

土石流地質災害敏感區納入土石流潛勢溪流之可行性

沈哲緯^{1,*} 曹鼎志² 楊永祺³ 陳振宇⁴

¹ 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 副研究員

² 財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心 正工程師兼組長

³ 農委會水土保持局土石流防災中心 工程員

⁴ 日本京都大學大學院工學研究科社會基盤工學專攻 博士生

摘要

本文參考經濟部中央地質調查所於 95 年完成之「都會區及周緣坡地環境地質資料庫」圖資，完成土石流地質災害敏感區納入土石流潛勢溪流之可行性分析程序，檢討土石流地質災害敏感區溪流兩側 50m 內總計大於一戶保全對象者，比對行政院農委會水土保持局公開的 1,552 條土石流潛勢溪流，剔除已公開溪流後，即完成都會區周緣坡地新增土石流潛勢溪流建議清單，透過空間分析與現地調查結果探討土石流地質災害敏感區納入土石流潛勢溪流之可行性，其成果可供土石流防減災及風險管理參用。

關鍵字：土石流、地質災害敏感區

The Feasibility of Incorporating Debris Flow Geological Sensitive Area into Current Debris Flow Potential Torrents

Che-Wei Shen^{1,*}, Ting-Chi Tsao², Yung-Chi Yang³, Chen-Yu Chen⁴

¹ Associate Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei.

² Senior Engineer and Group Leader, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., Taipei.

³ Assistant Engineer, Debris Flow Disaster Prevention Center, Soil and Water Conservation Bureau, Council of Agriculture, Nantou.

⁴ Ph.D. Student, Graduate School of Engineering Department of Civil and Earth Resources Engineering, Kyoto University, Kyoto, Japan.

Abstract

This study aims to develop a feasibility procedure of incorporating debris flow geological sensitive area into current debris flow potential torrents, that utilized information from

Environmental-Geological Database of slope-land by Central Geological Survey and building distribution to identified possible potential debris flow torrents. Review 50-meter buffer zone of debris flow geological sensitive area is more than a building, and excluding the debris flow potential torrents by Soil and Water Conservation Bureau. Through spatial analysis and investigation of debris flow geological sensitive areas were extracted, overlaying it with possible exposures and identified possible potential debris flow torrents for future applications. The results could be utilized in improving debris flow hazard mitigation, hazard reduction and debris flow risk management in the future.

Keyword : Debris flow, Geological sensitive area

一、前言

臺灣地區隨著經濟快速發展以及都會區的擴張，開發區域有加速往都會區邊緣坡地擴展之趨勢。都會區邊緣坡地常有土地使用過度或開發不當等現象，使得原本地質構造複雜、岩體破碎，再加上雨量豐沛且集中等自然條件較差的坡地環境，在每次豪雨過後坡地地質災害事件頻傳。

有鑑於此，經濟部中央地質調查所(以下簡稱地調所)於民國 91 年度開始執行「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」，即是整合性資料庫建置計畫之核心部分，於 5 年內分期、分區針對都會區及周緣山坡地進行環境地質調查工作，並完成「坡地環境地質基本圖」及「坡地地質災害敏感區分布圖」兩大目標成果圖，其功能可以提供並加強國人對地質災害的發生及其敏感地區之認知，也可以提升對國土保全與防災意識之重視(參考地調所，2006^a)。其中，坡地環境地質基本圖係透過航照立體對與部分現地調查研判歷史上曾發生過土石流之溪溝，以下稱為土石流地質災害區；坡地地質災害敏感區分布圖係採用專家法研判計畫區域各溪流發生土石流之潛勢，以下稱為土石流地質災害敏感區。

然而，環境地質資料庫僅就地質災害完整描述其可能發生區域，尚未針對影響範圍進行套疊分析，檢討可能影響之保全對象。民國 98 年 8 月 8 日臺灣遭逢莫拉克颱風侵襲，臺灣本島有部分非農委會水土保持局(以下簡稱水保局)現行公開的土石流潛勢溪流釀成災情，為有效善用土石流地質災害基本圖與土石流地質災害敏感區成果，建立土石流地質災害敏感區周緣之保全對象清單，透過圖資套疊分析，完成新增土石流潛勢溪流建議清單，落實災害防救法第二十二條第七項規定：「為減少災害發生或防止災害擴大，各級政府應依權責實施下列事項：七、以科學方法進行災害潛勢、危險度及境況模擬之調查分析，並

適時公布其結果」(摘自立法院全國法規資料庫，網址：<http://law.moj.gov.tw/LawClass/LawContent.aspx?pcode=D0120014>)，以供防救災相關單位災前整備參用，以利探討土石流地質災害敏感區納入土石流潛勢溪流之可行性，其成果可供土石流防減災及風險管理參用，預先防範土石流危及保全對象安危之情事，促進區域性之國土規劃，善用地質災害敏感區資料，避免或減少土石流發生時生命及財產損害。

二、區域概述與分析流程

分析區域與地調所環境地質資料庫計畫建置資料區域相同，即是台灣都會區及周緣坡地 101 圖幅兩萬五千分之一地形圖框，研究區總面積約 16,062 平方公里，約為台灣面積之 46%，分析區域如圖 1 所示(參考地調所，2006^a)。

水保局土石流潛勢溪流研訂方法與定義：「依據民國 98 年 3 月 16 日公布之土石流災害潛勢資料公開辦法第三條及第五條規定，農委會於取得各中央有關機關、直轄市或縣(市)政府提供或更新災害紀錄等基本資料後，邀集相關機關(構)及專家學者審查後，建置土石流災害潛勢資料庫，並且視土石流實際發生情形及變動程度，進行資料庫之維護及更新，依第六條規定遇有地形變動或重大災害時，各土地管理機關、直轄市或縣(市)政府應適時檢討修正土石流災害潛勢基本資料。」(水保局，2010^a)，由此可知，水保局定義之土石流潛勢溪流須經由中央或地方提報，經勘查與辦理土石流潛勢溪流更新工作後，始可依照公開辦法新增土石流潛勢溪流。

地調所制訂土石流地質災害敏感區的方法係為：「經由各種環境地質因子之套疊分析，評估在坡地上具有自然發生，或容易因人為不當活動而產生土石流地質災害潛勢的地

區。」(地調所，2006^a)，可見地調所定義之土石流地質災害敏感區係因自然發生或地文條件上具有發生土石流潛勢之虞區域，並未考量保全對象之影響。

有鑒於此，本文主要考量土石流地質災害敏感區納入土石流潛勢溪流之可行性，期完整篩選具保全對象之新增土石流潛勢溪流建議清單，提供水保局納入後續新增土石流潛勢溪流作業參考。

本項工作主要包含資料蒐集、保全對象數化與檢核、圖資套疊分析等三項，輔以現地調查結果，探討土石流地質災害敏感區納入土石流潛勢溪流之可行性。分析流程如圖 2 所示。茲說明分析流程如下：

