

# 全球衛星定位與自動化監測在坡地防災之應用

## Application of Slope Land Calamity Mitigation by Using GPS Measurement and Automated Monitoring System

主辦單位<sup>1</sup>：交通部運輸研究所臺灣技術研究中心

合作單位<sup>2</sup>：逢甲大學地理資訊系統研究中心

洪本善<sup>2</sup> 林雅雯<sup>1</sup> 方耀民<sup>2</sup> 李秉乾<sup>2</sup> 周天穎<sup>2</sup> 李樹莊<sup>2</sup> 蕭泰中<sup>2</sup>  
Hung, Pen-Shan<sup>2</sup> Lin, Ya-Wen<sup>1</sup> Fang, Yao-Min<sup>2</sup> Lee, Bing-Jean<sup>2</sup>  
Chou, Tien-Yin<sup>2</sup> Li, Shu-Chuang<sup>2</sup> Hsiao, Tai-Chung<sup>2</sup>

### 摘要

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。有鑑於台灣極高密度的 GSM/GPRS 基地台，若利用 GSM/GPRS 無線電傳輸技術進行資料傳輸，則不需要另外建置無線電接發機及後端的傳輸網路。本計畫選擇嘉義縣阿里山鄉進行 GPS 定位與無線電傳輸模組實際運作。阿里山工務段於台 18 線 44K 第四彎、45K 五彎仔及小公田村三處，安裝完成先進的量測儀器和高效率傳輸系統組成之監測系統。對此邊坡路段進行降雨前、後資料調查，同時蒐集調查期間雨量記錄及過去崩塌資料進行分析，以瞭解阿里山公路邊坡受震後的災害狀況與崩壞特性。並訂定更有效的管理值，以減少邊坡災害對國土保持與民眾安危之損失。

關鍵詞：多天線全球衛星定位系統、邊坡災害、監測系統

### Abstract

As an advanced navigation and measurement technology, GPS has been in the past two decades extensively applied to many fields and disciplines. One of the prominent applications of GPS is the precise monitoring of deformations of landslide. A multi-antenna GPS system has been developed and tested by the research team aiming at significantly reducing the cost of GPS when used for monitoring deformations of objects such as slopes. The system uses special hardware and software components to allow one GPS receiver to be connected to a number of GPS antennas. One set of such equipment can therefore be used to monitor a number of points.

We choose the No.18 road of Alishan which had finished to install the advance instruments and automated monitoring system. Then collect the before and after of rainfall values and investigate the landslide section data. We integrate the automatic monitoring and return systems, and finish the connection testing and demonstrating. We will process the analysis and judgment for the inspection data, and to draw up the management value. Finally hope to reduce the landslide disaster and protect the people's life.

Keywords : Multi-antenna GPS, Slope Land Calamity, Monitoring System

## 一、前言

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。

本計畫為針對全球衛星定位與自動化監測系統在道路邊坡地滑災害之應用進行深入探討，並結合全球衛星定位及 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，以做為未來道路邊坡地滑災害相關課題研究之參考依據，並訂定更有效的管理基準值，減少道路邊坡地滑災害對國土保持與民眾安危之災損。

## 二、研究範圍

### 2.1 研究環境地理位置

台十八線 28K+900~31K+500 五彎仔路段 (TWD67 橫坐標約為 212312 公尺,縱坐標約為 2592307 公尺)，詳細位置如下圖所示。經過面積約 50 公頃之古老崩塌地，自民國 71 年通車以來，每遇颱風豪雨侵襲 (民國 74 年尼爾森颱風、民國 79 年楊希颱風、民國 81 年寶莉颱風、民國 83 年 8 月 13 日豪雨、民國 85 年賀伯颱風、民國 90 年納莉颱風、92 年梅雨)，地層滑動，路面下陷迭有發生，雖屢次進行修復與加固，惟未能有效改善。民國 92 年 6 月 26 日 31k+500 處長約 150 公尺路段下滑，使通往阿里山之交通中斷，引起各界關切，尤以觀光旅遊業受影響最鉅。目前雖以臨時便道繞道崩塌區頭部上方維持道路通行，然而本路段仍在持續滑動中，尤其豪雨期間滑動情形更加明顯，何時道路會再滑失中斷，備受關注。而避免此一情形再現，更是需要努力的目標。

