



測量與空間資訊於林道工程及防災之應用 —以太平山國家森林遊樂區聯外道路為例

文、圖 ■ 崔國強 ■ 國立宜蘭大學土木工程學系副教授

林志明 ■ 國立宜蘭大學土木工程學系研究生（通訊作者）

一、前言

林道為台灣林業經營之造林、保林、育林、森林生態旅遊、取締盜伐盜獵、防救災及森林火災救災等所必需通行道路，亦為提供沿線聚落居民及山區農、林產品與經濟礦產等民生物資運送與國防軍事上通行之主要交通道路。

林務局掌管全台林地佔全台土地約57%，所轄林道已開設完成計285條，總長3,682.771公里，林產處分後不用之林道封閉，目前只保留83條，總長1,699 km，其中太平山國家森林遊樂區聯外道路包括宜專一線公路24.5 km及翠峰景觀道路16.5 km全長41 km，為林務局羅東林區管處所轄專用公路及主要道路。

台灣地區林道大多位處山區，因台灣山區地質年輕脆弱，又位於地震及颱風帶，故易遭地震及暴雨影響致林道邊坡土壤沖蝕及路基流失，造成林道破壞與災害，88年921大地震震央雖在台灣中部地區，惟地震及餘震造成全台地表土石碎裂與鬆動脆弱，故每逢颱風豪雨，即造成林道邊坡崩塌或路基流失，宜專一線公路及翠峰林道亦受到地震及餘震影響，

造成相當程度損害；通常林道災害常見類型大致上區分為邊坡土石崩塌、駁坎流失、路基掏空、路面沖蝕、地層滑動及路基流失等情形（2007，謝宏松）。

宜專一線公路及翠峰景觀道路均是遊樂區道路，除了上述治山及林道災害外，歷年來



▲照片1 90年納莉颱風邊坡土石崩塌。



▲照片2 94年海棠颱風12.8 k地層滑動。



▲照片3 94年海棠颱風6.5 k路基流失及地層滑動。



▲照片4 94年海棠颱風宜專一線公路11.5 k路基流失。

尚有森林火災、遊客失蹤或受傷等，除了道路本身災害需要搶救保持暢通外，森林火災救災、遊客失蹤或受傷、交通事故等需搶救，尤其95年國道5號高速公路通車以後，太平山國家森林遊樂區每逢假日必定客滿塞車，在太平山蹦蹦車長期營運下，難免偶而會有大型災難需要搶救，因此急需建立空間資訊資料庫及GIS系統做為工程建設、道路防災、救災之後續應用。

二、測量與空間資訊應用於林道工程

(一) 以中間解說站地滑區整治為案例

1. 空間資訊利用、歷年航照圖判釋

中間解說站地滑區位於宜蘭縣大同鄉太平村，94年7月海棠颱風後發生地滑，地滑區為通往太平山國家森林遊樂區之宜專一線道路約6 k~8 k路段之間，係通往太平山國家森林遊樂區唯一道路，若一旦發生較大規模之滑動時，將造成路段嚴重交通中斷，影響太平山國家森林遊樂區觀光產業之發展，為了整治首先利用空間資訊、歷年航照圖判釋。

航照影像一般具有比例尺大、解析度高之特色，可觀察本區地形、水系、侵蝕、堆積及崩場地之分佈範圍。因此，共蒐集本區歷年航空照片，分別於65、74、81及94年所攝製共計4期，照片中可清楚顯示調查範圍之地形及地物之演變過程。

2. 測量工程整體規劃

(1) 測量地點

太平山國家森林遊樂區之宜專一線道路約6 k~8 k路段之間。

(2) 控制系統

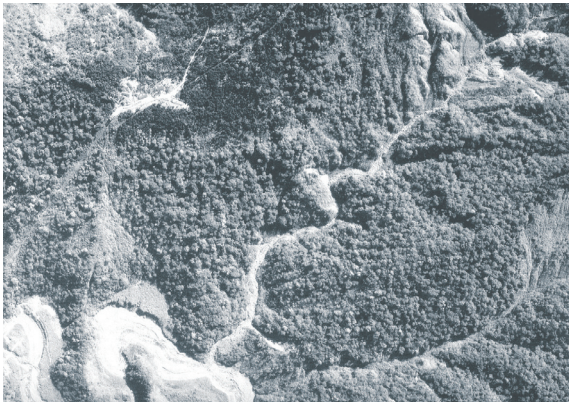
引用現場控制點資料如表1。

(3) 實施導線測量

測角以經緯儀，距離使用電子測距儀施測，其較差均在5 mm以內。水準測量，以水準儀直接往返觀測圖根點，往返閉合差不大於 $12\sqrt{k}$ mm。

表1 現場控制點資料

點號	縱座標N (Y)	橫座標E (X)	高程
B1	2715287.407	301072.197	866.640
D63	2715337.942	301135.476	871.850