2.1 資料蒐集

蒐集的 GIS 資料分為網格式資料與向量式資料：

1. 網格式資料：計有航空照片(解析度 1m*1m)、莫拉克颱風後福衛二號影像(解析度 2m*2m，以下簡稱 FS2 影像)、1/5,000 相片基本圖與 1/25,000 地形圖等，其中航照、FS2 影像主要提供土石流地質災害敏感區周緣保全對象數化使用，而相片基本圖與地形圖提供建築物數化檢核使用。
2. 向量式資料：計有地調所 1/25,000 環境地質圖(含環境地質基本圖、地質災害敏感區成果圖)、1,552 條土石流潛勢溪流(水保局，2010 公開)、行政區界線等項，其中環境地質圖與 1,552 條土石流潛勢溪流主要作為新增與持續觀察土石流潛勢溪流建議清單篩選使用。

2.2 保全對象數化與檢核

採用莫拉克颱風後 FS2 影像作為都會區周緣坡地土石流地質災害敏感區保全對象數化

底圖，輔以 Google earth 底圖彌補 FS2 影像雲遮問題，當 Google earth 無法補足時則採用本研究蒐集之航照進行彌補，最後將數化成果以航照、相片基本圖與地形圖進行檢核，提高建築物判釋數化之正確性，應有利於新增與持續觀察土石流潛勢溪流建議清單篩選。分析區域保全對象數化成果如圖 3 所示。

2.3 圖資套疊分析

本文採用地調所土石流地質災害區與土石流地質災害敏感區作為篩選的基礎圖資，參考水保局(2010^a)「98 年莫拉克颱風後土石流潛勢地區易致災因子調查計畫」成果，該計畫以莫拉克颱風災區 55 個村里 166 條土石流潛勢溪流線進行崩塌地關聯性分析，結果顯示以「土石流潛勢溪流兩側 50 公尺範圍崩塌率」較顯著；另外，參考地質法(草案)相關子法之「地質災害敏感區劃定、變更及廢止辦法」草案：「土石流通道之邊緣向外起算水平距離約 30 公尺以內或高於土石流通道 10 公尺以內之鄰接區域」為流動區影響範圍。本文依據上述兩項成果建議，採用溪流兩側 50 公尺保守範圍評估，以不跨越山脊及水系為原則，採較嚴苛之標準篩選新增與持續觀察土石流潛勢溪流清單，再與水保局目前公開之 1,552 條土石流潛勢溪流進行比對，剔除已公開溪流後，即完成「新增土石流潛勢溪流建議清單」與「持續觀察土石流潛勢溪流清單」，篩選原則說明如下所述：

1. 新增土石流潛勢溪流建議清單篩選原則

(1)環域分析土石流地質災害區溪流兩側 50m 內總計大於一戶保全對象者。若無保全對象影響則暫不考量新增作業。

(2)針對符合上述第一項原則之土石流地質災害區，篩選非與水保局現行公開 1,552 條土石流潛勢溪流交集者即為「新增土石流潛勢溪流建議清單」。

2. 持續觀察土石流潛勢溪流清單

(1)將未獲選新增清單之土石流地質災害區及高潛勢土石流地質災害敏感區，以環域

分析溪流兩側 50m 內總計大於一戶保全對象者。若無保全對象影響則暫不列為

持續觀察土石流潛勢溪流清單之中。

(2)針對符合上述第一項原則之獲選溪流，篩選非與水保局現行公開 1,552 條土石流

潛勢溪流交集者即為「持續觀察土石流潛勢溪流清單」。

三、新增土石流潛勢溪流建議清單成果

首須針對土石流地質災害不同區位(流動區、堆積區與扇狀地)，以 GIS 空間分析分別產製地質災害區兩側各 50m 的環域範圍，再進行地形貌合理修正(不跨越水系與山脊為原則)，透過空間分析評估土石流地質災害與敏感區位分析範圍是否有保全對象，若有保全對象且沒有與水保局公開的 1,552 條土石流潛勢溪流交集者，即列入新增土石流潛勢溪流建議清單，示意如圖 4。此外，將未獲選新增清單之地質災害區與高潛勢土石流地質災害敏感區採相同評估方法完成持續觀察土石流潛勢溪流清單。

本文研提之新增土石流潛勢溪流建議清單，係延續地調所制訂之不同地質災害區位(包含流動區、堆積區、扇狀地)，未來仍應透過水保局「新增與複勘土石流潛勢溪流標準作業流程」確定新增與否，若確定新增之土石流潛勢溪流，未來執行易致災因子調查時，應就流動區、堆積區及扇狀地一併進行調查，較能全面掌握土石流地質災害敏感區易致災因子特性。新增與持續觀察土石流潛勢溪流清單空間分布如圖 5 所示。

3.1 新增土石流潛勢溪流建議清單

由上述新增土石流潛勢溪流建議清單篩選後，可獲致新增數量合計共 319 處，其中流動區 206 處，堆積區共 58 處，扇狀地共 55 處。依據空間分布統計其跨越行政界共有 17 個縣市、104 個鄉鎮及 301 個村里，另外以溪流區位合併計算(包含流動區與堆積區)共有 228 條溪流。

3.2 持續觀察土石流潛勢溪流清單

由上述持續觀察土石流潛勢溪流清單篩選後，可獲致持續觀察數量合計共 1,730 處。其中流動區 531 處，堆積區共 142 處，扇狀地共 41 處及高潛勢地質災害敏感區 1,016 處。

四、土石流地質災害敏感區現地調查原則

現地調查表規劃採土石流地形分區進行調查與結果彙整(圖 6)，調查表內容包含基本資料、易致災因子與土石流特性描述、其他特殊描述、岩性分布與土石流潛勢分級圖及照片說明等項。現地調查流程如圖 7 所示(參考水保局，2008；地調所，2006^a 進行研擬)。

4.1 基本資料

內容包含室內作業與現地調查項目：

1. 室內作業：包含 1/25,000 圖號與圖名、行政區域、航照判釋日期、現地調查日期、土石流地質災害區編號、紀錄者、河川管轄與水系名稱、林班地或山坡地範圍、集水區範圍內崩塌敏感區面積(岩屑崩滑、岩體滑動、落石與順向坡)等項。
2. 現地調查：包含災害歷史與災情描述、歷史災害誘發因子、溪流狀況(常年有水或乾季無水)等項。