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，邊坡還會走山，

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 95 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 42 至 45K)，邊坡會走山，每年往外位移約廿公分，其中第四彎，公路總局評估須立即改善，因此本研究選定五彎仔地區之第四彎為計畫實驗地區。

## 2.2 監測系統介紹

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；其中由逢甲大學裝設之傾斜儀、水位計、雨量計、CCD 即時影像，皆透過儀器小屋內 93 年度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。第四彎完成儀器架設後之現況：五彎仔第四彎約為台 18 線 44 公里處，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，及前年（92 年）45 公里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。阿里山工務段，已於 93 年底開始，對 30K 處發包施工路基補強之作業，現工程已完成。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 93 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 92 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，儀器部署如下圖：



圖 1 儀器裝設位置圖

### 三、研究方法

#### 3.1 全球衛星定位監測系統介紹

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數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，使用多根 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（Tsakiri et al., 1998; Chen et al., 2000; Ding et al., 2000）。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。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。

對於一個標準的 GPS 系統而言，一台 GPS 接收機只有一根天線。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 系統的架構如圖 2 所示。

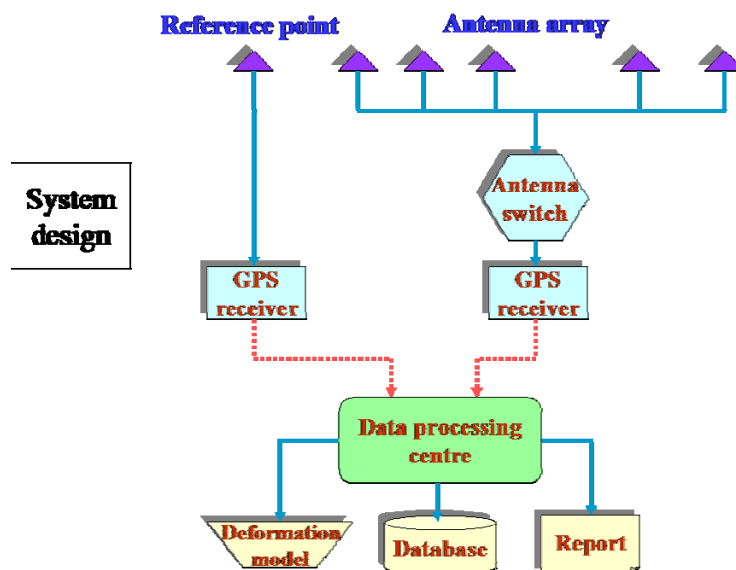


圖 2 新一代多天線系統的差分定位構造

### 3.2 全球衛星定位監測系統測試

在確保全球衛星定位監測系統的精度與穩定性前，必須先進行實驗室測試完成後才能移至現地量測，故選擇逢甲大學商學館 13F 天台上進行測試。

#### 1. 實驗場地介紹

為了尋求試驗便利與對空通視的地方，故利用商學館頂樓進行測試。以現有的儲藏室做為儀器控制室，其中包含一台多天線 GPS 切換器 (Switch)、兩台 GPS 接收器 (Receiver) 和一台電腦主機。並以現有的內政部 GPS 固定站作為此多天線 GPS 量測基站，整個多天線 GPS 佈設位置如圖 3 所示，其中包含一個基站和七個移動站。



圖 3 多天線 GPS 試驗配置圖

#### 2. 靜態初始值量測

選擇七個移動站位置，均勻分布於頂樓空曠的地方。在進行多天線 GPS 動態位移量測時，必須先紀錄一段長時間（約 2~3 天）的靜態 GPS 初始值位置量測。其 GPS 資料擷取方式為每 5 秒接收一筆資料，連續記錄 30 分鐘後切換至另一個 channel，且每小時解算位置一次，將初始值位置量測結果整理如表 1 所示。其中 GPS0 代表內政部固定基站，且移動站 GPS1 至 GPS7 的坐標是相對於 GPS0 的坐標，將相對位置與基站之距離繪製如圖 4 所示。由於基站的高程較移動站為高，故垂直方向的高程坐標均為負值。

