PERIOD FROM February 2018 TO December 2018
RESEARCH AGENCY: NCKU RESEARCH AND DEVELOPMENT FOUNDATION PRINCIPAL INVESTIGATOR: Hsiao Shih-Chun PROJECT STAFF: Wu H.L., Chen Y.L., Lin, T.C., Hsiao Y. ADDRESS: University Road, Tainan Eastern District One PHONE: (06) 2757575 ext 50970			
KEY WORDS: Provincial Highway No. 9, Highway flooding, Morphological change, Erosion disaster, Deposit disaster			
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.			
DATE OF PUBLICATION February 2019	NUMBER OF PAGES 236	PRICE 250	CLASSIFICATION <input type="checkbox"/> RESTRICTED <input type="checkbox"/> CONFIDENTIAL <input type="checkbox"/> SECRET <input type="checkbox"/> TOP SECRET <input checked="" type="checkbox"/> UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

# 目錄

中文摘要.....	I
英文摘要.....	II
目錄.....	III
圖目錄.....	VI
表目錄.....	XI
第一章 緒論.....	1-1
1.1 計畫緣起.....	1-1
1.2 研究範圍與對象 .....	1-1
1.3 研究內容與工作項目 .....	1-3
1.3.1 研究內容.....	1-3
1.3.2 工作項目.....	1-5
1.4 工作流程與架構 .....	1-5
1.5 預定進度表 .....	1-6
第二章 資料蒐集分析 .....	2-1
2.1 潮位資料蒐集分析 .....	2-1
2.2 海象資料蒐集分析 .....	2-3
2.2.1 波浪資料蒐集分析 .....	2-3
2.2.2 海流資料蒐集分析 .....	2-5
2.3 海岸漂沙資料蒐集分析 .....	2-6
2.4 河川水文資料 .....	2-7
2.4.1 流量.....	2-8
2.4.2 河川輸砂.....	2-9

2.4.3 颱風.....	2-12
2.5 台九線易致災區分析 .....	2-13
2.6 衛星影像蒐集及分析 .....	2-23
2.6.1 衛星影像資料蒐集 .....	2-23
2.6.2 近岸結構物對海岸影響之探討 .....	2-24
2.6.3 季節性漂沙變化分析探討 .....	2-29
第三章 數值評估.....	3-1
3.1 數值模式建置 .....	3-1
3.1.1 遠域波流模式 .....	3-1
3.1.2 波流與地形變遷模式 .....	3-4
3.2 模式設置.....	3-22
3.2.1 遠域模式設置 .....	3-22
3.2.2 中域模式設置 .....	3-24
3.2.3 近域模式設置 .....	3-27
3.3 水動力模式驗證及地形變遷模式調校 .....	3-30
3.3.1 水動力模式驗證 .....	3-31
3.3.2 地形變遷模式調校 .....	3-39
3.4 數值模式評估 .....	3-43
3.4.1 數值模式評估架構 .....	3-43
3.4.2 遠域模式 – 設計條件評估 .....	3-45
3.4.3 中域模式 – 致災區範圍劃定 .....	3-52
3.4.4 近域模式 – 災害特性分析方法建立 .....	3-59
第四章 公路溢淹致災區段特性分析 .....	4-1
4.1 海岸現況波浪數值模擬分析 .....	4-1

4.2 公路安全性檢討 .....	4-16
4.2.1 公路溢淹水理特性分析 .....	4-16
4.2.2 海岸結構物安定性分析 .....	4-23
4.2.3 地質特性分析 .....	4-27
4.2.4 海岸公路穩定性整體研析 .....	4-28
4.3 公路溢淹災害特性分析評估 .....	4-28
第五章 沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析 .....	5-1
5.1 夏、冬季及全年度代表性波浪條件及輸砂條件 .....	5-1
5.2 地形變遷趨勢模擬結果 .....	5-3
5.3 海岸侵淤災害分析 .....	5-22
5.4 海岸侵淤特性分析評估 .....	5-26
第六章 結論與建議 .....	6-1
6.1 結論 .....	6-1
6.2 建議 .....	6-2
參考文獻 .....	參-1
附錄一 期中審查意見回覆表 .....	附 1-1
附錄二 期末審查意見回覆表 .....	附 2-1
附錄三 PTM 模式理論 .....	附 3-1
1、歐拉輸砂計算 .....	附 3-1
2、粒子傳輸輸砂計算 .....	附 3-8
附錄四 極端事件災害特性分析 .....	附 4-1
附錄五 期末簡報 .....	附 5-1



## 圖目錄

圖 1.1	計畫研究範圍圖(台 9 線拓寬工程靠海路段).....	1-3
圖 1.2	計畫工作流程與執行架構 .....	1-6
圖 2.1	大武溪姑崙(2)測站月流量平均值及月流量最大值分析圖 .	2-9
圖 2.2	大武溪姑崙(2)測站月最大輸砂量平均及月最大輸砂量分析圖 .....	2-10
圖 2.3	2011 年測太麻里溪流量及總輸砂量關係 .....	2-11
圖 2.4	歷年各場颱風侵襲路徑圖 (資料來源：中央氣象局) ....	2-12
圖 2.5	現勘區域示意圖 .....	2-18
圖 2.6	南興路段與大武漁港現勘成果圖(民國 107 年 4 月) .....	2-19
圖 2.6(續)	南興路段現勘成果圖(民國 107 年 6 月).....	2-20
圖 2.7	多良路段與金崙大橋現勘成果圖(民國 107 年 4 月) .....	2-21
圖 2.8	香蘭段及美和、三和海岸現勘成果圖(民國 107 年 4 月).	2-22
圖 2.9	大武漁港周圍海域長期地形變遷情況 .....	2-27
圖 2.9(續 1)	大武漁港周圍海域長期地形變遷情況.....	2-28
圖 2.10	漂沙範圍分析流程 .....	2-29
圖 2.11	南興至大武段漂沙範圍分析結果 (5 月).....	2-31
圖 2.11(續)	南興至大武段漂沙範圍分析結果 (12 月).....	2-32
圖 2.12	加津林至多良段漂沙範圍分析結果 (5 月).....	2-33
圖 2.12(續)	加津林至多良段漂沙範圍分析結果 (12 月).....	2-34
圖 2.13	香蘭至三和段漂沙範圍分析結果 (5 月).....	2-35
圖 2.13(續)	香蘭至三和段漂沙範圍分析結果 (12 月).....	2-36
圖 2.14	台九線海岸漂沙變化分布圖 .....	2-37

圖 3.1	平行計算時各核心資料傳遞示意圖 .....	3-4
圖 3.2	輸砂連續性定義(體積守恆).....	3-12
圖 3.3	流和波造成的混和係數垂直分布 .....	3-17
圖 3.4	二維水動力與地形變化數值模式架構圖 .....	3-22
圖 3.5	大域計算網格示意圖 .....	3-24
圖 3.6	中尺度模擬網格範圍以及配置情形 .....	3-26
圖 3.7	南興至大武路段模擬網格範圍以及水深地形 .....	3-28
圖 3.8	加津林至多良路段模擬網格範圍以及水深地形 .....	3-29
圖 3.9	香蘭至三和路段模擬網格範圍以及水深地形 .....	3-30
圖 3.10	2015 莫蘭蒂(Meranti)颱風路徑圖 .....	3-32
圖 3.11	2017 尼莎(Nesat)颱風路徑圖.....	3-32
圖 3.12	觀測站位置示意圖 .....	3-33
圖 3.13	2016 莫蘭蒂颱風期間水位數值與觀測值驗證 .....	3-34
圖 3.14	2016 莫蘭蒂颱風期間暴潮偏差數值與觀測值驗證 .....	3-34
圖 3.15	2016 莫蘭蒂颱風期間波高數值與觀測值驗證 .....	3-35
圖 3.16	2017 尼莎颱風期間水位數值與觀測值驗證 .....	3-35
圖 3.17	2017 尼莎颱風期間暴潮偏差數值與觀測值驗證 .....	3-36
圖 3.18	2017 尼莎颱風期間波高數值與觀測值驗證 .....	3-36
圖 3.19	TMW1 海流站觀測位置圖.....	3-38
圖 3.20	TMW1 海流站監測結果玫瑰圖.....	3-38
圖 3.21	TMW1 實測值與模式計算之海流流速結果驗證比較 .....	3-39
圖 3.22	太麻里地區海岸底質中值粒徑( $D_{50}$ )分布圖 .....	3-41
圖 3.23	太麻里地區海岸地形變遷分布圖 .....	3-42
圖 3.24	太麻里地區海岸地形變遷結果與實測資料比對 .....	3-43

圖 3.25	數值評估流程圖 .....	3-44
圖 3.26	多良村外海水深約 1038 m 處暴潮偏差以 Weibull 分布套配 結果.....	3-50
圖 3.27	多良村外海水深約 1038 m 處颱風波高以 Weibull 分布套配 結果.....	3-51
圖 3.28	台九線海岸公路樁點高程分布圖 .....	3-55
圖 3.29	中尺度範圍 50 年設計條件波場計算結果 .....	3-56
圖 3.30	公路岸前波高計算結果 .....	3-57
圖 3.31	計畫區河川輸砂計算結果 .....	3-58
圖 3.32	本計畫災害分類、定義與分析內容 .....	3-60
圖 4.1	南興至大武段設計條件波場分布圖 .....	4-4
圖 4.2	南興至大武段設計條件平均水位分布圖 .....	4-5
圖 4.3	南興至大武段設計條件波浪引致流場變化分布圖 .....	4-6
圖 4.4	南興至大武段設計條件剖面圖 .....	4-7
圖 4.4(續 1)	南興至大武段設計條件剖面圖.....	4-7
圖 4.4(續 2)	南興至大武段設計條件剖面圖.....	4-7
圖 4.5	加津林至多良段設計條件波場分布圖 .....	4-8
圖 4.6	加津林至多良段設計條件平均水位分布圖 .....	4-9
圖 4.7	加津林至多良段設計條件波浪引致流場變化分布圖 .....	4-10
圖 4.8	加津林至多良段設計條件剖面圖 .....	4-11
圖 4.8(續 1)	加津林至多良段設計條件剖面圖.....	4-11
圖 4.8(續 2)	加津林至多良段設計條件剖面圖.....	4-11
圖 4.9	香蘭至三和設計條件波場分布圖 .....	4-12
圖 4.10	香蘭至三和設計條件平均水位分布圖 .....	4-13

圖 4.11	香蘭至三和段設計條件波浪引致流場變化分布圖 .....	4-14
圖 4.12	香蘭至三和段設計條件剖面圖 .....	4-15
圖 4.12(續 1)	香蘭至三和段設計條件剖面圖 .....	4-15
圖 4.12(續 2)	香蘭至三和段設計條件剖面圖 .....	4-15
圖 4.13	溯升及越波示意圖 .....	4-17
圖 4.14	容許越波量界定範圍圖(資料來源：CEM，2005).....	4-18
圖 4.15	南興至大武路段「公路溢淹」災害潛勢分布圖 .....	4-21
圖 4.16	加津林至多良路段「公路溢淹」災害潛勢分布圖 .....	4-22
圖 4.17	香蘭至三和路段「公路溢淹」災害潛勢分布圖 .....	4-23
圖 4.18	南興至大武段塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑分布圖.....	4-25
圖 4.19	加津林至多良段塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑分布圖.....	4-26
圖 4.20	香蘭至三和段塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑分布圖.....	4-27
圖 5.1	臺東浮漂波浪資料時序列 .....	5-2
圖 5.2	臺東浮漂夏、冬季波浪資料統計結果 .....	5-2
圖 5.3	夏季期間平均流場(南興至大武段).....	5-5
圖 5.4	冬季期間平均流場(南興至大武段).....	5-6
圖 5.5	全年度平均流場(南興至大武段).....	5-7
圖 5.6	夏季地形變化結果(南興至大武段).....	5-8
圖 5.7	冬季地形變化結果(南興至大武段).....	5-9
圖 5.8	全年度地形變化結果(南興至大武段).....	5-10
圖 5.9	夏季期間平均流場(加津林至多良段).....	5-11
圖 5.10	冬季期間平均流場(加津林至多良段).....	5-12

圖 5.11	全年度平均流場(加津林至多良段).....	5-13
圖 5.12	夏季地形變化結果(加津林至多良段).....	5-14
圖 5.13	冬季地形變化結果(加津林至多良段).....	5-15
圖 5.14	全年度地形變化結果(加津林至多良段).....	5-16
圖 5.15	夏季期間平均流場(香蘭至三和段).....	5-17
圖 5.16	冬季期間平均流場(香蘭至三和段).....	5-18
圖 5.17	全年度平均流場(香蘭至三和段).....	5-19
圖 5.18	夏季地形變化結果(香蘭至三和段).....	5-20
圖 5.19	冬季地形變化結果(香蘭至三和段).....	5-21
圖 5.20	全年度地形變化結果(香蘭至三和段).....	5-22
圖 5.21	南興至大武段段海岸線侵淤趨勢變化成果 .....	5-24
圖 5.22	加津林至多良段侵淤趨勢變化成果 .....	5-25
圖 5.23	香蘭至三和段侵淤趨勢變化成果 .....	5-26



## 表目錄

表 1-1	預定進度甘梯圖 .....	1-7
表 2-1	歷年潮位研究蒐集資訊表 .....	2-2
表 2-2	潮位站天文潮位歷年相關研究資料比較表 .....	2-3
表 2-3	中央氣象局潮位資料 .....	2-3
表 2-4	波浪研究蒐集資訊表 .....	2-4
表 2-5	中央氣象局波浪最大示性波高統計資料表(台東外洋浮標)	2-5
表 2-6	中央氣象局波浪最大示性波高統計資料表(台東浮標) .....	2-5
表 2-7	歷年海流研究蒐集資訊表 .....	2-6
表 2-8	歷年漂沙研究蒐集資訊表 .....	2-7
表 2-9	歷年河川研究蒐集資訊表 .....	2-8
表 2-10	2002~2008 年姑崙(2)測站歷年月平均流量與月最大流量表 .....	2-8
表 2-11	2003、2005 年姑崙(2)測站輸砂量及對應之流量表 .....	2-10
表 2-12	台九線公路易致災路段相關資料分析 .....	2-15
表 2-13	衛星影像圖資蒐集彙整表 .....	2-23
表 2-14	Google Earth 及 SPOT 無償下載衛星影像資料彙整表....	2-26
表 3-1	再懸浮及沉積率的計算特性 .....	3-15
表 3-2	遠域模式網格配置表 .....	3-24
表 3-3	中域模式網格配置表 .....	3-25
表 3-4	近域模式網格配置表 .....	3-27
表 3-5	2016 莫蘭蒂颱風期間水位數值與觀測值驗證 .....	3-37
表 3-6	2017 尼莎颱風期間水位數值與觀測值驗證 .....	3-37

表 3-7	太麻里 TMW1 海流測站實測值與模擬值量化比對結果..	3-39
表 3-8	影響計畫區歷次颱風代表性設計波高與暴潮偏差計算成果表 .....	3-45
表 3-9	分布函數相關統計量 .....	3-49
表 3-10	計算樣本順位機率之 $\alpha$ 及 $\beta$ 值 .....	3-50
表 3-11	不同重現期下多良村外海水深約 1038 m 處之暴潮偏差與波 高推算值.....	3-52
表 3-12	致災區範圍(近域模擬區塊)劃定原因 .....	3-54
表 4-1	公路溢淹災害特性分析比對與驗證.....	4-29
表 5-1	太麻里溪河口底質粒徑大小組成成分表 .....	5-3
表 5-2	海岸侵淤特性分析比對與驗證 .....	5-28
表 5-3	衛星影像灘線分析比對 .....	5-30

# 第一章 緒論

## 1.1 計畫緣起

臺東海岸的沿岸漂沙問題存在已久，所造成的海岸地形變遷問題在歷年累積下，已對沿海公共工程(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)造成不可忽視之影響。

台 9 線公路目前的道路拓寬工程，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。颱風季節時，近岸大浪直接襲擊公路溢淹的可能性大增，碎波波浪更可能直接淘刷臺 9 公路之底部基座。整體而言，在大武漁港現存狀況下，瞭解臺東海岸沿岸流變化及其可能產生之中長期地形變遷特性，對於未來可能影響公路拓寬後之區域，是刻不容緩的議題。

基於上述，有必要針對台 9 線公路沿岸海岸環境進行近岸水動力分析與海域輸砂特性分析，以有效掌握整體台 9 線公路沿岸海岸環境變動情形供後續參考。

為研究此議題，需建立適合臺東海岸公路之海岸區域之波流耦合水動力與地形變遷模式，並搭配附近海域各項監測資料，以驗證模式之正確性。由模擬成果定性瞭解現有海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性，包括大武漁港等臺東海岸沿岸流及中長期地形變遷特性，以及近岸區域未來因公路拓寬後(如台 9 線)之可能影響。

## 1.2 研究範圍與對象

本研究藉由蒐集往昔實測相關資料(衛星或測量資料)分析，以發掘台 9 線公路易致災之區段資訊，並配合數值模擬研析海岸地形變遷

之影響及機制，分析可能產生之中長期地形變遷特性，對於未來可能對公路拓寬後之區域造成影響。

圖 1.1 為計畫範圍示意圖，本工作資料分析及數值模擬沿台九線拓寬路段進行分析，本路段為「香蘭-大鳥」路段，拓寬工程大致沿既有省道拓寬，道路側與海岸相鄰，故陸側基座將直接受海浪衝擊。研究初步利用現場調查資料，以及歷年海岸變遷資訊，分析研判歷年較易致災地點。再依據較新的地形資料，建立數值地形格網，並利用全球潮位模式資料，作為模式之水位邊界條件。

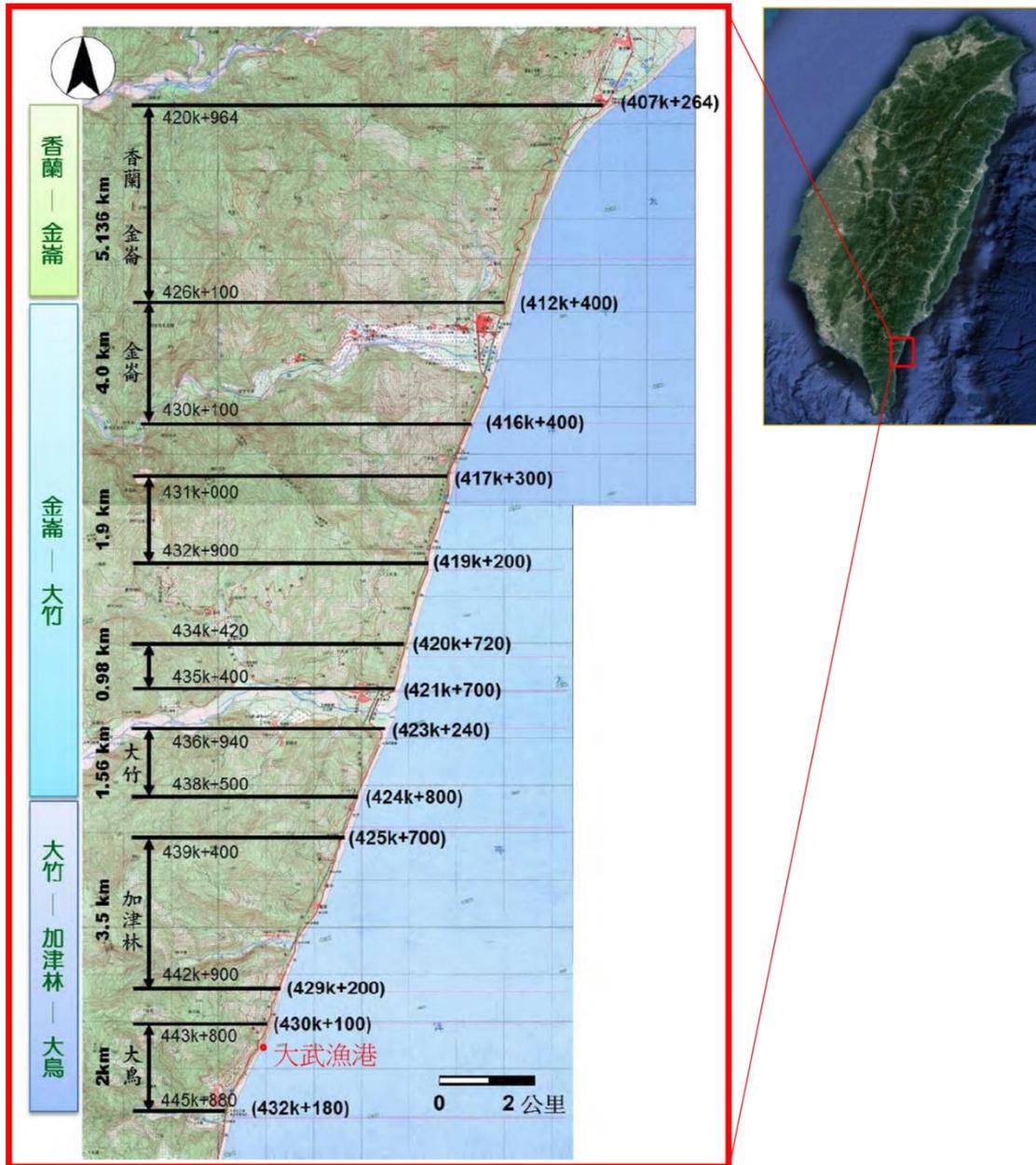


圖 1.1 計畫研究範圍圖(台 9 線拓寬工程靠海路段)

## 1.3 研究內容與工作項目

### 1.3.1 研究內容

依本計畫專業服務投標須知內容，本計畫工作內容說明如下：

#### 1.目的

本研究目的係建立適合臺東海岸公路之海岸區域之波流耦合水動力與地形變遷模式，並搭配附近海域各項監測資料，以驗證模式之正確性。模式可作為瞭解現有海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性，包括大武漁港等臺東海岸沿岸流及中長期地形變遷特性，以及近岸區域未來因拓寬後公路(如台 9 線)之可能影響。

## 2.緣起

臺東海岸的沿岸漂沙問題存在已久，所造成的海岸地形變遷問題在歷年累積下，已對沿海公共工程(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)造成不可忽視之影響。

## 3.重要性

台 9 線公路目前的道路拓寬工程，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，產生砂灘流失及海岸線不斷地往內陸退縮。颱風季節時，近岸大浪直接襲擊公路溢淹的機會大增，碎波波浪更可能直接淘刷臺 9 公路之底部基座。整體而言，在大武漁港現存狀況下，瞭解臺東海岸沿岸流變化及其可能產生之中長期地形變遷特性，對於未來可能影響拓寬後公路之區域，是刻不容緩的議題。

## 4.施政關聯性

本研究配合屬本所年科技綱要計畫「海洋及交通運輸防災技術研究」之細部計畫「港灣環境資訊整合及防災應用研究」執行。

## 5.施政配合性

本計畫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計畫作為參考，俾利擬定相關防治對策。

## 6.前後連貫的整體性

本計畫目的為先行建立可自行維護及精進適合臺東海岸公路沿岸區域的水動力及地形變遷模式，並搭配短期監測驗證模式之合理性與擬定未來改進方針。發展後的水動力及地形變遷數值模式可用於瞭解目前近岸區域的波浪、潮汐、海流及地形變遷特性，也藉此評估台9線道路拓寬後，在海岸地形變遷的潛勢下，可能受到之隱憂及威脅，並提供相關資訊給相關公路單位作為施政參考。

### 1.3.2 工作項目

1. 蒐集往昔相關海氣象資料並分析強烈季風及颱風期間臺東外海風力、波浪、潮汐及海流特性。
2. 蒐集往昔相關地形資料(衛星或測量資料)，並分析臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷之特性，以發掘台9線公路易致災之區段資訊。
3. 建立臺東海岸區域的波流耦合水動力及漂沙地形變遷模式，並利用本所港研中心或其他單位鄰近觀測資料，以校驗水動力模式相關參數及模擬結果，並說明地形變遷模擬之合理性。
4. 分析臺東海岸公路容易致災區段之海水溯上與溢淹特性。
5. 探討臺東沿岸區域的沿岸流與中長期地形變遷特性。
6. 每年度需參考科技部「科技計畫績效管考平臺(<http://stprogram.stpi.narl.org.tw>)」之「績效指標(實際成果)資料格式(word 檔案)」及「佐證資料格式(word 檔案)」，就本計畫成果之特性，選填合適績效指標項目，並以量化或質化方式，說明本計畫主要研究成果及重大突破。

## 1.4 工作流程與架構

本計畫委辦工作項目主要分為三部分，第一部分為資料蒐集與特性分析作業階段，第二部分為模式建立與檢定驗證作業階段，第三部

分為特性分析作業階段。各項工作項目擬進行之工作流程與工作執行架構如圖 1.2，工作內容與流程說明如下：

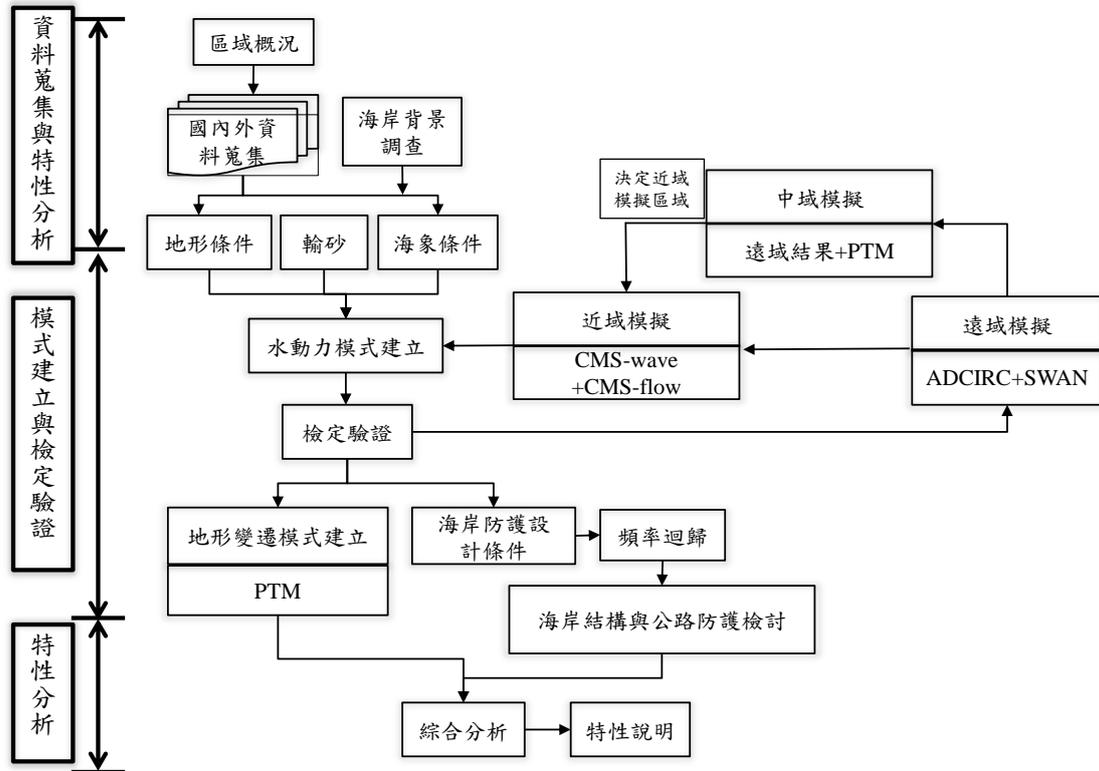


圖 1.2 計畫工作流程與執行架構

## 1.5 預定進度表

本計畫預定進度說明如表 1-1。

表 1-1 預定進度甘梯圖

工作項目	月次	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	備註
	年別	107												
	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
(一)資料蒐集分析			■	■	■									
(二)數值評估														
1.水動力數值模式建置		■	■	■	■	■								
2.檢定驗證				■	■	■	■							
3.地形變遷模式建置		■	■	■	■	■	■	■	■					
(三)公路易致災區段特性分析									■	■	■	■		
(四)沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析									■	■	■	■		
(五)報告撰寫							■				■	■	■	
查核點			※					※				※	※	
工作進度估計百分比 (累積數)		-	10	15	25	35	45	55	65	75	85	90	100	
預定查核點	第 1 季: 政府部門研究計畫基本資料表登錄													
	第 2 季: 期中報告初稿													
	第 3 季: 期末報告初稿													
	第 4 季: 成果報告修正及經費支出報告表													
說明:														
(1)工作項目請視計畫性質及需要或依研究計畫綱要說明訂定。預定進度以粗線表示其起訖日期。														
(2)「工作進度百分比」欄係為配合管考作業所需，累積百分比請視工作性質就以下因素擇一估計訂定:①工作天數②經費之分配③工作量之比重④擬達成目標之具體數字。														
(3)每季之「預定查核點」，請在條形圖上標明※號，並在「預定查核點」欄具體註明關鍵性工作要項。														
備註:	■	為已完成之工作進度					▨	為未完成之工作進度						



## 第二章 資料蒐集分析

### 2.1 潮位資料蒐集分析

依據「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)」報告中所蒐集臺東(尚武段)附近海岸潮汐觀測資料，有「1987年臺灣漁業技術顧問社設置之伽藍潮位站觀測資料」，「1975~1999年、2000~2002年以及2002~2008年經濟部水利署設置之富岡潮位站」、「2004~2008年大武潮位站」及「2000~2008年中央氣象局設置之成功潮位站觀測資料」。本計畫依據該報告蒐集相關資料彙整於表2-1。此外，亦有依據表2-1陳列過往報告所蒐集之各站天文潮位資料，將其最高潮位(HHW)、大潮平均高潮位(HWOST)、平均高潮位(MHW)、平均潮位(MWL)、平均低潮位(MLW)、大潮平均低潮位(LWOST)及最低潮位(LLW)資料加以彙整，並依天文潮位資料計算潮差，列於表2-2中。

由表2-2顯示，大武潮位站歷年各項天文潮位之統計值中，最高潮位為153.7 cm、平均高潮位為63.1 cm、平均潮位為18.6 cm、平均低潮位為-25.6 cm、最低潮位為-93.2 cm、平均潮差為88.7 cm、大潮差為146.9 cm。富岡潮位站平均高潮位為53.0~62.8 cm、平均潮位為6.0~14.3 cm、平均低潮位為-39.0~-33.8 cm、最低潮位為-121.0~-100.8 cm；伽藍潮位站屬一年短期資料，其平均高潮位為54.8 cm、平均潮位為12.9 cm、平均低潮位為-39.0 cm。成功潮位站平均高潮位為52.6 cm、平均潮位為-1.0 cm、平均低潮位為-53.8 cm，其中大武潮位站之最高潮位、平均潮差、大潮差均大於富岡、伽藍及成功潮位站。

表2-3為中央氣象局統計潮位資料，其顯示蘭嶼潮位站歷年(1992~2017年)暴潮位為0.87 m；台東潮位站歷年(1976~2017年)暴潮位為1.525 m；大武潮位站歷年(2003~2017年)暴潮位為1.655 m；綠島潮位站歷年(2001~2017年)暴潮位為1.434 m。

表 2-1 歷年潮位研究蒐集資訊表

研究單位	分析期間 (年)	測站	參考文獻
臺灣漁業 技術顧問社	1987	伽藍	「大武漁港地形觀測檢討報告」
中央氣象局	2000~2008	成功	「2000 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」 「2001 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」 「2002 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」 「2003 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」 「2004 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」 「2005 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」 「2006 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」 「2007 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」 「2008 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」
水利署	1975~1999	富岡	「臺東海岸觀測調查分析報告(4/4)」
	2000~2002		「2000 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2001 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2002 年中央氣象局潮汐資料觀測年報」
	2002~2008		「2002 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2003 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2004 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2005 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2006 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2007 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2008 年經濟部水利署臺灣水文年報」
	2004~2008	大武	「2004 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2005 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2006 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2007 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2008 年經濟部水利署臺灣水文年報」

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)，本計畫重新繪製

表 2-2 潮位站天文潮位歷年相關研究資料比較表

潮位站 分析 期間(年) 潮位別	成功	伽藍	富岡			大武
	2000 ~2008	1987	1975 ~1999	2000 ~2002	2002 ~2008	2004 ~2008
最高潮位(HHW)	156.0	120.7	130.0	131.8	151.8	153.7
大潮平均高潮位 (HWOST)	77.6	82.5	89.0	95.2	87.3	94.6
平均高潮位(MHW)	52.6	54.8	53.0	62.8	58.1	63.1
平均潮位(MWL)	-1.0	12.9	6.0	14.3	9.9	18.6
平均低潮位(MLW)	-53.8	-39.0	-39.0	-33.8	-37.9	-25.6
大潮平均低潮位(LWOST)	-84.2	-64.4	-82.0	-68.3	-68.3	-52.0
最低潮位(LLW)	-139.0	-111.3	-121.0	-100.8	-115.1	-93.2
平均潮差(mean range)	106.4	93.8	92.0	96.6	96.1	88.7
大潮差(spring range)	161.8	146.9	171.0	163.5	145.6	146.9

註：1.單位：cm。

2.潮位標高採用正高系統，其水準零點為基隆平均海水面。

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)，本計畫重新繪製

表 2-3 中央氣象局潮位資料

測站	最高高潮位 暴潮位(m)	最高天文潮 (m)	平均高潮位 (m)	平均潮位 (m)	平均低潮位 (m)	最低天文潮 (m)	最低低潮位 (m)
蘭嶼	0.87	0.204	0.12	-0.543	-1.102	-1.272	-1.924
台東	1.525	0.929	0.725	0.085	-0.489	-0.833	-1.087
大武	1.655	0.977	0.727	0.391	-0.35	-0.612	-0.934
綠島	1.434	0.895	0.625	0.049	-0.539	-0.845	-1.291

## 2.2 海象資料蒐集分析

### 2.2.1 波浪資料蒐集分析

臺東海岸過往現場波浪觀測資料相當少，依據「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)」報告中提及，尚武段海岸僅臺東縣政府委託成功大學水利系於 1991 年 5 月 6~8 日期間，在大武漁港北北東方向、約 8 m 水深處之短期波浪觀測資料，以及該計畫於漂沙調查期間之短期波浪觀測資料(2008 年 8 與 11 月)。另該計畫亦有蒐集中央氣象局於

鄰近之成功漁港東南方外海約 4 公里處(36 m 水深)之波浪資料。本計畫重新整理該波浪調查觀測資訊與參考資料(參見表 2-4)。另由這些資料指出，成功大學水利系於 1991 年 5 月 6~8 日期間，在大武漁港北北東方向、約 8 m 水深處之波浪示性波高範圍約分布在 0.60~1.16 m、示性週期範圍約分布在 7.2~9.2 sec，中央氣象局於成功漁港東南方水深約 36 m 之外海，其示性波高範圍約分布在 0.50~1.50 m、示性週期範圍約分布在 6.5~8.5 sec。另「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)」之 2008 年 8、11 月短期資料顯示，波浪示性波高範圍約分布在 0.16~0.62 m、示性週期範圍約分布在 3.6~7.0 sec。

表 2-4 波浪研究蒐集資訊表

研究單位	期間(年/月)	位置	水深(m)	波高範圍(m)	週期範圍(sec)	參考文獻
中央氣象局	1980/06~1982/08	成功漁港	36.0	0.50 ~ 1.50	6.5 ~ 8.5	「大武漁港現場調查暨水工模型試驗研究報告」
成功大學水利系	1991/05	大武漁港	8.0	0.60 ~ 1.16	7.2 ~ 9.2	「大武漁港現場調查暨水工模型試驗研究報告(II)」
財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會	2008/8/31~2008/9/02	大武溪至朝庸溪	5.3	0.16 ~ 0.22	3.6 ~ 6.4	「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(1/2)」 「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)」
		朝庸溪口	5.8	0.18 ~ 0.25	3.9 ~ 5.2	
		大武漁港南側	5.3	0.18 ~ 0.26	4.1 ~ 4.8	
	2008/11/01~03	大武溪至朝庸溪	5.3	0.39 ~ 0.62	5.8 ~ 7.0	
		朝庸溪口	5.8	0.37 ~ 0.60	5.0 ~ 6.9	
		大武漁港南側	5.3	0.51 ~ 0.60	6.1 ~ 6.7	

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)，本計畫重新繪製

表 2-5 和表 2-6 為本計畫整理中央氣象局波浪最大示性波高統計資料，台東外洋浮標測站於 2012/9/28 觀測到最大波高 18.88 m，發生於強颱風杰拉華期間；台東浮標觀測最大波高為 15.87 m，發生於 2016/9/14 莫蘭蒂颱風事件期間。

表 2-5 中央氣象局波浪最大示性波高統計資料表(台東外洋浮標)

月份	觀測次數	波高 (公尺)	尖峰週期 (秒)	波向 (度)	發生時間 (年月日)	備註 (颱風)
1	2850	7.66	10.2	0	20160124	
2	2711	5.38	-	45	20160229	
3	2187	5.72	8.9	0	20120324	
4	3329	5.32	14.2	0	20150403	
5	4431	5.21	9.3	191	20150511	紅霞
6	4746	6.48	11.6	202	20110625	米雷
7	5121	14.25	11.1	157	20160707	尼伯特
8	5754	12.16	11.9	202	20150823	天鵝
9	5231	18.88	11.6	101	20120928	杰拉華
10	5082	11.23	14.6	0	20141011	
11	3799	7.08	10.4	0	20091102	
12	3071	6.33	13.1	337	20101216	

表 2-6 中央氣象局波浪最大示性波高統計資料表(台東浮標)

月份	觀測次數	波高 (公尺)	尖峰週期 (秒)	波向 (度)	發生時間 (年月日)	備註 (颱風)
1	3801	4.6	11.3	101	20130114	
2	3889	3.21	10.8	67	20130208	
3	4416	3.27	10.4	78	20160310	
4	4771	3.4	12.1	78	20130407	
5	5026	4.1	15.1	123	20110528	桑達
6	4750	3.46	9.4	168	20120620	泰利
7	4788	12.08	11.6	168	20160708	尼伯特
8	5057	9.02	15.5	78	20150807	蘇迪勒
9	4861	15.87	13.1	112	20160914	莫蘭蒂
10	5588	8.47	16	90	20141011	
11	11604	6.08	13.1	56	20071127	米塔
12	11579	5.19	10.8	56	20171217	

### 2.2.2 海流資料蒐集分析

現場海流觀測資料亦不多，僅臺東縣政府委託成功大學水利系於 1990 年 11 月 3~4 日與 1991 年 5 月 6~8 日期間，在大武漁港海側，佈置自記式海流儀進行短期之海流調查作業，以及「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2-2)」曾監測短期海流觀測資料(2008 年 8 與 11 月)，其歷年海流研究蒐集資訊，如表 2-7 所示。其依海流調查結果彙整資

料顯示，尚武段海域於夏季期間，其海流流速約分布在 1~25 cm/sec 間，於水深 6 m 測站之流向分布主要約在 SSW、SW、NNE 及 NE，而水深 8 m 測站之流向多在 NNE 方向。大武溪至大武漁港南側於水深 5.3~5.8 m，除朝庸溪口為 ESE~SSW 外，其餘以 N~NE 居多；冬季期間之海流流速約分布在 2~33 cm/sec 間，其流向主要分布在 SSW~WSW、SSE~WNW、N~NE 等方向，且由調查資料顯示，此路段海岸之冬季海流流速略大於夏季者。

表 2-7 歷年海流研究蒐集資訊表

研究單位	期間(年/月)	位置	水深(m)	流速分布範圍(cm/sec)	流向分布範圍	參考文獻
成功大學水利系	1990/11	大武漁港海側	4.0	5 ~ 20	SSW~WSW	「大武漁港現場調查暨水工模型試驗研究報告(II)」
			6.0	5 ~ 25	SSW~WSW	
	1991/05		6.0	5 ~ 25	SSW、SW、NNE、NE	
			8.0	1 ~ 15	NNE	
財團法人成大水利海洋研究發展文教基金會	2008/8/31 ~ 2008/9/02	大武溪至朝庸溪	5.3	2 ~ 23	NNE~N	「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(1/2)」
		朝庸溪口	5.7	1 ~ 14	ESE~SSW	
		大武漁港南側	5.3	2 ~ 13	NNE~NE	
	2008/11/01~03	大武溪至朝庸溪	5.3	5 ~ 22	NNE~NE	
		朝庸溪口	5.8	2 ~ 28	WNW、SSE	
		大武漁港南側	5.3	4 ~ 33	N~NNE	

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)，本計畫重新繪製

### 2.3 海岸漂沙資料蒐集分析

臺南水工所曾進行大武漁港模型試驗及漂沙研究，並於 1968 年 5 月至 1969 年 8 月期間，至大武與南興海岸間灘地進行採樣作業。另臺東縣政府亦曾委託成功大學水利系於 1990 年 7 月與 1991 年 5 月期間，於大武漁港附近進行海岸漂沙調查。「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)」亦於 2008 年 8 月 31 日~9 月 2 日以及 2008 年 11 月

1~3 日期間進行大武溪至南興溪間之漂沙調查，相關資料來源彙整於表 2-8。根據這些資料顯示，於大武溪南側至大武漁港北側區段，高潮灘線中值粒徑( $D_{50}$ )約為 0.471~61.446 mm，其趨勢大致上呈現由南往北遞增趨勢；低潮灘線中值粒徑約為 2.995~90.104 mm；大武漁港南側均為卵石，其高、低灘中值粒徑約為 1.179~74.185 mm。而底床質之中值粒徑約在 0.168~1.905 mm 之間，中值粒徑有隨水深增加而遞增之趨勢。另依據成功大學水利系 1990 年 7 月與 1991 年 5 月海岸漂沙調查與「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)」調查結果顯示，尚武段海岸附近沿岸漂沙之優勢方向主要為「由北向南」移動；港口以南部分(南興路段)因漂沙受防波堤阻擋而成侵蝕現象。

表 2-8 歷年漂沙研究蒐集資訊表

研究單位	期間(年/月)	調查範圍	參考文獻
臺南水工所	1968/05 ~1969/08	大武至 南興海岸	「大武漁港模型試驗及漂沙研究報告」
成功大學 水利系	1990/07、 1991/05	大武溪與安朔 溪間海岸線	「大武漁港現場調查暨水工模型試驗研究報告(II)」
財團法人 成大水利海洋 研究發展文教 基金會	2008/8/31 ~2008/9/02  2008/11/01 ~2008/11/03	大武溪至 南興溪	「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(1/2)」

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)，本計畫重新繪製

## 2.4 河川水文資料

「臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)」曾針對大武溪、朝庸溪、南興溪與安朔溪進行河川水文調查，惟除臺灣電力公司於大武溪流域之姑子崙溪設有短期流量與輸砂量測站(站名：姑崙(2))外，其餘地點均無設置測站進行流量與輸砂量觀測，其蒐集資料列於表 2-9。此外，亦依據資料彙整成「流量」與「河川輸砂」兩部分進行說明(參見表 2-10、表 2-11、圖 2.1 及圖 2.2)，俾利瞭解各河川之流量與輸砂量變化情形，其分述如下：

表 2-9 歷年河川研究蒐集資訊表

資料期間	觀測位置概述		研究單位	參考文獻
2002~2006 、2008	大武溪 (姑崙 (2))	流量	臺灣電力公司	「2002 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2003 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2004 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2005 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2006 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2008 年經濟部水利署臺灣水文年報」
2003/08、 2005/06~09		輸砂量	經濟部水利署	「2003 年經濟部水利署臺灣水文年報」 「2005 年經濟部水利署臺灣水文年報」

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)，本計畫重新繪製

### 2.4.1 流量

由表 2-10 及圖 2.1 知，大武溪流域豐水期發生在 6~9 月，其流量平均約在 10.9~24.4 cms，其中月最大流量以 75.2 cms (2005 年 9 月) 為最大；枯水期間約在 1~5 月及 10~12 月，其歷年月流量平均約在 0.4~6.7 cms，其中月最小流量以 0.1 cms (2003 年 3 月) 為最低；整體而言，姑崙(2)測站歷年月平均流量平均值及月最大流量平均值分別為 6.9 及 15.4 cms。

表 2-10 2002~2008 年姑崙(2)測站歷年月平均流量與月最大流量表

月 年	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2002	0.9	0.6	0.5	0.3	1.0	5.7	8.8	24.3	4.8	2.2	1.2	0.8
2003	0.3	0.2	0.1	0.3	0.3	16.6	6.0	16.5	14.5	4.2	2.9	1.8
2004	1.4	0.7	0.4	0.6	2.0	2.9	20.6	7.1	12.0	3.6	2.2	5.9
2005	2.1	1.4	0.7	0.4	1.4	16.8	39.9	14.2	75.2	11.8	3.4	1.0
2006	0.9	0.7	0.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2008	-	-	-	-	-	12.6	13.1	8.7	15.5	11.6	4.0	2.3
平均	1.1	0.7	0.5	0.4	1.2	10.9	17.7	14.2	24.4	6.7	2.7	2.4
最大	2.1	1.4	0.7	0.6	2.0	16.8	39.9	24.3	75.2	11.8	4.0	5.9

(單位: cms)

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)，本計畫重新繪製

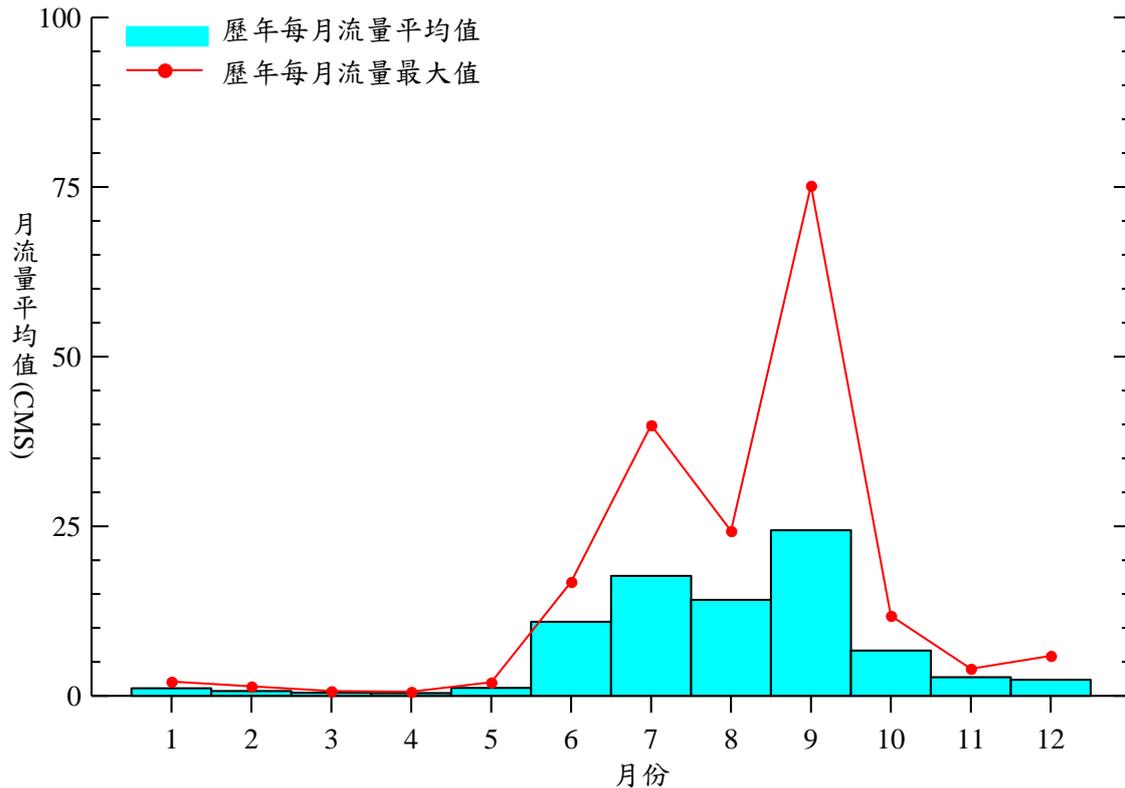


圖 2.1 大武溪姑崙(2)測站月流量平均值及月流量最大值分析圖

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)

## 2.4.2 河川輸砂

計畫區河川屬典型台灣幼年期河川特性，河岸多崩壁、河床縱坡陡峻、河道沖刷與淤積變異量大。河床於匯流口處形成台階地形，流域地形高度落差大。地形大致自西向東陡降，高差近 3,000 公尺，為典型東部河川。大部分流域屬中高海拔山區，平原地區比例較少流域。河川呈現野溪姿態匯流入海，於平時無雨時期幾無流量。資料較豐者有大武溪以及太麻里溪，下面就兩河川水文條件分別概述。

### 1. 大武溪

由表 2-11 及圖 2.2 知，大武溪流域歷年月最大輸砂量平均發生在 6~9 月，其輸砂量平均約在 1,276.3~23,518.3 公噸/日，其中月最大輸砂量以 47,036.6 公噸/日(7 月)為最大；由表中得知，觀測單位在枯水期間並無進行量測，故無量測數值；整體而言，姑崙(2)測

站歷年月最大輸砂量平均值平均及月最大輸砂量平均值分別為 2,849.2 及 5,470.6 公噸/日。

表 2-11 2003、2005 年姑崙(2)測站輸砂量及對應之流量表

月份	月最大輸砂量平均 (公噸/日)	月最大輸砂量 (公噸/日)	月最大流量平均 (cms)	月最大流量 (cms)
1	0.0	0.0	1.2	2.1
2	0.0	0.0	0.7	1.3
3	0.0	0.0	0.5	0.9
4	0.0	0.0	0.2	0.3
5	0.0	0.0	1.0	1.8
6	23518.3	47036.6	71.1	119.8
7	3831.9	7663.8	30.0	55.3
8	5564.5	8393.9	14.5	15.0
9	1276.3	2552.6	22.4	26.0
10	0.0	0.0	14.4	25.2
11	0.0	0.0	3.6	3.9
12	0.0	0.0	1.6	1.8
年平均	2849.2	5470.6	13.4	21.1

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)，本計畫重新繪製

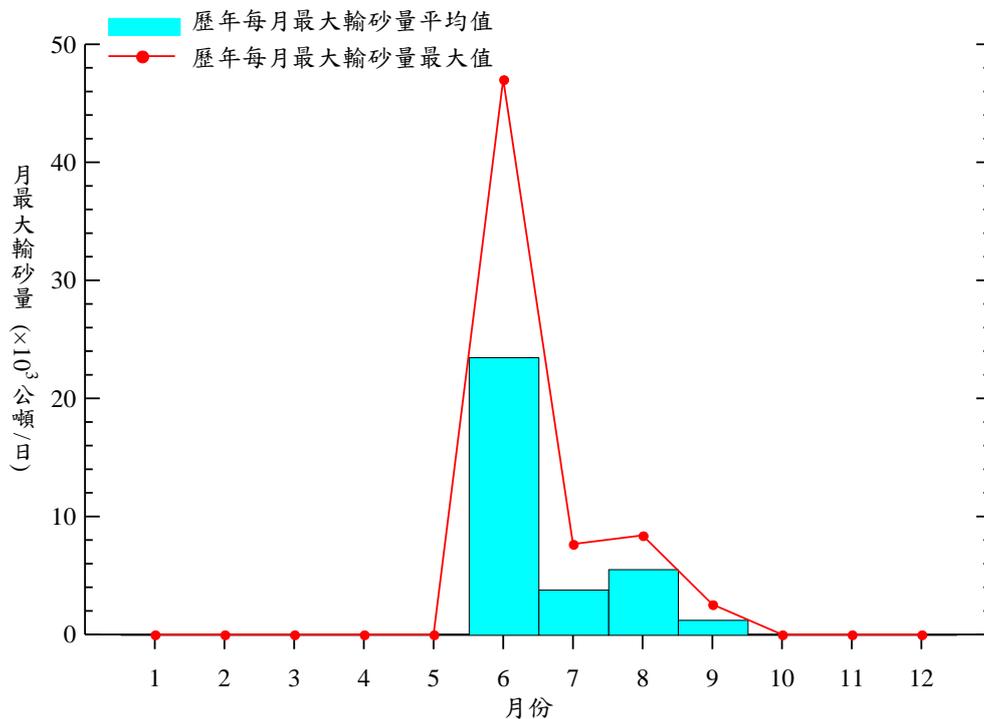


圖 2.2 大武溪姑崙(2)測站月最大輸砂量平均及月最大輸砂量分析圖

※資料來源：臺東海岸(尚武段)監測調查計畫(2/2)

## 2.太麻里溪

依據「易淹水地區水患治理計畫-第一階段實施計畫縣管河川太麻里溪水系規劃(莫拉克颱風後治理計畫檢討報告)」計畫(2009)推估，計畫河段於莫拉克颱風後之平均年輸砂量約為 125 萬立方公尺/年，而莫拉克颱風前之平均年輸砂量約為 153 萬立方公尺/年。由此顯示，近年來因颱風改變太麻里流域整體地貌及河相後，也影響太麻里溪之河川輸砂量。

根據「台東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(2/2)」的實地調查結果顯示，太麻里溪河川輸砂量之流量以及輸砂率的關係為

$$Q_s = \alpha(Q)^\beta \quad (2.1)$$

太麻里溪河川之流量以及輸砂率成果如圖 2.3 其中流量為  $Q$ ，輸砂率為  $Q_s$ ， $\alpha$  與  $\beta$ ，結果顯示  $\alpha=0.001$ 、 $\beta=1.568$  及  $R^2=0.995$ 。

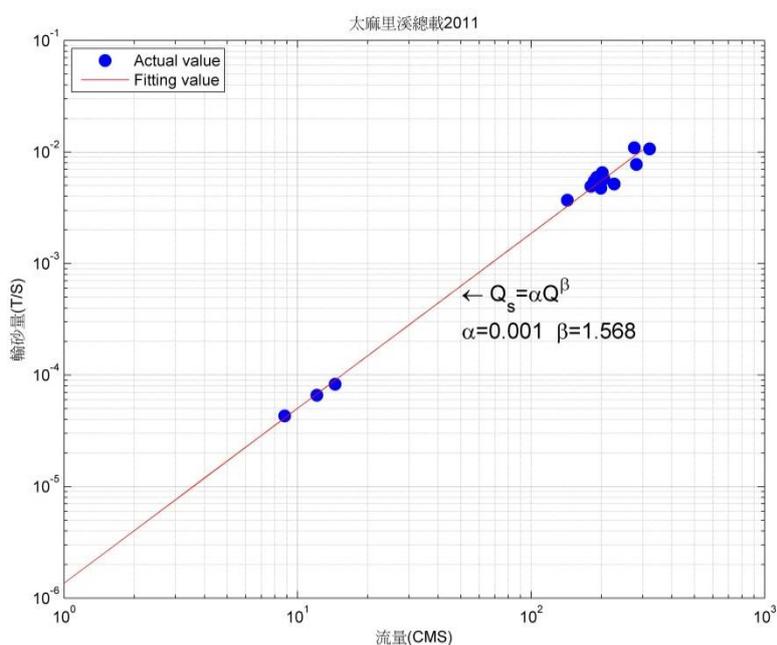


圖 2.3 2011 年測太麻里溪流量及總輸砂量關係

※資料來源：東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(2/2)

## 2.4.3 颱風

臺灣地處歐亞大陸與西太平洋交界區域，且颱風發生機率頻繁。本計畫臺東市區海岸直接面對西太平洋，故不可輕忽颱風期間惡劣海氣象對本區的影響。圖 2.4 為歷年各場颱風侵襲路徑彙整(1958 年起至 2016 年止)，中央氣象局曾發佈颱風警報之颱風共 194 場，而颱風中心行進路徑經過臺東區域 150 km 範圍之颱風共 71 場，因此每 3 場颱風約有 1 場會對臺東海岸造成影響。以於菲律賓南海海域生成的颱風為例，颱風氣象極值大都發生在南海，而計畫區位於臺灣東岸，對於仍位於巴士海峽及南海的颱風，臺東海岸受其影響之程度極為輕微。另當颱風從臺灣西岸登陸穿越中央山脈達東海岸後，颱風受地形摩擦效應作用，結構受到破壞，能量已急速削減。由歷年侵襲臺東海岸之颱風資料中以 1980 年的珀西(Percy)颱風為強度最強的颱風，其接近臺東區域時之中心氣壓為 920 hPa，颱風中心平均最大風速為 60 m/sec。

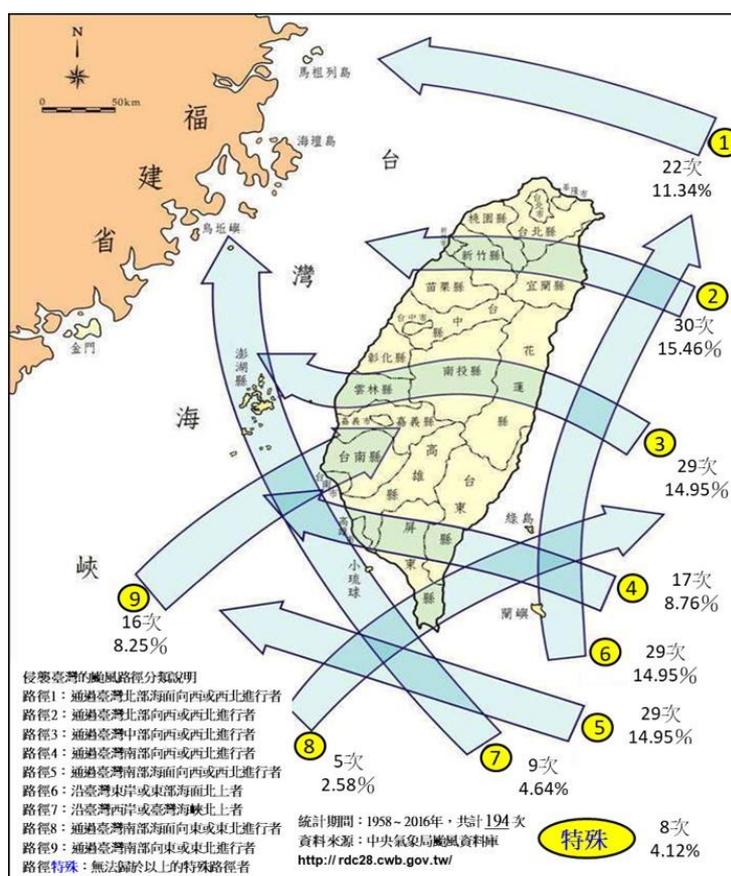


圖 2.4 歷年各場颱風侵襲路徑圖（資料來源：中央氣象局）

## 2.5 台九線易致災區分析

本計畫於民國 107 年 4 月與 6 月時，至台九線公路現地進行勘查(共 2 次)，俾利瞭解台九線公路現況，相關現勘資訊亦可做為後續數值模擬計算之參考背景資料。彙整過往文獻將台九線公路易致災路段做初步劃分，以利現勘擇點之參酌，相關彙整分析資料如表 2-12 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「漂沙淤積」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；本計畫套疊臺東海岸 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。

透過上述台九線易致災區域資料分析成果，規劃現勘相關區域，圖 2.5 為本計畫現勘區域分布圖。現勘區域劃分為 5 個區塊，由南至北分別為南興路段、大武漁港、多良路段(考量便於停泊車輛)與金崙大橋、香蘭路段及美和與三和海岸等。圖 2.6~圖 2.8 為現勘相關成果，各區塊分述如下：

### 1. 南興路段

南興路段目前正在進行海岸養護工程，透過在海岸布置消波塊，抵擋波浪能量持續侵襲海岸，並降低波浪侵襲之可能性。107 年 4 月現勘時，養護工程只進行至南興與大武漁港中間路段；於 107 年 6 月時，南興路段南段已開始動工。而於 4 月時，既有消波塊周圍呈現粒徑分布不均現象，概因部分粒石是人為拋放所致。沿路均有架設警告牌示，提醒此路段有浪濤衝擊之危險，另於路旁亦有設置觀測站，透過人為方式於颱風期間觀測浪高，並即時回報相關警訊。

## 2.大武漁港

大武漁港目前持續在進行清淤工程，港口仍有漂沙淤積之現象。於港口北側有一突堤設置，使突堤與港口之間淤積成灘岸，且其粒徑分布較為均勻。由此可知，大武漁港亦須納為本計畫近域地形變遷之重要區域，以探討未來中長期地形變遷效應可能致災之情況。

## 3.多良路段與金崙大橋

多良路段南側(靠近瀧橋附近)由於灘線較短且公路鄰近海岸，使其有發生波浪溢淹之可能性。而由現場勘查可發現，靠近公路海灘上有枯枝與垃圾分布，概因波浪與潮流帶動堆積於此處，可知波浪確實有侵襲公路之可能性。另金崙大橋為台九線新設之高架路段工程，由現場勘查可知，橋墩柱周圍粒徑分布呈現不均勻之現象，且含有相當大之粒徑石塊，此應為河川於豐水期或颱風事件時，上游帶至下游散佈所致。由於此為新完工之工程，因而橋墩柱周圍並未發現有明顯淤積或侵蝕現象。為瞭解該區域未來地形變遷之趨勢(淤積或侵蝕)，本計畫透過災害特性分析進行研究。

## 4.香蘭路段

依據過往研究報告顯示，香蘭路段為海岸侵蝕熱區。目前香蘭路段鄰近海岸仍有海岸侵蝕現象發生，本計畫擬分析該路段與海岸之距離，並透過數值模擬瞭解未來海岸侵蝕情況對部分路段造成邊坡淘刷之可能性。

## 5.三和與美和海岸

三和海岸與美和海岸分別為暴潮溢淹潛勢區與海岸侵蝕區域。此兩處於現地勘查時，概可清晰聽到波浪帶動粒石之聲音，且因波浪衝擊影響使粒石運動之現象較為顯著，可知其波浪營力較大，導致波浪對灘岸衝擊較明顯。然此兩處公路路段大部分離海岸較遠，較無波浪侵襲或侵蝕公路邊坡之可能，惟仍有部分路段靠近海岸，應亦納為本計畫致災評估區域。

表 2-12 台九線公路易致災路段相關資料分析

地點	災害分類	致災情況	資料來源
大武漁港	漂沙淤積	大武漁港受地形和海流影響，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)監測調查計畫(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.台九線海岸公路防浪保護工程之探討(2013)

美和海岸	海岸侵蝕	<p>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。</p> <p>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。</p>	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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1.本計畫圖資套疊</li> <li>2.新聞</li> </ol>
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>	<ol style="list-style-type: none"> <li>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)</li> <li>2.臺東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(2/2)</li> <li>3.臺東海岸(香蘭段)監測防護計畫(2-2)</li> </ol>

		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。	
--	--	---	--

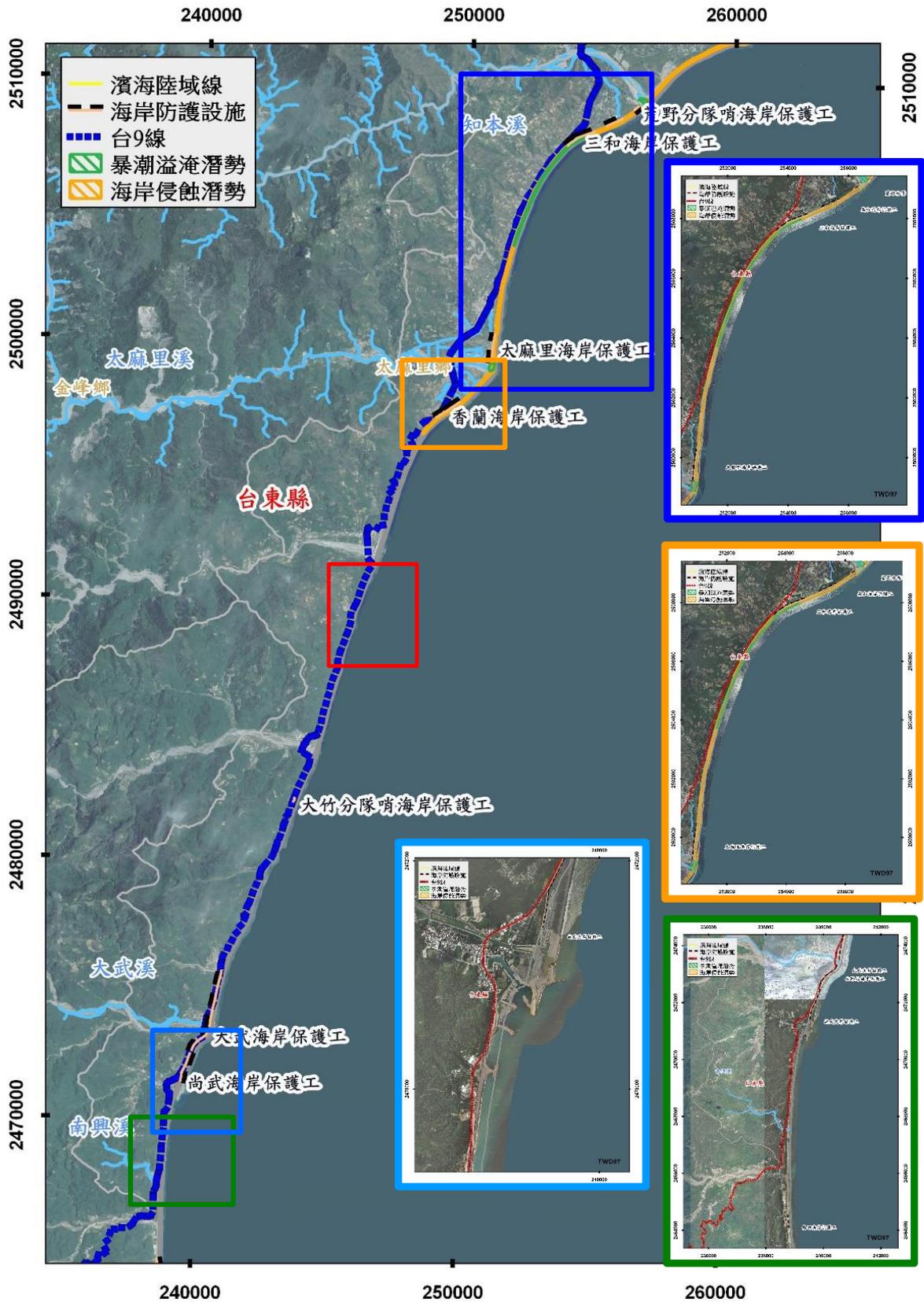


圖 2.5 現勘區域示意圖



圖 2.6 南興路段與大武漁港現勘成果圖(民國 107 年 4 月)



圖 2.6 (續) 南興路段現勘成果圖(民國 107 年 6 月)



圖 2.7 多良路段與金崙大橋現勘成果圖(民國 107 年 4 月)



圖 2.8 香蘭段及美和、三和海岸現勘成果圖(民國 107 年 4 月)

## 2.6 衛星影像蒐集及分析

本章節主要為蒐集過往衛星影像資料，並進行台九線「海岸區域往昔地形變化分析」與「季節性漂沙變化分析探討」，概分為三節做說明，分別為衛星影像資料蒐集、往昔地形變化探討及季節性漂沙變化分析探討，各節內容分述如后：

### 2.6.1 衛星影像資料蒐集

本計畫主要蒐集的衛星影像圖資概分為三部分，分別為中央大學太遙中心免費介接圖資、Google Earth 及中央大學太遙中心無償下載圖資，各衛星影響圖資特點及本計畫運用分析之相關說明如表 2-13 所示。

表 2-13 衛星影像圖資蒐集彙整表

項目	特點	運用說明
太遙中心免費介接圖資	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ SPOT 衛星影像</li> <li>✓ 1996 年至 2017 年圖資均有</li> <li>✓ 每一年提供一張圖資，但無法得知圖資確切月份</li> <li>✓ 解析度：10 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 近岸結構物對海岸之影響</li> </ul>
Google Earth	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 福衛 2 號衛星影像</li> <li>✓ 2011 年至 2018 年均有圖資</li> <li>✓ 每一年提供圖資數量不固定</li> <li>✓ 無法得知每張圖資確切時與分之時間點</li> <li>✓ 解析度：5 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 輔助季節性漂沙特性說明</li> <li>✓ 輔助岸線量化評估</li> </ul>
無償下載圖資	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ SPOT 衛星影像</li> <li>✓ 2004/9/1 至今均有圖資</li> <li>✓ 每一年提供圖資數量與品質不穩定</li> <li>✓ 得知每張圖資確切時與分之時間點</li> <li>✓ 2015/3 後，圖資較不完整</li> <li>✓ 解析度：10~20 m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 季節性漂沙特性說明</li> <li>✓ 輔助岸線量化評估</li> </ul>

依據本計畫蒐集圖資之各別特性，其透過相關分析探討「近岸結構物對海岸之影響」、「季節性漂沙變化」及後續針對本計畫地形變遷災害因子進行致災潛勢區域岸線量化探討。其中，太遙中心免費介接圖資來源較為穩定，每年均有一張衛星圖資，因此適合用以分析台九線海岸區域近岸結構物對海岸之影響，而目前計畫區中以大武漁港周圍近岸結構物較多，地形變遷現象亦最顯著，因而會以該區域做為探討對象；季節性漂沙變化則需有較完整的整年 12 個月份的圖資來進行分析，才能較合理探討一年內漂沙變化行為，此部分則需透過無償下載的 SPOT 衛星圖資來進行分析探討；岸線量化探討則需解析度較高之圖資，才能夠量化岸線，進行岸線變化探討，此部分則需透過能夠得知確切時間的無償下載 SPOT 衛星圖資與 Google Earth 圖資來進行分析。然由於 SPOT 衛星圖資之解析度品質較不穩定，因此需要先進行品質篩選後，再進一步運用於岸線量化分析。

表 2-14 為本計畫蒐集 Google Earth 及 SPOT 無償下載衛星影像資料彙整表，其中 SPOT 衛星影像又有分彩色和黑白兩種不同的影像，黑白型式的影像解析度 (10 m) 較彩色(20 m) 高，因此用於岸線量化分析時，均以解析度較高之影像為主，而 Google Earth 為福衛 2 號影像(5 m)，其解析度高於 SPOT 衛星影像(10 m~20 m)，表中黃底色塊之影像即為解析度較高之影像圖資，可供後續岸線量化探討之參考。

## 2.6.2 近岸結構物對海岸影響之探討

本節透過太遙中心免費介接圖資 (每年均有一張衛星圖資)，探討分析台九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沙累積現象產生，而該處漂沙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，由北往南傳送之漂沙越過攔砂堤，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沙累積於港內，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沙補助之情況。
- (7) 於 2014 年影像中可知，為解決南側海岸侵蝕問題，漁港南側興建突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。

表 2-14 Google Earth 及 SPOT 無償下載衛星影像資料彙整表

年 月	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	SP	SP	SP	SP	SP	SP	NA	NA	SP	NA	SP	SP	NA	SP
2	NA	NA	SP	SP	NA	SP	SP	SP	NA	GE	NA	SP	SP	NA
3	SP	NA	NA	SP	SP	NA	SP	NA	NA	SP	GE	NA	NA	NA
4	SP	NA	SP	NA	NA	SP	SP	NA	SP	GE	NA	SP	NA	SP
5	SP	SP	SP	SP	NA	SP	NA	NA	SP	NA	NA	NA	NA	NA
6	SP	SP	NA	NA	SP	SP	NA	SP	NA	SP	SP	NA	NA	SP
7	NA	SP	SP	SP	SP	NA	SP	NA	SP	SP	SP	NA	SP	SP
8	SP	NA	SP	GE	NA	SP	NA							
9	SP	GE	SP	NA	NA	SP								
10	SP	GE	SP	SP	NA	SP	SP							
11	SP	GE	GE	SP	SP	NA	NA	GE						
12	SP	NA	SP	GE	NA	NA	NA	SP						

