

# 雲林離島工業區附近海域暴潮分析與模擬

鄭志維<sup>1</sup>  
技術員<sup>1</sup>

劉正琪<sup>2</sup>  
助理研究員<sup>2</sup>  
國立成功大學水工試驗所

高瑞棋<sup>3</sup>  
副所長<sup>2</sup>

## 摘要

由於颱風時期水位異常上升導致波浪越過海堤造成海岸地區海水倒灌，因此暴潮分析實為海岸工程規劃之必要考量。本文利用雲林縣離島工業區北邊麥寮與南邊箔子寮潮位站長期監測資料及二維暴潮數值模式，分析93年度敏督利(MINDULLE)颱風侵台期間雲林海域之暴潮偏差。由麥寮與箔子寮潮位站實測潮位資料分析之最大暴潮偏差量分別為32cm與25cm，而數值模式模擬之最大暴潮偏差量與前述分析結果分別相差約7.0cm與1.0cm，誤差百分比分別佔實測資料分析結果之21%與4%。對工程設計而言，長期實測潮位資料往往不易得到，以暴潮數值模式推算沿海暴潮位具有其實用之價值。

關鍵字：暴潮偏差，暴潮數值模式，有限元素法

## 一、緒論

台灣地區每年夏秋之際，常遭受颱風之侵襲，受到颱風之低氣壓及強風作用，導致沿海地區海水水位異常上升，此種異常水位與當時天文潮位之差稱為暴潮偏差或暴潮位。颱風暴潮常見之海岸災害包括水位升波浪碎波線內移，導致颱風波浪破壞力增加，使得海岸結構物受損、越波量增加，沿海低窪淹，以及影響河川排洪功能造成沿岸洪水溢淹災害等。故如何防患颱風暴潮所造成的災害，以及有效、準確地推算颱風暴潮位，一直為海岸工程界努力之目標。如楊(1974)利用有限差分法發展二維颱風暴潮模式，用以推算台灣東北海岸颱風暴潮之大小；李(1979及1984)先後建立整個臺灣海峽沿岸及環繞臺灣四周海域之颱風暴潮數值模式；劉(1987)與中央氣象局合作發展出臺灣海域三度空間颱風暴潮及氣象潮數值預報數值模式，用以預測臺灣四週海域之暴潮、天文潮及潮流等海象；此外，邵及張(1992)、柯等(1993)、龔等(1997)、許及廖(1998)、黃等(1998)及劉(2004)等均曾從事過颱風暴潮之模擬演算。

雲林縣離島式基礎工業區麥寮區於民國83年動工，而位於麥寮區南側新興區亦於民國87年動工，圍堤造陸必然改變原來海岸地貌，對海岸環境衝擊在所難免。為瞭解並監測離島工業區開發對海岸環境之影響，自民國80年至今，即工業區開發前，國立成功大學水工試驗所(以下簡稱本所)即參與開發單位在雲林海域海

岸之海氣象相關調查及研究工作。為瞭解雲林海域潮汐變化特性以及提供相關數值模式之邊界條件與驗證資料，本所自民國87年開始於雲林離島工業區北邊麥寮與南邊箔子寮兩港口設置潮位站，如圖1所示。

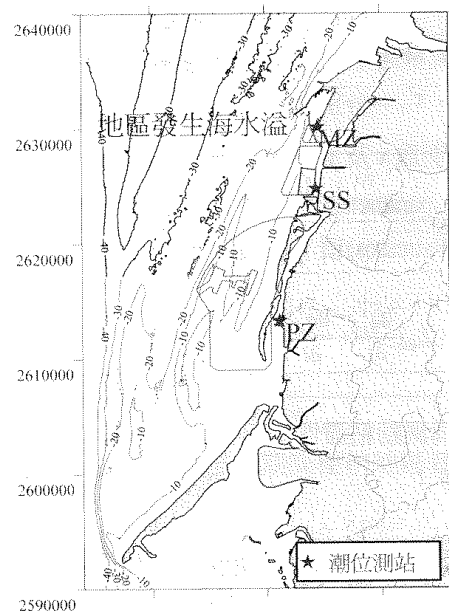


圖1 雲林離島工業區潮汐測站位置圖(MZ、SS及PZ分別為麥寮、台西及箔仔寮潮位站)

為瞭解颱風來襲期間雲林海域發生暴潮偏差大小，本所自90年起根據潮位站實測資料利用調和分析方法分析颱風期間各潮位站之暴潮偏差量(參考文獻9)；基於潮位記錄分析所得暴潮偏差僅為定點結果，乃於

