

# 淡水河口區水下地形

宋國士<sup>1</sup>、溫良碩<sup>2</sup>、劉康克<sup>1,2</sup>、劉佩琨<sup>1</sup>

## 摘 要

位於社子島以西之淡水河口區段，完成的水下地形圖可清楚指出地形特徵在南北兩段有明顯不同。兩段的分界點位於竹圍北側的紅樹林保護區中段河域東岸；南段為窄而深的谷型地貌，但在關渡橋有一地形鞍部其使河川在此處看來存有深 13 至 15 米之兩組凹洞。在分界處，水道變寬使水流變緩，河道在此易淤積變淺。進入北段河道後河道開始彎曲，曲流外緣因此會產生快水流的沖刷，沿著河岸內側形成平均 8 米深的河床渠道。80 年前河道中曾存在面積遼闊的沙洲或淺灘，北段河道（除出海口外）因此表現出河道的分叉地貌，隱喻當時河水向下游流動的能量和潮量能量相當。自從水庫興建以來，使上游流下的水及砂減小，結果在旱水期，漲潮流將淘選出的古泥沙上溯搬離；在洪水期時，經由河流及退潮流一併帶至出海口沈積在台北港北防波堤北側，淺於 7 米水深的平坦海床上。水中沙洲，淺灘及分叉水道也一一式微。

（關鍵詞：淡水河，水下地形，淡水河口）

## 前 言

淡水河流域廣，支流也多，是台灣第三大河流，又因為流域內雨水的季節變化少，因此水流量變化小且穩定。它在過去曾是台灣最忙碌的河流，其中下游至今亦流經了台灣最繁盛之大台北地區，提供包括自來水設備和電力支援系統的主要水力資源；且成為現代人類居民及其他動植物休閒棲息的重要場所。

淡水河在地理學上，其水系成樹枝狀分佈，上游有基隆河、新店溪及大漢溪三大支流（圖 1）。大漢溪源自雪山山脈，上游有石門水庫，提供台北、桃園甚至新竹地區的灌溉及民生用水。大漢溪在板橋、萬華區和新店溪匯合，自此以下的河道始稱之為淡水河。

新店溪源自北宜交界的雪山山脈，上游建有供大台北民生用水的翡翠水庫，自西南向北流先和景美溪會合再和大漢溪一起匯入淡水河。基隆河自東北向西流，流經西部麓山帶，匯入一些源自大屯山區的小支流（如雙溪、磺溪等），在關渡與淡水河會合成為淡水河系的主幹。自此一直向西北延伸，為本報告的調查及研究水域（圖 2），其間流經竹圍在淡水出海。

---

1. 國立台灣大學海洋研究所  
2. 國科會國家海洋科學中心

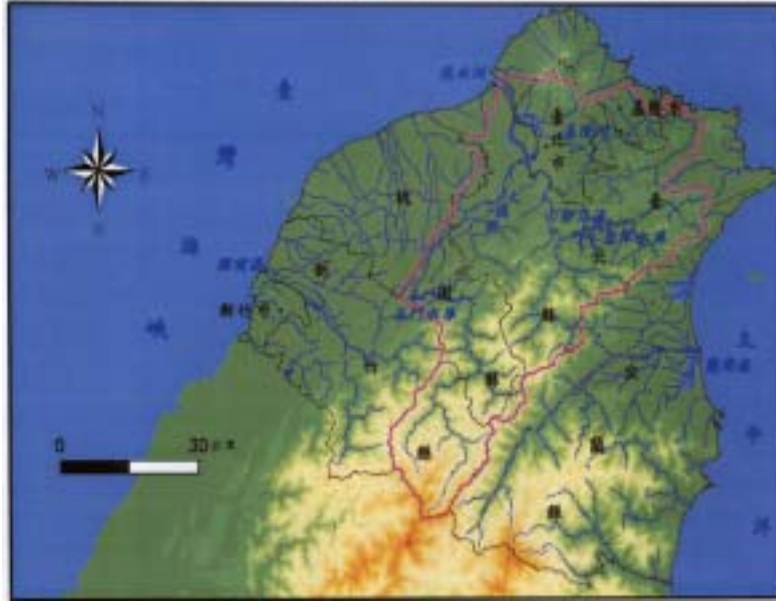


圖 1、淡水河流域河系相關位置圖。圖中可見大漢溪、新店溪和基隆河匯入淡水河之相關位置；其中基隆河和淡水河交會處，靠海段河域為本報告調查的河段範圍。本圖摘錄自台灣大學“淡水河溯源數位圖書館”網站，並加以編輯製成。



圖 2、淡水河地區衛星影像圖，該圖取自於中央大學太空遙測中心網頁之台北淡水地區衛星影像；圖左下角之白色區框為該衛星影像位置，圖之右上角為長度比例尺。如圖中所示，社子島北方之基隆河與淡水河於社子島西端匯流，而該區也為本調查區之邊界所在；圖中並顯示橫貫淡水河面之關渡大橋。



圖 3、1921 年日本明治時期，日本陸軍遙測部繪製的地形圖。此成圖是為經電腦掃描，將淡水及北投兩地形圖幅接合製成。地圖範圍東南角河口虛線為本報告調查區的南端邊界；潮間沙灘區為圖上的細點區域，實線（包括淡水河內者）為高潮線以上的陸地區域，左上角為長度比例尺。

基隆河和淡水河的會合點，在基隆河北側，堆積形成了自關渡自然保留區向東北延伸的關渡平原，南側則為由淡水河泥沙沖積而成的沙洲島，現稱為社子島，但其尾端因和台北盆地相連接，已呈半島狀態，在調查區之河域地帶，除了因鄰接海邊，氣候環境常受東北季風及潮汐漲退影響，因此稱之為淡水河口（Fairbridge(1980) 定義：河口為自出海口開始向陸延伸受潮流侵入影響的河道區域（Pethick,1984））。淡水河口除長年潮濕和多雨外，泥沙（甚至包括垃圾等污染源）亦長年堆積成淺灘，在沿岸更形成了自關渡一系列向出海口延伸，伴育有水筆仔純林之紅樹林地區（如紅樹林及挖子尾自然保留區）。

淡水河上游的水土保持不良，自然導致河流下流嚴重淤積。此種河床的淤塞漸淺，探考淡水河自清代以來，當地船運交通的變遷歷史，便可加以推測論斷。17 世紀末期，船隻原可

自淡水直入基隆出海，另可經大漢溪一直上溯抵大溪；發展到日本侵台前（19 世紀初），大帆船仍可上溯到新莊使其處成為當時淡水河流域的貨物集散地。但到 1820 年後因河道淤積，集散地已向下游遷移至艋舺或（現稱萬華）一帶。至今由於基隆港的興起，再加上水庫之開發使河川水流量減低，水位的下降，更使淡水河船運之使用，只留淡水渡船頭至八里跨河運輸而已。

淡水河水運的漸趨沒落，和其他幾條主要河流一樣，仍因長久的經濟發展，而輕忽對自然環境生態的保育結果。都市過度的擴展，被迫侵蝕河川腹地，或開發沿河沖積地，並導致河川污染；上游地區濫墾濫伐，使河川含砂量大，增高河床高程而造成洪水災害；而進一步之防洪堤防設施，易造成河川形貌之畸形發育。以上種種，基於貫徹環境生態之永續經營理念，使河川保育已達刻不容緩之階段。故針對河川復育所須進行的各類生態環境研究，甚至如須進一步執行河床浚深，河川形貌或地形資料乃須事先予以收集分析。然查遍各相關文獻，幾乎缺乏完整的淡水河河床地形資料可供查詢或參考。唯一值得研究的古淡水河地形描述圖幅是為當時大日本帝國陸軍測量部繪製的日治時代二萬五千分之一的地形圖，但其只能探知約 80 年前的河道形貌（圖 3），而無從瞭解河道內深度去從事定量上的地形描述或分析工作。

本報告成果為，在西元 2000 年 10~12 月期間，利用回聲測深機於基隆河匯入點以西之淡水河口段內測量取得大量的水深測值（範圍見圖 2），繪製一公尺間距的水下等深線地形圖。測量值經過了嚴謹的潮位及聲速校正後，水深值可小於 30 公分準確度而滿足國際水道測量組織（IHO）水深測值準則（IHO, 1987）。文章中除將明白敘述測值精度及其高程基準面的取得及處理過程意義外，進一步會以圖說明淡水河口區段河床之形貌及其在空間上的變化因子，討論可用來分析當地可能發展的地形變遷態勢，更可以供為他項有關河川環境模式研究之參考。

## 水深測量工具及資料收集

在作業範圍內，水深值都利用小型船隻於其舷邊架設射頻為 200 千赫的測深用音鼓，測量的航線輔以導航器，間距為 50 公尺（圖 4）使用德製 ELAC 4100 單音束測深機與全球衛星定位接收器，經兩個 RS-232 埠和電腦連線，將測深及定位資料非同步依序地寫入磁碟檔案儲存，俟後處理。

在資料軟體中，水深值及其相對的收集時間會以其最近得到的定位資料的時間值為基準寫入檔案內。而定位資料在測量作業後，會以架設在台大海洋研究所頂樓的衛星基地站收集的定位修正量處理，進行所謂的後期定位差分計算。處理成果將得到每一設定時間點，定位精度在 4 公尺以下（95%信賴區間）的定位點值，計算出的差分定位點會依其對應時間和水深值依序配對組合。

在 10~20 公尺深淺水域中，ELAC 4100 測深機會提供每秒至少 10 筆的水深值。而計畫中，每一定位點上選配出的水深代表值（淡水河作業定位測點的設定時間間距為四秒），是為定位點時間 $\pm 1$  秒內所收集水深資料的平均值。故水深值便在定位精度之四公尺範圍內（2 秒

範圍，4 節船速，船行約 4 公尺）因大量的水深值平均作用，變的更穩定可靠。

另外，定位資料中，亦同時記錄了衛星定位精度因子及其它定位品質參數（如接收衛星數目等）。因此後處理的資料可依需要予以控管分析以達需求之定位品質（宋國士等，1993；宋國士等，1999）。差分處理則依情況使用美 Ashtech 公司開發的“PRISM”或“AOSS”測量分析軟體（Ashtech，1992；1998）。