※影像類型說明

1. SP：SPOT 衛星影像
2. GE：Google Earth 衛星影像
3. NA：無此時間點之衛星影像
4. 黃底：解析度較高之衛星影像

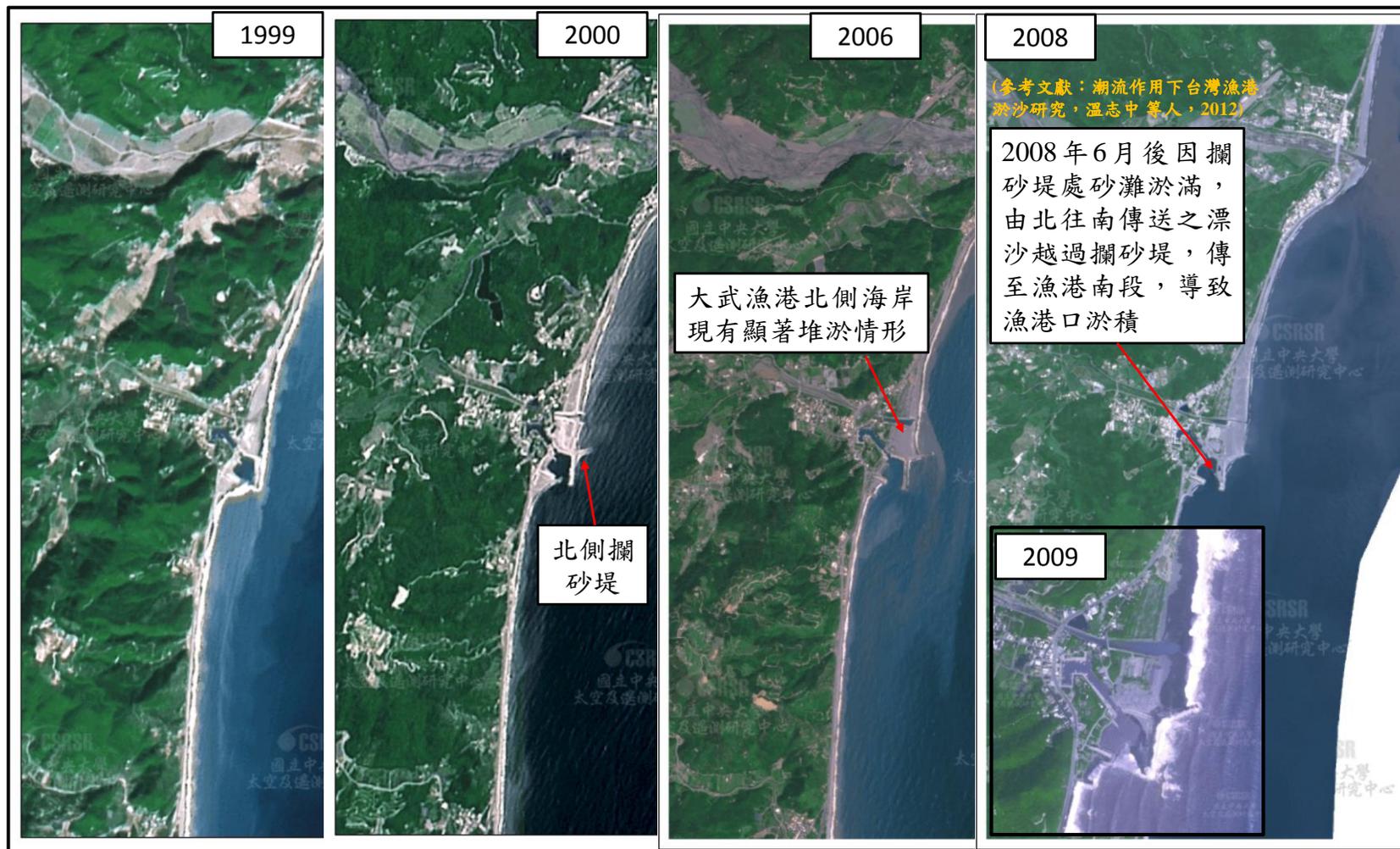


圖 2.9 大武漁港周圍海域長期地形變遷情況

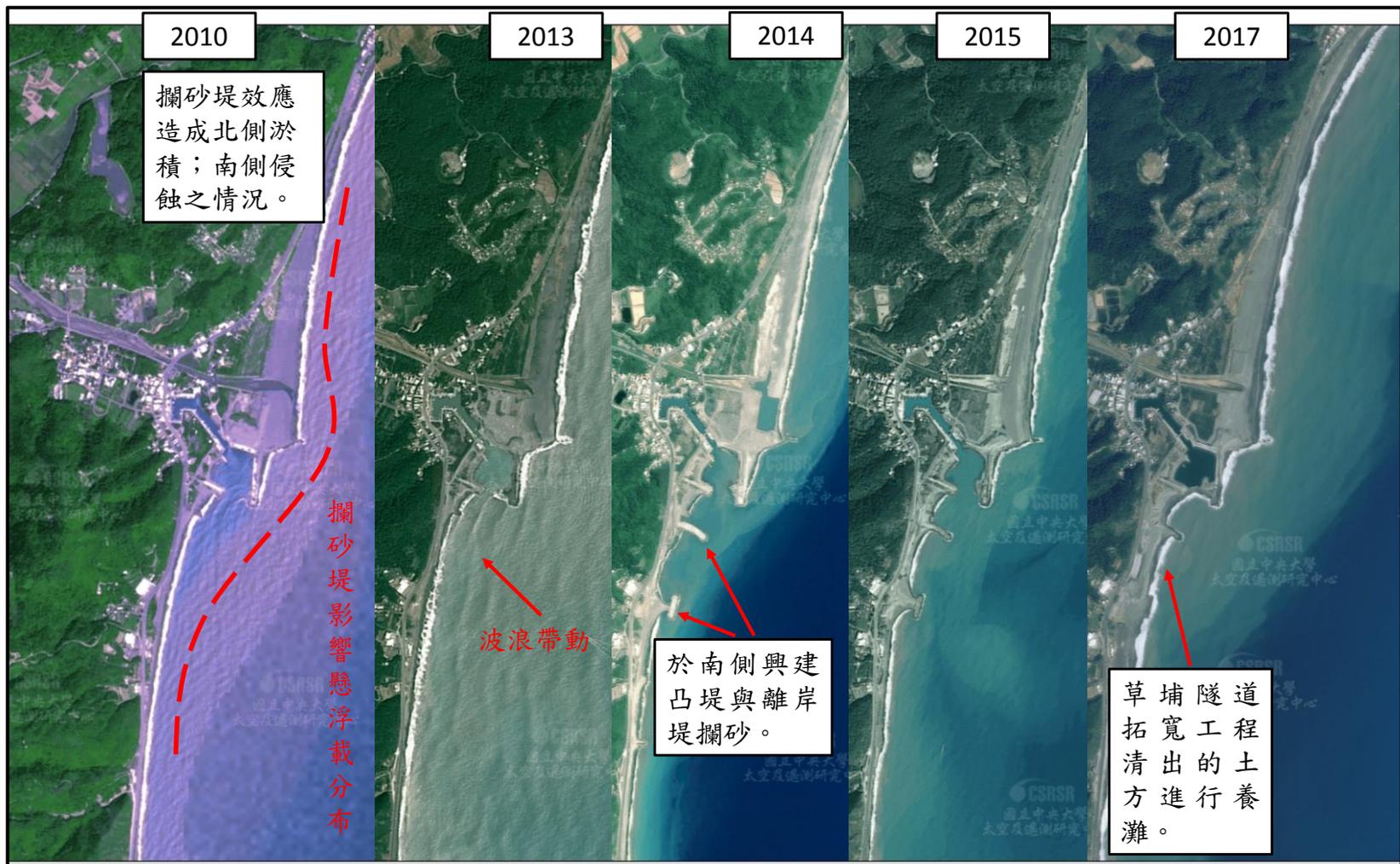


圖 2.9(續 1) 大武漁港周圍海域長期地形變遷情況

### 2.6.3 季節性漂沙變化分析探討

無償下載的 SPOT 衛星圖資為本計畫衛星蒐集資料中，時間密度較高且較完整之圖資，因而可運用於分析季節性的漂沙變化。於表 2-14 中可知，2006 年所蒐集的衛星圖資較具一致性，且為較完整。因此，本章節擇選 2006 年一系列的衛星影像 (SPOT 衛星)，來進行季節性漂沙變化探討。其中，以每個月衛星影像中漂沙範圍做為探討對象，透過影像分析方式，劃設出各月份的漂沙範圍，並計算其面積，藉以瞭解台九線沿岸漂沙季節變化趨勢。然目前漂沙變化分析僅以「漂沙範圍」面積為主，而無法分析其範圍內的「漂沙濃度」。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沙整體量值，目前僅簡易的範圍分析來判斷季節性的漂沙分布情況。

各衛星影像漂沙範圍分析方法流程如圖 2.10 所示，首先調整影像對比，以利漂沙分布較為顯著；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，即為各影像漂沙範圍分布，配合 ArcGIS 軟體或 Matlab 即可求得各漂沙範圍之面積。

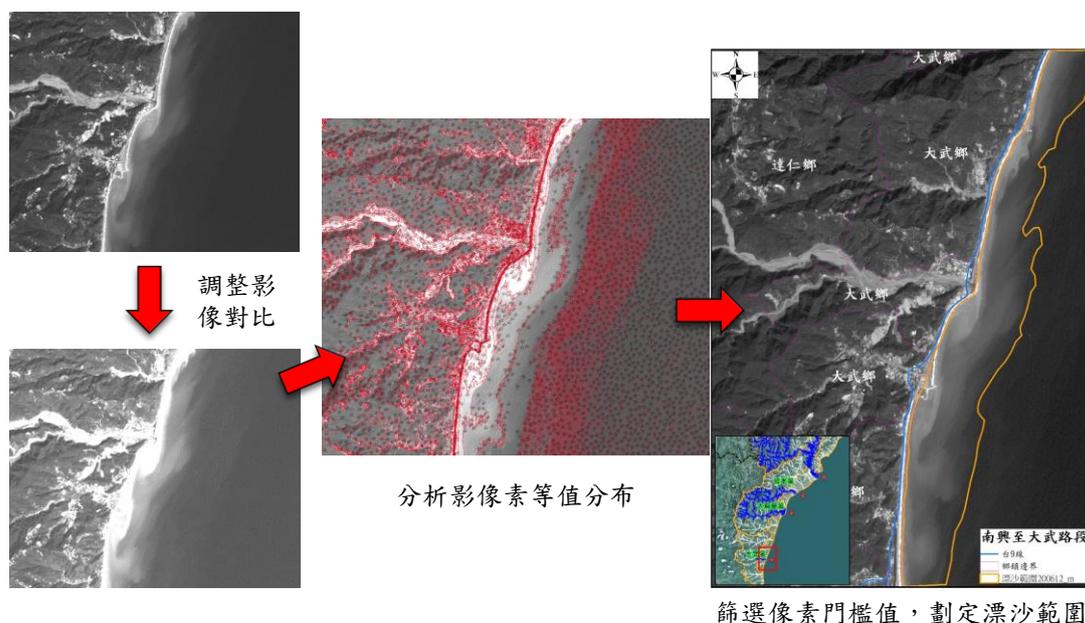


圖 2.10 漂沙範圍分析流程

依據上述方法，分析 2006 年衛星影像圖資，並量化各月份漂沙範圍面積，藉以探討季節性漂沙變化特性。為較清楚描述台九線海岸地形變化現象，茲以三區塊範圍來進行說明，分別為「南興至大武段」、「加津林至多良段」及「香蘭至三和段」，目前本文中僅呈現各區塊 5 月及 12 月之漂沙範圍分析結果，如圖 2.11~圖 2.13 所示。而由各月份漂沙範圍分析結果可量化其漂沙範圍面積，並繪製各區塊於各月份漂沙面積分布變化（參見圖 2.14），其顯示台九線海岸漂沙趨勢由 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，海岸漂沙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，因而有漂沙趨勢較為顯著之現象發生。

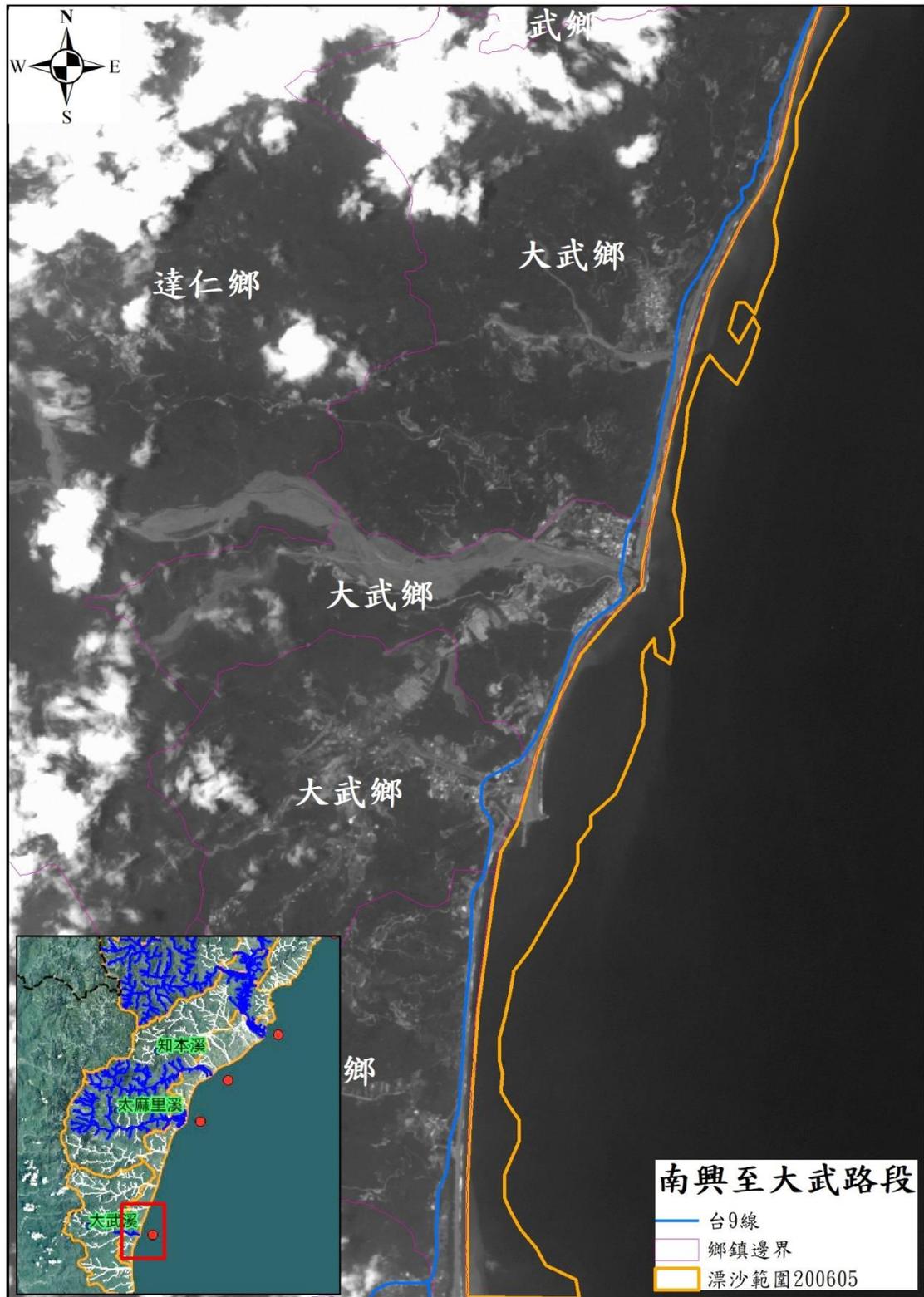


圖 2.11 南興至大武段漂沙範圍分析結果 (5月)

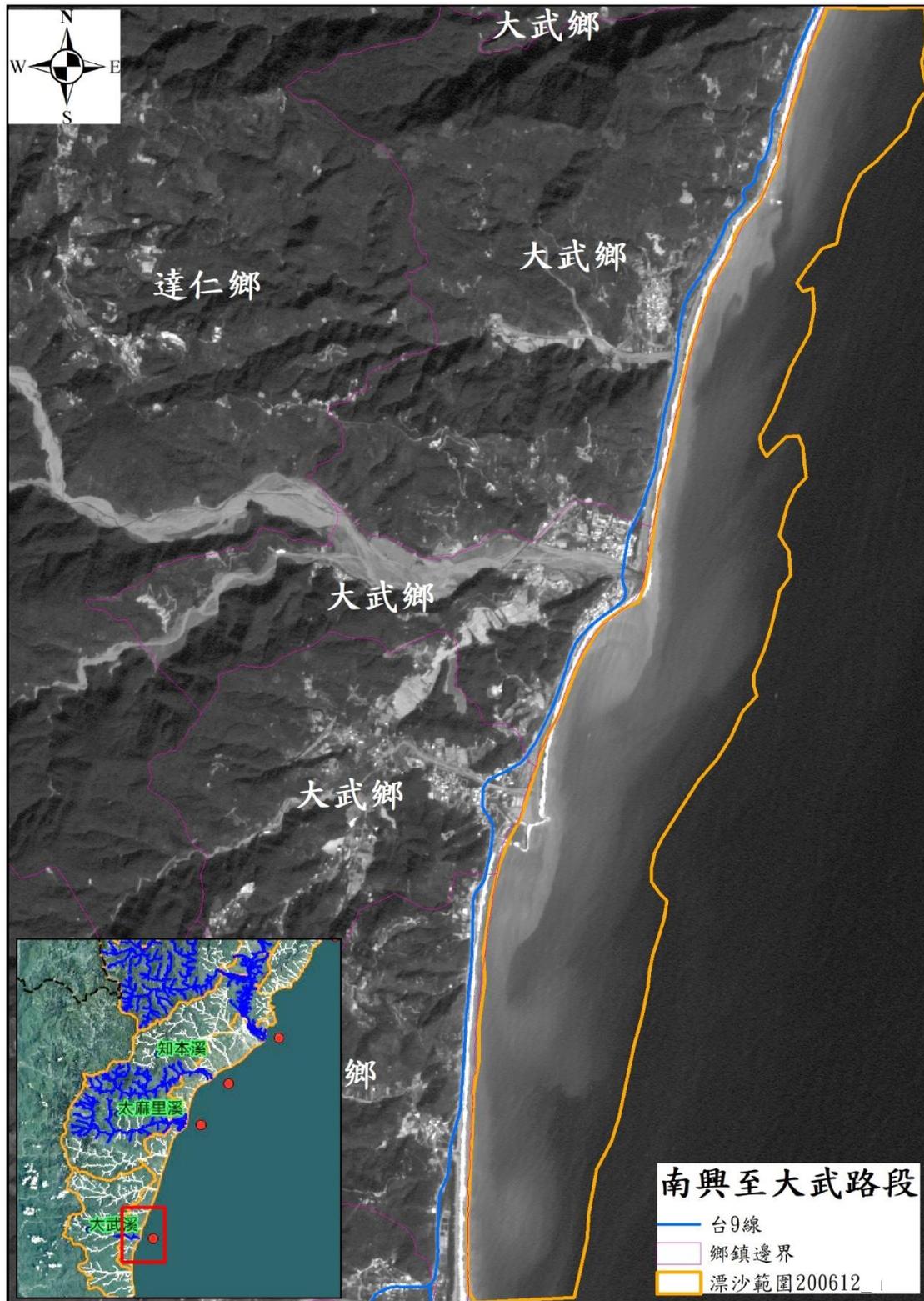


圖 2.11(續) 南興至大武段漂沙範圍分析結果 (12 月)

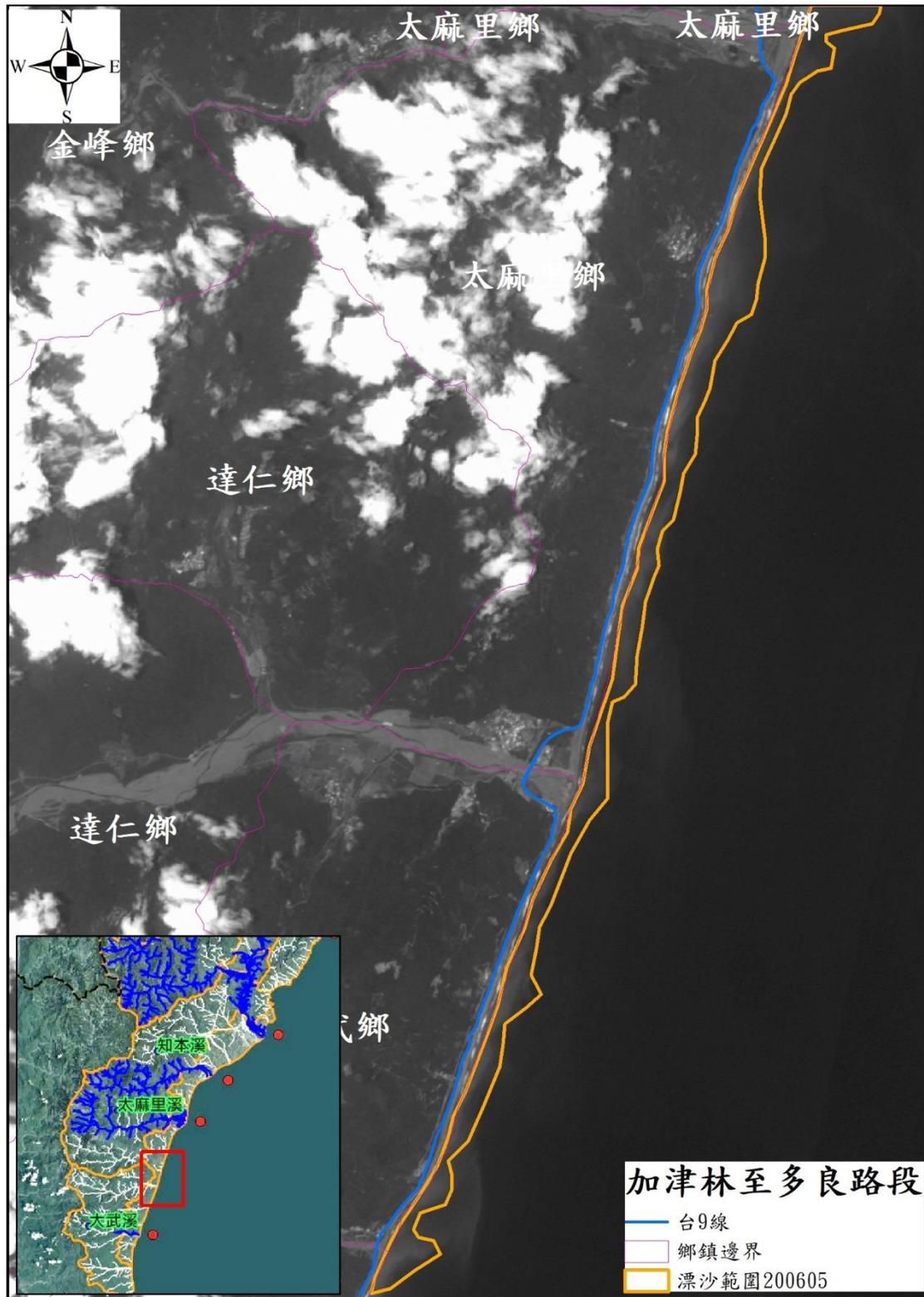


圖 2.12 加津林至多良段漂沙範圍分析結果 (5 月)

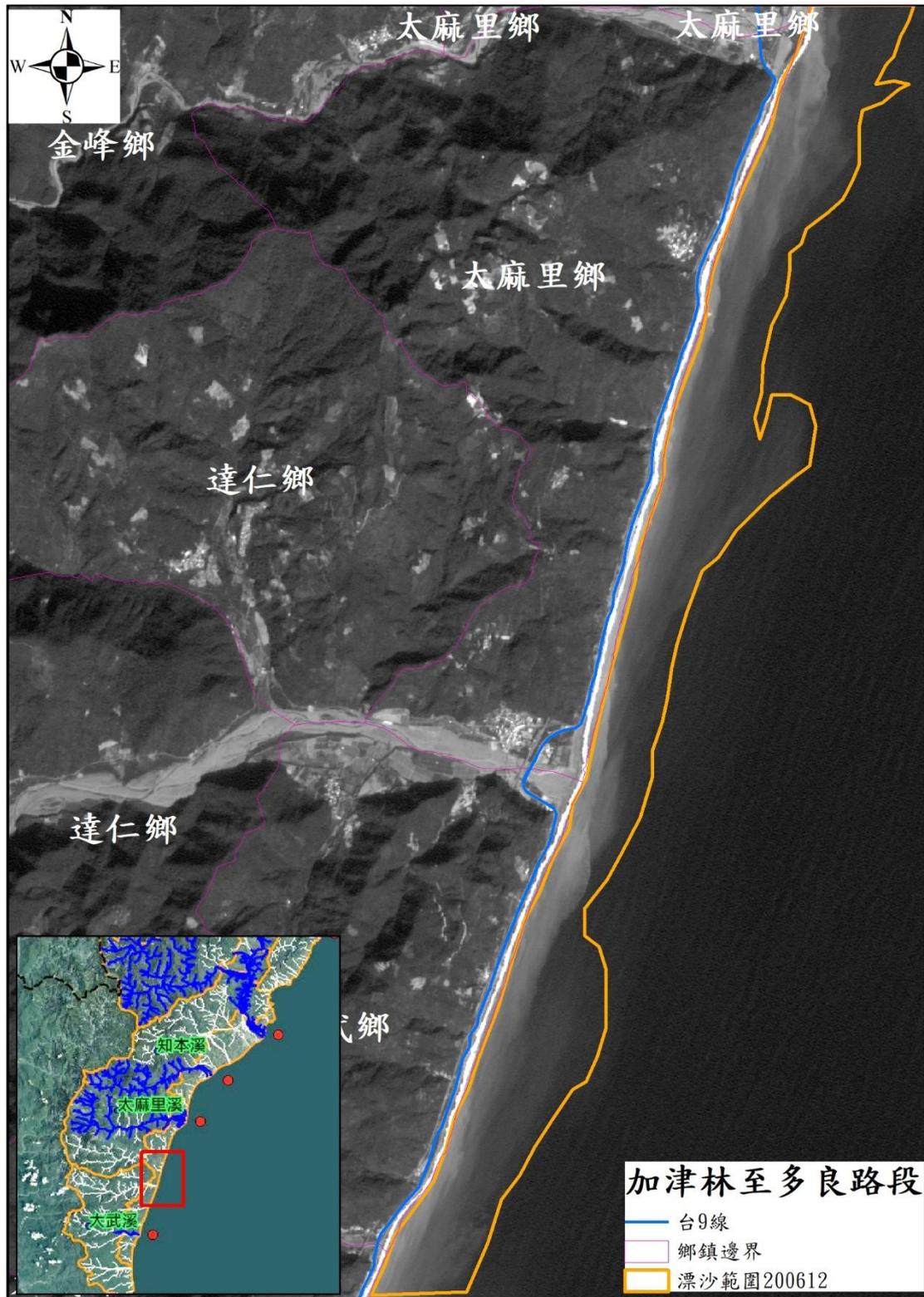


圖 2.12(續) 加津林至多良段漂沙範圍分析結果 (12 月)

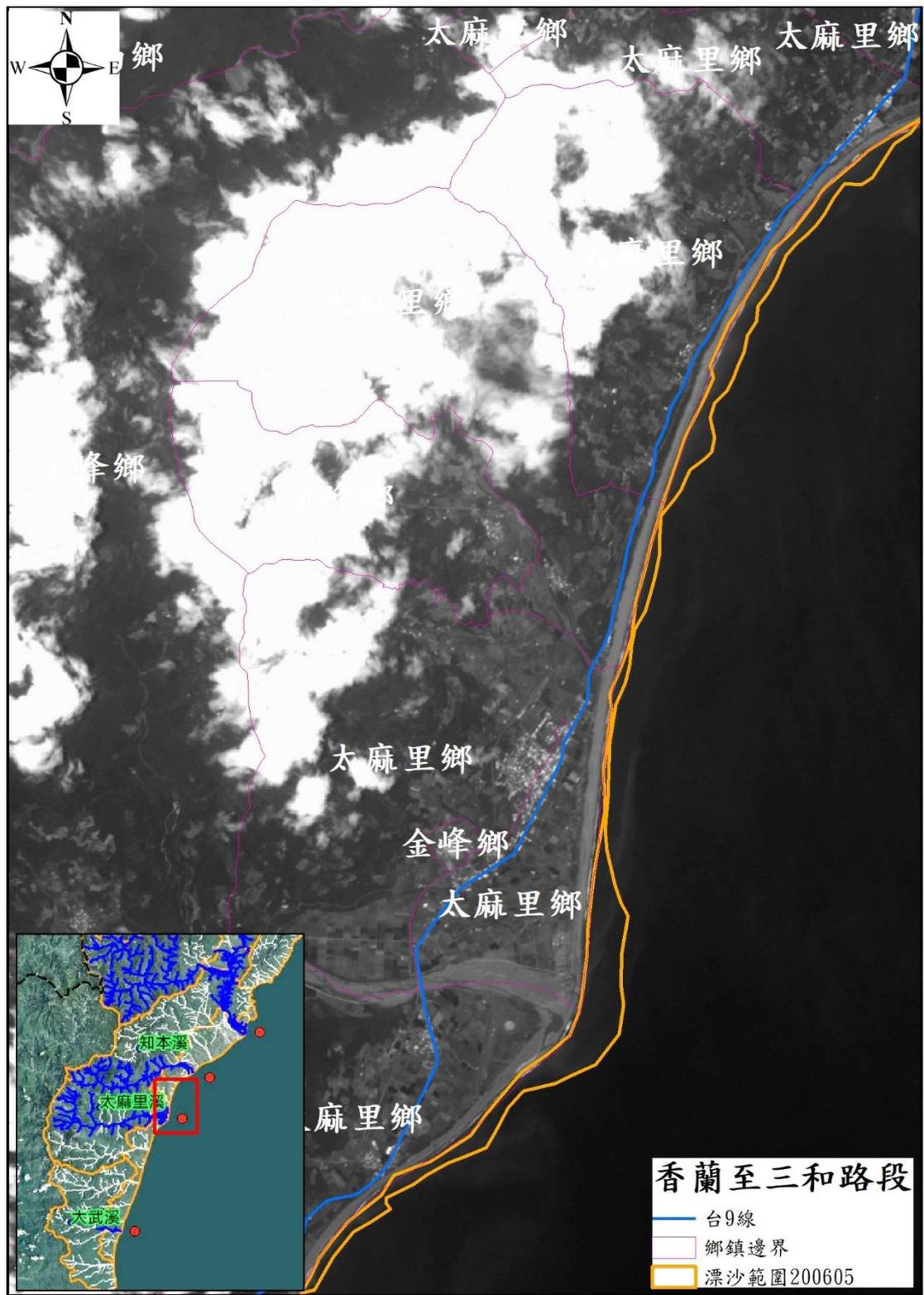


圖 2.13 香蘭至三和段漂沙範圍分析結果 (5月)

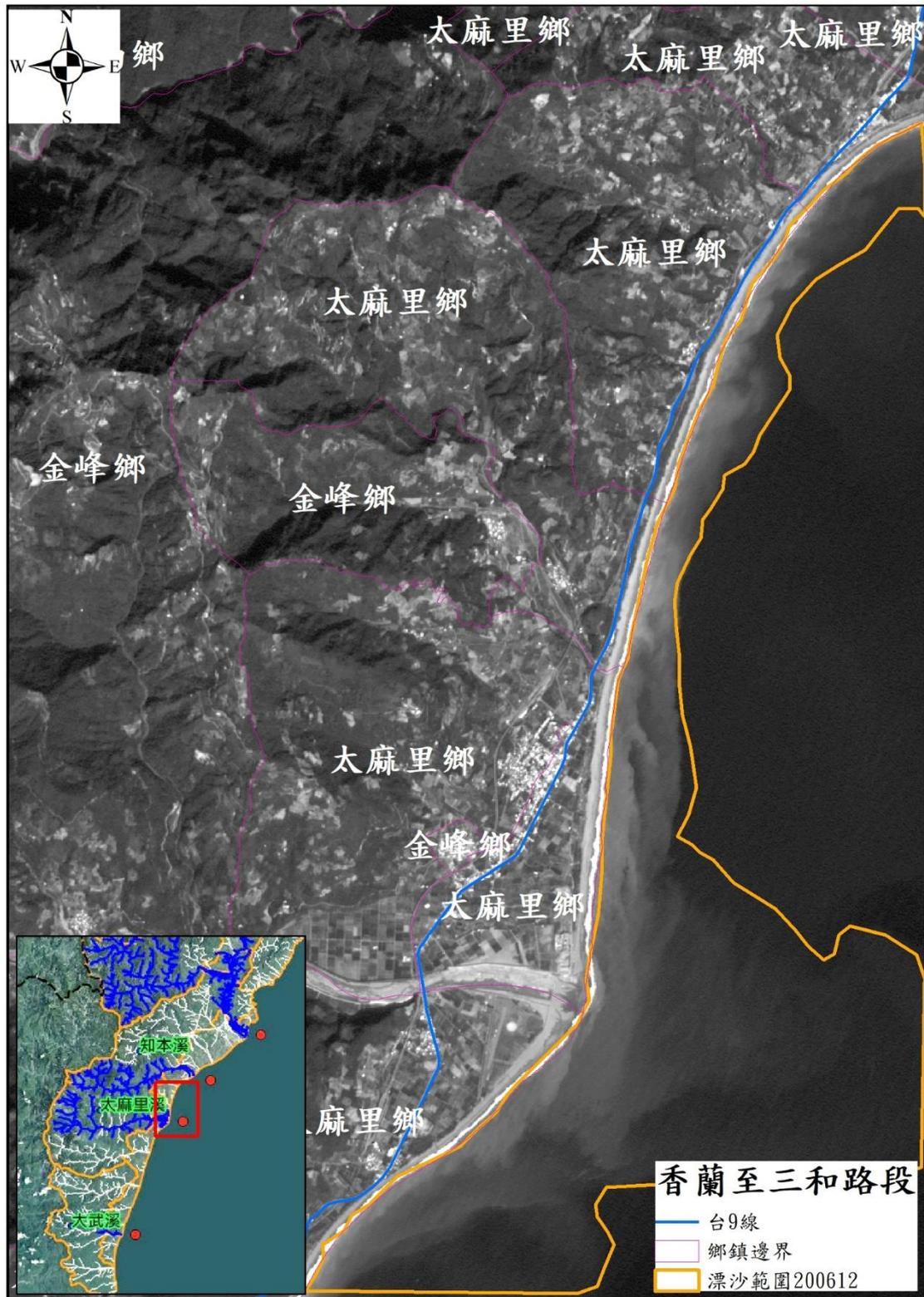


圖 2.13(續) 香蘭至三和段漂沙範圍分析結果 (12 月)

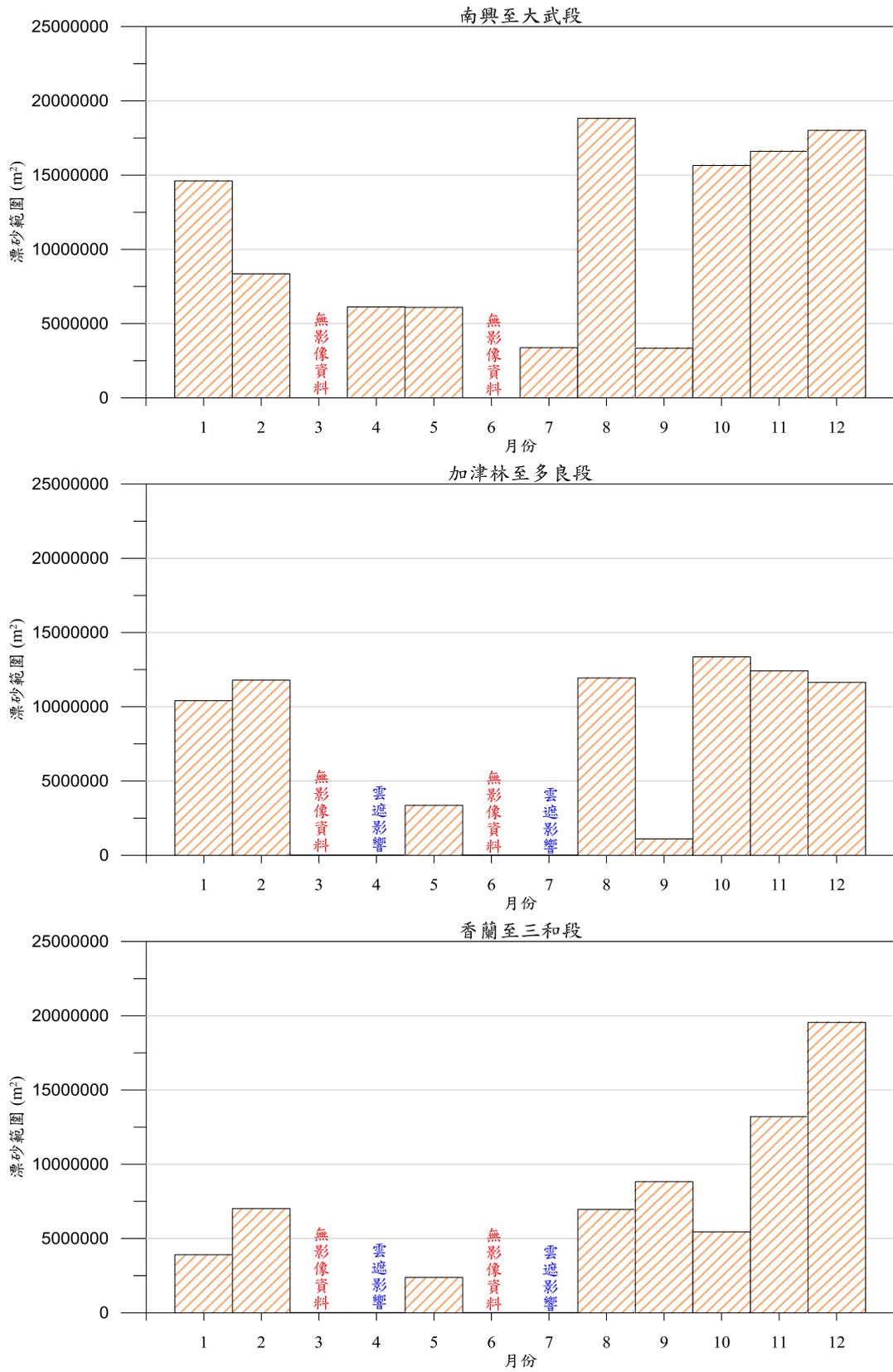


圖 2.14 台九線海岸漂沙變化分布圖



## 第三章 數值評估

### 3.1 數值模式建置

#### 3.1.1 遠域波流模式

為得到計畫區波浪及暴潮水位設計條件，以遠域模式計算對計畫區有顯著影響的颱風事件。本計畫遠域模式採用波潮流耦合模式 (ADCIRC+SWAN) 進行臺灣周圍海域波浪、海流計算。該模式結合波浪模式 SWAN (simulating waves nearshore) 與海洋環流模式 ADCIRC (advanced circulation model)，可同時考慮波與流之交互作用。茲就 SWAN 模式、ADCIRC 模式、計算條件及初步成果概說如下：

##### 1. SWAN

由荷蘭 Delft 大學主導發展之波浪模式 SWAN (Booij 等人，1996)，具有第三代風浪模式的特徵，而在能量成長及消散項的參數選擇上比其他模式更具彈性，可計算波浪在時間與空間領域中之傳遞、淺化、波與波之間的非線性交互作用、波浪受風之成長、碎波與底床造成波浪能量衰減及波浪受海流與地形變化而產生之頻率位移與折射，因此模式具有預報近岸海域風浪之功能。此模式也經過學者 Holthuijsen 等人(1997)和 Booij 等人(1998)應用實測風浪資料加以驗證。SWAN 模式所用之控制方程式為求解二維的波浪作用力平衡方程式 (action balance equation)，如下：

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla_{\vec{x}} \cdot [(\bar{C}_g + \bar{U})N] + \frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta} + \frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma} = \frac{S_{tot}}{\sigma} \quad (3.1)$$

$$\bar{k} = (k_x, k_y) = (|\bar{k}| \cos \theta, |\bar{k}| \sin \theta) \quad (3.2)$$

$$S_{xx} = \rho g \int \left( n \cos^2 \theta + n - \frac{1}{2} \right) E d\sigma d\theta \quad (3.3)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \rho g \int n \sin \theta \cos \theta E d\sigma d\theta \quad (3.4)$$

$$S_{yy} = \rho g \int \left( n \sin^2 \theta + n - \frac{1}{2} \right) E d\sigma d\theta \quad (3.5)$$

式(3.1)左側之第一項為運動波譜密度函數之時變項，第二與第三項為傳導項，第四與第五項分別表示由於地形與洋流所造成的波浪頻率位移與折射效應。 $\bar{x}=(x,y)$ 為平面方位， $t$ 為時間， $\sigma$ 與 $\theta$ 分別表示成份波之頻率與角度。 $\bar{U}=(U,V)$ 為背景水平流速， $\bar{c}_g$ 為群波速度， $N(\sigma,\theta)=E(\sigma,\theta)/\sigma$ 為波浪作用力密度波譜(action density spectrum)， $E(\sigma,\theta)$ 為能量密度波譜(energy density spectrum)， $S_{tot}(\sigma,\theta)$ 表示波浪傳遞時可能發生之波浪能量成長、消散及非線性交互作用等物理現象之源函數。在波浪成長與消散之源函數項中，SWAN 模式提供了許多選擇，包括風浪線性成長項、風浪指數成長項、白沫消散項、四個波波非線性交互作用項、底床摩擦項、三個波波交互作用項、碎波消耗項等。

式(3.3)至式(3.5)為底部輻射應力， $n$ 為群波速度與波速之比值，而 $C_\theta$ 與 $C_\sigma$ 可由分散關係式、波數守恆方程式與波數向量的非旋性推導而得(即，式(3.6)與式(3.7))，其中， $s$ 為波傳方向， $m$ 表示垂直波傳方向， $h$ 為水深。

$$C_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k} \left( \frac{\partial \sigma}{\partial h} \frac{\partial h}{\partial m} + \bar{k} \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial m} \right) \quad (3.6)$$

$$C_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial \sigma}{\partial h} \left( \frac{dh}{dt} + \bar{U} \cdot \nabla_{\bar{x}} h \right) - C_g k \cdot \frac{\partial \bar{U}}{\partial s} \quad (3.7)$$

## 2. ADCIRC 模式

ADCIRC 為有限元素模式 (Westerink 等人, 1991)，可以三角網格擬合複雜的邊界外型。模式於外海開放邊界可以水面高程或隨時間與空間變化之風場與氣壓場驅動，陸海交界處可處理因漲、退潮所造成之網格濕、乾過程(wetting-drying processes)。本研究以水深積分 ADCIRC 2DDI 模式 (Luettich 等人, 1992) 模擬臺灣周圍流場與水位分布。模式守恆型態控制方程式如下：

$$\frac{\partial \zeta}{\partial t} + \frac{\partial UH}{\partial x} + \frac{\partial VH}{\partial y} = 0 \quad (3.8)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial UH}{\partial t} + U \frac{\partial UH}{\partial x} + V \frac{\partial UH}{\partial y} - fVH = \\ -H \frac{\partial}{\partial x} \left[ \frac{P_s}{\rho_0} + g(\zeta - \alpha\eta) \right] + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} + \frac{\tau_{wx}}{\rho_0} \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial VH}{\partial t} + U \frac{\partial VH}{\partial x} + V \frac{\partial VH}{\partial y} + fUH = \\ -H \frac{\partial}{\partial y} \left[ \frac{P_s}{\rho_0} + g(\zeta - \alpha\eta) \right] + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} + \frac{\tau_{wy}}{\rho_0} \end{aligned} \quad (3.10)$$

式(3.8)中  $\zeta$  為自由液面， $f$  為科氏力係數， $H = \zeta + h$  為總水深， $P_s$  為自由液面壓力， $\rho_0$  為海水密度， $(\tau_{bx}, \tau_{by})$ 、 $(\tau_{sx}, \tau_{sy})$ 、 $(\tau_{wx}, \tau_{wy})$  分別為  $x, y$  方向之風應力、底床摩擦力及波浪輻射應力， $\eta$  為牛頓潮汐勢能， $\alpha$  為有效地球彈性係數(通常設定為 0.69)。

### 3. 波流耦合模式

在進行波流耦合時，主要是將波浪模式 SWAN 生成底部輻射應力傳給環流模式 ADCIRC 做為波浪輻射應力，如下：

$$\tau_{wx} = \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \quad (3.11)$$

$$\tau_{wy} = \frac{\partial S_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \quad (3.12)$$

波流耦合模式以相同三角格網進行計算時，若計算量龐大，可採用平行計算以增進計算效率。平行計算時，網格會被分割成數個子網格，並分送至多個核心分別進行計算，同時需對子網格邊界資料修正，重複計算直至所求物理量(水位、流速等)達到收斂，如圖 3.1 所示。

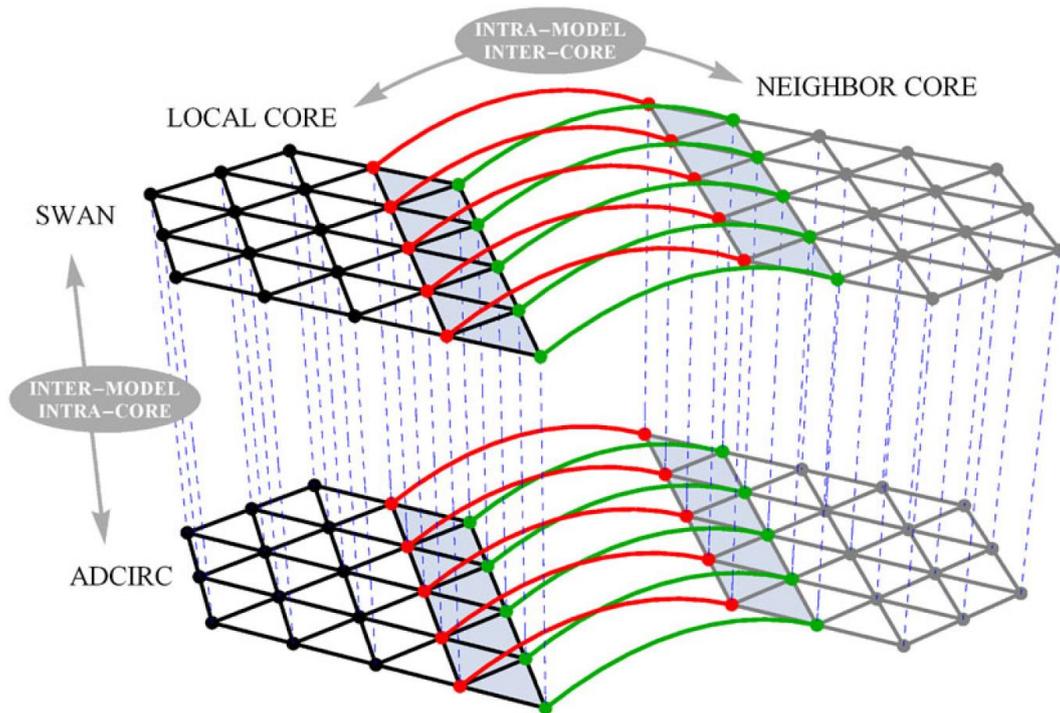


圖 3.1 平行計算時各核心資料傳遞示意圖

### 3.1.2 波流與地形變遷模式

本項工作主要利用計畫區內過去既有之現場實測調查資料結果，包括：海岸水深地形測量、河川流量及河口輸砂調查等，透過建立歷史觀測數據資料庫，配合數值模式進行計畫區海域現況的波場、流場、海岸輸砂等模擬。先以中尺度網格進行計算，其計算成果，配合歷史資料蒐集及現勘結果，以進一步規劃小區域網格計算，探討海岸地形侵淤變遷潛勢，並依數值模擬結果評估計畫區既有海岸防護設施之安全性，提供日後擬定適當之海岸防護策略之參考。

本計畫以 SMS (Surface-water Modeling System) 做為數值計算前處理工具，以 ADCIRC 做為中尺度計算工具，並在局部區域採用 CMS (Coastal Modeling System) 模式計算，模式說明如下：

#### 1. 近岸波浪模擬

近岸波場模擬採美國陸軍兵工團研發之 CMS-WAVE 對研究區的波場進行數值模擬。CMS-WAVE 近岸波場模式是一個波譜模

式，利用含近岸繞射項之改良型波浪作用力守恆方程式(Mase, 2001)，推算外海波浪傳遞至近海之折、繞射情形，同時將波浪淺化、碎波和底床摩擦等效應代入考量，可分析單頻線性波浪經折、繞射作用後的波高、相位、碎波及輻射應力分布，基本方程式如下：

$$\frac{\partial(C_x N)}{\partial x} + \frac{\partial(C_y N)}{\partial y} + \frac{\partial(C_\theta N)}{\partial \theta} = \frac{\kappa}{2\sigma} \left[ (CC_g \cos^2 \theta N_y)_y - \frac{CC_g}{2} \cos^2 \theta N_{yy} \right] - \varepsilon_b N - S \quad (3.13)$$

$$N = \frac{E(\sigma, \theta)}{\sigma} \quad (3.14)$$

$N$  為波浪作用密度函數，此函數為一個頻率  $\sigma$  及方向  $\theta$  的函數。 $E(\sigma, \theta)$  是波譜密度函數，代表每單位水表面積頻率間隔的波浪能量。在實際海流環境存在的情況下，波浪作用密度為守恆，而波譜波密度則非守恆(Bretherton and Garrett 1968; Whitham 1974)，控制方程式亦包含波繞射和能量耗散項 (Mase 2001; Mase 等人 2005a)。 $C$  和  $C_g$  分別為波速及群波速度， $x$  和  $y$  是水平面坐標， $C_x$ 、 $C_y$  和  $C_\theta$  分別為  $x$ 、 $y$  及  $\theta$  的特徵速度， $N_y$  和  $N_{yy}$  表示關於  $N$  對  $y$  的第一和第二階導數， $\kappa$  為一個代表繞射強度之經驗參數， $\varepsilon_b$  是代表能量耗散的波浪破碎參數， $S$  為外加項（例如，風作用力，底床摩擦損失等）及非線性波波交互作用項。

於小尺度計算時，採用定常邊界條件進行模擬。蒐集或再計算分析歷史海象相關資料，經彙整分析後選擇具代表性之海象條件，進行模擬以瞭解計畫區海域波場特性。

## 2. 近岸流場模擬

本計畫流場模擬採用美國陸軍兵工團研發之 CMS-FLOW 對研究區的水動力進行數值模擬，模式計算探討包括本計畫區流場分布及地形變遷侵淤趨勢，以下分兩部份介紹：

### (1) 水動力模式理論

水動力模式控制方程式如下：

$$\frac{\partial(h+\eta)}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (3.15)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial u q_x}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} + \frac{1}{2} g \frac{\partial(h+\eta)^2}{\partial x} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial q_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial q_x}{\partial y} \right) + f q_y - \tau_{bx} + \tau_{wx} + \tau_{sx} \end{aligned} \quad (3.16)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial u q_y}{\partial x} + \frac{\partial v q_y}{\partial y} + \frac{1}{2} g \frac{\partial(h+\eta)^2}{\partial y} = \\ \frac{\partial}{\partial x} \left( D_x \frac{\partial q_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( D_y \frac{\partial q_y}{\partial y} \right) - f q_x - \tau_{by} + \tau_{wy} + \tau_{sy} \end{aligned} \quad (3.17)$$

水深平均流速與流量之間關係如下：

$$u = \frac{q_x}{h+\eta} \quad (3.18)$$

$$v = \frac{q_y}{h+\eta} \quad (3.19)$$

不考慮波浪的情況，床底剪應力表示如下：

$$\tau_{bx} = C_b u |U| \quad (3.20)$$

$$\tau_{by} = C_b v |U| \quad (3.21)$$

$$|U| = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3.22)$$

底床摩擦係數計算如下：

$$C_b = \frac{g}{C^2} \quad (3.23)$$

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} \quad (3.24)$$

其中  $R$  為水力半徑， $n$  為曼寧(Manning)係數。

當需考慮波浪作用力時，底床剪應力可表示為 (Nishimura, 1988)：

$$\tau_{bx} = C_b \left\{ \left( U_{wc} + \frac{\omega_b^2}{U_{wc}} \cos^2 \alpha \right) u + \left( \frac{\omega_b^2}{U_{wc}} \cos \alpha \sin \alpha \right) v \right\} \quad (3.25)$$

$$\tau_{by} = C_b \left\{ \left( \frac{\omega_b^2}{U_{wc}} \cos \alpha \sin \alpha \right) u + \left( U_{wc} + \frac{\omega_b^2}{U_{wc}} \sin^2 \alpha \right) v \right\} \quad (3.26)$$

其中  $\alpha$  是波浪行進方向與  $x$  軸的交角。

$$U_{wc} = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{u^2 + v^2 + \omega_b^2 + 2(u \cos \alpha + v \sin \alpha) \omega_b} + \sqrt{u^2 + v^2 + \omega_b^2 - 2(u \cos \alpha + v \sin \alpha) \omega_b} \right\} \quad (3.27)$$

$$\omega_b = \frac{\sigma H}{\pi \sinh[k(h + \eta)]} \quad (3.28)$$

其中  $\sigma$  是波浪角頻率， $H$  是波高， $k$  是波數。

表面風應力計算如下：

$$\tau_{wx} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} W^2 \sin \theta \quad (3.29)$$

$$\tau_{wy} = C_d \frac{\rho_a}{\rho_w} W^2 \cos \theta \quad (3.30)$$

其中  $C_d$  為風的拖曳係數(wind drag coefficient)， $\rho_a$  為空氣密度， $\rho_w$  為水體密度， $W$  為風速， $\theta$  為風向(風向角度為卡式坐標角度，0 度為東方)。

風場引致之輻射應力可表示為：

$$\tau_{sx} = -\frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial S_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial S_{xy}}{\partial y} \right) \quad (3.31)$$

$$\tau_{sy} = -\frac{1}{\rho_w} \left( \frac{\partial S_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial S_{yy}}{\partial y} \right) \quad (3.32)$$

其中波浪輻射應力的引入是透過與 CMS-WAVE 模組之結合，並根據線性理論計算所得。當坐標系統中的  $x$  軸垂直於岸線時，輻射應力表示如下(Smith 等人, 2001)

$$S_{xx} = \iint E(\omega, \alpha) \left[ 0.5 \left( 1 + \frac{2k(h+\eta)}{\sinh 2k(h+\eta)} \right) (\cos^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] d\omega d\alpha \quad (3.33)$$

$$S_{xy} = \iint \frac{E(\omega, \alpha)}{2} \left[ 0.5 \left( 1 + \frac{2k(h+\eta)}{\sinh 2k(h+\eta)} \right) \sin 2\alpha \right] d\omega d\alpha \quad (3.34)$$

$$S_{yy} = \iint E(\omega, \alpha) \left[ 0.5 \left( 1 + \frac{2k(h+\eta)}{\sinh 2k(h+\eta)} \right) (\sin^2 \alpha + 1) - 0.5 \right] d\omega d\alpha \quad (3.35)$$

其中  $S_{xx}$  為正向岸邊的動量， $S_{xy}$  為平行海岸的動量， $S_{yy}$  為沿岸流的動量。

科氏力(Coriolis)如下：

$$f = 2\Omega \sin(\varphi) \quad (3.36)$$

其中  $\Omega$  為地球旋轉的角頻率， $\varphi$  為緯度。

渦動黏滯係數為與水體中混擾強度相關的係數，於遠離碎波帶的區域，波浪引起的水體擾動微弱，故可忽略。此情況下渦動黏滯係數可表示為：

$$D_0 = \frac{1}{2} \left[ 1.156g(h+\eta) \frac{|U|}{C^2} \right] \quad (3.37)$$

相對的，碎波帶附近因碎波引起的水體擾動影響顯著，此時渦動黏滯係數可表示如下：

$$D_w = \varepsilon_L \quad (3.38)$$

$$\varepsilon_L = \Lambda u_m H \quad (3.39)$$

$$u_m = \frac{gHT}{\left[ 2\lambda \cosh \left( \frac{2\pi(h+\eta)}{\lambda} \right) \right]} \quad (3.40)$$

實際上，碎波附近水體的混擾為三維現象，其物理機制無法反應於水深積分二維模式。前述渦動黏滯係數的引入乃為權宜的處理方式，藉以在二維模式中考慮三維紊流的影響。

由前述說明可知碎波帶附近與遠離碎波帶區域的渦動黏滯係數是不同的，為使模式計算時能連結兩區域，故引入一權重係數( $\theta_m$ )如下：

$$D = (1 - \theta_m) D_0 + \theta_m D_w \quad (3.41)$$

$$\theta_m = \left( \frac{H}{h + \eta} \right)^3 \quad (3.42)$$

風吹造成的水體流動在淺水區較為明顯，因此必須考慮。風速與摩擦力是影響空氣與表面水體間動能交換的主要因素，兩者可表示為(Hsn, 1988)：

$$W_z = \frac{W_*}{\kappa} \ln \frac{Z}{Z_0} \quad (3.43)$$

$$\tau_0 = \rho_a W_*^2 = \rho_a K_m \frac{\partial W}{\partial z} \quad (3.44)$$

基於自然穩定之大氣條件的假設，水面摩擦係數如下：

$$C_{10} = \left( \frac{\kappa}{14.56 - 2 \ln W_{10}} \right)^2 \quad (3.45)$$

其中 $W_{10}$ 為平均水面上方 10 m 處的風速，可表示如下：

$$W_{10} = W_z \left( \frac{10}{Z} \right)^{1/7} \quad (3.46)$$

## (2) 輸砂控制方程式及地形變遷機制理論方法

CMS-FLOW 計算輸砂率及隨水深變化的輸砂率梯度，主要有三種輸砂方程式可選擇：

- a. Watanabe(1987)總輸砂量公式。

- b. Lund-CIRP (Camenen and Larson 2005, 2006)總輸砂量公式(結合懸浮載及底床載)。
- c. 懸浮載的對流擴散方程式與 van Rijn (1998)或 Lund-CIRP 底床載方程式耦合。對流擴散方程式應用 van Rijn (1998)或 Lund-CIRP 方程式中的參考濃度及砂的擴散率。

輸砂公式可適用於有/無波浪作用下。底部高程變化由砂的連續方程式計算，其中輸砂率由特定的方程式計算後輸入。Lund-CIRP 公式有平滑過渡的特性，例如碎波與非碎波間的過渡區及純流的輸送及波流輸送的過渡區。

CMS-FLOW 考慮兩種形態限制: (a)堅硬底床(不可侵蝕底床)及(b)底床坡度超過特定值的崩塌。如果存在沉積條件，堅硬底床可允許砂堆積覆蓋在底床上。當兩單元間的底床坡度超過特定的臨界坡度時，則產生崩塌。崩塌的算法是應用疊代方法將物質向下移動，直到不再超過臨界坡度，同時保留沉積物體積。

輸砂率是基於剪應力的概念，意味著底床粗糙度及產生的摩擦係數是計算輸砂率的關鍵參數。輸砂公式通常是基於底床粗糙度及相關剪應力的特定方程式發展而來(即校準數據)。因此，當在 CMS-FLOW 中使用三個方程式計算輸砂率，採用稍微不同的方法確定剪應力。以下部份中，討論了於不同輸砂公式獲得的剪應力。此外，值得注意的是粗糙度及相關剪應力在輸砂計算中與 CMS-FLOW 水動力計算不同。

由另外的模式計算的流場及波浪特性，會影響底床粗糙度及剪應力，其會導致輸砂計算結果有所差異，惟輸砂計算的粗糙度及剪應力並不會反饋水動力或波之計算。CMS-FLOW 在二維水平坐標上計算的流速為 $(u, v)$ ，如果波對輸砂的貢獻可以忽略不計(例如，正弦波)，則淨輸砂方向為流的向量方向，流速大

小為  $U_c = \sqrt{u^2 + v^2}$ 。因此，波將有助於沉積物的移動及攪動，但是需要平均的流來產生淨輸砂。

本文使用懸浮載的對流擴散方程式與 van Rijn (1998) 或 Lund-CIRP 底床載方程式耦合，其理論作法如下：

#### a. 基本方程式

輸砂分成兩個部份，懸浮載及底床載。懸浮載及底床載的輸砂方程式是基於局部剪應力。然而，在一些地方，懸浮載濃度在時間及空間上的變化劇烈，例如：河口、入流口、航道及結構物附近。在這種情況下，懸浮載濃度由對流擴散方程式控制。

CMS-FLOW 中，對流擴散方程式由水深平均的懸浮載輸砂獲得(如圖 3.2)：

$$\frac{\partial(Cd)}{\partial t} + \frac{\partial(Cq_x)}{\partial x} + \frac{\partial(Cq_y)}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} \left( K_x d \frac{\partial C}{\partial x} \right) \frac{\partial}{\partial y} \left( K_y d \frac{\partial C}{\partial y} \right) + P - D \quad (3.47)$$

其中

$C$  = 水深平均下砂的濃度

$d$  = 總水深(=  $h + \eta$ )

$h$  = 靜水面水深

$\eta$  = 靜水面的水位變化

$t$  = 時間

$q_x$  = 平行  $x$  軸之單寬流量(=  $ud$ )

$q_y$  = 平行  $y$  軸之單寬流量(=  $vd$ )

$u$  = 平行  $x$  軸之水深平均流速

$v$  = 平行  $y$  軸之水深平均流速

$K_x$  = 砂在  $x$  方向的擴散係數

$K_y$  = 砂在  $y$  方向的擴散係數

$P$  = 砂的再懸浮(向上砂通量)

$D$  = 砂的沉積率(向下砂通量)

輸砂時間步之懸浮砂的濃度由式(3.47)求解得。

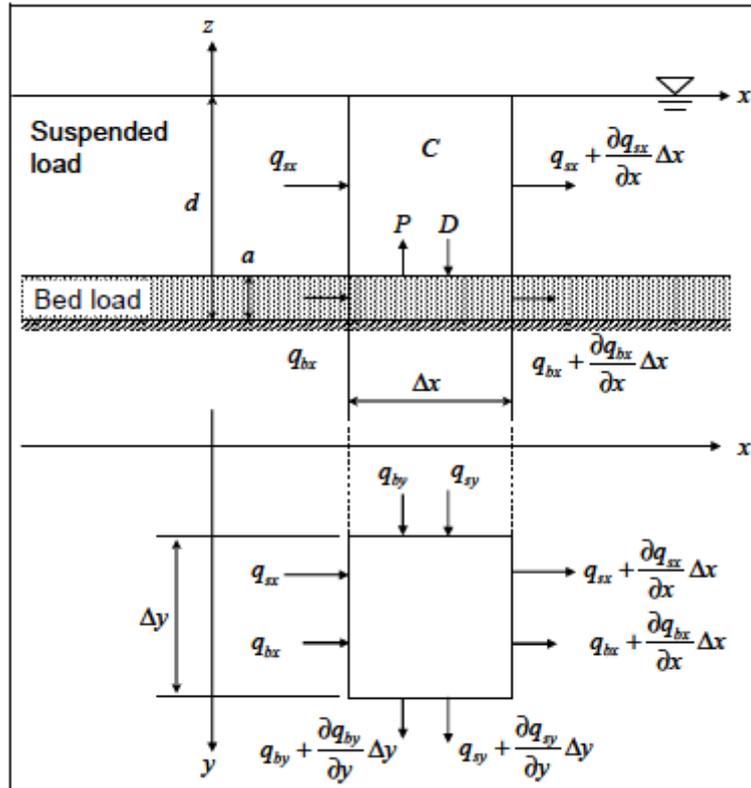


圖 3.2 輸砂連續性定義(體積守恆)

由砂的連續方程式獲得底床高程改變：

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-p} \left( \frac{\partial q_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial q_{by}}{\partial y} + P - D \right) \quad (3.48)$$

上式中， $q_{bx}$  為平行  $x$  軸之底床載輸砂率， $q_{by}$  為平行  $y$  軸之底床載輸砂率， $p$  為砂的孔隙率。

在式(3.48)中， $\partial q_{bx} / \partial x + \partial q_{by} / \partial y$  項包含底床載部分， $P - D$  項則符合懸浮載的部分。圖 3.2 為在一水柱定義砂的連續性，其中  $q_{sx}$

及  $q_{sy}$  分別為  $x, y$  方向的懸浮輸砂率， $a$  為底床載層的高度。輸砂率  $q_{sx}$  及  $q_{sy}$  由式(3.47)定義為：

$$q_{sx} = Cq_x - K_x d \frac{\partial C}{\partial x} \quad (3.49)$$

$$q_{sy} = Cq_y - K_y d \frac{\partial C}{\partial y} \quad (3.50)$$

初始模擬砂的濃度、底床載及懸浮載設置為零，接著隨時間更新。

#### b. 再懸浮率及沉積率

對流擴散模式由式(3.48)之再懸浮及沉積率之間的差異計算懸浮載導致的底床高程變化。再懸浮及沉積率也應用在式(3.47)的底床邊界條件。底床邊界條件指定在平均底床高程以上的任意高度  $a$ ：

$$P = -\varepsilon \left. \frac{\partial c}{\partial z} \right|_{z=a} = c_a w_f \quad (3.51)$$

$$D = c_0 w_f \quad (3.52)$$

其中  $c$  為在給定高度下的懸浮平衡濃度， $z$  為垂直坐標。 $c_a$  及  $c_0$  皆為  $z=a$  處定義之參考濃度。因為砂向上之通量取決於底床剪應力， $c_a$  由局部水動力條件計算的底床剪應力得到。CMS-FLOW 中  $c_a$  的計算方式取決於選擇 van Rijn 或 Lund-CIRP 模式。砂向下的通量則取決於上部水柱的濃度，因此  $c_0$  由式(3.47)的解指定。

假設懸浮濃度在平衡的情況下 ( $\partial c / \partial t = 0$ ,  $\partial u / \partial x = \partial v / \partial y = 0$ ,  $\partial c / \partial x = \partial c / \partial y = 0$ )，則懸浮濃度的基本方程式可寫成：

$$c w_f + \varepsilon \frac{\partial c}{\partial z} = 0 \quad (3.53)$$

透過適當的混和係數  $\varepsilon$  可解析求解此方程式，並以下列形式獲得懸浮濃度之垂直分布。

$$c(z) = c_0 F(z) \quad (3.54)$$

其中  $F(z)$  為垂直濃度分布函數。參考濃度  $c_0$  與水深平均濃度  $C$  的關係為：

$$C = \frac{1}{d-a} \int_a^d c_0 F(z) dz \quad (3.55)$$

其中通過引入轉換參數  $\beta_d$ ， $c_0$  可寫成以下形式：

$$c_0 = \frac{C}{\frac{1}{d-a} \int_a^d F(z) dz} = \frac{C}{\beta_d} \quad (3.56)$$

懸浮載造成之底床高程變化基於兩種類型的參考濃度差異：

$$P-D = (c_u - c_0) w_f \quad (3.57)$$

該等式表示當  $c_u > c_0$  則侵蝕，當  $c_u < c_0$  則堆積。

在對流擴散模式中，有三種指定  $c_a$  及  $c_0$  (即  $\beta_d$ ) 的方法。其中兩種基於 van Rijn 方程式 (van Rijn, 1985)，另一種基於 Lund-CIRP 方程式 (Camenen and Larson, 2006)。表 3-1 統整這些方法的一般特性。

參考濃度  $c_a$  在 van Rijn 方程式中表示為：

$$c_a = 0.015 \frac{d_{50}}{a} \left( \frac{\tau_{b,\max} - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} \right)^{1.5} d_*^{-0.3} \quad (3.58)$$

$$\tau_{b,\max} = \sqrt{[\tau_m + \tau_w \cos(\phi)]^2 + [\tau_w \sin(\phi)]^2} \quad (3.59)$$

其中  $a$  為參考高度， $\tau_{s,\max}$  為最大底床剪應力， $\tau_m$  為一個波浪週期下的波流平均剪應力， $\tau_w$  為波浪底床剪應力， $\phi$  為波流夾角。

表 3-1 再懸浮及沉積率的計算特性

方法	參考濃度	說明
指數分布	式(3.58)	快速計算。 傾向高估輸砂率。 可用於一些測試。
van Rijn 分布	式(3.58)	需要大量的計算時間。 提供與 van Rijn(1985)相同的結果。
Lund-CIRP 分布	式(3.58)	快速計算。 新發展的輸砂方程式。

與流相關之剪應力計算:

$$\tau_c = \frac{\rho_w k^2}{[1 + \ln(k'_s/30d)]^2} U_c^2 \quad (3.60)$$

與波相關之剪應力計算:

$$\tau_w = \rho_w \frac{f_w}{2} U_w^2 \quad (3.61)$$

$$f_w = \exp\left[5.5\left(A_w/k'_s\right)^{-0.2} - 6.3\right] \quad (3.62)$$

在此  $k'_s$  為粗糙度高度，定義為:

$$k'_s = k_{sd} + k_{ss} \quad (3.63)$$

其中  $d$  為整體水深，定義為  $d = h + \eta$ ， $k_{sd}$  為尼古拉斯等值糙度高度:

$$k_{sd} = 2.5d_{50} \quad (3.64)$$

$$k_{ss} = 5d_{50}\theta_i \quad (3.65)$$

其中  $\theta_i$  為希爾茲數(下標  $i = c, w$  分別表示為流及波浪)。流及波浪的希爾茲數表示式為:

$$\theta_c = \frac{\tau_c}{\rho(s-1)gd_{50}} \quad (3.66)$$

$$\theta_w = \frac{\tau_w}{\rho(s-1)gd_{50}} \quad (3.67)$$

式(3.65)必須與剪應力同時求解，因為粗糙度取決於應力。利用近似多項式發展顯式預測方程式得到精確解，以避免計算剪應力時迭代的耗時。

在 van Rijn 模式中底床濃度定義在高度  $a$  的位置：

$$a = \max(0.5H_r, 0.01d) \quad (3.68)$$

其中  $H_r$  為漣漪高度。如果漣漪出現，則總粗糙度高度修改為：

$$k_s = k'_s + k_{sf} \quad (3.69)$$

van Rijn 方程式指定為  $k_{sf} = 20(H_r^2/L_r)$ ，Lund-CIRP 方程式指定為  $k_{sf} = 7.5(H_r^2/L_r)$ 。

從垂直混和係數獲得轉換參數  $\beta_d$  以決定  $c_0$ 。van Rijn(1985) 提出在只考慮流或波的情況下混和係數分布(如圖 3.3)，與流相關的混和係數表示為：

$$\begin{aligned} \varepsilon_c &= \varepsilon_{c,\max} \left(1 - \frac{2z}{h}\right)^9 & z < 0.5h \\ \varepsilon_c &= \varepsilon_{c,\max} = 0.25ku_{*c}h & z > 0.5h \end{aligned} \quad (3.70)$$

其中  $u_{*c}$  為與流相關之底床剪力速度，表示為：

$$u_{*c} = \frac{k}{-1 + \ln\left(\frac{30d}{k_s}\right)} U_c \quad (3.71)$$

係數  $\mathcal{G}$  由下式獲得：

$$\begin{aligned} \mathcal{G} &= -0.25 \frac{U_w}{|U|} + 2 & 0 \leq \frac{U_w}{|U|} \leq 4 \\ \mathcal{G} &= 1 & \frac{U_w}{|U|} > 4 \end{aligned} \quad (3.72)$$

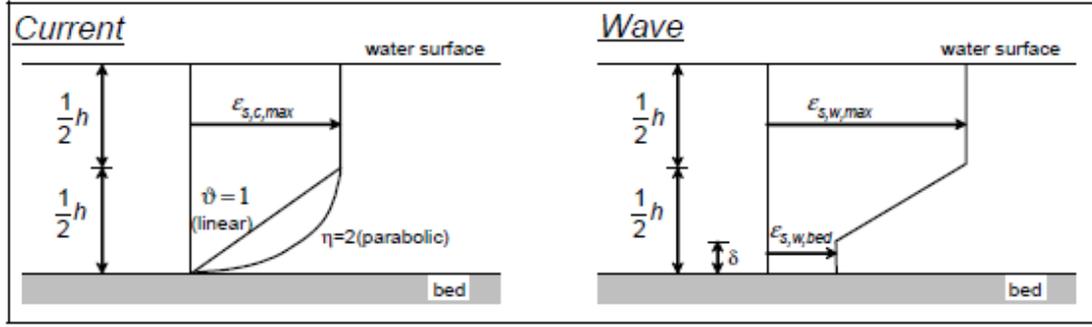


圖 3.3 流和波造成的混和係數垂直分布

與波相關的混和係數表示為：

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_w &= \varepsilon_{w,bed} & z < \delta \\
 \varepsilon_w &= \varepsilon_{w,bed} + (\varepsilon_{w,max} - \varepsilon_{w,bed}) \left( \frac{z - \delta}{0.5h - \delta} \right) & \delta < z \leq 0.5h \\
 \varepsilon_w &= \varepsilon_{w,max} & z > 0.5h
 \end{aligned} \quad (3.73)$$

其中

$$\begin{aligned}
 \varepsilon_{w,bed} &= 0.00065 D_* \alpha_{br} \delta u_w \\
 \varepsilon_{w,max} &= 0.035 \alpha_{br} \frac{hH}{T}
 \end{aligned} \quad (3.74)$$

$$\begin{aligned}
 \alpha_{br} &= 5 \left( \frac{H}{h} \right) - 2 & H/h \geq 0.6 \\
 \alpha_{br} &= 1 & H/h < 0.6
 \end{aligned} \quad (3.75)$$

參數  $\delta$  為距底床高度給定為  $\delta = 3H_r$ ， $H$  為示性波高， $T$  為示性週期。如果波流共存，混和係數為：

$$\varepsilon_{cw} = \sqrt{\varepsilon_c^2 + \varepsilon_w^2} \quad (3.76)$$

透過  $\varepsilon_{cw}$  表示式，可以導出式(3.54)之濃度分布及計算轉換參數  $\beta_d$ 。在對流擴散模式中，實現了兩種基於 van Rijn 方程式的方法計算  $\beta_d$ 。一種是基於指數分布的平均水深混和係數  $\bar{\varepsilon}_{cw}$ ，另一種為原始 van Rijn 分布，通過式(3.54)數值積分得到  $\beta_d$ 。假設懸浮濃度為指數分布，解析得  $\beta_d$  為：

$$\beta_d = \frac{1}{d-a} \frac{\bar{\varepsilon}_{cw}}{w_f} \left\{ 1 - \exp \left[ -\frac{w_f}{\varepsilon_{cw}} (d-a) \right] \right\} \quad (3.77)$$

其中

$$\bar{\varepsilon}_{cw} = \frac{1}{d-a} \int_a^d \varepsilon_{cw} dz \quad (3.78)$$

Lund-CIRP 方程式計算參考濃度及砂的擴散也應用於對流擴散模式中。用於  $c_R$  及  $\varepsilon$  的方程式，在這部分會呈現來描述 Lund-CIRP 方程式。

### c. 水平擴散係數

對流擴散模式中水深平均濃度的水平擴散係數  $K_x$  及  $K_y$  由 Elder (1959) 提出方程式計算：

$$\begin{aligned} K_{x0} &= 2.93u_*c d \\ K_{y0} &= 5.93u_*c d \end{aligned} \quad (3.79)$$

在碎波帶，波浪在橫向混和有顯著的貢獻，渦流黏滯係數預期是波浪特性的函數。對於對流擴散模式的水平擴散係數，應用 Kraus and Larson (1991) 提出的碎波帶混和在水動力計算中。

$$K_w = \varepsilon_L \quad (3.80)$$

其中  $\varepsilon_L$  描述波谷水位下的橫向混和 (Smith, Larson, and Kraus, 1993)，並表示為 (Kraus and Larson 1991)：

$$\varepsilon_L = \Lambda u_w H \quad (3.81)$$

其中  $\Lambda$  為橫向混和長度之經驗係數。

通過加權混和係數在 CMS-FLOW 中，表示碎波帶的擴散及碎波點向外海的海洋擴散之間的過渡段，指定為：

$$\begin{aligned} K_x &= (1-\theta_m) K_{x0} + \theta_m K_w \\ K_y &= (1-\theta_m) K_{y0} + \theta_m K_w \end{aligned} \quad (3.82)$$

其中加權參數  $\theta_m$  表示為：

$$\theta_m = \left( \frac{H}{h+\eta} \right)^3 \quad (3.83)$$

#### d. 底床載輸砂率

底床載輸砂率可由 van Rijn (1998) 或 Lund-CIRP (Camenen and Larson 2005) 方程式計算。在 van Rijn 方程式中，底床載由下式得到，不包含底床粗糙度：

$$q_b = 0.1d_{50}u_{*c} \left( \frac{\tau_{s,\max} - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} \right)^{1.5} d_*^{-0.3} \quad (3.84)$$

