

## 濱海地區拘限含水層之參數檢定

### Parameter Identification in Confined Costal Aquifers

國立臺灣大學土木工程研究所  
副教授

徐 丰 盛

Nien-Sheng Hsu

國立臺灣大學土木工程研究所  
碩士班研究生

李 家 彰

Chia-Cheng Lee

#### 摘 要

本研究之目的在於建立一套兩階段之參數檢定方法，以便藉由分析潮汐觀測水位與觀測井觀測水位來檢定濱海地區拘限含水層之流通係數  $T$  與蓄水係數  $S$ 。本研究令含水層沿海岸之邊界為  $y$  軸且為無限延展，而  $x$  軸則由  $0$  延展至無窮遠，因此含水層之流域為一半平面。本研究另外假設此一靠近海邊的拘限含水層為均質、等向且等厚。本研究中，沿海岸邊界之潮汐波動為正弦波，且起始水位為 Ferris(1951) 之解析解。

本研究於第一階段中首先在不抽水情況下，利用傅立葉頻譜分析之方法對潮汐觀測水位與觀測井觀測水位進行分析以求得潮汐效率和延遲時間，然後利用 Ferris(1951) 之解析解求得蓄水係數與流通係數比值  $S/T$  之猜測值，再代入第一階段之優選模式進行參數檢定工作，以找出參數比值之最佳值。

本研究於第二階段中則首先同時收集抽水試驗時之潮汐觀測水位與觀測井觀測水位，然後利用第一階段已求得之參數比值  $S/T$  之最佳值以及 Ferris(1951) 之解析解計算無抽水時潮汐對觀測井水位之影響部份並由觀測井之觀測水位中扣除以得到改正後之觀測井水位。本研究最後則將改正後之觀測井水位以及第一階段所求得參數比值之最佳值代入第二階段之優選模式以求得其個別參數  $T$  與  $S$  之最佳值。

本研究將所發展之方法應用於一虛擬之含水層並獲得收斂之結果，然後將所發展之方法應用於受噪音干擾之觀測資料以驗證其穩定性。

**關鍵詞：**拘限濱海含水層，參數檢定，優選模式。

#### ABSTRACT

Using field observations of tidal level and piezometric head at an observation well, this research develops a two-stage parameter estimation approach for estimating the transmissivity  $T$  and storage coefficient  $S$  of a confined aquifer in a costal area. While the

y-axis coincides with the coastline, the x-axis extends from zero to infinity and, therefore, the domain of the aquifer is assumed to be a half plane. Other assumptions include homogeneity, isotropy and constant thickness of the aquifer. The boundary condition is a sine curve and the initial head distribution is the analytical solution of Ferris (1951).

In the first stage, fluctuations of the tidal level and piezometric head at the observation well are collected simultaneously without the influence of pumping. Fourier spectra analysis is used to find the autocorrelation and cross-correlation of the two sets of observations as well as the phase vs. frequency function. The tidal efficiency and time delay can then be computed. The analytical solution of Ferris (1951) is then used to compute the ratio of  $T/S$ . An optimization model is used to obtain the optimal value of  $T/S$ .

In the second stage, the system is stressed with pumping and observations of the tidal level and piezometric head at the observation well are collected simultaneously. The effect of tide to the observation well without pumping can be computed by the analytical solution of Ferris (1951) based upon the identified ratio of  $T/S$  and is deducted from the piezometric head observations to obtain the updated piezometric head. This equation coupled with the method of image is then applied to the updated piezometric head to obtain the  $T$  and  $S$  values.

The developed approach is applied to a hypothetical aquifer. The results obtained show convergence of the approach. The robustness of the developed approach is also demonstrated by using noise-corrupted observations.

**Keywords:** Confined coastal aquifer, Parameter identification, Optimization model.

## 一、前言

台灣西南部濱海地區由於養殖戶與農民在未經適當管理情況下抽取地下水作為養殖與灌溉用水，因此常導致該地區發生地層下陷及海水入侵等問題；另由於工業區之設立又正方興未艾，其所排放之廢水若未經妥善管理，更將使地下水含水層遭受污染，因此如何對地下水資源進行適當的管理以減輕上述之問題，乃屬當前重要施政課題。在進行地下水資源之管理規劃時，通常須採用能評估地下水系統水流及污染物傳輸情況之工具，一般而言，此工具即為一能適當描述此系統之數學模式。然吾人無論是採用基於某些簡化條件所得到之解析解模式，亦或利用數值方法所建立之數值模式，均須事先準確地決定模式中之水文地質參數值，方能適當地描述此系統中之水流及污染物傳輸情況。是故如何利用觀測資料以決定濱海地區含水層之水文地質參數值，並

進而對地層下陷、海水入侵及地下水污染等問題之解決方案進行評估，以便採取最有效的應變及防治措施，實為當前重要工作之一。

由於濱海地區含水層之水位及水文地質參數之檢定工作均受到潮汐影響，本研究乃分別針對潮汐對地下水位之影響和濱海地區含水層水文地質參數之檢定兩部分進行文獻回顧。

### 1. 潮汐對地下水位之影響

Jacob(1940)認為在飽和含水層之水質保持固定時，潮汐效率  $E$  為含水層中地下水位與延遲時間為  $\Delta t$  之海水潮汐水位之比值並可利用下式表示之：

$$h(x,t) = E \cdot h(x=0,t-\Delta t) \dots\dots\dots (1)$$

上式中， $h(x,t)$  = 距海岸  $x$  處之地下水位； $h(x=0,t-\Delta t)$  = 延遲時間為  $\Delta t$  之海岸邊潮汐水位； $E$  = 潮汐效率； $\Delta t$  = 延遲時間。