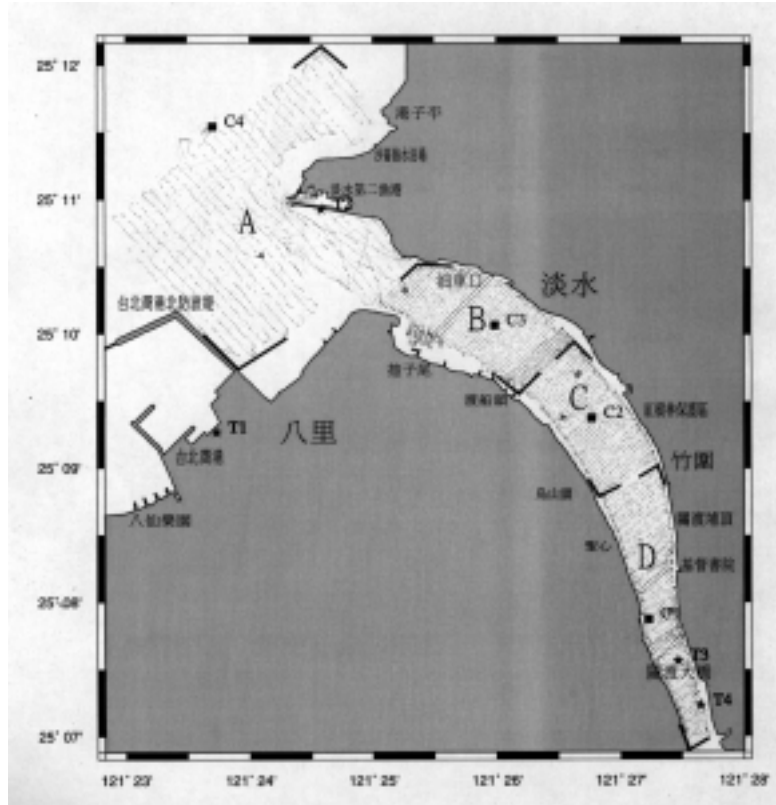


圖 4、調查區域的測點分佈圖。測點分佈圖之線性，描出測量水深時船行航跡。A、B、C、D 四個測量區中測深值使用不同的聲速值，代表的聲速剖面（參考圖五）計算自位於 C1~C4 的四個 CTD 測站資料；測站位置以實心正方形標示。T1、T2、T3 及 T4 旁的星星符號，標示本次調查的各潮位站位置。

## 水深資料之處理

### (1) 參考基準面

主要分成水平及垂直兩大類，垂直的基準面將決定水深測值的零位置，將在潮位修正一節中予以說明，本節將以討論水平座標系為主。

依前面所述，水深調查所用的定位工具為全球衛星定位系統，本系統輸出在地面參考框架下（Terrestrial Reference Frame, TRF），其大地參考參數中如接收機未設定特定的球面轉換值，求得之定位點位是在所謂的世界大地 84 系統上（WGS84 或 World Geodetic System 84）（Smith，1997）。此一地球基準面在 1980 年代及 90 年初會顯示出 1~2 公尺的預期誤差，也因

此在 1995 年後,已將其修正為所謂的 WGS84( G730 ),精準度提高至 10 公分之級數( Kleusberg & Teunissen, 1996 ) 內政部 1994 年所決定採用的國家坐標系統是在 1997.0 時定義的 ITRF94, 它需利用和 G730 極相近的 GRS80 ( Geodetic Reference System 80 ) 橢球參數去求得慣用的曲面大地坐標( 經緯度, 橢球高); 稱之為台灣 97 基準面( TWD97)( 曾清涼與儲慶美, 1999 )。

WGS84 基準面和海軍測量局出版的海圖或內政部出版的各種大小比例尺地圖中採用的 GRS67 基準面不盡相同。在台灣地區經度上差約 0.5 分, 緯度差約 0.1 分( 宋國士, 1994 )。因此, 在繪製本報告的地形圖時, 由農林廳五千分之一地圖上數位所擷取的河岸及海岸邊界坐標, 將會先轉換成同一基準下的 WGS84 經緯坐標值。

由於世界大地 84 系統參考面和台灣 97 基準面較為一致( 差異不及 1 公尺, 且島上之衛星控制點現都採用 TWD97 ), 另方便其它學者使用報告成圖( 大多學者多使用全球衛星定位接收機之 WGS84 輸出值, 進行採樣並繪圖 ), 本報告的平面基準於是採用世界大地 84 系統經緯坐標。

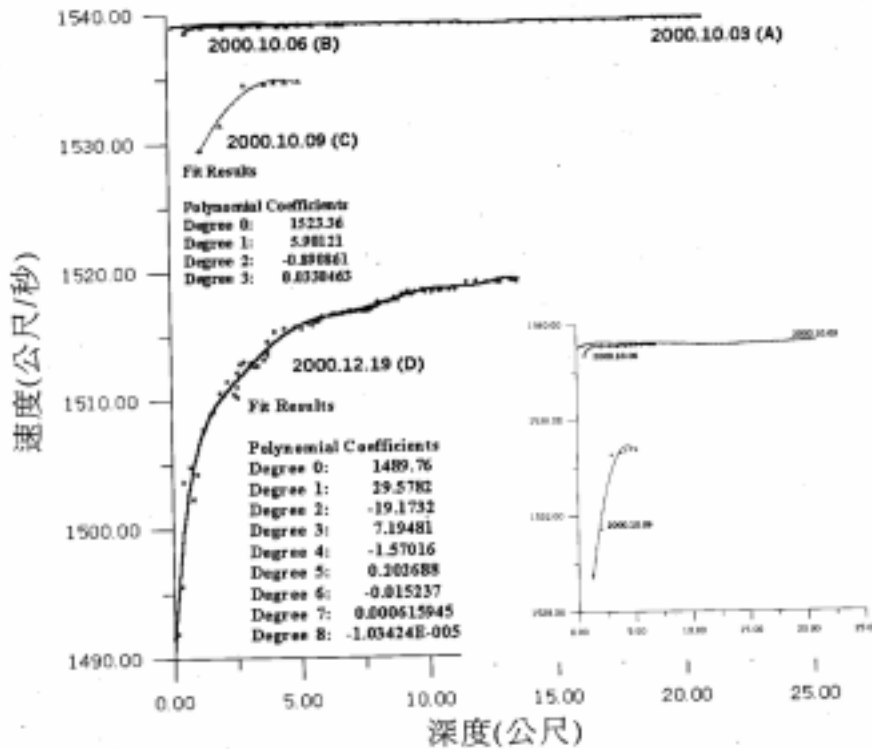
## (2) 聲速校正

利用回聲測深機所得的測深值是回聲在水層行進的單程時間和聲波在水層行進速率值的乘積。測深機基本上只能獲得行進時間值, 故現場所測得或記錄的水深值通常靠作業前預設的水層平均聲速, 或聲速剖面值估算得知。也因此這些依預估聲速值所得到的水深測值須事後進行所謂的聲速校正( 除非作業時, 正確聲速值已求出並輸入為測深機設定值 )。

本報告使用 Song & Chen ( 2001 ) 提出的聲速校正法。此方法需在作業區內測得隨深度變化的聲速值剖面, 然後求得其回歸多項式, 再把利用初設聲速常數所測得的各個水深值, 逐一用漸近法計算修正。校正後的水深值, 同一局部區域的測值聲速誤差可縮小至 0.2% 以內( Song & Chen, 2001 )。

本報告測區共花四個工作天完成作業, 每個工作天只對一特定範圍之區塊進行測勘。這四區的範圍標示於圖四, 每一區不同深度層位的聲速值皆利用鹽溫儀( CTD )的鹽度、溫度、壓力資料推算得知。CTD 站位多選擇在該區的深處施測。每一天該區水深測值便都以對應之指定剖面校正。

四區的聲速剖面及其回歸多項式參數可參見圖 5 說明。明顯地, 在河口區域下游段 10 月初所量得的聲速剖面 and 12 月測量之關渡橋附近內陸段的剖面形貌及數值極不相同; 尤其在近出海口的 A、B 兩區以校正感應範圍視之, 為一定值, 在 1539.1 公尺/秒; 水表面 1.5 公尺內變化最大, 但也只有 0.2~0.3 公尺/秒的變化量。上述定值在出海口海域可一直延伸至 20 公尺深, 表示為同溫層或混同層的位置所在; 這層海水且一直向內河全層入侵至少到 B 區所在之水域。在 C 區, 聲速已降至 1534.5 公尺/秒, 表面低速層較厚且坡度大, 在 3 米的表水速度下降起碼 5 公尺/秒; 可隱喻此段之河床高區( 地形表現後章說明 )河水已和陸源的淡水交換, 較重的海水貼近河底向上游延伸。但不論如何, 由此三區表現之聲速值的微量變化現象, 可臆測在 A、B、C 三區利用上述曲線進行的聲速校正, 可信度極高。



圖五、各水深測量區使用鹽溫儀 (CTD) 所量得的沿水深聲速曲線圖。橫軸為測量時未經修正時的水深值 (公尺), 縱軸為水中聲速值 (公尺/秒)。四個站的測值都用最小平方方法計算出多項式迴歸曲線, 曲線順著測點延伸; 其中 C、D 兩區的曲線多項式係數列舉在曲線下的空白位置。右下角為 A、B、C 三區的縱軸放大圖, 以便可能表現近乎直線分佈的 A、B 兩條剖面。剖面標號為圖四的測區編號, 編號旁的年、月、日為 CTD 測量並同時在同區域施作測深時日期。

在關渡橋區 D 段所量得的聲速剖面, 聲速值變化相對較大, 尤其在表層 3、4 米處, 存有從 1492 公尺/秒向下急增至 1514 公尺/秒之特性。由於此段測量季節不同於 A、B、C 外海段, 並不能比較說明上述區段間水體屬性之異同。但由此看出須取得正確聲速剖面進行合理聲速校正的重要性。

### (3) 潮位修正

台灣島的垂直水準零點採用水利局水準零點的基隆港平均潮位面 (曾清涼與儲慶美, 1999)。因此, 淡水河內的高程值選擇採用基隆港平均潮位所定義的台灣基準面; 也就是說, 任何的水深測值都需要修正至台灣基準高程, 其中零公尺為基隆港的平均潮位線。文章中的淡水河地形等深線為負值, 零公尺並不一定和圖上的岸線吻合。

由於此次水深測量的區域是屬於一開放河系之狹長水道, 潮位變化是漸進式的, 出海口的滿潮時間和相距約九公里的河內測區尾端之滿潮時間也將不同, 使得其潮位修正值不能只依靠任何單點上驗潮站的資料, 而必須起碼在測區兩端架設驗潮站求得兩端的潮位變化值,

利用內插來推測沿河各點在不同時間下應修正的水位高程值，來對此區域內的水深實測值進行潮位修正工作，並將水深值推算成以基隆港平均潮位面或台灣水準零點為基準的地形高程值(H)；因其是以起碼 18.6 年長週期的平均潮線為基準，故它可代表當地重力場決定的大地基準面。

