

山坡地社區災害防制技術之研究

Study on Geo-hazard Mitigation for Hillside Resident Communities

主管單位：內政部建築研究所

冀樹勇

高憲彰

林彥享

Chi, Shue-yeong

Kao, Hsein-Chang

Lin, Yen-Hsiang

中興工程顧問社大地工程研究中心

許秋玲

Hsu, Chiu-Ling

台灣營建研究院

摘要

本文以遙測及地理資訊系統技術為核心，整合專家評估、資料庫、全球定位系統，建立一套適合於台灣之山坡地社區安全管理評估方法，其中亦參考我國現行之建築管理相關法令、規範以及實際作業方法。藉由遙測（RS）、地理資訊系統（GIS）及全球定位系統（GPS）的3S技術，建立坡地社區安全評估方法，除了對社區內發生危害可能性較高的區域提出警告與建議，亦可做為主管機關對於坡地社區進行土地管理與災害防制策略之研擬，並可提供給社區民眾直接的防災資訊。經測試結果顯示，由遙測及GIS技術所判釋的環境地質敏感區與可能發生災害區域之間具有頗高的關連性，故本研究採行的方法對於坡地社區的安全評估具有其參考價值。

關鍵詞：坡地社區、安全評估、遙測技術

Abstract

The aim of this study is to establish a safety evaluation procedure suitable for hillside resident communities in Taiwan, with RS and GIS technique as core, combining expert evaluation, data base, GPS system. The study also refers to current building code, related regulations and operation methods. The hillside community safety evaluation procedure, utilizing RS, GIS and GPS technique, is possible to warn and make suggestions to the dangerous area in the community, and can provide officials the information about hillside communities land management and disaster prevention studies, and also the disaster prevention information to the communities. The testing result indicates that the geology sensitive area which interpreted from RS and GIS technique were related to the possible hazard zone, which means the study holds its value.

Keywords : Hillside residential communities, Safety assessment, Remote Sensing

一、前言

山坡地佔台灣全島面積約 74%，可供開發之居住平地甚少，故坡地利用在所難免，再加上位處易受地震、颱風、豪雨侵襲之天然災害地區，故地質條件普遍不佳。自民國七十年代以後，大規模山坡地社區開發案陸續出現，在當時對於山坡地安全知識了解程度有限的情況下，有許多山坡地社區於當初規劃、設計、施工時對於其週遭的環境地質條件並未考慮周詳，且相關的法令執行亦未妥善，可能造成坡地社區住宅位於風險之中而不自知。故每逢颱風或豪雨時，各種山崩或土石流災害發生頻繁，進而提高坡地社區的風險性。惟台灣具有潛在安全疑慮的坡地社區甚多，若完全仰賴專業人員以現地調查方式對所有社區進行安全性評估，其成果雖然最為確實，但在時間及人力上均會付出相當大的成本，亦無法在短時間內完成大區域之安全評估，特別是颱風、地震或豪雨事件過後，如何在短時間內迅速有效地篩選出風險較大的社區作進一步之追蹤調查，使用最精簡的人力及經費下將坡地災害風險降至最低，實有其必要性。此外，內政部營建署於 86 年制定「山坡地住宅社區安全檢查記錄表」提供給主管單位委請專業人士針對坡地社區進行安全體檢，其評估結果將社區安全分類為 A、B、C 三級，並送各地方政府備案追蹤列管。此方法的立意雖然良好，但可能造成社區內因單一危險地點而將整體社區歸類為危險社區(所謂 A 級社區)，亦無法鑑別出坡地社區內部的危險程度。較完善之作法應針對社區內之可能致災地點加以評估後再進行追蹤列管，如此對於社區之整體印象衝擊較小且對社區住戶較為公平。

