

## 第一章 緒論

### 1-1 研究目的

潮汐是一種海平面高度在一天裡有漲、落的現象，是受到天文引力驅動之長週期波動所產生，漲潮在白天叫「潮」，在晚上叫「汐」。通常一天裡會有兩次漲潮、兩次退潮，故稱之為潮汐。潮位及潮流皆為海岸變遷的重要影響因素，因此在從事海岸港灣工程設計工作時，長期觀測的各項海象數據必為不可或缺的資料。本研究以當地潮位站所測得的觀測潮位最大潮差設定為邊界水位變化，並以該最大潮差設定為一日的水位變化條件，並假設水面下之水深(包含港池內與外海)並沒有變化，都是相同水深(5.5公尺)。在這些條件下，以POM模式對新竹漁港進行水理計算，其結果有港池內各格網點的流場流速與海水位面高程。由POM模式計算所得的流速、海水位面高程對該地區進行潮汐交換率之計算，而計算時間以一次完整的漲、退潮為範圍。而潮汐交換率的計算方式，先參考前人研究的計算方式，是否適於應用於新竹漁港這樣的地形條件，做出適合以POM計算所得的各項數據，來推估新竹漁港的潮汐交換率。

台灣西部海岸面臨台灣海峽，潮差受地形的影響非常顯著，故海水位面高程變化甚大。一般而言，南、北兩端潮差較小，中段較大，基隆、高雄兩港的平均潮差約1公尺左右，台中港則超過3公尺，大潮時還可達6公尺以上，如圖1所示。在潮差大的地方，河川或港灣的海水與外海交換較快，海水一般較乾淨，反之則較差，這也是基隆、高雄兩港的海水污染比台中港嚴重的主因。新竹漁港位於於台灣西北部，而新竹附近海域的潮汐以半日潮為主，在新竹漁港的潮差約3公尺以上。

海水交換率高，可以維繫港池區域的水體乾淨程度，更可以提供生物更良好的棲息地環境。因此，若是可以先以程式模擬的方式，計算出港池的水體交換率，便可以選擇針對某區域，進行短期或長期的環境監測，或考慮該區域是否以工程方式進行建設，以求改善港池內與外海水體交換情形，提供更為良好的水質環境。

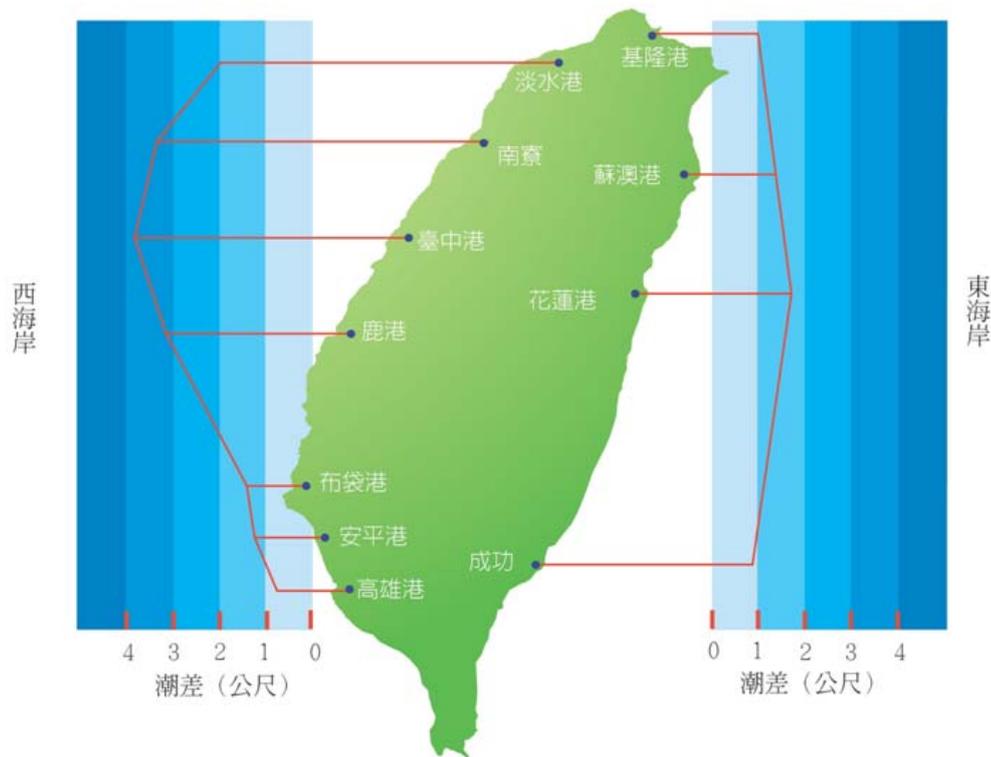


圖 1 臺灣東、西海岸潮差示意圖

## 1-2 文獻回顧

海洋物理環境因子主要包括潮汐、波浪、海流、風速及風向等，潮汐對海洋中水位的變動及近岸地區海洋生態環境有著最直接的影響，也是海岸工程規劃與施工必須要考慮的重要項目；波浪是造成海面動盪的主要動力，也是海岸侵蝕與破壞的首要原因。海流造成潮汐的循環流動，對潮汐交換、營養鹽傳遞、污染物漂移與擴散都有直接的影響；而潮汐表面的風速與風向作用，皆會改變波浪與海流的狀況，進而影響海洋環境的改變。

由於臺灣周邊海域潮位站分布不均勻，有鑑於此，高（2005）針對臺灣沿海特性作為選定潮位站的研究，目的為能夠掌握全國海岸水域的潮位變化，將潮汐空間的劃分，以及有效設置潮位觀測站。但由於現場沒有實測水位資料可供應用，導致數據資料不足以進行統計分析，故以 POM 潮流數值模式對臺灣沿海進行潮汐資料推算。進而得到 75 個模擬潮位站的潮汐資料，在以統計方法（主成分分析、群集

分析法)對海岸空間潮汐的均勻性做學理上分析，以提供增設潮位站的決策參考。

莊(2002)以 3-D 的 POM 模式模擬高雄港流場，在配合現場觀測的結果來作校正比對，以建立一個可靠的高雄港流場模式，再將實際影響海流的因子(如河水排放及風)加入到模式中，以便計算出在時間序列上的流場分佈，並且進一步討論不同因子對於整個高雄港流場的影響。結果顯示影響高雄港流場因子有潮汐、河流、氣象變化(如降雨、風作用)以及地形等影響。

黃(2003)用 POM 模式針對台灣海峽淺水區域的高頻淺水分潮項進行推算，並將 POM 模式推算結果與台灣西海岸潮位站之實測資料進行比對。其結果發現臺灣灘(澎湖群島之西南方淺灘，水深淺於 40 公尺，屬於淹沒的「水下丘陵」。)會對 1/3、1/4、1/6 日週潮淺水分潮的振幅造成明顯的影響。模式計算出 1/5 日週潮的振幅值是分析各週期淺水分潮中最小的，其振幅的空間分佈，在淡水至新竹一帶最大，將軍、高雄以南振幅最小，此空間分佈與臺灣西海岸實測潮位資料一致。另外也發現，模式推算結果發現潮波從深水區傳遞至台灣東岸，經過大陸棚斜坡地形之後進入淺水區，各週期淺水分潮在水深 120 米處開始有明顯的振幅變化。

張(2005)用 POM 模式模擬台灣西南部的大鵬灣漲退潮時，藉由水體交換，了解該地區長期的物質傳輸與環流情況。利用都卜勒海流儀(Acoustic Doppler Current Profilers, 簡稱 ADCP)掃描大鵬灣空間的流場分布，取樣頻率為 10 分鐘。在使用 POM 時，設定驅動力為潮汐及南風或北風，結果顯示潮汐作用以潮口附近最為明顯，潮口退潮流最大流速可達 1 m/s；漲潮流為 0.5 m/s。

吳(1986)收集本省西海岸 10 站之同時段潮實測資料，首先應用頻譜分析(Spectrum Analysis)，求得各站的主要分潮，並發現台灣西海岸之潮汐均由  $M_2$  潮所主宰。由此得知，若是要應用 POM 於新竹漁港與淡水第二漁港進行潮汐計算時，推動潮汐的主要驅動力為開邊界水位變化，應以  $M_2$  潮為首要。

### 1-3 文章簡介

本文主要目的為探討外海與新竹漁港港池的水體交換行為，進而計算整個港池的海水交換率。以前人計算海水交換率或是潮汐交換率的研究結果與方向為依據，找出適合應用在新竹漁港的條件下進行計算，再將新竹漁港劃分為三區，進而分別計算各區的海水交換率，再行討論。為達到上述目標，內容共分為五個章節，個別敘述如下：

第一章緒論，說明本文之研究目的與文獻回顧，並找出適合於計算新竹漁港海水交換率的各項條件。

第二章 POM 模式介紹，較多說明 POM 模式內部架構與假設條件，章節末段說明計算 POM 的需求條件。

第三章海水交換率，先介紹前人在潮汐交換率、海水交換率上的定義與計算方式，並探討海水交換率應用於計算新竹漁港上的適用性與不適用性的地方。

第四章新竹漁港海水交換率的計算結果，說明新竹漁港該地區的環境與現況，與 POM 計算需求的潮位歷史紀錄資料，旨在說明計算新竹漁港海水交換率的步驟，以及與將計算結果與現地的真實情況做比較。

第五章結論與建議。

## 第二章 POM模式介紹

### 2-1 POM概述

本文的 POM (Princeton Ocean Model)數值模式是採用美國普林斯頓大學所發展的三維動力海洋模式系統(Blumberg and Mellor, 1987)。POM 是一個完整的三維原始方程數值模式，被廣泛的運用在大洋、邊緣海、海灣、甚至河口之研究上，在國際上已經有相當多 POM 應用於沿海區域的成功例子，例如 2003 年在加拿大舉行的國際油污擴散會議(2003 International Oil Spill Conference)，就有不少學者提出多篇使用 POM 成功模擬海洋漏油擴散的論文。而最著名的美國加州聖芭芭拉海域漏油擴散模擬研究也是使用 POM。由於模式採用複雜的設計與計算，包括四維（三度空間與時間）的動量、溫度、鹽度、狀態以及連續方程式，因此相較於傳統之二維模式，可以模擬接近真實的海洋現象。

POM 模式的發展，早期是由於 Blumberg 和 Mellor (1983)在大西洋南方海灣作的一連串預測的數值模擬，該數值模式發展一個時變三維動量方程式並使用座標的模式，包含一個由 Mellor 和 Yamada (1982)研發的紊流閉合模式(turbulence closure model)。直到 1987 年 Blumberg 和 Mellor 再整理及撰寫稱為 Princeton Ocean Model，簡稱 POM 模式。應用該模式進行一系列模擬研究的學者；包括 Oey (1985a；1985b)、Ezer (1991)、Zavatarelli (1995)應用在近岸和小範圍地區的模式，Ezer 和 Mellor (1997；2000)、Ezer (1999)則第一次應用在整個大西洋海域水理特性之數值模擬，葉(2002)利用 POM 模式建立適合模擬台灣海域之潮汐模式，以完成一套台灣海域作業化潮汐預報模式。由此可知，POM 模式不但可計算小尺度河川、渠道等之水理運動例如溫度、鹽度等的改變，亦可模擬大尺度海洋、海岸等天文潮及氣象潮所引起的水位與流場變化。

## 2-2 POM控制方程式

由於計算水域的海底地形起伏較大，故 POM 座標系統採用 Philip (1957)所建立的  $\sigma$  座標系統（見圖 2），並非傳統的笛卡爾座標系統 (Cartesian coordinate systems)。笛卡爾座標系統與  $\sigma$  座標系統的關係如下：

$$\Phi(x, y, z, t) = \Phi^*(x^*, y, \sigma, t^*) \quad (2-1)$$

$$x = x^*, t = t^*, \sigma = \frac{z - \eta(x, y, t)}{D}, \quad D = H(x, y) + \eta(x, y, t) \quad (2-2)$$

