

潮位站潮位資料標準分析作業模式之先期研究

期末報告 (確定版)

主辦機關：內政部國土測繪中心
承辦廠商：中興測量有限公司
中華民國九十九年五月

目 錄

第一章 前言

| | |
|-----------------|---|
| §1-1 計畫背景 | 1 |
| §1-2 計畫項目及內容 | 3 |
| §1-3 計畫目的與預期成效 | 4 |
| §1-4 現階段工作內容與進度 | 6 |

第二章 文獻回顧

| | |
|-------------------------|----|
| §2-1 海水位變化的本質 | 7 |
| §2-1-1 潮位觀測的演進 | 7 |
| §2-1-2 影響海水面變化的因素 | 8 |
| §2-2 國內相關研究 | 11 |
| §2-2-1 內政部訂定區域平均海水面之研究 | 11 |
| §2-2-2 交通部中央氣象局潮位資料處理方法 | 13 |
| §2-2-3 經濟部水利署潮位資料處理方法 | 17 |
| §2-3 國外區域平均海水面相關研究 | 20 |
| §2-3-1 國外訂定高程基準之方式 | 20 |
| §2-3-2 國外維護潮位資料的方式 | 21 |
| §2-3-3 國外潮位資料的品質管制 | 29 |

第三章 潮位資料分析與計算

| | |
|--------------------------|----|
| §3-1 潮位資料分析與預測 | 33 |
| §3-2 潮位資料處理 | 38 |
| §3-2-1 潮位資料處理原則 | 38 |
| §3-2-2 潮位資料處理流程 | 41 |
| §3-3 潮位資料蒐集與檢核 | 43 |
| §3-3-1 原始潮位資料蒐集 | 43 |
| §3-3-2 潮位資料的檢核 | 45 |
| §3-4 潮位資料補遺 | 46 |
| §3-4-1 Cubic Spline 資料補遺 | 46 |
| §3-4-2 多變數迴歸法 | 49 |

目 錄

| | | |
|---------------|--------------------------------|----|
| §3-5 | 調和分析 | 51 |
| §3-5-1 | 調和分析說明 | 51 |
| §3-5-2 | 調和分析修正基準變動 | 53 |
| §3-6 | 潮位資料計算 | 57 |
| §3-6-1 | 傳統的高低潮與算術平均法 | 57 |
| §3-6-2 | 各種高低潮的定義 | 59 |
| §3-6-3 | 潮位資料計算結果 | 61 |
| 第四章 區域平均海水面計算 | | |
| §4-1 | 平均海水面定義與估計方式 | 75 |
| §4-1-1 | 平均海水面定義 | 75 |
| §4-1-2 | 平均海水面的估計方式 | 77 |
| §4-2 | 區域平均海水面的計算 | 82 |
| §4-2-1 | 平均海水面的計算流程 | 82 |
| §4-2-2 | 平均海水面之計算成果 | 84 |
| §4-2-3 | 平均海水面之計算成果分析以較 | 88 |
| §4-3 | 基隆潮位站平均海水面與現行 TWVD2001 高程基準之比較 | 90 |
| 第五章 標準作業程序之研議 | | |
| §5-1 | 標準作業程序擬定原則 | 91 |
| §5-2 | 潮位資料標準儲存格式 | 92 |
| 第六章 結論與建議 | | |
| §6-1 | 結論與討論 | 95 |
| §6-2 | 後續相關建議 | 98 |
| 參考文獻 | | 99 |

目 錄

| | | |
|------|---------------------------|-----|
| 附錄 A | 音波式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序（草案） | 103 |
| 附錄 B | 壓力式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序（草案） | 111 |
| 附錄 C | 潮位站潮位資料處理之標準作業程序（草案） | 119 |
| 附錄 D | 區域平均海水面計算之標準作業程序（草案） | 127 |
| 附錄 E | 程式操作說明 | 135 |
| 附錄 F | 期中報告審查意見回覆與辦理情形 | 145 |
| 附錄 G | 期末報告審查意見回覆與辦理情形 | 155 |
| 附錄 H | 期末報告修正版審查意見回覆與辦理情形 | 165 |

圖 目 錄

| | | |
|--------|-------------------------------|----|
| 圖 1-1 | 本計畫使用之潮位站分布圖 | 2 |
| 圖 1-2 | 美國東西岸的潮位站的區域平均海水面 | 4 |
| 圖 2-1 | 日月星體造成潮汐變化示意圖 | 9 |
| 圖 2-2 | 交通部中央氣象局潮位自動品管流程圖 | 15 |
| 圖 2-3 | 經濟部水利署潮位資料觀測作業流程 | 18 |
| 圖 2-4 | 中國大陸沿海主要潮位站分布圖 | 23 |
| 圖 2-5 | 日本 20 世紀平均海水面 | 26 |
| 圖 2-6 | PSMSL 潮位資料品管流程圖 | 29 |
| 圖 3-1 | 1 日潮汐變化 | 34 |
| 圖 3-2 | 地球潮汐與潮位站觀測的流程圖 | 35 |
| 圖 3-3 | 潮位資料品管處理流程 | 39 |
| 圖 3-4 | 潮位資料自動品管檢測流程 | 40 |
| 圖 3-5 | 潮位資料處理流程圖 | 42 |
| 圖 3-6 | Cubic Spline 計算流程圖 | 46 |
| 圖 3-7 | 潮汐資料補償範例示意圖一 | 47 |
| 圖 3-8 | 潮汐資料補償範例示意圖二 | 47 |
| 圖 3-9 | 潮汐資料補償範例示意圖三 | 48 |
| 圖 3-10 | 潮汐資料補償範例示意圖四 | 48 |
| 圖 3-11 | 潮汐資料補償範例示意圖五 | 48 |
| 圖 3-12 | 潮汐資料補償範例示意圖六 | 48 |
| 圖 3-13 | 潮汐資料補償範例示意圖七 | 48 |
| 圖 3-14 | 潮汐資料補償範例示意圖八 | 48 |
| 圖 3-15 | 多變數迴歸法資料補遺 | 50 |
| 圖 3-16 | 調和分析成果示意圖 | 52 |
| 圖 3-17 | 富岡站原始潮位觀測紀錄 | 53 |
| 圖 3-18 | 富岡潮位站 2001~2008 年逐時資料之調和分析成果圖 | 54 |
| 圖 3-19 | 富岡潮位站 1979~2000 年逐時資料之調和分析成果圖 | 54 |
| 圖 3-20 | 富岡潮位站 1984~2000 年逐時資料之調和分析成果圖 | 55 |
| 圖 3-21 | 富岡潮位站 1984~2008 年逐時資料之調和分析成果圖 | 56 |
| 圖 3-22 | 富岡潮位站 1976~2008 年逐時資料調和分析平差結果 | 56 |

圖 目 錄

| | | |
|--------|--------------------------------|----|
| 圖 3-23 | 潮位基準與各種潮汐統計的相對關係 | 57 |
| 圖 3-24 | 潮汐的能量分佈於幾個主要頻率上 | 61 |
| 圖 3-25 | X0-39 的濾波器轉換逐日潮位資料 | 62 |
| 圖 3-26 | X0-39 與 X0-390 濾波器所產生的逐日資料間的差異 | 63 |
| 圖 3-27 | 基隆潮位逐時資料 (1946 年 4 月~6 月) | 63 |
| 圖 3-28 | 基隆潮位站逐月分析成果圖 | 72 |
| 圖 3-29 | 高雄潮位站逐月分析成果圖 | 72 |
| 圖 3-30 | 蟬廣嘴潮位站逐月分析成果圖 | 73 |
| 圖 3-31 | 蘇澳潮位站逐月分析成果圖 | 73 |
| 圖 3-32 | 富岡潮位站逐月分析成果圖 | 74 |
| 圖 4-1 | 全球平均海水面 | 76 |
| 圖 4-2 | 各種平均值相對變化關係 | 77 |
| 圖 4-3 | 富岡潮位站原始資料趨勢分析成果圖 | 78 |
| 圖 4-4 | 富岡潮位站逐時平均資料趨勢分析成果圖 | 78 |
| 圖 4-5 | 富岡潮位站逐日平均資料趨勢分析成果圖 | 79 |
| 圖 4-6 | 富岡潮位站逐月平均資料趨勢分析成果圖 | 79 |
| 圖 4-7 | 各式計算平均海水面之流程示意圖 | 82 |
| 圖 4-8 | 基隆潮位站月平均海水面 | 84 |
| 圖 4-9 | 利用 19 年周期計算基隆平均海水面 | 85 |
| 圖 4-10 | 利用 18.6 年周期計算基隆平均海水面 | 85 |
| 圖 4-11 | 利用 19 年周期計算高雄平均海水面 | 86 |
| 圖 4-12 | 利用 19 年周期計算蟬廣嘴平均海水面 | 86 |
| 圖 4-13 | 利用 19 年周期計算蘇澳平均海水面 | 87 |
| 圖 4-14 | 利用 19 年周期計算富岡平均海水面 | 87 |
| 圖 5-1 | 資料格式與標準作業程序擬定流程圖 | 91 |
| 圖 6-1 | 潮位站高程系統示意圖 | 95 |
| 圖 6-2 | 過去 200 年全球平均海水面變化 | 97 |

表 目 錄

| | | |
|--------|-------------------------------|----|
| 表 1-1 | 預定與實際工作進度表 | 6 |
| 表 2-1 | 天文角度變化 | 9 |
| 表 2-2 | 天文潮汐調和函數分量表 | 10 |
| 表 2-3 | 內政部 2003 年計算之 24 個潮位站 | 12 |
| 表 2-4 | 內政部 2005 年計算之 7 個潮位站 | 12 |
| 表 2-5 | 海象測報中心海象資料品管標記一覽表 | 14 |
| 表 2-6 | 各國製訂高程基準的方法 | 20 |
| 表 2-7 | 不同型式潮位觀測儀器規範 | 22 |
| 表 2-8 | 俄羅斯參與 GLOSS 聯測網之潮位站 | 28 |
| 表 3-1 | 潮汐資料主要調和頻率組成 | 33 |
| 表 3-2 | 原始潮位觀測資料來源 | 43 |
| 表 3-3 | 原始潮位觀測紀錄資料 (6 分鐘紀錄) | 44 |
| 表 3-4 | 原始潮位觀測紀錄資料 (逐時紀錄) | 44 |
| 表 3-5 | 原始潮位資料缺失範例 | 45 |
| 表 3-6 | 多變數迴歸法補遺使用之頻率 | 49 |
| 表 3-7 | 調合分析成果表格式說明 | 51 |
| 表 3-8 | 潮位資料計算成果表範例 | 64 |
| 表 3-9 | 基隆潮位站逐年分析成果表 | 65 |
| 表 3-10 | 高雄潮位站逐年分析成果表 | 67 |
| 表 3-11 | 蟬廣嘴潮位站逐年分析成果表 | 69 |
| 表 3-12 | 蘇澳潮位站逐年分析成果表 | 70 |
| 表 3-13 | 富岡潮位站逐年分析成果表 | 71 |
| 表 4-1 | 本計畫近 2005~2008 年年平均與潮汐年報成果比較表 | 88 |
| 表 4-2 | 基隆潮位站 1991~2000 年年平均成果比較表 | 89 |
| 表 4-3 | 基隆潮位站 1991~2000 年年平均成果比較表 | 89 |
| 表 5-1 | 每日潮位資料標準儲存格式 | 93 |
| 表 5-2 | 每月潮位資料標準儲存格式 | 93 |
| 表 5-3 | 每年潮位資料標準儲存格式 | 94 |

第一章 前言

§1-1 計畫背景

臺灣地區的現今採用之高程系統，係內政部訂定之 TWVD2001 系統(Taiwan Vertical Datum 2001，簡稱 TWVD 2001；內政部，2006)，其採用正高系統，高程基準係定義在 1990 年 1 月 1 日標準大氣環境情況下，並採用基隆潮位站 1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得。

而一個國家的高程系統，必須是經過嚴謹的定義，且必須是前後一致、可以往前追溯的。在過去各國在不同時期用不同的方法來訂定高程基準，但都還是基於平均海水面，有些以單一地點的平均海水面來訂定高程基準，有些則採用多潮位站平均海水面來訂定高程基準。而為訂立前述之 TWVD2001，內政部於 1997 年度委託中央研究院在基隆潮位站附近建立一穩固的小型高程基準網，並分析基隆潮位站之長期潮汐資料，訂定出現有的平均海水面，並找出與過去高程系統基準的關係（劉啟清，1998）。

一般而言，要建立一個國家的高程基準所需的潮位資料須超過 18.6 年（此時間係為天體運行之章動週期），並加以算術平均，一般所說的平均海水面是指 19 年的平均海水面，若是一個月或一年或其它時期的平均，依慣例都加上其時期，如月平均海水面或年平均海水面。平均海水面便是利用每一個完整周期的平均值為零的特性，以求得較穩定之參考基準面，作為高程基準的起算依據。一般可見且有影響力的天文周期為 18.6 年，所以大都採用 19 年期的資料，以避免其它較大振幅的頻率因不滿一周期而產生影響。

臺灣在 1997 年所重新計算的平均海水面，當時由於大多數潮位站的紀錄標準不一，潮位基準也隨時而變動，潮高隨著水準點高程的變動或儀器的維護、更新而更動，加上板塊邊界地殼的升降而使得平均海水面並不穩定，雖然當時採用幾個天文潮汐頻率來做調和分析（Harmonic Analysis），並在迴歸分析中加入了氣溫、氣壓、風與降雨量等影響因素，最後證實基隆潮位站的平均海水面高度與 80 年代估計的平均值相去不遠，在基隆地區的水準基準網的長期監測，也證明該地區是相當穩定的。

基於過去訂定高程基準所遇到的困難，內政部近年來陸續設置數個潮位站，加上臺灣地區原有潮位站亦採用高精度的潮位儀，使得資料的水準大幅提昇。在此同時，由於 GNSS（Global Navigation Satellite System）測高能力的大幅進步，高程現代化（Height Modernization）也在歐美大力推展，世界各國也在這段期間對潮位資料的分析下了一番功夫，IOC（Intergovernmental Oceanographic Commission）連續在 21 世紀出了兩本有關潮位觀測、儀器測站維護與平均海水面計算的手冊（2000、2006 年），各國陸續重新訂定潮位基準紀元 NTDE（National Tidal Datum Epoch），打算在 10 年之內更新高程基準，計算平均海水面。

平均海面在近年來有 2 種定義，一為以潮位資料為本位的平均海面（MSL：Mean Sea level），是以潮位站在一段特定的潮汐基準紀元（Tide datum epoch，一般為 19 年）時間內所觀測紀錄之每小時潮位資料之算術平均值，稱為平均海面，而不同此一時期的平均值則冠以該時期，稱之為月平均海面或年平均海面；另一平均海面則以長期靜止海面為目標的等位面高度，這個的算法則須先扣除天文潮汐與其它環境的影響因素，也就是要做調和分析與環境因素的模式消除或濾波處理，再以估計這理論的海水面高度。

不論是何種方式計算平均海面，其最基礎的資料均源自於潮位觀測資料，潮位站的主要功能便在於記錄海面潮位高低，提供潮汐資料服務各界應用，除了作為建立國家高程基準外，在建立深度基準面、提供潮汐預報數據、海岸工程建設、環境變遷、地球科學研究等應用上，亦是相當重要的資訊來源。

也正因為如此，建立標準化的潮位站是相當重要的，臺灣地區現存有 35 個潮位站，由於各潮位站當初設立的目的不同，設置的單位及時空背景亦不相同，也因此各自設立處理的程序與分析方式。為建立一套完整的處理程序，因此內政部國土測繪中心乃辦理「潮位站潮位資料標準分析作業模式之先期研究」案，先行利用處理基隆、高雄、蟬廣嘴、蘇澳、富岡等 5 站潮位資料（圖 1-1）的經驗與過程，期能制式化、標準化處理潮位記錄資料，以長期蒐集分析潮位資料，並計算平均海面及後續建立高程基準。

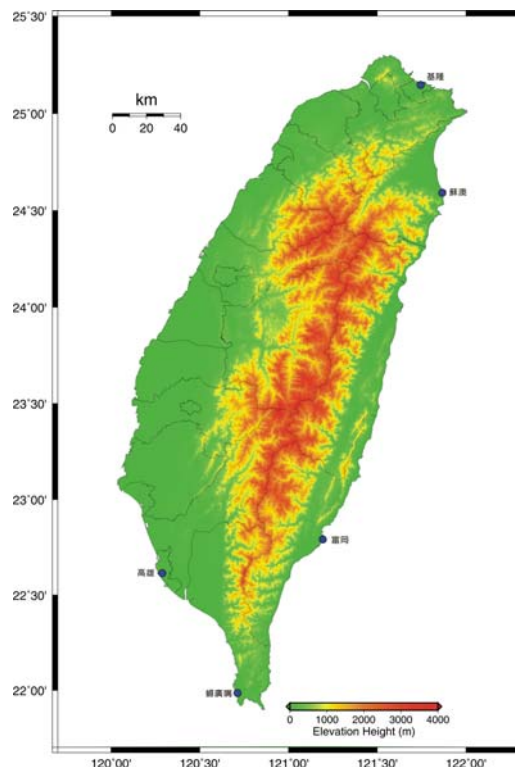


圖 1-1 本計畫使用之潮位站分布圖

§1-2 計畫項目及內容

一、蒐集分析國內潮位資料及國內外平均海水面計算之方法與文獻。

1. 國內部分：

(1) 蒐集內政部歷次訂定基隆平均海水面之相關資料。

(2) 交通部中央氣象局潮位資料最高高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位與最低低潮位計算之方法。

2. 國外部分：蒐集至少 5 個國家或地區之平均海水面計算或高程基準之測定資料。

二、依據所蒐集國內外之資料與方法，提出適合臺灣地區之潮位資料處理方法及平均海水面計算之模式與方法。

三、潮位觀測資料計算與分析作業：

1. 潮位資料計算：依據內政部國土測繪中心提供潮位站之潮位資料，計算每日、每月與每年之最高高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位與最低低潮位。

2. 各相關潮位站區域平均海水面 (LMSL) 計算：依據潮位站之潮位資料及審查確定之模式與方法，進行資料篩選處理與分析，進而推估各潮位站之區域平均海水面高度，並分析其精度與可靠度，及潮位站換儀器、換測站或重置等相關資訊。潮位資料在進行分析之前，應先進行偵錯品管程序，經篩選處理過的資料應另以檔案儲存，不可直接自原始資料中刪除。

3. 分析基隆平均海水面之計算結果與現行 TWVD2001 高程基準之差異。

4. 參考交通部中央氣象局及經濟部水利署之儲存格式，研擬潮位資料每日、每月及每年之標準儲存格式。

5. 撰寫程式計算每日、每月與每年之最高高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位與最低低潮位及平均海水面，程式應具顯圖及出圖功能；並將相關程式提供內政部國土測繪中心使用。

四、研擬標準化作業程序 (SOP)：內容應包含概述、作業方法、作業流程及參考資料等 4 節。

1. 音波式潮位儀更換或重置 (設) 之標準作業程序。

2. 壓力式潮位儀更換或重置 (設) 之標準作業程序。

3. 潮位站潮位資料處理之標準作業程序。

4. 區域平均海水面計算之標準作業程序。

§1-3 計畫目的與預期成效

在 21 世紀開始，全球在海水位觀測，包括儀器與作業規範，以及平均海水面計算估計方面，作了許多系統性的研究與教育訓練，平均海水面的觀念與功能也在持續的轉變，本計畫中將蒐集各國的文獻資料，加以整理，並訂定最適合於本地觀測儀器、方法與資料品質的處理原則。

參考美國的例子來說，在 1929 年的高程系統中，是以美加共 26 個潮位站的水準連測（其中五大湖區則是用水位轉移測量），並用不同時期的平均海水面，以及水準測量的正常正高(Normal Orthometric Height)作為平差的高程，用來定義高程基準 NGVD29。在 NAVD1988 的高程系統中，則是以 Father Point/Rimouski 潮位站（位於加拿大）在 1960~1978.6 年間平均海水面作為高程的基準，用重力位數（Geopotential Number）作為平差的基準，最後計算出各水準點的荷母特正高（Helmert Orthometric Height）高程。在 NAVD1988 的系統中，其 $H=0$ 大約是在同一水準面上，東西岸的潮位站的區域平均海水面（LMSL）各不相同，約分佈在-40~110cm 之間，顯現出南北的海水面地形的差異可在約 40cm 左右，而太平洋與大西洋的海水面高差可達約 150cm（圖 1-2；Zilkoski et al., 1992）。

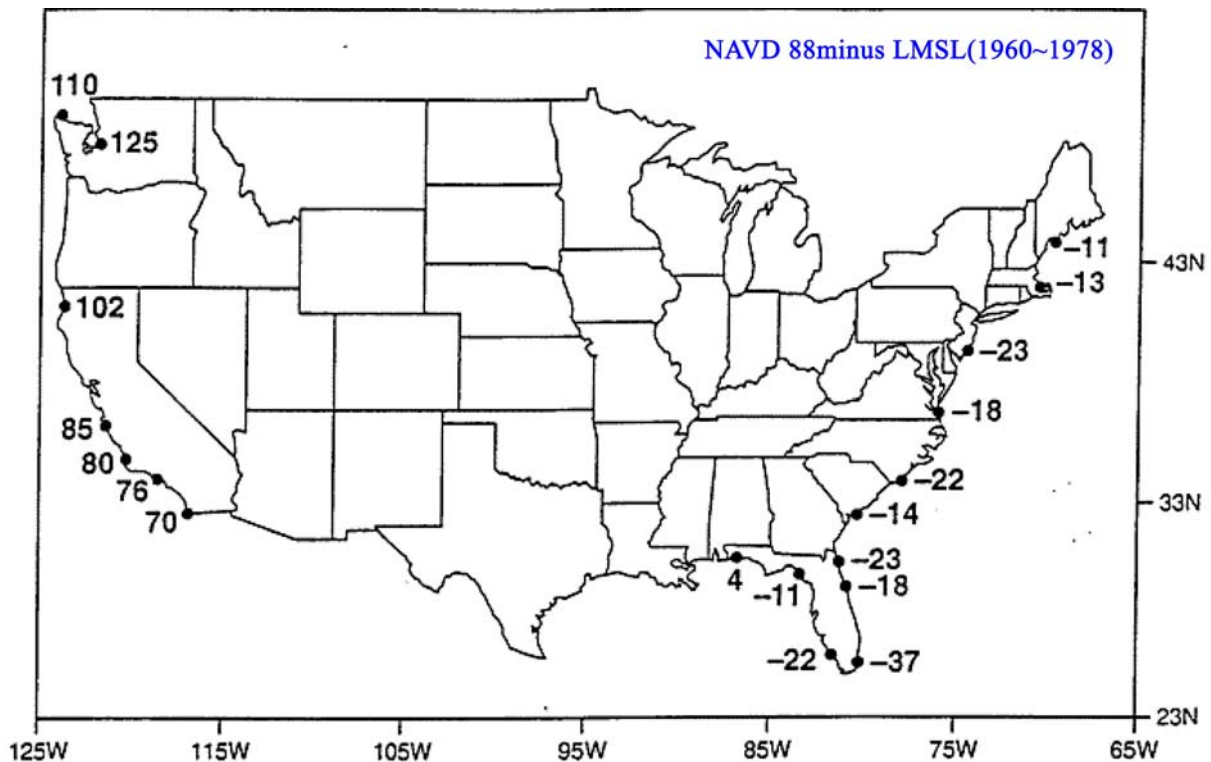


圖 1-2 美國東西岸的潮位站的區域平均海水面

若參考紐西蘭的例子，它們也是位於板塊邊界快速地殼變動的島國，很難找到穩定的潮位站，水準測量也很難連測，現行並沒有一個統一的高程系統，而是有 12 個分開的水準網，各基於一個潮位站的平均海水面 (Grant & Blick, 2002)。而該國現在努力在建立一個統一的高程基準，可能傾向利用重力、GPS、水準測量來建立一個最符合等位面的高程系統。而美國也在過去 20 年利用 GPS 高程測量加上密集的水準測量，建立了現代化的高程系統，在大部份的地區都可以達到 2~5cm 的高程精度，但仍有許多地區的水準測量密度不高，計畫以高精度的重力衛星，如 GRACE 衛星，加上密集的天空重力測量，計算得到高精度的大地起伏，以及各潮位站的平均海水面高程，重新定義一個穩定的高程基準。

臺灣地區幅員不大，地殼變動快速，建立一個穩定的高程基準乃是當即之務，而建立各個潮位站的潮位高程是一切的基礎，在本計畫中，將建立一個標準的潮位處理程序，依據資料時間取樣間隔、資料雜訊過濾模式、資料化算程序等等處理程序，建立標準作業程序，使潮位高程的估計，可以降低受因潮位觀測上、紀錄上或計算上的誤差或疏失的影響，方能長期蒐集潮位資料做後續分析比較，以計算標準的、或是穩定的平均海水面並建立高程基準，達到長期監測平均海水面的變化之目的。

因此在計畫執行內容上，首先將蒐集各個國家、地區的相關文獻資料，並考慮其地理分布與環境因素的差異，包括大陸、島嶼等國家地區，並兼顧歷史方法與現行方法，再加上各國在採用方法所考量因素的文獻資料，以做為本計畫採納方法與制定規範時的考量原則。

在資料處理與平均海水面計算方面，則參考幾個國際組織如 IOC (Intergovernmental Oceanographic Commission)、GLOSS (Global Sea Level Observing System)、PSMSL (Permanent Service for Mean Sea Level) 等所制訂出來的一些原則與手冊，並採納幾個廣被使用的調和函數 (Harmonic Function) 分析與平均海水面估計的程式，經過測試後，並因應臺灣地區潮位資料的特性，來決定資料篩選的原則，及撰寫程式以自動處理。爾後根據本計畫處理的過程與內容，進行研擬標準化作業程序 (SOP)。

因此預期本計畫完成後，除了可廣納世界各地過去、現在正在使用的與正在研擬採用的方法與規範，並要考量臺灣特有的地理、地質、地形等環境與島嶼小國的幅員、人口密集、天然災害頻繁等特殊因素，制訂兼顧符合世界潮流與現實需求的高程基準及所有相關的觀測站設置、儀器維護、資料蒐集、平均海水面計算與高程基準制定的原則與方法。

§1-4 工作內容與進度

依照合約工作內容，本計畫其預定與實際工作進度表如表 1-1 所示，工作內容概述如下，相關詳細執行內容參見後續各章節。

表 1-1 預定與實際工作進度表

| 工作項目 | 進度百分比 (%) | 98年 | | | | | | | | | | | | 99年 | 目前完成進度 | |
|------------------|-----------|-----|---|---|---|----|----|----|---|---|---|---|---|-----|--------|-------|
| | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | | | | | | | |
| 作業計畫書 | 7.50 | ▨ | ▨ | | | | | | | | | | | | | 7.50 |
| 國內外相關文獻蒐集 | 10.00 | | ▨ | ▨ | ▨ | | | | | | | | | | | 10.00 |
| 潮位資料計算與分析 | 27.50 | | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | | | | | | 27.50 |
| 期中報告書 | 7.50 | | | | | | | | ▨ | ▨ | | | | | | 7.50 |
| 潮位資料計算與平均海水面程式開發 | 22.50 | | | | | | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | | | | 22.50 |
| 標準作業程序研議與制定 | 17.50 | | | | | | | | | | | ▨ | ▨ | ▨ | ▨ | 17.50 |
| 期末報告書 | 7.50 | | | | | | | | | | | | | ▨ | ▨ | 7.50 |

預定進度

 實際進度

1. 文獻蒐集部分：已蒐集包含國內中央氣象局、內政部等相關資料，國外各地區區域平均海水面相關文獻資料。
2. 潮位資料蒐集與處理部分：由內政部國土測繪中心提供包括基隆、高雄、蟬廣嘴、蘇澳、富岡等 5 站進行資料處理。
3. 程式開發部分：包含潮位資料檢核、補遺、分析處理及平均海水面之計算程式。
4. 標準作業程序部分：包括音波式、壓力式潮位儀更換或重置（設）、潮位站潮位資料處理及區域平均海水面計算之標準作業程序。

第二章 文獻回顧

§2-1 海水位變化的本質

§2-1-1 潮位觀測的演進

人類在遠古時代就開始對海水的變化產生好奇，試圖觀測海水位的變化，以了解這些看似規則，而時有突然劇變的海水變化之機制。研究海水變化的歷史起於相當古遠，有可能在史前人類就把海水的規則變化與月亮、太陽的移動加以關聯。現在人類對海水面變化的了解，可說是全時域的，從數秒鐘（風所引起的）到數百萬年（板塊移動所引起的）都有，人類對海水面觀測的依賴，從戲水、釣魚、航海、卜卦、工程、氣象觀測、海嘯觀測、高程基準、全球暖化、地層下陷、地殼變動等，都依賴長期穩定與準確的海水面觀測。因此推估潮汐與航道上潮流的能力對許多人類的活動來說，是重要且不可或缺的。而海水高度的監測也提供了國家與國家、地方州、省之間或個人的財產的海邊或水邊或水面以下的界線，有關水利、橋樑、堤防等工程的設計基準。

潮位觀測最早都是在港口入口處的岩石、石柱或木板上刻上刻度，用眼睛來觀測，在早期歐洲的幾個主要港口，如阿姆斯特丹（Amsterdam）、斯德哥爾摩（Stockholm）、布列斯特（Brest）、利物浦（Liverpool）等，都是這樣觀測每天的高水位與低水位，然後記錄平均高水位（Mean High Water）、平均低水位（Mean Low Water），以及他們綜合起來的平均潮位（Mean Tide Level），現在已成為觀測全球氣候變遷的最重要資料之一。

直到 1830 年開始，海水位觀測才開始用機械式的紀錄，包括將浮筒置於靜水井中，以衰減高頻變動的水波，再以時鐘及轉動筆紙滾筒來自動記錄，這已具有現代化潮位站的基本架構。可以將紀錄紙上每小時筆的位置關聯到海水的高度，加以記錄，如此就可以計算每隔一月或一年的平均海水位（Mean Sea Level）。為了維持資料的一致性，到現在在求取平均海水面時，都還是採用每小時的資料為基礎，來計算每日、每月、每年甚至更長的平均值。

近年來，電腦科技與數值分析的發展，使得潮汐或海水面的預測，可以在兩三年之內都維持在相當高的精準度，因此有人懷疑設立潮位站的必要性。然而潮位紀錄的重要性，並不在於其週期性或可預測性部份的精準度，最重要的是在不可預測的部份，就臺灣地區特殊的地理環境來說，包括板塊邊界的地殼與海邊的地層下陷，黑潮、親潮經過的影響，颱風、地震、海嘯、湧浪、聖嬰與反聖嬰現象、全球暖化等的作用，都使得潮位資料的觀測變的重要而不可或缺。

§2-1-2 影響海水面變化的因素

在進行分析潮位資料之前，必須先對影響海水面高低變化的因素先做分析與瞭解。一般而言，潮汐變化是指水位的垂直升高與降低，通常在一天或略超過一天的時間會有兩次的變化，這樣的觀測最好是利用適當連通管的靜水井內或在碼頭岸邊的柱樁旁觀測，當水位接近於最低點時的觀測稱之為低潮位或低水位，由此海面的往上提昇的過程，稱之為垂直旅程（Vertical excursion）。各地的潮差不同，同時也會因時而異，其差異可由數十公分到十多公尺。

潮位變化過程中的水平移動分量稱之為潮流（Tidal Current），在有坡度的岸邊，或在平坦海邊的沼澤濕地，漲潮時水往岸邊流，退潮時則水往海上流，在這進退之間，就有了漲潮（Flood）、退潮（Ebb）、平潮（Slack），所以在任一地方，潮汐的高潮位、低潮位配合著潮流的漲潮、退潮與平潮，交錯形成一個大約固定時間間距的特殊序列。

潮汐變化與潮流在大部份時間都可統稱為廣義的潮汐，並可以用波動來思考，因此，可將潮汐考慮成一個數千到數萬公里波長的波動，其波峰就是高潮位，波谷就是低潮位，在固定點的潮位記錄就是它的時間序列，在固定時間的全球潮位高低變化就是它的空間波動序列，而水分子的水平運動分量就是潮流，它造就了潮位波動。而各個不同的起潮力量（Tide Generating Force）以及氣候、地形等變動，增加了潮汐的複雜性，也造成了全世界各地所觀測到的潮位紀錄的多樣性。

造成潮汐的最基本力量就是太陽、月球與地球之間的萬有引力，這也就是維持它們在其各自軌道，天體運行的同一個力量。一般而言，主要只考慮太陽與月亮重力的影響，其餘星球的引力很少在潮汐分析中被加入考慮。然而當我們要以調和函數來分析時，通常可細分為數十個到數百個分量，其周期也從十多小時到十多年不等，這主要是因為在調和分析時，每個分量都是以固定振幅的正弦或餘弦函數來表示，也就是用下列公式表示：

$$Z_i(t) = Z_0 + \sum_{j=1}^N H_j \cos[\sigma_j t - g_j + (V_j + u_j)] \quad (2-1)$$

其中 $Z_i(t)$ 代表 i 站在 t 時間的潮高，

Z_0 代表平均潮位高

H_j 代表 j 分量的固定振幅

σ_j 、 g_j 、 V_j 、 u_j 各代表 j 分量的角速度、起始相位、儀器延遲與附近海底地形的延遲量。

因此，我們一般認知的地球一年繞太陽一圈，月亮一個月繞地球一圈，地球上在背對星體或面向星體時，都會是高潮（圖 2-1；NOAA, 2000），但接近星體時的起潮量會大於背對星體時，因此在調和分析中，可用半日潮來表達平均起潮量的部分，而其餘和半日潮差異的起潮量則可以用全日潮及半日潮主頻率再加減些微的偏移頻率的餘弦函數來補償，而這些都只是代表圓形軌道的部分，實際上的軌道是橢圓的，被旋轉體是在橢圓兩個圓心中的一個，並且軌道面與地球赤道面間有傾斜角，因此這些都需要用偏移的頻率來吸收這些非均勻旋轉的部分，才形成許多潮汐分量的分析方法。一般而言，起潮函數（Tide Generating Function）主要是太陽、月亮相對於地心的距離，以及它們在黃道面（Ecliptic）上的經緯度的函數，在加上五個天文角度變化的關係（表 2-1）。

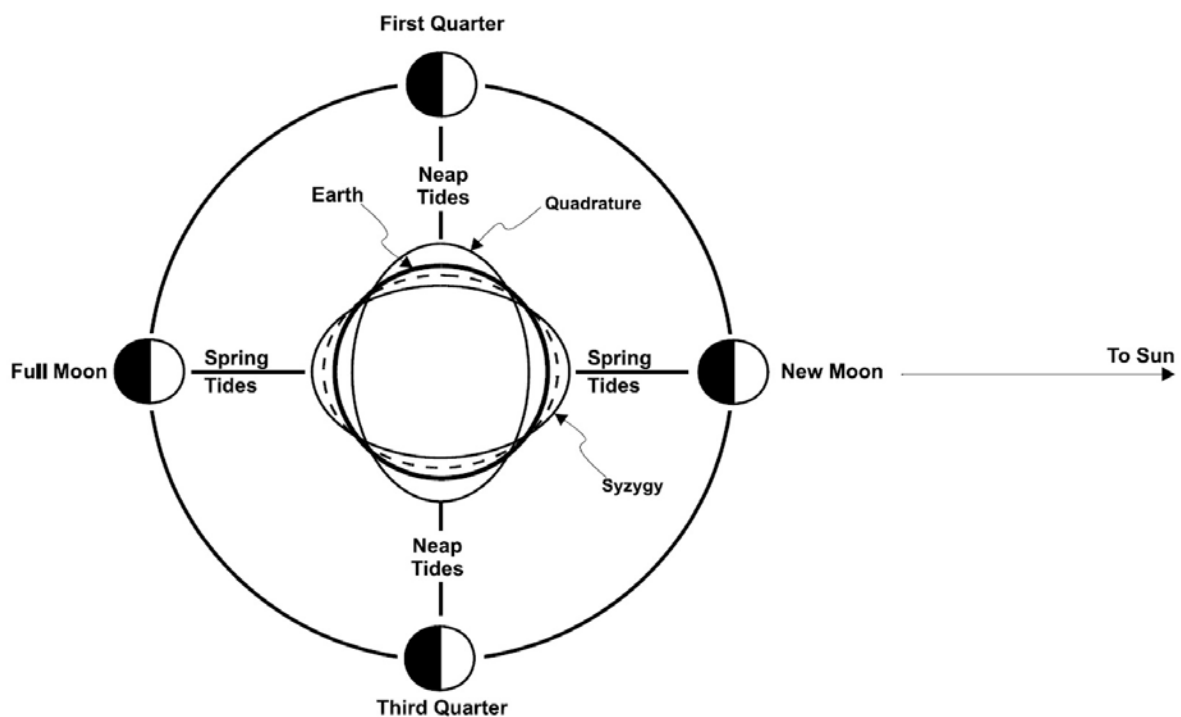


圖 2-1 日月星體造成潮汐變化示意圖

表 2-1 天文角度變化

| 天文角度 | 說明 | 角速度 | 週期 |
|----------------|-------------|----------------|-----------------|
| S | 月亮的平經度 | 0.549017 °/hr | 27.321582 days |
| h | 太陽的平經度 | 0.041069 °/hr | 365.242199 days |
| p | 月亮軌道近地點的經度 | 0.004642 °/hr | 8.847 years |
| N | 月亮軌道升交點的平經度 | -0.002206 °/hr | 18.613 years |
| p _s | 太陽軌道近地點的經度 | 0.000002 °/hr | 20940 years |

因此，可列出幾個較顯著的天文潮汐調和函數分量如表 2-2。

表 2-2 天文潮汐調和函數分量表

| 名稱 | 分量 | 角速度 (°/hr) | 相對振幅 |
|----------|-------------------------------|------------|--------|
| 長周期： | | | |
| M_N | N' | 0.0022 | 0.0655 |
| S_a | $h-p_s$ | 0.0411 | 0.0118 |
| S_{sa} | $2h$ | 0.0821 | 0.0729 |
| M_{sm} | $s-2h+p$ | 0.4715 | 0.0158 |
| M_m | $s-p$ | 0.5444 | 0.0825 |
| M_{sf} | $2s-2h$ | 1.0159 | 0.0137 |
| M_f | $2s$ | 1.0980 | 0.1564 |
| M_{fN} | $2s+N'$ | 1.1002 | 0.0648 |
| M_t | $3s-p$ | 1.6424 | 0.0300 |
| M_{tt} | $3s-p+N'$ | 1.6446 | 0.0124 |
| 全日潮： | | | |
| Q_1 | $15^\circ t+h-3s+p-90^\circ$ | 13.3987 | 0.0722 |
| O_1 | $15^\circ t+h-2s-90^\circ$ | 13.9430 | 0.3769 |
| P_1 | $15^\circ t-h-90^\circ$ | 14.9589 | 0.1785 |
| K_1 | $15^\circ t+h+90^\circ$ | 15.0411 | 0.5305 |
| J_1 | $15^\circ t+h+s-p+90^\circ$ | 15.5854 | 0.0296 |
| OO_1 | $15^\circ t+h+2s+90^\circ$ | 16.1391 | 0.0162 |
| 半日潮： | | | |
| $2N_2$ | $30^\circ t+2h-4s+2p$ | 27.8953 | 0.0230 |
| μ_2 | $30^\circ t+4h-4s$ | 27.9682 | 0.0278 |
| N_2 | $30^\circ t+2h-3s+p$ | 28.4397 | 0.1739 |
| ν_2 | $30^\circ t+4h-3s-p$ | 28.5126 | 0.0330 |
| M_2 | $30^\circ t+2h-2s$ | 28.9841 | 0.9081 |
| L_2 | $30^\circ t+2h-s-p+180^\circ$ | 29.5285 | 0.0257 |
| T_2 | $30^\circ t+h+p_s$ | 29.9589 | 0.0248 |
| S_2 | $30^\circ t$ | 30.0000 | 0.4236 |
| K_2 | $30^\circ t+2h$ | 30.0821 | 0.1151 |

§2-2 國內相關研究

§2-2-1 內政部訂定區域平均海水面之研究

對於區域性平均海水面研究的崛起，肇因於大地測量上的需求。尤其在進行精密水準與海域測量時需要一個參考原點，後來大多以海水面為海拔 0m 做為基準，而該基準大多由潮位站的量測資料所提供。然隨著科技的進步，對該參考原點的定義以及精度愈來愈高，不僅僅在測量技術的改進，並在潮位的量測方法上亦有不同的方式演進(NOAA National Ocean Service Education, 2005)，時至今日亦有由太空的衛星提供海水面高程量測資料。

在計算平均海水面時，有許多不同的計算方法，其中最基本的就是直接採用每天 24 小時資料的算術平均值，其他的方法則採用一些較複雜的濾波，每種方法的目的都是想要減少各種影響海水面變化的因素，包括各種周期的天文潮汐與其他氣象或非氣象環境因素的影響。

臺灣地區四面環海，在沿岸各地設有潮位站，然而在西海岸由於海岸線的變遷，在東海岸由於淤沙的問題，使許多潮位站設立不久即報廢，因此較缺乏歷史悠久的潮位站。高雄與基隆之潮位站於 20 世紀初即成立，並被 Gutenberg (1941) 用來分析全世界的海水面變動，當時分析的結果，基隆(1904~1924)是 1.1mm/yr，而高雄(1904~1933)是 2.5mm/yr。國內對於平均海水面的訂定，內政部曾於 1998 年委託中央研究院進行潮位資料處理，並結合高程基準網的設置，建立基隆的平均海水面，亦為國內目前高程基準的源頭。其訂定方式主要依據多變數迴歸法(Haubrich, 1965)進行分析，並配合當時潮位資料取得來源(約 5 年至 26 年間)，簡化為一次多項式來規劃長期性的變動，並利用不同週期的角頻率來估算天文潮汐，其公式如下：

$$Z(t) = a_0 + a_1t + b_1T(t) + b_2P(t) + b_3R(t) + c_n \cos(2\pi\omega_n t) + d_n \sin(2\pi\omega_n t) + \varepsilon(t) \quad (2-2)$$

其中 $Z(t)$ 是在 t 時間的海水高度

a_0 為 1990 年 1 月 1 日的海水面高度

a_1 為海水面長期線性的上昇率，單位 cm/yr

T, P, R 為溫度、壓力及降雨量之紀錄

b_1, b_2, b_3 為所估計溫度、壓力及降雨量對海水面的影響量

c_n, d_n 為各種週期之天文潮汐之振幅

ω_n 為各種天文潮汐分潮的角頻率，包括 $\omega_1 = 1.0980^\circ/hr$ (M_f)、 $\omega_2 = 0.5444^\circ/hr$ (M_m)、 $\omega_3 = 0.0821^\circ/hr$ (S_{sa})、 $\omega_4 = 0.0411^\circ/hr$ (S_a) 及 $\omega_5 = 0.0022^\circ/hr$ (M_N)

ε 為其他未考慮進去的各種殘餘影響量及誤差

爾後又於 2003 年進行本島及離島 24 個潮位站資料(表 2-3)與平均海水面的分析，並透過水準測量的方式，與一等水準網進行聯繫，其資料主要以 Cubic Spline 演算法進行資料補遺後，並利用算術平均的方式計算各潮位站的平均海面(內政部，2003)。

表 2-3 內政部 2003 年計算之 24 個潮位站

| 序號 | 潮位站名 | 序號 | 潮位站名 | 序號 | 潮位站名 |
|----|-------|----|------|----|--------|
| 1 | 基隆 | 9 | 七股 | 17 | 龍洞 |
| 2 | 淡水油車口 | 10 | 高雄 | 18 | 馬祖(南竿) |
| 3 | 淡水河口 | 11 | 蟳廣嘴 | 19 | 金門 |
| 4 | 新竹 | 12 | 富岡 | 20 | 料羅灣 |
| 5 | 臺中港 | 13 | 成功 | 21 | 澎湖 |
| 6 | 芳苑 | 14 | 石梯 | 22 | 小琉球 |
| 7 | 東石 | 15 | 花蓮 | 23 | 蘭嶼 |
| 8 | 將軍 | 16 | 蘇澳 | 24 | 綠島 |

接著又持續於 2005 年開始至今，逐步進行各離島平均海面之計算(目前仍持續進行中)，並與本島進行聯繫，逐步建立臺灣地區區域性的平均海面系統。該計畫中共計算本島及離島 7 個潮位站資料(表 2-5)，利用各潮位站之實測潮位資料計算平均海面，以 Pope τ 統計測試剔除異常值(outlier)(Pope, 1976)後，並扣除其平衡潮周期影響之分量(18.6 年或 8.85 年)，最後再以調和分析採最小二乘法求解得各年之平均海面(內政部土地測量局，2006)。

表 2-4 內政部 2005 年計算之 7 個潮位站

| 序號 | 潮位站名 | 序號 | 潮位站名 | 序號 | 潮位站名 |
|----|------|----|------|----|------|
| 1 | 基隆 | 4 | 澎湖 | 7 | 綠島 |
| 2 | 馬祖 | 5 | 小琉球 | | |
| 3 | 金門 | 6 | 蘭嶼 | | |

§2-2-2 交通部中央氣象局潮位資料處理方法

由於國內目前大部分潮位站資料（包括內政部之潮位站）均由交通部中央氣象局及經濟部水利署等 2 單位進行管理，因此將簡單說明兩個單位資料處理的方式，並據以參考作為後續潮位資料處理的方式。

首先以交通部中央氣象局來說，其潮位資料處理已列入海象資料處理系統中的一項，所有海象資料都儲存於海象資料庫（ORACLE under UNIX 環境）中，所以除了原始觀測資料（逐時或每 6 分鐘）之外，並無其他資料的儲存格式。資料篩選經過 UNIX 潮位自動品管軟體做初步檢核，其主要檢核資料表中的資料日期是否正確、品管檢測資料是否超出誤差量最大值或是最大、最小值範圍。然後資料在經過一次、二次或多次人工的篩選，如表 2-5 所示。根據中央氣象局 UNIX 潮位自動品管軟體手冊所述，以及海象資料庫應用系統技術手冊所列的原則，其資料處理原則如下：

- (1) 處理資料庫資料表僅限：(x)tide、(x)tide6、(x)tide60。
- (2) 批次作業的參數為測站代碼、資料旗標、起始時間、結束時間 stid, flag, sdate, edate（格式 YYYYMMDD, 原則 7 日）。
- (3) 品管檢核的資料限定 QC 值為 A-Z 的資料，若同一時間資料有一種以上 QC 值重複，則僅檢核處理 QC 較大 max(qc)的資料。
- (4) 品管檢測(x)tide6、(x)tide60 資料的日期時間欄位是否合理，若不合理則將 QC 值改為 D。
- (5) 自動品管後更新 QC 欄值寫回，其品管辨識條件照舊。QC 計算方式如下：
品管通過觀測資料：(QC>='Q' and QC<='Z')
品管未過觀測資料：(QC>='A' and QC<='p') or (QC='1')
全部原始觀測資料：(QC>='0' and QC<='Z')，當日期時間重複時，取 min(QC)
其他 flag：(a-z) 由 TextBox 輸入
- (6) 超出誤差量最大值檢核以檢驗時刻之前後，每隔 25 及 50 小時的潮位值作為參考點，其誤差量計算公式 (2-3)；但若參考點的潮位值有缺漏，或超出潮位最大、最小值，則對應的 a 或 b 值為 0，超出誤差量最大值，以"B"代表。

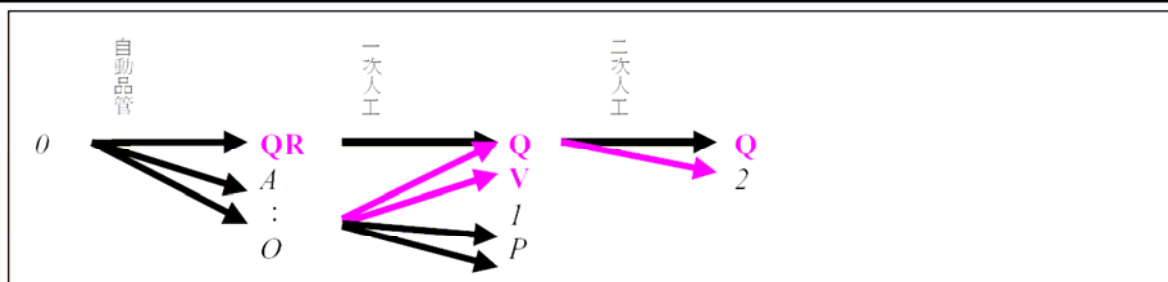
$$diff=|y(t)-\{[a_1 \times y(t-50)+b_1 \times y(t-25)+b_2 \times y(t-25)+a_2 \times y(t+50)]/(a_1+b_1+a_2+b_2)\}| \quad (2-3)$$

其中 $a_1 = a_2 = -1, b_1 = b_2 = 4$

- (7) 由於自動品管軟體後接續人工品管軟體 (tideHLcount.f) 除檢驗一日內高低潮發生次數是否合理外，需注意是否有與本軟體重複之規則條件而覆蓋原 QC 欄位值。

表 2-5 海象測報中心海象資料品管標記一覽表

| 標記 | 類別 | 使用之資料庫 | 代表意義 |
|----------------------------|-------|--------|---|
| 0 | 未品管 | (all) | 未經品管前之原始資料 |
| 1 | 錯誤 | (all) | 經品管後，未修正前之原始資料(例如從 AB...改成 1) |
| 2~9 | 錯誤 | (all) | 經再次人工品管後，各版本資料 |
| A | 未過需檢視 | (all) | 經自動品管後超出最大,最小值範圍 |
| B | 未過需檢視 | (all) | 經自動品管後超出誤差量最大值 |
| C | 未過需檢視 | (all) | 經自動品管後不符連續性 資料缺漏 |
| D | 未過需檢視 | (all) | 經自動品管後日期時間有疑問 |
| E | 未過需檢視 | (all) | 經自動品管後其他類別需人工檢視之紀錄 |
| F | 未過需檢視 | (all) | Spike, 突尖 |
| G | 未過需檢視 | Tidehl | 高潮<MSL, 低潮>MSL |
| H | 未過需檢視 | Tidehl | 一天的 HL 數日>4 |
| I | 未過需檢視 | Tide~ | 區段端點處，有些 HL 的潮差<4cm |
| J | 未過需檢視 | Tide~ | 連續 5 個以上 HL, 其潮差<4cm |
| K | 未過需檢視 | Tide~ | 7 個小時內，有 3 個 HL, 其潮差>4cm |
| L | 未過需檢視 | Tide~ | 潮時相差在 1 個小時內 |
| M | 未過需檢視 | Tide~ | 區段端點處，在 3.5 個小時內，有 2 個 HL, 其潮差>4cm |
| N | 未過需檢視 | Tide~ | 相鄰 2 個高(低)潮, 0.5<=潮時相差<10 個小時 |
| O | 未過需檢視 | Tide~ | 平潮, 潮差<4cm |
| P | 未過需檢視 | (all) | 通過自動品管尚未人工檢視，人工修訂為不對外提供 高潮位小於平滑化潮位，低潮位大於平滑化潮位 (量不到高潮或低潮時?) |
| Q | 通過可提供 | (all) | 經品管無誤或品管修正後正式對外供應之資料 |
| | | Tide | 經品管無誤之 15 秒海水位資料 |
| R | 通過可提供 | (all) | 通過自動品管尚未人工檢視，可對外提供 |
| | | Tide | 經品管無誤之 10 秒海水位資料 |
| S | 通過可提供 | (all) | 資料缺漏 |
| | | Tidehl | Stand tide, 平潮 |
| | | Tide | 經品管無誤之 1 分鐘海水位資料 |
| T | 通過可提供 | (all) | 其他實測資料修補實測資料 |
| U | 異常可提供 | | (尚未使用) |
| V | 異常可提供 | (all) | Cubic Spline 演算法修補當成實測資料 |
| W | 異常可提供 | Tide~ | 潮汐調和預報資料，當成實測資料以供預報 |
| X | 異常可提供 | (all) | 其他類別異常紀錄 |
| Y | 異常可提供 | | (尚未使用) |
| Z | 異常可提供 | Tide~ | 高潮位小於平滑化潮位，低潮位大於平滑化潮位 (量不到高潮或低潮時?) |
| 小寫英文字母標記代表非實測資料之其他來源資料，如下列 | | | |
| f | 非觀測資料 | (all) | 正式預報資料 |
| h | 非觀測資料 | Tide~ | 潮汐調和預報資料 |
| a | 非觀測資料 | Tide~ | 潮汐調和分析資料 |
| m | 非觀測資料 | Tide~ | 潮汐數值模式預報資料 |



資料品質(QC)： 0：未品管，1-9：錯誤，A-P：異常需檢視，Q-T：通過可提供，U-Z：異常可提供

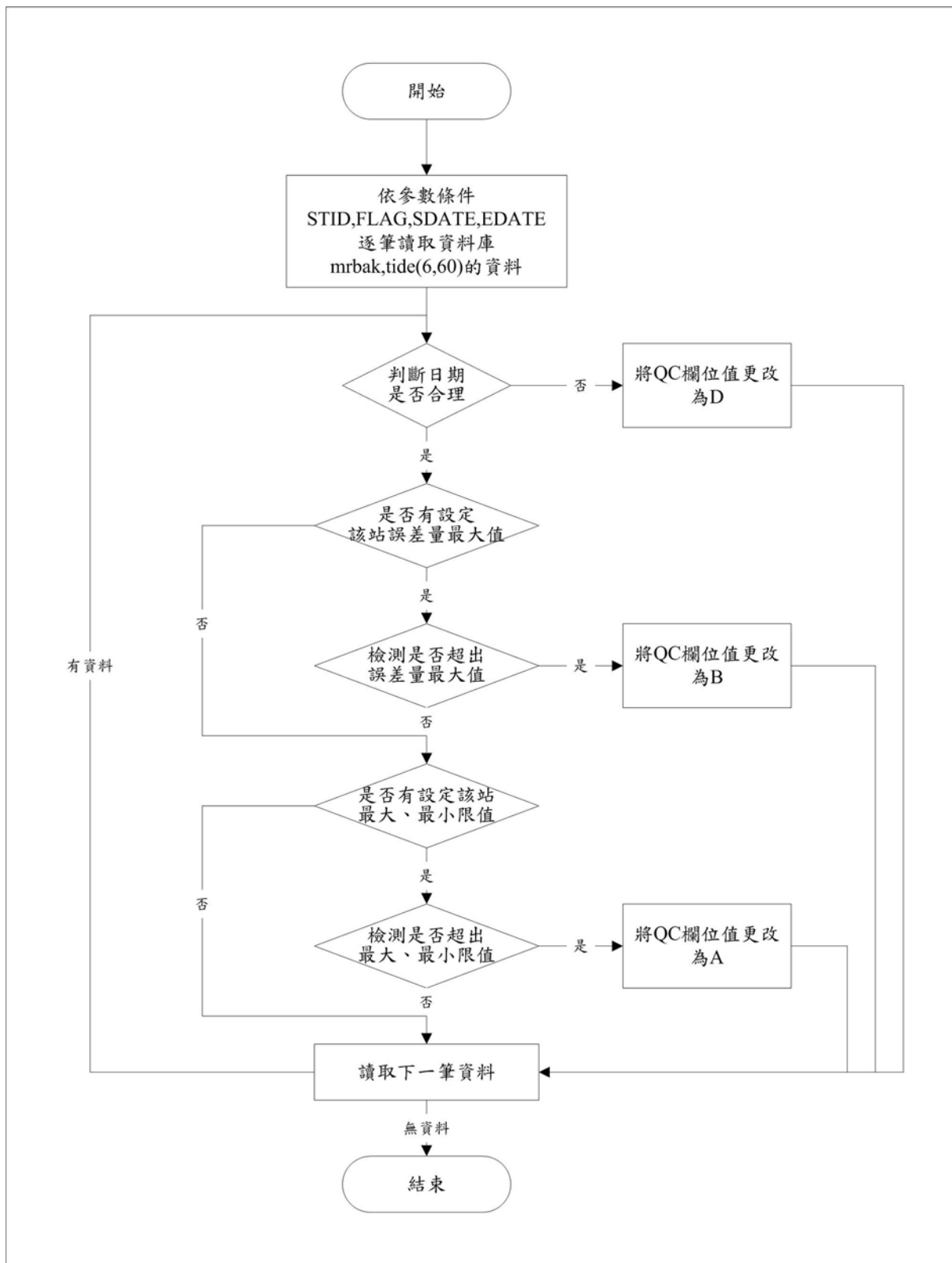


圖 2-2 交通部中央氣象局潮位自動品管流程圖

對於中央氣象局潮位資料統計計算的原則，則根據海象資料庫應用系統技術手冊所說明，其所做的統計如下：

MWL -- 平均潮位, unit=mm

MHWL -- 平均高潮位, unit=mm

MLWL -- 平均低潮位, unit=mm

MR -- 平均潮差=MHWL-MLWL, unit=mm

HHWLT -- 最高高潮位發生國曆時間(註 1), unit=mmddhhmn

HHWLD -- 最高高潮位發生農曆月日(註 2), unit=mmdd

HHWL -- 最高高潮位, unit=mm

LLWLT -- 最低低潮位發生國曆時間(註 1), unit=mmddhhmn

LLWLD -- 最低低潮位發生農曆月日(註 2), unit=mmdd

LLWL -- 最低低潮位, unit=mm

MTR -- 最大潮差=HHWL-LLWL, unit=mm

HWOSt -- 大(朔,註 3)潮平均高潮位(農曆 29~4,14~19), unit=mm

LWOSt -- 大(朔,註 3)潮平均低潮位(農曆 29~4,14~19), unit=mm

STR -- 大(朔,註 3)潮平均潮差=HWOSt-LWOSt, unit=mm

HWOSt2 -- 望潮平均高潮位(農曆 14~19,註 4), unit=mm

LWOSt2 -- 望潮平均低潮位(農曆 14~19,註 4), unit=mm

STR2 -- 望潮平均潮差=HWOSt2-LWOSt2, unit=mm,

NO -- 高低潮次數值,

QC -- quality flag, 該月(年) $\geq 2/3$ 者為 O, 否則為%

=====

(註 1) 當 SL='S'時, HHWLT(LHWLT)和 HHWLD(LHWLD)如下所述, 記錄國曆和農曆時間

(註 2) 而當 SL='L'時, HHWLT(LHWLT)和 HHWLD(LHWLD)反過來, 記錄農曆和國曆時間

(註 3) 當 SL='S'時, HWOSt,LWOSt,STR 記錄國曆該月大潮期間(農曆 29~4,14~19)的潮位

而當 SL='L'時, HWOSt,LWOSt,STR 則記錄農曆該月朔潮期間(農曆 29~4)的潮位

(註 4) 當 SL='S'時, (HWOSt2,LWOSt2,STR2)不使用

而當 SL='L'時, HWOSt2,LWOSt2,STR2 則記錄農曆該月望潮期間(農曆 14~19)的潮位

(註 5)大潮期間每天僅挑一個最大的 HL 潮位, 而且當月(年)至少要有 6(72)個 HL 潮位才計算

(註 6)朔望期間每天僅挑一個最大的 HL 潮位, 而且當月(年)至少要有 3(36)個 HL 潮位才計算

此外,

以 SL=('S','L')表此筆資料為(國曆,農曆)月份.

農曆遇到閏月時, 則併入該月計算.

