



紅樹林生長對基隆河河口洪水位之影響

The Influence of Mangrove Growth on Flood Stage of Keelung River

國立台灣大學農業工程學系教授
兼水工試驗所研究員

許銘熙

Ming-Hsi Hsu

國立台灣大學農業工程學研究所
博士班研究生

吳啟瑞

Chi-Ray Wu

國立台灣大學水工試驗所
專任研究助理

傅金城

Jin-Cheng Fu

摘要

關渡濕地位於臺北盆地北側，為淡水河與基隆河之匯流處。因受到淡鹹水交會、河口潮汐及地形較低之影響，形成紅樹林生長之優勢環境。近年來其分佈面積已廣達 20 餘公頃，且有繼續擴大生長空間之趨勢。本文分別依民國 67 年、民國 75 年及民國 83 年之航照圖估算紅樹林的生長面積，並以其生長擴張速率預估民國 95 年之生長面積，最後再配合二維水理數值模式分析關渡濕地紅樹林對於基隆河河口洪水位之影響。經由模擬結果顯示，因受到紅樹林逐年之擴張生長，將會造成河川流速加大及洪水位提升。

關鍵詞：紅樹林，洪水位，基隆河，關渡濕地。

ABSTRACT

The Kuan-Du wetland located at the confluence of the main Tanshui River and Keelung river in the northern Taipei. Due to the effects of tide, alluvial lowland and the saltwater-freshwater interaction, the protection zone adapts to growth circumstances for mangrove. The mangrove grows well and enlarges the full extend of the sand bar in the mouth of Keelung river. The area of mangrove extended is about 20 ha now. The area of mangrove in 1978, 1986 and 1994 was respectively estimated by using the airscapes. The 2006 mangrove area was predicted from the trend of growth. Then a two-dimensional numerical model was employed to simulate the flood flow. The simulation results show that the mangrove growth will increase the flow velocity and rise the water stage during the flood.

Keywords: Mangrove, Flood stage, Keelung river, Kuan-Du wetland.

一、前言

淡水河與基隆河匯流處之關渡濕地佔地約 50 公頃(其地理位置如圖 1)，因受到河口潮汐及地形低易積水之影響，使得在磺港溪以西、中央北路以南、關渡宮以東的基隆河河口區域內，同時出現河口濕地生態系、河岸濕地生態系、平原濕地生態系共存的特殊環境。此外，關渡濕地又因受到河口淡鹹水交會之影響，構成適合於紅樹林生長之優勢環境，目前區域內紅樹林面積擴張十分迅速，除了影響基隆河通水斷面積外，水鳥棲息之草澤面積亦因紅樹林茂盛成長而減縮中，可能影響本區生態系之穩定。

有關基隆河水理與生態研究方面，顏清連^[1]曾針對基隆河水理特性進行研究；許銘熙^[2、3]則於民國 85 年完成關渡防洪高保護設施北移對基隆河水理與環境影響之研究^[4]；郭振泰^[5]就基隆河整治對河川水質影響進行探討；李鴻源^[6]分析社子島地區提高防洪保護頻率對淡水河與基隆河之水理影響；民國 86 年張文亮^[7]研究關渡溼地潮水漲退之水質變化；民國 87 年王如意^[8]完成包括淡水河與基隆河在內之台北防洪整體檢討；游以德^[9]則對二重疏洪道沼澤生態區進行環境調查規劃。另外，陳明義^[10]於民國 63 年至 64 年間曾對淡水河口之紅樹林加以調查，呂光洋^[11]就淡水河口紅樹林之種類及分佈深入研究；黃增泉^[12]、劉棠瑞^[13]、周昌弘^[14]等針對竹圍紅樹林之保護價值、來源及生態體系進行探討；薛美莉^[15]以濕地生態的觀點研究台灣紅樹林之分佈、保育與經營；郭智勇^[16]則紀錄全台灣現有之紅樹林生態及生長環境；Wester^[17]與韓韓、馬以工^[18]則針對關渡溼地紅樹林之生長及發展進行研究探討。

為瞭解紅樹林生長狀況對河川水理之影響，本文配合台灣省北區水資源局之實測斷面資料，以基隆河斷面一至斷面七作為研究區域，區域內濕地總面積約 34 公頃，佔關渡濕地面積之 68%。然後依據內政部林務局農林航空測量所於民國 67 年、民國 75 年及民國 83 年之航照圖，估算研究區域內紅樹林之歷年生長面積，並使用

