

98-38-7395

MOTC-IOT-97-H1DB008

全球衛星定位與自動化監測系統 在坡地防災之應用(2/4)



交通部運輸研究所

中華民國 98 年 4 月

98-38-7395

MOTC-IOT-97-H1DB008

全球衛星定位與自動化監測系統 在坡地防災之應用(2/4)

著 者：饒 正、林雅雯、洪本善、李樹莊
李秉乾、蕭泰中、方耀民

交通部運輸研究所
中華民國 98 年 4 月

國家圖書館出版品預行編目資料

全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用. (2/4) / 饒正等著. -- 初版. -- 臺北市
：交通部運研所，民98.04
面；公分
參考書目：面
ISBN 978-986-01-8283-5(平裝)

1. 防災工程 2. 山坡地 3. 衛星觀測

445.5

98007071

全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用(2/4)

著者：饒正、林雅雯、洪本善、李樹莊、李秉乾、蕭泰中、方耀民

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 98 年 4 月

印刷者：良機事務機器有限公司

版(刷)次冊數：初版一刷 120 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：300 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：1009800933

ISBN：978-986-01-8283-5 (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。

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

TITLE: Application of Slopeland Calamity Mitigation by Using GPS Measurement and Automated Monitoring System (2/4)			
ISBN (OR ISSN) ISBN978-986-01-8283-5(pbk)	GOVERNMENT PUBLICATIONS NUMBER 1009800933	IOT SERIAL NUMBER 98-38-7395	PROJECT NUMBER 97-H1DB008
DIVISION: Harbor & Marine Technology Center DIVISION DIRECTOR: Chiu Yung-fang PRINCIPAL INVESTIGATOR: Jao Cheng PROJECT STAFF: Lin Ya-wen PHONE: 04-26587118 FAX: 04-26564418			PROJECT PERIOD FROM February 2008 TO December 2008
RESEARCH AGENCY: Feng Chia University PRINCIPAL INVESTIGATOR: P. S. Hung PROJECT STAFF: S. Z. Lee., B.J. Lee. ADDRESS: No. 100, Wen-Hwa Rd., Taichung 407, Taiwan R.O.C PHONE: 886-4-24516669			
KEY WORDS: Multi-antenna GPS, Slopeland Calamity, Monitoring System.			
ABSTRACT:			
<p>This project is the continuation of the executive results of 2007 to construct an automated monitoring system, which incorporates the GPS technology and automated monitoring system and works with the technique of close-range photogrammetry, with Highway 18 in Fanlu Township, Chiayi County as areas under research. The system gathered disaster information on the slopes along the Wuwanzai section of this highway to serve as the basis for the understanding of the mechanism of roadside slope disasters by disaster prevention agencies of all levels and for the research in advance warning and controls.</p> <p>Typhoons, such as Kalmaegi, Fung-wong, Nuri, Sinlaku, Hagupit and Jangmi struck Taiwan in 2008. In the duration of these typhoons, observations conducted under this project validated that multi-antenna GPS could monitor landslides in the colluviums on Alishan Highway. It was found from the observational results that the displacement in the area under research could be up to 10 cm per month, and that the landslide speed exhibits a pattern of mathematical quadratic equation with the starting point of the beginning of rain. The impacts caused were the severe slide of Block N2 (Highway 18, 30K, former Bend #4), which had originally been among the foci of monitoring, and a very notable tendency of slide of Blocks N3 (Highway 18, 45K, upper part of the slope) and N4 (Highway 18, 45K, foot of the slope). It is thus indicated that the strata in the area around the Wuwanzai section of this highway are in an extremely unstable condition, and requires escalated monitoring in order to maintain the life and property safety of people and travelers.</p> <p>The automatically monitoring system can detect the movement velocity and the trend of movement. The information can offer relevant information for management as references to design effective slope stability engineering and to take precautions before hazards occur by gaining preparation time via spot monitoring.</p> <p>The result of this research may provide geology slide information around the Wuwanzai section of Alishan Highway as decision-making references for the fifth maintenance office, directorate general of highways, M.O.T.C.</p>			
DATE OF PUBLICATION April 2009	NUMBER OF PAGES 202	PRICE 300	CLASSIFICATION RESTRICTED CONFIDENTIAL SECRET TOP SECRET UNCLASSIFIED
The views expressed in this publication are not necessarily those of the Ministry of Transportation and Communications.			

全球衛星定位與自動化監測系統在 坡地防災之應用(2/4)

目 錄

中文摘要	I
英文摘要	II
表目錄	V
圖目錄	VI
第一章 緒論	1-1
1.1 計畫緣起與目的	1-1
1.2 研究範圍	1-2
1.3 工作內容	1-4
1.3.1 道路邊坡自動化監測系統示範站系統維護與監測	1-4
1.3.2 全球衛星定位與無線傳輸監測系統整合測試	1-4
1.3.3 近景攝影測量	1-4
1.3.4 緊急通報系統及防災應變系統雛形建置	1-5
1.4 計畫工作流程	1-5
第二章 研究背景概述	2-1
2.1 國內外邊坡崩塌監測技術	2-1
2.1.1 道路邊坡自動化監測系統示範站系統維護與監測	2-2
2.1.2 梨山地滑監測	2-5
2.1.3 九份二山崩塌地觀測計畫	2-7
2.1.4 降雨入滲與邊坡破壞之相關研究	2-8
2.1.5 林內鄉坪頂村崩塌監測	2-12
2.2 五彎仔自動化監測現況	2-13
2.3 全球衛星定位發展現況	2-24

2.4 近景攝影測量現況	2-37
第三章 道路邊坡自動化監測示範站維護與監測	3-1
3.1 自動化監測示範站系統維護工作	3-1
3.1.1 設備保養及管理維護工作週期及內容	3-1
3.1.2 設備不定期保養及管理維護	3-4
3.1.3 現場維運狀況	3-4
3.1.4 道路邊坡自動化監測示範站系統維護與監測	3-5
3.2 多天線 GPS 擴大設置及位移量監測與分析	3-11
第四章 GPS 與無線傳輸監測系統整合測試工作	4-1
4.1. 全球衛星定位系統與無線傳輸整合工作	4-1
4.2 現地 GPS 靜態量測檢核工作	4-4
4.3 一機多天線數據分析	4-11
4.4 試驗區變位分析研究	4-20
4.5 各單位監測數據探討	4-26
第五章 近景攝影測量工作	5-1
5.1 空間變位攝影測量研究	5-1
5.1.1 多天線 GPS 四組擴大設置工作	5-1
5.1.2 雙相機立體攝影	5-10
5.2 擬即時近景攝影測量分析研究	5-13
第六章 緊急通報系統與防災應變系統雛型建置工作	6-1
6.1 緊急應變系統	6-1
6.2 整體規劃	6-4
第七章 結論與建議	7-1
7.1 結論	7-2
7.2 建議	7-4
參考文獻	參- 1

附錄

附錄一 期中審查意見回覆.....	附錄 1-1
附錄二 期末審查意見回覆.....	附錄 2-1
附錄三 期末簡報資料.....	附錄 3-1

表 目 錄

表 2 - 1 梨山地區各自動監測站儀器配置表	2-7
表 2 - 2 位移速率與邊坡穩定性判斷建議表	2-11
表 2 - 3 地層滑動監測管理基準	2-12
表 2 - 4 各項監測儀器管理值	2-13
表 3 - 1 阿里山公路多天線系統暫停運作時段說明	3-5
表 3 - 2 多天線測試數據	3-12
表 3 - 3 基站每月靜態測量坐標	3-17
表 3 - 4 每月基站坐標差 (m)	3-17
表 4 - 1 Telos 詳細的硬體規格.....	4-1
表 4 - 2 基站每月靜態測量坐標	4-5
表 4 - 3 每月基站坐標差 (m)	4-5
表 4 - 4 靜態測量之 N 座標(m).....	4-7
表 4 - 5 靜態測量之 E 座標(m)	4-7
表 4 - 6 靜態測量之 H 座標(m).....	4-7
表 4 - 7 2007~2008 年颱風於阿里山地區帶來之降雨量統計表	4-11
表 4 - 8 2007 年 9 月至 2008 年 9 月之每月降雨量	4-11
表 4 - 9 多天線現場全測站經緯儀實測成果	4-22
表 4 - 10 多天線位移分析表	4-23
表 4 - 11 電線桿傾斜趨勢監測成果	4-25
表 5 - 1 影像選取分析表	5-2
表 5 - 2 測量 970211 影像與 970523 影像之像面差異量	5-3
表 5 - 3 BC 點影像之像面差異量	5-3

表 5 - 4 影像量測成果表	5-4
表 5 - 5 影像量測(以 2 月及 6 月 5 日影像作處理).....	5-4
表 5 - 6 測量 970609 影像與 970821 影像之像面差異量	5-5
表 5 - 7 測量 970609 影像與 970821 影像 BC 點影像之像面差異量.	5-5
表 5 - 8 影像量測(以 6 月及 8 月影像作處理).....	5-6
表 5 - 9 970609 影像與 970821 影像之像面坐標差異	5-6
表 5 - 10 CCD4 天線影像量測成果表	5-6
表 5 - 11 CCD3 影像量測成果表	5-8
表 5 - 12 直接線性轉換量測成果(左片).....	5-11
表 5 - 13 直接線性轉換量測成果(右片).....	5-11
表 5 - 14 控制點坐標成果表	5-12
表 5 - 15 量測成果精度分析表	5-12
表 5 - 16 量測成果坐標較差表	5-12
表 6 - 1 各項監測儀器管理值	6-5

圖目錄

圖 1 - 1 阿里山公路五彎仔段	1-3
圖 1 - 2 阿里山公路五彎仔路段第四彎地區	1-4
圖 1 - 3 本計畫整體流程	1-6
圖 2 - 1 日本長野市地附山相關位置示意圖	2-2
圖 2 - 2 湯谷小區受損照片	2-3
圖 2 - 3 松壽莊受損照片	2-3
圖 2 - 4 整治工程配置示意圖	2-4
圖 2 - 5 整治工程前 (1985/7/27)	2-5
圖 2 - 6 整治工程後 (1988/4/23)	2-5
圖 2 - 7 GPS 監測儀器配置圖	2-5
圖 2 - 8 GPS 架設照片	2-5
圖 2 - 9 梨山地區各自動監測站分布位置圖	2-7
圖 2 - 10 手動監測儀器平面位置圖	2-15
圖 2 - 11 自動監測儀器平面位置圖	2-15
圖 2 - 12 全光纖式監測儀器配置圖 (青山工程顧問公司, 2006) ..	2-17
圖 2 - 13 台 18 線 45K CCD 攝影機及紅外線投射燈	2-18
圖 2 - 14 台 18 線 45K CCD 攝影機傳回影像	2-19
圖 2 - 15 台 18 線 45K 自動化監測儀器小屋	2-19
圖 2 - 16 台 18 線 44-45K 崩坍前後對照圖	2-20
圖 2 - 17 本計畫儀器裝設位置圖	2-21
圖 2 - 18 小公田村 CCD#1 傳回之第四彎影像	2-21
圖 2 - 19 小公田村 CCD#2 傳回之崩塌區影像	2-22

圖 2 - 20 第四彎 CCD 傳回之影像	2-22
圖 2 - 21 台 18 地區即時影像回傳狀態	2-23
圖 2 - 22 監測系統展示介面	2-23
圖 2 - 23 Eiblschrofen 山壁崩塌情形	2-25
圖 2 - 24 無線通訊設備	2-25
圖 2 - 25 Leica Spider 可遠端設定監測點系統	2-28
圖 2 - 26 Leica Spider 可遠端設定解算頻率	2-28
圖 2 - 27 Leica Spider 可設定檔案自動切割時段	2-29
圖 2 - 28 Leica Spider/GNSS QC 可即時顯示三維基線坐標分量	2-30
圖 2 - 29 多天線 GPS 開關(GMS)的設計	2-32
圖 2 - 30 新一代多天線 GPS 系統的差分定位構造	2-33
圖 2 - 31 多天線 GPS 接收機、GMS 和資料通訊系統	2-34
圖 2 - 32 多天線 GPS 系統軟體的主功能表	2-34
圖 2 - 33 多天線 GPS 資料處理與管理軟體的結構	2-35
圖 2 - 34 多天線 GPS 系統參數設置	2-35
圖 2 - 35 顯示多天線 GPS 系統操作狀態的螢幕	2-36
圖 2 - 36 多天線 GPS 監測點的位移顯示	2-37
圖 3 - 1 觀測站資料接收報告表	3-3
圖 3 - 2 儀器故障內容表	3-4
圖 3 - 3 現地 GPS 天線儀器配置圖	3-6
圖 3 - 4 GPS 基站天線位置	3-7
圖 3 - 5 儀器設備箱內部設備情況	3-7
圖 3 - 6 儀器設備箱	3-7
圖 3 - 7 第 1 號天線	3-7

圖 3 - 8 第 2 號天線.....	3-8
圖 3 - 9 第 3 號天線.....	3-8
圖 3 - 10 第 4 號天線.....	3-8
圖 3 - 11 第 5 號天線.....	3-8
圖 3 - 12 第 6 號天線.....	3-8
圖 3 - 13 第 7 號天線.....	3-8
圖 3 - 14 第 8 號天線.....	3-9
圖 3 - 15 施工配線過程	3-9
圖 3 - 16 施工架設過程	3-9
圖 3 - 17 施工架設過程	3-9
圖 3 - 18 航照圖上 8 組 GPS 座落點.....	3-10
圖 3 - 19 台 18 線 45K 自動化監測儀器小屋	3-11
圖 3 - 20 道路邊坡自動化監測系統	3-13
圖 3 - 21 道路邊坡自動化監測系統	3-13
圖 3 - 22 道路邊坡自動化監測系統	3-14
圖 3 - 23 道路邊坡自動化監測系統	3-14
圖 3 - 24 台 18 線第四彎 GPS 測點相對位置圖	3-15
圖 3 - 25 GPS 滑動位移方向及位移量示意圖	3-16
圖 3 - 26 天線一之 N、E、H 坐標	3-18
圖 3 - 27 天線二之 N、E、H 坐標	3-19
圖 3 - 28 天線三之 N、E、H 坐標	3-20
圖 3 - 29 天線四之 N、E、H 坐標	3-21
圖 3 - 30 天線五之 N、E、H 坐標	3-22
圖 3 - 31 天線六之 N、E、H 坐標	3-23

圖 3 - 32 天線七之 N、E、H 坐標	3-24
圖 3 - 33 天線八之 N、E、H 坐標	3-25
圖 4 - 1 應用功能展示規劃圖	4-2
圖 4 - 2 Simple 和 Super Node 設計成果圖	4-3
圖 4 - 3 遠端控制感測裝置資料回報圖	4-4
圖 4 - 4 每月基站之坐標	4-5
圖 4 - 5 3 月 14 日與 5 月 23 日測量點位	4-6
圖 4 - 6 7 月 25 日測量點位	4-6
圖 4 - 7 9 月 9 日現地測量示意圖	4-6
圖 4 - 8 GPS1 坐標	4-8
圖 4 - 9 GPS2 坐標	4-8
圖 4 - 10 GPS3 坐標	4-9
圖 4 - 11 GPS4 坐標	4-9
圖 4 - 12 GPS5 坐標	4-10
圖 4 - 13 GPS7 坐標	4-10
圖 4 - 14 GPS7 外業記錄照片	4-10
圖 4 - 15 四根天線之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)	4-13
圖 4 - 16 天線一之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)	4-14
圖 4 - 17 天線二之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)	4-14
圖 4 - 18 天線三之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)	4-15

圖 4 - 19 天線四之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)	4-15
.....	
圖 4 - 20 天線一之 E 坐標滑動速度擬合	4-15
圖 4 - 21 天線二之 E 坐標滑動速度擬合	4-16
圖 4 - 22 天線三之 E 坐標滑動速度擬合	4-16
圖 4 - 23 天線四之 E 坐標滑動速度擬合	4-16
圖 4 - 24 天線位置圖	4-17
圖 4 - 25 天線一之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)	4-18
.....	
圖 4 - 26 天線二之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)	4-18
.....	
圖 4 - 27 天線三之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)	4-18
.....	
圖 4 - 28 天線四之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)	4-19
.....	
圖 4 - 29 天線五之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)	4-19
.....	
圖 4 - 30 天線六之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)	4-19
.....	
圖 4 - 31 天線七之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)	4-20
.....	
圖 4 - 32 天線八之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)	4-20
.....	
圖 4 - 33 多天線位移差異分析示意圖	4-21
圖 4 - 34 天線 rGPS3 電線桿位移破壞情形	4-23
圖 4 - 35 天線 rGPS4 電線桿位移破壞情形	4-24

圖 4 - 36 現場光纖佈置圖	4-27
圖 4 - 37 測站 1 靜態量測照片	4-28
圖 4 - 38 光纖量測與地表 GPS 量測結果	4-28
圖 5 - 1 各天氣之攝影影像圖	5-2
圖 5 - 2 攝影測量作業情形	5-3
圖 5 - 3 2 月及 5 月影像差異向量圖	5-5
圖 5 - 4 2 月及 6 月影像差異向量圖	5-5
圖 5 - 5 第四彎成果 (右側為原圖、左側為放大成果)	5-7
圖 5 - 6 位置變化方向示意圖	5-8
圖 5 - 7 小公田與第四彎相對位置圖	5-9
圖 5 - 8 由小公田觀測第四彎成果 (右側為原圖、左側為放大成果)	5-9
圖 5 - 9 6 月 09 日影像	5-10
圖 5 - 10 8 月 21 日影像	5-9
圖 5 - 11 全測站經緯儀與數位相機整合作業情形	5-10
圖 5 - 12 現地佈設控制點之點位分佈情形	5-11
圖 5 - 13 現地攝影影像(右片).....	5-11
圖 5 - 14 現地攝影影像(左片).....	5-11
圖 5 - 15 擬即時量測系統設計流程圖	5-14
圖 5 - 16 影像處理方面：時間基線視差法流程示意圖	5-15
圖 6 - 1 儀器觀測資料展示系統示意圖	6-1
圖 6 - 2 CCD 觀測站儀器監控模擬圖	6-2
圖 6 - 3 目前雨量計降雨組體圖	6-3
圖 6 - 4 目前 GPS 相對位置圖圖	6-3

圖 6 - 5 多天線 GPS 系統變位量展示 (GPS1)	6-4
圖 7 - 1 阿里山公路五彎仔路段滑動塊體圖	7-5

第一章 緒論

1.1 計畫緣起與目的

台灣地區位於板塊擠壓處，地震頻繁，地質破碎，山地形勢陡峭，河流既短且陡急且降雨時空分配不均，若遭逢梅雨、颱風季節所帶來之集中性豪雨，常引發大規模之落石、土石流或地滑等邊坡崩坍災害，嚴重危害地區交通運輸及產業經濟之發展。山區道路往往是區域唯一聯外通道，而道路邊坡穩定性攸關居民之生命財產安全，因此如何在這些重要卻具有高邊坡災害潛勢區域導入各項先進科技之自動化監測系統、緊急通報系統及防災應變系統，將傳統的防災作業進化成災害管理，已成為近年來各界對於邊坡災害防治的重要發展方向。

全球衛星定位系統(GPS)係以衛星為基礎的無線電定位系統，藉由地球軌道上之定位衛星，可無限制地提供全球具接收裝備之使用者極精確之三維定位、速度即時間資料。該系統不受天氣影響，並可提供全球統一之經緯度參考資料，且應用層面非常廣泛，已屬成熟技術；監測系統除為累積足夠監測歷史資料提供後續各項學理研究發展外，亦希望可即時掌握邊坡災害發生前兆和發生時之動態反應，增加地區居民之應變時間，提供防災應變決策之參採，大幅降低災害所造成之傷害，因此即時有效之通訊傳輸將是整體監測系統重要環節之一。

近景攝影測量(Close-Range Photogrammetry)是通過攝影(攝像)和隨後的圖像處理和攝影測量處理以獲取被攝目標形狀、大小和運動狀態的一門技術，且攝影物距(Object-to Camera Distance)小於 100 公尺者。由於物距短，大氣折光與地球曲率之影響可以忽略，物空間之坐標系統可採用較方便的自定坐標，攝影站接近地面，攝影站位置於施行控制點測量時，可同時測得，攝影作業及控制測量亦較航空測量簡易。由於使用非量測且無框標之數位相機擷取影像，因此計畫採用直接線性轉換法(Direct Linear Transformation)解算，如此，不用將儀器坐標轉換成像片坐標，再由像片坐標轉換為物空間坐標，而可將坐標量

測儀系統透過轉換參數直接計算成物空間坐標系統。近景攝影測量的優點在於它兼有非接觸性量測手段，不傷及被測物體，信息容量高，信息易儲存，可重複使用信息，精度高，速度快，特別適用於測量容有大量點位的目標，躲避危險環境而遠離攝影對象等眾多優點。近景攝影測量被證明是不接觸物空間待測物，而能測量出其位置進而推算其變位的極佳方式。

本計畫針對全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用上深入探討，再加上近景攝影測量並結合全球衛星定位與各式無線電傳輸技術搭配其他感測器所建構之自動化監測系統，將可在有限建構成本下更機動地因時因地制宜增加邊坡的觀測捕捉率，朝向即時即地(any time every where)目標前進，以期在最短時間內收集最多邊坡災害發生之相關資訊，提供政府或相關工程、學術單位對於邊坡災害發生機制、預警及防治有實質性幫助，以做為未來坡地防災相關課題研究之參考依據，並訂定更有效的管理基準值，減少邊坡災害對國土保持與民眾安危之災損。

1.2 研究範圍

本計畫試驗區域規劃將延續進行，測試地區域選定為阿里山公路五彎仔段（TWD67 橫坐標約為 212,312 公尺，縱坐標約為 2,592,307 公尺；TWD97 橫坐標約為 213,140 公尺，縱坐標約為 2,592,099 公尺），詳細位置如圖 1-1 所示。



圖 1-1 阿里山公路五彎仔段

由於梅嶺大車禍後，危險道路受到國人關注，交通部官員透露，阿里山公路五彎仔段是全台危險公路之首，除道路本身又陡又彎外，邊坡還會滑動，公路總局幾經會診：「試過各種方法都擋不住」，很讓人擔心。並依據 2006 年 12 月 19 日聯合報之報導，阿里山公路廿八至卅一公里段，俗稱五彎仔路段(因阿里山公路段起點變更，現今五彎仔路段公里數應為 42km 至 45km)，邊坡會滑動，每年往外位移約 20 公分，其中第四彎，公路總局評估須立即改善。因此本團隊擇定五彎仔地區為本計畫實驗地區(如圖 1-2 所示)，作為本計畫施作示範區域。



(照片摘錄自聯合報)

圖 1-2 阿里山公路五彎仔路段第四彎地區

1.3 工作內容

本計畫依據『全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用(2/4)』要求，重要工作項目及內容說明如下：

1.3.1 道路邊坡自動化監測系統示範站系統維護與監測

針對現有安裝之設備進行保養與維護，以確保監測實驗工作正常運作。

1.3.2 全球衛星定位與無線傳輸監測系統整合測試

- 1.針對前期已建置完成之全球衛星定位與無線傳輸監測系統持續進行整合測試與坡地災害監測與數據資料分析工作。
- 2.整合現有當地各單位之監測儀器數據，進行交叉統計分析，探討可能觸發坡地災害發生原因與研擬警戒參考數值。

1.3.3 近景攝影測量

- 1.利用攝影硬體設備，採單攝影機作地表二度空間變位監測，並與全

球衛星定位監測結果相互比對。評估增設攝影硬體設備之可行性，必要時得採雙攝影機作地表三度空間變位測，以提高測量精度。

2.以現有當地現有之CCD攝影機觀測資料進行近景攝影測量分析工作，並針對氣候因素進行分離與排除影響分析因子等工作，增加已現有CCD攝影機進行影像對應實地之變異量分析工作。

1.3.4 緊急通報系統及防災應變系統雛形建置

依據前期規劃成果，建立緊急通報系統及防災應變系統雛形建置工作，並與現有公路局第五區維護工程處山區道路邊坡監測系統進行整合，提供台 18 線路段整合性監測儀器數據展示平台，建置道路邊坡自動化監測系統資訊展示系統。

1.4 計畫工作流程

依據交通部運輸研究所港灣技術研究中心計畫內容，茲以圖 1-3 說明全球衛星定位與自動化監測在道路邊坡地滑災害之應用的工作流程：

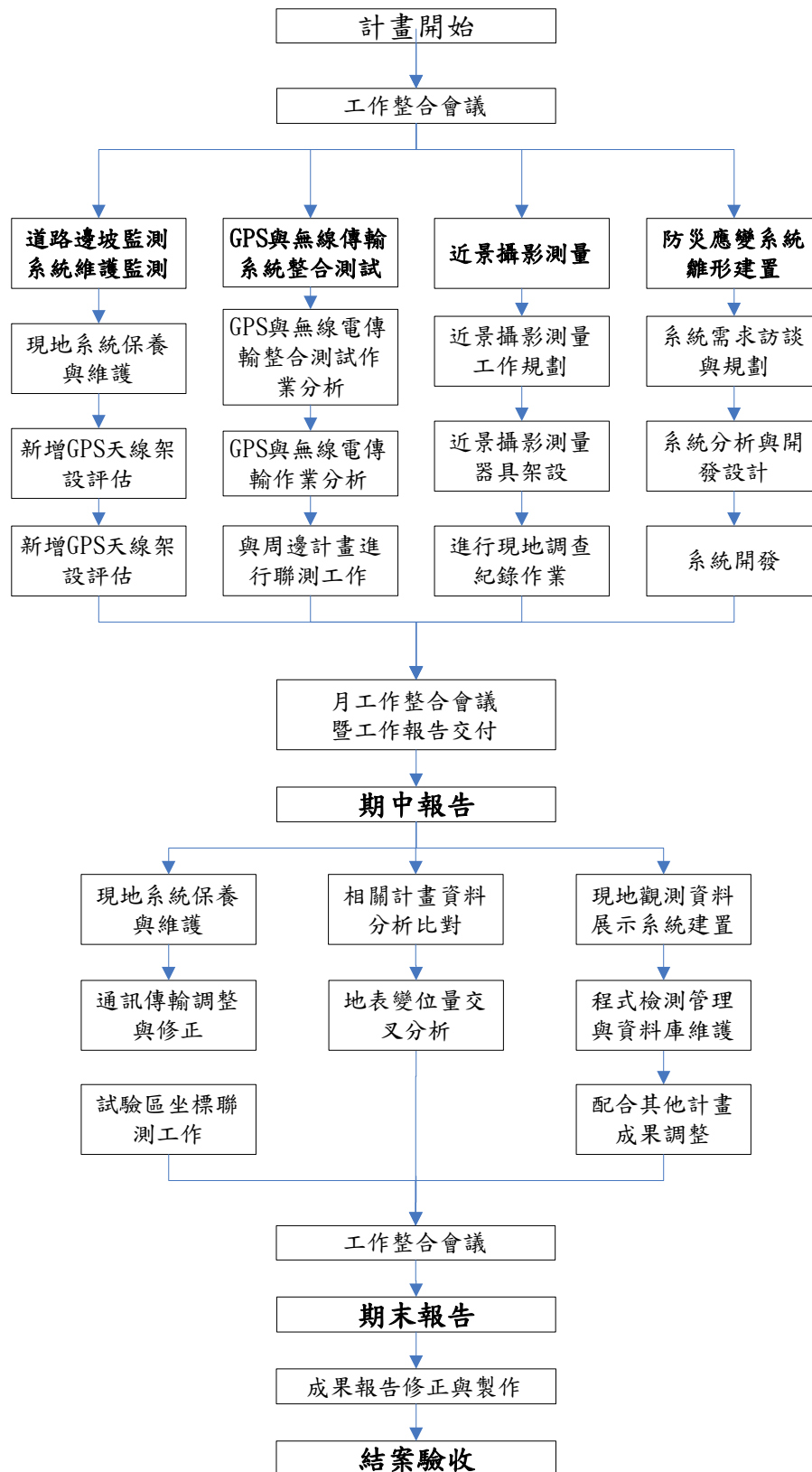


圖 1-3 本計畫整體流程

第二章 研究背景概述

本章針對國內外邊坡監測技術以及全球衛星定位系統及近景攝影測量技術進行分析與介紹。

2.1 國內外邊坡崩塌監測技術

近年衛星遙測發展形成環境監測工具，其中以衛星雷達之全天候特性，且具有重複觀測功能，可即時監測提供災害位置。洪浩倫^[3]建置衛星雷達影像自動化套疊與變遷分析，減少人為誤差及提昇效率，採用 Radarsat-1 高解析模式雷達影像(解析力約為 10 公尺)，以自動化套疊分析，減少人為誤差及提昇效率。並針對台中縣境內山區的 2006 年 612 水災前後期 SAR 影像，即時偵測大甲溪上游的知馬漢山地區，崩塌面積約為 9 公頃。重大崩塌如 1999 年 921 地震，以 ERS-2 進行全台航帶變遷判識分析，偵測出九份二山崩塌面積約為 174 公頃。隨著公尺級超高解析衛星雷達 Radarsat-2 與 TerraSAR-X 即將升空運作，將滿足全天候山區崩塌監測實務需求。

對雷達影像而言，其受本身側視感測成像系統的特性、地形效應影響，導致投影於地面上的解析力有一定的限制，而系統本身於運作時為移動狀態，在同調性處理(Coherent Processing)上會產生所謂的漣漪(fading)，使得處理後的雷達影像上會受到嚴重的斑駁雜訊干擾，影像的可識別的能力相當差，若以人眼於影像上尋找大量共軛點是相當困難且費時的。自動化匹配方法可減少人為操作時間與及降低匹配錯誤率(Chalermwat^[7])。引入階層匹配(Hierarchical matching)多重尺度的概念(Hiep^[8])，由粗而細對雷達影像進行特徵點的萃取與匹配。

另一方面全球衛星定位系統(GPS)已經廣泛應用於許多學科和領域，且被證明是用於監測人為和自然結構變形和邊坡位移的一個非常有力的工具，GPS 具有許多優於傳統測量技術的優點，簡單說來，GPS 更加精確、有效、高自動化和低勞動強度。

2.1.1 道路邊坡自動化監測系統示範站系統維護與監測

日本地附山位於長野市西北方(善光寺北方),海拔 733 公尺。1985 年 7 月 26 日下午 5 時剛過,其東南斜坡發生大規模滑坡。崩落土石湧入湯谷小區及松壽莊養老院一帶,造成 26 人死亡,64 戶房屋被全毀或半毀。該滑坡寬約 500 公尺,從頂部到崩落土石的末端約長 700 公尺,崩落土石約 360 萬立方公尺,滑落面積約 25 萬頃。其地理位置如圖 2-1 所示。地滑發生的原因是因為地附山的地質以及 1985 年梅雨季節(4~7 月)發生歷史上第二高的豪雨(449.5mm),如圖 2-2~2-3 所示。



圖 2-1 日本長野市地附山相關位置示意圖



圖 2-2 湯谷小區受損照片



圖 2-3 松壽莊受損照片

地附山滑坡的治理工程包括大型灌注樁、錨、鋼管樁等阻止工程和集水井、排水隧道等預防工事，整體工程配置示意圖如圖 2-4 所示。工程於 1985 年開始到 1989 年竣工，整治工程前後照片如圖 2-5~2-6 所示。竣工後安裝即時監測系統，其測量儀器種類如下：

1. 地下水位計 38 個，目的在量測鑽孔中地下水位的變化，尋找與滑坡的關係。
2. 孔隙水壓計 2 個，目的在通過精確測量與土壤強度密切相關的孔隙水壓，尋找與滑坡的關係。
3. 地表面伸縮計 13 個，目的在測量地表面的變化以及龜裂的擴大等，以預測滑坡的動向。
4. 內孔伸縮計 13 個，目的在通過測量固定於滑坡面以下的鋼絲的伸縮，調查滑落土石의 動向。
5. 地盤傾斜計 5 個，目的在測量地盤傾斜變化，及測滑坡的擴及發生

的時間。

6. 土壤水分計 8 個，目的在測量降水時土壤中的滲透情況，調查土壤強度降低的機制。
7. 雨量計 1 個，測量降水量，獲取警戒時的雨量情況，調查與其他變動的關係。
8. GPS 11 個，目的在測量地表面的變化以及預測滑坡的動向，其儀器配置圖與安裝位置照片如圖 2-7、圖 2-8 所示。

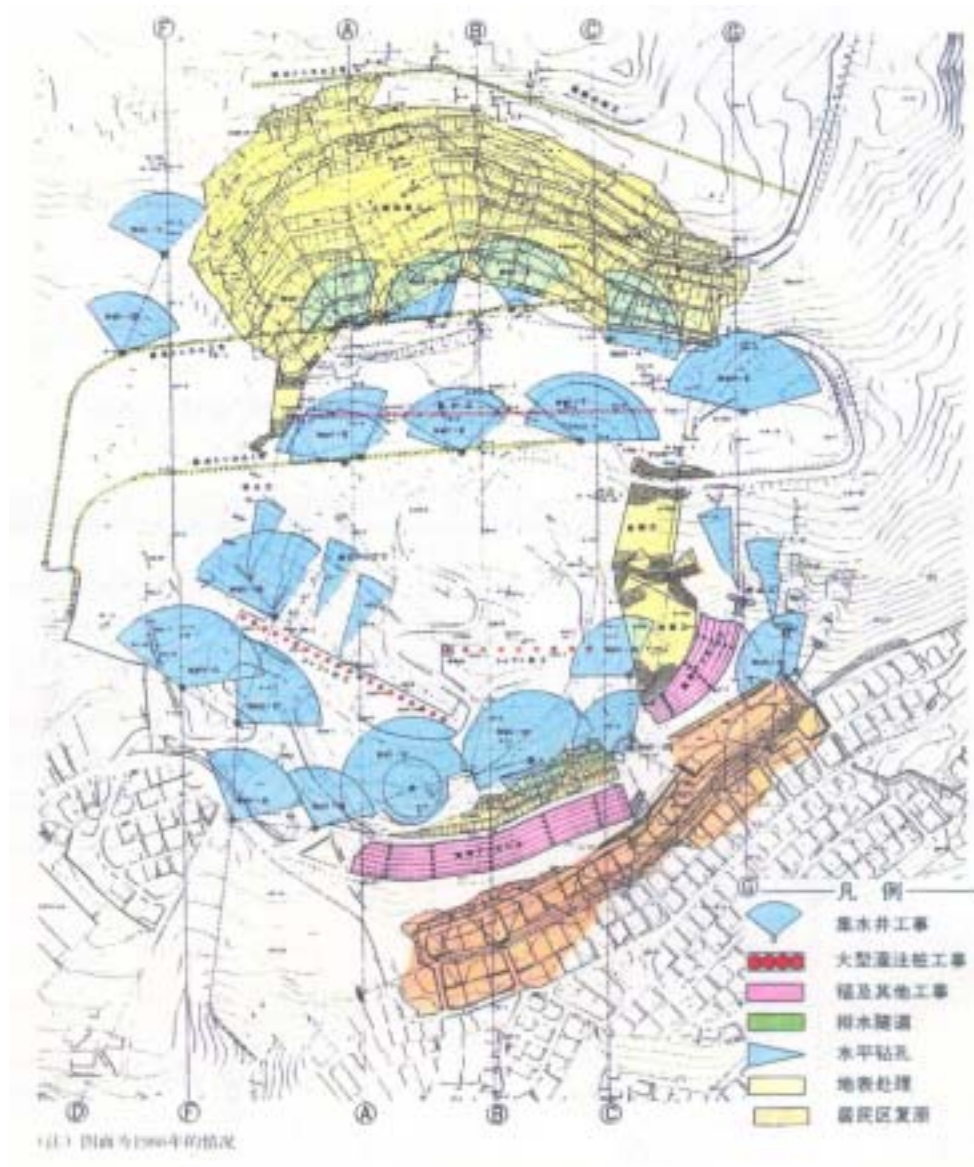


圖 2-4 整治工程配置示意圖



圖 2 - 5 整治工程前 (1985/7/27)



圖 2 - 6 整治工程後 (1988/4/23)



圖 2 - 7 GPS 監測儀器配置圖



圖 2 - 8 GPS 架設照片

2.1.2 梨山地滑監測

梨山地區地滑範圍涵蓋遼闊，主要包含中橫公路台 8 線與宜蘭支線台 7 甲線交會處的梨山村一帶，此地區在 1990 年 4 月間發生大規模的地層滑動。為了防止地滑災害持續擴大以及維護居民安全與道路暢

通，行政院農業委員會水土保持局自 1995 年度起實施梨山地區的「坡地災害整治」計畫。首先調查資料之收集與彙整，綜合梨山及松茂地區各處設立之自動監測站監測資料、集水井與排水廊道排出水量觀測及其他監測資料等，調查之結果作資料的彙整與研判，並隨時確認監測資料是否有異常。接下來就滑動觀測結果持續進行分析作業，並建立各項觀測值，包括降雨、水位高度、滑動量和滑動面深度等因子，進行其相互影響的迴歸關係。擬定管理基準值所需要之相關資料，並持續檢討與驗證長期現地監測系統的管理基準值，以作為預警之依據。最後設置 TDR 與 GPS 觀測系統，並預定持續建立設置梨山地滑預警中心，提供即時通報系統。

梨山地滑地區自動監測站為梨山預警系統之依據，其中地表伸縮儀為地滑發生與否為最重要的指標。另外採用全球衛星定位系統 (Global Positioning System；GPS) 高精度、大範圍且不易受影響的特性搭配地表伸縮儀為梨山發生地滑與否的重要指標。應用 GPS 分別針對即時動態與靜態進行量測，藉此找出精度與時間的關係，並判斷即時動態與靜態何者精度較適用於地滑監測。結果可知 GPS 靜態基線測量在接收衛星資料 3 個小時之精度適用於地滑監測。再利用 GPS 在不同日期靜態量測 3 個小時所得基線長度變化量與梨山地滑地區之地表伸縮儀之變位量行進滑動量的比對，得知可利用 GPS 靜態基線測量與地表伸縮計有相同的位移量，且可利用大範圍的基線測量，更能掌握大面積之滑動土體滑動的趨勢。最後再將 GPS 長期架設於梨山進行靜態長期監測。