93年起構建暴潮數值模式模擬颱風侵台期間雲林海域暴潮偏差之變化情形(參考文獻 10)。

## 二、暴潮數值模式

### 2-1 暴潮數值模式之基本理論

假設水體為具有黏滯性之不可壓縮流體，並考慮地球自轉運動之影響，利用水深積分方法可將描述流場之連續方程式及運動方程式簡化如下：

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial q_x}{\partial x} + \frac{\partial q_y}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial q_x}{\partial t} + \frac{\partial(q_x/H)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y/H)}{\partial x} - f q_x + gH \left( \frac{\partial P_c}{\rho_a \partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial x} \right) - \frac{\partial F_{xx}}{\partial x} - \frac{\partial F_{xy}}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w} (\tau_x^s - \tau_x^b) = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\partial q_y}{\partial t} + \frac{\partial(q_x/H)}{\partial x} + \frac{\partial(q_y/H)}{\partial y} + f q_y + gH \left( \frac{\partial P_c}{\rho_a \partial y} + \frac{\partial \eta}{\partial y} \right) - \frac{\partial F_{xy}}{\partial x} - \frac{\partial F_{yy}}{\partial y} + \frac{1}{\rho_w} (\tau_y^s - \tau_y^b) = 0 \quad (3)$$

此處  $x$ 、 $y$  為水平座標系統， $t$  為時間， $H=d+\eta$ ， $d$  為靜水深， $\eta$  為海水面水位變化， $q_x$ 、 $q_y$  分別為  $x$  及  $y$  方向的流量通率， $g$  為重力加速度， $P$  為海面上大氣壓力， $\tau_x^b$ 、 $\tau_y^b$  分別為  $x$  及  $y$  方向之底床剪應力， $\tau_x^s$ 、 $\tau_y^s$  分別為  $x$  及  $y$  方向之表面風應力， $f$  為科氏參數 (Coriolis parameter)。式中  $F$  為垂直平均之紊流應力 (turbulent stresses) 項，定義如下：

$$F_{ij} = E_{ij} \left( \frac{\partial q_i}{\partial j} + \frac{\partial q_j}{\partial i} \right) \quad i, j = x, y \quad (4)$$

其中  $E_{ij}$  為渦動粘滯性 (eddy viscosity) 係數，底床剪應力定義如下：

$$\tau_i^b = \rho C_f (q_i^2 + q_j^2)^{1/2} \frac{q_i}{H^2} \quad i = x, y \quad (5)$$

式中  $C_f$  為摩擦係數。海面風剪應力與風速之關係如下

$$\tau_i^s = \rho_a C_d W_i \sqrt{W_i^2 + W_j^2} \quad i, j = x, y \quad (6)$$

式中  $\rho_a$  為空氣密度 ( $\rho_a \approx 1.23 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^3$ )， $C_d$  為風曳力係數。由於風曳力係數  $C_d$  與風速大小有關，模式採用下列計算式：

$$C_d = (1.1 + 0.0536W) \times 10^{-3} \quad (7)$$

$W$  為海面上 10m 處之風速， $W_x$  及  $W_y$  分別為  $x$  及  $y$  方向之風速分量。

由於颱風圈內等壓線幾近呈圓形分佈，因此颱風之氣壓分佈可採用 Myers (1954) 之經驗式，

$$P = P_c + a \exp(-r_0/r) \quad (8)$$

式中  $P_c$  為颱風中心之氣壓 (mb)， $r_0$  為颱風最大風速之半徑， $a$  為颱風中心氣壓常數。於 (8) 式中氣壓常數  $a$  及  $r_0$  值一般較不易估計，如有數站氣壓資料，則可由最小二乘法求出，惟海上颱風暴風圈內之氣壓值不易獲得。因此  $a$  值之取定，通常採用  $P - P_c$  為遠離颱風中心之外圍氣壓，一般取其值為標準海平面氣壓約 1013 mb。颱風最大風速半徑  $r_0$  值則採用根據 Graham 及 Nunn (1957) 提出之經驗公式計算。

有關颱風風場之模擬，常用之模式有 Jelesianski 颱風模式 (李, 1984) 及傾度風 (gradient wind) 模式 (許、廖, 1998) 等。前者屬於旋轉風 (cyclotrophic wind) 模式，後者則有考慮科氏力的影響，如 (9) 式，本文採用後者計算模式之表面風場。

$$W_g = \left[ \frac{ar_0}{\rho_w r} \exp(-r_0/r) + (fr/2)^2 \right]^{1/2} - (fr/2) \quad (9)$$

