

# 應用情境模擬評估雲林海岸（箔子寮海堤至林厝寮海堤段）受颱風作用下海堤溯上高度與越波量

林敬樺 國立成功大學水工試驗所助理研究員  
國際波動力學研究中心  
盧韋勳 國立成功大學水工試驗所研究助理

## 摘要

本文利用數值模式及情境模擬方式初步評估在雲林海岸三條崙砂洲消退之情況下對海堤溯上及越波量之影響。三條崙砂洲位於雲林海岸箔子寮漁港至林厝寮海堤間之外海，為下方箔子寮砂洲及外傘頂洲主要供給砂源之一。在水動力系統（波潮流）作用及人為開發下，該區海域地形長期呈現侵蝕趨勢。三條崙砂洲經長期調查顯示逐年消退，高潮位時沒入水面，低潮位時目視可見，波浪可逐漸影響砂洲後方之水域及海堤。為此，本文利用實測地形資料及數值模式設定颱風波浪及季風波浪等情境條件，了解砂洲消退對當地既設海堤現有防禦能力之影響及趨勢探討。情境分析顯示，三條崙漁港南北之區域在颱風及大潮條件下有相對高之越波風險。

## 一、環境背景說明

本研究之探討範圍為雲林海岸箔子寮漁港至林厝寮海堤段。雲林離岸砂洲以箔子寮漁港為界，砂洲在箔子寮漁港以北至新興區可稱為三條崙砂洲；而砂洲在箔子寮漁港以南至台子村漁港段可稱為箔子寮砂洲。而三條崙砂洲依照水動力特性又可以三條崙漁港為界分為南北二段，離岸砂洲之現況分佈如圖 1 所示。在本研究中，三條崙漁港以北至新興區稱為三條崙砂洲北段，而三條崙漁港以南至箔子寮漁港稱為三條崙砂洲南段。總體而言，雲林海岸之離岸砂洲在視覺上呈現向南遷移及向內陸移動。依模擬箔子寮漁港以北之水動力特性顯示，三條崙砂洲南段因波浪斜向入射所造成之南向沿岸流將砂源持續往南輸送，成為下方箔子寮砂洲之供給砂源。而三條崙砂洲北段之砂源因沿岸流較弱，無法適時適量地供給下方之砂源，因

此，三條崙漁港形成三條崙砂洲相當明顯的地理分界。而由於輸砂量輸出大於輸入，故三條崙砂洲南段消退相當顯著，圖 2 為民國 79 至 104 年 10 月三條崙砂洲面積 / 體積 / 高程之變化圖。由此圖可發現，三條崙砂洲長期以來呈現消退趨勢。三條崙砂洲之南段相對於北段消退及遷移速率較快，圖 3 為三條崙漁港南側砂洲近五年來之變化圖 (自民國 100 年至 104 年 10 月)，概略地可計算南移之速率為 184m/year，內縮之速率為 117m/year。

此段海岸既設海堤由北到南分別為林厝寮海堤、三條崙海堤及箔子寮海堤；其中三條崙海堤亦以三條崙漁港為界分南北兩側；北側已興建完成，而南側亦正在籌建中。離岸砂洲對雲林海岸而言，有天然離岸堤或是離岸潛堤之功能，可有效阻擋波浪能量直接侵襲既設海堤，使得砂洲後方海域相對靜穩；但由於局部水動力特性及人為開發影響下，砂洲呈現南移及內遷趨勢。砂洲持續變遷，使得砂洲面積 / 體積及高程整體而言呈現消退。使得波浪逐漸可以直接侵襲既設海堤，為考量未來海岸管理法須訂定海岸防護計畫以及防災應變作為，本文利用數值模擬方式評估三條崙砂洲持續消退下對後方海堤溯上高及越波量之影響。

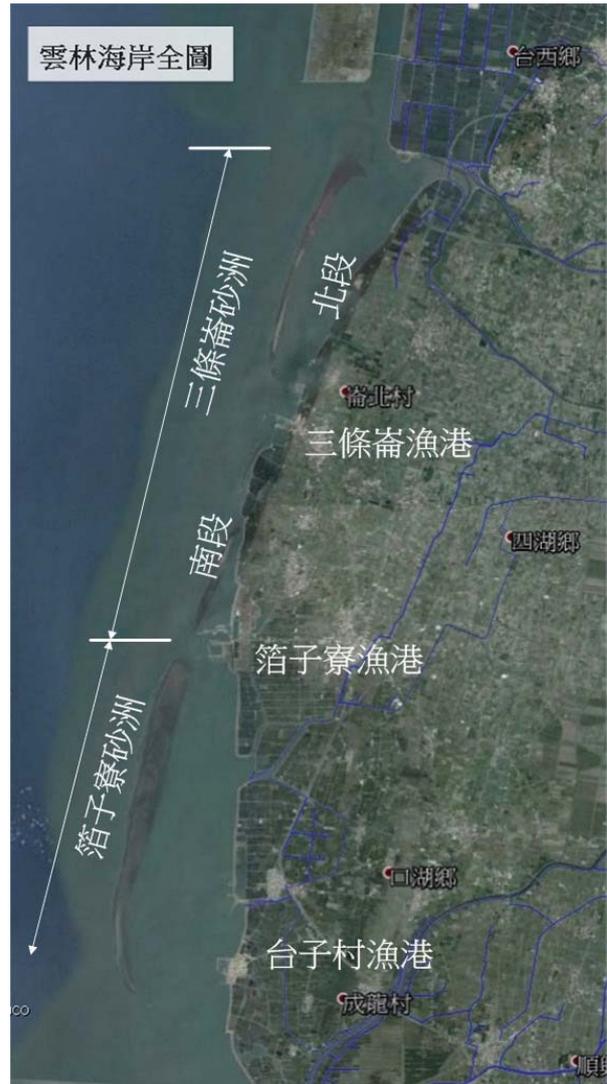


圖 1 雲林海岸離岸砂洲現況分佈圖

## 二、數值模式及評估流程

本文採用由美國陸軍工兵團研發中心海岸與水利實驗室之 CIRP (Coastal Inlets Research Program) 計畫支持下所研發完成的 CMS 模式。CMS 水動力模式主要應用於潮口、近岸與港灣等水域，具容易建構、計算效率高且可涵括多種海岸結構物的模擬，另可