沈鍵偉^[1]為確切掌握 GPS 長期監測地滑地之可行性，以梨山地滑地區進行可行性觀測，可知 GPS 長期監測地滑地系統適合的量測方法為 GPS 靜態基線測量，1 秒接收一筆衛星資料，3 個小時靜態基線解算每次移動 1 小時，此方法最適用於地滑地監測，且可得到公厘級的精度。最後利用 GPS 的精度及滑動的速度訂定出 GPS 長期監測地滑管理基準值，由監測的結果可知此管理基準值初步判斷是可行的。

梨山地區各自動監測站即時監測之項目配置表如表 2-1 所示，監測

站之分布位置如圖 2-9。

表 2-1 梨山地區各自動監測站儀器配置表

滑動體	雨量計	地下水位計	地表傾斜儀	地表伸縮計
B01	×	○	○	○
B04	×	○	○	×
B05	×	○	○	○
B09	○	○	○	○
B11	○	○	○	×
B13	×	○	○	○
C01	○	○	○	○
C02	×	○	○	×
A01	○	○	○	×

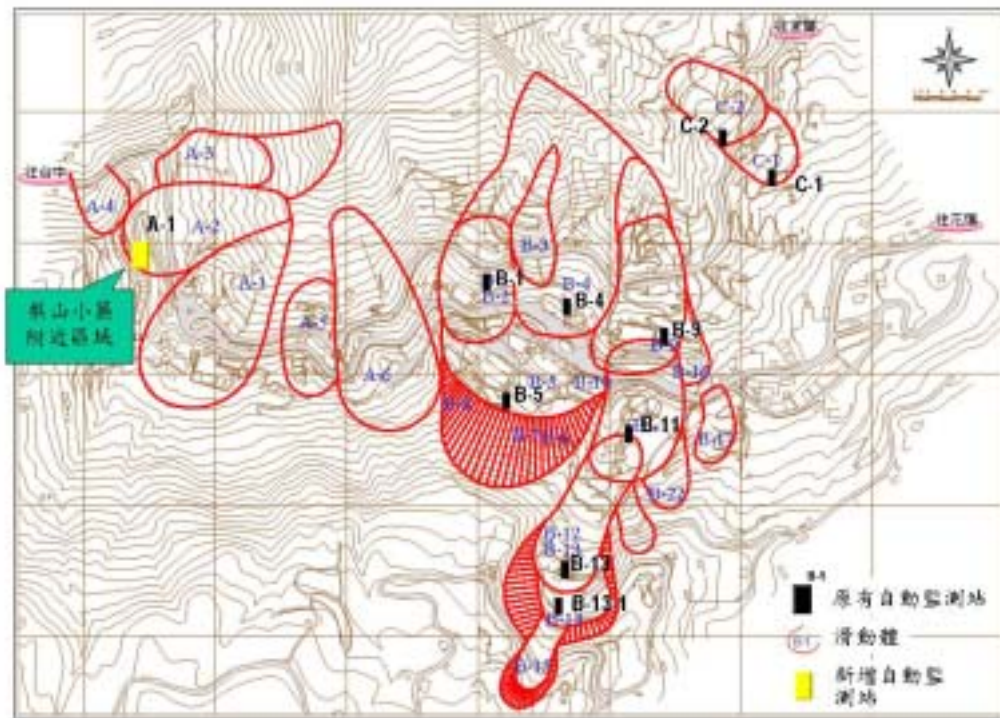


圖 2-9 梨山地區各自動監測站分布位置圖

2.1.3 九份二山崩塌地觀測計畫

南投縣國姓鄉南港村崁斗山東南山麓一帶，受 921 大地震的影響，發生大規模順向坡岩體滑動，即通稱的”九份二山崩塌地”，崩塌區

與堆積區之總面積達 195 公頃，計 39 人慘遭活埋，崩塌土石堵塞北山坑溪（木屐欄溪）支流韭菜湖溪及澀子坑溪，分別形成韭菜湖溪及澀仔坑兩處堰塞湖。

由於崩塌範圍廣闊，堆積土石量遠超過以往經驗，為加速災區復舊，防範豪雨潰洪與土石流災害，遂由水保局委託中興大學針對該崩塌地堆積區，進行基本資料之調查研究、建立監測與通報系統、堆積區之整治工程對策規劃、堰塞湖破壞及可能之災害分析等工作。成果報告中建議以降雨量、堰塞湖水位、堆積區鑽孔地下水位、及溢流水位等觀測項目，作為預警項目並設定基準值。

2002 年 11 月間，崩塌區順向坡址部，再度發生上拱及張口裂縫等異常現象，水保局為了瞭解九份二山崩塌地是否繼續滑動中，隨即辦理「九份二山崩塌地觀測計畫」，進行地質鑽探、地表變動觀測、孔內傾斜及地下觀測等方法，以初步瞭解地表及地下變動行為，作為颱風豪雨來臨時，緊急應變之參考。

2.1.4 降雨入滲與邊坡破壞之相關研究

由於邊坡破壞常發生在暴雨過後，這使我們相信邊坡破壞與降雨有某種型式的關聯。事實上，Brand^[7], Lumb^[10], Slosson and Larson^[13] 等人，已經注意並證實邊坡破壞與降雨間的關聯性。但除了暴雨之外，引發邊坡破壞還需要某些臨前水文條件。前期降雨能讓邊坡表層充滿水分，使得水能在邊坡中更容易流動。亦即，土壤表層需要先飽和使得隨後的暴雨能啟動邊坡破壞的機制。而邊坡破壞所需要的前期降雨量是依據土壤表層的覆蓋、土壤之水力傳導性、滲透率、蒸發散和邊坡的水文情況來決定。

對於前期降雨對邊坡穩定的影響已經被研究很多年，Lumb 發現了前期降雨對邊坡破壞的影響，特別的是，他發現如果前期降雨量較高的話，將會伴隨著發生較多的邊坡破壞事件。他並區分降雨所造成的邊坡破壞事件為下列四類：

1. 最嚴重的事件在一天中造成超過 50 起的邊坡破壞

- 2.嚴重的事件在一天中造成10到50起的邊坡破壞
- 3.次要的事件在一天中造成少於10起的邊坡破壞
- 4.獨立的事件在一天中僅造成1起邊坡破壞

根據所獲得的降雨資料，Lumb 訂定了不同等級事件的範圍，並以 15 天的前期降雨和 24 小時的暴雨來說明。最嚴重的事件發生在 24 小時的降雨量超過 100mm，而 15 天的前期降雨超過 350mm。嚴重的事件發生在 24 小時的暴雨超過 100mm，而前期降雨量達到 200mm。當降雨與邊坡破壞的關聯性被證實之後，便有許多針對何時達到邊坡破壞降雨門檻值的研究。在南加州降雨量超過平常(係指超過 100 年之記錄資料的平均值)的 140%時，便會成功地啟發邊坡破壞的機制 (Slosson^[11], Slosson and Krohn^[11])。Wilson^[15]建議在舊金山引發邊坡不穩定的門檻值為降雨量達平常的 125%。Wieczorek^[14]也在舊金山得到相同結果。而 Auer 和 Shakoor 研究 1969 年美國中部 Nelson County 在 Camille 風災後的崩塌分布發現，由西向東行進的颶風，在西、西北、西南向邊坡造成較為嚴重的崩塌，因此崩塌地發生邊坡的坡向也可能與颶風行逕有關。雖然香港並沒有地震引起崩塌的記錄，但土力工程處曾進行研究，比較地震與雨水導致的人造斜坡崩塌的風險。研究結果顯示，地震導致人造斜坡崩塌的風險遠比因暴雨導致的風險為低。

Brand 使用下列三個步驟來調查香港的邊坡破壞：

- 1.參考Lumb的資料，使用香港46個自動雨量記錄器收集的雨量資料。
- 2.考慮降雨延時為1小時與24小時的暴雨，且搭配30天的前期降雨。
- 3.藉消防署的報告確認邊坡破壞的時間。

由災害數目與降雨強度的關係，根據上述研究，Brand 提出以下結論：

- 1.香港過半數的邊坡破壞，都是因為局部短暫的降雨所引起。
- 2.當降雨強度超過70mm/hr便達到引發邊坡破壞的門檻值。

簡世杰^[6]藉現地量測資料探討各種因子對邊坡滑動機制之影響，研

究區域在嘉義縣番路鄉公田村五彎仔附近公路沿線之山坡地(28K+900至31K+500)。該地區屬於舊地滑區，自公路開闢以來，長期遭受地層滑動之苦。自2000年初在該區設置若干監測儀器，針對當地地層、地表變形、地下水位及雨量等進行持續觀測；期間歷時約兩年。同時配合理論分析與室內試驗結果，做相關性之探討。觀察結果顯示，此區域處於極不穩定之狀態。發現此區之滑動行為和降雨量有密切之關係。由2000年監測資料顯示，邊坡產生加速滑動所需之累積雨量約為80~270mm，相當於3~5天之累積降雨量所造成。

葉信富^[5]應用集水區水平衡概念，探討降雨入滲補注對坡地崩塌之影響性。(1)利用河川流量歷線法與基流推估模式來推估河川基流量，視基流量為地下水入滲補注量；(2)利用未飽和土壤水平衡法，考慮降雨、入滲、逕流、蒸發散及地下水補注的相互關聯系統。顯示兩種模式所求之結果相近。再利用STEDWIN進行敏感度分析探討對邊坡穩定之影響，顯示內摩擦角變異性對邊坡穩定影響最大，坡度變異性影響次之，再依次為地下水位抬升、凝聚力及單位重。推估該地區降雨量與安全係數關係圖，得知當坡度提昇至35度時，利用Janbu簡化法分析發現降雨量在400至500公厘時其安全係數即達到1.0而有達到臨界崩塌之虞。在實例探討上，清水溪流域曾發生崩塌之地點，與所推估出之降雨補注係數有相對的關係。

邱奕峰^[2]藉現地量測配合理論分析，探討相關因子對於邊坡滑動機制之影響。自2000年初即針對台十八線五彎仔附近(29K+900~31K+500)地表及地層變位、降雨量、地下水位、地下水流量等項目，進行長期監測工作。2003年6月26日發生嚴重破壞，造成31K+340路段路基流失約150公尺，公路中斷約1個半月。分析探討此案例造成邊坡破壞的原因，與現場監測結果對照，配合理論分析，並對破壞後殘坡之穩定性進行評估，最後提出可能之整治方案。高明仁^[4]研究台18線公路五彎仔附近山坡地，2003年6月26日於31K+340路段邊坡無預警的發生滑動破壞，造成整條公路中斷。利用SLOPES/W軟體，以地下水位變化來模擬邊坡的枯水期與雨季，並在雨季時外加載重輸

入，使邊坡達到破壞條件，再加以整理分析其破壞模式與傾斜儀觀測數據比較。

根據日本地滑對策技術協會建議，採用位移速率對於不穩定邊坡之活動性加以分級，如表 2-2 所示，該分級法係由測得之地層位移量除以觀測時間求得位移速率，再以位移速率之大小及位移趨勢是否顯著做為分級之依據，由表中可知不穩定邊坡之活動性大致分為四級，其中第一級係為緊急變動，第二級為確定變動，第三級為準確定變動之邊坡，該三類邊坡均屬確定有問題且在活動中之邊坡，需儘速提出有效因應對策加以處理。至於第四級之潛在變動邊坡，由於其位移速率每月僅有 0.5mm~2.0mm 之間，相當於每年位移量僅有 6mm~24mm，該變動之位移速率甚小，若其位移方向仍有一固定趨勢時，則這類型邊坡之穩定性，仍極具潛在危險；若是位移速率超過 0.5mm/月，但其位移方向卻沒有一定累積傾向時(即有時觀測向前位移，有時又向後位移)，則可能係儀器量測誤差，或傾斜觀測管安裝時四周回填不夠緊密所影響，此類邊坡之穩定性，有待後續量測加以確認。日本高速道路調查會有關預警方法及管理準則如表 2-3 所示，利用地表伸縮計和雨量計訂出警戒與避難管理值。

表 2-2 位移速率與邊坡穩定性判斷建議表

變動種類	日變動量 (mm)	月變動量 (mm)	一定方向的 累積傾向	活動性判 斷	摘要
緊急變動	20mm 以 上	500mm 以 上	非常的顯 著	急速崩壞	崩壞型 泥流型
確定變動 (行動值)	1 以上	10 以上	顯著	活潑運動 中	崩積土滑 動 深層滑動
準確定變 動 (警戒值)	0.1 以上	2.0 以上	略顯著	緩慢運動 中	黏土滑動 回填土滑 動
潛在變動 (預警值)	0.02 以上	0.5 以上	稍稍有	待繼續觀 測	黏土滑動 崖錐滑動

表 2-3 地層滑動監測管理基準

監測方法	管理區分		
	注意	警戒	避難
地表伸縮計 降雨強度 累積降雨量	0.5-10mm/day	>10mm/day 10-20mm/hr 50mm	>50mm/day >20mm/hr 100mm

2.1.5 林內鄉坪頂村崩塌監測

素有小黃山之稱的雲林縣林內鄉坪頂溪上游坪頂村林北坑地區於 1999 年 921 大震後即有大崩塌情勢發生，其後於 2004 年敏督利、艾利颱風及 2006 年 69 連續豪雨期間皆持續發生邊坡崩塌情形，為監測上述地區崩塌災害狀況，水土保持局針對坪頂溪上游坪頂村林北坑地區進行現場邊坡水文地文資料蒐集與崩塌地變化監測，完成坪頂溪上游坪頂村林北坑地區進行現場邊坡水文地文資料蒐集、崩塌地變化監測及當地防災應變中心軟硬體強化等工作，期能於後續防汛期間即時掌握崩塌地活動狀況，提昇坡地防災應變能力及災情警戒通報效率，以保障當地眾多居民生命財產之安全。

由於國內目前沒有相關的管理值訂定規範，再加上還未有長期監測結果，且日本在此方面已有相當的經驗，所以先參考日本邊坡穩定性判斷的建議值與儀器可量測的精度，伸縮計行動值為警戒值的 5~10 倍，目前暫訂各項監測儀器行動值為警戒值的 5 倍，其監測管理值暫訂如表 2-4 所示。

表 2-4 各項監測儀器管理值

各項 監測 儀器	雨量計降雨 強度 and 累 積雨量	伸縮計 (磁感式)	伸縮計 (拉線式)	GPS (水平)	傾度盤
行動 值 (紅燈)	>20mm/hr and 100mm/day	>±50mm/day or ±5mm/min	>±250mm/day or ±25mm/min	±80mm/min	±0.3°/min
警戒 值 (黃燈)	10-20mm/hr and 50mm/day	>±10mm/day or ±1mm/min	>±50mm/day or ±5mm/min	±50mm/min	±0.1°/min
精度	0.5 mm	0.1 mm	1mm	30mm	0.01°

2.2 五彎仔自動化監測現況

公路總局於台十八線俗稱阿里山公路，2003年6月25日阿里山公路42K~45K（五彎仔路段）處因連日豪雨發生阿里山公路有史以來最嚴重的災情坍方。並且在不斷的沖刷下，坍方路段面積更加擴大，近一百二十公尺的路面滑落溪谷。崩塌從路面上方的山壁開始流失，兩線道的柏油路面崩裂，檳榔樹連根拔起，一起滑落到溪谷之中。由於此崩塌區地表大多為崩積層，崩積層表面易被沖蝕而使雨水滲入土層產生水壓，是造成邊坡滑動而至使路基不穩主因。然阿里山公路通車至今已近二十多年，往返觀光交通流量所造成之反覆載重影響，再加上多次颱風、豪大雨所帶來之充沛雨量，經常造成地層滑動與路基下陷之災情，嚴重影響當地居民居住及行車安全。

公路總局有鑑於以上問題，發展建置自動化監測系統及GIS緊急通報系統，並增設自動化邊坡滑動之監測儀器。增強對於第四彎及第七彎監測功能。並針對台十八線災害管理系統進行應變管理系統之系統分析、設計與開發，結合視覺及聽覺輔助設備協助應變中心人員注意及示警。針對自動化監測系統在坡地防災之應用進行深入探討，並結合GSM/GPRS無線電傳輸技術搭配其他感測器所建構之自動化監測

系統，冀望於在有限建構成本下更機動地因時因地制宜增加邊坡的觀測捕捉率，朝向即時即地(any time every where)目標前進，以期在最短時間內收集最多邊坡災害發生之相關資訊，提供政府或相關工程、學術單位對於邊坡災害發生機制、預警及防治有實質性幫助，以做為未來坡地防災相關課題研究之參考依據，並訂定更有效的管理基準值，減少邊坡災害對國土保持與民眾安危之災損。

青山工程顧問公司於台 18 線分別建置「手動監測系統」及「自動監測系統」二大部分，其中手動監測系統是以人工量測方式定期進行監測，監測頻率為每個月二次，採此監測方式者主要為傾斜觀測管、水位觀測井（或豎管式水壓計）及結構物傾度盤，儀器裝設位置如圖 2-10 所示。自動化監測系統係自儀器之量測、紀錄、傳輸、建檔，全程以程式控制，採全自動方式運作，對於重要性或敏感度高之間側儀器，以密集的量測頻率，取得連續性之監測資料。此監測系統「即時」之特點，配合適當的管理基準設定，進一步達到預警防災的功能。自動化監測儀器包括雨量計、電子式水壓計、電子式傾斜計、孔內伸縮計、地表伸縮計、地錨荷重計等，各監測儀器之裝設位置如圖 2-11 所示。

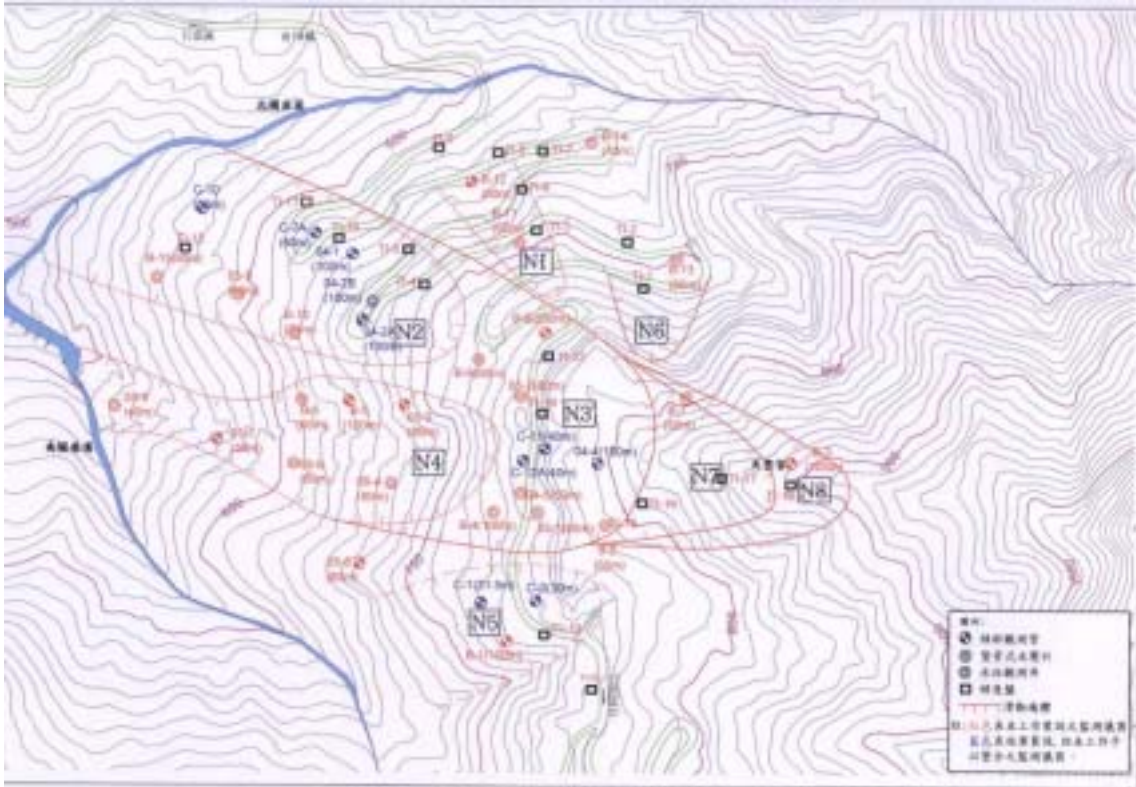


圖 2 - 10 手動監測儀器平面位置圖



圖 2 - 11 自動監測儀器平面位置圖

目前針對潛在性及滑動中之邊坡監測，大多採用傳統傾斜管配合手動式傾斜儀監測滑動面之所在位置及滑動量，監測地下水位則多使用開口式水位計。這些監測儀器幾乎全部使用手工，在儀器現場紀錄讀數。此一安排不但費時，在雨季或邊坡發生滑動時時，現場紀錄儀器讀數可能無法進行或非常危險，而這些情況下也可能是最需要監測儀器讀數的時候。近年來雖有可做自動化監測之電子式監測儀器之研發，但電子式自動化監測系統具有價格昂貴、易受電磁波干擾、雷擊破壞、且儀器設備若長期處於潮濕環境容易短路故障等缺點。光纖相較於電子式儀器的優點在於訊號傳輸距離遠可達數十公里及在光纖傳輸線上可連接多點或分佈式之感測器。目前交通大學以阿里山台 18 線公路五彎仔路段作為本試驗之場址，使用自行研發之光纖感測地層移動監測系統與分佈式光纖水壓計來監測該地區之地層滑動及水壓變化，並配合地下水文數值模型分析，以作為該地滑區日後穩定評估之依據。其全光纖式監測儀器配置如圖 2-12 所示：

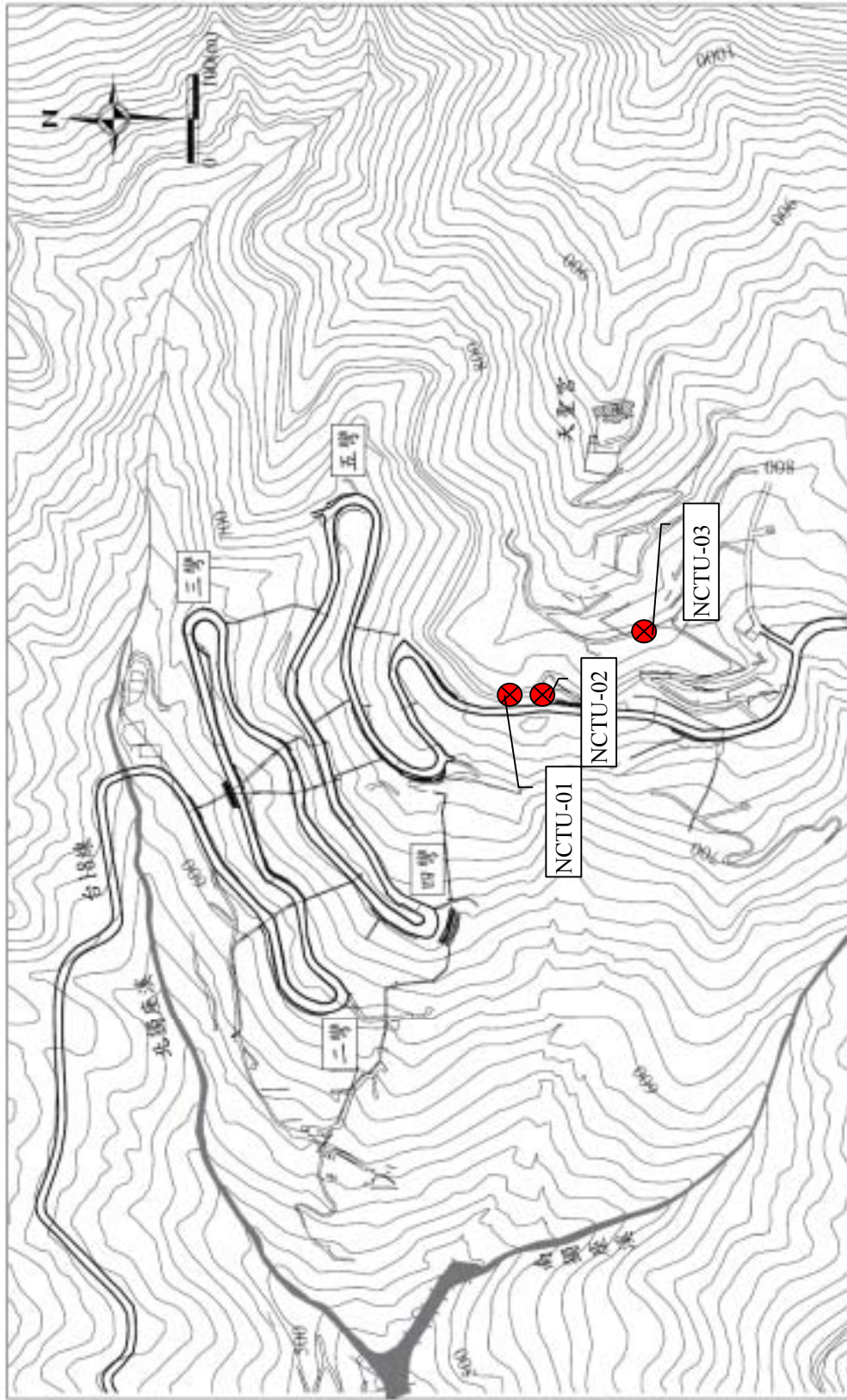


圖 2-12 全光纖式監測儀器配置圖 (青山工程顧問公司, 2006)

台 18 線 45K 五彎仔由阿里山工務段搶通雙向便道後，由各大專院校研究團隊裝置各項儀器設備監測道路狀況；其中儀器小屋如圖 2-13 所示，並由逢甲大學裝設之傾斜儀、水位計、雨量計、CCD 攝影機和即時影像(如圖 2-13 與圖 2-14 示)，皆透過儀器小屋(如圖 2-15 所示)內阿里山工務段採購之資料接收伺服器儲存、加值後，將即時監測資料經過中華電信之衛星服務傳送回公路局各單位，達成自動化即時監測之目的。



圖 2 - 13 台 18 線 45K CCD 攝影機及紅外線投射燈



圖 2 - 14 台 18 線 45K CCD 攝影機傳回影像



圖 2 - 15 台 18 線 45K 自動化監測儀器小屋

第四彎完成儀器架設後之現況：五彎仔第四彎約為台 18 線 44K 處，為一處 U 型彎道，彎道外側河谷即為八掌溪上游，因河谷自然沖刷，及 2003 年處因豪雨發生嚴重坍方，造成 44K 處路基下滑，危及道路安全，並隨時間持續下滑中(如圖 2-16 所示)。阿里山工務段已於 2004 年底開始，對該處發包施工路基補強之作業，現今工程已完成。

逢甲大學團隊受阿里山工務段委辦，利用台 18 線 45K 現已架設完成之各項傳輸設備及儀器，配合 2004 年度新購置之設備，將 45K 之道路邊坡監測延伸至 44K 處，並由原示範性質，轉變為使工務段更有使用價值的實務性質，為 2003 年監測示範站建置的延伸。

計畫施行成果，包含台 18 線 44K 第四彎處及小公田村，設置 CCD 攝影機共三部、紅外線投射燈二部、變位計、地表伸縮儀各一部及影像資料傳輸設備等，儀器部署如圖 2-17 所示，系統現場回傳影像(如圖 2-18~22 所示)與監測系統展示介面(如圖 2-22 所示)。惟本年度該地區歷經多次颱風侵襲，目前第四彎地區已有多處觀測設備損壞，暫時無法正常觀測。

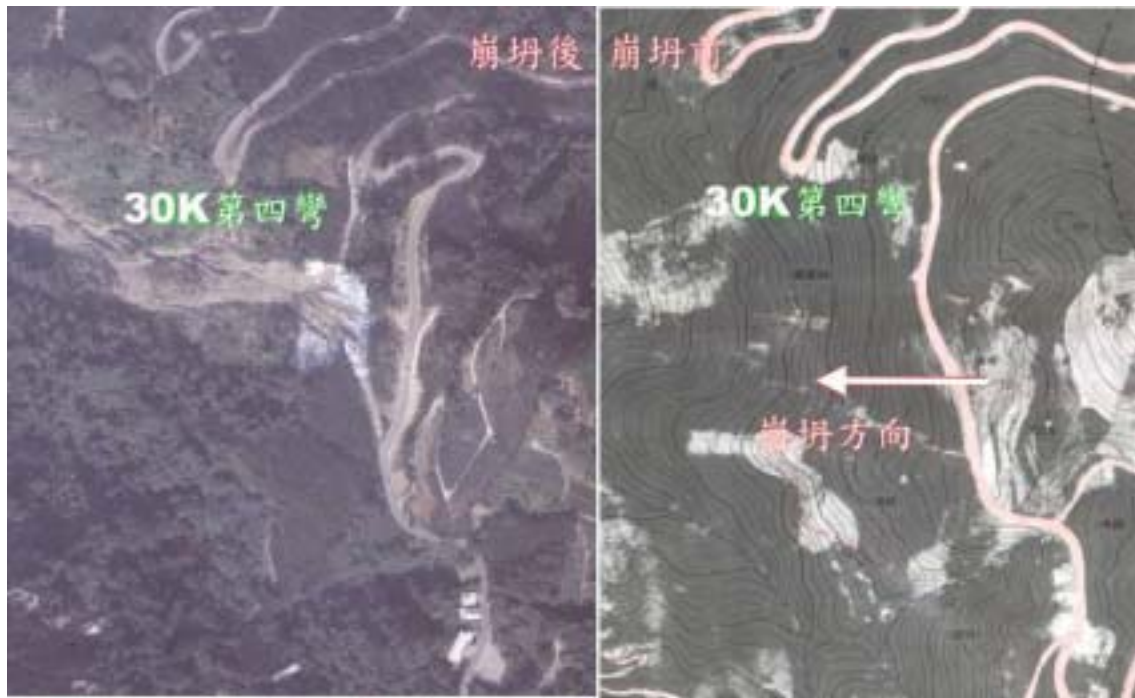


圖 2 - 16 台 18 線 44-45K 崩坍前後對照圖

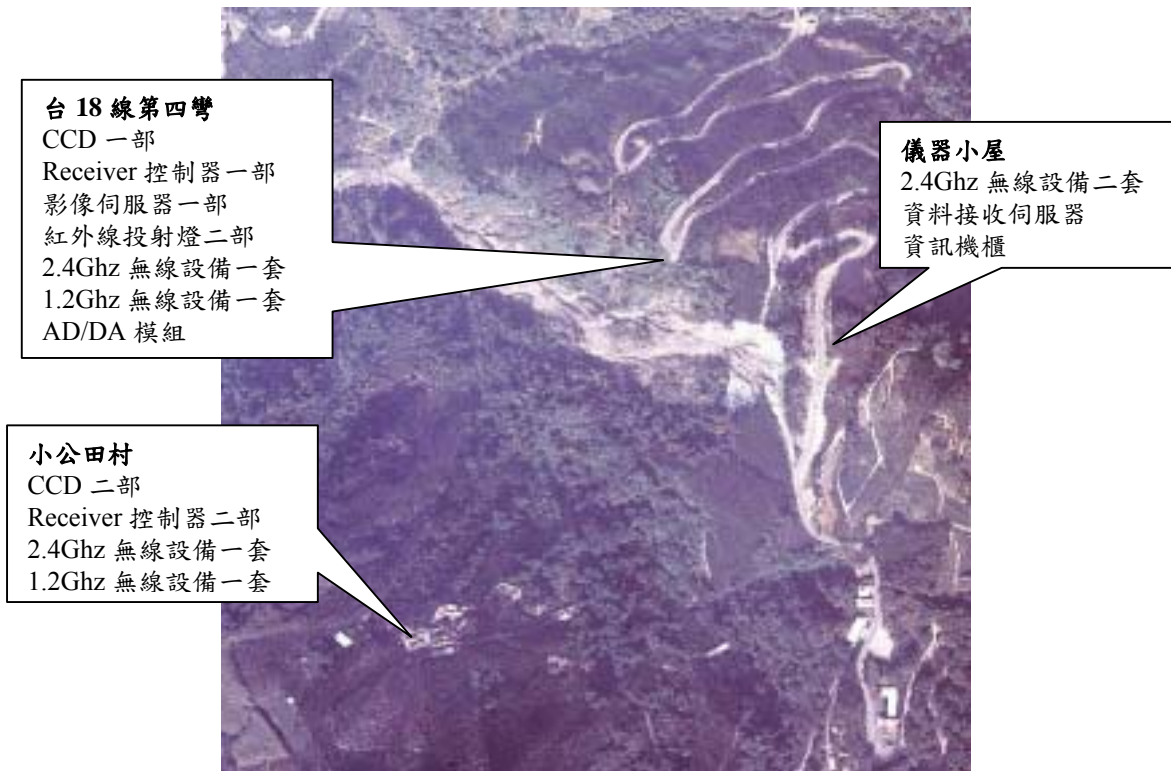


圖 2 - 17 本計畫儀器裝設位置圖



圖 2 - 18 小公田村 CCD#1 傳回之第四彎影像



圖 2 - 19 小公田村 CCD#2 傳回之崩塌區影像



圖 2 - 20 第四彎 CCD 傳回之影像



圖 2 - 21 台 18 地區即時影像回傳狀態



圖 2 - 22 監測系統展示介面

2.3 全球衛星定位發展現況

GPS 衛星定位系統自 90 年代系統運作開始，由於相關的軟硬體技術迅速發展，使得政府機關、學術單位以及民間應用需求與日俱增。由於 GPS 具備操作簡單便利、迅速以及其超高精準確性，除原先設計之軍事國防用途之外，更可用在航空(海)導航、汽車導航、地球科學、油源探測、地質資訊調查以及土地測量等相關層面。

GPS 衛星定位系統除上述應用範疇，在全球亦已應用在許多監測方面之工程，例如地層下陷、高樓受風洞效應而擺盪之監測、大型懸吊式橋樑傾斜監測、火山爆發監測、坡地滑動變形監測等。GPS 相對於利用傳統全測站經緯儀使用在大範圍監測，具有以下優勢：

1. 高資料取樣頻率
2. 全天候24小時觀測資料
3. 不受氣候條件影響
4. 監測點與控制站不需通視
5. 應用無線通訊，可在遠端控制中心直接取得監測資料
6. 監測範圍大

國內外亦有許多文獻以及實例透過 GPS 進行監測之實例。2004 年英國學者利用單頻道與雙頻道之 GPS 衛星定位接收儀針對世界第三大吊橋 Humber Bridge 進行位移監測研究。Humber Bridge 長度 1400 公尺，寬度 280 公尺。研究結果顯示透過 GPS 系統進行即時監測，即使交通尖峰時間車道上有許多大貨車通行，位移量即使達到數十公分，也都能夠即時掌握橋樑傾斜位移狀況。且不管是雙頻道 GPS 或是單頻道 GPS 都能夠達到類似的成果。

1999 年瑞士 Eiblschrofen 山壁發生嚴重崩落(如圖 2-23 所示)，嚴重危急附近居民生命財產安全。當地政府除緊急加蓋擋土牆並實施穩定邊坡工程之外，也利用單頻道 GPS 衛星定位儀器，並配合相關無線通訊設備(圖 2-24)作為資料傳輸媒介，以及相關解算衛星觀測量及圖形展

示位移量之軟體進行監測，使得該區域之崩塌變形量都在當局之掌握中。



圖 2 - 23 Eiblschrofen 山壁崩塌情形



圖 2 - 24 無線通訊設備

國內同樣也有許多利用 GPS 連續接收資料進行監測之案例。如台灣高速鐵路沿線設置固定式 GPS 衛星追蹤站，以長期且連續接收衛星資料，可快速精密分析地表高程之變化，並藉以監測沿線地表之下陷情形。而高雄縣旗山鄉，也透過 GPS 固定站與基準站建立了 Real-Time Kinematic(RTK)斷層水平活動性監測網。土地測量局（現已更名為國土測繪中心）亦在全國都建置了連續性 e-GPS 追蹤站，藉由處理經年累月的觀測資料，可建立國家大地基準並監測地殼形變位移等地球物理之現象與趨勢。

1. 衛星定位監測系統設備介紹

地表上的大型人工建築物如橋樑、高樓，以及具有危險性之地理現象如土石崩塌、地層下陷等，往往具有伴隨時間性之不等位移量，其中包含著某種程度之危險因素。當瞬間的移動變化發生時，需要量測其移動動向並且紀錄過程，以保護機具裝備的安全性，更重要的是人民生命財產的安全，將風險成本降至最低。良好的監測系統，必須要具備強健性(Robust)並且具有自動連續偵測的能力，當位移量明顯產生時，能夠產生即時的(Real-Time)分析結果。

雙頻道 GPS 衛星定位接收儀具有超高精度、超高取樣頻率、全天

候觀測等眾多優點，往往作為高精度大地測量、地殼變動測量之連續追蹤站之用，也因其接收之觀測量較多，以 OTF 法求解周波未定值可在一分鐘之內即時解算，因此也常用作快速動態(Kinematic)測量之用，例如航空攝影測量、超快速運行之車輛，但唯其硬體成本造價相對昂貴。

相對於雙頻道 GPS 衛星定位接收儀，單頻道之衛星定位接收儀造價相對便宜許多，但是其接收頻道數較少，因此支援動態測量的能力相對於雙頻道的 GPS 接收儀遜色。但是經逐年軟硬體的變革，並且透過新的求解周波未定值之技術，單頻道 GPS 衛星定位接收儀雖然動態能力仍遜於雙頻道 GPS 接收儀，但已可用在動態幅度較小的監測測量，並且在求解周波未定值之成功率以及長時間監測的精度上表現也都十分良好。此外搭配無線通訊設備以及精密的解算分析軟體，單頻道 GPS 衛星定位接收儀足以支援建物以及坡地位移變形之監測。

瑞士 Heerbrugg 的 Leica 測量系統是一家具有悠久歷史的全球知名精密測量儀器供應商，針對監測(Monitoring)領域也提出了許多解決方案。其中 Leica 公司所生產之 L1 單頻道 GMX901 衛星定位接收儀搭配 Spider 參考站即時解算軟體，以及 GNSS QC 即時監測分析軟體，並搭配資料傳輸科技，可以針對坡地滑動變形監測，提供完整配套解決措施，並且提供全天 24 小時不間斷即時定位監測成果。