(2-1)中， $\Phi(x, y, z, t)$  為笛卡爾座標表示； $\Phi^*(x^*, y, \sigma, t^*)$  為  $\sigma$  座標表示。 $H(x, y)$  為海底底部地形， $\eta(x, y, t)$  為潮汐表面高度，當  $z = -H$  時， $\sigma = -1$ ；當  $z = \eta$  時， $\sigma = 0$ 。使用  $\sigma$  座標系統可以精確地給定底部跟水面的邊界變化。因此，對於底部與水面變化較為緩慢的水域， $\sigma$  座標系統能夠在垂直有較高的分辨率。對於海岸邊的港池區，水深變化較淺不及深海區的水深變化，這樣的條件優勢，更適合用於港池計算。

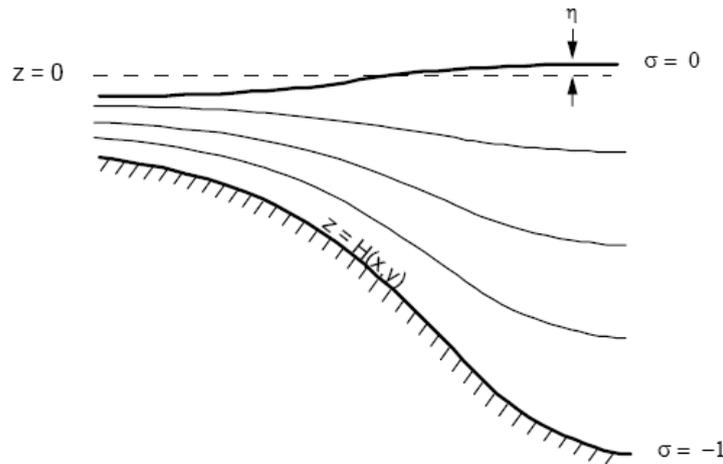


圖 2  $\sigma$  座標系統

POM 於水動力方面之控制方程式組，可表示如下：

$$\text{連續方程式：} \frac{\partial DU}{\partial x} + \frac{\partial DV}{\partial y} + \frac{\partial \omega}{\partial \sigma} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \quad (2-3)$$

動量方程式：

$$\begin{aligned} \text{x 方向: } & \frac{\partial UD}{\partial t} + \frac{\partial U^2 D}{\partial x} + \frac{\partial UV D}{\partial y} + \frac{\partial U \omega}{\partial \sigma} - fVD + gD \frac{\partial \eta}{\partial x} \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial U}{\partial \sigma} \right] + F_x - \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[ \frac{\partial \rho'}{\partial x} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial x} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' \end{aligned} \quad (2-4)$$

$$\begin{aligned} \text{y 方向: } & \frac{\partial VD}{\partial t} + \frac{\partial V^2 D}{\partial y} + \frac{\partial UV D}{\partial x} + \frac{\partial V \omega}{\partial \sigma} + fUD + gD \frac{\partial \eta}{\partial y} \\ & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{K_M}{D} \frac{\partial V}{\partial \sigma} \right] + F_y - \frac{gD^2}{\rho_0} \int_{\sigma}^0 \left[ \frac{\partial \rho'}{\partial y} - \frac{\sigma'}{D} \frac{\partial D}{\partial y} \frac{\partial \rho'}{\partial \sigma'} \right] d\sigma' \end{aligned} \quad (2-5)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial TD}{\partial t} + \frac{\partial TUD}{\partial x} + \frac{\partial TVD}{\partial y} + \frac{\partial T \omega}{\partial \sigma} \\ \text{溫度守恆方程式: } & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{\partial K_H}{D} \frac{\partial T}{\partial \sigma} \right] + F_T - \frac{\partial R}{\partial z} \end{aligned} \quad (2-6)$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial SD}{\partial t} + \frac{\partial SUD}{\partial x} + \frac{\partial SVD}{\partial y} + \frac{\partial S \omega}{\partial \sigma} \\ \text{鹽度守恆方程式: } & = \frac{\partial}{\partial \sigma} \left[ \frac{\partial K_H}{D} \frac{\partial S}{\partial \sigma} \right] + F_S \end{aligned} \quad (2-7)$$

(2-3)式至(2-7)式中，D為總水深（底部到水面的高度）；U、V為流速在水平方向的分量； $\omega$ 為流的垂直通量； $\eta$ 為水面高程；t為空間的時間； $\sigma$ 為 $\sigma$ 座標系統；x、y為空間中的水平方向；f為科氏力參數；g為重力加速度； $F_x$ 、 $F_y$ 為水平黏滯項； $K_M$ 為垂直的動黏滯係數； $\rho_0$ 為參考密度； $\rho' = \rho - \rho_{\text{mean}}$ ， $\rho_{\text{mean}}$ 是在z座標下之面平均密度，即只隨z改變（此 $\rho'$ 之作用在於減少壓力梯度誤差）；T為位溫（potential temperature）；S為鹽度； $K_H$ 為垂直的擴散係數； $F_T$ 、 $F_S$ 為水平之擴散項。

水平部份，可在細分為黏滯項與擴散項。黏滯項有 $F_x$ 、 $F_y$ 兩部份，其中 $F_x$ 如(2-8)式所示； $F_y$ 如(2-9)式所示。擴散項為 $F_\phi$ 如(2-10)式所示。

$$F_x \equiv \frac{\partial}{\partial x} \left[ H \left( 2A_M \frac{\partial U}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ H \left( A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right) \right] \quad (2-8)$$

$$F_y \equiv \frac{\partial}{\partial x} \left[ H \left( A_M \left( \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} \right) \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ H \left( 2A_M \frac{\partial V}{\partial y} \right) \right] \quad (2-9)$$

式中， $A_M$  為水平的動黏滯係數。

$$F_\phi \equiv \frac{\partial}{\partial x} \left[ H \left( A_H \frac{\partial \phi}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[ H \left( A_H \frac{\partial \phi}{\partial y} \right) \right] \quad (2-10)$$

式中， $A_H$  為水平的熱擴散係數； $\phi$  代表 T、S... 等。

### 2-3 POM時間穩定條件

POM 在時間間隔計算方法上，分為外部模式時間間隔(external mode time step,  $\Delta t_e$ )與內部模式時間間隔(internal mode time step,  $\Delta t_i$ )。外部模式時間間隔較短；內部模式時間間隔較長。而外部模式與內部模式差異於：外部模式主要為內部模式提供海面起伏；內部模式主要為外部模式提供垂直積分後的動量對流、積分密度與底部應力。以下分內部模式與外部模式時間間隔說明。

#### 2-3-1 外部模式時間間隔

外部模式時間主要限制條件如 (2-8) 與 (2-9) 式所示。

$$\Delta t_e \leq \frac{1}{C_t} \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2-8)$$

$$C_t = 2\sqrt{gH} + U_{\max} \quad (2-9)$$

式中， $\sqrt{gH}$  為最大淺水波之波速； $U_{\max}$  為預期的最大速率。

#### 2-3-2 內部模式時間間隔

內部模式時間主要限制條有三點：CFL 限制、水平擴散對時間間

隔之限制以及科氏力參數對時間間隔之限制，以下分別就這三個限制作說明。

### 2-3-2-1 CFL限制

Courant-Friedrichs-L Levy(CFL)為計算垂直積分的穩定條件，其限制如(2-10)與(2-11)式所示。

$$\Delta t_i \leq \frac{1}{C_T} \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (2-10)$$

$$C_T = 2C + U_{\max} \quad (2-11)$$

式中， $C_T$ 為最大的內重力波(internal gravity wave)之波速，通常在 2 m/s 左右； $C$ 為 Smagorinsky 擴散係數； $U_{\max}$ 為最大平流速率(advective speed)。

### 2-3-2-2 水平擴散對時間間隔之限制

水平擴散對時間間隔之限制條件如(2-12)式所示

$$\Delta t_i \leq \frac{1}{4A} \left( \frac{1}{\Delta x^2} + \frac{1}{\Delta y^2} \right)^{-1} \quad (2-12)$$

式中， $A=A_M$ (水平的動黏滯係數)或  $A=A_H$ (水平的熱擴散係數)。

### 2-3-2-3 科氏力參數對時間間隔之限制

科氏力參數對時間間隔之限制條件如(2-13)式所示。

$$\Delta t_i \leq \frac{1}{f} = \frac{1}{2\Omega \sin \Phi} \quad (2-13)$$

式中， $\Omega$ 為地球自轉之角速度； $\Phi$ 是緯度。

## 2-4 POM計算需求

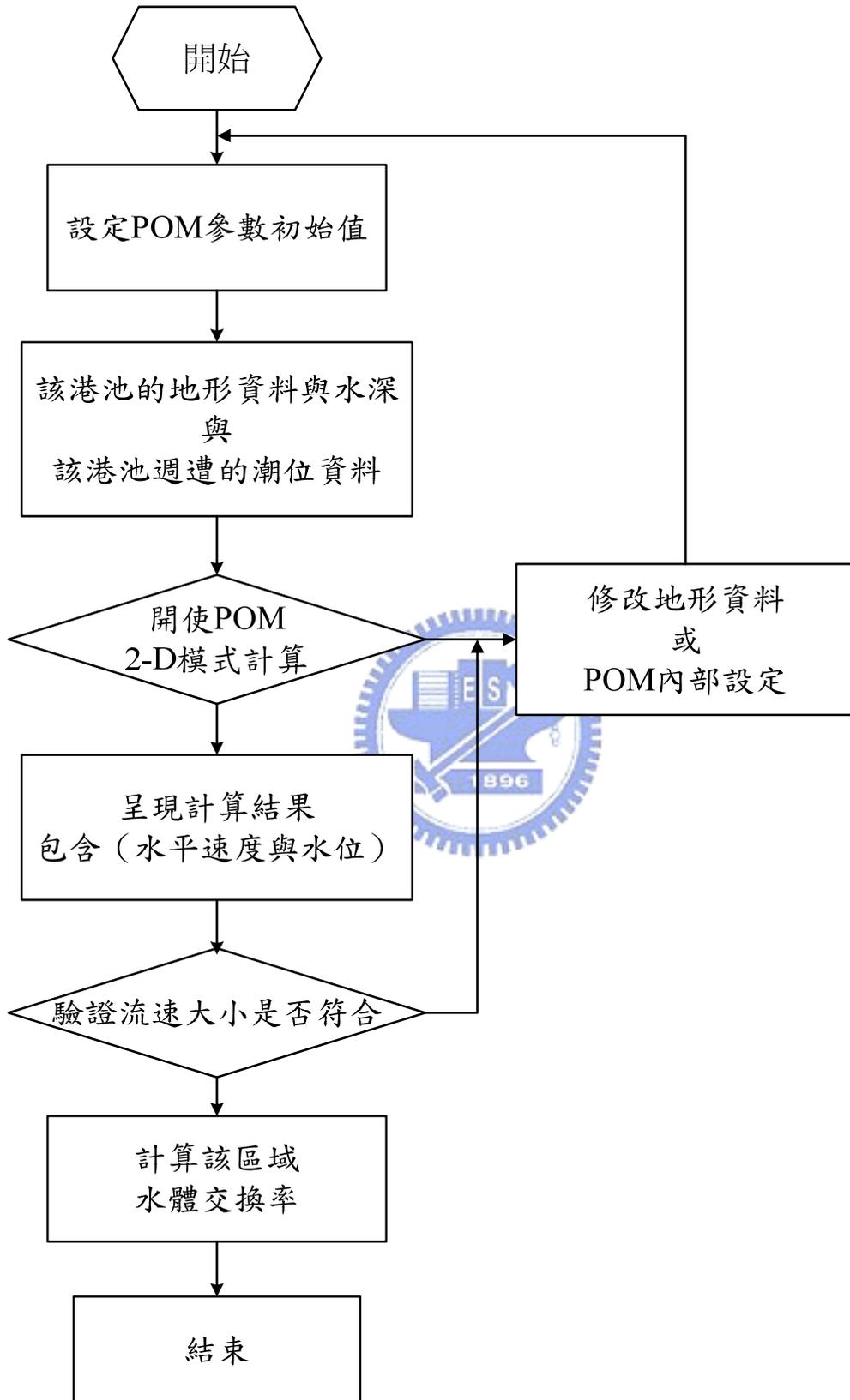
### 2-4-1 地形資料

POM 模式計算流場流速時，需要該地區之地形資料。地形資料的格式為段落明確的三行資料，即 X 座標、Y 座標以及水深。X、Y 座標系統採用臺灣二度分帶 TM 座標系統。特別是水深資料，POM 模式設定海平面向下為正；向上為負。水深資料必無法給足所有格網點的水深深度，因而選用 Surfer 軟體選用 Kriging 法進行格網切割，並將切割後的格網，再作適當修正，此即避免切割後造成地形錯誤或是港池結構物失去應有的連續性。