#### 3. 雷射經緯儀測量

為了確認全球定位系統量測的準確性，故另外利用雷射經緯儀針對 GPS0 至 GPS7 之固定站和移動站位置，進行水準與高程測量。由於水準測量必須以某依方向當作固定方向，其他待測點則是相對於此方向，故將 GPS0 和 GPS1 連線方向做為固定方向，並將所得結果與多天線 GPS 量測結果相互比較，整理坐標如表 1 所示。由表中可以發現在垂直方向的差異較大，此結果與 GPS 量測文獻相同，且在 GPS6 的水平方向出現誤差較大的結果。將相對位置與 GPS 天線之距離繪製如圖 4 所示。

討論結果發現多天線 GPS 準確性較差的原因，主要是在於 GPS 的天線距離地面太低，訊號有反射的現象，一般建議要距離地面約 50~100cm 以上，才不會有訊號干擾的現象。再加上因為頂樓屋凸（儀器屋）的位置剛好遮蔽大約一半的對空通視，產生多路徑的效應。另一方面在進行水準與高程測量時，因為不確定天線內部接收晶片的真實位置，故以天線頂部為量測目標，所以才造成以下的結果。

#### 4. 移動多天線 GPS 位置量測

因為先前多天線 GPS 的位置距離地面太近，故重新選擇多天線 GPS 的位置，再加上為了測試動態移動的精度，特別將其中一個天線換成放置在角架上，方便移動已知固定位移，現場配置如圖所示。並在角架下方固定四個已知位移量的點，每個移動量大約 1.5~2.0cm 左右。

實驗步驟同前兩項，由於改變了多天線 GPS 的位置，故還是必須要重新進行靜態長時間量測以確定初始值坐標，再利用雷射經緯儀確認出 GPS 天線的位置，此次量測已注意到天線內部接收晶片的相關位置。接下來進行動態量測試驗，其 GPS 資料擷取方式為每 5 秒接收一筆資料，連續記錄 2 分鐘後切換至另一個 channel，且每小時解算位置一次。

接下來將進行 8 個多天線 GPS 測試與新式的 switch 接收器測試。多天線位置佈置後，同樣與雷射經緯儀作比對測試。發現除了第八個天線外，其他的精度都在容許範圍內。之後進一步確認後發現是因為 switch 的內部線路問題，修改後已恢復正常，並確認多天線 GPS 之穩定性與準確性。