式中當  $r = r_0$  時可得到最大傾度風 ( $W_g$ )<sub>max</sub>，表面風場計算如下：

$$W_x = -\frac{c_1 W_g}{r} [(x-x_c) \sin \alpha + (y-y_c) \cos \alpha] + c_2 \frac{(V_f)_x}{(W_g)_{\max}} W_g \quad (10)$$

$$W_y = \frac{c_1 W_g}{r} [(x-x_c) \cos \alpha - (y-y_c) \sin \alpha] + c_2 \frac{(V_f)_y}{(W_g)_{\max}} W_g \quad (11)$$

式中  $V_f$  為颱風移動速度，係數  $c_1$  值約介於 0.5~0.7 之間， $c_2$  值等於 0.6。

模式之邊界條件有二，分別為

開放邊界條件： $\eta = (P - P_c) / \rho_w g$

陸地邊界條件： $\partial q/\partial n = 0$

本模式使用有限元素法求解上述方程式，其基本原理是將所要計算之領域任意分割成許多副領域(稱之為元素)，再以元素之形狀函數來描述計算領域中之函數變化，進而化簡積分方程式為聯立的數值方程組，以求解計算領域中所取元素節點上之函數值( $\eta, q_x, q_y$ )。

## 2-2 數值計算網格之建立

本文主要探討颱風來襲時雲林海域沿海之暴潮偏差，數值模式計算範圍之選取主要考量有二：(1)考慮臺灣海峽之影響，(2)降低邊界條件失真之影響；故數值模式計算範圍含蓋整個台灣四周海域，東西開放邊界分別為東經116°及123°，南北邊界分別為20°及26°，如圖 2 所示。圖 3 所示為海軍測量局刊行之海圖(編號0307)之地形水深資料，圖 4 所示為本文模式所使用之三角形數值計算網格圖，係由5,701個節點及11,091個三角元素所構建的。圖中數值網格之座標係採用六度分帶投影座標系統，其中最小三角元素之邊長約 1.0 km，主要構建於本計畫所在之海域；最大三角形元素之邊長約 15.0 km，分佈於水深較深之海洋開放邊界附近。

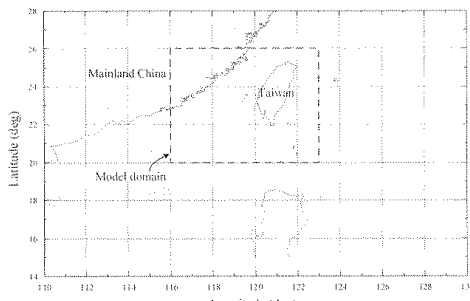


圖 2 暴潮數值模式模擬之範圍

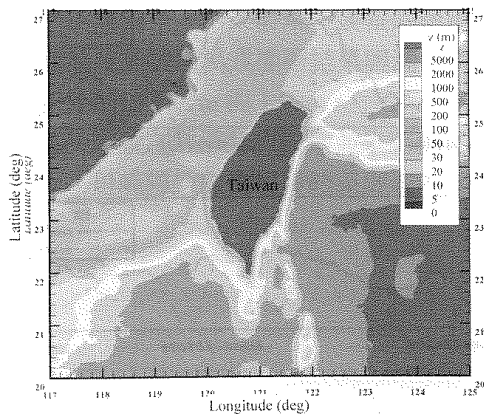


圖 3 臺灣四周海域水深地形

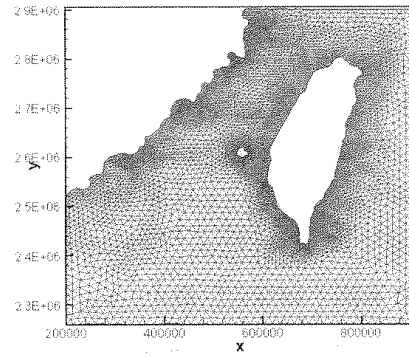


圖 4 數值模式之計算網格圖

## 2-3 模式之驗證

為驗證本文暴潮數值模式之模擬結果正確性，本文以 HERB 颱風(1996)為案例，並選取基隆港及梗枋潮位站之暴潮分析結果與數值模式模擬結果比較，如圖5及圖6所示，結果亦顯示本計畫數值模擬結果與基隆港及梗枋潮位站暴潮分析結果相當近似。