首先我們於測區兩端的淡水第二漁港、關渡橋墩上與水上救生協會碼頭設潮位站記錄測深時段的潮位值資料(圖 4T2~T4)。為能求得各驗潮站的 WGS84 坐標值，設站前期，我們利用內政部地政司所公告位於北投的下田寮(N25°6'19.92996"，E121°30'35.23775"，h22.515)和林口外寮(N25°4'48.17526"，E121°24'49.54235"，h246.74)兩個二等衛星控制點，使用全球衛星定位載波相位靜態測量去引測中並計算出上述三個潮位站的經緯座標值和橢球高程值(h)(表 1)；加上以基隆港港務局台北港分局工作船渠驗潮站(位置標示於圖 4T1)潮位資料為基準，和設於淡水第二漁港內潮位站處的潮位資料比對，以求得當地的水準高程(圖 6 a、b)。

表 1、調查區潮位站的位置及高程值。大地水準高為台灣垂直基準面，依據淡水第二漁港之高程差值，此區的大地高和 WGS84 橢球高差為 26.454 米(方法參考主文)關渡橋墩及水上救生協會碼頭上的潮位樁大地水準高即可由 GPS 引測出的橢球高值推算得知。潮位計水準高表示測量當時潮位計在水中的高程位置。

		淡水第二漁港	關 渡 橋 墩	水上救生協會
位 置 (WGS-84)	經 度	121° 24 36.86114"	121° 27 28.62140"	121° 27 39.80374"
	緯 度	25° 10 57.46239"	25° 07 34.00229"	25° 07 14.28684"
	橢球高(h)	28.054 M	29.33 M	28.242 M
潮位樁水準高(H)		1.60 M	2.876 M	1.788 M
潮位計水準高		-2.35 M	-3.124 M	-2.1648 M
潮位計與碼頭邊 潮位樁高程距離		3.95 M	6 M	3.9528 M
備 註		大地水準高(H) = 橢球高(h) - 26.454		

台北港工作船渠的潮位基準面為基隆港潮標零點(基隆港港務局測量隊, 2001)；其零公尺高程位於台灣水準零點下 0.92 公尺處(曾清涼與儲慶美, 1999)；由圖 6a 中知道淡水二漁港的未修正潮線位置高出工作船渠潮線  $1.43 \pm 0.11$  公尺，推算出第二漁港的潮位計位於台灣水準高之 -2.35 公尺(圖六 b)。因此我們算出潮位計位在台灣水準高程值 1.6 公尺處(表 1)；因我們把潮位計置放在 GPS 定位樁下 3.95 公尺(由懸掛繩長得知)，故最後能計算出淡水第二



漁港潮位定位樁台灣水準高 (H 值) 和 GPS 引測得知代表 WGS84 橢球高程 (h 值) 的當地不同系統高程差值。利用這個差值,淡水河口內每一潮位定位樁上的台灣水準高即可經由 GPS 引測得知的橢球高程值換算得知 (表一備註各個欄)。因為驗潮站間的基線距離最長不超過 7-8 公里且區域內重力值變化小 (葉義雄與顏宏元, 1992), 我們因此可假設潮位站大地起伏差異為零, 故可將衛星定位所求出各站間的橢球高程差值 ( $\Delta h$ ) 視之為水準高程差值 ( $\Delta H$ ); 關渡橋下及水上救生協會碼頭邊潮位站的水準高即可依下列公式求出  $H=h+\Delta h$ , 其中  $\Delta h$  為在淡水第二漁港處引測出的橢球高程值 (H) 和用潮推算出的水準高程值 (h) 差, 為 26.454 公尺。

當各驗測站的台灣水準高程值定出後, 當地所定出的潮位線將可把潮位計量測出的水位高程平移調整, 使其零為台灣基準面的零公尺位置, 故依經調整後潮位值所修正的水深測值, 即可直接轉換成台灣水準面的高程值。值得一提的是, 觀察淡水河主幹兩端的潮位 (圖六 c) 時差約 30 分鐘, 而且內水的水位高度較小。表示當時出海口的海水面較高, 水面動態坡度 (dynamic slope) 高潮時為 1/10,000, 低潮時為 1/7,200。

在潮位站間內水域各測點上的潮位修正量基本上是依各測深值所在的經度和兩端潮位站經度差值的比值做線性內插推算得知, 使得每一對應經度上的漲退潮時間和量級會依序在兩測站之測值範圍內振盪; 而出海口外側資料只使用淡水第二漁港碼頭旁的潮位值資料直接修正。潮位修正的良好效果, 可由下節第 (4) 項所討論的測深值檢視結果顯現。

#### (4) 測深值的檢查及淘選

每個測深值依序經聲速和潮位校正後, 最後測點會以半人工方式予以檢視和淘選。所謂半人工方式的檢視方法為把所有校正水深值依其空間分佈點繪在電腦螢幕上, 除先查探特異點予以淘選外, 另去檢查檢測線和實測線相交時相鄰的水深值彼此的偏差程度, 以確認校正程序的正確性和測深的精準量級。在淡水河口區內, 每一次區 (圖 4 所指的 B、C、D 三區, B 區採樣日期為 10 月 6 日, C 區為 10 月 9 日, D 區為 12 月 19 日) 的實測線是以橫越河川之垂直岸線走向為之; 其中的檢測線則以製造測線間垂直相交機會為目的而平行河川走向為之的測線。各次區內起碼規劃有 1~3 條檢測線。圖 7 七至圖 9 展示了在各別三次區中檢測線和實測線會點測值比較之結果; 圖中首先展示沿測線之約 10 公尺間距的水深測點密度分佈之特性 (四秒的定位頻率, 測深時船行速率多維持在五節), 亦指出許多的測線交叉點落在定位誤差範圍內而可代表在同一定位點下的測深值。在誤差範圍內的交叉區測值群可顯示出在不同時段, 甚至不同日期 (例如在圖 7 之右下角交會區為 10 月 6 日實測值和 12 月 19 日檢測值之交點), 同一定位區點位上的兩次量測值差異成果。

交會點範圍內相異測值的最大差異量在 B 區為 28 公分, 但多數則從小至 1~2 公分, 4 公分至 8 公分不等 (圖 7), 在 C 區差異量多在 8~10 公分間 (圖 8); 在地形變化較大的 D 區, 差異量亦極小 (如圖 9 上展示的 5.67 及 5.69 公尺交會值)。

淡水河口區之水下地形

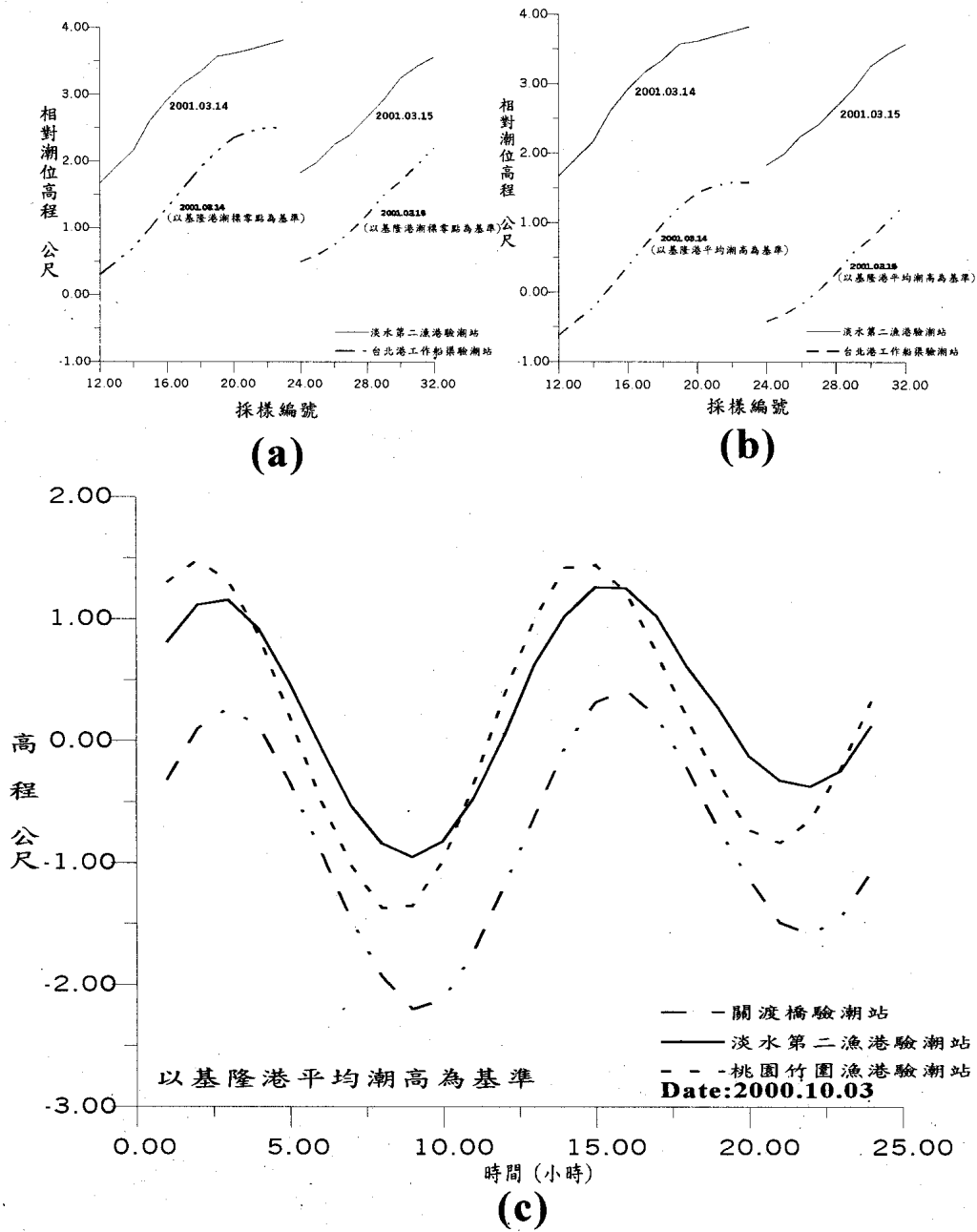


圖 6、各潮位站潮位變化曲線及高程修正示意圖。(a) 為民國 90 年 3 月 14 日及 15 日在台北港以當地的潮位站 (基準面為基隆港潮標), 30 分鐘為間距繪製之兩時段潮位曲線。淡水第二漁港的未修正水位變化 (無高程基準面) 曲線, 在對應之時段上和台北港做比較, 兩者高程差平均為  $1.43 \pm 0.11$  公尺。(b) 將台北港潮位線平移至基隆港平均潮位基準線位置。此時可知淡水第二漁港記錄的潮位值對於基隆平均潮位線放大至  $(1.43 + 0.92) \pm 0.11$  公尺。(c) 依表一列舉各潮位站台灣基準面下在 89 年 10 月 3 日測深作業記錄的潮位變化曲線。橫軸為當天零時起之小時累積數, 縱軸為台灣水準高程值。虛線代表中央氣象局位於桃園竹圍漁港驗潮站所收集的潮位資料曲線, 位在淡水潮位站南方約 10 公里沿岸, 其測值即以台灣水準高程為準; 其潮差較大尤其曲線分佈和中央線與淡水潮位中央線吻合, 代表淡水第二漁港等的絕對高程值的雖算相當正確。點虛線表示關渡橋潮位變化曲線, 其潮時較出海口延遲, 且潮位高出 0.9 (高潮時) 至 1.25 (低潮時) 米。

