經濟部

經濟部中央地質調查所報告第 96-12 號
委辦計畫編號（96-5226902000-04-03）

地震地質與地變動潛勢分析

斷層帶地下構造調查研究（1/4）

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行機關：國立中正大學
中 華 民 國 97 年 5 月

地震地質與地變動潛勢分析

斷層帶地下構造調查研究（1/4）

96年度期末報告

計畫主持人：李元希
協同主持人：石瑞銓

委託機關：經濟部中央地質調查所
執行機關：國立中正大學
中 華 民 國 9 7 年 5 月

摘要

大甲斷層呈北北東走向，北起大安溪，向南延伸至沙鹿附近，長約 19 公里，斷層變形不同年代的地形面，並切過最年輕地形面 FT2，具明顯位移累積性，因此為一活動構造，由地下構造分析顯示大甲斷層為一低角度斷層，但斷層尖端未出露地表，由平衡剖面法推估斷層位移量約 500-600 公尺。

大甲斷層東側的鐵砧山斷層，為調適大甲斷層位移的背衝斷層，斷層傾角約 20 度，切過不同時期階地並具位移累積性，亦為活動性斷層。此外在大甲斷層之下並有一活動的滑脫面斷層，此斷層為形成鐵砧山背斜的主要構造。

清水斷層以沙鹿為界可分為南北兩段，北段為低角度逆衝斷層，其性質與大甲斷層近似，南段大致為一弧形斷層(listric fault)，斷層傾角較大，位移量約500-600公尺，南北段的分界在沙鹿附近，右移的泰安斷層為分隔南北段的構造，1935年的屯子腳斷層為泰安斷層一部份。考量斷層特性的不同，建議修改大甲斷層與清水斷層定義，大甲斷層建議北起至自大安溪，南至沙鹿。清水斷層南段改為大肚斷層，由沙鹿至大肚溪（依目前研究）。

雖大甲斷層與清水斷層南段的斷層傾角與構造特性不同，但總位移量近似，控制斷層形態的主要差異為前陸盆地沈積時期不等量的沈陷量所致。

Abstract

Tachia fault is west-vergent thrust trending N40°E. It cut the different stage river terraces with displacement accumulation that indicates an active fault. According to the seismic profile data, Taichaia fault is a low angle thrust. The thrust tip does not reach to surface and the hanging wall strata will shows significant a fault propagation folding where the strata are near vertical around the deformation front. We calculate the shortening of the Taichia fulat is ca. 500-600 m.

The Tiehchanshan fault is developed parallel to and several meters to 2 km to the east of the Tachia fault. Geomorphological studies shows that it cut different stages river terraces with displacement accumulation that indicates an active fault; however the shallow seismic profiles can not found evidences to show the existence of the Tachia fault. According to field survey, we found outcrops of the Tiehchanshan fault, which show dip to the 20-30° to the west. We considered that the Tiehchanshan fault results form that whilst the deep part of Tachia fault keep slipping and folding mechanism in deformation front can not consume more displacements, then the Tiehchanshan fault were active to balance the slip of the Tachia fault.

The Chingshui fault can be separated into two segments. The northern segment is low angle thrust which is similar to the Tachia fault and the southern segment is a listric fault, which has higher dip angle near the surface. The shortening of the southern segment of the Chingshui fault is also near 500-600 m. The boundary between southern and northern segment is Taian fault. The Taian fault is right lateral strike slip fault and the Tuntzychiao fault, active in 1935 that is part of Taian fault. Both Tachia and Chingshui faults have similar shortening but they have different characteristics that result from the different foreland basin geometry. Considering the fault segmentation, we suggested that the Tachia fault and Chingshui fault could change the definiation. The Tachia fault extends from Taan river to Salu and The Chingshui fault rename as Tadu fault from Salu to Tadu river.

目錄

摘要 I

ABSTRACT II

目錄 III

圖目錄 V

表目錄 XI

前言 1

一、前人研究及區域地質概況 2

1-1 大甲斷層與鐵砧山斷層 2

1-1-1 區域地質 3

1-1-2 地形特徵 3

1-1-3 斷層活動性與構造特徵 6

1-2 清水斷層 9

1-2-1 區域地質 9

1-2-2 地形特徵 11

1-2-3 斷層活動性與構造特徵 13

二、深部地下構造分析 14

2-1 深部震測分析 16

2-1-1 大甲斷層 16

2-1-2 清水斷層 22

三、震波測勘 25

3-1 淺層震測探勘原理 25

3-2 測線配置與震測結果 33

3-2-1 大甲斷層大甲測線（測線編號：07P-TCF-TC-1） 33

3-2-2 清水斷層清水測線（測線編號：07P-CSF-CS-1） 40

3-2-3 清水斷層大肚測線一（測線編號：07P-CSF-TD-1） 47

3-2-4 清水斷層大肚測線二（測線編號：07P-CSF-TD-2） 54

3-3 結論 61

四、地表及井下地質調查 63

4-1 大安溪剖面與大甲一號及二號井(地調所).....63
4-2 大甲三號井與四號井.....72
4-2-1 大甲三號井 72
4-2-2 大甲四號井 79
4-3 鐵砧山斷層（大甲東斷層）.....81
4-4 大甲斷層與鐵砧山斷層的淺層地下構造特性.....87
4-5 大肚一號與二號井.....92
4-5-1 大肚一號井 92
4-5-2 大肚二號井 94
4-5-3 清水斷層淺層地下構造 98
4-6 大甲斷層與清水斷層斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層(BRANCH FAULT)的位置以及其性質.....100
4-6-1 大甲斷層的斷層帶 100
4-6-2 鐵砧山斷層斷層帶 101
4-6-3 清水斷層南段的斷層帶 101
4-7 大甲斷層與清水斷層的斷層帶地表沉積物的厚度及各地層的厚度與界面.103

五、大甲斷層與清水斷層的地下構造特性 104

5-1 運動學分析.....104
5-1-1 清水斷層南段運動學分析 105
5-2 三維地下構造模型.....109
5-3 斷層的分段.....110

六、討論與結論 118

參考文獻 120

附錄 A.....126

圖目錄

圖 1.1 后里台地地質圖(修改自中油 ,1974) 3

圖 1.2 (A) 40 公尺 DTM 的三維地形。圖中可見大甲斷層與鐵砧山斷層切過不同年代的地形面。(B)大甲、鐵砧山、清水等斷層地形特徵分布圖（摘自沈淑敏、張瑞津、楊貴三,2005）.....5

圖 1.3 平行大安溪剖面地下構造(摘自黃旭燦等,2004 及 YANG ET AL, 2007).....6

圖 1.4 大安溪以北淺層震測剖面（**董倫道等**,2006） 7

圖 1.5 A 為中央地質調查所地質位置圖，B 與 C 可能的構造形態，B 斷層已出露地表，C 圖中斷層未出露地表且變平緩（劉彥求,2007）。.....8

圖 1.6 大肚台地地質圖(摘自中油 1/10000 苗栗及台中地質圖幅,1982,1984) ...10

圖 1.7 沿大肚溪南岸的地下構造剖面圖，剖面顯示彰化斷層（清水斷層）沿著已存在的正斷層活動所致（楊耿明等,2003, 黃旭燦等,2004,YANG ET AL.,2007）。.....11

圖 1.8 大甲、鐵砧山、清水等斷層地形特徵分布圖（沈淑敏、張瑞津、楊貴三,2005）.....12

圖 2.1 本研究所使用的中油震測剖面位置（修改自陳太山與蘇福欽,2002）底圖為中油十萬分之一苗栗與台中圖幅(1982,1984)。.....15

圖 2.2 83MV5 測線的剖面，此剖面中在大甲斷層北延位置並未發現大甲斷層（傅式齊,1995）。.....17

圖 2.3 89HV3 震測剖面，此剖面中大甲斷層的深部發育斷層，但在淺部斷層尖端未出露至地表，淺部地層僅發育褶皺，此剖面中亦可觀察到鐵砧山背斜。..17

圖 2.4 83MV3 剖面，大甲斷層在 UNIT G 中層位落差約 0.15-0.17 秒。在近地表處，地層有拖曳現象。大甲斷層下盤地層向西傾斜，為鐵砧山背斜西翼，在深部發育滑脫面斷層，造成鐵砧山背斜的發育。.....18

圖 2.5 大甲斷層顯示為低角度逆斷層,鐵砧山背斜在在此剖面中甚為平緩(L3 測線)。月眉向斜的發育可能與下伏斷層的形貌有關斷層以東的橫移斷層為泰安斷層(縱軸單位為微秒)（修改自陳太山與蘇福欽,2002）。.....18

圖 2.6 83-V1 測線震測剖面，大甲斷層為一低角度逆斷層。 19

圖 2.7 南北向 L4 測線，此測線中可見大甲斷層北界的橫移斷層(陳太山與蘇福欽,2002)。北界的橫移斷層(陳太山與蘇福欽,2002)。…… 20

圖 2.8 L2 測線中觀察到的泰安斷層（陳太山與蘇福欽,2002） 21

圖 2.9 L5 南北向測線中，亦可見泰安斷層存在(陳太山與蘇福欽,2002) 21
圖 2.10 SIMOES ET AL.,2007 利用 CHEN,1978 的震測剖面所繪製地下構造形態並分析縮短量為 800 公尺。.....22
圖 2.11 PKS-1 號井速度構造與地質層位(CHEN,1978)。 23
圖 2.12 用陳太山與蘇福欽(2002) 震測剖面的解釋構造。PKS-1 底部黃顏色為錦水頁岩，顯示斷層的滑脫面最後大致沿著錦水頁岩面滑動。..... 24
圖 3.1 本計畫使用之震測設備：(A) JMS MINI65 迷你機械式撞擊震源，(B)垂直受波器，(C) GEOMETRICS STRATAVISOR NX 48 波道震測儀。 29
圖 3.2 震測作業之資料傳輸流程.....30
圖 3.3 野外作業時所記錄到的資料.....30
圖 3.4 反射震測資料處理基本流程.....31
圖 3.5 蜿蜒測線處理.....31
圖 3.6 所有測點記錄之初達波走時資料.....32
圖 3.7 上圖中所有走時資料經逆推後得到的地下速度構造.....32
圖 3.8 測線 07P-TCF-TC-1 於 1/25,000 地形圖中配置位置（藍色實線），而紅色虛線為斷層可能通過位置。.....34
圖 3.9 測線 07P-TCF-TC-1 東向之地表現況.....35
圖 3.10 測線 07P-TCF-TC-1 西向之地表現況.....35
圖 3.11 測線 07P-TCF-TC-1 沿線之 3 個代表性測點紀錄圖，圖中遠支距紀錄於 100 到 350 毫秒間可以看出明顯的反射信號，而紀錄中左下方為強烈的地滾波。.....37
圖 3.12 測線 07P-TCF-TC-1 的測點記錄經過濾後的結果，其中低頻的地滾波已大致被濾除，信號至 450 毫秒仍清楚。.....37
圖 3.13 測線 07P-TCF-TC-1 之 24 重合同中點重合剖面。圖中淺部的地層連續性極佳，並且地層以低角度往西北傾斜。.....38
圖 3.14 測線 07P-TCF-TC-1 重合剖面所使用的重合速度分佈。重合速度均勻的由淺往深增加，橫向的變化不大。.....38
圖 3.15 測線 07P-TCF-TC-1 重合剖面之解釋。剖面中地層連續地由西北往東南逐漸上升，並無斷層通過的現象出現，而剖面東南端約 **80** 公尺的範圍雖因地層陡峭，而造成震測影像成像不佳，但可作為為斷層前端於地下較深處存在位置的指標。.....39

圖 3.16 測線 07P-CSF-CS-1 於 1/25,000 地形圖中配置位置（藍色實線），紅色虛線為清水斷層可能通過之地表位置。.....41

圖 3.17 測線 07P-CSF-CS-1 由西往東之地表現況.....42

圖 3.18 測線 07P-CSF-CS-1 由東往西之地表現況.....42

圖 3.19 測線 07P-CSF-CS-1 沿線之 3 個代表性測點紀錄圖，圖中遠支距紀錄到 450 毫秒間仍可以清楚看出反射信號，而紀錄中右下方則為地滾波。.....44

圖 3.20 測線 07P-CSF-CS-1 之測點記錄經過濾後之結果，其中低頻的地滾波已大致被濾除，反射信號身至 500 毫秒仍可清楚見到。.....44

圖 3.21 測線 07P-CSF-CS-1 經處理後之同中點重合剖面。重合剖面中 500 毫秒以上影像清晰，地層連續地由東往西彎曲下降，測線東邊地層的傾角較小，而測線西邊地層的傾角則較大。.....45

圖 3.22 測線 07P-CSF-CS-1 之重合速度分佈，地層速度由 1300 公尺/秒往下增加至 2500 公尺秒，橫向變化不大。.....45

圖 3.23 測線 07P-CSF-CS-1 之剖面解釋，剖面中並無斷層穿越之現象。 46

圖 3.24 測線 07P-CSF-TD-1 於 1/25,000 地形圖中之配置位置.....48

圖 3.25 測線 07P-CSF-TD-1 往東南向之地表現況.....49

圖 3.26 測線 07P-CSF-TD-1 往西北向之地表現況.....49

圖 3.27 測線 07P-CSF-TD-1 沿線之 3 個代表性測點紀錄，圖中遠支距紀錄到 350 毫秒深處仍可看出明顯的反射信號。.....51

圖 3.28 測線 07P-CSF-TD-1 之測點記錄經濾後的結果，其中低頻雜訊已大致被濾除，350 毫秒以下之信號雖仍不十分顯著，但重合後的剖面可見到深至 500 毫秒之信號。.....51

圖 3.29 測線 07P-CSF-TD-1 之同中點重合剖面。剖面中可以看出地層連續性良好，並以低角度往西北方傾斜，無斷層穿越之現象。.....52

圖 3.30 剖面 07P-CSF-TD-1 之重合速度分佈，速度構造變化主要以縱向為主，由淺部的 1300 公尺/秒至 500 毫秒之 2300 公尺/秒。 52

圖 3.31 剖面 07P-CSF-TD-1 之解釋，其中地層往西傾斜，無斷層通過，亦即測線中地表之地形崖並非斷層所造成。.....53

圖 3.32 測線 07P-CSF-TD-2 於 1/25,000 地形圖中之配置位置，及其與測線 07P-CSF-TD-1 之相對關係。.....55

圖 3.33 測線 07P-CSF-TD-2 由西往東望之地表現況.....55

圖 3.34 測線 07P-CSF-TD-由東往西望之地表現況.....56

圖 3.35 測線 07P-CSF-TD-2 沿線之 3 個代表性測點紀錄，圖中反射信號極佳，遠支距紀錄在 500 毫秒的時間範圍內都可看見清楚的反射信號。.....58

圖 3.36 經過濾後的測點紀錄.....58

圖 3.37 大肚二測線（07P-CSF-TD-2）經過處理後的同中點重合剖面。剖面右側 1/3 的剖面其地層往東緩慢的升高，而西側 2/3 的地層則角度較為平坦，但在 0.2 秒以上有幾處小型的逆衝的斷層現象出現。.....59

圖 3.38 測線 07P-CSF-TD-2 之重合速度分佈，速度變化於橫向上並不顯著，主要仍以縱向為主。.....59

圖 3.39 測線 07P-CSF-TD-2 之剖面解釋，地層平坦，並未有主斷層切過地表的跡象，地面位置應屬於盲斷層的下盤處，而 0.2 秒以上的幾處小型落差可能為鬆軟地層受擠壓而造成的局部現象，斷層在地底下的前緣位置，較可能位於本測線的東端不遠處。.....60

圖 4.1(A)大安溪地區地層層序特性，UNIT A 為礫石層，UNITB-1 為頁岩層，UNITB-2 為砂頁岩互層，(B)為 UNITA 與 UNIT B 近照。 64

圖 4.2 大甲一號井中的地層，此井中亦可見 UNIT A, UNIT B-1 與 UNIT B-2。

右上角圖為野外露頭。.....65

圖 4.3 大甲二號井的 UNIT A, B-1 及 B-2。B-1 為泥岩層厚約 14 公尺。 66

圖 4.4 為兩井的地層柱及地層對比.....67

圖 4.5(A) 斷層上盤變形行為，圖框處為下圖位置。(B)近斷層的上盤岩層中,較老的地層向西傾斜位態 60-90 度，中段地層約 45 度，上部地層 25 度。地層間為交角不整合,顯示為一生長層序。.....68

圖 4.6 (A) 斷層上盤變形特性，框選處為下圖位置。(B) 近斷層處的斷層上盤位態近乎垂直。.....69

圖 4.7 圖 4-5 與 4-6 中構造的關係，斷層前緣地層傾角近乎垂直。.....70

圖 4.8 (A) 三清宮斷層上盤變形，紅土礫石層向西傾斜約 20 度，下伏的礫石層向西傾斜約 60 度，(B)此圖中可見紅土礫石與下伏礫石層為交角不整合。 71

圖 4.9 A 大甲三號井位置圖，位置緊臨大甲斷層，B 為斷層帶地下構造剖面，黃色砂層可延伸至地表露頭。.....73

圖 4.10 (A) 大甲三號井 0-100 公尺井錄.....74

圖 4.10 (B) 大甲三號井 100-160 公尺井錄.....75

圖 4.11 (A) 為 17-20M 的岩心，此處礫岩層夾泥岩層，可見地層傾斜約 50 度。

(B)為 76-80M 岩心，此處為層序 A 與 B 的交界。地層傾斜約 40-50 度。(C)為 84-88M

岩心，此處地層傾斜約 40 度，其中 87.8M 處發育主要與層面平行的斷層帶。(D)為 105-106 岩心，此處地層傾斜漸緩約 20 度。 76

圖 4.12 (A)在井深 4.7M 處平行層面剪切帶(B)斷層面的擦痕(C) 在井深 86.7 M 處的斷層面上擦痕.....77

圖 4.13 在井深 91M 處的近水平剪切帶，圖中可見傾斜地層被水平斷層錯開。.....78

圖 4.15 大甲四號井 0-65 公尺井錄，此處岩心皆為礫石層。 80

圖 4.16 大安溪旁的鐵砧山斷層露頭位置及上盤層位。圖中可見鐵砧山斷層西側 Unit A 較厚, 且上部礫石層皆紅土化。.....82

圖 4.17 （A）鐵砧山斷層在此處有兩個分支斷層，位置在圖 4-9 的 A 點。位移量較小斷層近照，(B) 圖中可見鐵砧山斷層為低角度逆斷層且岩層受斷層作用而形成褶皺。.....83

圖 4.18 (A) 位移量較大的斷層,圖中黃色地層為相同層位，(B)圖斷層近照，礫石層受斷層作用上盤形成拖曳褶皺。.....84

圖 4.19 (A)鐵砧山斷層的另一小分支斷層,位置位於圖 4-15 的 B 點，(B)斷層近照, 此分支斷層亦為向西傾斜的低角度逆斷層。.....85

圖 4.20 鐵砧山分支斷層的關係，此處有兩條分支斷層，虛線為斷層可能延伸方向。.....86

圖 4.21 在井深 91-95M 處為主要擾動帶位置，擾動帶內斷層主要以平行層面滑動為主。.....88

圖 4.22 (A)在井深 93.7M 處主要滑動面之一近照，黃顏色為層面。斷層面與層面平行。(B)斷層面上的擦痕 89

圖 4.23 在井深 90.7M 處的另一主要斷層帶，亦為平行層面斷層。 90

圖 4.24 大甲斷層與鐵砧山斷層的構造剖面，斷層斷層尖端未出露地表，鐵砧山斷層為調適深部大甲斷層位移所形成的構造。.....90

圖 4.25 大甲斷層沿線的淺層震測資料與鑽探位置.....91

圖 4.26 重新解釋董倫道等(2006)的震測剖面，我們認為斷層尖端約在 470 公尺附近。.....92

圖 4.27 大肚一號井井錄.....93

圖 4.28 大肚二號井東側約 200M 處,震測剖面顯示地層向西傾斜約 30 度，(許文立,2001)因此推估鑽探地點為斷層尖端處。鑽探結果顯示此處深部地層僅傾斜 5-10 度，研判此處應為變形帶邊緣處。 94

圖 4.29 清水斷層南段的淺層震測剖面資料與大肚一號及二號井鑽探位置.....95

圖 4.30 (A) 大肚二號井 0-100 M 井錄 96

圖 4.30(B) 大肚二號井 100-160 M 井錄 97

圖 4.31 為清水斷層南段震測資料，淺層震測結果摘自許立文(2001)，大肚二號井在剖面編號 3 西側約 200 公尺處。.....98

圖 4.32 清水斷層中段地下構造型態,此剖面中變形前緣地形低緩，褶皺發育在較西側。.....99

圖 4.33 CHEN ET AL.(2007)利用地形判釋的斷層分布圖 101

圖 4.34 清水斷層南段的地下構造剖面，上圖震測剖面為本研究，下圖震測剖面摘自許文立(2002)。.....102

圖 5.1 利用 TRISHEAR 4.5.4 可以模擬大甲斷層上盤構造行為，B~E 的藍色線表生長層序。圖中可見斷層尖端地層角在深部較陡向上變緩，此與在野外所見構造一致。模擬條件為斷層傾角 25 度，P/S RATE 為 1.5。 104

圖 5.2 清水斷層南段由面積平衡法估算位移量,我們利用頂部四層的地層進行分析，顯示斷層位移量約在 550 M。 105

圖 5.3 利用 TRISHEAR 4.5.4 模擬清水斷層南段的褶皺形貌。A 圖的形貌類似於大肚溪南岸，B 圖為斷層位移量增加時的褶皺形貌。C 圖為模擬較對稱的褶皺形態且褶皺前緣尚有另一褶皺崖面，此時斷層須從高傾角轉為較低傾角。.....107

圖 5.4 清水斷層南段的地形剖面，此地形剖面型態反應地下構造行為的差異，圖 C 的構造形態近似於圖 5.3.C，圖 D 的構造近於圖 5.3A 及 B。 108

圖 5.5 大甲斷層地形剖面,地形反應受斷層抬升階地的型態，整體而言斷層上盤階面除在月眉向斜附近有變形外大致平整。..... 111

圖 5.6 清水斷層上盤地形特徵。剖面 1~3 上盤地形近於大甲斷層，地形較為平整。剖面 4 以南，斷層上盤發育明顯背斜構造。此暗示清水斷層南北構造有別。.....112

圖 5.7 大甲斷層與清水斷層南段的構造形態。 113

圖 5.8 模擬伸向向東的斷層彎曲褶皺，當斷層形態為一弧形形態，則斷層彎曲褶皺的伸向向東，近於鐵砧山背斜伸向向東的構造。……..113

圖 5.9 大甲斷層至清水斷層地下三維構造模型，A 圖剖面參考鐘開真(1996)，B 剖面中有大甲斷層與下伏滑脫面斷層，C 剖面為清水斷層北段構造，構造形態近於大甲斷層，D 剖面為清水斷層南段，斷層在淺部改變傾角，E 剖面為大肚溪面，斷層呈現弧形斷層形態(LISTRIC FAULT)，右圖為剖面位置。 114

圖 5.10 錦水頁岩構造深度分布圖,資料修改自 Pan(1967)，錦水頁岩以上地層厚度在清水-彰化斷層一帶高達 4500- 5000 公尺厚，大甲一帶約 2500 公尺厚。115

圖 5.11 為大安溪旁的東西走向的正斷層。（Ａ）共軛的正斷層。（Ｂ）正斷層切過 UNIT B 及 UNITA。（Ｃ）為（Ｂ）圖近照，圖中可見礫石層受斷層作用拖曳現象。……..……..116

圖 5.12 大甲斷層與清水斷層的斷層分段圖，由斷層性質的差異建議修改大甲斷層與清水斷層定義。.....117

表目錄

表 1 測線 07P-TCF-TC-1 所使用之震測參數.....36

表 2 測線 07P-CSF-CS-1 所使用之震測參數 43

表 3 測線 07P-CSF-TD-1 所使用之震測參數.....50

表 4 測線 07P-CSF-TD-2 所使用之震測參數.....57

表 5 大肚溪剖面清水斷層南段的縮短量估算.....105

前言

本研究為執行地調所斷層帶地下構造調查研究，為一四年期的計畫(96-99年)，分年調查以下斷層，第一年為大甲斷層、清水斷層(圖一)，第二年為木屐寮斷層、六甲斷層、小崗山斷層，第三年為湖口斷層、新竹斷層，第四年為旗山斷層、鳳山斷層。

本計畫預計每年完成以下項目：

1、岩性柱狀圖(地表至地下深度 160 公尺內範圍)

2、地質構造剖面(剖面寬度至少含括主斷層兩側 2 公里)。另外分支斷層之位置、性質、錯距，須有細部剖面來展現與說明。上述剖面皆須有岩性及深度的控制。

3、運動學分析成果(利用上述地質構造剖面，解析活動斷層帶特性)

4、斷層發展幾何模型。

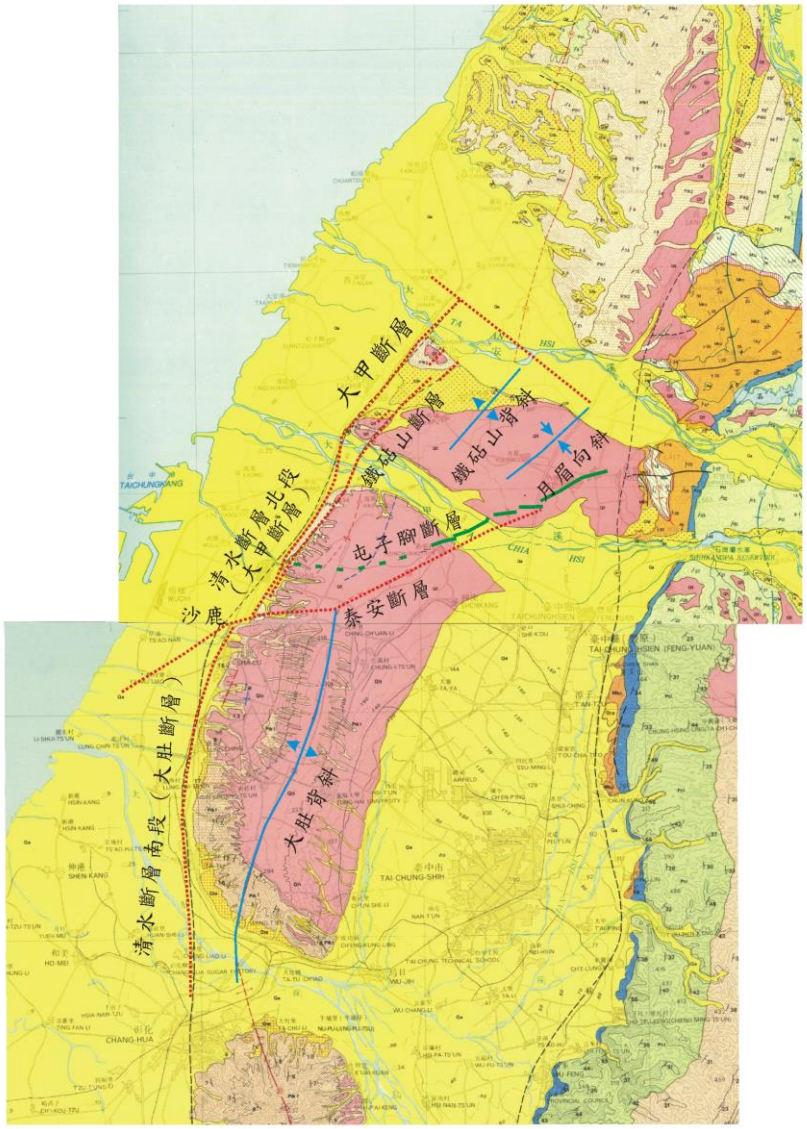
5、中英文網頁(電子檔)。

6、研究成果壁報。

本研究已完成所有工作，其中網頁及海報部份另行用光碟交付。

一、前人研究及區域地質概況

1-1 大甲斷層與鐵砧山斷層



圖一 本研究的區域地質圖及相關斷層位置，底圖為中油十萬分之一苗栗與台中圖幅(1982, 1984)

1-1-1 區域地質

本區出露的地層包括頭嵙山層、紅土台地堆積層與沖積層。頭嵙山層下部以厚層砂岩及砂頁岩為主，分布於鐵砧山斷層以東的大甲溪南岸；上部以礫岩為主，偶夾砂岩透鏡體，分布於鐵砧山、后里台地西緣、大肚台地西緣及北緣。紅土台地堆積層主要為礫石、砂及泥所組成，礫石粒徑由數公厘至數十公分不等，頂部具紅土化現象，主要分布於后里台地與大肚台地。階地堆積層由未膠結之礫石所組成，分布於后里台地西北角，沖積層以礫石及砂為主，分布於清水沖積平原、大安溪及大甲溪河床（中油,1974；林啟文,2001）（圖 1.1）。

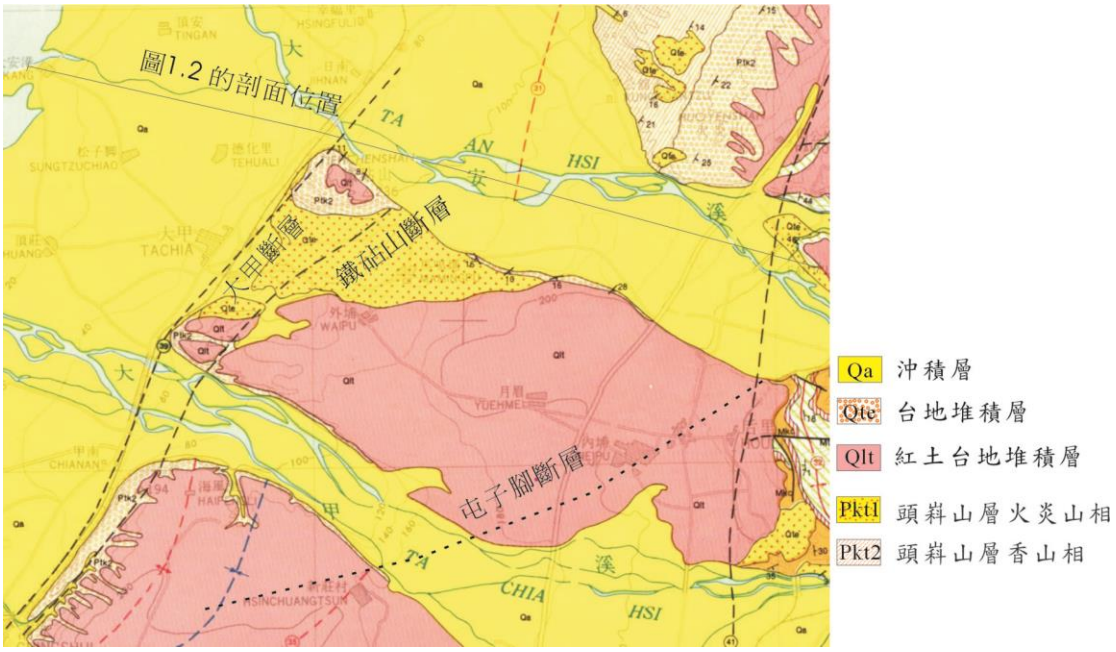


圖 1.1 后里台地地質圖(修改自中油 ,1974)

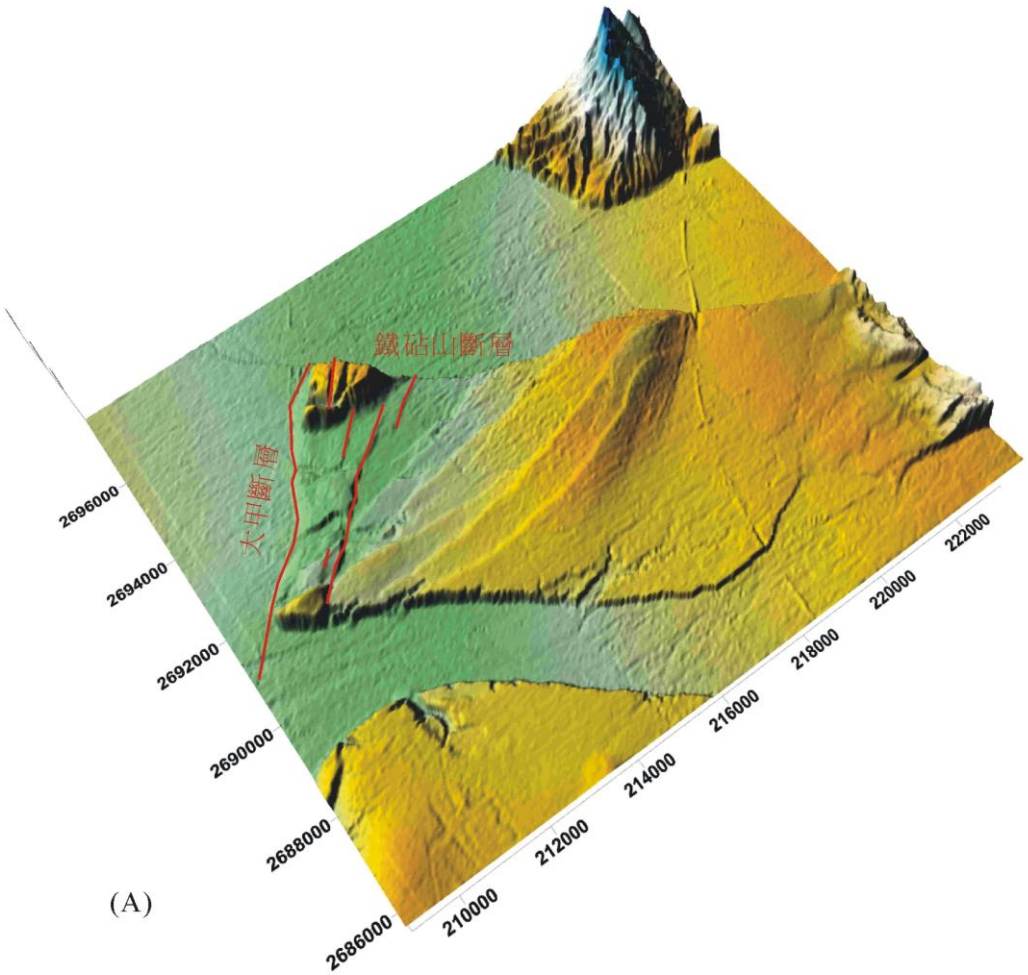
后里台地的主要地質構造，除大甲斷層外，尚包括鐵砧山斷層與屯子腳斷層。屯子腳斷層位於后里台地及大肚台地北端，斷層約呈東西走向，為 1935 年臺灣中部地震所伴生的地震斷層，鐵砧山斷層又稱為大甲東斷層，斷層呈北北東走向，可能為逆移斷層，由鐵砧山北緣經大甲東聚落西緣，向南延伸至清水斷層東側。

1-1-2 地形特徵

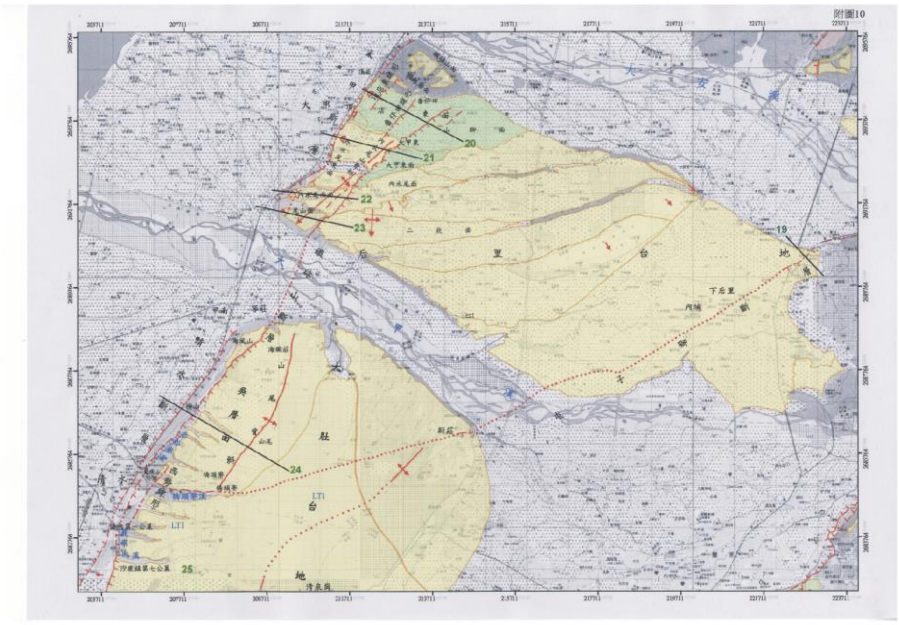
由於大甲斷層切割過不同時期的河階面，顯示為一活動斷層(圖 1.2A)（林朝棨,1957；Tang,1969；Ku,1963；楊貴三,1986；沈淑敏等,2005）。地型特徵

包括在斷層東側階地及西側平原之間整體有明顯的線形崖（包括斷層崖及撓曲崖）。東側的階地包括鐵砧山面（LH）、國姓廟面（LT1）、尾山面（LT2）、內水尾西面（LT4）之西緣，具有斷層崖特徵。崖高分別為 145、120、100、60 公尺。外水尾東面（LT5）、頂店東面（FT2）與兩者之間之 FT1 面之西緣具有撓曲崖特徵，崖高分別為 40、20、30 公尺(圖 1.2B)。

鐵砧山斷層的北段呈反斜崖，截切 LT2（尾山面、二崁面）、LT4（內水尾西面、內水尾面）、FT2（頂店東面、山腳面），崖高分別為 20、15、3 公尺，確實度 I 級(圖 1.3B)。向南，林啟文等（2000）指出鐵砧山斷層進入大肚臺地西北端，形成一明顯的侵蝕溝。切過 LT5（外水尾東面）及 FT1（大甲東面）之崖被河流側蝕成弧形，崖高約 10 公尺，確實度為 II 級。南段斷層與其西側的清水斷層之間，夾著構造隆起。在大肚臺地西北端的海風山，斷層截切 LH 面；清水鰲峰山公園的橋頭寮溪扇階，截切 FT 面，沙鹿鎮第七公墓截切 LT1 面，呈反斜崖，崖高分別為 11、5、17 公尺，確實度為 I 級。其餘在米粉寮溪與鹿寮南溪呈斷層線谷，確實度 II 級。竹林附近沒有明顯反斜崖，但有小溪成線型轉折，人為改變較多，確實度 III 級。(沈淑敏等,2005）



(A)



(B)

圖 1.2 (A) 40 公尺 DTM 的三維地形。圖中可見大甲斷層與鐵砧山斷層切過不同年代的地形面。(B)大甲、鐵砧山、清水等斷層地形特徵分布圖（摘自沈淑敏、張瑞津、楊貴三,2005）

