

坡地災害風險區調適基準探討-以土地利用為例

張志新^[1] 林又青^[1*] 陳映彤^[2]

摘要 為儘早因應氣候與環境變遷對台灣山區之衝擊，本文首先針對 178 個台灣山坡地鄉鎮市區進行坡地災害風險評估，透過風險因子等比重疊加運算方式與自然斷點分級法，繪製出鄉鎮市區層級之坡地災害風險地圖，本文所採用之坡地災害風險分析因子包括以下 7 項：降雨、地文、歷史災害、崩塌率、道路密度、人口密度與人類發展，透過上述因子分析所得之坡地災害風險地圖成果，本文定義坡地災害風險等級 4 與 5 之鄉鎮市區，是台灣之坡地災害高風險地區，建議其為須優先進行風險調適之區域。並復以國土測繪中心 96 年之土地利用調查成果為分析基礎，計算各害風險區內與坡地災害相關之土地利用面積與比例，依據各風險區內土地利用分析比較成果，初步探討各坡地災害風險區內之土地使用適宜性，並建議因應氣候與環境變遷下之山坡地土地利用調適策基準，期望本文所提供之土地利用調適與防災建議，能作為考量氣候與環境變遷下之國土利用規劃參考依據。

關鍵詞：坡地災害、風險分析、土地利用、調適策略。

Land Use Adaptation Strategies Analysis in Slopeland Disaster Risk Region

Chin-Hsin Chang^[1] Yu-Ching Ln^[1*] Ying-Tung Chen^[2]

ABSTRACT In order to respond to the impact of climate and environmental change on Taiwan's mountain region, this study ranked the slopeland disaster risk and calculated the land use area for 178 mountain towns. Seven indicators were selected in analyzing landslide risk, which are rainfall distribution, natural environment vulnerability (e.g., rainfall threshold criterion for debris flow, historical disaster frequency, landslide ratio, and road density), physicality vulnerability (e.g., population density) and socio-economic vulnerability (e.g., population with higher education, death rate and income). A slopeland disasters risk map could be made through mapping indicators and ranking risk values. The map pointed out towns with risk range 4 and 5, which are high slopeland disaster risk regions, and have high priority in reducing risk. Based on the landslide disaster risk map and the land use investigation dates which were provided by the National Land Surveying and Mapping Center in 2007, this study calculated how large the land use area with slopeland disaster risk is. With the above results, this study can suggest some appropriate land use adaptation strategies which are provided for reducing slopeland disaster risk under the impact of climate and environmental change.

Key Words: Slopeland Disaster, Risk Analysis, Land Use, Adaptation Strategy.

[1] 國家災害防救科技中心助研究員 (* 通訊作者 E-mail: againgreen@ncdr.nat.gov.tw)
Senior Assistant Research Fellow, National Science and Technology Center for Disaster Reduction, New Taipei City, Taiwan

[2] 國立台灣海洋大學河海工程學系碩士班
Master student, Department of Harbor and River Engineering, National Taiwan Ocean University, Keelung City, Taiwan.

一、前言

世界銀行（2005）於《Natural Disaster Hotspots — A Global Risk Analysis》報告中指出台灣主要受地震、洪水、颱風與土石流等四種天然災害威脅，且有高達 73.1% 的地區與人口暴露於這些天然災害威脅下；另外，台灣亦有高達 90.2% 的區域及 95.1% 的人口在遭受各項天然災害時有高死亡率風險，其排名為全球第一，據此，台灣被公認為天然災害高受災區與高災損區。而且，全台有 70% 之土地面積屬於山坡地與高山林地，在台灣的各项土地利用無法避免與山坡地周遭區域有所交集，加以近年全球氣候變遷與環境變遷之影響，極端氣候發生頻率日益增加，強度也愈來愈大，坡地災害對人民生命與財產的威脅勢將隨之增加。因此，實應儘早評估氣候與環境變遷對台灣山坡地區所造成的衝擊，以及調適策略。

誠如上述原因，國家災害防救科技中心從 99 年起已持續進行，評估氣候與環境變遷下之坡地災害風險衝擊與調適研究，歷年研究成果包括：全台坡地災害危害性及風險性區位分析（林又青等，2010a）、由坡地災害風險分析談高風險地區的發展與調適（林又青等，2010b）、從土地利用分析探討高坡地災害風險地區的減災策略（林又青等，2011a）、地災害風險地圖製作與應用（一）（林又青等，2011b）與莫拉克颱風衝擊後之坡地災害風險分析（林又青等，2012）。本文亦為坡地災害風險分析研究成果，本文內容著重在經由坡地災害風險分析，定義在氣候與環境變遷衝擊下之坡地災害高風險區域，並統計各風險區內與坡地災害相關之土地利用面積與比例，以做為初步探討山坡地土地利用調適策基準之參考依據。

二、坡地災害風險評估

災害風險之運算概念可簡化如下：風險（Risk）= 危害（Hazard）* 脆弱度（Vulnerability）。其中，危害係指對於人類福祉的潛在威脅，可考量的危害因子包括規模與頻率等，應用在災害風險地圖分析中亦可稱為誘發因子（induced factor）；脆弱度則指面對危害發生時，會增加易損程度的狀態，此狀態取決於實體（Physicality）、社會（Society）、經濟（Economy）與環境（Environment）等面向，且脆弱度可能因所面臨的危害類型有所差異（謝承憲等，2010）。參考各項風險文獻後，本文之坡地災害風險定義，為曝露於坡地災害威脅下之有價保全對象，包括人員、財產、公共建設等，因坡地災害發生而形成的損害或所造成之損失。

1. 坡地災害風險分析流程

坡地災害風險分析流程如圖 1 所示，首要工作為因子界定，風險因子之選取與風險地圖成果最為相關，需考量自然與社會面向後再謹慎挑選，有關本文之風險因子挑選原詳述於第三章節中。決定因子後再進行量化的坡地災害危害與脆弱度分析，並利用地理資訊系統（GIS）中內建之自然斷點（Nature Break）分級方法，將兩量化資料予以分級展現，最後可得坡地災害風險等級評估結果，並產製坡地災害風險地圖。在風險地圖中可凸顯出，在氣候與環境變遷影響下台灣坡地災害高風險區位所在，另外，細究風險地圖中各風險區之風險因子組成特性，有助於釐清各風險區之衝擊議題。風險地圖與衝擊議題討論之成果，可作為相關單位在規劃，台灣山坡地受氣候與環境變遷影響下之優先處理區域與其受災風險調適基準之依據。另外於本流程中，並建議風險分析應納入民眾參與討論之過程，俾使風險分析結果與風險調適策略，能更符合現況與操作可行性。

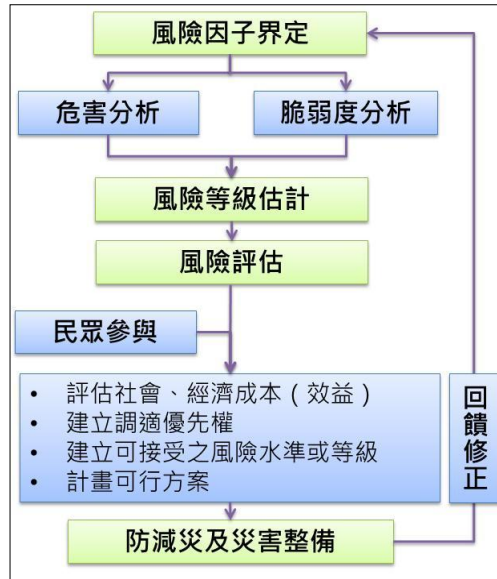


圖 1 坡地災害風險分析流程

Fig.1 The flow chart of slopeland disaster risk analysis.

