100-64-7543
MOTC-IOT-99-H3DA002

GPS之波浪量測應用研究（2/4）

交通部運輸研究所

中華民國100年5月

100-64-7543
MOTC-IOT-99-H3DA002

GPS 之波浪量測應用研究（2/4）

著 者：簡仲璟

交 通 部 運 輸 研 究 所
中 華 民 國 100 年 5 月

100

GPS之波浪量測應用研究(2/4)

交通部運輸研究所

GPN：1010000797
定價 150 元

國家圖書館出版品預行編目(CIP)資料

GPS 之波浪量測應用研究（2/4）

/簡仲璟著. --初版.-- 臺北市：交通部運輸研究所，

民 100.04

面 ；　公分

ISBN 978-986-02-7644-2 (平裝)

1. 波動　2.衛星觀測　3.遙感探測

351.941　100006562

GPS 之波浪量測應用研究（2/4）

著　　者：簡仲璟
出版機關：交通部運輸研究所
地　　址：10548 臺北市敦化北路 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 5 月
印 刷 者：良機事務機器有限公司
版(刷)次冊數：初版一刷 90 冊
本書同時登載於交通部運輸研究所港灣技術研究中心網站
定　　價： 150 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 臺北市中山區松江路 209 號 F1•電話：(02) 25180207
五南文化廣場：40042 臺中市中山路 6 號 • 電話：(04)22260330

GPN：1010000797　　ISBN：978-986-02-7644-2（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。

交通部運輸研究所自行研究計畫出版品摘要表

出版品名稱：GPS 之波浪量測應用研究（2/4）

國際標準書號（或叢刊號）	政府出版品統一編號	運輸研究所出版品編號	計畫編號
ISBN978-986-02-7644-2(平裝)	1010000797	100-64-7543	99-H3DA002

主辦單位：港灣技術研究中心
主管：邱永芳
計劃主持人：簡仲璟
研究人員：陳明宗、單誠基、李俊穎、劉清松
參與人員：陳正義、錢爾潔、馬維倫、張麗瓊
聯絡電話：04-26587131　傳真號碼：04-26564415

研究期間
自 99 年 01 月
至 99 年 12 月

關鍵詞：波浪、量測、全球定位系統

摘要：

本研究目的在應用 GPS 直接訊號和反射訊號進行波浪水位觀測，藉以建立另一種在實驗室中或對實際海面可行的波浪量測技術。

本計畫為「GPS 之波浪量測應用研究」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 訊號接收軟硬體設施，進行波浪量測。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現場量測以及(3)在高雄港柴山進行海岸邊大範圍海面波浪的現場量測。

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約為 8sec，與高雄港外海資料浮標測得的結果相當接近。

本研究初步利用 GPS 直接訊號和反射訊號進行進行波浪觀測，所得結果顯示在精確度和一致性上不盡理想，未來應用上仍有相當努力空間。

出版日期	頁數	定價	本出版品取得方式
100 年 5 月	126	150	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 Reflected GPS for Wave Measurements (2/4)

ISBN (OR ISSN)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER	IOT SERIAL NUMBER	PROJECT NUMBER
ISBN978-986-02-7644-2 (pbk)	1010000797	100-64-7543	99-H3DA002

DIVISION: HARBOR & MARINE TECHNOLOGY CENTER
DIVISION DIRECTOR: Yung-Fang Chiu
PRINCIPAL INVESTIGATOR: Chung-Ching Chien
RESEARCHER: Ming-Tzung Chen, Chen-Chi Shan,Chun-Ying Lee, Ching-Sung Liu
PROJECT STAFF:Cheng-Yi Chen, Er-Jier Chien, Wei-Lun Ma, Lee-Chung Chang
PHONE: 886-4-26587131 FAX: 886-4-26564415

PROJECT PERIOD
FROM January 2010
TO December 2010

KEY WORDS: Waves, Measuring, Global Positioning System (GPS)

ABSTRACT:

The objective of this study is to use the direct and reflected signals of GPS to determine the water level of water flume and sea level in coastal area, as well as to establish a practicable technique of measuring sea water level.

This study is a second-year research of a four-year period project entitled “Application of Reflection GPS for 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 in Tainan Anping Harbor, (3) large range sea surface survey at Chaishan, Kaohsiung.

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 An-Ping 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 at Chaishan Coast, Kaohsiung, 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.

The present study unable to assure that RGPS measurements can have the same order of accuracy as the wave gauge or tide gauge, and can have potential applications. It will be much effort of RGPS measurement in the future.

DATE OF PUBLICATION	NUMBER OF PAGES	PRICE	CLASSIFICATION
May 2011	126	150	☐RESTRICTED ☐CONFIDENTIAL ☐SECRET ☐TOP SECRET ■UNCLASSIFIED

The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.

GPS 之波浪量測應用研究（2/4）

目　錄

摘要 I

目錄 III

圖表目錄 VI

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 1-5

1.4 本年度研究方法與目的 1-5

1.5 本年度研究作業試驗流程 1-6

第二章 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 量測波浪與波高計結果比較 2-20

第三章 安平港港內水位與波浪量測 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 高雄柴山海域波浪量測 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 柴山海域波浪量測結果 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 RGPS 計算柴山海域波浪與海象觀測資料結果比較 4-15
第五章 RGPS 水面反射點高程分析 5-2
5.1 水面反射點高程資料檢視 5-1
5.2 水面反射點高程向上零切分析 5-3
5.3 水面反射點高程頻譜分析 5-5
第六章 結論與建議 6-1

6.1 結論 6-1
6.2 建議 6-2
參考文獻 參-1
附錄 I GPS 試驗儀器設備功能 ..... 附 I-1
附錄 II 期末報告審查意見及辦理情形說明表 ..... 附 II-1
附錄 III 期末簡報資料 ..... 附 III-1

圖表目錄

圖 1.1　海面 2 km×2 km 範圍之海面水位量測 1-3
圖 1.2　本年度大斷面水槽及安平港作業試驗流程圖.....1-7
圖 1.3　本年度柴山懸崖峭壁及安檢所作業試驗流程圖.....1-8
圖 1.4　本年度 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 長波高計量測結果 2-4
圖 2.5　週期 2sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 長波高計量測結果 2-5
圖 2.6　週期 4sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 長波高計量測結果 2-5
圖 2.7　週期 4sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 長波高計量測結果 2-6
圖 2.8　週期 5sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 長波高計量測結果. 2-6
圖 2.9　週期 5sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 長波高計量測結果 2-7
圖 2.10 週期 6sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 長波高計量測結果 2-7

圖 2.11　週期 6sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 長波高計量測結果 2-8
圖 2.12　大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz_5sec)..... 2-9
圖 2.13　(續)大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz_5sec) 2-10
圖 2.14　大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz_6sec)..... 2-11
圖 2.15　(續)大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度變化(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　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合圖 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觀測之 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz).....3-5

圖 3.6　(續)安平港潮位站附近海域水位觀測之GPS直接與反射訊號強度變化(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 之水面反射點高程及反射訊號強度值.....3-9

圖 3.11　PRN 22 之水面反射點高程及反射訊號強度值.....3-9

圖 3.12　PRN 27 之水面反射點高程及反射訊號強度值.....3-10

圖 3.13　PRN 9、PRN 22 及 PRN 27 反射訊號強度比值圖 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　高雄港海域波高及週期逐時圖.....4-9
圖 4.15　中央氣象局高雄測站風時序圖.....4-9
圖 4.16　高雄及柴山現場觀測氣象資料時序圖.....4-10
圖 4.17　柴山海面 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz).....4-11
圖 4.18　(續)柴山海面 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz)　.....4-12
圖 4.19　柴山海面衛照圖與衛星訊號路徑(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 量測柴山海水面反射點高程值.....4-15
圖 4.22　PRN 8 水面反射點高程及反射訊號強度值(130 秒~160 秒)4-15
圖 4.23　PRN 13 水面反射點高程及反射訊號強度值(130 秒~160 秒)
.....4-16
圖 4.24　PRN 17 水面反射點高程及反射訊號強度值(130 秒~160 秒)
.....4-16
圖 4.25　PRN 23 水面反射點高程及反射訊號強度值(130 秒~160 秒)
.....4-17
圖 5.1 斷面水槽試驗之水面反射點高程變化.....5-1
圖 5.2 安平港港內試驗之水面反射點高程變化.....5-2
圖 5.3 高雄柴山海域試驗之水面反射點高程變化.....5-3
圖 5.4 斷面水槽試驗之各衛星水面反射點高程頻譜.....5-6
圖 5.5 安平港港內試驗之各衛星水面反射點高程頻譜.....5-8
圖 5.6 高雄柴山海域試驗之各衛星水面反射點高程頻譜.....5-9

表 5.1 水面反射點高程之個別波統計值.....5-4

第一章 緒論

1.1 前言

GPS 的反射訊號(簡稱 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 RGPS 來進行海面與溪流水面測高等相關性研究與應用。RGPS 之水面變化量測優勢，包括不受惡劣天氣影響，可順利觀測波浪之變化，以替代傳統波浪儀及雷達監測海面波浪易受天候之影響，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 另一個優勢為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及波浪變化之用。對於長期觀測，則可選擇設置於較高之堤頭燈台(高度約 25~40m)，這樣可擴大監測海面範圍至距離港口防波堤堤頭 1200m 半徑之外海波浪浪與水位變化。也可選擇放置於更高之信號台或港口鄰近山崖上(高度約 65~100m)，更可擴大有效監測海面範圍到距離觀測站 1500~4800m 半徑之外海波浪與水位變化。

基於 RGPS 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，在既不干擾水體運動也不受天候改變影響下，有效的水位變化量測方法。目前研究成果顯示對於近靜態水面(如潮汐)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

後，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 RGPS 進行波浪觀測，所得結果在精確度和一致性上雖不盡理想，但檢討後研判在改善軟硬體設施下，或許仍有開發應用潛力，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試驗，結果顯示 RGPS 在量測水位與潮位方面，均可獲取合理之結果。根據第一年(98 年)之執行成果與經驗，規劃本年度將持續應用 RGPS 技術進行波浪及水位量測，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，進行造波水槽中規則波波浪、現場海面實際不規則波浪、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及水位量測系統，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，並歸納計算波浪及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浪量測，以確認 RGPS 對波浪量測的可行性。

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及水位觀測。(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 範圍內的海面波浪，如圖 1.1 所示。

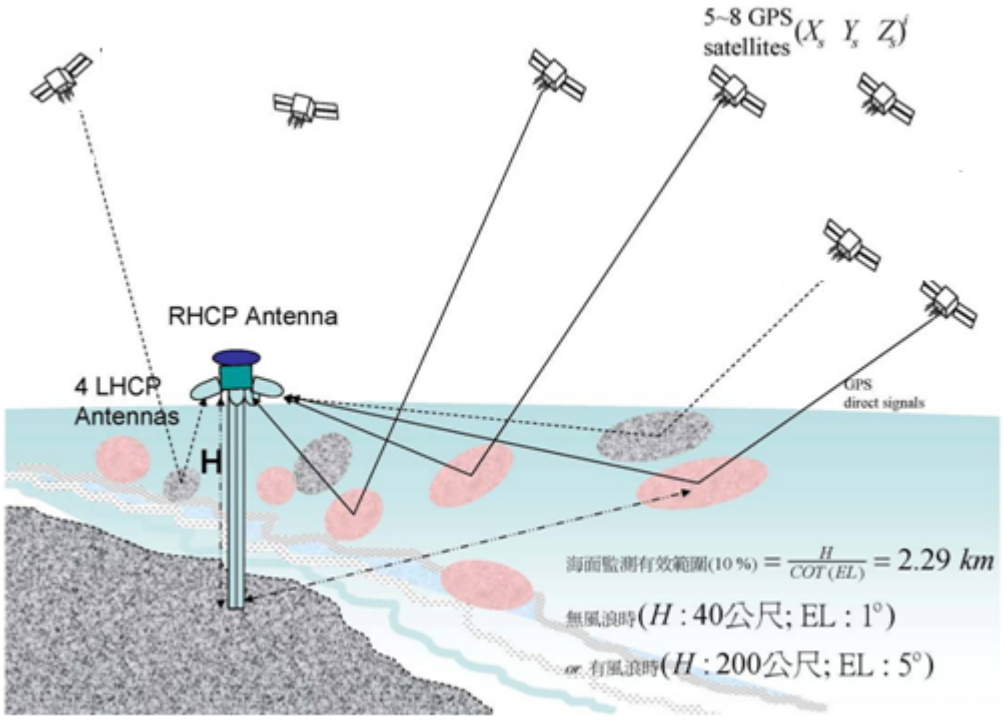


圖 1.1 海面 2km×2km 範圍之海面波浪量測

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，對斷面水槽進行波浪量測，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。

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(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 之直接與反射訊號，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 訊號處理以及計算水面水位高程方法，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 之規則波量測，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及水位觀測。(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，進行觀測點 2 km 範圍內的海面波浪。

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，以評估 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，接收取樣頻率 10 Hz；觀測時間 2 分鐘之記錄值，利用此海面水位變化值，探討 RGPS 觀測現場波浪的可行性。

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「GPS 之波浪量測應用研究 (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浪量測和安平港港內水位和波浪量測分析作說明。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進行之現場波浪觀測之分析說明，以瞭解未來實際應用之可行性。第五章部分則是利用傳統之波浪處理方法，檢視利用反射點水面高程資料求算波浪之波高及週期之穩定性及準確性，為本期末報告主要之內容。

1.5 本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。

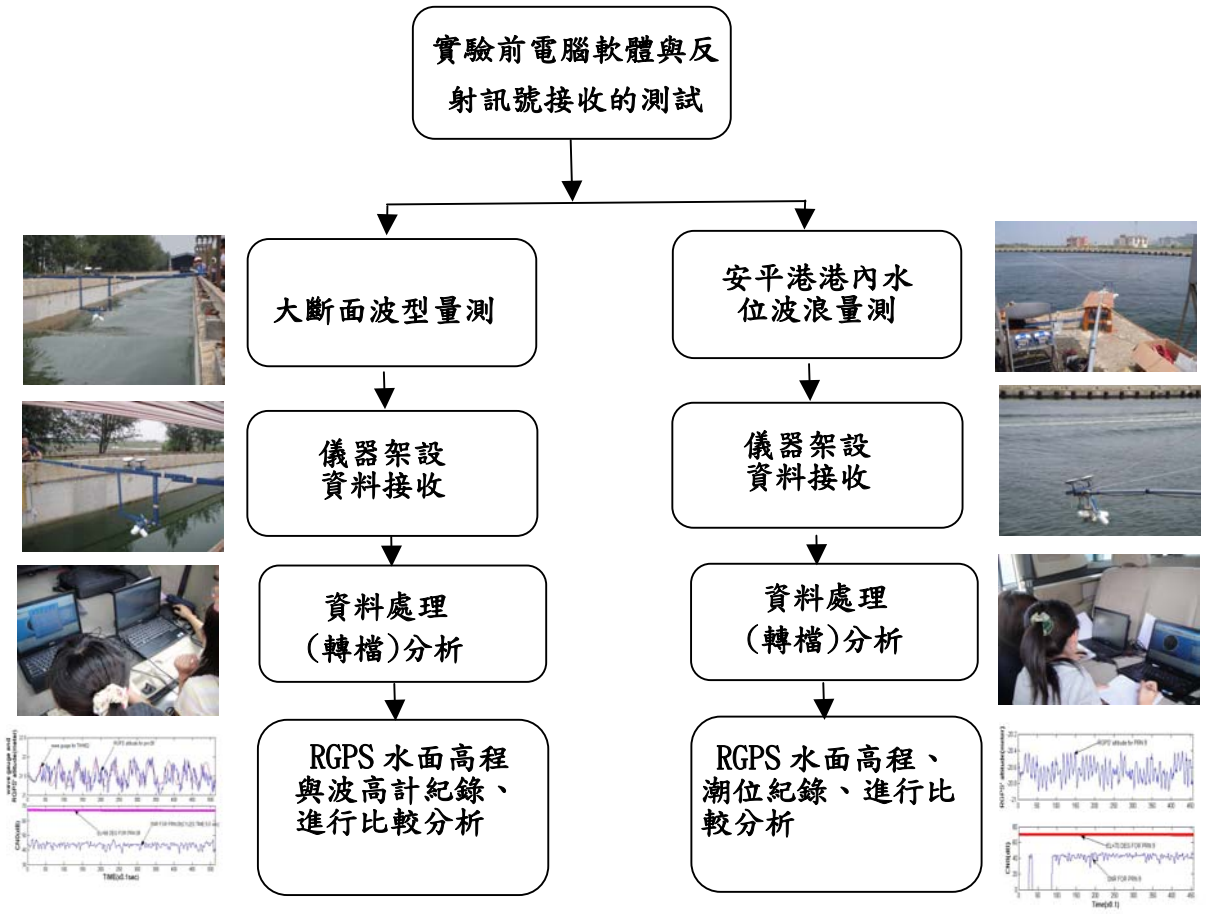


圖 1.2 本年度大斷面水槽及安平港作業試驗流程圖

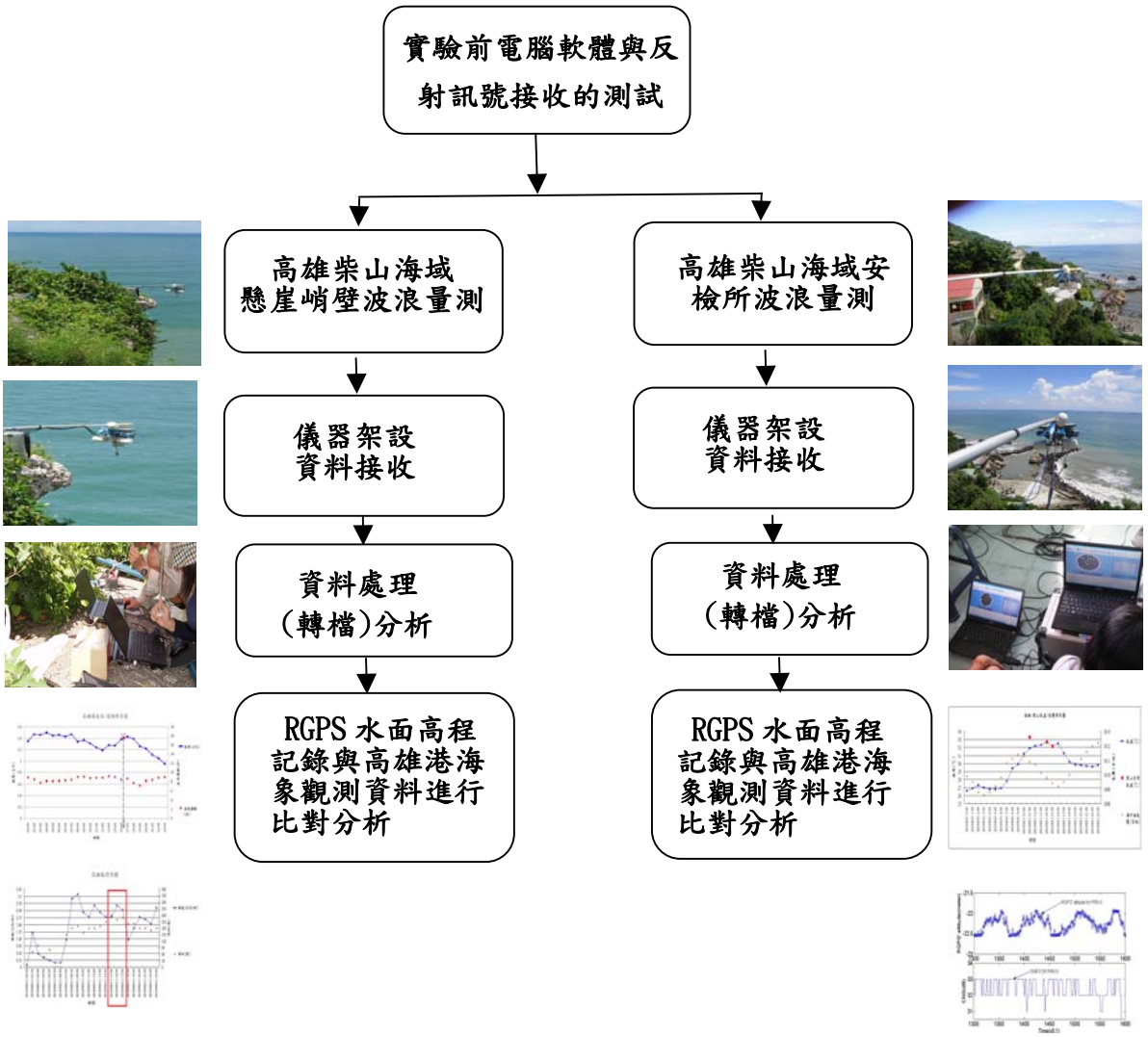


圖 1.3 本年度柴山懸崖峭壁及安檢所作業試驗流程圖

本年度 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。

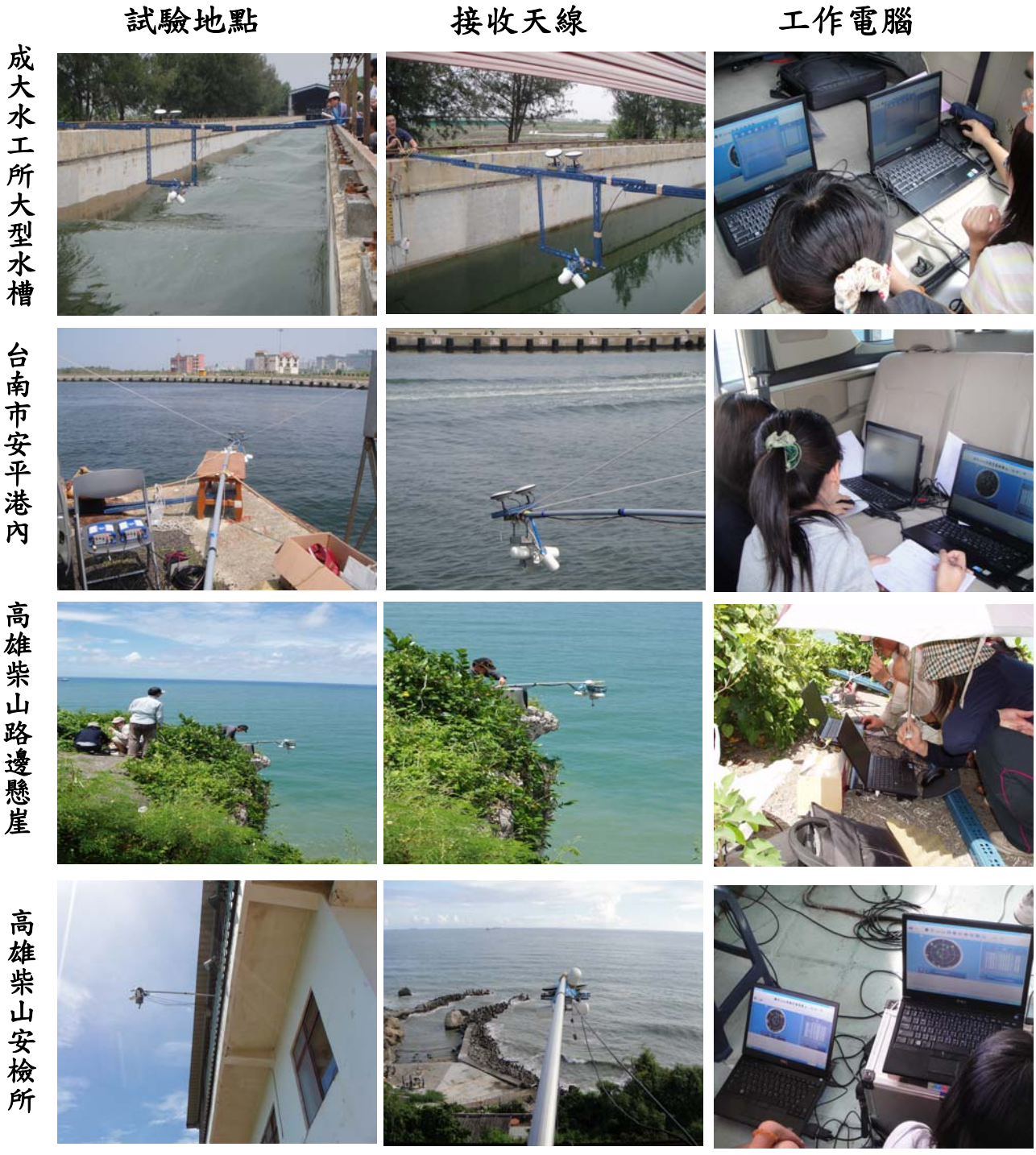


圖 1.4 本年度 RGPS 各試驗場位置及儀器操作情形

第二章 斷面水槽波浪量測

2.1 量測儀器配置和水槽波浪條件

本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，進行不同規則波條件之造波。容量式波高計取樣頻率 20Hz，觀測紀錄時間約 60 sec，每次觀測記錄可得約 1,200 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。

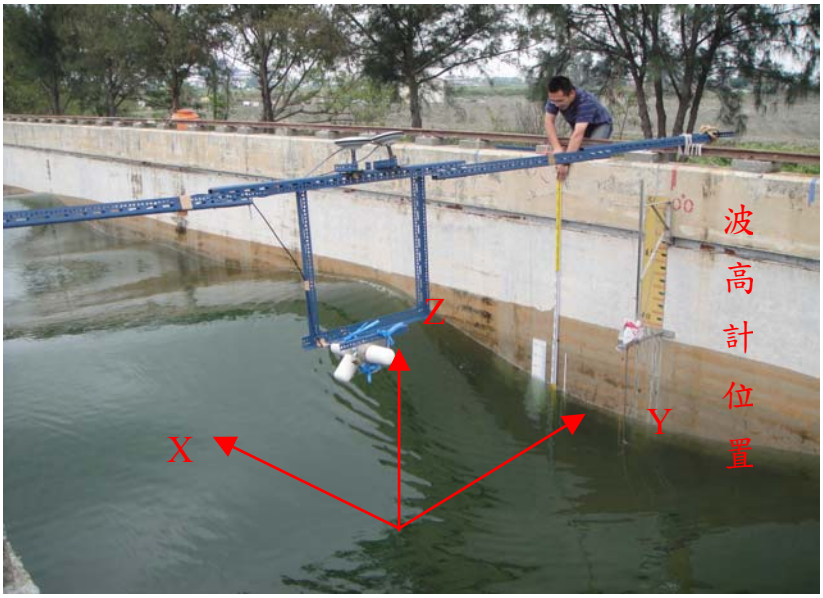


圖 2.2 RHCP/LHCP 天線與水槽剖面相關位置示意圖

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，於此處設有一長 90cm 的波高計，另造波機起算 224 m 處亦設有長 5m 的波高計。浮筒設置位置於 5m 長波高計為起點後 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。

