

100-40-7525

MOTC-IOT-99-H3DB006

應用 GPS 反射信號建立波高 量測系統(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

100-40-7525
MOTC-IOT-99-H3DB006

應用 GPS 反射信號建立波高 量測系統(2/4)

著 者：李兆芳、曾清涼、徐博賢、沈立忠
王賜祿、高政宏、鄭宇君、謝佳穎
邱永芳、簡仲璟、李俊穎

交通部運輸研究所

中華民國 100 年 4 月

100

應用GPS反射信號建立波高量測系統
(2/4)

交通部運輸研究所

GPN : 1010000483

定價 200 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

應用 GPS 反射信號建立波高量測系統(2/4)

/李兆芳等著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，
民 100.04

面；公分

ISBN 978-986-02-7346-5 (平裝)

1.波動 2. 衛星觀測 3. 遙感探測

351.941

100004244

應用 GPS 反射信號建立波高量測系統(2/4)

著者：李兆芳、曾清涼、徐博賢、沈立忠、王賜祿、高政宏、鄭宇君、
謝佳穎、邱永芳、簡仲璟、李俊穎

出版機關：交通部運輸研究所

地址：10548 台北市敦化北路 240 號

網址：www.ihmt.gov.tw (中文版>中心出版品)

電話：(04) 26587176

出版年月：中華民國 100 年 4 月

印刷者：

版(刷)次冊數：初版一刷 100 冊

本書同時登載於交通部運輸研究所臺灣技術研究中心網站

定價：200 元

展售處：

交通部運輸研究所運輸資訊組•電話：(02)23496880

國家書店松江門市：10485 台北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02)25180207

五南文化廣場：40042 台中市中山路 6 號•電話：(04)22260330

GPN：1010000483

ISBN：978-986-02-7346-5 (平裝)

著作財產權人：中華民國 (代表機關：交通部運輸研究所)

本著作保留所有權利，欲利用本著作全部或部份內容者，須徵求交通部運輸研究所書面授權。

交通部運輸研究所合作研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：應用 GPS 反射信號建立波浪量測系統(2/4)			
國際標準書號（或叢刊號） ISBN978-986-02-7346-5 (平裝)	政府出版品統一編號 1010000483	運輸研究所出版品編號 100-40-7525	計畫編號 99-H3DB006
本所主辦單位：港研中心 主管：邱永芳 計畫主持人：簡仲璟 研究人員：李俊穎 參與人員：錢爾潔、馬維倫 陳正義、張麗瓊 聯絡電話：04-26587132 傳真號碼：04-26564415	合作研究單位：國立成功大學 計畫主持人：李兆芳 研究人員：曾清涼、徐博賢、沈立忠、王賜祿 高政宏、鄭宇君、謝佳穎 地址：701 臺南市大學路 1 號 聯絡電話：06-2757575		研究期間 自 99 年 3 月 至 99 年 11 月
關鍵詞：衛星定位系統；GPS 反射訊號；微波遙測；波浪；水位			
摘要： 本計畫為「應用 GPS 反射信號建立波浪水位量測系統」為期四年之第二年計畫。本年度主要目的為持續應用 RGPS 技術進行波浪水位量測。本計畫重點在利用較高資料截取頻率(10Hz)，以及更新的 GPS 訊號接收軟硬體。工作內容包括(1)在國立成功大學台南水工試驗所大型斷面水槽進行波浪波形量測(2)在台南的安平港內進行海面波浪波形量測以及(3)在高雄港柴山進行岸邊大範圍海面水位的量測。 大型造波水槽波浪的量測結果並沒有比去年的量測結果好，其原因可能是GPS天線安裝太接近水面，以至於影響到訊號的接收。同時水槽兩側的邊壁也對訊號接收造成阻隔，限制衛星接收的個數。安平港內海面波浪的觀測結果具某程度的正確性。由於海面波浪為利用遊艇通過造成，所觀測得到的海面振盪週期與船波運動週期相當接近。在高雄柴山海域的海面觀測，由於接收天線架設在海面30m上，因此觀測範圍可達600m半徑海域。所量測到海面波浪的週期為8sec，與高雄港外海資料浮標測得的結果相當接近。			
出版日期	頁數	定價	本 出 版 品 取 得 方 式
100 年 4 月	124	200	凡屬機密性出版品均不對外公開。普通性出版品，公營、公益機關團體及學校可函洽本所免費贈閱；私人及私營機關團體可按定價價購。
機密等級： ☐ 密 ☐ 機密 ☐ 極機密 ☐ 絕對機密 （解密條件： ☐ 年 月 日解密， ☐ 公布後解密， ☐ 附件抽存後解密， ☐ 工作完成或會議終了時解密， ☐ 另行檢討後辦理解密） ☒ 普通			
備註：本研究之結論與建議不代表交通部之意見。			

**PUBLICATION ABSTRACTS OF RESEARCH PROJECTS
INSTITUTE OF TRANSPORTATION
MINISTRY OF TRANSPORTATION AND COMMUNICATIONS**

TITLE: Application of Reflection GPS Signal for Sea Wave Measurement (2/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-02-7346-5 (pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1010000483	IOT SERIAL NUMBER 100-40-7525	PROJECT NUMBER 99-H3DB006
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chiu Yung-fang, Jian Jung-jing PROJECT STAFF: Lee Chun-ying PARTICIPATOR: Chien Er-jier , Ma Wei-lun, Chen Cheng-yi, Chung Lee-chang PHONE: (04) 26587132 FAX: (04) 26571329			PROJECT PERIOD FROM March 2010 TO November 2010
RESEARCH AGENCY: NATIONAL CHENG KUNG UNIVERSITY PRINCIPAL INVESTIGATOR: Lee Jaw-fang PROJECT STAFF: Tseng Ching-ling, Hsu Po-hsien, Shien Lie-chung, Wang Psu-lu, Kao Jeng-hong, Cheng Yu-chun, Hsieh Chia-ying ADDRESS: NO.1, UNIVERSITY RD., TAINAN CITY 701, TAIWAN, R.O.C. PHONE: (06) 2757575			
KEY WORDS: GPS ; RGPS ; MICROWAVE REMOTE SENSING ; WAVE ; WATER LEVEL			
ABSTRACT: This study is the second year of a four-year period project entitled “Application of Reflection GPS Signal for Sea wave Measurement.” The objective is to continue using RGPS technique for measuring sea surface elevation. The focus this year is on using 10Hz data acquisition and upgraded signal receiving software. The subject matter includes: (1) wave measurement in large wave tank of Tainan Hydraulic Laboratory, NCKU, (2) sea surface wave observation at Anping Harbor in Tainan, (3) large range sea surface survey in the Chaishan coast near Kaohsiung Harbor. Wave measurements conducted in the large wave tank did not show better results than last year. The reason might be that GPS antenna installed was too close to the water surface and might affect signal reception. Furthermore, the sidewalls of the channel also hinder antenna from receiving signals, and available satellite numbers are limited. Sea surface observation inside Anping Harbor indicates reasonable results. The water surface variation was generated by yacht passing, the measured undulation periods of sea surface match incoming ship waves. As for sea level surveying in the Chishan coast near Kaohsiung Harbor, the antenna was install 30m above sea surface; therefore, the observation range can go offshore 600m in radius. The measured surface wave periods also match that obtained from data buoy located outside Kaohsiung Harbor.			
DATE OF PUBLICATION April 2011	NUMBER OF PAGES 124	PRICE 200	CLASSIFICATION ☐ RESTRICTED ☐ CONFIDENTIAL ☐ SECRET ☐ TOP SECRET ☒ UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

應用 GPS 反射信號建立波高量測系統(2/4)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
目錄	III
圖目錄	V
第一章 緒論	1-1
1.1 前言	1-1
1.2 四年全程計畫說明	1-2
1.3 前一年度主要研究成果	1-4
1.4 本年度研究方法與目的	1-5
1.5 99 年度研究作業試驗流程	1-6
第二章 大斷面水槽波浪量測	2-1
2.1 量測儀器配置和水槽波浪條件	2-1
2.1.1 試驗場地與儀器架設	2-1
2.1.2 水槽規格與波浪條件	2-3
2.2 波高計量測結果	2-4
2.3 RGPS 波浪量測結果與比較	2-9
2.3.1 GPS 直接與反射訊號資料	2-9
2.3.2 GPS 反射點位置	2-12
2.3.3 RGPS 計算波浪水位與波高計結果比較	2-20
第三章 安平港港內水位和波浪量測	3-1
3.1 量測儀器配置	3-1
3.2 潮位站記錄水位變化	3-3

3.3 水位和波浪量測結果與比較.....	3-4
3.3.1 GPS 直接與反射訊號觀測資料....	3-4
3.3.2 GPS 反射點位置	3-7
3.3.3 RGPS 計算安平港內水位與潮位站記錄水位比較.....	3-8
第四章 高雄柴山海域水位量測.....	4-1
4.1 量測儀器配置及觀測.....	4-1
4.1.1 路邊懸崖觀測.....	4-2
4.1.2 海巡署柴山安檢所觀測.....	4-5
4.2 高雄港海象觀測資料	4-8
4.3 柴山海域水位量測結果.....	4-11
4.3.1 GPS 直接與反射訊號觀測資料	4-11
4.3.2 GPS 反射點位置	4-13
4.3.3 RGPSR 計算柴山海域水位與海象觀測資料結果比較.....	4-15
第五章 結論與建議.....	5-1
5.1 結論	5-1
5.2 建議	5-2
參考文獻.....	參-1
附錄 I GPS 試驗儀器設備功能	附 1-1
附錄 II 期中報告審查意見處理情形表	附 2-1
附錄 III 期末報告審查意見處理情形表.....	附 3-1
附錄 IV 期末報告簡報檔.....	附 4-1

圖 目 錄

圖 1.1	海面 2 km 範圍之海面水位量測.....	1-3
圖 1.2	99 年度大斷面水槽及安平港作業試驗流程圖.....	1-7
圖 1.3	99 年度柴山懸崖峭壁及安檢所作業試驗流程圖.....	1-8
圖 1.4	99 年度 RGPS 各試驗場位置及儀器操作情形.....	1-9
圖 2.1	國立成功大學台南水工試驗所大型斷面水槽.....	2-1
圖 2.2	RHCP/LHCP 天線與水槽剖面相關位置示意圖.....	2-2
圖 2.3	RGPS 天線架設位置及大型斷面水槽實驗位置空照示意圖 ..	2-3
圖 2.4	週期 2sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 波高計量測結果.....	2-4
圖 2.5	週期 2sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 波高計量測結果.....	2-5
圖 2.6	週期 4sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 波高計量測結果.....	2-5
圖 2.7	週期 4sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 波高計量測結果.....	2-6
圖 2.8	週期 5sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 波高計量測結果.....	2-6
圖 2.9	週期 5sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 波高計量測結果.....	2-7
圖 2.10	週期 6sec，波高 60cm 的規則波，使用 5cm 波高計量測結果.....	2-7
圖 2.11	週期 6sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 波高計量測結果.....	2-8
圖 2.12	大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖	

	(10Hz_5sec)	2-9
圖 2.13	(續)大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖 (10Hz_5sec)	2-10
圖 2.14	大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖 (10Hz_6sec)	2-11
圖 2.15	(續)大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖 (10Hz_6sec)	2-12
圖 2.16	RGPS 解算流程	2-13
圖 2.17	水面上各個 GPS 反射點坐標計算示意圖	2-16
圖 2.18	衛星信號來源方向與 RGPS 天線位置地面解坐標收斂軌跡	2-19
圖 2.19	國立成功大學台南水工試驗所斷面水槽衛照圖及衛星訊號 反射點軌跡圖示	2-20
圖 2.20	PRN 9 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖及衛星訊 號強度值	2-20
圖 2.21	PRN 26 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖及衛星 訊號強度值	2-21
圖 2.22	放大之 PRN 26 水面反射點高程值與波高計量測值套圖 ..	2-22
圖 2.23	PRN 27 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖及衛星 訊號強度值	2-22
圖 2.24	放大之 PRN 27 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖	2-23
圖 3.1	PS 接收天線、接收儀、筆電、水準尺、安平港潮位站示意 圖	3-1
圖 3.2	安平港潮位站位置示意圖	3-2
圖 3.3	船波照片	3-2
圖 3.4	2010/05/11~2010/05/13 安平港時序列潮位資料	3-3

圖 3.5	安平港潮位站附近海域水位高觀測之 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz)	3-5
圖 3.6	(續)安平港潮位站附近海域水位高觀測之 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz)	3-6
圖 3.7	衛星信號來源方向與 RGPS 天線位置地面解坐標收斂軌跡	3-7
圖 3.8	安平港衛星訊號反射點軌跡	3-8
圖 3.9	RGPS 計算波浪水位與潮位站記錄水位比較圖	3-8
圖 3.10	PRN 9 之水面反射點高程值及衛星訊號強度值	3-9
圖 3.11	PRN 22 之水面反射點高程值及衛星訊號強度值	3-9
圖 3.12	PRN 27 之水面反射點高程值及衛星訊號強度值	3-10
圖 3.13	PRN 9、PRN 22、PRN 27 衛星訊號強度比圖	3-10
圖 4.1	路邊懸崖測試站	4-4
圖 4.2	儀器組裝	4-4
圖 4.3	RHCP/LHCP 天線組裝	4-4
圖 4.4	儀器架設懸崖邊	4-4
圖 4.5	路邊懸崖測試作業圖	4-4
圖 4.6	GPS 接收直接與反射訊號示意圖	4-4
圖 4.7	評估儀器架設位置	4-7
圖 4.8	儀器架設	4-7
圖 4.9	安檢所內部作業示意圖	4-7
圖 4.10	安檢所儀器架設仰視圖	4-7
圖 4.11	儀器近照架設圖	4-7
圖 4.12	GPS 接收直接與反射訊號示意圖	4-7
圖 4.13	高雄港海象觀測站位置	4-8
圖 4.14	氣象局潮位站潮汐、波浪圖	4-9
圖 4.15	現場觀測氣象資圖	4-9
圖 4.16	(續)現場觀測氣象資料圖	4-10

圖 4.17	柴山海面 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz).....	4-11
圖 4.18	(續)柴山海面 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz)	4-12
圖 4.19	柴山海面衛照圖示與衛星訊號路徑(10Hz)	4-13
圖 4.20	PRN 反射點位置與 RGPS 天線位置關係圖	4-14
圖 4.21	RGPS 計算柴山海面水位頻率(10HZ)	4-15
圖 4.22	PRN 8 水面反射點高程值及衛星訊號強度值	4-15
圖 4.23	PRN 13 水面反射點高程值及衛星訊號強度值	4-16
圖 4.24	PRN 17 水面反射點高程值及衛星訊號強度值	4-16
圖 4.25	PRN 23 水面反射點高程值及衛星訊號強度值	4-17

第一章 緒論

1.1 前言

RGPS 技術應用於本計畫的主要研究方向為水面高程的量測及反射訊號的分析，可應用之領域包括測量水面高程、水面波場、水流速度及風向等。過去對於大型水體測高均使用衛星測高法 (altimetry)，現在則可以利用 GPS 的反射訊號來進行海面與溪流測高等相關性研究與應用。RGPS 另外一個優點，為在惡劣天氣下觀測海浪週期之變化，可用來替代海象雷達監測海面水位與浪高。對港口與外海海浪及時監控、港口防災之應用，有很大助益。RGPS 即時監控系統可移動、調整與佈置於港口船隻出入口附近之防波堤或潮位站附近，提供即時直接觀測海面水位變化、海浪週期之用。若要長期觀測，可選擇設置於較高之塔台(高度 25~40m)，這樣可擴大監測海面範圍至距離港口防波堤出口 1200m 半徑之外海海浪與水位變化。也可選擇放置於更高之塔台(港口鄰近山崖上高度 65~100m)，更可擴大有效監測海面範圍到距離觀測站 1500~4800m 半徑之外海海浪與水位變化。

基於 GPS 反射訊號的應用逐漸廣泛與成功應用案例，本計畫乃提出應用 RGPS 來量測波浪的構想，希望能夠建立另一種量測模式，探討是否具有取代現有量測方法的可能性，做為非接觸性量測，既不干擾水體運動也不受氣候改變影響的水位變化量測方法。現在已可提升測量成果的精度達到 2-10cm。這對於未來應用於潮汐、水面和波浪測高，或配合洪水災害監測，已可預期會有實際應用價值。

本計畫為應用 GPS 直接與反射信號建立波浪水位量測系統，全程為期四年，98 年度在大型斷面水槽之實驗，由於受到所租用儀器硬體限制，觀測結果偏差較大，但是在後續經提昇軟體輸出設定與硬體操作參數，在中型水槽及安平港之實驗中已獲得改善，去年研究初步利用 GPS 直接訊號和反射訊號 RGPS 進行波浪水位觀測，所得結果在精確度和一致性

上均顯示未來應用相當有潛力，故延續第一年(98 年)在國立成功大學臺南水工試驗所中型斷面水槽，進行靜止水面和水位持續穩定下降精確的量測，以及在大型斷面水槽波浪量測經驗，結果證明 GPS 反射信號在量測水位與潮位方面，均可獲取甚佳之結果。根據第一年(98 年)之執行成果與經驗，規劃本年度之工作內容，本年度將持續應用 RGPS 技術進行波浪水位量測，並將著重在利用較高資料截取頻率(10Hz)，以及更新的 GPS 訊號接收軟硬體，進行造波水槽中波浪波形、海面波浪波形、以及大範圍海面水位的量測。

1.2 四年全程計畫說明

本計畫為應用 GPS 直接與反射信號建立波浪水位量測系統，全程為期四年，全程規劃內容如下：

1. 98 年度計畫主要內容包括(1)針對 RGPS 相關文獻進行蒐集與整理，並歸納計算波浪水位方法之理論基礎與數學方程式。(2)研究最佳 RGPS 接收天線儀器架設。(3)在成功大學臺南水工試驗所中型斷面水槽進行靜止水面，和持續下降水位量測，確認 RGPS 水位量測精度。(4)在安平港港內潮位站附近進行潮汐水位量測。(5)在大型斷面水槽進行初步波形量測，確認 RGPS 對波浪量測的適用性。
2. 99 年度計畫規劃內容包括(1) 確認 GPS 訊號接收頻率為 10Hz，在大型斷面水槽量測規則波浪，量測週期 2sec~6sec、波高 30cm~80cm 之波浪，在量測波形後，由波形推算波高，結果與波高計之量測結果作比較。(2)在安平港選擇適當位置進行海面波浪水位觀測。(3)在高雄柴山勘選適當場地，將 GPS 天線接收儀架設於距水面高約 30m~50m 處，觀測 2 km 範圍內的海面水位，大範圍海面水位觀測，如圖 1.1 所示。

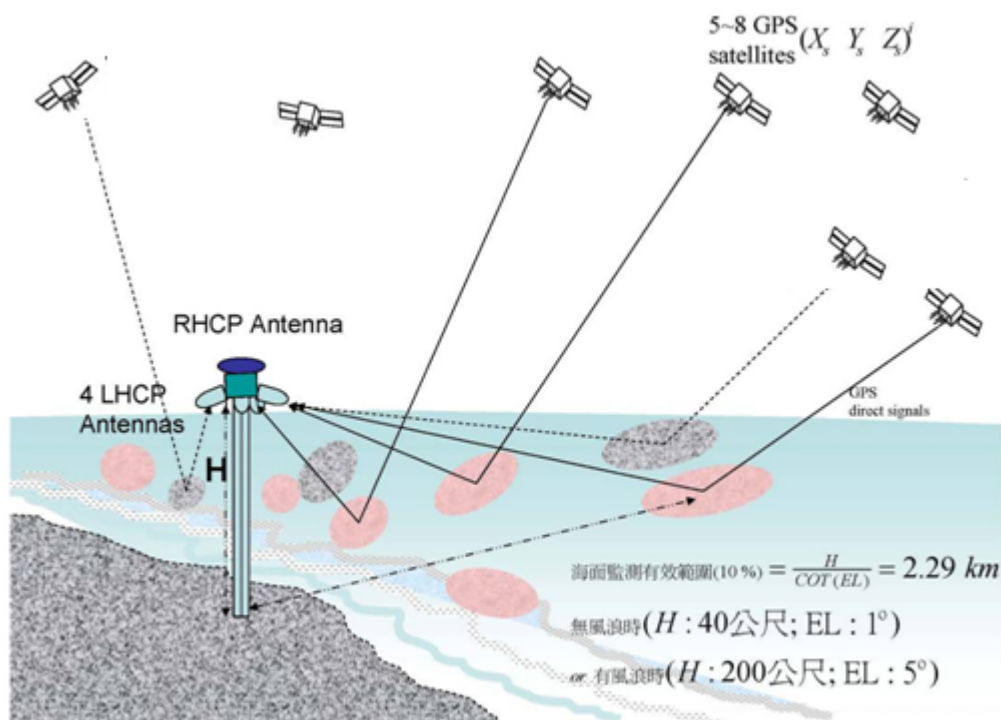


圖 1.1 海面 2km 範圍之海面水位量測

3. 100 年度計劃預期整合 GPS/GLONASS 兩套衛星訊號，再利用 RGPS 量測技術，以同一訊號接收儀可以同時接收更多反射點資料，更有利於提供海面水位資料。將規劃確認兩套系統共存的量測精確，對斷面水槽進行波浪量測，以及海面水位量測。
4. 101 年度計劃持續整合 GPS/GLONASS 訊號處理，配合多重天線接收儀組合進行較大範圍海面水位量測。

本(99 年)年度工作項目內容，係依據上年度(98 年)研究成果持續規劃，利用 GPS 接收儀接收頻率為 10Hz 直接與反射訊號，於斷面水槽量測波浪波形、實際海水面觀測波浪水位與大範圍海面水位變化之量測，主要工作項目包括：(1)利用上年度發展的 RGPS 訊號處理以及計算波浪水位方法，作為本年度應用 RGPS 量測的基礎。(2)研究最佳 RGPS 天線接收儀位置，進行設計與架設。(3)持續在成功大學臺南水工試驗所大型斷

面水槽進行週期 2sec~6sec、波高 30cm~80cm 波浪波形量測，結果並與波高計之量測結果作比較。(4)在安平港選擇適當位置進行海面波浪水位觀測。(5)在高雄柴山勘選適當場地，將 GPS 天線接收儀架設於距水面高約 30m~50m 處，觀測 2 km 範圍內的海面水位。

1.3 前一年度主要研究成果

第一年(98 年)計畫研究內容，主要係利用右旋圓柱型偏極化(RHCP)及左旋圓柱型偏極化(LHCP)天線，分別接收衛星直接訊號及由水面反射後稍減弱之反射訊號，再做整合分析，以計算反射訊號瞬時水面之坐標與高程，進而描述水面波形，計算波高與波浪空間分佈特性。研究成果包括：

(1) 在成功大學臺南水工試驗所中型斷面水槽，進行水位下降實驗過程為 1 小時，波高計以 25Hz (0.04sec)記錄水位高，採靜止水位實驗有 1 組數據，取樣 120sec 之 3000 筆數據(25 筆/sec×120sec)、水準尺為每 1 分鐘提供一筆水位讀尺記錄，與 GPS 以 10 Hz 觀測資料比較。另 1 組為水位下降時之觀測數據取樣 3600sec 之 90000 筆數據(25 筆/sec×3600sec)。水準尺為每 1 分鐘提供一筆水位讀尺記錄，用來與 GPS 以 10sec 間隔觀測資料做比較，故以靜止水面以及 1 小時連續下降 30cm 水位量測，量測結果與波高計和水準尺之量測作比較，顯示有很好的精確性，偏差在 0.5~1.0cm。

(2)在安平港港內潮位站附近進行海面水位之量測 RGPS 觀測 1.5 小時，在整點時以 10Hz 記錄觀測資料 4 分鐘、接下來則以 1 Hz 記錄觀測資料 86 分鐘，同時也用安平港潮位站水位變化為取 8 小時之記錄，潮位計以 2 Hz (0.5sec)記錄，採 1 分鐘平均水位記錄值提供分析及水準尺之水面高程量測資料進行比較分析，顯示所量測潮汐水位變化趨勢相當一致，在 25cm 的水位變化中偏差約 1.0 ~ 3.0cm。

(3)初步在大型斷面水槽進行，為 T6H85(波浪週期為 6sec、波高 85cm，實驗時間:98.04.28.11:60~18:00)，波高計 25Hz (每 0.04sec 取樣一次)共記錄 3000 筆數據，採每隔 4 組數據重新取樣，所得到波形與波高計記錄進行比較，可得 85%吻合度的結果。

1.4 本年度研究方法與目的

在本年度的計畫中，將持續應用 RGPS 技術進行波浪水位量測。本年度將著重在利用較高資料截取頻率(10Hz)，以及更新的 GPS 訊號接收軟硬體，進行：

(1)造波水槽中波浪波形，本項實驗在國立成功大學安南校區之臺南水工試驗所大型斷面水槽做試驗，水槽上方架設 RGPS 訊號接收儀，藉以計算水面反射點代表之波浪波形，GPS 接收儀接收頻率取 10Hz 以利波浪波形觀測。並將 RGPS 解算得到的水面波形將與波高計量測資料作比較，驗證 RGPS 量測波浪的精確度。

(2) 選定安平港港內岸邊進行海面波浪水位觀測，將 GPS 接收天線架(RHCP/LHCP)設於港內岸邊觀測水位變化，GPS 訊號接收頻率為 10Hz，試驗中同時觀測海面船隻所造出的波浪，量測海面波形反射訊號海面波浪波形。

(3)大範圍海面水位量測，選定地點在高雄近岸柴山安檢所俯瞰面海 180 度的位置(高程 29m，向海為 38 度斜坡往下)，進行觀測海面水位，架設 RHCP/LHCP 天線，接收 10 Hz 2 分鐘記錄值，提供海面水位變化，說明觀測的正確性。

計畫全程四年之實驗目的為建立雙頻 GPS 反射訊號應用於海浪實驗模型(Ground True Measurement, GTM)，發展完整的訊號處理與軟體分析能力。未來則希望能夠應用於對颱風期間所造成的長週期海浪與粗糙海水表面之大浪高，來進行全天候、長時間之觀測與監控，並可能替代並提昇海象雷達對近海(距港口 3km)之水位潮汐與海浪浪高監測，維持海面

水位高程量測精度達到 2~10cm，未來在港口或港區內之航道、堤口區水位潮汐與海浪浪高監測也可使用這種 RGPS 技術。

本年度(99 年)將接續上年度應用 RGPS 的成果和經驗，規劃執行(1)確認 GPS 訊號接收頻率為 10Hz，在大型斷面水槽量測規則波浪，量測週期 2sec~6sec、波高 30cm~80cm 之波浪，在量測波形後，由波形推算波高，結果將與波高計之量測結果作比較。