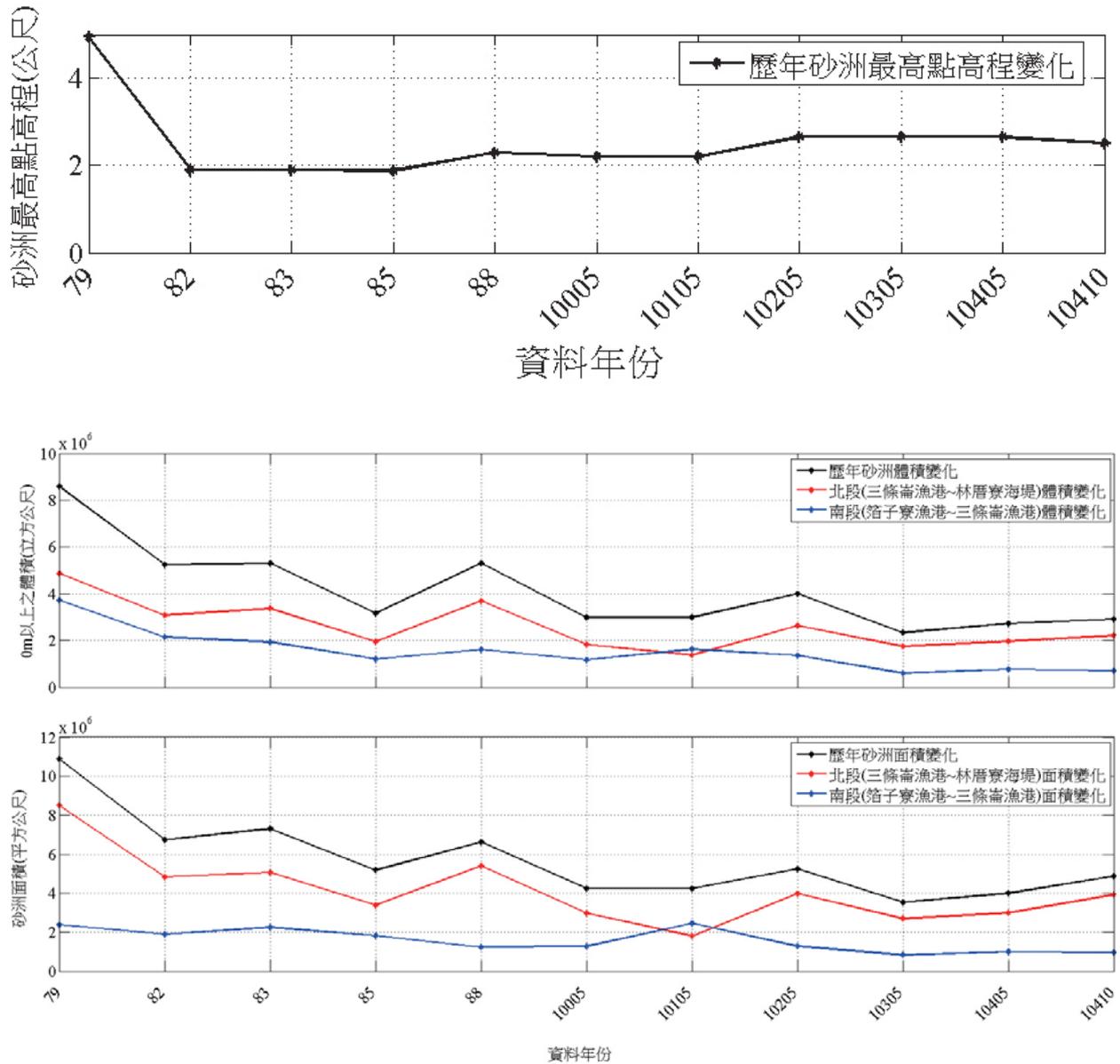


圖 2 三條崙砂洲 (箔子寮 ~ 林厝寮海堤) (上) 高程 (下) 體積 / 面積之歷年變化圖

透過與大尺度模式的結合如 ADCIRC (Advanced CIRCulation) 模擬大範圍流場，不同時空尺度的運動現象，自然營力包括潮汐、波浪、風與河川入流等。CMS 模式是以有限差分法求解水深積分之二維連續與動量方程式。採用矩形線性交錯網格，先以時間步

進法求解動量方程式，得到速度之後代入連續方程式求解水位，再代回動量方程式求解更新的速度，如此反覆計算直到求得收斂解。為滿足工程應用的需求 CMS 模式可分成兩部分，CMS-FLOW 與 CMS-WAVE 可分別獨立計算波浪及流場，也可以耦合計算，

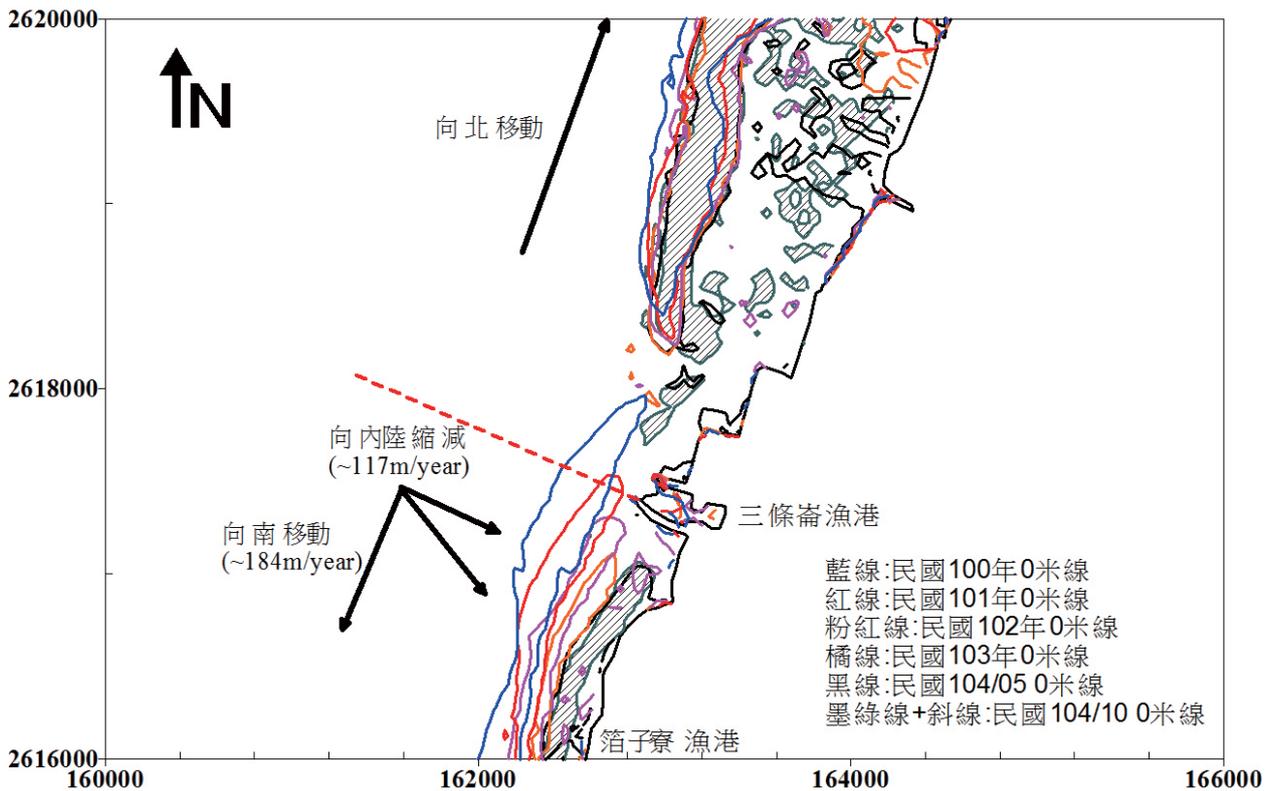


圖 3 三條崙漁港南側砂洲近五年之變化圖

在計算過程中波浪之波高、波向、週期、頻散及輻射應力等均可以在流模式中作計算，流場計算後可以反饋其流速流向及水位，計算過程如圖 4。CMS 模式中又引入風吹作用模組、床底摩擦影響、乾濕地處理與波浪輻射應力等因素。

本文是利用 CMS-WAVE 模式及既有國際常用之評估公式以情境模擬方式進行評估，其流程如圖 5 所示。在本評估中，先利用數值模式計算外海在假設情境下之波浪入射條件及堤前波高後，先以現有地形（含砂洲）模擬

對砂洲後方之水域及海堤之影響；爾後，再將砂洲消除後，以同樣方式再進行數次數值模擬。如此即可大致了解砂洲完全潛沒後，在假設情境下，初步評估此情境對後方之水域及海堤之影響程度。本次評估範圍僅限於箔子寮漁港至林厝寮海堤段，箔子寮漁港以南至台子村漁港間之箔子寮砂洲因上方三條崙砂洲砂源補充致使砂洲仍持續南遷，對後方海堤提供較為充分之保護功能，海堤安全性應暫時無虞，故箔子寮漁港以南至台子村海堤段未列入本次評估範圍之內。

