

花蓮海岸公路浪襲預警系統之建置

陳冠宇 國立中山大學海洋科學系教授
陳鈞彥 交通部運輸研究所港灣技術研究中心助理研究員
劉俊志 國立中山大學海洋科學系助理研究員
陳人玉 國立中山大學海洋科學系研究助理

摘要

過去颱風的長浪曾在台 11 線公路造成災情，例如，2015 年蘇迪勒颱風和 2018 年潭美颱風期間出現路基掏空，而 2016 年梅姬颱風期間則有浪襲道路的情況，故本研究蒐集近幾年的台 11 線浪襲新聞事件，並利用 XBeach 模式從台 11 線挑選出 6 個離海岸線較近的路段進行類颱風期間的海況模擬，藉以對台 11 線受到的浪襲影響做初步評估。由於新聞事件和 XBeach 模擬皆顯示台 11 線人定勝天段較容易受到浪襲影響，故利用 COBRAS(Cornell Breaking Wave and Structure)模式針對該路段的 7 個道路斷面進行不同海況條件之浪襲模擬，並建立情境資料庫及發展浪襲預警系統，提供相關單位較全面的災害評估。

一、前言

相對於臺灣西部的海岸，東部海岸地區與海岸公路較容易受到颱風波浪或異常浪等長波侵襲。例如，2013 年海燕颱風的威力強大。雖然颱風中心位置遠在菲律賓外海，但卻能在龍洞海濱引起瘋狗浪，造成 8 死 8 傷的慘劇；2015 年蘇迪勒颱風和 2018 年潭美颱風所引起的長浪，造成台 11 線花蓮海岸公路路基流失致使道路阻斷；2016 年梅姬颱風期間，台 11 線人定勝天段出現浪花夾帶碎石波及道路路面的情形。在蘇迪勒颱風期間，台 9 線還發生浪襲致使駕駛車輛擋風玻璃破裂的事件，其長浪甚至將台

11 線的人定勝天碑打落海中；而在潭美颱風期間，公路總局的影像記錄到長浪飛濺到台 11 線人定勝天段路面的情形，可見颱風長浪對海岸公路安全的威脅甚大。陳冠宇等人^[5](2016)利用 COBRAS 模式探討龍洞灣瘋狗浪的浪襲原因，也提供 1 個風險評估的流程來判斷海岸地區的公路或遊憩區是否容易受到瘋狗浪襲擊。為了推動海岸災害防救科技發展，交通部運輸研究所在「綠色海洋與航安科技發展計畫(1/4)」106 年度海洋科技類綱要計畫之分項計畫「海岸公路異常波浪特性及防災應用技術之研究」中，建立了臺東海岸公路異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式資料庫。藉由蒐集颱風期間相關新聞及分析後，以台 9 線多良段 417K+715 到 419K+862 及南興段 439K+700 到 441K+240 之區段為目標，彙整海象模擬與國內海象觀測站之波浪資料，建立浪襲情境資料庫，並於 107 年整合鄰近區域的波浪觀測站即時觀測資訊以及運輸研究所作業化模擬之海象預報資訊，建置臺東海岸公路浪襲預警系統。有鑑於過去颱風的長浪不只在台 9 線公路造成危害，亦於台 11 線公路造成災情，所以本研究在台 11 線花蓮海岸公路建立另一個浪襲預警系統，以提供相關單位較全面的防災評估。

二、異常波浪案例蒐集與分析

網路爬蟲是一種「自動化瀏覽網路」的程式(網路爬蟲被廣泛用於網際網路搜尋引擎或資料蒐集網站，用以取得或

更新網站的內容。網路爬蟲可以自動收集所有頁面內容，供文字探勘演算法做探勘（分析處理下載的頁面），然後進一步得到隱含在網頁內容中之資訊。本研究以花蓮海岸地區與海岸公路可能受到颱風波浪或異常浪等長波侵襲為主軸，以關鍵字「瘋狗浪+公路」、「瘋狗浪+花蓮」、「瘋狗浪+台 11 線」、「浪襲+花蓮」、「浪襲+台 11 線」、「颱風+壽豐+豐濱+吉安」作為檢索，其中符號「+」為布林檢索。從網路爬蟲的結果中再挑選出與浪襲台 11 線比較有關的部分，最後蒐集整理出的主要新聞事件如表 1。

表 1 台 11 線相關浪襲公路新聞事件

日期	標題	事件地點	颱風	災情
2015/8/8	花蓮「人定勝天碑」遭捲入海！台 11 線先開放單線雙向 (ETtoday)	台 11 線 62K-63K	蘇迪勒	單線地基流失
2015/8/23	大浪沖刷！台 11 線邊坡崩落 (華視)	台 11 線 47.6k	天鵝	路肩邊坡流失
2016/9/27	梅姬大浪拍擊台 11 線！漂流木、礫石飛上岸 (自由時報)	台 11 線 62K-63K	梅姬	浪襲道路
2018/9/28	颱風掏空路基 海岸公路花蓮豐濱鄉段封閉至 10 月 1 日(中時)	台 11 線 61.5K	潭美	路基掏空

以蒐集新聞的分析結果而言，近年來台 11 線花蓮海岸公路的人定勝天碑路段(道路里程約 61K 到 63K) 因離海岸近，較易於颱風期間受到長浪的影響，常為公路總局公告之浪襲路段。如 2015 年 8 月蘇迪勒颱風期間，除了人定勝天碑被海浪打落海面之外，同時造成道路路基流失，讓相關單位採取單線雙向通行的措施。又如 2016 年 9 月梅姬颱風期間，該路段出現浪花夾帶碎石，波及道路路面的情形。除上述新聞事件外，2018 年潭美颱風侵臺期間，9 月 28 日晚間

約 8 點公路總局亦在台 11 線 61k+400 附近拍攝到浪襲道路的情況(如圖 1)。



圖 1 台 11 線 61k+400 的浪襲影像(公路總局第四區養護工程處提供)

三、評估公路易受颱風波浪致災之區段

本研究除透過網路蒐集近年來在台 11 線花蓮海岸公路浪襲災害事件並進行分析外，另利用波浪模式的模擬針對海岸公路離海岸線較近的區段，模擬類似颱風期間發生的海況對海岸公路可能造成的影響，進而評估颱風期間海岸公路通行的安全性，亦可藉此了解海岸公路靠海側的邊坡是否會受到海浪的衝擊，提供公路邊坡防護補強參考。本研究選擇 XBeach 波浪模式作為研究工具，搭配內政部的陸域地形以及海洋學門資料庫的海域地形來建立模式地形，挑選台 11 線公路 6 個離海岸線較近的區段進行類颱風期間的海況模擬(如表 2)，再根據模擬結果對海岸公路遭受浪襲的情形做初步評估。