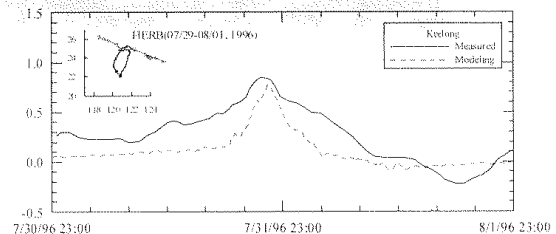


圖 5 賀伯颱風侵台期間基隆地區暴潮偏差之比較

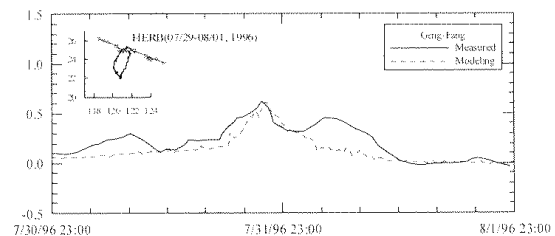


圖 6 賀伯颱風侵台期間梗枋地區暴潮偏差之比較

## 三、雲林海域暴潮分析與模擬

### 3.1 天文潮分析結果

為瞭解天文潮各分潮之振幅及位相角大小，本文選取 92 年及 93 年潮位時序資料(如圖 7 所示)，以常用 60 個分潮為條件進行調和分析。表 1 所示為調和分析結果所得最大五個分潮之振幅，顯示麥寮與箔子寮潮位站主要分潮，分別為半日潮的  $M_2$ 、 $S_2$ 、 $N_2$  與全日潮的  $K_1$ 、 $O_1$ ；其中半日潮( $M_2$ 、 $S_2$ )與全日潮( $K_1$ 、 $O_1$ )振幅和之比分別為 0.254 及 0.313，顯示雲林海域潮汐型態

主要為半日潮所主控，且北邊麥寮潮位站潮型指標已達半日潮型。圖 8 所示為潮位時序資料之能譜分析結果，顯示二潮位站均以半日頻帶所對應之能量尖峰為最大，其次為全日頻帶所對應之能量。此外，二測站於低頻帶及頻率高於半日潮頻帶之倍潮和複合潮頻帶之能譜結構具有相似之特性。

表1 麥寮與箔子寮潮位站最大的5個分潮振幅

測站	M <sub>2</sub>	S <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	K <sub>1</sub>	O <sub>1</sub>
麥寮站	1.354m	0.366m	0.252m	0.236m	0.202m
箔子寮站	1.042m	0.272m	0.194m	0.222m	0.189m

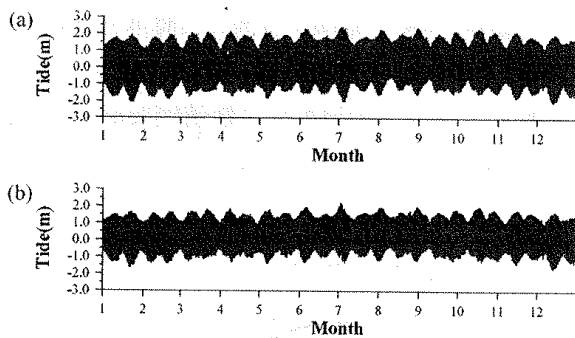


圖 7 (a)麥寮站(b)箔子寮站 潮位逐時變化圖

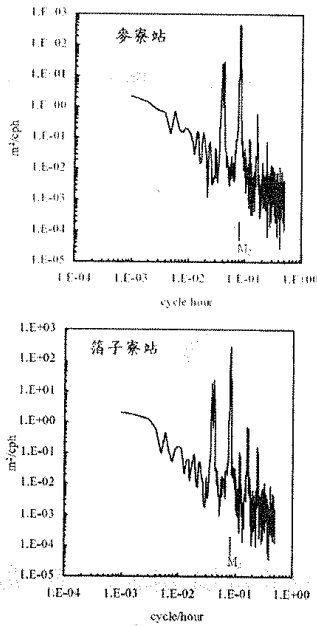


圖 8 麥寮站與箔子寮站之潮位能譜圖

### 3.2 颱風暴潮分析與模擬結果

依據中央氣象局颱風資料顯示93年共有九個颱風侵台，其中以中度颱風敏督利(MINDULLE; 6/28~7/04)對台灣造成的破壞最大，因此本文針對敏督利颱風分析其侵台期間於雲林海域所產生的暴潮偏差。圖 9