### 2-4-2 邊界水位設定

利用 POM 數值模式進行潮汐計算時，推動潮汐模式的主要動力為開邊界水位變化，目前應用數值模式計算潮汐的研究，其模式所需之邊界條件主要的來源有二：一個是在模式計算區域的邊界進行現場實際數據的收集；另一個則是擷取自另一個較大範圍模式的計算結果。然而取得水位變化資料最直接的方式為現場觀測，但是當開邊界地區位於大洋深海區時，便沒有實測水位資料可供應用。沒有實測水位資料，改以中央氣象局網站所提供觀測之統計潮位資料做為邊界水位變化與時間的關係，選定在新竹漁港附近的測站，其地理位置位於經度：120°54'44"E；緯度：24°51'01"N。中央氣象局網站所提供觀測之統計潮位資料為 2006 年之數據資料，在該年度當中，以潮差最大的月份為選取的對象。

## 2-5 研究流程



### 第三章 海水交換率

用 POM 求得流場流速 (包含 X、Y 方向)、海水位面高程時，將所得透過計算水體交換量的方法，求得新竹漁港在一個潮汐週期循環下的海水交換率。水體交換率的計算方法，有眾多學者提出其假設條件與計算方法，以部分學者的方法做概略說明，並探討是否適合應用於新竹漁港。

#### 3-1 Parker & Norris 的研究

首先 Parker & Norris(1972) 所提出的理論方法為以 Golden Gate 作為潮汐交換率的通道，探討 San Francisco Bay 與太平洋的海水交換率。Golden Gate 地理位置如圖 3 所示。圖 3 中白色區域為陸地；淡紫色區域為海水。

Parker & Norris 認為潮汐交替有很多特別的作用且可能對於任何特定的港口都是獨特的。潮汐交替在漲潮時通過 Golden Gate 的潮水，一部份是原本存在海灣中的潮汐(原有水體)，一部份是漲潮帶來的潮汐(新增水體)。

Parker & Norris 定義：在漲潮時進入這個海灣新水的一部分為潮汐交換率。但是 Parker & Norris 是以追蹤劑(trace)的觀念來判斷通過 Golden Gate 潮水的量，並以氯化物當作追蹤劑。依據追蹤劑質量守衡的觀念建立如 (3-1) 式的關係：

$$\sum_{i=1}^n Q_{Fi} C_{Fi} \Delta T = \sum_{i=1}^n Q_{Ei} C_{Ei} \Delta T + \sum_{i=1}^n Q_{Oi} C_O \Delta T \quad (3-1)$$

(3-1) 式中， $\Delta T$  為時間增量； $Q_{Fi}$  為第  $i$  測站時間增量內漲潮流量隨時間的增加量； $C_{Fi}$  為第  $i$  測站於時間增量內濃度流量的增加量； $Q_{Ei}$  第  $i$  測站於退潮時回流到海灣海水流量之時增量； $C_{Ei}$  為第  $i$  測站退潮時於時間增量內回到港灣之追蹤劑濃度； $Q_{Oi}$  為第  $i$  測站時間增量內新增水體流入港灣的流量； $C_O$  為第  $i$  測站於漲潮時時間增量內，新增水體流入海灣之追蹤劑濃度； $n$  為在漲潮階段裡的時間增量的數量。

依據定義，將潮汐交換率(tidal exchange ratio)  $\gamma_i$  如 (3-2) 式所示：

$$\gamma_i = \frac{Q_{oi}}{Q_{Fi}} \quad (3-2)$$

(3-2) 式中， $Q_{oi}$  時間增量內新水進入港灣增加的流量； $Q_{Fi}$  時間增量內漲潮增加量。根據流量守恆( $Q_{Ei}=Q_{Fi}-Q_{Oi}$ )，則將流量守恆、(3-1) 式與 (3-2) 式合併得 (3-3) 式的關係：

$$\sum_{i=1}^n Q_{Fi} C_{Fi} \Delta T = \sum_{i=1}^n (1-r_i) C_{Ei} Q_{Fi} \Delta T + \sum_{i=1}^n r_i Q_{Fi} C_O \Delta T \quad (3-3)$$



圖 3 Golden Gate 地理位置

### 3-2 今里哲久、淡路敏之與國司秀明的研究

1980年，今里哲久(imasato)、淡路敏之(awaji)與國司秀明(kunishi)發表關於潮汐交換率的論文。在一個完整的半日潮循環下，以鳴門、明石與紀淡海峽為計算潮汐交換率的實地區域，並簡單說明潮汐交換率的方法與概念。

為了在這三個海峽獲得一個可靠的潮汐交換率，將水粒子標記下在 Euler 速度場的流動軌跡作為潮汐交換率的計算依據。以圖 4 為簡單假設的地形來說明潮汐交換率在一個半日潮(M<sub>2</sub>潮)的循環下，海水體積交換的概念：退潮期間，內部(INNER BASIN)水在 T<sub>1</sub> 時刻透過海峽排出到外部(OUTER BASIN)且遺留在外部最大的體積量為 V<sub>1</sub>(T<sub>1</sub>)。在漲潮期間，原本排出到外部的內部海水，一部份又回到內部的海水，會有一部份仍遺留在外部的內部體積稱之為 V(T)。在 T 時刻，V(T)代表內部海水遺留在外部的體積；換言之，在一個 M<sub>2</sub> 潮的循環下，V(T)為海峽兩邊海水交換體積。V(T)和 V<sub>1</sub>(T<sub>1</sub>)是由被標記的水粒子，從內部在 T 與 T<sub>1</sub> 到外部的數量，並不是計算穿越海峽的海水體積。被標記的水粒子分布在鳴門、明石與紀淡海峽當中，將該區域網格化。每個網格當中，被標記的水粒子初始分布如圖 5 所示。每個網格中，被標記的水粒子計算方法如 (3-4) 式與圖 6 所示：

$$X_i(t_m) = X_i(t_{m-1}) + \int_{t_{m-1}}^{t_m} [U(X_i(t_{m-1}), t) + \int_{t_{m-1}}^t U(X_i(t_{m-1}), t') \cdot \nabla_H U(X_i(t_{m-1}), t) + \dots] dt \quad (3-4)$$

(3-4) 式中，X<sub>i</sub>(t<sub>m</sub>)為第 i 個水粒子在 t<sub>m</sub> 時刻下的位置；U 為第 i 個水粒子在 t<sub>m-1</sub> 時刻的尤拉速度(Eulerian velocity)，且時間間隔為三分鐘(=t<sub>m</sub>-t<sub>m-1</sub>)；H 是平均海水位面到底部的深度； $\nabla_H = i\partial/\partial x + j\partial/\partial y$ ，i、j 分別為 x、y 方向的單位向量。

依據上述的簡單說明，將潮汐交換率 E 定義如 (3-5) 式所示：

$$E = \frac{V(T)}{V_1(T_1)} \quad (3-5)$$

潮汐交換率(E)意為部份內部（或是外部）水伴隨著半日潮（M<sub>2</sub>

潮) 排出，且在一個半日潮 ( $M_2$  潮) 後仍遺留在外部 (或是內部)。

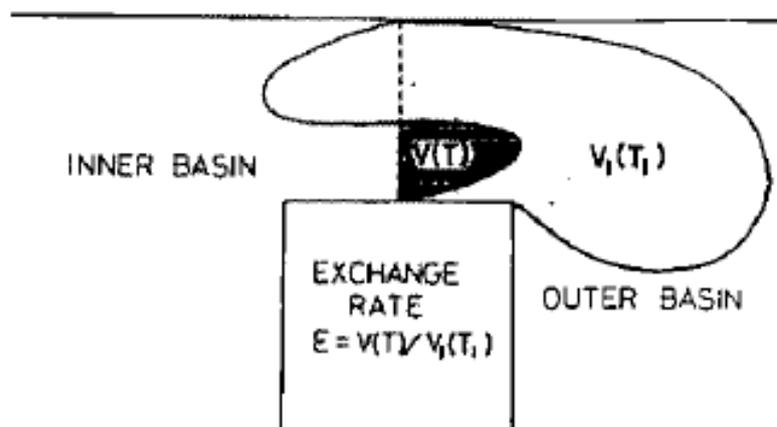


圖 4  $V(T)$  與  $V_1(T_1)$  的定義

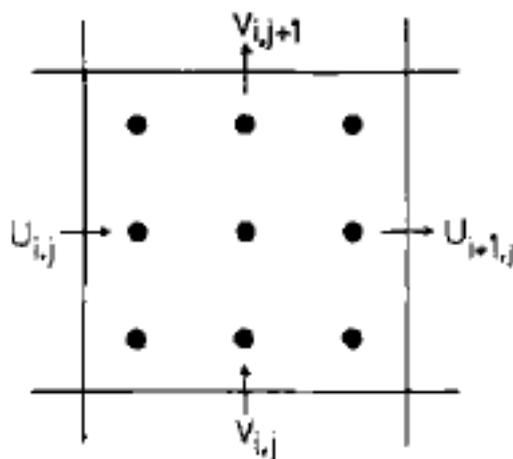


圖 5 每個格網當中被標記水粒子的起始分布

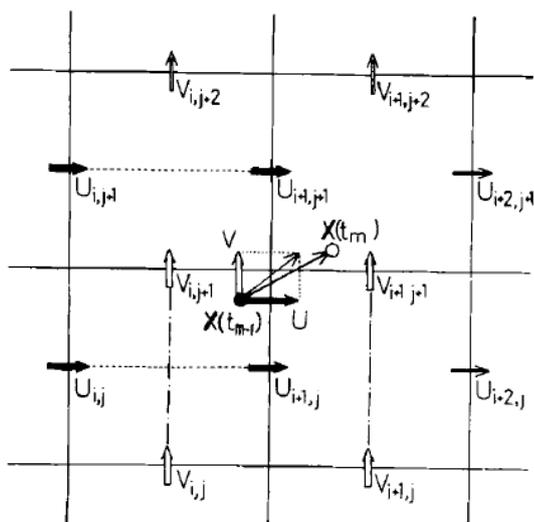


圖 6 圖示被標記粒子計算位置

### 3-3 ARAI & TSUJI的研究

ARAI & TSUJI (1998)以 Siago Bay 為例，重新定義海水交換率。Siago Bay 地理位置如圖 7 所示。海水交換率為：在海灣和外海之間對海水表面位移的體積絕對值的總數交換比。為了推導出內港與外海的海水交換關係，以一個完整振盪周期期間，外海海水流入跟流出港灣口的體積視為  $V_f$ 。海水表面位移體積的絕對值總和為  $V_a$ 。提出海水交換率  $\gamma$  為  $V_f$  與  $V_a$  之比值。依據 ARAI & TSUJI (1998)提出海水交換率  $\gamma$  的定義，海水交換率  $\gamma$  與  $V_f$  和  $V_a$  的關係如 (3-6) 式所示：

$$\gamma = \frac{V_f}{V_a} = \frac{\left| \iint_s \zeta_k(x, y) dx dy \right|}{\iint_s |\zeta_k(x, y)| dx dy} \quad (3-6)$$

(3-6) 式中， $\zeta_k(x, y)$  為 Loomis (1975) 最初所提出的計算方式。 $\zeta_k(x, y)$  為海水表面垂直位移的空間複數值分佈， $S$  是港灣面積。在計算  $\zeta_k(x, y)$  時，可以將  $\zeta_k(x, y)$  視為海水位面高程。