表 2 XBeach 模擬的 6 個路段範圍

區域編號	緯度區間(度)	行政區	台 11 線里程(K)
1	23.865 ~ 23.92	花蓮縣壽豐鄉 鹽寮村	7.5 ~ 13
2	23.807 ~ 23.851	花蓮縣壽豐鄉 鹽寮村、水璉村	15 ~ 20.5
3	23.657 ~ 23.696	花蓮縣豐濱鄉 磯崎村、新社村	38 ~ 42.5
4	23.597 ~ 23.652	花蓮縣豐濱鄉 新社村、豐濱村	43.5 ~ 49
5	23.521 ~ 23.597	花蓮縣豐濱鄉 豐濱村	51 ~ 59.5
6	23.491 ~ 23.531	花蓮縣豐濱鄉 豐濱村、港口村	58.5 ~ 63

3.1 模式地形

模擬所使用的海域地形為海洋學門資料庫網格解析度 0.12 分之水深資料。陸域地形資料則是由內政部地政司所提供之 5m 解析度 DEM(Digital Elevation Model)數值地形，其中平面座標採用內政部 1997 臺灣大地基準(TWD97)，而高程座標則採用內政部 2001 臺灣高程基準(TWVD2001)。

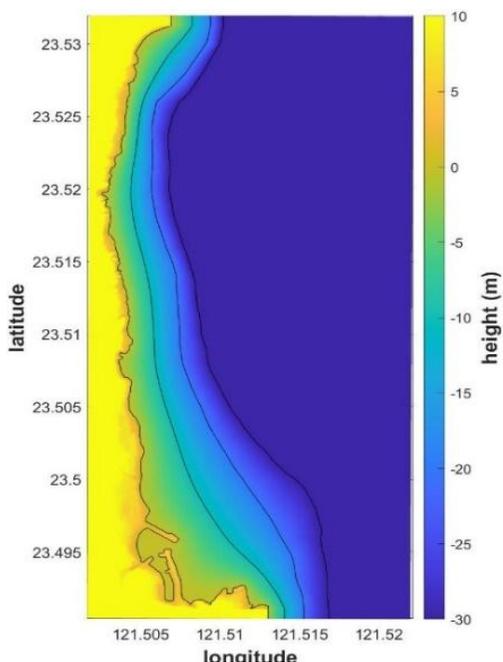


圖 2 XBeach 第 6 區的模式地形

考量海、陸域的地形解析度不同所造成的海岸線不一致，本研究先將海域地形由經緯度座標轉 TWD97 座標，然後內插成與陸域地形相同座標的 5m 解析度數值地形。地形整合的過程中，海域地形只取水深超過 20m 的地形，而水深介於 0 到 20m 的區域則以內插方式補足。另外，為使邊界入射的地形條件一致，將 6 個模擬區域的入射邊界附近的海底地形設定為相同深度。考量國內波浪觀測站所在位置水深通常約為 30m，故將模式地形的最大水深設定為 30m，例如，圖 2 為第 6 區的海陸整合地形，以此整合地形提供給 XBeach 模式做為模擬地形。

3.2 模式情境條件設定

為了解台 11 線沿岸地區受到天文潮影響的潮位範圍，本研究根據中央氣象局 2020 年潮汐表^[1]，並利用 2017 和 2018 年的潮位觀測資料，進行調和分析，得到各分潮參數所預報的石梯漁港 2020 年天文潮變化在 -1.1m 到 1.1m 之間。由於豐濱鄉的高程基準比當地平均潮位高 0.24m，故概估石梯漁港天文潮高程在 -0.9m 到 1.3m 之間。

楊博堯^[6](2018)利用 2001 到 2017 年的石梯潮位站觀測資料，各別分析此期間石梯站最大暴潮發生於 2015 年蘇迪勒颱風期間，暴潮偏差為 1.3m。以臺灣高程基準來看，石梯漁港如以最大天文潮 1.3m 加上 1.3m 暴潮偏差，則可出現 2.6m 的潮位。為了解暴潮期間的可能影響，在此 XBeach 分別使用 1m、2m 和 2.6m 等 3 種初始水位條件，做為情境潮位來進行模擬。

藉由表 1 蒐集之浪襲公路新聞事件，可知事件分別發生在蘇迪勒、天鵝、梅姬以及潭美颱風期間。由交通部運輸研究所港灣技術研究中心(以下簡稱港研中心)在花蓮港的超音波式表面波高波向與剖面海流儀(AWAC)波浪逐時統

計觀測資料，上述颱風期間之示性波高和尖峰週期分布，如圖 3 所示。

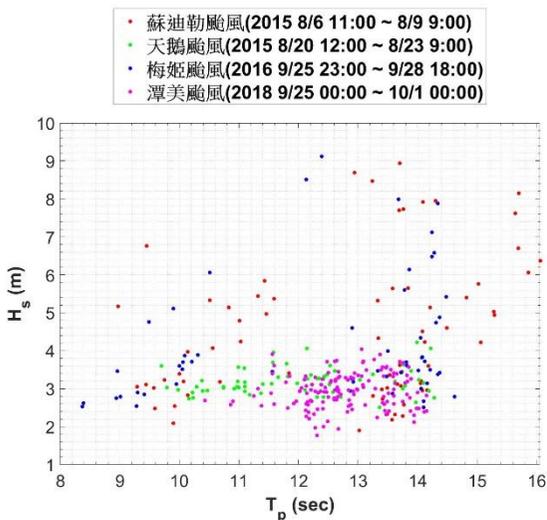


圖 3 蘇迪勒颱風等 4 個颱風期間花蓮港示性波高和尖峰週期分布圖

本研究由於上述颱風期間的尖峰週期最大值介於 15 到 16 秒間，故設定波浪在邊界入射的尖峰週期為 15 秒。雖然颱風期間的最大波高約 9m，但邊界入射的示性波高僅設定為 5m。根據陳志弘等人^[3](2017)利用示性波高資料計算花蓮港極值波高重現期，其極值分布模型推算極值波高 5m 的重現期約為 1.2 年。即本模式設定的 5m 示性波高出現頻率，接近於每年發生 1 次。