Ferris (1951)針對一靠近海邊的拘限含水層之一維水流情況推導其水流控制方程式並求得解析解。Ferris (1951)假設此含水層為均質、等向且等厚；其海岸邊界為一直線且為無限延展；含水層與海岸線為垂直相交；含水層邊界之潮汐波動為正弦波以及含水層之起始水位為零。Ferris (1951)根據上述條件推導地下水水位之解析解如下：

$$h(x,t) = h_0 \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{t_0} - x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right) \quad (2)$$

上式中， $x$  = 觀測井與海岸線之垂直距離(m)； $t$  = 時間(min)； $h$  = 含水層中水位受潮汐影響的改變量(m)； $S$  = 蓄水係數； $T$  = 流通係數 ( $\text{m}^2/\text{min}$ )； $t_0$  = 潮汐週期(min)； $h_0$  = 潮汐振幅(m)。

比較(1)式與(2)式可知，在 Ferris(1951)所假設之條件下，潮汐效率  $E$  與延遲時間  $\Delta t$  可分別表示如下：

$$E = \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right) \quad \dots\dots\dots(3)$$

$$\Delta t = x \sqrt{\frac{t_0 S}{4\pi T}} \quad \dots\dots\dots(4)$$

劉振宇與賴成銑(1994)分析海水潮汐以及觀測井中水位變化之觀測資料時，建議以簡單之試誤法求出潮汐效率及延遲時間。其中，潮汐效率可以藉由觀測井中水位之波峰與波谷振幅差之比求得，延遲時間則可由觀測井中水位波峰與海水潮汐波峰之時間相位差求得。劉振宇與賴成銑(1994)並且建議利用潮汐效率及延遲時間以計算出抽水試驗時地下水位受潮汐影響之部份並加以扣除，即可求得由於抽水所造成之水位洩降與時間之關係。陳智隆(1996)運用統計學之交叉對比法(Cross-correlation method)以推求潮汐效率和延遲時間，接著在抽水情況下利用潮汐效率及延遲時間計算出非拘限含水層中地下水位受潮汐影響之部份並加以扣除。

## 2. 濱海地區含水層水文地質參數之檢定

Erskine(1991)計算觀測井中地下水位觀測值

之標準差和潮汐水位觀測值之標準差以求取潮汐效率，然後以最小二乘法優選出延遲時間。

Erskine(1991)利用此方法分別計算距海邊不等距離觀測井之潮汐效率與延遲時間，然後分別以潮汐效率的對數為縱座標，距離為橫座標作圖以及延遲時間為縱座標，距離為橫座標作圖，再將二者透過回歸分析分別求得近似直線及其斜率，前者之斜率即為(3)式中之  $\sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}$ ，而後者之斜率則

為(4)式中之  $\sqrt{\frac{t_0 S}{4\pi T}}$ ，然後利用二個斜率值分別求

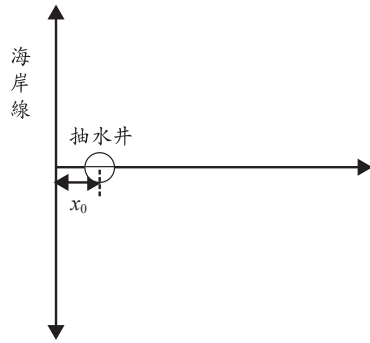
得非拘限含水層之參數比值  $\frac{S_y}{T}$ ，接著再利用

Sir Alexander Gibb 和 Partners(1988)進行現地抽水試驗所得到之含水層水力傳導係數  $K$  以及已知含水層飽和厚度分別求得比出水量  $S_y$ ，然而其結果卻與 Sir Alexander Gibb 和 Partners(1988)所得到之結果相差甚大，Erskine(1991)乃指出利用 Ferris(1951)之解析解來求得非拘限含水層之參數  $S_y$  並不適用。柯秀玲(1998)利用陳智隆(1996)的交叉對比法，求得潮汐效率與延遲時間，然後用以計算抽水試驗時非拘限含水層地下水位受潮汐影響的部分並加以扣除，再利用以卡門濾波為基礎之 PIPEDREAM 模式來檢定參數。

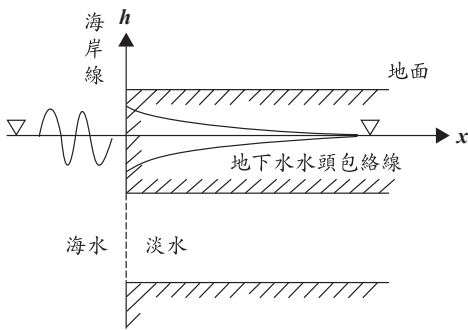
本研究檢視前人之研究成果可知：

- (1) 前人的研究中，包括 Erskine(1991)、劉振宇與賴成銑(1994)、陳智隆(1996)等人，均考慮在時間域找出潮汐效率和延遲時間，因此僅能找到整數倍的  $\Delta t$  為延遲時間。
- (2) Erskine(1991)指出利用潮汐水位及非拘限含水層地下水位之觀測資料求得潮汐效率與延遲時間，再透過 Ferris(1951)解析解之分析後僅可求得含水層之水文地質參數之比值  $S_y / T$ ，然若要求其個別參數值，則必須再透過抽水試驗方可求得。
- (3) 前人之研究中，均未應用優選方法求得參數之比值  $S / T$  以及其個別參數  $T$  與  $S$ 。