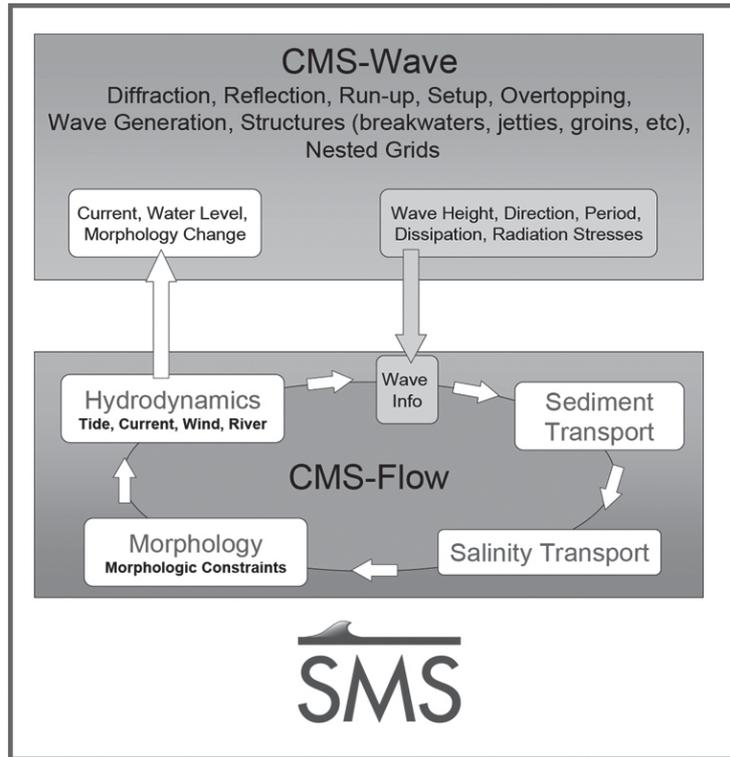


圖 4 CMS 模式耦合計算流程圖

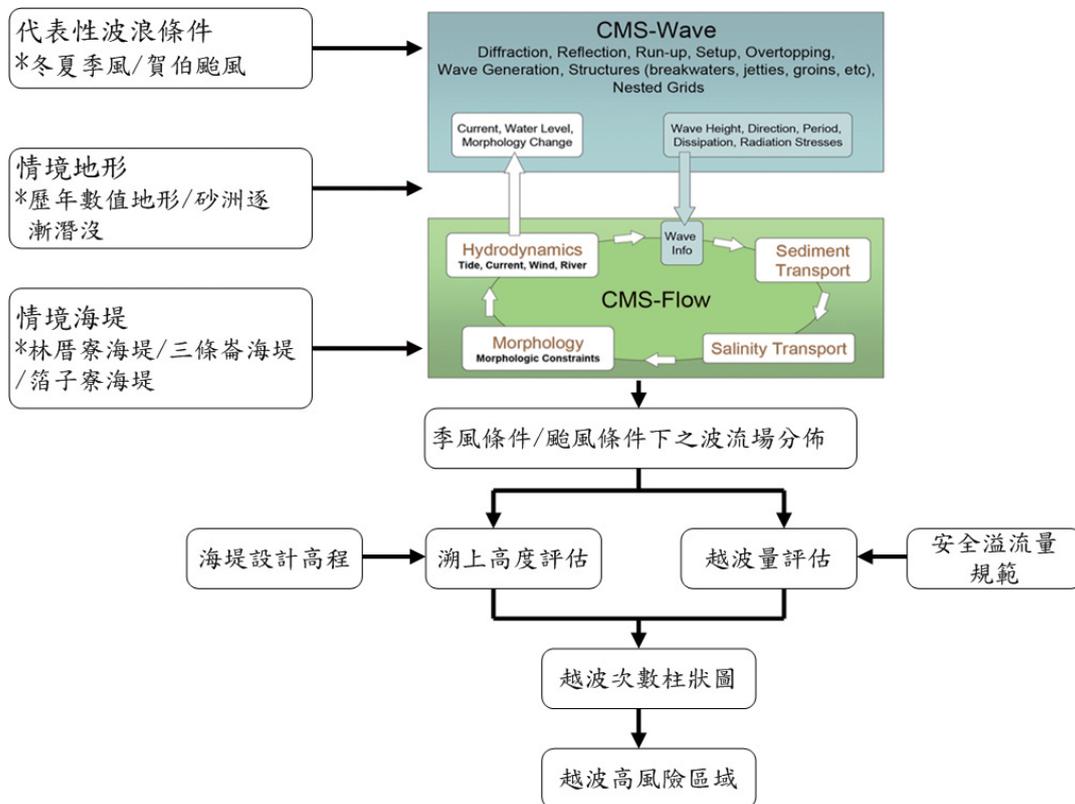


圖 5 砂洲消退之情況下對砂洲後方區域影響之評估流程

### 三、溯上及越波量公式

#### 3.1 溯上公式之研選

波浪從外海入射至岸側時，波浪沿海堤上溯可達最高之高程稱為溯上高程。溯升高程計算成果因所採用公式的不同，導致計算結果也不盡相同。本文採用美國陸軍工兵團 CEMR (2006) 及歐盟 EurOtopR (2007) 所提出之半經驗公式作為溯上評估方式(第四河川局，「濁水溪河口地形變遷調查及對下游河防安全影響與對策評估」，民 102 年)。

(1) CEMR(海岸工程手冊，美國陸軍工兵團，2006)：

CEM 溯升公式 (CEMR) 是由美國陸軍工兵團 (簡稱 CHL) 海岸管理手冊 (簡稱 CEM, 2006)，所整理之拋石堤實驗數據所提出半經驗公式，其中有考慮堤面粗糙折減因子，

$$R_{2\%}/H_o = \begin{cases} 1.5\gamma_f\gamma_h\gamma_\beta\xi_{eq}, & 0.5 < \xi_{eq} \leq 2.0 \\ 3.0\gamma_f\gamma_h\gamma_\beta\gamma_b, & \xi_{eq} > 2.0 \end{cases} \quad (1)$$

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； $\gamma_b$  為平台修正係數。

(2) EurOtopR (歐盟越波手冊，The EurOtop Team/2007)

EurOtopR 為歐盟越波手冊 (2007) 所建議之溯上機率式經驗公式，其中

機率概念乃是根據平均趨勢，用於找出所有最理想化參數。

$$\frac{R_{2\%}}{H_{mo}} = 1.65\gamma_b\gamma_f\gamma_\beta\xi_{m-1,0}, \quad \xi_{m-1,0} < 1.75 \quad (2)$$

最大值為

$$\frac{R_{2\%}}{H_{mo}} = \gamma_b\gamma_f \left( 4.0 - \frac{1.5}{\sqrt{\xi_{m-1,0}}} \right) \quad (3)$$

其中  $H_{mo}$  為堤趾基於零階動差之有義波高； $\xi_{m-1,0}$  為基於波浪頻譜  $m_{-1}/m_0$  所計算而得之碎波相似參數。

#### 3.2 越波量公式之研選

本文使用 CEM (2006) 所提出之因越波產生的海堤越波量公式，整理如下：

$$q = \begin{cases} 0.06 \exp(-5.2 \frac{R_c \sqrt{S_P}}{H_s \tan \alpha} \frac{1}{\gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}) \frac{\sqrt{gH_s^3}}{\sqrt{S_P} \tan \alpha}, & \xi_{eq} < 2 \\ 0.2 \exp(-2.6 \frac{R_c}{H_s} \frac{1}{\gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta}) \sqrt{gH_s^3}, & \xi_{eq} > 2 \end{cases} \quad (4)$$

$$\text{其中 } 0.3 < \frac{R_c \sqrt{S_P}}{H_s \tan \alpha} \frac{1}{\gamma_r \gamma_b \gamma_h \gamma_\beta} < 2,$$

$R_c$  為堤頂出水高， $S_P$  為波浪尖銳度， $H_s$  為有義波高。其中，短峰波入射折減係數  $\gamma_\beta = 1 - 0.0033\beta$

長波入射折減係數

$$\gamma_\beta = \begin{cases} 1.0 & \text{for } 0^\circ \leq \beta \leq 10^\circ \\ \cos^2(\beta - 10^\circ) & \text{for } 10^\circ < \beta \leq 50^\circ \\ 0.6 & \text{for } \beta > 50^\circ \end{cases}$$

## 四、情境條件及設定

為探討三條崙砂洲變遷歷程對後方水域及既設海堤之可能影響，本文採用情境模擬 (scenario simulation) 的方式進行評估。所謂情境模擬，是假設未來可能發生的情況 (稱為情境)，藉此判斷預測事件的發展趨勢或某些措施的可行性，從而協助主事者進行決策。就災害的減輕及管理而言，情境模擬是一有力的工具。然而，情境模擬有其侷限性。因為並未提供其發生該情境機率之資訊，亦即無法提供發生之時間，也未能判斷此情境是否比彼情境更可能發生 (陳，2013)。

本文所採用之情境環境說明如下：

### (1) 海域地形及砂洲變遷情境：

情境模擬之範圍為箔子寮漁港以北至林厝寮海堤段，海岸線約 9 公里；海域地形則是採用民國 79、82、83、85、88、100/05、100/10、101/05、101/10、102/05、102/10、103/05、103/10 及 104/05 等年之地形資料，另外以民國 104 年 5 月施測之海域地形搭配四種假設砂洲可能變遷形態：

- 1). 假設三條崙砂洲全段高程與海平面相合，即砂洲高程為零。
- 2). 假設三條崙砂洲全段潛沒至水下 -0.5m 處，即假設砂洲全段高程皆為 -0.5m。
- 3). 假設三條崙砂洲全段潛沒至水下 -1m 處，即假設砂洲全段高程皆為 -1m。

- 4). 假設三條崙砂洲全段潛沒至水下 -2m 處，即假設砂洲全段高程皆為 -2m。

故總共有 18 種地形條件。在以上四種虛擬情境中，僅考慮高程之變化，暫不考慮砂洲面積、體積及位置之變化。

### (2) 海象條件：

海象條件之假設情境分別為季風波浪條件及颱風波浪條件。颱風波浪是採用賀伯颱風之波浪資料 (因賀伯颱風曾對雲林縣海岸造成災害)。而冬季風條件取自國立成功大學水工試驗所於雲林外海 THL1 測站 (麥寮外海) 及 THL2B 測站 (箔子寮漁港外海) 長期監測統計分析所得之代表性季風風浪條件，而潮位資料則是取用麥寮站 2014 年全年最高潮位為 +2.676m；箔子寮站最高潮位為 +2.226m (經濟部工業局，2014)。因此，共有 5 種之海象條件，假設條件如表 1 所示。

