

# 海洋資料於港灣及海事工程之應用

王志成<sup>1</sup> 陳森河<sup>2</sup> 江允智<sup>3</sup>

總經理<sup>1</sup> 副總經理<sup>2</sup> 工程師<sup>3</sup>

宇泰工程顧問有限公司

## 摘要

台灣四周環海，因開發海洋資源與能源、發展航運、擴展經濟與活動空間等而衍生之海域及海岸空間開發行為，須藉由港灣及海事工程為之，其中工程規劃設計均需以長期可靠海洋資料統計分析結果為基礎，而施工過程則以即時海洋資料及預報作為參考依據。海洋資料種類繁多且數量龐大，一般常應用於港灣及海事工程之海洋資料主要為海象資料及海岸漂砂等，其中海象資料包括水位、波浪、海流與海上風速風向等。本文將分別介紹各主要海洋資料，於工程上之應用情形及目前國內海洋資料調查分析與資料提供現況等。

關鍵字：水位、波浪、海流、漂砂、港灣及海事工程

## 一、前言

海洋與陸地相連接的區域，一般水深較深處稱為海域，而水深較淺及相鄰陸地稱之為海岸區域；人類因開發海洋資源與能源、發展航運、擴展經濟與活動空間而衍生之海域及海岸空間開發行為，或防災與海岸保護等，須藉由港灣及海事工程加以實現。而工程可分為規劃設計及施工階段，在規劃設計階段需以長期可靠海洋資料統計分析結果為基礎，而施工階段則以即時海洋資料及預報作為參考依據。

而海洋資料範圍廣泛且種類繁多，包含了海洋物理、海洋化學、海洋生物、海洋地質等。然而對於港灣及海事工程而言，一般常應用之海洋資料主要為海象資料及海岸漂砂等，其中海象資料包括水位、波浪、海流與海上風速風向等。因此本文將針對上述較常應用之海象資料等，將相關資料於工程上之應用情形及目前國內資料調查分析與提供現況等說明如后。

## 二、水位

港灣及海事工程在規劃設計階段首先遭遇的規劃基準就是海岸結構物的高程，諸如防波堤及海堤護岸的堤頂高程、海埔地填地高程、碼頭及海域設施設計高程等。相關高程之決定除了依其使用需

求外，尚需以長期水位資料統計分析結果為基礎。

海域中水位的變化，如不考慮週期 20 秒以下經常發生波浪造成的水位變化，主要以天體引力作用造成的天文潮為主，其次為因氣象變化如颱風而產生的水位變化稱之為氣象潮或暴潮。此外，尚有偶爾因地震造成海底地形瞬間劇烈變化所引起的海嘯，以及長週期波浪於港灣內因地形與港灣形狀造成局部水位變化的盪漾現象，以及其他原因造成水位異常變化等。茲將各水位變化於工程尚分析應用說明如下。

### (一) 天文潮

天文潮為海洋水體受天文引力驅動之長週期波動，在近岸呈現水位規律的升降及潮流往復的運動。影響地球潮汐主要的天體為月球，次為太陽，二者對地球海洋水體的萬有引力作用，及地球本身自轉及公轉，會形成各種不同週期分量之組合。一般工程應用在分析天文潮多以統計分析及調和分析進行。

在統計分析方面，例如利用逐時連續觀測資料找出數列中最大、最小、及平均值可找出最高、最低及平均潮位；以及統計所有高潮位及低潮位平均值可得平均高、低潮位；以及配合陰曆朔望時間前後五日內統計高低潮位可得朔望平均高低潮位等。

而在調和分析方面，基於天文潮理論，將潮汐視為各種週期的分潮的總和，利用一組三角級數表示天文潮水位變化，級數中的每一調和成分稱之為

分潮。理論上潮汐包括無限多的分潮成分，目前已知角頻的分潮共有 193 個，其中最主要的分潮為 M2、S2 分別為太陰、太陽半日週期分潮，及太陽在黃道上運行與月球的相對位置而產生的日月合成日週期分潮 K1、以及月球在地球上的日週期運動所產生的太陰日週期分潮 O1 等。

因此，不論是統計或是調和分析法，現場調查資料收集時間越長其代表性越佳，一般考量地球與日月運行的相關位置每 18.6 年重現一次，因此各種潮位面之訂定最好能有 19 年以上之潮位觀測資料據以計算求得。然而目前國內連續實測紀錄能到達上述標準者不多，因此常利用分析 60 個主要分潮的振幅及遲角，所需現場資料只要觀測地點有十三個陰曆月（約 369 日）的連續潮汐紀錄即可。

目前台灣地區設置有長期潮位測站除中央氣象局設置之淡水等 17 處測站外，尚有水利署及各港務局等與其他單位設置之潮位測站，茲列述各單位負責之測站位置及資料取樣頻率如下，以供參考：

#### ■ 中央氣象局：

淡水、竹圍、新竹、後龍、箔子寮、澎湖、塭港、東石、將軍、東港、小琉球、後壁湖、蘭嶼、成功、花蓮、蘇澳、梗枋、龍洞、麟山鼻等 19 處。

#### ■ 水利署、內政部及各港務局等：

淡水、芳苑、三條崙、將軍、高雄、基隆、台中、蠋廣嘴、富岡、綠島、石梯及台北港等 12 處。

目前中央氣象局、水利署及各港務局等單位之現有潮位測站合計約有超過 20 處，考量潮汐漲退係屬大區域長週期水位變動特性及海峽束縮特性，而測站分佈較集中於西海岸，測站間距尚可滿足一般在台灣西海岸近岸海域港灣及海事工程作業需求；惟因各站潮位基準及取樣頻率、資料格式等並未齊一，致在調查資料引用上較易衍生困擾，因此，未來實有必要由單一機關(如中央氣象局、水利署、或交通部運研所等)彙整統合台灣地區潮位測站之基準、取樣頻率及資料格式等，以供相關工程及研究計畫應用之參考。