Lund-CIRP 方程式計算底床載在前面已提到不再贅述。

#### e. 底床載及懸浮載輸砂率的縮放因子

分配 Lund-CIRP 總輸砂方程式及對流擴散方程式以調整底床載及懸浮載輸砂率。縮放因子直接應用於輸砂率的係數，不取決於底床載輸砂率及懸浮載輸砂率。因此，底床載輸砂率可以與懸浮載輸砂率分別縮放。縮放因子的建議值為 0.1~4。縮放因子為 1 時為預設值，將無調整輸砂率。當縮放因子小於 1 時，將減少輸砂率；大於 1 則為增加輸砂率。於不確定的外力或初始條件時，縮放因子可調整模式預測輸砂率及率定地形變遷。

#### f. 砂的連續方程式

時間平均輸砂率型式的連續方程式，可計算總輸砂方程式及對流擴散方程式的底床載方程式的水深變化。這個方法需要定義兩個時間間隔，一個用於計算瞬時輸砂率  $dt_{sed}$ ，另一個用於計算平均輸砂率及地形變遷  $dt_{morph}$ 。在時間間隔為  $dt_{sed}$  時，計算定向瞬時輸砂率  $q_{tot,x}$  和  $q_{tot,y}$ ；在時間間隔為  $dt_{morph}$  時，計算  $x$  和  $y$  方向上的時間平均輸砂率  $\bar{q}_{tot,x}$  和  $\bar{q}_{tot,y}$ 。通過計算修改的時間平均傳輸率  $\bar{q}'_{tot,x}$  和  $\bar{q}'_{tot,y}$ ，完成增加下坡輸砂率及減少上坡輸砂率 (Watanabe, 1987):

$$\bar{q}'_{tot,x} = \bar{q}_{tot,x} - D_s \left| \bar{q}_{tot} \right| \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.85)$$

$$\bar{q}'_{tot,y} = \bar{q}_{tot,y} - D_s \left| \bar{q}_{tot} \right| \frac{\partial h}{\partial y} \quad (3.86)$$

其中  $D_s$  為經驗坡度係數，一般介於 5~30， $\bar{q}_{tot}$  為時間平均輸砂率。這些方程式為了底床變化，在連續方程式中加入有效的傳輸擴散。

砂的連續方程式求解以時間間隔為  $dt_{morph}$  之地形變化，總輸砂方程式為：

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \left( \frac{1}{1-p} \right) \left( \frac{\partial \bar{q}'_{tot,x}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{q}'_{tot,y}}{\partial y} \right) \quad (3.87)$$

在剛性邊界，輸砂率梯度通過邊界的單元設為零。

對流擴散方程式中，砂的連續方程式於式(3.48)提及。時間間隔計算瞬時輸砂率及平均輸砂率和地形變遷與總輸砂率模式的時間間隔相同，即分別為  $dt_{sed}$  及  $dt_{morph}$ 。此外，式(3.48)的底床載在坡度效應下，調整為：

$$\bar{q}'_{bx} = \bar{q}_{bx} - D_s \left| \bar{q}_b \right| \frac{\partial h}{\partial x} \quad (3.88)$$

$$\bar{q}'_{by} = \bar{q}_{by} - D_s \left| \bar{q}_b \right| \frac{\partial h}{\partial y} \quad (3.89)$$

其中  $\bar{q}_b = \sqrt{\bar{q}_{bx}^2 + \bar{q}_{by}^2}$ 。最後砂的連續方程式求解地形變遷，時間間隔為  $dt_{morph}$  時，改寫為：

$$\frac{\partial h}{\partial t} = \frac{1}{1-p} \left( \frac{\partial \bar{q}'_{bx}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{q}'_{by}}{\partial y} + \bar{P} - \bar{D} \right) \quad (3.90)$$

包含底床載及懸浮載。在剛性邊界，輸砂率通過邊界單元設為零。

水動力模式(CMS-FLOW)及波浪模式(CMS-WAVE)屬於雙向耦合模式，在水動力模式耦合計算過程中，波浪模式計算之輻

射應力結果，作為水動力流場計算之外加作用力條件。而波浪模式計算過程中，其水位及流場條件則隨時由水動力模式計算結果更新。

圖 3.4 為模式架構及各模式間相互關係，地形水深更新後，再依同樣的流程逐時計算後續不同潮位相位、河川流量歷線下的波流場與海底地形變化。簡言之，模式的設計係仿照實際海岸底質與懸移質被波流移動，隨水動力的強弱發生漂浮、沉積，而海底地形變化後將反過來影響海流的複雜過程。

### 3. 河川輸砂模擬 (PTM, Particle Tracking Model)

本計畫河川輸砂模擬部分，採用 PTM 進行模擬計算，透過粒徑、濃度與流量給定，可模擬河川上游補注之砂量。本模式計算結果可以 CMS 搭配，計算出海岸底床變形情況。該模式相關理論介紹參見附件二。

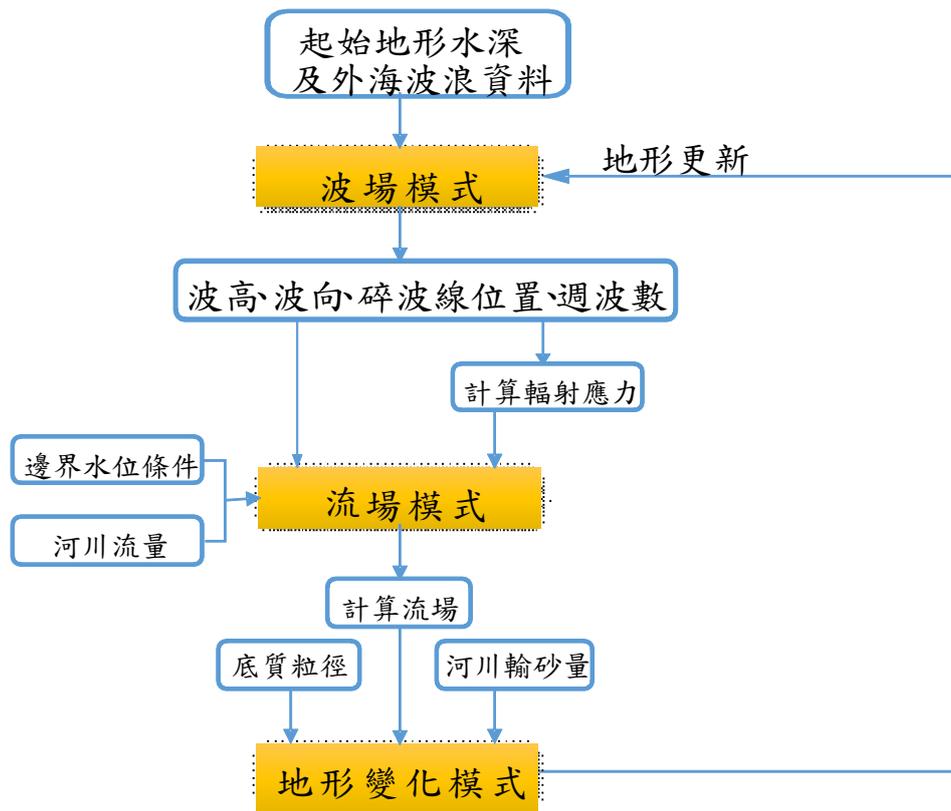


圖 3.4 二維水動力與地形變化數值模式架構圖

## 3.2 模式設置

### 3.2.1 遠域模式設置

波流耦合模式(ADCIRC+SWAN)近年成功應用於美國東海岸颱風暴潮與波浪預測工作，亦由本團隊成功應用於計算颱風侵臺時期臺灣海域暴潮與颱風波浪分布。遠域模式設置說明如後，計算域西起 110E 東至 150E，南起 10N 北至 50N，計算地形採用美國國家地球物理資料中心 (NGDC) 發佈的全球 1、2 分格網數值地形資料 (ETOPO1/ETOPO2)，網格分布如圖 3.5，格網設置資訊如表 3-2。模式所使用之颱風風場，由中央氣象局發布颱風警報單上的中心位置、

中心氣壓、風速、移動速度等觀測數據，代入螺旋模型風場(Rankin vortex model, RVM)計算而得。

$$\frac{V_r}{V_m} = \begin{cases} (R/R_m)^7 \exp[7(1-R/R_m)] & , R < R_m \\ \exp[(0.0025R_m + 0.05)(1-R/R_m)] & , R \geq R_m \end{cases} \quad (3.91)$$

$$R_m = 28.52 \tanh[0.0873(\varphi - 28)] + 12.22 \exp\left(\frac{P_c - P_0}{33.86}\right) + 0.2V_f + 37.22 \quad (3.92)$$

$$V = V_r + 0.5V_f \cos \phi \quad (3.93)$$

$$\Phi = \begin{cases} 10^\circ & , 0 < R \leq R_m \\ 10^\circ + 75^\circ(R/R_m - 1) & , R_m < R \leq 1.2R_m \\ 25^\circ & , 1.2R_m < R \end{cases} \quad (3.94)$$

式(3.91)中 $V_r$ 為距離颱風中心 $R$ 的風速； $V_m$ 為最大風速； $R_m$ 為最大風速時的颱風半徑。式(3.92)中 $\varphi$ 為颱風中心所在的緯度； $P_c$ 為颱風中心氣壓； $P_0$ 為平常狀態的大氣壓力，此處為1013.3 hPa； $V_f$ 為颱風中心移動速度。合成風速 $V$ 可以式(3.93)表達，其中 $\phi$ 為 $V$ 與 $V_f$ 間的夾角。而颱風通過海域時所產生的偏轉則可以式(3.94)描述。

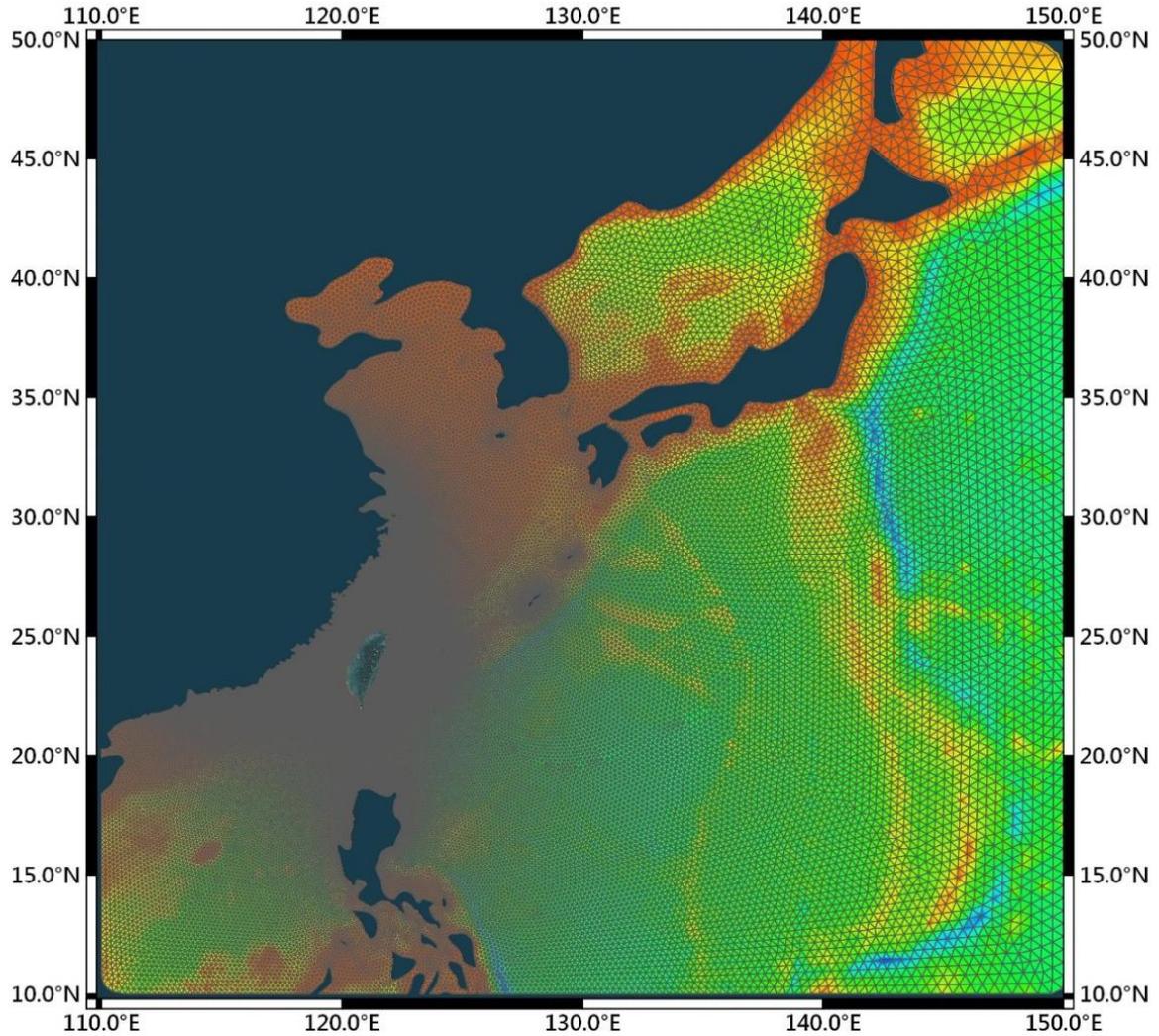


圖 3.5 大域計算網格示意圖

表 3-2 遠域模式網格配置表

項目	設定值
模擬範圍	40° X 40° (東經 110~150 北緯 10~50)
格網大小	臺灣周圍 0.015° 海域邊界 0.5°
格網數目	Nodes=50,812 Elements=98,946

### 3.2.2 中域模式設置

中域模擬之目的為檢視整個台九線區域，附近海域之流場及波浪傳遞情形，圖 3.6 為中域尺度模擬範圍，南起安朔路段北至臺東市，計算長度為 65 km，海側邊界離岸約 15 km。計算模式採用 ADCIRC，最外側海域邊界格點布置為 2 km，於海岸河口則以 50 m 網格點布置，

模式格點配置資訊如表 3-3。進一步依據公路高程以及歷史受災事件，以及利用中域波浪傳遞計算，及河川輸砂趨勢模擬結果，將台九線分成三個主要地形以波浪衝擊研究。

**表 3-3 中域模式網格配置表**

項目	設定值
模擬範圍	65 km X 15 km
格網大小	陸側 100 m 海域外側 2 km
格網數目	Nodes=20,141 Elements=39,285

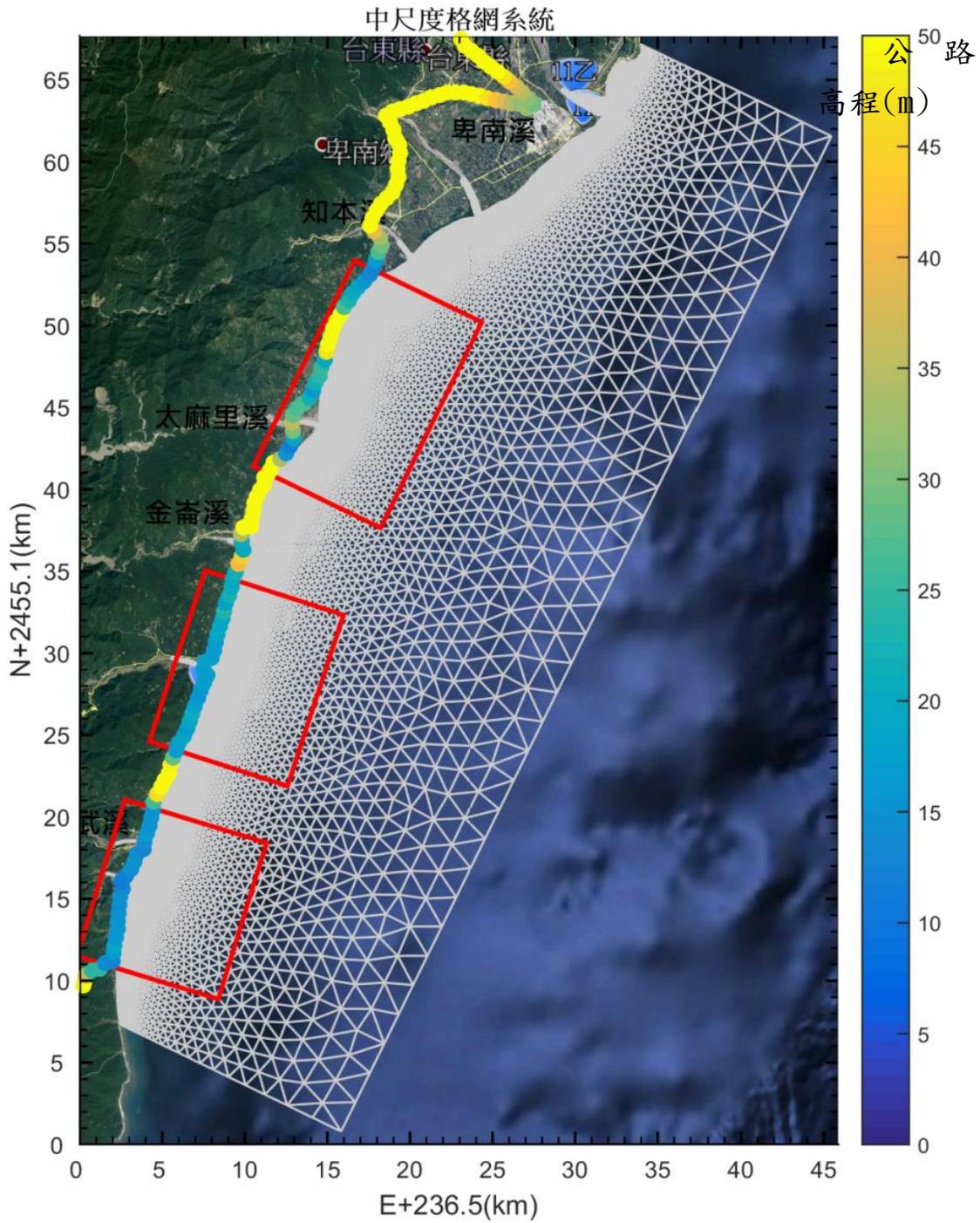


圖 3.6 中尺度模擬網格範圍以及配置情形

### 3.2.3 近域模式設置

計畫區分成三個區塊計算，由南至北分別為：南興至大武段、加津林至多良段以及香蘭至三和段，相關地理位置及地形水深如圖 3.7~圖 3.9，格網基本配置如表 3-4，而如何選定此三段做為近岸尺度劃定原則，請參閱 3.4.3 節。

表 3-4 近域模式網格配置表

位置	南興至大武段
模擬範圍	9 km X 10 km
格網大小	25 m X 25 m
格網數目	360 X 400
位置	加津林至多良段
模擬範圍	8.8 km X 11 km
格網大小	25 m X 25 m
格網數目	353 X 440
位置	香蘭至三和段
模擬範圍	8.6 km X 14 km
格網大小	25 m X 25 m
格網數目	344 X 560

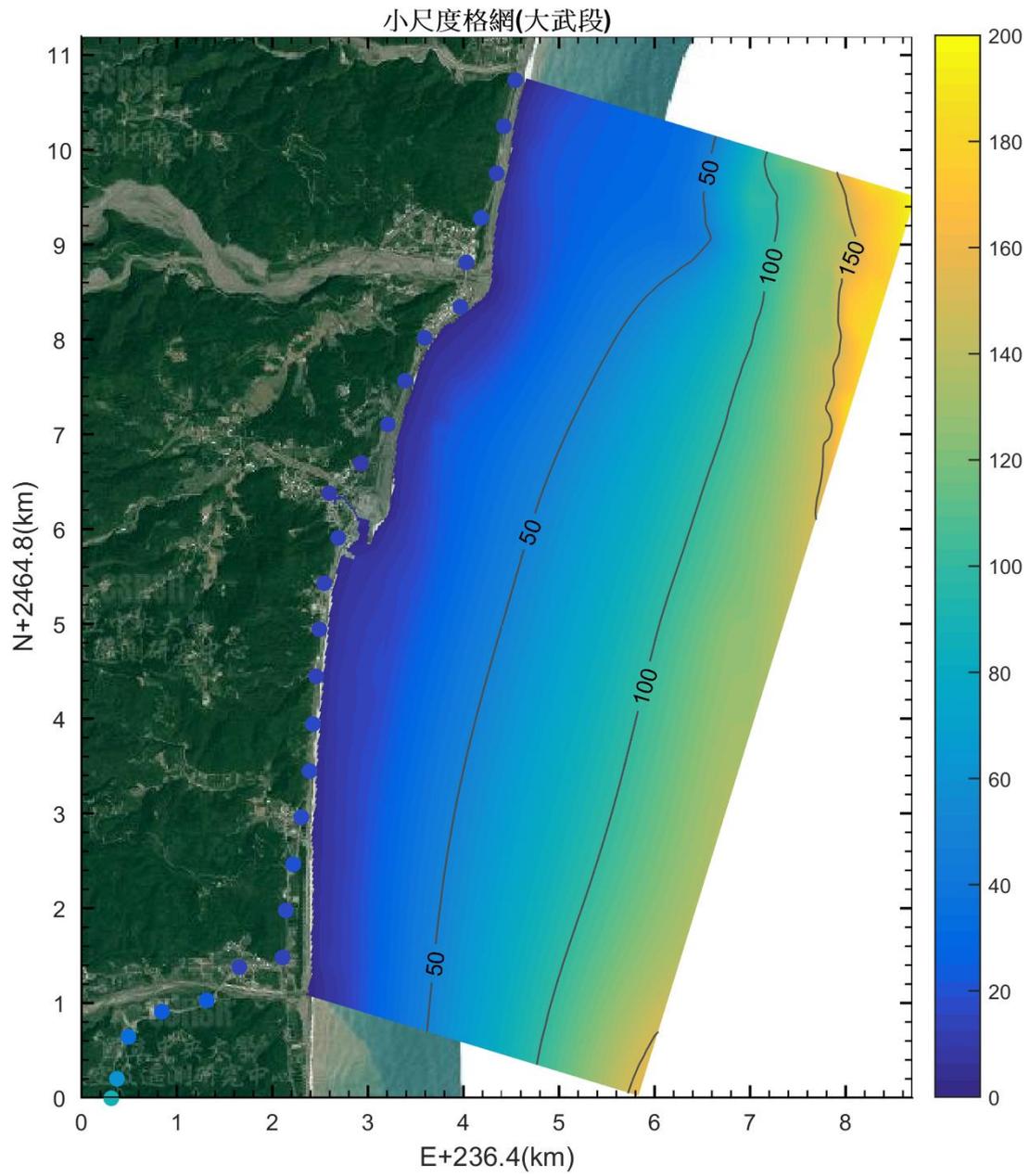


圖 3.7 南興至大武路段模擬網格範圍以及水深地形

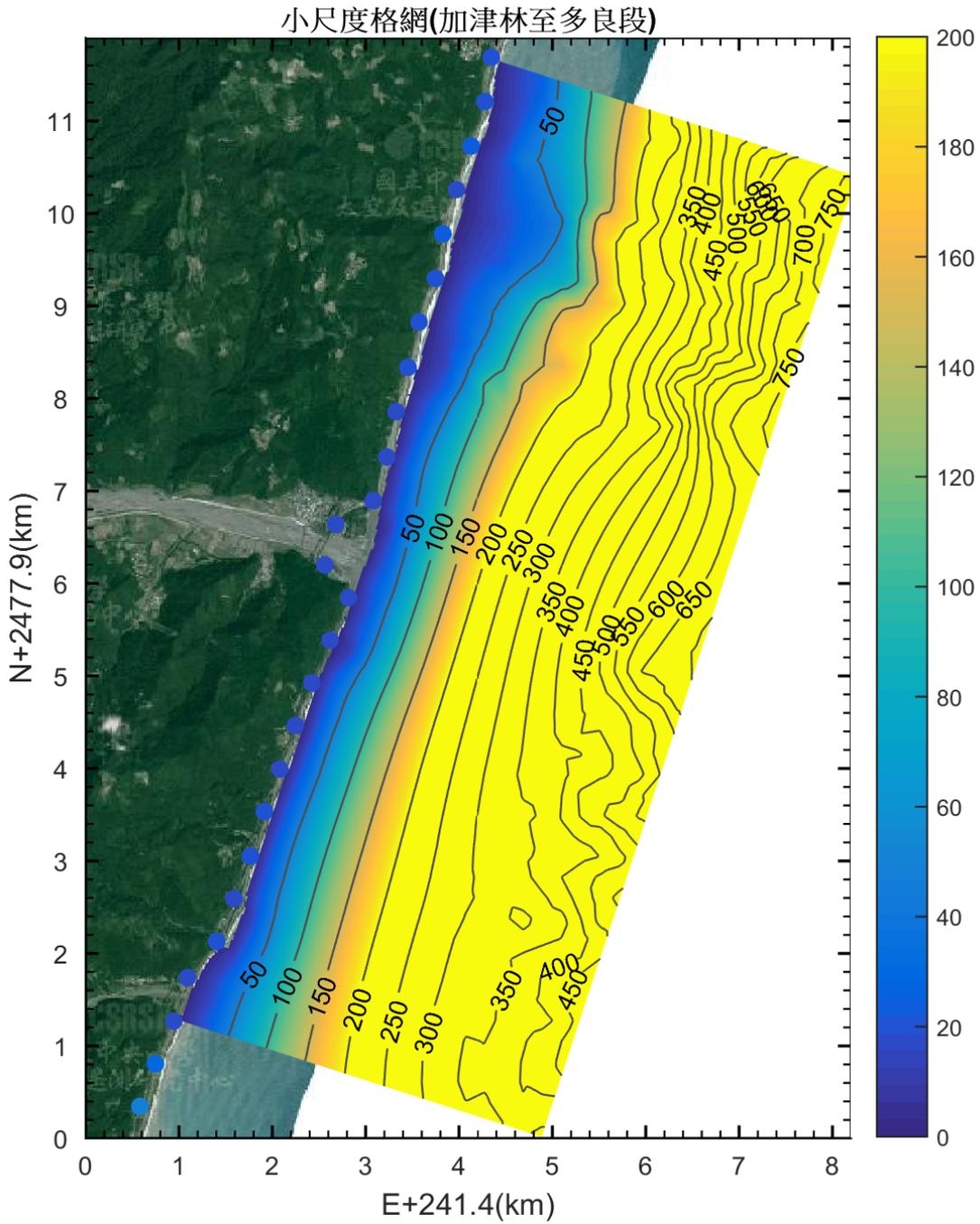


圖 3.8 加津林至多良路段模擬網格範圍以及水深地形

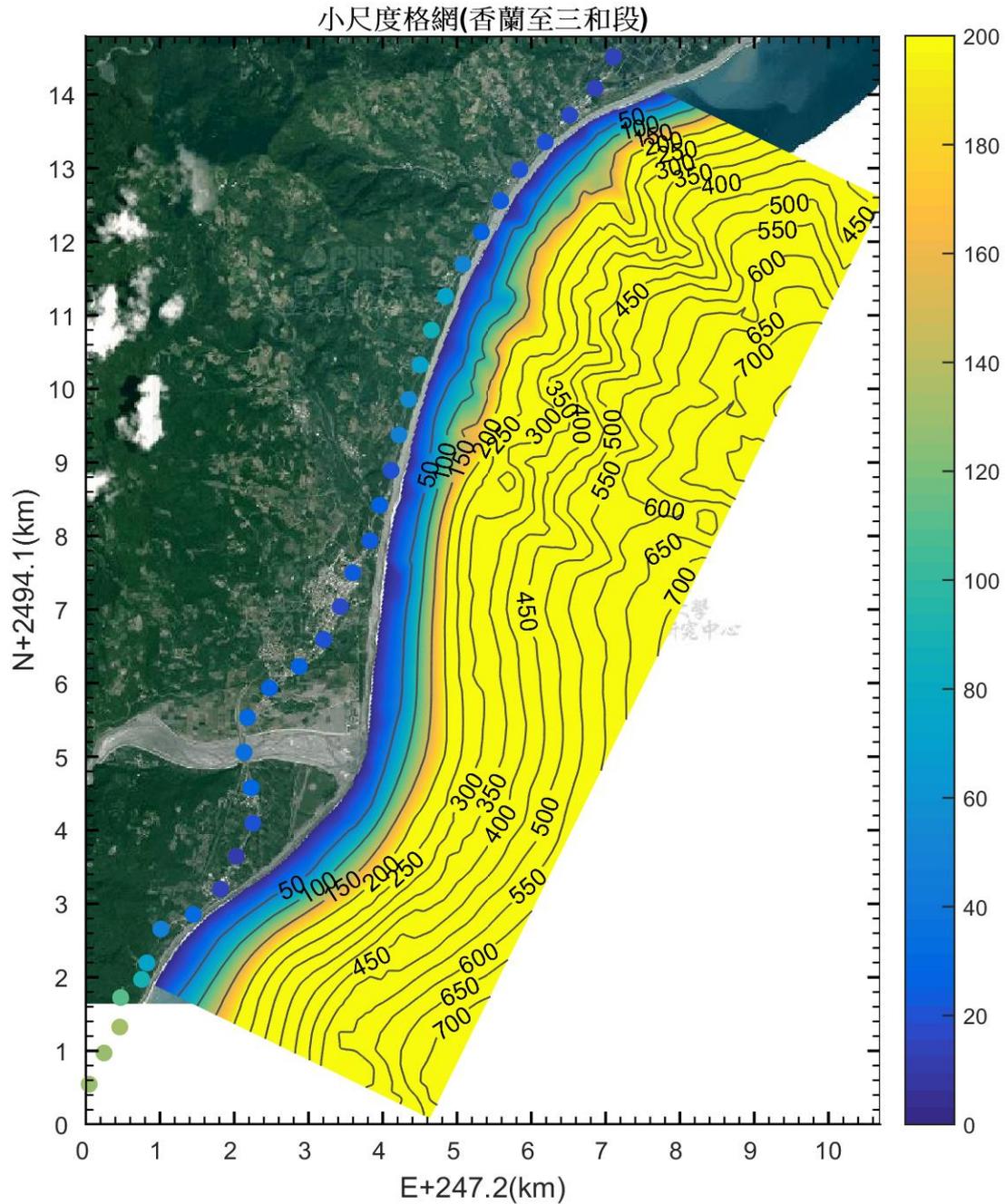


圖 3.9 香蘭至三和路段模擬網格範圍以及水深地形

### 3.3 水動力模式驗證及地形變遷模式調校

為確認本計畫數值模式之適用性，本章節會進行水動力模式之驗證與地形變遷模式調校作業。除定性驗證外，為更精確檢定模式計算計畫區域之波、潮、流等水動力變化之合理性，亦採用定量方式來進行模式驗證。定量驗證方法是採用吻合度係數  $D$ (agreement coefficient)

及平均偏差  $P$  (averaged deviation)來檢核實測資料與模擬資料之差異程度(Willmott, 1981), 分別定義如下:

$$D = 1 - \frac{\sum_{n=1}^N (P_n - O_n)^2}{\sum_{n=1}^N (|P_n - O| + |O_n - O|)^2} ; P = \frac{\sum_{n=1}^N (P_n - O_n)}{\sum_{n=1}^N O_n} \quad (3.95)$$

$P_n$  為預測值;  $O_n$  及  $O$  分別為量測值及其平均值;  $D=1$  表示完全吻合,  $P=0$  表示沒有偏差, 以下各小節盡可能利用此方式, 量化模式計算結果與實測資料之吻合度。模式驗證與調校結果說明如后:

### 3.3.1 水動力模式驗證

#### 1. 波浪

統計上而言, 計畫區海域較大的波高盛行在冬季季風期間及颱風侵臺期間。因此本計畫以颱風期間所觀測到的水位、暴潮偏差及波高做為遠域模式的驗證對象。本計畫以 2016 年的莫蘭蒂颱風 (Meranti) 及 2017 年尼莎颱風 (Nesat) 做模式驗證說明。

中央氣象局所發佈的 2016 年莫蘭蒂颱風及 2017 年的尼莎颱風路徑如圖 3.10 及圖 3.11。依 3.1 及 3.2 節所述進行颱風水位及波流場計算, 其數值與本計畫蒐集之水位觀測站 (富岡漁港、大武漁港、蘭嶼潮位站) 及波浪觀測站 (花蓮港、台東浮標、綠島波浪站、台東外洋浮標), 各測站位置如圖 3.12 所示, 而實測數據比較結果整理如圖 3.13~圖 3.18 所示。整體驗證結果量化統計如表 3-5 與表 3-6。

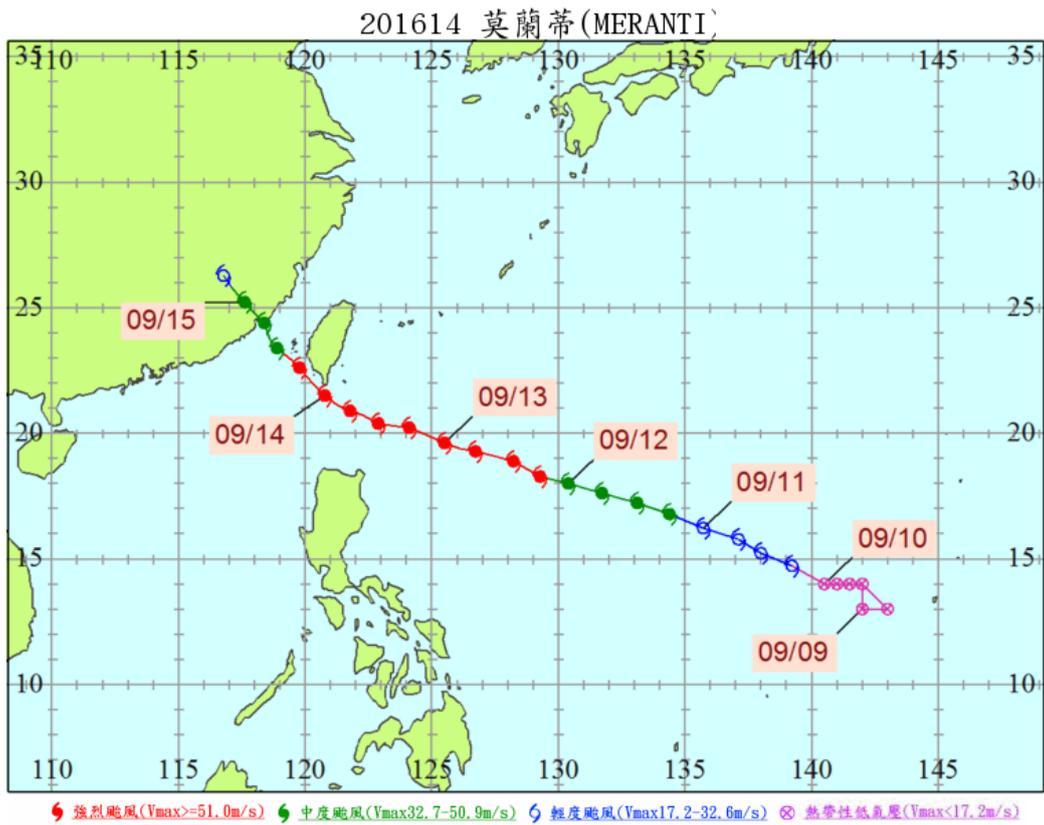


圖 3.10 2015 莫蘭蒂(Meranti)颱風路徑圖

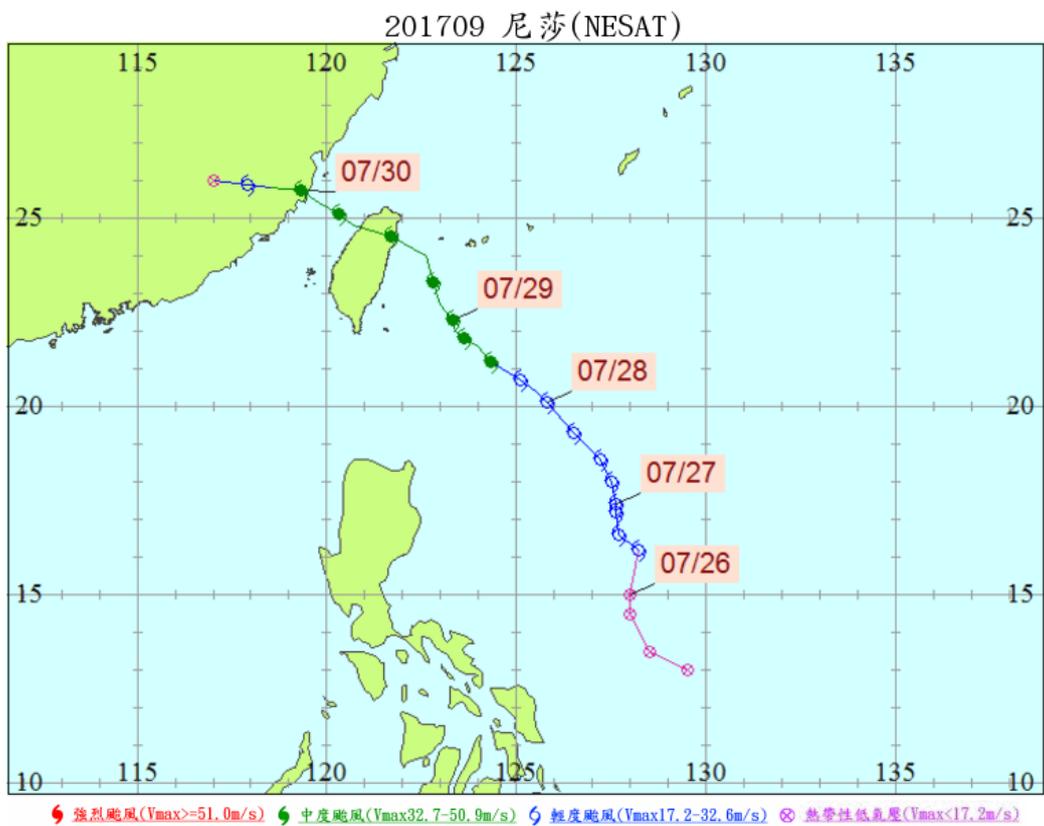


圖 3.11 2017 尼莎(Nesat)颱風路徑圖



圖 3.12 觀測站位置示意圖

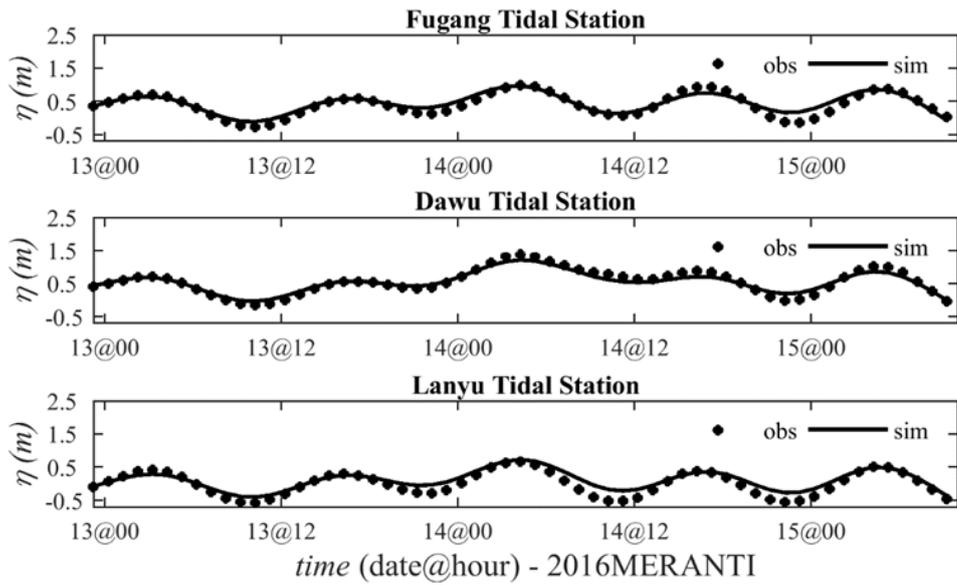


圖 3.13 2016 莫蘭蒂颱風期間水位數值與觀測值驗證

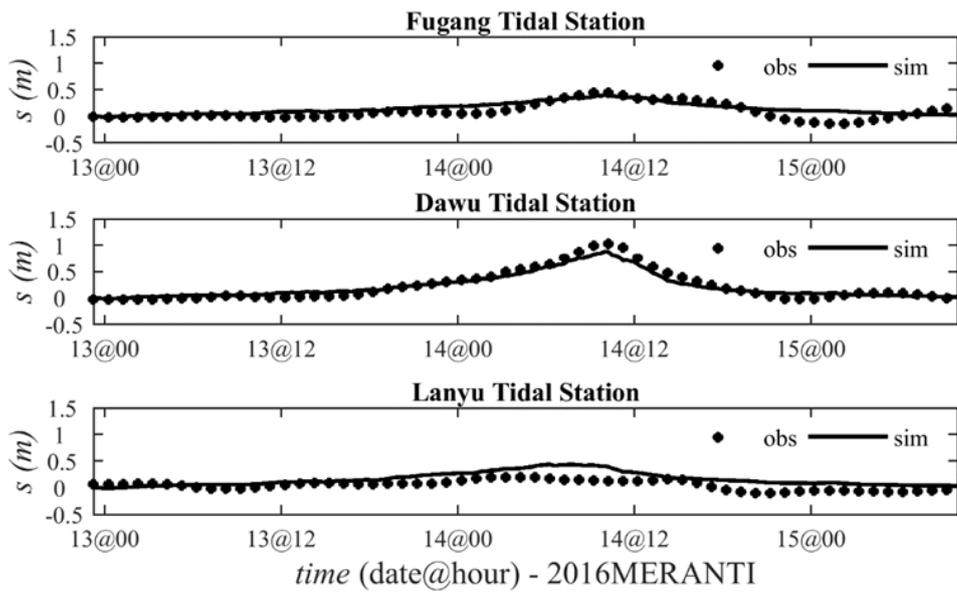


圖 3.14 2016 莫蘭蒂颱風期間暴潮偏差數值與觀測值驗證

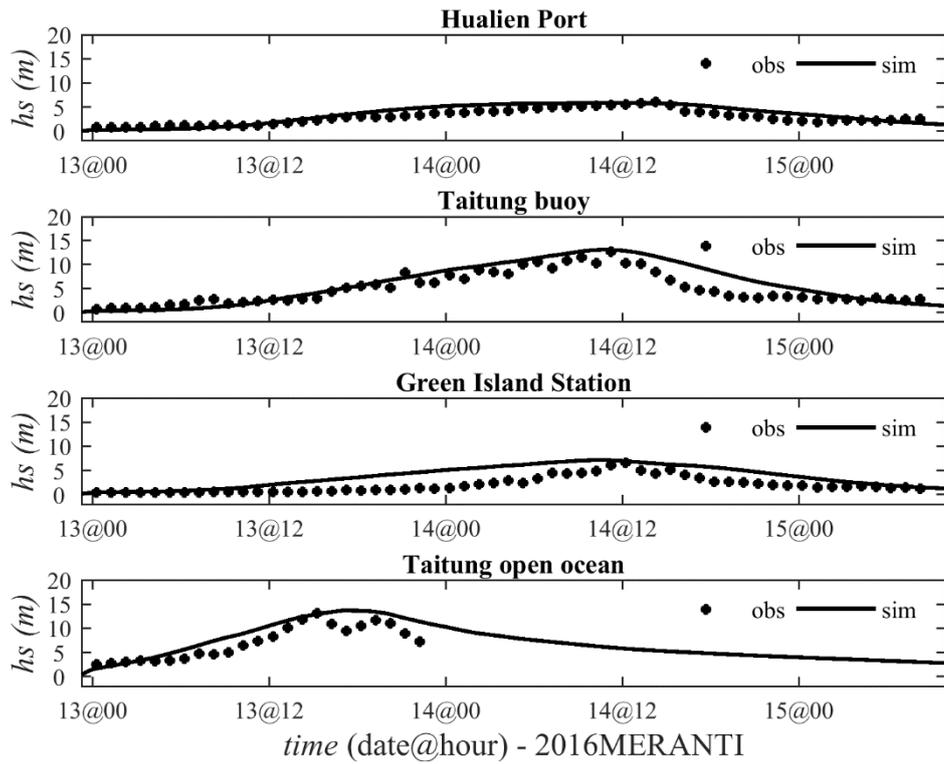


圖 3.15 2016 莫蘭蒂颱風期間波高數值與觀測值驗證

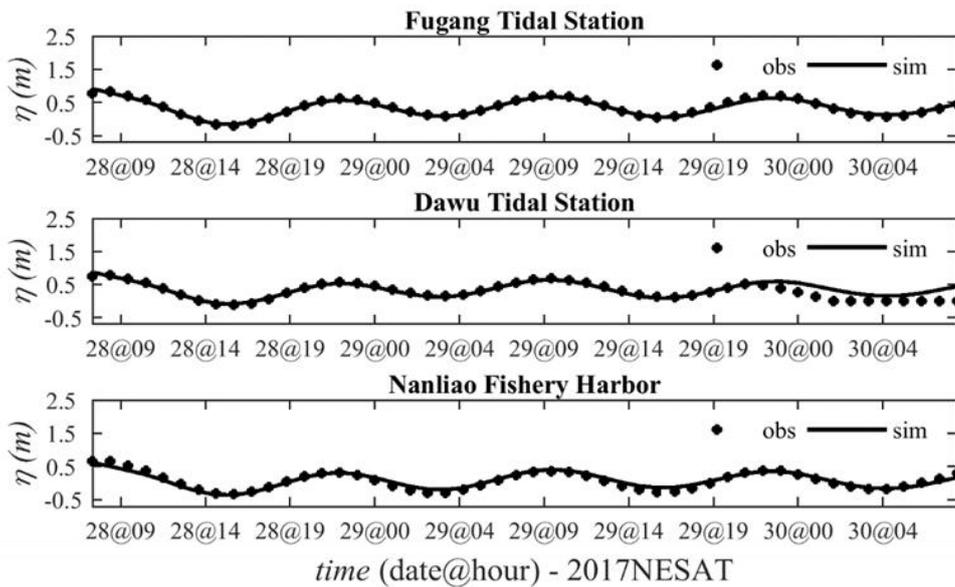


圖 3.16 2017 尼莎颱風期間水位數值與觀測值驗證

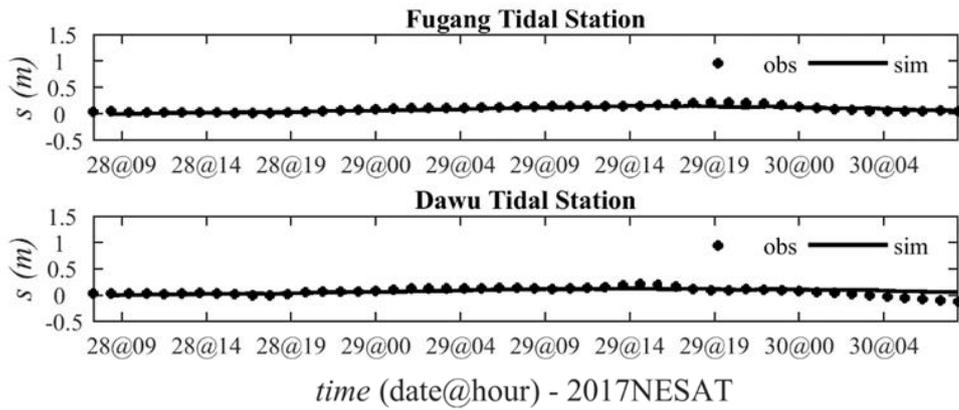


圖 3.17 2017 尼莎颱風期間暴潮偏差數值與觀測值驗證

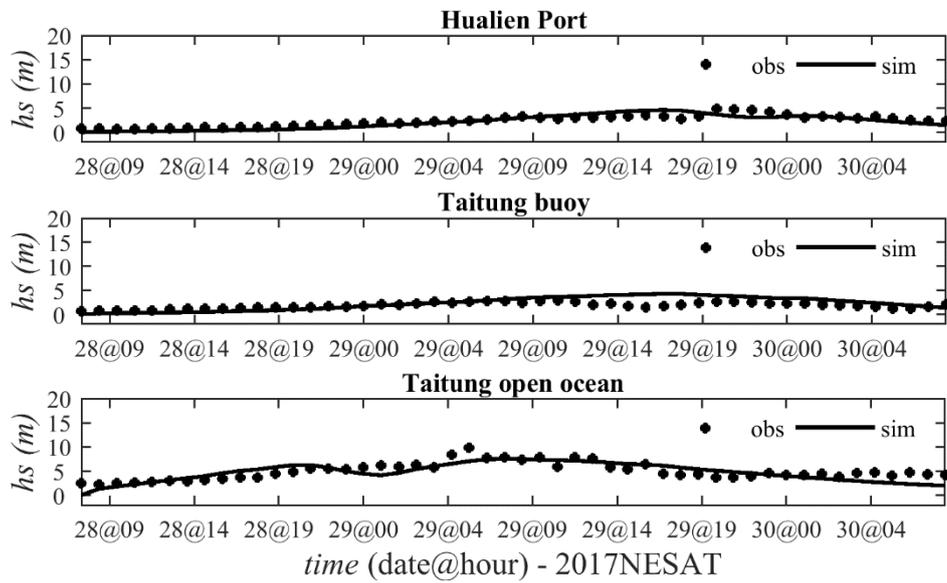


圖 3.18 2017 尼莎颱風期間波高數值與觀測值驗證

**表 3-5 2016 莫蘭蒂颱風期間水位數值與觀測值驗證**

驗證項目		吻合度係數	平均偏差
水位	富岡潮位站	0.957	0.11
	大武潮位站	0.977	-0.02
	蘭嶼潮位站	0.936	0.35
暴潮 偏差	富岡潮位站	0.852	0.45
	大武潮位站	0.978	-0.03
	蘭嶼潮位站	0.655	1.26
颱風 波高	花蓮港	0.926	0.18
	台東浮標	0.928	0.21
	綠島	0.737	0.92
	台東外洋浮標	0.913	0.25

**表 3-6 2017 尼莎颱風期間水位數值與觀測值驗證**

驗證項目		吻合度係數	平均偏差
水位	富岡潮位站	0.993	-0.03
	大武潮位站	0.913	0.16
	綠島潮位站	0.977	0.05
暴潮 偏差	富岡潮位站	0.900	-0.15
	大武潮位站	0.666	0.06
颱風 波高	花蓮港	0.908	-0.11
	台東浮標	0.710	0.23
	台東外洋浮標	0.864	-0.05

## 2. 潮位及流速

中尺度模擬之水動力驗證，採用臺東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(99年)實測海流之結果，該海流站名(TMW1)，設置於太麻里溪口約 20m 處位置，相關地理位置如圖 3.19。該海流資料觀測時間為 2010/07/27~2010/08/21，觀測結果顯示該區海流以向南側流向居多，海流結果玫瑰圖顯示於圖 3.20。

水動力模式計算之水位邊界條件利用日本全球潮位模式 NAO99b 作為潮位條件，計算驗證結果如圖 3.21。顯示模式之水動

力計算大致能夠符合近岸實測的海流趨勢，進一步將模式驗證量化成果如表 3-7。



圖 3.19 TMW1 海流站觀測位置圖

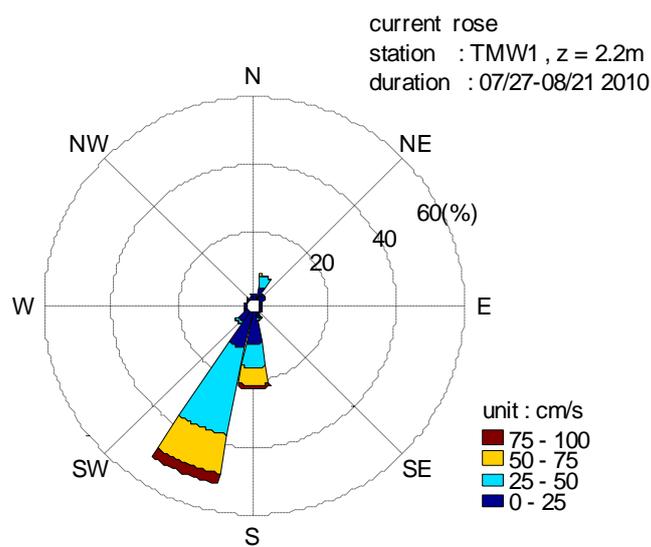


圖 3.20 TMW1 海流站監測結果玫瑰圖

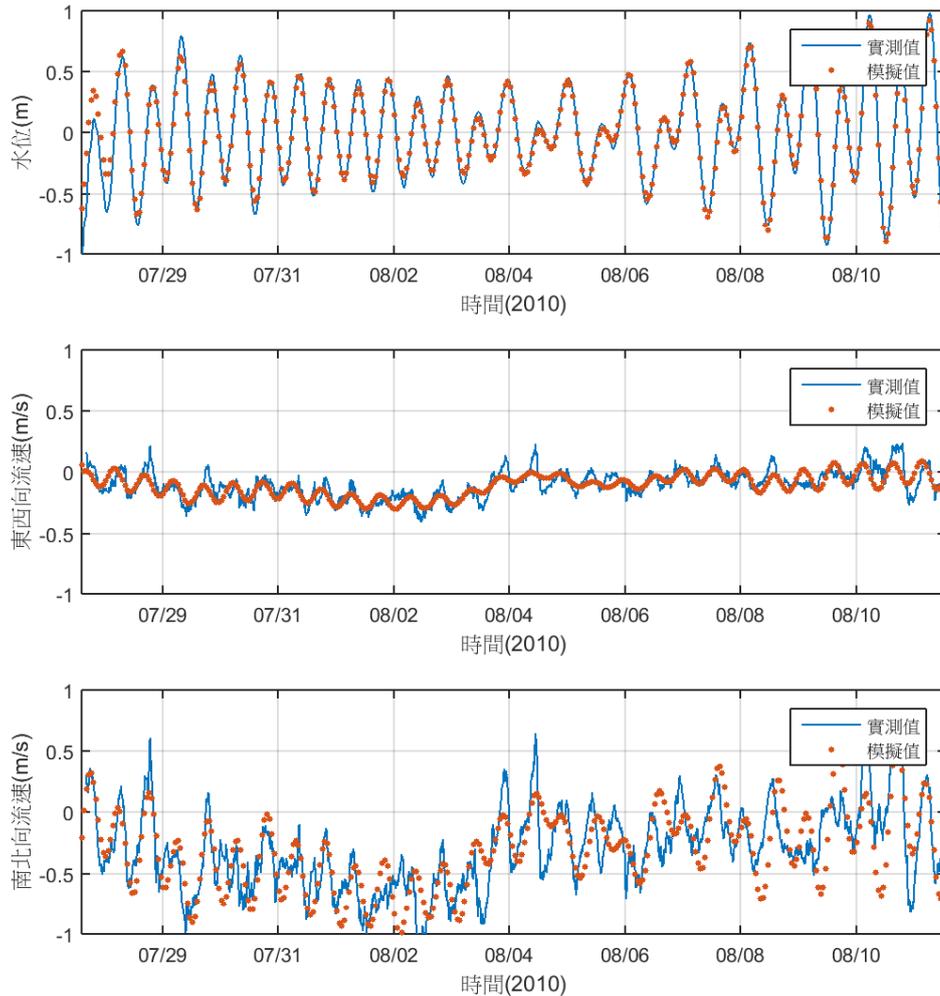


圖 3.21 TMW1 實測值與模式計算之海流流速結果驗證比較

表 3-7 太麻里 TMW1 海流測站實測值與模擬值量化比對結果

驗證項目		吻合度係數	平均偏差
TMW1	水位	0.992	0.01
	東西向流速	0.858	-0.07
	南北向流速	0.849	-0.02

### 3.3.2 地形變遷模式調校

採用「100 年度臺東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫」之實測地形結果與底質粒徑( $D_{50}$ )條件資料，進行地形變遷模式調校，俾利提升本計畫地形變遷模式之可靠度。

模式計算使用之地形須結合其他單位之實測資料，例如陸地部分採用交通部的 5 米 DEM 資料，而外海水深超過 30 公尺之地形則利

用科技部臺灣周圍 200 公尺精度的資料。

依據蒐集到的資料結果顯示，香蘭至太麻里段其底質粒徑特性，於高低潮線砂灘 $D_{50}$ 介於 0.43~5.11 mm、均勻係數 $Cu$ 介於 1.6~11.7，海域部分在水深 3~20 m 處的 $D_{50}$ 介於 12~50.4 mm，整體太麻里地區底質分布如圖 3.22。由以上數據顯示，高、低潮線的粒徑分布極不均勻，在數值計算時使用底質空間分布之平均粒徑 5 mm 進行計算。

波浪條件則利用臺東實測波浪資料，分析其代表性波浪作為計算條件，代表性波浪計算方式參見第五章，初步地形變遷侵淤趨勢計算結果如圖 3.23。

數值計算結果比對位置以太麻里河口地形為例，數值計算成果初步與 2006/11~2007/06 之地形侵淤變化比較，成果如圖 3.24。實測地形侵淤結果顯示，太麻里溪河口為侵蝕之趨勢，位於太麻里河口南側香蘭地區略有淤積情形。目前數值計算結果也反映出此現象，未來可再針對季節性波浪資料進行探討，並與相關計畫之實測季節性地形侵淤結果進行比對。

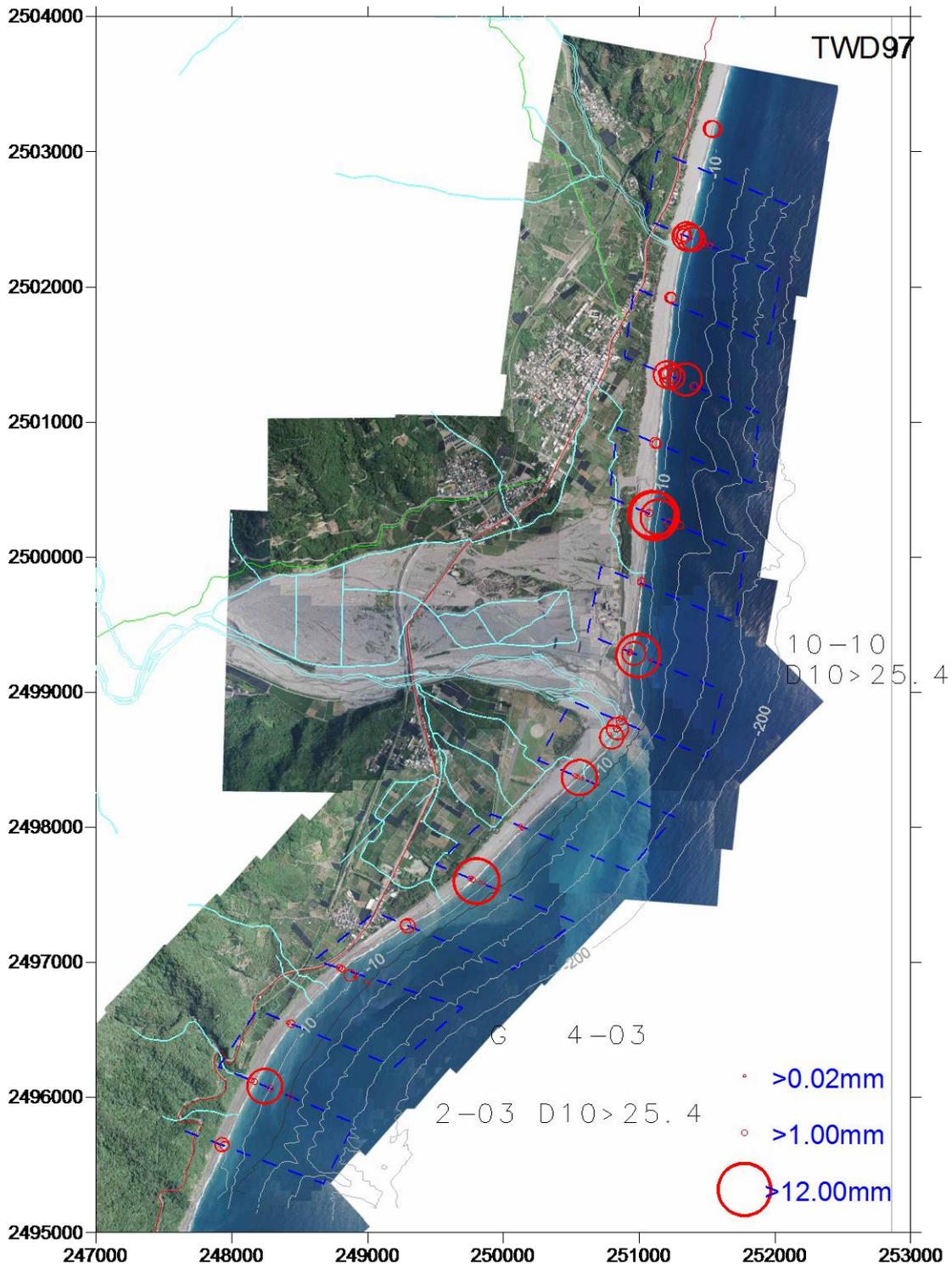


圖 3.22 太麻里地區海岸底質中值粒徑( $D_{50}$ )分布圖

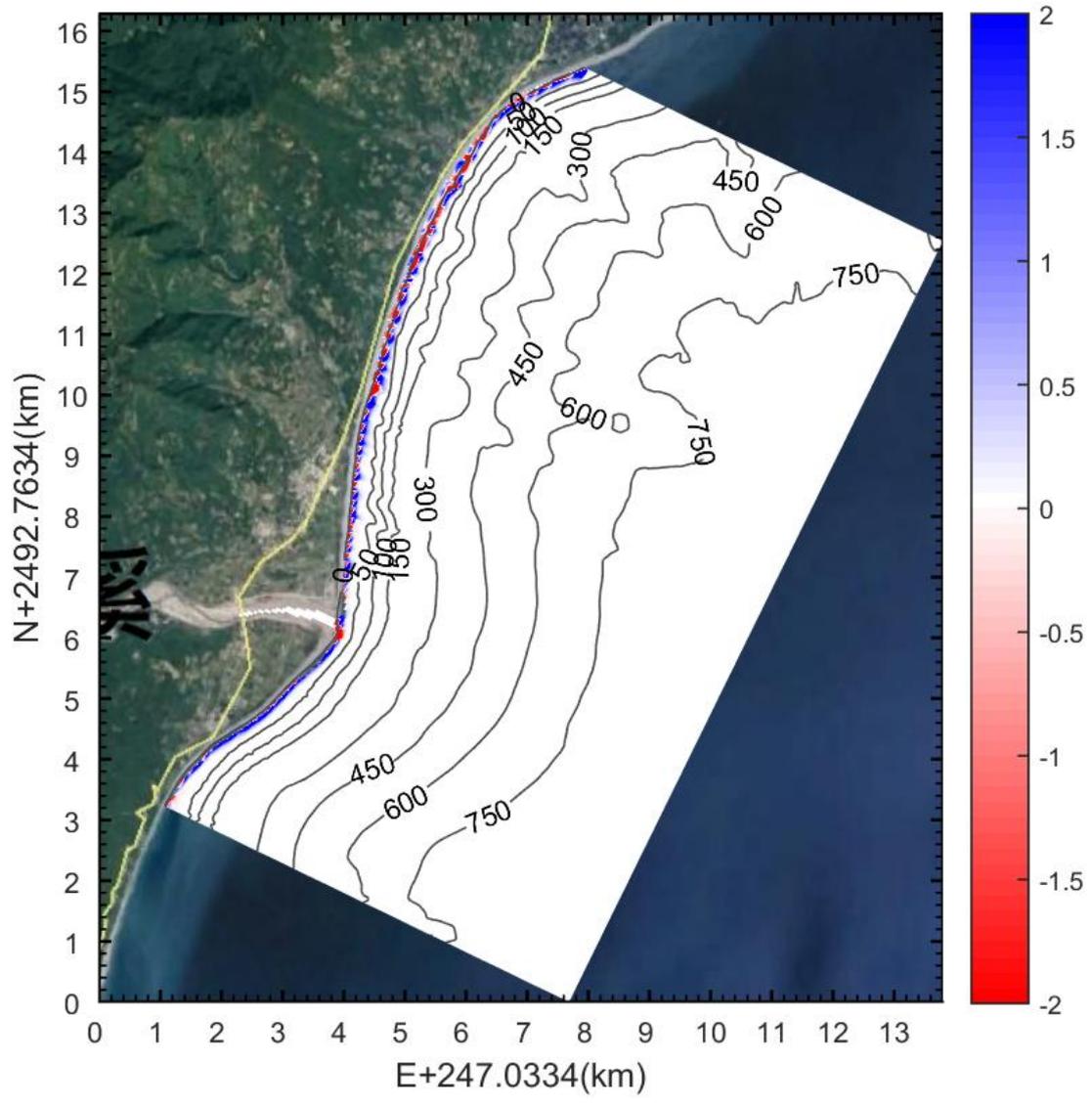


圖 3.23 太麻里地區海岸地形變遷分布圖

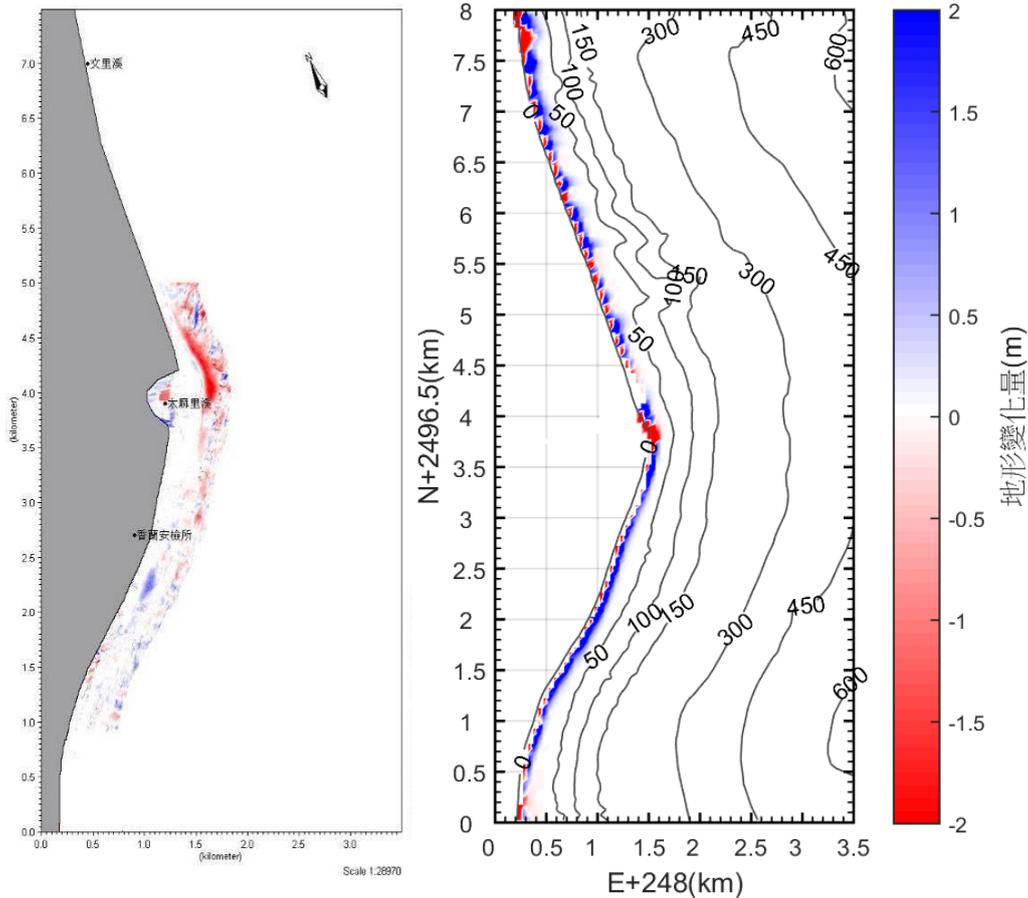


圖 3.24 太麻里地區海岸地形變遷結果與實測資料比對

(左) 實測資料結果 (右) 數值計算結果

左圖像資料來源：101 臺東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(2-2)

### 3.4 數值模式評估

#### 3.4.1 數值模式評估架構

為使本計畫評估作業能夠完整，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，其各數值模式架構與理論、模式設置及驗證與調校均已於上述中進行完整說明。本章節則針對各模式於本計畫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 3.25 為本計畫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。本計畫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，藉以做為本計畫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，再配合台九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九線海岸公路災害特性分析加值運用。

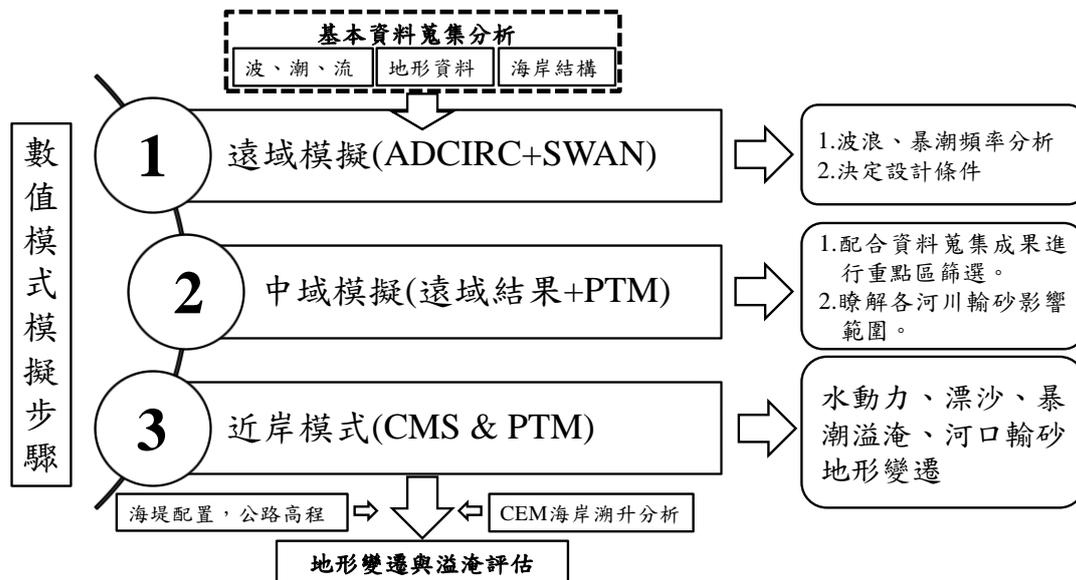


圖 3.25 數值評估流程圖

### 3.4.2 遠域模式 – 設計條件評估

#### 1. 歷史颱風暴潮偏差及颱風波高計算

參考臺東海岸防護計畫(第八河川局，106年)，可知臺東海岸防護結構設計年限為50年。為評估台九線整體安全，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計畫區皆有顯著影響。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，自颱風中心向外至平均風速達50 km/hr (即7級風風速下限)處的距離稱為暴風半徑。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，故本計畫以臺東為中心，將通過該處半徑300 km範圍內之歷史颱風軌跡視為對計畫區有顯著影響的颱風事件。經篩選後，對計畫區影響較顯著之颱風事件共計101場。

本計畫針對101場颱風進行波流耦合模擬，計算成果整理如表3-8。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。

表 3-8 影響計畫區歷次颱風代表性設計波高與暴潮偏差計算成果表

時間	颱風名稱	最接近計畫區時的最低氣壓(hPa)	最接近計畫區時的近中心最大風速(m/s)	暴潮偏差(m)	波高(m)
1989091120	莎拉	950	41.16	0.19	7.81
1990051908	瑪麗安	990	23.15	0.09	3.75
1990062308	歐菲莉	970	33.44	0.20	6.81
1990081914	楊希	955	38.58	0.09	4.39
1990090720	黛特	970	33.44	0.19	6.67
1991071902	艾美	930	48.87	0.24	12.48
1991081723	愛麗	985	25.72	0.05	2.60
1991092302	耐特	950	41.16	0.47	14.96
1991103014	露絲	998	18.01	0.07	4.72
1992062723	芭比	945	43.73	0.11	5.91

時間	颱風名稱	最接近計畫區時的最低氣壓(hPa)	最接近計畫區時的近中心最大風速(m/s)	暴潮偏差(m)	波高(m)
1992090420	歐馬	975	30.87	0.15	4.97
1992083002	寶莉	980	25.72	0.15	2.41
1992092214	泰德	985	25.72	0.18	3.53
1993091202	亞伯	980	28.29	0.10	4.39
1994071020	提姆	940	46.30	0.28	10.78
1994080314	凱特琳	990	23.15	0.10	3.49
1994080717	道格	935	48.87	0.16	8.38
1994090108	葛拉絲	960	38.58	0.09	4.67
1994100911	席斯	930	48.87	0.12	6.14
1995060808	荻安娜	998	18.01	0.04	1.42
1995083014	肯特	945	43.73	0.13	7.06
1995092211	賴恩	945	43.73	0.26	9.73
1996052308	凱姆	994	20.58	0.05	2.00
1996072614	葛樂禮	965	33.44	0.22	7.45
1996073123	賀伯	950	41.16	0.13	6.55
1997082902	安珀	955	38.58	0.25	9.14
1998071002	妮蔻兒	998	18.01	0.06	1.87
1998080411	奧托	970	33.44	0.17	4.69
1998092808	楊妮	998	18.01	0.05	1.85
1998101602	瑞伯	960	38.58	0.36	9.07
2000070908	啟德	985	25.72	0.23	5.94
2000082223	碧利斯	930	51.44	0.31	11.90
2000091008	寶發	990	23.15	0.06	3.10
2000110102	象神	965	36.01	0.42	6.08
2001051314	西馬隆	990	23.15	0.08	2.30
2001062308	奇比	965	33.44	0.12	4.24
2001071114	潭美	998	18.01	0.13	3.28
2001072920	桃芝	960	38.58	0.18	6.17
2001091708	納莉	994	18.01	0.09	2.53
2001092614	利奇馬	975	30.87	0.45	6.77
2002071002	娜克莉	988	20.58	0.07	1.64
2003042408	柯吉拉	994	23.15	0.05	2.68
2003060220	南卡	990	25.72	0.07	2.65
2003061723	蘇迪勒	970	33.44	0.07	2.90
2003080320	莫拉克	994	23.15	0.18	3.24
2003081920	梵高	996	18.01	0.03	1.57
2003090120	杜鵑	950	41.16	0.27	11.15

