

新化斷層帶之淺部構造特徵

Shallow Subsurface Structures of the Hsinhua Fault Zone

黃勝群¹ 陳彥宏² 石瑞銓¹ 張徽正³ 林啟文³ 陳文山⁴

Sheng-Chien Huang¹, Yen-Horng Chen², Ruey-Chyuan Shih¹, Hui-Cheng Chang³,
Chii-Wen Lin³, Wen-San Chen⁴

ABSTRACT

Hsinhua fault is an active right-lateral strike-slip fault located in Tainan County, southwestern Taiwan. The fault extends from NE to NW of Hsinhua with a length of about 6 km. In 1946 Hsinhua earthquake, the fault had a maximum horizontal offset of 200 cm, and vertical offset of 76 cm in the middle and decreased to both ends. In this paper, we use shallow seismic reflection profiles to illustrate the subsurface image of the Hsinhua fault. The results show a right-lateral strike-slip shear zone extending seawards. Small vertical offsets can be recognized in the fault zone, probably related to the surface topography in the eastern segment of the fault. The flower structure is narrow in the east and diversified westward, finally becoming a wide fracture zone in the western end. Based on the evidence found in this study, the Hsinhua fault is recently active and has extension in the west of 1906 surface rupture.

前言

新化斷層為一右移斷層，長約6公里，由台南縣新化東北方約5.5公里之那拔林向西延長至新化西北方約2公里之北勢以東，走向呈北70度東。1946年新化地震後，在新化畜產試驗所辦公室前的水平變位182公分，垂直變位67公分，而在深坑橋北側公路上有最大右移量達200公分及最大垂直位移76公分。深坑橋以西

1. 國立中正大學地震研究所 (Institute of Seismology, National Chung-Cheng University)
2. 中油公司探採研究所 (Exploration & Development Research Institute, CPC)
3. 經濟部中央地質調查所 (Central Geological Survey, MOEA)
4. 國立台灣大學地質科學系 (Department of Geosciences, National Taiwan University)

水平變位與垂直變位漸減，而嘉南圳堤田圃，水平變位減至25公分，垂直變位35公分（張麗旭等，1947）。

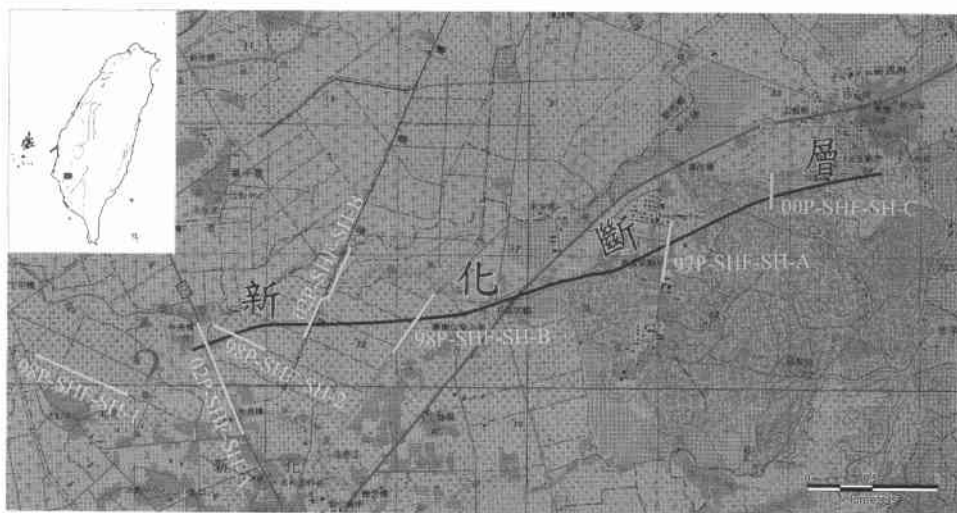
新化斷層為一級活動斷層（林啓文等，2000），李錫堤等（2000）在畜產試驗所內的槽溝開挖結果顯示出露的岩層為全新世台南層，斷裂面呈高角度傾斜，並有走向橫移斷層之花狀構造。陳文山等（2002）在新化那拔林進行之槽溝開挖中也觀察到橫移斷層系統花狀構造。

新化斷層沿線主要經過六雙層、階地堆積與沖積層，層次大致水平而斷層兩側的岩性差異很小。又因為新化斷層為一右移斷層，垂直落差量不大，除非有高解析度的結果，否則震測剖面不容易表現該斷層於淺部的構造特徵。針對上述特性改進，本文將利用高解析度的淺層反射震測剖面，來探討新化斷層於淺部地層的構造特徵，並期望能進一步瞭解該斷層之活動特性。