(2)在安平港選擇適當位置進行海面波浪水位觀測，以船隻所造之波浪量測海面波浪的波形。

(3)在高雄柴山勘選適當場地，將 GPS 天線接收儀架設於距水面高約 30m~50m 處，觀測 2 km 範圍內的海面水位。

研究流程為在實驗前將電腦軟體與反射訊號接收的情形作測試，以利後續試驗作業。在大型水槽進行波行量測，先將儀器架設完成後，將觀測資料做接收下載，後續進行資料處理(轉檔)分析，並以 RGPS 水面高程與波高計紀錄、水準尺量測紀錄進行比較分析。在安平港港內進行水位變化量測，先將儀器架設完成後，將觀測資料做接收下載，後續進行資料處理(轉檔)分析，並在三個不同試驗場以 RGPS 水面高程分別與波高計紀錄、潮位紀錄、海象觀測紀錄進行比較分析。

本年度 99 年應用 GPS 反射信號建立波高量測系統(2/4)期末報告，內容在第二章及第三章部分分別是大斷面水槽波量量測和安平港港內水位和波浪量測。第四章部份是針對高雄柴山海域路邊懸崖及海巡署高雄柴山安檢所作水位觀測，為本期期末報告主要之內容。

1.5 99 年度研究作業試驗流程

在成功大學水工所之大型斷面水槽、安平港潮位站附近海面以及柴山地區之 RGPS 水面高試驗，其作業流程彙整如圖 1.2、1.3 所示。

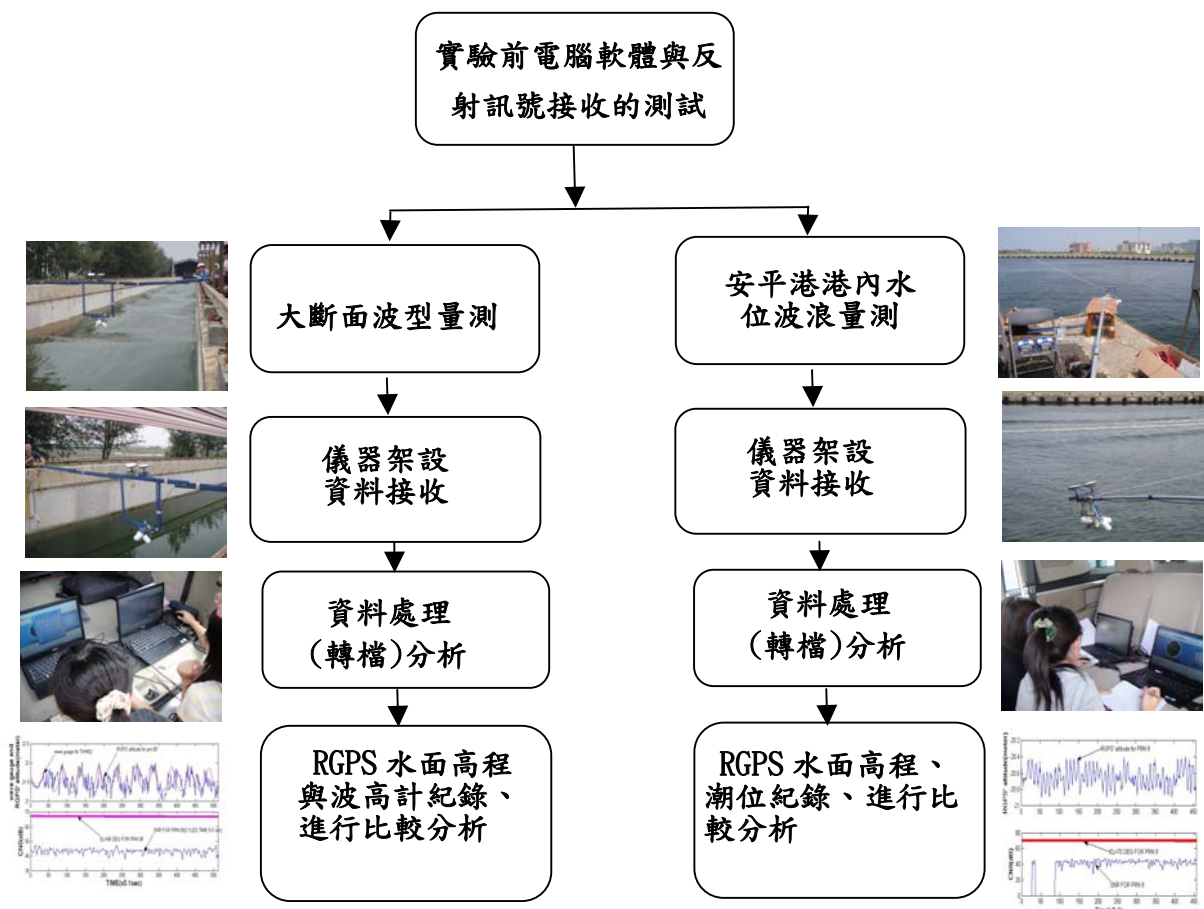


圖 1.2 99 年度大斷面水槽及安平港作業試驗流程圖

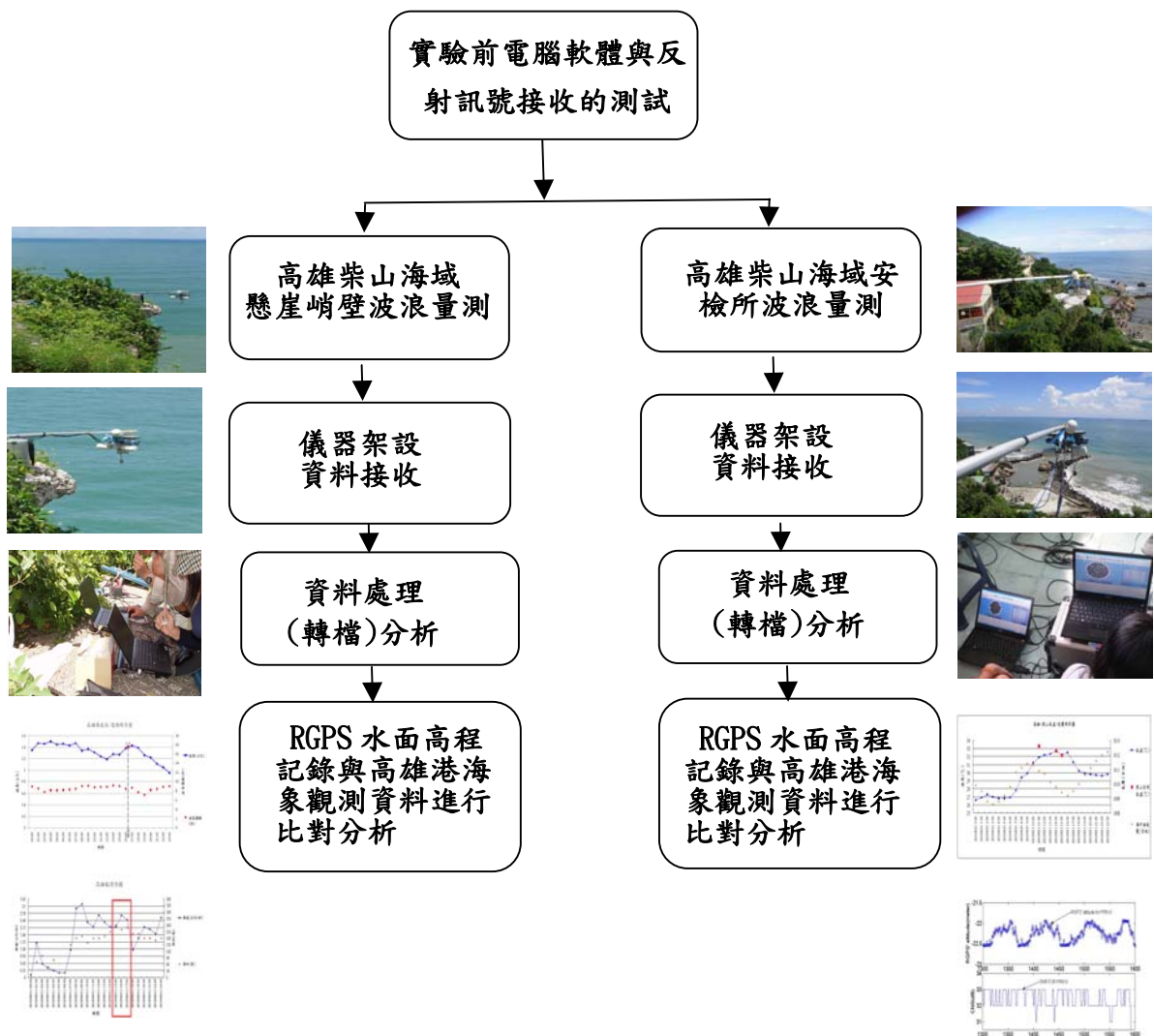


圖 1.3 99 年度柴山懸崖峭壁及安檢所作業試驗流程圖

99 年度 RGPS 在各個試驗場的觀測位置、天線與水面距離、儀器與筆電操作控制情形，彙整如圖 1.4 所示。

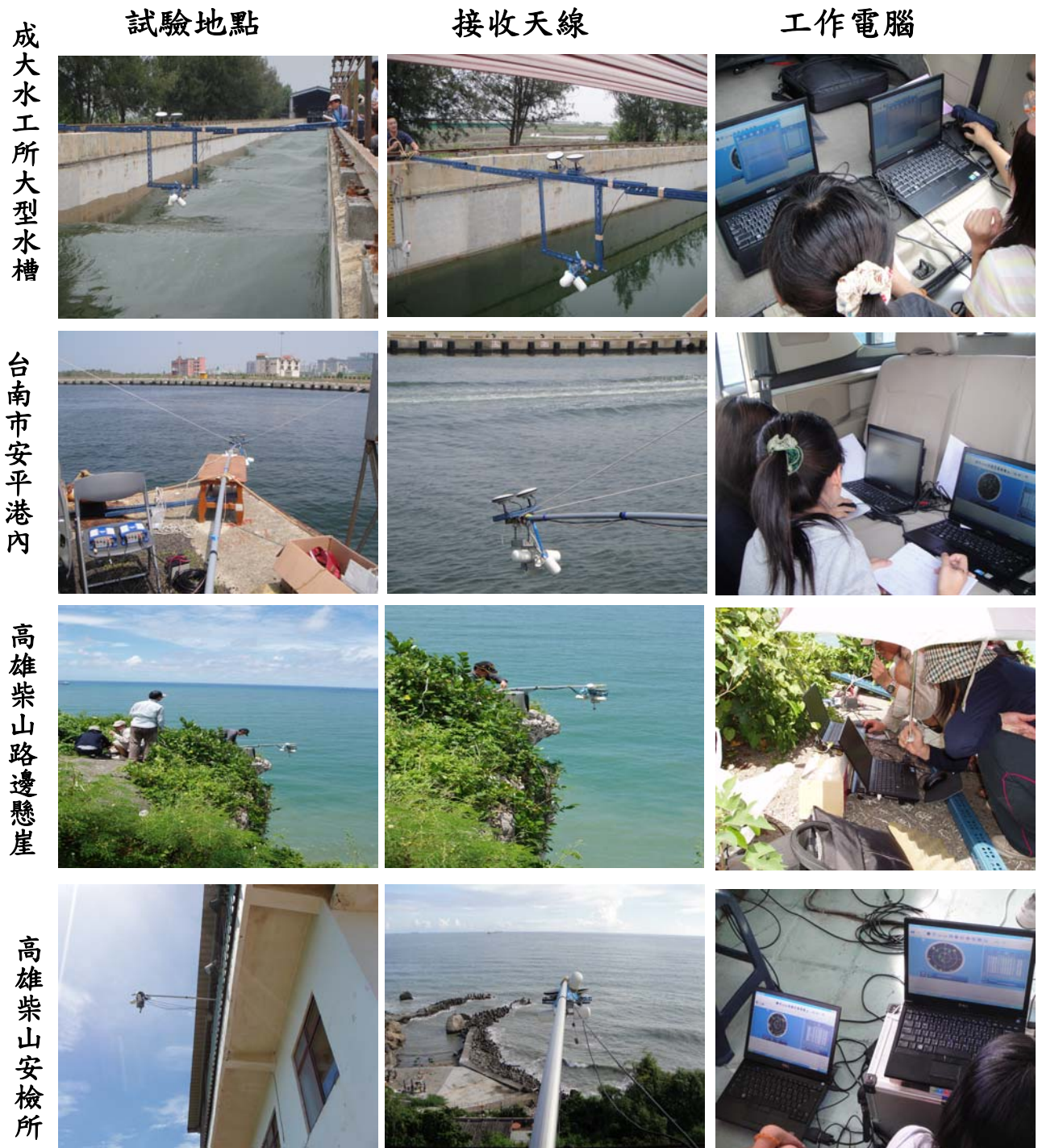


圖 1.4 99 年度 RGPS 各試驗場位置及儀器操作情形

第二章 大斷面水槽波浪量測

2.1 量測儀器配置和水槽波浪條件

本次計畫之實驗場地分別為台南市安南區之國立成功大學之臺南水工試驗所的大型斷面水槽、安平港與高雄港西子灣柴山三處。本章僅對台南水工所大型斷面水槽之量測儀器配置和水槽波浪條件，作詳細說明。

2.1.1 試驗場地與儀器架設

本項實驗借用國立成功大學之臺南水工試驗所的大型斷面水槽，如圖 2.1 所示，實驗時間自 99.04.28.11:00 至 12:30 止，進行不同波形之訊號接收，波高計 20Hz，每 0.05 sec 取樣一次，共記錄約 1200 筆數據。



圖 2.1 國立成功大學台南水工試驗所大型斷面水槽

RHCP/LHCP 天線架設、波高計位置與成功大學水工試驗所大型斷面水槽剖面示意圖以及水槽之 XYZ 坐標之定義，X 軸指向沿水槽造波水流方向(近似北方)，Y 軸指向東側槽壁方向，Z 軸指向水面上方(為高程方向)，如圖 2.2 所示。

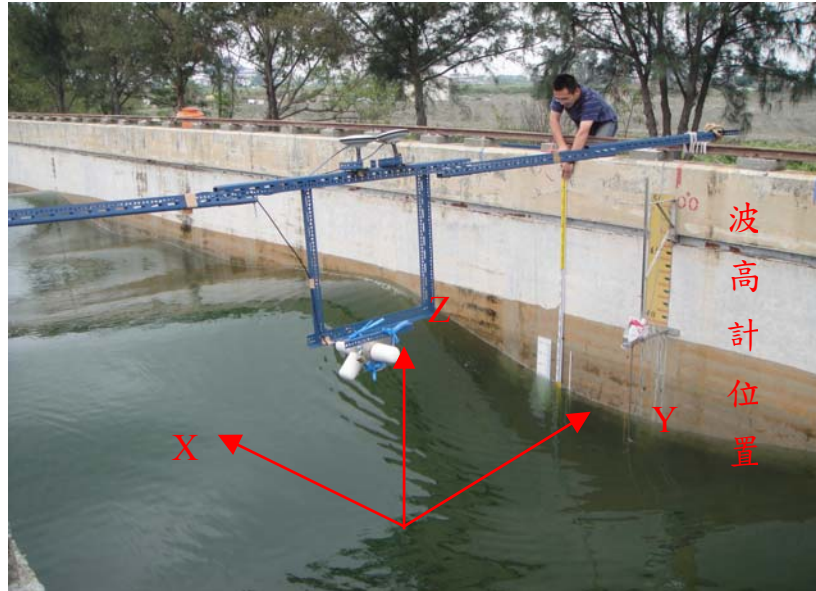


圖 2.2 RHCP/LHCP 天線與水槽剖面相關位置示意圖

GPS 天線架設情形說明如下：

- (1) 使用角鋼接合成 6.5 m 天線固定架，置於與波高計相同位置 $X=100$ m 水槽橫斷面處，RHCP/LHCP 兩種天線分別架設於角鋼上，如圖 2.2 所示，
- (2) 角鋼上方，使用二支 RHCP 天線，其中一支特別為提供 LHCP 天線訊號一旦失鎖時，為快速重新恢復坐標以及獲取 GPS 廣播星曆之用。
- (3) 角鋼下方，使用 4 個 LHCP 天線，為縮小 GPS 反射訊號再水面上反射點足跡，提昇水波高程量測之精度及確保能獲得五顆 GPS 反射訊號，LHCP 天線降低到距水面 1.2 m。使用角鋼接合於 RHCP 天線正下方約 1.0 m，並以天線固定架與 4 個 LHCP 天線接合。

2.1.2 水槽規格與波浪條件

試驗配置包括 RHCP/LHCPGPS 接收天線組、NovAtel DL-V3 GPS 接收儀兩部、筆電兩部、水準尺一支、2 組波高計與波高計紀錄設備。GPS 接收儀架設位於造波機起算 200 m 處，於此處設有一 90cm 的波高計，另造波機起算 224 m 處亦設有 5m 的波高計。浮筒設置位置於 5m 波高計為起點後 5 m 處。造波機造出週期為 2sec、4sec、5sec 以及 6sec、波高 60cm 之規則波波形，以及波高 60cm、週期 5sec 與波高 40cm、週期 5sec 之不規則波，靜止水面設定為 3.5m，如圖 2.3 所示。

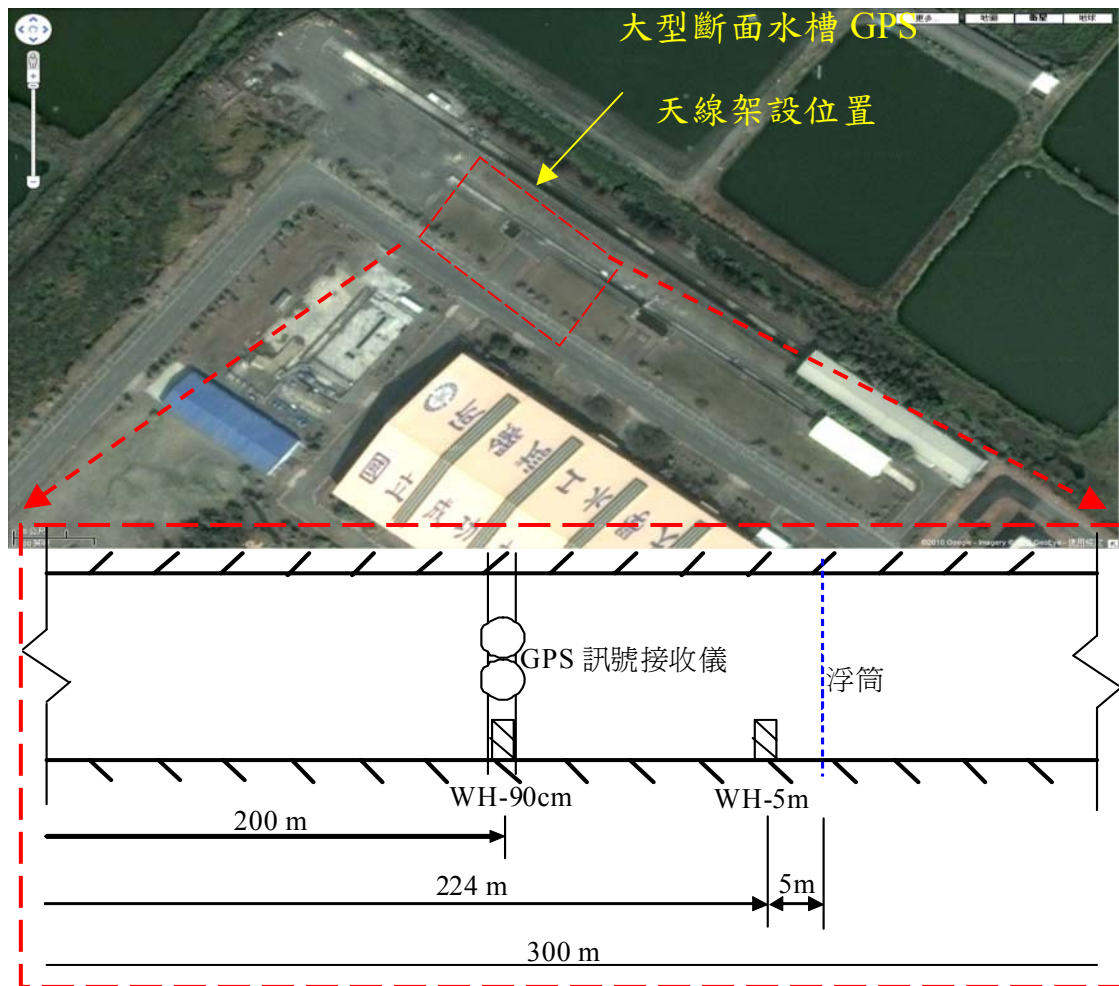


圖 2.3 RGPS 天線架設位置及大型斷面水槽實驗位置空照示意圖

2.2 波高計量測結果

大型水槽使用 5m 以及 90cm 波高計量測水位，放置地點，如圖 2.3 所示，從造波機起算 200m 處為 90cm 波高計，與 GPS 接收儀架設在同一直線上，另從造波機起算 224m 處為 5m 波高計，紀錄週期為 2sec、4sec、5sec 以及 6sec、波高 60cm 之規則波波形，以及波高 60cm、週期 5sec 與波高 40cm、週期 5sec 之不規則波，波高計紀錄頻率為 20Hz(0.05sec 取樣一次)。以週期 2sec、4sec、5sec 以及 6sec 之規則波波形，在 5m 與 90cm 波高計之量測紀錄，如圖 2.4~圖 2.11 所示。

