

# 半感潮性濕地水文系統與滯洪功能可行性研究 — 以大鵬灣鵬村濕地為例

## Research on Semi-tidal Wetland Hydrology System and its Effectiveness of Flood Detention: A Case Study of Dapeng Bay Pengchen Constructed Wetland

國立屏東科技大學  
土木工程系  
教授

丁 澈 士\*

Cheh-Shyh Ting

國立屏東科技大學  
土木工程系  
碩士

李 易 蒼

I-Tsang Li

國立屏東科技大學  
水資源教育及研究中心  
專任研究助理

蔡 欣 恬

Hsin-Tien Tsai

國立屏東科技大學  
土木工程系  
碩士班研究生

簡 銘 成

Ming-Cheng Chien

國立屏東科技大學  
土木工程系  
碩士班研究生

簡 新 洋

Hsin-Yang Chien

國立屏東科技大學  
土木工程系  
碩士班研究生

張 祥 仁

Hsiang-Jen Chang

### 摘 要

濕地系統包含生態、環境、水利、土木等多項學科，是為一項複雜科學，在實際應用上除能改善水體環境污染外，亦能與觀光、生態教育、學術研究相互結合，並兼具防洪、防災等發展多功能開發利用。濕地水文系統要素包括：降水量、蒸發、地表逕流和地下水入滲等，各項因素變化均會影響濕地生態環境，尤其對於人工濕地開發更須謹慎的調查與研究。本文探討大鵬灣鵬村人工濕地的特性，包括該地區地下水、入滲、潮汐、地表水之影響。利用水收支平衡方程式瞭解其水文狀況，進而探討河川集水區下游人工濕地兼具滯洪效益評估，對半感潮性濕地未來開發及管理上提出建議。

研究顯示濕地目前的主要水源為降雨及週邊漁塭養殖場滲流水，主要損失為蒸

\*通訊作者，國立屏東科技大學土木工程系教授，91201 屏東縣內埔鄉學府路 1 號，csting@mail.npust.edu.tw

發量。土壤屬低滲透性土壤；研究期間自該濕地抽乾池水重新整地，研究區濕地平均池深約 2.5 m，總儲水量約為 184,500 m<sup>3</sup>。若排水渠道以 5 年重現期為防洪保護標準，其產生尖峰流量 43.79 cms，洪峰總逕流量為 302,163 m<sup>3</sup>，顯示研究區目前滯洪功能有限，若再考慮潮汐感潮之影響，渠道水流停滯約 18 分鐘，漲潮時對外排水不良情況下，將無法滿足水土保持技術規範規定滯洪能力。

**關鍵詞：**半感潮性濕地，水文收支，滯洪型濕地。

## ABSTRACT

This article focuses on the characteristics of the constructed wetland at Pengchen Bay, including the effects of ground water, infiltration, tides, and surface water. Water balance method is used to determine the hydrologic conditions, in order to further study and evaluate the effectiveness of flood detention in the catchment area of downriver constructed wetland. Suggestions are provided concerning the future development and management of the semi-tidal wetland. The study shows that the main water contained in the wetland of low permeable soil results from rain and the water saturation caused by nearby fish ponds, while vaporization is the main cause of water loss. During the period of research, the water of the wetland was first pumped out and then it was reconstructed. Currently the wetland area under research is 2.5 m in depth, with 184,500 m<sup>3</sup> of water-storage capability. To analysis the 5-year return period as the standard of flood prevention, the drainage channels can be handled 43.79 cms of peak discharge, and the total flood peak runoff is 30,2163 m<sup>3</sup>, which means that currently this area possesses limited ability in dealing with flood detention. To considerate the effects from tides, the water current on drainage channels will be under 18 minutes of detention. When the tide rises, the ineffective water drainage will not reach the flood detention standard in the Soil and Water Conservation Technical Standards.

**Keywords:** Wetland, Water budget, Evapotranspiration.

## 一、緒 論

濕地系統包含生態、環境、水利、土木等多項學科，是為一項複雜科學，在實際應用上除能改善水體環境污染外，亦能與觀光、生態教育、學術研究相互結合，並兼具防洪、防災等發展多功能開發利用。本研究係以屏東縣東港鎮、林邊鄉交界之大鵬灣國家風景區東南側鵬村農場濕地，藉由研究半感潮性濕地之水文特性，高地下水水位之人工濕地，探討地下水—潮汐—地面水交互作用及濱海地區開發人工濕地兼具防洪功能之可行性研究，以為日後半感潮帶人工濕地開發及管理之參考。

## 二、文獻回顧

### 2.1 濕地定義

根據 1971 年拉姆薩國際濕地公約第一條，濕地的定義為：「係指沼澤、泥沼地、泥煤地或水域等區域，不論其為天然或人為、永久或暫時、死水或活流、淡水或海水、或兩者混合、以及海水淹沒地區，其水深在低潮時不超過六公尺者。」

而目前國內依照行政院農委會將濕地定義為：

發生季節性氾濫期間通常是在該土地能被供為農業用途之時間。

表 1 濕地水文週期定義(Cowardin, 1979)

A. 感潮性濕地	土表層下受潮	長期為潮水所淹沒
	不定時露地	時常因潮汐而露出地表頻率少
	常規性淹滯	每天至少淹沒或露地一次
	不定時淹水	常見的淹水頻率
B. 非感潮性濕地	長期淹水	全年都淹沒於水中
	間歇性露地	全年多淹沒於水中，除極度乾早的年份
	半長期淹水	每年大部分在生長季才淹水
	季節性淹水	在生長季時會淹水一段時間，但過生長季後就不再具有地表水層
	飽和狀態	生長季時基層會維持飽和狀態一段時間，但靜止狀態的水很少
	短暫性淹水	生長季有明確的淹水時期，但水位比地表低
	間歇性淹水	地面上即使有地面水存在，通常地表也會露出，且此地面水的變化週期並無一定的季節類型

在陸生及水生體系間過渡之土地，其水位通常位於或近於地面或是該地積有淺水；必須具備有次列三種性質之一種：

- (1) 該地至少是週期性的，以水生植物為優勢。
- (2) 基質主要是無法排水之積水土壤。
- (3) 基質非為土壤，而在每年生長季之某些期間內，為水所飽和或基有淺水(自然保育通訊，1987)。

