

Geology Forum

地質論壇

文◎ 陳文山

瞭解地震最該做的事
—調查活動斷層

臺灣是世界上地震頻率最高的地區之一，百年來共有7次芮氏規模7以上的大地震發生在臺灣島。臺灣人口密度約645人／平方公里，是全球第2高密度的國家，至少有2/3以上的人口居住在花東縱谷、西部平原與麓山帶前緣，這些地區也正是臺灣42條活動斷層主要分布區，因此鄰近各都會區約5公里範圍內都有活動斷層的存在。美國地質調查所(USGS)對於全世界地震災害評估中，臺灣被列為最危險地區。因此活動斷層調查、斷層活動性研究以及地震災害評估都是迫在眉睫的工作。

陳文山

現任國立臺灣大學地質科學系教授，主要專長為沉積學、第四紀地質與地震地質。1981年臺大地質系畢業，1988年取得臺大地質研究所博士學位，即於臺大地質科學系擔任教職至今，對於地質教學推廣一直不遺餘力，「阿山的地科研究室」網站生動活潑，是地科學生與教師的知識寶庫。近年來和經濟部中央地質調查所合作進行總計約36條槽溝的開挖，辦理至少5次以上的地質教育訓練，對於培育古地震專業研究人才及種子教員，推展社會教育不遺餘力，堪稱國內槽溝開挖的第一把交椅。



● 陳文山教授正為 921 重建委員會及當地民眾進行竹山槽溝簡報。

臺灣百年來芮氏規模7以上的地震

近百年來，臺灣大地震發生的時間主要都集中在1951年之前，例如：1906年的嘉義地震（梅山斷層）、1935年新竹—臺中地震（屯子腳斷層，2次規模7.1地震）、1941年嘉義中埔地震、1951年10月花蓮地震（米崙斷層），1951年11月臺東地震（玉里斷層與瑞穗斷層）。之後，間隔約半個世紀，才於1999年9月21日發生規模7.6的大地震。因此，讓一般民眾與學者專家忽略了大地震可能造成的重大災害，尤其臺灣歷史紀錄以來造成地震災害最大的1935年新竹—臺中地震（死亡人數3,276人），對921大地震的發生時間來說，已是64年前的「歷史事件」，想得知當時地震的情景，只能由文獻記載、祖父或曾祖輩的口述略知一二，或者到臺中泰安的龍騰斷橋緬懷唯一留下的遺址。由上述可知，地質學者對於臺灣地震災害與活動斷層的調查研究非常少。

臺灣百年來芮氏規模7以上的地震

時間	地震名稱	錯動斷層
1906年	嘉義地震	梅山斷層
1935年	新竹—臺中地震	屯子腳斷層
1941年	嘉義中埔地震	
1951年	花蓮地震	米崙斷層
1951年	臺東地震	玉里斷層與瑞穗斷層
1999年	集集地震	車籠埔斷層

日本阪神大地震開啟國內研究活動斷層的契機

在921大地震之前，1995年日本發生阪神大地震，此時國內地質學者才驚覺，過去臺灣也曾發生如此規模的地震災害，且與日本同樣位於環太平洋地震帶，未來必定也會面臨同樣的大災害。因此，經濟部中央地質調查所在阪神大地震之後，開始研究彙整臺灣的斷層中會產生地震的活動斷層，並於921集集大地震發生前一年（1998年）出版了「臺灣活動斷層概論」（經濟部中央地質調查所特刊10號）。讓國內外學者與民眾對於臺灣活動斷層的分布，以及可能產生地震災害的區域有初步的認知。

令人意想不到就在隔年，學者的疑慮竟然真的發生了，921地震那一夜震醒了許多學者與民眾。地震發生之後，政府開始投入眾多的經費與人力，全面調查臺灣的活動斷層與評估地震災害。地質調查所於921地震後兩年（2000年）修訂「臺灣活動斷層概論（第二版）」（經濟部中央地質調查所特刊13號），同時於2002年進行「地震地質與活動斷層資料庫建置」五年計畫，於2006年完成第一階段研究；2007年進行第二階段的「地震地質與地變動潛勢分析計畫」。國科會也於2003年提出「臺灣西南部活斷



層研究」四年計畫，於2006年完成第一階段研究，2007年成立臺灣地震科學研究中心，進行第二階段地震與活動斷層研究。

921地震至今，地質調查所著力於臺灣活動斷層的基本調查研究，主要針對活動斷層的活動性研究、斷層位置精查、淺層地下構造、斷層帶鑽探、大地監測、地震資料收集分析、地震災害評估、斷層帶氣體監測以及地震相關災害研究（土石流）等資料建置；這些相關資料建置對於未來在地震預測以及地震災害評估時，提供了非常重要的基本研究資訊。