4.2 易致災因子與土石流特性描述

根據易致災因子特性區分不同土石流地質災害區位(發生區、流動區與堆積區)進行調查，地調所環境地質資料庫中僅定義土石流流動區、堆積區與扇狀地，本文為完整描述土石流不同地形分區，建議將上游發源區之發生區圈繪出來，判釋方法參考潘國樑(2007)及潘國樑等人(2011)建議，採用航空照片或衛星影像為底圖，輔以 5m 數值地形製作三維正射影像，透過遙測判釋地形上三面環山僅一個缺口的地形特徵，並注意影像上凹地陡峻坡面常有收斂式的扇狀或鳥爪狀地形，其沖蝕溝向流動段匯聚之上方集水區即為發生區(或稱匯水盆地)，之後再以現地調查複核，即可完成土石流發生區判釋。本處列舉嘉義縣大埔鄉西興村土石流地質災害敏感區地形分區結果為例，如圖 8 所示。易致災因子與土石流特性描述內容共計九項，說明如下：

1. 不同區位溪床寬度

依照地調所(2006^a)「環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則-土石流判釋調查表」辦理，針對不同災害區位(發生區、流動區與堆積區)調查溪床寬度，紀錄項目分為<2m、2-5m、5-10m、10-20m 及>20m 共五類。

2. 不同區位溪床坡度

依照地調所(2006^a)「環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則-土石流判釋調查表」辦理，針對不同災害區位(發生區、流動區與堆積區)調查溪床寬度，紀錄項目分為<5 度、5-10 度、11-15 度、16-20 度、21-30 度及>30 度共六類。

3. 不同區位植生生長狀況

依照水保局「土石流潛勢地區易致災因子調查表」(參考水保局，2010^a)辦理，針對發

生區與流動區植生生長狀況進行現地調查，紀錄項目分為裸岩、落石堆積、植被稀疏、植被中等稀疏及植被密集五類。

4. 溢流點位置地形

依照水保局「土石流潛勢地區易致災因子調查表」(參考水保局，2010^a)辦理，詳實記錄土石可能溢流的坐標、高程、照片與說明及溢流點位置與地形，其中溢流點位置與地形紀錄項目分為無、坡度陡變處、地形開闊處起點、谷口、障礙物處、河道轉彎處、其他位置及現場資訊無法研判共八類。

5. 現場新增崩塌或沖蝕

根據現地調查結果紀錄現場新增崩塌地或沖蝕位置與規模(面積)，並拍照佐證，並將崩塌與沖蝕依照不同區位填入調查表。

6. 土石流深度推估

依照地調所(2006^a)「環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則-土石流判釋調查表」辦理，根據現地調查結果觀察土石流堆積深度，若為土石流堆積土石，其土石堆積層序應符合土石流流動堆積型態(即上層大顆粒下層小顆粒)，紀錄以流動區之土石流堆積深度為主。本項常因人為開挖、清淤或施工導致堆積深度遺跡消失，執行上以該次現地調查所見情形詳實記錄即可，紀錄項目有<5m、5-10m、11-15m、16-20m、21-30m 及現場資訊無法研判共六類。

7. 土石流陣流性與超高性

參考前人研究結果(Johnson and Rodine,1984；Hanks and Webb,2006；Kazuo Okunishi and Hiroshi Suwa,2001；Marcel Hürlimann et al.,2006; Magirl et al.,2005；Staley et al.,2006；Rowbotham et al.,2005；潘國樑等人，2010)指出，土石流的運動型態具有直進性、陣流性

與超高性特性，當土石流攜帶大量土石前進，常會挾帶溪床兩側土石，透過土石流巨大能量與流速逐時前進增加土石量，即為直進性；而土石流在流路上常遇到溪溝轉彎、狹窄化或障礙物等，因流動受阻停積下來，爾後一波動力驅使再度直進，致使土石堆積成一陣一陣，即為陣流性，也因為陣流性關係，致使土石堆積區不平整，呈現扇形，土石堆積常有中央高兩側低等不同的堆積型態，即為超高性。基於上述原因，本文將陣流性與超高性納入調查表，紀錄以流動區之土石流堆積為主。本項常因人為開挖、清淤或施工導致遺跡消失，執行上以該次現地調查所見情形詳實記錄即可。陣流性紀錄項目分為有鼻頭、無鼻頭及現場資訊無法研判三類；超高性紀錄項目有中高側低、高於河岸、高於橋梁淨空、兩岸溢流、兩岸有自然堤及現場資訊無法研判共六類(參考潘國樑，2007)。

8. 土石粒徑分布

依照地調所(2006^a)「環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則-土石流判釋調查表」辦理，調查項目有最大粒徑、塊石與礫石含量、泥砂含量及發生區巨礫來源岩性(現地調查或輔以 1/25,000 岩性組合圖查詢)。

9. 堆積區特性描述

依照地調所(2006^a)「環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則-土石流判釋調查表」辦理，調查項目為有無堆積區產生、堆積區面積、堆積區水流數及堆積區土地利用等項。

4.3 岩性分布圖

岩性分布圖係提供了解土石流地質災害敏感區周緣岩性特性，參考地調所「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置-坡地岩體工程特性調查研究」中之岩性組合圖，製作 1/25,000 岩性分布圖，本處列舉嘉義縣大埔鄉西興村土石流地質災害敏感區地形分區結果

為例，如圖 9 所示。

4.4 其他特殊描述及照片說明

上述內容無法勾選或填寫者，分項填寫於此欄中。以土石流易致災因子與土石流地質災害敏感區特性內容為主。針對現地調查中較關鍵的易致災因子與土石流地質災害敏感區特性照片進行說明，其它易致災調查相關照片將統籌彙整、定位及輔以說明。

4.5 現地調查示範說明例

本文以嘉義縣大埔鄉西興村中心崙坑土石流地質敏感區為例，於 99 年 6 月 2 日完成現地調查，調查表填寫範例如表 1 所示。現地調查之 GPS 定位系統係使用 TWD97 二度分帶坐標系統，調查點(含照片)套疊集水區內 98 年莫拉克後崩塌地分布彙整如圖 10 所示。

經由本次現地調查可發現三處崩塌地，如圖 10 之照片 8、照片 9 及照片 14 所示，雖然崩塌地距離保全對象較遠，仍須持續觀察其崩塌影響範圍，在豪雨過後注意集水區內是否有新增崩塌地可能波及保全對象情事發生。現地調查結果彙整說明如後：

1. 流動區可能溢流點(照片 8 旁)下游

溪流出水口匯入曾文水庫(圖 10-照片 1)，民權橋下游溪流無整治工程，溪流堆積材料多，其堆積土石，呈中高側低之土石流超高現象(圖 10-照片 2)，從民權橋沿溪床往上游直到潛壩堆積土石量體多，且堆積土石粒徑平均大於 30 公分(圖 10-照片 3)，往上游前進可看到一潛壩(圖 10-照片 4)，潛壩下游右岸有一崩塌裸露地(圖 10-照片 5)，崩塌地可觀察到砂泥互層和礫石層之交界(圖 10-照片 6)，續往上游調查，有住戶位於溪流右岸旁(圖 10-照片 7)，而溪流之左岸則為裸露岩層，疑似受到河道側蝕之結果(圖 10-照片 8)，此處堆積土石仍多。