1-1-3 斷層活動性與構造特徵

石再添等（1984）調查斷層於后里台地西緣之部份，發現直線狀崖切過 6 段地形面，其引曳崖高由年輕到老分別為25至145公尺，其北端在大安溪南岸出露層態近乎鉛直之頭嵙山層，研判此為后里台地西側的主斷層。楊貴三(1986)並認為此斷層切過的地形面顯示斷層有位移累積特性，其中最年輕的地形面為FT2，顯示此斷層為活動斷層。黃旭燦等(2004)及Yang et al.(2007) 根據震測剖面及地表地質資料建立的平衡剖面顯示大甲斷層為高角度逆斷層（圖1.3）。淺層震測顯示斷層大甲斷層似乎未穿出地表（董倫道等, 2006）(圖1.4)，但震測剖面與地質剖面之間似乎有些落差，野外可見近斷層處地層有較大的傾斜，但淺層震測並未顯示近斷層處岩層的彎曲，因此對於此剖面的解釋，仍待進一步討論。最近中央地質調查所在大安溪旁的大甲斷層上盤與下盤各鑽一孔地質鑽探，研究顯示在大甲2號井中可見明顯剪切帶，劉彥求提出兩種可能模式，一為大甲斷層已出露地表，另一則尚未出露地表，最後並認為斷層應已出露地表較為可能（圖1.5）（劉彥求, 2007）。由地形資料顯示鐵砧山斷層為一活動斷層並為一背衝斷層，但王乾盈與郭炫佑（2003）由淺層震測研究認為此斷層並不存在，僅為一侵蝕溝。

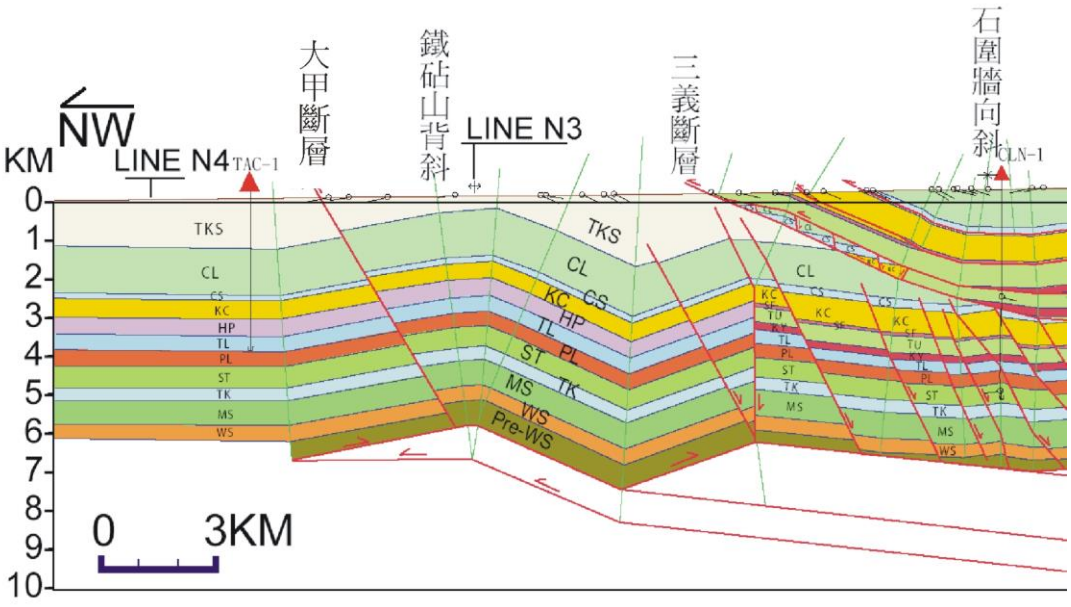
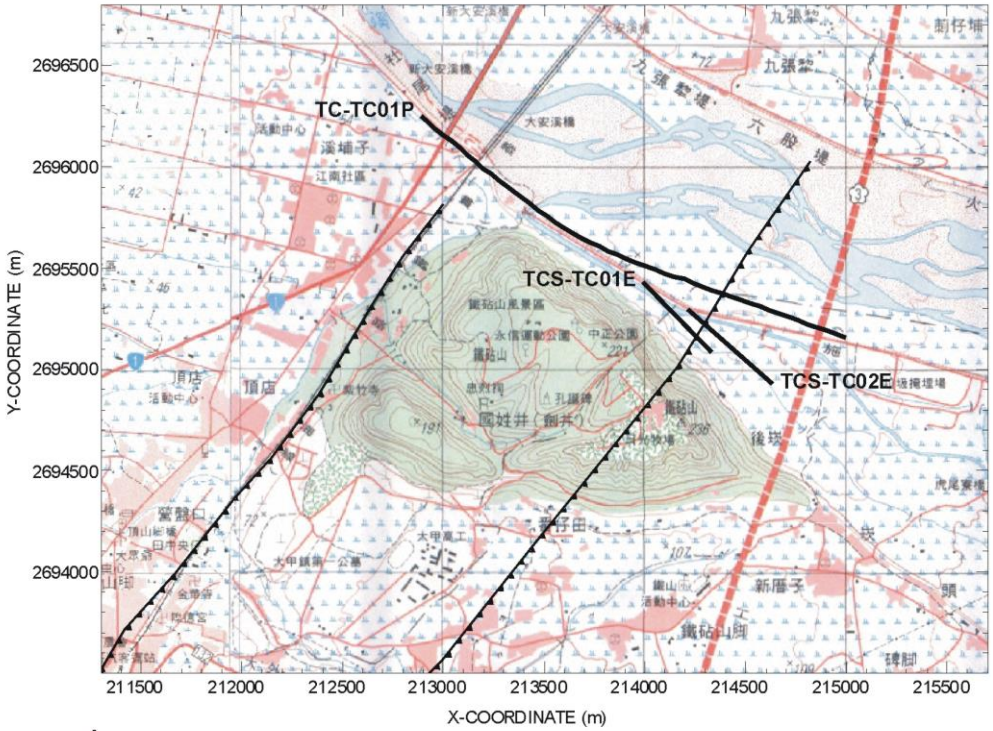
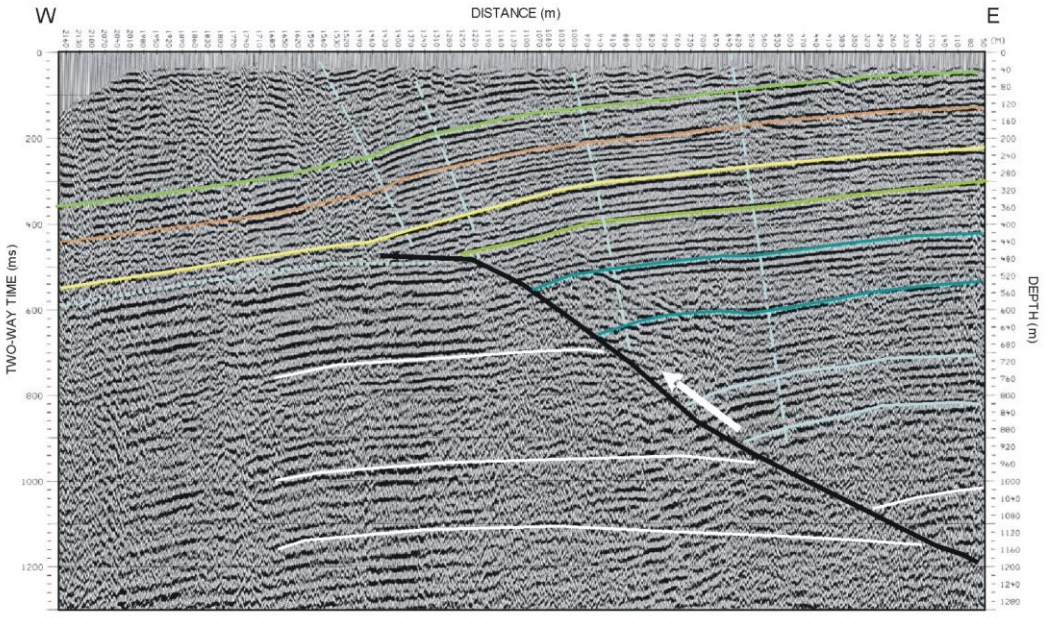


圖1.3 平行大安溪剖面地下構造(摘自黃旭燦等,2004及Yang et al, 2007)

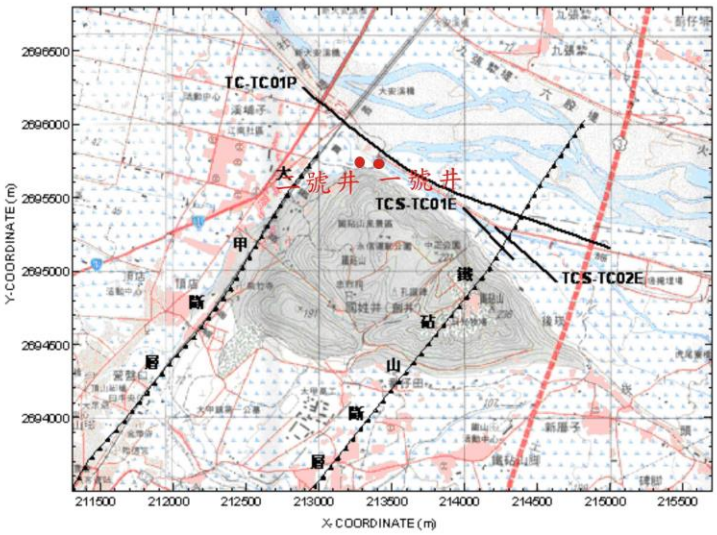


A

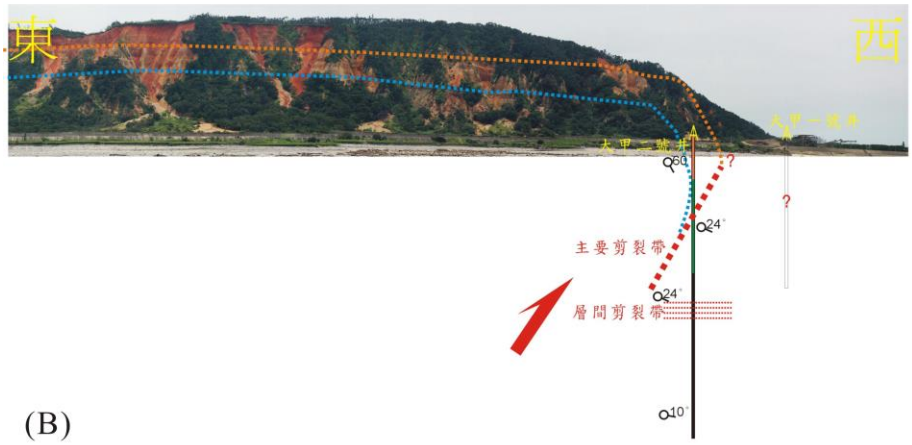


B

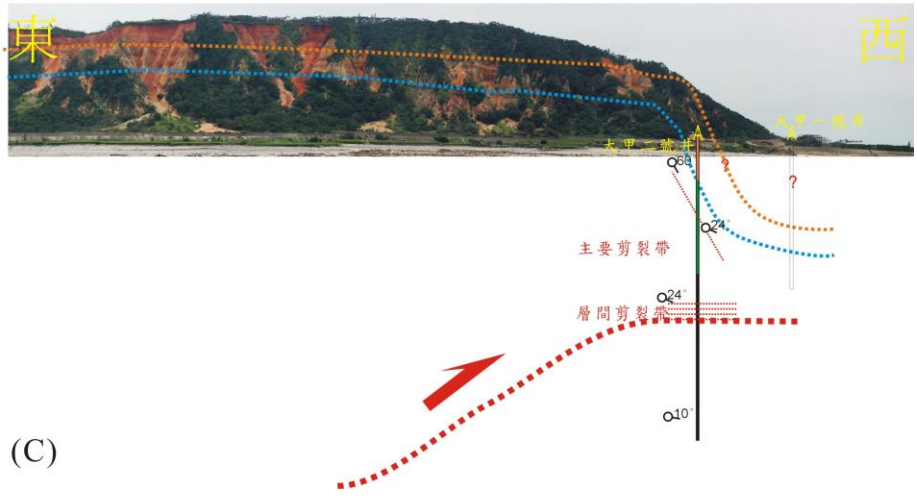
圖1.4 大安溪以北淺層震測剖面，董倫道等認為斷層未出露地表（董倫道等, 2006）。



(A)



(B)



(C)

圖1.5 A為中央地質調查所鑽井位置（大甲一號與二號井）及委託能資所的震測剖面位置圖（董倫道等, 2005），B與C為劉彥求所提大甲斷層可能的地下構造模式，B圖為大甲斷層已出露地表，C圖為大甲斷層未出露地表且斷層尖端變平緩（劉彥求, 2007）。

1-2 清水斷層

1-2-1 區域地質

本區主要出露地層包括頭嵙山層、紅土台地堆積層、階地堆積層與沖積層(Sun, 1965;中油,1982)（圖 1.6）。頭嵙山層下部以厚層砂岩及砂頁岩為主，分布於大肚以東的大肚台地西南緣；上部以厚層礫岩為主，局部夾砂岩透鏡體，分布於大肚台地。紅土台地堆積層主要為礫石、砂及泥所組成，礫石粒徑由數公厘至數十公分不等，頂部具紅土化現象。階地堆積層：由未膠結之礫石及砂所組成，分布於大肚以東的大肚台地西南緣。沖積層：以礫石及砂為主，分布於清水沖積平原、大甲溪及大肚溪河床（中油,1974,1982；Sun,1965；林啟文等,2001）。黃旭燦等(2004)及 Yang et al.(2007)利用平衡剖面法繪製斷層地下構造，其認為此清水斷層應為高角度逆衝斷層（圖 1.7）。Simoes et al.(2007)利用沿著大肚溪南岸的震測剖面(Chen,1978)計算彰化斷層的位移量約 800 公尺。

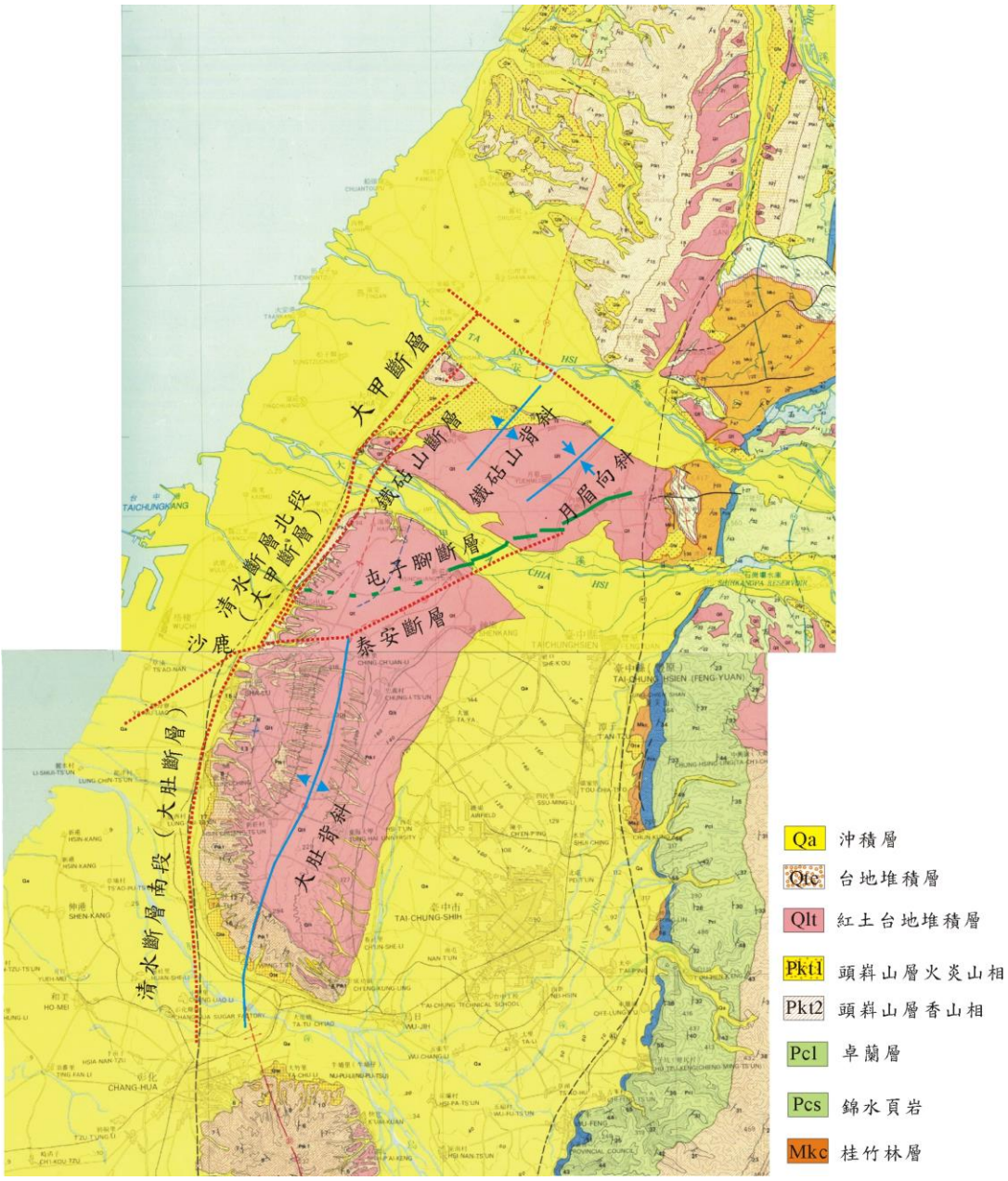


圖 1.6 大肚台地地質圖(修改自中油 1/10000 苗栗及台中地質圖幅,1982,1984)

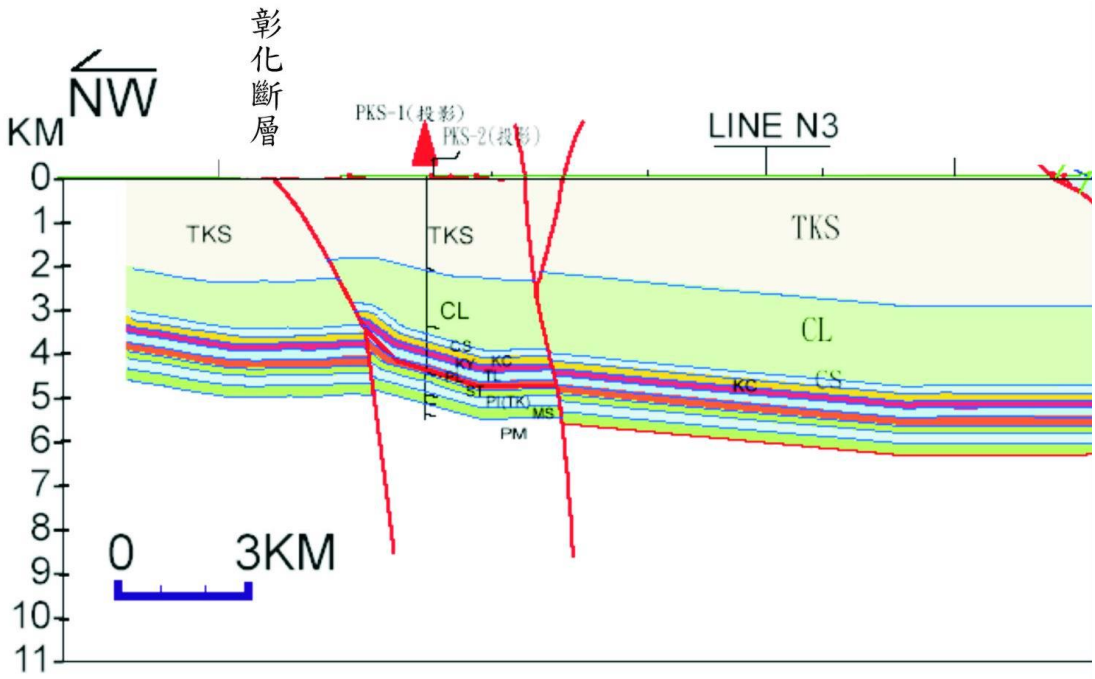


圖 1.7 沿大肚溪南岸的地下構造剖面圖，剖面顯示彰化斷層（清水斷層）沿著已存在的正斷層活動所致（楊耿明等,2003, 黃旭燦等,2004, Yang et al.,2007）。

1-2-2 地形特徵

在大肚臺地西麓與清水平原之間之構造崖，確實度 II 級。甲南至沙鹿北方呈斷層崖，與東邊的鐵砧山斷層，夾著構造隆起，崖高約 110-40 公尺。沙鹿至龍井之間斷層崖，因受採石破壞，零星殘餘，崖高約 15 公尺。

龍井至大肚，線形較不清楚。山陽坑扇階，LT2 面傾動明顯，西緣具撓曲崖特徵；FT 面西緣，坡度變陡。大道國中南側 FT 扇階前緣有 4 公尺高之崖，確實度 II 級。大肚溪北岸渡船頭以北有長約 2 公里之斷層崖截切 FP 面，崖向西，呈南北走向，崖高 5-9 公尺，確實度 I 級(圖 1.8)(沈淑敏等,2005)。

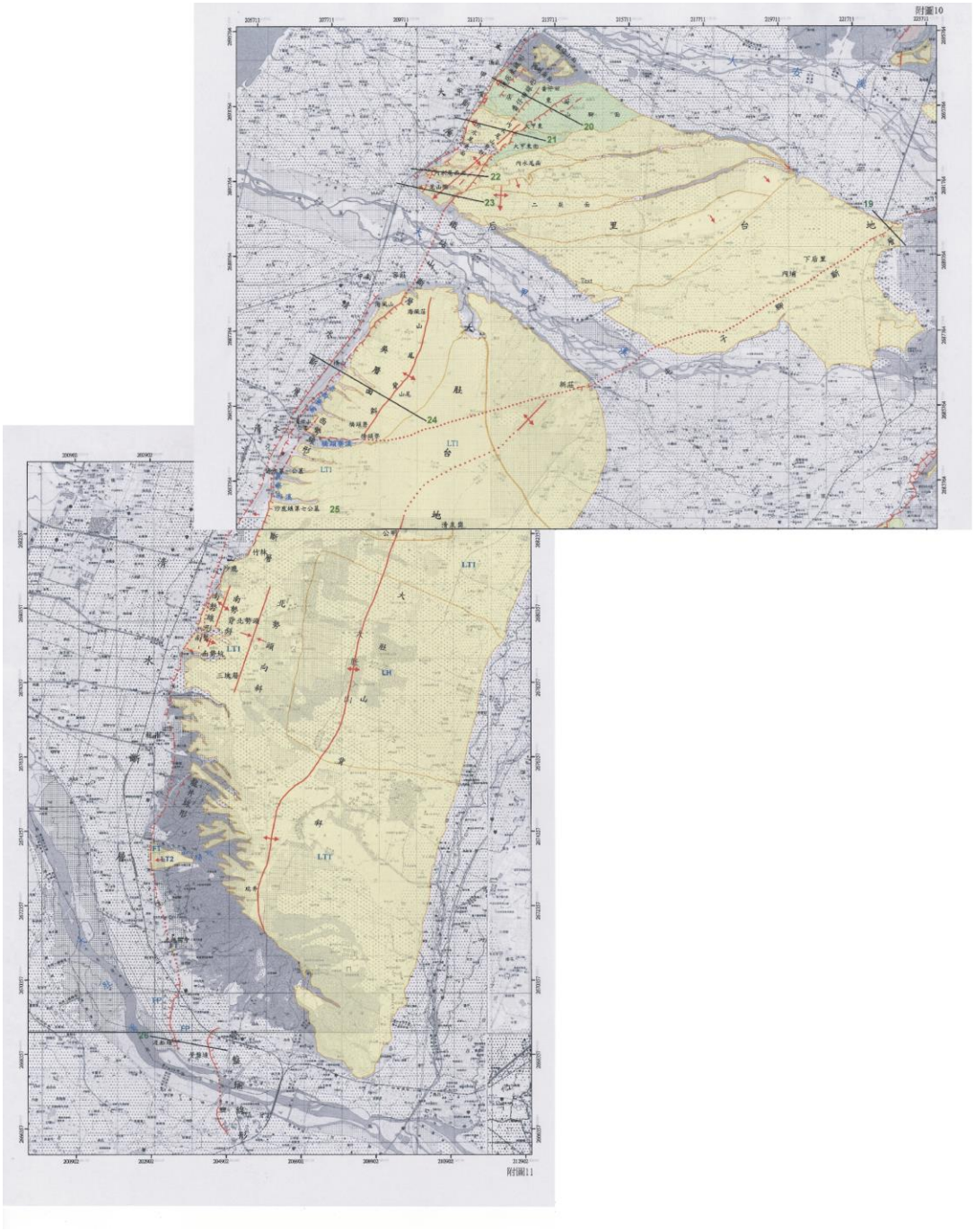


圖 1.8 大甲、鐵砧山、清水等斷層地形特徵分布圖(沈淑敏、張瑞津、楊貴三,2005)

1-2-3 斷層活動性與構造特徵

林啟文等(2001)經由野外調查認為由於在沿線並未發現疑似斷層露頭，野外無法確認斷層的位置，斷層很可能未出露地表。楊貴三(1986)由地形分析認為此斷層具明顯位移累積性，斷層造成的引曳崖在吳厝面(LH)為 65-110 公尺，清水扇階面(LT2)為 40 公尺，山陽上段扇階(LT3)為 15 公尺，斷層小崖的高度在大肚扇階(FT2)為 6 公尺，鹿峰和南勢沖積扇(FT2)為 2 公尺，顯示斷層活動的累積性。由淺層震測資料顯示，清水斷層尖端未出露至地表（許立文, 2002）。由在大肚溪南端的彰化斷層剖面，Simoes et al., (2007) 認為褶皺開始於約 62.2±9.6 千年，斷層總滑移量為 1010 ± 160 m，如此推估斷層的長期滑移速率約 16.3±4.1mm/yr.。

二、深部地下構造分析

為分析地下構造本研究先由中油震測剖面分析大甲斷層地下構造模式，本報告所用資料若已有中油發表資料，則使用中油剖面；若未有相關資料，則以重繪的構造剖面為主(圖 2.1)。針對大甲斷層附近剖面過去已有許多中油震測剖面，本研究分析完後主要得到以下結論簡述如下，詳細內容後述。大甲斷層北起於大安溪，並以橫移斷層為界，與北側構造分隔，大甲斷層並南延至沙鹿一帶尖滅。大甲斷層之下另有隱伏於深部的斷層，此滑脫面斷層在大甲斷層之下可能發育一斷坪與斷坡(ramp-flat)構造，此構造為形成鐵砧山背斜，而大甲斷層乃截切此鐵砧山背斜西翼的斷層，此深部斷層向南結束於大甲溪一帶。大甲斷層在大安溪一帶由深部震測剖面可見近地表處伴隨褶皺構造發育，由大安溪向南位移量逐漸變大，斷層尖端近於地表。斷層位移量在約為 500-600 公尺，為一向東傾斜約 17-25 度的逆斷層。鐵砧山背斜以東另有一活動向斜-月眉向斜，此月眉向斜似為銅鑼向斜之南延，月眉向斜的成因，可能與另一斷坪-斷坡構造相關。清水斷層南北段性質不同，分界為通過沙鹿的泰安斷層，清水斷層北段性質近於大甲斷層為一低角度逆斷層，清水斷層最南段的幾何形態為 listric fault，淺部角度較陡，向下變緩銜接到滑脫面，此滑脫面可能為錦水頁岩。

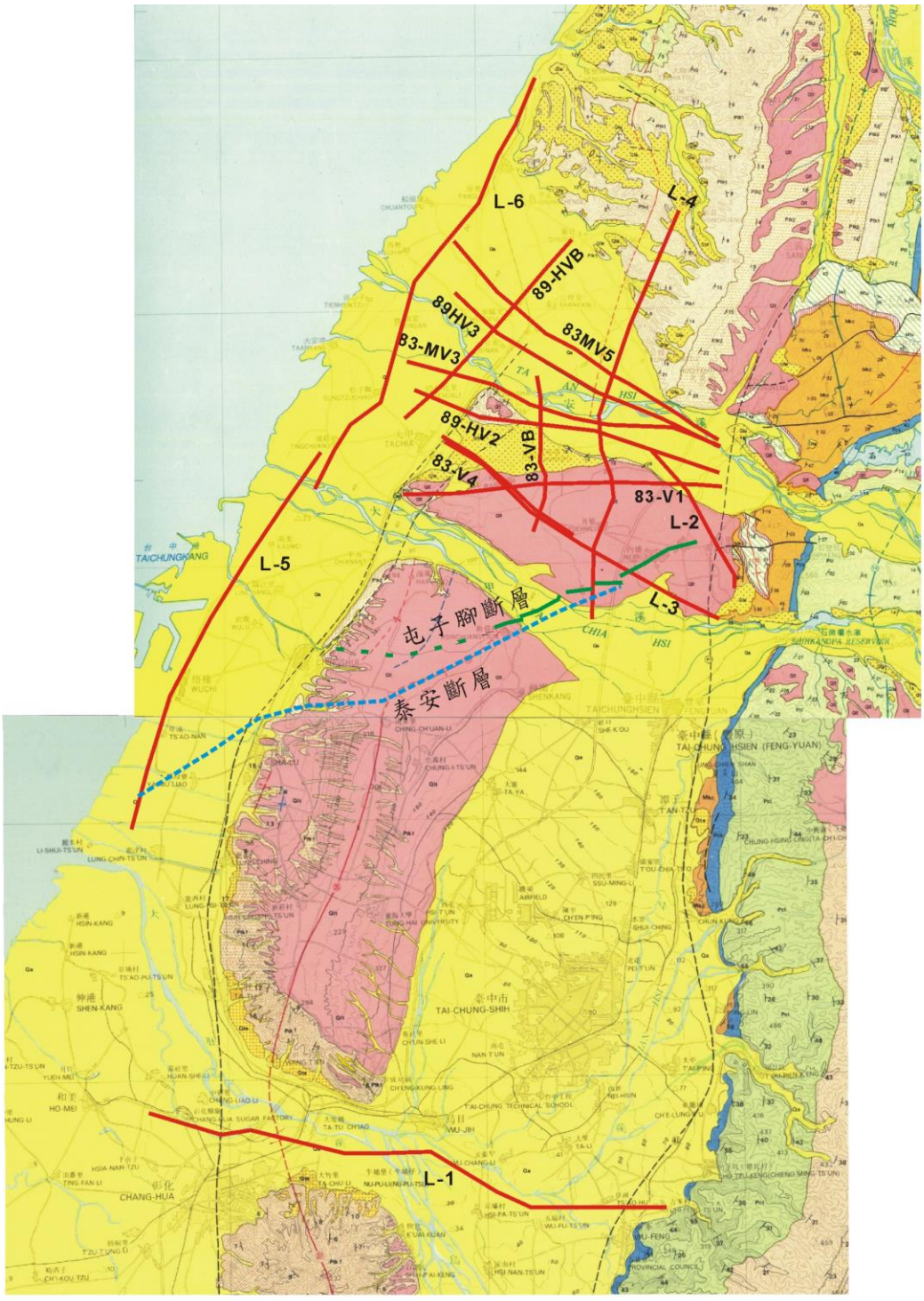


圖2.1 本研究所使用的中油震測剖面位置（修改自陳太山與蘇福欽,2002），底圖為中油十萬分之一苗栗與台中圖幅(1982, 1984)

圖 2.1 本研究所使用的中油震測剖面位置(修改自陳太山與蘇福欽,2002)，底圖為中油十萬分之一苗栗與台中圖幅(中油,1982,1984)。

2-1 深部震測分析

2-1-1 大甲斷層

圖 2.1 為中油震測剖面位置圖（修改自陳太山與蘇福欽, 2002），圖 2.2 顯示 83MV5 測線（傅式齊, 1995），在此測線中我們觀察在大甲斷層北延位置，此位置並未見大甲斷層，因此我們認為大甲斷層在此測線以南。在 89HV3 剖面中，可見大甲斷層尖端並未出露地表，僅造成撓曲現象，因此我們認為大甲斷層的北界在 83MV5 與 89HV3 之間（圖 2.3）。在 83MV3 測線中大甲斷層在深部明顯可見（圖 2.4），但較淺處(0~0.4 秒)斷層上盤岩層位態變陡，藉由追蹤上下盤地層的落差，在 unit G 中可測得約 0.15~0.17 秒的層位落差，此外大甲斷層淺部可見地層變陡有拖曳現象。除大甲斷層外在 89HV3 與 83MV3 剖面中可見鐵砧山背斜構造。在 89HV3 剖面中大甲斷層位移量甚小，且大甲斷層下盤亦可見背斜西翼岩層向西傾斜，因此可知大甲斷層與鐵砧山背斜的形成並無直接關連，此背斜的形成應與更深部斷層的活動有關（圖 2.5）。在 83-V1 測線中依然可見低傾角的大甲斷層同時發現鐵鐵砧山背斜在此處逐漸尖滅（圖 2.6）。斷層尖端的位置由震剖面分析，在 89HV3 剖面約 0.75 秒位置，約 1000 公尺深處，在 83MV3 剖面斷層尖端約在 0.4 秒附近，約在 400 公尺附近。

大甲斷層為何終止於大安溪？我們認為與橫移構造有關，L4 測線為一南北向測線，在此測線中可見現在 L4 測線中此橫移斷層構造（圖 2.7）。在 L4 測線中可見鐵砧山背斜向南逐漸尖滅，在大甲溪南岸已不復見此一背斜，因此我們認為造成鐵砧山背斜的深部斷層，終止於大甲溪一帶。大甲斷層向南延伸至沙鹿一帶，由泰安斷層（陳太山與蘇福欽, 2002）將清水斷層分隔為南北兩段。泰安斷層在 L3 東西測線中（圖 2.5），L2 的東南-西北走向測線（圖 2.8），L5 的南北走向測線中皆觀察到此一斷層（圖 2.9）。

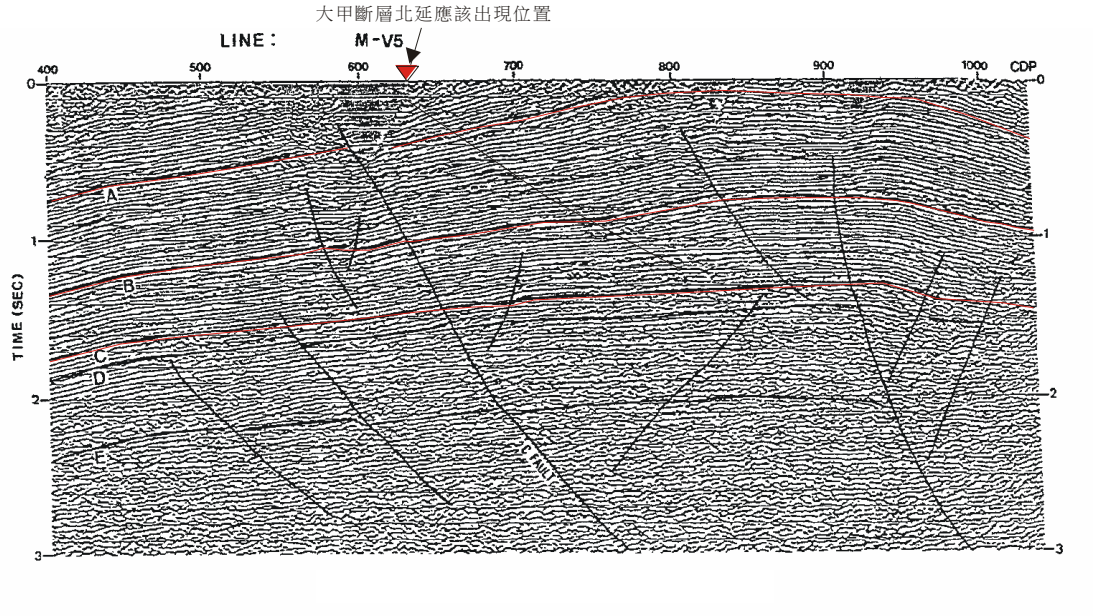


圖 2.2 83MV5 測線的剖面，此剖面中在大甲斷層北延位置並未發現大甲斷層（傅式齊,1995）。

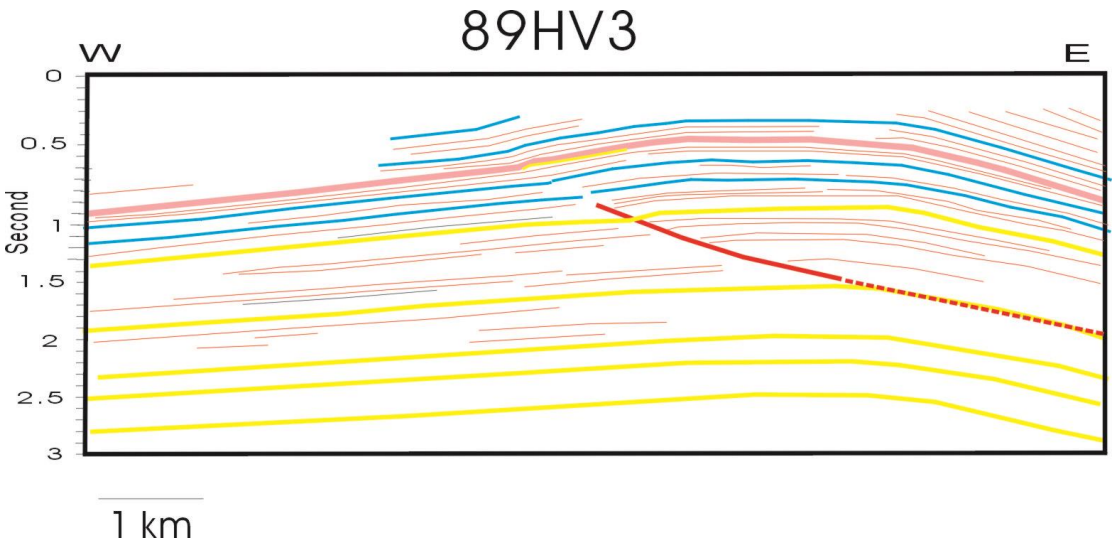


圖 2.3 89HV3 震測剖面，此剖面中大甲斷層的深部發育斷層，但在淺部斷層尖端未出露至地表，淺部地層僅發育褶皺，此剖面中亦可觀察到鐵砧山背斜構造。

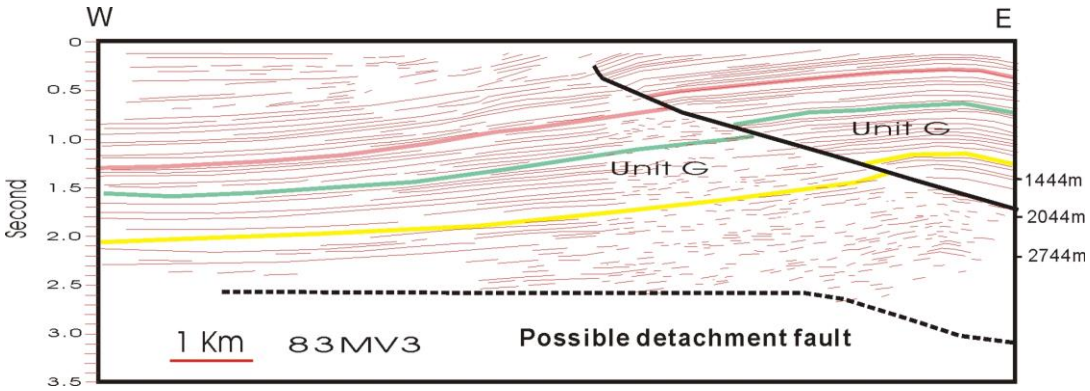


圖 2.4　83MV3 剖面，大甲斷層在 Unit G 中層位落差約 0.15-0.17 秒。在近地表處，地層有拖曳現象。大甲斷層下盤地層向西傾斜，為鐵砧山背斜西翼，在深部可能發育滑脫面斷層，造成鐵砧山背斜的發育。