基於以上理由以及近年拜高精度遙測與 GIS 分析技術進步之賜，以往對於遙測影像與 GIS 技術所需高規格的電腦性能與大量儲存空間資料庫等資源，現在均能在個人電腦上輕易完成。故以遙測科技與 GIS 技術進行坡地社區之安全評估，應屬較為經濟的可行方法。其中遙測技術(Remote Sensing)可於短時間內進行廣泛區域的環境地質災害偵測，若搭配環境地質潛在災害相關資訊(如斷層帶、崩塌地、土石流等資訊)數化後進入地理資訊系統(GIS)，再輔以 5m×5m 數值地形資料為基礎進行各種環境地質災害潛在因子分析，可初步鑑別並劃定坡地社區之環境地質災害潛勢敏感區域，最後再藉由專業人員攜帶 GPS 進行現勘工作而將社區內具有災害潛勢的區域予以定位，並依專業觀點針對社區之災害潛勢區域加以篩選並提出因應對策。依此構想所建立之坡地社區安全評估方法，除了可提供主管機關對坡地社區進行土地管理與災害防制之初步策略研擬，亦可提供給社區民眾直接的防災資訊，如此可將資源做最有效之運用。

二、坡地社區環境地質災害類型及遙測影像判釋依據

與山坡地有關的環境地質災害類型有落石、岩屑崩滑、岩體滑動、土石流、順向坡、回填土區、河岸侵蝕、向源侵蝕等。這些災害將對坡地社區之建築物或工程設施造成直接的危險，而有時候災害發生於距離社區較遠之處，但由於可以運動的方式進而影響到社區所在位置，如土石流即為一例。所以在進行環境地質災害判釋時，不能只注意到社區本身，應將足以影響到社區的環境地質災害現象都應列入，而其影響的距離及範圍也應加以鑑別。本研究參考中央地質調查所「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建

置計畫」，將各項與坡地社區有關之環境地質災害類型透過衛星影像、航空照片立體像對、數值地形等過程加以判釋。

參考建築技術規則及水土保持技術規範等法規所規定的五級坡(坡度約 30 度以上)之陡坡區域以 5m×5m 數值地形資料加以萃取，再搭配 GIS 地質資料庫等資訊而增加陡坡區、地質構造弱帶等判釋因子共組成十項環境地質災害敏感區類型。茲將各類型環境地質災害敏感區的遙測判釋原則整理如表 1，以做為坡地社區環境地質災害敏感區的主要判釋項目。

表 1 環境地質災害敏感區遙測判釋作業要點

環境地質災害類型	遙測判釋作業要點
落石	平均坡度 55 度以上之陡峭崖坡+塊狀岩層資料+裸露坡面及錐形堆積地形面。
岩屑崩滑	平均坡度在 55 度以下+坡面淺凹槽狀+長條型裸露區域+下方坡度平緩且具有崩塌堆積之特徵。
岩體滑動	馬蹄狀陡崖+崖坡上緣弧狀裂縫+畚箕狀凹陷地形+滑動體上段下陷地形、中段緩坡狀、下段隆起地形。
土石流	集水區崩塌地+下游的溪溝顯現出光亮+山溝或溪谷之谷口地區扇狀地形
順向坡	單面山、豚背脊等地形特徵+地層位態+坡度坡向數值地形資訊
回填土區	不協調地形及等高線變化+環境地質圖
河岸侵蝕	河流轉彎處外側之河岸攻擊坡+軟弱岩層如頁岩與泥岩或膠結極差之現代堆積物出露。
向源侵蝕	上游湯匙狀的凹坡地形特徵+溪谷源頭具有長條狀亮白蝕溝
陡坡	坡度 > 30 度
地質構造弱帶	區域地質圖+環境地質圖

