

師大地理研究報告 第41期 民國93年11月
Geographical Research No. 41, November, 2004

以折射震測法探討新社河階群

Exploring the Hsinshe River Terraces by the Refraction Seismic Method

葛滿龍*1
Mang-Long Ger

張瑞津*2
Jui-Chin Chang

王乾盈*3
Chien-Ying Wang

Abstract

Due to the complicated faulting along the foot of the Hsinshe terrace caused by the 1999 Chi-Chi earthquake, the structural development of this terrace attracts newly attention. The identification of different river terraces is a key factor to clarify their movement sequence. In this paper, we use a geophysical exploration method: the refraction seismic method to classify the terrace compositions and to find their relationship. An 'areal' data coverage can be obtained, which may provide more information to explore the area. The results nicely explain the same terrace having different headwaters and head pits. Some 'afore-assigned' different terraces may belong to the same level. This seismic method offers an alternative to study the river terraces.

Keywords: refraction seismic method, river terrace, Chi-Chi earthquake

中文摘要

自九二一地震後，新社河階群複雜的地形構造再度受到學界的注意，其中河階地形面的確認研究，對該地區新期的構造運動解釋至為關鍵。本研究以地球物理探勘之折射震測法調查河階組成之界面，目的是利用其有效探測淺部地層之優點，將「點」的位置推廣至「面」的分佈，以獲得更好之階面間的關係，據而釐清水井子面、永源面及坑頭面是否屬於一個地形面等問題。該法可提供研究河階面的另一種選擇。
關鍵字：折射震測法、河階、集集大地震

一、緒論

河階地形面的確認研究不僅對新期構造運動的解釋有一定的貢獻，甚至經由地形面的變位，如階地地

*1 國立台灣師範大學地理系博士生

*2 國立台灣師範大學地理系教授

*3 國立中央大學地球科學系教授

形隆起或斷陷，對了解該地的構造活動與地震研究有實質上的重要性。

自九二一地震後，新社河階群複雜的地形構造(圖1)再度受到學界的注意，其中河階地形面的確認研究，對該地區的構造運動解釋至為關鍵。早先有林朝榮(1957)根據河階地有無紅土層而將新社河階群劃分成九段地形面，其中水井子周遭地區統籌劃分為水井子面，並無永源及坑頭面的提出。隨後許民陽(1984)根據紅土粒度分析與野外實查的結果亦有相同的分法。石再添教授等(1986)以地形學的觀點，藉由航照判讀及野外實察，對新社河階群之地形面與活斷層加以探討，其結果對於新社河階群地形面的確認與斷層皆有深入瞭解，並建立新社河階活斷層與主要地形面的關係；其中明顯地是指出水井子地區附近，可分成上、下兩個地形面：即北邊的坑頭面及南邊的永源面。但事實上，水井子附近地區應分成幾個地形面，各方學者看法不一。例如永源及坑頭面的提出，係由石再添等(1986)依據高度對比及野外實查於水井子附近地區(水井子面)分為水井子面、永源面、坑頭面及七分面，其中水井子面對比為LH面，而永源、坑頭及七分面則同屬於LT1面。值得探討的是，水井子面與永源面並無明顯的階崖，而坑頭面與七分面則因有疑似斷層經過而有30公尺之斷崖，卻同屬一面。另外，Tsai and Sung (2003)利用野外實察，引用上衝構造(pop-up structure)及急轉褶皺(kink fold)的新觀點，認為該地區應結合大南面之Tc10a，共同成為一個LT1地形面類群。由此可知，該河階群的階地看法有相當大的分歧(圖2)。這些都是由於該地區地表大多為現代沖積層所覆蓋，地質露頭缺乏，且少有地質鑽井資料，很不容易進行階地對比之工作。

本研究以地球物理的方法 - 折射震測法，在階面上不同位置施測，嘗試利用其有效探測淺部地層之優點，製造「人工露頭」，並採用地層由不同介質組成則會產生「不同速度」的論點，進而解釋河階群的地形面，尤其是永源面、坑頭面及水井子面是否屬於同一個地形面。

二、研究區域地質概況

本研究區的相關地層由下而上依序分別為錦水頁岩層、卓蘭層、頭嵙山層、階地堆積層及紅土台地堆積層等。參考中油十萬分之一地質圖(CPC, 1982 and 1994)、台灣地質概論(何春蓀, 1997)及九二一地震地質調查報告(中央地質調查所, 2000)等，加以綜合敘述如下：

錦水頁岩層為上新世地層，其上部與卓蘭層整合接觸。本地層以頁岩為主，富含各種海相生物化石，屬於淺海附近環境的沉積。卓蘭層為上新世地層，以砂、頁岩及泥岩的互層為主，因具有交錯層和波痕等沈積構造，屬淺水沈積。頭嵙山層為更新世地層，覆於卓蘭層之上，主要存有兩種相異的岩相：一為礫岩(火山山相)，一為細砂岩及頁岩互層(香山相)；兩種不同岩相常以犬牙交錯相接，並無明顯界線可供區別。但因該地層化石含有貝類、魚類、有孔蟲、珊瑚類等，屬於在淺海環境中所形成的地層。階地堆積層主要以礫石、砂、粉砂及粘土所組成，並分佈於河流及其較大支流之兩岸，其比高可由數公尺至數百公尺。紅土台地堆積層主要為未經膠結的礫石、砂、粉砂及粘土所組成。其上所覆蓋之紅土，一般而言，隨著紅化時間較長，顏色較深，土質也較下部堆積層鬆軟。該地區主要的構造線為頭嵙山向斜，此向斜西翼較東翼為陡，形成單斜構造，並經過大甲溪及大安溪底下向北抬升(圖3, Wang et al., 2004)。