2. 流動區可能溢流點(照片 8 旁)上游

繼續往上游勘查，首先遇到上游右支流與農路交會處，道路護欄有毀損現象，其右岸有一處崩塌地(圖 10-照片 9)，上游右支流堆積土石仍多，且多為巨礫，粒徑甚至可達 3~4 公尺(圖 10-照片 10)，下游左岸有側蝕現象(圖 10-照片 11)。踏勘至上游左支流與道路交會處南山橋，南山橋上游仍是堆積不少土石，平均粒徑大於 30 公分，有些甚至超過 1 公尺(圖 10-照片 12)。繼續前進會發現左側尚有一支流，有林務局之整治工程，河岸堆積不少土石(圖 10-照片 13)。另上游左岸則有一大規模崩塌地(圖 10-照片 14)，仰望上游集水區現況，坡度明顯較陡，植生則為中等稀疏(圖 10-照片 15、16)。

五、研究結論

1. 本文屬實務應用文章，係利用政府公告之環境地質圖，篩選可能受災之土石流地質災害敏感區，研提新增土石流潛勢溪流建議清單，提供水保局土石流潛勢溪流新增作業自行提報的一種參考途徑。
2. 套疊地調所環境地質基本圖，完成新增土石流潛勢溪流建議清單共計 319 處。其中流動區 206 處、堆積區 58 處、扇狀地 55 處。依據空間分布統計行政界共有 17 個縣市、104 個鄉鎮及 301 個村里，另以溪流區位合併計算(包含流動區與堆積區)共有 228 條溪流，其成果可供水保局土石流潛勢溪流新增與易致災因子調查作業參考。
3. 套疊地調所地質災害敏感區，完成持續觀察土石流潛勢溪流清單共計 1,730 處。其中流動區 531 處、堆積區 142 處、扇狀地 41 處及高潛勢地質災害敏感區共有 1,016 處，其成果可供後續國土規劃與新建工程(建築物或工程設施等)避災規劃參考。
4. 本文依據水保局「土石流潛勢地區易致災因子調查表」及地調所「環境地質與地質災害敏感區測繪作業準則-土石流判釋調查表」，綜整適合項目研擬新增土石流潛勢溪流建議

水保技術期刊第七卷第一期，31-41 頁
清單調查流程與項目，輔以嘉義縣大埔鄉西興村一個案例結果說明調查成果，以提供後
續 228 條新增土石流潛勢溪流建議清單現地調查作業參考，期縮短新增與複勘土石流潛
勢溪流時程及人力需求，減少未列入土石流潛勢溪流地區災害威脅，**期達成土石流災害
災前整備之目標。**

誌謝

感謝行政院農委會水土保持局經費支助及提供許多寶貴意見，另對研究過程中協助過
的中興工程顧問社同仁**李易叡、許志豪、鄭錦桐**等人，於此一併申謝。

參考文獻

1. Federal Minister for Agriculture, Forestry, Environment and Water Management, (2007),
“Austrian Service for Torrent and Avalanche Control” .
2. Francesco Gentile , Tiziana Bisantino and Giuliana Trisorio Liuzzi, (2008), “Debris-flow
risk analysis in south Gargano watersheds(Southern-Italy)” , Natural Hazards, 44(1), 1-17.
3. Federal Office for Spatial Development, Federal Office for Water and Geology, Swiss
Agency for the Environment, Forests, and Landscape, (2006), “Recommendation Spatial
Planning and Natural Hazard” .
4. Hanks, T. C., and R. H. Webb (2006), Effects of tributary debris on the longitudinal profile of
the Colorado River in Grand Canyon, J. Geophysical Research, 111, F02020,
doi:10.1029/2004JF000257.
5. Johnson, A.M., and Rodine, J.R. (1984), Debris flow, in Brunsdan, D., and Prior,
D.B.(editors), “Slope instability” : New York, John Wiley and Sons, 257-361.
6. Kazuo Okunishi and Hiroshi Suwa, (2001), “Assessment of Debris-Flow Hazards of
Alluvial Fans” , , Natural Hazards, 23(2-3), 259-269.

7. Marcel Hürlimann, Ramon Copons, and Joan Altimir, (2006), “Detailed debris flow hazard assessment in Andorra: A multidisciplinary approach” *Geomorphology*, 78(3-4), 359-372.
8. Magirl, C. S., R. H. Webb, and P. G. Griffiths (2005), Changes in the water surface profile of the Colorado River in Grand Canyon, Arizona, between 1923 and 2000, *Water Resources Research*, 41, W05021, doi:10.1029/2003WR002519.
9. Staley, D.M., Wascklewicz, T. A., Blaszczyński, J.S. (2006). “Surficial patterns of debris-flow deposition on alluvial fans in Death Valley, CA, using airborne laser SWATH mapping data, *Geomorphology*, 74 (1-4),152-163.
10. Stirling, S. and Slaymaker, O. (2006). “Lithologic control of debris-torrent occurrence” . *Geomorphology*, 86 (3-4), 307-319.
11. Rowbotham, D., de Scally, F. and Louis, J. (2005). “The identification of debris torrent basins using morphometric measures derived within a GIS” , *Geografiska Annaler*, 87A (4): 527-537.
12. Yanites, B. J., R. H. Webb, P. G. Griffiths, and C. S. Magirl (2006), Debris flow deposition and reworking by the Colorado River in Grand Canyon, Arizona, *Water Resources Research*, 42, W11411, doi:10.1029/2005WR004847.
13. 經濟部中央地質調查所(2006^a)，「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫—坡地環境地質災害調查研究」，經濟部中央地質調查所委託。
14. 經濟部中央地質調查所(2006^b)，「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫—坡地岩體工程特性調查研究」，經濟部中央地質調查所委託。
15. 經濟部中央地質調查所(2009^a)，「高山聚落地區地質災害基本調查(3/4) 」，經濟部中央地質調查所委託。
16. 經濟部中央地質調查所(2009^b)，「98 年度地質災害敏感區災害潛勢評估與監測計畫項下：土石流地質災害敏感區劃設之先期規劃研究(2/2)」，經濟部中央地質調查所委託。

17. 農委會水土保持局(2008)，「97 年土石流潛勢地區易致災因子調查與危害頻率分析」，農委會水土保持局委託。
18. 農委會水土保持局(2010^a)，「98 年莫拉克颱風後土石流潛勢地區易致災因子調查」，農委會水土保持局委託。
19. 農委會水土保持局(2010^b)，「99 年莫拉克災區山坡地聚落安全調查」，農委會水土保持局委託。
20. 潘國樑(2007)，「工程地質通論」，五南文化事業出版。
21. 潘國樑、沈哲緯、鄭錦桐、冀樹勇(2011)，「遙測影像判釋手冊-實務操作工具書」，財團法人中興工程顧問社印製。

圖表目錄

表 1 土石流地質災害敏感區現地調查表(以嘉義縣大埔鄉西興村敏感區編號 95193003H05003 為例)