模式邊界的波浪入射主要方向設定垂直於海岸線方向。模式利用 JONSWAP 波譜搭配 Longuet-Higgins^[8](1963)的單峰方向分布函數作為入射條件。另外，針對從模擬區域內離開海洋邊界的波浪進行波能吸收，其目的是降低邊界的反射。而側邊界則使用紐曼(Neumann)邊界條件，參照圖 4。本計畫在 6 個區域各別對應 3 種潮位條件進行情境模擬，總共 18 個模擬，如表 3 所示。其他相關的模式參數設定，列於表 4。

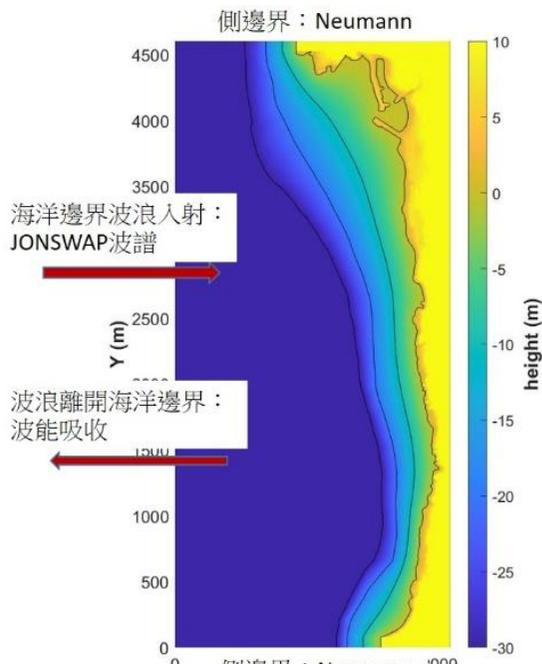


圖 4 模式邊界條件設定

表 3 台 11 線 6 個路段區域對應 3 種潮位的情境

情境編號	區域編號	平均入射波向(degrees)	潮位(m)	台 11 線里程
1a	1	90	1	7.5K 到 13K
1b			2	
1c			2.6	
2a	2	90	1	15K 到 20.5K
2b			2	
2c			2.6	
3a	3	90	1	38K 到 42.5K
3b			2	
3c			2.6	
4a	4	109	1	43.5K 到 49K
4b			2	
4c			2.6	
5a	5	105	1	51K 到 59.5K
5b			2	
5c			2.6	
6a	6	100	1	58.5K 到 63K
6b			2	
6c			2.6	

表 4 XBeach 模式相關參數設定

模式設定		附註
模擬時間 (min)	30	
網格解析 (m)	5	
Chezy 值	55	底床摩擦係數
邊界條件設定		
fp (Hz)	0.0667	JONSWAP
Y	3.3	JONSWAP
s	1024	方向分布係數 Longuet-Higgins(1963)
示性波高 (m)	5	

3.3 模擬結果

XBeach 模擬時間 30 分鐘，以第 6 區潮位 2m 的情境 6b 為例，圖 5 為模擬時間第 30 分鐘的水位和流速空間分布。當 18 個情境模擬完成後，可得到模擬期間的最大水位空間分布，並從水位分布取得各情境的陸地溢淹範圍。為了解上述情境模擬對台 11 線道路的影響，本研究先將陸地溢淹範圍定義為陸地淹水深度超過 1cm 的區域，再利用 Google Earth 的衛星影像當底圖，將情境溢淹水位的分布範圍套疊到 6 個道路區段，其中綠、黃、紅色套疊的溢淹範圍各對應於情境潮位 1、2 和 2.6m 三種條件，如圖 6。藉由放大檢視區域影像的道路位置與溢淹範圍是否重疊，可列出溢淹範圍接近台 11 線道路邊緣及道路發生溢淹的里程區段，如表 5。

