

各國國家型山崩潛災計畫概況

楊樹榮* 鄭錦桐** 言樹勇*** 紀宗吉****

摘要

臺灣平均每年約有 3.6 次颱風侵襲，常挾帶豪雨誘發山崩災害，加上全球暖化效應，近年氣候變遷明顯異常，促使極端規模之山崩災害發生頻率與規模劇烈增加，正如 2009 年莫拉克颱風 24 小時及 48 小時的累積降雨量逼近世界極端紀錄，造成高屏溪流域災後崩塌總面積約為災前之 3.7 倍。本文主要在介紹美國、中國、香港、日本及義大利等五個國家過去三十年來所推動的國家型山崩潛災計畫內容，並彙整臺灣近十年來在山崩災害調查及山崩潛勢分析等相關計畫推動的成效，可作為未來國內山崩災害調查與防治的主管單位，在推動山崩災害計畫時可依循的方向，期使有效達到山崩災害防災、救災、減災與預警之目的。

關鍵字：山崩潛災、山崩災害、山崩潛勢分析

一、前言

據 Schuster (1996) 的研究指出，山崩災每年造成日本在經濟上的損失是 45 億美大利 26 億美元、美國 20 億美元及印度 15 億美元。在許多開發中國家，山崩災害所帶來之損失占國民所得的 1% 至 2%。於 2006 年美國調查所 (USGS, U.S. Geological Survey) 中指出山崩災害造成美國每年死亡人數介於 50 人，直接或非直接的經濟損失每年仍達 15 億美元 (USGS, 2006)。臺灣地區每年因豪雨造成的山崩災害 (Landslide Disaster) 見不鮮，常造成山區及都會周緣坡地居民產巨大損失。因此，為有效降低山崩災害人命傷亡及經濟損失，於山崩災害發生前

即應進行疏散避難，使災害影響範圍內居民得以提早疏散避難，而此有賴於對山崩災害發生的地點、時間頻度及規模的正確預測。

相對於山崩災害是已發生的事件，山崩潛災則是山崩災害發生的可能性，為山崩的潛在災害。此潛在災害不一定會發生 (潘國樑，2007)，可藉由山崩潛勢分析 (或稱潛感分析) (Landslide Susceptibility Analysis)、山崩危害度分析 (Landslide Hazard Analysis) 及山崩風險分析 (Landslide Risk Analysis) 來評估。

山崩危害度分析是預測山崩災害發生的地點、時間頻度及規模 (包含災害範圍) 的一種通稱方法，而山崩風險分析則是結合山崩危害度分析及災損後果分析 (Consequence Analysis)，藉以瞭解山崩災害發生時，山崩影響範圍內所造成

* 興工程顧問社大地工程研究中心副研究員
** 興工程顧問社大地工程研究中心防災科技組組長
*** 興工程顧問社大地工程研究中心經理
**** 齊部中央地質調查所環境與工程地質組科長

的期望損失值，包括人命傷亡、財物損失及社會經濟活動中斷等損失（潘國樑，2007；鄭錦桐等人，2009）。換言之，在進行山崩風險分析前須先完成山崩危害度分析。

相較於山崩危害度分析，山崩潛勢分析係評估邊坡發生山崩的潛勢高低，為一相對可能發生的概念，例如 A 邊坡較 B 邊坡容易發生山崩災害，且僅可得知山崩災害發生的地點，而無從得知山崩發生的時間頻度及規模。另外一方面，即使山崩潛勢高，山崩風險不一定高，即山崩造成的災損可能無保全對象而使其風險是低的，因此山崩潛勢分析無法評估山崩造成的災害損失高低。儘管如此，山崩潛勢分析仍普遍地被採用，因其可為一廣域的山崩潛災評估方式，藉由過去發生的山崩空間分布資訊，找出可能引致山崩的潛勢因子（包含水文因子、地質因子、地形因子、人為因子、降雨或地震等誘發因子），再利用統計法、人工智慧法或是定率法歸納各項與山崩有關的因子，進而建立山崩潛勢模式，來預測山崩發生的潛勢，此也是各國邁入山崩危害度分析及山崩風險分析的基礎研究。

經濟部中央地質調查所在 921 集集大地震後始有較大規模的地震山崩調查工作（經濟部中央地質調查所，2002），並開始進行全臺高山區及都會區周緣坡地山崩潛勢評估研究（經濟部中央地質調查所，2002、2007），而美國及義大利早在 70 年代就開始進行山崩調查及相關研究，並先後成立國家型山崩潛災計畫，利用地理資訊系統（GIS）及多變量分析來進行山崩潛勢分析及山崩潛勢圖繪製工作，此亦是近年來許多國外政府單位正在研究的另一個新課題。因此，本文回顧國內外相關的國家型山崩潛災計畫，作為未來國內山崩災害調查與防治的主管單位，在推動山崩研究與防災相關計畫的借鏡。

二、各國山崩潛災計畫概況

（一）美國

山崩對於美國是一個全國性的災害問題，大多數山崩災害發生在太平洋沿岸（Pacific Coast）、落磯山脈（Rocky Mountains），阿帕拉契山區（Appalachian Mountains）、夏威夷（Hawaii）及波多黎各（Puerto Rico）。美國每年因山崩或其相關事件而導致死亡的人數介於 25 到 50 人，直接或非直接的經濟損失每年上升到 3 億美金，山崩造成的損失多肇因於道路、建築、工業及娛樂等行為活動開發。

美國地質調查研究所（USGS）專責美國境內山崩災害研究與公布相關資訊，對於山崩研究項目主要著重於其他與山崩有關聯性的天然災害，例如地震、火山活動、豪大雨、颶風及森林大火。美國地質調查研究所於 1970 年代開始執行「山崩潛災計畫」（Landslide Hazards Program, LHP）。「山崩潛災計畫」主要目的為減少和避免各種天然災害所誘發的山崩，其重要性為美國國會授權通過的每五年為一期之計畫，但如有特別需要，可以縮短計畫更新時間，並且在 1999 年美國國會特別指示美國地質調查研究所須發展全面性的策略，來解決普遍性的山崩災害問題，而此項策略的綱要亦被包含在「山崩潛災計畫」中，由此可見美國政府對於山崩災害防治重視程度。