三、運用遙測影像與 GIS 技術進行坡地社區安全評估之執行概念

運用遙測技術進行坡地社區安全評估的概念主要為不同尺度的室內判釋工作，此項工作須利用遙測技術的網格式資料及向量式資料。所謂網格式資料 (raster data) 包含衛星影像、航空照片、數值地形等；而向量式資料 (vector data) 則以點、線、面的方式展示地表的地理現象，如道路圖、行政區域圖、水系圖等即屬於此種資料格式。網格式及向量式資料備齊之後再運用 GIS 工具進行各種屬性的圖層套疊以輔助分析及環境地質災害的判釋工作。由於各式遙測資料之解析度、成本與資料空間涵蓋面不同，故原則上探討判釋廣域的環境地質災害問題以衛星影像為主，其解析度雖然較低，但建構資料所需的成本亦較低，且影像重複取得之時間間隔短。若比例尺拉近至探討判釋坡地社區周圍鄰近之環境地質災害問題，則以航空照片較為適宜，因為比例尺較大，解析度較高，可較確定坡地社區與環境地質敏感區之關係，進而推測社區內保全住戶之可能受災方式。運用遙測技術進行坡地社區環境地質災害判釋及安全評估的範圍概念如圖 1 所示。首先以衛星影像判釋坡地社區之廣域範圍及鄰近集水區之整體環境地質災害；其次對於

坡地社區周緣約 1.5 公里範圍內，則採用正射航空照片以及航照立體像對等方法進行環境地質災害判釋；最後對於坡地社區 150 公尺範圍內的細部工程設施則採用現地調查方式，其目的除了檢核衛星影像與航空照片對於社區環境地質災害判釋成果外，亦可建立坡地社區房建物與環境地質災害敏感區之空間關係，進而評估住戶可能受影響的程度、範圍，並提出因應對策供主管機關後續追蹤管理之用。操作執行程序如圖 2 所示。

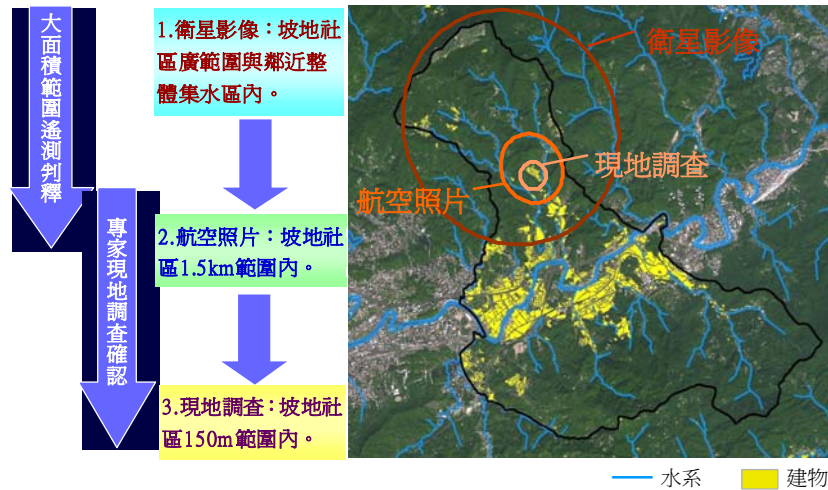


圖 1 遙測技術進行坡地社區環境地質災害判釋之安全評估適用範圍概念圖

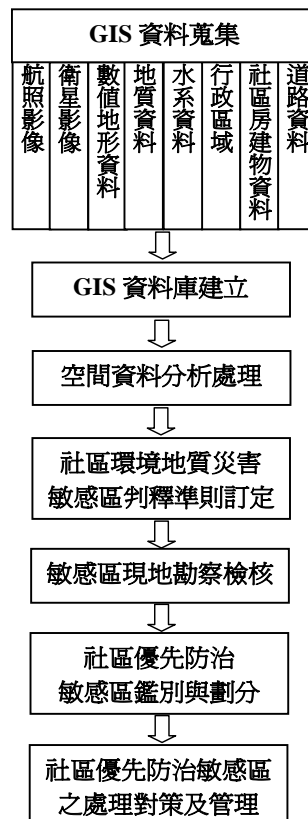


圖 2 遙測技術進行坡地社區安全評估之操作執行程序

3-1 環境地質敏感區之分析

將各類環境地質資料數化建檔至 GIS 資料庫，經處理分析判釋後定出環境地質災害敏感區範圍，再透過 GIS 系統套疊數化好之社區房建物圖層(保全對象)，所得成果即為坡地社區房建物與環境地質敏感區之空間分布關係。如此可掌握坡地社區環境地質災害之關鍵問題，進而提升後續現地調查之效率。有關坡地社區環境地質敏感區的劃分處理過程原則如下：