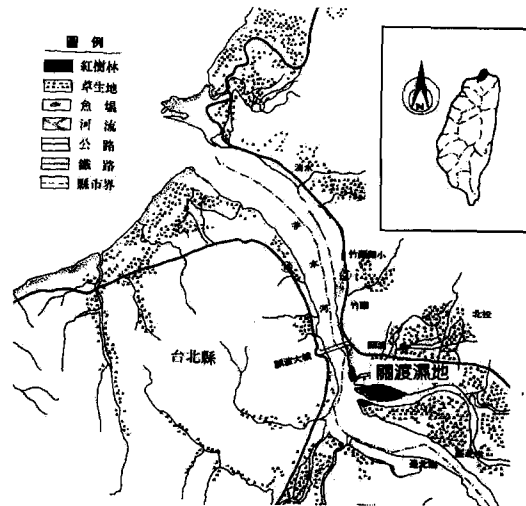


圖 1 關渡濕地紅樹林位置圖 (引用自參考文獻^[15])

二維水理數值演算模式，探討紅樹林歷年生長變化對於基隆河河口洪水位之影響。最後根據紅樹林的生長速率，推估研究區域內無紅樹林生長之年代以作為比較基準，並預估民國 95 年時紅樹林之生長面積及其對基隆河河口之水理影響。

二、紅樹林之生態環境

(一) 紅樹林概述

紅樹林名稱之由來，是源自於馬來西亞一種紅樹科植物紅茄苳，其因應鹽濃度偏高的浸水環境所特有的「紅樹皮」，是樹皮中含較多含量的單寧（或稱鞣酸）所造成的，因為可以提煉單寧作為紅色的染料，才有「紅樹」的稱呼^[16]。植物學家將這些生長於河流及海岸沼澤地區的鹽生長綠灌木或喬木樹林，通稱為紅樹林(Mangrove)。由於生長在半鹹水特殊環境，能夠適應的植物種類有限，全世界的紅樹林只有 11 科 16 屬 55 種，多常見於熱帶地區之大河出海口處^[14]。位於熱帶邊緣的臺灣地區，紅樹林僅產 6 種，包括紅樹科的水筆仔、紅樹、細蕊紅樹、五梨跤，使君子科的欖李，馬鞭草科的海茄苳，其中紅樹及細蕊紅樹在臺灣已經消失^[15]。

關渡濕地的紅樹林組成樹種為水筆仔，是由

淡水河口的挖仔尾及竹圍紅樹林族群向內陸河道擴展生長所造成，水筆仔沿淡水河一直向內分佈到臺北橋附近，但都呈零星分佈，關渡濕地的水筆仔應是分佈於離海最遠的紅樹林族群。根據Wester^[17]的研究報告結果顯示，關渡濕地的紅樹林在 1965 年(民國 54 年)的航照圖並未出現，在 1978 年(民國 67 年)以後，才逐漸出現且明顯增加。可能是與民國 53 年淡水河炸開關渡隘口^[18]後，引入大量海水造成本區含鹽度增加有關，因而逐漸形成適合紅樹林植物生長的半鹹水環境。

(二) 紅樹林的環境管理

紅樹林生活環境為潮汐多變之河口、沼澤等地區，土壤長期缺氧，土質鹽度及溫度變動極大，使得一般植物很難於該地區生長，所以紅樹林在濕地上具有生長優勢。此外，紅樹林為適應沼澤濕地之特殊地形，根系分佈廣而淺，可以攔截泥砂、擴大灘地，具有保安護岸功能。但是如無限制之生長下去，使泥灘地持續擴張，將可能影響河口水流之順暢，影響防洪安全。

由於沼澤區是屬於先鋒型社會，在無任何干擾壓力之下，其生物種類會隨時間而改變，因此是一種不穩定的生物社會，在沒有人類干擾的影響下，此區所受的環境壓力主要來自河水。一般而言，不定期的洪水會沖刷部份紅樹林，而回復成泥灘地，其後再逐漸長出鹹草等高草類植物，形成草澤，之後逐漸長出水筆仔而形成林澤，如此循環不已。然而在半鹹水環境下，紅樹林具有生長優勢，如不加以適度管理，不當的保護政策將使得林澤持續發展，致使草澤面積減縮，植被趨向單純化，反而使棲息的水鳥種類減少。因此，對水鳥保護而言，可能需定期適度地清除一些水筆仔，以人力代替洪水來維持草澤和林澤的比例，以保持濕地內多樣性的棲地環境。

三、二維水理演算數值模式

本文為探討及分析無紅樹林生長與民國 75 年、民國 83 年及民國 95 年時研究區域的紅樹林生長面積對基隆河口水理之影響，故採用美國

陸軍工程師團所發展之二維水理演算數值模式 TABS-2^[19]，分析研究河段詳細之水理流況，茲將數值模式之內容詳述如下。

(一) 控制方程式

河川之水流流動受河川幾何、上游流量及河口出口情況而變化，常為複雜之變量流況，其流況可依據水深平均理論予以描述。根據水深平均理論，二維水流連續及動量方程式可表示如下：