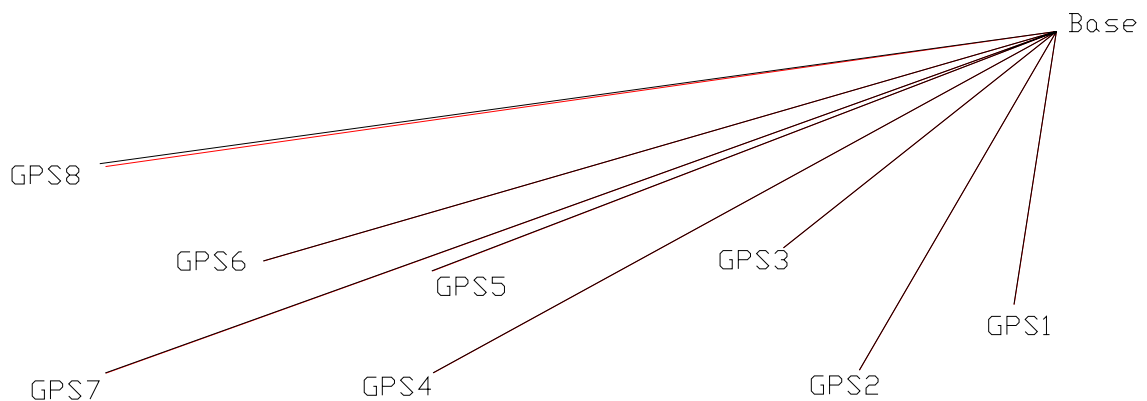


圖 4 八個多天線 GPS 測試位置圖單位:公分

表 1 多天線 GPS 量測結果相互比較

測站編號 (單位)		X	Y	Z
2 (cm)	經緯儀	109.3634	97.7714	11.6688
	GPS	109.37	97.772	11.664
	差異	-0.66	-0.06	0.48
3 (cm)	經緯儀	106.0288	103.147	11.3648
	GPS	106.025	103.147	11.351
	差異	0.38	0	1.38
4 (cm)	經緯儀	90.6461	97.655	11.5724
	GPS	90.66	97.652	11.391
	差異	-1.39	0.3	18.14
5 (cm)	經緯儀	90.5877	102.1316	11.3974
	GPS	90.612	102.126	11.386
	差異	-2.43	0.56	1.14
6 (cm)	經緯儀	83.1861	102.5695	11.3486
	GPS	83.208	102.57	11.336
	差異	-2.19	-0.05	1.26
7 (cm)	經緯儀	76.2541	97.6472	11.4703
	GPS	76.277	97.636	11.458
	差異	-2.29	1.12	1.23
8 (cm)	經緯儀	76.0137	106.8461	11.5876
	GPS	76.262	106.721	11.63
	差異	-24.83	12.51	-4.24

### 3.3 近景攝影測試

本研究係採用單相機序列數位攝影之不同時期影像作數字減影法，以量測目標物變位之探討，來達到可以有效監測地表變動。

#### 1. 數位減影法：

將兩幅數位影像直接相減，若兩幅數位影像完全一致，則得到一幅全零（全黑）的影像；若兩幅影像雖背景相同，但有一目標在運動，則得到背景處為零而目標區域不為零的影像。

數位減影法是用於目標運動識別和檢測的一種方法，當相機靜止時，可以很方便的得到目標的位置和邊界，從而對目標進行識別和定位。利用這種減背景的數位減影法，可以提高目標識別定位的可靠性。

#### 2. 研究方法：

實驗地區於台 18 線五灣仔地區，影像擷取時間為 2007 年 5 月至 9 月，每月取一幅影像作測試，將不同時期之影像，作影像灰階化後，採數位減影法得出影像差異圖，於影像差異圖上作數位量測並配合比例常數值 ( $M_b$ )，計算出其差異量。數位減影法流程圖如下：