測線配置與剖面解釋

本文中所使用於新化地區的測線中，有部分是早期使用大榔頭與機械式撞擊震源當震源獲得，其缺點是撞擊力道較小和震源循環時間慢導致敲擊次數較少。此外，當時施測時每一個接收點僅使用單一受波器，波器間距採2公尺，而震源與受波器的最近支距採30至60公尺，所以反射信號穿透不夠深，而且近地表處的信號與雜訊比也不夠高。經改進後，本文後期所使用的測線資料皆使用高能迷你式撞擊震源JMS-MINI65產生震震波，該儀器撞擊力道較強並且循環速度快，於同一測點經過40次以上的撞擊可以有效的加深探測的目標深度。為獲得最佳的信號與雜訊的比值，每個接收點都以多個接收器並聯組成，受波器間距約1公尺，每一組接收站間距5公尺。為了獲得近地表的風化層速度資料，震源與受波器的最近支距也採用5公尺，這樣的設計已證實可以有效加深目標的深度達500公尺以上，並可獲得近地表的層地層資訊，以及提高信號的解析能力。資料處理時本文採用了紐西蘭地質與核能研究所開發的油工業用級資料處理軟體GLOBE Claritas (Ravens, 1999)來重新處理上述的老資料與新收集的資料。這套資料處理軟體使參數的選擇與變化上有較大調整的空間，使剖面品質可以達到最佳的狀態。

本文中一共採用7條於新化地區所測得的淺層震測剖面來解釋新化斷層的淺部構造，這些測線的分佈位置如圖一所示。測區東邊有兩條測線位於畜產試驗所內，其餘測線位於台20線以西，深坑橋與北勢之間。這些測線重要特徵說明如下：



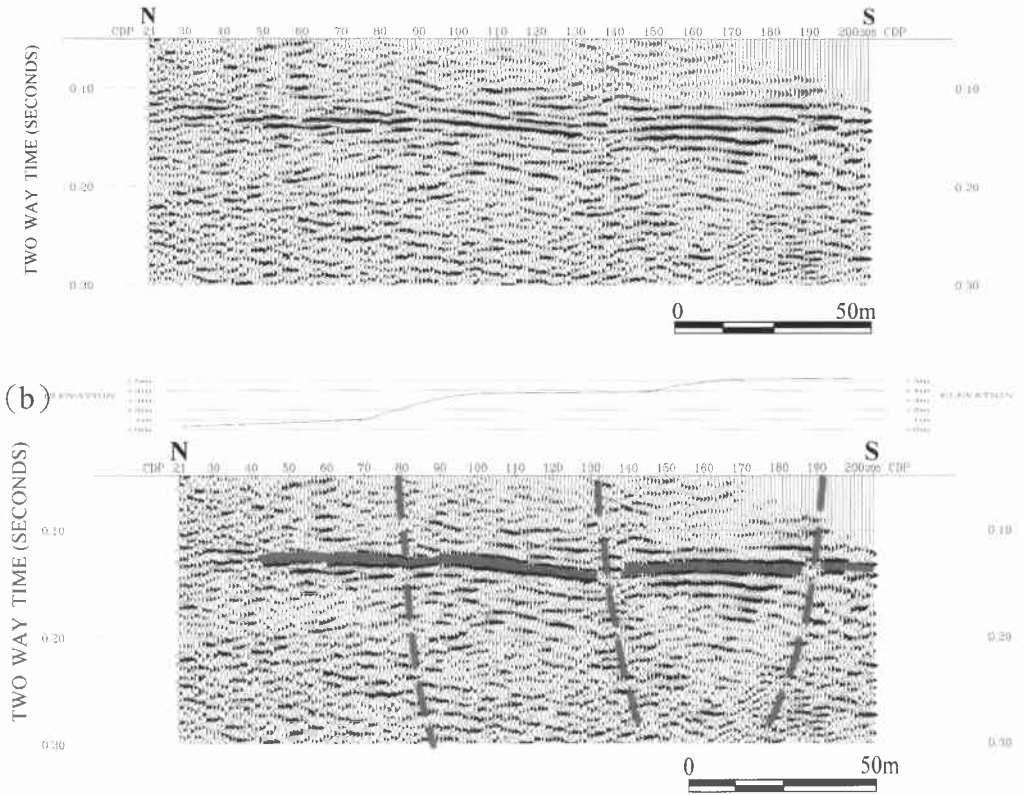
圖一 新化斷層沿線震測測線配置與鄰近地形圖。

Fig.1 Location map of the shallow seismic reflection lines deployed across the Hsinhua fault.

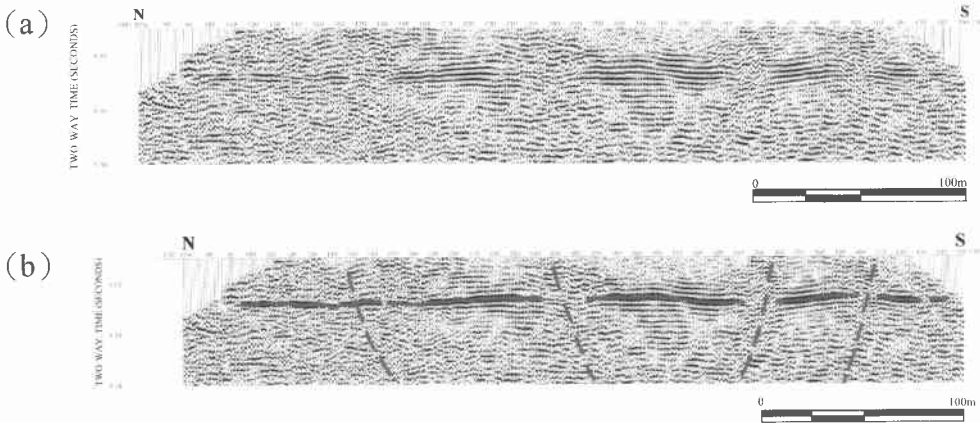
畜產試驗所內的2條測線中，較東邊的測線00S-SHF-SH-C位於該所內東側牧場內的階地堆積上，長度約220公尺。圖二(a), (b)為測線00S-SHF-SH-C之重合與解釋剖面。該剖面中斷層線兩側的地層以低角度向中間方向傾斜，並有幾處的地層不連續現象出現，這些不連續帶向上擴張，並於往上延伸至地表時與地表地形變化較明顯處有一致的對應。