▲照片5 民國65年3月：由航照圖顯示，中間地區附近除工作建物、林道及索道路線有進明顯行開發外，其他並無大型或集中之建物及開發行為。其邊坡下方野溪已清楚形成，局部溪岸邊坡有受溪水侵蝕所造成之崩塌情形。

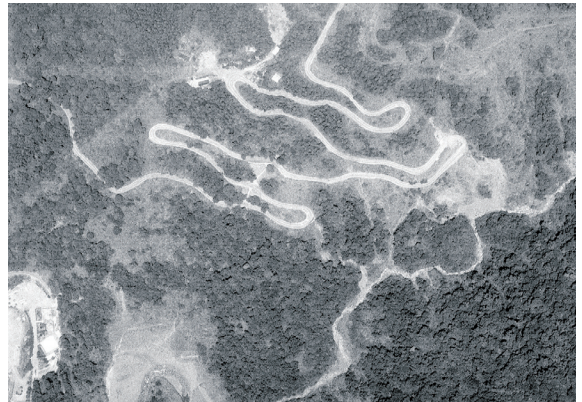


▲照片6 民國74年10月：中間地區已完成道路整地開發，受其道路開闢影響，局部道路邊坡有產生崩塌情形。道路及下方野溪之間所形成之沖蝕溝有更加擴大情形，中間解說站東側，亦有較大之向源侵蝕現象產生。

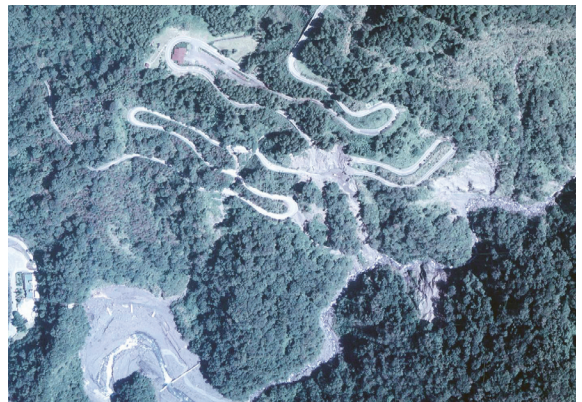
(4) 數值地形測量

電子測距經緯儀以三次元之數值測量法測定各地形、地物點之數值資料，觀測時儀器內記錄器自動記錄數值資料，此資料可自動傳輸進電腦，自動計算各測點座標值，並根據測點之連線碼自動連線成草圖，再經電腦編輯後，即為完成圖。

(5) 地形、地質、水系及地表裂縫調查



▲照片7 民國81年7月：由航照明顯看出林道路線已無使用，車輛主要以新闢道路為主，其道路及下方野溪之間所形成之沖蝕溝有更加擴大情形，中間解說站東側，亦有較大之向源侵蝕現象產生。



▲照片8 民國94年10月（納莉颱風後之航照圖）：由航空照片可清楚顯示道路受崩塌而中斷，崩塌區域內正進行道路緊急搶通工程，道路排水直接排往下邊坡所造成之沖蝕溝象，係更加嚴重。

初步研判地滑區範圍約10餘公頃，地滑區中可能分佈多個大小不等滑動塊體，小滑動塊體面積約1~2公頃，大滑動塊體可能達3~5公頃。附近主要之水系為地滑區西側多望溪及北側田古爾溪，道路邊坡之地表水主要沿著坡面流向坡趾之多望溪支流。滑動範圍頂部位於山脊線附近，地滑區範圍長約400 m、寬約300 m，地滑區頂部至下方野溪

