

土石流風險分析與土地利用規劃之初探-以中崙風景特定區為例

曹鼎志¹、許志豪²、鍾佩蓉³

¹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、台北市信義區逸仙路 26 巷 7 號地下樓、02-27580568#212、tctsao@sinotech.org.tw

²財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心助理研究員、台北市信義區逸仙路 26 巷 7 號地下樓、02-27580568#275、ansonhsu@sinotech.org.tw

³財團法人中興工程顧問社防災科技研究中心助理研究員、台北市信義區逸仙路 26 巷 7 號地下樓、02-27580568#273、pcchung@sinotech.org.tw

摘要

妥善之土地利用規劃可有效地降低天然災害風險，而不當的空間規劃可能導致風險的升高，然相關之分析方法與架構仍屬研究階段。嘉義縣中埔鄉中崙風景區以其溫泉著名，自 1980 年代以來已歷經了三次都市計畫通盤檢討，然而 2009 年 8 月莫拉克颱風所帶來的強降雨誘發了山崩與土石流後，不但造成中崙風景區內之財物損失與人員傷亡，並大幅改變了地形與地貌。本研究以定量風險分析之架構，將天然災害風險(Risk)視為危害潛勢(hazard)、暴露量(exposure)與易損性(vulnerability)之乘積，透過遙測影像分析蒐集中崙風景特定區內嘉縣 DF051 土石流潛勢溪流集水區之歷史崩塌目錄與降雨資訊，並透過現地調查建立房建物與人員等暴露量之資訊、價值與分布狀況，再藉由不同重現期距之土石流數值模擬計算土石流之流速與堆積深度，佐以不同類別暴露量之易損性曲線，計算區內可能之經濟損失與人員傷亡，並標示出區內高風險地區。本研究將中崙風景區第三次通盤檢討所規劃的各旅館區、商店區套疊於既有地形上，發現經過通盤檢討後之新規劃大幅增加了區內之土石流受災風險，因此建議未來於山崩、地滑、土石流地質敏感區內進行開發時，可運用本研究所提架構進行較適宜之土地利用規劃之分析。

關鍵詞：土石流、風險分析、土地利用規劃、災害防救

Debris Flow Risk Assessment and Land-Use Planning – A Case Study of Jhonglun Hot Spring Area

Ting-Chi Tsao¹、Chih-Hao Hsu²、Pei-Jung Chung³

¹Senior Engineer and Group Chief, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., 7 Lane 26 Yat-Sen Rd., Taipei 11071, Taiwan, 02-27580568#212, tctsao@sinotech.org.tw

²Assistant Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., 7 Lane 26 Yat-Sen Rd., Taipei 11071, Taiwan, 02-27580568#275, ansonhsu@sinotech.org.tw

³Assistant Researcher, Disaster Prevention Technology Research Center, Sinotech Engineering Consultants, INC., 7 Lane 26 Yat-Sen Rd., Taipei 11071, Taiwan, 02-27580568#273, pcchung@sinotech.org.tw

Abstract

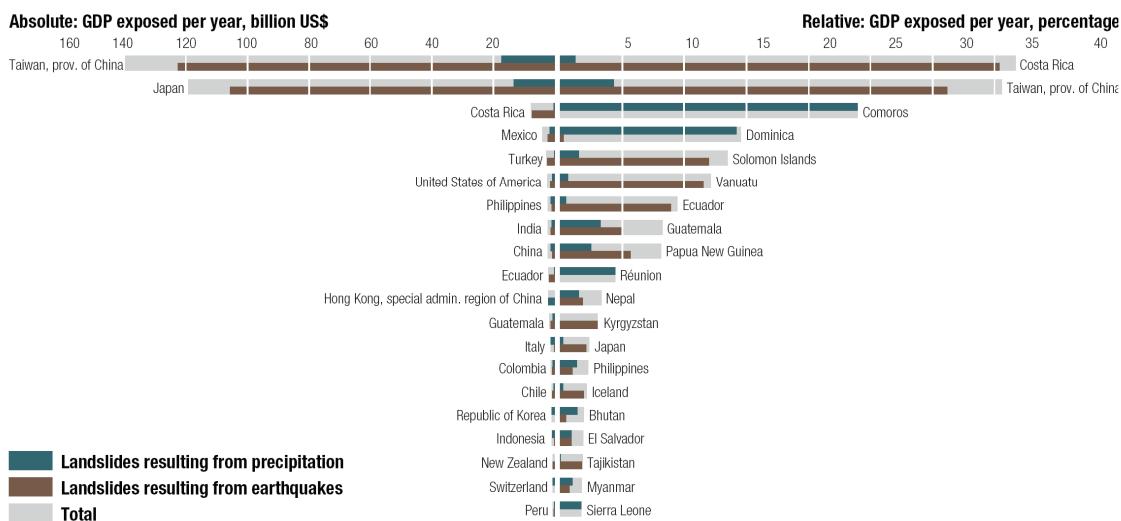
The Jhonglun Scenic Area in Chiayi County is famous for its hot spring, the region was hit by debris flow with tremendous losses and resulted with dramatic change of the landscape during Typhoon Morakot in 2009. The most effective strategy for reducing natural hazard risks is through land-use planning. Following the concept of Risk=Hazard*Exposure*Vulnerability, this study conducted risk identification through the collection of landslide inventory and history debris flow hazard mapping of Chiayi DF051 potential debris flow torrent. Together with elements at risk information from field investigations, the risk analysis was conducted with several return periods debris flow simulation to recognize the possible economic losses and fatalities by debris flow. The identified high risk areas in Jhonglun Scenic Area were compared to the current special district planning to understand the spatial distribution of high risk areas. The result shows that some of the designated zones were among the areas with high debris flow risks, which further indicates that land-use planning should consider the consequences of natural hazards. The result of this study provides one of the first steps for land use planning restrictions within the potential debris flow region.