1. 以 5m×5m 數值地形處理後的坡度圖層為基礎再依據水土保持技術規範之坡度分級原則，進而圈劃出坡度 30 度以上(55%)六級坡之陡坡區域。
2. 由坡度、坡向、地層位態等 GIS 圖資分析順向坡滑動敏感區及其對社區之影響範圍。
3. 由地形、水系、排水流向等 GIS 圖資鑑別出社區低窪易淹水災害敏感區。
4. 以航照立體對更精確的判釋出社區內外之岩屑崩滑區、回填土區、順向坡區、落石、岩體滑動等致災敏感區域。
5. 社區災害歷史紀錄位置標定建檔。

根據 1~5 項的篩選定出可能影響坡地社區之主要「環境地質敏感區域」，於現勘時可針對這些環境地質敏感區進行查核工作，以能進一步定出「社區優先防制敏感區」。

3-2 社區優先防治敏感區之選擇

整體坡地社區經由遙測判釋與 GIS 圖資分析後所得之社區環境地質敏感區乃初步挑選的可能危險區域，此項成果可精簡現地勘察的地點及時間，但仍需藉由進一步的篩選機制來決定坡地社區哪些區域會有較高的致災風險，此階段需要專業人員搭配適合的篩選機制來進行選擇工作。由於坡地社區常藉由各種擋土設施進行填土來增加土地的利用空間，因此擋土設施之人工邊坡與社區安全息息相關，而不適當的擋土設施亦具有較高的致災機率。經參考建築技術規則與水土保持技術規範等相關規定與建議、以及實務運作之經驗，擬定出不同類型擋土設施之危險程度來決定是否有高致災風險的條件標準，進而定出「社區優先防制敏感區」的判斷依據。主管機關可針對「優先防制敏感區」研擬後續之管理方法並提出因應對策。「社區優先防制敏感區」的判斷條件如下。

1. 社區實際發生災害區且未能證明現況為穩定者。
2. 擋土設施結構明顯缺陷(如位移、裂縫、排水孔不足等)。
3. 地下水滲水量較大但排水功能不佳之邊坡。
4. 混凝土重力式擋土牆單階牆身過高(以 6m 為參考基準)。
5. 懸臂式 RC 擋土牆單階牆身過高(以 8m 為參考基準)。
6. 加勁式擋土牆單階牆身過高(以 8m 為參考基準)。
7. 格床式擋土牆單階牆身過高(以 6m 為參考基準)。
8. 蛇籠式擋土牆單階牆身過高(以 4m 為參考基準)。
9. 坡度超過 60° 之陡峭邊坡，位於坡底及坡頂二倍坡高範圍內之建物為敏感區域。
10. 現場確認為廢土或回填土區且區域排水系統不佳。

11. 順向坡地層傾角大於 20 度且有自由端出露，社區建物在滑動面透空處起算之滑動波及範圍內且無適當擋土設施者。
12. 河岸侵蝕或向源侵蝕掏刷坡址而有危及坡頂社區安全者。

四、坡地社區案例研究

本研究總共測試了台北縣境內五處坡地社區進行案例研究，以下舉其中某一社區(代號丁社區)執行測試結果說明如下。

4-1 社區概況

丁社區由於被社區主要道路分為東、西兩個部分，其中西半部的地勢較高、東半部的地勢較低，社區整體地勢由西向東傾斜。社區開發面積約為 8.5 公頃，建築型式為四層樓以下的別墅型獨棟或連棟建物，住戶共約 150 戶，社區航照影像如圖 4。