「山崩潛災計畫」長期的研究重點著重於瞭解山崩何時及何地發生、崩塌體積量、崩塌速度、山崩之影響範圍及如何避免及減少這些災害的發生。其目標是在發展山崩災害之評估方式、監測及模擬山崩的活動，以提供山崩事件發生前及發生後的資訊，進而達到有效減災。在 2005 年山崩災害計畫成立一科學團隊，成員包含了 17 位地質學家、工程師、水文學家、物理科學家、地理學家及土地利用學家。

美國現正執行為期 5 年（2006-2010）的「山崩潛災計畫」（USGS, 2006），重點在降低天然災害風險及衝擊，並整合各項突發災害評估方式，包含地震、火山活動、豪大雨、颶風、森林大火及土石流。「山崩潛災計畫」在 2005-2006 計畫執行期間推動一項新的議題，針對森林大火引致的土石流進行預測，初期以南加州為研究區域，藉由衛星影像（Landsat）判釋森林大火範圍，並研究土石流與山崩在該區域發生的情形，研究成果目的在推動土石流預警系統草案。

2006-2010 的「山崩潛災計畫」另一項重點是發展新的山崩預測模式及新的山崩監測技術，例如：

1. 強化 TRIGRS 模式使其能模擬降雨初期時，雨水入滲至未飽和土層的行為及長時間降雨下所造成的側向逕流。
2. 以機率方式呈現各種山崩潛勢模式，並發展動態山崩潛勢圖，而能即時反映降雨和地震的輸入造成的山崩潛勢改變。
3. 採用低成本的 GPS 接受器（Receiver），即時偵測山崩動態活動，並採用 Landsat 資料和高解析度遙測資料，例如使用 LIDAR 和 In-SAR 快速測繪山崩範圍及地貌。
4. 持續使用 GIS 與遙測技術評估美國其他地區山崩災害。

美國地質調查所在 2000 年所出版的 National Landslide Hazards Mitigation Strategy (USGS, 2000) 中指出，山崩潛勢圖 (Landslide Susceptibility Map, LSM) 是建構機率式山崩危害度圖及進行風險評估時不可或缺的基礎資料，而山崩目錄圖 (記錄山崩時間空間分布資訊的圖) 又是進行山崩潛勢分析所需的樣本，由此可知完整的山崩潛災評估須先產製山崩目錄圖，其次是山崩潛勢圖，再其次是山崩危害度圖，最後才是山崩風險圖，如圖 1 所示。

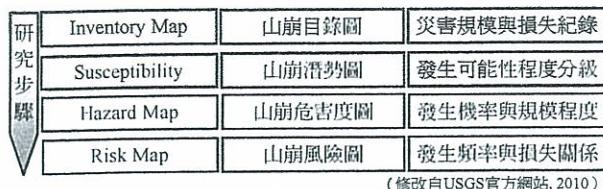


圖 1 美國地質調查所 (USGS) 山崩災害分析步驟

National Landslide Hazards Mitigation Strategy 報告中指出，美國對於山崩潛勢製圖尚未具備完善之統一標準，並具體建議美國應投入更多的資源進行山崩潛勢圖之製作標準及指導方針之訂定。在美國聯邦政府體制下，負責山崩潛勢圖之調查及出版之單位主要以州政府下的地質調查所為主，而美國地質調查所則主要提供經費或負責實驗性質的山崩相關研究，再將成果推廣至各州政府及地方政府 (Spiker and Gori, 2000)。基於此原則下，美國地質調查所成立「山崩目錄先導計畫」 (Landslide Inventory Pilot Project)，分別在華盛頓州、奧勒岡州、加州、猶他州、肯塔基州、北卡羅來那州及紐澤西州等七個州進行山崩目錄建置相關研究工作。

以猶他州為例，猶他州地質調查所 (Utah Geological Survey , UGS) 已完成 46 圖幅 10 萬分之一比例尺的山崩目錄及 1 圖幅 50 萬分之一比例尺的山崩潛勢圖，並建立從 1850 年至 1978 年詳細的山崩災害歷史資料庫 (大部分資料來自於報章雜誌的紀錄)。山崩潛勢圖製作主要是依據山崩目錄，例如某一地質單元 (Geologic Unit) 過去曾經發生過山崩，則此單元會被標註為高潛勢，高潛勢以外的地質單元則依據坡度等級門檻將地質單元分類為中潛勢 (Moderate Susceptibility) 、低潛勢 (Low Susceptibility) 及極低潛勢 (Very Low Susceptibility) (UGS, 2007)。

美國目前較有系統性的山崩潛勢圖測製工作則以加州最具代表性。從 1970 年代，加州地質調查所 (California Geological Survey, CGS) 以不同比例尺針對加州各區域完成了數百張山崩目錄

圖、山崩潛勢圖及土石流潛勢圖，並以二萬四千分之一比例尺各類型圖為典型出版品。此外，由於加州位處板塊邊緣，地震活動度高，因此特別針對地震防災成立了「地震災害繪製計畫」（Seismic Hazard Mapping Program），地震誘發山崩危險區劃分是其中的一項重點工作。此外，美國地質調查所 Coe and Crovelli (2008) 對加州灣也開始進行山崩風險分析。

（二）中國

中國對於山崩潛勢尚未有全面性的評估，且山崩潛勢分析技術絕大多數都在各大學或研究機構進行學術研究，尚未廣泛推廣至全國。例如南京師範大學 Bai *et al.* (2008) 針對中國中部秦嶺造山帶，以羅吉斯迴歸（Logistic Regression）統計法進行山崩潛勢分析，並製作五十萬分之一山崩潛勢圖；中國科學院地質與地球物理研究所戴福初等人（2007）以支持向量積法進行山崩潛勢分析。因此，中國大區域型計畫目前多還是針對既有發生的山崩災害進行調查，並以既有災害資料發展地質環境風險，有別於 USGS 須先完成山崩危害度分析才進行山崩風險分析。

中國境內山崩災害目前尚未統籌由單一單位負責管轄，主要負責的政府單位有中國地質調查局、環境監測院、中國地質科學院，此三個單位皆在國土資源部之下。另外，中國並未像美國有專門計畫支持山崩潛災評估，而是分成不同計畫在執行，目前國家型計畫主要有下列幾個計畫進行：「全國主要城市環境地質綜合評價」、「長江上游主要環境地質問題調查」及「全國礦山地質環境調查與評估」。