### (3) 既設海堤資料：

模擬範圍內之既設一般性海堤，由北到南依序為林厝寮海堤、三條崙海堤及箔子寮海堤；利用前章之方式評估溯上高及越波量，所需之海堤資料為堤面坡度及設計高程，資料來源為第五河川局於民國 99~100 年辦理「雲林海岸海堤安全性評估分析研究計畫」之測量資料，圖 6 分別為林厝寮海堤、三條崙海堤及箔子寮海堤之海堤斷面圖。而為方便計算沿線海堤

表 1 情境模擬之假設海象條件

| 計算條件       | 試次 | 主波向 (方位角) | 波高   | 週期    | 潮位    |
|------------|----|-----------|------|-------|-------|
|            |    | 度         | m    | sec   | m     |
| 夏季 (THL1)  | A  | 247.5     | 0.65 | 4.9   | 2.676 |
| 夏季 (THL2B) | B  | 247.5     | 0.83 | 5.5   | 2.226 |
| 冬季 (THL1)  | C  | 315       | 0.99 | 5.3   | 2.676 |
| 冬季 (THL2B) | D  | 0         | 1.78 | 5.8   | 2.226 |
| 賀伯颱風       | E  | 315       | 8.10 | 12.50 | 3.62  |

表 2 模擬範圍內既設一般性海堤資料表

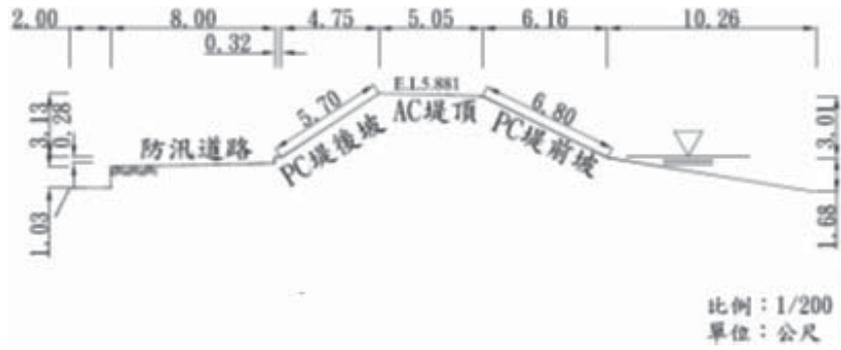
| 海堤名稱  | 長度 (m) | 設計堤頂高程 / 現有堤頂高程 (m) | 海側坡度 | 型式       | 消波工型式    |
|-------|--------|---------------------|------|----------|----------|
| 林厝寮海堤 | 4800   | 6.5/5.85            | 1/2  | 緩坡式乾砌護坡堤 | 三和塊 10T  |
| 三條崙海堤 | 4400   | 5.5/5.4             | 1/2  | 緩坡式乾砌護坡堤 | 混凝土塊 10T |
| 箔子寮海堤 | 860    | 6.6/5.9             | 1/2  | 緩坡式乾砌護坡堤 | 力川塊 10T  |

資料來源：雲林海岸海堤安全性評估分析研究計畫 (第五河川局，99~100 年)

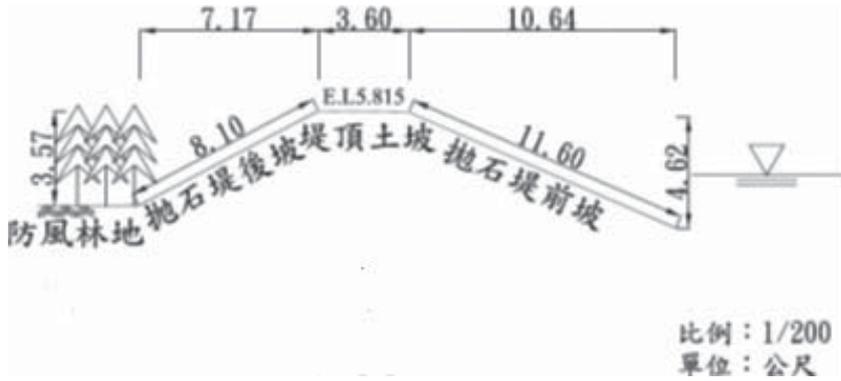
之溯上高度，本文自林厝寮海堤至箔子寮海堤每隔約 400 公尺設一斷面，共計 25 條代表性斷面，編號自 Sec.26~Sec.38，如圖 7 所示；其中，Sec.26~Sec.30-1 為林厝寮海堤，Sec.31~Sec.35-1 為三條崙海堤 (含三條崙漁港以北之既設海堤、三條崙漁港及籌建中之三條崙漁港南側之海堤)，Sec.36~Sec.38 為箔子寮海堤，如表 2 所示。在表 2 中，也列入了因長期地層下陷所造成之現有堤頂高程。

在本次模擬中，海象條件並未考慮極端氣候及暖化所造成之海平面上升及颱風強度增減；地形條件直接假

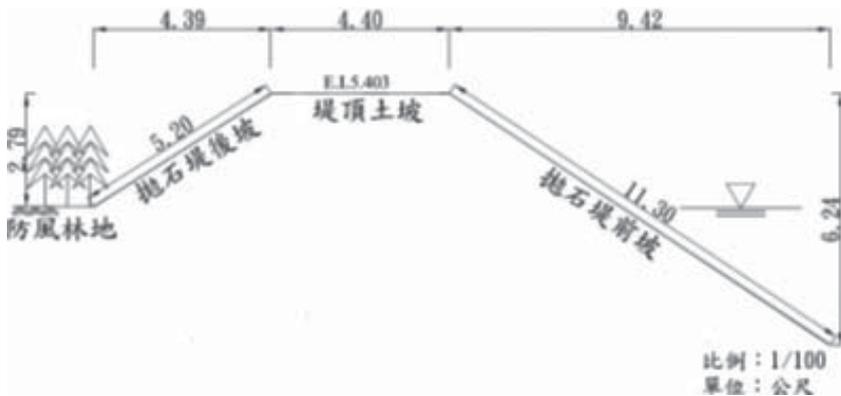
設砂洲全段潛沒，並未考慮實際砂洲動態變遷行為，明顯之差異即是本假設情境是堤前為一平台地形而不是斜坡地形；另一方面，海堤在整個模擬過程中，均假設受波浪作用下堤身均完好，無破損之情況發生。雲林地區地層下陷之動態變化也並未考慮在內。此外，三條崙漁港南側之三條崙海堤南段，目前正在進行籌建作業，其海堤線外為私人漁塭，以私有土堤抵擋潮汐；在本模擬中，除了採用既有漁塭所在地之數值高程資料外，也假設籌建中之三條崙海堤南段興建於現私人土堤之位置上，如圖 8 所示。



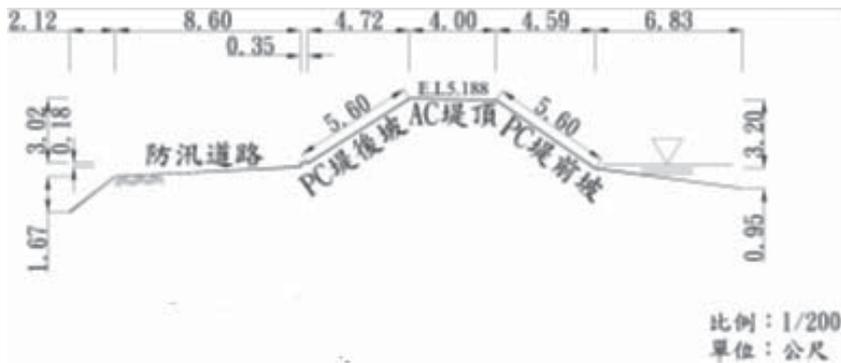
(a) 林厝寮海堤 0K+000~2K+289(1K+100)



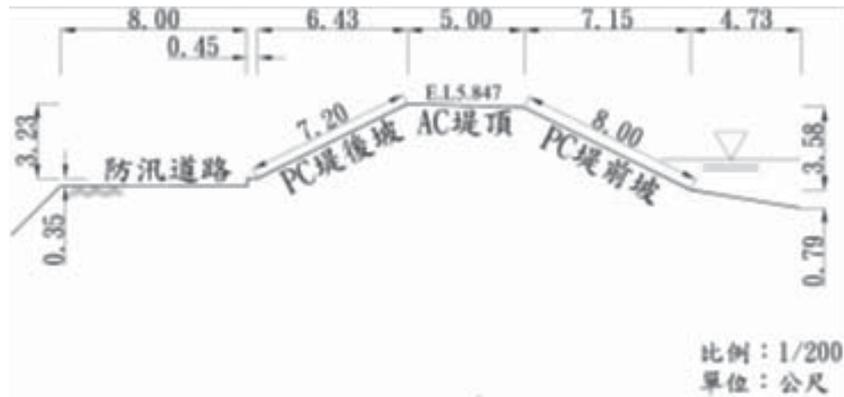
(b) 林厝寮海堤 2K+289~4K+854(3K+850)