2001 4 S 國曆 2001 年 0401~0430, 30 天

2001 4 L 農曆 2001 年 0401~閏 0429, 相當於國曆 0423~0620, 59 天

§2-2-3 經濟部水利署潮位資料處理方法

而經濟部水利署對其轄下的潮位站，均已統一納入其潮位站作業系統中，該系統主要架構如下：

1. 資料擷取分析系統：潮位站的收錄系統須滿足觀測儀器之資料擷取、分析、儲存及流程控制等功能，現代之自記觀測儀器一般均提供類比式輸出（電壓或電流）或數位式輸出（例如 RS-232），為了能擷取數據，資料擷取設備應具備與儀器輸出相容之元件；資料擷取系統取得之原始數據，須經進一步分析計算得具代表性的統計值後，才可作後續應用，因此資料擷取系統須具備資料分析計算功能；為了避免因傳輸系統故障，致使資料漏失及為了學術研究之需求，潮位觀測系統須具備資料儲存設備。
2. 儀器系統：目前水利署所轄之潮位站，均配備有兩種儀器，包括壓力式潮位儀及音波式潮位儀，此二種儀器以不同之觀測原理進行觀測，所得資料可相互驗證。
3. 電力系統：由於潮位站均位於岸邊或港口堤防上，市電無法拉至現場，所以必須有獨立之電力系統，目前是採用兩片 65W 之太陽能板進行發電，並將電力儲存於觀測站之電瓶中，達成供電之需求。
4. 通訊系統：於 2004 年之前，水利署潮位站大都採用 GSM 以及無線電傳輸，每小時回傳一次觀測資料，因為 GSM 傳輸費用頗高，為節省傳輸費用，以及為了加密傳輸頻率，因此重新評估傳輸技術，於 2005 年以大哥大 2.5 代通訊技術作為資料傳輸方式，此即為所謂的 GPRS(General Packet Radio Service)通訊技術，與現有 GSM(Global System for Mobile Communications)技術比較，GPRS 技術具備經濟及即時傳輸性佳之雙重優點，因此於同年提出潮位站整合 GPRS 數據機之做法，此作法為在不變更儀器系統前端之潮位儀之前提下，調整潮位站控制核心之軟硬體，完成換裝 GPRS 數據機之目的，換裝後潮位站每 6 分鐘即時傳輸一次數據。
5. 靜水井：潮位觀測儀器設備安裝在靜水井內，包括新一代音波式潮位儀及壓力式潮位儀，靜水井需能考慮最高潮位（暴潮）影響，及可涵蓋最低潮位觀測，必要時增加踏板以提高維護人員上下靜水井操作之便利性。

而其潮位觀測流程如圖 2-3，其潮位系統觀測作業流程包含資料擷取、分析、儲存、傳輸 4 個步驟，說明如下：

- (1) 資料擷取與分析：水利署潮位站之觀測資料取樣頻率為 0.1Hz，每 6 分鐘記錄一次平均潮位。
- (2) 資料儲存：每小時將分析結果儲存於，於回收記憶卡後可回補資料，為確保系統可靠度，採用 Flash 記憶體，其容量可供潮位站作業化運轉 1 年以上。
- (3) 資料傳輸：每 6 分鐘自動將觀測資料透過傳輸設備傳送至陸地接收站進行資料品管處理，陸地接收站可補傳先前傳輸失敗的資料。

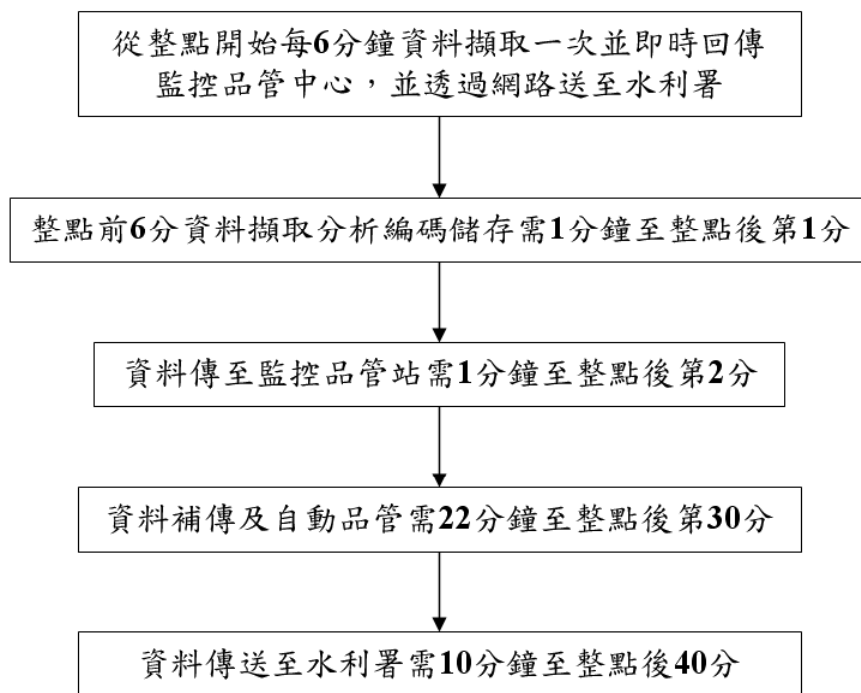


圖 2-3 經濟部水利署潮位資料觀測作業流程

而水利署潮汐資料分析使用的方法為調和分析法，此方法乃假設潮汐是許多分潮（partial tides）相加而成，由每個地點的潮位紀錄可得出不同的分潮振幅及相位角，隨後依據所得到之各分潮振幅及相位角來推算天文潮位大小。一般而言，以 M_2 、 S_2 、 K_1 、 O_1 等四個分潮為主要描述潮汐變化之分潮，以調和分析法（Foreman, 1977）計算各潮位站分潮。

此外，經濟部水利署並對其潮位站使用之潮位儀訂有儀器之檢校方式，包括二代音波式與壓力式等二種，其主要內容如下：

1. 二代音波式潮位儀檢校方法：二代音波式潮位儀的檢校原理主要是求出音波式潮位儀探頭及校正管受溫度的影響，以鋼尺上度數校正音波式潮位儀之輸出值，檢校方法如下列說明：
 - (1) 將音波式潮位儀探頭及校正管放置在校正箱內，在箱內溫度到達均溫後，讀取鋼尺上度數與音波式潮位儀之輸出值，作精確度及準確度與測計零值檢定。
 - (2) 精確度（precision）：重複量測受測值所得分散程度，為隨機誤差值，受測值是指音波式潮位儀之輸出值。
 - (3) 準確度（accuracy）：受測結果與受測值真值間差值，為系統誤差值，受測值真值是指鋼尺讀數。
 - (4) 測計零值檢定（offset）：量測出水位測計原點與傳感器現場安裝參考點間距離，在現場安裝時並將此零點高程與現場水準高程銜接，來決定出測計原點之水準

高程值，讀取可由音波式潮位儀之輸出值（水位測計原點至音波管底部距離值）減去由鋼尺所量測現場安裝參考點至音波管底部距離值。

- (5) 音波式潮位儀的檢測需將音波傳感器（acoustic transducer）與校正管（calibration tube）配對來進行以上三個步驟檢測程序，且在現場觀測時亦需配對使用，以避免在輾轉運送途中受碰撞而使得其精確度（precision）及準確度（accuracy）偏移。
- (6) 音波式潮位儀在現場使用後，可能因外在環境或儀器本身老化影響，而導至其精確度、準確度或音波式測計原點產生漂移現象，故應定期回收進行檢校，以確保所量測數據品質。

2. 壓力式潮位儀之檢校方法：壓力式潮位儀之量測原理為利用感應部設定壓力與輸出電流的相對關係，利用其線性關係，轉換為電壓或以電流的方式輸出，以壓力與水深成正比的关系換算即可表示水位大小。檢校原理則是將被校壓力式潮位儀之輸出電流值與壓力校正器給定之標準氣壓做線性迴歸。校正方法如下：

- (1) 被校壓力式潮位儀接在壓力校正器上，由壓力校正器給定標準氣壓，並由 HP 34401A 數位電表讀取被校壓力式潮位儀之輸出電流值。
- (2) 計算輸入標準氣壓與被校壓力式潮位儀之輸出電流值線性迴歸值。

$$P = aI + b \quad (2-4)$$

其中 P 為輸入標準氣壓

I 為被校壓力式潮位儀之輸出電流值

a 為斜率

b 為截距

- (3) 進行線性迴歸分析，當相關係數大於等於 0.98 ($R^2 \geq 0.98$) 為合格。

§2-3 國外區域平均海水面相關研究

§2-3-1 國外訂定高程基準之方式

至於國外地區，因不同的地理環境背景中，採用不同潮位站量測方法（表 2-6），以下將進行概略性的說明。

表 2-6 各國製訂高程基準的方法

| 地區 | 製訂高程基準的方法 | 規範名稱 |
|-------------------------|--|------------------------------|
| 美國 | 26 潮位站平均海水面的水準聯測的平均； 單一潮位站(Father Point/Rimouski)的平均海水面 利用 11 個不同的海洋與氣象觀測站每 6 分鐘的紀錄，考慮了風向與風速、水流的速度與方向、空氣與水的溫度以及氣壓所造成的影響，並針對以上的各種影響海水面高度的因素進行修正 | NAVD29 NAVD88 進行中 |
| 非洲 | 利用雷達波測距的方式，藉波行進的時間與波速之關係，修正海水面高度、空氣與水的溫度、海水的鹽度、水流及風的方向與速度等因素，得到海洋的資料 加入衛星的觀測 | ODINAFRICA ODINAFRICA-III |
| 北大西洋（西歐、北歐及加拿大）及地中海（南歐） | 利用水下壓力式的計測儀測量在每一天當中由各個潮位站所提供的平均壓力值，並考慮了大氣內部重力波、熱能的傳遞與太陽輻射的吸收對地表所造成之影響 | J86 |
| 英國 | 採用氣泡式的水下壓力計測儀來測量海水面的平均高度 | |
| 紐西蘭 | 能夠準確預測在時間和空間上瞬時海水面的狀態變化來發展最佳模式， 企圖發展無潮位站式或潮位站平均海水面框架式高程基準 | NZGD2000 |

美國自 1920 年代起便設置了大地測量的參考原點（National Geodetic Vertical Datum of 1929, NGVD29）沿用至今，後因測量精度的提高、測量技術的演進，復於 1988 年由 FEMA（Federal Emergency Management Agency）及 NFIP（National Flood Insurance Program）研究後提出新的製圖垂直坐標基準（North American Vertical Datum of 1988, NAVD88）。由 NAVD88 所定義的參考原點中，不僅由潮位站提供平均海水面的資料，同時該系統並利用 11 個不同的海洋與氣象觀測站每 6 分鐘的紀錄，考慮了風向與風速、水流的速度與方向、空氣與水的溫度以及氣壓所造成的影響，並針對以上的各種影響海水面高度的因素進行修正（FEMA, 2003; Zilkoski et al., 1992; Henning et al., 1998）。而美國的平均海水面研究現多加入衛星（TOPEX/POSEIDON）的觀測結果，以便與 GPS 的坐標框架進行結合（Burša et al., 2001）。

同樣地處穩定板塊地區的非洲，於 2001 年由非洲沿海的數個國家開始組成一個跨國的海水面高程研究機構（Ocean Data and Information Network for Africa,

ODINAFRICA)，主要利用雷達波測距的方式，藉波行進的時間與波速之關係，修正海水面高度、空氣與水的溫度、海水的鹽度、水流及風的方向與速度等因素，得到海洋的資料 (Odido, 2003)。另外 ODINAFRICA 亦利用水下壓力式計測儀做雷達波測距第二重的資料驗證以及高頻率的資料採樣數，以得到較佳的資料品質 (Aman et al., 2006)。在最新的 ODINAFRICA-III 中，同樣亦加入了衛星的觀測結果。

與美國同樣位於北美地區的加拿大則與西歐、北歐及地中海南歐等國加入了北大西洋的跨國研究機構中 (European-North Atlantic Mean Sea Level Program, EMSLP)。該機構中乃是利用水下壓力式的計測儀測量在每一天當中由各個潮位站所提供的平均壓力值，並考慮了大氣內部重力波、熱能的傳遞與太陽輻射的吸收對地表所造成之影響 (Ansell et al., 2006)。其所採用之模式與美國相較多偏重於溫度對於空氣、水體與地面所造成的影響程度。

而位於西歐的英國則因為屬於島國的緣故而未加入 EMSLP 當中，反而獨力發展出一套符合當地的平均海水面研究方法 (IOC, 1985; IOC, 2002)。英國的潮位站主要採用氣泡式的水下壓力計測儀來測量海水面的平均高度，利用氣泡由水底往水面移動的時間計算壓力差，再換算為計算海水面的高度。並且據此開發出一種具有一組三個壓力傳感器與三個壓力表壓力計測儀，該儀器不僅可以提供更精確的基準面控制，以及區域性低潮位面的數據研究，然而相對的是該儀器也是十分的昂貴。

紐西蘭與英國同樣屬於島嶼型國家，該國亦基於自身的需要，配合 GPS 科技的發展，對於大地測量的基準面研究另有一套標準 (New Zealand Geodetic Datum 2000, NZGD 2000)。該標準便十分明確地訂定資料格式必須配合 GPS 在 ITRF96 (International Terrestrial Reference Frame of 1996) 的數值坐標框架中，引用 GRS80 (Geodetic Reference System 1980) 坐標 (Grant and Blick, 2002)。紐西蘭這套量測系統的特點在於能夠準確預測在時間和空間上瞬時海水面的狀態變化來發展最佳模式，該系統定義的垂直數據已用來測量當地的重力潛勢分析。

§2-3-2 國外維護潮位資料的方式

各國發展的海水面計測系統或規範均在 GLOSS (The Global Sea Level Observing System) 架構底下 (Holgate and Aarup, 2003; Pugh, 1996; IOC, 2006)，其海水面測量儀器由最簡易的靜水井式，較多國家採用的水下壓力／氣泡式，較新型的聲波反射／雷射測距式，以及應用衛星科技的衛星探測式，各儀器之採用以及操作上均有其成本與精度上的考量，如何取捨仍須因地制宜 (表 2-7)。因此，後續參考幾個國家地區對於潮位資料處理的方式與歷史。

表 2-7 不同型式潮位觀測儀器規範

| 儀器型式 | 海水面量測方法 | 規範名稱 |
|----------------|---|-------------------------|
| 靜水井式 | 浮筒計測高度 | GLOSS |
| 水下壓力式 氣泡式 | $P = P_A + \rho g D$ <i>P</i> : the measured pressure, at the transducer depth <i>P_A</i> : the atmospheric pressure acting on the water surface <i>ρ</i> : the mean density of the overlying column of sea water <i>g</i> : the gravitational acceleration <i>D</i> : the water level above the transducer | GLOSS |
| 聲波反射式 雷射測距式 | $t_p = \frac{2l_z}{C_a}$ <i>t_p</i> : travel time <i>l_z</i> : the distance to be measured <i>C_a</i> : the velocity of sound in air | GLOSS |
| 衛星探測式 | $h_4 = h_2 - h_1 - h_3$ <i>h₄</i> : sea level <i>h₂</i> : The elevation of the satellite itself above the reference ellipsoid <i>h₁</i> : a satellite altimeter above the sea surface <i>h₃</i> : geoid elevation | TOPEX/POSEIDON GLOSS |
| 雷達式感應器 | $t_p = \frac{2l_z}{C_a}$ 在最近幾年(21世紀)才開始有儀器商製作 與聲波反射式依樣操作簡單、維護容易。 其優點是比較不受溫度影響其精度 仍在測試階段，與其它儀器一起觀測，尚稱滿意 | 尚無規範 |

一、紐西蘭

而紐西蘭對於潮位資料蒐集主要分成兩大類：

1. 商港管理局所管理的潮位站：

這一類的潮位站通常都有較長的歷史，因此由紐西蘭土地資訊局 (Land Information New Zealand ; LINZ) 來接手管理，並且與各港口管理局簽約，以保證資料品質及潮位基準的穩定性。

紐西蘭的潮位特性是在西岸的潮差大約 4m，而在東岸則只有 1~2m，並且有很明顯的 14 天的大潮-小潮周期。另外因為紐西蘭是太平洋的一個無潮點 (Amphidromic point 或 nodal point)，潮波會繞著無潮點以反時鐘方向旋轉，因此造成在南島-北島之間的寇克 (Cook) 海峽兩端的潮差。

紐西蘭的潮位站分成一等及二等測站，一等測站共有 17 站，都在南島及北島上，通常有較長的歷史，由商港或地方政府單位所擁有及運作，其中一半的記錄間隔式 1 分

鐘，其它為 5 分鐘或 10 分鐘，LINZ 每三個月蒐集一次資料。二等測站共約有 300 個站，觀測時間較短，可能在數天到數年之間，主要是在做水文觀測時所設置的，分布在南北島沿海及各外島，在紐西蘭航海年曆中（New Zealand Nautical Almanac ; NZNA）中，除了列出 17 個一等潮位站的潮位預測外，還列出約 200 個二等潮位站相對於一等潮位站高潮、低潮的時間差。

2. 由國家水及大氣研究所（National Institute of Water and Atmospheric Research; NIWA）在 1996 年所設置的 7 個高品質潮位站：

這一類的潮位站每個站都同時設置相關的氣象觀測儀及即時資料傳輸設備，其中兩個還特別設計可做為 TOPEX/ POSEIDON 衛星測高儀的檢校之用。這些觀測的目的，主要在做精確的海水面及潮汐觀測，以做為科學研究之用，其中包括暴潮、氣候變遷、地殼變動等，所以這些觀測站都設置在避免港口運作影響的地區，以及避開河口或任何有會影響到海水面變動的區域。

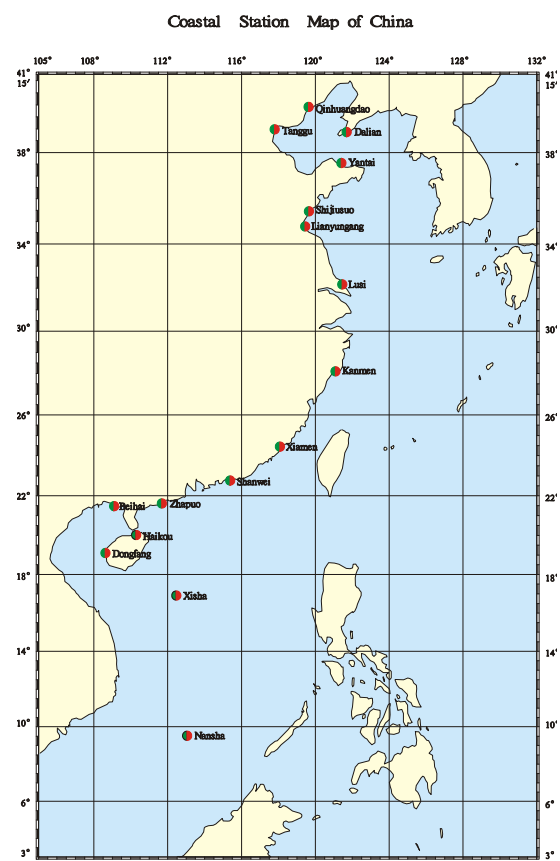
另外在遠離主島的小島，如 Chatham Islands(由 NIWA 及太平洋海嘯預報中心 Pacific Tsunami Warning Center 所設置) 以及 Ross Dependency, Antarctica (由 NIWA 及 LINZ 所設置) 設置潮位站，以做為海嘯預報之用。另外，最近在 Auckland, Wellington, Lyttelton and Dunedin 幾個一等潮位站設置了 GPS 連續觀測儀器，由 GNS Science 公司設置及運作，以做為高程基準控制點之用途。

二、中國大陸

中國大陸沿海有許多的潮位站（圖 2-4），其中某些測站的資料送到中國國家海洋資料中心，並由這中心提供給需要的使用者。

這些資料在提供使用之前須先做一些品質管制，以期達到一定的精度與品質。這品質管制的步驟與全世界的處理方法相同，包括資料格式驗證、資料相關性驗證與統計測試，其步驟如下：

1. 資料格式驗證：包括每個資料欄位位置的正確性，以及資料在一定的範圍之內，所以檢驗步驟為：
 - (1) 每一欄位中包括預期資料型態，如為文字或為數字。
 - (2) 資料數值必須在可接受的範圍之內，如



23 圖 2-4 中國大陸沿海主要潮位站分布圖

緯度要在 ± 90 之間，經度在 ± 180 之間。

(3) 資料若為代碼，則必須是有意義的代碼。

(4) 指令欄位必須存在。

2. 資料相關性驗證：如潮位變化應該是緩慢的，而且每天的變化是規律性的，突跳式的變化應該是錯誤的，必須修正或移除，每天的潮位變化與預測值也應該在一定的偏差之內，超過的則應該加以判斷，是否該修正或移除。對於檢驗的方法，可用 Lagrange 內插公式 (2-5)：

$$R(k) = 2/3(R(k+1) + R(k-1)) - 1/6(R(k+2) + R(k-2)) \quad (k = 0, 1, 2, \dots, K) \quad (2-5)$$

其中 $R(k)$ 是在 k 時刻的海水面平均高度

K 是潮位觀測的個數

$R(k-2), R(k-1), R(k+1), R(k+2)$ 則是在 $k-2, k-1, k+1, k+2$ 等相關時刻的潮位數值

如此，由 $k-2, k-1, k+1, k+2$ 所推算出來的 k 時刻計算值 $R(k)$ 應該與 k 時刻的潮位觀測數值 R_0 相接近，即 $|R(k) - R_0| < U$ ，設定 $U = 4.374 \times \sigma$

3. 統計測試：以過去的資料統計來檢驗紀錄，一般可接受的變動範圍為 $\pm 3.5\sigma$ ，亦即：

$$M - 3.5\sigma < X < M + 3.5\sigma \quad (2-6)$$

其中 M 為平均值

σ 為標準偏差

X 為觀測值

而對於錯誤資料的處理方式，由下列原則決定：

- (1) 如果錯誤很明顯，直接改正。
- (2) 如果是明顯的系統誤差，也可以直接改正。
- (3) 對於存疑的資料，詢問觀測者，如觀測者也無法辨識正確與否，加標記存疑。
- (4) 對於不可靠的資料，需要做些分析，以找到理由來修正它，否則移除他，並標記資料缺失。

三、英國

英國國家潮位及海水面觀測網 (UK National Tidal and Sea Level Facility; NTSLF) 是由利物浦的 The Proudman Oceanographic Laboratory (POL) 及 British Oceanographic Data Centre (BODC) 所管理運作，而其經費是由 The Environment Agency (EA) 及 Natural Environment Research Council (NERC) 所編列支持的。BODC 代表 POL 蒐集全英國國家潮位觀測網 (The National Tide Gauge Network) 每隔 15 分鐘的潮位資料，並做遠端

監控。這些資料每星期下載一次，並在發布供科學及其他目的使用之前，必須先做資料品質管制。並在近年來選擇數個潮位站設置 GPS 固定站以及做絕對重力儀的觀測，以監測垂直地殼變動所帶來的影響。

自 1993 年開始，資料品管使用 BODC 自己發展的品管軟體 EDTEVA（可同時處理 50 個調和分析，每一個可以包含 140 個調和分量，並可對同一站不同的調和分量做比較，也可對不同站的相同的調和分量做比較），並建立起 15 分鐘間距的資料庫，還包括暴潮、最高水位、最低水位以及平均海水位。這些資料並被加以小心處理，且做包括海水密度、基準變動以及校準參數等修正。在 2005 年之後，EDTEVA 軟體開始被 EDSERPLO 軟體所取代，而這軟體（EDTEVA）的特性為：

- (1) 處理重疊的資料。
- (2) 利用圖形視覺來處理跨週資料的連續性問題。
- (3) 對有問題的資料不只是加標示，還可直接修正。
- (4) 將一週週的資料累計成月資料或年資料。
- (5) 將一站站的資料各自計算潮位理論值及殘餘值。
- (6) 產生潮位統計數值。
- (7) 對資料做調和分析。

在品管軟體 EDTEVA 所做的資料檢核：

- (1) 用內插以填補資料缺漏之處。
- (2) 剔除資料週期性錯誤。
- (3) 時鐘不正確的修正、包括時間壓縮（時鐘太慢）或時間延展（時鐘太快）。
- (4) 對資料做加常數計算或乘常數計算。
- (5) 單位換算（e.g.呎/公尺）。
- (6) 基準高度修正。

在品管軟體 EDTEVA 所做的資料統計，基本上 Edteva 軟體做四種的統計量：

- (1) 潮位站有史以來的歷史統計（history）。
- (2) 每月極值（extremes）。
- (3) 每月暴潮的極值（surges）。
- (4) 日平均海水面及月平均海水面（MSL）。

而統計的原則如下：

- (1) 超過 4.1 小時的資料缺漏，則認定為資料缺失。
- (2) 每月極值為當月所有觀測量（包括加密觀測的資料）的最大值及最小值，但這不包括內插值。

- (3) 每月暴潮的極值與計算潮汐的殘餘值相同，所謂潮汐的殘餘值就是觀測潮位值減去理論預測的天文潮汐值。
- (4) 平均海水位是由原始潮位經過一次或多次的 Cubic Spline 濾波的處理之後，所得到的每隔 15 分鐘資料為基礎，再經 Vassie's 03B filter 以及 Doodson's X0 filter 化算成每小時的資料，再去做算術平均。資料漏缺在這步驟可能會造成日平均的缺失。每個月的日平均總數則用來做月平均的計算。

四、日本

日本的潮位觀測與臺灣一樣，是由日本氣象廳 (Japan Meteorological Agency; JMA) 來執行，日本的海水面受到幾個主要因素的影響，如親潮 (Kuroshio)，海表面溫度以及向西推進的 Rossby waves，其目的在觀測暴潮、海嘯、全球溫室效應、以及地震活動等。而實際執行的單位為日本氣象廳 (JMA)，日本海防隊 (Japan Coast Guard; JCG) 以及國土地理院 (Geographical Survey Institute; GSI)，各觀測 66、30、25 個潮位站，日本氣象廳的潮位站大多是每秒紀錄，即時傳遞至地震現象觀測系統 (Earthquake Phenomenon Observing System; EPOS)，然後再化算成 15 分鐘的資料提供給各界使用。這些資料也化算成每小時資料送至夏威夷的 GLOSS 快速資料中心，也算出月平均海水面，送至英國 Proudman Oceanographic Laboratory 的永久性平均海水面組織 (PSMSL)，提供給全世界使用。

日本氣象廳也利用逐時資料來做潮汐的調和分析，並計算天文潮汐。在日本有 11 個潮位站超過 100 年歷史，其中有 5 個測站位於地殼變動較小的地區，被選用做為分析日本四週平均海水面變動的根據，結果發現大約有一個 20 年週期的起伏變動，最高的海水面在 1950 年，並且在 1980 年之後又持續上升，在 2001 年也上升到將近 1950 年的高度 (圖 2-5)。

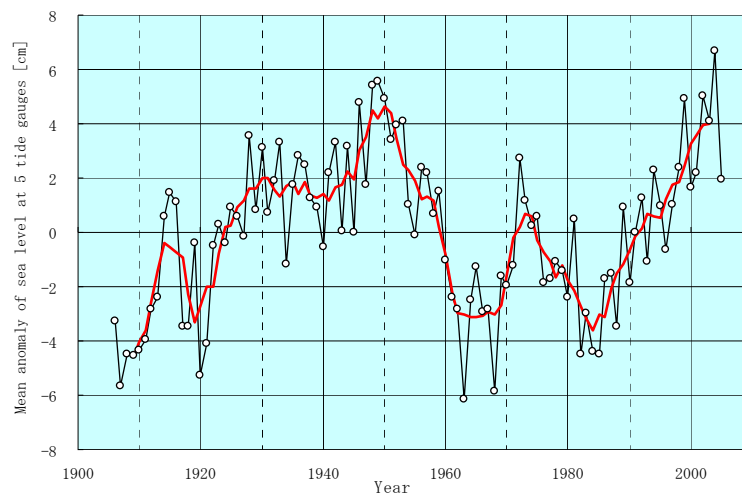


圖 2-5 日本 20 世紀平均海水面

五、印尼

印尼最早做潮位觀測是由 the National Coordinating Agency for Survey and Mapping (BAKOSURTANAL) 在 1984 年設置 8 個潮位站，主要在求取平均海水面做為國家高程系統，或各個島嶼的高程系統之用。在 1988 年為了因應經濟發展與海圖製作的需求而快速的增加測站，現在已在主要海港共有 60 個測站了。並且因海嘯嚴重影響印尼地區，由各國資助設置即時傳輸的潮位站已有數十個，並且用 World Meteorological Organization (WMO) 所掌控的全球傳輸通訊系統 Global Telecommunication System (GTS) 來傳輸資料。

印尼的潮位站設置與管理非常注重時間與高度的同步化，這對海嘯的觀測非常重要。時間將利用時間廣播系統統一在當地時間，時間誤差以不超過 1 分鐘為原則，最新的自動對時技術，利用 GPS 的時間系統，配合對時的軟體，可準確的校準時間到 UTC 時間系統。高度校準則利用測站旁邊的水尺，經常性的檢驗水尺讀數與潮位紀錄的一致性，水尺的人工讀數雖然不容易，可能在公分左右（由於水波上下動的關係），但可以長期避免高程基準的偏移、儀器校準的偏移以及儀器的不正當安裝等問題。水尺讀數與儀器紀錄差異以 0.5cm 為原則。每個潮位站都需要配備耐用的水尺，其材質不使用過去的金屬板狀的水尺，而是耐水耐用的玻璃纖維材質，並在刻劃後塗以透明的酯，可用 10 年以上。

印尼潮位站的資料處理以夏威夷大學發展的 TOGA 軟體做為資料篩選及處理，並建立資料庫，包括測站相關資料、原始資料、月調和係數、年調和係數、月平均海水面、年平均海水面、潮位偏移及有關潮位站維護的紀錄描述。

六、俄羅斯

在早期的蘇聯時代，有 36 個潮位站，大多數都有 50 年以上的歷史，有的甚至超過 100 年以上，例如：Odessa, Ochakov, Sevastopol, Batumi, Poti... 等等。現在的俄羅斯在 2000 年時有 5 個 GLOSS 的潮位站，包括黑海的 Tuapse (1917-2000)、Anapa (1917 - 2000)、Gelendjik (1921 - 2000)、Novorossisk (1923 - 2000) 與 Sochi (1916- 2000)，每個測站都與俄羅斯的全國大地測量網聯測，大部分的測站精度都可以符合 GLOSS 的精度要求。在 2005 年時則有包括太平洋及其他 10 個海域的 19 個 GLOSS 潮位站（表 2-8），以及 2 個位於北極海的潮位站，但因為氣候的關係，這兩個測站只是偶爾觀測。

在俄羅斯，GLOSS 的觀測資料是來自 the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring (Roshydromet)，而由在 Obninsk 的 All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information - World Data Centre (ARRIHI-WDC) 來做資料蒐集、整理及傳送。ARRIHI-WDC 再將月平均及年平均送到 PSMSL 及在夏威夷的 IGOSS Sea

Level Centre in Pacific (Honolulu)。

前述的 5 個俄羅斯 GLOSS 潮位站可以符合 GLOSS 的精度要求，即為潮位觀測誤差不超過 1-2cm，時間誤差不超過 1 分鐘，而其它的測站則常因管理不善、儀器損壞、基準高度變動、資料缺失…等等問題，無法達到 GLOSS 的精度要求。

表 2-8 俄羅斯參與 GLOSS 聯測網之潮位站

| 測站名 | 所屬海域 | 資料起始接收時間 | 資料傳送 PSMSL 時間 |
|------------------------------|---------------|----------|---------------|
| Baltiysk | Baltic | 1811 | - |
| Kronstadt | Baltic | 1806 | - |
| Murmansk/ 274 | Barents | 1917 | 1952 |
| Barentsburg/ 231 | Barents | 1933 | 1948 |
| Malye Karmakuly | Barents | 1950 | - |
| Amderma | Kara | 1939 | - |
| Dikson | Kara | 1915 | - |
| Tcheluskin Cape | Kara / Laptev | 1938 | - |
| Tiksi | Laptev | 1932 | - |
| Shalaurova Cape | East-Siberian | 1950 | - |
| Pevek | East-Siberian | 1939 | - |
| Wrangel Island | Chukchi | 1950 | - |
| Anadyr | Bering | 1930 | - |
| Lawrova Bay | Bering | 1930 | - |
| Petropavlovsk-Kamchatsky, 93 | Pacific Ocean | 1910 | 1957 |
| Nagaevo Bay, 92 | Okhotsk | 1932 | 1957 |
| Yuzhno-Kurilsk, 90 | Pacific Ocean | 1946 | - |
| Nakhodka | Japan | 1945 | - |
| Tuapse, 98 | Black | 1916 | 1917 |
| Mirny | Antarctica | 2002 | |
| Progress | Antarctica | 2002 | |

§2-3-3 國外潮位資料的品質管制

潮位資料品管也牽涉到其他的因素，例如整個測站高程基準（作為海水面潮位記錄與陸地水準點高程系統的連繫），但這一方面至今都沒有適當的標準紀錄格式以做為管理及存檔之用。潮位資料品管的標準化，才能保證全球海水面資料庫的管理組織（如 PSMSL 與 IHO）能建立一致且可以預知精確度的資料庫。這在研究全球性或長期性的相關研究，是很重要的因素。因此對每一潮位站，必須要有三種基本的資料：

- (1) 原始潮位資料 (D1)：數位或圖形格式。
- (2) 校準資料 (D2)：一般在每次校準都有相關的修正參數及方法。
- (3) 水準檢測資料 (D3)：顯示該潮位站基準的穩定性及區域垂直變動。
- (4) 此外，各測站還有相關的附屬資料，如測站位置、儀器、環境及資料蒐集方法上的改變等相關資料 (D4)，這些對長期品質管制及歷史資料管理都很重要。

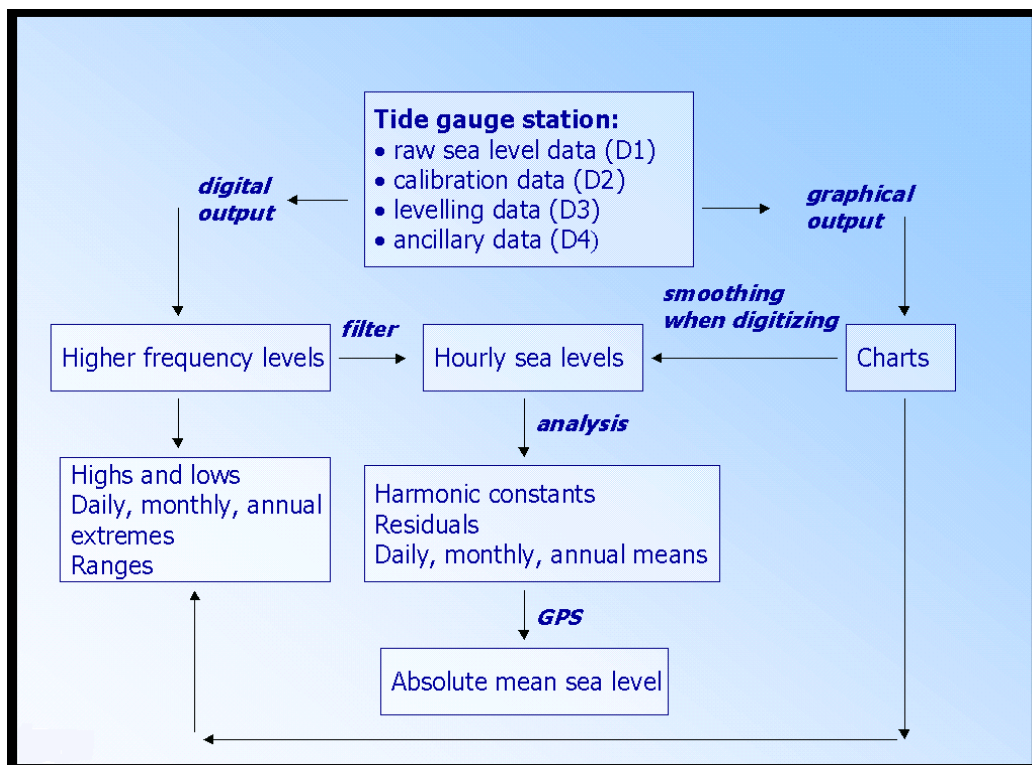


圖 2-6 PSMSL 潮位資料品管流程圖

國外維護潮位資料的方式可能不同，但最主要全球的潮汐的分析與預測，通常都是由 3 種軟體來執行：

- (1) PSMSL/Proudman Oceanographic Laboratory (POL TASK2000 Package)
- (2) Foreman tidal analysis and prediction programs of the Institute of Ocean Sciences, Victoria, British Columbia (Foreman, 1977)
- (3) Australian National Tidal Facility, which utilise the TIRA tidal analysis programs (Murray, 1964)

這 3 種軟體所算出來的調和常數不能互相使用，因其定義的方法各不相同。另外，由於在做調和分析時，並無法與氣象資料一起做共同分析，所以調和函數中某些分量經常會受到氣響因素的干擾，而每年所求得的常數會變化較大，例如 S_a 及 S_{sa} 這兩個分量，有時若有時表誤差時，也會出現奇怪的常數，每年檢驗這些調和函數，再檢討該測站的資料品質或環境變化，是長期維持一個測站品質的最好方法。

在調和分析中的殘餘值也是檢查錯誤資料的最好方法，例如潮位基準的變化、突跳資料、時間錯誤等。因此也可用來做資料檢核及資料補遺的動作。當然採樣的姿態修正或補遺並沒有自動化的軟體可以執行，但 University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC) 的潮位資料軟體 (Sea Level Software) 中有一個小程式可以幫助半自動化的做時鐘錯誤修正，也有另一個軟體可以做補遺的動作。

在 UHSLC 的潮位資料補遺可分為兩階段，一是在原始資料時，當資料缺漏不超過數分鐘，或只是修正突跳的資料，則可用高頻的資料 (如 6 分鐘) 來做線性內插，至於對逐時資料的補遺則較不明確，通常對於小於 24 小時的缺漏資料，則是先做調和分析，計算天文潮理論值及所得的殘餘值，在缺漏的部分，以殘餘值的線性內差在加上理論天文潮來做為補遺的數值，然後再以此計算日平均值或月平均值。

而大多數潮位管理機構都發展自己的品質管制軟體，以管理各自不同的資料格式，以及各種不同的需求，然而，有 3 個機構發展了 3 個較通用的品質管制軟體，提供給 GLOSS，以做為其會員國家用來處理及驗證其資料，這些組織包括：

- (1) The University of Hawaii Sea Level Center (UHSLC)，由 Patrick Caldwell 主導發展軟體，可能是至今最多 GLOSS 會員國家用來做潮位資料品質管制之用途。
- (2) The PSMSL/Proudman Oceanographic Laboratory 由 Colin Bell, Ian Vassie 及 Philip Woodworth 發展了 TASK-2000 (Tidal Analysis Software Kit)，主要是採用 TIRA 等相關軟體，被 POL 採用多年。
- (3) The Australian National Tidal Facility 主要是由 POL 軟體加以改寫。

而前述軟體中，目前以 ESEAS 所使用的軟體 (ESEAS Work Package) 進行介紹，ESEAS 品管軟體基本上是承續 The Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) for the Global Sea Level Observing System (GLOSS) 組織所訂定的標準程序，包括檢查潮位時間序列的異常資料，或是計算潮位參數以及計算平均海水面，以提供國際平均海水面永久服務組織 (Permanent Service for Mean Sea Level; PSMSL) 各測站的月平均海水面，以做為氣候及全球變遷研究的基本資料。

在 ESEAS 資料品質管制兩階段：

- (1) L1 快速品質管制：檢察異常的文字、錯誤排列的時間與日期、突跳異常、超出正常範圍的數值、資料缺失、資料異常平穩等狀況，有時還將較頻繁記錄的資料化算成逐時資料。
- (2) L2 完整品質管制與分析：包括潮位分析、計算及檢查殘差值、基本統計資料（包括每日高潮、低潮及每月或每年的極值）、計算日平均、月平均及年平均海水面、與鄰近海水面做潮位比較分析、與預測潮位或模式做比較分析等。

因此可能的產生的品質問題包括如下：

- (1) 隨機性的錯誤：例如人工記錄錯誤植入數值、記錯格子、自動記錄缺失一字、電子記錄的雜訊、遠端傳輸的錯誤，感應器的校準失誤等。
- (2) 系統性的錯誤：儀器更換造成的改變、儀器操作程序改變所造成的不對稱誤差、測站移置所造成海水高度突然的變動、測站環境的改變如港口改建、地殼變動等等。

因此，ESEAS 利用自動品質管制作業方式如下：

1. 通常在 L1 品質管制時使用，包括：

- (1) 檢察異常的文字。
- (2) 錯誤排列的時間與日期。
- (3) 突跳異常、超出正常範圍的數值。
- (4) 定數資料檢查(平穩測試)，如感應器持續一段時間沒變動時。
- (5) 可疑的資料如 00。

當超出正常範圍的檢核時，最常見的問題是如何訂定範圍標準，在 ESEAS 軟體中，依各站以及各季節的氣候狀況而定，通常設定的標準是該站在該月的氣候潮標準偏差的兩倍。因此，各站要建立自己在各個月的檢核標準。

對於突跳異常的檢核則是 t 時間的潮位與前一記錄 $t-1$ 時間的潮位差之容許標準 $\text{tolerance} = 2p.\text{amp}.dt/720$ ，其中 amp 是潮位的標準潮差， dt 是紀錄的時間間隔（以分鐘計），若超過則算是突跳異常。另一檢核突跳的方法是用移動式窗的 Spline 檢核方法，當其殘差超過 3 倍的標準偏差時，則標示為突跳異常。

2. L2 完整品質管制與分析

在 ESEAS 中被認為是科學性的品質管制，通常在對一年期以上的資料做潮位分析，當然所有分析的資料要先經過 L1 的品質管制，並且轉換成逐時的資料，計算調和常數、殘餘值、極值以及各種平均海水面之值。而在分析過後，最基本的檢核就是從殘餘值中

可看出潮為基準的改變，儀器的偏移、變動，以及時間或日期記錄的錯誤。另外，從調和常數也可看出測站的特性，例如在河口的觀測站，海底複雜得環境，都會造成非線性的潮汐，而干擾調和常數的分析。所以各潮位站要經常檢查調和常數的一致性，儘量避免用太舊的調和常數去預測潮汐。

綜合國內外在過去百年來對潮位資料處理的發展大致上都以下列原則為基礎，因此研擬適合臺灣地區的潮位資料處理方法，可考慮下列因素：

- (1) 增加潮位站的設置，尤其在潮位環境不同的地區儘量設置，如不同的海洋，不同方向的海岸，內海、外島不同洋流的環境等，但也儘量避免設置在不穩定的環境，如河口、尖端的地形、易淤積處，也就是說，儘量有各種代表性的潮位站，而避免非穩定因素影響的潮位站。
- (2) 加強儀器的研究，最近發展較穩定的是音波式潮位儀，而具有自我檢核的則是三點壓力式潮位儀，而發展中的則有雷達式潮位儀，而英國則喜愛用氣泡式的潮位儀。
- (3) 在與臺灣相同具海島型多地震的紐西蘭則強力結合 GPS 發展時空兼顧的高程基準。
- (4) 較適合臺灣地區使用的儀器應該是維護較容易的音波式潮位儀，三點壓力式的潮位儀亦可考慮，但其價格昂貴，壓力計的偏移需常校準，也是一大負擔，雷達式的潮位儀則尚待進一步觀察。
- (5) 對於資料篩選的方法，大部份國家都用二、三套較通行的程式，其篩選方法往往是長期經驗的累積，只要長期保持一定的程序，就不致於造成標準的差異，對於平均海水面計算的穩定性有相當大的幫助。
- (6) 因為偏差的海水位觀測或缺失的觀測都會造成平均海水面計算的偏差，因此適當合理的缺漏補遺是有必要的。
- (7) 由於全球暖化以及垂直地殼變動在海水面造成明顯的影響，各國最近開始推動「潮位基準紀元」NTDE (National Tidal Datum Epoch)，以明確容許平均海水面的變動，地因 GPS 全球固定站網自 1990 年設置至今，已有廿年的歷史對水平坐標可穩定建立在 ITRF 全球的動態框架上有很大的幫助，因此紐西蘭也希望能以相同的架構將高程基準建立在全球的高程框架上，這必需將 GPS 與潮位觀測緊密的結合，因此臺灣地區也應該現在開始進行，幾年之後才能有足夠的資料來加入新的全球高程基準框架。

第三章 潮位資料分析與計算

§3-1 潮位資料分析與預測

常態的潮汐預測是基於簡單的線性理論，認為潮汐可以歸納成數個或數十個力量（萬有引力）所造成海水面變化的總和現象，因此，將一些已知的天文潮汐頻率進行調和分析，認為這些頻率在海上經過一些作用後，仍然維持固定的頻率，所以在不同的測站，測得潮汐振幅大小與相位可能會有不同的差異，但其頻率仍應維持相同，而各頻率的振幅相對變化亦可維持在一個極小的範圍內。

基本上，海水潮汐主要由地球與鄰近天文星體間的吸引力，尤其是月球、太陽與地球的相對位置造成的影響最大。而這個系統的變化並非純粹是線性的，因此所有的潮汐預測加總、相對差異以及頻率的調和性質，都要考慮非線性所產生的誤差（Schureman, 1941）。

在開放性的海岸進行觀測，通常需有相當長時間的潮汐觀測資料，方可用來估計各天文潮汐頻率的振幅及相位大小，以便來進行良好得潮汐預測。在美國海洋測量局（National Ocean Service, NOS）的參考潮位站，通常至少須使用一年的逐時資料來分析半日及一日的潮汐分量，對於半年或一年的潮汐分析，則更需數年或數十年的月平均值來進行調和分析。Scherer（1990）認為要解出 S_a 、 S_{sa} 的分量，可能至少需用數十年的資料方能求得良好的結果。美國海洋測量局用 37 個主要的天文頻率進行潮汐的分析，其中 12 個主要頻率及其相對振幅大小如表 3-1（NOAA, 2000）所示。

表 3-1 潮汐資料主要調和頻率組成

| Species and name | Symbol | Period Solar hours | Relative Size |
|-------------------------|----------|-----------------------|---------------|
| Semi-diurnal: | | | |
| Principal lunar | M_2 | 12.42 | 100 |
| Principal solar | S_2 | 12.00 | 47 |
| Larger lunar elliptic | N_2 | 12.66 | 19 |
| Luni-solar semi-diurnal | K_2 | 11.97 | 13 |
| Diurnal: | | | |
| Luni-solar diurnal | K_1 | 23.93 | 58 |
| Principle lunar diurnal | O_1 | 25.82 | 42 |
| Principle solar diurnal | P_1 | 24.07 | 19 |
| Larger lunar elliptic | Q_1 | 26.87 | 8 |
| Long period: | | | |
| Lunar fortnightly | M_f | 327.9 | 17 |
| Lunar monthly | M_m | 661.3 | 9 |
| Solar semi-annual | S_{sa} | 4383 | 8 |
| Solar annual | S_a | 8766 | 1 |

表3-1中數值的相對大小，是指該頻率在平衡潮理論（Schureman, 1941）中，以月球半日潮汐 M_2 的理論振幅當做100所計算出的大小。在平衡潮理論中是假設地球表面佈滿了水，並且不考慮潮水流動產生的阻力，這是用較簡化的方法來描述大量潮水的特性。此外，月亮的緯度變化也會造成一個18.6年周期的總和變化。一般而言，利用 $(M, S, N, K)_2, (K, O, P)_1$ 幾個主要的分量就可以組成90%的潮汐變化，圖3-1（NOAA, 2000）是1日潮汐變化的示意組合。

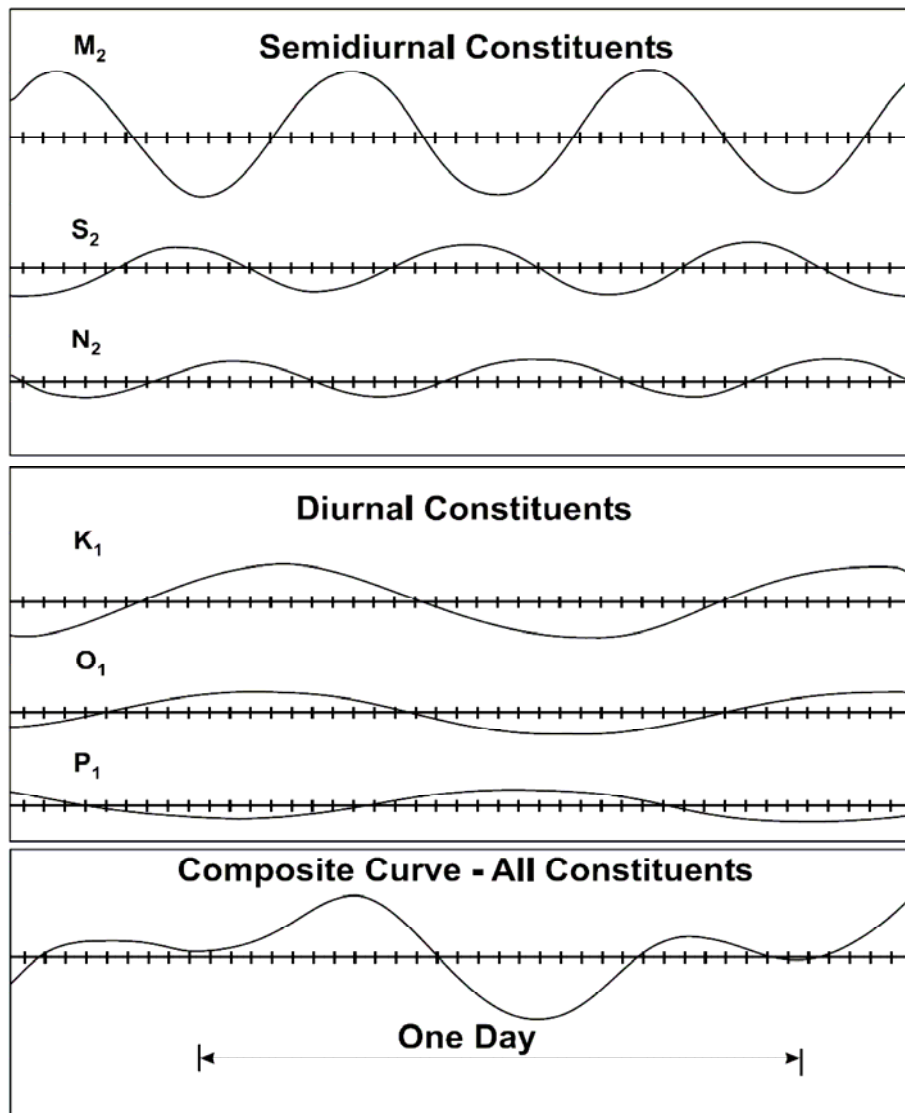


圖 3-1 1日潮汐變化

至於天文潮汐與海水潮汐的差異，通常受到氣象因素的影響，但在不同地點受到不同的地區效應，各潮汐分量的變化不同，其振幅變化亦有差異，通常 $M_2/S_2=2.15$ 與 $O_1/P_1=2.15$ 通常被認為可以維持較穩定的相對關係， S_a 的一年週期潮汐則受溫度與氣壓的年周期變化高度相關，在潮汐分析時最好有氣壓資料一起分析。

由於潮汐並非影響海水面變化的唯一因素，其它如浪、風、洋流、河流出口、漩渦、溫度、鹽度、氣壓及全球海水總量的變化等，均會造成海水面的變化；此外，潮位站儀器所在地點的高度變化，也會直接影響記錄的數值。舉例來說，風所造成的湧浪可高達 1m，海上漩渦可造成 25cm 的變化，表面水層溫度有 35cm 的變化，洋流影響亦可達 1m 以上，溫室效應則可達 1 世紀近 30cm 或更高之影響等。潮位站所記錄到的資料與訊號來源（起潮位能與環境因素等）的關係，如圖 3-2 所示：

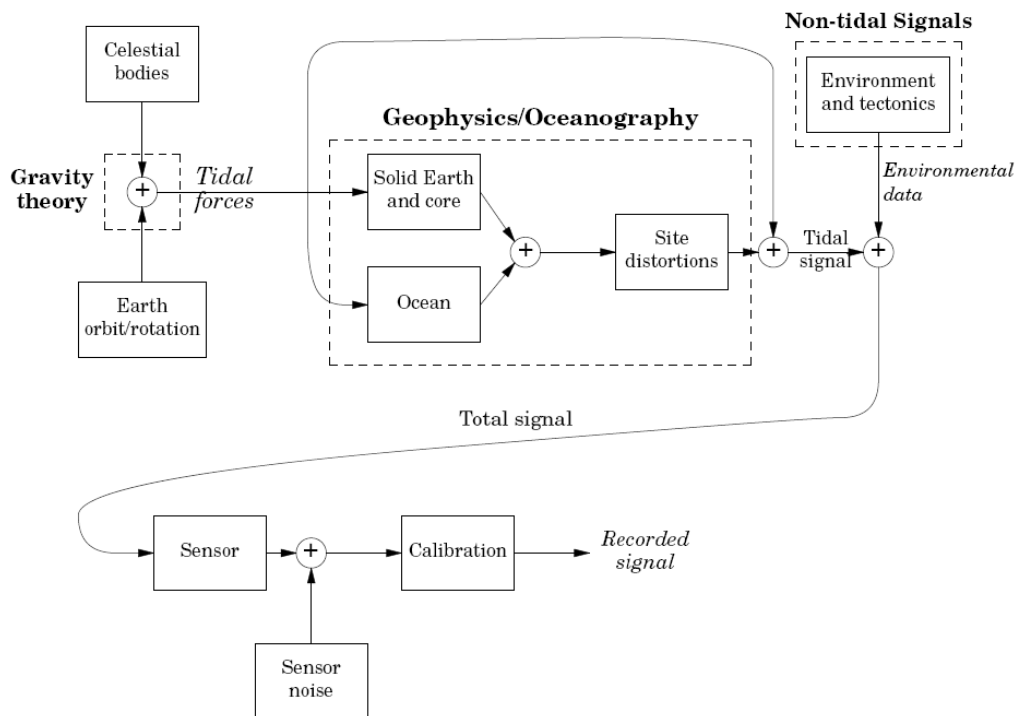


圖 3-2 地球潮汐與潮位站觀測的流程圖

一般常用 19 年的平均值來訂定潮汐的高程基準，這主要在降低 18.6 年周期潮汐的影響，但是不同的 19 年所算出來的結果仍然有所差異，最近數十來，由於電腦的盛行，計算平均海水面不再局限於早期逐時觀測算出日平均，由日平均或每日最高、最低或高低平均值等來計算月平均，再由月平均計算年平均，或直接由月平均當作基準量，用來計算長期的平均海水面。利用現代電腦的技術，已可直接由原始觀測值直接做調和分析，利用每隔 6 分鐘的觀測值，長達 19 年的資料長度，可直接進行潮汐分析與預測。

進行海水面平均計算時，最困難的地方在於資料的篩選與補遺，不合理的資料往往會影響到平均值的估計；舉例來說，資料的缺失若發生在低潮時期，則平均值的估計將會偏高，若缺失資料於高潮期，則平均值將會偏低，因此正確的資料補遺具有相當的重要性。另外就是平均的時期盡量要在主要周期的完整周期處，例如日平均、陰曆月的平均、與太陽月及年的平均，19 年的平均是最常用的。

潮位變化並非真正的線性過程，所以潮位資料的分析，必須要有一個基礎信念，就是要相信它可以用一些線性的系統來組成，調和函數的分析，就是將潮汐分成幾個完美的周期變化，每一個周期都應該是穩定的圓周運動，例如 M_2 就是月亮以 12.42 小時繞著地球做等速的圓周運動，這是最主要的一次項近似，對於未完美的部分，如月球與地球的橢圓軌道與其間距離的變化，則再拆開成其擾動的周期，如此，單獨月繞地與地繞日，及其共同組合的月地繞日，就可以拆成數十個周期，在加上地球轉軸的變動，地球的歲差 (Precession) 與章動 (Neutation)，總共可有數百個周期。

在 19 世紀以前，潮位資料都是直接取其平均值，20 世紀則在加上一些統計的概念，第一位提出潮位資料分析的人則是 Munk & Cartwright (1966)，他假設潮位資料可以用下式來表示：

$$y(t) = \int x_T(t-\tau)h_T(\tau)d\tau + \int x_B(t-\tau)h_B(\tau)d\tau + n(t) \quad (3-1)$$

其中 $y(t)$ 是潮汐的時間序列

$x_T(t)$ 是理論潮汐

$x_B(t)$ 是區域的氣壓或更多的環境因素

$n(t)$ 是雜訊

$n(t)$ 是指任何不能以理論地潮或氣象因素解釋的訊號，如儀器的飄移、測站的不穩定、短期的颱風、地震及暴潮等影響，或長期的地殼變動，若純粹考慮潮汐，則這些都是雜訊，否則 $n(t)$ 是在除去可解釋的潮汐部份後，可以清楚看到平均海水面、地殼變動、暴潮等，是最佳的研究對象。

若對 (3-1) 式進行傅立葉轉換 (Fourier Transform)，則可從時間序列轉換成頻率的資訊，包括每一個頻率的振幅與相位，由主要頻率的振幅可看出海岸地殼受海水重力負載的影響量，而相位更能看出海底地形、潮流所造成的延遲現象。但在這樣的分析中，最怕海洋中有相近頻率的震盪，這些可能從海峽的共振、周期性氣象因素的影響，所幸海洋中較少發現有相近的頻率，若有也是不穩定的，在海水高度變化時就改變了，倒是溫度與氣壓的年周期變化影響較大，這可由氣壓與海水溫度的觀測來解決。另外就是地心的自由章動 (Free Core Nutation) 會產生穩定的相近頻率，還好其振幅不大，還不至於影響到資料的分析。

在傅立葉分析中，振幅大小是一個絕對量，但相位則有 2 種選擇，一是當地的相位，在起潮位能最高時，所有頻率在當時都同時相位達到零點，因此由當時起算，其他時間頻率會有不同的相位，一天會有一次歸零的時刻。另一種表示法是稱為格林威治相位 (Greenwich phase)，就是以格林威治當天的最高起潮時刻所有相位歸零時起算，計算其它地方的相位差，這種表示法可以幫助來做潮流的計算，也可比較鄰近兩站的相位差異與潮位特性。各地的格林威治相位計算與頻率、精度及球諧函數中的度 (Order) 有關。

利用起潮頻率的分析法大致上可分為 3 種，其目的都是在分析潮位資料中的理論地潮部份，在用途上，則可以做潮位預測之用，也可以消除潮位資料中的理論地潮部份，如此，可以看清楚其餘的潮位資料中的訊息，加以分析，也因為沒有理論潮汐的變化，當有缺資料時，可以避免理論潮汐因為周期不完整所產生的偏差。這三種潮位的分析法，大致續述如下：

1. 響應分析法 (Munk&Cartwright, 1966)：這是利用傅立葉轉換或是快速傅立葉轉換將在時間領域的潮位資料轉換成頻率領域，並求取個頻率的響應 (振幅) 與相位。在早期因計算能力的限制，無法做大量資料的快速處理，所以必須選擇幾個主要周期共同倍數的時間長，例如選用 3 個陰曆月的潮位資料來分析，才能得到好結果。最近因為計算能力的進步，可以用較長的時間，例如 19 年或數個 18.6 年 (或許 93 年是個最好長度)，就看潮位站是不是能保持穩定的驗潮環境，這樣才能有穩定的周期及相位。當然，再分析 19 年資料時，可以用每小時的資料，但在分析 93 年的資料，可能只能用每日的平均值，此時，如何在取每日平均時，不會影響到各頻率相位的不連續，就是一個很重要的因素。在本計畫中所用的 X0 濾波器為一個不會有相位偏移的濾波器，其效果比用每天資料取算術平均值來的好。
2. 多變數迴歸法 (Haubrich, 1965)：這是利用固定幾個主要的起潮頻率的正弦函數與餘弦函數所組成的時間序列，再加上氣壓的時間序列，用多變數迴歸法估計每一個時間序列對潮位資料的時間序列的響應，這方法在近年來有一個廣被採用的程式 BAYTAP-G，是由日本人 Tamura et.al. (1996) 所發展出來，廣被使用。本方法需要蒐集氣壓資料 (若有水溫資料更好)，在本計畫有限時程內，可能無法測試，只能用 1997 年當時所得的平均海水面來做比較。
3. 預測潮汐法 (Le Prevost, et. al, 1991)：此法是在電腦技術發達以後才建立起來的，採用大量的潮位分量，包括各分潮的振幅比例來估計一些平常潮位分析不易的到的分量。本法須要有精密的海岸線來估計海潮負載的部份，由於臺灣海岸線的精密坐標一直都未在外流傳，一般程式都無法對本地做很好的潮位預測，所以本計畫中對此法不做測試。

§3-2 潮位資料處理

§3-2-1 潮位資料處理原則

各潮位站的長期資料，經年累月，換儀器、換管理人員、管理單位、換測站等等，造成了資料的複雜性，而現今主要包括有音波式與壓力式兩種，近年來有廠商製造雷達式的儀器，連安裝套件及感應器都整套出售，但安裝的還不多，現有儀器都配合其它儀器同時觀測。資料記錄過程經由觀測、編碼、通訊傳遞過程中，可能因儀器設備故障、人為疏忽、或其他因素干擾，造成資料錯誤或漏失，若不經適當品質檢測，可能由於錯誤的資料，造成相關作業的重大損失，故進行資料檢測及品管是有其必要性。資料品管的意義為找出並去除有問題資料，同時經由品管可發現某些異於常態的特殊資料，可進一步了解資料本身特性。因此，資料的整理在整個資料處理過程中，是最耗費人力與時間的，一般而言，資料的篩選根據以下幾個原則：

- (1) 由於月亮繞地球轉，使得潮汐的變化曲線一天比一天晚約 50 分鐘，依此特性可檢查不正常的資料。
- (2) 資料異常超過一米以上的先行清除。
- (3) 資料異常較小時，先考慮是否氣象因素或暴潮的影響。
- (4) 若只缺一或二點的資料盡量補齊。
- (5) 不能確定是否錯誤的資料則保留。

依以上的原則，將各測站的資料逐月或逐年篩選，其所經常發生的錯誤如下：

- (1) 小數點缺漏，以至於造成數十倍的數值，只要能篩選出來即很容易修正。
- (2) 數字缺漏，此類的錯誤較難修正，但若是缺了公尺位數，則與前後天相近時期的水位高有明顯的差異，能確定的修正，其餘的缺漏則影響較小，也無以所憑來修正，就當雜訊處理。
- (3) 資料傳輸或備份時的錯誤，而造成缺數字，此時所有的水位會變的異常混亂，須小心的用人工去判斷，再加入適當的字元。

潮汐是地球表面水位受到天體引力影響，產生週期性的上下起伏律動現象，配合儀器本身的潮位觀測作業特性，可據以設計出適當的潮位品管作業程序。基本上，潮位資料品管作業即依據潮汐學理及儀器觀測原理設計。目前進行潮位資料品管依下列幾項原則進行：

- (1) 合理性：依據觀測儀器規格所設定之範圍及物理現象限制作為合理性判定標準。
- (2) 連續性：潮汐現象是水位的週期性變化，水位的變化屬逐漸變動，若潮位資料隨時間上的改變量超過一限度即視為可疑資料。品管的方式為先將資料經平滑處理後，以原始潮位資料減去平滑後潮位資料，得一代表潮位資料變動的時間序列，並統計其標準偏差，如潮位資料在某一時刻的變動數值超過 3 倍標準偏差，即判定為不連續數據。

- (3) 關聯性：即潮位變化相同的相位（如最高潮或最低潮等）每天會延後約 50 分鐘，相鄰觀測站對地震、暴潮、氣候變化會又相同的反應，同一測站若有兩個以上的潮位觀測儀器，則可以互相彌補不足之處。意即在時間或空間上的關聯性可以拿來做檢核及補缺的依據。

一般而言，潮位資料品管處理的流程如圖 3-3，首先進行自動品管（詳如圖 3-4 將不正常資料直接清除，最後另存新檔，不會有資料混亂的問題），接著進行人工品管（修正自動品管不合理資料），再進行資料修補處理（合理的接補不正常資料），最後將經品管處理的資料建檔及歸檔。不論是資料異常或資料缺失的檢核，除了利用程式進行自動品管外，均需再由有經驗之作業人員進行人工品管，以確保檢核成果之正確性。因此，潮位觀測資料每日即時傳送至執行單位進行線上自動品管作業，經品管後篩選出不合理數據並加註標籤，再由專責人員進行人工潮位品管，進一步修正並確認經自動品管未檢出或誤判之不合理數據，完成自動品管及人工品管後之潮位資料。

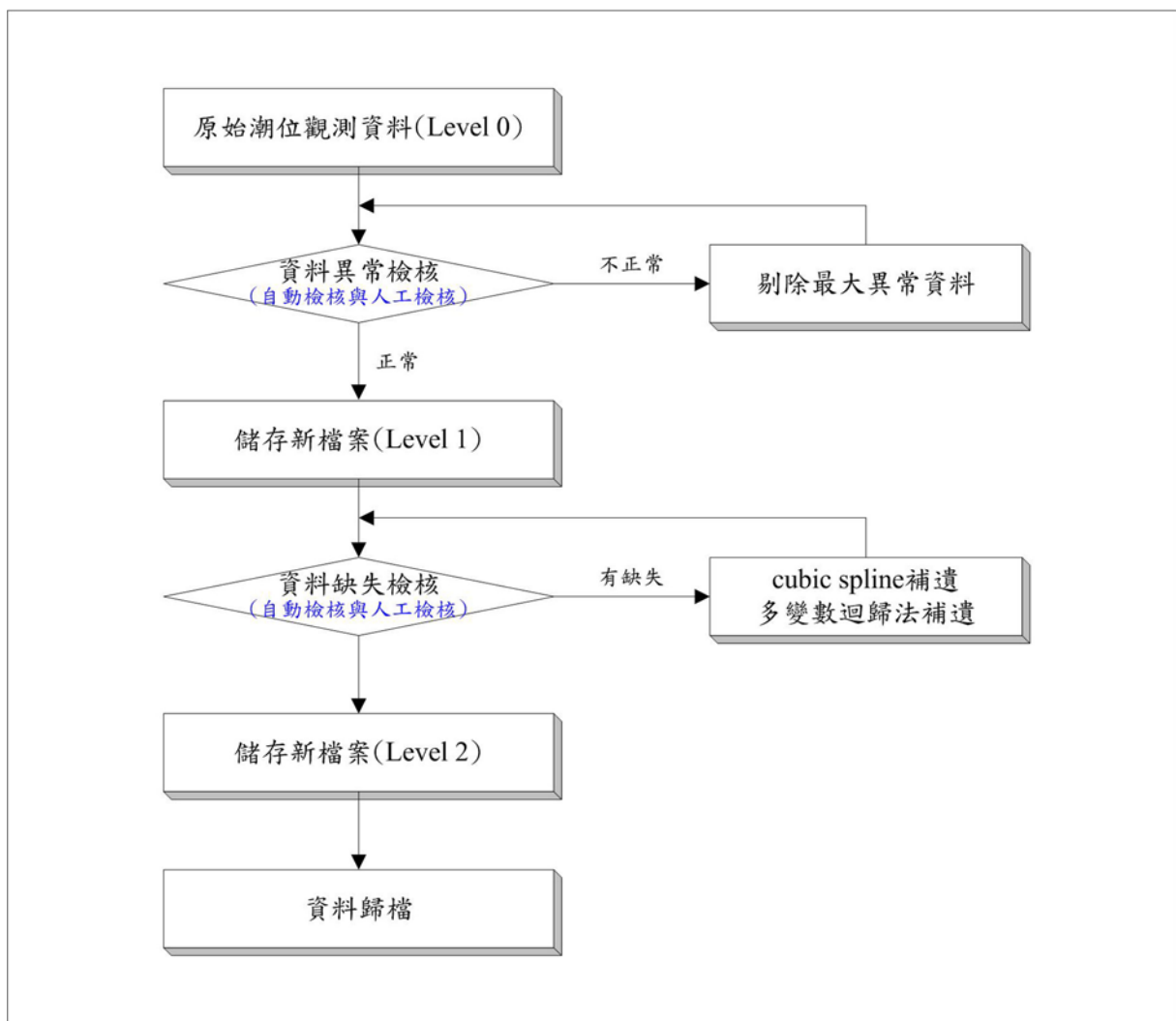


圖 3-3 潮位資料品管處理流程

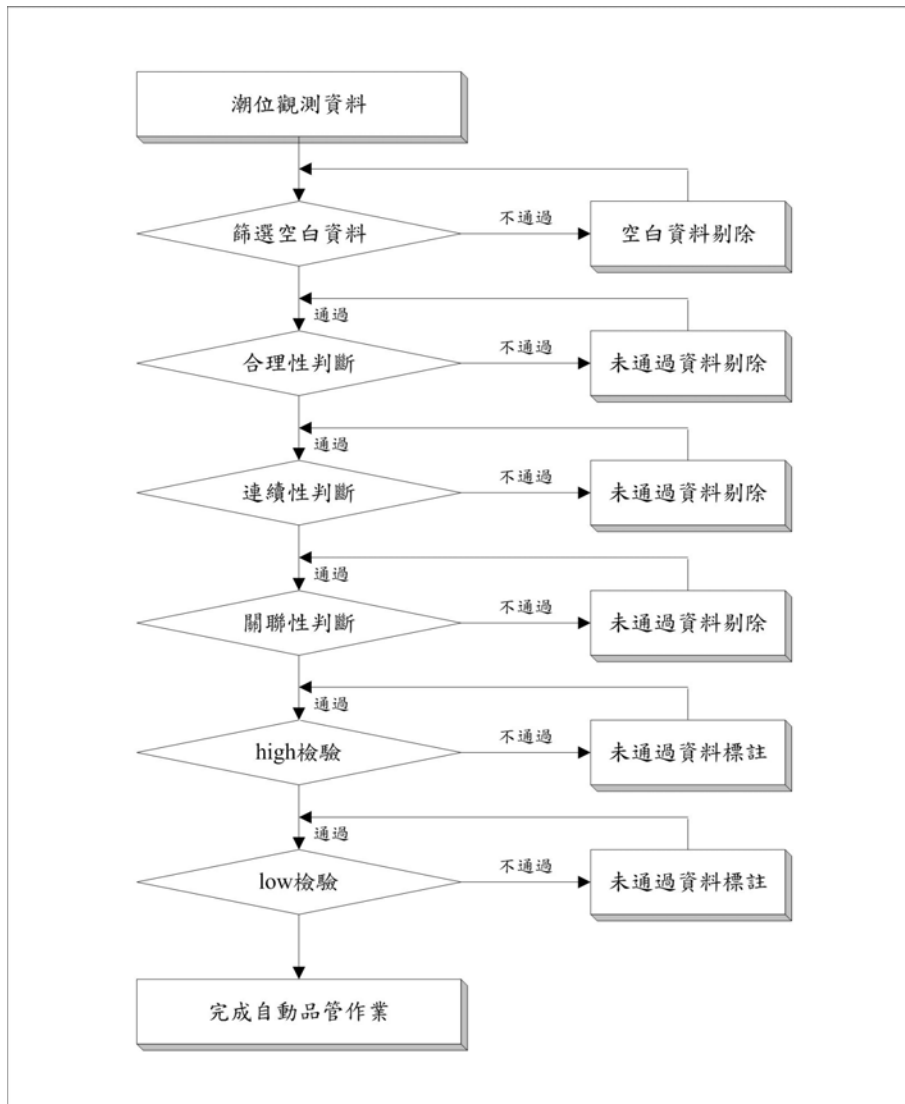


圖 3-4 潮位資料自動品管檢測流程

人工品管處理後之潮位資料，由於所有不合理資料均予以剔除，會造成資料有不連續的中斷情況，降低了潮位資料統計上的可信度性（其影響量不易估計，看該筆資料所發生的相位處，因此也和頻率的不同而相異），此可依據潮汐的週期變動特性，予以合理的補正。

§3-2-2 潮位資料處理流程

資料處理基本上就是先做品管及補遺，若能得到好的調和分析，則可將理論潮汐的部份完全移除，所剩的就是環境影響、地殼變動及少許的暴潮，若認為平均海水面是長期穩定的，則排除潮汐部份，可以更容易的擺脫穩定的地殼變動，得到好的平均海水面，所餘的部分還可用來做地震影響的解釋。如此可以擺脫算數平均的缺失與系統誤差，則資料補遺就不是那麼重要，只要資料缺失不太多即可。若因潮位站維護或地形改變而不能得到好的調和分析結果，則仍需使用最傳統的算術平均法，那資料補遺就很重要。越少缺失的時間序列，越容易得到好的算術平均值。