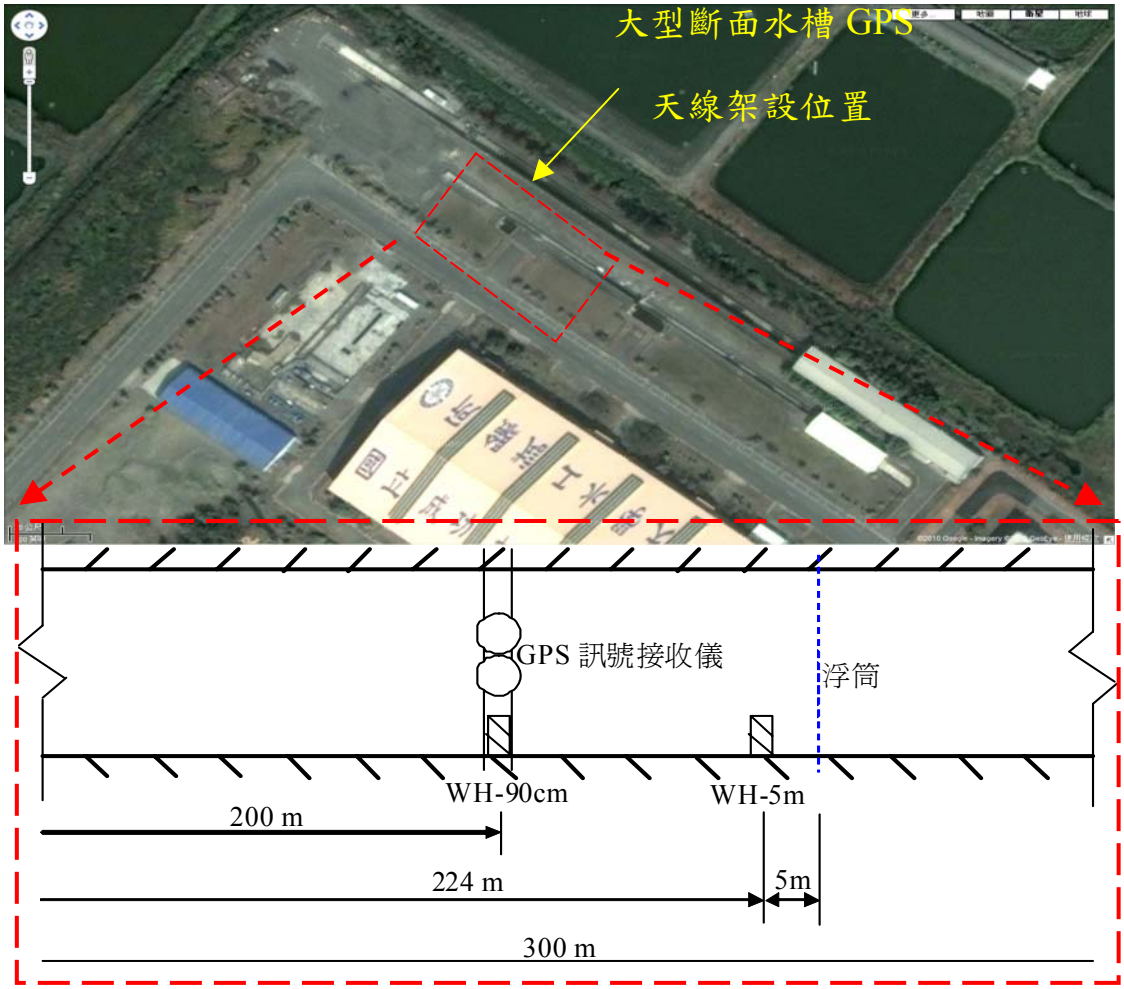


圖 2.3 RGPS 天線架設位置及大型斷面水槽實驗位置空照示意圖

2.2 波高計量測結果

大型水槽使用長 5m 以及 90cm 波高計量測水位變化，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，在長 5m 與 90cm 波高計之量測紀錄，分別如圖 2.4~圖 2.11 所示。

1.週期 2 sec 波高計量測結果

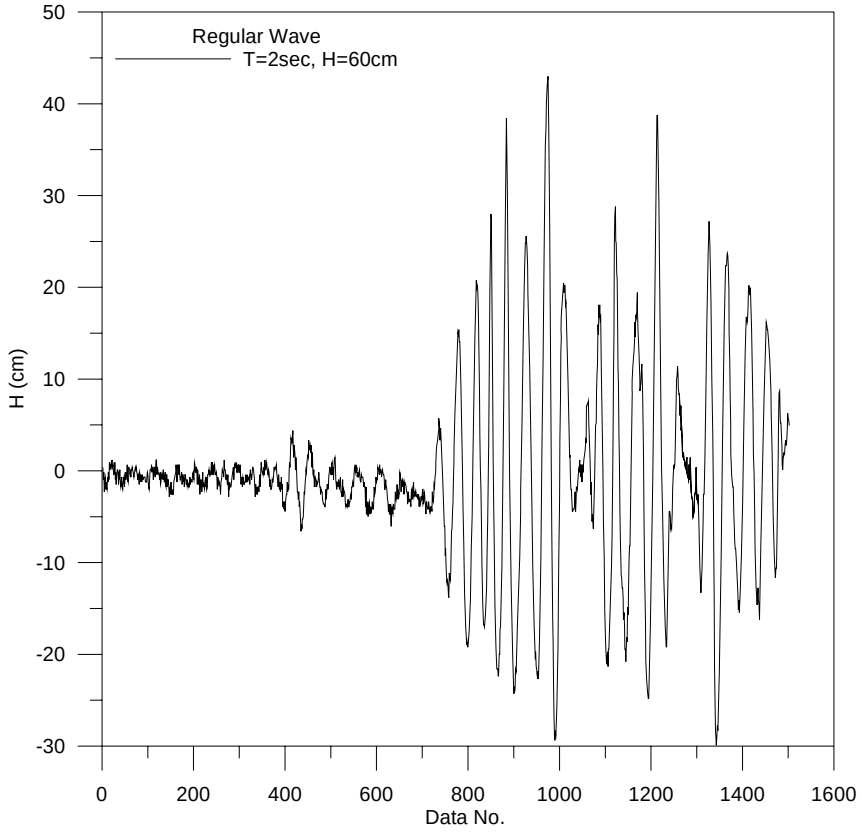


圖 2.4 週期 2 sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 長波高計量測結果

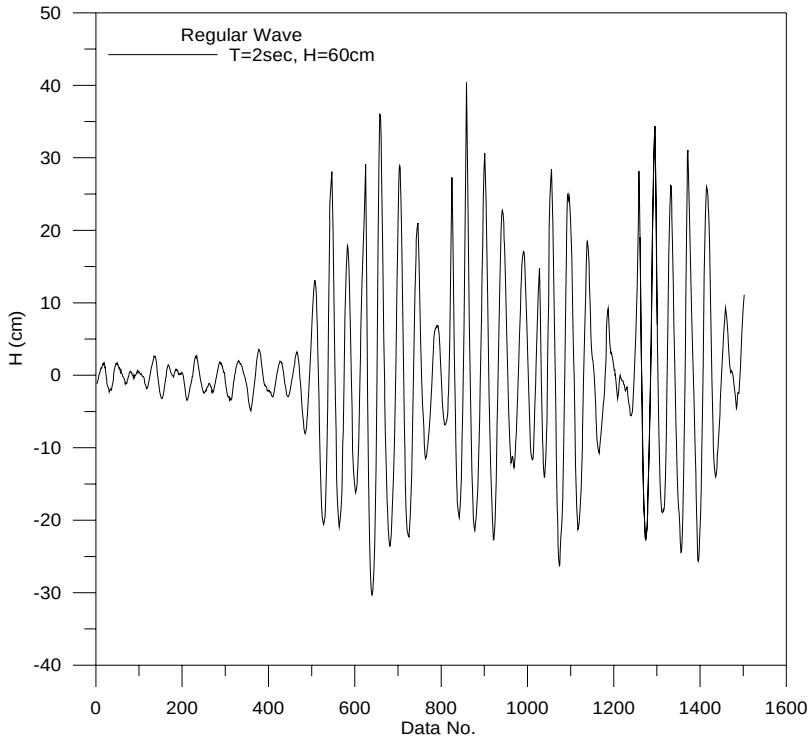


圖 2.5 週期 2 sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 長波高計量測結果

2.週期 4 sec 波高計量測結果

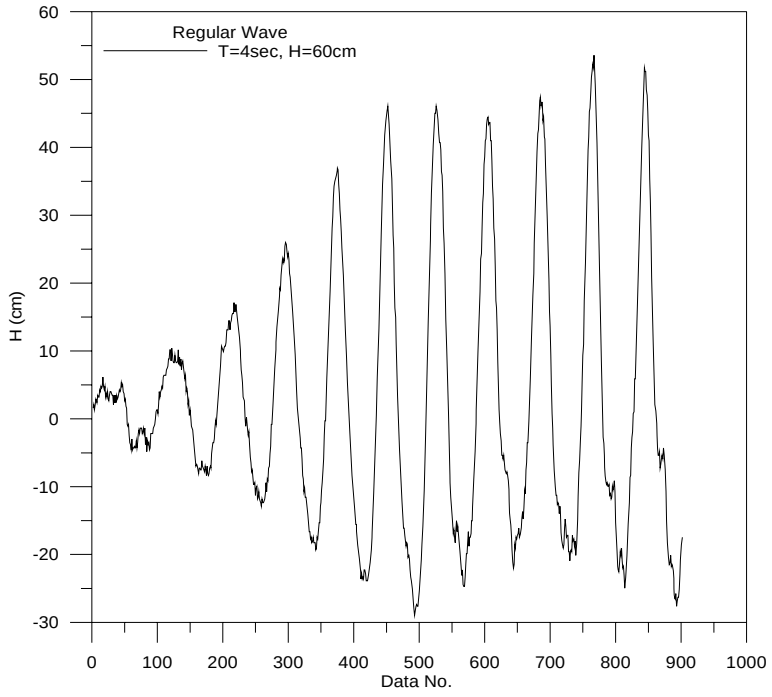


圖 2.6 週期 4 sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 長波高計量測結果

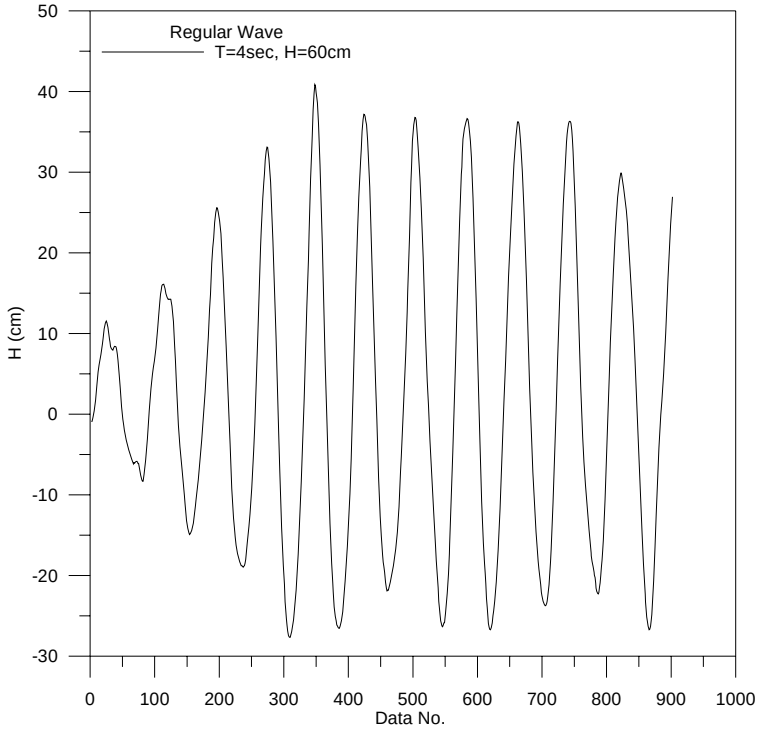


圖 2.7 週期 4 sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 長波高計量測結果

3.週期 5 sec 波高計量測結果

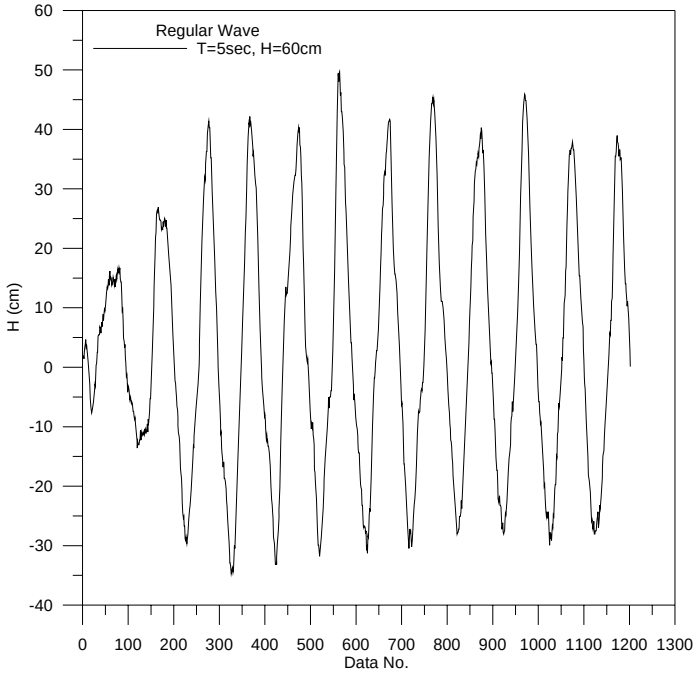


圖 2.8 週期 5 sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 長波高計量測結果

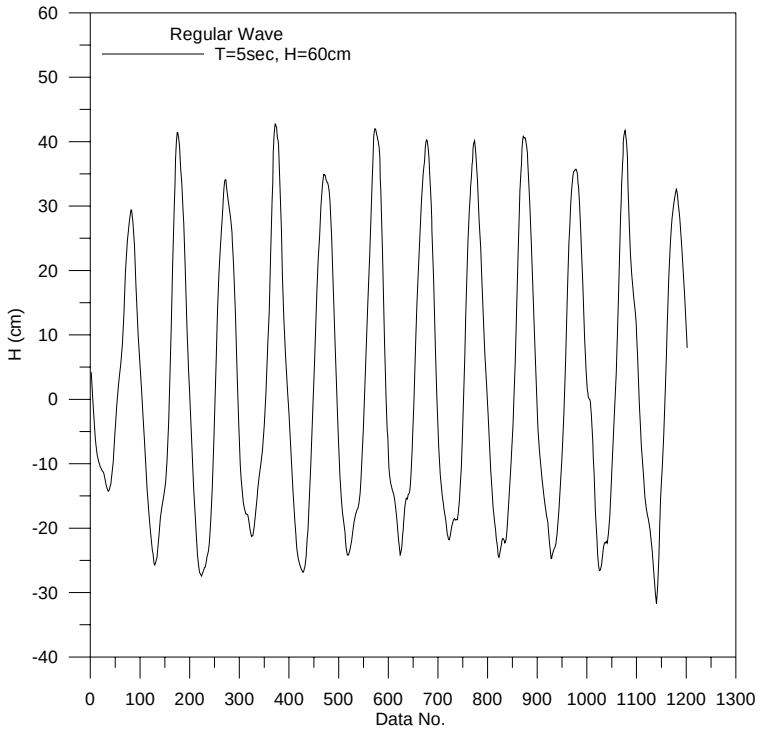


圖 2.9 週期 5 sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 長波高計量測結果

4.週期 6 sec 波高計量測結果

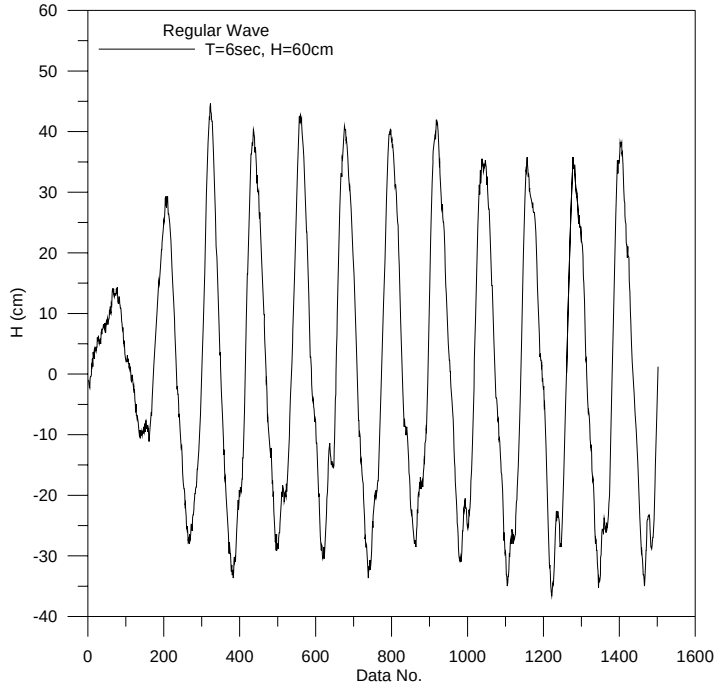


圖 2.10 週期 6 sec，波高 60cm 的規則波，使用 5m 長波高計量測結果

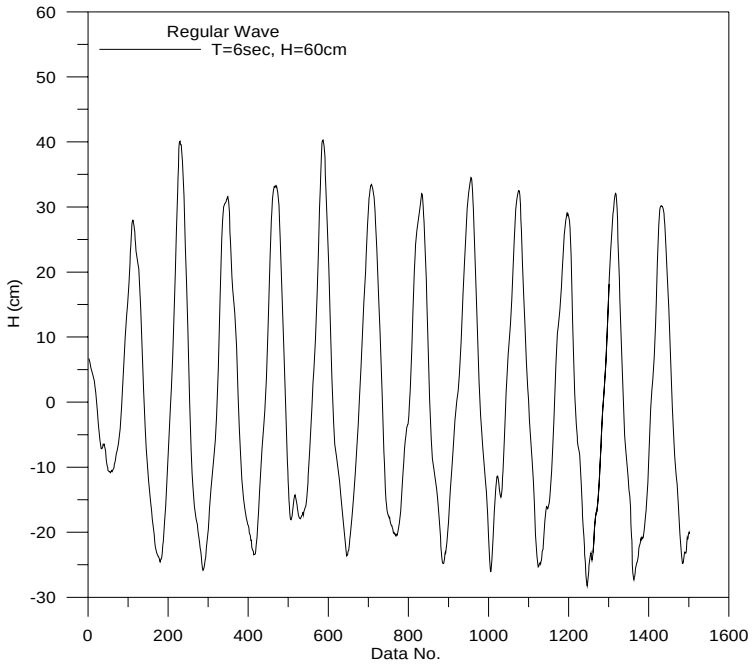


圖 2.11 週期 6 sec，波高 60cm 的規則波，使用 90cm 長波高計量測結果

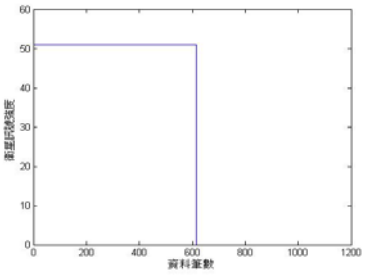
由以上波高計資料繪出的圖形可看出，週期 2sec 與 4sec 的波形較雜亂，是因為受到浮桶影響，除了進行波還包含了反射波，導致呈現重複波的波形，因此週期 2sec 與 4sec 之波形不採用。波形較好為週期 5sec 和 6sec，因此優先分析週期 5sec 和 6sec 的 GPS 反射資料；又因造波機啟動後前 2-3 個週期為不成熟波形，故取第四個波後的資料作為起始分析資料。

2.3 RGPS 波浪量測結果與比較

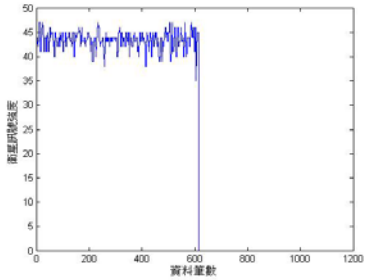
在完成資料蒐集後，即展開資料處理與分析，由於波高計資料週期 2sec 與 4sec 之波形不理想，為能與之比較分析，RGPS 波浪量測結果之分析計算僅使用週期 5sec 和 6sec 的 GPS 反射資料。

2.3.1 GPS 直接與反射訊號資料

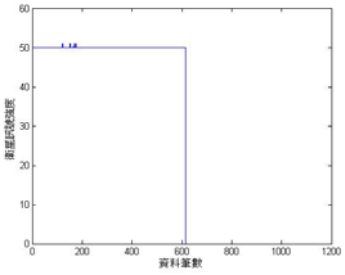
觀測大型水槽週期 5sec GPS 直接與反射訊號資料，在 GPS 定位上分別鎖定編號 PRN 9、18、24、26 及 27 等五顆衛星，其信號強度顯示如圖 2.12 及圖 2.13 所示。



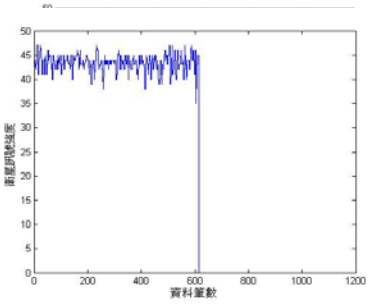
PRN 9 號衛星直接訊號



PRN 9 號衛星反射訊號

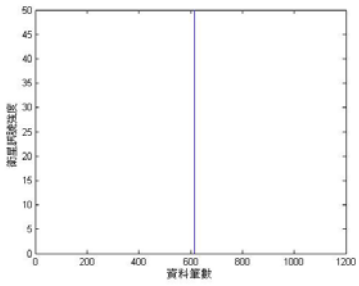


PRN 18 號衛星直接訊號

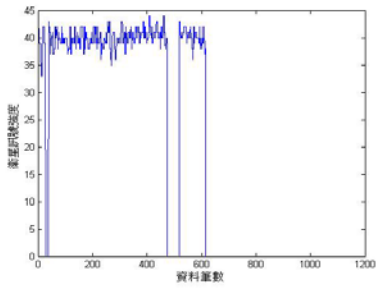


PRN 18 號衛星反射訊號

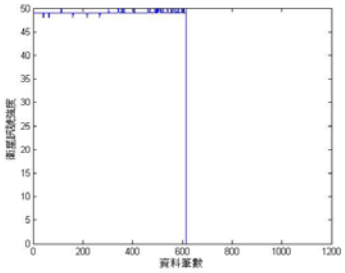
圖 2.12 大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz_5sec)



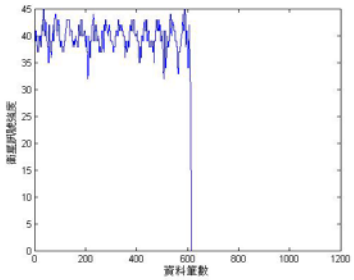
PRN 24 號衛星直接訊號



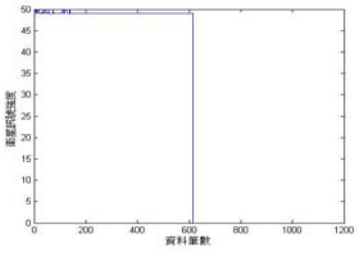
PRN 24 號衛星反射訊號



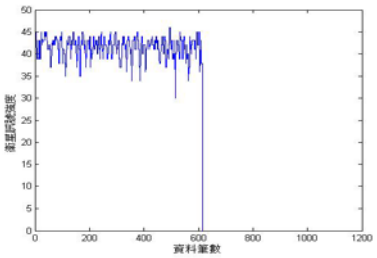
PRN 26 號衛星直接訊號



PRN 26 號衛星反射訊號



PRN 27 號衛星直接訊號

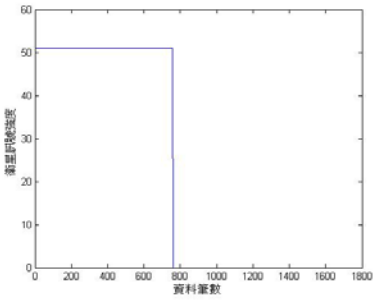


PRN 27 號衛星反射訊號

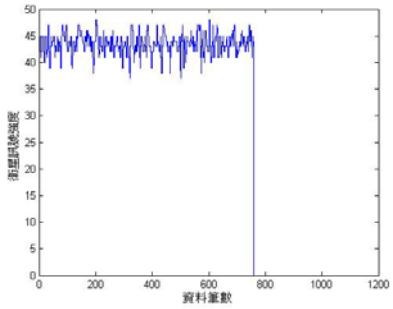
圖 2.13 (續)大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz_5sec)

從以上衛星信號強度之圖形檢視，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。

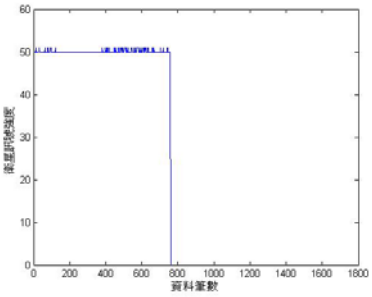
觀測大型水槽週期 6sec GPS 直接與反射訊號資料，在 GPS 定位上分別鎖定編號 PRN 9、18、24、26 及 27 等五顆衛星，其信號強度顯示如圖 2.14 及圖 2.15 所示。