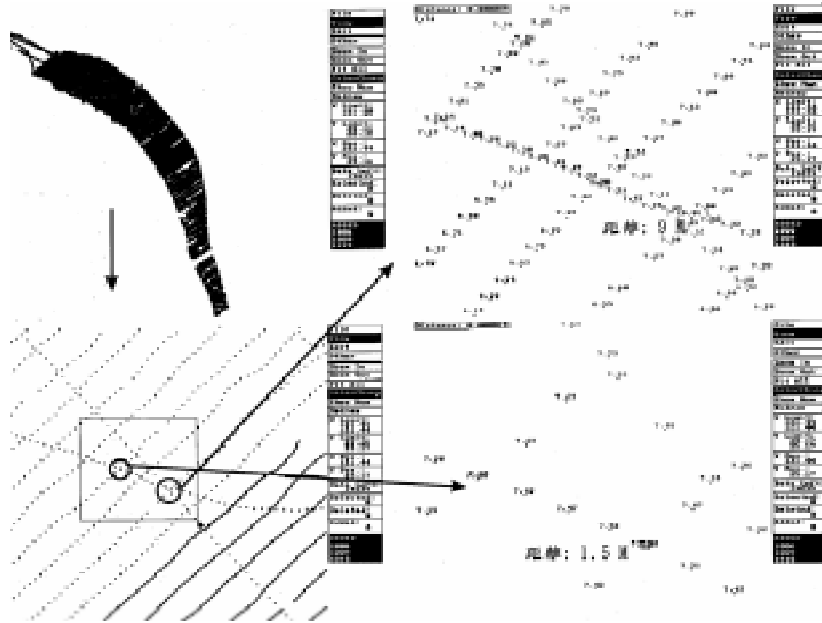


圖 7、水深值交會測值檢視圖。圖中展示了四個執行“Depth”程式（宋國士，1995）電腦螢幕的四個視窗內容。由左上角在淡水河區域內三天作業日之測點圖（不同顏色代表不同作業天的水深資料，標示於選項欄之最下方）；由左下角，右上角依序至右下角視窗比例愈小。左側兩視窗測點以圖點標示所在位置，右側兩視窗則以測值（單位公尺）之小數點標示所在位置；圖上的點間連線長度表示兩指定測點的相對距離，圖上中文標註的公尺距離是依照視窗左上角在執行程式時所出現細長框內的距離值（單位為度）推算得知。

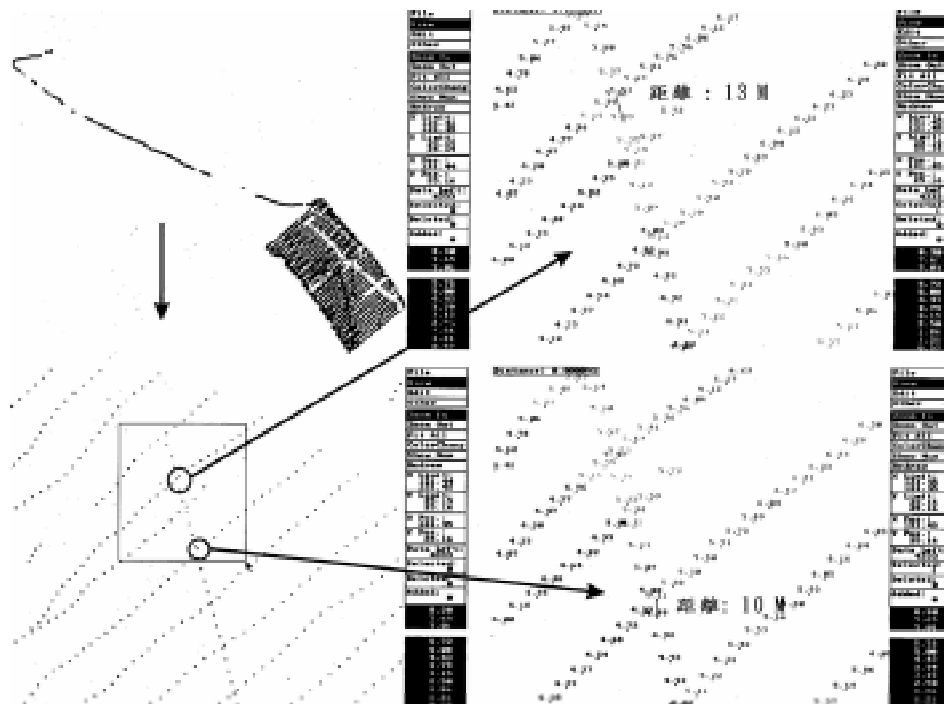


圖 8、水深值交會區測值圖。說明請參考圖 7 註解，此時不同顏色的測點表示所屬的測值範圍，色柱範圍值標註在各視窗右側的選項欄下方；依檢視區測值範圍自動劃分定義。

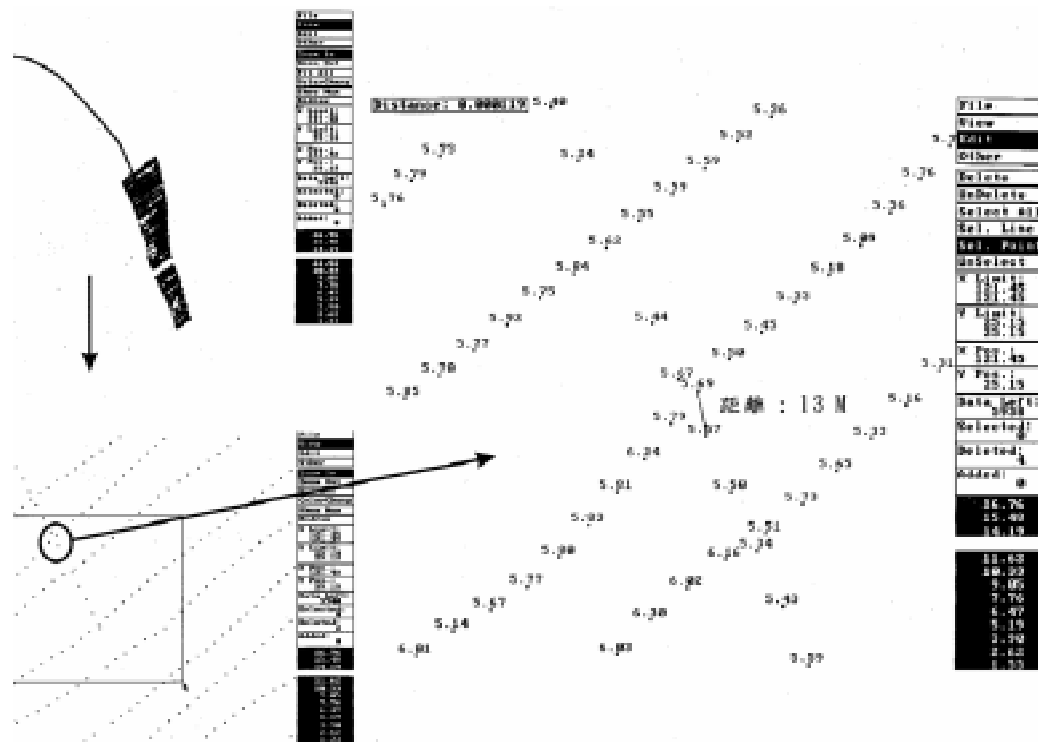


圖 9、關渡橋一帶，於 89 年 12 月 19 日測量水深值的檢視圖，圖說明同圖 8。

另外在測量當中，定位值及水深測值群內必有些不良的雜訊，而這些雜訊必須予以剔除。我們利用自力開發的程式，其中具有編輯（Edit）的選項（程式視窗如圖 7~9 展示）；此選項下，可使用電腦滑鼠圈選並刪除選定的不良測點（宋國士，1995）。淡水河內的測線所包含的不良測點比例極少（遠低於百分之一），因此在圖七~圖九中可看到編輯後的測點沿線連續性極佳。圖 8 中只一條測線出現了約 70 公尺的中斷，其為定位品質不良下剔除資料點之結果。

另外，在圖 7 左上角為三天作業實測線分佈圖，其中出現了一些測值分佈之缺口；例如在 12 月 19 日測區接近關渡橋位置之水域，起碼缺少了約 3~4 條應測線寬度的水深資料。這些遺漏區域發現後，必需予以補行測量；補測後的全部測線點分佈繪製呈現在圖 4。

### 淡水河口區水下地形之描繪

基隆河和淡水河匯流後，河道寬度急遽變窄，約 400 公尺，並開始向西北延伸約 10 公里後入台灣海峽。此河域我們稱之為淡水河口區，其起點約在關渡橋東南方的 1.3 公里處（圖 2），座落在地形圖之右下角處（圖 10）。調查水域全位在淡水河域的感潮區內（白書禎，2001），或其處之河床高程值小於零（表示較海面為低）；也因此稱之為淡水河口區（Estuary），其區域內表現出海水漲退潮之入侵現象。