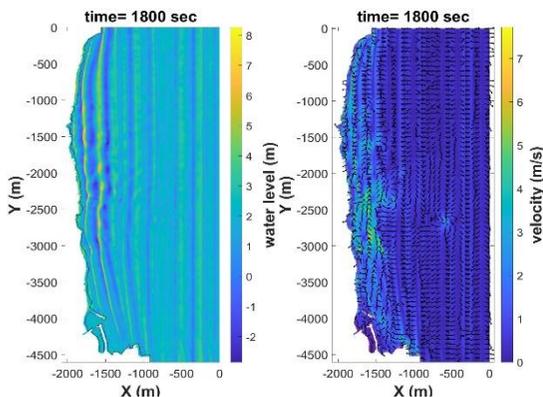


圖 5 情境 6b 第 30 分鐘的水位(左)和流速(右)分布

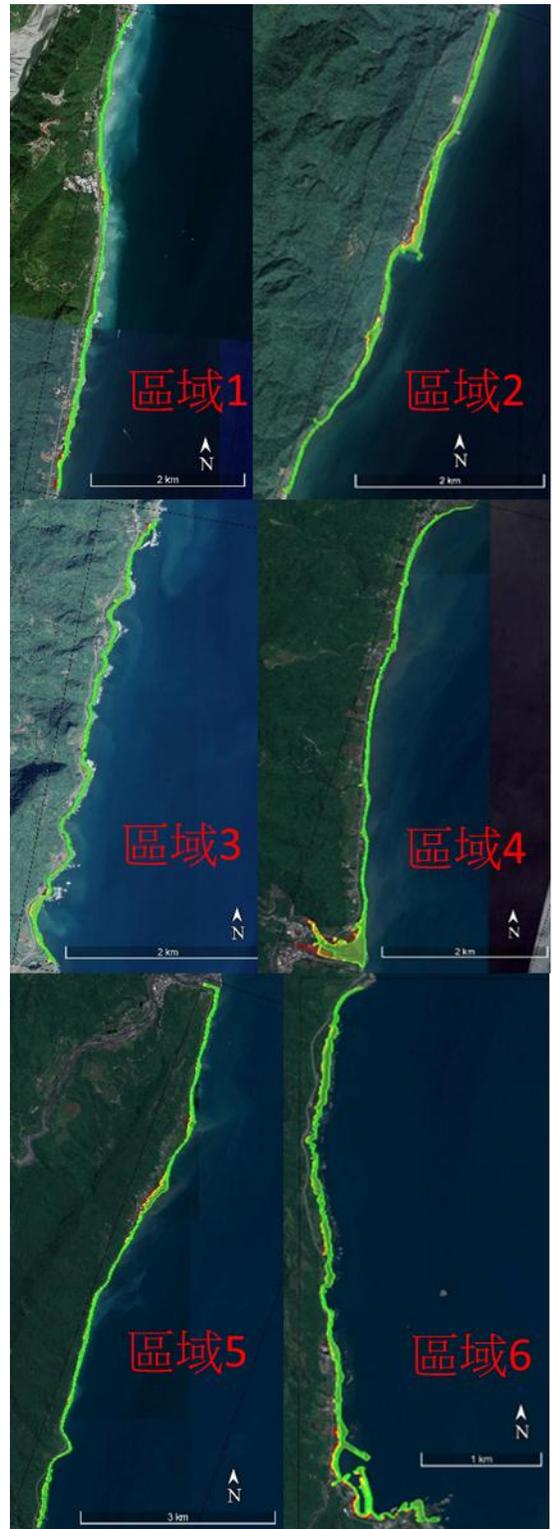


圖 6 google 影像套疊溢淹範圍

當情境潮位為 1m 和 2m 時，6 個區段雖皆未出現道路溢淹的情形，但仍須留意溢淹範圍鄰近道路的里程區段，其道路邊坡可能受到海浪的衝擊而造成結構受損。由於使用的是水平 2 維模式，無法模擬波浪破碎所產生的浪花，須留意溢淹範圍鄰近道路的區段可能會有浪花飛濺到道路的情形。例如，公路總局第四區養護工程處指出 44K 至 45K 以及 55K 至 57K 路段由於高程較低，在颱風期間似有浪襲情況出現，潮位 2 m 以上時 44.5K 和 55K 附近，波浪溢淹範圍已鄰近道路邊緣，出現浪襲的可能性偏高。

表 5 顯示潮位 2.6m 時，共有 2 個路段出現道路溢淹，分別位於第 5 到 6 區。大部分的溢淹路段在潮位 1m 的情境下，溢淹範圍離道路尚有段距離。但由圖 7 可知，人定勝天碑路段(里程 61.5K 附近)即使在潮位 1m 的情境，其溢淹範圍也是緊鄰著海岸公路，加上蘇迪勒、梅姬和潭美颱風期間曾發生浪襲道路的事件，故本研究將 61.5K 附近的路段，做為 COBRAS 浪襲模擬的重點路段。



圖 7 區域 6 的 61.6 到 61.8K 情境溢淹

表 5 不同情境的溢淹範圍鄰近台 11 線道路的里程區段

情境編號	潮位 (m)	溢淹範圍鄰近道路的里程(K)	發生道路溢淹的里程 (K)	溢淹範圍鄰近道路的里程所在行政區
1a	1	8.87 ~ 9.05	無	花蓮縣壽豐鄉鹽寮村
1b	2	8.87 ~ 9.05	無	
1c	2.6	8.87 ~ 9.05	無	
3a	1	38.2 ~ 38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村
		41.32 ~ 41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村
3b	2	38.2 ~ 38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村
		41.32 ~ 41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村
3c	2.6	38.2 ~ 38.32	無	花蓮縣豐濱鄉磯崎村
		41.32 ~ 41.36	無	花蓮縣豐濱鄉新社村
4a	1	44.55	無	花蓮縣豐濱鄉新社村
4b	2	44.5 ~ 44.7	無	
4c	2.6	44.5 ~ 44.7	無	
5a	1	55.11 ~ 55.17	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村
		56.7 ~ 57.25	無	
5b	2	54.93	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村
		55	無	
		55.11 ~ 55.17	無	
		55.84 ~ 56.2	無	
		56.7 ~ 57.25	無	
5c	2.6	54.79	無	花蓮縣豐濱鄉豐濱村
		54.93	54.93	
		55	無	
		55.11 ~ 55.17	無	
		55.84 ~ 56.32	無	
		56.7 ~ 57.25	無	
6a	1	61.02	無	花蓮縣豐濱鄉港口村
		61.2 ~ 61.8	無	
6b	2	61.02	無	
		61.2 ~ 61.85	無	
6c	2.6	61.02	無	
		61.2 ~ 61.85	61.6 ~ 61.8	

四、異常波浪容易致災區段之波浪溯上與溢淹數值模式建立

基於前述之浪襲新聞事件以及模擬初步評估，可知易受浪襲之路段為台 11 線人定勝天段的 61K 到 62.5K 區間。由於此區間的部分道路與海岸距離不到 20 公尺且道路高程僅約 7 到 9 公尺，故容易於颱風期間受到海浪所影響，常為公路總局公告之浪襲路段。本研究使用 COBRAS 垂直 2 維流體模式，藉由港研中心提供人定勝天段附近的高解析度海陸地形，進行該路段的浪襲情境模擬。

4.1 模式設定

本研究選取台 11 線人定勝天 61K+300、61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220 等 7 個里程的道路斷面做為浪襲情境模擬地點，並利用地形資料各從 7 個點位的離岸方向取切線作為模式地形，如圖 8。切線選取方式藉由 XBeach 波浪模式模擬連續線性波從東邊界正向入射後的第 136 秒水位空間分佈，再大致沿著波向線選取地形切線，如圖 9。

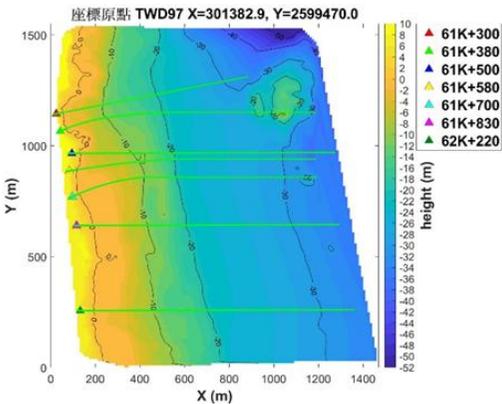


圖 8 台 11 線人定勝天段附近地形、7 站位置(三角)以及地形切線(綠線)

將圖 9 選取之地形線海域的切線地形取到最大水深 32m 處，由於模式的波浪從左邊界入射，故將切線地形左右翻轉，然後再從深度 32m 的位置往離岸方

向延伸 6 個波浪周期所能傳播的水平距離作為模式的等水深入射波區。圖 10 為 61K+300 站的模式地形，當初始水位 0m 時，X 座標大於 0 的區域為陸地。