畜產試驗所內另一測線97P-SHF-SH-A位於該所辦公室前的道路上，地下為階地堆積層。圖三(a), (b)為該測線之重合與解釋剖面，剖面全長400公尺。該剖面中地層形貌與東側測線00S-SHF-SH-C的變化一致，地層面往不同的方向傾斜變形，並有數個地層不連續存在於剖面之中，且這些不連續帶皆有向上擴張的趨勢。

當1946年新化地震發生後畜產試驗所內的斷層現象較明顯，因此，本文中於所內的測線以跨越這些已知的區域為主，測線的長度較短。台20線以西的區域則因斷層現象較不明顯，所以測線已盡可能的延伸以涵蓋足夠的範圍。台20線以西的測區地勢較為平坦，地層以沖積層為主，本文中於該區域共有5條測線，測線編號由東往西分別為98P-SHF-SH-B、02P-SHF-SH-B、98P-SHF-SH-2、02P-SHF-SH-A與98P-SHF-SH-1。

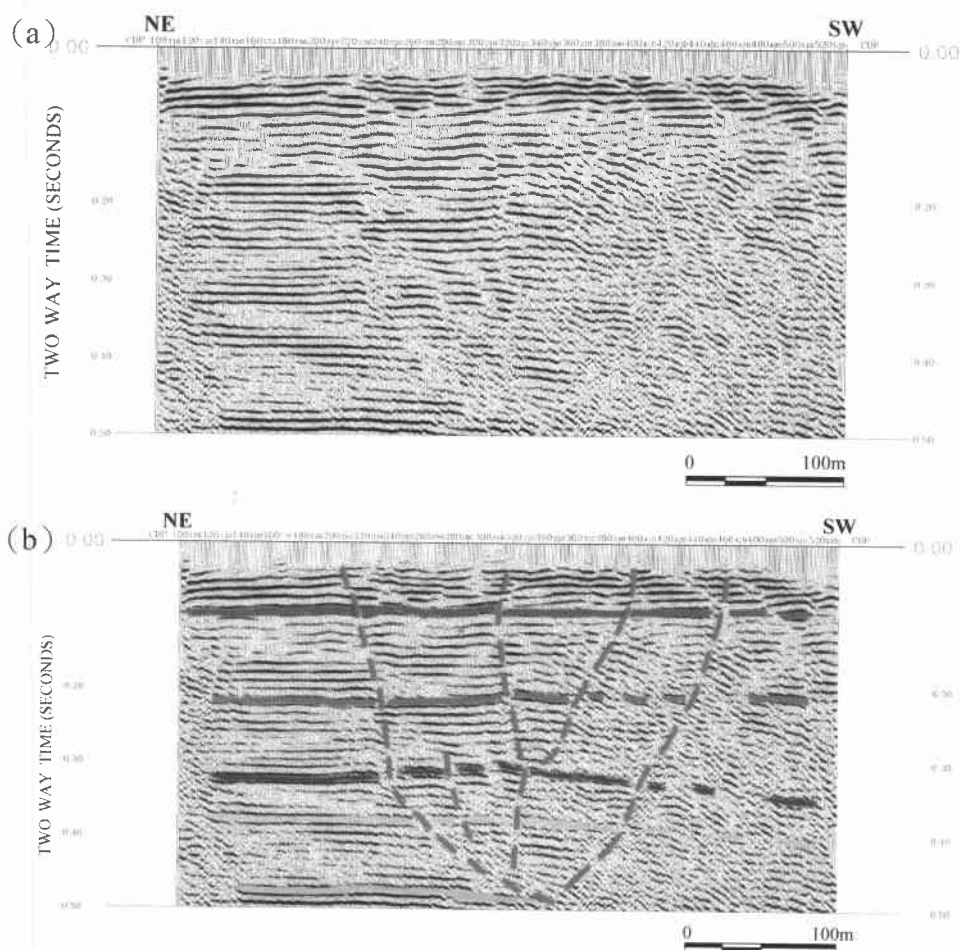


圖二 測線 00P-SHF-SH-C 之重合剖面(a)及其解釋(b)。
 Fig.2 The CMP stacked section of the line 00P-SHF-SH-C (a), and its interpretation (b).