圖 1 分析區域與環境地質圖產製時間(地調所，2006^a)

圖 2 新增土石流潛勢溪流建議清單分析流程

圖 3 保全對象空間分布圖

圖 4 新增土石流潛勢溪流建議清單判定操作示意圖

圖 5 新增與持續觀察土石流潛勢溪流建議清單空間分布圖

圖 6 土石流地質災害敏感區現地調查流程

圖 7 土石流地形分區示意圖(改繪自地調所，2006^a)

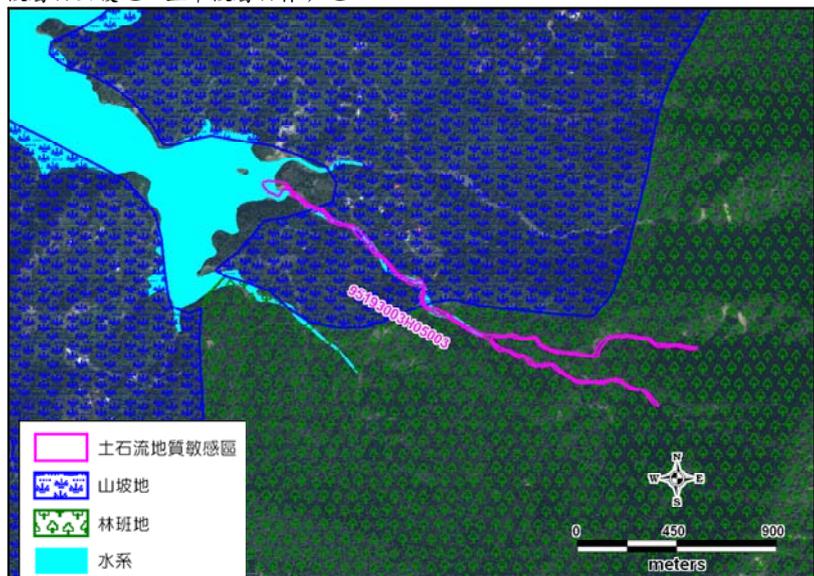
圖 8 土石流地形分區成果圖(以嘉義縣大埔鄉西興村為例)

圖 9 岩性分布圖(以嘉義縣大埔鄉西興村為例)

圖 10 土石流地質敏感區易致災因子現地調查照片(以嘉義縣大埔鄉西興村為例)

表 1 土石流地質災害敏感區現地調查結果
(以嘉義縣大埔鄉西興村敏感區編號 95193003H05003 為例)

河川管轄	<input checked="" type="checkbox"/> 中央管河川 <input type="checkbox"/> 縣管河川		水系名稱	曾文溪
主要河川名稱	中心崙坑		主河川支流名稱	無名溪
林班地或山坡地	<input checked="" type="checkbox"/> A.林班地 _____ 號 <input checked="" type="checkbox"/> B.山坡地 溪流下游處屬於山坡地，上游處則屬於林班地		集水區內環境地質災害區影響面積	A.岩屑崩滑 28.08 公頃 B.岩體滑動 0 公頃 C.落石 0 公頃 D.順向坡 1.90 公頃
溪床寬度	發生區	<input type="checkbox"/> A.<2m <input type="checkbox"/> B.2-5m <input type="checkbox"/> C.5-10m <input checked="" type="checkbox"/> D.10-20m <input type="checkbox"/> E.>20m		
	流動區	<input type="checkbox"/> A.<2m <input type="checkbox"/> B.2-5m <input type="checkbox"/> C.5-10m <input checked="" type="checkbox"/> D.10-20m <input type="checkbox"/> E.>20m		
	堆積區	<input type="checkbox"/> A.<2m <input type="checkbox"/> B.2-5m <input checked="" type="checkbox"/> C.5-10m <input type="checkbox"/> D.10-20m <input type="checkbox"/> E.>20m		
溪床坡度	發生區	<input type="checkbox"/> A.<5度 <input type="checkbox"/> B.5-10度 <input type="checkbox"/> C.11-15度 <input type="checkbox"/> D.16-20度 <input checked="" type="checkbox"/> E.21-30度 <input type="checkbox"/> F.>30度		
	流動區	<input type="checkbox"/> A.<5度 <input checked="" type="checkbox"/> B.5-10度 <input type="checkbox"/> C.11-15度 <input type="checkbox"/> D.16-20度 <input type="checkbox"/> E.21-30度 <input type="checkbox"/> F.>30度		
	堆積區	<input type="checkbox"/> A.<5度 <input checked="" type="checkbox"/> B.5-10度 <input type="checkbox"/> C.11-15度 <input type="checkbox"/> D.16-20度 <input type="checkbox"/> E.21-30度 <input type="checkbox"/> F.>30度		
植生長狀況	發生區	<input type="checkbox"/> A.裸岩 <input type="checkbox"/> B.落石堆積 <input type="checkbox"/> C.植被稀疏 <input checked="" type="checkbox"/> D.植被中等稀疏 <input type="checkbox"/> E.植被密集		
	流動區	<input type="checkbox"/> A.裸岩 <input type="checkbox"/> B.落石堆積 <input type="checkbox"/> C.植被稀疏 <input checked="" type="checkbox"/> D.植被中等稀疏 <input type="checkbox"/> E.植被密集		
土石流深度推估	<input type="checkbox"/> A.<5m <input checked="" type="checkbox"/> B.5-10m <input type="checkbox"/> C.11-15m <input type="checkbox"/> D.16-20m <input type="checkbox"/> E.21-30m <input type="checkbox"/> F.現場資訊無法研判			
溢流點位置	<input type="checkbox"/> A.無 <input type="checkbox"/> B.坡度陡變處 <input type="checkbox"/> C.地形開闊處起點 <input type="checkbox"/> D.谷口 <input type="checkbox"/> E.障礙物處 <input checked="" type="checkbox"/> F.河道轉彎處 <input type="checkbox"/> G.其他位置 _____			
土石流陣流性	<input checked="" type="checkbox"/> A.有鼻頭 <input type="checkbox"/> B.無鼻頭			
土石流起高性	<input checked="" type="checkbox"/> A.中高側低 <input type="checkbox"/> B.高於河岸 <input type="checkbox"/> C.高於橋梁淨空 <input type="checkbox"/> D.兩岸溢流 <input type="checkbox"/> E.兩岸有自然堤			
土石粒徑分布推估	最大粒徑	<input type="checkbox"/> A.<25cm <input type="checkbox"/> B.25cm-2m <input type="checkbox"/> C.2-5m <input checked="" type="checkbox"/> D.>5m		
	塊石、礫石含量	<input type="checkbox"/> A.<30% <input type="checkbox"/> B.30-50% <input checked="" type="checkbox"/> C.51-70% <input type="checkbox"/> D.>70%		
	泥砂含量	<input type="checkbox"/> A.<10% <input type="checkbox"/> B.10-20% <input checked="" type="checkbox"/> C.21-30% <input type="checkbox"/> D.>30%		
	巨礫來源	岩性名稱： <u>砂頁岩互層</u>		
水流狀況	<input checked="" type="checkbox"/> A.常年有水 <input type="checkbox"/> B.乾季無水			
堆積區產生	<input checked="" type="checkbox"/> A.有 <input type="checkbox"/> B.無	堆積區面積	_____ 0.5 _____ 公頃	
堆積區水流數	<input checked="" type="checkbox"/> A.1條 <input type="checkbox"/> B.2-3條 <input type="checkbox"/> C.4-5條 <input type="checkbox"/> D.網狀(>5條)			
堆積區土地利用	<input type="checkbox"/> A.農墾 <input type="checkbox"/> B.聚落(<input type="checkbox"/> 學校 <input type="checkbox"/> 醫院 <input type="checkbox"/> 工廠 <input type="checkbox"/> 地方信仰中心 <input type="checkbox"/> 農舍或倉庫 <input type="checkbox"/> 活動中心 <input type="checkbox"/> 其他公共建物 _____) <input type="checkbox"/> C.林地 <input type="checkbox"/> D.荒地 <input type="checkbox"/> E.墓地 <input checked="" type="checkbox"/> F.其他 <u>曾文水庫</u>			
其他描述	1. 流動段中遺留許多粒徑大於2m的土石，防汛期間應嚴防豪雨誘發土石流。 2. 流動段沿河道兩側有多處土石沖刷及零星崩塌。 3. 流動段下半段屬於山坡地，上半段屬於林班地			