海水漲潮時，定將 Siago Bay 外海的水體帶入 Siago Bay 內，整個 Siago Bay 內的海水位面高程會因為湧入的海水體積產生上升的現象，但由於 Siago Bay 地形關係，漲潮所湧入的海水體積會產生延遲的現象，並不會產生整個 Siago Bay 海水位面上升高程一致的現象。

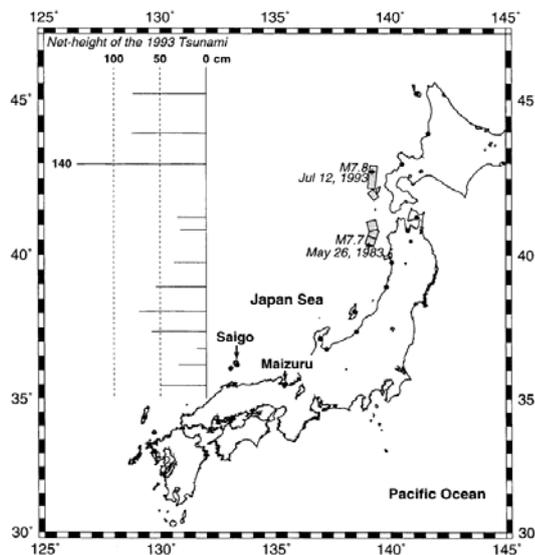


圖 7 Siago Bay 地理位置

### 3-4 海水交換率在新竹漁港的適用性

觀察前人的研究，可以觀察出封閉性的港灣與外海水體交換，是由潮汐造成的主因，若選取目標在臺灣的西半部，潮汐影響應以  $M_2$  潮為主要。若是採用 Parker & Norris 的方法，是以現場氯化物濃度的採樣，來計算潮汐交換率。本文是將 POM 水理模式計算所得的結果應用在潮汐交換率上，但本文的 POM 水理模式並沒有應用在氯化物粒子濃度的計算上，因此 Parker & Norris 的方法有不適切的條件因素存在。因此，將前述的潮汐交換方法，找出適合應用於新竹漁港這樣地形條件的假設。

考慮將 ARAI & TSUJI (1998)所提出的海水交換率計算方法應用於新竹漁港。但 ARAI & TSUJI (1998)是以海水位面高程為計算海水交換率的首要條件，乃是因為海水位面高程會有不同的現象才適用 ARAI & TSUJI (1998)的方法。

探討新竹漁港是否適用 ARAI & TSUJI (1998)所提出的方法，將 POM 程式計算的結果，以港池最裡面區域的海水位面高程變化為檢視對象，在最裡面的區域取出 A~I 九個格網點的位置，而這些格網點的選取是以能夠散佈於整個最裡面的區域為依據而選取，分布如圖 8 所示。這九個格網點在一日的程式模擬時間內，其海水位面高程隨著時間的變化如圖 9 所示。其結果呈現出新竹漁港港池最裡面的區域內，在整點時刻的海水位面高程上都幾乎都是一致。因此若是用 ARAI & TSUJI (1998)的方法，在計算  $V_f$  與  $V_a$  的絕對值下，會產生一致性的問題，因此有不適合於新竹漁港的問題產生。

為了找出適合於計算新竹漁港的海水交換率的模式，需將前人所提出的各種交換率（包含潮汐交換率、海水交換率），做適切性的探討，並找出能應用於計算新竹漁港海水交換率的假設條件。

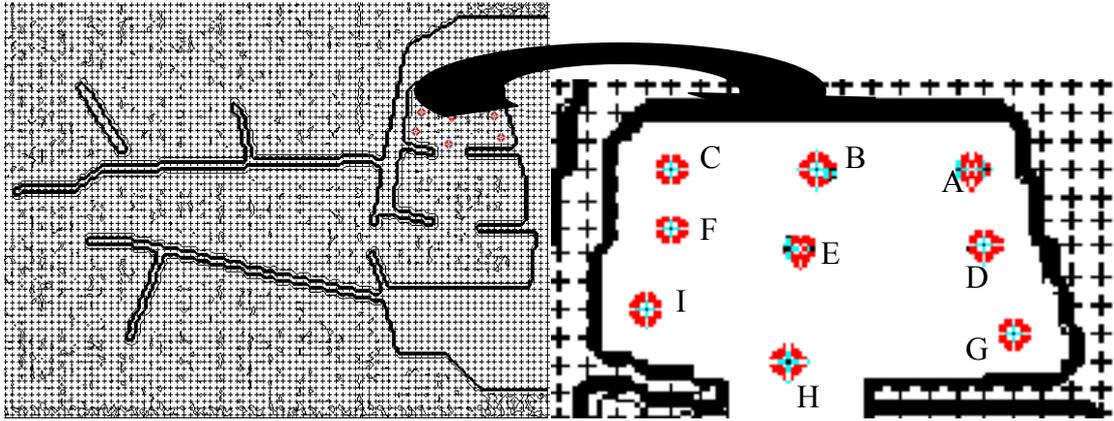


圖 8 新竹漁港最內港區九測站位置示意圖

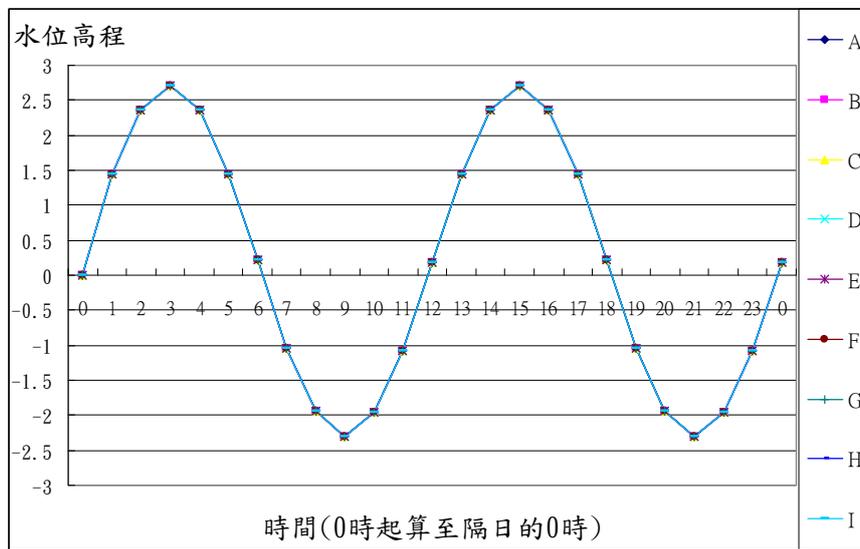


圖 9 新竹漁港最內區九個位置時間與水位高程關係圖

## 第四章 新竹漁港海水交換率的計算結果

### 4-1 新竹漁港現況

新竹漁港於民國 70 年 4 月完成水工模型試驗及定案規劃報告，定名為新竹漁港，地形如圖 10 所示。民國 80 年正式啟用，面積廣達 91 公頃，新生地約 52 公頃，水域及陸域公共設施完善，港區道路交通、公用事業設施均已興建完成，條件十分優越。

新竹漁港自興建以來，一直以漁業活動為其主要功能。有鑑於近年來，休閒漁業及海上觀光遊憩活動之盛行，經市政府積極爭取，九十二年已由行政院農委會漁業署編列新台幣伍仟萬餘經費進行娛樂漁船碼頭及運動公園工程，並於九十三年八月完工，娛樂漁船碼頭的完成，為新竹漁港新添了一處兼具發展休閒漁業及多元使用的設施，使得原本空曠的漁港泊區注入新的生機。新竹漁港受限於潮差，泊地水深亦隨之改變，娛樂漁船碼頭的完成，使得船舶裝卸及人員上下，更顯便利，為新竹漁港未來發展海上遊憩活動提供奠定良好的發展條件。市府目前更進一步推動遊艇碼頭之興建，在未動工前，將完成之娛樂漁船碼頭船席，劃設出約十席之船席位，供遊艇使用，以供帶動需求產生之方式，推動本市海上遊憩活動。

新竹漁港位於於台灣西北部，而新竹附近海域的潮汐以半日潮為主，在新竹漁港的潮差約 3 公尺以上。海流流向以沿岸方向為主，潮流在漲潮時向南、退潮時向北。平均流在夏、秋二季以北流為主，流速較大。冬季時有較大的向南流，但平均流仍是向北，但流速較小。新竹漁港，風速大(平均風速 4.5m/sec)、又港旁即為頭前溪出海口、加上漲退潮差可達 3 公尺。風速大、海浪侵蝕力便強；頭前溪在旁、河川泥沙容易淤塞；加上潮差大、更是不容許港口被過多泥沙湧入。

新竹漁港堤防共分為三種，分別為「防砂堤」、「防波堤」和「海堤」，其位置如圖 10 所示。「防砂堤」的功能在於防止泥沙淤積過量後，直接侵入海港；「防波堤」的功能為防止海浪直接侵入漁港，並阻擋海浪帶來的泥沙淤塞漁港；而「海堤」的功能則為圍出漁港的範圍，阻擋海水侵入漁港。

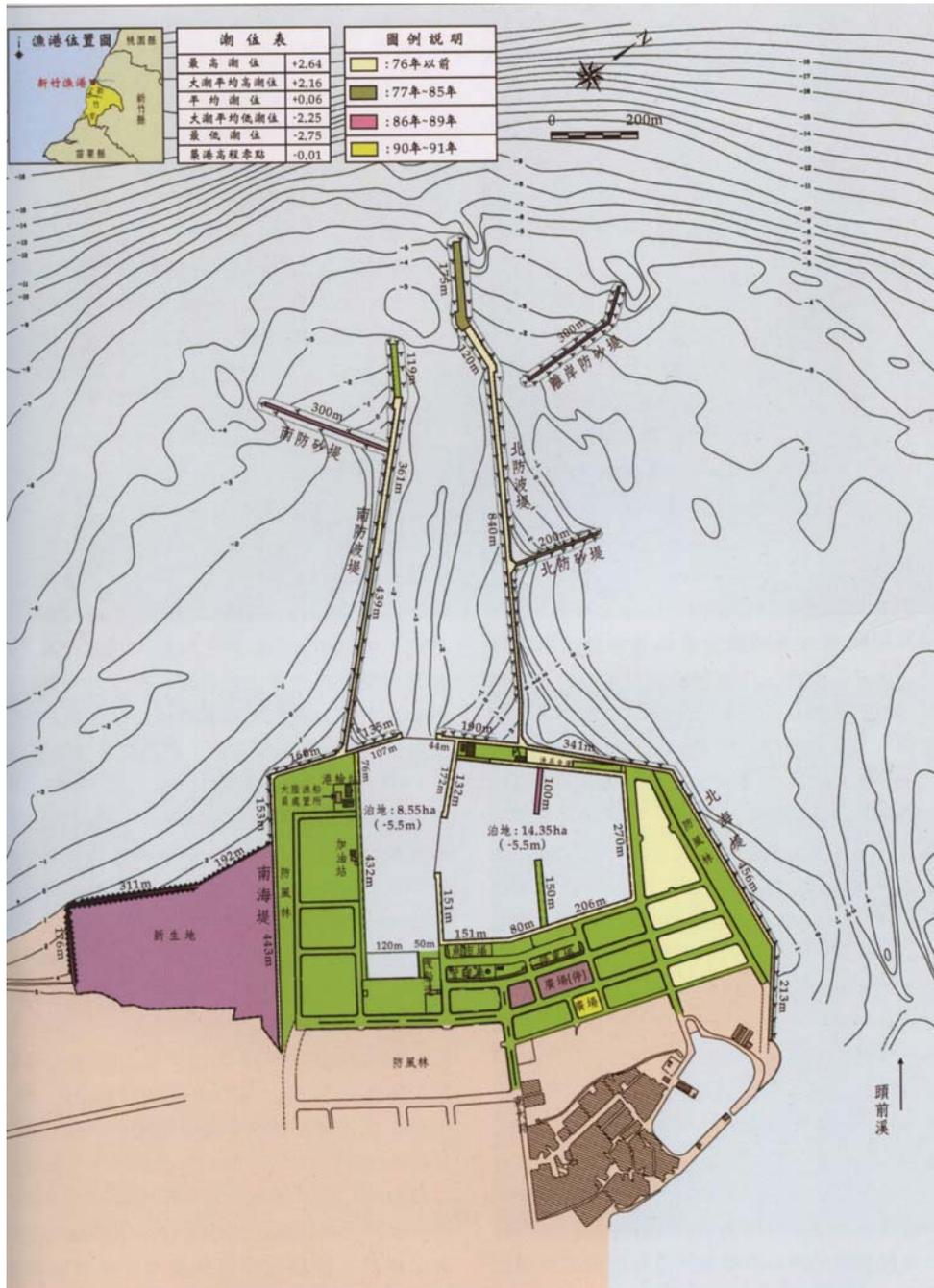


圖 10 新竹漁港平面圖

#### 4-2 新竹漁港探討目的

研究海水交換目的在於探討港池內與外海的水體交換情形，進而提出建議是否須以工程建設來改善港池內、外海水交換情形。本文目的為探討新竹漁港整體區域的水體交換率。先以前人所研究潮汐交換

