

三探竹山槽溝－揭露地質構造變化之謎

文／蔣正興·圖／詹美律、徐家祥、范書睿

摘要

集集地震即將邁入第 17 個年頭，隨著地表上及人們心中的傷痕逐漸地癒合，年輕一輩的學子僅能由電影、相片，以及長輩的口述，拼湊出模糊不全的地震景象，因此竹山園區特別保存具多次古地震紀錄的車籠埔斷層剖面。這些剖面的地質意涵及多變的構造不僅使園區成為國外研究斷層的學者來臺必訪勝地，更讓大眾有機會一窺斷層活動的秘密，臆想 921 集集地震當時的震撼。透過本篇的介紹，期盼讀者造訪竹山園區時，能深入觀察比較 2005 年的槽溝剝片剖面與 2012 年的槽溝地質剖面的差異，瞭解車籠埔斷層更多的秘密，印證車籠埔斷層保存園區的學術價值。倘若時間許可，再搭配上園區周邊的斷層遺址勘察，相信讀者必能感受到 921 集集地震近地表變形的奧妙及地震能量釋放之浩大。

關鍵詞： 921、集集地震、車籠埔斷層

前言

1999年9月21日規模7.6的集集地震，造成95公里長的車籠埔斷層沿線地表破裂，科學家們為瞭解車籠埔斷層的活動週期及行為，進行了許多不同面向的研究，其中2001年經濟部中央地質調查所選址竹山，由臺大陳文山教授進行槽溝挖掘探索，揭露這條不安份斷層的神秘面紗。竹山槽溝不僅出露完整的地質剖面，更清楚記錄了多次古地震變形的遺跡，為了將此珍貴的地質剖面長久保存下來，教育部委託國立自然科學博物館，於此興建車籠埔斷層保存園區(以下簡稱竹山園區)，成為地震地質教育的場域。

地質簡介

車籠埔斷層為一條南北走向的逆衝斷層，斷層上盤出露相對較老的上新世錦水頁岩和卓蘭層，下盤出露相對較年輕的更新世頭料山層和現代沖積層(圖1)，而竹山園區的槽溝剖面所出露的地層為全新世(1萬1千7百萬年)以來的沖積層和河階堆積層。集集地震當時所造成的地表破裂，延續性極佳，大多出現在既有的河階面或平原區內，大致沿襲車籠埔斷層擴展至地表，造成顯著的東高西低的地形崖，垂直抬升高差約在1至3.5米間，可以在地表直接觀察到斷層的錯動痕跡。

三次的槽溝挖掘及剝製，意外窺看斷層的側向變化

2002年的開挖，槽溝南牆出露一條切穿至牆頂(地表)的斷層及被其截斷的褶皺，而北牆則出露一個近乎完整的褶皺及多條未穿至地表的次要斷層，如此漂亮精彩的地質構造，隨即引來國內外學者的注目。然而，自開挖以來，槽溝歷經數次颱風及暴雨肆虐，牆面毀損嚴重，為了能保存珍貴的地質剖面，2005年剝製槽溝牆面，同年將槽溝回填，2012年底再由國立自然科學博物館重新開挖，前後共計3次的工程，每一次的開挖皆順著舊有的槽溝面擴挖。

2005年及2012年的擴挖北牆剖面，相較2002年的槽溝面相對後退了1公尺及3公尺，這3期的北牆剖面，在構造上有明顯的差異，牆上的一淺色土層在短短3公尺的距離，由一整塊逐漸變成數個不連續斷塊(圖2)，根據中央大學應用地質研究所黃文正教授研究，由於槽溝北牆恰巧位在主斷層的轉彎處，歪斜且不連續的斷層面使北牆的地質構造在短距離內有顯著的差異。相較之下，三次的南牆擴挖面的地質構造就無明顯的差異。目前竹山園區展示了2005年所剝製的南北牆地質剖面，及2012年重新開挖的槽溝，因此讀者可以前來參訪，嘗試比較兩者，窺看車籠埔斷層在地底下三度空間的變化(圖3)。