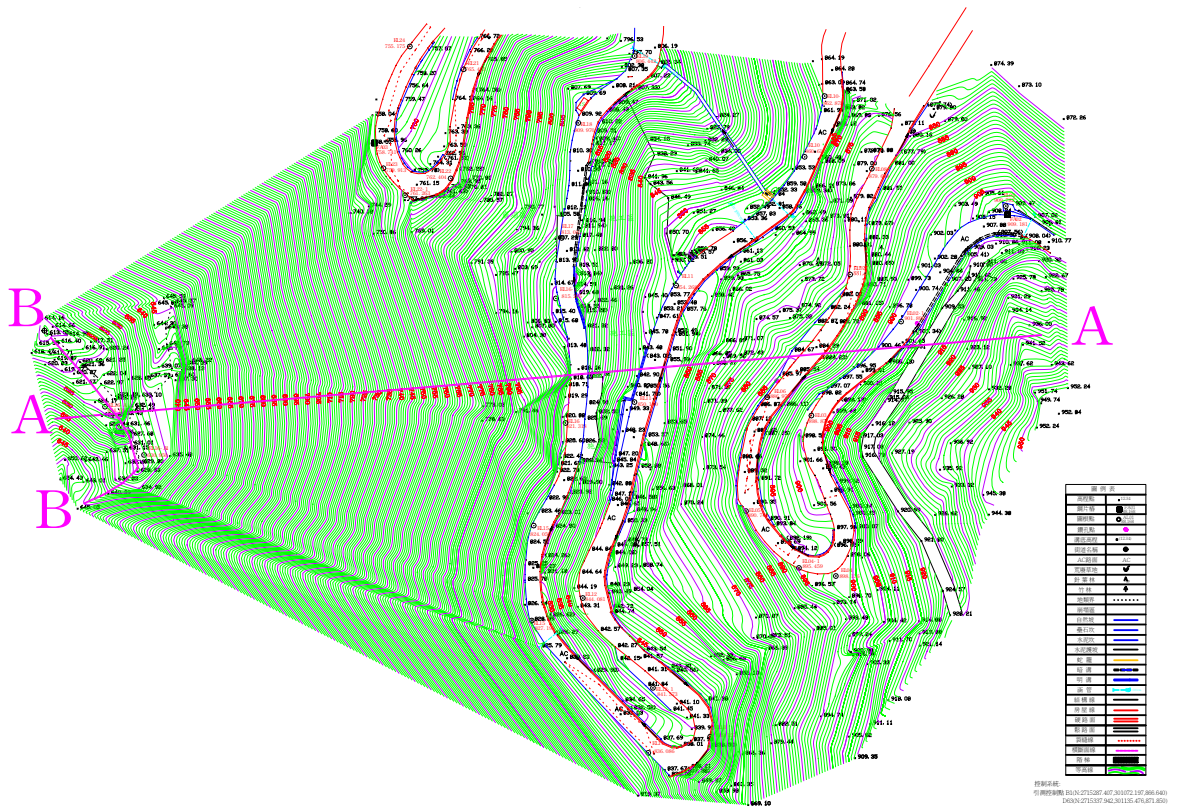


圖1 數值地形測量圖。

高程約自900 m下降至650 m。地滑區位處太平山國家森林遊樂區範圍內，為太平山事業區第95林班地。現有地質資料，根據經濟部中央地質調查所5萬分之1之三星圖幅主要出露之岩層為中新世紀的廬山層（Ls），其岩性以硬頁岩與變質砂岩之薄層為主，有發育良好的板劈理，而地滑區附近劈理大多為東西走向，向南傾斜30~50度，地滑區較明顯相關之裂縫位置記錄。

（6）整治構想

採用地錨提供抗拉力一般效果很好，但如滑動面超過30 m時，由於滑動塊體甚大，地錨常常無法錨碇在不動層，且地錨抗拉力相對於滑動塊體之下滑力而言，效果即不顯著，

故滑動深度乃是影響整治對策及整治工法最重要的影響因素。由於地滑區之滑動面可能較深，且邊坡坡度較陡，施工不易，且本地滑區現正進行相關緊急整治工程，主要擋土護坡以採地錨工法為主，在未詳知其整治成效之情形下，將以減少誘發地滑因素為首要。其初步整治構想規劃之優先順序為「坡面保護－裂縫填補、坡面植生」、「地表排水改善－坡面排水、林道排水及道路排水系統改善」、「地下排水－水平集水管」、「坡趾保護及穩定－地錨護坡、溪岸保護」（青山工程顧問有限公司辦理「中間解說站南側地滑區整治工程整體規劃暨第1期工程細部設計及監造工程」期初簡報）。