1. 週期 2 sec 波高計量測結果

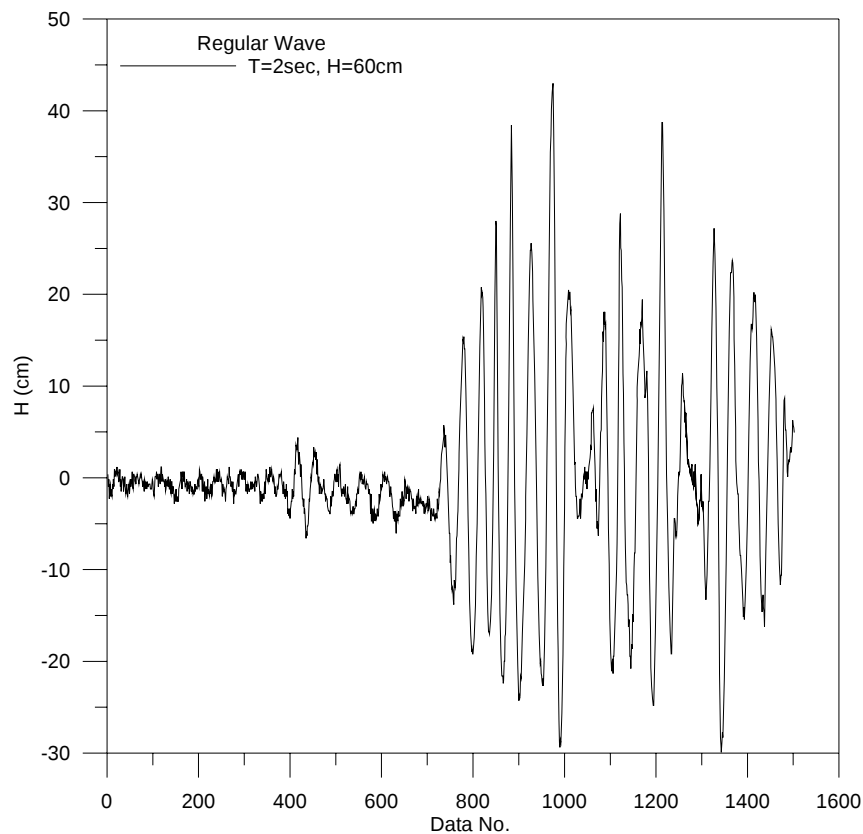


圖 2.4 週期 2 sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 波高計量測結果

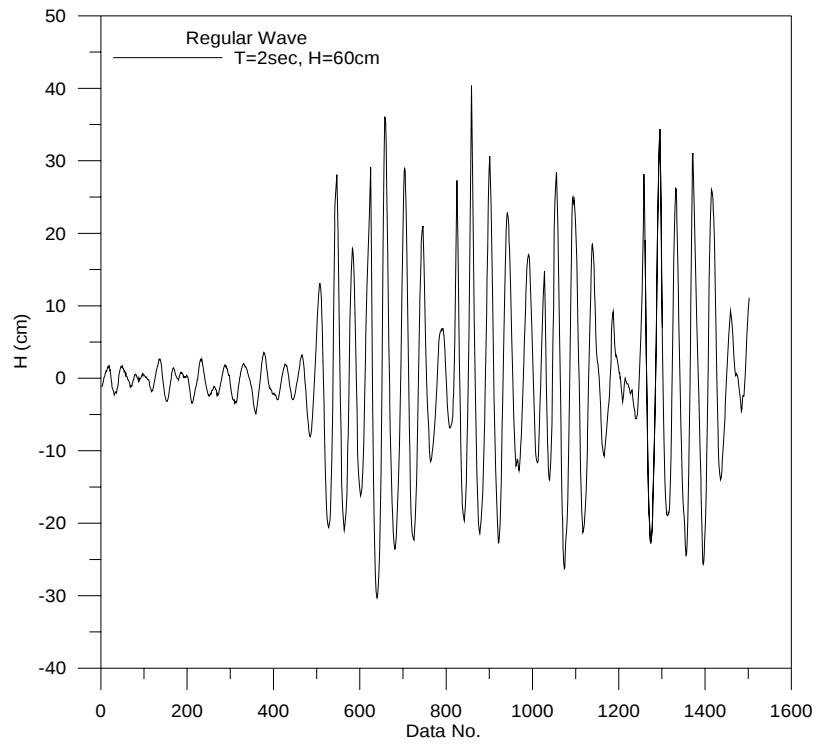


圖 2.5 週期 2 sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 波高計量測結果

2.週期 4 sec 波高計量測結果

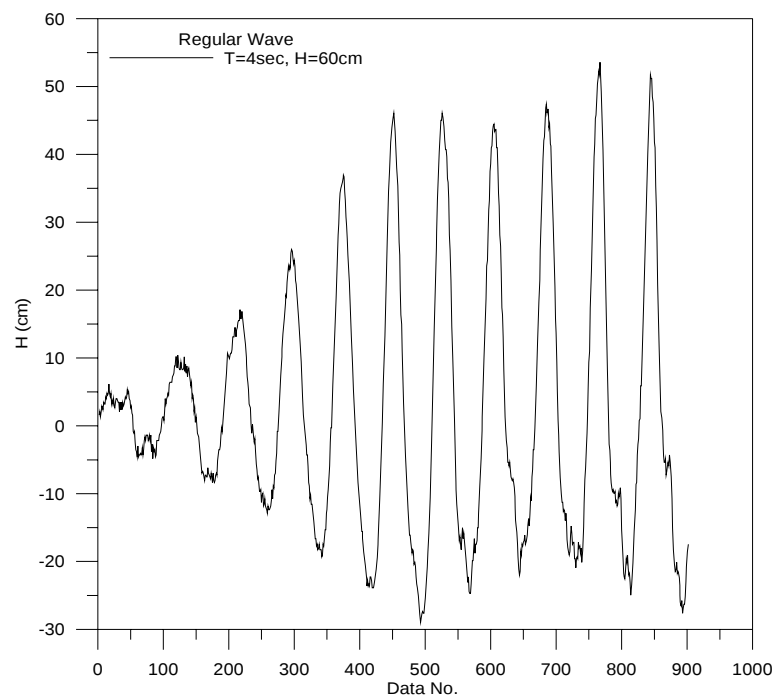


圖 2.6 週期 4 sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 波高計量測結果

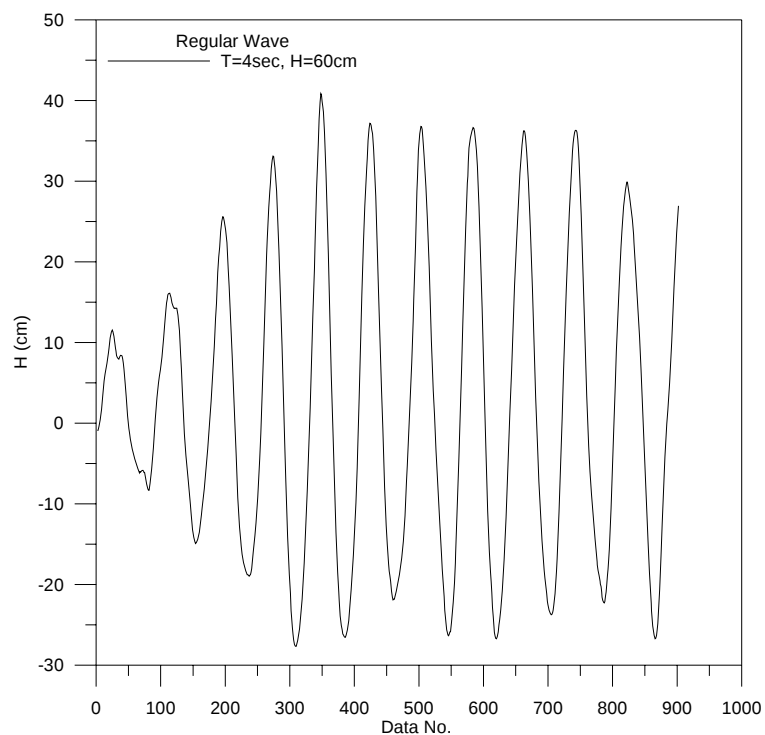


圖 2.7 週期 4 sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 波高計量測結果

3.週期 5 sec 波高計量測結果

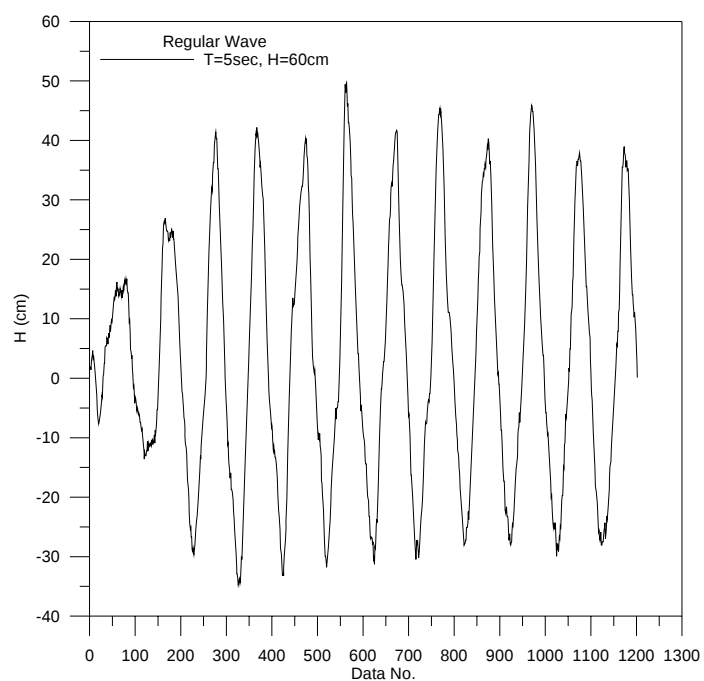


圖 2.8 週期 5 sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 波高計量測結果

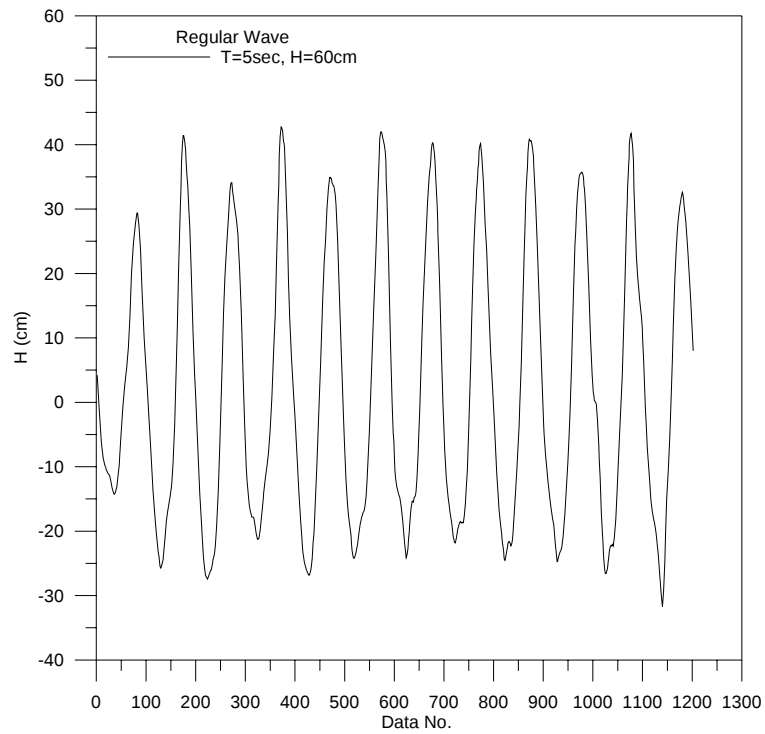


圖 2.9 週期 5 sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 波高計量測結果

4.週期 6 sec 波高計量測結果

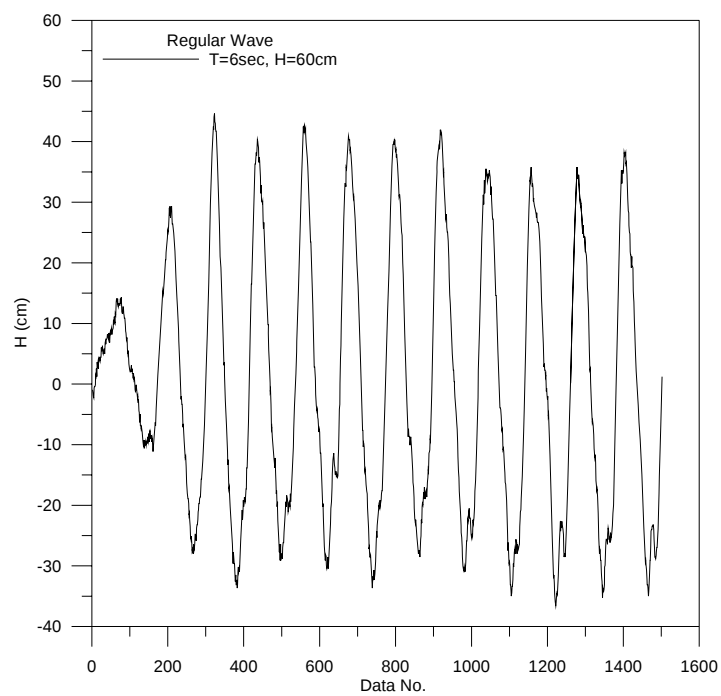


圖 2.10 週期 6 sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 波高計量測結果

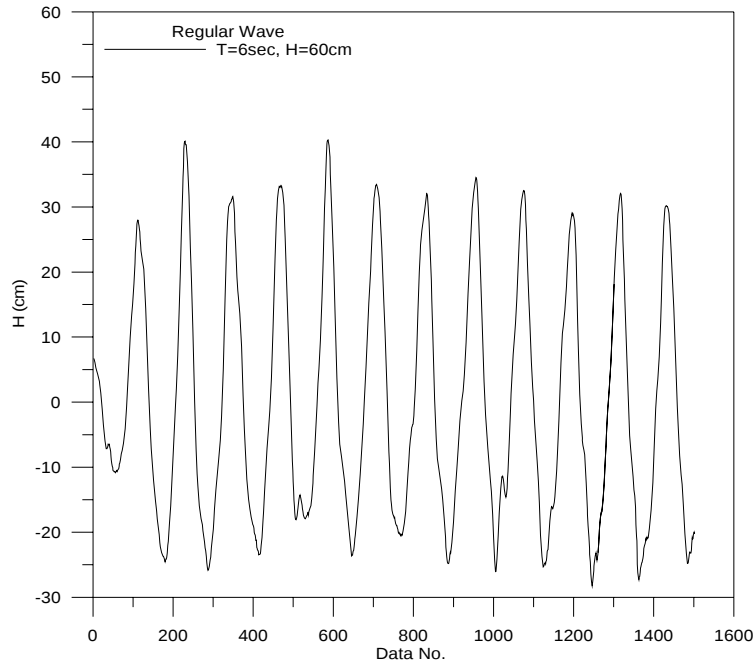


圖 2.11 週期 6 sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 波高計量測結果

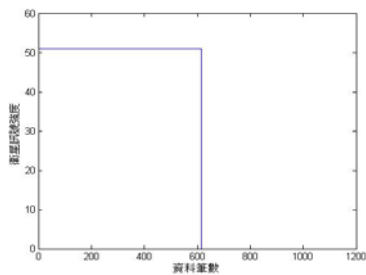
由以上波高計資料繪出的圖形可看出，週期 2sec 與 4sec 的波形較雜亂，是因為受到浮桶影響，除了進行波還包含了反射波，導致呈現重複波的波形，因此週期 2sec 與 4sec 之波形不採用。波形最好為週期 5sec 和 6sec，因此這次會優先分析週期 5sec 和 6sec 的 GPS 反射資料，又因造波機啟動後前 2-3 個週期為不成熟波形，取第四個週期後的資料作為起始分析資料。

2.3 RGPS 波浪量測結果與比較

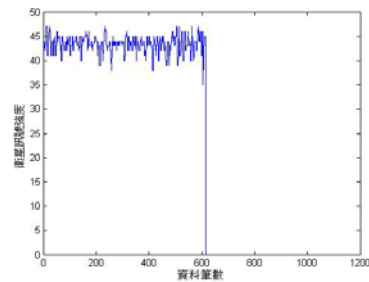
在完成資料蒐集後，即展開資料處理與分析，由於波高計資料週期 2sec 與 4sec 之波形不佳，為能與之比較分析，RGPS 波浪量測結果之分析計算僅使用週期 5sec 和 6sec 的 GPS 反射資料。

2.3.1 GPS 直接與反射訊號資料

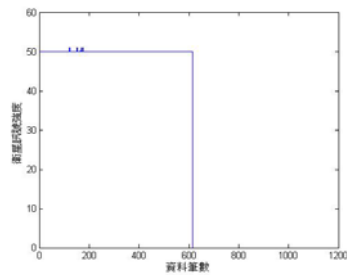
1. 觀測大型水槽週期 5sec GPS 直接與反射訊號資料 10Hz，在 GPS 定位上分別鎖定 PRN 9、18、24、26、27 號五顆衛星信號強度顯示如圖 2.12、2.13 所示。



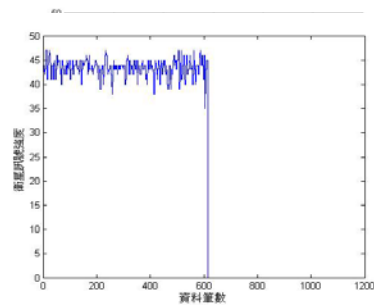
PRN 9 號衛星直接訊號



PRN 9 號衛星反射訊號

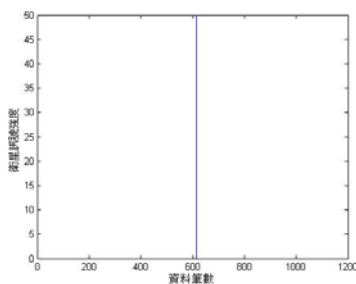


PRN 18 號衛星直接訊號

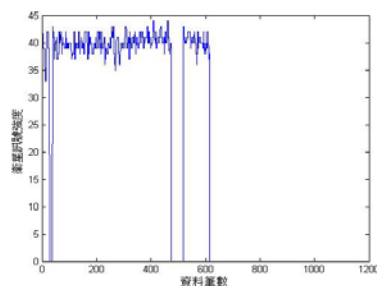


PRN 18 號衛星反射訊號

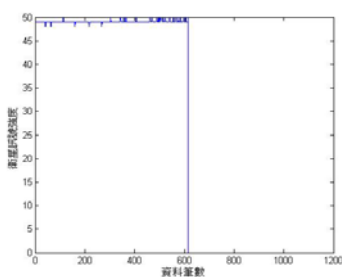
圖 2.12 大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz_5sec)



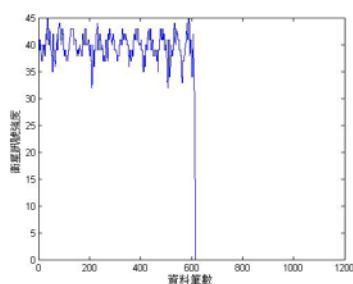
PRN 24 號衛星直接訊號



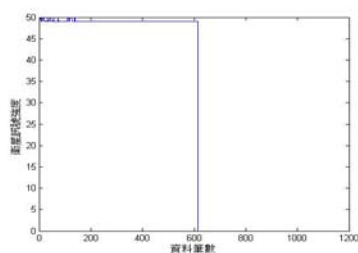
PRN 24 號衛星反射訊號



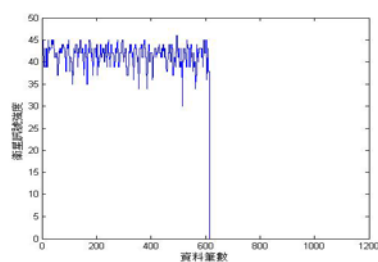
PRN 26 號衛星直接訊號



PRN 26 號衛星反射訊號



PRN 27 號衛星直接訊號

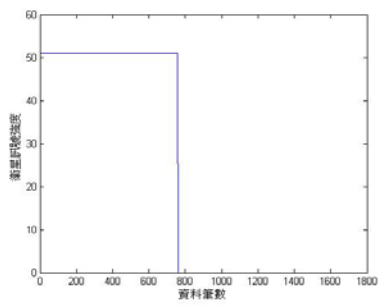


PRN 27 號衛星反射訊號

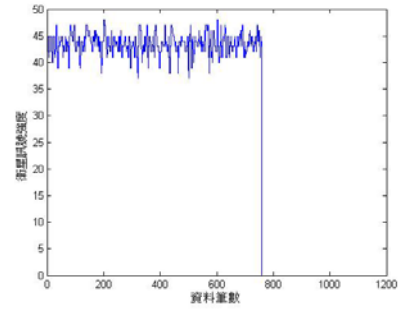
圖 2.13 (續)大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz_5sec)

從以上衛星信號強度之圖形分析，大型水槽(10Hz_5sec) PRN 9 號衛星直接與反射訊號資料皆完整；PRN 18 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 4.07%；PRN 24 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 8.94%；PRN 26 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 0.33%；PRN 27 號衛星直接訊與反射號資料皆完整。

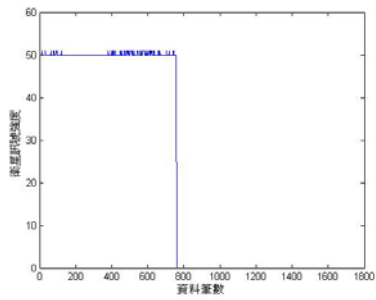
2.觀測大型水槽週期 6sec GPS 直接與反射訊號資料 10Hz，在 GPS 定位上分別鎖定 PRN 9、18、24、26、27 號五顆衛星信號強度顯示如圖 2.14、圖 2.15 所示。



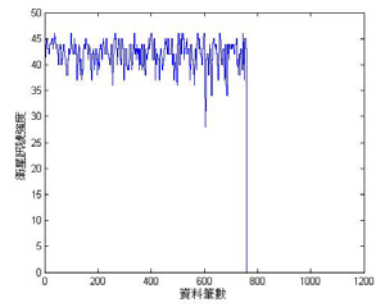
PRN 9 號衛星直接訊號



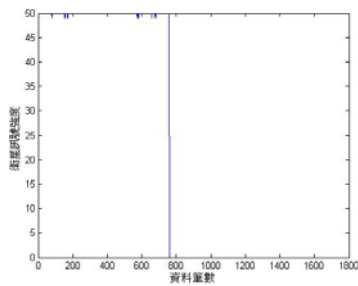
PRN 9 號衛星反射訊號



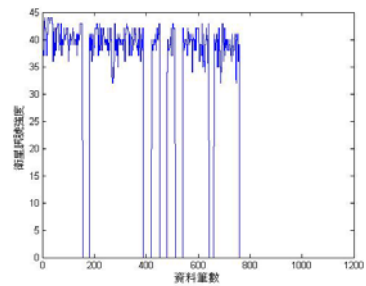
PRN 18 號衛星直接訊號



PRN 18 號衛星反射訊號

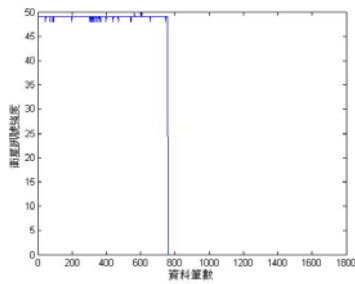


PRN 24 號衛星直接訊號

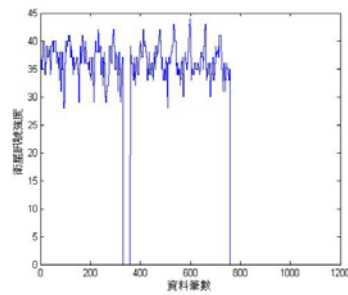


PRN 24 號衛星反射訊號

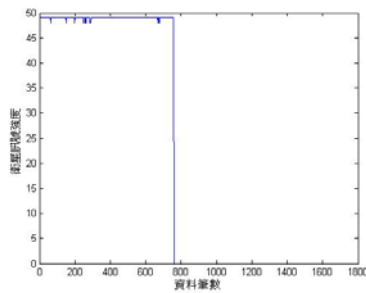
圖 2.14 大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz_6sec)



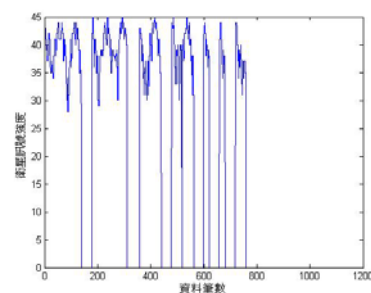
PRN 26 號衛星直接訊號



PRN 26 號衛星反射訊號



PRN 27 號衛星直接訊號



PRN 27 號衛星反射訊號

圖 2.15 (續)大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz_6sec)

從以上衛星信號強度之圖形分析，大型水槽(10Hz_6sec) PRN 9 號衛星直接與反射訊號資料皆完整；PRN 18 號衛星直接與反射訊號資料皆完整；PRN 24 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 17.81%；PRN 26 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 3.83%；PRN 27 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 31.27%，由此可知 10Hz_6 秒資料遺失較嚴重。

2.3.2 GPS 反射點位置

RGPS 空間坐標解算步驟如下：將 GPS 之 C/A 電碼及載波相位觀測量之 O 檔、以及 GPS 衛星星歷資料之 N 檔當為輸入檔，執行用 matlab 設計之 RHCP POSITION 與 LHCP POSITION 軟體，將 RHCP/LHCP 定位之坐標、坐標時序資料檔與誤差精度存於結果輸出資料檔(.mat 檔)，在此階段即可知道，RGPS 反射訊號的完整性，詳如圖 2.12、圖 2.13、圖 2.14 及圖 2.15 中的反射訊號所示。其直接訊號與反射訊號資料與解算坐標流程，如圖 2.16 所示。

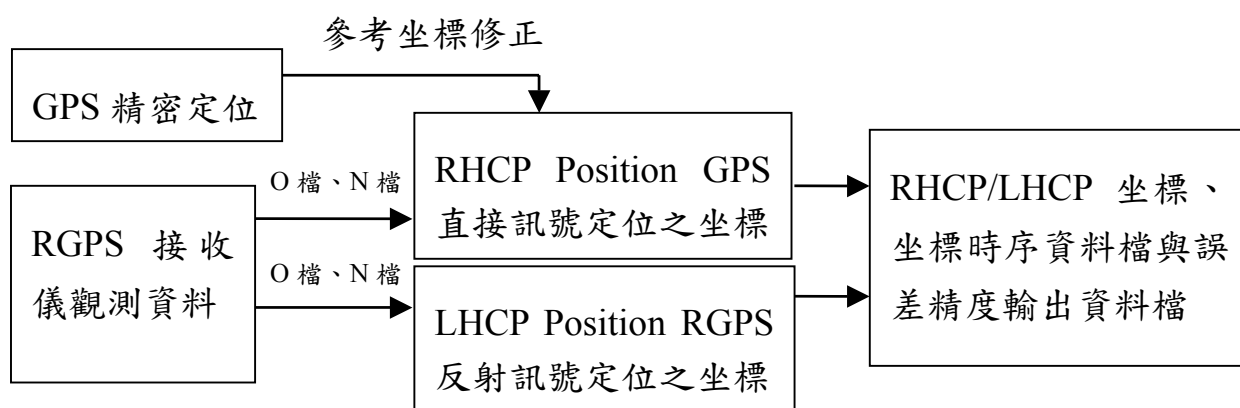


圖 2.16 RGPS 解算流程

以 GPS 反射訊號之 C/A 碼與坐標定位精確性 如公式(1)和公式(2):

$$\sum \varepsilon_{pls}^2 \leq 1.0 \quad ; \quad \varepsilon_{pls} = P_{ls} - (R_s + c(dt - dT)_s - I + D) \quad (1)$$

$$R_s = \left\{ (X_s - X_{sat}^i)^2 + (Y_s - Y_{sat}^i)^2 + (Z_s - Z_{sat}^i)^2 \right\}^{0.5} \quad (2)$$

式中:

ε_{pls} :最小二乘法求解之誤差量

P_{ls} :虛擬實距(C/A碼觀測量)

R_s :衛星至觀測點實距

C :波速(光速)

$dt-dT$:接收儀與衛星之時間差修正量

I :電離層延遲修正量

D :對流層延遲修正量

以最小二乘法解算第一組 RHCP 與 LHCP 坐標誤差量平方和小於 1.0 之收斂解,接以電離層與對流層延遲量微調校正 RHCP 與 LHCP 坐標與精密單點定位誤差小於 1.0 m,減少高程計算疊代次數,並不影響精度。

LHCP 坐標高程確認低於水面高程，判斷 LHCP 觀測量下載資料量低於五顆衛星之資料與補償方式計算坐標，而 RHCP 之五顆衛星需與 LHCP 衛星選擇相同，才能修正電離層與對流層之誤差來源。五顆 GPS 衛星可獲最小二乘誤差量小於 0.04 之收斂解，如公式(3) 表示其精度為 0.2m 以內， L1/L2 相位觀測量大多可收斂在 0.2 m 以內。

$$\sum_{i=1}^5 \varepsilon_{\Phi 1s}^2 \leq 0.04 \quad ; \quad \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{\Phi 2s}^2 \leq 0.04 \quad (3)$$

式中：

$$\begin{aligned} \varepsilon_{\Phi 1s} &= \Phi_{1s} - (R_s + c(dt - dT)_s - I + D + \lambda_1 N_{1s}) \\ \varepsilon_{\Phi 2s} &= \Phi_{2s} - (R_s + c(dt - dT)_s - I + D + \lambda_2 N_{2s}) \end{aligned}$$

進一步解算第一組 RHCP 與 LHCP 相位觀測量坐標誤差量之最小方乘小於 0.04 之收斂解。以預估實數 N1 與 N2 校正 RHCP 與 LHCP 坐標與精密單點定位誤差小於 0.2m。縮小高程計算迭代間距至 2cm，並提昇精度。LAMBDA 方法：使 N1/N2 從實數成為整數後，如公式(4) 五顆衛星可獲最小二乘解之誤差量平方和為：

$$\sum_{i=1}^5 \varepsilon_{\Phi 1s}^2 \leq 0.0025 \quad ; \quad \sum_{i=1}^5 \varepsilon_{\Phi 2s}^2 \leq 0.0025 \quad (4)$$

小於 0.0025 之門檻之收斂解，表示其定位精度在 0.05m 以內。

N₁ 及 N₂ 求解方程式為：

$$\begin{aligned} N_{1s} &= \frac{1}{\lambda_1} (\Phi_{1s} - (R_s + c(dt - dT)_s - I + D) - \varepsilon_{\Phi 1s}) \\ N_{2s} &= \frac{1}{\lambda_2} (\Phi_{2s} - (R_s + c(dt - dT)_s - I + D) - \varepsilon_{\Phi 2s}) \end{aligned} \quad (5)$$

再進一步解算第一組 RHCP 與 LHCP 相位觀測量坐標誤差量之最小方乘小於 0.0025 之收斂解。以預估整數 N1 與 N2 校正 RHCP 與 LHCP 坐標與精密單點定位誤差小於 0.05m。縮小高程計算迭代間距至 1cm 與範圍，並提昇收斂速度與精度。即時電離層與對流層模式：使 I, D 從固定值成為合理之大氣折射延遲修正值後，如公式(7) 五顆衛星可獲誤差量最小二乘解之誤差。公式(6)及(7)所獲得之收斂解，表示其定位精度在 0.02m 以內。

$$\sum_{i=1}^5 fact_{1s} \cdot \varepsilon_{\Phi 1s}^2 \leq 0.0004; \sum_{i=1}^5 fact_{2s} \cdot \varepsilon_{\Phi 2s}^2 \leq 0.0004 \quad (6)$$

式中：

$$fact_{1s} = 1.0; fact_{2s} = 1.0; \quad S \text{ 代表 PRN } 9, 18, 24, 26, 27$$

I_s 及 D_s 之求解方程式為：

$$\begin{aligned} I_s &= (f_2^2 / (f_1^2 - f_2^2)) [\Phi_{1s} + \Phi_{2s} - (\lambda_1 N_{1s} + \lambda_2 N_{2s}) - (\varepsilon_{\Phi 1s} + \varepsilon_{\Phi 2s})] \\ D_s &= (f_1^2 / (f_1^2 - f_2^2)) [(\Phi_{1s} - \lambda_1 N_{1s} - \varepsilon_{\Phi 1s})] - \\ &\quad (f_2^2 / (f_1^2 - f_2^2)) [(\Phi_{2s} - \lambda_2 N_{2s} - \varepsilon_{\Phi 2s})] - (R_s + C(dt - dT))_s \end{aligned} \quad (7)$$