竹山園區週遭的地震遺跡

集集地震當時，斷層沿線都有嚴重的破壞，如今地震的地變及破壞證據，已逐漸不易察覺。然而在竹山園區周圍依舊存留著一些 17 年前的傷痕，包括抬升的路面、變形的建物、地面的裂痕及植物生長型態改變等現象。例如，園區東南側的小路，震後被抬升約 1.5 公尺，現已鋪上柏油，容易被忽略為普通的斜坡（圖 4）。而道路東側的檳榔園除有明顯的坡地外，L 型檳榔樹成為斷層曾經活動的重要佐證之一（圖 5）。園區東側的三合院，現已無人居住，庭院雖鋪有柏油仍是雜草叢生，如果仔細觀察會發現，雜草多呈東北-西南排列，原來是沿著柏油間的裂縫生長，這些裂縫即為地震當時斷層擠壓造成的地表破裂痕跡（圖 6）。而三合院主體，雖保存完整，但根據黃教授的研究顯示，若以二房(左側)為基準，三合院中間祭祀神明的正廳抬高約 28 公分，而大房約抬升 18 公分（圖 7），很可能是因為分支逆斷層錯動抬升所致，而三合院恰巧座落在此斷層的上緣處。再者，黃教授對比竹山園區周圍建築物震後毀損的狀況，認為此地震斷層造成上下盤區域不同的破壞程度，上盤區域受斷層影響相對較下盤大許多。這些珍貴的地震斷層活動遺址除供學術考察之外，也提供給大眾作為瞭解斷層活動的參考範例。