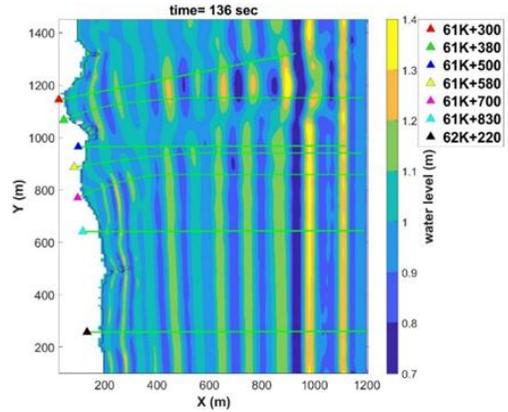


圖 9 台 11 線人定勝天段沿 XBeach 模擬的波向線選取地形切線

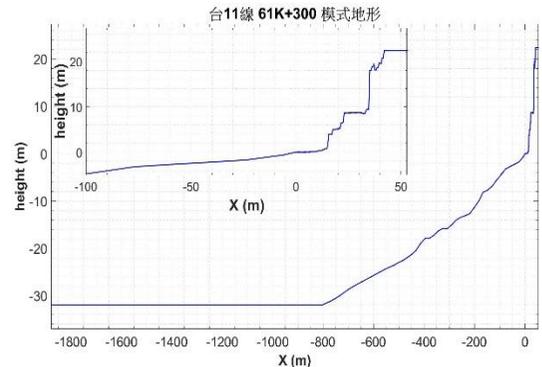


圖 10 模式使用的 61+300K 地形

4.2 模擬流程及情境資料庫建立

本研究選擇 5 到 12m 等 8 種入射波高，以及 10 到 16 秒等 7 種入射週期，再搭配 -1 到 3m 等 9 種初始水位之條件組合，模擬浪襲道路(圖 11)。由於水深 32m 的入射波區入射超過 12m 的正弦波，模式的入射波於入射後容易因波形不穩定而降低波高，故波高上限值設定在 12m。所有模擬的初始條件為流速 0 且無擾動單一水位的水平面。模擬時間長度設定為當第 1 個波浪溯上到岸邊後，至第 16 個波浪溯上結束。

人定勝天段模擬條件組合

初始水位	入射波高	入射週期	位置
-1 m	5 m	10秒	61K+300
-0.5 m	6 m	11秒	61K+380
0 m	7 m	12秒	61K+500
0.5 m	8 m	13秒	61K+580
1.0 m	9 m	14秒	61K+700
1.5 m	10 m	15秒	61K+830
2.0 m	11 m	16秒	62K+220
2.5 m			
3.0 m			

圖 11 不同情境模擬的海況條件組合

模擬流程在左邊界先以波高 10m、週期 15 秒的連續 16 個正弦波入射，以及 1m 的初始水位進行模擬。如果在此條件下發生道路溢淹，則以調降左邊界的入射波之波高、週期或初始水位後重啟新的模擬。重複該方式降低海況條件直到道路和道路臨海邊緣不發生溢淹或已達條件的下限值為止。反之，如果未發生溢淹則調升波高、週期或初始水位直到發生溢淹或已達條件的上限值為止（圖 12）。此外，當滿足無溢淹的海況條件時，仍模擬了數個海況條件值更小的情境，進一步確認溢淹結果是否不同。而滿足有溢淹的條件時，亦稍微加大條件值做模擬確認。

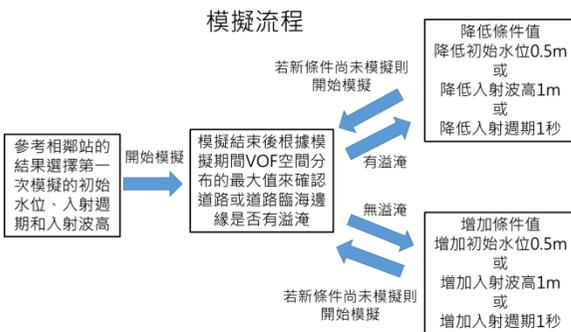


圖 12 調整海況條件的模擬流程

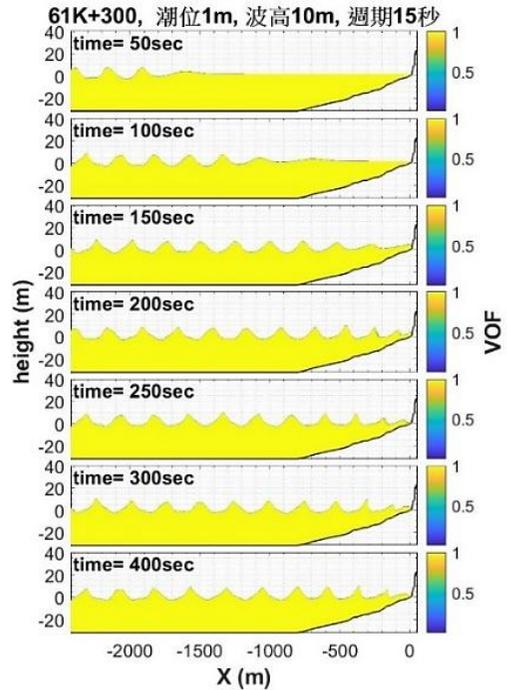


圖 13 61K+300 站 7 個時段的水位分布

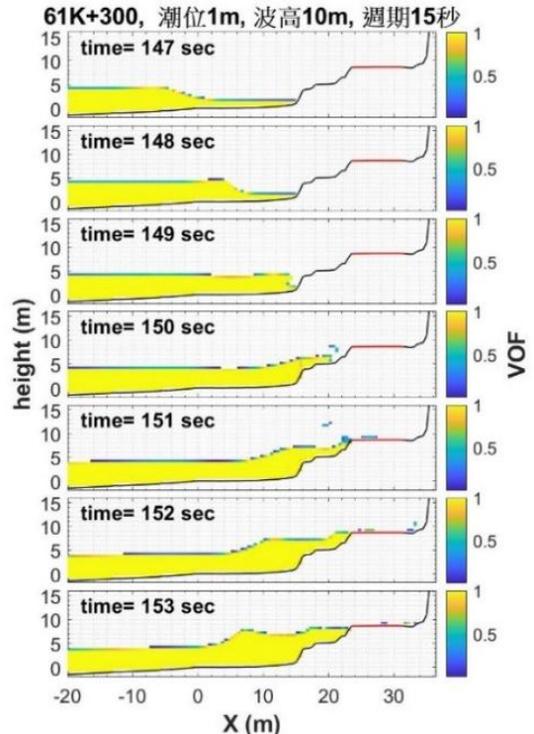


圖 14 61K+300 情境模擬發生道路溢淹 (道路範圍 X=23.5 到 31.5m)