2. GMX901 單頻道衛星定位接收儀

GMX901 L1 單頻道衛星定位接收儀，專門針對監測(Monitoring)應用而設計的產品；其追蹤衛星訊號之技術稱之為” ClearTrack” ，能提供最佳的信號接收、衛星追蹤、抗干擾和抑制多路徑效應。低耗電量、良好的周遭溫度適應力、以及強健的防水防塵能力，更適合長時間的監測任務。詳細硬體規格如下：

- (1)可接收 12 頻道 L1 觀測量以及 C/A code 觀測量
- (2)冷開機後 30 秒內可取得衛星資訊
- (3)接收資料頻率可支援至 1Hz
- (4)靜態基線精度平面 5mm+2ppm；高程 10mm+2ppm

- (5)耗電量僅僅只有 1.7W
- (6)具有直流電源埠；外接電源可承受 5V~28V
- (7)作業溫度可達-40°C~65°C；儲存溫度可達-40°C~80°C
- (8)防水防塵等級達 IP67，高等級防水防塵能力
- (9)天線盤大小:18.6cm x 18.6cm x 6cm
- (10)重量僅只有 0.7kg
- (11)輸出資訊可支援有線以及無線傳輸功能，監測點位置與行控中心不受限制，不需透過單一主機切換(switch)接收觀測資訊
Spider 參考站即時解算網軟體

3. Leica Spider GPS 軟體

Leica Spider GPS 參考站軟體如圖 2-25 所示，主要用於控制和操作 GPS 參考站網及即時解算參考站網觀測量。Leica Spider GPS 參考站軟體的主要特點有：

(1)功能強大先進，操作方便可靠

Leica Spider 可在 Windows XP 之視窗作業系統環境中執行，並使用 Microsoft SQL 資料庫，採用了人性化圖形操作介面與直覺式的主從式架構設計與帳戶管理功能。只要在參考站接收儀和 Spider 伺服主機之間建立了適當的通訊方式(有線無線傳輸方式均可支援)，那麼就不需要參考站端再設置電腦來進行控管。

(2)透過 TCP/IP，遠端控制能力

系統管理員可以在任何時間、任何地點透過網際網路連接到安裝有 Leica Spider 的伺服主機(位於行控中心)，並對參考站系統進行遠端控制及設定動作，例如監測點點號、接收仰角等設定，人員不需要親自到控制中心，透過網路就可將監測站設定完成。

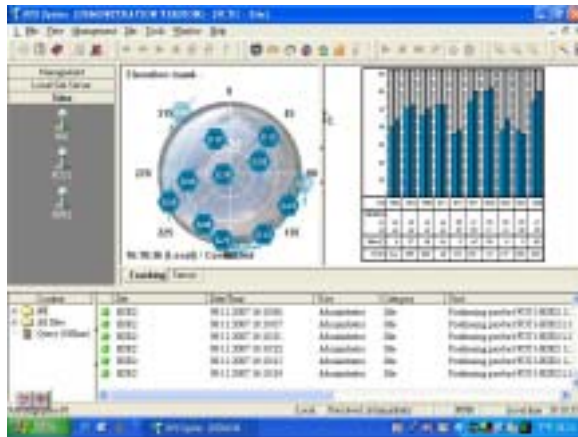


圖 2 - 25 Leica Spider 可遠端設定監測點系統

(3)強大的資料解算以及管理功能

Spider 可連續 24 小時自動化地接收”所有”監測點之觀測量並且將觀測量匯入 Spider 伺服器，並且即時解算坐標以及三維基線量，所有監測點之資料可同步接收、同步解算，不須經過切換 (Switch) 之動作。此外強大的資料解算功能，資料計算更新頻率可達到 20Hz(如圖 2-26 所示)。計算後之成果可以照使用者需求依照時間間格作檔案切割(如圖 2-27 所示)，可支援至自動切割成 10 分鐘一個檔案。



圖 2 - 26 Leica Spider 可遠端設定解算頻率

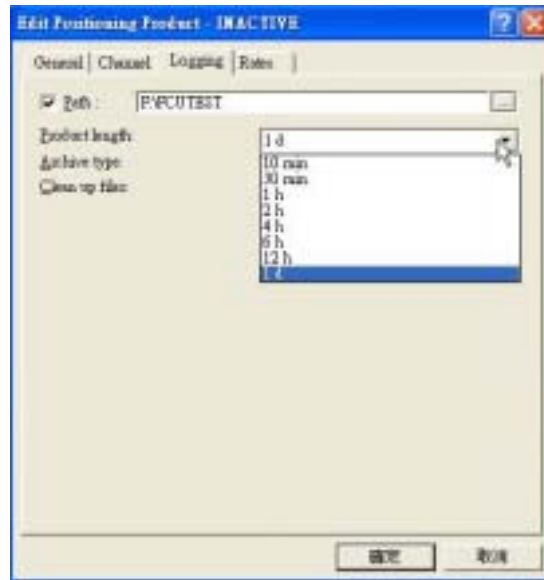


圖 2 - 27 Leica Spider 可設定檔案自動切割時段

(4)圖形化顯示功能

Leica Spider 搭配 QNSS QC 軟體，可將各個 GPS 監測點之衛星 SNR 訊號分析、多路徑效應分析、電離層效應分析以及各個監測點之間的基線的三維分量之坐標差以直覺式圖形顯示(如圖 2-28 所示)。若各個 GPS 監測點有即時性或趨勢性的位移，從圖形便可馬上察覺。此外 GNSS QC 軟體並支援 Rinex V2.1/ IONEX V1.0，以及 NMEA GGA，GGQ，LLQ 等多種資料格式

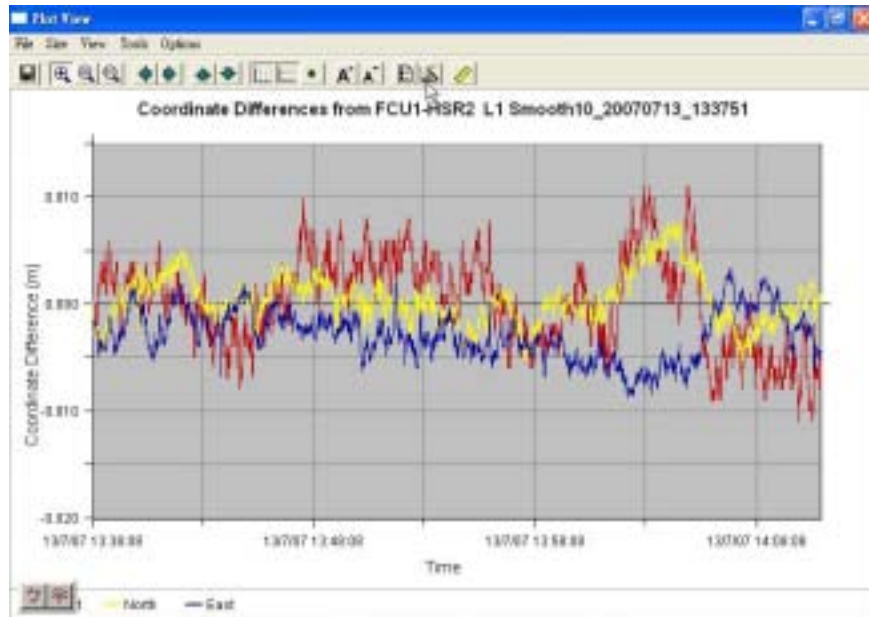


圖 2 - 28 Leica Spider/GNSS QC 可即時顯示三維基線坐標分量

(5)軟體規格如下:

- (a)軟體可在 WIN XP Professional 或 Win2003 Server 等版本作業系統下操作。
- (b)軟體可使用 Microsoft SQL Server Database 做資料庫管理
- (c)伺服器(Server) 可自動連接 GPS 接收儀、資料下載、儲存、管理及輸出。
- (d)軟體可透過網路(TCP/IP)介面，伺服器端直接與遠端 GPS 監測站之接收儀連線作業，遠端 GPS 監測站之接收儀不需要另外連接 PC 電腦。
- (e)可遠端(Client)輸入各 GPS 監測站之站名、坐標、接收儀/天線型式、資料自動下載時間。
- (f)軟體可連續下載 GPS 原始觀測量(Raw Data)，並且自動連續求解監測站坐標。

(g)軟體可即時顯示各 GPS 監測站在坐標圖上之圖形位置、衛星編號、衛星訊號接收訊雜比、衛星天空分佈圖、衛星仰角，並以圖形顯示坐標成果。

(h)軟體可依照使用者需求自訂坐標紀錄檔輸出時間間格，最少須達 10 分鐘一個檔案。坐標檔需紀錄每個監測站之點位坐標。

4. 一機多天線GPS系統

近二十年來，全球衛星定位系統（Global Positioning System；簡稱 GPS）已經廣泛應用於許多學科和領域，且被證明是用於監測人為和自然結構變形和位移的一個非常有力的工具，GPS 具有許多優於傳統測量技術的優點，簡單說來，GPS 更加精確、有效、高自動化和低勞動強度。但是，在這些應用中影響 GPS 大規模使用的一個限制因素就是它的硬體成本高。對於變形體的連續監測來說，每個被監測的點位元都需要配備一套高質量的大地型 GPS 接收機。這就使得設備費用投入太昂貴。為此我們提出了多天線 GPS 的構想，使用多組 GPS 天線和一台接收機相連，形成所謂的多天線 GPS 系統，特別適用於結構變形和位移監測。由本研究組研製的第一套系統是使用外接一台現成的、標準商業化 GPS 接收機和一個專門設計的 GPS 多天線開關（GMS：GPS multi-antenna switch），使得多個天線能和一台接收機連接在一起，所有天線所在的點位元都能監測（如圖 2-29 所示）。這樣，每個監測點上的 GPS 硬體成本就得到成倍地減少，從而使得 GPS 在許多應用中成為可能，更加實用化。

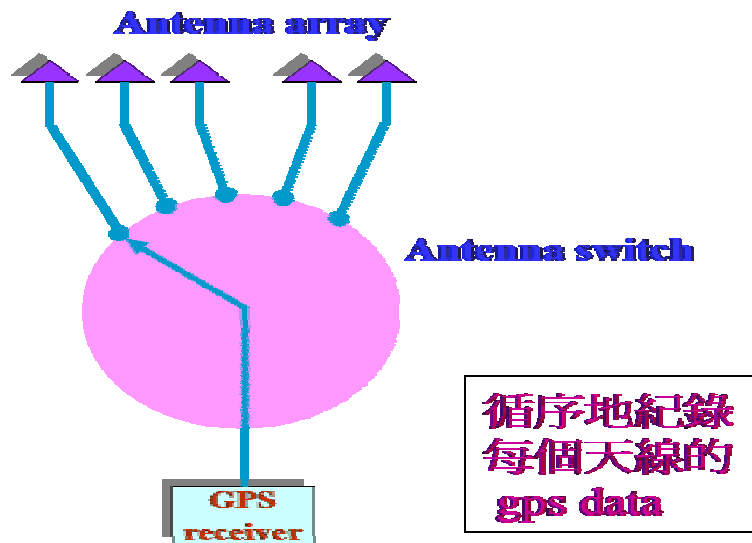


圖 2 - 29 多天線 GPS 開關(GMS)的設計

對於一個標準的 GPS 系統而言，一台 GPS 接收機只有一組天線。所以，這種標準的 GPS 系統,一台接收機只能測量一個由天線位置確定的點位元。這些標準的 GPS 系統已被廣泛用於導航、測量及其它許多領域中。當使用標準 GPS 系統進行連續的變形監測時，無論是對於地球表面的變形（如邊坡等），還是對於各種工程結構變形（如壩體，橋樑等），每台 GPS 接收機只能用於監測一個點的位移情況。

多天線 GPS 系統，採用分時原理允許每個天線都能與接收機連接，按設定的時間順序採集 GPS 觀測資料。這個原理採用一個特別設計的 GPS 多天線開關（GMS）在一台工業 PC 的控制下來實現。每個天線所採集的資料都能用來計算回應天線的位置，或每個相應的天線的位移。使用差分定位模式，一套完整的多天線 GPS 系統的構造如圖 2-30 所示。這裏使用一台接收機安裝在已知站上，作為基準站，從而提高多天線 GPS 系統的定位精度。

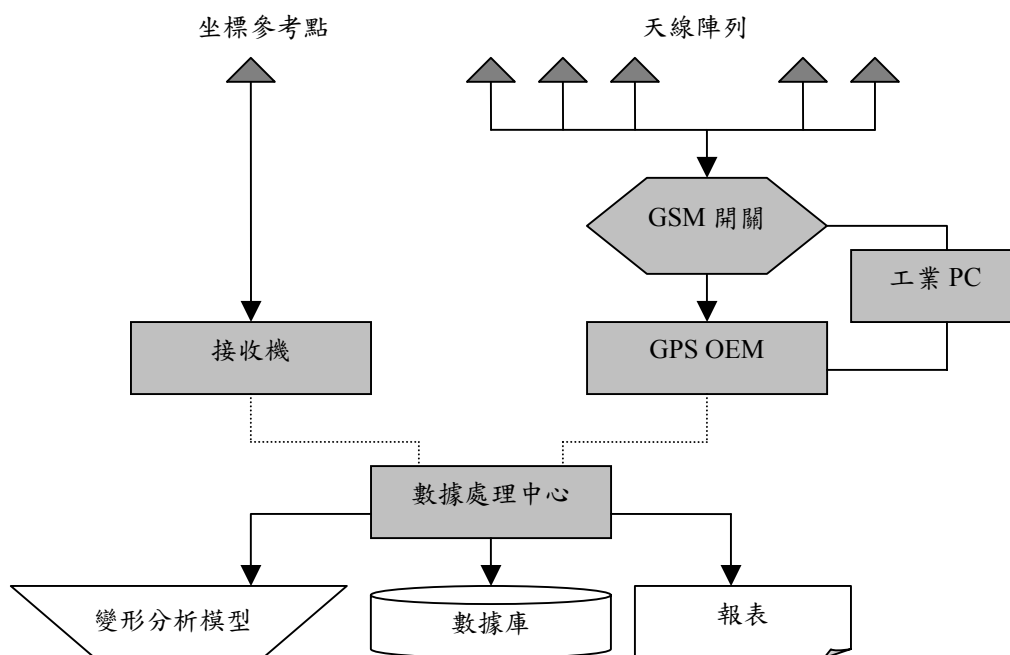


圖 2-30 新一代多天線 GPS 系統的差分定位構造

(1) 一機多天線 GPS 硬體架構

系統採用一台適於野外環境的工業電腦把 GPS/OEM 板、多天線開關 (GMS) 和資料通訊系統 (目前採用 GSM900/1800)，更加高度地集成在一起。用一塊 GPS/OEM 板代替外接大地型 GPS 接收機，這樣使得它更加容易與其他元件集成，同時進一步減少系統的成本。在市場上可用於這種系統的 GPS/OEM 板的選擇餘地比較大。選擇一塊 GPS/OEM 板主要考慮兩個因數：資料採樣率和它是單頻或是雙頻的接收板。

監控人員辦公室和 GPS 系統站之間的通訊連接將經由衛星傳遞至陽明山衛星接收站，再經固定的電話線或 T1 專線傳回，無線電發射器通常易於受環境條件的影響，或者有時需要使用中繼轉發站。圖 2-31 (a) 所示的是單元的前端，它具有 8 通道天線連

接器、一個軟碟驅動器和電話線插座。另外旁邊還有一個 GSM 數據機和一個連接在單元上的天線。(b) 所示的是用於控制的工業電腦的螢幕和鍵盤，在系統安置完畢後均可以取下。



圖 2 - 31 多天線 GPS 接收機、GMS 和資料通訊系統

(2) 資料處理和分析演算法和軟體

系統所開發的套裝軟體是用來遙控系統的操作、計算多天線 GPS 系統上天線中心的位置和位移，從而來評估被監測物體所處的狀態。軟體的主功能表如圖 2-32 所示。



圖 2 - 32 多天線 GPS 系統軟體的主功能表

資料處理與管理軟體的結構如圖 2-33 所示。一旦系統在初始化建立起來後，它的操作就可以通過資料通訊系統來遙控。決定系統操作的重要參數包括系統的資料採樣率、衛星接收截止角、接收機在 GMS 每掃描一圈中與每根天線連接的時間，以及資料是

如何被傳輸到辦公室的方式（例如，以即時的方式或是以固定時間間隔的方式）。

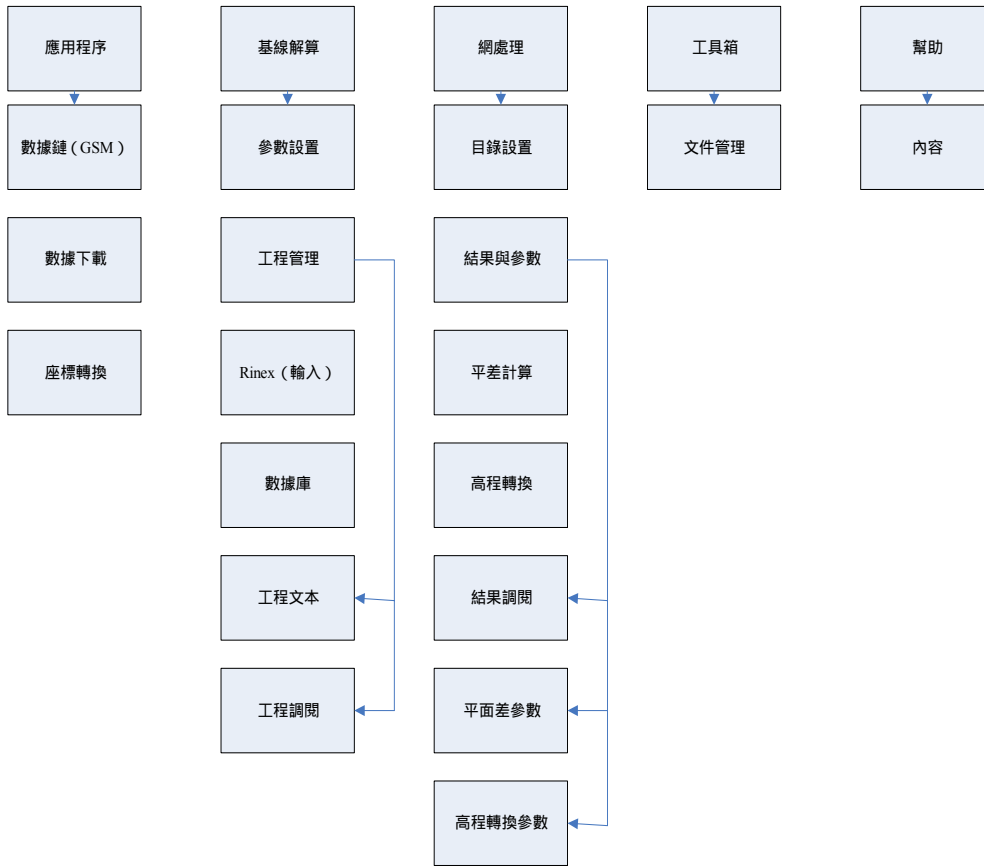


圖 2 - 33 多天線 GPS 資料處理與管理軟體的結構

圖 2-34 所示是系統參數的設置視窗，它包括所要使用的天線通道選擇、資料的採樣間隔、衛星截止角、在掃描一圈中每個通道的時間間隔和所決定的資料傳輸形式。

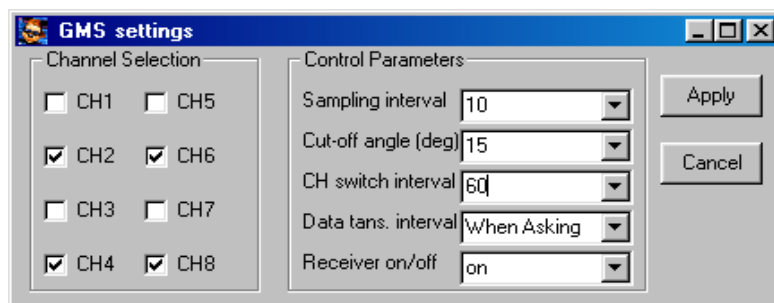


圖 2 - 34 多天線 GPS 系統參數設置

圖 2-35 是系統所顯示的系統操作狀態視窗，包括每個通道的狀態、當前被追蹤的衛星數目和每顆衛星的方位角和高度角。

軟體接收資料採用通常所使用的標準 GPS 資料交換格式，如 RINEX 資料格式。軟體能進行 GPS 基線處理、進行 GPS 網平差和將大地高轉化為正常高等功能。系統可以有靜態或動態 (RTK) 兩種工作模式，其計算時間的長短會影響監測的精度。前者提供毫米級定位精度但需要較長的觀測時間，取決於當時的位置條件和基線的長度；後者提供釐米級的即時或準即時定位。

圖 2-36 是軟體所顯示的被監測點以三維坐標變化的形式所反映的各坐標的變化情況，和在水平面內點的的位移/或運動軌跡的情況，圖內上半部之白色細線條的間隔單位為公分，如此可明瞭此即時位移監控的能力可達公分精度。

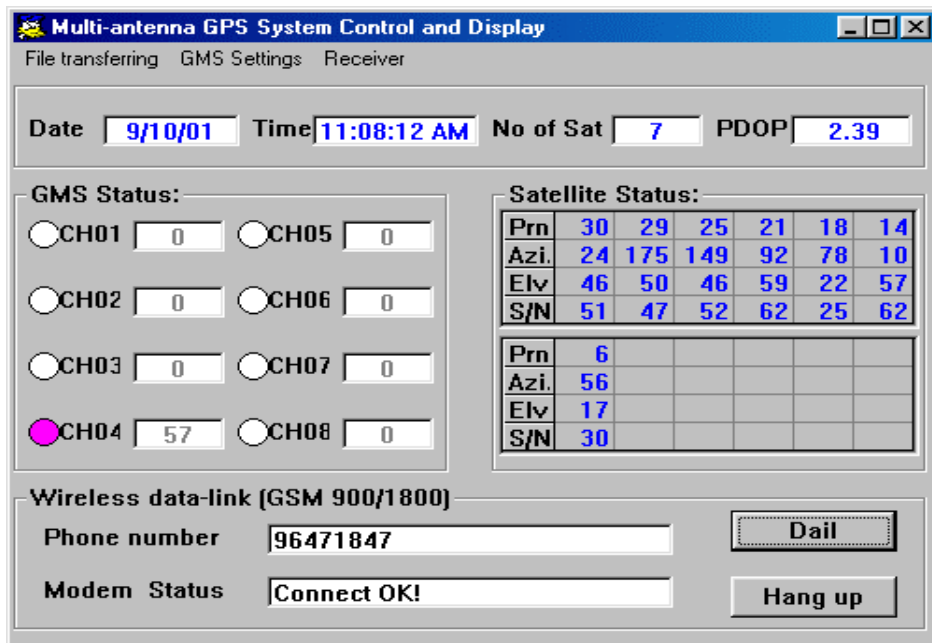


圖 2 - 35 顯示多天線 GPS 系統操作狀態的螢幕

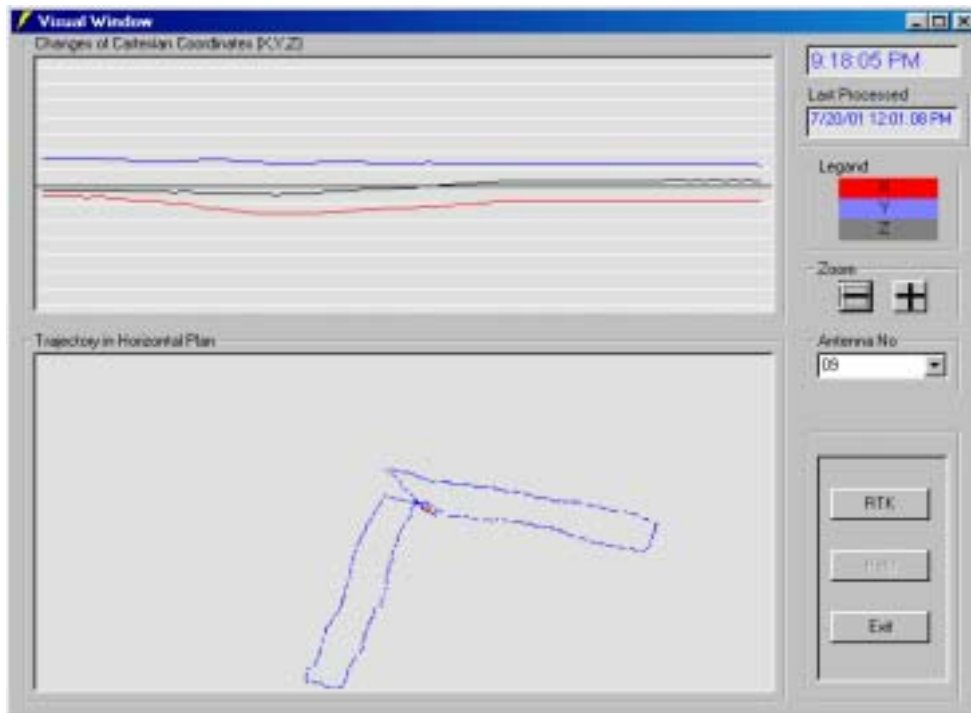


圖 2 - 36 多天線 GPS 監測點的位移顯示

2.4 近景攝影測量現況

近景攝影測量 (Close-Range Photogrammetry) 是通過攝影 (攝像) 和隨後的圖像處理和攝影測量處理以獲取被攝目標形狀、大小和運動狀態的一門技術。近景攝影測量係指攝影物距 (Object-to Camera Distance) 小於 100 公尺者。由於物距短，大氣折光與地球曲率之影響可以忽略，物空間之坐標系統可採用較方便的自定坐標，攝影站接近地面，攝影站位置於施行控制點測量時，可同時測得，攝影作業及控制測量亦較航空測量簡易。由於使用非量測且無框標之數位相機擷取影像，因此計畫採用直接線性轉換法 (Direct Linear Transformation) 解算，如此，不用將儀器坐標轉換成像片坐標，再由像片坐標轉換為物空間坐標，而可將坐標量測儀系統透過轉換參數直接計算成物空間坐標系統。

近景攝影測量的優點在於它兼有非接觸性量測手段，不傷及被測物體，信息容量高，信息易儲存，可重複使用信息，精度高，速度快，

特別適用於測量容有大量點位的目標，躲避危險環境而遠離攝影對象等眾多優點。近景攝影測量被證明是不接觸物空間待測物，而能量測出其位置進而推算其變位的極佳方式。

近景攝影的應用範圍十分廣泛，舉凡建築工程、地形測繪、採礦工程、木土工程、人類學乃至於電機領域的機器人視覺都可發現其應用實例。在地球科學領域中，近景攝影的技術最常被應用於地形學的研究上，配合立體解析製圖儀，可以建構出數值地形模型。雖然近幾年遙測技術及自動化影像匹配技術的進步，使數值地形模型的建立已不似以往倚重解析製圖儀，但在地形起伏變化大的地區，由解析製圖儀所建立的數值地形資料精度仍是目前影像匹配技術所能達到者望其項背的。由此可知，在目前由近景攝影技術配合解析製圖儀來取得目標物的精確數值資料仍有其不可取代性。

所謂近景攝影定義是拍攝距離在一百公尺以內均屬近景攝影，其原理乃是對於同一目標物，於不同角度、方向均予以拍攝，再利用解析製圖儀的操作來組構出目標物的立體像對，而後進一步取得數值資料，便完成一個立體的數值模型建製。而近景攝影運作步驟是基於測量學中像平面與物空間坐標之間的幾何關係所發展出來，步驟簡述如下：

- 一、由近景攝影機對目標物於幾個本計畫所設計的角度予以拍攝。
- 二、選定所拍攝地區的控制點，做為以後儀器作業時坐標控制，控制點的位置需儘量均勻分佈。
- 三、開始進入解析製圖儀作業流程以取得目標物的數值資料。

第三章 道路邊坡自動化監測示範站維護與監測

為維護設置於阿里山公路段之多天線全球衛星定位系統之觀測示範站正常運作，並持續完成後續 4 組 GPS 天線架設工作，因此本年度將以 8 組 GPS 天線接收之架構進行第四彎地區之地表位移監測工作，相關工作執行成果說明如下。

3.1 自動化監測示範站系統維護工作

本項工作內容規劃包含位於儀器屋機房內之工業電腦主機及相關線路、通訊、電力、多天線 GPS 觀測儀器與前端儀器接收中心；其維護內容說明如下：

1. 阿里山公路儀器機房
 - (1)多天線 GPS 主機天線：1 組。
 - (2)工業級電腦：1 組。
 - (3)多天線 GPS 解算軟體：1 組。
 - (4)無線通訊傳輸主機與天線：1 組。
 - (5)衛星傳輸設備：1 組。
2. 阿里山公路第四彎處
 - (1)多天線 GPS 天線及線路：8 組。
 - (2)多天線 GPS 主機：1 組。
 - (3)多天線 GPS 類比數位轉換器：1 組。
 - (4)電源供應器：1 組。
 - (5)無線通訊傳輸主機與天線：1 組。
 - (6)儀器設備機箱：1 組。

3.1.1 設備保養及管理維護工作週期及內容

為使觀測站持續維持正常運作，對於觀測設備預知保養（Condition Based Maintenance）之流程是必須執行的，基於調查觀測儀器設備劣化、耗損狀況之點檢診斷進行的修復與更換動作，即是預知保養，所謂「預防勝於治療」，就是此道理，因此對觀測設備作定期之測試維護，除可延長設備之壽命，更重要的是當災害來臨之時更能發揮最大之監測效應。

本團隊於計畫執行期間，每月至少一次前往現場進行設備保養及管理維護工作，如發生特殊狀況則立即派員前往現場察看檢修，例行檢測與維護重點如下：

1. 資訊系統病毒碼更新及網路安全性檢測工作。
2. 檢視設備外觀及線路完整性檢視工作。
3. 觀測站主體結構及儀器設置處所周邊環境清潔維護，對於影響觀測工作進行之相關問題，本團隊亦主動會同相關單位進行溝通協調。

針對各項儀器設備功能特點採取適當的保養工作，維持其應有之效能，並且透過維護測試程序儘早發現問題，以採取檢測及預防校正等相關工作，以下為各觀測設備維護保養之說明：

由於各項儀器設備長時間放置野外作業，飽受日曬雨淋，相對於室內作業則較容易故障，因此在維護時須注意以下事項：

- (1) 檢視支架有無鏽蝕情形，若鏽蝕情況嚴重，則需更換新品，並做適當之防鏽處理。
- (2) 檢視儀器外觀（如表面、設置角度、接頭防水狀況），進行必要之調整並予擦拭乾淨。
- (3) 檢視線路外皮有無異常破損等情形。
- (4) 測試各項儀器運作是否正常。
- (5) 儀器訊號收納箱常有昆蟲進入築巢，平時需將訊號箱內不需使用之出線口封死或放入除蟲劑，避免訊號箱內昆蟲滋生。

4.自行研發觀測站資料接收報告及內部控制管理系統

為增進現地觀測站觀測儀器之現況掌控，進而提升現地儀器維護之效率，本團隊已開發觀測站資料接收報告，每 2 小時回報 1 次，後端工作人員可藉此掌握現地各觀測儀器運作情形；此外，為掌握現地故障維護情形，另外開發儀器運作狀況通報系統，可提供本團隊工作同仁瞭解各站儀器運作狀況及損壞處理進度，對於待修或損害之儀器進行維護或更新，有助於觀測站資料之分析、人力資源之有效分配及工時之掌控。其觀測站資料接收報告及內部控制管理系統功能如下：

(1)觀測站資料接收報告

本團隊已開發之觀測站資料接收報告(如圖 3-1 所示)，於每星期 1 至星期 5 每 2 小時回報 1 次，星期六日則 06:00、12:00、18:00 回報一次，後端工作人員可由接收報告瞭解各觀測站之儀器運作情形，若有接收異常，則會顯示異常，工作人員可依此將有異常之觀測儀器登錄內部控制管理系統，以安排維修人員處理。

如遇颱風豪雨期間，系統可機動調整為每小時發送通報記錄，以協助後端管理人員立即瞭解現場系統運作狀況。

站名	影像雜物狀態	氣象局雨量	現地雨量
台 18 線	CCD1 2008/6/23 下午 03:02:19		0mm (2008/6/23 下午 03:00:00)
	CCD2 2008/6/23 下午 03:02:21		
	CCD3 2008/6/23 下午 03:02:24		
	CCD4 2008/6/23 下午 03:02:26		

觀測站資料接收回報時間:
1) 星期一至五 早上 07:00-19:00 每 2 小時回報一次
2) 星期六日 06:00 12:00 18:00 回報一次

圖 3-1 觀測站資料接收報告表

(2)儀器需維護之內容列表

將現地儀器之實際狀況列出，並可依觀測站或時間做檢索及排

序，以利維護工程進行之判視(如圖 3-2 所示)。



圖 3-2 儀器故障內容表

3.1.2 設備不定期保養及管理維護

- 1.於每場颱風豪雨過後，本團隊亦視道路情形，前往觀測站現場。並針對各項儀器及系統進行檢修並於最短時間內恢復其正常運作，同時需對現場儀器觀測資料成果進行下載，以供作為觀測資料分析基礎。
- 2.本團隊並每日進行三次後端連線系統測試工作，如發現觀測站儀器或系統有不正常現象，立即檢修進行排除儘速恢復正常運作，以維持土石流觀測系統正常運作無虞。
- 3.配合現場施工單位需求，進行線路調整工作。

3.1.3 現場維護狀況

本年度計畫執行初期正逢阿里山公路五彎仔路段進行改道工程，周邊電源全部中斷，因此造成現場監測設備無法進行觀測工作，嚴重影響現場觀測工作進行，經本團隊積極與公路局第五區工程處阿里山工務段人員聯繫，重新針對舊第四彎地區進行線路佈設，所以工程於2008年5月16日恢復市電供電，惟當地無線電傳輸設備因設備長期置於戶外且又無電力供應以進行必要之暖機防潮工作，致使無線電傳輸設備受潮損壞，因此於同年5月27日派員進行第一次更換發射端設備後，仍無法正常用因此再另行採購接收端設備，並於同年6月18日完

成恢復第四彎地區與儀器屋間之訊號傳遞工作。

而 2008 年 7 月至 9 月底，台灣地區共經歷六次颱風侵襲，期間之強大風勢與豪雨亦多次造成第四彎地區市電供應中斷，中斷情形如表 3-1 所示，尤其所造成之道路損壞嚴重延誤台灣電力公司之修復進度，這期間造成本設備 40 餘天之電力供應中斷，致使觀測設備無法正常運作錯失監測良機。而現場雖裝有不斷電系統 USP，惟裝置容量僅 1KVA，僅能支應短時間供電中斷狀況，對於長時間斷電情勢，建議後續計畫應強化備援電力系統，以期能於災害期間持續觀測工作。

表 3-1 阿里山公路多天線系統暫停運作時段說明

	斷訊時間	斷訊天數	原因說明
1	2 月 19 日~5 月 16 日	56	因公路局施工造成第四彎地區台電供電中斷
2	5 月 17 日~6 月 18 日	31	設備損壞更新採購及重新架設
3	7 月 1 日~7 月 31 日	11	因卡孜基與鳳凰颱風侵襲等因素影響，市電中斷
4	8 月 1 日~8 月 31 日	4	因颱風等因素影響，市電中斷
5	9 月 1 日~10 月 10 日	28	因辛樂克、哈格比及薔密颱風等因素影響，市電中斷

因此本計畫依循前期計畫成果，及本計畫研究工作內容擬定本計畫工作事項規劃工作，相關規劃內容說明如下列各節所述：

3.1.4 道路邊坡自動化監測示範站系統維護與監測

本項工作規劃依據前一年度建置成果，持續進行阿里山公路第四彎地區監測系統維護與監測工作，並進行系統精度評估，變位量坐標化算與聯測工作。

為將全球衛星定位模組 (GPS) 與無線電傳輸模組能實際應用於道路坡面滑動的監測，2007 年於嘉義縣阿里山鄉台 18 線第四彎地區上進行 4 組 GPS 定位與無線電傳輸模組實際運作，其 4 組 GPS 天線訊號經由 RECEIVER 進行解算，其訊息經由第 4 彎無線網路傳回至資料接收中心的 IPC 主機上。

為擴大道路坡面滑動的監測範圍，本年度擴新增另外四組 GPS 天線 (GPS5~GPS8)，於今年度邀同專家學者再度進行現場勘查測量，並一致認為其第 4 彎上方附近範圍仍有監測之必要，因此決定將另外 4 組 GPS 天線架設於其路旁之紐澤西護欄上，儀器位置配置如圖 3-3 所示，目前已經架設施工完成，並將所有之 GPS 訊號線整合至儀器保護箱，其施工過程及完成照片參見圖 3-4~3-18 所示。因此，目前共有 8 組 GPS 天線運作於台 18 線第 4 彎地區，現場規劃架設情形如圖 3-3 所示：