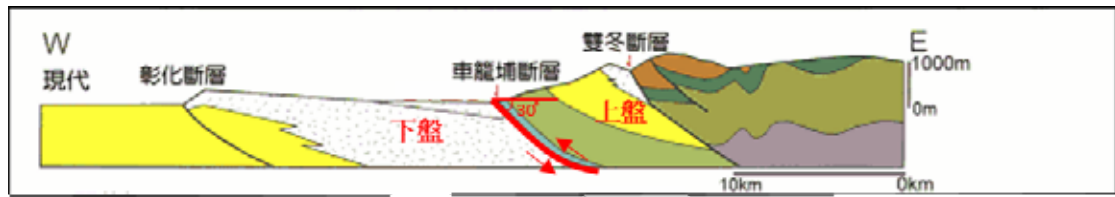


圖 1. 臺灣中部東西向的地質剖面圖。車籠埔斷層為中臺灣一系列的逆衝斷層之一(修改自陳文山，1999)。



圖 2. 歷年北牆的構造變化。紅色框線所示意的為原本連續的同一土層單元。此土層單元在不同時期的擴挖牆面上，逐漸變成數個不連續的斷塊。

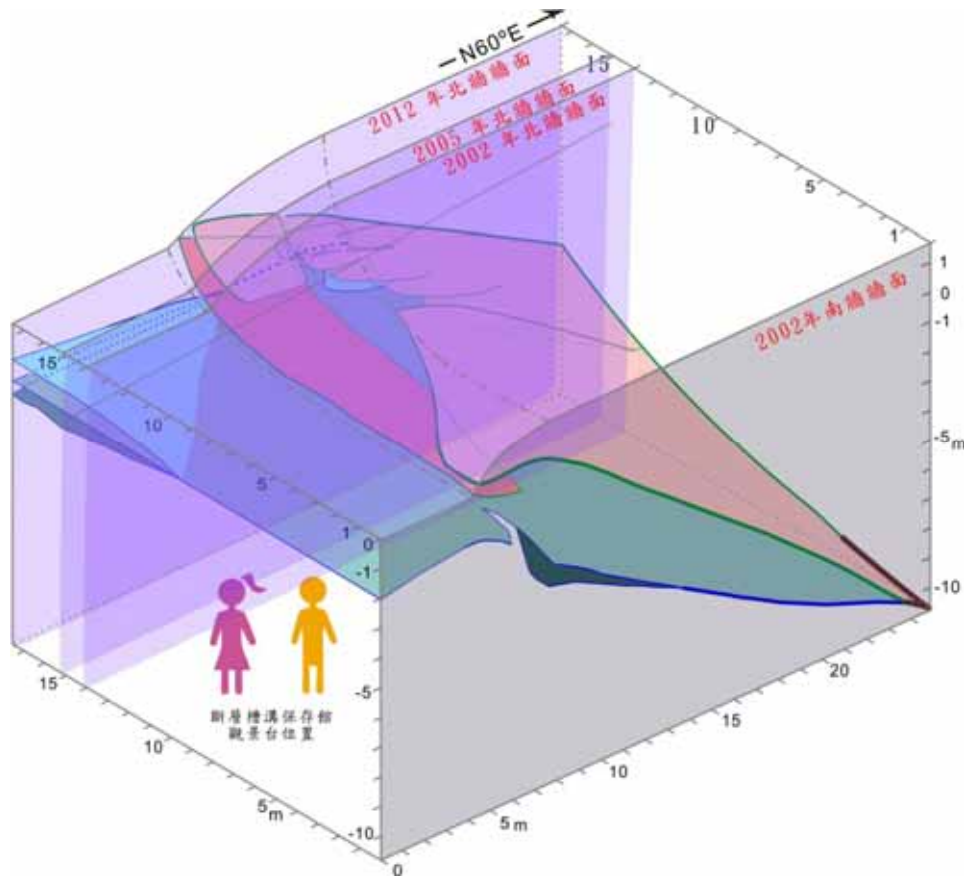


圖 3. 竹山槽溝的地質剖面三維示意圖。粉紅色與藍色色調的曲面為斷層面，紫色色調的垂直面為北牆槽溝面，灰色垂直面為南牆槽溝面。隨著槽溝擴挖，北牆的斷層跡有明顯的變化。(黃文正教授提供)。



圖 4. 竹山園區周圍的地變斜坡小路。原本近乎平坦的道路，集集地震後路面相對抬升 1.5 公尺，重鋪柏油後成為如今的坡路(箭頭處)。

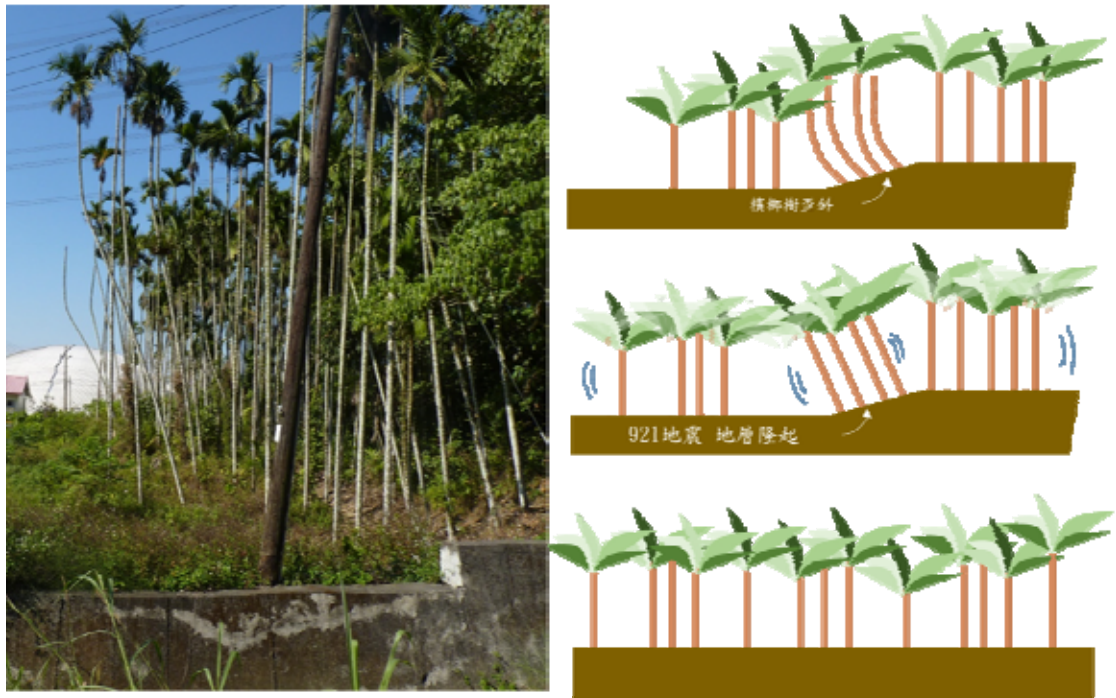


圖 5. 彎曲的檳榔樹。集集地震造成此處的檳榔樹隨同地表傾斜，檳榔樹有垂直生長的特性，因此地震發生數年後此處的檳榔樹呈「L 型」，如右側卡通圖示意（由下而上）。



圖 6. 集集地震引致的地表破裂遺跡。竹山槽溝東邊約 30 米處的三合院，其庭院的柏油出現一系列方向性的地裂縫(部分以紅線示意於照片中)，為斷層引致的擠壓效應所造成，雜草沿部分裂縫生長。黑色箭頭指示壓應力的方向。



圖 7. 竹山槽溝東側的變形三合院(同上圖中建物)。中間的正廳為地震後抬升最高處(箭頭處)，紅色實線為地變後的牆界，虛線示意其原水平的位置。大門兩側的窗戶，因房屋不等量的抬升，而呈現約略向兩側傾斜。