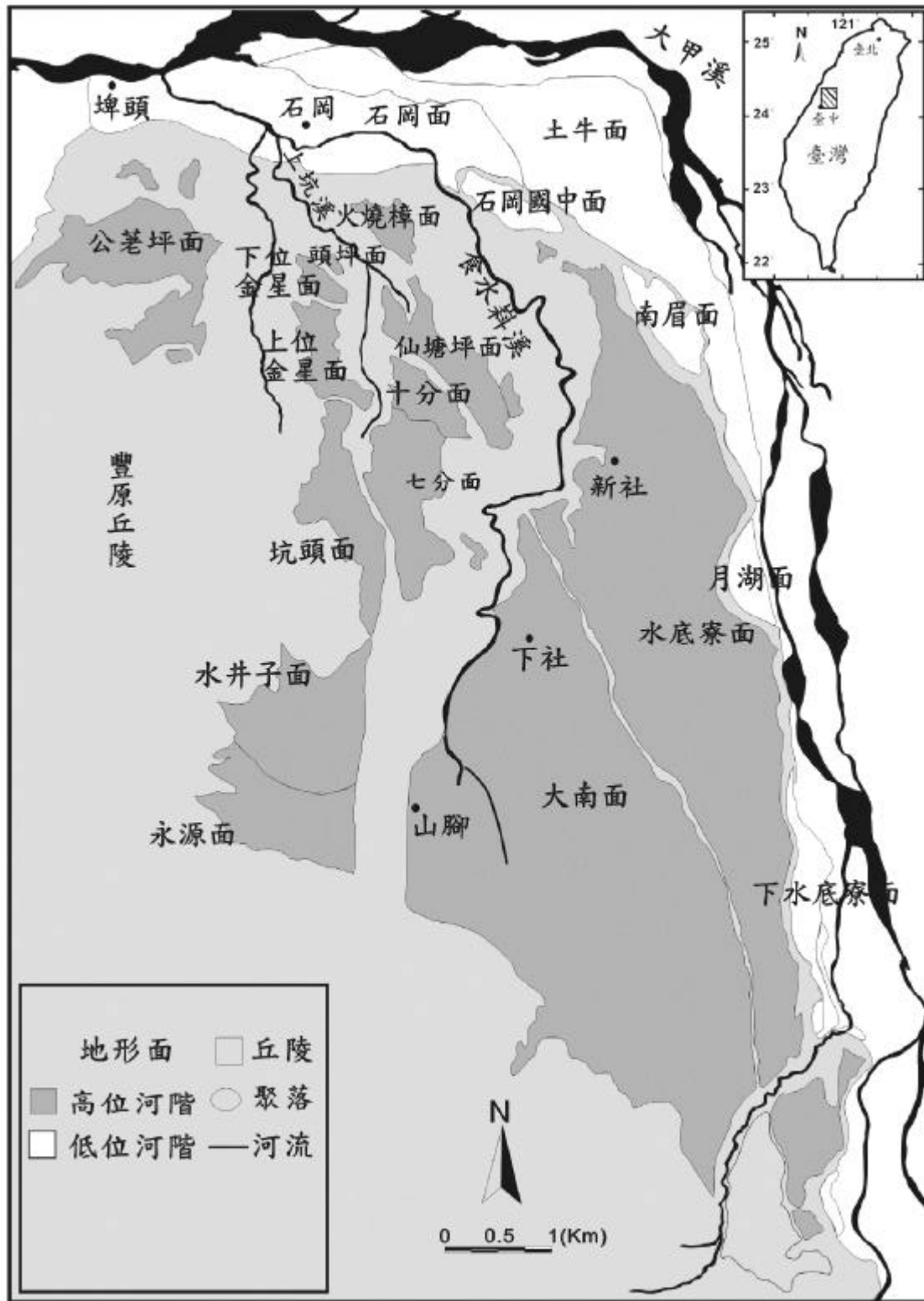


圖 1 台灣中部大甲溪中游之新社河階群高、低位河階面。(修改自張瑞津等，2001)