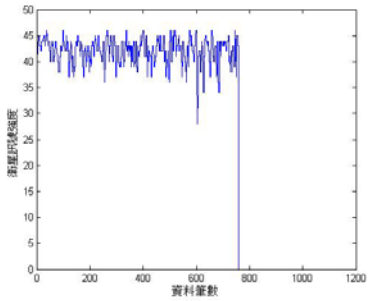
PRN 9 號衛星直接訊號



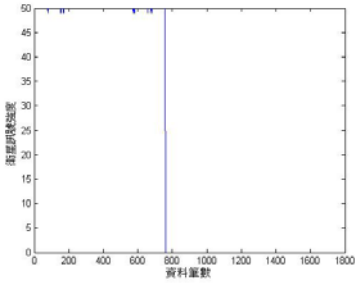
PRN 9 號衛星反射訊號



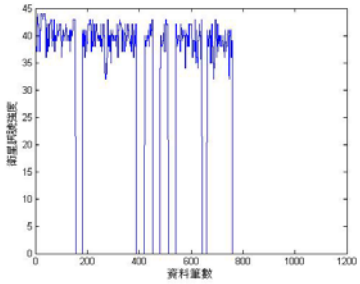
PRN 18 號衛星直接訊號



PRN 18 號衛星反射訊號

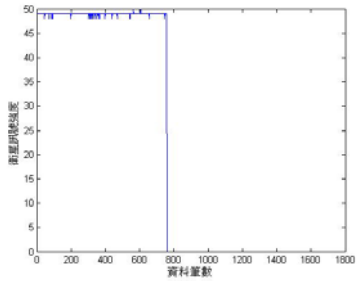


PRN 24 號衛星直接訊號

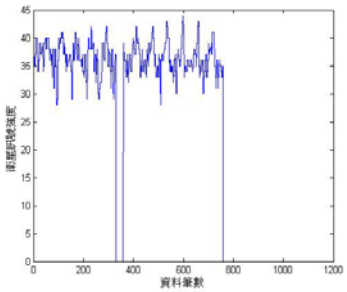


PRN 24 號衛星反射訊號

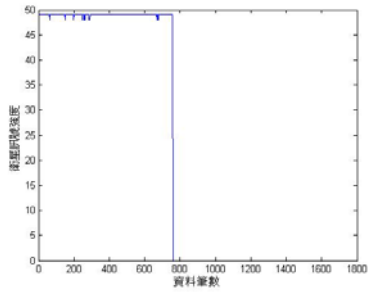
圖 2.14 大型水槽 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz_6sec)



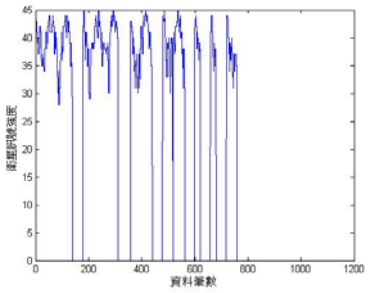
PRN 26 號衛星直接訊號



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變化(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。

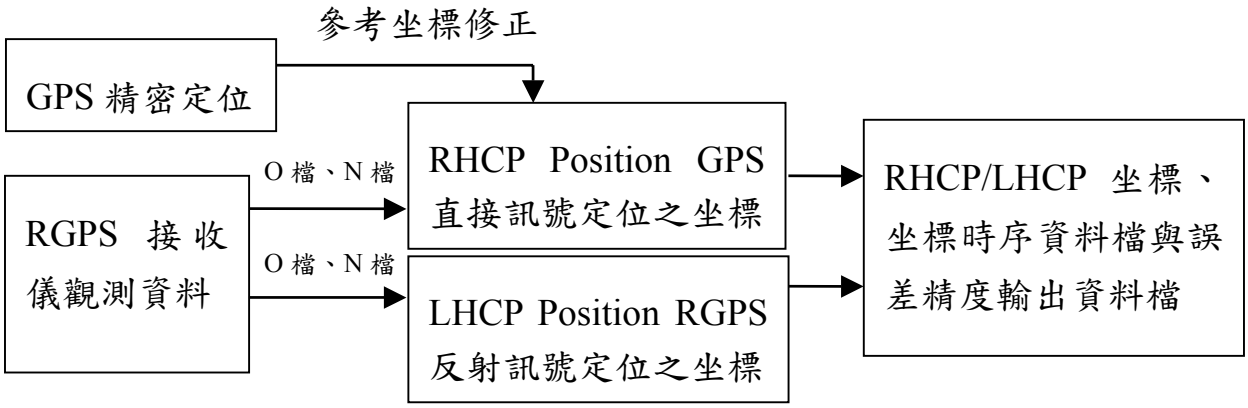


圖 2.16 RGPS 解算流程

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)：

$$\sum \varepsilon_{p1s}^2 <= 1.0 \quad ; \quad \varepsilon_{p1s} = P_{1s} - (R_s + c(dt - dT)_s - I + D \tag{1}$$

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

式中:

ε_{p1s}:最小二乘法求解之誤差量
P_{1s}: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。

$$\sum_{i=1}^{5}\varepsilon_{\Phi 1s}^{2} <= 0.04 \quad ; \quad \sum_{i=1}^{5}\varepsilon_{\Phi 2s}^{2} <= 0.04 \tag{3}$$

式中:

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

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：

$$\sum_{i=1}^{5}\varepsilon_{\Phi 1s}^{2} <= 0.0025 \quad ; \quad \sum_{i=1}^{5}\varepsilon_{\Phi 2s}^{2} <= 0.0025 \tag{4}$$

小於 0.0025 之門檻之收斂解，表示其定位精度在 0.05m 以內。

N_1 及 N_2 求解方程式為:

$$N_{1s} = \frac{1}{\lambda_1}(\Phi_{1s} - (R_s + c\left(dt - dT\right)_s - I + D) - \varepsilon_{\Phi 1s})$$
$$N_{2s} = \frac{1}{\lambda_2}(\Phi_{2s} - (R_s + c\left(dt - dT\right)_s - I + D) - \varepsilon_{\Phi 2s}) \tag{5}$$

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。

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

式中:

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

I_s 及 D_s 之求解方程式為:

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

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:

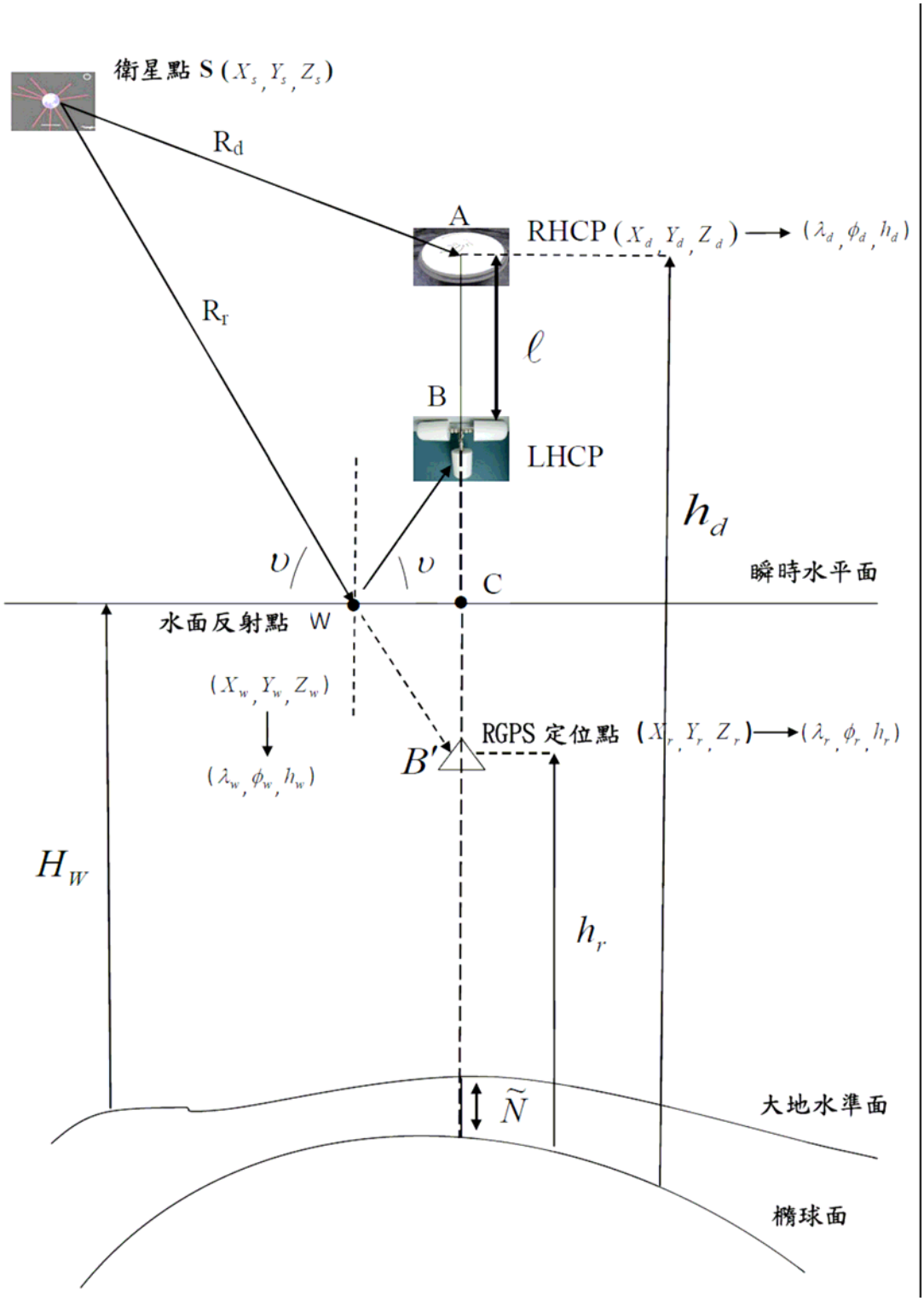


圖 2.17 水面上各個 GPS 反射點坐標計算示意圖

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，υ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) υ，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: $\overline{BC} = \dfrac{(h_d - \ell) - h_r}{2}$) ；

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

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:

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

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，

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

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$t_{i+2}, t_{i+3} \cdots t_n$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。

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，本研究即以 CN11 這一點做為精密定位之參考點(近似坐標為 N22.998 E1202199 H64.63m)。在進行國立成功大學台南水工試驗所大型水槽測試時，以此點做為 RGPS 坐標解算時之位置修正量基準點(詳步驟 2 所述)。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 2.18 為衛星信號來源方向以及 RGPS 天線位置地面解之收斂軌跡。

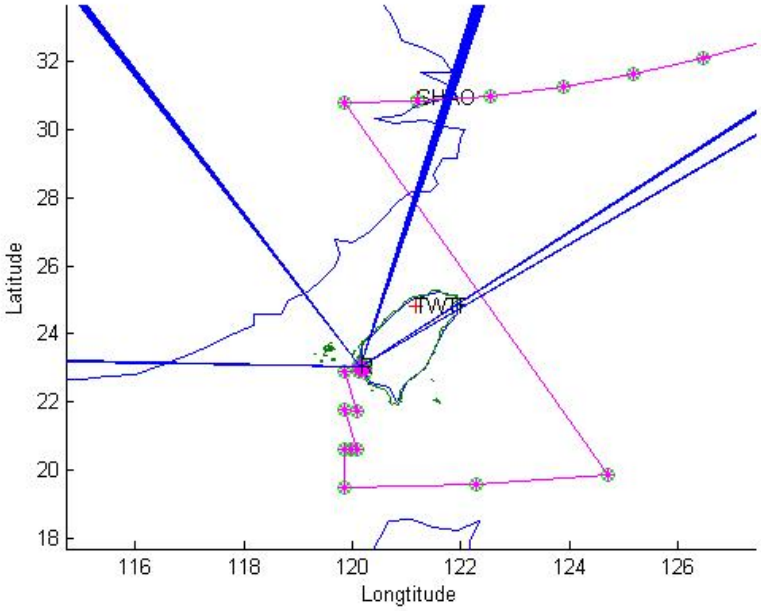


圖 2.18 衛星信號來源方向與 RGPS 天線位置地面解坐標收斂軌跡

圖 2.19 為國立成功大學台南水工試驗所斷面水槽衛照圖圖示及衛星訊號反射點軌跡。以大型斷面水槽所在位置的坐標作為 LHCP 天線坐標點，軟體程式模擬，考量天線架設於 5m 寬的水槽上方距水面 100cm，推算出五組 GPS 反射點軌跡（PRN 9、PRN 18、PRN 24、PRN 26、PRN 27）。

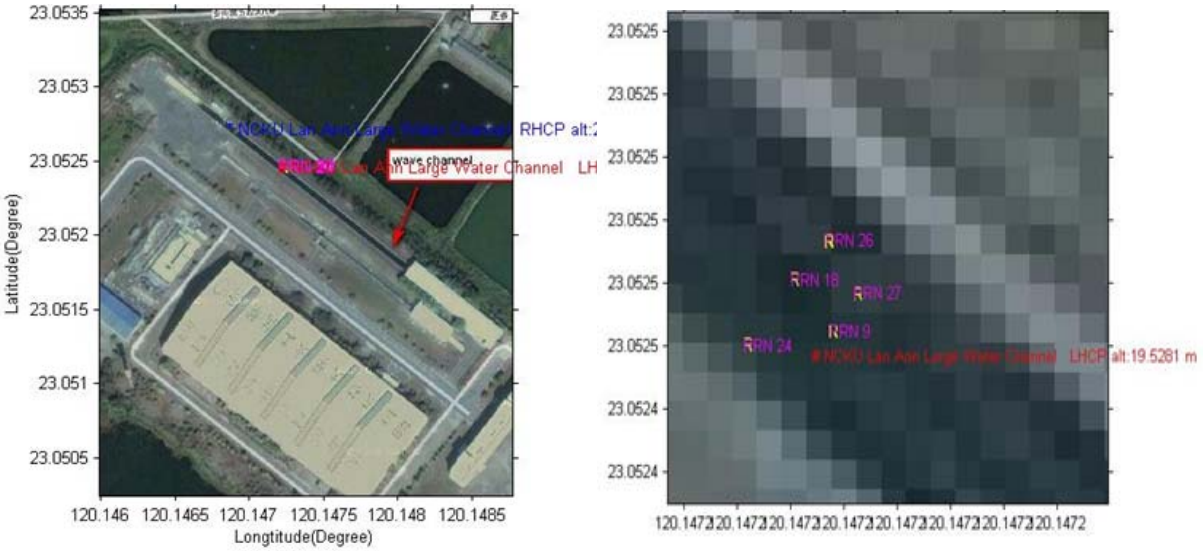


圖 2.19 斷面水槽衛照圖及衛星訊號反射點軌跡圖示

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。

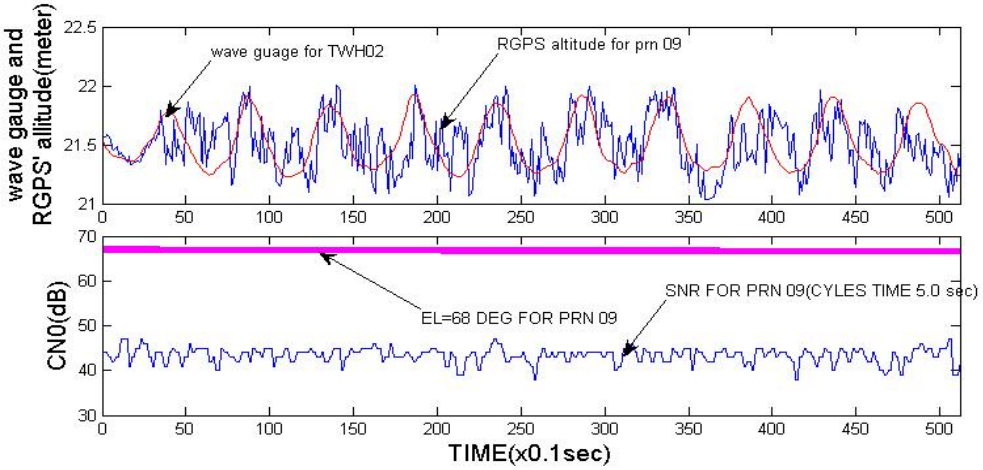


圖 2.20 PRN 9 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖及衛星訊號強度值

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較佳，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。

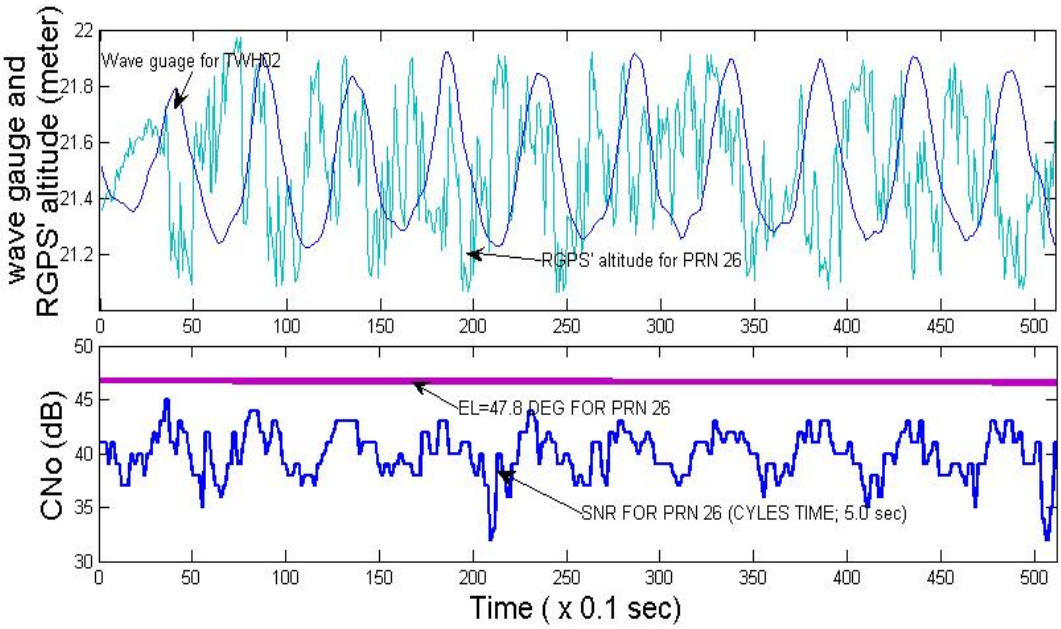


圖 2.21 PRN 26 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖及衛星訊號強度值

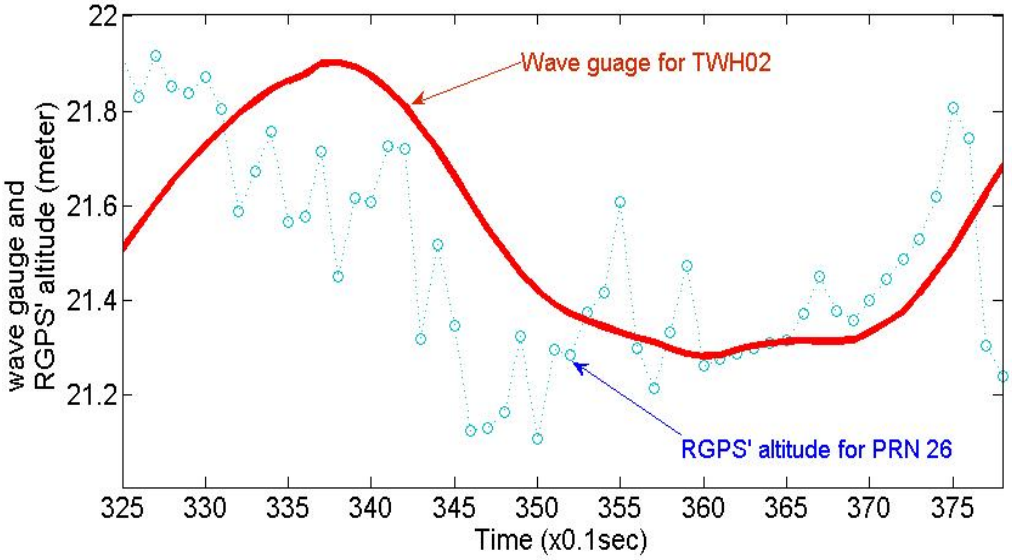


圖 2.22 放大之 PRN 26 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖

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。

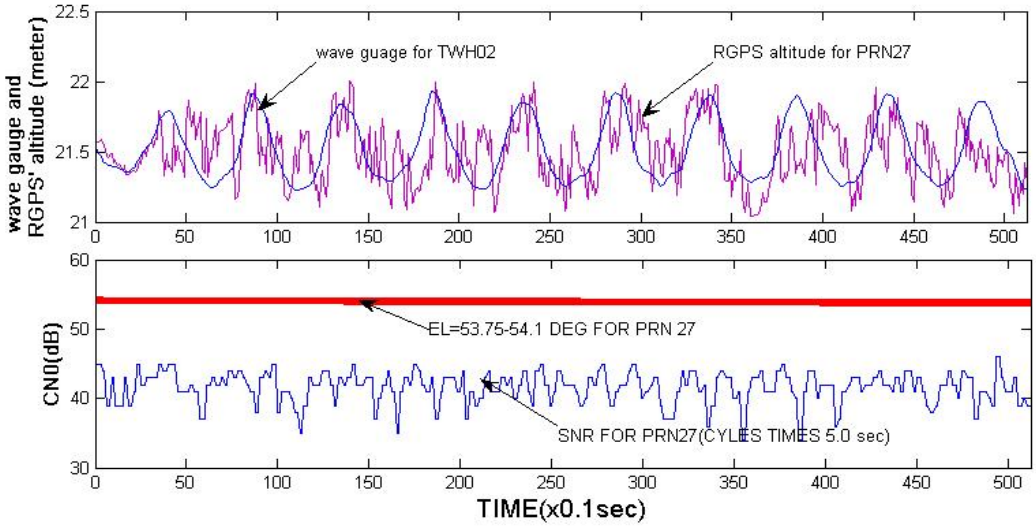


圖 2.23 PRN 27 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖

及衛星訊號強度值

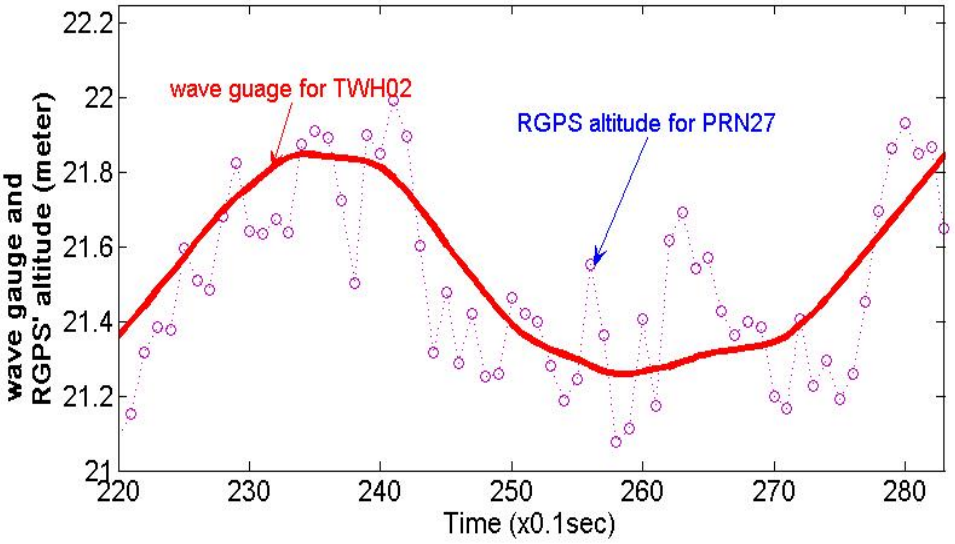


圖 2.24 放大之 PRN 27 水面反射點高程值與波高計量測值套合圖

在大型斷面水槽，因為水槽槽壁遮蔽及衛星仰角大小的關係，所以可選擇的衛星數量受到限制，而影響坐標計算的精準度，此外還有反射能力的強弱，或許與水深也有關係。另外週期 5sec 時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，其原因仍有待探討。

第三章 安平港港內水位與波浪量測

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。本次量測試驗將 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。為觀測港內水位變化將 RHCP/LHCP 天線架設於港內碼頭岸邊，其旁有一潮位站，架設之示意圖，如圖 3.1 及圖 3.2 所示。船隻經過造成的波浪場與 GPS 接收天線之關係位置，如圖 3.3 所示。