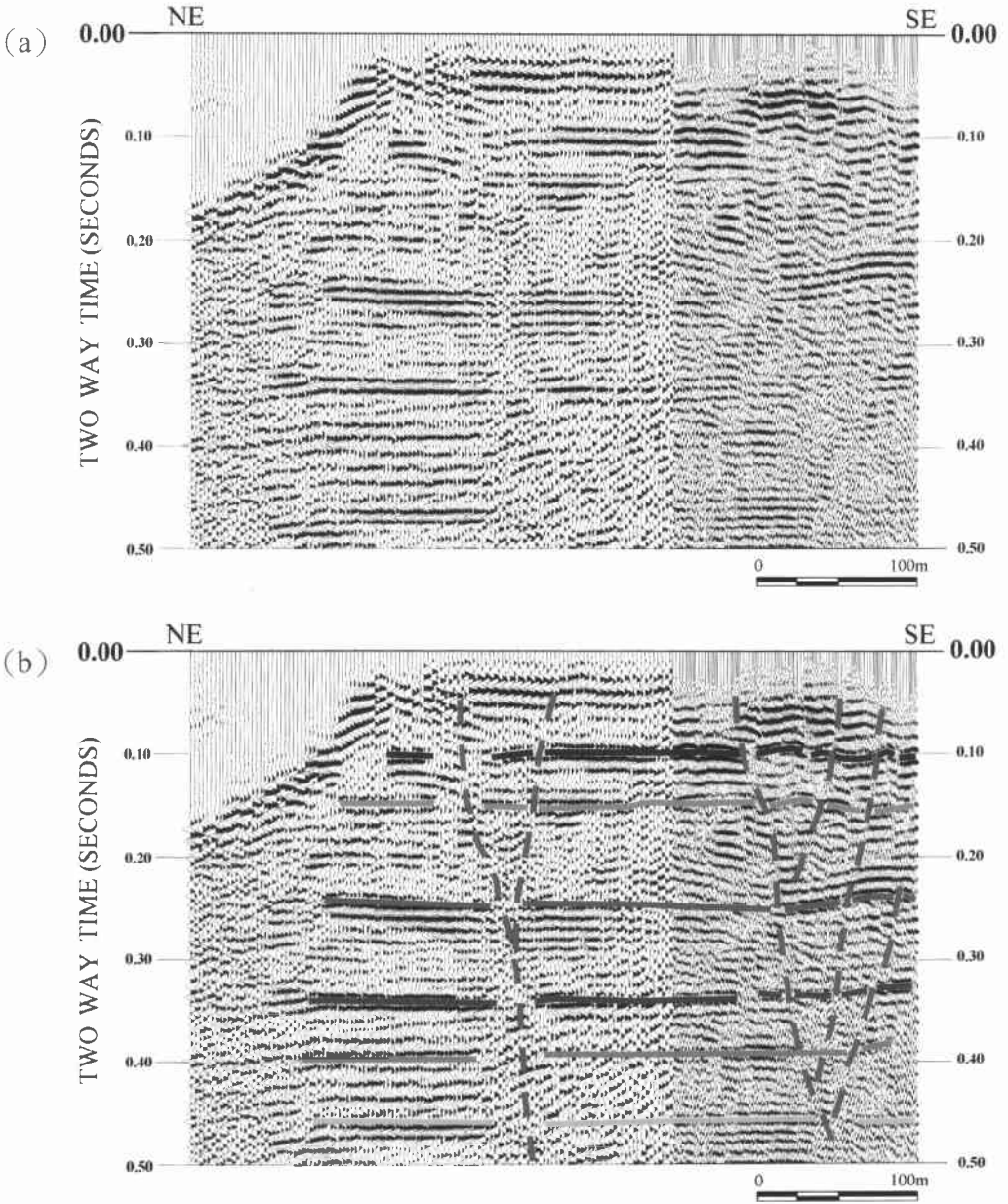
圖三 測線 97P-SHF-SH-A 之重合剖面(a)及其解釋(b)。
 Fig.3 The CMP stacked section of the line 97P-SHF-SH-A (a), and its interpretation (b).

圖四(a), (b)為測線98P-SHF-SH-B之重合與解釋剖面，測線長度440公尺。該剖面中北邊的水平地層至500公尺深處，其連續性的反射信號仍非常清楚，剖面中也有很明顯的走向滑移斷層之花狀構造出現。圖五(a), (b)則為測線02P-SHF-SH-B之重合與解釋剖面，該測線全長425公尺，位於測線98P-SHF-SH-B之西側。從圖五中剖面南側的地層影像也可以看出如同圖四剖面中一般的花狀構造，剖面中往北則出現非常連續的水平反射層，僅於中間地帶出現一小處不連續，這可能是斷層帶延伸至這一位置或是主斷層的另一分支所造成。



圖四 測線 98P-SHF-SH-B 之重合剖面(a)及其解釋(b)。

Fig.4 The CMP stacked section of the line 98P-SHF-SH-B (a), and its interpretation (b).

