



活動造山帶的地質災害問題

李錫堤



李錫堤先生台灣台北人，民國 40 年生。先後就讀永和國小、大同初中、建國高中及國立台灣大學地質學系，民國 66 年獲碩士學位，並於同年 6 月進入中興工程顧問社工作，而後利用在職進修於民國 75 年獲得同校地質學博士學位，目前為國立中央大學應用地質研究所教授。

李教授已累積有三十多年豐富之工程地質研究與實務經驗，主要貢獻包括：(1) 翡翠拱壩之地質調查、地質與層縫處理工地設計與施工檢驗，因地質調查詳實而獲中國工程師學會 73 年度優秀青年工程師獎，(2) 雪山隧道路線評選階段地質調查與 TBM 研究，基本設計階段地工組長，並藉由顧問諮詢促成該隧道於民國 93 年順利貫通，(3) 民國 78 年開始在台大地質系及中大地球物理研究所開設地震地質學(Earthquake Geology)課程，此類課程後來成為美國加州各大學的熱門課程之一，(4) 民國 80 年在中央大學創辦應用地質研究所，任首任所長，(5) 民國 81 年開始將遙感與地理資訊系統引入地質地工領域，並於 87 年開始在中大地科系教授地理資訊系統概論及地理資訊系統應用，(6) 民國 86 年開始設置網站，創 WebGIS 之先，並提供許多地質相關查詢，目前仍為熱門網站，(7) 從事斷層開挖及古地震研究並將斷層震源妥善地引入台灣之機率式地震危害度分析模式中，對台灣活動斷層研究及設計地震評估技術改進具有貢獻，(8) 從事山崩調查，測繪多期事件山崩目錄，建立新的山崩災害分析方法，完成全國性較大比例尺山崩災害圖，對防災及土地規劃暨山崩研究的國際能見度具有貢獻，(9) 學術方面，目前已發表期刊論文一百餘篇，並有 21 篇論文被引用 21 次以上。

地工技術創刊至今的 137 本專輯中至少有近三十本是以工程地質或地質災害為主題，可見這是台灣本土的特色，故予重視。莫拉克颱風所帶來的降雨量中許多雨量因子都已接近世界記錄，致使地形陡峭而地質脆弱的台灣發生了空前的大災難。事後我們深入調查災因，檢討工程因應對策，並期以永續的想法進行重建。

台灣位處歐亞板塊與菲律賓島弧的碰撞帶，因碰撞作用而造山。弧陸碰撞始於中新世晚期，至今島弧仍以每年約 8 公分的速度向大陸靠攏，以致地殼抬升、構造變形、地震活動、高侵蝕速率等，成為此區地質作用的特色。台灣山區陡峭的地形目前大致是處於抬升作用與侵蝕作用的平衡狀態，維持著高聳的山峰與深切的河谷，不因山崩與土石流而被夷平。因自然風化、侵蝕與堆積，山坡上遍布鬆散的崩積物，一經外力，隨時

都有坍塌的可能。這是台灣山地地質敏感脆弱的本質，加以地震及年年造訪的颱風豪大雨侵襲，使山坡更加鬆動及敏感脆弱。

世界銀行 2005 年刊行之 Natural Disaster Hotspots – A Global Risk Analysis 指出：台灣同時暴露於三項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口均為 73%，高居世界第一；台灣同時暴露於兩項以上天然災害之土地面積與面臨災害威脅之人口均為 99%。英國風險管理顧問公司(Maplecroft) 2011 年公布調查報告指出，美國、日本及台灣都是天然災害高風險國家。這些天然災害常是複合型式的，受到各種致災因子交互影響。在台灣造山帶中，高密度的斷層、高頻度的地震、高速率的侵蝕、快速的地形變動等，加以颱風豪大雨侵襲，造成了複合型天然災害，並擴大了災害規模及其後續影響。近年

來極端氣候更使得災害規模及頻度有提高的現象，在這種惡劣的環境下，我們必須更謹慎的來面對問題，並尋求與大自然共處之道。

過去我們常以為過度開發是坡地災害的肇禍元兇，然而事後調查結果顯現，極端降雨衝擊了原本脆弱的山地可能才是災難的主因。大自然的力量之大，令人難以想像。面對重建問題，調查及基本資料蒐集是個起步，對活動造山帶地質災害特性的了解，則是工程規劃及設計能採取可長可久的因應對策的根本。未雨綢繆，料敵從寬。吾人在活動造山帶從事人為開發活動時，平時應勤於建置基本資料，災害發生時深入調查災因，期能迅速作成正確的救災與重建決策，克服大自然的挑戰，使災難降至最低。