Keywords: debris flow, risk analysis, land-use planning, hazard mitigation

一、前言

1.1 研究背景

根據聯合國於 2009 年針對全球災害風險所整理之資料得知(Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction, UNISDR, 2009)，在所統計之颱風、洪水、山崩、地震、乾旱、海嘯等天然災害中，台灣於颱風、洪水、山崩、地震等災害皆屬於高風險群。而單獨討論山崩災害時，台灣暴露於地震、降雨誘發山崩災害的絕對 GDP 值(國內生產毛額)係屬全球第一(1,400 億美元/年)，而其佔全國之百分比亦為全球數一數二(約 33%)，這說明了台灣確實位處坡地災害的高風險區。且因台灣地處造山運動之板塊邊緣，進而造成台灣地區多數山坡地具有坡度陡峭、地質脆弱和水流湍急等條件，1999 年 921 集集大地震後，山崩與土石流之災害發生頻率較以往為多，主管機關與地方政府針對山崩、土石流等坡地災害，應建立有效率的災害管理決策機制，以減少此類災害對人民生命財產之威脅，而由天然災害風險之角度審視既行土地利用規劃之適宜性亦漸漸為世界各國所接受。



圖一、全世界各地區暴露於地震誘發山崩、降雨誘發山崩之 GDP 值(UNISDR, 2009)

1.2 研究動機

以土地規劃之手段規避可能發生天然災害之地區係為減少天然災害風險之最有效工具(Glavovic and Saunders, 2010; RCC, 2011)，近十年來歐洲已有數個國家開始將天然災害風險管理引進作為土地利用規劃之工具 (Zimmermann, 2004; Mikoš et al., 2007)，其目的在希望透過土地利用規劃以從源頭避免未來可能的天然災害。

國內關於都市防災規劃的相關法令規定，主要在「都市計畫定期通盤檢討實施辦法」第 5 條中，明訂「都市計畫通盤檢討前應先進行計畫地區之基本調查及分析推計，作為通盤檢討之基礎，其內容至少應包括………災害發生歷史及特性、災害潛勢情形」，第 6 條亦指出「都市計畫通盤檢討時，應依據都市災害發

生歷史、特性及災害潛勢情形，就都市防災避難場所及設施、流域型蓄洪及滯洪設施、救災路線、火災延燒防止地帶等事項進行規劃及檢討，並調整土地使用分區或使用管制。」另在 2000 年頒布之「災害防救法」第 20 條，亦揭示地方政府應擬訂地區災害防救計畫。

然而這些法令，針對如何落實城鄉規劃的土地使用與空間防災計畫的整合，一直缺乏明確的規範。此現象使都市計畫在進行通盤檢討時，無法針對地區發展、土地使用與防減災相關工作的推動，提出具體的土地使用與空間發展策略，常流於形式及書面作業，而無法有效的釐清這些工作間的關係及有效的推動防減災工作（陳亮全等人，2003）。

1.3 研究目的

本研究係以天然災害風險管理、風險分析之架構與流程，探討位於土石流潛勢地區之都市計畫區於進行通盤檢討時，可採用的分析工具與流程，並計算出不同土地利用規劃下於受土石流威脅時導致之損失值差異，以顯示土地利用規劃對於防災減災之影響。因此本研究之目的為以下三點：

- (1) 透過定量風險分析之流程計算區域內受土石流災害時之經濟損失與人員損失值。
- (2) 透過都市計畫通盤檢討前、後之土地規劃成果，探討都市計畫對於防災減災之成效。
- (3) 由風險分析之結果建議未來土石流潛勢地區可能的土地利用規劃原則。

二、文獻回顧

2.1 天然災害風險管理

在 1970 年代以前，天然災害風險之定義並未有較統一之整理，因此聯合國於 1979 年 7 月於瑞士日內瓦召開國際專家學者會議並針對各項名詞進行定義，聯合國救難協調員辦事處(Office of the UN Disaster Relief Co-ordinator, UNDRO)於該會議中將風險定義為「在某事件下預估將導致的生命損失、人員受傷、財產毀損或經濟活動干擾」，並將風險定義成三部份之組合：危害潛勢(hazard)、暴露量(exposure)、易損性(vulnerability) (UNDRO, 1979)，會後專家學者們並將該定義整理成公式(1)之通式：

$$\text{Risk} = \text{Hazard} \times \text{Exposure} \times \text{Vulnerability} \quad (1)$$

風險= 危害潛勢 × 暴露量 × 易損性

公式(1)中 UNDRO 對各項之原始定義如下：

危害潛勢(Hazard)：於某特定區域與特定時間內發生潛在危害自然事件的可能性。

暴露量(Exposure)：暴露在風險下的物件，包括人口、建築物、工程設施、基礎建設與管線、公共設施以及經濟活動等。

易損性(Vulnerability)：暴露在風險下物件於自然災害強度下所受到的損失程度，其程度介於 0(無損失)和 1(全部損失)之間。

風險(Risk)：針對某事件所預期的人命傷亡、財產損失、經濟活動干擾。

本研究探討都市計畫區內之土石流災害直接損失，係為一天然災害對於生命、財產等之物理性破壞，因此仍建議依循公式(1)為核心進行土石流災害之風險分析。

以台灣地區土石流災害而言，公式(1)各項次可再作如下定義(曹鼎志等人，2010；陳振宇等人，2011)：

危害潛勢(Hazard)：溪流於降雨事件時發生災害之年發生機率，其潛勢主要與溪流地形、上游崩塌材料與堆積材料量體、雨量集中程度有關。

暴露量(Exposure)：承受土石流威脅之保全對象單位價值(含人、財、物)以及空間分布，暴露量價值越高則遭受土石流危害潛勢威脅之單位越多。

易損性(Vulnerability)：土石流災害過程所造成可能潛在損壞或損失，為土石流強度之函數。各類型之危害潛勢隨土石流溢流與堆積之程度上差異而有所不同，故易損性大小與土石流發生之規模程度成正比關係。