本研究之目的，即在發展一套兩階段之優選方法，以供檢定濱海地區拘限含水層之流通係數 ( $T$ )與蓄水係數( $S$ )之用。研究中，特別採用傅立



(a)上視圖



(b)沿x軸之剖面圖

圖 1 濱海地區拘限含水層示意圖

葉頻譜分析之方法於頻率域找出潮汐效率和延遲時間。

## 二、方法建立

如圖 1(a)所示，本研究令含水層沿海岸之邊界為  $y$  軸且為無限延展，而  $x$  軸則由 0 延展至無窮遠，因此含水層之流域為一半平面，另假設抽水井位於  $(x_0, 0)$  處。又如圖 1(b)所示，本研究假設含水層與海岸線為垂直接觸，同時不考慮淡水與海水的比重差異，即假設海水與淡水的交界面為一垂直界面。圖 1(b)中同時顯示含水層之厚度為相等，沿著邊界之潮汐波動為正弦波，且起始水位為 Ferris (1951) 之解析解。本研究另外假設此一靠近海邊的拘限含水層為一均質且等向之含水層。

根據上述假設條件且在抽水情況下，二維濱海拘限含水層之控制方程式、初始條件及邊界條件可表示如下：

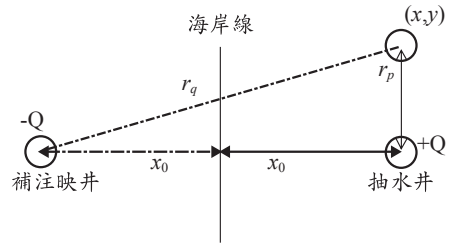


圖 2 抽水井與補注映井相對位置圖

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = \frac{S}{T} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{Q\delta(x-x_0, y)}{T} \dots\dots\dots (5)$$

$$h(x, y, 0) = h_0 \exp(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}) \sin(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}),$$

$$-\infty < x < \infty, \quad -\infty < y < \infty \dots\dots\dots (6)$$

$$h(0, y, t) = h_0 \sin(\frac{2\pi t}{t_0}), \quad -\infty < y < \infty, \quad t \geq 0 \dots\dots\dots (7)$$

$$h(\infty, y, t) = 0, \quad -\infty < y < \infty, \quad t \geq 0 \dots\dots\dots (8)$$

$$h(x, \pm\infty, t) = h_0 \exp(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}) \sin(\frac{2\pi t}{t_0} - x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}),$$

$$0 \leq x < \infty, \quad t \geq 0 \dots\dots\dots (9)$$

上諸式中， $Q$  = 單位時間抽水量 ( $m^3/min$ )； $x_0$  = 抽水井距海岸線之距離 ( $m$ )； $\delta$  = delta 函數。

由(5)至(9)式可知，拘限含水層地下水流控制方程式為一線性方程式，故可將其分解為地下水位單受海水潮汐影響之變化量  $h_t(x, y, t)$  之控制方程式與單受抽水影響之變化量  $h_w(x, y, t)$  之控制方程式，則原方程式之解  $h(x, y, t)$  可經由單受潮汐影響之地下水位  $h_t(x, y, t)$  與單受抽水影響之地下水位  $h_w(x, y, t)$  疊加而得，即：

$$h(x, y, t) = h_t(x, y, t) + h_w(x, y, t) \dots\dots\dots (10)$$

假設抽水井與補注映井之相關位置可表示如圖 2，則  $h_w(x, y, t)$  可利用映井法及 Theis 公式求得如下：

$$h_w(x, y, t) = \frac{Q}{4\pi T} [W(u^q) - W(u^p)] \dots\dots\dots (11)$$

$$W(u^q) = \int_{x=u^q}^{\infty} \left(\frac{e^{-x}}{x}\right) dx = -0.5772 - \ln u^q + \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j-1} \frac{1}{j \cdot j!} (u^q)^j$$

$$\dots\dots\dots (12)$$

$$W(u^p) = \int_{x=u^p}^{\infty} \left(\frac{e^{-x}}{x}\right) dx = -0.5772 - \ln u^p + \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j-1} \frac{1}{j \cdot j!} (u^p)^j \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$u^q = \frac{r_q^2 S}{4tT} \quad \dots\dots\dots (14)$$

$$u^p = \frac{r_p^2 S}{4tT} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$r_q^2 = (x + x_0)^2 + y^2 \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$r_p^2 = (x - x_0)^2 + y^2 \quad \dots\dots\dots (17)$$

上諸式中， $r_p$  = 自任一點(x,y)至抽水井之距離； $r_q$  = 自任一點(x,y)至補注映井之距離； $W(u_p)$ 、 $W(u_q)$  = 水井函數(Well function)。又  $h_t(x, y, t)$  亦可類比 Ferris (1951) 一維水流之解析解而表示如下：

$$h_t(x, y, t) = h_0 \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{t_0} - x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right) \dots\dots (18)$$

將(11)與(18)式代入式即可得  $h(x, y, t)$  如下：

$$h(x, y, t) = \frac{Q}{4\pi T} [W(u^q) - W(u^p)] + h_0 \exp\left(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right) \sin\left(\frac{2\pi t}{t_0} - x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}\right) \dots\dots\dots (19)$$