註：現地調查表制訂參考水保局，2008；地調所，2006^a

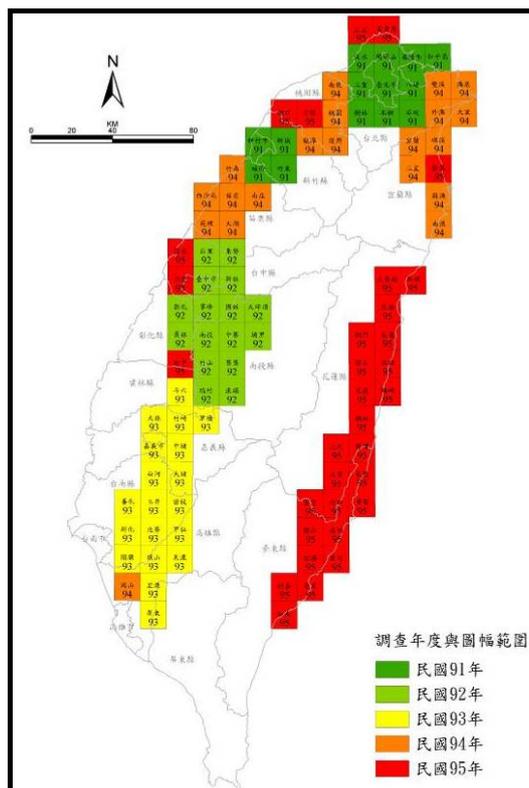


圖 1 分析區域與環境地質圖產製時間(摘自地調所，2006^a)