風險(Risk)：考量危害潛勢、暴露量、易損性之綜合結果，以土石流災害為例，即為暴露於土石流災害威脅下之人、財、物，因為災害發生而形成之損壞所造成之損失。

行政院先於2005年頒「行政機關風險管理推動方案」，隨後於2008年頒「行政院所屬各機關風險管理及危機處理作業基準」，並於次年研提「風險管理及危機處理作業手冊」(行政院研考會，2009)以促使各部會將風險管理融入日常作業及決策運作。陳振宇等人(2011)參考國際上坡地災害風險管理之流程，建議適合台灣之土石流風險管理計畫流程(圖二)，流程中之各大項說明如下：

(1)風險辨識：為一尋找、列出及表明風險要項的過程，風險要項可包括風險的源由(source)或危害事件發生的機制、可能後果(consequence)及發生可能性。亦即瞭解自己或周遭環境可能的潛在危險之來源，及危險可能造成的衝擊或影響。

(2)風險估計：為利用風險辨識的結果，進行後果分析(consequence analysis)及危害頻率分析(frequency analysis)，估計可能的損失大小及發生機率，進而估算得風險評估所適用之成本、效益或其它風險相關者所關切的變數(例如年平均損失、年傷亡率或最大可能損失等)。

(3)風險評量：為將預估的風險和已知的風險準則(risk criteria)進行比較的程序，以決定風險的顯著性，用來協助決定是否接受風險或進一步處理風險。風險準則可包括相關的成本與利益、法令與規章要求、社會經濟與環境層面問題以及風險相關者之關切點。

(4)風險評估：為風險管理之核心，係整合風險分析與風險評量結果，作出建議以降低風險至可容忍程度的程序。

(5)風險對策：為選擇與執行減少風險的相關措施與過程，可採用的方法分為風險控制(risk control)與風險融資(risk financing)二大類。其中風險控制又可分

為風險規避(risk avoidance)及風險降低(risk reduction)二類，風險融資可分為風險轉移(risk transfer)及風險保有(risk retention)二類。

而以本研究所欲探討之土地利用規劃，則屬於風險對策中「風險規避」之手段。

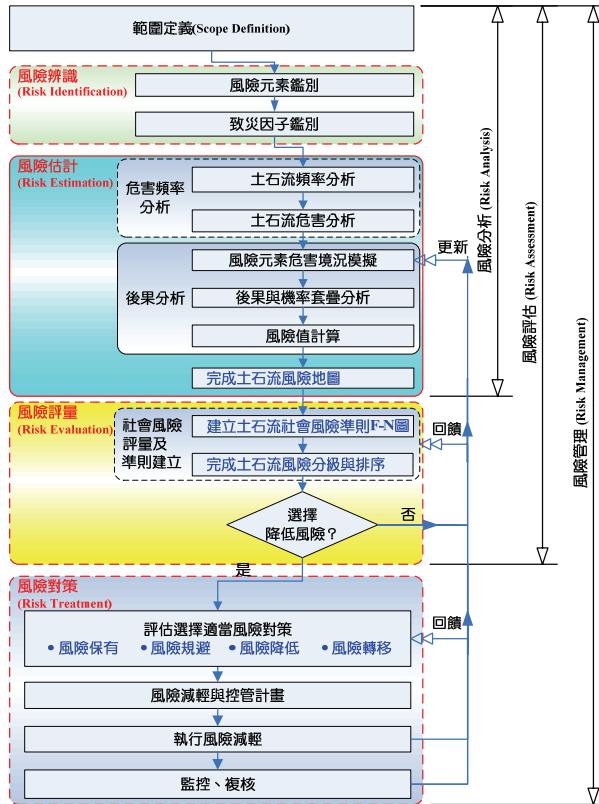
2.2 定量風險分析

在土石流風險評鑑之關鍵為土石流風險分析，利用所蒐集之資訊幫助辨識潛勢溪流或整治設施破壞造成之災害後果與發生可能性。一般而言，風險分析可分為定性風險分析(qualitative risk analysis)、定量風險分析(quantitative risk analysis)兩類，本研究所採用之定量風險分析則以數值型態描述危害發生機率與災害損失，以產生風險數值，其分析所得結果，除可作為風險排序(risk ranking)外，更可作為後續更精確的成本效益評估或風險計價之用(Tsao et al., 2012)。

以定量風險分析進行山崩或土石流之分析近十年來已蔚為常態(Dai et al., 2002; Bell and Glade, 2004)，本研究採用 Tsao et al. (2010)所提出之土石流定量風險分析流程(圖三)與公式(2)進行計算：

$$L_{prop|H} = \sum_j P_{S|H,j} \times P_{T|S,j} \times V_{prop|S,j} \times E_{prop,j} \quad (2)$$

其中 $L_{prop|H}$ 為指定規模土石流(H)發生所會造成的總損失，即為各風險暴露量 j 損失之總和。 $P_{S|H}$ 為空間衝擊機率 (probability of spatial impact)，即建築物在給定的土石流事件下，各建築物會受到土石流影響的機率，其值為 0~1 間。 $P_{T|S}$ 為時間衝擊機率 (probability of temporal impact)，即暴露量受土石流影響的時間比率，例如建築物或道路、橋梁等設施會一直座落在原處，故其 $P_{T|S}=1$ 。 $V_{prop|S}$ 為財產類的風險元素之易損性函數，其值在 0 至 1 之間，其值與風險暴露量所在之土石流強度(堆積深度、速度)有正關係，即土石流災害強度愈高，損害愈大，其值愈高。 E_{prop} 為財產類風險元素之重置成本。