率與海水交換率的定義與條件，找出適合應用在新竹漁港的交換模式的條件，透過部份條件假設，計算出整個新竹漁港的交換率。特別是港池內最裡面區域海水交換率，可以視為整個新竹漁港海水交換率的指標區域。

#### 4-3 計算新竹漁港的假設條件

應用 POM 於港灣流場計算時，必要條件為確定該區域之地形與邊界水位設定。計算區域為包含整個新竹漁港與部份外海區域，目的為求了解與外海接觸的通道，於漲、退潮時的流場變化。部份外海區域的最外圍邊界是為潮汐驅動計算區域內流場的開邊界水位變化，是以該區域觀測潮位的潮差作為輸入檔。

計算新竹漁港流場流速時，必須給定該地形資料，該地區地形資料由圖 10 進行地形模擬。由圖 10 的地形資料（等深線）繪製出新竹漁港的立體地形圖如圖 11 所示。藍色區域為新竹漁港的陸地部份，該區域不為探討流場的部份，故以相同高度（海平面上 10 公尺）作為標識。

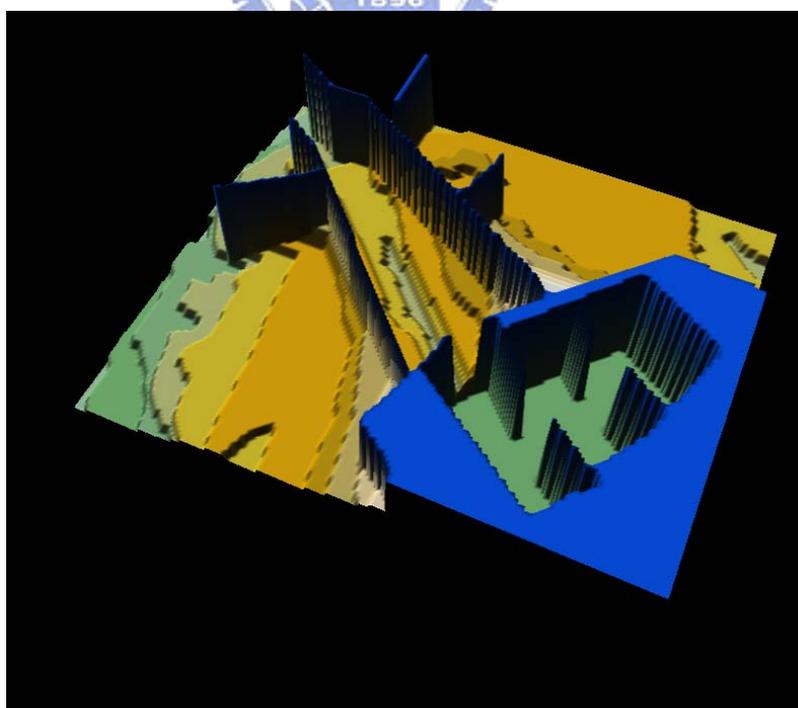


圖 11 新竹漁港立體地形圖

#### 4-3-1 新竹漁港地形轉換

新竹漁港位於台灣北部，該海域的流場約略如圖 12 中所示。模擬新竹漁港內的流場，須將當地地形旋轉以符合 POM 的模擬計算。POM 採方形網域計算，故將新竹漁港地形作旋轉，使該地區與真實海域流場更符合模擬真實環境的條件。圖 13 為台灣海峽附近等深線分布，圖 13 當中有一虛線包含的範圍，該範圍為原圖 13 旋轉  $\theta$  角度後縮小的結果。

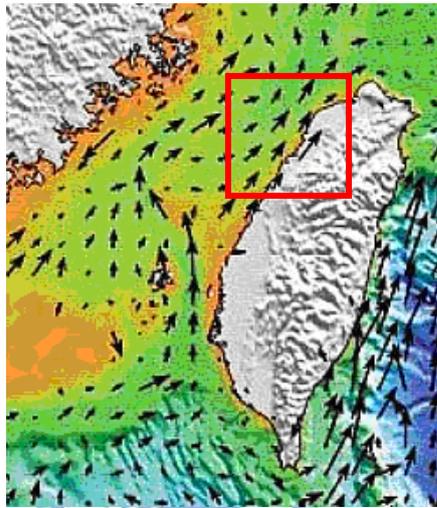


圖 12 台灣附近海域海流圖（紅色框包含新竹附近海域的範圍）

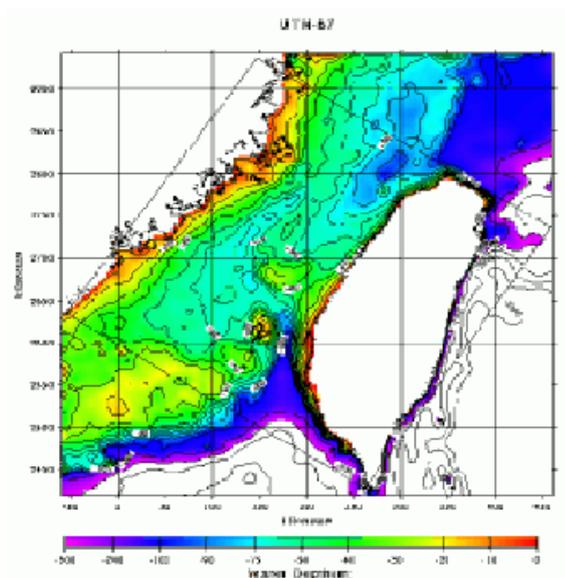


圖 13 台灣海峽附近等深線分布

圖 13 的旋轉公式如 (4-1) 與 (4-2) 式所示。其中(x,y)是原座標，(x',y')是旋轉  $\theta$  角度後的座標， $k_x$  為 x 軸修正係數； $k_y$  為 y 軸修正係數。 $\theta$  角度採用  $33^\circ$ 。圖 14 為旋轉  $33^\circ$  後的台灣海峽附近等深線分布。

$$x' = x \cos \theta - y \sin \theta + k_x \quad (4-1)$$

$$y' = x \sin \theta + y \cos \theta + k_y \quad (4-2)$$

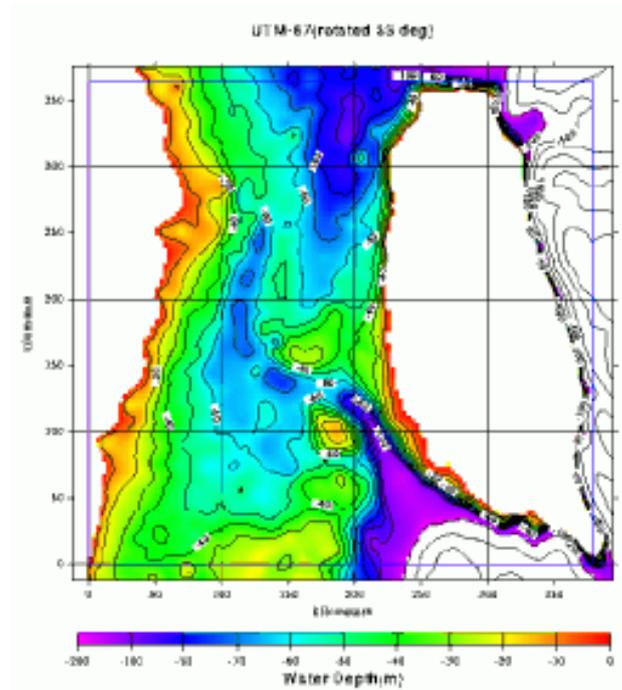


圖 14 旋轉  $33^\circ$  之後的台灣海峽附近等深線分布

#### 4-3-2 新竹漁港邊界水位變化設定

執行 POM 程式計算時，需要給定邊界水位變化，選定以新竹漁港附近的觀測潮位的統計資料作為邊界水位輸入檔，如表一所示。表一資料來源為中央氣象局潮位統計資料，該潮位統計資料的測站位於新竹市新竹漁港，座標為經度:  $120^\circ 54'44''E$ 、緯度:  $24^\circ 51'01''N$ 。圖 15 為表 3 的潮位統計圖。由表一可得七月是潮差最大的月份。

蘇 (2005) 為探討淡水河口海流垂直結構之變化及其成因，研究重點為分析長期海流剖面的觀測，探討淡水河的淡水量、潮汐作用、

日照射量與風等因素對海水之分層與混合。研究分析結果指出：大潮發生潮差大，流速強，潮流橢圓形狀較圓；小潮時潮差小，流速弱，潮流橢圓趨近往復直線運動。依據蘇（2005）研究顯示：潮差大，流速強；潮差小，流速弱。在潮差大的地方，河川或港灣的海水與外海交換較快，海水一般較乾淨，反之則較差。潮差大，流速較大，能夠顯示出港池內的水體與外海水體交換快，故以潮差大作為模擬選定邊界潮位變化的條件。

表一 新竹漁港潮位統計資料（單位：公尺）

	2006/01	2006/02	2006/03	2006/04	2006/05	2006/06
最高高潮位	2.4	2.3	2.4	2.3	2.3	2.3
大潮平均高潮位	2.1	2	2.1	2.1	2	2.1
平均高潮位	1.7	1.7	1.6	1.7	1.8	1.9
平均潮位	0.1	0	0	0.1	0.2	0.2
平均低潮位	-1.6	-1.6	-1.8	-1.5	-1.5	-1.4
大潮平均低潮位	-1.5	-1.8	-2.2	-1.8	-1.7	-1.4
最低低潮位	-2.1	-2.2	-2.2	-2.2	-2.2	-2.1
	2006/07	2006/08	2006/09	2006/10	2006/11	2006/12
最高高潮位	2.9	2.6	2.7	2.7	2.4	2.1
大潮平均高潮位	2.3	2.3	2.4	2.3	2.2	1.9
平均高潮位	1.9	1.9	1.9	1.8	1.8	1.6
平均潮位	0.2	0.3	0.2	0.2	0.1	0
平均低潮位	-1.5	-1.4	-1.5	-1.5	-1.5	-1.6
大潮平均低潮位	-1.7	-1.7	-1.8	-1.8	-1.7	-1.6
最低低潮位	-2.1	-2	-2.1	-2.1	-2.2	-2.2