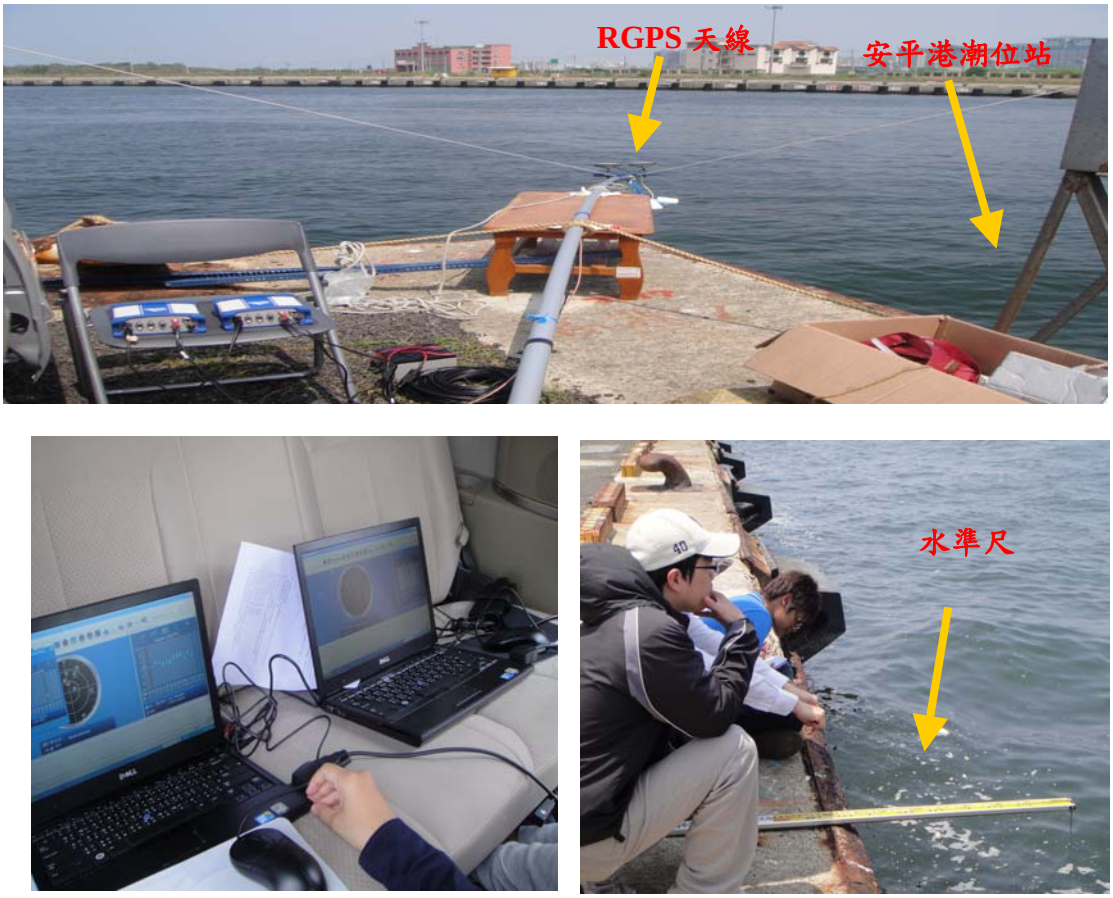


圖 3.1 GPS 接收天線、接收儀、筆電、水準尺，安平港潮位站示意圖

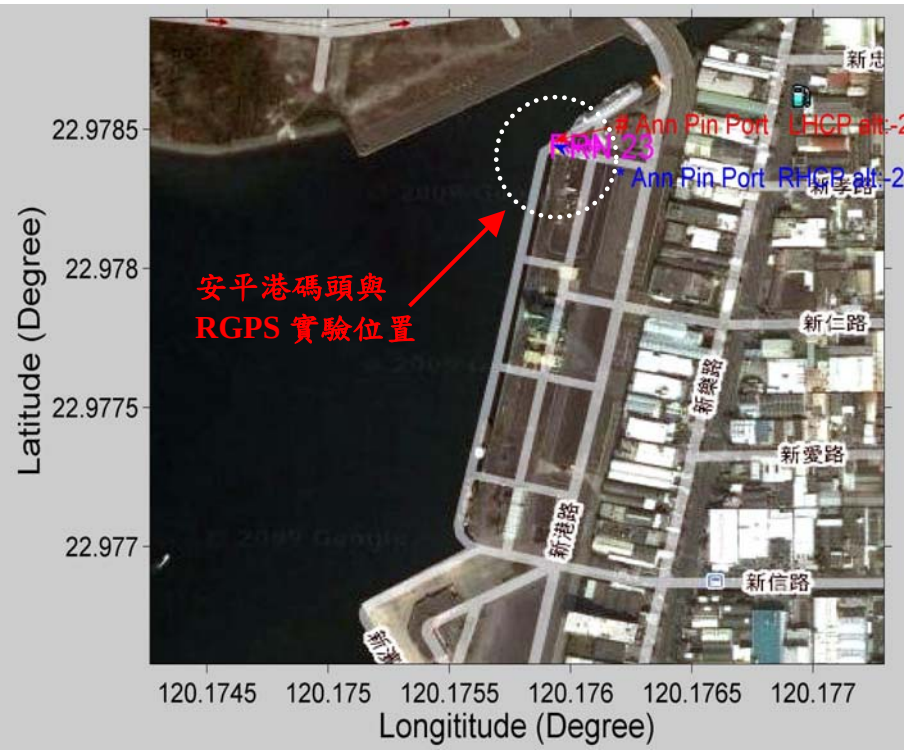


圖 3.2 安平港潮位站位置示意圖

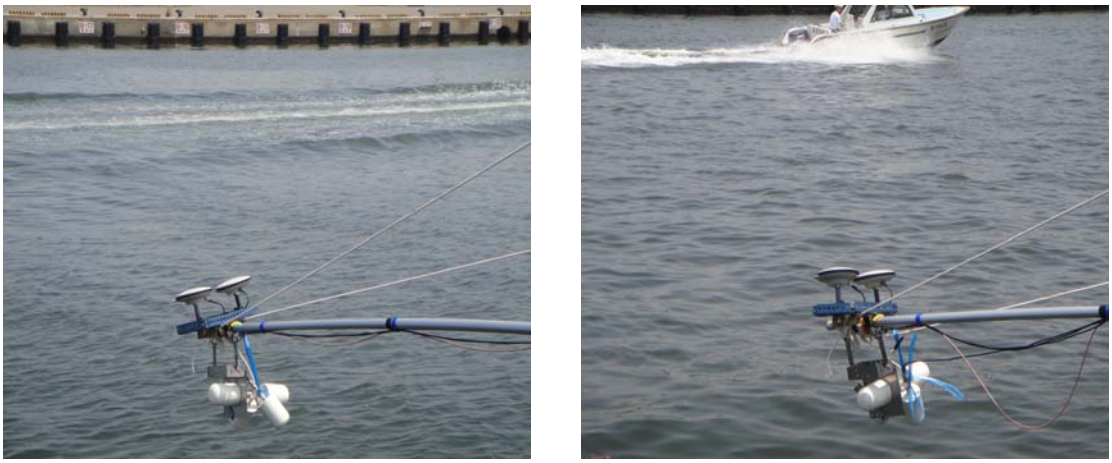


圖 3.3 船波照片

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。

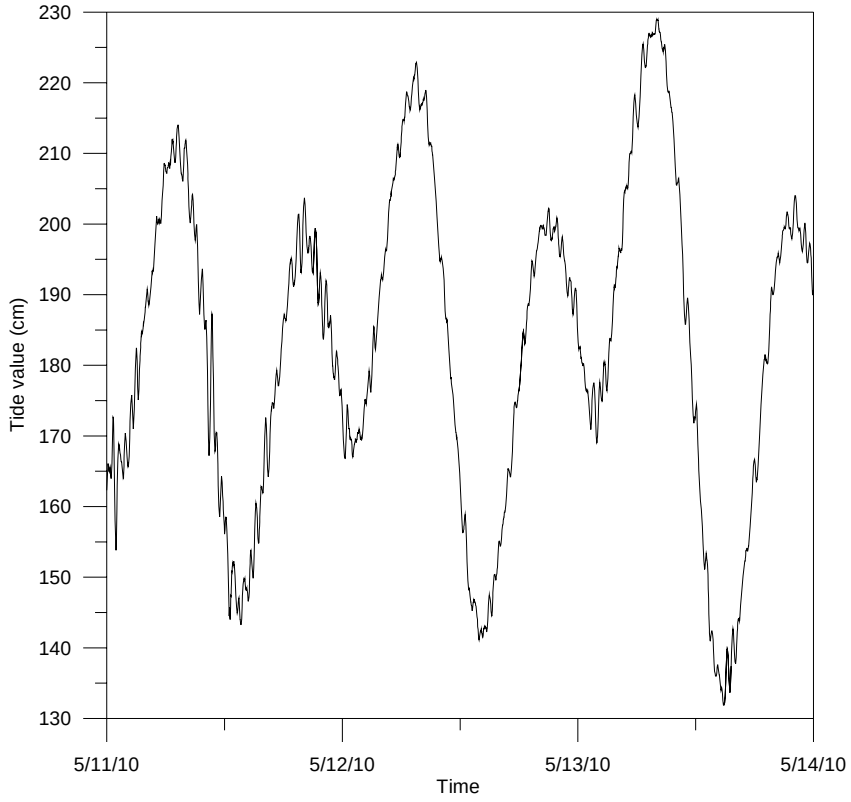


圖 3.4　2010/05/11~2010/05/13 安平港時序列潮位資料

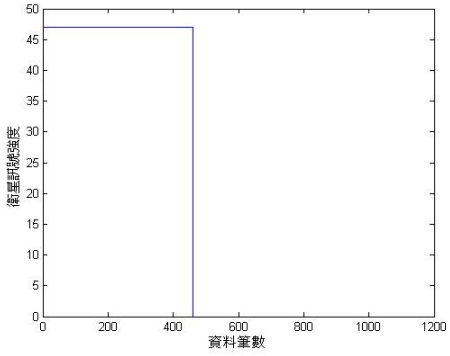
3.3 水位和波浪量測結果與比較

3.3.1 GPS 直接與反射訊號觀測資料

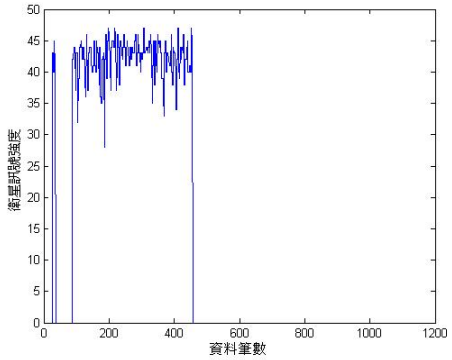
對於安平港潮位站附近海域的水位高度變化觀測,係以 10HZ 的頻率進行 GPS 之直接訊號與反射訊號接收。在 GPS 定位時分別鎖定編號 PRN 9、22、24、26 及 27 等五顆衛星，其直接訊號與反射訊號之強度變化顯示如圖 3.5 及圖 3.6 所示。

從圖 3.5 及圖 3.6 的直接訊號強度，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。

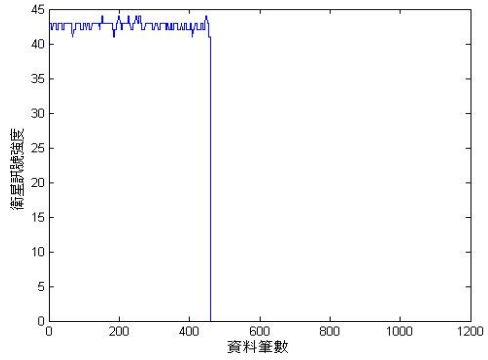
上述五顆衛星強度經分析結果顯示 PRN 9 號衛星分析資料漏失為 16.89%；PRN 22 號衛星分析資料漏失為 28.07%；PRN 24 號衛星分析資料漏失 8.33%；PRN 26 號衛星分析資料漏失為 16.45%；PRN 27 號衛星分析資料漏失為 13.82%。



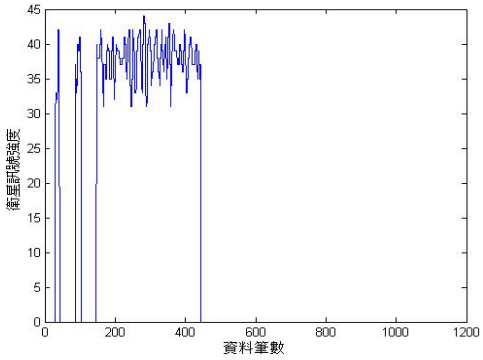
PRN 9 號衛星直接訊號



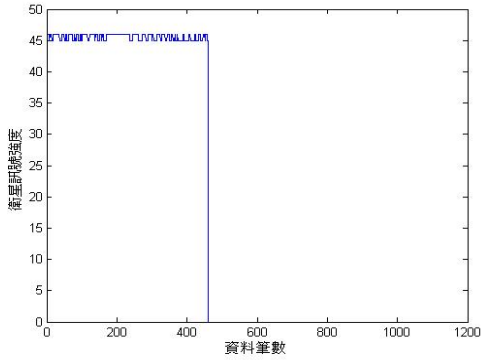
PRN 9 號衛星反射訊號



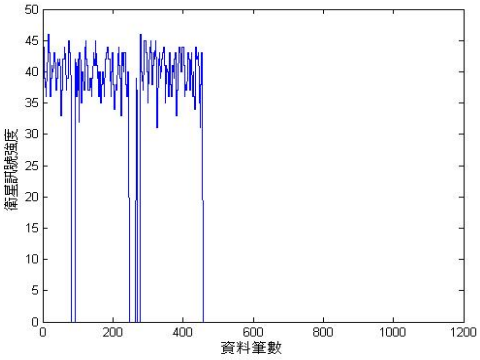
PRN 22 號衛星直接訊號



PRN 22 號衛星反射訊號

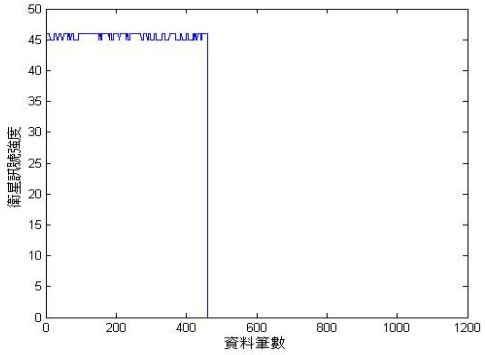


PRN 24 號衛星直接訊號

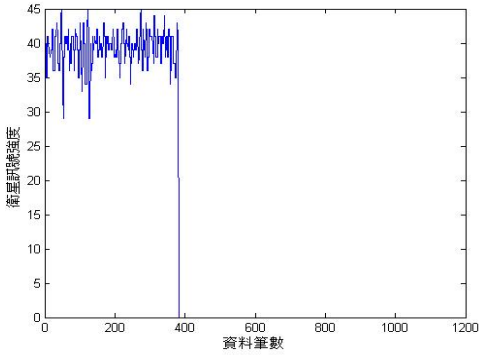


PRN 24 號衛星反射訊號

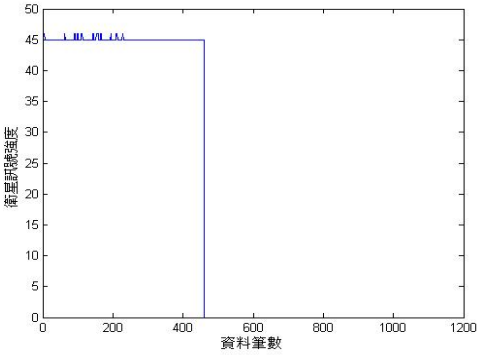
圖 3.5 安平港潮位站附近海域水位觀測之 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz)



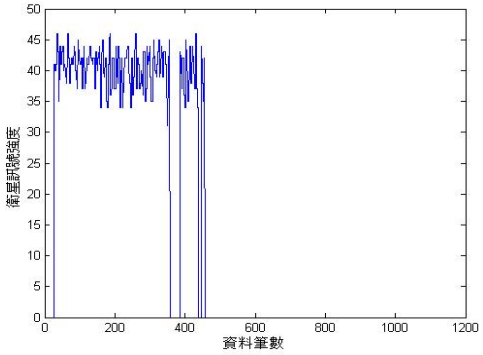
PRN 26 號衛星直接訊號



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觀測之 GPS 直接與反射訊號強度變化(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 天線位置地面解之坐標收斂軌跡。

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。

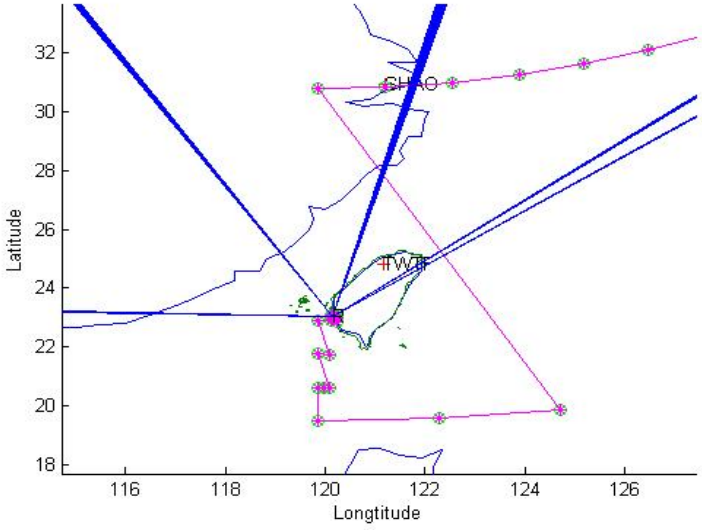


圖 3.7 衛星信號來源方向與 RGPS 天線位置地面解坐標收斂軌跡

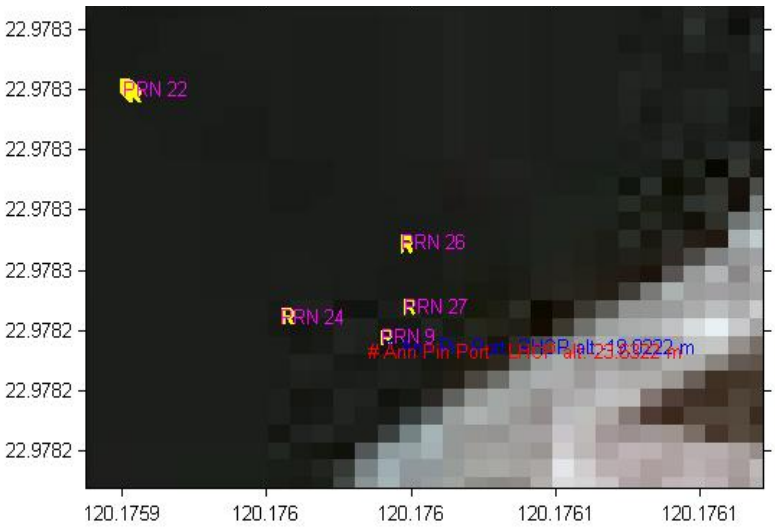


圖 3.8 安平港衛星訊號反射點軌跡

3.3.3 RGPS 計算安平港內水位與潮位站紀錄水位比較

由於安平港潮位站的潮位資料是一分鐘一筆，而此次試驗接收的時間只有 46sec，不到一分鐘，所以呈現出來的是一個點。

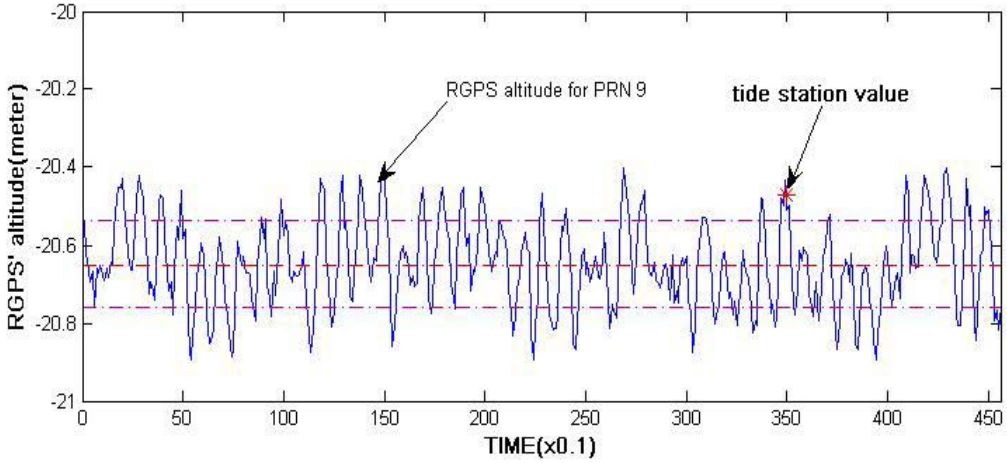


圖 3.9 RGPS 計算波浪水位與潮位站記錄水位比較圖

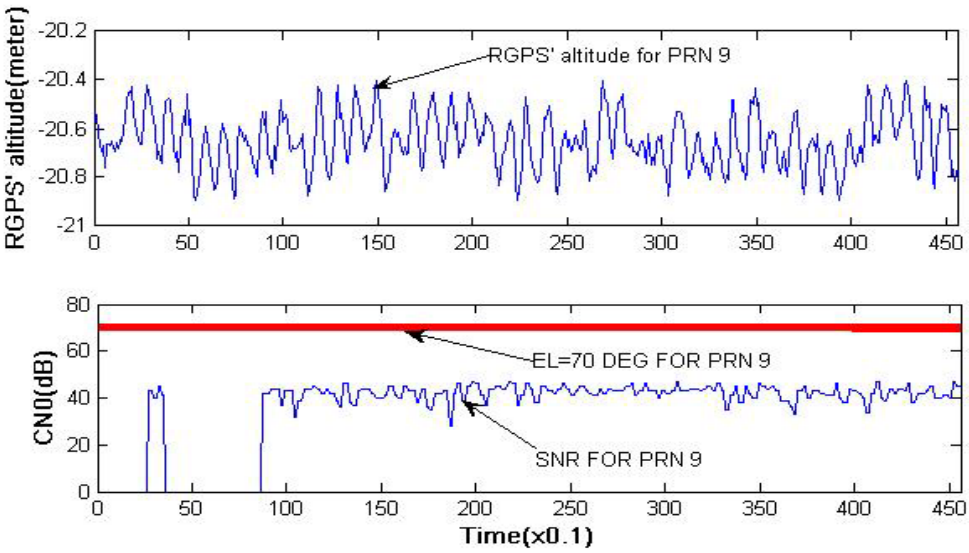


圖 3.10　PRN 9 之水面反射點高程及反射訊號強度值

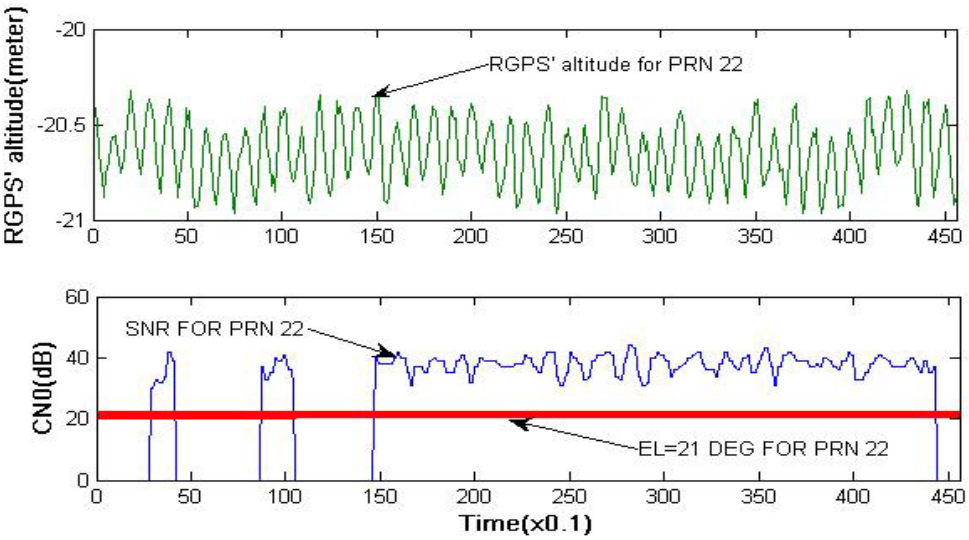


圖 3.11　PRN 22 之水面反射點高程及反射訊號強度值

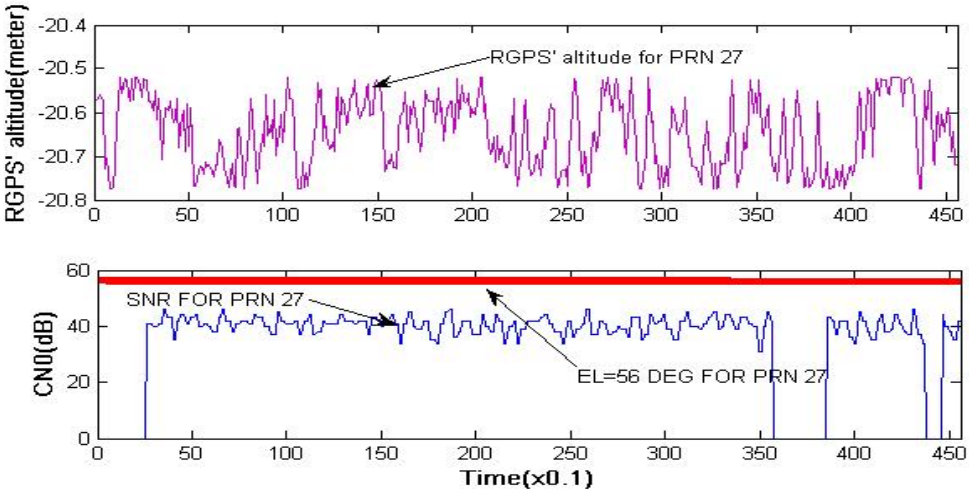


圖 3.12　PRN 27 之水面反射點高程及反射訊號強度值

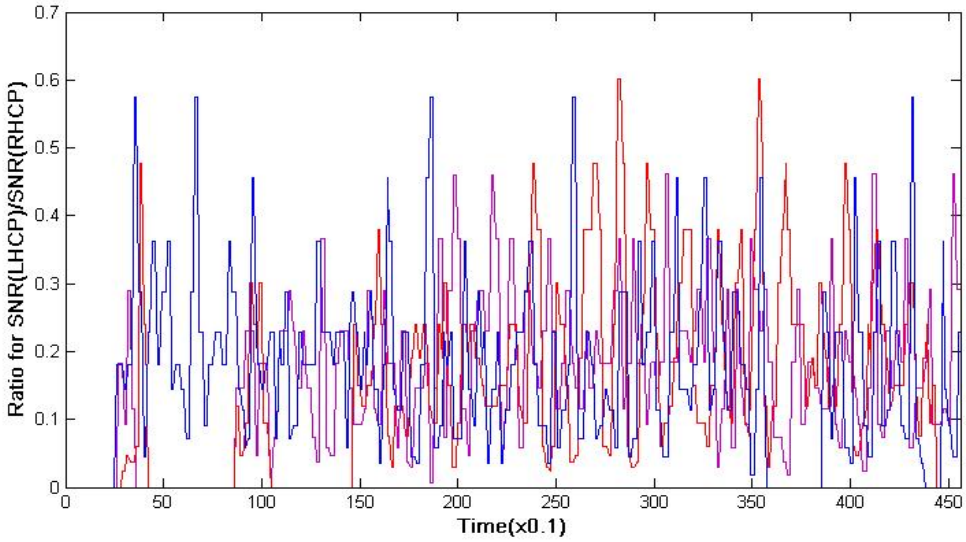


圖 3.13　PRN 9、PRN 22 及 PRN 27 反射訊號強度比值圖

由圖 3.10、圖 3.11 及圖 3.12 之 PRN 9、PRN 22 及 PRN 27 水面反射點高程值及反射訊號強度值。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出現無法順利接收訊號的情況發生。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，合理性也較高。

第四章 高雄柴山海域波浪量測

此次柴山試驗的目的在於進行海面現場大範圍之波浪量測，在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，原因是預測對 RGPS 實驗訊號的量測有良好的結果，因為在懸崖邊若遇到高角度仰角的衛星，仍然可以透過海水面反射得到反射訊號，而且因為靠近懸崖邊幾乎所有的反射訊號都會來自海面上，且此處視野廣闊量測的角度大於 200 度以上，實為量測之絕佳地點；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浪量測時，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)，有利於進行海面波浪觀測，且人員及接收儀位於室內不受天候影響，甚至可於颱風天進行量測，同時也有穩定電源提供。