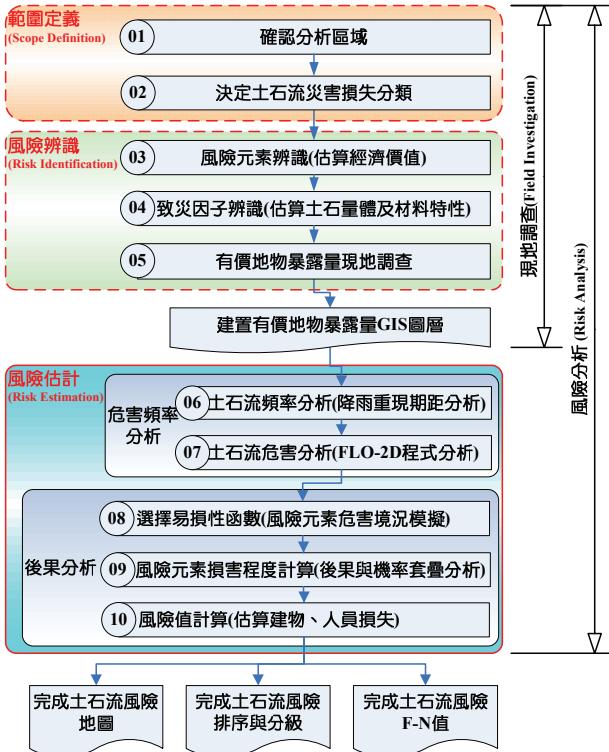
圖二、本研究採用之土石流災害風險管理流程 (陳振宇等人，2011)

三、研究方法

3.1 分析程序

土石流風險評鑑之關鍵與核心為土石流風險分析，土石流風險分析是一結構化程序，利用所蒐集之資訊幫助辨識潛勢溪流或整治設施破壞造成之災害後果與發生可能性。本研究採用曹鼎志等人(2010)所提之土石流風險分析流程，步驟包括：風險辨識(risk identification)、危害分析(hazard analysis)、後果分析(consequence analysis)等三大部份，其分析流程則可細分如圖三所示，10 個步驟包括：

- (1)範圍定義(步驟 1 至 2)：確認欲分析之區域及欲分析之損失種類。本研究所分析的損失包括資產的實質損失以及人命傷亡等直接損失為主。
- (2)風險辨識(步驟 3 至 5)：透過現地調查蒐集固暴露量(或稱風險元素)之空間分布狀況與經濟價值，亦透過遙測手段與現地調查蒐集集水區溪流之基本資料，並將各資料建置於 GIS 環境中。
- (3)危害頻率分析(步驟 6 至 7)：以數值模擬程式進行雨量頻率分析以求得不同重現期距(5、10、25、50、100、200 年)之土石流流量、流速與衝擊力等資訊。
- (4)後果分析(步驟 8 至 10)：針對不同之暴露量選擇不同之易損性函數，並將暴露量 GIS 圖層與數值模擬之土石流危害圖層套疊，以估算某特定情境(重現期距)下之暴露量損失值。



圖三、本研究採用之土石流災害風險分析流程 (曹鼎志等人, 2010)

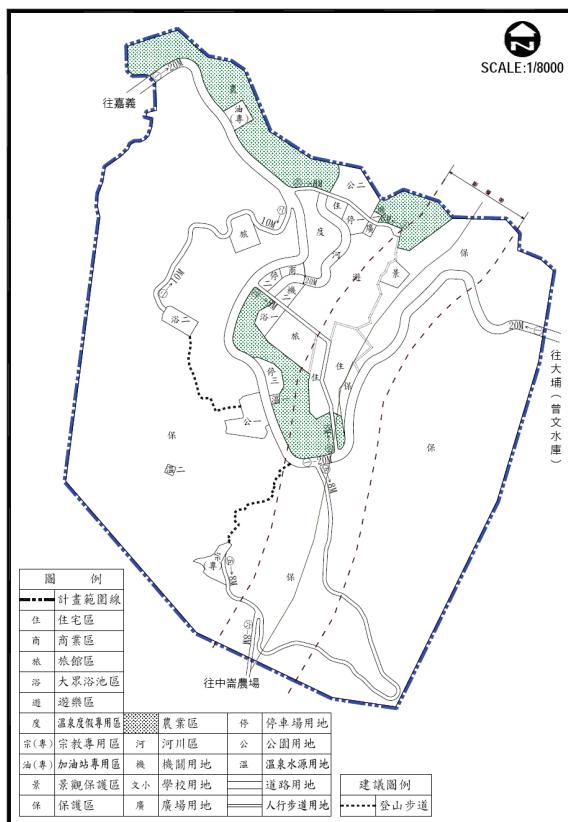
3.2 分析內容

3.2.1 分析區域概述

中崙風景特定區位於嘉義縣中埔鄉，約位於省道台 3 線 302K 附近，此區於 1980 年代中油公司鑽井發現溫泉，隨後由縣政府指定為風景特定區並於 1985 年發布「中崙風景特定區」計畫，並於 1990 年、2000 年及 2009 年進行三次通盤檢討(嘉義縣政府，2009)。本風景特定區之計畫面積為 108.9 公頃，幾乎包括行政院農委會所公開之嘉縣 DF051 土石流潛勢溪流之全部集水區。中崙風景特定區(第三次通盤檢討)後之空間規劃與各土地使用類別之計畫面積如圖四與表一所示。