## （二）暴潮

一般海面因異常氣象因素如低氣壓或颱風通過時造成之海水位抬升即為暴潮(storm surge)或稱氣象潮，此種潮位與當時天文潮位之高差即稱暴潮偏差。侵台颱風對台灣地區的影響，從海面上發生的颱風逐漸接近海岸時，會先發生前驅湧

(forerunner)，而有長週期之波動異常水位發生(減去天文潮位後之水位)，當颱風接近海岸地區時發生暴潮。而颱風通過後，水位會先降至天文潮位以下，再經一段時間後回漲至天文潮位以上，經數次波動後當氣壓影響逐漸完全消失後，恢復為僅天文潮部份；上述颱風通過後之波動，稱為餘湧(resurgence)。一般而言暴潮偏差之高度除與颱風中心氣壓高低和風力大小有關外，尚與海岸地形亦有極大關係，一般而言海灣、內海、海峽之暴潮偏差因受地形影響較大，面臨大洋之平直海岸則較小。

台灣颱風發生頻繁，侵台颱風平均每年發生約 3~4 次，最多曾有一年發生 8 次。依以往觀測紀錄蘇澳、基隆、八斗子及深澳等北部海岸港灣均會發生相當高之暴潮偏差。當天文潮之最高潮位或朔望平均高潮位與最大暴潮偏差同時發生時將造成水位異常抬升，如民國八十五年七月三十一日的賀伯(Herb)颱風所造成全台沿岸的災害，故此問題對港灣及海事工程之規劃設計，應予以詳細評估及因應。

暴潮偏差分析目前國內僅大型國際商港有完整長期潮位觀測紀錄可採配合天文潮分析結果擷取颱風期間暴潮水位進行迴歸分析，而一般港灣及海事工程多採數值模擬推算暴潮偏差。

暴潮的數值模擬計算，除了要瞭解每個颱風對推算點引起的暴潮偏差的特性外，尚要推算重現期颱風所引起的暴潮偏差量，當為工程設計水位的參考。以往國內利用數值模式推算暴潮偏差往往將歷年各次颱風中心氣壓差，依選擇之適合極端值分佈，推算對應不同復現期的颱風中心氣壓，再依此中心氣壓以模型颱風路徑行進，據以推算出暴潮偏差值。依據近年來研究顯示，以颱風中心壓差統計結果與暴潮水位抬升之機率沒有必然之關聯，應以實際歷年颱風進行路徑及資料，來計算推算點的暴潮偏差，再依極值推算法求出各重現期的預估值，應是較為合理的方法。採用上述方法分析如水利署「建立波潮流與海岸變遷模式」(2004) 及許(2003) 研究成果，其利用暴潮數值模式推算 1966 年至 2003 年所發生的 177 個颱風，將這段期間每一年間對台灣地區西南部、中西部、東北部與東部海域所計算出之最大暴潮偏差值，據此以甘保氏(Gumbel) 與韋伯(Weibull) 極端值分佈迴歸分析不同復現期之暴潮偏差，相當具有參考價值。

## （三）海嘯

海嘯(Tsunami)是一種具有強大破壞力的海浪，通常是指海底發生地震或火山爆發時，造成滑

動斷層，產生重力波向四方傳播，而引起海水上湧、捲上陸地的現象。海面上的颱風、強烈暴風雨，也可能導致海嘯。海嘯速度視海洋深度而定，經過不同深度的海底，會有加速和減速的現象。在深而廣的海洋，移動時速可達五百至一千公里。海嘯愈接近海岸，速度減緩，但高度為之增加，最高可達三十至五十公尺。海嘯並不是單一的波動，而是一系列的波動，在深海之中，海嘯波長可達數百公里。太平洋是最常出現海嘯的區域，包括日本和夏威夷在內的許多城市，都有海嘯預警系統，透過地表活動的監控和衛星監測，也能作到有效預測。無預警的地震導致海嘯，則無法防範。

2004 年 12 月印度洋大地震引發東南亞地區海嘯在沿海地區釀成重大傷亡，並對航行船隻及港灣設施造成嚴重威脅。鄰近國家日本曾於 1896 年及 1933 年發生三陸沿岸大海嘯，除造成兩萬七千人喪生外，更造成沿岸港灣設施損毀、船隻沉沒等嚴重災害。雖然台灣少見海嘯，然因位處環太平洋地震帶，地震發生頻繁仍須提高警覺。依據歷史記載，台灣自公元一六六一年起疑似海嘯紀錄有六次之多，其中以一八六七年所造成的海嘯災害情況，較能確定為台灣近海地區地震所引發之海嘯。參考當時記載：「一八六七年十二月十八日，台灣北部地震，是日有十五次連續地震，基隆（雞籠頭，金包里）沿海山傾，地裂，全島震動，基隆全市房屋倒壞，死者數百人，基隆港海水向外海流出，港內海底露出，瞬間巨浪捲進，船隻被沖上市內，釀成重大災害，處處發生地裂，山腹大龜裂，噴湧泉水。」

由於海嘯具有超長週期及非常快的波速等特性，因此海嘯波傳遞至沿岸港灣引起之溯上、反射及共振等現象將對港灣設施及船隻造成嚴重威脅。目前海嘯的預測及分析僅能以統計資料歸納海嘯與海底地震間的關係，或利用數值模式計算，假設海底斷層形式參數決定海嘯初期波形，並利用適當數值模式計算其傳播過程、到達近岸海域及海岸的情形，提供工程規劃設計參考。