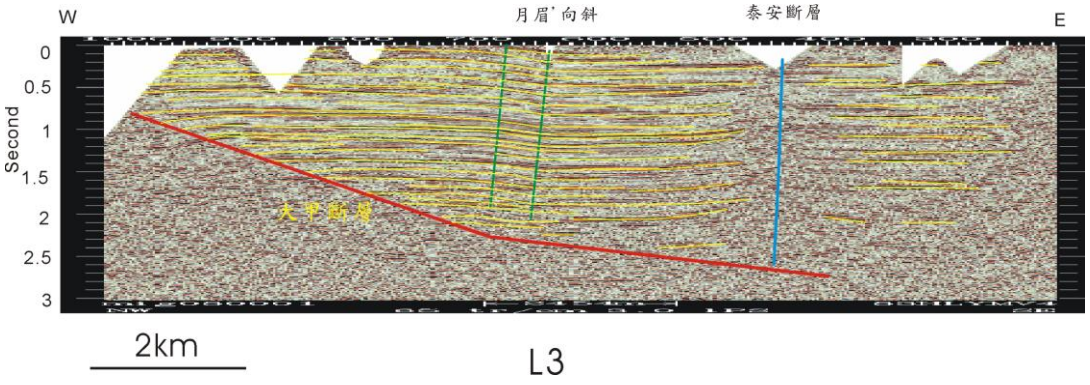


圖 2.5 在 L3 剖面中大甲斷層顯示為低角度逆斷層。月眉向斜的發育可能與下伏斷層的形貌有關，斷層以東的橫移斷層為泰安斷層(縱軸單位為為秒)（修改自陳太山與蘇福欽, 2002）。

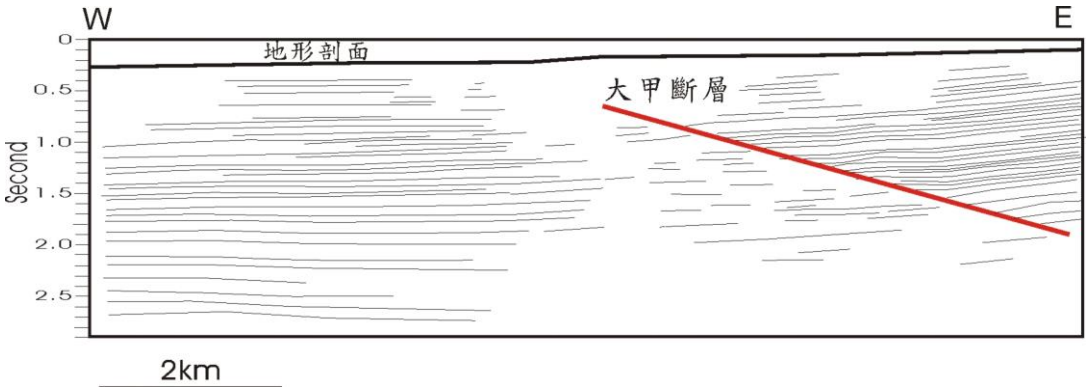


圖 2-6 83-V1 測線震測剖面，大甲斷層為一低角度逆斷層，斷層向上延伸處可見地形變化。

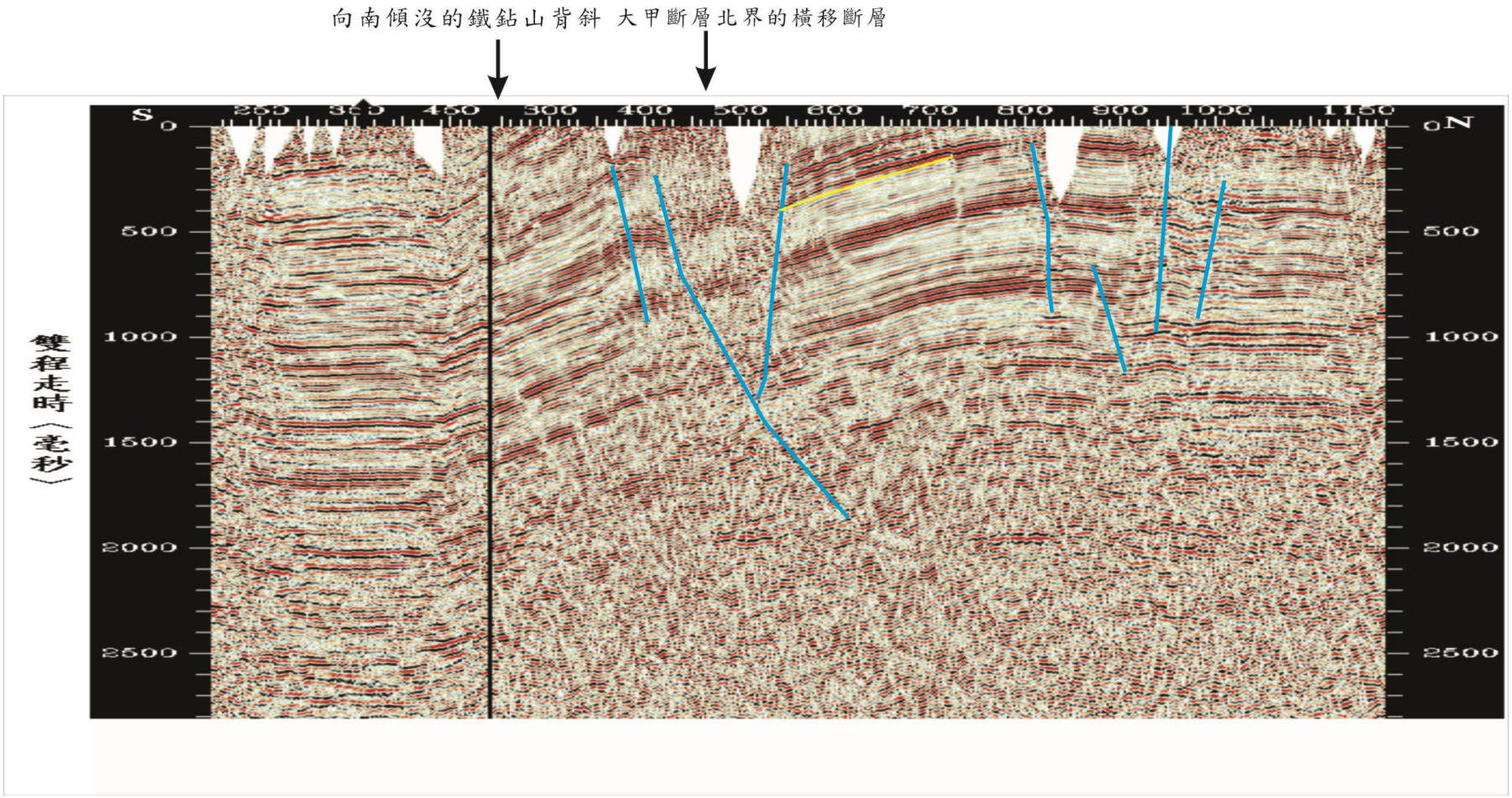


圖 2.7 南北向 L4 測線，此測線中可見大甲北界的橫移斷層(陳太山與蘇福欽, 2002)。北界的橫移斷層(陳太山與蘇福欽, 2002)。

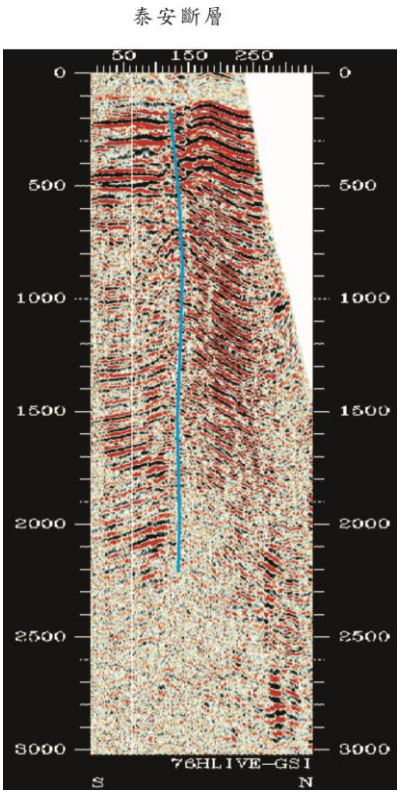


圖 2.8　L2 測線中觀察到的泰安斷層（陳太山與蘇福欽,2002）

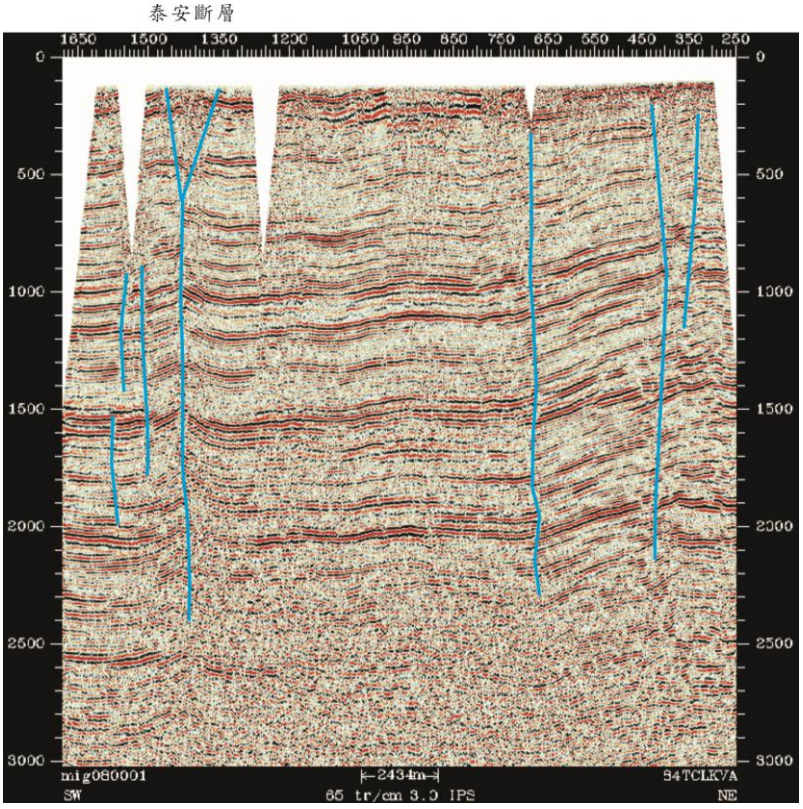


圖 2.9　L5 的南北向測線中，亦可見泰安斷層存在(陳太山與蘇福欽, 2002)

2-1-2 清水斷層

清水斷層的深部震測僅在大肚溪一帶有資料，但地形及構造上由大安溪至大肚溪之間以沙鹿為界有極大的變化，如地形上沙鹿以北前緣地形傾角較大且平直，以南變形前緣地形低緩多為河流所切割，構造上大肚背斜在沙鹿以北中斷，因此本研究認為清水斷層應從沙鹿以南開始。雖清水斷層沿線無深部震測剖面，最近的深部剖面皆在大肚溪南岸附近，如 Chang (1971)， Chen (1978)與陳太山及蘇福欽 (2002)。由於大肚溪南岸構造與北岸近似，因此此剖面大致可代表清水斷層南段構造形態，Simoes et al. (2007)並利用 Chen (1978)的震測剖面進行分析，得到大肚溪南岸剖面的縮短量為 800 公尺（圖 2.10）。由於中油有新的震測剖面且剖面訊號極為清晰，因此本研究利用此剖面繪製斷層幾何（陳太山與蘇福欽, 2002），為得到真實地下構造，本研究利用 PKS-1 號井的井下地質及速度構造(圖 2.11)，描繪出斷層幾何形態。圖 2.12 顯示斷層幾何形態。由雖然淺層剖面較為模糊，但仍可判識出大約在 800 公尺以下有明顯斷層作用，800 公尺以上地層大致連續(圖 2.12)。因此我們認為變形前緣的崖面可能為褶皺崖，斷層尖端可能在 800 公尺附近。由淺層震測抬升層序的對比（Wang et al., 2003）及深層震測剖面，本研究認為大肚背斜在大肚溪附近的抬升量約 300 公尺。

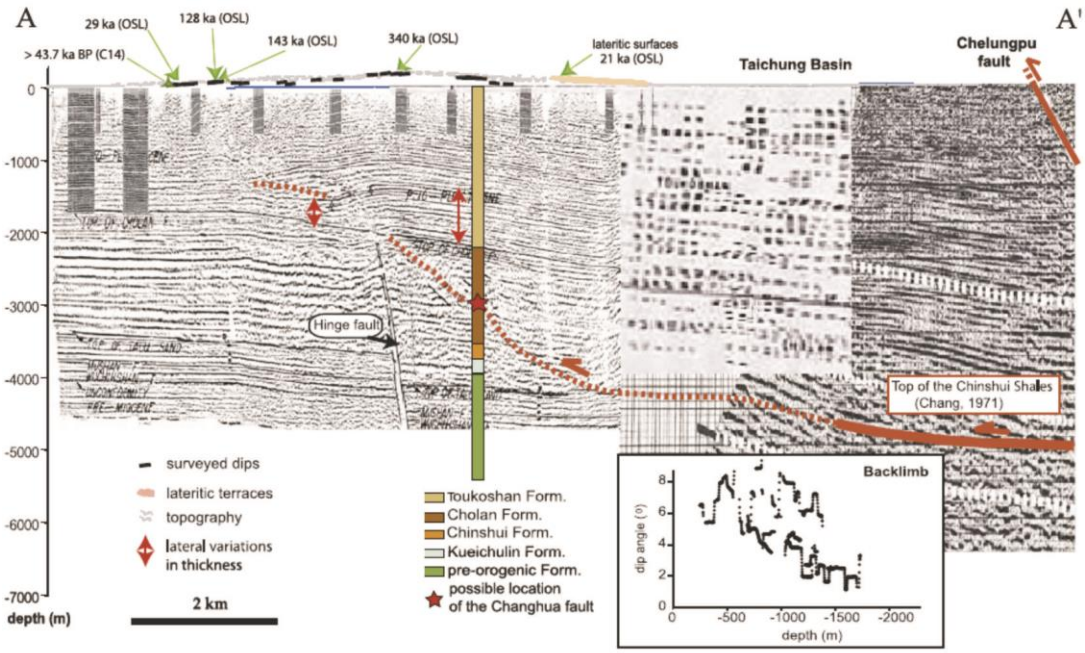


圖 2.10 Simoes et al. (2007)利用 Chen (1978)的震測剖面所繪製地下構造形態並分析縮短量為 800 公尺。

TABLE 1. *Correlation between well data, velocity, and seismogram in the A well*
(Velocity function V=2120+0.5415Z)

Formation	Correlation No.	Well Data: Subsea Depth (m.)	Well Data: Time Converted (ms.)	Seismogram: Correlated Reflection (ms.)	Seismogram: Grade	Well Shooting: Velocity (m/s)
	A 1	500	440	439	Fair	2300
	A 2	1000	840	840	Fair	2590
	A 3	1300	1059	1060	Fair	2400
	A 4	1500	1200	1200	Fair	3120
	A 5	1800	1400	1399	Poor	3000
Cholan Form.	A 6	2128	1603	1597	Good	3280
Cholan Form.	A 7	2400	1770	1765	Poor	3510
Cholan Form.	A 8	3000	2100	2110	Poor	4440
Chinshui Shale	A 9	3600	2410	2400	Fair	3950
Kueichulin Form.	A10	3711	2463	2460	Poor	4240
Kuanyinshan Form.	A11	3887	2547	2560	Poor	4240
Talu Shale	A12	4044	2620	2622	Fair	4240
Talu Sand	A13	4169	2678	2680	Good	4240
Shihti Form.	A14	4500	2830	2820	Poor	3450
Piling Shale	A15	4593	2867	2870	Fair	4030
Piling Shale	A16	5000	3040	3037	Fair	4030
Wuchihshan Form.	A17	5078	3072	3067	Fair	4530
Pre-Miocene	A18	5382	3194	3210	Fair	4530
Mesozoic	A19	6574	3640	3610	Fair	4530

圖 2.11 PKS-1 號井速度構造與地質層位(Chen,1978)。

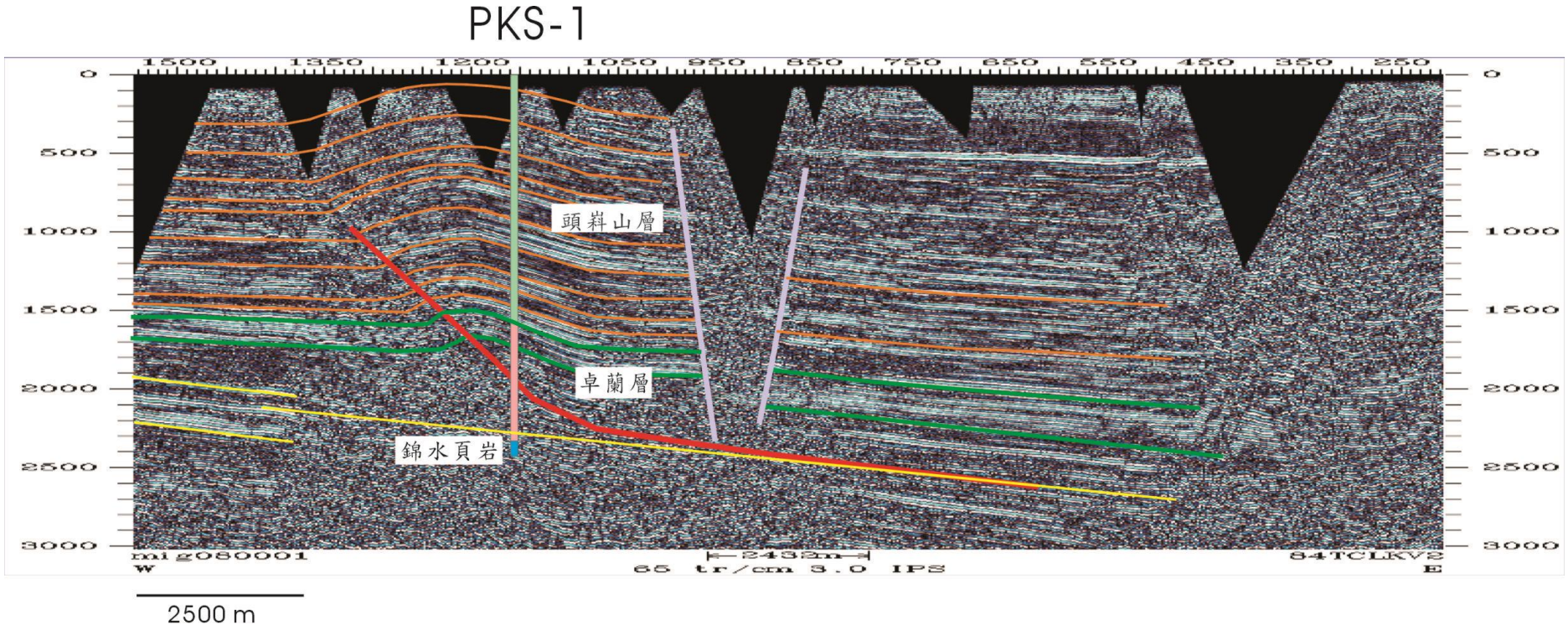


圖 2.12 利用陳太山與蘇福欽(2002) 震測剖面的解釋構造。PKS-1 底部黃顏色為錦水頁岩，顯示斷層的滑脫面最後大致沿著錦水頁岩面滑動。

三、震波測勘

3-1 淺層震測探勘原理

震波測勘係藉由人工震源產生震波，再於地表利用特定排列的受波器陣列來接收經地下構造所折射與反射的資料，分析測區範圍的地下構造。震波測勘方法可以分為折射震測與反射震測兩類，折射震測利用初達波的到達時間來求解地下速度構造，反射震測則是利用震波波形組合的影像來描述地下構造。本研究的震測研究方法則以反射法為主，折射法為輔。基本上，反射震測是將於地表所記錄到的反射波波形利用數值的方式將其回推至其於地下反射點的位置，本研究所使用的反射法為最傳統也最常被使用的同中點重合法。

反射震測能夠解析詳細的地下構造形貌, 其應用在地下資源探勘上已極具成效。近年來，由於微電腦技術的快速發展，高頻受波器及小型震測儀的開發，高解析度的反射震測也常被用來探測幾公尺至幾百公尺深的淺層地下構造。而目前最常被運用的反射震測同中點重合法，其原理是將野外各個測點所收集到的同炸點聚合資料，經過波線聚合重組，組成以相同反射點為基準的同中點聚合剖面。重組後的同中點聚合資料再經過速度分析，並作垂直隔距時差修正，將反射信號修正至同一深度點。由於同中點聚合裡的反射信號是由同一深度點反射，若給定正確的速度，應可將反射信號修正至同一深度，此時重合各波線便能得到直接用以解釋地下構造的同中點重合剖面。

反射震測法能夠探測的深度與震源能量息息相關，本計畫使用2000焦耳之高能迷你機械式撞擊震源(JMS Mini65)產生震波，並利用3個一組之垂直受波器陣列來接收信號，蒐集到之信號則記錄於24位元之48波道震測儀(Geometrics StrataVisor NX)。圖3.1a,b,c分別為本計畫所使用之震源、受波器與震測儀等震測設備。此外，震測進行時震測測點與受波器的位置則以衛星定位儀定位，並利用水準儀量測測線的高程變化。

圖3.2為震測作業進行時震測資料的傳輸流程，圖中右下方的儀器為震源產生器，震測系統由此啟動，震源產生器一方面將震源信號傳輸至地下，另一方面同時啟動圖中左上方的震測儀接收信號。震測儀經啟動後將會接收位於圖1.2左下方之受波器所接收到的地動信號，並記錄至震測儀內。

圖3.3為利用撞擊式震源器於野外作業時所記錄到的一筆信號，該記錄共0.3秒。圖中可以見到包括直達波、折射、反射、空氣波、表面波及背景雜訊等資料，而反射震測所需要的信號僅有反射波，其餘雜訊皆是野外作業與室內資

料處理時必須壓抑的對象。淺層反射震測最主要的雜訊為地滾波，主要為表面波（雷利波）組成，具有波速慢、振幅大、頻率低以及會產生頻散等特性。因為P波波速較雷利波快許多，所以淺層地層的反射雖然歷經雙程走時，反射訊號仍較地滾波早到。為了提高反射訊號的有效視窗，P波反射施測時宜將測線之展距增長，以拉開反射波與地面波之時距，並且利用受波器陣列來壓抑表面波。

同中點震測於正式作業前需要經由雜波測試來瞭解最佳反射信號的視窗，決定受波器間距，並找出合適的信號頻寬以前置帶通濾波處理，以抑制低頻地滾波，提昇反射信號的強度。

本調查之震測資料處理時於工作站上執行，資料處理軟體使用由紐西蘭地質與核能研究所開發，與中油工業資料處理軟體同等級的資料處理軟體GLOBE Claritas處理。

本研究之震測資料將以同中點重合方式處理，圖3.4為同中點重合震測資料的基本處理流程。震測資料處理的第一個步驟是刪除原始炸點資料內之不良波線，以免爾後重合資料時造成負面影響。除去不良波線後，再將各炸點內之相鄰波線混波以提昇信號與雜訊之比值。然後濾掉不需要的雜訊，濾波之頻率範圍則由頻譜分析的結果決定。經濾波後的資料接著依野外作業幾何，續行各種不同聚合之搜尋，將不同的炸點資料中凡是對應於同一反射點的各波線都收集並組合成同中點聚合剖面。

同中點聚合內之資料再經速度分析找出各時段之最佳的重合速度，並利用該速度，經垂直隔距時差修正將同中點聚合內之各波線修正至支距為零再互相重合成為同中點重合剖面。由於P波初達波與由第一層反射面反射的信號常會在很靠近的時間到達，本調查於野外實施雜波測試時界定初達波，並於資料處理時將近支距初達波抹除。

本研究於資料處理過程中採用了三種速度分析工具以獲得準確的速度，分別為等速度聚合分析、等速度重合分析、以及速度頻譜分析等。速度分析完成後便可得到重合速度模型，依此速度模型進行垂直隔距時差修正並做同中點資料重合。同中點重合可以增強反射信號並得到時間深度剖面。

P波因波速快，近地表地層的反射信號與初達波常無法區分，除非波源的頻率夠高，否則不容易得到極淺層的地層資訊；再者，P波反射需利用較長的支距來獲得較佳的信號，淺層的反射信號也會在處理時因超過合理的垂直隔距時差伸長比取值(15%)而被切掉，而無法解析近地表的反射，範圍的深淺會依

測線不同的布置而改變。

反射震測能夠探測的深度除了與震源能量有關外，亦與測線的展距有關，探測深度通常為測線展距的 1 至 2 倍。本計畫使用 48 波道震測系統收集震測資料，受波器採 5 公尺的間距布置，這種情形下測線的展距可達 240 公尺，而目標深度約可達 500 公尺。

受到地形與交通的影響，測線可能無法獲得單純的直線剖面，本計畫已將所有剖面利用工業級專業的資料處理軟體 Claritas 進行蜿蜒測線處理以及具浮點基準面的修正，以適合本研究的需要。圖 3.5 為蜿蜒測線的同中點重合點分佈圖，不適當的同中點重合點選擇會影響剖面的品質。P 波反射震測之靜態修正常為剖面優劣之關鍵，本計畫於執行時一併利用折射資料以走時逆推的方式來分析，並用以作為靜態修正之用。圖 3.6 為所有測點紀錄之初達波走時記錄，經走時逆推後可以得到非常準確的淺層速度構造。圖 3.7 為逆推所得的淺層速度構造。這方法比單純利用氾化互換法解析走時曲線以繪製速度剖面能獲得更佳的效果。

震源能量影響震測結果甚大，本計畫採用之迷你型高能震源器 JMS Mini65 經垂直重合多次後可以獲得良好的能量，加上利用受波器陣列可再度加強信號的信號與雜訊比。

淺層震測的作業步驟如下：

1）測線測量：繪製測線之地形剖面並打樁標示，測線以衛星定位定點，作為資料庫建立之基準，並於資料交換或公開時提供一定的標準；

2）震測作業：反射作業與折射作業一併實施；

3）震測資料處理：以同中點重合方式處理震測資料；

4）震測剖面分析：解釋地下構造，研判斷層之位置與延伸。

利用震波傳遞的原理來對地下構造進行研究，是目前較有效且可信度較高的方法。當一承載彈性位能的震波在地球內部行進時，其行進路徑與振幅大小會隨界質岩性與介面進行修正。因此，我們可以利用在地表所接收到來自地表或地表下的波動資料對地下地貌與構造進行評估。反射震測剖面中之震波的連續性反應出了地下構造的連續與否； 之外，反射震波的間距與其振幅大小，亦可用來評估地層的厚度。然而，評估的可行性則取決於震測資料的解析度。如果地層錯動量及地層厚度低於震波之解析度，則反射震測剖面亦無法看出其變化。

從已發表的文獻發現，有關的研究大部份集中在分析反射震波為因應薄層穿透界面而產生的變形現象。此類研究已獲相當的成果與結論：薄層的垂直辨視主要決取於所觀測到的反射震波波長。Widess（1973）指出對薄層解析率的大小取決於頻率，換句話說即是取決於波長長短。由零相位藜克漣波(Ricker wavelet)和兩相等數值但相位相反的脈衝波經迴旋運算，Widess 發現當這兩個分離的脈衝波距離接近至 1/8 主波長時，會產生一個穩定的混合漣波。這個穩定混合漣波的形貌與迴旋漣波的微分相似。Widess 把這 1/8 主波長長度定義為兩相鄰介面的解析基準，此基準以上的薄層可被解析出來，他同時指出混合漣波的強度大約正比於薄層的厚度。然而實用上大都以 1/4 主波長為依據。舉例說明，若震波的主波長為 8 公尺，則地層錯動量及地層厚度若低於震波之 1/4 主波長（2 公尺），便無法於震測重合剖面上辨識出。



(a)



(b)



(c)

圖 3.1 本計畫使用之震測設備：(a) JMS Mini65 迷你機械式撞擊震源，(b)垂直受波器，(c) Geometrics StrataVisor NX 48 波道震測儀。

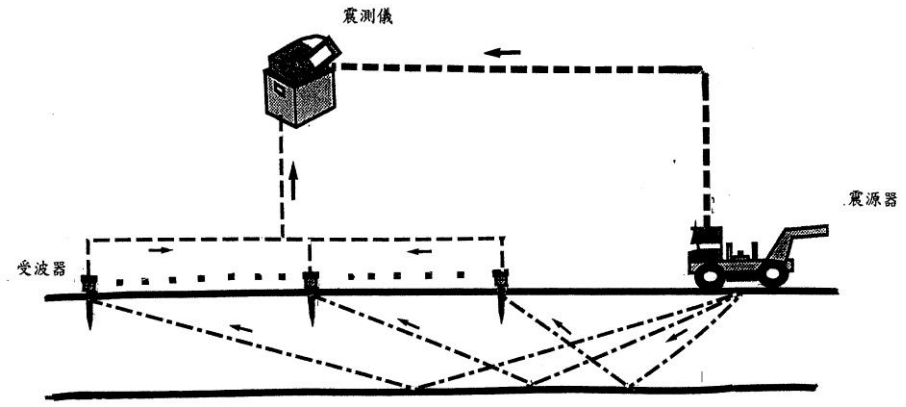


圖 3.2 震測作業之資料傳輸流程

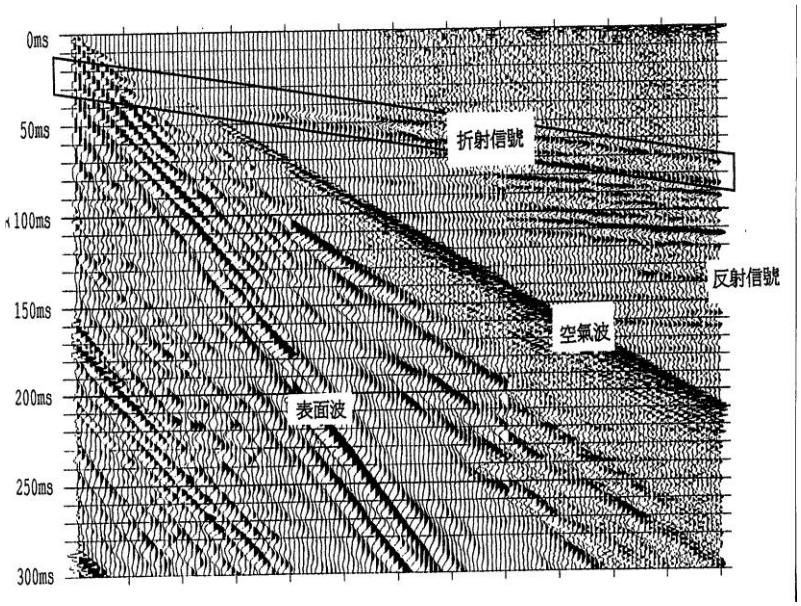


圖 3.3 野外作業時所記錄到的資料

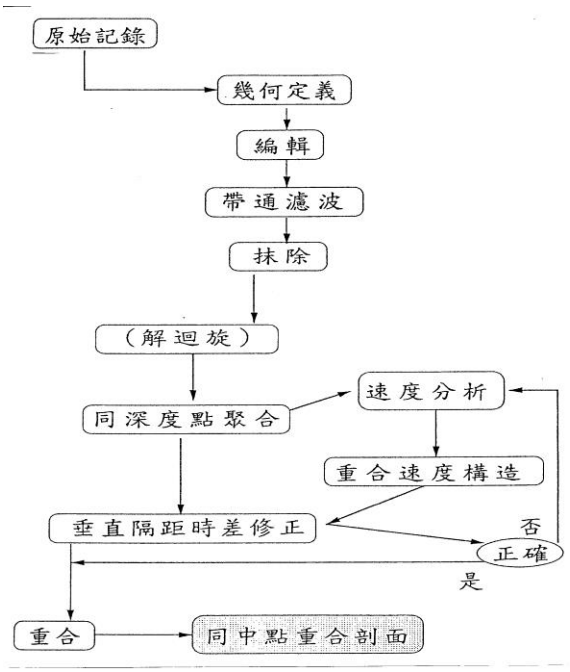


圖 3.4 反射震測資料處理基本流程

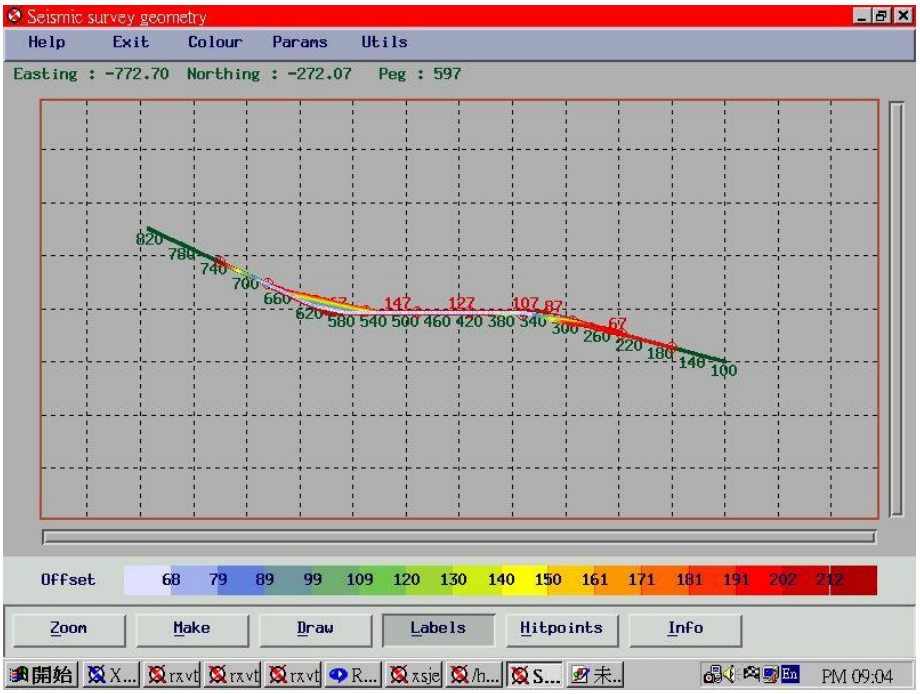


圖 3.5 蜿蜒測線處理

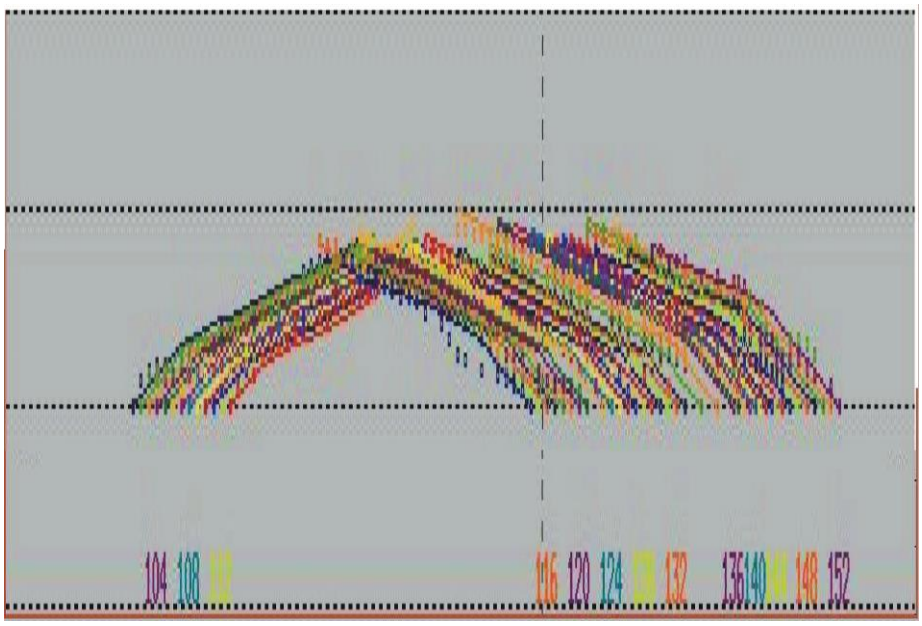


圖 3.6 所有測點記錄之初達波走時資料

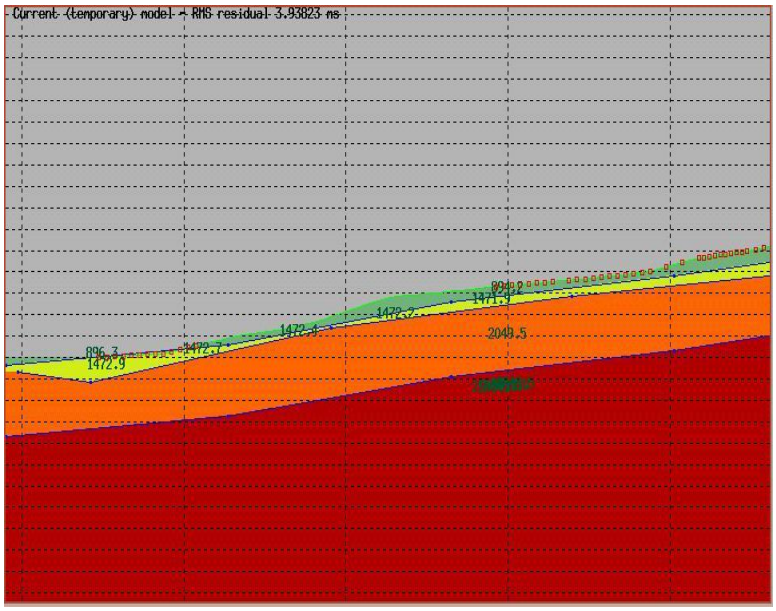


圖 3.7 上圖中所有走時資料經逆推後得到的地下速度構造

3-2 測線配置與震測結果

本計畫之淺層震測研究已依進度完成，共計完成四條測線總長 4095 公尺。這四條測線由北至南分別為：大安溪南岸一條（測線編號：07P-TCF-TC-1）、大甲溪南岸一條（編號：07P-CSF-CS-1）以及大肚溪北岸兩條（編號：07P-CSF-TD-1 與 07P-CSF-TD-2）。大安溪測線（07P-TCF-TC-1）為針對大甲斷層所配置之測線，而大甲溪測線（07P-CSF-CS-1）以及大肚溪北岸之兩條測線（07P-CSF-TD-1 與 07P-CSF-TD-2）則為針對清水斷層所配置之測線。這四條測線完成的長度分別為：1035 公尺、1385 公尺、605 公尺以及 1095 公尺，測線總長度為 4095 公尺。