中崙風景特定區之平均高程介於 300 至 600 公尺間，最低處為濁水溪溪谷，區內 76.8% 為坡度大於 30% 之山坡地，故依水土保持法規定屬於限制開發區。此區域之地層為三峽群及其相關地層(中新世晚期)。三峽群係由一個位在下面的含煤地層(南莊層)和一個位在上面的地層(桂竹林層)構成，主要為砂岩及頁岩互層，夾帶玄武岩質凝灰岩及岩流、石灰岩及含煤層，而東北、西南走向之觸口斷層通過本區，該斷層為西南部地區主要的一條構造線，斷層型式為逆斷層。

在溫泉量上，根據評估中崙溫泉每日能提供約 180 噸溫泉，可滿足計畫區內 2 處大眾浴池與溫泉旅館之所需，而計畫預計之年旅客量為 248,480 人，為開發此風景特定區，嘉義縣政府計畫於 5 年內投入約 1.4 億新台幣進行區內周邊之公共設施開發。



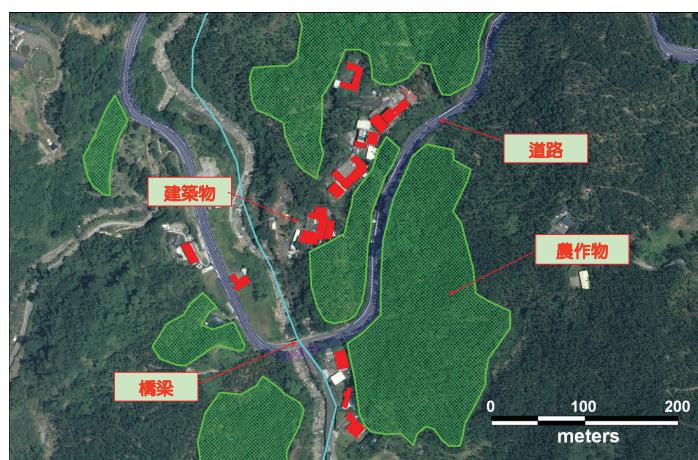
圖四、變更中崙風景特定區計畫(第三次通盤檢討)示意圖(摘自嘉義縣政府, 2009)
表一、變更中崙風景特定區計畫(第三次通盤檢討)土地使用計畫面積分配表(摘自
嘉義縣政府, 2009)

| | 土地使用類別 | 計畫面積(公頃) | 佔計畫總面積百分比(%) |
|--------|---------|----------|--------------|
| 土地使用分區 | 住宅區 | 1.67 | 1.53 |
| | 商業區 | 0.13 | 0.12 |
| | 旅館區 | 1.28 | 1.18 |
| | 大眾浴池區 | 0.58 | 0.53 |
| | 遊樂區 | 3.1 | 2.85 |
| | 溫泉渡假專用區 | 1.03 | 0.95 |
| | 景觀保護區 | 0.23 | 0.21 |
| | 宗教專用區 | 0.33 | 0.3 |
| | 加油站專用區 | 0.25 | 0.23 |
| | 保護區 | 82.25 | 75.53 |
| | 河川區 | 0.76 | 0.7 |
| | 農業區 | 8.06 | 7.4 |
| | 小計 | 99.67 | 91.52 |
| 公共設施用地 | 機關用地 | 0.23 | 0.21 |
| | 停車場用地 | 0.68 | 0.62 |
| | 溫泉水源用地 | 0.08 | 0.07 |
| | 公園用地 | 1.43 | 1.31 |
| | 廣場用地 | 0.06 | 0.06 |
| | 道路用地 | 6.75 | 6.2 |
| | 小計 | 9.23 | 8.48 |
| | 合計 | 108.9 | 100 |

3.2.2 暴露量分析

由式(1)可知暴露量之變化亦會造成風險值之變化，本研究透過現地調查將研究區域內現有之建築物、道路、橋梁、農作物等暴露量資訊予以紀錄並數化成 GIS 圖層(如圖五所示)，以建築物為例，其圖層屬性內容包括建築物投影面積、門牌、樓層數、外牆結構形式、建築物使用類別、開門及開窗資訊、現居人數等資訊，以利查詢各類型建築物之經濟價值。

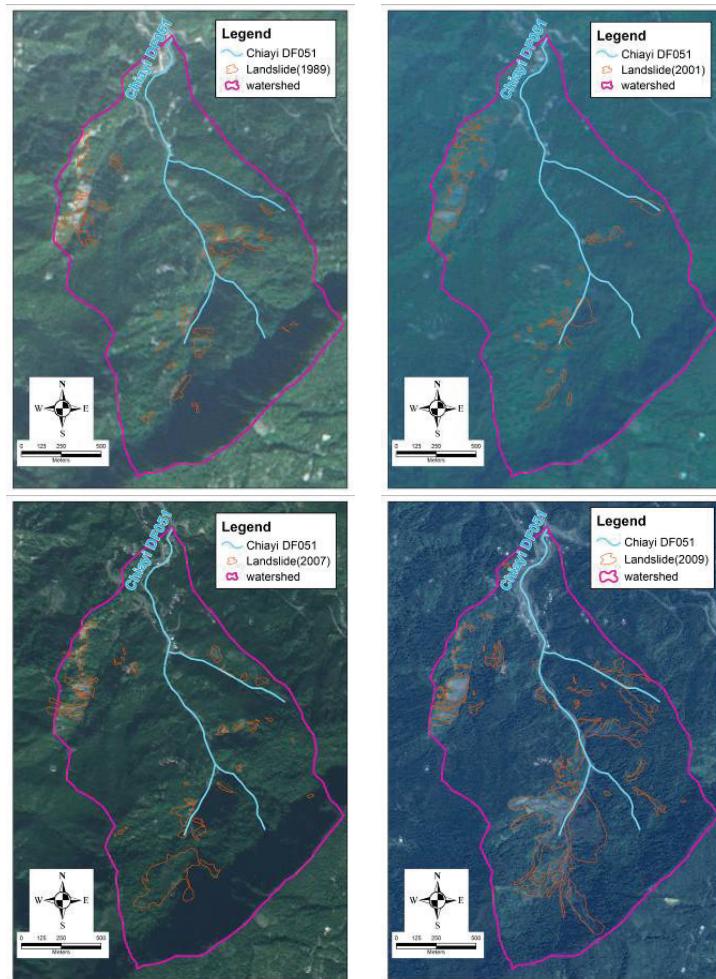
由於風景特定區計畫之實施將會帶來人潮，因此本研究除建置現有之各項暴露量 GIS 圖層外，亦將第三次通盤檢討後之建築物等資訊建置在 GIS 圖層中。依據第三次通盤檢討之土地利用規劃，區內主要將新增兩區之旅館區與一處商業區，依據計畫區之建蔽率與容積率計算，本研究假定旅館區將分別興建一棟 6 層樓、可容納 90 位房客與服務人員之中型旅館，以及一棟 5 層樓、可容納 40 位房客與服務人員之小型旅館，而商業區則假定為 4 戶 2 層樓之商店街，每戶並有 6 名服務人員。