(c) 三條崙海堤 0K+000~1K+298(0K+850)



(d) 三條崙海堤 2K+000~2K+964(2K+600)



(f) 箔子寮海堤 0K+000~0K+850(0K+550)

圖 6 林厝寮海堤、三條崙海堤及箔子寮海堤之海堤斷面圖

(資料來源：雲林海岸海堤安全性評估分析研究計畫，第五河川局，99~100 年)

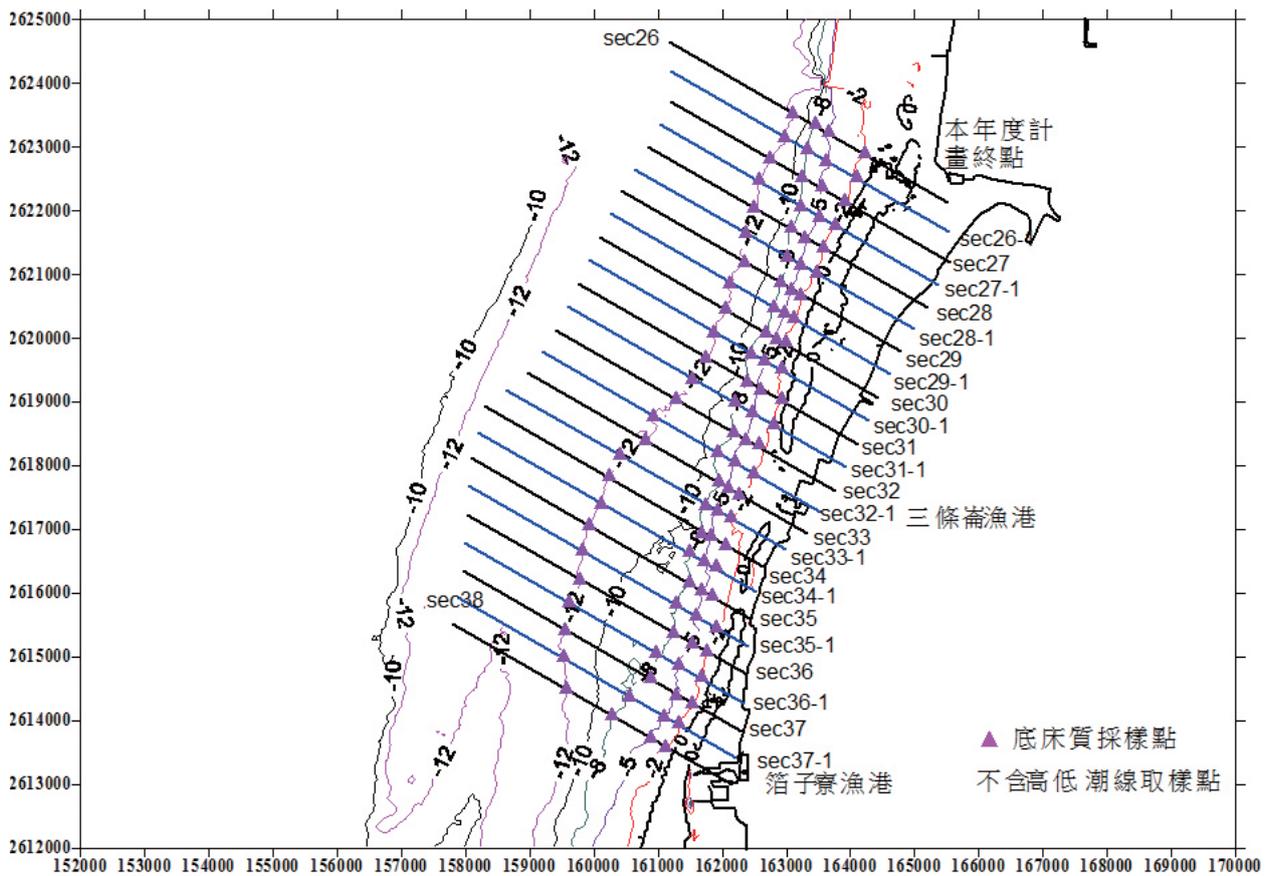


圖 7 林厝寮海堤至箔子寮海堤段 25 條代表性斷面分佈圖



圖 8 情境模擬時所使用之海堤位置分佈圖

## 五、情境模擬結果

### 5.1 颱風條件下之波場與砂洲高程之關係

由砂洲歷年體積 / 面積 / 高程分析中得知，以面積論，分別以民國 79 年與 104 年 5 月為最高及最低。因此，本小節將採用民國 79 年與 104 年 5 月之波場模擬，用於說明在颱風條件下砂洲分佈與後方水域之關係。

#### (1) 民國 79 年

圖 9 為利用民國 79 年數值地形及颱風條件 (波高 8.1 公尺、週期 12.5 秒及潮位 3.62 公尺) 所模擬之波場分佈

圖。當時砂洲主要位於林厝寮海堤及三條崙海堤北側外海，Sec.26~Sec.31-1 外有兩道砂洲，而 Sec.32~Sec.35 則有一道砂洲；零星砂洲分佈在三條崙漁港南側及箔子寮海堤，故接近 4 公尺之外海波高自西北向斜向入射時，砂洲發揮天然防波堤之功用，有效降低堤前波高至約 1.36~1.81 公尺 (Sec.26~Sec.31-1) 及 1.55~2.16 公尺 (Sec.32~Sec.35)；而沒有砂洲屏障之區域 (Sec.35-1~Sec.38)，波高仍可到達 3~4 公尺左右，堤前波高約為 1.57~2.07 公尺。

#### (2) 民國 104 年 5 月

圖 10 為利用民國 104 年 5 月數值地形及颱風條件 (波高 8.1 公尺、週期 12.5 秒及潮位 3.62 公尺) 所模擬之波場分佈圖。民國 104 年 5 月砂洲主要分佈於林厝寮海堤前、三條崙漁港南側及箔子寮海堤外。三條崙漁港外當時無砂洲阻隔，因此形成一個較大之缺口；另一個較小之缺口則是在三條崙海堤南側與箔子寮海堤交界處。與民國 79 年之情境主要之差異為砂洲分佈與水深地形之變畫；上一個案例中，砂洲分佈在三條崙漁港以南且高程較高；而在本案例中，砂洲分佈區域較長，寬度較窄，高程也較低。

