

鬼斧神工的 竹山槽溝再造工程

黃文正／美國普渡大學地球科學系

前言

921地震造成慘重的災情，引發國內對地震地質相關研究的重視，其中對活動斷層的調查，也因為地震的發生而有更多人及財力的投入，然而活動斷層的調查除了求得更精確的斷層位置外，又以瞭解這些活動斷層的活動性為人們所矚目。因此一連串沿斷層線跡的槽溝開挖陸續進行，想藉由斷層與土層或岩層的截切關係，配合於土層及岩層中取得木炭(charcoal)所定出的年代(亦即土層及岩層的年代)作為控制，以推算出斷層的活動頻率。竹山槽溝即為此系列的槽溝開挖之一。

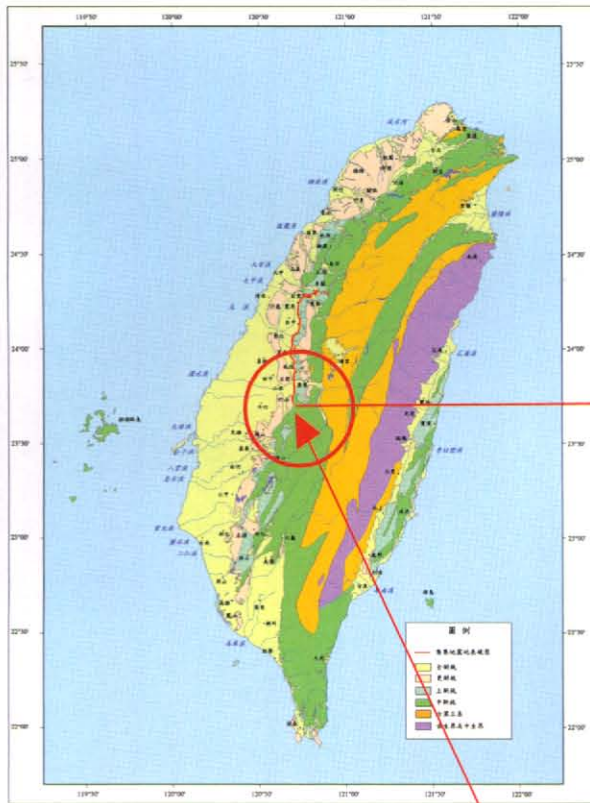
民國九十一年十一月竹山槽溝開始動工，令人蜚思的地下地質構造，頓時展現在新穎的剖面上，它那深具地質含意的美，震懾了地球科學界，也在新聞媒體的揭露下，成為中部的必要的旅遊據點之一，民眾的目光更引發了政府對它的重視，進而被選為地震博物館。

時光飛逝，在這即將邁入921地震後的第五個年頭，也許是一個回首竹山槽溝，從蟄伏地底、聲名大噪、黯然消色，到現在的再造工程的不錯時間點。

竹山槽溝的變化

1999年9月

當月的二十一日凌晨一點四十七分，臺灣各處地動山搖，芮氏規模7.3的地震，在中部地區創造出一條百餘公里的變形帶(圖一)，變形帶的東邊相對抬昇，造



竹山槽溝所在於南投縣竹山鎮

圖一 921 地震地表破裂及竹山槽溝位置。圖上紅色代表 921 地震地表破裂，圖中的照片為竹山溝開挖後當時的面貌。（底圖為中央地質調查所提供）



成東高西低的崖坡，從北邊卓蘭豐原崖差達近10米，經豐原、臺中市、南投市、草屯，再過濁水溪，到竹山崖差2米，最後消末在桶頭，在竹山槽溝附近，槽溝東南方40米的路面抬升破裂(圖二)，約60米處的檳榔樹傾倒(圖三)。至於竹山槽溝的現址則無較細詳的記載及照片。



圖二 路面破裂及隆升，此位置在竹山槽溝東南方40米處，圖中右邊為竹林(1999年11月攝)