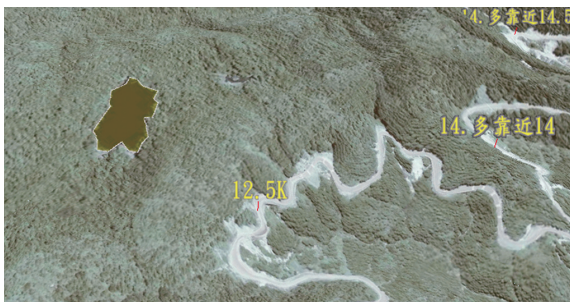


3. 測量與空間資訊之應用研擬林道工程中間解說站南側地滑之整治，經初步整治後地滑區已趨於穩定，以往每逢颱風侵襲，下雨量近1,000 mm時即會產生災害，96年柯羅莎強颱風侵襲，最高下雨量在宜蘭縣太平山達1,072 mm（依中央氣象局颱風警報單96年10月7日12時15分資料），但太平山國家森林遊樂區道路中間地滑區僅零星坍方災害，隔天就恢復通車，因此測量與空間資訊應用在遊樂區道路工程及防災有其實際效用。

（二）翠峰景觀道路發現新水源地名三星池、標高2,076 m，因保育、生態及避免人為破壞，資料不提供

以正射影像檔及Skyline軟體製作的（太平山莊地區）3D影像在翠峰景觀道路12.5k上方發現新水源並由圖測得面積7,259.4643 m²，周長402.80 m。

翠峰景觀道路終點雖有美麗的翠峰湖，但被有心人士放生，目前生態已遭到破壞，除有美麗的景觀，水質除防火救災外已不能飲用，翠峰景觀道路12.5 k上方發現新水源，不但水質清澈，保育、生態均保持良好，能保持多方面使用，如工程用水、儲備乾旱時翠峰山莊用水、或森林火災時救災用水。



▲照片9 三星池。

三、林道測量、空間資料搜集、資料庫及GIS建立

（一）林道測量、空間資料搜集

1. 控制測量

分別於宜專一線公路及翠峰景觀道路起、終點各設置2控制點（採GPS靜態基線測量，共計8點）。

2. 導線測量

依幹導線等級辦理測量作業（含高程測量），並於宜專一線公路及翠峰景觀道路間，選擇適當地點（至少8處）各埋設2導線點（採GPS快速靜態測量，共計8點）作為永久點位使用，幹導線於觀測後平差計算。

3. 地形、地物測量

依道路中心兩側各15 m垂直投影範圍內。

4. 結構物檢視

上、下邊坡各式擋土牆、駁坎及紀錄。

5. 地錨監測

宜專一線6 k+200至6 k+800間，上、下邊坡擋土牆及駁坎監測點、固定點設置（固定點應設置於該區域間至少2點以上，並採道路控制測量之作業方法及精度辦理）、監測及地錨預留孔（計5孔）荷重計等儀器安裝、監測工作。

6. 橋樑檢測。非破壞性檢測。

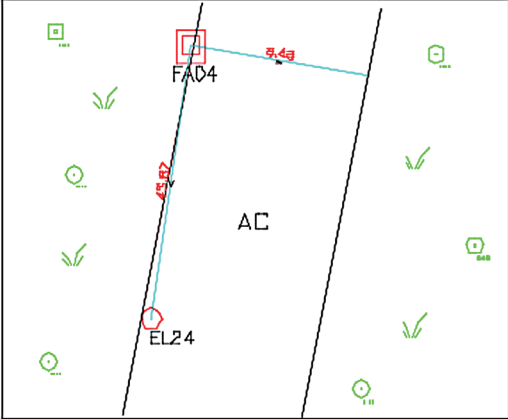
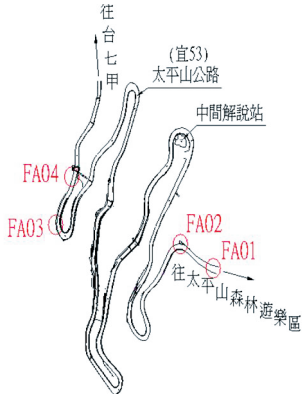