本研究所提出之兩個階段參數檢定方法，其流程可繪如圖 3 所示，茲將流程之步驟詳列如下：

**第一階段：**

- (1) 同時觀測未抽水前之潮汐水位資料與觀測井水位資料。
- (2) 利用傅立葉頻譜分析之方法對未抽水前之潮汐水位觀測資料與觀測井水位觀測資料進行分析以求得潮汐效率與延遲時間。
- (3) 將潮汐效率與延遲時間代入 Ferris(1951)之解析解以求得參數比值並將其作為參數檢定時之初始猜測值。
- (4) 將參數比值之初始猜測值代入優選模式，即可檢定出參數比值之最佳值。

**第二階段：**

- (1) 同時觀測抽水試驗時之潮汐水位與觀測井

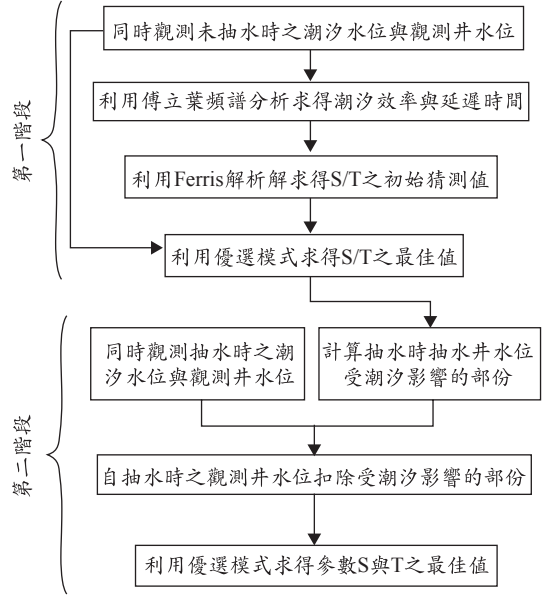


圖 3 濱海地區拘限含水層參數檢定流程圖

水位。

- (2) 利用第一階段所求得之參數比值以及 Ferris(1951)之解析解計算觀測井水位受潮汐影響之部份。
- (3) 由原觀測井水位中扣除受潮汐影響之部份以求得未受潮汐影響之改正地下水位。
- (4) 將改正後之地下水位以及第一階段所求得之參數比值代入優選模式以求得個別參數  $T$  與  $S$  之最佳值。

前述兩階段參數檢定方法之流程中，最重要之步驟包括利用傅立葉頻譜分析求取參數比值之估計值、第一階段檢定參數檢定優選模式公式化、第二階段參數檢定優選模式公式化以及優選模式之求解等，茲依序敘述如後。

### 三、利用傅立葉頻譜分析求取參數比值之估計值

檢視(1)式，若將海岸邊潮汐水位  $h(x=0, t)$  視為一定常性隨機變數  $x(t)$ ，距海岸  $x$  處之地下水位  $h(x, t)$  視為通過系統後之反應變數  $y(t)$ ，則可得下式：

$$y(t) = E \cdot x(t - \Delta t) \quad \dots\dots\dots (20)$$

上式中， $E$  = 衰減因數，即本文中之潮汐效率； $\Delta t$  = 延遲時間，二者均為常數，則可利用傅立葉頻譜分析，在頻率域上對海潮水位與觀測井水位之觀測資料進行分析以求取潮汐效率和延遲時間，然後可利用(3)和(4)式分別計算拘限含水層之參數比值( $S/T$ )作為第一階段參數檢定之初始猜測值，以有效率求得參數比值之最佳值。

徐年盛等(2003)利用傅立葉頻譜分析並經推導後，將潮汐觀測水位料的自相關函數(Autocorrelation function)以及潮汐觀測水位和觀測井觀測水位間的互相關函數(Cross-correlation function)轉換成頻譜密度函數(Spectra density function)，然後可應用下列公式求得潮汐效率和延遲時間，即：

$$E = \frac{\sum |S_{xy}(f)|}{\sum |S_{xx}(f)|} \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\Delta t = \frac{\theta_{xy}(f)}{2\pi f} \quad \dots\dots\dots (22)$$

上式中， $S_{xx}(f)$  = 潮汐觀測水位的自相關函數經傅立葉轉換後之頻譜密度函數； $S_{xy}(f)$  = 潮汐觀測水位和觀測井觀測水位間的互相關函數經傅立葉轉換後之頻譜密度函數； $\theta_{xy}(f)$  = 相位； $f$  = 頻率。

#### 四、參數檢定優選模式之公式化與求解

##### 1. 第一階段參數檢定優選模式公式化

第一階段乃在未抽水情況下，利用觀測井之觀測資料建立優選模式以檢定參數比值( $S/T$ )，其優選模式可表示如下：

$$Min = \sum_{i=1}^m (h_i^{obs} - h^{com}(x, y, t_i))^2 \quad \dots\dots\dots (23)$$

s.t.

$$h^{com}(x, y, t_i) = h_0 \exp(-x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}) \sin(\frac{2\pi t_i}{t_0} - x \sqrt{\frac{\pi S}{t_0 T}}) \quad \dots\dots\dots (24)$$