3-2-1 大甲斷層大甲測線（測線編號：07P-TCF-TC-1）

測線 07P-TCF-TC-1 位於鐵砧山北邊的大安溪南岸，測線全長 1035 公尺。本次炸測之設計，係配合中油公司及地質調查所已有的震測資料，以淺部地層為目標，將測線往西側延伸直至地層無變動區域，以探測大甲斷層是否穿透至地表。之前震測剖面的設計皆由東往西進行，而本次炸測的設計則由西往東進行，以獲得相輔助的資料。圖 3.8 為測線 07P-TCF-TC-1 於 1/25,000 地形圖中的配置位置，測線位於鐵砧山北側涵蓋大甲斷層可能出露至地表的範圍，呈東南-西北走向擺設。本測線沿線之地形平坦而些微西傾，測線東南端與西北端點間之高差約 5 公尺。圖 3.9 為測線 07P-TCF-TC-1 由西北往東南望之地表現況，而圖 3.10 則為該測線往西北望之地表現況。

測線 07P-TCF-TC-1 於施測時撞擊式震源（JMS-MINI65）由西北往東南方向推進，延測線 48 個受波器組之間距為 5 公尺，而每組受波器皆使用 2 個 40 Hz 受波器與 1 個 14 Hz 受波器並聯排列，每個受波器之間距為 1 公尺。測線之最小近支距為 5 公尺，而炸點間距亦為 5 公尺，各炸點平均撞擊約 40 次，重合剖面之平均重合數為 24 重合。表 1 則為測線 07P-TCF-TC-1 所使用之震測參數。

圖 3.11 為測線 07P-TCF-TC-1 沿線之 3 個代表性之野外測點紀錄，圖中遠支距紀錄中由 100 到 300 毫秒間可以清楚看出明顯的反射信號，而紀錄中左下方則為強烈的地滾波雜訊。這些地滾波在適當的濾波後可以被過濾，圖 3.12 即為經過濾後的測點紀錄，由於低頻的地滾波已大致被濾除，反射信號已可穿透至 450 毫秒的深度。

雖然本測線之地表面高低起伏不大，但由原始測點資料的震波走時異常估計，近地表處的風化層效應造成震波訊號到達地面時間不一致，本測線於進行

資料處理時風化層效應亦為重要的修正項目。

圖 3.13 為測線 07P-TCF-TC-1 之震測資料經處理後之 24 重合同中點重合剖面。圖中可看以出淺部的地層連續性極佳，並且地層以低角度往西傾斜。圖 2.1.6 中重合剖面所使用的重合速度分佈如 2.1.7 圖所示，其中重合速度均勻的由淺往深增加，於近地表處約 1300 公尺/秒而至 0.5 秒處約 2500 公/秒，橫向的變化不大，與地下構造形貌一致。圖 2.1.8 為測線 07P-TCF-TC-1 重合剖面之解釋。剖面中地層連續地由西北往東南逐漸上升，並無斷層通過的現象出現，而剖面東南端約 80 公尺的範圍雖因地層陡峭，而造成震測影像成像不佳，但可作為為斷層前端於地下較深處存在位置的指標。

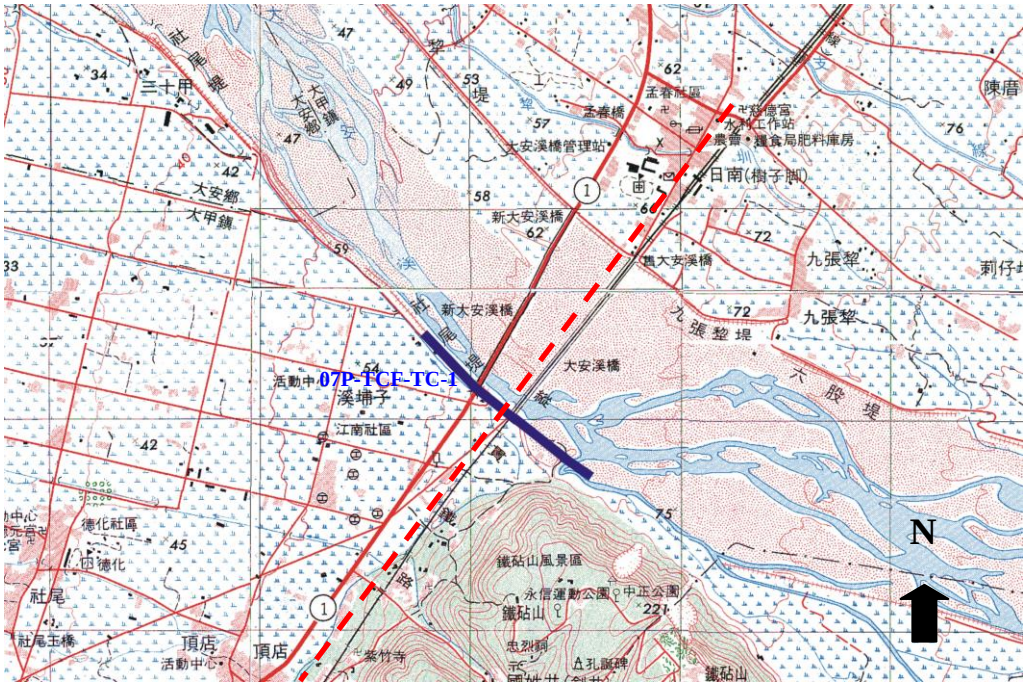


圖 3.8 測線 07P-TCF-TC-1 於 1/25,000 地形圖中配置位置（藍色實線），而紅色虛線為斷層可能通過位置。



圖 3.9 測線 07P-TCF-TC-1 東向之地表現況



圖 3.10 測線 07P-TCF-TC-1 西向之地表現況。

表 1 測線 07P-TCF-TC-1 所使用之震測參數

Geophone Group Interval	5 m
Geophone Spacing	1 m
Shot Interval	5 m
Minimum Near Offset	5 m
Type of Seismic Source	JMS-MINI 65
Geophone Combination	14 Hz, 40 Hz, 40 Hz
Recording Length	1.024 sec
Sampling Interval	0.5 msec
Acquisition Filters	60 Hz Notch, Low cut 25 Hz
Vertical Stack Numbers	30 ~ 40 times
Average CDP Fold	24 folds
Survey Profile Length	1035 m
Survey Progress Direction	NW to SE
Shot Type	Push

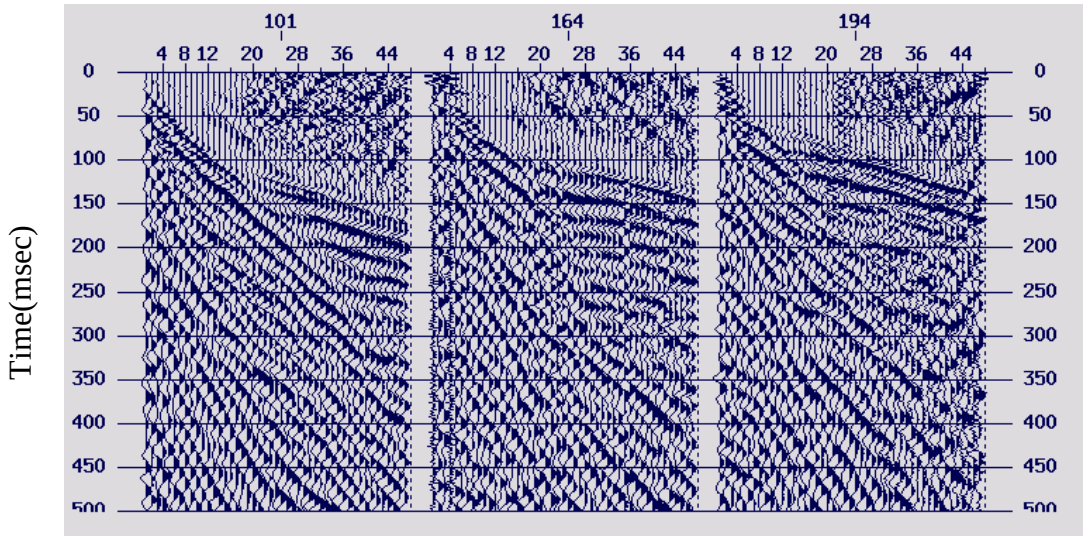


圖 3.11 測線 07P-TCF-TC-1 沿線之 3 個代表性測點紀錄圖，圖中遠支距紀錄於 100 到 350 毫秒間可以看出明顯的反射信號，而紀錄中左下方為強烈的地滾波。

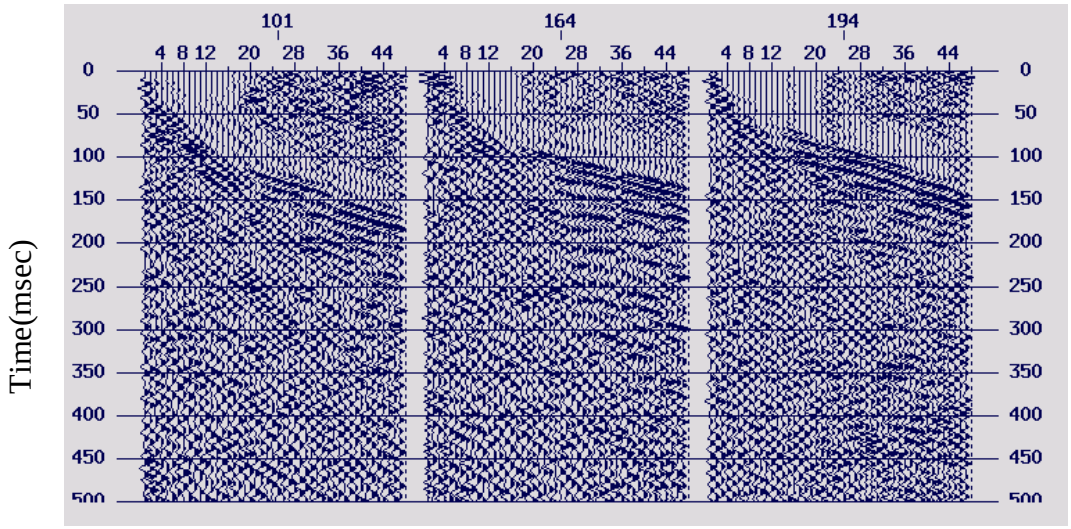


圖 3.12 測線 07P-TCF-TC-1 的測點記錄經過濾後的結果，其中低頻的地滾波已大致被濾除，信號至 450 毫秒仍清楚。

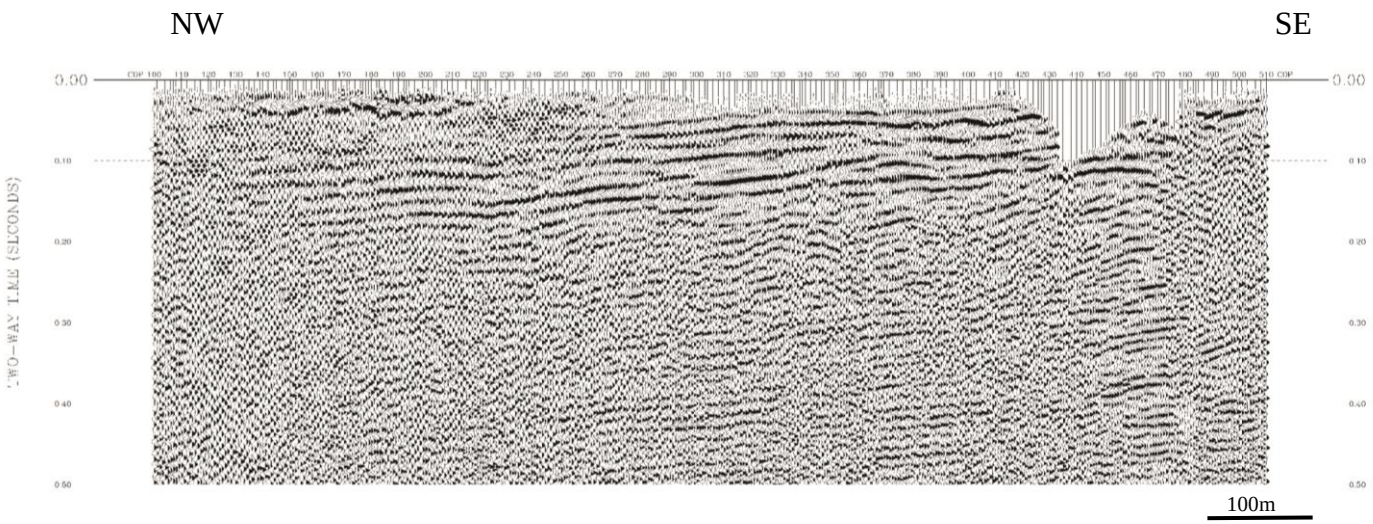


圖 3.13 測線 07P-TCF-TC-1 之 24 重合同中點重合剖面。圖中淺部的地層連續性極佳，並且地層以低角度往西北傾斜。

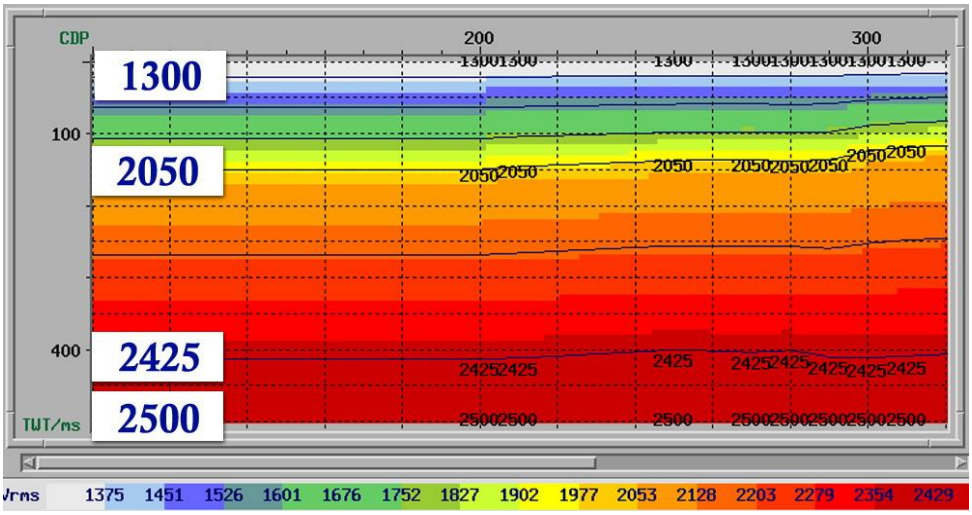


圖 3.14 測線 07P-TCF-TC-1 重合剖面所使用的重合速度分佈。重合速度均勻的由淺往深增加，橫向的變化不大。

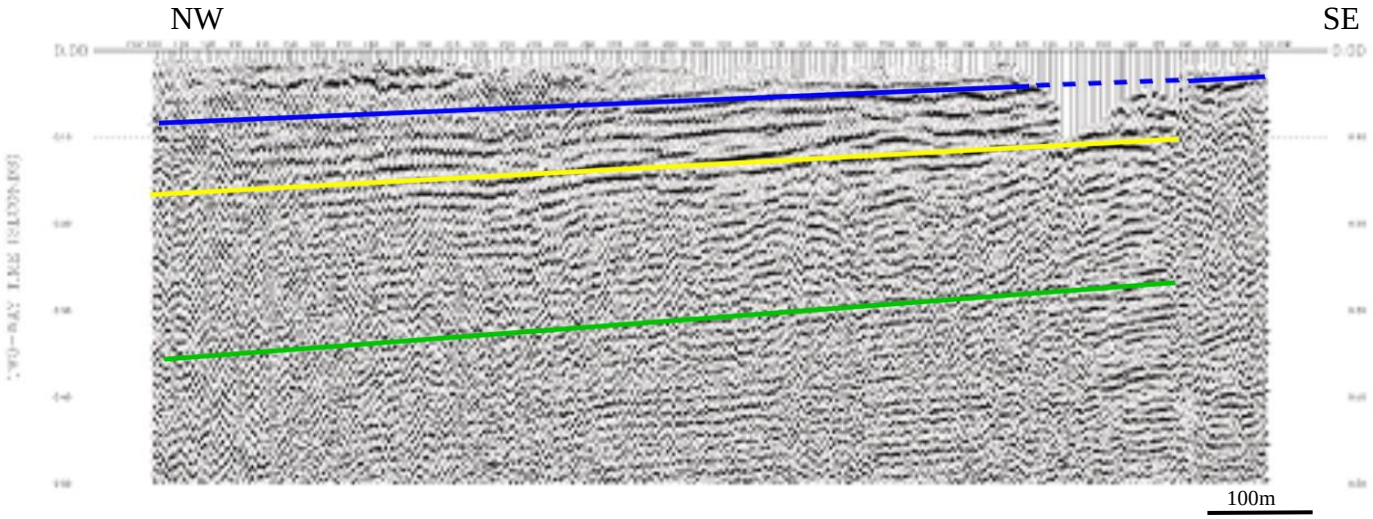


圖 3.15 測線 07P-TCF-TC-1 重合剖面之解釋。剖面中地層連續地由西北往東南逐漸上升，並無斷層通過的現象出現，而剖面東南端約 80 公尺的範圍雖因地層陡峭，而造成震測影像成像不佳，但可作為為斷層前端於地下較深處存在位置的指標

3-2-2 清水斷層北段的清水測線（測線編號：07P-CSF-CS-1）

測線 07P-CSF-CS-1 為針對大甲斷層於斷層北段清水一帶所配置的測線，目標為探測清水斷層於北斷是否有出露至地表。該測線位於大甲溪南岸河堤旁道路，測線全長 1385 公尺。圖 3.16 為測線 07P-CSF-CS-1 於 1/25,000 地形圖中之配置位置，本測線大致呈東西走向，而於東南端延馬路稍微偏往東南方。本測線沿線地形平坦，並往東微幅升高，測線東側與西側端點高之差約 12 公尺，圖 3.17 為測線 07P-CSF-CS-1 由東往西望之地表現況，而圖 3.18 則為本測線往東望之地表現況。

本測線於施測時震源（JMS-MINI65）由西向東方向以拉的方式前進，震測信號利用 48 波道之震測儀接收。施測時受波器組之間距採 5 公尺，最小近支距 5 公尺，炸點間距 5 公尺，各炸點撞擊平均約 40 次，而每組接收站亦使用 2 個 40 Hz 受波器與 1 個 14 Hz 受波器並聯排列，每個受波器間距則為 1 公尺，重合剖面之平均重合數為 24 重合。測線 07P-CSF-CS-1 所使用之震測參數則列於表 2 中。

圖 3.19 為本測線沿線之 3 個代表性測點紀錄圖，圖中反射信號極佳，遠支距紀錄至 400 毫仍可看出明顯的反射信號，紀錄中右下方則為強烈的地滾波。記錄中的地滾波經適當的濾波後可以得到 500 毫秒深的反射信號，圖 3.20 即為經過濾後的測點紀錄，其中低頻的地滾波已大致被濾除。

圖 3.21 為測線 07P-CSF-CS-1 經過處理後之同中點重合剖面，平均重合數為 24。重合剖面中 500 毫秒以上影像清晰，地層連續地由東往西彎曲下降，測線東邊地層的傾角較小，而測線西邊地層的傾角則較大。圖 3.22 為測線 07P-CSF-CS-1 之重合速度分佈，地層速度由 1300 公尺/秒往下增加至 2500 公尺秒，橫向變化不大。圖 3.23 則為測線 07P-CSF-CS-1 之剖面解釋，圖中並無斷層穿越之現象，亦即斷層並未切穿至地表，而地底下斷層的前緣仍可能位於測線的西邊。

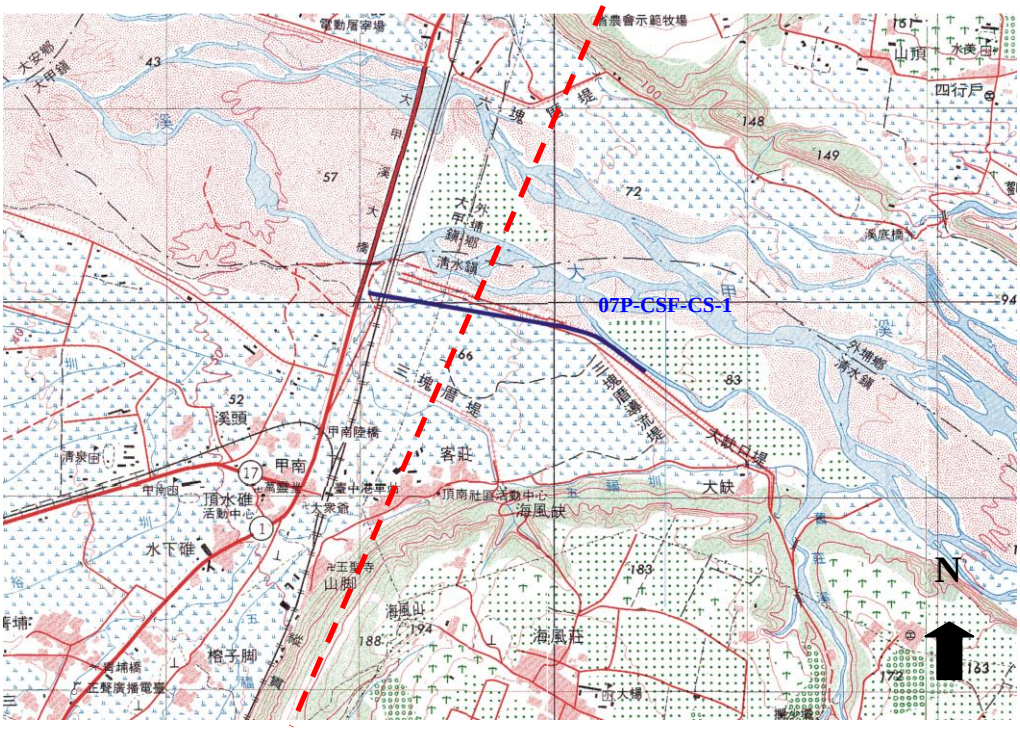


圖 3.16 測線 07P-CSF-CS-1 於 1/25,000 地形圖中配置位置（藍色實線），紅色虛線為清水斷層可能通過之地表位置。



圖 3.17 測線 07P-CSF-CS-1 由西往東之地表現況



圖 3.18 測線 07P-CSF-CS-1 由東往西之地表現況

表 2 測線 07P-CSF-CS-1 所使用之震測參數

Geophone Group Interval	5 m
Geophone Spacing	1 m
Shot Interval	5 m
Minimum Near Offset	5 m
Type of Seismic Source	JMS-MINI 65
Geophone Combination	14 Hz, 40 Hz, 40 Hz
Recording Length	1.024 sec
Sampling Interval	0.5 msec
Acquisition Filters	60 Hz Notch, Low cut 25 Hz
Vertical Stack numbers	30 ~ 40 times
Average CDP Fold	24 folds
Profile Length	1385 m
Survey Progress Direction	West to East
Shot Type	Pull

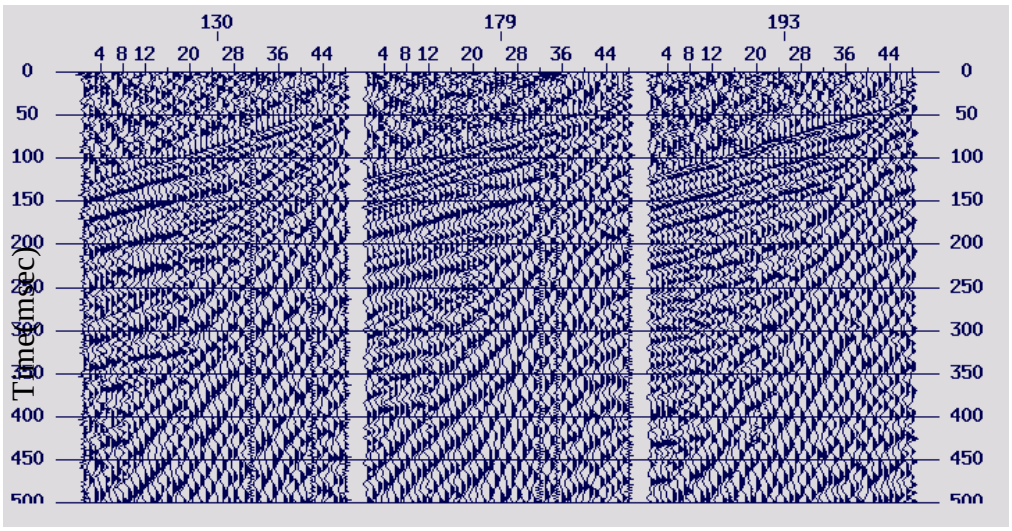


圖 3.19 測線 07P-CSF-CS-1 沿線之 3 個代表性測點紀錄圖，圖中遠支距紀錄到 450 毫秒間仍可以清楚看出反射信號，而紀錄中右下方則為地滾波。

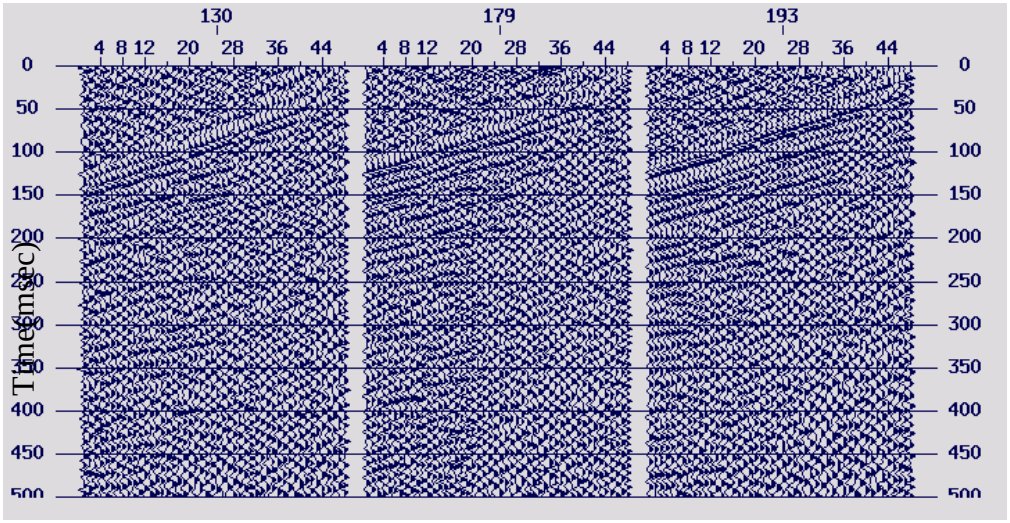


圖 3.20 測線 07P-CSF-CS-1 之測點記錄經過濾後之結果，其中低頻的地滾波已大致被濾除，反射信號身至 500 毫秒仍可清楚見到。

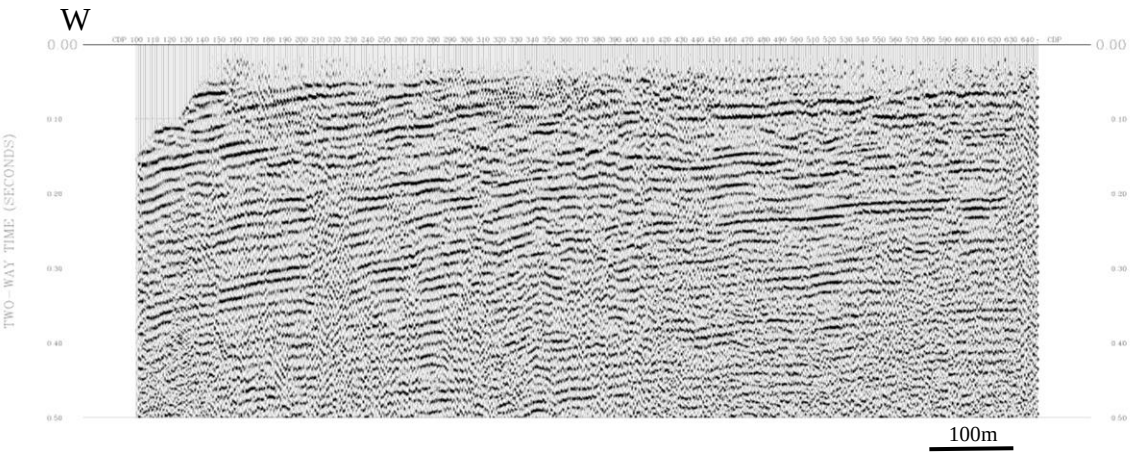


圖 3.21 測線 07P-CSF-CS-1 經處理後之同中點重合剖面。重合剖面中 500 毫秒以上影像清晰，地層連續地由東往西彎曲下降，測線東邊地層的傾角較小，而測線西邊地層的傾角則較大。

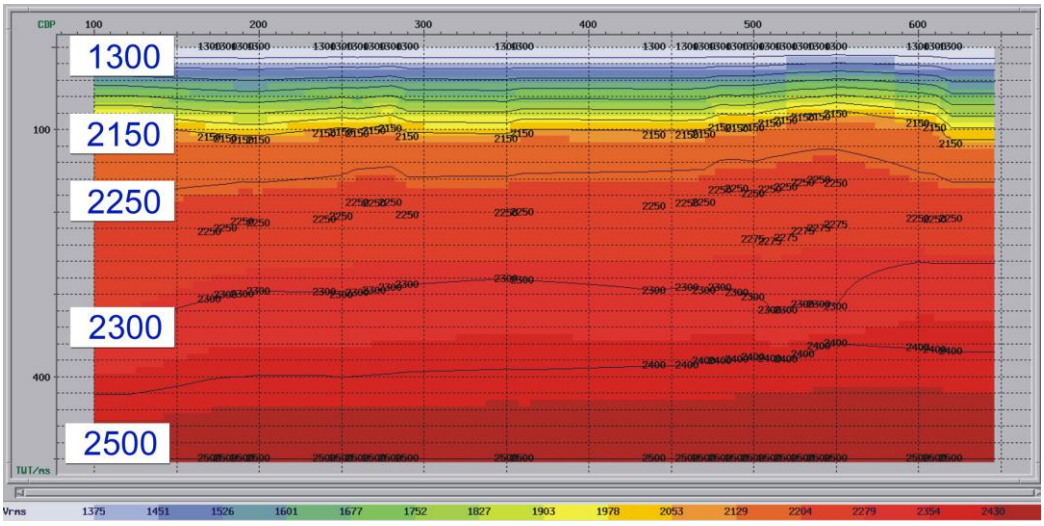


圖 3.22 測線 07P-CSF-CS-1 之重合速度分佈，地層速度由 1300 公尺/秒往下增加至 2500 公尺秒，橫向變化不大。

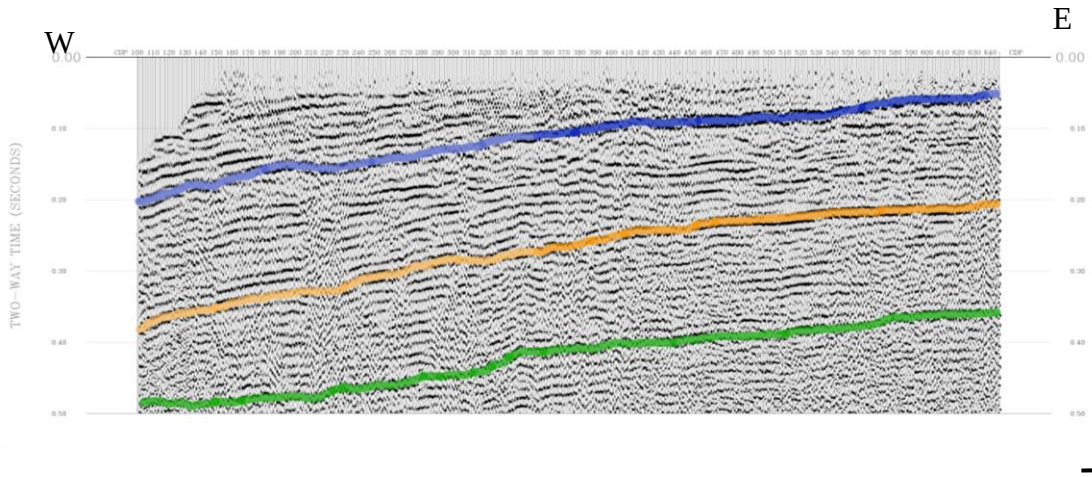


圖 3.23 測線 07P-CSF-CS-1 之剖面解釋，剖面中並無斷層穿越之現象。

100m

3-2-3 清水斷層大肚測線一（測線編號：07P-CSF-TD-1）

測線 07P-CSF-TD-1 為針對清水斷層於斷層南段大肚一帶所布置的第一條測線。本測線位於大肚溪北岸，剖面全長 605 公尺。圖 3.24 為測線 07P-CSF-TD-1 於 1/25,000 地形圖中之配置位置，測線大致呈西北-東南走向，沿線地形平坦，東南側與西北側之端點高差約 6 公尺。本測線中間跨過一南北走向，約 2 公尺高之地形崖，該崖面之前被認為可能為斷層崖，本測線的目標即為探測斷層是否穿越當地。圖 3.25 為測線 07P-CSF-TD-1 由西北往東南望之地表現況，相片中橫排的樹木即為該崖面之位置，而圖 3.26 則為本測線由東南往西北望之地表現況。

測線 07P-CSF-TD-1 於施測時 JMS-MINI65 震源由西北往東南方以拉的方式前進，利用 48 波道之震測儀接收震測信號。本測線受波器組之間距為 5 公尺，最小近支距 5 公尺，炸點間距 5 公尺，各炸點撞擊平均約 45 次，而每組受波器皆使用 2 個 40 Hz 受波器與 1 個 14 Hz 受波器並聯排列，受波器間距為 1 公尺，平均重合數為 24。表 3 為測線 07P-CSF-TD-1 於施測時所使用之震測參數。

圖 3.27 為測線 07P-CSF-TD-1 沿線之 3 個代表性測點紀錄，本測線反射信號良好，圖中遠支距記錄深至 350 毫秒內的反射信號仍可清楚看出，紀錄中右下方為地滾波。地滾波經濾除後 350 毫秒以下的信號於單一測點記錄中雖還不十分顯著，但處理後，經提高信噪比之重合剖面，深至 500 毫秒之反射信號仍可看見。圖 3.28 即為經過濾後的測點紀錄，其中低頻的地滾波已大致被濾除。

經資料處理後，大肚測線 07P-CSF-TD-1 之同中點重合剖面見於圖 3.29，剖面中可以看出地層連續性良好，並以低角度往西北方傾斜，無斷層穿越之現象。圖 3.30 為剖面 07P-CSF-TD-1 之重合速度分佈，速度構造變化主要以縱向為主，由淺部的 1300 公尺/秒至 500 毫秒之 2300 公尺/秒。圖 3.31 為剖面 07P-CSF-TD-1 之解釋，其中地層往西傾斜，無斷層通過，亦即測線中地表之地形崖並非斷層所造成。

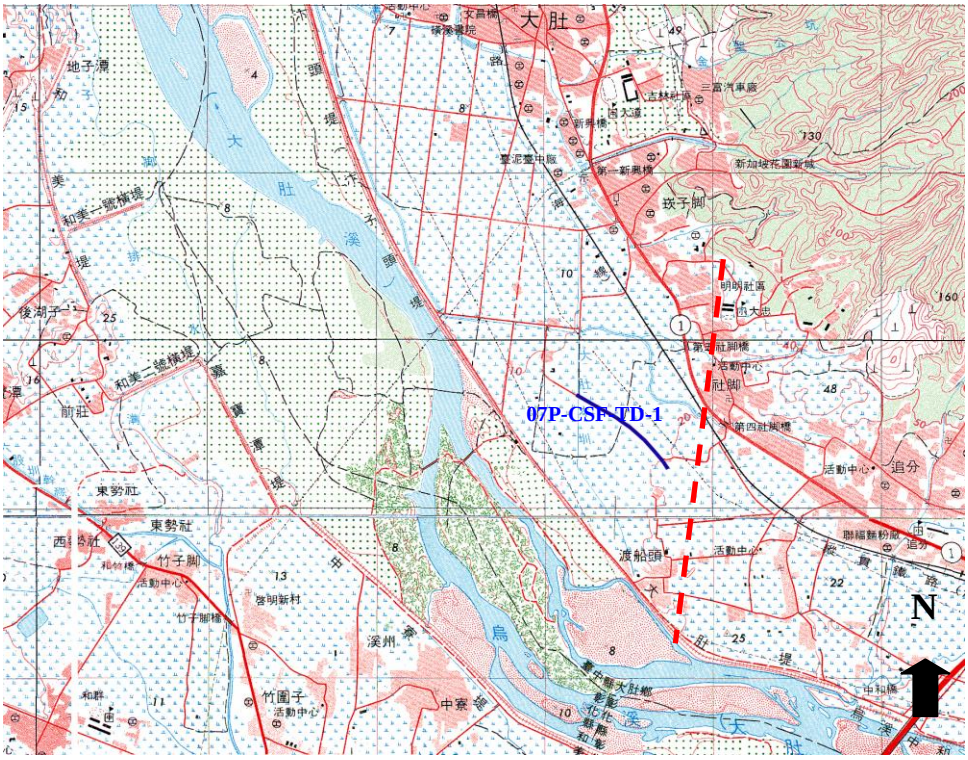


圖 3.24 測線 07P-CSF-TD-1 於 1/25,000 地形圖中之配置位置



圖 3.25 測線 07P-CSF-TD-1 往東南向之地表現況



圖 3.26 測線 07P-CSF-TD-1 往西北向之地表現況

表 3 測線 07P-CSF-TD-1 所使用之震測參數

Geophone Group Interval	5 m
Geophone Spacing	1 m
Shot Interval	5 m
Minimum Near Offset	5 m
Type of Seismic Source	JMS-MINI 65
Geophone Combination	14 Hz, 40 Hz, 40 Hz
Recording Length	1.024 sec
Sampling Interval	0.5 msec
Acquisition Filters	60 Hz Notch, Low cut 25 Hz
Vertical Stack Numbers	40 ~ 45 times
Average CDP Fold	24 folds
Profile Length	605 m
Survey Progress Direction	NW to SE
Shot Type	Pull