## 2.2 濕地分類

濕地以誕生過程可分為天然濕地及人工濕地，若依據分佈地點，可分為海濱濕地及內陸濕地，海濱濕地係為分佈在沿海一帶，受海洋潮汐影響而存在；內陸濕地係為分佈內陸河川、湖泊、高山、平原等之濕地體系。濕地水文週期(Hydroperiod)為濕地區塊中水位在季節上變化的情形，也是各類型濕地的水文特徵，可用以定義濕地表面及地表下水位的漲落。水文週期表示所有入流水及出流水的整合，但會受到地貌的物理性及附近其他水體的影響，定性描述濕地水文期的名稱甚多，(Shaw and Frendine,1956)之定義如表 1 所示：

## 2.3 濕地水文

1. 影響濕地水文直接因素(Gosslink and Turner, 1978)：

- (1) 水文輸入：降雨、地表水入流、地下水滲入、潮汐。

(2) 水文輸出：蒸發散、地表水出流、地下水滲出、潮汐。

2. 影響濕地水文間接因素：

- (1) 土壤基質物理、化學性質：厭氧、有機營養鹽、微生物。
- (2) 生物生態系統：動植物、魚類、鳥類。

## 2.4 滯洪濕地

濕地在水文環境上，可調節洪水流量、增加海岸或河岸的穩定，而調節洪水流量，是利用河川流域內的濕地調節洪峰流量，延長稽延時間(lag time)。台灣濕地不論河口型濕地、高灘地和海濱濕地等，均兼具有作為調洪型濕地之潛力。

依據「水土保持技術規範」(2000)，滯洪設施之定義係指具有降低洪峰流量、延遲洪峰到達時間或增加入滲功能之設施，其目的在於降低因開發而增加下游地區洪峰流量之衝擊。永久性滯洪設施不得變更為其他用途。而其適用範圍為於山坡地者土地開發利用而增加之洪峰流量，足以影響下游防洪及排水系統者，應設置適當之滯洪設施。

因此，一般滯洪設施大多以河川中、上游居多，以 1994~2001 年間台灣水土保持計畫中滯洪池資料統計，台灣地區滯洪容積以 400 m<sup>3</sup> 以下約佔總數 70% 為最多數；滯洪池面積及高度則分別小於 400 m<sup>2</sup> 及 1~4 m 所佔比例最多，至於集水面積方面以小於 1 公頃者居多，可知台灣地區洪設施之構築以小集水區流域居多(陳正炎

等，2002)。

一般探討滯洪規劃設計有許多，包含水文資料頻率分析、基地保水指標、滯洪容量推估及滯洪池演算設計及技術規範探討等；其中水文資料之頻率分析係從降雨強度、雨型、集流時間等因素，以合理化公式配合單位歷線，求得逕流歷線，以此來估算滯洪所需容積，而利用不同方式計算滯洪容量所得出之結果亦不相同(傅奕靜，2001)。探討滯洪容量計算方法包括：三角形歷線法、三角形單位歷線法、角屋氏法、設計雨型法等，比較各方法計算結果，以設計雨型法為能符合實際所得之滯洪容量(吳瑞賢、余濬，1996)。

以波爾斯法水庫演算的概念為基礎，發展滯洪池蓄水量演算方法，以經濟部水利署第七河川局屏東市雨量站之 44 筆雨量記錄做為暴雨取樣的樣本資料，選取其中 13 場暴雨，對各種不同設計參數之滯洪池進行蓄水演算。該論文中所發展出之最大容許降雨強度，其與暴雨之最大單小時降雨強度相比較，作為滯洪池是否滿溢之依據。並對於依水土保持技術規範所設計之滯洪池其特性作分析探討(葉台生，2003)。

Benton (2002)指出都市集水區不滲透的地表會增加逕流及減少入滲、土壤水分含量、蒸發散量及地下水量等，導致洪峰流量增加與損失量減少情形發生。

為了維護大地的保水功能，並減少洪峰量，在城鄉建設上可採用「貯留」與「滲透」兩種方法來達成。都市環境或小規模基地均可執行，如公園內的湖泊、社區庭園水池或住宅中庭均可設計成生態雨水調節池的功能；尤其公園內常有湖泊水池的設計，將這些水池改造成景觀兼用的雨水調節池(陳衍派，2004)。

### 三、研究方法及量測

本研究以調查及分析濕地中降雨、地下水、土壤透水性及潮汐間之相互影響關係，以期瞭解半感潮性濕地之主要水文特性。濕地中水收支平衡的主要因子包括降雨、地表出入流、地下水、蒸發散、潮汐。

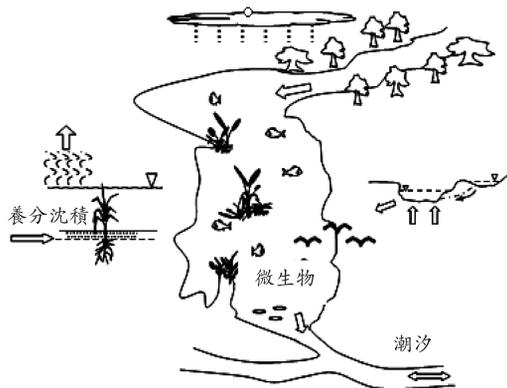


圖 1 人工濕地水文概念圖(Gosslenk and Turner, 1978)

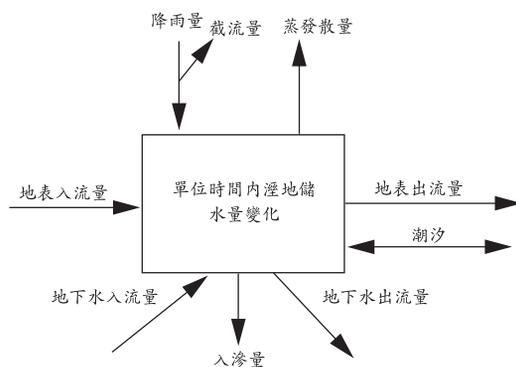


圖 2 水收支平衡示意圖

#### 3.1 水收支平衡分析

水文週期(Hydroperiod)可說是所有入流水及出流水之整合，除了逕流量會改變其水位之外，濕地之地形及氣候特性亦會影響水文週期。雖各種濕地之水文週期不一定相同，但影響水文週期的因子大致而言是相同的，在濕地中，水文週期及水力狀態可依下列因素做結論(章盛傑，1998)：