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h\left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y}\right) + u\frac{\partial h}{\partial x} + v\frac{\partial h}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\left(\epsilon_{xx}\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \epsilon_{xy}\frac{\partial^2 u}{\partial y^2}\right) \\ + g\left(\frac{\partial z}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x}\right) + \frac{\tau_x}{\rho h} = 0 \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{1}{\rho}\left(\epsilon_{yx}\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \epsilon_{yy}\frac{\partial^2 v}{\partial y^2}\right) \\ + g\left(\frac{\partial z}{\partial y} + \frac{\partial h}{\partial y}\right) + \frac{\tau_y}{\rho h} = 0 \end{aligned} \quad (3)$$

式中，

- x, y : 水平方向卡氏座標
- u, v : 流速之 x, y 分量；
- t : 時間；
- ρ : 水密度；
- g : 重力加速度；
- z : 底床高程；
- h : 水深；
- τ_x, τ_y : 底床剪應力；
- $\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yx}, \epsilon_{yy}$: 亂流交換係數。

方程式(1)、(2)及(3)分別代表河川中平均水深之連續方程式、 x 方向及 y 方向之動量方程式。參數值經過適當之估計，則控制方程式中之未知數 h, u, v 三者，在理論上可直接求解；但在實際應用上，因邊界幾何形狀往往甚為複雜，上述偏微分方程組通常無法求得解析解，因此必須藉由有限差分法或有限元素法等數值方法疊代求解之，本文則採用葛樂金(Galerkin)有限元素法。

(二) 邊界條件

1. 上游邊界條件

數值模式中會將總入流量分配至各節點間，即沿著格網上游端之邊界節點輸入單位流量或流速，或僅輸入橫過上游邊界連續性之總入流量。本文採用之上游邊界分別為基隆河第七斷面及支流磺港溪之流量。

2. 下游邊界條件

沿著格網下游端邊界節點需輸入水位作為下游邊界條件。本文採用之下游邊界條件為基隆河河口斷面之洪水位，於 200 年重現期時之定量流河口洪水位為 7.71 公尺^[22]。

3. 乾燥與濕潤邊界元素處理

在計算非穩態之流況時，由於河川中水位係隨時間產生變化，使得在實體表面格網元素計算上，產生乾濕交界面計算之困擾，若無適當之處理，將產生數值振盪或不收斂之現象。水位隨時間變化之格網處理方式，首先須依據水位判斷實體表面元素是否為完全無水之乾元素，若格網中某些元素恰有部份為有水濕地，而部份卻並無水乾面之交界面元素之情形產生時，本文則採用濕地孔隙法(marsh porosity method)進行處理^[19]。

(三) 模式參數

為使二維性模式能更準確地模擬，必須藉由某些參數之調整，以使模式能符合實際流況，所以這些參數之適當與否亦會影響模擬結果之精度。本模式中每個格網都必須依現地之狀況，選定底床剪應力(曼寧糙度 n 值)及亂流交換係數($\epsilon_{xx}, \epsilon_{xy}, \epsilon_{yx}, \epsilon_{yy}$)，茲分述如下：

1. 底床剪應力

底床剪應力可以曼寧糙度係數 n 值表示，在河川定床數值模擬中，除了河道幾何斷面、橋樑結構物與下游邊界條件外，以河道之糙度係數對模式演算之結果影響最大，一般河道採用之曼寧糙度係數 n 值範圍約為 0.016~0.045，不同情況下所採用之曼寧糙度係數 n 值如表 1 所示。

表 1 TABS-2 建議之曼寧糙度 n 值^[19]

河道情況	曼寧糙度 n 值
無沉樹、殘幹之淺水河川	0.025-0.035
深水河川	0.018-0.025
無植生之淺水河口	0.020-0.030
深水河口	0.015-0.020
密集植生之濕地	0.050-0.100

2. 亂流交換係數

亂流損失為導因於在河中亂流作用引起急劇動量交換所產生之動量損失。水理模式中對於亂流與流體黏滯性所造成之剪應力估計，根據 Boussinesq 渦度黏滯性(eddy viscosity)觀念，假設剪應力正比於水深平均流速之梯度。在控制方程式中藉用亂流交換係數加以處理，如方程式中所示 ϵ_{xy} ，即 ϵ 乘以 x, y 方向流速之二次導數， ϵ_{xy} 的單位為($N \cdot sec/m^2$)，不同河道情況所採用之亂流交換係數如表 2 所示。