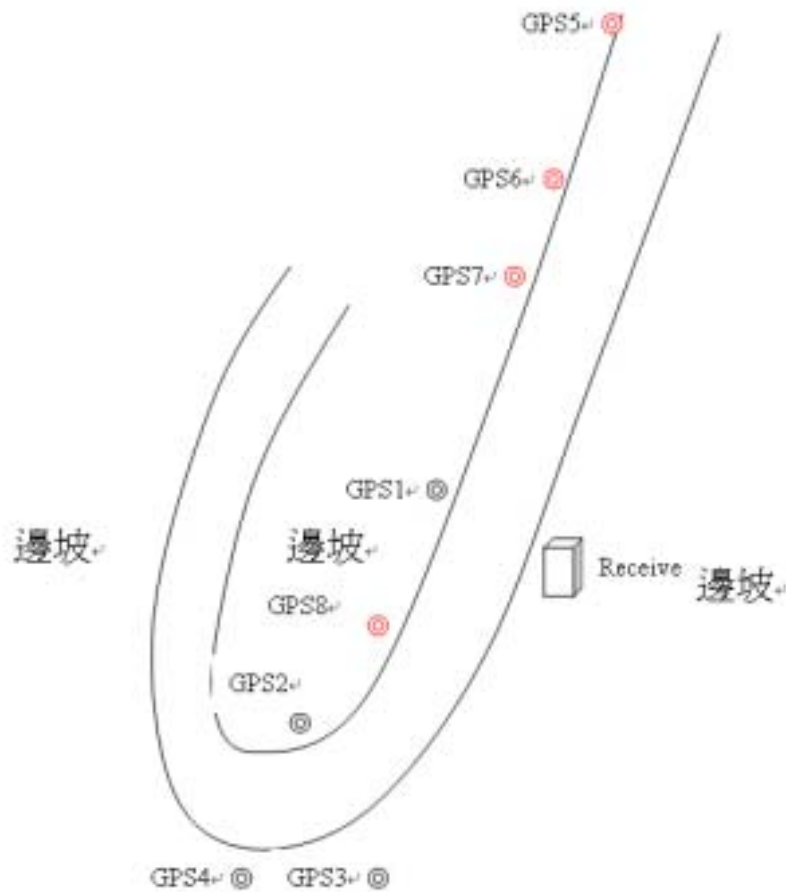


圖 3-3 現地 GPS 天線儀器配置圖



圖 3 - 4 GPS 基站天線位置



圖 3 - 5 儀器設備箱內部設備情況



圖 3 - 6 儀器設備箱



圖 3 - 7 第 1 號天線



圖 3 - 8 第 2 號天線



圖 3 - 9 第 3 號天線



圖 3 - 10 第 4 號天線



圖 3 - 11 第 5 號天線



圖 3 - 12 第 6 號天線



圖 3 - 13 第 7 號天線



圖 3 - 14 第 8 號天線



圖 3 - 15 施工配線過程



圖 3 - 16 施工架設過程



圖 3 - 17 施工架設過程



圖 3 - 18 航照圖上 8 組 GPS 座落點

為了即時將全球衛星定位模組 (GPS) 與無線電傳輸模組能實際應用於道路坡面滑動的監測，因此目前 GPS 接收資訊係台 18 線 45K 處之儀器小屋(如圖 3-19 所示)，經現場資料接收伺服器儲存、加值後，將即時監測資料經過中華電信之衛星服務傳送至網際網路上。



圖 3-19 台 18 線 45K 自動化監測儀器小屋

3.2 多天線 GPS 擴大設置及位移量監測與分析

2007 年之前期計畫已於同年 10 月 17 日蒐集整日的靜態測量接收資料，解算出靜態坐標後並於 2007 年 10 月 19 日開始進行動態即時監測。並將 2007 年 10 月 19 日~2007 年 10 月 21 日三天的動態即時監測結果繪製如圖 3-20 至圖 3-23 所示。其中除了 GMS3 和 GMS4 的 Y 方向有持續的位移量（約 2.4cm）外，其餘皆來回震盪，並呈穩定狀態。再持續針對 2007 年 10 月 19 日~2007 年 11 月 12 日二十天的動態即時監測結果繪製如表 3-3 所示。其中除了 GMS3 和 GMS4 的 Y 方向有持續的位移量（約 9.76cm）外，其餘皆來回震盪，並呈穩定狀態。並於 2007 年 10 月 25 日赴現場確認並非為儀器異常或固定桿晃動等，故研判為邊坡地滑的位移量。本計畫續續針對 2007 年 10 月 19 日~2008 年 1 月 25 日一百天的動態即時監測結果繪製如表 3-2 所示。其中除了 GMS1 到 GMS4 的 Y 方向有持續的位移量（約 17.19cm），其動態即時位移量如圖 3-20 至圖 3-24 所示。且於 2008 年 3 月赴現場確認並非為

儀器異常或固定桿晃動等，故研判為邊坡地滑的位移量。

表 3-2 多天線測試數據

靜態坐標 (m) 2007,10,17~18			3 天動態坐標 (m) 2007,10,19~21			3 天位移量 (cm)			
測站	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
GPS1	334.7169	-173.6945	-66.1253	334.7145	-173.7077	-66.1578	-0.24	-1.32	-3.25
GPS2	285.491	-218.9558	-75.3336	285.4819	-218.9744	-74.8855	-0.91	-1.86	-2.76
GPS3	269.0273	-207.2832	-77.9727	269.0205	-207.3074	-77.9852	-0.68	-2.42	-1.25
GPS4	270.1067	-232.2456	-82.5404	270.1033	-232.2671	-82.5615	-0.34	-2.15	-2.11
靜態坐標 (m) 2007,10,17~18			20 天動態坐標(m)2007,10,19~11,12			20 天位移量 (cm)			
測站	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
GPS1	334.7169	-173.6945	-66.1253	334.7129	-173.7236	-66.191	-0.4	-2.91	-6.57
GPS2	285.491	-218.9558	-75.3336	285.4887	-218.0387	-74.9328	-0.23	-8.29	-7.49
GPS3	269.0273	-207.2832	-77.9727	269.0205	-207.3808	-77.0147	-0.68	-9.76	-4.2
GPS4	270.1067	-232.2456	-82.5404	270.0954	-232.3301	-82.605	-1.13	-8.45	-6.46
靜態坐標 (m) 2007,10,17~18			100 天動態坐標 (m) 2007,10,19~2008,1,25			100 天位移量 (cm)			
測站	X	Y	Z	X	Y	Z	dX	dY	dZ
GPS1	334.7169	-173.6945	-66.1253	334.709	-173.7408	-66.2009	-0.79	-4.63	-7.56
GPS2	285.491	-218.9558	-75.3336	285.4801	-219.1143	-74.9693	-1.09	-15.85	-11.14
GPS3	269.0273	-207.2832	-77.9727	269.0101	-207.4551	-78.0555	-1.72	-17.19	-8.28
GPS4	270.1067	-232.2456	-82.5404	270.0846	-232.4142	-82.6526	-2.21	-16.86	-11.22

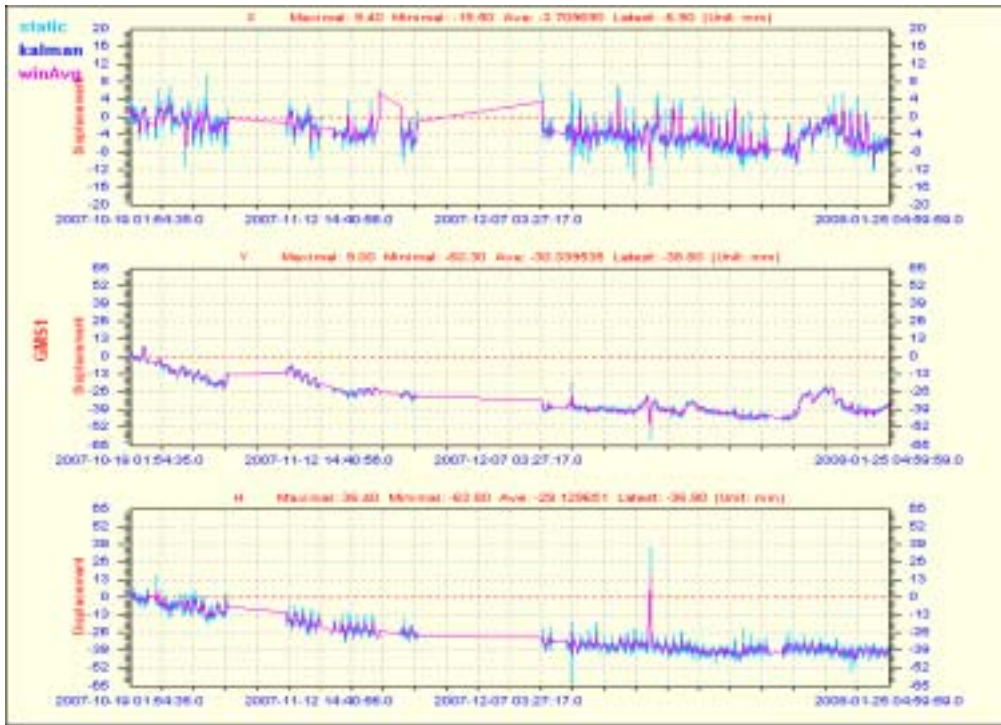


圖 3 - 20 道路邊坡自動化監測系統
(第一號天線 2007/10/19~2008/1/25)



圖 3 - 21 道路邊坡自動化監測系統
(第二號天線 2007/10/19~2008/1/25)

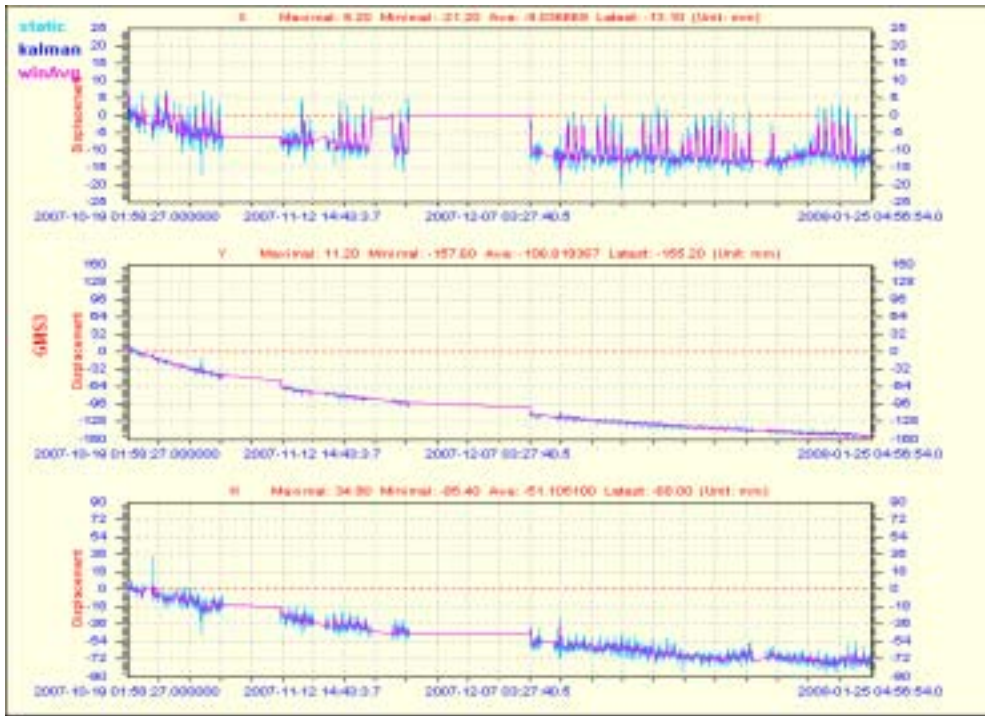


圖 3 - 22 道路邊坡自動化監測系統
 (第三號天線 2007/10/19~2008/1/25)



圖 3 - 23 道路邊坡自動化監測系統
 (第四號天線 2007/10/19~2008/1/25)

將上述四組 GPS 所量測的結果，比對最後一筆動態坐標與起始靜態坐標，繪製出空間關係圖(圖 3-24)。圖中代表從 2007 年 10 月 19 日至 2008 年 1 月 24 日前後的位移變化，由圖 3-25 中可以看出第四彎的滑動方向一致，皆為向西的方向。

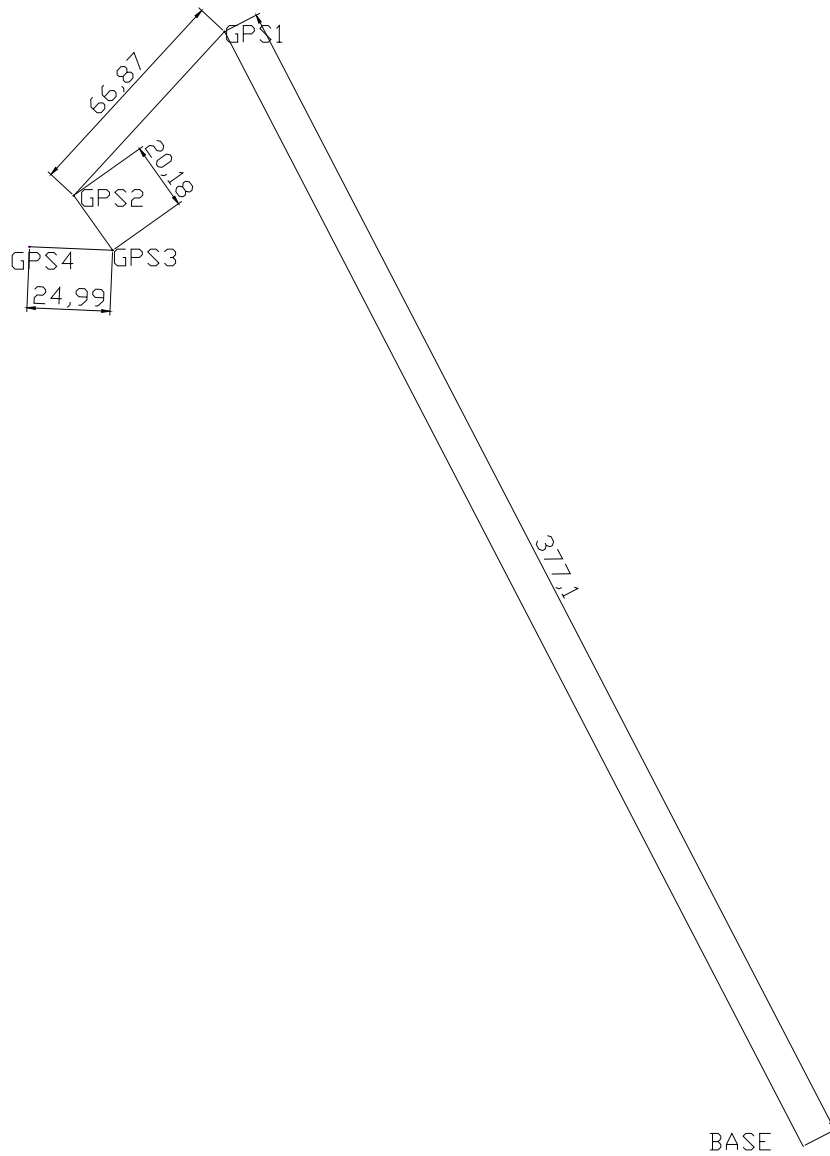


圖 3 - 24 台 18 線第四彎 GPS 測點相對位置圖

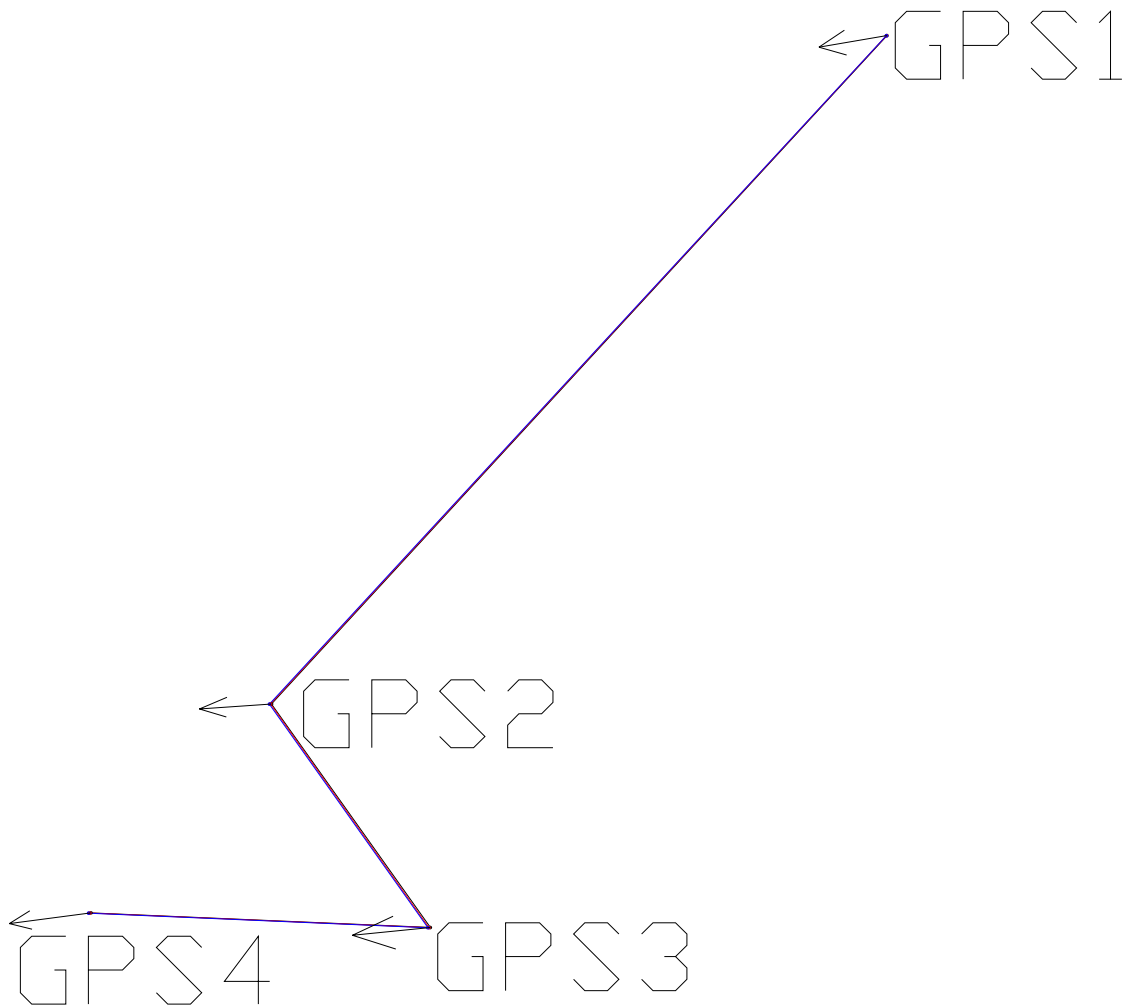


圖 3 - 25 GPS 滑動位移方向及位移量示意圖

於 2007 年 10 月至 2008 年 2 月，每月 GPS 基站天線所接收的全球定位系統資料，各取七天觀測資料，分別以內政部地政司國土測繪中心之嘉義縣竹崎 e-GPS 固定站為基準進行基線運算(本站約距離實驗區 13.4 公里)。上述五個月數據發現基站坐標並無太大變化，約 $\pm 1\sim 2\text{cm}$ 變化。因此，視為誤差範圍內，求其平均值作為基站之坐標。

另外，於 2008 年 7 月至 10 月，依相同方式求基站坐標，以確認基站經過幾個月後是否有偏移狀況，每月坐標值如表 3-3 所示。發現二

月至七月間有向西移約 4cm，七月、八月、九月幾乎沒有移動，而九月至十月又向西移動了約 2.4cm，如表 3-4 所示。

表 3-3 基站每月靜態測量坐標

基站坐標	N	E	高程
2007/11~2008/2 平均	2591861.416	213379.657	775.019
七月	2591861.427	213379.6178	774.9985
八月	2591861.419	213379.6243	774.9828
九月	2591861.395	213379.622	774.901
十月	2591861.414	213379.598	775.0038

表 3-4 每月基站坐標差 (m)

基站坐標差	N	E	高程
七月→2007/11~2008/2 平均	0.01125	-0.03925	-0.0205
八月→七月 之差	-0.008	0.0065	-0.01575
九月→八月 之差	-0.02425	-0.00225	-0.08175
十月→九月 之差	0.0188	-0.024	0.1028

從 2007 年 10 月 19 日開始進行動態量測，其間遭遇到第四彎因地滑嚴重，公路局決定進行第四彎改建工程，工程施工期間，第四彎無法正常供電，故於 2008 年 2 月底 2008 年 7 月並無一機多天線 GPS 資料。再加上今年幾次的颱風事件，造成多天線系統無法正常運作。所幸 GPS 的特性並非會因為停電而造成系統必須重新設定，已於復電後持續進行動態監測，其監測結果如圖 3-26 至圖 3-33 所示。

GPS1 從 2007 年 10 月 19 日~2008 年 10 月 3 日其間向南約移動 60 公分，向東移動約 80 公分。GPS2 從 2007 年 10 月 19 日~2008 年 10 月 3 日其間向南約移動 20 公分，向東移動約 20 公分。GPS3 從 2007 年 10 月 19 日~2008 年 10 月 3 日其間向南約移動 60 公分，向西移動約 70 公分。GPS4 從 2007 年 10 月 19 日~2008 年 10 月 3 日其間南北向並無明顯移動，向東移動約 60 公分。GPS5 從 2008 年 7 月 4 日~2008 年 10 月 3 日其間向北約移動 15 公分，向西移動約 10 公分。GPS6 從 2008 年 7 月 4 日~2008 年 10 月 3 日其間向北約移動 0.5 公分，向東移

動約 150 公分。GPS7 從 2008 年 7 月 4 日~2008 年 10 月 3 日期間向北約移動 1.5 公分，向西移動約 1.5 公分。GPS8 從 2008 年 7 月 4 日~2008 年 10 月 3 日期間向南約移動 20 公分，向西移動約 50 公分。