## （四）水位資料在工程上的應用

### 1、設計潮位

工程設計用之各種潮位需由前述天文潮統計及調和分析成果，以及不同復現期之暴潮偏差而決定。暴潮位一般常以朔望平均高潮位加上五十年或一百年復現期暴潮偏差作為防波堤、碼頭、護岸及海埔地填地高程等設計基準。對同一地點而言，不同年份分析結果雖大致相近，但偏差亦可能達數十公分，故應取數年或更長期之統計平均值來代表潮

位。一般港灣工程常用設計潮位說明如下：

- 暴潮位：朔望平均高潮位+適當復現期暴潮偏差
- 最高高潮位(HHWL)：潮位紀錄中最高水位
- 朔望平均高潮位：朔望5日內大潮高潮位的平均值
- 大潮平均高潮位(HWOST)：平均水位+(M2+S2)振幅
- 平均高潮位(MHWL)：記錄中發生高潮位的平均值
- 平均水位(MWL)：水位記錄平均值
- 平均低潮位(MLWL)：記錄中發生低潮位的平均值
- 大潮平均低潮位(LWOST)：平均水位-(M2+S2)振幅
- 朔望平均低潮位：朔望5日內大潮低潮位的平均值
- 最低低潮位(LLWL)：潮位紀錄中最低水位

潮位基準因應用目的不同而有不同基準系統，一般有二種基準系統。海岸結構物多採潮位基準與陸地大地高程的中潮系統，乃以潮汐的平均水位為零點，例如台灣地區採用基隆港平均海平面為基準。對船舶航行而言，為確定船舶通行所需最小水深，海圖中對於港口水深的基本面 (Datum Level, D.L.)，遂以該地長年統計之平均海水位減去 (M2+S2+O1+K1) 振幅之水位為準，此值與天文潮最低低潮位約略相等，稱為低潮系統。

在港灣工程規劃設計上依據上述設計潮位及基準，相關規範及規定主要有：

### （1）防波堤胸牆頂高設計高程

依據交通部「港灣構造物設計基準—防波堤設計基準及說明」，對於一般大型港埠防波堤之設計，堤後如為廣大範圍水域，越波所產生之傳遞波高將可有較大空間消散，在堤體安全無虞之前題下，考慮工程經濟，通常可採允許颱風期間局部越波設計。所需胸牆頂高程以不低於設計水位（暴潮位）加上 0.6 倍示性設計波高為原則。但若堤後無足夠寬廣水域供越波消能，則必須採不允許越波設計，胸牆頂高程須高於設計水位（暴潮位）加上 1.25 倍示性設計波高。

### （2）海埔地造地工程填地設計高程

依照「非都市土地開發審議作業規範」中第十一章「海埔地開發」，規定填地高程需滿足：「造地高程應依填築區之潮位與海象情況、堤防構造、區內土地使用、填土層及原地層之沈陷量與區內外排水需要等因素審慎決定」及「前項高程依潮位計算時，除採機器排水或適當補救措施者外，應在大潮平均高潮位二公尺以上，或依暴潮位酌加餘裕高。考慮區內排水因素者，造地高

程應為大潮平均高潮位加上最大水頭損失。造地完成至建築使用前再依使用目的及地質條件酌予加高。

## 2、潮汐預報

台灣西部海岸由於海峽地形影響，靠近海峽中央處如新竹、苗栗、台中、彰化、雲林等潮差較大。因此海事工程施工過程如能依工程特性配合適當潮時進行，可降低工程難度及增加便利性。例如於近岸水深較淺處進行護岸等工程施工可配合大潮低潮位期間施作可避免海上作業及地下水位過高影響施工；海埔地造地工程圍堤合攏時，施工時間可選擇小潮期間進行，避免潮口內外水位差過大造成流速過大沖刷潮口材料等。

一般潮汐預報多採用調和分析成果進行預報，國內中央氣象局及各單位均採用此一方法進行潮汐預報。目前提供潮汐預報的單位有中央氣象局及海軍海洋測量局。

## 三、波浪

波浪為港灣及海岸工程規劃設計的重要參數，且為海岸及海域結構物之主要作用外力來源，亦為港灣內部水位波動的主因。波浪在傳遞過程中與近岸海潮流的交互作用、碎波後引起的海岸漂沙及近岸流，對海洋污染質之傳輸影響與對船舶航行之安全等，均為海洋或海岸空間利用之主要課題。因此，波浪的分析成為在港灣及海事工程規劃設計及施工時最基本而重要的工作。

波浪分析在工程應用上依照工程需求可分為外海波浪分析及近岸波浪分析，茲將其相關作業方式、及工程上應用情形說明如下。

### (一) 外海波浪分析

外海波浪分析作業方式主要包括經常性波浪資料之蒐集調查整理分析，以及波浪推算（包含颱風波浪及季風風浪等）等。前者主要可提供外海波浪特性分析及海上施工作業參考，資料來源包括中央氣象局既有波浪長期測站資料，或新設波浪測站兩種；後者則主要供港灣設施等海岸結構物規劃設計參考，尤其颱風波浪推算。由於颱風作用期間波浪觀測不易，實測資料較難取得，故一般採數值模式推算方式，求得不同復現期之波浪資料以供參考。近年來由於計算機不斷進步，因此風浪推算逐漸被精度較高且可以考慮地形效應的風浪數值模式所取代。詳細分析說明如下：

## 1、經常性波浪觀測分析

目前國內進行外海經常性波浪觀測作業主要為中央氣象局、成功大學近海水文中心、及其他學術研究單位等。

台灣地區主要經常性波浪觀測測站，如中央氣象局在台灣四周海域設置之波浪長期測站，主要包括龍洞、新竹、花蓮、大鵬灣、及小琉球等 5 處資料浮標站；鼻頭角、國光平台、東吉島、硫磺嶼、成功等 5 處超音波波浪站；及東吉島浮球測站 1 處，總計共 8 處測站，各波浪測站資料取樣頻率為每 2 小時取樣 10 分鐘。而水利署委託近海水文中心亦在台灣四周設置浮標測站及觀測樁測站，主要包括新竹、金門、恆春、花蓮、蘇澳及龍頭等 6 處浮標觀測站，以及七股海氣象觀測樁測站等。而港務局則於台北港及安平港亦設置測站進行海象觀測。