在此一地形條件下，颱風波浪自西北方斜向入射本段海域，明顯可見砂洲發揮遮蔽作用，上述有砂洲遮蔽之後方水域波高降為 0~2 公尺，所有

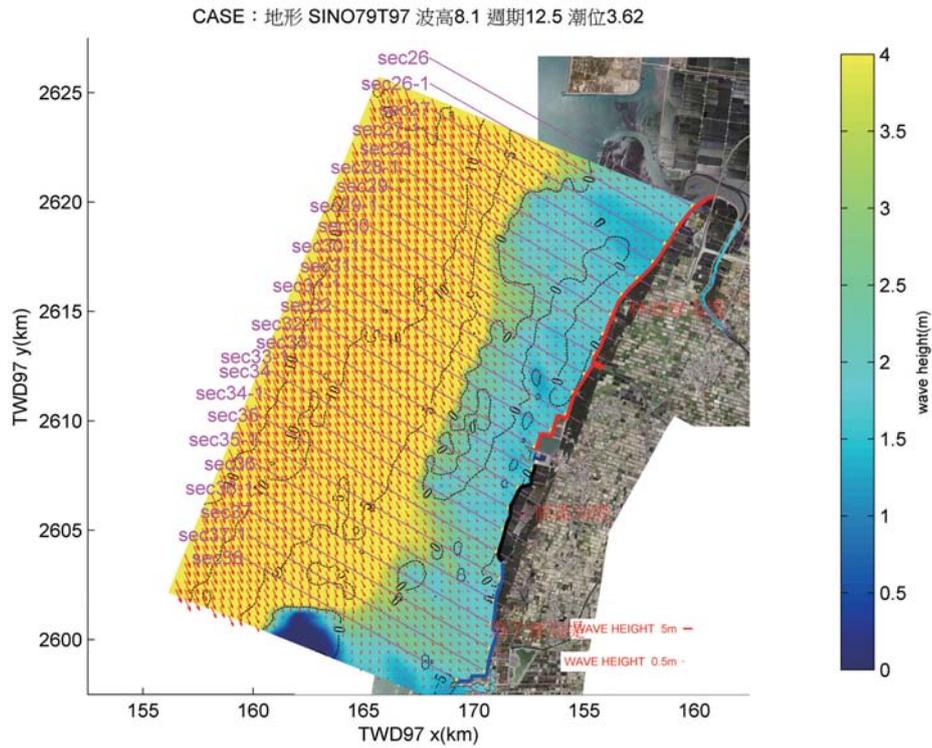


圖 9 利用民國 79 年實測地形模擬雲林海岸 (箔子寮漁港 ~ 林厝寮海堤段) 在颱風情境條件下所得之波場分佈

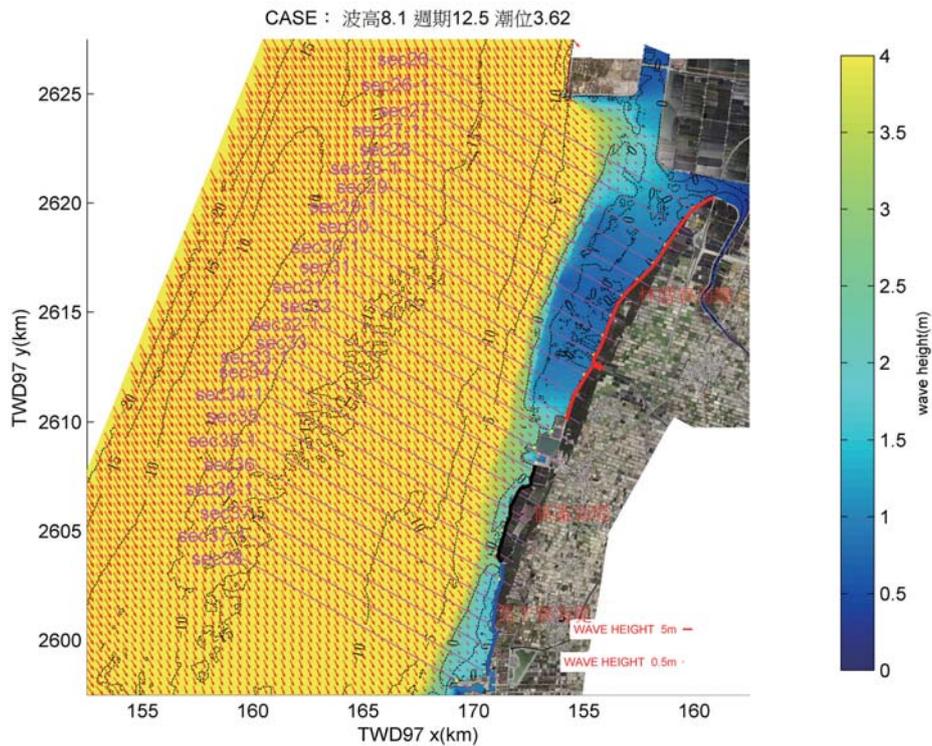


圖 10 利用民國 104 年 5 月實測地形模擬雲林海岸 (箔子寮漁港 ~ 林厝寮海堤段) 在颱風情境條件下所得之波場分佈

斷面之堤前波高均在 2.3 公尺以上。三條崙漁港以南所有斷面之堤前波高均為 2.5 公尺左右，略高於三條崙漁港北側，可能的原因是因為海堤前方沒有砂洲屏蔽、砂洲過小以及砂洲高程略低所致。

## 5.2 砂洲高程對溯上高程與越波量之影響

在此一小節中，僅列出一範例情境說明該情境下各斷面溯上高及越波量之成長趨勢。圖 11 為砂洲高程與海平面重合之假設情境下 Sec.26~Sec.38 之堤前波高、溯上高、堤頂餘裕高及越波量。圖中，黑線表示既設海堤之設計高程、餘裕高及零越波量之參考線。圖中溯上高及餘裕高若在黑線之左邊則表示溯上高已超過設計高程及顯示設計高程略低，而對應斷面就會發生越波；若在右邊，則顯示設計高程及餘裕高足夠而不會發生越波。分析顯示，如果砂洲高程逐漸降至與海平面重合，對照設計高程，在颱風條件下三座海堤都有可能發生越波，較大之越波量會發生在三條崙漁港附近。

假設砂洲高程均為 0 之情境下，圖 12 顯示各斷面之堤前波高、溯上高及越波量之差異。對照民國 79 年、民國 104 年 5 月及假設情境之結果，可以發現趨勢為砂洲高程與堤前波高成反比，也就是說砂洲高程逐漸降低會

提高堤前波高；在其中數個斷面中，隨著時間之增長而溯上高度與越波量也逐次增長，推論可能原因為斷面前面沒有砂洲提供屏障，所以堤前波高較高。同樣的趨勢也反應在溯上高程及越波量上。

以 Sec.32-1 斷面為界(三條崙漁港)，可以發現，三條崙漁港以北在颱風條件下造成越波之機會甚少，較需注意的斷面為 Sec.26、Sec.29、Sec.32 及 Sec.32-1，但相對於三條崙漁港以南之區域，越波量顯得較小；箔子寮海堤 (Sec.36~Sec.38) 越波量也較小，可能之原因，即是前面有足夠之砂洲保護以及設計高程較高。

較大之越波發生在 Sec.33~Sec.35-1(即是在三條崙漁港南側至三條崙海堤南段)，其原因有二，一是因為該段海堤前方僅有少許砂洲零星分佈，二是該段海堤設計高程略低。而在砂洲高程均降為 0 時，會使所有斷面堤前波高提高，溯上高度均超過設計高程，所有斷面均發生越波，但僅為越波量提高，總體趨勢並未改變。也就是說，砂洲之空間分佈影響了發生越波之區域，而砂洲高程則是影響越波量之大小。