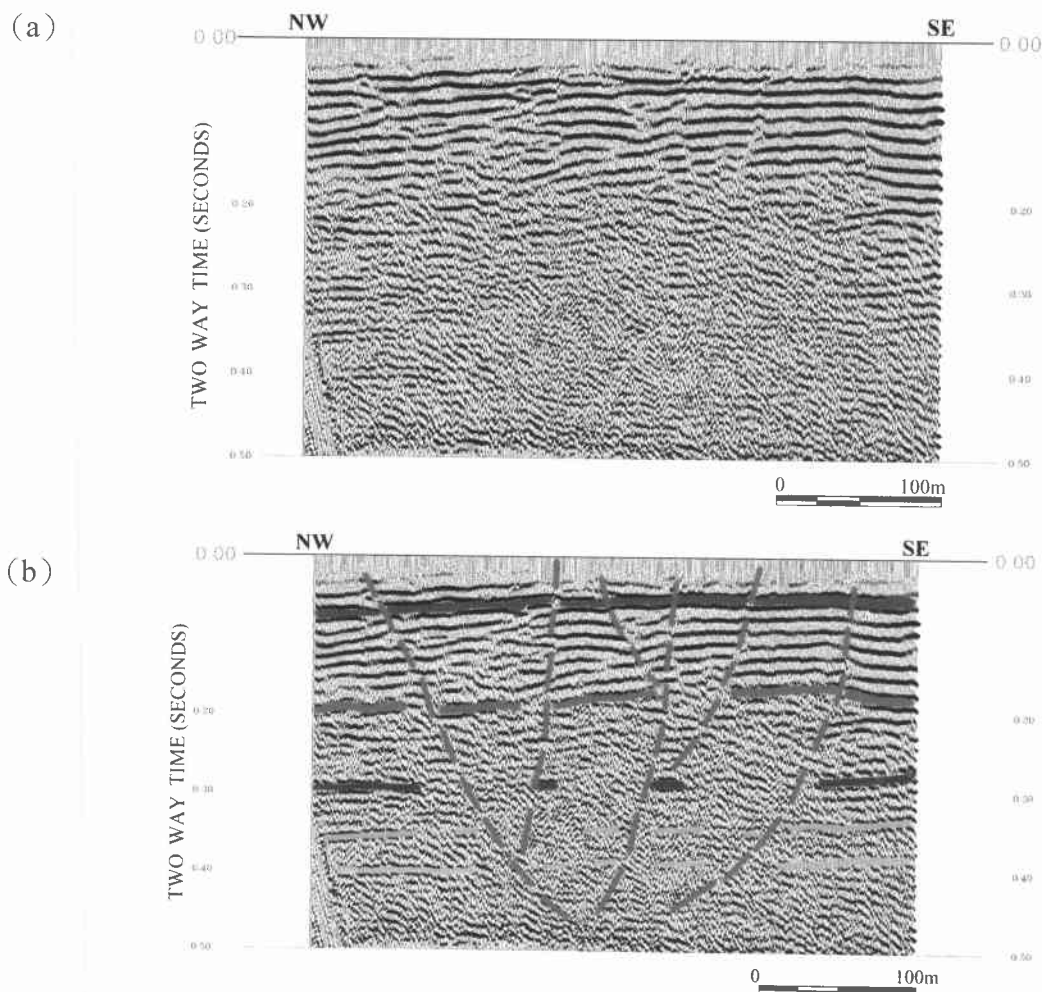


圖五 測線 02P-SHF-SH-B 之重合剖面(a)及其解釋(b)。

Fig.6 The CMP stacked section of the line 02P-SHF-SH-B (a), and its interpretation (b).

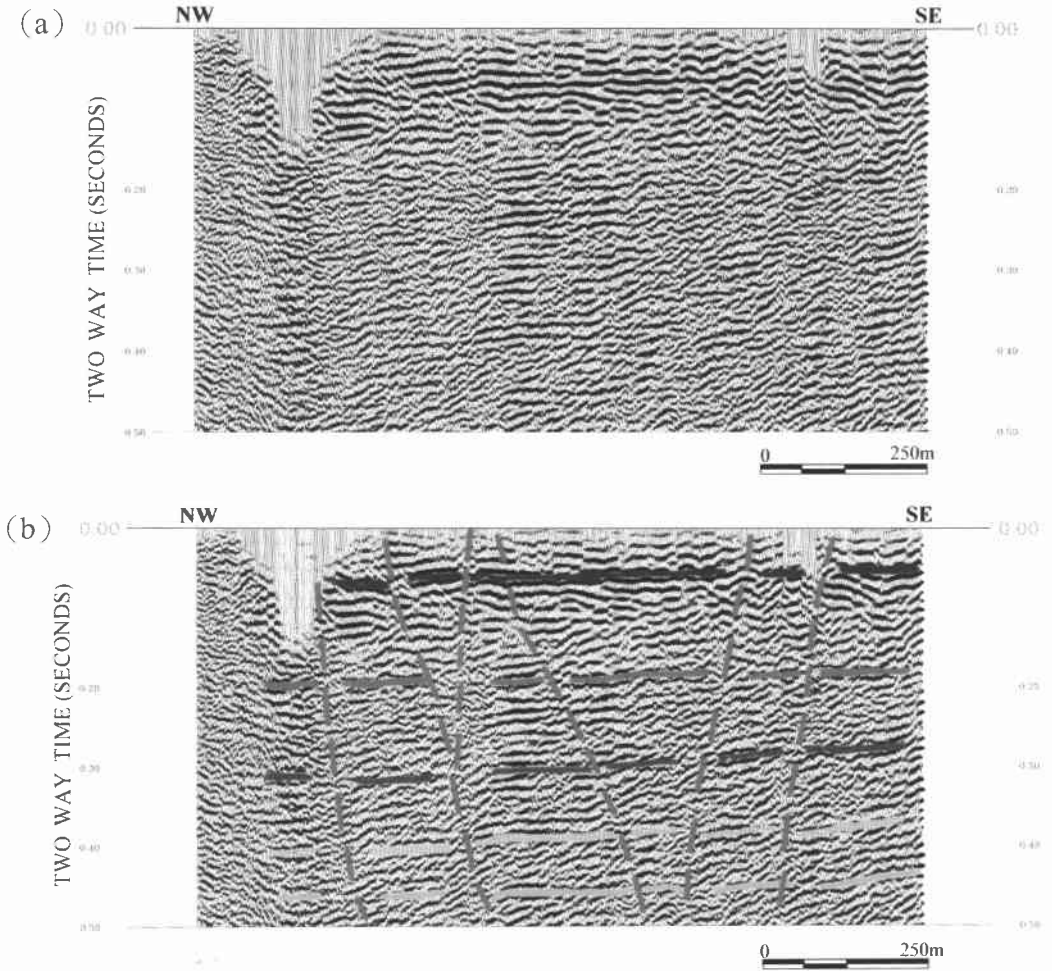
測線98P-SHF-SH-2位於上述2條剖面之西側，測線全長385公尺，但是方位不同而且與斷層帶斜交的角度也較大。圖六 (a), (b)則為測線98P-SHF-SH-2之重合與解釋剖面。剖面中地形整體性地起伏較小，並且由淺部至深部都有數個較顯著的地層不連續帶存在。