7. 排水系統（含縱、橫排水溝等）

水文、坡地排水調查。

8. 向農航所申請提供宜專一線公路及翠峰景觀道路含蓋區域正射影像圖，（20×20 m）數值地形模型。

控制點樁位指示圖 SURVEY STATION SHEET

工程名稱：中間解說站南側地滑區整治工程整體規劃計暨第一期細部設計及監造

圖 號 DRAWING NO.		日 期 DATE	96年02月
測 設 單 位 SURVEY UNIT	方東工程顧問有限公司	縱 坐 標 (N) (Y)	2715305.389
樁 號 STATION NO.	FA04	橫 坐 標 (E) (X)	300884.305
樁 位 種 類 REMARKS	鋼片樁	高 程 LEVEL (Y)	直接水準 752.209
詳圖： 		略圖： 	
現場近照： 		現場遠照： 	

製表：周喻華 繪圖：周喻華

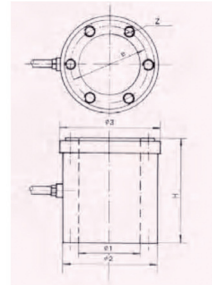
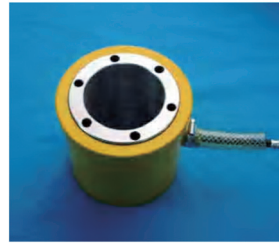
圖2 林道測量（控制測量、導線測量等）點之記錄。



▲照片10 GPS測量及樁位埋設。

(二) 測量、空間資料數位化，以建立GIS資料庫並以Skyline軟體製作3D影像

利用林務局農航所的正射影像檔及數值地形模型之空間資訊資料建立主資料庫，然後利用道路測量，結構物檢視、橋樑檢測、地錨監測、自然與人文環境等現場空間資料，經數位化處理後之「資訊」，儲存於電腦資料庫中，運用電腦硬體、Arc View GIS操作軟體及空間資料等連結起來，得到的「系統」為GIS系統並加以3D模擬及展示如有遊樂區道路（林道）工程及防災時加以分析決策及應用。



■ 額定輸出	1.5 mV/V ± 1%
■ 非線性	1% R.O.
■ 遲滯性	1% R.O.
■ 反覆性	0.3% R.O.
■ 推薦電壓	2~10 V
■ 輸入端阻抗	350 Ω ± 3.5 Ω
■ 輸出端阻抗	350 Ω ± 5 Ω
■ 絕緣組抗	2,000 MΩ
■ 溫度補償範圍	-10~75 °C
■ 容許使用範圍	-20~100 °C
■ 容許超載	150% R.O.