2002年11月

十一月十六日竹山槽溝開始動工(圖四)，怪手一鏟一鏟往下挖掘，加上臺大地質科學系陳文山教授團隊的修整，一個長40米，寬10米，深8米的地下寶藏(圖五)，終於呈現給世人。開挖當時筆者並不在國內，次月在美接收到此槽溝的照片，心喜若狂，然而卻百思不解此槽溝南北兩牆的構造關連性，照片顯



圖三 檳榔園隆升約1.5米，此位置為竹林汽車旅館後方，升側為東北側。(11月攝)



汽車旅館。



99年11



圖四 竹山槽溝的施工情形。地震地表的變形崖通過怪手的挖杓前方，怪手在相對降側，陳文山教授（站立在最遠處著藍白紋上衣）的團隊站立在相對升側進行地表地形測量。（陳文山提供，2002年11月攝）



圖五 竹山槽溝的空照圖。此照片為朝東北方向拍得，槽溝開挖成四階，最上階僅佔槽溝的三分之一，亦為相對隆升側。於圖中即槽溝較遠的一端，此外槽溝底部另有一方坑，為土層的對比的目的而加挖。（陳文山提供）

片顯示，槽溝南牆中礫石層及近乎水平細粒岩層以斷層關係與向斜褶曲的細粒岩層接觸(圖六)，槽溝北牆中則主要展現翻轉背斜褶曲的細粒岩層，於其翻轉翼下方，亦可見黑色細粒岩層明顯被一斷層錯開，此斷層可追跡至南牆(圖七)。為何在這短短的十米內有如此大的差異，這令人費解的斷層褶曲關係，因而成為筆者的論文題目，也因此有不同時間所拍攝的竹山槽溝的照片。

2003年7月

選定竹山槽溝為論文題材後，迫不及待的想回國一探究竟，學期中無法有較長的野外工作時間，暑假的到來卻因SARS的疫情，拖延到六月底才返國，七月五日第一次會見竹山槽溝，發現它並非我朝思暮想的樣子，植被的生衍、雨水的侵蝕溝、攤塌的礫石及失水變硬的溝牆(圖八)，看起來和之前照片相差甚多，但仍掩蓋不住它迷人且複雜的構造現象(圖九)。筆者的野外工作也就在那七月的炎炎夏日，如火如荼的展開(圖十)。

2004年5月

轉眼又過一年，在這一年中，將野外工作呈現成竹山槽溝斷層圖(圖十一)，圖中僅表現槽溝牆上的斷層以利將來對斷層行為的研究，以線條的粗細表現該斷層該處的錯移量(separation)，並以兩五邊形的一角指示原為相接的點，錯移後在這斷層的位置及相對錯移量，這些斷層於南北兩牆皆集中在五米寬的範圍，但它們的排列方式，南北迥異，更遑論要如何比對斷層的位移量。由此斷層圖也顯示竹山槽溝



圖六 竹山槽溝北牆。明顯的翻轉背斜(overturned anticline)，於其下方為一斷層截切，由黑色的土層的錯移，可知在此斷層的相對垂直錯移約半米。此斷層可追跡至東牆，甚而南牆，見下圖，地表相對落差約2米。(林偉雄，2002年11月攝)



圖七 竹山槽溝北牆。礫石層及上覆的細粒土層以斷層關係與斷層下方向斜褶曲的(synclinal) 細粒土層相接觸，接近向斜的軸部為另一斷層截切，此斷層即上圖中所述之斷層，地表相對落差約2米。(林偉雄，2002年11月攝)