(四) 地形格網之構成

本文採用之基隆河斷面格網資料，係根據台灣省北區水資源局於民國 85 年實測民國 86 年公佈之基隆河斷面地形資料所構成。由於資料點在橫斷面方向的密度遠高於縱向，為了讓格網中之節點有良好之均佈性且確保格網之品質，故本文對原有各斷面之地形資料點作了相當程度之篩選(如圖 2)，該篩選之方式若從研究範圍之大小以及格網之規模來考量時，該方式之刪除及簡化應仍屬適當。研究區域之地形高程及二維格網，繪如圖 3 及圖 4 所示。

表 2 TABS-2 建議之亂流交換係數^[19]

河道情況	亂流交換係數 $N \cdot sec/m^2$
淺河槽(緩流速)	240-1200
淺河槽(高流速)	1200-2400
深河口(小格網)	2400-4800
深河口(大格網)	9500-14400
受潮汐影響之濕地	4800-9500
結構物旁之分流	50-240

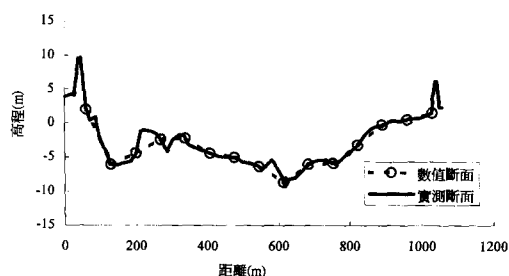


圖 2 數值模式所使用之断面與實測断面比較

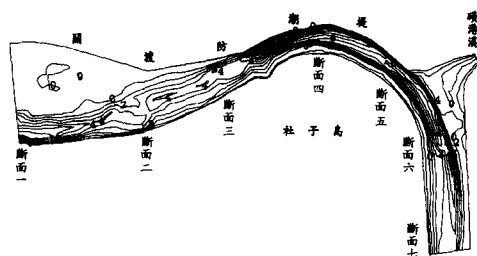


圖 3 基隆河河口地形等高線圖

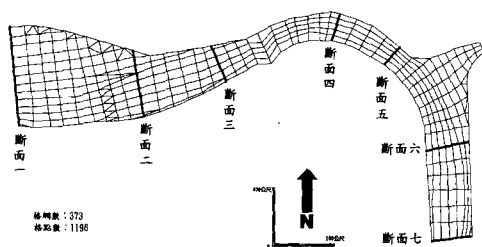


圖 4 現況之基隆河河口二維水力演算格網

表 3 研究區域中歷年紅樹林生長面積之變化

年代(year)	民國 67 年	民國 75 年	民國 83 年	民國 95 年(預估)
紅樹林生長面積(ha)	3.4 ha	14.3 ha	21.1 ha	30.9 ha
紅樹林面積百分比(%) <註>	10%	42%	62%	91%

註：紅樹林面積百分比＝紅樹林生長面積÷研究區域濕地總面積(34ha)

四、水文及地文資料

(一) 計畫洪水量

計畫洪水位採用基隆河 200 年重現期定流量，主河道基隆河使用經濟部水資源局^[20]之洪水量 3,200cms，另支流磺港溪 200 年重現期之流量採用 160cms^[21]。

(二) 紅樹林生長面積

本文利用內政部林務局農林航空測量所於民國 67 年、民國 75 年及民國 83 年之航照圖(詳見圖 5)，作為估算研究區域濕地上紅樹林生長面積之依據，結果如表 3 所示，民國 67 年、民國 75 年及民國 83 年時，紅樹林面積百分比分別約為 10%、42%及 62%，計算方式為研究區域中歷年紅樹林生長面積除以研究區域濕地總面積。本文中假設紅樹林隨時間成長之趨勢不變，以紅樹林面積百分比與時間之變化，使用自然對數回歸線外插，推估出研究區域內無紅樹林生長之年代為民國 63 年，並預估民國 95 年時紅樹林生長面積百分比為 91% (如圖 6 所示)。

(三) 河道断面

河川断面變化對河川洪水位影響甚大，然而河川断面之變化，受地層下陷、砂石採取、河川冲刷及淤積、兩岸水土保持、集水區域特性、河川管理措施等因素影響。而本文主要探討重點為紅樹林生長對基隆河河口水利之影響，故數值模擬過程中除紅樹林生長狀況外，暫不考慮断面變化因子，均以台灣省水利處北區水資源局民國 85 年時量測且於民國 86 年公佈之河川断面作為模式之輸入資料，以利於比較紅樹林生長狀況對基隆河河口水利之影響。