上式中， $m$  = 觀測井之觀測水位資料總點數； $h_i^{obs} = t_i$  時間之觀測水位。

##### 2. 第二階段參數檢定優選模式公式化

第二階段雖然欲檢定個別參數值  $T$  與  $S$ ，然因  $S/T$  之值已經得到，故本研究之方法只須先檢定參數  $T$ ，而另一參數  $S$  即可透過比值關係求得。故第二階段參數檢定之優選模式可表示如下：

$$Min J = \sum_{i=1}^m (h_i^{mod} - h^{com}(x, y, t_i))^2 \quad \dots\dots\dots (25)$$

$$s.t. \quad h^{com}(x, y, t_i) = \frac{Q}{4\pi T} [W(u_i^q) - W(u_i^p)] \quad (26)$$

$$W(u_i^q) = \int_{x=u_i^q}^{\infty} (\frac{e^{-x}}{x}) dx = -0.5772 - \ln u_i^q + \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j-1} \frac{1}{j \cdot j!} (u_i^q)^j \quad \dots\dots\dots (27)$$

$$W(u_i^p) = \int_{x=u_i^p}^{\infty} (\frac{e^{-x}}{x}) dx = -0.5772 - \ln u_i^p + \sum_{j=1}^{\infty} (-1)^{j-1} \frac{1}{j \cdot j!} (u_i^p)^j \quad \dots\dots\dots (28)$$

$$u_i^q = \frac{r_q^2 S}{4t_i T} \quad \dots\dots\dots (29)$$

$$u_i^p = \frac{r_p^2 S}{4t_i T} \quad \dots\dots\dots (30)$$

$$r_q^2 = (x + x_0)^2 + y^2 \quad \dots\dots\dots (31)$$

$$r_p^2 = (x - x_0)^2 + y^2 \quad \dots\dots\dots (32)$$

上式中， $h_i^{mod} = t_i$  時間抽水情況下之觀測水位扣除不抽水情況下單受潮汐影響之觀測水位後所得之調整水位。

##### 3. 參數檢定優選模式之求解

本研究參數檢定優選模式之目標函數為觀測水位與計算水位差之平方和為最小，限制式為計算地下水水位控制方程式，因此為一非線性之優選問題，本研究乃採 BFGS 法配合影響係數法求得參數檢定之搜尋方向，並利用近似二次曲線之原理求取移動步幅來計算每次疊代時參數之修正量，直至目標函數達最小值為止。

#### 五、模式應用與結果

本研究利用一虛擬含水層地下水系統以供驗證所建立參數檢定方法之可用性。如圖 4 所

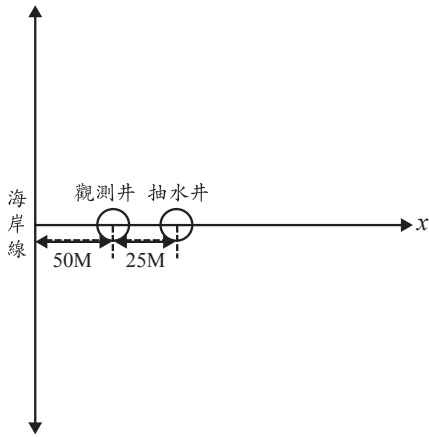


圖 4 虛擬含水層抽水井與觀測井相關位置圖

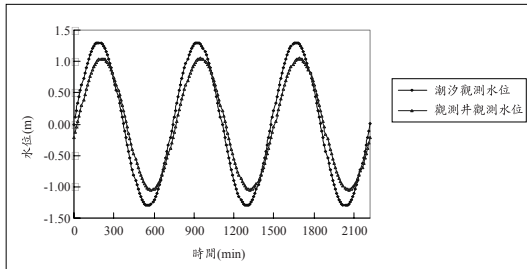


圖 5 算例一未抽水情況下潮汐水位與觀測井水位觀測資料變化圖

示，假設抽水井與觀測井均位於  $x$  軸上，且分別距海岸邊 75 m 與 50 m 處。已知含水層參數之範圍分別為  $0.1 \text{ m}^2/\text{min} \leq T \leq 0.35 \text{ m}^2/\text{min}$  與  $0.0003 \leq S \leq 0.0015$ ，且知其真值分別為  $T = 0.2 \text{ m}^2/\text{min}$  與  $S = 0.00085$ ，參數之真值僅被用於產生抽水井之觀測水位，並作為驗證參數檢定時能否收斂至真值之用。其它已知之資料尚包括潮汐之振幅  $h_0 = 1.3 \text{ m}$ ，潮汐之周期  $t_0 = 12 \text{ 小時 } 20 \text{ 分鐘}$ ，抽水量  $Q = 1.0 \text{ m}^3/\text{min}$ 。

### 1. 算例一：觀測水位未受噪音干擾

圖 5 為未抽水時同時間觀測之海潮水位與觀測井水位，圖 6 則為抽水時同時間觀測之觀測井水位。本研究首先藉由傅立葉頻譜分析將圖 5 之觀測資料進行轉換並繪出振幅與頻率及相位與頻率之關係圖，如圖 7 及圖 8 所示，然後可利用 (21) 式求得潮汐效率  $E = 0.809$ ，又由圖 8 可看