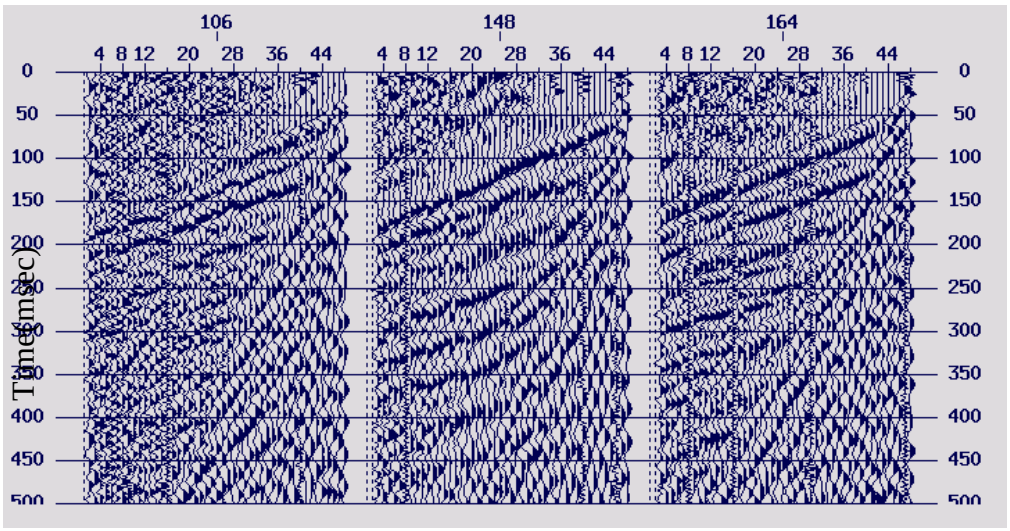


圖 3.27 測線 07P-CSF-TD-1 沿線之 3 個代表性測點紀錄，圖中遠支距紀錄到 350 毫秒深處仍可看出明顯的反射信號。

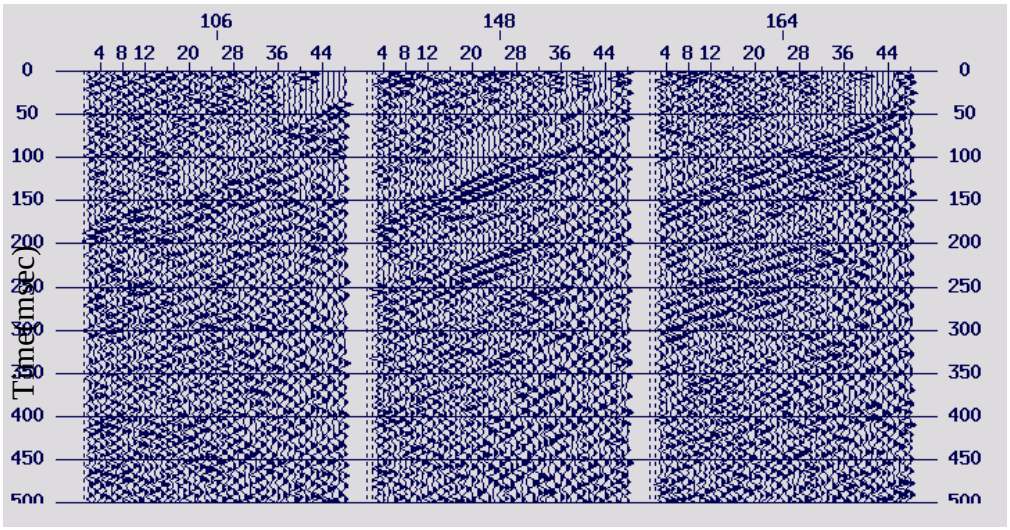


圖 3.28 測線 07P-CSF-TD-1 之測點記錄經濾後的結果，其中低頻雜訊已大致被濾除，350 毫秒以下之信號雖仍不十分顯著，但重合後的剖面可見到深至 500 毫秒之信號。

NW SE

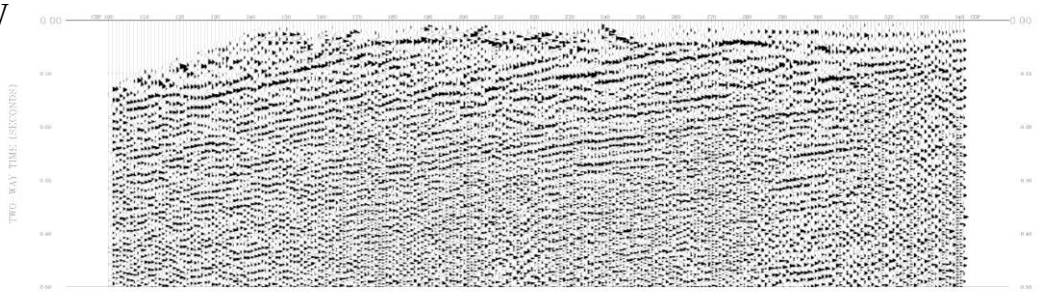


圖 3.29 測線 07P-CSF-TD-1 之同中點重合剖面。剖面中可以看出地層連續性良好，並以低角度往西北方傾斜，無斷層穿越之現象。 100m

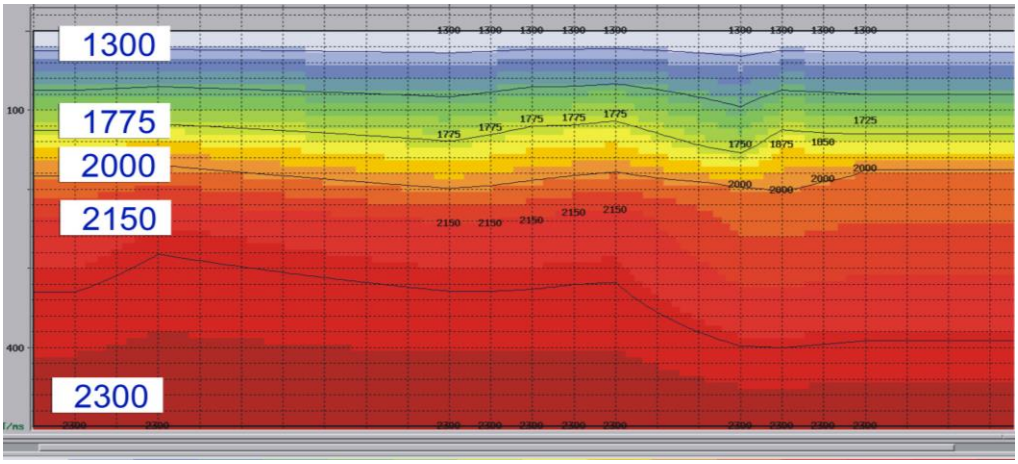


圖 3.30 剖面 07P-CSF-TD-1 之重合速度分佈，速度構造變化主要以縱向為主，由淺部的 1300 公尺/秒至 500 毫秒之 2300 公尺/秒。

NW SE

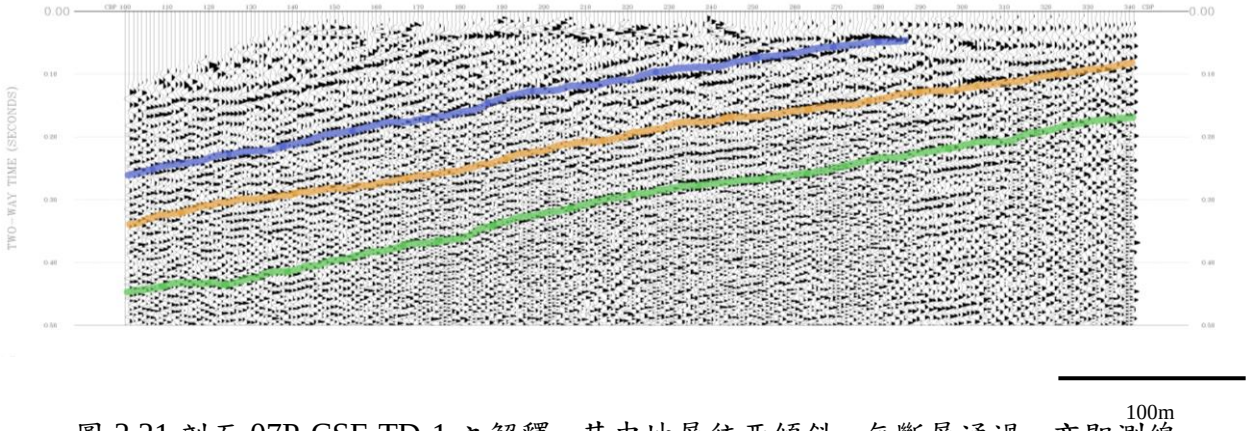


圖 3.31 剖面 07P-CSF-TD-1 之解釋，其中地層往西傾斜，無斷層通過，亦即測線中地表之地形崖並非斷層所造成。

3-2-4 清水斷層大肚測線二（測線編號：07P-CSF-TD-2）

測線 07P-CSF-TD-2 為針對清水斷層南段於大肚一帶所布置的第二條測線。由於大肚測線一（07P-CSF-TD-1）並未跨越斷層，該剖面中地層仍往西傾斜，為探測清水斷層可能出現的位置，故於測線 07P-CSF-TD-1 西側再布置本測線。本測線施測的目標為探測地層由傾斜轉為平坦之轉折點，測線位置位於大肚溪北岸，測線 07P-CSF-TD-1 之西北側，測線全長 1095 公尺。圖 3.32 為測線 07P-CSF-TD-2 於 1/25,000 地形圖中之配置位置，及其與測線 07P-CSF-TD-1 之相對關係。本測線大致呈東西走向，測線沿線地形平坦，東側與西側之端點高差僅約 2 公尺。圖 3.33 為測線 07P-CSF-TD-2 由西往東望之地表現況，圖 3.34 則為本測線由東往西望之地表現況。

測線 07P-CSF-TD-2 於施測時仍採用 JMS-MINI65 撞擊式震源，施測時於測線西段採用由西向東以推的方式前進，而於測線東段則改採由東往西以推的方式前進，震測信號皆利用 48 波道之震測儀接收。本測線延線受波器組之間距為 5 公尺，最小近支距 5 公尺，而炸點間距 10 公尺，各炸點撞擊平均約 45 至 50 次，而每組受波器皆使用 3 個 40 Hz 受波器並聯排列，每個受波器間距為 1 公尺，重合剖面之平均重合數約為 15 重合。表 4 則為測線 07P-CSF-TD-2 所使用之震測參數。

圖 3.35 為測線 07P-CSF-TD-2 沿線之 3 個代表性測點紀錄圖，圖中反射信號極佳，遠支距紀錄在 500 毫秒的時間範圍內都可看見清楚的反射信號。圖 3.36 則為經過濾後的測點紀錄，其中反射信號更清楚，而原本便已較其他測線為弱的地滾波則被濾除的更乾淨。

大肚二測線（07P-CSF-TD-2）經過處理後的同中點重合剖面見於圖 3.37，剖面中地層平坦，往東很緩慢的升高，但在 0.2 秒以上有幾處小型的落差現象出現。圖 2.4.7 為本剖面之重合速度分佈，速度變化於橫向上並不顯著，主要仍以縱向為主。圖 2.4.8 為本測線之剖面解釋，地層平坦並未有主斷層切過地表的跡象，應屬於盲斷層下盤的位置，而 0.2 秒以上的幾處小型逆衝斷層則可能為鬆軟地層受到東側小量的擠壓而造成中局部現象，斷層在地底下的前緣位置，較可能位於本測線的東端不遠處。

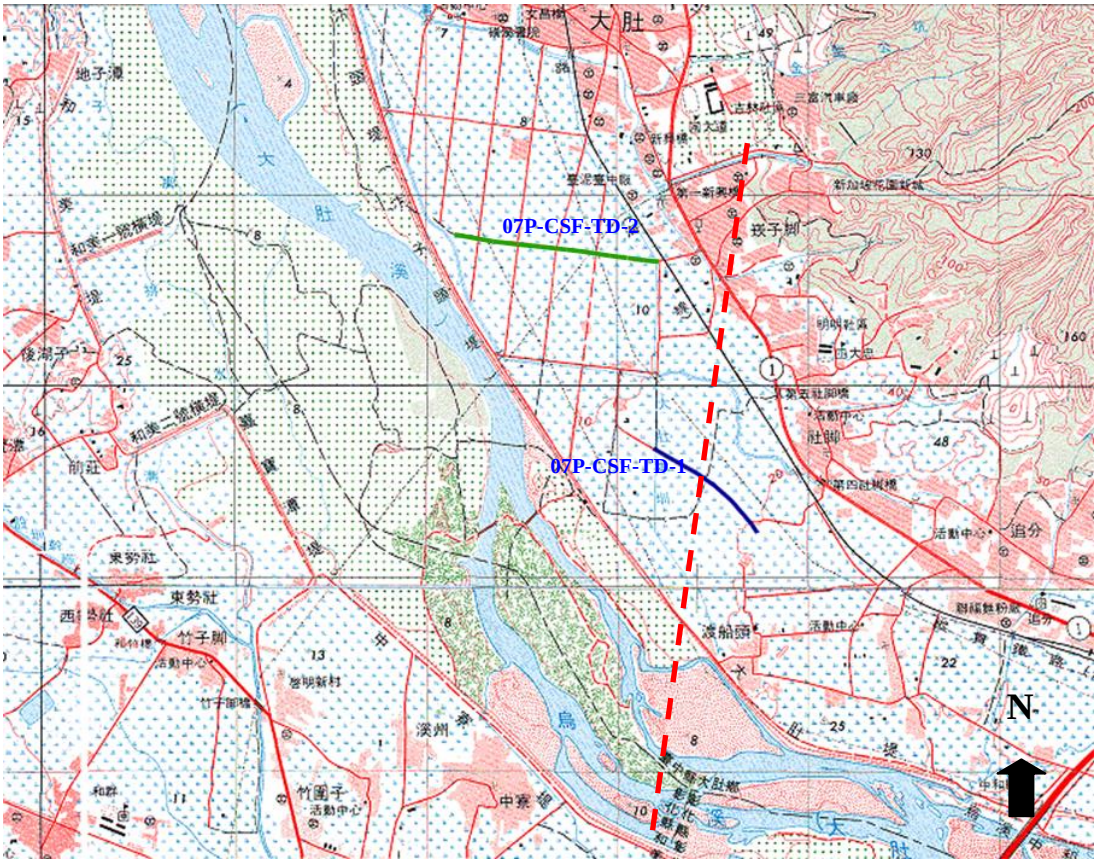


圖 3.32 測線 07P-CSF-TD-2 於 1/25,000 地形圖中之配置位置，及其與測線 07P-CSF-TD-1 之相對關係。



圖 3.33 測線 07P-CSF-TD-2 由西往東望之地表現況



圖 3.34 測線 07P-CSF-TD-由東往西望之地表現況

表 4 為測線 07P-CSF-TD-2 所使用之震測參數

Geophone Group Interval	5 m
Geophone Spacing	1 m
Shot Interval	10 m
Minimum Near Offset	5 m
Type of Seismic Source	JMS-MINI 65
Geophone Combination	40 Hz, 40 Hz, 40 Hz
Recording Length	1.024 sec
Sampling Interval	0.5 msec
Acquisition Filters	60 Hz, Low cut 25 Hz
Vertical Stack Numbers	45 ~ 50 times
Average CDP Fold	15 folds
Survey Profile Length	1095 m
Survey Progress Direction	West to East on the west and East to West on the east
Shot Type	Push

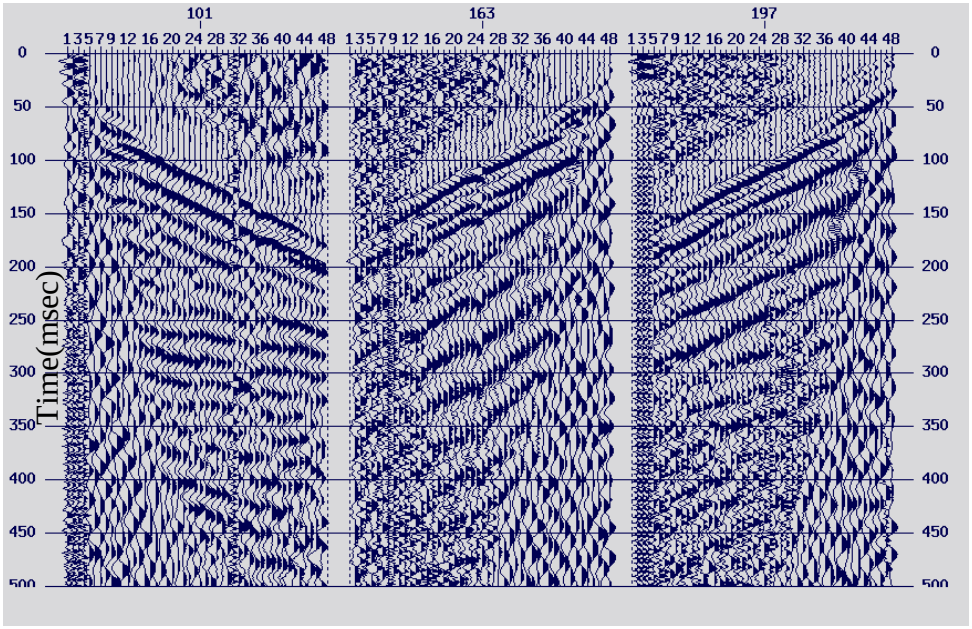


圖 3.35 測線 07P-CSF-TD-2 沿線之 3 個代表性測點紀錄，圖中反射信號極佳，遠支距紀錄在 500 毫秒的時間範圍內都可看見清楚的反射信號。

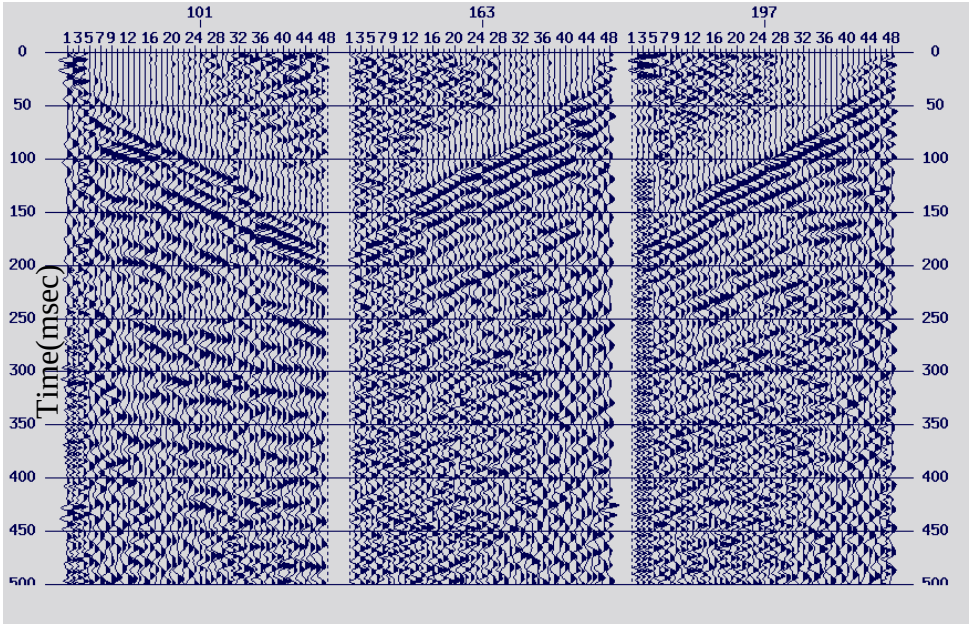


圖 3.36 經過濾後的測點紀錄

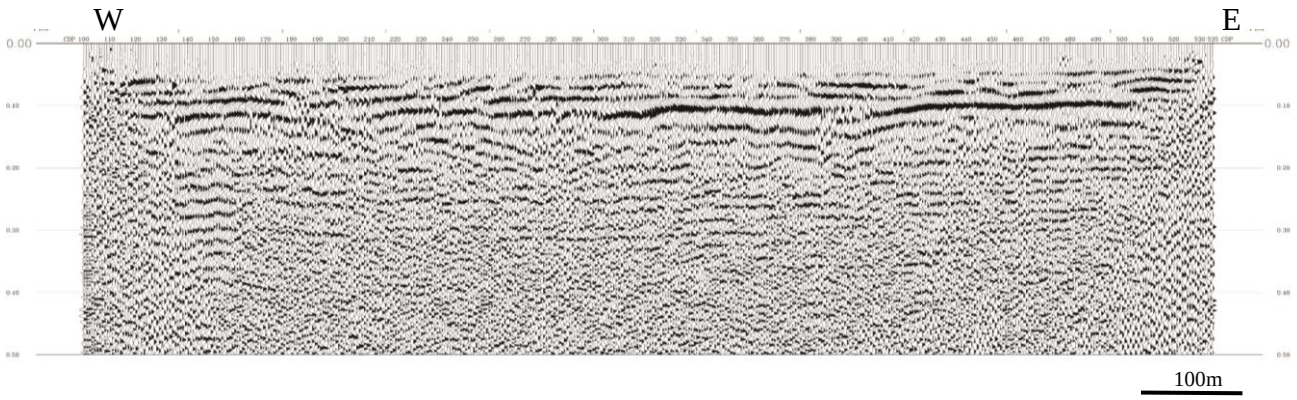


圖 3.37 大肚二測線（07P-CSF-TD-2）經過處理後的同中點重合剖面。剖面右側 1/3 的剖面其地層往東緩慢的升高，而西側 2/3 的地層則角度較為平坦，但在 0.2 秒以上有幾處小型的逆衝的斷層現象出現。

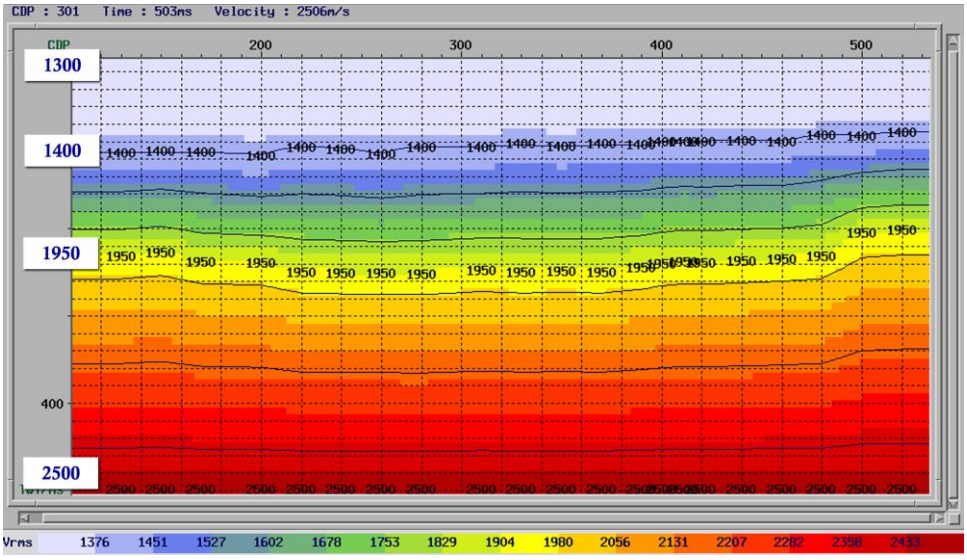


圖 3.38 測線 07P-CSF-TD-2 之重合速度分佈，速度變化於橫向上並不顯著，主要仍以縱向為主。

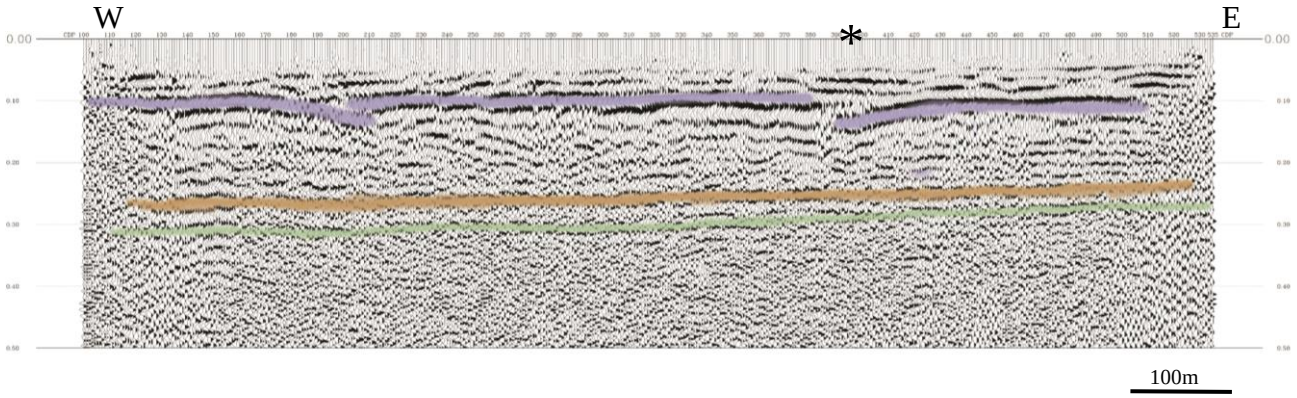


圖 3.39 測線 07P-CSF-TD-2 之剖面解釋，地層平坦，並未有主斷層切過地表的跡象，地面位置應屬於盲斷層的下盤處，而 0.2 秒以上的幾處小型落差可能為鬆軟地層受擠壓而造成的局部現象或河道切割，斷層在地底下的前緣位置，較可能位於本測線的東端不遠處。

3-3 結論

本計畫之淺層震測研究依進度完成四條總長 4095 公尺之剖面。這四條測線由北至南分別位於大安溪南岸一條（07P-TCF-TC-1，長 1035 公尺）、大甲溪南岸一條（07P-CSF-CS-1，長 1385 公尺）以及大肚溪北岸兩條（07P-CSF-TD-1，長 605 公尺與 07P-CSF-TD-2，長 1095 公尺）。

大安溪南岸測線（07P-TCF-TC-1）位於鐵砧山北邊，係配合中油公司及地質調查所已有的震測資料而設計，以淺部地層為目標，將測線往西側延伸直至地層無變動區域，以探測大甲斷層是否穿透至地表。本測線的野外記錄品質良好，遠支距紀錄中即可看出明顯的反射信號，經資料處理後重合剖面品質極佳，剖面中可看出淺部連續性極佳地層，並且以低角度往西傾斜地層，並無斷層通過的現象出現，而剖面東南端約 80 公尺的範圍雖因地層陡峭，而造成震測影像成像不佳，但可作為為斷層前端於地下較深處存在位置的指標。。

測線 07P-CSF-CS-1 為針對清水斷層於斷層北段清水一帶所配置的測線，目標為探測清水斷層於北斷是否有出露至地表。本測線沿線之測點紀錄反射信號品質極佳，遠支距紀錄至 400 毫仍可看出明顯的反射信號，經適當的濾波後可以得到 500 毫秒深的反射信號。經過處理後之同中點重合剖面中 500 毫秒以上影像清晰，地層連續地由東往西彎曲下降，測線東邊地層的傾角較小，而測線西邊地層的傾角則較大，並無斷層穿越之現象，亦即斷層並未切穿至地表。

測線 07P-CSF-TD-1 為針對清水斷層於斷層南段大肚一帶所布置的第一條測線，位於大肚溪北岸。本測線中間跨過一南北走向，約 2 公尺高之地形崖，該崖面之前被認為可能為斷層崖，本測線的目標即為探測斷層是否穿越當地。本測線反射信號良好，經濾除雜訊後雖然後 350 毫秒以下的信號於單一測點記錄中還不十分顯著，但於重合剖面中，深至 500 毫秒之反射信號仍可看見。經資料處理後之同中點重合剖面中可以看出地層連續性良好，並以低角度往西北方傾斜，無斷層穿越之現象，地底下斷層的前緣仍可能位於測線的西邊。

由於大肚測線一（07P-CSF-TD-1）僅見往西傾斜之地層，而未跨越斷層，為探測清水斷層可能出現的位置，故於測線 07P-CSF-TD-1 西側再布置測線

07P-CSF-TD-2，目標為探測地層由傾斜轉為平坦之轉折點。測線 07P-CSF-TD-2 位於測線 07P-CSF-TD-1 之西北側，施測時於測線西段採用由西向東以推的方式前進，而於測線東段則改採由東往西以推的方式前進。測線沿線之測點紀錄反射信號極佳，遠支距紀錄在 500 毫秒的時間範圍內都可看見清楚的反射信號。測線 07P-CSF-TD-2 之剖面解釋，地層平坦，並未有主斷層切過地表的跡象，地面位置應屬於盲斷層的下盤處，而 0.2 秒以上的幾處小型落差可能為鬆軟地層受擠壓而造成的局部現象，斷層在地底下的前緣位置，較可能位於本測線的東端不遠處。綜合剖面 07P-CSF-TD-1 與 07P-CSF-TD-2 的震測結果解釋，斷層經過的位置可能位於兩測線之間。

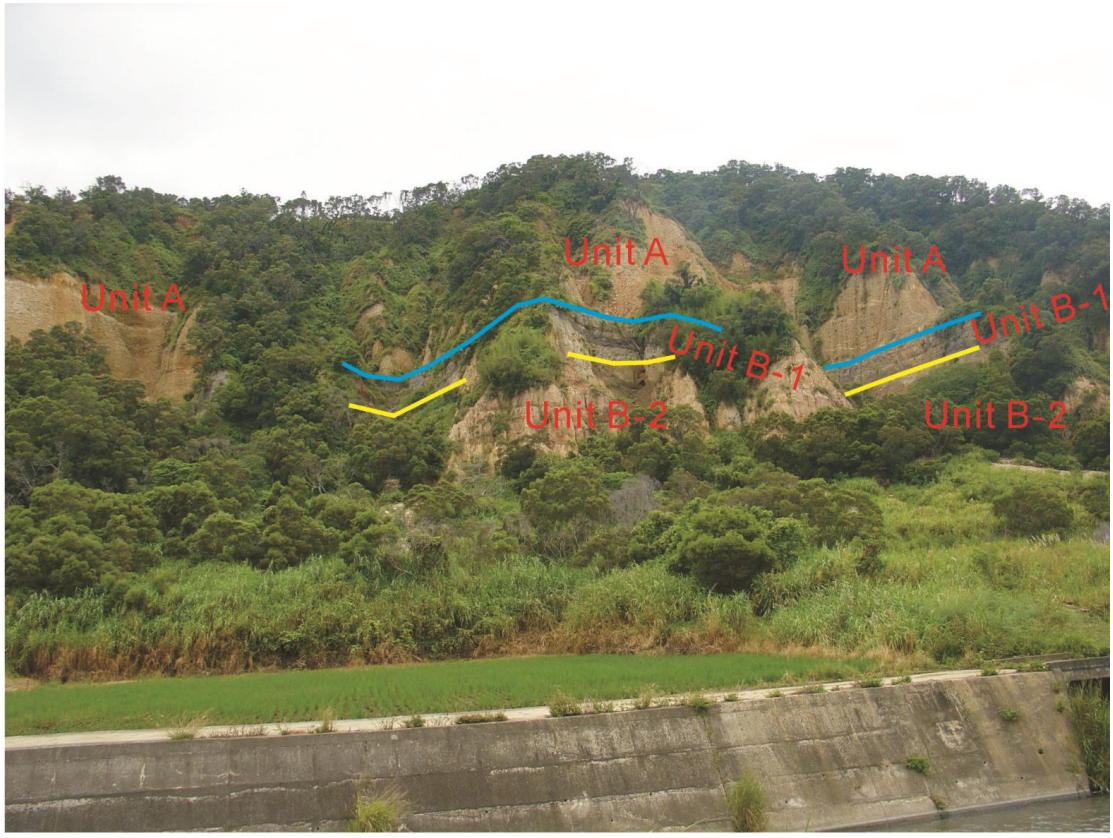
四、地表及井下地質調查

4-1 大安溪剖面與大甲一號及二號井(地調所)

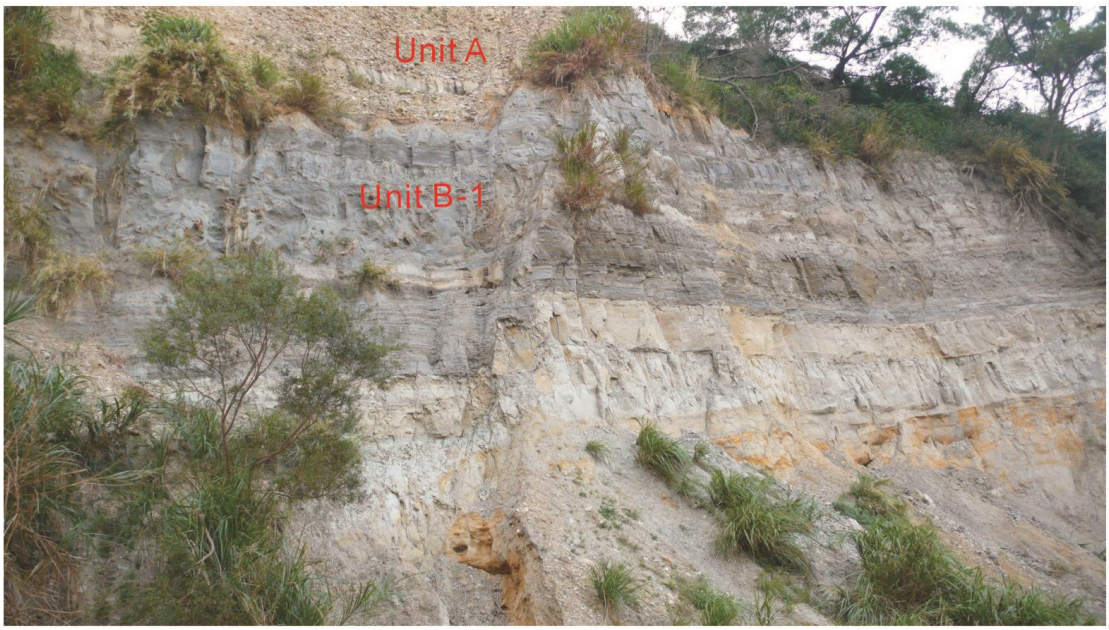
在大安溪畔及大甲一號及二號井中有較完整的上盤層序出露，在大安溪河畔，可將地層分為兩個層序，上部層序以礫石為主間夾砂層，下部層序以頁岩砂岩互層。在 Unit A 與 Unit B 的交界為厚約 14 公尺的泥質岩層，往下為砂岩層（圖 4.1）。這個層序在大甲一號及二號井及野外露頭中皆發現相同現象（圖 4.2 及 4.3），顯示此在三個地方為相同層位。

在大甲二號井中 0~68 公尺為 Unit A 以膠結不佳的變質礫岩為主間夾砂泥層，地層傾角約 60 度，68-225 公尺為 Unit B，Unit B 可分為 B-1 與 B-2，B1 主要為灰黑色泥質砂或砂質泥互層，並在 92~94 公尺之間發育平行層面的剪切帶，岩層傾角約 45~60 度。B-2 以黃棕色極厚層砂與厚層砂質泥互層為主，岩層傾角約 20~30 度，砂質泥中常有層間滑動斷層。225 公尺之後為 Unit C，Unit C 下主要為極細砂偶夾中砂或泥層，位態漸趨水平，常含海相貝類化石碎屑。大甲一號井中 0~130 公尺為 Unit A，以黃棕色的變質礫岩偶夾砂泥岩層為主，在 Unit A 中應可細分為現代沖積層與頭嵙山層。Unit B 為頁岩夾砂岩，亦可分為 Unit B-1 與 B2，Unit B1 自 130 公尺至 150 公尺，以泥岩層為主，Unit B-2 以砂岩與泥岩互層為主。Unit C 主要為極細砂偶夾中砂或泥層，常含海相貝類化石碎屑，此層序與大甲二號井相同。其中 Unit B 在一號及二號井的真實厚度約 134 公尺。由於 UnitB 的岩性及厚度在兩井中近似甚至與地表一致。因此 Unit B 為極好的指準層。圖 4.4 為兩井的地層柱及地層對比。200 公尺為投影至垂直走向方向的距離，由此對比中可以發現，Unit B 底部在大甲一號及二號井中的高程相差約 40 公尺，考慮地層傾斜我們認為兩者可直接相連。

在近斷層崖邊可見顯斷層拖曳現象，圖 4.5 及圖 4.6 位於大安溪岸，可見深部地層傾角愈大，而上覆地層的傾角逐漸變小。在此剖面中有發現兩個不整合面，底部地層向西傾斜約 60 度，上覆地層轉為向西傾斜 45 度，更年輕地層則為 25-30 度。此為典型的生長層序(growth strata)，在更近斷層處地層近乎垂直（圖 4.6 與 4.7）。由於地層為生長層序因此斷層活動與這些地層沈積年代相同。這種由於生長層序造成的不整合現象，在大甲斷層南側的三清宮剖面中亦發現相同特性，在三清宮剖面，下覆地層向西傾斜 60 度，上覆紅土礫石層向西傾角 20 度（圖 4.8），此亦為生長層序造成的不整合。



(A)



(B)

圖 4.1(A)大安溪地區地層層序特性，Unit A 為礫石層，UnitB-1 為頁岩層，UnitB-2 為砂頁岩互層，(B)為 UnitA 與 Unit B 近照。