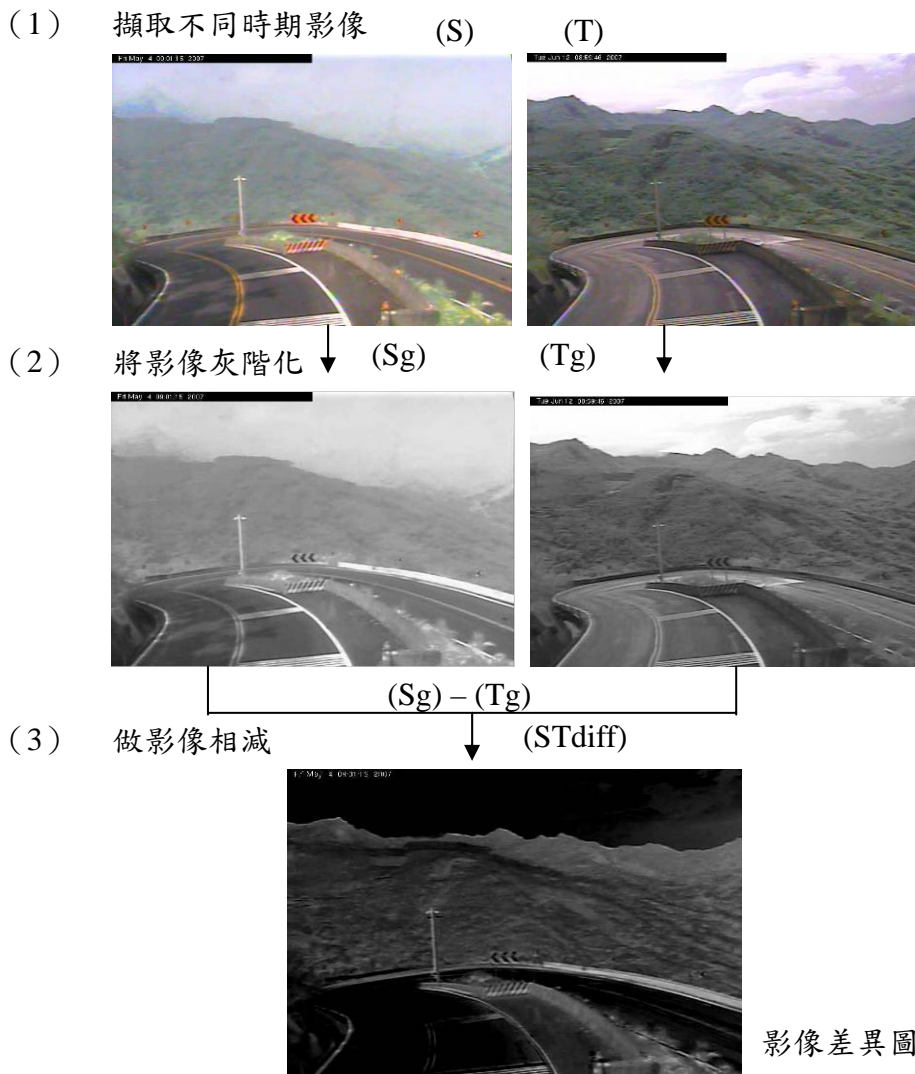


圖 5 數位減影法流程圖

### 3. 實驗成果：

選取 5 月到 9 月份 5 張影像，針對圖中的指示牌取三點 (A,B,C) 做控制點，先將 5 月與 9 月作處理，再逐月採減影法得到以下表格數據。(其中 5040903 為 9 月減 5 月，5040612 為 6 月減 5 月，6120703 為 7 月減 6 月，7030804 為 8 月減 7 月，8040903 為 9 月減 8 月) 依據期中報告之  $M_b = 0.284182$ ， $BC = 0.578$  公尺 (實測距離) 作參數合併計算。

9 月與 5 月之影像 A 點差量為 0.721 公尺，B 點差量為 0.673 公尺，C 點差量為 0.755 公尺。採用 5 月份影像 BC 距離影像量測 0.554 公尺，與實測距離差異為 0.024 公尺。6 月與 5 月之影像 A 點差量為 0.103 公尺，B 點



差量為 0.124 公尺，C 點差量為 0.156 公尺。採用 6 月份影像 BC 距離影像量測 0.611 公尺，與實測距離差異為 0.033 公尺。7 月與 6 月之影像 A 點差量為 0.078 公尺，B 點差量為 0.059 公尺，C 點差量為 0.078 公尺。採用 7 月份影像 BC 距離影像量測 0.535 公尺，與實測距離差異為 0.043 公尺。8 月與 7 月之影像 A 點差量為 0.101 公尺，B 點差量為 0.151 公尺，C 點差量為 0.135 公尺。採用 8 月份影像 BC 距離影像量測 0.506 公尺，與實測距離差異為 0.072 公尺。9 月與 8 月之影像 A 點差量為 0.427 公尺，B 點差量為 0.450 公尺，C 點差量為 0.445 公尺。採用 9 月份影像 BC 距離影像量測 0.527 公尺，與實測距離差異為 0.051 公尺。