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波浪之用。因此，若要長期觀測，在高雄柴山海域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堤頭 1200m 半徑之外海波浪與水位變化。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 半徑之外海波浪與水位變化。

配合天氣狀況避免大雨特報期間，本計畫在柴山海域波浪量測試驗於 99 年 8 月 11 日分別在高雄柴山海域兩處進行觀測。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波浪與水位變化；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堤頭 1200m 半徑之外海波浪與水位變化。試驗當天因天氣

預報候下午可能會出現午後雷陣雨，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，無天候上的限制顧慮，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，當天天氣為晴朗，所有工作人員於早上八點從台南成功大學出發，約九點半到達試驗目的地高雄柴山海域，立即前往本試驗第一觀測點:柴山道路之懸崖邊。首先先將載有儀器之箱型車停靠在靠近懸崖的馬路邊，如圖4.1所示，然後所有工作人員下車開始勘查當天試驗地點周遭環境情況。待試驗地點勘查完畢後，再將車內之儀器搬運至臨近懸崖邊之空曠場地。

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，工作人員一同協力扛起組裝完畢的儀器，緩慢的走向靠近觀測點的懸崖邊，之後開始進行儀器架設位置的放置，如圖4.4所示，組裝完畢之儀器架設於預先探勘之位置點上，如圖4.5所示，隨後工作人員也在後支援並分擔其儀器重量。但由於觀測地點選在懸崖邊，並無固定支撐儀器重量之地形地物，因此本試驗儀器模組利用大型物品加以輔助並利用繩索固定之，使儀器安穩地架設在懸崖峭壁旁。礙於訊號傳輸線的長度關係，電腦需放置在儀器架設處不遠之石塊平台上，但因試驗地點位於郊外，因此並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，為防止電腦過熱故利用雨傘當作遮蓋物，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需將RHCP/LHCP 天線、接收儀、筆記型電腦(NB)整合並確保正常運作。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，依據試驗時間與接收儀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，試驗儀器接收訊號與處理以及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，並持續以衛星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試驗結果並不理想，因為無法接收到穩定的GPS訊號。因此，至中午12點左右結束觀測，前往第二個觀測站，即海巡署高雄柴山安檢所，並於下午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

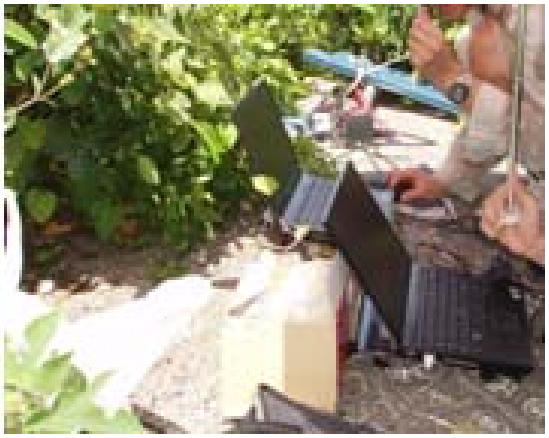


圖 4.6 GPS 接收直接與反射訊號示意圖

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) 整合並確保正常運作。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，試驗儀器接收與處理訊號以及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定，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，依據下載的資料檢視，有些部分呈現良好，有些部分還是有資料漏失情形，但試驗仍持續進行，直到下午五點左右試驗結束。

圖 4.7 評估儀器架設位置

圖 4.8 儀器架設

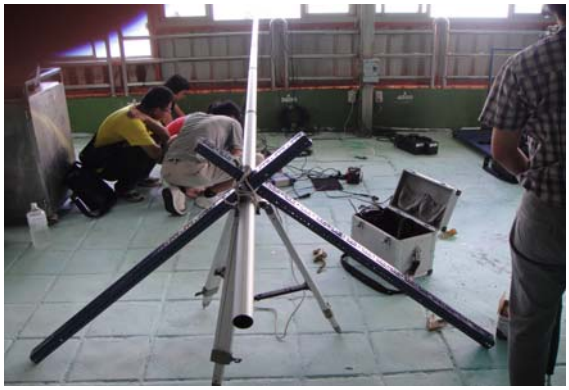


圖 4.9 安檢所內部作業示意圖

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

本計畫利用本所於高雄港海域設置之海象觀測站所記錄之波浪觀測資料與同時段之 RGPS 觀測值進行比較，以探討 RGPS 量測波浪之可行性。

高雄港海域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，故可同時提供示性波高(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設定為 2Hz，每小時取樣 2048 筆資料。本次試驗對照資料以 AWCP 波浪觀測資料中之示性波高比對 RGPS 量測之海水面資料。

圖 4.13 高雄港海象觀測站位置

由高雄港海域海象觀測站測得於試驗當時 16:15 時，示性波高約 1.4m，週期約 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，其餘大致相符，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。

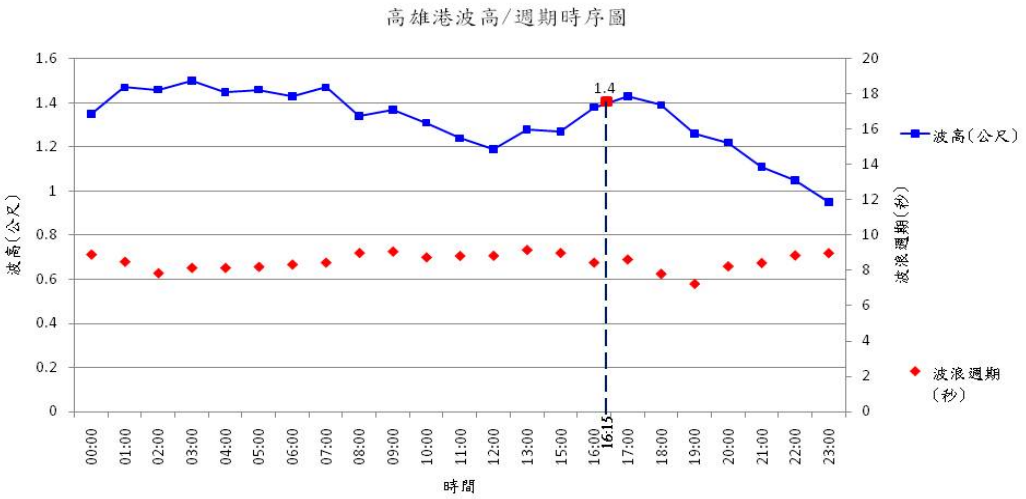


圖 4.14 高雄港海域波高及週期逐時圖

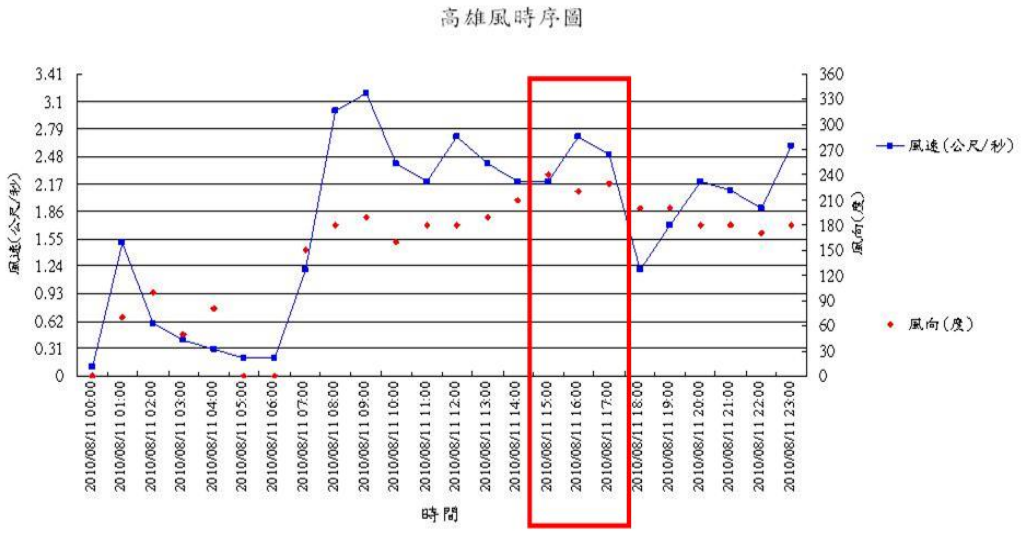
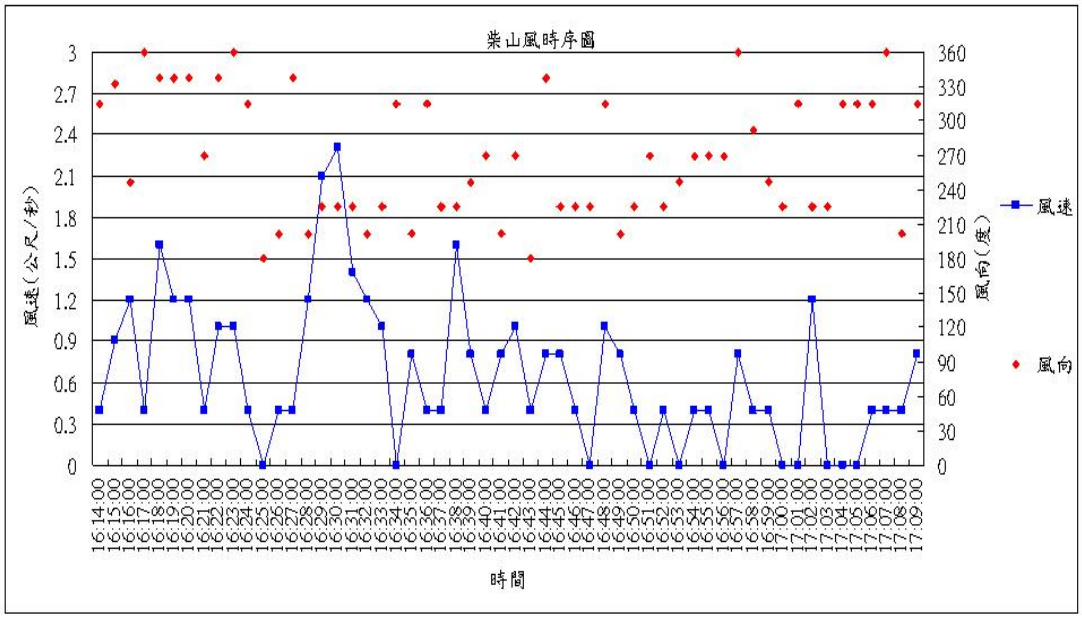


圖 4.15 中央氣象局高雄測站風時序圖



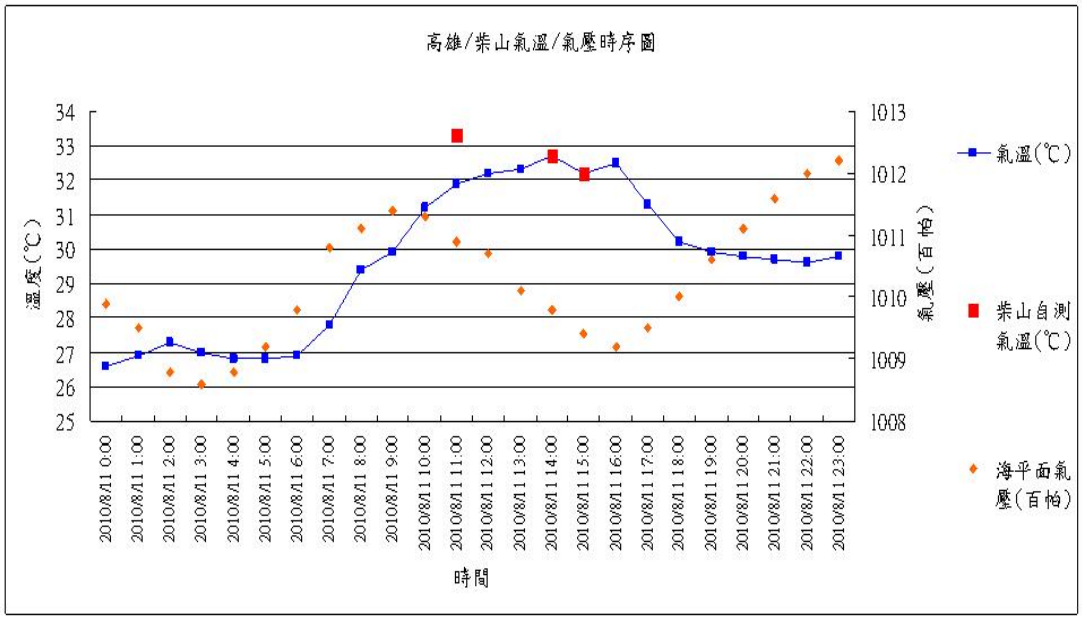
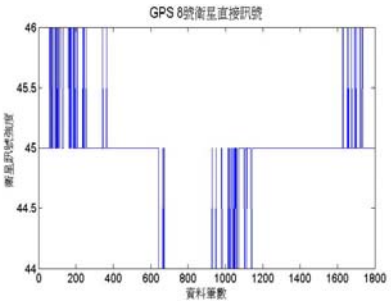


圖 4.16 高雄及柴山現場觀測氣象資料時序圖

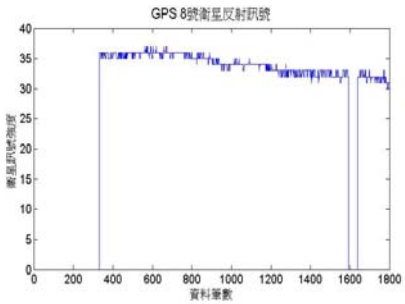
4.3 柴山海域波浪量測結果

4.3.1 GPS 直接與反射訊號觀測資料

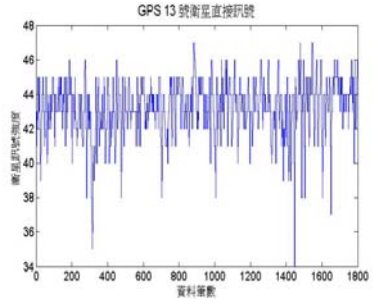
對於柴山附近海域的水位高度變化觀測，係以 10HZ 的頻率進行 GPS 之直接訊號與反射訊號接收。在 GPS 定位上分別鎖定編號 PRN 8、13、17、19 及 23 等五顆衛星，其直接與反射訊號強度變化分別如圖 4.17、4.18 所示。



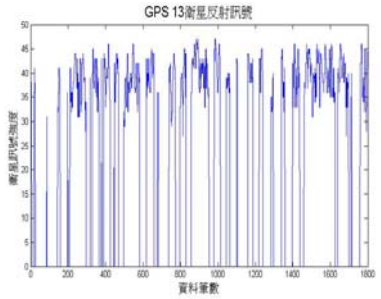
PRN 8 號衛星直接訊號



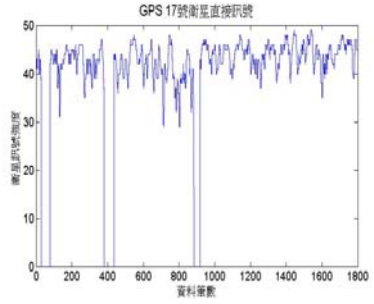
PRN 8 號衛星反射訊號



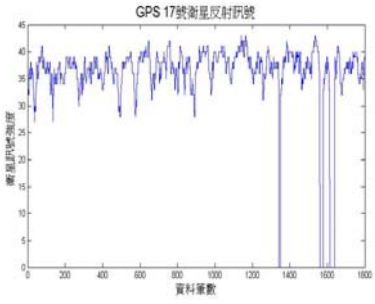
PRN 13 號衛星直接訊號



PRN 13 號衛星反射訊號

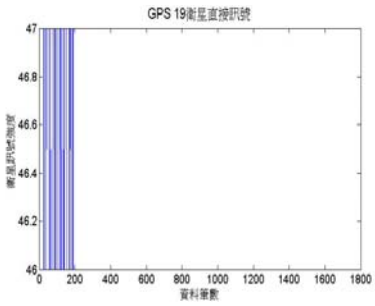


PRN 17 號衛星直接訊號

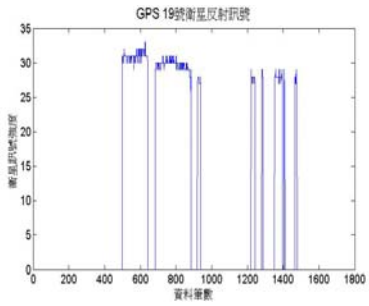


PRN 17 號衛星直接訊號

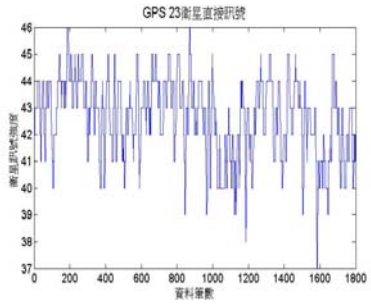
圖 4.17 柴山海面 GPS 直接與反射訊號強度變化(10Hz)



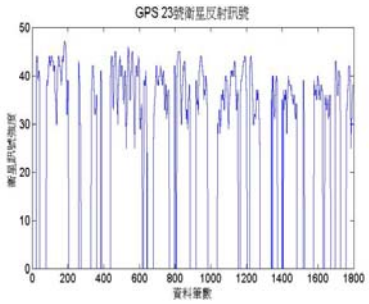
PRN 19 號衛星直接訊號



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變化(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，對解算座標的精確度與有效度，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。

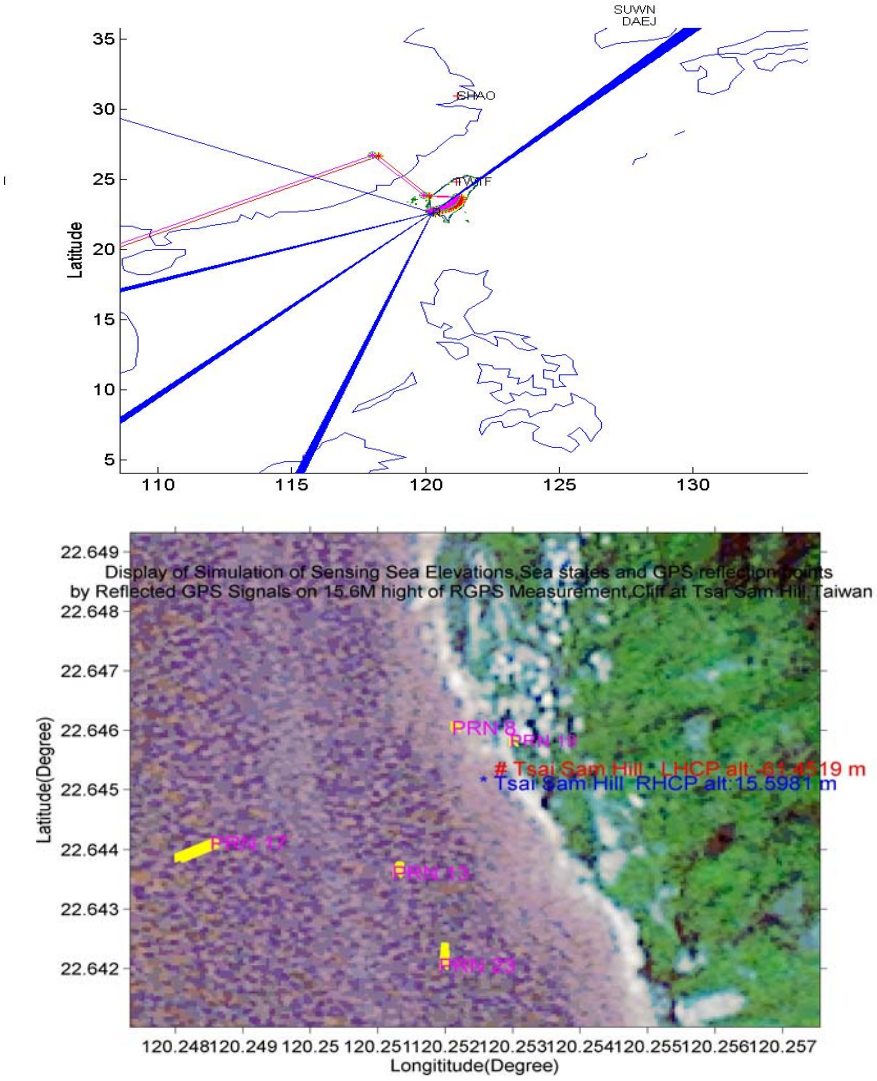


圖 4.19 柴山海面衛照圖與衛星訊號路徑(10Hz)

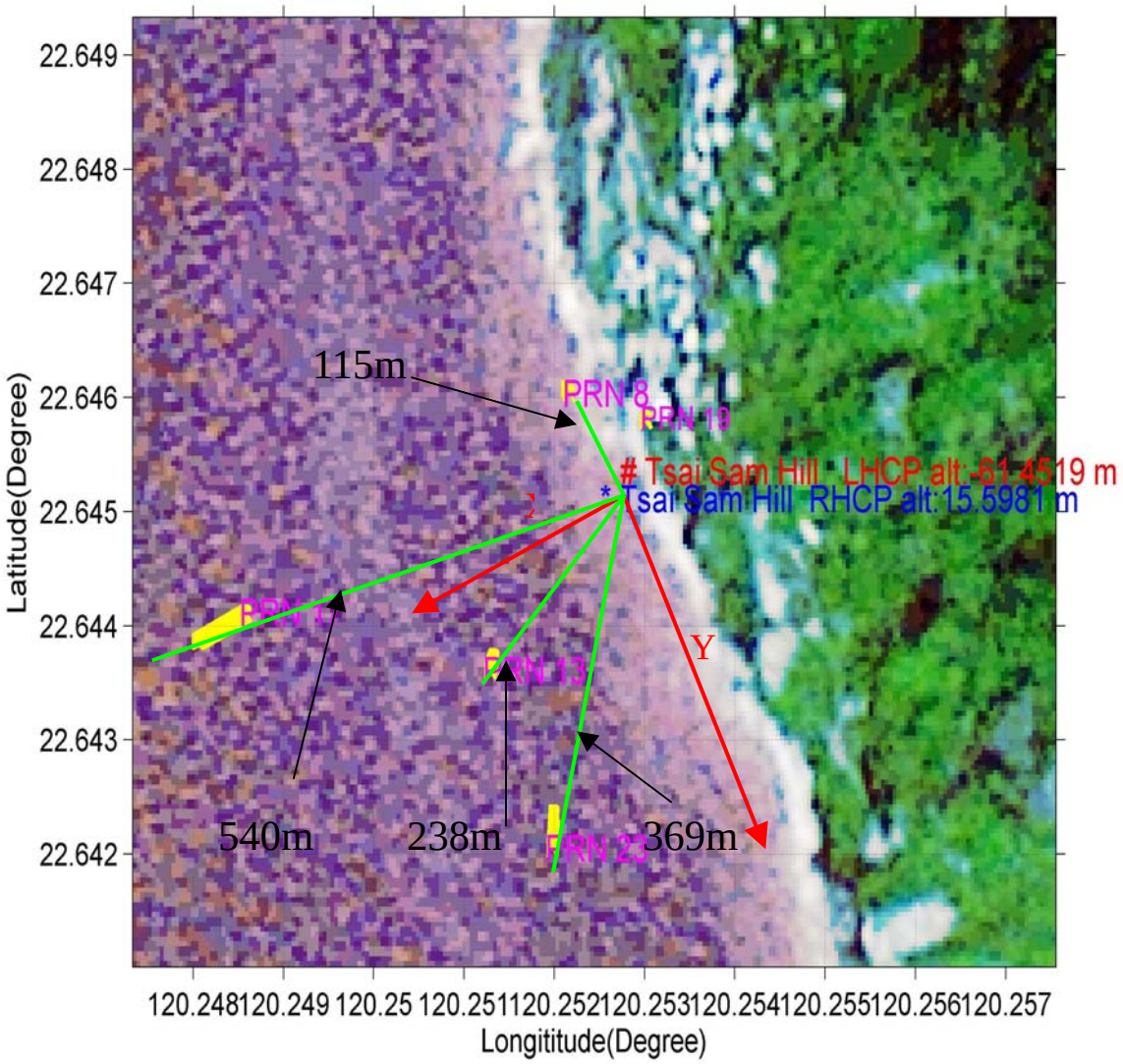


圖 4.20 PRN 反射點位置與 RGPS 天線位置關係圖

4.3.3 RGPS 計算柴山海域波浪與海象觀測資料結果比較

高雄柴山 RGPS 試驗量測海面水位係以 10HZ 的頻率進行 GPS 之直接訊號與反射訊號接收，接收時間 3 分鐘，總資料筆數 1800 筆，平均水位-24.68m，如圖 4.21 所示。