上述台灣地區現有波浪長期測站，相較於台灣四週寬廣海域空間，及波浪易受地形水深、風場影響等局不地域影響之特性，其在測站空間分佈及密度上應仍有不足而可改進之空間；此外，在相關單位波浪觀測資料亦宜有單一機關統籌彙整，以使有限資源能作最大的應用。

長期波浪觀測成果在工程上的應用主要提供近海波浪分析的輸入條件，以及其累積超過概率可作為海事工程工期估算及不能作業期間計算之依據。詳細應用情形將於本章第（三）節說明。

### 2、風浪推算

由於並非所有港灣及海事工程計畫區附近都有波浪測站可提供長期波浪觀測分析成果作為規劃設計參考，因此一般工程上多採用波浪推算為主。

目前在學理上風浪成長發達的機制並未完全瞭解，但在實際港灣及海洋工程應用上可利用風場統計資料來推算海面的風浪特性，以作為工程規劃設計之依據。目前國內波浪推算方法一般分為兩種，分別為示性波法及波譜法。

示性波法主要將紛繁變動的海洋波浪以示性波來描述，利用統計分析探討示性波特性與風場參數間的關係。國內常用的季風波浪推算通常以 SMB 法為主，利用風速、風域 (fetch) 及延時 (duration) 推算示性波高及週期。

而波譜法則對海面不規則波的波動過程以能譜 (energy spectrum) 表示，將海面紛繁的波動現象視為各種不同頻率之規則波所組成，而各成分波之能量分佈以頻率譜及方向譜表示，此種方法較能反映實際海洋波浪之特性。一般常用的推

算方法主要為 PNJ 波譜法，利用波譜理論作成各種風速之波譜累積曲線進行預報，再依照風場資料依照標準程序查圖即可得到風浪推算結果。

### 3、颱風波浪

由於颱風為移動快速的逆時針方向氣旋，颱風結構呈漏斗狀之強烈渦流，下層空氣流向中心並向上竄升，高至 10 公里左右後向四周流出，四周空氣涵蓋之範圍可達數百公里，因此颱風影響範圍內風速風向變化迅速且風速強勁，加上路徑多由北太平洋西部而來，常能引起十多公尺波高之颱風波浪，為港灣及海岸結構物主要設計外力來源。

颱風作用期間波浪觀測不易，實測資料較難取得，故一般採數值模式推算方式，求得不同復現期之波浪資料以供參考。推算颱風波浪的方法眾多，目前國內以採湯(1989)及井島(1967, 1970)利用移動風域法推算較多。不論採用何種颱風波浪之推算方法，其基本架構均一致，即首先假設一設計颱風，利用已建構之颱風風場模式計算，再利用模式內建立之「風場－波浪」經驗公式計算產生波浪之波高與週期，然後再計算移動風域下波浪之傳遞效應及波浪之變形與碎波後之波高與週期。

此外，颱風所引起的波浪除作用期間產生之颱風波浪外，在颱風暴風圈外尚有颱風移動後由暴風圈內之風浪傳遞出來之波浪，稱為湧浪(swell)，一般來說，湧浪的週期長且傳遞速度大於颱風移動速度，所以，湧浪皆比颱風先到達海岸。一般常發生於颱風來臨前或是颱風經過台灣附近海域但未登陸之狀況。由於長週期湧浪由於波長較長且傳播速度快，往往在近岸能造成港灣內週期性水位異常抬升之共振現象，在港灣規劃階段尤須注意。

### 4、風浪模式

近年來由於計算機不斷進步，海洋波浪預報的方法已經由各種經驗公式法進行波浪推算，發展至以波能轉換傳遞方程式為基礎之風浪數值模式來預報波浪，準確性大幅提高。

風浪數值模式演進至今，若以年代分類，將 1960 年代後期至 1970 年代初期所發展的模式稱為第一代，由於忽略波浪間非線性交互作用，且模式對於風浪生成和消散機制仍無法完整描述與實際現象仍有差異；1970 年代後期至 1985 年代發展的模式稱為第二代，由於 JONSWAP 觀測計畫中發現非線性交互作用的重要性，加上許多波浪試驗的成果改良了模式中對於非線性效應及能

量消散的理論，已有應用於台灣地區進行波浪預報，但由於第二代模式仍限制非線性效應的參數型態，且模式中以風域和海域控制波譜形狀的發展，對於風場快速轉變（如颱風）之波浪預報仍有困難。

目前數值模式發展已進入第三代，由於近年來對於波浪演化的過程已有較明確的瞭解，加上波譜密度函數可由波譜密度傳播方程式直接積分求得，在近岸處波浪能量成長與消散的描述更能符合實際現象，較具代表性的模式為 WAM (Wave Model) 及由 SWAN (Simulating Wave Nearshore) 模式。國內學者歐、許(1999、2000、2002)利用已知颱風風場模式模擬侵台颱風波浪獲得良好成果，驗證該模式可適用於台灣附近海域。

### (二) 近海波浪分析

波浪由深海向海岸傳播時，由於水深變化，或遭遇結構物，波浪會發生變形，近海區域主要的波浪變形現象有淺化(shoaling)、折射(refraction)、繞射(diffraction)、碎波(wave breaking) 及波浪反射(reflection)等現象。波浪變形造成部份區域波能集中，使得設計外力提高增加工程難度，工程規劃過程尤須注意。而碎波發生所引起的漂砂活動及近岸流，更是海域及海岸地形變化、港灣淤積等現象的主因。因此，近海波浪分析時為工程規劃設計上十分重要的一環。