(四) 河口洪水位

本文以參考文獻中使用淡水河流量 25,000cms、基隆河流量 3,200cms 及淡海潮位 1.91 公尺等條件^[20]，所推求出基隆河與淡水河匯流口(關渡)之洪水位 7.71 公尺^[22]作為研究區域之下游邊界條件，以演算出基隆河各断面 200



圖 5 研究區域內歷年來紅樹林生長範圍航照圖

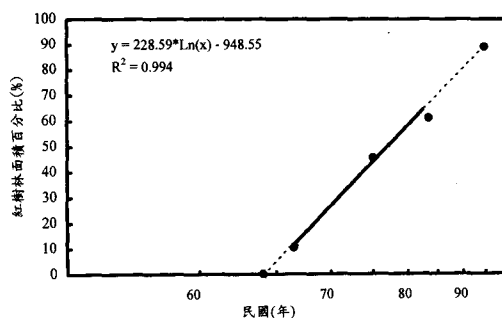


圖 6 紅樹林面積生長之趨勢

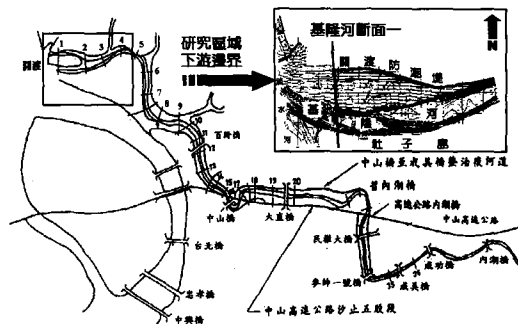


圖 7 基隆河斷面位置

年重現期洪水位(基隆河各斷面位置參見圖 7)，此乃考慮到基隆河係屬淡水河河系支流之一，基隆河之洪水位深受下游淡水河洪水位影響之故。

(五) 曼寧糙度 n 值及亂流交換係數

本文中所採用之曼寧糙度 n 值，除了參考 TABS-2 使用手冊^[19]建議值(參見表 1 所示)外，並且參考基隆河水理相關之研究報告，如民國 83 年「基隆河整治對河川影響及監測系統之評估(三)」^[22]有關基隆河之曼寧糙度 n 值之檢定及驗證，及民國 85 年「河川作物種植規範之研議」^[23]對於台灣高灘地作物生長曼寧糙度 n 值之建議。本文即根據上述參考文獻之研究成果，

於河川主深槽使用曼寧糙度 n 值為 0.020，高灘地曼寧糙度 n 值為 0.031，紅樹林之曼寧糙度 n 值則採用 0.1。至於本文所採用之亂流交換係數，則參考 TABS-2^[19]使用手冊建議之值(參見表 2 所示)，在不同河道情況下，分別採用適當係數值。

五、模擬結果與討論

本文以基隆河斷面一至斷面七為研究範圍(包括紅樹林生長分佈於基隆河河口斷面一至斷面三的右側泥灘地上)，配合基隆河 200 年重現期之洪流量，以美國陸軍工程師團所發展之 TABS-2^[19]模式分析及比較紅樹林在民國 63

年、民國 75 年、民國 83 年及民國 95 年等不同生長面積，對基隆河 200 年重現期洪水位之影響。

(一) 橫斷面流況分析

經數值模式模擬民國 63 年、民國 75 年、民國 83 年及民國 95 年之二維流速分佈模擬結果繪如圖 8、圖 9、圖 10 及圖 11 所示。由圖 8 中顯示民國 63 年時基隆河斷面一至斷面二之間的流速呈現均勻等速分佈，其最大流速約為 1.1 公尺/秒。而圖 9 至圖 11 中顯示，隨著紅樹林逐年的擴大生長面積，使得基隆河斷面一至斷面二之間的局部最大流速由民國 63 年的 1.1 公尺/秒，增加至民國 75 年的 1.2 公尺/秒、民國 83 年的 1.6 公尺/秒及民國 95 年的 1.8 公尺/秒，其變化範圍多集中於沿著紅樹林生長區域附近斷面，即基隆河斷面一至斷面三之間。

此外，位於河口的斷面一在受到紅樹林逐年擴張、河川通水能力減少的影響下，河道左岸之最大流速由民國 63 年的 0.8 公尺/秒增速至民國 75 年的 1.4 公尺/秒、民國 83 年的 1.6 公尺/秒及民國 95 年的 1.8 公尺/秒，流速逐年增加之現象，將可能連帶的造成河道底床冲刷加劇並危及基隆河沿岸的防洪設施。