再進一步解算所有觀測 RHCP 與 LHCP 相位觀測量坐標誤差量之最小二乘小於 0.0004 之收斂解。以預估新的即時電離層與對流層延遲量修正 RHCP 與 LHCP 坐標與精密單點定位誤差小於 0.02m。縮小高程計算迭代間距至 1cm 與範圍，LHCP 放大高度迭代為波高加上平均水位高程值，RHCP 維持小範圍高度迭代，並提昇收斂速度與精度。調整 factor 誤差量之影響因子，確保較低仰角衛星對整體高程計算坐標影響最小、水平坐標維持最佳坐標精度。

茲將水面上各個 GPS 反射點坐標之計算步驟，並參考圖 2.17，列述如下：

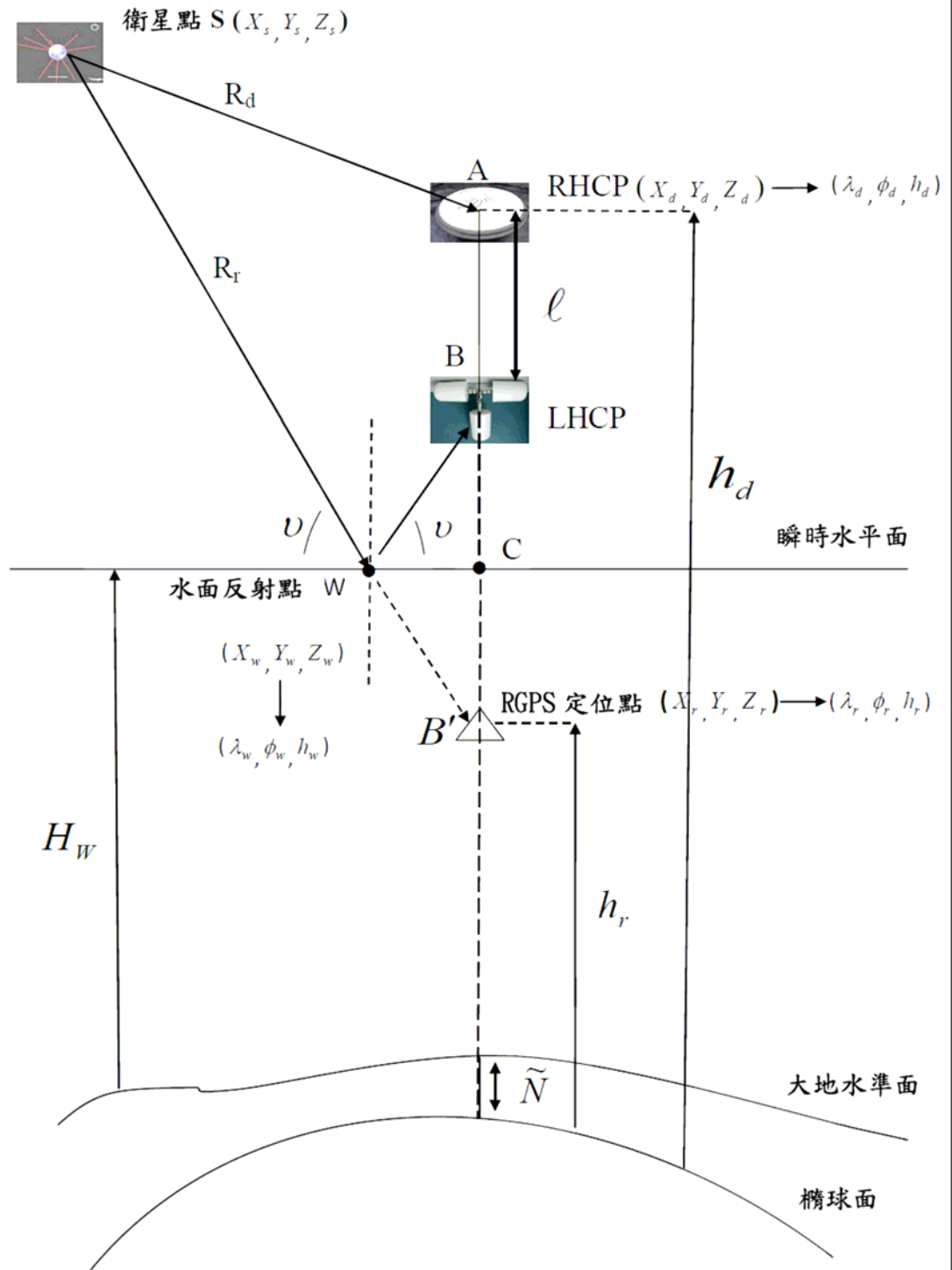


圖 2.17 水面上各個 GPS 反射點坐標計算示意圖

圖上 A 點代表 RHCP，B 點代表 LHCP，B' 代表 LHCP 之水面下映像點，W 為反射信號之水面點，C 點為 B B' 之一半與 W 點位於同一水平面上。 ℓ 為 RHCP 與 LHCP 兩天線之垂直距離， ν 為 S 之仰角。

1. 瞬時衛星點，S 之“地心地固坐標系(ECEF)”之坐標為 (X_s, Y_s, Z_s) ，S 衛星點之高度(仰角) ν ，皆由衛星點在軌位置計算而得，這在虛擬距離單點定位的計算中可由衛星星曆(N 檔)之參數計算，因此為已知值。
2. RHCP 天線(A 點) 接收四顆衛星以上的直接訊號與成大測景系館之 CN11 已知點，按相對定位方式計算，得到 RHCP 天線之 ECEF 坐標系之坐標值 (X_d, Y_d, Z_d) 。
3. LHCP 天線(B 點)接收四顆衛星以上之反射訊號觀測量結合 RHCP 天線之觀測量，以已知坐標點 (X_d, Y_d, Z_d) 為主站，進行 OTF(on the fly)之動態定位，並按每一觀測時刻 (t_i) 逐一解算，所得之 (X_r, Y_r, Z_r) ，即為反射信號之水面下像點 B' (RGPS)定位點之 ECEF 坐標。
4. 將 ECEF 之 A 點坐標 (X_d, Y_d, Z_d) 與 B' 點坐標 (X_r, Y_r, Z_r) ，轉換為經緯度及橢球高坐標值，即 (λ_d, ϕ_d, h_d) 與 (λ_r, ϕ_r, h_r) 。

5. 由圖 2.17 得知： $\overline{BC} = \frac{(h_d - \ell) - h_r}{2}$ ；

$$\overline{WB} = \overline{BC} / \sin \nu = \overline{WB'}；$$

衛星點 S 與 B' 之距離， R_r 為：

$$R_r = \{ (X_s - X_r)^2 + (Y_s - Y_r)^2 + (Z_s - Z_r)^2 \}^{1/2}$$

6. W 點之 ECEF 坐標值 (X_w, Y_w, Z_w) 可參閱圖 2.17，按照比例關係內差計算得到，即：

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \end{bmatrix} = \frac{\overline{WB'}}{R_r} \begin{bmatrix} X_s - X_r \\ Y_s - Y_r \\ Z_s - Z_r \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_r \\ Y_r \\ Z_r \end{bmatrix} \quad (8)$$

7. 將 W 點之坐標 (X_w, Y_w, Z_w) 轉換為經緯度及橢球高 (λ_w, ϕ_w, h_w) ，再將 h_w

減去大地起伏 $(\tilde{N})$ 求得反射點之正高值 H_w ，

$$H_w = h_w - \tilde{N} ; \quad (9)$$

於是 λ_w, ϕ_w, H_w 即為 S 這顆 GPS 衛星在觀測時刻 t_i 之水面反射點位置(經緯度及高程)。

8. t_i 時刻之其他 GPS 衛星 $j (PRN_j)$ 在 t_i 時刻之水面反射點，可按步驟 1、步驟 5~7 來求解。

9. t_{i+1} 時刻之所有 PRN_j 衛星，其水面反射點位置，則須按照步驟 1~8

再計算一次。依此類推，計算 $t_{i+2}, t_{i+3} \dots t_n$ 各時刻之水面反射點位置。

10. 依 PRN_j 之順序將各時刻 $t_i \sim t_n$ 之 H_w^i 值依時間序排列以得波高之變化

圖譜。而 λ_w^i, ϕ_w^i 則標在衛星影像圖上來表示 GPS 衛星水面反射點之軌跡。

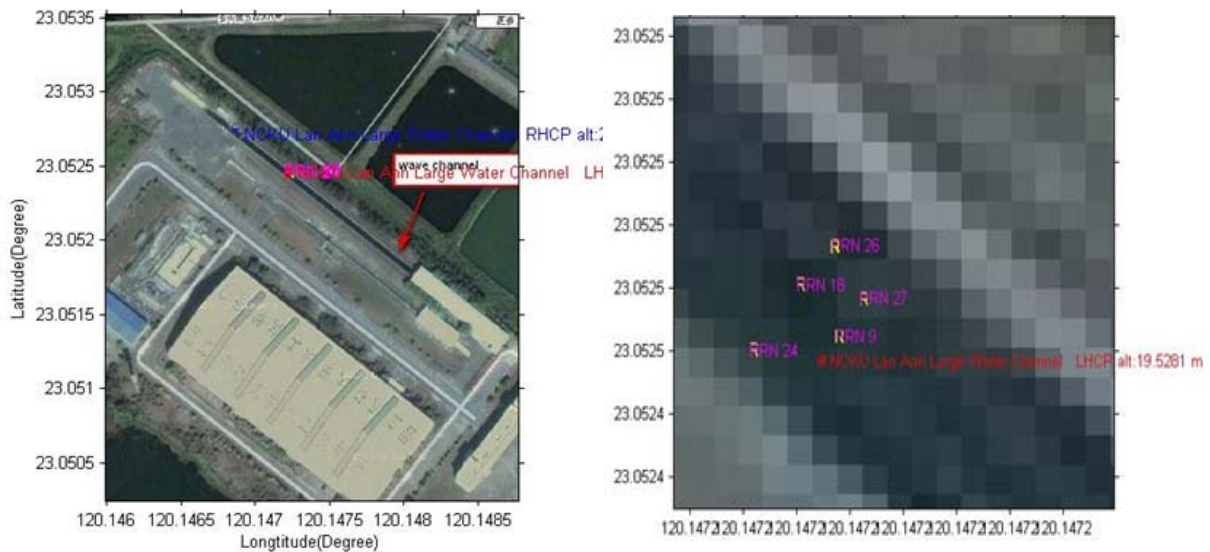


圖 2.19 國立成功大學台南水工試驗所斷面水槽衛照圖及衛星訊號反射點軌跡圖示

2.3.3 RGPS 計算波浪水位與波高計結果比較

圖 2.20 中顯示 PRN 9 衛星訊號強度值與其水面反射點高程值，以及波高計之記錄。波高計量測值與 PRN 9 衛星水面反射點高程值之週期性比較可得較高的吻合度，至於 PRN 9 衛星訊號強度值與波高計量測值之波形之吻合度較差，可能係因衛星仰角太大所致。

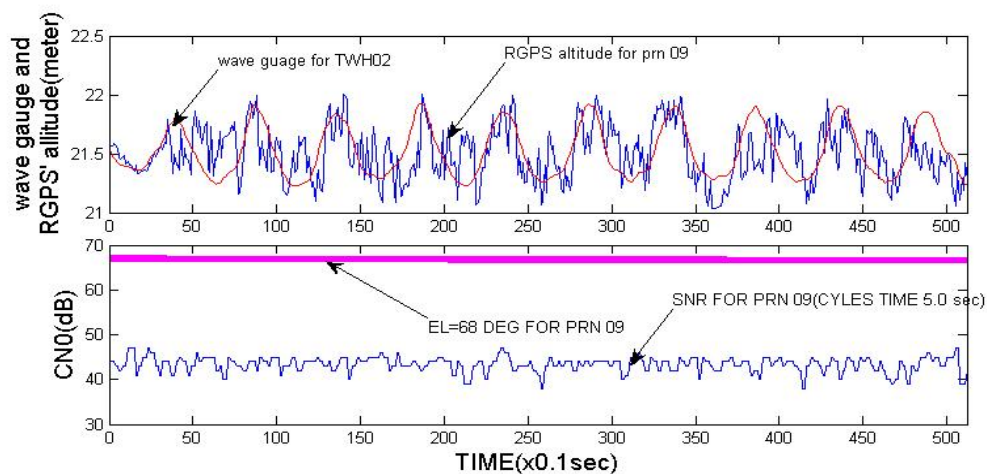


圖 2.20 PRN 9 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖及衛星訊號強度值

圖 2.21 顯示 PRN 26 衛星訊號強度值與其水面反射點高程值，以及波高計之記錄，波高計量測值與 PRN 26 衛星水面反射點高程值之週期性比較，所得之吻合度並不理想，但是 PRN 26 衛星訊號強度值與波高計量測值之波形吻合度則甚佳，經研判可能係因衛星仰角度數為 48 度左右，此時有最好之反射強度所致。圖 2.22 為放大之 PRN 26 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖。

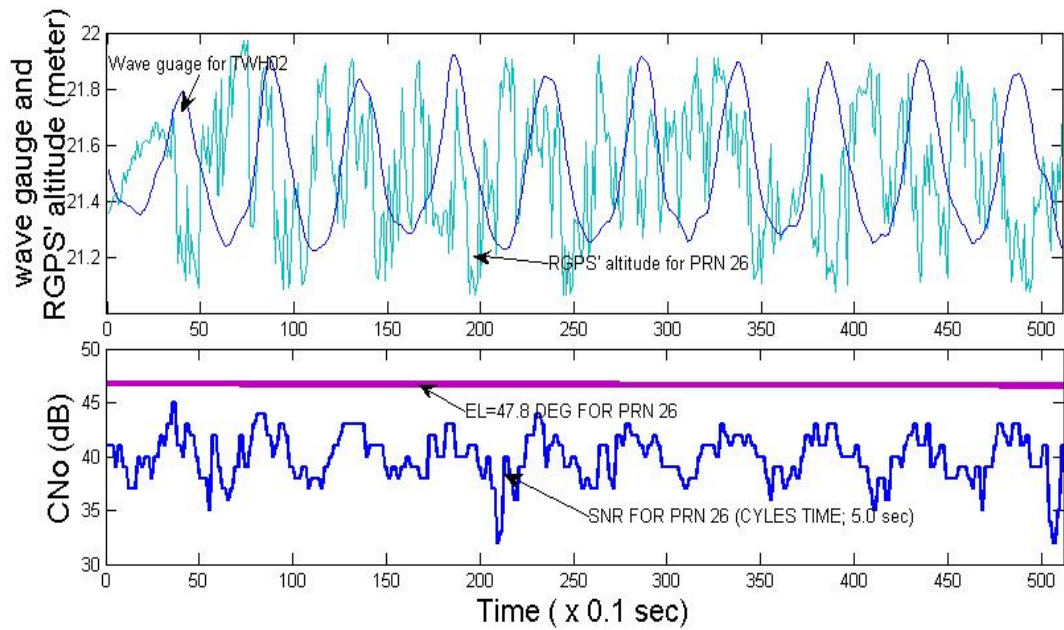


圖 2.21 PRN 26 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖及衛星訊號強度值

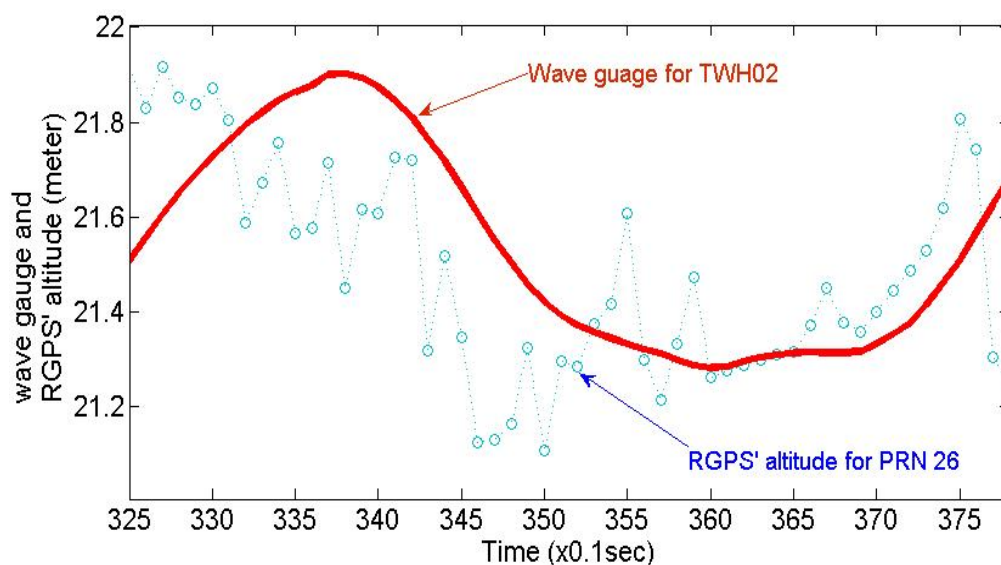


圖 2.22 放大之 PRN 26 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖

圖 2.23 可以發現波高計量測值與 PRN 27 水面反射點高程值之比較結果，約有 90% 之吻合度。至於衛星訊號強度值之週期性與波高計量測值及水面反射點高程值比較，吻合度不如 PRN26 衛星，研判可能係因衛星仰角較大所致。圖 2.24 為放大之 PRN 27 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖。

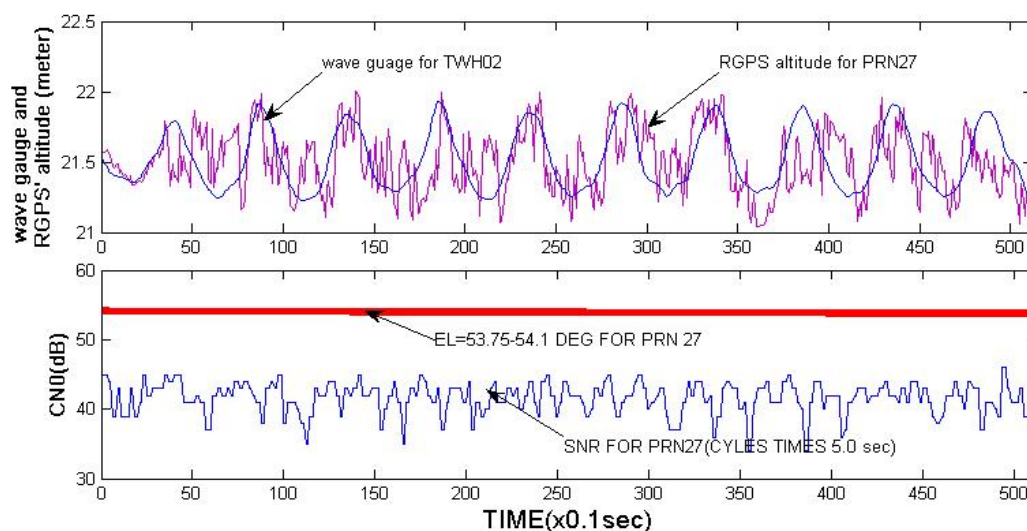


圖 2.23 PRN 27 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖及衛星訊號強度值

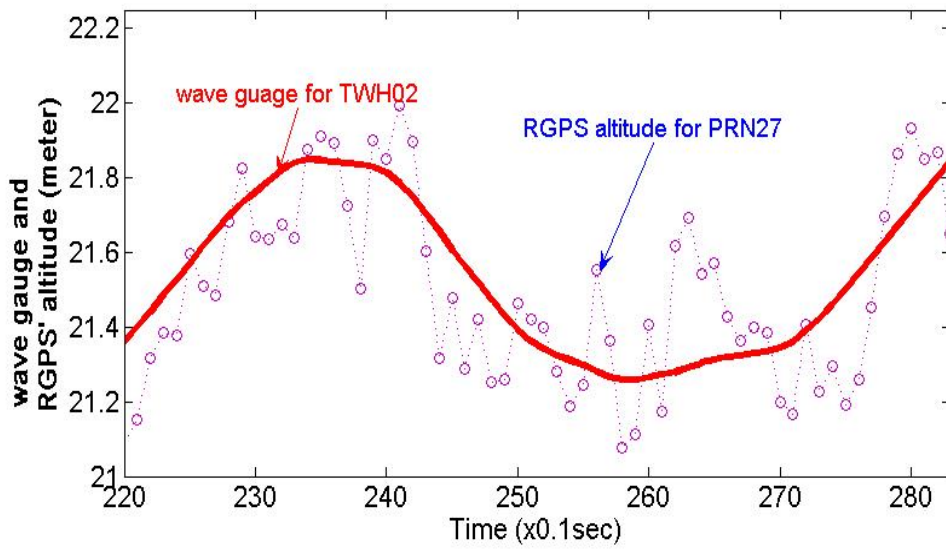


圖 2.24 放大之 PRN 27 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖

在大型斷面水槽，因為遮蔽物的關係及衛星仰角，所以可選擇的衛星數量受到限制，影響坐標計算的精準度，還有反射能力的強弱，或許與水深有關，另外選用週期 5sec 原因是我們發現衛星訊號強度值比較有連續性，可從圖 2.20 至圖 2.24 中看出。

第三章 安平港港內水位和波浪量測

3.1 量測儀器配置

為探討在實驗室以外海面之水位量測，選擇安平港之港內潮位觀測站附近水域。本次試驗將 GPS 接收天線架設於港內岸邊觀測水位變化，GPS 訊號接收頻率為 10Hz，試驗中同時觀測海面船隻所造出的波浪，量測海面波形反射訊號結果訊號。為觀測港內水位變化而將 RHCP/LHCP 天線架設於港內碼頭岸邊，其旁則有一潮位站，架設之示意圖，如圖 3.1，3.2 所示。船隻經過造成的波浪場域與 GPS 接收天線之關係位置，如圖 3.3 所示。

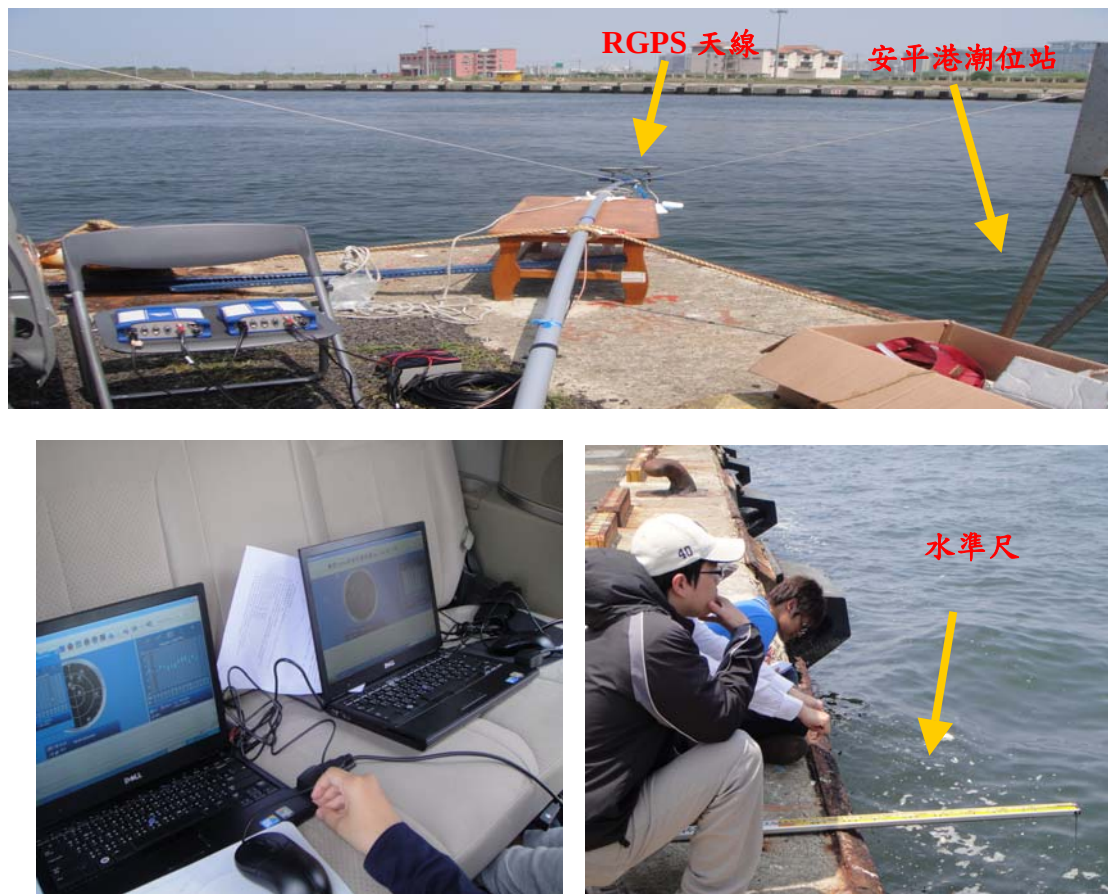


圖 3.1 GPS 接收天線、接收儀、筆電、水準尺，安平港潮位站示意圖



圖 3.2 安平港潮位站位置示意圖



圖 3.3 船波照片

3.2 潮位站記錄水位變化

觀測安平港潮汐水位，時間從 2010/ 5/ 11 00:00~2010 / 5/ 13 23:59 止，潮位觀測採一分鐘一筆接收此數值資料，共計紀錄 4320 筆，潮差大約 1m。潮位儀紀錄之潮位資料，其時序列圖，詳如圖 3.4 所示。