地震預測的基礎－活動斷層

地震的相關研究的最終目的之一，就是在於可以預測地震，美國與日本等先進國家對於地震預測與地震災害評估相關資料的建置與研究，已經進行將近50年，但目前仍僅在於初期的預測與評估階段。地質學者期待未來對於地震的發生，能達到較準確的預測目標，在此之前必須先將相關資料完整建置，才有可能達到地震預測的目標。

在這些相關資料中，有一項資訊是未來做地震預測時必須獲得的資訊，那就是斷層的活動性，也就是研究這些活動斷層過去引發大地震的時間，以及每次大地震在地表產生的變動量（長期滑移速率）。地質學者可以利用這些資料得知先前斷層發生大地震的行為，並推估下次大地震可能發生的時間；為獲得這些資料就必須利用槽溝挖掘的方式，由地下斷層剖面調查古代地震的相關訊息。



●車籠埔斷層的竹山槽溝，位在南投縣竹山鎮。此槽溝最為關鍵，解析出斷層的活動週期，並進而預測未來車籠埔斷層南段再活動的時間。

臺灣的古地震研究在921集集大地震之後就積極進行，目前已有十數條斷層經初步調查，其中以車籠埔斷層（921集集大地震的斷層）與花東縱谷斷層的瑞穗斷層（1951年臺東地震的斷層）具有明顯成果。根據研究成果顯示，車籠埔斷層在過去2,000年當中曾經發生6次與集集地震規模相當的地震，預測下次可能發生的時間約在公元2250±120年。瑞穗斷層在過去650年中發生4次大地震，週期約170至210年，預測下次可能發生的時間約120至160年之後。

臺灣活動斷層的活動週期頻繁

從臺灣活動斷層的古地震研究結果顯示，臺灣活動斷層的大地震再現週期（或再現率），與日本活動斷層的最短再現週期大約在700至1,000年之間比較，似乎非常短促。

古地震的調查利器－槽溝開挖／地質編輯小組

槽溝開挖是研究活動斷層與古地震最重要的方法，因斷層活動大多沿著既有的斷層帶發生，所以當我們將斷層附近的地表挖開後，就有機會觀察到過去斷層活動所遺留下來的痕跡。藉由仔細觀察開挖剖面中的地層分布、地層與斷層的截切關係及斷層變形特徵，就可以區分出多次的古地震事件，再去針對沉積物進行採樣定年，進而推估斷層活動的可能年代，建立斷層過去的活動歷史，並藉此推估再活動的時間。目前學者預測車籠埔斷層下次再活動的可能時間，就是藉由槽溝開挖的研究成果來推算的。



● 竹山槽溝為一次成功的槽溝開挖範例，目前已搭建棚架，希望能成立博物館，作為社會教育推廣之用。

槽溝開挖的成功與否，取決於場址的選擇，必須盡量選擇具有年輕沉積物並遺留有斷層活動特徵的地點，由於一個槽溝開挖僅能得到部分的斷層活動事件，因此一條斷層通常要進行許多槽溝開挖，才能將所得到的眾多片段彙整並拼湊出完整的斷層活動史，進而評估斷層活動週期及近期的滑移速率，以做為未來地震災害評估的重要參考依據。



臺灣的活動斷層或地震最活躍的區域就屬西部麓山帶與花東縱谷地區，雖然此兩地區已分別在1999年發生集集大地震、1951年發生花蓮—臺東地震，下次可能再發生大地震的時間在百年以後；但是同在環太平洋地震帶、活動斷層的大地震再現週期遠低於我們的日本，對於這些活動斷層的研究仍不遺餘力，不敢掉以輕心，更何況我們研究活動斷層的起步較慢，還有許多活動斷層尚未釐清它們的活動歷史，未來何時會再發生也不了解，因此臺灣各地區不可不時防備發生大地震的可能性。政府也應更加速進行地震與活動斷層的研究調查、制定相關法令與建立完備的防災措施，以防患於未然。

槽溝開挖的困難處／地質編輯小組

1. 土地取得困難

由於許多活動斷層都位於人口聚居的地區，要選擇未遭受人為破壞並保留原始地形的場址已屬不易，再加上土地取得與租借困難，更造成好不容易找到合適的地點，卻無法如願進行開挖。

2. 沉積速率快

沉積速率太快會導致沉積層太年輕，開挖涵蓋的時代太短，無法紀錄到多次的活動歷史；以在豐原水源路開挖的槽溝為例，開挖了 10 公尺，卻只保留 921 大地震的地表破裂狀態，根本無法觀察到前一次的古地震證據；同時快速大量的沉積也使得沉積物顆粒太粗，難以取得碳物質進行定年，不利於解析古地震事件。

3. 氣候條件限制

臺灣夏季高溫多雨又有颱風的氣候，限制了一年中適合調查工作的時間，只能選擇乾季進行工作。

4. 地下水面過高

在開挖過程中，地下水面過高是常碰到的問題，導致開挖深度受限，若大量地下水湧出，會造成槽溝內積水且容易使得開挖剖面崩塌。

以上種種限制都會造成調查時的困擾，因此選址與施工前要多加考量。