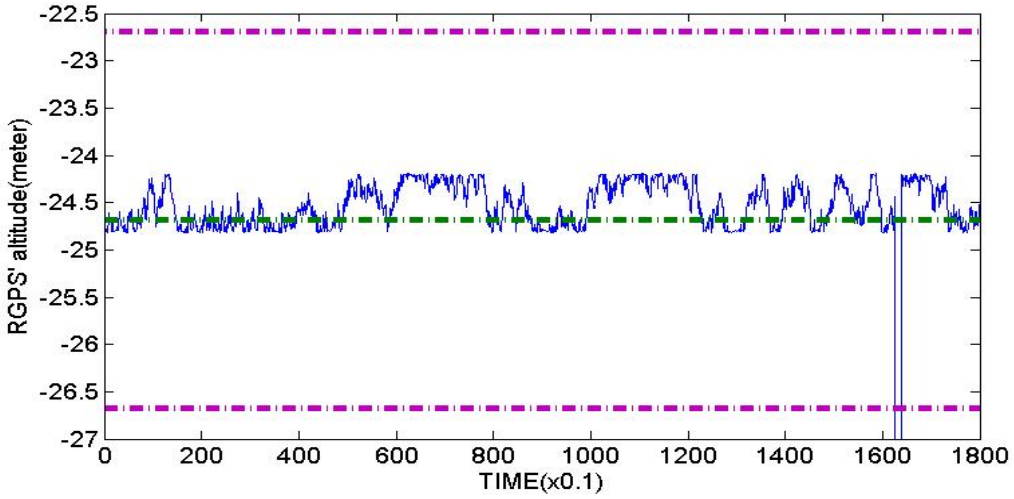


圖 4.21　RGPS 量測柴山海水面反射點高程值

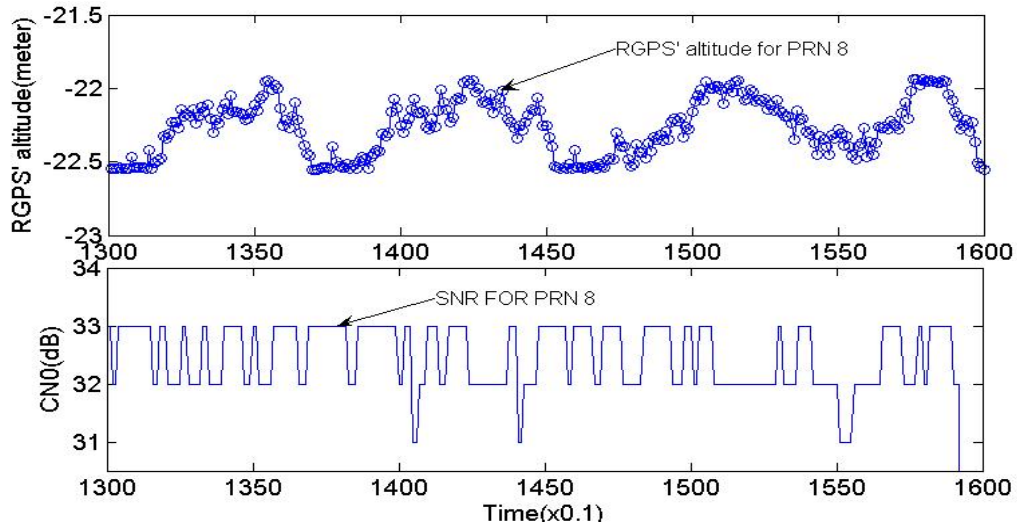


圖 4.22　PRN 8 水面反射點高程及反射訊號強度值(130 秒~160 秒)

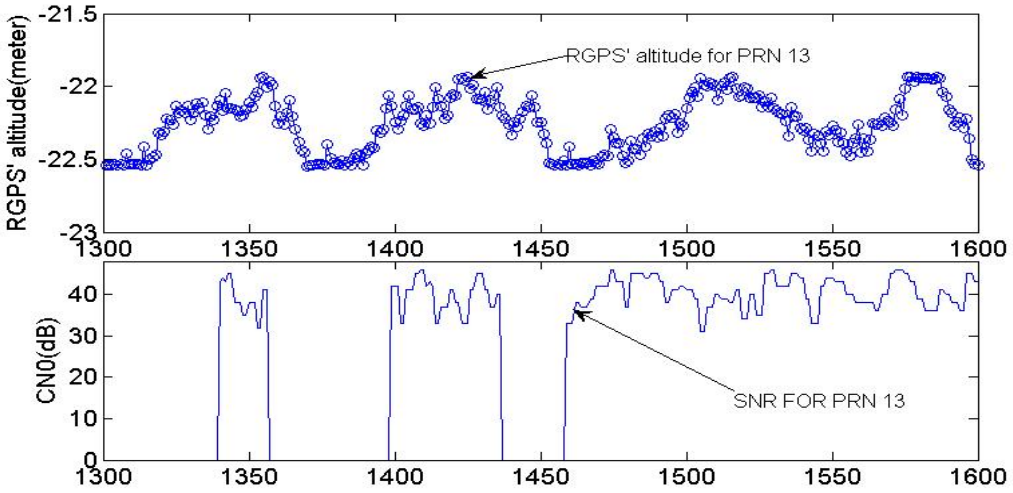


圖 4.23　PRN 13 水面反射點高程及反射訊號強度值(130 秒~160 秒)

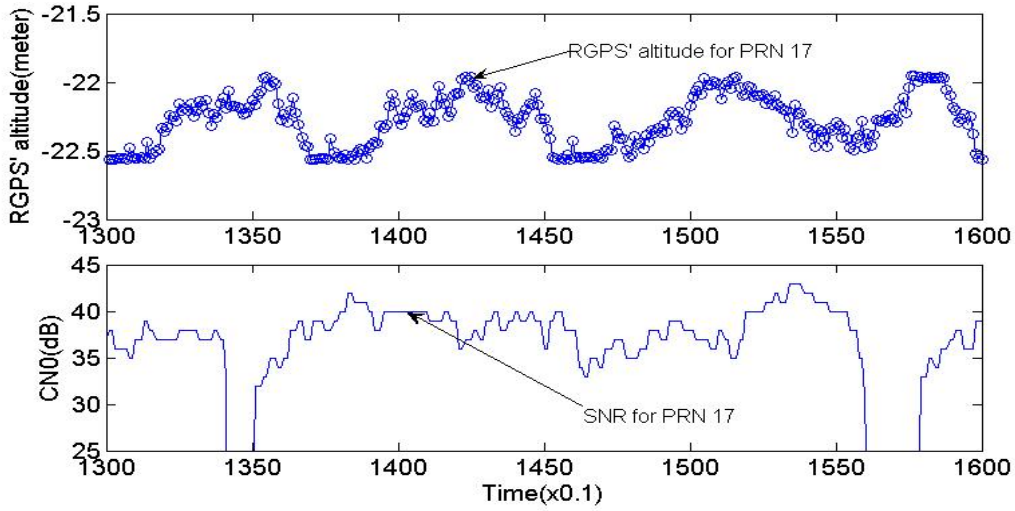


圖 4.24　PRN 17 水面反射點高程及反射訊號強度值(130 秒~160 秒)

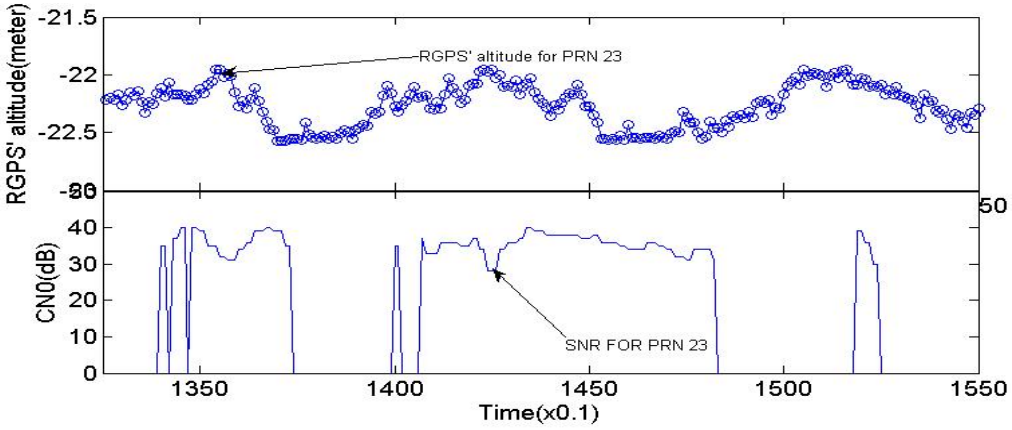


圖 4.25　PRN 23 水面反射點高程及反射訊號強度值(130 秒~160 秒)

由圖 4.22、圖 4.23、圖 4.24 及圖 4.25 之 PRN8、PRN13、PRN17 及 PRN23 水面反射點高程及反射訊號強度值，發現波浪週期約 7 至 8sec 與高雄港海象觀測站測得波浪週期相接近。PRN8、PRN13、PRN17 及 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，波高的量測因此受到影響，其精確度不太理想。

第五章 RGPS 水面反射點高程分析

5.1 水面反射點高程資料檢視

波浪量測之訊號必須穩定連續為基本條件，但根據第二、三及四章無論由斷面水槽或港內水域或寬闊海域之試驗結果，皆顯示 GPS 之直接訊號及反射訊號皆有接收不良而出現斷訊的情形，此對波浪之量測工作造成困難。目前為止對於訊號斷訊之原因尚未有清楚了解，因此也仍無具體之改善對策。不過由水面反射點高程資料檢視，其連續性及穩定性較佳，甚至無出現斷訊情形，此有利於波浪之量測與分析，如圖 5.1、圖 5.2 及圖 5.3。

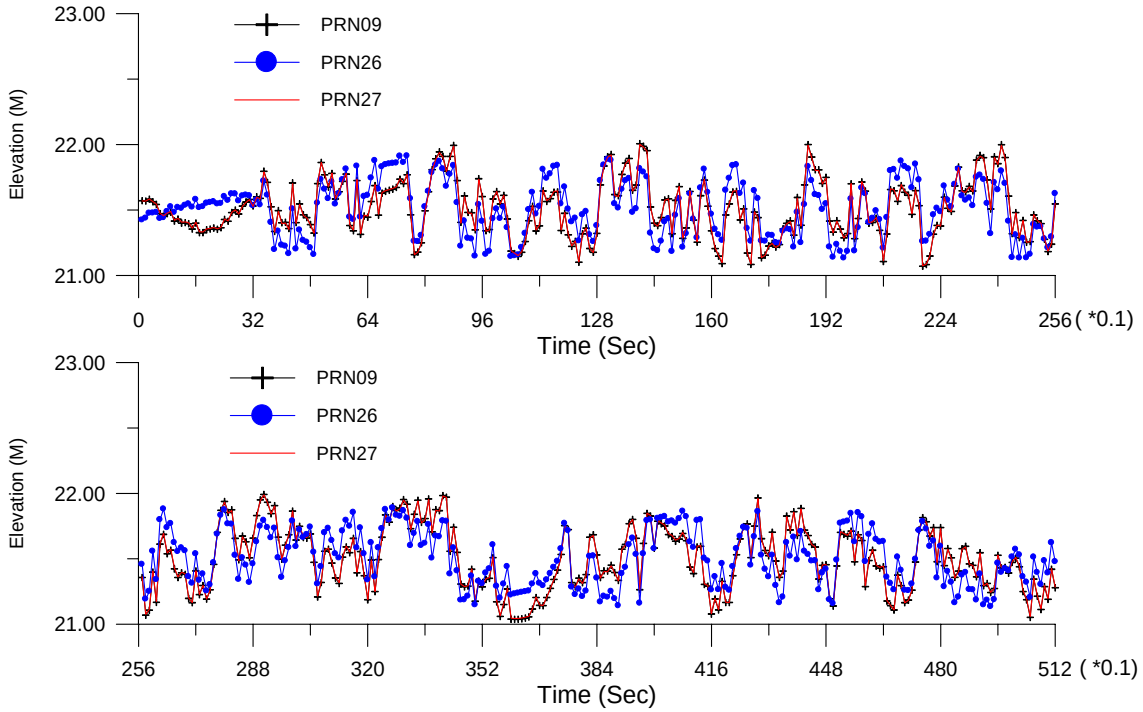


圖 5.1 斷面水槽試驗之水面反射點高程變化

由圖 5.1 顯示衛星編號 PRN09 及 PRN27 其水面反射點高程值非常接近，而編號 PRN26 之水面反射點高程則略有差異，不過整體變化趨

勢仍相當一致。但是此圖示資料為斷面水槽之規則波試驗之結果，故若將水面反射點高程視為波形似乎不合適，因為水面反射點高程之變化並沒有出現規則波之形狀趨勢。

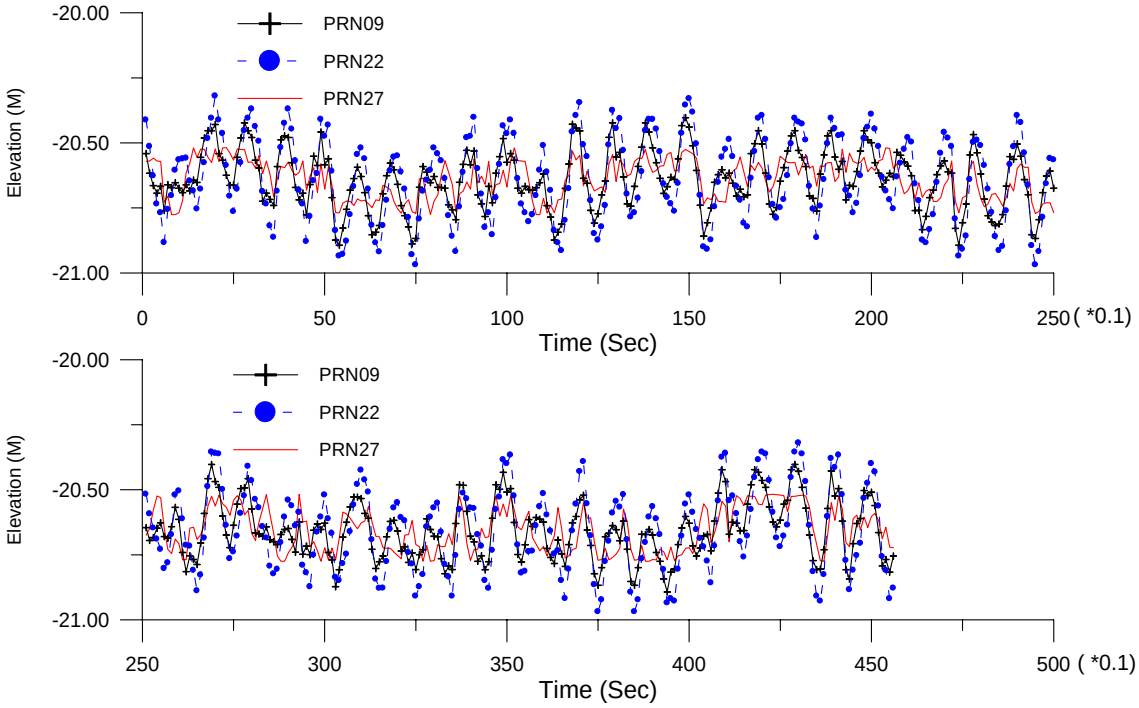


圖 5.2 安平港港內試驗之水面反射點高程變化

由圖 5.2 顯示在安平港港內之試驗中，衛星編號 PRN09 及 PRN22 其水面反射點高程值較接近，而編號 PRN27 之水面反射點高程則有明顯差異，不過整體變化趨勢與一般波浪之波形變化仍相當一致。事實上，港內試驗時是利用海巡署小艇來回行駛所產生之船波當作量測對象。在試驗過程中依小艇之船波在碼頭邊之目視觀察，發現其週期約 1sec 左右；波高則約 40cm 左右。經對照圖 5.2 之水面反射點高程變化趨勢，發現其呈現週期性之波動變化，且其週期也是接近 1Sec 左右；波高同樣約 40cm 左右。因此，在安平港港內之試驗結果顯示，水面反射點高程似乎可視為波浪之水位變化高程，此與斷面水槽試驗之情況不同。

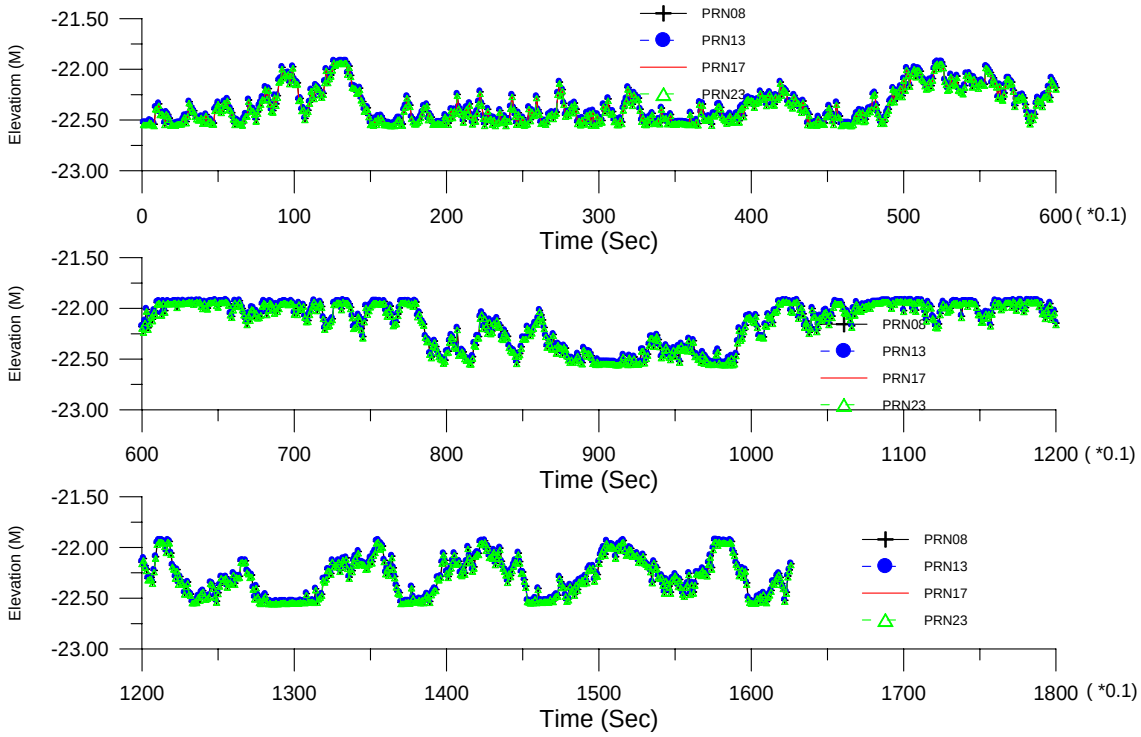


圖 5.3 高雄柴山海域試驗之水面反射點高程變化

由圖 5.3 顯示在高雄柴山海域之試驗中，衛星編號 PRN08、PRN13、PRN17 及 PRN23 其水面反射點高程值非常接近，幾乎無法分辨其差異。不過水面反射點高程似乎無法視為波浪之水位變化高程，因為除 130sec 至 160sec 之時段似乎有一般波浪之波動變化出現外，其他時段沒有明顯之週期性波動出現，此與安平港港內試驗之情況又不同。究竟水面反射點高程是否可視為波浪之水位變化高程？是本研究欲釐清之重點之一。因此，本章將針對水面反射點高程值進行分析。分析方法為傳統之向上零切個別波分析及頻譜分析兩種。

5.2 水面反射點高程向上零切分析

利用傳統之波浪個別波觀點，以向上零切法分析水面反射點高程，求得個別波之波高與週期，並經統計分析求得最大波、示性波及

平均波等資料，如表 5.1。

表 5.1 水面反射點高程之個別波統計值

觀測站位置	衛星編號	最大波		示性波		平均波	
		波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)
斷面水槽	PRN09	0.817	2.878	0.748	2.010	0.604	1.506
斷面水槽	PRN26	0.725	1.498	0.659	1.496	0.570	1.452
斷面水槽	PRN27	0.807	1.784	0.741	1.788	0.602	1.404
安平港港內	PRN09	0.455	1.255	0.374	1.152	0.304	1.067
安平港港內	PRN22	0.608	1.102	0.491	0.993	0.420	0.997
安平港港內	PRN27	0.257	1.212	0.237	1.505	0.220	1.557
高雄柴山	PRN08	0.619	8.867	0.511	5.125	0.411	4.891
高雄柴山	PRN13	0.620	8.865	0.511	5.125	0.411	4.890
高雄柴山	PRN17	0.622	8.871	0.511	5.126	0.411	4.891
高雄柴山	PRN23	0.624	8.876	0.511	5.126	0.412	4.890

由上表中在斷面水槽之試驗結果，顯示其示性波高約 0.74m；週期約 1.8~2.0sec，此與造波設定條件波高 0.6m；週期 5sec 相較，在波高有略大而週期則明顯偏小許多的情形。此外衛星編號 PRN26 之波高與週期皆比衛星編號 PRN09 及 PRN27 為小，而衛星編號 PRN09 及 PRN27 之波高及週期則相當接近。換言之，依據不同之衛星訊號求算會有不同之波高及週期。

同樣由上表中在安平港港內之試驗結果，顯示其示性波高約 0.49~0.24m；週期約 1.0~1.5sec，此與試驗過程中依小艇之船波在碼頭邊之目視觀察其週期約 1sec 左右；波高則約 0.4m 左右，兩者皆近。不

過衛星編號 PRN27 相較於 PRN09 及 PRN22 其波高偏小而週期偏大，此顯示同樣出現依據不同之衛星訊號求算會有不同之波高及週期的情形。若將這 3 顆衛星的結果平均後波高約 0.37m；週期為 1.22sec，此與目視結果相當接近。

由上表中在高雄柴山之試驗結果，顯示其示性波高為 0.51m；週期為 5.12sec，不同衛星其結果皆相同，其原因為各衛星之反射點高程變化非常接近幾無差異，如圖 5.3 所示。然這與上述依據不同之衛星訊號求算會有不同之波高及週期的情形不一樣，這顯示利用 RGPS 量測波浪時有衛星選擇上的不確定性，此對實際應用會造成困擾。經對照高雄港海域海象觀測站測得試驗當時，示性波高約 1.4m；週期約 8.5sec，之結果(如圖 4.14)，顯示在高雄柴山之試驗中，利用水面反射點高程計算所得之波高及週期皆明顯偏小。

5.3 水面反射點高程頻譜分析

上一節是利用個別波分析法以向上零切計算波高及週期，本節則另用頻譜分析的方法來檢視水面反射點高程之變化特性，並利用下式分別計算示性波高及週期

$$H_{1/3} = 4.0\sqrt{m_0} \quad \text{.....(5.1)}$$

$$T_{1/3} = 1/1.05f_p \quad \text{.....(5.2)}$$

m_0：頻譜零階動差

f_p：尖峰主頻率

斷面水槽試驗之各衛星水面反射點高程頻譜，如圖 5.4 所示。上圖橫坐標為頻率；下圖為週期。

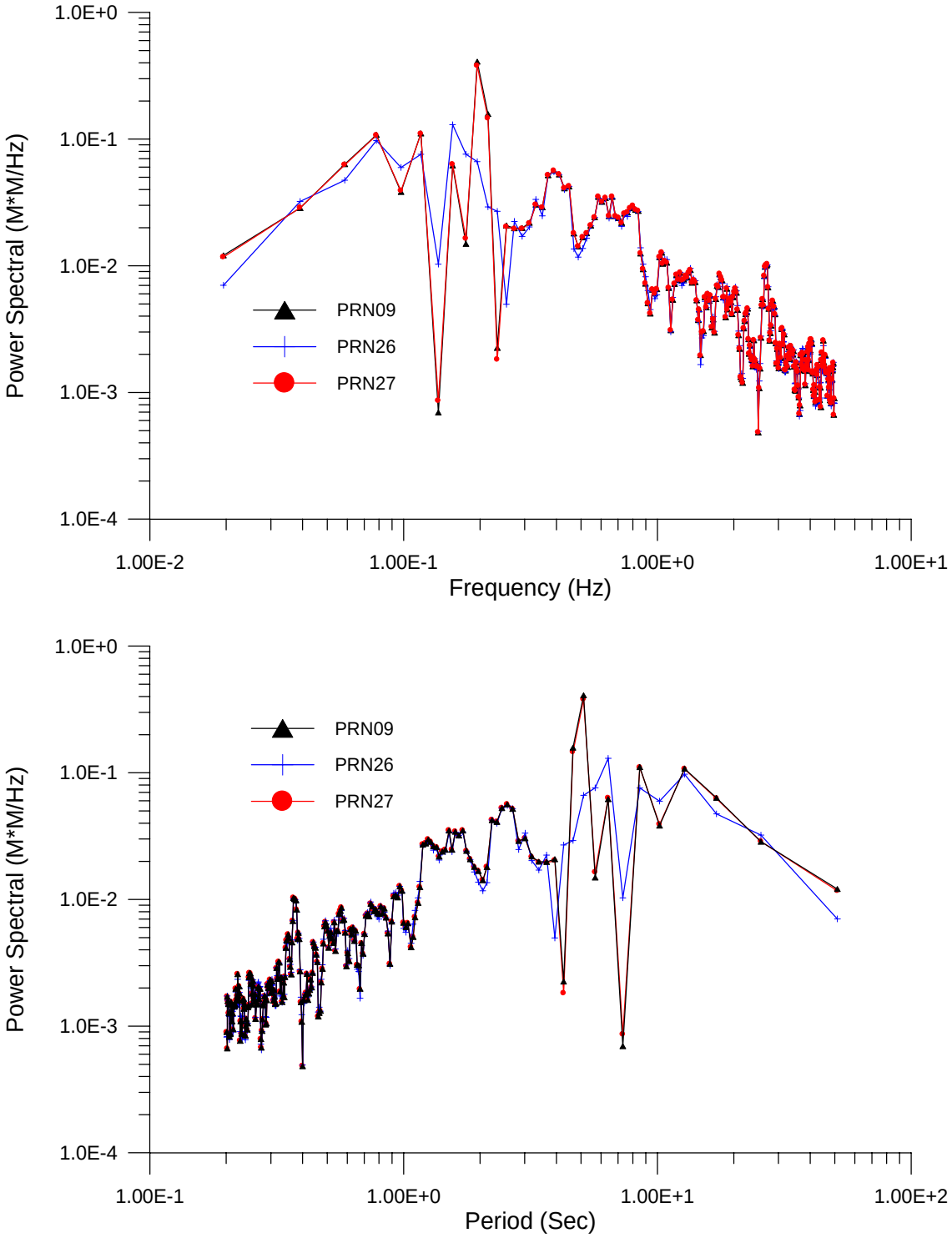


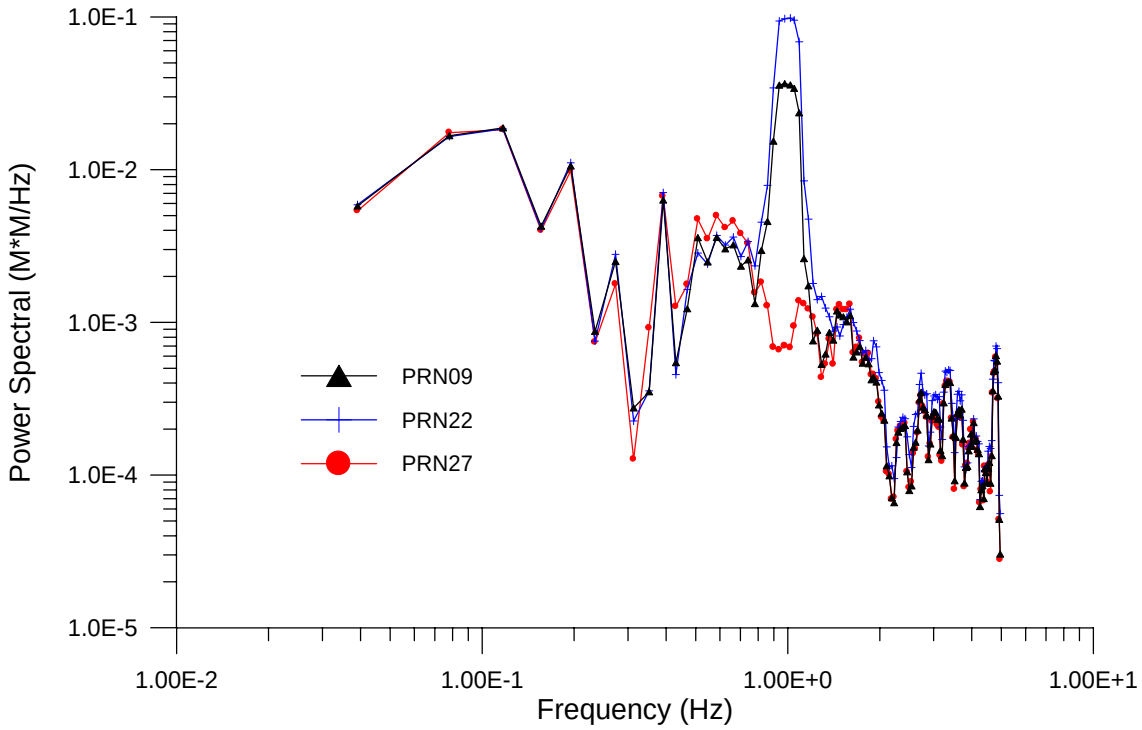
圖 5.4 斷面水槽試驗之各衛星水面反射點高程頻譜

檢視圖 5.4 發現衛星編號 PRN09 及 PRN27 之頻譜非常相似，而衛星編號 PRN26 則略有不同，尤其是在低頻區域。大致而言頻譜形狀與一般之波浪頻譜相似，尖峰主頻率約 0.2Hz(對應週期約 5sec)，依(5.1)式計算 PRN09、PRN26 及 PRN27 之示性波高分別為 0.91m、0.84m 及 0.90m；依(5.2)式計算示性週期分別為 4.76sec、6.12sec 及 4.76sec。衛星編號 PRN09 及 PRN27 之計算結果與造波設定條件波高 0.6m；週期 5sec 相較，波高略大而週期則些微偏小。與向上零切法分析結果比較，頻譜分析方法對週期的計算結果較佳。