關於坡地災害風險等級評估與展示方式，本文係參考 GTZ (2004) 建議之方式進行，圖 2 為 GTZ 之災害風險分級與災害風險地圖產製示意圖。由圖 2 可瞭解，坡地災害風險地圖是等權重疊加自危害地圖與脆弱度地圖。其分析方式為，首先將所有風險因子依危害與脆弱度予以區別，並各自進行分級計算，產製分為 1-5 級之危害與脆弱度地圖，危害等級 5 與脆弱度等級 5，是指最容易導致坡地災害發生者，然後再以等權重相乘危害與脆弱度地圖結果，便可得災害風險地圖之原始分數，最後將原始分數分為 1-5 級，同理，等級 5 是指災害風險最高，如此即可得坡地災風險地圖。

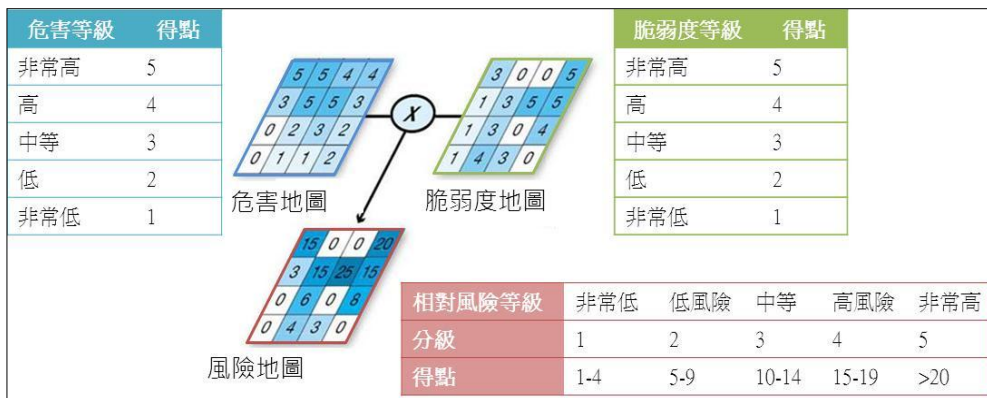


圖 2 災害風險等級與災害風險地圖產製示意圖 (本文修改自謝承憲等, 2010)

Fig.2 The methodology of mapping disaster risk (modified from Hsieh et al., 2010)

2. 山坡地鄉鎮市區

本文繪製坡地災害風險地圖之基本單元為山坡地鄉鎮市區，山坡地鄉鎮市區係篩選自：水土保持局公告的山坡地範圍界址圖與土石流潛勢溪流圖資 (2010 年 4 月版本) 兩圖層中，且滿足下列兩條件之交集者，經篩選，全台共有 178 個山坡地鄉鎮市區，分佈情形如圖 3 所示。

(1) 山坡地面積佔該鄉鎮市區面積達 50% 以上，山坡地分佈比例 (%)

$$= \left(\frac{\text{該鄉鎮市區內山坡地面積 (Km}^2\text{)}}{\text{該鄉鎮市區總面積 (Km}^2\text{)}} \right) \times 100\%。$$

(2) 該鄉鎮市區內有土石流潛勢溪流分佈。

以山坡地鄉鎮市區為基本單元進行坡地災害風險分析，除更能明確分析坡地災害風險之成因外，採用鄉鎮市區為分析空間單元，亦具備下列優點：(1) 依據災害防救法及地方制度法，鄉鎮市區為執行災害防救的基層單位，鄉鎮市區單元之災害風險分析成果，將有助於權責單位擬定災害調適策略。

(2) 與縣市空間單元相比，鄉鎮市區之分析更能細緻呈現空間差異特性；與村里空間單元相比，且鄉鎮市區之資料較容易取得與彙整。



圖 3 山坡地鄉鎮市區分佈圖

Fig.3 There are 178 mountain towns in Taiwan.

三、坡地災害風險因子

1. 災害風險因子界定

影響邊坡穩定之山崩潛感因子可分為潛因與誘因(李三畏, 1984), 潛因為造成邊坡易崩塌的潛在因素, 如: 岩層位態與坡面間的關係及岩石強度等。誘因則是直接影響山崩發生的環境因素, 如: 豪雨與地震。洪如江(1984)認為影響山崩之重要因素包括四大項:(1)地質材料(Geologic Materials)、(2)地質構造(Geologic Structures)、(3)地形與環境因素(Topography & Environmental Factors)與(4)工程因素(Engineering Factors)及其他人為因素(Human Activities)。林彥享(2003)針對 26 篇與山崩潛感因子相關之研究, 彙整出多達 56 項山崩因子, 本文將 56 項因子依據地質材料與構造、地形與環境、誘因等三項分類, 並統計因子被引用次數, 彙整於表 1 中。

表 1 山崩因子一覽表 (林又青等, 2012)

Table 1 The main causes of landslide. (Lin et al., 2012)

| 分類 | 因子 (在 26 篇文獻中被引用次數) |
|---------|--|
| 地質材料與構造 | 岩性(21)、距離構造線或構造面距離(10)、風化程度(5)土壤種類(3)、節理/不連續面密度或岩體破碎程度(3)、剪力強度參數(2)、節理位態(2)、節理組數(1)、節理持續性(1)、地層傾角(1)、葉理位態(1)、劈理彎曲程度(1)、岩性差異(1)、岩土交界(1) |
| 地形與環境 | 坡度(26)、坡向(20)、土地利用或植生種類(11)、曲率(10)、河流距(9)、順向坡(8)、標高(8)、植生密度(8)、全坡高(7)、地形起伏(6)、山崩類型(6)、全坡長(4)、邊坡區位(4)、集水面積(4)、水系密度(3)、道路距(3)、山崩再發生次數或歷史(3)、崩塌規模(3)、線形/地形構造長度或密度(2)、坡度粗糙度(2)、地形濕度指數(2)、地形區(2)、坡寬(2)、距震央距(2)、人為活動(2)、坡面滲水情形(2)、滑動深度(2)、蝕溝指數(1)、侵蝕時期(1)、臨界坡度(1)、土壤深度(1)、水系分佈形狀(1)、邊坡與道路之位態(1)、地質災害分佈(1)、崩崖數(1)、崩塌原因(1)、山崩活動時期(1) |
| 誘因 | 地震強度(6)、日降雨(3)、降雨強度(2)、年降雨(2)、動態作用(1) |