圖3 宜專一線公路地錨監測地點及配備6k+200至6k+800間計5孔。

四、測量與空間資訊應用林道工程及防災成效分析

(一) 空間資訊資料建立及GIS系統建置、Skyline製作之3D模擬展示等，其資料庫內有林務局農航所的正射影像檔及數值地形

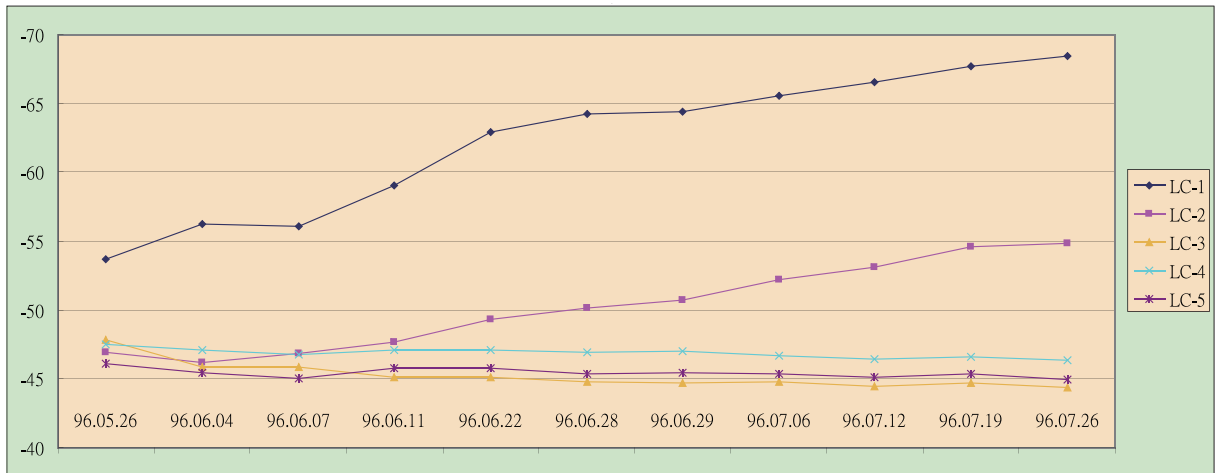


圖4 宜專一線公路6k+200至6k+800間計5孔地錨監測成果表

模型之空間資訊資料，又利用道路測量、結構物檢視、橋樑檢測、地錨監測、人文環境等現場空間資料對林道工程搶修、復建、新設工程之規劃、選線，控制，以求經濟之開發及最少之擾動。以翠峰景觀4.5 km陡坡面拓寬為例，利用Skyline製作之3D影像測得水平27.5 m高程35.8 m上下邊坡均高達70%及依經濟部中央地質調查所資料翠峰景觀道路地質，多屬畢祿山層、板岩、厚層變質砂岩及砂岩互層，目前仍具活動性。如採用開挖山邊邊坡容易落石坍方產生危險，以翠峰林道景觀第4期改善工程之型框植生護坡之型框工程每平方公尺約1,300元計算（含雜項費用），本路段上邊坡約120 m、下邊坡約250 m，每公尺治理費用約48.1萬元，而採用半路幅RC版+土釘每公尺費用約4萬元（含雜項費用），因此測量與空間資訊應用林道工程以求經濟之開發及最少之擾動。

測量與空間資訊現場空間資料對林道工程維修、預算編列、工程成效分析、安全性

評估、推估是否需加水土保持、林道縱向及橫排水溝工程設施、蝕溝整治均可參考決策及應用（林務局羅東林區管理處治山課林道方面97年度已優先考慮依據本套理論做林道工程維修、預算編列；林道縱、橫排水溝工程設施，蝕溝整治、橋樑維修）。

（二）空間資訊資料建立及GIS系統建置其屬性資料，遇天然災害與重大事故時，可運用各種遙測影像即時回傳之視訊，存入空間資料庫內，進行人員及物資之運送與決策分析，運用遠端監控技術結合3D空間資訊平台，可將災害發生區域影像透過無線網路或行動通訊即時回傳至防災應變中心，有效的進行指揮調度，減少災損，故台灣地區林道建立空間資訊及GIS系統可做工程設施、道路防災、救災之後續應用。