時間	颱風名稱	最接近計畫區時的最低氣壓(hPa)	最接近計畫區時的近中心最大風速(m/s)	暴潮偏差(m)	波高(m)
2003110302	米勒	992	18.01	0.15	3.86
2004060914	康森	960	38.58	0.14	4.97
2004070114	敏督利	975	30.87	0.23	5.94
2004071414	康柏斯	996	20.58	0.05	2.76
2004091114	海馬	998	18.01	0.02	1.05
2004102502	納坦	950	41.16	0.19	7.16
2004120408	南瑪都	992	23.15	0.20	5.80
2005071811	海棠	955	41.16	0.24	7.25
2005090105	泰利	950	41.16	0.19	7.37
2005092214	丹瑞	990	23.15	0.04	1.60
2005100205	龍王	945	43.73	0.25	8.74
2006071314	碧利斯	970	30.87	0.07	2.46
2006072420	凱米	975	33.44	0.31	7.15
2006080902	寶發	992	20.58	0.13	2.96
2006091520	珊珊	925	54.02	0.10	4.54
2007080720	帕布	975	33.44	0.42	14.96
2007080902	梧提	994	18.01	0.10	2.07
2007081805	聖帕	950	41.16	0.31	9.79
2007091808	韋帕	925	51.44	0.09	4.97
2007100617	柯羅莎	950	43.73	0.17	6.06
2007112714	米塔	994	18.01	0.05	2.21
2008071711	卡玫基	960	38.58	0.10	3.32
2008072805	鳳凰	960	38.58	0.21	7.07
2008091308	辛樂克	945	48.87	0.14	6.40
2008092811	薔蜜	915	56.59	0.18	8.55
2009071720	莫拉菲	975	30.87	0.07	1.82
2009080717	莫拉克	955	38.58	0.14	6.02
2010090108	萊羅克	990	23.15	0.07	2.28
2010090914	莫蘭蒂	994	20.58	0.05	1.33
2010091911	凡那比	975	33.44	0.30	6.57
2011051017	艾利	998	18.01	0.04	0.86
2011052805	桑達	940	46.30	0.13	6.46
2011082905	南瑪都	985	28.29	0.31	8.66
2012062020	泰利	994	20.58	0.05	2.10
2012062817	杜蘇芮	998	18.01	0.03	0.98
2012080205	蘇拉	970	33.44	0.11	4.19
2012082402	天秤	955	38.58	0.65	10.27

時間	颱風名稱	最接近計畫區時的最低氣壓(hPa)	最接近計畫區時的近中心最大風速(m/s)	暴潮偏差(m)	波高(m)
2012092805	杰拉華	920	51.44	0.13	6.27
2013071305	蘇力	960	38.58	0.11	6.18
2013081620	潭美	1002	15.43	0.07	2.20
2013082823	康芮	980	28.29	0.08	2.84
2013092114	天兔	925	46.30	0.21	10.09
2014072223	麥德姆	965	36.01	0.24	7.57
2014092114	鳳凰	985	23.15	0.18	4.20
2015051114	紅霞	960	41.16	0.17	6.73
2015080808	蘇迪勒	965	36.01	0.22	7.37
2015082302	天鵝	955	41.16	0.12	5.18
2015092820	杜鵑	965	38.58	0.17	7.13
2016070802	尼伯特	920	46.30	0.87	13.99
2016091408	莫蘭蒂	890	61.73	0.48	15.48
2016091623	馬勒卡	940	43.73	0.15	5.74
2016092717	梅姬	955	38.58	0.22	6.79
2017072914	尼莎	960	41.16	0.13	4.96
2017073020	海棠	990	20.58	0.18	2.89

## 2. 頻率分析

頻率分析工作依據「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, 所用套配模式則根據 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。兩分布函數、相關統計參數及分析過程說明如後:

### (1) 累積機率分布函數

#### a. 極值 I 型 (Gumbel) 分布

$$W_{10} = W_z \left( \frac{10}{Z} \right)^{1/7} \quad (3.96)$$

$$F(x) = e^{-e^{-\frac{x-B}{A}}}, -\infty < x < \infty \quad (3.97)$$

$$f(x) = \frac{1}{A} e^{\frac{x-B}{A} - e^{\frac{x-B}{A}}} \quad (3.98)$$

b. Weibull 分布

$$F(x) = 1 - e^{-e^{\left(\frac{x}{A}\right)^k}}, 0 \leq x < \infty \quad (3.99)$$

$$f(x) = \frac{k}{A} \left(\frac{x}{A}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{A}\right)^k} \quad (3.100)$$

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： $A$  為變異數 (variance)，稱為尺度參數 (scale parameter)； $B$  與樣本平均值 (mean) 有關，稱為位置參數 (location parameter)，樣本平均值及樣本標準偏差如表 3-9 所示。 $k$  為形狀常數， $k$  值大小決定機率函數之尖扁形狀。

表 3-9 分布函數相關統計量

分布函數	樣本平均值	樣本標準偏差
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： $\Gamma(\ )$ 為 Gamma 函數， $\gamma$ 為 Euler 數		

(2) 函數參數推定

分布函數中參數以最大概似法(MLM)進行推定。為使推定法滿足不偏性(unbiasedness)及有效性(efficiency)，採用合田(1990)提出之極值分布。當選取  $N$  個資料時，首先將  $N$  個資料依大小順序排列，再計算各順位之機率  $F_m$ ，機率計算公式如下：

$$F_m = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta}, m = 1, 2, \dots, N \quad (3.101)$$

其中極值 I 型分布及 Weibull 中  $\alpha, \beta$  如表 3-10。

計算時由變數相關統計量(表 3-10)求得各分布函數參數，再依各順位機率  $F_m$  反求所對應之變數。多良村外海水深約 1038 m 處之暴潮偏差及颱風波高頻率分析結果如圖 3.26~圖 3.27。

表 3-10 計算樣本順位機率之  $\alpha$  及  $\beta$  值

分布函數	$\alpha$	$\beta$
極值 I 型分布	0.44	0.12
Weibull 分布	$0.2+0.24/\sqrt{k}$	$0.2+0.23/\sqrt{k}$

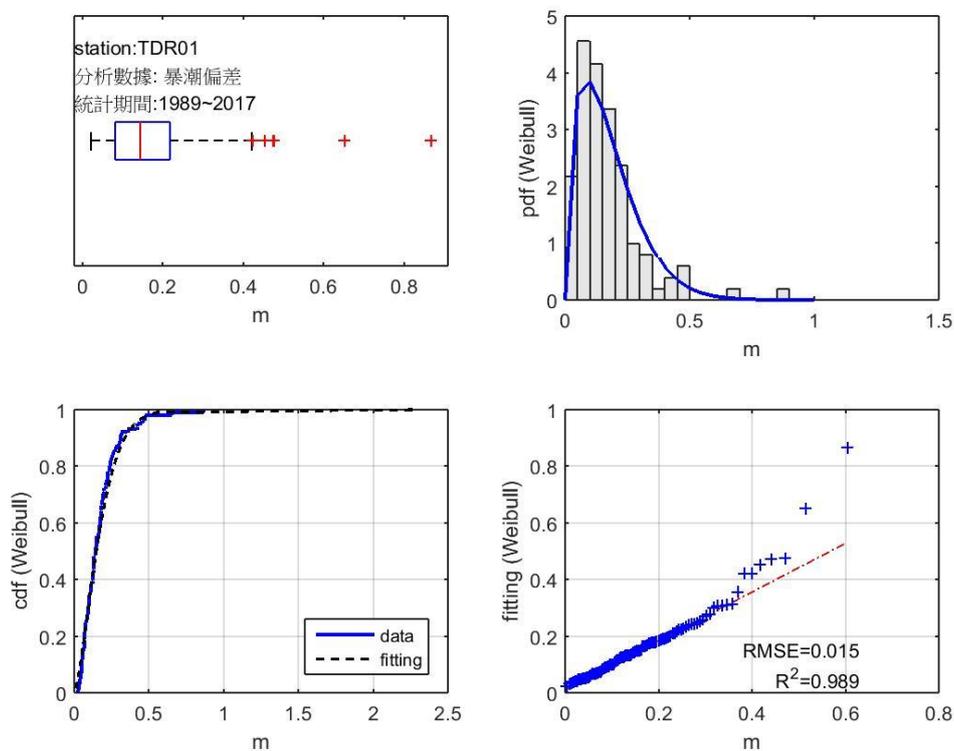


圖 3.26 多良村外海水深約 1038 m 處暴潮偏差以 Weibull 分布套配結果

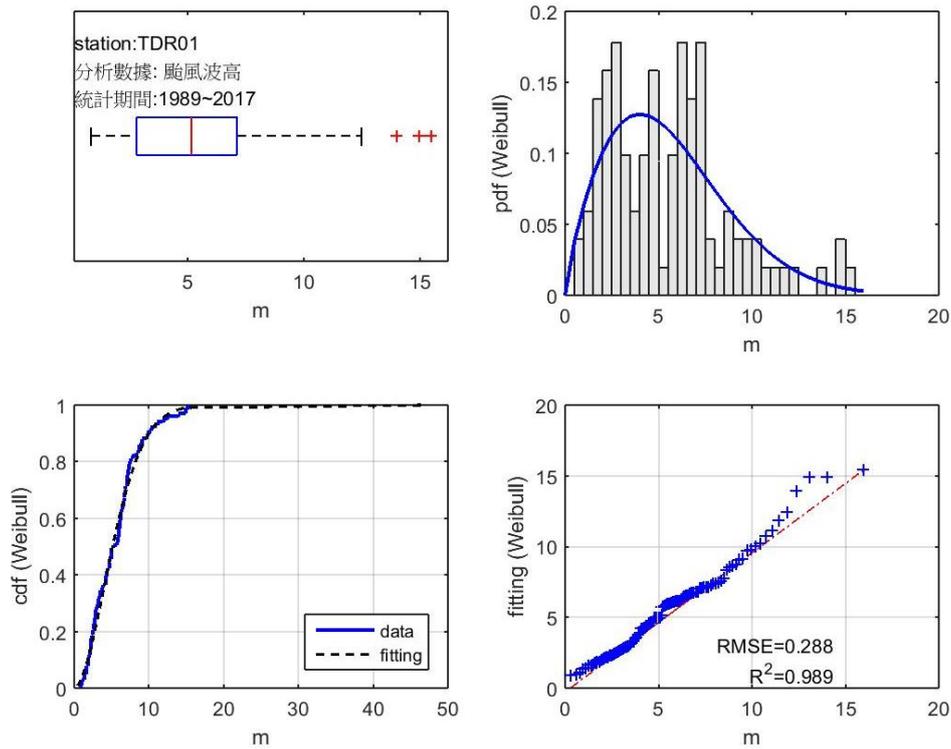


圖 3.27 多良村外海水深約 1038 m 處颱風波高以 Weibull 分布套配結果

### (3) 信賴檢定

臺東海域各重現期所對應的暴潮偏差及颱風波高整理如表 3-11。為整體評估各排序機率下之暴潮偏差與波高統計誤差，本計畫以均方根誤差(RMSE)做為檢定標準。各統計套配吻合度優劣乃依據各統計分布理論曲線與實際數據之均方誤差進行優選，誤差越小，則判定其吻合度越佳。比較結果顯示多良村外海水深約 1038 m 處暴潮偏差及颱風波高，皆以 Weibull 分布的套配吻合度最佳。多良村外海水深約 1038 m 處之 50 年暴潮偏差與颱風波高分別為 0.59 m 及 15.71 m。

由上述演算流程可求得本計畫設計條件數值，雖然設計潮位實際呈現僅為單一數值，但可配合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，普遍採用之設計潮位方式來做評估。本計畫就設計潮位之定義，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年)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，本計畫研析時則暫不納入考量。故彙整上述遠域數值計算結果可知，本計畫設計條件分別為颱風波高 15.71 m；颱風時刻風浪週期為  $3.83 * (\text{颱風波高})^{0.5}$ ；設計潮位為 1.32 m。

**表 3-11 不同重現期下多良村外海水深約 1038 m 處之暴潮偏差與波高推算值**

	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)	極端值 I	0.17	0.47	0.51	0.55	0.59
	Weibull	0.02	0.39	0.46	0.52	0.59
颱風 波高 (m)	極端值 I	2.31	11.41	12.25	12.94	13.70
	Weibull	0.29	11.31	12.76	14.09	15.71

### 3.4.3 中域模式 – 致災區範圍劃定

本計畫主要標的是針對台九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，因而本計畫將計畫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九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。由前述台九線易致災區分析(參見 2.5 節)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。另依據本計畫蒐集台九線樁點資料，可繪製海岸公路高程分布圖(參見圖 3.28)，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 3.29，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 3.30)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)，計畫區域內大多數河川輸砂其底質皆沉積於河口位置。於計畫區南部河川對岸邊比較有補注趨勢，圖 3.31 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，已將計畫區域劃定為「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)，而劃定此三段之原因如

表 3-12 所述。

表 3-12 致災區範圍(近域模擬區塊)劃定原因

路段 原因項目	A	B	C
背景資料分析	該路段曾有發生公路溢淹、海岸侵蝕及港口淤積之災害。	該路段曾有發生公路溢淹之災害。	該路段曾有發生公路溢淹及海岸侵蝕之災害。
公路高程分析	於計畫區中，屬公路高程較為偏低路段。	於計畫區中，屬公路高程較為偏低路段。	部分公路高程偏高，惟仍有偏低路段。
岸前波高	僅靠北側區域波高較高。	整路段岸前波高偏高路段。	部分路段岸前波高偏低，但仍有波高偏高路段。
河川輸砂趨勢	「朝庸溪」和「大武溪」輸砂趨勢會相互影響。	「大竹溪」影響該區較為顯著，北側「金崙溪」輸砂趨勢無明顯影響該區域。	僅「太麻里溪」輸砂趨勢影響較顯著。
綜合劃定因素	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 過大武溪以北至加津林段路段高程較高因而不納入劃定範圍。</li> <li>2. 南興路段曾有公路溢淹災害發生。</li> <li>3. 大武漁港以南曾有海岸侵蝕發生。</li> <li>4. 大武漁港長年有淤積災害發生。</li> <li>5. 大武漁港北側岸前波高較高。</li> <li>6. 「朝庸溪」和「大武溪」輸砂趨勢會互相影響，因此納入同樣計算範圍。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 接近金崙大橋周圍屬高架路段，距離岸邊較遠，因而不納入劃定範圍。</li> <li>2. 加津林與多良路段均曾有公路溢淹災害發生。</li> <li>3. 岸前波高明顯偏高，且路段高程偏低。</li> <li>4. 「大竹溪」輸砂趨勢會影響此區域，「金崙溪」影響較不顯著，因而不納入計算範圍。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 三和海岸以北(含美和區域)，台九線以內縮至內陸，因而不納入劃設範圍。</li> <li>2. 三和海岸有逾 50 年重現期評估中，有暴潮溢淹潛勢。</li> <li>3. 往昔太麻里區域有海岸侵蝕情況發生。</li> <li>4. 「太麻里溪」輸砂趨勢影響較為顯著，因而僅將其不納入計算範圍。</li> </ol>

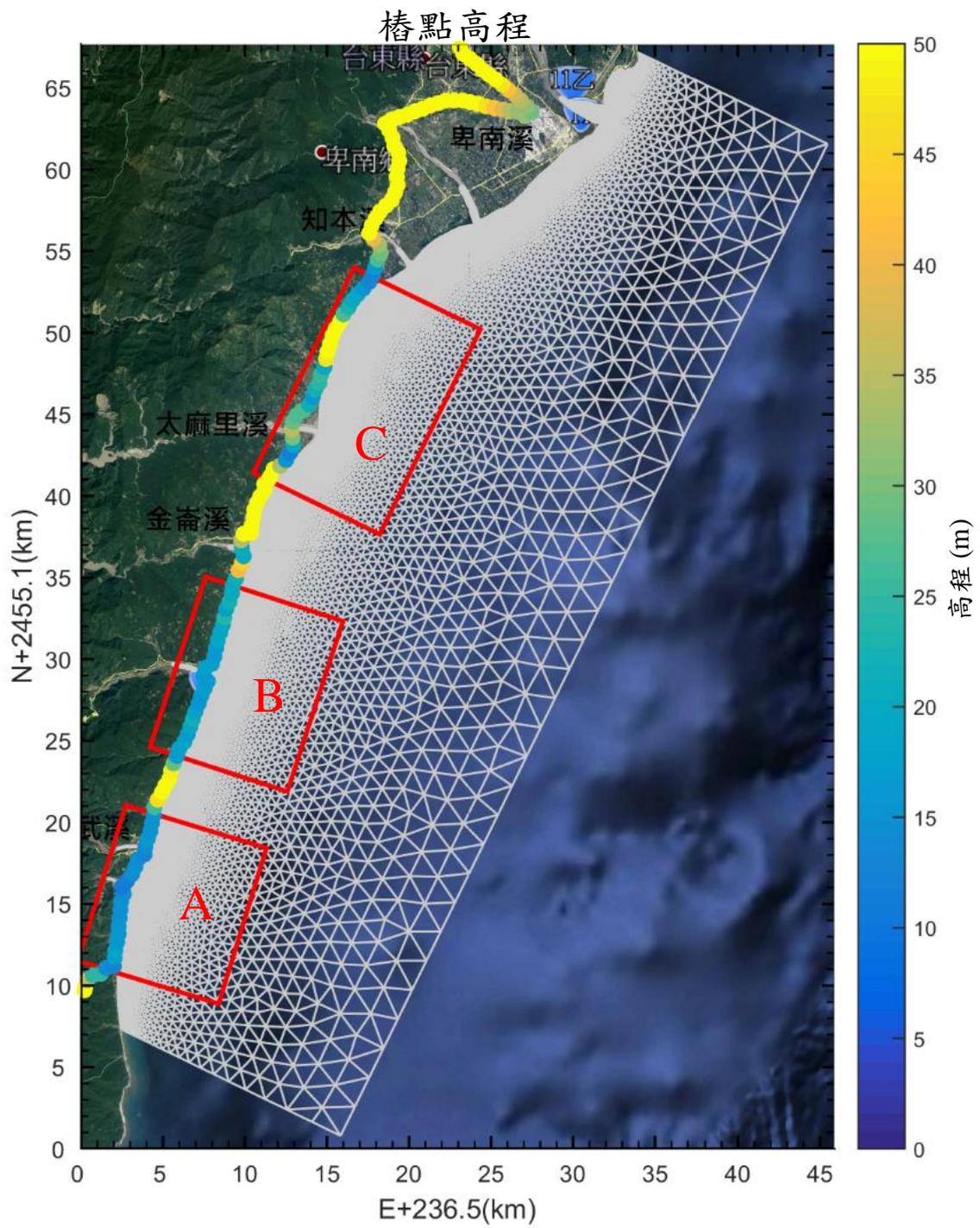


圖 3.28 台九線海岸公路樁點高程分布圖

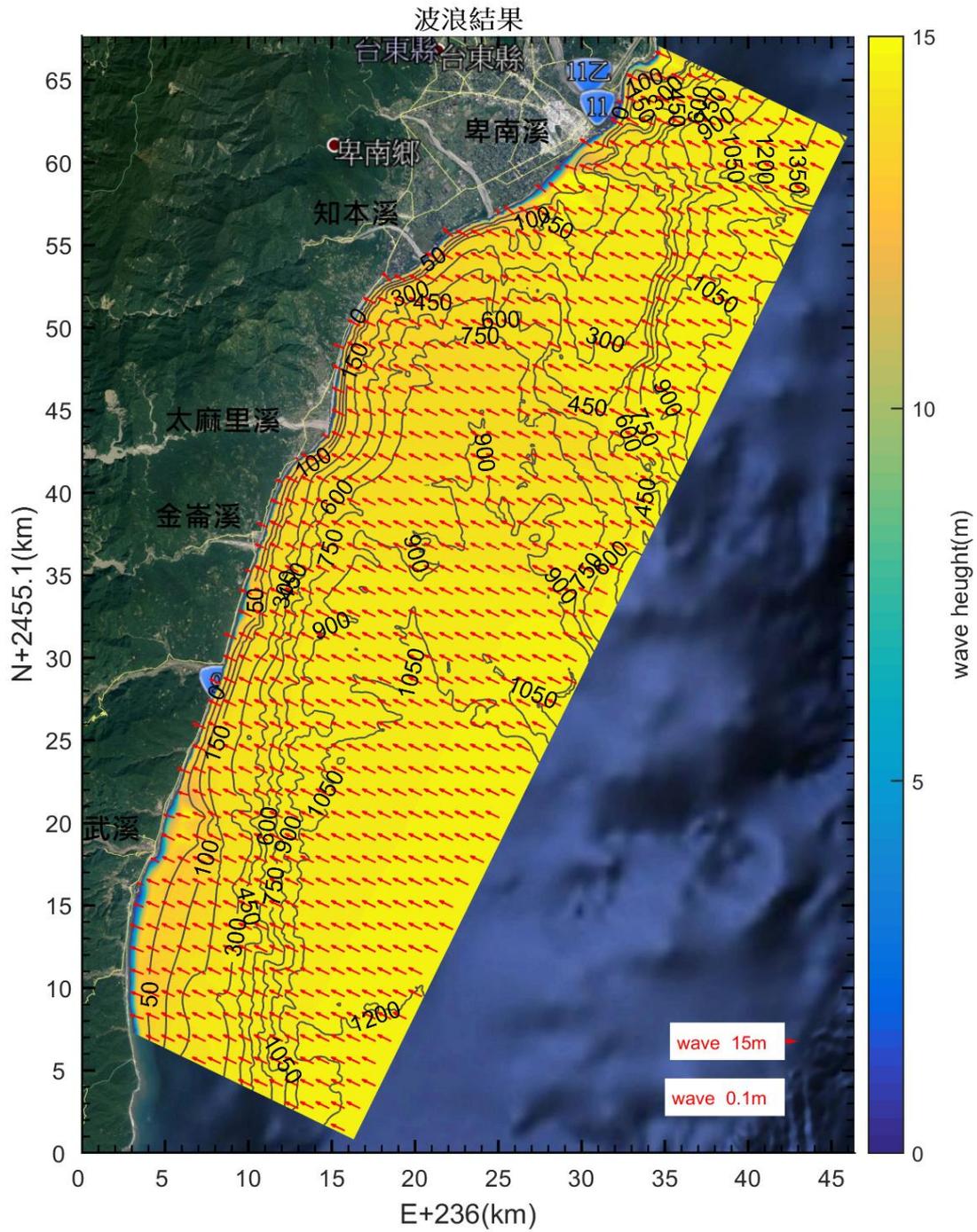


圖 3.29 中尺度範圍 50 年設計條件波場計算結果

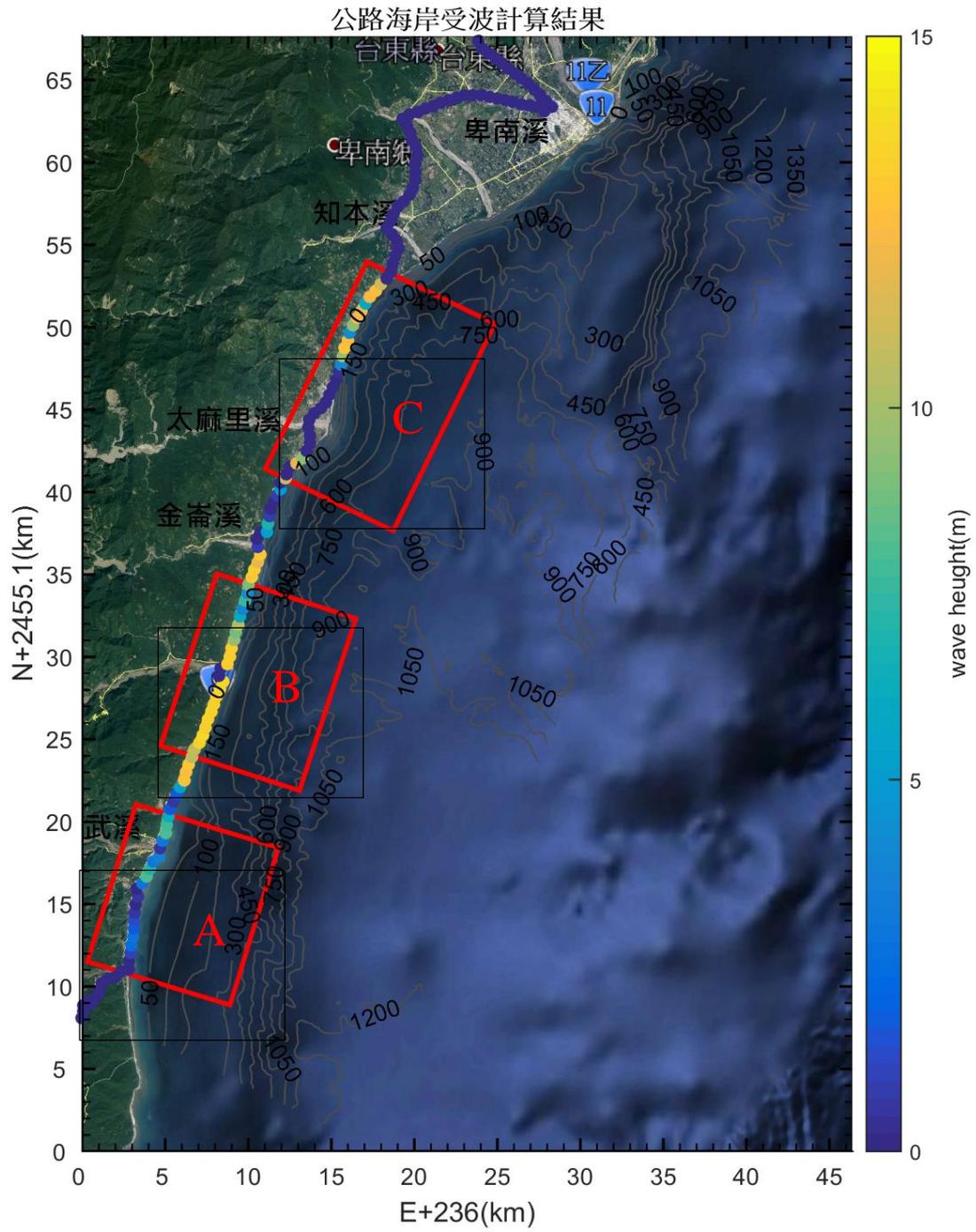


圖 3.30 公路岸前波高計算結果

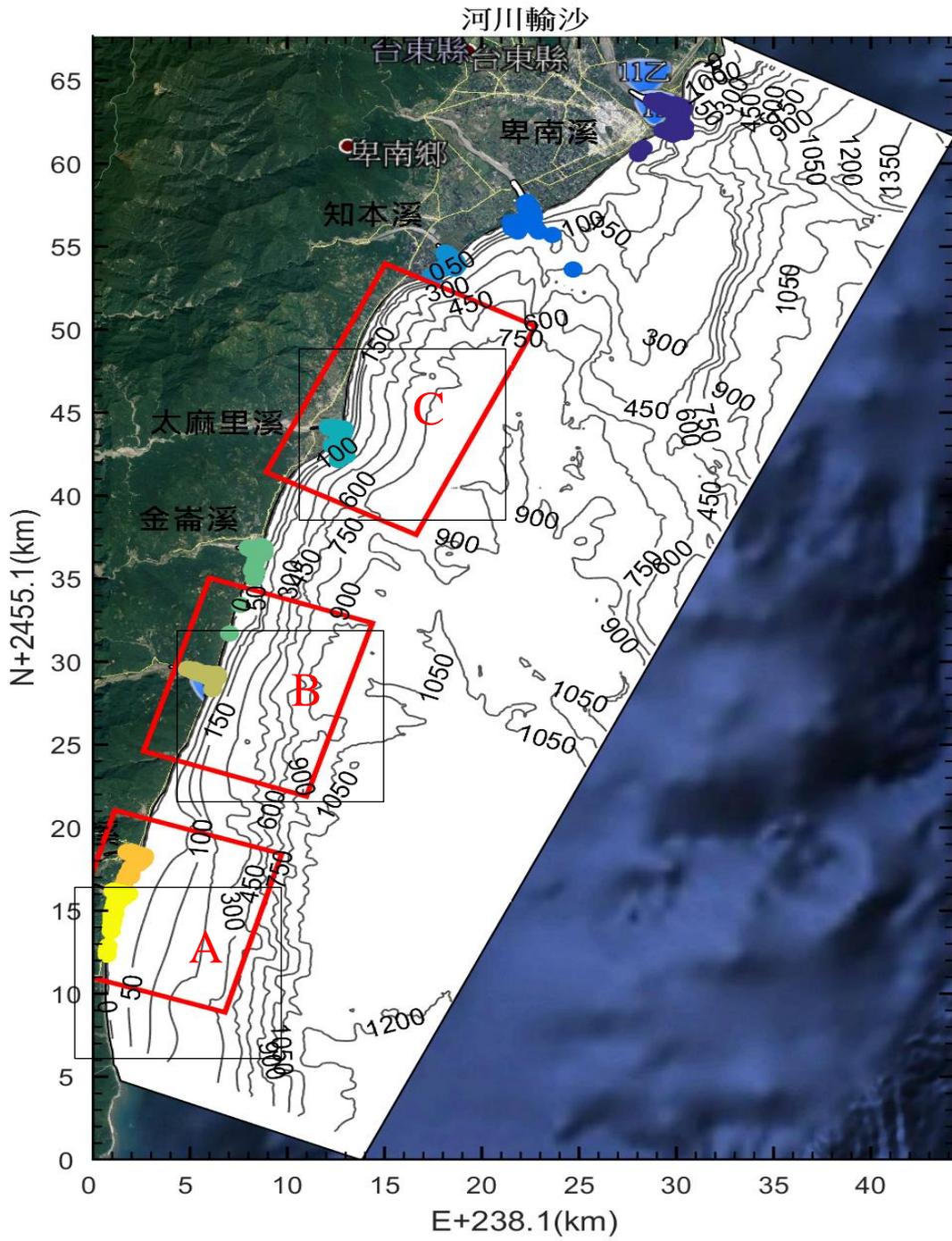


圖 3.31 計畫區河川輸砂計算結果

### 3.4.4 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，已劃定本計畫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。

為使本計畫災害特性分析標的更為明確，因而以「公路溢淹」、「侵蝕災害」及「淤積災害」三種災害類型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 3.32 所示，而詳細分析工作則分別於第四章「公路溢淹致災區段特性分析」(公路溢淹災害)及第五章「沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析」(侵蝕與淤積災害)。其中，海岸侵蝕災害為「海岸防護整合規劃及海岸防護計畫擬訂作業」(水利署，2017 年)訂定的四大海岸災害之一。因此，於侵蝕災害分析中，亦會引用海岸侵蝕災害潛勢分級原則，進行海岸侵蝕潛勢等級給定。海岸侵蝕災害潛勢分級原則如下：

- 1.高潛勢：海岸侵蝕地區且近 5 年平均高潮線每年後退達 5 公尺以上  
(或經中央主管機關調查評估為海岸嚴重侵蝕地區)
- 2.中潛勢：海岸侵蝕地區且近 5 年平均高潮線每年後退未達 5 公尺，  
但達 2 公尺以上(或經中央主管機關調查評估為海岸侵蝕  
地區)

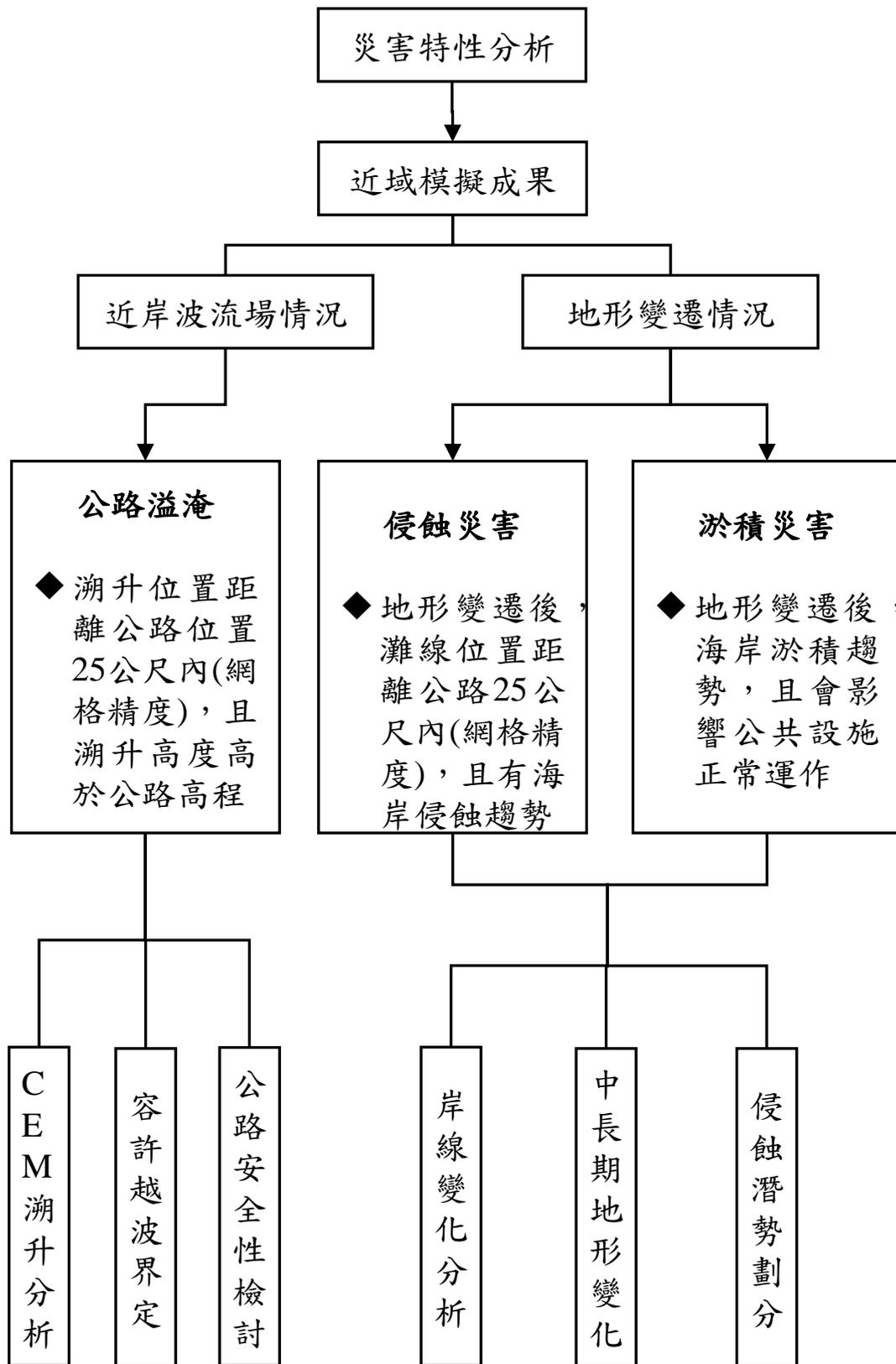


圖 3.32 本計畫災害分類、定義與分析內容

## 第四章 公路溢淹致災區段特性分析

本章節主要探討台九線海岸公路易產生「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，配合本計畫近域劃分範圍，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。最後，再就各項分析結果，針對易致災區段進行公路安全性檢討，以作為後續公路安全以及海岸環境營造規劃應用，分述如下：

### 4.1 海岸現況波浪數值模擬分析

為瞭解現況海岸波浪場分布與海岸線公路受浪情形，以美國陸軍工兵團近岸水動力模式 CMS，藉由現況設計條件模擬結果分析計畫區海岸問題。計算條件採用設計條件(參閱第三章)；波向則以正向入射海岸為主，並採開放邊界進行模式演算，計算範圍則以本計畫近域範圍區塊進行各分區域計算模擬。

茲分別以「南興至大武段」、「加津林至多良段」及「香蘭至三和段」此三段近域範圍於設計條件下之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 4.1 至圖 4.3 分別為南興至大武段模擬波場、平均水位與流場分布圖，其顯示於設計條件下，相位平均波高由外海至近岸發展，波浪至近岸有衰減現象發生，波高分布以大武溪以北區域岸邊波高較高，於近岸約仍有 5 m~10 m 之波高分布；大武漁港以南因地形較緩，受碎波消散影響，其近岸波高分布較低，約 5 m 左右；而至南興路段區域，其波高分布則約略變高，約 5 m 至 7.5 m 範圍。而平均水位分布圖顯示，大武溪以北因沿岸水深較深、坡度地

形較陡，使其平均水位分布較為平緩，當波浪襲擊時，因淺化效應，使波浪碎波消能之現象較不顯著，易導致波浪於未消能之情況下直接衝擊沿岸；而大武漁港周圍水深較淺，地形較為平緩，使之沿岸水位分布較高，波浪由外海進入近岸時，會因地形平緩影響，使之碎波消能，其近岸波高分布亦會較低。此外，透過流場分布結果可知，南興至大武段於設計條件波浪作用下，沿岸流會呈現南北均流至大武漁港的現象。此亦為颱風事件時，漂沙懸浮質會往大武漁港集中，導致經常發生漁港淤積災害之可能因素。

圖 4.4 分別為南興至大武段剖面波高、流速以及水位分布圖，斷面位置如圖所示，斷面編號由南至北遞增，整體結果顯示此區由於海底地形較平緩，故波浪至近岸衰減現象較明顯，一般而言此段海岸公路距海岸仍有一小段距離。

## 2. 加津林至多良段

圖 4.5 至圖 4.7 分別為加津林至多良段模擬波場、平均水位與流場分布圖，其顯示於設計條件下，相位平均波高由外海至近岸發展，波浪至近岸幾乎無衰減現象發生。除大竹溪以北 (420K+000~418K+000 路段) 於近岸處波高有消減現象產生 (波高分布約 3 m~5 m) 外，其餘路段近岸區域之波高分布皆在幾近無衰減情況下，直接衝擊沿岸 (波高分布約 10 m~15 m 以上)。由此可知，該路段公路若高程較低，易發生波浪越堤現象，進而導致公路溢淹之災情。而由平均水位分布圖中顯示，僅大竹溪以北因沿岸水深較淺、坡度地形較緩，使其平均水位分布較為偏高，當波浪襲擊時，易因淺化效應，使波浪碎波消能，使之波高分布較低；而其餘路段沿岸水位分布則較為平緩。因該路段地形水深起伏較小，其整體流場分布結果可知，大竹溪以南因水深較深，其設計條件波浪造成的沿岸流速較小；大竹溪北側因地形有緩變趨勢，因而於沿岸時流速變化較大產生渦流現象較為顯著。

圖 4.8 分別為加津林至多良段剖面波高、流速以及水位分布圖，由剖面圖顯示，此區海岸地勢相當陡峭，故波浪傳遞至近岸幾乎無

衰減現象發生，整體海岸岸前波高普遍達 10 米左右，且公路位置相當貼近於海岸。由此可見，於颱風期間此地區可能為較危險路段之一。

### 3. 香蘭至三和段

圖 4.9 至圖 4.11 分別為香蘭至三和段模擬波場、平均水位與流場分布圖，其顯示於設計條件下，因地形均屬水深較深之區域，使其相位平均波高由外海至近岸發展，波浪至近岸幾乎無衰減現象發生，近岸波高分布約有 12 m~15 m 以上，而 396K+500~399K+500 路段則因沿岸有部分平緩地形，使之波浪碎波消能而有波高分布較低的情況。而平均水位分布圖顯示，除 396K+500~399K+500 路段有較高平均水位分布外，其餘區域大都呈現較為平緩情況。因該路段近岸水深較深，因而設計條件波浪所產生之沿岸流速較不顯著，流向大概由太麻里溪口往南北方向流動，而於 398K+000 路段處，有離岸流發生之現象，此亦有提升沿岸漂沙流失之可能性。

圖 4.12 分別為香蘭至三和段剖面波高、流速及水位分布圖，圖中顯示，此段海岸平均溯升可達 7 公尺左右，且此段海岸公路位置大部分離海岸較遠，海岸受波浪溯升溢淹情形的機會較少。

設計條件波場分布(大武段)

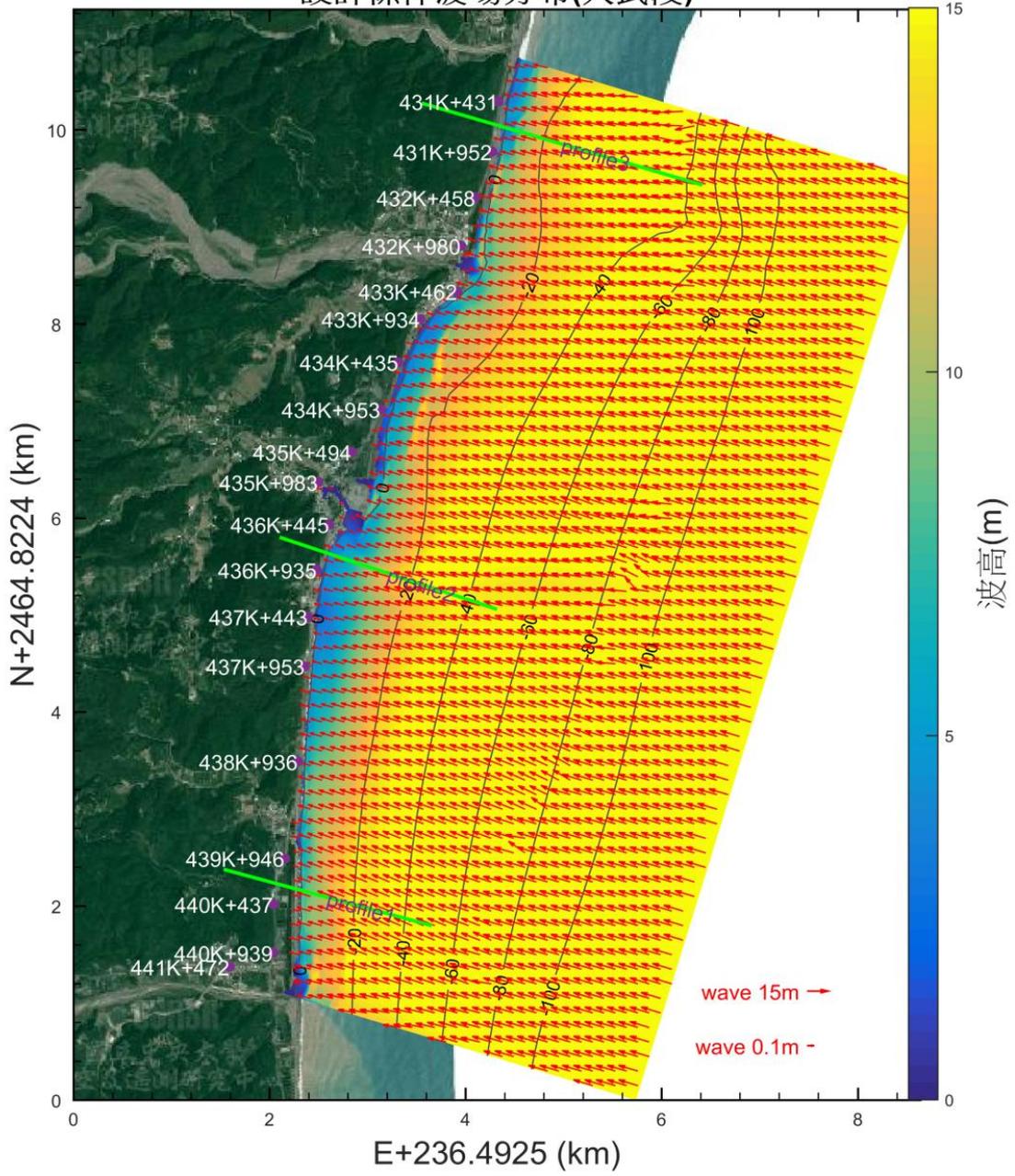


圖 4.1 南興至大武段設計條件波場分布圖

設計條件平均水位分布(大武段)

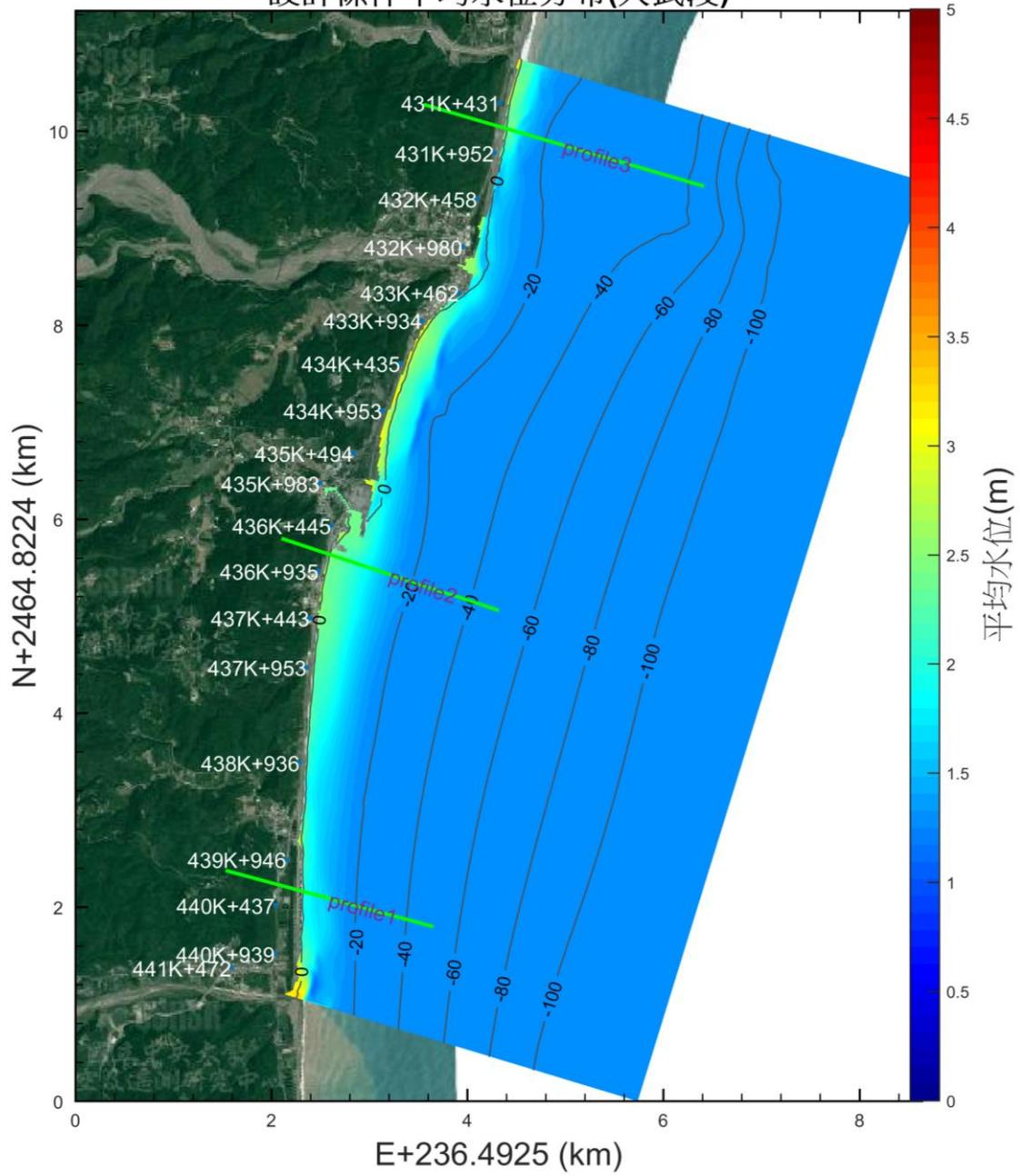


圖 4.2 南興至大武段設計條件平均水位分布圖

設計條件波浪引致流場(大武段)

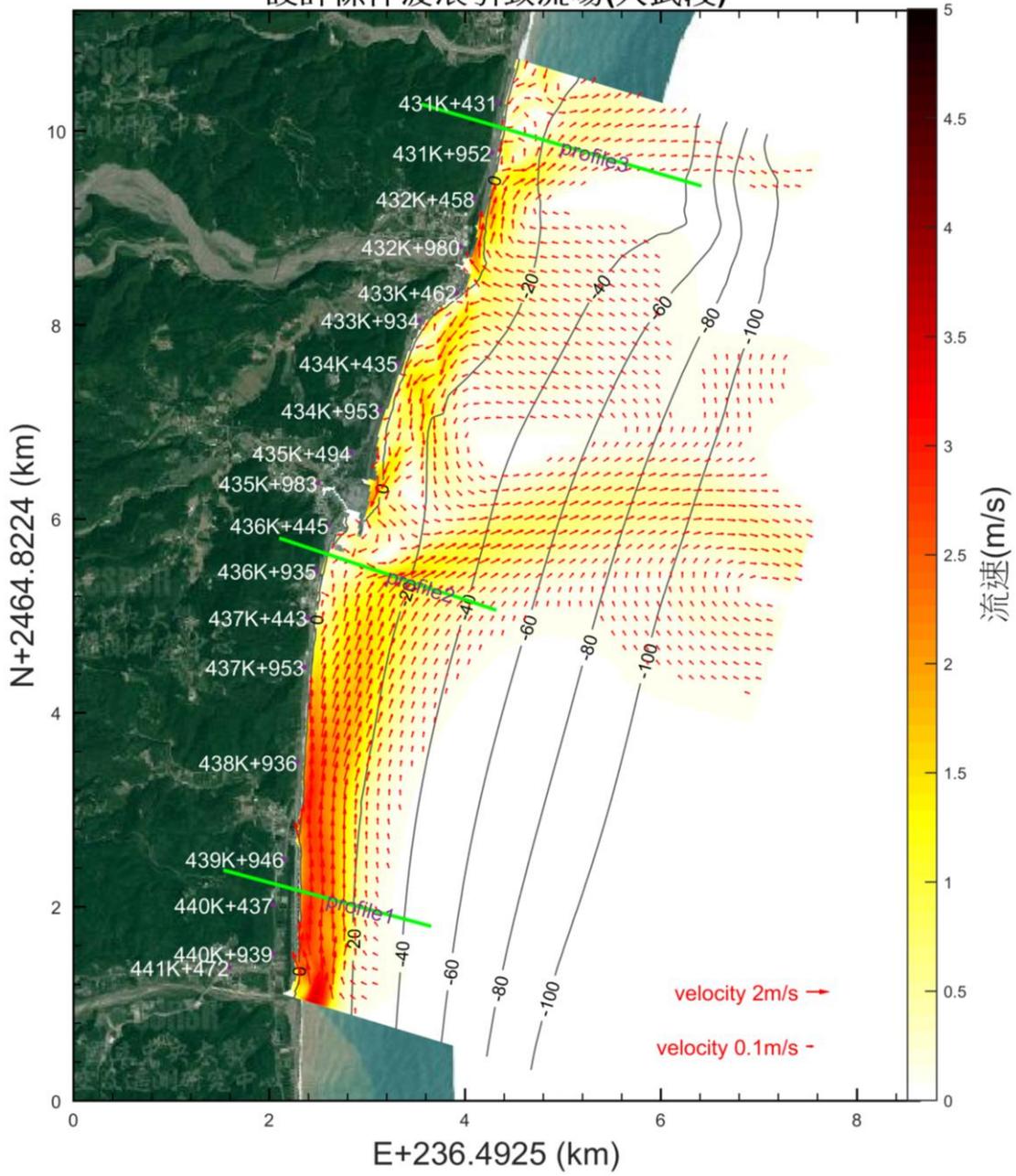


圖 4.3 南興至大武段設計條件波浪引致流場變化分布圖

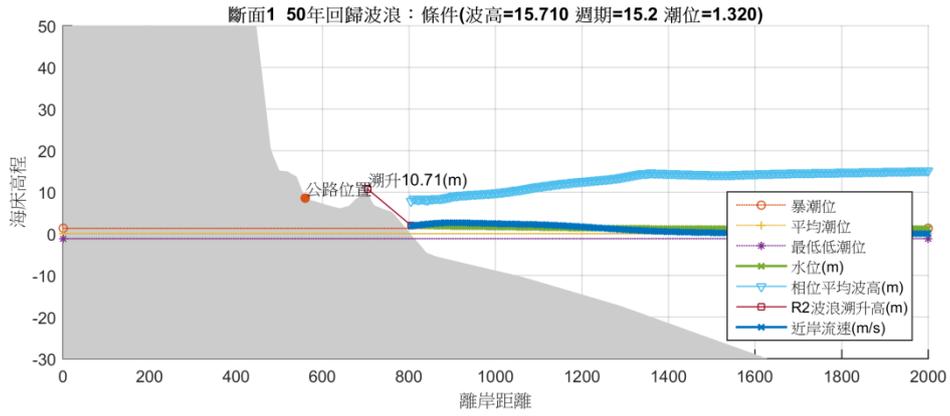


圖 4.4 南興至大武段設計條件剖面圖

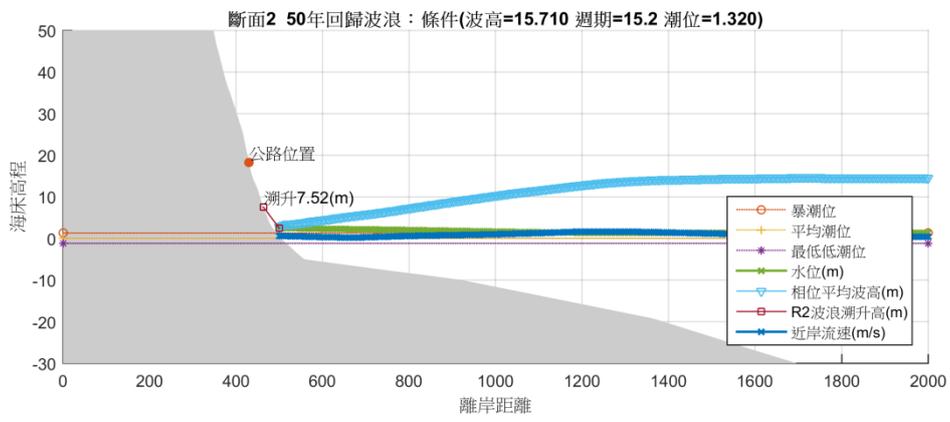


圖 4.4(續 1) 南興至大武段設計條件剖面圖

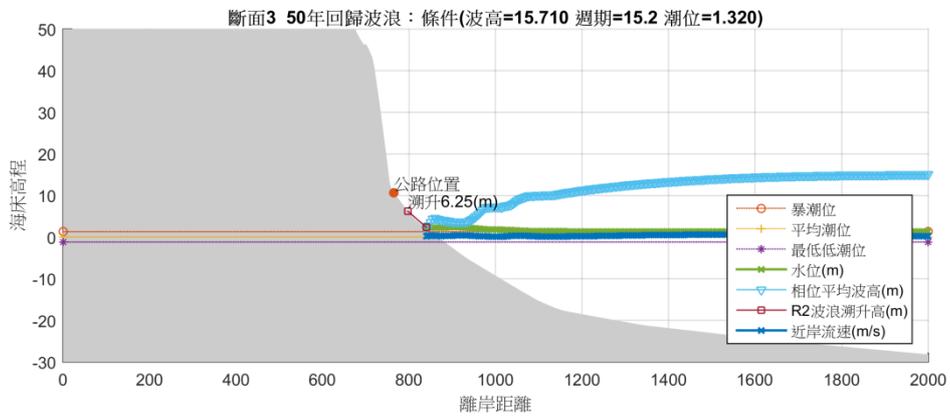


圖 4.4(續 2) 南興至大武段設計條件剖面圖

設計條件波場分布(加津林至多良段)

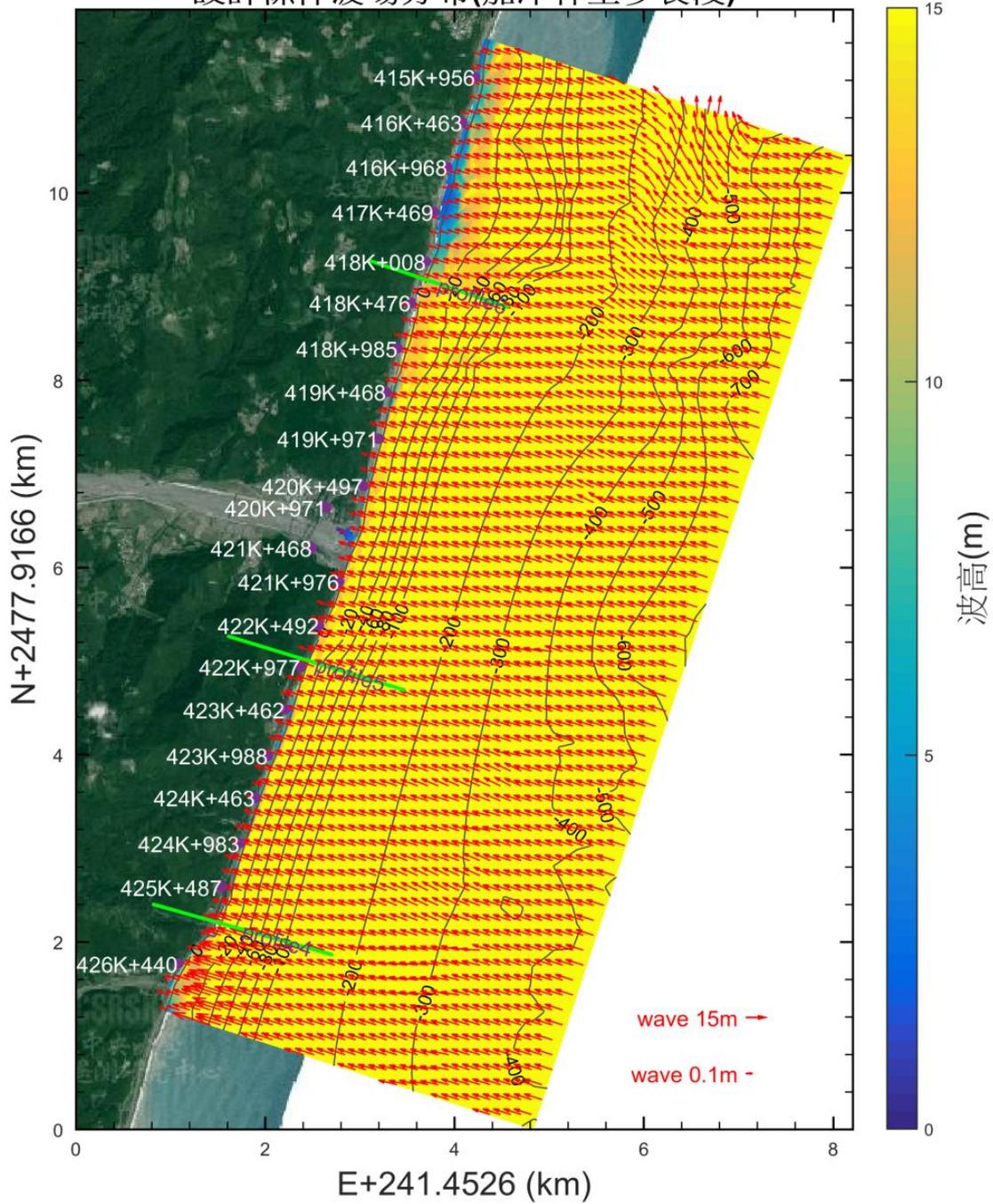


圖 4.5 加津林至多良段設計條件波場分布圖

設計條件平均水位分布(加津林至多良段)

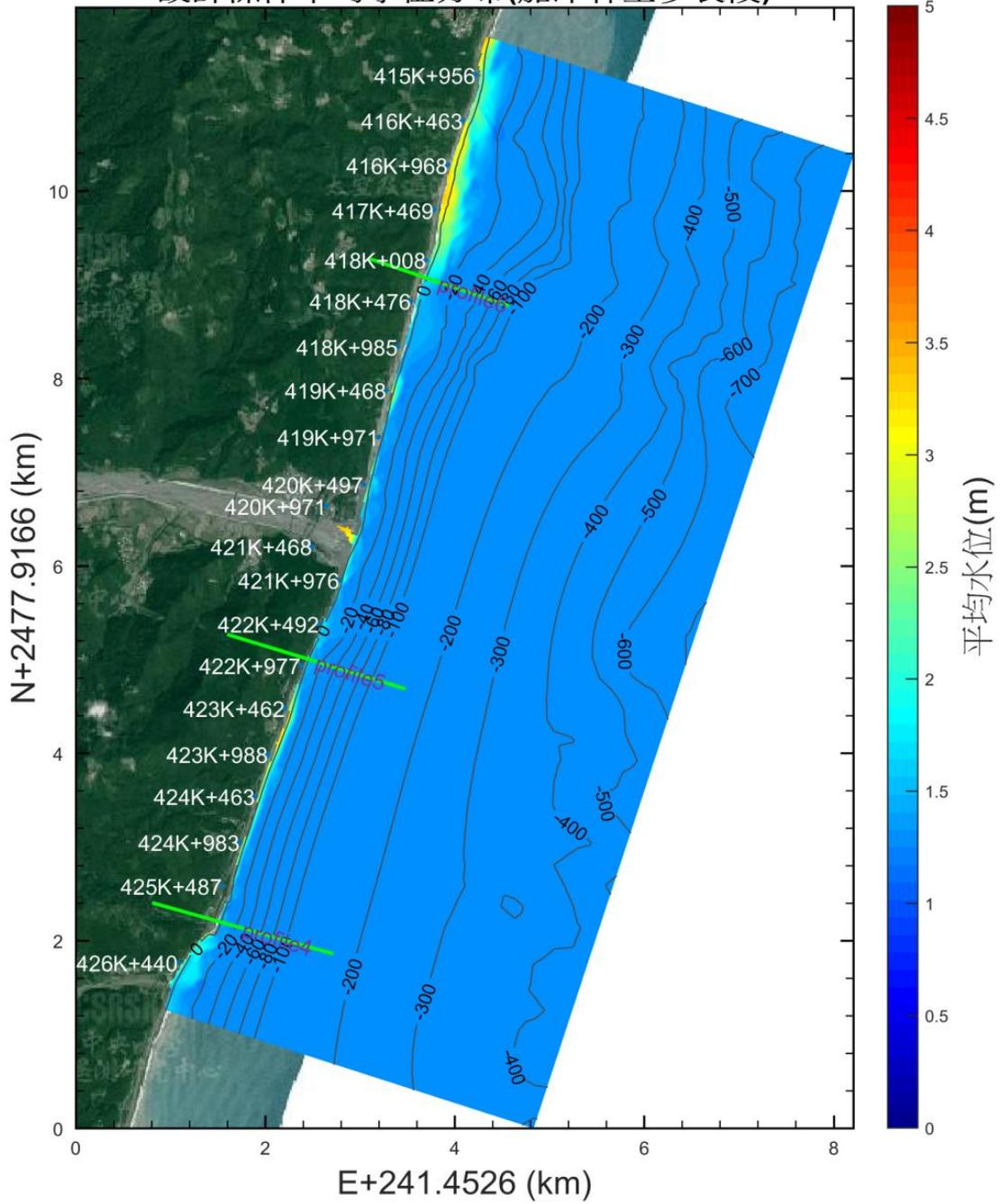


圖 4.6 加津林至多良段設計條件平均水位分布圖

設計條件波浪引致流場(加津林至多良段)

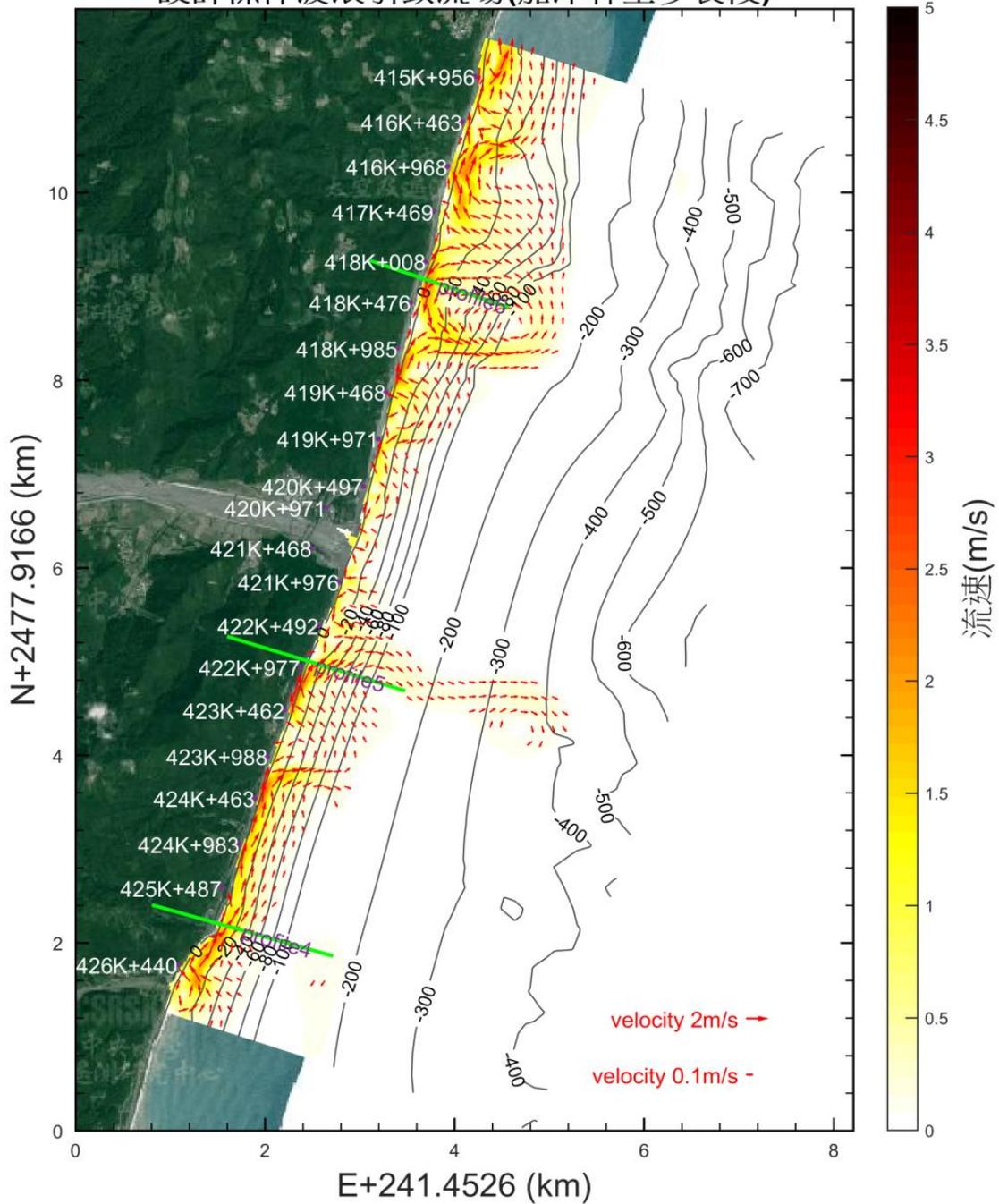


圖 4.7 加津林至多良段設計條件波浪引致流場變化分布圖

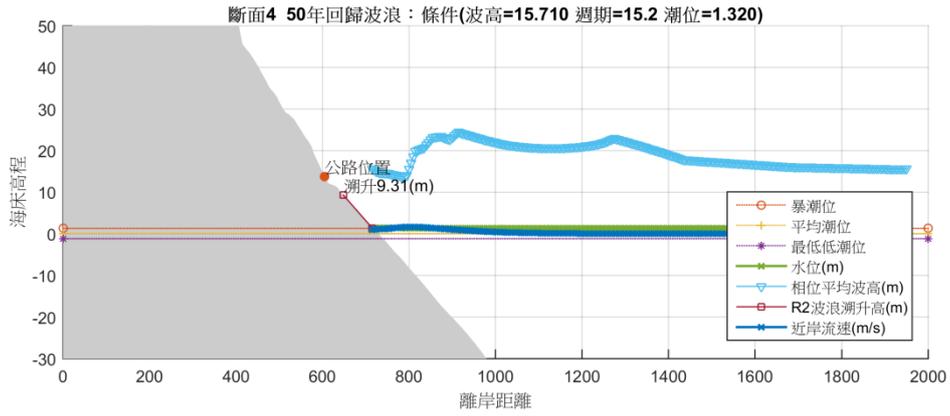


圖 4.8 加津林至多良段設計條件剖面圖

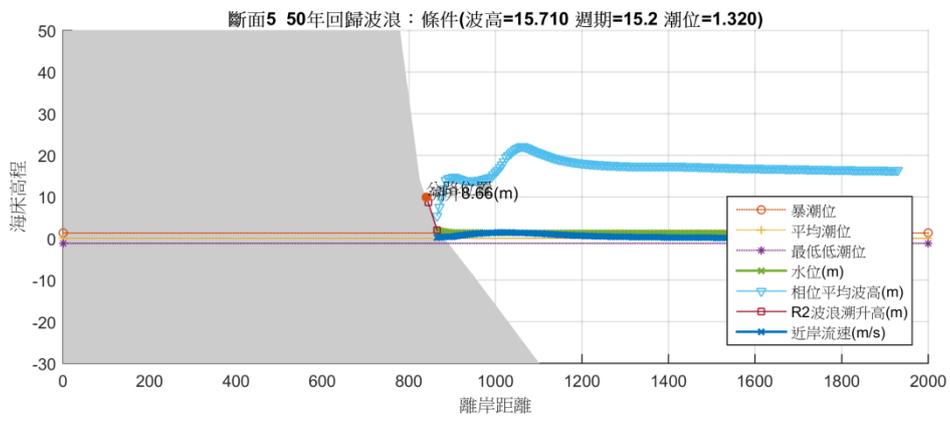


圖 4.8(續 1) 加津林至多良段設計條件剖面圖

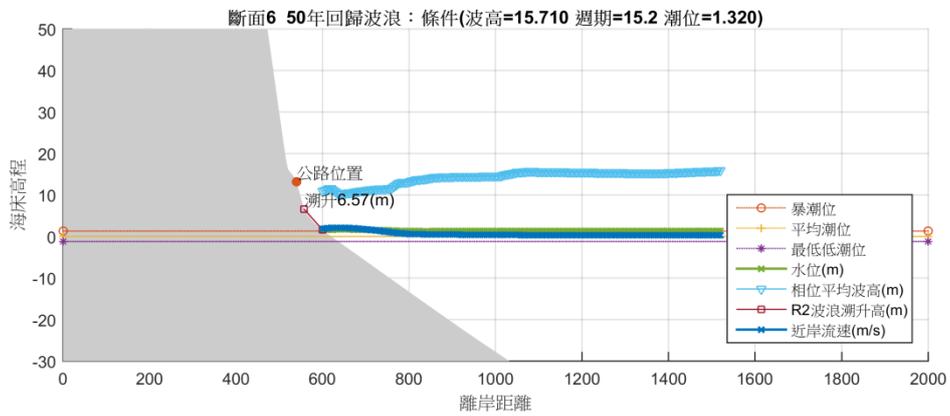


圖 4.8(續 2) 加津林至多良段設計條件剖面圖

設計條件波場分布(香蘭至三和段)

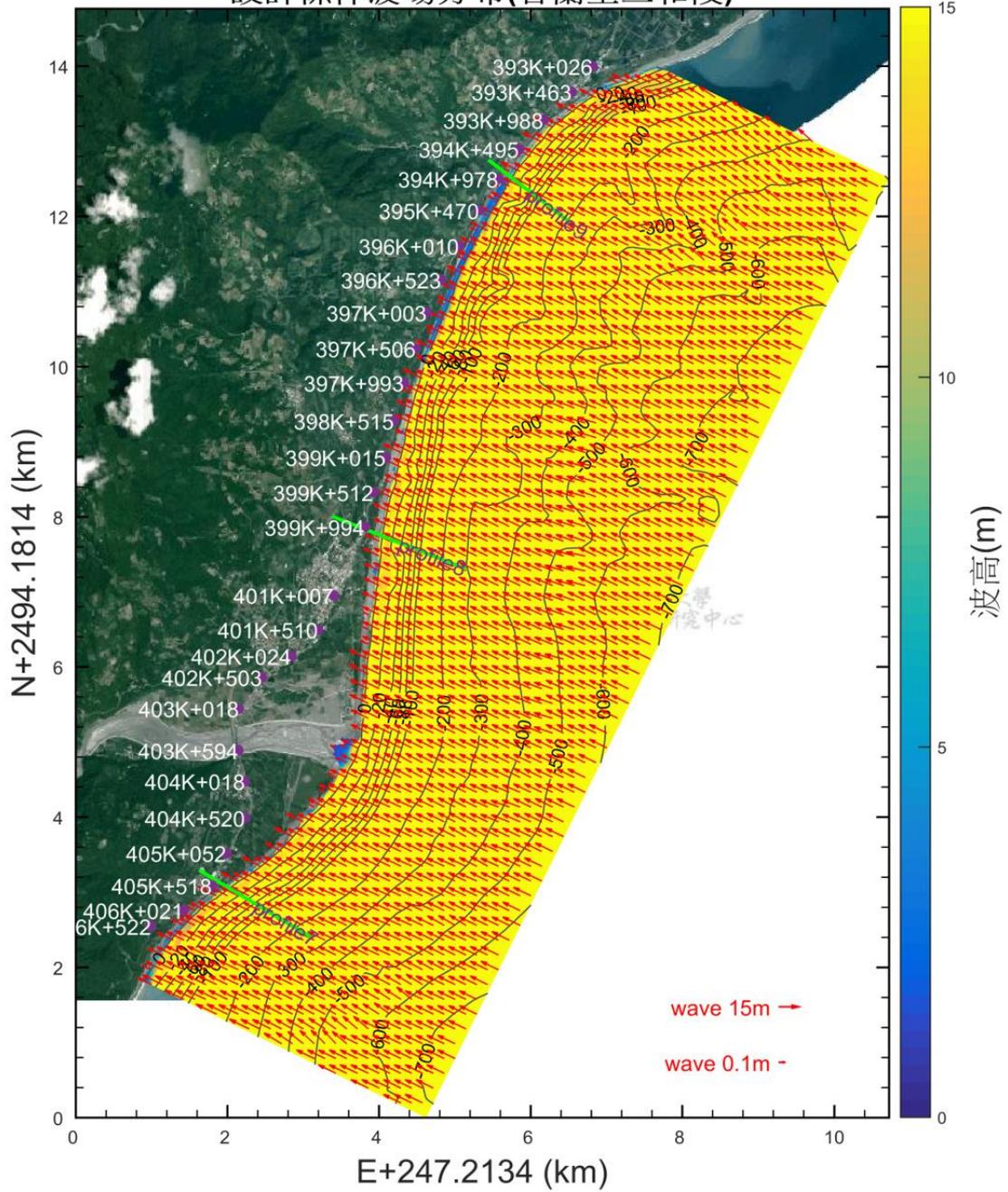


圖 4.9 香蘭至三和設計條件波場分布圖

設計條件平均水位分布(香蘭至三和段)