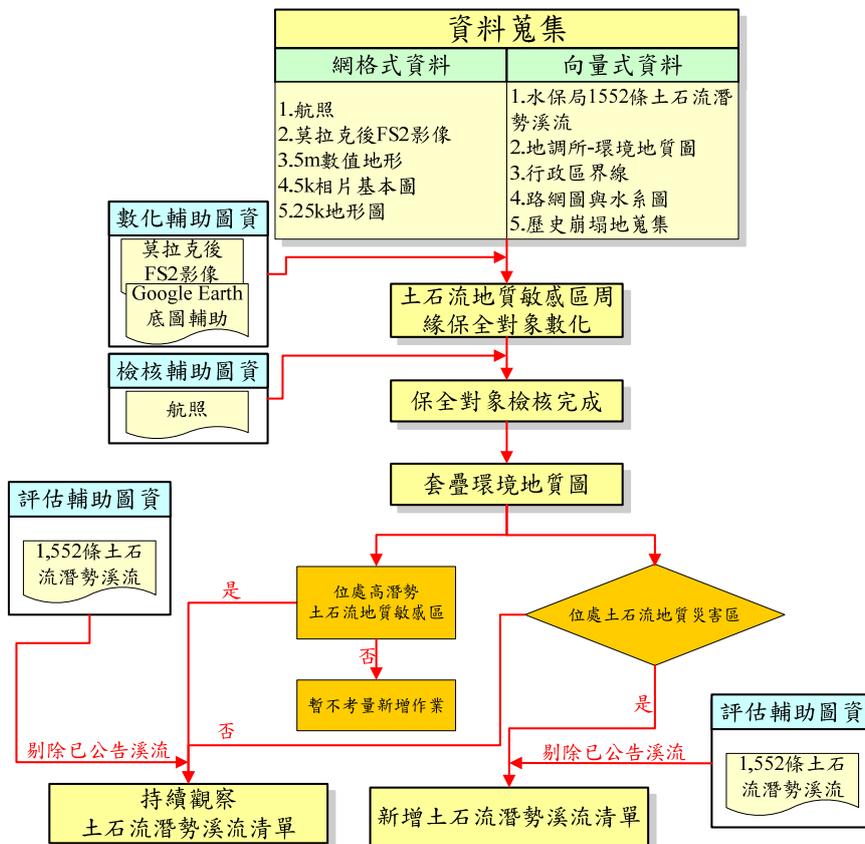


圖 2 新增土石流潛勢溪流建議清單分析流程

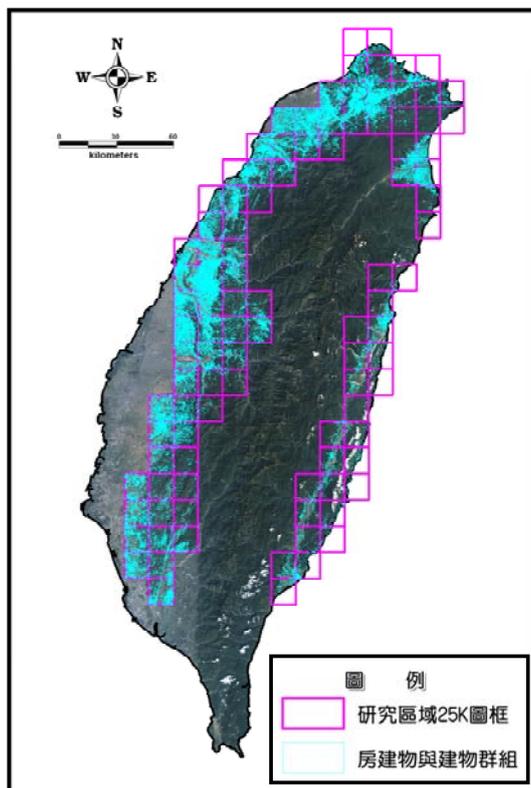


圖 3 保全對象空間分布圖

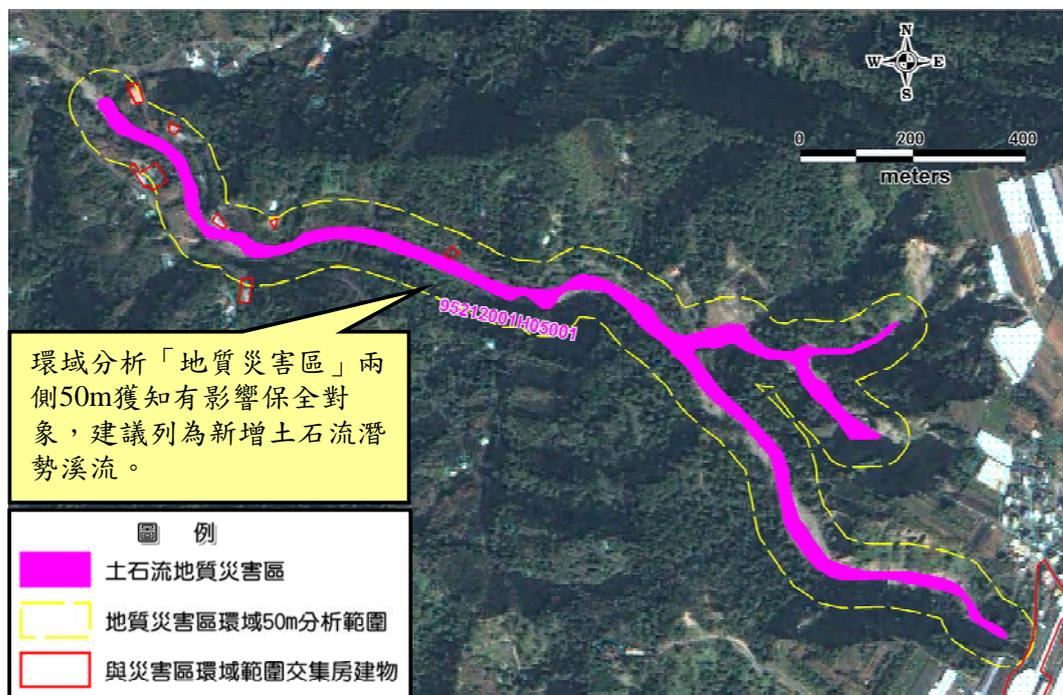
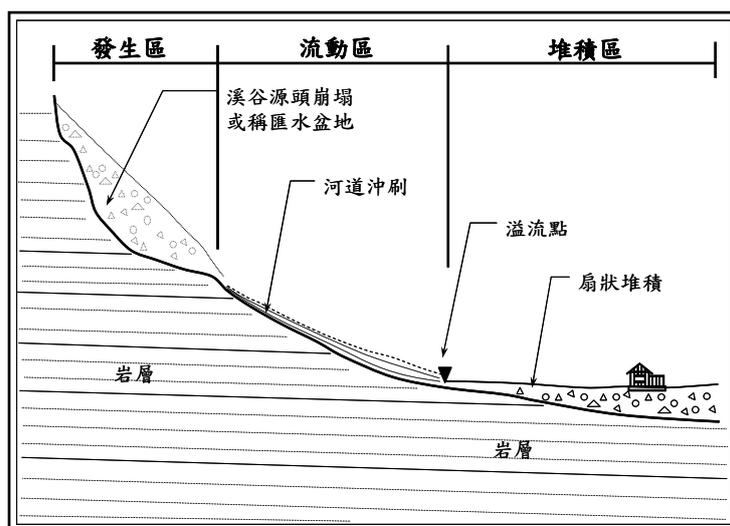
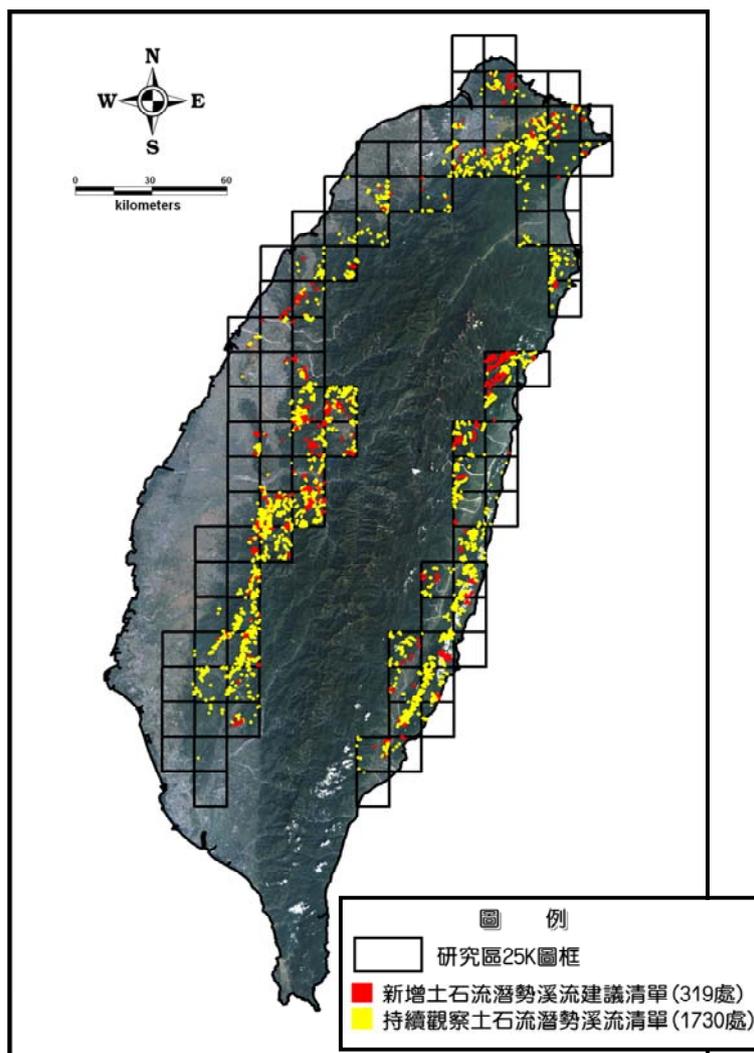