另外, 災害風險評估亦應涵蓋實質環境與社會面向, 盧鏡臣 (2009) 在進行, 「台灣在氣候及環境變遷下之淹水風險評估-鄉鎮層級的評估」時, 便建議應考量反應「質」的社會脆弱性, 與反應「量」的人口經濟曝露量等面向, 於社會脆弱性, 取徑聯合國人類發展指標 (Human Development Index, HDI), 分別以各鄉鎮 (市區) 之死亡率、高等教育人口比例及平均綜合所得稅申報額分別代表健康、知識及生活水平三面向。暴露量方面則包含人口密度及經濟密度資料, 經濟密度資料主要來源為農林漁牧業及工商服務業兩項。

李欣輯 (2009) 於「坡地災害社會脆弱性指標之建立」一文中, 針對山坡地社區社會脆弱性因素進行探討, 歸納坡地災害之社會脆弱性因素分為四個面向: (1) 家戶/社區可能的最大損失 (保全人數、結構物損失、傢俱家電、交通工具的損失), (2) 環境建設 (土地使用、道路交通), (3) 家戶/社區的自保能力 (依賴人口、警消人力、避難所與受災次數等), (4) 災害的復原與適應力, 並依據上述四面向建立綜合指標 SVI (Social vulnerability index of slopeland disaster), 以劃分台灣地區的坡地災害社會脆弱度等級。

綜整以上文獻, 本文認為坡地災害風險因子, 應包含山崩潛感主要影響因子與坡地災害社會脆弱性, 且為能應用於評估未來氣候與環境變遷之影響, 因子亦應具備時序變化性。最後本文建議 14 項坡地災害風險因子, 並將因子按照國際減災組織 (UN/ISDR) 所建議之危害與脆弱度分類方式彙整於表 2。

表 2 坡地災害風險因子列表

Table 2 This study suggested 14 indicators for landslide risk analysis.

| 分類 | 因子 |
|-----|---|
| 危害 | 降雨、地震 |
| 脆弱度 | 環境面 |
| | 岩性、坡度、順向坡、風化/破碎程度、山崩再發生次數、歷史崩塌、植生密度、土地利用、道路密度 |
| | 實體面 |
| | 基礎建設、人口密度 |
| | 社會/經濟面 |
| | 人類發展指標 (HDI) |

2. 坡地災害風險指標

上文雖建議採用 14 項坡地災害風險因子, 但本文最後使用 7 項原始資料完整之因子, 進行坡地災害風險分析, 分別為: 降雨危害、地文、歷史災害、崩塌率、道路密度、人口密度與人類發展指標等因子, 各因子的代表意義與運算方式詳述於下。另外, 本文亦建議以地理資訊系統 (GIS) 中內建的自然斷點 (Nature Break) 分級法進行分析, 因為該分級法所呈現之成果最能表現坡地災害的地域

差異性，且空間分佈結果也較符合實際狀況。

- (1) 降雨危害因子：以 2000-2009 年台灣地區 208 個雨量測站的時雨量資料，分析 48 小時延時雨量，達坡地災害縣市警戒雨量之降雨機率值，以此作為坡地災害危害指標，將指標分為 1-5 級，等級 5 代表降雨危害度最高，最容易造成坡地災害發生，分級結果如圖 4-a，坡地災害縣市警戒雨量值如表 3 所示。

表 3 坡地災害縣市警戒雨量值 (陳樹群等, 2011)

Table 3 The rainfall thresholds for triggering landslides in Taiwan. (Chen et al., 2011)

| 縣市 | 雨量值 (mm) | 縣市 | 雨量值 (mm) | 縣市 | 雨量值 (mm) |
|-----|-------------|-----|-------------|-----|-------------|
| 台北市 | 350 | 台中市 | 250 | 高雄市 | 200 |
| 新北市 | 350 | 彰化縣 | 250 | 屏東縣 | 300 |
| 基隆市 | 350 | 南投縣 | 200 | 宜蘭縣 | 300 |
| 桃園縣 | 300 | 雲林縣 | 300 | 花蓮縣 | 350 |
| 新竹縣 | 300 | 嘉義縣 | 250 | 台東縣 | 300 |
| 新竹市 | 350 | 嘉義市 | 350 | | |
| 苗栗縣 | 325 | 台南市 | 250 | | |

- (2) 地文因子：本文引用水保局所公告之鄉鎮市區土石流警戒值，作為地文替代指標，以反應山坡地鄉鎮之岩性、坡度、順向坡與風化/破碎程度等特性。因為，水保局會定期針對全台之土石流潛勢溪流資料進行調查與修正，除評估土石流優先處理指標外，並依據現地地形、地貌修正影響範圍，以及公告各土石流潛勢溪流所在鄉鎮市區之警戒基準值，以作為颱風期間土石流預警防災疏散用，該警戒值足以反應各鄉鎮市區之地文特性。因此本文係採用 2010 年 4 月公告之之土石流警戒資料值，進行分級，將警戒值分為 1-5 級，等級 5 代表該鄉鎮市區之土石流警戒雨量值最低，該處之地文特性最為容易發生坡地災害，分級結果如圖 4-b 所示。
- (3) 歷史災害因子：彙整 2000-2009 年間，颱風與豪雨所引發之 5,029 筆歷史坡地災害記錄，計算各鄉鎮市區內之歷史災害記錄比例，並將崩塌比例分為 1-5 級，坡地災害在無整治之前提下，具有較高復發性，因此等級 5 代表除代表歷史發生率高之外，也代表著該地環境最為脆弱，坡地災害再發之機會最高，分級結果如圖 4-c 所示。
- (4) 崩塌率因子：以莫拉克後至 2010 年 5 月前之崩塌地圖，進行全台崩塌率分析，崩塌率定義為崩塌地佔該鄉鎮市區面積之比例 (%)，並將崩塌率分為 1-5 級，以崩塌率反應山坡地現在裸露情形與未來再發生崩塌之可能性，等級 5 代表最易再次發生坡地災害，崩塌率因子分級結果如圖 4-d 所示。
- (5) 道路密度因子：此因子原為南太平洋地球科學委員會 (SOPAC) 以及聯合國環境規劃署 (UNEP) 於 1998-2001 年協力提出之環境脆弱度指標 (EVI) 中，用來量測生態系統因為土地破碎度造成壓力的指標，土地破碎會搗亂生物的棲息地，也會影響生物的多樣性。道路密度指標計算式 = $\left(\frac{\text{鄉鎮市區內道路長度 (Km)}}{\text{該鄉鎮市區面積 (Km}^2)} \right)$ (陳韻如等, 2010)。將觀念衍生在討論道路開發對山坡地造成的擾動性，道路密度越高表示交通越便利，開發的擾動也越多，也越容易發生坡地災害，故將道路密度分 1-5 級，等級 5 表示開發最多之區域，道路密度因子分級結果見圖 4-e。
- (6) 人口密度因子：以內政部 2010 年 12 月公佈之人口數，計算山坡地鄉鎮市區之人口密度，以其值代表台灣坡地災害影響下之受災暴露量，人口密度計算式 = $\frac{\text{該鄉鎮市區內人口數 (人)}}{\text{該鄉鎮市區之面積 (km}^2)}$ ，將人口密度值分 1-5 級，等級 5 代表人口受災暴露量最高，人口密度因子分級結果為圖 4-f。
- (7) 人類發展指標：根據台灣既有之健康 (死亡率)、知識 (高等教育人口比率) 及生活水平 (平均綜合所得稅申報額) 資料作修改，組成類似聯合國人類發展指數，反應台灣社會脆弱性面向，求取三項資料之標準分數後加總並分 1-5 級，等級 5 代表社會脆弱性較高的鄉鎮市區，圖 4-g