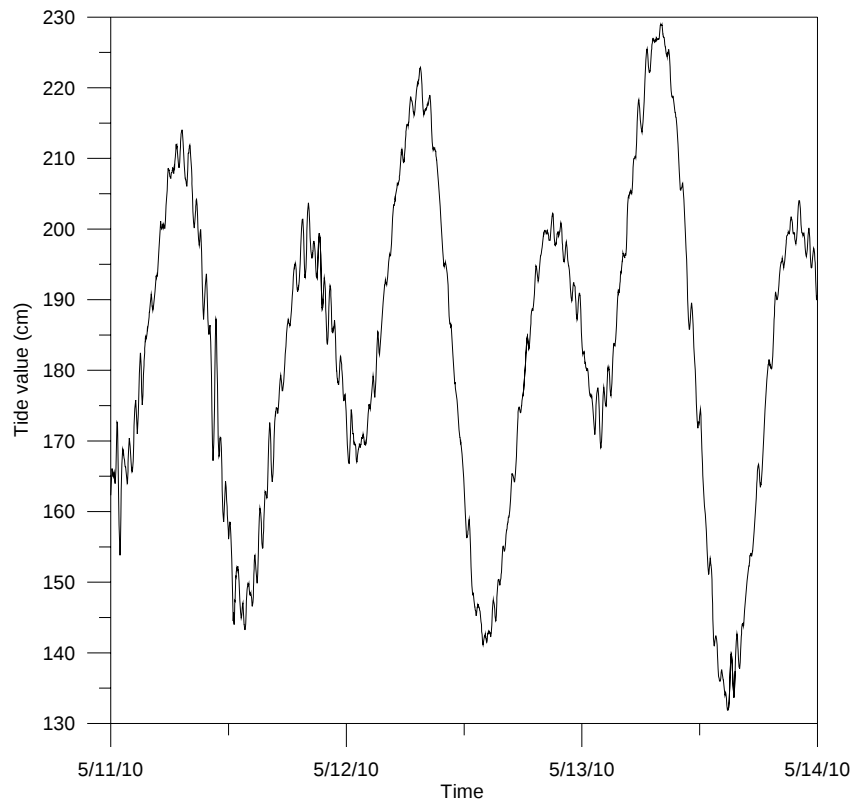


圖 3.4 2010/05/11~2010/05/13 安平港時序列潮位資料

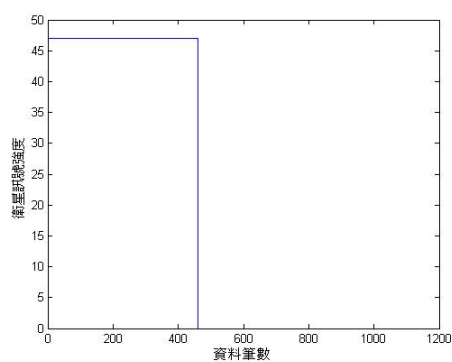
3.3 水位和波浪量測結果與比較

3.3.1 GPS 直接與反射訊號資料觀測

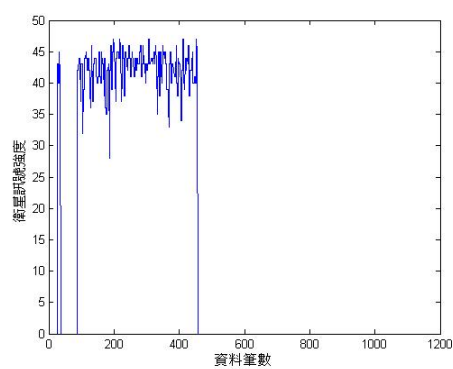
以 10HZ 的 GPS 接收儀來觀測安平港潮位站附近海域的水位高度變化，在 GPS 定位時分別鎖定 PRN 9、22、24、26、27 號五顆衛星其直接訊號與反射訊號之強度顯示如下圖 3.5、3.6 所示。

從圖 3.5、3.6 的直接訊號強度圖可以看出這 5 顆衛星，其強度值的變化不大，很平穩、雜訊少，故定位成果品質高。而反射訊號的強度值變化就比較大，甚至每顆衛星都還有若干筆觀測資料的訊號強度值變化超乎異常，這是接收訊號漏失的部份。因此也增加資料處理的難度。

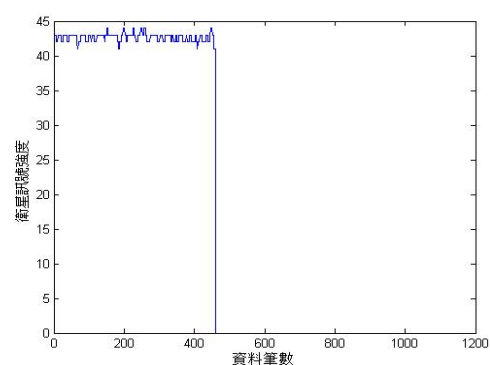
上述五顆衛星強度經分析結果顯示 PRN 9 號衛星分析資料漏失為 16.89%；PRN 22 號衛星分析資料漏失為 28.07%；PRN 24 號衛星分析資料漏失 8.33%；PRN 26 號衛星分析資料漏失為 16.45%；PRN 27 號衛星分析資料漏失為 13.82%。



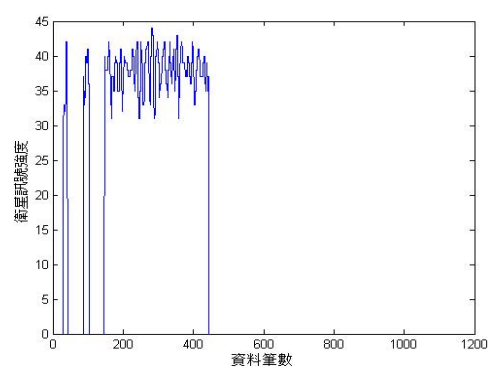
PRN 9 號衛星直接訊號



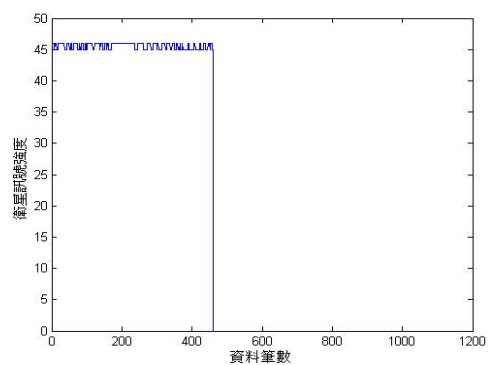
PRN 9 號衛星反射訊號



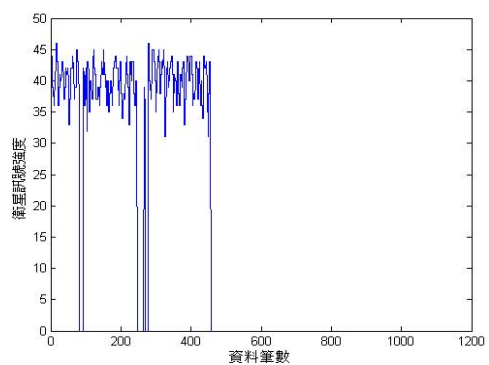
PRN 22 號衛星直接訊號



PRN 22 號衛星反射訊號



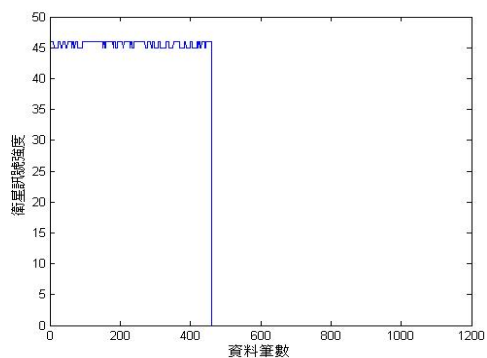
PRN 24 號衛星直接訊號



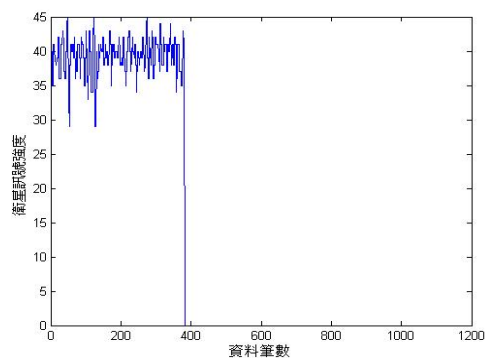
PRN 24 號衛星反射訊號

圖 3.5 安平港潮位站附近海域水位高觀測之 GPS 直接與反射訊號強

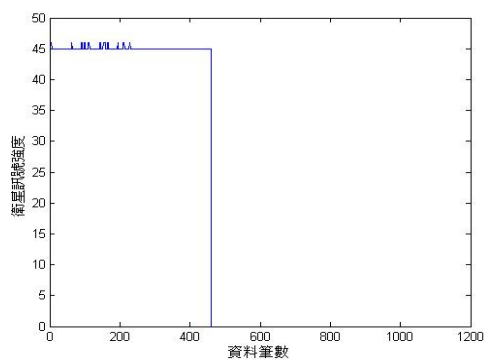
度統計示意圖(10Hz)



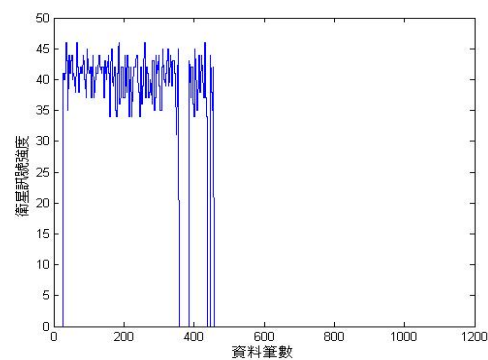
PRN 26 號衛星直接訊號



PRN 26 號衛星反射訊號



PRN 27 號衛星直接訊號



PRN 27 號衛星反射訊號

圖 3.6 (續)安平港潮位站附近海域水位高觀測之 GPS 直接與反射訊號

強度統計示意圖(10Hz)

3.3.2 GPS 反射點位置

位於國立成功大學測量系館樓頂之 CN11，已有準確之 WGS84 及 TWD97 坐標值，本研究以 CN11 這一點做為精密定位之參考點(近似坐標為 N22.998 E1202199 H64.63m)。在進行安平港內海面波形量測試驗時，以此點做為 RGPS 坐標解算時之位置修正量基準點。應用 CN11 進行 RGPS 位置修正後，使得坐標位置與水道衛星影像圖套疊更精確。圖 3.7 為衛星信號來源方向與 RGPS 天線位置地面解坐標收斂軌跡。

以上述直接訊號與 CN11 已知點之精密定位坐標值作為 LHCP 天線之參考坐標值，經軟體程式解算(方程式及解算過程詳第二章之 2.3.2 節)之後，其衛星訊號反射點之軌跡，如圖 3.8 所示。

從安平港五顆衛星分佈圖可看出，PRN 22 離天線位置較遠，仰角較其他四顆為低，其他四顆衛星空間分佈則較為集中。

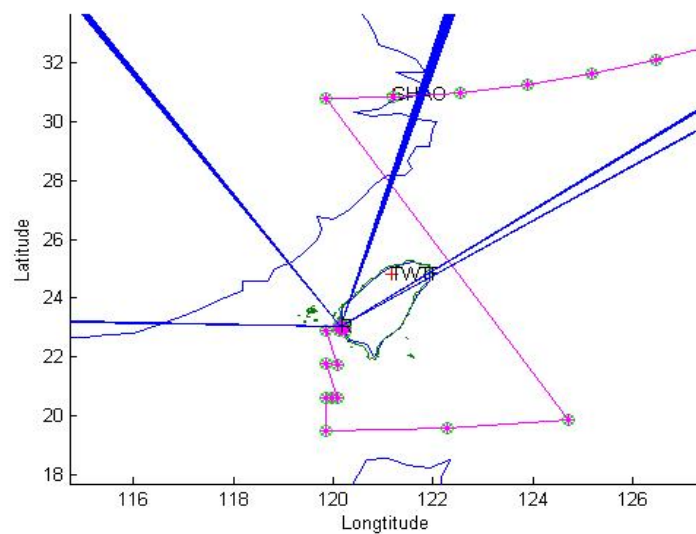


圖 3.7 衛星信號來源方向與 RGPS 天線位置地面解坐標收斂軌跡

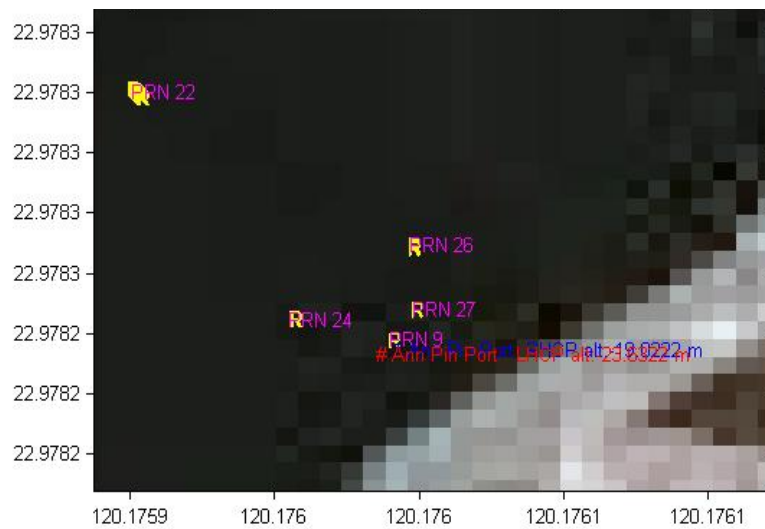


圖 3.8 安平港衛星訊號反射點軌跡

3.3.3 RGPS 計算安平港內水位與潮位站紀錄水位比較

由於安平港潮位站給的潮位資料是一分鐘一筆，而我們此次實驗接收的時間只有 46sec，不到一分鐘，所以呈現出來的是一個點。

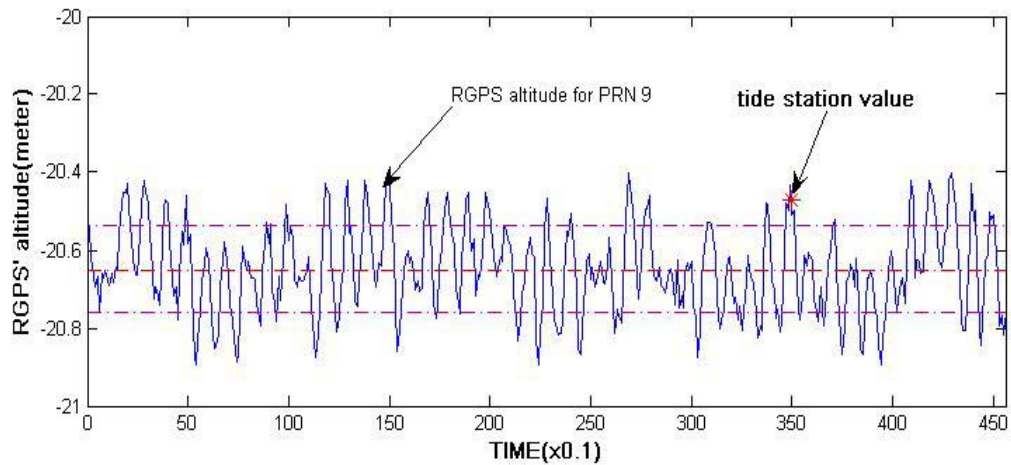


圖 3.9 RGPS 計算波浪水位與潮位站記錄水位比較圖

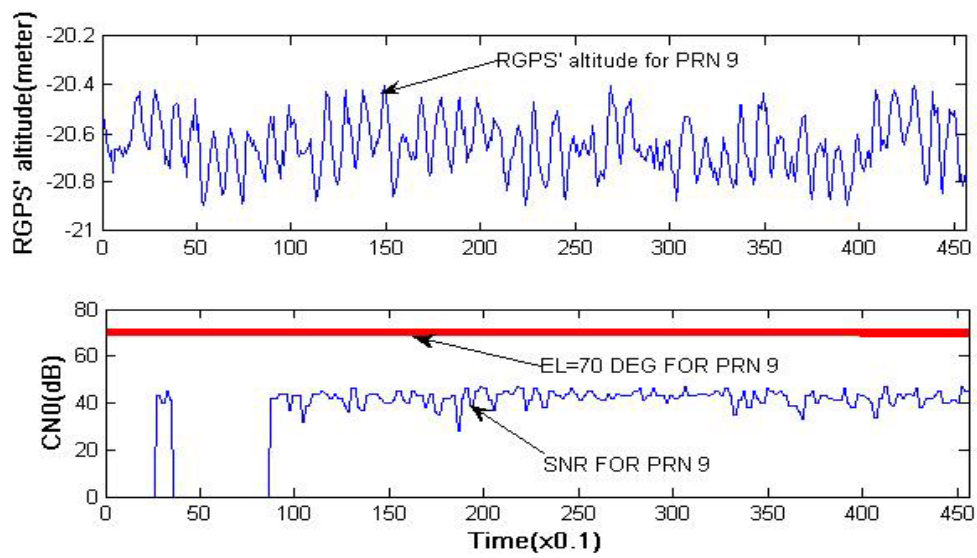


圖 3.10 PRN 9 之水面反射點高程值及衛星訊號強度值

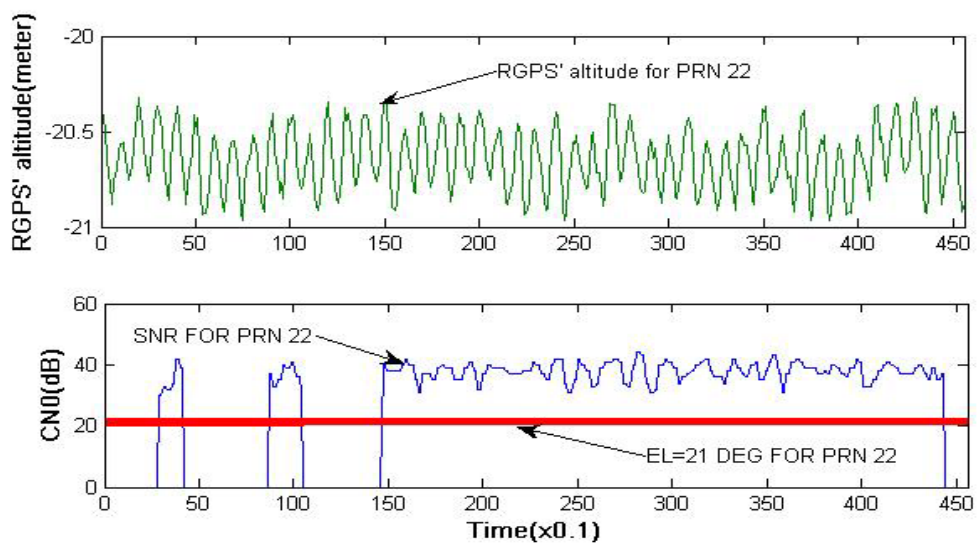


圖 3.11 PRN 22 之水面反射點高程值及衛星訊號強度值

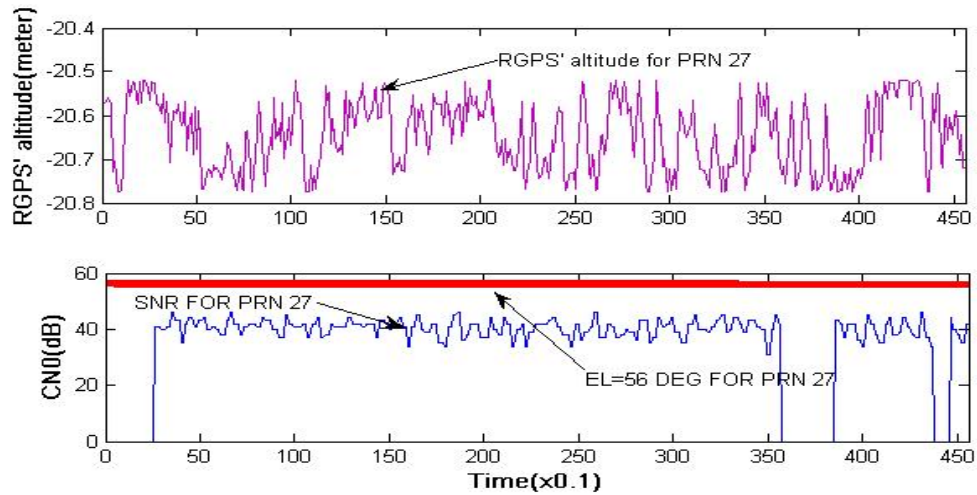


圖 3.12 PRN 27 之水面反射點高程值及衛星訊號強度值

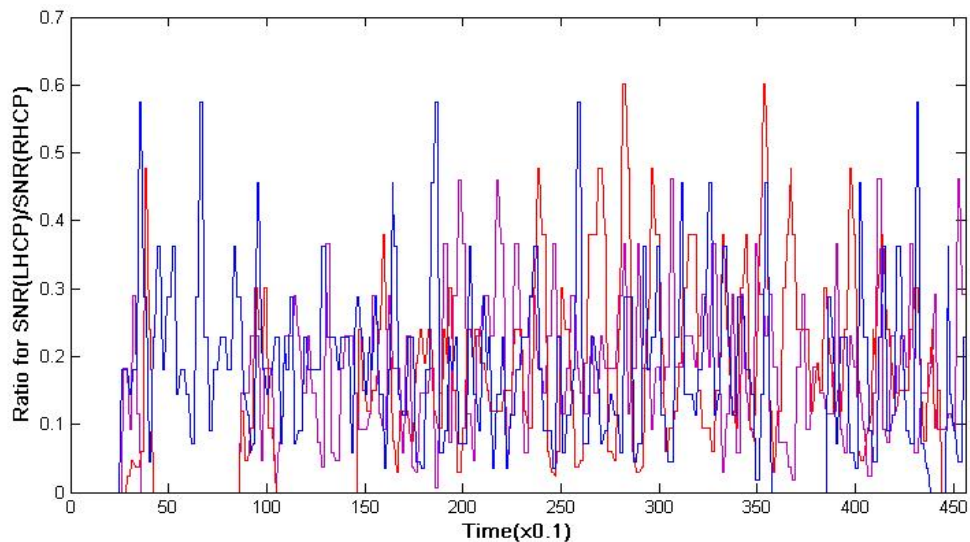


圖 3.13 PRN 9、PRN 22、PRN 27 衛星訊號強度比值圖

由圖 3.10、圖 3.11、圖 3.12 之 PRN 9、PRN 22、PRN 27 水面反射點高程值及衛星訊號強度值。從上述圖發現在安平港衛星仰角對訊號之連續性影響較少，而大型水槽因有遮蔽物，使得位居低角度之衛星有無法接收的情況發生。反之，安平港在天然無遮蔽的海域下進行試驗，對低角度之衛星訊號在接收上強度會比大型水槽來的大，故有多顆衛星坐標可供選擇。PRN 22 仰角低，反而可從圖 3.11 看出，除了前面 28% 的訊號漏失之外，其量測的波形卻更能完整呈現，合理性也很高。

第四章 高雄柴山海域水位量測

進行柴山附近之海面觀測工作之前，於 99 年 6 月 3 日至柴山海域實地勘查，勘查後選定兩個地點，地點一為往柴山道路上之懸崖邊，原因是預計該處對 RGPS 實驗訊號的接收及量測有良好的結果，因在懸崖邊若遇到高角度的衛星，仍可以透過海水面反射得到反射訊號，而且因靠近懸崖邊幾乎所有的反射訊號都將會來自海面上，此次柴山實驗的目的在於作海面大範圍之量測，而此處視野廣闊量測的角度大於 200 度以上，實為量測之較佳地點；地點二為海巡署高雄柴山安檢所，原因是進行近岸海面水位與波形量測，於柴山安檢所可俯瞰海面 180 度的位置(高程 37m，向海為 38 度斜坡往下)，利於進行海面水位觀測，且人員及接收儀位於室內不怕下雨，甚至可於颱風天進行量測，也有穩定電源可以提供。

在試驗之前已先行發文至行政院海巡署海岸巡防總局南部地區巡防局，預定七月下旬至八月中旬至柴山安檢所進行大範圍海面水位量測。

4.1 量測儀器配置與觀測

RGPS 即時監控系統可移動、調整與佈置於港口船隻出入口附近之防波堤或潮位站附近，提供即時直接觀測海面水位變化、海浪週期之用。因此，若要長期觀測，在高雄柴山海域試驗地點的選擇上可選擇設置較高之塔台(高度 25~40m)，這樣可擴大監測海面範圍至距離港口防波堤出口 1200m 半徑之外海海浪與水位變化。也可選擇放置於更高之塔台(港口鄰近山崖上高度 65~100m)，更可擴大有效監測海面範圍到距離觀測站 1500~4800m 半徑之外海海浪與水位變化。

選定好高雄柴山安檢所俯瞰海面 180 度的位置(高程 29m，向海為 38 度斜坡往下)，進行海面水位觀測，架設 RHCP/LHCP 天線，接收 10Hz 之 2 分鐘記錄值，提供海面水位變化，來說明觀測的正確性。

配合天氣概況避免大雨特報期間，柴山海域水位量測試驗於 99 年 8 月 11 日分別在高雄柴山海域兩處進行水位觀測。其中，試驗地點一為往柴山道路上之懸崖邊，其地點選擇係因可擴大其有效監測海面範圍進而觀測外海海浪與水位變化；試驗地點二為高雄柴山安檢所頂樓加蓋鐵皮屋處所內，其地點選擇是可擴大監測海面範圍至距離港口防波堤出口 1200m 半徑之外海海浪與水位變化。試驗當天因天候狀況不穩定，下午可能會有午後雷陣雨的因素，因此先將無遮蔽之懸崖邊，視為第一優先之觀測站，而高雄柴山安檢所因試驗地點在室內，較無顧慮天候上的限制，因此被列為本試驗第二觀測站。以下分別針對兩處觀測站詳加敘述其作業試驗程序：

4.1.1 路邊懸崖觀測(第一個觀測站)

試驗於 99 年 8 月 11 日早上開始進行，當天天氣晴朗，所有工作人員約九點半到達試驗目的地高雄柴山海域，前往本實驗第一觀測點：柴山道路之懸崖邊。現場當日情形，如圖 4.1 所示

所有工作人員於場地內將儀器組裝成當天可試驗之模組，如圖 4.2、4.3 所示，儀器組裝與先前大斷面水槽的組裝大致相同，但唯一不同且要注意的是隨著觀測地點的不同，儀器所要擺放的位置及監測的範圍也會一併被列入架設位置的考量中。待所有儀器組裝完畢後，於懸崖邊進行儀器架設，如圖 4.4 所示，徐老師先架設儀器於預先探勘之位置點上，如圖 4.5 所示，隨後工作人員並於後方協助。但由於地點選在懸崖邊，並無固定支撐儀器重量之工具，因此本試驗儀器模組利用大型物品加以輔助及繩索固定，使儀器穩定架設在懸崖峭壁旁，礙於訊號傳輸線的長度關係，電腦需臨時放置在儀器架設處不遠之石塊平台，無電源可供應電腦的支援，僅能利用電腦本身的儲存電量維持本實驗的運作，且由於當天天氣過於炎熱，為防電腦過熱則利用雨傘暫

時性遮蓋，如圖4.6所示，將架設好之儀器與電腦進行連結並測試。

在試驗儀器接收與訊號處理上將RHCP/LHCP 天線、接收儀、筆記型電腦(NB)，須確保正常運作。待一切就緒後，架設之右旋天線及左旋天線，需與GPS雙頻接收儀相連結，依據實驗時間與接收儀RHCP天線所接收衛星之實際分布，調整LHCP天線，使衛星GPS反射訊號之方位與仰角，獲得最佳接收範圍。試驗開始後，實驗儀器接受與訊號處理以及RGPS下載觀測量，除了天線限制外，若GPS反射訊號與其Doppler Shift失去自動鎖定能力，則必須以人工作業方式重新指定衛星，持續以衛星Doppler訊號來鎖定衛星，直到衛星訊號穩定。衛星訊號鎖定至4~5顆後，才開始下載觀測值，並將觀測資料下載於NB上，再藉由NovAtel OEM4 程式轉檔成(1)直接訊號及反射訊號觀測資料檔(O檔)；(2)衛星軌道星曆檔(N檔)；(3)GPS原始資料檔(gps檔)。