1. 水量在入流及出流之間的平衡。
2. 濕地地形之影響。
3. 地表下層的土壤、地質以及地下水的條件。

水文收支平衡的示意圖如圖 1 所示：

濕地的水文週期或水文現象，是水體入流量與出流量兩者之間平衡結果稱之為水收支 water budget，如圖 2。根據 Carter 等(1978)等歸納前人研究得到下列方程式(1)並用以描述濕地水文

週期之特性：

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = P_n + S_i + G_i - ET - S_o - G_o \pm T \dots\dots\dots(1)$$

V：濕地儲水量體積

A：濕地儲水面積

$\frac{\Delta V}{\Delta t}$ ：單位時間內濕地儲水量的體積變化

$P_n$ ：淨降雨量

$S_i$ ：逕流流入量

$G_i$ ：地下水流入量

ET：蒸發散

$S_o$ ：逕流流出量

$G_o$ ：地下水流出量

T：潮汐入流量或出流量

平均水深  $\bar{d}$ ，在任意時段內可表示如下

$$\bar{d} = \frac{V}{A}$$

因此，在式 1 中的每一項可以用單位時間的深度表示之，例如公分/年，或以單位時間的體積表示，例如立方公尺/日。本文水收支計算單位則為公釐/月。

### 3.1.1 土壤滲透

一般試驗室測定滲透係數可分為兩種：一為定水頭是滲透試驗法，如方程式(2)、二為變水頭滲透試驗法，如方程式(3)。經由透水試驗求得土壤之透水係數 K，再藉由 K 值求得研究區域內之土壤滲流量。根據現地土壤分類，透過定水頭及變水頭滲透試驗以求得現地 K 值(沈茂松，1989)。

(1) 定水頭式滲透試驗：

$$K = \frac{Q}{iA} = \frac{QL}{hA} \dots\dots\dots(2)$$

式中

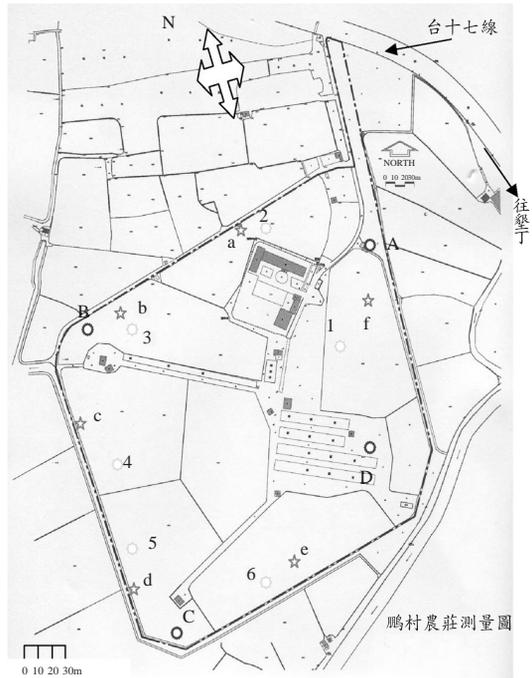
L=土壤試體長度(cm)。

h=有效水頭(cm)。

Q=單位時間內之流量(cm<sup>3</sup>/sec)。

A=土壤斷面積(cm<sup>2</sup>)。

K=土壤滲透性係數(cm/sec)



☆ 透水性取樣點 ○ 地下水位觀測井 □ 水尺佈設位置

圖 3 研究區土壤取樣及觀測井佈設圖

(2) 變水頭式滲透試驗：

$$K = 2.3 \frac{aL}{At} \log_{10} \frac{h_0}{h_1} \dots\dots\dots(3)$$

a=豎立管斷面積(cm<sup>2</sup>)。

h<sub>0</sub>=試驗開始之水頭(cm)。

h<sub>1</sub>=經 t 時間後之水頭(cm)。

為了解研究區內土壤滲透性，本文利用整地期間分別以土樣器取樣 7 組土樣，如圖 3。實驗室內採用定水頭及變水頭二種方式進行試驗，以測定現場土壤滲透性，6 組以變水頭式試驗，另 1 組以定水頭式試驗，因定水頭試驗數據與變水頭試驗出數據差異較大，故予以捨棄，逕採用變水頭所實驗數據作為本文土壤滲透性分析之依據。

### 3.1.2 土壤滲流量估算

濕地水文中關於滲流量有許多種估算方式，估算時須考慮環境現況，選擇適合當地現況之估算方式，一般採用繪製流線網的方式如圖 4 所示，方程式如(4)：

表 2 設計重現期距 (大鵬灣國家風景區管理處, 2004)

排洪類別	都市排水	公路排水	區域排水	縣(市)管河川	中央管河川
重現期距 (年)	2~10	5~100	5~10	5~10 (平地) 25 (山地)	100 200*

註：“\*”表示防洪需求迫切河川，如淡水河

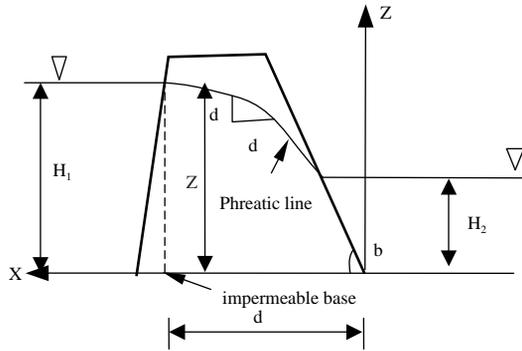


圖 4 流線網圖

$$q = KiA \quad \dots\dots\dots(4)$$

$$q = k \times \frac{dz}{dx} \times (z \times l) \quad \int_0^d q \, dx = \int_{H_2}^{H_1} k z dz$$

$$q d = \frac{k}{2} \times (H_1^2 - H_2^2)$$

$$q = \frac{k}{2d} \times (H_1^2 - H_2^2)$$

### 3.2 蒸發散量

地表蒸發散量對於整個濕地之水資源規劃管理、利用有很大的影響，在蒸發量的觀測上，除氣溫及日照量有較廣的適用範圍外，其餘項目均侷限在測站週圍，因此本研究蒸發量的推估，直接採用鄰近中央氣象局農業氣象站東港測站之資料。

### 3.3 潮汐

本研究區域潮汐資料，依據 1999 年屏東海岸防護工作之檢討，屏東西側海岸面臨台灣海峽坡降平緩，潮差主要受地形影響，在颱風期間，由於低氣壓及強風引起潮位升高，加上天文潮如逢朔、望之大潮更引起異常高水位。另根據高雄港務局二港口(1985 年)之調查資料經修正為中潮