4-2 地質地形概況

丁社區所在地質屬於中新世五指山層，岩性以砂頁岩互層為主，社區附近無斷層褶皺等特殊地質構造弱帶通過。地層位態分布為 N54E/12S、N76E/10S、N21E/15S、N70W/14S 及近似於水平之地層，概略來說地層走向以東北/西南方向、傾向往南的地層為主，部分走向變為西北/東南向、傾向往南。社區地形坡向向東、坡度多在 30 度以下(屬於五級坡以下)，但有少數地點因社區開發填土整地及原始地形等因素而使坡度達 40 度以上(屬於六、七級坡)，屬於六、七級坡的區域大多在西半部社區的南北側邊緣。與一般數值地形圖資不同的是，本計畫採用精細度更高的 5m×5m 數值地形網格作為分析的基本資料，以符合坡地社區較高比例尺精度的需求，並反應出社區內更細緻的高程變化，進而協助遙測判釋工作精度的提升。經由 5m×5m 數值地形處理後的坡地社區環境地質圖資、地形起伏、坡向、坡度等圖資展現(如圖 3~圖 6)。這些圖資均可與 GIS 系統之房建物圖層進行套疊，以了解社區房建物所處環境的高程差，亦可與環境地質資訊合併處理以分析社區範圍是否有順向坡、落石、填土區滑動等可能致災之敏感區域。

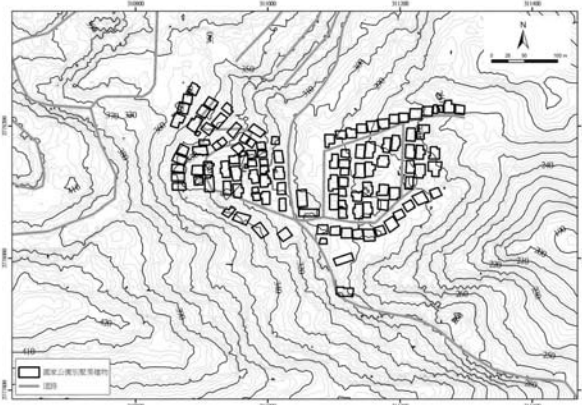


圖 3 社區數值地形等高線圖



圖 4 社區區域地質圖

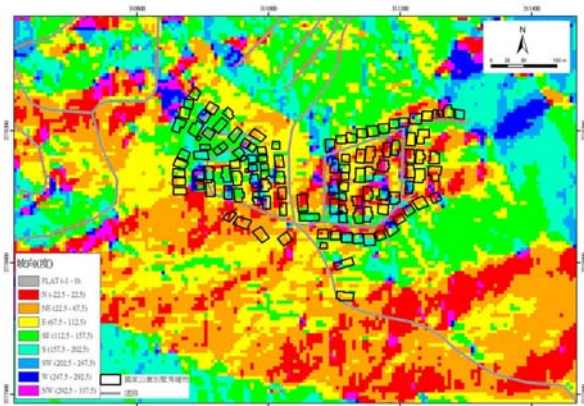


圖 5 社區坡向分布圖

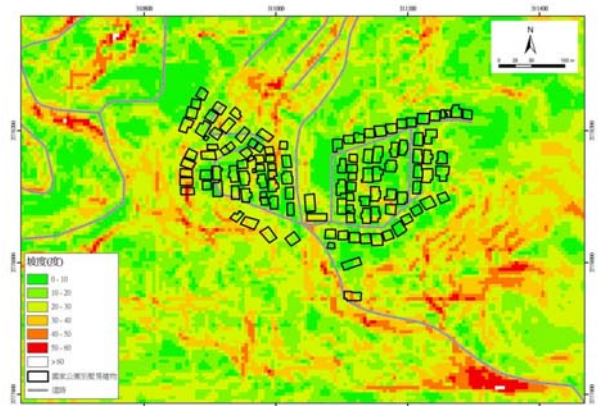


圖 6 社區坡度分布圖

4-3 環境地質敏感區遙測判釋結果

經由衛星影像、航空照片、5m×5m 數值地形等資料處理後再套疊環境地質與社區房建物等 GIS 圖資，可判釋並圈劃出影響坡地社區之環境地質潛勢災害敏感區，其判釋結果整理如表 2，各環境地質潛勢災害敏感區與社區交疊的空間分布情形如圖 7 所示。至此階段即可執行進一步的社區現地勘查工作以能更精確的定出坡地社區可能致災的區域。