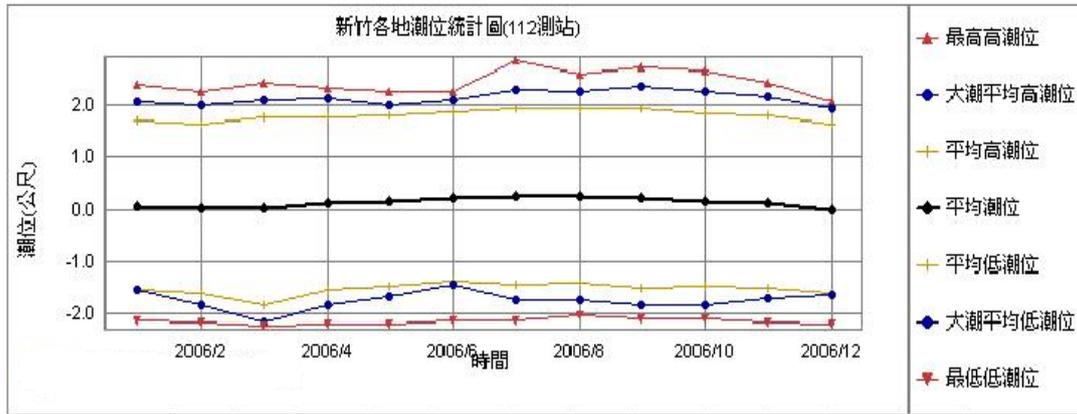


圖 15 新竹漁港 2006 年各月份潮位統計圖

#### 4-4 計算新竹漁港海水交換率的推估方法

綜合第三章所述，這些推估潮汐交換率的方法，都先假定兩個區域（外海、港灣內）的水體，在選定一個與外海水體交換的通道來進行潮汐交換率之計算。潮汐交換的行為在於新水與舊水間的水體交換，目的在於重視兩者水體隨著一次漲、退潮之後，兩者之間的水體會不會回到原先區域，或者留在不同於原先區域的部份，此為潮汐交換的概念。舊水與新水的存在區域會因為先前定義有所不同，但皆為區分外海與港灣（相較於外海的範圍顯得很小的區域），其港灣為封閉區域僅只有一個通道與外海（較大的水體）進行海水交換行為。

但這些方法都並不是實際到海面上量測通過斷面的海水體積來推估潮汐交換率，而是以追蹤劑或是標記粒子的方式來推估潮汐交換率。以前人計算海水交換率的概念為主要依據，提出適合計算新竹漁港潮汐交換率的假設條件與計算方法。本文由當港池內為最低潮位時，伴隨著漲潮，海水位面高程由最低潮位到最高潮位，再由最高潮位回到最低潮位時，港池內海水體積的變化量，這變化量的結果，是由外海的海水隨著漲退潮而產生殘餘量，而這部份的變化量為探討的對象。

而在估算流入或流出控制斷面的海水體積時，通過控制斷面時，水位的高低是流量大小的值主要依據。當水體進入一個封閉區間而

言，水位高程上升表示水體流入封閉區間；當水位下降時，表示水體流出封閉區間。以往流量量測方法乃使用各種流速儀（質點影像流速儀、光纖雷射杜卜勒測速儀…等），於一斷面量測流體通過垂線平均流速，累積子斷面流量而得通過此斷面之總流量，而流量計算方式以（4-3）式說明。

$$Q = AV \quad (4-3)$$

（4-3）式中  $Q$ =流量( $m^3/sec$ )， $A$ =斷面積( $m^2$ )， $V$ =流速( $m/sec$ )。但在計算海水通過新竹漁港內部的流量時斷面積( $A$ )，會隨海水位高程高低而有所改變，如圖 16 所示。

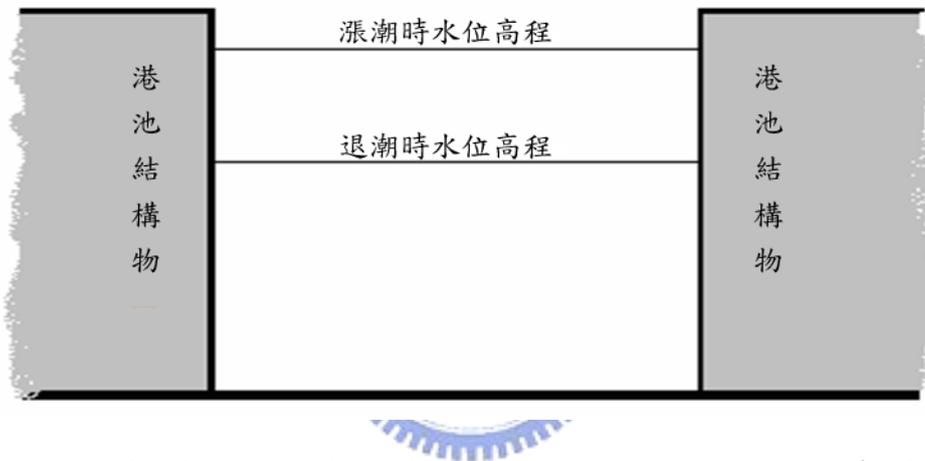


圖 16 港池內斷面水位高程隨漲、退潮變化示意圖

計算流量當中的流速，在此則是以 POM 計算出來的流速為計算條件，但流速必須垂直於與外海進行海水交換通道的斷面。而 POM 是以二維網格計算，會有 X（水平）方向、Y（垂直）方向的流速，這兩者流速必須以合成速度為計算條件，且合成速度必須垂直斷面。這樣可計算出的流量為每整點時刻的瞬時流量( $m^3/sec$ )，再以每整點時刻的瞬時流量作為估算海水交換率的基本條件。以兩相鄰整點時刻的瞬時流量為計算條件，計算出這兩相鄰整點時刻之內，流入斷面的體積。

本文目的在於計算一次潮汐週期下的新竹漁港的潮汐交換率，因而計算時間為由最低潮位再度回到最低潮位的時間為範圍。因而分別

探討漲、退潮所帶動外海水體流入、流出新竹漁港的情形。

海水的流動情形伴隨著潮汐的變化，漲潮時，海水持續湧入新竹漁港內，這時候海水由斷面進入港池內，造成新竹漁港整個港池的海水位面高程抬昇，必由流入港池內的海水體積所造成，而這流入的海水體積，則由 POM 計算結果所計算出整點時刻的瞬時流量來推估；退潮時，由漲潮時帶來的海水體積，通過斷面由港池內排出到外海，此時海水持續由新竹漁港內排出，造成新竹漁港整個港池的海水位面高程下降，這部份的體積，也是由 POM 計算結果所計算出整點時刻的瞬時流量來推估。伴隨的潮汐變化，海水由外海進入新竹漁港，再由新竹漁港排出到外海，此行為讓新竹漁港透過潮汐作用與外海海水進行水體交換。

一次潮汐循環下，也許會有部份的海水停留在港池內，或是有部份的海水伴隨著退潮而流出港池內，皆有可能改變港池內所擁有的海水體積。將這部份的海水體積與在平均海水位面高程下，所擁有的海水體積之比值，定義為海水交換率。海水交換率如下式所示：

$$\mu = \frac{|V_{\lambda}|}{V_{\phi}} \quad (4-4)$$

上式中， $\mu$  為海水交換率， $V_{\lambda}$  為一次潮汐週期循環下，漲、退潮通過斷面所造成的海水體積變化量， $V_{\phi}$  為新竹漁港在平均海水位面高程下，港池內所擁有的海水體積。

#### 4-5 計算結果與討論

將新竹漁港內分為三個區域，以及各斷面的標示，如圖 17 所示，圖 17 中的格網大小為 10 公尺×10 公尺的網格，深度均為 5.5 公尺。圖 17 當中各區的地形資料如表二所示。

表二當中的面積與體積均非新竹漁港的真實數據，而是以網格化（如圖 17 所示）後的港池做為面積與體積的資料來源。若將斷面 III 視為整個港池與外海進行海水交換的門戶，則斷面 III 的範圍為整個港池所包含的區域，則整個港池總體積為三區總合（1211650 m<sup>3</sup>）。

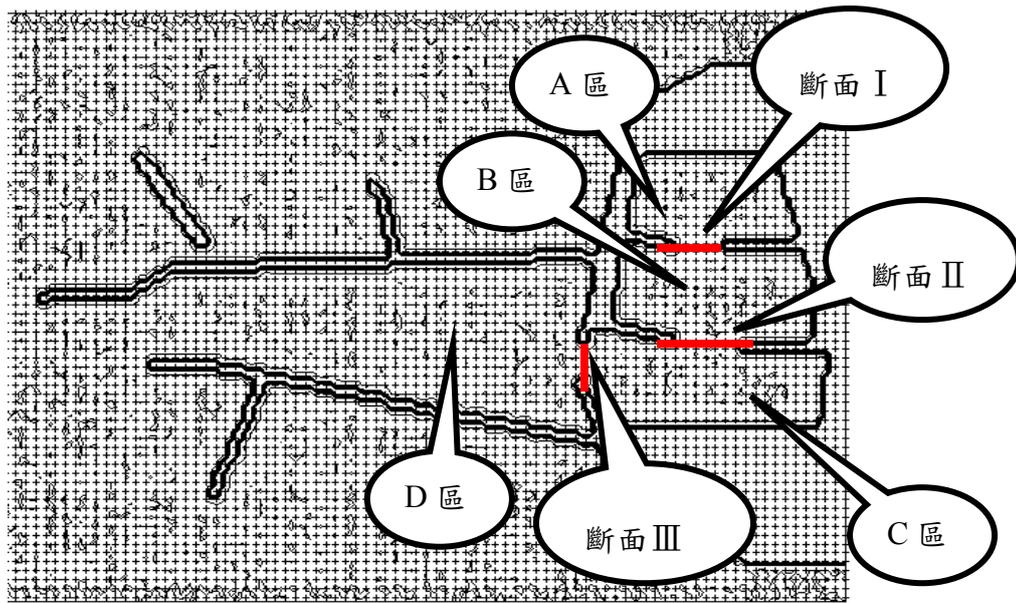


圖 17 新竹漁港分區的標示圖

表二 各區的面積與體積大小

	A 區	B 區	C 區
面積 (單位: m <sup>2</sup> )	58250	78850	83200
體積 (單位: m <sup>3</sup> )	320375	433675	457600

以 POM 計算出各格網點的流速與水位高程，分別計算通過斷面 I、斷面 II 以及斷面 III 的瞬時流量，以表三呈現。並將該斷面的瞬時流量與該斷面（最中心的位置）海水位面高程，兩者之間關係如圖 18~20 所示。

若將海水視為水粒子的情形下，漲潮時，水粒子由外海湧入港池內，由 D 區通過斷面 III 進入新竹漁港內，會有一部份的水粒子堆積在 C 區，因而造成 C 區的海水位面高程的提昇，再有部份水粒子經由斷面 II 到達 B 區。當水粒子到達 B 區時，會有部份水粒子堆積在 B 區，造成 B 區海水位面高程提昇，部分水粒子經由斷面 I 到達 A 區，

此為漲潮時，海水進入新竹漁港的概況。由前述水粒子進入新竹漁港的情形判斷，通過斷面Ⅲ的流量會與通過斷面Ⅰ、Ⅱ的流量有所關係。當海水湧入新竹漁港時，瞬間通過斷面Ⅲ的流量，稱之為  $Q_{Ⅲ}$ ；瞬間通過斷面Ⅱ的流量，稱之為  $Q_{Ⅱ}$ ；瞬間通過斷面Ⅰ的流量，稱之為  $Q_{Ⅰ}$ 。

漲潮時，海水由台灣海峽湧入新竹漁港時，整個新竹漁港的海水位面必伴隨著漲潮而提昇高程。海水進入 C 區時分為兩部分，一部分為堆積 C 區的部份；一部份經過斷面Ⅱ進入 B 區，會有部分海水因結構物所造成的反射而回到 D 區。部分海水由 C 區經過斷面Ⅱ進入 B 區，進入 B 區的海水，必先造成 B 區海水位面高程提昇後，才有部分的海水因而進入 A 區。當海水由因為結構物反射的關係，有部份的海水由 B 區再回到 C 區。當漲潮時，海水流入到 A 區時，已是到達新竹漁港最內區域時，海水無法再傳遞到下一個區域時，就只有分成兩部份，一是造成 A 區造成海水位面高程提昇；一是會回到 B 區的部份。

漲潮時，海水由台灣海峽湧入新竹漁港時，整個新竹漁港的海水位面必伴隨著漲潮而提昇高程。海水進入 C 區時分為兩部分，一部分為堆積 C 區的部份；一部份經過斷面Ⅱ進入 B 區，會有部分海水因結構物所造成的反射而回到 D 區。部分海水由 C 區經過斷面Ⅱ進入 B 區，進入 B 區的海水，必先造成 B 區海水位面高程提昇後，才有部分的海水因而進入 A 區。當海水由因為結構物反射的關係，有部份的海水由 B 區再回到 C 區。當漲潮時，海水流入到 A 區時，已是到達新竹漁港最內區域時，海水無法再傳遞到下一個區域時，就只有分成兩部份，一是造成 A 區造成海水位面高程提昇；一是會回到 B 區的部份。