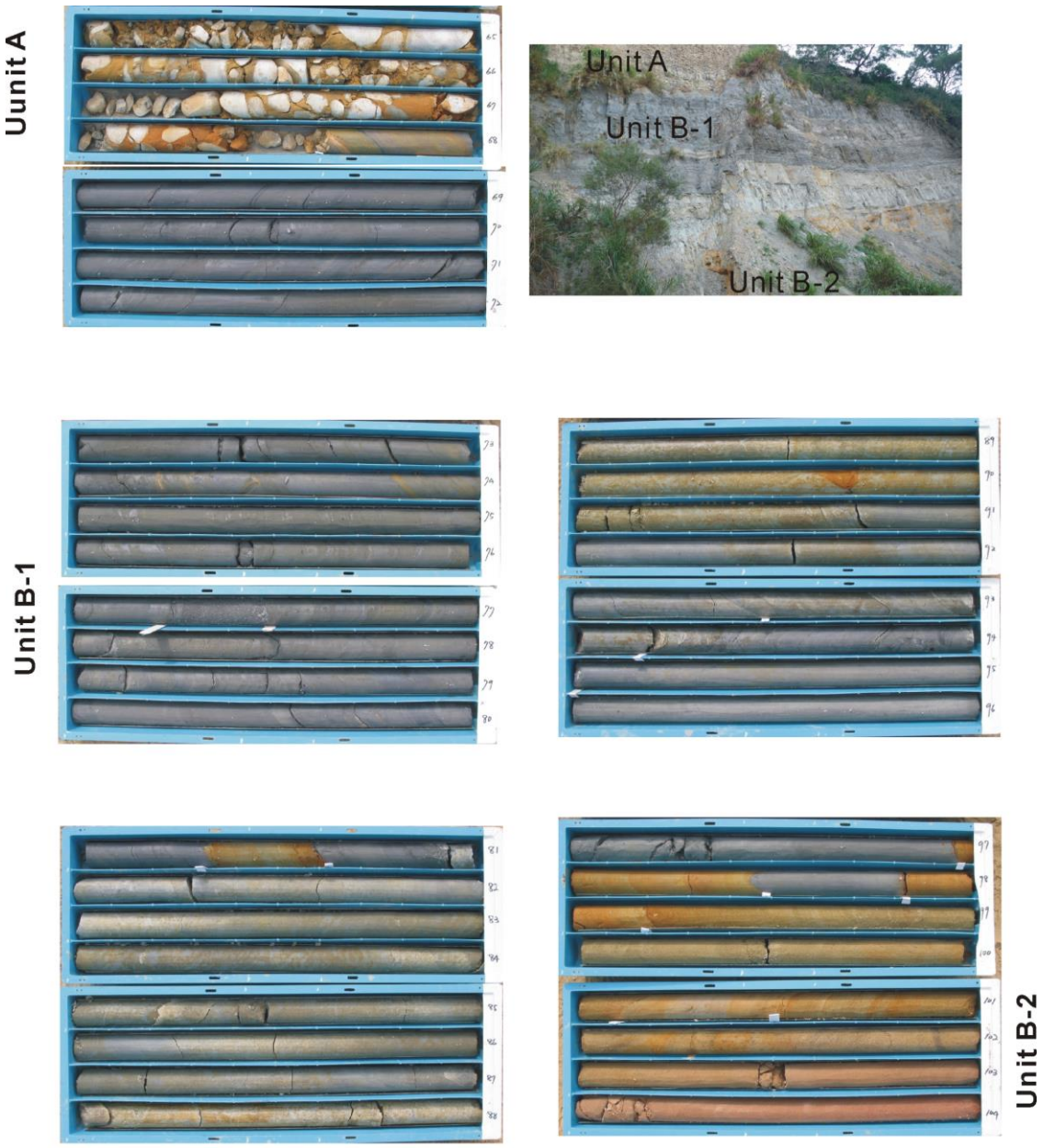


圖4.2 大甲一號井中的地層，此井中亦可見Unit A, Unit B-1與Unit B-2。右上角圖為野外露頭。

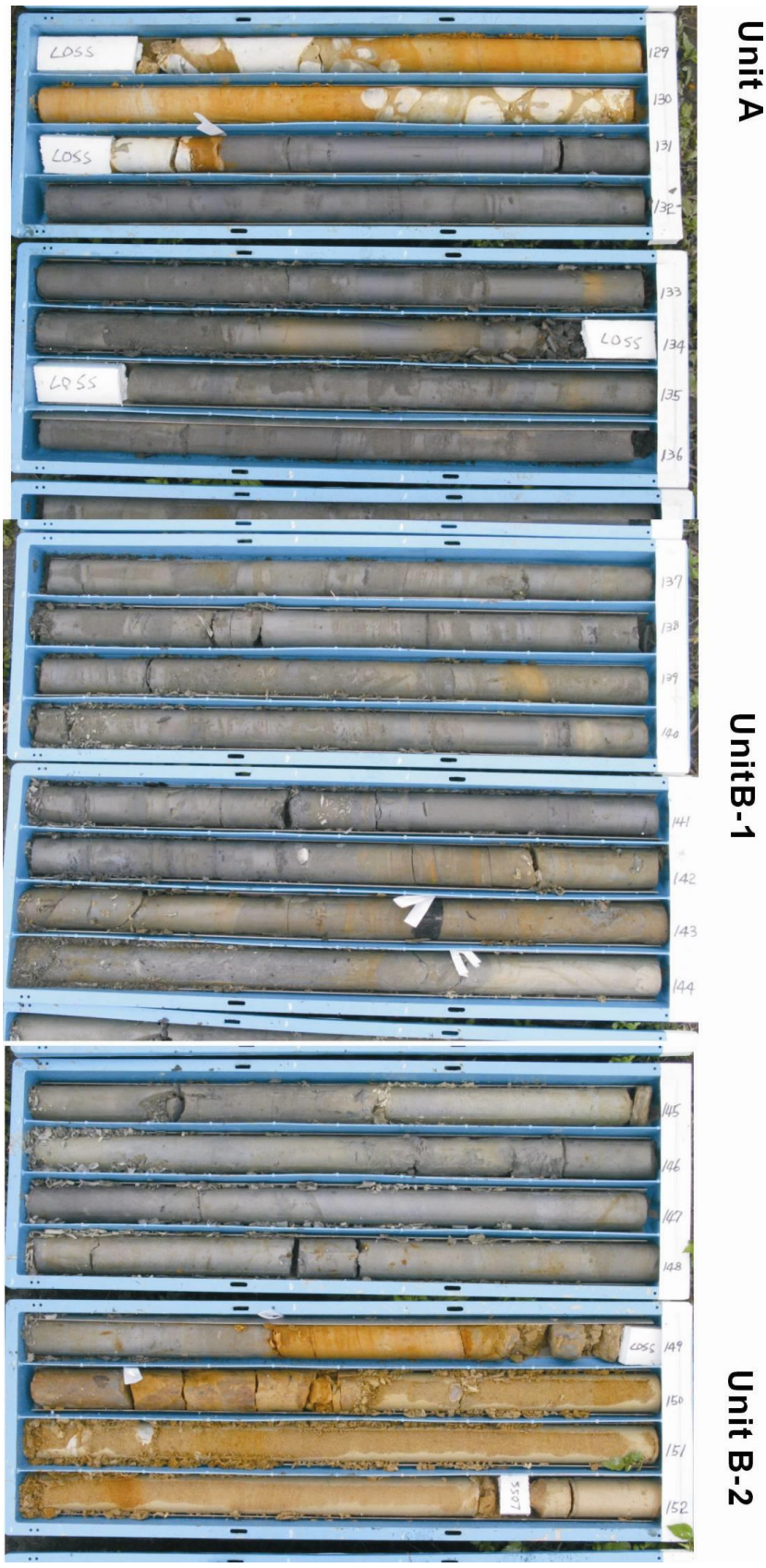


圖 4.3 大甲二號井的 Unit A, B-1 及 B-2。B-1 為泥岩層厚約 14 公尺。

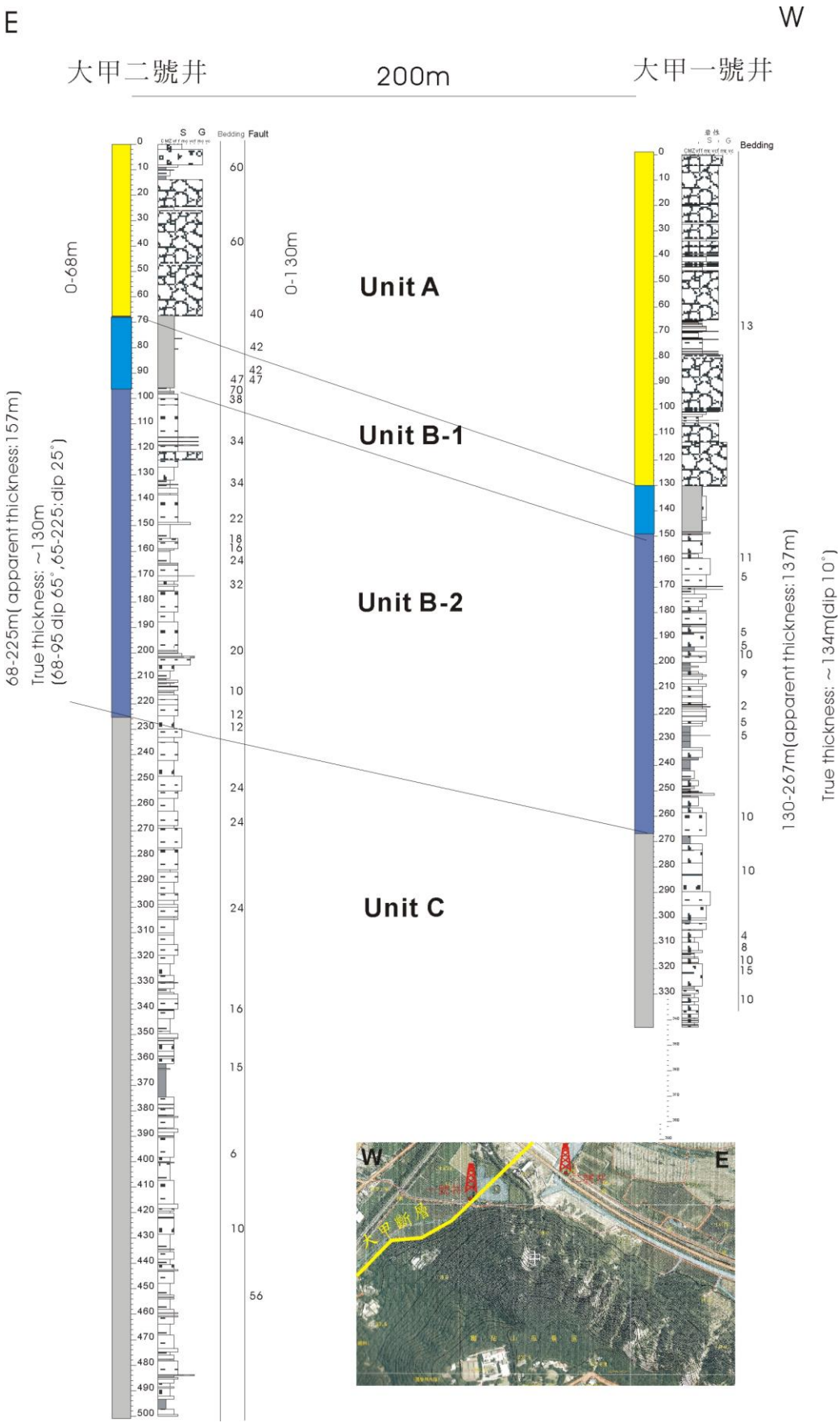
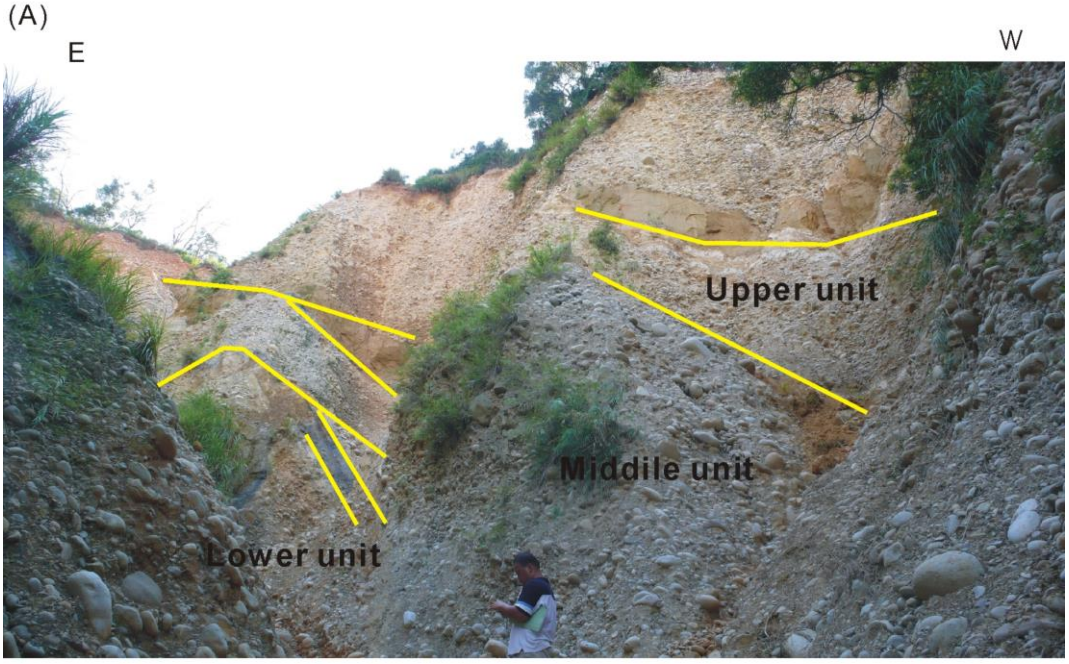


圖 4.4 為大甲一號與二號井的地層柱及地層對比



(A)



(B)

圖 4.5(A) 斷層上盤變形行為，圖框處為下圖位置。(B)近斷層的上盤岩層中，較老的地層向西傾斜位態 60-90 度，中段地層約 45 度，上部地層 25 度。地層間為交角不整合，顯示為一生長層序。

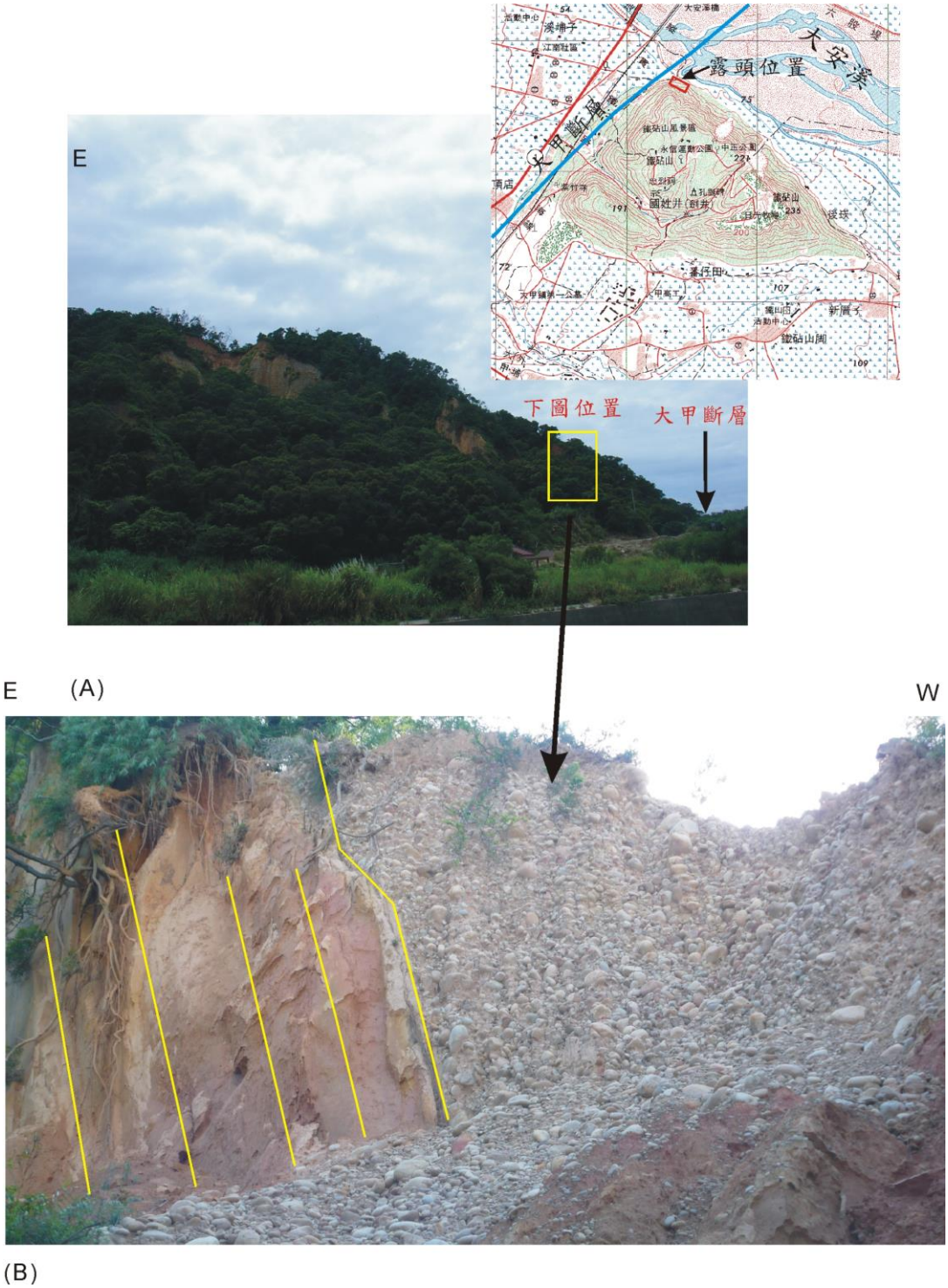


圖 4.6 (A) 斷層上盤變形特性，框選處為下圖位置。(B) 近斷層處的斷層上盤位態近乎垂直。

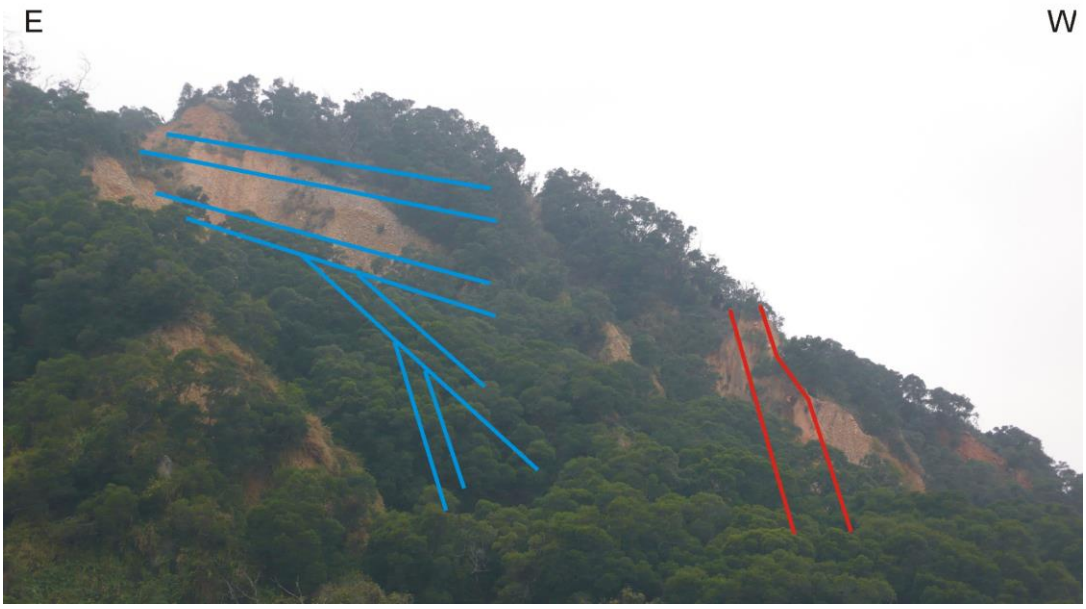


圖 4.7 圖 4-5 與 4-6 中構造的關係，斷層前緣地層傾角近乎垂直。



(A)



(B)

圖 4.8 (A)三清宮斷層上盤變形，紅土礫石層向西傾斜約 20 度，下伏的礫石層向西傾斜約 60 度，(B)此圖中可見紅土礫石與下伏礫石層為交角不整合。

4-2 大甲三號井與四號井

4-2-1 大甲三號井

大甲三號井位於大甲斷層上盤，地點在三清總道院旁，TW97 二度分帶座標為 2691947.5; 211141.5; H 為 65.0 公尺，總鑽探深度為 160 公尺(圖 4.9)。岩性為礫岩夾砂岩及泥岩為主。大致岩性如下 0~17.7 公尺為礫岩層；17.7~18.7 公尺之間夾砂岩，可見地層傾斜 40 度；18.7~77.5 公尺為礫岩；77.5~78.2 公尺為中砂，78.2~78.4 公尺為粉砂；78.4~78.9 公尺為泥岩，地層傾斜 50 度；78.9~79m 礫岩；79~79.3 公尺為粉砂；79.3~79.5 公尺為礫岩；79.5~79.8 公尺泥岩；79.8~80.9 公尺為粗砂，地層傾斜 45 度；80.9~81.3 公尺為礫岩；81.3~84.7 公尺為中至粗砂；84.7~85.85 公尺為泥岩，地層傾斜 30 度，發育層間滑動斷層；85.85~86.4 公尺為粉砂岩，地層傾斜 40 度；86.4~89.6 公尺為細砂；89.6~89.7 公尺為泥至粉砂岩；89.7~106 公尺為粗砂，地層傾斜 20-30 度；106~109.9 公尺為礫岩；108.9~109.5 公尺為粉砂至細砂，109.5~113.85 公尺為細砂；113.85~160 公尺為礫岩（圖 4.9 與 4.10）。斷層帶地下構造剖面如圖 4.9 B 圖所示，由於井位離地形崖僅有十餘公尺，因此若斷層已至地表，則我們應發現切過地層的斷層，此外由於在 90 公尺依然可見地層明顯傾斜，因此應非下盤構造，因此我們認為構造已褶皺作用為主，我們在岩心中發現主要斷層為層面滑動斷層，研判可能為褶皺作用中伴隨的層間滑動。圖中黃色砂層可在三清總道院旁的露頭找到。

大致層序可分為 0-77.5m 以變質礫岩為主，偶夾砂岩。77.5-106m 以砂岩及間夾泥岩為主，偶夾變質礫岩。106-160m 為變質礫岩（圖 4.10, 4.11）。地層位態在 0-90m 之間大約 40-50 度傾斜，向下地層傾角漸緩約 20-30 度之間。

破裂面在淺部發育較多，大致在 40-50 度傾角。主要剪切帶為平行層面的斷層，集中在 84-90m 之間(圖 4.12)。另上有局部近水平的剪切帶（圖 4.13）及少數與層面斜交斷層。

A 

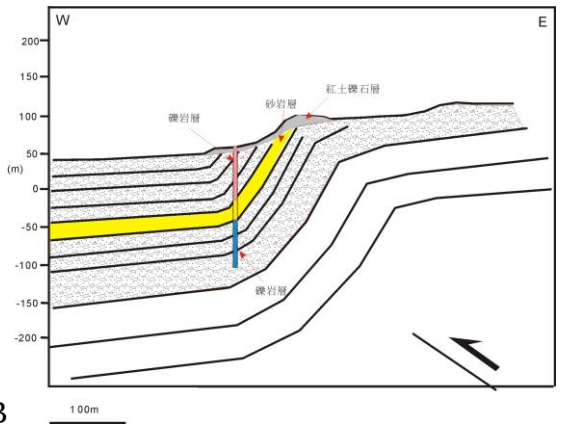
B 

圖 4.9 A 大甲三號井位置圖，位置緊臨大甲斷層，**B** 為斷層帶地下構造剖面，黃色砂層可延伸至地表露頭。

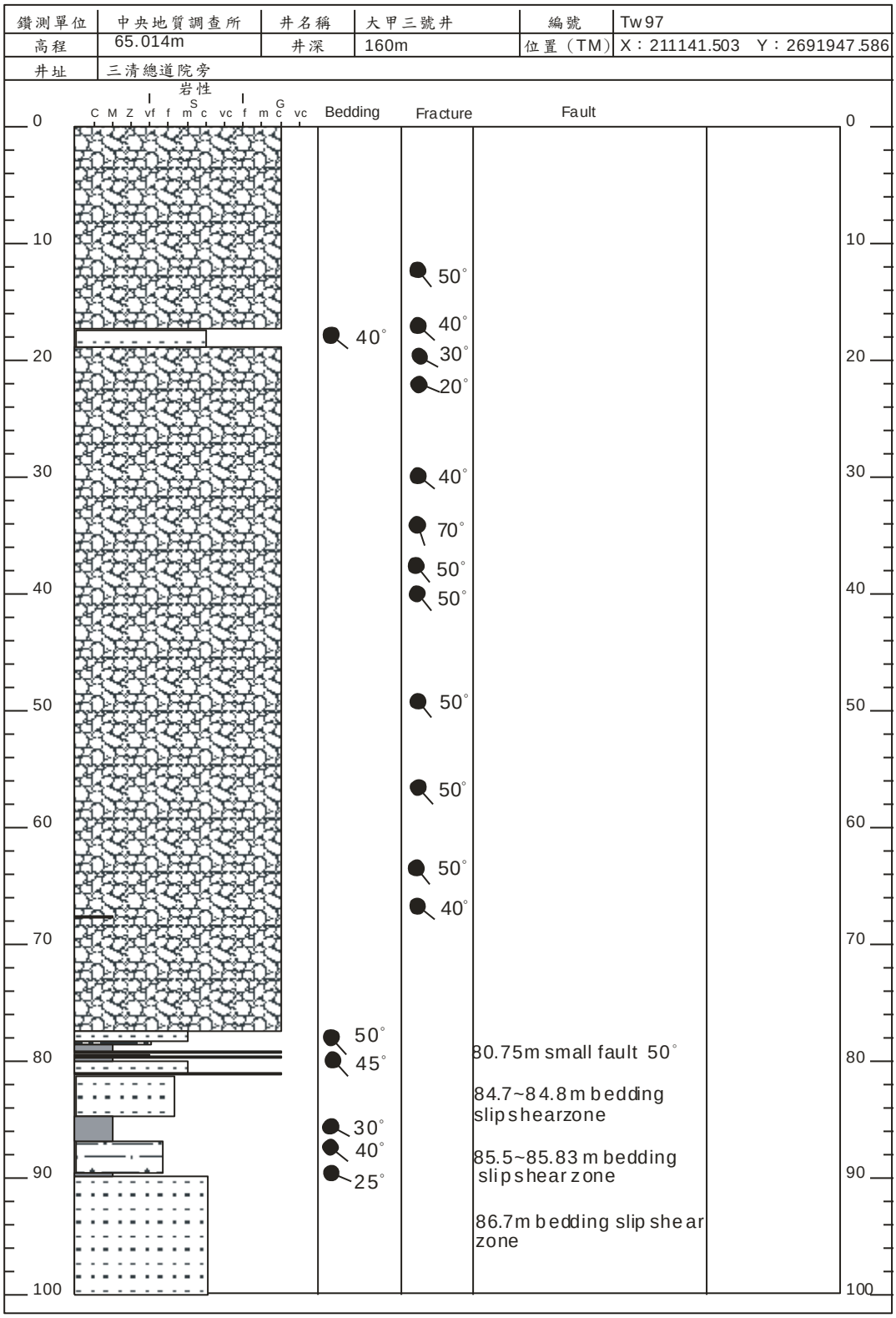


圖 4.10 (A) 大甲三號井 0-100 公尺井錄

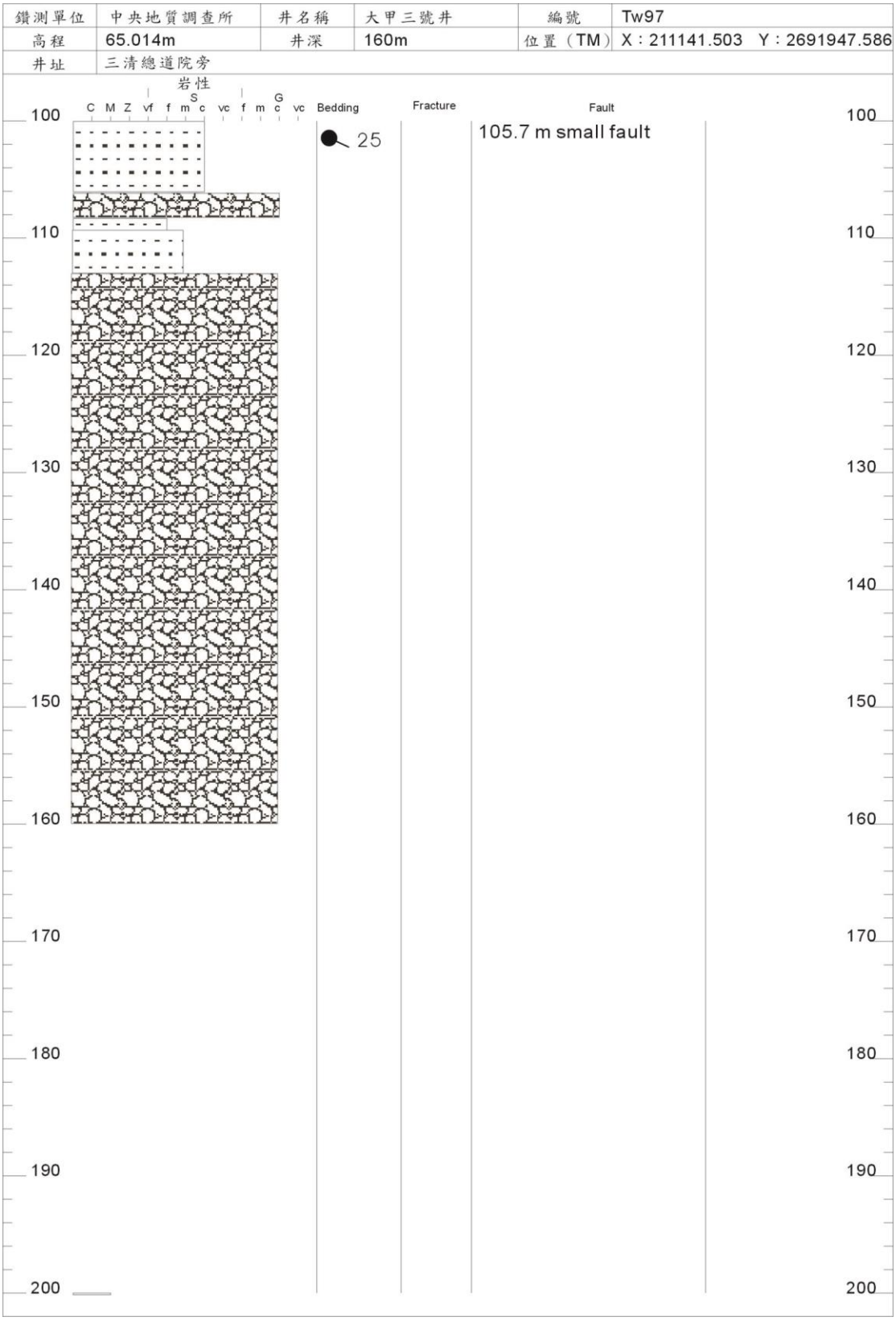
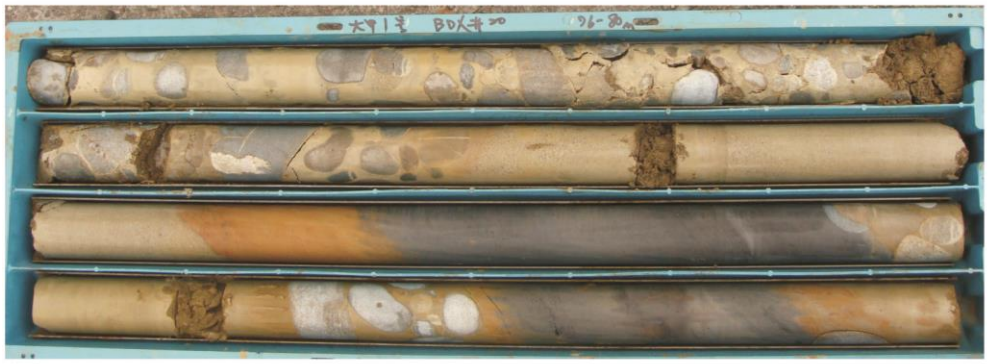


圖 4.10 (B) 大甲三號井 100-160 公尺井錄



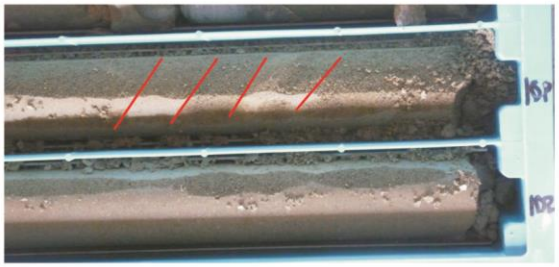
(A)



(B)



(C)



(D)

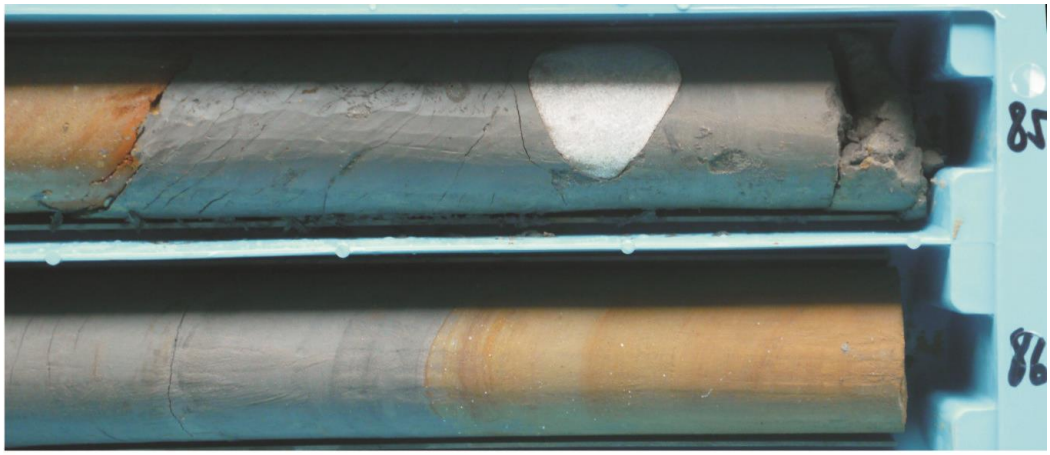
圖 4.11

(A) 為 17-20m 的岩心，此處礫岩層夾泥岩層，可見地層傾斜約 50 度。

(B) 為 76-80m 岩心，此處為層序 A 與 B 的交界。地層傾斜約 40-50 度。

(C) 為 84-88m 岩心，此處地層傾斜約 40 度，其中 87.8m 處發育主要與層面平行的斷層帶。

(D) 為 101-102 m 岩心，此處地層傾斜漸緩約 20 度。



（A）

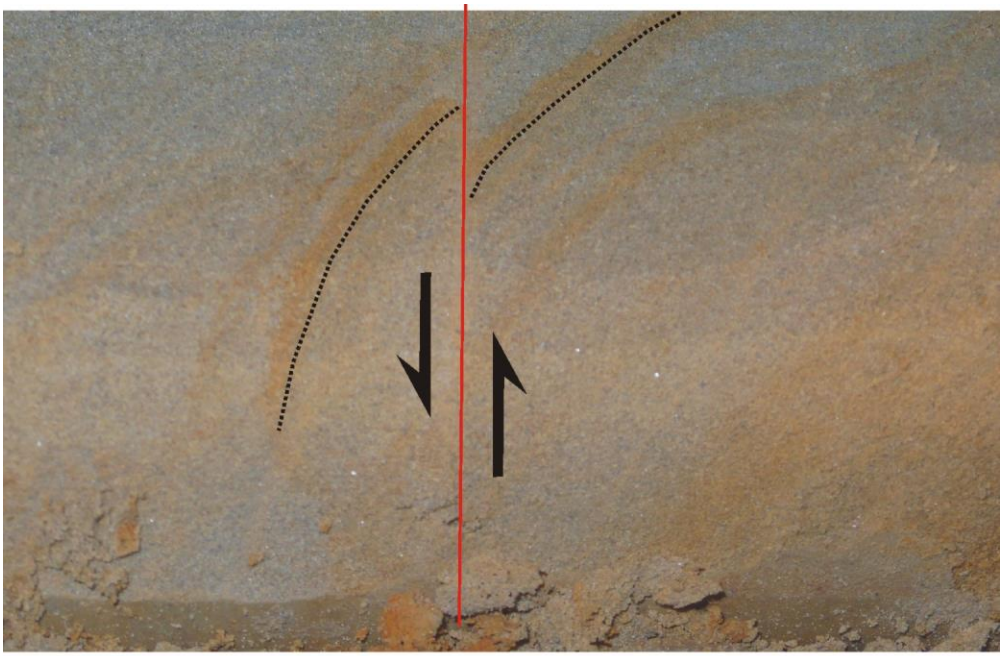


(B)

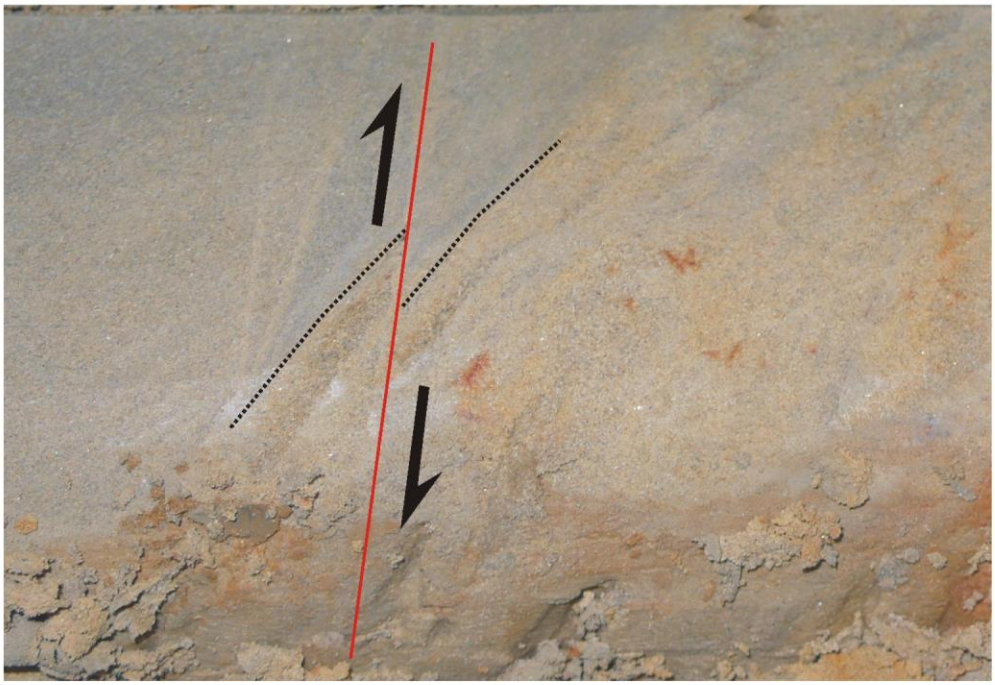


(C)

圖 4.12 (A)在井深 84.7m 處平行層面剪切帶(B)斷層面的擦痕(C) 在井深 86.7 m 處的斷層面上擦痕



(A)



(B)

圖 4.13 在井深 91m 處的近水平剪切帶，圖中可見傾斜地層被水平斷層錯開。

4-2-2 大甲四號井

大甲四號井位於大甲斷層上盤，地點在紫竹寺附近，TW97 二度分帶座標為 2694545.2；213182.0；H 67.7 公尺，總鑽探深度為 65 公尺(圖 4.15)，主要岩性以礫岩為主層理不易判識，陳文山教授在此鑽探地點西側，緊臨地形崖處上盤及下盤分別進行淺層鑽探，岩性亦以礫岩為主，原先規劃鑽探深度為 160 公尺，但考慮下盤皆為礫石層，若 160 公尺皆為礫石層將難以判釋地層及變形構造，因此鑽探終止於 65 公尺，將 160 公尺深井改於三清總道院旁。