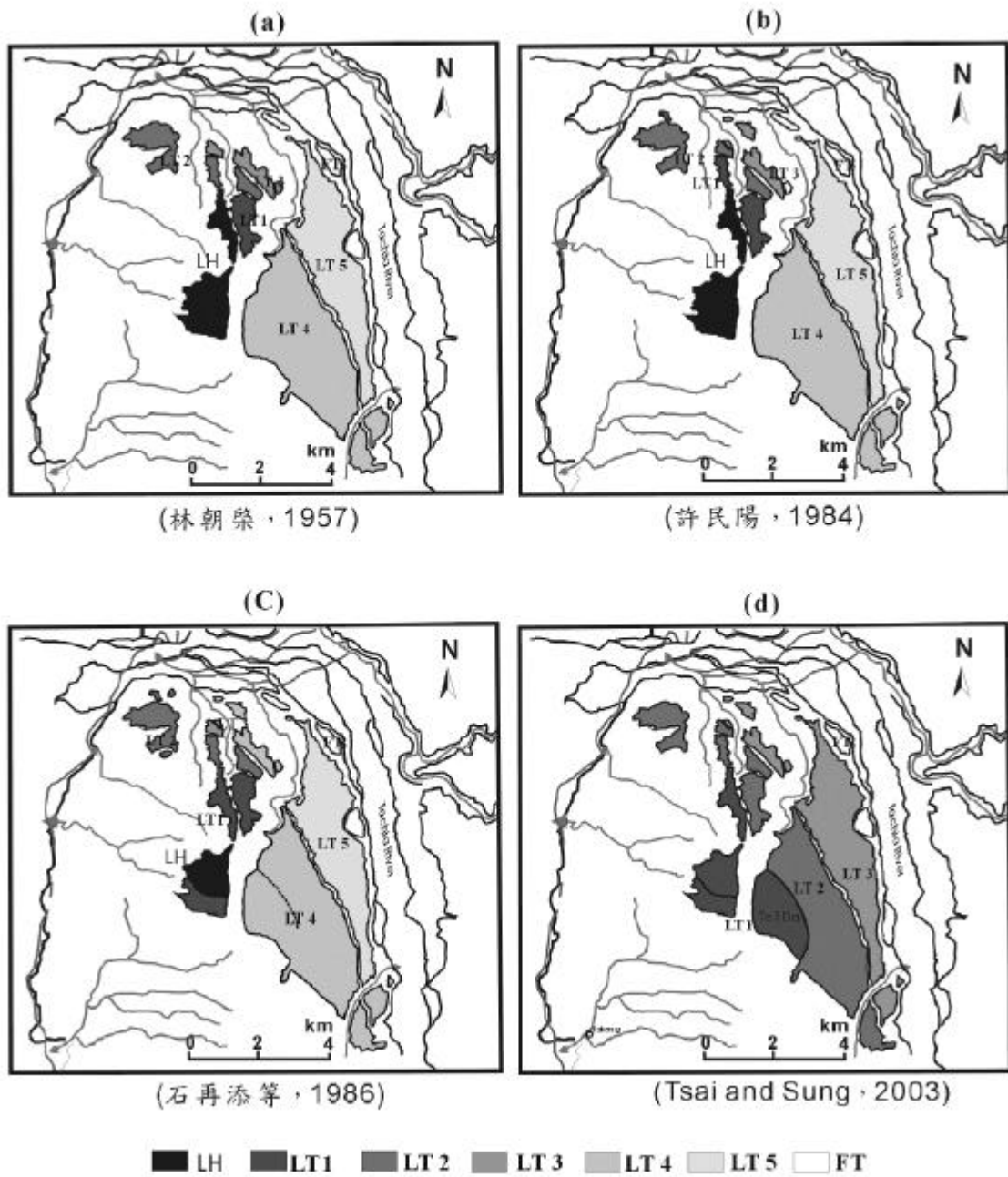


圖 2 (a) 林朝榮(1957)將水井子周遭地區統籌劃分為水井子面，並無永源面及坑頭面的提出。
 (b) 許民陽(1984)利用土壤粒度分析推測水井子附近應屬同一 LH 地形面。
 (c) 石再添等(1986)則將在水井子附近地區(水井子面)分為水井子面、永源面、坑頭面及七分面。
 (d) Tsai and Sung (2003)認為該地區(水井子、永源、坑頭三個階面)應結合大南面之 Tc10a，共同成為一個 LT1 地形面。由此可知，水井子附近地區的階面看法有相當大的分歧。

