

103 學年度教育部中央課程與教學輔導組—自然與生活科技學習領域

科學閱讀教學活動徵選

作品說明書

深究車籠埔斷層——以科學家 馬國鳳傳記進行科學閱讀教學

國中組

地球的結構、地震災害

報章雜誌類

出處：

李名揚(2009)。深究車籠埔斷層——馬國鳳。科學人，91，68-73。

盧詩丁等7人(2003)。探索大地的訊息：活動斷層槽溝開挖調查概述兼談竹山槽溝保存案例。
地質，22(1)，1-14。

深究車籠埔斷層——以科學家馬國鳳傳記進行科學閱讀教學

摘要

1、簡述教材設計的理念、特色與內容。

康軒版國中自然與生活科技第 5 冊教科書在教授地球內部結構時，曾經提及在俄羅斯可拉半島進行的「大陸地殼鑽探計畫」。本教案以國內本土案例「臺灣車籠埔斷層鑽探計畫」為例，以科學家傳記的型式進行科學閱讀。除了讓學生了解教科書所寫的「分析歷史地質事件的方法」如何應用外，也可以讓學生了解科學家研究的心路歷程，將生涯規劃議題融入自然與生活科技領域進行教學。

- 1、 教學主題：深究車籠埔斷層——以科學家馬國鳳傳記進行科學閱讀教學
- 2、 教學對象：國中 9 年級學生
- 3、 設計理念：

康軒版國中自然與生活科技第 5 冊教科書在教授地球內部結構時，曾經提及在俄羅斯可拉半島進行的「大陸地殼鑽探計畫」。本教案以國內本土案例「臺灣車籠埔斷層鑽探計畫」為例，以科學家傳記的型式進行科學閱讀。除了讓學生了解教科書所寫的「分析歷史地質事件的方法」如何應用外，也可以讓學生了解科學家研究的心路歷程，將生涯規劃議題融入自然與生活科技領域進行教學。

921 地震過後類似回推車籠埔斷層地震週期的研究計畫，除了國立中央大學執行的「臺灣車籠埔斷層鑽探計畫」外，還有由經濟部中央地質調查所進行的「活動斷層槽溝開挖計畫」。其中在南投縣竹山鎮的槽溝被保留下來，由國立自然科學博物館設立「車籠埔斷層保存園區」開放參觀並做為防災教育宣導使用。本教案特別選擇盧詩丁等 7 人(2003)「探索大地的訊息：活動斷層槽溝開挖調查概述兼談竹山槽溝保存案例」做為延伸閱讀教材，鼓勵學生外出旅遊時可前往參觀。

4、 教學目標：

- (1) 知道回推歷史地質事件的方法。
- (2) 知道利用岩心取得的地質剖面可用相同方法回推過去發生的地質事件，並分析地震週期。
- (3) 藉由閱讀科學家傳記的過程，讓學生了解科學家的工作內容，以及必需要有耐心長時間進行研究才能得到成果。

5、 教學活動與流程

| 教學流程 | 預估時間 | 評量方式 | 備註 |
|---|-------|------|------------------|
| 先複習教科書中曾經提到回推歷史地質事件的方法，包括原始水平定律、疊積定律、截切定律、包裹體定律等。 | 10 分鐘 | | |
| 問學生「如果地表找不到露出的地層剖面，有什麼方法可以知道過去發生的地 | 5 分鐘 | 課堂問答 | 使用地球物理探勘也是正確答案，但 |

附件一 作品說明書

| 教學流程 | 預估時間 | 評量方式 | 備註 |
|--|-------|------|--|
| 質事件？」 | | | 本節討論主題在由地質剖面判斷地質歷史事件，需將學生引導回鑽探岩心或槽溝開挖。 |
| 文章導讀：藉由科普文章介紹車籠埔斷層鑽探計畫的緣由、執行過程及研究成果，以及如何由 33 次古地震事件回推車籠埔斷層的地震週期。 | 15 分鐘 | | 搭配補充資料「彈性回跳理論」進行說明。 |
| 介紹類似的研究計畫「活動斷層槽溝開挖計畫」，鼓勵學生抽空前往參觀。 | 5 分鐘 | | |
| 完成學習單。 | 10 分鐘 | 學習單 | |

6、 實際授課紀錄：學生作業影印本（請參考附錄）。

7、 評量方法：分組討論及報告內容，學習單。

8、 教具使用：無。

9、 附錄：

(1) 學生作業影印本 2 張。

(2) 空白學習單 1 張。

(3) 科學閱讀參考文獻 2 篇：

李名揚（2009）。深究車籠埔斷層——馬國鳳。科學人，91，68-73。

盧詩丁等 7 人（2003）。探索大地的訊息：活動斷層槽溝開挖調查概述兼談竹山槽溝保存案例。地質，22(1)，1-14。（此篇為提供學生有興趣時做為自行延伸閱讀使用，並未主動提供給學生。）

槽溝開挖之目的

槽溝開挖是藉由各項調查方法選擇合適的地點，自地表開挖長方形溝槽實際觀察斷層過去的活動史及斷層性質，在活動斷層與古地震的研究中是相當的重要方法。藉由槽溝剖面的開挖、觀察及記錄，可瞭解斷層的變形形貌及特徵，並辨別出古地震事件的次數，若能在適當位置採取到定年資料，利用地層及構造的截切關係，將有助於分析古地震事件發生的年代，進而計算斷層的活動週期與滑移速率。在九二一地震後，地質學家為了瞭解車籠埔斷層的活動週期及歷史，開始進行槽溝開挖調查，但如何經由槽溝開挖

回推古地震事件？由地質學家對斷層的調查顯示，斷層的活動大多沿著既有的斷層帶發生，因此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跡象。

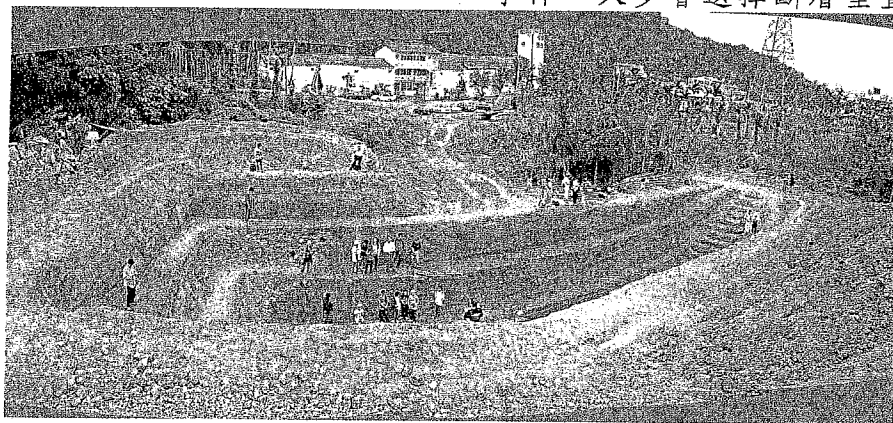
槽溝開挖主要係利用剖面中晚第四紀沈積物與斷層間的截切關係，來決定晚第四紀（尤其是全新世）的斷層活動歷史，槽溝開挖的成功與否，場址的選擇佔了相當大的決定因素，由於槽溝開挖最主要目的係推估斷層前一次活動的時間，選擇槽

溝開挖場址時，必須儘量以提高古地震解析度及易於取得定年標本為考量，因此必須選擇具有年輕沈積物的地點，並且在遺留有斷層活動特徵的地形面上開挖更為合適，如年輕的階地或沖積層上，一方面容易找到可供碳十四定年之年輕標本，另一方面亦可解析斷層近期的活動歷史；此外為避免開挖過深並解析出較多次的古地震事件，大多會選擇斷層垂直錯移量較小的