近海波浪由於受到複雜地形地貌的影響，傳統波浪觀測以單點測站方式進行量測分析無法描述近岸海域整體波浪特性，近年來雖有利用雷達回波量測海域波浪逐時空間分佈資料，但由於較小波高反射仍無法精確分析。因此利用現場觀測迄今仍無法完整分析近海波浪整體特性，目前近海波浪分析仍以數值模式計算為主。

目前國內分析近海二維平面波浪數值模式主要以解析緩坡方程式 MSE(Mild-Slope Equation) 為主。緩坡方程式不僅解析波浪折射及繞射共存之波場，亦可有效地解析波向線相交的重覆波問題；然而應用上述傳統緩坡方程式計算大區域的海岸波場時，需要大量的電腦記憶體及時間來解析極大的矩陣，效率及精度受限，且方程式中並未包含碎波解析機制。因此緩坡方程式再被發展為適合大範圍海域計算的拋物線型態的偏微分方程式如 RCPWave 模式等，以及能表現反射、碎波及碎波後生成波的雙曲線型態偏微分方程式如 MIKE21 等。

由於緩坡方程式之基本假設為海底底床坡度

變化為緩變，即水深地形空間變化梯度遠小於波型水位變化梯度。應用於台灣附近海域時，台灣西部沿岸多為砂岸地形，底床坡度平緩，應用緩坡方程式模擬近海波浪均獲得良好結果。而台灣東部海岸背山面海，海岸坡度陡峭，且往往離岸數公里內即遭遇海溝等突變地形，緩坡方程式的應用受到限制。因此近年來國內學者提出一考慮海床坡度及海床曲率變化之延伸型緩坡方程式 EEMSE (許, 2003) 數值模式，在海底第行爲陡坡情況下與傳統緩坡方程式相較能提高數值模擬之精度。

### (三) 波浪資料在工程上的應用

波浪資料在工程式的應用，除了利用極端值分析選取適當復現期的波高統計結果作為設計波浪外，另外以波高之累積超過概率分析作為評估海尚可作業天數及港埠不能作業時間之依據。相關說明敘述如下：

#### 1、設計波浪

由於波浪為港灣及海岸結構物最主要外力，因此規劃設計階段選擇最佳設計波高為最主要工作，如設計波高偏小則結構物遭受巨浪侵襲可能導致嚴重災害，而設計波高太大則又造成經費浪費。

因此港灣及海岸構造物需依工程重要性等選擇適當復現週期的波高極端值作為設計波高，並求取相對週期及波向。一般波高極端值分析通常採用多年外海實測資料，每月選擇一個或數個最大波高，利用適當的極端值分佈迴歸分析求得各種復現期波高極端值。為了減少迴歸曲線所造成極端值誤差，迴歸分析過程中應選擇機率紙上最高相關係數。而目前國內缺乏長期連續可信賴之波浪觀測資料，因此設計波高極端值多採用颱風波浪數值模型進行計算。

而一般工程規劃上利用數值模式推算颱風波浪，依據中央氣象局公佈之颱風資料，選取對計畫區較具影響之颱風作為推算之對象，依其中心氣壓與路徑進行深海設計波浪推算。依各颱風推算結果繪製各方向之波高包絡線，一般常以甘保(Gumbell)或偉伯(Weibull)極端值分佈進行統計分析，求得各不同週期之波高機率分佈圖。再依颱風波浪極端波高機率分佈圖再配合波高包絡線，可整理得不同波向各迴歸期深海設計波，並依「SHORE PROTECTION MANUAL」及日本「漁港構造物標準設計法」中相關參數設定求得各設計波高相對應之週期。

極端值波高分析除考慮適當復現期可能發生波高及對應週期極端值外，亦應考慮入射波浪方向，以作為港灣工程中港口、航道佈置、防波堤設

計以及港池穩靜評估之依據。

#### 2、海上作業工作天估算

一般在港灣及海事工程進行海上施工作業工作天估算，多根據使用工作船機性能與工作精度要求制定可忍受最大波浪與風速限制。再依據實測波高與海上風速累積超過概率曲線求得可施工作業之概率，換算為日數作為作業工作天估算基礎。由於海上波浪與風速資料特性相關性極高，因此波高與風速低於施工限制的許可時間大致重疊，在評估時可選擇累積超過概率較高者為準。

台灣地區每年十月至翌年三月間，由於東北季風盛行，每月中往往有十數日不論波高或風速均超過可施工之限制。雖然每月中仍有數日至十數日可符合海上施工波高風速標準，但考慮施工船機動員，及夏季工期結束東北季風盛吹前，未完成的工程需施作臨時保護工事，加上冬季短暫施工作業仍需重新開啓工作面，工期結束又要重做臨時保護工等因素造成人力、物力無謂消耗。因此，一般海事工程多不予計入可施工天數。

#### 3、港埠不能作業時間

港埠不能作業可分為不能裝卸、不能進港以及碼頭不能碇泊三類，相關作業限制影響海事工程船機動員、材料裝卸運送以及港灣工程沉箱施作及拖放等。

碇泊船隻容許裝卸波高，一般依船舶噸位與裝卸機具而定。碇泊船隻不能作業標準應依繫纜船隻運動特性，即縱移、橫移、起伏、轉動等特性決定。但船隻碇靠碼頭動力特性易受繫纜佈置及纜繩剛性等因素影響，使得碇靠船舶運動特性不易取得，因此大都以波高為規範。而碼頭容許碇泊波高通常也只能根據船舶噸位訂定標準，超過容許碇泊波高表示碇泊該碼頭船隻受入射波浪作用可能毀損，護舷與碼頭設施或甚至發生斷纜與船隻互撞現象。因此，碇泊港內船隻若受波浪侵襲可能發生斷纜情況時，只有前往其他穩靜水域疏散避難。然而實際上碇泊船隻受波浪作用其運動量與纜繩受力並不一定與波高成正比，碇泊船隻運動量決定於船隻噸位、形狀與繫纜特性(長度，強度，彈性，剛性及佈置等)，且因船而異。因此，碼頭不能碇泊標準，一般僅以波高作衡量。