為 HDI 因子分級結果。

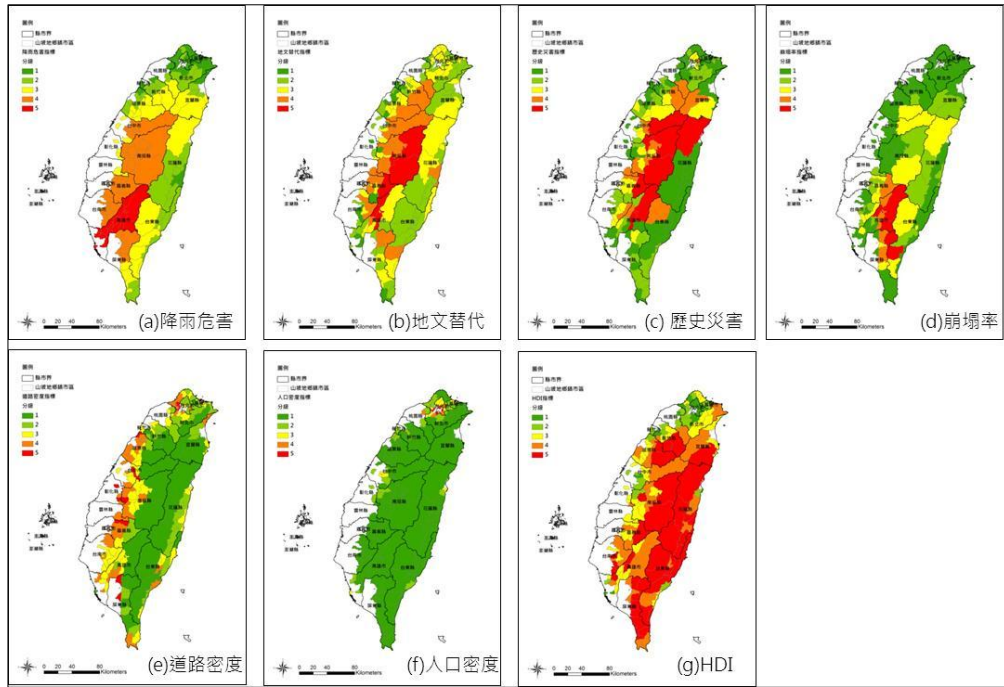


圖 4 各風險因子分級結果圖

Fig.4 Landslide risk ranking (indicator rainfall distribution to Human Development Index)

四、坡地災害風險地圖

依據本文所建置之坡地災害風險分析流程，除可產製各風險因子單獨之分級圖外，並產製坡地災害危害地圖（圖 5-a）、坡地災害脆弱度地圖（圖 5-b）與坡地災害風險地圖（圖 5-c），其中又以坡地災害風險地圖為重要之圖像化成果。

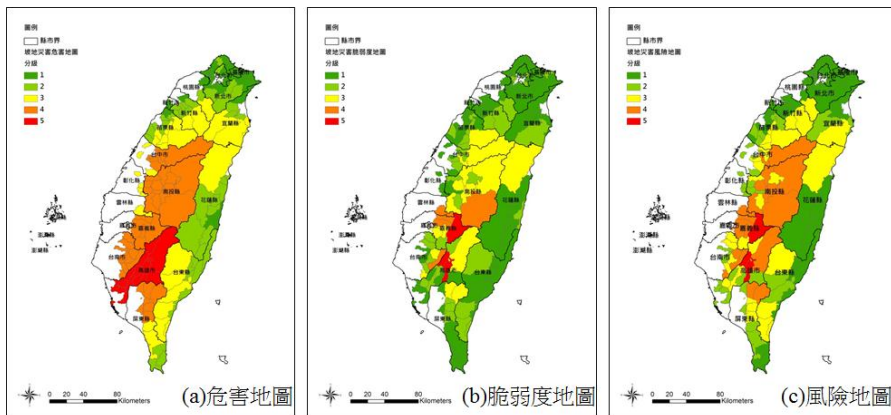


圖 5 坡地災害風險分析產製圖

Fig.5 Landslide hazard, vulnerability and risk map.