位置，如果主斷層位移量過大則可選擇次要斷層進行調查，但須確認與主斷層間之關係；此外所選擇地點沈積速率不可過高沈積物顆粒不可過粗因此須儘量避開河床以免開挖剖面中，礫石層過厚而導致開挖困難同時亦不容易觀察到細

部的變形特徵及難以採得可供定年的材料但也不可距離河床過遠，以免缺乏連續的沈積而降低對古地震事件的解析度。

槽溝開挖剖面的示意圖（圖一），即簡單說明如何經由開挖剖面解析古地震事件，當斷層活動時地層遭截切並常造成地表隆起，在隆起前緣會堆積一些崖錐堆積物或古土壤面；隨著時間的演進，地表隆起會因大自然的風化侵蝕或人為活動而破壞，甚至將這些崖錐堆積物掩蓋；下一次斷層活動時又會截切較年輕的地層，並造



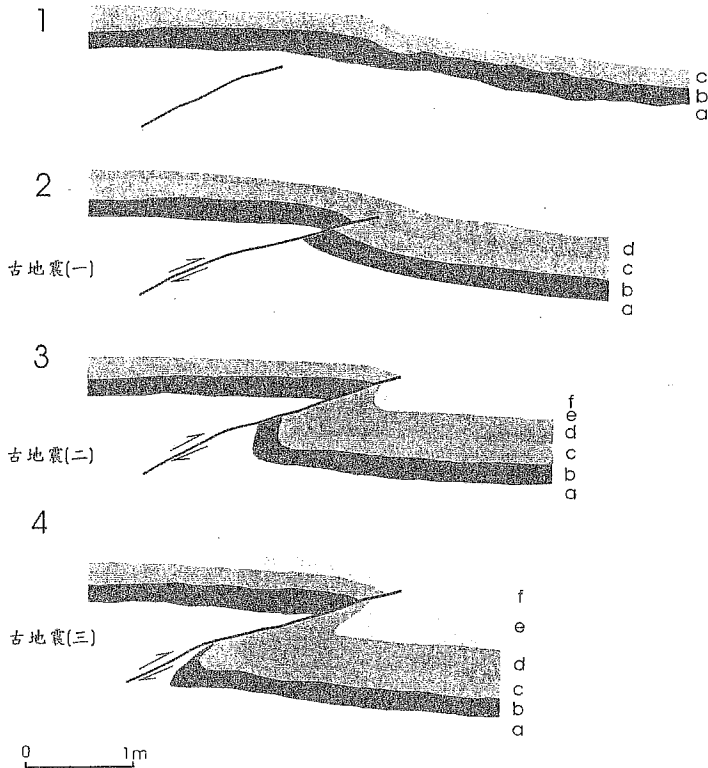
探索大地的訊息

活動斷層槽溝開挖調查概述 兼談竹山槽溝保存案例

盧詩丁、李元希、石同生、林偉雄
劉彥求、林燕慧、林啓文／
經濟部中央地質調查所

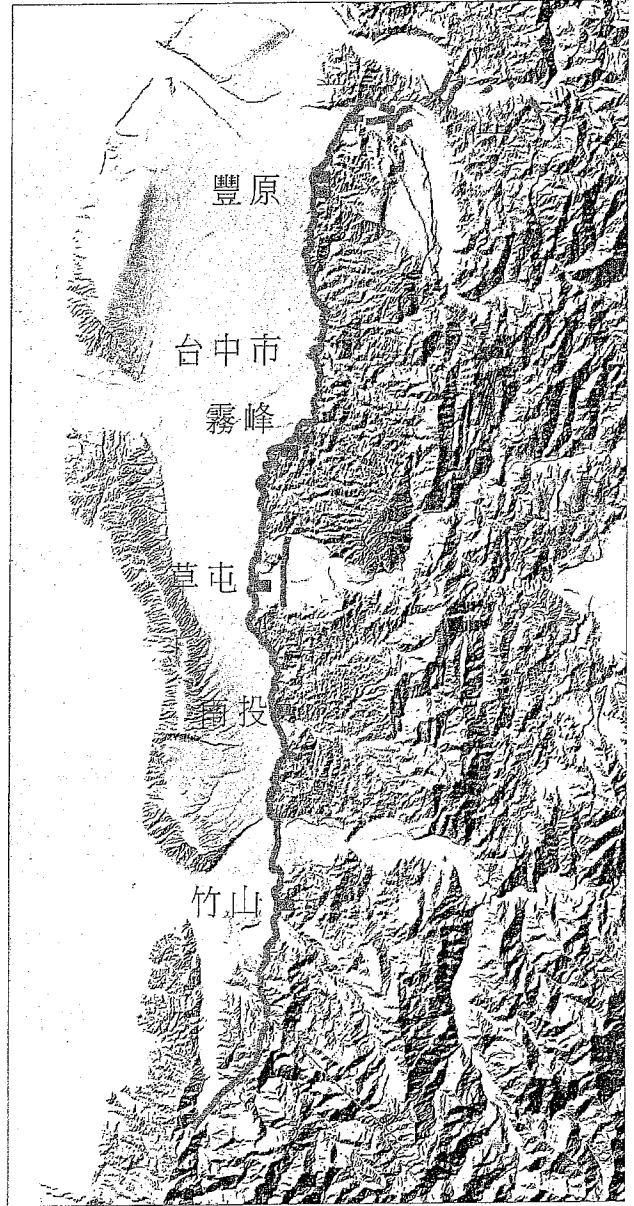
槽開挖之步驟

一、場址選擇：為了能夠選擇較佳的地點通常先進行地形的判釋（圖二）、淺層震測調查與淺層的鑽探等調查以提高槽溝開挖調查的成功率。



▲ 圖一 斷層活動及古地震事件示意圖，藉由斷層與地層之截切關係、崖錐堆積與定年資料解析出斷層的活動年代