圖五、研究區域之現有暴露量分布

3.2.3 山崩與土石流分析

雖然農委會水土保持局直至 2009 年莫拉克颱風後方才指定本區域為土石流潛勢地區，惟從集水區歷年之影像變化已可知本區域之集水區多年來已透露其屬於災害之高潛勢區。根據 1989、2001、2007、2009 年等不同年度之衛星影像分析，由圖六與表二可知早在 1989 年時集水區內便有 38 處、總面積 11 公頃之崩塌地，於 2005 年 0612 豪雨後增加到 54 處崩塌地，崩塌率亦從 1989 年之 3.81% 攀升至 12.15%。



圖六、嘉縣 DF051 土石流潛勢溪流集水區歷年(1989、2001、2007、2009)衛星影像圖

表二、嘉縣 DF051 土石流潛勢溪流集水區崩塌地歷年變化表

| 年 | 事件 | 崩塌地數量 | 總面積(公頃) | 崩塌率(%) |
|------|----------|-------|---------|--------|
| 1989 | 921 地震前 | 38 | 10.99 | 3.81 |
| 2001 | 納莉颱風後 | 41 | 10.10 | 3.5 |
| 2007 | 0612 豪雨後 | 60 | 15.18 | 5.26 |
| 2009 | 莫拉克颱風後 | 54 | 35.05 | 12.15 |

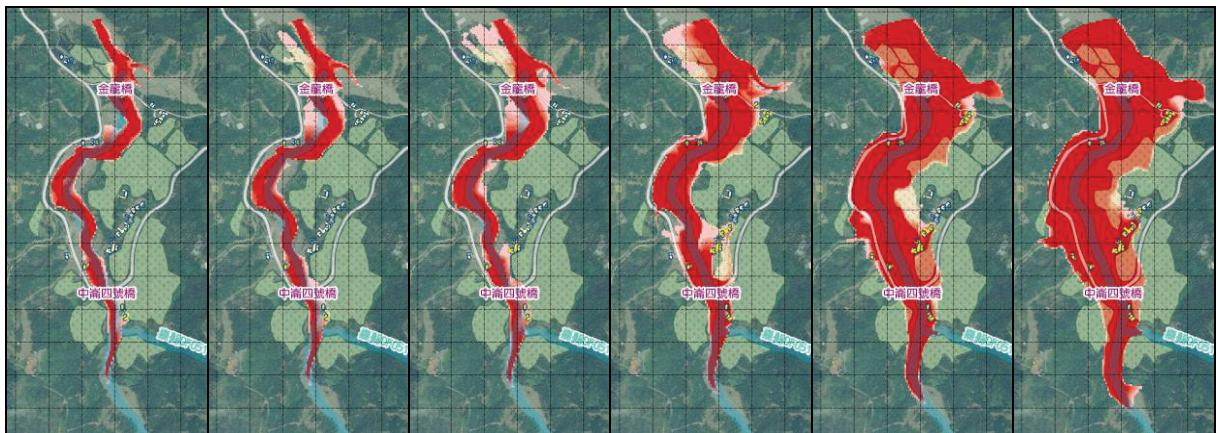
而同樣地在第三次通盤檢討計畫書之「都市防災計畫」章節中曾出現「....惟嘉義縣政府曾對縣轄內可能發生土石流災害危險區域進行調查結果，本計畫區中崙村 5 糊(4 號橋往瑤池宮)為可能發生土石流災害危險區域....」，惟針對此項資訊並未再進一步蒐集災害之其它資訊，因此於通盤檢討中未能對此現象進行可能災害範圍與損失狀況之分析。本研究透過資料蒐集與居民訪談，整理出本集水區之歷史土石流災害如下：

(1)中崙 19-2 旁之坑溝於 2001 年 9 月納莉颱風時曾有土石流發生並波及該住戶。

(2)2009 年莫拉克颱風時累積雨量達 1,500 毫米，8 月 9 日清晨 3 時土石衝入

民宅，堆積約有 2 公尺高，中崙 19-1 號之陳先生遭土石掩埋至胸口，經家人搶救後躲過一劫。災損情況包含 19 號民宅全毀，19-1 號倉庫損毀，台 3 線中崙四號橋全毀，橋梁上游左岸山壁大範圍崩塌，右岸產業道路損毀約 150 公尺，上游瑤池橋路堤完全損毀，防砂壩遭土石淤埋，中崙國小全校區遭土石淤埋近 1 層樓高，賴姓居民遭洪水沖走而不幸身亡。