從野外取得的資料一定要先處理並讀取時刻數值 (Tabulated) 才能加以計算潮位基準 (Tidal Datum)。首先未處理過的原始資料 (Level 0) 要先做品管以形成初步資料 (Level 1)，這品管的要點在檢查並剔除偏離值 (Outliers) 跳脫值，潮位曲線扭曲的點位以及未列入記錄的高程偏移值或尺度偏移值。一般標準潮位取樣間距為 6 分鐘，但其它的間距資料仍可採用。6 分鐘取樣可使高潮位低潮位的讀取時間精度可準確到 1/10 小時。

這初步的資料品管必須包括人工以及自動程式修正，必須與備用感應器相互比對與潮位尺，臨近測站以及預測潮位相比對，並詳細檢查儀器或資料收集器的自動報表，小量的資料脫漏必須加以補償，較長的資料脫漏 (如達 3 天) 則要另外加以想辦法。如果有備用感應器則可加以使用，如果連備用感應器的資料都無法取得，則可從臨近測站加以比對應用，或者用預測潮位。如果以上方法都無法填補缺漏處，則維持其缺漏，此補償的結果列為二級資料 (Level 2)。

當資料補償齊全或仍有無法補償的缺漏，此時可做調和分析檢視是否整段資料合於調和分析的原理，若無法得到穩定的頻率振幅及相位則表示該潮位時序必受各種因素的影響，其中包括海底地形或整個海域環境的變化，最可能的是海底地震港口工程改變水道或靜水井的流量，潮位測站改變儀器或測站位置...等。這時要將時序分段分析，這必需從潮位站維護記錄或由長期潮位資料檢視其可能變動之處。在經適當的調和分析後，許多缺漏的潮位都可能被加以填補，甚至長達一、二年的資料缺漏都可補齊，此時資料列為第三級 (Level 3)。

因此，潮位資料處理主要可分為 3 個階段，在本計畫中共利用 3 套不同的程式來進行潮位資料的處理，包括原始潮位資料的檢核程式、Cubic Spline 演算法或多變數迴歸法進行缺失補遺程式及以 T-Tide 為主的調和分析的潮汐資料分析程式，程式以 matlab 語言撰寫。而處理完成後之潮位資料方運用於後續之平均海水面分析計算，而潮位資料的處理流程如圖 3-5，各階段執行內容分述如后。

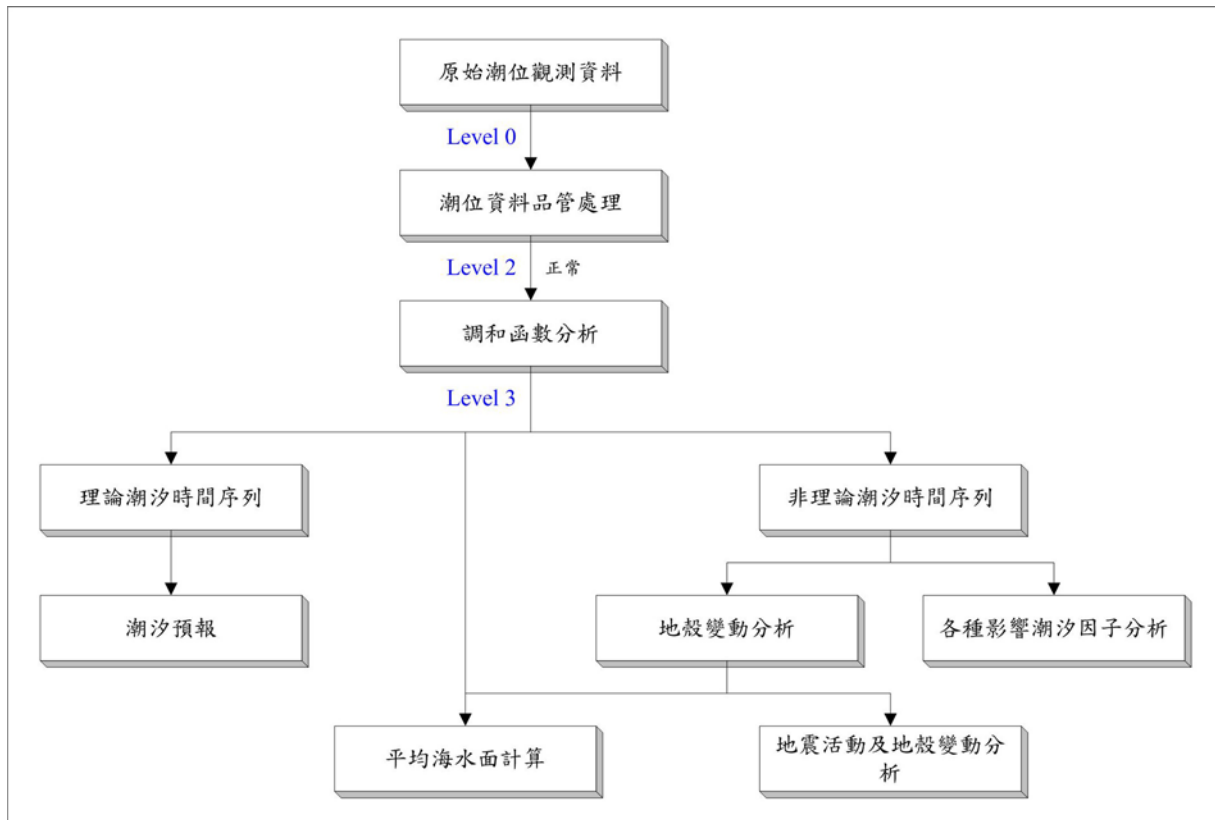


圖 3-5 潮位資料處理流程圖

§3-3 潮位資料蒐集與檢核

§3-3-1 原始潮位資料蒐集

本計畫使用的潮位資料均由內政部國土測繪中心提供，包括基隆、高雄、蟬廣嘴、蘇澳及富岡等5站，其資料已經交通部中央氣象局篩選處理過，其為國內目前處理潮汐資料具有相當充分經驗的單位，尤其在進行資料篩選方面，已發展出多樣的自動品管軟體，且建立良好的品管標準與流程(參照§2-2-2)，但最後仍需透過人工的檢視與修正後，方能對外提供。其現行檢查的主要項目如下：

- (1) 超出最大、最小值範圍。
- (2) 超出誤差量最大值。
- (3) 不符合連續性或缺漏。
- (4) 日期、時間有疑問。
- (5) 突發性資料。
- (6) 高潮小於平均海面或低潮高於平均海面。
- (7) 潮差過小(小於4cm)。

基本上在所蒐集到的資料中，各站都有3~6個檔案，列於表3-2中。資料檔中有檔頭，其記錄每個檔案不同，但檔案格式大致如表3-3、表3-4。

表 3-2 原始潮位觀測資料來源

| 潮位站名稱 | 資料檔名 | 原始資料來源 | 時期 | 記錄間隔(分) |
|-------|-----------|----------|---------------------|---------|
| 基隆 | 1212t.txt | 交通部中央氣象局 | 1946/1~1980/12 | 60 |
| | 1511.txt | 交通部基隆港務局 | 1991/1~1995/12 | 60 |
| | 151t.txt | 交通部基隆港務局 | 1995/3~2000/12 | 6 |
| | 1514t.txt | 港灣技術研究所 | 2003/1~2004/12 | 6 |
| | 1513t.txt | 交通部基隆港務局 | 2005/1~2007/12 | 6 |
| | 1516t.txt | 交通部中央氣象局 | 2007/1~2008/12 | 6 |
| 高雄 | 1482t.txt | 交通部中央氣象局 | 1947/1~1986/12 | 60 |
| | 148t.txt | 交通部高雄港務局 | 1987/1~2008/12 | 60 |
| | 1486t.txt | 內政部 | 2004/1~2008/12 | 6 |
| 蟬廣嘴 | 149t.txt | 經濟部水利署 | 1976/1~2000/12 | 60 |
| | 1496t.txt | 經濟部水利署 | 2001/1~2008/12 | 6 |
| 蘇澳 | 1241t.txt | 交通部中央氣象局 | 1981/1~1991/12 | 60 |
| | 124t.txt | 交通部中央氣象局 | 1991/1~2005/10/20 | 6 |
| | 1246t.txt | 交通部中央氣象局 | 2005/10/20~/2008/12 | 6 |
| 富岡 | 1581t.txt | 經濟部水利署 | 1976/1~1978/12 | 60 |
| | 158t.txt | 經濟部水利署 | 1979/1~2000/12 | 60 |
| | 1586t.txt | 經濟部水利署 | 2001/1~2008/12 | 6 |

表 3-3 原始潮位觀測紀錄資料 (6 分鐘紀錄)

基隆潮位觀測資料
 位置：25°09'18"N 121°45'05"E：基隆港西33號碼頭
 儀器型式：
 基準面相對KP：+0.000cm
 資料來源：中央氣象局
 yyyyymmddhh：西元年月日時
 :00：0分潮高，:06：6分潮高，依此類推
 潮高單位：公尺。
 時間不連續，表示缺觀測資料。
 時間：民國96年1月—民國97年12月

```

*****
*st      yyyyymmddhh  :00  :06  :12  :18  :24  :30  :36  :42  :48  :54
1516    2007010100  -666 -684 -678 -695 -713 -719 -717 -726 -719 -730 Q
1516    2007010101  -745 -754 -737 -737 -748 -743 -731 -743 -743 -725 Q
1516    2007010102  -700 -709 -713 -705 -659 -659 -671 -659 -623 -619 Q
1516    2007010103  -617 -580 -560 -552 -561 -523 -489 -484 -483 -447 Q
1516    2007010104  -399 -410 -397 -369 -323 -312 -306 -295 -256 -235 Q
1516    2007010105  -221 -213 -180 -155 -149 -133 -110 -84 -71 -48 Q
1516    2007010106  -12  17  24  35  48  85  104  119  136  153 Q
1516    2007010107  170  176  202  228  239  239  252  276  290  293 Q
1516    2007010108  291  319  323  317  296  320  336  343  328  336 Q
1516    2007010109  351  363  345  335  334  355  360  356  341  341 Q
1516    2007010110  351  335  329  321  322  305  292  283  285  262 Q
1516    2007010111  246  227  213  195  198  197  182  156  138  149 Q
1516    2007010112  139  125  112  115  90  88  83  77  64  72 Q
1516    2007010113  59  41  40  55  49  31  14  24  20  27 Q
1516    2007010114  23  34  9  -1  11  24  17  18  30  14 Q
1516    2007010115  2  13  31  18  12  28  46  28  13  27 Q
1516    2007010116  37  33  44  51  51  38  44  42  42  35 Q
1516    2007010117  54  57  65  71  69  55  73  105  94  63 Q
1516    2007010118  82  107  106  107  100  112  101  100  81  78 Q
1516    2007010119  78  95  83  81  77  73  72  68  62  46 Q
1516    2007010120  35  42  36  21  6  1  -5  -28  -51  -52 Q
1516    2007010121  -51  -59  -86  -108  -113  -115  -132  -170  -192  -199 Q
1516    2007010122  -201 -221 -248 -268 -299 -309 -313 -330 -370 -389 Q
1516    2007010123  -385 -409 -453 -471 -464 -485 -528 -567 -569 -578 Q
    
```

表 3-4 原始潮位觀測紀錄資料 (逐時紀錄)

基隆舊站逐時潮位觀測資料
 位置：25°08'49"N 121°44'41"E：基隆港
 儀器型式：
 基準面相對KP：
 資料來源：中央氣象局
 yyyyymmddhh：西元年月日時
 height：潮高
 潮高單位：公尺。
 時間不連續，表示缺觀測資料。
 時間：民國35年1月—民國79年12月

```

*****
*st      yyyyymmddhh height
1212    1946050108  1150 Q
1212    1946050109  1080 Q
1212    1946050110  1040 Q
1212    1946050111  910 Q
1212    1946050112  780 Q
1212    1946050113  660 Q
1212    1946050114  450 Q
1212    1946050115  450 Q
1212    1946050116  540 Q
1212    1946050117  740 Q
1212    1946050118  850 Q
1212    1946050119  1000 Q
1212    1946050120  1130 Q
1212    1946050121  1240 Q
1212    1946050122  1260 Q
1212    1946050202  370 Q
1212    1946050203  350 Q
1212    1946050204  430 Q
1212    1946050205  550 Q
1212    1946050206  730 Q
1212    1946050207  850 Q
1212    1946050208  950 Q
    
```

§3-3-2 潮位資料的檢核

利用程式讀取國內現在潮汐資料之共通格式，由於現今資料之檔頭格式規定不嚴格故暫行忽略之。檔案格式通常是 1 個小時 1 行，若是逐時記錄的，則僅有測站、時間與 1 筆資料（表 3-4）；若是 6 分鐘記錄的，則資料有 10 筆（表 3-3）。遇缺資料時，有時以 0 表示，有時是空白，常造成麻煩。最常見的情況，當換檔案時就表示可能換管理單位或換儀器或換測站等。

若以現今較為通行的 6 分鐘資料來說，資料本體是每小時（10 筆資料）為 1 行，行頭為站名，之後代表記錄時間之年、月、日、時連續列出，各為 4 位、2 位、2 位及 2 位數字，其後為 10 筆潮汐紀錄，各佔 6 位數字，其單位為 mm。若 1 小時內缺數筆資料時，則該欄位為空白（表 3-5），若連續一段時間均無資料時，則可能整行紀錄均不存在。因此，在時間上該紀錄並不一定是連續的。

表 3-5 原始潮位資料缺失範例

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| 1486 | 2004050322 | 350 | 326 | 306 | 295 | 285 | 282 | 271 | 258 | 251 | 243 | Q | |
| 1486 | 2004050323 | 235 | 235 | 219 | 205 | 184 | 183 | 182 | 193 | 182 | 184 | Q | |
| 1486 | 2004050400 | 168 | 161 | 162 | 174 | 174 | 164 | 156 | 167 | | | Q | |
| 1486 | 2004050406 | 資料缺失 | | | | | | | | 736 | 717 | Q | |
| 1486 | 2004050407 | 716 | 719 | 721 | 723 | 716 | 705 | 700 | 697 | 693 | 688 | Q | |
| 1486 | 2004050408 | 662 | 639 | 628 | 619 | 611 | 611 | 587 | 576 | 556 | 547 | Q | |
| 1486 | 2004050409 | 544 | 530 | 492 | 486 | 469 | 470 | 465 | 446 | 416 | 382 | Q | |
| 1486 | 2004050410 | 資料缺失 | | | | | | | | 279 | 238 | 220 | Q |
| 1486 | 2004050411 | 189 | 175 | 169 | 179 | 191 | 193 | 178 | 164 | 127 | 115 | Q | |
| 1486 | 2004050412 | 97 | 100 | 97 | 113 | 115 | 115 | 98 | 93 | 82 | 87 | Q | |
| 1486 | 2004050413 | 70 | 74 | 56 | 63 | 51 | 60 | 61 | 53 | 57 | 70 | Q | |
| 1486 | 2004050414 | 85 | 87 | 92 | 91 | 93 | 88 | 103 | 112 | 120 | 125 | Q | |
| 1486 | 2004050415 | 142 | 161 | 168 | 185 | 189 | 198 | 194 | 207 | 225 | 237 | Q | |
| 1486 | 2004050416 | 248 | 264 | 286 | 297 | 310 | 327 | 341 | 355 | 358 | 358 | Q | |
| 1486 | 2004050417 | 373 | 384 | 405 | 430 | 453 | 440 | 442 | 431 | 438 | 457 | Q | |
| 1486 | 2004050418 | 477 | 500 | 508 | 493 | 505 | 497 | 520 | 523 | 532 | 539 | Q | |
| 1486 | 2004050419 | 529 | 535 | 551 | 558 | 563 | 563 | 546 | 537 | 531 | 547 | Q | |
| 1486 | 2004050420 | 549 | 558 | 550 | 542 | 529 | 522 | 528 | 521 | 500 | 478 | Q | |
| 1486 | 2004050421 | 465 | 449 | 460 | 474 | 472 | 452 | 426 | 387 | 368 | 364 | Q | |
| 1486 | 2004050422 | 358 | 365 | 358 | 352 | 353 | 357 | 346 | 333 | 294 | 264 | Q | |
| 1486 | 2004050423 | 233 | 233 | 263 | 277 | 260 | 250 | 230 | 213 | 213 | 217 | Q | |
| 1486 | 2004050500 | 224 | 197 | 173 | 164 | 186 | 192 | 192 | 186 | 175 | 161 | Q | |
| 1486 | 2004050501 | 175 | 187 | 206 | 192 | 193 | 177 | 188 | 209 | 235 | 239 | Q | |
| 1486 | 2004050502 | 235 | 227 | 242 | 269 | 297 | 303 | 308 | 315 | 327 | 341 | Q | |
| 1486 | 2004050503 | 360 | 377 | 388 | 405 | 425 | 464 | 496 | 508 | 504 | 501 | Q | |

當程式讀取整個檔案的資料後，在無資料處補上 NaN (not a number) 的代碼，而於資料讀取結束後，可輸出 2 個變數：時間（單位：天；自西元某年 1 月 1 日起算之天數）及海水面高度（單位：mm；其高程基準基本上均為基隆的平均海水面）。有時檔頭資料可能列有修正值，但資料仍有一段時期偏離原有高度的現象，因無相關資料故無法修正。

§3-4 潮位資料補遺

§3-4-1 Cubic Spline 資料補遺

最初修補潮汐缺失資料係使用 Cubic Spline 或潮汐預測的方式處理，因為潮汐的半日潮週期為 12 小時 24 分鐘左右，選取 1/4 週期內空缺資料的接補應屬合理，缺失資料如在 3 小時以內，使用 Cubic Spline 的方式予以接補，可得到令人相當滿意的結果，而資料缺失若超過 3 小時，而其前後有足夠的資料可以做潮汐預估，則以理論潮汐填補之，其餘不能預測的部份，則暫不予處理。Cubic Spline 補遺的方式，最大的缺點就是當一個處理視窗兩端的資料有缺失時，或資料缺失較長時，剩下的資料無法正確顯現潮汐原有特性時，因此缺失資料在曲線不同位置，可能會產生不同的差異；因此採用 Cubic Spline 演算法目前最佳方式，是取 10 天的潮汐資料一起進行 Cubic Spline 計算。

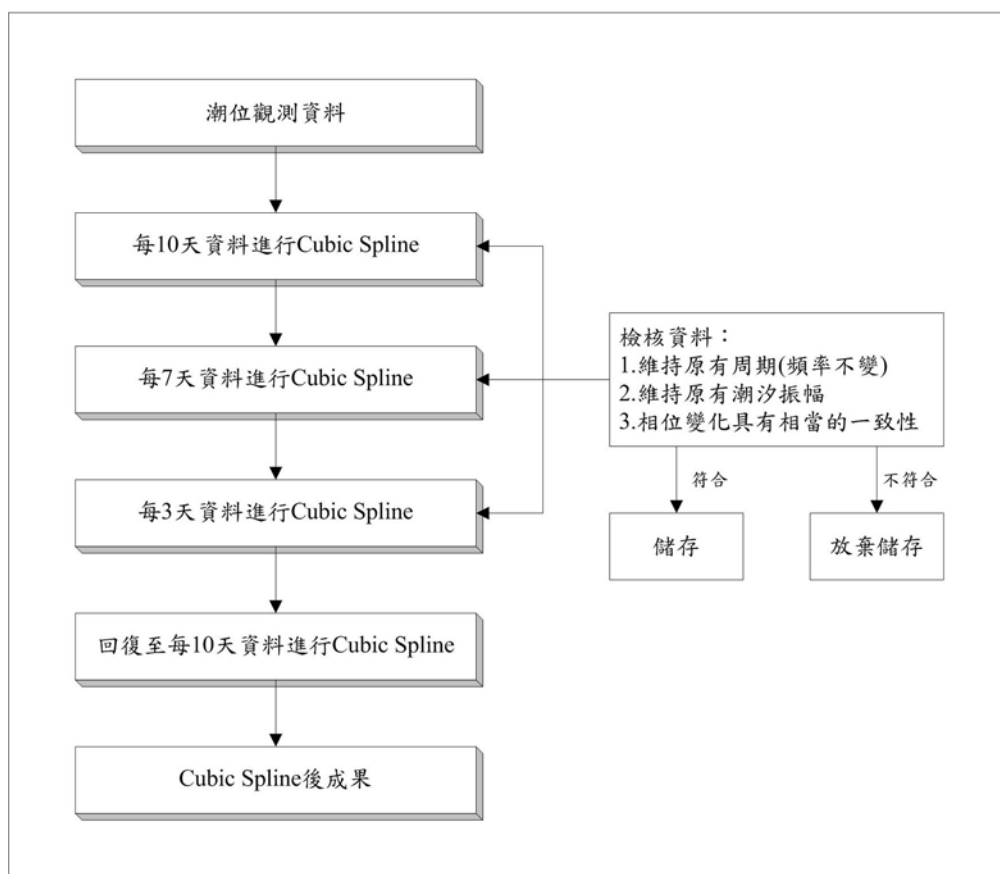


圖 3-6 Cubic Spline 計算流程圖

Cubic Spline 演算法基本上是将某一多項式曲線擬合至某一組資料，可從另一個觀點來考慮，即繪圖的觀點。假定資料並不一定容易發生誤差，因此最小平方法並不適用，但可想像以「平滑曲線」來擬合這些點，而採用方法係所謂的曲線之樣條擬合 (Spline fitting)，一個樣條乃一可加權的彈性帶，因此它不僅能通過每個已知點而平滑地從每個區間接至下一個區間。以一組三次式通過已知各點，每個區間都是使用新的三次式，為了平滑起見，因此每個接點處的兩個三次式之斜度與曲線必需相同，而計算式子如下(內

政部，2003)：

$$f_i(x) = a_i(x - x_i)^3 + b_i(x - x_i)^2 + c_i(x - x_i) + d_i \quad (3-2)$$

for $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ and $i=1, \dots, n-1$

程式的設計中，以每 10 天的資料顯示 1 張圖，對於完全無缺失資料的時間段將會自動跳過，若有資料缺失時，程式會自動顯圖並詢問是否進行補償，此時需由人工判斷是否進行補償，若不進行時，程式將自動執行下一階段；當進行補償時，程式將顯示原始資料與補償成果，若判斷其補償成果不佳可選擇不儲存，否則新的補償後成果將取代原有資料輸出至新的變數中。

對於補償作業過程中，通常應平移時間段 3~5 天再進行一次，以避免缺失的時間段恰好位於 10 時段的開始或結尾處，產生不成功的內插，並藉此檢視較佳之補償結果，後續將用幾個例子簡單說明補償作業的結果。

1. 參照圖 3-7，原始資料於第 9、10 天間約缺 24 小時左右的資料，最後尚餘 3 小時左右的資料，經由補償後，補償的資料仍能維持原有的潮汐周期，但振幅約為原有 2 倍，顯示資料的補償失敗
2. 參照圖 3-8，原始資料在第 5~8 天中，各缺失約半天的資料，因為連續的缺失，使得振幅愈來愈大，大到無法收斂，直至第 7 天的資料方被壓回原來的振幅，但後 2 天的波形因而失真，故亦捨棄不用。

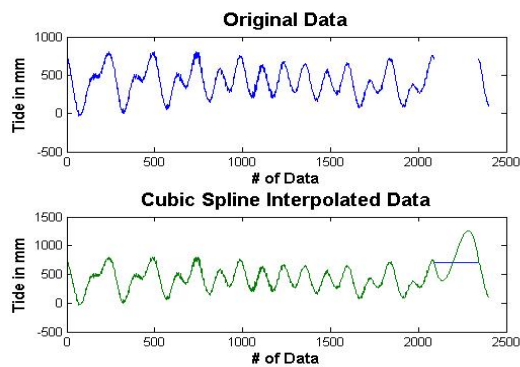


圖 3-7 潮汐資料補償範例示意圖一

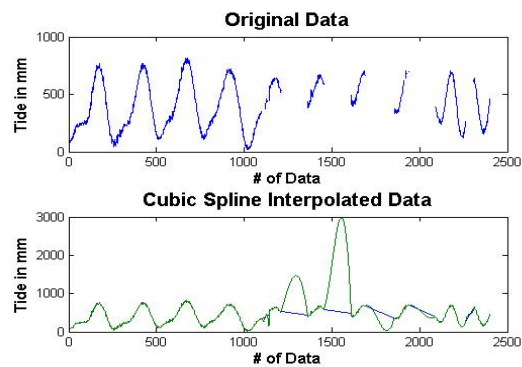


圖 3-8 潮汐資料補償範例示意圖二

3. 參照圖 3-9，原始資料中第 1 天缺失約 3 小時的資料，但缺失的資料非是最開始時，因此可利用 Cubic Spline 演算法補償之。
4. 參照圖 3-10，資料的缺失在第 1 天，約有 8 小時，但是因為缺失的時間段發生在最起始處，等於利用外插的方式進行補償，對於 Cubic Spline 補償而言，基本上完全不可行，後續若將缺失的時間段置於中間時，則得到的結果將完全不同。

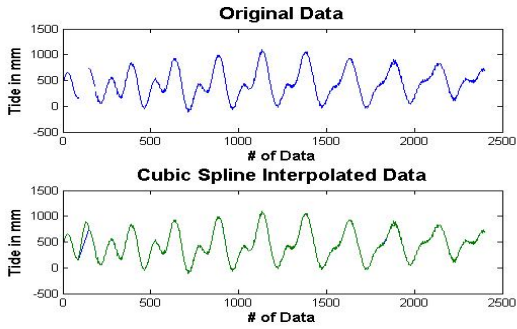


圖 3-9 潮汐資料補償範例示意圖三

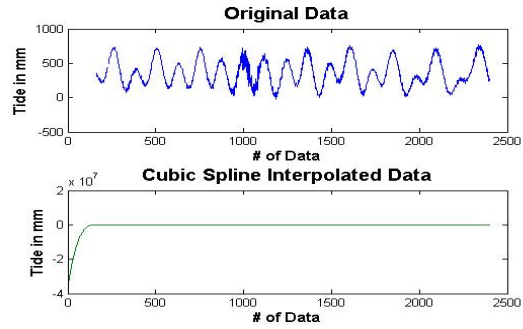


圖 3-10 潮汐資料補償範例示意圖四

5. 根據第 4 例，此時將時間續列平移後（參照圖 3-11），資料缺失處轉至中間，則補償後仍可維持原有形狀，顯示補償成功。
6. 參照圖 3-12，這個例子中僅約有 4 小時的資料缺失，但經由補償後所產生的結果不太自然，但對於資料的平均值尚維持原有頻率之波形，因此補償結果尚可接受。

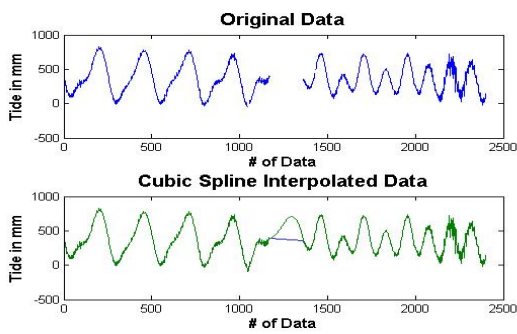


圖 3-11 潮汐資料補償範例示意圖五

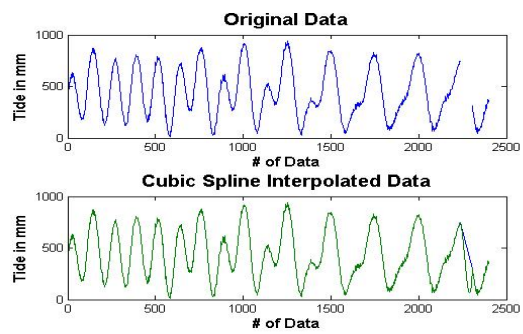


圖 3-12 潮汐資料補償範例示意圖六

7. 參照圖 3-13，原始資料中有多段的缺失，每段時間均不長，但因為連續的缺失均發生在最高點，使內插失去控制，導致最後結果失真。
8. 參照圖 3-14，多天的資料缺失，使得補償完全失去作用，必需仰賴後續利用調和函數進行預測。

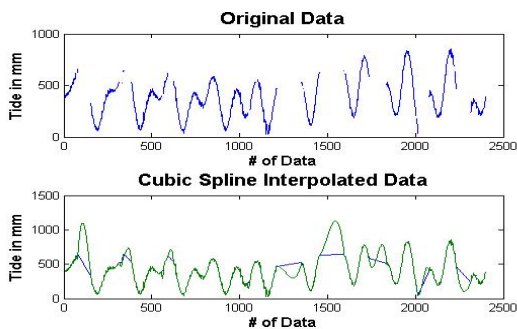


圖 3-13 潮汐資料補償範例示意圖七

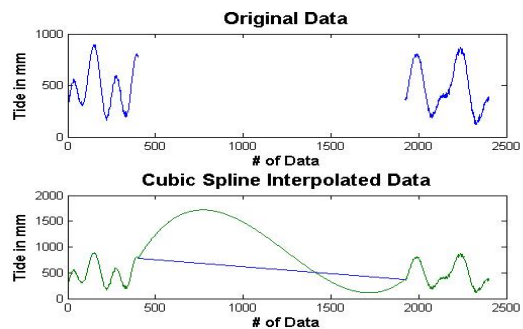


圖 3-14 潮汐資料補償範例示意圖八

§3-4-2 多變數迴歸法

由於 Cubic Spline 演算法補遺資料，多數長時間的缺失並無法得到良好的成果，因此，後來又發展了多變數迴歸法，其原理就是利用半天、一天、半月及一月周期的顯著頻率的正弦與餘弦函數做為相同時間的序列，利用多變數迴歸法來分析潮位。

利用多變數迴歸法進行潮位資料分析，Rossiter (1972) 同時考慮海水面高度所受的不同影響因素，利用迴歸分析的方法，求出各種因素對潮汐的影響。他所用的公式如下：

$$Z_t = \sum_{p=0} a_p t^p + \sum_{r=0} b_r B_r(t) + \sum_i [c_i \cos 2\pi\omega_i t] + \sum_i [d_i \sin 2\pi\omega_i t] + \varepsilon_t \quad (3-3)$$

其中 Z_t 是在 t 時間的海水面高度， $\sum a_p t^p$ 是 P 次多項式來表示長期性的變動。

B_r 代表各種不同的氣象因素，如氣壓、氣溫降雨量等。

ω_i 則是各種天文潮汐分量的角頻率。

ε_t 則是其他未考慮進去的各種殘餘影響量及誤差。

c_i 、 d_i 為各種週期天文潮汐之振幅。

t 為該時刻時間，單位為 hr。

本計畫中利用多變數迴歸法主要參照公式 (3-3)，但是所用的頻率較少，只有採用 9 個主要頻率 (表 3-6)，其修正後如公式 (3-4)。

$$Z_t = a_0 + \sum_{i=1}^9 [c_i \cos 2\pi\omega_i t] + \sum_{i=1}^9 [d_i \sin 2\pi\omega_i t] + \varepsilon_t \quad (3-4)$$

其中 a_0 為擬估計之平均海水面高度， $\omega_1 \sim \omega_9$ 代表使用的天文潮汐分量的角頻率 (依序為 O_1 、 K_1 、 K_2 、 M_2 、 P_1 、 M_F 、 S_2 、 N_2 及 M_M)。

表 3-6 多變數迴歸法補遺使用之頻率

| 名稱 | 頻率(cycle/hr) | 名稱 | 頻率(cycle/hr) | 名稱 | 頻率(cycle/hr) |
|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| O_1 | 0.0387307 | M_2 | 0.0805114 | S_2 | 0.0833333 |
| K_1 | 0.0417807 | P_1 | 0.0415526 | N_2 | 0.0789992 |
| K_2 | 0.0835615 | M_F | 0.0030501 | M_M | 0.0015122 |

一般而言，以一個月當一個視窗來處理，只要資料缺失不超過一半以上，預測出來的潮位誤差大概不超過 10cm，如圖 3-15 (圖中藍色表示原有資料，綠色為預測之理論值，紅色則為實測資料與理論值之差異。) 所示雖然遺缺一半左右，但仍可得好的預測及補遺。一個月的補遺完成品管處理後的潮位資料，即為一具有準確、合理且完整的高品質潮位紀錄，但所補遺的資料，只是理論潮汐的部份，若每個測站同時有氣壓紀錄，

則本法可包括壓力的影響一起估計，精度應該更高（本計畫中並未使用氣壓紀錄）。最後將現有潮位資料儲存格式予以存檔，俾利日後各類工程應用或科學研究參考使用。

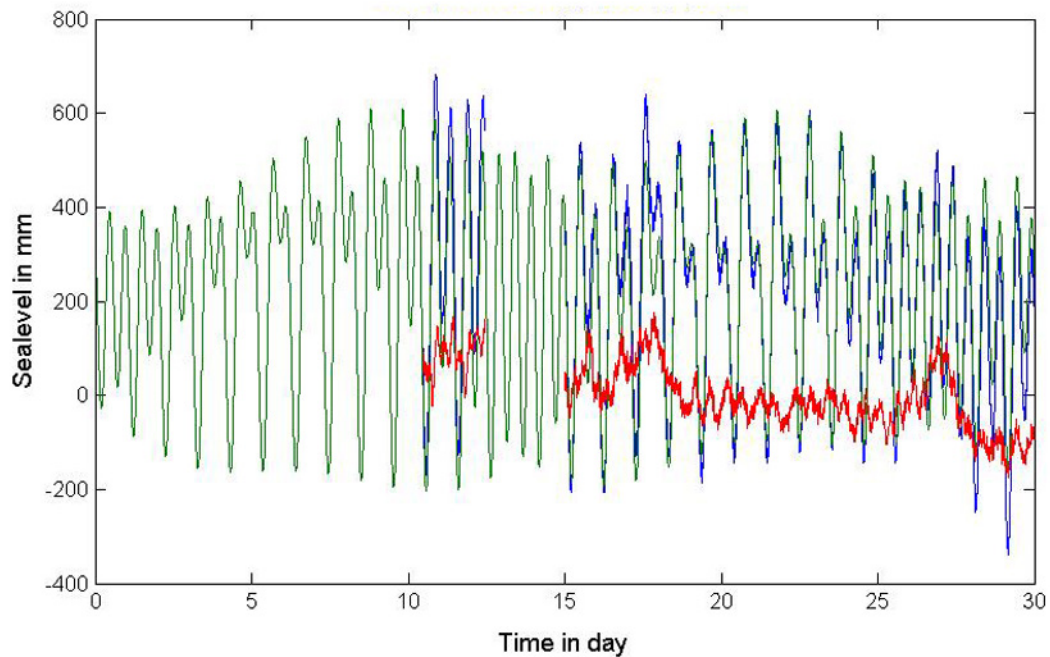


圖 3-15 多變數迴歸法資料補遺

多變數迴歸法原理簡單，執行迅速，成功率與精度都高，一次處理一個月的資料，不致造成長期的系統誤差，當然與其它的起潮頻率分析相同，越長期的資料若能得到顯著的成果則好，否則容易造成系統誤差，補遺是要求成功率高，一個月應該是最佳的選擇。

§3-5 調和分析

§3-5-1 調和分析說明

最後利用調和函數進行潮汐資料的內插及預測，其理論在於將潮汐視為一種周期函數，可將潮位觀測資料分解成無數個不同周期之分潮（分潮數目視潮位觀測資料之取樣間隔及觀測時間長短而定），每一分潮為時間調合函數，並利用(2-1)式求解(劉文俊、吳文耀，1996)。使用之程式為加拿大IOS (Institute of Ocean Science) R. Pawlowicz 開發之 t_tide V1.2 版程式，程式讀取潮位資料後，計算各調和頻率的振幅與相位，並劃出各調和頻率的振幅、相位誤差及相對關係(95%信心區間)。

基本上 t_tide V1.2 版程式是改寫 IOS 的 M.G.G. Foreman 及其同事所發展的 Fortran 版的潮汐分析程式(見 http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/osap/projects/tidpack/tidpack_e.htm)，對與每一頻率的振幅及相位誤差估計採用'wboot' 誤差模式，即是根據相關雙變數的白誤差模式 (correlated bivariate white-noise model) 的 Bootstrapped 95%可信區間來估計，一般而言，資料在3年以上，在1年潮 (S_a)、半年潮 (S_{sa})、1日潮及半日潮於統計上都是顯著的，可用來進行相當精確的潮汐分析。而分析的結果分為文字報表及圖形介面輸出，在文字報表檔(表 3-7)輸出時，在統計上(95%可信區間)顯著的加註「*」。

表 3-7 調和分析成果表格式說明

```
date: 08-Nov-2009
(分析日期)
nobs = 701280,  ngood = 691332,  record length (days) = 2922.00
(總資料數)      (有效資料數)      (總日數)
start time: 01-Jan-2001
(資料起始日期)
rayleigh criterion = 1.0
(瑞利門極值Resolution criteria for least-squares fit)
Greenwich phase computed with nodal corrections applied to amplitude \n and phase relative to center time
(格林威治相位，在相對於中央時間的振幅及相位加以結點修正)
x0= 113,  x trend= 0
(Y軸截點) (斜率)
var(x)= 162458.5825  var(xp)= 163839.6424  var(xres)= 11913.6645
(原始潮位的variance)  (預測潮位的variance)  (殘餘潮位的variance)
percent var predicted/var original= 100.9 %
(原始潮位/預測潮位variance的比值)
tidal amplitude and phase with 95% CI estimates
(潮位振幅及相位之95%信心區間估計)
tide  freq  amp  amp_err  pha  pha_err  snr
(分潮) (頻率) (振幅) (振幅誤差) (相位) (相位誤差) (雜訊比)
*SA  0.0001141  93.5977  10.075  213.54  5.79  86
*SSA 0.0002282  20.6657  9.351  7.10  24.06  4.9
MSM  0.0013098  5.7665  7.831  343.40  96.40  0.54
MM  0.0015122  5.4548  7.270  9.54  92.63  0.56
MSF 0.0028219  5.3469  7.634  328.58  97.13  0.49
MF  0.0030501  5.4421  8.768  10.94  96.65  0.39
*ALP1 0.0343966  1.5388  1.487  183.30  63.19  1.1
*2Q1 0.0357064  4.0049  1.475  159.23  26.42  7.4
*SIG1 0.0359087  4.7137  1.368  171.14  15.81  12
*Q1  0.0372185  30.9943  1.593  179.50  2.96  3.8e+002
*RHO1 0.0374209  5.5956  1.446  174.83  14.78  15
*O1  0.0387307  153.2269  1.435  196.66  0.54  1.1e+004
*TAU1 0.0389588  3.0371  2.340  170.89  40.67  1.7
*BET1 0.0400404  1.5987  1.263  214.23  47.59  1.6
*NO1 0.0402686  11.6741  1.643  214.58  10.02  50
*CHI1 0.0404710  1.5279  1.528  195.82  53.64  1
*PI1  0.0414385  4.8005  1.752  222.37  23.05  7.5
*P1  0.0415526  55.8491  1.999  228.08  1.83  7.8e+002
*P1  0.0415526  54.3409  1.573  237.98  1.89  1.2e+003
*S1  0.0416667  7.0895  2.517  202.13  19.51  7.9
*K1  0.0417807  164.2066  1.539  230.91  0.57  1.1e+004
PSI1 0.0418948  1.5346  1.810  144.18  62.89  0.72
*PHI1 0.0420089  2.2781  1.608  204.39  48.80  2
*THE1 0.0430905  1.9965  1.387  234.80  49.82  2.1
*J1  0.0432929  9.7024  1.647  247.24  10.17  35
註：若於各分潮前加註*者，表示在95%可信區間統計測試上為顯著。
```

而在圖形輸出成果圖中（參照圖 3-16）共分為 4 小圖，第 2 小圖顯示主要頻率的振幅；第 3 小圖中則是格林威治相位（Greenwich phase），並利用顏色（95%信心區間；藍色表合格，紅色表不合格）顯示各項調和頻率的振幅與相位；第 4 小圖則顯示各頻率在保留天文潮汐與移除天文潮汐後的能量（波譜分析中的能量，單位是 $m^2/$ 每小時週期），藍色代表原資料，紅色代表所得的理論潮汐之能量。最後利用調和分析的結果，計算每一時刻調和頻率的預估理論潮汐（綠色），並與原始資料（藍色）及殘餘值（紅色，原始資料與預估理論潮汐的差值）進行分析比較，繪製於最第 1 小圖中，若理論潮汐預估不在可信區間之內則不採用，整體理論潮汐之能量不能在可信區間之內則不採用該理論潮汐之估計，第 1 小圖中則僅畫出原始資料。

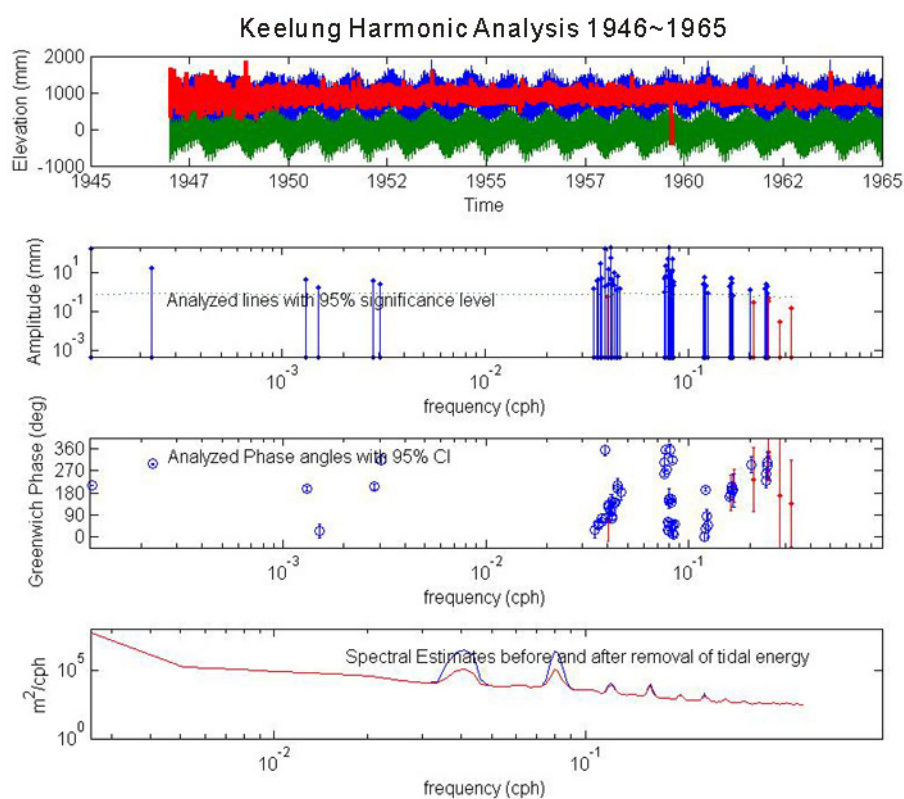


圖 3-16 調和分析成果示意圖

§3-5-2 調和分析修正基準變動

在本計畫中，調和分析主要利用作為長期潮位觀測資料中，若有潮位觀測基準產生變動時的修正，而計畫中所取得 5 個潮位站資料中，僅富岡站必需進行此一修正（圖 3-17），利用前述的 t_tide V1.2 版程式進行計算，其作法與分析結果說明如后。

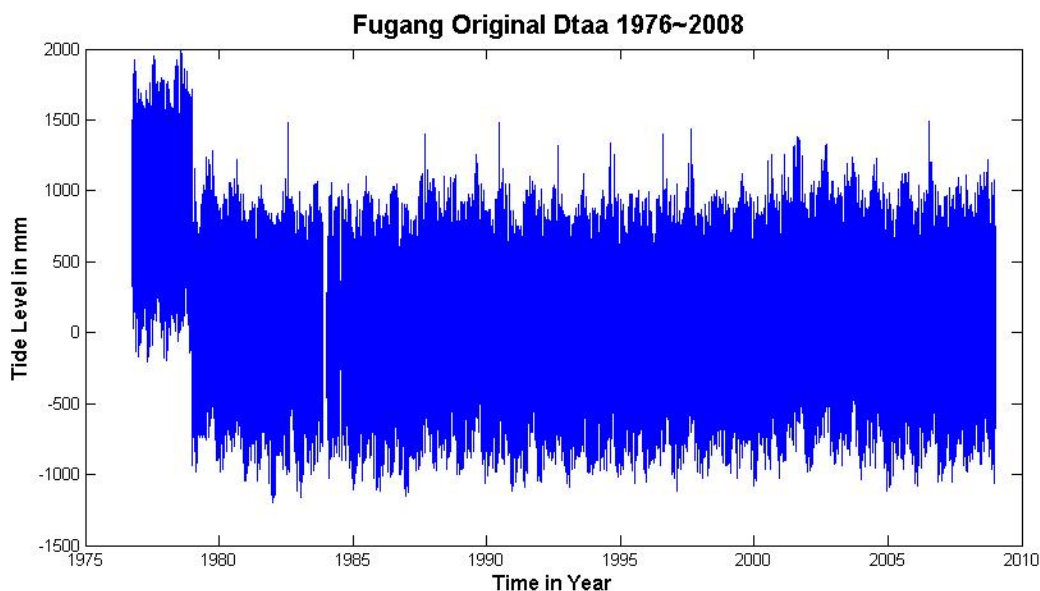


圖 3-17 富岡站原始潮位觀測紀錄

首先以 2001~2008 年的逐時資料做調和分析，圖 3-18 為分析的成果圖與各調和頻率的振幅與相位。由圖所顯示可看出各主要頻率的顯著度都相同，振幅的差異也都在 3~5mm 左右，相位差大都在 15° 之內，可看出這個資料採樣率的分析結果相當有限。

因此，我們嘗試將所有的逐時資料都一起做調和分析，縱使在 1978 年有明顯的高程基準改變，1983 年底有較長的資料中斷，這樣的中斷與跳動並不會影響到調和分析，但在富岡站卻得不到合理的成果，因此試著以 1979~2000 年的逐時資料做單獨處理，所得的結果仍然不符合需求，如圖 3-19 所示，在高頻部分無法得到完整的結果，因此也無法做潮位預測。

接下來，我們嘗試將 1984 年初中斷之前的所有的逐時資料都先清除，因為資料中斷很可能就是換儀器，甚至是換測站。所以剩下 1984~2000 年的資料單獨處理，做調和分析，所得的結果在統計上是顯著的，如圖 3-20

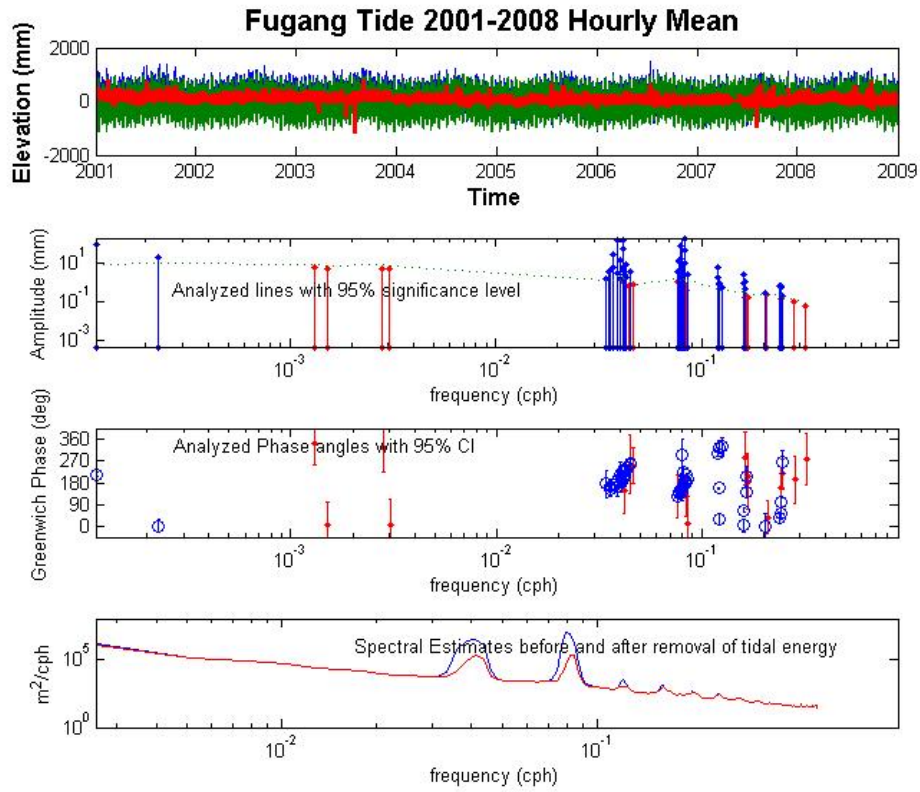


圖 3-18 富岡潮位站 2001~2008 年逐時資料之調和分析成果圖

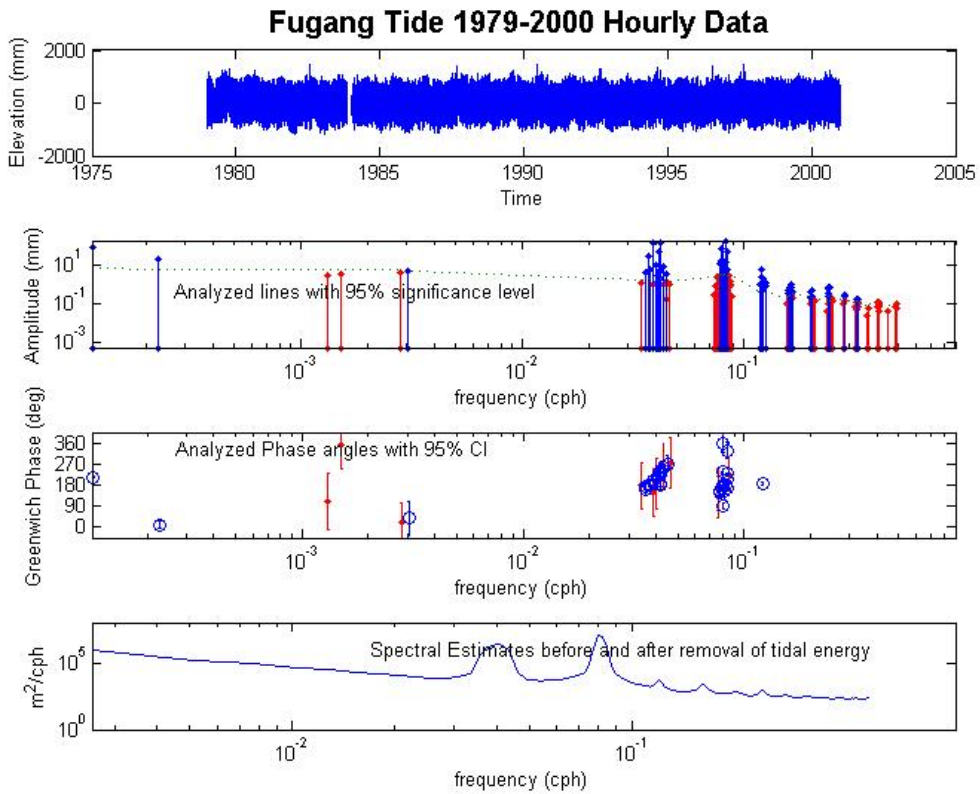


圖 3-19 富岡潮位站 1979~2000 年逐時資料之調和分析成果圖

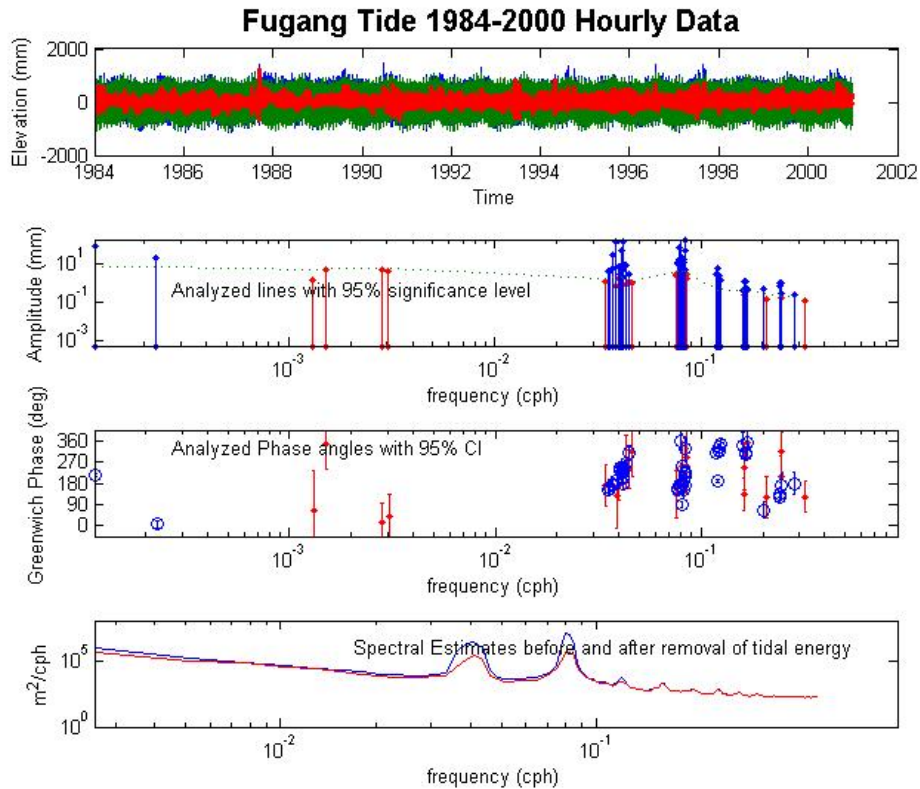


圖 3-20 富岡潮位站 1984~2000 年逐時資料之調和分析成果圖

接下來，我們嘗試結合 1984~2008 年的逐時資料一起做調和分析，因為 1984~2000 年時段與 2001~2008 時段單獨處理時，都得到合理的成果，但結合起來卻無法得到合理的成果，如圖 3-21，在高頻部分無法得到完整的結果，因此也無法做潮位預測。很顯然 2000 年底更換儀器時，也改變了造成調和頻濾波動的傳遞環境，通常港口水深或河道的改變，儀器型態或所在深度的變化，尤其是靜水井的變化，都會改變調和波相位或振幅的連續性，也使得調和分析需要單獨的處理。

因此最後將富岡站各期調和分析的成果（1976~1978、1979~1983、1984~2000 及 2001~2008 等 4 時期）資料在除去調和波動後，利用最小二乘平差方式，求取最終的成果如圖 3-22 所示，則結果可獲取一穩定之變化成果（圖 3-22 中水藍色部分），作為後續平均海水面之計算。

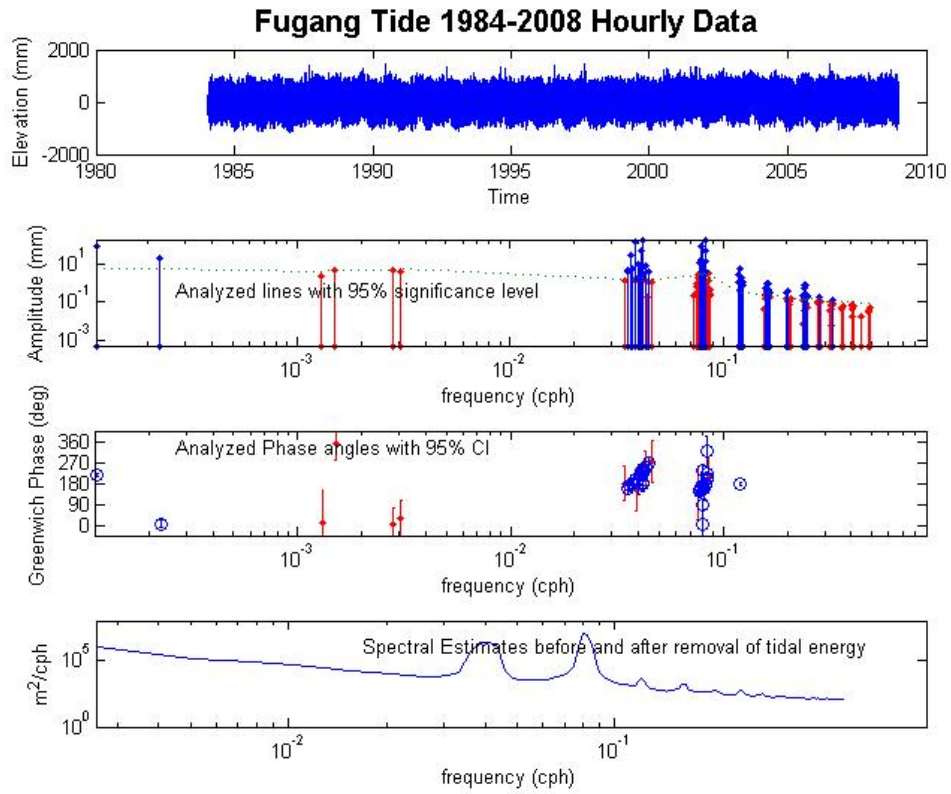


圖 3-21 富岡潮位站 1984~2008 年逐時資料之調和分析成果圖

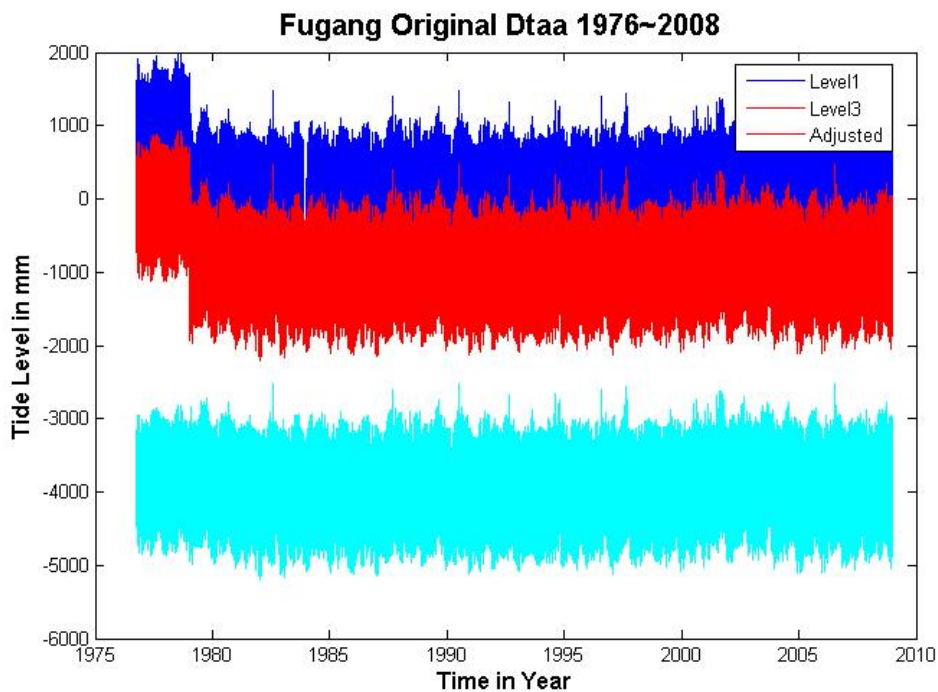


圖 3-22 富岡潮位站 1976~2008 年逐時資料調和分析平差結果

§3-6 潮位資料計算

§3-6-1 傳統的高低潮與算術平均法

在傳統的平均潮位計算法各國相當統一，除了前面的資料篩選及潮位分析以外，重新整理各國所用的標準程序，雖然傳統的平均潮位計算法對地殼變動快速的臺灣不見得最適當，亦可做為參考。這可以做為建立一個傳統平均海水面計算的標準過程。

垂直基準是由潮位站某些時刻的潮位高來決定的，它是區域性的基準，不可不加以量測就任意延伸到其它不同水文特性的地區。為了在必要時能隨時指示這基準通常須關連到附近一個稱為水準點的固定點位。

1. 觀測：潮位基準是由在某一段期間連續觀測海水面高度的資料計算而得來的，這些觀測通常在某一固定地點執行，稱之為「潮位站」，每個潮位站包括水位感應計、資料收集器、資料記錄器以及資料傳輸器。另外在潮位站附近必須布設有一系列的水準點，潮位站以每 6 分鐘收集一筆資料為原則。
2. 時間序列潮位高度：如果 6 分鐘一筆的潮位資料經過一定的品質管制，並填補所有的空缺，擇取每天的「高潮 (HT)」、「低潮 (LT)」與「逐時潮位」，潮汐的參數則可由每天的時列潮位高度簡化成平均潮位，例如月平均潮位用來做長期（數十年）的分析或是日平均潮位來做短期的分析。
3. 計算潮位基準：最初步的潮位計算是直接對 19 年的 NTDE 國家潮位基準期的資料取平均值。長時期的潮位平均與短時期的潮位平均亦拿來做比較，以評量潮位基準期中潮位基準的等值性。國家應該訂定 NTDE，例如美國過去的 NTDE 是在 1924-1942，1941-1959，1960-1978，1983-2001，現在的 NTDE 是則未完全確定。潮位基準與各種潮汐統計的相對關係如圖 3-23。

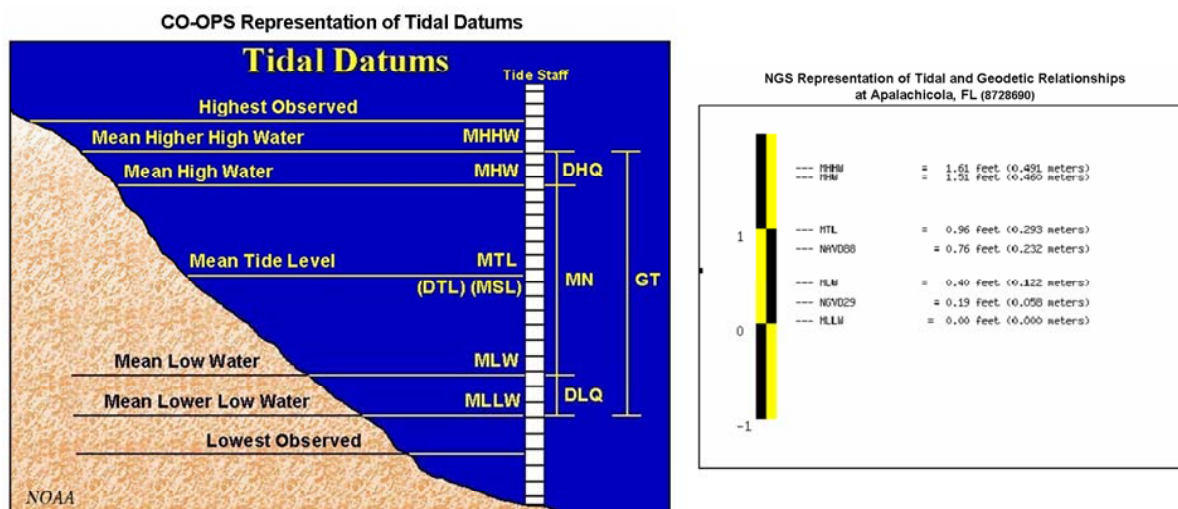


圖 3-23 潮位基準與各種潮汐統計的相對關係

4. 計算水準點高程：當潮位基準計算完成後，它真正的高度則須利用精密水準測量技術來測量潮位站零點與水準點的高差，潮位基準的高程則在潮位站水準點與全國一等水準網連測後可得，這樣的連測可由水準測量或 GPS 測量方法來執行。決定潮位基準的方法，主要用 19 年期間的潮位計算平均，例如平均高潮位 (Mean High Water; MHW) 是直接對 19 年中每天的高潮位 (HW) 的平均，其它則還有如平均較高高潮位 (Mean Higher High Water; MHHW)、平均低潮位 (Mean Low Water; MLW)、平均海面 (Mean Sea Level; MSL)、平均較低低潮位 (Mean Lower Low Water; MLLW) 等等。另有人記錄某一段時期的潮位極值，如月最高高潮位 (Monthly Highest High Water Level)，這與月最高潮位 (Monthly Highest Water Level) 應該是相同的，另外在國內氣象局與水利署都將較高高潮位稱為大潮高潮位，較低低潮位稱為大潮低潮位。

以上 MHW, MHHW, MLW, MLLW 可以是逐年、逐月或取 19 年的算術平均值來計算，若有些測站觀測時期較短，則以鄰近較長期觀測的站做主控站 (Primary Control Tide Station) 做同期測的相對性比較，以取得正確值。MSL 則一定要是 NTDE 期間的算術平均值，若較短期的則稱之為年平均 (Yearly Mean Sea Level) 海面或月平均海面。除了前述內容外，一般常用之潮位定義如下：

- (1) 平均高潮 (Mean Tide Level) \equiv MHW 與 MLW 的平均值。
- (2) 日潮高 (Diurnal Tidal Level) \equiv MHHW 與 MLLW 的平均值。
- (3) 平均潮差 (Mean Range) \equiv MHW 與 MLW 的差值。
- (4) 日高潮不等值 (Diurnal High Water Inequality) \equiv HHW 與 MHW 的差值。
- (5) 日低潮不等值 (Diurnal Low Water Inequality) \equiv MLLW 與 MLW 的差值。
- (6) 大潮差 (Great Range) \equiv MHHW 與 MLLW 的差值。

§3-6-2 各種高低潮的定義

除了以上的高潮，MHW，MHHW，MLW，MLLW 定義相當清楚，每站每天大都有 2 個高潮與 2 個低潮，都稱之為高潮或低潮，2 個高潮其中較高的稱之為較高高潮，2 個低潮中較低的叫做較低低潮，又稱為大潮。

另外配合本計畫合約與程式運算，定義各項潮位名詞如下：

- (1) 日最高高潮位 (Day High Water) = 每日最高潮位。
- (2) 日平均高潮位 (Day Mean High Water) = 每日高潮位的平均。
- (3) 日平均潮位 (Day Mean Sea Level) = 每日潮位的平均。
- (4) 日平均低潮位 (Day Mean Low Water) = 每日低潮位的平均。
- (5) 日最低低潮位 (Day Low Water) = 每日最低潮位。
- (6) 月最高高潮位 (Monthly Highest High Water; MHHW) = 當月中最高高潮位。
- (7) 月平均高潮位 (Monthly Mean High Water; MMHW) = 當月高潮位的平均。
- (8) 月平均潮位 (Monthly Mean Sea Level; MMSL) = 當月潮位的平均。
- (9) 月平均低潮位 (Monthly Mean Low Water; MMLW) = 當月低潮位的平均。
- (10) 月最低低潮位 (Monthly Lowest Low Water; MLLW) = 當月中最低低潮位。
- (11) 年最高高潮位 (Yearly Highest High Water; YHHW) = 年度中最高高潮位。
- (12) 年平均高潮位 (Yearly Mean High Water; YMHW) = 年度高潮位的平均。
- (13) 年平均潮位 (Yearly Mean Sea Level; YMSL) = 年度潮位的平均。
- (14) 年平均低潮位 (Yearly Mean Low Water; YMLW) = 年度低潮位的平均。
- (15) 年最低低潮位 (Yearly Lowest Low Water; YLLW) = 年度中最低低潮位。