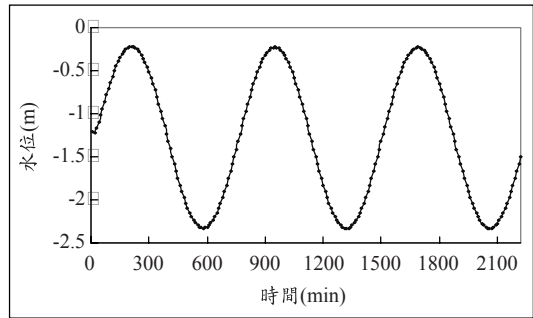


圖 6 算例一抽水試驗下觀測井水位觀測資料之變化圖

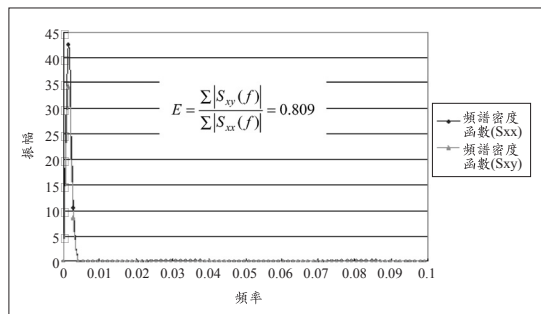


圖 7 算例一未抽水情況下之振幅與頻率關係圖

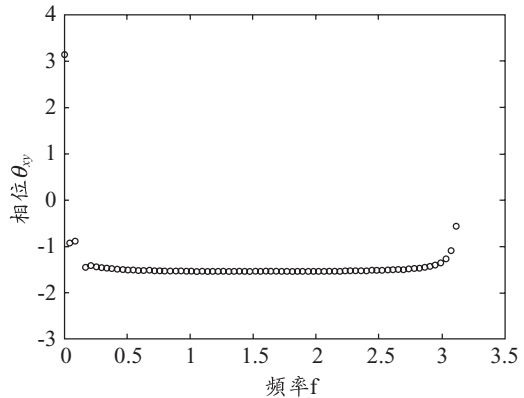


圖 8 算例一未抽水情況下之相位與頻率關係圖

出  $S_{xy}$  與  $S_{xx}$  之振幅只有前四點有值，其他均為 0，本研究乃取前四點予以放大並繪如圖 9 所示，然後經由 (22) 式之回歸分析得到直線方程式之斜率為 5.314，因觀測資料之時間間距為 5 min，將此斜率乘上時間間距，即可求得  $\Delta t = 25.67$  分鐘。

本研究然後將  $E = 0.809$  及  $\Delta t = 25.67$  分鐘分別代入 (3) 與 (4) 式中，可分別求出  $S/T$  之比值為

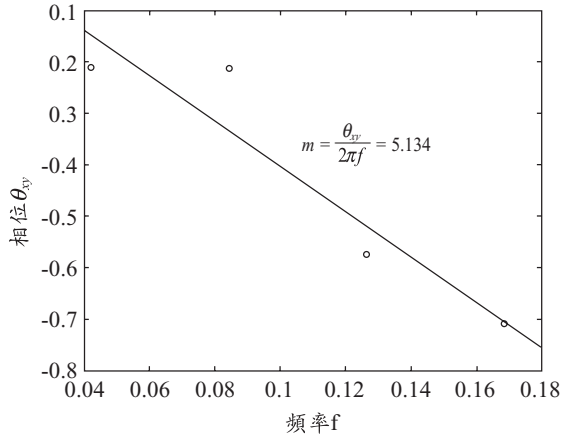


圖 9 算例一未抽水情況下之延遲時間求解圖

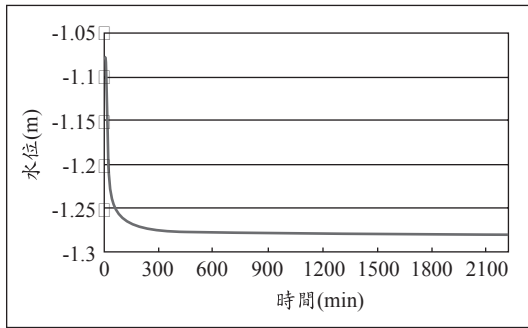


圖 10 算例一單受抽水影響之觀測井水位圖

0.004258 min/m<sup>2</sup> 及 0.004476 min/m<sup>2</sup>。本研究最後分別將 0.004258 min/m<sup>2</sup> 與 0.004476 min/m<sup>2</sup> 作為參數檢定之初始值並代入第一階段之優選模式，結果顯示均能得  $S/T$  比值之真實參數值 0.00425 min/m<sup>2</sup>。

本研究第二階段之參數檢定只採用單受抽水情況下觀測井觀測資料，故乃將圖 6 之抽水情況下觀測井觀測水位扣除不抽水情況下單受潮汐影響之觀測井計算水位後，即可得單受抽水影響之觀測井水位如圖 10 表示，將此觀測井水位代入第二階段參數檢定優選模式，並選擇任何滿足合理範圍之參數  $T$  做為起始值，則均可得到參數  $T = 0.2 \text{ m}^2/\text{min}$ ，則透過第一階段所求得之參數比值即可求得參數  $S = 0.00085$ 。

## 2. 算例二：觀測水位受噪音干擾

圖 11 為未抽水時同時觀測之海潮水位與

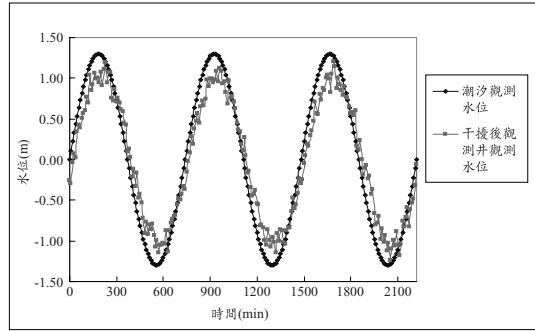


圖 11 算例二未抽水時受白噪音干擾之潮汐與觀測井水位變化圖

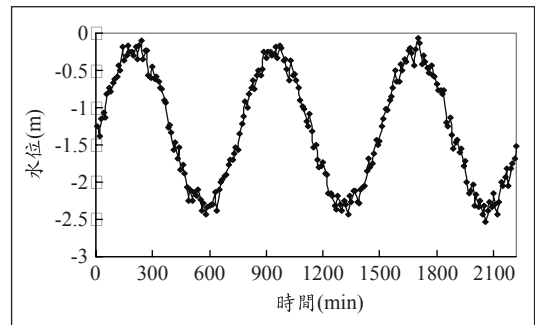


圖 12 算例二抽水試驗下受白噪音干擾之觀測井水位變化圖

觀測井水位，其中，觀測井水位受到平均數為 0 及變異數為 1 之白噪音的干擾，圖 12 則為抽水時受到同樣白噪音干擾之觀測井水位。本研究首先藉由傅立葉頻譜分析求得潮汐效率  $E = 0.07973$ ， $\Delta t = 24.5$  分鐘。