表 2 「丁」坡地社區環境地質敏感區判釋結果表

環境地質敏感區類	有	無
舊崩塌地		✓
土石流潛勢溪流	✓	
河岸侵蝕	✓	
向源侵蝕	✓	
順向坡	✓	
岩屑崩滑	✓	
岩體滑動		✓
落石		✓
回填土區	✓	
地質構造帶		✓
坡度>30 度陡坡	✓	



圖 7 丁社區環境地質敏感區判釋結果分布圖

4-4 社區現地勘查

依據前述之環境地質敏感區進行社區現地勘查工作，若發現有非預先判釋之敏感區也將一併進行調查與紀錄。社區現地勘查檢核重點項目如下(1)至(5)項，丁社區現地勘查位置分布如圖 8 所示。

1. 社區歷史災害地點檢核。
2. 預先判釋之環境地質敏感區檢核。
3. 地形特別陡峭處檢核。
4. 非適當型式之過高擋土構造物檢核。
5. 擋土結構、護坡、排水等工程設施缺陷檢核。



圖 8 丁社區現地勘查位置分布圖

4-5 社區優先防制敏感區之決定

依據 3-2 節「社區優先防制敏感區」之篩選條件，於現地勘查時詳加觀察與核對。經由專業判斷篩選後，丁社區之優先防制敏感區分布情形如圖 9 所示，社區內外各處之優先防制敏感區的可能致災危險條件、影響戶數及範圍、以及後續之建議處理對策如表 3 之說明。

表 3 丁社區各處優先防制敏感區說明表

現勘編號	所在位置	可能致災危險條件說明	影響戶數及範圍	處理對策與建議
1	社區東北端邊緣緊鄰土石流潛勢溪流之住戶。	1. 河道轉彎攻擊岸侵蝕區，水流力量容易使住戶下方的河道護岸受損並且掏空房屋基礎。河道狹窄，豪雨時河水可能溢流。 2. 河岸陡峭。	影響社區住戶約 3 戶。	1. 河道護岸結構加強。 2. 緊鄰河道之社區住戶須注意豪雨時河水溢流。
2	社區北側邊緣位於土石流潛勢溪流之坡頂住戶。	1. 住戶位於陡坡坡頂兩倍坡高範圍內。 2. 邊坡高聳陡峭、坡底即為土石流潛勢溪流河道。 3. 無法確認高聳陡坡是否裝設地錨，故坡體的穩定性有待檢核。	影響坡頂住戶約 3 戶。	1. 須請專業技師勘查此陡坡是否穩定。
3	社區道路旁陡坡及坡頂住戶。	1. 漿砌卵礫石重力式擋土牆身過高(>6m)，較不適合此高陡邊坡。 2. 建物位於坡頂兩倍坡高範圍內。 3. 坡體地下水充足。	影響坡頂住戶約 3 戶。	1. 加強排水。 2. 請專業技師勘查此邊坡是否穩定。
4	社區道路旁陡坡之礫石擋土牆與 RC 懸臂式擋土牆交界處。	1. 漿砌卵礫石重力式擋土牆身過高(>6m)承受土壓及水壓不足。 2. 建物位於坡頂兩倍坡高範圍內。 3. 坡體地下水充足。	影響坡頂住戶約 2 戶。	1. 請專業技師勘查此邊坡後續是否穩定。
5	社區原游泳池填土區	1. 坡底住戶與擋土牆距離過近，位於坡底六倍坡高範圍內。 2. 擋土牆能否承受大量的回填土壓。	影響坡底住戶約 8 戶。	1. 裝設擋土牆傾度盤。
8	社區南側邊緣陡坡	1. 為潛在之順向坡及岩屑崩滑區。 2. 建物位於坡頂兩倍坡高範圍內。 3. 目前無邊坡保護措施。	影響社區坡頂住戶約 6 戶。	1. 請專業技師勘查此邊坡是否穩定。