坡地災害危害地圖即為降雨危害因子之分級結果圖，由圖 5-a 中可知高雄市全境之危害等級皆為 5，表示在 2000-2009 年間高雄市的降雨趨勢，最容易超過坡地災害警戒雨量。坡地災害脆弱度地圖為等權重疊加地文替代、歷史災害、崩塌率、道路密度、人口密度與 HDI 等 6 項因子後所得之分級結

果，由圖 5-b 可知脆弱區等級 5 之區域，為嘉義縣阿里山鄉、高雄市六龜區與高雄市甲仙區。等權重疊加危害與脆弱度地圖之結果並以自然斷點法分級，即可得坡地災害風險地圖，由圖 5-c 可凸顯出坡地災害高風險區位所在，本文定義坡地災害風險等級 4 與等級 5 之鄉鎮市區，為考量氣候與環境變遷影響之坡地災害高風險區，最須優先進行風險調適之區域，詳細之鄉鎮市區列於表 4。

表 4 坡地災害高風險區列表

Table 4 High landslide disaster risk areas in Taiwan.

| 風險等級 | 縣市 | 鄉鎮市區 |
|------|-----|-----------------------------|
| 4 | 台中市 | 和平區、新社區 |
| | 南投縣 | 中寮鄉、仁愛鄉、水里鄉、竹山鎮、信義鄉、國姓鄉、魚池鄉 |
| | 雲林縣 | 古坑鄉 |
| | 嘉義縣 | 中埔鄉、竹崎鄉、梅山鄉、番路鄉 |
| | 台南市 | 南化區、楠西區、龍崎區 |
| | 高雄市 | 桃源區 |
| | 屏東縣 | 三地門鄉、霧台鄉 |
| 5 | 嘉義縣 | 阿里山鄉 |
| | 高雄市 | 六龜區、甲仙區 |

五、土地利用分析

全球暖化議題有三個主要核心議題，分別是氣候變遷科學、減緩全球暖化以及衝擊與調適。氣候變遷科學強調對氣候變遷資料之觀察、科學問題之釐清與對未來氣候變遷之推估；減緩全球暖化是以透過政策、產業轉型與科學技術革新等方式控制或減少溫室氣體排放；衝擊與調適則是評估氣候變遷產生的衝擊程度，且在暖化現象無法抑制之情況下，應如何做好準備與落實調適機制，以減少衝擊。而且，國家在推動氣候變遷調適策略需要更多的科學數據與研究成果作為政策擬定依據。（台灣氣候變遷科學報告，2011）。因此本文除透過坡地災害風險評估，以釐清台灣在氣候與環境變遷衝擊下之坡地災害高風險區位外，並將坡地風險地圖成果配合國土測繪中心 96 年之土地利用調查成果，初步探討各坡地災害風險區內之土地使用適宜性以及山坡地土地利用調適策基準。

1. 與坡地災害風險相關之土地利用項目

國土測繪中心 96 年土地利用調查成果包含全台，該調查使用層級式之土地利用分類系統，共分為 3 級。第一級分為 9 大類，細項分別為：農業、森林、交通、水利、建築、公共、遊憩、礦鹽與其他使用土地。第二級就第一級之劃分再細分 41 類、第三級則就第二級之架構再分為稻作等 103 類。本文於第三級分類土地利用項目中，依據下列原則選擇與坡地災害風險較為相關者：（1）減少坡地災害風險項目：主要係指該土地利用之環境特性能降低風險。（2）增加坡地災害風險項目：包括環境特質、人為開發擾動環境、保全物的存在等土地利用項目，都會增加坡地災害風險。（3）關鍵議題項目：包括公共設施、宗教、餐飲、民宿與文化設施保存等土地利用，建議上述幾項土地利用可特別列出與討論。本文所建議與之坡地災害風險較為相關土地利用項目，依據減少風險、增加風險與關鍵議題等分類，詳列於表 5-表 7，計有 6 項減少風險與 48 項增加風險之土地利用項目、表 5 與表 6 中並標示各項土地利用所屬之第二級類別以利辨識，表 7 則特別標示各項土地利用可對應之關鍵議題，共有公共設施、宗教用地、觀光開發與文化保存等 4 項議題，值得討論。

表 5 減少坡地災害風險之土地利用項目表(6 項)

Table 5 The land use items to reduce landslide disaster risk. (6 items)

| 第二級分類 | 第三級分類 |
|-------|---|
| 森林 | 人工竹針闊葉混淆林、人工針葉樹純林、人工闊葉樹純林、天然竹針闊葉混淆林、天然針葉樹純林、天然闊葉樹純林 |

表 6 增加坡地災害風險之土地利用項目表(48 項)

Table 6 The land use items to increase landslide disaster risk. (48 items)

| 第二級分類 | 第三級分類 |
|-------|--|
| 農作 | 旱作、果樹、牧場、廢耕地、稻作 |
| 森林 | 人工竹林、土場、天然竹林、伐木跡地、防火線、苗圃 |
| 交通 | 一般道路、省道、快速道路、國道 |
| 水利 | 河川 |
| 建築 | 其他、宗教、服務業、倉儲、兼工業使用住宅、兼其他使用住宅、兼商業使用住宅、純住宅、零售批發、製造業、興建中、殯葬設施 |
| 公共設施 | 大專院校、小學、中學、加油站、幼稚園、瓦斯、自來水、社會福利設施、政府機關、氣象、特種學校、電力、環保設施、醫療保健 |
| 礦鹽 | 土石採取場、礦場 |
| 其他 | 草地、崩塌地、裸露空地、營建剩餘土石方 |

表 7 關鍵議題土地利用項目表

Table 7 The land use items to discuss landslide topics.

| 關鍵議題 | 第二級分類 | 第三級分類 |
|------|--------|--|
| 公共設施 | 公共使用土地 | 大專院校、小學、中學、加油站、幼稚園、瓦斯、自來水、社會福利設施、政府機關、氣象、特種學校、電力、環保設施、醫療保健 |
| 宗教用地 | 宗教 | 宗教 |
| 觀光開發 | 餐飲與民宿 | 服務業 |
| 文化保存 | 文化設施保存 | 法定文化資產、一般文化資產 |

2. 土地利用分析

依據表 5~表 7 建議之土地利用項目，計算其在各坡地災害風險等級區內之使用面積與比例，分析結果為調適基準之重要參考資料。

- (1) 計算各風險區內「減少風險」與「增加風險」這兩類，之土地利用項目佔該風險區所有面積之比例，結果如圖 6 所示，綠色表示減少風險項目所佔比例，紅色表示增加風險項目所佔比例。在風險等級 1 中，減少佔 66.69%、增加佔 27.93%；風險等級 2 中，減少佔 60.88%、增加佔 34.09%；風險等級 3 中，減少佔 75.65%、增加佔 21.74%；風險等級 4 中，減少佔 73.35%、增加佔 23.84%；風險等級 5 中，減少佔 72.89%、增加佔 23.76%。

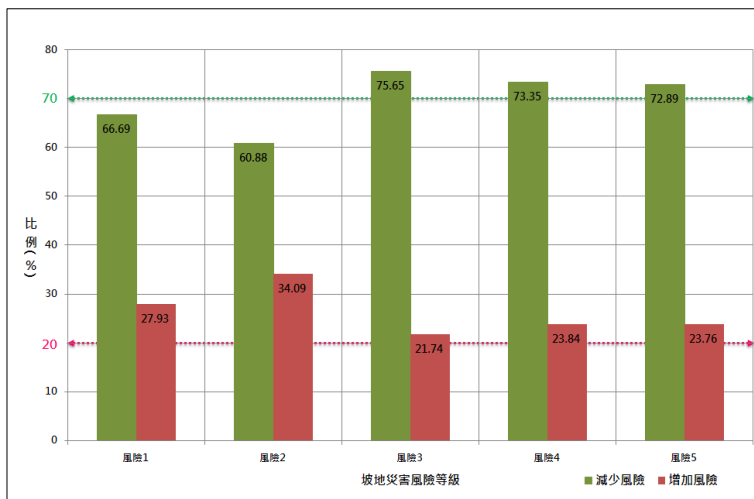


圖 6 各風險區內減少與增加風險之土地利用項目所佔比例圖

Fig.6 The percentage of land use in landslide disaster risk area.