另外對於較短時期的潮位資料算法，可以用下面方法則一或數個適用的行之：

- (1) 選擇同時觀測比較的時期 (以目標站適當品質的資料期間為準)。
- (2) 選擇控制潮位站 (以位置潮位特性及資料長短)。
- (3) 擷取控制站 NTDE 期間及包含目標站資料期間的所有資料。
- (4) 計算兩站的時刻潮位資料與月平均 (或日平均，如果資料太短)。
- (5) 計算控制站的 NTDE 潮位基準 (或以正式公佈之值為準)。
- (6) 計算控制站與目標站平均潮位差或比值 (在同時觀測期間之值)。
- (7) 利用平均潮位差或比值來計算或修正 NTDE 的潮位基準。
- (8) 二等潮位站：對於運作少於 19 年，但多於一年的潮位站，可以利用與控制潮位站同時觀測比較法來提供相當高精度的潮位基準，以利用在區域性潮位特性不明的水域或港灣，也可用來作水深測量之用。
- (9) 三等潮位站：對於運作超過一個月，但少於一年的潮位站也可用與附近控制潮位站的同時觀測比較法來求取相等的 19 年潮位基準，此去可定期在數個不同地點使用。

潮位站可以加以分類等級，包括控制（主要）潮位站，二等潮位站，三等潮位站，在空間上策略性的交錯分佈。潮位站選擇的原則包括空間含蓋明顯的不同潮位特性，如潮位形態的不同，潮差方改變，潮時的改變，日平均潮差的變化，以及長時期海水面變化趨勢的改變。其它的原則還包括重要的測量區域以及轉換區域歷史要地，接近大地測量網的地區或已有現成的構造物如碼頭適合裝置科學儀器的地點。

在新測站安裝儀器之前必需先做站址確認，以便設計測量並繪製工程設計圖，恢復舊有水準點或埋設新的水準點，取得用地使用權或合約等，另外也要考慮野外儀器裝設及維護的團隊。最重要的是要考慮適合的結構物外觀必要的地點裝設水準點，足夠的水深適當的材質以避免海洋污染及腐蝕，並考慮對外通訊及電源供給測站安全以及避雷裝置。

潮位儀器一定要定期仔細校準，或數個校準的儀器輪流更換，以維持長期穩定的潮位資料。潮位儀器的零點一定要能精確的連結到一支固定的潮位尺（tide staff）或經由水準測量或直接用尺比對到一個水準點。潮位儀器零點一定要在實體上或內部能維持垂直的穩定度，要檢視任何的變動並在計算時加以修正。

§3-6-3 潮位資料計算結果

經前述各項資料篩選處理後，接下來可開始產生各種標示潮位，如逐時潮位，高潮位、低潮位、較高高潮位與較低低潮位，如此，就可以簡單的依 NTDE 期間來計算各種標示潮位。本計畫因有較長的逐時紀錄，所以將較新的 6 分鐘紀錄轉換為逐時紀錄，而為了與前期資料的一致性，採用的是取正時的該筆記錄為該小時的紀錄，而非取任何濾波或取任何平均值。將 6 分鐘資料將接取正時的逐時紀錄，以配合舊資料來做分析。而時資料則透過 X0 濾波器轉換為日紀錄，並利用算術平均方式分別計算月、年的資料。

一般來說，當平均的時距改變跨過主要能量的潮汐頻率時（圖 3-24），就會顯著的改變振幅，然而簡單的算數平均，不但改變振幅，也會改變相位，並非最好的濾波器。

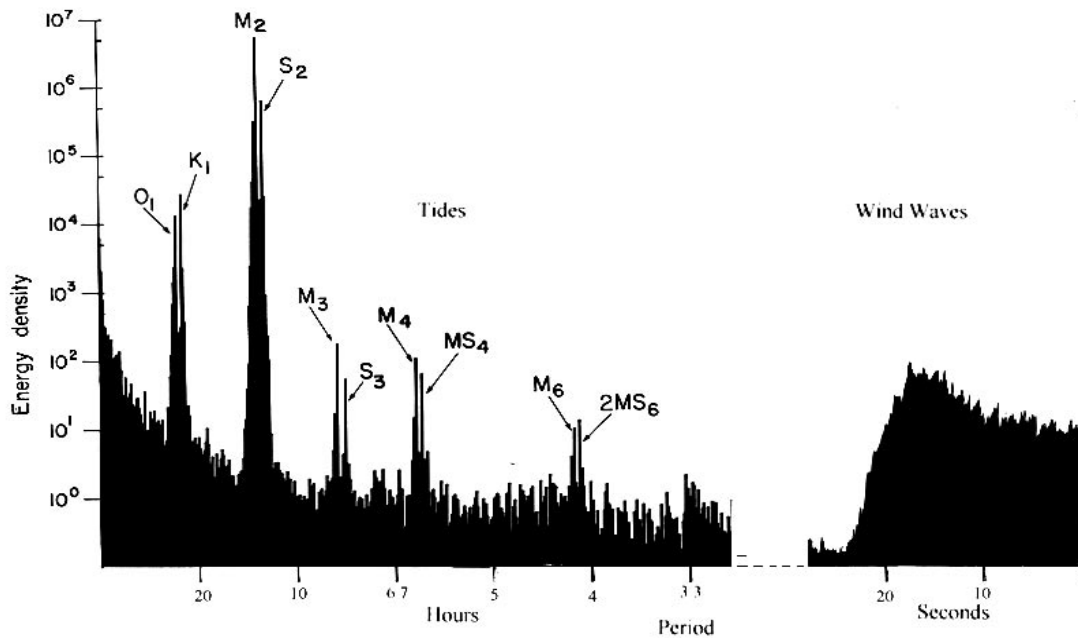


圖 3-24 潮汐的能量分佈於幾個主要頻率上

在潮汐資料分析中，有個較被常用的低通濾波器（Low Pass Filter）可將逐時的資料轉換成逐日的資料，有效的消除全日潮與半日潮，這濾波器稱之為 X0 濾波器，其長度為 19，以中間為中心，左右對稱變成 39 個數字的序列如下：

$$X0_{39} = [101001011020110211202112011020110100101]$$

其總和為 30，所產生的相位偏移很小。在使用時，第 20 項與每天的 1200 時的資料對齊，所以第一項與前一天的 1700 的資料對齊，最後一項與隔一天的 0700 的資料對齊，如此各對齊項相乘，再全部加總，並除以 30，如此即得該日的潮位高度。以上所述可以下列公式表示：

$$X_r = \frac{1}{30} * \sum_{-19}^{19} F(d)H(T+d), \text{ where } F(d) \text{ is } X0_19, T = 1200 \quad (3-5)$$

這類的潮汐濾波器還有許多種，如適用於 5 分鐘的資料 (54 個參數)，適用於 10 分鐘的資料 (27 個參數)，適用於 15 分鐘的資料 (18 個參數)，適用於 30 分鐘的資料 (12 個參數)，以及適用於 72 小時的資料 (168 個參數)。但現在為了適應現有的 6 分鐘資料，我們將原來的 19 參數的每個數字左右各擴大 5 個相同的數字，總共成為 390 個數字，如此成為我們所謂的 X0_390，如此可直接將 6 分鐘的潮位資料直接濾波成為每日的資料序列。

在使用 X0_39 濾波器時，我們也有兩種選擇，一種是直接取每小時 00 分鐘時那一筆資料 (Hour Pick)，或是用該小時資料的平均值 (Hourly Mean)。因此富岡站的 6 分鐘資料可與這兩個濾波器產生三種逐日資料，如圖 3-25 所示，利用 X0-390 的濾波器來將 6 分鐘採樣的資料 (6mindata@X0-390) 或其每小時的平均 (HourMean@X0-39)，以及直接的逐時資料經 X0-39 濾波器轉換成逐日的潮位資料。各資料略經上下移動，以便互相比較。圖 3-26 則顯示這些每日資料，利用 X0-39 與 X-390 濾波器所產生的逐日資料間的差異，其中 6 分鐘採樣的資料經 X-390 濾波器與每小時的平均經 X0-39 濾波器間的差異 (6mindata@X0-390 - HourMean @X0-39) 較為平穩，而直接的逐時資料經 X0-39 濾波器轉換成逐日的潮位資料與每小時的平均經 X0-39 濾波器間的差異 (HourPick@X0-39-HourMean@X0-39) 則變動較大一點。

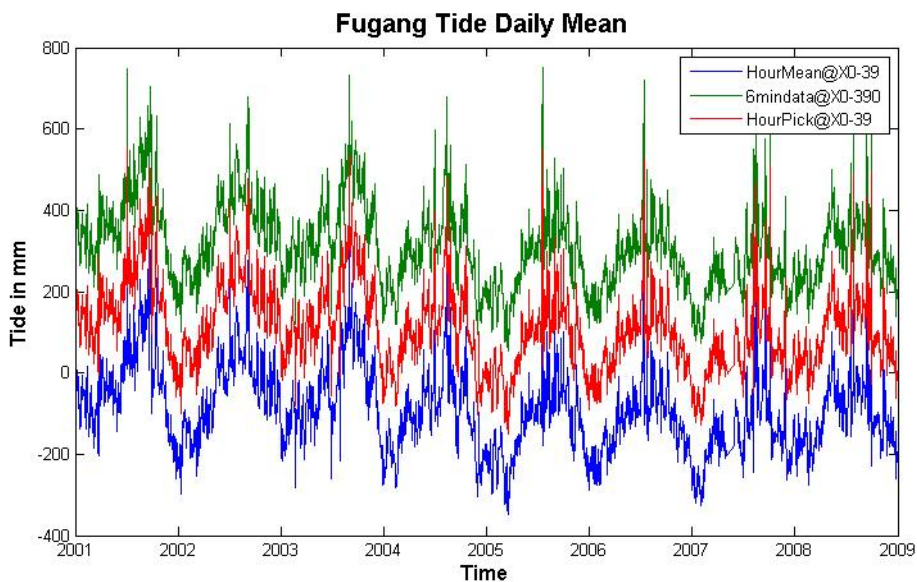


圖 3-25 X0-39 的濾波器轉換逐日潮位資料

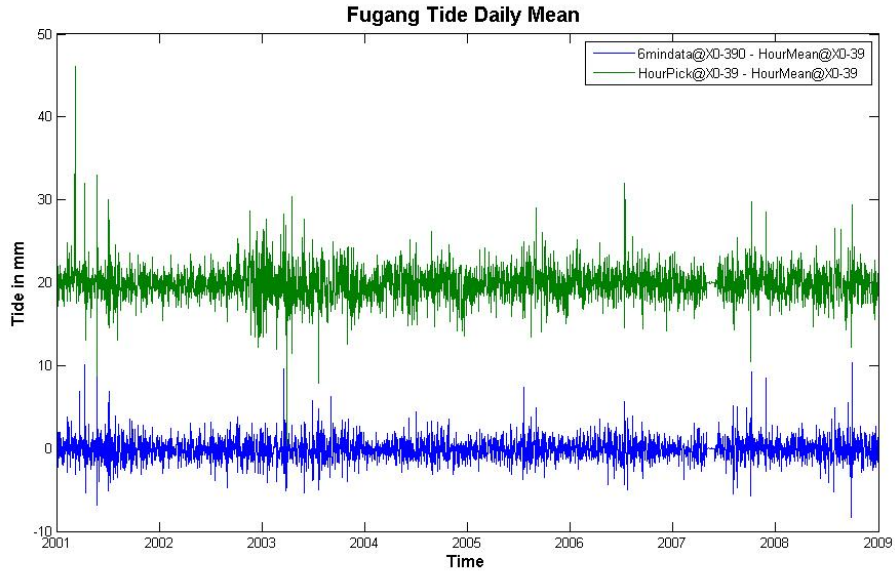


圖 3-26 X0-39 與 X0-390 濾波器所產生的逐日資料間的差異

本計畫依據這些規定撰寫了計算各種標示潮位的程式，並對各站的資料進行分析，並利用每 3 個月展示其高低潮位的標示（圖 3-27），圖 3-27 中藍線表其逐時資料與高潮（紅點）、低潮（綠點）。

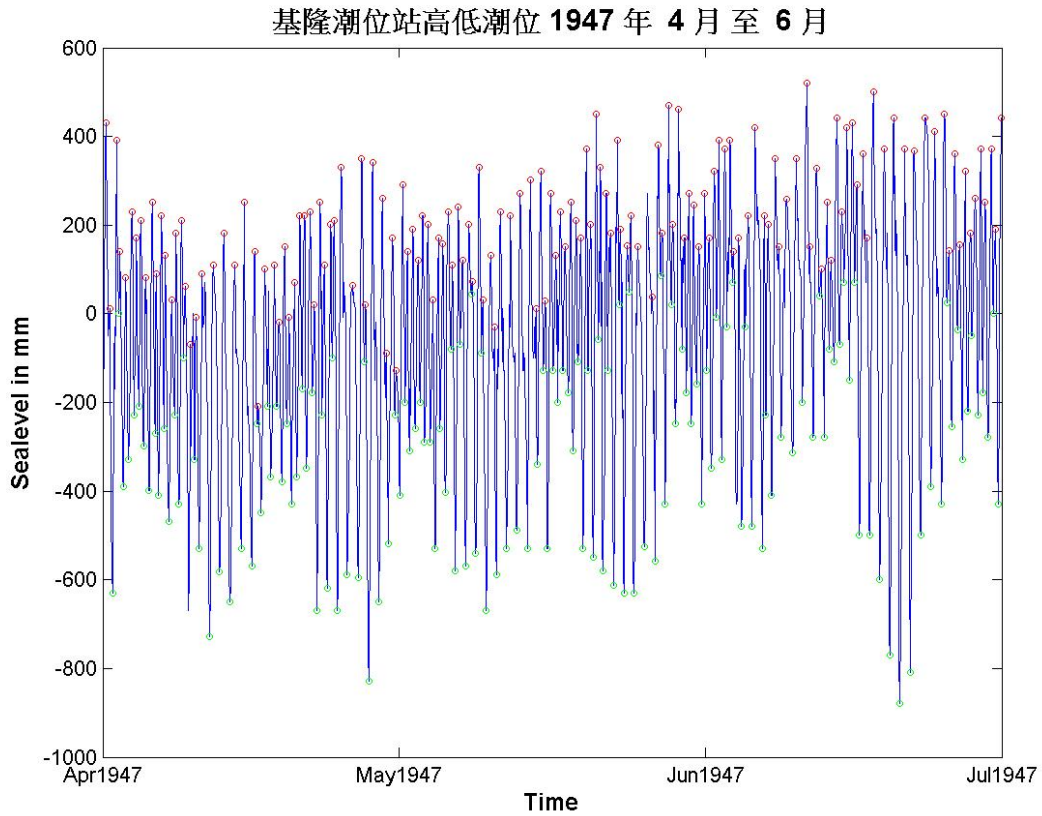


圖 3-27 基隆潮位逐時資料（1946 年 4 月~6 月）

而表 3-8 中則顯示潮位資料計算成果，包括該月每天的兩個高潮與兩個低潮的潮高與時間，並累計每一月份計算當月成果，包括月平均潮位與各種其它的觀測的標示潮位平均值，並計算上述的其它統計量。最後再累各月份資料進行年度的總結。5 個潮位站計算成果參考表 3-9~表 3-13、圖 3-28~圖 3-32。

表 3-8 潮位資料計算成果表範例

```

Station: 基隆 T.Z.: +8.0
Document: Daily HT & LT of year: 1946 Month: 5

```

| Day | Time | High | Time | Low | Day | Time | High | Time | Low | Day | MeanHigh | MeanLow | DMSL |
|-----|-------|------|-------|------|-----|-------|------|-------|------|-----|----------|---------|------|
| 1 | 8: 0 | 221 | 14: 0 | -479 | 16 | 10: 0 | 221 | 4: 0 | -479 | 1 | 276 | -479 | -29 |
| | 22: 0 | 331 | 99:99 | NaN | | 20: 0 | 41 | 16: 0 | -109 | 16 | 221 | -479 | -82 |
| 2 | 12: 0 | 341 | 3: 0 | -579 | 17 | 11: 0 | 251 | 4: 0 | -469 | 2 | 341 | -579 | -3 |
| | 22: 0 | 235 | 16: 0 | -99 | | 99:99 | NaN | 17: 0 | 71 | 17 | 251 | -469 | -11 |
| 3 | 9: 0 | 151 | 5: 0 | -425 | 18 | 14: 0 | 431 | 3: 0 | -459 | 3 | 169 | -577 | -205 |
| | 22: 0 | 187 | 16: 0 | -729 | | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | 18 | 431 | -459 | 26 |
| 4 | 14: 0 | 411 | 5: 0 | -729 | 19 | 15: 0 | 431 | 5: 0 | -429 | 4 | 411 | -729 | -14 |
| | 22: 0 | 161 | 99:99 | NaN | | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | 19 | 431 | -429 | 63 |
| 5 | 15: 0 | 421 | 6: 0 | -729 | 20 | 15: 0 | 346 | 6: 0 | -487 | 5 | 421 | -729 | -56 |
| | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | 20 | 346 | -487 | 8 |
| 6 | 16: 0 | 321 | 8: 0 | -659 | 21 | 15: 0 | 421 | 7: 0 | -399 | 6 | 321 | -659 | -109 |
| | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | 21 | 421 | -399 | 55 |
| 7 | 2: 0 | 21 | 9: 0 | -579 | 22 | 16: 0 | 511 | 7: 0 | -279 | 7 | 221 | -579 | -54 |
| | 17: 0 | 421 | 99:99 | NaN | | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | 22 | 511 | -279 | 170 |
| 8 | 2: 0 | 171 | 0: 0 | 81 | 23 | 17: 0 | 441 | 7: 0 | -379 | 8 | 346 | 81 | 103 |
| | 18: 0 | 521 | 99:99 | NaN | | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | 23 | 441 | -379 | 81 |
| 9 | 4: 0 | 131 | 1: 0 | -79 | 24 | 18: 0 | 441 | 10: 0 | -369 | 9 | 131 | -224 | 36 |
| | 99:99 | NaN | 11: 0 | -369 | | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | 24 | 441 | -369 | 41 |
| 10 | 6: 0 | 131 | 13: 0 | -159 | 25 | 6: 0 | 131 | 1: 0 | 11 | 10 | 241 | -159 | 75 |
| | 19: 0 | 351 | 99:99 | NaN | | 19: 0 | 341 | 12: 0 | -209 | 25 | 236 | -99 | 50 |
| 11 | 5: 0 | 131 | 1: 0 | -29 | 26 | 8: 0 | 131 | 12: 0 | -259 | 11 | 236 | -104 | 74 |
| | 19: 0 | 341 | 13: 0 | -179 | | 19: 0 | 331 | 99:99 | NaN | 26 | 231 | -259 | 34 |
| 12 | 7: 0 | 131 | 2: 0 | -79 | 27 | 8: 0 | 190 | 2: 0 | -181 | 12 | 181 | -134 | 31 |
| | 21: 0 | 231 | 13: 0 | -189 | | 19: 0 | 306 | 13: 0 | -74 | 27 | 248 | -181 | 50 |
| 13 | 8: 0 | 251 | 2: 0 | -189 | 28 | 9: 0 | 321 | 2: 0 | -259 | 13 | 326 | -189 | 119 |
| | 20: 0 | 401 | 13: 0 | 21 | | 19: 0 | 321 | 13: 0 | -129 | 28 | 321 | -259 | 56 |
| 14 | 9: 0 | 381 | 3: 0 | -189 | 29 | 21: 0 | 331 | 3: 0 | -359 | 14 | 381 | -189 | 56 |
| | 21: 0 | 221 | 15: 0 | -149 | | 99:99 | NaN | 15: 0 | 121 | 29 | 331 | -359 | 152 |
| 15 | 10: 0 | 401 | 3: 0 | -269 | 30 | 11: 0 | 511 | 3: 0 | -479 | 15 | 401 | -269 | 37 |
| | 19: 0 | 101 | 16: 0 | -79 | | 20: 0 | 421 | 17: 0 | 211 | 30 | 511 | -479 | 137 |
| : | : | : | : | : | 31 | 12: 0 | 521 | 3: 0 | -529 | 31 | 521 | -529 | 86 |
| : | : | : | : | : | | 99:99 | NaN | 99:99 | NaN | | | | |

```

=====
Daily Mean SeaLevel Summary...(Line1 for Day 1-16, Line2 for 17 - last of day).....
-29 -3 -205 -14 -56 -109 -54 103 36 75 74 31 119 56 37 -82
-11 26 63 8 55 170 81 41 50 34 50 56 152 137 86
MMSL = 30.9 MHL = 521.0 at day 31 12: 0 MLL = -729.0 at day 4 5: 0
MHHW = 366.0 MHW = 296.1 MLLW = -386.1 MLW = -277.9 MTL = 9.1
Mn = 574.0 DTL = -10.0 DLQ = 108.2 dhQ = 70.0 Gt = 752.1
=====
MMSL = Monthly Mean Sealevel
MHL = Monthly Highest Level
MLL = Monthly Lowest Level
MHW = mean of Daily High Water
LW = mean of Daily Low Water
LLW = mean of Daily Lower Low Water
HHW = mean of Daily Higher High Water
MTL = (MHW+MLW)/2.0
DTL = (MHHW+MLLW)/2.0
Mn = MHW-MLW
dhQ = MHHW - MHW
DLQ = MLW - MLLW
Gt = MHHW - MLLW
=====
End=====

```

表 3-9 基隆潮位站逐年分析成果表 (1/2)

| 年度 | 最高高潮位(mm) | 平均高潮位(mm) | 平均潮位(mm) | 平均低潮位(mm) | 最低低潮位(mm) |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1946 | 811 | 313 | 40 | -245 | -929 |
| 1947 | 621 | 213 | -56 | -338 | -1019 |
| 1948 | 691 | 203 | -75 | -380 | -929 |
| 1949 | 641 | 235 | -39 | -330 | -929 |
| 1950 | 751 | 261 | -3 | -290 | -1179 |
| 1951 | 741 | 237 | -34 | -306 | -1159 |
| 1952 | 751 | 276 | 2 | -262 | -1169 |
| 1953 | 971 | 266 | -1 | -262 | -937 |
| 1954 | 791 | 283 | 26 | -234 | -869 |
| 1955 | 671 | 248 | -7 | -252 | -979 |
| 1956 | 721 | 235 | -11 | -241 | -929 |
| 1957 | 731 | 248 | 4 | -220 | -909 |
| 1958 | 721 | 232 | -8 | -224 | -1019 |
| 1959 | 771 | 258 | 12 | -207 | -929 |
| 1960 | 921 | 281 | 42 | -166 | -929 |
| 1961 | 821 | 250 | 15 | -188 | -889 |
| 1962 | 821 | 211 | -26 | -243 | -879 |
| 1963 | 951 | 196 | -55 | -289 | -969 |
| 1964 | 711 | 241 | -25 | -273 | -1049 |
| 1965 | 671 | 234 | -29 | -280 | -1079 |
| 1966 | 871 | 269 | -3 | -262 | -1119 |
| 1967 | 711 | 248 | -26 | -293 | -1029 |
| 1968 | 621 | 212 | -68 | -343 | -1059 |
| 1969 | 641 | 187 | -97 | -380 | -1089 |
| 1970 | 337 | 108 | -162 | -463 | -821 |
| 1971 | 771 | 219 | -55 | -334 | -929 |
| 1972 | 1001 | 234 | -28 | -269 | -1069 |
| 1973 | 621 | 193 | -65 | -296 | -1019 |
| 1974 | 711 | 185 | -68 | -296 | -989 |
| 1975 | 661 | 225 | -23 | -246 | -959 |
| 1976 | 671 | 216 | -27 | -250 | -979 |
| 1977 | 691 | 183 | -61 | -287 | -979 |
| 1978 | 581 | 166 | -82 | -311 | -969 |
| 1979 | 671 | 151 | -97 | -331 | -959 |
| 1980 | 831 | 223 | -28 | -259 | -1049 |
| 1981 | 731 | 248 | -2 | -240 | -919 |
| 1982 | 731 | 218 | -41 | -286 | -1049 |
| 1983 | 721 | 252 | -10 | -252 | -1039 |
| 1984 | 671 | 258 | -4 | -242 | -929 |
| 1985 | 851 | 228 | -38 | -293 | -1089 |

表 3-9 基隆潮位站逐年分析成果表 (2/2)

| 年度 | 最高高潮位(mm) | 平均高潮位(mm) | 平均潮位(mm) | 平均低潮位(mm) | 最低低潮位(mm) |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1986 | 651 | 219 | -46 | -298 | -1159 |
| 1987 | 671 | 225 | -39 | -295 | -1119 |
| 1988 | 771 | 246 | -17 | -273 | -1039 |
| 1989 | 771 | 258 | -6 | -257 | -939 |
| 1990 | 951 | 259 | -4 | -251 | -1099 |
| 1991 | 761 | 283 | 17 | -232 | -939 |
| 1992 | 721 | 299 | 32 | -214 | -1029 |
| 1993 | 1061 | 280 | 15 | -226 | -919 |
| 1994 | 1111 | 321 | 58 | -193 | -939 |
| 1995 | 661 | 286 | 29 | -220 | -1049 |
| 1996 | 1351 | 315 | 45 | -192 | -899 |
| 1997 | 1281 | 340 | 78 | -169 | -949 |
| 1998 | 631 | 274 | NaN | -254 | -899 |
| 1999 | 831 | 428 | 187 | -91 | -959 |
| 2000 | 921 | 418 | 145 | -93 | -899 |
| 2001 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 2002 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 2003 | 948 | 428 | 147 | -120 | -909 |
| 2004 | 1228 | 510 | 228 | -46 | -871 |
| 2005 | 1006 | 350 | 72 | -184 | -1000 |
| 2006 | 941 | 365 | 90 | -177 | -895 |
| 2007 | 915 | 349 | 76 | -194 | -930 |
| 2008 | 892 | 345 | 73 | -195 | -858 |

表 3-10 高雄潮位站逐年分析成果表 (1/2)

| 年度 | 最高高潮位(mm) | 平均高潮位(mm) | 平均潮位(mm) | 平均低潮位(mm) | 最低低潮位(mm) |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1947 | 1550 | 976 | 735 | 491 | 80 |
| 1948 | 1500 | 908 | 664 | 413 | -70 |
| 1949 | 1540 | 968 | 717 | 473 | 50 |
| 1950 | 1530 | 1031 | 769 | 518 | 100 |
| 1951 | 1550 | 994 | 736 | 492 | 50 |
| 1952 | 1560 | 989 | 729 | 488 | 30 |
| 1953 | 1540 | 999 | 758 | 516 | 160 |
| 1954 | 1620 | 985 | 744 | 503 | 102 |
| 1955 | 1450 | 901 | 666 | 432 | 50 |
| 1956 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1957 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1958 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1959 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1960 | 1520 | 912 | 701 | 496 | 30 |
| 1961 | 1500 | 905 | 685 | 471 | 80 |
| 1962 | 1420 | 876 | 661 | 449 | 80 |
| 1963 | 1420 | 852 | 628 | 403 | 80 |
| 1964 | 1530 | 897 | 654 | 419 | 20 |
| 1965 | 1122 | 950 | 571 | 308 | 179 |
| 1966 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1967 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1968 | 1150 | 648 | 460 | 239 | 108 |
| 1969 | 2600 | 941 | 678 | 424 | -50 |
| 1970 | 1560 | 1019 | 762 | 507 | 60 |
| 1971 | 1680 | 1050 | 800 | 550 | 190 |
| 1972 | 1550 | 947 | 713 | 466 | 70 |
| 1973 | 1580 | 922 | 692 | 450 | -50 |
| 1974 | 1470 | 959 | 740 | 502 | 40 |
| 1975 | 1460 | 962 | 749 | 517 | 80 |
| 1976 | 1480 | 933 | 723 | 499 | 40 |
| 1977 | 1600 | 1014 | 803 | 574 | 120 |
| 1978 | 1600 | 1006 | 785 | 557 | 60 |
| 1979 | 1500 | 991 | 782 | 554 | 120 |
| 1980 | 1600 | 1022 | 805 | 578 | 120 |
| 1981 | 1430 | 993 | 779 | 546 | 150 |
| 1982 | 1480 | 935 | 702 | 458 | 30 |
| 1983 | 1470 | 934 | 693 | 446 | 20 |
| 1984 | 1600 | 986 | 745 | 495 | 10 |
| 1985 | 1640 | 954 | 705 | 446 | -40 |
| 1986 | 1520 | 986 | 739 | 484 | -10 |

表 3-10 高雄潮位站逐年分析成果表 (2/2)

| 年度 | 最高高潮位(mm) | 平均高潮位(mm) | 平均潮位(mm) | 平均低潮位(mm) | 最低低潮位(mm) |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1987 | 1670 | 964 | 699 | 427 | -80 |
| 1988 | 1600 | 1011 | 756 | 494 | 20 |
| 1989 | 1620 | 994 | 745 | 486 | 50 |
| 1990 | 1850 | 1010 | 765 | 511 | 100 |
| 1991 | 1800 | 1080 | 844 | 593 | 90 |
| 1992 | 1640 | 984 | 756 | 514 | 50 |
| 1993 | 1580 | 986 | 770 | 537 | 40 |
| 1994 | 1590 | 1008 | 791 | 561 | 120 |
| 1995 | 1480 | 953 | 732 | 495 | 100 |
| 1996 | 1590 | 972 | 756 | 526 | 60 |
| 1997 | 1550 | 993 | 773 | 549 | 140 |
| 1998 | 1470 | 996 | 774 | 546 | 70 |
| 1999 | 1710 | 1143 | 922 | 685 | 200 |
| 2000 | 1730 | 1127 | 899 | 660 | 240 |
| 2001 | 1870 | 1158 | 921 | 673 | 260 |
| 2002 | 1670 | 1140 | 896 | 649 | 210 |
| 2003 | 1540 | 1074 | 828 | 576 | 170 |
| 2004 | 1730 | 1055 | 799 | 535 | 0 |
| 2005 | 1560 | 1056 | 798 | 529 | 40 |
| 2006 | 1680 | 1093 | 829 | 557 | 130 |
| 2007 | 1680 | 1051 | 784 | 514 | 80 |
| 2008 | 1670 | 1072 | 814 | 549 | 50 |

表 3-11 蟳廣嘴潮位站逐年分析成果表

| 年度 | 最高高潮位(mm) | 平均高潮位(mm) | 平均潮位(mm) | 平均低潮位(mm) | 最低低潮位(mm) |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1976 | 1090 | 464 | 201 | -79 | -530 |
| 1977 | 940 | 358 | 95 | -193 | -580 |
| 1978 | 1080 | 427 | 183 | -80 | -540 |
| 1979 | 970 | 387 | 155 | -88 | -560 |
| 1980 | 1200 | 410 | 179 | -65 | -610 |
| 1981 | 710 | 297 | 85 | -133 | -410 |
| 1982 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1983 | 2100 | 385 | 112 | -173 | -600 |
| 1984 | 950 | 373 | 82 | -205 | -650 |
| 1985 | 1260 | 387 | 90 | -217 | -720 |
| 1986 | 1240 | 395 | 97 | -210 | -700 |
| 1987 | 1500 | 425 | 116 | -193 | -790 |
| 1988 | 1760 | 415 | 116 | -187 | -740 |
| 1989 | 1100 | 420 | 124 | -177 | -620 |
| 1990 | 1380 | 389 | 108 | -189 | -570 |
| 1991 | 1070 | 361 | 89 | -182 | -640 |
| 1992 | 1060 | 472 | 210 | -60 | -490 |
| 1993 | 900 | 386 | 133 | -141 | -560 |
| 1994 | 1100 | 437 | 189 | -79 | -560 |
| 1995 | 990 | 398 | 147 | -132 | -510 |
| 1996 | 1220 | 432 | 179 | -90 | -680 |
| 1997 | 1180 | 481 | 221 | -41 | -410 |
| 1998 | 1040 | 507 | 250 | -19 | -460 |
| 1999 | 1140 | 545 | 274 | 10 | -400 |
| 2000 | 1200 | 539 | 267 | -4 | -430 |
| 2001 | 1577 | 528 | 260 | -29 | -427 |
| 2002 | 1105 | 408 | 127 | -161 | -511 |
| 2003 | 1012 | 362 | 81 | -214 | -671 |
| 2004 | 1146 | 360 | 76 | -227 | -750 |
| 2005 | 1411 | 553 | 256 | -41 | -558 |
| 2006 | 1479 | 617 | 323 | 25 | -459 |
| 2007 | 1321 | 641 | 341 | 29 | -420 |
| 2008 | 1274 | 696 | 390 | 90 | -341 |

表 3-12 蘇澳潮位站逐年分析成果表

| 年度 | 最高高潮位(mm) | 平均高潮位(mm) | 平均潮位(mm) | 平均低潮位(mm) | 最低低潮位(mm) |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1981 | 1331 | 692 | 210 | -258 | -939 |
| 1982 | 1161 | 660 | 189 | -262 | -1089 |
| 1983 | 841 | 474 | 150 | -194 | -1299 |
| 1984 | 1081 | 561 | 111 | -309 | -1009 |
| 1985 | 1111 | 552 | 91 | -332 | -1189 |
| 1986 | 1261 | 523 | 62 | -366 | -1069 |
| 1987 | 1331 | 561 | 103 | -330 | -1089 |
| 1988 | 931 | 320 | -142 | -590 | -1589 |
| 1989 | 1131 | 406 | -52 | -499 | -1259 |
| 1990 | 1091 | 383 | -74 | -509 | -1259 |
| 1991 | 1141 | 376 | -288 | -527 | -1240 |
| 1992 | 1210 | 413 | -56 | -517 | -1310 |
| 1993 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1994 | 1020 | 519 | 64 | -369 | -860 |
| 1995 | NaN | NaN | NaN | NaN | NaN |
| 1996 | 1480 | 474 | 54 | -404 | -920 |
| 1997 | 1200 | 452 | -9 | -486 | -1080 |
| 1998 | 990 | 444 | -21 | -485 | -1180 |
| 1999 | 1017 | 457 | -1 | -457 | -1207 |
| 2000 | 1152 | 479 | 19 | -430 | -1191 |
| 2001 | 1206 | 496 | 41 | -405 | -1125 |
| 2002 | 1287 | 534 | 72 | -401 | -1165 |
| 2003 | 1426 | 610 | 158 | -290 | -1157 |
| 2004 | 1335 | 657 | 199 | -239 | -1041 |
| 2005 | 1318 | 641 | 184 | -263 | -1020 |
| 2006 | 1291 | 542 | 74 | -389 | -1073 |
| 2007 | 1151 | 520 | 51 | -417 | -1068 |
| 2008 | 1279 | 541 | 83 | -366 | -1129 |

表 3-13 富岡潮位站逐年分析成果表

| 年度 | 最高高潮位(mm) | 平均高潮位(mm) | 平均潮位(mm) | 平均低潮位(mm) | 最低低潮位(mm) |
|------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| 1976 | 1038 | 601 | 172 | -253 | -840 |
| 1977 | 1140 | 620 | 161 | -300 | -857 |
| 1978 | 1190 | 613 | 151 | -310 | -861 |
| 1979 | 1280 | 642 | 155 | -325 | -980 |
| 1980 | 1220 | 572 | 89 | -373 | -1040 |
| 1981 | 1040 | 480 | 7 | -454 | -1140 |
| 1982 | 1480 | 506 | 27 | -442 | -1200 |
| 1983 | 1070 | 461 | -13 | -475 | -1160 |
| 1984 | 1075 | 511 | 35 | -425 | -1060 |
| 1985 | 1100 | 484 | 8 | -451 | -1110 |
| 1986 | 1050 | 495 | 15 | -440 | -1120 |
| 1987 | 1400 | 503 | 33 | -418 | -1150 |
| 1988 | 1110 | 523 | 50 | -406 | -1000 |
| 1989 | 1260 | 562 | 96 | -352 | -1060 |
| 1990 | 1480 | 472 | 7 | -435 | -1120 |
| 1991 | 1100 | 492 | 19 | -435 | -1090 |
| 1992 | 1320 | 502 | 28 | -432 | -1050 |
| 1993 | 1120 | 456 | -16 | -483 | -1090 |
| 1994 | 1340 | 523 | 44 | -430 | -1020 |
| 1995 | 1000 | 505 | 25 | -455 | -1060 |
| 1996 | 1400 | 510 | 32 | -444 | -1000 |
| 1997 | 1440 | 534 | 48 | -435 | -1120 |
| 1998 | 1000 | 526 | 40 | -440 | -1030 |
| 1999 | 1120 | 537 | 55 | -423 | -1080 |
| 2000 | 1260 | 544 | 66 | -405 | -1040 |
| 2001 | 1371 | 652 | 182 | -282 | -964 |
| 2002 | 1309 | 633 | 157 | -309 | -972 |
| 2003 | 1226 | 632 | 159 | -305 | -1043 |
| 2004 | 1222 | 562 | 97 | -362 | -1112 |
| 2005 | 1137 | 537 | 71 | -388 | -1100 |
| 2006 | 1471 | 548 | 79 | -381 | -1108 |
| 2007 | 1118 | 522 | 49 | -417 | -1058 |
| 2008 | 1225 | 563 | 98 | -362 | -1041 |

基隆潮位站潮位分析

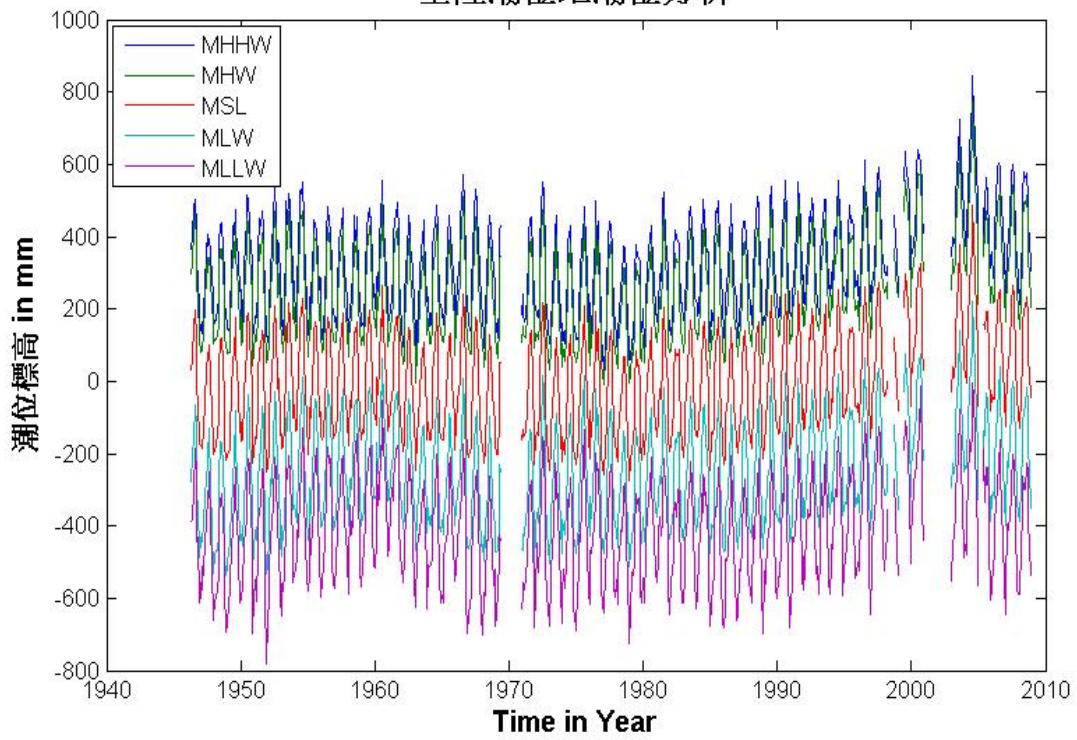


圖 3-28 基隆潮位站逐月分析成果圖

高雄潮位站潮位分析

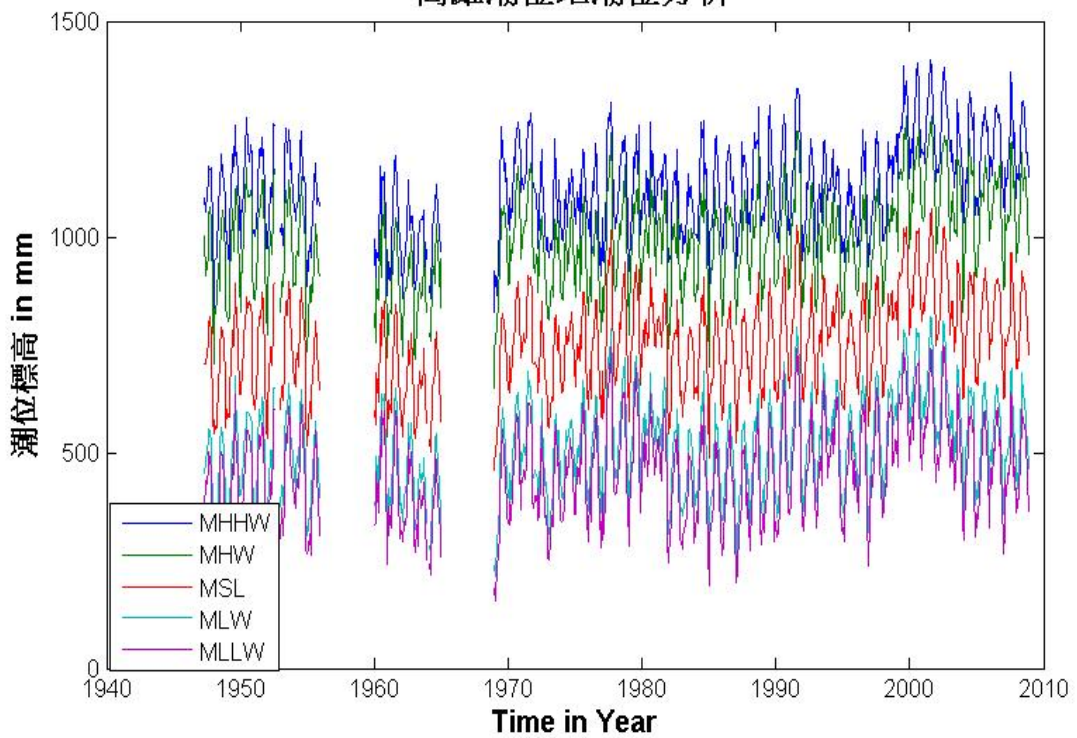


圖 3-29 高雄潮位站逐月分析成果圖

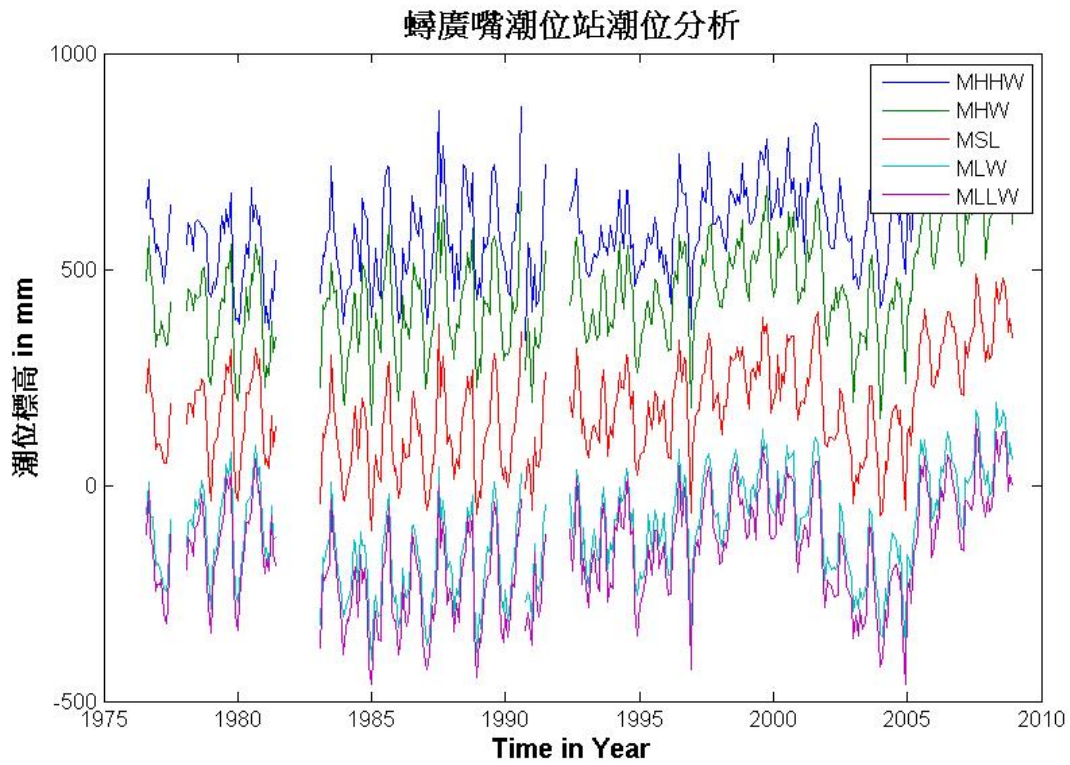


圖 3-30 蟬廣嘴潮位站逐月分析成果圖

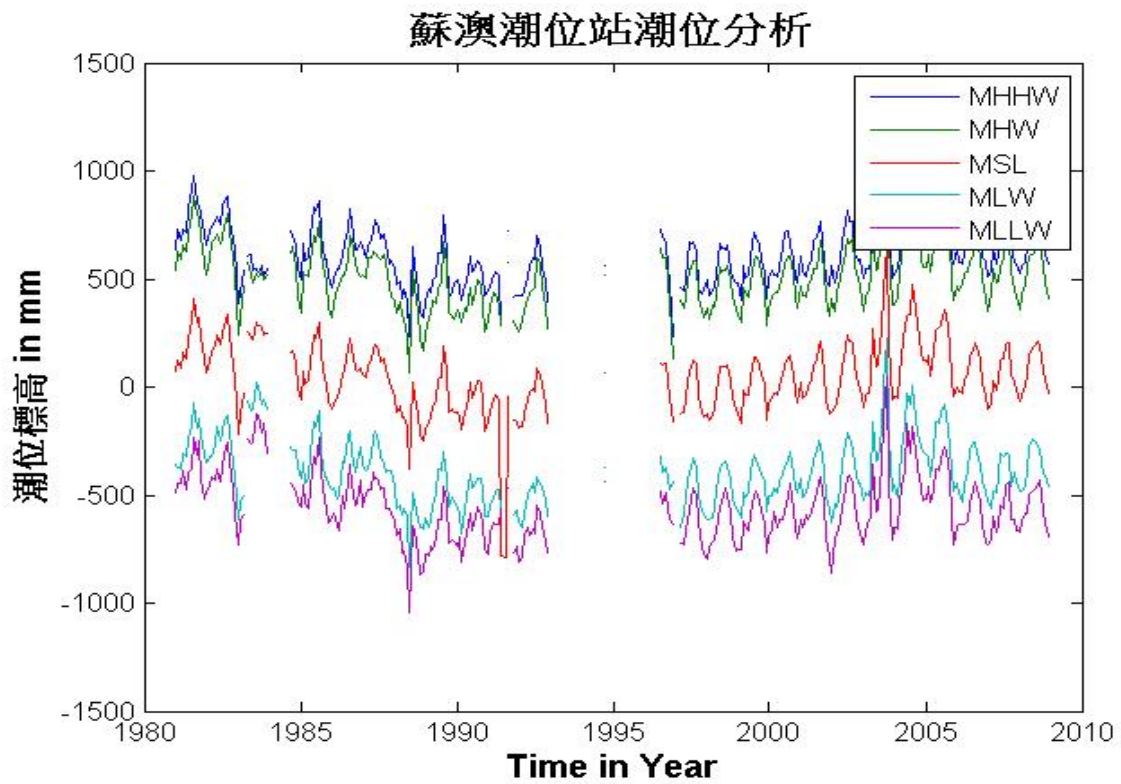


圖 3-31 蘇澳潮位站逐月分析成果圖

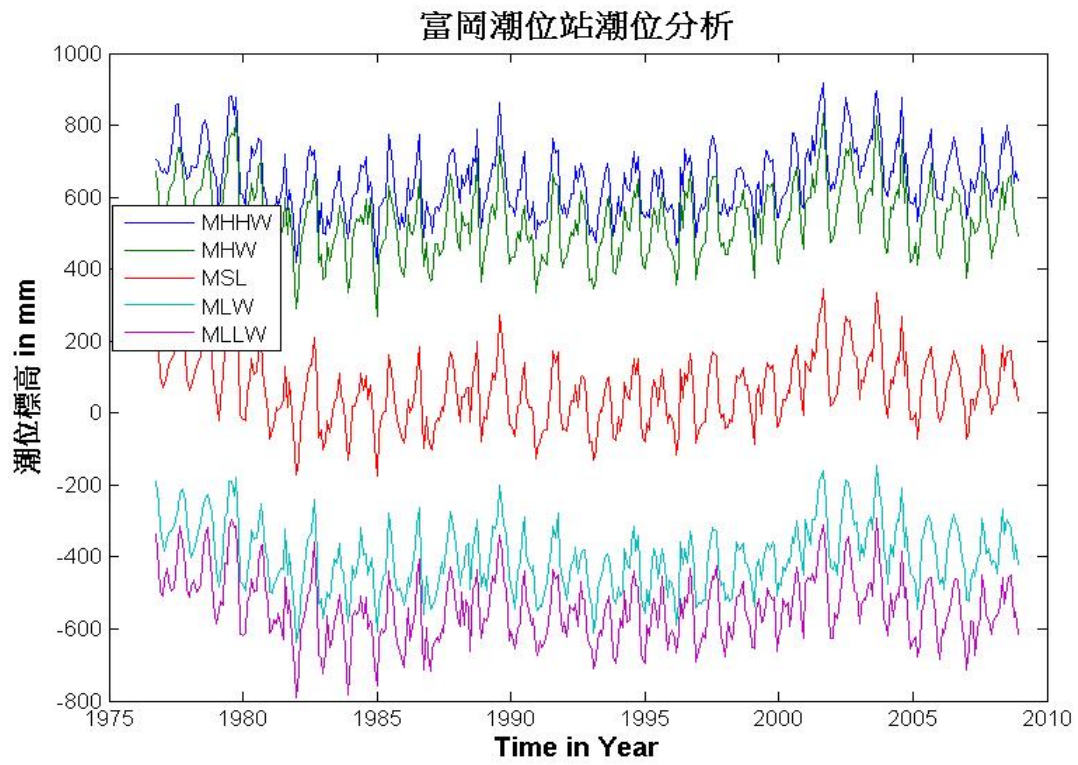


圖 3-32 富岡潮位站逐月分析成果圖

第四章 區域平均海水面計算

§4-1 平均海水面定義與估計方式

平均海水面的計算看似簡單，但其前置工作則要不偏不倚，首先要作合理的資料篩選，中央氣象局經多年的經驗，如本章§3-2 節所述，用程式與人工多次交互篩選，資料相當的乾淨，然而對於缺漏的資料，除了計算長期平均海水面的目的以外，似乎沒有補遺的必要性。因此本計畫中仍需儘量做合理的補遺，並且對基準變動的資料則要修正成一致，才能得到合理的平均海水面。

對於因資料不正常而被踢除的點，通常只是 1~2 小時內的缺失資料，利用一天或 2~3 天的資料長度使用 Cubic Spline 方法即可輕易補齊，而對於因儀器固障或記錄傳遞漏失的資料，可能連續幾天或斷斷續續一星期，則如本章所述利用一個月的資料以多變數迴歸法，則可適當的補遺。這兩種補遺的方法其精度大約在 10~20 公分左右，若不補齊在月平均值的影響應可大到數十公分，而在補遺後應可降到 1~2 公分左右。然而對於超過二星期的缺漏資料仍不宜強行補遺，以免造成假像的訊號。

至於潮位基準的變動，通常不易在原始資料或日平均資料中查覺，調和分析的方法則在本計畫中，除了檢查潮位站環境的一致性以外，就是在其殘差中可較容易查覺 10 公分以上的潮位基準變動，並利用此法順利的校正了富岡站 1978 年底的基準變動，才得以順利的計算平均海水面。

§4-1-1 平均海水面定義

平均海水面一直被認為是應該和大地水準面 (Geoid) 一致的，而事實上，它們仍有些差異，Wyrski (1974) 曾經利用百年以上船隻航海時所記錄的水壓和鹽度來計算全球海水面的 Steric height，發現全球海水面的長期平均並不是一個平面，而有數十公分的差異，其最高的地方就在臺灣東約 500 公里處，這種長期平均海面地形的高低起伏差異主要來自高低緯度的溫差以及洋流的影響，臺灣附近海域的隆起，主要是受黑潮通過的影響，由於科氏力 (Coriolis force) 的作用，使海水面形成一個坡度，幸而黑潮流向平行於臺灣東海岸，其海水坡度垂直於海岸線，故而其影響對東海岸各潮位站平均海水面所造成的差異可能不大。近幾年來衛星測高儀所測得的海水面地形 (Sea Surface Topography) 亦得到相同的結果，在 TOPEX 長期觀測的結果，在北半球順時針旋轉的洋流總是繞著海面地形高地 (Sea Surface Topographic Hills)，臺灣東北方的海面還是最高的 (圖 4-1; <http://sealevel.jpl.nasa.gov/gallery/science.htm> 及 http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_surface_topography)。

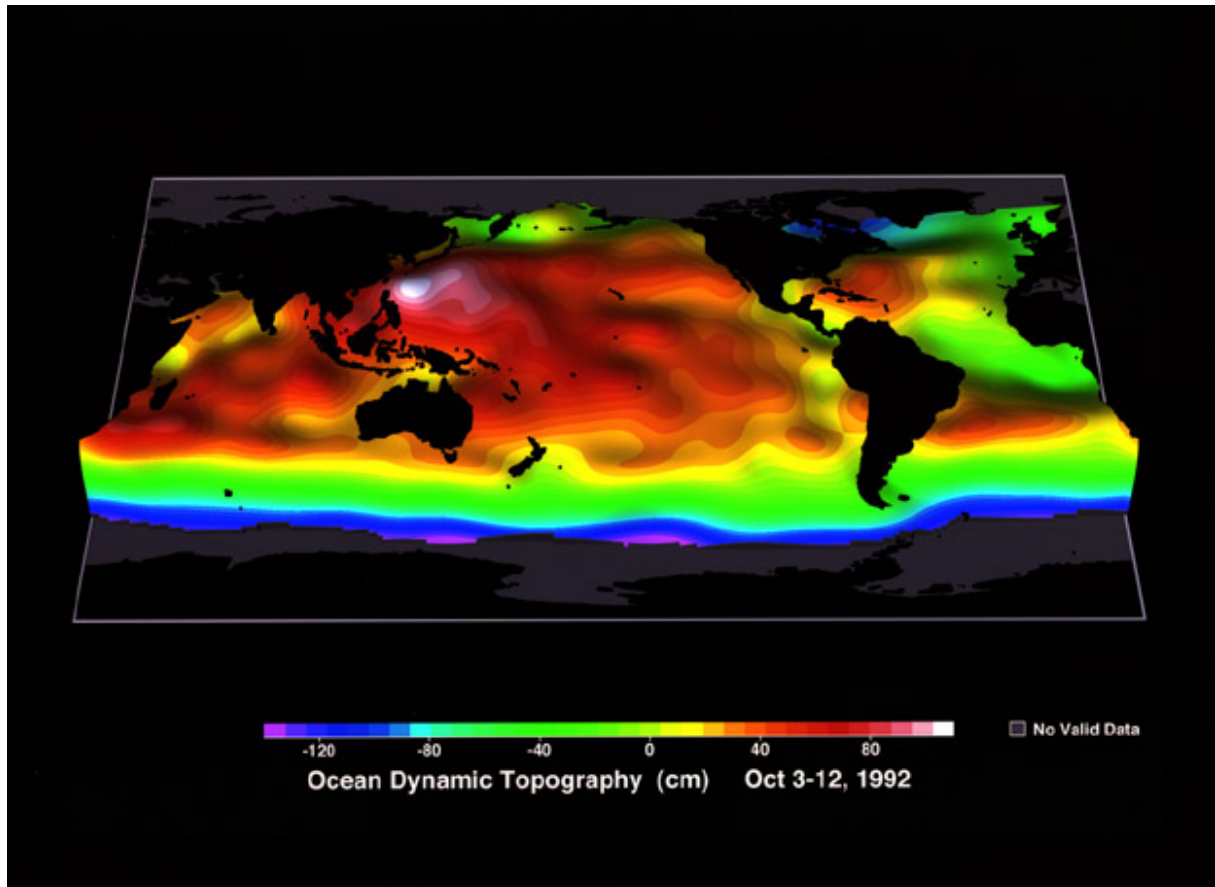


圖 4-1 全球平均海水面

海水面的變化，當然遠複雜於上面所說的平均海水面，它受潮汐、風、氣溫、氣壓、地形等的影響，每天都會有數公尺到數十公尺的變化，因此，平均海水面的求取，並非如其字面之義，就取其算數平均值即可，而是要將各種外來的影響力都考慮進去，並考慮潮位站基準點所在的地殼垂直變動。

參考前述國外相關研究，因為許多複雜的因素，使得潮位資料之分析更為重要，也使得平均海水面的定義與計算更要細加推敲，是否能算出一個長期穩定的平均海水面？也是否能分析出各種影響平均海水面變動的因素？當然，有良好維護的測站，以獲得穩定、不中斷、不受其他因素干擾的潮位資料是第一步，濾除不良紀錄的資料則是第二步，合理穩定的數學模式來計算平均海水面則是最重要的手段。在早期，由於資料的記錄型態，大多由連續紙記錄讀取每小時一次的資料，再計算成每天的平均值，然後進而成每年或 18.6 或 19.0 年的平均值；取 18.6 或 19.0 年的意見不一，或認為一整年周期比較重要，不該取個 0.6 年，會影響到其平均值。另一些人則認為 18.6 年週期才是完整的周期，不該隨意更改。所以在本計畫中，將依照各種方法做測試。

§4-1-2 平均海水面的估計方式

平均海水面的估計的唯一方法就是算術平均，傳統只是依原資料平均，近年來則大家想用調和分析或其他方法來估計理論潮汐與其它已知的影響量，如地殼變動與氣象因素影響，再加以除去，然後再做平均。接下來就是要分析如何取平均海面，基本上，海水面的變動，除了天文潮汐以外，會受氣象、洋流、環境與地殼變動等的影響，因此為不同目的可能採用不同的方法來估計。基本上可以有下列方式：

1. 採用每日最高潮位、最低潮位的平均值：這通常是為了法律或工程的目的，使用最低潮位者，是希望船隻不會碰到水底的岩石，或國家有最大的領土。使用最高潮位者，是希望水上的載具不會碰到上空的物體或橋樑，或是國內省界、郡界的領域的邊界等。
2. 採用每日最高潮位與最低潮位的平均值：這是最早的方法，為於 19 世紀的一些記錄，通常只記最高與最低潮的時間，或是法律上明文記載的方法，現已不符合精度要求，國內也沒有這種紀錄，所以不加以討論。
3. 採用月平均值：這是國際平均海面組織利用全世界各地潮位月平均值計算平均海面的方法，由於他們是著眼在各板塊或較大區域的垂直變形，或海面變動，行之已有近百年，所用資料也有長達 185 年者，因此是一個龐大的資料庫，若要用長期資料者，都以月平均計算，以維持資料品質的一致性。
4. 採用日平均值：在電腦的分析技術發達以後，這應該是最常用的方法，並不是考慮電腦的計算容量無法處理逐時，甚至逐分的潮位紀錄，而是考慮天文潮汐的分量中，全日潮與半日潮的能量最大，環境的影響因素中，日夜的變化，不管是溫度或氣壓、海邊風向，都有顯著的周期，取用日平均值可顯著的消去這些效應，如圖 4-2 所示，日平均與月平均的變化弧度只約為逐時或每 6 分鐘資料的 1/3。
5. 採用時平均值：通常這是在短期資料的分析，或是在分析環境因素對海水面的影響量，這需要配合各種環境因子的記錄時間，如氣溫、氣壓、降雨量等。

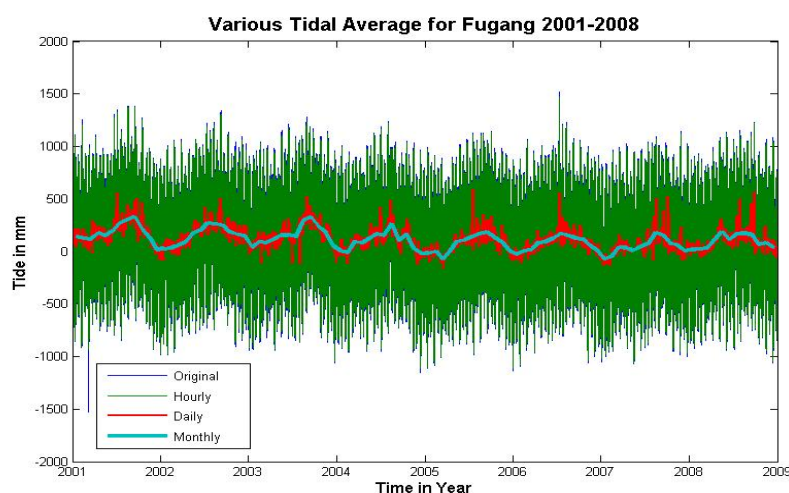


圖 4-2 各種平均值相對變化關係

不管是用何種方計算平均海水面，在臺灣地區都要考慮地殼升降的因素，這也是近數十年來，分析長期海水面資料都要詳加討論與考慮的因素。圖 4-3~圖 4-6 為富岡潮位站資料在利用 Cubic Spline 以及調和分析補足缺失的資料後，所計算的各種平均值，以及它們所得到的長期線性迴歸係數（代表負的地殼垂直變動率）與截值（Intercept，相當於 2001 年 1 月 1 日 0 時 0 分的海水面高度）。本站資料共有 701,280 記錄時段，原紀錄短缺 18,136 筆資料，Cubic Spline 方法補足了 9,189 筆，其餘 9,947 筆以理論天文潮汐值補齊。

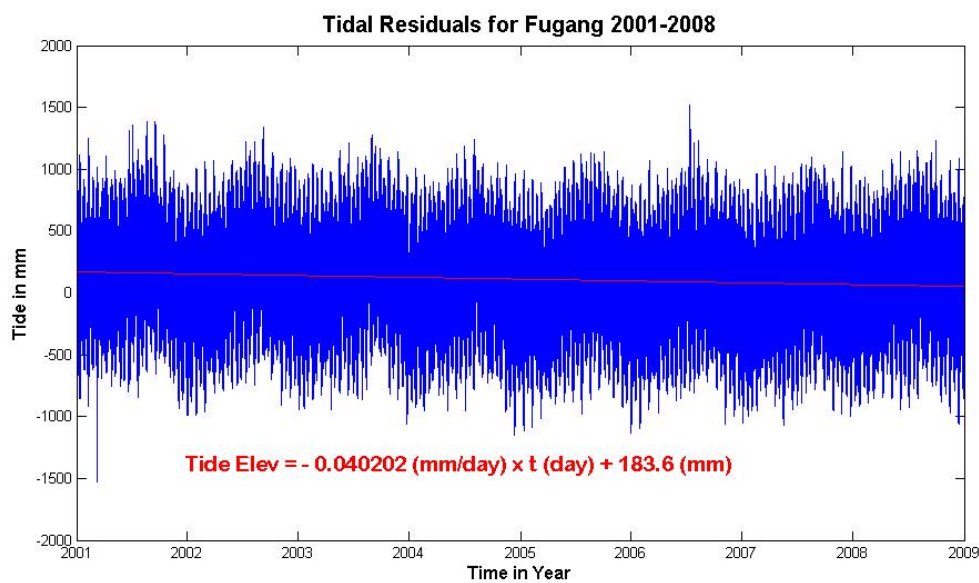


圖 4-3 富岡潮位站原始資料趨勢分析成果圖

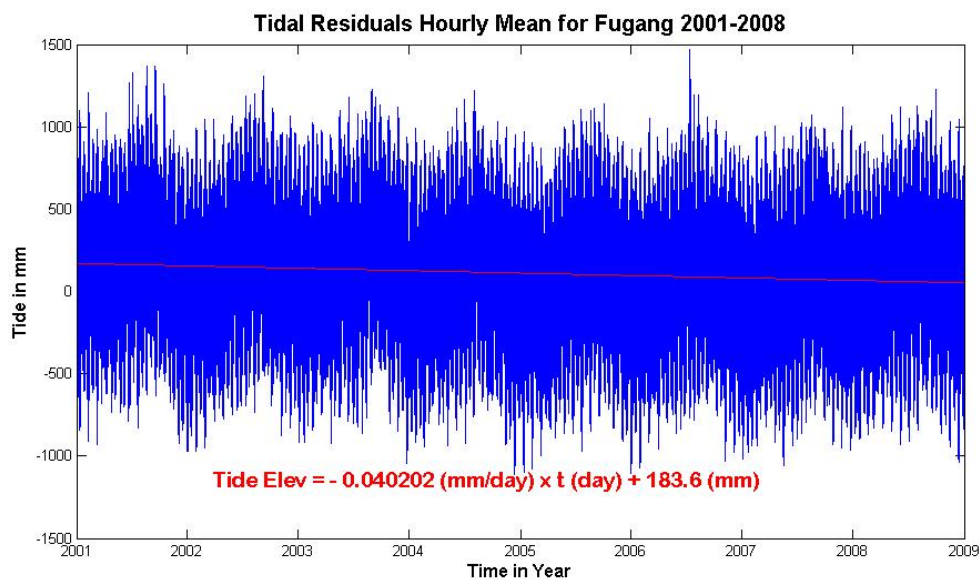


圖 4-4 富岡潮位站逐時平均資料趨勢分析成果圖

由圖 4-3 與 圖 4-4 中可看出原始資料與逐時平均無多大的差異，海水面的線性下降率都是 0.040202mm/day (即為 14.7 mm/yr)，在 2001 年初的海水面高度都是 183.6mm。而圖 4-5 與圖 4-6 則較接近，海水面的線性下降率略高，為 0.04021 與 0.040281mm/day (仍為 14.7mm/yr)，在 2001 年初的海水面高度略為不同，約 184.8mm 與 183.9mm，相差有限。因此，良好的資料篩選與適當而無偏差的資料補遺，可使不同方法的海水面估計誤差降到最低。