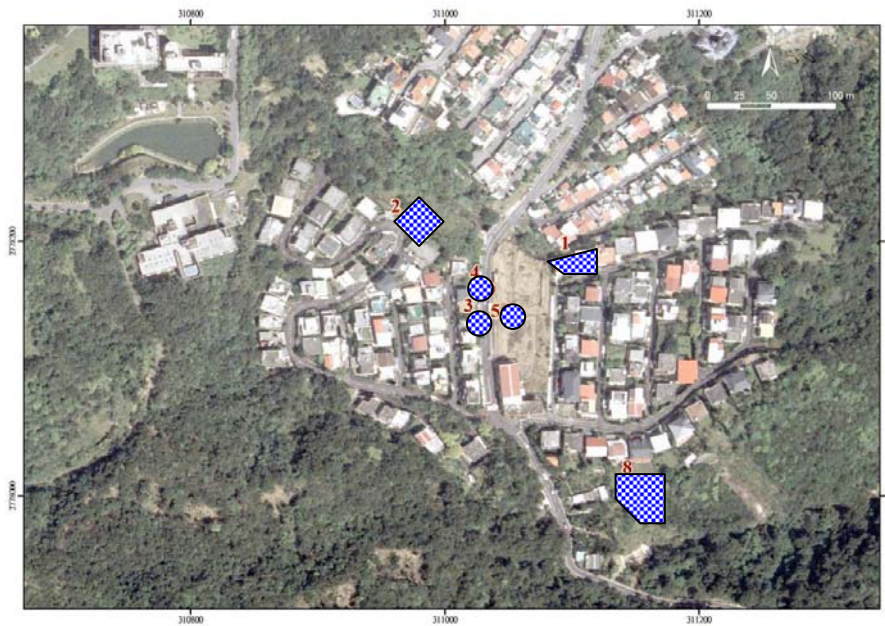


圖 9 丁社區優先防制敏感區範圍空間分布圖

經勘查後，丁社區之優先防治敏感區現況情形舉例如圖 10(a)、(b)所示，其中圖 10(a)所對應的位置為圖 9 之現勘位置點 2，而圖 10(b)所對應的位置為圖 9 之現勘位置點 4。在此說明，經由判釋鑑別出的社區環境地質敏感區，以及進一步現勘篩選後所得之社區優先防治敏感區，經專業建議所關注的不適當擋土牆型式及排水條件不佳地點之一(即現勘位置點 4 的地方)，不巧於颱風過後即發生坡址過高之漿砌卵石擋土牆崩塌的事故，其災害情形如圖 10(c)，而圖 10(b)即為崩塌前之狀況。藉由此項訊息之提醒，建議主管單位應持續注意坡地社區之安全狀況，以達到災害預防之功能。