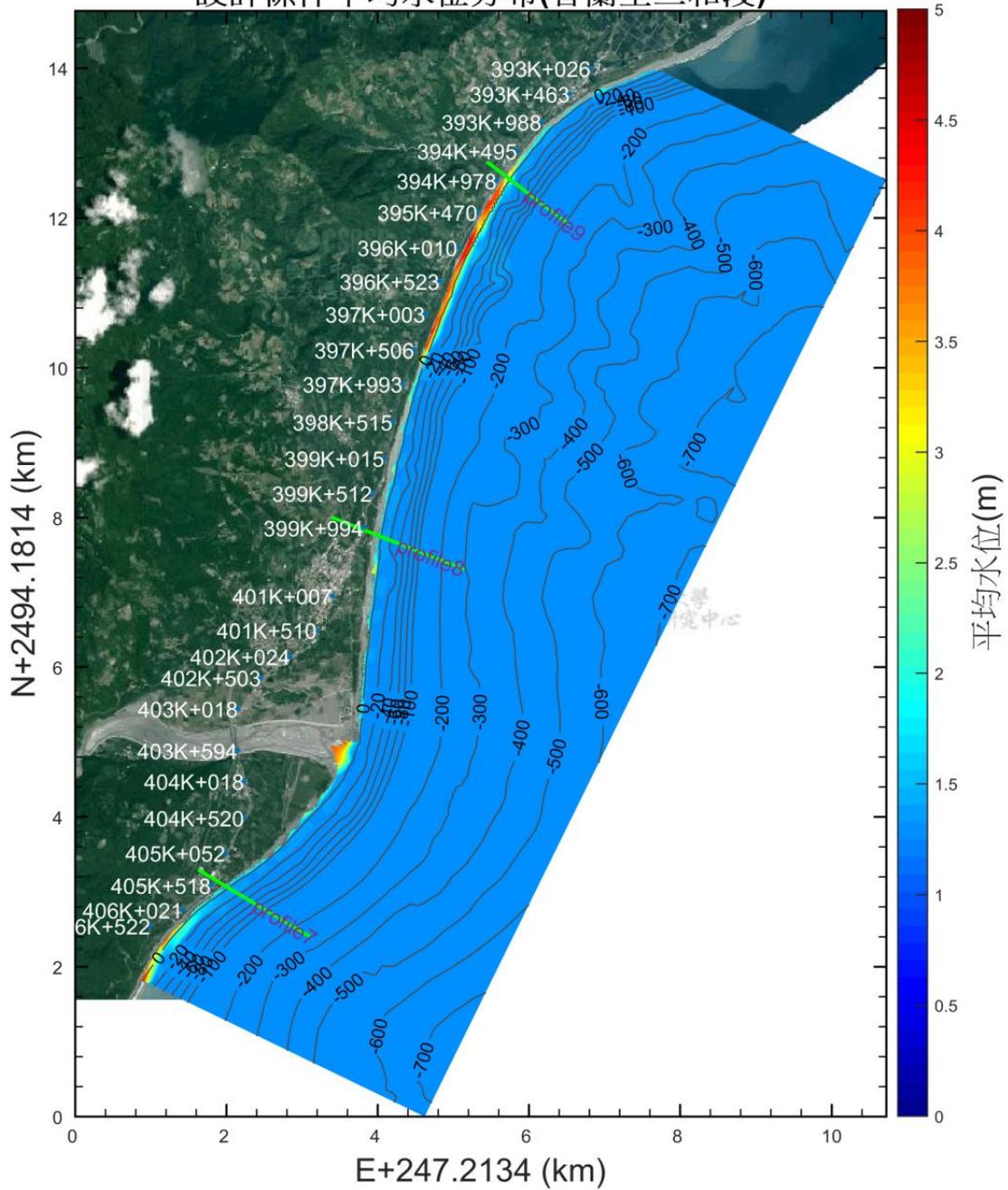


圖 4.10 香蘭至三和設計條件平均水位分布圖

設計條件波浪引致流場(香蘭至三和段)

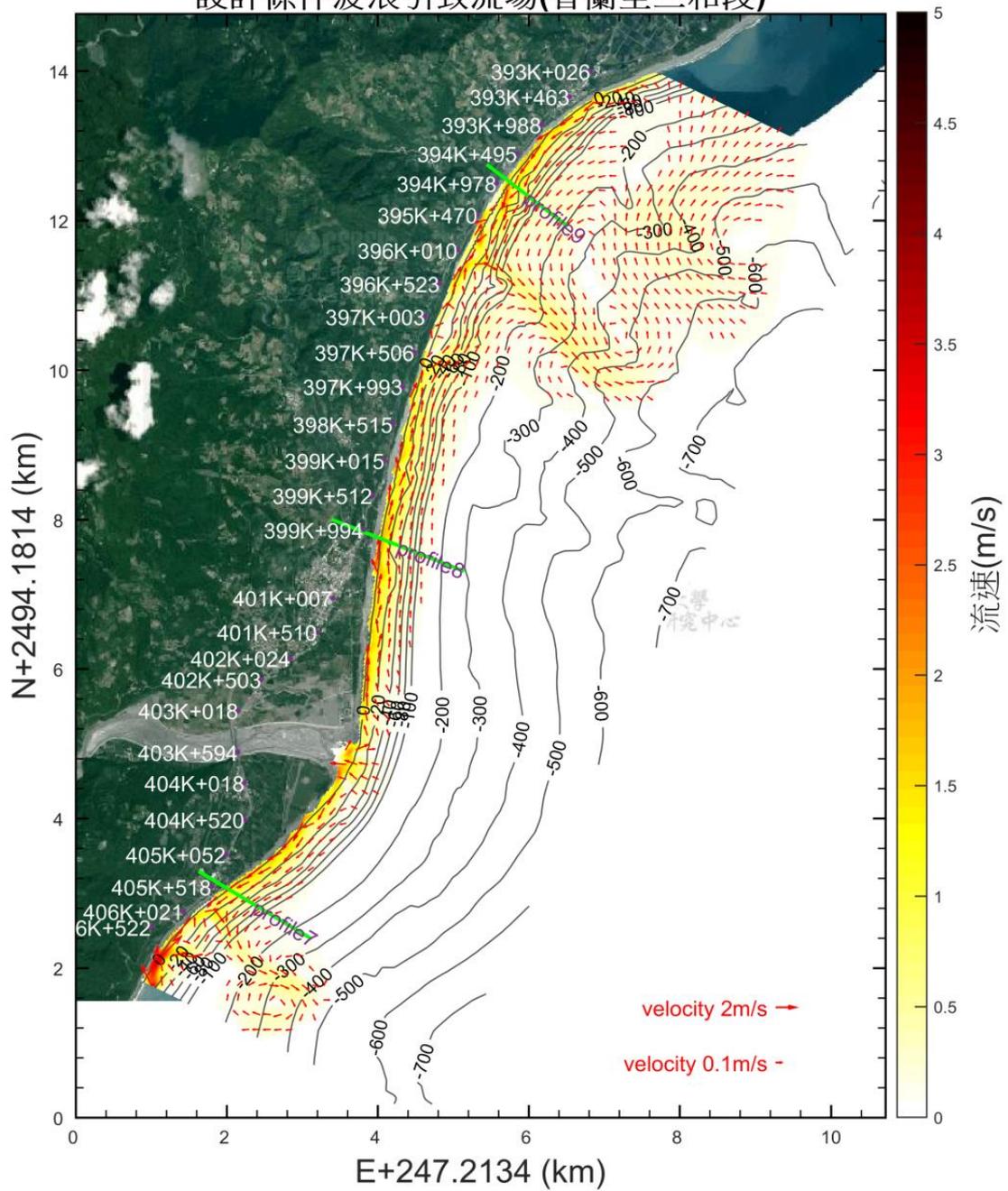


圖 4.11 香蘭至三和段設計條件波浪引致流場變化分布圖

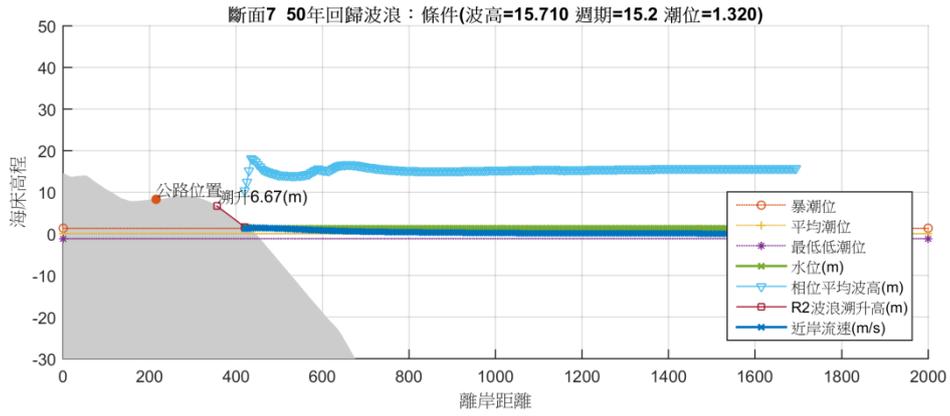


圖 4.12 香蘭至三和段設計條件剖面圖

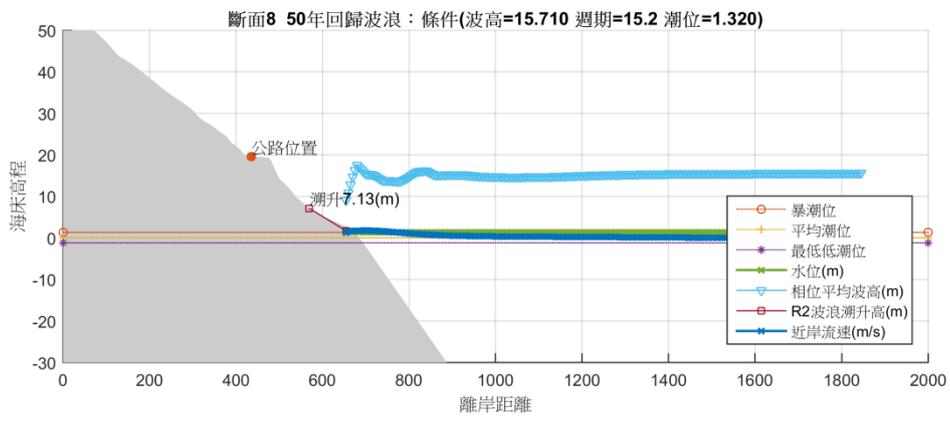


圖 4.12(續 1) 香蘭至三和段設計條件剖面圖

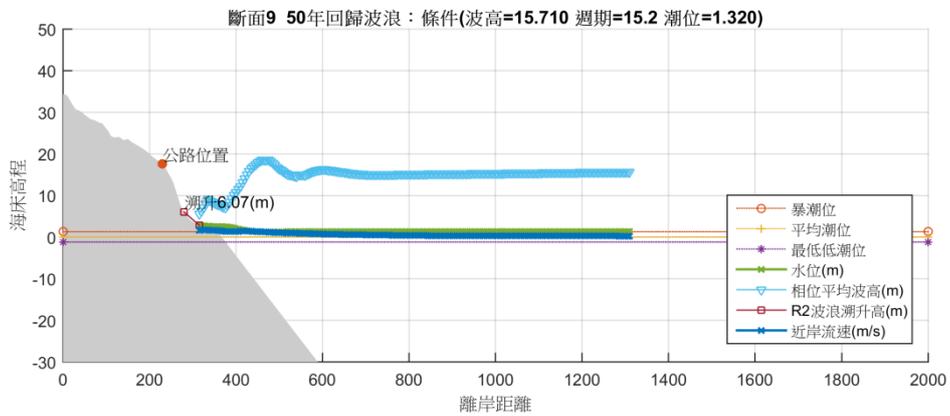


圖 4.12(續 2) 香蘭至三和段設計條件剖面圖

## 4.2 公路安全性檢討

台 9 線南迴公路部份路段因緊鄰海岸，根據美國公路聯邦總署 (FEHA) 之研究系列報告「Hydraulic Engineering Circular No. 25」(Douglass and Krolak, HEC-25, 2008) 的定義屬於海岸公路。台 9 線海岸公路東側以護岸(revetment)結構與海岸相連，西側多與山坡相銜接，其整體安全性分析包括海岸工程和地質工程兩部分。本計畫以海岸工程分析為主，地質相關資料則整理既有報告說明。依 HEC-25 (2008) 所述，影響海岸公路包含波浪水理特性(波浪溯升/越波分析)、海岸結構穩定性、地質特性等，針對上述性質分(1)公路溢淹水理特性分析、(2)海岸結構物安定性分析、(3)地質特性分析及(4)海岸公路整體穩定性說明如後：

### 4.2.1 公路溢淹水理特性分析

由 4.1 節計算結果，可得到岸邊結構物前之波高分布(例如：堤前波高)，本節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，藉以研提台九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。

波浪遇到海岸阻擋時所有能量轉換成位能，於海堤面產生溯升(run-up)現象。所謂溯升 ( $R$ ) 乃指波浪打上海堤面之最高點與靜水面之垂直高差。若海堤堤頂低於溯升高時，波浪越過堤頂越入堤後之現象稱為越波(Overtopping)，單位時間越過堤頂之水體積稱為越波量( $q$ )，參見圖 4.13。

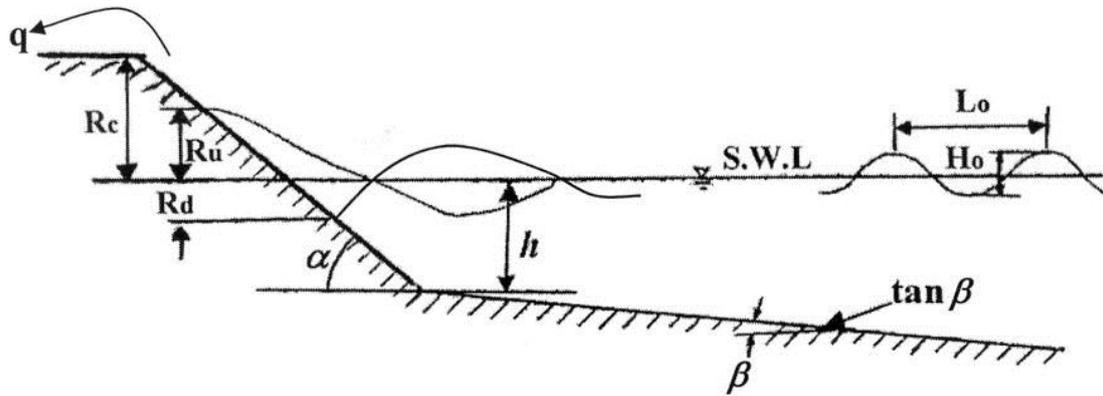


圖 4.13 溯升及越波示意圖

資料來源：海岸防護設施設計準則(水規所，2010)

本計畫採用美國陸軍兵工團（簡稱 CHL）海岸管理手冊（簡稱 CEM，2006）整理 Van der Meer 等人（1992）拋石堤實驗數據所提出之公式，並考慮海岸坡面粗糙折減因子進行溯升高計算，以下簡稱 CEM 溯升公式(CEMR)(CEMR, 2006)。

$$R_{2\%}/H_0 = \begin{cases} 1.5\gamma_f\gamma_h\gamma_\beta\xi_{eq}, & 0.5 < \xi_{eq} \leq 2.0 \\ 3.0\gamma_f\gamma_h\gamma_\beta\gamma_b, & \xi_{eq} > 2.0 \end{cases} \quad (4.1)$$

其中  $\gamma_f$ 、 $\gamma_h$ 、 $\gamma_\beta$ 、 $\xi_{eq}$  分別為堤面粗糙係數、水深對溯升影響係數、波浪入射折減係數及等效碎波參數。而越波量計算則應用於公路溢淹研究上，並依據 Van der Meer 等人（1992）提出依溯升高與堤頂出水高差( $R_{2\%} - R_c$ )計算越波量，其計算式如下式：

$$q = 8 \times 10^{-5} \sqrt{gH_s^3} \exp[3.1(R_{2\%} - R_c)/H_s] \quad (4.2)$$

欲完全防止波浪不越波，勢必使公路或海堤高極高。因此得容許不發生災害之少量安全越波量越波，稱為容許越波量。而路堤工程之功能為保護道路填土區之安全，為減少越波量及增加堤後道路之利用性，應妥善規劃路堤之頂高，以有效控制越波量。圖 4.14 為容許越波量界定範圍，依設計規範可由海堤種類、保護工型式及安全需求訂定容許越流量。其中，結構安全所需之越流量主要考量堤後填土區之安全，依護岸之容許越波量約在  $5 \times 10^{-2}$  (cms/m) 以下；交通安全之越流量則至少需低於  $5 \times 10^{-4}$  (cms/m) (黃學美和朱志誠，2013)，透過該越

波量計算及容許越波量範圍界定，可將後續「公路溢淹」災害特性分析結果進行量化，以利瞭解各災害潛勢區域之致災程度。

依據本計畫近域數值模擬結果（設計條件波高分布），並配合上述溯升公式可計算出公路側海岸波浪溯上高度，再藉由公路單樁高程資料比對，及本計畫災害類型定義方法檢定（參考圖 3.32），則可劃設出各具有「公路溢淹」災害潛勢之路段。再透過越波量計算方式，則可估算各潛勢區域之越波量，並進一步探討其越波致災程度。茲以三近域範圍分別進行說明：

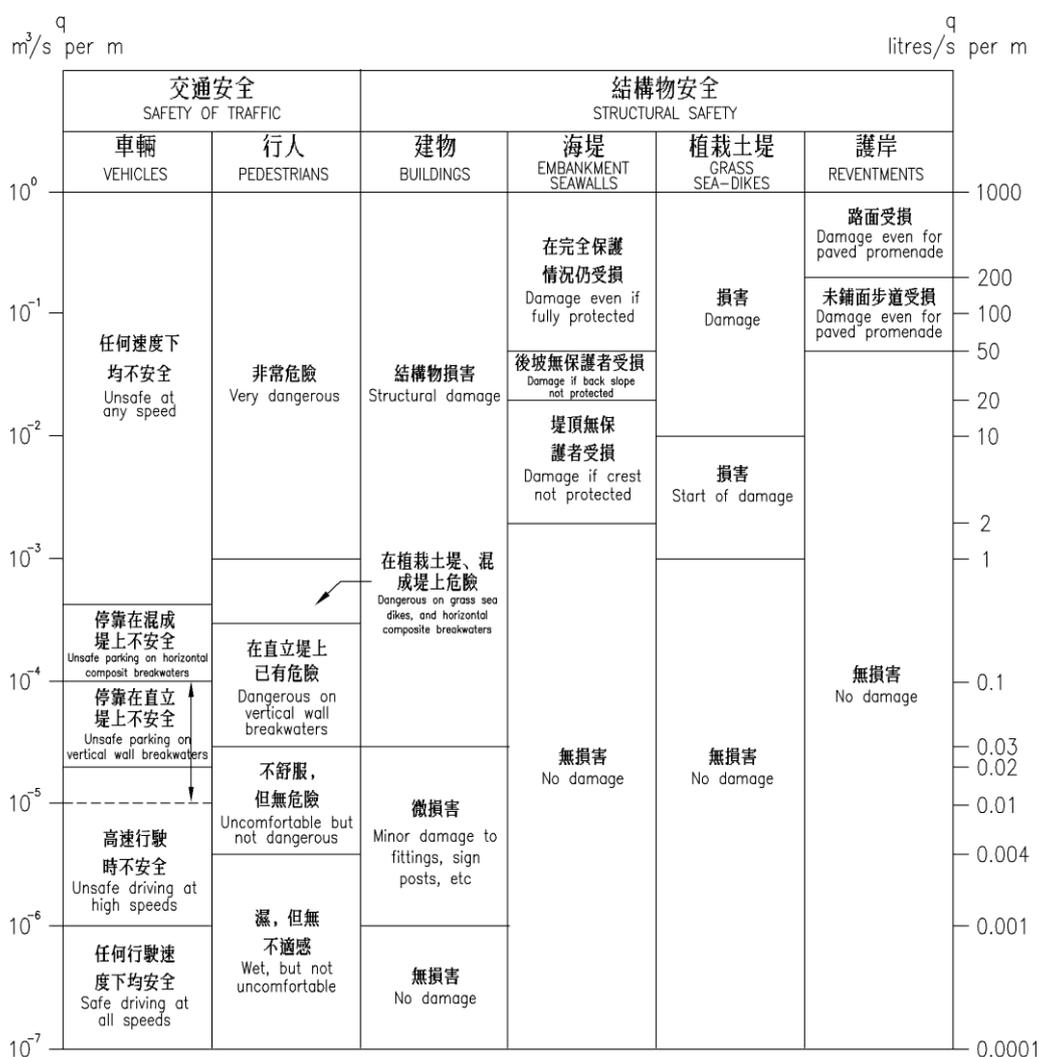


圖 4.14 容許越波量界定範圍圖(資料來源：CEM，2005)

### 1. 南興至大武段

圖 4.15 為南興至大武段「公路溢淹」災害潛勢分布圖，其顯示大武漁港以北 435K+000~435K+500 路段間及 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 16 m，而公路高程分別約為 8 m 與 10 m，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 10 m，惟因該區域公路高程均低於 10 m，導致仍有公路溢淹災害之危機。

於圖 4.15 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 ( $5 \times 10^{-2}$  (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  $5 \times 10^{-4}$  (cms/m))。

## 2. 加津林至多良段

圖 4.16 為加津林至多良段「公路溢淹」災害潛勢分布圖，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 15 m)，且亦位於公路高程相對低處(最低高約為 11 m)，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 15 m；公路高程約 11 m~13 m 左右。

於圖 4.16 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  $5 \times 10^{-2}$  (cms/m)，其餘潛勢路段均介於  $10^{-3}$ ~ $2 \times 10^{-2}$  (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 ( $5 \times 10^{-2}$  (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  $5 \times 10^{-4}$  (cms/m))。

往昔文獻中，亦有針對該區域進行公路溢淹災害分析 (黃學美和朱志誠，2013)。其中該文獻評估易受浪襲路段均與本計畫評估潛勢區域相似，惟其越波量評估均為滿足  $1 \times 10^{-4}$  (cms/m)，未達  $1 \times 10^{-5}$  (cms/m)。其原因概為 3 各原因所致：

- a. 設計條件不同：本計畫估算 1989~2017 年颱風事件，所推得之 50 年重現期設計波高為 15.71 m；而該文獻設計波高採 13.4 m，約低於本計畫 2.3 m 以上。
- b. 地形水深不同：兩研究所採用地形水深可能有所差異，導致近岸波高分布不同。
- c. 溯升公式差異：然該文獻並無針對採用之溯升公式進行描述，因而無法確認兩研究評估溯升高度之差異性。

### 3. 香蘭至三和段

圖 4.17 為香蘭至三和段「公路溢淹」災害潛勢分布圖，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 10 m。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 4.17 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  $2 \times 10^{-3}$  (cms/m)，其滿足護岸之容許越波量 ( $5 \times 10^{-2}$  (cms/m)) 以下，惟未滿足交通安全之越流量(至少需低於  $5 \times 10^{-4}$  (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。

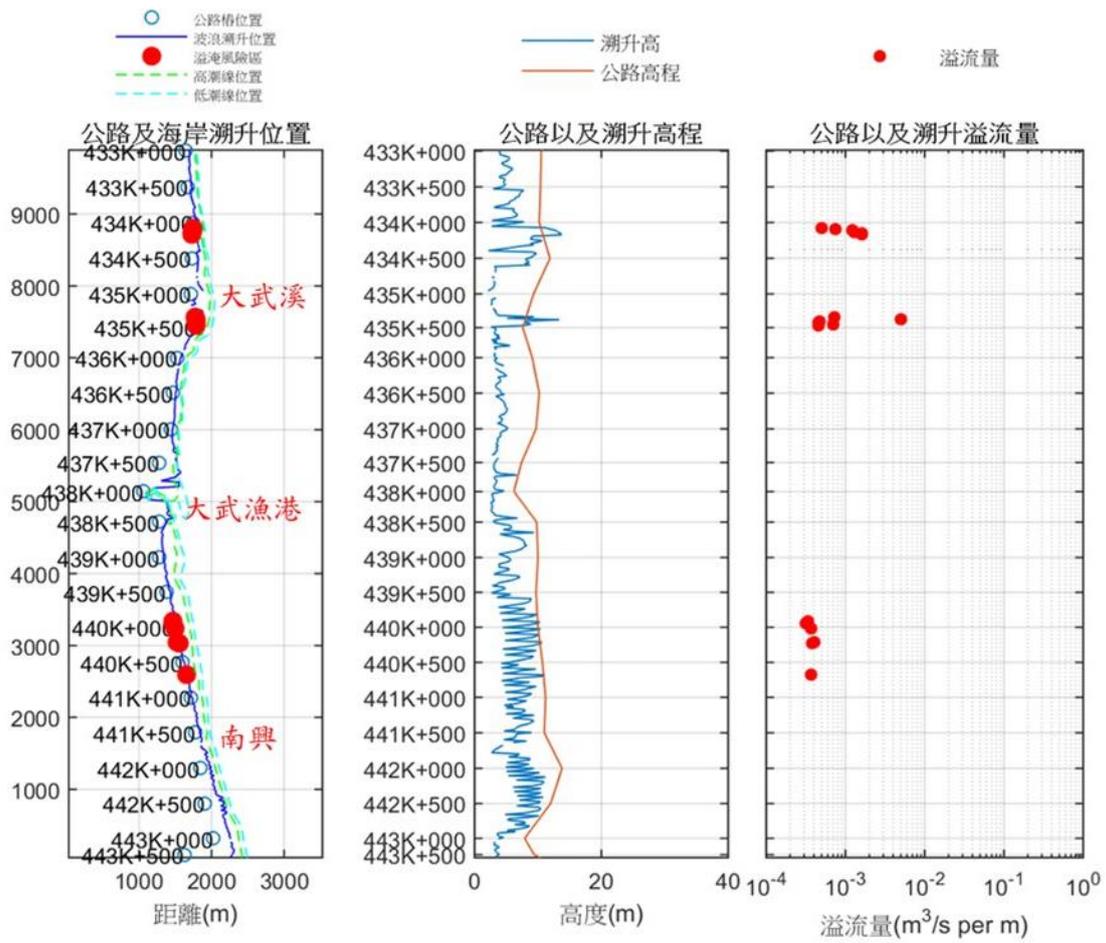


圖 4.15 南興至大武路段「公路溢淹」災害潛勢分布圖

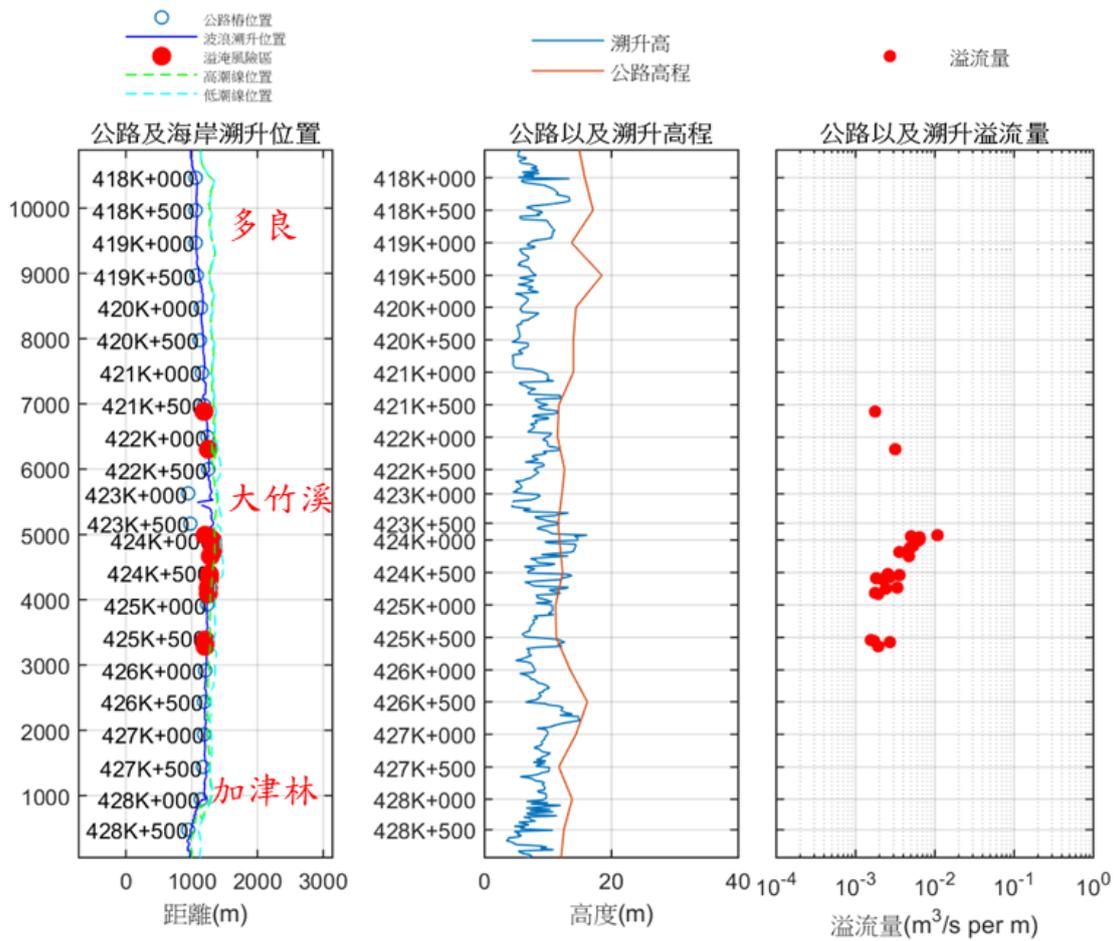


圖 4.16 加津林至多良路段「公路溢淹」災害潛勢分布圖

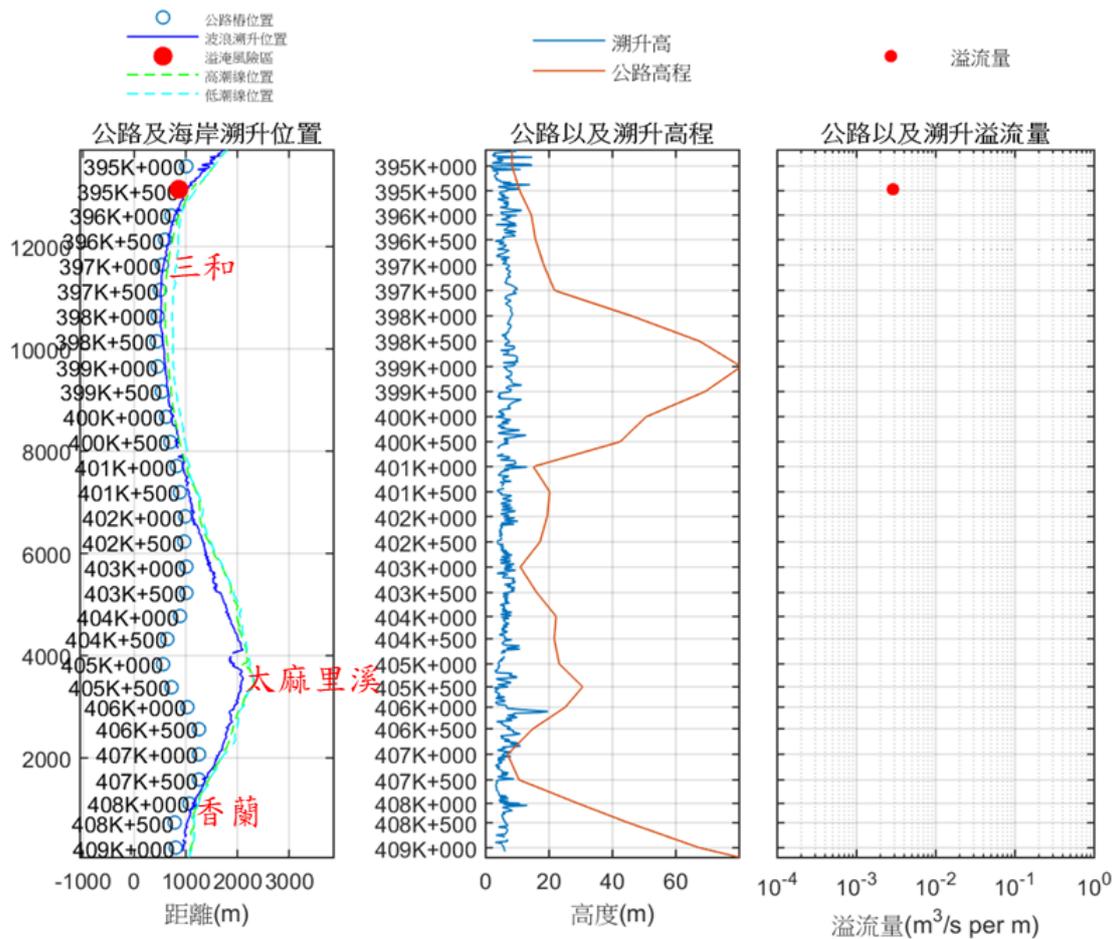


圖 4.17 香蘭至三和路段「公路溢淹」災害潛勢分布圖

#### 4.2.2 海岸結構物安定性分析

針對台 9 線海岸公路特性，可參考 HEC-25(2008)報告所建議的護岸進行保護。一般來說，護岸結構特徵為坡面緊鄰陸地而結構最上部高程略高於陸地者，居中隔絕海陸形成明顯高程落差，可分為反波式及直立消波式。而為了有效降低入射至護岸的波浪能量以確保護岸堤趾基礎不受波浪沖擊掏刷，常在護岸前設置海堤堤趾基礎保護工，一般為塊石或兩排以上的消波塊。故整體護岸安定性分為護岸前坡坡體的塊石安定性分析及護岸臨海測堤趾基礎保護工安定性分析。相關分析及理論基礎可參考 HEC-11 (Brown and Clyde, 1989)、美國陸軍工兵團海岸工程手冊 (CEM)及「海岸防護設施設計準則(草案)海堤篇」(水規所，2010 年)。

##### 1. 塊石安定性分析

依「海岸防護設施設計準則(草案)--海堤篇」(水規所, 2010 年)所述, 針對各段護岸前坡進行安定性分析(被覆層安定重量), 以瞭解最小被覆層安定重量, 針對塊石重量較被覆層安定重量小, 則增加護岸塊石重量或是加勁處理。一般海岸工程設計多採用豪德森公式(4.1)檢核護坡塊石所需的重量 (PIANC, 1992)。

$$M = \frac{\rho_s H^3}{K_d \Delta^3 \cot \alpha} \quad (4.3)$$

上式中  $M$  : 護坡塊石或是消波塊重量;  $\Delta$  為  $\rho_s / \rho_w - 1$ ,  $\rho_s$ 、 $\rho_w$ : 分別為拋放消波工(石塊  $\cong 2.65 \text{ T/m}^3$ , 混凝土  $\cong 2.3 \text{ T/m}^3$ )及水體之密度(海水  $= 1.03 \text{ T/m}^3$ );  $H$ : 堤趾設計波高(50 年重現期設計波高), 美國工兵團海岸工程保護手冊(1984)建議採  $H = H_{1/10} = 1.27 H_s$ ;  $K_d$ : 安定係數, 值大表示石塊安定性高;  $\alpha$ : 海堤坡度。依「海岸防護及環境復育規劃參考手冊」(水規所, 2010 年)建議方塊  $K_d = 6.5 \sim 7.5$ 、菱形塊  $K_d = 7.0 \sim 8.0$ 、雙 T 塊  $K_d = 15.8 \sim 31.8$ 、拋石保護工則設定為 3.0。

## 2. 堤趾基礎保護工安定性分析

為瞭解海堤堤趾基礎保護工大小是否足以抵禦波浪作用, 參考「海岸防護及環境復育規劃參考手冊」(水規所, 2010 年)使用 Hales Houston(1983)公式進行海堤基礎安定尺寸推估。堤趾保護工可防止外坡平行滑動及堤趾沖刷。美國工兵團海岸工程保護手冊(1984)提議砂灘之最大沖刷深度  $h_s = H_{\max} = 1.8 H_s$ 。陡坡堤之護坦長度不短於 2 倍波高, 緩坡堤之護坦則至少與波高相同。Hales Houston(1983)公式如下:

$$\frac{H_b}{\Delta D_{50}} = (17.5 \sim 28.5) \left( \frac{B_p}{L_s} \right)^{2/3} \approx 20 \left( \frac{B_p}{L_s} \right)^{2/3} = 20 \left( \frac{B_p}{T \sqrt{g h_s}} \right) \quad (4.4)$$

式中,  $\Delta = r_s / r_w - 1$  為塊石相對密度, 其中  $r_s$  為堤趾基礎單位體積重(石塊為  $2.65 \text{ t/m}^3$ ; 混凝土為  $2.3 \text{ t/m}^3$ ),  $r_w$  為水單位體積重( $1.03 \text{ t/m}^3$ );  $D_{50}$  為中值粒徑;  $H_b \approx 0.78 h_s$  為碎波波高;  $L_s = T \sqrt{g h_s}$  為堤前波長,  $T$  為深海波浪週期;  $B_p$  為外坡延長長度;  $h_s$  為沖刷水深。

護岸前坡塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑計算成果如圖 4.18~圖 4.20。整體而言，護岸前坡塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑整體趨勢相同，局部極值集中在越波區段及地形侵蝕區域，詳細分析說明於 4.2.4 節。

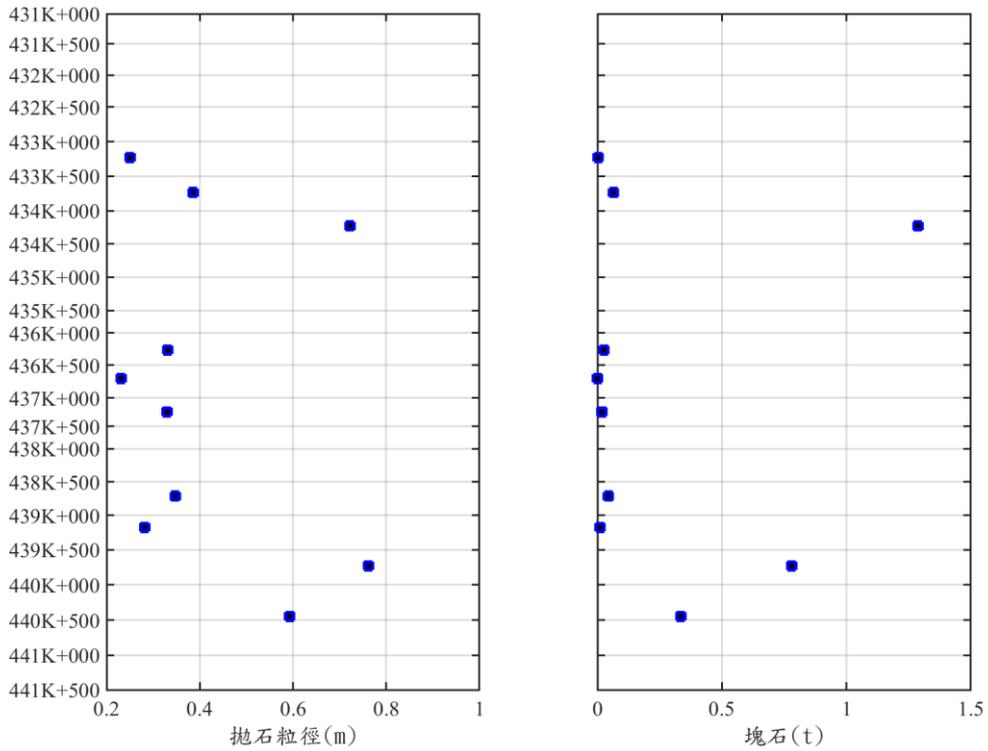


圖 4.18 南興至大武段塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑分布圖

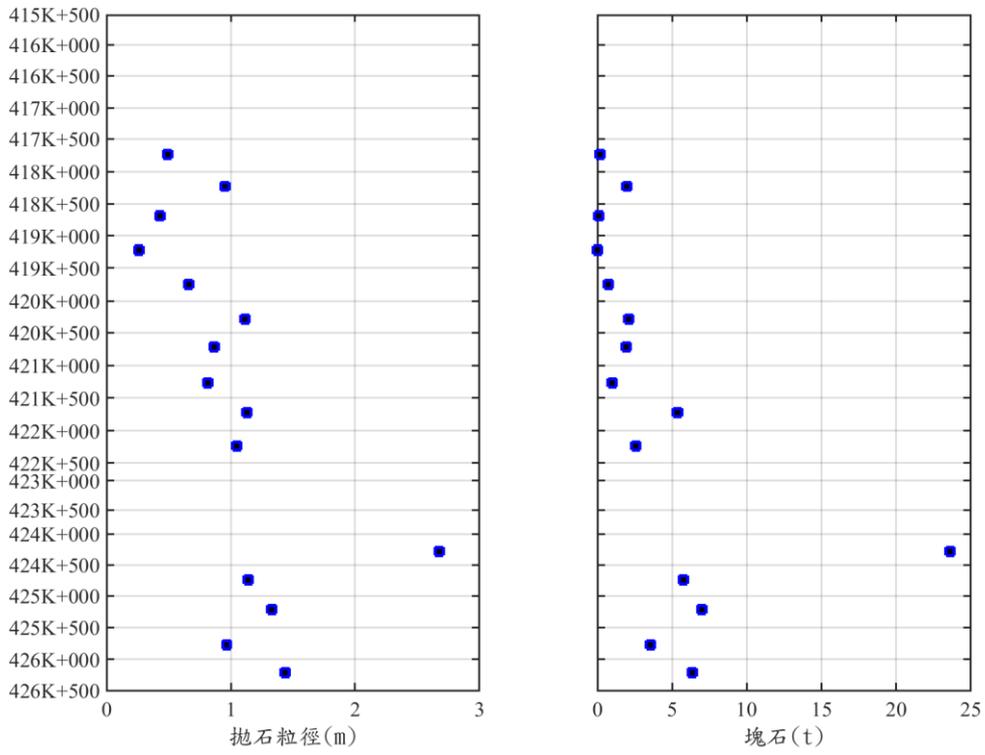


圖 4.19 加津林至多良段塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑分布圖

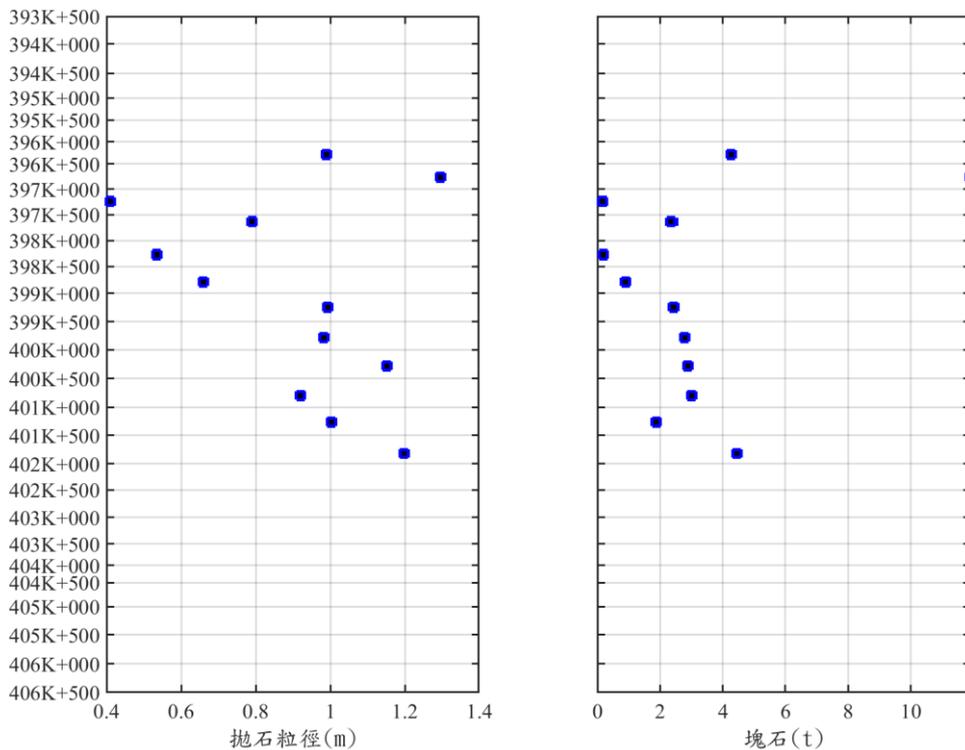


圖 4.20 香蘭至三和段塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑分布圖

### 4.2.3 地質特性分析

為說明台 9 線海岸公路地質特性，蒐集「消能式結構物應用於臺灣港灣設施保全之研究(4-4)」(運研所，2013 年)整理如後：

#### 1. 邊坡地質特性

台 9 線海岸地形之分類屬於岩岸，邊坡下海灘成分大多偏粗，以礫灘為主。公路位址之土壤性質多屬石質土夾雜有沖積土及崩積土，地層有八里灣層砂岩、砂頁岩互層、都鑾山層、沖積層、八里灣層礫岩、蕃薯寮層、安山岩質崩移岩塊、港口石灰岩層等。由於多處海岸公路位址之地質狀況不佳，土壤抗剪能力不足，加上岩性多處為節理不連續且長久風化、破碎之不穩定岩面，故極易引發落石、崩塌與邊坡滑動等問題，進而造成海岸公路路基或路面的安全性問題。

## 2. 逕流及土石沖蝕邊坡問題

東部海岸公路多沿陡峭山壁闢建，因此其路側之上邊坡坡度皆非常陡峭，加上地質非常不穩定，故常於颱風或豪雨季節發生土石或岩塊崩塌之事件。此種情形輕者交通中斷，若是崩落之土石體龐大或岩石巨大，則會有壓毀路面並損及側邊坡之穩定，進而威脅到後續海岸公路路基之穩定性。

### 4.2.4 海岸公路穩定性整體研析

綜合公路溢淹分析及海岸結構物安定性分析結果，波浪溯升高程大於路面高程之越波區域通常對應較大的護岸前坡塊石最小重量及堤趾基礎保護工最小粒徑，而這些公路溢淹熱點通常對應護岸結構前波高較大位置，說明在台 9 線公路下方地質狀況不佳，土壤抗剪能力不足情形下，若遭遇較大的入射波高整體狀況較不安定，若波浪拍擊強度大於護岸前坡塊石防護能力，則護岸前坡塊石容易剝落或傾倒，這呼應現場護岸前坡的破壞型態及災難類型。

## 4.3 公路溢淹災害特性分析評估

本章節主要針對台九線海岸公路「公路溢淹」災害特性分析結果進行評估。首先，會針對特性分析結果與往昔資料進行比對分析，探討本計畫評估「公路溢淹」致災潛勢區域之合理性。之後，則再針對分析結果進一步研提較嚴重之溢淹段，以利未來因應策略之參酌。

除本計畫第二章所蒐集之致災區相關資料外，本團隊亦與第三區養護工程處(以下簡稱養工處)取得往昔大武段曾經公路溢淹致災路段資料，彙整上述資料與本計畫災害特性分析結果進行比對驗證，其結果參見表 4-1。其中，由本計畫災害分析結果與往昔資料比對可知，南興至大武路段中，大武漁港以南為公路溢淹熱點，其中 440K+000 ~ 441K+000 為較顯著之路段；加津林至多良段中，以大竹溪以南 424K+500 周圍區域為致災熱區；香蘭至三和段中，以三和海濱公園周圍區域(396K+000 ~ 396K+500)為公路溢淹致災熱區。

表 4-1 公路溢淹災害特性分析比對與驗證

路段	往昔致災資料	說明
南興至大武路段	 <p>440K+080~440K+800</p>	<p>此為養工處提供資料。</p> <p>此路段為往昔易公路溢淹致災路段，而於本計畫災害分析結果中，440K+000 ~ 441K+000 亦有公路溢淹潛勢路段存在。</p>
南興至大武路段	 <p>440K+900 ~ 441K+360</p>	<p>此為養工處提供資料。</p> <p>此路段為往昔易公路溢淹致災路段，而於本計畫災害分析結果中，440K+500 ~ 441K+000 亦有公路溢淹潛勢路段存在。</p>
加津林至多良路段	 <p>參考「台九線海岸公路防浪保護工程之探討」報告資料，其中加津林 428.9K ~ 429.0K；大竹 424.0K ~ 424.4K；大溪 421.5K ~ 422.0K；多良</p>	<p>本計畫災害分析結果中，424K+000 ~ 424K+500（大竹）、421K+500 ~ 422k+000 亦有公路溢淹潛勢路段存在。然，加津林與多良路段雖亦有溯升高度接近公路高程現象，惟未為潛勢路段。</p>

	418.8K ~ 419.0K 均為易受浪襲路段。	
香蘭至三和路段	 <p data-bbox="328 757 1007 896">參考新聞報導資料，於今年度(107年9月)山竹颱風事件，三和海岸有遭受長浪侵襲致災之情況發生(該致災點位於 396K+000 ~ 396K+500 之間)。</p>	本計畫災害分析結果中，396K+000 ~ 396K+500之間亦為公路溢淹潛勢路段。

## 第五章 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：

### 5.1 夏、冬季及全年度代表性波浪條件及輸砂條件

#### 1. 代表性波浪條件

要描述漂沙特性與地形變遷現象前，需先決定外海入射波浪之特性。外海入射波波高( $H_i$ )與週期( $T_i$ )之選定乃採用椹木(1982)建議之方式，以下式求得。

$$\sum(T_i \times P_i) = T_t \times \sum P_i \quad (5-1)$$

$$\sum(H_i^2 \times Cg_i \times P_i) = H_t^2 \times Cg_t \times \sum P_i \quad (5-2)$$

式中  $Cg$  為群波波速， $P$  為波浪所佔之比例， $H$  與  $T$  分別為波浪之波高與週期，而下標  $i$  表示單一波浪之特性，下標  $t$  則為所求之代表波浪特性。

本計畫研究中長期地形變遷，首先分析計畫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，資料結果如圖 5.1，資料長度為 2010/09~2018/03。進一步將夏季以及冬季分開統計，其波浪特性玫瑰圖如圖 5.2，根據季節性示性波高、週期之累積機率分布可推估本計畫區內在夏季季風期間代表性波高=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。

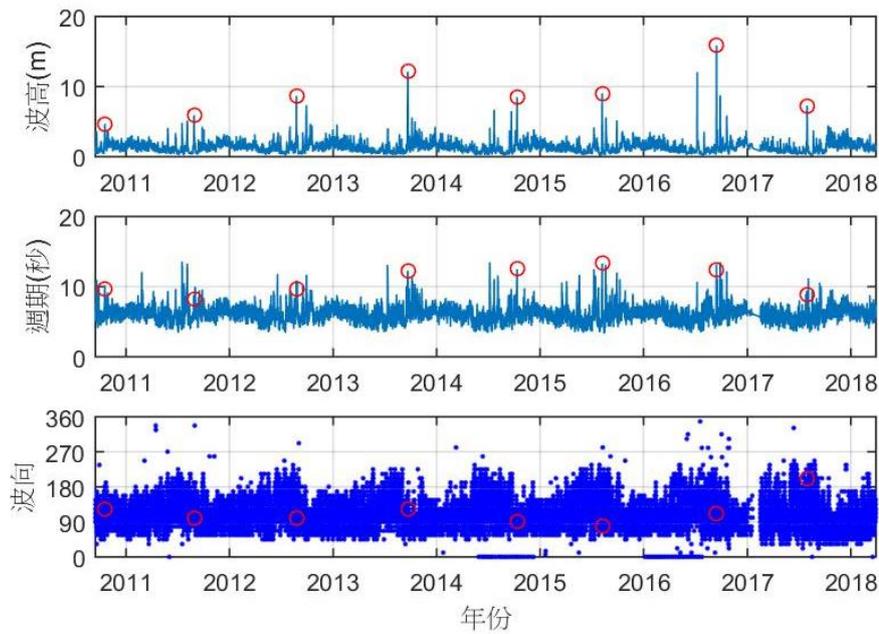


圖 5.1 臺東浮漂波浪資料時序列

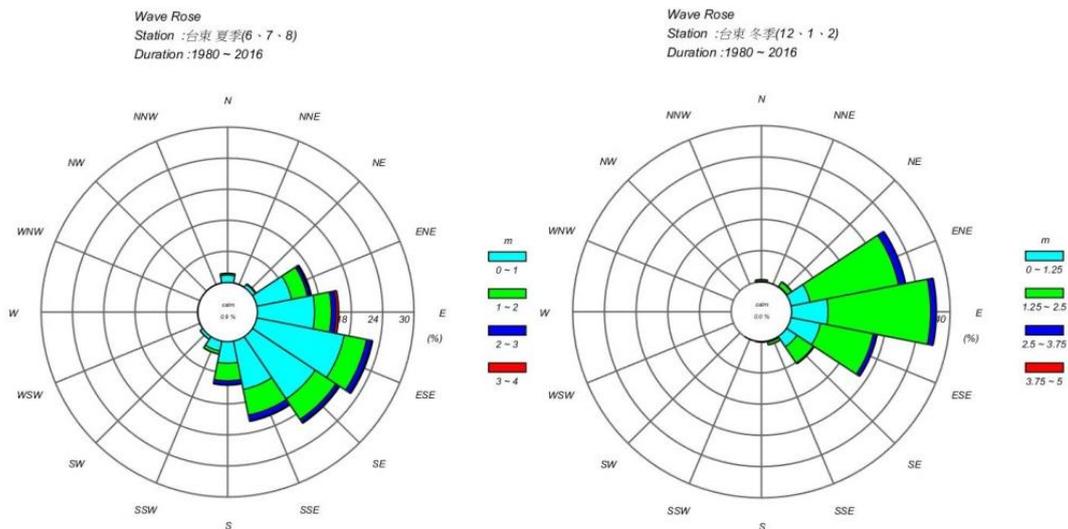


圖 5.2 臺東浮漂夏、冬季波浪資料統計結果

## 2. 河川輸砂計算條件

本計畫河川懸浮質給定採用「東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(2/2)」調查結果之河口懸浮值粒徑，如表 5-1。另，河川流量以及輸砂量計算採用太麻里溪平均年輸砂量約為 153 萬立方公尺/年，換算成平均輸砂率(120kg/s)，對應 2.4.2 節太麻里溪河川流量

及輸砂率公式，經計算結果約採用整數為 20(cms)，由於計畫區河川特性差異不大，故於各河川輸砂模擬均採用此數據。

表 5-1 太麻里溪河口底質粒徑大小組成成分表

	X	Y	D10	D16	D25	D30	D50	D60	D75	D84	D90	Dm	Cu	grvl(%)	sand(%)	silt(%)
TMRN-L	250840	2498731	1.70	2.42	3.05	3.47	5.75	7.34	10.44	12.63	16.36	7.73	4.32	95.74	4.26	0.00

單位:mm

## 5.2 地形變遷趨勢模擬結果

地形變遷計算海象條件是利用上述分析之代表性波浪條件計算；流場則採用中域模式計算的水位及流速結果；海岸底質粒徑之中質粒徑為 10 mm，海岸漂沙模擬利用 Van Rijn 漂沙理論，並配合地形變遷加速因子計算中長期地形變遷情況。計算結果展示如圖 5.3~圖 5.20，圖中結果以全年度代表性波浪計算結果描述之，以瞭解計畫區全年度地形變化之定性趨勢。再將夏、冬季及全年度條件之地形變遷計算結果，分別以「南興至大武段」、「加津林至多良段」及「香蘭至三和段」分述如后所示：

### 1. 南興至大武段

由圖 5.3~圖 5.5 夏季期間平均流場計算結果顯示，南興至大武段，夏季普遍沿岸流往北，位於 435K+500 河口處位置則出現往南之沿岸流，研判此流場方向應受地形影響導致。於冬季波浪條件下，大武地區沿岸流場，不分區段呈現全面往南之趨勢，且其平均流速明顯較強。由全年平均趨勢觀之，整體沿岸流以往南為主。

由地形侵淤趨勢模擬分析結果可見圖 5.6~圖 5.8，夏季河川輸砂集中至河口兩側及水深 20 m 位置，漂沙影響最北過 433k+000 計算邊界位置，南向漂沙可至大武漁港，惟砂源較無法到達南興路段區域，整體地形變遷結果顯示夏季代表性條件其海岸侵蝕現象較不明顯。由冬季侵淤結果顯示，河川輸砂以往南為主，往南可補充至南興路段海岸，整體海岸零米線至五米水深處位置，有較明顯

之侵蝕帶。進一步由全年度結果觀之，河川輸砂包含大武漁港在內由南至北皆有分布，南興路段外側雖有漂沙補注，其漂沙大部分沉積位置可能較深，其海岸線分布仍呈現略為侵蝕之趨勢。

## 2. 加津林至多良段

由圖 5.9~圖 5.11 夏季期間平均流場計算結果顯示，加津林至多良段，夏季普遍沿岸流往北；冬季期間，整段海岸呈現全面往南之趨勢，且其平均流速明顯較強。冬季往南沿岸流較強，其原因和冬季波浪條件所引致近岸流流向與外部海流方向一致影響有關。由全年平均趨勢觀之，整體沿岸流以往南為主，整體沿岸流趨勢類似於冬季趨勢。

由圖 5.12~圖 5.14 地形侵淤趨勢模擬分析結果可知，夏季河川輸砂集中至河口兩側以及水深 20 米處位置，漂沙往北影響至 420k+000 附近，整體地形變遷結果顯示夏季代表性條件其海岸侵蝕現象較不明顯。冬季時侵淤結果顯示，河川輸砂淤積以往南為主，於河口北側海岸零米線至五米水深處位置，有較明顯之侵蝕帶。進一步由全年度結果觀之，河川輸砂由南至北皆有分布，其大竹溪以北海岸線有較顯著侵蝕趨勢；大竹溪以南接近河口處亦有侵蝕現象發生。

## 3. 香蘭至三和段

由圖 5.15~圖 5.17 夏季期間平均流場計算結果顯示，香蘭至三和段，夏季於太麻里溪口近岸流有往北趨勢，與此區外側海流往南流向相反，此現象至 399k+000 位置後不明顯，該路段其餘地點於夏季期間仍然出現往南之趨勢，研判可能為外圍海潮流影響所致。冬季期間，不分區段呈現全面往南之趨勢，冬季往南沿岸流較強，其原因與冬季波浪條件所引致沿岸流場流向與外部海流流向一致影響有關。由全年平均趨勢觀之，整體沿岸流以往南為主。

由圖 5.18~圖 5.20 地形侵淤趨勢模擬分析結果可見，夏季河川輸砂集中至河口南北兩岸 400k+000~409k+000，整體地形變遷結果

顯示，夏季代表性條件其海岸侵蝕現象較不明顯；冬季時侵淤結果顯示，河川輸砂往南淤積，於河口北側海岸零米線至五米水深處位置，有較明顯之侵蝕帶，侵蝕趨勢從太麻里溪河口北側至三和路段。進一步由全年度結果可知，河川輸砂以南向輸送為主，整體而言，太麻里溪以南呈現有淤積趨勢；以北則以侵蝕趨勢為主。

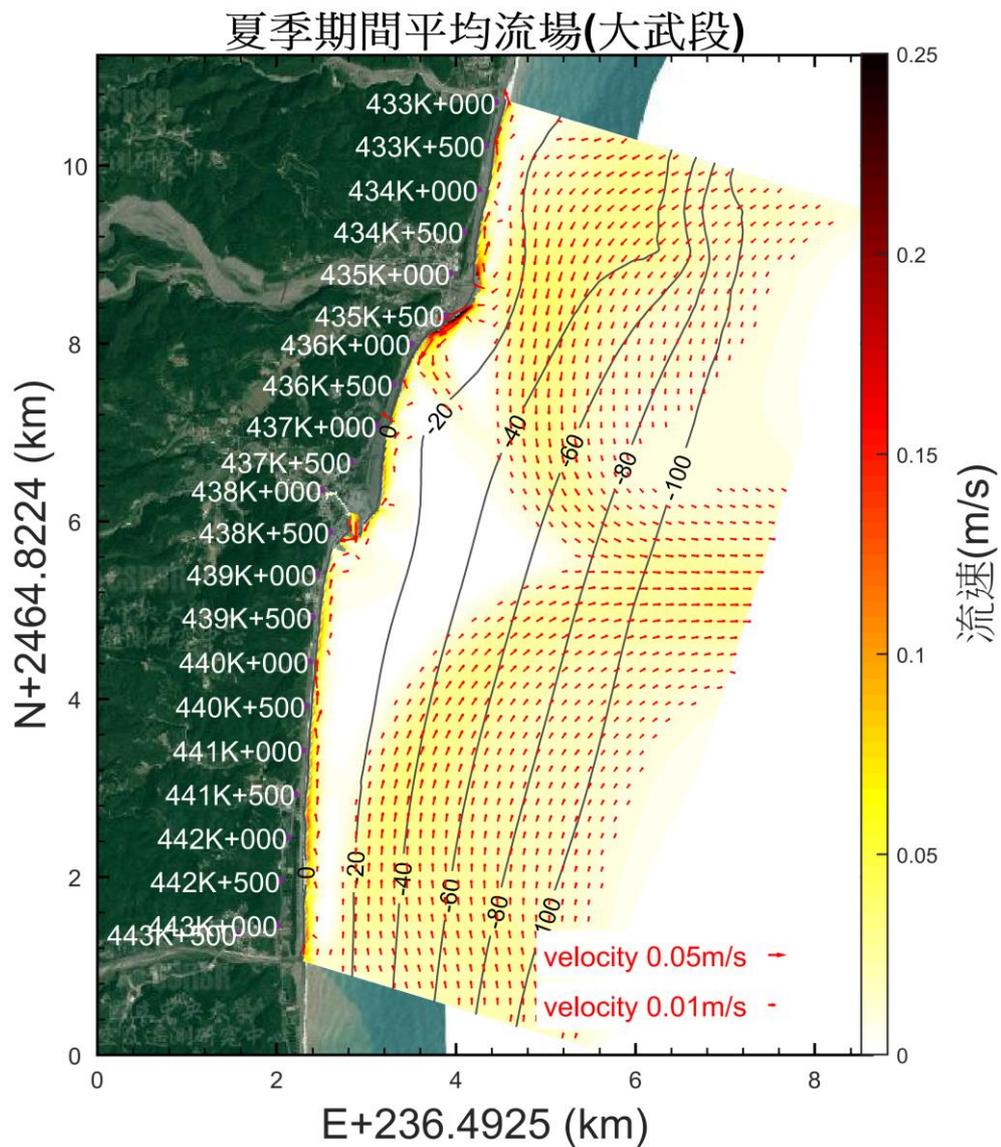


圖 5.3 夏季期間平均流場(南興至大武段)

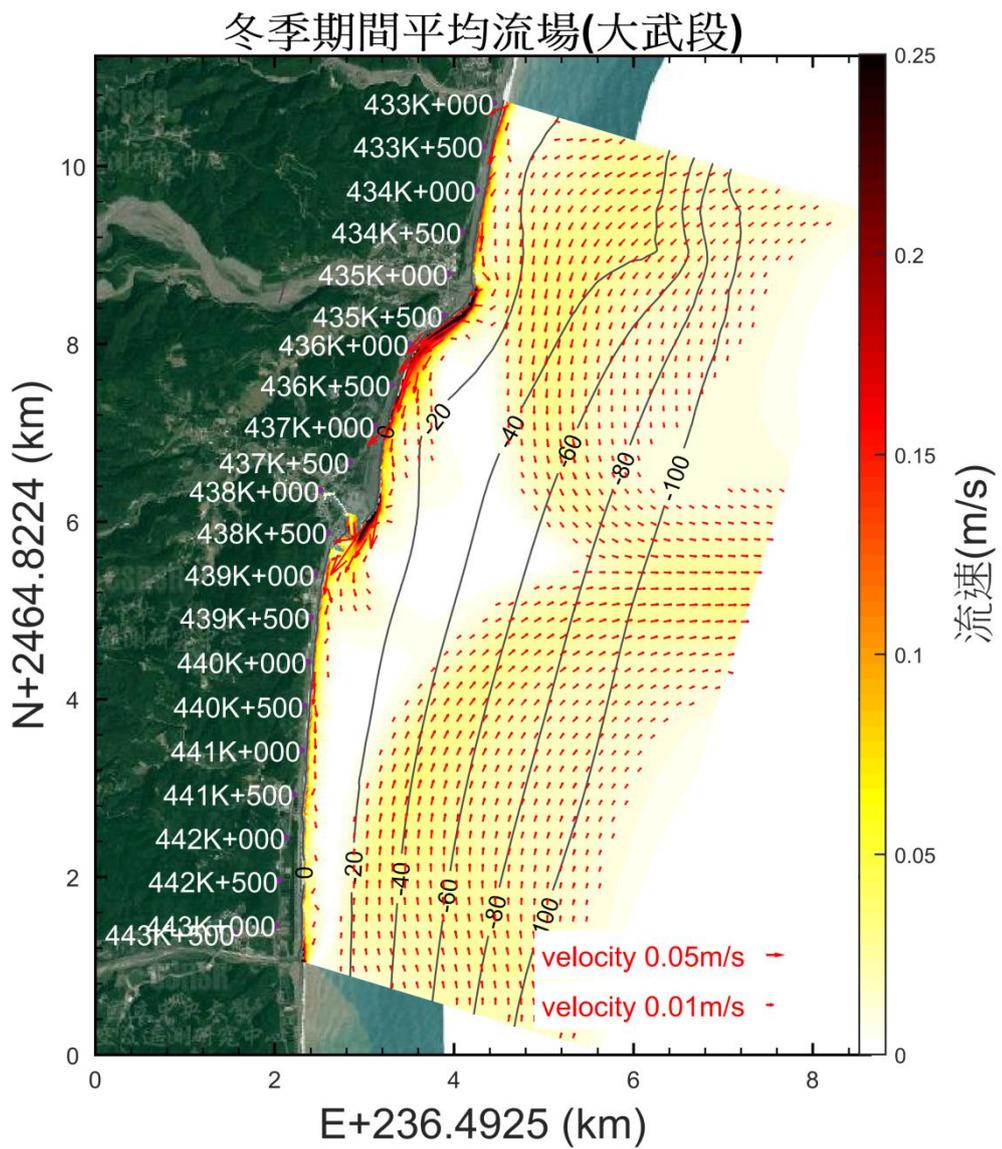


圖 5.4 冬季期間平均流場(南興至大武段)

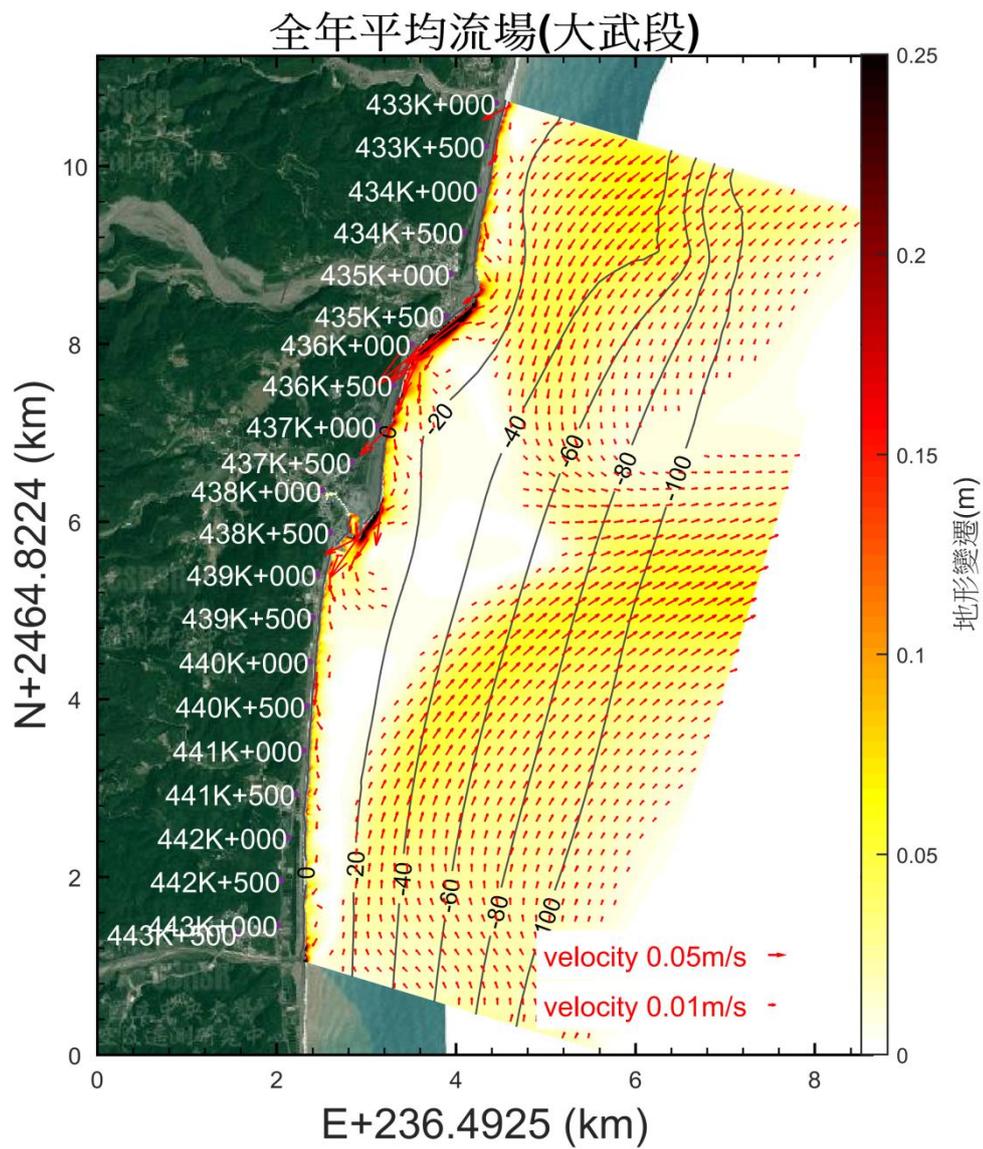


圖 5.5 全年度平均流場(南興至大武段)

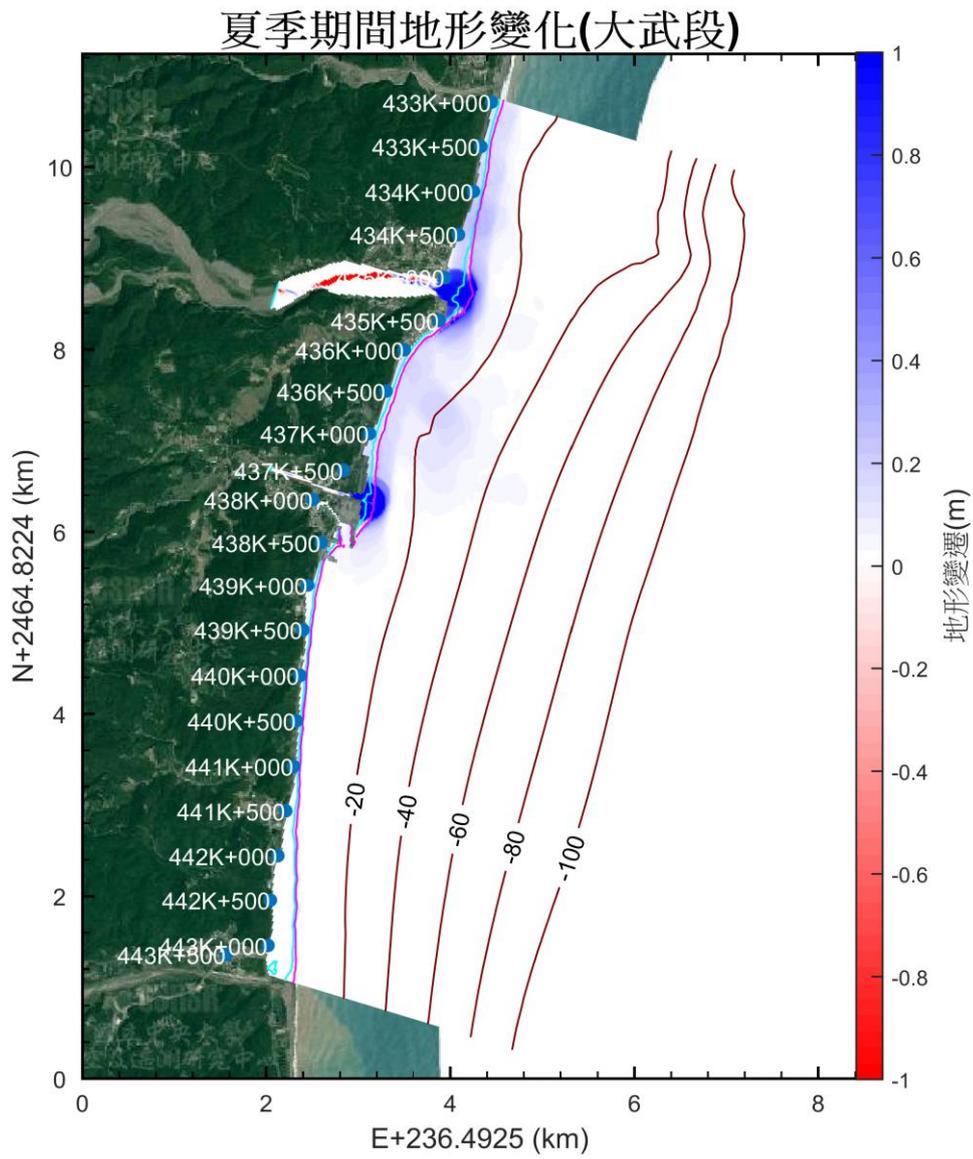


圖 5.6 夏季地形變化結果(南興至大武段)