系統後，大鵬灣外海潮位如下：

暴潮位= +2.03 (+2.05 m)

天文潮最高高潮位(H.H.W.L) = +1.66 (+2.13 m)

大潮平均高潮位(M.H.W.L) = +1.03 (+1.05 m)

平均水面(M.W.L) = +0.53 (+1.00 m)

大潮平均低潮位(M.L.W.L) = +0.03 (+0.05 m)

天文潮最低低潮位(L.L.W.L) = -0.43 (+0.04 m)

以上水準零點係採用中潮系統(基隆平均海水面為基準)。

依據中央氣象局海象測報中心蒐集台灣各地潮位站量測之水位資料，預報 2005 年潮汐表，採用流速儀及漂浮法測量研究區鄰近渠道(林邊大排支流)因潮汐影響所造成濕地之感潮時間，並計算因感潮因素所造成之回流量。

### 3.4 降雨逕流量推估

#### 3.4.1 重現期距

重現期距(迴歸週期)為發生大於或等於某一水文事件之平均時間間距，通常以年為單位，對不同保護對象之重現期距現行標準如表 2 所示。本研究區內之排水渠道均屬區域排水類別，參考「屏東縣林邊地區排水系統改善檢討報告」及「屏東縣牛埔溪排水系統改善檢討報告」(大鵬灣國家風景區管理處, 2004)。本研究區排水渠道則以 2、5、10、20 年重現期進行模擬計算。

#### 3.4.2 降雨強度

降雨強度之值採用氣象收集站所收集之降雨資料以及降雨延時求得。依據「水土保持技術規範」(2003)，台灣地區無因次降雨強度公式，如下：

表 3 水土保持技術規範逕流係數值 (水土保持技術規範，2000)

集水區狀況	陡峻山地	山嶺區	丘陵地或森林地	平坦耕地	非農業使用
無開發整地區之逕流係數	0.75~0.90	0.70~0.80	0.50~0.75	0.45~0.60	0.75~0.95
開發整地後之逕流係數	0.95	0.9	0.9	0.85	0.95~1.0

$$\frac{I_t^T}{I_{60}^{25}} = \left( \frac{(G + H \log T)^4}{(t + B)^C} \right) \dots\dots\dots (5)$$

$$A \left( \frac{P}{-189.96 + 0.31P} \right)^2 \dots\dots\dots (6)$$

$$I_{60}^{25} = \left( \frac{P}{25.29 + 0.094P} \right)^2 \dots\dots\dots (7)$$

$$B = 55 \dots\dots\dots (8)$$

$$C = \left( \frac{P}{-381.71 + 1.45P} \right)^2 \dots\dots\dots (9)$$

$$G = \left( \frac{P}{42.89 + 1.33P} \right)^2 \dots\dots\dots (10)$$

$$H = \left( \frac{P}{-65.33 + 1.836P} \right)^2 \dots\dots\dots (11)$$

T：重現期距

t：降雨延時或集流時間

P：年平均降雨量

A、B、C、G、H：係數

$I_t^T$ ：重現期距 T 年，降雨延時 t 分鐘之降雨強度(mm/hr)

$I_{60}^{25}$ ：重現期距 25 年，降雨延時 60 分鐘之降雨強度(mm/hr)

### 3.4.3 逕流係數

逕流係數(Runoff coefficient)通常與地表覆蓋、土地使用、土壤種類及含水量、面積大小、降雨強度、降雨延時等有關。因此，欲精確地估算逕流係數實是甚為困難，而影響逕流係數主要因素為降雨持續時間與地表入滲關係，其中當降雨持續時間過愈長，土壤含水量常假定有初期降雨(Antecedent precipitation)使得土壤飽和而有較大的逕流係數，因此逕流係數一般僅以地表狀況來估計，且自降雨開始直至降雨結束，皆予以採用一定值(余濬，2005)。依據水土保持技術規範逕流係數值之選擇如表 3。

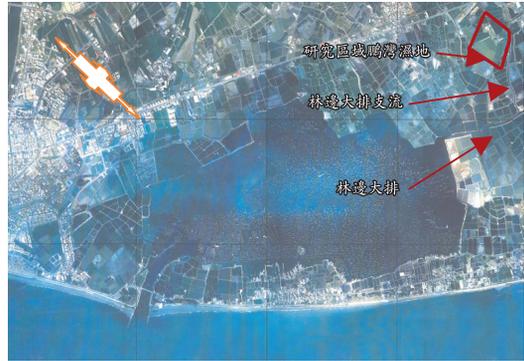


圖 5 研究區域空照圖

## 3.5 地下水調查

濕地中地下水流出及流入通常以達西定律來描述，對於地下水位調查通常採用鑽探埋設地下水觀測井方式，再使用地下水位觀測儀於一定時間量測水位變化。地下水流向利用座標向量法則計算：

$$\theta = \tan^{-1} \left[ \frac{(x_j - x_i)}{(y_j - y_i)} \right]$$

$x_i$ 、 $y_i$ 、 $x_j$ 、 $y_j$ ：地下水位觀測井絕對座標值

## 四、研究區域及自然環境調查

### 4.1 研究區域環境概述

本研究選擇大鵬灣國家風景區開發中之鵬村濕地，該濕地因地理位置鄰海受潮汐影響屬「半感潮性濕地」，目前週邊土地仍以養殖業為主，上游家庭污水及養殖廢水藉由林邊大排直接排入大鵬灣內，為降低排入大鵬灣水體污染源，規劃於大排上、下游設置人工濕地，圖 5 為研究區域空照圖。

### 4.2 研究區域地形、地貌

本研究區域之地形除部分老舊建築物外，餘



圖 6 整地配置圖

為魚塢，北邊入口鄰接台 17 線，東面隔 4 m 產業道路比鄰林邊大排水溝-海豐埤支線(溝寬 5 m)，上游集水面積為農業區，其餘週邊為漁塢及荒地，研究區面積約為 11.84 公頃，濕地水池面積約為 7 公頃。

#### 4.3 地形整理及配置調查

研究區域規劃為人工濕地，區內先將漁塢水抽乾整地，重新整地後規劃為 6 座水池，將基地旁排水溝引入濕地內，以做為濕地水源供給之來源，除利用區內 6 座水池淨化流入之排水溝水體外，並將兼具滯洪池使用。本研究以類似環境之濕地兼具滯洪可行性之探討，整地配置如圖 6 所示。