(2) 計算各項「減少風險」之土地利用項目佔各風險區總面積之比例，結果如圖 7 與表 8 所示。

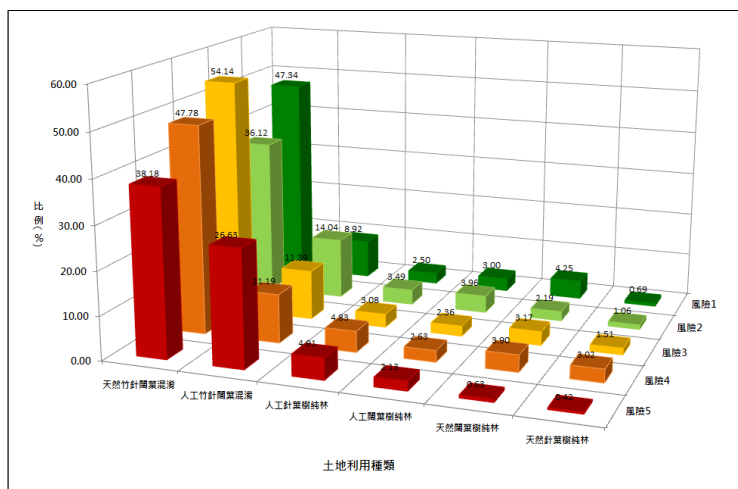


圖 7 各風險區內所有減少風險之土地利用項目所佔比例圖

Fig.7 The percentage of land use items in Table5.

表 8 各風險區內所有減少風險之土地利用項目所佔比例表

Table 8 The percentage of land use items in Table5.

| 風險等級 | 土地利用項目面積佔總面積比例 (%) | | | | | |
|------|--------------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | 天然竹針闊葉混淆 | 人工竹針闊葉混淆 | 人工針葉樹純林 | 人工闊葉樹純林 | 天然闊葉樹純林 | 天然針葉樹純林 |
| 1 | 47.34 | 8.92 | 2.50 | 3.00 | 4.25 | 0.69 |
| 2 | 36.12 | 14.04 | 3.49 | 3.96 | 2.19 | 1.06 |
| 3 | 54.14 | 11.39 | 3.08 | 2.36 | 3.17 | 1.51 |
| 4 | 47.78 | 11.19 | 4.83 | 2.63 | 3.90 | 3.02 |
| 5 | 38.18 | 26.63 | 4.91 | 2.13 | 0.63 | 0.42 |

(3) 計算各項「增加風險」之土地利用項目佔各風險區總面積與比例，結果如圖 8 與表 9 所示。

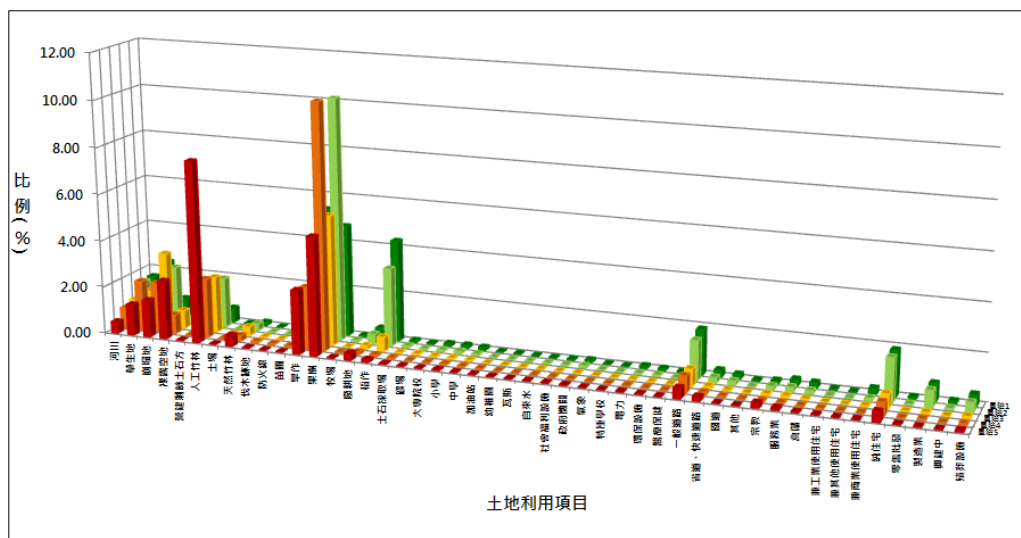


圖 8 各風險區內所有增加風險之土地利用項目所佔比例圖

Fig.8 The percentage of land use items in Table6.

表 9 各風險區內所有增加風險之土地利用項目所佔比例表

Table 9 The percentage of land use items in Table6.