安平港港內試驗之各衛星水面反射點高程頻譜，如圖 5.5 所示。上圖橫坐標為頻率；下圖為週期。

檢視圖 5.5 發現衛星編號 PRN09 及 PRN22 之頻譜非常相似，而衛星編號 PRN27 則略有不同，尤其是在主頻區域，這和斷面水槽試驗在低頻區域出現差異不同。然大致而言頻譜形狀仍與一般之波浪頻譜相似，尖峰主頻率約 1.0Hz(對應週期約 1sec)，依(5.1)式計算 PRN09、PRN22 及 PRN27 之示性波高分別為 0.44m、0.64m 及 0.30m；依(5.2)式計算示性週期則分別為 0.97sec、0.93sec 及 8.14sec。衛星編號 PRN27 之尖峰主頻不明顯，因此其示性週期雖達 8.14sec 但不具代表性。因此，除衛星編號 PRN27 外，此計算結果與試驗過程中依小艇之船波在碼頭邊之目視觀察其週期約 1sec 左右；波高則約 0.4m 左右相較則相當接近。依安平港港內試驗而言，頻譜分析對波高、週期的計算結果與向上零切分析比較，兩種方法差異不大。

高雄柴山試驗之各衛星水面反射點高程頻譜，如圖 5.6 所示。上圖橫坐標為頻率；下圖為週期。



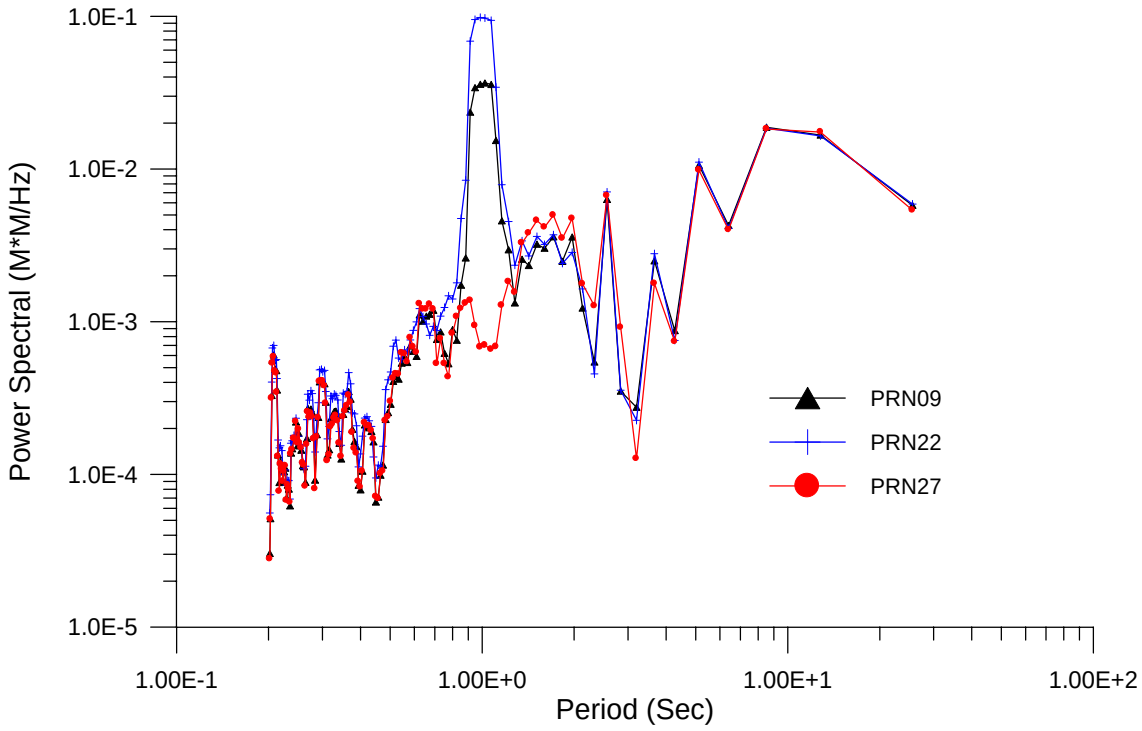
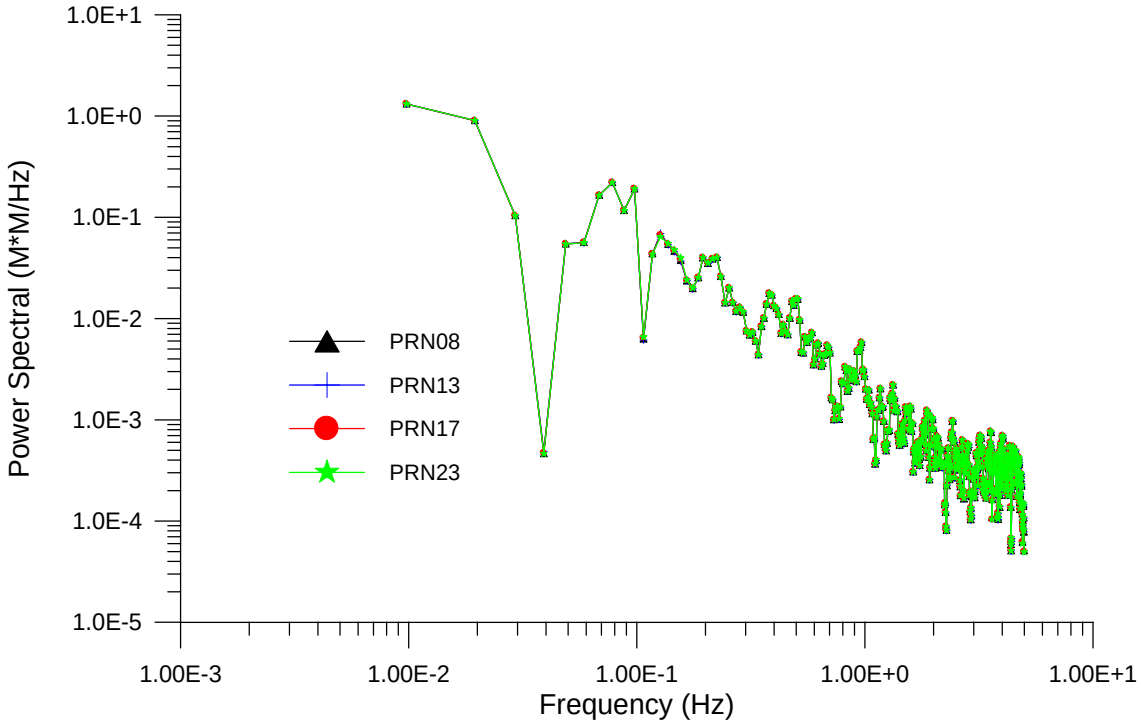


圖 5.5 安平港港內試驗之各衛星水面反射點高程頻譜



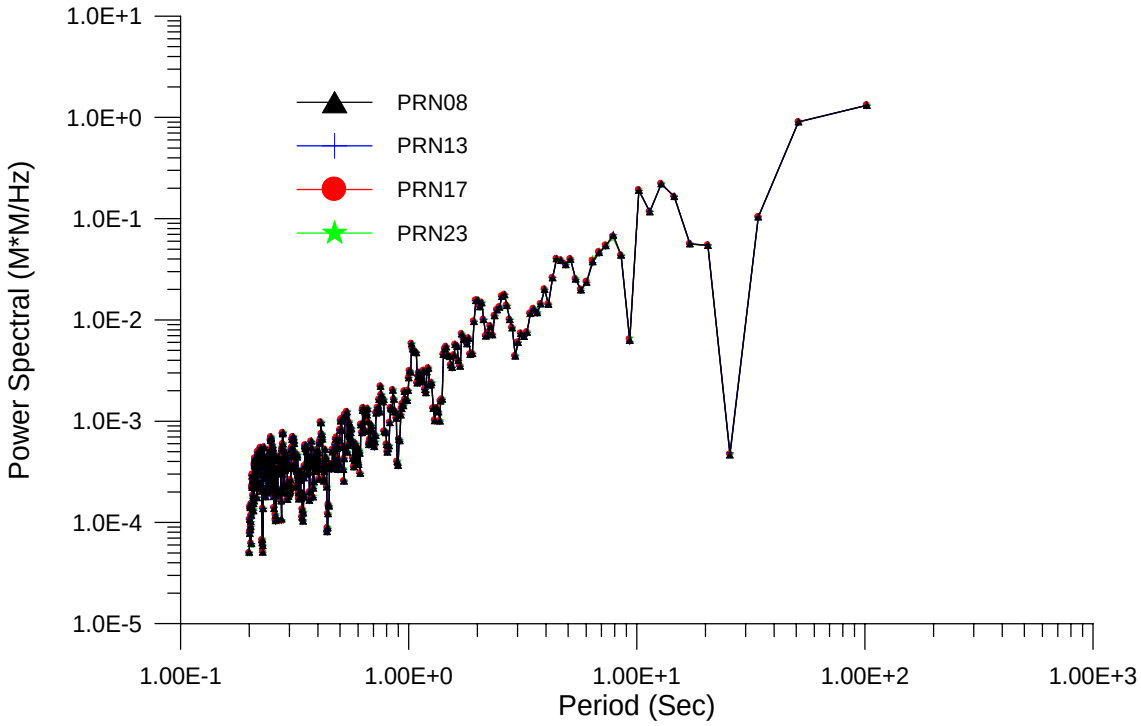


圖 5.6 高雄柴山試驗之各衛星水面反射點高程頻譜

檢視圖 5.6 發現衛星編號 PRN08、PRN13、PRN17 及 PRN23 之頻譜非常相似，其原因為各衛星之反射點高程變化非常接近幾無差異。因此，依(5.1)式計算示性波高及依(5.2)式計算示性週期，在不同衛星間也就幾乎相同，計算結果為波高 0.83m、週期 97.5sec。不過由波譜之尖峰主頻不明顯，因此其示性週期雖達 97.5sec，但不具代表性，同時頻譜形狀與一般之波浪頻譜也不相似。與高雄港海域海象觀測站測得試驗當時，示性波高約 1.4m；週期約 8.5sec 之結果相較有明顯差異。

第六章 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及水位之量測值。試驗工作包括(1)在成大臺南水工所大型斷面水槽以訊號接收頻率為 10Hz 進行規則波波浪之量測;(2)在安平港港內潮位站附近進行港內波浪及水位量測，並以船隻通過時所造成之船波波浪來代替海面波浪;(3)在高雄港柴山附近之海巡署安檢所進行較大海面範圍的波浪量測。分析工作包括(1)利用向上零切個別波分析及(2) 頻譜分析分別檢視水面反射點高程之變化特性並計算其波高與週期。本研究初步獲致結論與建議如下:

6.1 結論

1. 斷面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，造波機造波設定條件週期分別為 2sec、4sec、5sec 及 6sec 與波高為 0.6m 之規則波。其中週期 2sec 與 4sec 之試驗 RGPS 接收不理想，研判可能是因 LHCP 天線(即接收 RGPS)架設降低到距水面僅 1.2 m，而造波機造出之波高達 0.6m，訊號之接收可能受水面之起伏而發生遮蔽影響，不利 GPS 反射訊號之穩定持續接收。

2. 斷面水槽中規則波波高 0.6m 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，其吻合度有所提升。

3. 由衛星訊號強度分析，發現量測所得之波形與衛星位置仰角有關。例如衛星 PRN 26，衛星位置仰角 47.8 度，接收之衛星訊號強度波形與波高計紀錄頗為相似，但同一試驗衛星 PRN 09 位置仰角為 68 度，其訊號強度波形與波高計紀錄，則看不出相關性，研判可能是因仰角太大所致。因此，衛星位置仰角在 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順利接收，反而有利於波形的量測。本試驗所分析出的波形結果較為完整，已可合理量測出海面水波之波形。

5. 在高雄柴山附近的海巡署安檢所進行大範圍海面波浪量測，因天線架高離海面 30m，故可觀測的海面範圍可擴大到 1000m 左右。量測結果與高雄港海象觀測站之監測結果比較，也有合理的結果。

6. 在同一試驗不同衛星之水面反射點高程值變化有時非常接近；有時卻差異很大，其原因目前仍待再深入分析。此外水面反射點高程值變化趨勢與波浪之水位變化高程有時相近；有時有明顯差異，而這些差異對於實際應用將出現困擾。

7. 水面反射點高程記錄與反射波強度值資料相較有較佳之穩定性及連續性，較符合波浪量測之基本條件。不過根據不同試驗結果發現，水面反射點高程仍無法確認可直接或間接視為波浪之水位變化高程。

6.2 建議

1. 由於 RGPS 技術不是每一顆衛星之反射點軌跡(foot print)，對波浪都有理想之監測能力，因此若能在衛星選擇與量測時間做一妥善規劃，試驗歸納出衛星高度與方向對波形量測之影響關係，應可獲得較理想之成果。

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，篩檢出真實之波浪成分。

3. 衛星訊號強度之波形與水波波形可能具某種關係，此應深入研究。若能正確推估何種衛星接收天線高度對反射波接收穩定性及連續性最佳，則其應用價值可再提升。

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、曾清凉、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：fc ± 30 MHz25 (min)

fc ± 50 MHz30 (min)

fc ± 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°<Q <90°為-1.5 dBic (L1)及-1.5 dBic (L2)

5°<Q <20° 為-5.5 dBic (L1)及-3.5dBic (L2)

0°<Q < 5° 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) 左弦天線(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

GPS 雙頻接收儀

(3) 大地測量型雙頻接收儀

(L1/L2 雙頻 GPS 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

Tmperature range:

Operating:0° to 40°C

Storage: $-10^{\circ}C$ to $65^{\circ}C$

筆記型電腦

附錄Ⅱ

期末報告審查意見及辦理情形說明表

交通部運輸研究所港灣技術研究中心

第三科 99 年度自辦研究計畫

「GPS 之波浪量測應用研究(2/4)」**期末審查會議紀錄**

壹、時間：民國 100 年 3 月 2 日（星期三）下午 1 時 30 分

貳、地點：本所港研中心 2 樓會議室

參、主持人：港研中心　簡科長仲璟　　紀錄：劉清松

肆、出席單位及人員：

審查委員：	
海下技術學會　梁乃匡教授	梁乃匡
交通大學　郭一羽教授	郭一羽
建國科技大學　黃清和教務長	黃清和
臺灣海洋大學　蕭松山教授	蕭松山
成功大學水工試驗所　江文山博士	江文山
本所港研中心：	
簡仲璟科長	簡仲璟

伍、主席致詞：略。

陸、計畫主持人簡報：略。

柒、各委員綜合評論：

參與審查人員 及其所提之意見	處理情形
一、郭一羽委員 1. 本研究具有創新性，以往研究結果希望有所敘述。 2. 基礎的原理不做深入探討的話，對於量測的技術提升會有困難。 3. RGPS 適用於潮汐，對波浪也應有其可行性。多了解潮汐與波浪之特性的不同，有助於波浪的 RGPS 量測。	1. 將持續蒐集相關研究資料。 2. 後續將針對利用 RGPS 量測波浪之基礎原理作較深入之探討。 3. 遵照辦理。
二、江文山委員 1. 天線安裝位置太近水面，建議不應列為結果不佳之原因。 2. P.2-4~2-5 文中說明造波條件為規則波，然圖中看不出其符合規則波之特性。 3. P.3-8 文中說明此部份重點為驗証施測潮位之功能，然資料記錄時間只有 46 sec，應該延長 4. P.3-3 圖中 Y 軸的定義，請說明。 5. 建議針對 RGPS 訊號進行長時間收錄分析，充分掌握其變化特性。	1. 當 RGPS 之接收天線位置若過於接近水面時，則訊號可能被水波阻擋而妨礙訊號之順利接收。 2. 經檢視可能受水槽反射波之影響。 3. 後續試驗時將延長時間。 4. 遵照辦理。 5. 遵照辦理。
三、黃清和委員 1. 思維改變帶動文明之進步，波浪量測方法思維之改變，值得肯定。 2. 量測技術之創新，技術研發有賴量測品質之驗証以及可信賴度，惟研究報告中諸多驗証事項，均無法利用科學方法加以確認，即存在著許多不確定性，研究成果有待進一步驗証。 3. 波浪特性除波高、週期、波向以及水位	1. 感謝。 2. 後續研究將加強量測資料之驗證工作。 3. 本計畫目前成果未完全符合預定目標，其所

變化等，必須取決於衛星種類之選定，GPS 設置地點等影響，致研究成果無法達到預期目標。 4. 在實務應用上，尚有待進一步研究。 5. 研究主題具有創新性，惟研究成果與預期尚有段距離。	遭遇作業困難及技術瓶頸也尚無合適之解決方法或因應對策。因此，本計畫自下年度(100 年)起暫停執行。 4. 目前成果離實際應用仍有一段距離。 5. 本計畫將暫停執行。
四、梁乃匡委員 1. 本計畫的研究目標具有前瞻性，雖然尚無可以實用的成果，但研究結果仍有參考價值。 2. 與本計畫相關有另一委外合作計畫，為反應真實情況，應在期末報告中加上相當適宜文字。 3. 如無急迫性，本計畫可以暫停。	1. 感謝。 2. 遵照辦理。 3. 同意。
五、蕭松山委員 1. 斷面水槽試驗之波浪週期為 2~6 sec，其中 2.4 sec RGPS 量測效果不佳，另異常氣象之波浪週期一般較長，建議 RGPS 量測波高之適用性，範圍宜加強說明。 2. 安平港內試驗採用目視觀察決定波高、週期其正確性，應再確認。 3. 不同衛星訊號求算所得的波高、週期不一致，尤其是週期，此 RGPS 測波高之技術如何突破有待進一步研究探討。 4. P1-3 圖 1.1 測試範圍 2km 建議以面積表示。	1. 由目前之初步成果顯示 RGPS 量測長週期之波動(如潮汐)效果較佳；但對於較短週期之波動(如風波)效果不佳。其原因後續應可再深入研究，以釐清其應用範圍。 2. 受限於經費，目前安平港港內之波浪由具經驗之觀測人員以目視方式作估計。 3. 在波高量測上尚未獲得具體成果前，暫不考慮週期量測。 4. 遵照辦理。改為 2km*2km。
六、主席裁示： 審查委員所提意見，請參考列入計畫之報告完稿修訂辦理。所提建議納入後續研究計畫參酌。	

捌、散會。

附錄Ⅲ

期末簡報資料

九十九年度科技計畫期末審查
計畫編號：MOTC-IOT-99-H3DA002

GPS之波浪量測應用研究（2/4）

報告人：簡仲璟 科長
梧棲，台中　2011/03/02

GPS之波浪量測應用研究

研究期程：98/01~101/12　　研究經費：1,250仟元(99年度)
研究人力：李俊穎、簡仲璟、李兆芳、曾清涼、沈立忠

簡報大綱

壹、計畫目的
貳、分年目標及上一年度審查意見
參、年度工作項目及執行內容
肆、工作執行成果
伍、結語及後續工作項目

GPS之波浪量測應用研究

壹、計畫目的

目前GPS均為接收直接訊號並用於各種定位應用，其定位精度可達公分，甚至公厘等級。唯近幾年來，由於GPS反射訊號具極佳的機動性且可以提供大範圍、高頻率、近似即時性、長期觀測、低成本的遙測資訊，故分析GPS的反射訊號（Reflected GPS signal, RGPS）用以遙測地表資訊的技術逐漸受到重視。

應用GPS直接訊號和反射訊號進行波浪水位觀測，藉以建立另一種在實驗室中或對實際海面可行的波浪水位量測技術。

GPS之波浪量測應用研究

貳、分年目標及上一年度審查意見

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對海面水位量測的適用性。

2. 99年度計畫包括(1) 提昇RGPS訊號接收頻率爲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及水位觀測。(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波浪及水位。

GPS之波浪量測應用研究

貳、分年目標及上一年度審查意見

審查委員意見	處理情形
1.報告中對波高誤差有詳細評估，然週期部分則未說明，建議納入。	1.目前以GPS反射訊號量測波浪，先比較波高之量測精度，後續將進一步探討週期部分。
2.惡劣天候的現場資料是應用上重要的資訊，建議規劃惡劣天候測試，了解其相關特性。	2.利用GPS反射訊號量測波浪，於實際使用時之環境條件限制，將在99年度進行探討，並與傳統觀測方式作優劣比較。

GPS之波浪量測應用研究

貳、分年目標及上一年度審查意見

審查委員意見	處理情形
3.Noise的處理很重要，要能辨別水波和電磁波。	3.目前計畫執行中確實發現反射訊號中的雜訊有效處理是成功量測的重要條件。初步試驗結果顯示水波和電磁波是可以分辨。
4.潮汐的時間變化與波浪的時間變化不同，其與衛星移動的關係需要釐清。	4.後續工作中將對量測期間之衛星移動對量測結果之影響作深入釐清。

GPS之波浪量測應用研究

貳、分年目標及上一年度審查意見

審查委員意見	處理情形
5.應深入了解為何某一衛星的測波效果比較好。另應朝斜向觀測海面波浪作實驗。	5.進行更多的量測試驗，以比較不同衛星間之差異。99年度將於高雄柴山架設斜向觀測訊號接收天線。
6.建議是否以量測訊號（LHCP）之能譜或其它參數，研究轉換為水面變化能譜或其它參數，再轉換為波高。	6. 遵照辦理。後續將針對GPS反射波能譜轉換為波浪能譜之轉換函數進行探討。

GPS之波浪量測應用研究

參、年度工作項目及執行內容

1.持續研究更新RGPS接收系統及訊號計算處理程式。

2.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訊號接收頻率爲10Hz) 。

3.在安平港內選擇適當位置進行，利用港警所快艇來回造波進行海面波浪觀測(確認GPS訊號接收頻率爲10Hz) 。

4.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範圍內的海面波浪及水位。

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 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)

9

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測

RGPS波浪量測配置

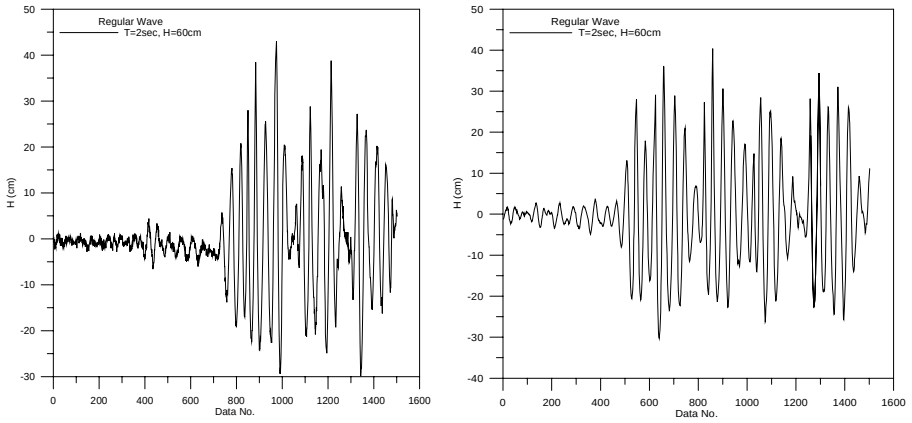
GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測