#### 4.4 降雨及蒸發

選取鄰近研究區域中央氣象局農業氣象東港測站氣象資料統計。2004 年降雨量為 1,420 mm，總蒸發量為 696.5 mm，降水量集中於夏、秋季(5 月至 9 月)，其降水量約佔全年降水量的 83.3% 左右，而冬季(12 月至翌年 2 月)的降水量

相對較少，約佔全年之 13.9%。降水日數以 7 月至 9 月份最高。從分析結果可以得知，東港測站雨量受到季節性因素影響較高。

#### 4.5 地質與土壤

本區標高介於海拔 0.5-2.5 公尺間，由林邊溪河流沖積物堆積而成，其中土壤以砂質土壤為主，表層覆蓋 0.2-0.5 公尺黏性土壤，以不同比例之砂、粘土混雜在一起。

研究區域水系流域內地質分佈均為河口沖積層構成，主要為砂與粘土互層之地層。依據營建署於東港地區鑽探結果，其地層之層次分佈由上而下依序可分為：(1)粉質粘土或粉質粉土層約在地表以下至深度 12 公尺左右，平均 N 值約為 2。(2)灰色粉質細砂層約在地表以下 6 公尺左右至最大鑽探深度 20 公尺，平均 N 值約為 11。流域表面土壤分佈種類繁多，可概分為壤土、粘土及海邊鹽土(大鵬灣國家風景區管理處，2003)。

### 五、調查分析與結果討論

#### 5.1 濕地地表水位的變動

經由圖 7 地形等高線圖，利用電腦繪圖軟體 Auto CAD 分別量測圖面上濕地池底面積  $A_i$ 、濕地滿水頂面積  $A_j$  及滿水池深  $H$ ，再利用梯形法公式計算出研究區域內 6 座儲水池其最高儲水量約為 184,500  $m^3$ 。研究期間研究區域東南側之排水溝渠道水因尚未引入濕地，故濕地地表水於就水文收支上，僅有降雨、入滲、蒸發。經現地觀察結果，濕地流入水量(降雨、入滲)比損耗流失水量(蒸發)要大的多，雨季期間(6 月~9 月)為避免溢堤影響周邊漁塢，須先強制排水，以降低濕地內之水位。

#### 5.2 濕地地下水位的變動

為觀測基地地下水水位變動情形，於基地周邊設置四個觀測井各水井常年平均高程分別為：A 水井平均高程 = -0.72 m、B 水井平均高程 = 0.18 m、C 水井平均高程 = 0.51 m、D 水井平均高程 = 0.31 m。

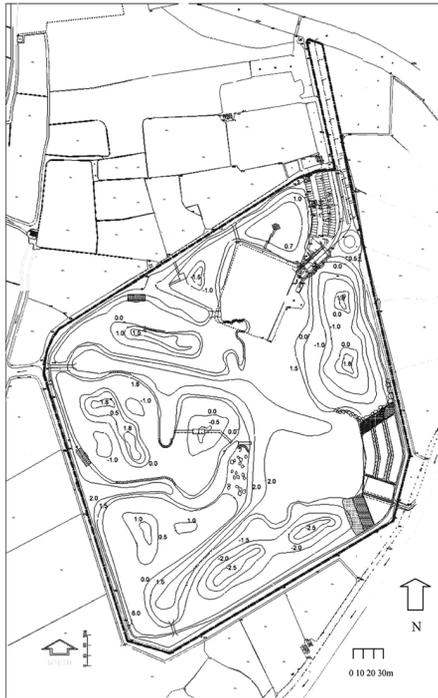


圖 7 地形等高線圖

從圖 8 地下水位逐日圖中發現，地下水位在某一期間會有突然洩降之現象，初步研判可能為周邊養殖魚塢超抽地下水，經現場調查發現研究區域內魚塢，主要養殖魚種多以經濟價值較高石斑魚、虱目魚為主，由屏東縣政府漁業課統計資料顯示，以養殖的淡水消耗量而言，應該以蝦類約 55,000 m<sup>3</sup>/ha/期(7 個月)>鯛類約 40,000 m<sup>3</sup>/ha/期(12 個月)>虱目魚約 22,000 m<sup>3</sup>/ha/期(9 月)>石斑約 28,000 m<sup>3</sup>/ha/期(12 月) (屏東縣政府漁業課)，養殖水源主要以抽取海水為主，淡水水源以抽取地下水為主。

2005 年 2 月 23 日及 2005 年 5 月 4 日實地訪查鄰近 B、C 水井養殖魚塢，發現鄰近漁塢收成尚在收成養殖漁獲，並將養殖池底水抽乾，因此可能造成地下水位有突然洩降之現象。由屏東縣政府漁業課統計資料顯示，養殖虱目魚淡水消耗量每日平均約 81.5 m<sup>3</sup>/ha，養殖石斑魚淡水消耗量平均每日約 77.8 m<sup>3</sup>/ha，由圖 8 地下水逐日圖中可分析出該現象，研究區週邊漁塢常年養殖以海水為主，海水來自大鵬灣瀉湖，平時少量抽

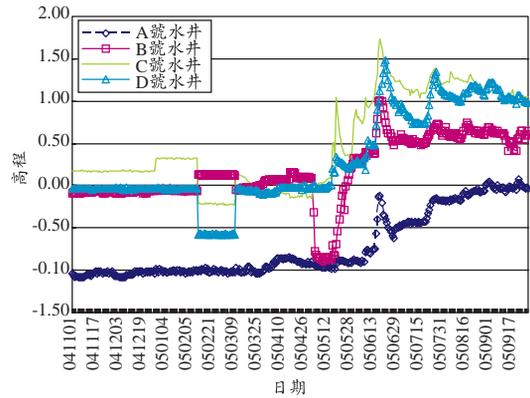


圖 8 地下水位逐日圖

取地下水，因此地下水位變動不大，反而在收成漁獲抽乾養殖池後，養殖漁民以淡水清理養殖魚塢，並在下次養殖放養魚種前抽取地下水，在引入海水綜合水質，以達養殖水所需酸鹼度，所以在研究期間研究區地下水位才會發生有短期洩降現象。