圖 12 至圖 15 分別為數值模式模擬民國 63 年、民國 75 年、民國 83 年及民國 95 年之二維等洪水位圖。由圖 12 顯示，民國 63 年時基隆河斷面一至斷面三之間的洪水位呈現均勻且水平的分佈，其中斷面二的局部最高洪水位約為 7.72 公尺。然而，從圖 13 至圖 15 中顯示，當紅樹林生長面積擴張至關渡濕地的 42%、62% 及 91% 時，基隆河斷面一至斷面三之河道右岸地形因此產生變化，使得洪水位均較民國 63 年為高，且洪水位變化的範圍多集中於河道左側。

以基隆河斷面二為例，其局部最高洪水位由民國 63 年的 7.72 公尺，抬高至民國 75 年的 7.81 公尺、民國 83 年的 7.85 公尺及民國 95 年的 7.87 公尺，而上述之最高洪水位均位於河道的左岸。該分析結果顯示，洪流期間紅樹林將會抬高基隆河洪水位，所造成之阻水效應不容忽視。

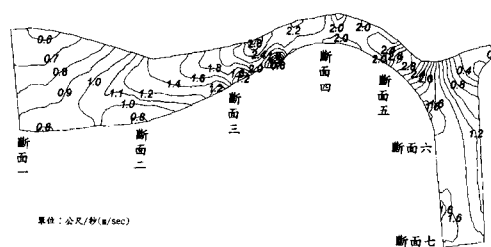


圖 8 民國 63 年之基隆河河口流速分佈

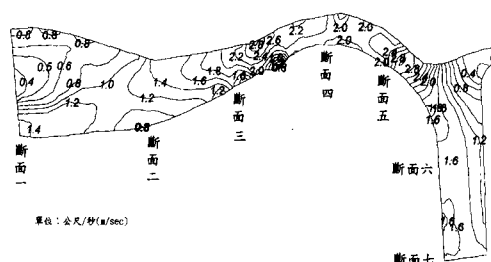


圖 9 民國 75 年之基隆河河口流速分佈

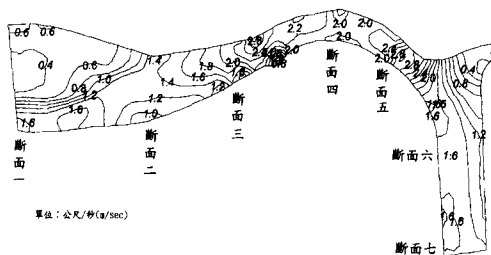


圖 10 民國 83 年之基隆河河口流速分佈

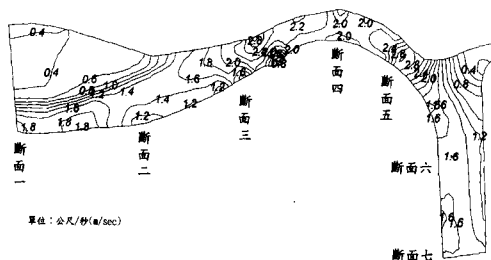


圖 11 民國 95 年之基隆河河口流速分佈

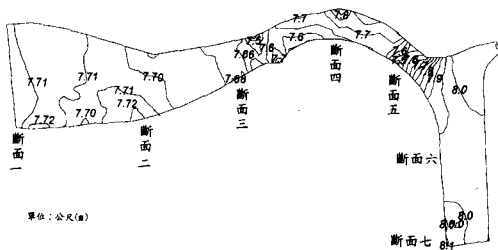


圖 12 民國 63 年之基隆河河口等洪水位

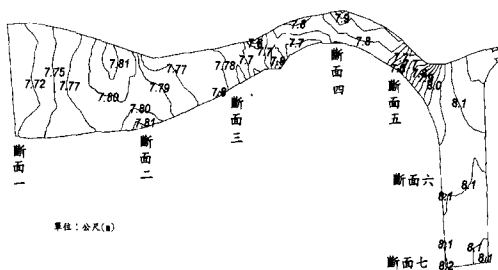


圖 13 民國 75 年之基隆河河口等洪水位

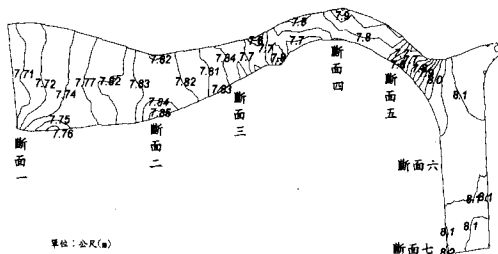


圖 14 民國 83 年之基隆河河口等洪水位

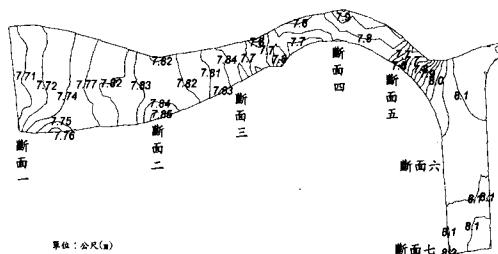


圖 15 民國 95 年之基隆河河口等洪水位

由上述對於橫斷面流況分析得知，紅樹林逐年擴張生長面積的結果，將會造成基隆河洪水位的抬升及河口流速的增加，對於河床的冲刷及阻水效應具有相當負面之影響。

(二) 縱斷面洪水位分析

本文分別於民國 63 年、民國 75 年、民國 83 年及民國 95 年之模擬結果中，選取各橫斷面高程最低點之流速作為主河槽流速，並配合該斷面之最高洪水位，將其整理列如表 4 及表 5 所示。此外，亦分別以洪水位及主河槽流速為縱軸，基隆河橫斷面至河口距離為橫軸，繪製洪水位與主河槽流速之縱斷面變化趨勢如圖 16 及圖 17 所示。