本研究然後將  $E = 0.07973$  及  $\Delta t = 24.5$  分鐘分別代入(3)與(4)式中，可分別求出  $S/T$  之比值為 0.00484 min/m<sup>2</sup> 及 0.00477 min/m<sup>2</sup>。本研究最後分別將 0.00484 min/m<sup>2</sup> 與 0.00477 min/m<sup>2</sup> 作為參數檢定之初始值並代入第一階段之優選模式，結果顯示均能得  $S/T$  比值之參數值 0.00416 min/m<sup>2</sup>。

本研究第二階段之參數檢定只採用單受抽水情況下觀測井觀測資料，故乃將抽水情況下觀測井觀測水位扣除不抽水情況下單受潮汐影響之觀測井計算水位後，即可得單受抽水影響之觀測井水位，將此觀測井水位代入第二階段參數檢定優選模式，並選擇任何滿足合理範圍之參數  $T$



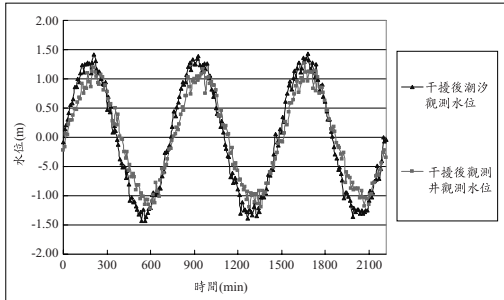


圖 13 算例三未抽水時受白噪音干擾之潮汐與觀測井水位變化圖

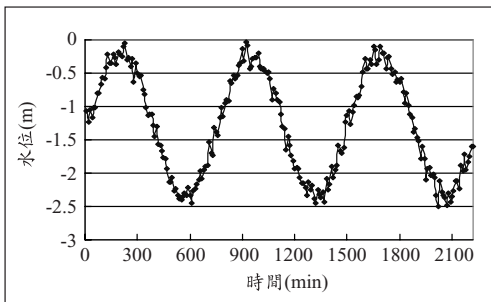


圖 14 算例三抽水試驗下受白噪音干擾之觀測井水位變化圖

做為起始值，則均可得到參數  $T = 0.199 \text{ m}^2/\text{min}$ ，則透過第一階段所求得之參數比值即可求得參數  $S = 0.000827$ 。

### 3. 算例三：觀測水位受噪音干擾

圖 13 為未抽水時同時間觀測之海潮水位與觀測井水位，且兩者均受到平均數為 0 及變異數為 0.1 之白噪音的干擾，圖 14 則為抽水時受到同樣白噪音干擾之觀測井水位。本研究首先藉由傅立葉頻譜分析求得潮汐效率  $E = 0.0805$ ， $\Delta t = 24.1$  分鐘。

本研究然後將  $E = 0.0805$  及  $\Delta t = 24.1$  分鐘分別代入(3)與(4)式中，可分別求出  $S/T$  之比值為  $0.00444 \text{ min/m}^2$  及  $0.00395 \text{ min/m}^2$ 。本研究最後分別將  $0.00444 \text{ min/m}^2$  與  $0.00395 \text{ min/m}^2$  作為參數檢定之初始值並代入第一階段之優選模式，結果顯示均能得  $S/T$  比值之參數值  $0.0039 \text{ min/m}^2$ 。

本研究第二階段之參數檢定只採用單受抽水情況下觀測井觀測資料，故乃將抽水情況下觀

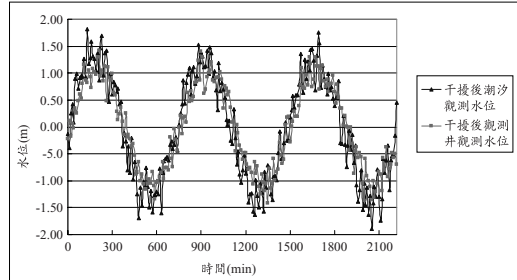


圖 15 算例四未抽水時受白噪音干擾之潮汐與觀測井水位變化圖

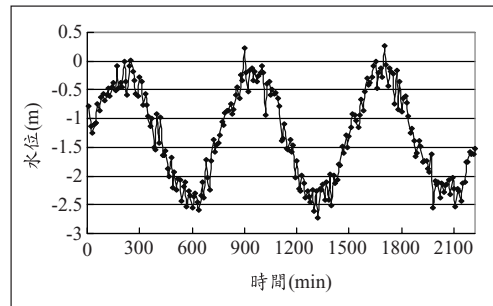


圖 16 算例四抽水試驗下受白噪音干擾之觀測井水位變化圖

測井觀測水位扣除不抽水情況下單受潮汐影響之觀測井計算水位後，即可得單受抽水影響之觀測井水位，將此觀測井水位代入第二階段參數檢定優選模式，並選擇任何滿足合理範圍之參數  $T$  做為起始值，則均可得到參數  $T = 0.199 \text{ m}^2/\text{min}$ ，則透過第一階段所求得之參數比值即可求得參數  $S = 0.000776$ 。