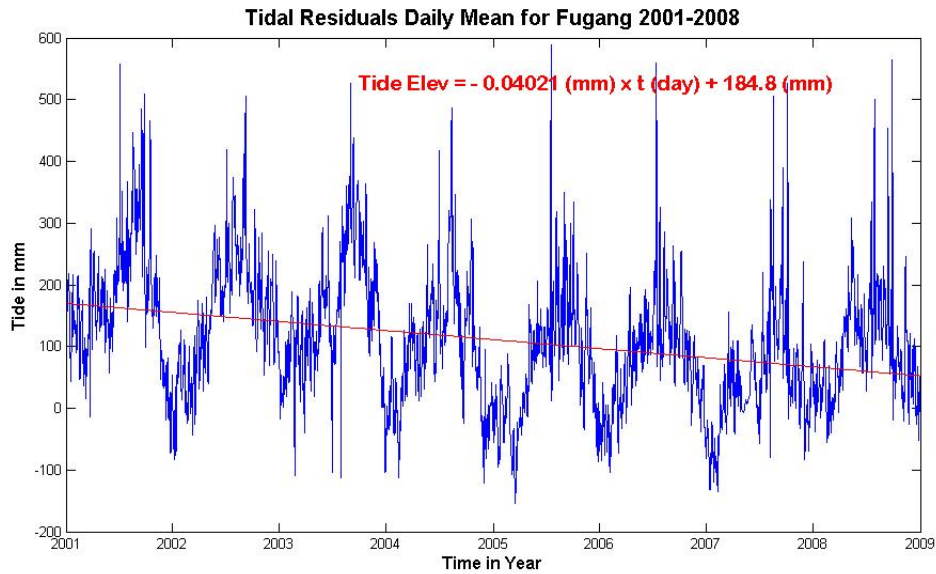


圖 4-5 富岡潮位站逐日平均資料趨勢分析成果圖

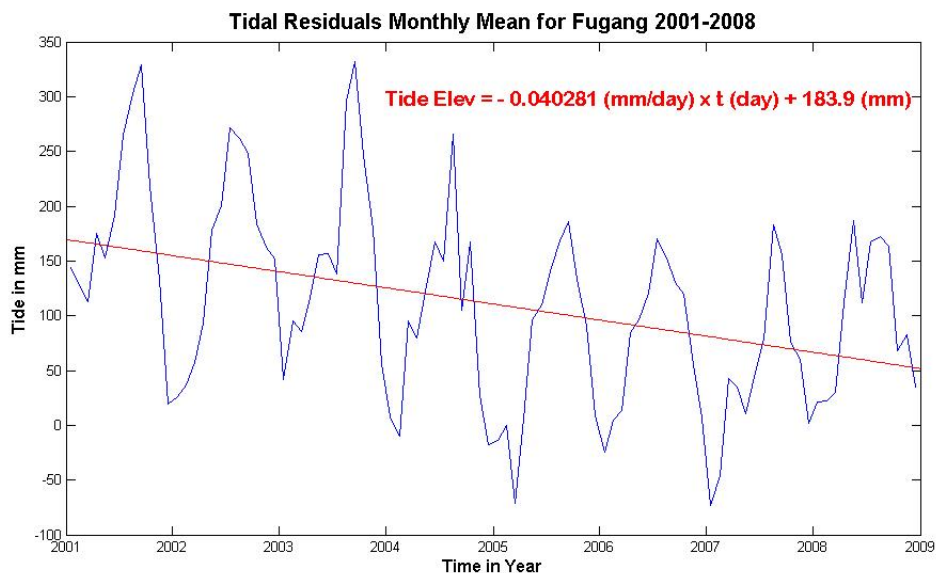


圖 4-6 富岡潮位站逐月平均資料趨勢分析成果圖

科學家分析海水面必須用較長的時間序列，其中每一筆資料都要是經仔細量測的海水面高度。在任何一個時刻的海水面應該被認為是觀測水位=平均海水面+潮汐+氣象影響量因素，在上式中的任何一項因素都是受不同的物理程序所控制，每一物理程序所產生的變動量都與另一物理程序無關連。這些因素中的任何一項也有許多不同的定義方法，其中最廣被接受的定義是潮汐（Tide）是海水位周期性的變化，這是由多種頻率的訊號所組合，每一頻率都與一特定的地球物理力量來源有關，其中最主要的二項是來自地球-月亮與地球-太陽間的吸引力有關，這就是所謂的重力潮。另外有較微弱的周期性訊號，主要是來自周期性變化的大氣壓力與向陸及離陸周而復始的風向變化所引起的。

大氣殘餘影響是指海水面變化在經分析後除去周期性的潮汐，所殘餘的變化這可能就像氣候變化一般，不太呈現規則性，另外有時有較大的殘餘變化，稱之為暴潮是較大而非潮汐因素的特殊事件。

平均海水面是海水高度的平均，一般是以超過一年期的逐時記錄的平均值，若對大地測量目的的平均值，則是數年期的平均值。其主要重點如下：

1. 潮汐分析必需使用已知的潮汐頻率來計算，否則不算完整。
2. 這分析必需從一年 8760 的逐時記錄到可掌握的參數來完整的分析所有的分量。
3. 這樣殘餘的潮汐記錄就可呈現其餘的海水面高度變化的分量（如暴潮、海嘯等）。
4. 每個機構都發展他們自己認為最佳的潮汐分析方法，其中除了（Munk&Cartwright, 1996）的反應法（Response Methodes）外，其餘都必須分析調和函數的各個分量。
5. 主要分析的方法有：
 - (1) Admiralty femi-Gsaphic Method 海軍上將半圖形法 Doodsom（1928），這是可用手算的。
 - (2) Murray1963，Foreman1977 都是用計算機來同時解算多個方程式，其中多數都已為使用者友善的介面程式（www.polacuk/psmsl/training/analysis.html）。

因此，對於平均海水面紀錄的描述，應包含以下幾點：

- (1) 單位。
- (2) 潮位量測所根據的基準的描述。
- (3) 潮位基準與主要的 TGBM 的關係。
- (4) 未完成或具內差資料的指標說明。
- (5) 潮位基準更換、水準點更換或任何主要程序上的更動等之描述。
- (6) 所有高程的紀錄最好都能到最接近的 mm，而潮位基準最好是在潮位儀的零點。

因此，利用潮位站資料計算平均海水面時，所有未完成的潮位觀測或內插點資料最好都有指標，使得使用者能瞭解最後的平均海水面資料的精度。其原則如下：

- (1) 資料中的跳脫點 (Gaps) 必須加以內插補齊，而且最好是在計算月平均及年平均之前補齊。
- (2) 內插的計算最好是在資料處理的最開始就補齊。
- (3) 假如無法內插補齊資料，月平均仍需由未補齊中的資料去計算，但若缺值超過 15 天，則不必計算月平均 (當作缺失點)。
- (4) 當月平均計算完成後，總計的月資料缺失數必須記錄在平均數後的括號之內，若缺失資料完全可以內插，則以 XX 表示之。
- (5) 年平均值之後則無須跟隨括號，這是假設所有的用來計算月平均的資料全部用來計算年平均，資料的使用者自己根據資料來判斷年平均值的好壞。
- (6) 如果是用月平均值來計算年平均，則月平均數須給予加權，其加權數即為該月有資料的天數。

因此在本計畫中在經仔細的資料篩選過後，再經 Cubic Spline 的短缺漏補遺，再經多變數迴歸法的中長 (0~15 天) 的資料缺漏補遺，然後再利用調和分析來檢查長期資料的一致性，以及潮位站基準的異動，若有基準異動則應加以修正，再計算平均海水面。

最佳的計算平均海水面的方法，是應該利用調和分析估計所有的理論潮汐，然後在其殘差中分析可能的環境影響及暴潮等因素，然而環境影響中有許多因素，如氣溫、氣壓變化都有一天、一季與一年的週期，使得固體潮、海水潮負載中的相同週期無法與這些環境影響因素分離，但現行的程式中尚無法同時計算這兩者。

若用 1997 年內政部計算平均海水面的多變數迴歸法，雖然可同時解算天文潮與環境因素的影響，然而其對天文潮的估計可能不夠精確，所以現在仍然無法依此步驟來計算沒有天文潮，沒有環境影響的平均海水面，因此只能假設這些因素的長期平均值均為零，以最簡單的算術平均值來計算平均海水面。

§4-2 區域平均海水面的計算

§4-2-1 平均海水面的計算流程

根據前面的敘述，平均海面不論採取何種理論，最終計算的原理仍只是算術平均而已，因此想要估計較正確的平均海面，最重要的是如何消除潮位觀測資料中的誤差量，依據目前常用的方式，由原始潮位觀測資料計算平均海面之流程如圖 4-7，內容簡述如后。

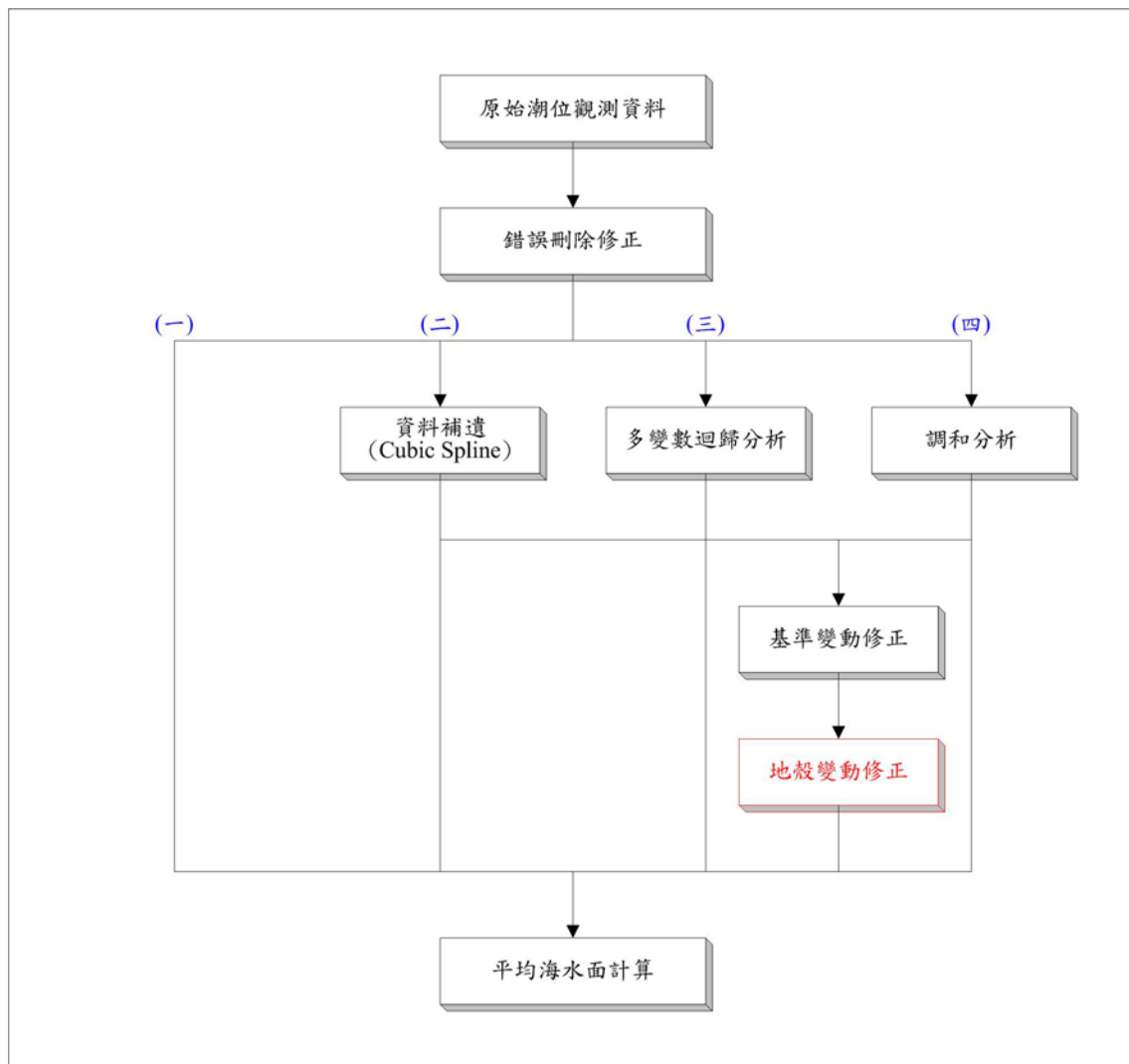


圖 4-7 各式計算平均海面之流程示意圖

- (1) 圖 4-7 中的第 (一) 種方式最為簡單，再將原始觀測資料去除錯誤後（各方法均需剔除錯誤，故後續不再贅述），不進行任何修正後直接求取平均海面，也因此估計之成果誤差自然會最大。
- (2) 圖 4-7 中的第 (二) 種方式則將觀測資料中缺失部分採取補遺的方式補足後，方估計其平均海面，避免若缺失的資料集中於高潮或低潮期時，所估計的平均海面有所偏差。此一方法為內政部 2003 年所採用的方式（內政部，2003）。

- (3) 圖 4-7 中的第 (三) 種方式則以多變數迴歸法的方式去除潮汐資料中的天文潮汐與氣象的影響量，方估計其平均海水面，此一方法最大的缺失在於其對天文潮汐的估計準確性不高，以致影響最終的成果；而內政部 1998 年計算基隆平均海水面時即採用此一方式。
- (4) 圖 4-7 中的第 (四) 種方式則以調和分析的方式去除潮汐資料中的天文潮汐，以估計其平均海水面，但本方法目前仍處研究階段，而內政部土地測量局 2005 年雖採用此一方式，但該計畫中各潮位站潮汐資料時間段較短，以本計畫過程中，亦曾採用本方法進行測試，但仍無法獲取良好的成果。
- (5) 前述方法中，在後三種方式中，尚可加入對潮位站基準變動或地殼變動的修正，其中地殼變動的修正目前仍屬科學研究的性質，且必需加入 GPS、絕對重力等觀測值，故無完整模式可供參考，因此目前暫不考慮。

而在平均海水面以算術平均值估計，在計算算術平均值時，若中間有缺漏的資料，會造成算數平均值的偏差，當缺漏資料位於一個周期的不同位置，所造成的算術平均值偏差也會不一樣，所以在計算平均海水面時，會產生如下幾種不同的思考方式：

- (1) 是否採用不同的補遺方法補齊所短缺的潮位資料。
- (2) 是否利用理論潮汐的估計法，除去所有的週期潮汐（尤其是半日潮與全日潮），避免因資料缺漏造成算術平均值較大的偏差值。
- (3) 是否利用日平均或月平均的方法，以判斷不正常的潮汐資料，以減少算術平均值偏差。
- (4) 是否利用多變數迴歸法來估計主要頻率的週期潮汐，及氣候的影響因素（如氣壓與氣溫等）。

在本計畫中，採取的方式主要參照圖 4-7 中的第 (二) 種方法，並增加多變數迴歸法進行較長時間段的資料補遺，及利用調和分析進行基準變動修正，最後進行平均海水面的計算。

§4-2-2 平均海水面之計算成果

在這次蒐集到的資料中，有 6 分鐘一筆的紀錄，也有一小時一筆的紀錄，前面分析所用的資料都是採用 6 分鐘一筆的紀錄，主要是因為其所用的儀器較新，設站方法與維護都較符合高精度的要求，若著眼未來長期的平均海水面監測，則應採用此記錄間距的資料，依前面補遺及分析的方法，才能得到最高精度的結果。但若為過去研究之目的，或認為較長時期的海水面的資料比高精度更重要，則要考慮不同採樣率資料的整合性。

由於利用調合分析來做長期資料補遺的工作，因資料在調和函數的長期頻率方面無法有一致性的結果，因此僅做 Cubic Spline 與多變數迴歸兩種補遺法來補齊資料缺失的部分，然後就直接以算術平均法來計算平均海水面。以基隆站為例，月平均的結果如圖 4-8 所示，月平均在 1990 年開始快速上升，到 2004 年達到最高峰，爾後略為下降。

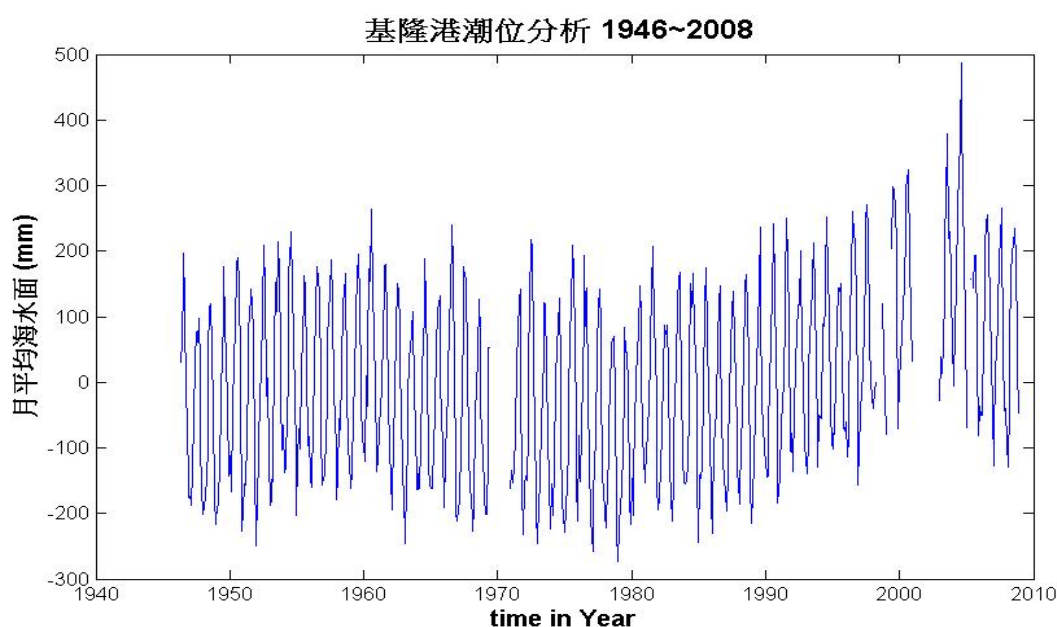


圖 4-8 基隆潮位站月平均海水面

接著由月平均計算年平均，所得的結果如圖 4-9 所示，其趨勢與月平均相似，而振幅的變動較小，最大值為 224.3mm (2004 年)，最小值為-161.9mm (1970 年)。在同一圖中亦標示了 19 年的平均海水面，振幅的變動更小，最大值為 74.3mm，最小值為-54.9mm。

至於長期的平均海水面計算，目前主要採 18.6 年和 19 年周期，兩種計算平均的方法各有其立場，目的均是取每一頻率的周期為整數周期，如此方可預期其理論平均值為零。然而月球繞地球產生的偏移頻率為 18.6 年，而其它的半日潮、全日潮、半月潮、一月潮、半年潮及一年潮的周期潮汐，都可在一整年的平均中達到完整周期的平均。

因此，目前產生兩套理論的說法，一是取 19 年的周期，則 18.6 年周期的平均不為零，但預期其偏差不大。二是取 18.6 年周期，使該頻率有完整的周期，而其餘的半月潮、一月潮、半年潮及一年潮在 18.6 年當中，因為已重覆多次，其平均值的偏差可能不大(因分母較大)。基於這二種理論，以基隆潮位站的資料進行比較，發現二者間的彼此差異並不大(參照圖 4-9 與圖 4-10)，所以最後選定第一種方法(取 19 年周期)，對所有的測站資料計算長期平均海水面的變化。

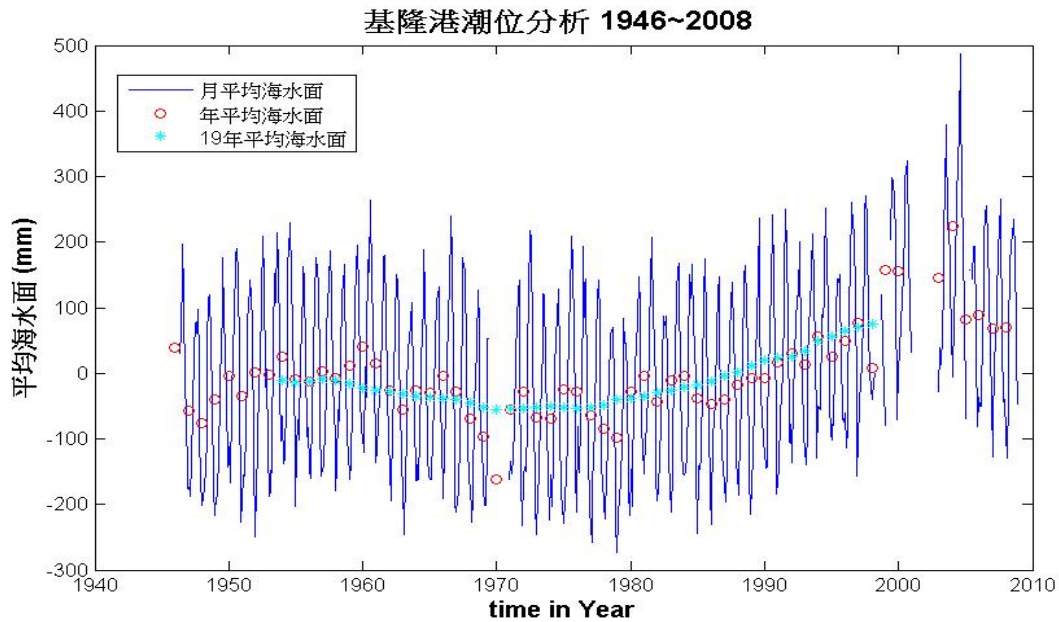


圖 4-9 利用 19 年周期計算基隆平均海面

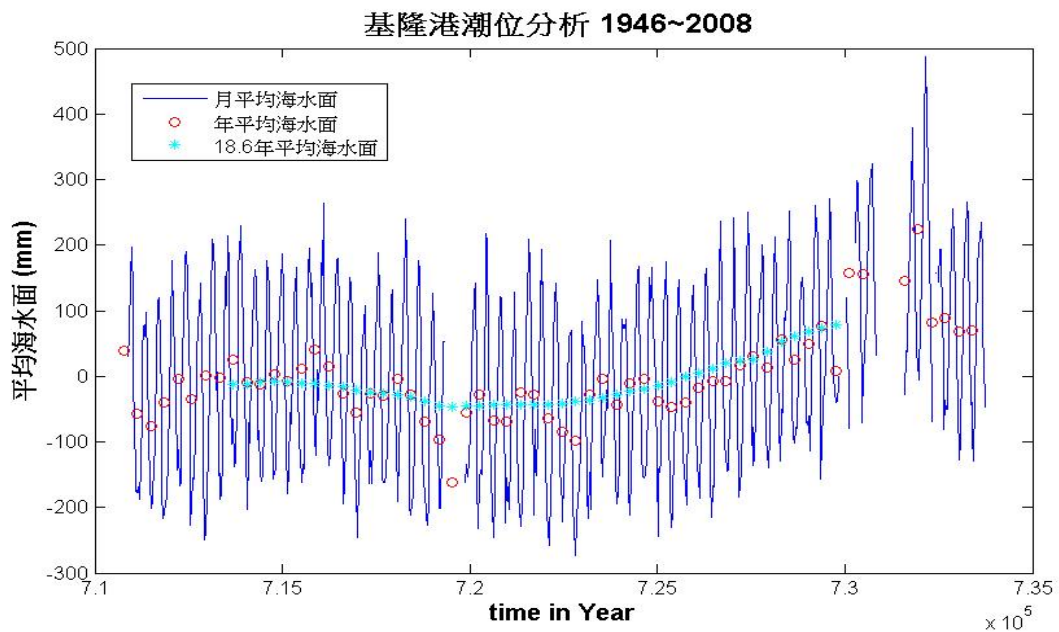


圖 4-10 利用 18.6 年周期計算基隆平均海面

圖 4-9 顯示了 19 年的平均海水面，振幅的變動最大值為 74.3mm，最小值為 -54.9mm。圖 4-10 則顯示 18.6 年的平均海水面，與 19 年的平均並無大同，最大值為 78.7mm，最小值為 -46.3mm。不管 18.6 年或 19 年的平均海水面，其趨勢都很相近，數值都在原來平均海水面之值（應為 0.0mm）之上下 ± 80 mm，至於如何能在消除這約 8cm 的變動，就要從氣象、地殼變動、補遺缺失資料或其他影響因素去做分析。同樣的年平均計算與 19 年平均計算亦可運用在每一潮位站上，其結果如圖 4-11~4-14 所示，依序為高雄、蟬廣嘴、蘇澳、富岡等 4 站。由各圖當中我們發現，即使潮位資料在 1~2 年間的資料有所缺失時，並不會影響到長期的海水面變化趨勢。

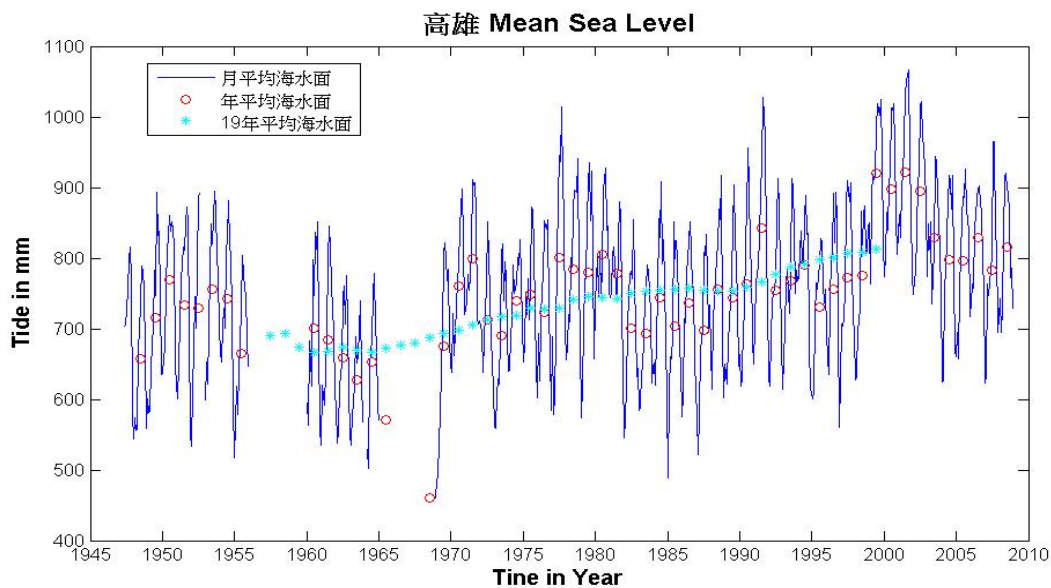


圖 4-11 利用 19 年周期計算高雄平均海水面

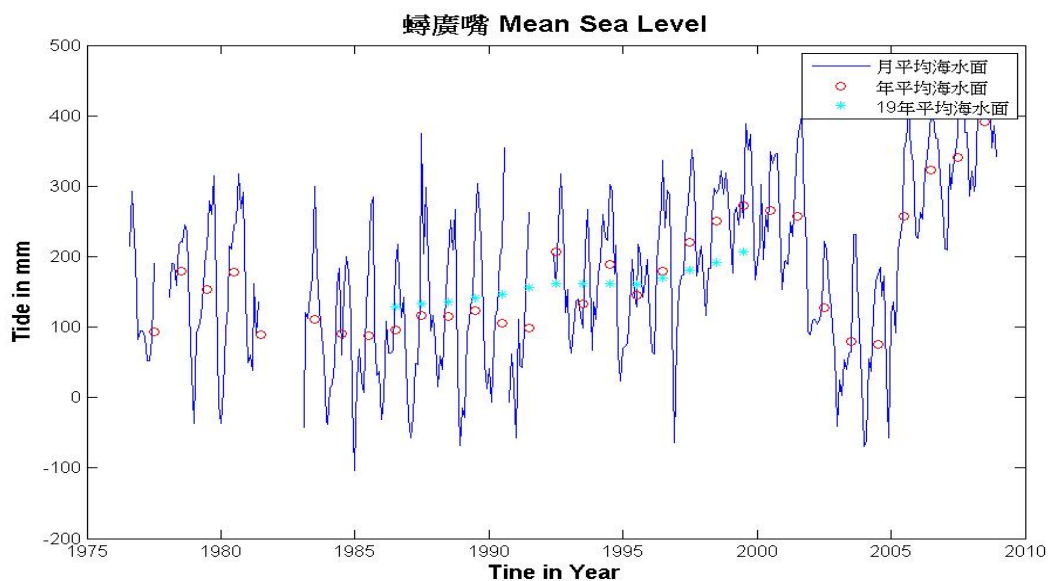


圖 4-12 利用 19 年周期計算蟬廣嘴平均海水面

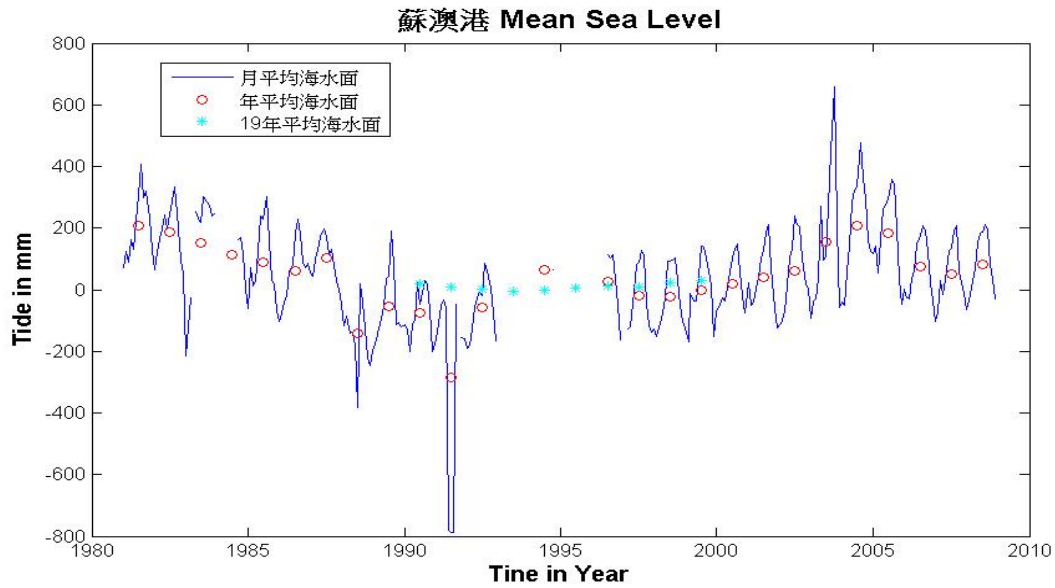


圖 4-13 利用 19 年周期計算蘇澳平均海面

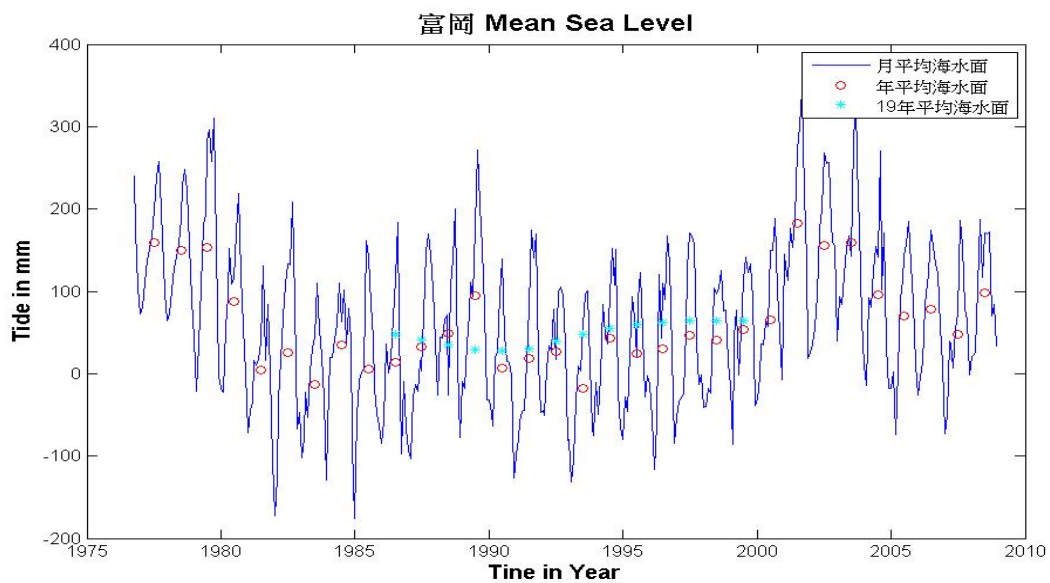


圖 4-14 利用 19 年周期計算富岡平均海面

綜合前述的計算成果，5 個測站 19 年的長期平均海面，有如下幾個特性：

- (1) 基隆、高雄兩個潮位站均是在 1964~1968 年間最低，時間段往前或往後推均是處於上升的狀態中，尤其是 1970~2000 年間，共持續上升約 10cm 左右。
- (2) 所有潮位站的年平均値在 1975~2000 年間，均呈現先下降後上升的趨勢，其轉折點約莫在 1985 年左右，顯示全臺的平均海面在 1985~2000 年間呈現快速上升的趨勢，其上升量平均約在 20cm 左右。
- (3) 以年平均來看，除了蟬廣嘴潮位站外，在 2000~2002 年以後，各站開始呈現快速下降的趨勢，其下降量平均約在 10cm 左右。

§4-2-3 平均海水面之計算成果分析以較

利用前述的計算結果，與現有資料來進行比較，目的除可顯示不同方式計算結果的差異，亦可印證本計畫採用的方式是否可靠，此外，有關基隆潮位站 1998 年的計算成果，由於其為現行 TWVD2001 高程基準的源頭，因此後續將以專節說明；而分析比較的資料來源主要有三：

- (1) 交通部中央氣象局的潮汐年報（交通部中央氣象局，2005，2006，2007，2008）。
- (2) 內政部 2003 年潮位資料計算成果（內政部，2003）。
- (3) 內政部國土測繪中心（前內政部土地測量局）2006 年基隆潮位站計算成果（內政部土地測量局，2006）。

3 種資料的來源中，第(1)及第(3)兩種，主要只能針對其年平均來進行比較，中央氣象局的潮汐年報中，涵蓋本計畫的 5 個潮位站，而內政部 2006 年成果，則僅能進行基隆潮位站的成果比較；至於內政部 2003 年的成果中，則具有 5 個潮位站較長期的平均海水面成果。

表 4-1 為本計畫 2005~2008 年各測站年平均計算結果，與交通部中央氣象局的潮汐年報的結果進行比較，則可發現除了 2005 年的基隆潮位站年平均的差異較大外（約 1.8cm），其餘各測站各年度的差異均甚小，而 2005 年差異較大之原因可能在於當年度資料較不完整所產生的，但亦在可控制的範圍之內。

表 4-1 本計畫近 2005~2008 年年平均與潮汐年報成果比較表（單位：cm）

| 年度 | 基隆 | 高雄 | 蟬廣嘴 | 蘇澳 | 富岡 |
|-----------------|------|------|------|------|------|
| 本計畫計算結果 | | | | | |
| 2005 | 7.2 | 79.8 | 25.6 | 18.4 | 7.1 |
| 2006 | 9.0 | 82.9 | 32.3 | 7.4 | 7.9 |
| 2007 | 7.6 | 78.4 | 34.1 | 5.1 | 4.9 |
| 2008 | 7.3 | 81.4 | 39.0 | 8.3 | 9.8 |
| 交通部中央氣象局的潮汐年報成果 | | | | | |
| 2005 | 9 | 80 | 26 | 19 | 7 |
| 2006 | 9 | 83 | 32 | 7 | 8 |
| 2007 | 7 | 78 | 34 | 5 | 5 |
| 2008 | 7 | 81 | 39 | 8 | 10 |
| 較差 | | | | | |
| 2005 | -1.8 | -0.2 | -0.4 | -0.6 | 0.1 |
| 2006 | 0.0 | -0.1 | 0.3 | 0.4 | -0.1 |
| 2007 | 0.6 | 0.4 | 0.1 | 0.1 | -0.1 |
| 2008 | 0.3 | 0.4 | 0.0 | 0.3 | -0.2 |

表 4-2 為本計畫基隆潮位站 1991~2000 年年平均成果，與內政部 2006 年之成果（內政部土地測量局，2006）進行比較，其結果較表 4-1 的比較結果稍差，但多數仍在可控制的範圍之內。

表 4-2 基隆潮位站 1991~2000 年年平均成果比較表

| 年度 | 本計畫計算結果(cm) | 內政部 2006 年成果(cm) | 較差(cm) |
|------|-------------|------------------|--------|
| 1991 | 1.7 | 2.67 | -1.0 |
| 1992 | 3.2 | 4.12 | -0.9 |
| 1993 | 1.5 | 2.17 | -0.7 |
| 1994 | 5.8 | 6.78 | -1.0 |
| 1995 | 2.9 | 6.42 | -3.5 |
| 1996 | 4.5 | 8.10 | -3.6 |
| 1997 | 7.8 | 9.27 | -1.5 |
| 1999 | 18.7 | 23.66 | -5.0 |
| 2000 | 14.5 | 16.19 | -1.7 |

表 4-3 為本計畫各測站計算成果與內政部 2003 年成果進行比較，雖然內政部 2003 年之成果有較長期的觀測資料，但仍未達到 19 年之周期，因此將本計畫之結果配合當年度計算的周期來進行比較。

表 4-3 基隆潮位站 1991~2000 年年平均成果比較表

| 潮位站名 | 時期 | 本計畫計算結果(cm) | 內政部 2003 年成果(cm) | 較差(cm) |
|------|-----------|-------------|------------------|--------|
| 基隆 | 1995~2000 | 9.2 | 15.4 | -6.2 |
| 高雄 | 1993~2002 | 82.3 | 90.0 | -7.7 |
| 蟬廣嘴 | 1993~2002 | 20.5 | 12.7 | 7.8 |
| 蘇澳 | 1993~2002 | 1.9 | 7.0 | -5.1 |
| 富岡 | 1993~2002 | 6.3 | 15.7 | -9.4 |

表 4-3 中所得的成果明顯有較大差異，其主要原因分析如下：

- (1) 資料補遺方式不同：內政部 2003 年的資料只經 Cubic Spline 補遺，故只能處理短時間的資料補遺，而本計畫中對較長的資料缺漏增加多變數迴歸法進行補遺。
- (2) 平均值計算方式不同：內政部 2003 年的平均值計算方式直接以逐時資料進行計算，未限定當年資料量之多寡，但本計畫採行與中央氣象局的標準相同，對於資料量若小於總數之 2/3 時，將不計其平均數。
- (3) 資料量多寡不同：表 4-3 中差異的比較介於-9.4cm ~ +7.8cm 之間，若參照圖 4-9 中 19 年長期變動約在±8.0cm 左右，以內政部 2003 年的潮位資料介於 6~10 年的平均值，具有此差異的變動應屬合理。

§4-3 基隆潮位站平均海水面與現行 TWVD2001 高程基準之比較

TWVD2001 系統係一正高系統，採用基隆潮位站 1957 年至 1991 年之潮汐資料化算而得平均海水面。當時為了瞭解平均海水面在長時期上的變化以及換站對此估計的影響，做了各種不同的組合，即 1950~1951，1957~1991，和 1992~1998 三個階段。其中 1950~1951 的結果非常差，平均海水面僅有 -23.887cm，其餘的均在 93~102cm 之間，由於時間之計算特地以 1990 年 1 月 1 日為參考（距當時最近的一個 18.6 年的中央），因為在這分析中已經將溫度、壓力的因素考慮進去，故所求得的平均海水面是指當時的標準狀況（1000mb 大氣壓；氣溫 20 度，沒降雨，沒風）下的海水面高度。

以此看來，1950~1951 的時間太短，測站也不穩定（所以馬上換站），而 1992~1998 的測站則海水面較高（可能），為 101.6cm，且有持續昇高的趨勢（0.917cm/yr），這可能與當時測站碼頭不穩定，有下陷趨勢，所以判斷 1957~1991 可能是較恰當的時段，其平均海水面高度為 97.323cm（以基隆港築港標高零點起算），比上次水準高程系統高了 5.3cm。由於最初估計基隆平均海水面所用的資料，並未加以過濾篩選，而且當時測站本身並不是很穩定，於計算 TWVD2001 系統時測站不管在儀器、記錄器、維護方面都有明顯改善，並將採用更仔細的分析，可與前次分析的結果互相比較。

基本上 TWVD2001 系統的平均海水面定義，為一長期變動的平均海水面的某一時刻的高度（1990 年 1 月 1 日），而本次計畫所求得的平均海水面則採取較為傳統的平均海水面定義，以 19 年周期的平均海水面進行計算（不考慮地殼變動與長期地層下陷），假定各個環境影響因素（如氣溫、氣壓、暴潮、洋流及其它影響），於 19 年的周期中其平均值趨近於零所得。

因此本計畫定義之平均海水面與 TWVD2001 系統定義之平均海水面基本上並不相同，兩者間其實很難直接比較，尤其 TWVD2001 所用的方法，已除去了長期的趨勢，如 1992~1998 年海水平有持續上昇（0.917cm/yr）的趨勢，與圖 4-9 中，1985~2000 年上昇約 12 公分的趨勢（平均 0.8cm/yr）非常接近。

我們簡單利用本計畫 1990 年前後各 9.5 年的平均海水面成果（+11.4mm）與 TWVD2001 高程基準（0.0mm）進行比較（TWVD2001 定義時刻前後各 9.5 年），基隆平均海水面差 11.4mm。這之間的差異可能來自：

- (1) 當時的分析中已經將溫度、壓力的因素考慮進去，故所求得的平均海水面是指當時的標準狀況下的海水面高度。
- (2) 這次的分析除了是考慮其間略微不同，也沒考慮溫度、壓力的因素，這些會造成些微的差異。

第五章 標準作業程序之研議

§5-1 標準作業程序擬定原則

根據本計畫的執行成果，最終將擬定包括資料儲存格式、潮位站設置及潮位資料計算與分析的作業程序草案，根據合約內容規定，主要包括如下 5 項內容，其擬定作業流程如圖 5-1，原則如後所述。

- (1) 潮位資料的標準儲存格式。
- (2) 音波式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序。
- (3) 壓力式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序。
- (4) 潮位站潮位資料處理之標準作業程序。
- (5) 區域平均海水面計算之標準作業程序。

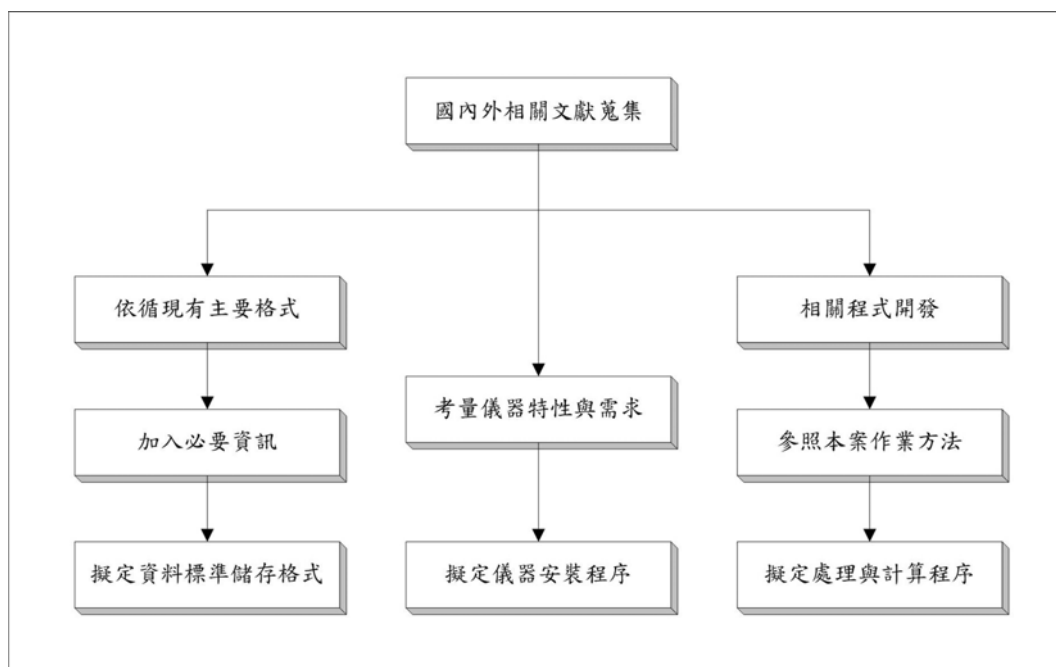


圖 5-1 資料格式與標準作業程序擬定流程圖

其中潮位資料的標準儲存格式，主要參照現行國內主要潮位站管理機關（含交通部中央氣象局及經濟部水利署）的格式，並根據使用單位之需求，訂定潮位資料每日、每月及每年之標準儲存格式。而潮位儀更換或重置之標準作業程序，除參考國內外設置作業內容，並針對不同儀器的特性，擬定其作業程序。

另外有關潮位資料處理與平均海水面計算等的作業程序，主要依照本計畫執行內容結果，配合本計畫開發之相關程式，編撰相關作業方式與步驟，供主辦單位後續使用與參考，

§5-2 潮位資料標準儲存格式

由於現今國內潮位站資料大多為交通部中央氣象局所管理，原始潮位資料亦主要依循其儲存方式（參照§3-3-1），因此本計畫擬定之每日、每月及每年之潮位資料標準儲存格式亦採用其架構方式，方便現有資料之流通。並考慮資料儲存安全與讀取方便以外，還要注重可取用軟體的多樣性，亦即是資料適用的普遍性，所以除了原軟體所用的 MatLab 格式外，另外訂定 ASCII 格式的標準，其原則大約如下：

- (1) 以 ASCII 文字數字檔為原則，以方便各種軟體可以讀取及修改。
- (2) 原始資料格式與交通部中央氣象局相同，以增加資料傳遞的普遍性。
- (3) 逐時資料與最新的 6 分鐘資料使用共同格式，當用逐時資料讀取程式來讀 6 分鐘資料檔時，也可以相容，反之亦然。
- (4) 逐日、逐月與逐年的資料格式亦採用類似格式，只是逐日及逐月格式中加列了各種高潮、低潮、較高高潮、較低低潮等的每日、每月平均值，以方便其他用途之程式讀取使用。

對於每日、每月及每年之潮位資料，如前面章節所述，每日資料主要以 X0 濾波器將 6 分鐘或逐時資料轉換為每日各項數值，每月及每年的資料則以本計畫開發之程式計算出各項成果，而三種格式說明分別如下：

1. 每日潮位資料儲存格式：

每日潮位資料儲存格式參照表 5-1 所示，與原始潮位觀測資料相同，分為檔頭與資料兩個部分，今分述如下：

- (1) 檔頭部分：紀錄測站資訊，包括測站名、位置、儀器型式、基準面、管理機關、單位以及紀錄時間等資訊，若有相關資訊缺失時，則以空白表示。
- (2) 資料部分以每 1 行紀錄 1 日的資訊，依序分別紀錄其檔名 (*st)、時間的年月日 (yyyymmdd)、日平均潮位 (DMSL)、日平均高潮位 (DMHW)、日平均低潮位 (DMLW)、每日第 1 次高潮及時間 (High1 : Time1)、每日第 2 次高潮及時間 (High2 : Time2)、每日第 1 次低潮及時間 (Low1 : Time1) 及每日第 2 次低潮及時間 (Low2 : Time2)；若任一項資料有缺失時，則以英文字「NaN」註記，其時間並記錄為「99 : 99」。

2. 每月潮位資料儲存格式：

每月潮位資料儲存格式參照表 5-2 所示，亦分為檔頭與資料兩個部分，檔頭資訊紀錄方式與每日潮位資料儲存格式相同；資料部分以每月為 1 行紀錄，依序分別紀錄其檔名 (*st)、時間的年月 (yyyymm)、月平均潮位 (MMSL)、月最高高潮位 (MHHW)、月最低低潮位 (MLLW)、月平均高潮位 (MMHW) 及月平均低潮位 (MMLW)，若資料有缺失時，同樣以英文字「NaN」註記。

表 5-1 每日潮位資料標準儲存格式

基隆潮位觀測資料
 位置：25°09'18"N 121°45'05"E：基隆港西33號碼頭
 儀器型式：
 基準面相對KP:+0.000cm
 資料來源：中央氣象局
 yyyyymmdd：西元年月日
 :00：0分潮高，:06：6分潮高，依此類推
 潮高單位：公尺。
 時間不連續，表示缺觀測資料。
 時間：民國35年1月—民國97年12月

| *st | yyyyymmdd | DMSL | DMHW | DMLW | High1 | Time1 | High2 | Time2 | Low1 | Time1 | Low2 | Time2 |
|------|-----------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|------|-------|
| 1212 | 19460501 | 276 | -479 | -29 | 221 | 8: 0 | 331 | 22: 0 | -479 | 14: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460502 | 341 | -579 | -3 | 341 | 12: 0 | 235 | 22: 0 | -579 | 3: 0 | -99 | 16: 0 |
| 1212 | 19460503 | 169 | -577 | -205 | 151 | 9: 0 | 187 | 22: 0 | -425 | 5: 0 | -729 | 16: 0 |
| 1212 | 19460504 | 411 | -729 | -14 | 411 | 14: 0 | 161 | 22: 0 | -729 | 5: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460505 | 421 | -729 | -56 | 421 | 15: 0 | NaN | 99:99 | -729 | 6: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460506 | 321 | -659 | -109 | 321 | 16: 0 | NaN | 99:99 | -659 | 8: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460507 | 221 | -579 | -54 | 21 | 2: 0 | 421 | 17: 0 | -579 | 9: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460508 | 346 | 81 | 103 | 171 | 2: 0 | 521 | 18: 0 | 81 | 0: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460509 | 131 | -224 | 36 | 131 | 4: 0 | NaN | 99:99 | -79 | 1: 0 | -369 | 11: 0 |
| 1212 | 19460510 | 241 | -159 | 75 | 131 | 6: 0 | 351 | 19: 0 | -159 | 13: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460511 | 236 | -104 | 74 | 131 | 5: 0 | 341 | 19: 0 | -29 | 1: 0 | -179 | 13: 0 |
| 1212 | 19460512 | 181 | -134 | 31 | 131 | 7: 0 | 231 | 21: 0 | -79 | 2: 0 | -189 | 13: 0 |
| 1212 | 19460513 | 326 | -189 | 119 | 251 | 8: 0 | 401 | 20: 0 | -189 | 2: 0 | 21 | 13: 0 |
| 1212 | 19460514 | 381 | -189 | 56 | 381 | 9: 0 | 221 | 21: 0 | -189 | 3: 0 | -149 | 15: 0 |
| 1212 | 19460515 | 401 | -269 | 37 | 401 | 10: 0 | 101 | 19: 0 | -269 | 3: 0 | -79 | 16: 0 |
| 1212 | 19460516 | 221 | -479 | -82 | 221 | 10: 0 | 41 | 20: 0 | -479 | 4: 0 | -109 | 16: 0 |
| 1212 | 19460517 | 251 | -469 | -11 | 251 | 11: 0 | NaN | 99:99 | -469 | 4: 0 | 71 | 17: 0 |
| 1212 | 19460518 | 431 | -459 | 26 | 431 | 14: 0 | NaN | 99:99 | -459 | 3: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460519 | 431 | -429 | 63 | 431 | 15: 0 | NaN | 99:99 | -429 | 5: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460520 | 346 | -487 | 8 | 346 | 15: 0 | NaN | 99:99 | -487 | 6: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460521 | 421 | -399 | 55 | 421 | 15: 0 | NaN | 99:99 | -399 | 7: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460522 | 511 | -279 | 170 | 511 | 16: 0 | NaN | 99:99 | -279 | 7: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460523 | 441 | -379 | 81 | 441 | 17: 0 | NaN | 99:99 | -379 | 7: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460524 | 441 | -369 | 41 | 441 | 18: 0 | NaN | 99:99 | -369 | 10: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460525 | 236 | -99 | 5 | 131 | 6: 0 | 341 | 19: 0 | 11 | 1: 0 | -209 | 12: 0 |
| 1212 | 19460526 | 231 | -259 | 34 | 131 | 8: 0 | 331 | 19: 0 | -259 | 12: 0 | NaN | 99:99 |
| 1212 | 19460527 | 248 | -181 | 50 | 190 | 8: 0 | 306 | 19: 0 | -181 | 2: 0 | -74 | 13: 0 |
| 1212 | 19460528 | 321 | -259 | 56 | 321 | 9: 0 | 321 | 19: 0 | -259 | 2: 0 | -129 | 13: 0 |
| 1212 | 19460529 | 331 | -359 | 152 | 331 | 21: 0 | NaN | 99:99 | -359 | 3: 0 | 121 | 15: 0 |
| 1212 | 19460530 | 511 | -479 | 137 | 511 | 11: 0 | 421 | 20: 0 | -479 | 3: 0 | 211 | 17: 0 |
| 1212 | 19460531 | 521 | -529 | 86 | 521 | 12: 0 | NaN | 99:99 | -529 | 3: 0 | NaN | 99:99 |

表 5-2 每月潮位資料標準儲存格式

基隆潮位站月平均統計值
 位置：25°09'18"N 121°45'05"E：基隆港西33號碼頭
 儀器型式：
 基準面相對KP:+0.000cm
 資料來源：中央氣象局
 yyyyymm：西元年月
 :00：0分潮高，:06：6分潮高，依此類推
 潮高單位：公尺。
 時間不連續，表示缺觀測資料。
 時間：民國35年5月—民國97年12月

| *st | yyyyymm | MMSL | MHHW | MLLW | MMHW | MMLW |
|-------|---------|--------|-------|--------|-------|--------|
| 1212t | 194605 | 30.9 | 521.0 | -729.0 | 296.1 | -277.9 |
| 1212t | 194606 | 62.7 | 631.0 | -679.0 | 324.4 | -203.7 |
| 1212t | 194607 | 155.6 | 811.0 | -699.0 | 431.9 | -155.6 |
| 1212t | 194608 | 196.9 | 751.0 | -379.0 | 461.3 | -63.1 |
| 1212t | 194609 | 123.3 | 621.0 | -469.0 | 379.7 | -119.5 |
| 1212t | 194610 | -31.1 | 521.0 | -699.0 | 262.3 | -314.5 |
| 1212t | 194611 | -46.1 | 521.0 | -799.0 | 230.9 | -339.1 |
| 1212t | 194612 | -175.3 | 421.0 | -929.0 | 118.5 | -487.0 |
| 1212t | 194701 | -177.7 | 276.4 | -879.0 | 78.2 | -434.9 |
| 1212t | 194702 | -168.9 | 331.0 | -999.0 | 85.8 | -425.1 |
| 1212t | 194703 | -187.1 | 451.0 | -779.0 | 81.9 | -445.2 |
| 1212t | 194704 | -135.2 | 431.0 | -829.0 | 139.8 | -390.7 |
| 1212t | 194705 | -53.1 | 471.0 | -669.0 | 209.5 | -309.6 |
| 1212t | 194706 | 35.4 | 521.0 | -879.0 | 305.5 | -270.5 |
| 1212t | 194707 | 76.8 | 561.0 | -629.0 | 342.4 | -220.9 |
| 1212t | 194708 | 62.0 | 551.0 | -649.0 | 301.7 | -204.7 |
| 1212t | 194709 | 98.2 | 601.0 | -529.0 | 342.8 | -128.0 |
| 1212t | 194710 | 21.1 | 621.0 | -579.0 | 297.4 | -290.7 |
| 1212t | 194711 | -92.5 | 481.0 | -779.0 | 202.0 | -403.1 |
| 1212t | 194712 | -161.6 | 451.0 | -999.0 | 171.9 | -532.6 |
| 1212t | 194801 | -201.1 | 591.0 | -929.0 | 105.9 | -532.5 |
| 1212t | 194802 | -189.5 | 391.0 | -929.0 | 114.9 | -476.9 |
| 1212t | 194803 | -172.8 | 411.0 | -829.0 | 117.1 | -466.1 |
| 1212t | 194804 | -144.1 | 371.0 | -829.0 | 129.1 | -465.8 |
| 1212t | 194805 | -98.3 | 381.0 | -809.0 | 160.9 | -421.9 |
| 1212t | 194806 | 43.5 | 531.0 | -779.0 | 313.3 | -262.0 |
| 1212t | 194807 | 114.9 | 691.0 | -829.0 | 367.2 | -166.9 |
| 1212t | 194808 | 120.2 | 571.0 | -679.0 | 367.1 | -170.1 |
| 1212t | 194809 | 53.5 | 521.0 | -729.0 | 309.6 | -233.6 |
| 1212t | 194810 | -43.8 | 471.0 | -829.0 | 227.8 | -346.5 |
| 1212t | 194811 | -174.8 | 381.0 | -929.0 | 112.3 | -485.4 |

3. 每年潮位資料儲存格式：

每年潮位資料儲存格式參照表 5-3 所示，亦分為檔頭與資料兩個部分，檔頭資訊紀錄方式與每日及每月潮位資料儲存格式相同；資料部分以每年為 1 行紀錄，依序分別紀錄其檔名 (*st)、時間的年 (yyyy)、年平均潮位 (YMSL)、年最高高潮位 (YHHW)、年最低低潮位 (YLLW)、年平均高潮位 (YMHW) 及年平均低潮位 (YMLW)，若資料有缺失時，同樣以英文字「NaN」註記。

表 5-3 每年潮位資料標準儲存格式

```

基隆潮位站年平均統計值
位置：25°09'18"N 121°45'05"E；基隆港西33號碼頭
儀器型式：
基準面相對KP:+0.000cm
資料來源：中央氣象局
yyyy：西元年
:00：0分潮高，:06：6分潮高，依此類推
潮高單位：公尺。
時間不連續，表示缺觀測資料。
時間：民國35年1月—民國97年12月
*****
*st      yyyy      YMSL      YHHW      YLLW      YMHW      YMLW
1515    1946         40         811        -929         313        -245
1515    1947        -56         621       -1019         213        -338
1515    1948        -75         691        -929         203        -380
1515    1949        -39         641        -929         235        -330
1515    1950         -3         751       -1179         261        -290
1515    1951        -34         741       -1159         237        -306
1515    1952         2         751       -1169         276        -262
1515    1953         -1         971        -937         266        -262
1515    1954         26         791       -869         283        -234
1515    1955         -7         671       -979         248        -252
1515    1956        -11         721       -929         235        -241
1515    1957         4         731       -909         248        -220
1515    1958         -8         721       -1019         232        -224
1515    1959         12         771       -929         258        -207
1515    1960         42         921       -929         281        -166
1515    1961         15         821       -889         250        -188
1515    1962        -26         821       -879         211        -243
1515    1963        -55         951       -969         196        -289
1515    1964        -25         711       -1049         241        -273
1515    1965        -29         671       -1079         234        -280
1515    1966         -3         871       -1119         269        -262
1515    1967        -26         711       -1029         248        -293
1515    1968        -68         621       -1059         212        -343
1515    1969        -97         641       -1089         187        -380
1515    1970       -162         337         821         108        -463
1515    1971        -55         771       -929         219        -334
1515    1972        -28        1001       -1069         234        -269
1515    1973        -65         621       -1019         193        -296
1515    1974        -68         711       -989         185        -296
1515    1975        -23         661       -959         225        -246
1515    1976        -27         671       -979         216        -250

```

不論前述各種形式的儲存方式，皆為連續型態的方式 1 檔案紀錄 1 個潮位站的資料，但當潮位站更換儀器或變動基準時，應更換儲存的檔案，以正確保留紀錄的各項資訊。

第六章 結論與建議

§6-1 結論與討論

水準點和平均海水面的連測，無法直接用儀器測量。以一個潮位站而言，它必須自己有一個高程系統，亦即它必須有一個方便又穩固的參考點，以便每天可以校準水位的高度，而避免記錄的零點有所偏移。這個參考點通常以儀器的轉軸中心，靜水井邊緣上的一點或其它方便於用尺隨時量測其與水面高差的穩定點，亦即所謂的潮位儀參考零點 (H_T)。水準測量的連測，通常自附近的一個水準點 (H_B) 引測到這個參考零點上，其高程差 $\Delta H_{BT} = H_B - H_T$ ，而由潮位資料的分析，以推算在某一時期的平均海面 (H_M) 與潮位儀參考零點的高程差 $\Delta H_{MT} = H_M - H_T$ (內政部，1998)。(如圖 6-1)

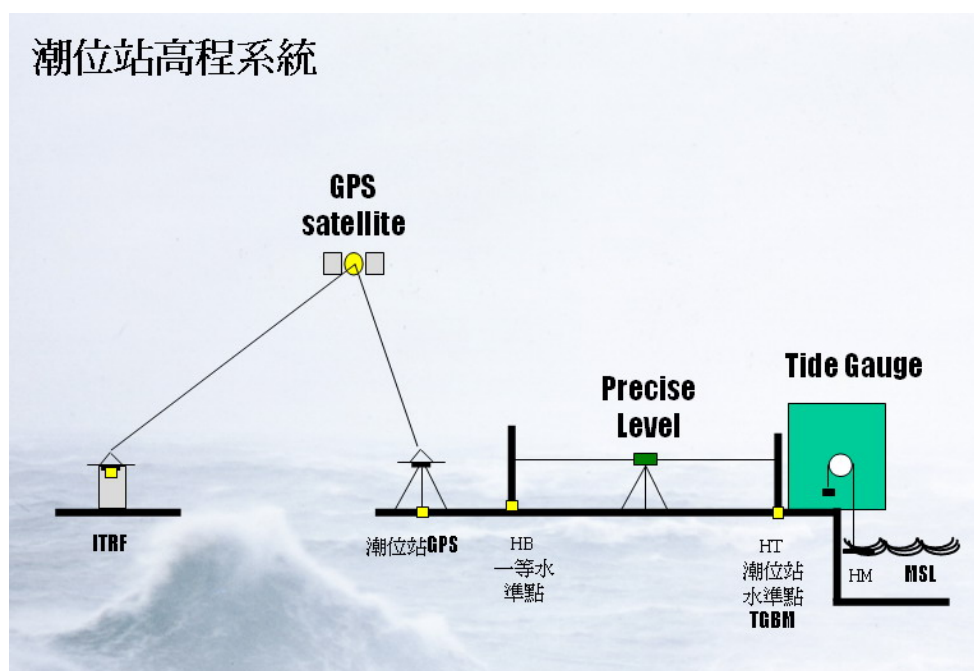


圖 6-1 潮位站高程系統示意圖

在一個國家的主要水準測網，通常要求沿海岸線每隔一二百公里則必需至少連測到一個潮位站，而在二次大規模重測間的小區域測量都要儘量能連測到潮位站，以便加以控制。水準網與平均海水面的連測時，潮位站本身必須要有一個穩定且具長久性的基準點，而且，必須要預先估計平均海面與該基準點之高程差。在一般的區域，因地殼變動不快，通常在數十年之內都可以假設潮位站之基準點與該地區的平均海面間之高程差不變，因此，主要水準網之檢測，在大部份國家，都在隔一相當時間之後，或是在發現許多區域測線重測時，已不能與原有主要測線閉合時，就需要對主要水準測網加以重測，平均海面也是測線閉合檢驗的主要工具，當連接二潮位站平均海面之水準高程差遠大於測量誤差時，即表示該平均海面須要重新加以訂定。對於一個整體水準網所有連接的潮位站，其各個平均海面都必須當做一個水準點，加入整個水準網的平差而計算其所該給予的修正值。

臺灣位於歐亞大陸板塊及菲律賓海板塊的交會處，因為這兩板塊的衝撞擠壓而形成了斷層的地震帶，地殼的變遷亦很顯著。臺灣東部陸地有垂直上升的現象而西部沿海的情況卻不一樣，根據潮汐資料顯示西部海水面正在上升。而當潮位站位於一個地殼變動快速的地區時，平均海水面之訂定則不能只依靠在主要測網重測時才加以估計，因每過一段時間，如半年或一年，其平均水面與潮位基準面間之高程差就可能有數公分的變化，可能已超過測量的容許誤差，且又不可能對整個測網加以重新測量，因此，前述對海水面長期的動態分析是必要的，假設地殼的垂直變動是線性，或是為時間的簡單函數，使我們得以在 2 次全面高程檢定期間，依此函數而得到該潮位站的平均海水面。

大地水準面一般來說，被認為是地球形狀的一種表示法，它具有嚴格的物理意義，即為一重力的等位面，也就是說，是均勻水球的表面。所以，假如海水是均勻的，大地水準面在海上應該和海水面是一致的。但是海水面時時刻刻在變化，我們必須用平均海水面來定出一個靜態的面，才能來討論其與大地水準面之關係。一般在討論和大地水準面一致，或接近於一致的平均海水面，則是指較長期的平均，當然，在這期間，潮位儀的基準必須穩定，也就是不能有地殼變動，才能用直接的潮位記錄值來估計平均海水面。

在地殼變動快速的地方，則可用前述的線性模式來除去海水面或是潮位儀基準面的長期變化趨勢。當然，在所有的平均海水面估計方法中，都要除去一些環境因素的影響。至今，在人類瞭解範圍之內，可以影響平均海水面的環境因素，主要有海岸線形狀、長期的溫度異常（如赤道之高溫或極地之低溫）、壓力之長期變化、洋流、河流出口、海水鹽度異常等，因此，縱使對一潮位站能估計出一個長期穩定的平均海水面，這個面也可能不是和大地水準面一致，只能算是近似大地水準面，但這對區域性的基準面而言，仍可得一個相當穩定的參考面。因此根據執行本計畫的各項工作計算結果，初步得到以下的結論：

1. 依據本計畫 5 個潮位站（基隆、高雄、蟬廣嘴、蘇澳及富岡）的區域平均海水面計算：
 - (1) 月平均海水面之年變化約在 20~50cm。
 - (2) 年平均海水面之變化約在 15~20cm。
 - (3) 19 年平均海水面都呈現約 2~4mm/yr 上升，各潮位站變化的時間點大致相同，但仍無法判斷是持續海水面的上升或只是在周期性變化的範圍中。
 - (4) 在 1985~2000 年間，臺灣西部 3 個潮位站（基隆、高雄、蟬廣嘴）呈現快速上升的趨勢，其上升量平均約在 20cm 左右，與全球變化趨勢大致相同，（參照圖 6-2；<http://www.pol.ac.uk/psmsl/programmes/gloss.info.html>），而東部的潮位站（蘇澳、富岡）則無較明顯的變化
 - (5) 2000~2008 年間，基隆、高雄及富岡等 3 站逐年下降（每年約下降 1.5cm），蘇澳站大致維持不變，而蟬廣嘴站則上升近 30cm 左右。

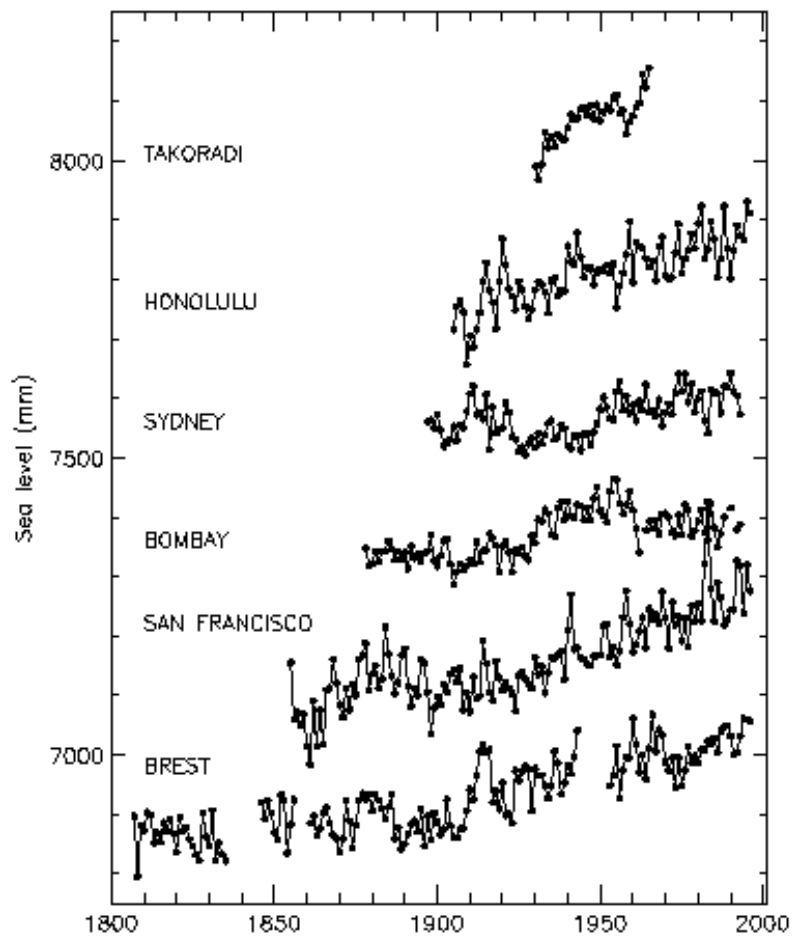


圖 6-2 過去 200 年全球平均海水面變化

2. 其他各項成果：

- (1) 制定潮位資料的標準儲存格式：依照本計畫制定出潮位資料每日、每月及每年的標準儲存格式 (ASCII 文字)，格式內容除了紀錄潮位資料的重要相關資訊，亦和現今包括交通部中央氣象局與經濟部水利署之格式具有共同性，便於彼此互通流用。
- (2) 開發一系列自潮位資料處理至平均海水面計算之程式：本計畫共計開發 6 種程式 (MatLab 語言，並制定安裝操作手冊)，包括資料處理、格式轉換、資料補遺及平均海水面計算等各項說明，操作介面利用簡單的詢答方式執行，便於使用者儘速上手，而資料成果輸出除一般之成果報表外，均附有圖形自動輸出，便於使用者分析處理。
- (3) 擬定包括音波式潮位儀、壓力式潮位儀更換或重置、潮位站潮位資料處理及區域平均海水面計算等 4 個標準作業程序的草案，除了訂定相關內容供後續作業執行外，而後兩項草案更以前述開發之相關程式搭配使用，可使主辦單位能迅速的熟悉此項業務。

§6-2 後續相關建議

依照前述的內容分析，這 5 個全臺主要的潮位站，其區域的平均海水面具有一致性的變化趨勢，其原因當然需要更多的資料來進行分析，但大致上仍應朝如下幾個方向：

- (1) 全球氣候變化：可與世界或鄰近國家的測站趨勢進行比較，或是利用衛星測高成果來進行分析比較。
- (2) 地殼變動的影響：此一方向可利用 GPS 測高，絕對重力的變化，水準測量成果或地震同震變形的結果來進行分析。
- (3) 洋流的變化：這項分析在執行上可能較為不容易，因為以流經臺灣海域的黑潮而言，其流速與路徑尚無法明確的掌握，甚至包括海水溫度的變化均可能產生相當的影響。

在未來的分析之中，還有很多可以改進的空間。在本計畫中，雖有試圖利用調和函數的分析來完整的估計理論的潮汐，但還未完全的成功。這估計法現在只能達到 20cm 左右的精度，假若能達到 5cm 的精度，才能對平均海水面的估計有實質的幫助。現可建議的嘗試方向是把調和分析與氣壓、氣溫的影響估計結合在一起，同時做多變數的迴歸分析，如此，氣壓的年周期變化與日周期變化才能與全日潮及年週期潮汐完全的分離。

另外還有一個值得考量的因素，就是利用潮位站的 GPS 觀測來做地殼變動的因素。在全世界各地至今都尚未能在潮汐分析中考慮地殼變動的因素，臺灣地區垂直地殼變動快速且複雜，往往會影響到潮位分析與計算的品質，如何將 GPS，甚至與水準測量的結果，直接用在潮汐分析之中，也是未來的一種挑戰。

此外，各個潮位站歷史資料不一，加上早期電子儲存設備不發達，或是操作人員的疏忽，可能產生潮位站有不同的基準變動誤差，影響平均海水面計算的準確性，除了自此便依詢標準程序進行各項作業外，應儘可能追蹤各種歷史資料，以追查可能的基準變動，提高後續成果的精度。

參考文獻

- 內政部，2003，離島潮位站資料蒐集及分析工作總報告書。
- 內政部，2006，國家基本測量控制點建立及應用計畫總報告。
- 內政部土地測量局，2006，94 年度臺灣本島與離島高程系統連結作業方法與精度評估期末報告。
- 交通部中央氣象局，2006，中華民國 94 年潮汐觀測資料年報。
- 交通部中央氣象局，2007，中華民國 95 年潮汐觀測資料年報。
- 交通部中央氣象局，2008，中華民國 96 年潮汐觀測資料年報。
- 交通部中央氣象局，2009a，中華民國 97 年潮汐觀測資料年報。
- 交通部中央氣象局，2009b，海象資料庫應用系統技術手冊。
- 交通部中央氣象局，2009c，海象資料庫應用系統作業手冊。
- 交通部中央氣象局，2009d，海象資料庫 UNIX 取檔軟體手冊，UNIX 潮位自動品管軟體手冊，潮位統計軟體手冊，高低潮計算軟體手冊。
- 經濟部水利署，2007a，近海水文觀測手冊。
- 經濟部水利署，2007b，近海水文站網維護管理與資料分析。
- 經濟部水利署，2007c，海岸水文分析應用手冊。
- 劉文俊、吳文耀，臺灣海域潮汐特性之初步分析，交通部中央氣象局，臺北，104 頁，1996。
- 劉啟清，1998，臺灣地區驗潮站長期監測資料之計算及高程基準網之建立工作報告。
- Aman A., T. Aarup, P. Woodworth, and L. Testut, 2006, CONTRIBUTION OF ODINAFRICA TO THE SEA LEVEL MONITORING IN AFRICA, TOPIC 6: Context of sea-level observations on Understanding Sea-level Rise and Variability, Paris, France, 6-9 June 2006.
- Annual Report 2007 Instrument documentation, 2007; Tide gauge instrument information, data processing procedures and gauge location; <http://www.pol.ac.uk/ntslf/reports.html>.
- Ansell T.J., P.D. Jones, R.J. Allan, D. Lister, D.E. Parker, M. Brunet, A. Moberg, J. Jacobeit, P. Brohan, N.A. Rayner, E. Aguilar, M. Barriendos, T. Brandsma, N.J. Cox, P.M. Della-Marta, A. Drebs, D. Founda, F. Gerstengarbe, K. Hickey, T. Jónsson, J. Luterbacher, Ø. Nordli, H. Oesterle, M. Petrakis, A. Philipp, M.J. Rodwell, O. Saladie, J. Sigro, V. Slonosky, L. Srnec, V. Swail, A.M. García-Suárez, H. Tuomenvirta, X. Wang, H. Wanner, P. Werner, D. Wheeler, E. Xoplaki, 2006, Daily mean sea level pressure reconstructions for the European - North Atlantic region for the period 1850-2003, *Journal of Climate*, vol. 19, issue 12, p. 2717. doi: 10.1175/JCLI3775.1
- Burša M., J. Kouba , A. Müller , K. Rad j, S.A. True , V. Vatr, and M Vojtíšková, 2001, Determination of Geopotential Differences between Local Vertical Datums and Realization of a World Height System, *Studia Geophysica et Geodaetica*, Vol. 45, No.2,

pp.127-132.