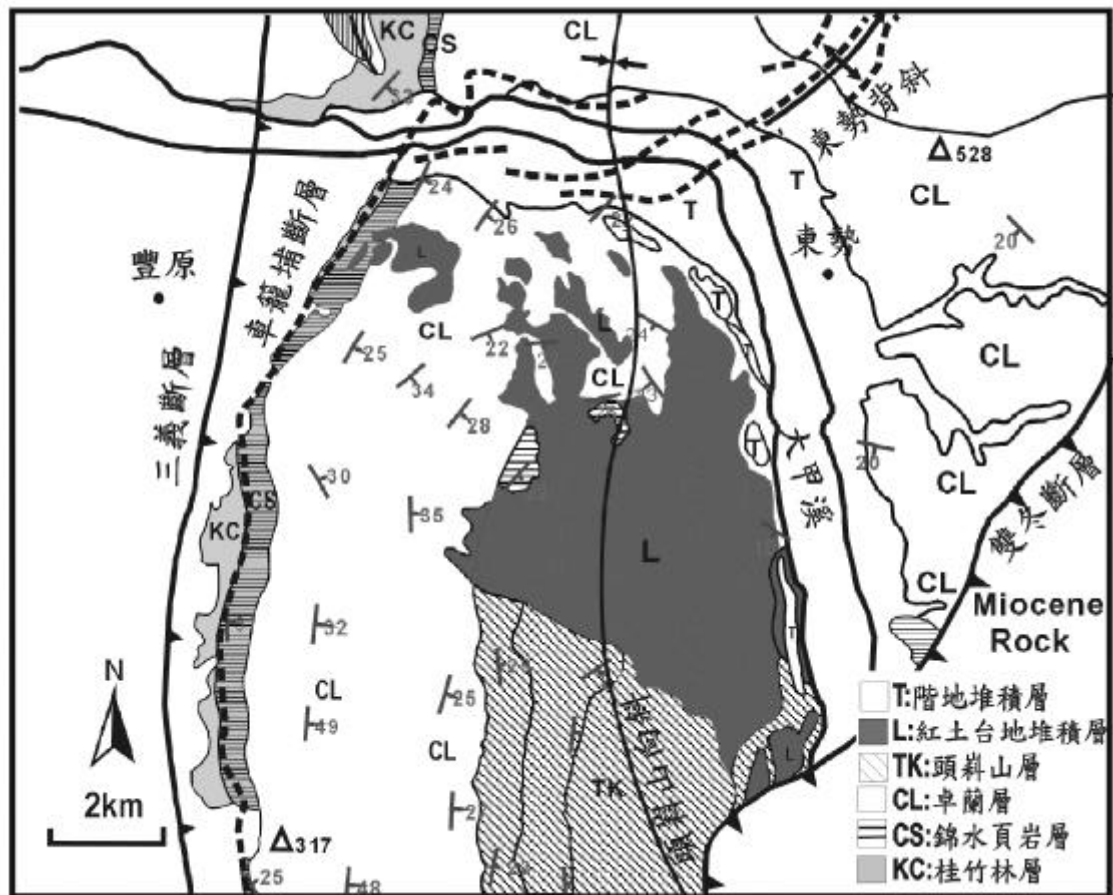


圖 3 位於台中縣境內大甲溪中游的新社河階群，因受囿於車籠埔斷層、雙冬斷層與地震地表破裂帶之中，其主要的構造線為頭崙山向斜，此向斜西翼較東翼為陡，形成單斜構造，往北過大甲溪，與石圍牆向斜相連。(修改自 CPC, 1994; CPC, 1982; Wang et al., 2004)

三、折射原理與野外工作

震波測勘為地球物理探勘方法中精度較高，應用較廣的一種方法(胡錦城等，1982)。依據測勘的目的及摘取震波所經之路徑，震波測勘可分為折射法、反射法及表面波法等，其中折射法自1930年代就被工程界廣泛採用在調查大地工程，辨識表土層、底岩及場址選定等重大工程建設(Allen, 1971)，已具有多年的歷史，向來被工程界所稱道。該法主要是利用p波在岩層傳遞時，其速度會因岩性的不同而不同；即相同的地層內具有相同的地層速度範圍，並依Snell Law在速度不連續面產生波徑轉折，經由地表所設置的受波器接收震波之折射效應(如圖4所示)。