### 5.3 滲流量分析

為了解研究區內土壤滲透性，利用整地期間分別以土樣器取樣，於實驗室內採用定水頭及變水頭二種方式進行試驗，以測定現場土壤滲透性。試驗結果相關參數如表 4。

依公式(4) Dupuit (1863) 提出滲流量估算方式，計算各池滲流量如表 5。

綜合研究區域滲流量為 0.88 m<sup>3</sup>/day，每月滲流量 0.88 m<sup>3</sup>/day×30 天=26.38 m<sup>3</sup>， $\frac{26.38}{73800} = 0.364mm$   
 $\cong 0.36mm$ ，故每年入流量為 0.88×365 = 321.2 m<sup>3</sup>

### 5.4 潮汐調查

利用流速儀及浮標法每月定期量測感潮時間差，經調查顯示研究區感潮時間差平均約 18 分鐘，流速變化由 0~0.20 m/sec，平均流速為 0.14 m/sec。

排水渠道斷面積=15.2 m<sup>2</sup>；平均每次因感潮造成濕地回流量 Q：

$$Q = A \times V \times t = 15.2 \times 0.14 \times 18 \times 60 = 2289.32 \text{ m}^3$$

表 4 土壤透水性試驗

	h0 (cm)	h1 (cm)	t1 (sec)	t2 (sec)	L (cm)	A (cm <sup>2</sup> )	A (cm <sup>2</sup> )	K (cm/sec)
a 號變水頭	100	97.40	7200	15733	29.50	75.42	3	3.07×10 <sup>-6</sup>
b 號變水頭	100	98.80	7200	12588	31.50	75.42	3	2.38×10 <sup>-6</sup>
c 號變水頭	100	96.40	7200	17460	29.00	75.42	3	3.50×10 <sup>-6</sup>
d 號變水頭	100	97.20	7200	16440	29.50	75.42	3	3.06×10 <sup>-6</sup>
e 號變水頭	100	97.40	7200	14580	29.50	75.42	3	3.55×10 <sup>-6</sup>
f 號變水頭	100	94.50	7200	14030	29.30	75.42	3	8.19×10 <sup>-6</sup>
g 號定水頭	161	Q=65	0	7200	29.70	75.42	-	2.21×10 <sup>-5</sup>

\* 定水頭試驗因試驗數據與前 6 組數據差異大，故捨棄不用。

表 5 滲流量估算表

	A (m <sup>2</sup> )	K (cm/sec)	D (m)	H <sub>1</sub> (m)	H <sub>2</sub> (m)	Q (m <sup>2</sup> /sec)	L (m)	Q (m <sup>3</sup> -day)
A 池	11854	3.07×10 <sup>-6</sup>	14.72	1.5	2.8	5.82×10 <sup>-9</sup>	137.6	0.07
B 池	8148	2.38×10 <sup>-6</sup>	11.78	1.5	2.5	4.04×10 <sup>-9</sup>	194.7	0.07
C 池	10750	3.50×10 <sup>-6</sup>	11.56	1.5	2.5	6.05×10 <sup>-9</sup>	132.2	0.07
D 池	17197	3.06×10 <sup>-6</sup>	12.7	1.5	3.3	1.04×10 <sup>-8</sup>	127.9	0.12
E 池	13103	3.55×10 <sup>-6</sup>	11.57	1.5	3.3	1.32×10 <sup>-8</sup>	153.4	0.18
F 池	12748	8.19×10 <sup>-6</sup>	11.85	1.5	2.8	1.93×10 <sup>-8</sup>	229.0	0.38
合計	73800	-	-	-	-	-	-	0.88

因此，此研究區域平均每次因感潮造成濕地水位變化為

$$\frac{2289.32}{73800} = 0.03114m \approx 31.14mm$$

### 5.5 降雨及蒸發

由中央氣象局資料統計 2004 年 1 月至 2005 年 9 月每月平均降雨量為 172.3 mm；平均月蒸發量為 68.7 mm。

### 5.6 濕地水文收支

本研究之水收支平衡因子數據，為降雨、蒸發、滲流及潮汐，由於研究期間鄰近溝渠水尚未引入溼地內，故計算水文收支時不考慮逕流流入量、地下水流入量、蒸發散、逕流流出量、地下水流出量；將所取得之因子數據利用水文收支方程式，即可得知濕地水文收支概況如圖 9 所示。研究時間內各項水收支平衡數據得到水文收支為 103.69 mm，正向之水平衡，表示該濕地水輸

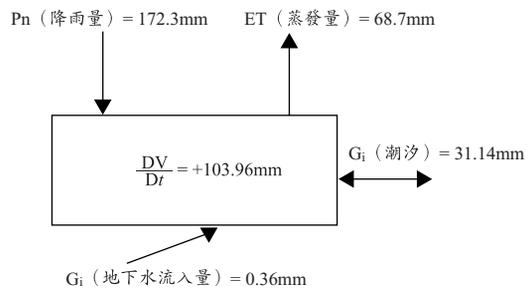


圖 9 水收支平衡圖

入量之和和大於輸出量之和。計算過程如下所示：

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = P_n + S_i + G_i - ET - S_o - G_o \pm T$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 172.3 + 0 + 0.36 - 68.7 - 0 - 0 \pm 31.4mm$$

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = 103.69 \text{ mm} \pm 31.4 \text{ mm}$$

表 6 排水路集水面積及斷面特性

集水面積(km <sup>2</sup> )	流路 L (km)	坡度(%)	集流時間 T <sub>c</sub> (hr)	尖峰時間 T <sub>p</sub> (hr)	基期 T <sub>b</sub> (hr)
5.86	5.19	0.11	3.25	3.75	10.01

表 7 一日暴雨頻率分析結果

測站/流域	重现年期(年)							
	1.11	2	5	10	20	25	50	100
東港測站	80	186	282	352	415	435	497	558