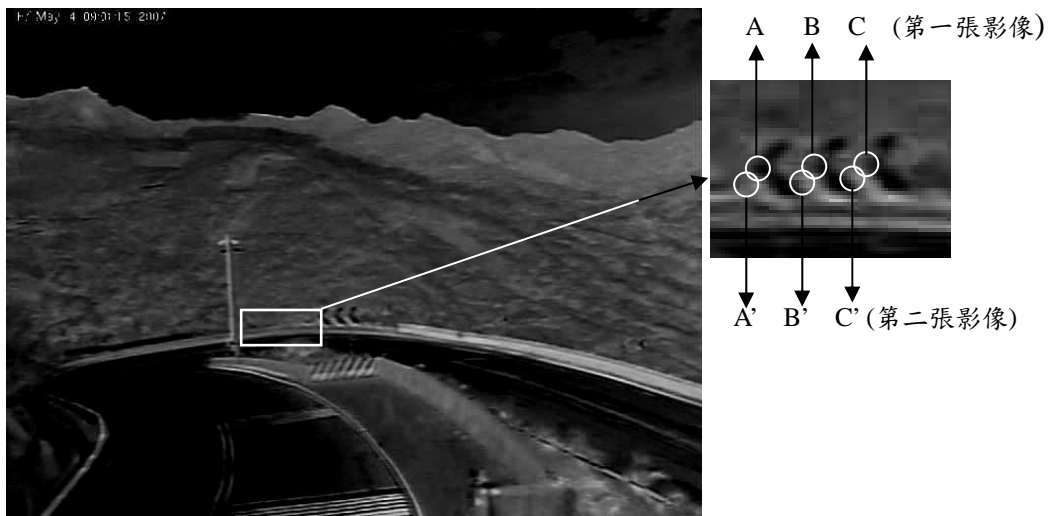


圖 6 數位減影量測位置圖

### 3.4 全球衛星定位監測系統實地測試

為了實地測試多天線 GPS 系統，本計畫於 10 月初完成所以儀器現地架設工作，其中 GPS 基站一組、移動監控 GPS 天線四組，如下圖所示：

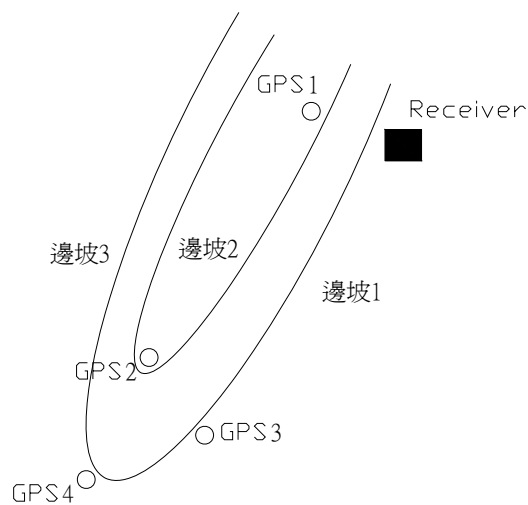


圖 7 現地多天線儀器配置圖

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 31K 處之儀器小屋，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。

首先於 2007/10/17 收集一整天的靜態接收資料，解算出靜態坐標後並於 2007/10/19 開始進行動態即時監測。並將 2007/10/19~2007/10/21 三天的動態即時監測結果繪製如下圖所示。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 2007/10/19~2007/11/12 二十天的動態即時監測結果繪製如下表所示。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 2007/10/25 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。將會持續進行即時監測，未來會與影像判釋做比較，看是否能得到相同的結果。

表 2 多天線測試數據

測站	靜態座標 (m) 2007,10,17~18			20 天動態座標 (m) 2007,10,19~11,12			20 天位移量 (cm)		
	N	E	Z	N	E	Z	dN	dE	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

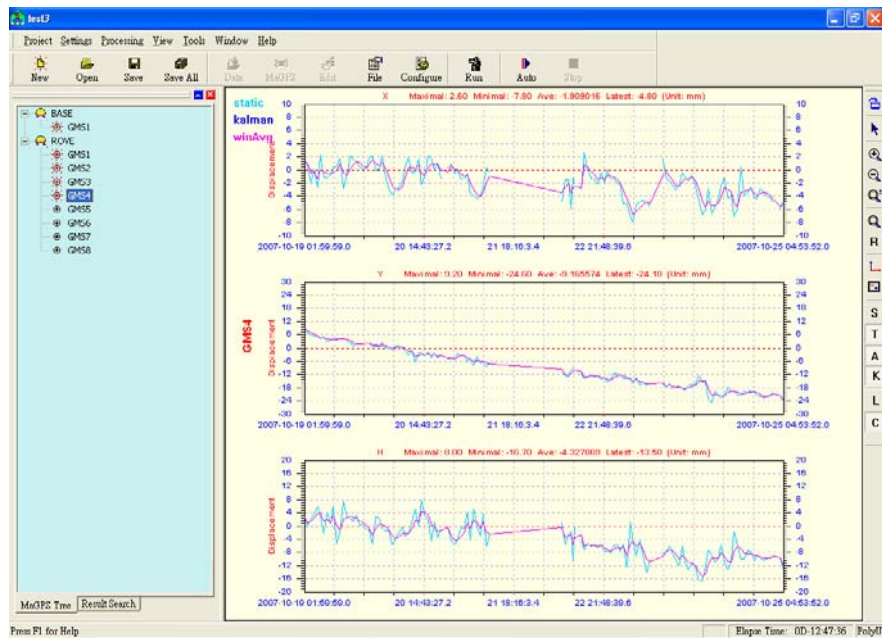


圖 8 道路邊坡自動化監測系統 (第四號天線)