### 4. 算例四：觀測水位受噪音干擾

本算例考慮未抽水時同時間觀測之海潮水位與觀測井水位均受到平均數為 0 及變異數為 0.2 之白噪音的干擾，如圖 15 所示，圖 16 則為抽水時受到同樣白噪音干擾之觀測井水位。本研究首先藉由傅立葉頻譜分析求得潮汐效率  $E = 0.0813$ ， $\Delta t = 23.2$  分鐘。

本研究然後將  $E = 0.0813$  及  $\Delta t = 23.2$  分鐘分別代入(3)與(4)式中，可分別求出  $S/T$  之比值為  $0.00404 \text{ min/m}^2$  及  $0.00366 \text{ min/m}^2$ 。本研究最後分別將  $0.00404 \text{ min/m}^2$  與  $0.00366 \text{ min/m}^2$  作為參數

表 1 各範例之參數檢定結果

|     | $T$ (m <sup>2</sup> /min) | $S$      |
|-----|---------------------------|----------|
| 範例一 | 0.2                       | 0.00085  |
| 範例二 | 0.199                     | 0.000827 |
| 範例三 | 0.199                     | 0.000776 |
| 範例四 | 0.201                     | 0.000676 |

檢定之初始值並代入第一階段之優選模式，結果顯示均能得  $S/T$  比值之參數值  $0.00337 \text{ min/m}^2$ 。

本研究第二階段之參數檢定只採用單受抽水情況下觀測井觀測資料，故乃將抽水情況下觀測井觀測水位扣除不抽水情況下單受潮汐影響之觀測井計算水位後，即可得單受抽水影響之觀測井水位，將此觀測井水位代入第二階段參數檢定優選模式，並選擇任何滿足合理範圍之參數  $T$  做為起始值，則均可得到參數  $T = 0.201 \text{ m}^2/\text{min}$ ，則透過第一階段所求得之參數比值即可求得參數  $S = 0.000676$ 。

本研究將上述算例之結果加以整理，並列如表 1 所示。由表 1 可知，在無噪音干擾情況下，可利用潮汐觀測資料與觀測井觀測資料檢定出拘限含水層參數  $S$  之真值；而噪音干擾越大，則檢定之結果離真值越遠。

## 六、結論與建議

本研究已經建立一套兩階段之參數檢定方法，可藉由分析潮汐觀測水位與觀測井觀測水位來檢定濱海地區拘限含水層之流通係數  $T$  與蓄水係數  $S$ 。本研究在兩階段之參數檢定過程中分別利用優選方法求得參數比值  $S/T$  以及各別參數之最佳值。第一階段優選模式之起始值乃利用傅立葉頻譜分析之方法於頻率域求出潮汐效率和延遲時間，然後求得參數比值之猜測值；第二階段優選模式之起始值則須由水文地質鑽探資料求得參數之範圍。

本研究將所建立之參數檢定方法應用於一虛擬含水層，並可獲致下列結論與建議：

1. 本研究發現在第一階段未抽水且無噪音干擾情況下，利用潮汐觀測資料與觀測井觀測資料，可以檢定出拘限含水層參數比值  $S/T$  之真值；而噪音干擾越大，則檢定之結果離真值越遠。
2. 本研究於第二階段抽水試驗檢定含水層個別參數時，只須檢定一個參數  $T$  即可，另一參數  $S$  可透過比值關係求得。計算結果顯示在無噪音干擾情況下，可利用潮汐觀測資料與觀測井觀測資料檢定出拘限含水層參數  $T$  與  $S$  之真值；而噪音干擾越大，則檢定之結果離真值越遠。
3. 本研究根據研究之結論提出下列建議，包括 (1)建議將來在利用實際資料進行參數檢定時，應先將觀測資料受擾動之噪音濾除，以降低參數檢定之結果誤差以及(2)建議將來利用實際資料以驗證此方法之適用性。

## 參考文獻

- 徐年盛，李家彰，吳呈懋，2003，"應用傅立葉頻譜分析推求潮汐效率與延遲時間之研究"，中國農業工程研討會論文集。
- 柯秀玲，1998，"濱海地區地下水水文地質參數即時鑑定"，國立成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文。
- 陳智隆，1996，"潮汐現象對濱海含水層地下水流場影響之研究"，國立中央大學應用地質研究所碩士論文。
- 劉振宇，賴成銑，1994，"濱海地區抽水試驗現場分析法"，中國農業工程學報，39(1)，p. 94-100。
- Erskine, A. D., 1991. The Effect of Tidal Fluctuation on a Coastal Aquifer in the UK, *Ground Water*, vol. 29, no. 4, p. 556-562.
- Ferris, J. G., 1951. Cyclic Fluctuations of Water Level as a Basis for Determining Aquifer

Transmissibility, *International Assoc. of  
Scientific Hydrology*, Publ. 33, p. 148-155.  
Sir Alexander Gribb & Partners, 1988. *Sizewell 'B'  
Power Station, Site Dewatering*, Final Report to  
C.E.G.B.

收稿日期：民國 93 年 11 月 24 日

修正日期：民國 93 年 12 月 20 日

接受日期：民國 93 年 12 月 30 日