本試驗第一個觀測站的結果呈現不理想，係因無法得到所要的觀測資料。因此，至中午12點左右結束觀測，並前往第二個觀測站，即海巡署高雄柴山安檢所，於下午1點多開始進行第二階段的試驗觀測。



圖 4.1 路邊懸崖測試站



圖 4.2 儀器組裝



圖 4.3 RHCP/LHCP 天線組裝



圖 4.4 儀器架設懸崖邊



圖 4.5 路邊懸崖測試作業圖



圖 4.6 GPS 接收直接與反射訊號
示意圖

4.1.2 海巡署高雄柴山安檢所觀測(第二個觀測站)

結束懸崖邊試驗，約午後一點多左右抵達海巡署高雄柴山安檢所，先於安檢所內與海巡署長官們進行通報並紀錄，再前往安檢所頂樓加蓋鐵皮屋內進行試驗觀測，所有工作人員將所組好之儀器搬運至安檢所頂樓，並開始著手進行當天週遭環境之勘查，如圖4.7所示，待勘查完畢後，開始進行儀器架設。所有工作人員將組裝完畢之儀器從安檢所頂樓室內延伸至窗外，並於觀測點上穩定其儀器架設，如圖4.8所示，但由於儀器本身重量太重，窗外支撐點並無法負荷整體儀器重力，因此本試驗還多加兩個鐵架並以繩索固定綑綁之，使其儀器安穩地架設在觀測目標點上，如圖4.9所示。工作人員至安檢所外從下而上拍攝整體儀器架設完整圖如圖4.10所示，可清楚明辨儀器架設地點，並藉由安檢所試驗地點內從窗外斜角拍攝整體儀器之近照，推估其探測的範圍，如圖4.11所示。其次是進行電腦的架設與操作，由於安檢所內本身配有電源上的供應，因此在電源的供應上擁有較充足之支援。

在試驗儀器接收與訊號處理上將RHCP/LHCP 天線、接收儀、筆記型電腦(NB)，須確保正常運作。待一切就緒後，架設之右旋天線及左旋天線，需與GPS雙頻接收儀相連結，依據實驗時間與接收儀RHCP天線所接收衛星之實際分布，調整LHCP天線，使衛星GPS反射訊號之方位與仰角，獲得最佳接收範圍，如圖4.12所示。試驗開始後，實驗儀器接受與訊號處理以及RGPS下載觀測量，除了天線限制外，若GPS反射訊號與其Doppler Shift失去自動鎖定能力，則必須以人工作業重新指定衛星，持續以衛星Doppler訊號來鎖定衛星，直到衛星訊號穩定。衛星訊號鎖定至4~5顆後，才開始下載觀測值，並將觀測資料下載於NB上，再藉由NovAtel OEM4 程式轉檔成(1)直接訊號及反射訊號觀測資料檔(O檔)；(2)衛星軌道星曆檔(N檔)；(3)GPS原始資料檔(gps檔)。

本試驗在一開始在衛星的定位上，由於反射訊號極為不穩，遲遲無法接收到完整的訊號，且利用人為進行校正結果還是一樣，待下午三點左右，訊號漸漸趨於穩定，已可進行下載之程序，如圖4.12所示。檢查資料有無遺失之情形發生，依據下載的資料來看，有些部分呈現良好，有些部分還是有資料漏失情形，但還是持續進行定位與接收，直到下午五點左右進行收工，柴山海域水位量測試驗結束，返回學校之後進行後續實驗結果之分析與討論。



圖 4.7 評估儀器架設位置



圖 4.8 儀器架設

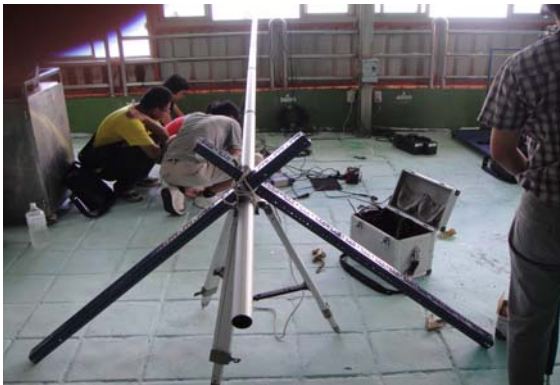


圖 4.9 安檢所內部作業示意圖



圖 4.10 安檢所儀器架設仰視圖



圖 4.11 儀器近照架設圖



圖 4.12 GPS 接收直接與反射訊號示意圖

4.2 高雄港海象觀測資料

高雄港海象觀測站觀測海面水位資料主要在提供 RGPS 即時監測系統在量測海面水位變化時，因無對照組資料無法比較資料之正確性，因此用以比較 RGPS 即時監測系統與高雄港海象觀測站浮標觀測值之間的異同，以印證 RGPS 即時監測系統之正確性。

高雄港海象觀測站位置位於北緯 22.539607 度，東經 120.295107 度即高雄二號港口南防波堤外側，如圖 4.13 所示。其觀測裝置為挪威 NORTEK 公司出品的 AWCP 儀器-波高波向與剖面海流即時傳送監測系統，是很具代表性的一種多功能海象觀測儀器，其觀測包含波高、波向、剖面的海流、潮位及水溫等，因屬於整合型儀器，提供示性波高(m)、週期(sec)平均波向(度)及上、中、下層流速(cm/sec)流向(度)等資料，其中波浪的量測取樣頻率都設定為 2Hz，每小時取樣 2048 筆資料，亦即波高精度在每 0.5 sec 間隔內分別量測所得速度 U、V、W 向量與壓力量，量測取得之資料再作整合而得到波高、波向的資料，本次實驗對照資料以波浪資料中之示性波高用以比對 RGPS 即時監測系統量測之海水面資料。



圖 4.13 高雄港海象觀測站位置

由高雄港海象觀測站測得於實驗當時 16:15 時，示性波高為 1.4m，週期為 8.5sec，如圖 4.14 所示。

於海巡署柴山檢查所現場觀測之風向、風速及氣溫分別為與中央氣象局高雄測站比較除 11 點於柴山第一觀測站之氣溫較高中央氣象局高雄測站外餘大致相符，第一觀測站由於周圍環境有利於地表溫度輻射，故氣溫高於中央氣象局高雄測站，如圖 4.15、4.16 所示。



圖 4.14 氣象局潮位站潮汐、波浪圖

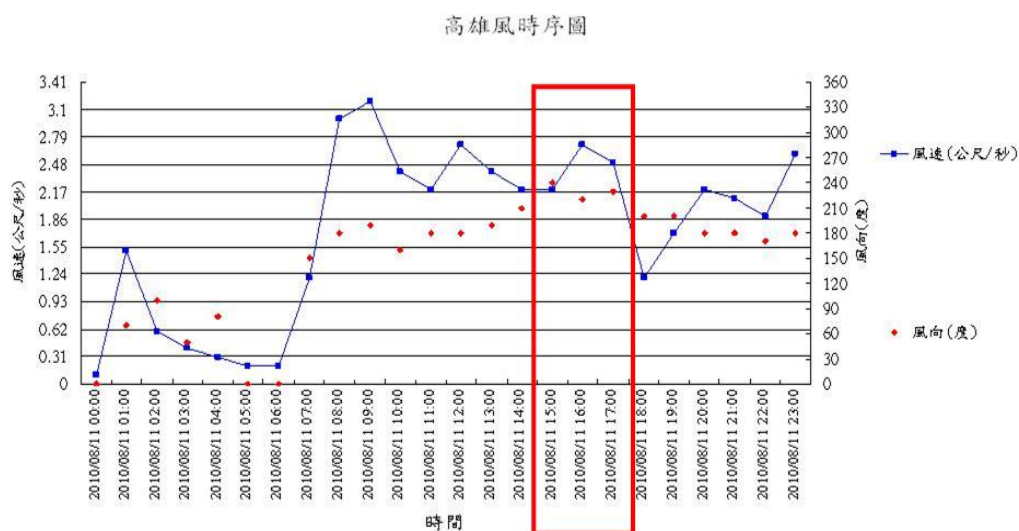


圖 4.15 現場觀測氣象資料圖

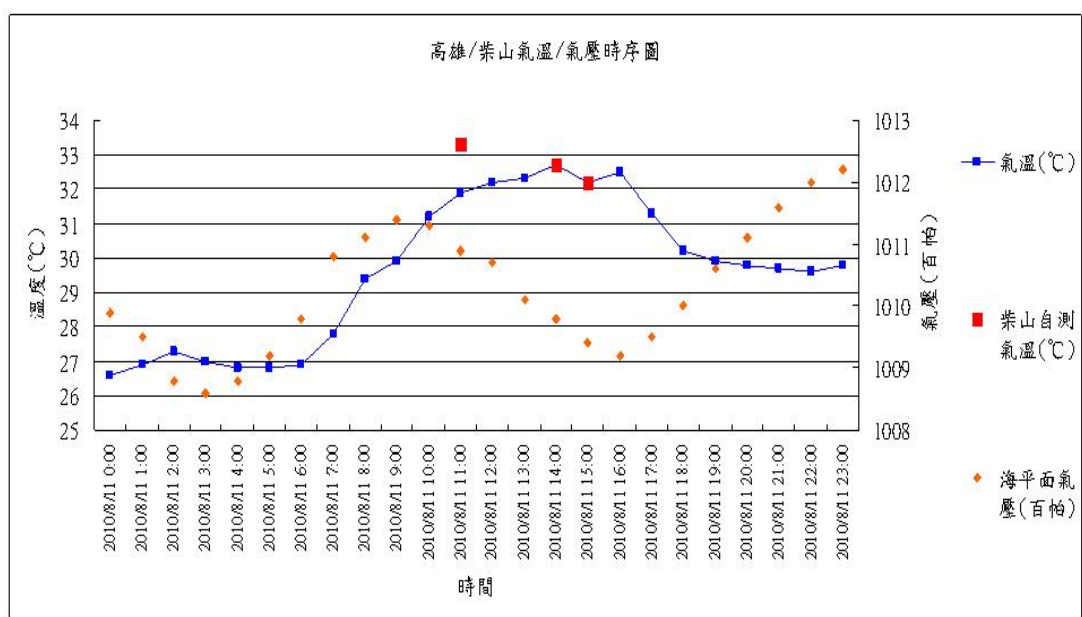
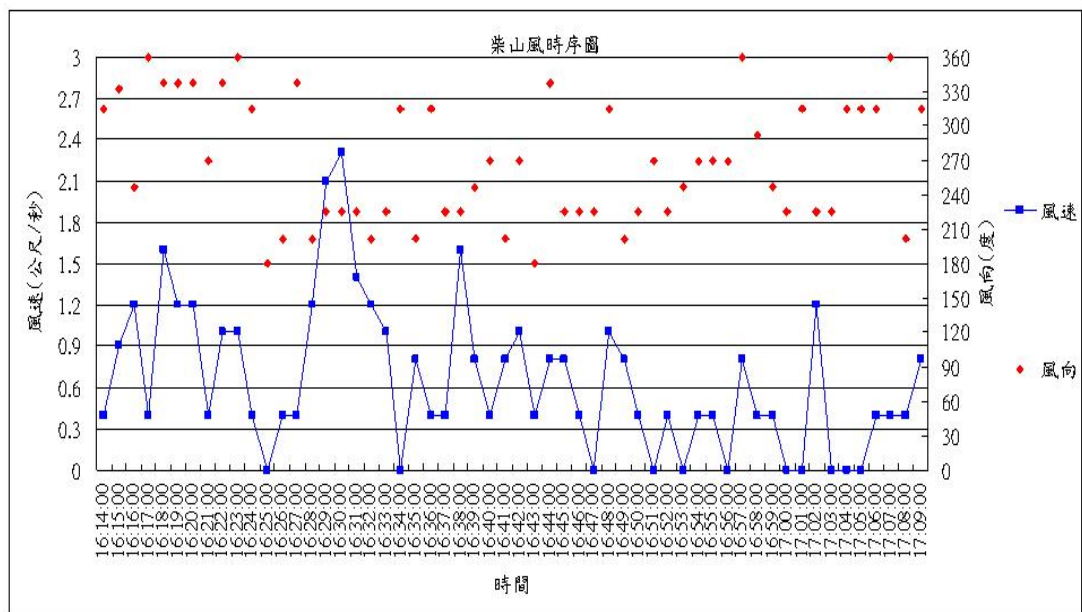
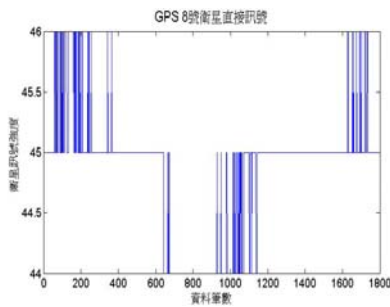


圖 4.16 (續)現場觀測氣象資料圖

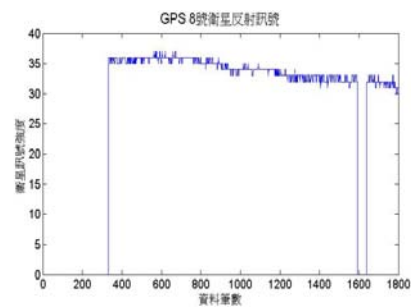
4.3 柴山海域水位量測結果

4.3.1 GPS 直接與反射訊號觀測資料

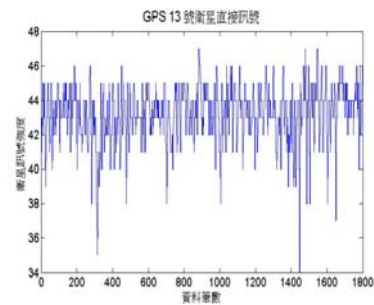
(1)觀測柴山海面 GPS 直接與反射訊號觀測資料 10Hz，在 GPS 定位上分別鎖定 PRN 8、13、17、19、23 號五顆衛星強度顯示如圖 4.17、4.18 所示。



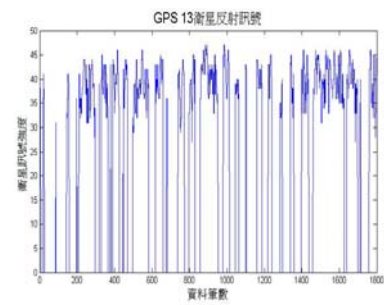
PRN 8 號衛星直接訊號



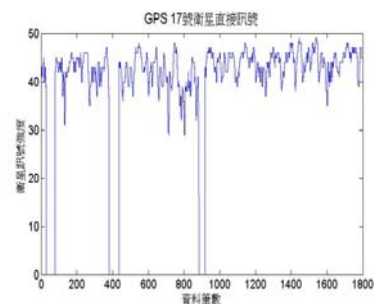
PRN 8 號衛星反射訊號



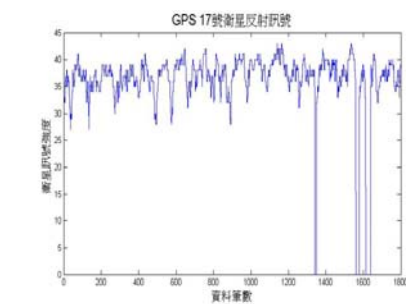
PRN 13 號衛星直接訊號



PRN 13 號衛星反射訊號

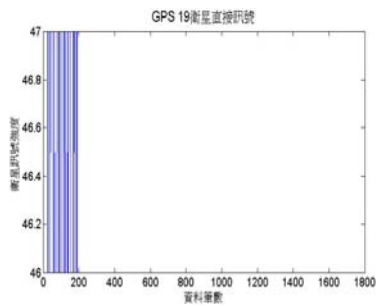


PRN 17 號衛星直接訊號

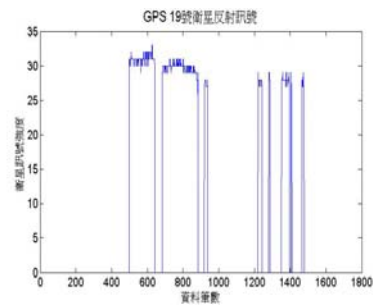


PRN 17 號衛星直接訊號

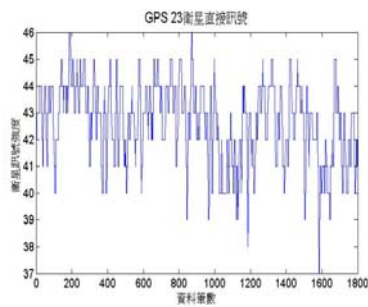
圖 4.17 柴山海面 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz)



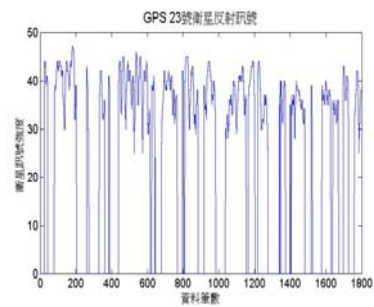
PRN 19 號衛星直接訊號



PRN 19 號衛星反射訊號



PRN 23 號衛星直接訊號



PRN 23 號衛星反射訊號

圖 4.18 (續)柴山海面 GPS 直接與反射訊號強度統計示意圖(10Hz)

柴山海面 PRN 8 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失 21%；PRN 13 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 47.28%；PRN 17 號衛星直接訊號資料漏失為 7.72%，反射訊號資料漏失 2.94%；PRN 19 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 74.72%；PRN 23 號衛星直接訊號資料完整，反射訊號資料漏失為 38.56%。

4.3.2 GPS 反射點位置

從柴山海面衛照圖示與衛星訊號路徑看出 PRN17 離天線位置特別遠，對解算座標的精度與效度，幫助較小，其餘四顆衛星空間分佈則較為集中，如圖 4.19 所示。

PRN 8 反射點距離 RGPS 天線約為 115m，反射點移動 10m；PRN 13 反射點距離 RGPS 天線約為 238m，反射點移動 22m；PRN 17 反射點距離 RGPS 天線約為 540m，反射點移動 68m；PRN 23 反射點距離 RGPS 天線約為 369m，反射點移動 48m，如圖 4.20 所示。

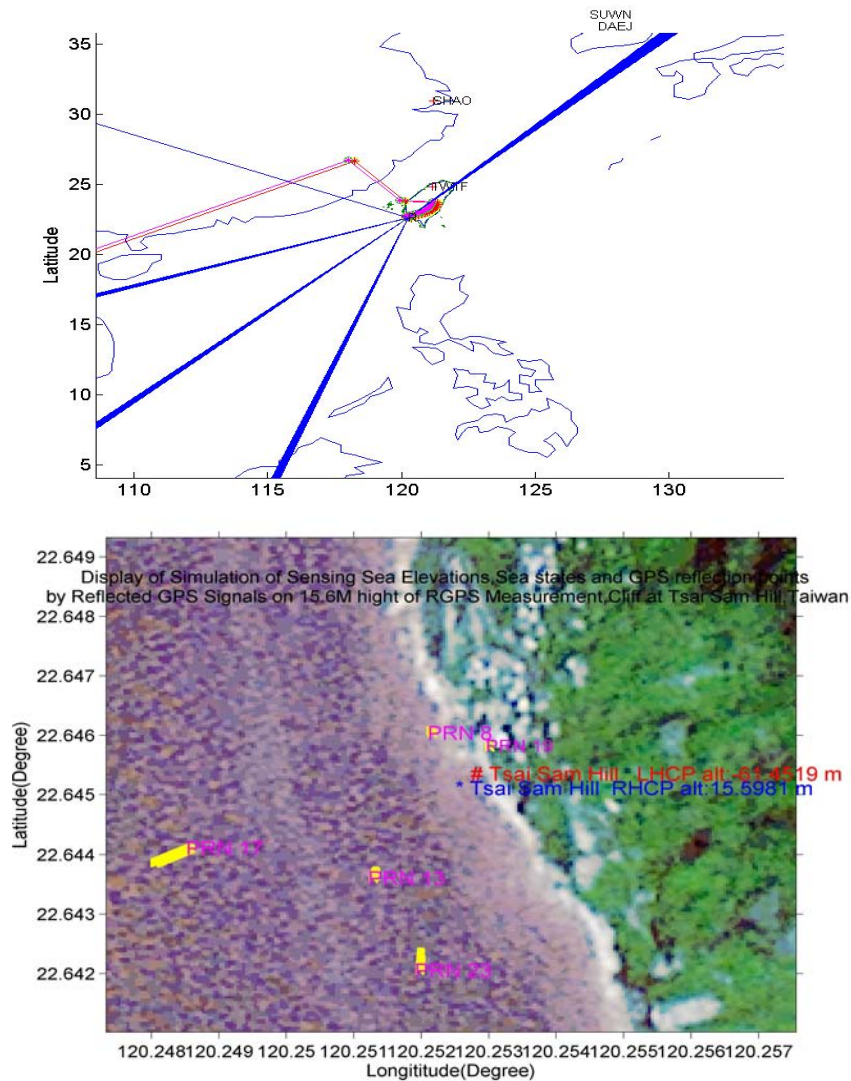


圖 4.19 柴山海面衛照圖示與衛星訊號路徑(10Hz)

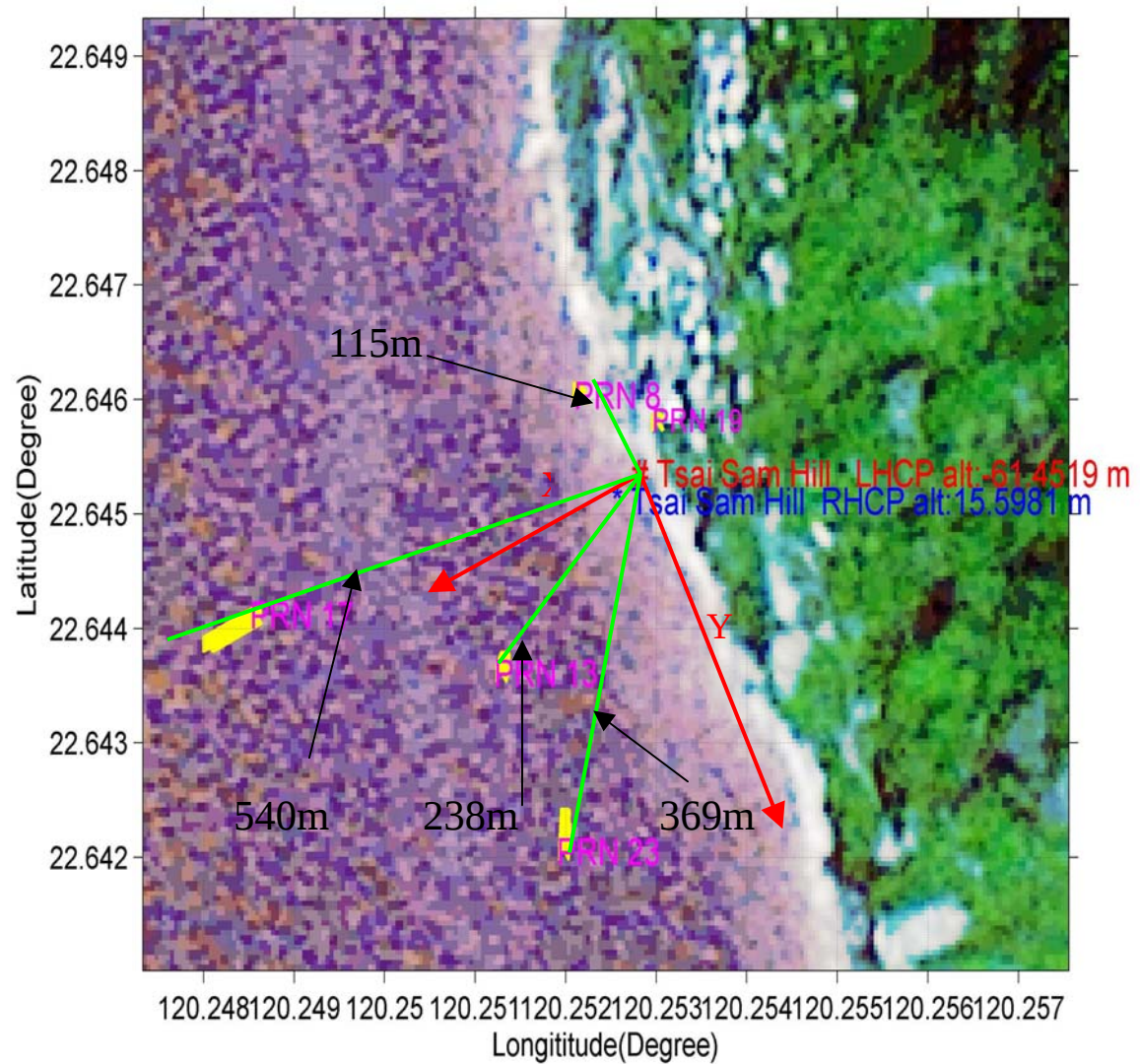


圖 4.20 PRN 反射點位置與 RGPS 天線位置關係圖

4.3.3 RGPS 計算柴山海域水位與海象觀測資料結果比較

高雄柴山 RGPS 實驗計算海面水位頻率 10Hz、接收時間 3 分鐘、資料筆數 1800 筆，平均水位-24.68m，如圖 4.21 所示。

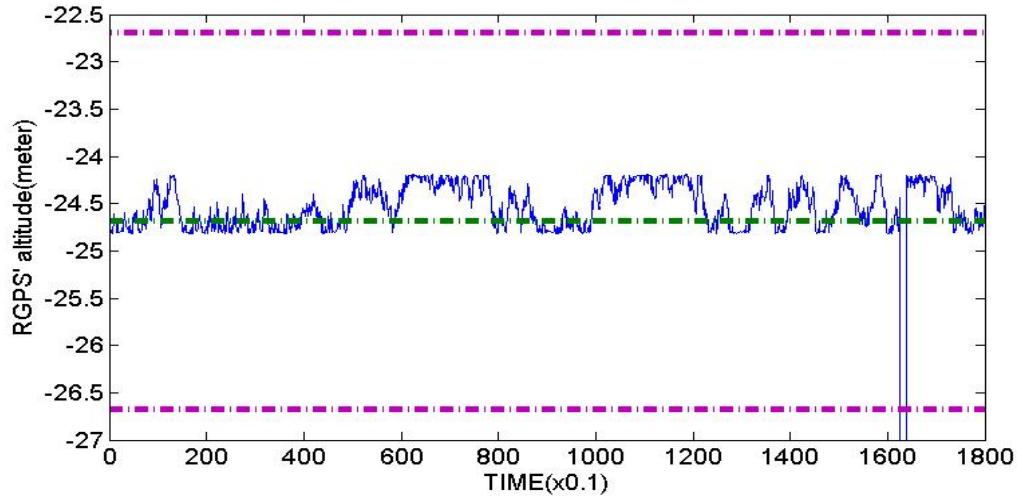


圖 4.21 RGPS 計算柴山海面水位頻率(10HZ)