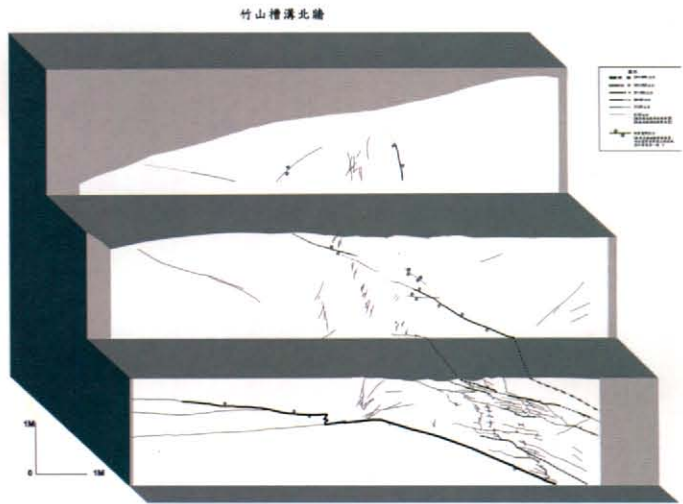
圖八 竹山槽溝東牆及部份北牆。植被的生衍、礫石層的坍塌及雨水的侵蝕溝。(2003年7月攝)



圖十 李元希博士在南牆工作的情形。李博士正在清理風化的表層及研究其中的現象。此次野外李博士為筆者(同攝影者)解釋槽溝大致的構造現象，為筆者的工作做熱身。(2003年7月攝)



圖九 北牆第三階(從上往下數)中的中視構造。圖中肉桂色的土層為數道約略平行的斷層截斷形成類似傾倒的骨牌，這些斷層與此土層層面約夾15度，各條斷層有不同的錯移量(1~15公分)並延伸至周圍的土層中，但較不明顯。(2003年7月攝)



圖十一 竹山槽溝北牆的斷層圖。以線條的粗細表現該斷層該處的錯移量(separation)，並以兩五邊形的一角指示原為相接的點，錯移後在斷層上的位置及相對錯移量，這些斷層集中在約五米寬的範圍內。

構造的複雜性。

儘管這一年的工作，使筆者對竹山槽溝有深一層的瞭解。但仍有太多的疑惑，因此於五月二十三日再次前往，此時槽溝的樣貌，可說是每況愈下，有些雨水侵蝕溝深達一米，東牆的礫石坍塌，連第三四階也不免於難，甚至底部淤泥進水(圖十二及十三)。如此的景象令人傷感，也擔心影響研究的成果。

2004年6月

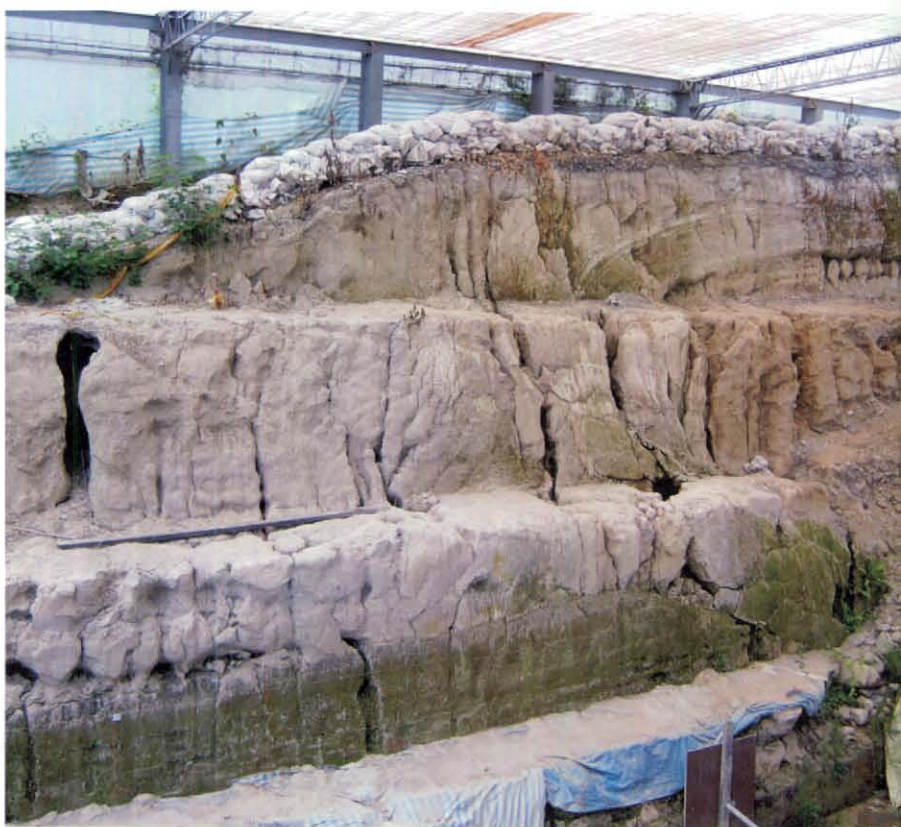
天無絕人之路，六月接獲竹山槽溝即將重建的消息，筆者又再次進駐竹山，潘常武先生的團隊細心的進行植被的鏟除、噴水軟化硬牆、大鋤頭的粗修及小鋤頭的細修，工程十分艱鉅，兩個多星期僅完成最頂上的一階，但修飾過後，完全恢復當初的新鮮面(圖十四及十五)，也解決我不少困惑。只是第一階的破壞較為輕微，可想見未來重建的工作將更堅鉅。