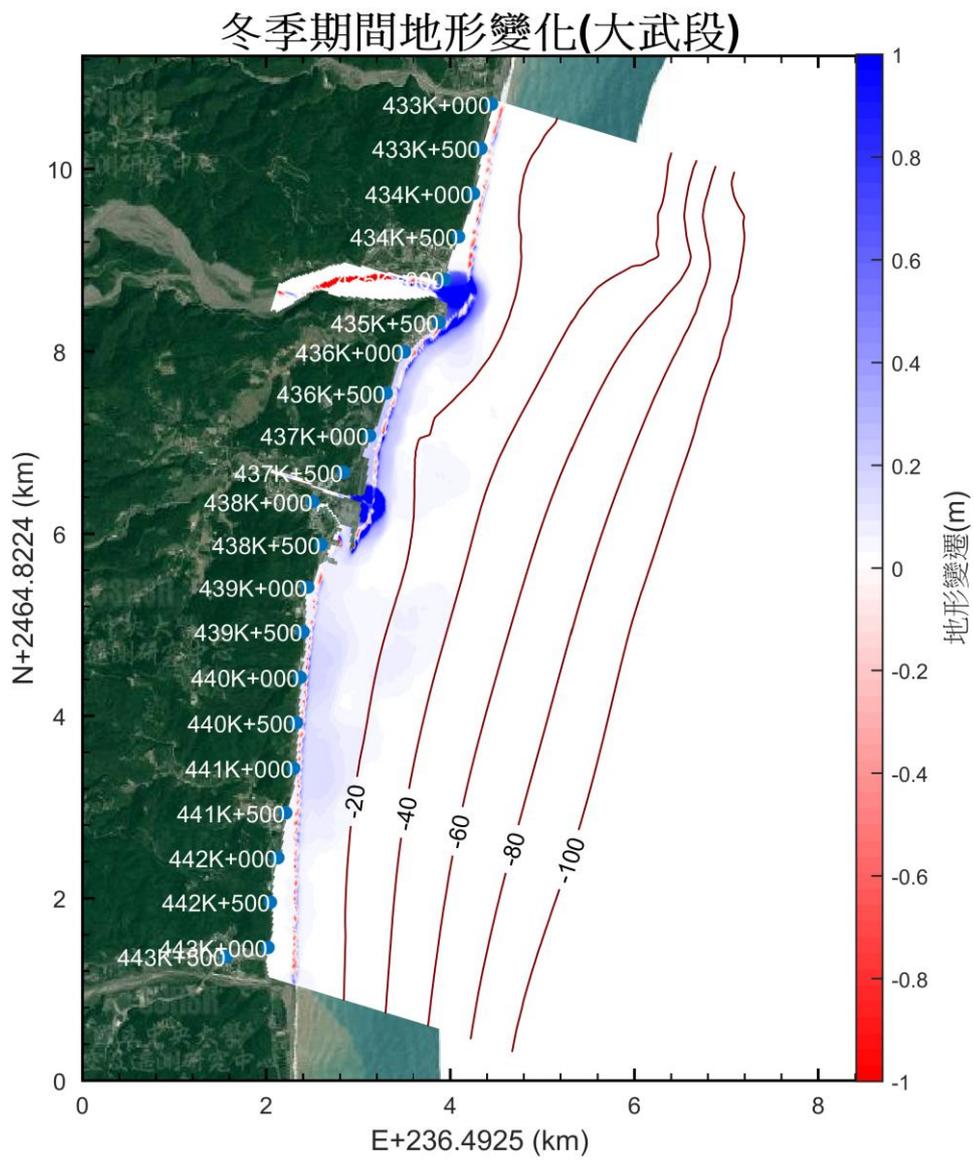


圖 5.7 冬季地形變化結果(南興至大武段)

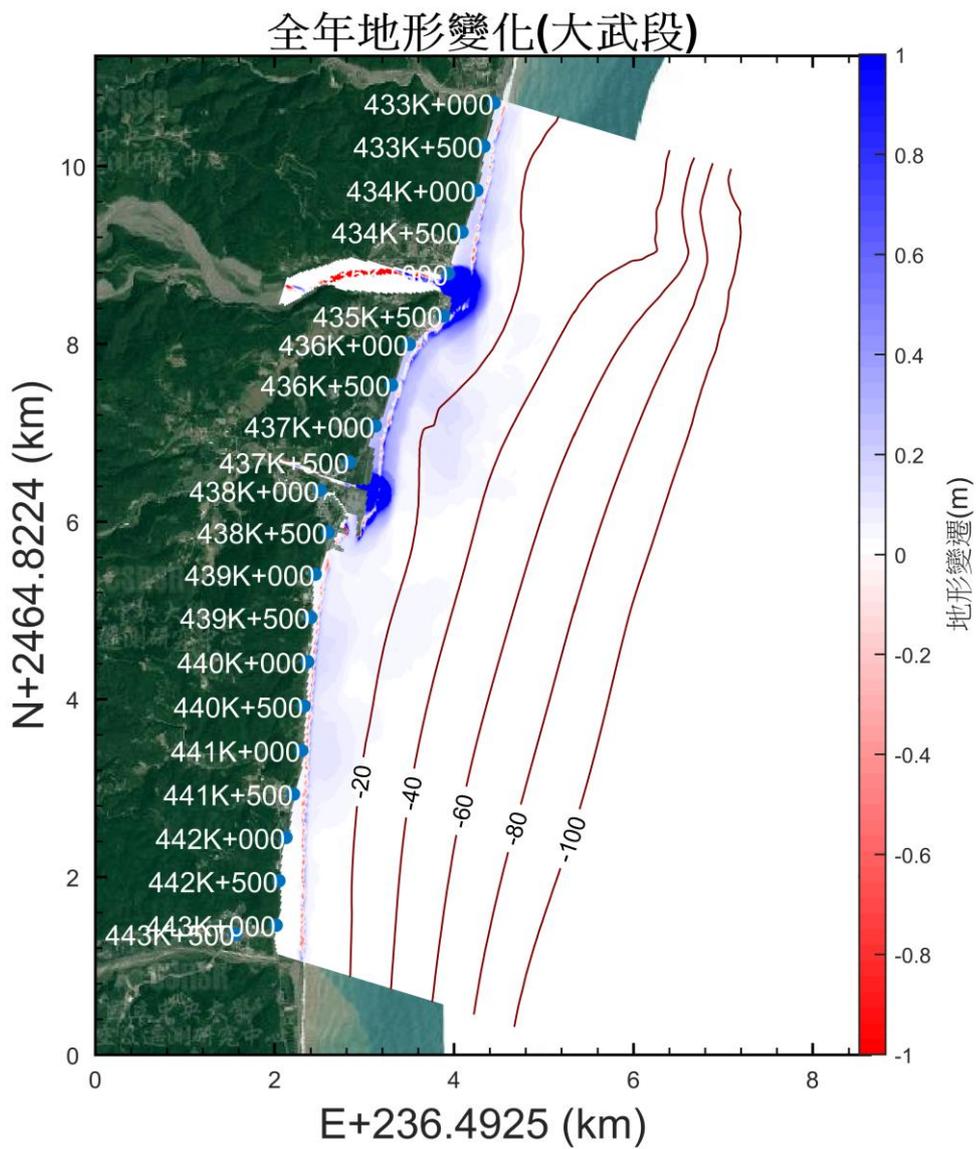


圖 5.8 全年度地形變化結果(南興至大武段)

### 夏季期間平均流場(多良段)

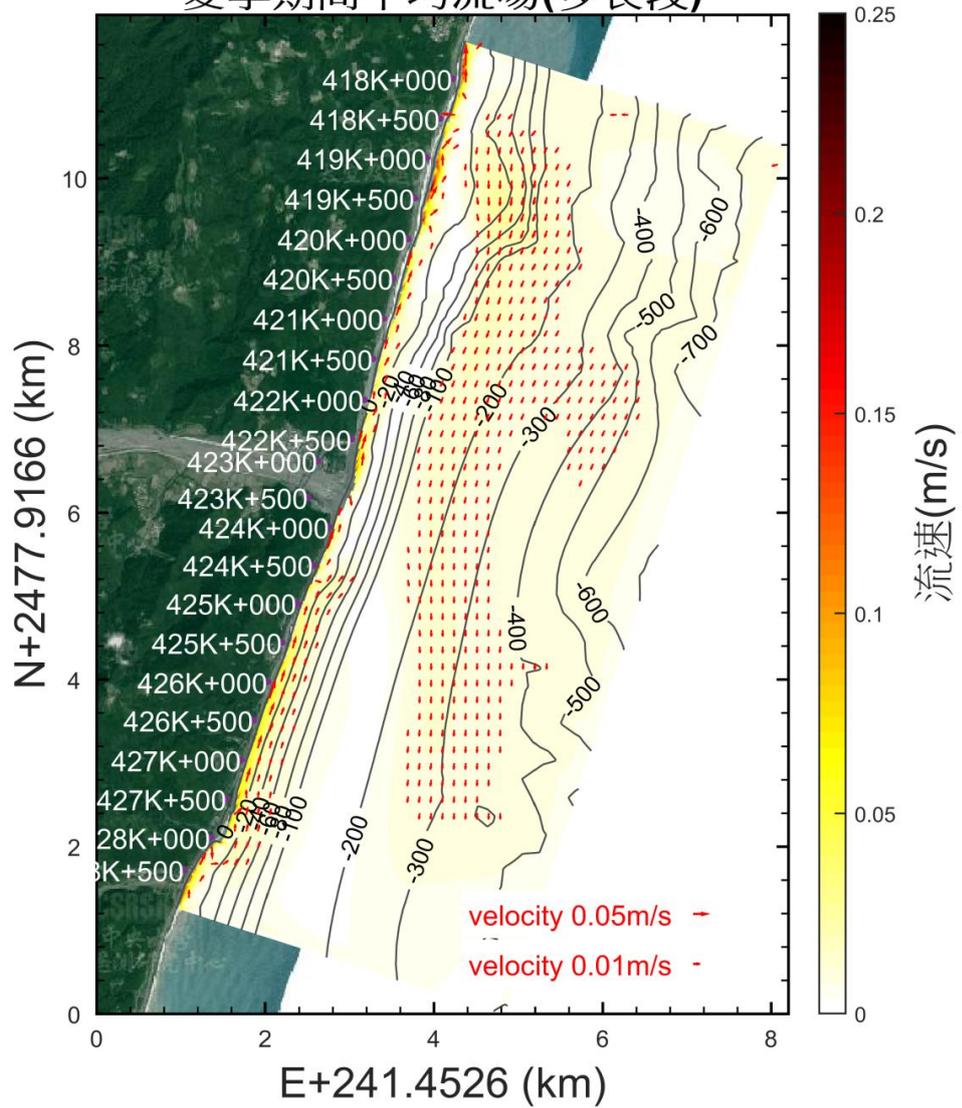


圖 5.9 夏季期間平均流場(加津林至多良段)

### 冬季期間平均流場(多良段)

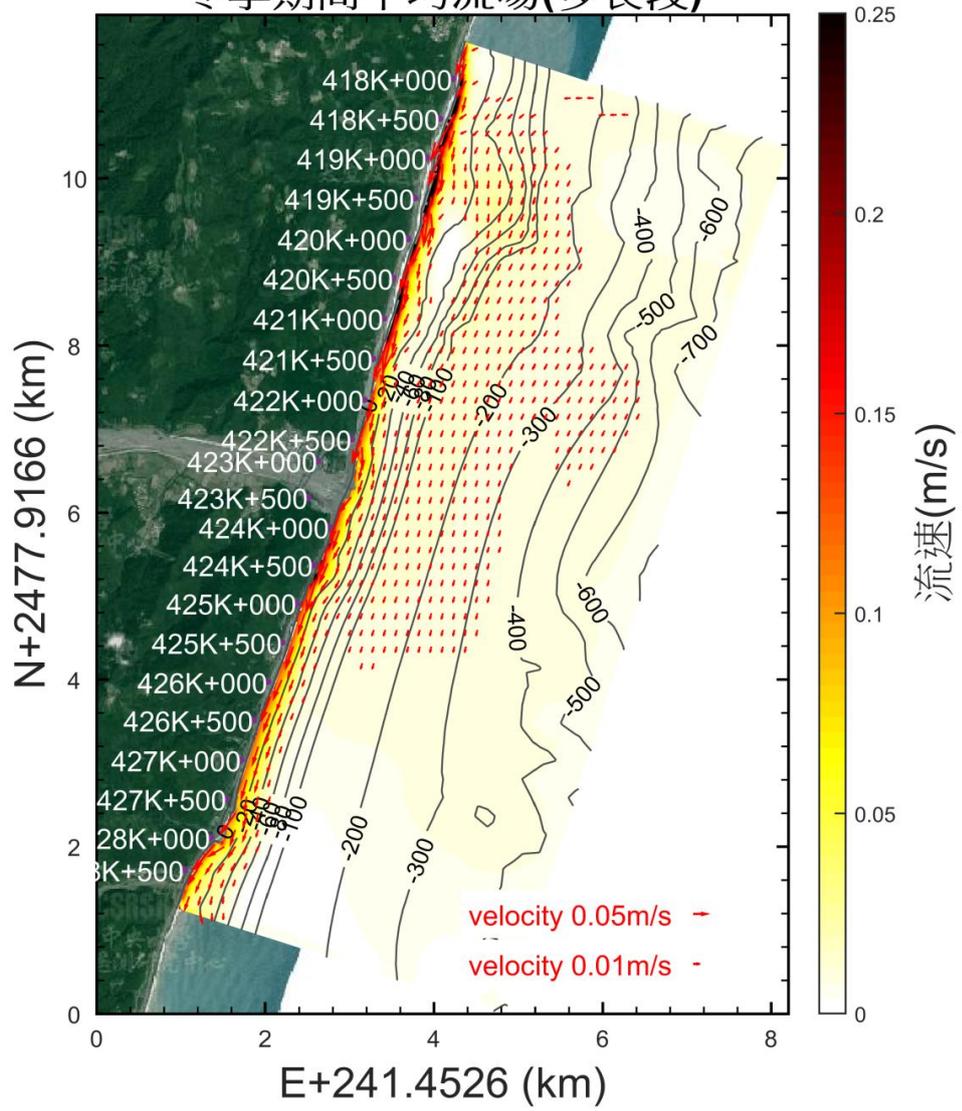


圖 5.10 冬季期間平均流場(加津林至多良段)

### 全年平均流場(多良段)

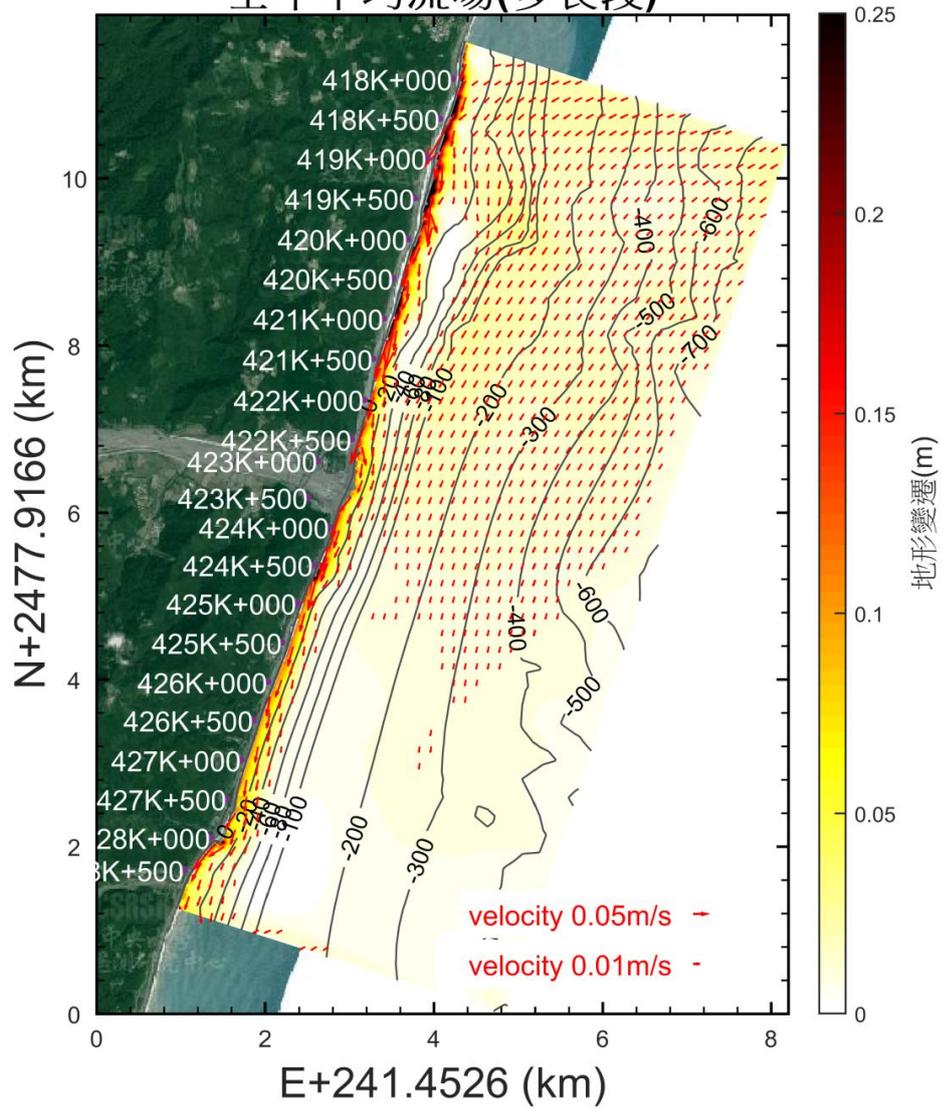


圖 5.11 全年度平均流場(加津林至多良段)

### 夏季期間地形變化(多良段)

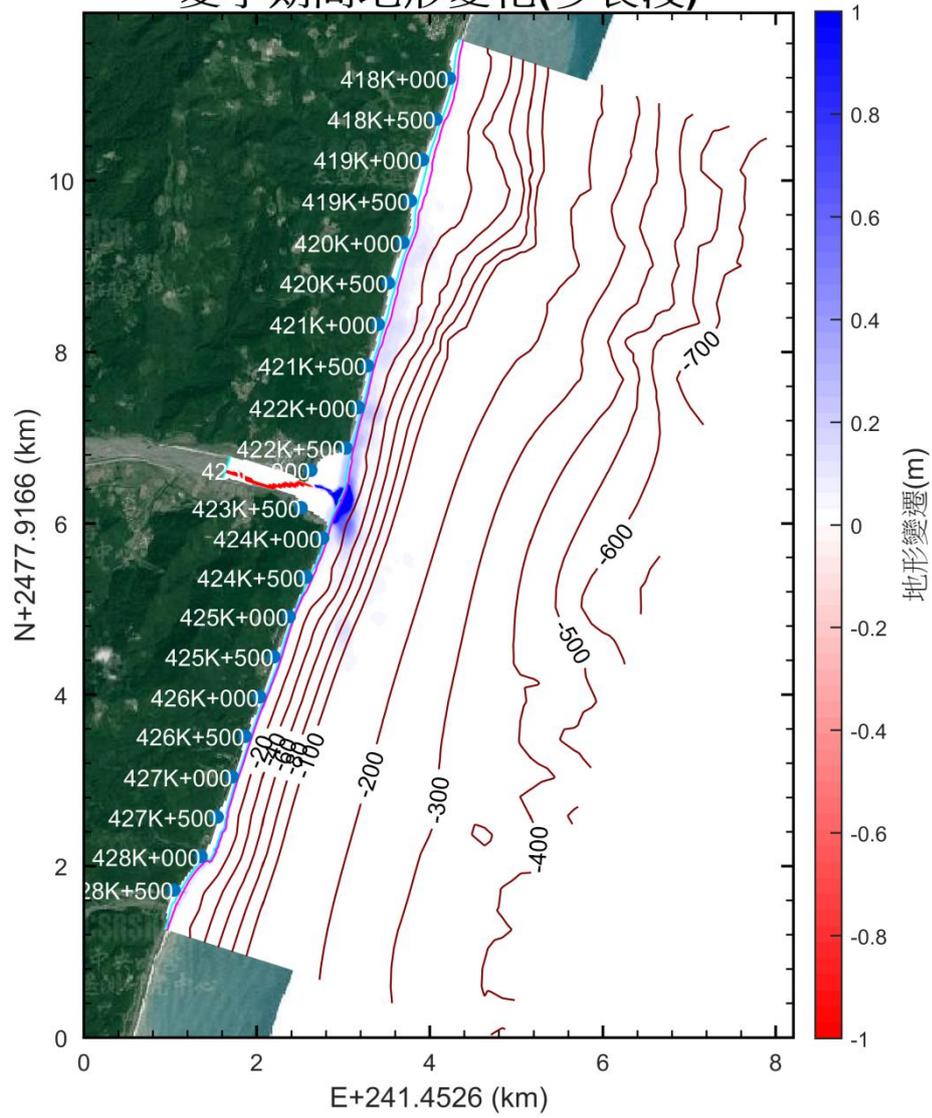


圖 5.12 夏季地形變化結果(加津林至多良段)

### 冬季期間地形變化(多良段)

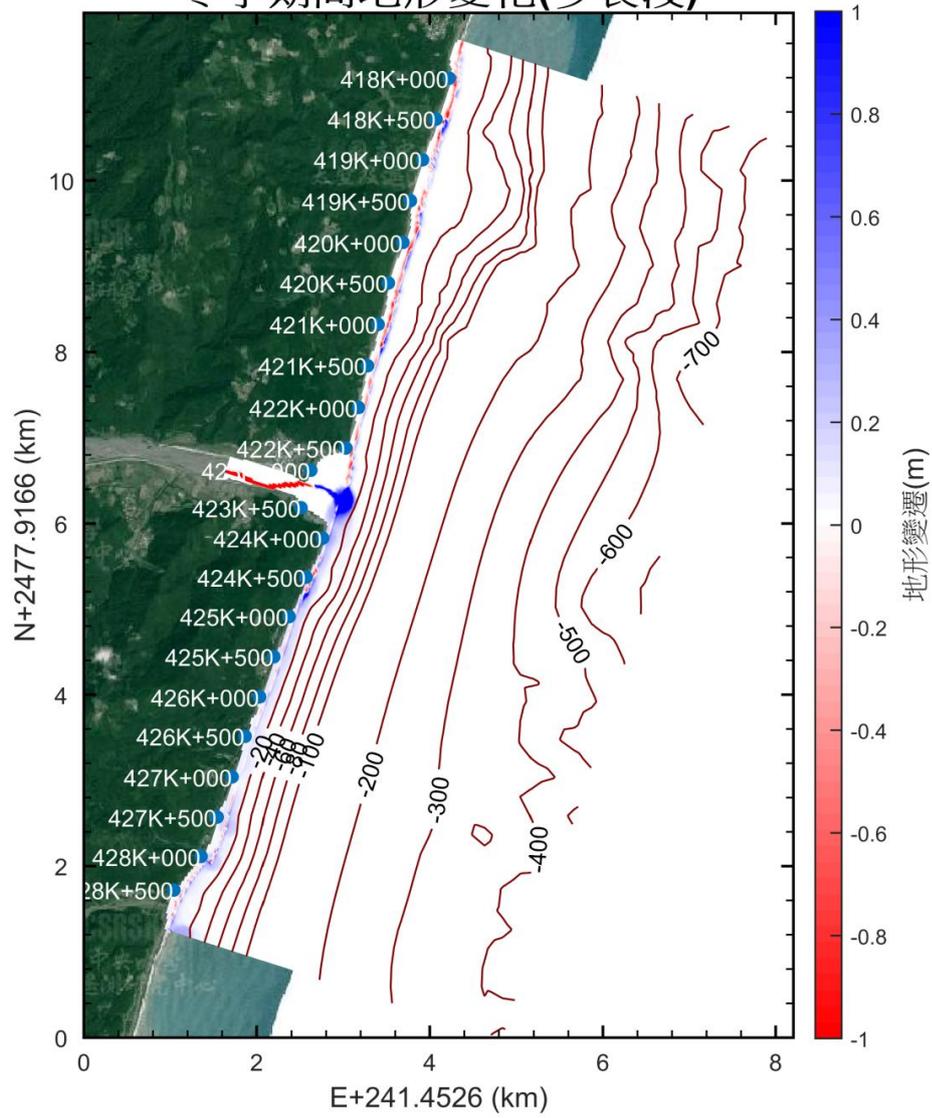


圖 5.13 冬季地形變化結果(加津林至多良段)

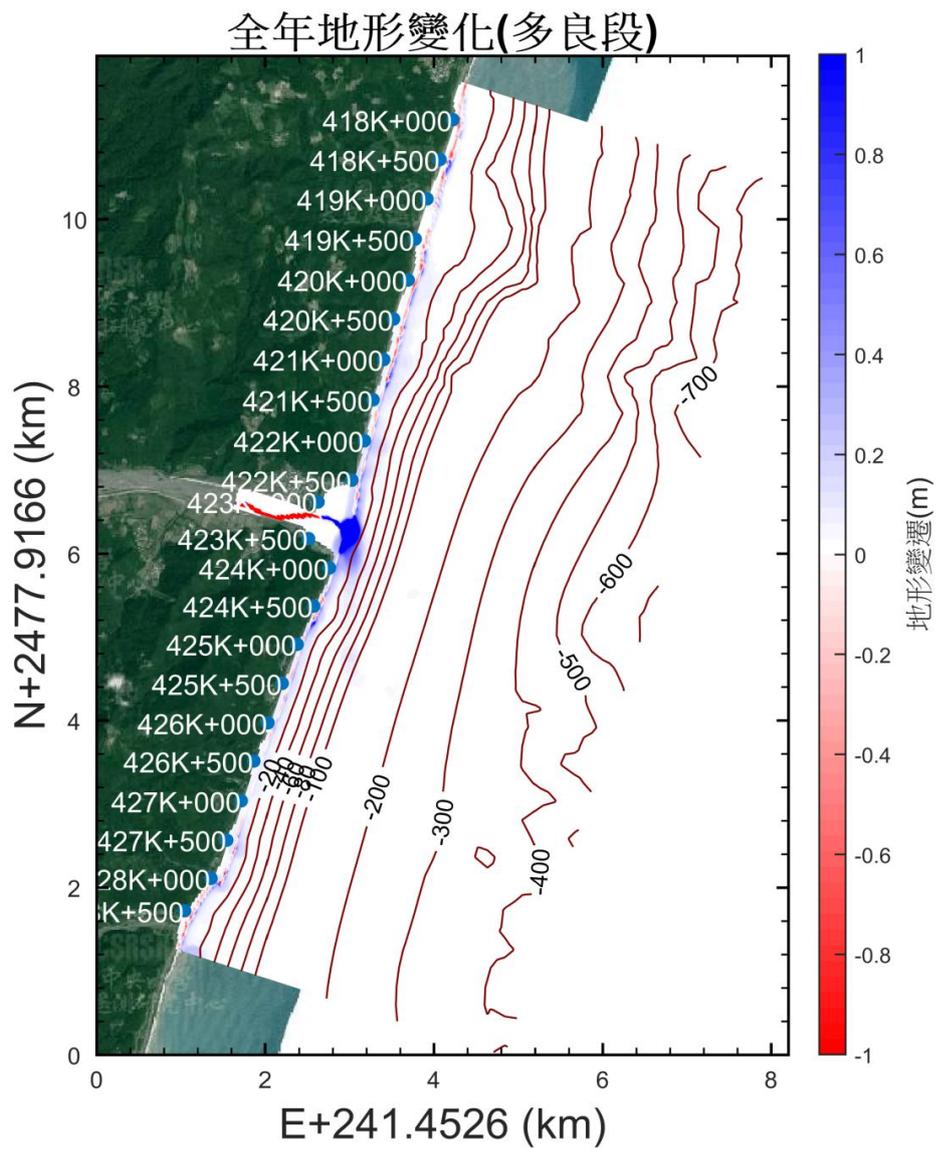


圖 5.14 全年度地形變化結果(加津林至多良段)

### 夏季期間平均流場(香蘭段)

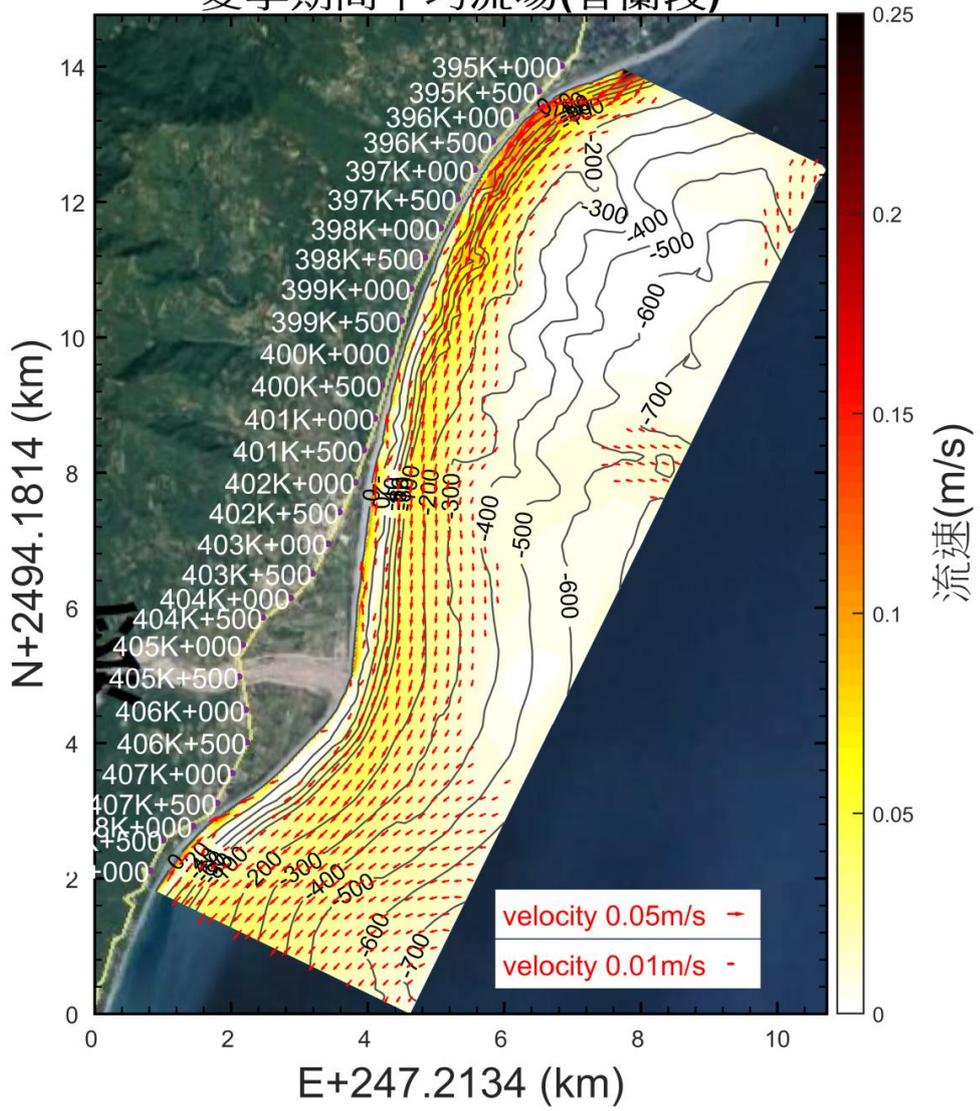


圖 5.15 夏季期間平均流場(香蘭至三和段)

### 冬季期間平均流場(香蘭段)

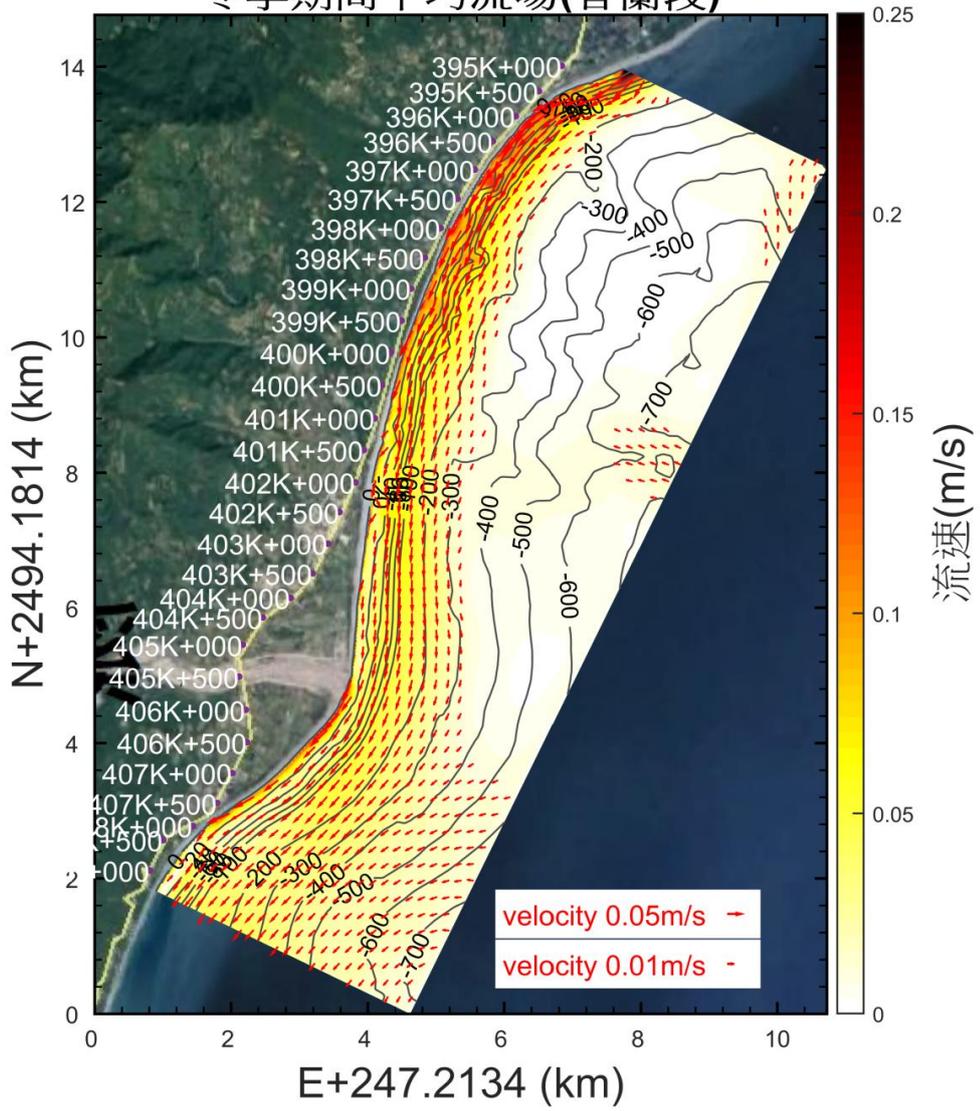


圖 5.16 冬季期間平均流場(香蘭至三和段)

### 全年平均流場(香蘭段)

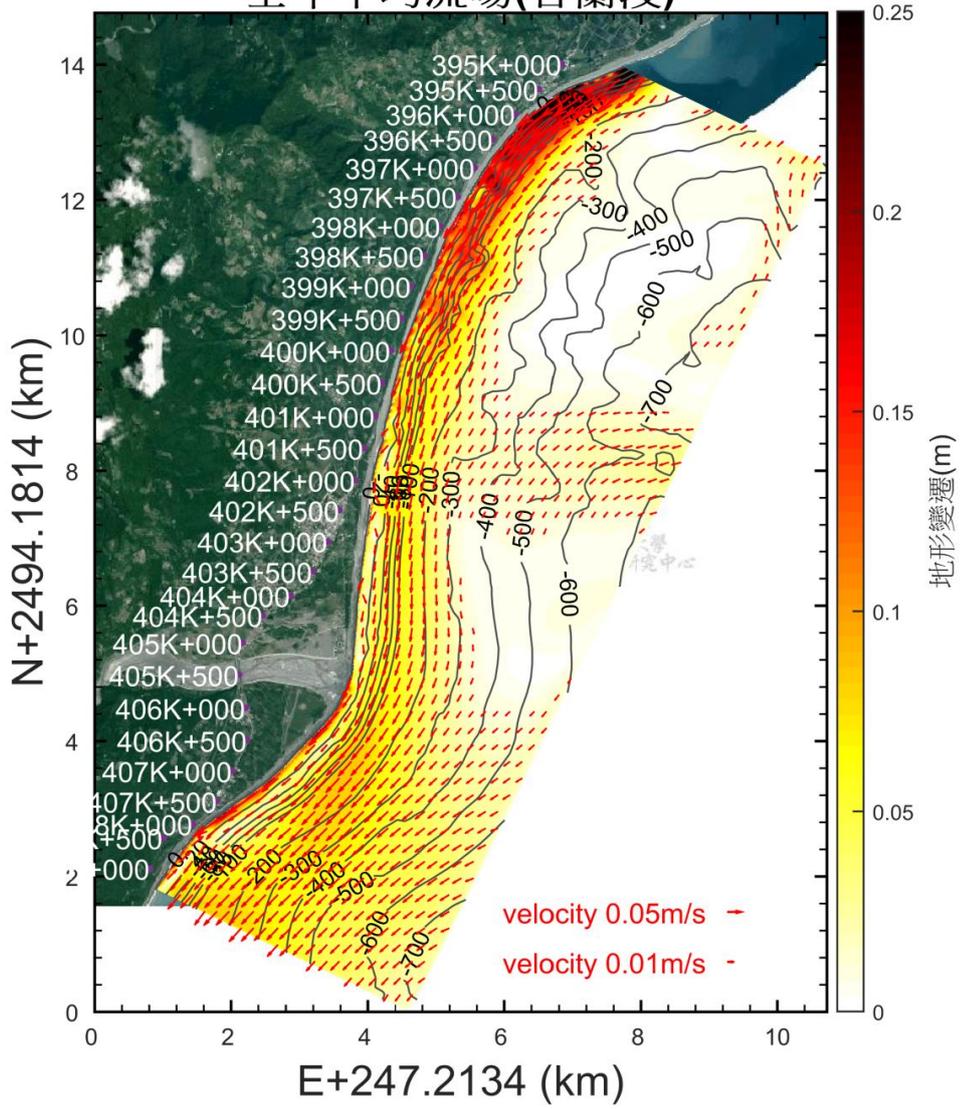


圖 5.17 全年度平均流場(香蘭至三和段)

### 夏季期間地形變化(香蘭段)

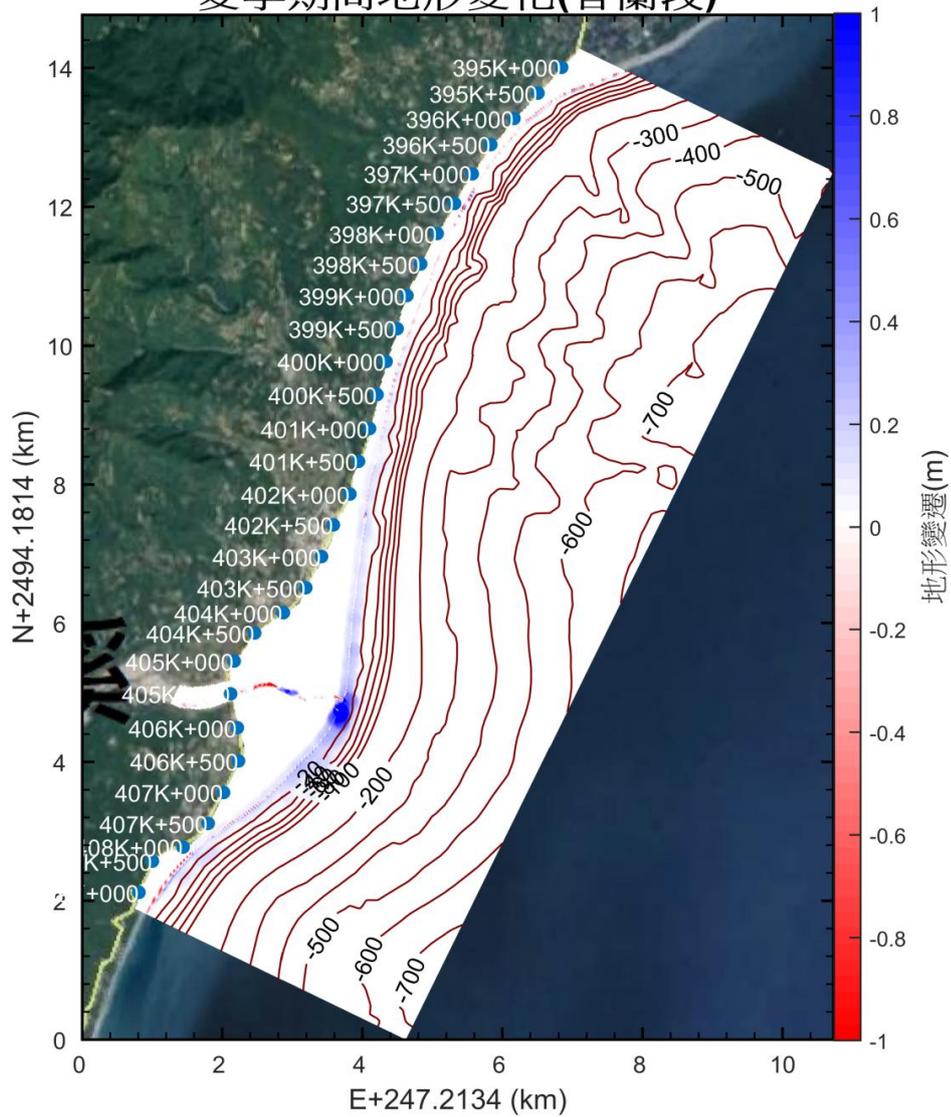


圖 5.18 夏季地形變化結果(香蘭至三和段)

### 冬季期間地形變化(香蘭段)

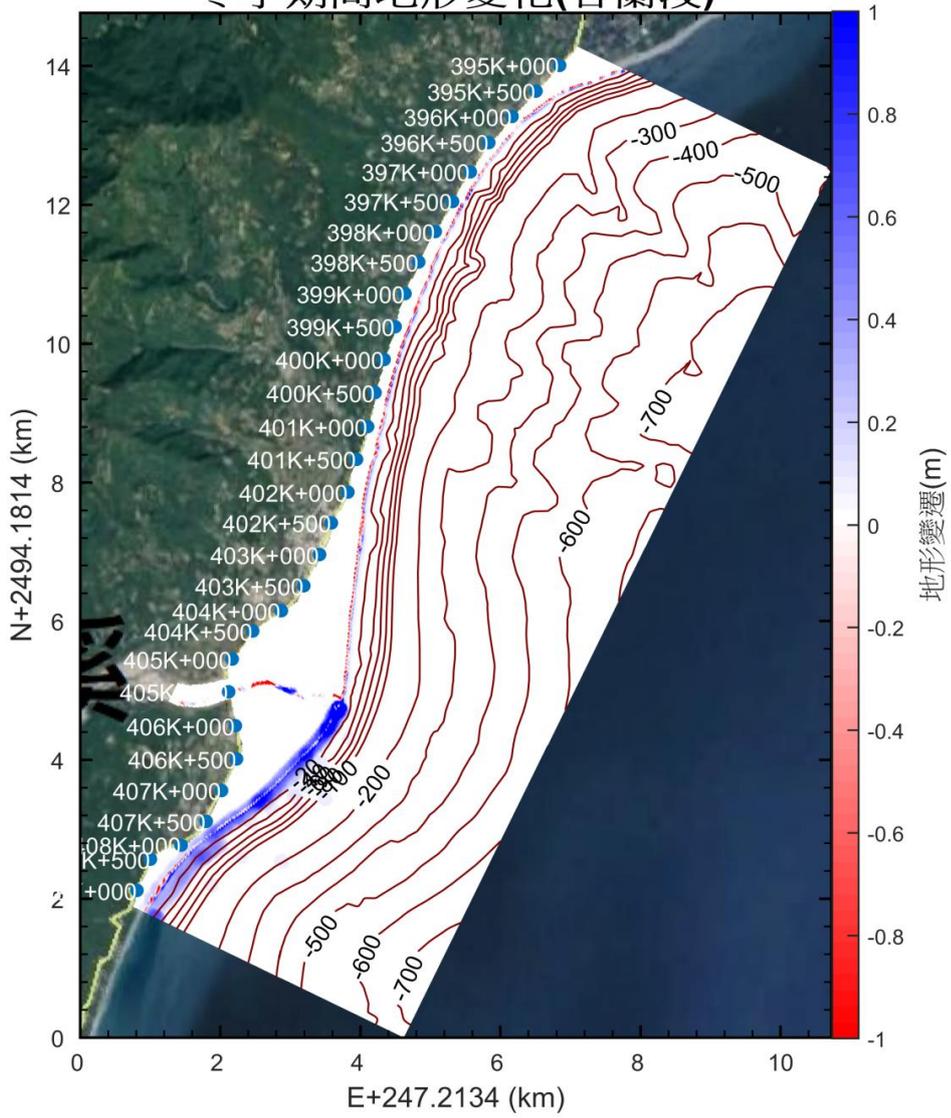


圖 5.19 冬季地形變化結果(香蘭至三和段)

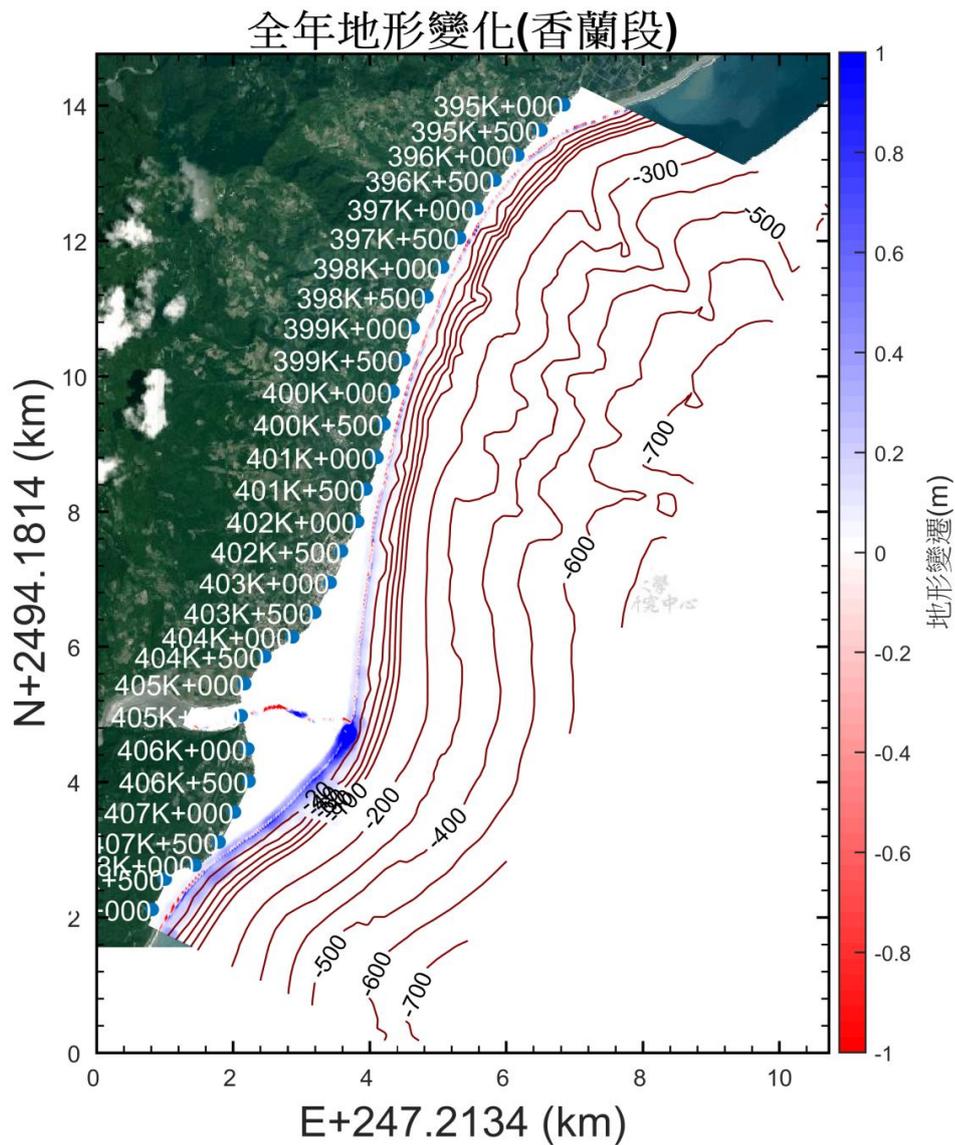


圖 5.20 全年度地形變化結果(香蘭至三和段)

### 5.3 海岸侵淤災害分析

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 5.21)

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 5.22)

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 5.23)

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。

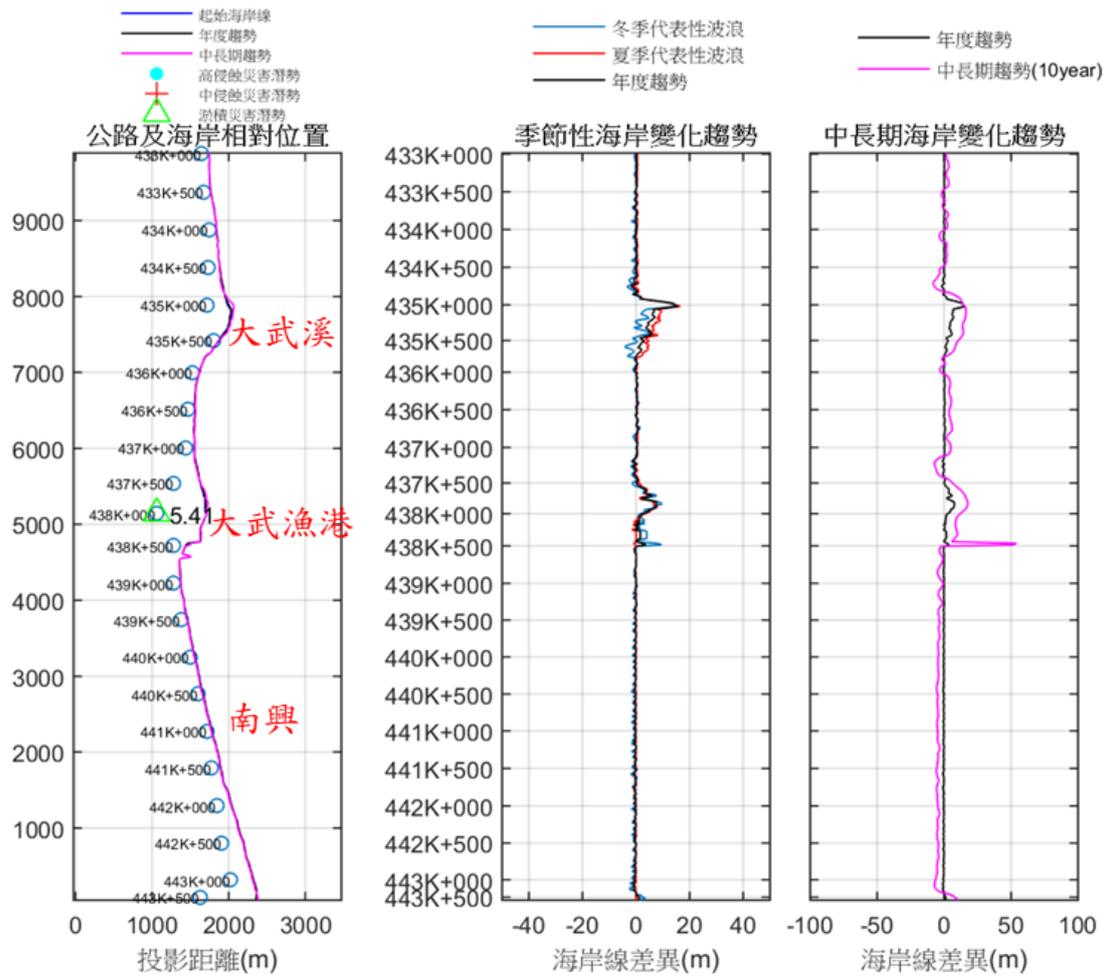


圖 5.21 南興至大武段段海岸線侵淤趨勢變化成果

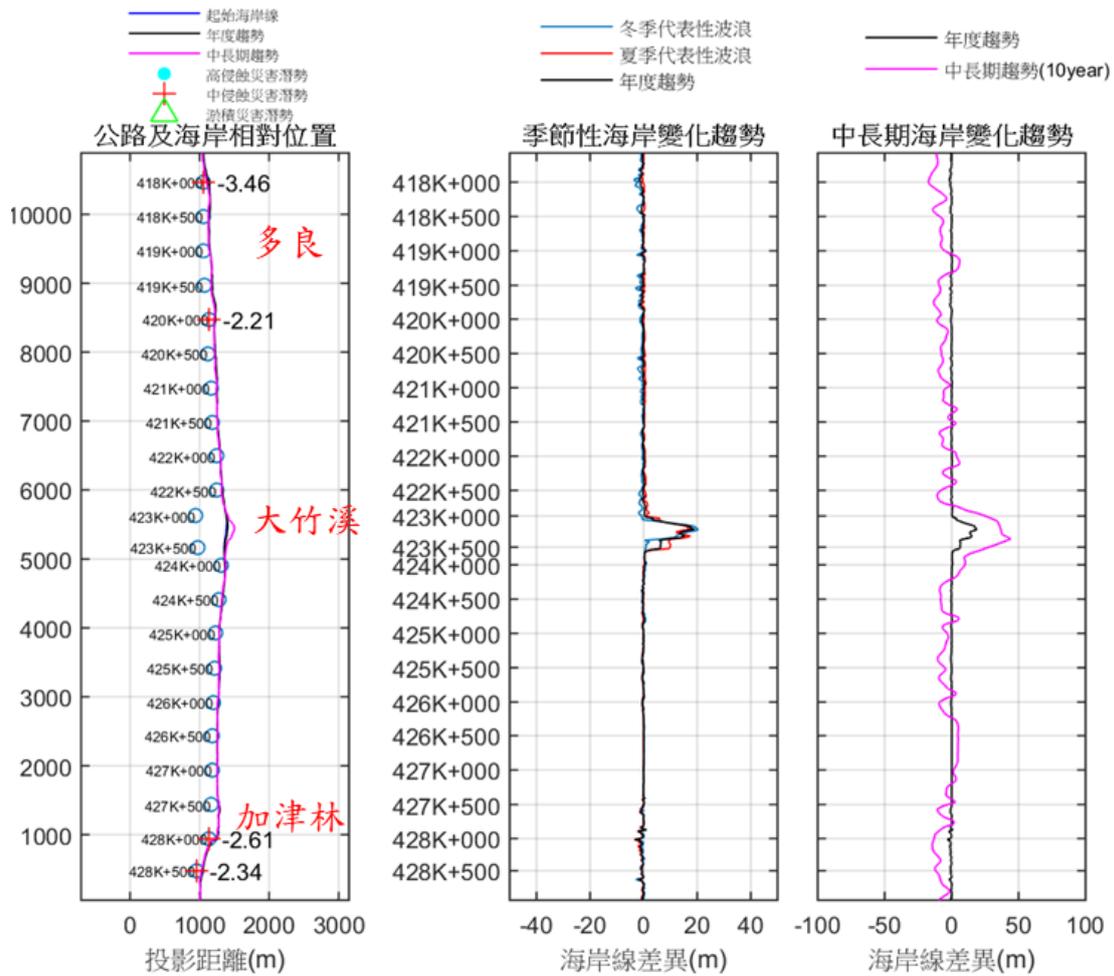


圖 5.22 加津林至多良段侵淤趨勢變化成果

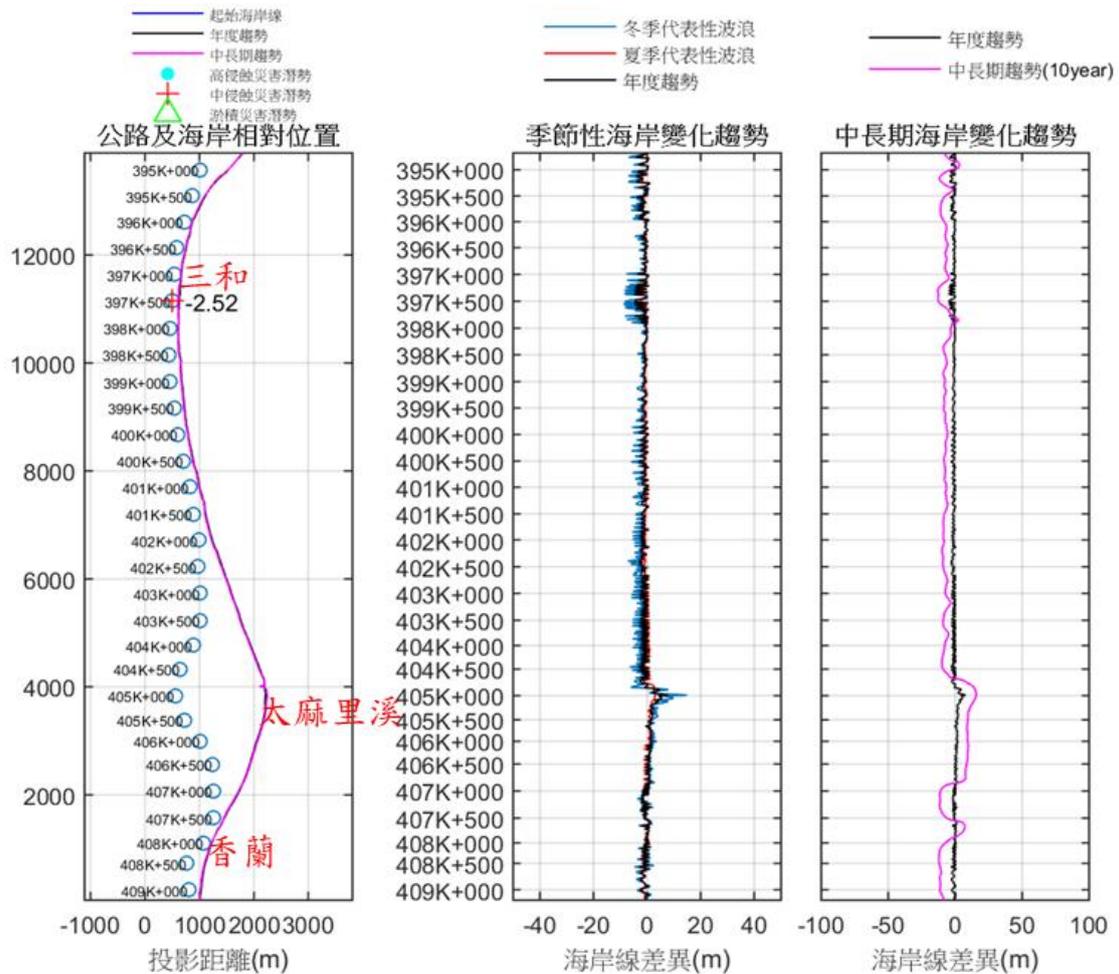


圖 5.23 香蘭至三和段侵淤趨勢變化成果

## 5.4 海岸侵淤特性分析評估

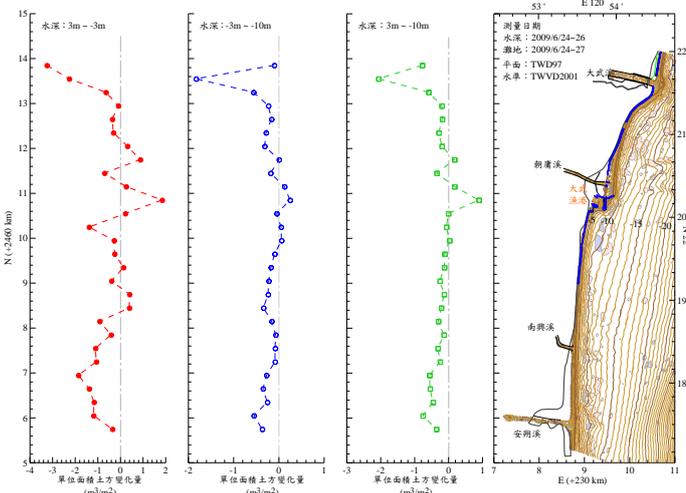
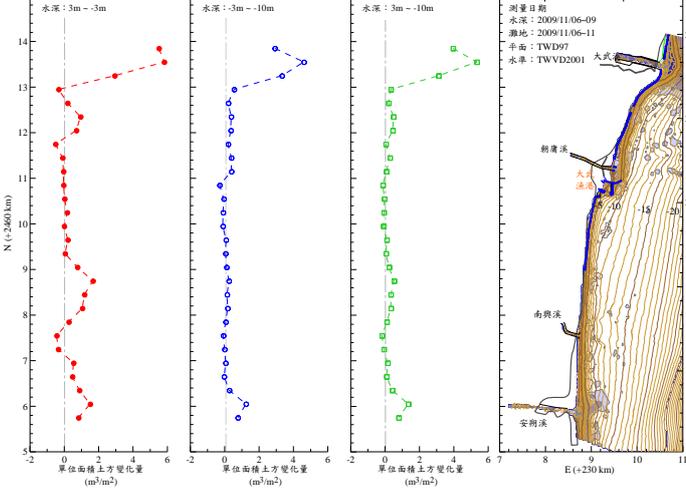
本章節主要針對台九線海岸公路「侵淤災害」災害特性分析結果進行評估。首先，針對海岸侵淤特性分析結果與往昔資料進行比對分析，探討本計畫評估「侵淤災害」潛勢區域之合理性。之後，則再針對分析結果進一步研提較嚴重之侵淤段，以利未來因應策略之參酌。

本團隊蒐集往昔相關調查成果報告與本計畫災害特性分析結果進行比對驗證，其結果參見表 5-2。由本計畫災害分析結果與往昔資料比對可知，南興至大武路段中於高程+3 m~水深-3 m 間之沿岸土方，呈現侵蝕趨勢，大武漁港周圍呈現淤積趨勢。其中，大武漁港冬季淤積量為夏季之六倍，於大武漁港南側南興路段海域長期呈現侵蝕趨勢；

加津林至多良段以往較缺乏調查資料；而太麻里區大致呈現夏淤冬侵之型態，且夏季常因颱風來襲，溪口外測之地形容易受到太麻里溪河川大量輸砂的影響，而產生大範圍淤積的分布情形，至於香蘭段長期呈現侵蝕趨勢，其結論與本研究模擬之長期趨勢一致。此外，透過本計畫所蒐集之衛星影像資料(參見 2.6 節)進行灘線分析，並與侵淤災害特性分析結果進行比對。此分析需運用「邊緣偵測法」擷取各影像之灘線，並透過不同時間點之灘線進行平均位移計算，以求得各影像期間灘線變化距離(退縮或外推)。各灘線分析結果均需再透過各影像的潮時所推估之潮位，配合坡度地形進行潮位修正，以提高灘線分析之合理性，其結果如表 5-3 所示。目前侵淤災害特性分析之潛勢區域與灘線分析結果情況大致符合，因此可知目前災害特性分析結果具有參考性。

由侵淤災害分析結果與往昔資料比對可知，南興至大武路段中，大武漁港為淤積災害熱點；加津林至多良段中，以 418K+000 周圍區域為侵蝕災害較顯著之熱區，惟較缺乏現場調查資料與之對應，仍為需注意之區域；香蘭至三和段中，以 397K+500 為海岸侵蝕致災熱區。

表 5-2 海岸侵淤特性分析比對與驗證

路段	往昔致災資料	說明
南興至大武路段	 <p>2008年10月~2009年6月沿岸單位面積土方變化圖</p>	<p>台東海岸(尚武段)監測調查計畫資料。</p> <p>本段海岸於冬季波浪作用期間，漂沙方向由北往南，夏季則由南往北，冬季時段南興路段於高程+3m~水深-3m間之沿岸土方，呈現侵蝕趨勢，大武漁港周圍呈現淤積趨勢。</p>
	 <p>2009年6~11月沿岸單位面積土方變化圖</p>	<p>於大武漁港南側海域，在1998年10月~2008年6月期間，海岸線侵退共約17.6~22公尺，另由2008年10月~2009年11月之灘線資料顯示，漁港南側海岸線略往陸側侵退約7~13公尺。</p> <p>由本計畫特性分析結果可知，南興路段(439K+500~433K+000)地形中長期趨勢呈現侵蝕情況；大武漁港則呈現持續淤積之情況，其均與往昔資料描述相符。</p>

大武漁港淤積情形

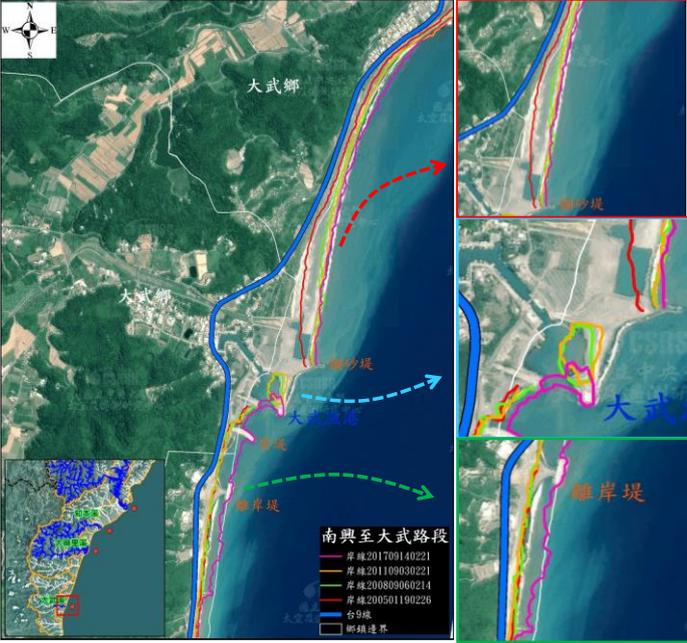


台東海岸(尚武段)監測調查計畫資料。

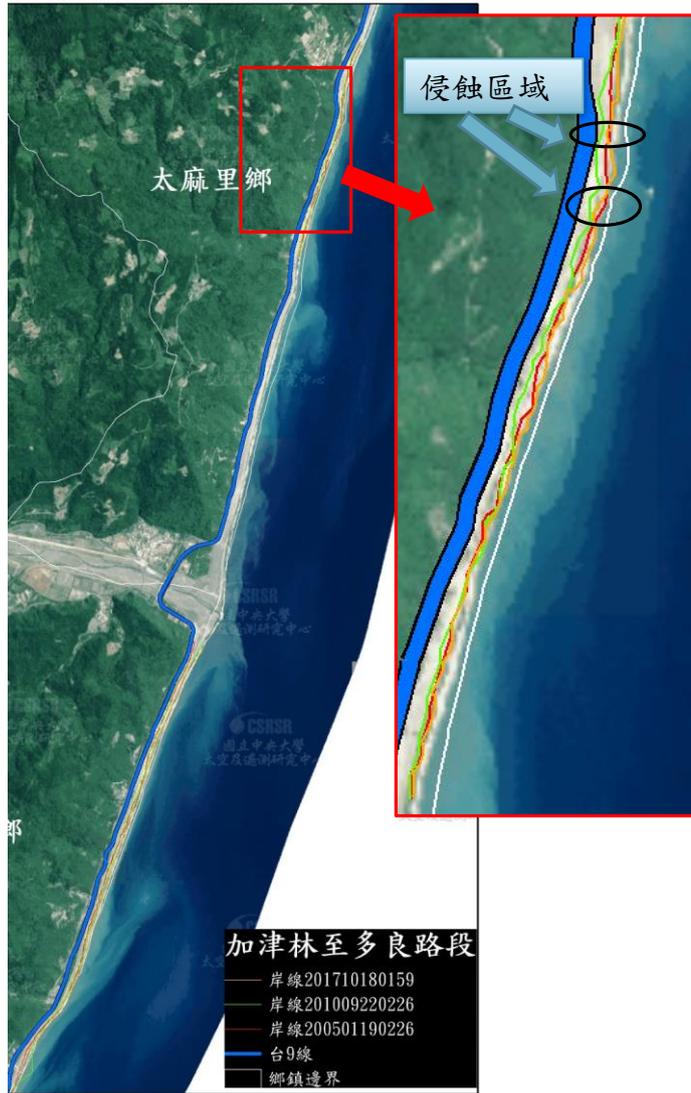
大武漁港往年淤積情形，顯示大武漁港港池與港口區主要淤砂期間係在冬季波浪作用期間，且冬季之淤砂量約為夏季的6倍。

本計畫特性分析結果可知，大武漁港周圍亦呈現冬季淤積大於夏季之情況。

表 5-3 衛星影像灘線分析比對

路段	灘線分析	說明
南興至大武路段	 <p>此為南興至大武路段灘線侵淤情況，該灘線分析已依據各年潮差與潮時及地形坡度進行修正。</p> <p>由灘線分析結果可知，攔砂堤以北，灘線由 2005 至 2011 年，最多外推約 125 m。大武漁港內發生淤積情況相當頻繁。大武漁港以南未建突堤與離岸堤前，2005 至 2011 年灘線退縮約 30m。興建突堤與離岸堤和養灘工程後，2005 至 2017 年灘線外推約 110m。</p>	<p>由本計畫特性分析結果可知，南興路段 (439K+500~433K+000) 在未考量海岸結構物 (突堤及離岸堤) 與人工養灘之情況下，地形中長期趨勢呈現侵蝕情況；而大武漁港於模式中建有港口地形與北側攔砂堤，因而港口及北側海岸均呈現持續淤積之情況，其均與往昔資料描述相符。</p>

加津林至多良路段

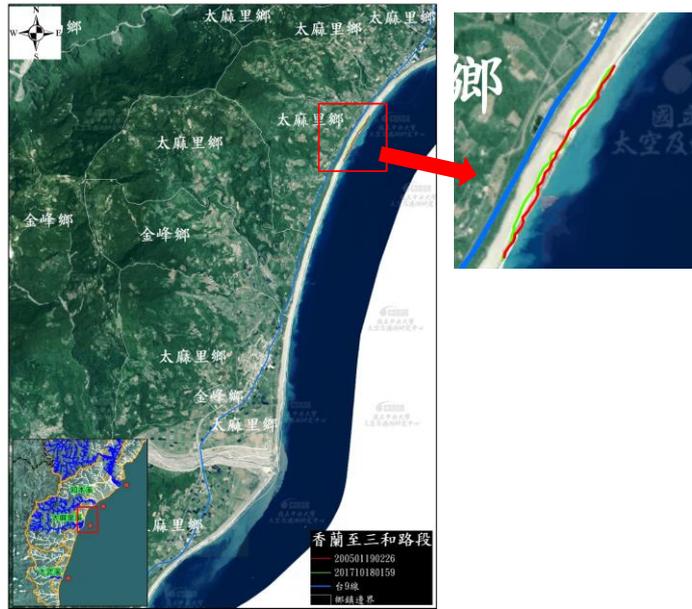


本計畫災害特性分析中,該路段以418K+000海岸侵蝕較為顯著,因而藉由衛星影像分析此區域,以瞭解往昔灘線變化情況。由結果可知,雖該侵蝕潛勢區於2005至2017年是呈現灘線內縮趨勢(約10m~15m),但該區域周圍大部分是灘線外推的情形。其長期侵蝕現象並不顯著。惟於2010/9/22凡那比颱風過後,其灘線有較明顯退縮情況發生。

由2010年與2018年的衛星影像可知,該區域確實有海岸防護工程設施,避免浪襲,降低海岸侵蝕可能性。



香蘭至三和路段



本計畫災害特性分析中,該路段以 397K+500 海岸侵蝕較為顯著,因而藉由衛星影像分析此區域,以瞭解往昔灘線變化情況。由結果可知,該區域於 2005 至 2017 年灘線大多呈現退縮情況,最多內縮約 50 m。由此可知,該路段確實有海岸侵蝕之情況發生。

## 第六章 結論與建議

本計畫主要為針對「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，亦須建置適合模擬台東海岸水動力與地形變遷之數值模式，並進行台九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，分析台九線往昔易致災路段，並透過現場勘查作業，瞭解目前台九線公路現況及災害分析之重要區域。本計畫主要運用「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，亦有透過相關觀測資料進行波浪、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；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）於台九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。

### 6.1 結論

1. 本計畫蒐集往昔台九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. 蒐集計畫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九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，可瞭解台九線沿岸漂沙季節性變化趨勢，俾利未來策略擬訂之參考。

3. 本計畫以台九線海岸為模擬對象，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，探討台九線海岸災害特性。相關數模模式亦有透過本計畫所蒐集之觀測資料，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，能夠可靠的模擬台九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，藉以瞭解台九線海岸現況所會面臨之災害問題。本計畫以「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. 本計畫於「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，並研析台九線海岸公路總體穩定性。依目前分析成果可知，台九線 440K+000 ~ 441K+000、424K+500 周圍及 396K+000 ~ 396K+500 均為公路溢淹災害潛勢較為顯著之路段。
6. 本計畫於「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潛勢熱點，418K+000 周圍區域及 397K+500 為侵蝕災害潛勢之熱點。

## 6.2 建議

1. 本計畫中「數值模擬」是非常重要的環節，災害特性分析所使用之資料均來自數模模擬成果。然針對台九線海岸模擬上最為欠缺的部分，概為水深地形資料，尤其位於近岸處的地形資料更難以取得，本計畫僅能透過各研究報告或調查報告，配合現有的數位地形，以較為合理的方式模擬計算計畫區域各物理問題。若有更完整之地形資料，對於未來數值模擬準確度和工程評估之嚴謹度，乃至防災預報之準確度必能有所強化。

2. 由於台東海岸線較長，以「面」的方式評估相關災害特性分析時，會擷取較大的範圍來進行評估，以增加評估整體性。因此，為顧及模擬計算效率，於近岸區域網格使用上會有所侷限。本計畫評估成果可以面狀方式瞭解台九線海岸整體災害特性，惟若需進行局部區評估與改善策略研擬時，則需透過更細緻的網格、解析度更高的地形資料及建物資料來進行模擬，才能增加局部區域改善策略擬訂之可靠性。
3. 由本計畫衛星影像分析結果顯著瞭解，台九線海岸漂沙季節性變化趨勢。然若能獲得品質高之衛星影像及現場同步量測資料，應可透過穩定的衛星圖資，解析大範圍漂沙變化趨勢及濃度變化，其對工程評估與改善方案策略有相當大的助益。