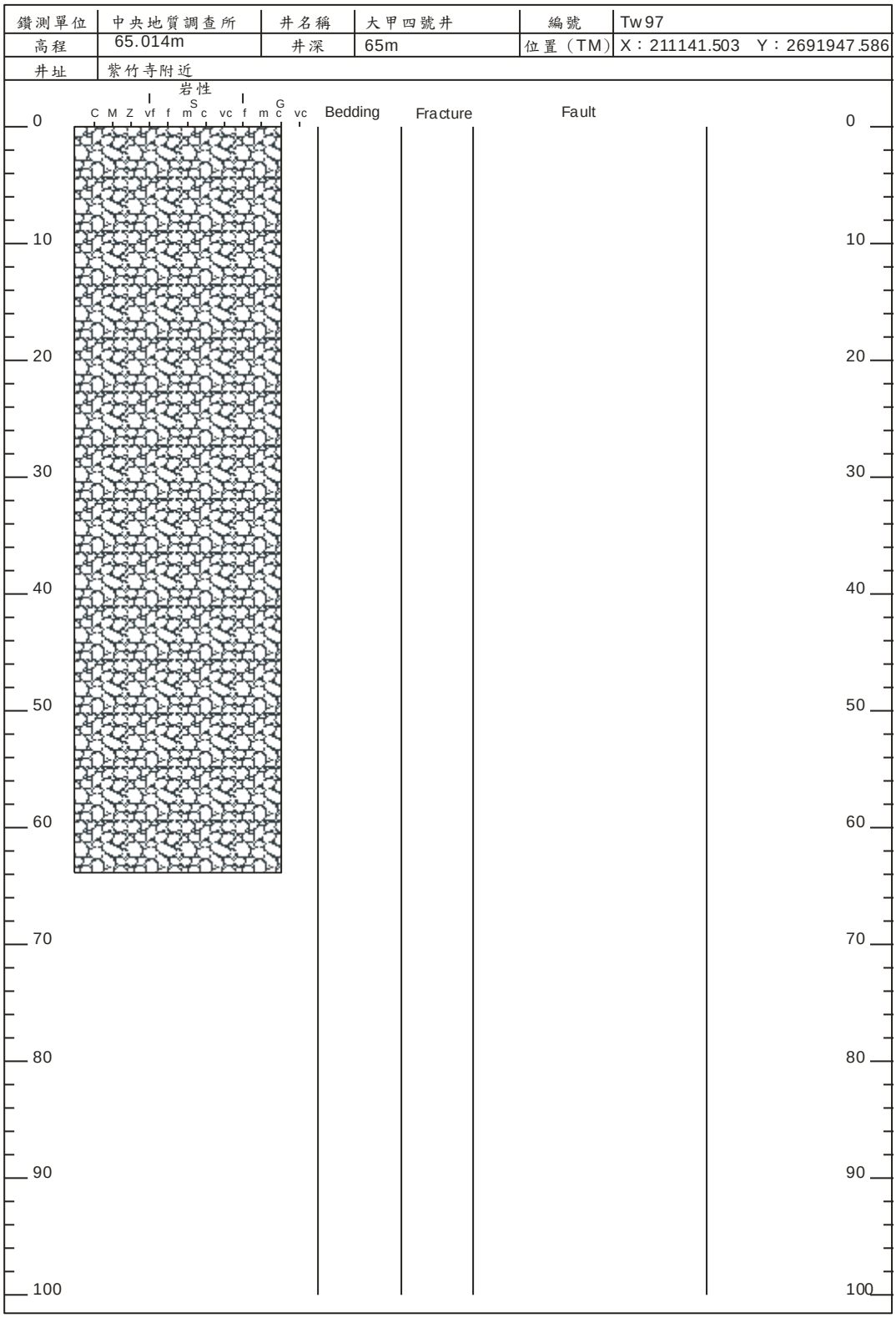


圖 4.15 大甲四號井 0-65 公尺井錄，此處岩心皆為礫石層。

4-3 鐵砧山斷層（大甲東斷層）

鐵砧山斷層為大甲斷層的伴隨斷層，為一斷面向西的逆斷層，此斷層由大安溪畔向南延伸至沙鹿一帶。在大甲溪至大安溪之間由於切過不同階地，明顯有位移累積特性（楊貴三,1986）。過去並未發現鐵砧山斷層露頭，甚至由淺層震測研究顯示此斷層並不存在(王乾盈與郭炫祐, 2003)。在本研究中首次發現鐵砧山斷層為傾角約 20-30 度向西傾斜逆斷層（圖 4-16~4.20）。且有不同分支，斷層位置與地形判釋位置相同，且分支現象在地形上中亦發現相同現象（楊貴三,1986）。在鐵砧山斷層東側我們發現 Unit A 的紅土化礫石層較西側區域厚，推測此由於鐵砧山斷層活動所致。

圖 4.16 位於大安溪旁的鐵砧山斷層露頭位置及上盤層位。上盤在野外可分為二個層序，Unit A 及 Unit B，Unit A 以礫石層為主，UnitB 為砂岩與泥岩互層，UnitB 向西傾斜約 10 度，與 UnitA 之間為一夾甚小角度的不整合面，在 UnitA 中在東側有較厚的礫岩層，且紅土化嚴重，礫石層厚度變化位置與鐵砧山斷層位置相同，推測由於鐵砧山斷層為一向西傾斜的背衝斷層，因此斷層西側的岩層被持續抬升，因此沈積較薄的礫石層，而斷層東側由於相對構造較穩定，因此發育較厚且紅土化的礫石層。

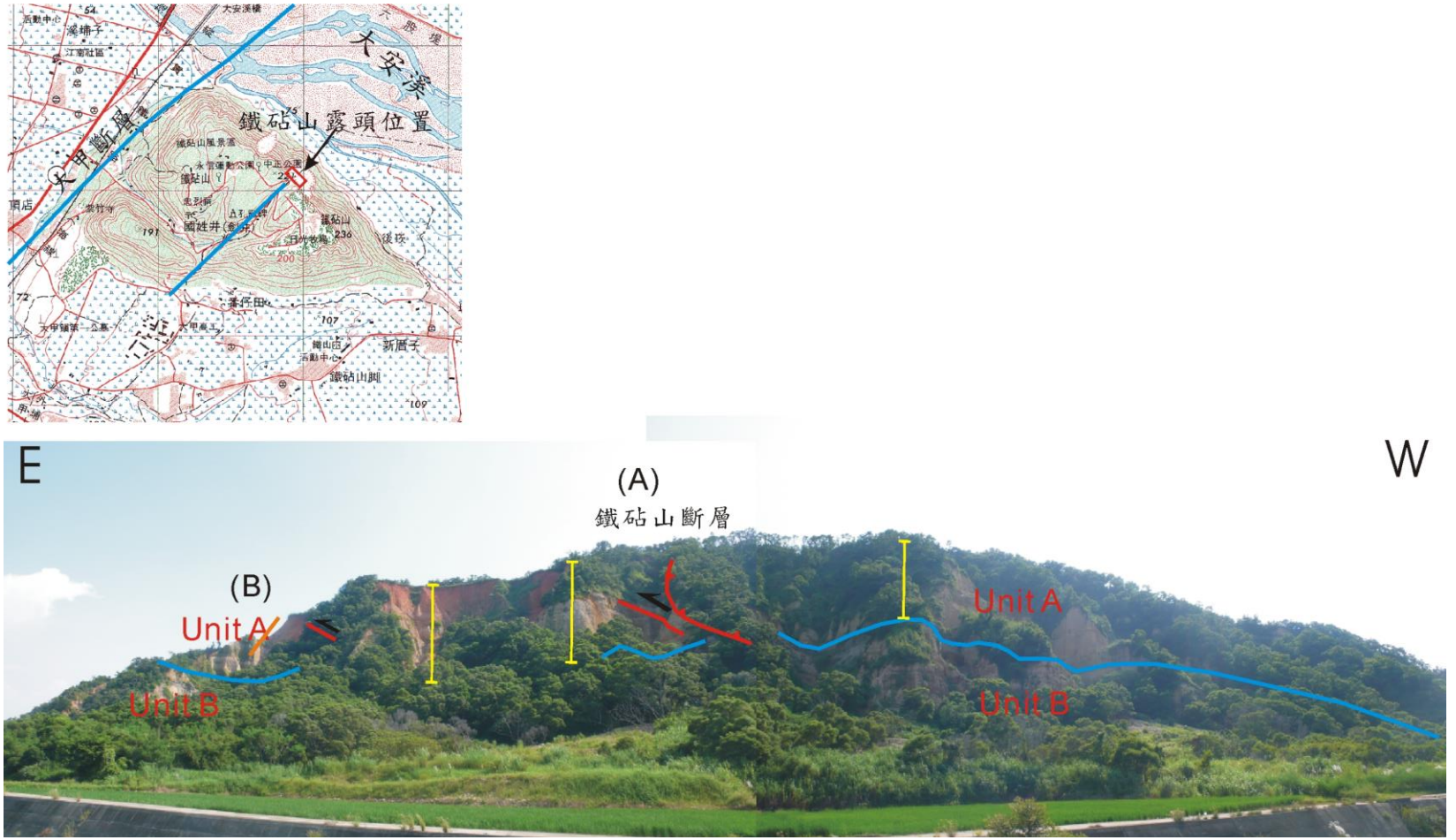


圖 4.16 大安溪旁的鐵砧山斷層露頭位置及上盤層位。圖中可見鐵砧山斷層西側 Unit A 較厚,且上部礫石層皆紅土化。



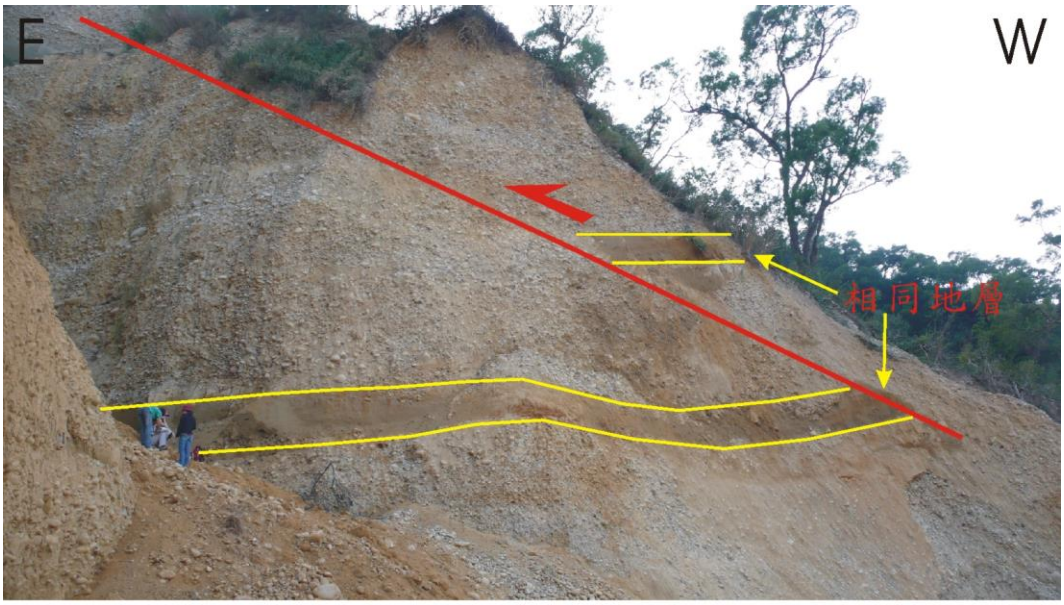
(A)



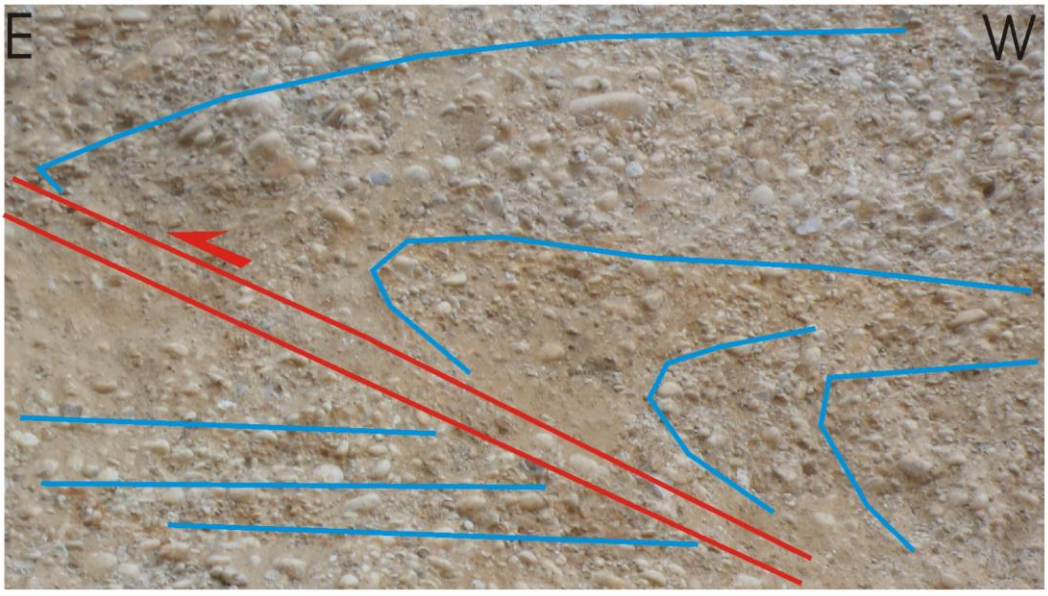
(B)

圖 4.17 (A)鐵砧山斷層在此處有兩個分支斷層，位置在圖 4-9 的 A 點。位移量較小斷層近照。

(B)圖中可見鐵砧山斷層為低角度逆斷層且岩層受斷層作用而形成褶皺。



(A)

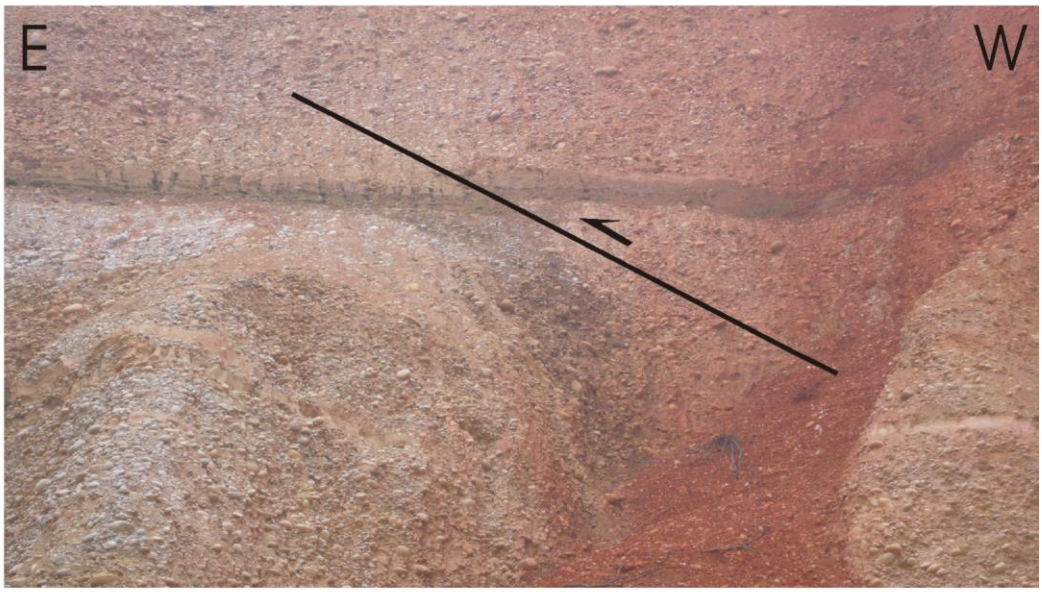


(B)

圖 4.18 (A) 位移量較大的斷層,圖中黃色地層為相同層位，
(B) 斷層近照，礫石層受斷層作用上盤形成拖曳褶皺。



(A)



(B)

圖 4.19 (A)鐵砧山斷層的另一小分支斷層,位置位於圖 4-15 的 B 點，
(B)斷層近照,此分支斷層亦為向西傾斜的低角度逆斷層。



圖 4.20 鐵砧山分支斷層的關係，此處有兩條分支斷層，虛線為斷層可能延伸方向。

4-4 大甲斷層與鐵砧山斷層的淺層地下構造特性

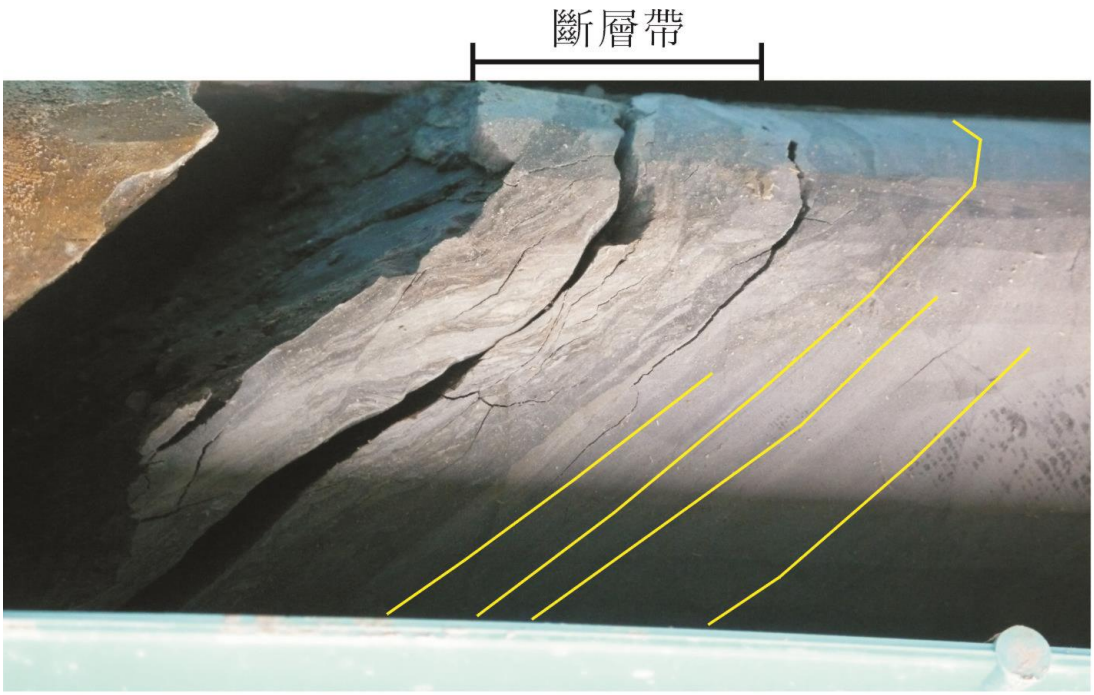
大甲二號井的地層位態在 0~93 公尺附近為高角度傾斜，傾斜角度約 60-70 度之間，在 93 公尺附近出現斷層帶（圖 4.21），主要斷層為平行層面的斷層(圖 4.22, 4.23)，少數為高傾角斷層。在 93 公尺以下地層位態逐漸變緩，由 30 度向下變緩至 10-25 度之間，因此 91-95 公尺附近為主要擾動帶。劉彥求(2007)認為此擾動帶為大甲斷層，本研究認為此斷層並非大甲斷層斷層帶而是鐵砧山斷層的斷層帶。主要原因此處地層向西傾斜，而大甲斷層向東傾斜，因此若為大甲斷層則斷層應與層面近正交，而非沿著層面發育。但觀察大甲二號井中並未發現此類型斷層。有趣的是由於 91-95 公尺附近斷層為層面斷層，而地層向西傾斜，此表示此斷層為向西傾斜的逆斷層，此行為與鐵砧山斷層相同，而且此深度若向東延伸則其位置與鐵砧山斷層的位置近似，因此本研究認為此斷層可能為鐵砧山斷層。大甲二號井中在 91-95 公尺附近上下地層位態不同，本研究認為此處為向斜軸位置，因此岩層上下傾角不同，而大甲斷層尖端位置仍在較深處。

為何會發育鐵砧山斷層？圖 4.24 為大甲斷層鐵砧山斷層的構造剖面，由深部震測資料顯示大甲斷層未出露地表，而鑽探亦顯示相同結果，加上變形前緣發育緊密褶皺，因此本研究認為大甲斷層上盤發育斷層傳遞褶皺，由於褶皺日趨緊密，褶皺前翼地層近乎垂直，此造成褶皺作用無法消耗更多的大甲斷層的位移量，且斷層尖端不易向前推展，因此當深部的大甲斷層持續活動下，開始發育背衝的鐵砧山斷層。

圖 4.25 為大甲斷層附近已有的淺層震測與鑽探井位，由大安溪旁的露頭加上鑽探結果顯示，大甲斷層的變形帶寬度約小於 100 公尺，在此定義的變形帶為地層急速變陡的區域，由？地調所 2006 的震測剖面亦可發現此一現象(董倫道等,2006)（圖 4.26），我們重新解釋此一震測剖面，由震測資料中可發現在 1560-1650 公尺附近，反射訊號極差，此範圍兩側的反射訊號立刻變好，此變形帶約 70 度向東傾斜，由於地層變陡因此無法有良好的反射訊號，因此在震測剖面中形成向東高角度的變形帶，由此剖面中本研究推估斷層尖端約在地下 470 公尺處(圖 4.26)。



圖 4.21 在井深 91-95 公尺處為主要擾動帶位置，擾動帶內斷層主要以平行層面滑動為主。



(A)



(B)

圖 4.22 (A)主要滑動面之一近照(井深 93.7m 處)，黃顏色為層面。斷層面與層面平行。

(B)斷層面上的擦痕



圖 4.23 在井深 90.7m 處的另一主要斷層帶，亦為平行層面斷層。

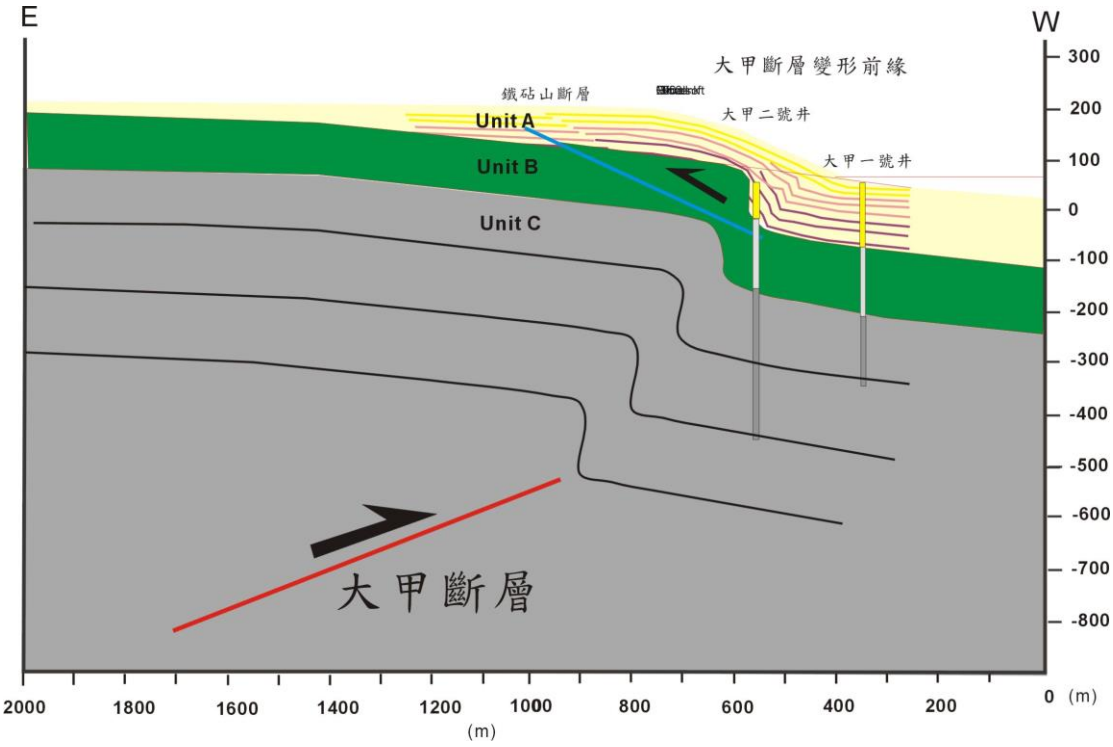


圖 4.24 大甲斷層與鐵砧山斷層的構造剖面，斷層尖端未出露地表，鐵砧山斷層為調適深部大甲斷層位移所形成的構造。

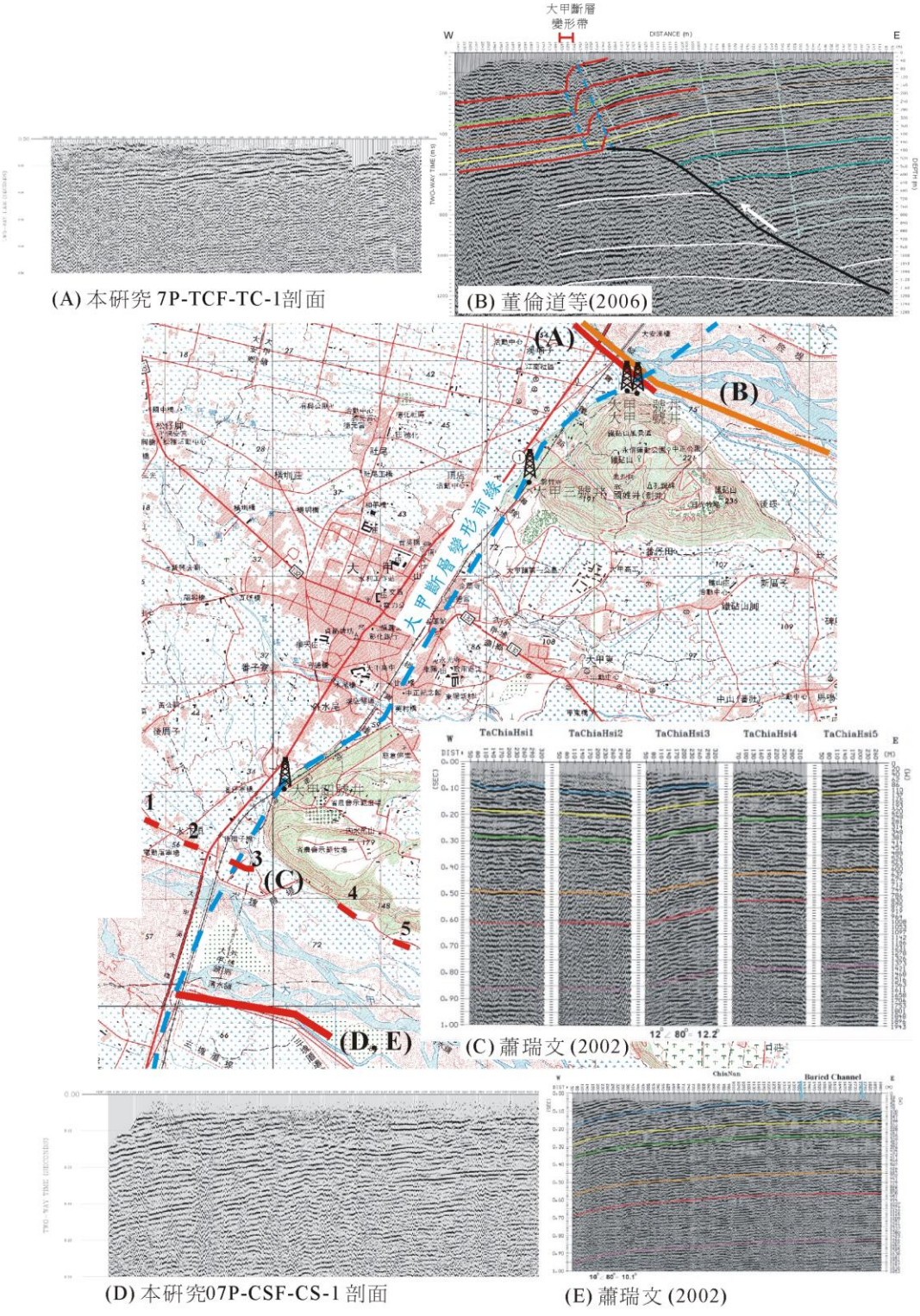


圖 4.25 大甲斷層沿線的淺層震測資料與鑽探位置

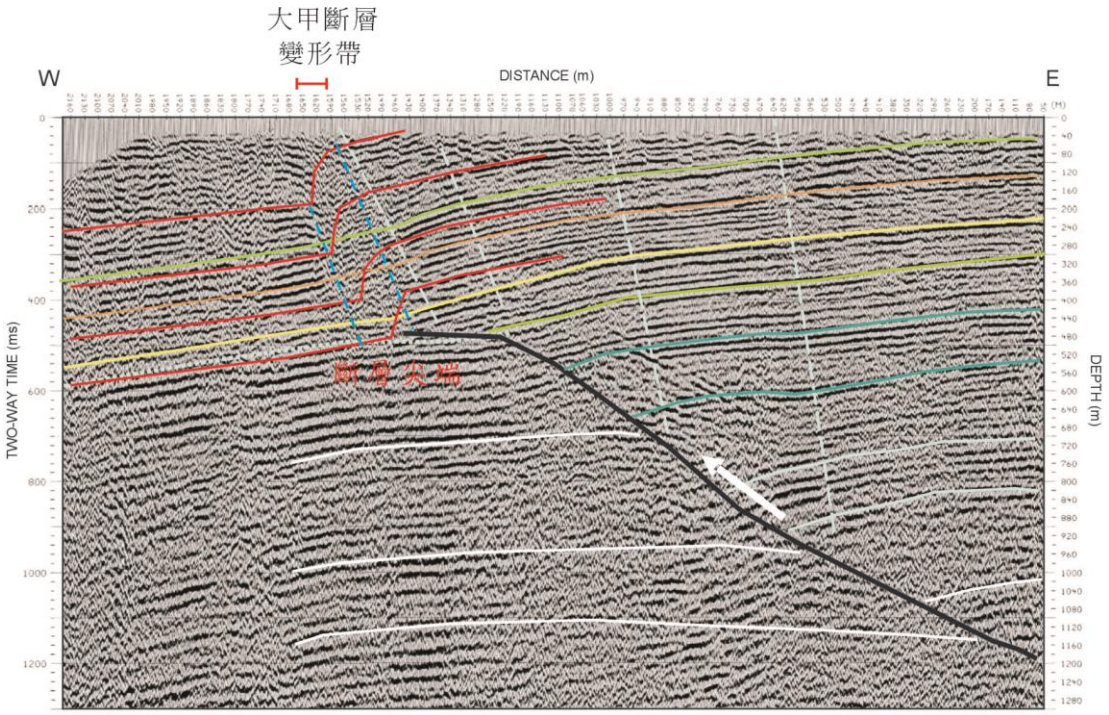


圖 4.26 重新解釋董倫道等(2006)的震測剖面，我們認為斷層尖端約在 470 公尺附近。

4-5 大肚一號與二號井

4-5-1 大肚一號井

大肚一號井位於在大肚溪北岸，TW97 二度分帶座標為 2669675.5; 203501.4; H 8.6 公尺，總鑽探深度為 50 公尺(圖 4.27)。0-15 公尺為礫岩層，15-32 公尺為砂岩層偶夾泥岩，32-50 公尺為礫岩層。地層大致水平。研判應位於清水斷層下盤。

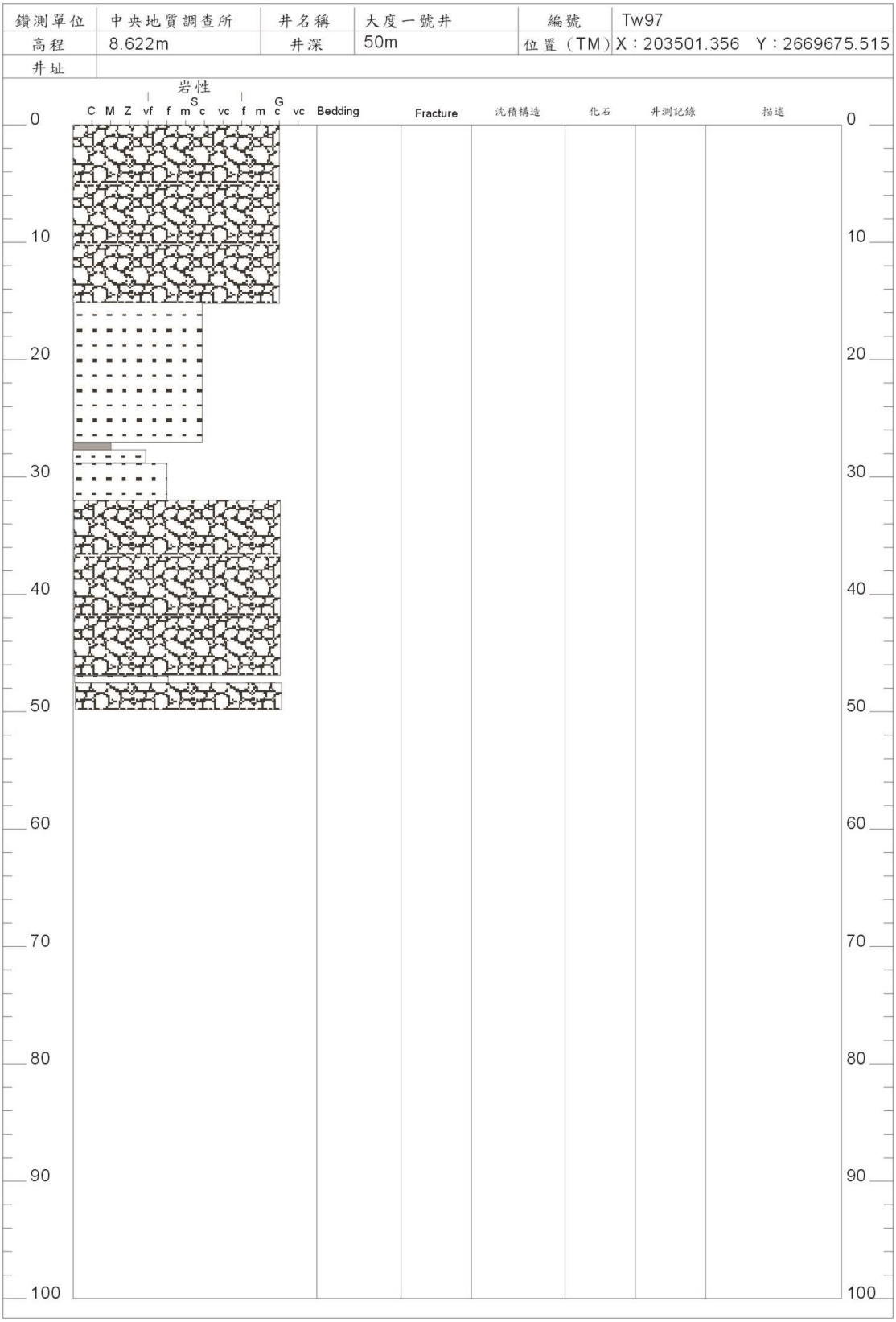


圖 4.27 大肚一號井井錄

4-5-2 大肚二號井

大肚二號井位於大肚溪南岸，TW97 二度分帶座標為 2667843.8；203519.1；H 12.6 公尺，總鑽探深度為 160 公尺。此井選定此處的原因是由於由震測資料顯示此鑽探地點東側約 200 公尺處地層向西傾斜約 30 度(圖 4.28)（許立文, 2001），因此原希望此處能鑽過變形帶(圖 4.28)，鑽探位置與附近淺層震測資料如圖 4.29。鑽探岩性 0-16 公尺以礫岩為主，16-27 公尺為砂岩偶夾礫岩。27-114 公尺為變質礫岩，114-140 公尺為砂岩偶夾礫岩，140-160 公尺為礫岩。此井主要岩性為礫石與砂岩所組成。在淺處地層近乎水平，在 120-140 公尺處地層傾斜約 5-10 度(圖 4.30 A 及 30B)。由於未發現地層位態有劇烈變化，研判此處位於斷層變形前緣附近。

W E

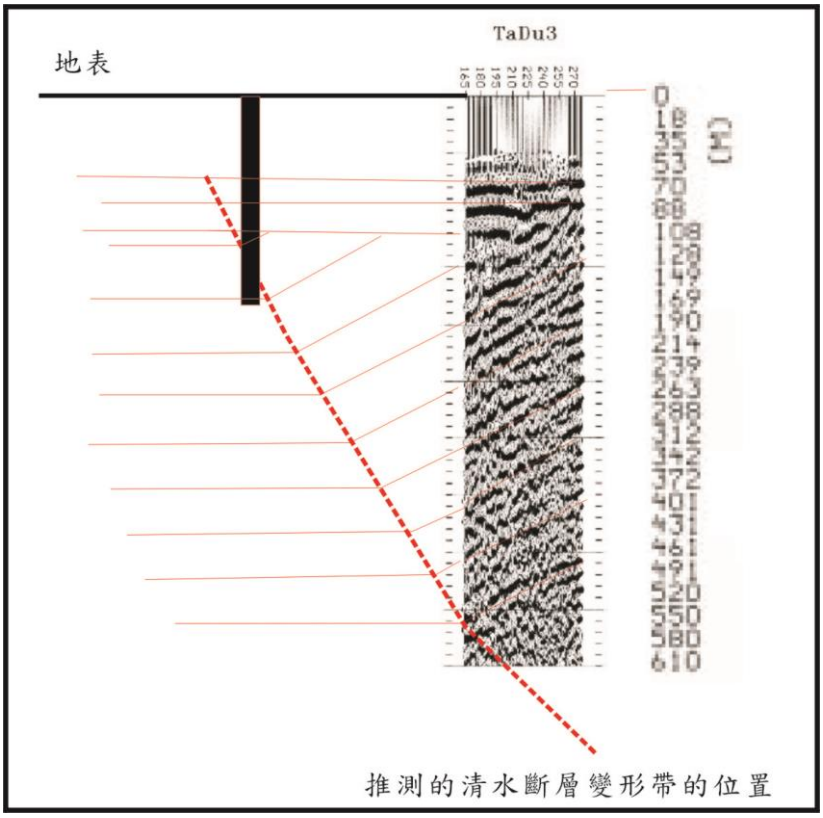


圖 4.28 大肚二號井東側約 200 公尺處,震測剖面顯示地層向西傾斜約 30 度，(許文立, 2001)因此推估鑽探地點為斷層尖端處。鑽探結果顯示此處深部地層僅傾斜 5-10 度，研判此處應為變形帶邊緣處。