表三 各斷面在各整點時刻的瞬時流量(m<sup>3</sup>/s)

TIME	斷面 I	斷面 II	斷面 III	TIME	斷面 I	斷面 II	斷面 III
0	0.000	0.000	0.000	13	25.455	42.069	69.729
1	23.753	43.565	74.120	14	20.128	36.985	52.466
2	20.446	33.578	55.953	15	3.043	-3.114	10.854
3	0.049	-2.521	7.359	16	-10.451	-18.766	-33.793
4	-9.464	-27.051	-31.335	17	-12.649	-38.001	-51.704
5	-15.113	-39.293	-51.565	18	-19.286	-48.384	-71.322
6	-20.031	-50.586	-70.549	19	-20.160	-46.409	-71.789
7	-18.856	-46.586	-71.801	20	-13.636	-32.344	-50.292
8	-14.055	-34.245	-50.355	21	-6.815	-15.071	-24.888
9	-6.801	-16.136	-24.582	22	4.622	8.680	15.028
10	3.743	7.489	14.633	23	16.006	32.455	52.203
11	15.566	32.248	52.339	翌日 0	23.028	40.906	70.068
12	23.462	40.755	70.642				

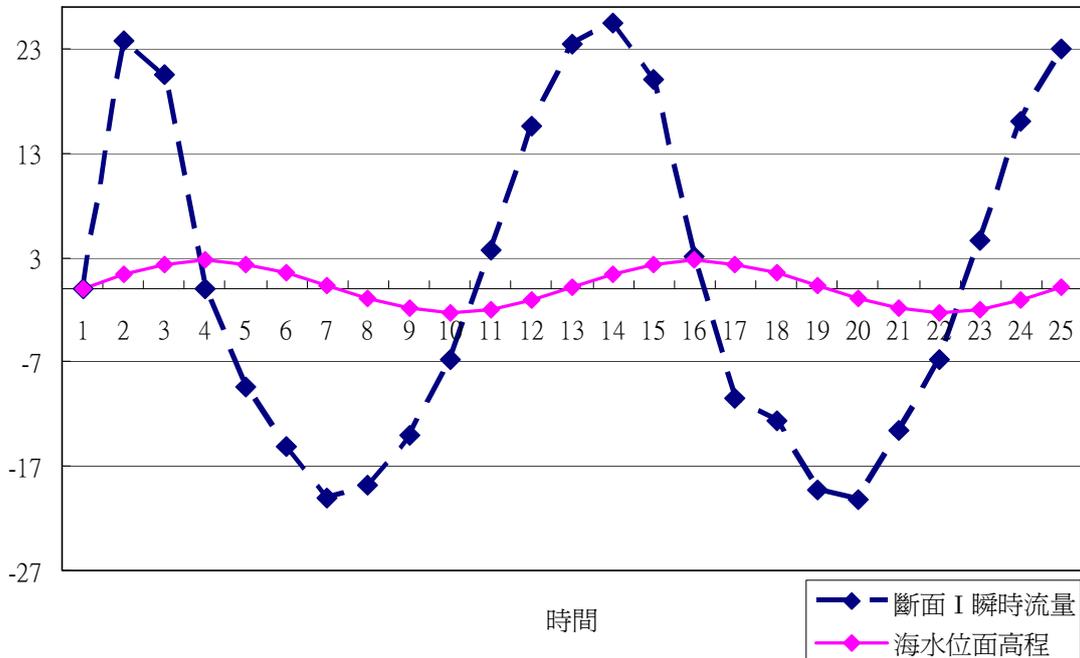


圖 18 斷面 I 每整點時刻瞬時流量與水位關係圖

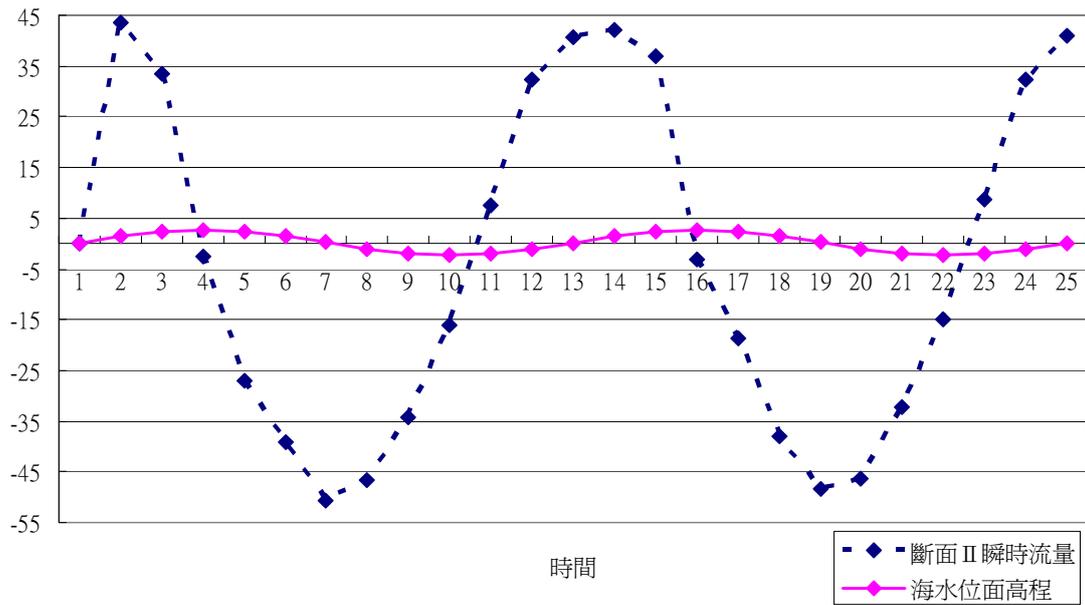


圖 19 斷面II 每整點時刻瞬時流量與水位關係圖

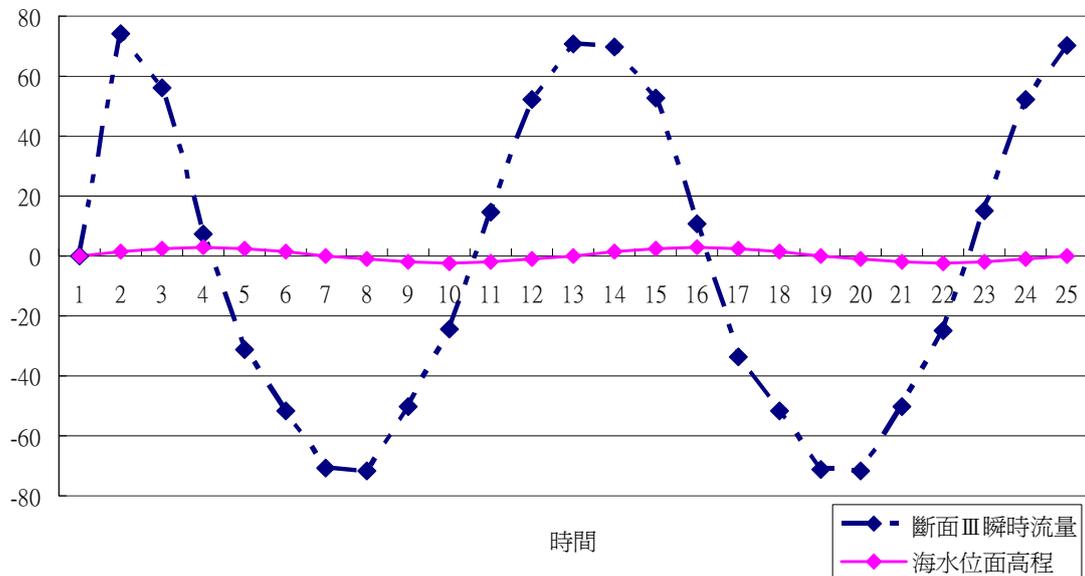


圖 20 斷面III 每整點時刻瞬時流量與水位關係圖

上述過程推導出  $Q_{III} > Q_{II} > Q_I$  此結論。此結論由 POM 模擬結果做出驗證，並由圖 21 證明。因瞬時流量有正負值，正值代表流入斷面內；負值代表流出斷面外。因此將各斷面的瞬時流量取絕對值做比

較，斷面Ⅲ的瞬時流量皆為最大值。

為計算出新竹漁港的海水交換率( $\mu$ )，則需求得  $V_\lambda$  與  $V_\phi$ 。由經過驗證的瞬時流量來推估  $V_\lambda$ ，先計算出兩相鄰時刻通過斷面的海水體積，其結果如表四所示。再由表四推算出，由最低潮位到最高潮位(漲潮)時，外海湧入新竹漁港的海水體積總量；由最高潮位再回到最低潮位(退潮)時，由新竹漁港排出流回到台灣海峽的海水體積總量，兩者之間的差異量取絕對值即為  $V_\lambda$ 。

在求出  $V_\lambda$  之前，必須先定義計算  $V_\lambda$  的時間範圍。各斷面的瞬時流量與海水位面高程隨時間變化關係圖，如圖 22 所示。圖 22 當中的紅線，為將海水位面高程放大 20 倍來看，其目的是為了與瞬時流量在數值上有著明顯的比較，方便以圖形顯示彼此之間的差異。當瞬時流量大於 0 時，表示流入斷面當中，此時應為漲潮時期；當瞬時流量小於 0 時，表示流出斷面當中，此時應為退潮時期。因而可以看出 4~10 時與 16~22 時為退潮階段，10~16 時與 22~翌日零時為漲潮階段。在前人研究海水交換率的文獻當中，取一次潮汐循環下為計算的時間範圍，在此沿用此計算時間範圍的定義，將計算潮汐交換率的計算時間定為 10~22 時，此時間範圍剛好包含一次完整的潮汐週期。計算時間範圍確定後，分別將各斷面的  $V_\lambda$  值求出，如表五所示。

計算海水交換率( $\mu$ )時，在已計算出  $V_\lambda$  之值後，尚需要  $V_\phi$  之值，但要計算  $V_\phi$  前，要先考慮斷面所包含封閉區域的問題。以斷面 I 而言，因為 A 區只有透過斷面 I 這通道方可與外海水體進行海水體積交換，故斷面 I 所包含的範圍就只有 A 區。以此類推，斷面 II 包含 A、B 兩區；斷面 III 包含 A、B 以及 C 區。在此，將斷面 III 視為新竹漁港與外海交換的唯一通道。 $V_\phi$  為各區在平均海水位面下所擁有的體積，在此採用 2006 年 7 月的新竹漁港潮位統計資料(表三)，這月份的平均潮位為 0.2 公尺，則在平均潮位下，海水位面高程離新竹漁港港池底部有 5.7 公尺，A、B 以及 C 區的面積總和為 220300 m<sup>2</sup>，則  $V_\phi$  為 1255710m<sup>3</sup>。