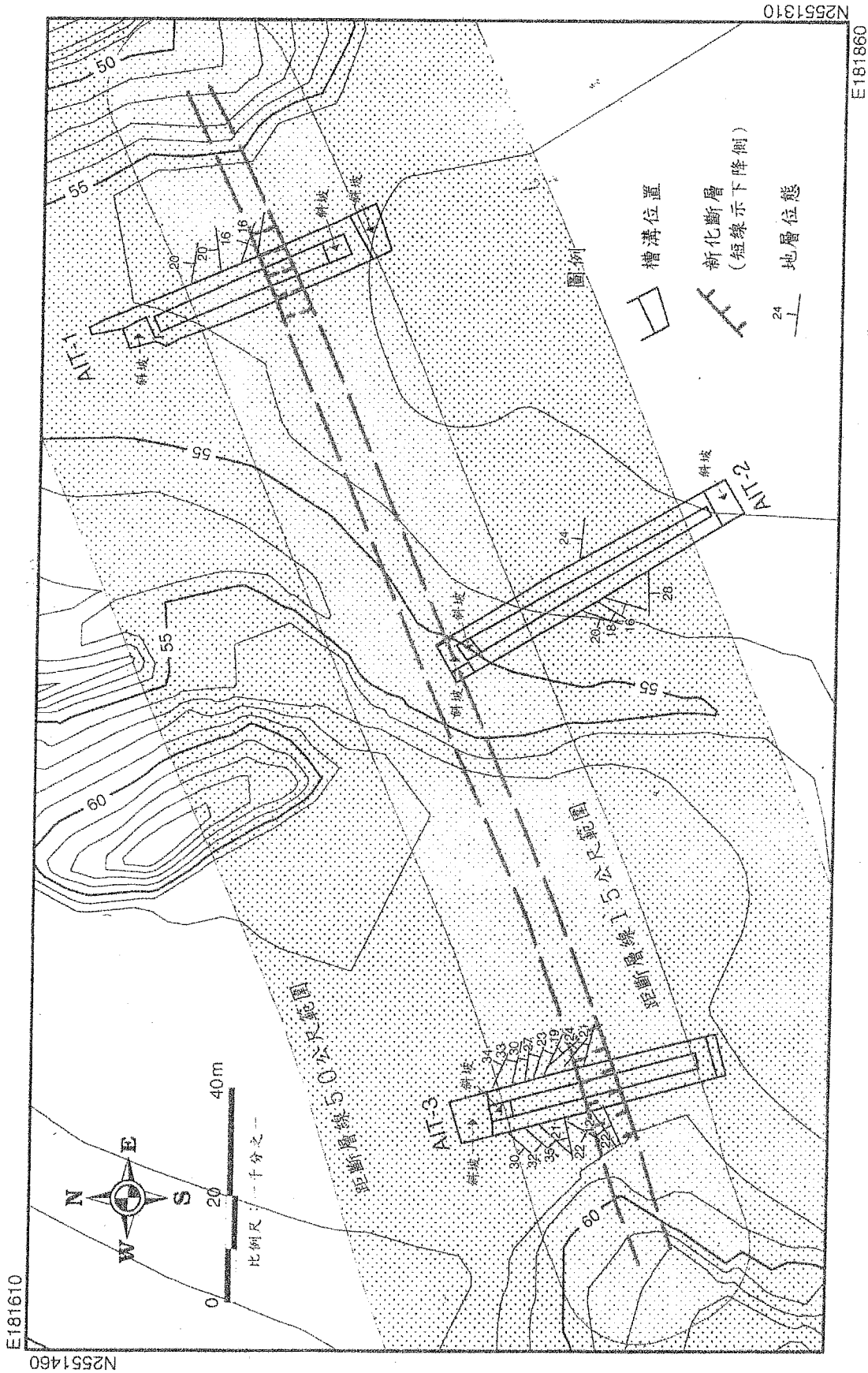
成新的崖錐堆積物或古土壤面，如此反覆的進行，地層內就記錄了多次的古地震事件，研究學者藉由仔細觀察開挖剖面中的地層分布、地層與斷層的截切關係及斷層變形特徵，就可區分出多次的古地震事件，再針對沈積物或地質材料進行採樣定年，得到這些崖錐堆積物或古土壤的年代，進而推估斷層活動的可能年代。由於一個槽溝開挖僅能得到部份的斷層活動事件，因此一條斷層通常要進行許多的槽溝開挖才能將所得到的許多片段彙整，拼湊出完整的斷層活動史，進而評估斷層的活動週期及近期的滑移速率，並作為未來地震災害評估之重要參考依據。



▲ 圖二 車籠埔斷層沿線區域之數值地形圖(DTM)紅線為車籠埔斷層，綠色方塊為槽溝開挖位置

二、場址調查：選定場址後須進行原始地形面及地上物拍照存證及描述、場址原始地形面測量（圖三）；並規劃開

挖之工作範圍、大型機具進出路線與挖方之堆放區等場址配置。



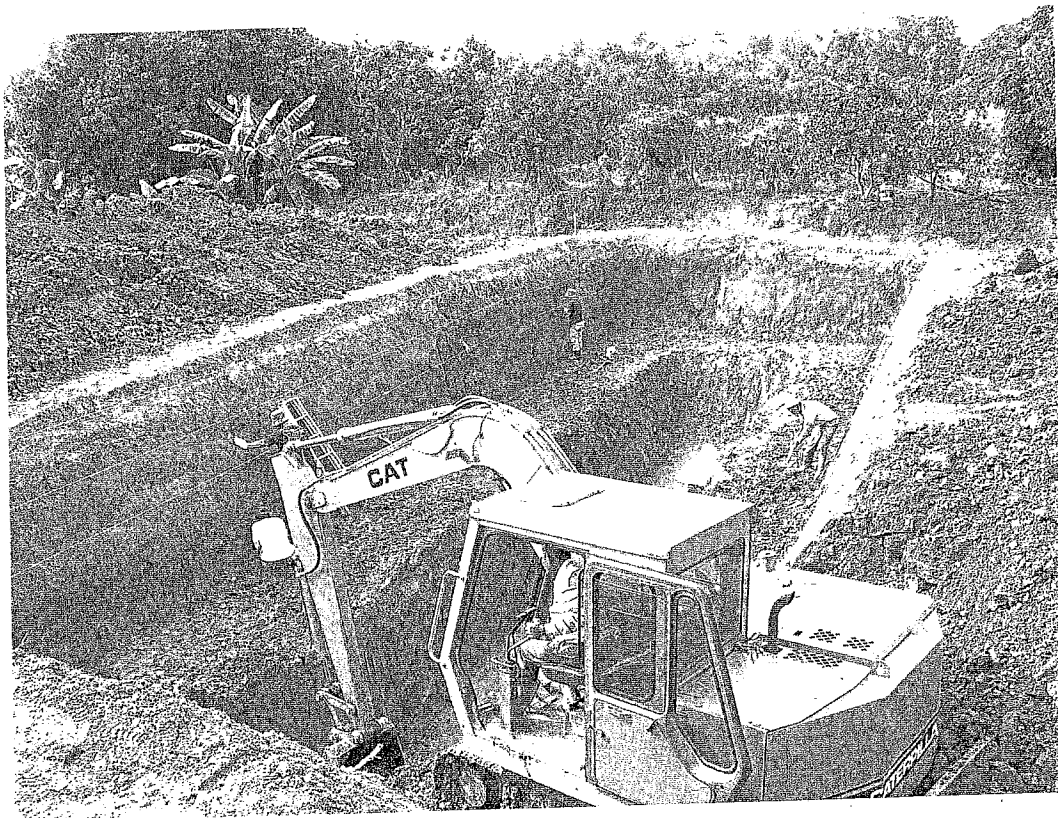
圖三 槽溝原始地形面測量及槽溝配置圖 (台南 新化斷層 2000)

三、槽溝挖掘：每一條槽溝大小視場址空間及地質狀況而定，一般槽溝的長度約20-30公尺，寬約3-5公尺，深約3-5公尺。為便利觀察與記錄，可採分階開挖進行，每一階的高度約2-2.5公尺（圖四）。