## 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," *5<sup>th</sup> 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 3<sup>rd</sup> international Symposium on Ocean Wave Measurement and Analysis*, WAVES, 97, ASCE, pp. 49-63 (1997).
6. Luettich, 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. Luettich, "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，漂沙と海岸侵蝕，(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)監測防護計畫(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)環境營造改善計畫」，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)監測調查計畫(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)環境營造改善計畫(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，「臺東海岸防護計畫」，經濟部水利署(2017)。



附錄一  
期中審查意見回覆表

## 附錄一 期中審查意見回覆表

### 「臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究」

#### 期中審查意見回覆表

壹、時間：中華民國107年7月13日（星期五）上午10時

貳、地點：港研中心2樓簡報室

參、主持人：蘇科長青和

記錄：陳鈞彥

肆、出（列）席單位及人員：（略）

伍、主席致詞：（略）

陸、合作單位簡報：（略）

柒、審查委員意見與回覆表：

審查意見	意見回覆說明
<b>一、陳委員文俊(書面意見)</b>	
(一)內容符合預定工作進度，亦達期中成果需求，給予肯定。	感謝委員肯定。
(二)第二章基本資料蒐集內容，建議能補充至最新年期資料，期使內容更臻完整。	感謝委員意見，將持續蒐集計畫區資料(較新年期的技術報告和調查報告等)，並補充相關內容。
(三)本年度計畫是否僅考慮執行大武漁港附近段海岸公路之研究?概第二章之資料似乎大多僅以尚武海岸作為蒐集對象。	感謝委員意見。 本計畫區範圍為南起安朔路段北至臺東市，約含括臺東市以南台九線公路區段，參見圖1.2-1。目前除蒐集尚武段海岸資料外，亦有針對易致災區域(南興路段、大武漁港、多良路段、香蘭路段及三和與美和等海岸區域)進行相關資料探討，後續將會補充各區域基本資料說明，以利提升完整性。
(四)第三章數值評估，建	感謝委員意見。

<p>議能加入有關地形變遷模式之說明，諸如河口輸砂、海岸漂沙之計算方法、地形變遷之方程式與邊界條件等，有利了解。</p>	<p>將於期末報告中，補充地形變遷模式相關說明。</p>
<p>(五)數值模式演算之成果圖，如第三章之圖3-3.13~14、圖3-4.3~5、圖4-3.1及圖5-3.1等，建議可針對近岸部分放大，以利較易清楚辨識模擬結果。</p>	<p>感謝委員意見。 本計畫模擬範圍包含遠域、中域與近域，圖3-4.3~圖3-4.5為中域範圍，主要為瞭解計畫區（台九線公路海岸）整體設計條件波高分布、公路高程及河川輸砂情況，以利做為近域範圍劃分參酌；圖3-3.13、圖3-3.14、圖4-3.1及圖5-3.1則為近域模擬範圍，後續會針對近岸區域局部分放大，俾利清楚辨識。</p>
<p>(六)第四章海岸防護能力檢討中之安定性評估與溯升與越波量評估雖於期末會呈現完整結果，建議可先將亦應用於本計畫之相關評估方法與公式可先說明。</p>	<p>感謝委員意見。 海岸防護能力檢討中之安定性評估方法主要參考水利規劃試驗所報告，而溯升與越波量評估則主要是參考美國陸軍工程兵團海岸工程手冊(CEM, 2005)進行越波量評估，後續將於期末報告補充相關方法與公式說明。</p>
<p>(七)因計畫會探討安定性與越波量，故建議應於資料蒐集內宜補入臨海側公路邊坡型式、消波塊或塊石重量、公路護岸高程或其他與未來評估分析有關之資料。</p>	<p>感謝委員意見。 相關資料將視資料蒐集情形納入於期末報告說明。</p>
<p><b>二、蔡委員清標</b></p>	
<p>(一)期中報告內容豐富，具執行成效，予以肯</p>	<p>感謝委員肯定。</p>

定。	
(二)建議 2-1 增列暴潮水位、2-2 增列颱風波浪資料。	感謝委員意見，遵照辦理，並於期末報告修改與補充。
(三)本計畫於今年 4 月與 6 月共進行現勘 2 次，予以肯定。若能於颱風期後再予現勘 1 次以上，特更符合本計畫意旨。	感謝委員肯定。 本計畫工作項目中，並無現地勘查之項目。然為更瞭解台九線公路現況環境，故於計畫執行期程中額外安排現地勘查行程，並蒐集現況環境資料，以供本計畫易致災區範圍規劃與「近域」模擬範圍劃分之參酌。於颱風期後進行現勘，確可更深入瞭解不同環境條件下之現地情況，惟期先以完成本計畫主軸工作為目標，並待相關成果完整分析後，再斟酌是否有再進行現地勘查作業之必要性。
(四)式(3-6)(3-7)中，h、m、s 符號應定義，而式(3-29)(3-30)有誤。	感謝委員意見，將於期末報告修改。
(五)遠、中域風浪模式與近岸波浪模式如何銜接，建議有所說明。	感謝委員意見，將於期末報告補充說明各模式銜接情況。
(六)圖 3-3.5 波高模擬之峰值偏差較大，建議可與檢討或改進。而圖 3-3.3 之 23 至 24 日及 28 日前後之模擬值較不合理。	感謝委員意見。 圖3-3.5波高模擬峰值偏高現象，概因本計畫所使用之模擬風場(RVM)，能量衰減影響較實際風場小，導致模擬波高峰值會有偏高現象發生。然，由於天秤颱風路徑較為複雜，使其模擬結果偏差略高，後續將改以規模較大的影響較大的颱風事件(例如：莫蘭蒂)做為驗證對象，以利加強驗證之可信度。 於圖3-3.3中，模擬水位是取數值暴潮偏差成果及實測水位訊號之合，而蘇澳港在23至24日及28日前後水位訊號均異常，而重新取樣後不慎內插為斜直線訊號，該錯誤將於期末報告修正。
(七)圖 3-3.2 地形變遷模	感謝委員意見，後續將於期末報告補充相關資訊。

<p>擬之波浪條件，建議列表並說明之。圖 3-3.13 色階之單位應標示。</p>	
<p>(八)表 3-4.1 係本計畫所推算或引用其他資料來源？</p>	<p>感謝委員意見。 表3-4.1之颱風事件均為本團隊模擬及分析結果。往昔本團隊均有針對遠域範圍進行相關模擬、調校與驗證(臺灣周圍海域)，然並未針對臺東海域輸出設計條件資料(多良村外海水深約1038 m處)，因此本計畫針對1989年~2016年之颱風事件重新輸出設計條件資料，並重新模擬分析2017年颱風事件，以更新頻率分析所須之背景資料。</p>
<p>(九)圖 3-4.3 之 50 年波場計算結果，應標示入射波向，而紅色向量是否只波向或其他意義？近岸波浪分布可予局部放大利判讀。圖 3-4.4 亦不易判讀，可予改善，圖 5-3.1 亦同。</p>	<p>感謝委員指導，紅色向量則代表波向，此部分會於期末報告加強說明。另，圖3-4.4與圖5-3.1於近岸部分會於期末報告進行修改，局部放大部分區域，以利後續判讀。</p>
<p>(十)波浪溯升及越波量，建議可引歐盟公式或其他可靠文獻。</p>	<p>感謝委員意見。 本計畫目前是採用美國陸軍工程兵團海岸工程手冊(CEM, 2005)進行波浪溯升與越波量估算，可蒐集歐盟相關公式進行探討。</p>
<p>(十一)應列參考文獻。</p>	<p>感謝委員指正，將於期末報告補充。</p>
<p><b>三、蔡委員政翰</b></p>	
<p>(一)圖 3-3.3 之水位圖在 23-24 日與 27-28 日間實測資料有缺值，但模擬的結果看來幾乎像缺值區前後連線而已，此期間看</p>	<p>感謝委員意見。 於圖3-3.3中，模擬水位是取數值暴潮偏差成果及實測水位訊號之合，而蘇澳港在23至24日及28日前後水位訊號均異常，而重新取樣後不慎內插為斜直線訊號，該錯誤將於期末報告修正。</p>

不到潮汐信號。	
(二)圖 3-3.13 之圖說與圖 3-3.12 完全一樣，另圖右之色條沒標題與單位。	感謝委員指正。 圖3-3.13之圖說為誤植，其與色條之標題與單位將於期末報告一併修正。
(三)圖 4-3.1 圖右色條無標題與單位，還有圖內標出「波揚較高之路段」，請說明多大算較高。	感謝委員指正。 圖 4-3.1之色條圖標與單位將於期末報告補充修正。依據初步模擬結果顯示水位抬升於三和路段有較高之趨勢，且水位可抬升至較高之高度(10 m)。此外，經檢視此區域近岸地形DEM資料有缺，經內插後發現地形呈現過於平緩，於期末報告時，將重新檢視此處地形後，並重新計算。
(四)5-1 頁 5.2 節之夏季季風期間代表性波高為 0.54m，週期為 2.2 秒，這是否應該為 5.2 秒(圖 5-2.1)，另請說明如何從累積機率分布決定代表性波高與週期。	感謝委員指正。 夏季季風期間示性波高為 0.54m時，週期確為 5.2 秒，此為誤植，將於期末報告修改。另外，由累積機率分布結果可知，計畫區域內季節性波高分布之特性。其中，所用來分析的觀測資料波高型式為示性波高，計算累積機率為30%時，為波浪觀測期間，人們較常感受之波高( $H_{1/3}$ )，此為波浪狀態之描述，與模式計算所需使用之代表性波浪不同。
(五)圖 5-3.1 的圖右色條無標題與單位。	感謝委員指正，將於期末報告修正。
(六)報告內之波浪週期都寫為示性週期，通常很少用示性週期，較常用平均週期( $T_{m02}$ 或 $T_z$ )，模式算出的頻譜可以計算平均週期，但不能計算出示性週期。	感謝委員指正。 本計畫用來分析的觀測資料中，波高是採用「 $H_s$ 」此為示性波高；週期為「 $T_p$ 」為主頻週期。因此，報告中分析觀測資料所得之波高型式為「示性波高」，週期則應為示性波高所對應之「主頻週期」，並非「示性週期」。此外，本計畫數值模式所須輸入條件為示性波高( $H_s$ )及主頻週期( $T_p$ )，藉以做為JONSWAP波譜計算條件，並計算出相位平均後之 $H_s$ 及 $T_p$ 。
<b>四、溫委員志中</b>	

<p>(一)海岸公路溢淹建議需增列分析斷面以模擬分析因波浪溯升所產生之公路溢淹，使用之方式請詳述。</p>	<p>感謝委員意見。 將針對近域區域，擷取部分斷面水位分布結果分析其合理性，並於期末報告補充說明。</p>
<p>(二)建議增列各海岸段之流場分布(季節特性、颱風事件於不同海岸段之影響)。</p>	<p>感謝委員意見。 於期末報告中，將配合地形變遷結果，補充流場分布模擬結果，以利地形變遷分布探討，並針對季節特性影響進行分析討論。</p>
<p>(三)分析重點區域建議於文章中加以說明，以釐清是否需包含結構物等效應(尺度是否需加密細部探討)。</p>	<p>感謝委員意見。 本計畫重點區域為台九線易致災路段區域，目前依據往昔研究、現勘結果與本計畫中域模擬結果，劃分3區塊近域範圍進行易致災區探討，其中部分重點區域(例如：大武漁港)將會建置於模擬區域內，以利探討公路溢淹與地形變遷之情況。</p>
<p>(四)東部海岸軟波應甚陡，格網以25mX25m 是否能評估近岸流場？需加以評估。</p>	<p>感謝委員意見。 本團隊將再檢視網格品質是否足以評估計畫趨近岸流場，俾利加強後續模擬結果之可靠性。</p>
<p>(五)波揚計算建議以斷面截取，以經驗公式確認計算。</p>	<p>感謝委員意見。 將針對近域區域，擷取部分斷面水位分布結果分析其合理性。</p>
<p><b>五、蔡委員立宏</b></p>	
<p>(一)文獻收及許多測站資料，建議增加各測站位置圖。</p>	<p>感謝委員意見，遵照辦理。</p>
<p>(二)研究目標區是否有水深地形及侵淤資料。</p>	<p>本計畫外海30公尺水深以下地形是利用科技部臺灣周圍200公尺資料，近岸水深地形則以內插方式所得；侵淤資料大都蒐集往昔調查報告結果所得(例</p>

	如：「100年度臺東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫」)。
(三)颱風波浪為造成短期變遷及致災主要波浪，未來是否納入評估考量？	感謝委員意見。 將擇選較具代表性之颱風事件，進行短期變遷及致災分析。
(四)圖形色階圖說及單位請標示完整？	感謝委員指正。 將於期末報告修正。
(五)圖 3-3.13 中應為侵淤圖，請修正。	感謝委員意見，遵照辦理。
<b>六、蘇委員青和</b>	
(一)引用數值分析成果，加強分析臺東海岸其可能產生之中長期地形變遷特性成果。	感謝委員意見。 後續將以「岸線距離」與「地形變遷現象」(淤積量與侵蝕量)，進行量化分析，俾利加強瞭解各區域變遷情況。
(二)建議引用數值分析之成果，加強說明臺東海岸公路容易致災區段之海水溯上與溢淹特性。	感謝委員意見。 後續將以「岸線距離」與「溢淹現象」(水位抬升高度)，進行量化分析，俾利加強瞭解各區域海水溯上與溢淹特性情況。
(三)加強往昔測量資料及衛星資料分析，以發掘臺 9 線公路易致災之區段之海岸侵蝕或地形變遷特性。	感謝委員意見。 後續將整理現有圖資及往昔量測資料後，補充購買缺乏年份與區域之衛星影響資料，以利進一步探討臺 9 線公路易致災之區段之海岸侵蝕或地形變遷特性。
(四)報告撰寫內容請依本所規定，期末報告增加納入英文摘要。	感謝委員指正。 將於期末報告進行相關修正。
<b>七、李委員俊穎</b>	

<p>(一)建議說明風場(風浪模式)來源。</p>	<p>感謝委員意見。 將於期末報告補充說明。</p>
<p>(二)建議可以影響較大颱風進行模式評估說明(如莫蘭蒂颱風)。</p>	<p>感謝委員意見。 將於補充更具代表性颱風事件(例如：莫蘭蒂颱風)之模式評估驗證說明。</p>
<p>(三)建議釐清易致災之災害類型進行討論。</p>	<p>感謝委員意見。 本計畫以「海岸侵蝕」、「海岸淤積」及「公路溢淹」做為災害類型指標，以利後續針對易致災區進行探討。</p>



附錄二  
期末審查意見回覆表

## 附錄二 期末審查意見回覆表

### 「臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究」

#### 期末審查意見回覆表

壹、時間：中華民國107年11月5日（星期一）下午1時30分

貳、地點：港研中心五樓簡報室

參、主持人：蘇科長青和

記錄：陳鈞彥

肆、出（列）席單位及人員：（略）

伍、主席致詞：（略）

陸、合作單位簡報：（略）

柒、審查委員意見與回覆表：

審查意見	意見回覆及處理情形說明
<b>一、岳委員景雲</b>	
(一)理論與實務結合，利用衛星影像判讀漂沙影響範圍，值得肯定，但注意精度。	感謝委員意見。 已於修正報告表2-13中，補充各衛星影像圖資之解析度說明，以利瞭解各影像分析結果與影像解析度之相對差異。例如：本計畫漂沙分析方面均採用SPOT衛星影像(科技部無償下載圖資)，其解析度約於10 m~20 m之間，而本計畫漂沙分析範圍最小為2377215 m <sup>2</sup> (約1100 m X 1100 m)，因而目前影像精度應該合理分析漂沙範圍資訊。
(二)香蘭-大鳥段與「南興至大武段」、「加津林至多良段」、「香蘭至三和段」相連結。	感謝委員意見。 本計畫主要探討台9線拓寬工程靠海路段，如圖1.1所示。該路段起迄為「香蘭」至「大鳥」，而於本計畫中，透過「背景資料蒐集」、「設計條件中域模擬結果」及「河川輸砂趨勢模擬」將該區段劃分為「南興至大武段」、「加津林至多良段」及「香蘭至三和段」做為致災區域近域模擬範圍。詳細劃分資訊已於修正報告3.4.3節進行說明。

(三)表 2-2、2-3 單位 cm→m。	感謝委員意見。 單位部分已修改統一為(m)。
(四)表 2-4 與表 2-5 建議合併，波高為 $H_{1/3}$ ，週期 $T_p$ ?	感謝委員意見。 於修正報告中，已將表2-4與表2-5合併至表2-4，其中波高為示性波高，週期為其對應之示性週期。
(五)P2-30 圖 2.9 灘線後退 34 公尺?約增加 4 公尺，請大略說明計算過程。	感謝委員意見。 圖2.9中灘線量化數據，主要是透過衛星影像分析而來，運用「邊緣偵測法」擷取各影像之灘線，並透過不同時間點之灘線進行平均位移計算，以求得各影像期間灘線變化距離(退縮或外推)。然，圖2.9所使用的衛星影像為中央大學太遙中心所提供之免費介接圖資，因此並無詳細的拍攝時間資訊，導致無法透過潮位修正來得知較精確的灘線變化。為避免此分析結果產生誤解，因而於修正報告中移除此部分內容，並於第五章中，透過「無償圖資」針對致災區域來分析灘線變化，以強化灘線探討之合理性。灘線分析相關內容請參閱修正報告 5.4 節。
(六)建議將立即危險路段標示出來並加強說明。	感謝委員意見。 已於修正報告中新增4.3節與5.4節，分別針對公路溢淹災害與地形變遷災害進行綜合討論，並於此兩章節與第六章結論中，強化相關內容。
(七)基本資料蒐集建議至最新年代，並加強各章節相關性。	感謝委員意見。 本計畫中相關背景資料(包含中央氣象局波浪、潮位及颱風資料等)均已更新，並於各章節中加註引用資料蒐集之來源，以利強化各章節相關性。
<b>二、溫委員志中</b>	
(一)內容成果豐富，應可符合單位需求。	感謝委員肯定。
(二)衛星影像分析長期變遷概況，請加註單位說明，及對應潮時。	感謝委員意見。 已於修正報告中補充相關資訊，請參見表5-3衛星影像灘線分析結果圖。

(三)P3-14 相關編排請修正。	感謝委員指正，此部分已於修正報告中修正。
(四)試說明平均水位定義為何?	平均水位為波浪週期之平均水位，故看不到波高變化。
(五)P5-1 代表波浪請修正相關文字，及加註單位說明。	感謝委員指正。 單位已補充，請參閱5.1節
(六)是否潮波流及河川水流綜合流場圖，可說明不同季節之特性。	感謝委員建議。 不同季節之特性相關內容已補充至修正報告，參閱5.2節。
(七)冬夏季代表波浪差異不明顯，建議比對相關報告可更有效掌握地形之變遷(颱風異常事件可否分開描述?)。	感謝委員建議。 於5.2節中已新增不同季節之特性之探討，其冬夏季沿岸流與地形變遷仍存在差異性。另已參閱往昔研究進行本計畫成果之比對及驗證，請參見5.4節。此外，本計畫地形變遷以長時間作用為主，於附件三中則有針對單一颱風事件(莫蘭蒂颱風)進行探討。
<b>三、張委員憲國</b>	
(一)加強內文的用字遣詞、敘述邏輯、圖表呈現及編輯以清楚表達研究結果。	感謝委員指正，於修正報告中已加強文字修飾及圖表編排。
(二)利用衛星影像來分析漂沙範圍的理論為何?灘線變遷研究是否考慮拍攝影像潮位的修正問題?	感謝委員意見。 1.本計畫漂沙範圍分析方式，已於修正報告圖2.10加強補充說明。 2.原報告中所提及灘線分析內容(如期末報告中圖2.9與圖2.10)所使用的衛星影像為中央大學太遙中心所提供之免費介接圖資，因此並無詳細的拍攝時間資訊，導致無法透過潮位修正來得知較精確的灘線變化。為避免此分析結果產生誤解，因而於修正報告中移除此部分內容，並於第五章中，透過「無償圖資」(可取得

	<p>詳細拍攝時間)針對致災區域來分析灘線變化，並輔助潮位修正方式，以強化灘線探討之合理性。灘線分析相關內容請參閱修正報告5.4節。</p>
<p>(三)潮汐、波浪、暴潮偏差及潮流的模式驗證，精度評估的指標及量化結果為何?</p>	<p>感謝委員建議。 分析結果補充至3.3.1節中。</p>
<p>(四)計算台東是否溯升及越波量的外海入射波條件的週期如何決定?入射波角度為何?</p>	<p>外海週期以颱風風浪經驗式<math>3.83\sqrt{H}</math>給定；而入射波向則以考慮最劣情況，以正向入射為主，相關敘述已於修正報告中補充。</p>
<p>(五)計算有溯升及越波量潛勢可能路段，與黃及朱(2013)的結論有所差異，內文也有探討原因。是否可以判斷二者研究結果的可信?</p>	<p>感謝委員意見。 本計畫所分析之越波潛勢路段域與黃及朱(2013)提及潛勢路段相似，惟越波量大小差異較大。除期末報告所提(1)設計條件有所差異、(2)地形水深不同(3)溯升公式差異外，本團隊再次檢視越波量差異較大路段，並透過衛星資料重新給定相關海岸坡度地形，以利更合理計算越波量，相關修改內容參見修正報告4.2.1節。</p>
<p><b>四、蘇委員青和</b></p>	
<p>(一)2.6 節衛星影像比對圖 2.9 與 2.10 之地形變遷是否有考慮潮位變化因子，影像解析度灘線變化量大小也要納入考量。</p>	<p>感謝委員意見。 圖2.9與圖2.10所使用的衛星影像為中央大學太遙中心所提供之免費介接圖資，因此並無詳細的拍攝時間資訊，導致無法透過潮位修正來得知較精確的灘線變化。為避免此分析結果產生誤解，因而於修正報告中移除此部分內容，並於第五章中，透過「無償圖資」(可取得詳細拍攝時間)針對致災區域來分析灘線變化，並輔助潮位修正方式，以強化灘線探討之合理性。灘線分析相關內容請參閱修正報告5.4節。</p>
<p>(二)第四章公路溢淹致災分析，除道路高度、岸前波高</p>	<p>感謝委員意見。 本團隊已再次檢視各路段沙灘坡度情況，並重新給定相關海岸坡度地形，以利更合理計算溯升高度與越波</p>

<p>(暴潮)、沙灘坡度也建議納入考量，分析結果宜與歷年溢淹事件做較完整的比對驗證。</p>	<p>量，相關修改內容參見修正報告4.2.1節。此外，亦補充蒐集養工處公路溢淹致災區域資料，與本計畫分析資料進行比對及驗證，相關修改內容可參見修正報告4.3節。</p>
<p>(三)第五章地形變遷分析成果，相關圖宜標示河川、結構物(防波堤、突堤等)位置，分析結果宜與歷年相關文獻做較完整的比對。</p>	<p>感謝委員意見。 本團隊已再次檢視各路段沙灘坡度情況，並重新給定相關海岸坡度地形，以利更合理計算溯升高度與越波量，相關修改內容參見修正報告5.3節。此外，亦補充蒐集往昔資料，與本計畫分析資料進行比對及驗證，相關修改內容可參見修正報告5.4節。</p>
<p>(四)討論應加強第四章及第五章之成果論述，溢淹段及侵淤段較嚴重處應加強說明。</p>	<p>感謝委員建議。 已於修正報告中新增4.3與5.4節，其內容除針對本計畫災害特性分析結果作比對及驗證外，亦有加強說明較嚴重之溢淹段及侵淤段。</p>
<p><b>五、李委員俊穎</b></p>	
<p>(一)請補充說明模式河川輸砂部分條件。</p>	<p>感謝委員建議。 漂沙計算條件以補充於5.1節</p>
<p>(二)請補充說明侵蝕災害潛勢分類基準。</p>	<p>感謝委員意見。 此部分內容已補充至修正報告，請參見3.4.4節</p>
<p>(三)請加強補述目前近域分三段原因及依據。</p>	<p>感謝委員意見。 已於修正報告中補充相關內容，請參見3.4.3節及表3-9</p>
<p>(四)建議補述所推估可能致災區域驗證。</p>	<p>感謝委員意見。 於修正報告中，已新增4.3及5.4節，並已將致災區域驗證內容補充至兩章節中。</p>

附錄三  
PTM 模式理論

## 附錄三 PTM 模式理論

PTM(Particle Tracking Model)計算分為兩個部分：第一部分為「歐拉輸砂計算」如：沈積物活動度、底床形成過程等等，第二部分則為「拉格朗日輸砂計算」如：砂的活動特性、夾帶作用、對流、分散及沉降。

### 1、 歐拉輸砂計算

經由顆粒軌跡模型的計算，不管是關於沈積物平流、侵蝕還是沈澱，在研究領域中都必須先對一些基本的輸砂參數做出定義。其包括了近底床流況、底床剪應力、底床形成及沈積物顆粒流動性。

#### (1)粗糙度

模式中的底床糙度是基於底床表面的粒徑大小來計算的。粒徑中位數  $D_{50}$  被用以計算底床形成 (bed forms)，其提供了型態糙度 (form roughness)。90% 粒徑  $D_{90}$  被用以計算表面糙度 (skin roughness)。

#### (2)剪應力

剪應力是流況與底床狀態的函數。在 PTM 中會計算四種剪應力：

因表面摩擦力 (skin friction)、由流產生的剪應力  $\tau'_c$

因形狀阻力 (form drag)、由流產生的剪應力  $\tau''_c$

因表面摩擦力、由波產生的剪應力  $\tau'_w$

因形狀阻力、由波產生的剪應力  $\tau''_w$

對於因形狀阻力由流產生的剪應力  $\tau''_c$ ，形狀粗糙高度  $k'_s$  是結合底床形狀長度 (bed form length) 及陡峭度 (steepness) 來估算的。PTM 工具的計算剪應力的方法可見於 van Rijn, 1993。以下是這些方法的概述：

底床剪應力 (bed shear stress) 可由水深平均速度  $\bar{U}$  獲得，如：

$$\tau_c'' = \frac{\rho \bar{U}^2}{C''^2} \quad (1)$$

$\rho$  為水密度， $C''$  是無因次 Chézy 常數，在劇烈紊流中約為：

$$C'' = 2.5 \ln \left( 11 \frac{h}{k_s''} \right) \quad (2)$$

其中  $h$  為流深度 (flow depth, (m))。

底床剪力速度 (bed shear velocity,  $u_*$  (m/sec)) 如此計算：

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_c''}{\rho}} = \frac{\bar{U}}{C''} \quad (3)$$

對於劇烈紊流，底床剪力速度  $u_*$  與流深  $h$ 、流的特徵糙度  $k_s''$ 、以及  $\bar{U}$  有關：

$$u_* = \frac{\bar{U}}{2.5 \ln \left( 11 \frac{h}{k_s''} \right)} \quad (4)$$

對於因表面摩擦力由流產生的剪應力  $\tau_c'$ ，這裡引入了用以代表底床表面粗糙度或底床表面砂粒徑大小的粗糙高度  $k_s'$ 。在 PTM 中，對於可侵蝕底床，表面糙度直接代入三倍的  $D_{90}$ ，其中  $D_{90}$  表示此粒徑下有百分之 90 的沈積物粒徑比這個值更小（由重量計量）。這個值在模式介面中您可以修改為您指定的數值。

當處於波流交互作用時，情況會變得較為複雜。此情況下，摩擦力的影響不能獨立界定，相反地，必須考慮交互作用帶來的影響。經多份著作顯示，在近底床的波流交互作用下，得調整能量消散及底床剪應力。（參見 Bijker 1966; Kemp and Simons 1982; O'Connor and Yoo 1988）舉例來說，精細的近底床相關觀測顯示，由於波浪造成的渦黏度增加，導致近底床的流的速度會有所減少。

PTM 模組合併了兩種不同的演算法以計算結合波流交互的剪應力  $\tau'$  及  $\tau''$ 。此為 O'Connor(1988)及 van Rijn(1993)的演算法。

### (3) 漂沙運動之啟動的臨界值

底床沈積物的運動及顆粒沈積的臨界值通常透過 Shields 曲線來定義（參見 Yalin(1977)的第四章），引用無因次 Shields 參數  $\theta$ ：

$$\theta = \frac{\tau'}{\rho g (s-1) D} \quad (5)$$

$g$  為重力加速度， $s$  為砂粒比重， $D$  為特徵粒徑。無因次臨界 Shields 常數(critical Shields parameter,  $\theta_{cr}$ )即為能開始造成輸砂的  $\theta$ ：

$$\theta_{cr} = \frac{\tau_{cr}}{\rho g (s-1) D} \quad (6)$$

此處剪應力為臨界剪應力  $\tau_{cr}$ ，即對應到開始造成輸砂的情況。

Soulsby and Whitehouse(1997) 為了預測開始造成輸砂的條件，以無因次粒徑  $D_{gr}$  為函數重新試驗了 Shields 曲線：

$$D_{gr} = D_{50} \sqrt[3]{\frac{(s-1)g}{\nu^2}} \quad (7)$$

$D_{50}$  表示一半重量的沈積物粒徑小於此粒徑大小的值， $\nu$  為流體的運動黏滯性 ( $m^2/sec$ ) Soulsby and Whitehouse(1997)展示了以下以  $D_{gr}$  為其函數的  $\theta_{cr}$  解析解，其為：

$$\theta_{cr} = \frac{0.30}{1+1.2D_{gr}} + 0.055 \left[ 1 - e^{-0.02D_{gr}} \right] \quad (8)$$

式(8)的解顯示在圖 1。Soulsby and Whitehouse(1997)也表示在剪應力為軌跡近底床剪應力峰值 (peak orbital near-bed shear stress) 的情況時的波動可以應用同種 Shields 標準。雖然 Stive 等人(2005)認為在波浪造成的輸砂中，Shields 參數的使用是因加速度項的不相容而受到限制的。這對於會受到相對短波影響的較粗砂質是一大缺點，對於廣範圍的波浪條件下的砂質，Shields 曲線法提供了合理的輸砂活動度估算 (particle transport mobility)。

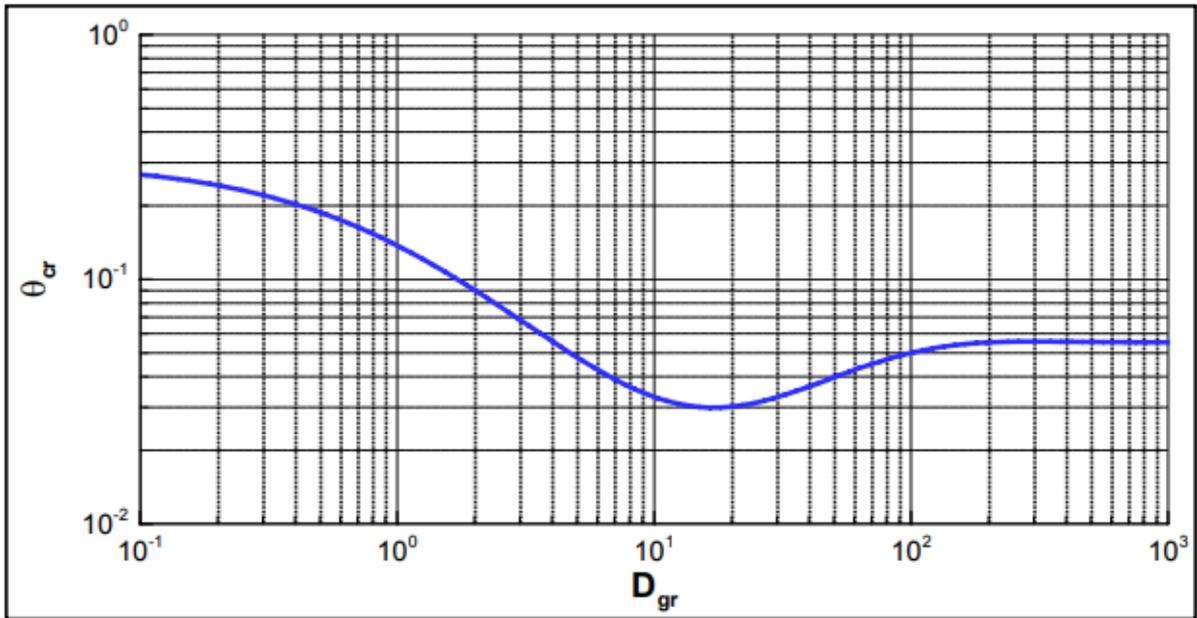


圖 1 水流作用下的輸砂臨界值(Sediment transport threshold under currents)

#### (4) 輸砂活動度

無因次活動度  $M$  為「作用於底床的表面剪應力」 $\tau'$  與「臨界剪應力」 $\tau_{cr}$  的比值：

$$M = \frac{\tau'}{\tau_{cr}} = \frac{\theta}{\theta_{cr}} \quad (9)$$

臨界剪應力  $\tau_{cr}$  (Pa)，可以此計算：

$$\tau_{cr} = \theta_{cr} \rho (s-1) g D \quad (10)$$

無因次輸砂參數  $T$  也常被用以估算活動度，其為：

$$T = \frac{\tau' - \tau_{cr}}{\tau_{cr}} = M - 1 \quad (11)$$

經由在計算域中已知的定點（底床表面）沈積物及流況的分布，就可以計算底床沈積物（及底床上的顆粒）的活動度了。活動度的時空分布圖是非常有用的工程工具，PTM 中的 SMS 介面中提供了使用者設定選項，以便使用者儲存這些時空分布資料。

#### (5) 底床形態計算

若要計算因形態阻力造成的剪應力  $\tau''$  以及由底床提供的總流抗力，則估算底

床的幾何形狀是必要的。在波流共存時的底床形狀平衡維度（equilibrium dimensions of bed forms）中，流的部份是參考 van Rijn(1984c)的方法，波流共存的部分是以 Mogridge 等人(1994)的方法計算。

Van Rijn(1984c)的底床形狀及糙度的計算方法如下，其中平衡底床形狀高度  $\eta_b$  (equilibrium bed form height)是基於活動度、流深(flow depth)及粒徑來決定

$$\begin{aligned} \eta_b &= 0 & M &\leq 1 \\ \eta_b &= 0.11h \left( \frac{D_{50}}{h} \right)^{0.3} \left[ 1 - e^{-0.5(M-1)} \right] (24 - M) & 1 < M &\leq 24 \\ \eta_b &= 0 & M &> 24 \end{aligned} \quad (12)$$

此為穩態方程式，活動度小於 1（無輸砂）時或在活動度大於 24（會淘洗掉底床形狀的高流況）時，是預測不出任何底床形狀。式(12)的繪圖可見於圖 2。

對於極細砂質（ $D_{50} < 0.05\text{mm}$ ），底床形狀無法發展。於 PTM 中，若  $D_{50} < 0.05\text{mm}$ ，則假設底床糙度僅以表面摩擦力來定義，如：

$$k'_s = 3 \cdot D_{90} \quad (13)$$

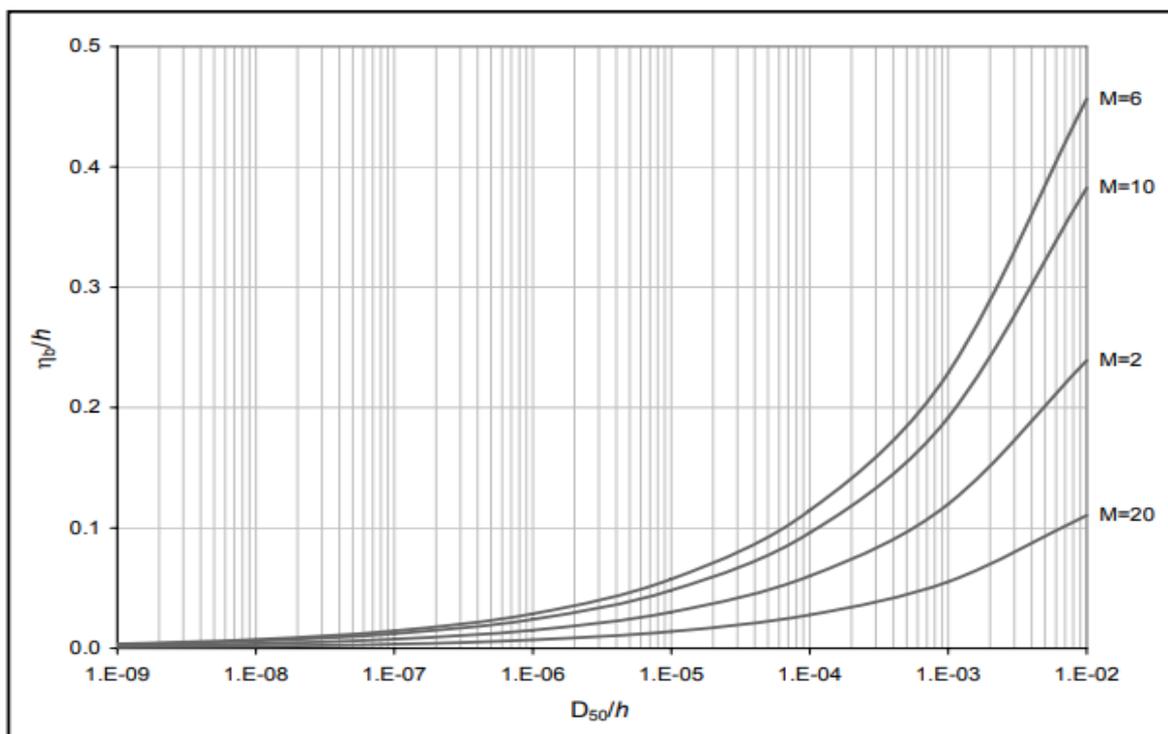


圖 2 在不同活動度，Van Rijn (1984c)對以相對深度為底床形狀高度函數的預測

以上的公式可計算平衡底床形狀高度(equilibrium bed form height)。在自然界中，底床形狀不斷因流況改變而調整。底床形狀變化率與局部底床載輸砂率(local bed load transport rate 有關（van Rijn 1984a; Nielsen 1992）。在 PTM 中應用

了一個簡單的算法以使底床形狀可由原本的高度逐漸調整成其新的平衡高度。底床形狀高度變化率與總輸砂有關。在這個情況，PTM 用了輸砂抬升率  $q_p$  (m/sec) (transport pickup rate) 來估算底床形狀的最大時變率。在模擬時間點  $t$  時，存在於底床上的底床形狀高度  $\eta$  會與預測公式計算得的平衡底床形狀高度  $\eta_b$  進行比較。若  $\eta < \eta_b$ ，則底床形狀會成長；若  $\eta > \eta_b$ ，則底床形狀會消蝕。而底床形狀高度時變率則可以此計算：

$$k'_s = 3 \cdot D_{90} \quad (14)$$

此處假設底床形狀高度會對流況的變化即時做出反應。

### (6) 輸砂勢能率 (Potential transport rate) :

PTM 需要計算域的輸砂勢能率來計算輸砂之梯度以推估定點底床侵蝕或沈積的潛勢。輸砂勢能率被用來計算一個沈積物顆粒在沈積後被埋沒的概率。這個可以被輸出及標示成圖的資訊可用來當作計算域中的輸砂狀態的指標。

針對波流共存時的總輸砂勢能率，PTM 有兩種演算方法提供選擇：Soulsby-van Rijn (Soulsby 1997) 及 van Rijn (1993)。Soulsby-van Rijn 的總輸砂方程式 (Soulsby 1997) 為：

$$q_t = A_s \bar{U} \left[ \left( \bar{U}^2 + \frac{0.018}{C_D} \bar{U}_{rms}^2 \right)^{1/2} - U_{cr} \right]^{2.4} \quad (15)$$

其中

$$A_s = A_{sb} + A_{ss} \quad (16)$$

$$A_{sb} = \frac{0.005h \left( \frac{D_{50}}{h} \right)^{1.2}}{\left[ g(s-1)D_{50} \right]^{1.2}} \quad (17)$$

$$A_{ss} = \frac{0.012D_{50}D_{gr}^{-0.6}}{\left[ g(s-1)D_{50} \right]^{1.2}} \quad (18)$$

$$C_D = \frac{0.4}{\left[ \ln\left(\frac{h}{z_0}\right) - 1 \right]^2} \quad (19)$$

$U_{cr}$  為臨界速度：

$$U_{cr} = \begin{cases} 0.19D_{50}^{0.1} \log_{10}\left(\frac{4h}{D_{90}}\right) & D_{50} < 0.5 \text{ mm} \\ 8.5D_{50}^{0.6} \log_{10}\left(\frac{4h}{D_{90}}\right) & D_{50} \geq 0.5 \text{ mm} \end{cases} \quad (20)$$

## 2、 粒子傳輸輸砂計算

於不同之操作的模式，各種計算都會表現得不一樣。例如，平流速度在 2D 及 Q3D 模式中的計算將會需要計算懸浮及底床載的濃度剖面，然而 3D 模式僅需顆粒的位置來計算，與定點輸砂(local transport)無關。其他的計算，諸如沉降速度等等。

### (1)顆粒位置(Particle position)：

PTM 使用了一種二階的預測校正法來求解於時間  $t+dt$ ，在三個維度： $x, y, z$  的顆粒位置。以下將以  $x$  方向為範例闡述。第一種方案使用了當下的顆粒時空坐標資料來預測顆粒在一半時距後的位置  $x'$ ，如：

$$x' = x_n + \frac{1}{2}(u_A dt + u_D dt) \quad (21)$$

其中  $u_A$  及  $u_D$  分別是（在位置  $x$  與時距  $n$  時的）平流速度與擴散速度(advection and diffusion velocities)。而第二種方案使用了全時距位置資料：

$$x_{n+1} = x_n + u'_A dt + u'_D dt \quad (22)$$

其中  $u'_A$  及  $u'_D$  分別是（在位置  $x'$  與時距  $n + \frac{1}{2}$  時的）平流速度與擴散速度。這些速度的計算會根據模式而有所不同：

1. 2D模式：對於有顆粒特性的沈積物，使用輸砂分布的形心高度的定點水平速度。
2. Q3D模式：使用顆粒形心高度的定點水平速度，其可能依底床交互作用而變。
3. 3D模式：使用顆粒形心高度的定點水平速度。

本文使用 2D 計算其理論將於以下幾節說明。

### (2)平流速度(Advection velocity)：

在 2D 及 Q3D 模式計算水平平流速度，會需要輸砂分布形心高度的相關知識。於柱狀水體單位中的顆粒濃度為濃度( $kg/m^3$ )在深度上的積分：

$$C = \int_{z_0}^h C(z) dz \quad (23)$$

輸砂率(transport rate)為濃度與速度之乘積：

$$\bar{q}_s = \int_{z_0}^h C(z) \bar{u}(z) dz \quad (24)$$

平均顆粒平流流速 $\bar{u}_A$  (mean particle advection velocity)是由輸砂勢能率除以沈積物載來計算：

$$\bar{u}_A = \frac{\int_{z_0}^h C(z) \bar{u}(z) dz}{\int_{z_0}^h C(z) dz} \quad (25)$$

此平流速度也可以視為是在顆粒輸砂率分布的形心位置上的流的速度。直接在 PTM 中求解此公式將會太過耗時，故接下來將介紹所採用一個更簡易的方法。

懸浮顆粒濃度剖面(suspended particle concentration profiles)可以如 Rouse(1939)的形式來假設(見式(26))

$$\frac{C}{C_0} = \left( \frac{\frac{1}{\sigma} - 1}{\frac{1}{\sigma_0} - 1} \right)^{\frac{w_s}{k\beta u_*}} \quad (26)$$

其中 $\sigma$ 為由底床起算的相對高度( $z/h$ )， $\kappa=0.4$ ， $\beta=1$ ， $C_0$ 為於高程 $\sigma_0$ 的基準底床濃度。Rouse 濃度剖面形狀被認為能表現出顆粒大小與剪應力在懸浮濃度剖面的相對影響(參見圖 3)。

以上的濃度曲線乘積與假設的速度對數分布已結合以計算懸浮載輸砂分布的形心高度 $z_s$ 以計算 $w_s/\kappa u_*$ 。形心高度迴歸分析可以得到一個懸浮載的形心高度 $z_s$ 的表示式，其為 $w_s/\kappa u_*$ 之函數(參見圖 4)。

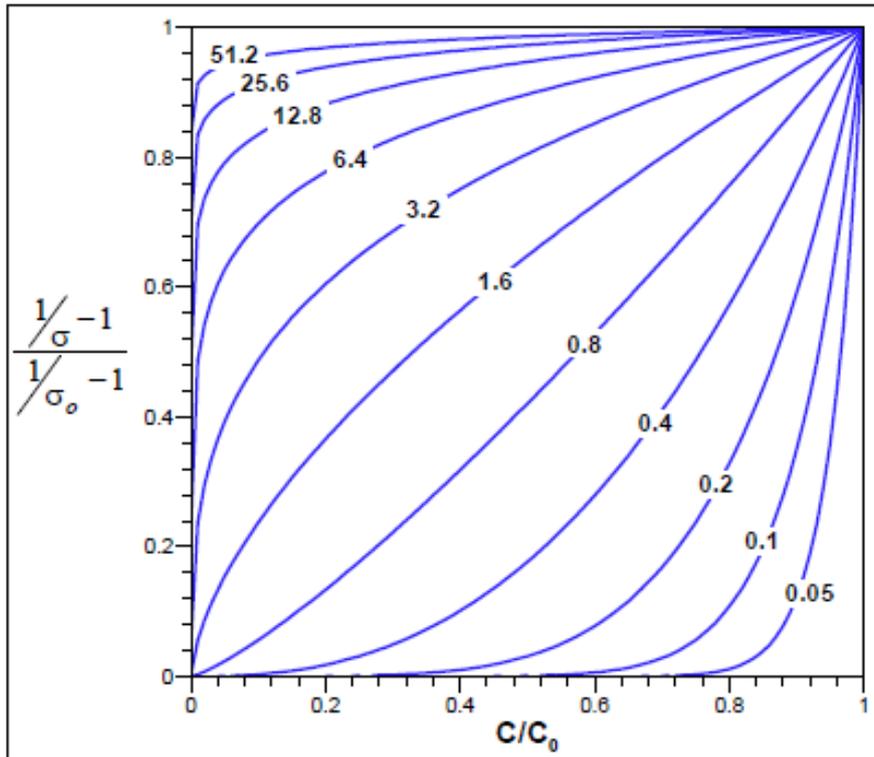


圖 3 基於 Yalin(1977)後的 Rouse 濃度分布，曲線標籤為  $w_s/\kappa u_*$  的值

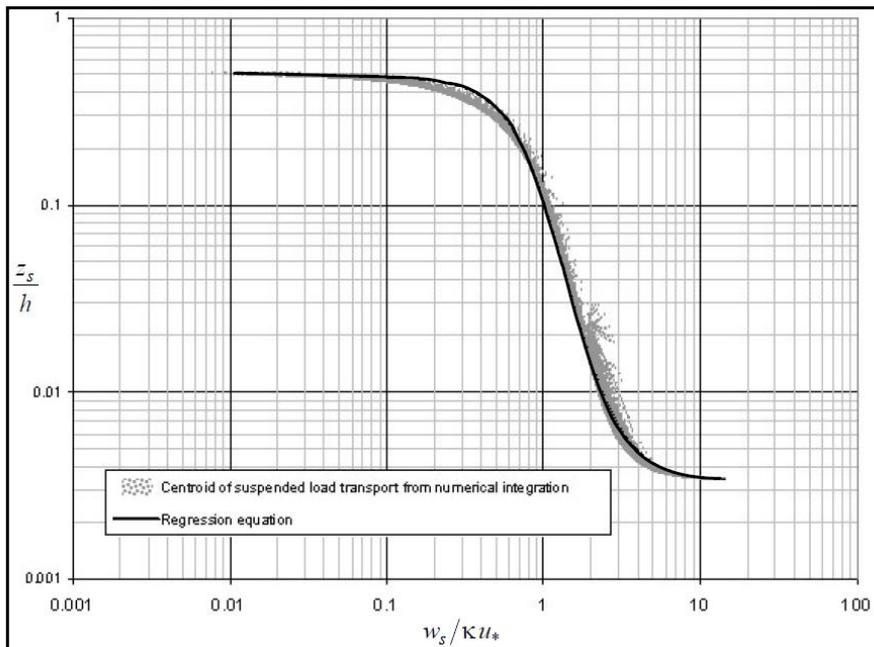


圖 4 用以計算懸浮載輸砂形心的關係圖

結果可以得出懸浮載形心高度  $z_s$  之公式：

$$\frac{z_s}{h} = 0.0398.10^{-1.08 \tanh\left[1.2 \ln\left(\frac{w_s}{k_{us}}\right) - 0.4\right]} \quad (27)$$

顆粒沉降速度（見圖五） $w_s$  (m/sec) 定義為無因次粒徑  $D_{gr}$  之函數，並可用以下 Soulsby(1997)之近似公式求得，針對細粒徑( $D_{gr} < 0.0672$ )有做些改寫：

$$\frac{w_s D}{\nu} = \begin{cases} \sqrt{107.33 + 1.049 D_{gr}} - 10.36 & D_{gr} \geq 0.675 \\ 0.0077 D_{gr}^2 & D_{gr} < 0.675 \end{cases} \quad (28)$$

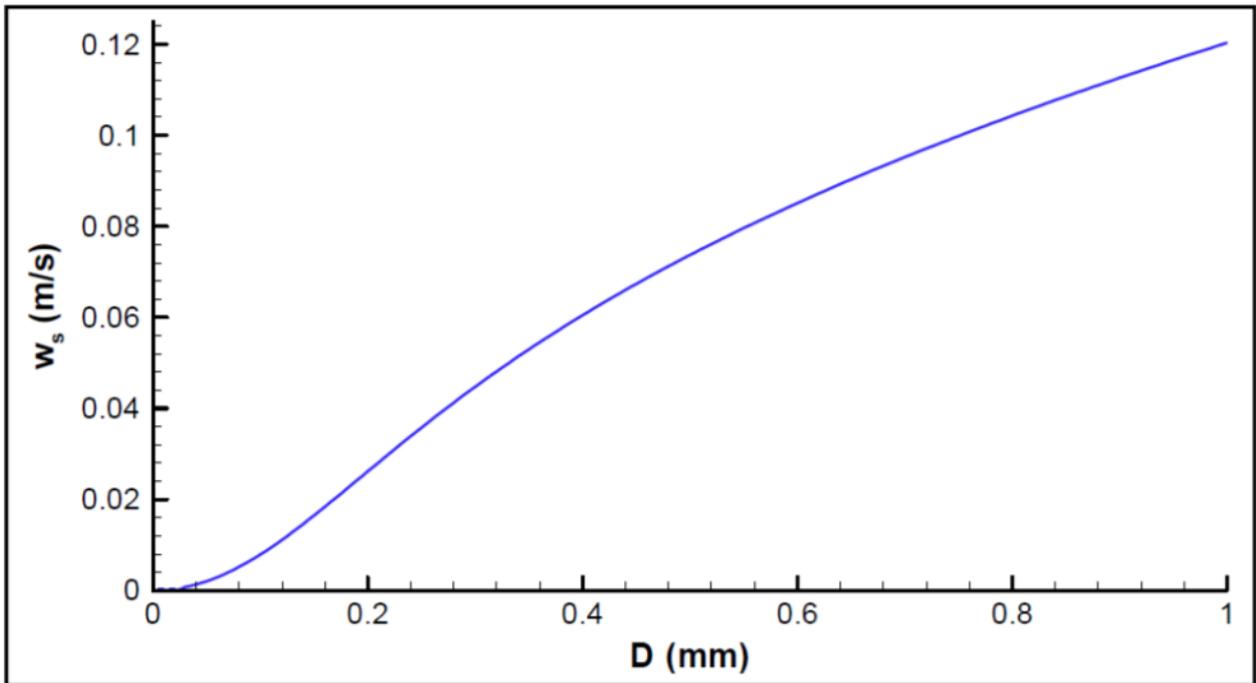


圖 5 沈積物沉降速度

懸浮載之平流速度  $u_s$  (m/sec) 為於高程  $z_s$  (m) 之速度，其為對數函式：

$$u_s = 2.5u_*'' \ln\left(30 \frac{z_s}{k_2''}\right) \quad (29)$$

底床載是用一以速度  $u_b$  行進的均勻厚度層表示。底床載速度之估算已由 Yalin(1977)、van Rijn(1984a)作討論。在 PTM 中，底床載速度是以 Engelund and Fredsoe(1976)之關係式來估算：

$$u_b = u_*' \left(10 - \frac{7}{\sqrt{M}}\right) \quad (30)$$

總砂載的加權平均速度是由懸浮載與總砂載之比值  $q_s/q_r$  進行計算。此比值可透過預測輸砂垂直剖面之積分來取得。一個更簡單的關係式將在接下來的圖以類線疊加的樣式來表現。

圖 6 是基於 van Rijn(1984b)以及 Guy et al.(1966)的數據資料來進行調整的。此曲線函式如：

$$\frac{q_s}{q_r} = 0.5 \tanh \left\{ 1.3 \left[ \ln \left( \frac{u_*''}{W_s} \right) - 0.3 \right] \right\} + 0.5 \quad (31)$$

沈積物顆粒的平流速度是基於底床載與懸浮載成分的高程來進行計算。總砂載的加權平流速度  $u_c$  可由懸浮載與底床載的比值來獲得：

$$u_c = \frac{q_s}{q_r} u_s + \left( 1 - \frac{q_s}{q_r} \right) u_b \quad (32)$$

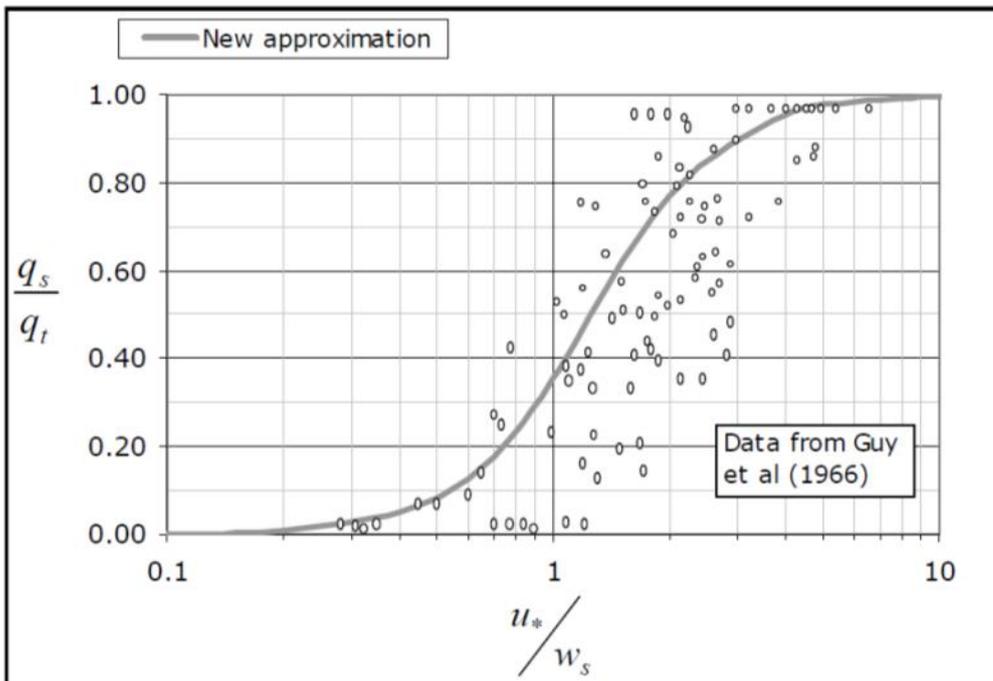


圖 6 懸浮載與總砂載之比值

底床起算之高程對應之速度可基於流之分布為對數函數的假設來進行計算：

$$u(z) = u_*'' \left[ 5.75 \log_{10} \left( \frac{z}{k_s} \right) + 8.5 \right] \quad (33)$$

此高度為輸砂形心高程  $z_c$ ，其可以此求得：

$$z_c = k_s'' \cdot 10^{\left[0.1739(u_c/u_*'')-1.47826\right]} \quad (34)$$

水平平流速度  $\bar{u}_A$ ，即 2D 模式中的速度：

$$\bar{u}_A = u_*'' \left[ 5.75 \log_{10} \left( \frac{z}{k_s''} \right) + 8.5 \right] \frac{\bar{U}}{|\bar{U}|} \quad (35)$$

此水平平流速度在 PTM 中解出為向量形式。

2D 模式中，所有的顆粒都是在其所處之輸砂粒徑形心高度上游移，故平流速度無垂向成分。然而，顆粒還是可能在垂直方向上移動，這是因為形心高度會依流體動力之因素而改變。

附錄四  
極端事件災害特性分析

## 附錄四 極端事件災害特性分析

進一步模擬莫蘭蒂颱風災害情形，莫蘭蒂颱風為近十年來幾年來，於台東浮標站測得颱風波高超過 15 米，期颱風路徑如圖 1 所示，颱風期間之波浪條件如圖 2 所示，整體而言莫蘭蒂颱風期間計畫波浪以東向以及東南向為主，進一步將波浪最大時刻波場，波浪引致流場，以及颱風過後地形變化圖繪出，如圖 3~5，由圖 3 結果可見，波浪在傳遞的過程中除了南興至大武段，其沿岸坡度較緩波浪受地形影響，消波作用較明顯外，其他兩區段則不明顯，圖 4 為波浪引致流場結果，由於波浪以東南向入射，故整體沿岸流以往北向為主，圖 5 為颱風波浪作用後，其地形變化結果，結果顯示，於颱風條件作用下，波浪造成結果已侵蝕為主，且集中在近岸地帶。

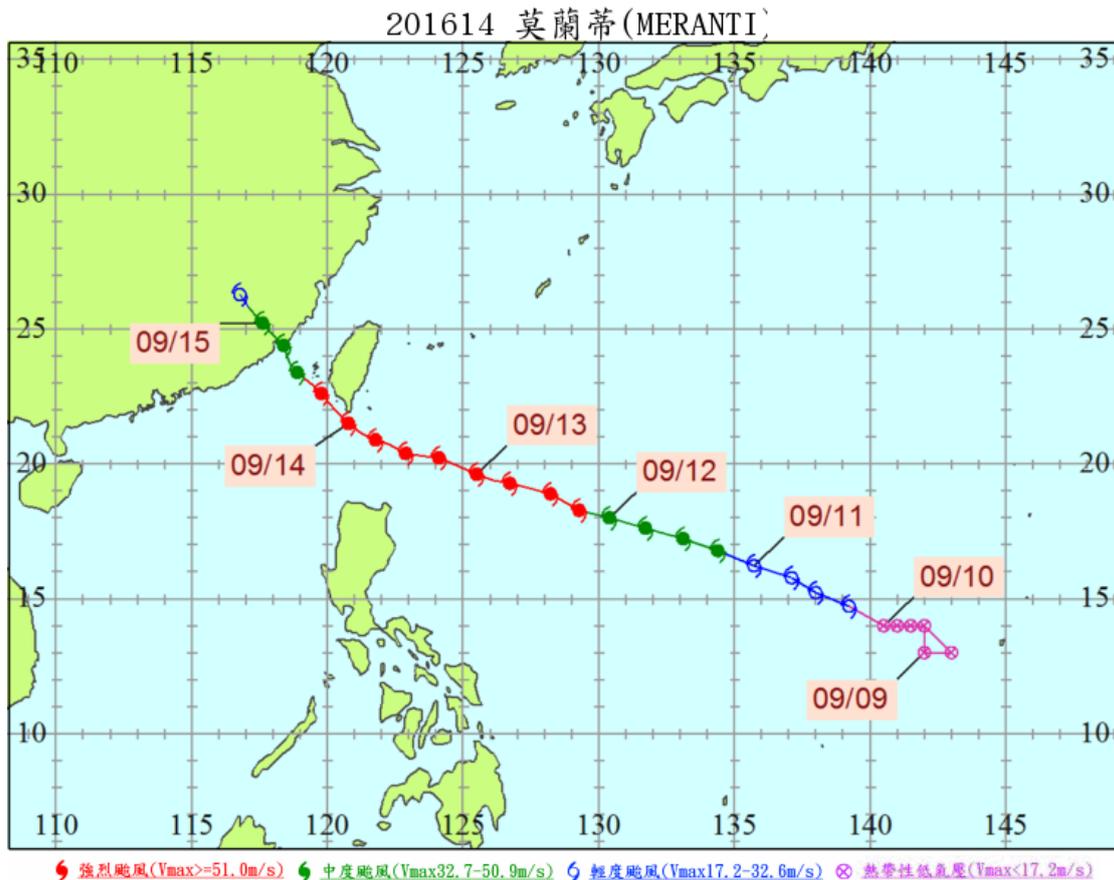


圖 1 莫蘭蒂颱風路徑圖

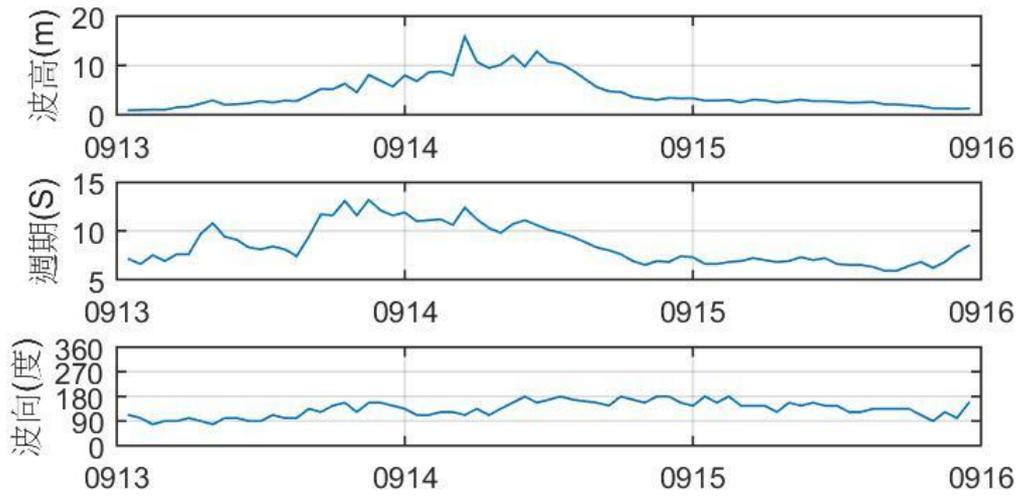


圖 2 莫蘭蒂颱風觀測期間颱風波浪條件

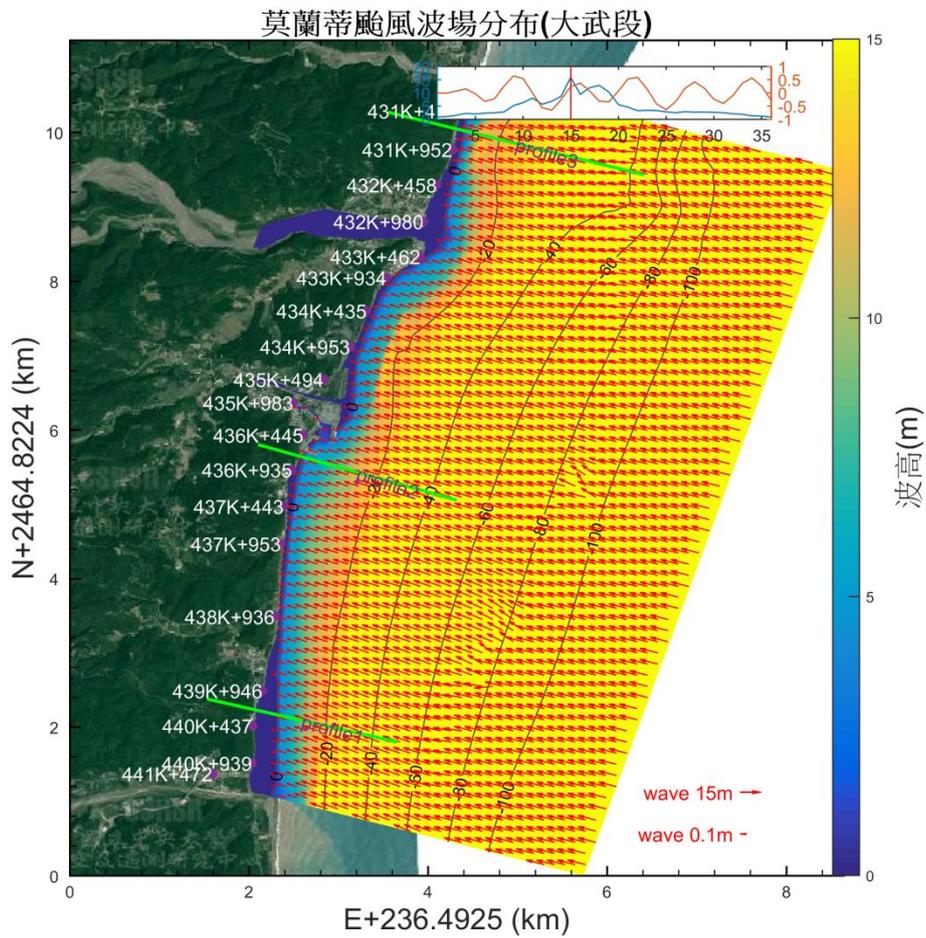


圖 3 莫蘭蒂颱風觀測期間颱風最大波場模擬結果(南興至大武段)

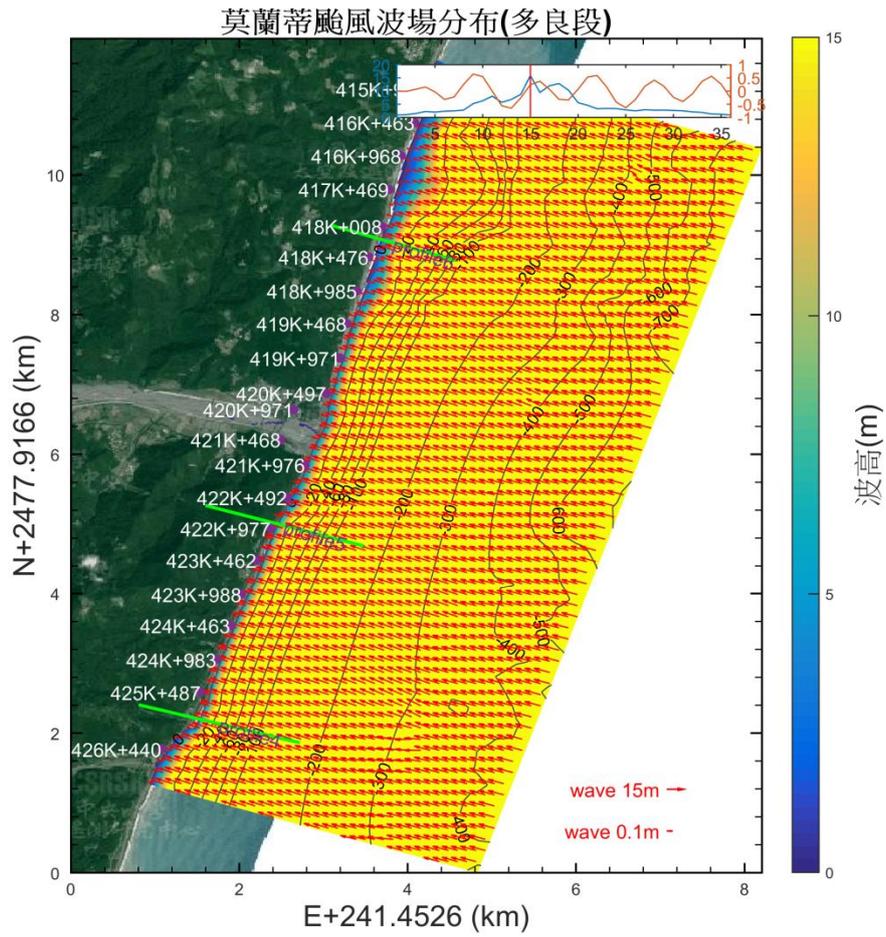


圖 3(續 1) 莫蘭蒂颱風觀測期間颱風最大波場模擬結果(加津林至多良段)

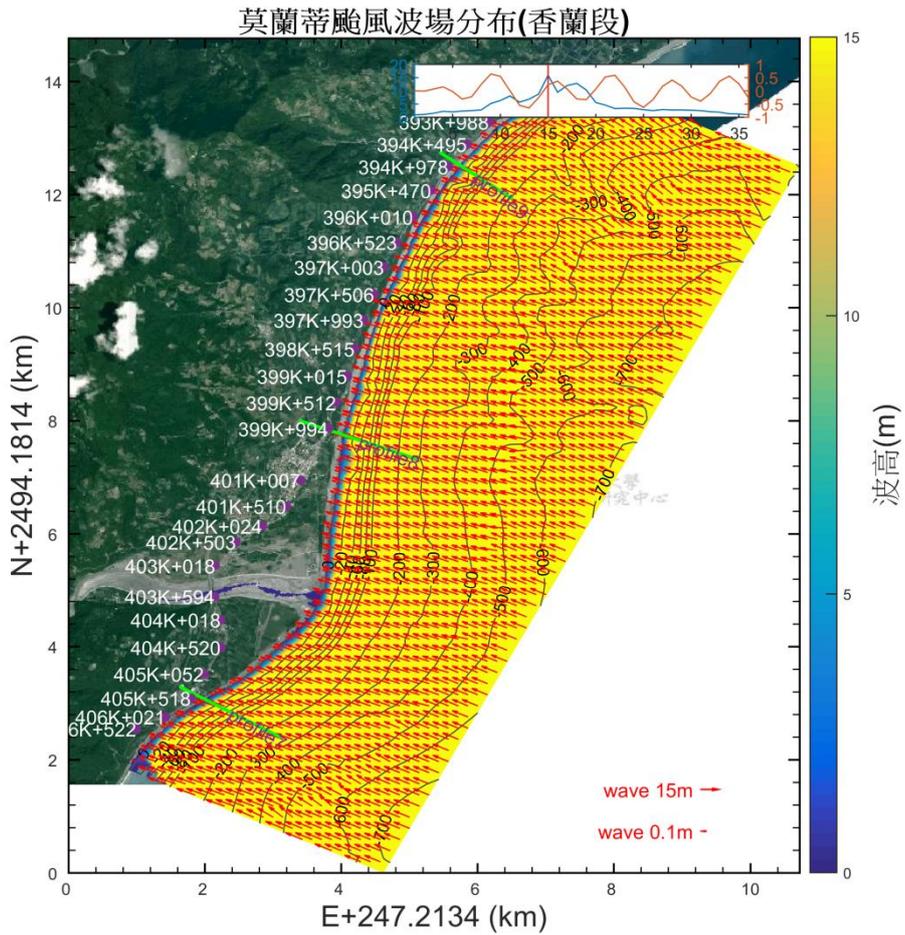


圖 3(續 2) 莫蘭蒂颱風觀測期間颱風最大波場模擬結果(香蘭段至三和段)

莫蘭蒂颱風波浪引致流場(大武段)

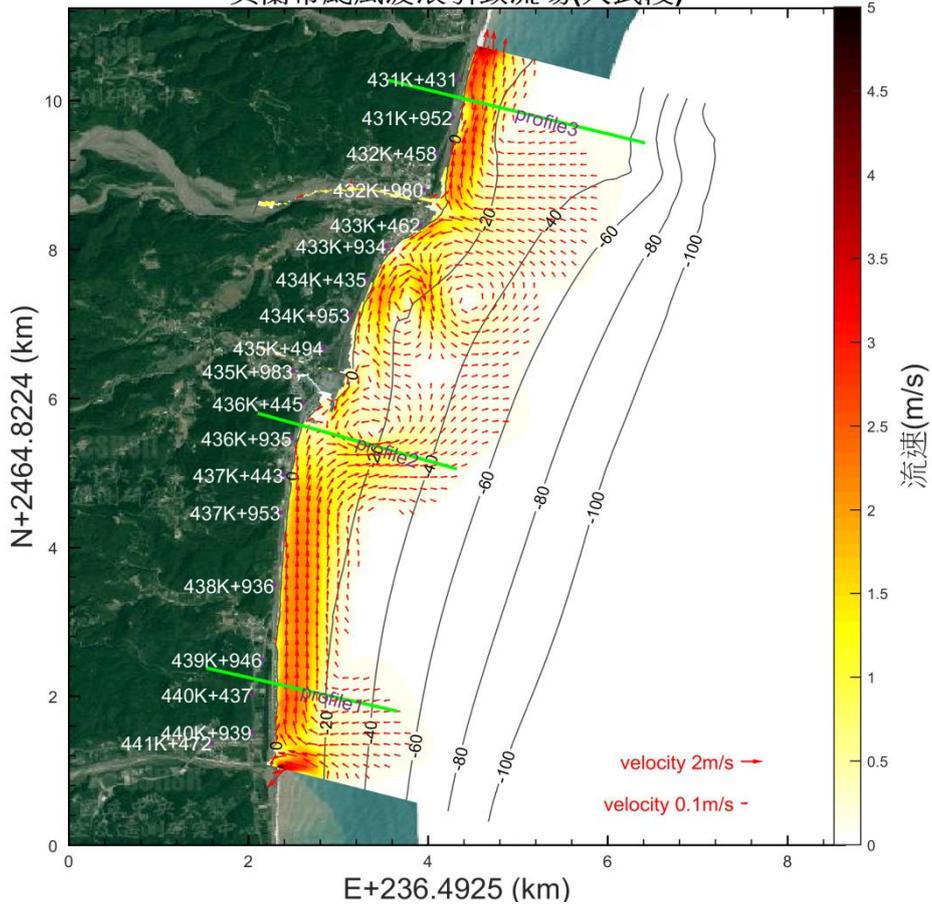


圖 4 莫蘭蒂颱風觀測期間颱風最大波引致流場擬結果(南興至大武段)