波浪所造成港埠不能作業時間評估，應根據各入射波方向造成港池穩靜度(波高)超過裝卸或碇泊容許標準所佔累積超過概率，再轉換為每年或冬夏季不能作業時間而定。風力造成港埠不能作業時間計算也是根據累積超過概率計算風速超過作業標準時間，但風速與波高兩者重複計算時

間必需扣除。不能作業時間再根據波高與風速延時與發生次數分析結果探討或解釋每年不能作業情況。實際應用可參考張(1999)所提以台中港為例港埠不能作業時間計算範例：『假設風速超過18m/s使港灣裝卸不能作業，每年發生概率為3%，合計時間為11天(264小時)。根據風速資料顯示每年夏季約1.4%風速超過18m/s，港址每年平均約受2次颱風威脅，夏季除颱風外風速很少超過18m/s。再依據18m/s風速延時特性，可解釋該港每年受2次颱風影響，每次約30小時風速大於18m/s，使港埠不能作業，合計60小時。每年冬季強烈東北季風風速超過18m/s佔4.6%，約200小時，根據風速延時特性可解釋為每年冬季約有十餘次強烈季風使裝卸作業停頓數小時至十餘小時，甚至整天不能作業。』

## 四、海流

海流之主要成份包括潮流、恆流、風驅流與波浪所造成之沿岸流等，一般在實測的海流資料中，各種海流成份很難區分。若海域中某一海流成分較為明顯，可利用各成分不同時間比尺特性，將原始海流逐時資料利用某個時間比尺進行低通濾波(如40小時等)，低頻部分視為風驅流(含恆流及近岸流等)，而高頻部分則為潮流(含波浪、紊流等)。茲將各海流成分及工程上的應用說明如下。

### (一) 潮流

由於潮汐水位的週期性漲落，基於流體的連續性，海水會產生對應於水位變化的週期性往復運動，一般稱之為潮流(tidal current)。因此潮流流速於朔望之大潮時較強，一般在春分及秋分時的潮流振幅最大。潮流運動特性包括流速、流向之速度向量變化，一般分解成兩垂直分量來表示，如東西向及南北向，或沿岸及向離岸等分量。近岸海潮流之流速振幅與流向受地形水深變化影響甚鉅，於開闊海岸觀測之潮流變化多形成一橢圓形向量分佈，在港灣結構物附近則視地形與結構物佈置而異。

依以往台灣四周海域各區域調查結果的近岸潮流流向分佈顯示，以平行於調查海域的海岸線走向居多；流向除了在高雄附近海域較為奇特外，大抵均對應潮汐漲退，漲潮時沿岸偏北流，退潮則沿岸偏南流。

而潮流在海峽、灣口或海岸附近之潮流幾乎約6或12小時間隔潮流流向轉換，稱之為轉流(turn of

tide)；而轉流時海水幾乎停止流動稱為息流(slack water)，而在離開海岸甚遠之外海海域則潮流流速及流向隨時間變化並無息流發生。

### (二) 恒流

影響台灣海峽之海流主要有黑潮支流、中國沿岸流及南海季風流等，其受季節影響很大。黑潮支流受季節風影響甚大，冬季為東北季風所阻，大部份流入中國南海，夏季受西南季風之推送，大部份流入台灣海峽。

中國沿岸流發源於中國北部沿海，冬季受東北季風之推送，勢力增強而沿中國海岸南下，經台灣海峽入中國南海。夏季則受西南季風阻礙，影響約僅至長江口。南海季風流在冬季因有黑潮支流及中國沿岸流流入，呈反時鐘向環流；夏季西南季風盛行，流向轉變，以東北向為主進入台灣海峽。

### (三) 風驅流

風驅流(Wind Driven Current，或稱風吹流)在近岸海洋動力學上扮演著一個相當重要的角色：風驅流對沿岸水文流場，沿岸漂沙及地形變遷等有決定性的影響；此外船舶航行及海上施工作業等也會受到風驅流的影響。

風驅流顧名思義是因風吹於海面形成之剪應力驅使海水之流動，由於台灣四週海域冬季普遍受到東北季風的影響，且北部、東部及中部區域風勢強勁，風剪應力所產生的風驅流約可達風速的3%至7%，即10m/s的風可能產生70cm/s的風驅流。

### (四) 近岸流

波浪向海岸傳遞過程，當波高相對於波長或水深達到某一極限，波浪會發生碎波現象。波浪發生碎波的區域稱為碎波帶(surf zone)，而碎波發生會逸出大量能量引致近岸流(nearshore current)。

近岸附近之水流受波浪碎波的影響極為明顯，不論有否潮汐均可發現近岸處碎波帶內的水流流動，即為近岸流，水流沿海岸平行方向流動者稱為沿岸流(longshore current)，垂直海岸流向外海者稱為離岸流(rip current)，兩者構成近岸環流系統。以往台灣地區實測之沿岸流流速甚少超過1m/sec，此種流動通常發生於碎波帶內，使沿岸浮游物質、水產物質及污物等沿海岸漂流，促進沿岸質交換，並藉離岸流帶向外海。

近岸流的理論分析，早期分析大多以動量觀念處理，近期則都以輻射應力(radiation stress)解析之：波浪中任何斷面上均有壓力作用，水粒

子亦隨波浪前進及壓力作用而產生動量通率 (moment flux)，如扣除靜水壓部分，所剩餘的單位時間動量，稱為過剩動量通率 (excess moment flux)，又稱為輻射應力 (radiation stress)。波浪碎波後，碎波帶附近因輻射應力之梯度而產生水位波揚與波降 (wave set-up and set-down)，此種因水位高低所產生的水流流動即為近岸流之成因。