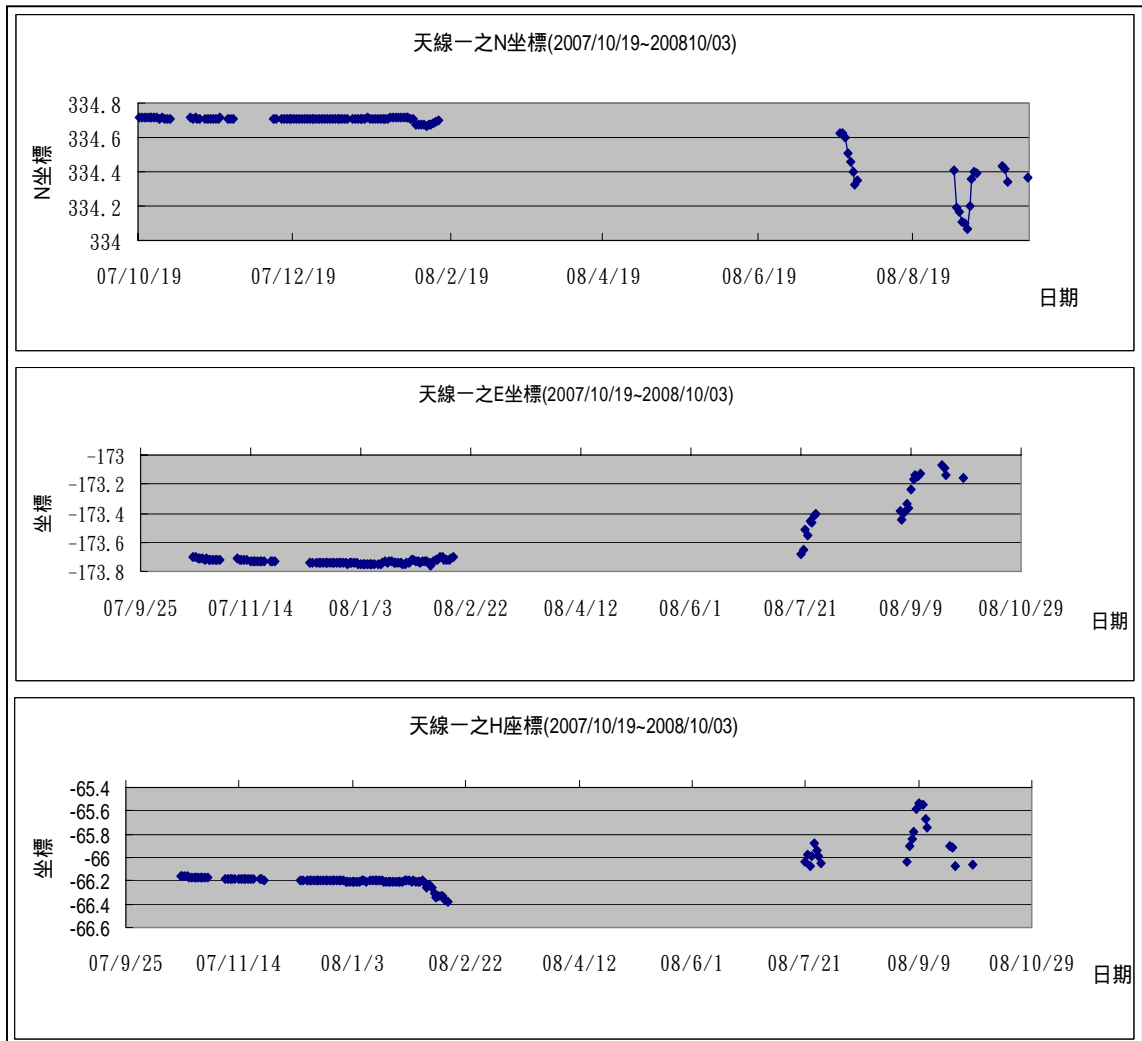


圖 3 - 26 天線一之 N、E、H 坐標

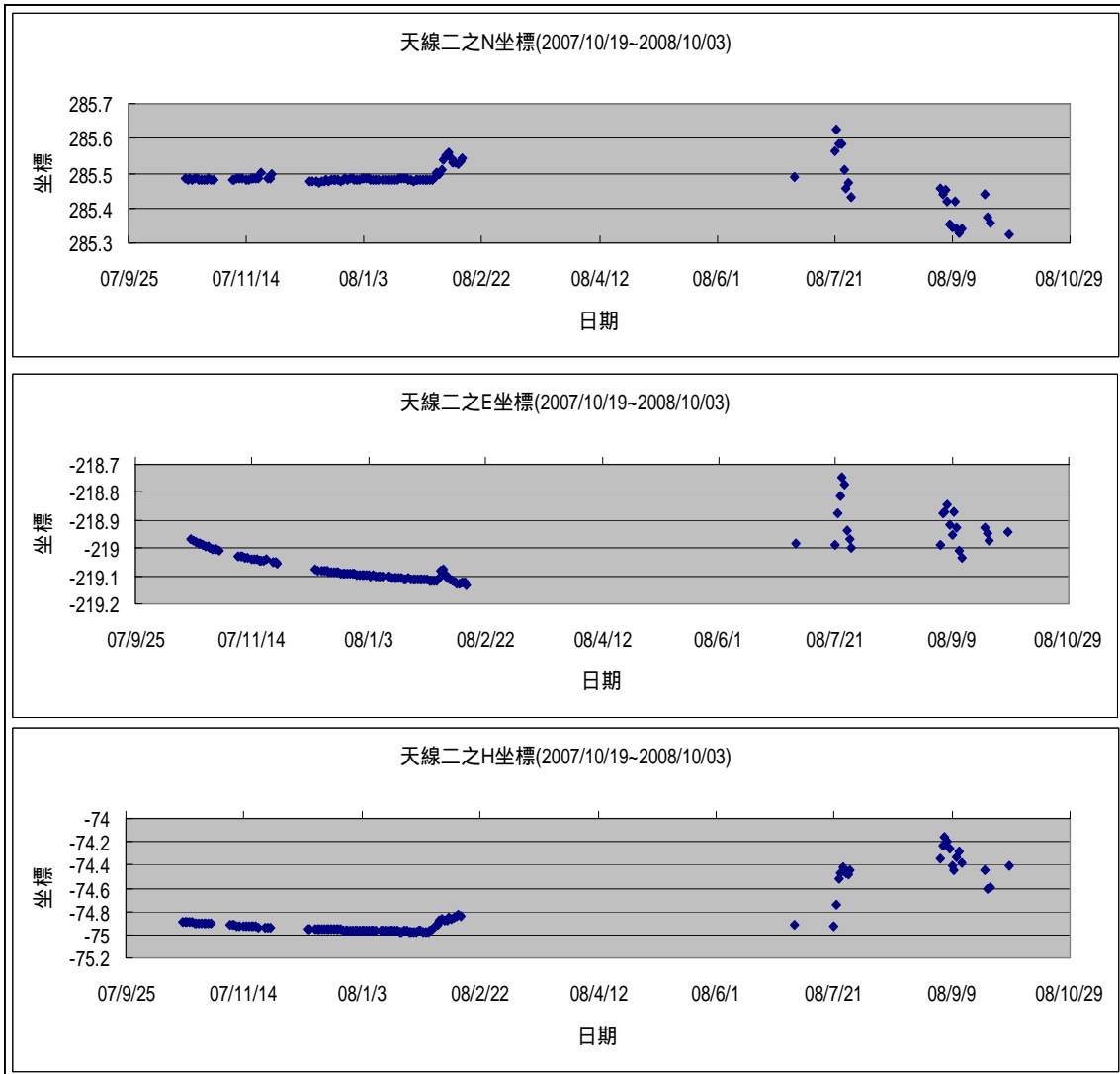


圖 3 - 27 天線二之 N、E、H 坐標

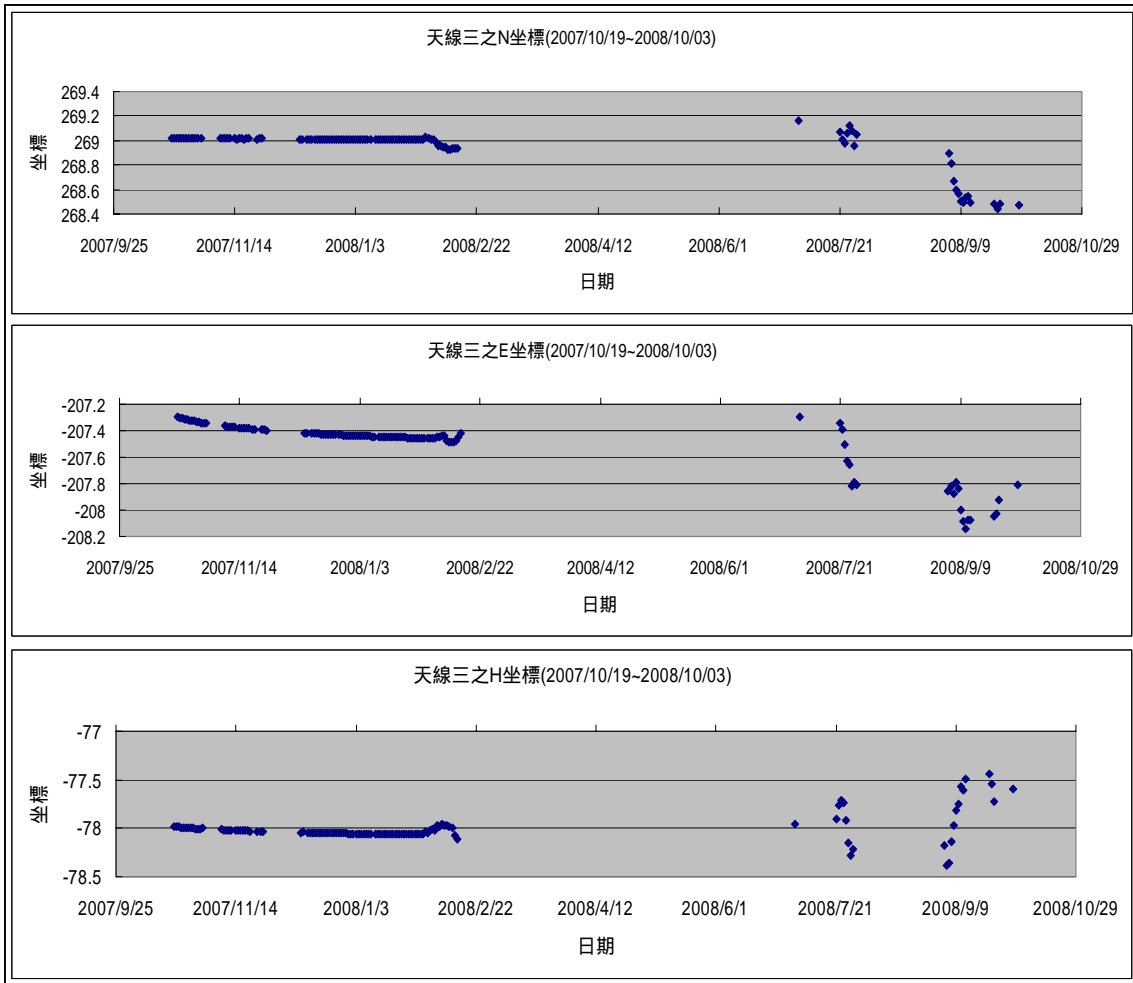


圖 3 - 28 天線三之 N、E、H 坐標

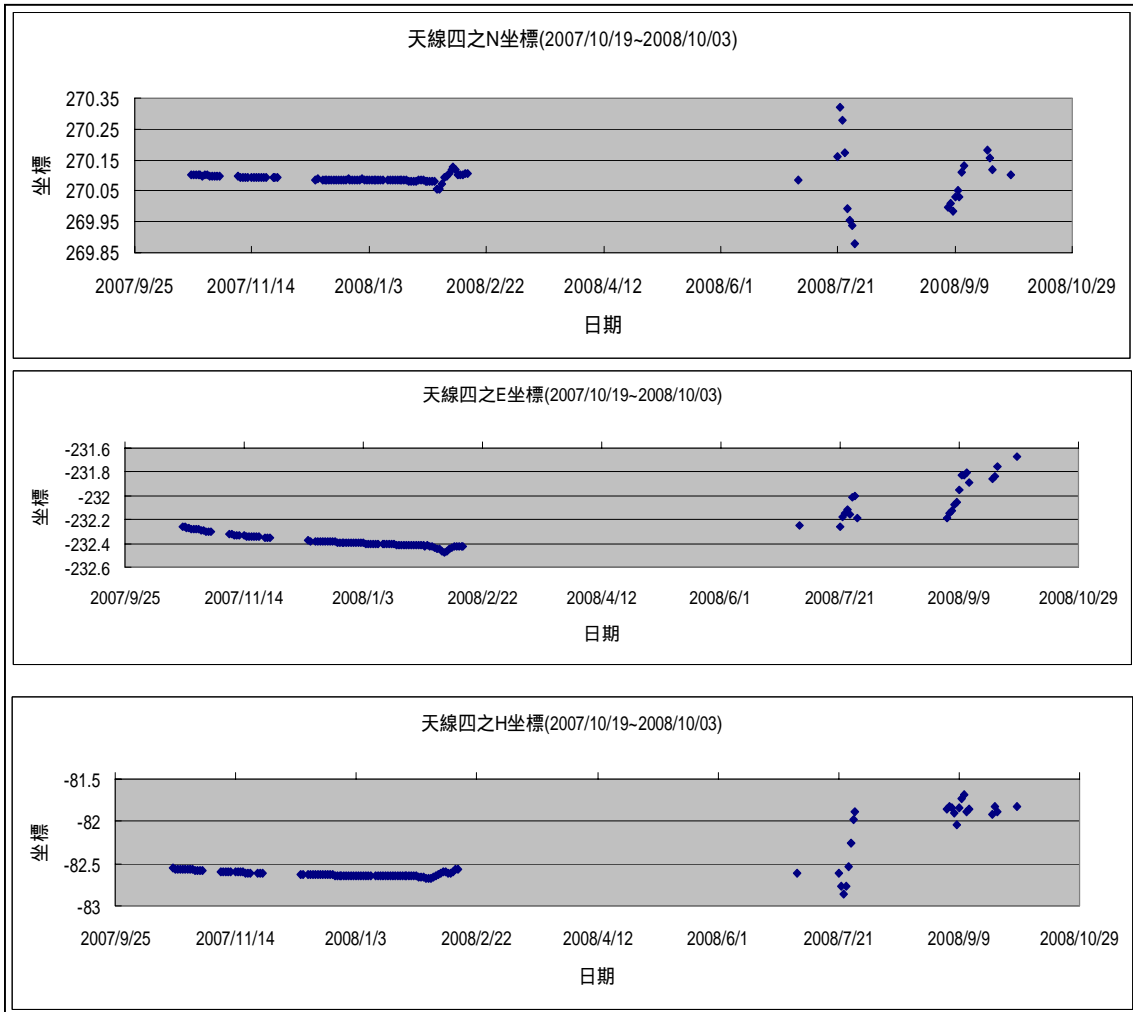


圖 3 - 29 天線四之 N、E、H 坐標

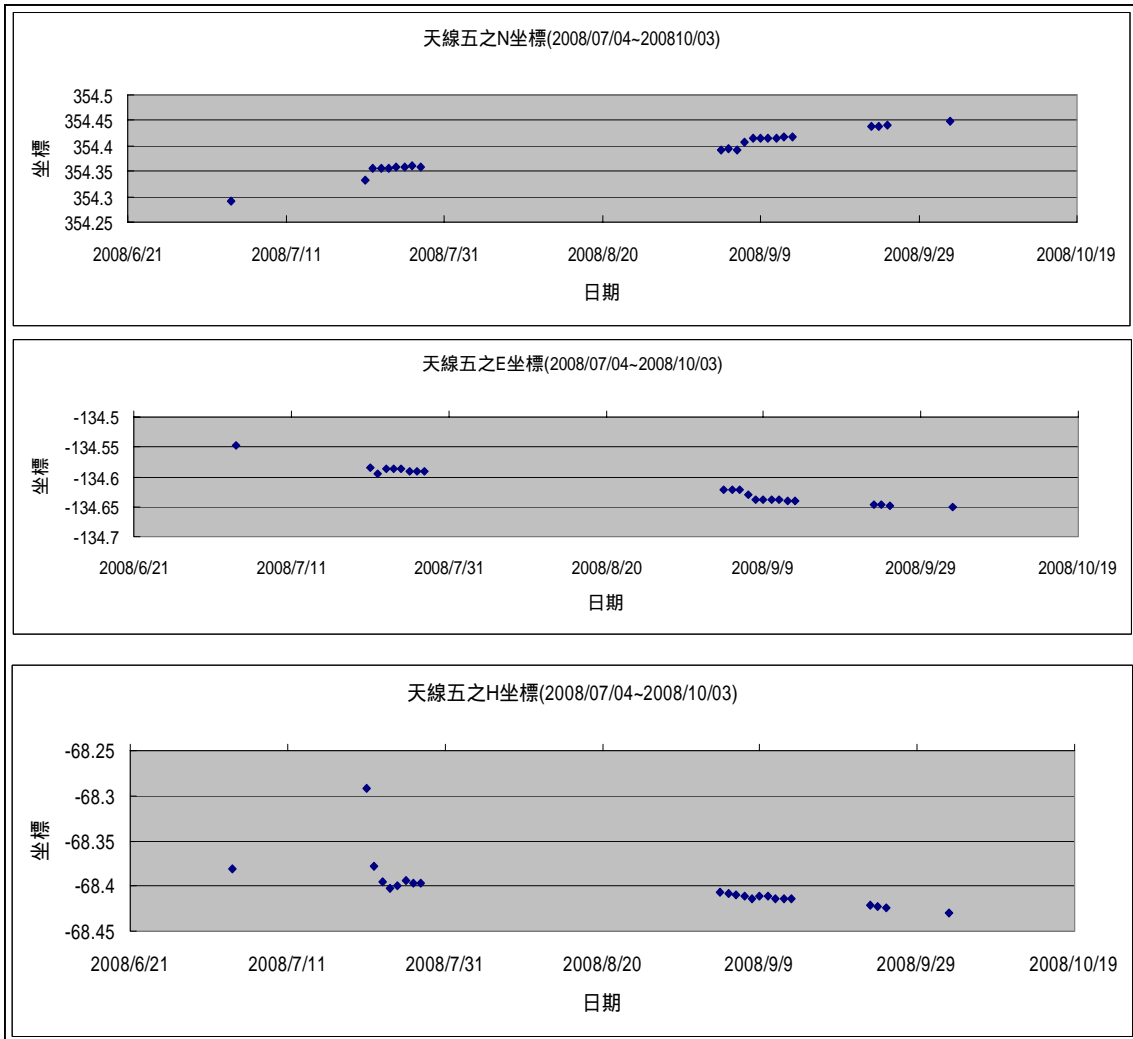


圖 3 - 30 天線五之 N、E、H 坐標

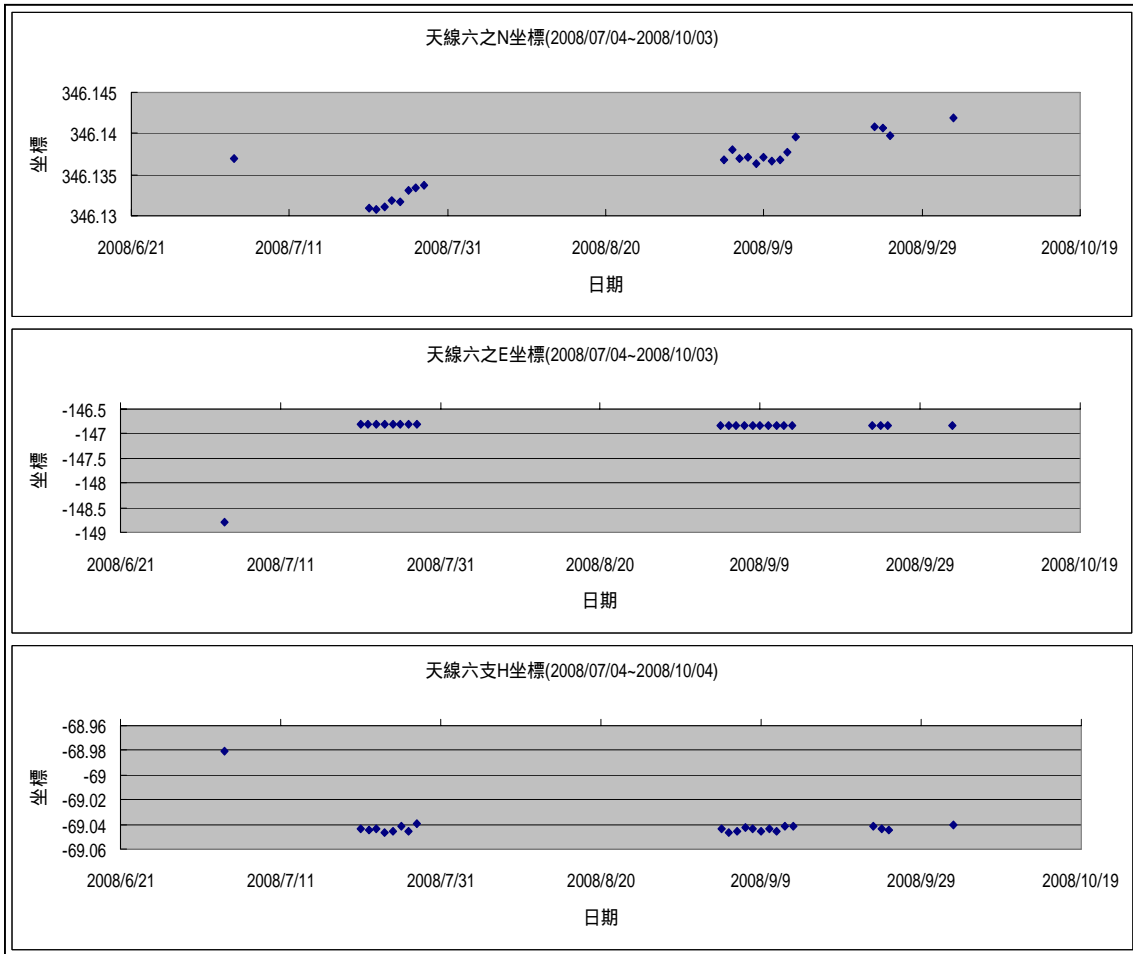


圖 3 - 31 天線六之 N、E、H 坐標

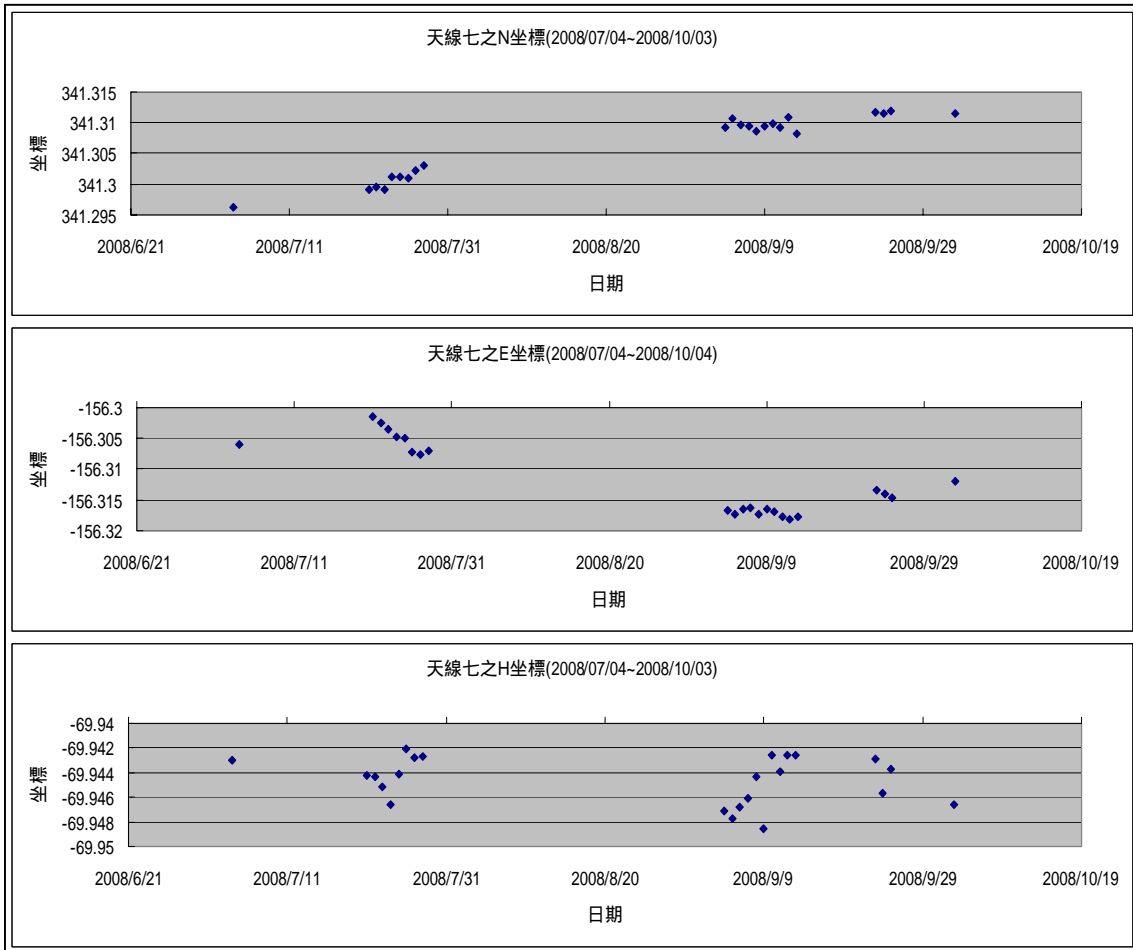


圖 3 - 32 天線七之 N、E、H 坐標

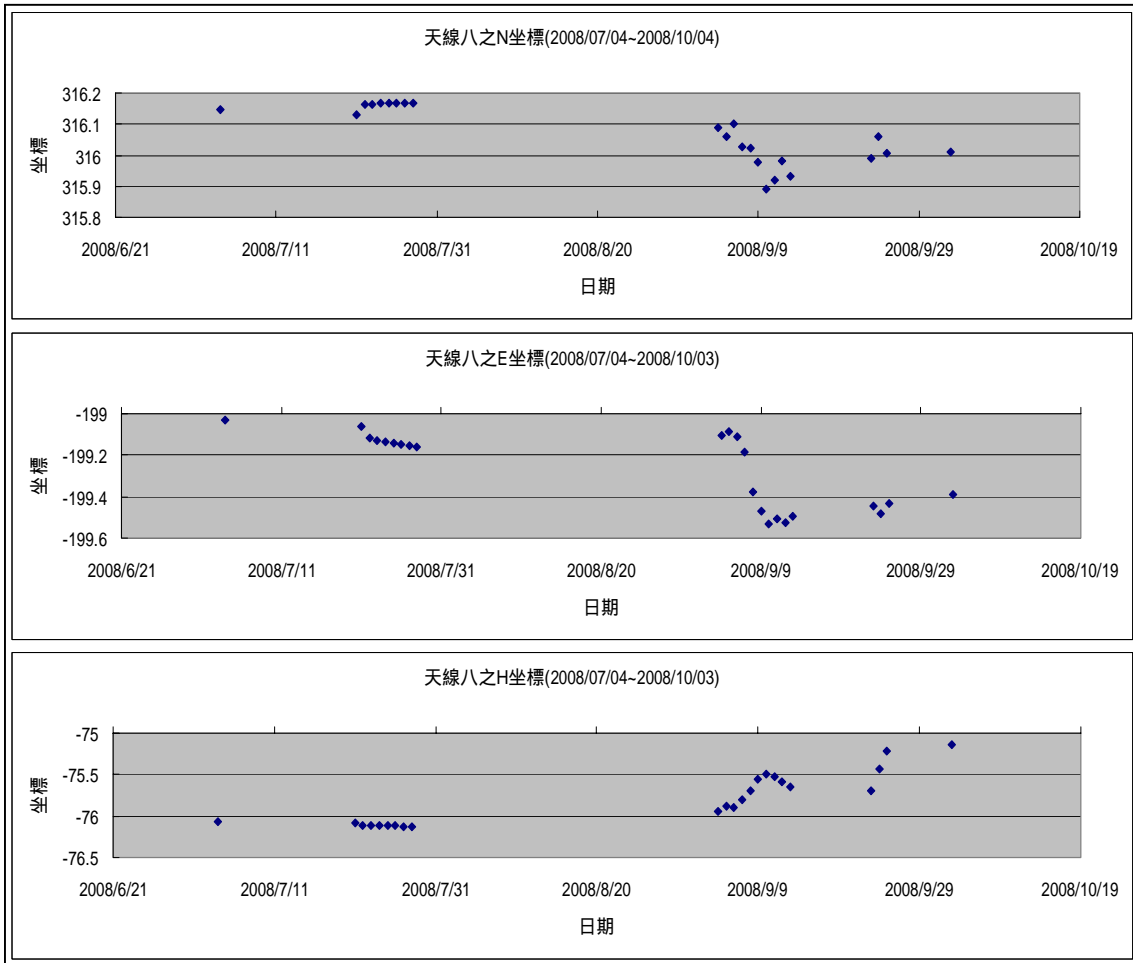


圖 3 - 33 天線八之 N、E、H 坐標

第四章 GPS 與無線傳輸監測系統整合測試工作

4.1. 全球衛星定位系統與無線傳輸整合工作

本研究採用由 U.C. Berkeley 所設計之 Telos 硬體平台，其具有耗電量低、資料傳輸效率高等優點，其採用標準的 zigbee 協定相容的通訊模組，因此可以很容易的整合網路通訊的功能，達到多跳(multihop)等傳輸方式，有效的延長資料傳送的距離。Telos 可用工業表標準的 USB 界面作資料的輸出入。內建有如光度(可見光、不可見光)，溫溼度等感測器。Telos 詳細的硬體規格如表 4-1 所示。

表 4 - 1 Telos 詳細的硬體規格

元件	規格	特點
Processor	TI MSP430	16-Bit CPU
RAM	10kB	
Flash	48Kb	
RF module	CC2420	符合 Zigbee 規格之晶片
頻帶	2.4GHz	
內建 ADC	12 bit	共六個內建 ADC
內建儲存 flash	1024KB	
資料傳輸速率	250 Kbps	
傳輸範圍	10M~30M (室內) 75M~300M(室外)	依照現場環境與干擾狀況而定。
電源供應	2.4~3V	
耗電量	約為 20~30maH	

本無線感測平台採用的作業系統為 TinyOS。其以軟體元件的概念提供硬體抽象介面，系統服務以及使用者的程式亦實做成軟體元件，TinyOS 應用程式便是透過定義軟體元件間相互的輸出/輸入關係建立而成，因此在此作業系統上，開發者可以專注在軟體的程序上的設計，而不必花費心思在硬體架構的控制。此外，TinyOS 亦提供一個簡單的排程機制(FIFO)，以協調在感測器中各項將執行的工作。

TinyOS 在無線感測器平台 Telos 上面的 MAC Layer 是採用 B-MAC，這是一種是以 CSMA/CA (Carrier Sense Multiple

Access/Collision Avoidance)為基礎的無線傳輸實體控制層，其有低功耗、高傳輸成功率，抗雜訊效果佳等優點，因此 TinyOS 上一般無線感測平台的應用均基於 BMAC 為基礎。

實驗的 TELOS 平台上有整合一套三軸加速度計 ANALOG DEVICE ADXL330，其具有體積小且輕，低耗電，且可以完整偵測三個軸向的加速度，範圍 $-3g \sim +3g$ ，三個軸向的偵測頻率可以從 $0.5\text{Hz} \sim 550\text{Hz}$ (其中 x 與 y 軸可達 1600Hz)。

本計畫在無線感測網路平台的研發規劃上，依功能性及佈建需求，將平台區分成 SimpleNode, SuperNode, 及 Gateway 等三個平台。其中 Zigbee/Ethernet Gateway 已成功開發出雛型模板，並於本年度成果進行相關應用之功能展示規劃如圖 4-1 所示。



圖 4-1 應用功能展示規劃圖

在 Simple Node 與 Super Node 方面，目前也已完成節點的相關設計，進入生產階段。我們採用可堆疊式的設計概念，使用 RadioPulse

MG-2400 ZigBee 做為 Simple Node 與 Super Node 的共通無線傳輸晶片模組。Simple Node 之主要任務為進行簡單感測資料搜集，並轉送至最近的 Super Node 進行資料聚集的處理與感測事件判定或執行回報至 Gateway 等後續工作，因此在平台設計時，僅需使用簡單的 8051 作為控制處理器即可。Super Node 為了可以進行更多高階的資料聚合及事件判釋工作，我們採用目前在無線感測器平台上較為成熟，相容性較高的 TI MSP 430 做為核心處理器。如圖 4-2 所列之設計圖，Simple Node 實際上為 Super Node 的子集。因此本平台在生產材料可重覆共用多項元件，除了可提升生產經濟規模以節省個別元件的購料成本外，在設計上亦有易於維護與更新之優勢。

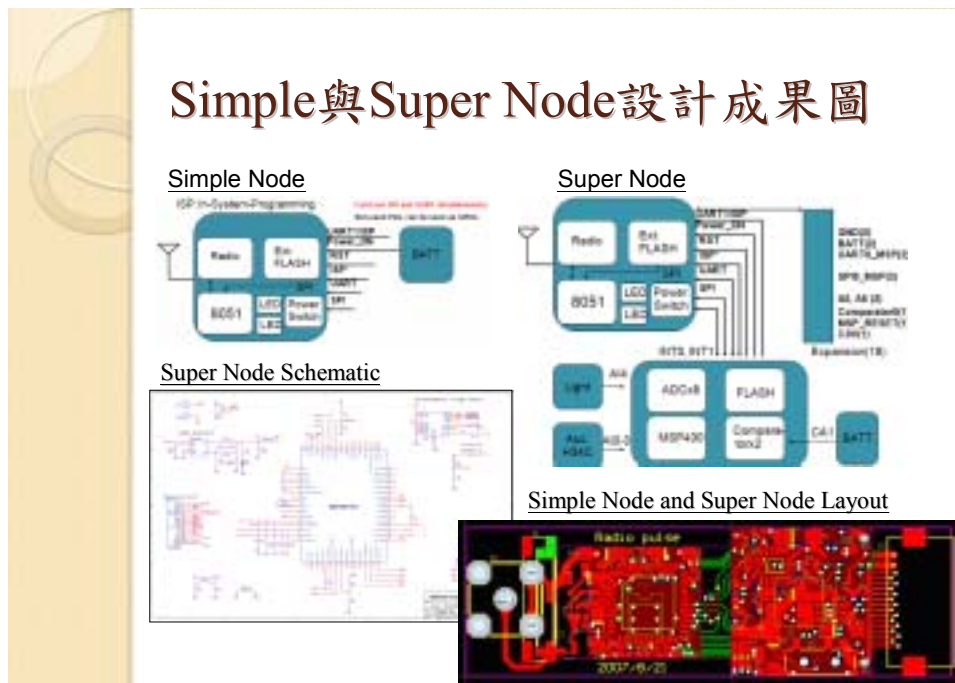


圖 4 - 2 Simple 和 Super Node 設計成果圖

在平台最上層的模組為 Zigbee/Ethernet Gateway,我們已在本年度中完成其硬體平台之設計及開發，並可搭配自行研發之控制軟體介面，實際進行遠端控制及感測裝置資料回報如圖 4-3 之示範應用。

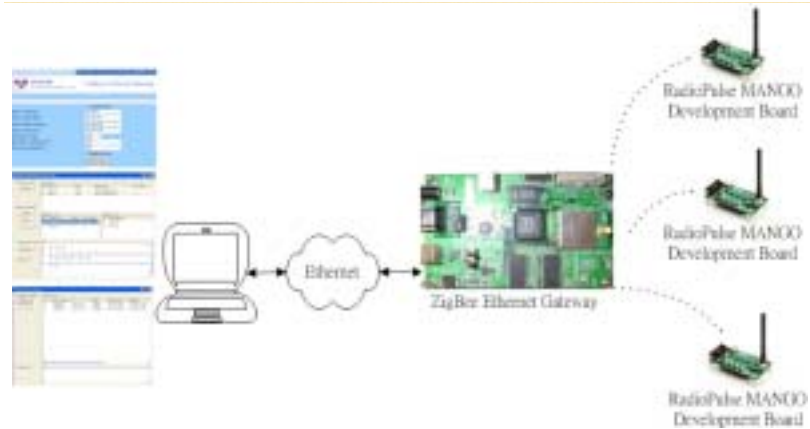


圖 4-3 遠端控制感測裝置資料回報圖

由於本設計規格為 10KB 之 RAM、內建儲存 1024KB，無法傳輸本計畫所需傳送的 CCD 影像資料及多天線 GPS 定位坐標資料，因此本案仍使用原公路段安置的無線電傳輸系統。

4.2 現地 GPS 靜態量測檢核工作

於 2007 年 10 月至 2008 年 2 月，每月 GPS 基站天線所接收的全球定位系統資料，各取 7 天觀測資料，分別以內政部地政司國土測繪中心之嘉義縣竹崎 e-GPS 固定站為基準進行基線運算(本站約距離實驗區 13.4 公里)。上述五個月數據發現基站坐標並無太大變化，約 $\pm 1\sim 2\text{cm}$ 變化。因此，視為誤差範圍內，求其平均值作為基站之坐標。

另外，於 2008 年 7 月至 10 月，依相同方式求基站坐標，以確認基站經過幾個月後是否有偏移狀況，每月坐標值如表 4-2 所示。圖 4-4 為五次的基站坐標位置，發現 2 月至 7 月間有向西移約 4cm，7 月、8 月、9 月幾乎沒有移動，而 9 月至 10 月又向西移動了約 2.4cm，如表 4-3 所示。

表 4-2 基站每月靜態測量坐標

基站坐標	N	E	高程
2007/11~2008/2 平均	2591861.416	213379.657	775.019
七月	2591861.427	213379.6178	774.9985
八月	2591861.419	213379.6243	774.9828
九月	2591861.395	213379.622	774.901
十月	2591861.414	213379.598	775.0038

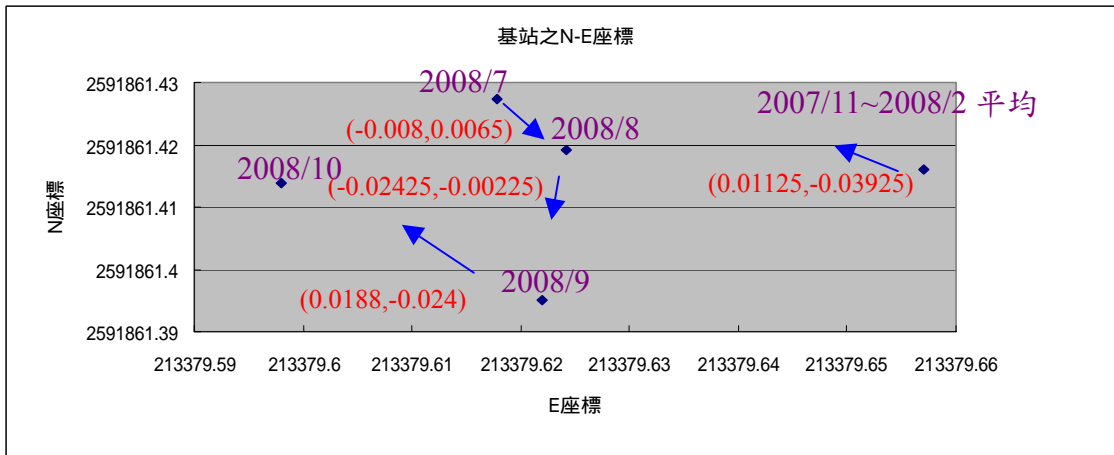


圖 4-4 每月基站之坐標

表 4-3 每月基站坐標差 (m)

基站坐標差	N	E	高程
七月→2007/11~2008/2 平均	0.01125	-0.03925	-0.0205
八月→七月 之差	-0.008	0.0065	-0.01575
九月→八月 之差	-0.02425	-0.00225	-0.08175
十月→九月 之差	0.0188	-0.024	0.1028

本研究於 2008 年 3 月 14 日與 5 月 23 日前往第四彎現場進行現場測量工作，以了解該區附近是否具有相同及同量的滑動情形。後續，又於 2008 年 7 月 25 日與 9 月 9 日再次前往第四彎進行現地測量工作，現場施測情形如圖 4-14 所示。由於現場施工關係，幾次前往都因施工而測站點有所改變，四次之測站位置如圖 4-5、4-6、4-7 所示。

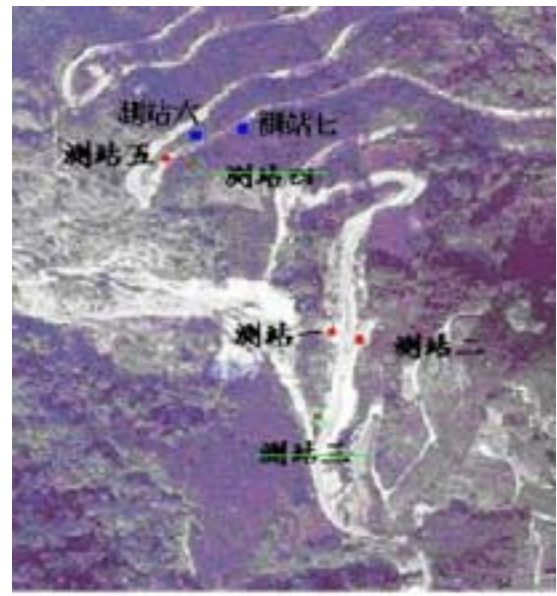
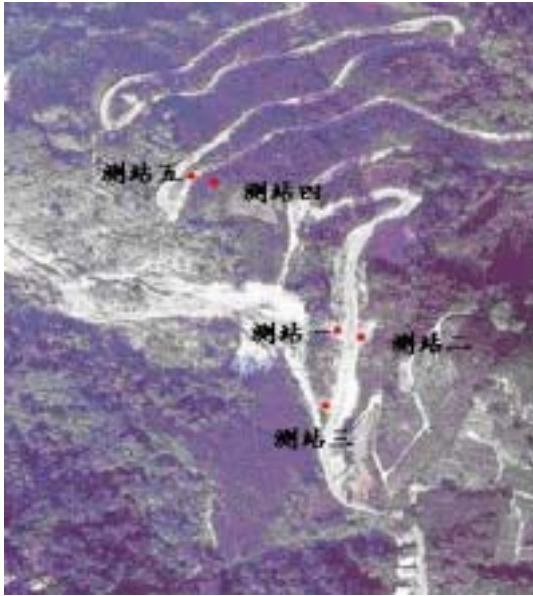


圖 4-5 3 月 14 日與 5 月 23 日測量點位 圖 4-6 7 月 25 日測量點位

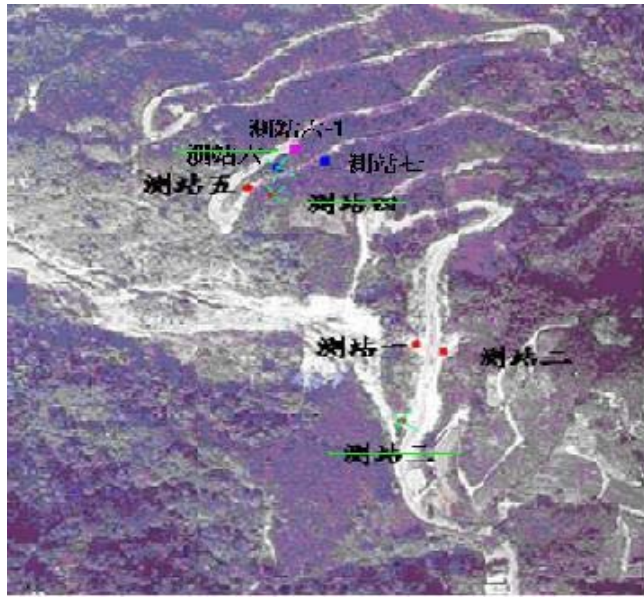


圖 4-7 9 月 9 日現地測量示意圖

本計畫四度前往第四彎現場進行現場測量工作，儀器設定同步接收至少一個小時以上的資料(sample rate 每 15 秒一筆)，如表 4-4、4-5、4-6 所示。

表 4-4 靜態測量之 N 座標(m)

N 坐標	3 月 14 日	5 月 23 日	7 月 25 日	9 月 9 日
gps1	2591979.902	2591979.903	2591979.954	2591979.953
gps2	2591986.651	2591986.654	2591986.774	2591986.768
gps3	2591880.459	2591880.456	施工已拆除	
gps4	2592163.576	2592163.579	毒蛇出沒	
gps5	2592197.936	2592197.945	2592197.587	2592197.588
g6			2592245.192	施工已拆除
g6-1				2592271.040
gp7			2592261.243	2592261.241

表 4-5 靜態測量之 E 座標(m)

E 坐標	3 月 14 日	5 月 23 日	7 月 25 日	9 月 9 日
gps1	213388.551	213388.553	213388.208	213388.192
gps2	213415.939	213415.940	213415.591	213415.584
gps3	213381.045	213381.049	施工已拆除	
gps4	213254.776	213254.733	毒蛇出沒	
gps5	213216.104	213216.117	213215.230	213215.208
g6			213273.119	施工已拆除
g6-1				213288.271
gps7			213368.088	213368.089

表 4-6 靜態測量之 H 座標(m)

高程	3 月 14 日	5 月 23 日	7 月 25 日	9 月 9 日
gps1	780.157	780.161	780.153	780.089
gps2	785.864	785.826	785.896	785.805
gps3	772.747	772.775	施工已拆除	
gps4	721.220	721.150	毒蛇出沒	
gps5	700.744	700.776	700.715	700.773
g6			699.597	施工已拆除
g6-1				696.349
gps7			710.540	710.618

圖 4-8 為 GPS1 之四次現場測量之坐標，五月至七月之東西向變化量最大，約往西移 35cm，南北方向約移 4cm。

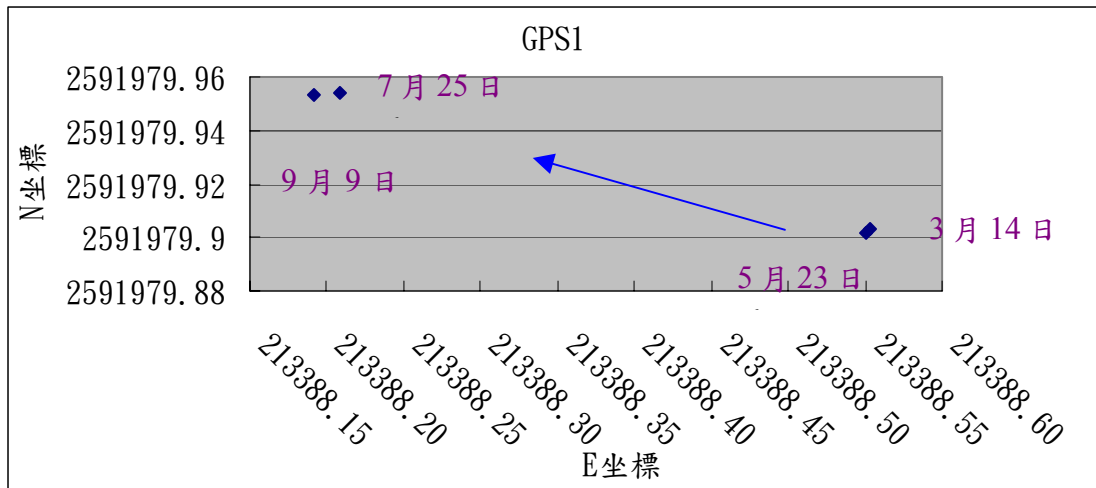


圖 4 - 8 GPS1 坐標

圖 4-9 為 GPS2 之四次現場測量坐標，其移動方向與 GPS1 相同，都向西移了約 35cm。

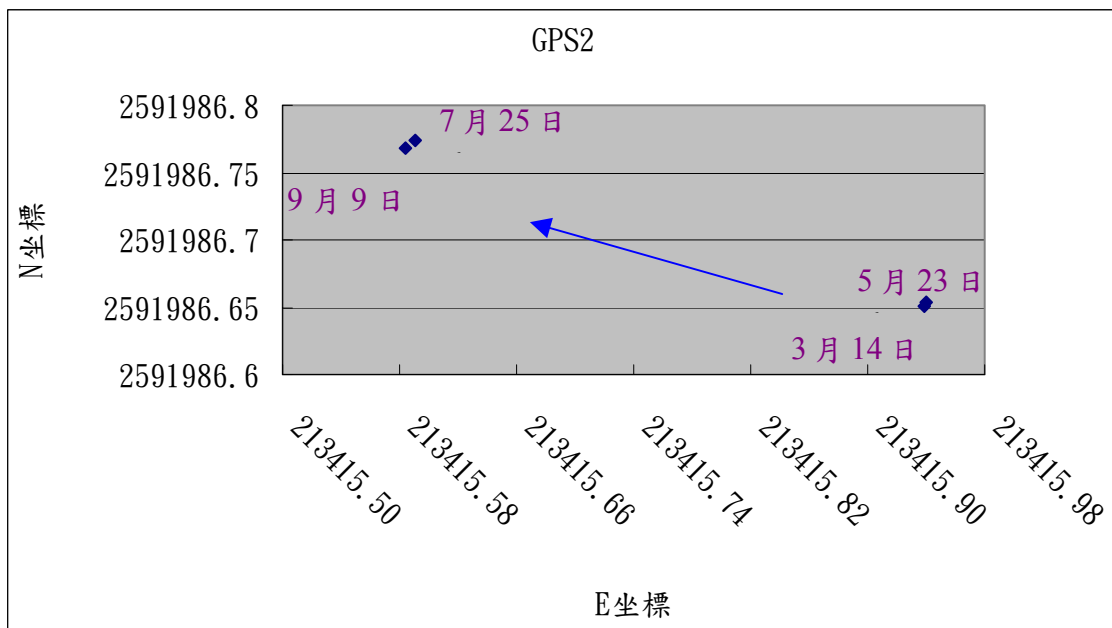


圖 4 - 9 GPS2 坐標

圖 4-10 為 GPS3 之兩次現地測量坐標，此測站的兩次量測移動約 0.5cm。由於 2008 年 7 月 25 日前往現地測量時，GPS3 因施工已被拆除，而無法繼續使用。

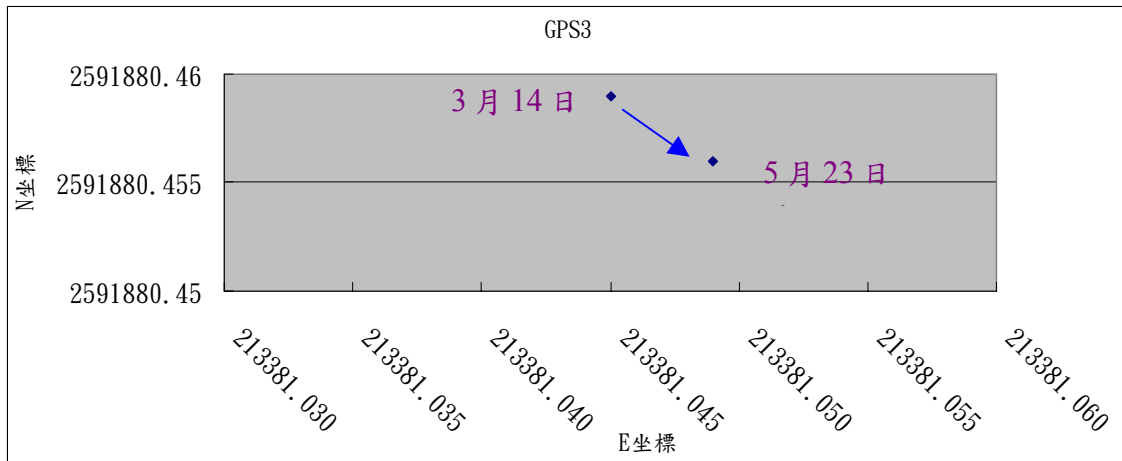


圖 4 - 10 GPS3 坐標

圖 4-11 為 GPS4 之兩次現地測量坐標，此測站兩次量測之移動量約向西移動 4cm。此測站因有蛇出沒曾有當地割草人員遭蛇咬傷，因此於 7 月 25 日則放棄此測站，另選他點。

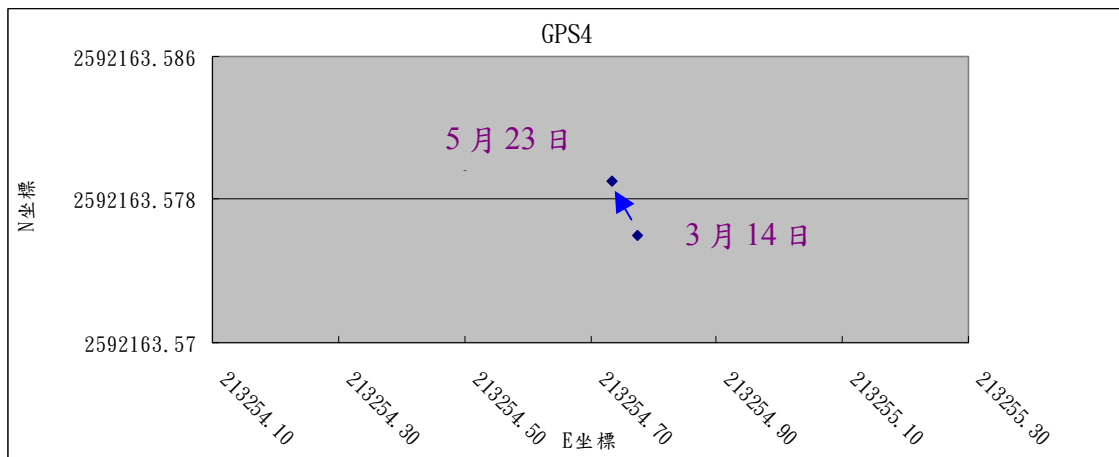


圖 4 - 11 GPS4 坐標

圖 4-12 為 GPS5 四次現地測量之坐標，3 月至 7 月間其移動方向往西約 89cm。

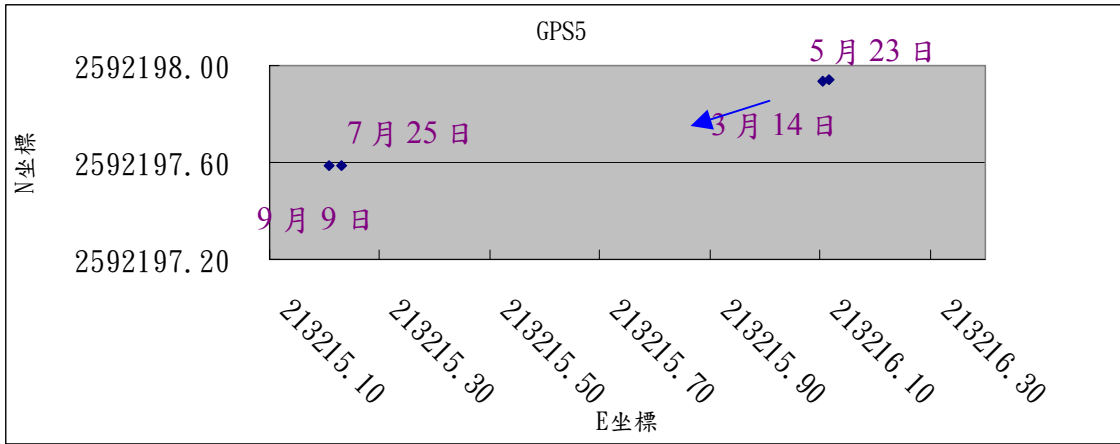


圖 4 - 12 GPS5 坐標

GPS7 之兩次現地測量坐標如圖 4-13，顯示該站地基穩固，現地照片如圖 4-14。

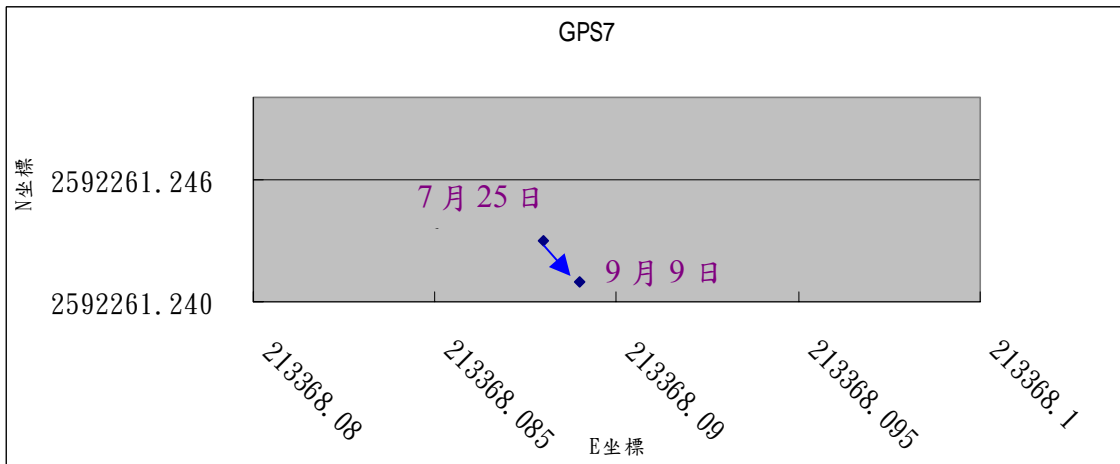


圖 4 - 13 GPS7 坐標



圖 4 - 14 GPS7 外業記錄照片

4.3 一機多天線數據分析

由於此路段第四彎改道工程施工導致時常斷電，其一機多天線數據較不完整，且 7、8、9 月因數個颱風來襲，導致其變化量相當大。影響台灣之颱風降雨量及阿里山平時之降雨量如表 4-7、表 4-8 所示(資料來源：中央氣象局全球資訊網下載，網址：<http://www.cwb.gov.tw/>)。