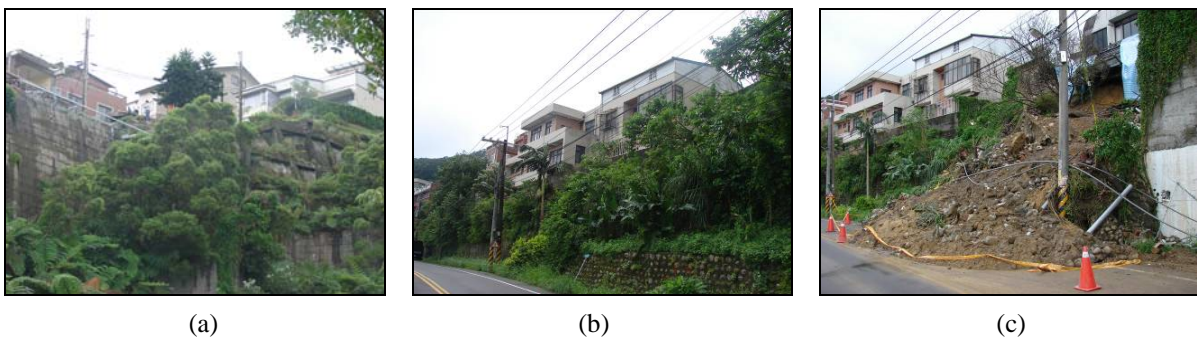


圖 10 社區優先防治敏感區現況照片

將社區環境地質敏感區判釋結果與實際發生歷史災害的地點互相比較，可評估採用此方法對於鑑別出坡地社區環境地質敏感區的可靠性如何。其可靠性的評估以判釋正確率來代表，即社區發生災害之位置是否被涵蓋於判釋出社區環境地質敏感區之內；若是，即將環境地質敏感區判釋地點與社區歷史災害地點正確數量(表 4 中 C 欄之值)除以社區發生災害地點數量(表 4 中 B 欄之值)，以此比值代表為判釋之正確率。經實際操

作五個坡地社區之環境地質敏感區標定後，赴現地查核比對社區發生災害的歷史紀錄結果，初步評判以遙測及 GIS 技術判釋出坡地社區之環境地質敏感區與實際發生災害地點的正確率達 84%。故採用本方法對於坡地社區之環境地質敏感區與可能發生災害區域之間的關連性具有某種程度的參考價值。

表 4 測試社區環境地質敏感區判釋結果與實際發生災害地點正確率比較

社區代號	A	B	C	判釋正確率 C/B (%)
	社區環境地質敏感區可判釋總數	社區發生災害地點數量	環境地質敏感區判釋地點與社區歷史災害地點正確數量	
甲社區	19	10	8	80%
乙社區	11	1	1	100%
丙社區	2	3	2	67%
丁社區	7	2	2	100%
戊社區	13	3	3	100%
總計	52	19	16	84%

五、結論

1. 藉由不同尺度的遙測技術與搭配 GIS 圖資可協助判釋出社區內外潛在環境地質致災敏感區域。以目前的坡地社區案例研究經驗顯示，社區曾經發生過災害的區位經由遙測技術判釋出的正確率可達 80% 以上，故初步認為運用遙測與 GIS 技術進行坡地社區環境地質災害敏感區域的安全評估應是可行的，但為了保守起見，仍須有更多的社區案例詳加分析以決定是否可更廣泛的推行本方法。
2. 藉由 GIS 及 RS 的室內判釋技術搭配 5m×5m 數值地形進行空間分析能針對社區進行廣域的瞭解，可預先發現重點之潛在環境地質危險區域。然而對於人工擋土構造物邊坡或棄填土區之安定狀況仍需仰賴現地調查始能精確研判。但經由此方法已可節省社區現場找尋問題的時間，對於社區全面性安全體檢效率的提升有相當的幫助。
3. 本研究所定出的社區優先防治敏感區，顯示過去紀錄為 A 級社區中大多數仍屬安全之社區，反之目前安全之坡地社區中亦可能有潛在之環境地質災害威脅。
4. 本研究所建立的坡地社區相關圖資與調查成果除了對社區內真正有問題的區域提出警告與建議，亦可做為主管機關進行坡地社區的安全管理或風險評估之基礎資料、以及研擬防災策略之參考。

參考文獻

1. 李咸亨 (1998)，山坡地建築開發管理法規之探討，山坡地建築開發技術研討會，內政部營建署，第 1-11 頁。

2. 經濟部中央地質調查所(2002),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,117頁。
3. 行政院公共工程委員會(2003),坡地開發技術之研究,財團法人臺灣營建研究院。
4. 建築技術規則,內政部營建署。
5. 水土保持技術規範,行政院農委會水土保持局。