（三）在未利用空間資訊資料及GIS系統辦理搶修、復建以前，以宜專一線公路為例，每遇颱風雨量近1,000 mm林道就產生重大災害，如納莉颱風災害造成林道中斷



宜專一線集水區與沖蝕溝

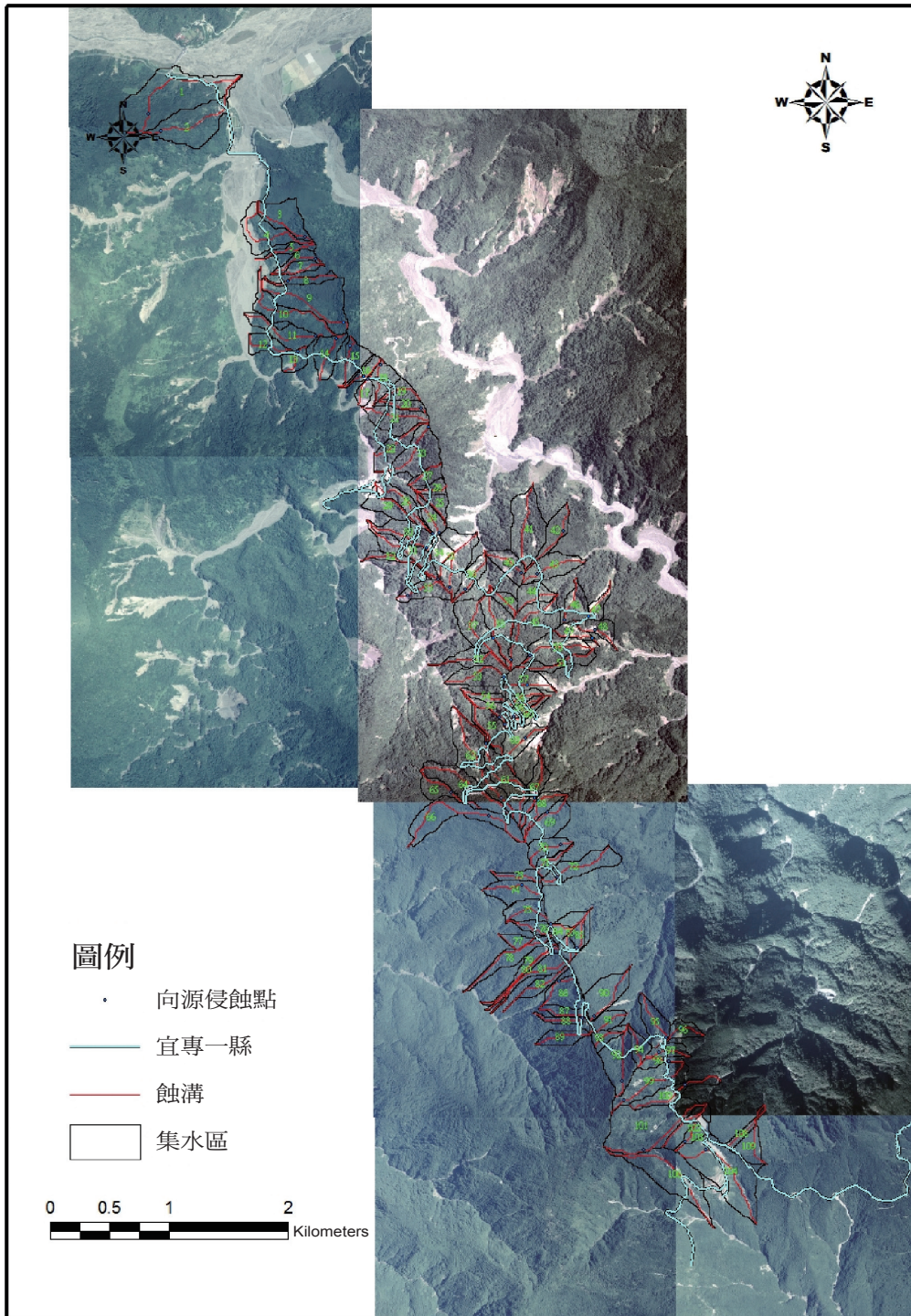


圖5 利用林務局農航所的正射影像檔， $20\text{ m}\times 20\text{ m}$ 數值地形模型製作宜專一線蝕溝分布圖以作遊樂區聯外道路縱、橫排水溝工程設施，蝕溝整治之參考。