- Cecep Subarya, 2001; The Present Status of Indonesian Tide Gauge Network and Indonesian Permanent GPS Station Network, The Indonesian National Coordination Agency for Surveying and Mapping.
- Doodson, A. T., The Harmonic Development of The Tide Generating Potential, Proc. Roy. Soc. A, 100, 1921.
- Federal Emergency Management Agency, 2003, Guidelines and Specifications for Flood Hazard Mapping Partners Appendix B: Guidance for Converting to the North American Vertical Data.
- Foreman, M. G. G., 1977, Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction, Pacific Marine Science Report, 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, B.C.
- Glen Rowe, 2006; National Report of New Zealand; Land Information New Zealand, GLOSS Training Course, Tokyo, May 2006.
- Grant D.B. and G.H. Blick, 2002, A national vertical datum independent of local mean sea level?, 2002 Western Pacific Geophysics Meeting.
- Guo Fengyi, 2001; Quality control of Sea Level Data National Marine Data and Information Service, China.
- Godin, G., 1972, The Analysis of Tides, University of Toronto.
- Gutenberg, B, 1941, Changes in Sea Level, Postglacial Uplift and Mobility of the Earth Interior. Bull. Geol. Soc. Amer.; 52, pp. 721-772.
- Haubrich, R.A, 1965, Earth Noise, 5 to 500 millicycles per second Spectral Stationarity, Normality and Non-linearity, J. Geoph. Res., 79, pp. 1415-1427.
- Henning W.E., E.E. Carlson, and D.B. Zilkoski, 1998, Baltimore County, Maryland, NAVD88 GPS-derived Orthometric High Project, Surveying and Land Information Systems, Vol. 58, No. 2, pp.97-133.
- Herman R.L., 2005, ODINAFRICA: an Integrated Ocean Observation and Service Network for Africa, Unesco Info (Extra ed. April 2005) pp.30-32.
- Holgate S. and T. Aarup, 2003, WORKSHOP ON NEW TECHNICAL DEVELOPMENTS IN SEA AND LAND LEVEL OBSERVING SYSTEMS, Workshop Report No. 193, Unesco.
- Intergovernmental Oceanographic Commission, 1985, MANUAL ON SEA LEVEL MEASUREMENT AND INTERPRETATION Volume I - Basic Procedures, Unesco.
- Intergovernmental Oceanographic Commission, 2002, Volume III - Reappraisals and Recommendations as of the year 2000, Unesco.
- Intergovernmental Oceanographic Commission, 2006, Manual on Sea Level Measurement and Interpretation Volume IV: An Update to 2006, Unesco.

- Keiko Haraguchi, 2006; National Report of Japan, Japan Meteorological Agency, Japan.
- LePrevost C., F. Lyard and J. Molines, 1991, Improving Ocean Tide Prediction by using Additional Semidiurnal Constituents from Spline Interpolation in the Frequency Domain, *Geop. Res. Lett.*, 18, pp. 845-848, .
- Maria Jesus Garcia, Begoña Perez Gomez, Fabio Raicich, Lesley Rickards and Elizabeth Bradshaw, 2005 :QUALITY CONTROL OF SEA LEVEL OBSERVATIONS; Version 1.0, ESEAS Work Package 1, Task 1.; European Sea Level Service – Research Infrastructure (ESEAS-RI), pp. 1-22.
- Munk W.H. and D.E. 1966, Cartwright, Tidal Spectroscopy and Prediction, *Phil. Trans. Royal Soc. Ser. A.*, 259, pp. 533-581.
- Murray, M.T. 1964. A general method for the analysis of hourly heights of the tide. *International Hydrographic Review*, 41(2), 91-101
- National report of Russia, 2000; Medgloss workshop meeting 15-17 May 2000 (IOC Report No. 176).
- NEW ZEALAND NATIONAL REPORT, 2001,
http://www.pol.ac.uk/psmsl/reports.national+regional/newZealand/nz_2001.doc
- NOAA Special Publication NOS CO-OPS 1, 2000, Tidal Datums and their Applications.
- NOAA National Ocean Service Education, 2005, Tides and Water Levels,
http://www.oceanservice.noaa.gov/education/kits/tides/tides12_references.html.
- Odido M., 2003, The Ocean Data and Information Network for Africa (ODINAFRICA) Progress Report, Seventeenth Session of the IOC Committee on International Oceanographic Data and Information Exchange (IODE), Paris, France, 3-7 March 2003.
- Oleg I. Zilberstein, 2005; National report of Russia, Hydro-Meteo Centre of Russia, Russia, Moscow,
- Parluhutan Manurung, 2006; PERMANENT SEA LEVEL MONITORING IN Indonesian, National Coordinating Agency for Surveys and Mapping.
- Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz, 2002, Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE, *Computers and Geosciences*, 28, 929-937.
- Pope, A. J., The statistics of residuals and detection of outliers, Tech. Rep. NOS65 NGS1, Rockville, 1976.
- Pugh D.T., 1996, Tides, Surges and Mean Sea-Level, Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, 486pp.
- Scherer, W.D., 1990, Decomposition of Sea Level Variations: An Approach, National Ocean Service, Oceanography Workshop, unpublished manuscript.
- Schureman, P., 1941, Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, Special Publication No. 98(1940), U.S. Coast and Geodetic Survey, U.S. Govt. Printing Office,

revised ed.

Status Report of UK GLOSS Tide Gauges, 2005; Liz Bradshaw and Philip Woodworth, on behalf of the UK National Tidal and Sea Level Facility. GLOSS Experts 9th Meeting , February 2005

Tamura, Y., T.Sato, M.Ooe and M.Ishiguro, 1991: A Procedure for Tidal Analysis with a Bayesian

The UK National Tide Gauge Network, 2001; Lesley Rickards, British Oceanographic Data Centre, UK; <http://www.pol.ac.uk/ntslf/reports.html>

Wyrski, K., 1974: The dynamic topography of the Pacific Ocean and its fluctuations. Univ. Hawaii, Tech. Rept. HIG-74-5, 19 pp. 37 figs.

Zilkoski D.B., J.H. Richards, and G.M. Young, 1992, Results of the General Adjustment of the North American Vertical Datum of 1988, Surveying and Land Information Systems, Vol. 52, No. 3, pp.133-149.

附錄 A 音波式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序（草案）

一、概述

（一）儀器原理與裝備

音波式潮位儀透過音波轉換器（Tranducer）將潮位儀電腦依固定時間產生的電壓脈波訊號轉換成音波，通過了 13mm 直徑的 PVC 音波管達到水表面後反射（最遠 15m），如此音波往返音源→水表面→感應器所需的時間可用來量測音波所行的距離。而音波管中有一截特殊的校準管，具有不連續的音管，當音波通過時會引起音波阻抗的降低而造成部份音波的反射，可以用來做為校準參考點。由音波轉換器到這參考點的長度，必需很精確的設定為固定長度，一般為 1.2m，由水面反射所需的時間與由參考點反射所需時間的比值，則可更精確的用來量測水位高。

利用這樣校準管的檢校方法是基於一個假設：在校準參考點以上的音波速度與全段的音波速度是相同的。然而在井底深部的氣壓可能大於校準管部份的氣壓，而且這兩部位溫度與濕度的影響可能更大，會造成音波速度顯著的誤差。解決的方案則是在校準參考點之上與之下各置一溫度計，每隔一段時間都做溫度記錄以備事後修正。

這種音波式潮位儀設計，一般每 18 個月至少要做一次維護，儀器壽命則約為 15 年。部份測試顯示這儀器的音波導管最好放置於 3 倍直徑的保護管中（一般浮筒式的靜水井與浮筒半徑比為 10：1），可兼做保護與穩定管內溫度、水面波動的功能。

新一代的潮位儀（目前國內多為 Aquatrak/4100/3000-XDCR）功能亦包括「自我檢校功能」、「零漂移功能」、「多資料輸出埠」、「內部時鐘」、「額外感應器的輸入／出埠」、以及「獨立操作功能」等等。另外需要精密儀器來做詳細的檢校，以期達到最高的精度。

每一個海水面的量測大約要耗費 37~50 秒，在這期間儀器的微電腦控制器會送出 128 個訊號到校準參考點，以計算正確的聲速，再利用這個聲速以另外 128 個訊號到水面反射，以計算水面的距離。在這訊號的傳遞過程中，一般都經過幾個「音波管」（Sounding Tube），這包括一支校準管（Calibration Tube），一支或多支量測管（Ranging Tubes），一支可裁剪的截短管（Trim Tube）以及一支紅銅管（Red Brass Tube），這些音波管可以保護音波的傳遞，減少環境因素如風、雨、雪與海底植物、生物的干擾，這些不同的音波管功能如下：

- (1) 校準管：在一已知的標準長度管內提供反射訊號，以精確的計算音波的速度。
- (2) 量測管：提供音波傳遞的管道、標準長度以及保護作用。
- (3) 截短管：做為調整音波管整體長度用，使其總長度較保護靜水井管短 20cm。
- (4) 紅銅管：此管置於音波管的尾端，做為抗附著生物用，以避免海底生物或藻類植物附著阻塞了管子。

(二) 影響音波式潮位儀量測精度的因素

在主控制器的控制下，儀器發出一個脈動波到音波轉換器，計算由發射到由校準參考點反射回來的時間差，以及發射到水面反射回來的時間差，由電腦計算這兩時間差的比值，再乘上校準管的標準長度，最後加上偏移量的修正，以及單位換算就可隨同量測時間儲存於記錄器或電腦中。

根據西班牙在 1992~2002 共 15 個音波式潮位站的經驗，儀器不正常的記錄只約平均每站每年 1 次，而無線電傳輸失敗的記錄為每站每年 1~2 次，並且這 15 站在 10 年內總共有 3 次儀器損壞需要更換儀器，這些都是外來的因素，如被船撞毀或雷擊等原因，每站資料的完整比率，除了新安裝的第一、二年外，其餘都有 95% 的資料完整性。因此，音波式潮位儀本身的穩定性相當高，而其測站環境的選則與儀器安裝的精確度才是測站成敗的重要因素：

- (1) 在測站選擇方面，須考慮站址的長久性、潮汐變化的穩定性、海水溫度、密度的穩定性…等因素。
- (2) 在安裝儀器時，音波管的長度與高度必須配合當地的潮汐變化，避免水位達到音波管的最最低點或高於校準管的最低點，以造成量測的錯誤及突跳。
- (3) 在安裝儀器時，音波管的垂直度會直接影響到量測水位高度。

二、音波式潮位站設置原則及方法

在安裝儀器時有些因素會影響到資料的精確性，這些因素在安裝時或維修時都要確切的遵守。

(一) 保護管的設置

保護管除了保護音波導管外，主要希望能維持管內溫度的均勻性，尤其是垂直的溫度梯度，在校準管溫度與其它部份的溫度差異，會造成偏差的量測，因此設置原則如下：

- (1) 保護管要穩固的附著在堤岸或碼頭上。
- (2) 儘量將保護管裝在堤岸或碼頭的北邊，以減少太陽直射。
- (3) 保護管的底部要距離海底 50cm 以上，以避免海底物質或生物進入保護管。
- (4) 保護管的頂部要約高於碼頭 1.0~1.5m，以便安裝音波轉換器，以及量測其高度。
- (5) 需維持精確的垂直度，誤差應在 2° 之內，以保證水位測量有 1mm 的精度。
- (6) 音波轉換器一定要高於最高的波（包括浪高）1.5m 以上，以避免水面進入校準管內。
- (7) 保護管的長度如圖 1 之計算（亦即為音波導管長度之計算），必須先知道最低潮與最高潮相對於岸邊的位置，可能的浪高。所選的岸邊高度必須高於最高潮位加上可能的浪頭高度，岸邊的海底必須比最低潮位減去可能的浪頭高度再低 1.5m。

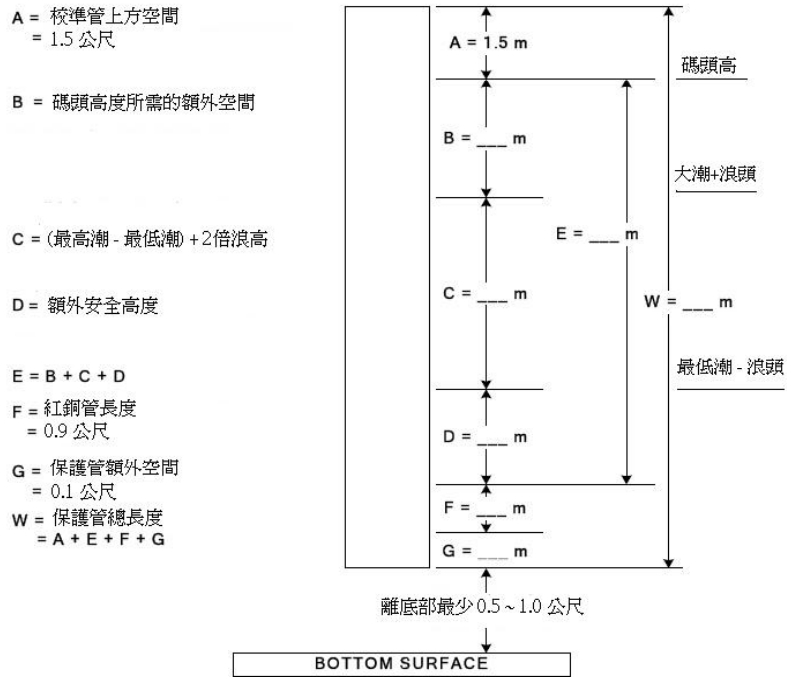


圖 1 保護管的長度與岸邊、最高最低潮位的相關位置與長度計算

(二) 音波導管設置

如前所述，音波導管至少包括一根校準管，一根以上量測管，以及一根紅銅管必要時再加一根截短管於紅銅管之上，以調整整體的長度，使紅銅管的底部在保護管底部之上約 10 公尺左右。如上圖 1 所示。因此，音波導管設置的方法如下：

- (1) 音波導管要用適當的中心夾固定在保護管內以保證音波導管能垂直伸入水中（當然保護管的垂直度也要精確維持）。（圖 2）

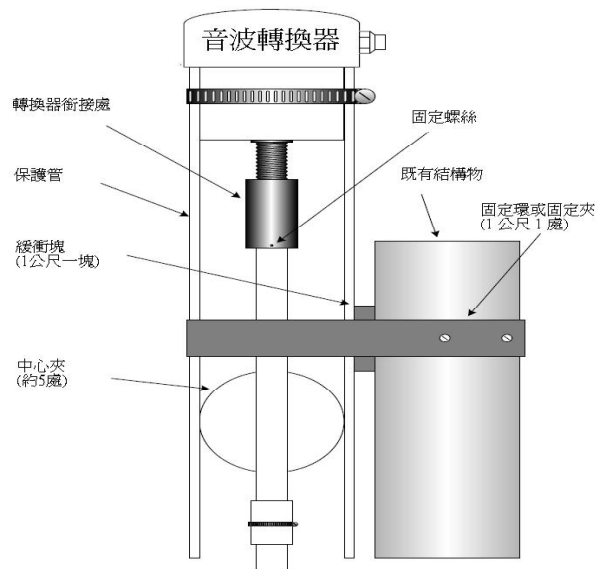


圖 2 音波導管的固定

- (2) 音波導管兩端要維持平整乾淨，修切截短管時要用工具維持管子截面的直角，並修整平滑。
- (3) 在施鋪黏膠於管子端點時，要避開端點 1cm 處以及截面上，以避免改變管子的總長度（圖 3）。
- (4) 用適當的连接環連接各音波導管，如圖 3 所示。
- (5) 在地面上接好管子後，測量管子總長度，並置放 30 分鐘（或適當時間）後，以確定黏著劑穩定連接管子。
- (6) 置於五個中心夾於音波導管適當之處，最後一個置於紅銅導管之上方（剛好上方，不要放在紅銅管上）。最上面一個則置於校準管於量測管的連接處（圖 4）。
- (7) 轉動中心夾使兩兩互相垂直，可均勻將音波導管置於保護管的中央（圖 4）。

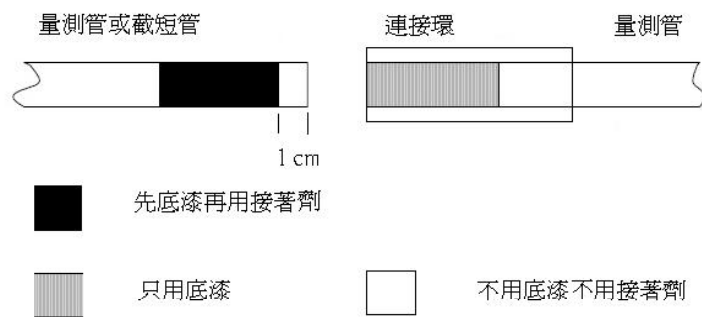


圖 3 音波導管連接方式

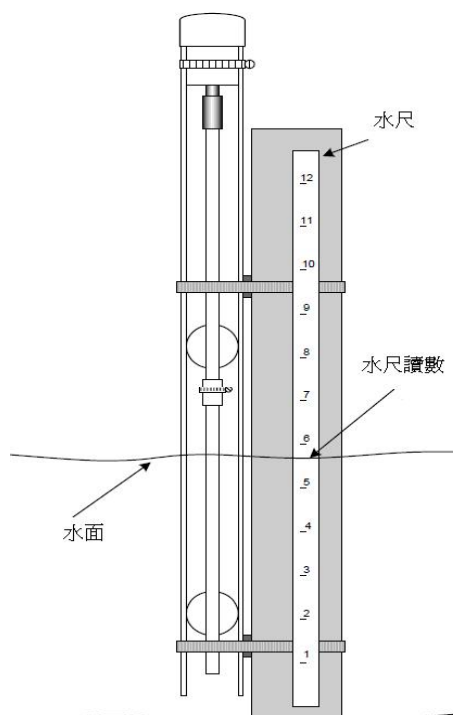


圖 4 音波式潮位儀、音波導管、保護管、水尺等相關裝設

(三) 水位設定

潮位儀的量測大多數是相對性的量測，因此每一站的儀器與水位的相對高度都要定期測量，而且最好有兩種以上的獨立測量，基本上以音波式的潮位儀而言，可以用水準測量檢測儀器零點（須參照儀器規格，不同型號有不同量測點，同型儀器也可能每一部儀器有不同的檢測值）與潮位站水準點的高差另外一法則是在潮位站適當地點（愈靠近儀器愈好）設置水尺，讀取水尺上的水位高，設定於儀器內在這一方面要注意的是：

- (1) 定期（至少每年一次或於儀器維修時）要檢查水位高度的正確性。
- (2) 用水準儀檢測潮位站水準點與儀器參考點的高差，以及潮位站水準點與水尺的高差。
- (3) 讀取水尺上的水位讀數，同時記錄時間與記錄器中之時間與水位高度比較。
- (4) 若非結構性的破壞，即便更換儀器，記錄器中斷失去原有設定，儀器結構移動或傾斜等，否則不宜更改水位高程，只記錄其差異。
- (5) 用水準儀的傾斜轉定螺絲上下移動視準軸以檢查保護管的垂直度，若傾斜度超過 5° ，則要檢查其對精度的影響。
- (6) 讀取水尺上水位高度時儘量在最高潮或最低潮時讀取，以避免快速潮流的影響。
- (7) 若時間足夠在同一次維護中在最高潮與最低潮時都做檢驗以突顯可能的誤差。
- (8) 在有區域性的較大地震之後檢驗儀器的穩定性與保護管的垂直度。
- (9) 音頻轉換器需要折換時，必須在折換前與重置後都要量測其高度，若轉換器有換新時要檢查其零點高度是否有改變。

在大部份的情況下潮位站大多設在港口內，但是在有些時候無港口可用時則必須依下列考量因素來選擇，這些因素依重要性排列：

- (1) 若要做海洋研究或長期高程基準，則要選擇儘量面向海洋（避免在海灣之內或海峽之中），並且遠離河口附近。
- (2) 儀器安裝要能適應最惡劣的環境，如暴風雨、大雪…等，以保證能長期記錄資料。
- (3) 設置儀器的地面要愈堅固愈好，不要因結構不穩或因填土而產生下陷或傾斜的狀況，地要避開容易積水、淹水、河口侵蝕、海蝕之地區，或是容易淤沙地地區，最好是將儀器裝置於岩盤上。
- (4) 避開河口在此處不同季節或不同潮汐同期會有不同比例的海水／淡水混和，會改變海水鹽、密度造成靜水井中水密度與外面水密度的差異，而造成海水的高差，暴風雨經海流帶來的洪水與漂流物也易破壞測站及儀器。
- (5) 避開在極低潮時會造成與海隔離成獨立區域，或略低於海水面的沙壩及緩坡的沙灘都可能造成水面的差異，這些都不適合做潮位觀測。
- (6) 避開突尖的陸地或海灣容易造成潮汐常數變化的地區。

三、音波式潮位站設置流程步驟

(一) 作業流程

音波式潮位站設置流程參照圖 5，詳細設置步驟如后所述。

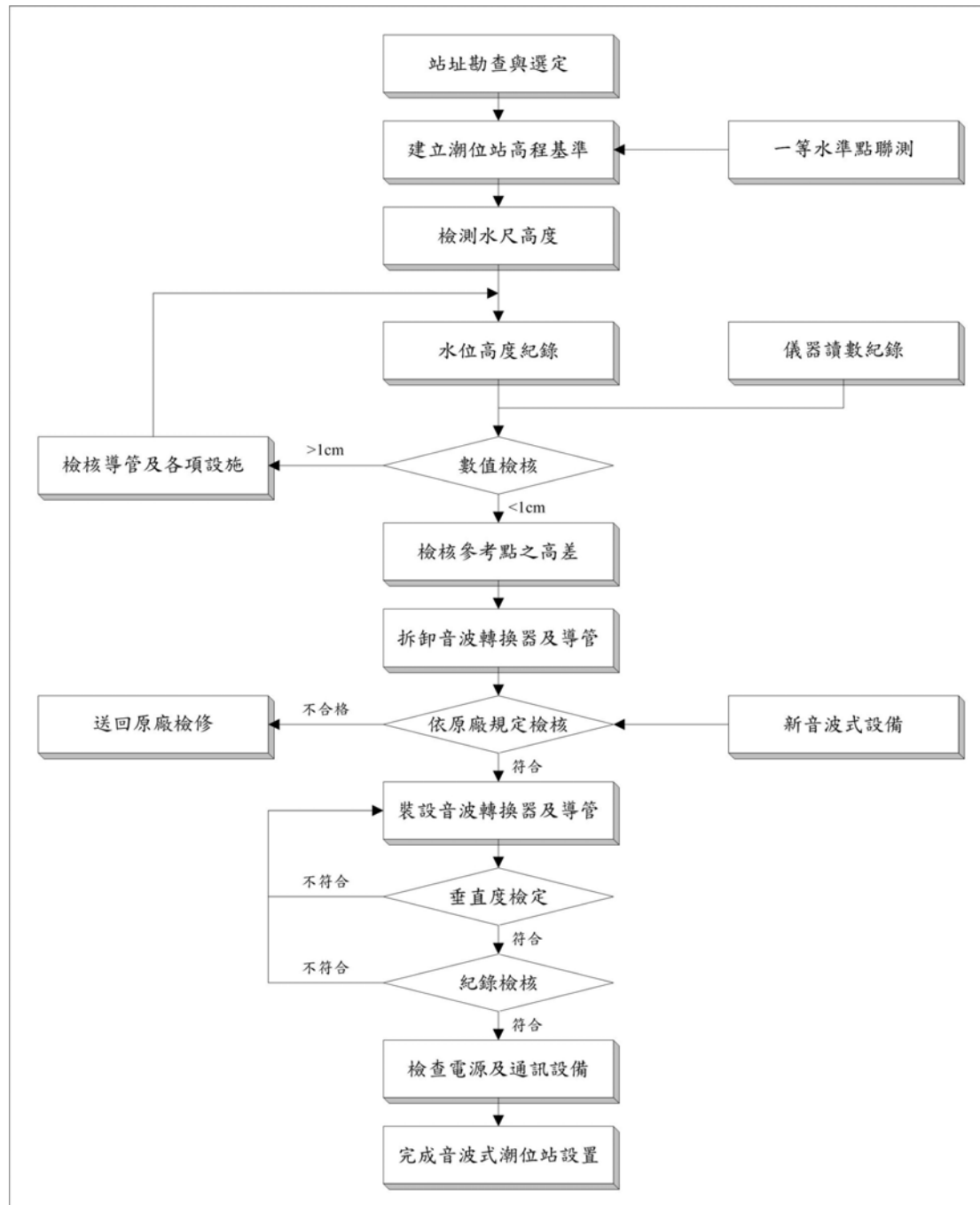


圖 5 音波式潮位站設置流程圖

(二) 設置步驟

1. 新設潮位站或潮位站遷移位置要先依站址選定原則，要在目標地區找到穩定環境的地方：
 - (1) 先測定該地區的最高、最低潮位。
 - (2) 選擇穩定的岩盤，具適當的高度與足夠的深度，可以安裝儀器。
 - (3) 避開陽光直射，波浪複雜，環境干擾因素太多的地區。
 - (4) 具有穩定電源及適當的通訊環境。
 - (5) 取得合法的使用場地。
 - (6) 設置潮位站水準點，並連測其水準高程，此高程將成為該潮位站的永久基準，直至潮位站停止運作為止。
2. 在重置、更換儀器之前，先以水準測量檢測水尺高度，或岸邊施測電子水尺相對於潮位站水準點的參考高度，並記錄之。
3. 在儀器記錄資料的同一時刻，讀取水尺上的水位高度，或以電子水尺讀取水位高度並記錄之，水尺與電子水尺的參考高度與原設置之高度相同，不因水準檢測而更改。
4. 若儀器仍在運作時，亦記錄儀器相同時刻紀錄之高度，若二者較差超過 1cm 時，重覆步驟 3 之程序並記錄之。假若誤差仍超過 1cm，則需詳細檢查儀器音波導管的穩定性、垂直度，及各部位之相關位置。
5. 以水準測量檢測儀器參考零點與潮位站水準點的高差並記錄之。
6. 潮位站之所有高程檢測，應避免正午時刻。
7. 水尺或電子水尺讀取水位高度時，應儘量於最高潮或最低潮時進行，以避免因水位變化過快，造成較大之誤差。
8. 開始拆移音波轉換器及音波導管，置於附近平坦地區，量測儀器零點至較準管尾端的長度並記錄之，並檢查紅銅管末端是否有阻塞物，並記錄阻塞之比例。
9. 檢查保護管的垂直度、穩定度，並檢查其內部是否有阻塞，若有則清除之。若保護管已歪斜，則需重新安置。若保護管已損壞失去保護功能時，應予更新設置。
10. 依照儀器原廠之規定檢核，決定該儀器是否需送廠檢校或更新，音波導管亦需按原廠規定決定是否更新。
11. 若音波導管需更新時，或在新設儀器時，音波導管的長度仍需按前述原則設定。
12. 將音波轉換器及音波導管置放於保護管中並固定之。
13. 以水準儀檢測保護管邊緣之垂直度並記錄之。
14. 重覆步驟 5 之水準測量並記錄之。
15. 依儀器原廠之規定，及儀器檢校之結果，將步驟 14 之水準檢測高程設置於儀器之記錄器中，此時儀器所記錄之水位高度應符合本潮位站之高程系統。
16. 依步驟 3~4 讀取水尺或電子水尺的水位高度，與儀器之讀數進行比較，若差異超過 1cm 時，應重新檢查設置過程是否有誤。
17. 檢查儀器電源及相關通訊設備是否正常。

四、參考資料

經濟部水利署，2007，近海水文站網維護管理與資料分析。

Holgate S. and T. Aarup, 2003, WORKSHOP ON NEW TECHNICAL DEVELOPMENTS IN SEA AND LAND LEVEL OBSERVING SYSTEMS, Workshop Report No. 193, Unesco.

Intergovernmental Oceanographic Commission, 1985, MANUAL ON SEA LEVEL MEASUREMENT AND INTERPRETATION Volume I - Basic Procedures, Unesco.

Intergovernmental Oceanographic Commission, 2002, Volume III - Reappraisals and Recommendations as of the year 2000, Unesco.

Intergovernmental Oceanographic Commission, 2006, Manual on Sea Level Measurement and Interpretation Volume IV: An Update to 2006, Unesco.

Pugh D.T., 1996, Tides, Surges and Mean Sea-Level, Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, 486pp.

User's Guide, Model 4100/4110 Series Aguatra Aguatrak Co.

Gill, S.K. & J.R. Schultz., 2001, Tidal Datum and their Applications, NOAA Special Publication, NOS CO-OPS1, pp1-112.

附錄 B 壓力式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序（草案）

一、概述

（一）儀器原理與裝備

壓力感應計有多種形式（目前國內多為 STS/8370ATM/N 及 Druck1830），其中包括壓縮氣體式（Pneumatic Gauge）、應變式（Strain gauge）、石英晶體式（Quartzelement）或陶瓷式（ceramic）的技術。通常這些感應器會因為水壓的變化而改變其體積、電容或電阻，石英晶體式壓力計是其中最準確的，當不同的壓力施於此感應計時，會改變其共振頻率，最後由其輸出頻率可換算成其周遭所施的壓力，以壓力的物理量（通常為 mbar 或其它單位）記錄於記憶體中。只要能充分了解壓力感應計的限制，它可以做為低成本、多功能的潮位儀。壓力式系統的原理很單純，只是量測在感應器以上之水柱的準靜壓力，然後利用適當的重力加速度與水的質量密度將水柱的重量轉換成水柱的高度，如果水位感應器放的很深，則要考慮不同深度的水密度變化。

$$h = (p - p_a) / (\rho g) \quad (1)$$

其中 h 是測量點以上的水位高

p 是測量點所量得的總壓力，相當於水壓與空氣壓力的總和

p_a 是海水面的空氣的壓力

ρ 是水柱的平均的密度

g 是當地的重力加速度

二、壓力式潮位站設置原則及方法

（一）氣泡式（Bubbler gauges）

這是利用氣泡上升時體積的變化來量測發泡點（深度）的壓力與空氣壓力的變化，還量測發泡點的深度，即為水深。如圖 1 所示。

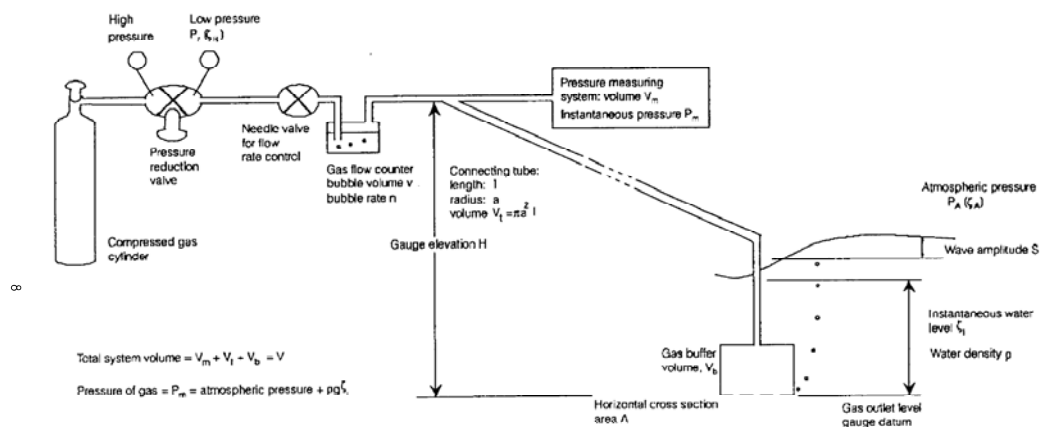


圖 1 氣泡式壓力式感應器

氣泡式潮位儀與其它潮位儀比較，有很多優點譬如說它不須要垂直裝設的裝置，但它也有缺點就是要小心的避免一些系統誤差。氣泡式潮位儀的出氣孔可以裝在 200m 深，或是更深的水下，是英國 A 級潮位儀網的標準儀器。氣泡式潮位儀是一種量測潮汐變化的簡單裝置，整體而言其精度與基準穩定度都還不錯，它利用壓縮空氣或氮氣，經過一次或二次壓力閥減壓之後，以保持或控制穩定而微小的氣體流量，經過一條氣管通到水下的一個金屬盒子，經過一個小孔釋放出來，這一放出氣體的點稱之為壓力點 (Pressure Point)。控制電腦會將在壓力點的壓力調整使其與該深度的水壓相同，這深度也就是該潮位儀的參考零點，所有這儀器量測的水位高度都是由這一點起算。

正常的量測程序是利用相對 (差分) 壓力計來量測系統壓力 p 與大氣壓力 p_a 間的差值，就由公式(1)中可得：

$$p - p_a = \rho \cdot g \cdot h \quad (2)$$

如果已知道水的密度 ρ ，則經過當地的重力加速度 g 可以反算水位高度 h (相對於壓力點)。在大都數的測站都用固定的海水密度 ρ ，但在大多數的河口這海水密度在潮汐變化週期中可能其海水密度也會有很大的變化，而且海水密度也可能因深度而改變。

由於氣泡式潮位儀是利用壓縮空氣與水底壓力平衡的原理，來量測壓力點與海水面空氣的壓力差，但是在細空氣管內的流體力學所產生壓力降與壓力點空氣出口的潮流速度都會影響到這些壓力的量測，根據簡單的拉米爾流動 (Laminar Flow) 原理，在管內的壓力降與管子的半徑、管長、海水升降速度...等都有關係。為了避免海水流入管內，管內氣體壓力必須維持一個與海水最小的壓力差，而這壓力差在海水升降最快時候，即 $(\partial h / \partial t)_{\max}$ 時所須的壓力差為：

$$\Delta P = (0.8 * \eta) * (\partial h / \partial t)_{\max} * (\text{管長} / \text{半徑})^2 * \Phi \quad (3)$$

其中 η 為氣體的黏滯係數

Φ 是一個無單位的常數，與系統的設計有關，約在 1.5~2.5 之間因此空氣調節器必須依潮水升降的範圍做週期性的調整。

水底下的壓力點是本儀器最重要的部位，但也是最容易被忽略的部位，因為若壓力調整不好可能會讓水流進管內，造成較大的誤差，為避免這樣的錯誤，最重要的因素是在壓力點及連接管內氣體的體積與壓力點截面積的比例。

壓力點一定要固定在海底的堅固結構物上，基準點的精度控制可用平行量測的另一系統（或稱之為 B 潮位儀）將第二個或更多個的壓力點置於接近平均海水面的深度，如此當其中任一個露出水面時，即可當做潮位站基準的功能，而當二個都在水下時則可比較二者的高度差，當做檢核之用。氣泡式潮位儀的優點是它不須要垂直的結構物，壓力點與記錄器可分開達 200m，若經特別設計還可達 400m 或更遠，另一優點是它的基準點明確而穩定，水底下的結構簡單且容易修護。

（二）絕對感應式海底壓力感應器

在很多地方都是利用這種簡單的感應器，固定在低於最低潮位的岩盤或海底結構物上，再用一條電纜線連接到岸邊的記錄站，可以輸送電源與訊號（如圖 2 所示）。在海底放置感應器的裝置必須穩固並可以防止生鏽或生物附著。如果這感應器可以量測絕對式（Absolute）壓力計，則可以提供水壓與空氣的總壓力 P ，因此，還須要一個獨立的氣壓計，以提供海水面的空氣的壓力 P_a ，以便計算單純水高度所產生壓力。因此，須要將兩種壓力記錄同時儲存在潮位記錄器中，並標示以時間，以便相減計算出海水面高度，這兩種壓力計最好是相同型式，並且做過相同的檢校。

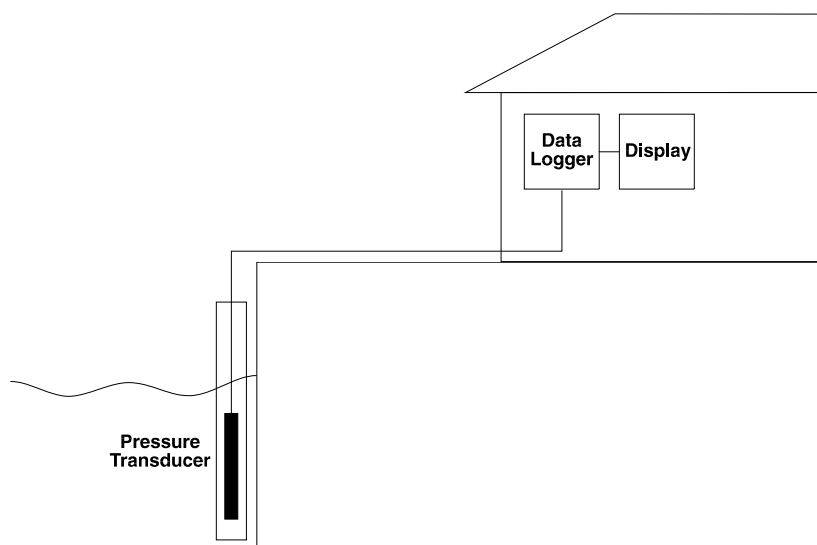


圖 2 單一感應式海底壓力感應器

壓力式的水位計耗電量低，可以用在偏遠地區或與世獨立的極區或不毛之地，它只提供有限的電源就可記錄超過一年的時間，在過去使用在小島、極區，甚至在被冰封的地方。當然，它的缺點是缺乏穩固的基準點，儀器本身也會有漂移的現象。

(三) 相對感應式壓力感應器

另一種方法是利用差分式 (differential) 壓力計，安裝方法都與絕對壓力感應器相同，唯獨其電纜線中要有一條中空管線，足以讓海平面或是記錄器旁的空氣通到感應器中，以便感應器能記錄到總壓力 P 與空氣壓力 P_a 的差值，如此可以正確的記錄到水柱所產生的壓力差 $P - P_a$ 。差分式壓力計的好處就是便宜，並且沒有兩隻絕對水壓計差異所產生的誤差，只要單一感應計即可使用，但它最大的麻煩是中空的通氣管線很容易有雜質沉澱、破裂或阻塞。根據過去的經驗，絕對式壓力計應該較實用。而且潮位觀測站通常都配置有氣象觀測儀器，其中氣壓計也是必備的儀器之一，因此，雙感應計的絕對式壓力計還是較實用的潮位儀。

(四) 三壓力感應器系統

是更複雜的壓力感應器系統，它是在 1990 年代初期發展出來的，以三個壓力感應器，其配置如圖 3 所示，其中 A、B 兩個感應器就如絕對感應式或相對感應式的潮位儀一般的裝設與功能，而 C 感應器則裝設在接近平均海水面的深度。因此，A、B、與 C 三個感應器的高差都是固定的，由 A 與 C 就可如上述經海水密度與重力的換算，可以得到水位高度，而 B 的壓力計則可以有兩種功能：

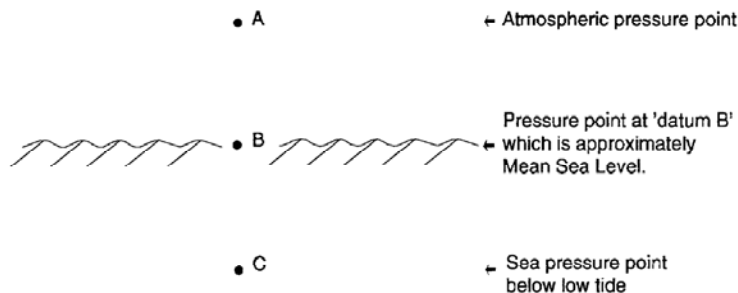


圖 3 三個感應器壓力感應式潮位儀

- (1) 當 B 在海水面以下時，A 與 B 的壓力差(圖 4b)就可拿來做固定高差的壓力較準或海水密度估計，也就是

$$\Delta P_{A-B} = \rho * g * \Delta h_{A-B}$$

- (2) 當 B 剛好在海水面以上時，此時的海水面高度就是在 B 點的高度，可拿來做絕對高度的校準。

所以如圖 4 所示，(a)圖顯示 C-A 的壓力差，與二壓力式相同，代表水位高；(b)圖顯示 B-A 的壓力差，當 B 在水位下時，與 C 的記錄相同，但當 B 露出水面時，則可當做潮位站基準。這種潮位儀最為昂貴，但精度較佳，又有穩定的基準。

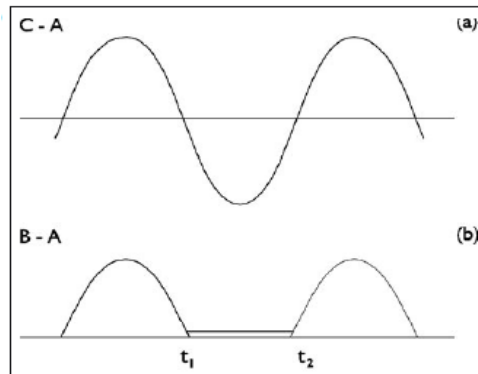


圖 4：三壓力感應器系統的壓力差，(a) 圖顯示 C-A 的壓力差，與二壓力式相同，代表水位高；(b) 圖顯示 B-A 的壓力差，當 B 在水位下時，與 C 的記錄相同，但當 B 露出水面時，則可當做潮位站基準。

若將三壓力感應器潮位系統的記錄以紅、藍代表圖 4 中 (a) 與 (b) 的壓力差，則可如圖 5 所示，其中紅藍交界的水平高度則可以調整成 B 點的高度，因為它是固定高，且在露出水面時可施測水準測量，可當做長期穩定的潮位站基準。

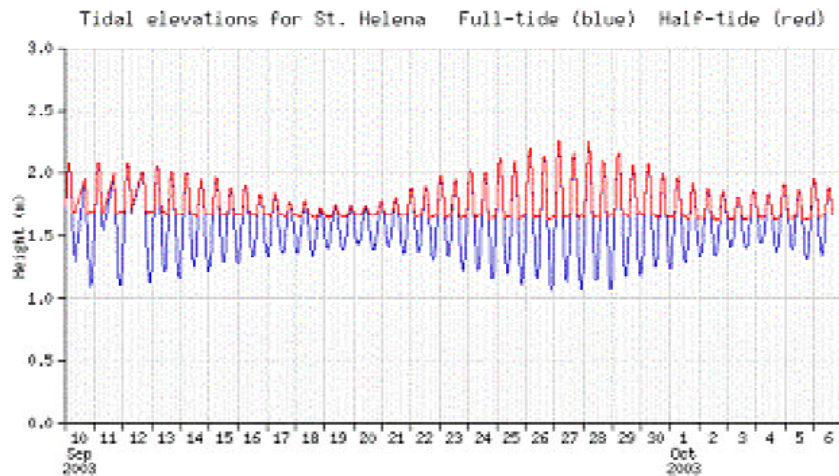


圖 5：三壓力感應器潮位系統的記錄以紅、藍兩色繪製其結果，其中紅藍交界的水平高度則可以調整成 B 點的高度，因為它是固定高，且在露出水面時可施測水準測量，可當做長期穩定的潮位站基準。

(五) 壓力式潮位站設置重點

壓力式潮位儀最大的特色是感應器大多在水底，而感應器設置的深度直接影響到量測的結果與量測的穩定度，另外一個特色是都用壓力來量測海水柱高，所以都須要將水壓的量測結果，用密度與重力加速度來轉換成海水高度。然而壓力計是會隨時間而漂移，須要做絕對值與尺度的校準。因此，壓力式潮位儀在儀器設置、維護、更換或重置時，必須注意下面的重點：

- (1) 儘量設在港口內，但是在有些時候無港口可用時則必須依下列考量因素來選擇。
- (2) 若要做海洋研究或長期高程基準，則要選擇儘量面向海洋（避免在海灣之內或海峽之中），並且遠離河口附近。
- (3) 儀器安裝要能適應惡劣的環境，如暴風雨、大雪…等，以保證能長期記錄資料。
- (4) 設置儀器的地面要愈堅固愈好，不要因結構不穩或因填土而產生下陷或傾斜的狀況，地要避開容易積水、淹水、河口侵蝕、海蝕之地區，或是容易淤沙地地區，最好是將儀器裝置於岩盤上。
- (5) 避開河口在此處不同季節或不同潮汐同期會有不同比例的海水／淡水混和，會改變海水鹽、密度造成靜水井中水密度與外面水密度的差異，而造成海水的高差，暴風雨經海流帶來的洪水與漂流物也易破壞測站及儀器。
- (6) 避開在極低潮時會造成與海隔離成獨立區域，或略低於海水面的沙壩及緩坡的沙灘都可能造成水面的差異，這些都不適合做潮位觀測。
- (7) 避開突尖的陸地或海灣容易造成潮汐常數的變化的地區。
- (8) 壓力式感應器的設置必需在穩定的海底岩盤或結構物，且可以多次拆、裝在同一深度上，精度應該在 mm 等級。
- (9) 壓力式感應器的設置壓力點若無法以水準測量聯測，則必須多次在高潮、中潮與低潮時量測海水面高度，並與量測結果做校準。
- (10) 壓力式感應器的感應器必須定期送標準檢校單位做精密檢校。
- (11) 壓力式感應器的設置深度必需低於最低潮位再往下保留可能的浪高（三壓力式潮位儀 B 感應器的設置則在平均海水面附近）。

三、壓力式潮位站設置流程步驟

（一）作業流程

壓力式潮位站設置流程參照圖 6，詳細設置步驟如后所述。

（二）設置步驟

1. 新設或遷移潮位站位置要先依站址選定原則，在目標地區找到穩定環境的地方：
 - (1) 先測定該地區的最高、最低潮位。
 - (2) 選擇穩定的岩盤，或堅固的大型結構物，具足夠的深度，可以安裝儀器。
 - (3) 若採用三壓力感應器系統的潮位儀，則在平均海水面附近還要擇一穩定並且可以施測水準測量的安裝地點。
 - (4) 避開陽光直射，波浪複雜，環境干擾因素太多的地區。
 - (5) 具有穩定電源及適當的通訊環境。
 - (6) 取得合法的使用場地。
 - (7) 設置潮位站水準點，並聯測其水準高程，此高程將成為該潮位站的永久基準，直至潮位站停止運作為止。

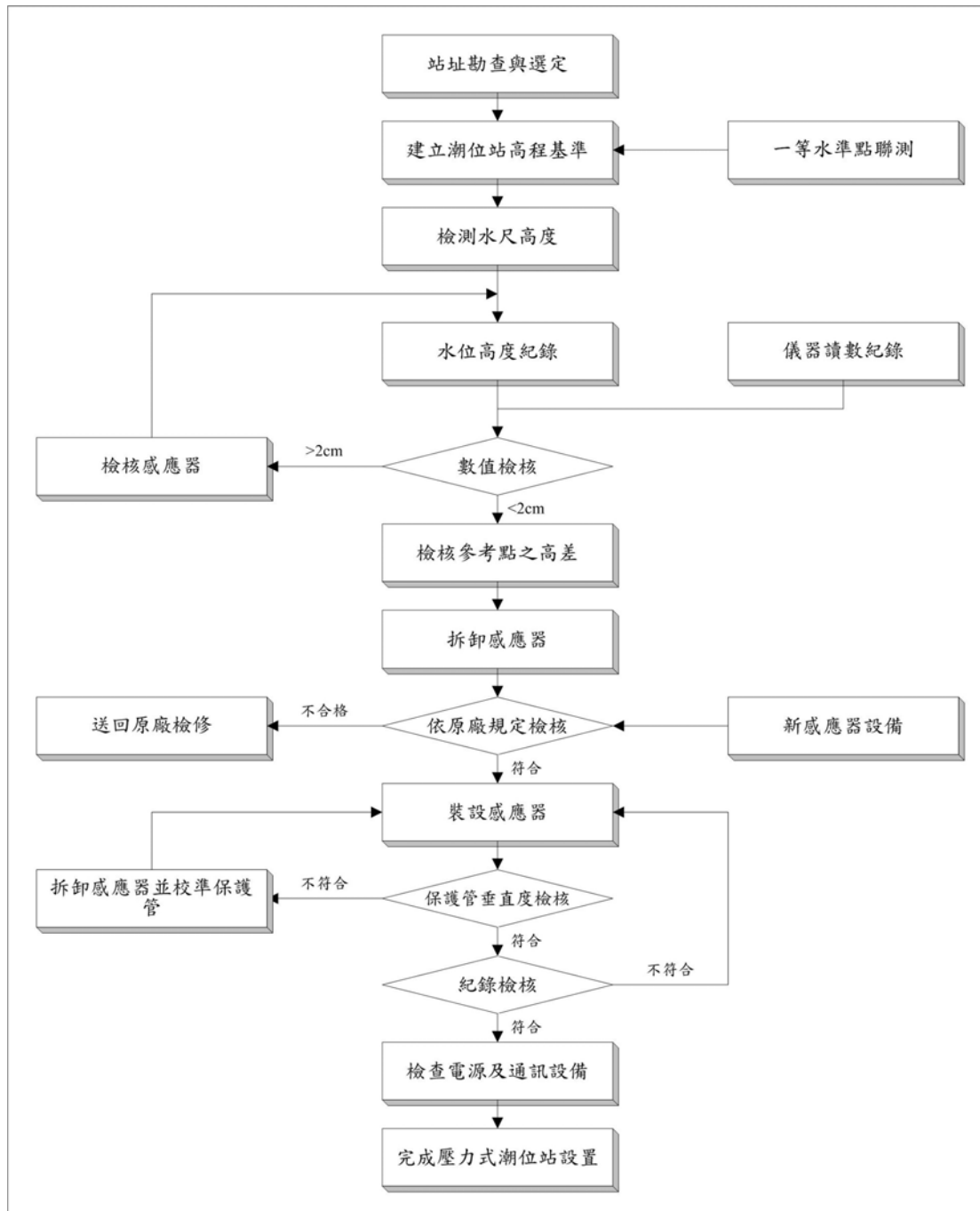


圖 6 壓力式潮位站設置流程圖

2. 在重置、更換儀器之前，先以水準測量檢測水尺高度，或岸邊施測電子水尺相對於潮位站水準點的參考高度，並記錄之。
3. 在儀器記錄資料的同一時刻，讀取水尺上的水位高度，或以電子水尺讀取水位高度並記錄之，水尺與電子水尺的參考高度與原設置之高度相同，不因水準檢測而更改。
4. 若儀器仍在運作時，亦記錄儀器相同時刻紀錄之高度，若二者較差超過 2cm 時，重覆步驟 3 之程序並記錄之。假若誤差仍超過 2cm，則在拆除感應器時，必需詳細檢查感應器的放置位置，及放置感應器保複裝置的穩定性。紀錄可能的各種異常現象。

5. 若採用三壓力感應器系統的潮位儀，則選擇在 B 感應器露出水面時，施測水準測量，以量測潮位戰水準點與 B 點的高差，紀錄之。
6. 潮位站之所有高程檢測，應避免正午時刻。
7. 水尺或電子水尺讀取水位高度時，應儘量於最高潮或最低潮時進行，以避免因水位變化過快，造成較大之誤差。
8. 開始拆移感應器時，要檢查感應器的相關位置，並檢查其附近是否有阻塞物，並記錄阻塞之比例。
9. 檢查所有電纜線的狀況，若有破損或鬆動，則需重新更換與安置。若是相對感應式壓力感應器或是具有空氣導管的三壓力感應器，必須檢查空氣導管的暢通性，若導管已損壞失去空氣引導功能時，應予更新設置。
10. 依照儀器原廠之規定檢核，決定該儀器是否需送廠檢校或更新，壓力式感應器一定要定時校，以消除儀器偏移或飄移的誤差。
11. 將感應器置放於保護箱中的固定位置，並固定之。
12. 以水準儀檢測保護管邊緣之垂直度並記錄之。
13. 依儀器原廠之規定，及儀器檢校之結果，或水尺之讀數輸入於儀器之記錄器中，此時儀器所記錄之水位高度應符合本潮位站之高程系統。
14. 依步驟 3~4 讀取水尺或電子水尺的水位高度，與儀器之讀數進行比較，若差異超過 2cm 時，應重新檢查設置過程是否有誤。
15. 檢查儀器電源及相關通訊設備是否正常。

四、參考資料

經濟部水利署，2007，近海水文站網維護管理與資料分析。

Holgate S. and T. Aarup, 2003, WORKSHOP ON NEW TECHNICAL DEVELOPMENTS IN SEA AND LAND LEVEL OBSERVING SYSTEMS, Workshop Report No. 193, Unesco.

Intergovernmental Oceanographic Commission, 1985, MANUAL ON SEA LEVEL MEASUREMENT AND INTERPRETATION Volume I - Basic Procedures, Unesco.

Intergovernmental Oceanographic Commission, 2002, Volume III - Reappraisals and Recommendations as of the year 2000, Unesco.

Intergovernmental Oceanographic Commission, 2006, Manual on Sea Level Measurement and Interpretation Volume IV: An Update to 2006, Unesco.

Pugh D.T., 1996, Tides, Surges and Mean Sea-Level, Chichester, UK, John Wiley & Sons Ltd, 486pp.

User's Guide, Model 4100/4110 Series Aguatra Aguatrak Co.

Gill, S.K. & J.R. Schultz., 2001, Tidal Datum and their Applications, NOAA Special Publication, NOS CO-OPS1, pp1-112.