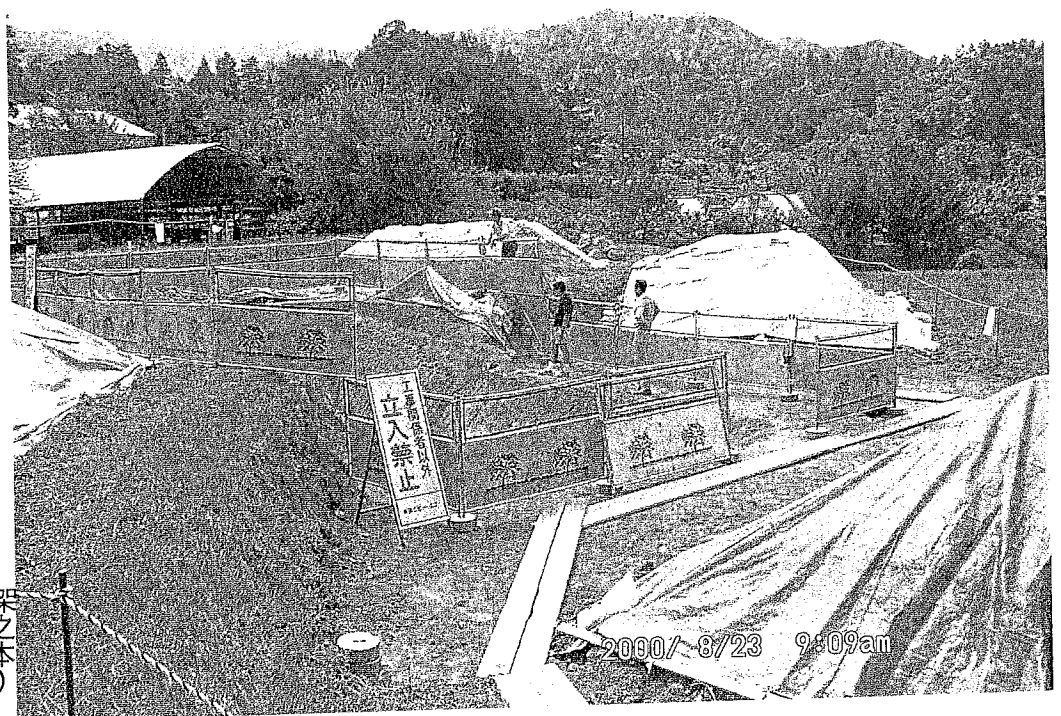
四、挖方之堆放：挖出之土方按規劃區域

堆放，堆放期間須以防水之帆布覆蓋防止下雨時土方流失造成環境之污染（圖五）。

五、架設圍籬及設立警告標誌：為維護調查期間之安全，須於開挖場址四周架設圍籬並設立警告標誌，以及樹立告示牌說明工程內容（圖五）。



◀ 圖四 槽溝分階開挖之情況（台南新化斷層）



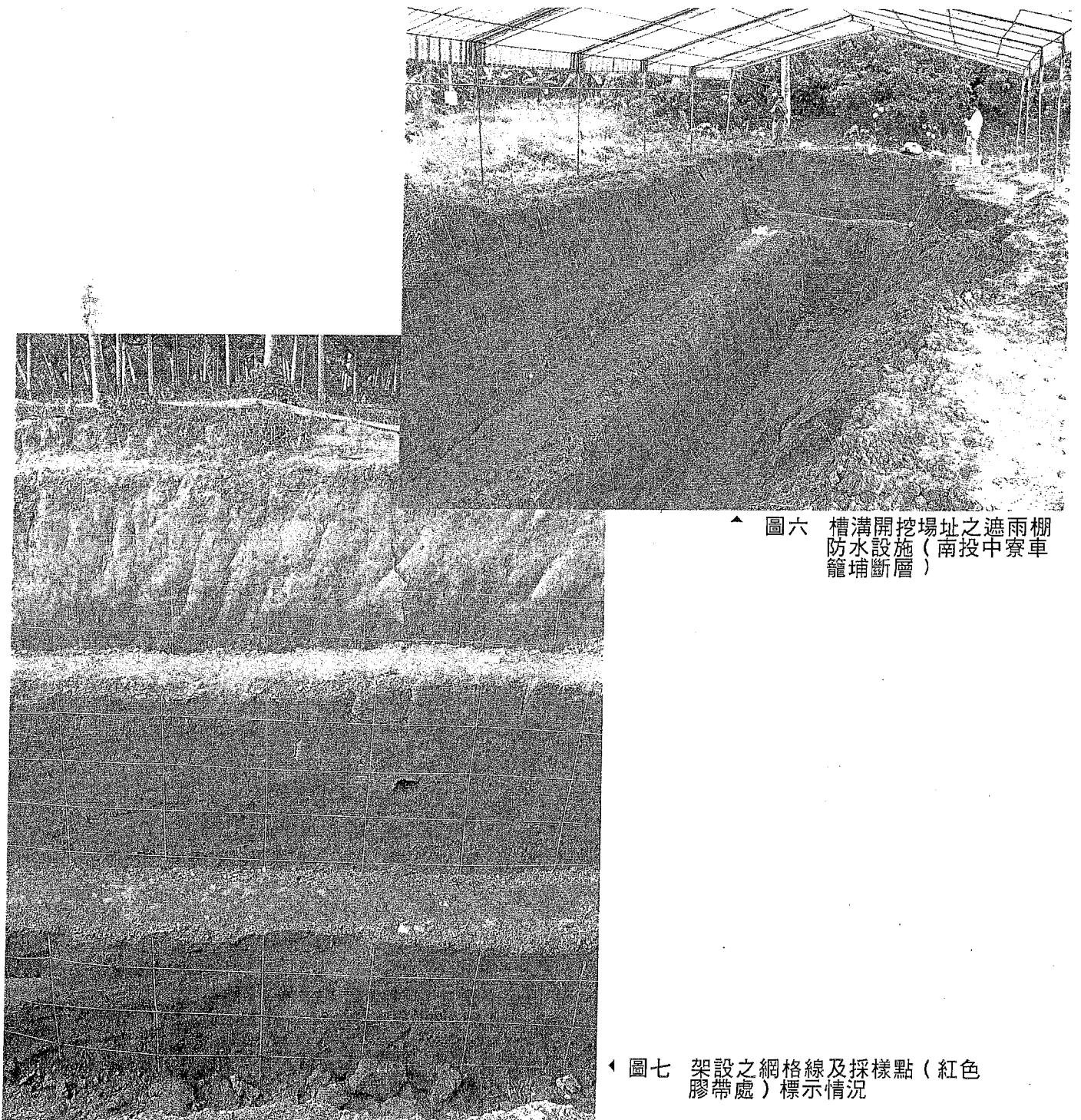
▶ 圖五 槽溝開挖場址架設圍籬及土方之堆放情況（日本京都折斷層）

2000/8/23 9:09am

六、場址之防水及排水：事先預備防水之帆布，若開挖期間遇到下雨，須以帆布覆蓋剖面，以防止溝壁坍塌破壞開挖面。另外須預備抽水機及排水管等設備，並預先規劃排水路線，下雨期間必須進行抽水，避免槽溝內積水造成坍塌（圖六）。

七、剖面清理：開挖後剷除槽溝兩側表面覆土，並以刮刀清理剖面，以便能清楚觀測地層分布及細部構造，並以不

同顏色鐵釘標示層面及斷層線位置。
八、架設基樁及設網格線：槽溝兩側頂端每隔一公尺以木條釘入地下架設基樁，並以數字標示所在位置；利用經緯儀於溝內訂立參考點，藉以拉設水平及垂直網格線，格線間距為 1 公尺，必要時加密網格線密度，兩側之網格線位置必須對齊一致（圖七）。