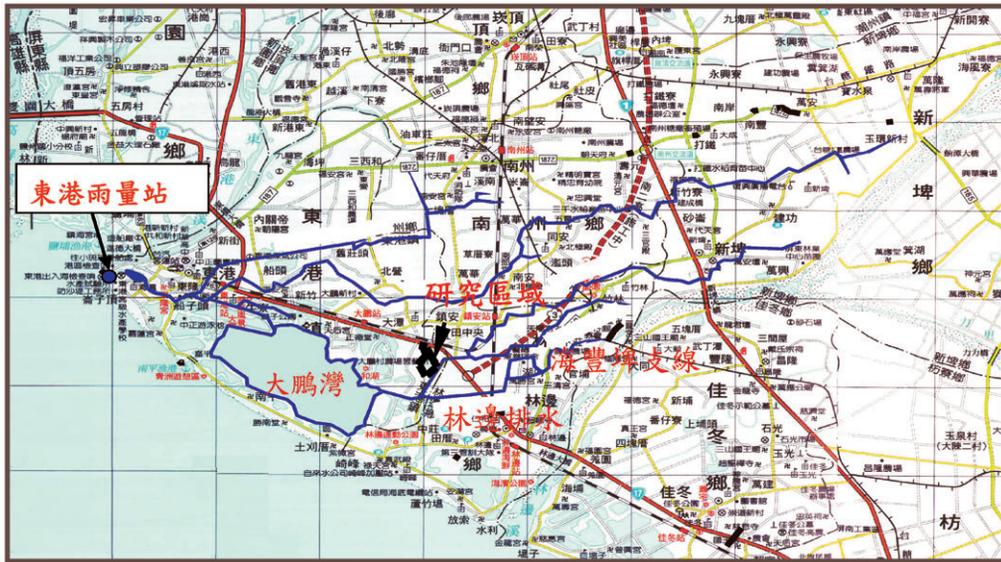


圖 10 流域水系圖

### 5.7 集水區水系調查分析

調查研究區鄰近集水區，參考大鵬灣流域及附近水系之排水系統如圖 10 流域水系圖所示，各流域排水路之集水面積及斷面特性如表 6 所示。

### 5.8 降雨類型

本研究降雨雨型分析，採極端值 I 型(Extreme Value Type I)分析所得之一日暴雨量，其標準差最小。進行暴雨頻率分析時，亦採用此極端值 I 型分析計算暴雨頻率，其結果如表 7 及圖 11 雨型分析圖。

### 5.9 洪水量分析

#### 5.9.1 三角型單位歷線法-SCS 曲線號碼降雨逕

#### 流量推估

逕流係數(Runoff coefficient)通常與地表覆蓋、土地使用、土壤種類及含水量、面積大小、降雨強度、降雨延時等有關。因此，欲精確地估算逕流係數實是甚為困難，為使研究區逕流係數估算更符合集水區之狀況。本研究估計，採用美國水土保持局(U.S. Soil Conservation Service)開發之 SCS 曲線號碼法估算。計算成果如表 8 所示。

將 CN 值=76、累積降雨量 P = 198.36 mm 代入曲線號碼表公式  $P_e = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S}$  及

$S = \frac{25,400}{CN} - 254$ ，計算得 S = 3.158；超滲雨量

$P_e = 123.7 \text{ mm}$ ； $Q_p = 40.206 \text{ cms}$ 。

表 8 SCS 曲線號碼計算成果

土地利用面積(ha)	合計(ha)				平均 CN 值	逕流係數
市區(村落)	魚塭	水田	農地	—	—	—
26.84	50.48	50.43	458.05	585.80	76	0.72

註：以 SS 曲線號碼(CN)，水田採 80、農地採 75、村落採 85、魚塭採 78，且依面積權重計算平均 CN 值=76。

表 9 水土保持技術規範降雨強度及相關係數

T	A	B	C	G	P	H	$I_{60}^{25}$	$I_t^T$
2	32.2	55	0.71647	0.54	1420	0.31	79.99	1634.18
5	32.2	55	0.71647	0.54	1420	0.31	79.99	1954.08
10	32.2	55	0.71647	0.54	1420	0.31	79.99	2196.08
20	32.2	55	0.71647	0.54	1420	0.31	79.99	2438.07

表 10 開發後洪峰流量計算成果

重現期(年)	降雨強度 I (mm/hr)	尖峰流量 Qp (cms)	出流量 Qout (cms)	總逕流量 Q (m <sup>3</sup> )	濕地面積 A (m <sup>2</sup> )	濕地池深 h (m)	濕地最高儲水量 Q (m <sup>3</sup> )
2	31.25	36.62	15	226926	73800	3.1	228780
5	37.37	43.79	15	302163	73800	4.1	302580
10	41.99	49.22	15	359077	73800	4.9	364620
20	46.62	54.64	15	415991	73800	5.7	420660

註：出流量以現有排水渠道斷面最大排水量估算

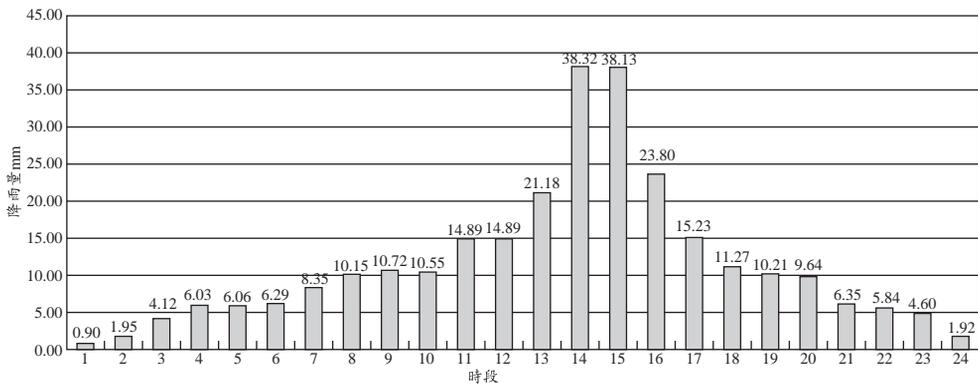


圖 11 雨型分析圖

$P_e = 123.7 \text{ mm}$  ;  $Q_p = 40.206 \text{ cms}$  。

### 5.9.2 合理化公式-降雨逕流量推估

由 2004 年降雨量及水土保持技術規範降雨強度公式(式 5~式 11)計算出相關係數及降雨強度，如表 9 所示。

分析前述三角型單位歷線法-SCS 曲線號碼

降雨逕流量推估及合理化公式-降雨逕流量推估二種方式，以採用合理化公式-降雨逕流量推估，計算所得之計畫洪峰流量較大，未來建議採較保守設計。依據經由計算得排水路之尖峰洪峰量及總逕流量，如表 10 所示。