再往西，圖七 (a), (b)則為測線02P-SHF-SH-A之重合與解釋剖面。該測線全長1,095公尺，剖面的特徵與前述幾條剖面一致，但斷層帶變得更為寬廣。測線98P-SHF-SH-B、02P-SHF-SH-B、98P-SHF-SH-2 與02P-SHF-SH-A的重合剖面中都有一致的特徵，可以看出清楚的花狀構造，唯一的區別是位於最西側的剖面02P-SHF-SH-A中，斷層帶往深部收斂的現象已漸不顯著。



圖六 測線 98P-SHF-SH-2 之重合剖面(a)及其解釋(b)。

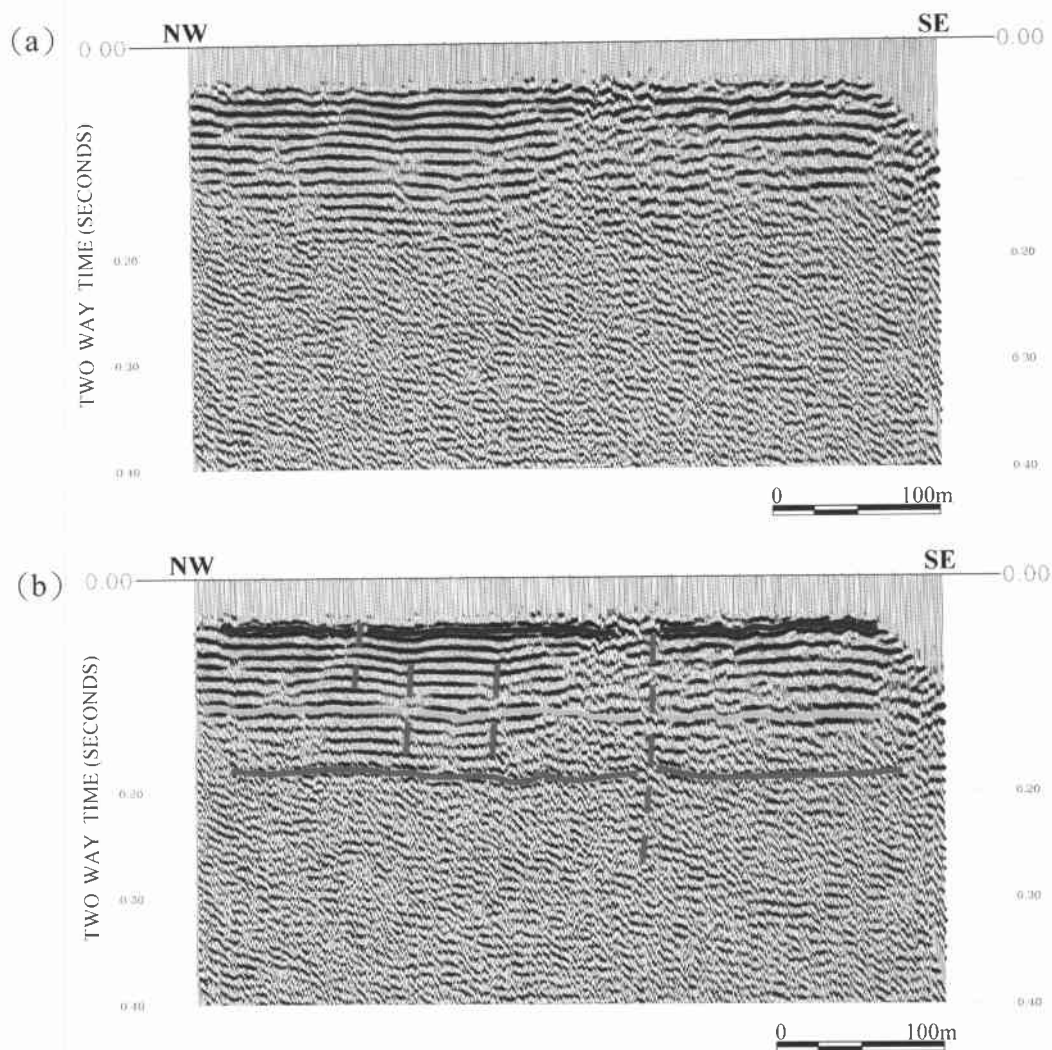
Fig.6 The CMP stacked section of the line 98P-SHF-SH-2 (a), and its interpretation (b).