就波傳遞的物理現象而言，不同的傳遞介質，具有不同的傳遞速度。換言之，若以固定的波(如聲波)傳遞，即可由「波的傳遞速度」推測得知「傳遞的介質」，例如：聲波在某不知名的介質中傳播，可嚐試測得其傳遞速度，如為331 m/s，便可推測此不知名的介質可能為空氣(如表1所示)。

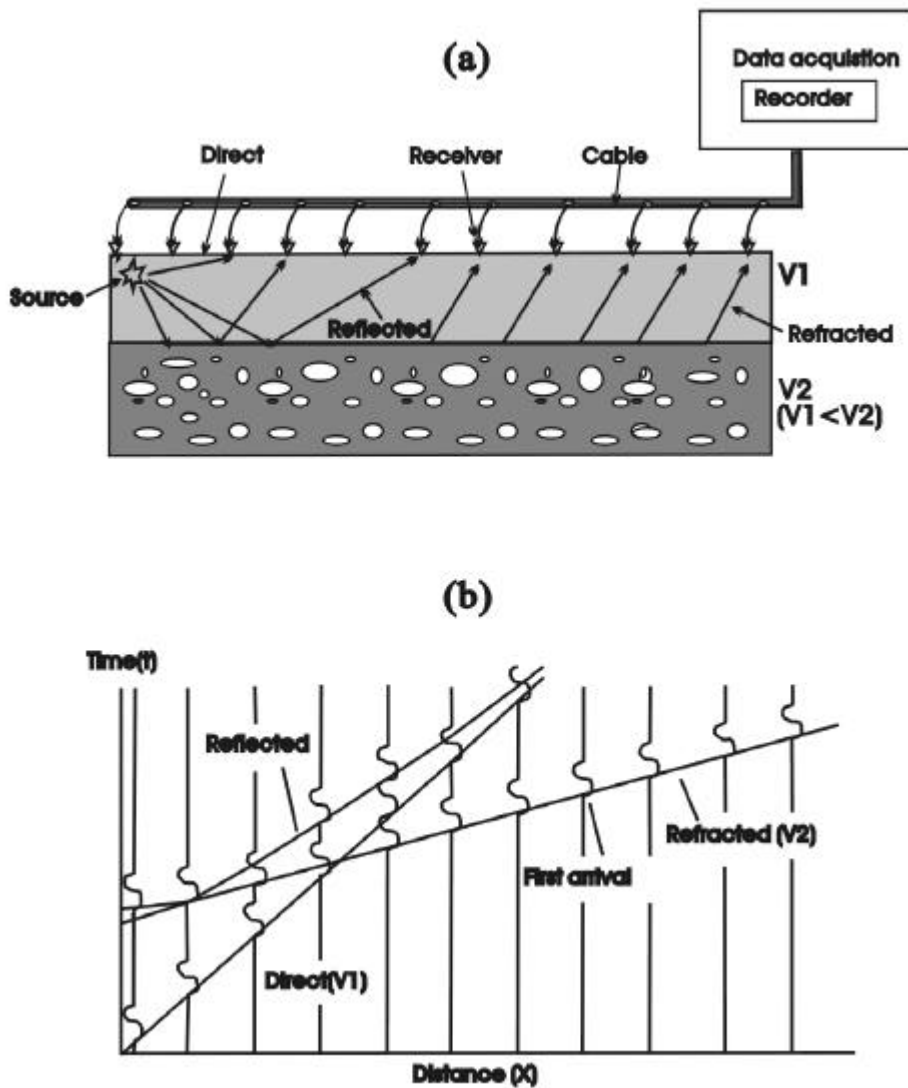


圖 4 震波在不同地層以不同速度傳遞，並依 Snell Law 於速度不連續面產生波徑轉折，再經由地表所設置的受波器接收。

表 1 聲波在不同介質傳遞的速度(摘自 Veazey et al., 1994)

| 空氣 | 蒸餾水 | 金 | 鐵 | 花崗石 |
|------------|----------|----------|----------|----------|
| 331.45 m/s | 1497 m/s | 3240 m/s | 5130 m/s | 6000 m/s |