所示為敏督利颱風行進路徑圖，自花蓮附近登陸，於淡水河口附近出海，屬於第四類侵台路徑。

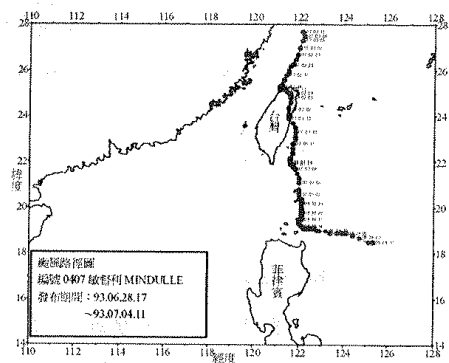


圖 9 敏督利(MINDULLE)颱風路徑圖

圖10所示為本文暴潮模式模擬結果與潮位站實測資料分析結果之比較，圖中實線分別為敏督利颱風期間麥寮站與箔子寮站潮位監測資料與調和分析之天文潮之差，可視為敏督利颱風侵台期間所產生的暴潮偏差實測結果；圖中虛線為本文暴潮模式模擬結果。圖中麥寮站與箔子寮站實測資料分析之暴潮偏差最大值分別為32cm與25cm，而暴潮模式數值計算結果分別為25cm與24cm，顯示數值模式暴潮偏差量最大值與此段期間實測資料分析之暴潮偏差最大量間之差分別為7.0cm與1.0cm，佔實測資料分析之最大暴潮偏差比例約為21%與4%。針對麥寮地區數值模擬結果與潮位資料分析結果具有較大誤差之原因，本文疑與模式未考慮港口實際環境地形有關，未來將進一步深入探討。另外，數值模式模擬之暴潮偏差歷線與潮位站實測資料分析結果不盡相符，探其原因應為模式中所考慮模型颱風風場，未能真實地反應敏督利颱風所產生的風場及氣壓場所致。此外，敏督利颱風離開本島時於07/02起引進大量的強勁西南氣流(如圖11所示，麥寮氣象站資料)，本文模式亦未能將此因素列入考慮。

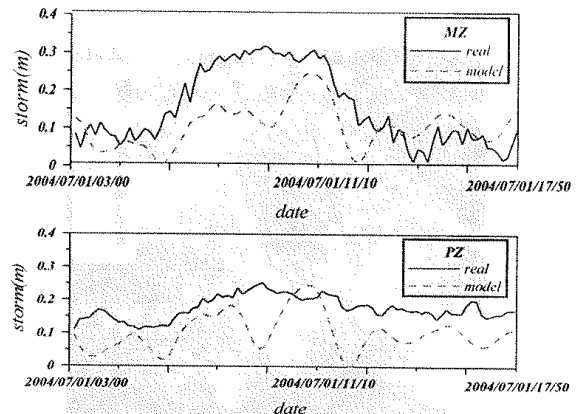


圖10 實測資料暴潮分析結果與暴潮模式計算結果之比較(麥寮站MZ、箔子寮站PZ)

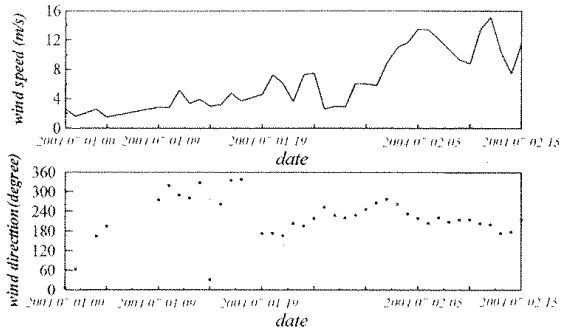


圖11 麥寮氣象站敏督利(MINDULLE)颱風期間風速、風向逐時圖

由於暴潮主要為颱風所形成之低氣壓場及氣旋風場推昇水位變化所引起，因此暴潮模式上層邊界之氣壓場及風場準確性關係著數值模式能否準確地模擬暴潮變化。本文所探討之海域位於台灣西部海岸，受到台灣本島高山地形之屏障，導致颱風接近陸地或登陸時，氣壓場及風場遇到阻礙而不易真實模擬。在此情況下，模型風場所模擬之氣壓場及風場往往失真，進而影響暴潮模式模擬結果之準確性。未來若能結合中央氣象局氣象模式模擬之颱風風場及氣壓場資料，將有助於提升臺灣西部海岸暴潮偏差模擬結果。