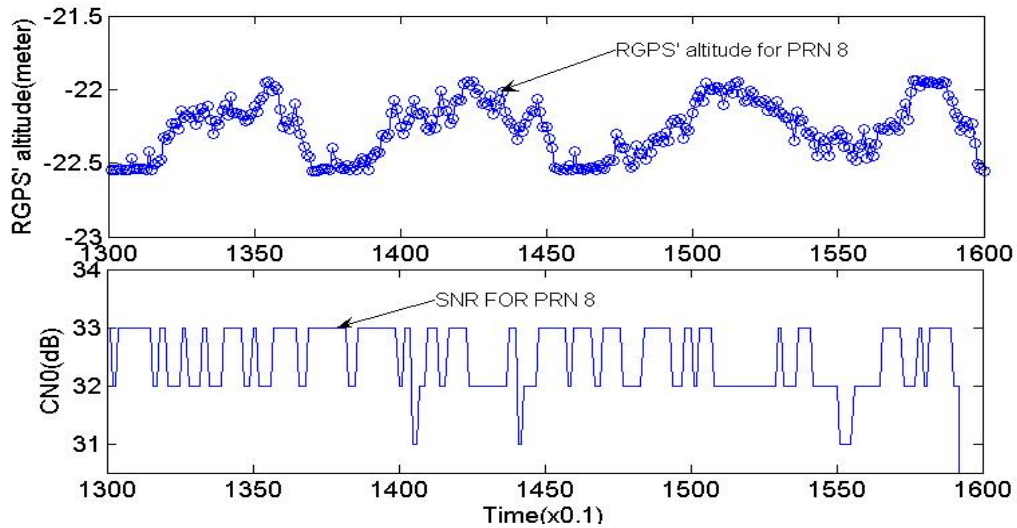


圖 4.22 PRN 8 水面反射點高程值及衛星訊號強度值

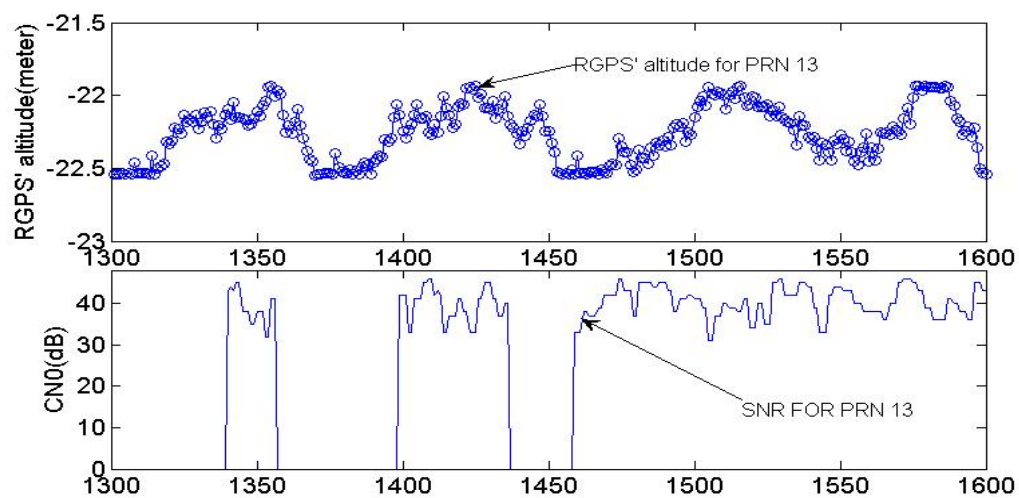


圖 4.23 PRN 13 水面反射點高程值及衛星訊號強度值

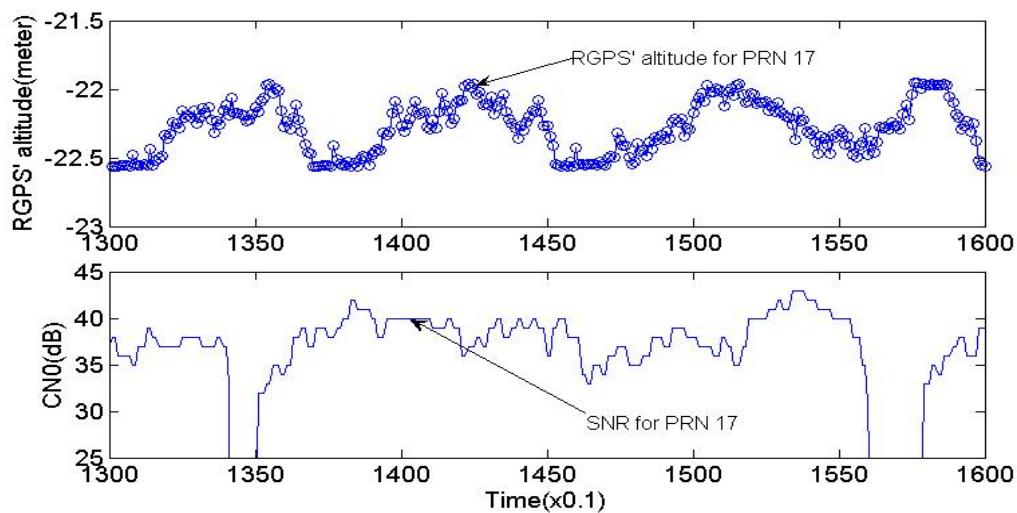


圖 4.24 PRN 17 水面反射點高程值及衛星訊號強度值

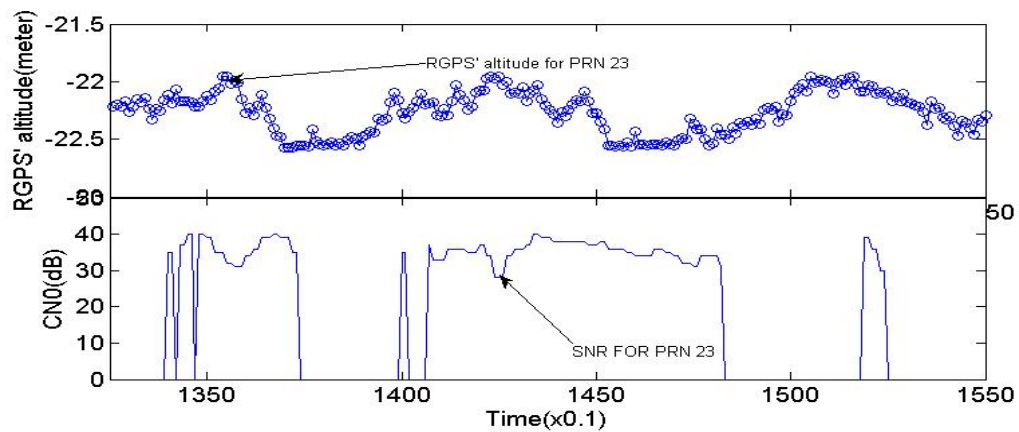


圖 4.25 PRN 23 水面反射點高程值及衛星訊號強度值

由圖 4.22、圖 4.23、圖 4.24、圖 4.25 之 PRN8、PRN13、PRN17、PRN23 水面反射點高程值及衛星訊號強度值。從上述圖發現海浪週期約 7-8sec 與高雄港海象觀測站之浮標測得海浪週期相符合，又 PRN8、PRN13、PRN17、PRN23 之衛星角度分別為 30 度、16 度、5 度、7 度，皆屬於低角度之衛星，受到對流層的影響較大，浪高的精度因此受影響。

第五章 結論與建議

本研究應用 GPS 直接訊號和反射訊號 RGPS，經過觀測數據之整合分析獲得波浪水位之量測值。試驗工作包括(1)在成大臺南水工所大型斷面水槽以 GPS 訊號接收頻率為 10Hz 進行波浪波形之量測；(2)在安平港潮位站附近進行海面波浪水位觀測，並以船隻通過時所造之波浪量測來表達海面波浪的波形；(3)在高雄港柴山附近之海巡署安檢所進行擴大海面的波浪瞬時海面水位觀測。獲致結論與建議如下：

5.1 結論

1. 大型水槽試驗波高計之紀錄為 20Hz，即每 0.05sec 取樣一次，而 RGPS 之接收紀錄為 10Hz，造波機造波週期分別為 2sec、4sec、5sec 及 6sec 與波高為 60cm 之規則波波型，其中 2sec 與 4sec 資料 RGPS 接收紀錄成果不理想。在 RGPS 接收紀錄方面，研判可能是因 LHCP 天線架設降低到距水面僅 1.2 m，而造波機造出之波高為 60cm，水面之起伏不利 GPS 反射訊號之接收。
2. 大型斷面水槽中規則波波高 60cm 週期 5sec 的波浪觀測結果，經調整參數後，PRN27 衛星反射點高程所得的波形與波高計記錄結果比較，具有 90%吻合度的結果。
3. 由衛星訊號強度分析，衛星高度與監測之波型具有某種關係，本次衛星 PRN 26，衛星高度角 47.8 度，接收之衛星訊號強度波型與波高計紀錄頗為相似，而衛星 PRN 09 高度角為 68 度，其訊號強度波型與波高計紀錄，則看不出相關性，可能是因仰角太大所致，因此，據研判衛星高度角在 40~50 度應有較強之信號強度值。

4. 安平港水面訊號的反射強度較強，資料遺失的情況較少，低仰角的衛星訊號也可觀測，反而有利於波形的量測。本次試驗所分析出的波形結果較為完整，已可合理解讀出海面水波之波形。
5. 在高雄柴山附近的海巡署安檢所進行大範圍海面瞬時水位觀測，因天線架高離海面 30m，故可觀測的海面範圍擴大到 1000m 左右，觀測結果與高雄港海象觀測站之浮標觀測結果比較，也有合理的結果。

5.2 建議

1. 由於 RGPS 技術不是每一顆衛星之反射點軌跡(foot print)，對波型都有理想之監測能力，因此若能在選星與觀測時間做一妥善規劃，實驗歸納出衛星高度與方向對波型之監測關係，應可獲得理想之成果。
2. 對於每一顆衛星之反射點軌跡(foot print)，可研究建立某種線性模式，利用濾波方式，繪出理想之波型線。
3. 衛星訊號強度之波型與水波波型應具某種關係，此應深入研究，若能正確推估何種衛星高度對反射波最具助益，則其波形亦可作為驗證水波型態之參考。

參考文獻

1. 沈立忠，GPS反射訊號處理技術及應用之研究，國立成功大學地球科學系博士論文，2008。
2. 李兆芳、曾清涼、徐博賢、沈立忠，應用GPS反射信號建立波高量測系統(1/4)，交通部運輸研究所，2009。
3. 洪瑞堂，以GPS衛星反射訊號量測濕砂土表面粗糙度初步研究，國立成功大學地球科學系碩士論文，2008。
4. 陳建翰，GPS反射訊號接收處理與測高之研究，國立成功大學地球科學系碩士論文，2006。
5. 鄭皓盈，GPS反射訊號之處理，國立成功大學電機工程學係碩士論文，2004。
6. Goad, C.C. and K. Borre, "RECPOS Least-squares searching for receiver position for MATLAB. MATLAB software supply. 19-april-1996.
7. Shen, L.C., C.L. Tsai, J.C. Juang, and C.L. Tseng, "Applications of an Integrated GPS Receiver for Reflected GPS Signals L1/L2 observation Techniques with Remote Sensing Ocean Altimetry and Ground Object Detection," Geoscience and Remote Sensing Symposium, IEEE International 4991- 4996, 2007.
8. Teunissen, P.J. G., P.J. De Jonge, and C.C.J.M. Tiberius, "The least-squares ambiguity decorrelation adjustment: its performance on short GPS baselines and short observation spans," Journal of Geodesy, Vol. 71, No.10, pp. 589-602, 1997.
9. Joosten P., "Integer ambiguity estimation using LAMBDA (basic version) for MATLAB", MATLAB software supply, Mathematical Geodesy and Positioning Delft University of Technology, 19-MAY-1999.
10. Misra, P. and Enge, P., "Global Positioning System, Signals, Measurement, and Performance," Ganga-Jamuna Press, MIT, 2001.

附錄 I GPS 試驗儀器設備功能

GPS 試驗儀器設備功能

(1) 右旋天線(RHCP, Right Hand Circular Polarization)：

(a) 天線型號： NovAtel-702-GG (RHCP)

(b) 3dB 有效頻寬： L1： 1575 ± 8 MHz

L2： 1228 ± 10 MHz

(c)載波頻段範圍限制： $f_c \pm 30$ MHz25 (min)

$f_c \pm 50$ MHz30 (min)

$f_c \pm 100$ MHz50 (min)



RHCP 天線

(d)天線仰角 Q 之增益限制：Q =90°為 7.5 dBic (L1)及 6.5 dBic (L2)

$20^\circ < Q < 90^\circ$ 為-1.5 dBic (L1)及-1.5 dBic (L2)

$5^\circ < Q < 20^\circ$ 為-5.5 dBic (L1)及-3.5dBic (L2)

$0^\circ < Q < 5^\circ$ 為-7.0 dBic (L1)及-5.0 dBic (L2)

(e) 天線低雜訊增益放大值： 26 ± 3 dB (L1) 及 26 ± 3 dB (L2)

(f) 天線雜訊減低值： < 1.5 dB

(g) L1-L2 載波相位延遲值： 1.5 nsec

(h) 環境限制：

高度為 3000 m

溫度為-55°~85° C

(2) 左旋天線(LHCP, Left Hand

Circular Polarization):



LHCP 天線

(a) 天線型號：H-601 (LHCP)

(b) 3dB 有效頻寬：L1：1575 ± 15 MHz

(L2 經實驗觀測證實也有接收到

反射訊號，提供如 RHCP 雙頻天線

穩定觀測量品質，成效很好。)

(c) 載波頻段範圍限制：NA

(d) 天線仰角 Q 之增益限制：Q = 90° 為 9.0 dBic (L1)

30° < Q < 90° 為 -1.5 dBic (L1)

(e) 天線低雜訊增益放大值：21 ± 3 dB (L1)

(f) 環境限制：

高度：3000 m

溫度：-55°~85° C

(3) 大地測量型雙頻接收儀

(L1/L2 雙頻 GPS 接收儀):



GPS 雙頻接收儀

(a) 型號：SOKKIA L1/L2, DL-V 3,

OEMV-3

(b) 機版：OEMV-3

(c) GPS 訊號追蹤：L1 C/A 碼、L1 相位量與

L2 相位量、P(Y)碼

(但未解碼)

(d) 單位定位精度：L1 C/A 碼為 1.5 公尺

L1 相位量為 0.45 公尺

L1/L2 相位量為 20 公分差分修正

(e) 動態定位為 2 公分

(f) 接收儀靜態觀測定位為 1 公分+1 PPM 物理尺寸：185 x 154 x

71 mm 內

部(機版：85 x 125 x 17 mm)

(g) 接收儀重量：1.2 kg (機版：80 g)

(4)筆記型電腦：

CPU: Intel Core2 Duo

RAM: 4G

L1 cache: 32Kb

L2 cache: 6Mb

Temperature range:

Operating: 0° to 40° C

Storage: -10° C to 65° C



筆記型電腦

附錄 II 期中報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫
■期中□期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：應用 GPS 反射信號建立波高量測系統(2/4)

執行單位：國立成功大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、陳陽益委員 1、建議列出量測到波長最短的波或架設多高的天線。 2、建議如何濾波及其精度如何？ 3、船波可能需把船波整個系統影像圖繪出之後才叫有把握準確量化比較出。	1、謝謝委員建議，本計畫目前只能就已作的試驗說明量測得到的波浪特性和天線架設高度。 2、濾波是對於訊號雜訊處理好的方式，於期末報告中將再檢討。 3、本計畫目前只能觀測數個點位的水位時間變化，仍無法畫出完整船波。	1、同意合作研究單位之說明。 2、同意合作研究單位之說明。 3、同意合作研究單位之說明。
二、林銘崇委員： 1、試驗分析相當詳盡，並有進一步改善研究構想。 2、GPS 量測紀錄與波形量測紀錄仍有顯著差異，是否 GPS 量測紀錄含雜訊效應或基本誤差？ 3、GPS 量測系統針對波浪週期，是否具最適範圍？	1、謝謝委員肯定，本計畫將繼續改善研究成果。 2、本計畫利用 RGPS 訊號作波形量測，整個計算過程將再進一步檢核其精確性。 3、本計畫目前只能就已作的試驗說明量測得到的波浪特性，對於波浪觀測範圍仍然需要作進一步的研究。	1、同意合作研究單位之說明。 2、同意合作研究單位之說明。 3、同意合作研究單位之說明及處理情形。

三、陳文俊委員： 1、本案為新量測技術之開發，給予委辦及執行單位肯定。 2、由附圖波高之水面反射點高程值其訊號似尚有明顯晃動現象，於實用上，已無波高(波形)可驗對，在波高之計算上是否有失真現象？對週期分析是否可行？ 3、若為試驗室之採用，若將天線架於無遮蔽之大樓頂是否能提昇釋判精度？ 4、在潮位測試中，如圖 3-7 水面反射點高程晃動最大約有 40 公分，但就實地潮為波形言，46 秒之潮型應是幾乎無變化，此現象原因為何？如將擷取頻率取小，擷取時間取長是否較能驗證潮型與潮位之量測結果？	1、謝謝委員肯定，本計畫將繼續改善研究成果。 2、於期末報告中將再說明利用 RGPS 計算的精確性。 3、目前本計畫對於 GPS 訊號的接收仍限於室外空間。 4、委員所言極是，在一分鐘內潮汐水位資料只有一點，本計畫要量測的是潮汐水位上面的波浪變化。	1、同意合作研究單位之說明。 2、同意合作研究單位之說明及處理情形。 3、同意合作研究單位之說明。 4、同意合作研究單位之說明。
四、溫志中委員： 1、建議增列四年完整目標及工作項目。 2、第 4 頁研究流程分段敘述。 3、第 15 頁測試結果表列化。 4、設計測試表格，供港研	1、四年完整目標和工作項目，將在期末報告更清楚說明。 2、遵照辦理。 3、遵照辦理。 4、遵照辦理。	1、同意合作研究單位之說明及處理情形。 2、同意合作研究單位之說明及處理情形。 3、同意合作研究單位之說明及處理情形。 4、同意合作研究單位之說明

中心後續使用(氣候條件、硬體設備)。 5、水位晃動明顯是否受遮蔽影響與強度之關係？	5、本計畫利用 RGPS 觀測得到結果，於期末報告將再作說明。	明及處理情形。 5、同意合作研究單位之處理情形。
伍、簡仲璟委員： 1、天線距量測水面之距離對量測結果或分析工作之影響，建議作詳細探討及說明。報告內容文字多有誤植或闕漏，請詳細檢視後修正。 2、由圖 2-27~2-29 顯示由 RGPS 量測波浪之水位變動出現許多雜訊，另外由圖 2-19~2-22 顯示 GPS 反射訊號強度也是非常混亂。因此，利用 RGPS 量測波高之可行性應儘速作一評估。 3、安平港之試驗為船波，並非風波，兩者生成物理機制不同，請勿混淆，報告中應有說明。	1、謝謝委員建議和指正，遵照辦理。 2、RGPS 量測到的水位變化與波高計量測結果多有差異，於期末報告中將再作說明。 3、遵照辦理。	1、同意合作研究單位之說明及處理情形。 2、同意合作研究單位之說明及處理情形。 3、同意合作研究單位之說明及處理情形。

附錄 III 期末報告審查意見處理情形表

交通部運輸研究所合作研究計畫
□期中■期末報告審查意見處理情形表

計畫名稱：應用 GPS 反射信號建立波高量測系統(2/4)

執行單位：國立成功大學

參與審查人員 及其所提之意見	合作研究單位 處理情形	本所計畫承辦單位 審查意見
一、陳陽益委員 1、已具體完成本計畫本年度的工作內容，且有不錯的成果。 2、請計量出其誤差度及其原因與如何改進。 3、波高如何量化出？ 4、在沒有受到前面波形檔到後面波形的有效範圍及可容許的波高大小如何（因受照相廣角的影響）。	1、 謝謝委員肯定。 2、 研究內容已針對結果作初步說明，量化上可列入後續研究。 3、 研究內容已針對結果作初步說明，量化上可列入後續研究。 4、 研究內容已針對結果作初步說明，量化上可列入後續研究。	1、同意合作研究單位之說明。 2、同意合作研究單位之說明。 3、同意合作研究單位之說明。 4、同意合作研究單位之說明。
二、林銘崇委員： 5、岸基量測設置高度與仰角在原理上是否有最適值？ 6、報告中提到水面起伏不利 GPS 反射訊號之接收，其實質內容為何？	1、其適當關係可列入後續研究。 2、水面起伏確實會影響 GPS 訊號的接收強度，此乃因反射訊號會有漫射成分存在。	1、同意合作研究單位之說明。 2、同意合作研究單位之說明。

三、陳文俊委員： 1、所量測反射訊號與 GPS 天線頻率與水面波動週期是否有關係？目前由試驗室訊號之成果似乎比海面潮汐差（及長波較好）。 2、波浪解析上對波高與週期是否能評估其誤差量，以利未來系統應用上之可行性評估？ 3、目前所攫取衛星訊號於各地點皆有些有不等程度之漏失訊號，未來能否建議必須攫取那幾顆衛星方具可信度。 4、本文建議中所提問題是否將於後續研究能予解決，以提昇本案之可行性。	1、GPS 反射訊號與水面波動有密切關係，可列入後續研究重點。 2、研究內容已針對結果作初步說明，詳細評估可列入後續研究內容。 3、受限環境的影響衛星訊號的擷取顆數以試驗當時做決定，未來可預先了解四周環境及可用衛星情形進行模擬。 4、建議所提問題若列入後續研究內容確實可以做到。	1、同意合作研究單位之說明。 2、同意合作研究單位之說明。 3、同意合作研究單位之說明。 4、同意合作研究單位之說明。
四、溫志中委員： 1、單位建議統一，例公分，公尺，cm，m 表示。 2、圖形建議清楚，例圖 1-1、圖 2-18、圖 4-13 等圖，彩色印成黑白？ 3、建議增列作業試驗流程，取代直述法。 4、頁.28 選用週期 5 秒，發現衛星訊號強度值比較具連續性！可否由連續性推估適用週期？ 5、接收訊號是否有做重複試驗？ 6、是否能建立衛星訊號仰	1、遵照辦理。 2、遵照辦理。 3、謝謝指教，已作部分調整，增加 1.5 之作業流程圖。 4、已列入後續研究內容。 5、試驗程序為先確認是否有衛星訊號，因此沒有重複試驗問題。 6、已列入後續研究內容。	1、同意合作研究單位之說明及處理情形。 2、同意合作研究單位之說明及處理情形。 3、同意合作研究單位之說明及處理情形。 4、同意合作研究單位之說明。 5、同意合作研究單位之說明。 6、同意合作研究單位之說

角與波形相關參數，已訂定適用範圍。 7、圖 2-17 中英文對照統一。 8 訊號接收穩定度有何方法評估？	7、內文已作調整。 8、目前由記錄結果分析，評估可行性列入後續重點。	明。 7、同意合作研究單位之說明及處理情形。 8、同意合作研究單位之說明及處理情形。
伍、簡仲璟委員： 1、波高計量測分別使用 5 公尺及 90 公分長度之波高計，其目的為何？又週期 2 秒時量測結果由圖 2-4 之波形顯示已不是規則波(似乎有群波現象出現)，請再查核。 2、反射訊號的漏失對波浪量測的影響應有說明。 3、2.3.2 節中有關求算水面反射點高程，仍不夠清楚。建議再詳細補充說明。 4、水面反射點高程與衛星(反射?或直接)訊號強度值，究竟何者較適用於量測波量？在水槽之規則波量測結果分別顯示 PRN9 於反射點高程、PRN26 於訊號強度值、PRN27 於反射點高程有較佳量測結果，本研究初步認為與衛星仰角有關，但其他衛星又如何？ 5、同訊號強度值，水面反射點高程之資料也請拷	1、試驗水槽原有 5m 和 90cm 波高計，因此試驗就直接使用。2 秒波浪有明顯反射。 2、反射訊號若有漏失則無法分析，或只用其中有訊號的衛星作分析。 3、已於本文中補充說明。 4、水面反射點高程直接和波形變化有關。衛星仰角低則反射訊號強，反之，仰角高反射訊號變化少。 5、遵照辦理。	1、同意合作研究單位之說明。 2、同意合作研究單位之說明。 3、同意合作研究單位之說明及處理情形。 4、同意合作研究單位之說明。 5、同意合作研究單位之說明及處理情形。

貝一份至中心，以利作進一步分析及探討與比較。 6、以目前發展之技術而言，應用 GPS 反射訊號量測波浪之限制條件，建議做綜合整理說明。 7、報告請參照本中心相關規定格式修正、編排。並增補英文摘要。	6、遵照辦理。 7、遵照辦理。	6、同意合作研究單位之說明及處理情形。 7、同意合作研究單位之說明及處理情形。
---	-------------------------------	---

附錄 IV 期末報告簡報檔

MOTC-IOT-99-H3DB006



應用GPS反射信號建立波高量測系統(2/4)

期末簡報

國立成功大學 海洋科技與事務研究所

99年 11月 17日

1

報告大綱

- 一、期中報告審查意見處理情形彙整表
- 二、全程計畫內容
- 三、上年度(98)主要研究成果
- 四、本年度(99)計畫內容
- 五、大型斷面水槽波浪量測
- 六、安平港港內海面水位量測
- 七、高雄柴山海域海面水位量測
- 八、結論與建議

2

一、期中報告審查意見處理情形彙整表

審查委員意見	處理情形
1.船波可能需把船波整個系統影像圖繪出之後才叫有把握準確量化比較出。 2.GPS量測紀錄與波形量測紀錄仍有顯著差異，是否GPS量測紀錄含雜訊效應或基本誤差？ 3.GPS量測系統針對波浪週期，是否具最適範圍？	1.本計畫目前只能觀測數個點位的水位時間變化，仍無法畫出完整船波。 2.本計畫利用RGPS訊號作波形量測，整個計算過程將再進一步檢核其精確性。 3.本計畫目前只能就已作的試驗說明量測得到的波浪特性，對於波浪觀測範圍仍然需要作進一步的研究。

3

審查委員意見	處理情形
4.建議增列四年完整目標及工作項目。 5.水位晃動明顯是否受遮蔽影響與強度之關係？ 6.由圖2-27~2-29顯示由RGPS量測波浪之水位變動出現許多雜訊，另外由圖2-19~2-22顯示GPS反射訊號強度也是非常混亂。因此，利用RGPS量測波高之可行性應儘速作一評估。	4.四年完整目標和工作項目，將在期末報告更清楚說明。 5.本計畫利用RGPS觀測得到結果，於期末報告將再作說明。 6.RGPS量測到的水位變化與波高計量測結果多有差異，於期末報告中將再作說明。

4

二、全程計畫內容--應用GPS直接與反射信號建立波浪水位量測系統，全程為期四年

1. 98年度計畫包括(1)建立利用GPS直接和反射訊號(RGPS)量測波浪水位模式，包括儀器架設和計算程序。(2)確認RGPS水位量測精度。(3)確認RGPS對波浪量測的適用性。(4)確認RGPS對海面水量測的適用性。
2. 99年度計畫包括(1)提昇RGPS訊號接收頻率為10Hz，在大型斷面水槽進行波浪量測和驗證。(2)安平港港內潮位站附近進行海面波浪水位觀測。(3)在高雄柴山將GPS天線接收儀架設於距水面高約30m~50m處，觀測較大範圍的海面水位。