台灣困難地質條件除了一般的順向坡、斷層帶及板岩的重力變形外，山崩與土石流導致集水區的土砂問題近年亦浮出檯面。如何順應自然而能與自然和平相處，成為吾人必須謹慎思考的課題。以大甲溪為例，921 地震後的重建，五年後毀於敏督利颱風，幸而當時的政府即時決定封山，休生養息，讓大自然自我調養復育。以今日的角度來看，這個決定是正確的。敏督利颱風之後，大甲溪河床有淤高達二、三十公尺者，當時頗令人煩憂。但若從大自然的角度考量到地震前的大甲溪中上游已是岩石河床就可以教人釋然；在台灣快速的地形變動下，它很快的會回到岩床狀況。今年地工技術舉辦的大甲溪與青山電廠工程地質研討會，與會者再訪大甲溪發現今日的河床已經下刷到近地震前的狀況。在 14 年間高達二、三十公尺的河床高程變動下，如何做工程復建？確實考驗著工程師的智慧。幸而台灣人並沒有被考倒，大甲溪各項復建工程正順利的進行著。

觀察莫拉克災區受災情況，有一些地質現象頗值得注意。沖積扇代表一種快速搬運及堆積的結果，也是構造活動及快速抬升的表徵。在台灣沖積扇的主要分布與活斷層分布有高度的重疊；位於板塊交界、山前及山脈中央構造線，形成活動造山帶中最為脆弱的一環。在山脈中的沖積扇主要分布在蘭陽溪、陳有蘭溪及荖濃溪一線。莫拉克災區的核心地帶即大部分落於荖濃溪的範圍，其與造山運動的活動帶脫離不了關係，過去遍布的扇狀階地即代表了歷史上大災難的遺跡。莫拉克後在河岸邊產生了許多新的沖積扇，日後河床下切，它們也會變成低位的扇狀階

地。了解此地形變動及循環現象，應有助於吾人採取更有效的工程重建因應對策。

短時間內，上游的土砂會漸漸往下游遷移，土砂高峰將影響橋樑的出水高度及堤防的有效高度。其風險有多高，能被接受的風險是多少，尚待分析。但以長期的觀點來看，高峰值會逐漸往下游遷移，直至河口而形成新的三角洲堆積。對某一特定地點而言，在適當的時間採取適當的對策，可能是該地點工程因應對策考量的重點。

地形上，水系的發育程度代表了地形面的新舊，水系型態反應了岩性、構造與構造運動，水系密度反應了地層的滲透度，溝谷的形狀反應了土壤凝聚力大小。台灣山地有一些地方水系密度很低，若非石灰岩類即為深厚的土層；在階地為沖積土，在斜坡上為崩積土。每一條溪流的源頭都會有一個未發育水系的谷地(unchanneled valley)，經驗上這個谷地的面積大多為 1 公頃左右，地表遍為崩積土覆蓋；因降雨多入滲而無法形成逕流，故無河溝發育。小林村山崩事後的調查發現，崩移區就落在這一種無水系谷地內。比較令人驚訝的是，此無水系谷地面積竟高達近 60 公頃它可能是一個舊有的崩塌堆積；崩積材料的調查結果符合此推測。

小林村上方為何會發生如此大山崩？可不可以事先查覺？答案應該是肯定的：水系分析結果應可圈劃出此種水系密度異常區並暗示為舊崩塌堆積。能釐清小林村的災因，當對莫拉克調查的重點及重建對策的思考有所幫助。

在活動造山帶的山地環境下，水文地質特性的考量亦為調查與重建的重點。一般而言，高地及稜線附近的緩坡地是山體地下水主要的入滲區，而主要的滲出點就在高地及稜線周圍的溪溝源頭。溪溝的源頭又是個風化與崩積物累積的地方，形成山崩與土石流的病根所在。故高地及稜線附近的緩坡地必須加強水土保持，以免加重高地周圍山坡的地下水輸出負擔而致災。

以上是許多地質工作人員累積多年的經驗，藉此莫拉克調查與重建專輯予以介紹，希望能借鏡前人之寶貴經驗，提出本土化的思考，而能提供災害調查及重建工程策略規劃上參考。後續的坡地經營及管理維護上也能一併納入考量，以期形成一個能永續經營的環境，而能讓我們能在活動造山帶中與大自然和諧共處並存。