「全國主要城市環境地質綜合評價」從2004 年開始執行，到 2006 年底已完成了江西、浙江、四川、雲南、黑龍江、甘肅、海南共 7 個省的 98 個城市環境地質調查評價（其中 2004 和 2005 年完成 52 個城市，2006 年完成 46 個城市），包括地質災害與環境地質調查、發育分

布、機理與發展趨勢、以及造成的危害和經濟損失。同時完成了圖系編制、地質環境風險、地質環境經濟損失評估、地質環境品質等方法研究，並進行了城市環境地質資料庫建立，為中國主要城市環境地質調查評價提供技術市場和方法支持。

「長江上游主要環境地質問題調查計畫」又分為金沙江幹流主要環境地質問題調查（2003-2005 年）、嘉陵江幹流主要環境地質問題調查（2003-2004 年）、青藏高原東部現代地殼運動 GPS 監測（2003-2006 年）、長江上游重點城鎮地質災害遙感調查（2003-2004 年）、西部地區地質遺跡調查及環境保護區劃（2004 年）、長江源區 1：25 萬生態環境地質調查（2005-2007 年）、長江上游主要環境地質問題調查綜合研究（2003-2006 年）、長江上游水電工程開發的重大地質問題及對策研究（2007 年）。上述研究計畫範圍涵蓋長江上游（宜昌以上）長 4511 公里，占長江全長的 70%，涉及青海、西藏、雲南、四川、重慶、湖北、甘肅、陝西、貴州等九省、自治區、直轄市的 376 個縣（區），流域面積 96.5 萬平方公里，占全流域總面積的 54%，占中國國土總面積的 10.05%。

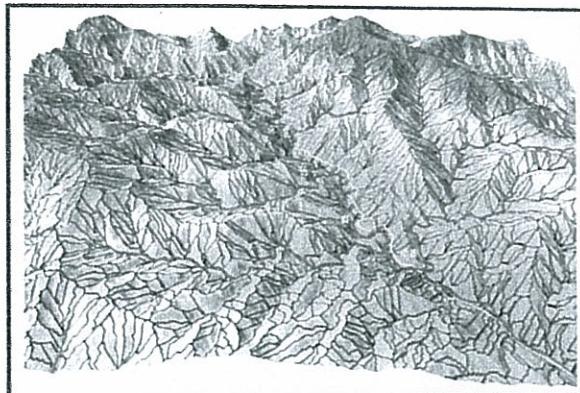
計畫執行期間主要完成了長江上游地質圖、地貌圖、岩土體類型圖、活動斷裂與地震分布圖、重大地質災害分布圖、國家重大工程分布圖。此外對於通過岷江流域、大渡河流域、金沙江流域、雅礱江流域等地質災害與地貌、岩性、斜坡結構、降雨的關係進行統計分析，找出了小流域地質災害的主控因素及其發育分布規律，為流域經濟可持續發展和減災防災規劃提供了科學依據。進一步以小流域為單元，統計堵江地質災害事件，闡述了流域堵江地質災害的發育分布特徵和危害，並對其發展趨勢進行了預測，為今後流域內水利水電工程建設和經濟可持續發展提供科學依據。

「全國礦山地質環境調查與評估計畫」是中國地質調查局於 2003 年開始執行為期四年的計畫，針對取得的數據分析中國 31 個省（區、市）的礦山地質環境動態變化趨勢，並以省（區、市）為單元的礦山地質環境進行調查與評估，目的主要是瞭解礦山地質環境現況、地質環境問題及其危害，為合理開發礦產資源、保護礦山地質環境和開展礦山環境整治、礦山生態恢復與重建、實施礦山地質環境監督管理提供科學依據，促進礦產資源開發與礦山環境保護協調發展。由上述討論可知，中國目前是基於經濟持續發展而推動山崩潛災計畫。

（三）香港

香港約有 60% 面積的土地為較陡峭的天然山坡地，在過去屢受山泥傾瀉災害影響（包含土石流與山崩），平均每年約發生 300 次山泥傾瀉災害，尤其在 1972 年 6 月 18 日（618 雨災）九龍秀茂坪（現觀塘翠屏道）一個填土山坡，因填土未充分壓實，加上排水欠佳而引發山泥傾瀉，造成 70 多間木屋淹沒，活埋了 71 人。同日香港島半山區寶珊道亦發生山泥傾瀉，共 67 人慘遭活埋。1976 年九龍秀茂坪一個填土山坡在連續 2 日大雨下發生山泥傾瀉，造成 18 人死亡。九龍秀茂坪在短短四年內連續發生兩起重大山泥傾瀉事件，而被質疑未成立專門監管山坡的部門。

有鑑於此，香港政府於 1977 年開始推行長遠的「防止山泥傾瀉計畫」（Landslides Preventative Measures, LPM），使用「斜坡」（意即邊坡）為單元管理香港境內大大小小的斜坡，示意圖如圖 2 所示。並將斜坡區分為人造斜坡及天然斜坡。該計畫主要目的為防止山泥傾瀉之發生，內容項目包括研究須優先處理的人造斜坡和擋土牆，確定其潛在風險和所需的防護工程，藉由鞏固及維修不合標準的斜坡，來提高斜坡安全，並減低其風險。



（修改自經濟部中央地質調查所，2009）

圖 2 斜坡單元示意圖

香港土力工程處（Geotechnical Engineering Office, GEO）為香港專責管理防止山泥傾瀉計畫之政府單位，該處成立於 1977 年，在土木工程拓展署之下專責策劃和施行防止山泥傾瀉計畫、管理財政資源、監察工程開支和進度、及甄選防止山泥傾瀉計畫工程顧問等。此外，該處亦負責篩選納入防止山泥傾瀉計畫的斜坡，並為其他部門提供維修斜坡的技術支援。故香港斜坡安全為香港土力工程處所負責岩土工程審查項目之一。

「防止山泥傾瀉計畫」是香港土力工程處持續推動的全方位的長期計畫，以求儘快減低香港的山崩風險。計畫中納入新的試驗性計畫，採用量化風險評估（Quantitative Risk Assessment, QRA）技術來計算和管理山崩風險，其特點為利用大量歷史山泥傾瀉紀錄分析研究結果，並推測未來發生山泥傾瀉的風險，此法已逐漸獲得香港岩土工程業界的認同，因而驅使相關技術在近年來蓬勃地發展和應用。截至 2000 年，香港政府透過防止山泥傾瀉計畫，已把不符合標準舊有人造斜坡所構成的整體山泥傾瀉風險，從 1977 年的基準減至它的 50%。