5

3. 100年度計畫預期整合GPS/GLONASS兩套衛星訊號，再利用RGPS量測技術，以同一訊號接收儀可以同時接收更多反射點資料，更有利於提供海面水位資料。將規劃確認兩套系統共存的量測精確，進行水槽中波浪量測，以及海面水位量測。
4. 101年度計畫持續整合GPS/GLONASS訊號處理，配合多重天線接收儀組合進行較大範圍海面水位量測。

6

三、上年度(98)主要研究成果

1. RGPS相關文獻蒐集與整理。
2. 在成功大學臺南水工試驗所中型斷面水槽進行靜止水面，和持續下降水位量測，確認RGPS水位量測精度。
3. 在安平港港內潮位站附近進行潮汐水位量測，確認量測精度。
4. 在大型斷面水槽進行初步波形量測。



7

1. RGPS接收儀器架設

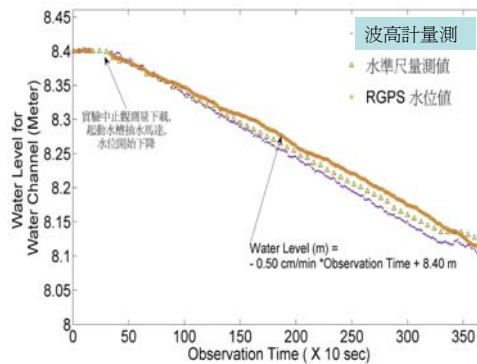


成功大學海事所陽台執行RGPS訊號接受與操作

8

2.在成功大學臺南水工試驗所中型斷面水槽進行靜止水面，和持續下降水位量測，確認RGPS水位量測精度。

中型斷面水槽：

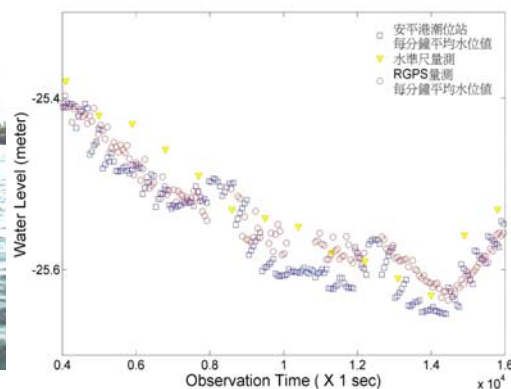


中型斷面水槽RGPS量測結果與波高計和水準尺之量測作比較，顯示有很好的的一致性，偏差在0.5~1.0cm。



9

3.在安平港港內潮位站附近進行潮汐水位量測，確認量測精度。



安平港內潮位站

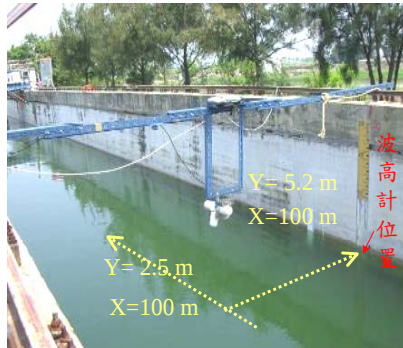
RGPS量測每分鐘平均水位值與潮位站資料和水準尺之量測作比較，顯示水位趨勢相當一致，在25cm的水位變化中偏差約1.0~3.0cm。



10

4.在大型斷面水槽進行初步波形量測。

大型斷面水槽：



RGPS量測結果若以波形函數修正反射點高程，所得波形與波高計記錄結果比較，可得吻合的結果。



11

四、本年度(99)計畫內容

1. 在大型斷面水槽量測規則波浪，週期2sec~6sec、波高60cm，量測結果與波高計量測結果作比較(確認GPS訊號接收頻率為10Hz)。
2. 在安平港選擇適當位置進行，利用港警所快艇來回造波進行海面波浪觀測(確認GPS訊號接收頻率為10Hz)。
3. 在高雄柴山勘選適當場地，將GPS天線接收儀架設於距水面高約30m~50m處，觀測2 km範圍內的海面水位。

12

五、大型斷面水槽波浪量測

國立成功大學 [臺南水工試驗所](#) 大型斷面水槽
(長300m，寬5m，水深5m)



13

RGPS波浪量測配置

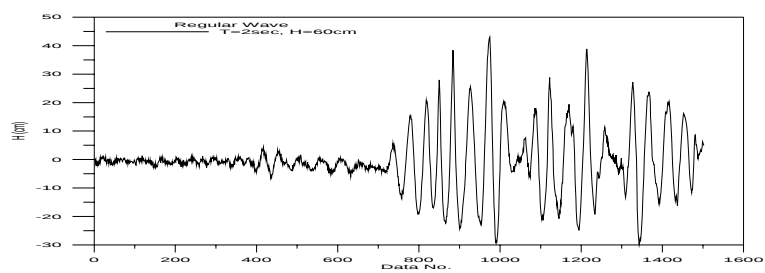


14

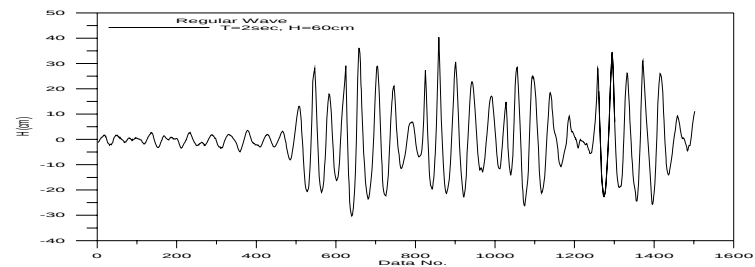


RHCP/LHCP天線與水槽波浪量測相關位置圖

15

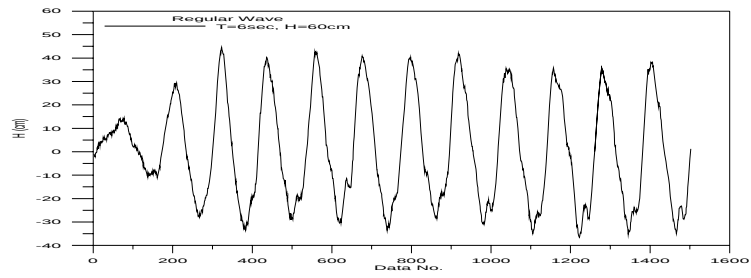


週期2sec波高60cm的波浪，使用5m波高計量測結果

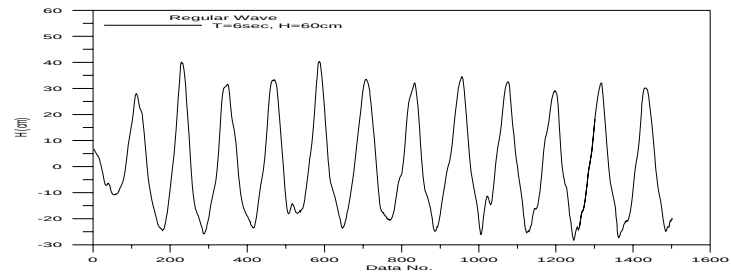


90cm波高計量測結果

16



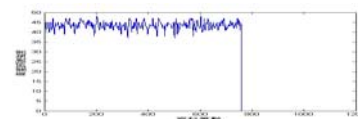
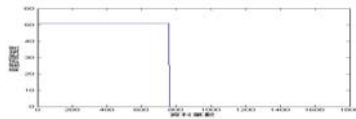
週期6sec波高60cm的規則波 (5m波高計量測結果)



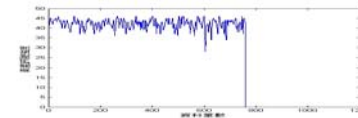
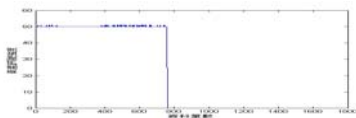
90cm波高計量測結果

17

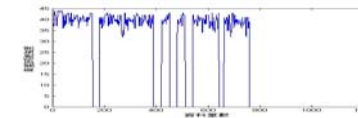
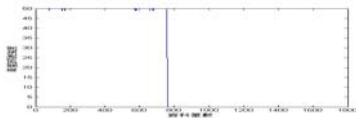
9



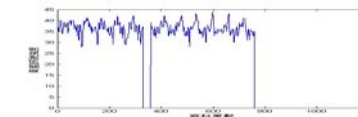
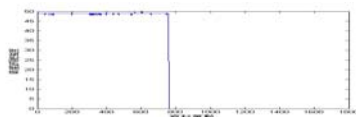
18



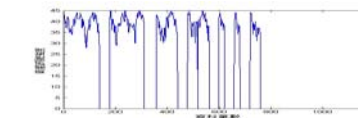
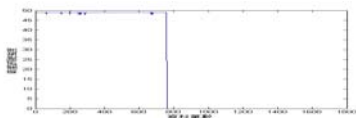
24



26

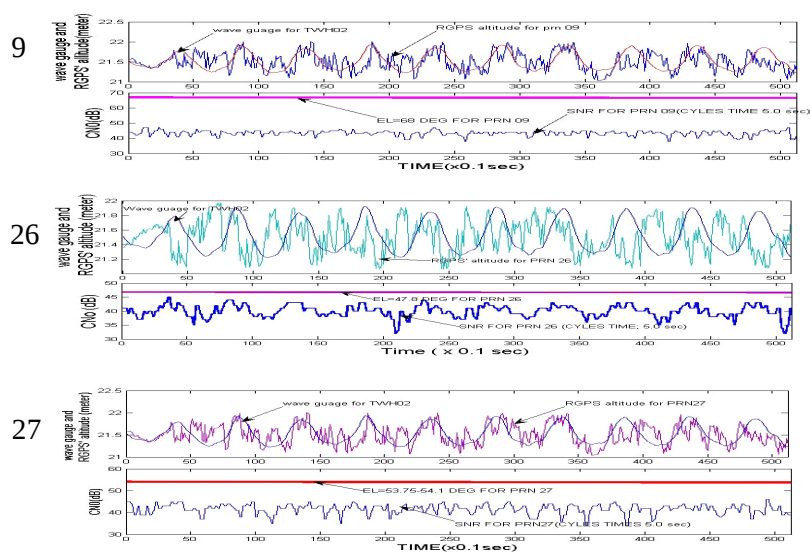


27



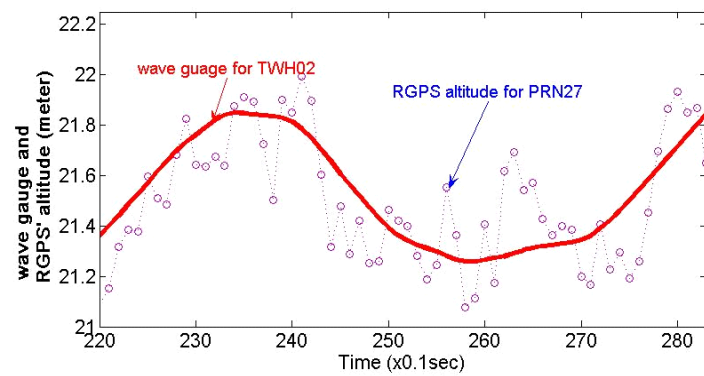
大型水槽GPS直接與反射訊號強度(10Hz_6sec)

18



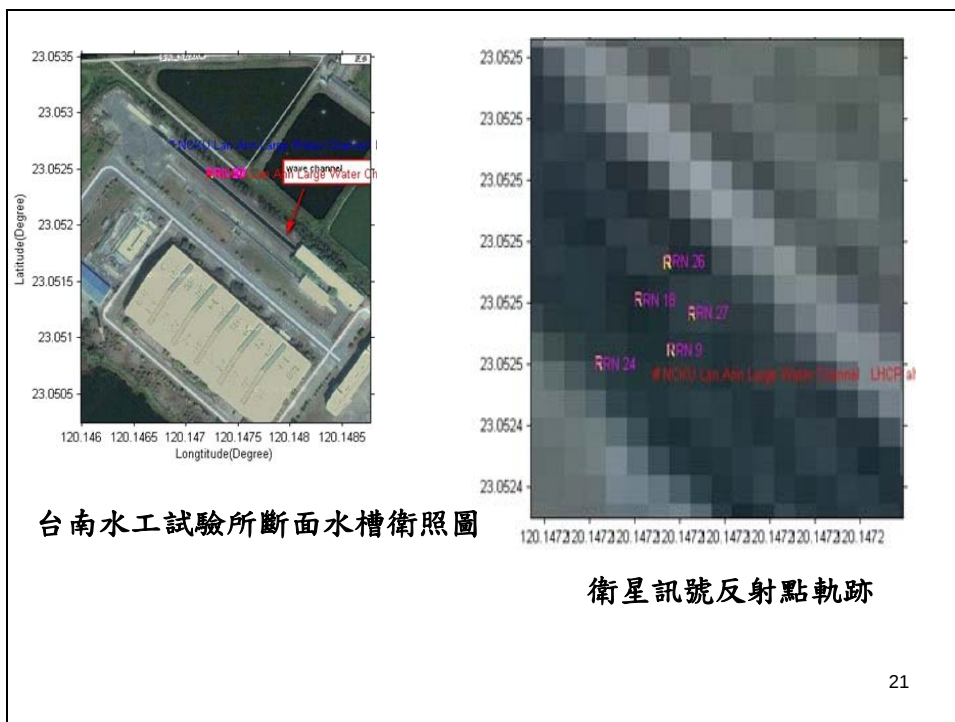
水面反射點高程與波高計比較及衛星訊號強度值

19



波高計量測值與PRN 27水面反射點高程值之比較結果，約有90% 之吻合度。

20



21

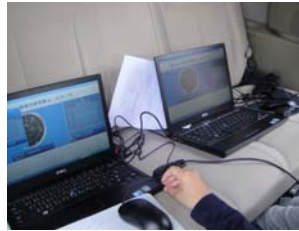
六、安平港港內海面水位量測

1. 安平港港域觀測位置



22

2. GPS接收天線、接收儀、筆電、
水準尺，安平港潮位站

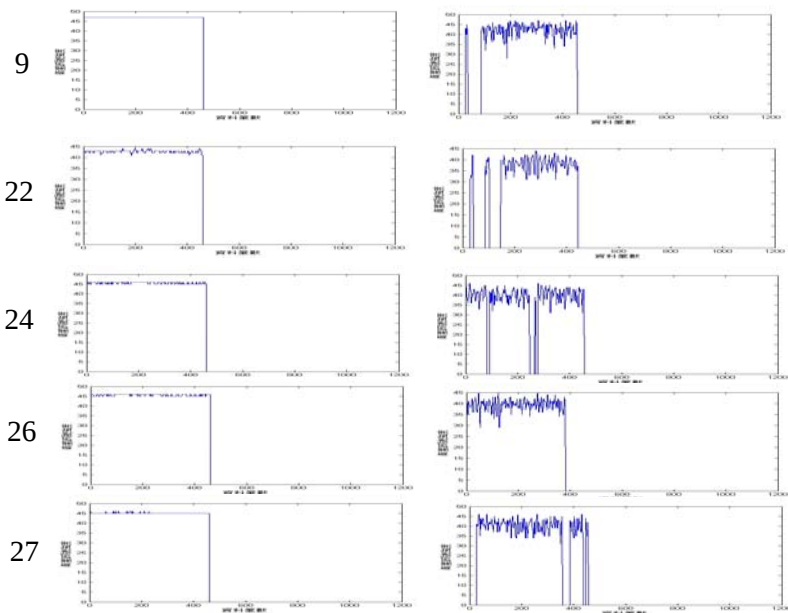


23



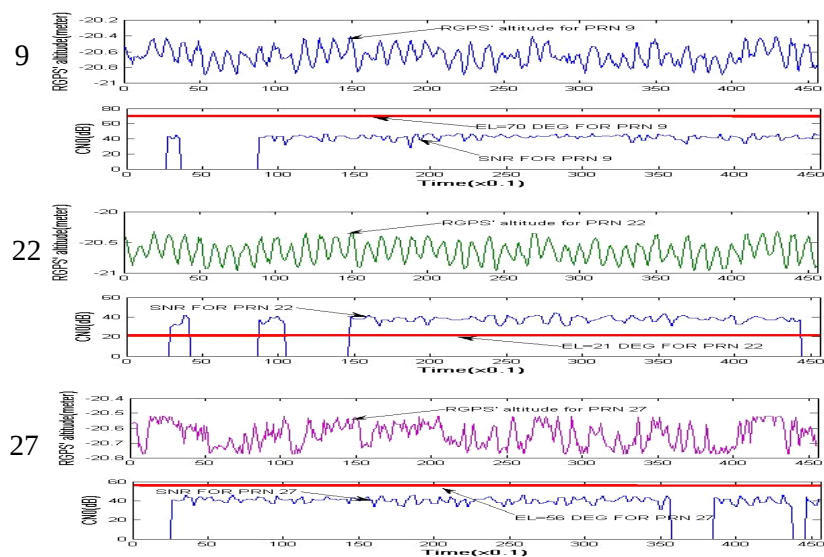
船波照片

24



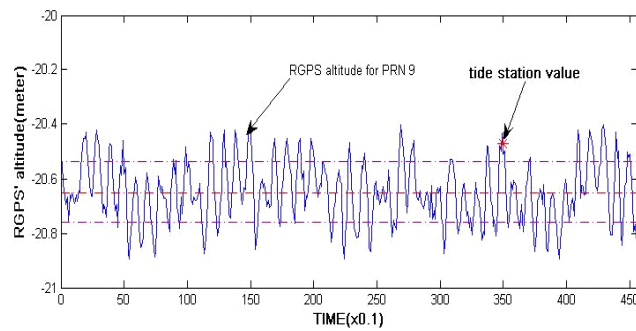
安平港潮位站GPS直接與反射訊號強度(10Hz)

25



水面反射點高程與波高計比較及衛星訊號強度值

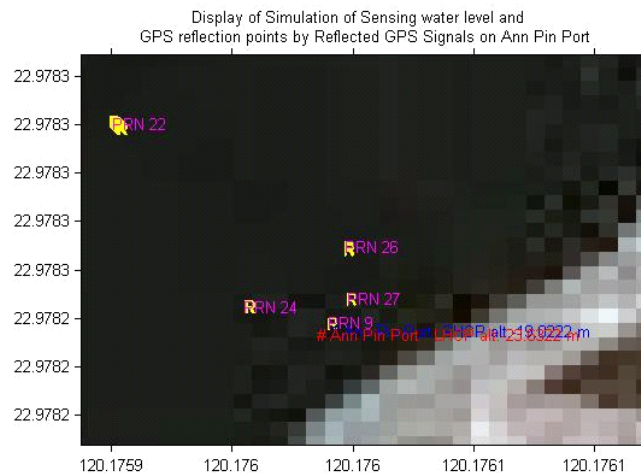
26



- (1)安平港無天然遮蔽影響，低角度之衛星訊號在接收上強度較好，訊號之連續性較好，故有多顆衛星坐標可供選擇。
- (2)PRN 22仰角低，除了試驗開始28%的訊號漏失外，其量測的波形能完整呈現，合理性也高。

27

3.安平港衛星訊號反射點軌跡



28

七、高雄柴山海域海面水位量測

1. 路邊懸崖觀測(第一個觀測站)



29



30

2.海巡署高雄柴山安檢所觀測(第二個觀測站)

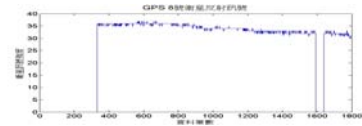
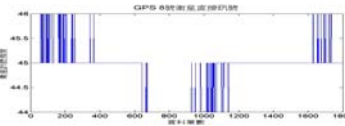


31

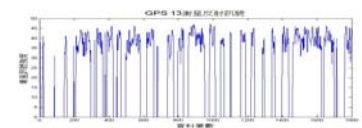
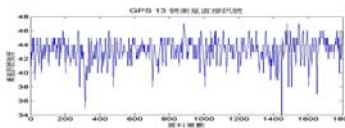


32

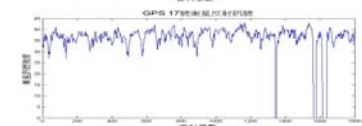
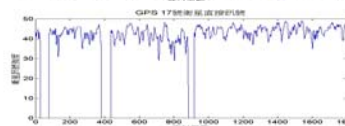
8



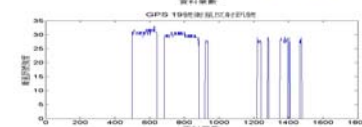
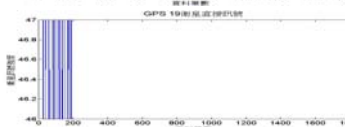
13



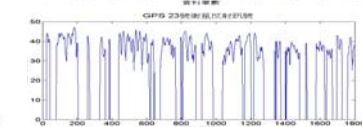
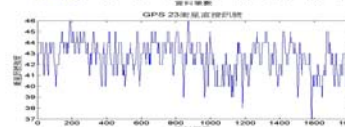
17



19

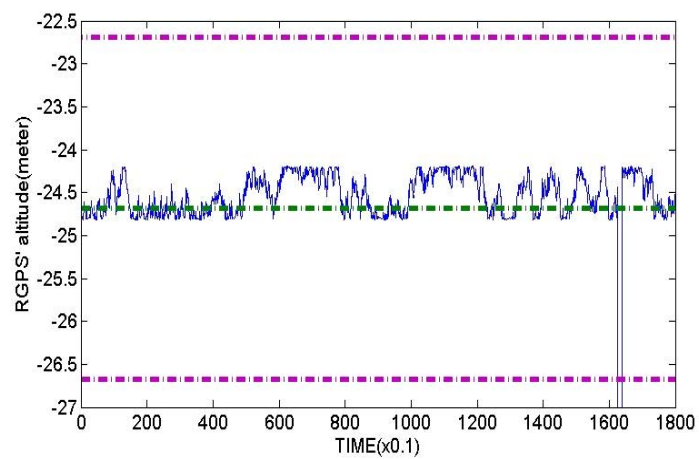


23



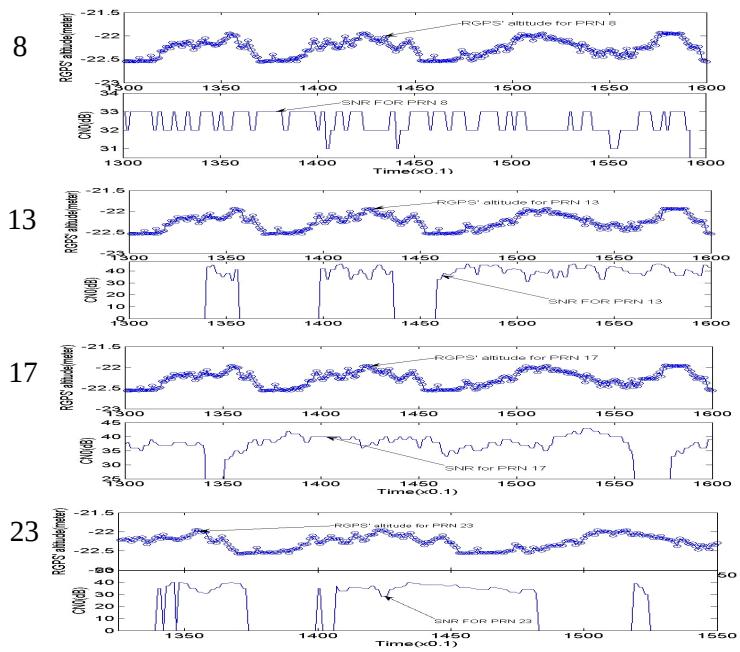
柴山海面GPS直接與反射訊號強度

33



RGPS 計算柴山海面水位頻率(10HZ)

34



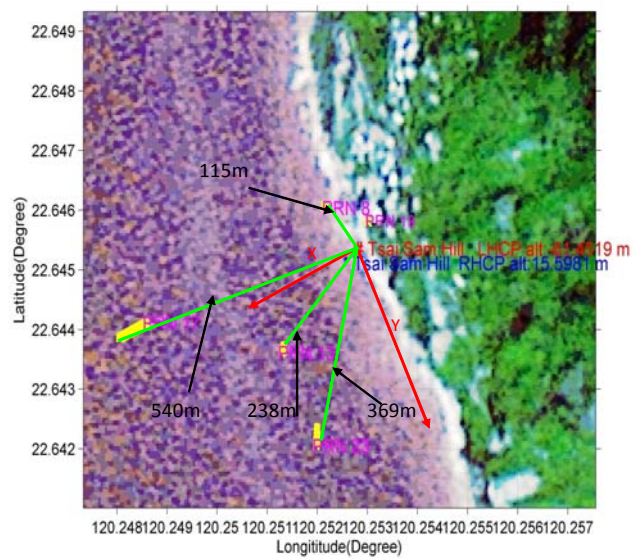
水面反射點高程與波高計比較及衛星訊號強度值

35



高雄港海象觀測站位置

36



37

- 1.觀測結果顯示海浪週期約7-8sec與高雄港海象觀測站之浮標測得海浪週期相符合。
- 2.PRN8、PRN13、PRN17、PRN23之衛星角度分別為30度、16度、5度、7度，皆屬於低角度之衛星，受到對流層的影響較大，海面水位的精度因此受影響。

- 2.PRN8、PRN13、PRN17、PRN23之衛星角度分別為30度、16度、5度、7度，皆屬於低角度之衛星，受到對流層的影響較大，海面水位的精度因此受影響。

38

八、結論與建議

1. 結論：

- (1) [大型斷面水槽](#)中波高60cm週期5sec的波浪觀測結果，PRN27衛星反射點高程所得的波形與波高計結果比較具有90%吻合度。
- (2) [安平港](#)水面訊號的反射強度較強，資料遺失的情況較少，低仰角的衛星訊號也可觀測，反而有利於波形的量測。本次試驗所分析出的波形結果較為完整，已可合理解讀出海面水波之波形。
- (3) [高雄柴山](#)附近的海巡署安檢所進行海面水位觀測，天線架高離海面30m，可觀測的海面範圍擴大到600m左右，觀測結果與高雄港海象觀測站之浮標觀測結果比較，也有合理的結果。

39

八、結論與建議

2. 建議：

- (1) LHCP天線架設降低到距水面僅1.2 m，而造波機造出之波高為60公cm，水面之起伏不利GPS反射訊號之接收。
- (2) 由於RGPS技術不是每一顆衛星之反射點軌跡，對波型都有理想之監測能力，因此若能在選星與觀測時間做一妥善規劃，應可獲得理想之成果。
- (3) 衛星訊號強度之波型與水波波型應具某種關係，若能正確推估何種衛星高度對反射波最具助益，則其波形亦可作為量測波形之參考。

40

報告結束
敬請指正