目前研究區濕地平均池深約 2.5m，總儲水量

約為 184,500m<sup>3</sup>。比較各重限期年所需之儲水容量仍顯不足，未來在林邊大排支流排水斷面及濕地面積無法擴充情況下，可考慮加深池深，增加蓄洪容量。

## 六、結論與建議

### 6.1 結論

1. 經觀測發現研究區平均地下水位高程 A 水井=-0.72 m、B 水井= 0.18 m、C 水井= 0.51 m、D 水井=0.31 m。由座標計算得知地下水流向為西南往東北，而該流向與地表水流向正好相反，依據大鵬灣外海潮位平均水面(M.W.L) = +0.53 (+1.00 m)，推測該現象主要原因為本研究區地理位置位於大鵬灣東北側，海水入侵地下水造成地下水流向為西南往東北。
2. 研究顯示研究區排水幹線因受感潮之影響，河道感潮時間約為 18 分鐘，流速變化由 0~0.20 m/sec。計算平均每次因感潮造成濕地回流量 2289 m<sup>3</sup>。而研究區因尚未引入溝渠地表水，濕地內水收支因子主要為降雨、滲流及蒸發三項因子，其中降雨量平均每月為 172.3 mm；平均月蒸發量為 68.7 mm；滲流量每月 0.36 mm；感潮造成濕地回流量 31.14 mm，因此整體水文收支平衡尚餘 103.69 mm。
3. 目前研究區濕地平均池深約 2.5 m，總儲水量約為 184,500 m<sup>3</sup>。比較表 10 中各重限期年所需之儲水容量仍顯不足，若排水渠道以最小 5 年重現期為防洪保護標準(水土保持技術規範，2000)，其產生尖峰流量 43.79 cms，洪峰總逕流量為 302,163 m<sup>3</sup>，亦無法符合水土保持技術規範第九十五條滯洪設施規劃設計原則，滯洪設施之最大洪峰流量的入流歷線所必須採用重現期距之規定。故顯示目前開發後之半感潮性濕地滯洪無法滿足水土保持技術規範規定滯洪能力。
4. 現地表層土壤多為低透水性土壤，表層土壤下方土壤屬透水性良好之砂質土，但因周邊漁塭抽取海水養殖，部分海水經由滲透至土層中，造成土壤日益鹽化。本研究區因周遭漁塭養殖水位高於本研究區域，經由土壤滲透，使得濕

地水分多為滲入而甚少滲出，因此有助於濕地維持水分。

### 6.2 建議

1. 研究區濕地目前仍尚在開發階段，在水收支平衡方面之研究，有關蒸發散量及引入地表逕流水等二個主要因子，研究期間仍為裸露地尚無植栽及引入地表逕流水。因此，水分散失以蒸發量代替蒸發散量估算，建議開發後仍持續研究植物蒸發散及引入地表逕流後，修正水收支平衡方程因子，以建構一個完整的基本資料建構。
2. 濕地研究領域包含水利、水質、植物、動物、土壤等，而本研究只針對濕地內水文調查，對於未來人工濕地水質淨化成效評估、土壤、動植物生態等對濕地環境之影響，仍須詳加探討，建議日後可朝此方面研究。
3. 研究區濕地作為區域性滯洪池，經檢討目前容量尚無法滿足上游集水區所帶來之降雨逕流，建議未來是實際需要加深池深或加高堤岸，或加大濕地池面積，以增加儲水容量。
4. 由地形圖測量研究區週邊土地高程，區外引入位置水溝底高程為 E.L.=-0.24 m，區內池底平均高程為 E.L.=0.00 m，為使渠道水能順利流入濕地內，建議未來設計攔截渠道時應考慮水位高程，以提高水力坡降。

## 參考文獻

1. 大鵬灣國家風景區管理處，大鵬灣國家風景區環境影響評估、環境現況基本資料調查蒐集及分析，上境科技股份有限公司，2003。
2. 大鵬灣國家風景區管理處，大鵬灣風景特定區區外截流系統綜合規劃報告書，萬鼎工程服務股份有限公司，2004。
3. 行政院農業委員會，水土保持技術規範，行政院農業委員會農林字第 0910030120 號公告修正第三百五十三條，2000。
4. 行政院農業委員會，水土保持技術規範，行政院農業委員會農授水保字第 0921842339 號令修正，2003。

5. 行政院農業委員會，自然保育通訊，1987。
6. 沈茂松，實用土壤力學，文笙書局，台北市，1989。
7. 吳瑞賢、余濬，「滯留池節省容量及集中沈砂之設計方法探討」，中華水土保持學報第27卷1期，pp. 29-38，1996。
8. 余濬，山坡地排水與滯洪設計，科技圖書(股)有限公司，2005。
9. 陳正炎、江昇峰、蔡宗翰，「應用電腦程式於長延時暴雨滯洪池設計之研究」，第十三屆水利工程研討會，pp. G9-G16，2002。
10. 陳衍派，「生態池規劃方法之研究－以屏東建功森林親水公園為例」，屏東科技大學水土保持系碩士論文，2004。
11. 章盛傑、邱文雅，濕地，地景企業股份有限公司，台北市，1998。
12. 傅奕靜，「應用基地保水指標於大型公共建設滯洪池容量推估之研究」，成功大學水利及海洋工程研究所碩士論文，2001。
13. 葉台生，「滯洪池蓄洪效率之評估」，屏東科技大學土木工程系碩士論文，2003。
14. Benton, S.E., "Water level fluctuations in an urban pond: climatic or anthropogenic impact?," *JAWRA*. 38(1), pp. 43-54, 2002.
15. Carter, V., Bedinger, M.S., Novitzki, R.P., and Wilen, W.O., *Water resources and wetlands. Wetland functions and values: The state of our under-standing*, pp. 344-376, 1978.
16. Gosselink, J.G., and Turner, R.E., "The role of hydrology in freshwater wetland ecosystem, in *Freshwater Wetlands: Ecological Processes and Management Potential*," Good, R.E., Whigham, D.F., and Simpson, R.L., eds., Academic Press, New York, pp. 63-78, 1978.
17. Shaw, S.P., and Fredine, C.G., "Wetlands of the United States, Their Extent, and Their Value for Waterfowl and Other Wildlife, U.S Department of Interior, Fish and Wildlife Service," Circular 39, Washington, D.C., pp. 67, 1956.

收稿日期：民國 96 年 4 月 10 日  
 修正日期：民國 97 年 1 月 24 日  
 接受日期：民國 97 年 2 月 15 日