#### 四、結論

台灣地區每年平均約有3.6個颱風侵台，對台灣海岸帶來暴潮侵害之威脅，對提供工程暴潮設計依據而言，藉由水深平均之二維暴潮模式推算颱風期間臺灣沿海地區之暴潮水位變化，對於缺乏長期潮位監測資料地區而言，仍不失為一種安全且簡單之應用方法。本文研究結果所得之結論如下：

1. 麥寮與箔子寮二潮位站主要受潮，分別為半日潮的  $M_2$ 、 $S_2$ 、 $N_2$  與全日潮的  $K_1$ 、 $O_1$ 。雲林麥寮港以北海域之潮型指標已達半日潮型之標準。
2. 暴潮數值模式模擬麥寮與箔子寮兩潮位站於敏督利颱風期間暴潮偏差，結果發現，麥寮站與箔子寮站最大暴潮偏差量數值模式模擬結果與潮位資料分析結果誤差分別為 7.0cm 與 1.0cm。
3. 本文目前所建置之數值計算網格並未將麥寮港環境地形納入，可能導致數值模擬結果與港內潮位資料

分析結果產生較大誤差，未來將進一步修正數值計算網格，探討港口配置對暴潮偏差之影響。

#### 謝誌

本研究承蒙經濟部工業局提供調查經費，成功大學水工所彰雲工作站同仁協助現場調查工作，謹致感謝之意。

#### 參考文獻

1. 李賢文(1984)，「台灣周圍海域颱風暴潮數值模式」，國科會，防災科技研究報告 73-01 號。
2. 邵建林、張憲國 (1992) 「選擇性堆積有限元素法應用於暴潮傳遞之解析」，第 14 屆海洋工程研討會論文集，148~164 頁。
3. 柯允沛、鄒明城、薛曙生、尹可健 (1993) 「FEMA 暴潮模式模擬技術在個人電腦之應用」，第 15 屆海洋工程研討會論文集，663~676 頁。
4. 許泰文、廖建明(1998)，「近岸海域暴潮預測模式之建立」，1998 天氣分析與預報研討會論文集，521-526 頁。
5. 楊春生(1973)，「台灣北岸暴潮推算之研究」，台南水工試驗所土木水利彙刊，49-63 頁。
6. 劉肖孔(1987)，「台灣海域颱風暴潮及氣象潮數值預報模式研究計劃」，中央氣象局研究報告第 279 號。
7. 劉正琪、劉景毅(2004)，「竹南及大鵬風力發電廠海域暴潮分析」，國立成功大學水工試驗所研究試驗報告第 321 號。
8. 龔誠山、蘇國旭、楊慶宗(1997)，「颱風暴潮推算」，中興工程顧問社，專案研究報告，SEC/R-HY-97-04。
9. 成功大學水工試驗所(2001)，「雲林縣離島是基礎工業區整體開發規劃調查研究」，國立成功大學水工試驗所研究試驗報告第 261 號，第一部分第三冊。
10. 成功大學水工試驗所(2004)，「雲林縣離島是基礎工業區整體開發規劃調查研究」，國立成功大學水工試驗所研究試驗報告第 330 號，第一部分第三冊。
11. Li, Hsien-Wen, 1979, "Numerical prediction of typhon surges along the coastal area of Taiwan Strait", Acta Oceanographica Taiwanica, No. 10, pp.50-66.

# Storm Surge Analysis in the Vicinity of Yunlin Offshore Industrial Estate

C.W. Chang<sup>1</sup>                      C.C.Liu<sup>2</sup>                      R.C.Kao<sup>3</sup>  
Technician<sup>1</sup>                      Assistant researcher<sup>2</sup>                      Deputy director<sup>3</sup>  
Tainan Hydraulics Laboratory Of National Cheng Kung University

## Absact

Typhoon is an extreme meteorological event in East Asia, including Taiwan, during the summer and autumn seasons each year. Once the storm surge occurs, rising water level, the typhoon waves can easily move landwards with a destructive power to coastal structures. Therefore, the storm surge analysis is very important and necessary for coastal engineering design. In this study, the analyses of two tide stations are applied to forecast storm surges at Mai-Liao and Po-Zi-Liao coasts of Yunlin Offshore Industrial Estate. In addition, the MINDULLE typhoon track is also adopted in this simulation. Therefore the calculated storm surges from this analysis are the cases and more suitable for the planning of the most conservation coastal engineering.