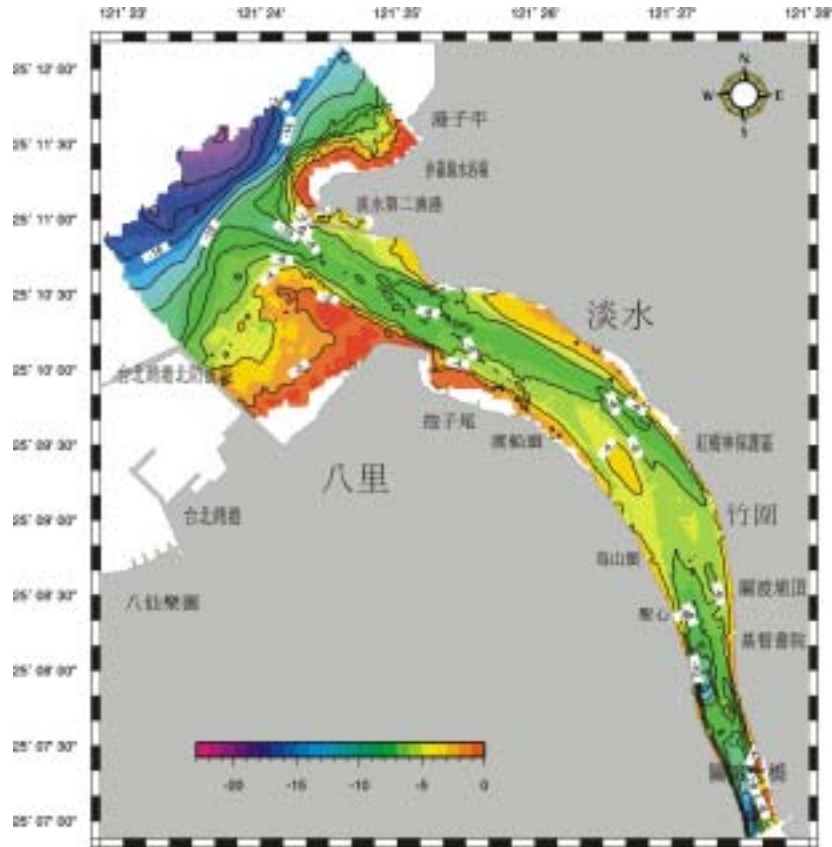


圖 10、淡水河下游調查區彩色地形等高線圖，等高線（負值向下）間距二公尺，不同顏色代表的高程值標示於右上方的色柱，單位為公尺。河岸及海岸邊相對的地名，都標示在所在位置。地形圖利用 GMT 繪圖軟體 (Wessel & Smith, 1998) 繪製。岸線為農林廳五千分之一地形圖數化資料，台北商港防波堤座標，由基隆港務局協助提供，資料網格使用最小曲面法，網格間距為 1 秒。地形圖為能配合不規則岸線，須使用 “mask” 和 “grdmask” 指令，和網格點資料定義出水深資料能給予的等高線邊界；因此，無水深資料部分之水域外插網格值即被適度抹去，為白色區域。

### (1) 河床的形貌及地形特徵

河口區在上游東南開端最顯狹窄但深度最大；其呈直線向西北延伸穿過關渡橋後，河道漸寬後變淺（圖 2，圖 10）。當其進一步向西轉折前，河床極似河谷地形（圖 11），谷形不對稱且軸線貼近西岸邊界（圖 12）；沿著谷軸之地形起伏變化大，在關渡橋（圖 13 的 1.0 公里處）北方深度最淺，約 9 公尺深。在橋兩側有兩個地形低區，最低高程分別小於 -15 及 -13 米，沿河道之邊坡下陷坡度介於  $1/60$  ( $1^\circ$ ) ~  $1/120$  ( $0.5^\circ$ ) (圖 13，圖 14)。狹長谷地之河道形貌形成是否和河道在此變窄，形成了河水流動的河床切割作用，不得而知；但是狹窄的谷地形貌在河道漸寬後漸行消失（如圖 11，12 的第四斷面），卻似乎暗喻上述動力的高可能性。谷形河床地貌約向北延伸約 3.5 公里（圖 15 中彩色地形圖上的藍紫色河域），在此河道寬度已放大至 1 公里，河道中央地形平坦，約維持在 -5~-6 米高程位置往西北向延伸有一公里距離（圖 13）。然後淡水河東岸自此處漸向西北偏西轉約  $45^\circ$  角後，方筆直入海（圖 10，圖 15）。

淡水河口區之水下地形

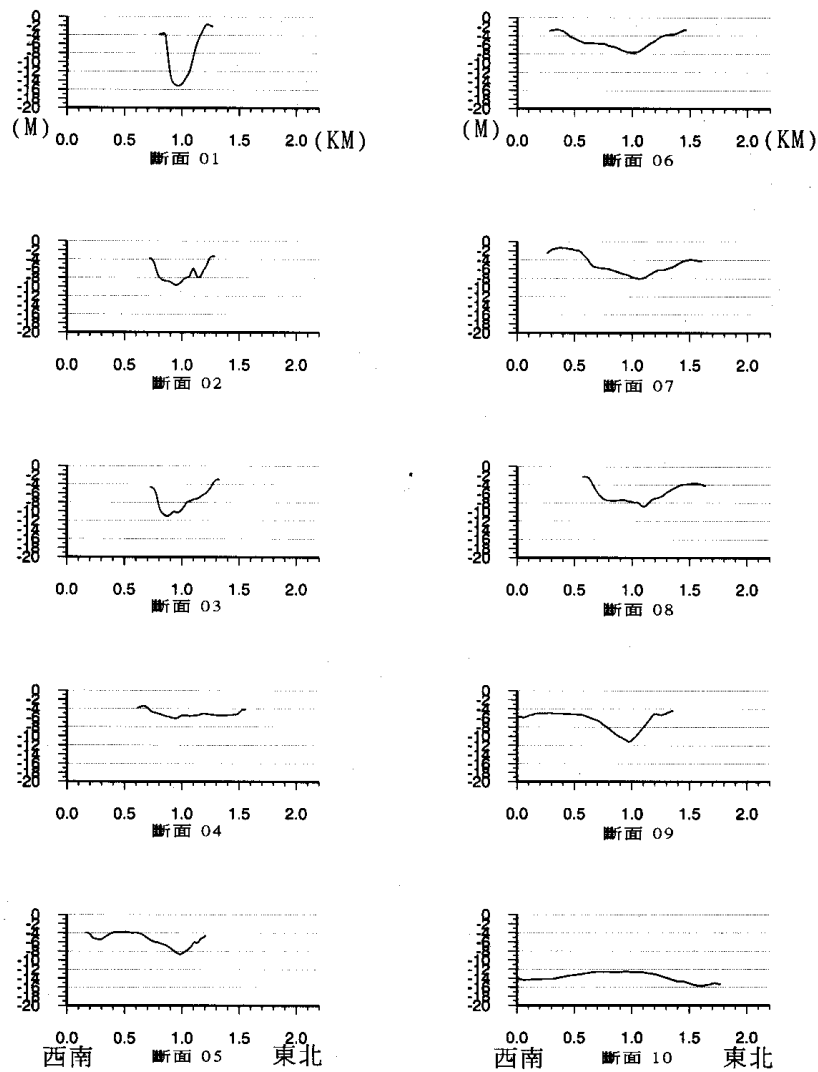


圖 11、調查區內橫跨淡水河之地形橫斷面圖。断面 1~10 編號依序從內陸端編排至外海區。各断面的位置標示見圖左下方的断面位置圖。断面位置圖亦標示圖十三縱断面的位置；各横断面和此纵断面的交點定義出每一地形横剖面横軸之 1.0 公里位置點。断面 10 位在河口外海床上，顯示出此断面處有輕度沈積現象發生。各断面縱軸為高程值，單位公尺，断面縱橫軸比為 30 : 1。圖形仍使用 GMT，先利用 project 及 grdtrack 求出断面資料，再用 psxy 繪製断面圖。

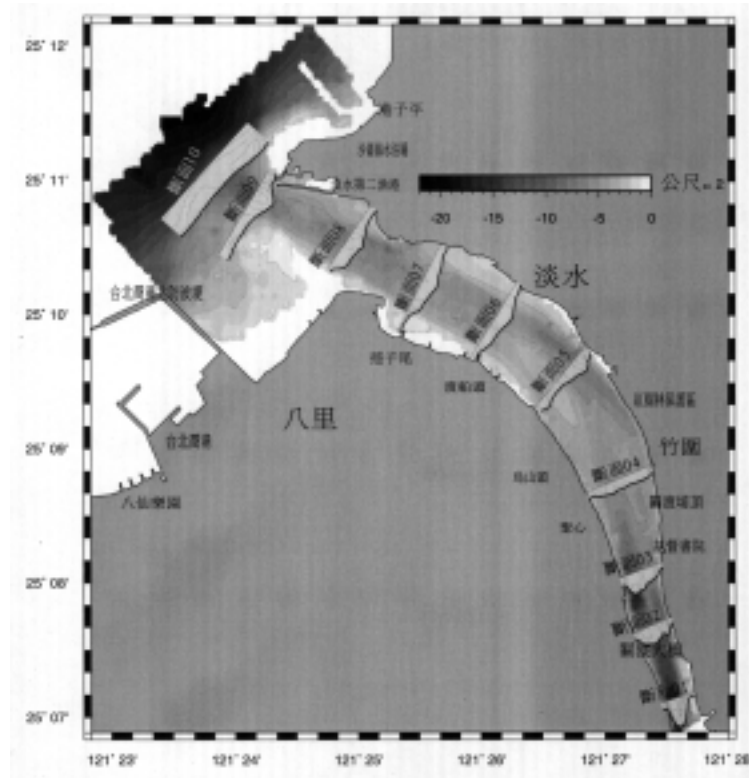


圖 12、沿淡水河地形斷面圖。十個斷面同圖十一所示，只是使用 GMT 中的 pswiggle 指令將斷面資料，直接攤放在所屬河道的位置上。斷面上直線表示斷面所在的位置，而其下方曲線表示此斷面上的地形起伏，起伏尺度見灰階橫柱右方標尺。斷面之背景為調查區的灰階地形(灰階顏色愈深地勢愈低,其對應值請參考在右上方的灰階色柱。)

河道轉向的岸端起點為位於東岸的竹圍位置或紅樹林自然保護區的南側(圖 10 及圖 15)。紅樹林保護區沿岸長度約有 1.5 公里長，南端起始於竹圍，河道中之最高點(或最淺深度)則處在保護區的中央位置(圖 13 的 4.3 公里處)，但主河道(河道較深處，或以下稱河床渠道)因河流曲轉，在此向東偏移，而使得紅樹林保護區段的河道西岸成為淡水河地帶的最高點(高程小於-4 米，參見圖 15 及圖 16)；此高區是否為上游搬運下來之現生堆積體或古河道的遺跡難以論斷，可是依河道變遷分析之推論(詳參下節討論)，其成因屬後者之可能性較高。

在紅樹林保護區的北端(陸源水渠道入淡水河處)，相較其兩端河床地形，存在一約 1.5 到 2 米的高程落差低地。此低區呈東南-西北約平行岸線走向，高程小於-8 米，寬約 60-70 公尺的河床低區延伸約 600 公尺，然後自此處河床渠道以直線向外海延伸(圖 10，圖 16)。此低區也正巧位於轉折區中兩不同走向河床渠道谷軸的相會點(圖 16 “T” 標示處或圖 11 的斷面位置圖中，谷軸縱斷面的轉折處)。入海段河床渠道走向如同東南方的窄河道段，軸線十分平直，向外海一直延伸至高程-11 米位置，最深處在軸線的 10.2 公里處(圖 13)，位於淡水第二漁港防波堤出口之正外側(圖 17)。