▲ 圖六 槽溝開挖場址之遮雨棚防水設施（南投中寮車籠埔斷層）

◀ 圖七 架設之網格線及採樣點（紅色膠帶處）標示情況

九、剖面觀察：仔細觀察地層及斷層分布位置，以及液化、地裂等伴隨斷層活動之現象，並於適當地點採取定年標本進行分析，並於剖面上標示採樣位置（圖八）。

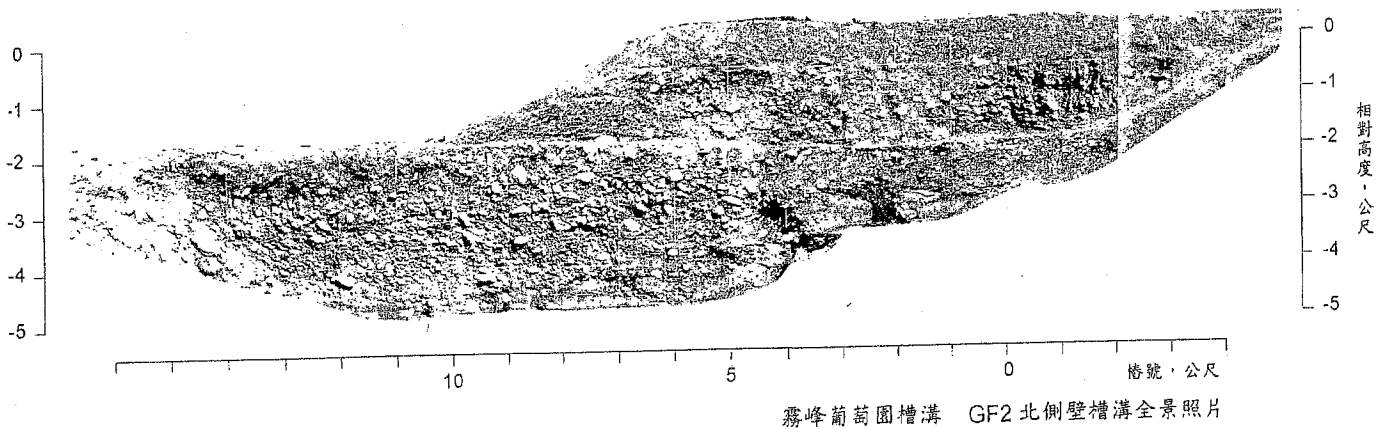
十、剖面拍照：進行剖面逐格拍照，再將

照片拼接成完整而未變形之剖面（圖九）。

十一、剖面描述：進行比例尺二十分之一至五十分之一的剖面素描，描述內容包含地層分布、斷層位態、標本採樣位置（圖十）。

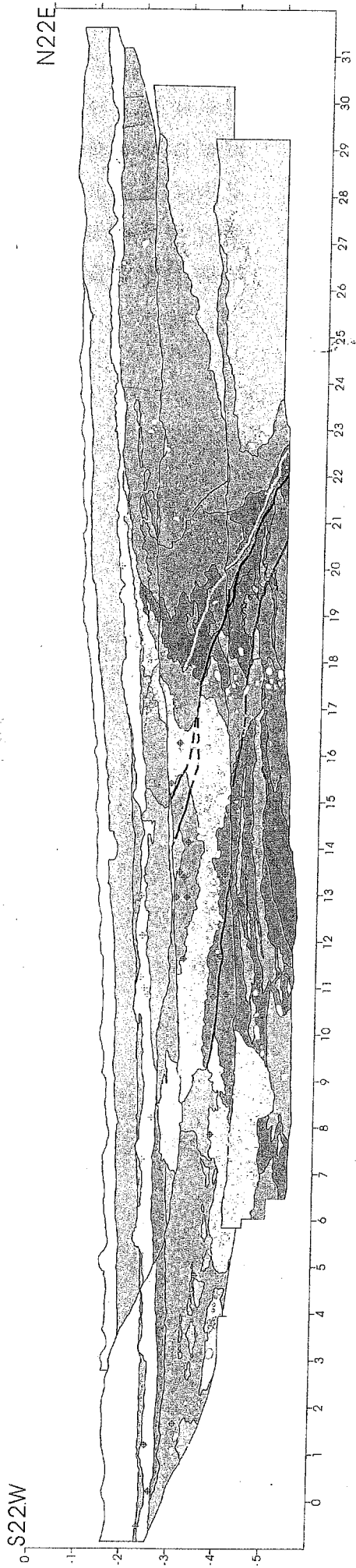


▲ 圖八 剖面觀察並記錄斷層特性

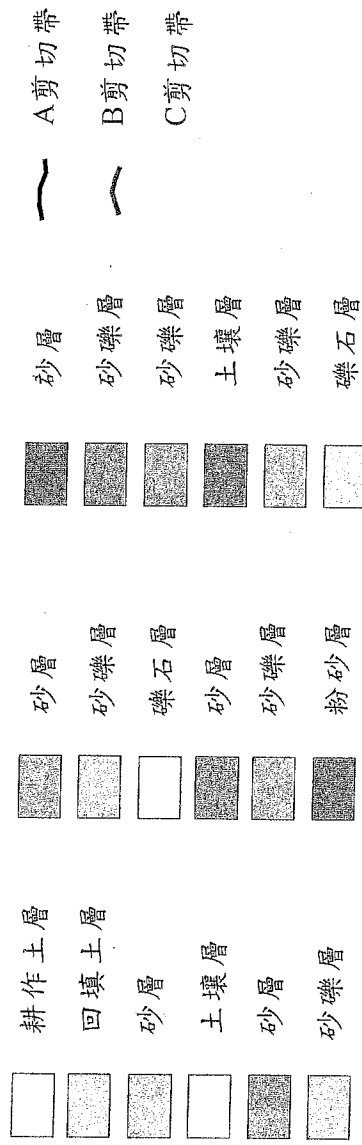


▲ 圖九 槽溝照片所拼接出之剖面全景（台中霧峰車籠埔斷層）

文山農場2號坑西牆剖面



地層描述

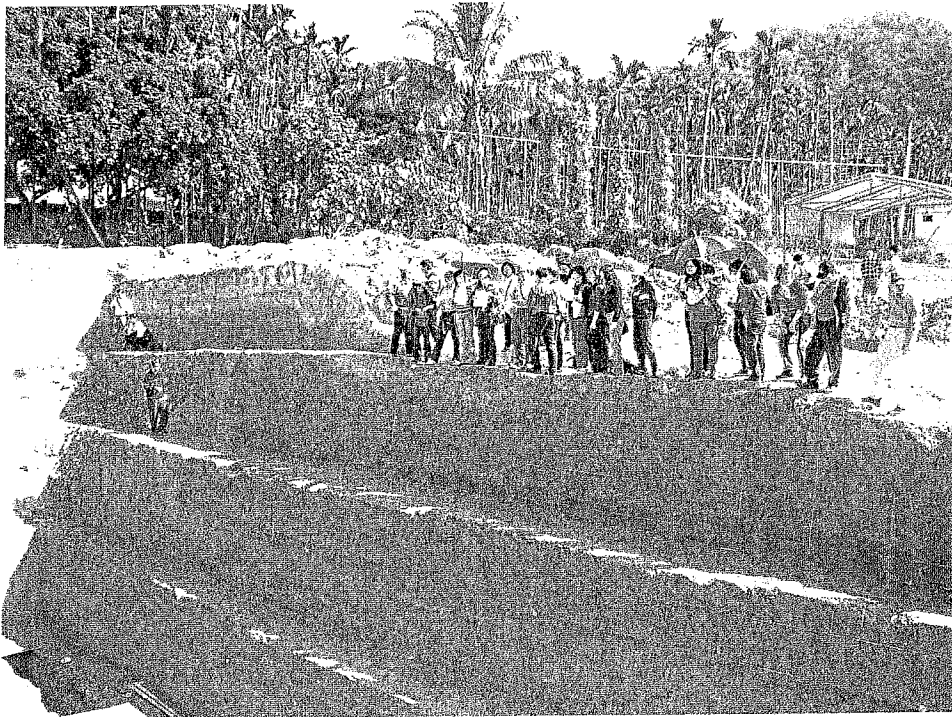


▲ 圖十 槽溝剖面素描 (台中霧峰車籠埔斷層)

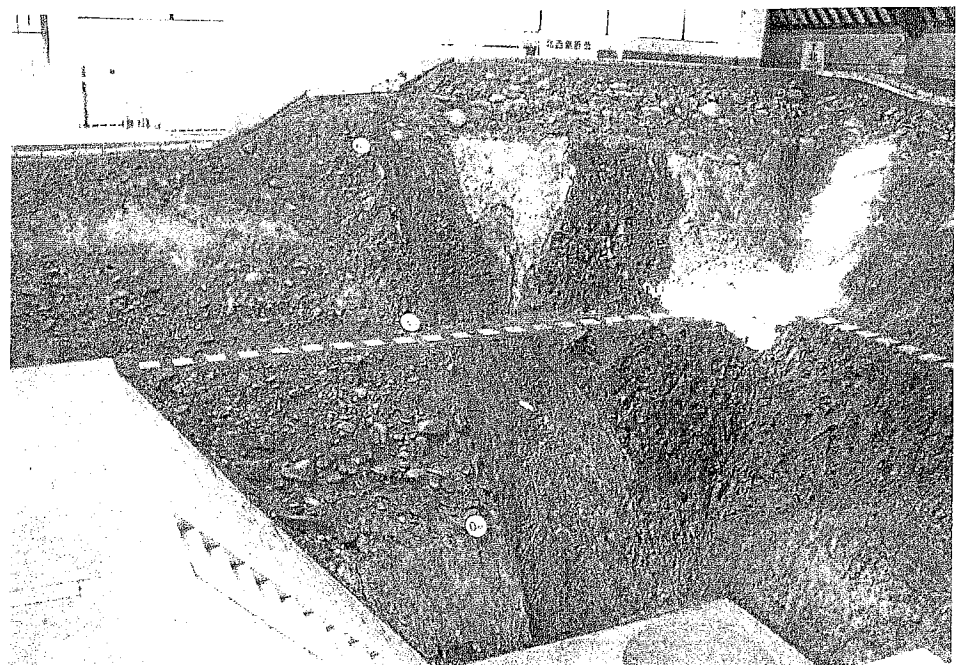
十二、古地震事件解析：藉由地層與斷層間之截切關係，配合定年之結果，解析出可能發生之古地震事件。