COBRAS 模擬以 61K+300 站為例，圖 13 為潮位 1m，入射波高 10m 以及週期 15 秒在模擬時間第 50 到第 400 秒的 VOF 水位分布。模擬期間曾發生道路溢淹的情況，如圖 14 第 151 秒時，紅線的道路部分出現溢淹。由於此情境條件已產生道路溢淹，按照圖 12 的流程，降低 0.5m 初始水位或降低 1m 波高或降低 1 秒週期進行下一個條件模擬。完成模擬流程後可得到如表 6 的結果(僅列波高 8m 到 11m 的部分)。表 6 的陸地溢淹距離起、終點各為海岸線以及道路陸側邊緣，而括弧的數值為道路的溢淹範圍，另外，無數值的部分，表示無模擬該情境。表 6 顯示當道路發生溢淹時，整個 8 公尺路寬皆會溢淹。

表 6 61K+300 情境的陸地溢淹距離(m)

潮位 (m)	波高 8m						
	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
-0.5							21.0
0.0						21.0	22.0
0.5						22.0	22.5
1.0			17.5	21.0	22.0	21.5	22.5
1.5	21.0	21.0	21.0	21.0	22.0	22.0	23.0
2.0	21.0	21.0	22.0	22.5	22.5	22.5	23.0
2.5	22.5	23.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
潮位 (m)	波高 9m						
	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
-1.0							21.0
-0.5						21.0	22.0
0.0					21.0	21.5	22.0
0.5				21.0	21.5	22.0	22.5
1.0			21.0	21.0	22.0	23.0	23.5
1.5	21.5	20.5	22.0	21.5	22.5	22.5	31.5 (8)
2.0	22.0	22.0	21.5	22.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)
2.5	23.0	22.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
潮位 (m)	波高 10m						
	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
-1.0							21.5
-0.5							21.5
0.0						21.0	21.5
0.5						22.0	22.5
1.0	17.5	21.0	22.0	22.5	23.5	31.5 (8)	31.5 (8)
1.5	21.5	21.5	22.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
2.0	22.0	22.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
2.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)

潮位 (m)	波高 11m						
	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
-1.0							21.5
-0.5							21.5
0.0				21.0	21.5	22.0	31.5 (8)
0.5			21.5	22.0	22.0	22.5	31.5 (8)
1.0	17.5	21.0	22.0	22.5	23.5	31.5 (8)	31.5 (8)
1.5	21.5	21.5	22.0	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
2.0	22.0	22.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
2.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
潮位 (m)	波高 11m						
	週期 10 秒	週期 11 秒	週期 12 秒	週期 13 秒	週期 14 秒	週期 15 秒	週期 16 秒
-1.0							21.5
-0.5							21.0
0.0				21.5	22.0	31.5 (8)	31.5 (8)
0.5		21.0	21.0	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
1.0	21.0	22.0	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
1.5	21.0	22.5	22.5	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
2.0	22.0	22.5	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
2.5	23.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)
3.0	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)	31.5 (8)

4.3 花蓮海岸公路浪襲預警系統

4.3.1 浪襲警戒燈號定義

根據人定勝天段 7 個里程位置的情境模擬結果，本文參考陳冠宇等人^[4](2017)在台 9 線南興和多良段的方式制定警戒燈號。浪襲海岸公路警戒等級的燈號顏色所表示的意義，除了提供相關防災單位做為警戒發布的參考外，也便於防災人員的使用與民眾的宣導認知。5 種燈號顏色的定義為 1.灰色：缺少示性波高、尖峰週期或潮位等預報值而無法判斷;2.綠色：接近道路邊緣的水位(或浪花)低於平台高程-1m;3.黃色：接近道路邊緣的水位(或浪花)高於平台高程-1 m，但路面尚未出現溢淹;4.橙色：部分

路面出現溢淹;5.紅色：整個路面出現溢淹。

以圖 15 為例，紅色虛線往右 8m 範圍內為道路區域，從上到下所對應的燈號依序為綠色、黃色、橙色、和紅色。根據上述定義，可將 7 個站的所有情境的溢淹結果對應到相符的燈號。例如圖 16 為 61K+300 站的所有情境燈號。可依據燈號圖搭配波高、水位和週期預測資訊，判斷道路是否發生溢淹。

4.3.2 海況條件與浪襲系統的使用

由於浪襲警戒燈號是根據情境資料庫的邊界入射波波高、週期以及潮位等 3 個條件來決定，目前港研中心可提供的 SWAN(Simulating Waves Nearshore) 模式和 COHERENS(COUpled Hydrodynamical Ecological model for REgional Shelf seas) 模式在人定勝天段外海的預報資料，利用其示性波高、尖峰週期和潮位預報值來決定三個條件，並藉此產生台 11 線人定勝天段的海岸公路浪襲警戒預報檔內容如圖 17。其各欄位的意義如下：

第 1 到 4 欄：年、月、日、時。

第 5 到 7 欄：依序為預報的示性波高(m)、尖峰週期(sec)和潮位(m)。

第 8 到 28 欄：第 8 到 10 欄各為里程編號 61K+300 的燈號、道路臨海邊緣的最大水位高程(m)以及道路臨海邊緣起算的溢淹距離(m)。後續的欄位與第 8 到 11 欄意義相同，各別屬於里程編號 61K+380、61K+500、61K+580、61K+700、61K+830、62K+220。