本研究將現地調查、遙測影像蒐集之集水區狀況與暴露量分布建置於 GIS 環境中，並進行六個重現期距之土石流數值模擬，其模擬結果與暴露量套疊如圖七所示，並可於 GIS 之環境下計算各事件之經濟損失與人員損失值。由圖七與圖四之比較並可知，100 年與 200 年重現期距情境下之土石流已淹沒計畫區大部份區域，而此即為莫拉克颱風時本計畫區所發生之狀況。



圖七、不同重現期距之土石流數值模擬結果(由左至右為 5、10、25、50、100、200 年)

四、結果與討論

本研究依前節所採用之土石流風險分析流程，將不同重現期距之土石流數值模擬結果，套疊區內之暴露量與易損性曲線，其風險損失值計算如表三所示，而實施第三次通盤檢討後之土地使用計畫改變之暴露量所造成之損失則如表四所示。

由表三與表四可知，本計畫區若落實第三次通盤檢討之各土地使用計畫，則其經濟總損失之年平均值將從 3,772,402 元增加至 4,957,234 元，約增加了 30%；而人員損失方面，其年平均死亡率由 0.4970457 人增加至 4.5574377 人，大幅增加了 900%。

表三、不同重現期距下嘉縣 DF051 之各暴露量風險值(單位：新台幣)

| 重現期距 (年) | 年超越機率 | 建築物損失 | 橋梁損失 | 道路損失 | 農作物損失 | 經濟總損失 | 人員傷亡 |
|-------------|-------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|
| - | 100% | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 20% | 1,369,863 | 2,024,007 | 573,413 | 64,819 | 4,032,102 | - |
| 10 | 10% | 1,571,781 | 3,597,546 | 699,719 | 232,587 | 6,101,633 | - |
| 25 | 4% | 2,221,755 | 4,734,081 | 944,135 | 573,066 | 8,473,037 | 0.0089894 |
| 50 | 2% | 9,902,517 | 5,535,290 | 3,829,226 | 4,728,086 | 23,995,120 | 9.3299100 |
| 100 | 1% | 22,889,237 | 9,671,976 | 12,565,199 | 20,802,955 | 65,929,368 | 33.7222000 |

| | | | | | | | |
|-------|------|------------|-----------|------------|------------|-------------|------------|
| 200 | 0.5% | 31,762,550 | 9,671,976 | 21,729,936 | 47,438,383 | 110,602,846 | 41.5282000 |
| 年平均損失 | | 1,230,665 | 1,567,719 | 557,781 | 416,237 | 3,772,402 | 0.4970457 |

表四、不同重現期距下嘉縣 DF051 於實施第三次通盤檢討後之各暴露量風險值
(單位：新台幣)

| 重現期距 (年) | 年超越機率 | 建築物損失 | 橋梁損失 | 道路損失 | 農作物損失 | 經濟總損失 | 人員傷亡 |
|-------------|-------|-------------|-----------|------------|------------|-------------|-------------|
| - | 100% | - | - | - | - | - | - |
| 5 | 20% | 1,664,566 | 2,024,007 | 573,413 | 64,819 | 4,326,805 | 3.9998922 |
| 10 | 10% | 2,210,604 | 3,597,546 | 699,719 | 232,587 | 6,740,456 | 4.3473735 |
| 25 | 4% | 3,990,289 | 4,734,081 | 944,135 | 573,066 | 10,241,571 | 6.7762521 |
| 50 | 2% | 33,563,095 | 5,535,290 | 3,829,226 | 4,728,086 | 47,655,697 | 62.0710418 |
| 100 | 1% | 70,470,524 | 9,671,976 | 12,565,199 | 20,802,955 | 113,510,654 | 107.4356504 |
| 200 | 0.5% | 119,202,591 | 9,671,976 | 21,729,936 | 47,438,383 | 198,042,887 | 160.7253119 |
| 年平均損失 | | 2,415,497 | 1,567,719 | 557,781 | 416,237 | 4,957,234 | 4.5574377 |

本研究探究其原因發現，經通盤檢討後之土地利用規劃非但未能降低本區之土石流災害風險，反倒將旅館、商店街配置於極易受土石流直接危害之區域，直接造成了風險的增加。除此以外，通盤檢討計畫書中所預定之避難收容處所為活動中心與一處旅館區，此二處皆位於土石流直接衝擊或淹沒範圍內，因此若本計畫區可先進行土石流風險分析，則其土地利用配置結果可能有很大不同。以東歐斯洛凡尼亞為例(Mikoš et al., 2007)，便依據土石流風險分析之結果針對高、中、低風險區域進行土地利用管制(如表五所示)，而瑞士的 Sörenberg 地區亦採用了類似之管制(如表六所示) (Zimmermann, 2004)，此類結合災害風險分析結果土地利用、建築物利用管制或許可成為我國未來之發展方向。

表五、斯洛凡尼亞 Stoze 地區土石流風險地圖建築及土地利用限制條件一覽表(譯自 Mikoš et al., 2007)

| |
|---|
| A 區-高風險區（紅色） |
| 1.禁止設置建築法規所指永久性居住之住宅或易損性建物。 2.儘量避免車庫、農場附屬建物、動物住所、飲水槽、乾草堆等附屬性建物之設置。 3.建造道路應考量土石流發生時可能的影響。 4.應規劃地下化之公共管線與電力線。 5.允許休閒用公園或綠地之設置。 6.允許網球場、足球場、田徑場等運動設施之設置。 7.允許露營區之設置，但不得包含除了廁所、浴室以外之建築物。 |
| B 區-中風險區（藍色） |
| 1.新建住宅、擴建或重新裝修既有建物與易損性建物需滿足特定之建築規範。 2.整體而言藍色區域內之新建住宅必須遵照以下之建築規範： (1)建築物之基地地面需考量作為分離土石流之用，基地之位置需位於堅實的地形上，建物之入口需高出地面且避免面對土石流可能來襲之方向，且地下室不得有其它開口。 (2)面對土石流方向的外牆需妥善設計並有適當尺寸（如：鋼筋混凝土）以抵擋土石流質量之衝擊以及其流體壓力。 (3)建築物的內部配置需考慮土石流之流向。 3.藍色區域內禁止設置易損性建物。 4.應規劃地下化之公共管線與電力線。 5.允許各類農地與農業用途之使用。 |