十三、現場討論：於槽溝開挖初步完成後開放 1-2 週，公開展示初步成果，並提供國內學術界及地質界勘查、參觀及討論（圖十一）。若有未能解決之疑問則必須再進行二次或多次之開挖。

十四、回復填土及復舊：槽溝之復舊作業須將挖方依序回填，並回復原始的地形狀態，若破壞原有的地上物則須負責回復原樣。若開挖結果良好土地取得又能順利解決，建議部份槽溝可予於保存，提供作為推廣活動斷層教育的場所（圖十二）。



◀ 圖十一 竹山槽溝說明會
(侯進雄攝)



圖十二 日本根尾谷地
震斷層觀察館剖面

槽溝開挖之困難

一、土地取得困難：台灣地區地狹人稠，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面的場址已不容易，加上受限於土地的取得或租借的困難，如部份地主要求過高的土地租金或補償費用，造成有時候雖然已找到適合的地點卻無法如願進行調查（圖十三）。

二、沈積速率快：沈積速率快會導致沈積層太過於年輕，開挖之剖面涵蓋的時代過短，會無法記錄到較多次的活動歷史；以豐原水源路的槽溝為例，雖

已開挖近十公尺，卻只保留九二一地震時的地表破裂形態，而無法觀察到前一次古地震事件的證據（圖十四）通常遇到這種狀況時，會考慮是否可能加深開挖深度，但加深開挖必須加大土地使用及開挖面積，同時會增加工程困難度及崩坍之危險性，必須依現地狀況而定，並非一定可行。而快速大量沈積的結果也常造成沈積物顆粒很粗（圖十五），因而斷層帶變形特徵不明顯，並且難以取得含碳物質進行定年，因而不利於解析古地震事件。



◀ 圖十三 梅山斷層1906年之斷層崖遺跡，因未獲地主肯而放棄開挖



▲ 圖十四 沈積速率過快，開挖剖面僅能觀察到九二一地震的破裂形態（台中豐原車籠埔斷層）



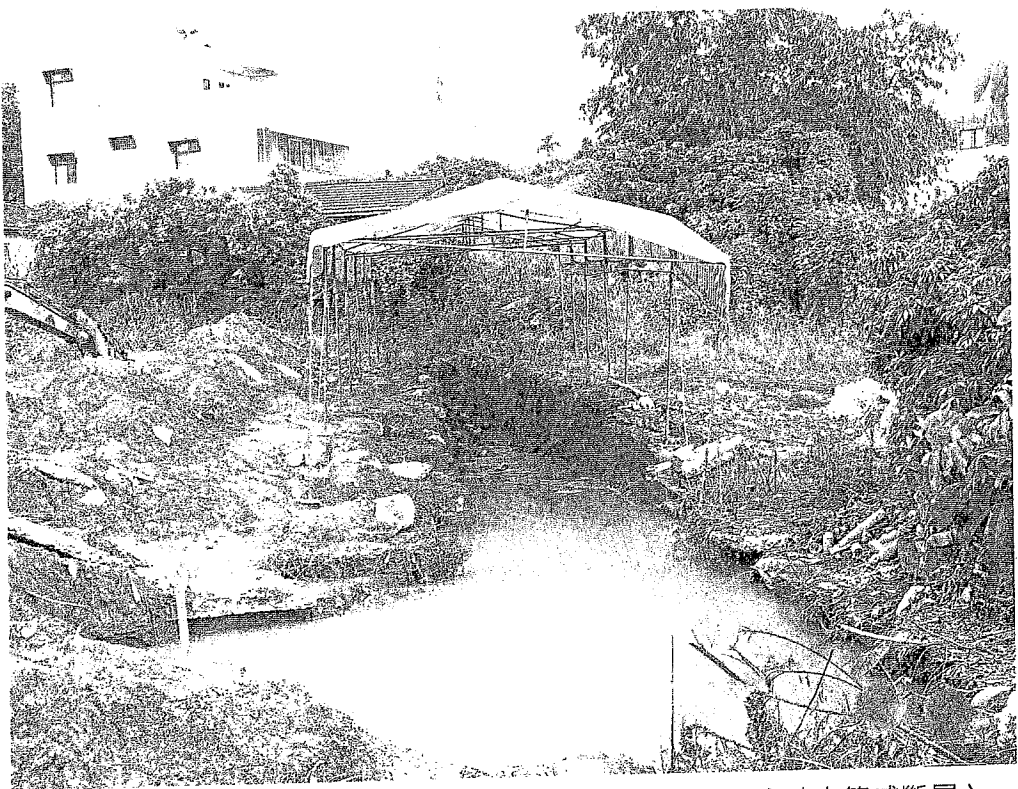
▲ 圖十五 快速大量沈積造成沈積物顆粒大，斷層帶變形特徵因而不明顯（台中霧峰車籠埔斷層）

三、氣候條件限制：台灣夏季高溫多雨又多颱風的氣候條件，相當不利於工作的進行，更限制了一年中適合進行調查工作的季節，因此若非受限於土地使用的因素，一般多會選擇在乾季進行調查工作。