在該計畫支持下，目前香港政府已監控 57,000 個大型人造斜坡資料，每個人造斜坡均予以編號登錄造冊（如圖 3 及圖 4 所示），方便政

府單位管理，另有規劃建置 30,000 個天然斜坡編號，長期觀察監測坡地的安全，一般民眾亦可上網查詢住家附近斜坡風險等級。土力工程處並以地理資訊系統應用在空間分析和三維工程模擬上，且採用多項新科技於防止山泥傾瀉計畫中，包括數位攝影測量、衛星合成孔徑雷達干涉測量技術、三維遙感雷射掃描和影像處理，以及空載遙感光達掃描等技術。



圖 3 人工斜坡登記編號（陳建宏 攝於 2009 年）



圖 4 斜坡登記的詳細資訊（陳建宏 攝於 2009 年）

在降雨山崩預警方面，香港土力工程處根據即時雨量數據及香港天文台預估雨量，來預測山泥傾瀉危險於何時會處於高風險，並於 2005 年成功研發全球首創的「滑坡指數」（Landslide Potential Index, LPI），藉由輸入 24 小時最大雨量至分析的斜坡，並根據香港山崩歷史資料所發展的降雨量與山泥傾瀉機率的關係模型，計算可能發生意外的人造斜坡數目，再與 1994 年 7 月

發生的觀龍樓豪雨造成的災況比較（該場事件造成 5 死 3 傷，是自 1984 年土力工程處開始全面收集雨量和山泥傾瀉資料至今最嚴重的山泥傾瀉事故，其滑坡指數被定為 10），以求得「滑坡指數」（GEO, 2005）。

「防止山泥傾瀉計畫」將於 2010 年完成，屆時所有影響主要道路和現有發展的高風險人造斜坡大致處理完成，山泥傾瀉的整體風險將會大幅減低。土木工程拓展署將會推行另一項「長遠防治山泥傾瀉計畫」（Landslides Prevention and Mitigation Program, LPMP），用來銜接「防止山泥傾瀉計畫」，以處理餘下的山泥傾瀉風險，包含 15,000 個中度風險的人造斜坡及 2,700 個接近建築物及主要交通走廊的天然山坡，預訂每年目標是：1. 鞏固 150 個政府人造斜坡；2. 為 100 個私人人造斜坡進行安全篩選研究；3. 為 30 個天然斜坡進行風險緩減工程。總言之，香港已建立一套完整「斜坡安全系統」，大幅減低山泥傾瀉的風險，由「防止山泥傾瀉計畫」，提升至「長遠防治山泥傾瀉計畫」（香港立法會會參考資料摘要，2007）。

（四）日本

1999 年廣島豪雨造成廣島縣廣島市大規模的土石流災害，促使日本當局重視土砂災害的影響，著手進行各種土砂災害（包含急傾斜地崩坍、土石流與地滑三種災害類型）對策之擬定，並於 2001 年實施土砂災害警戒區域等關於土砂災害防治對策推動之法律（簡稱為土砂災害防治法），其目的為降低土砂災害之風險，明確界定出有發生土砂災害之虞的區域。

在訂定土砂災害防治法前日本已充分地在土砂災害防治上做了許多相關研究。日本在土砂災害防治研究計畫推動有國家級專職砂防業務之研究機構，如「國土技術政策綜合研究所」與「獨立行政法人土木研究所」，此二個單位皆是國土

交通省所屬研究單位。國土技術綜合政策研究所下設風險管理技術研究中心（包含砂防研究室、水害研究室及地震防災研究室），其中砂防研究室乃針對土砂災害可能之災害風險進行評估與災害預防策略之擬訂。獨立行政法人土木研究所下設土砂管理研究團隊（包含火山與土石流組、滑坡組及雪崩地滑研究中心），其中滑坡組與國土技術綜合政策研究所的砂防研究室任務大致相同，都是針對土砂災害進行防治對策研究，降低土砂災害發生的機會。

國土技術綜合政策研究所目前已執行完的計畫項目涵蓋基礎研究與防災對策研擬。基礎研究大致有滑坡運動機制研究、大型滑坡地下水水流動機制研究、防止滲透的植被調查、表層土壤抗剪強度參數研究；防災對策研擬計畫大致有急傾斜地風險評估、地震後降雨引起的斜面崩壞風險評估、斜面崩壞防災對策、落石防災對策、大規模斜面崩壞災害防治對策技術開發。

獨立行政法人土木研究所之研究成果著重在滑坡監測儀器的開發及滑坡防治技術研擬，並已開發多項專利權，例如地盤內水壓計設置方法、地盤內湧水壓量測方法、防止雨水入滲邊坡引致地滑之對策工法，有別於國土技術綜合政策研究所比較強調滑坡滑動機制的探討，其研究成果更是偏重於實務應用面。此外，對於日本政府砂防之研究與發展之需求，提供高度且密切之技術支援，以提升中央與民間之砂防專業及工程技術。

（五）義大利

義大利是山崩風險極高的國家，其發生頻率高居其他天然災害之冠，對於人口聚集之處常威脅著公共建設、交通網絡、環境及世界文化遺產。義大利過去 20 年間，在主要城市 Val Pola、Piemonte、Versilia、Sarno and Quindici、North-west Italy 及 Val Canale-Friuli Venezia Giulia 都有山崩災害事件發生。

在 Landslide in Italy Special Report 2008 (ISPRA 2008) 報告中即明確指出 IFFI 計畫 (Inventario dei Fenomeni in Italia—"Italian Landslide Inventory") 之目標是在調查義大利境內山崩，並製作山崩目錄圖 (Landslide Inventory Map) 及測繪山崩危害度圖 (Landslide Hazard Mapping)，其目的是為了進行山崩風險評估、土地利用計畫及降低災害發生。該計畫係由義大利政府於 1997 年資助 410 萬歐元，委託 ISPRA (Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale—"Institute for Environmental Protection and Research") 執行，目前已經完成了 482,272 處山崩目錄調查，包含面積大約 20,500 平方公里，占義大利國土面積約 6.8%，而當中共 5,708 自治市受到山崩影響，佔全部自治市 70.5%，顯見義大利人口發展大多數在山崩災害影響範圍內，而目前 ISPRA 是以人口聚集處為山崩目錄重點調查區域。