表 4 - 7 2007~2008 年颱風於阿里山地區帶來之降雨量統計表

颱風名稱	侵襲時間	雨量(mm)	強度
帕布	2007/8/6~8/8	31	輕
梧提	2007/8/8~8/9	21	輕
聖帕	2007/8/16~8/19	654.7	強
韋帕	2007/9/17~9/19	302	中
柯羅莎	2007/10/4~10/7	1093	強
卡玫基	2008/7/16~7/18	619	中
鳳凰	2008/7/26~7/29	641.9	中
辛樂克	2008/9/11~9/16	1470.5	強
薔蜜	2008/9/26~9/29	885.5	強

表 4 - 8 2007 年 9 月至 2008 年 9 月之每月降雨量

月份	2007 年月降雨量(mm)	月份	2008 年月降雨量(mm)
九月	539.4	一月	103.2
十月	1157.6	二月	90.2
十一月	47.4	三月	64.8
十二月	5.1	四月	135.3
		五月	377.8
		六月	496.4
		七月	1573.1
		八月	276.5
		九月	2525.8

由 2007 年 10 月 19 日天線開始收集資料至今，由於 2008 年 2 月 15 日至 7 月 3 日期間都無資料，間斷時間太長，所以將分兩時期作分析與探討。圖 4-15 所示為時間 2007 年 10 月至 2008 年 2 月的地滑速度，其滑動速度之值是以 6 天的資料擬合得來，為能更加表示地滑之顯著

性，以每 6 天的位移量為單位 (cm/6 天)，由於 2008 年 2 月份不穩定，因此 2008 年 2 月份資料將不列入分析。天線一、天線二、天線三、天線四是以東西方向的滑動較為嚴重，後三者的最大之向西地滑速度約每月 10 cm，其中南北向和高程之變化量不大，因此僅選擇東西方向進行分析與探討。

圖 4-16、4-17、4-18、4-19 所示，其滑動速度以 cm/6 天為單位，亦加入 6 天累積的雨量一併呈現比較，2007 年 10 月 4 日至 7 日秋颱柯羅莎所帶來的累積雨量為 1093mm，其他平時於年底前僅四次些許降雨量，相對比較影響不顯著。其滑動速度若為”負值”，表示向西滑動，若為”正值”，則反之，由上述圖表中可得知，於颱風侵襲其降雨量暴增的同時，滑動速度明顯地最快，當雨量停歇，滑動速度漸漸緩和下來。

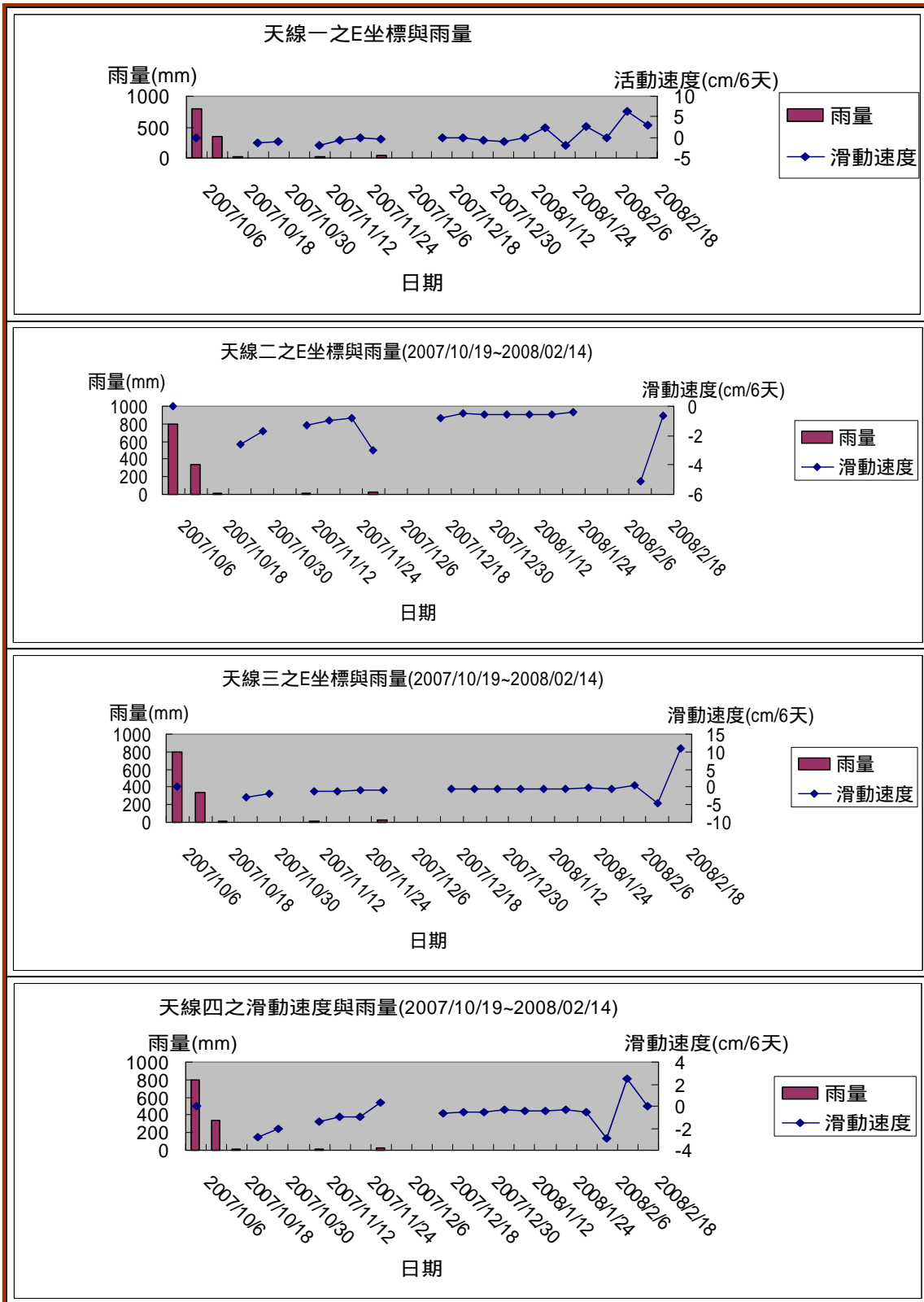


圖 4 - 15 四根天線之 E 坐標滑動速度與雨量分析
(2007/10/19~2008/2/14)

此外由圖 4-16、4-17、4-18、4-19 所示，其滑動速度呈現一拋物線的趨勢，將其各點進行二元一次方程式之擬合，結果如圖 4-20、4-21、4-22、4-23。如圖 4-20 成果顯示，天線一因滑動速之變化量不大，所以擬合出之趨勢線較差，但天線二、天線三及天線四擬合趨勢線之 R 平方值皆高達 0.9，表示此段期間的滑動速度有此趨勢---豪大降雨量後，此區域之地滑速度呈現以時間為變數之一元二次方程式的緩降數學關係，天線二、天線三、及天線四之擬合方程式相似度非常高，表示他們滑動的速度及走向是相同的，如圖 4-24 更加說明此三支天線皆位於 N2 滑動塊體上。

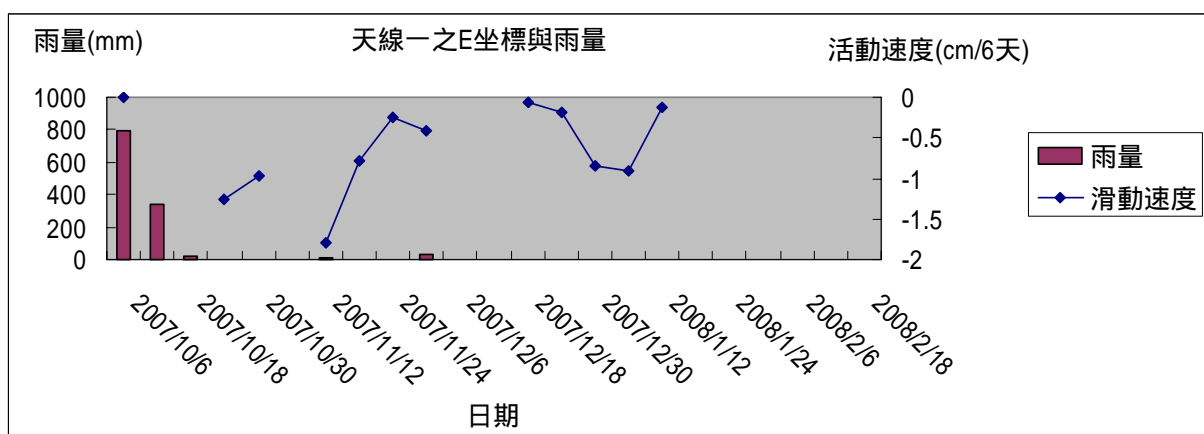


圖 4-16 天線一之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)

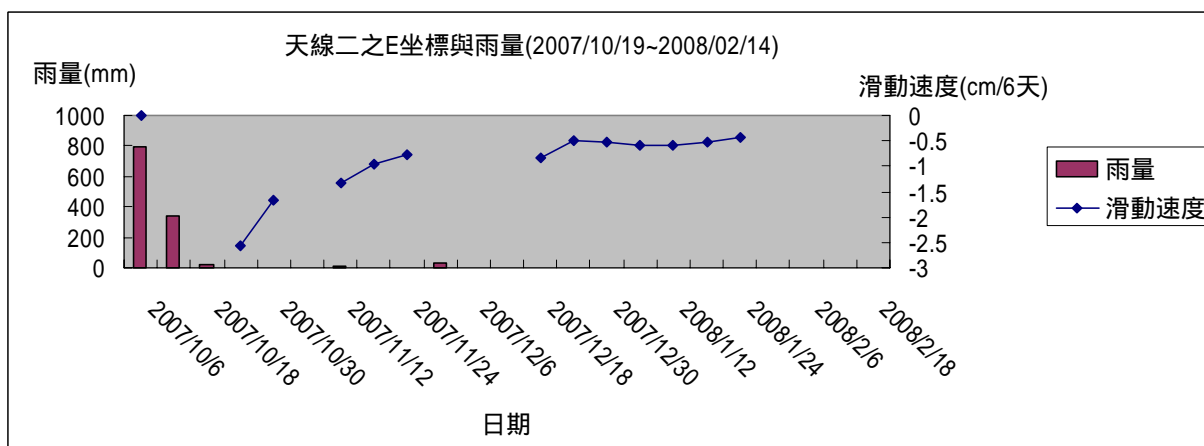


圖 4-17 天線二之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)

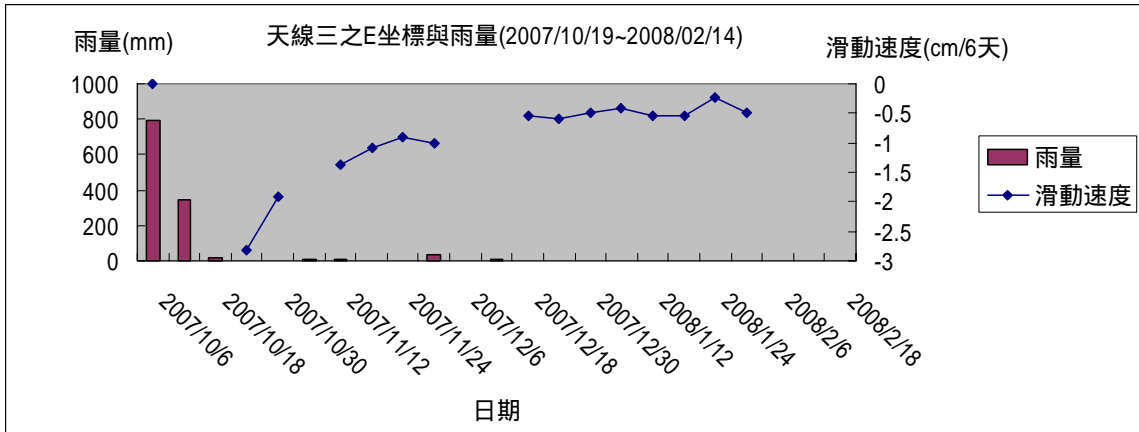


圖 4 - 18 天線三之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)

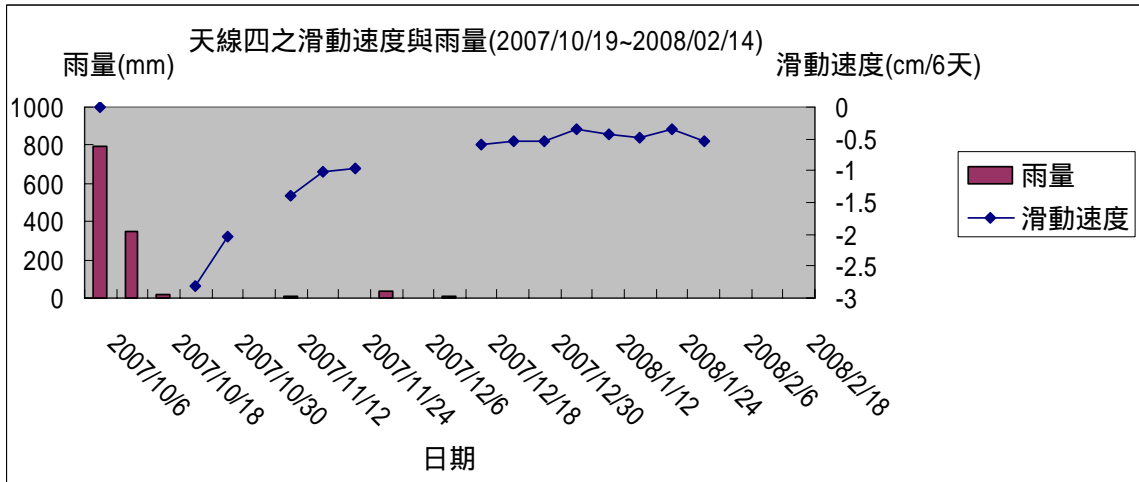


圖 4 - 19 天線四之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2007/10/19~2008/2/14)

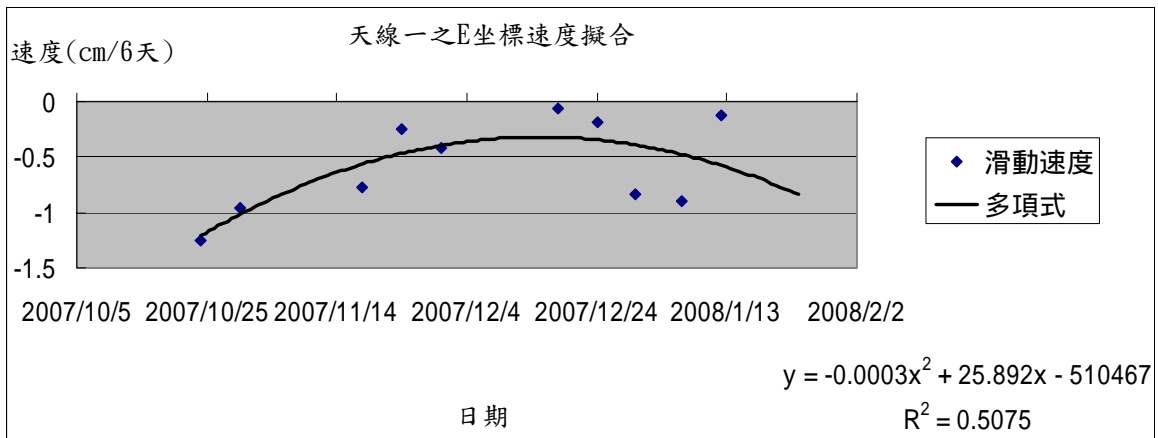


圖 4 - 20 天線一之 E 坐標滑動速度擬合

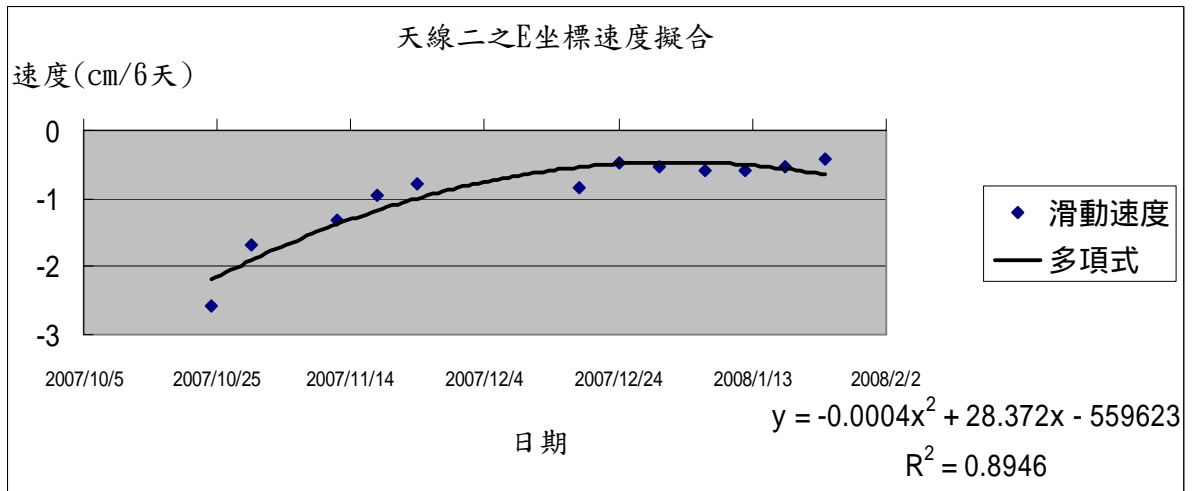


圖 4 - 21 天線二之 E 坐標滑動速度擬合

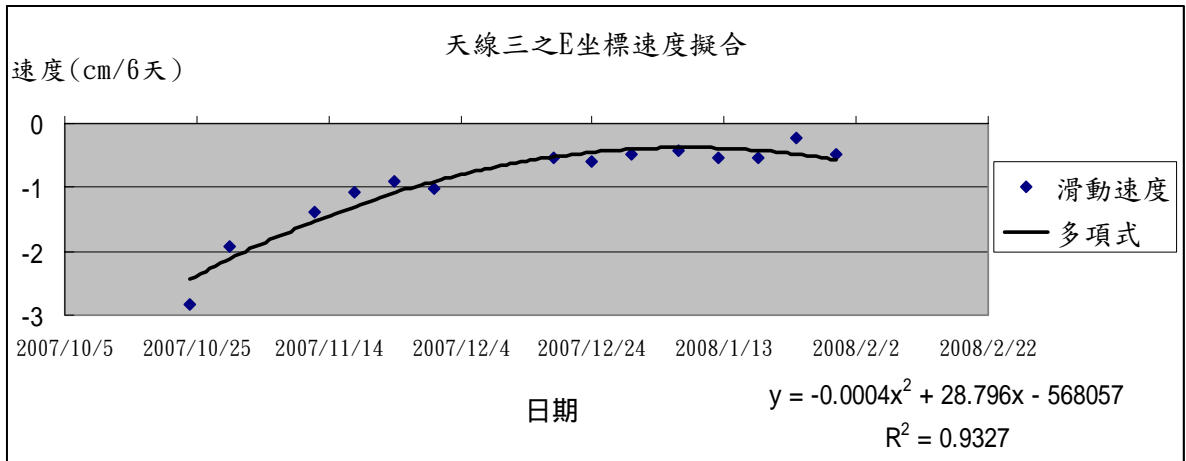


圖 4 - 22 天線三之 E 坐標滑動速度擬合

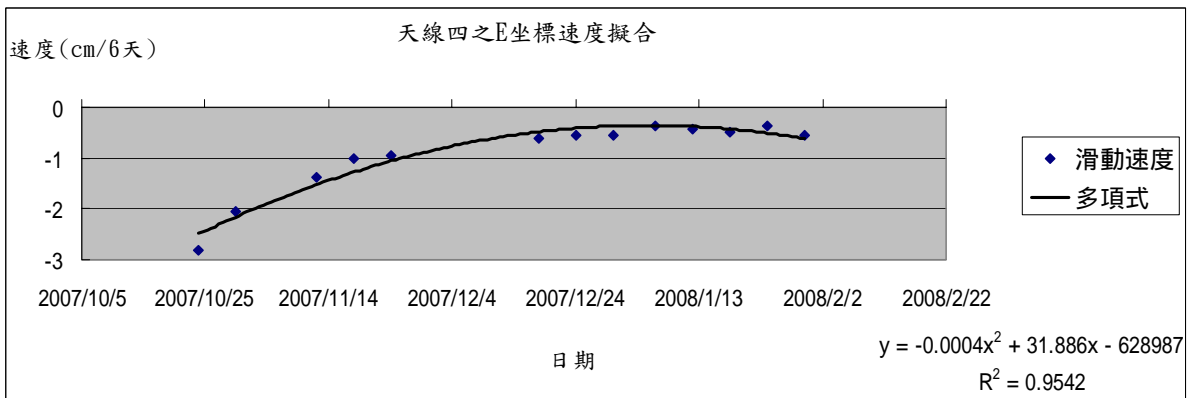


圖 4 - 23 天線四之 E 坐標滑動速度擬合

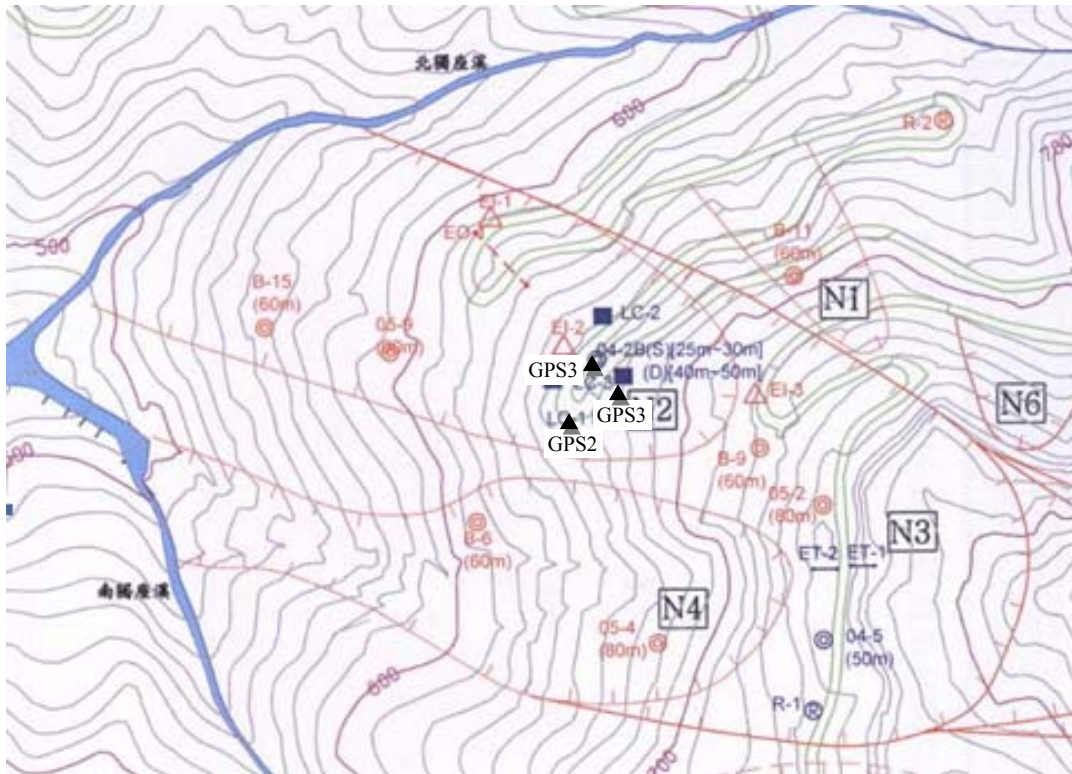


圖 4-24 天線位置圖

自 2008 年 2 月 15 日至 7 月 3 日期間因第四彎改道工程，該路段因停電致使一機多天線皆無資料紀錄，於 7 月 4 日開始天線才恢復運作，結果又因 2008 年 7 月 16 日至 9 月底，遭受四次颱風的侵襲，致使電力時常中斷及儀器受損，今年的數據資料受到非常嚴重的影響，無法如同去年的數據穩定，無法進行分析。依前述的方式擬合計算各天線的地滑速度，因資料不完整，其結果不如 2007 年的成果，如圖 4-25 至圖 4-32。明顯地，因道路施工及天候、儀器的影響，儀器問題將即刻請廠商檢查，以確保儀器功能正常。

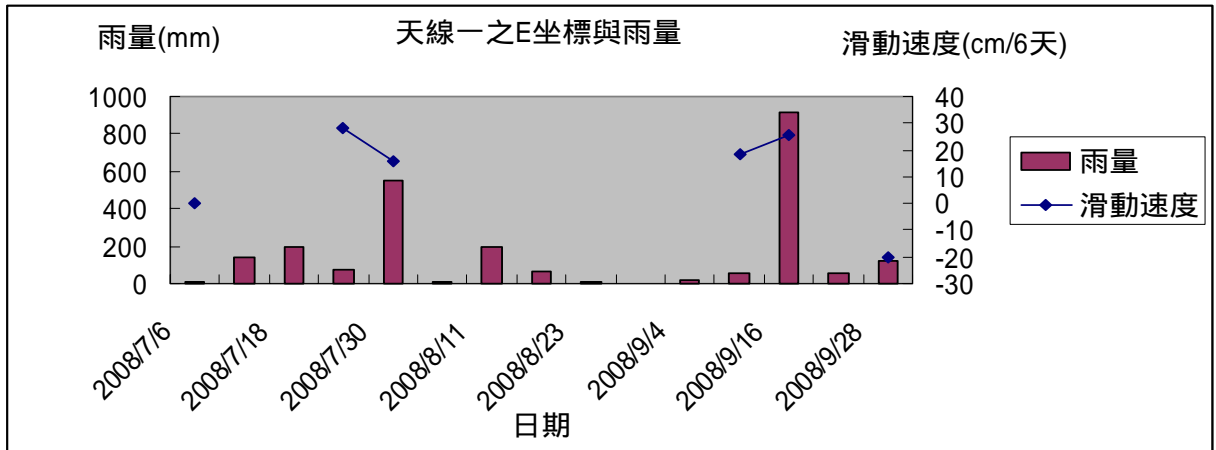


圖 4 - 25 天線一之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)

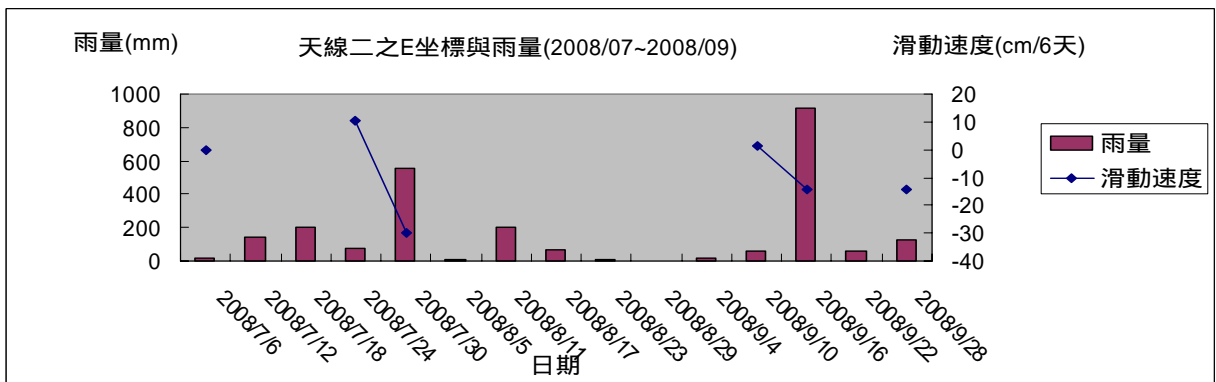


圖 4 - 26 天線二之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)

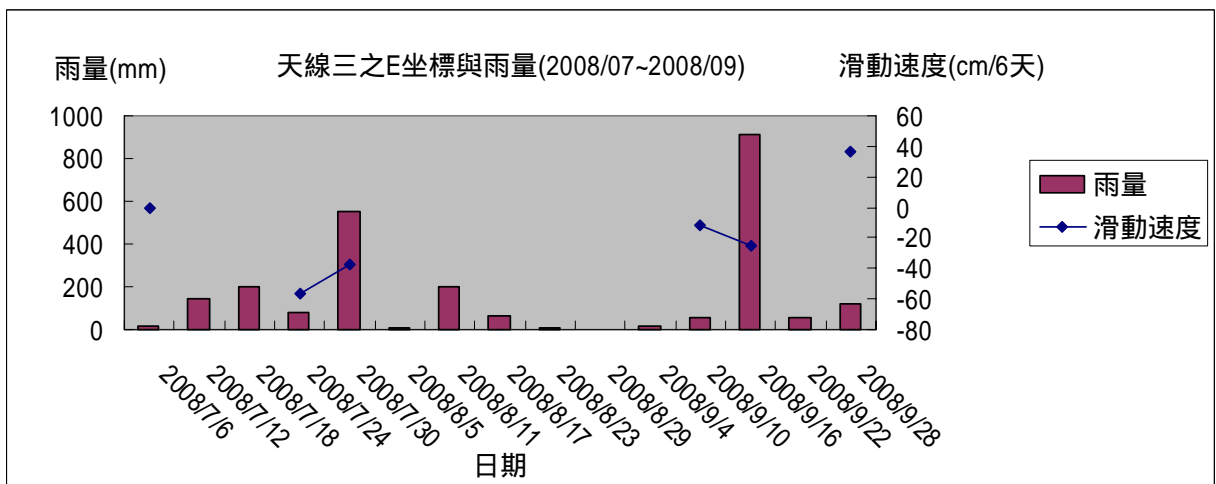


圖 4 - 27 天線三之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)

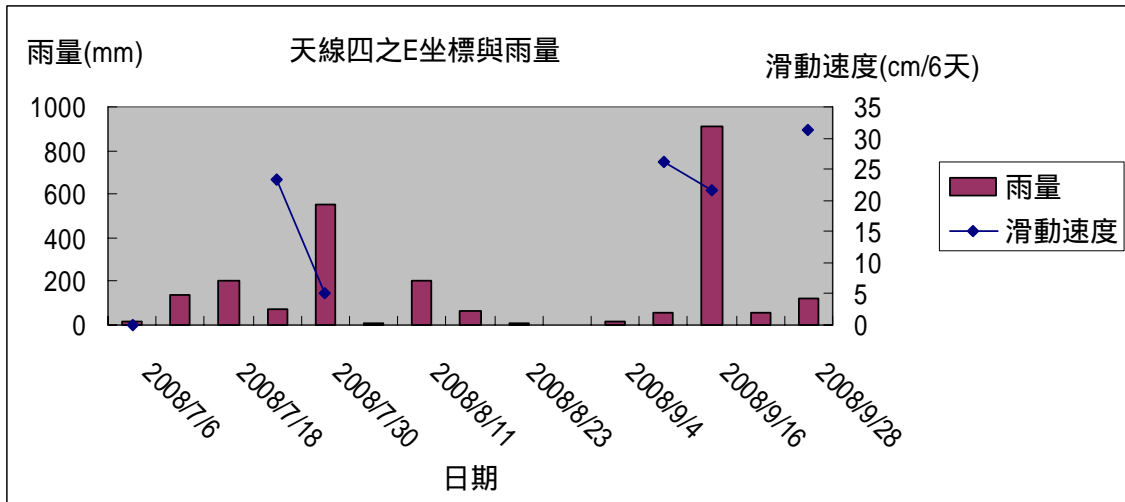


圖 4 - 28 天線四之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)

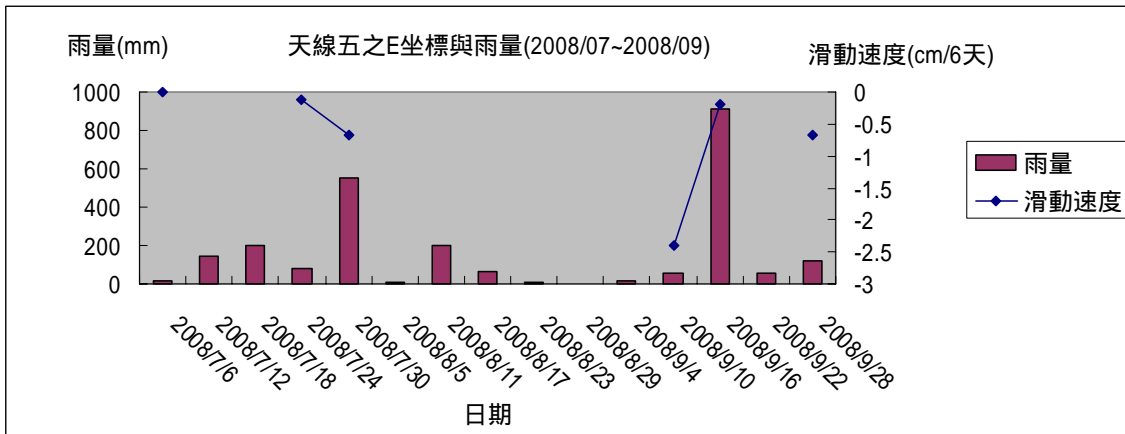


圖 4 - 29 天線五之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)

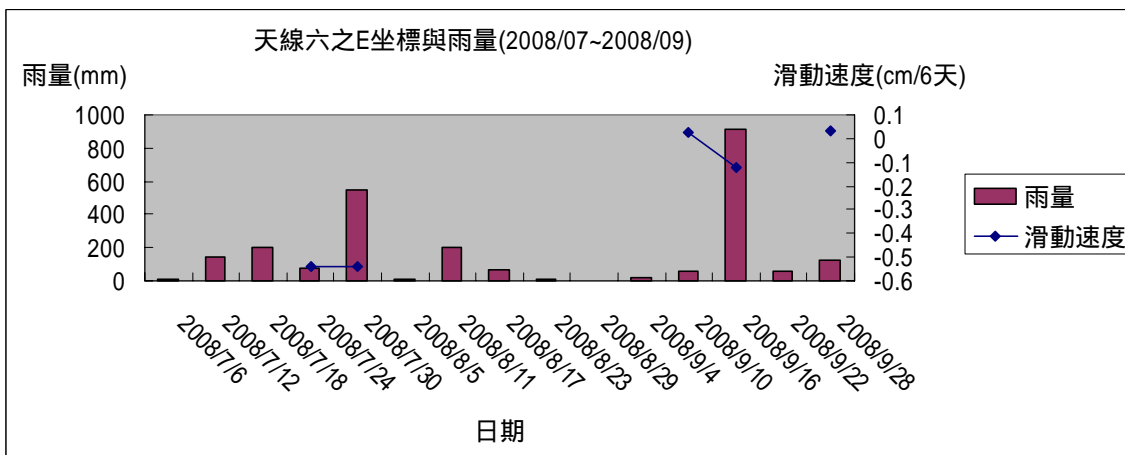


圖 4 - 30 天線六之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)

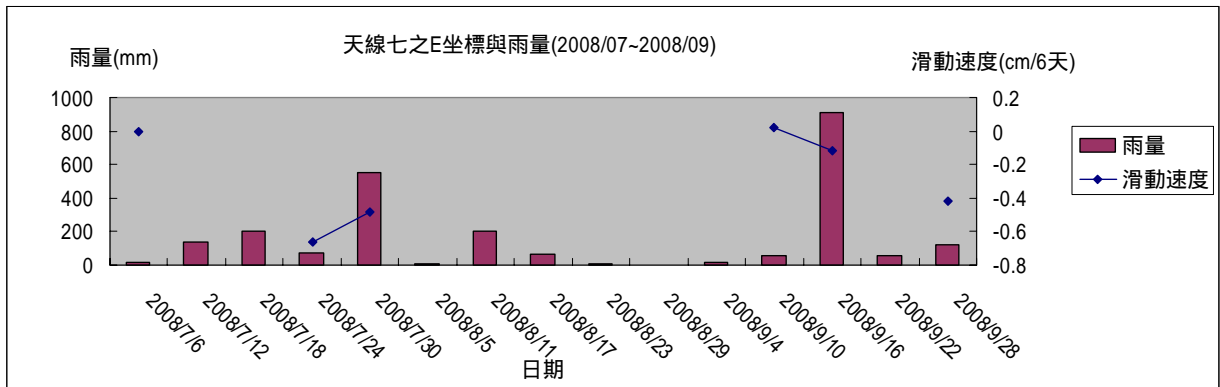


圖 4 - 31 天線七之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)