## 5.3 發生越波之高風險區域

越波量發生原因是由於溯上高度超過既設海堤設計高程或是現有海堤

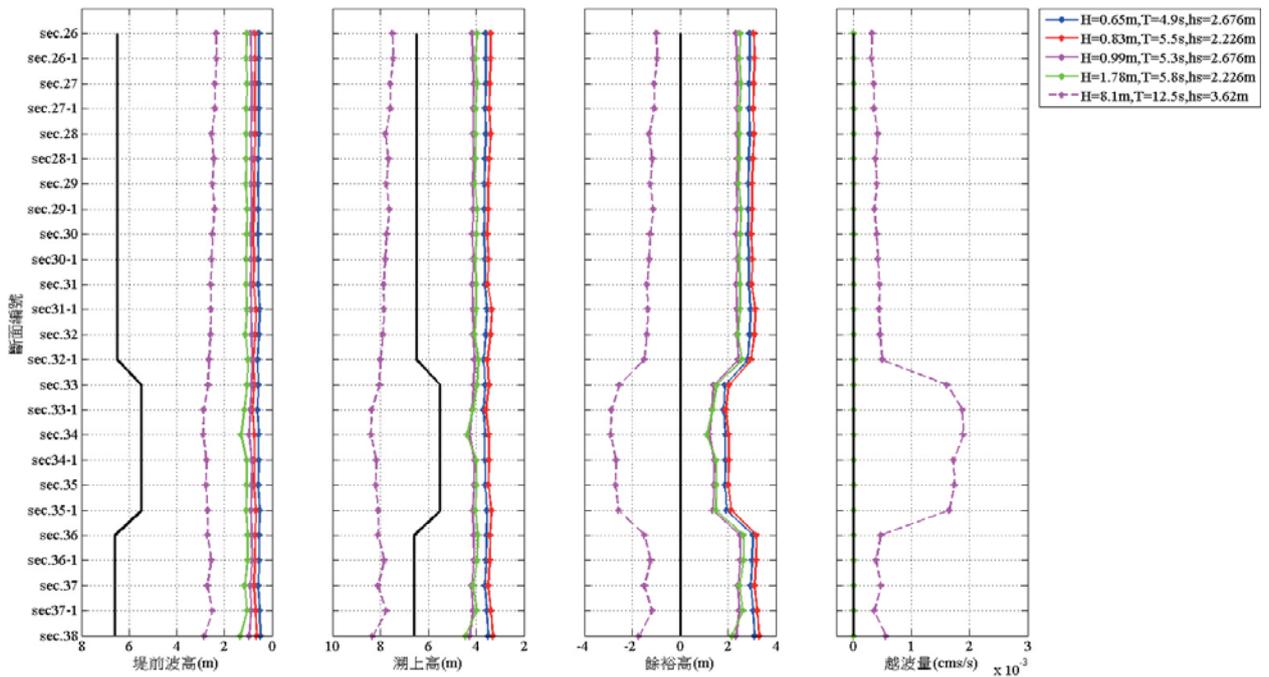


圖 11 情境模擬條件下 (民國 104 年 05 月 - 砂洲高程與海平面重合) 各斷面之模擬結果

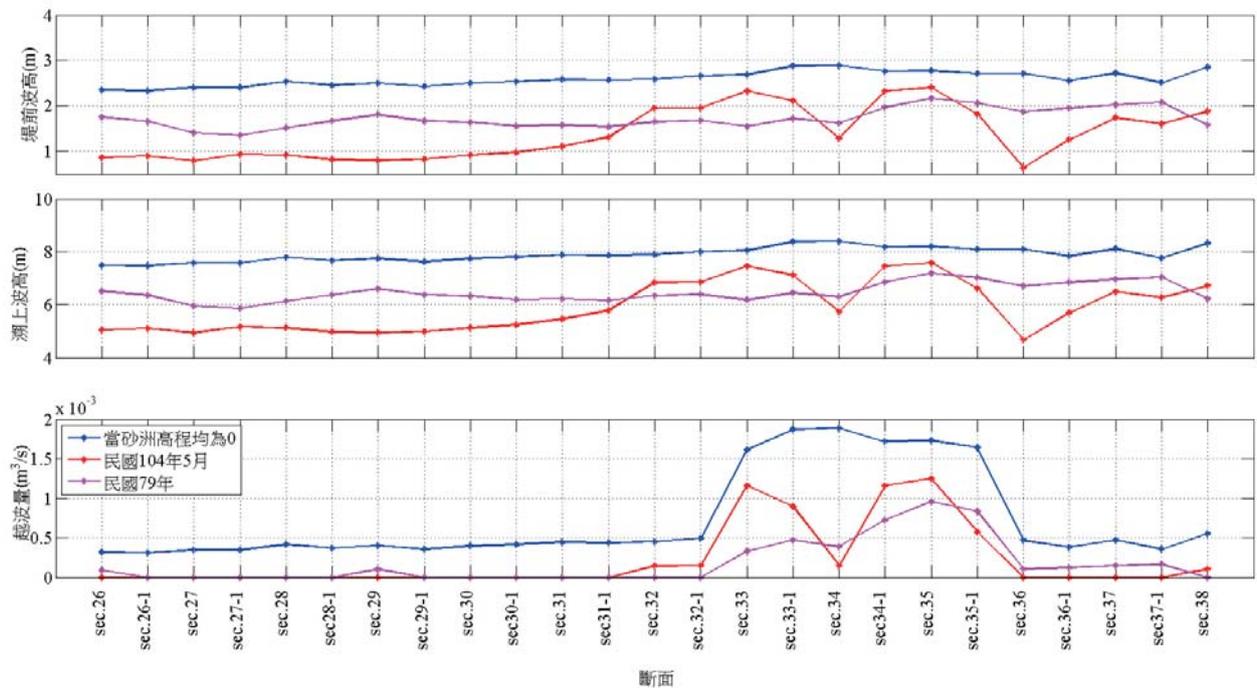


圖 12 民國 79 年、民國 104 年 5 月及假設砂洲高程均為 0 等情境下，各斷面之堤前波高、潮上高及越波量

高程。根據上述地形及海象情境條件進行情境模擬，實際地形為 14 組，虛擬地形為 4 組，每組共模擬 5 種不同情境，模擬次數總計 90 次（其中實際地形 70 次，虛擬地形 20 次）。因此，綜合多次模擬結果，可以歸納出容易越波之高風險區域。圖 13 為所有斷面在各次模擬結果所產生越波之次數柱狀圖；藍色部分為未包含虛擬地形之次數；紅色部分為包含虛擬地形之次數。

模擬結果顯示，在離岸砂洲高於海平面時，只有在颱風條件才會發生越波，其餘條件現有海堤設計高程均足夠抵抗季風條件下波浪；在 70 次實際地形模擬測試中，25 個代表性斷面

之平均發生越波次數為 7 次，Sec.31-1~Sec.34-1 越波次數最高達 14 次。若定義發生越波次數大於平均發生越波次數為高風險區域，則高風險區域主要分佈在 Sec.32~Sec.35-1 之區域（即是三條崙漁港南北兩側），可能原因推論仍是由於該區間前砂洲較小，在颱風條件下，所能提供保護功能不足。

而如果砂洲高程降為零及沒入水中之情境下，則所有斷面都會發生越波，這顯見是由於砂洲高程逐漸沒入水中，致使保護功能喪失情況下而提高發生越波之機率。該模擬也暗示，現有既設海堤之設計高程在砂洲高於水面時，僅有在颱風情況時於三條崙

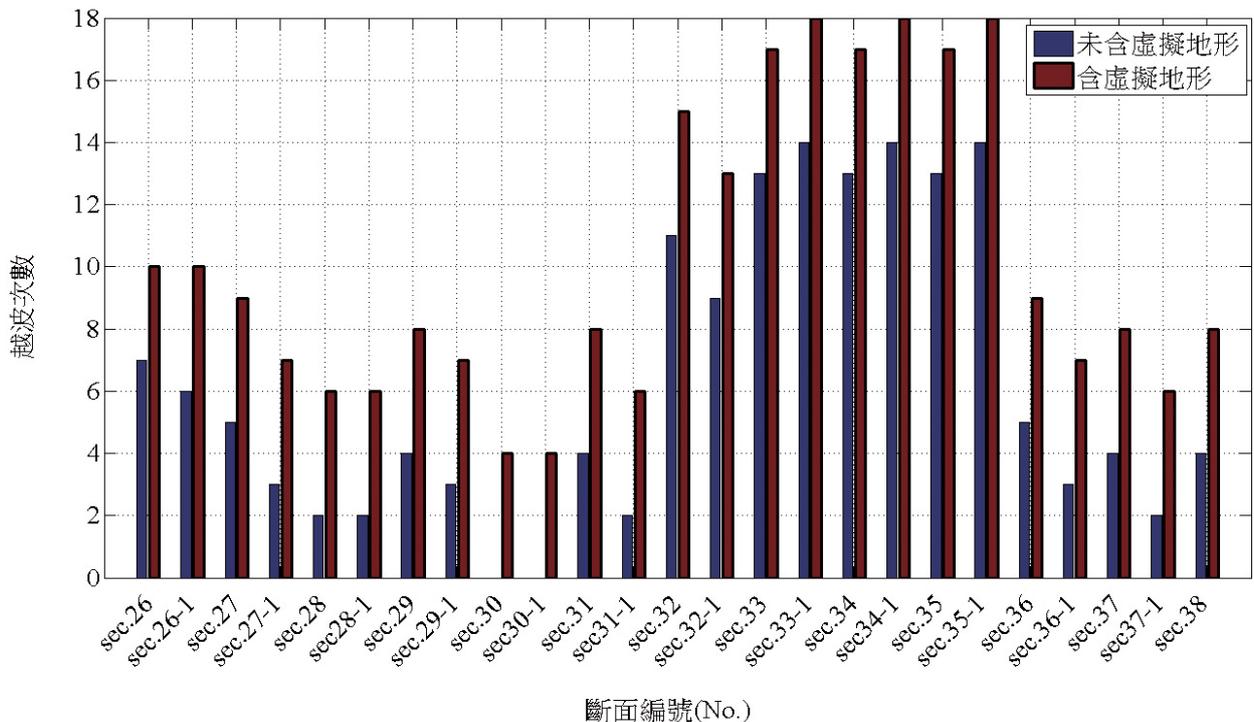


圖 13 所有斷面在情境模擬發生越波次數之柱狀圖

漁港南北兩側可能產生越波，其餘情況應不致發生越波；而在砂洲逐漸降至海平面以下，則三座主要海堤都會發生越波，所有斷面越波次數大為提高，相對風險也提高。

除了砂洲高程逐漸降低會提高越波風險外，地層下陷也會提高在颱風條件下越波之次數。圖 14 為改採受地層下陷影響後之現有堤頂平均高程後，其越波次數之比較圖。比較顯示，考慮現有堤頂平均高程後，林厝寮海堤及箔子寮海堤之越波次數均增加，三條崙海堤則是無變動。越波次數之增加仍舊只發生在颱風條件下。對照表 2 可知，林厝寮海堤及箔子寮海堤受累次地層下陷之影響，堤頂高程下降約 0.7 公尺，因此，在颱風條件下堤前波高及溯上高度不變之情況下，越波可能性亦隨之提高。

#### 5.4 越波趨勢與砂洲變遷之關係

由統計分析知，在颱風且為大潮條件下，以三條崙漁港南北兩側為發生越波之高風險區域；而由上小節知，在越波高風險區域內，有 Sec.33~Sec.36 會產生相對大之越波量，本小節將利用情境模擬之結果說明這些斷面之越波趨勢。

圖 15 為 Sec.33-1 斷面在各種情境下模式所推估出之堤前波高、溯上高及越波量；橫軸可視為時間，故該圖可視為一時間序列。由砂洲變遷可知，砂洲整體趨勢為負成長，所以序列圖顯示隨著時間增長，砂洲逐漸消退，越波高風險斷面發生越波之機會相對提高，其越波量也會隨之提高。對於各斷面而言，可以發現只要砂洲高程降為負值時（即是砂洲沒入水中），會產生較大之堤前高程、溯上高及越波量。