在洪水位方面，由表 4 及圖 16 中顯示，受到紅樹林生長面積逐年增加之影響，基隆河斷面二至斷面七之間的洪水位均有逐年上升之趨勢。以基隆河斷面七為例，民國 63 年時洪水位為 8.05 公尺，而在民國 75 年、民國 83 年及民國 95 年時之洪水位，則較民國 63 年分別上升 13 公分、17 公分及 20 公分。此結果顯示紅樹林逐年增加生長面積，並且佔據河川通水面積，將會造成上游洪水位的升高及影響基隆河沿岸的防洪效能，其中以民國 95 年之紅樹林在生長面積達關渡濕地的 91% 後，抬升基隆河洪水位最大，約為 18 公分至 22 公分。

表 4 模擬 200 年重現期基隆河河口各斷面之洪水位
單位：公尺(m)

斷面編號	最高洪水位			
	民國 63 年	民國 75 年	民國 83 年	民國 95 年
斷面一	7.71	7.72	7.72	7.72
斷面二	7.72	7.86	7.90	7.90
斷面三	7.64	7.79	7.83	7.86
斷面四	7.67	7.81	7.85	7.89
斷面五	7.55	7.69	7.74	7.77
斷面六	7.98	8.11	8.15	8.18
斷面七	8.05	8.18	8.22	8.25

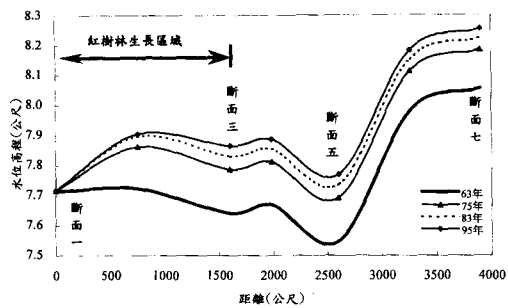


圖 16 民國 63 年至民國 95 年之基隆河河口各斷面
洪水位

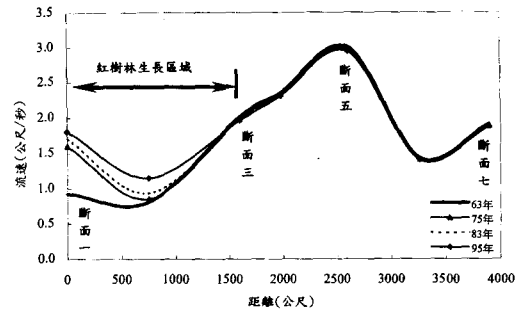


圖 17 民國 63 年至民國 95 年之基隆河河口各斷面
流速

六、結論

至於在主河槽流速方面，由表 5 及圖 17 的結果顯示，受到紅樹林生長面積逐年擴張之影響，使得紅樹林主要生長區域的斷面一至斷面三的河道通水面積逐年縮減，造成主河槽流速的增加。以斷面二為例，其主河槽流速由民國 63 年的 0.81 公尺/秒，加快至民國 75 年的 0.85 公尺/秒、民國 83 年的 0.94 公尺/秒及民國 95 年的 1.15 公尺/秒，此結果將會造成河床的沖刷。由以上結果顯示，隨著紅樹林生長面積逐年增加，除造成洪水位的上升外，亦將會因主河槽流速的加快而加大洪水之風險。

本文針對關渡濕地的紅樹林生長面積，對基隆河口水流之影響進行二維水理分析。由結果顯示，洪流期間紅樹林將會造成洪水位抬升及下游流速加大之效應，且依演算結果顯示在 200 年重現期洪水時，以基隆河斷面七為例，民國 75 年、民國 83 年及民國 95 年之洪水位較民國 63 年無紅樹林生長時，其洪水位分別抬升 13 公分、17 公分及 20 公分，故紅樹林若再持續擴大生長範圍，則將會再抬升基隆河洪水位。另模擬結果顯示，受紅樹林生長面積逐年擴張之影響，斷面一至斷面三之流速增大最為顯著，以斷面二為例，其主河槽之流速由民國 75 年之 0.85 公尺/秒到民國 83 年的 0.94 公尺/秒，及民國 95 年的 1.15 公尺/秒，此結果易造成河床的沖刷。