未來的工程

目前竹山槽溝的重建主要為剖面的剝製，這項技術在日本並不稀奇，但在臺灣，去年潘常武先生才首次為瑞穗斷層的槽溝剝製(圖十六)，此槽溝以礫石為主，潘先生的團隊完整的剝製這



圖十二 竹山槽溝南牆。坍塌處較去年多雨蝕溝更深。底下瘀泥積(5月攝)



圖十三 竹山槽溝北牆。(2004年5月攝)



水。(2004年



圖十四 潘常武先生正在修飾北牆第一階。修飾後的階面一如脫胎換骨一般。(2004年6月攝)



圖十五 南牆第一階面的整修。電風扇、礦泉水瓶及噴水器顯示中臺灣大太陽的可怕，棚架內的高溫非常人可忍受。(2004年6月攝)

臺灣的首例標本，讓國人能永保這項珍貴的地質資產。

竹山槽溝其組成材質不同於瑞穗斷層槽溝的大礫石，以細粒的沉積岩為主，潘先生希望剝製的結果是如同地毯般，能捲輕巧，不展示時不暫空間，容易搬動；展示時可直立，且不會因為過重而形變。希望在潘先生的籌劃下，可以達成這個成果。

在剝製之後，竹山槽溝的命運，是否會如最初的規劃重新整治成為地震博物館並不確定。但身為一個地質工作者及長期與此槽溝相伴的情感，筆者希望它的原址也能永遠呈現於世人眼前，做為教育子子孫孫，這塊土地及地震頻繁的最佳現址例證。

後記

2004年7月

敏督利颱風怪異的行徑，讓氣象局傷透腦筋，同時它的強風豪雨也重創全臺。在臺北準備進行土壤試驗的筆者，憂心竹山槽溝是否能安然渡過，於七月三日早晨抵達槽溝。如同災區慘況，竹山槽溝也遭重創，槽溝的防護棚架頂上的蓋層大部份遭強風吹破，雨水直接拍打牆面，並蓄積成池(圖十七)。為保護即將剖製的牆面，潘先生指揮阿詳(潘先生的工作伙伴)及筆者，在槽溝牆面鋪上帆布阻絕雨水，並進行底部的抽水，以防土壤遇水軟化而坍塌。竹山槽溝一路走來風風雨雨，這次的颱風再次加劇了重建的困難度。在此僅期望

風雨過後，它能一切順利。

參考文獻

經濟部中央地質調查所(1999)車籠埔斷層沿線地表破裂分布圖，比例尺二萬五千分之一，經濟部中央地質調查所出版。

經濟部中央地質調查所(2003)地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫，槽溝開挖與古地震研究計畫(2/5)——南投竹山槽溝的古地震研究，經濟部中央地質調查所出版。





圖十六 瑞穗斷層的槽溝剝製標本。從原本水平礫石層的錯移撓曲及礫石顆粒的排列方式可研判出幾次的古地震事件。此剖面記錄兩次古地震事件，你找出來了嗎？



圖十七 颱風肆虐後的竹山槽溝。護棚遭強風吹破，雨水蓄積成池。