發展適當的方法論 (Methodology) 為該計畫重點項目之一，其目的是確保結果在全國性的等級具有同質性和可比較性，為此在 2000 年成立一特別技術工作團隊，針對山崩資訊蒐集、記錄、山崩測繪及山崩資料庫定義方法。該方法是基於山崩歷史資料蒐集、航照判釋及現地調查，工作方法流程如圖 3 所示。此外，有鑑於山崩歷史資料對於山崩再發生頻率評估之不可或缺性，可透過下列管道蒐集山崩歷史資料，以瞭解山崩災害規模與損失：

1. 國家型計畫：AVI (Inventory of Information on Sites Historically Affected by Landslides and Floods), SCAI (Study of Unstable Urban Areas), CARG (Geological Map of Italy, Scale 1:50,000)
2. 行政區、河川管理局 (River Basin Authorities)、大學、國家研究委員會 (National Research Council) 所建立的山崩目錄圖

3. 河川流域計畫 (River Basin Plans)
4. 公共建設防禦緊急宣佈 (Civil Defence Emergency Declarations)
5. 全國性、區域性、省及地方性圖書館和檔案館
6. 科學發表
7. 技術報告

義大利除 ISPRA 研究山崩潛災外，義大利國科會 (Consiglio Nazionale delle Ricerche, CNR) 設有 107 所研究中心，其中水文地質災害研究所 (Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica, IRPI) 進行山崩災害相關計畫研究長達數十年，於集水區土砂運輸及堆積、遙測技術應用於山崩災害判釋、山崩潛勢分析、山崩風險分析、及落石災害防治技術都有長足之經驗，其研究成果主要為使用判別分析法建置義大利 Tiber 河上游流域 20 萬分之一的山崩目錄圖與山崩危害度圖，如圖 4 所示 (Cardinali *et al.*, 2001; Cardinali *et al.*, 2002)。此外，水文地質災害研究所協助義大利人民保護署解決山崩臨界雨量問題，做為山崩預警參考依據。

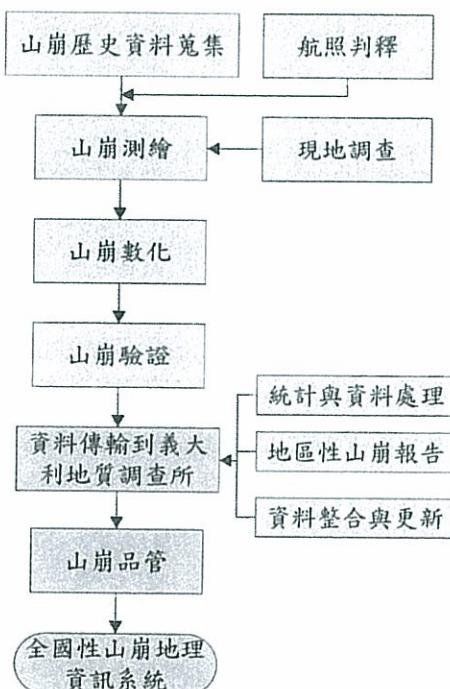
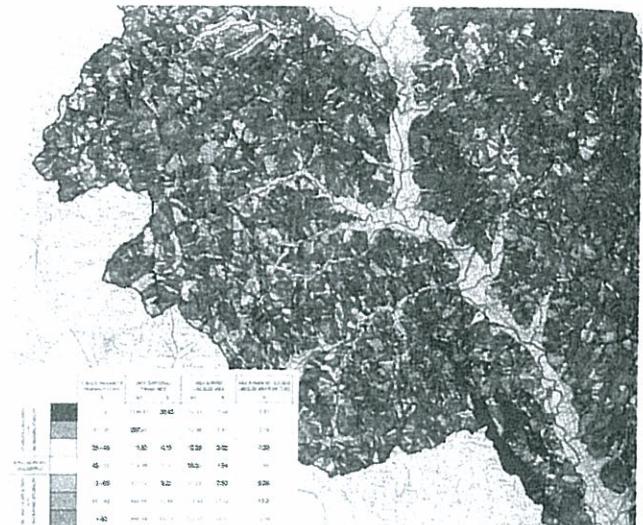


圖 3 義大利 IFFI 計畫流程



(修改自 Cardinali *et al.* 2002)

圖 4 義大利 Tiber 河上游流域山崩危害度圖

表 1 為各國之國家型山崩計畫之目的。由上述討論可知，各國對於山崩災害防治推展皆不遺餘力，美國及香港政府早在 1970 年代就有專門國家型山崩計畫，其優點是在一個大架構計畫支持下推動山崩防治及相關研究會有長遠目標，且不會發生停止編列計畫經費的情況，而影響山崩災害相關研究推動，此點是非常值得臺灣學習。此外，美國及香港皆有專責負責山崩計畫的單位，不會發生同時編列類似計畫的情形，且能夠權責分明及有效整合各項計畫。日本值得借鏡之處是其針對土砂災害成立國家級研究機構，藉以有效整合國內外研究單位之成果，提升國家土砂災害防治計畫之效能，且其發展之計畫能夠學術與實務並重。

表 1 各國之國家型山崩計畫之目的

| 國家 | 計畫名稱 | 計畫目的 |
|-----|----------|--------------------------|
| 美國 | 山崩災害計畫 | 降低天然災害風險，並整合各項突發災害評估方式 |
| 中國 | 各類計畫 | 全面性環境地質調查，為經濟可持續發展提供科學依據 |
| 香港 | 防止山泥傾瀉計畫 | 藉由各項技術防止山泥傾瀉之發生 |
| 日本 | 各類計畫 | 降低土砂災害之風險，擬定不同土砂災害防治對策 |
| 義大利 | 各類計畫 | 進行山崩風險評估、土地利用計畫及降低災害發生 |

另外，香港政府以斜坡單元進行山崩災害風險管理，針對每一個人造斜坡都予以定期檢查其安全性，並有完善的降雨資料蒐集與歷史山崩紀錄，故自 1970 年代以來發揮具體減災成效，且自行發展的滑坡指數能夠有效預測豪雨誘發山崩之影響，採用的量化風險評估技術能夠將高風險的人造斜坡優先篩選出來整治，各項措施都是值得國內學習。