同理，就震波傳遞而言，所謂「傳遞的介質」就是「岩性或地層」。而且震波的速度是隨著岩性(或膠結度)之不同而異(Sheriff and Geldart, 1994)；例如 Hunter et al. (1989)根據其多年所累積的震測經驗，成功地以震波(P 波)在不同岩性間的速度範圍，推測其岩性(或膠結度)，如表 2。

表 2 P 波在不同岩性中的速度範圍(By Hunter et al.,1989)

| 速度(m/s) | 岩性說明 |
|-----------|--|
| 200 400 | 鬆軟，未膠結的表土沈積物。 |
| 400 1500 | 未膠結的黏土、粉砂；未含水之砂，礫石。 |
| 1500 2000 | 含水之砂、礫；膠結之黏土、粉砂、受風化之岩石。 |
| 2000 2500 | 可能含水的部分膠結的沈積岩；高度風化、破碎之變質岩、花崗岩；風化或解理之砂岩、頁岩。 |
| 2500 3700 | 部分風化之新鮮砂岩、頁岩；風化之變質岩、花崗岩或石灰岩。 |
| 3700 4500 | 輕度風化，破碎之變質岩、花崗岩、石灰岩；極堅硬，固化砂岩，頁岩。 |
| 4500 6000 | 未風化之變質岩和花崗岩，石灰岩和白雲岩。 |

故震波速度具有反應地層的部分特性的性質，在地層解釋上有其重要的參考指標(潘玉生等，1992)。再者，折射震測對於地表層之厚度及接近地表之淺部速度測量非常準確，故適合運用於調查階地沉積層的速度與組成物質。

表 3 為本研究在研究區域內所使用的野外施測儀器與參數，施測方式採用「廣域佈線」的方式，所謂『廣域佈線』也就是在這些階地上，可容許的探勘範圍內，至少佈上兩條以上的震測線，以達到探測階地淺部地層的速度資料，累計共施測 21 條折射震測線，其施測位置與所得折射層速度，如圖 6，探測時間為 2002 年 8 月。施測時為避開雜訊的干擾，常以夜間施測，以獲得最佳的折射信號資料。另外，在黃健政(1984)台灣坡地社區工程地質調查與探勘報告內的淺井(F3)位置附近，我們也實施折射震測，以做為階地對比的檢驗點。

表 3 新社地區折射震測野外施測儀器與相關參數

| | |
|-------|------------------|
| 震測儀 | 2401x 之 48 波道震測儀 |
| 震源 | 16 磅榔頭 |
| 接收器 | 10 Hz 之 geophone |
| 接收器間距 | 2 m |
| 記錄長度 | 512 msec |
| 取樣率 | 0.5 msec |
| 炸移方式 | 一次展開七點雙向炸方式 |

四、折射資料與討論

首先檢查淺井(F3)附近的折射資料。由於折射震測是根據震波傳播之時間與該地區之震波速度分布資料，進而推算折射地層之深度，並繪製地下地質構造形貌。因此，可藉由淺井的深度資料與折射所推算的折射層深度做一對比，便可推知折射資料是否與現地吻合，進而做為測區的檢驗點。由 F3 淺井的礫石沉積層與底岩交界的深度為 8.7 公尺，而其附近之折測資料為 8 公尺附近，兩者深度對比結果相當的吻合，如

圖 5，代表此折射震測資料的可信度，可視為一個良好的檢驗點。因此，若將這些已得知的階地折射層速度範圍，參考 Hunter (1989) P 波在不同岩性的速度界限(1500 m/s 及 2000 m/s)及利用鑽井資料做為控制點，我們可以將河階群內的高位河階成功地分成 LT1、LT2 及 LT3 三段階地(如圖 6)。

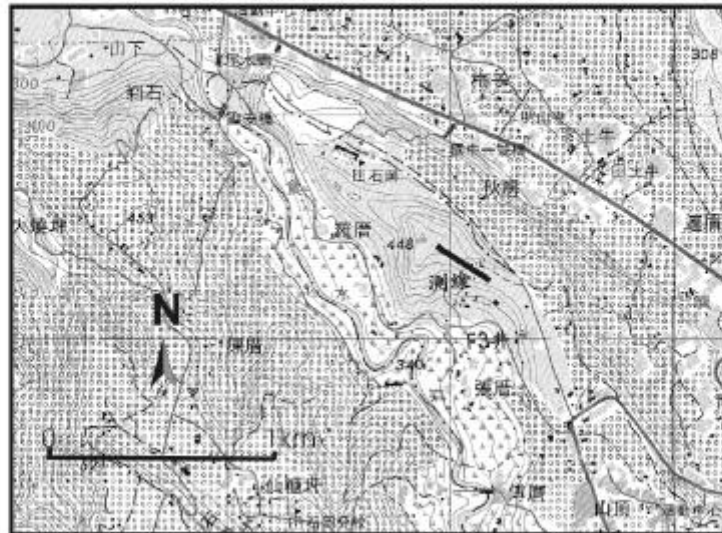
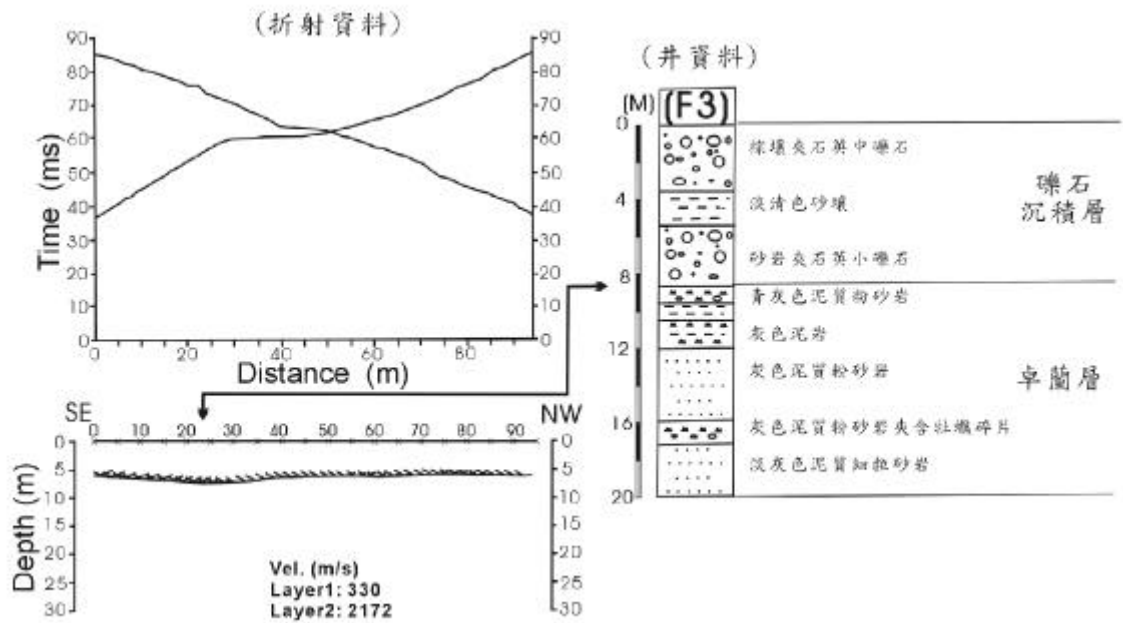