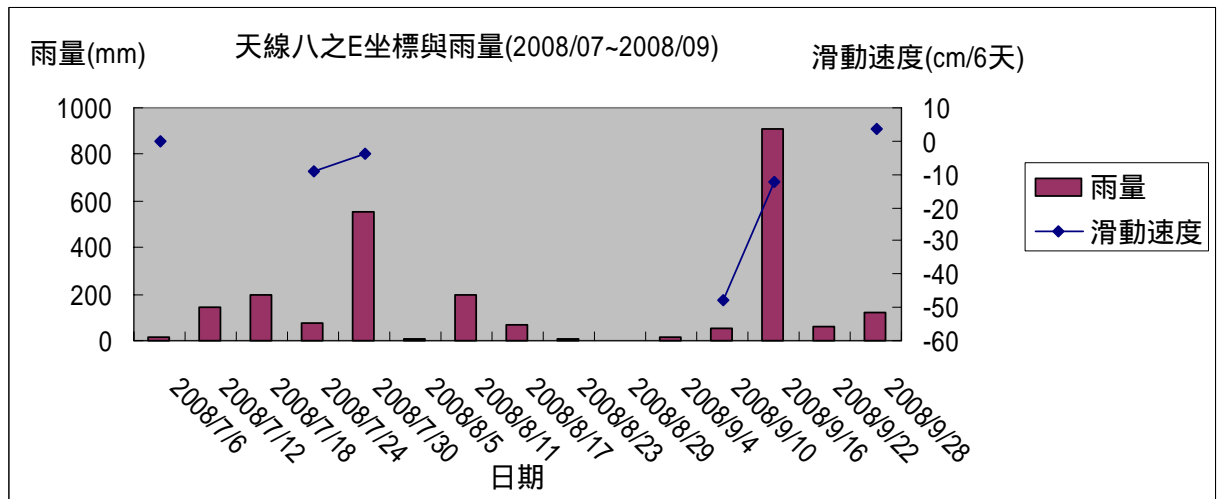


圖 4 - 32 天線八之 E 坐標滑動速度與雨量分析(2008/7/4~2008/10/3)

4.4 試驗區變位分析研究

本研究對試驗區之各天線作實地量測，以瞭解電力桿上之天線位移是否受到電力桿本身傾斜的影響，而誤認是地表位移現象。實驗中以雷射全站儀測量電力桿頂端天線中心及此電力桿底部之坐標，比較電力桿頂部與底部之相對位置於兩個不同時期的量是否相同。

初期假設測站點位不動，經兩次實地測量結果發現測站位置本身也有位移發生，因此本研究以 rGPS6 為歸零位置(離變位地區較遠)，其

結果顯示位移方向與實際位移情形相符。其成果及示意圖（圖 4-33 所示）。

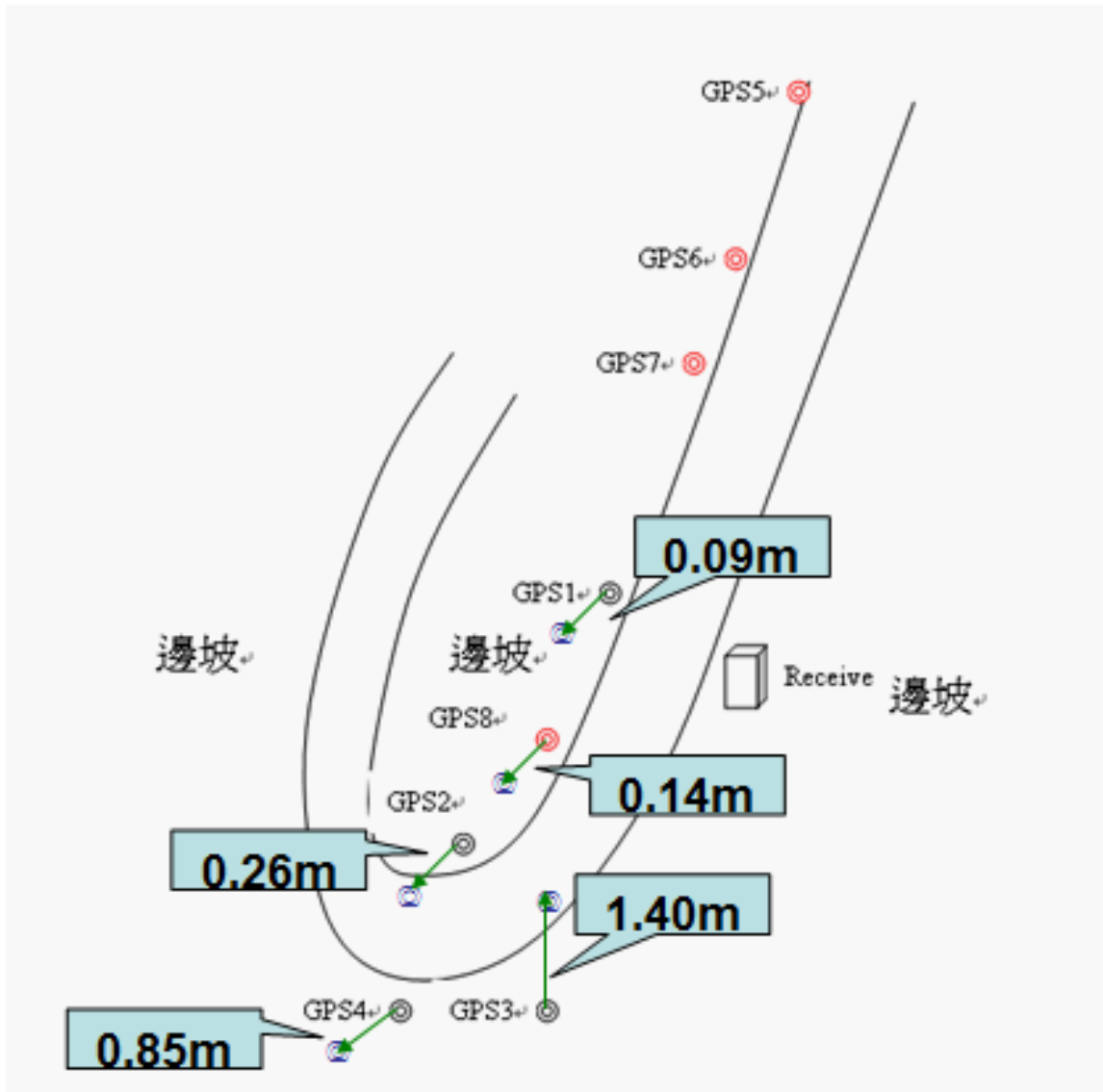


圖 4 - 33 多天線位移差異分析示意圖

表 4-9 及 4-10 內之 X、Y、Z 為區域性坐標系統，rGPS2 及 rGPS2 下表示電線桿天線之頂部及電線桿底部，是以雷射全測站儀器測得之區域性坐標值。表 4-10 之結果，為 2008/07/25 與 2008/09/09 兩個時期的各點坐標差值，其中除 rGPS3、rGPS4 位移量偏大(相對其它各點)，而且天線三 rGPS3 與其他天線的傾斜方向相反，因此可判釋似有傾倒之現象發生；由於天線數據於九月底亦有異常發生，並於 10 月初前往

檢查，結果發現兩處天線發生位移破壞，如圖 4-34、圖 4-35 所示。由此亦可證實，GPS 天線放置於電線桿上亦有其優點，因為地滑事件嚴重發生前，將會有天線坐標有異常現象的發生。

表 4-9 多天線現場全測站經緯儀實測成果

點號	2008/7/25			2008/9/9		
	X	Y	Z	X	Y	Z
rGPS6	1020.508	1000	105.291	1020.532	1000	105.2694
rGPS6 下	1020.219	1000.013	103.2353	1020.293	1000.014	103.2182
rGPS7	1009.925	1000.507	104.3957	1009.957	1000.51	104.3733
rGPS7 下	1009.6	1000.443	102.3376	1009.574	1000.44	102.3119
rGPS1	989.4293	1004.18	107.9351	989.4226	1004.202	107.8144
rGPS1 下	991.4196	1002.969	100.0734	991.3762	1003.004	99.94373
rGPS8	959.8005	999.7922	98.22702	959.6782	999.8636	98.12767
rGPS8 下	959.5613	999.8519	96.16315	959.4476	999.9258	96.06581
rGPS2	926.8516	983.2236	99.00616	926.6429	983.2864	98.81121
rGPS2 下	926.2932	982.4453	91.06104	926.0192	982.506	90.85818
rGPS4	907.0128	976.2311	91.24961	906.1809	976.3441	90.97382
rGPS3	928.3346	963.2622	95.87607	927.1301	962.6461	95.62288

表 4-10 多天線位移分析表

各方向差異量				差異量
點位	ΔX	ΔY	ΔZ	單位：m
rGPS6	0.0235	0	0.021644	0.03195
rGPS6 下	0.073499	-0.00138	0.01709	0.07547
rGPS7	0.03191	-0.00257	0.022432	0.03909
rGPS7 下	-0.02542	0.002428	0.025738	0.03625
rGPS1	-0.00673	-0.02236	0.12075	0.12299
rGPS1 下	-0.04343	-0.03498	0.129696	0.14118
rGPS8	-0.12231	-0.07131	0.099347	0.17295
rGPS8 下	-0.1137	-0.0739	0.097337	0.16693
rGPS2	-0.20872	-0.06271	0.194942	0.29241
rGPS2 下	-0.27393	-0.06073	0.202858	0.34623
rGPS4	-0.83187	-0.11296	0.275793	0.88365
rGPS3	-1.20454	0.616069	0.253195	1.37644
備註：各方向差異量為兩時期影像之各方向之偏移情形 差異量為兩時期天線點位之差異情形				



拍攝日期：97 年 10 月 16 日

圖 4-34 天線 rGPS3 電線桿位移破壞情形



拍攝日期：97 年 10 月 16 日

圖 4 - 35 天線 rGPS4 電線桿位移破壞情形

當地表之滑動未導致電線桿破壞時，天線之坐標變化是否真能反映出地表真實的地滑位移，表 4-11 之成果分析呈現兩個不同時期的電線桿頂部(GPS 天線)相對於底部的變化量 (dr)，相隔 45 天且經歷兩次颱風豪雨侵襲，天線一、二、六、七及天線八皆無特殊明顯之變化(6cm 以內)，故在一個地滑敏感地區，將天線放置於天線桿頂部，不致影響地滑及災害的判釋。

表 4 - 11 電線桿傾斜趨勢監測成果

點號	2008/0725			2008/9/9		
	X	Y	Z	X	Y	Z
rGPS6	1020.508	1000	105.291	1020.532	1000	105.2694
rGPS6 下	1020.219	1000.013	103.2353	1020.293	1000.014	103.2182
rGPS7	1009.925	1000.507	104.3957	1009.957	1000.51	104.3733
rGPS7 下	1009.6	1000.443	102.3376	1009.574	1000.44	102.3119
rGPS1	989.4293	1004.18	107.9351	989.4226	1004.202	107.8144
rGPS1 下	991.4196	1002.969	100.0734	991.3762	1003.004	99.94373
rGPS8	959.8005	999.7922	98.22702	959.6782	999.8636	98.12767
rGPS8 下	959.5613	999.8519	96.16315	959.4476	999.9258	96.06581
rGPS2	926.8516	983.2236	99.00616	926.6429	983.2864	98.81121
rGPS2 下	926.2932	982.4453	91.06104	926.0192	982.506	90.85818

點號	2008/07/25			2008/9/9			較差 (m)
	dx	dy	dz	dx	dy	dz	
rGPS6	0.288504	-0.01309	2.055763	0.238505	-0.01446	2.051209	0.050225
rGPS7	0.325252	0.064485	2.058105	0.382577	0.069487	2.061411	0.057638
rGPS1	-1.9903	1.210744	7.86171	-1.9536	1.198122	7.870656	0.039822
rGPS8	0.239266	-0.05964	2.063869	0.230663	-0.06223	2.061859	0.009207
rGPS2	0.558482	0.778373	7.945116	0.623684	0.780355	7.953032	0.06571

4.5 各單位監測數據探討

於第四彎有其他單位進行，其中包含交通部公路總局第五區養護工程處的地滑區調查、整治規劃及安全評估和交通部運輸研究所的地下光纖量測量測計畫。由於交通部公路總局計畫為外單位，尚未取得相關資料，以下針對交通部運輸研究所的光纖計畫進行探討。

圖 4-36 為地下光纖量測位置圖，其中 IHTM-01 為 200m 深的光纖位移計，監測範圍為地下 35m 至 65m 深。另外三個 NCTU-01 至 NCTU-03 為量測地下水壓。將 2008 年 3 月 14 日與 2008 年 5 月 23 日兩次 GPS 靜態量測結果中，測站 1 為最靠近其他單位所放置的監測位置，由圖 4-37 結果顯示，2008 年 3 月 14 日到 2008 年 9 月 28 日地下約 35m 深處位移量為 -1.5mm，而地表上 GPS 量測結果為 0.2mm。此結果表示地表未發生地滑現象，但地底下已發生位移，可能未來會造成地表的滑動。

由表 4-4 及 4-5 得知，GPS 靜態測量於 2008 年 5 月 23 日至 2008 年 7 月 25 日間 GPS1 及 GPS2 的位置向西位移了達 35cm 之多(如圖 4-38 所示)。因此，顯而易見的，該路段似乎值得工務段注意，現階段公路段已進行地下水的排水工程及邊坡的防治工作。建議未來應持續監測此位移的變化，並建立地表位移與地下滑動位移之間的關係，進而探討觸發坡地災害發生原因與研擬警戒參考數值。

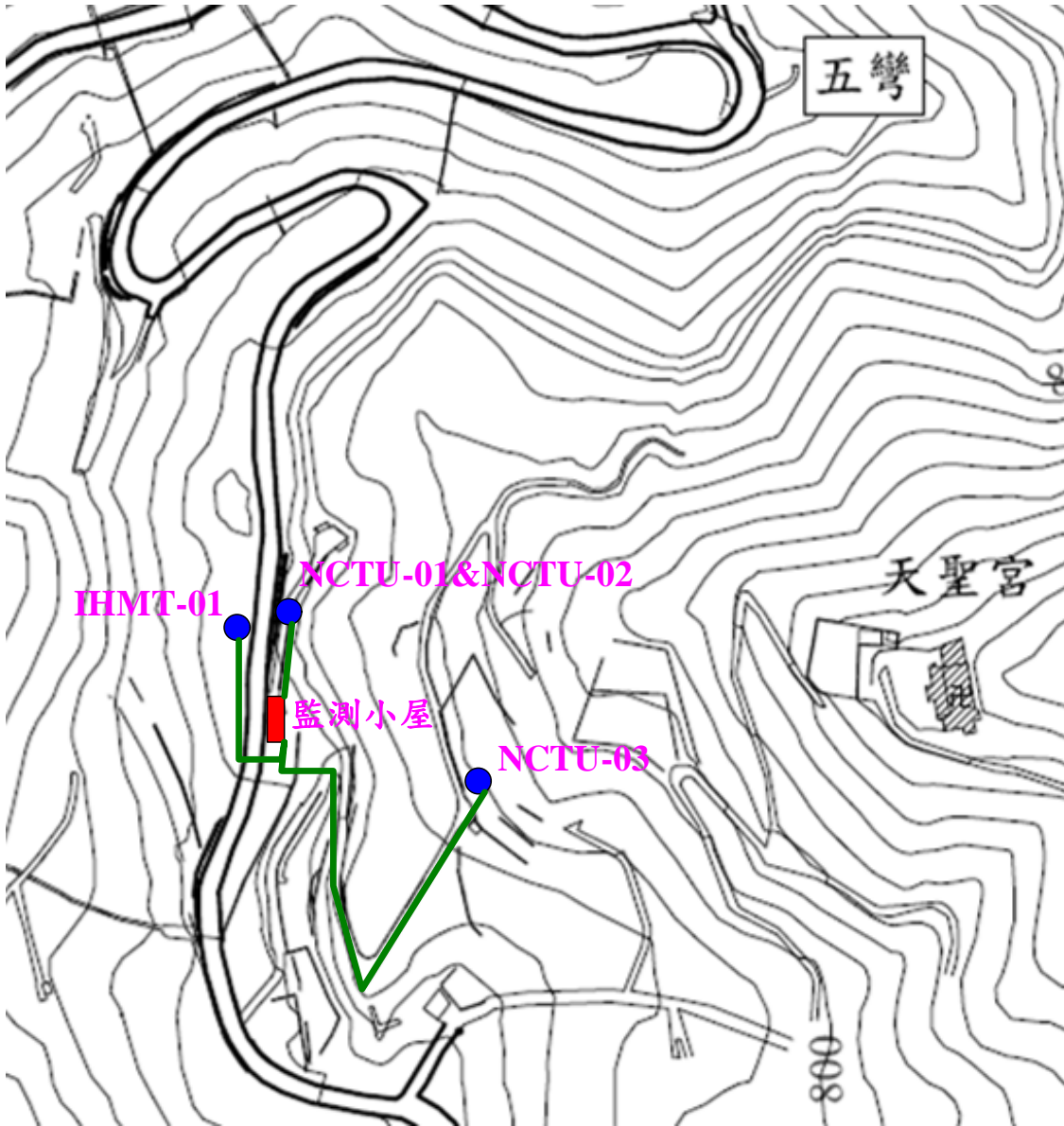


圖 4 - 36 現場光纖佈置圖

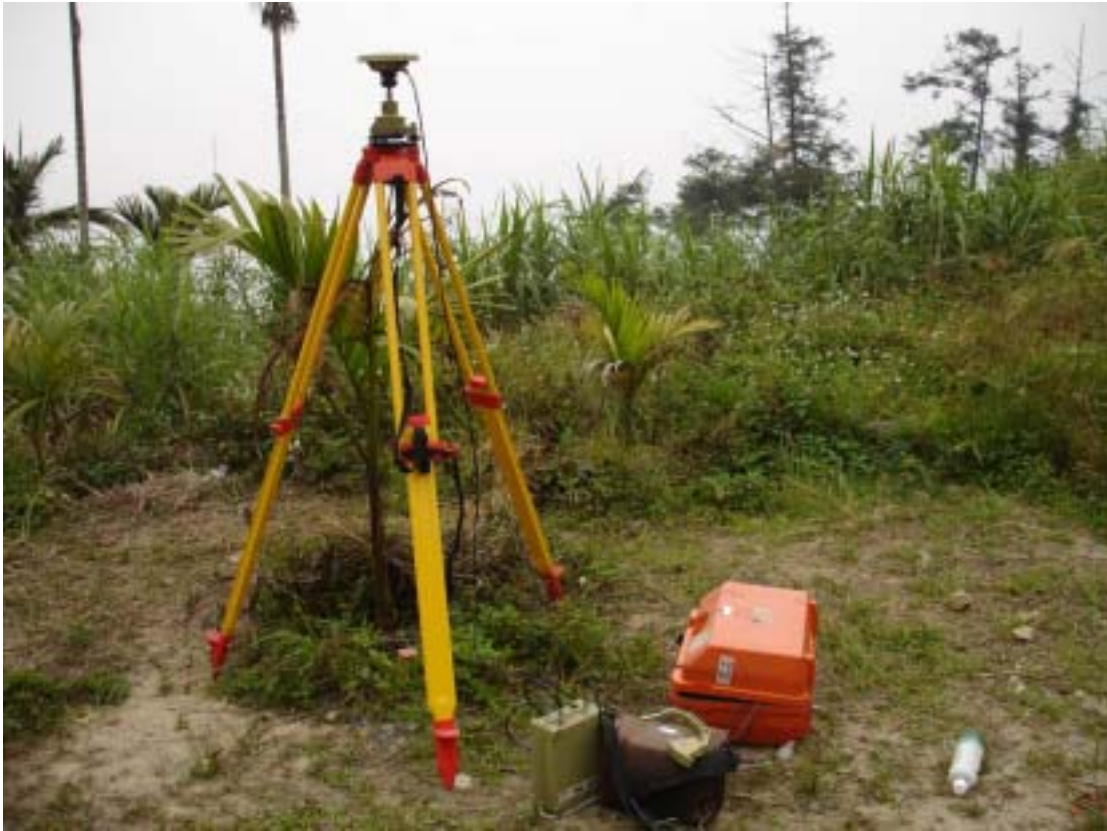


圖 4 - 37 測站 1 靜態量測照片

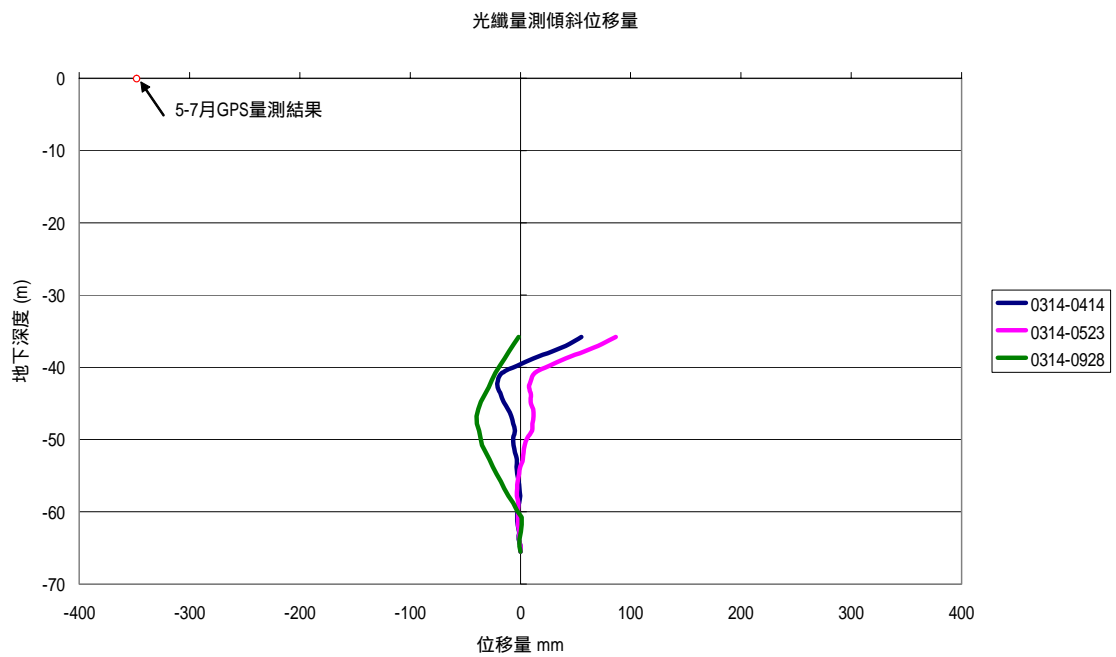


圖 4 - 38 光纖量測與地表 GPS 量測結果

第五章 近景攝影測量工作

5.1 空間變位攝影測量研究

本研究主要在開發免稜鏡全測站經緯儀與數位相機整合之作業系統，以提供地面三維空間變位攝影量測之用。利用雷射全測站經緯儀量測地面上之現況作為控制點位，並以單相機連續攝影擷取影像計算不同時期之地表空間變位，再以數位相機拍攝該地形之立體像對後，將控制點位資料及影像傳輸入電腦，經地物點坐標量測與影像方位解算後，即可計算出點位的物空間坐標。

5.1.1 多天線 GPS 四組擴大設置工作

1. 單相機攝影

影像挑選時，需注意影像所拍攝的天氣狀況，正確的選用影像可提高所測之精度。圖 5-1 所示影像為各天氣狀況，以晴日最佳，影像選取分析如表 5-1 所示。



烈日



雨日



霧日



晴日

圖 5-1 各天氣之攝影影像圖

表 5-1 影像選取分析表

天氣 \ 影響	清晰度	遠方背景	亮度	對比
晴日	最佳	最佳	最佳	最佳
烈日	尚可	尚可	過量	強烈
雨日	差	模糊	不均勻	無法評估
霧日	最差	不可見	含糊	無法評估

2. 第四彎取樣量測

現場作業人員於 2008 年 05 月 23 日配合現場靜態 GPS 測量作業，同步進行攝影測量取樣工作，現場量測方式如圖 5-2 所示：



圖 5-2 攝影測量作業情形

量測時將攝影儀器置於圖上 BS 點處，分別量測 CCD 攝影機位置及 ABC 平面位置及距離，相關成果如下列算示所列。

$L=AC$ 的實測距離=1.195 公尺

Dist=攝影站至 A、B、C 各點平均距離=23.456 公尺

$I=AC$ 影像量測距離=0.054561

得影像之像比例尺

$$\frac{1}{M_b} = \frac{I}{L} = \frac{1}{21.90198}$$

$I_{BC}=BC$ 影像量測距離=0.026711

$L'_{BC} = I_{BC} \times M_b = 0.58503$ 公尺

L_{BC} 實際量測距離=0.578 公尺

差數 $\Delta L_{BC} = L'_{BC} - L_{BC} = 0.00703$ 公尺

$$\text{計算精度} = \frac{\Delta L_{BC}}{\text{Dist}} = 1/3336.457$$

假設理想狀況下，此方法之計算精度可達 1/3336。整理相關成果如下表 5-2 及表 5-3 所示。

表 5 - 2 測量 970211 影像與 970523 影像之像面差異量

	970211 像面坐標	970523 像面坐標	像面坐標差異量
A	(100.423,100.2882)	(100.4288,100.2882)	0.0058
B	(100.4507,100.2906)	(100.4579,100.291)	0.0072
C	(100.4779,100.2925)	(100.4851,100.2934)	0.0073

表 5 - 3 BC 點影像之像面差異量

	970211 像面坐標		像面坐標差異量
BC	(100.4507,100.2906)	(100.4779,100.2925)	0.027266
	970523 像面坐標		像面坐標差異量
BC	(100.4453 ,100.2905)	(100.4719 ,100.2922)	0.026711

而影像之像例尺計算方式如下式所列，經由下式推算結果如表 5-4~5-5 及圖 5-3~5-4 所示。

A、B、C 各點差異量 = 影像之像例尺 × 像面坐標差異量

表 5 - 4 影像量測成果表

A 差異量	B 差異量	C 差異量	BC 檢核(差異量)	平均差異量
0.127	0.157	0.158	0.007	0.147

(以 2 月及 5 月影像作處理)(單位:公尺)

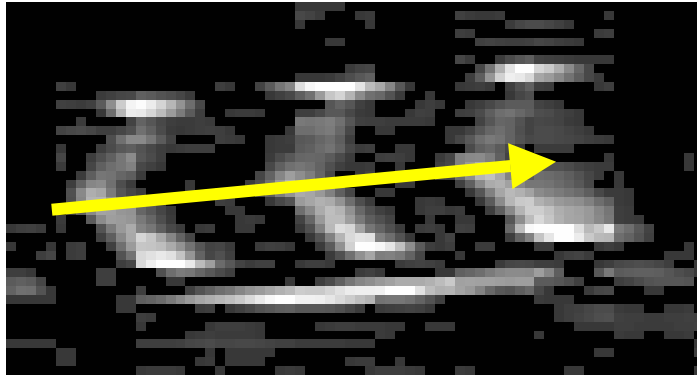


圖 5 - 3 2 月及 5 月影像差異向量圖

表 5 - 5 影像量測(以 2 月及 6 月 5 日影像作處理)

A 差異量	B 差異量	C 差異量	BC 檢核(差異量)	平均差異量
0.128m	0.156m	0.125m	0.007m	0.136m

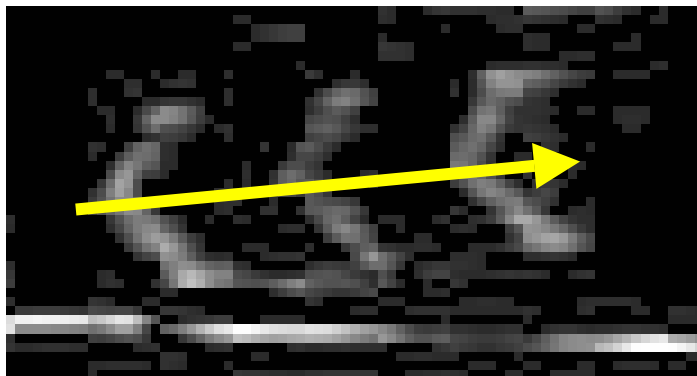


圖 5 - 4 2 月及 6 月影像差異向量圖

本團隊於 2008 年 07 月 25 日再度配合現場測量作業同步進行攝影測量取樣工作，相關成果說明如下：

L=AC 的實測距離=1.195 公尺

Dist=攝影站至 A、B、C 各點平均距離=23.948 公尺

I=AC 影像量測距離=0.073567

得影像之像比例尺

$$\frac{1}{M_b} = \frac{I}{L} = \frac{1}{16.24367}$$

$$I_{BC} = BC \text{ 影像量測距離} = 0.035425$$

$$L'_{BC} = I_{BC} \times M_b = 0.575438 \text{ 公尺}$$

$$L_{BC} \text{ 實際量測距離} = 0.578 \text{ 公尺}$$

$$\text{差數 } \Delta L_{BC} = L'_{BC} - L_{BC} = 0.00256 \text{ 公尺}$$

$$\text{計算精度} = \frac{\Delta L_{BC}}{\text{Dist}} = 1/9349.13$$

彙整 2008 年 8 月 21 日與 2008 年 6 月 9 日之成果分析比較，相關成果如下表 5-6 及表 5-7 所示。

表 5 - 6 測量 970609 影像與 970821 影像之像面差異量

	970609 像面坐標	970821 像面坐標	像面坐標差異量
A	(100.399, 100.275)	(100.404, 100.263)	0.012674
B	(100.4382, 100.28)	(100.442, 100.267)	0.013544
C	(100.474, 100.283)	(100.477, 100.270)	0.013095

表 5 - 7 測量 970609 影像與 970821 影像 BC 點影像之像面差異量

	970609 像面坐標		像面坐標差異量
BC	(100.4382, 100.28)	(100.474, 100.283)	0.036723
	970821 像面坐標		像面坐標差異量
BC	(100.442, 100.267)	(100.477, 100.270)	0.035425

A、B、C 各點差異量 = 影像之像例例尺 × 像面坐標差異量，如下表 5-8 及圖 5-5 所示。

表 5 - 8 影像量測(以 6 月及 8 月影像作處理)

A 差異量	B 差異量	C 差異量	BC 檢核(差異量)	平均差異量
0.20587m	0.22000m	0.21271m	0.00256m	0.2128m

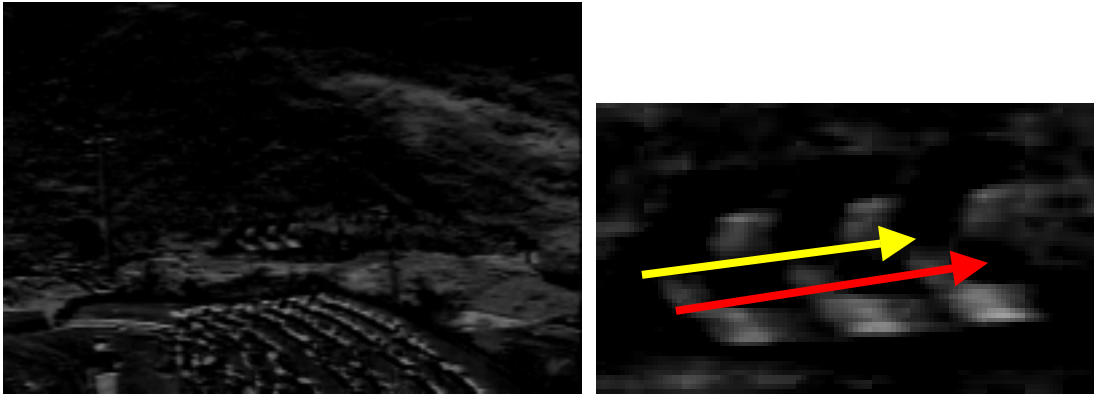


圖 5 - 5 第四彎成果 (右側為原圖、左側為放大成果)

3.CCD4影像作GPS2、GPS8之變位分析

利用 CCD4 攝影機影像分析 GPS2 及 GPS8 點位變異情形，其成果如表 5-9 及表 5-10 所示。

表 5 - 9 970609 影像與 970821 影像之像面坐標差異

日期	609		821		
點位	X	Y	X	Y	影像差異量
G2	100.1640m	100.4651m	100.1701m	100.4455m	0.020527m
G8	100.6547m	100.3205m	100.6584m	100.3119m	0.009362m

$L=G_2G_8$ 的實測距離= 36.888m

$I= G_2G_8$ 影像量測距離= 0.51156m

得影像之像比例尺

$$\frac{1}{M_b} = \frac{I}{L} = \frac{1}{72.109}$$

表 5 - 10 CCD4 天線影像量測成果表

G_2G_2' 差異量	G_8G_8' 差異量
1.4958m	0.6822m

(以 6 月 09 日及 8 月 21 日影像作處理)(單位:公尺)

小結：

從影像量測得知 2008 年 2 月到 5 月 ABC 平均差異量為 0.147 公尺，2 月到 6 月 5 日 ABC 平均差異量為 0.136 公尺，6 月到 9 月 ABC 平均差異量為 0.213 公尺，且偏移位置之方向與等高線之坡度傾斜一致。由 CCD4 之 6 月 09 日及 8 月 21 日影像對 GPS2、GPS8 之移位計

算，產生結果如表 5-9 所示，發現 GPS2 差異量較 GPS8 大，已顯示 GPS2 位於 GPS8 下方(距離攝影站之位置)之移動較大(相次位移向量如圖 5-6 所示)，是屬合理，但 GPS2 由偏移數值較大，推測相機已發生移動，因此 GPS2 偏移量僅供參考。



圖 5 - 6 位置變化方向示意圖

4.小公田觀測第四彎

擷取 2008 年 5 月 23 日及 6 月 5 日現地 CCD3 攝影機影像進行分析，量得圖面上道路指示牌相關點位資料，及計算成果如下所示：

$L=M_1M_2$ 的實測距離=1.790 公尺

Dist=攝影站至 M_1M_2 各點平均距離=708 公尺

$I= M_1M_2$ 影像量測距離=16.278

得影像之像比例尺

$$\frac{1}{M_b} = \frac{I}{L} = \frac{1}{0.1099}$$

成果整理如表 5-11 及圖 5-7 及圖 5-8 所示。

表 5 - 11 CCD3 影像量測成果表

M_1M_1 差異量	M_3M_3 差異量
0.965	1.387

(以 5 月 23 日及 6 月 5 日影像作處理)(單位:公尺)



圖 5-7 小公田與第四彎相對位置圖

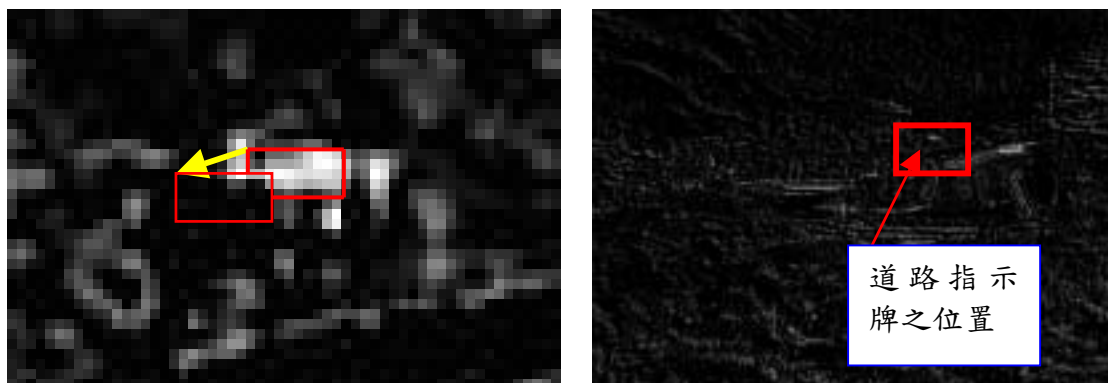


圖 5-8 由小公田觀測第四彎成果 (右側為原圖、左側為放大成果)

結語：

從影像量測得知 2008 年 5 月 23 日及 6 月 5 日 M1M1 差異量為 0.965 公尺，M3M3 差異量為 1.387 公尺，且方向與 CCD4 影像一致。另外 6 月及 9 月影像，由於攝影機受到颱風影響造成攝影像焦距有誤，無法計算，如下圖 5-9 及圖 5-10 所示：



圖 5 - 9 6 月 09 日影像

圖 5 - 10 8 月 21 日影像

5.1.2 雙相機立體攝影

本研究採用雙相機立體攝影(如圖 5-11 所示),其解析計算採用直接線性轉換法(Direct Linear Transformation, DLT),主要基本觀念為直接將坐標量測之像面儀器坐標轉換成物空間坐標,不必先將儀器坐標轉換成影像平面坐標,然後由影像平面坐標再轉成物空間座標。此解法實際上並不求解方位元素,而是利用控制點之像面坐標與控制點物空間坐標解出轉換參數,然而方位元素則隱含於各個轉換參數中。藉由參數可建立系統坐標系與物空間坐標系之線性關係式,並將欲求點之像面坐標加入轉換後,即可求得欲求點之物空間坐標。



圖 5 - 11 全測站經緯儀與數位相機整合作業情形

本團隊分別於 2008 年 3 月 14 日、5 月 23 日、7 月 25 日及 9 月 9

日，四度前往現場進行量測工作，其現場點位布設情形如圖 5-12 所示，而影像左片及右片之觀測影像如圖 5-13 及圖 5-14 所示，經由左右像片分析求得現場 10 處點位及 GPS8 之點位坐標成果(如表 5-12 至表 5-14 所示)，經由測得之數據進行分析，求得量測成果精度分析成果(表 5-15)及量測成果坐標較差成果(表 5-16)所示。