第 29 欄：7 個里程編號中最大的燈號值。

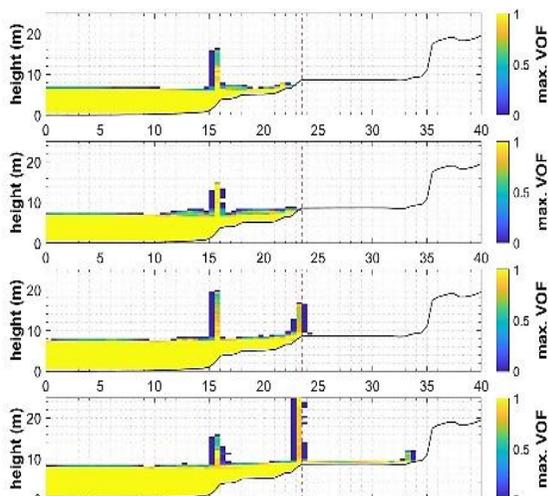


圖 15 61K+300 站警戒燈號示意圖

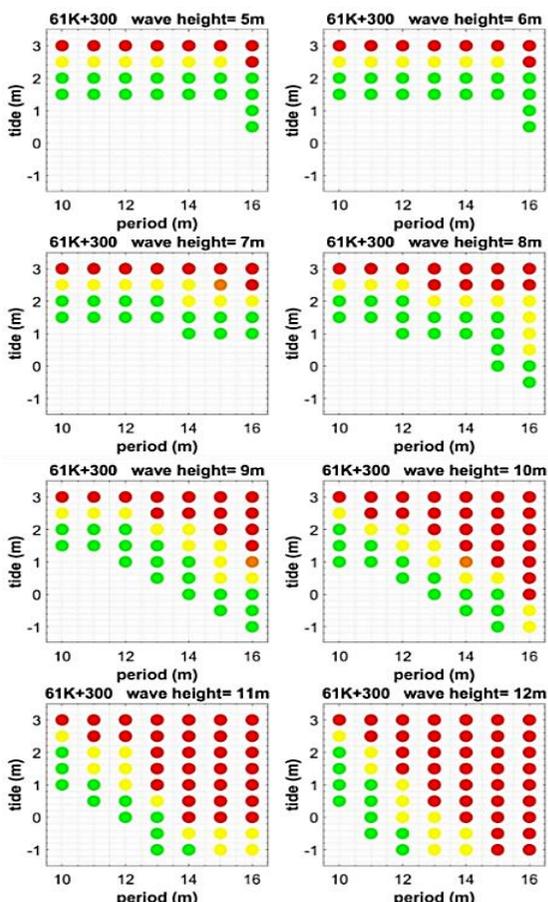


圖 16 61K+300 站 8 種入射波高的入射週期對潮位之警戒燈號

第1-4欄			第5-7欄			第8-28欄			第29欄	
2020 07 03 12	1.059	4.946	-0.808	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 13	1.127	4.946	-0.594	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 14	1.050	4.946	-0.301	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 15	0.924	4.946	0.008	1	0.00	0	...	1	0.00	0
2020 07 03 16	0.828	4.946	0.256	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 17	0.736	4.946	0.395	1	0.00	0	1	0.00	0	1
2020 07 03 18	0.701	4.946	0.398	1	0.00	0	1	0.00	0	1

圖 17 人定勝天段浪襲警戒預報檔內容

情境燈號的決定方式是利用情境資料庫的入射波高、週期以及潮位等三種條件對預報值的示性波高修正值、尖峰週期和潮位等三個值進行陸地溢淹距離的內插，最後根據陸地溢淹距離或道路臨海邊緣的水位高程來決定警戒燈號。因為情境模擬的波高、週期和潮位的條件範圍有限(圖 11)，所以當預報的示性波高修正值、尖峰週期或潮位超出情境入射波高或周期的上限時，則對應到情境入射波高或週期上限值。同理如果低於情境下限時，則對應到下限值。

SWAN 預報的示性波高在利用情境資料庫內插之前需先經過 3 項修正。首先異常波浪的波高可視為示性波高的 2 倍，即直接將預報的示性波高值乘 2。第 2 項為水深修正，由於預報點的水深為 61m，而情境模擬邊界水深為 32m，故根據淺化作用來調整示性波高。假設波浪在不同水深的能通量不變，即 $C_g * E$ 為定值，其中 $E = a^2$ ， a 為波浪振幅。則可利用(1)式根據不同的波高和周期來計算由水深 61m 傳遞到水深 32m 的淺化係數 K_s ，再將預報的示性波高值乘上 K_s 。 $H_2 = H_1 K_s$(1)

其中 $K_s = \sqrt{\frac{C_{g1}}{C_{g2}}}$ ，下標 1 和 2 各代表水深 61m 和 32m。群波波速 $C_g = \frac{C}{2} \left(1 + \frac{2k}{\sinh 2kh} \right)$ ，個別波波速 $C = \frac{\omega}{k}$ ，波數 $k = \frac{2\pi}{L}$ ，角頻率 $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ， T 為週期。

波長 L 由 Fenton 和 Mckee^[7](1990) 的波長近似公式計算：

$$L = L_o \tanh^{2/3} \left(\frac{2\pi h}{L_o} \right)^{3/4} \dots\dots\dots(2)$$

其中 $L_o = 1.56T^2$ 。

第 3 項為利用波能的水平折射變化修正波高。由於 61K+380、61K+580、61K+700 等 3 站所取的地形切線是沿著折射的波向線，與其他四站的正東入射並不相同。故本研究參照許泰文^[2](2003) 的公式計算波能在水平方向上的折射變化，並利用 XBeach 模擬波浪從東邊界正向入射後的第 136 秒水位空間分佈取得三站的波向線。以圖 18 的 61K+700 站為例，紅線為波向線，其中 b_0 (綠線) 和 b (黃線) 各為兩條波向線在外海和近岸的寬度。本研究假設通過寬度 b_0 與通過寬度 b 兩者的能量一致。則可利用折射係數 K_r 乘上預報的示性波高作修正，如下式：

$$H = H_0 K_r \dots\dots\dots(3)$$

其中 $K_r = \sqrt{\frac{b}{b_0}}$ ， H_0 和 H 各為外海和近岸的波高。

61K+380、61K+580、61K+700 三站所計算的 K_r 值各為 1.11、1.13 和 1.16。其他四站由於沒有折射，故其 K_r 值=1。綜合上述三種修正，預報的示性波高修正值如(4)式。

$$H_s^{修正值} = 2H_s^{預報值} K_s K_r \dots\dots\dots(4)$$

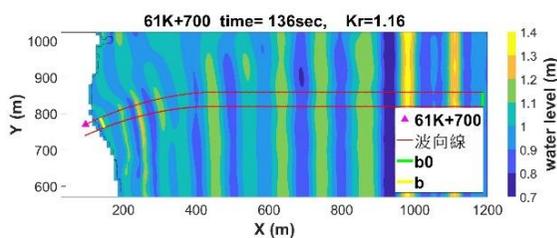


圖 18 61K+700 站波向線寬度

花蓮海岸公路浪襲預警系統之視窗以網頁形式顯示，如圖 19 所示。網頁上圖可展示人定勝天段各路段的顏色燈號；中間圖展示波高，包括花蓮港的氣象局浮標即時觀測值及人定勝天段外海的 SWAN 預報值；下圖則展示潮位，包括花蓮港的氣象局即時觀測值及人定勝