四、地下水面過高：在開挖過程中常遭遇地下水面過高的問題，導致開挖深度

受限，若地下水大量湧出，會造成槽溝內積水且溝內泥濘不堪，亦很容易造成開挖剖面的崩坍，部份槽溝更因此開挖後遭遇地下水的問題而放棄（圖十六）。

以上種種的限制都會造成調查上的困擾，必須在選址與施工前多加考量，才能提高調查的品質。



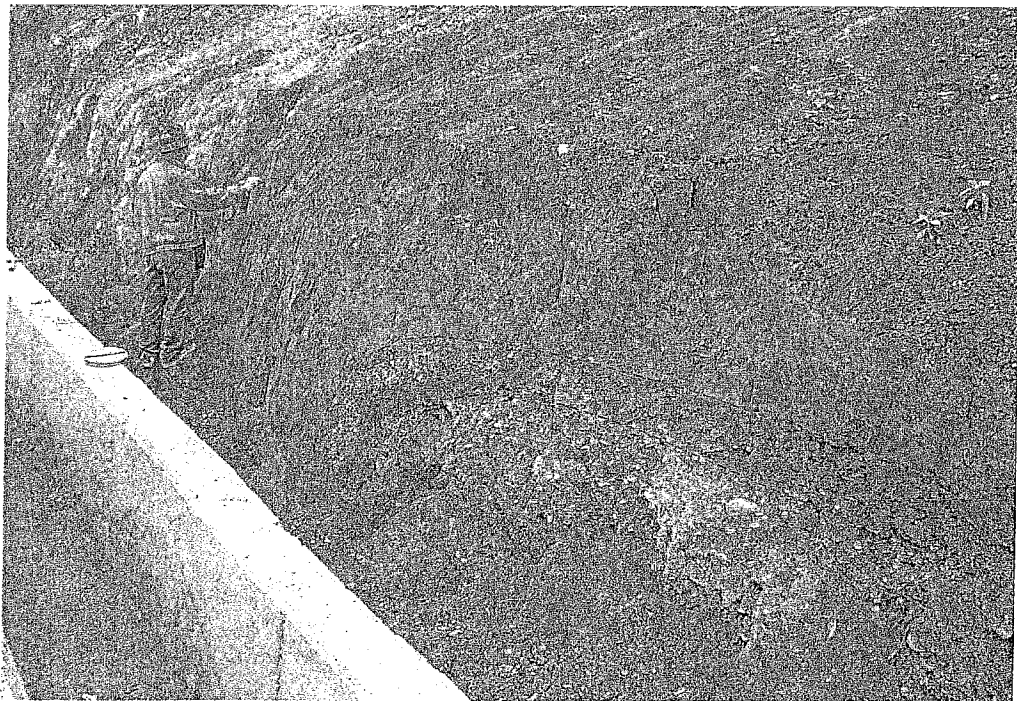
▲ 圖十六 地下水面過高導致槽溝內大量積水（南投大埤車籠埔斷層）

竹山槽溝開挖調查概述

近期（九十一年十一月）中央地質調查所於南投竹山地區進行車籠埔斷層槽溝開挖及古地震調查，開挖剖面狀況十分理想，因地層為細顆粒沈積物，層序清楚且構造完整，並可觀察到數次古地震事件，為一相當成功而難得的調查案例，非常適合作為活動斷層教育訓練場所。當地的地方人士更提議本槽溝在研究後妥善維護，做為活動斷層地質教育景點。南投縣縣長竹山鎮鎮長和公共工程委員會副主委均前往瞭解，因為該處位於中二高竹山交流道出口，地方人士希望研究後，槽溝開挖地點能妥善維護，做為活動斷層地質教育景點，配合竹山鎮東埔蚋溪和清水溪週遭旅遊景點，藉著便利的交通，推動未來南投縣觀光產業以繁榮地方經濟。以下簡單介紹竹山槽溝開挖選址、古地震調查與後續保存的處理方式。

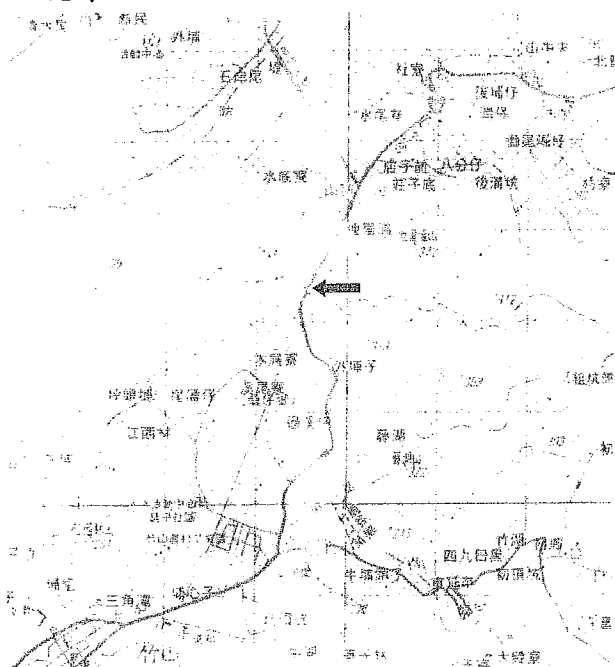
一、場址選擇：九二一地表破裂在濁水溪以南至竹山間大多通過河階及平原區域，僅在外埔子橋一帶貼近山麓前緣

垂直抬升量大約介於一公尺至三點五公尺之間，而此段區域大多保持地形上的變位特徵，暗示九二一地震地表破裂大致沿襲舊的斷層而活動，加上河階具有年輕之沈積物，可保留斷層近期活動的紀錄。在八十九年底台三線外埔子橋附近進行路邊護坡工程時開挖出的地層呈現相當漂亮的褶皺（圖十七），只可惜未能向下開挖出較完整的剖面供研究，但也顯示此區域已歷經相當多次古地震事件，並已在地層中留下紀錄。因此中央地質調查所一直計畫在附近尋找可資利用的場址進行槽溝開挖與古地震之研究。近期中央地質調查所在竹山地區進行調查，發現竹林汽車旅館前之空地於九二一地震後即荒廢不用，相當適合作為槽溝開挖的地點，隨即與台灣大學地質科學系陳文山教授合作進行開挖，幸有賴於地主高度肯定與配合，槽溝得以順利開挖。



▲圖十七 南投竹山台三線外埔子橋進行護坡工程時開挖出露之褶皺

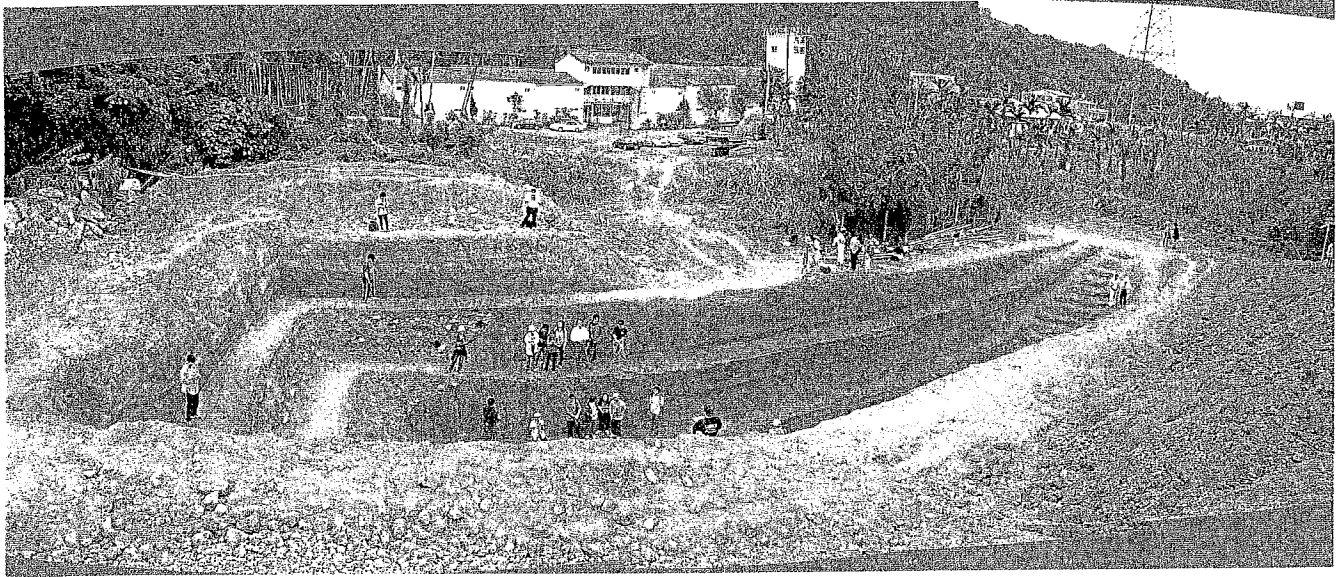
二、剖面概述：槽溝工址位於南投縣竹山鎮（中二高竹山交流道出口，圖十八）的竹山汽車旅館前方（圖十九），槽溝長度約五十公尺，寬度約二十公尺，深度約八公尺共分為五階段開挖。由於冬季為乾季，地下水位低，槽溝內相當乾燥，為一相當理想的狀況。所出露之地層大多為疏鬆的沈積物，除少部份上盤地層遭人為整地而缺失外，上下盤地層層序皆對比良好，上盤出露最老的部份為礫石層（S7），基盤尚未露出；礫石層之上為黃棕色的砂土層及灰白色的泥質地層（S1-S6），淺部 S2層中有四層棕黑色的有機土層。由該槽溝北側溝壁的觀察結果顯示，該斷層的上盤岩層因為撓曲變形而呈現背斜構造（圖二十）；南側溝壁則顯示斷層滑移作用極為明顯，斷層下盤岩層則因撓曲變形呈向斜構造（圖二十一）；地層較為陡直的部份明顯較水平部份來的薄，顯見地層有被拉長的現象，遠離斷層帶之上下盤地層則大致維持水平的狀態；在斷層下盤亦可發現部份液化及地裂的現象。