| |
|--|
| 6.允許休閒用公園或綠地之設置。 7.允許網球場、足球場、田徑場等運動設施之設置。 8.允許露營區之設置。 |
| C 區-低風險區（黃、白色斜線區） |
| 1.與藍色區域相似，住宅與易損性建物在考量極端條件下的大型物體撞擊損壞下，可適用一般建築法規，開發商可自行決定建築物樣式。 2.無特殊之建築限制。 3.允許各類農地與農業用途之使用。 4.允許休閒用公園或綠地之設置。 5.允許網球場、足球場、田徑場等運動設施之設置。 6.允許露營區之設置。 |

表六、瑞士 Sörenberg 地區土石流危險地區之建築管制(譯自 Zimmermann, 2004)

| 風險等級 | 新建築物 | 既有建築物 |
|------|---------------------------------|--|
| 高 | 禁止新建建築物 | 允許常態性之建築維修； 僅在屋內人數不增加之狀況下允許改建 |
| 中 | 禁止住宅之新建； 需加強局部強度方可於既有建地新建建築物 | 僅允許於加強局部強度後方可進行改建 (如：增加入口玄關高度、地下室禁設臥室) |
| 低 | 建議加強建築物局部強度；重要建築物需注意 | 無限制 |
| 非常低 | 免予考慮 | 免予考慮 |

五、建議與結論

台灣位於常有地震與颱風、豪雨之地區，加以地質年輕、脆弱，島內多為山坡地，未來山崩與土石流災害仍將頻繁發生，因此於事前妥善地進行土地利用規劃以避開地質敏感區，應為極有效之風險規避手段，地質法、國土計畫法之施行將提供真正可於土地利用規劃階段即規避災害之妥善契機，本研究所提出之土石流風險分析流程與工具可提供未來於土石流潛勢地區進行土地利用規劃之工具。

六、致謝

本研究之經費係由財團法人中興工程顧問社所支付(研究計畫編號：RG11302、RD12302)，作者於此一併感謝。

七、參考文獻

中文期刊論文：

陳亮全、洪鴻智、詹士樑、簡長毅，(2003)，地震災害風險 - 效益分析於土地使用規劃之應用：應用 HAZ-Taiwan 系統，「都市與計劃」，第 30 期，第 281-299 頁。

陳振宇、羅文俊、楊永祺、曹鼎志，(2011)，台灣地區土石流風險管理成效評估，「地工技術」，第 129 期，第 25-34 頁。

曹鼎志、許文科、賴承農、鄭錦桐、張玉粦、陳振宇、羅文俊，(2010)，土石流風險分析之建構與應用，「中興工程季刊」，第 109 期，第 41-52 頁。

英文期刊論文：

- Bell R. and Glade T., (2004), Quantitative risk analysis for landslides – Examples from Bildudalur, NW-Iceland. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 4(1):117-131.
- Dai FC, Lee CF, Ngai YY, (2002), Landslide risk assessment and management: an overview. *Eng Geol* 64(1):65-87.
- Glavovic B. and Saunders W., (2010), Realising the potential of land-use planning to reduce hazard risks in New Zealand. *The Australasian Journal of Disaster and Trauma Studies*, Vol.2010-1.
- Mikoš, M., Fazarinc, R., Majes, B., (2007), Delineation of Risk Area in Log Pod Mangartom Due to Debris Flows from the Stoze Landslide, *Acta Geographica Slovenica*, 47-2, pp.171-198.
- Zimmermann M., (2004), Managing Debris Flow Risks Security Measures for a Hazard-Prone Resort in Switzerland. *Mountain Research and Development*. Vol.24, No.1, pp.19-23.

中文報告、書籍：

行政院研究發展考核委員會，(2009)，風險管理及危機處理作業手冊，行政院研究發展考核委員會，台北。

嘉義縣政府，(2009)，變更中崙風景特定區計畫(第三次通盤檢討)書，嘉義。

英文報告、書籍：

- RCC, (2011), Promoting Use of Disaster Risk Information in Land-use Planning. Regional Consultative Committee on Disaster Management, RCC Secretariat Asian Disaster Preparedness Center, Bangkok, Thailand, 38p.
- UNDRO (United Nations Disaster Relief Coordinator), (1979), Natural Disasters and Vulnerability Analysis in Report of Expert Group Meeting. UNDRO, Geneva.
- UNISDR, (2009), Global Assessment Report on Disaster Risk Reduction. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction.

研討會論文：

Tsao T.-C., Hsu W.-K., Cheng C.-T., Lo W.-C., Chen C.-Y., Chang Y.-L., Ju J.-P., (2010), A preliminary study of debris flow risk estimation and management in Taiwan. In: Chen S-C (ed.) *International Symposium Interpraevent in the Pacific Rim – Taipei*, 26-30 April 2010. Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt, pp 930-939.

Ting-Chi Tsao, Wen-Chun Lo, Chen-Yu Chen, Chin-Tung Cheng and Mei-Chen Chen, (2012), Debris flow risk ranking and management – A case study in Taiwan”, In: Koboltschnig G, Hübl J., Braun J. (eds). 12th Congress Interpraevent, 23-26 April 2012, Grenoble, France. Internationale Forschungsgesellschaft Interpraevent, Klagenfurt, pp.373-384.