圖 4 新增土石流潛勢溪流建議清單判定操作示意圖



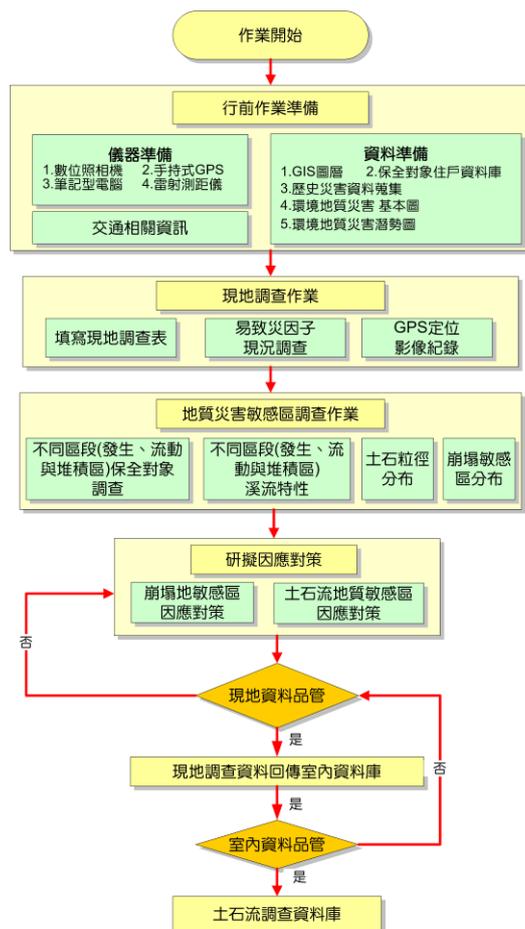
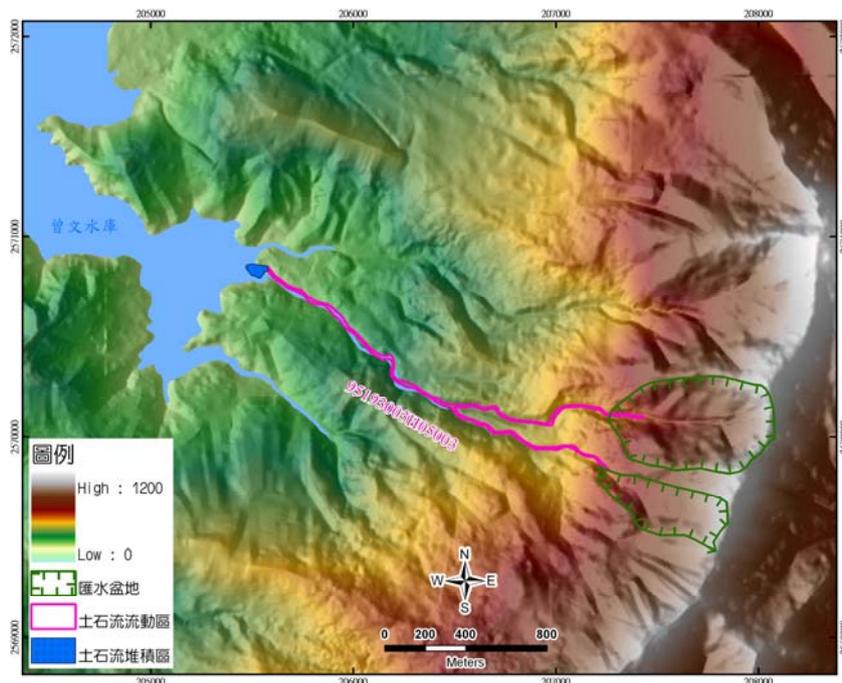
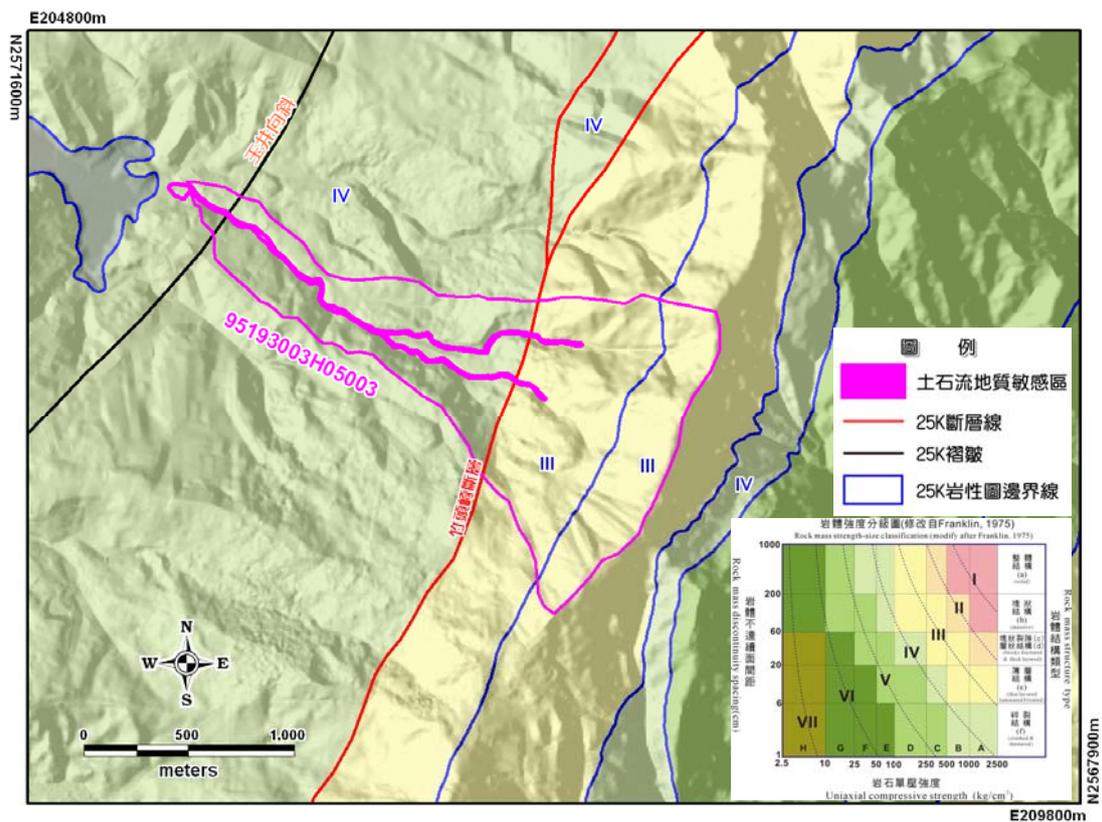


圖 7 土石流地質災害敏感區現地調查流程



註：流動區與堆積區為地調所(2006)「坡地環境地質基本圖」土石流地質災害敏感區成果。

圖 8 土石流地形分區成果圖(嘉義縣大埔鄉西興村敏感區編號 95193003H05003 為例)



註：1/25,000 岩性與構造線圖層，改繪自地調所(2006^a) 「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫-坡地岩體工程特性調查研究」中岩性組合圖成果。

圖 9 岩性分布圖(以嘉義縣大埔鄉西興村敏感區編號 95193003H05003 為例)



圖 10 土石流地質敏感區易致災因子現地調查照片
(以嘉義縣大埔鄉西興村敏感區編號 95193003H05003 為例)