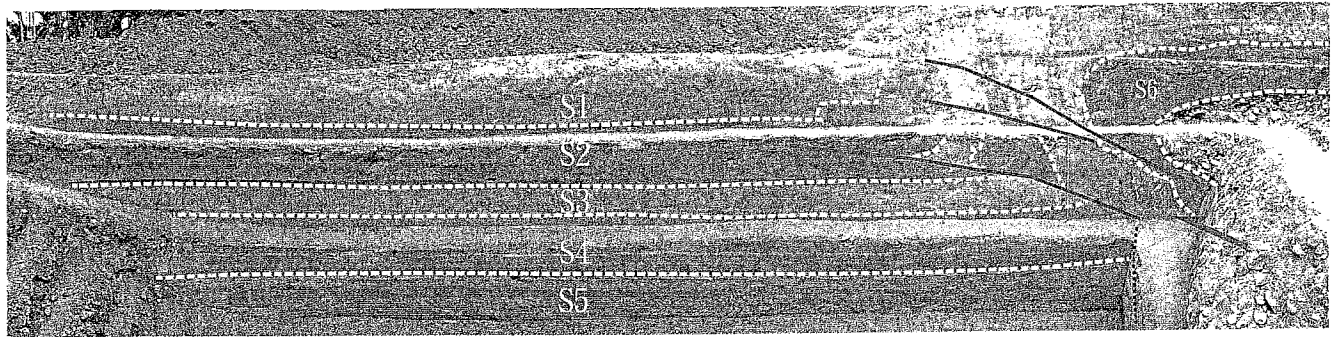
三、古地震事件解析：由上下盤之地層落差計算，斷層上盤出露礫石層（S7）在斷層下盤尚未出露，垂直落差超過八公尺，若以九二一地震之落差兩公尺計算，推測至少可能歷經過四次古地震事件（含九二一地震）。在剖面中可觀察到數個斷層面截切地層，錯動面彼此間亦有相互截切之關係，而其中一條斷層切穿至地表連接九二一地震地表破裂之位置，應可確認為斷層最後一次活動時（九二一地震）的錯動面。

四、槽溝之維持與保存：本所活動斷層調查所開挖的槽溝均於完成紀錄、採樣等工作後，即行回填，恢復原狀，但由於本槽溝所顯示之斷層上下岩盤層次分明，經由新聞媒體報導，該地質景觀吸引許多民眾前往觀賞。十一月廿二日公共工程委員會副主委郭清江適逢災區視察，南投縣政府與竹山鎮公所反應建議在本所與臺灣大學完成調查研究後，槽溝開挖地點能妥善維護，做為活動斷層地質教育景點。因為該處位於中二高竹山交流道出口，可以配合竹山鎮東埔蚋溪和清水溪週邊旅遊景點，推動未來南投縣以及九二一災區觀光產業以繁榮地方經濟。此項建議，郭副主委允諾帶回研究。

◀ 圖十八 南投竹山槽溝位置圖；
底圖為「經建第二版五
萬分之一地形圖—南投」



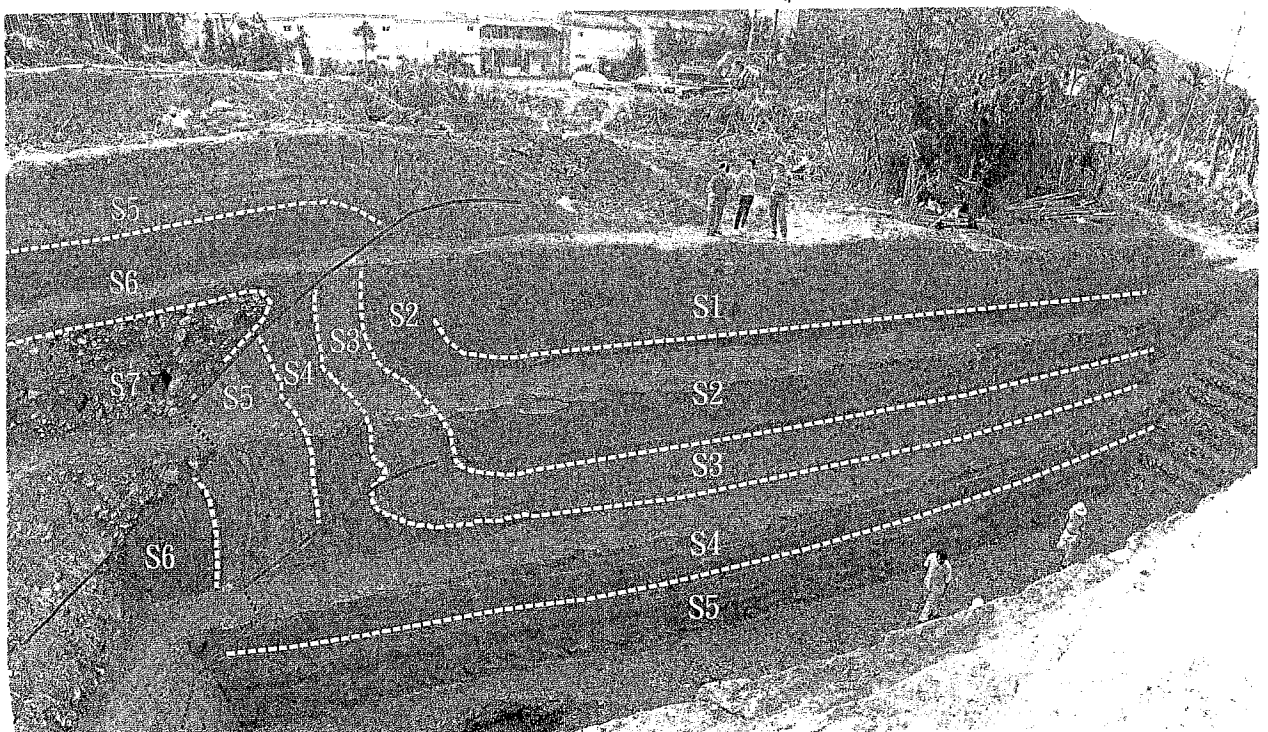
▲ 圖十九 竹山槽溝全景



西南

▲ 圖二十 竹山槽溝北壁情況

東北



東北

▲ 圖二十一 竹山槽溝南壁全景

西南

五、後續處理方式：九二一重建委員會郭執行長瑤琪知悉後，於九十一年十二月二日親自前往視察，並邀集本所、台大陳教授與地方政府協商，以規劃後續作業。郭執行長瑤琪主持有關槽溝保存工作協調會之初步結論如下：

- (一) 槽溝保存作業分短、中、長期規劃。
- (二) 短期作業由竹山鎮公所製作安全公告、先協調地主承租該地一年（因陳文山教授與地主約定土地使用期限為一個半月）並提出短期遮蔽、排水與安全設施規格提交九二一重建委員會大地工程處審查，經費由重建會勻支。

(三) 中期與長期規劃由郭主委協調臺灣大學承接整體規劃案（經費可能由九二一重建委員會支付）。

(四) 經濟部中央地質調查所與臺灣大學地質科學系陳文山教授將提供後續地質專業協助與諮詢。

行政院游院長在九二一重建委員會的安排下，於九十二年元月十七日赴竹山槽溝視察（圖二十二），並指示九二一重建委員會應詳盡規劃，結合南投地區地方特色，建立一座多功能性的博物館，以促進地方產業及經濟發展。我們期望在各方的努力下，這座富含教育意義的博物館能在不久的將來順利完成，並成為一個槽溝開挖保存的絕佳範例。



▲圖二十二 行政院游院長視察竹山槽溝情況