圖 5 在黃健政(1984)台灣坡地社區工程地質調查與探勘報告內的淺井(F3)位置附近，實施折射震測，以做為階地對比的檢驗點，比對結果相當的符合。

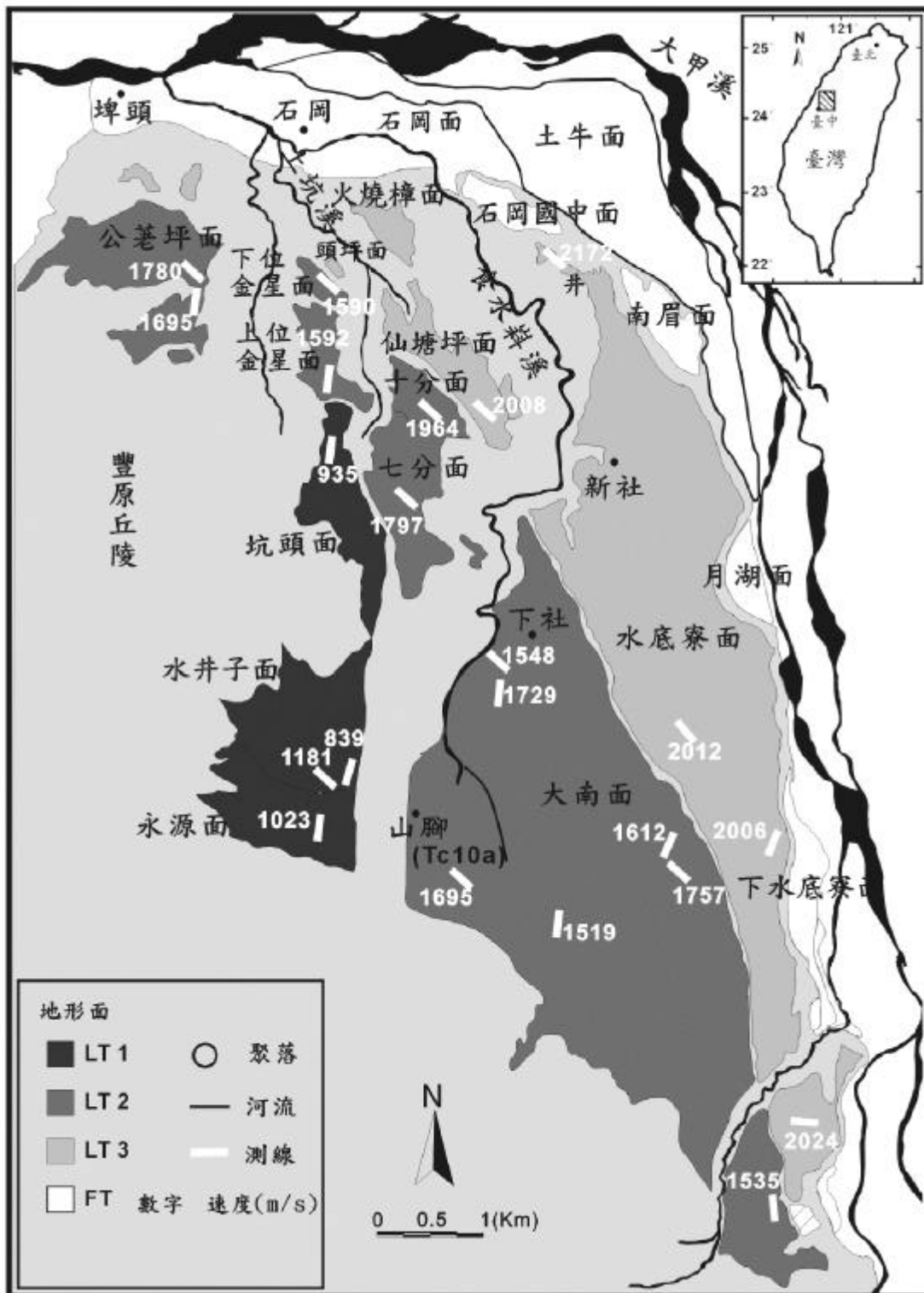


圖 6 本研究在新社河階面上實施折射震測，圖中標示測線位置與折射層速度，依折射層速度(即堆積層與其底岩之分界面)可分出三段高位河階。

其次，檢視石再添等(1986)所提出之坑頭面(含七分面)、水井子面及永源面等三個地形面。值得注意的是，水井子面與永源面並無明顯的階崖，坑頭面與七分面間有 30 公尺階崖，是因其推測有新社斷層通過，而認定同屬於一個地形面。但根據野外實察的結果，並未發現坑頭與七分間有變位地層，由折射震測卻得知坑頭面的折射速度(935 m/s)與七分面的折射速度(1797 m/s)相差甚多，依據震波的速度是隨著岩性不同而不同的論點，分屬於不同岩性，且兩者的比高也不盡相同。因此，認為坑頭與七分面應屬於兩個不同時期所形成的地形面，如此，該階崖應是河流下切所造成的河階崖。至於 Tsai and Sung (2003)利用野外實察認為水井子階地(LT1)與大南面之一部(Tc10a)兩階面的紅土顏色相同且有 100 公尺左右的連續面，應是同為一個 LT1 面。本研究曾詳細至實地勘查結果，並未發現有所謂 100 公尺左右的連續剖面可供驗證。但由折射震測資料卻發現水井子與大南面 Tc10a 之折射速度相差甚遠(如圖 7 所示)。圖 7 為水井子、大南(中興嶺)及公荖坪等測站所收錄的野外震測資料，這些野外資料均是原始且未經處理的資料，可以忠實地表露該階地地下的折射層速度的概況，由折射波相可以明顯地看出水井子的沖積層厚度明顯大於大南(中興嶺)及公荖坪等階地。就河階的概念而言，若是相同階地應該具有比較接近的沉積厚度(例如圖 7 所示之大南及公荖坪等階地)；反觀，水井子的沖積層厚度卻明顯地大於大南。因此，我們認為兩者並不屬於同一階地；再者由速度來看，可以清楚的看出水井子折射波速度收斂於 1200 m/s 附近(圖 7 有標示者)，而大南(中興嶺)及公荖坪等河階面則收斂於 1700 m/s 附近，屬同類速度族群範圍。就算經過資料處理後，也可以發現水井子(839 m/s)與大南(1695 m/s)之折射速度均相差甚多，依據本研究的岩性速度分法屬於不同岩性；最後，若將折射速度與階地的高度做一比對分析，並參考 Hunter et al. (1989) P 波在不同岩性的速度範圍，發現 1500 m/s 附近有一明顯的界線，更可以清楚地看出，水井子、永源及坑頭等地形面與大南面(含其地形面)根本就分屬於兩個不同的階地類群(如圖 8)，代表水井子(含永源及坑頭)與大南面等兩地形面地下沖積層的材質並不相同，屬於不同時期的沉積時期。因此，就水井子與大南階地兩者的沉積層厚度與其折射波速度而言，我們認為這兩階面並不相同；這個論點可由許民陽(1984)利用紅壤粒度分析發現水井子面的紅壤粒度(Md 5.2~7.75)值與大南面的紅壤粒度(Md 4.9~6.0)值，並不相同得到驗證。至於