沿岸流在港灣及海岸工程規劃設計上相當重要，由於近岸流係波浪碎波造成，而台灣地區東北季風期間往往長達半年以上，而其中主要波向約佔 60%~80%，亦即沿岸流所引至之質量輸送 (如海岸漂砂、海域污染物等) 平均每年至少約有 3~5 個月朝向主要波向方向傳遞。因此，海岸地區結構物興建，將改變原來海岸的沿岸流系統，而使質量傳輸優勢方向改變而改變原有的平衡機制，影響局部海岸水理特性。

### (五) 海流資料在工程上的應用

由於海流受複雜的海岸地形因素影響大，故單點或局部的海流實測資料分析難以描述整個海域海流特性，以及精確估計鄰近沒有實測資料的區域的海流。因此，一般工程應用上多利用數值模式計算全域或局部區域之海流資料，並配合單點或局部海流實測資料作為邊界條件或驗證資料。

一般工程上應用海流數值模式多採用利用水深方向積分平均將三維轉換為二維平面的水動力模式。而水動力模式依照邊界條件及剪應力項不同可約略區分為潮流模式、近岸流模式及綜合模式。

潮流模式南北兩側邊界上宜採用有長期觀測潮位資料的測站調查分析結果，而剪應力項除了考量底床摩擦、流體黏滯項外，一般多將風剪應力項加入，可計算潮流與風驅流的合成流。在工程上的應用多用於分析海中污染物、BOD 濃度、及電廠溫水排放等的擴散情形，以及分析海事工程於海中所使用材料是否經得起海流沖刷等。

近岸流模式則是在剪應力項除了考量底床摩擦、流體黏滯項外，另考慮波浪所造成的輻射應力，並於邊界條件假設波浪造成的波降與波揚水位變化情形，所計算的結果是優勢波浪條件下穩定不隨時間變化的近岸流流場分佈。由於依據統計分析優勢波浪約佔每年至少 3~5 個月以上時間，將造成海域主要質量傳輸，因此常用於海岸漂砂分析，進而用於預測海岸地形變遷，相關說明詳如下一章節所述。

而綜合模式則上將上述潮流與近岸流模式整

合，剪應力項同時考慮底床摩擦、流體黏滯項、風剪應力、及波浪輻射應力等，邊界上同時考慮潮汐水位變化及波揚波降等。由於考慮因素多一般需要花費較多計算時間及計算技巧，因此多應用於地形條件複雜或無法忽略海流中任一成分之狀況。

## 五、海岸漂砂

### (一) 成因及計算方法

海灘底質受波浪及水流作用而移動之現象稱為漂沙 (sand drift)。海岸附近的漂沙現象，因受波動水分子流速、近岸流、潮流及海洋等因素的影響，當海灘底床沙粒等受力大於摩擦力等起動力條件時，隨著海流漂移，其移動方向非為單向流而為三維性之往復移動現象。海岸漂沙若以移動方向分類，則分為垂直於海岸方向之向、離岸漂沙及平行於海岸方向之沿岸漂沙。而海岸漂沙依移動型態分為：

- 懸浮載 (suspended load)，即海床附近之底質浮於水中隨水體移動物質。
- 底床載 (bed load)，即沿海床附近為水流挾帶成為滾動、滑動或躍動狀態而移動之物質。
- 總輸沙載 (total bed) 為懸浮載與底床載兩者的總和。

港灣工程規劃設計中海岸漂砂最重要的瞭解漂砂移動的方向與數量，及移動的界限水深。前者可利用近海波浪及所造成的近岸流分析結果利用經驗公式求得；而後者以漂砂表層移動 (海底表面沙粒隨波浪進行方向或近岸流方向移動) 及集體移動 (某一海底深度以上的區域沙粒全部脫離其原來位置造成海灘水深發生變化) 界限較為重要，一般常利用佐藤(1962)所提經驗公式計算。

而在計算整個海域的沿岸漂沙量一般常使用：實測地形資料分析、海岸線變化分析、及與波浪能量有關的公式估算等三種方法。實測地形資料分析方法乃藉由二次的地形水深測量資料比較相同斷面上的水深變化，並向海側累加變化量與間距乘積而可獲得斷面的漂沙總量，再由不同斷面漂沙量計算總沿岸漂沙量。此法需要實測地形水深資料，所需經費及時間頗多，惟其結果最為實際可靠。海岸線變化分析方法則假設地形斷面特性相似，沿岸漂沙量直接影響海岸線變化，而離岸方向波漂砂影響較小，所以由海岸線的前進後退可間接描述海岸漂沙量。而利用與波浪能量有關的公式估算方法則由波浪對底質作功之功率推估沿岸漂沙量，此一方法可配合波浪及海流

數值模式計算結果應用於模擬海岸線或海灘地形變化。

## (二) 海岸漂砂在工程上的應用

### 1、海岸開發

海岸漂砂的活動改變，將造成海岸地形變化。若以海岸區域中某一區域當作控制體積來看，當隨著海流流入的漂砂量大於流出的漂砂量，則將有漂砂量差額淤積於該區域底床，反之則造成底床將漂砂量差額的侵蝕發生。因此，當港灣及海岸工程興建海岸結構物，甚至大規模進行填海造地工程時，將改變原有的近岸波場及流場，使海岸地形發生變化。一般而言興建防波堤、突堤與離岸堤等海岸結構物將阻擋水流，也使波浪產生繞射與反射現象，導致遮蔽區之波浪變小，水流流速降低而使海岸漂砂沈澱，反射區之波浪則變大且流速增加而加速漂砂移動。沿岸流被結構物阻擋，沿岸漂沙沈澱於結構物之上游側，部份漂砂被沿結構物平行向外海方向流動之離岸流帶向外海方向；如結構物較短則離岸流可能折向結構物下游方向，將漂砂帶往下游，部份沿岸漂砂可繼續流向下游側海岸。如果堤長太長則將沿岸漂砂完全阻擋，下游無法獲得沙源，因此防波堤、突堤及離岸堤下游側會侵蝕而上游側堆積，繞射區內泥沙堆積，堤愈長此種現象愈強烈。因此工程規劃設計上常利用數值模擬及水工模型試驗先行預測可能造成鄰近區域的海岸地形變遷，並將可能造成的影響利用工程技術將其減至最低。