圖七 測線 02P-SHF-SH-A 之重合剖面(a)及其解釋(b)。

Fig.7 The CMP stacked section of the line 02P-SHF-SH-A (a), and its interpretation (b).

測線98P-SHF-SH-1位於北勢一帶，測線長度與440公尺，為本文中斷層線以西最西側的測線。圖八(a), (b)為測線98P-SHF-SH-1之重合與解釋剖面。圖中顯示在重合剖面中間偏右處出現較明顯的地層不連續，這結果異於其它剖面中出現的數個地層不連續的影像，可能是斷層往西發散所造成，但仍說明斷層應向西延伸至此處。



圖八 測線 98P-SHF-SH-1 之重合剖面(a)及其解釋(b)。

Fig.8 The CMP stacked section of the line 98P-SHF-SH-1 (a), and its interpretation (b).

討論

本文研究區域之震測資料中包含強烈的地滾波與顯著的複反射，以及部分測線中顯著的空氣波，經過詳細的靜態修正、帶通濾波與速度濾波加強信號，並以解迴旋消弱重複反射，剖面品質已足以用來探討新化斷層的淺部構造特徵。

歸納位於畜產試驗所內的2條震測剖面可以發現，雖然這些剖面能量穿透的深度都不是很深，但剖面結果相當一致，剖面中斷層線兩側之地層都以低角度向中間方向傾斜。這些剖面中都存在數個地層的不連續帶，而這些不連續帶皆有往上擴張的現象，並且不連續帶的範圍有逐漸向西變寬的趨勢。雖然這個區域內的淺部地層都有變形的現象出現但是幅度並不大，而且這些地層不連續處都能與地表地形變化有一致的對應。

由台20線以西的這5條剖面中也可發現這些剖面都具有共同的特徵。震測剖面中地層皆以低角度平緩的向北傾斜，而且地層構造由淺至深都呈現數個較明顯的不連續帶，這些不連續帶向上擴張並形成橫移斷層所具有，明顯的花狀構造特徵。由剖面中也可看出地層不連續的區域有由東往西漸漸的變大的跡象，這可能是因為新化斷層通過而形成由東向西寬度變寬的斷層帶。由地層錯動量至北勢附近逐漸變小但斷層帶變寬來研判，新化斷層至北勢附近仍有向西邊繼續延伸的可能。整體上上述5條測線都有經過新化斷層帶，因此推測新化斷層應會發育至最西的測線以西。

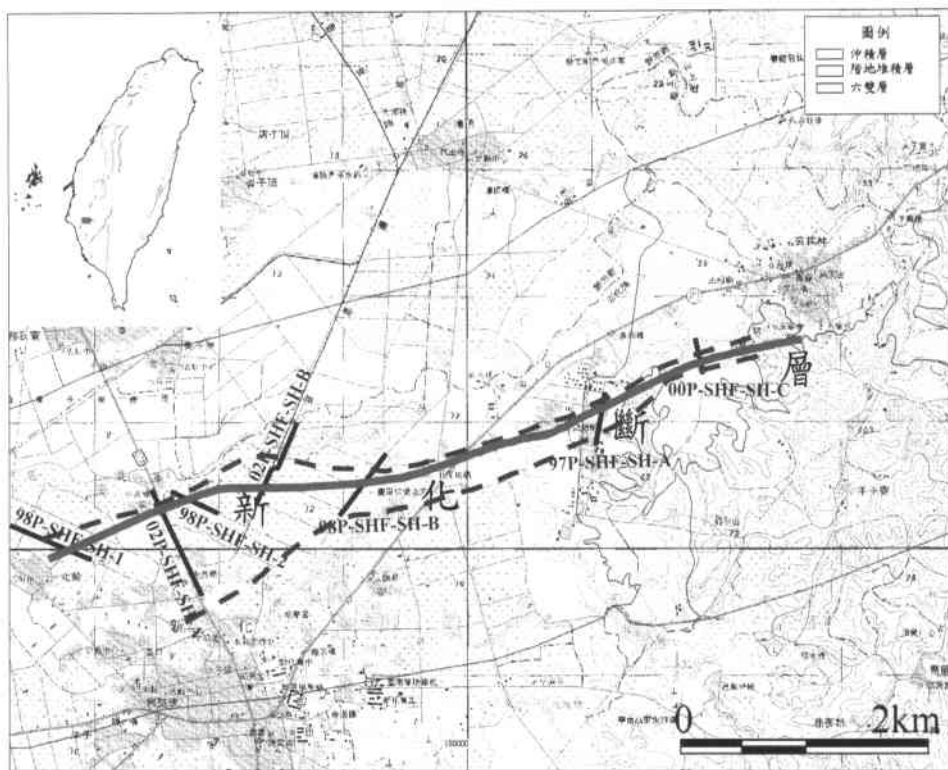
綜合本文全部測線的調查結果，將各測線的位置及其相對應的重合剖面中所顯示的不連續帶繪製於圖九中。由該圖中可以更清楚的看出新化斷層為東邊較窄而西邊較寬的斷層帶。雖然新化斷層東段通過岩性較老地層，而西段屬於較鬆軟的沖積層，但是從本文中東西兩側的震測剖面中都可以觀察到斷層於淺部地層表現一致。斷層主要以一個東西向的斷層剪切帶存在，說明了新化斷層是一個活躍的斷層。由於本區域主要應力作用來自東邊，斷層東段形成應力作用尖端期以後的聚合且較狹窄的斷層剪切帶，而斷層西段則屬於應力作用尖端期及其之前狀態的寬廣不收斂剪切帶(Tchalenko, 1970)。