三、臺灣山崩潛災計畫現況

經濟部中央地質調查所為臺灣主要負責山崩災害調查與潛災評估的中央層級單位，於民國 91 年辦理的「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」（經濟部中央地質調查所，2002a），主要目的即是在進行全臺山坡地環境地質調查，整合各項環境地質災害資料，進行潛在地質災害敏感區劃設，及完成臺灣都會區及周緣坡地環境地質資料庫建置工作（資料庫包含岩性分布、地質構造及工程物理特性）。

「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」為五年中長程計畫（2002-2006），主計畫可分為「岩體工程特性調查研究」、「坡地環境地質災害調查研究」、「整合性環境與工程地質資料庫網路系統建置」、及「臺灣能礦資源坑道及坑渣堆調查」等四個子計畫。與山崩災害調查及潛災評估有關的計畫是「岩體工程特性調查研究計畫」與「坡地環境地質災害調查研究計畫」。其中「岩體工程特性調查研究計畫」主要目的係在產製二萬五千分之一臺灣坡地岩體工程地質特性圖系，包括岩性組合分布圖及岩體強度分布圖，以作為地質災害潛勢評估之參數資料。

「坡地環境地質災害調查研究計畫」即利用岩體強度分布圖，並結合遙測技術、航空照片研判、岩體強度等級與岩體工程特性之關係，及現地調查，依據不同類型災害敏感區判定準則，以專家法完成各種環境地質災害敏感區範圍之圈繪

及潛災分級，目前已完成二萬五千分之一坡地環境地質基本圖與地質災害敏感區分布圖，及建立成 GIS 資料庫。

在民國 95 年完成「都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫」之際，經濟部中央地質調查所旋即於民國 96 年開始執行「地質敏感區災害潛勢評估與監測計畫」（經濟部中央地質調查所，2007a），針對山地聚落地區之坡地環境地質與敏感區進行調查與災害潛勢分析，以四年分區完成二萬五千分之一之坡地環境地質基本圖與坡地環境地質災害敏感區分布圖（含 GIS 數值檔），並建置坡地環境地質資料庫、防災決策支援系統、山崩預警系統及 WebGIS 網路查詢系統。

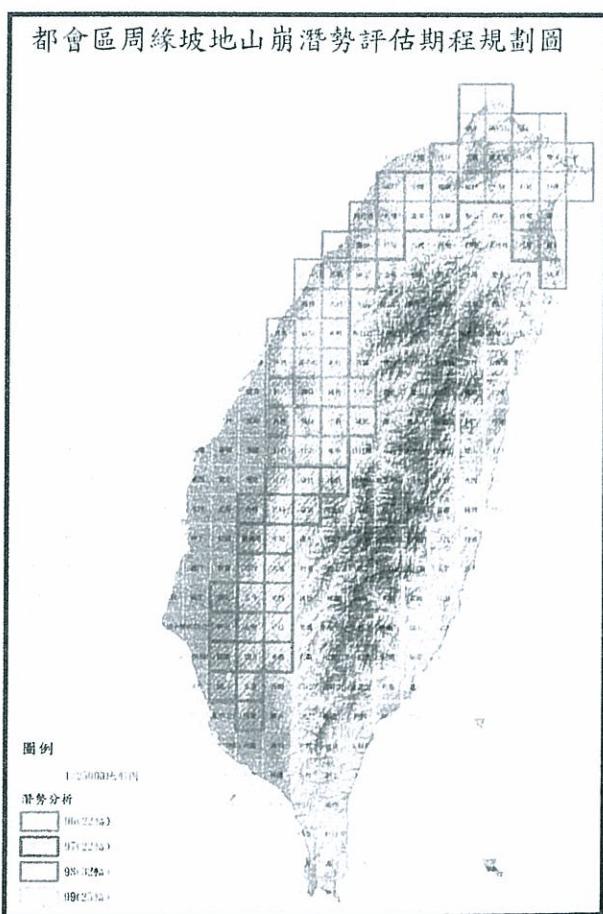
誘發山崩的外在因素主要有地震與豪雨兩項，近二十年於國際間已有相當多學者探討地震與豪雨對山崩誘發的影響（Iverson, 2000; Guzzetti *et al.*, 2004; Cardinali *et al.*, 2006; Lee *et al.*, 2008a; Lee *et al.*, 2008b; Chang and Chiang, 2009），亦成為各國家型山崩潛災計畫探討重點項目，經濟部中央地質調查所同樣也針對這兩個課題進行研究。

在地震誘發山崩潛災評估方面，經濟部中央地質調查所在 921 大地震後始有較大規模的地震山崩調查工作，並於民國 91 年起執行為期五年的山崩調查與危險度評估計畫（經濟部中央地質調查所，2002b）。該計畫為一整合性的調查研究計畫，係為防災國家型科技計畫第二期，計畫內容採衛星影像及航空照片判釋技術，並基於數值地形分析、地理資訊系統及相關資料庫建置技術進行山崩潛勢分析，以統計法建立各項山崩潛勢因子與山崩關聯性，而完成山崩潛勢分析模式，並配合野外山崩調查工作，確認分析之正確性。

山崩調查與危險度評估計畫初期三年採分年分區方式進行 921 集集地震重建區地震山崩的調查，民國 91 年至 93 年調查區域分別為國姓地區、

南投地區及東勢地區。民國 94 及 95 年則繼續第一期計畫，進行臺灣西南部各縣市之山崩調查，涵蓋彰化縣、雲林縣、嘉義縣、嘉義市、台南縣、臺南市、高雄市、高雄縣、屏東縣等。該計畫目前已完成二萬五千分之一集集地震誘發的山崩分布圖、二十五萬分之一或十萬分之一集集地震山崩潛勢分級圖，及地震山崩地理資訊系統資料庫。

在豪雨誘發山崩潛勢評估方面，經濟部中央地質調查所於民國 96 年委託中興工程顧問社執行「都會區周緣坡地山崩潛勢評估計畫」（經濟部中央地質調查所，2007b），以 4 年（96 年至 99 年）時間，針對都會區周緣坡地共 101 二萬五千分之一圖幅（圖 5）進行山崩潛勢評估工作，繪製二萬五千分之一山崩潛勢圖，以加強落實防災預警功能。