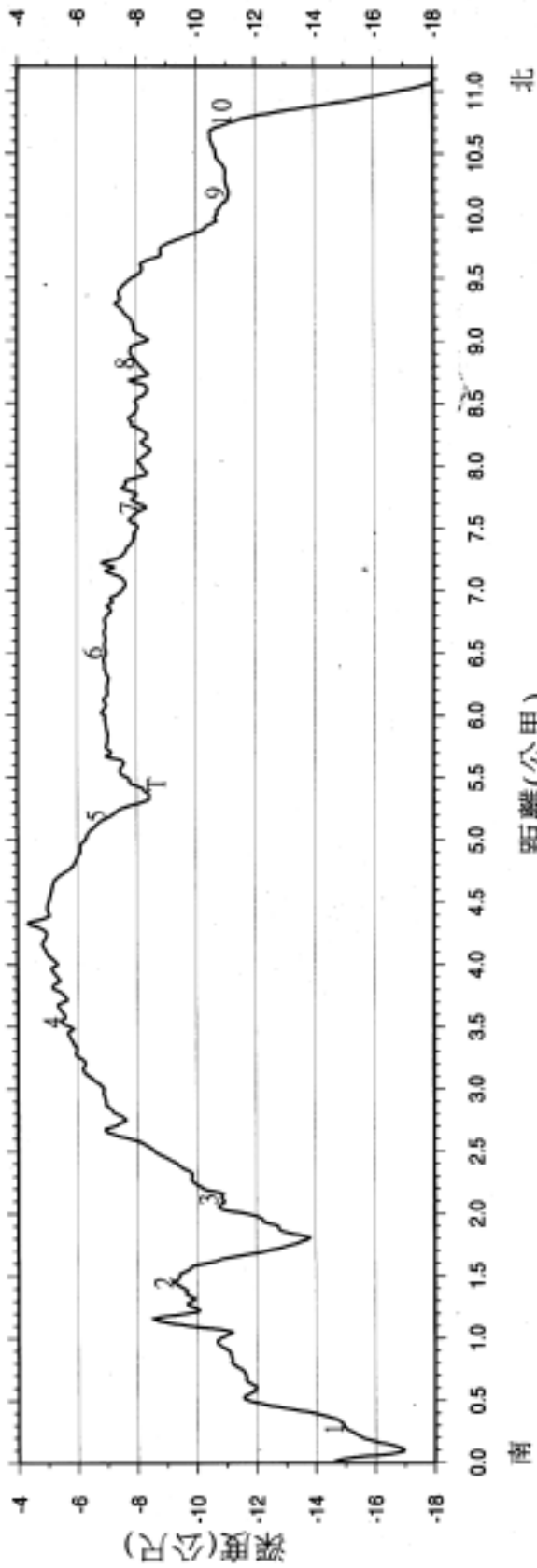


圖 13、沿著淡水河河道軸線延伸的縱斷面圖，斷面位置標示於圖 11 之左下方。橫軸表示自東南端起沿延伸線的距離值。地形剖面上的數字表示和編號 1~10 橫斷面（圖 11、12）相交的位置。“T” 字母表示延伸線或斷面在河道中唯一的轉折點，其位置見斷面位置圖及圖 16 的地形圖。



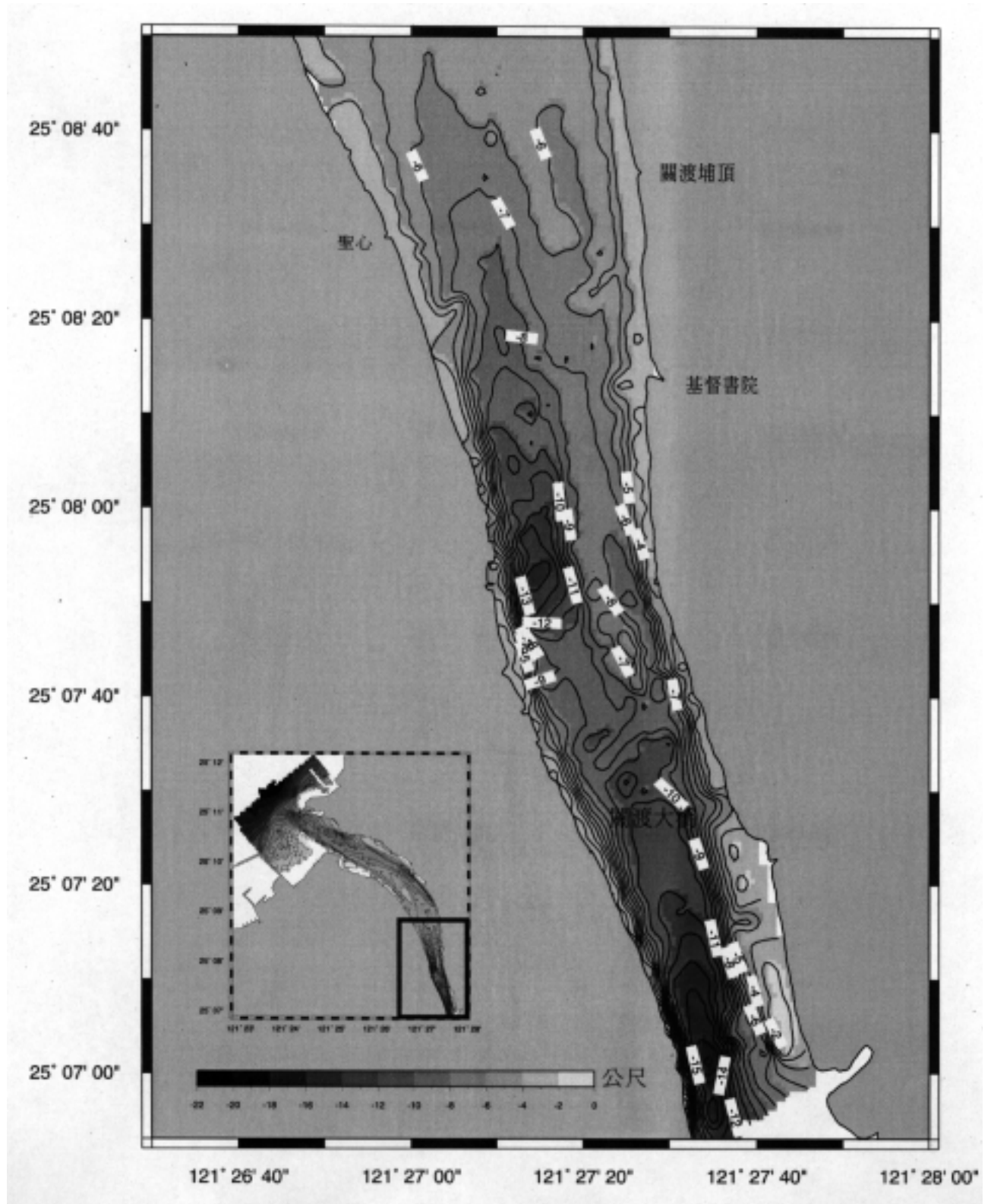


圖 14、淡水河下游南段的地形等高線圖。等高線間距一公尺，其於調查區內所處的相對位置見左下角插圖，不同灰階表示不同高程，色階對應的高程值參考左下方色柱。河道邊界同樣為農林廳五千分之一數位資料值，等高線及高程色階在資料邊界的處理和圖十相同。

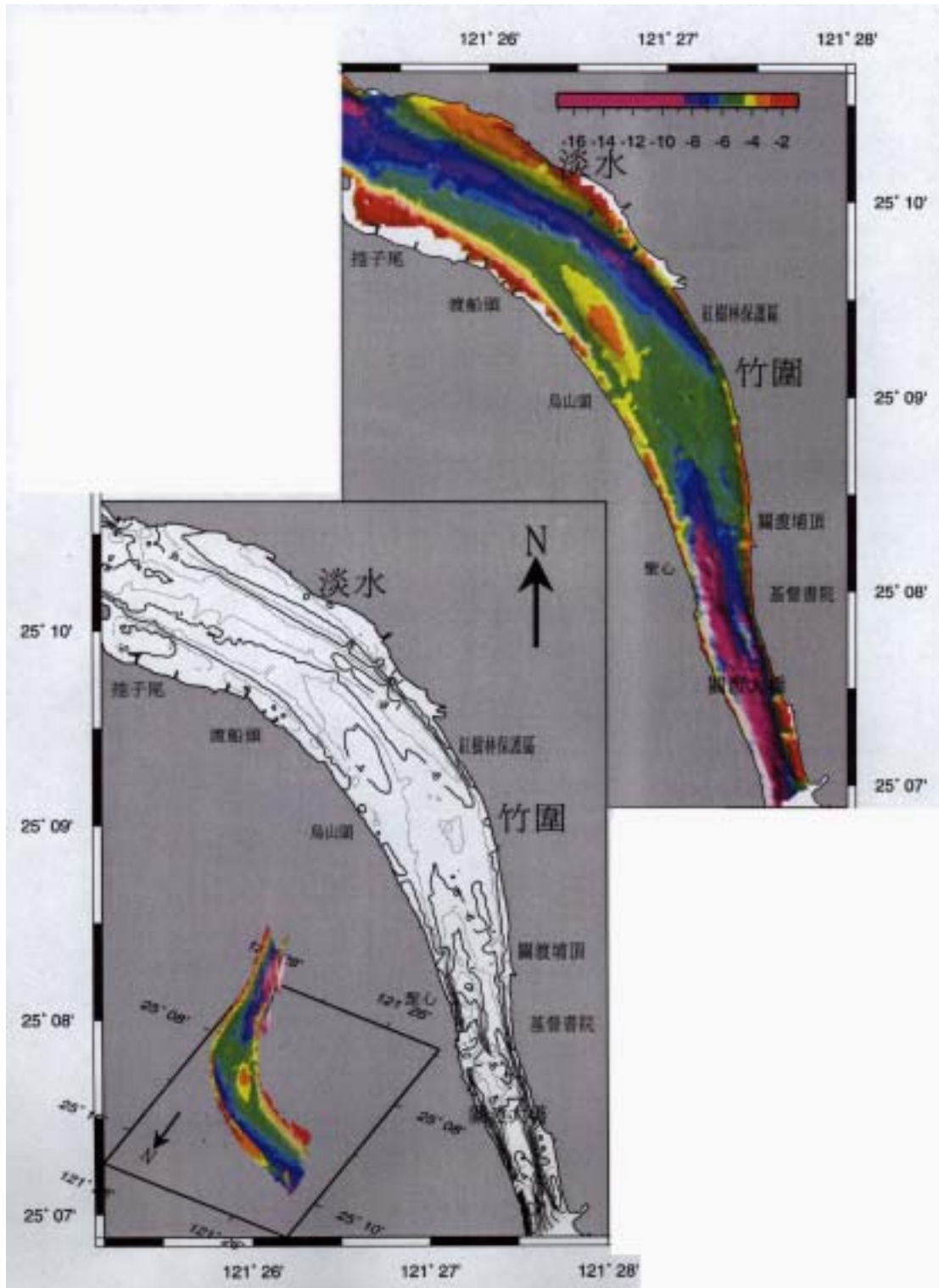


圖 15、淡水河河道區的彩色及等高線地形圖。右上角之彩色圖色階，主要分佈在-9 公尺至-2 公尺（見右上方的色柱值），便更能表現河床底部的地形起伏狀態，圖中並加上來自東北方的模擬光源，使背向光源的底坡具陰影效果。左下角的等高線間距為 1 公尺，其中的立體地形圖視角為 330°，俯角 45°。