| 風險等級 | 土地利用項目面積佔總面積比例 (%) | | | | | | | | |
|------|--------------------|---------|------|------|---------|------|------|------|--|
| | 河川 | 草生地 | 崩塌地 | 裸露空地 | 營建剩餘土石方 | 人工竹林 | 土場 | 天然竹林 | |
| 1 | 1.64 | 2.38 | 0.80 | 0.16 | 0.00 | 0.61 | 0.00 | 0.14 | |
| 2 | 1.64 | 1.16 | 2.39 | 0.11 | 0.00 | 2.13 | 0.00 | 0.29 | |
| 3 | 1.03 | 1.48 | 3.20 | 0.77 | 0.00 | 2.40 | 0.00 | 0.38 | |
| 4 | 0.88 | 2.12 | 2.14 | 0.80 | 0.00 | 2.52 | 0.00 | 0.23 | |
| 5 | 0.48 | 1.32 | 1.58 | 2.50 | 0.00 | 7.76 | 0.00 | 0.47 | |
| | 伐木跡地 | 防火線 | 苗圃 | 旱作 | 果樹 | 牧場 | 廢耕地 | 稻作 | |
| 1 | 0.00 | 0.00 | 0.11 | 5.39 | 4.73 | 0.04 | 0.45 | 4.30 | |
| 2 | 0.01 | 0.00 | 0.22 | 5.89 | 10.30 | 0.07 | 0.41 | 3.31 | |
| 3 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 4.10 | 5.55 | 0.01 | 0.14 | 0.60 | |
| 4 | 0.05 | 0.04 | 0.04 | 2.63 | 10.46 | 0.01 | 0.11 | 0.08 | |
| 5 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | 2.72 | 5.05 | 0.00 | 0.28 | 0.10 | |
| | 土石採取場 | 礦場 | 大專院校 | 小學 | 中學 | 加油站 | 幼稚園 | 瓦斯 | |
| 1 | 0.07 | 0.03 | 0.10 | 0.12 | 0.11 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | |
| 2 | 0.07 | 0.03 | 0.07 | 0.10 | 0.06 | 0.01 | 0.00 | 0.01 | |
| 3 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | 0.04 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 4 | 0.03 | 0.00 | 0.00 | 0.03 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| 5 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | |
| | 自來水 | 社會福利設施 | 政府機關 | 氣象 | 特種學校 | 電力 | 環保設施 | 醫療保健 | |
| 1 | 0.02 | 0.03 | 0.08 | 0.00 | 0.00 | 0.10 | 0.07 | 0.03 | |
| 2 | 0.02 | 0.03 | 0.09 | 0.00 | 0.01 | 0.03 | 0.05 | 0.02 | |
| 3 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | |
| 4 | 0.01 | 0.01 | 0.02 | 0.00 | 0.00 | 0.02 | 0.01 | 0.00 | |
| 5 | 0.00 | 0.01 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | |
| | 一般道路 | 省道、快速道路 | 國道 | 其他 | 宗教 | 服務業 | 倉儲 | 製造業 | |
| 1 | 1.88 | 0.27 | 0.18 | 0.03 | 0.10 | 0.24 | 0.20 | 0.71 | |
| 2 | 1.66 | 0.22 | 0.16 | 0.02 | 0.12 | 0.17 | 0.12 | 0.69 | |
| 3 | 0.71 | 0.09 | 0.04 | 0.00 | 0.06 | 0.06 | 0.03 | 0.06 | |
| 4 | 0.68 | 0.10 | 0.03 | 0.00 | 0.04 | 0.05 | 0.01 | 0.05 | |
| 5 | 0.43 | 0.16 | 0.00 | 0.00 | 0.19 | 0.09 | 0.02 | 0.01 | |

| | 兼其他使用住宅 | 兼商業使用住宅 | 純住宅 | 零售批發 | 兼工業使用住宅 | 興建中 | 殯葬設施 |
|---|---------|---------|------|------|---------|------|------|
| 1 | 0.01 | 0.24 | 1.87 | 0.07 | 0.03 | 0.09 | 0.44 |
| 2 | 0.01 | 0.09 | 1.82 | 0.04 | 0.01 | 0.05 | 0.38 |
| 3 | 0.00 | 0.04 | 0.61 | 0.02 | 0.00 | 0.01 | 0.08 |
| 4 | 0.00 | 0.01 | 0.54 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.07 |
| 5 | 0.00 | 0.01 | 0.41 | 0.01 | 0.00 | 0.00 | 0.05 |

(4) 依據關鍵議題中所建議之土地利用項目，計算其於各風險區內之面積與其佔總面積之比例，分析結果列於表 10 中。

表 10 關鍵議題之土地利用項目於各風險區內之面積與比例表

Table 10 The percentage of land use items in Table 7.

| 土地利用項目 | 風險等級 | | | | |
|-----------------------|----------|----------|----------|---------|---------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| 公共使用土地 | | | | | |
| 面積 (Km ²) | 5537.117 | 2142.524 | 1158.006 | 783.164 | 55.476 |
| 比例 (%) | 0.682 | 0.504 | 0.145 | 0.111 | 0.072 |
| 宗教 | | | | | |
| 面積 (Km ²) | 844.854 | 523.595 | 488.089 | 264.494 | 148.351 |
| 比例 (%) | 0.104 | 0.123 | 0.061 | 0.038 | 0.192 |
| 服務業 | | | | | |
| 面積 (Km ²) | 1953.066 | 739.864 | 515.474 | 352.149 | 70.747 |
| 比例 (%) | 0.241 | 0.174 | 0.065 | 0.050 | 0.092 |
| 一般文化設施 | | | | | |
| 法定文化資產 | | | | | |
| 面積 (Km ²) | 120.7510 | 96.4668 | 35.6603 | 11.0252 | 0.5705 |
| 比例 (%) | 0.015 | 0.023 | 0.004 | 0.002 | 0.001 |

六、土地利用調適基準討論

根據第五章節之分析結果，本章節以降低坡地災害風險為目的，初步擬定台灣各坡地災害風險區之土地利用調適基準建議，包括：1、坡地整體調適目標訂定，2、減少風險土地利用細項調適建議，3、增加風險土地利用細項調適建議，4 說明關鍵議題的調適建議。詳細討論如下：

1. 坡地整體調適目標訂定

依據圖 6 結果，對各風險區中減少風險與增加風險之土地利用項目，依據維持現有狀況不再惡化，並以逐年改善調適降低風險為原則，調適整體比例建議如下：

- (1) 建議「減少風險項目」在各風險區的整體調適比例基準為 70%。
- (2) 目前在害風險等級 3、4、5 中，「減少風險項目」比例高達 75.65%、73.35%與 72.89%，建議宜維持現況。而在風險等級 1、2 中，「減少風險項目」比例為 66.69%與 60.88%，應提高到目標值。
- (3) 建議「增加風險項目」在各風險區的整體調適比例基準為 20%。
- (4) 在不進行任何調整方式下，「增加風險項目」在風險等級 3、4、5 中，至少應維持在目前的 21.74%、23.84%與 23.76%，不可再增加。而在風險等級 1、2 中，比例達 27.93%與 34.09%，應細究原因，提出可行之調整方法。

2. 減少風險土地利用細項調適建議

依據圖 7 與表 8 所列結果，針對「減少風險項目」做細項調整建議如下：

- (1) 在各風險中區，因為天然林的形成本非人為可操控，故建議表 8 所列之天然林至少應維持現有比例，並可以現有比例作為控管未來森林開發的限制。
- (2) 為降低坡地風險，並以 70% 為調整目標，在風險等級 1 與 2 中，於適當區域可規劃增加表 8 中所列之人工林的使用比例。