表 5 模擬 200 年重現期基隆河河口各斷面之主河
槽流速 單位：公尺/秒(m/sec)

斷面 編號	主河槽流速			
	民國 63 年	民國 75 年	民國 83 年	民國 95 年
斷面一	0.93	1.60	1.71	1.80
斷面二	0.81	0.85	0.94	1.15
斷面三	2.02	1.98	1.97	1.96
斷面四	2.36	2.32	2.32	2.31
斷面五	3.01	2.96	2.95	2.94
斷面六	1.44	1.42	1.41	1.41
斷面七	1.91	1.89	1.89	1.88

七、參考文獻

1. 顏清連等，「基隆河水理特性之研究」，台大土木所水利組研究報告，民國 72 年 9 月。
2. 許銘熙等，「基隆河水理暨水質特性之研究（一）截流系統對河川水理之影響」，行政院國科會專題研究計畫報告，民國 78 年 12 月。
3. 許銘熙等，「基隆河水理暨水質特性之研究（二）截流系統對河川水質之影響」，行政院國科會專題研究計畫報告，民國 79 年 12 月。

4. 許銘熙、王如意，「關渡堤防北移對水理與環境影響之研究」，台北市政府工務局養護工程處，民國 85 年 5 月。
5. 郭振泰等，「基隆河整治對河川水質之影響」，台大水工所研究報告，民國 84 年 1 月。
6. 李鴻源等，「社子島地區保護頻率洪水提高為 200 年對淡水河系影響之分析」，台大土木所水利組研究報告，民國 85 年 6 月。
7. 張文亮，「關渡溼地漲退潮水質變化之探討」，八十六年度農業工程研討會論文，民國 86 年 12 月。
8. 王如意等，「台北防洪整體檢討計畫(三)」，經濟部水資源局，民國 87 年 6 月。
9. 游以德等，「二重疏洪道沼澤生態區基本調查與水域環境初步清理計畫及整體規劃」，行政院環境保護署，87 年 6 月。
10. 陳明義、陳谷季、李遠慶，「淡水河口紅樹林之生態研究」，中華林學季刊 9(3):43-50，民國 65 年 9 月。
11. 呂光洋，「竹圍紅樹林沼澤生態調查(1)」，中華林學季刊 15(3):69-76，民國 71 年 9 月。
12. 黃增泉、徐素貞，「台灣紅樹林面臨之問題」，中華林學季刊 15(3):77-83，民國 71 年 9 月。
13. 劉棠瑞、賴明洲，「淡水河口竹圍地區水筆仔紅樹林來源問題之探討」，中華林學季刊 15(3):85-86，民國 71 年 9 月。
14. 周昌弘、張富均、黃元勳，「紅樹林生態研究之回顧」，臺灣植物資源與保育論文集：23-43，民國 76 年 12 月。
15. 薛美莉，「消失中的濕地森林－記台灣的紅樹林」，台灣特有生物研究保育中心，民國 84 年 6 月。
16. 郭智勇，「台灣紅樹林自然導遊」，大樹出版社，民國 85 年 6 月。
17. Wester, L. ,“Vegetation change in Guan Du marsh, Taiwan 1978-1985”, Univ. of Hawaii, 1987.
18. 韓韓、馬以工，「我們只有一個地球」，九歌出版社，民國 72 年 1 月。
19. Thomas, W.A., and McAnally, W.H., Jr., "User's Manual for the Generalized Computer Program System Open-Channel Flow and Sedimentation TABS-2", Hydraulics Laboratory, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers, U.S. Army, 1985.
20. 經濟部水資源局，「淡水河水工模型整建及台北防洪計畫績效驗證報告 03-試 65」，民國 85 年 12 月。
21. 台北市政府工務局養護工程處，「磺港溪等與基隆河匯合處規劃工程」，民國 83 年 6 月。
22. 顏清連等，「基隆河整治對河川影響及監測系統之評估(三)」台大水工所研究報告第 200 號，民國 84 年 1 月。
23. 李鴻源，「河川作物種植規範之研議」，台大水工所研究報告第 232 號，民國 85 年 7 月。

收稿日期：民國 88 年 5 月 5 日

修正日期：民國 88 年 6 月 15 日

接受日期：民國 88 年 6 月 22 日