天外海的 COHERENCE 預報值。顏色燈號可以選擇各里程編號進行預報查詢，可提供相關單位作為封路決策之參考依據。

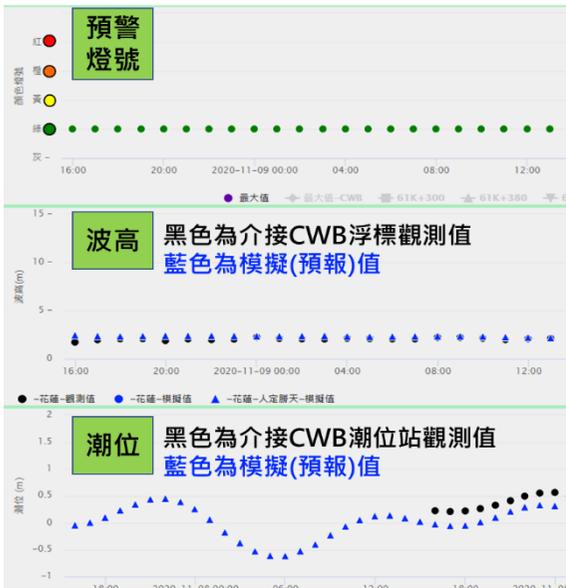


圖 19 浪襲預警系統網頁介面

4.3.3 浪襲系統的路段評估與驗證

本研究利用港研中心過去 2018 年 3 月 3 日到 2020 年 9 月 8 日期間在人定勝天段外海所預報的 COHERENCE 潮汐資料(經度 121.509、緯度 23.516)以及 SWAN 波浪資料(經度 121.52, 緯度 23.5)搭配上上述的情境資料庫條件來計算該期間每個小時的浪襲燈號。表 7 為情境資料庫計算所得 7 站各自的浪襲燈號時數。由該表可知 61K+580、61K+700 和 62K+220 道路浪襲的時數為 89、91 和 99 佔前 3 名，可列為颱風來襲時的優先關注地點，且除了 62K+220 站不管在何種潮位下，皆容易發生溢淹之外。當潮位在 1m 以下時，61k+300 站較易出現溢淹；而潮位在 2m 以上時，則是 61K+700 站容易發生溢淹。

2018 年潭美颱風侵臺時間為 9 月 28 日晚間 8 點左右，台 11 線 61K400 附近曾發生浪襲道路事件(圖 1)。根據當時

COHERENCES 潮位預報值為 0.67m，而 SWAN 預報的示性波高以及尖峰週期各為 5.41m 和 16.3 秒。預報的示性波高經(4)式修正的結果為 11.59m，將潮位、尖峰週期以及修正的示性波高利用 61K+380 站的情境資料庫作內插可得到陸地溢淹距離為 28.88m，而當溢淹距離超過 21m 代表道路溢淹(路寬 8m 有 7.88m 出現溢淹)。其警戒燈號屬於橙燈，即與當時發生道路浪襲的情況符合。

表 7 波浪和潮位預報值搭配情境資料庫計算的燈號時數

里程編號	浪襲警戒燈號發生時數				道路發生浪襲時數	道路高程(m)
	綠燈	黃燈	橙燈	紅燈		
61K+300	16802	4	27	39	66	8.7
61K+380	16820	12	33	7	40	8.7
61K+500	16827	3	25	17	42	8.2
61K+580	16777	6	40	49	89	7.8
61K+700	16816	8	53	38	91	7.6
61K+830	16819	1	23	29	52	7.5
62K+220	16760	13	62	37	99	7.3

五、結論

本研究結合文字探勘的技術蒐集異常波浪及台 11 線花蓮海岸公路的新聞資料，以關鍵字「瘋狗浪+花蓮」、「瘋狗浪+台 11 線」、「浪襲+花蓮」、「浪襲+台 11 線」、「颱風+壽豐+豐濱+吉安」做為檢索並分析找出易致災之路段，其結果為台 11 線人定勝天段。該路段因離海岸較近，容易受颱風海浪影響，且常為公路總局公告之浪襲路段。另外，使用 X Beach 波浪模式，從台 11 線公路中選擇 6 個離海岸較近的區段，進行類颱風期間的海況模擬。模擬結果亦顯示 6 個區域中，在人定勝天的道路區段最易受到海浪侵襲。

為建立浪襲情境資料庫，本研究針對人定勝天段之 7 個道路斷面總共進行 2076 個浪襲道路的情境模擬。就道路溢淹的情況而言，結果大致顯示當入射波高越高，入射週期越大，初始水位值越高的情境越容易產生溢淹。另外各站的路面高程越低、離岸越近越容易產生溢淹。除了 62K+220 站不管在何種潮位下，皆容易發生溢淹之外，當潮位在 1 m 以下時，61k+300 站較易出現溢淹；而潮位在 2m 以上時，則是 61K+700 站容易發生溢淹。另外利用 2018 年 3 月 3 日到 2020 年 9 月 8 日的潮位和波浪模式預報值搭配情境資料庫的結果顯示該期間最容易發生溢淹的地點為 61K+580、61k+700 及 62K+220。透過情境資料庫或花蓮海岸公路浪襲預警系統網頁，可提供交通部公路總局及相關單位做為道路通行安全的評估和道路暫時封閉的參考。

參考文獻

1. 中央氣象局，2020 年潮汐表，2019 年。
2. 許泰文，近岸水動力學，科技圖書，2003 年。
3. 陳志弘、張憲國、劉勁成、陳蔚瑋、何良勝，「臺灣主要港口附近海域混合波浪統計特性及推算模式建置研究(4/4)」，交通部運輸研究所，2017 年。
4. 陳冠宇、邱永芳、蘇青和、李俊穎、陳鈞彥，「海岸公路異常波浪特性及防災應用技術之研究」，交通部運輸研究所，2017 年。
5. 陳冠宇、劉俊志、張義偉、李俊穎，「瘋狗浪溯上的數值模擬與海岸公路或遊憩區之應用」，海洋及水下技術季刊，第 26 卷，第 4 期，2016 年，38-47 頁。
6. 楊博堯，「臺灣環島實測暴潮分析」，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，2018 年。
7. Fenton, J.D. and Mckee, W.D., "On calculating the lengths of water waves." Coastal Engineering, 104, 1990, pp.499-513.
8. Longuet-Higgins, M.S., Cartwright, D.E., Smith, N.D., "Observations of the directional spectrum of sea waves using motions of a floating buoy." In: Ocean Wave Spectra. Prentice Hall, New York, 1963, pp. 111-136.