3. 增加風險土地利用細項調適建議

依據圖 8 與表 10 之結果，針對「增加風險項目」做細項調整建議：

- (1) 目前於各風險區中，約有 14 項土地利用所佔之比例最多，其對坡地災害風險的影響也最大，建議可優先調整這些土地利用比例，包括：草生地、崩塌地、裸露空地、廢耕地、人工竹林、天然竹林、旱作、果樹、稻作、一般道路、純住宅、製造業、殯葬設施、河川。
- (2) 其中，草生地、崩塌地、裸露空地、廢耕地等 4 項土地利用，都是指目前為裸露土地，若這些區域位處或鄰近山坡地，建議可進行植生復育或其他護坡整治工程，以降低可能造成的坡地災害風險。
- (3) 於人工竹林、天然竹林、旱作、果樹、稻作等 5 項土地利用中，果樹與竹林是淺根性農作物，不利水土保持，在坡地災害高風險區（即風險等級 4 與等級 5 之鄉鎮市區）應特別限制其開發行為。
- (4) 道路對山區的擾動遠勝其他人為開發，極易造成坡地災害發生，因此建議坡地災害高風險區應減少該項土地利用項目。
- (5) 純住宅、製造業、殯葬設施等建築使用土地，若已存在於高坡地災害風險區域，無法遷除，則應防範遭遇坡地災害，減少人員與財產損失。
- (6) 河川地雖為影響坡地風險因素之一，但其為天然環境，非人為可調整之土地利用項目。

4. 關鍵議題之調適建議

以下依據表 9 之成果，討論公共設施、宗教用地與觀光業與文化保存等議題於坡地災害高風險區之調適：

- (1) 公共設施使用土地於風險區等級 4、5 中所佔比例為 0.111%、0.072%，表示目前公共設施有避開高坡地災害風險區，受災機會較少。然而，也應思考為何坡地災害高風險區內公共設施相對較少，當地居民於災時之疏散避難應如何配套處理。
- (2) 宗教用地目前在風險等級 4、5 中，面積達 400km²，且歷年宗教用地於颱風豪雨期間遭受坡地災害之事件不斷，包括：2009 莫拉克颱風高雄六龜妙崇寺、高雄上新開彩虹寺、台南南化羌黃坑青山宮、2010 梅姬颱風宜蘭蘇澳白雲寺、2011 南瑪都屏東滿州老佛順天宮等案例，由此突顯出應調查宗教用地所在位置及評估現有安全性，以降低受災機會。
- (3) 服務業用地係指提供個人或工商服務使用者，包括住宿、餐飲..等項目，目前該項用地在風險等級 4、5 中，面積達 420km²，於坡地災害高風險區中，民宿與餐廳等觀光服務業，可能會在颱風期間增加受災的人員，因此藉此資料，可提醒相關單位儘早調查及評估安全性。
- (4) 透過土地利用分析過程，可知在坡地災害高風險區中，仍有文化保育資產的存在，建議應優先清查或保存這些文化資產。

七、結論與建議

本文建立之坡地災害風險評估流程，為易複製操作之評估方式，災防相關使用者可依自己所關注對象，抽換或新增風險分析因子，進行符合所需之風險分析與探討，並尋求最佳減災措施。在坡地災害風險分析中，降雨危害因子與人口密度因子具有時序變化性，目前台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫（TCCIP）已對台灣未來（2020-2099 年）雨量變遷進行推估，而人口也可透過社經分析，推估未來可能的人口總數及結構，因此這兩項因子可應用於推估在氣候變遷影響下之坡地災害風險變化趨勢。

依據本文目前分析結果，定義坡地災害風險等級 4 與等級 5 之鄉鎮市區，為坡地災害高風險區，需優先規劃調適策略，為能提出具體調適策略，建議同時參造坡地災害風險地圖成果以及各風險區內的土地利用情形，前者有助於決策者辨識災害、危害與各脆弱度層面的關聯性，後者可提供坡地整體調適目標訂定，減少風險土地利用細項調適建議，增加風險土地利用細項調適建議以及說明關鍵議題的調適建議。且另外在分析產業衝擊時，除分析使用面積外，亦可更進一步探討量化之災損，更有助於辨識出高坡地災害風險區之產業受衝擊程度。

參考文獻

1. 行政院國家科學委員會（2011），「台灣氣候變遷科學報告 2011」，台灣氣候變遷推估與資訊平台建置計畫。
2. 李三畏（1984），「台灣崩塌問題探討」，地工技術，第 7 期，頁 43-49。
3. 李欣輯、楊惠萱、蕭代基（2009），「坡地災害社會脆弱度指標之建立」，第十八屆水利工程研討會論文集，頁 253-254。
4. 林又青、張志新、陳韻如、李香潔、陳永明、黃柏誠（2011b），「坡地災害風險地圖製作與應用（一）」，國家災害防救科技中心技術報告，台北。
5. 林又青、張志新（2012），「莫拉克颱風衝擊後之坡地災害風險分析」，第十屆土地研究學術研討會—土地正義與經濟發展，長榮大學，台南。
6. 林又青、張志新、李香潔、黃柏誠、陳樹群、陳聯光（2010a），「全台坡地災害危害性及風險性區位分析」，全國災害危機處理學術研討會，頁 B1-14-B1-25。
7. 林又青、張志新、范裕康、陳樹群（2010b），「由坡地災害風險分析談高風險地區的發展與調適」，農業世界，324 期，頁 20-28。
8. 林又青、張志新、黃柏誠、陳永明、詹士樑（2011a），「從土地利用分析探討高坡地災害風險地區的減災策略」，第九屆土地研究學術研討會論文集，12 頁。
9. 林彥享（2003），「運用類神經網路進行地震誘發山崩之潛感分析」，國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共 89 頁。
10. 洪如江（1984），「工程地質在自然邊坡穩定之應用（力學因素除外）」，地工技術，第 7 期，頁 35-42。
11. 陳樹群、周憲德、許銘熙、林沛練、葉克家、林聖琪、柯明淳、傅金城、于宜強、鄭兆尊、張智昇、王安翔、張駿暉、葉森海、黃成甲、李欣輯（2011），「颱風災害風險評估理論與方法之研究」，國家災害防救科技中心技術報告，台北。
12. 陳韻如、林又青、李香潔、李欣輯、張志新（2010），「易致災山區道路疏散風險之初探」，2010 台灣災害管理研討會論文集，頁 135-144。
13. 盧鏡臣、陳永明、張志新、郭彥廉（2009），「台灣在氣候及環境變遷下之淹水風險評估-鄉鎮層級的評估」，2009 台灣災害管理研討會論文集，頁 55-56。
14. 謝承憲、蘇昭郎、吳佳容（2010），「災害風險評估技術指引」，國家災害防救科技中心技術報告，台北。

15. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH (2004), "Guidelines Risk Analysis- a Basis for Disaster Risk Management," Federal Ministry for Economic Cooperation and Development, Germany.
16. Dille, Maxx , Robert S Chen , Uwe Deichmann , Arthur L Lerner-Lam and Margaret Arnold (2005)," Natural Disaster Hotspots: A Global Risk Analysis," World Bank, Washington DC .