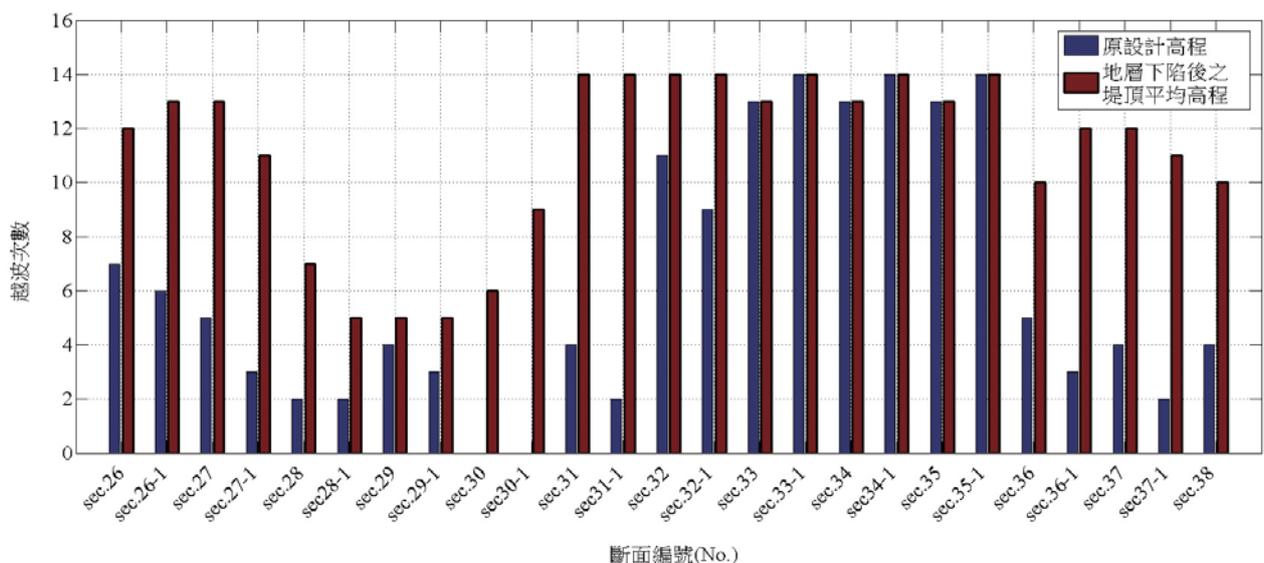


圖 14 所有斷面依現有堤頂平均高程評估發生越波次數之柱狀圖

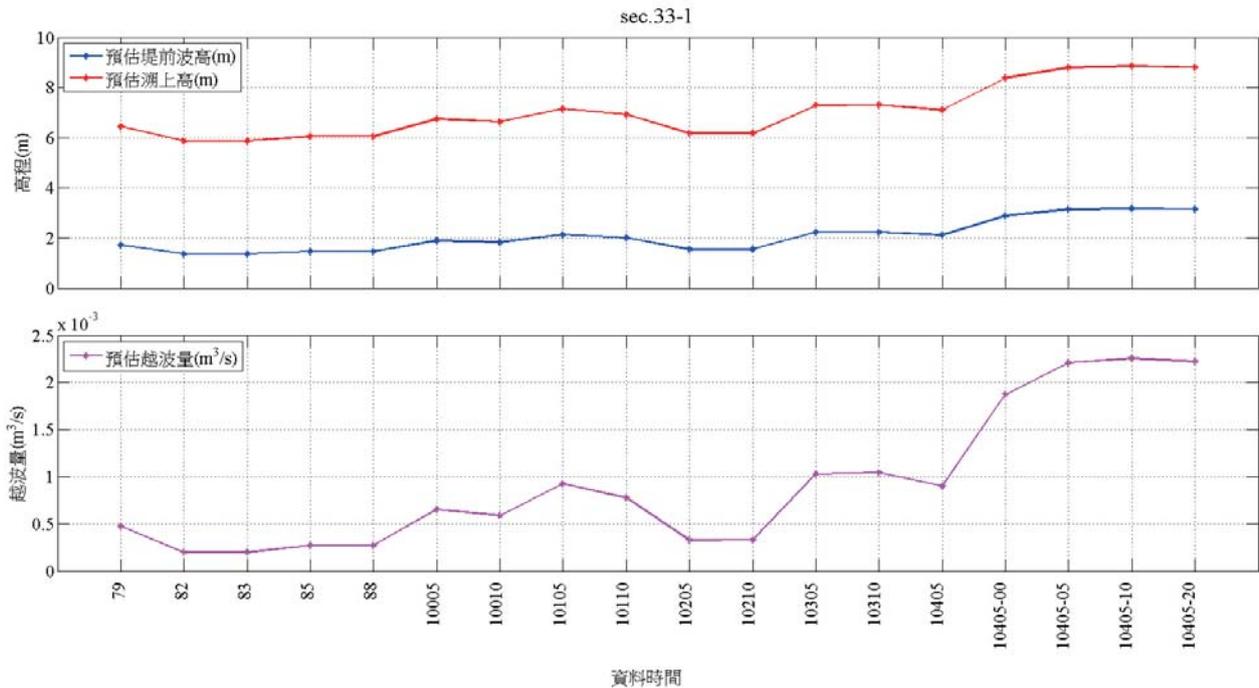


圖 15 Sec.33-1 在各假設情境下之堤前波高、溯上高及越波量

## 六、結論

本文利用數值模式、實測地形及情境模擬初步評估砂洲變遷對海堤溯上高度與越波量之影響。結果顯示，在離岸砂洲高於海平面時，只有在颱風條件才會發生越波之可能，其餘條件現有海堤高程均足夠抵抗季風條件下波浪；越波高風險區域主要分佈在 Sec.32~Sec.35-1 之區域(即是三條崙漁港南北兩側)，可能原因推論由於該區間前砂洲較小，在颱風及大潮條件下(中秋前後)，所能提供保護功能不足。

在砂洲高程降為零及沒入水中之情境下，所有斷面都會發生越波，這顯見是由於砂洲高程逐漸沒入水中，

致使保護功能喪失情況下，而發生越波。該模擬也顯示，現在海堤之設計高程在砂洲高於水面時，僅有在颱風情況時於三條崙漁港南北兩側可能產生越波，其餘情況應不致發生越波；而在砂洲逐漸降至海平面以下，則三座主要海堤(由北至南分別為林厝寮海堤、三條崙海堤及箔子寮海堤)都會發生越波，所有斷面越波次數大為提高，相對風險也提高，而地層下陷也會提高越波之可能性。

在此要特別說明的是，本研究僅為初步了解砂洲完全消失後對後方水域及海堤之可能影響，並非一完整且詳盡之評估；砂洲之消滅及地形之變化深受當地水動力系統之影響，而砂

洲消退之動態時程及空間動態特徵尚待釐清；另一方面，海堤安全性與堤身現況、殘餘強度及外部作用力大小有關。因此，本文僅藉由數個可能情境模擬歸納溯上高度及越波量定性及趨勢說明。

## 誌謝

本文承蒙經濟部水利署第五河川局周副局長建森、規劃課陳課長明哲(已退休)、規劃課楊明道工程司及工務課呂春生工程司提供雲林海岸既設海堤之調查資料；國立成功大學水工試驗所及詮華國土測繪有限公司提供雲林海岸歷年之水深地形測繪及海氣象觀測資料，特此致謝。另外，亦感謝經濟部水利署計畫「雲林海岸基本資料調查(2/2)」(計畫編號104-B-01060-001-003)及科技部計畫「跨國頂尖中心國際波動力學研究中心(4/5)」(計畫編號MOST-105-2911-I-006-301)提供經費，使本文得以完成。

## 參考文獻

1. 社團法人台灣省水利技師公會(2012)，雲林海岸海堤安全性評估分析研究計畫(2/2)，經濟部水利署第五河川局。
2. 逢甲大學(2013)，濁水溪河口地形變遷調查及對下游河防安全影響與對策評估，經濟部水利署第四河川局。

3. 陳冠宇(2013)，海嘯預警與溢淹潛勢圖數值模擬之回顧與探討，海洋工程學刊，第12卷，第1期，第61-74頁。
4. 國立成功大學(2014)，雲林離島式基礎工業區永續環境管理計畫，經濟部工業局。
5. 詮華國土測繪有限公司(2016)，雲林海岸基本資料調查(2/2)，經濟部水利署第五河川局。
6. Coastal Engineering Manual, U.S. Army Corps of Engineers.
7. EurOtop Overtopping Manual (2007), Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual, UK : N.W.H. Allsop, T. Pullen, T. Bruce. NL: J.W. van der Meer. DE: H. Schüttrumpf, A. Kortenhaus., [www.overtoppingmanual.com](http://www.overtoppingmanual.com).