RHCP/LHCP天線與水槽波浪量測相關位置圖

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測

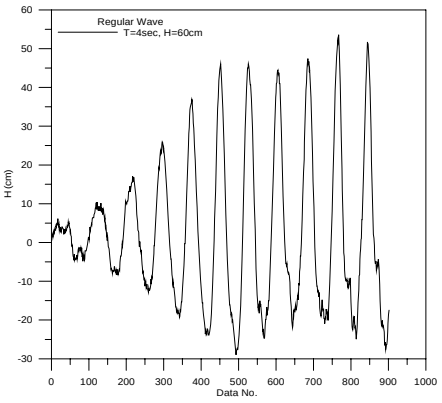


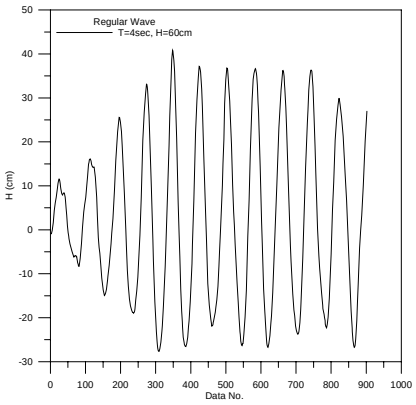
5m　　90cm

週期2sec波高60cm的規則波波高計量測結果

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測



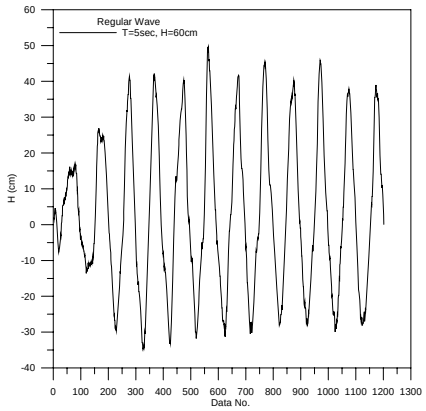


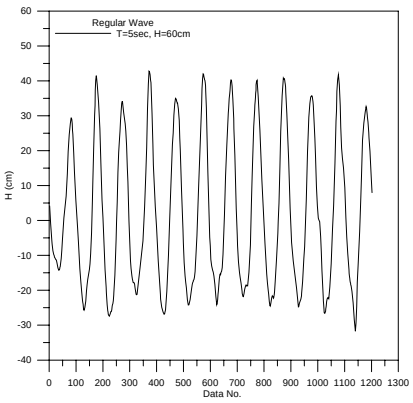
5m　　90cm

週期**4sec**波高**60cm**的規則波波高計量測結果

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測



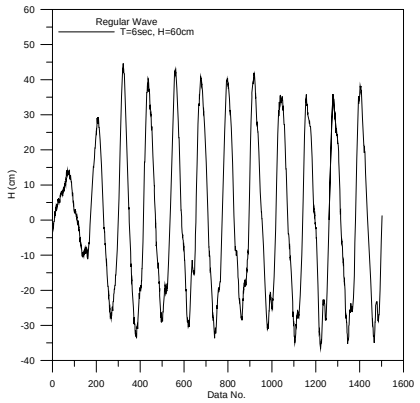


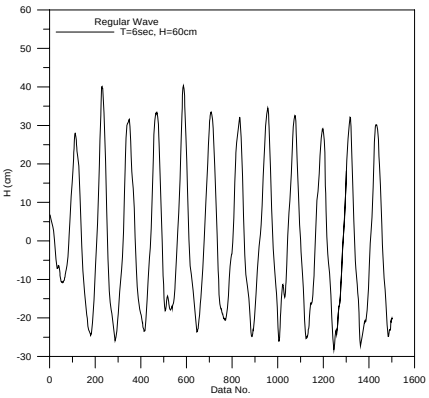
5m　　90cm

週期**5sec**波高**60cm**的規則波波高計量測結果

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測





5m　　90cm

週期**6sec**波高**60cm**的規則波波高計量測結果

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測

大型水槽 GPS直接與反射訊號強度 (10Hz_6sec)

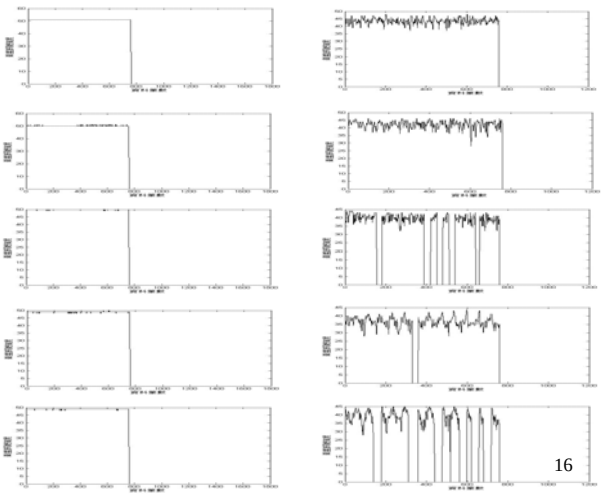
09

18

24

26

27



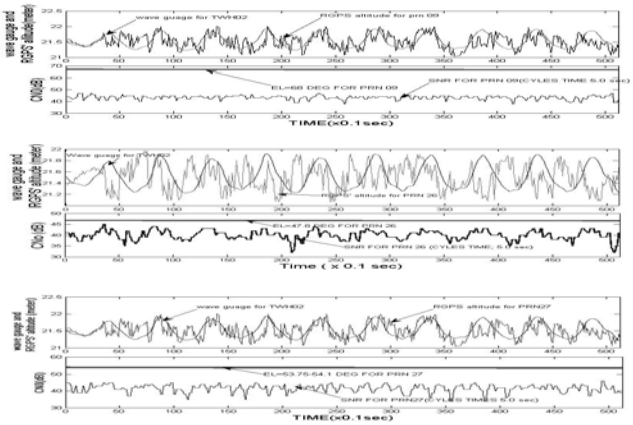
GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測

9

26

27

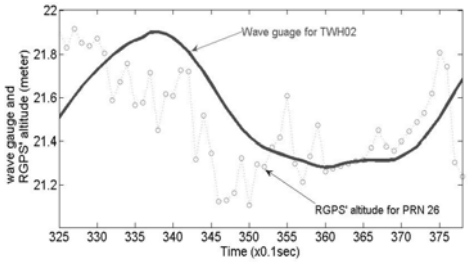


水面反射點高程與波高計比較及衛星訊號強度值

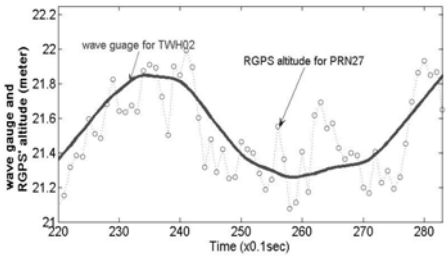
17

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　1. 大型斷面水槽波浪量測



衛星編號PRN26



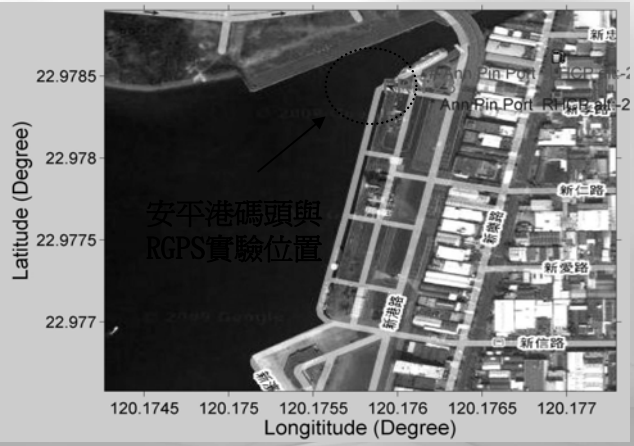
衛星編號PRN27

水面反射點高程值與波高計量測值套合比較

18

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　2.安平港港內海面水位量測



GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　2.安平港港內海面水位量測

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　2.安平港港內海面水位量測

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　2.安平港港內海面水位量測

安平港港內
GPS直接與反
射訊號強度
(10Hz_6sec)

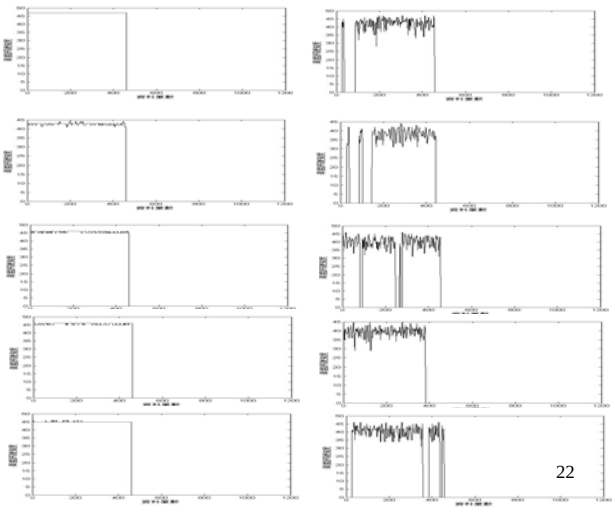
9

22

24

26

27



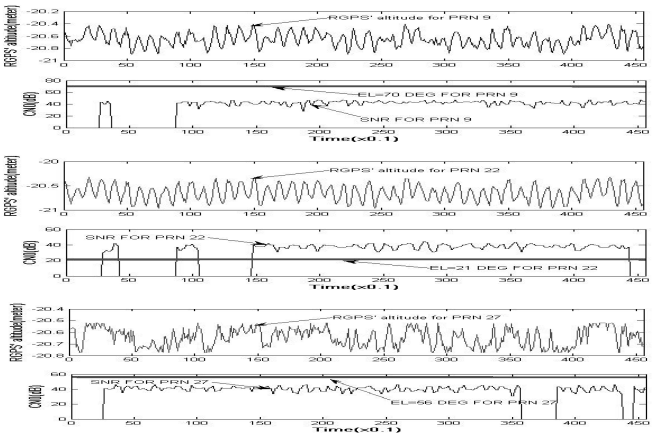
GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　2.安平港港內海面水位量測

9

22

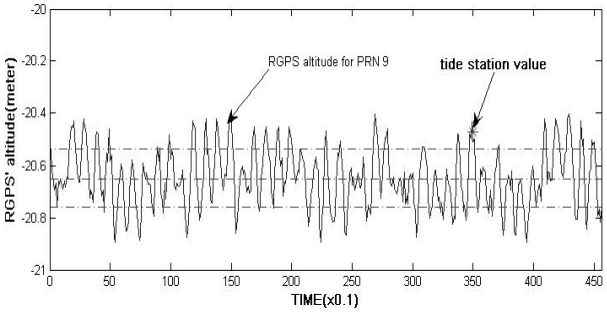
27



水面反射點高程與衛星訊號強度值

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　2.安平港港內海面水位量測



(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。

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　3.高雄柴山海域海面水位量測

路邊懸崖

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　3.高雄柴山海域海面水位量測

柴山安檢所

GPS之波浪量測應用研究

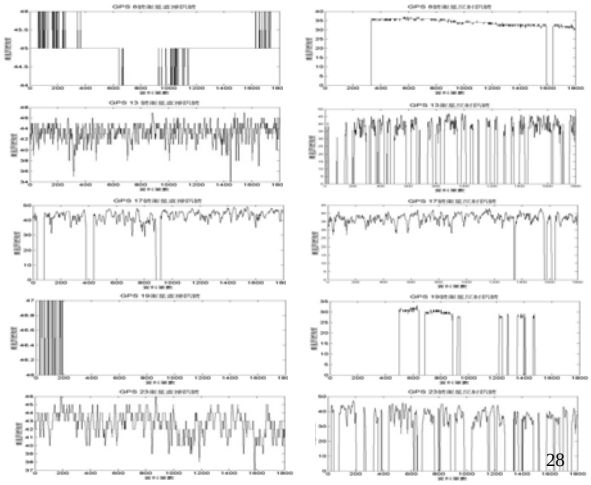
肆、工作執行成果　　3. 高雄柴山海域海面水位量測

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　3. 高雄柴山海域海面水位量測

高雄柴山海域(路邊懸崖)GPS直接與反射訊號強度(10Hz)

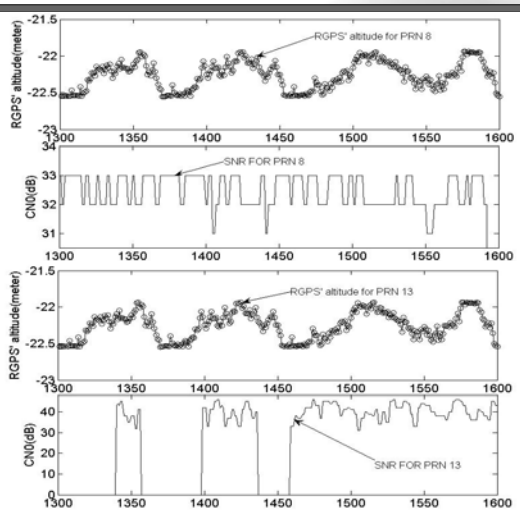
8
13
17
19
23



GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　3. 高雄柴山海域海面水位量測

08

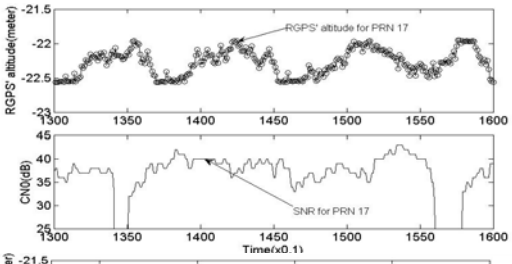


13

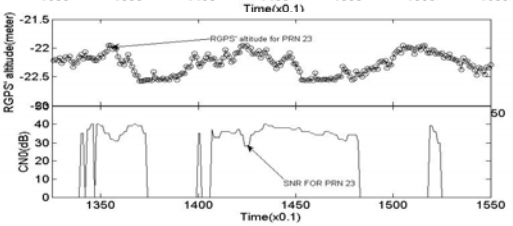
GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　3. 高雄柴山海域海面水位量測

17



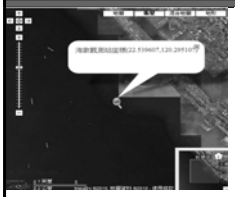
23

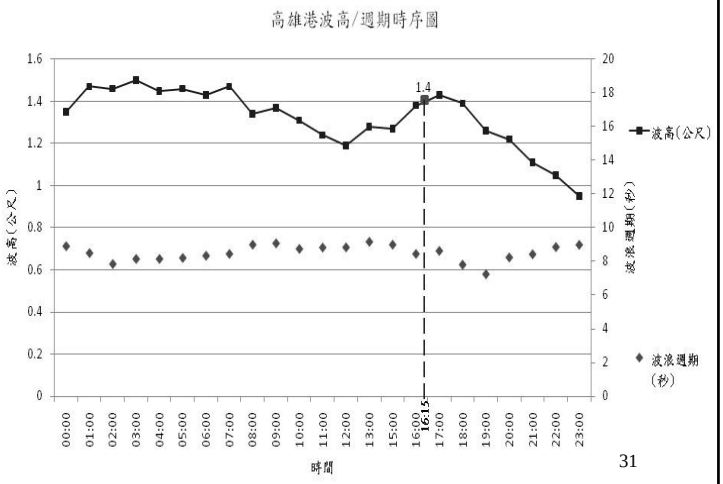


柴山安檢所水面反射點高程及反射訊號強度值**(130~160秒)**

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　3. 高雄柴山海域海面水位量測





31

GPS之波浪量測應用研究

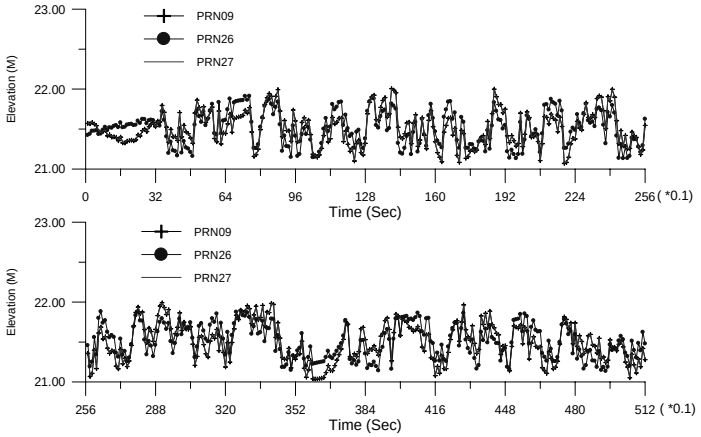
肆、工作執行成果　　3. 高雄柴山海域海面水位量測

1.觀測結果顯示波浪週期約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之衛星角度分別爲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。

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析

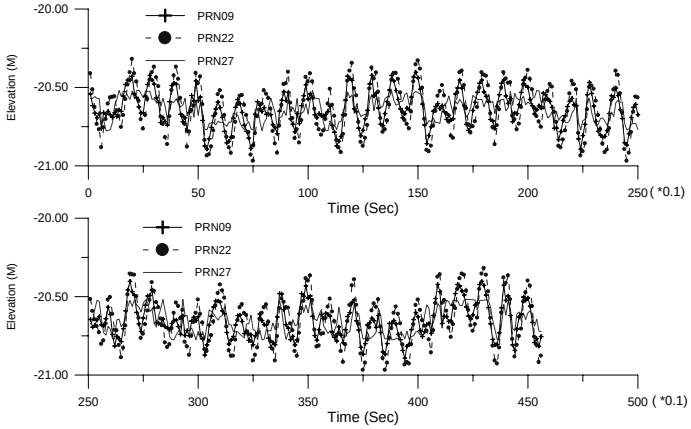


斷面水槽試驗之水面反射點高程變化

33

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析

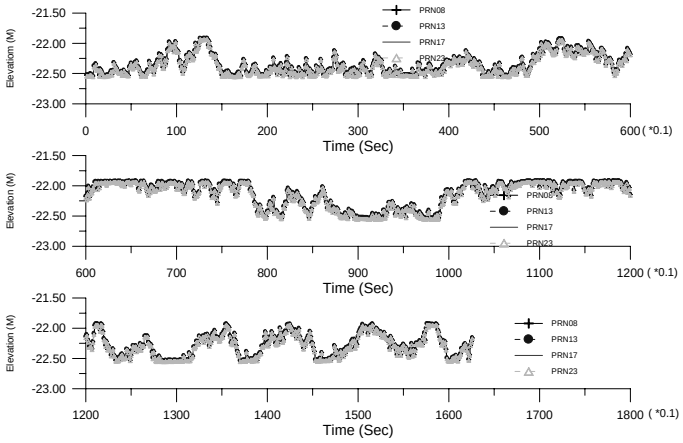


安平港港內試驗之水面反射點高程變化

34

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析



高雄柴山海域試驗之水面反射點高程變化

35

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析

觀測站位置	衛星編號	最大波		示性波		平均波	
		波高(m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)
斷面水槽	PRN09	0.817	2.878	0.748	2.010	0.604	1.506
斷面水槽	**PRN26**	**0.725**	**1.498**	**0.659**	**1.496**	**0.570**	**1.452**
斷面水槽	PRN27	0.807	1.784	0.741	1.788	0.602	1.404

示性波高約0.74m；週期約1.8~2.0sec，此與造波設定條件波高0.6m；週期5sec相較，在波高有略大而週期則明顯偏小許多的情形。此外衛星編號PRN26之波高與週期皆比衛星編號PRN09及PRN27爲小，而衛星編號PRN09及PRN27之波高及週期則相當接近。換言之，依據不同之衛星訊號求算會有不同之波高及週期。

36

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析

觀測站位置	衛星編號	最大波		示性波		平均波	
		波高(m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)
安平港港內	PRN09	0.455	1.255	0.374	1.152	0.304	1.067
安平港港內	PRN22	0.608	1.102	0.491	0.993	0.420	0.997
安平港港內	**PRN27**	**0.257**	**1.212**	**0.237**	**1.505**	**0.220**	**1.557**

示性波高約0.49~0.24m；週期約1.0~1.5sec，此與試驗過程中依小艇之船波在碼頭邊之目視觀察其週期約1sec左右；波高則約0.4m左右，兩者皆近。不過衛星編號PRN27相較於PRN09及PRN22其波高偏小而週期偏大，此顯示同樣出現依據不同之衛星訊號求算會有不同之波高及週期的情形。若將這3顆衛星的結果平均後波高約0.37m；週期爲1.22sec，此與目視結果相當接近

GPS之波浪量測應用研究

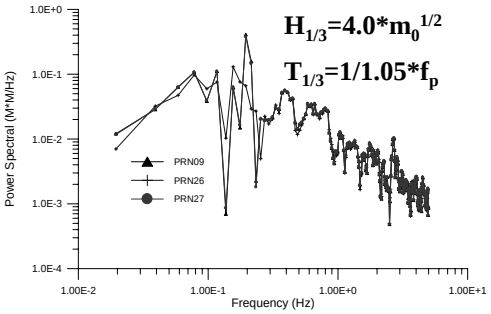
肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析

觀測站位置	衛星編號	最大波		示性波		平均波	
		波高(m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)	波高 (m)	週期 (sec)
高雄柴山	PRN08	0.619	8.867	0.51	5.125	0.411	4.891
高雄柴山	PRN13	0.620	8.865	0151	5.125	0.411	4.890
高雄柴山	PRN17	0.622	8.871	0151	5.126	0.411	4.891
高雄柴山	PRN23	0.624	8.876	0151	5.126	0.412	4.890

示性波高爲0.51m；週期爲5.12sec，不同衛星其結果皆相同，然這與上述依據不同之衛星訊號求算會有不同之波高及週期的情形不一樣，這顯示會有衛星選擇上的不確定性，此對實際應用會造成困擾。經對照高雄港海域海象觀測站測得試驗當時，示性波高約1.4m；週期約8.5sec，顯示在高雄柴山之試驗中，利用水面反射點高程計算所得之波高及週期皆明顯偏小

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析



斷面水槽試驗之各衛星水面反射點高程頻譜

黑：PRN09　藍：PRN26　紅：PRN27

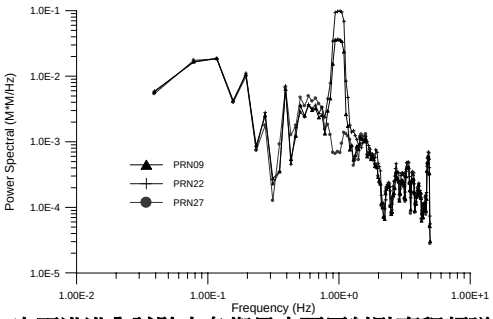
0.91m	0.84m	0.90m
4.76sec	6.12sec	4.76sec

衛星編號PRN09及PRN27之計算結果與造波設定條件波高0.6m；週期5sec相較，波高略大而週期則些微偏小。與向上零切法分析結果比較，頻譜分析方法對週期的計算結果較佳。

39

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析



安平港港內試驗之各衛星水面反射點高程頻譜

黑：PRN09　藍：PRN22　紅：PRN27

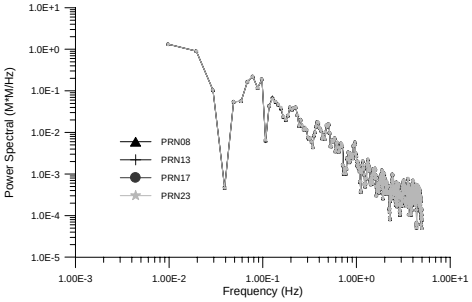
0.44m	0.64m	0.30m
0.97sec	0.93sec	8.14sec

除衛星編號PRN27外，此計算結果與試驗過程中依小艇之船波在碼頭邊之目視觀察其週期約1sec左右；波高則約0.4m左右相較則相當接近。依安平港港內試驗而言，頻譜分析對波高、週期的計算結果與向上零切分析比較，兩種方法差異不大

40

GPS之波浪量測應用研究

肆、工作執行成果　　4.RGPS水面反射點高程分析



高雄柴山試驗之各衛星水面反射點高程頻譜

衛星編號**PRN08**、**PRN13**、**PRN17**及**PRN23**之頻譜非常相似。因此，示性波高及示性週期在不同衛星間也就幾乎相同，計算結果爲波高**0.83m**、週期**97.5sec**。不過由波譜之尖峰主頻不明顯，因此其示性週期雖達**97.5sec**，但不具代表性，同時頻譜形狀與一般之波浪頻譜也不相似。與高雄港海域海象觀測站測得試驗當時，示性波高約**1.4m**；週期約**8.5sec**之結果相較有明顯差異。

41

GPS之波浪量測應用研究

伍、結語及後續工作項目

1.斷面水槽試驗中週期**2sec**與**4sec**之試驗**RGPS**接收不理想，研判可能是因**LHCP**天線**(**即接收**RGPS)**架設降低到距水面僅**1.2 m**，而造波機造出之波高達**0.6m**，訊號之接收可能受水面之起伏而發生遮蔽影響，不利**GPS**反射訊號之穩定持續接收。

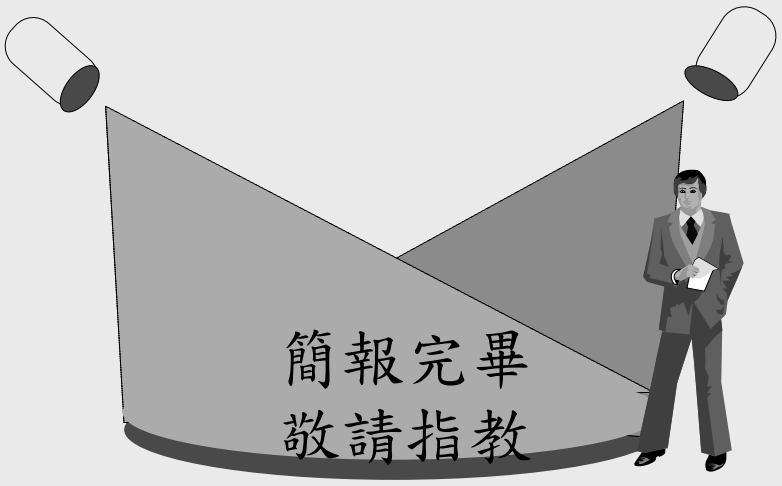
2.由衛星訊號強度分析，發現量測所得之波形與衛星位置仰角有關。當衛星位置仰角在**40~50**度應有較強之信號強度值。

3.在同一試驗不同衛星之水面反射點高程值變化有時非常接近；有時卻差異很大。此外水面反射點高程值變化趨勢與波浪之水位變化高程有時相近；有時有明顯差異，而這些差異對於實際應用將出現困擾。

GPS之波浪量測應用研究

伍、結語及後續工作項目

4.水面反射點高程記錄與反射波強度值資料相較有較佳之穩定性及連續性，較符合波浪量測之基本條件。不過根據不同試驗結果發現，水面反射點高程仍無法確認可直接或間接視爲波浪之水位變化高程。

5.由於**RGPS**技術不是每一顆衛星之反射點軌跡**(foot print)**，對波浪都有理想之監測能力，因此若能在衛星選擇與量測時間做一妥善規劃，試驗歸納出衛星高度與方向對波形量測之影響關係，應可獲得較理想之成果。

6.本計畫已暫停，故無後續工作項目規劃。