### 2、海岸防災

近年來由於主要河川由於上游興建水庫或攔砂壩等工程造成河川輸砂量減少，或因颱風等因素造成海岸侵蝕，張和黃(1998)利用實測資料分析顯示台灣海岸近年來普遍發生侵蝕現象，因此近年來海岸防災亦為港灣及海岸工程之重要課題。

防止海岸侵蝕之措施，如未能瞭解波浪、海流及海岸漂砂特性並於規劃設計上能考慮周全，可能造成同樣的災害一再發生，如前高雄縣蚵仔寮海堤護岸一再遭受侵蝕沖刷損壞，即為明顯的例子。因此港灣及海岸工程保護措施之研擬原則上應先瞭解造成侵蝕原因，再考慮適當的保護對策來設法消除造成侵蝕之因素。然而一般侵蝕發生多為已造成不可改變之事實，因此退而選擇較為合適的海岸結構物來保護海岸。不論選用何種結構物從事保護，應慎重考慮其立即性及長期性之影響，避免保護工法選擇不當，長期後反

而更難保護，甚至對鄰近海岸造成影響。

## 六、結語

海洋資料對於港灣及海事工程不論在規劃設計及施工階段均為非常重要之基礎及依據，因此詳細確實的海洋資料蒐集分析對於工程技術及品質的提昇有正面的幫助。然而目前國內並無一專責政府機構負責調查、蒐集或整合台灣地區四周海岸及海域的海洋資料，目前多為大型海岸海域開發計畫自行辦理海洋資料調查，或學術研究單位各自進行調查研究工作，或大型工程進行期間的自行辦理環境監測等，由於缺乏相同基準規範、資料格式、品管程序及調查期程的配合等因素而無法整合等，對於政府有限的調查經費造成分散及浪費。未來希望能有政府單位如中央氣象局能整合國內相關海洋資料調查研究，訂定資料來源格式、調查基準、品管等標準程序等，並建置資料庫彙整所有的調查資料，提供作為港灣工程規劃設計及施工之依據。

## 七、參考文獻

- 1、林銘崇、蕭松山、張國強，2001，「海岸線變遷模式發展」，2001年海洋數值模式研討會論文集，台北市，13-1~13-8頁。
- 2、郭金棟，1995，海岸工程，中國土木水利工程學會，台北市。
- 3、郭一羽，2001，海岸工程學，中國土木水利工程學會，台北市。
- 4、許泰文，2003，近岸水動力學，中國土木水利工程學會，台北市。
- 5、許泰文、黃良雄、林銘崇等，2004，建立波潮流與海岸變遷模式，經濟部水利署水利規劃試驗所，台北市。
- 6、許泰文，溫志中，1997，「河川與海岸穩定對策之研究-穩定宜蘭海岸侵蝕對策之研究(III)」，農委會科技研究，86科技-1.10-林-02(1)，國立成功大學水利及海洋工程研究所，臺南市。
- 7、許硯蓀、廖學瑞，1995，「台灣地區海岸工程規設技術之演變及未來發展方向」，跨世紀海岸工程規劃設計技術研討會論文集，交通部運輸研究所，台北市，4-1~4-19頁。
- 8、湯麟武，1989，港灣及海域工程，中國土木水利工程學會，台北市。

- 9、張金機，1999，「海氣象資料在海岸開發保育之重要性」，創造台灣海岸新環境~永續海岸的呼喚研討會論文集，港灣技術研究所，台中縣，1-1~1-8頁。
- 10、張金機，黃清和，1997，「台灣四周海岸沖蝕防治技術」，八十六年度海岸工程研討會論文集，台中縣，1-26 頁。
- 11、歐善惠，王順寬，許泰文，廖學瑞，1985，「二維海灘地形變化分析與預測」，第八屆海洋工程研討會論文集，新竹市，397~418 頁。
- 12、蘇青和等，1992，台灣各港口潮汐相關性與預報模式研究，港灣技術研究所，台中縣。
- 13、龔誠山，1996，「海岸動力模擬在海岸工程方面應用」，八十五年度海岸及港灣工程研討會論文集，港灣技術研究所，台中縣，10-1~10-26
- 14、濱海埔地開發工程營建自動化方案規劃，2000，內政部營建署，台北市。
- 15、推動建立填海造地工程規劃設計及施工標準化，2001，內政部營建署，台北市。
- 16、港灣構造物設計基準—防波堤設計基準及說明，2000，交通部，台北市。
- 17、Shore Protection Manual, 1984, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, U.S. Washington, D.C., 4th Ed., Vol. 2.
- 18、Coastal Flooding Hurricane Storm Surge Model, 1988, Federal Emergency Management Agency (FEMA), U.S. Washington, D.C., Vol I~III.
- 19、井島武士等，1967，「數値計算による台風域内の波の分佈—海洋上における台風の場合」，日本第14回海岸工學講演會論文集，東京，pp.29~38。
- 20、井島武士等，1970，「數値計算による台風域内の波の分佈—實際の台風による検討」，日本第17回海岸工學講演會論文集，東京，pp.27~33。
- 21、佐藤昭二，田中則男，1962，「水平床における波について」，日本第9回海岸工學講演會論文集，東京，pp.95~100。