（修改自經濟部中央地質調查所，2007b）

圖 5 民國 96 至 99 年山崩潛勢評估工作期程圖

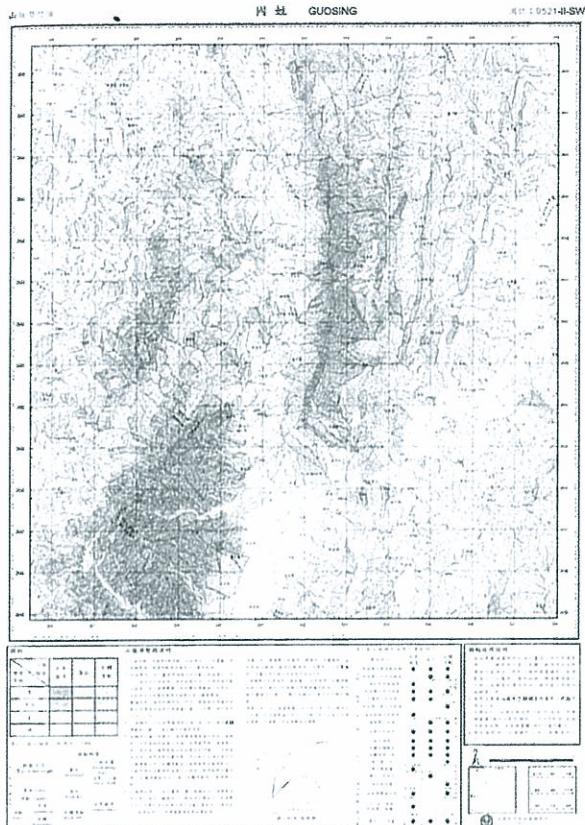
該計畫目前已執行完畢，計畫特色是根據五大地質區（研究區域涵蓋七大地質區中之五大地質區）、三大岩類及岩體強度分級，將全臺劃分成 16 個地質分區，並輔以工程地質參數，藉以清楚區分各地質分區的工程地質特性。計畫另一特色是在 ArcGIS 9.X 版平台下開發斜坡單元自動電腦化劃分系統，以供山崩潛勢分析單元使用，取代以往網格單元分析法，所得之參數代表整個地形單元，較具地形上的連續意義，比網格單元適於山崩潛勢分析，也易於政府單位管理山崩災害，可避免邊坡上中下段潛勢不同，而衍生管理配套不一致的問題。斜坡單元與網格單元之優缺點比較如表 2 所示（Guzzetti *et al.*, 1999；經濟部中央地質調查所，2009、2010）。此外，為提供山崩潛勢分析的山崩樣本，以衛星影像或航照為基礎，建立以往各事件（颱風、豪雨）所發生之山崩與非山崩斜坡單元之 GIS 屬性，並搭配現地調查確認山崩數化之正確性。

表 2 斜坡單元與網格單元之優缺點比較

| 比較 | 斜坡單元 | 網格單元 |
|----|-------------------------------------|--|
| 優點 | 所得之參數代表整個地形單元，較具地形上的連續意義，極適於山崩潛勢的研究 | 結構簡單，分析簡易，及製作簡單快速，大小一致。並可依使用者需求決定網格大小 |
| 缺點 | 小型岩屑山崩難以呈現，流域界線不一定符合地貌地質或土地利用分界 | 無法呈現連續地形面，須有足夠的記憶體和處理速度，才能處理廣域及大量的分析單元 |

該計畫以羅吉斯迴歸（Logistic Regression）統計法進行各地質分區岩屑崩滑型山崩潛勢分析時，係採不同潛勢因子建立山崩潛勢分析模式，採用的山崩潛勢因子係依定量篩選流程，決定各地質分區與地形有關之潛勢因子組合，其可反映不同地質分區地形對崩塌之影響性（鄭錦桐等，2008）。圖 6 為在民國 96 年計畫產製的國姓鄉山崩潛勢圖，由圖中可清楚瞭解相對危險的山崩

發生區域，即環境敏感區域的空間分布，藉由各區域發生山崩之潛勢高低指標，可提供坡地防災預警，以及坡地災害之風險評估參考。



(修改自經濟部中央地質調查所, 2007b)

圖 6 國姓鄉山崩潛勢圖

中興工程顧問社另一個與山崩有關的計畫「集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估」（經濟部中央地質調查所, 2007c）是採定率法進行山崩潛勢分析，並採用遙測、現調、自動監測、室內實驗及境況模擬等先進技術，對集水區內之重大崩塌、崖錐、河道、扇狀地等對象進行調查研究。

該計畫是「易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置計畫」（經濟部中央地質調查所, 2007d）其中的一個子計畫，計畫全程以流域為單位，分 7 年執行，調查各易淹水區上游集水區的地質、工程地質、潛在地質不穩定區、河川輸砂量及其對水利建造物等水資源與水利工程造成

之影響。所完成的計畫成果可提供易淹水地區進行淹水原因評估、淹水治理、流域管理等規劃設計之參考，並可作為國土復育促進地區之劃定、復育與管理之依據。

四、結 語

臺灣推動山崩災害相關計畫是近十年來的事，目前研究進展至坡地環境地質基本圖與地質災害敏感區分布圖的繪製，及山崩潛勢評估。相較於美國、日本、香港及義大利已進展至山崩危害度分析及山崩風險評估，並應用至國土利用建設與環境永續發展規劃，臺灣仍有長足進步空間。

臺灣在山崩災害防治相關工作主要還是依靠工程建設，然而工程手段有其主觀與客觀條件限制，主觀方面在於災害防治規劃時之工程標準無法無限提高；客觀方面則在於對山崩災害的認識不足，即並未做到天然災害之風險分析，此為早期工程規劃設計之非關鍵因素，甚至未被列入考慮。臺灣未來應加速對於既有山崩災害進行全面的坡地災害風險分析，並進行風險排序與分級，以風險管理方式依其重要與優先性規劃適當之硬體工程改善，及規劃非工程之防災應變措施，徹底落實天然災害風險控管。香港這一部分做得很完善，依據山崩風險分析優先處理高風險的人造邊坡。