附錄 C 潮位站潮位資料處理之標準作業程序 (草案)

一、概述

常態的潮汐預測是基於簡單的線性理論，認為潮汐可以歸納成數個或數十個力量（萬有引力）所造成海水面變化的總和現象，因此，將一些已知的天文潮汐頻率進行調和分析，認為這些頻率在海上經過一些作用後，仍然維持固定的頻率，所以在不同的測站，測得潮汐振幅大小與相位可能會有不同的差異，但其頻率仍應維持相同，而各頻率的振幅相對變化亦可維持在一個極小的範圍內。

基本上，海水潮汐主要由地球與鄰近天文星體間的吸引力，尤其是月球、太陽與地球的相對位置造成的影響最大。而這個系統的變化並非純粹是線性的，因此所有的潮汐預測加總、相對差異以及頻率的調和性質，都要考慮非線性所產生的誤差（Schureman, 1941）。

在開放性的海岸進行觀測，通常需有相當長時間的潮汐觀測資料，方可用來估計各天文潮汐頻率的振幅及相位大小，以便來進行良好得潮汐預測。在美國海洋測量局（National Ocean Service, NOS）的參考潮位站，通常至少須使用一年的逐時資料來分析半日及一日的潮汐分量，對於半年或一年的潮汐分析，則更需數年或數十年的月平均值來進行調和分析。Scherer（1990）認為要解出 S_a 、 S_{sa} 的分量，可能至少需用數十年的資料方能求得良好的結果。美國海洋測量局用 37 個主要的天文頻率進行潮汐的分析，其中 12 個主要頻率及其相對振幅大小如表 1（NOAA, 2000）所示。

表 1 潮汐資料主要調和頻率組成

| Species and name | Symbol | Period Solar hours | Relative Size |
|-------------------------|----------|-----------------------|---------------|
| Semi-diurnal: | | | |
| Principal lunar | M_2 | 12.42 | 100 |
| Principal solar | S_2 | 12.00 | 47 |
| Larger lunar elliptic | N_2 | 12.66 | 19 |
| Luni-solar semi-diurnal | K_2 | 11.97 | 13 |
| Diurnal: | | | |
| Luni-solar diurnal | K_1 | 23.93 | 58 |
| Principle lunar diurnal | O_1 | 25.82 | 42 |
| Principle solar diurnal | P_1 | 24.07 | 19 |
| Larger lunar elliptic | Q_1 | 26.87 | 8 |
| Long period: | | | |
| Lunar fortnightly | M_f | 327.9 | 17 |
| Lunar monthly | M_m | 661.3 | 9 |
| Solar semi-annual | S_{sa} | 4383 | 8 |
| Solar annual | S_a | 8766 | 1 |

表1中數值的相對大小，是指該頻率在平衡潮理論（Schureman, 1941）中，以月球半日潮汐 M_2 的理論振幅當做100所計算出的大小。在平衡潮理論中是假設地球表面佈滿了水，並且不考慮潮水流動產生的阻力，這是用較簡化的方法來描述大量潮水的特性。此外，月亮的緯度變化也會造成一個18.6年周期的總和變化。一般而言，利用 $(M, S, N, K)_2$ ， $(K, O, P)_1$ 幾個主要的分量就可以組成90%的潮汐變化，圖1（NOAA, 2000）是1日潮汐變化的示意組合。

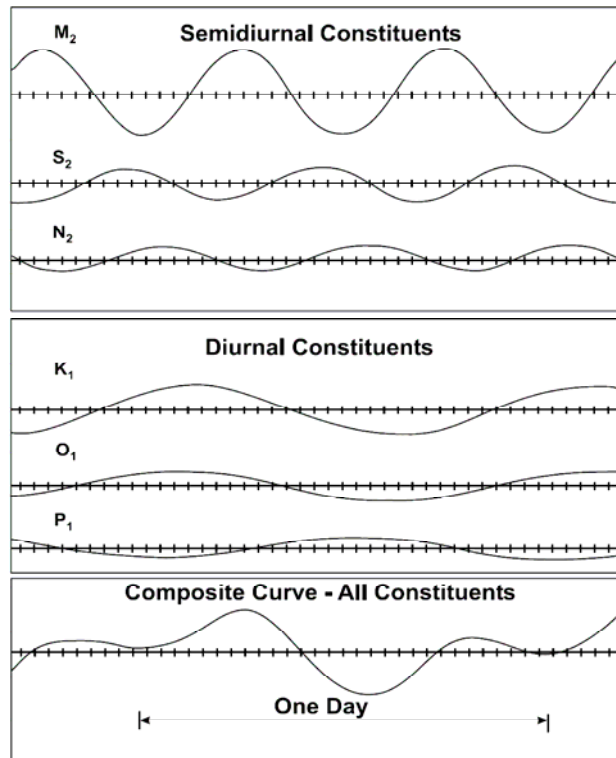


圖 1 地球潮汐與潮位站觀測的流程圖

至於天文潮汐與海水潮汐的差異，通常受到氣象因素的影響，但在不同地點受到不同的地區效應，各潮汐分量的變化不同，其振幅變化亦有差異，通常 $M_2/S_2=2.15$ 與 $O_1/P_1=2.15$ 通常被認為可以維持較穩定的相對關係， S_a 的一年週期潮汐則受溫度與氣壓的年周期變化高度相關，在潮汐分析時最好有氣壓資料一起分析。

由於潮汐並非影響海水面變化的唯一因素，其它如浪、風、洋流、河流出口、漩渦、溫度、鹽度、氣壓及全球海水總量的變化等，均會造成海水面的變化；此外，潮位站儀器所在地點的高度變化，也會直接影響記錄的數值。舉例來說，風所造成的湧浪可高達 1m，海上漩渦可造成 25cm 的變化，表面水層溫度有 35cm 的變化，洋流影響亦可達 1m 以上，溫室效應則可達 1 世紀近 30cm 或更高之影響等。

二、潮位資料處理原則及方法

各潮位站的長期資料，經年累月，換儀器、換管理人員、管理單位、換測站等等，造成了資料的複雜性，而現今主要包括有音波式與壓力式兩種，近年來有廠商製造雷達式的儀器，連安裝套件及感應器都整套出售，但安裝的還不多，現有儀器都配合其它儀器同時觀測。資料記錄過程經由觀測、編碼、通訊傳遞過程中，可能因儀器設備故障、人為疏忽、或其他因素干擾，造成資料錯誤或漏失，若不經適當品質檢測，可能由於錯誤的資料，造成相關作業的重大損失，故進行資料檢測及品管是有其必要性。資料品管的意義為找出並去除有問題資料，同時經由品管可發現某些異於常態的特殊資料，可進一步了解資料本身特性。因此，資料的整理在整個資料處理過程中，是最耗費人力與時間的，一般而言，資料的篩選根據以下幾個原則：

- (1) 由於月亮繞地球轉，使得潮汐的變化曲線一天比一天晚約 50 分鐘，依此特性可檢查不正常的資料。
- (2) 資料異常超過一米以上的先行清除。
- (3) 資料異常較小時，先考慮是否氣象因素或暴潮的影響。
- (4) 若只缺一或二點的資料盡量補齊。
- (5) 不能確定是否錯誤的資料則保留。

依以上的原則，將各測站的資料逐月或逐年篩選，其所經常發生的錯誤如下：

- (1) 小數點缺漏，以至於造成數十倍的數值，只要能篩選出來即很容易修正。
- (2) 數字缺漏，此類的錯誤較難修正，但若是缺了公尺位數，則與前後天相近時期的水位高有明顯的差異，能確定的修正，其餘的缺漏則影響較小，也無以所憑來修正，就當雜訊處理。
- (3) 資料傳輸或備份時的錯誤，而造成缺數字，此時所有的水位會變的異常混亂，須小心的用人工去判斷，再加入適當的字元。

潮汐是地球表面水位受到天體引力影響，產生週期性的上下起伏律動現象，配合儀器本身的潮位觀測作業特性，可據以設計出適當的潮位品管作業程序。基本上，潮位資料品管作業即依據潮汐學理及儀器觀測原理設計。目前進行潮位資料品管依下列幾項原則進行：

- (1) 合理性：依據觀測儀器規格所設定之範圍及物理現象限制作為合理性判定標準。
- (2) 連續性：潮汐現象是水位的週期性變化，水位的變化屬逐漸變動，若潮位資料隨時間上的改變量超過一限度即視為可疑資料。品管的方式為先將資料經平滑處理後，以原始潮位資料減去平滑後潮位資料，得一代表潮位資料變動的時間序列，並統計其標準偏差，如潮位資料在某一時刻的變動數值超過 3 倍標準偏差，即判定為不連續數據。

- (3) 關聯性：即潮位變化相同的相位(如最高潮或最低潮等)每天會延後約 50 分鐘，相鄰觀測站對地震、暴潮、氣候變化會又相同的反應，同一測站若有兩個以上的潮位觀測儀器，則可以互相彌補不足之處。意即在時間或空間上的關聯性可以拿來做檢合及補缺的依據。

三、潮位資料處理的流程

一般而言，潮位資料品管處理的流程如圖 2，首先進行自動品管（詳如圖 3 將不正常資料直接清除，最後另存新檔，不會有資料混亂的問題），接著進行人工品管（修正自動品管不合理資料），最後將經品管處理的資料建檔及歸檔。不論是資料異常或資料缺失的檢核，除了利用程式進行自動品管外，均需再由有經驗之作業人員進行人工品管，以確保檢核成果之正確性。因此，潮位觀測資料每日即時傳送至執行單位進行線上自動品管作業，經品管後篩選出不合理數據並加註標籤，再由專責人員進行人工潮位品管，進一步修正並確認經自動品管未檢驗出或誤判之不合理數據，完成自動品管及人工品管後之潮位資料。

人工品管處理後之潮位資料，由於所有不合理資料均予以剔除，會造成資料有不連續的中斷情況，降低了潮位資料統計上的可信度性（其影響量不易估計，看該筆資料所發生的相位處，因此也和頻率的不同而相異），此可依據潮汐的週期變動特性，予以合理的補正，相關步驟如后。

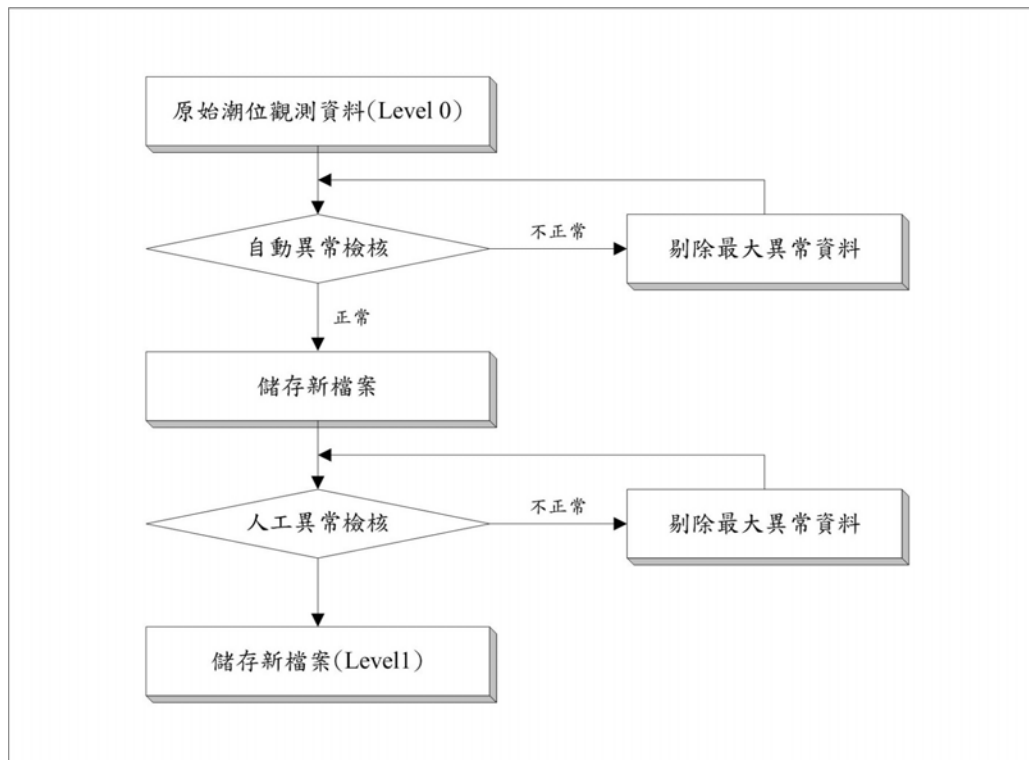


圖 2 潮位資料處理流程圖

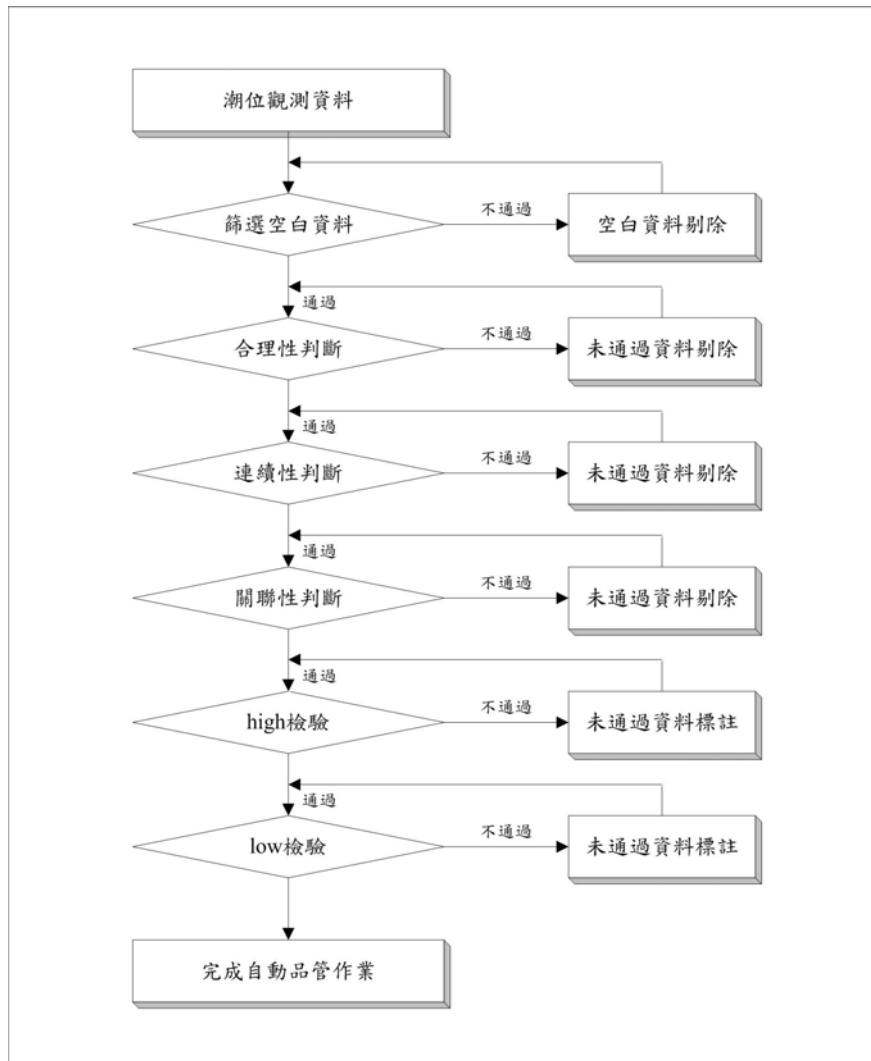


圖 3 潮位資料自動品管檢測流程圖

1. 從野外取得的資料一定要先處理並讀取時刻數值 (Tabulated) 才能加以計算潮位基準 (Tidal Datum)，首先未處理過的原始資料 (Level 0) 要先做品管以形成初步資料 (Level 1)，這品管的要點在檢查並剔除偏離值 (Outliers) 跳脫值，潮位曲線扭曲的點位以及未列入記錄的高程偏移值或尺度偏移值。一般標準潮位取樣間距為 6 分鐘，但其它的間距資料仍可採用。6 分鐘取樣可使高潮位低潮位的讀取時間精度可準確到 1/10 小時。最後並透過人工的檢示與修正項目如下：

- (1) 超出最大、最小值範圍。
- (2) 超出誤差量最大值。
- (3) 不符合連續性或缺漏。
- (4) 日期、時間有疑問。
- (5) 突發性資料。
- (6) 高潮小於平均海水面或低潮高於平均海水面。
- (7) 潮差過小 (小於 4cm)。

2. 利用程式讀取國內現在潮汐資料之共通格式，由於現今資料之檔頭格式規定不嚴格故暫行忽略之。資料不見得正確，也不完整。檔案格式通常是 1 個小時 1 行，若是逐時紀錄的，則僅有測站、時間與 1 筆資料（表 2）；若是 6 分鐘紀錄的，則資料有 10 筆（表 3）。遇缺資料時，有時以 0 表示，有時是空白，常造成麻煩。最常見的情況是，當換檔案時就表示可能換管理單位或換儀器或換測站等。

表 2 原始潮位觀測紀錄資料（6 分鐘紀錄）

```

基隆潮位觀測資料
位置：25°09'18"N 121°45'05"E：基隆港西33號碼頭
儀器型式：
基準面相對KP：+0.000cm
資料來源：中央氣象局
yyyymmddhh：西元年月日時
:00：0分潮高，:06：6分潮高，依此類推
潮高單位：公尺。
時間不連續，表示缺觀測資料。
時間：民國96年1月—民國97年12月
*****
*st yyyymmddhh :00 :06 :12 :18 :24 :30 :36 :42 :48 :54
1516 2007010100 -666 -684 -678 -695 -713 -719 -717 -726 -719 -730 Q
1516 2007010101 -745 -754 -737 -737 -748 -743 -731 -743 -743 -725 Q
1516 2007010102 -700 -709 -713 -705 -659 -659 -671 -659 -623 -619 Q
1516 2007010103 -617 -580 -560 -552 -561 -523 -489 -484 -483 -447 Q
1516 2007010104 -399 -410 -397 -369 -323 -312 -306 -295 -256 -235 Q
1516 2007010105 -221 -213 -180 -155 -149 -133 -110 -84 -71 -48 Q
1516 2007010106 -12 17 24 35 48 85 104 119 136 153 Q
1516 2007010107 170 176 202 228 239 239 252 276 290 293 Q
1516 2007010108 291 319 323 317 296 320 336 343 328 336 Q
1516 2007010109 351 363 345 335 334 355 360 356 341 341 Q
1516 2007010110 351 335 329 321 322 305 292 283 285 262 Q
1516 2007010111 246 227 213 195 198 197 182 156 138 149 Q
1516 2007010112 139 125 112 115 90 88 83 77 64 72 Q
1516 2007010113 59 41 40 55 49 31 14 24 20 27 Q
1516 2007010114 23 34 9 -1 11 24 17 18 30 14 Q
1516 2007010115 2 13 31 18 12 28 46 28 13 27 Q
1516 2007010116 37 33 44 51 51 38 44 42 42 35 Q
1516 2007010117 54 57 65 71 69 55 73 105 94 63 Q
1516 2007010118 82 107 106 107 100 112 101 100 81 78 Q
1516 2007010119 78 95 83 81 77 73 72 68 62 46 Q
1516 2007010120 35 42 36 21 6 1 -5 -28 -51 -52 Q
1516 2007010121 -51 -59 -86 -108 -113 -115 -132 -170 -192 -199 Q
1516 2007010122 -201 -221 -248 -268 -299 -309 -313 -330 -370 -389 Q
1516 2007010123 -385 -409 -453 -471 -464 -485 -528 -567 -569 -578 Q

```

表 3 原始潮位觀測紀錄資料（逐時紀錄）

```

基隆舊站逐時潮位觀測資料
位置：25°08'49"N 121°44'41"E：基隆港
儀器型式：
基準面相對KP：
資料來源：中央氣象局
yyyymmddhh：西元年月日時
height：潮高
潮高單位：公尺。
時間不連續，表示缺觀測資料。
時間：民國35年1月—民國79年12月
*****
*st yyyymmddhh height
1212 1946050108 1150 Q
1212 1946050109 1080 Q
1212 1946050110 1040 Q
1212 1946050111 910 Q
1212 1946050112 780 Q
1212 1946050113 660 Q
1212 1946050114 450 Q
1212 1946050115 450 Q
1212 1946050116 540 Q
1212 1946050117 740 Q
1212 1946050118 850 Q
1212 1946050119 1000 Q
1212 1946050120 1130 Q
1212 1946050121 1240 Q
1212 1946050122 1260 Q
1212 1946050202 370 Q
1212 1946050203 350 Q
1212 1946050204 430 Q
1212 1946050205 550 Q
1212 1946050206 730 Q
1212 1946050207 850 Q
1212 1946050208 950 Q

```

3. 若以現今較為通行的 6 分鐘資料來說，資料本體是每小時（10 筆資料）為 1 行，行頭為站名，之後代表記錄時間之年、月、日、時連續列出，各為 4 位、2 位、2 位及 2 位數字，其後為 10 筆潮汐紀錄，各佔 6 位數字，其單位為 mm。若 1 小時內缺數筆資料時，則該欄位為空白（表 4），若連續一段時間均無資料時，則可能整行紀錄均不存在。因此，在時間上該紀錄並不一定是連續的。

表 4 原始潮位資料缺失範例

| | | | | | | | | | | | | | |
|------|------------|-----|-----|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| 1486 | 2004050322 | 350 | 326 | 306 | 295 | 285 | 282 | 271 | 258 | 251 | 243 | Q | |
| 1486 | 2004050323 | 235 | 235 | 219 | 205 | 184 | 183 | 182 | 193 | 182 | 184 | Q | |
| 1486 | 2004050400 | 168 | 161 | 162 | 174 | 174 | 164 | 156 | 167 | | | Q | |
| 1486 | 2004050406 | | | | 資料缺失 | | | | | 736 | 717 | Q | |
| 1486 | 2004050407 | 716 | 719 | 721 | 723 | 716 | 705 | 700 | 697 | 693 | 688 | Q | |
| 1486 | 2004050408 | 662 | 639 | 628 | 619 | 611 | 611 | 587 | 576 | 556 | 547 | Q | |
| 1486 | 2004050409 | 544 | 530 | 492 | 486 | 469 | 470 | 465 | 446 | 416 | 382 | Q | |
| 1486 | 2004050410 | | | | 資料缺失 | | | | | 279 | 238 | 220 | Q |
| 1486 | 2004050411 | 189 | 175 | 169 | 179 | 191 | 193 | 178 | 164 | 127 | 115 | Q | |
| 1486 | 2004050412 | 97 | 100 | 97 | 113 | 115 | 115 | 98 | 93 | 82 | 87 | Q | |
| 1486 | 2004050413 | 70 | 74 | 56 | 63 | 51 | 60 | 61 | 53 | 57 | 70 | Q | |
| 1486 | 2004050414 | 85 | 87 | 92 | 91 | 93 | 88 | 103 | 112 | 120 | 125 | Q | |
| 1486 | 2004050415 | 142 | 161 | 168 | 185 | 189 | 198 | 194 | 207 | 225 | 237 | Q | |
| 1486 | 2004050416 | 248 | 264 | 286 | 297 | 310 | 327 | 341 | 355 | 358 | 358 | Q | |
| 1486 | 2004050417 | 373 | 384 | 405 | 430 | 453 | 440 | 442 | 431 | 438 | 457 | Q | |
| 1486 | 2004050418 | 477 | 500 | 508 | 493 | 505 | 497 | 520 | 523 | 532 | 539 | Q | |
| 1486 | 2004050419 | 529 | 535 | 551 | 558 | 563 | 563 | 546 | 537 | 531 | 547 | Q | |
| 1486 | 2004050420 | 549 | 558 | 550 | 542 | 529 | 522 | 528 | 521 | 500 | 478 | Q | |
| 1486 | 2004050421 | 465 | 449 | 460 | 474 | 472 | 452 | 426 | 387 | 368 | 364 | Q | |
| 1486 | 2004050422 | 358 | 365 | 358 | 352 | 353 | 357 | 346 | 333 | 294 | 264 | Q | |
| 1486 | 2004050423 | 233 | 233 | 263 | 277 | 260 | 250 | 230 | 213 | 213 | 217 | Q | |
| 1486 | 2004050500 | 224 | 197 | 173 | 164 | 186 | 192 | 192 | 186 | 175 | 161 | Q | |
| 1486 | 2004050501 | 175 | 187 | 206 | 192 | 193 | 177 | 188 | 209 | 235 | 239 | Q | |
| 1486 | 2004050502 | 235 | 227 | 242 | 269 | 297 | 303 | 308 | 315 | 327 | 341 | Q | |
| 1486 | 2004050503 | 360 | 377 | 388 | 405 | 425 | 464 | 496 | 508 | 504 | 501 | Q | |

4. 當程式讀取整個檔案的資料後，在無資料處補上 NaN (not a number) 的代碼，而於資料讀取結束後，可輸出 2 個變數：時間（單位：天；自西元某年 1 月 1 日起算之天數）及海水面高度（單位：mm；其高程基準基本上均為基隆的平均海水面）。有時檔頭資料可能列有修正值，但資料仍有一段時期偏離原有高度的現象，因無相關資料故無法修正。

四、參考資料

經濟部水利署，2007，近海水文站網維護管理與資料分析。

NOAA Special Publication NOS CO-OPS 1, 2000, Tidal Datums and their Applications.

Scherer, W.D., 1990, Decomposition of Sea Level Variations: An Approach, National Ocean Service, Oceanography Workshop, unpublished manuscript.

Schureman, P., 1941, Manual of Harmonic Analysis and Prediction of Tides, Special Publication No. 98(1940), U.S. Coast and Geodetic Survey, U.S. Govt. Printing Office, revised ed.

附錄 D 區域平均海水面計算之標準作業程序（草案）

一、概述

（一）平均海水面定義

平均海水面一直被認為是應該和大地水準面（Geoid）一致的，而事實上，它們仍有些差異，Wyrski（1974）曾經利用百年以上船隻航海時所記錄的水壓和鹽度來計算全球海水面的 Steric height，發現全球海水面的長期平均並不是一個平面，而有數十公分的差異，其最高的地方就在臺灣東約 500 公里處，這種長期平均海面地形的高低起伏差異主要來自高低緯度的溫差以及洋流的影響，臺灣附近海域的隆起，主要是受黑潮通過的影響，由於科氏力（Coriolis force）的作用，使海面形成一個坡度，幸而黑潮流向平行於臺灣東海岸，其海水坡度垂直於海岸線，故而其影響對東海岸各潮位站平均海水面所造成的差異可能不大。近幾年來衛星測高儀所測得的海水面地形（Sea Surface Topography）亦得到相同的結果，在 TOPEX 長期觀測的結果，在北半球順時針旋轉的洋流總是繞著海面地形高地（Sea Surface Topographic Hills），臺灣東北方的海面還是最高的（圖 1；<http://sealevel.jpl.nasa.gov/gallery/science.htm> 及 http://en.wikipedia.org/wiki/Ocean_surface_topography）。

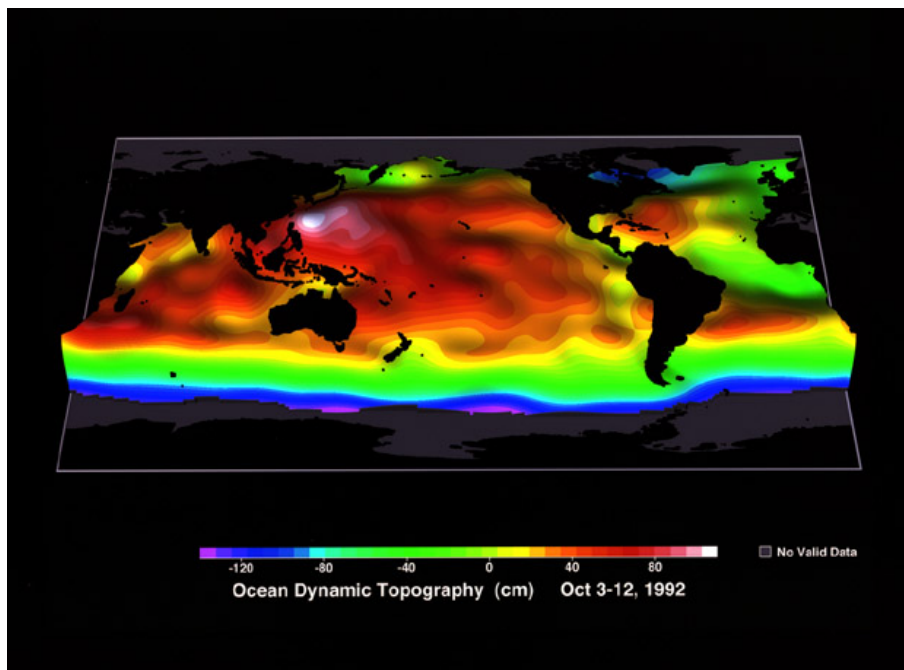


圖 1 全球平均海水面

海水面的變化，當然遠複雜於上面所說的平均海水面，它受潮汐、風、氣溫、氣壓、地形等的影響，每天都會有數公尺到數十公尺的變化，因此，平均海水面的求取，並非如其字面之義，就取其算數平均值即可，而是要將各種外來的影響力都考慮進去，並考慮潮位站基準點所在的地殼垂直變動。

參考前述國外相關研究，因為許多複雜的因素，使得潮位資料之分析更為重要，也使得平均海水面的定義與計算更要細加推敲，是否能算出一個長期穩定的平均海面？也是否能分析出各種影響平均海面變動的因素？當然，有良好維護的測站，以獲得穩定、不中斷、不受其他因素干擾的潮位資料是第一步，濾除不良紀錄的資料則是第二步，合理穩定的數學模式來計算平均海面則是最重要的手段。

（二）平均海水面的估計方式

平均海水面的估計的唯一方法就是算術平均，傳統只是依原資料平均，近年來則大家想用調和分析或其他方法來估計理論潮汐與其它已知的影響量，如地殼變動與氣象因素影響，再加以除去，然後再做平均。接下來就是要分析如何取平均海面，基本上，海面的變動，除了天文潮汐以外，會受氣象、洋流、環境與地殼變動等的影響，因此為不同目的可能採用不同的方法來估計。

科學家分析海面必須用較長的時間序說，其中每一筆資料都要是經仔細量測的海面高度。在任何一個時刻的海面應該被認為是觀測水位=平均海面+潮汐+氣象影響量因素，在上式中的任何一項因素都是受不同的物理程序所控制，每一物理程序所產生的變動量都與另一物理程序無關連。這些因素中的任何一項也有許多不同的定義方法，其中最廣被接受的定義是潮汐（Tide）是海水位周期性的變化，這是由多種頻率的訊號所組合，每一頻率都與一特定的地球物理力量來源有關，其中最主要的二項是來自地球-月亮與地球-太陽間的吸引力有關，這就是所謂的重力潮。另外有較微弱的周期性訊號，主要是來自周期性變化的大氣壓力與向陸及離陸周而復始的風向變化所引起的。

大氣殘餘影響是指海面變化在經分析後除去周期性的潮汐，所殘餘的變化這可能就像氣候變化一般，不太呈現規則性，另外有時有較大的殘餘變化，稱之為暴潮是較大而非潮汐因素的特殊事件。

平均海面是海水高度的平均，一般是以超過一年期的逐時記錄的平均值，若對大地測量目的的平均值，則是數年期的平均值。其主要重點如下：

1. 潮汐分析必需使用已知的潮汐頻率來計算，否則不算完整。
2. 這分析必需從一年 8760 的逐時記錄到可掌握的參數來完整的分析所有的分量。
3. 這樣殘餘的潮汐記錄就可呈現其餘的海面高度變化的分量（如暴潮、海嘯等）。
4. 每個機構都發展他們自己認為最佳的潮汐分析方法，其中除了（Munk&Cartwright, 1996）的反應法（Response Methodes）外，其餘都必須分析調和函數的各個分量。
5. Murray1963，Foreman1977 都是用計算機來同時解算多個方程式，其中多數都已為使用者友善的介面程式（www.polacuk/psmsl/training/analysis.html）。

因此，對於平均海水面紀錄的描述，應包含以下幾點：

- (1) 單位
- (2) 潮位量測所根據的基準的描述
- (3) 潮位基準與主要的 TGBM 的關係
- (4) 未完成或內插資料方指標說明
- (5) 潮位基準更換、水準點更換或任何主要程序上的更動等之描述
- (6) 所有高程的記錄最好都能到最接近的 mm，而潮位基準最好是在潮位儀的零點。

因此，利用潮位站資料計算平均海水面時，所有未完成的潮位觀測或內插點資料最好都有指標，使得使用者能瞭解最後的平均海水面資料的精度。其原則如下：

- (1) 資料中的跳脫點（Gaps）必須加以內插補齊，而且最好是在計算月平均及年平均之前補齊。
- (2) 內插的計算最好是在資料處理的最開始就補齊。
- (3) 假如無法內插補齊資料，月平均仍需由未補齊中的資料去計算，但若缺值超過 15 天，則不必計算月平均（當作缺失點）。
- (4) 當月平均計算完成後，總計的月資料缺失數必須記錄在平均數後的括號之內，若缺失資料完全可以內插，則以 XX 表示之。
- (5) 年平均值之後則無須跟隨括號，這是假設所有的用來計算月平均的資料全部用來計算年平均，資料的使用者自己根據資料來判斷年平均值的好壞。
- (6) 如果是用月平均值來計算年平均，則月平均數須給予加權，其加權數即為該月有資料的天數。

二、平均海水面計算原則及方法

平均海水面不論採取何種理論，最終計算的原理仍只是算術平均而已，因此想要估計較正確的平均海水面，最重要的是如何消除潮位觀測資料中的誤差量，依據目前採用的方式為則將觀測資料中缺失部分採取補遺的方式補足後，方估計其平均海水面，避免若缺失的資料集中於高潮或低潮期時，所估計的平均海水面有所偏差。此一方法為內政部 2003 年所採用的方式（內政部，2003）。但除了利用 Cubic Spline 與多變數迴歸法進行補遺後，另以調和分析進行基準變動修正後，再進行有關平均海水面的計算。

而平均海水面以算術平均值估計，在計算算術平均值時，若中間有缺漏的資料，會造成算數平均值的偏差，當缺漏資料位於一個周期的不同位置，所造成的算術平均值偏差也會不一樣，所以在計算平均海水面時，會產生幾種不同的思考方式，以下為其重點。

- (1) 想辦法補齊所也缺漏的資料
- (2) 利用理論潮汐的估計法，除去所有的週期潮汐，尤其是半日潮與全日潮，其振幅最大，任何缺漏所造成算術平均值偏差也最大。

(一) Cubic Spline 資料補遺

最初修補潮汐缺失資料係使用 Cubic Spline 或潮汐預測的方式處理，因為潮汐的半日潮週期為 12 小時 24 分鐘左右，選取 1/4 週期內空缺資料的接補應屬合理，缺失資料如在 3 小時以內，使用 Cubic Spline 的方式予以接補，可得到令人相當滿意的結果，而資料缺失若超過 3 小時，而其前後有足夠的資料可以做潮汐預估，則以理論潮汐填補之，其餘不能預測的部份，則暫不予處理。Cubic Spline 補遺的方式，最大的缺點就是當一個處理視窗兩端的資料有缺失時，或資料缺失較長時，剩下的資料無法正確顯現潮汐原有特性時，因此缺失資料在曲線不同位置，可能會產生不同的差異；因此採用 Cubic Spline 演算法目前最佳方式，是取 10 天的潮汐資料一起進行 Cubic Spline 計算。

Cubic Spline 演算法基本上將某一多項式曲線擬合至某一組資料，可從另一個觀點來考慮，即繪圖的觀點。假定資料並不一定容易發生誤差，因此最小平方法並不適用，但可想像以「平滑曲線」來擬合這些點，而採用方法係所謂的曲線之樣條擬合 (Spline fitting)，一個樣條乃一可加權的彈性帶，因此它不僅能通過每個已知點而平滑地從每個區間接至下一個區間。以一組三次式通過已知各點，每個區間都是使用新的三次式，為了平滑起見，因此每個接點處的兩個三次式之斜度與曲線必需相同，而計算式子如下：

$$f_i(x) = a_i(x - x_i)^3 + b_i(x - x_i)^2 + c_i(x - x_i) + d_i \quad (1)$$

for $x_i \leq x \leq x_{i+1}$ and $i=1, \dots, n-1$

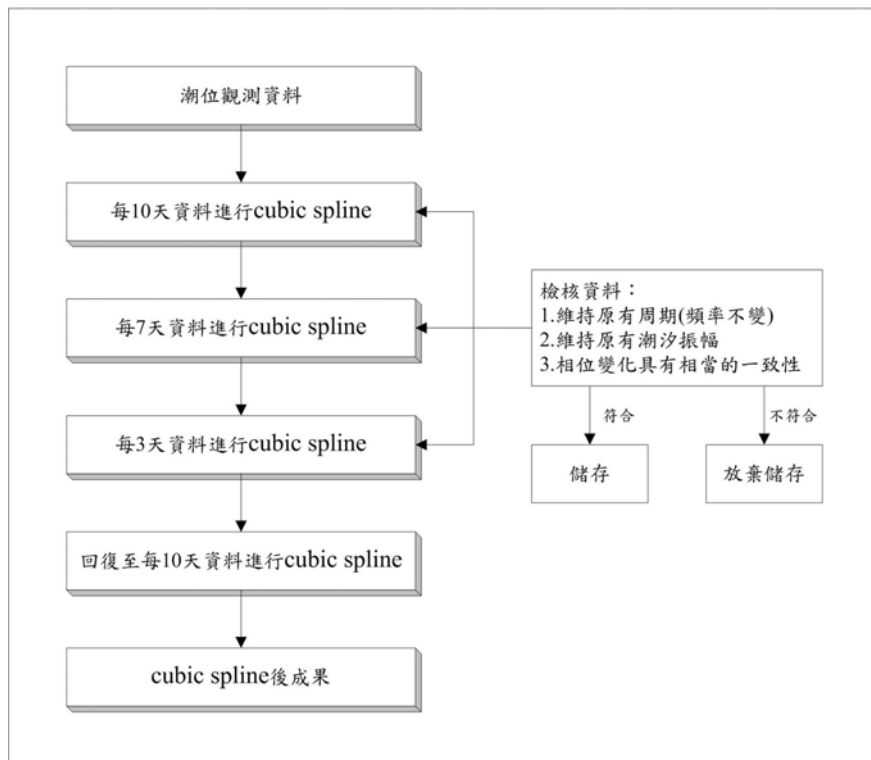


圖 2 Cubic Spline 計算流程圖

程式的設計中，以每 10 天的資料顯示 1 張圖，對於完全無缺失資料的時間段將會自動跳過，若有資料缺失時，程式會自動顯圖並詢問是否進行補償，此時需由人工判斷是否進行補償，若不進行時，程式將自動執行下一階段；當進行補償時，程式將顯示原始資料與補償成果，若判斷其補償成果不佳可選擇不儲存，否則新的補償後成果將取代原有資料輸出至新的變數中。

(二) 多變數迴歸法

由於 Cubic Spline 演算法補遺資料，多數長時間的缺失並無法得到良好的成果，因此，後來又發展了多變數迴歸法，其原理就是利用半天、一天、半月及一月周期的顯著頻率的正弦與餘弦函數做為相同時間的序列，利用多變數迴歸法來分析潮位。

利用多變數迴歸法進行潮位資料分析，Rossiter (1972) 同時考慮海水面高度所受的不同影響因素，利用迴歸分析的方法，求出各種因素對潮汐的影響。他所用的公式如下：

$$Z_t = \sum_{p=0} a_p t^p + \sum_{r=0} b_r B_r(t) + \sum_i [c_i \cos 2\pi\omega_i t] + \sum_i [d_i \sin 2\pi\omega_i t] + \varepsilon_t \quad (2)$$

其中 Z_t 是在 t 時間的海水面高度，是 P 次多項式來表示長期性的變動

B_r 代表各種不同的氣象因素，如氣壓、氣溫降雨量等，

ω_i 則是各種天文潮汐分量的角頻率

ε_t 則是其他未考慮進去的各種殘餘影響量及誤差

c_i 、 d_i 為各種週期天文潮汐之振幅

本計畫中利用多變數迴歸法主要參照公式 (2)，但是所用的頻率較少，只有採用 9 個主要頻率 (表 1)，其修正後如公式 (3)。

$$Z_t = a_0 + \sum_{i=1}^9 [c_i \cos 2\pi\omega_i t] + \sum_{i=1}^9 [d_i \sin 2\pi\omega_i t] + \varepsilon_t \quad (3)$$

其中 a_0 為擬估計之平均海水面高度， $\omega_1 \sim \omega_9$ 代表使用的天文潮汐分量的角頻率 (依序為 O_1 、 K_1 、 K_2 、 M_2 、 P_1 、 M_F 、 S_2 、 N_2 及 M_M)。

表 1 多變數迴歸法補遺使用之頻率

| 名稱 | 頻率(cycle/hr) | 名稱 | 頻率(cycle/hr) | 名稱 | 頻率(cycle/hr) |
|-------|--------------|-------|--------------|-------|--------------|
| O_1 | 0.0387307 | M_2 | 0.0805114 | S_2 | 0.0833333 |
| K_1 | 0.0417807 | P_1 | 0.0415526 | N_2 | 0.0789992 |
| K_2 | 0.0835615 | M_F | 0.0030501 | M_M | 0.0015122 |

一般而言，以一個月當一個視窗來處理，只要資料缺失不超過一半以上，出預測出來的潮位誤差大概不超過 10cm，可得準確、合理且完整的高品質潮位紀錄，但所補遺的資料，只是理論潮汐的部份，最後將現有潮位資料儲存格式予以存檔，俾利日後各類工程應用或科學研究參考使用。

多變數迴歸法原理簡單，執行迅速，成功率與精度都高，一次處理一個月的資料，不致造成長期的系統誤差，當然與其它的起潮頻率分析相同，越長期的資料若能得到顯著的成果則好，否則容易造成系統誤差，補遺是要求成功率高，一個月應該是最佳的選擇。

(三) 調和分析

調和函數進行潮汐資料的內插及預測，其理論在於將潮汐為一種周期函數，可將潮位觀測資料分解成無數個不同周期之分潮（分潮數目視潮位觀測資料之取樣間隔及觀測時間長短而定），每一分潮為時間調合函數，並利用(4)式求解(劉文俊、吳文耀，1996)。使用之程式為加拿大 IOS (Institute of Ocean Science) R. Pawlowicz 開發之 t_tide V1.2 版程式，程式讀取潮位資料後，計算各調和頻率的振幅與相位，並劃出各調和頻率的振幅、相位誤差及相對關係 (95%信心區間)。

$$Z_i(t) = Z_0 + \sum_{j=1}^N H_j \cos[\sigma_j t - g_j + (V_j + u_j)] \quad (4)$$

其中 $Z_i(t)$ 代表 i 站在 t 時間的潮高，

Z_0 代表平均潮位高

H_j 代表 j 分量的固定振幅

σ_j 、 g_j 、 V_j 、 u_j 各代表 j 分量的角速度、起始相位、儀器延遲與附近海底地形的延遲量。

基本上 t_tide V1.2 版程式是改寫 IOS 的 M.G.G. Forema 及其同事所發展的 Fortran 版的潮汐分析程式(見 http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/osap/projects/tidpack/tidpack_e.htm)，對與每一頻率的振幅及相位誤差估計採用 'wboot' 誤差模式，即是根據相關雙變數的白誤差模式 (correlated bivariate white-noise model) 的 Bootstrapped 95% 可信區間來估計，一般而言，資料在 3 年以上，在 1 年潮 (S_a)、半年潮 (S_{sa})、1 日潮及半日潮於統計上都是顯著的，可用來進行相當精確的潮汐分析。

(四) X0 濾波器

在潮汐資料分析中，有個較被常用的低通濾波器 (Low Pass Filter) 可將逐時的資料轉換成逐日的資料，有效的消除全日潮與半日潮，這濾波器稱之為 X0 濾波器，其長度

為 19，以中間為中心，左右對稱變成 39 個數字的序列如下：

$$X0_{39} = [1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1\ 1\ 0\ 2\ 0\ 1\ 1\ 0\ 2\ 1\ 1\ 2\ 0\ 2\ 1\ 1\ 2\ 0\ 1\ 1\ 0\ 2\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0\ 1\ 0\ 1]$$

其總和為 30，所產生的相位偏移很小。在使用時，第 20 項與每天的 1200 時的資料對齊，所以第一項與前一天的 1700 的資料對齊，最後一項與隔一天的 0700 的資料對齊，如此各對齊項相乘，再全部加總，並除以 30，如此即得該日的潮位高度。以上所述可以下列公式表示：

$$X_r = \frac{1}{30} * \sum_{-19}^{19} F(d)H(T+d), \text{ where } F(d) \text{ is } X0_{19}, T = 1200 \quad (5)$$

這類的潮汐濾波器還有許多種，如適用於 5 分鐘的資料（54 個參數），適用於 10 分鐘的資料（27 個參數），適用於 15 分鐘的資料（18 個參數），適用於 30 分鐘的資料（12 個參數），以及適用於 72 小時的資料（168 個參數）。但現在為了適應現有的 6 分鐘資料，我們將原來的 19 參數的每個數字左右各括大 5 個相同的數字，總共成為 390 個數字，如此成為我們所謂的 X0_390，如此可直接將 6 分鐘的潮位資料直接濾波成為每日的資料序列。

三、平均海水面計算流程

區域平均海水面計算流程如圖 3 所示，執行步驟如后說明。

1. 所蒐集的潮位資均需進行自動及人工品管剔除異常的錯誤資料，並註記資料缺失的情形。
2. 先針對短時間的資料（約 3~5 小時內）利用 Cubic Spline 進行補遺，補遺過程中應針對每一缺失片段逐一處理，以 7 日的資料作業一個區段進行。
3. 利用 Cubic Spline 補遺過程中，若修正狀況不佳，此時前後移動加入計算的時間區段，嘗試是否可取得較佳的結果。
4. 若 Cubic Spline 補遺結果良好，則予以儲存，反之放棄該缺失區段的成果。
5. 接著利用多變數迴歸法補遺較長的缺失（約 7 日內），以每一個月的資料作為一個區段來進行計算。
6. 同 Cubic Spline 補遺的補遺流程，若修正狀況不佳，此時前後移動加入計算的時間區段，嘗試是否可取得較佳的結果。
7. 同樣若遺結果良好，則予以儲存，反之放棄該缺失區段的成果。
8. 若潮位資料為 6 分鐘之紀錄，則需以 X0 濾波器轉換為逐時資料。
9. 分析補遺後的長期觀測資料，若發現潮位站資料有基準跳動的情況時，則需以調和分析修正。
10. 最後利用 19 年周期計算區域平均海水面。

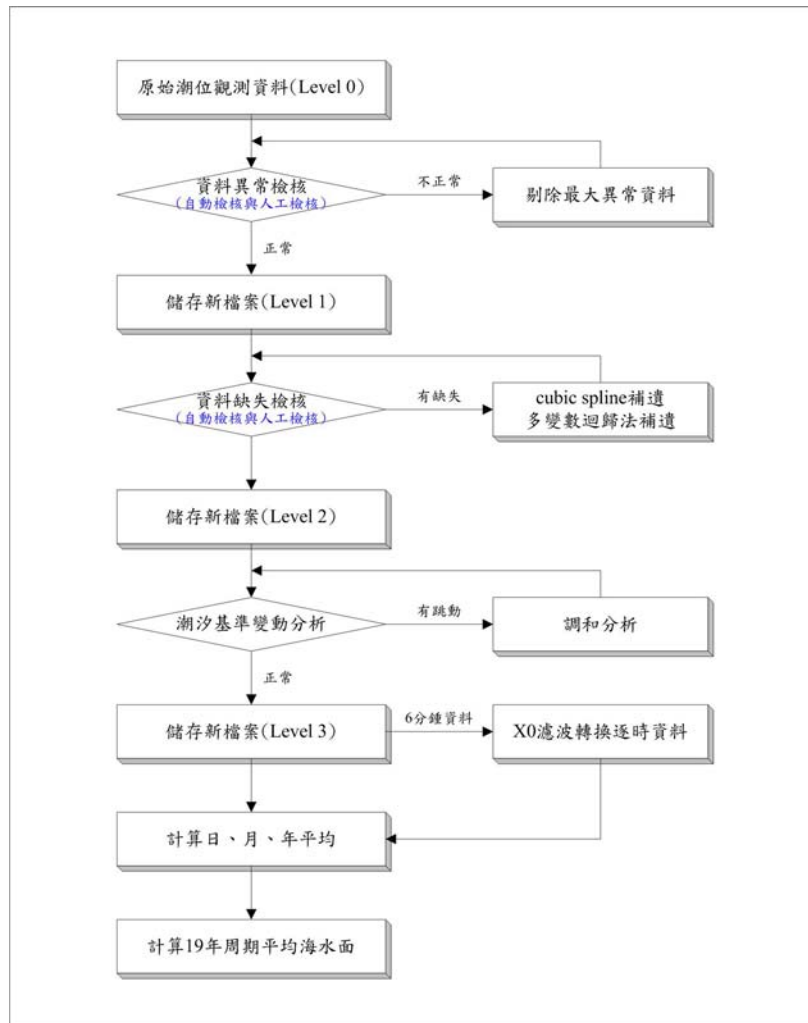


圖 3 區域平均海水面計算流程

四、參考資料

內政部，2003，離島潮位站資料蒐集及分析工作總報告書。

劉文俊、吳文耀，臺灣海域潮汐特性之初步分析，交通部中央氣象局，臺北，104 頁，1996。

Foreman, M. G. G., 1977, Manual for Tidal Heights Analysis and Prediction, Pacific Marine Science Report, 77-10, Institute of Ocean Sciences, Patricia Bay, Sidney, B.C.

Munk W.H. and D.E. 1966, Cartwright, Tidal Spectroscopy and Prediction, Phil. Trans. Royal Soc. Ser. A., 259, pp. 533-581.

Murray, M.T. 1964. A general method for the analysis of hourly heights of the tide. International Hydrographic Review, 41(2), 91-101

Pawlowicz, R., B. Beardsley, and S. Lentz, 2002, Classical Tidal Harmonic Analysis Including Error Estimates in MATLAB using T_TIDE, Computers and Geosciences, 28, 929-937.

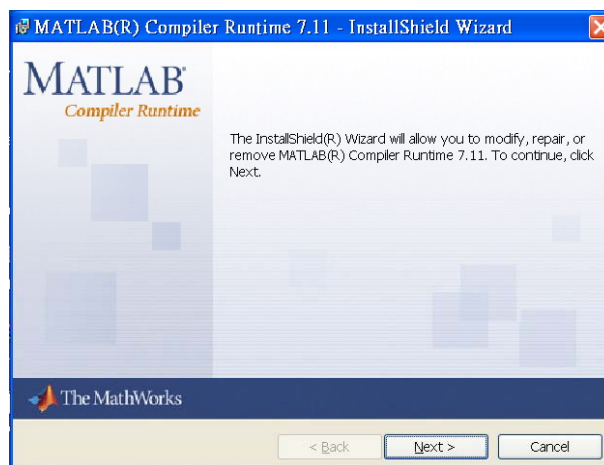
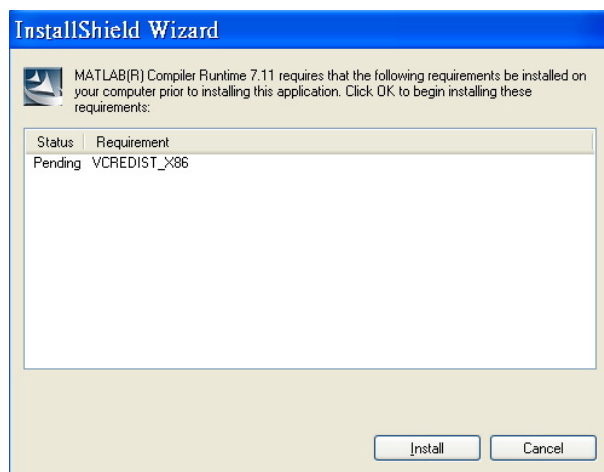
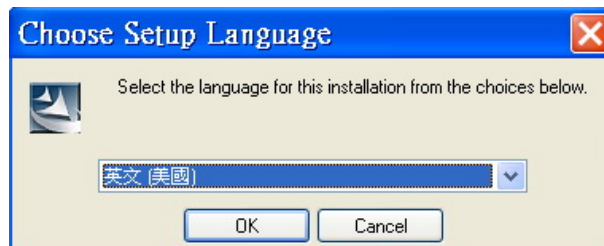
Wyrtki, K., 1974: The dynamic topography of the Pacific Ocean and its fluctuations. Univ. Hawaii, Tech. Rept. HIG-74-5, 19 pp. 37 figs.

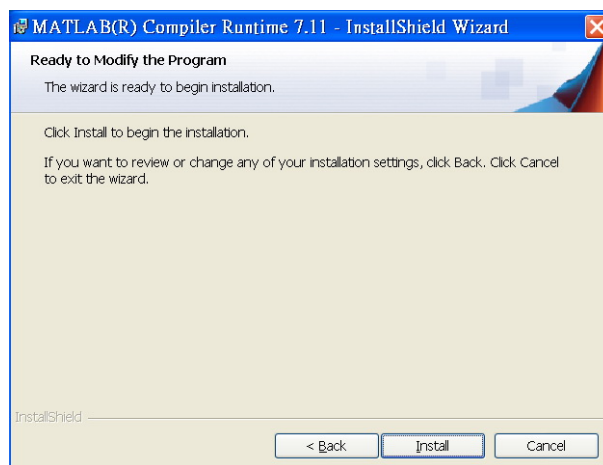
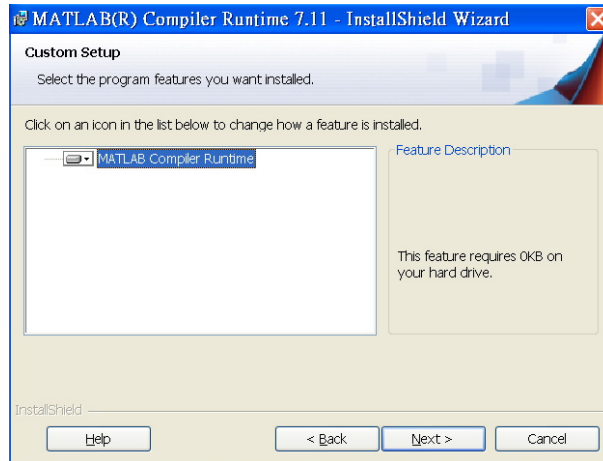
附錄 E 程式操作說明

一、潮位資料處理程式環境設置

潮位資料原本設計是利用 MATLAB version 7.0.1.24704 (R14) Service Pack 1 版本所發展出來的，為了能通用於無裝設該版本 MATLAB 的電腦可以使用，特地編輯成 *.exe 執行檔案，因此，在使用前需要安裝該程式之動態程式庫，其安裝方式如下：

1. 執行所附的程式：MCRInstaller.exe 並依照以下諸圖順序選取安裝





2. 如下設定各相關作業環境參數：

- i. Locate the name of the environment variable to set, using the table below:

| Operating System | Environment Variable |
|------------------|----------------------|
| ===== | ===== |
| Windows | PATH |

- ii. Set the path by doing one of the following:

NOTE: <mcr_root> is the directory where MCR is installed on the target machine.

On Windows systems:

* Add the MCR directory to the environment variable by opening a command prompt and issuing the DOS command:

set PATH=<mcr_root>\v711\runtime\win32;%PATH%

Alternately, for Windows, add the following pathname:

<mcr_root>\v711\runtime\win32

to the PATH environment variable, by doing the following:

1. Select the My Computer icon on your desktop.
2. Right-click the icon and select Properties from the menu.
3. Select the Advanced tab.
4. Click Environment Variables.

NOTE: On Windows, the environment variable syntax utilizes backslashes (\), delimited by semi-colons (;).

3. 在動態程式庫裝置完成並設好路徑之後，將所有潮位資料處理程式(.exe 檔)複製到特定子目錄中，並用 set PATH=<特定子目錄>%PATH%，則 DOS 或 WINDOWS 命令將該特定子目錄加到搜尋目錄中。
4. 當要執行任何一個潮位資料處理程式時，先移到資料所在的子目錄下，執行所要的潮位資料處理程式即可。

二、程式操作說明

1. [ReadHourTide.exe](#) (讀取氣象局逐時潮位資料檔案)

程式名稱：ReadHourTide.exe

執行方式：ReadHourTide filename

主要功能：讀取氣象局逐時資料檔案，並以圖顯示於螢幕上。

使用說明：本程式將依氣象局逐時資料檔案格式讀入潮位資料檔 filename 中的逐時資料，自動儲存於時間 time 與潮位高度 sealevel，最後輸出一張圖。

2. [Read6minTide.exe](#) (讀取氣象局 6 分鐘潮位資料檔案)

程式名稱：Read6minTide.exe

執行方式：Read6minTide filename

主要功能：讀取氣象局 6 分鐘資料檔案，並以圖顯示於螢幕上。

使用說明：本程式將依氣象局六分鐘資料檔案格式讀入潮位資料檔 filename，自動儲存於時間 time 與潮位高度 sealevel，最後輸出一張圖。

3. SplineCheck.exe & SplineSixCheck.exe (程式以 spline 方法來補缺漏之資料)

程式名稱：SplineCheck.exe & SplineSixCheck.exe

執行方式：SplineCheck filename fileout or SplineSixCheck filename fileout

主要功能：

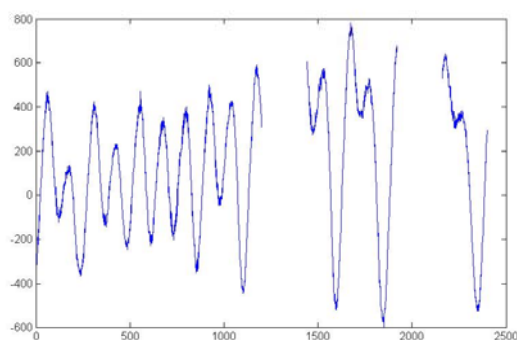
- (1) 讀取氣象局逐時資料檔案，或讀取氣象局 6 分鐘資料檔案，並以 spline 方法補遺，你可以決定接剩或不接受其補遺結果。
- (2) 補遺一次檢查 24 小時 (2400 筆資料)。
- (3) 若資料缺漏多於 500 筆，則自動不補遺。
- (4) 以 spline 方法補遺，並以圖顯示其結果。

使用說明：

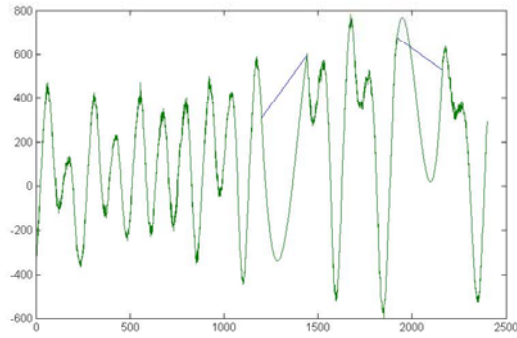
- (1) 本程式將依氣象局逐時資料檔案格式讀入 filename 中潮位的逐時資料，或六分鐘資料，經 Spline 補遺之後，再以原格式輸出於檔案 fileout 中。
- (2) 本程式檢查原始資料中的缺漏之處，並以 spline 方法補遺，你可以決定接剩或不接受其補遺結果。
- (3) 補遺一次檢查 length 筆資料 (不論其取樣間距)。
- (4) 若資料缺漏多於 length/4 筆，則自動不補遺。
- (5) 其餘的則以 spline 方法補遺，並以圖顯示其結果。
- (6) 若補遺結果改變了原來資料的振幅或相位，請回答"N"或"n"來放棄補遺。
- (7) 輸入原始資料 filename。
- (8) 補遺之結果置於 fileout。

範例說明：以基隆 2005~2007 年資料為例，原始資料儲存於 t1513.txt 之中，而將檢查並補遺過的資料儲存於 t1513s.txt 之中，則操作方式如下：

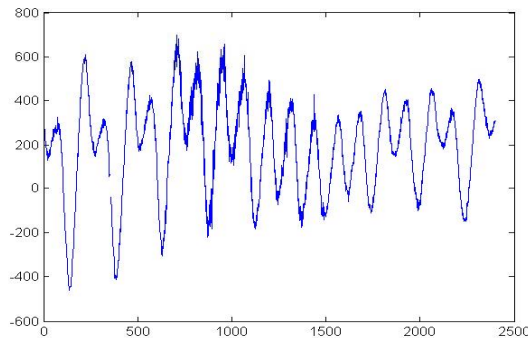
- (1) 在 Windows 命令視窗中下指令 `>> SplineCheck.exe t1513s.txt t1513s.txt`，則 MATLAB 產生圖形視窗如下：



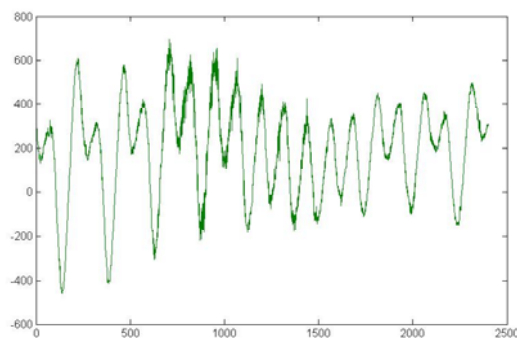
- (2) MATLAB 並詢問 Use Spline for Interpolation? Y or N; 回答"Y"則 MATLAB 產生 spline 內插結果之圖如下：



- (3) MATLAB 詢問 Accept Interpolation?Y or N ?因內插之結果改變了原來之相位，回答"N"則程式自動進入下一畫面。



- (4) MATLAB 再詢問 Use Spline for Interpolation? Y or N ? ; 回答"Y"則 MATLAB 產生 spline 內插結果之圖如下



- (5) MATLAB 詢問 Accept Interpolation?Y or N ?; 因內插之結果完美，回答"Y"。
 (6) MATLAB 週而復始的進入下一畫面，再詢問 Use Spline for Interpolation? Y or N ?
 (7) 最後值達到資料結束時，所有內插之結果儲存在 fileout 之中，結束程式。

4. RegressionCheck.exe & RegressionSixCheck.exe (程式以主要的潮汐頻率的多變數迴歸分析方法來補缺漏之資料)

程式名稱：RegressionCheck.exe & RegressionSixCheck.exe

執行方式：RegressionCheck filename fileout or RegressionSixCheck filename fileout

主要功能：

- (1) 讀取氣象局逐時資料檔案，或讀取氣象局 6 分鐘資料檔案，並以潮汐頻率的多變數迴歸分析方法補遺，你可以決定接受或不接受其補遺結果。
- (2) 補缺一次檢查一個月資料。
- (3) 若資料缺漏多於一半的資料，則自動不補遺。
- (4) 其餘的則以潮汐頻率的多變數迴歸分析方法補遺，並以圖顯示其結果。
- (5) 若補缺結果改變了原來資料的振幅或相位，請回答"N"或"n"來放棄補遺。
- (6) 輸入原始資料 filename。
- (7) 補遺之結果置於 fileout。

使用說明：

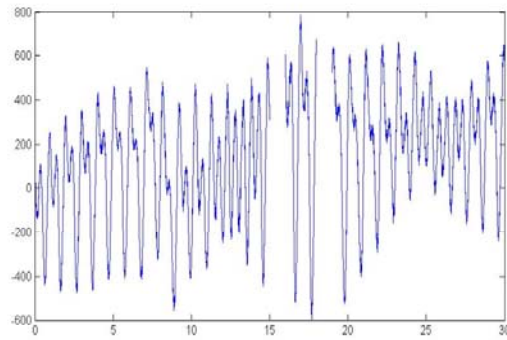
- (1) 本程式將依氣象局逐時資料檔案格式讀入 filename 中潮位的逐時資料，或六分鐘資料，經潮汐頻率的多變數迴歸分析方法補遺之後，再以原格式輸出於檔案 fileout 中。
- (2) 本程式利用主要的潮汐頻率的多變數迴歸分析 (Multi-Variant Regression) 來做資料補遺。
- (3) 每次以 30 天的資料視窗作為分析的標的，使用如下表的主要頻率：

| 名稱 | 頻率(cycle/hr) | 名稱 | 頻率(cycle/hr) | 名稱 | 頻率(cycle/hr) |
|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|
| O ₁ | 0.0387307 | M ₂ | 0.0805114 | S ₂ | 0.0833333 |
| K ₁ | 0.0417807 | P ₁ | 0.0415526 | N ₂ | 0.0789992 |
| K ₂ | 0.0835615 | M _F | 0.0030501 | M _M | 0.0015122 |

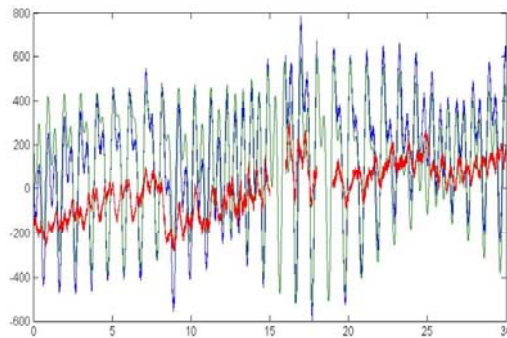
- (4) 輸入原始資料 filename。
- (5) 補遺之結果置於 fileout。
- (6) 本程式以主要潮汐頻率的多變數迴歸分析方法補遺，並以圖顯示其結果。
- (7) 所示圖形中，藍色代表原始潮位資料，綠色代表預測之潮位，紅色則代表預測的誤差。
- (8) 若補缺結果改變了原來資料的振幅或相位，請回答"N"或"n"來放棄補遺。

範例說明：以基隆 2003~2004 年資料為例，原始資料儲存於 k10_0304 之中，則操作方式如下：

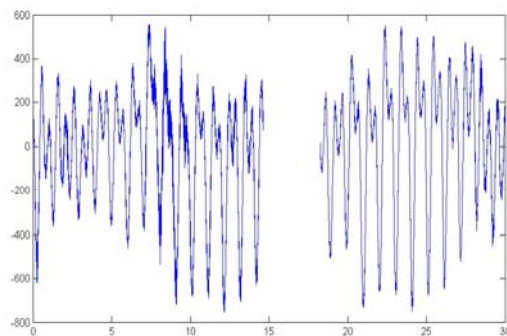
- (1) 在 MATLAB 中下指令 >> tideout = regressFit6min (k10_0304)；則 MATLAB 產生圖形視窗如下：



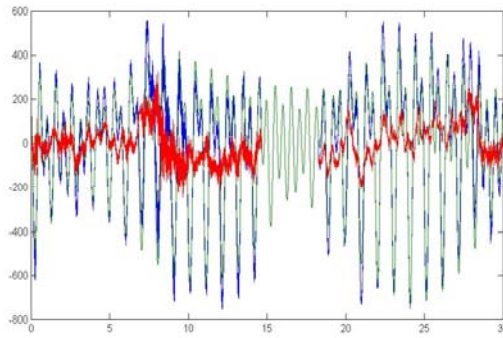
- (2) MATLAB 並詢問 Use Regression for Interpolation? Y or N ? ; 回答"Y"則 MATLAB 產生主要的潮汐頻率的多變數回歸分析法的內插結果之圖如下



- (3) MATLAB 詢問 Accept Interpolation? Y or N ? ; 因內插之結果完美，回答 "Y"。(註：所示圖形中，藍色代表原始潮位資料，綠色代表預測之潮位，紅色則代表預測的誤差。)，程式自動進入下一畫面。



- (4) MATLAB 再詢問 Use Regression for Interpolation? Y or N ? ; 回答"Y"則 MATLAB 產生主要的潮汐頻率的多變數回歸分析法的內插結果之圖如下



- (5) MATLAB 詢問 Accept Interpolation?Y or N ?;因內插之結果完美,回答"Y"。
- (6) MATLAB 週而復始的進入下一畫面,再詢問 Use Regression for Interpolation? Y or N 。
- (7) 最後值達到資料結束時,所有內插之結果儲存在 tideout 之中,結束程式。

5. MonthStat.exe (產生每天、每月高潮位、低潮位統計報表程式)

程式名稱: MonthStat.exe

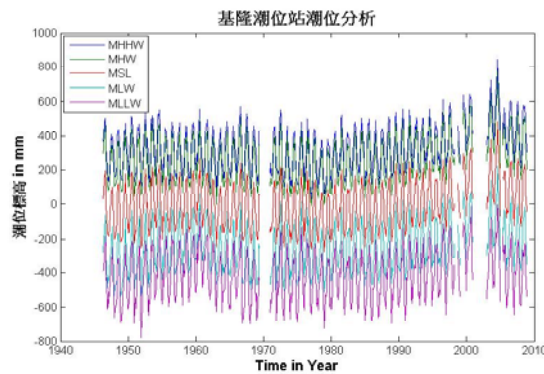
執行方式: MonthStat filename monthreport.txt monthmean.txt

主要功能: 產生天、每月高潮位、低潮位統計報表及圖形

使用說明:

- (1) 本程式要先自 filename 中讀取某一測站的逐時資料,單位為 mm。
- (2) 本程式尋找每天的高潮 HT,高潮時間(MATLAB 計時方法) tHT,低潮 LT 低潮時間 (MATLAB 計時方法) tLT。
- (3) 月最高高潮位 MHHW,月最低低潮位 MLLW,月平均潮位 MSL。
- (4) n 為時間序列中的第 n 天。
- (5) HHT(n,1)=h 為第 n 天中的第一次高潮位的時間(時) h 小時。
- (6) HHT(n,2)=mn 為第 n 天中的第一次高潮位的時間(分) mn 分鐘。
- (7) HHT(n,3)=HT(i)為第 n 天中的第一次高潮位高度。
- (8) HHT(n,4)=h 為第 n 天中的第二次高潮位的時間(時) h 小時。
- (9) HHT(n,5)=mn 為第 n 天中的第二次高潮位的時間(分) mn 分鐘。
- (10)HHT(n,6)=HT(i) 為第 n 天中的第二次高潮位高度,若為 NaN 則表示當天僅有一次高潮。
- (11)HHT(n,7)=HT(i) 為第 n 天中的較高高潮位。
- (12)HHT(n,8)=HT(i) 為第 n 天中的平均高潮位。
- (13)LLT(n,1)=h 為第 n 天中的第一次低潮位的時間(時) h 小時。
- (14)LLT(n,2)=mn 為第 n 天中的第一次低潮位的時間(分) mn 分鐘。
- (15)LLT(n,3)=HT(i) 為第 n 天中的第一次低潮位高度。