## 五、結論

1. 本計畫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，並於阿里山公路段初步完成全球衛星定位及無線電傳輸模組系統監測測試工作；本團隊並主動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. 本年度第四彎地區經歷帕布、梧提、聖帕颱風、柯羅沙颱風夾帶大量豪雨之惡劣氣候侵襲下，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20公分左右，因此在相關設備完成架設後，立即發現多組天線GPS設置位置變位情形，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. 多天線GPS系統於10月下旬完成架設後，隨即進行監測工作，經過初步觀測發現20天期間有9.76公分的最大位移量，推測由於今年10月初柯羅莎颱風侵台環流影響，造成當時阿里山公路周邊地區累積降雨量高達為六百餘公厘，因大量降雨與地表逕流，加劇了第四彎地區坡面滑動現象。
4. 由於現階段現地CCD影像解析度受限於衛星通訊頻寬限制，因此解析度不足，此仍為影像判視工作之最大障礙，因此本研究改採用高解析度數位相機影像進行變位狀態判視，初步測試成果與多天線GPS觀測資料及以全測站經緯儀實測成果相互驗證成果相符，與上述二者間之誤差量小於10公分以內，初步效果符合預期。

## 參考文獻

1. 黃安斌、林志平、董家鈞、廖志中、潘以文，道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定，2003，91年度防救災專案計畫成果研討會，台北。
2. 林主潔、羅俊雄、施邦築、姚錫齡、李君宇、廖惠菁，2003，大規模災變之公路系統防救災規劃與修復策略之研究，91年度防救災專案計畫成果研討會，台北。
3. 董家鈞、黃安斌、林志平，2002，『山坡地防災與安全監測技術』，2002地球系統科學研討會，中壢，中央大學。
4. 李春明、董家鈞、李錫堤，2002，『考慮楔型破壞模式之岩坡岩體分類初步探討』，第六屆岩盤工程研討會，新竹，印刷中。
5. 衷嵐焜、辜文元、陳慧雯、周天穎，2002，土石流災害管理科際整合之成功範例，第七屆海峽兩岸水利科技交流研討會，台南。
6. 周天穎，2001.2，3S技術於防災害分析之應用，土石流災害之學術研究。

7. 袁嵐焜、辜文元、陳慧雯、周天穎，2002，整合土石流發生基準值模式以提昇土石流災害應變中心，第十三屆水利工程研討會，雲林。
8. 廖志中、董家鈞、林進興、林忠義，2000，『1999 集集大地震豐原市中正公園附近車籠埔斷層破碎帶分佈特性』，921 集集大地震週年紀念學術研討會，台南。
9. 潘以文、廖志中、楊錦釗、黃安斌、董家鈞，1999，『集集大地震引致之壩工及堰塞湖災害』，集集大地震災害調查討論會，台南， pp.C01-C20。
10. 李秉乾、周天穎、李維聰（2002），土石流觀測示範站建置計畫成果報告書，農委會水土保持局計畫成果報告書。
11. 財團法人台灣營建研究院（2003），“台灣地區道路邊坡崩塌發生機制及防治效益評估方法研究與應用（一）”，交通部，計畫編號 MOTC-STAO-91-11。
12. 國立交通大學防災工程研究中心（2002），“道路邊坡高效能監測系統研發與崩塌預警基準制定”，交通部，計畫編號 MOTC-STAO-91-09。
13. 許盈松（2001-2002），“淹水監測預警系統規劃研究（一）”，國科會專題研究計畫，計畫編號 NSC-90-2625-Z-009-001。
14. 許盈松（2000），“河川自動化測深儀之研究”，經濟部水利處研究計劃成果報告。
15. 霍志濤（2006），“三峽庫區滑坡監測中的新記數和新方法”，華南地質與礦產。
16. 楊明（2006），“山區公路斜坡工程外部變形監測技術與研究”，路基工程。
17. 姜衍祥（2006），“利用 GPS 監測地面沈降的精度分析”，測繪科學。