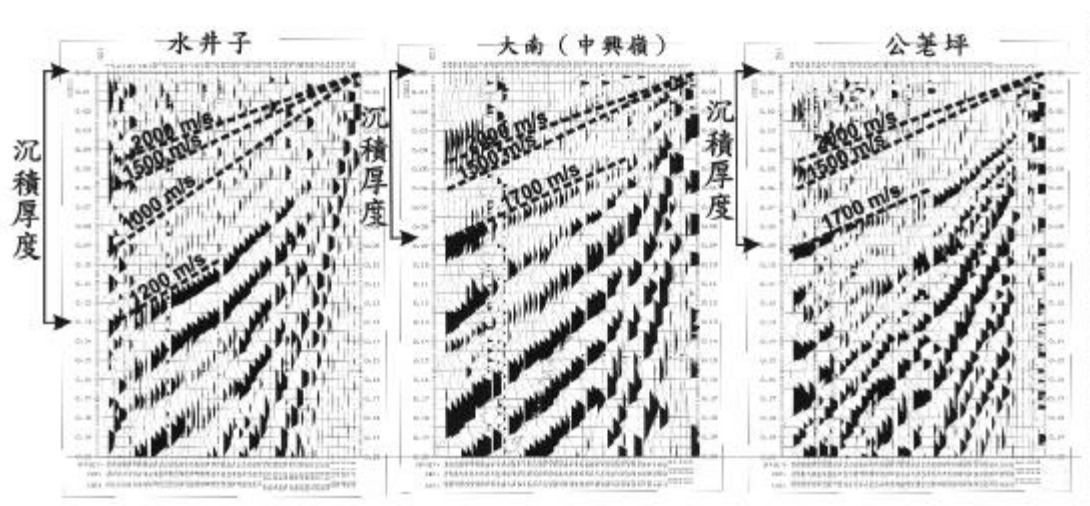


圖 7 可清楚的看出水井子折射層速度分布於 1200 m/s 附近，而大南(中興嶺)及公荖坪等河階面，速度較高，屬於同類速度族群範圍(1700 m/s)。

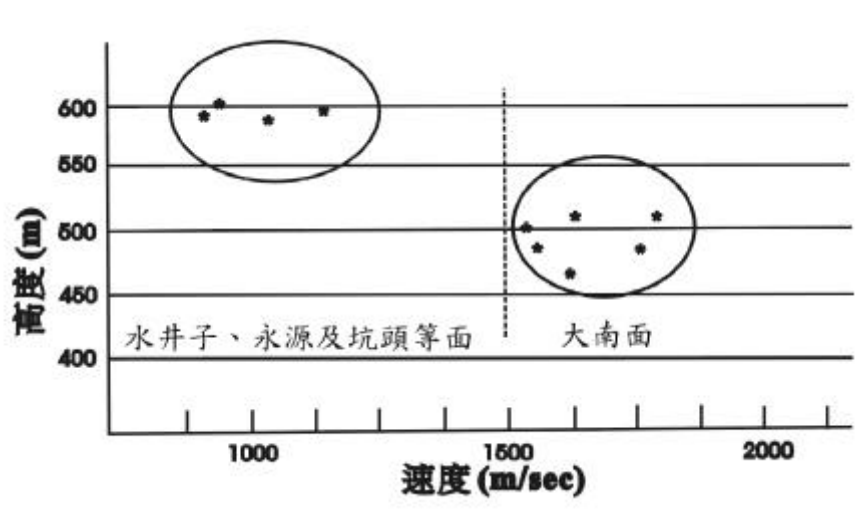


圖 8 將折射速度與階地的高度做一比對分析，若參考 Hunter (1989) P 波在不同岩性的速度範圍，發現 1500 m/s 附近有一明顯的界線，可以清楚地看出水井子、永源及坑頭等地形面與大南面根本分屬於不同類群。

在地形上，水井子面分別與永源面、坑頭面有 15 或 10 公尺的緩坡，根據折射震測資料與其外觀不似河流下切時所形成的陡崖，推測可能是由於該地區位於穹丘所致。另外，位於頭料山向斜西北翼側的階地似乎比相對於向斜東南翼側的階地來得高，並呈多階形式推測可能是位於隆升帶所致，詳情則須更多的資料證實。

五、結論

在新期構造運動相當活躍的新社河階群內，其所建構之不同河谷與複雜的河流作用背景下，現有的觀測資料本就很難判定地形面，本研究利用折射震測探究此複雜的新社河階群，進而輔助確認地形屬面，提供另一種觀測地形面的方式。綜上折射波波速資料，我們將新社河階地分成 LT1、LT2 及 LT3 三段階地，並推測永源、坑頭與水井子等河階面應屬同一個地形面(水井子面)。Tsai and Sung (2003)所認為的「大南面之一部份(Tc10a)與水井子階地屬同一個 LT1 面」，折射資料則明確的區分其各屬於不同的階面。

謝辭

感謝楊貴三教授對本文的指導斧正、新社高中董文章老師野外實察工作的協助、中央大學地震研究室設備的提供與助理郭炫佑的協助、台灣師大地理系同學李仲謀、林園益、田應平、蔡芳祺、李文忠、黃靖婷等同學野外探勘工作的參與，在此一併感謝。

參考文獻

《中文部分》

- 中央地質調查所(2000)：九二一地震地質調查報告，經濟部中央地質調查所，314頁。
- 石再添、鄧國雄、楊貴三、許民陽(1986)：新社河階群的活斷層與地形面，地學彙刊，5:29-39。
- 何春蓀(1997)：臺灣地質概論 - 臺灣地質圖說明書，經濟部中央地質調查所，共164頁。
- 林朝榮(1957)：台灣地形，台灣省文獻委員會，424頁。
- 胡錦城、吳多明、蘇福欽、呂明達、林國安、徐永耀、沈維敏、劉永鳳及黃定雄(1982)：地球物理探勘，中國石油學會，113頁。
- 許民陽(1984)：新社河階群地形特徵的研究，地理教育，10:74-98。
- 黃健政(1984)：台灣坡地社區工程地質調查與探勘報告：豐原地區，3:1-63。
- 潘玉生、陳讚煌、鍾火盛、游銘銳(1992)：震測資料之認識與解釋，中國地球物理學會，315頁。

《西文部分》

- Allen, S.J. (1971): Geophysical activity in 1969, *Geophysics*, 36:189~196.
- Chinese Petroleum Corporation (1982): The geological map of Taichung. Taiwan Petrol. Explor. Div. Publ., CPC, Taiwan, scale 1:100,000.
- Chinese Petroleum Corporation (1994): The geological map of Miaoli. Taiwan Petrol. Explor. Div. Publ., CPC, Taiwan, scale 1:100,000.
- Hunter, J.A., Pullan, S.E., Burns, R.A., Gagne, R.M., and Good, R.L. (1989): Applications of a shallow seismic reflection method to groundwater and engineering studies, *Ontario Geol. Survey Sp. 3*: 704~715.
- Sheriff, R.E. and Geldart, L.P. (1994): *Exploration Seismology*, Cambridge Univ. Press.
- Tsai, H. and Sung, Q.C. (蔡衡與宋國誠, 2003): Geomorphic evidence for an active pop-up zone associated with the Chelungpu fault in central Taiwan, *Geomorphology*, 1334:1~16.
- Wang, C.Y., Li, C.L. and Lee, H.C. (王乾盈等, 2004): Constructing subsurface structures of the Chelungpu fault to investigate mechanisms leading to abnormally large ruptures during the 1999 Chi-Chi earthquake. *Taiwan, Geophys. Res. Lett.*, 31, L02608, doi: 10.1029/2003GL018323.

收稿日期：93年5月13日

修正日期：93年6月16日

接受日期：93年11月1日