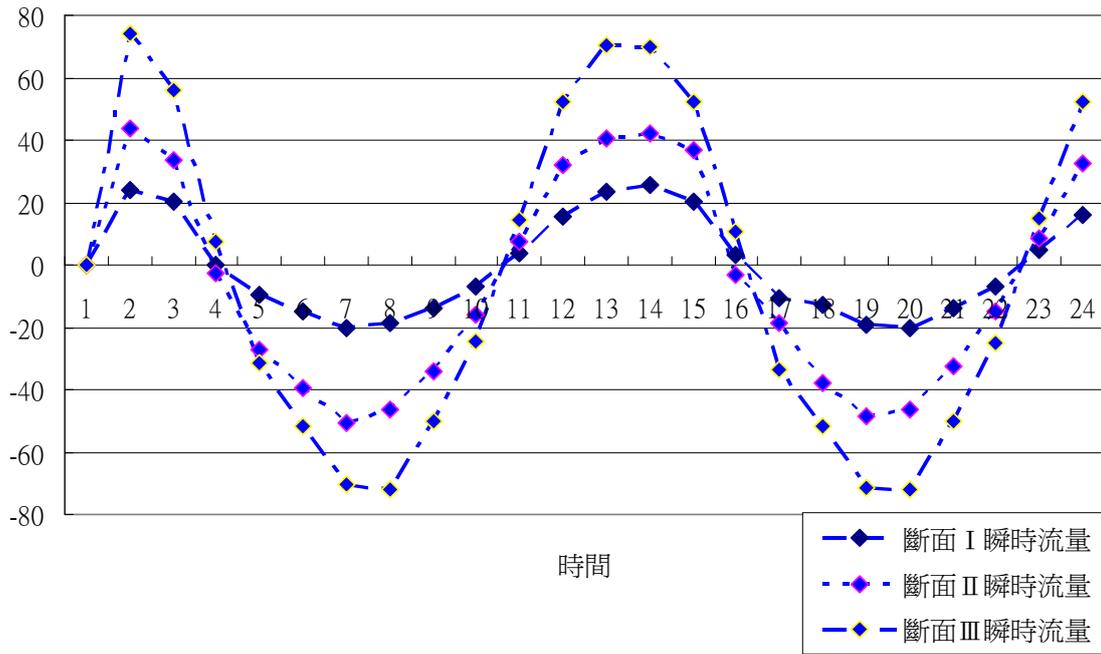


圖 21 斷面 III、II、I 每整點時刻瞬時流量大小比較圖

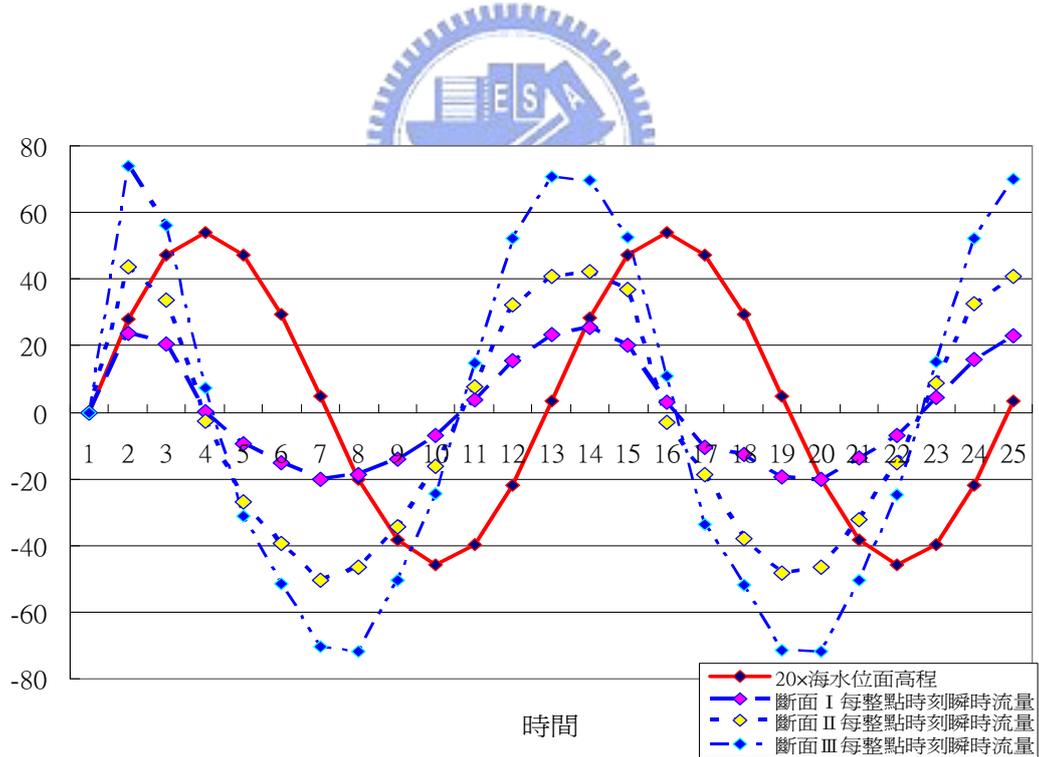


圖 22 各斷面每整點時刻瞬時流量與 20 倍海水水位面高程比較圖

表四 各斷面在兩相鄰整點時刻的通過斷面的體積 (m<sup>3</sup>/hr)

TIME	斷面 I	斷面 II	斷面 III
0~1	42755.19036	78417.16867	133415.411
1~2	79558.78025	138856.956	234131.3781
2~3	36891.74446	55902.26314	113961.3661
3~4	-16947.17908	-53230.05426	-43157.40747
4~5	-44238.31139	-119419.4385	-149219.5028
5~6	-63258.06395	-161781.5558	-219805.2303
6~7	-69995.05301	-174909.0629	-256230.6213
7~8	-59238.6627	-145494.8779	-219880.9879
8~9	-37540.68529	-90684.88896	-134887.0389
9~10	-5504.195983	-15564.589	-17909.0582
10~11	34756.86182	71525.70066	120548.7668
11~12	70249.89153	131405.5717	221365.6378
12~13	88049.90101	149084.5929	252667.7459
13~14	82048.93353	142297.2648	219951.1081
14~15	41706.73206	60967.09549	113977.0431
15~16	-13335.26269	-39384.74362	-41289.50018
16~17	-41580.9643	-102181.2146	-153894.4179
17~18	-57483.14864	-155493.3763	-221445.9841
18~19	-71001.59638	-170627.3578	-257599.7641
19~20	-60831.64559	-141754.6526	-219746.4451
20~21	-36811.33514	-85347.57612	-135324.0111
21~22	-3947.72231	-11504.31037	-17747.40414
22~23	37130.52985	74043.82942	121015.6459
23~翌日 0	70262.4079	132051.1014	220087.736

確定  $V_{\lambda}$  之計算時間範圍，與  $V_{\phi}$  之值，在分別計算出各斷面的海水交換率( $\mu$ )，結果如表五所示。就表五所示，分別探討新竹漁港整個港池區域（斷面 III）與最內區（斷面 I）的海水交換情形。

表五 各斷面的海水交換率

	斷面 I	斷面 III
$ V_{\lambda} $ (10 時~22 時)	31820.64489	118537.225
包含區域	A	A、B、C
包含區域面積(m <sup>2</sup> )	58250	83200
包含區域體積(m <sup>3</sup> )	332025	1255710
海水交換率 $\mu$	0.095838099	0.094398567

由表五得知 A 區的海水交換率約為 9.58%，而 A 區為新竹漁港最內區的區域，當海水隨著漲潮湧入時，最後才到達這區域，因此這區域的海水交換率具有指標性。

整個新竹漁港的海水交換率約為 9.44%，與最內區的海水交換率 (9.58%) 相比，誤差約為 0.14%，算是相當接近了。

此新竹漁港的海水交換率皆為在一次潮汐週期下所計算出的，因此代表一次漲、退潮的作用下，漲、退潮通過斷面所造成的海水體積變化量與原先在港池內的海水體積比。

## 第五章 結論與建議

在潮汐作用之下，外海水體伴隨著漲、退潮，流進、流出整個港池，會與港池內原先所擁有的海水體積產生變化量，此變化量為產生海水交換率的計算對象。本研究在選定一次潮汐作用下，由最低潮位或是最高潮位作為計算海水交換率的起始時間。在這時候作為計算的起始時間，整個港池內的海水流況較為一致。而在計算潮汐交換率時，選定的封閉區域，僅只有一個通道與外海進行海水交換行為，而以該通道之水流進行流量推估。

在建置海域地形時，會遇到格網大小的問題，該如何選擇格網大小，若有遇到港池結構物，則建議以堤防截面積最小的距離為格網距離。若皆為海面下的地形，則格網大小設定較具彈性。地形由 Surfer 網格化後，盡量避免地形有高程變化過大且複雜的情況產生，可針對當地地形作些微修正。

進行 POM 模式計算時，倘若計算區域面積範圍較小時，計算時間間隔應取較小值為佳，唯計算時間較為費時。計算區域則必須考慮當地海域流況，進而對該地區地形作出適當地形旋轉修正，修正後須加一個常數，其目的在於讓旋轉後的座標，回到原先地理位置的臺灣二度分帶 TM 座標系統即可。

該港池的海水交換率，在計算時雖分為兩個區域進行計算，其目的為計算海水交換率的方法是否有具有適用性。兩區海水水交換率雖有誤差，但其結果甚是接近，說明並不會隨著港池內區域劃分而有著很明顯的差異。

新竹漁港的海水交換率計算得 9.44%，最內區為 9.58%。與現場環境相比較，新竹漁港並無太嚴重的污染情形，證明潮差大的之處，港池內水體與外海水體交換情形良好，海水環境較為乾淨。

## 參考文獻

1. 吳旭朕，「臺灣西海岸潮汐變化特性分析」，國立成功大學，碩士論文，民國75年。
2. 郭金棟，海岸工程，第二版，台北，中國土木水利工程學會，民國1999年三月。
3. 詹森，王玉懷，邱朝聰，「台灣海峽短期預報系統之發展」，2001海洋數值模式研討會，1-1~1-27頁，台北、台灣，民國90年5月。
4. 曾哲茂，「港池污染擴散影響因子之探討」，國立中央大學，博士論文，民國90年。
5. 葉姍霽，「台灣海域高解析度潮汐模式之建立—敏感度試驗」，國立成功大學，碩士論文，民國91年。
6. 莊士巧，「高雄港流場與潮汐交換之數值模擬研究」，國立中山大學，碩士論文，民國91年。
7. 鄭柏欣，「大鵬灣瀉湖之潮汐交換作用」，國立中山大學，碩士論文，民國91年。
8. 黃宗群，「台灣海峽淺水分潮特性研究」，國立成功大學，碩士論文，民國92年。
9. 林意淳，「POM模式應用於河口水動力計算之研究」，國立成功大學，碩士論文，民國93年。
10. 國立高雄海洋科技大學，九十三年度教育部補助技專校院發展學校重點特色專案計畫—九十三年度計畫執行報告—海洋環境污染監測自動化系統建置，民國93年。
11. 張向安，「風場效應對於大鵬灣水體交換及滯留時間影響之研究」，國立中山大學，碩士論文，民國94年。

12. 李汴軍，范揚沼，董東璟，高家俊，「台灣海域潮汐空軍均勻特性之研究」，海洋工程學刊，第5卷第1期，67-83頁，2005年9月21日。
13. 蘇聖芳，「淡水河口潮流垂直結構與分層之效應」，國立中山大學，碩士論文，民國94年。
14. 蔡心堯，「SWAN模式於潮汐水位變化之研究」，國立成功大學，碩士論文，民國95年。
15. 李孟霖，「運用潮位模式進行水深測量之潮位修正研究」，國立中山大學，碩士論文，民國96年。
16. Kjerfveb, K. E. Magill, "Geomorphic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons", *Marine Geology*, Volume 88, Issues 3-4, Pages 187-199, August 1989.
17. Blumberg A F, Mellor G L., "A description of a three-dimensional coastal ocean circulation model.", *American Geophysical Union*, Volume 4, Pages 208, 1987.
18. Luketina D, "Simple tidal prism models revisited", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, Volume 46, Issue 1, Pages 77-84, January 1998.
19. Arai, "Lack of Excitation by Tsunamis of Normal Modes of Sea-surface Oscillations in Bays", *Pure and Applied Geophysics*, Volume 151, Number 1, Pages 161-181, January 1998.
20. Kashiwai, "The concept of tidal exchange and the tidal exchange ratio", *Journal of Oceanography*, Volume 40, Number 2, April 1984.
21. Imasato, Toshiyuki Awaji, Hideaki Kunishi, "Tidal exchange through Naruto, Akashi and Kitan Straits", *Journal of*

*Oceanography*, Volume 36, Number 3, Pages 151-162, August 1980.

22. Mazda, "Water exchange and material exchange through a strait due to tidal flow", *Journal of Oceanography*, Volume 40, Number 1, Pages 19-28, February 1984.