由線型的河床渠道走向，和它在轉彎處內角堆積隆起的地勢特性，頗能用以描繪水流在淡水河口區段表現的動力場，暗喻其河床地形貌應為河床沖刷環境下的產品。沖刷營力分為河水及潮水之搬運或切割作用兩種；何者為主，或可由河床的地形地貌表現予以探討：

在出海口處不見任何的沖積扇地形，在近海處河床顯示谷軸深度從-8 米，向外海約伸出 400 公尺，只下切至-11 米之地形處（圖十七）。-11 米以外之等深線已平行海岸走向平直延伸且當地斷面剖面上凸（圖十二第十斷面），但垂直岸線方向地形坡度較兩側稍陡；表示其範圍內有少量現生沈積物堆積在出海口約 250 公尺平方之海床上，也因此圖十三斷面上 10.5 至 10.8 公里處，高程值在河道尾端略提高半公尺。看似堆積扇的濱海淺灘出現在河口南側和台北新港的北防波堤間，如其為淡水河帶出之泥砂產物，必由於淡水河南岸比北岸向外海延伸較短所形成之開口效應所造成之水流擴散結果。

河口下游段（圖十三斷面中的 7.0 公里以下水域），谷地地形畸曲起伏之特性暗示所在地必非沈積環境。但位於轉折點後出現有高程在-7 米的平坦區（6.0 公里~7.0 公里處），其形成也許是當陸源西向之水流在越過地形高區後，水流變緩所引起的沈積相特徵；但也必須在洪水期方能產生此一機制。白書禎（2001）認為在非洪水期，河口水域主要受潮水的漲退機制主導，上游的河水含氧量極低，且多滯留在紅樹林保護區以南關渡橋一帶的深水區域；況且觀察淡水河口中段後的橫斷面（圖十一及圖十二之第 5~7 斷面），其起伏的河川形貌無法支持此段河域現在正處於沈積之主宰環境中。

## （2）淡水河道的變遷

淡水河現代的侵蝕現象可由圖十或圖十五的彩色地形圖中等高線在河岸一帶的走向趨勢予以說明。尤其在圖 10 中，可清楚看到-4 米的等高線框出了筆直同寬的主河道區，尤其在轉折後的入海段，在北邊的淡水鎮旁北岸，及沿著挖子尾保護區河岸一直向東延伸至八里一帶，長而平直的河床線型（如-4 至-6 米等高線位置）尤其明顯，且可看出線型走向在河床渠道中和河川流水向的相關性。潮流流動的勢力範圍應位在-4 米河道邊界線內，而向下游的河水流動範圍應在綠色表現的渠道位置。

將 80 年前日本人所測量的淡水河道陸上地形圖和民國 84 年國防部聯勤總部測量署製作的地形（淡水地形圖，1996）圖相互比對（圖 18），發現調查區河域岸線只有在淡水鎮北岸及關渡橋附近深水河岸維持不變；河道區域內多受侵蝕作用影響，多數的淺灘已消失，包括的區域及其所處相對的地形變化為：

- （1）紅樹林保護區中段以南到竹圍岸邊，這些河域已由低潮裸露區變成水深 6-8 米的河道。
- （2）渡船頭外 80 年前位於河道中央的沙洲至今已消失無蹤，以圖十及圖十六的地形圖，現在高程為-5~-6 米。
- （3）80 年前淺灘分佈（圖十八的淺灰階區域）為自渡船頭南側起一直向現在的出海口中央延伸線之岸側；這些淺灘目前已向岸退至南岸挖子尾突角之沿線區內，只有受突角保護的內灣區，才有淺灘存在。

- (4) 河內沙洲及沙灘的流失，導致八里之向海岸有向外生長的現象發生，是調查區唯一出現泥砂堆積的水域；甚至位在淡水河北岸的外海區海域沿岸灘線也因侵蝕而後退。

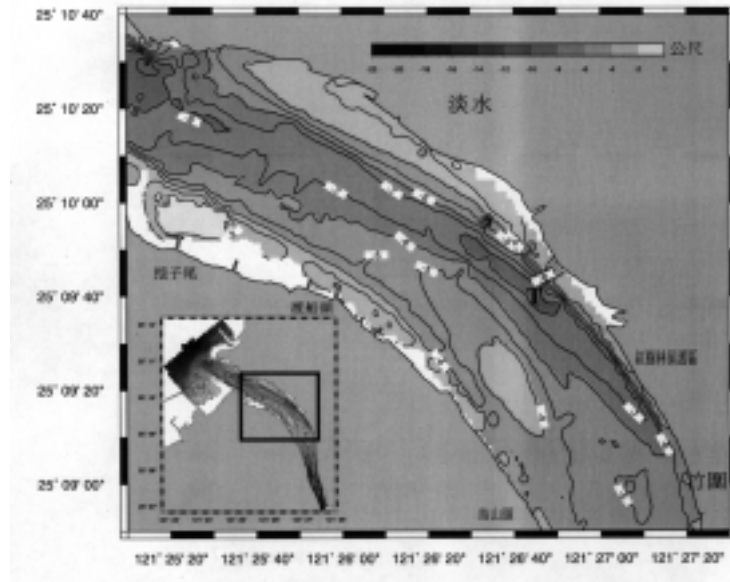


圖 16、淡水河下游北段，包括轉折區處的地形等高線圖。“T”符號標示河床渠道的主要轉折點位，其意義見主文說明。圖標註及說明同圖 14 說明。

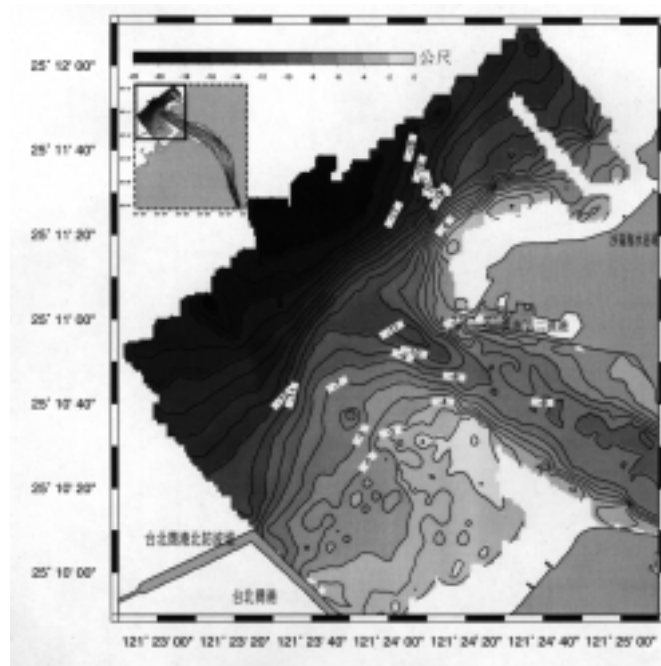


圖 17、淡水河河口區的地形等高線圖，圖標註及說明同圖 14 說明。

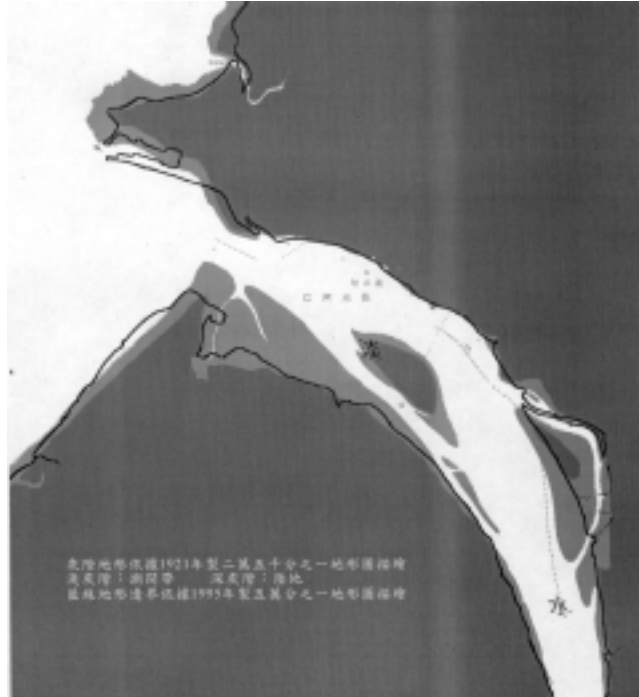


圖 18、淡水河道變遷圖。圖中的灰白兩色的背景陰影為圖 3 地形圖圖像處理的結果。其中的黑色區塊為 1921 年淡水河區高潮線以上的陸地部分區域；灰色區塊為銜接黑色陸地和白色水域，為日治時代當時的灘區。唯一的線條串接在海岸及淡水沿岸一帶，是 84 年內政部五萬分之一彩色陸地地形圖上的水陸界線，並將它描繪在 1921 年的背景圖上，去展示區域內岸線的變遷情況。成圖為利用兩個地圖相對應的線型道路及溪流走向位置作為平面控制線，互相縮放及平移併合而成。

河道在河口區域主要受兩種營力作用，第一種為正常的河水向下游的流動；第二種為潮流的漲潮及退潮運動 (Pethick, 1984)。河水的流動由於河川的坡度，愈向下游愈緩，河川的位能變成水流的動能，而這些能量多花費在河川側翼的侵蝕，不像如上游之主要以垂向之河床沖刷機制為主 (蔡鎰輝, 1990)，而造成河道的迂迴或進一步使它漸彎成曲流；如河道旁加建堤防，在堤防邊會形成提防淘空或河床下切的作用力。圖 10 中淡水河河口段的彎曲也就是在這種機制下所形成。