- (16) $LLT(n,4)=h$ 為第 n 天中的第二次低潮位的時間(時) h 小時。
- (17) $LLT(n,5)=mn$ 為第 n 天中的第二次低潮位的時間(分) mn 分鐘。
- (18) $LLT(n,6)=HT(i)$ 為第 n 天中的第二次低潮位高度，若為 NaN 則表示當天僅有一次高潮。
- (19) $LLT(n,7)=HT(i)$ 為第 n 天中的較低低潮位。
- (20) $LLT(n,8)=HT(i)$ 為第 n 天中的平均低潮位。
- (21) 本程式將產生兩個輸出報表：`monthreport.txt` 每日高低潮位報表及每月高低潮位、`monthmean.txt` 平均潮位報表。
- (22) 請先設定輸出報表檔名：`monthreport.txt` 每日高低潮位的月報表檔名，`monthmean.txt` 每月高低潮位、平均潮位報表檔名。
- (23) 最後產生一個潮位站潮位分析圖如下：



6. MeanSeaLevel.exe (由月平均海水面計算年平均以及所有可能的 19 年平均海水面)

程式名稱：MeanSeaLevel.exe

執行方式：MeanSeaLevel filename fileout

主要功能：產生 19 年平均海水面及年平均海水面。

使用說明：

- (1) 讀取已經算出來的月平均潮位資料檔案 (in filename)
- (2) 檢核資料缺失並補足。
- (3) 本程式利用已經算出來的月平均潮位未來估計 19 年的平均海水面，結果置於 fileout 中。
- (4) 本程式最後產生 19 年平均海水面儲 MSL19 以及年平均海水面儲存於 YMSL，並產生綜合月平均海水面、年平均海水面及 19 年平均海水面的圖檔。

基隆潮位站年平均統計值

位置：25°09'18"N 121°45'05"E； 基隆港西 33 號碼頭

儀器型式：

基準面相對 KP:+0.000cm

資料來源：中央氣象局

yyyymmddhh：西元年月日時

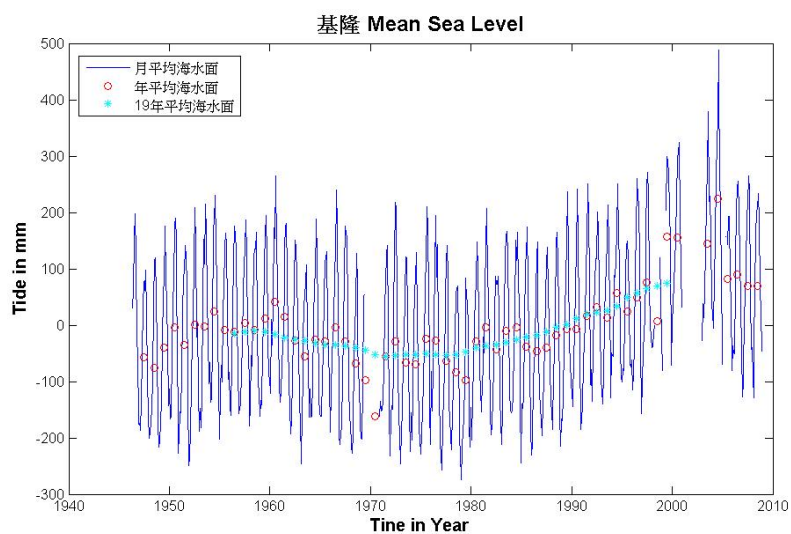
:00：0 分潮高，:06：6 分潮高，依此類推

潮高單位：公厘。

時間不連續，表示缺觀測資料。

時間：民國 96 年 1 月—民國 97 年 12 月

| *st | yyyymmdd | 年平均潮位 |
|-----|----------|-------|
| 151 | 19470701 | 479 |
| 151 | 19480701 | 479 |
| 151 | 19490701 | 517 |
| 151 | 19500701 | 560 |
| 151 | 19510701 | 519 |
| 151 | 19520701 | 542 |
| 151 | 19530701 | 544 |
| 151 | 19540701 | 561 |
| 151 | 19550701 | 518 |
| 151 | 19560701 | 503 |
| 151 | 19570701 | 504 |
| 151 | 19580701 | 489 |
| 151 | 19590701 | 534 |
| 151 | 19600701 | 570 |
| 151 | 19610701 | 509 |
| 151 | 19620701 | 514 |
| 151 | 19630701 | 502 |
| 151 | 19640701 | 517 |
| 151 | 19650701 | 505 |
| 151 | 19660701 | 577 |
| 151 | 19670701 | 568 |
| 151 | 19680701 | 484 |
| 151 | 19690701 | 431 |
| 151 | 19700701 | 518 |
| 151 | 19710701 | 508 |
| 151 | 19720701 | 451 |
| 151 | 19730701 | 481 |
| 151 | 19740701 | 482 |



附錄 F 期中報告審查意見回覆與辦理情形

尤委員瑞哲：

1. 本案為標準分析作業模式（特別是在潮位分析與平均海水面計算方面），請廠商於期末報告中就各種不同的模式加以分析，並比較各模式的優缺點，據以訂出標準分析模式。在於潮位分析與平均海水面計算方面，例如資料補遺的方法不祇限於報告中所提之方法，請再參考其他國家的作業方法。
2. 對於潮位資料的記錄方式，除格式與內容外，請於標準作業程序中增加詮釋資料（如補遺方法、時間基準、參考基準、……）及其記錄方式。
3. 第 17 頁之圖 3-2 流程圖有誤，請修正，並說明如何判斷「資料正常」之標準。
4. 請說明圖 3-4 與圖 3-2 間之關係，並說明為何假設「線性趨勢」。
5. 標準作業分析程序應建立如何判斷資料品質（潮汐資料、平均海水面）之方法。
6. 第 28 頁：請說明圖 3-14 中各元素之名稱與意義，以及圖中虛線如何計算出來。
7. 報告中使用 t_tide V1.2 進行分析，請問有無使用其他程式進行比較分析，分析結果如何，請於報告中敘明？。
8. 第 30 頁：請說明表 3-4 中調和分析成果表之欄位及如何訂出品質。
9. 有關簡報資料第 5 頁中天文潮汐部份和教科書上的說明有出入，請說明。
10. 有關簡報資料第 7 頁中太陽及月亮之 Declination 部份表現方式不妥適，請修正。
11. 計算平均海水面時係採用算術平均值，請說明所用潮位資料為時平均、月平均或年平均？
12. 並請說明為何採用算術平均值？又由於天體運動的影響，一般建議平均海水面應採用至少 18.6 年的潮位資料。
13. 請問本報告預計建議的平均海水面又如何得到？

回覆意見與辦理情形：

1. 在期中報告的修改版本中已加入幾種分析方法的說明，但有些方法需要其它的資料，例如響應法（Response Method）需要水溫或氣壓資料，這在 1988 年的平均海水面計算中以使用過，在本計畫期末報告前將儘量蒐集，希望能完成分析。預測模式法需要精確的海岸地形，並加入模式中，這在這一年可能無法解決。本計畫終將比較調合分析法以及一般的算術平均法與 1988 年的響應法所得的平均海水面的成果。
2. 謝謝委員指教，將於後續與主辦單位討論後，再行考量是否納入標準作業程序中。
3. 已修正，詳報告第 39 頁圖 3-3。
4. 在期中報告的修改版本中已說明，潮位變化並非真正的線性過程，所以潮位資料的分析，必須要有一個基礎信念，就是要相信它可以用一些線性的系統來組成，調合函數的分析，就是將潮汐分成幾個完美的周期變化，每一個周期都應該是穩定的圓周運動，例如 M2 就是月亮以 12.42 小時繞著地球做等速的圓周運動，這是最主要的一次項近似，對於未完美的部分，如月地的橢圓軌道與其間距離的變化，則再拆開

成其擾動的周期，如此，單獨月繞地與地繞日，及其共同組合的月地繞日，就可以拆成數十個周期，在加上地球轉軸的變動，地球的進動與章動，總共可有數百個周期。

5. 各國的資料品質控制都根據當地的資料特性利用程式來控制其品質，大部分都趨於保守，以避免造成誤差及系統性偏移為原則，本計畫也依據此原則，因為因素太複雜，將盡量說明。
6. 詳已依委員意見說明，詳報告第 51 頁§3-5-1。
7. 這次共收集了 3 個程式，即是 T-Tide (Tidal Analysis Toolbox)、IOS (Institute of Ocean Sciences) 的 Tidal Package 與 POL 的 TASK-2000 TidPack，其中 IOS 的 Tidal Package 是 Forman 在 1977 年的 Fortran 程式，適合在 DOS 環境下執行，T-Tide 則是 Pawlowicz 團隊將 Forman 的程式改寫成 MatLab，可適用於個平台的計算，也可繪圖。至於 POL 的 TASK-2000 則只拿到 DOS 版本，其 WINDOWS 版本則一直未見回應，可能與它最近發展網路版本有關，這程式也只適合一年的資料分析，長周期的則不適用。
8. 調合分析一般都看其所得的振幅與相位的精度與合理性，就如文中對調合分析的基本線性假設所述，最後的品質就看其長期的穩定性。
9. 這是來自 Stacey 的 Physics of Earth 教科書，以及很多版本的教科書都是如此，其中指示將 $V = GM / r_1$ 中的 r_1 用 $r_1^2 = R^2 + r^2 - 2Rr \cos \varphi$ 的泰勒展開式取代而已。
10. 這樣的表示法只是說明是相對於黃道面的關係，在資料處理時有統一的坐標系統。若要用一般的 $\pm 5.15^\circ$ 的表示法，則是相對於赤道面。
11. 一般所說的平均海面是說 19 年的平均海面，若是一個月或一年或其它時期的平均，依慣例都加上其時期，如月平均海面或年平均海面。
12. 平均海面的目的是利用周期性訊號每一個完整周期的平均值為零的特性，以求得較穩定之平均海面為參考基準面，作為高程基準的起算依據。一般可見且有影響力的天文周期較長的為 18.6 年，所以大都採用 19 年期的資料，以避免其它較大振幅的頻率因不滿一周期而有影響。
13. 詳已依委員意見說明，詳報告第 82 頁§4-2。

徐委員月娟：

1. 本案要訂出 4 個標準化作業程序，請納入相關單位以前之經驗與成果，並做出結論，建議在期末報告中分別以附錄方式呈現。
2. 請詳細表列所使用 5 個潮位站之各時段潮位資料間隔及其計算分析結果與結論。
3. 交通部中央氣象局所發布的潮汐年報中對於潮汐統計資料有一些公式與方法，並運用電腦計算出，可參考該局之相關做法。
4. 計算長期平均海面時，潮位站的資料可能會有基準面不一致的情形，必須將其銜接組合起來，方法有很多種並請分析其結果，最後選用最好的方法進行計算，以得到最佳的結果。

5. 本案成果倘能計算長期平均海水面的變化率，請與已知衛星測高文獻資料比對，一併提供參考。
6. 交通部中央氣象局對潮位資料是不進行補遺，但會對有問題的資料進行修正並加以註記，而本案的潮位資料來源有其他單位的資料，請注意資料是否已經處理過。

回覆意見與辦理情形：

1. 經洽詢中央氣象局後，得其結論是依經驗（藏在其程式中）與少許人工判斷原則，詳第 13 頁§2-2-2。
2. 已依委員意見修正，詳報告第 43 頁表 3-2。
3. 本計畫目的在求得平均海面，而非進行潮汐預報相關作業，因此本計畫發展出的程式主要進行計算每日、每月與每年之最高高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位與最低低潮位及平均海面，程式應具顯圖及出圖功能。
4. 依各站各時期的狀況個別處理，無法建立一個通則，詳報告第三章。
5. 此一範疇已遠超出計畫目標範圍內，不過仍考慮委員意見，若在有限工期內可進行，仍考慮於在後續計畫中執行。
6. 謝謝委員意見，將於計畫執行過程中詳加注意。

于委員嘉順：

1. 處理潮位資料時品管係重要課題，請問當資料品管有缺失時，應如何解決。
2. 請問如何選擇及訂定基準，選擇哪一站或全臺灣分幾站？訂定基準以後如何檢校？而全臺灣有多個潮位站，如何訂定站與站之間的關係？

回覆意見與辦理情形：

1. 為不影響平均海面之求取，以保守為原則，對不確定的保留原狀或消除，一切盡量避免人為的判斷，主要以程式自動化判斷為原則。
2. 此問題已超出本計畫執行內容，但仍會於期末報告中就現有成果與資料提出建議供有關單位參考。

羅委員聖宗：

1. 第 4 頁中第 3 段及第 6 段之敘述有不相連貫之情形，請修正。
2. 第 10 及 39 頁報告內容所引用的參考文獻未列入。
3. 第 16 頁：潮位資料處理原則中，合理與不合理、正常與不正常的資料要有標準值，則可較易分別資料。
4. 請建立 5 個潮位站之基本資料表，包括年份、儀器形式、換站或換儀器等資料，作為標準作業程序之內容，可作為未來潮位站設立工作日誌之參考。
5. 請說明分析 5 個國家之處理方式及軟體之優缺點，以及與本案使用方法、公式有何

相關。

6. 第 39 頁中敘及「最高的地方就在臺灣東約 500 公里處，……，主要是受黑潮通過的影響」，然而，黑潮的寬度約為 100 公里，請說明兩者相關性。

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝委員意見，已重新編排修正。
2. 謝謝委員意見，詳第 99 頁參考文獻。
3. 目前並無相關可供參考之正確標準，需仰賴長期的資料處理經驗法則，目前將就本計畫處理的結果中，建立參考標準。
4. 由於歷史資料殘缺不全，現在已很難蒐集的齊全，未來將提列此項於標準程序中。
5. 各國所用的程式大多相同，且來源很接近，本計畫採用最新發展出來的，與各國長期使用的程式所改寫而成。
6. 這是 Wyrтки (1974) 文章中的結論，其資料是來自百年的 Steric Height 量測，最近的衛星測高結果也相似，現今推估主要是潮流的克氏力的作用。

曾委員清涼：

1. 本案須蒐集 5 個國家或地區之相關資料以瞭解所使用的方法、公式及趨勢，並尋求適合臺灣地區的模式。
2. 請說明本案使用 5 個潮位站潮位資料係經過何種處理。
3. 本案重點在於求出區域平均海水面，對於資料補遺不是很重要，但對於資料係採用每日、每月、每年進行計算，應說明何種形式最好。
4. 第 39 頁進行潮位資料分析成果時，除將成果展現外，另請將中間過程一併敘明清楚。
5. 對於平均海水面的估計方式，所採用的公式、過程及估計結果，請一併敘明清楚。

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝委員指教，已蒐集各國資料，但後續檢討之內容，仍以最適臺灣地區的方式進行分析。
2. 資料係經中央氣象局人員逐站逐時的自動與人為處理，詳報告第 13 頁§2-2-2。
3. 本計畫若能得到好的調和分析，則可以擺脫算數平均的缺失與系統誤差，則資料補遺就不是那麼重要，只要資料缺失不太多即可。若因潮位站維護或地形改變而不能得到好的調和分析結果，則仍需使用最傳統的算術平均法，那資料補遺就很重要。至於如何採用平均則正在進行中，將於期末報告提出討論。
4. 謝謝委員指教，詳報告第三章。
5. 平均海水面的估計的唯一方法就是算術平均，傳統只是依原資料平均，近年來則大家想用調和分析或其他方法來估計理論潮汐與其它已知的影響量，如地殼變動與氣象因素影響，再加以除去，然後再做平均，詳報告第 82 頁§4-2。

王委員定平：

1. 第一章概述有 19 個段落，文章內容有跳躍及不連貫的情形，請重新編排及修整。至於內政部公佈一等水準點高程成果的時間請修正。
2. 第 39 頁，「過去數十年」係指哪一年，參考文獻為何？
3. 第 62 頁第五章之標題請與未來工作項目符合。

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝委員指教，詳報告第一章。
2. 參考 Wyrski (1974) 文章，在其發表之前，因為這觀念是慢慢演進，無法正確說明某一年，為避免誤導原文已修正，詳第 75 頁§4-1-1。
3. 謝謝委員指教，已依委員意見修正。

劉委員正倫

1. 潮位資料有每 6 分鐘、每日、每月及每年等記錄方式，其相互間的關係為何，請詳細明列。
2. 所蒐集 5 個國家或地區訂定高程基準之資料，可否列出如何計算或採用何種方式計算。
3. 簡報中有關資料補遺原則，請列入期中報告中。
4. 有關潮位資料進行調和分析之結果（如圖 3-14 及圖 4-3）應有完整的說明，以利作業人員瞭解結果之可用性。

回覆意見與辦理情形：

1. 在國內到此時為止，潮位資料只有每 6 分鐘及每小時（或許有些做更高頻率的紀錄，但非常態），其它每日、每月及每年等都是依據其算術平均，或用濾波器所得，參見第 61 頁§3-6-3。
2. 依本計畫所蒐集的資料，但參考各國高程基準之訂定之內容，多數並未明確說明，且近年來高程基準的觀念一直在改變，將盡力再蒐集相關資料，並於期末報告中提出討論。
3. 謝謝委員指教，詳第 46 頁§3-4。
4. 謝謝委員指教，詳第 51 頁§3-5。

顏副教授沛華：

1. 標準分析作業程序（步驟）之制定有一定的程序，故對本案亦建請參照相關規範制定潮位資料分析之標準作業程序。
2. 慣例上 Harmonic analysis 多稱為調和分析，建請將諧和分析改為調和分析。
3. 潮位資料品管除了合理性、連續性外，亦建請包含關聯性之品管。

4. 資料之合理補遺據本人探討，資料缺失率應不超過 8%，則補遺成果之誤差在 3% 以內，提供本案參考（需不需要補遺或是誤差而定）。
5. 潮位資料之補遺方法除本案提及之 Cubic Spline 及調合分析外，卡門濾波法亦可提供短期資料之補遺，亦建請參考。
6. 平均海水面之決定取決於水位之變動量測，而水位變動之量測涉及潮位站之位址、水位計之精度、水位量測基準方法，本案建請具焦於單一目標上，否則可能無法達成預期目標。
7. 文中提及之靜水井建請改為靜水井。
8. 有關第 4-3-2 節以富岡站為例，有 2001~2008、1979~2000、1984~2000、1984~2008 等 4 種不同之分析結論，綜合研判有何結論？

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝委員指教，唯本計畫僅是在技術方面提出草案，最後法規還應是要經由主辦單位依標準程序制定。
2. 謝謝委員指教，已委員意見修正。
3. 謝謝委員指教，詳報告第 40 頁圖 3-4。
4. 謝謝委員指教，資料是否補遺仍將依個別情形考量。
5. 謝謝委員指教，已增加多變數迴歸法補遺，詳報告第 49 頁§3-4-2。
6. 謝謝委員指教，本計畫僅聚焦在求取穩定的平均海水面，但相關部分仍要涉及，若非是直接相關的盡量避免，但仍以採購契約內容要求為主。
7. 靜水井（Stilling Well）應為希望井的目的是在使水靜止，以方便量測，而靜水井則是取其過濾高頻的變化以及穩定環境，也是加強量測精度。而最近的新儀器與新的紀錄器量測快速，井的目的只在保護儀器與穩定溫度環境，所已改稱為保護井（Protective Well），本計畫會再蒐集相關資料，並與主辦單位討論後，再考量修正。
8. 目前僅就已進行之內容進行分析與說明，最後決定之成果將於期末報告中提出討論。

經濟部水利署王副工程司仲豪：

1. 第 5 頁：有關資料蒐集辦理情形，建議可使用表列方式呈現，俾供後續參考之用。
2. 第 6 頁：請列入潮位站之所轄機關名稱。
3. 報告中使用蟬廣嘴潮位站之英文名稱請修正為「Syunguangzuei」。
4. 本次報告內容似主要為文獻及資料蒐集，建議後續執行內容應朝向以測繪觀點來辦理本案，俾符本案實際需求。

回覆意見與辦理情形：

1. 已依委員意見修正，詳第 43 頁表 3-2。
2. 有些站會更改管轄機關，詳第 43 頁表 3-2。

3. 這是根據原始資料提供之名稱，將與主辦單位討論後再行決定。
4. 本計畫除了文獻及資料蒐集外，亦有發展程式處理資料，並在平均海水面訂定方面做理論與實際之測試與探討，希望能在期末有好的結果，可訂出穩定的平均海水面，以及得到好的平均海水面的觀測與維護的標準程序，能再測繪方面有所貢獻，可訂定好的高程基準。

交通部中央氣象局陳技士進益：

1. 有關潮位觀測資料計算與分析作業，其中平均高潮位與平均低潮位建議使用 Mean Higher High Water 與 Mean Lower Low Water。
2. 關於潮位觀測資料計算與分析作業第 3 點之基隆平均海平面計算，依據 70 年代所定之臺灣水準點，報告中引用過去國外報告為穩定每年上升 1mm，但本局近年之基隆年平均潮位統計資料均在正 70mm，相較報告變動為大。
3. 第 46 頁：第(3)點月平均潮位計算方法，缺值超過 15 天不計算，中央氣象局則是採用缺值 10 天不計算，採用 15 天可否於報告中說明理由？
4. 簡報討論提及資料補遺主要目的是為了月平均潮位值不缺漏之需要，但若測站故障 1 個月以上，仍就無法使用 Cubic Spline 方法補遺以取得月統計值。
5. 觀測基準點異動以致潮位資料值突然跳躍問題，中央氣象局正在處理過去幾十年資料，校正方式亦採用調和分析往前推數日與實測差值方式處理，但是應根據缺漏資料日數決定往前推算所需重複日數，其平均差值最好能至少包含一個大小潮週期。

回覆意見與辦理情形：

1. 現依照契約將更改程式處理平均高潮位 (Mean High Water)、平均低潮位 (Mean Low Water)、最高高潮位 (Highest High Water) 與最低低潮位 (Lowest Low Water)，其餘可能會困惑的名詞先移除不用。
2. 基隆年平均潮位統計資料均+70mm 是指相對於潮位站的高程，而非相對於真正的平均海水面，過去國外報告為穩定每年上升 1mm 是 1914 年用 19 世紀的資料的報告，有關這一方面將會依照本計畫所得成果於期末報告中提出討論。
3. 採用 15 天是以本計畫所得資料計算後，可得到較佳的補遺效果。
4. 是的，目前雖然有其他方法可以補到 1 年以上，但是對後續平均海水面的計算無實質的幫助。
5. 謝謝委員指教，本計畫執行亦採用類似方法進行。

蔡委員政翰 (書面意見)：

1. Harmonic analysis 習慣上稱為調和分析，很少人叫諧和分析。
2. 資料補遺盡量不要用 Cubic Spline，應該用調和分析。因其有理論基礎。如圖 3-10 用 Cubic Spline 補完後一看就知道不像潮汐信號。

3. 調和分析用 Pawlowicz 之 t_tide V1.2 較不好用。考慮用 IOS Mike Foreman 之原始 Fortran 程式(http://www.pac.dfo-mpo.gc.ca/sci/osap/projects/tidpack/tidpack_e.htm)。或用 DHI Mike21 之 Tidal analysis 與 Tidal prediction 的工具。DHI 的工具就是 IOS 程式。相當好用。
4. 臺灣長期潮汐資料常有平均水位忽然變動的問題，如圖 4-11 所示。請說明如何調整使兩資料合起來。
5. 請問拿到的潮位資料是相對或絕對高度？

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝委員指教，原文已修正。
2. 謝謝委員指教，除此外過程中已增加多變數迴歸法進行補遺。
3. Pawlowicz 之 t_tide V1.2 就是 IOS Mike Foreman 之原始 Fortran 程式所改寫的，Forman 的程式基本上是在 DOS 環境下，目前尚無法到 WINDOWS 的版本，不過這兩者應該相同。T-Tide 較新，可適用所有平台，而其它的程式只是預測與繪圖的工具，並不具分析功能。
4. 需依個別情況判斷分析，詳報告第 51 頁§3-5。
5. 所有潮位站都是相對於該站的潮位基準，縱使標示是相對於基隆平均海水面，在本計畫中仍然將其視為相對量。

工作小組意見：

1. 臺灣東部有板塊運動問題、西部有地層下陷問題，皆會影響高程變化，而此影響將隱含在潮位資料裡，建議是否將全球 GPS 監測網納入參考？雖然 GPS 高程精度不高，但若變化過大或是趨勢明顯，亦可將修正量帶入程式裡做改正。
2. 文章裡採用「驗潮」之文字，如驗潮儀、驗潮資料、驗潮基準面，是否修正為「潮位」儀、「潮位」資料、「潮位」基準面。
3. P39 最後一段，蘇澳站的資料（圖 4-4）高程有錯誤的變動，是否可求出錯誤變動的高程有多少？如此應該可將閃電狀的圖形作相對的平移，進行補遺。
4. 請將本中心提供交通部中央氣象局的潮位資料及氣象資料列表說明其資料格式，並將其計算結果（最高高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位與最低低潮位）列表說明。
5. 請說明所蒐集 5 個國家或地區計算平均海水面或訂定高程基準，所採用的公式或模式。
6. 請說明臺灣地區內政部於民國 64 年至 68 年設立一等水準點所採用之高程基準為何？
7. 請說明潮位資料最高高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位與最低低潮位的定義與計算方法。
8. 本次期中報告必須提出預計採用計算平均海水面的模式與公式，惟報告中並未明確

指出，係指第 63 頁的公式 5-1 ？有哪些國家或地區採用本公式計算平均海面？請敘明清楚。

9. 請補充說明 3-2 潮位資料處理原則（2）資料異常超過 1 米以上的才修正之意涵。
10. 報告書 3-3-2 說明潮位資料補遺方法，惟未對本案潮位資料是否進行補遺作業或如何辦理進行說明。
11. 報告書 4-2 列舉 5 種平均海水面的估計方式，惟未說明本案採用何種方式辦理計算平均海面。
12. 本期中報告書建議加入結論章節，應將本案前半段工作做一總結說明。
13. 第 6 頁：工作進度表之工作項目「潮位站資料計算與分析」業已完成，請說明本中心提供之 5 個潮位站資料品質及計算結果。
14. 第 9 頁：請說明表 2-2 分量表之名稱所代表之意義。
15. 第 16 頁：（3）若祇缺一或二點的資料盡量補齊，對後續計算有何影響？
16. 第 16 頁最後一段「（2）連續性：……」之文字內容與連續性不相符，請敘明清楚。
17. 有關補遺的資料應予以註記加以區分，並對補遺結果的品質及結果加以評估分析。
18. 第 22 頁最後一段「有時檔頭資料可能列有修正值，但資料仍有一段時期偏離原有高度的現象，因無相關資料故無法修正。」，請詳敘清楚。
19. 第 24 頁：請詳敘以 Cubic Spline 方法處理的結果。
20. 第 28 頁：請說明何謂「格林威治相位」。
21. 請對調合分析之結果圖加以說明，並評估其結果及說明所代表意義。
22. 第 48 頁：X0 濾波器是作為平均海水面的估計使用或作為潮位資料計算分析使用？請敘明清楚。
23. 後續應進行之工作應為計算區域平均海面及研訂 4 個標值作業程序，第五章應補強內容。

回覆意見與辦理情形：

1. 雖然 GPS 高程精度不高，但若變化過大或是趨勢明顯，亦可將修正量帶入程式裡做改正。但以本計畫之時程、經費與內容，可能無法額外承諾一併執行。
2. 謝謝指教，除參考文獻原文名稱不便更動外，原文已修正。
3. 謝謝指教，該圖為資料處理結果，後續已進行修正，參照第 59 頁圖 3-39。
4. 已依意見修正，詳報告第 25 頁表 3-3 及第 51 頁表 3-9~第 57 頁表 3-13。
5. 所有國家平均海水面的計算都是算術平均值，所有的地殼變動分析都是科學家的分析，臺灣地殼變動快速，要如何採用，本計畫僅盡量提供可能的方法，提供主辦單位進行討論。
6. 依目前所有文獻內容，均無法有相關資料，故不逕行臆測。
7. 均只有定義，詳第 47 頁§3-6-2；而採用的計算方法目前參考所有的文獻均是採算術平均。

8. 所有國家平均海水面的計算都是算術平均值，所有的地殼變動分析都是科學家的分析，臺灣地殼變動快速，要如何採用，本計畫僅盡量提供可能的方法，提供主辦單位進行討論。
9. 此根據本計畫得到潮位資料所處理的原則，僅為目前通用的經驗法則，並未有相關規範存在，故無特殊意涵。
10. 本計畫嘗試了報告中的 Cubic Spline 的補遺方法，並辦理了補遺，雖然補遺不多，但已可用，因委員覺得成果不彰，故增加多變數迴歸法進行補遺，詳報告第 32 頁§3-4-2。
11. 本計畫採用了幾種模式，目前已先行利用富岡潮位站進行測試，將依最佳結果一併於期末報告提出討論。
12. 謝謝指教，唯本報告僅止於其資料處理階段，將於期末得到成果時方提出本計畫相關結論供參考。
13. 謝謝指教，詳期中報告修正版全文。
14. 個別頻率意義已如表 2-1 所示，表 2-2 中第二欄中的符號即表示由這些頻率的組合，可以產生明顯的潮位。
15. 因採經驗法則計算，無法確切得知影響，但在算數統計上，缺失的資料在周期中所發生的相位對最後的平均值都有不同的影響。
16. 原文中之文字即是說明資料都應該要有連續性，若有突跳的資料就要考慮其是錯誤的可能性。
17. 補遺資料只補在原有缺漏的時間上，並會產生新的檔案，在程式中很容易找出其差異，補遺結果的品質及結果不知確切的影響，在算數統計上，缺失的資料在周期中所發生的相位對最後的平均值都有不同的影響。若不用平均法，則補遺與不補遺就不一定會有差異。
18. 因該原文說明不精確，已修正，後續在未來的資料格式中將會略加以定義清楚。
19. 因 Cubic Spline 的方式委員覺得成果不彰，故增加多變數迴歸法進行補遺，詳第 32 頁§3-4-2。
20. 已加以說明，見第 33 頁§3-1。在傅利葉分析中，振幅大小是一個絕對量，但相位則有 2 種選擇，一是當地的相位，在起潮位能最高時，所有頻率在當時都同時相位達到零點，因此由當時起算，其他時候個頻率會有不同的相位，一天會有一次歸零的時刻。另一種表示法是稱為格林威治相位 (Greenwich phase)，就是以格林威治當天的最高啟潮時刻所有相位歸零時起算，所有其它地方的相位差，這種表示法可以幫助來做潮流的計算，也可比較鄰近兩站的相位差異與潮位特性。
21. 謝謝指教，詳報告第 51 頁§3-5。
22. X0 濾波器只是將逐時資料算成日平均值，至於是否作為平均海水面的估計使用或作為潮位資料計算分析使用，將考慮後續平均海水面的方式才能決定。
23. 因區域平均海水面的計算已進行部分，故於第四章中單獨說明，第五章僅就期中報告時尚未開始的工作進行說明。

附錄 G 期末報告審查意見回覆與辦理情形

尤委員瑞哲：

1. 報告內容建議能依計畫項目撰寫。
2. 最近 1998、2004、2005 年內政部施測水準、分析潮位資料、計算平均海水面等，應詳列使用資料情形、計算方式、計算結果等等。
3. 缺少有關中央氣象局潮位資料相關說明。
4. 國外部份說明太嫌簡略，建議至少說明他們所使用的資料年限、計算方法、訂定的規範及設置的年限。
5. 應明確提出適合臺灣地區之潮位資料處理方法及平均海水面計算之模式及方法。
6. 5 個潮位站的區域平均海水面的計算及分析，請分節詳列。
7. 建議應列出 TWVD2001 當時平均海水面的計算基礎及成果，再和本研究基隆潮位站平均海水面計算成果作比較分析，例如詳列使用的數據、基準、方法、成果等等，最好加上表格。
8. 缺潮位資料之標準儲存格式之草案。
9. 在潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序，建議加入誤差影響因子，如率定的方法和程序、資料處理方法。
10. 潮位站潮位資料處理及平均海水面計算標準作業程序，應明列計算模式、方法、步驟及誤差處理方式；所開發的程式請條列說明其功用，輸出入檔案、資料內容及格式，以及各程式的使用順序等等。
11. 適宜臺灣地區的平均海水面的計算方式的建議為何？應專章說明。
12. 增列各站原始潮位資料趨勢圖、調和分析趨勢圖及扣除調和分析趨勢後的結果。
13. 第 65 頁：圖 4-5、4-6 之日平均、月平均趨勢分析成果圖中，明顯看出還有週期性因素存在，本研究僅採線性分析是否足夠（是否不分資料時間長短都是這樣做？），或者還有週期性的誤差沒有扣除或其他原因，請說明。（對照圖 4-17~21 的成果有非線性現象）
14. 各潮位站的調和分析成果應個別詳列及分析。另外表 4-1~表 4-3 和圖 4-4 似乎不完全吻合（例如資料時間、資料趨勢等）；和圖 4-22 也不吻合。在圖 4-4 中逐時平均之趨勢有時間變化項，但在圖 4-22 中似乎非線性的。同時，表 4-2~4-3 的 X_0 和 X -trend 若表示線性趨勢，則和圖 4-4 不合（因為表 4-2~4-3 顯示沒有時間變化項），而且 $\text{Var}(x)$ 、 $\text{Var}(xp)$ 也太大。
15. 委員的意見（含其中報告及期末報告）請於附錄列出，並詳細說明處理情形。
16. 圖 4-12~圖 4-14 各圖中之第 2 圖之綠色點線的意義為何？藍、紅色線也應解釋說明。
17. 為何用多變數迴歸法補遺資料？但後來用調和分析（第四章），這兩種方式不一致，是否會扭曲最後結果？

回覆意見與辦理情形：

1. 已依委員意見修正，參考報告全文。
2. 已依委員意見修正，詳報告第 11 頁§2-2-1。
3. 已依委員意見修正，詳報告第 13 頁§2-2-2。
4. 已依委員意見修正，詳報告第 19 頁§2-3。
5. 已依委員意見修正，詳報告第 82 頁§4-2。
6. 各潮位站資料分析與平均海水面計算均依報告第三、四章內容執行，而分析結果詳報告第 82 頁§4-2。
7. 有關 TWVD2001 當時平均海水面的計算基礎及成果及比較分析分別詳報告第 11 頁§2-2-1 及第 90 頁§4-3。
8. 已依委員意見修正，詳報告第 91 頁第五章。
9. 潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序詳附錄 A、B，率定潮位儀須要看該儀器的設計廠商所訂的標準方法，本計畫僅能對裝置儀器所該注意的要點加以規訂。另外本計畫提出各潮位站要設置經精密測高的水尺，並在維護測站時加以有效的運用，這也是符合世界各國近年來的趨勢，可有效解決儀器率定偏儀與高程基準變動的問題。
10. 資料計算之標準作業程序詳附錄 C、D，而程式說明另置於附錄 E 專門說明。依全世界的主要潮位站潮位資料處理及平均海水面計算標準作業程序，並無所謂的計算模式，都是算術平均值，各國所用的差異只在資料篩選、是否內差補遺與在多少缺漏時不加以計算統計結果，這些都已詳列在各國使用方法與各篩選程式所用的原則中。
11. 在本初步探討的計畫中，只依國內外現有模式找出一個可能可以改善現有方法的模式，但還有未解決的問題，各國也都在努力解決，在此之前，還是以算術平均值來計算平均海水面，本計畫提出了較好的資料補遺方法，期望能改善資料缺漏時所造成的偏差，詳報告第 82 頁§4-2。
12. 調和分析僅作為基準變動之調整，詳報告第 53 頁§3-5-2。
13. 本計畫的目的不是在找出各種變化的原因(時間也不容許)，在無任何物理模式的依據之下，僅能採用現有最可能的全球海水面長期變動的線性模式，以做為參考，當然採用高次項的模式可以得到較好的結果，但可能失掉其焦點。
14. 調和分析在本計畫中仍未能達到預期的目的，原文多已刪除，僅以富岡站進行基準變動之調整，詳報告第 53 頁§3-5-2。
15. 已依委員意見修正，詳報告第 145 頁附錄 F 及第 155 頁附錄 G。
16. 已依委員意見修正，詳報告第 51 頁§3-5-1。
17. 調和分析在本計畫中仍未能達到預期的目的，原文多已刪除，僅以富岡站進行基準變動之調整，詳報告第 53 頁§3-5-2。

徐委員月娟：

1. 期末報告第四章區域平均海水面計算成果的呈現不完整，未與國際資料分析比較，請補強。
2. 期末報告第五章第一段及第二段文字與前面章節重複，整體研究成果描述太簡略，並未突顯本計畫成果，請補強。
3. 潮位資料處理標準作業程序中缺少資料檢核程序，又使用 Cubic Spline 方法補遺資料經測試常不可信，似不應放入 SOP 中。又使用資料補遺後的資料庫來計算平均海水面是否恰當應探討。SOP 應清楚交待操作及判定資料步驟，讓操作者可以依循。
4. 專有名詞如”半日潮”、”全日潮”等應全文一致。]
5. 建議計算成果與氣象局潮位資料年報比對。

回覆意見與辦理情形：

1. 區域平均均海水面計算目前主要與國內各單位成果進行比較（報告第 88 頁§4-2-3），因其相關資料較完整，至於國外資料僅進行大趨勢的比較分析（報告第 95 頁§6-1）。
2. 已依委員意見修正刪除，詳報告第 95 頁第六章。
3. Cubic Spline 僅作為短時期的資料補遺，在本計畫中已明確區格其適用時機，而平均海水面計算則採用此方式進行，其成果尚稱良好（參照報告第 88 頁§4-2-3），另 SOP 已依委員意見加強。
4. 已依委員意見修正，參考報告全文。
5. 謝謝委員意見，參照報告第 88 頁§4-2-3

羅委員聖宗：

1. 計畫未說明中央氣象局潮位計算方法及所蒐集 5 個國家平均海水面計算方法或高程基準測定資料，並據以比較評估提出臺灣地區合適潮位資料處理方法即平均海水面計算模式。
2. 區域平均海水面計算未說明推估各潮位站之精度與可靠度。
3. 臺灣地殼變動快速、東部亦受科氏力黑潮海水抬昇影響，如何由潮位資料準確推估預測環境長期變異量，應提出具體方法與建議供未來參考。
4. 第 83 頁：區域平均海水面各站於 1990 年開始上升，而於 2004 年達到高峰後再下降，惟獨罈廣嘴於 2004 年下降再上昇，請說明。
5. 第 87 頁：”地球一天繞太陽一圈”？
6. 據分析 5 個潮位站資料顯示，除罈廣嘴外，其餘在 2003-2008 年的平均海水面或月平均海水面正在下降，原因由潮位資料觀測或其他環境變異？請說明。（一般認知氣候暖化海面上升）

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝委員意見，已收集多國近年來的國家報告（National Reports），詳報告第 19 頁§ 2-3，並綜合國內所採用較佳的方法，於本計畫的程式之中。
2. 綜觀全世界各國區域平均海水面所計算之結果，因牽涉到長期海水面變動的因素，因不是隨機的誤差，無法以其結果的穩定性來判斷其精度或可靠度，因此，各國僅是強調其觀測量的精度在 1 公分之內，其基準很小心的維持穩定性，其儀器定期做校準，資料缺漏盡量減少等等。
3. 世界各國上未見對此項目有有效的方法，日本的親潮也又類似的效應，也未見有任何具體方法與建議。
4. 謝謝委員意見，但本計畫無法在短期內對此做任何說明，除非花時間對該站資料及觀測紀錄與儀器高程基準的變動作詳細的追蹤與分析，若無任何問題，則還要對各種海象觀測，與測高儀的觀測結果做比對，最後再與當地的地殼變動、地震活動做比對分析，否則無法隨便下結論。
5. 原文誤植，已刪除。
6. 謝謝委員意見，但以現有資料而言，無法對此妄下定論，可能需對該站資料及觀測紀錄與儀器高程基準的變動作詳細的追蹤與分析，若無任何問題，則還要對各種海象觀測，與測高儀的觀測結果做比對，最後再與當地的地殼變動、地震活動做比對分析。

曾委員清涼：

1. 報告內容應以測量目的為出發點，經蒐集國內外相關文獻，瞭解如何處理潮位資料及計算平均海水面，進而依據本研究之成果提出結論與建議。
2. 報告中潮位資料處理計算有進行補遺處理是否恰當，有探討空間，倘對計算平均海水面之目的，補遺並不是重要的，而對於潮汐預報補遺是有需要，報告中應說明清楚，讓使用者有所遵循。
3. 標準作業程序應於報告本文章節撰述，對各程序進行描述、說明訂定原則與程序，並對現階段作業提出建議。
4. 第 30、32 頁：公式中的代號（變數）應說明清楚。
5. 對於本案開發之程式設計建議可以專章敘述，繪製流程圖說明整個架構，讓使用者或維護者能簡單快速瞭解各個程式之運用時機；至於程式的詳細內容則置於附錄中。
6. 對於計算平均海水面的敘述分散於各章節（如第 65 頁、第 2 頁），各章節文字應重新加強排版，避免相同屬性之文字分散於各章節，使閱讀者不易清楚明白報告之內容。
7. 倘工作報告的結論要以條列式方式呈現，請於各章節最後增加一小節作為該章的小結論，以利最後結論內容之彙整。
8. 報告中所引用之文獻有部份未列於參考文獻中。
9. 報告中未將氣溫、壓力資料列入計算其原因為何？

10. 對於本案平均海水面計算的結果應以工程的觀點來看，請針對結果的精度規範加以敘述，例如要達到 5 公分精度時，要進行何種改正等。

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝委員指教，參考報告全文。
2. 謝謝委員指教，不過依各國現行方法，反而以潮汐預報為目的的是不補遺的，因為天文潮汐的調和函數，只要時間夠長就可以算出，不用擔心部分的資料遺漏，倒是以計算平均海水面之目的，漏缺資料會影響到平均值的計算，新的方法倒是都盡量的補遺。
3. 謝謝委員指教，詳報告第 91 頁第五章。
4. 該 2 公式下均有各代號之說明，詳報告第 47 頁及第 49 頁。
5. 謝謝委員指教，詳報告第 135 頁附錄 E。
6. 謝謝委員指教，已依意見修正全文。
7. 謝謝委員指教，詳報告第 95 頁第六章。
8. 已依委員意見修正，詳報告第 99 頁參考文獻。
9. 依世界各國現又程式與分析方法來看，只有用多變數回歸分析（1998 年計算基隆平均海水面時所用的方法）時才有辦法將氣溫、壓力資料納入考慮，這也是本計畫本來想突破的地方，即利用調和分析與氣溫、壓力資料同時考慮，可惜時間不足，長時期的調和分析尚未達到預期的精度，無法在本計畫中完成。
10. 綜觀全世界各國區域平均海水面所計算之結果，因牽涉到長期海水面變動的因素，大多不是隨機的誤差，無法以其結果的穩定性來判斷其精度或可靠度，因此，各國僅是強調其觀測的精度在 1 公分之內，其基準很小心的維持穩定性，其儀器定期做校準，資料缺漏盡量減少等等。

王委員定平：

1. 報告中結論與建議內容應以內政部國土測繪中心研究案所需的主要精神與項目及本案實作結果為主。
2. 簡報中”尚可改進的空間”的內容建議加入文字敘述，並納入報告”未來努力的方向”中。

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝委員指教，詳報告全文。
2. 謝謝委員指教，詳報告第 95 頁第六章。

劉委員正倫

1. 請補充交通部中央氣象局及經濟部水利署在潮位資料的計算與處理方法。

2. 第 63 頁：有關平均海水面的估計方式應說明其作法為何。
3. 第 81 頁：「由於利用調合分析來做長期資料補遺的工作，因資料在調和函數的長期頻率方面無法有一致性的結果，因此僅做 Cubic Spline 與多變數迴歸兩種補遺法來補齊資料缺失的部分，然後就直接以算術平均法來計算平均海面。」應敘明為何採用此種方式計算平均海面。
4. 有關潮位站潮位資料處理標準作業程序的內容應以文字敘述，而非以程式執行情形呈現。

回覆意見與辦理情形：

1. 已依委員意見修正，詳報告第 13 頁§2-2-2 及第 16 頁§2-2-3。
2. 依本計畫所蒐集的資料，但參考各國高程基準之訂定之內容，多數並未明確說明，且近年來高程基準的觀念一直在改變，將盡力再蒐集相關資料，並於期末報告中提出討論。
3. 謝謝委員指教，依世界各國現有程式與分析方法來看，只有用多變數迴歸分析時才有辦法將氣溫、壓力資料納入考慮，惟其天文潮汐預估較不精確，本計畫採用的方式亦是各國常用之方式之一，只是在部分細節上增強修正而已，詳報告第 82 頁§4-2。
4. 已依委員意見修正，詳報告第 119 頁附錄 C。

顏副教授沛華：

1. 建請將歷次審查意見及回應以附錄型式置於報告中。
2. 建請報告內容按第 3 頁之計畫項目及內容分章節列述，如第一章前言，第二章資料蒐集與文獻回顧，第三章適用臺灣地區潮位資料處理方法及模式，第四章潮位觀測資料計算與分析，第五章標準作業程序之研擬，第六章結論與建議，如此可方便主辦單位驗收。
3. 第 13 頁：第 3 行所謂雷達波測距其測距基準由何處量測？建請說明。
4. 第 35 頁：表 3-7 之中英文沒有對應，建請調整。又第 47 頁，第 11 行”拈取”建請改為”擷取”。
5. 第 63 頁：圖 4-2 建請放大且更換圖示，因”Original”及”Hourly”間不易區分。
6. 第 72 頁：以富岡站 1979~2000 年逐時資料做單獨處理，所得結果仍然不符需求，其判斷之 criteria 建請說明。
7. 第 64 頁：圖 4-3、圖 4-4 等之逐時平均趨勢顯示富岡站海面達線性下降，此與圖 4-15（第 80 頁）顯示之海面升高（+1.21mm/yr）結論不一致，建請說明。
8. 第 86 頁最後一段：”與 19 年的平均並無大同”，是否應為”並無不同”之誤？建請修正。
9. 附錄 A~附錄 D 之撰寫方式不似所謂之”標準作業程序”，建請修正。
10. 附錄 B-7 之（8）：”精度應該在 mm 程級”，請修正為”精度應該在 mm 層級”。

11. 附錄 C-5 及 C-6 在程式之設計上有詢問 Accept Interpolation? 之部分，接受與否之判斷依據為何？憑目測或有其他可供研判之客觀數學依據？
12. 水利署量測水位之儀器已逐步改為雷達波式，以避免音波式儀器易受溫度影響之缺失，爾後潮位儀之更換可考慮之。故建請雷達波水位計之更換或設置標準作業程序可納入後續計畫中，且儀器之檢校（記錄水位需符合潮位站高程系統）相當重要，應有 SOP 供廠商遵循並列為驗收之依據。
13. 附錄 C 潮位站潮位資料處理標準作業程序（草案）似為本計畫之重點，應有系統性之撰寫方式，尤其在區域平均海水面之計算方面。尤於平均海水面計算影響因素甚多，建請由內政部委外研究後決定一致之計算方法。

回覆意見與辦理情形：

1. 已依委員意見修正，詳報告第 145 頁附錄 F 及第 155 頁附錄 G。
2. 謝謝委員指教，惟仍主要依合約標題編定。
3. 謝謝委員指教，此為國外原文內容 (Odido, 2003)，本計畫僅引述並不加以探討。
4. 已依委員意見修正，詳報告第 51 頁表 3-7；另文字誤植已修正。
5. 謝謝委員指教，惟因潮位資料過密，放大後仍無法產生明顯效益。
6. 依該程式的設計，若不符合調合分析應有的需求，則不會計算理論天文潮汐，也不會計算其殘餘值，所以在圖中最上一小圖只有藍色，無紅色與綠色的線。
7. 因其所使用的資料時間段不同，而圖 4-3、圖 4-4 之呈現目的僅在說明其計算內容，並非最後之成果。
8. 原文誤植已修正，詳報告第 90 頁。
9. 謝謝指教，這是參考美國 NOAA 設置潮位站的標準程序 (Standard Operating Procedure; Procedure Number: SOP-06-001, NOAA/NOS, 2007) 的寫法，主要以長期平均海水面的穩定性為重點，可能為對其它做詳細考量。參照附錄 A~D。
10. 原文誤植已修正，詳報告第 118 頁。
11. 全世界對於潮位資料之篩選，有部分是自動化處理，如年、月、日、時間、格式等，但大部分還是用人工判斷，較新的是以視覺輔助判斷，但仍是要靠經驗，本計畫無法提供經驗的累積，也無法做數值的判斷（否則就可自動化了）。
12. 依參訪國內相關單位（經濟部水利署及交通部中央氣象局），得到最新 2008 年的報告，都未見此儀器之任何訊息，所以要建立 SOP 可能還需要一段時間的經驗累積。
13. 謝謝委員指教，可能仍有相當大的改進空間，本計畫僅能做初步的建議。

交通部中央氣象局陳技士進益：

1. 如果本計畫潮位資料分析作業標準擬定的目的是長期海水面變動的量測，建議應加強月統計資料品管與計算，規定每月都應確定上個月的月平均水位，以此當作長期海水面變動計算的基礎資料。

2. 過去因為計算的方便，以平均高（低）潮位當作海陸法定邊界，而現今海岸工程越加精確需要，且計算機能力的足夠，建議在月統計格式上增加調和分析出來的天文大潮之「大潮高潮位」與「大潮低潮位」。中央氣象局今後的月統計報表都會增加此項資料。

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝指教，各國都是以長期平均，如年平均為考量，部分已逐時資料為計算基礎，PSMSL 則以月平均為基礎，後續計畫應可嘗試。
2. 謝謝指教，大潮與低潮線在大都是航海與生活上的需求，對長期平均海水面而言，除了少數難以觀測的區域，如蘇俄載北極的幾個觀測站，似乎未見有人以此做計算。

經濟部水利署王副工程司仲豪：

1. 有關附錄 A~D 經對照，係屬本案工作項目之一，建議可移至正文內容，以及增加國內相關文獻（件）與作業流程圖等資訊。
2. 第 9 頁第 1 段開頭，「…地球一天繞太陽一圈…」，是否為誤繕？
3. 第 11 頁第 3 段，提及臺灣東海岸因淤砂問題，造成許多潮位站設立不久即報廢，建議詳列明確地點供參。
4. 本報告許多圖表內容以英文示之，如表 3-1 及圖 3-2 等內容，建議改以中文或中英文並列表示，俾利其它機關單位參考。
5. 第 19 頁第 2 段第 1 點敘述「…XO 濾波器據說為一不會有相位偏移的濾波器，…」，採用「據說」字眼，請再審酌。
6. 第 3-5 節調和函數內容，建議加強圖 3-16 至圖 3-33 之分析成果說明。
7. 第 80 頁文字說明為敘述 1984 至 2008 年之資料分析成果並以圖 4-15 示之，但該圖僅顯示 1984 至 2000 年之成果，文字敘述與圖示內容似未盡一致，請修正。

回覆意見與辦理情形：

1. 謝謝指教，詳報告第 91 頁第五章。
2. 原文誤植已修正，詳報告第 9 頁。
3. 謝謝指教，惟此並非本計畫之執行內容，故無較明確的資料可提供。
4. 謝謝指教，相關圖表均引用國外原文內容，不便進行更改。
5. 謝謝指教，已修正，詳報告第 37 頁。。
6. 謝謝指教，原圖僅為測試成果，並非最終採用之方法，原文已刪除。
7. 謝謝指教，原文誤植已刪除。

工作小組意見：

1. 報告中未看到有針對各潮位站的氣象資料進行相關的處理與分析。

2. 第 13 頁敘述內政部於 1998 年建立基隆的平均海水面，採用多變數迴歸法進行分析，與本案所採用的方法有何差異，優缺點為何，為何本案不再採用。
3. 第 32 頁：本計畫多變數迴歸法採用 9 個主要頻率，請將公式詳列於報告中。
4. 在「§4-3-2 不同時期之調和分析」一節中皆使用富岡潮位站的資料進行分析，請將其餘 4 個潮位站的調和分析結果加以說明。
5. 第 77 頁：使用富岡潮位站 1984~2008 年的資料進行調和分析結果，在高頻部分無法得到完整的結果，請補充說明如何分析。
6. 第 88 頁：最後第二段說明本計畫中，「雖有試圖利用調和函數的分析來完整的估計理論的潮汐，但還未完全的成功。」，請補充說明原因為何？
7. 音波式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序及壓力式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序，標題請依規定辦理。
8. 潮位站潮位資料處理之標準作業程序及區域平均海水面計算之標準作業程序內容不完整且簡略，請修正補充。
9. 對於「參考交通部中央氣象局及經濟部水利署之儲存格式，研擬潮位資料每日、每月及每年之標準儲存格式。」請以專節進行討論與說明。
10. 有關本案相關程式應編譯為執行檔，並將各程式的輸入檔與輸出檔之格式及內容詳細說明。
11. 報告中有關最高高潮位、平均高潮位、平均潮位、平均低潮位與最低低潮位之定義與計算方法，請說明其與交通部中央氣象局的潮位資料相關性。
12. 請依據各潮位站區域平均海水面計算結果，分析其精度與可靠度及潮位站換儀器、換測站或重置等相關資訊。
13. 報告中以調和分析結果作為計算平均海水面的依據，這估計法現在只能達到 20 公分左右的精度，假若能達到 5 公分的精度，才能對平均海水面的估計有實質的幫助。請對適合臺灣地區之潮位資料處理方法及平均海水面計算之模式與方法加以說明。
14. 音波式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序內容，請優先依目前臺灣地區潮位站所使用之儀器與設備為主要標的撰寫標準作業程序。
15. 壓力式潮位儀更換或重置（設）之標準作業程序內容，請優先依目前臺灣地區潮位站所使用之儀器與設備為主要標的撰寫標準作業程序。

回覆意見與辦理情形：

1. 本計畫未用多變數迴歸分析法，而至今尚無法以調和分析與氣象資料同時進行相關的處理，所以未加以利用。這也非在原計畫預定範圍之中，尚無時間去做這一方面的發展。
2. 依世界各國現又程式與分析方法來看，只有用多變數迴歸分析(1998 年計算基隆平均海水面時所用的方法)時才有辦法將氣溫、壓力資料納入考慮，但是其缺點是無法採用天文潮位係數之間的相關性，其回歸所得的係數易受各種變數的影響，尤其頻率

相近，或是頻率呈倍數的分量，易因高相關而得到錯誤的解果。這也是本計畫本來想突破的地方，即利用調和分析與氣溫、壓力資料同時考慮，可惜時間不足，常時期的調和分析尚未達到預期的精度，無法在本計畫中完成。

3. 謝謝指教，參照第 49 頁公式 (3-3)。
4. 富岡潮位站不同時期之調和分析僅是在做調和分析的測試，由於期中報告各位委員都不認同其結果，而且該方法也需要較長時間才能完成，另外要加入氣溫、壓力資料同時考慮，至今能未有人做出來，所以後來就未再進行其他站的分析，但本計畫依此經驗，發展出在有效的多變數迴歸法補遺資料方法及程式。
5. 所有調和分析方法都一樣，在較長的資料中，可能因環境改變，或其他變數如暴潮或氣壓改變的影響，較高頻的部分比較不容易有相位穩定性，較難得到合乎調和分析應有的相關性，所以未能成功。
6. 因作業期程因素，尚無法建立完整之模式，因此最終並未採取此一方式。
7. 謝謝指教，已修正，參照第 103 頁附錄 A 及第 111 頁附錄 B。
8. 謝謝指教，已修正，參照第 119 頁附錄 C 及第 127 頁附錄 D。
9. 謝謝指教，已修正，參照第 13 頁§2-2-2 及第 16 頁§2-2-3。
10. 謝謝指教，已修正，參照第 135 頁附錄 E。
11. 全世界對此定義都應該相同，差異僅在對資料缺漏時有沒有補遺，若沒補遺，則缺漏多少資料才不計，各國資料的標準，很難收集，但已列數國的標準於文章中。對現行的使用者而言，可能也很少人知道這一點，因各程序都是經很多年才發展完成，只能從程序的說明中去找出蛛絲馬跡，有的甚至前後說明不一致。所以本計畫中費盡心力去找出好的補遺方法，就是要消除這這一些誤差。
12. 綜觀全世界各國區域平均海水面所計算之結果，因牽涉到長期海水面變動的因素，大多不是隨機的誤差，無法以其結果的穩定性來判斷其精度或可靠度，因此，各國僅是強調其觀測量的精度在 1 公分之內，其基準很小心的維持穩定性，其儀器定期做校準，資料缺漏盡量減少等等。本計畫找出幾次基準高度的變動，大多在更換儀器或測站移動之時，因無法找到相繫的相關資訊，無法做有系統的描述。
13. 全世界潮位預測做得最好的是美國，對於某些較集中的站可做到 1~2 公分（不計暴潮或其他氣象變動時之潮位）的標準偏差，其餘是 5 公分，對於比較偏遠的獨立站，則約 10 公分，根據氣象局訪談結果，臺灣做隔年天文潮位預測也是在 5~10 公分之間，但這都是不計暴潮、颱風、及其他氣象或海流變動時之潮位。本計畫的調和分析都是用 5~20 年的資料，因環境及氣象因素的改變，調和分析的結果會比較差，但這無關平均海水面的估計，因為調和分析的結果，所拿掉的總和都是 0.0，除非所用的總長度不是整數週期，因此，用這分析結過的殘餘值，可看出其他因素的影響，也更容易正確的找出平均海水面，可惜尚未能成功得使用這方法。
14. 謝謝指教，參照第 103 頁附錄 A。
15. 謝謝指教，參照第 111 頁附錄 B。

附錄 H 期末報告修正版審查意見回覆與辦理情形

審查意見：

1. 報告中「台灣」請改為「臺灣」。
2. 報告中「cubic spline」字體大小寫或加“s”，請一致表示。
3. 報告中「調和分析」與「調和函數分析」，請一致表示。
4. 報告中「穩定井」與「靜水井」，請一致表示為「靜水井」。
5. 第 1 頁：第 2 段年份為 1998 年，但第 4 段年份為 1999 年，請查明何者有誤。
6. 第 8 頁：第 4 段「太陽、地球與月亮」請改為「太陽、月球與地球」。
7. 第 15 頁：圖 2-2 的字體模糊及太小，請改進。
8. 有關中央氣象局在音波式潮位儀與壓力式潮位儀的檢校方式，請補充資料。
9. 第 16 頁：「潮位計」請改為「潮位儀」。
10. 第 17 頁：請說明「重複量測受測值」的量測次數為何？
11. 第 18 頁：「音波式測計原點」請改為「音波式潮位儀原點」。
12. 第 22 頁：第 3 段中「300 個測」與「200 個」兩者是否有誤。
13. 第 22 頁：「任何友會」請改為「任何有會」。
14. 第 23 頁：「經度在， ± 180 之間」請改為「經度在 ± 180 之間」。
15. 第 25 頁：「這軟體的特性」，請將軟體名稱寫入。
16. 第 27 頁：「自動對實技術」字有錯誤。
17. 第 29 頁：第 1 段「個測站高程基準」、「高潮戲統的連繫」與「是以最為管理及存檔支用」中有錯字，以及語法不通順。
18. 第 30 頁：第 2 段「潮為資料軟體」、第 5 段「朝為時間序列」中有錯字。
19. 第 36 頁：第 1 段「月地」應改為月球與地球。
20. 第 36 頁：第 1 段「進動與章動」請改為「歲差與章動」，並加入英文名稱。
21. 第 45 頁：敘述內容與表 3-4、表 3-5 及表 3-6 不相符。
22. 第 57 頁：第 1 段「是以為建立一個」語法不通順。
23. 第 60 頁：第 1 段「潮差方改變」語法不通順。
24. 第 60 頁：第 3 段「tode staff」應改為「tide staff」。
25. 第 62 頁：第 1 段「左右各括大 5 個」請改為「左右各擴大 5 個」。
26. 第 76 頁：第 2 段「影響到期平均值」有錯字。
27. 第 80 頁：第 1 段「測汐」一詞有誤。
28. 第 80 頁：「資料方指標」一詞有誤。
29. 第 83 頁：「想辦法補齊所也缺漏的資料」語法有誤。
30. 第 86 頁：「即使潮位資料在 1~2 間的資料有所缺失時」，何謂「1~2 間」。
31. 第 88 頁：2006 年的參考文獻係為「內政部國土測繪中心」，請修正相關用語。
32. 第 93~94 頁：表 5-1~表 5-3 的資料分隔線為「=」與中央氣象局的分隔線「*」不相同。

33. 第 117 頁：圖 6 的名稱錯誤。
34. 附錄 G 中有關辦理情形已回覆者，請標註「頁次」。
35. 第 158 頁：曾委員清涼之第 4 點意見回覆情形不完整。
36. 第 160 頁：顏副教授沛華之第 2、3 點意見回覆情形錯誤。
37. 第 160 頁：顏副教授沛華之第 6 點意見回覆情形有錯字。
38. 第 162 頁：工作小組第 1 點意見回覆情形不完整。
39. 第 163 頁：工作小組第 3 點意見回覆情形不完整。
40. 第 163 頁：工作小組第 14 點意見回覆情形附錄 A 中，沒有敘明目前臺灣地區潮位站所使用的儀器廠牌。
41. 第 163 頁：工作小組第 15 點意見回覆情形附錄 B 中，沒有敘明目前臺灣地區潮位站所使用的儀器廠牌。
42. 報告第二章內容為蒐集分析國內外潮位資料及平均海水面計算之方法與文獻，依規定應提出適合臺灣地區之潮位資料處理方法及平均海水面計算之模式與方法，並分析基隆平均海水面之計算結果與現行 TWVD2001 高程基準之差異。惟於報告第三章「潮位資料分析與計算」中，並未說明與第二章所蒐集國內外潮位資料計算方法間的關係，應進行比較並敘明理由。以及第四章「區域平均海水面計算」中，並未說明與第二章所蒐集國內外平均海水面計算模式與方法間的關係。
43. 報告第三章「潮位資料分析與計算」中各節之編排應先敘明潮位資料的特性及分析與計算的方法，再逐節敘明，並說明各種方法的使用時機與優缺點。
44. 報告第 4-3 節「基隆潮位站平均海水面與現行 TWVD2001 高程基準之比較」內容過於簡略，應從資料時間段、計算模式、精度與影響因素進行比較與分析，並說明與比較兩種方法的優缺點。

回覆意見與辦理情形：

1. 已依審查意見修正，詳報告全文。
2. 已依審查意見修正，統一修正為「Cubic Spline」，詳報告全文。
3. 已依審查意見修正，統一修正為「調和分析」，詳報告全文。
4. 已依審查意見修正，統一修正為「靜水井」，詳報告全文。
5. 原文「1998 年」誤植，已修正為「1997 年」，詳報告第 1 頁。
6. 已依審查意見修正，詳報告第 8 頁。
7. 已依審查意見修正，詳報告第 15 頁圖 2-2。
8. 經洽詢中央氣象局局後，該局經管之潮位儀並無製定標準檢校程序，僅於有必要時，另行委託廠商進行檢校，故無法於報告中說明。
9. 已依審查意見修正，統一修正為「潮位儀」，詳報告全文。
10. 經查閱水利署歷次檢校報告中，僅可確定每一水尺於 4 個不同長度位置進行量測，並無法確定每一位置量測多少次，且於其校正程序手冊中亦未明確說明。

11. 測計原點與潮位儀原點（起算點）可能不同，故依其校正程序仍應為測計原點。
12. 原文並無錯誤，詳報告第 23 頁。
13. 原文誤植已修正，詳報告第 23 頁。
14. 原文誤植已修正，詳報告第 24 頁。
15. 已依審查意見修正，詳報告第 25 頁。
16. 原文誤植已修正，詳報告第 27 頁。
17. 原文誤植已修正，詳報告第 29 頁。
18. 原文誤植已修正，詳報告第 30 頁。
19. 已依審查意見修正，詳報告第 36 頁。
20. 已依審查意見修正，詳報告第 36 頁。
21. 原文誤植已修正，詳報告第 45 頁。
22. 已依審查意見修正，詳報告第 57 頁。
23. 已依審查意見修正，詳報告第 60 頁。
24. 原文誤植已修正，詳報告第 60 頁。
25. 原文誤植已修正，詳報告第 62 頁。
26. 原文誤植已修正，詳報告第 76 頁。
27. 原文誤植已修正，詳報告第 80 頁。
28. 原文誤植已修正，詳報告第 80 頁。
29. 原文誤植已修正，詳報告第 83 頁。
30. 原文應為「1~2 年」，已修正，詳報告第 86 頁。
31. 已依審查意見修正，詳報告第 88 頁。
32. 已依審查意見修正，統一修正為「***」，詳報告第 93、94 頁表 5-1~表 5-3。
33. 原文誤植已修正，詳報告第 117 頁。
34. 已依審查意見修正，詳報告第 115 頁附錄 G。
35. 原文公式說明已修正，詳報告第 49 頁公式 (3-4)。
36. 原文 2、3 點說明誤植已修正，詳報告第 160 頁。
37. 原文誤植已修正，詳報告第 160 頁。
38. 本計畫使用的模式與內政部 1997 年使用模式不盡相同，目前尚無法於本計畫開發的模組中加入上述之修正。
39. 原文公式說明已修正，詳報告第 49 頁公式 (3-4)。
40. 已依審查意見修正，列出國內目前較常使用之形式，詳報告第 103 頁。
41. 已依審查意見修正，列出國內目前較常使用之形式，詳報告第 111 頁。
42. 全世界各國的平均海水面的法定方法都是取平均值，而其它方法都是科學研究，在取平均值時，各國所用的資料篩選標準各有不同，本計畫已用最嚴謹的方法儘量補遺，避免造成平均的偏差，修正說明內容詳報告第 32 頁。
43. 已依審查意見修正，詳報告第 33 頁§3-1 及報告第 38 頁§3-2。

44. 由於各種方法均有其配套措施，無法進行一對一的比較其優缺點，其修正內容詳報告第 90 頁