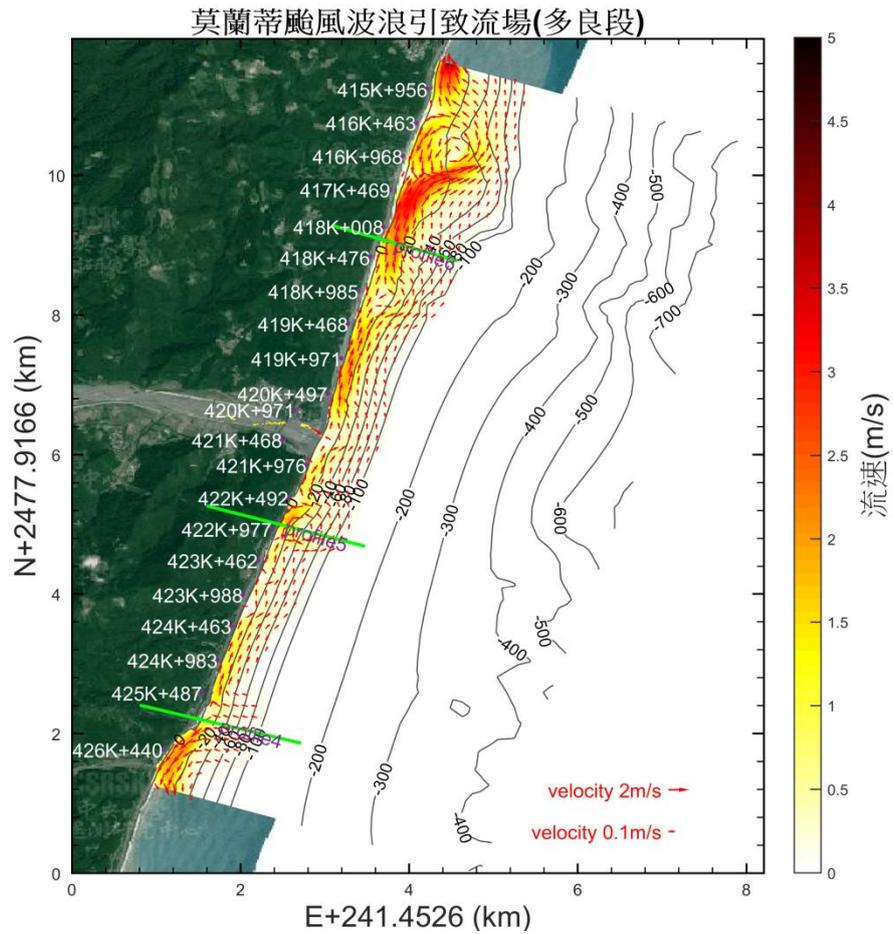


圖 4(續 1) 莫蘭蒂颱風觀測期間颱風最大波引致流場擬結果(加津林至多良段)

莫蘭蒂颱風波浪引致流場(香蘭段)

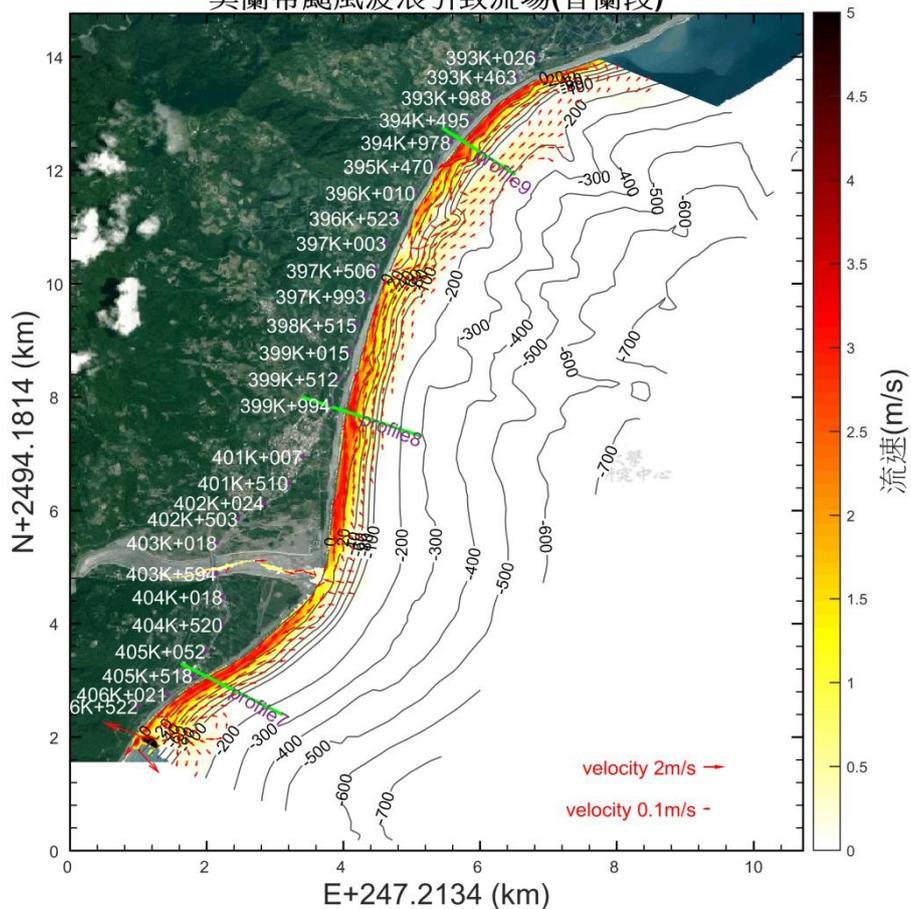


圖 4(續 2) 莫蘭蒂颱風觀測期間颱風最大波引致流場擬結果(香蘭段至三和段)

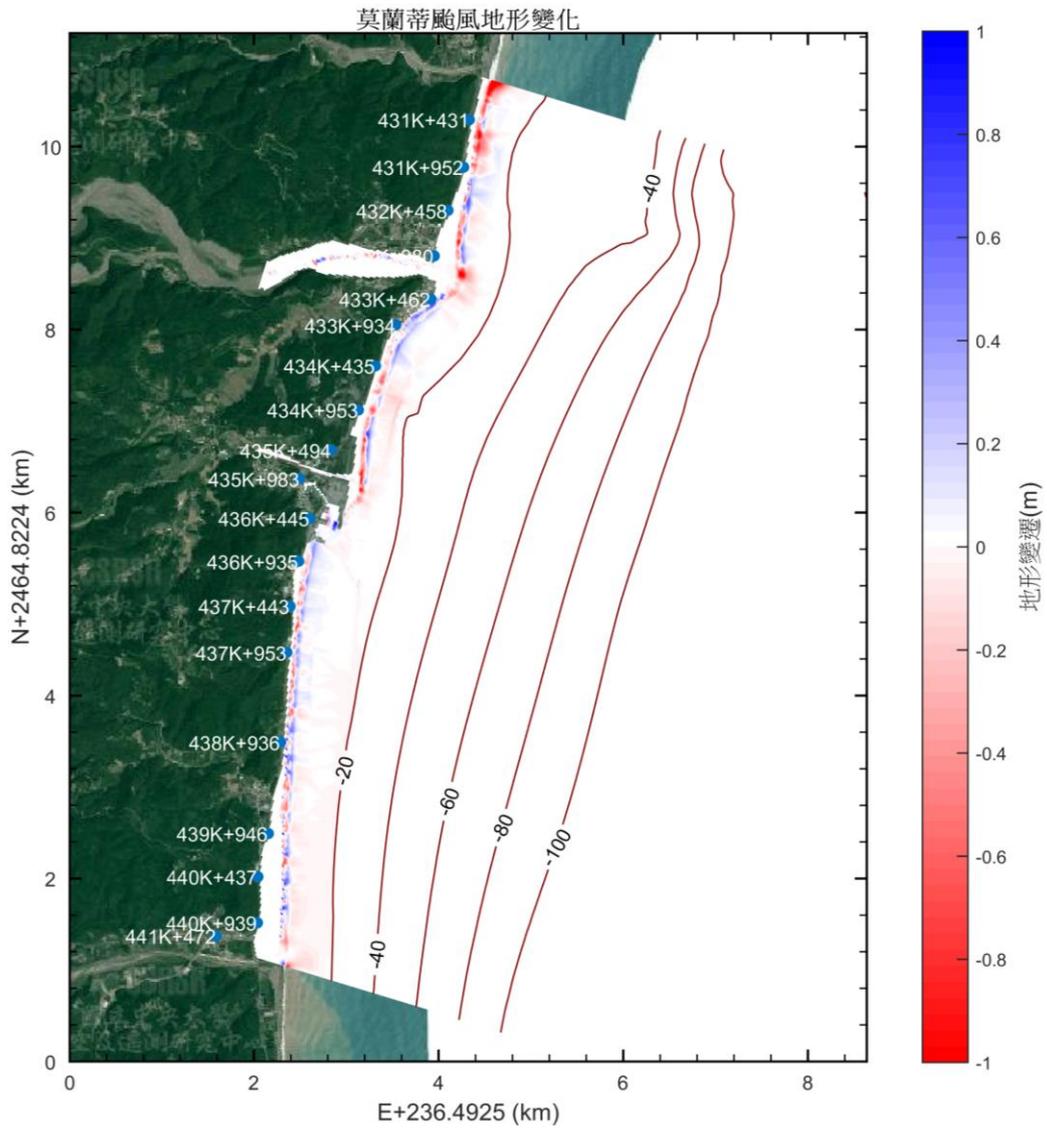


圖 5 莫蘭蒂颱風過後地形變遷結果(南興至大武段)

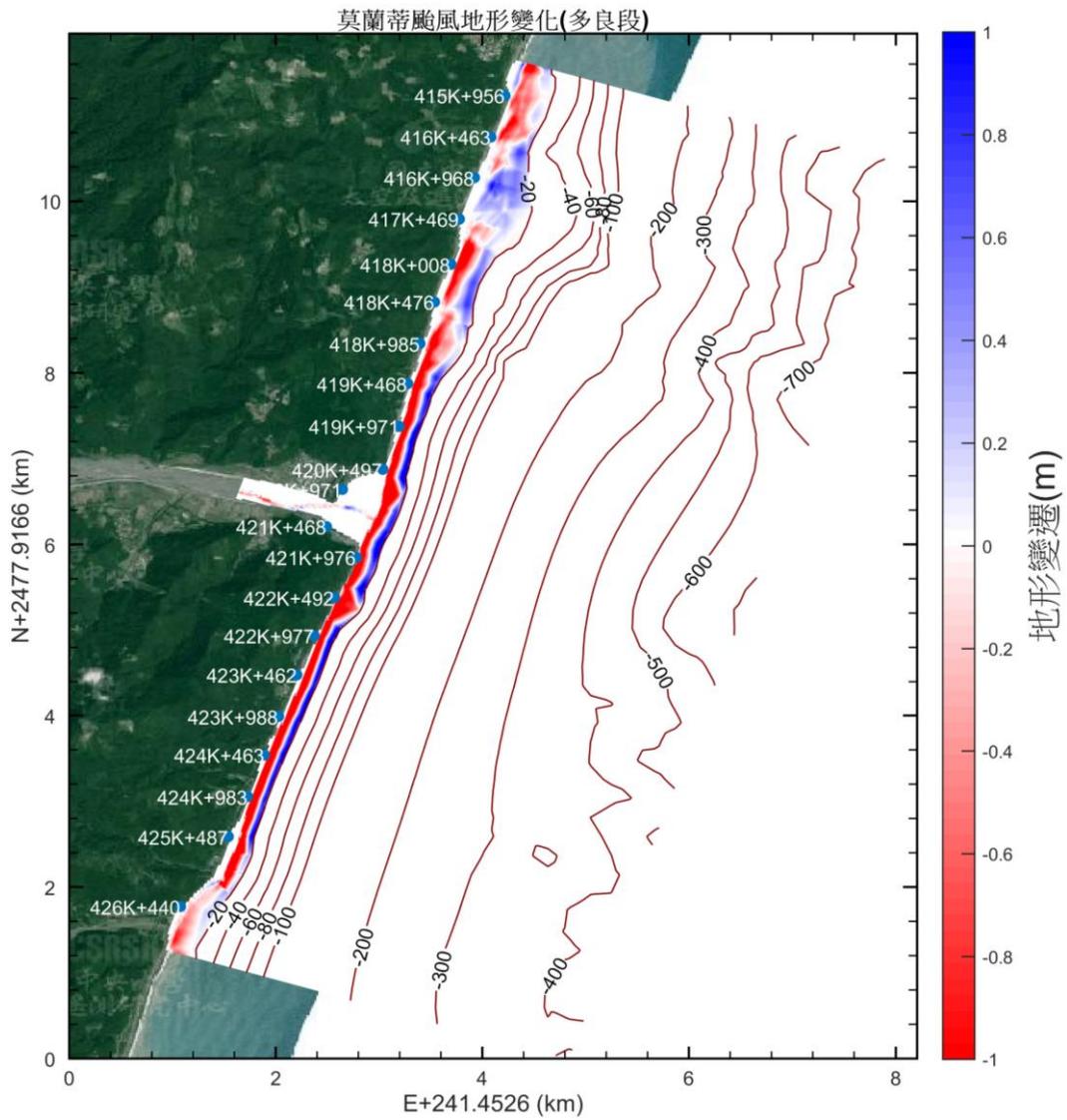


圖 5(續 1) 莫蘭蒂颱風過後地形變遷結果(加津林至多良段)

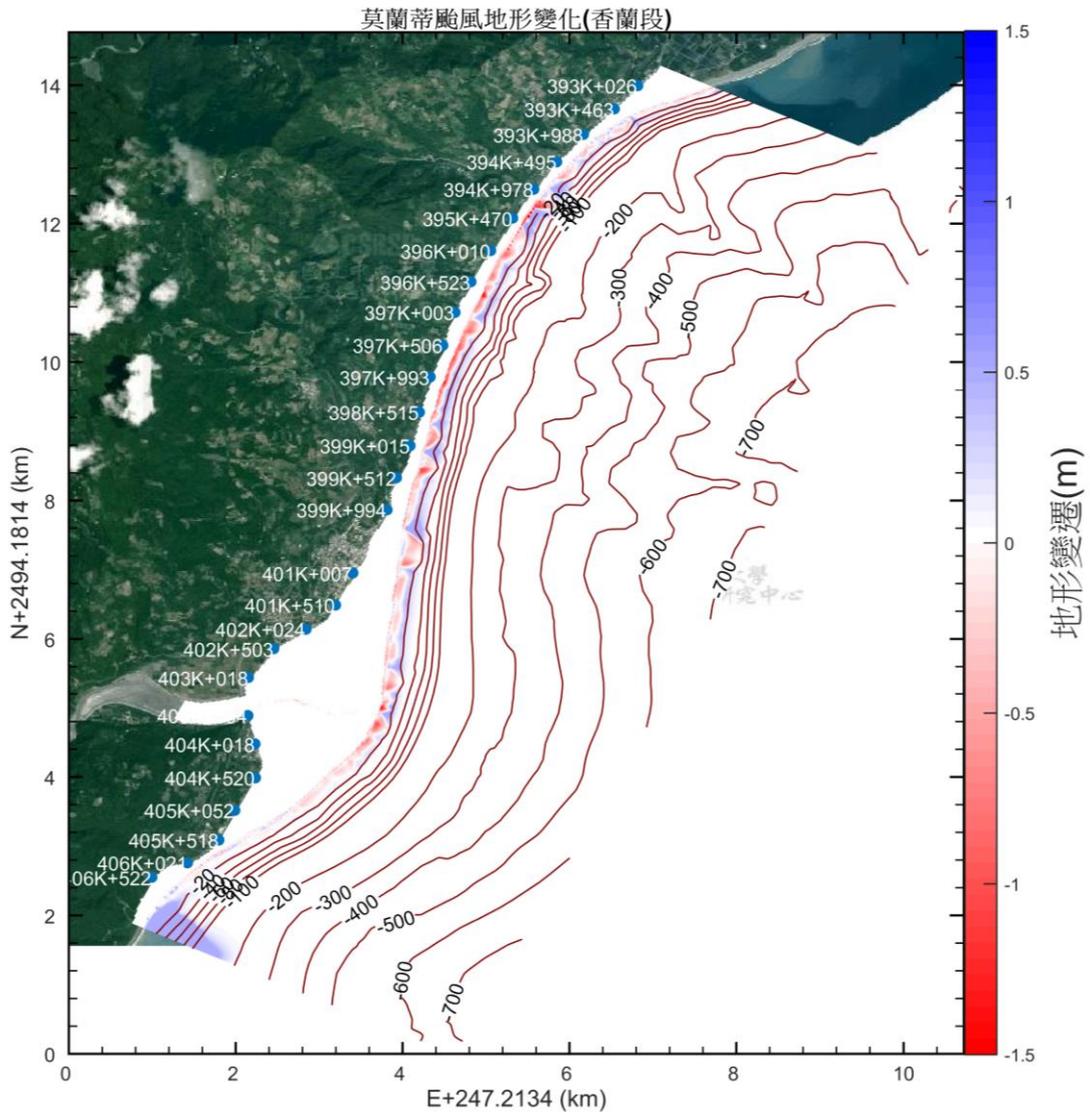


圖 5(續 2) 莫蘭蒂颱風過後地形變遷結果(香蘭至三和段)



附錄五  
期末審查簡報



# 臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究

## 期末報告審查

主持人：蕭士俊 教授  
協同主持人：吳漢倫 博士



中華民國107年11月5日

## 簡報大綱

- ◆ 計畫緣起與目的
- ◆ 進度說明
- ◆ 資料蒐集分析
- ◆ 數值評估
- ◆ 公路溢淹致災區段特性分析
- ◆ 沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析
- ◆ 結論與建議



## 計畫緣起與目的

### 研究目的：

- 建立適合臺東海岸公路之海岸區域之波流耦合水動力與地形變遷模式。
- 搭配附近海域各項監測資料，以驗證模式之正確性。
- 透過數值模擬瞭解現有海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性，包括大武漁港等臺東海岸沿岸流及中長期地形變遷特性，以及近岸區域未來因拓寬後公路(如臺9線)之可能影響。

## 計畫緣起與目的

### 工作項目：

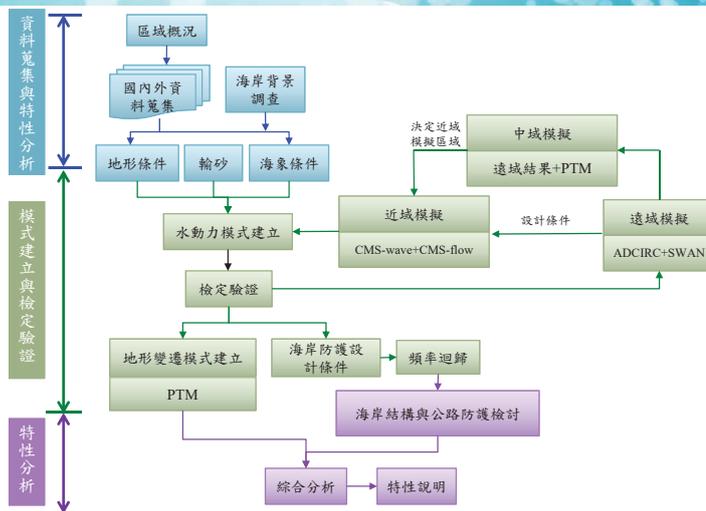
1. 蒐集往昔相關海氣象資料並分析強烈季風及颱風期間臺東外海風力、波浪、潮汐及海流特性。
2. 蒐集往昔相關地形資料(衛星或測量資料)，並分析臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷之特性，以發掘臺9線公路易致災之區段資訊。
3. 建立臺東海岸區域的波流耦合水動力及漂砂地形變遷模式，並利用本所港研中心或其他單位鄰近觀測資料，以校驗水動力模式相關參數及模擬結果，並說明地形變遷模擬之合理性。
4. 分析臺東海岸公路容易致災區段之海水溯上與溢淹特性。
5. 探討臺東沿岸區域的沿岸流與中長期地形變遷特性。

## 進度說明

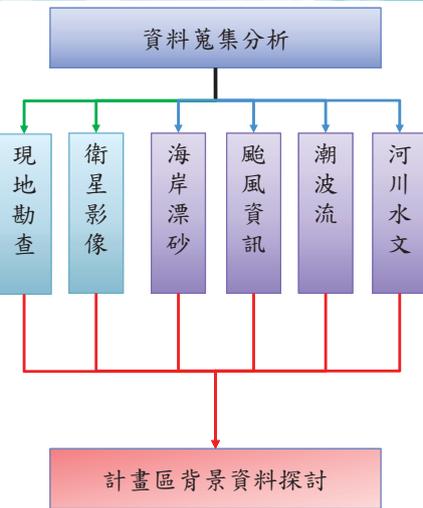
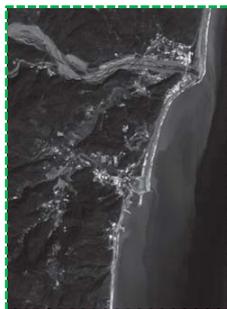
預定進度  
 達成進度

工作內容項目	月次	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
	年別	107												
	月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
(一)資料蒐集分析														
(二)數值評估														
1.水動力數值模式建置														
2.檢定驗證														
3.地形變遷模式建置														
(三)公路易致災區段特性分析														
(四)沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析														
(五)報告撰寫		▲												
預定進度累積百分比 (%)	-	10	15	25	35	45	55	65	75	85	90	100		
<b>查核點(▲)</b>	<b>預定完成時間</b>	<b>查核點內容說明</b>												
1	107.02.28	政府部門研究計畫基本資料表登錄												
2	107.06.27	期中報告初稿												
3	107.10.25	期末報告初稿												
4	107.11.30	成果報告修正及經費支出報告表												

## 工作流程與架構



# 資料蒐集分析



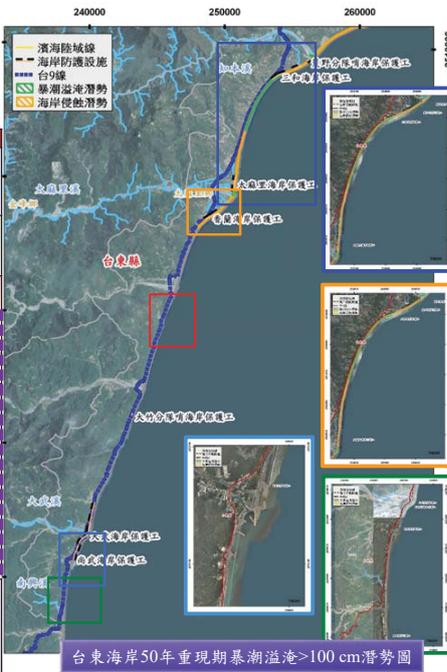
1. 臺東知本海岸與海岸變遷之研究-89年
2. 台東海岸(卑南溪口至利嘉溪口)復育研究(1/2)-93年
3. 台東海岸(卑南溪口至利嘉溪口)復育研究(2/2)-94年
4. 台東海岸(香蘭段)監測防護計畫(1/2)-94年
5. 台東海岸(香蘭段)監測防護計畫(2/2)-95年
6. 台東海岸(香蘭段)防護對策研究-96年
7. 台東海岸(南武段)監測調查計畫(1/2)-97年
8. 台東海岸(市區段)海岸環境營造改善計畫(1/2)-97年
9. 台東海岸(南武段)監測調查計畫(2/2)-98年
10. 台東海岸(市區段)海岸環境營造改善計畫(2/2)-98年
11. 台東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(1/2)-99年
12. 台東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(2/2)-100年
13. 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-100年
14. 潮流作用下臺灣濱海灘砂研究-101年
15. 臺九線海岸公路防浪保護工程之探討-102年
16. 卑南溪河口輸砂對鄰近海岸之影響評估(1/2)-103年
17. 卑南溪河口輸砂對鄰近海岸之影響評估(2/2)-104年
18. 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-105年

財團法人成大研究發展基金會  
NCKU Research & Development Foundation

# 資料蒐集分析

## 致災區分析

地點	災害分類	致災情形	來源
大武漁港	淤積災害	武漁港受到地形、海流影響，每年10月到隔年3月，經常被海砂堆積在港旁，害得漁船無法出海。	1.新聞 2.潮流作用下台灣濱海灘砂研究(2012) 3.台東海岸(南武段)監測調查計畫(2/2)
南興路段	侵蝕災害 波浪侵襲	因為極端氣候、人為壟塞等因素加上大武漁港「突堤效應」，造成南興海岸侵蝕嚴重。此外，極端颱風影響導致公路溢淹現象發生。	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
多良路段	公路溢淹	強颱(莫宜)外圍環流影響，長浪從裝路段造成傷亡。	新聞
香蘭段	侵蝕災害	香蘭段海岸年來受颱風巨浪侵襲影響，以致於沿岸防風林地崩壞嚴重，尤其波浪湧上急流沖刷帶來大量砂石堆積至高灘上，其衝擊力常造成沿岸防護設施的破壞。	台東海岸(香蘭段)監測防護計畫(2/2)
美和海岸	侵蝕災害	<b>長期變化：</b> 民國68年10月至民國75年12月期間，美和海岸呈現往海側延伸趨勢；於民國75年12月至民國88年1月期間，則全面性往陸側後退侵蝕。 <b>短期變化：</b> 民國88年1月，民國89年6月間之變化進行討論，究(討論短、長期地形變遷)	台東知本海岸與海岸變遷之研究(討論短、長期地形變遷)
三和海岸	公路溢淹	在50年重現期水位下，淹水深度達1m以上區域。 1079山仔颱風侵襲，造成公路溢淹災害。	本計畫圖資套疊新聞
太麻里段	海蝕災害	太麻里海岸因直接面臨太平洋深海波浪衝擊，又海濱地形陡峭，常颶風波浪由外海傳送至近岸時因底床摩擦小，波浪能量不易消散，在沿岸時波時，對水邊產生之建築物常對沿岸造成明顯的海岸地形變遷，尤以颶風季節最為顯著。	台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) 台東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(2/2)



台東海岸50年重現期暴潮溢淹>100 cm潛勢圖

# 資料蒐集分析

現地勘查



臺九線現勘  
(107/4月與6月)

現勘地點
南興路段
大武漁港
多良段、金崙大橋
香蘭路段
三和路段與美和路段

# 資料蒐集分析

大武鄉 大武村

大武鄉 尚武村

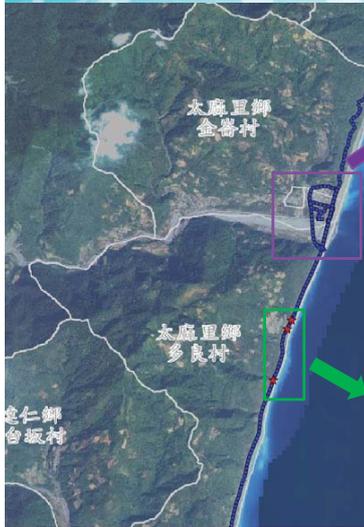
大武鄉 南興村

大武漁港

南興路段

NCKU Research

### 資料蒐集分析



財團法人成大研究發展基金會  
NCKU Research & Development Foundation

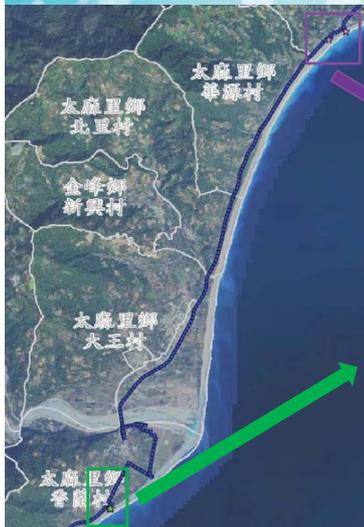
金崙大橋



多良路段



### 資料蒐集分析



財團法人成大研究發展基金會  
NCKU Research & Development Foundation

三和、美和路段



香蘭路段



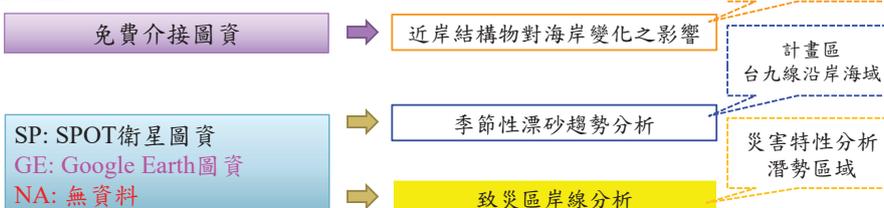
## 資料蒐集分析

品項	特點	說明
中央大學 太遙中心 <small>免費介接圖資</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 1996年~2017年</li> <li>✓ 無法得知影像確切時間(月份)</li> <li>✓ 解析度: 10m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 近岸結構物對海岸變化之影響</li> </ul>
Google Earth <small>下載圖資</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 2011年~2018年</li> <li>✓ 影像時間不連續</li> <li>✓ 無法得知影響確切時間(時、分)</li> <li>✓ 解析度: 5m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 季節性漂砂特性</li> <li>✓ 灘線量化評估</li> </ul>
中央大學太 遙中心 <small>科技部計畫無償 下載圖資(SPOT 衛星)</small>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 2004/09/1~ 2014/10/21</li> <li>✓ 配合Google Earth 進行挑選</li> <li>✓ 解析度: 10~20m</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 灘線量化評估</li> <li>✓ 補足缺乏時間點</li> </ul>

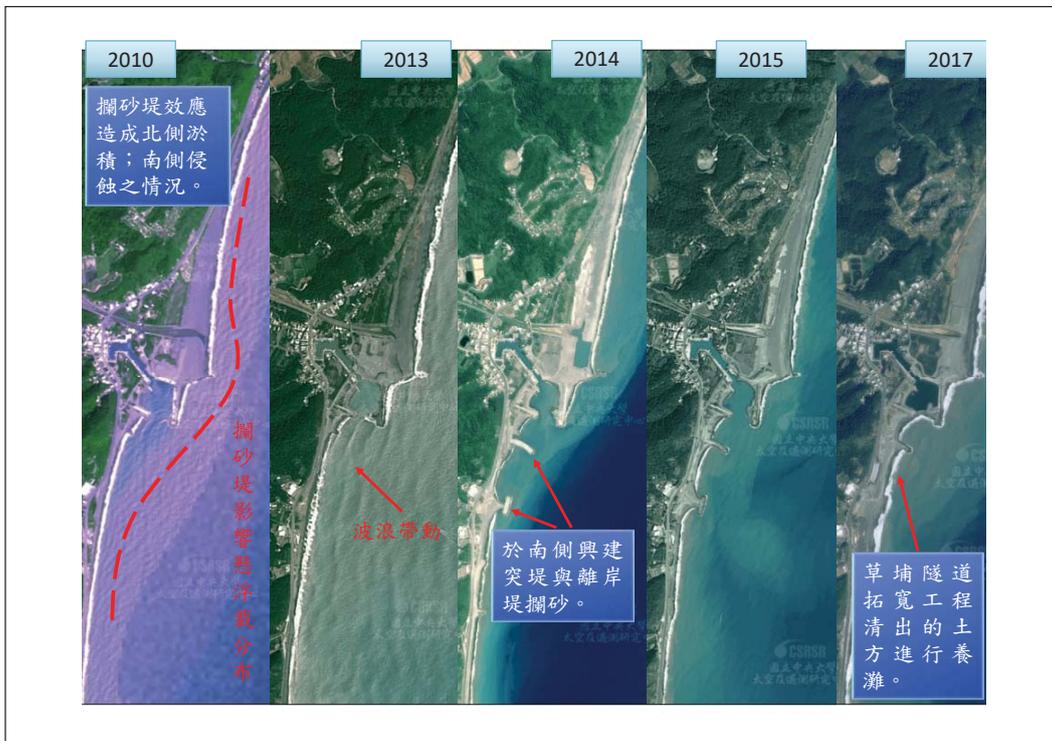


3

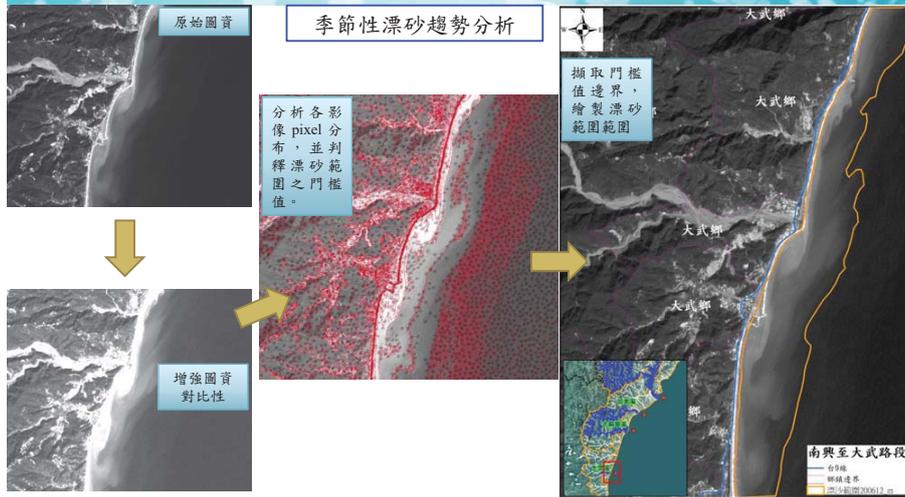
## 資料蒐集分析



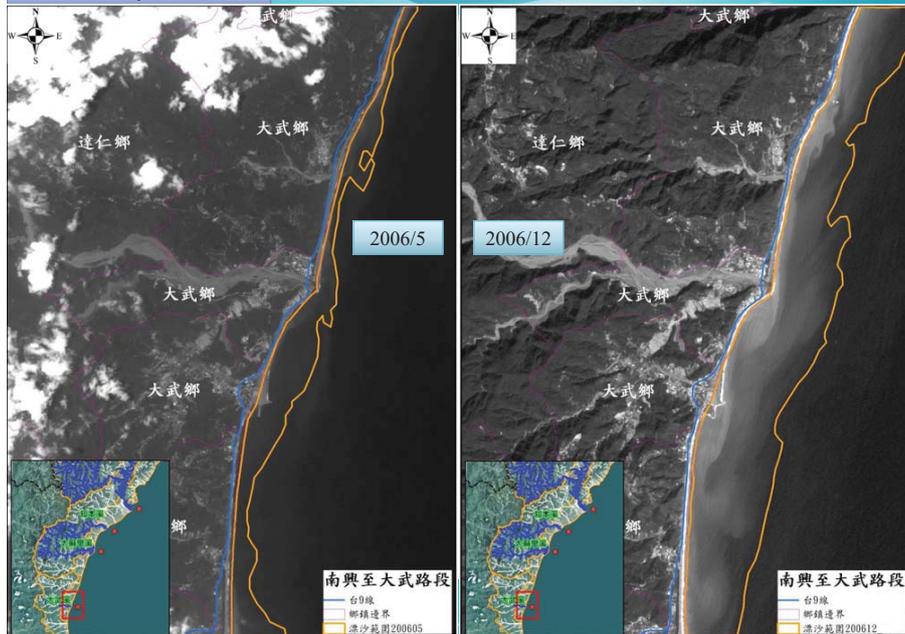
年 月	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
1	NA	NA	NA	NA	NA	SP	SP	SP	SP	SP	SP	NA	NA	SP	NA	SP	SP	NA	SP
2	NA	SP	SP	NA	SP	SP	SP	NA	GE	NA	SP	SP	NA						
3	NA	NA	NA	NA	NA	SP	NA	NA	SP	SP	NA	SP	NA	NA	SP	GE	NA	NA	NA
4	NA	NA	NA	NA	NA	SP	NA	SP	NA	NA	SP	SP	NA	SP	GE	NA	SP	NA	SP
5	NA	NA	NA	NA	NA	SP	SP	SP	SP	NA	SP	NA	NA	SP	NA	NA	NA	NA	NA
6	NA	NA	NA	NA	NA	SP	SP	NA	NA	SP	SP	NA	SP	NA	SP	SP	NA	NA	SP
7	NA	NA	NA	NA	NA	NA	SP	SP	SP	SP	NA	SP	NA	SP	SP	SP	NA	SP	SP
8	NA	NA	NA	NA	NA	SP	NA	SP	SP	GE	NA	SP	NA						
9	NA	NA	NA	NA	NA	SP	GE	SP	NA	NA	SP								
10	NA	NA	NA	NA	NA	SP	GE	SP	SP	NA	SP	SP							
11	NA	NA	NA	NA	NA	SP	GE	GE	SP	SP	NA	NA							
12	NA	NA	NA	NA	NA	SP	NA	SP	GE	NA	NA	NA	SP						

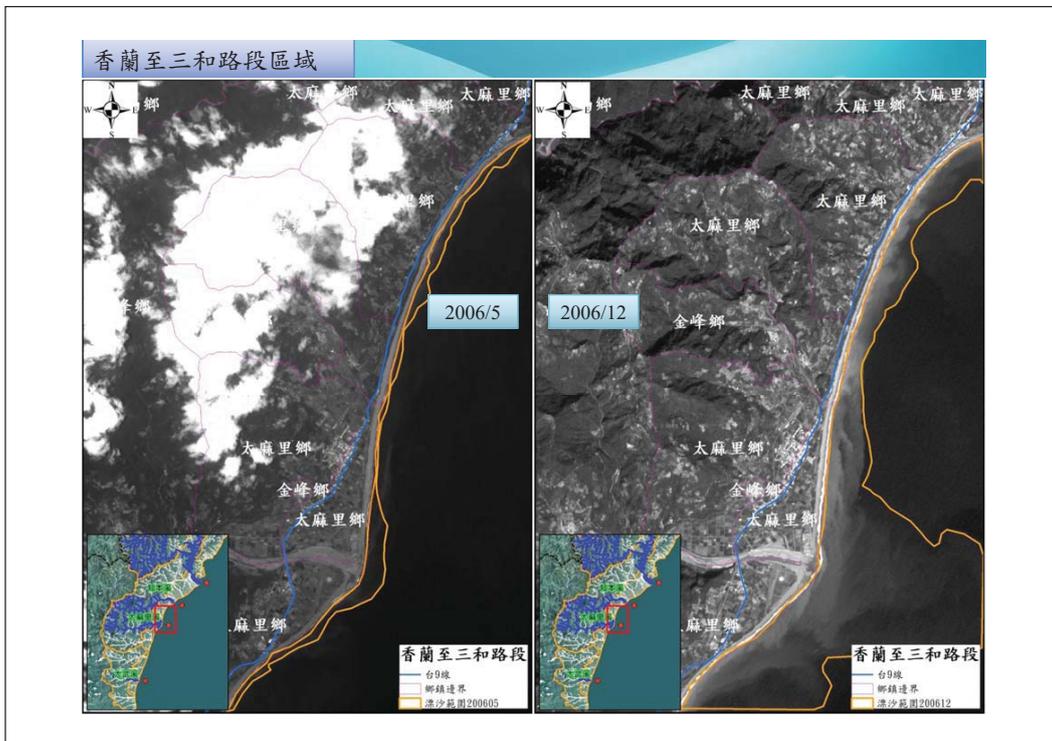
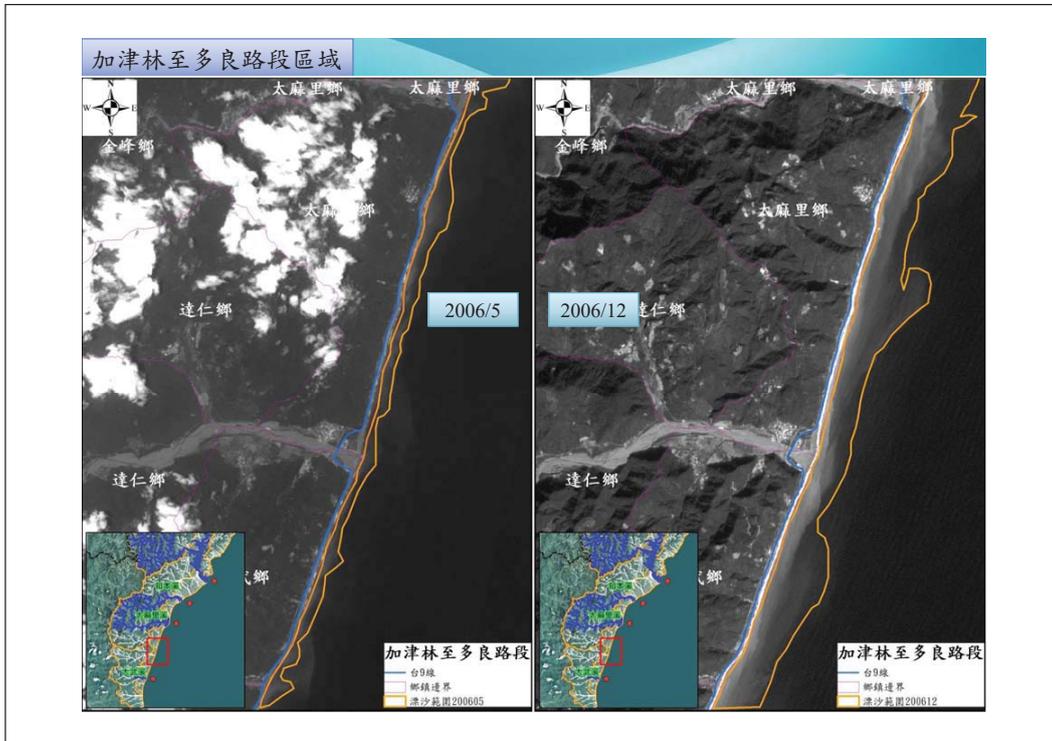


## 資料蒐集分析



## 南興至大武路段區域

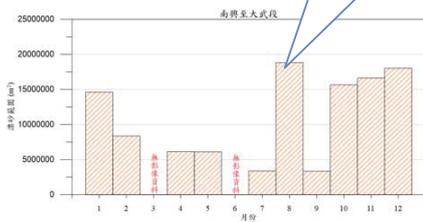




## 資料蒐集分析

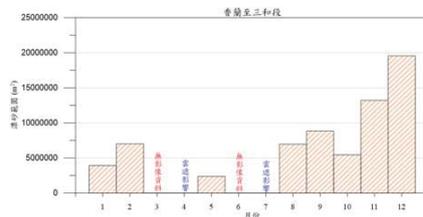
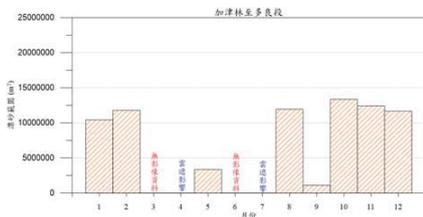
### 季節性漂砂趨勢分析

### 寶發颱風事件期間



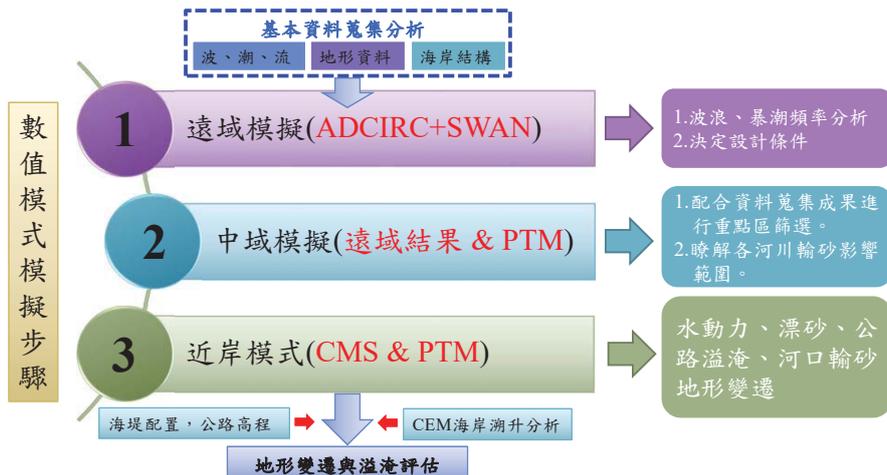
➢ 漂砂範圍於1月、10月、11月及12月較為顯著，概因東北季風盛行所影響，且越往南邊其現象越顯著。

➢ 8月因於寶發颱風期間，部分區域漂砂現象顯著。然利嘉溪和卑南溪漂砂現象不顯著。



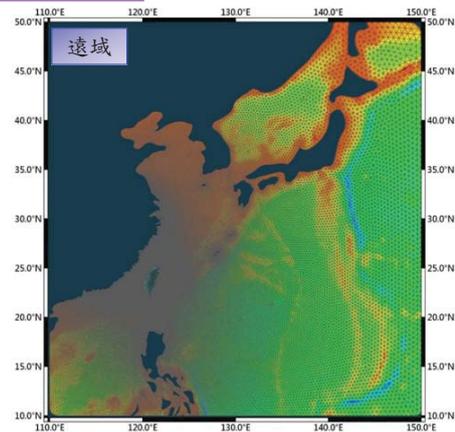
## 數值評估

本項工作所使用數值模擬概分為遠域模擬、中域模擬、近域模擬，共3部分

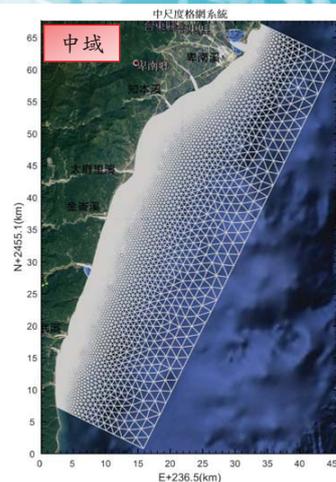


## 數值評估

### 模式設置



- 模擬範圍：東經110°~150°；北緯10°~50°
- 網格尺寸：臺灣周圍0.015°；海域邊界0.5°
- 網格數量：網格50,812；節點98,946



- 模擬範圍：南起安朔路段北至臺東市
- 網格尺寸：陸側100 m；海域2 km
- 網格數量：網格20,141；節點39,285

## 數值評估

### 數值模式驗證資料



使用觀測資料之測站位置



莫蘭蒂颱風



尼莎颱風

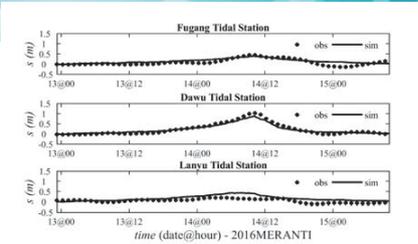
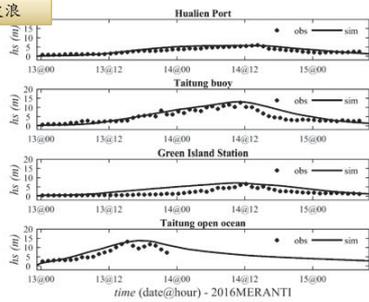
# 數值評估

暴潮偏差

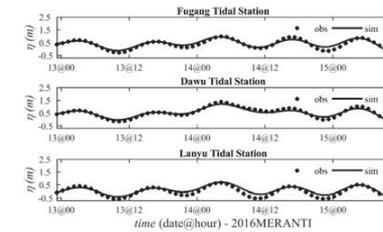
數值模式驗證-遠域

莫蘭蒂颱風

波浪



暴潮



究發展基金會  
lopment Foundation

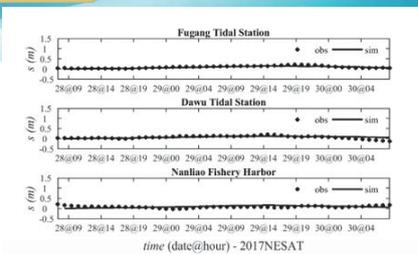
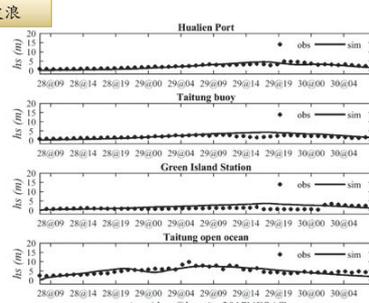
# 數值評估

暴潮偏差

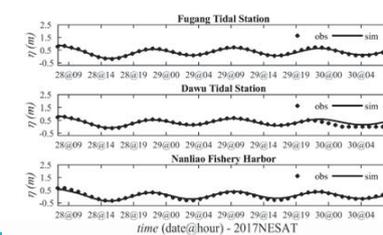
數值模式驗證-遠域

尼莎颱風

波浪



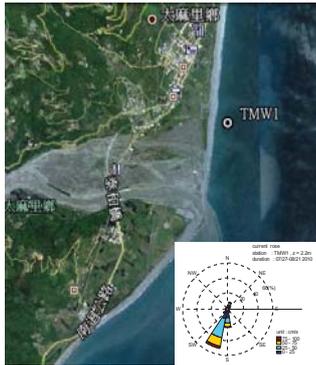
暴潮



究發展基金會  
lopment Foundation

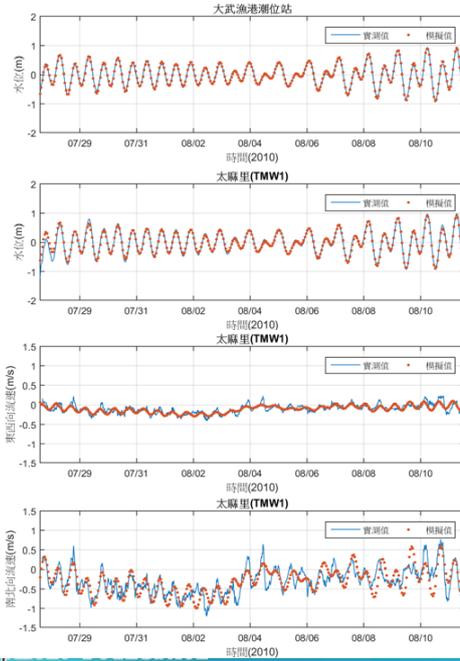
## 數值評估

### 水動力模式驗證-中域



- TMW1 :
  - (1)水深-20m
  - (2)監測日期2010/7/27~2010/8/20
- 參考「臺東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫(100年)」

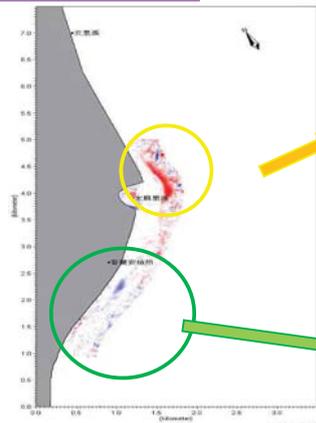
NCKU Research & Dev



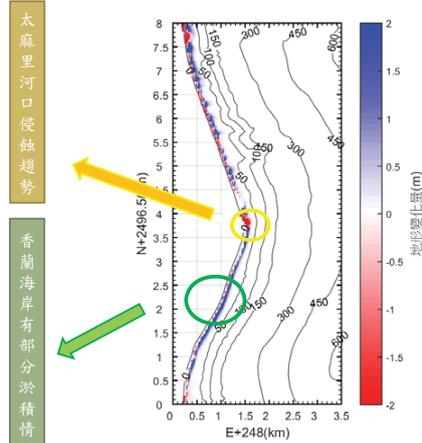
## 數值評估

### 地形變遷模式調校

參考「100年度臺東海岸(太麻里段)環境營造改善計畫」



實測結果(2006/11~2007/06)

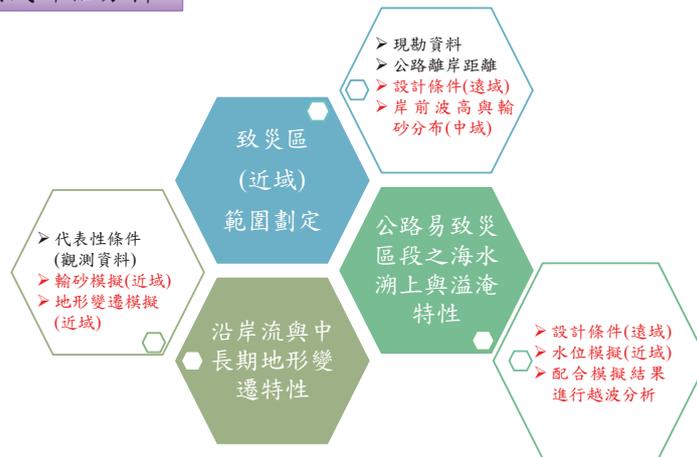


數值模擬結果(2006/11~2007/06)

NCKU Research & Development Foundation

## 數值評估

### 數值模式評估分析



## 數值評估

### 數值模式評估分析

#### 遠域模式推估設計條件

- 分析101場颱風事件(1989年~2017年)
- 「Gumbel」與「Weibull」配套模式進行頻率分析

不同重現期下多良村外海水深約1038 m處之暴潮偏差與波高推算值

	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)	Gumbel	0.17	0.47	0.51	0.55	0.59
	Weibull	0.02	0.39	0.46	0.52	0.59
颱風波高 (m)	Gumbel	2.31	11.41	12.25	12.94	13.70
	Weibull	0.29	11.31	12.76	14.09	15.71

## 數值評估

### 數值模式評估分析

臺東每月潮位統計表 (1976-2017)  
 測站資訊：臺東縣臺東市 經度：121.183333 緯度：22.783333

月份	最高高潮位 暴潮位(m)	最高天文潮 (m)	平均高潮位 (m)	平均潮位 (m)	平均低潮位 (m)	最低天文潮 (m)	最低低潮位 (m)
1	1.136	0.906	0.646	-0.012	-0.582	-0.943	-1.134
2	1.169	0.902	0.653	-0.003	-0.534	-0.873	-1.086
3	1.135	0.867	0.671	0.011	-0.528	-0.773	-1.012
4	1.109	0.858	0.703	0.055	-0.512	-0.81	-0.921
5	1.149	0.904	0.738	0.091	-0.478	-0.863	-0.949
6	1.308	0.945	0.762	0.105	-0.472	-0.881	-0.973
7	1.525	1.001	0.794	0.132	-0.443	-0.857	-0.983
8	1.598	1.023	0.848	0.177	-0.383	-0.784	-0.863
9	1.442	0.969	0.806	0.166	-0.389	-0.69	-0.795
10	1.273	0.909	0.753	0.14	-0.433	-0.768	-0.949
11	1.143	0.915	0.7	0.07	-0.504	-0.878	-1.063
12	1.101	0.892	0.652	0.008	-0.564	-0.934	-1.151
全年	1.598	0.908	0.73	0.081	-0.494	-0.831	-1.151

設計水位=平均高潮位+暴潮偏差 0.59m=1.32 m  
 颱風波浪 15.71 m

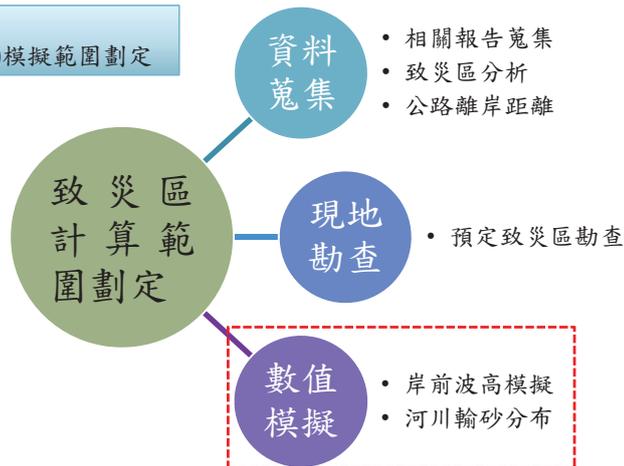
資料來源：中央氣象局

50年重現期迴歸  
(Weibull分佈)

## 數值評估

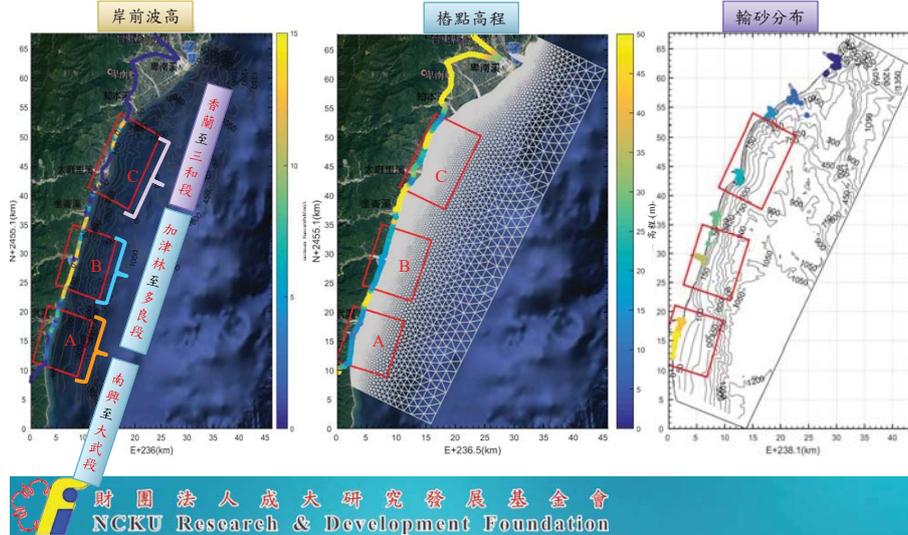
### 數值模式評估分析

中域模式  
 -致災區(近域)模擬範圍劃定



## 數值評估

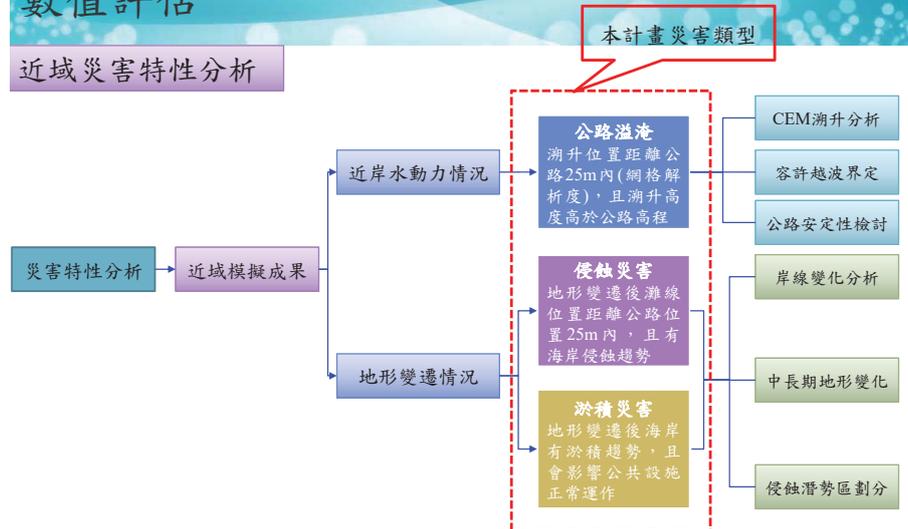
### 數值模式評估分析



財團法人成大研究發展基金會  
NCKU Research & Development Foundation

## 數值評估

### 近域災害特性分析

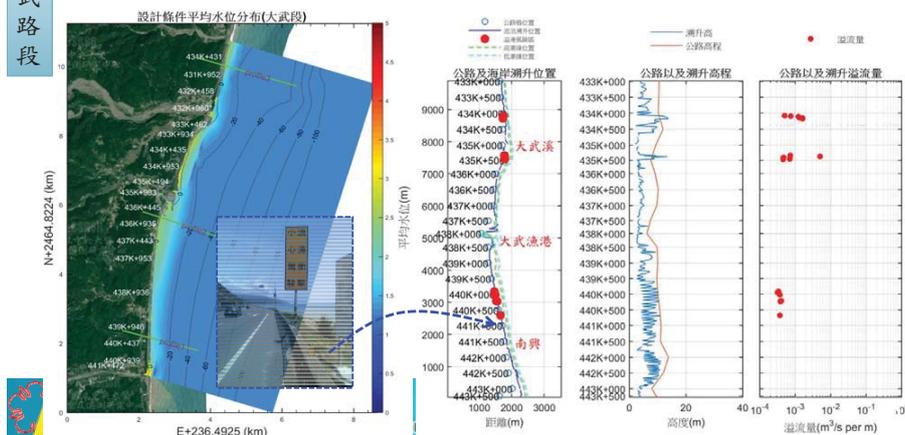


財團法人成大研究發展基金會  
NCKU Research & Development Foundation

## 公路溢淹致災區段特性分析

南興至大武路段

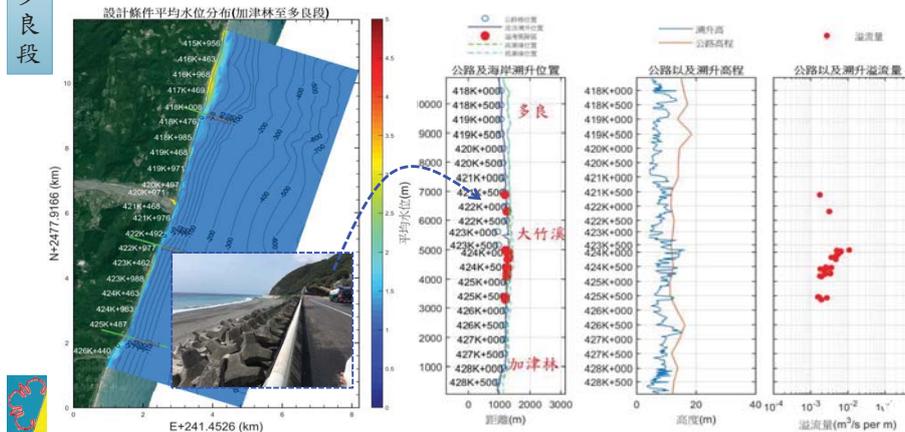
- 大武漁港以南，南興路段部分區域屬「公路溢淹」潛勢區域，且公路亦均有警示標誌設置，代表曾有浪襲之案例。
- 大武漁港以北亦有「公路溢淹」潛勢區域分布，且均位於公路高程較低處。
- 各潛勢區段均滿足護岸之容許越波量，惟均未滿足交通安全之越流量。



## 公路溢淹致災區段特性分析

加津林至多良段

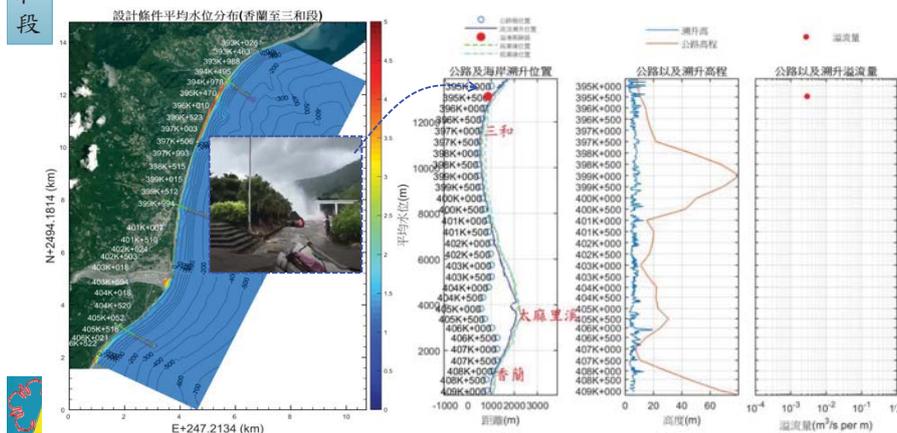
- 目前計畫區中，「公路溢淹」潛勢區域分布最頻繁路段，且該路段灘岸距離較短，提升「公路溢淹」災害之可能性。
- 沿海岸大多有布置消波塊，以降低浪襲之能量。
- 424K+000周圍潛勢區段未滿足護岸之容許越波量，各潛勢區段均滿足護岸之容許越波量，各潛勢路段均未滿足交通安全之越流量。



## 公路溢淹致災區段特性分析

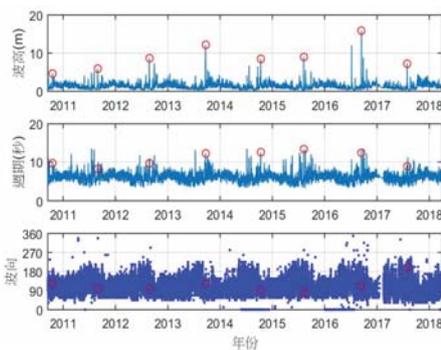
香蘭至三和段

- 該區域為計畫區中「公路溢淹」災害潛勢區分布最少之路段，因該路段高程大多較高，使潮升高度對公路影響較小。
- 僅395K+500路段(三和海岸)周圍為災害潛勢區段，亦為今年度山竹颱風遭受浪襲之路段。
- 各潛勢區段均滿足護岸之容許越波量，惟均未滿足交通安全之越流量。

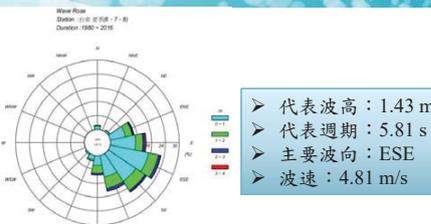


## 沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析

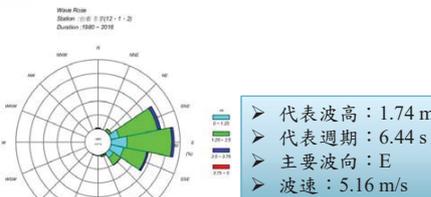
代表性波浪推算



樁木(1982)進行推算



臺東浮漂夏季波浪資料統計結果

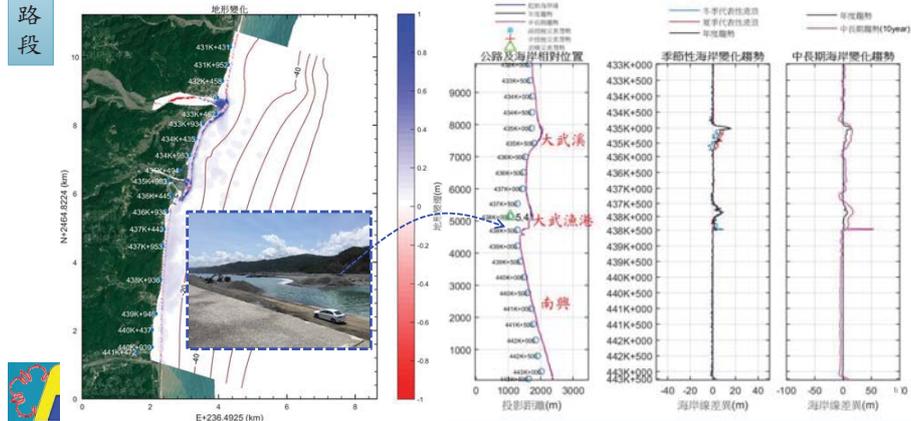


臺東浮漂冬季波浪資料統計結果

## 沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析

南興至大武路段

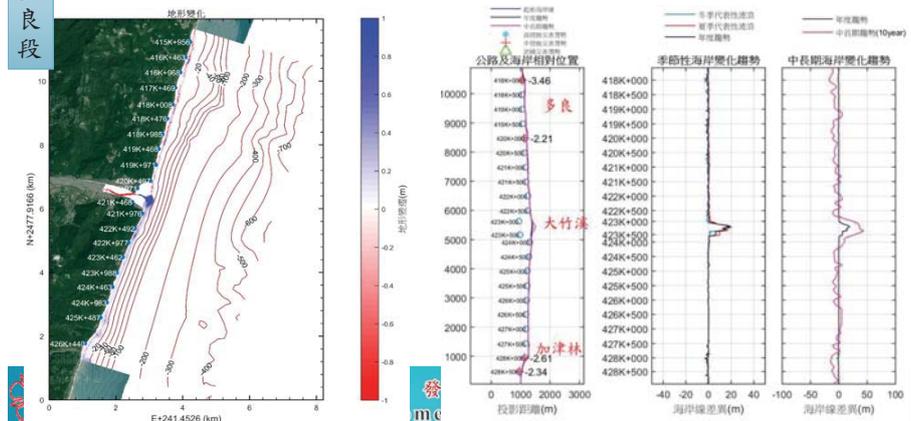
- 大武漁港南側至南興段長期結果屬於侵蝕趨勢，但皆未達災害潛勢的標準。
- 此區較明顯之災害為「淤積災害」，位於438K+000大武漁港位置。
- 此區剛好位於一個凹槽海岸地形，由本計畫流場模擬結果顯示，於大波浪時南北兩側流場皆會往此地帶聚集，此概為是造成此區域長期容易淤積之主因。



## 沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析

加津林至多良段

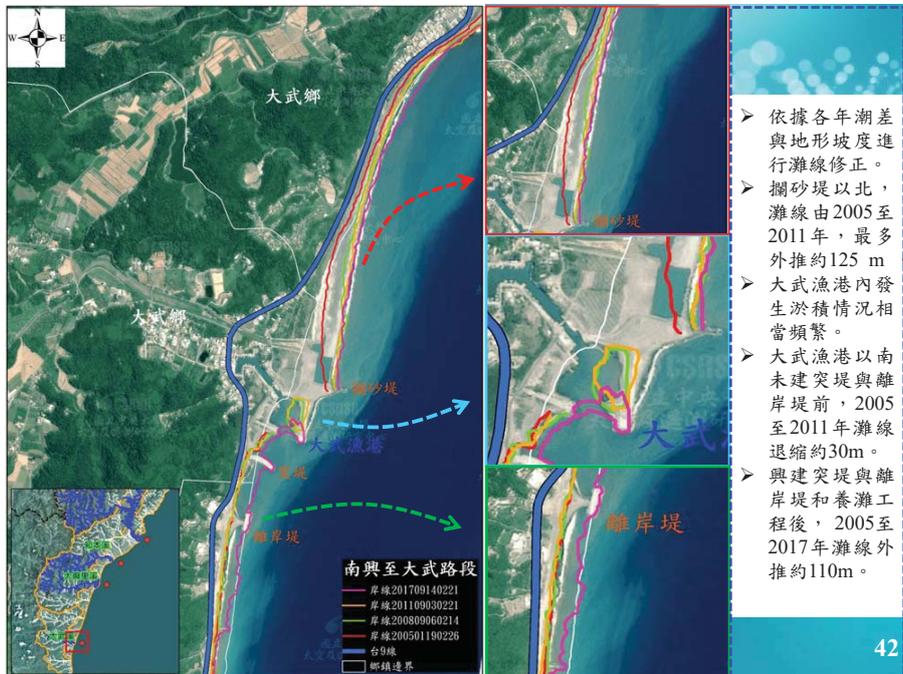
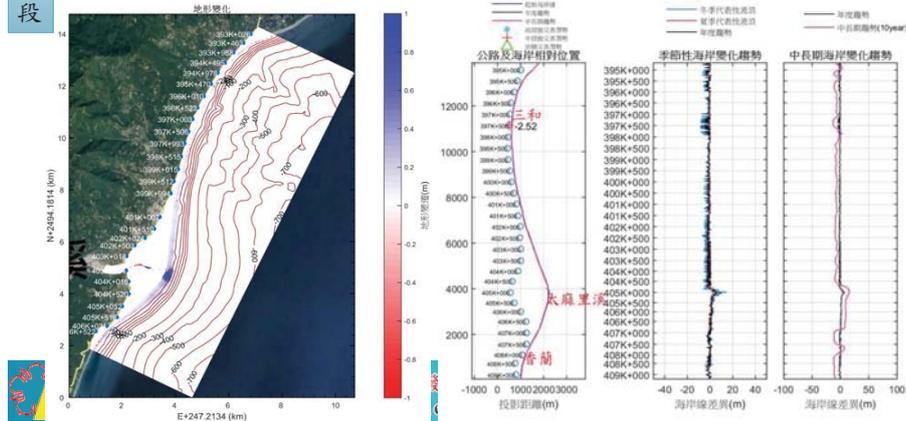
- 此區域普遍而言屬於略為侵蝕之趨勢，大竹溪以北有3處；以南有1處均為「侵蝕災害」潛勢區域。
- 潛勢區域均呈現中侵蝕潛勢，侵蝕情況尚不嚴重，需定期注意其海岸變化。



## 沿岸流與沿岸中長期地形變遷特性分析

香蘭至三和段

- ▶ 此段海岸多數屬於侵蝕趨勢，太麻里溪河口南側位置402K+503至405K+052為淤積路段。
- ▶ 潛勢區域均呈現中侵蝕潛勢，侵蝕情況尚不嚴重，需定期注意其海岸變化。
- ▶ 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。



- ▶ 依據各年潮差與地形坡度進行灘線修正。
- ▶ 攔砂堤以北，灘線由2005至2011年，最多外推約125 m
- ▶ 大武漁港內發生淤積情況相當頻繁。
- ▶ 大武漁港以南未建突堤與離岸堤前，2005至2011年灘線退縮約30m。
- ▶ 興建突堤與離岸堤和養灘工程後，2005至2017年灘線外推約110m。

42



- 依據各年潮差與地形坡度進行灘線修正。
- 由影像分析中雖侵蝕潛勢區於2005至2017年是呈現灘線內縮趨勢(約10m~15m)，但該區域周圍大部分是灘線外推的情形。
- 該區域確實有海岸防護工程設施，避免浪襲，降低海岸侵蝕可能性。
- 於2010/9/22凡那比颱風過後其灘線有較明顯退縮情況發生。



- 依據各年潮差與地形坡度進行灘線修正，然該區域坡度較陡(約1:7)，潮差影響不顯著。
  - 該區域於2005至2017年灘線大多呈現退縮情況，最多內縮約50 m。
  - 衛星影像分析能瞭解灘線變化情況，惟仍有以下限制：
    - ✓ 邊緣偵測法分析灘線，會因碎波型式不同，而有所誤判。
    - ✓ 影像解析度會影響量化數據之可靠性。
    - ✓ 地形解析度會影響坡度的量化準確性。
- 衛星影像分析仍可做為灘線趨勢判斷的工具，若能提升影像品質及地形資料穩定性，則更有效掌握判釋效能。

## 結論與建議

### 結論：

- 彙整計畫區環境背景資料與往昔曾致災區域位置及相關災情狀況，並劃分易致災區域與範圍。
- 蒐集計畫區往昔衛星影像資料，並進行分析探討。
- 建置適合計畫區數值模擬之模式，探討台九線海岸災害特性。
- 針對各情境模擬結果進行災害特性分析，藉以瞭解台九線海岸現況所會面臨之災害問題，
- 以「公路溢淹」、「侵蝕災害」及「淤積災害」三種災害類型標記可能致災之潛勢路段。
- 「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，俾利未來海岸防護政策規劃之參考。

## 結論與建議

### 建議：

- 水深地形資料較為缺乏。
- 進行更局部區域的數值模擬，才能加強局部區域改善策略擬訂之可靠性。
- 品質高衛星影像，配合現場長期量測資料，應可做更謹慎的影像分析，其對工程評估與改善方案策略有相當大的助益。

臺東海岸公路溢淹及沿岸地形變遷特性研究

簡報完畢 敬請指正



財團法人成大研究發展基金會  
NCKU Research & Development Foundation