另一方面，山崩目錄之基本資料建置技術仍待加強，且須要不斷累積各事件型山崩目錄，應參考義大利推動專門山崩目錄建置的計畫，且須長年期的編列經費執行，如此基礎資料完善方能進行後續的山崩危害度分析及山崩風險評估。另外建議應發展類似國內目前土石流紅黃色警戒發布之豪雨誘發的早期山崩預警系統。

本文之各國潛災計畫概況回顧內容可作為國內推動山崩國家型計畫的研究方向與技術參考，期能加速國內山崩災害相關研究，以提升防災預警系統能力，最終達到降低山崩災損的目標。

參考文獻

- 香港立法會會參考資料摘要 (2007) 2010 年後的長遠防治山泥傾瀉計劃，檔號：DEVB (CR) (W) 1-150/72
- 經濟部中央地質調查所 (2002a) 都會區及周緣坡地整合性環境地質資料庫建置計畫
- 經濟部中央地質調查所 (2002b) 91 山崩調查與危險度評估計畫
- 經濟部中央地質調查所 (2007a) 96 地質敏感區災害潛勢評估與監測
- 經濟部中央地質調查所 (2007b) 都會區及周緣坡地山崩潛勢評估計畫 (1/4)
- 經濟部中央地質調查所 (2007c) 集水區水文地質對坡地穩定性影響之調查評估
- 經濟部中央地質調查所 (2007d) 易淹水地區上游集水區地質調查與資料庫建置計畫
- 經濟部中央地質調查所 (2008) 都會區及周緣坡地山崩潛勢評估計畫 (2/4)
- 經濟部中央地質調查所 (2009) 都會區及周緣坡地山崩潛勢評估計畫 (3/4)
- 經濟部中央地質調查所 (2010) 都會區及周緣坡地山崩潛勢評估計畫 (4/4)
- 潘國樑 (2007) 工程地質通論，五南圖書出版股份有限公司
- 鄭錦桐、吳秋雅、沈哲緯、林彥享、邵國士、陳建宏、紀宗吉、張閔翔、劉進金、李錫堤 (2008) 運用判別分析法進行斜坡單元之豪雨誘發山崩潛勢研究-以臺灣中部地區為例，97 年地質與地物年會暨學術研討會，台南
- 鄭錦桐、曹鼎志、沈哲緯 (2009) 坡地災害潛勢分析與風險管理，災害防救科技領域教學改進師資培訓研習會，中壢
- 戴福初、姚鑫、潭國渙 (2007) 滑坡災害空間預測支持向量積模型及其應用，地學前緣，第 14 卷，第六期，第 153-159 頁
- Bai, S. B., Wang, J., Pozdnoukhov, A., and Kanevski, M. (2008) Validation of Spatial Prediction Models for Landslide Susceptibility Maps, Proceedings of the 8th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Shanghai, P. R. China, pp.280-286
- Cardinali M., Antonini G., Reichenbach P., and Guzzetti F. (2001) Photo Geological and Landslide Inventory Map for the Upper Tiber River Basin, Publication CNR GNDI, No. 2116
- Cardinali M., Carrara A., Guzzetti F., and Reichenbach P. (2002) Landslide Hazard Map for the Upper Tiber River Basin, Publication CNR GNDI, No. 2634
- Cardinali, M., Galli, M., Guzzetti, F., Ardizzone, F., Reichenbach, P., and Bartoccini, P. (2006) Rainfall Induced Landslides in December 2004 in South-Western Umbria, Central Italy: Types, Extent, Damage and Risk Assessment, Nat. Hazards Earth System Science, 6, pp.237-260
- Chang, K., and Chiang, S. (2009) An Integrated Model for Predicting Rainfall-induced Landslides, Geomorphology, 105, pp.366-373
- Coe, J.A., and Crovelli, R. A. (2008) Landslide Risk in the San Francisco Bay Region, Landslides and Engineered Slopes, From the Past to the Future, Proceedings of the 10th International Symposium on Landslides China, Taylor & Francis Group, London, 2, pp.1899-1904
- Geotechnical Engineering Office (2005) Landslide Potential Index (GEO Information Note 3/2005), Geotechnical Engineering Office, Civil Engineering and Development Department, Hong Kong SAR Government, 4
- Guzzetti, F., Carrara, A., Cardinali, M., Reichenbach, P. (1999) Landslide Hazard Evaluation: A Review of Current Techniques and Their Application in A Multi-scale Study, Central Italy, Geomorphology, 31, pp.181-216
- Guzzetti F, Cardinali M, Reichenbach P, Cipolla F, Sebastiani C, Galli M, and Salvati P. (2004) Landslides Triggered by the 23 November 2000 Rainfall Event in the Imperia Province, Western Liguria, Italy, Engineering Geology, 73, pp.229-245
- Iverson, R. M. (2000) Landslide Triggering by Rain Infiltration, Water Resour. Res., 36, pp.1897-1910
- ISPRA (2008) Landslide in Italy, Special Report 2008
- Lee, C. T., Huang, C. C., Lee, J. F., Pan, K. L., Lin, M. L., and Dong, J. J. (2008a) Statistical Approach to Storm Event-induced Landslides Susceptibility, Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 8, pp.941-960
- Lee, C. T., Huang, C. C., Lee, J. F., Pan, K. L., Lin, M. L., and Dong J. J. (2008b) Statistical Approach to Earthquake-induced Landslide Susceptibility Engineering Geology, 100, pp.43-58
- Schuster, R. L. (1996) Socioeconomic Significance of Landslides, In Landslides: Investigation and Mitigation, Special Report 247, Washington, Transportation Research Board, pp.12-35
- Spiker, E. C., and Gori, P. L. (2003) National Landslide Hazards Mitigation Strategy—A Framework for Loss Reduction, U.S. Geological Survey, Circular 1244
- USGS Web Site (2010) <http://www.usgs.gov/>
- USGS Landslide Hazards Program Web Site (2010) <http://landslides.usgs.gov/>
- UGS (2007) Landslide Susceptibility Map of Utah, Utah Geological Survey Map 228DM
- USGS (2000) National Landslide Hazards Mitigation Strategy, U.S. Geological Survey Open-file Report 00-450
- USGS (2006) The U.S. Geological Survey Landslide Hazards Program 5-Year Plan 2006-2010, U.S. Department of the Interior