上述的曲流如果形成，彎曲的河道所形成的水流，其最大流速線會貼著河道的外緣，其目的為增加曲流的彎度或移動距離，以減緩流水梯度 (蔡鎰輝, 1990)。這個最大的流線也因此位在前述定義的河床渠道處 (圖 10)，這個渠道也從關渡橋段的南緣，擺盪至竹圍岸側的北緣位置，這是因為在較直且陡的河道剖面 (如關渡橋段)，最大流速線會在兩岸間擺盪。故淡水河口段河床的地貌展現 (如渠道的位置) 充分展示出流水向海移動的動量。此向海之能量在竹圍外河道突變寬時，使渠道在其處變淺，更證實此河口水流的特性。

河口處向海的河水流動能量可和漲退潮流的能量相互作用，如果河水向下游流動的長年

能量穩定，能和漲潮能量相抗衡，可在河道中央形成淺灘或沙洲，並分成左右水道之分叉形貌。入海向的水流較強，使淡水河北側形成較深的渠道；為河水向下游流動和退潮流能量結合以及加上位於曲流外緣位置的結果。但如果河川長年均處在旱水期，潮流營力顯著，漲潮之流速主軸也會和退潮段相同，落在北側曲流河道外緣區流動，而無法發展出顯著的雙渠道河床。

由上述的動力描述，並參考前項(1)~(4)項地形變化(依據80年前的古河道或圖十八內容)整理成果，因此可以知道：

- (1) 80年前淡水河水常年流量較大，漲潮流水被流向海的流水排擠沿著南岸上溯，因此水道分叉成雙渠，形貌北側渠道較深，河道中央裸露沙洲發展也較為完整。
- (2) 水庫的興建，使水流量及泥沙量減少，使近二十年來，河床沈積減低，甚至只發生所謂的河床面的冲刷作用及水流強度多由河水北岸向南岸遞減，其效應第一為竹圍外的淺灘面積減少或高度降低(見圖十八，竹圍岸側的淺灘縮減)；第二為挖子尾處潮間帶(或淺灘)的內縮現象。這些現象為80年前存在的泥質沈積，因來源減少及河川流水動力發生變化，故河床上有全面的潮流淘選及搬移作用，在洪水事件時古沈積易被強大河水加上退潮流清除入海。

## 結 論

研究區域淡水河下游河床的主要地形特徵為：

- (1) 出海口無沖積扇地貌，只有少量泥砂在河南邊台灣海峽沿岸外側和台北商港北防坡堤北側-7~-11米高程範圍內沈積。
- (2) 出海口尾端中央軸位在淡水第二漁港堤防出口西北方300公尺處，下切海床3-4米至高程-11公尺深度。
- (3) 淡水河口河道在竹圍紅樹林保護區45°轉角處分段，在兩段內寬有400~700公尺之河床渠道筆直展延；它們在保護區中央處彼此相交，相會點在東岸河床下切至-8米。反之，和其對應的西南側河道為調查區內最寬最淺(小於4公尺)的河域。
- (4) 河床渠道在南段啟端(關渡橋段)最深(大於十五公尺深)又最窄(小於250公尺)。此處河道向北漸寬，河道底床成谷地形貌，谷軸貼近西岸；但在關渡橋所在位置，河床升高變淺將當地之河谷恰分成南北兩個窪地。
- (5) 北段區域河床渠道自出海河口處向東南平直延伸，和紅樹林保護區北界的陸源渠道相連；河床起伏不定，渠道主軸因此愈南愈貼近東岸淡水一帶，且寬度愈窄。
- (6) 淡水河的河岸邊緣在挖子尾保護區，渡船頭及淡水鎮一帶，看似向陸內凹，這些水域位於河域中似乎被河床水道和內凹的河岸邊界包夾，成為現今河域中之淺灘區(低潮時，水位極淺，不利行船)；-4米的高程線幾乎可為淡水河床水道邊界，或成為流水和淺灘區的交界線。

上述地形特徵隱喻著：

- (1) 河床上之雙渠道形貌主要為水庫興建前，潮流及穩定河水向下游流動相互作用下形成的遺跡，近年因沙源及水流量變少，其形貌正消退中。沖刷力較大的能量也確實地落在河道曲流的外彎邊緣，為潮水加上河水向下游流動能量之結果。
- (2) 在竹圍以西的淡水河口區，河道沖積流失，和 80 年前的河道圖比對，挖子尾口處的出海口寬度放大一倍。現今南岸出海口受挖子尾突出地保護，一直到渡船頭範圍內淺灘方得以保留。也許與上游砂源減少，而在旱水期漲潮的之向陸沖刷，在加上洪水期退潮之向海急流及河水流動搬移出海有關
- (3) 淡水河北岸，第二漁港至沙崙海水浴場一帶，和 80 年前相比，處在沖刷後退之環境下。近年自淡水河輸出的少量沈積物，因南岸較短及在台北港防波堤阻擋雙重效應下，洪水期帶出的沈積物多數沈積於防波堤北側之淺水海床上，為研究水域中唯一沈積區。

## 致 謝

完成此一報告，尤其是陳冠宇、陳明欽先生在 GPS 引點定位，潮位站的設立和資料收集，以及水深資料的測量、收集、處理和製圖給予許多協助，在此致最誠摯的謝意。另外，在水深測量上，特別須感謝溫曉江先生、陳輝峻先生的參與方能完成水上作業。還有林俊賢先生、林蕉美小姐、任偉麗小姐及蕭仁宏先生，在 GPS 引測作業都曾上山下海給予支援；李慧敏小姐、林婉容小姐在打字上予以協助；海科中心的王玉懷博士曾在水下協助安置潮位計並在提供部分潮位資料上，給予許多的幫助，在此一併道謝。文中有關河床地形動力機制的討論內容，作者特別感謝未具名評審先生所給予之寶貴意見，他的啟發使本文更為充實無誤。有關淡水河流域集水範圍和地理位置，數百年來的淡水河的人文變遷，以及它的被利用及受水庫開發影響效應等內容，在台灣大學執行受國科會委託數位博物館先導計畫之“淡水河溯源”中均有詳細說明。此網站首頁地址為 <http://mars.csie.ntu.edu.tw/tamsui/index.html>。

## 參考文獻

- Ashtech (1992) Ashtech Precision GPS Surveying software (PRISM), Ashtech, Inc., USA.
- Ashtech (1998) Ashtech Office Suite for survey Software (AOSS), Ashtech, Inc., USA.
- Fairbridge, R.W. (1980) The estuary: its definition and geodynamic cycle. In Olausson, E. and Cato, I.(eds.), Chemistry and biogeochemistry of estuaries. New York: Wiley.
- International Hydrographic Organization (1987), Standards for Hydrographic Surveys, Special publication no.44, 3rd ed.
- Kleusberg, A. and P.J.G. Teunissen (1996) GPS for Geodesy Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, 407p.
- Pethick, J. (1984) An Introduction to Coastal Geomorphology, Edward Arnold Limited, P60.
- Smith, J.R. (1997) Introduction to Geodesy: the history and concepts of modern geodesy,

Wiley-Interscience publication, USA. 224p.

Song, G.S, and K.Y. Chen (2001) Acoustic Calibration of Echo Soundings: Applications in Shelf Region off Northern Taiwan, *TAO*. v.21, no.4, (in press).

Wessel, P .and Smith W.H.F. (1998) New improved Version of Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. Amer. Geophys. U.*, vol.79(47), pp.579.

白書禎 (2001) Personal communication

宋國士、徐春田、陳民本 (1993), 東北海域海底地形測量, 國科會國防科技研究報告。

宋國士 (1994) 台灣東北外海海底地形圖: 十五萬分之一, 中華民國海軍測量局印製。

宋國士 (1995) 全球衛星定位系統應用於霧社水庫地形調查技術改善及淤積量測分析, 台電公司電力綜合研究所期末報告書, 199 頁。

宋國士、陳國琨、楊德建 (1999) 德基、霧社水庫及日月潭地形調查技術之改善, 台電工程月刊, 605 期, 第 53-68 頁。

施添福 (1999) 日治時代二萬五千分之一台灣地形圖, 初版, 台北市遠流出版公司。

淡水地形圖 (1996) 淡水區五萬分之一地形圖經見第二版, 內政部, 圖號 9623-□。

基隆港港務局測量隊 (2001) Personal communication

曾清涼、儲慶美 (1999) GPS 衛星測量原理與應用, 成大衛星資訊研究中心, 技術叢書, 003 號, 第二版。

葉義雄、顏宏元 (1992) 台灣布蓋重力異常圖, 中央研究院地科研究所。

蔡鎰輝 (1990) 地表景觀, Landscape Processes 譯本, 原著 Darrell Valerie Weyman, z 科技圖書股份有限公司, 168 頁。



# Underwater Topography in the Area of Tamsui Estuary

Gwo-Shyh Song<sup>1</sup>, Liang-Saw Wen<sup>1,2</sup>, Kon-Kee Liu<sup>1,2</sup>, and Pai-Kuan Liu<sup>1</sup>

## ABSTRACT

In the final bathymetrical map, it gives different bottom looks in the southern and northern segment, respectively, of the Tamsui Estuary. The transit of two segments is at the midst of riverbank by the Honshulin Reserved Territory located north of the Chuwei town. In the southern segment, riverbank shapes like a canyon with bottom depths around 13-15 meters; along the course line, it exists a convex high like a saddle in the region close to the Quandao Bridge. In the transit region, the river becomes wider, the flow thus slows down, siltation occurs such that riverbed tends to be shallower in depths. In the northern segment, river begins to bend such that the talweg, averaged at 8 meters deep, is found inside the outer bank of river. Since 80 years ago, the Tamsui River has been bifurcated (except in its river mouth) with a series of shoals lying on the middle of river or the inner side of riverbank, implying the hydrodynamic has been dominated by the fluvial flow and the tidal flow at least in last decades. By the construction of water dams in the up streams, fluvial flow can only carried small amount of sediments in recent years. Paleo-sediments have been sorted and carried upstream by the flood tidal flow in the dry season, then removed and directed into the ocean occasionally in the flood events. They have been deposited on the seabed shallower than 7 meters deep in the shoal area north to the North Harbor Bank of the Taipei Harbor. Eventually, the shoal, the crescent shoal, and the bifurcated channel have been gradually faded on the riverbed.

**(Keywords: Tamsui Estuary, Tamsui River, Underwater Topography)**

---

1. Institute of Oceanography, National Taiwan University

2. Center for Ocean Science Research, National Science Council