圖 5 - 12 現地佈設控制點之點位分佈情形



圖 5 - 13 現地攝影影像(右片)



圖 5 - 14 現地攝影影像(左片)

表 5 - 12 直接線性轉換量測成果(左片)

像面坐標(左片)量測		
Point	X	Y
GPS8	157.943	144.92925
12	145.8	141.031
23	177.92175	132.22325
24	134.611	128.643
25	146.972	130.626
26	168.5495	131.8835
27	107.464	132.43025
51	174.65475	107.2345
13	147.6255	141.064
29	152.615	122.847
50	170.79625	125.32375

表 5 - 13 直接線性轉換量測成果(右片)

像面坐標(右片)量測		
Point	X	Y
GPS8	165.121	144.9295
12	151.935	140.445
23	185.882	130.525
24	134.0585	126.573
25	149.951	128.747
26	175.4105	130.135
27	109.239	130.779
51	176.41225	101.8135
13	153.969	140.4875
29	151.01925	120.041
50	172.857	122.584

表 5 - 14 控制點坐標成果表

控制點坐標			
Point	X	Y	Z
GPS8	959.678	999.864	98.128
12	953.355	995.799	96.896
23	969.382	1002.851	96.630
24	973.514	998.847	97.012
25	970.519	999.293	96.665
26	968.234	1001.810	96.484
27	962.347	988.606	95.442
51	974.370	1001.908	96.195

表 5 - 15 量測成果精度分析表

計算坐標				實測坐標				精度
檢核點	X	Y	Z	控制點	X	Y	Z	
13	953.788	996.355	96.809	13	953.384	996.378	96.903	1/146
29	975.342	1000.578	97.096	29	975.212	1000.376	97.104	1/250
50	974.629	1001.639	97.099	50	974.455	1001.544	97.073	1/301

表 5 - 16 量測成果坐標較差表

坐標較差(m)				精度
檢核點	ΔX	ΔY	ΔZ	
13	0.404	- 0.023	- 0.094	1/146
29	0.130	0.202	- 0.008	1/250
50	0.174	0.095	0.026	1/301

由以上立體攝影分析成果得之，其精度介於 1/146~1/301 之間(點位量測相機至量測目標平均離約 60 公尺)， ΔX 、 ΔY 、 ΔZ 三個方向的較差值成果不甚理想，由於量測區域不適合設置佈標點，且控制點分佈難以均勻如圖 5-12(均集中在影像中央部份)，因此山區採立體攝影作 3D 空間點位量測，其攝影位置受地形影響甚大，必須具有適合佈設之優良場景，使能提高精度。

5.2 擬即時近景攝影測量分析研究

在台灣山區的道路，其邊坡滑動情形頻繁直接影響到行車的安全。本研究採用在道路邊坡之高處位置設置 CCD 攝影機作連續攝影，以作山區道路滑動之偵測，其主要採用單攝影機連續攝影的方式，快速連續取得影像資料。在單攝影機連續攝影的影像中擷取前後不同時期兩張差異量較大的影像，應用時間基線視差法得出其前後不同時期之差異量，並自動偵測影像差異之特徵值。以外業輔助測量資料及差異性之間的幾何關係，計算出邊坡滑動之趨勢。本研究並設計出影像邊坡滑動之偵測系統，以期能達到接近即時判釋的要求，提供山區邊坡滑動偵測之用。

接近即時量測系統之設計，其方法是採用影像擷取的方式，在單攝影機連續攝影的影像中擷取兩張不同時期且差異量較大的影像，將兩張 RGB 影像轉成灰度影像，再應用程式軟體作影像時間基線視差法得出差異，並自動偵測視差影像差異之特徵值。此外加入外業輔助測量，計算影像與控制點之像比例尺。由像比例尺推算其空間差異坐標量判定前後期影像之差異，進而探討差異性之間的幾何關係，演判邊坡滑動的傾向。再由像比例尺關係研判，作滑動量的評估，形成「擬似即時量測」之系統設計流程如圖 5-15 及圖 5-16 所示，可達到偵測之功能。

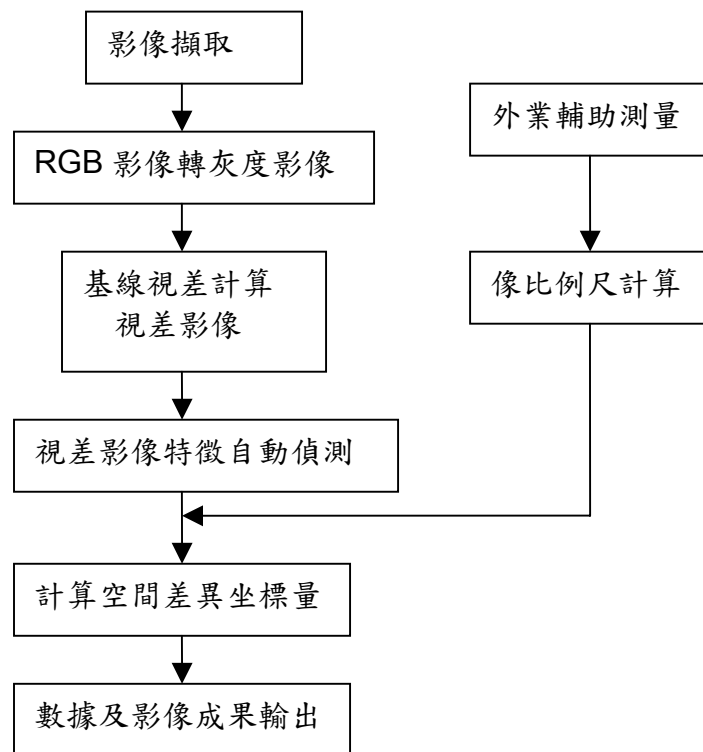


圖 5 - 15 擬即時量測系統設計流程圖

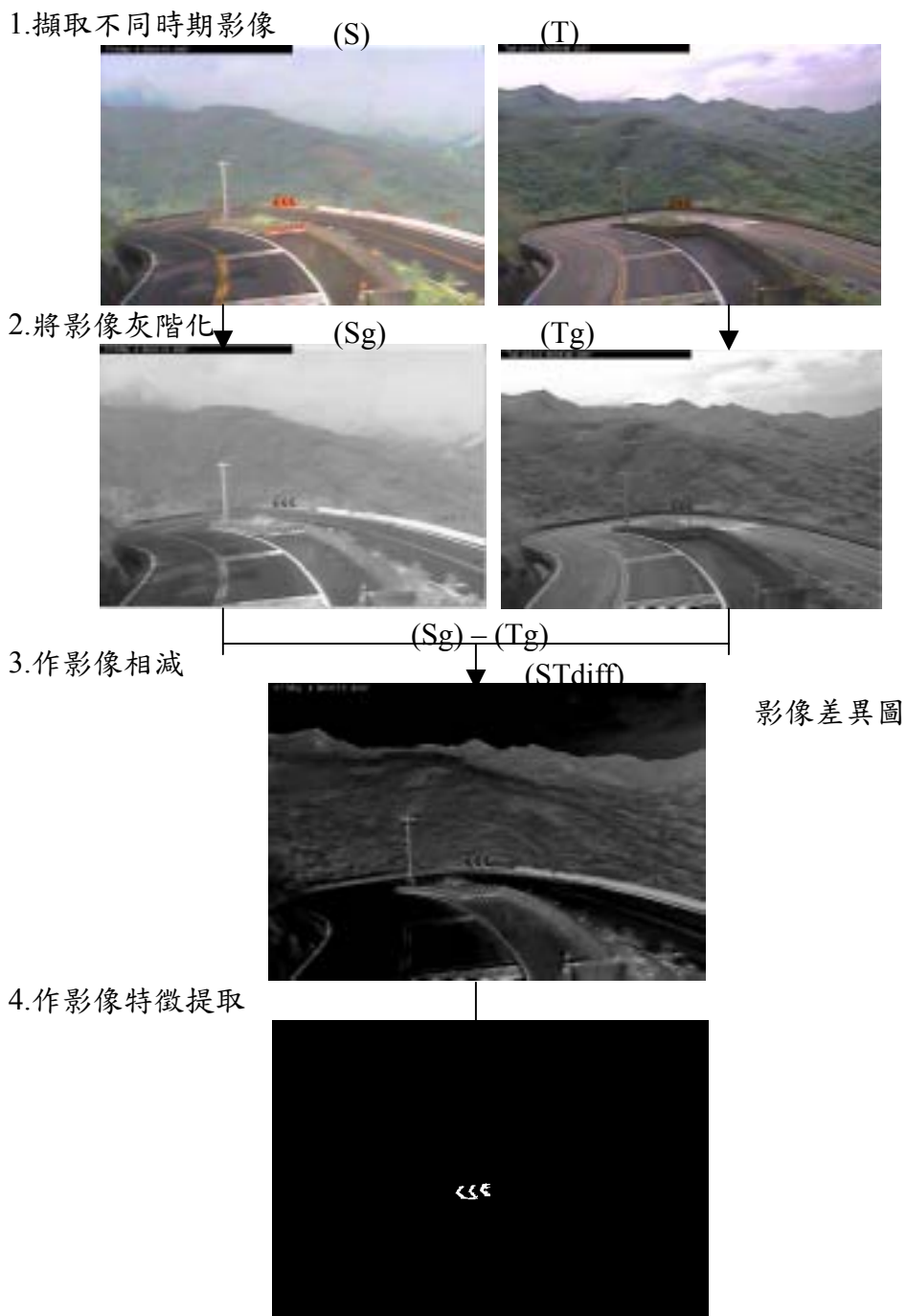


圖 5 - 16 影像處理方面：時間基線視差法流程示意圖

第六章 緊急通報系統與防災應變系統雛型建置工作

系統規劃將以本計畫預計架設之全球衛星定位與自動化監測系統為主體，以雛型系統建置方式展示各階段全球衛星定位與自動化監測系統試驗成果：

6.1 緊急應變系統

系統以山區道路圖像呈現方式，使畫面呈現更符合現況，同時藉由美工設計出簡單線條、配色清新的系統畫面，使操作上更加清爽直覺。

儀器資料展示畫面依據各儀器資料特性，經由系統進行加值分析，並設計符合各項儀器特性的展示畫面，如圖 6-1。且各項資料增加警戒標準設計，系統可運用自動簡訊通知功能，發送警戒簡訊通知。



圖 6-1 儀器觀測資料展示系統示意圖

1.CCD攝影機展示

本系統擷取公路阿里山工務段現有觀測五彎仔地區之影像 CCD 資料，掌控觀測站儀器狀況提供當地即時影像資料，如圖 6-2 所示。



圖 6 - 2 CCD 觀測站儀器監控模擬圖

2.雨量降雨組體圖

雨量降雨圖使用 Flash 開發即時更新機能，可即時更新雨量資料，並可依照使用者需求選擇查詢雨量資料的時段，如圖 6-3。

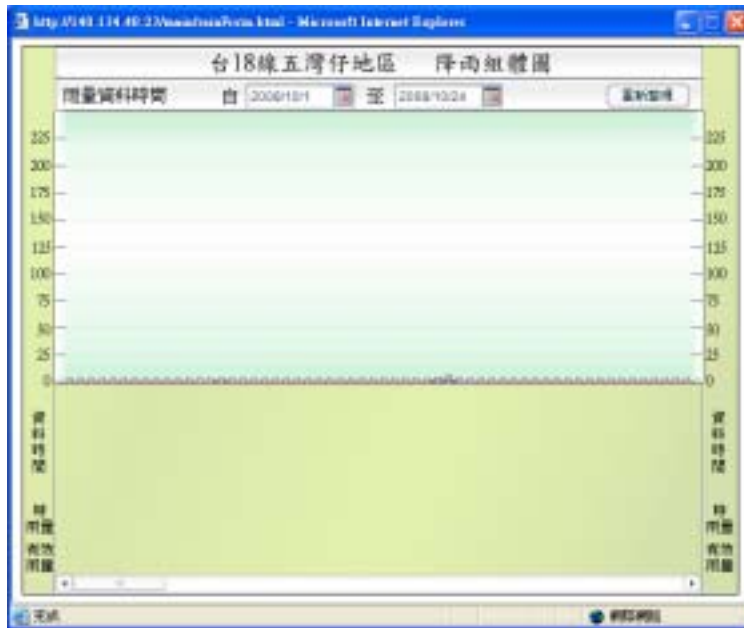


圖 6-3 目前雨量計降雨組體圖

3. 多天線GPS系統變位量展示

多天線 GPS 系統變位量展示以即時曲線圖形之方式，呈現多天線 GPS 系統進行分析過後之近即時第四彎地區地表變位數據，如圖 6-4。點選任何一個 GPS，則可以出現 GPS 動態量測結果，如圖 6-5 所示。



圖 6-4 目前 GPS 相對位置圖圖

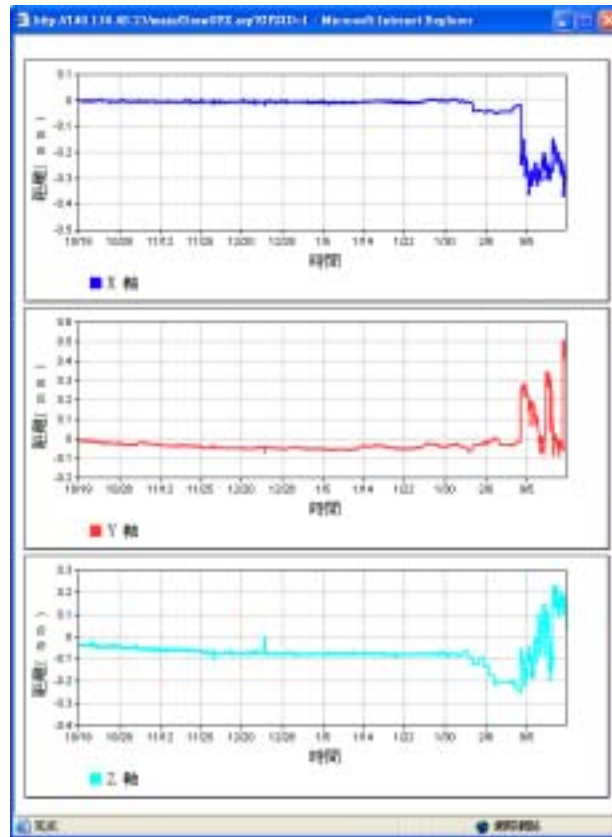


圖 6-5 多天線 GPS 系統變位量展示 (GPS1)

6.2 整體規劃

本年度本系統已經完成提供即時 CCD 畫面、累積雨量與降雨強度資料，以及 GPS 即時解算得到的位移量等。可以提供公路局第五區維護工程處緊急應變所需要的即時資訊，包含公路局各項監測儀器設備，進行公路系統災害通報系統離型建置規劃，以及本計畫新設置的儀器，其儀器資料的接收、儲存、加值、展示等過程。在本年度計畫中，秉持高安全性及高效率性的原則下進行開發及調整，以提升各項儀器資料的收集密度，並以災害管理已被模化成以下四個階段：減災 (mitigation)、準備 (preparedness)、反應 (response)、復舊 (recovery) 等四個循環階段。而各階段有其對應之功能與目標。

由於國內目前沒有相關的管理值訂定規範，再加上還未有長期監測結果，且日本在此方面已有相當的經驗，所以先參考日本與台灣邊

坡穩定性判斷的建議值與儀器可量測的精度，今年先以雨量的強度和累積雨量暫訂行動值與警戒值，其監測管理值暫訂如表 6-1 所示。

表 6-1 各項監測儀器管理值

各項監測儀器	雨量計降雨強度 and 累積雨量
行動值（紅燈）	>20mm/hr and 100mm/day
警戒值（黃燈）	10-20mm/hr and 50mm/day
精度	0.5 mm

第七章 結論與建議

臺灣地區位於板塊擠壓處，地震頻繁，地質破碎，山地形勢陡峭，河流既短且陡急且降雨時空分配不均，若遭逢梅雨、颱風季節所帶來之集中性豪雨，常引發大規模之落石、土石流或地滑等邊坡崩坍災害，嚴重危害地區交通運輸及產業經濟之發展。山區道路往往是區域唯一聯外通道，而道路邊坡穩定性攸關居民之生命財產安全，因此如何在這些重要卻具有高邊坡災害潛勢區域導入各項先進科技之自動化監測系統、緊急通報系統及防災應變系統，將傳統的防災作業進化成災害管理，已成為近年來各界對於邊坡災害防治的重要發展方向。

全球衛星定位系統（GPS）係以衛星為基礎的無線電定位系統，藉由地球軌道上之定位衛星，可無限制地提供全球具接收裝備之使用者極精確之三維定位、速度及時間資料。該系統不受天氣影響，並可提供全球統一之經緯度參考資料，且應用層面非常廣泛，已屬成熟技術；由於全球衛星定位模組大量生產的關係，低廉的價格更增加全球衛星定位技術於邊坡災害監測應用之價值。監測系統除為累積足夠監測歷史資料提供後續各項學理研究發展外，亦希望可即時掌握邊坡災害發生前兆和發生時之動態反應，增加地區居民之應變時間，提供防災應變決策之參採，大幅降低災害所造成之傷害，因此即時有效之通訊傳輸將是整體監測系統重要環節之一。有鑑於臺灣極高密度的 GSM/GPRS 基地台，若利用 GSM/GPRS 無線電傳輸技術進行資料傳輸，不需要另外建置無線電接發機以及後端的傳輸網路，只需要在邊坡災害可能發生的時候，租用 GSM/GPRS 的線路來進行傳輸，將可大幅降低監測系統建置成本。

近景攝影測量(Close-Range Photogrammetry)是通過攝影(攝像)和隨後的圖像處理和攝影測量處理以獲取被攝目標形狀、大小和運動狀態的一門技術，且攝影物距(Object-to Camera Distance)小於 300 公

尺者。由於物距短，大氣折光與地球曲率之影響可以忽略，物空間之坐標系統可採用較方便的自定坐標，攝影站接近地面，攝影站位置於施行控制點測量時，可同時測得，攝影作業及控制測量亦較航空測量簡易。由於使用非量測且無框標之數位相機擷取影像，因此計畫採用直接線性轉換法(Direct Linear Transformation)解算，如此，不用將儀器坐標轉換成像片坐標，再由像片坐標轉換為物空間坐標，而可將坐標量測儀系統透過轉換參數直接計算成物空間坐標系統。近景攝影測量的優點在於它兼有非接觸性量測手段，不傷及被測物體，信息容量高，信息易儲存，可重複使用信息，精度高，速度快，特別適用於測量容有大量點位的目標，躲避危險環境而遠離攝影對象等眾多優點。近景攝影測量被證明是不接觸物空間待測物，而能量測出其位置進而推算其變位的極佳方式。

本計畫針對全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用上深入探討，再加上近景攝影測量並結合全球衛星定位與 GSM/GPRS 無線電傳輸技術搭配其他感測器所建構之自動化監測系統，將可在有限建構成本下更機動地因時因地制宜增加邊坡的觀測捕捉率，朝向即時即地(any time every where)目標前進，以期在最短時間內收集最多邊坡災害發生之相關資訊，提供政府或相關工程、學術單位對於邊坡災害發生機制、預警及防治有實質性幫助，以做為未來坡地防災相關課題研究之參考依據，並訂定更有效的管理基準值，減少邊坡災害對國土保持與民眾安危之災損。

7.1 結論

1. 本計畫延續前一年度計畫成果，分別針對先進科技整合技術—全球衛星定位與無線電傳輸監測系統，於坡地防災之應用提出具體解決方案，並於阿里山公路段接續進行全球衛星定位及無線電傳輸模組系統監測測試工作；本團隊並針對公路段所架設之攝影機資料進行近景攝影測量初步研究工作，並將相關資訊整合於道路邊坡自動化監測系統

示範站規劃中，以作為緊急通報系統及防災應變系統之發展之依據。

2. 2008 年度台灣地區經歷卡玫基、鳳凰、如麗、辛樂克、哈格比及薔密等六次颱風來襲，同年 10 月初於該地區進行現場勘查中明顯發現多處地表滑動現象，地表裂隙最大處約達 1.4 公尺左右，為求資料正確性，本團隊除以多天線 GPS 系統進行即時監測工作任務外，並定期利用全測站經緯儀進行 GPS 天線端與基礎變位狀況監測，以瞭解第四彎地區滑動特徵，以及透過與土地測量局衛星追縱站資料與本計畫 GPS 基站進行絕對坐標連測工作，可瞭解五彎仔地區大規模滑動狀況。
3. 一機多天線 GPS 定位系統已實證可監測阿里山公路崩積層的地滑工作，當豪雨過後，該路段敏感地區將會產生明顯的地滑現象至今每月可達 10 公分位移，晴天時地滑速度減緩，地滑速度呈現一個以時間為變數的數學二次方程式。
4. GPS 天線放置於電線桿上，對於地滑的速度監測沒有顯著的影響，應為可行，若能持續供電維持系統運作正常，將更能明確顯示即將破壞的區域。
5. 受限於地形因素，攝影機裝置亦會隨著地表移動，對於以近景攝影測量的方式監測地表移動，似乎受到許多限制，不易達成 GPS 的監測精度。
6. 無線電裝置開發完成，已能與其他感測器結合傳輸資料，然因本計畫需傳輸大容量之影像資料及 GPS 定位資料，因受限無線電裝置之所傳資料容量限制，不適合傳輸資料龐大之影像，但仍可適用於資料量少之傳輸工作。
7. 本計畫設置有阿里山公路五彎仔路段即時監控資訊網站，可立即提供政府相關單位瞭解五彎仔路段道路邊坡狀況，確保用路人安全及減少生命財產之損失；而一般民眾亦可透過此網站瞭解道路通阻狀況，並瞭解政府對於此路段之災害防治所投入之心力。

7.2 建議

1. 本年度計畫期間由於市電供應問題造成系統約有一百多天無法正常用作，因此建議後續計畫執行實應編列相關預算來建置備援電力系統，以因應山區供電亦因風災影響中斷情形，以支應斷電後 72 小時運作使用需要估算，建置儀器屋及前端（第四彎處）之備援電力費用總計約需新台幣 130 萬元整。
2. 本年度防汛期間共經歷卡玫基、鳳凰、如麗、辛樂克、哈格比及薔密等六次颱風來襲，風災期間之狂風暴雨亦造成全臺多處慘重災情，而本計畫研究範圍五彎仔地區地區亦承受大量降雨，造成除了原本觀測重點之 N2 塊體外嚴重滑動外，N3 及 N4 塊體亦有嚴重滑動趨勢（本區滑動塊體編號如下圖 7-1 阿里山公路五彎仔路段滑動塊體圖所示），顯示此區地層狀態極度不穩定，因此本地區監測工作應持續加強辦理。建議後續年度計畫應將多天線系統移裝置至監測儀器屋周邊架設，以監測此路段 N3 及 N4 塊體地滑情形，並可與交通大學黃教授執行之地下位移監測資料結合分析。而對於新第四彎路段，則建議以 GPS 靜態方式於每季進行結構物潛變量監測工作。



圖 7-1 阿里山公路五彎仔路段滑動塊體圖

3.本計畫已完成阿里山公路五彎仔路段監測資訊網站架設工作，可即時提供阿里山公路五彎仔路段現場監測資訊狀況，協助交通部公路局、工程處人員瞭解五彎仔路段邊坡災害潛勢狀況，作為並可提供一般民眾藉由網站查詢阿里山公路五彎仔路段交通通阻狀況。

參考文獻

- 1.沈鍵偉 (2004), “應用 GPS 作地滑地地表變位長期監測之可行性研究”, 國立中興大學土木工程研究所碩士論文。
- 2.邱奕峰(2004), “阿里山五彎仔 626 坡滑事件機制之探討”, 國立雲林科技大學營建工程系碩士論文。
- 3.洪浩倫、王志添、陳錕山(2007), ”利用多尺度匹配自動套疊衛星雷達影像”, 航測及遙測學刊, 12(4), pp381-401。
- 4.高明仁(2006), “山坡地邊坡滑動之研究—五彎仔崩塌地為例”, 國立成功大學土木工程研究所碩士論文。
- 5.葉信富(2004), “降雨入滲對坡地穩定影響之研究-以清水溪流域為例”, 國立成功大學資源工程學系碩士論文。
- 6.簡世杰(2002), “阿里山五彎仔地滑區滑動機制與穩定性之研究”, 國立雲林科技大學營建工程系碩士論文。
- 7.Brand, E. W., J. Permchitt, and H. B. Phillipson, (1984).“Relationship between rainfall and landslides in Hong Kong,” Proceedings 4th international symposium on landslides, Toronto, Canadian Geotechnical Society, Vol.1, pp.377-384.
- 8.Chalermwat, P., “High Performance Automatic Image Registration for Remote Sensing”, Phd thesis, George Mason University, Virginia, USA, 1999.
- 9.Hiep, Q. L., S. Gautama, and W. Philips, “Automatic Registration of Synthetic Aperture Radar (SAR) Images”, Geoscience and Remote Sensing Symposium, (IGARSS'04), Vol. 6, pp. 3864-3867, 2004.
- 10.Lumb, P., (1975), “Slope failures in Hong Kong,”Quarterly Journal of Engineering Geology, Vol. 8, pp.31-65.
- 11.Slosson, J. E., (1969), “The role of engineering geology in urban planning,” The Governor’s Conference on Environmental Geology, Colorado Geological Survey, Denver, Colorado, pp.8-15.

- 12.Slosson, J. E., and J. P. Krohn, (1982),“Southern California landslides of 1978 and 1980,” Proceedings of a Symposium, September 17-18. Washington, DC: National Academy Press, pp.291-319.
- 13.Slosson, J. E., and R. A. Larson, (1995), “Slope failures in southern California: Rainfall threshold, prediction, and human causes,” Environmental & Engineering GeoScience, Vol. I, No. 4, winter, pp.393-401.
- 14.Wieczorek, G. F., (1987),“Effect of rainfall intensity and duration on debris flows in central Santa Cruz mountains, California,” Debris Flow/Avalanches: Process,Recognition and /mitigation: Geological Society of America Reviews in Engineering Geology, J.E. Costa and G. F. Wieczorek, Eds. Vol. 7, pp.93-104.
- 15.Wilson, R. C., R. K. Mark, and G. Barbato, (1993),“Operation of a real-time warning system for debris flows in the San Francisco bay area, California,” American Society of Civil Engineers, Proceedings Volumes.

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：全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用(2/4)

執行單位：逢甲大學

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
成功大學 陳景文教授		
測站置於電桿上，其可靠度仍須探討，尤其在較不穩定之天候下，是否仍可運作，應須進一步之探討。	由於需考量 GPS 天線接收透空度，因此選擇電桿上架設，對於電桿與地表位移之關係，本團隊以現地測量方式檢測其差異量。	同意。
測站位置之座標值，有否設定最大之誤差值，即當座標值超出某一值，即視為測站位置不可靠或已無法運作。	目前皆由每次現地維護時，以人工方式進行檢視，暫無設定誤差值	同意。
小公田與第四彎相對位置，發現有一公尺差誤，但判斷此值不可靠，其理由何在，請補充說明。	此為利用近景攝影測量方式由小公田觀測第四彎之分析成果，由於距離過遠導致解析度不足，在與其他量測成果比較後，判斷此部分之成果不可靠。	同意。
成功大學 余騰鐸研究員		
報告中 x、y 方向請定義清楚。	已於後續報告書中加註說明。	同意。
請補充 GPS 天線桿傾斜度量測成果。	已於後續報告書中加註說明。	同意。
圖 3-27 請加大小比例尺顯示。	已於後續報告書中加註說明。	同意。
多天線 GPS 使用的坐標系統請描述，此差分後 GPS 定位精度為何？	本計畫使用的坐標系統係引用與國土測繪中心竹崎 e-GPS 接收站進行測設區域坐標基準，多天線差分 GPS 定位後精度約為釐米等級。	同意。

4-2 頁加描述三軸加速度儀，請說明在本案中使用的功能 (ADXL330)。	本次無線感測器系統採用三軸加速度計為實驗之感測器，感測器部分後續可更換為適合第四彎地區監測工作之其他類型感測器。	同意。
由影像差異作變形偵測，用單相幅時變影像，非近景攝影請說明。	採單像幅時變影像僅能偵測顯示其變形趨勢及方向，至於量的大小僅為參考數值。	同意。
影像變異點自動化偵測要如何執行，效率為何？用於即時監測功能時其可行性為何？	影像變異點自動化偵測係利用從前後影像之視差量並提取特徵點來解算，其效率由於尚需部份人工介入，目前僅可達接近即時量測視山區影像之變化而定，若相機安置不變動之地區且影像分解度足以解算並能顯示其變化量，則是為可用作接近即時監之功能。	同意。
如何決定預警 GIS 中各項觀測項的警戒值？	由於基本資料上不充足，因此目前各項觀測項的警戒值皆尚未律訂，建議待後續蒐集數據及成果完備時，列為後續工作項目要點。	同意。
外部資料與系統的完整性自動檢測評估。	本年度以觀測成果分析為主，建議納入後續研究課題。	同意。
中興大學 段錦浩教授		
里程請用新的。	已於後續報告書中修正完成。	同意。
照片請註明日期。	本團隊自行拍攝記錄之照片將全數標註上日期。	同意。
走山是俗稱。	已於後續報告書中修正完成。	同意。
P.1-6 成果優良請介定「優良」並提出實際成果。	相關計畫曾多次投稿參加研討會，進行成果發表，並獲得優良獎項評價。	同意。
P.2-1 請交待搶通日期。	2003 年 8 月 30 日泰利颱風過境台灣，帶來豐沛雨量，該路段上下邊坡遭受嚴重沖蝕與滑移，原修復之路	同意。

	面路基於同年9月1日跌落溪谷，造成公路完全中斷。五工處隨即進行緊急搶修臨時便道、恢復雙向交通。然而一個月後，龍王颱風接續侵襲，臨時便道路基再次掏空。	
很想了解公路總局、五區處、阿里山工務段對本案的感受，他們有哪些受益？	歡迎公務單位提供相關意見。	同意。
P. 3-7 現在改善是那一段？	改善路段為阿里山公路五彎仔路段第四彎處。	同意。
地滑區要了解滑動深度才能研究對策，本計畫只能知道地表的移動。	本計畫之目的係為補充本地區長期僅進行地表下變位研究之不足，相關研究成果需相互搭配。	同意。
P. 4-4 地下 35 公尺移 86.4mm，地表移 0.2mm，那工務段的樁有穿過滑動層嗎？	經詢問公務單位得知，樁設置深度無至35公尺。	同意。
緊急通報如何防止地滑時及後之車輛掉下去。警戒值要定的合理。	本計畫之警戒值訂定為初步探索階段，相關建議將列入考量項目之中。	同意。
請與五彎仔之其他研究計畫一起研究，可能台 18 線改道才是最佳方案。	相關資料將提供公務單位參考。	同意。
交通部公路總局養路組		
本研究的系統花費須多少經費，請研究單位於報告內補充。	本系統經費使用為第一年為向廠商租借之設備，今年改向逢甲大學無償提供使用。	同意。
系統本身是否有檢核的機制？會不會有警戒值誤判的情形發生，請研究單位說明。	目前本系統僅供作基礎研究使用，目前暫無警戒誤判問題。	同意。
五彎仔第四彎地區現況已改道，在改道的新路部分有定期做簡易測量，希望可與本計畫量測結果做一比對。	目前已規劃後續現地測量工作範圍將延伸至新路部分。	同意。
去年的報告針對五彎仔第四彎地區 GPS 所得的數	由於去年計畫中以多天線 GPS 系統量測成果為主，因	同意。

據，顯示有位移產生，對整體觀測點的座標、位移量是否有做驗證的動作。	此本年度輔以現地測量，初步確認確有位移情形發生。	
本局在第四彎地區亦放置坡地相關監測儀器，研究單位可參考監測結果，以便於坡地研判。	將參考相關研究成果進行整合研判。	同意。
港研中心 朱金元科長		
文中內文多處以下圖、下表敘述，請將圖號及表號敘明。	已於後續報告書中修正完成。	同意。
p3-11 第三節有 GMS1-4 監測站，到底位置在哪裡？GMS 又指的是什麼？	GMS 為本計畫設置多天線 GPS 設置代號，其天線皆設置於阿里山公路舊第四彎路段，其設置位置可參閱期中報告書圖 3-4 至圖 3-15。	同意。
報告內容請與交大黃安斌教授其實際量測之位移資料作比較、整合分析，為了達成即時監測之目的，請協助黃教授其量測資料之傳輸。	經積極與交通大學黃安斌教授團隊進行數據整合分析工作，另六月初已配合交大黃安斌教授團隊進行現場現勘與目前其已完成儀器架設工作。	同意。
報告撰寫請按照本所出版品規定格式。	已於後續報告書中修正完成。	同意。
港研中心 柯正龍副研究員		
本研究期中報告章節、編號等與本中心規定報告格式不符，請改進。	已於後續報告書中修正完成。	同意。
報告內容，有關內文與圖、表關係，未詳盡說明，儘以「如圖」，「如下圖」等表示，建議改進。	已於後續報告書中修正完成。	同意。
近景攝影定義第 1-1 頁為「物距小於 300 公尺者」，但第 2-14 頁又變為「拍攝距離在 100 公尺以內均屬之」，建議確認後統一。	已統一更正為 100 公尺。	同意。

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：全球衛星定位與自動化監測系統在坡地防災之應用(2/4)

執行單位：逢甲大學

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
成功大學 陳景文教授		
部份測站其累積位移量達80cm 以上，但邊坡未有實質不穩定之跡象或災變發生，請說明原因。	研判此應為未達臨界值所致，對於臨界值的大小需因地制宜，建議應多蒐集觀測成果，以後續研判。	同意。
天線一擬合出之趨勢線 R^2 之值不高，分析所得之原因為滑動速度變化不大，顯然滑動速度亦為影響因子之一，但研究並未對此影響作進一步之說明，請補充。	本研究初步發現降雨時間與地滑速度之數學二次關係式，但由於觀測數據仍嫌不足，建議後續計畫中將此列為研究任務之一。	同意。
成功大學 余騰鐸研究員		
本報告已顯示多天線 GPS 與靜態 GPS 測量方法均可以在阿里山公路上偵測出公路兩側的地滑現象，方法上適用於本研究的目標。	感謝委員建議與肯定。	同意。
若用此方法用在於即時的坡地防災之預警，未來必須取得下列進展：①預警系統各項觀測量的設定門檻②資料傳輸的穩定與壓縮技術③GPS 訊號在即時收錄時會有隨機的飄移，用後處理方式可以濾除，但若要用於防災預警，如何消除此飄移現象，該是未來工作之一。	①由於觀測數據仍嫌不足，因此對於預警門檻值的訂定，本團隊先參考國內外相關研究成果，搭配研究區地文水文因子，初步制訂一參考值，但仍建議後續應持續蒐集現場觀測數據，以求取較為嚴謹之成果。 ②建議訂為後續計畫研究主題。 ③對於 GPS 訊號飄移問題，現階段採用後處理方式濾除，如需即時處理可於後續計畫中進行相關探討。	同意。
近景攝影必須自動化，方有即時的應用性。	經本計畫研究發現，對於研究區近景攝影目前暫不適	同意。

	宜。	
西部濱海公路中區工程處 陳進發處長		
本研究深具可行性。	感謝委員建議與肯定。	同意。
建議就供電系統研擬太陽能蓄電，以利本局偏遠山區之接電問題。	由於災害發生時天候狀況通常不佳，對於電力供應恐會有中斷之虞。	同意。
交通部公路總局養路組		
P. 1-4 中提出應探討坡地致災原因，惟本研究僅說明雨量與地滑關係，其中如地下水位…等其他團隊監測資料，建議整合併入分析。	本團隊積極蒐集研究區相關觀測成果，歡迎各界提供監測數據一併進行交叉分析。	同意。
P. 1-4 中研擬警戒值未論述？（僅說明日本、香港案例）	已補充於本計畫之成果報告書。	同意。
P. 4-16 中雨量與滑動速度所建立二次拋物線，是否考慮所有致災因子如水位高低、滑動面深度、地質…等。	由於缺乏其他現場完整觀測數據資料，因此本計畫僅能以自行監測成果，如降雨量、降雨結束時間及地滑速度，作為推求地滑速度量以作為數學二次關係式之依據，委員所列之地文水文資料亦非常重要，因此建議列為後續計畫研究任務之一。	同意。
本所港研中心朱金元科長		
結論應針對本研究所得之結果作總結，例如哪些測站位移及其情形、哪些測站穩定。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
請說明圖 4-15~4-19 滑動速度為負值之原因，及所代表之意義。	圖中系統採用右旋卡式直角坐標系統，因此所示之負值表示為向西及向南之位移分量。	同意。
請說明圖 4-20 迴歸式所代表之意義。	圖 4-20 迴歸式代表為研究區降雨發生後之時間與地滑速度之數學二次關係式。	同意。
本計畫與交通道路防災預警系統研究整合情形為何？	本計畫積極配合交通道路防災預警系統研究整合，目前已初步完成資料交換格式制訂。	同意。

報告撰寫請按照本所出版品規定格式。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
現有監測方式能否達成預警目的。	由於觀測數據仍嫌不足，因此對於預警門檻值的訂定，本團隊先參考國內外相關研究成果，搭配研究區地文水文因子，初步制訂一參考值，但仍建議後續應持續蒐集現場觀測數據，以求取較為嚴謹之成果。	同意。
本所港研中心柯正龍副研究員		
本報告請加入中、英文摘要及參考文獻。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
報告格式與本所出版品規定不符，請修正。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
附錄期中報告審查委員意見回覆請參照本所期末報告審查意見處理情形表填寫。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
報告內有關日期格式，建議統一。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
部份圖表文內以“如下圖（或後圖）所示”（如圖 2-1 等），建議應將圖號清楚標示。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
部份圖表文內並未敘明或註記（如圖 2-2、圖 2-3、圖 2-5~圖 2-8 等），建議說明改善。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
P. 2-19 第 3 行及 P. 2-20 倒數第 2 行中“前年（92 年）”，應為錯誤，請修正。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。
P. 3-2 現場設備保養及維護管理工作，建議建立紀錄表格，以利後續研究追蹤。	已於本計畫之成果報告書完成修正。	同意。