比較新化斷層淺層震測之近地表構造影像與東側之槽溝開挖結果（李錫堤等，2000；陳文山，2002），兩者間之地下構造特徵都同樣呈現走向滑移斷層構造特徵之數個顯著的不連續帶及花狀構造，說明新化斷層帶於近地表處至淺部地層中都有相同的剪切現象。而由該區域之速度場(Yu, 1997)在斷層帶南側有相對明顯向西南向的分量，也可以說明新化斷層在此一地區所扮演的右移走向滑移斷

層的角色。這些資料都再次說明了新化斷層的活動性，及其持續往西邊延伸的可能性。雖然測線98P-SHF-SH-1剖面中的斷層帶現象已漸不明顯，但比較測線02P-SHF-SH-A的寬廣斷層帶與本文其它剖面中的斷層帶位置，若將測線98P-SHF-SH-1往南延伸應該還可以獲得更多的斷層帶影像。

結論

綜合本文中的淺層震測剖面影像以及其它相關的研究結果顯示，新化斷層一帶持續受到右移斷層作用的影響，淺部地下構造出現寬廣的剪切帶，斷層帶以北的水平地層連續性非常好，而剪切帶內地層則被高角度的不連續面截切而形成一東邊較窄而西邊較寬的斷層帶。圖九為各測線的位置及其重合剖面中所顯示的不連續帶寬度。



圖九 新化斷層帶之範圍及其延伸。圖中紅色線條為斷層線，綠色虛線範圍內為斷層剪切帶，藍色線段則為震測線。

Fig.9 Extension and the shear zone of the Hsinhua fault. The red line represents the fault trace, green dash lines indicate range of the shear zone, and the blue lines stand for seismic lines.

新化斷層東邊的不連續帶往下收斂的現象較明顯，地層雖有垂直落差但落差量不大，並與地表地形有一致的變化。新化斷層的西段，淺部地層向北平緩的傾斜，而剪切帶也向西逐漸變寬，然而花狀構造往西向下收斂的型態逐漸消失，地形上的表現也漸單調。本區域主要應力作用方向來自東邊，並於新化斷層東段形成應力作用尖端期以後的剪切帶聚合現象，而斷層西段則屬於應力作用尖端期及其之前狀態的寬廣剪切帶。加上經由衛星定位速度場的資料說明了，新化斷層是一個非常活躍的斷層，並且會持續往西邊延伸。

誌謝

本文感謝中央地質調查所以及國科會的支持，並感謝中正大學總務處支援車輛。陳于高與周錦德教授的指正，楊啓祥先生、陳惠玲與洪文珊小姐以及所有參與野外工作與資料處理的人員的幫忙也在此一併致謝。

參考文獻

- 李錫堤、鄭錦桐、紀立民、廖啓雯、廖卿妃（2000）槽溝開挖探查成果簡介。第三屆台灣活斷層調查研討會資料。
- 林啓文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正（2000）台灣活動斷層概論第二版，五十萬分之一台灣活動斷層分布圖說明。經濟部中央地質調查所特刊，第十三號，共122頁。
- 張麗旭、周敏、陳培源（1947）民國35年12月5日台南之地震。台灣省地質調查所彙刊，第1號，第11-18頁。
- 陳文山（2002）槽溝開挖與古地震研究計畫（1/5）。經濟部中央地質調查所地震地質調查及活動斷層資料庫建置計畫研究報告（上），共97頁。
- Ravens, J. (1999) *Globe Claritas, Seismic processing dictionary*. 2nd edition. Institute of geological and nuclear science report 99/12, 162p.
- Tchalenko, J. S. (1970) Similarities between shear zones of different magnitudes. *Geological Society American Bulletin*, 81, 1625-1640.
- Yu, S.B., H.Y. Chen, and L.C. Kuo. (1997) Velocity field of GPS stations in the Taiwan area. *Tectonophysics*, 274, 41-59.