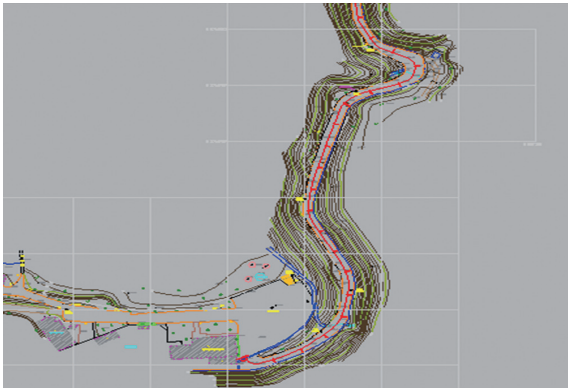


圖6 經數位化後空間資訊林道路線圖（宜專一線公路起點）。

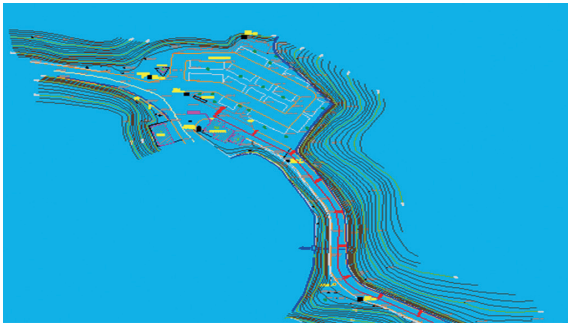


圖7 經數位化後空間資訊林道路線圖（翠峰景觀道路起點）。

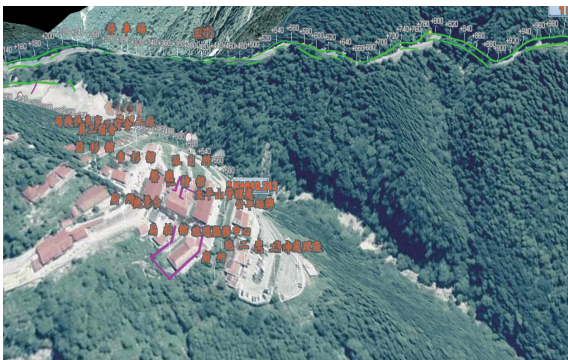


圖8 以Skyline軟體製作3D影像模擬展示（太平山國家森林遊樂區）。

近半年，而海棠颱風林道中斷近1年。測量與空間資訊資料建立及GIS系統建置、3D模擬展示等預先處理有安全顧慮之林道工程，先行編列預算治理，對於林道災害預防及治理應用之減省，具正面功能與效率。雖然96年柯羅莎

強颱風襲及全國最高下雨量在宜蘭縣太平山達1,072 mm（依中央氣象局颱風警報單96年10月7日12時15分資料），但太平山國家森林遊樂區道路（宜專一線公路翠峰景觀道路）只有落石災害，隔天就恢復通車，因此測量與空間資訊用在林道工程及防災有其實際效用。

五、結論與建議

（一）「上知天文，下知地理」是中國人稱讚人博學的辭句，而能充分地掌握、瞭解與運用地面上人事物時的分布資訊，是人類歷史上不斷爭取之理想。而我們日常生活中，亦隨時運用著空間資訊。以往人類無法掌握太多、太詳細的空間資訊，故無法做較有效、正確之空間決策，今日拜科技之賜，有各種測量空間位置之工具，並能有系統地從事地物及事件特性的調查工作，使空間資訊資料庫之資訊充實，又加上電腦化之地理資訊系統來協助整理、運用這些資訊，使這一代的人類較祖先們更能作好決策。

（二）地理資訊分析處理後須展示給使用者，才能將資訊傳訊出去，而正確地理資訊溝通，有賴良好的展示設計，故設計地圖時，必須先考慮地理資訊展示的主題及對象，使資訊量適中，讓使用者能方便、正確且舒適地讀取資訊，另在設計展示地理資訊時，亦要考慮展示工具的性能，方便使設計理念能夠落實。

（三）本項研究雖利用各種資訊及軟體來解決各種問題，但最終還是要建立空間

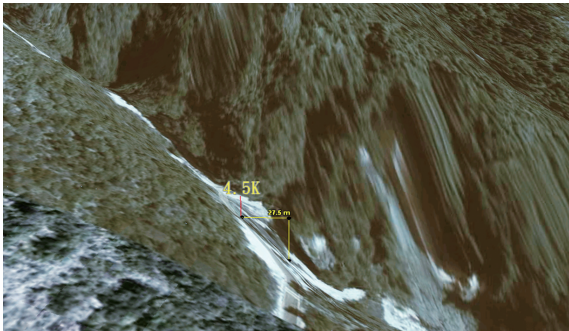


圖9 3D影像測得水平27.5 m高程35.8 m上下邊坡均高達70%。

資訊資料庫系統，不僅能適時提供遊樂區聯外道路（林道）防災救災方法，對於現況地形及構造物、座標、道路動線、水源、各種資源均可適時掌握，不僅防災救災事半功倍，並紀錄過程以作為借鏡。

（四）本項研究主要是建立林道空間資訊資料庫及GIS系統應用於工程設施及防災救災，並以及道路測量（含控制測量、導線測量、地形、地物測量），結構物檢視、橋樑

檢測、地錨監測、自然與人文環境、生態、景觀之資料分析等空間資料，將其數位化後，利用Arc View GIS軟體建立GIS資料系統及Skyline Terra Suite軟體作3D模擬及展示其目的，係良好的資訊展示設計，能配合展示工具的特性，使地理資訊能順利的傳達到使用者，而地理資訊分析結果，發揮其應用的現象及解說功能。

（五）為了遊樂區道路工程及防災，林務局羅東林區管理處辦理遊樂區道路空間資訊資料庫、GIS建置計畫，該項業務受到參與之專家學者一致認同，目前林務局集水區治理組將推廣至其他林管處參考辦理，另計畫中建置之Skyline 3D模擬及展示系統包裝軟體，建議林務局優先開放存放在林務局網站，提供進入太平山國家森林遊樂區之遊客參考使用。📍