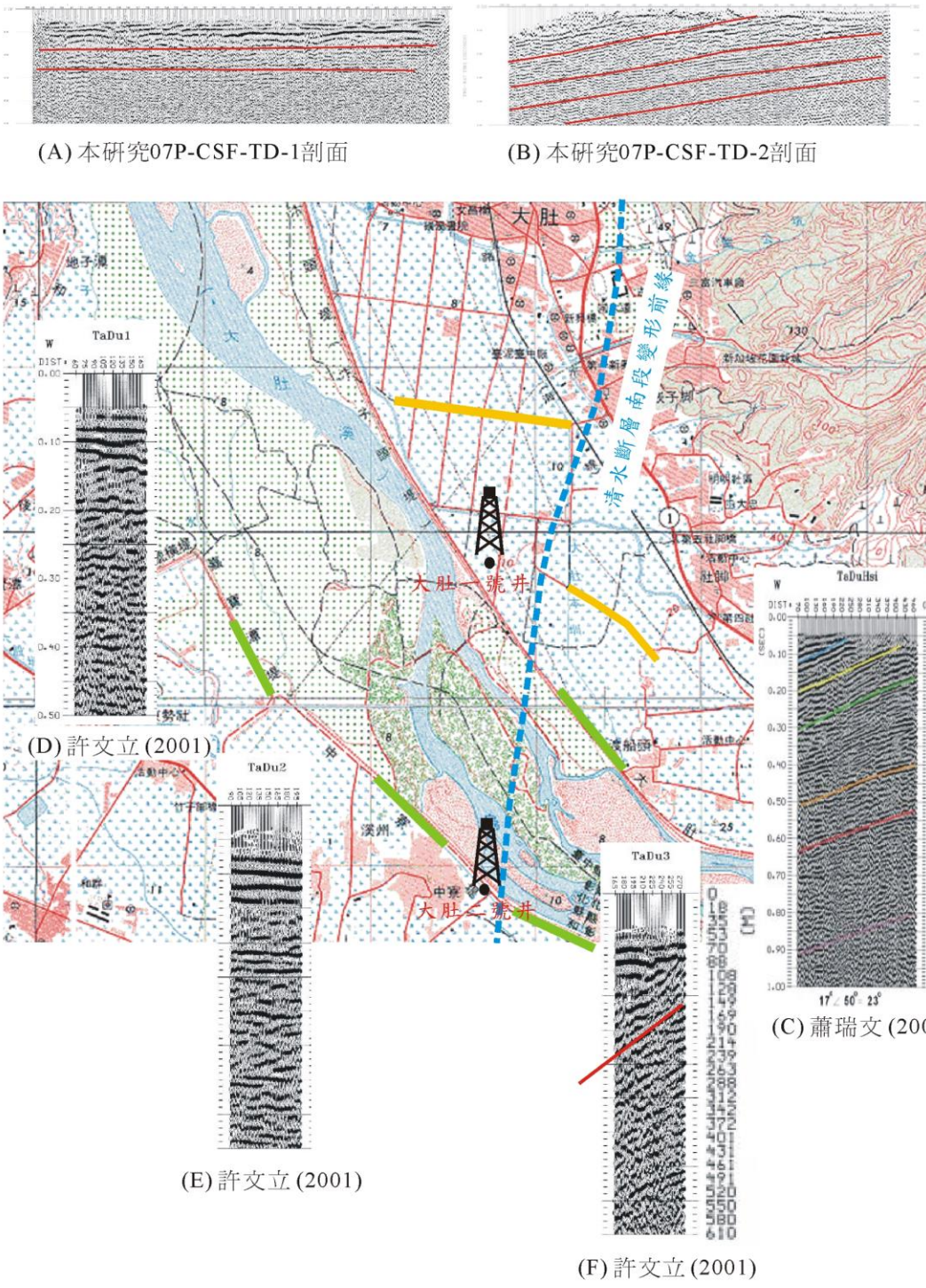


圖 4.29 清水斷層南段的淺層震測剖面資料與大肚一號及二號井鑽探位置

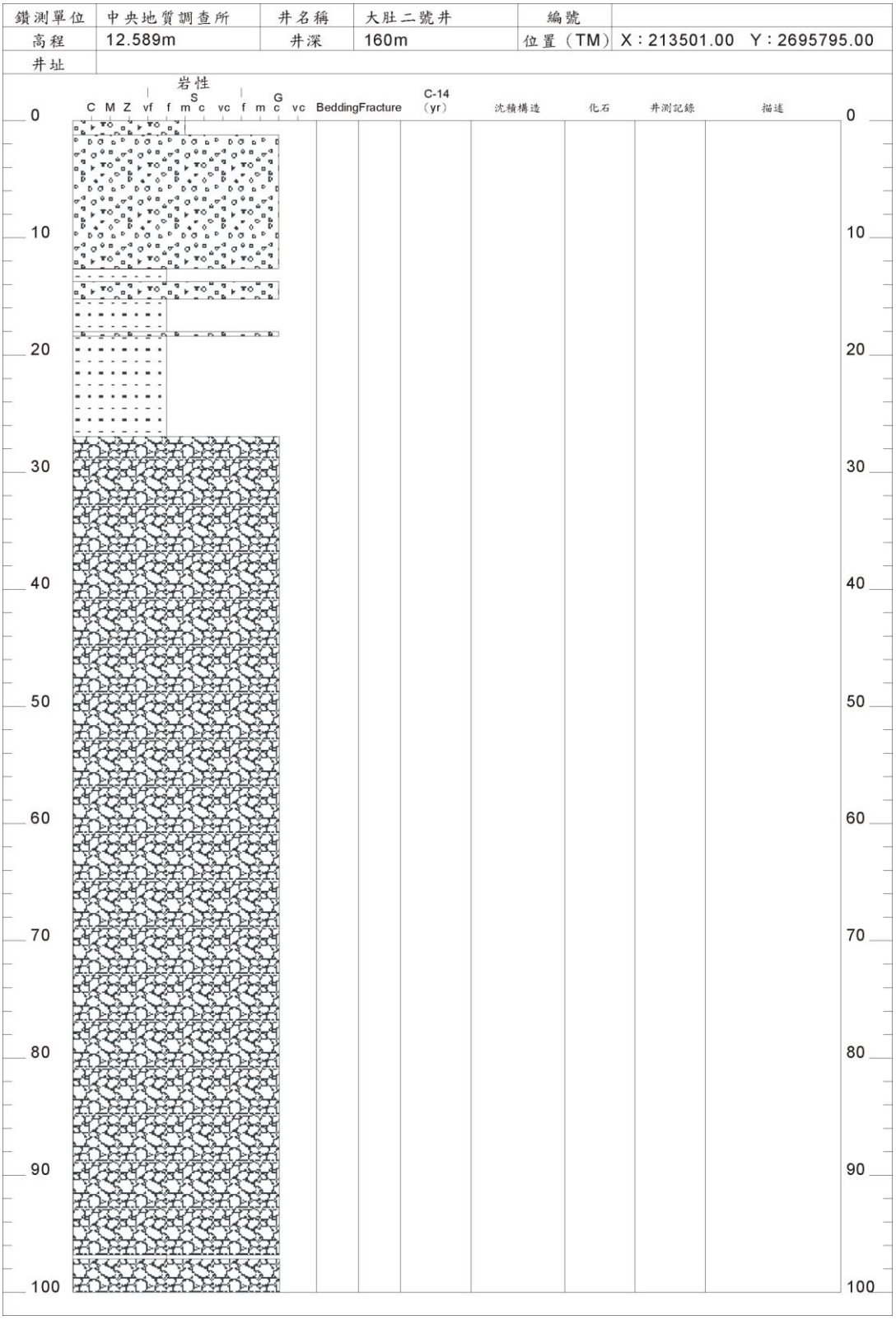


圖 4.30 (A) 大肚二號井 0-100 m 井錄

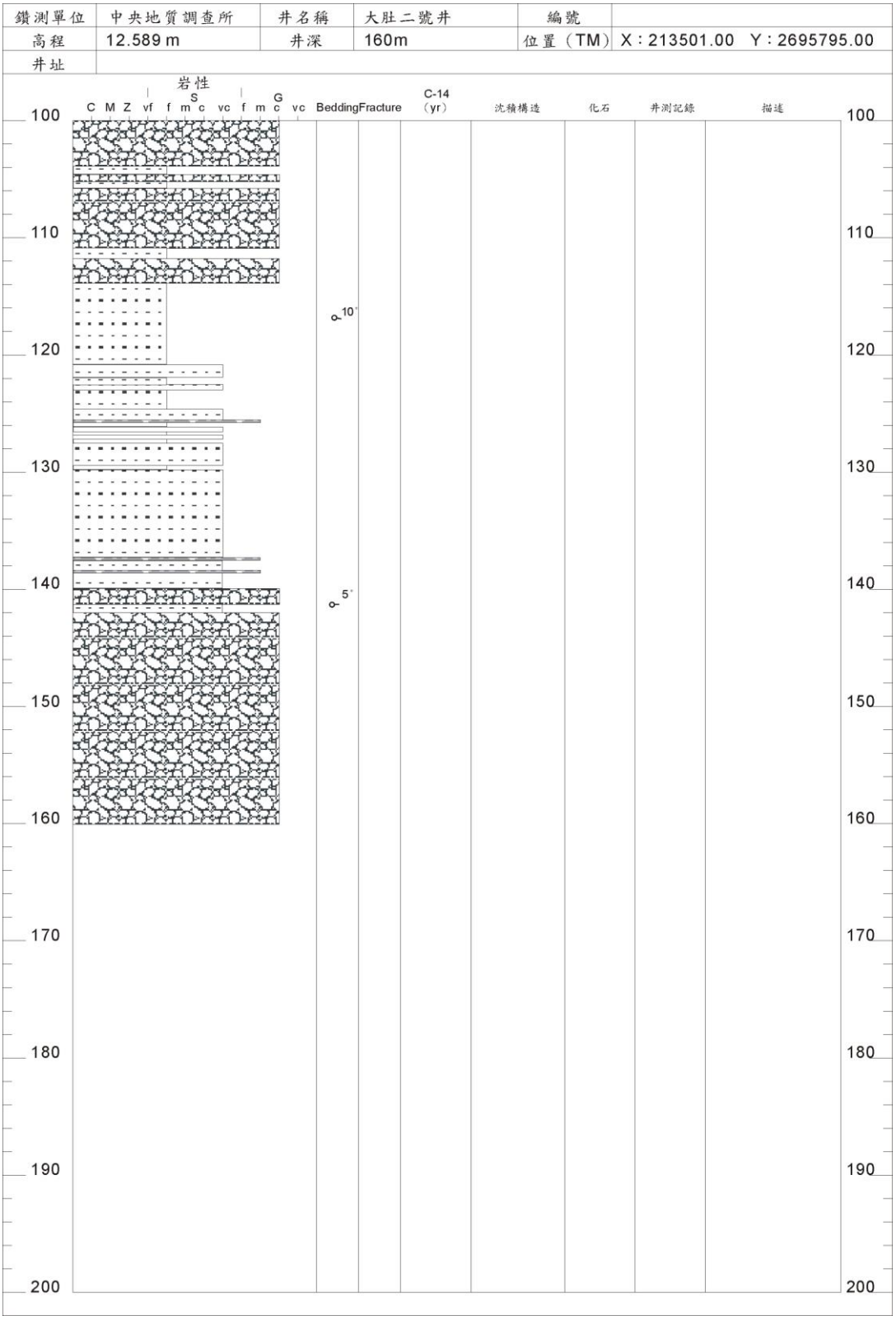


圖 4.30(B) 大肚二號井 100-160 公尺井錄

4-5-3 清水斷層淺層地下構造

我們利用已有的淺層與深部的震測剖面與井錄資料，繪製清水斷層南段的地下構造，圖 4.31 為清水斷層南段，由淺部震測資料顯示 600 公尺以上皆未見明顯斷層，顯示斷層在 600 公尺以下(許文立, 2001)，由深部震測剖面我們認為斷層尖端在 600-1000 公尺之間（陳太山與蘇福欽, 2002）。在此剖面北側的清水斷層，斷層之上亦發育褶皺構造，但其主要褶皺作用在變形前緣東側，在變形前緣處地形低緩，我們認為可能由於斷層面在近地表處變緩以致發育低緩地形面（圖 4.32）。

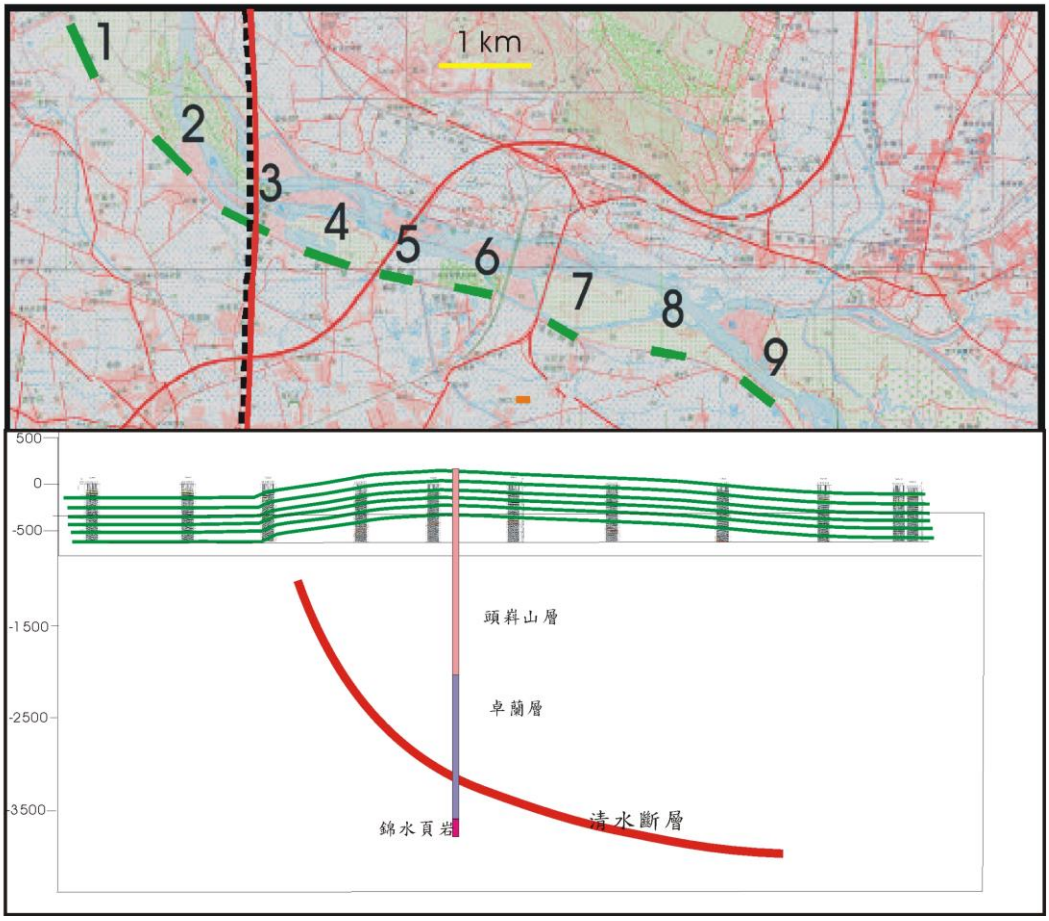


圖 4.31 為清水斷層南段震測資料，淺層震測結果摘自許立文(2001)，大肚二號井在剖面編號 3 西側約 200 公尺處。

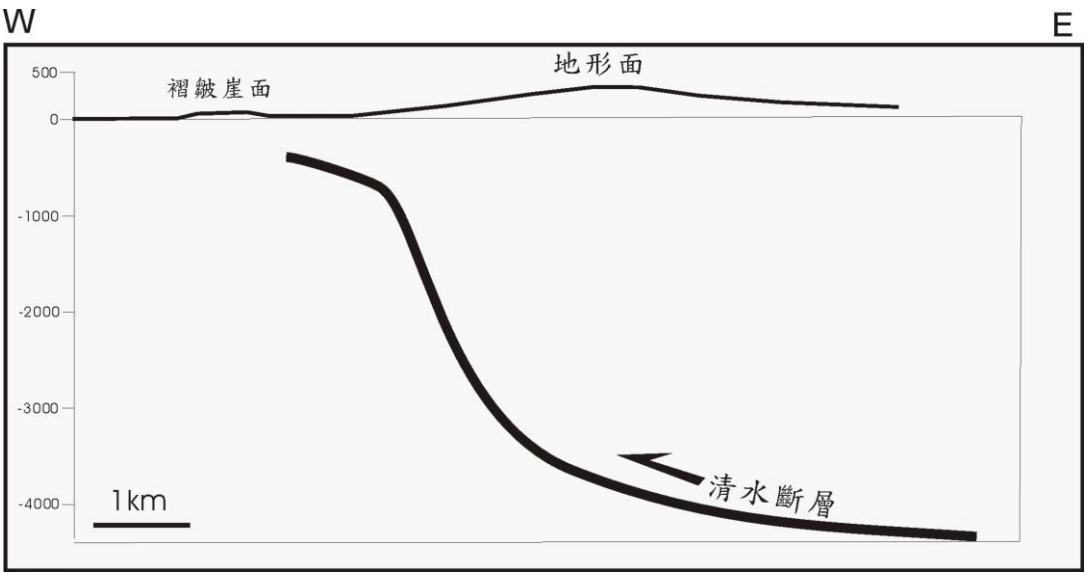


圖 4.32 清水斷層中段地下構造型態,此剖面中變形前緣地形低緩，但在最西緣發育褶皺崖，此褶皺崖由於斷層於深處位移所形成。

4-6 大甲斷層與清水斷層斷層帶的範圍、斷層帶內各分支斷層(branch fault)的位置以及其解析度

4-6-1 大甲斷層的斷層帶

由震測、鑽探及野外調查結果顯示，大甲斷層斷層尖端並未出露至地表，因此為一盲斷層形式，但斷層上盤由於要調適斷層深部的滑移量，發育斷層傳遞褶皺作用(fault propagation fold)，因此在近斷層處發育褶皺，因此大甲斷層帶在此處指的是褶皺變形帶（圖 4.24），由野外調查及震測分析顯示此變形帶寬度約 100-200 公尺（圖 4.26），其精度在數十公尺之間，在大甲二號井中約 92 公尺處有平行層面剪切帶，此剪切帶可能連接至鐵砧山斷層。在大甲二號井中，以層間滑動為主，主要滑動面在 84.7~86.7 公尺之間，可能導因於褶皺作用時伴隨的層面滑動，此位置精確度在數公尺之間。

Chen et al.(2007)由地形分析，研判在大甲斷層上盤存在許多小規模斷層（圖 4.33），但這些斷層由於缺乏野外露頭，目前僅列為可能存在斷層。

在大安溪旁的大甲斷層上盤，發育走向近東西走向的正斷層，所發現正斷層位移量小於 1 公尺，此正斷層截切 UnitA 的礫石層，為一甚為年輕的斷層系統，部份正斷層伴隨許多高角度的節理發育，形成破碎帶，此斷層位置有 GPS 控制，精度當在數公尺之間。

斷層尖端的位置，在不同剖面位置稍有差異，如在最北端的剖面中，淺部岩層僅見褶皺作用，斷層尖端在較深處，在緊臨大安溪剖面中，斷層尖端約在約在深度 400 公尺附近，此精度當在數十公尺之間。

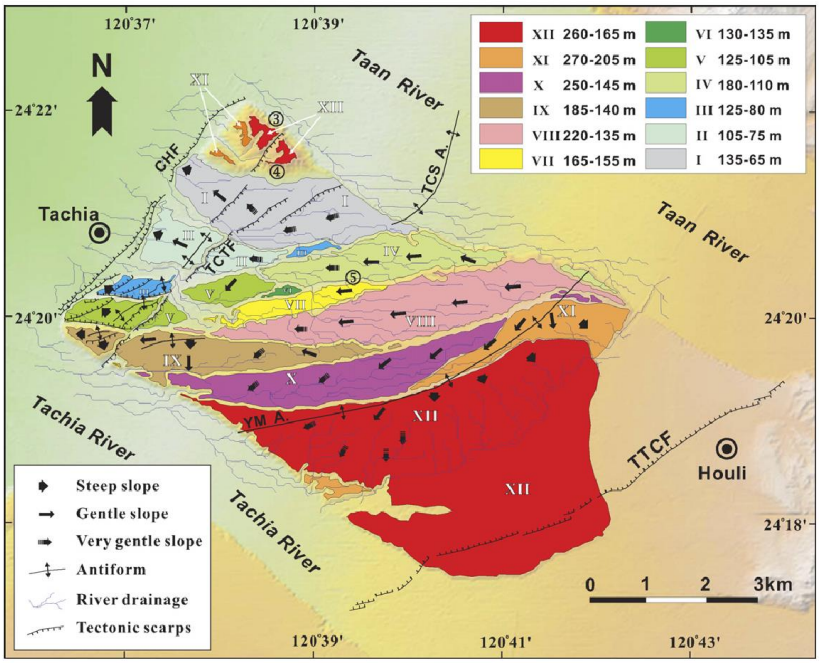


圖 4.33 Chen et al.(2007)利用地形判釋的斷層分布圖

4-6-2 鐵砧山斷層斷層帶

在地形判釋中可見數條近南北走向的背衝斷層，此次在野外中也首次發現斷層位置。此鐵砧山斷層由大安溪向南延展至沙鹿附近。相較於大甲斷層未出露至地表，鐵砧山斷層已出露至地表。

4-6-3 清水斷層南段的斷層帶

本研究認為清水斷層南段的斷層帶亦未出露地表，斷層尖端約約於地下 600 至 1000 公尺處。近地表處僅見褶皺，此精確度當在 1-3 百公尺之間。本研究中未鑽遇斷層帶，在大肚一號井中，120 公尺後可見岩層傾角約 5-10 度，壓密程度較佳，上部岩層較為鬆散，層理近水平，研判為現代沖積層。考量淺層震測及鑽探結果，我們認為變形前緣岩層呈現急速的轉折形式（圖 4.34），對於變形前緣位置誤差應在數十公尺至百公尺的範圍之間。

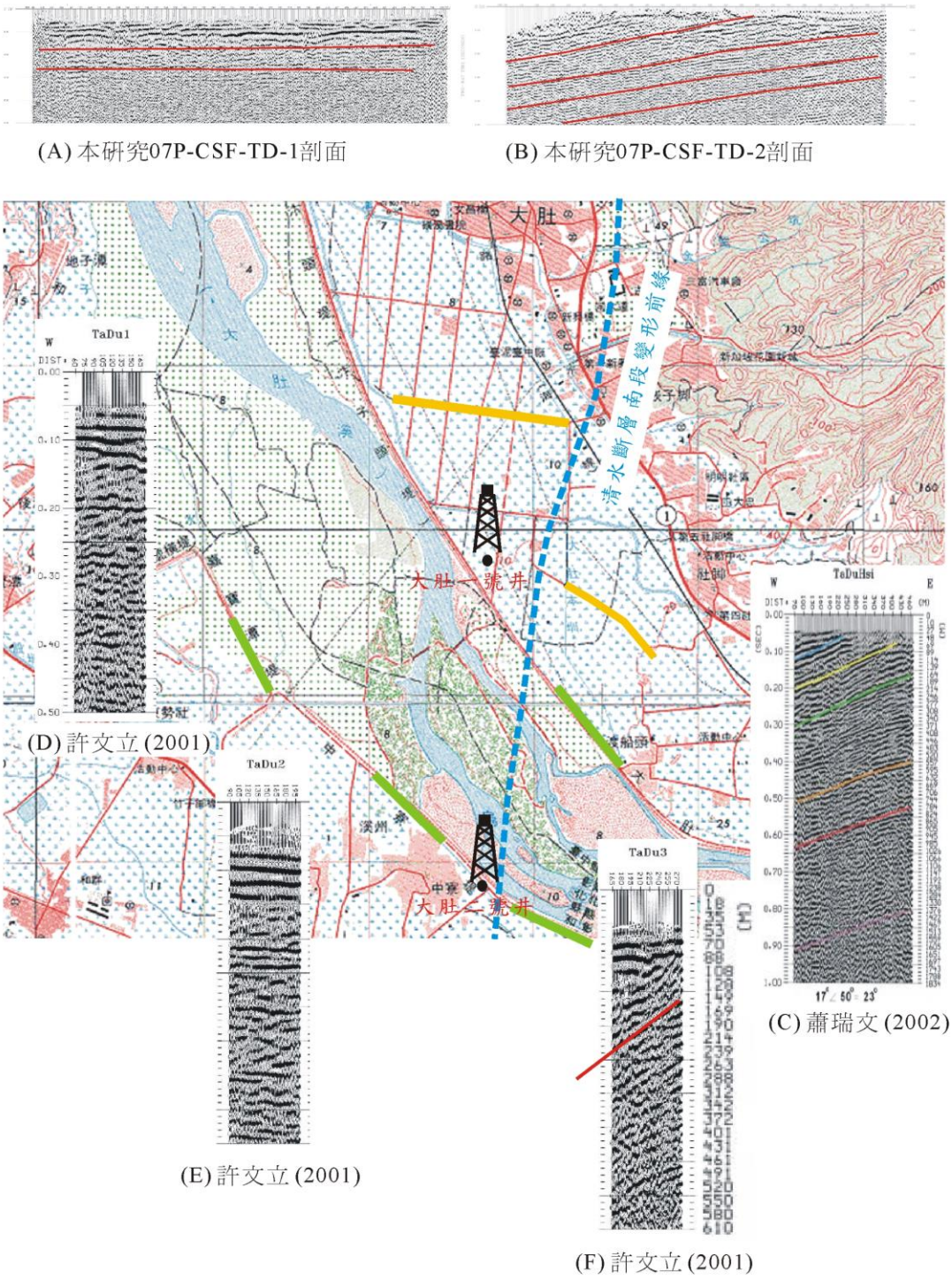


圖 4.34 清水斷層南段的地下構造剖面，上圖震測剖面為本研究成果，下圖震測剖面摘自許文立 (2002)。

4-7 大甲斷層與清水斷層的斷層帶地表沉積物的厚度及各地層的厚度與界面

大甲斷層上盤的變形前緣的地層由於褶皺作用岩層抬升，因此並未發現不整合於斷層上盤的現代沈積物，在大安溪剖面中，地表地層可分為 Unit A 及 Unit B，Unit A 為礫石層，Unit B 分為 B-1 及 B-2 層，B-1 層為泥岩層，B-2 為砂頁岩互層為主。其界限詳細分界可見 4-1 節。此分層在大甲一號及二號井皆可見。

但在清水斷層南段的大肚溪剖面中，可見淺層變形前緣為現代沖積層所覆蓋，厚度約 120 公尺，以下為岩層亦以礫岩及砂泥岩互層為主。

五、大甲斷層與清水斷層的地下構造特性

5-1 運動學分析

為分析大甲斷層與清水斷層南段構造行為的差異，我們利用 Trishear 4.5.4 模式分析(Allmendinger, 2000)。Trishear 4.5.4 程式不僅可模擬斷層上盤三角變形帶的變形行為，亦可模擬斷層傳遞褶皺、斷層彎曲褶皺、平行狀褶皺或相似形褶皺的行為，但僅有變形前緣的三角變形模式可以逆推，其餘模式僅可正演，圖 5.1 為利用 Trishear 4.5.4 程式模擬大甲斷層形態，由模擬中可知要形成褶皺的斷層面行為極為重要，大甲斷層平直，因此斷層上盤平直，不會形成褶皺，斷層尖端的斷層尖端 P/S ratio 為 1.5 時，即會在尖端處形成褶皺。清水斷層為一弧形斷層，斷層面向下趨緩接到滑脫面上，此種形態斷層加上適當的 P/S ratio(斷層尖端傳遞量/斷層面上滑移量比)，即可在斷層上盤形成褶皺，在此模擬中可見近斷層尖端處傾角愈陡，遠離斷層尖端處傾角較緩，此與大安溪旁構造近似（圖 5-1A），此處亦模擬生長層序，但由於此程式無法模擬侵蝕作用，因此此處僅模擬隨著斷層發展生長層序的變形特性，圖 5-1B~E 即為生長層序的變形特性，圖中可見生長層序傾角較緩，類似於不整合現象，此亦與大安溪旁構造近似。

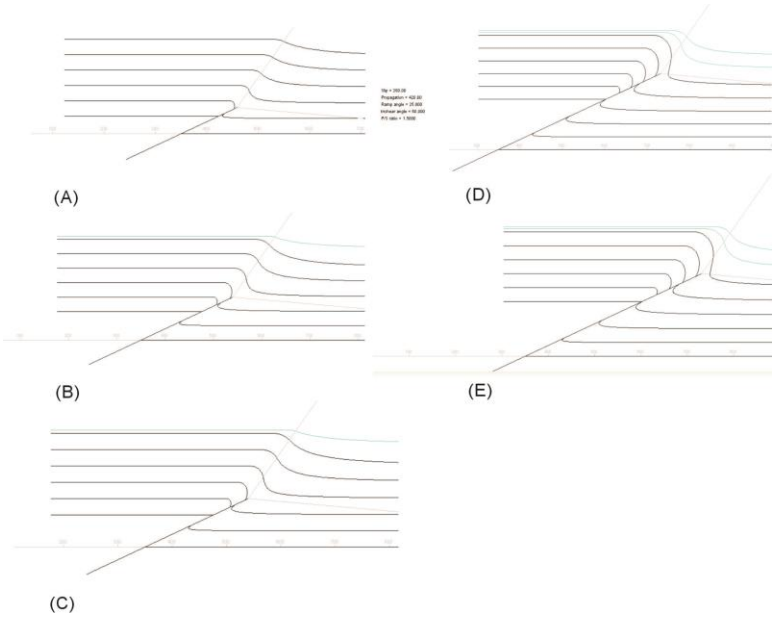


圖 5.1 利用 Trisher 4.5.4 程式可以模擬大甲斷層上盤構造行為，B~E 的藍色線表生長層序。圖中可見斷層尖端地層傾角在深部較陡向上變緩，此與在野外所見構造一致。模擬條件為斷層傾角 25 度，P/S ratio 為 1.5。

5-1-1 清水斷層南段運動學分析

首先我們利用面積平衡法計算清水斷層南段的位移量，圖 5.2 為進行平衡剖面法的構造形態，我們利用頂部四層進行面積平衡以計算位移量，由於原始剖面為時間剖面，我們僅利用 PKT-1 號井的速度構造(Chen, 1978)，儘量調整剖面長寬比為 1:1，相信仍有誤差，我們僅利用淺部層序，主要考量是較深的層序兩側層序厚度不同，此似乎導因於前陸時期正斷層作用，為避免此一困擾，我們僅用淺部層序，面積平衡法假設體積不變，因斷層或褶皺所增加的面積等於計算深度與縮短量相乘的面積，因此我們先挑選計算的地層，計算此地層增加的面積，再量測剖面最西側至滑脫面的深度，最後計算斷層的位移量，位移量由上至下四層的位移量估算如表五所示，由此剖面估算清水斷層南段位移量約 550 公尺，若假設彰化斷層開始活動時間為 62.2±9.6 (Simoes et al., 2007)，則平均位移量約為 8.8mm/yr。

表五 大肚溪剖面清水斷層南段的位移量估算

滑脫面深度(m)	計算地層至滑脫面距離(m)	面積(m2)	縮短量(m)
4300	3880	2146788	553
4300	3650	203381	557
4300	3510	1888970	538
4300	3410	1847093	541

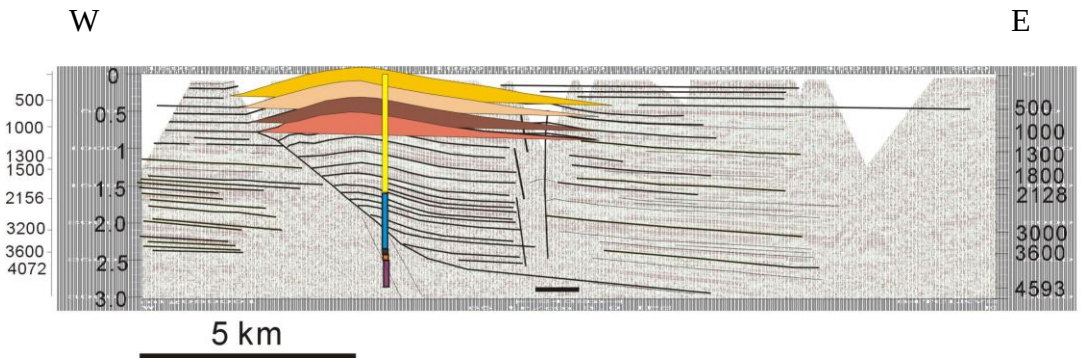


圖 5.2 清水斷層南段由面積平衡法估算位移量，我們利用頂部四層的地層進行分析，顯示斷層位移量約為 550 公尺。

對於彰化斷層的剖面，過去利用接近田中附近的中油震測剖面（Yue et al.,2005），Yue et al. (2005)認為此區構造為斷層彎曲褶皺，或利用大肚溪南岸的震測剖面 (Sumoes, et al.,2007)，本研究則利用新的震測剖面進行分析。Simoes et al. (2007)認為斷層彎曲褶皺無法形成後翼(back limb)的旋轉，因此認為 pure shear 模式方能表示大肚剖面構造形態，本研究剖面與 Chen (1978)剖面接近，但品質更好，首先我們觀察不到有 pure shear 現象，若有則應發生層厚增加的現象，但本研究未發現，但斷層彎曲褶皺無法解釋後翼旋轉問題，本研究由新的剖面認為斷層尖端並未出露至地表，但亦未沿著水平延伸形成斷層彎曲褶皺，反而接近斷層傳遞褶皺形態，因此本研究利用 Trishear 4.5.4 的程式斷層傳遞褶皺特性，此外我們亦發現斷層為一 listric fault 形態，因此最後我們分析這種 listric fault 的幾何形態所伴隨形成的褶皺形態(Allmendinger and shaw, 2000)。圖 5.3 為假設 P/S ratio 為 0.5，triangle zone 為 60 度，斷層傾角近於清水斷層南段剖面形態，5.3 A 及 B 中可以發現斷層上盤發育褶皺構造，類似於清水斷層南段，此外此模擬中顯示後翼有旋轉現象，此亦與地形剖面近似。此外在清水斷層南段的褶皺形貌由南向北改變，如北端褶皺較對稱形態，且變形前緣在褶皺更前方，南端較不對稱，在地形上變化極為明顯，如圖 5.4 所示。為何構造形態會有這些變化，我們認為反應底下斷層行為的改變，圖 5.3C 即為我們利用 Trishear 4.5.4 程式模擬當斷層傾角由高傾角轉為低傾角時的褶皺形態，圖中可見此形態類似於圖 5.4C 的形態，此時褶皺較為對稱，且在褶皺前方另有一褶皺崖面，由此模擬結果，我們認為清水斷層南段中，褶皺形態的變化導因於底下斷層傾角改變所致。

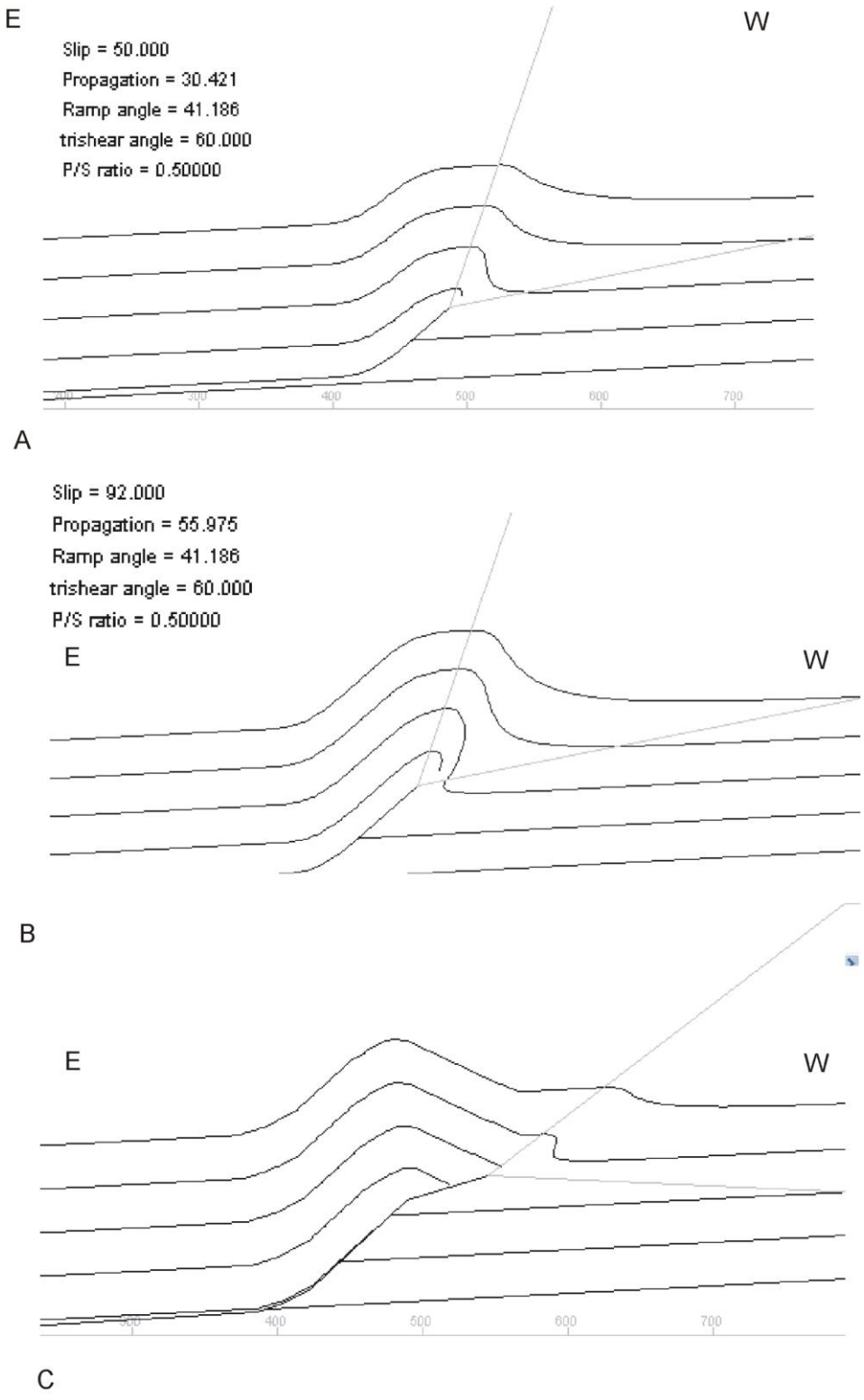


圖 5.3 利用 Trishear 4.5.4 模擬清水斷層南段的褶皺形貌(Allmendinger, 2000)。A 的形貌類似於大肚溪南岸，B 為斷層位移量增加時的褶皺形貌。C 為模擬較對稱的褶皺形態且褶皺前緣尚有另一褶皺崖面，此時斷層須從高傾角轉為較低傾角。

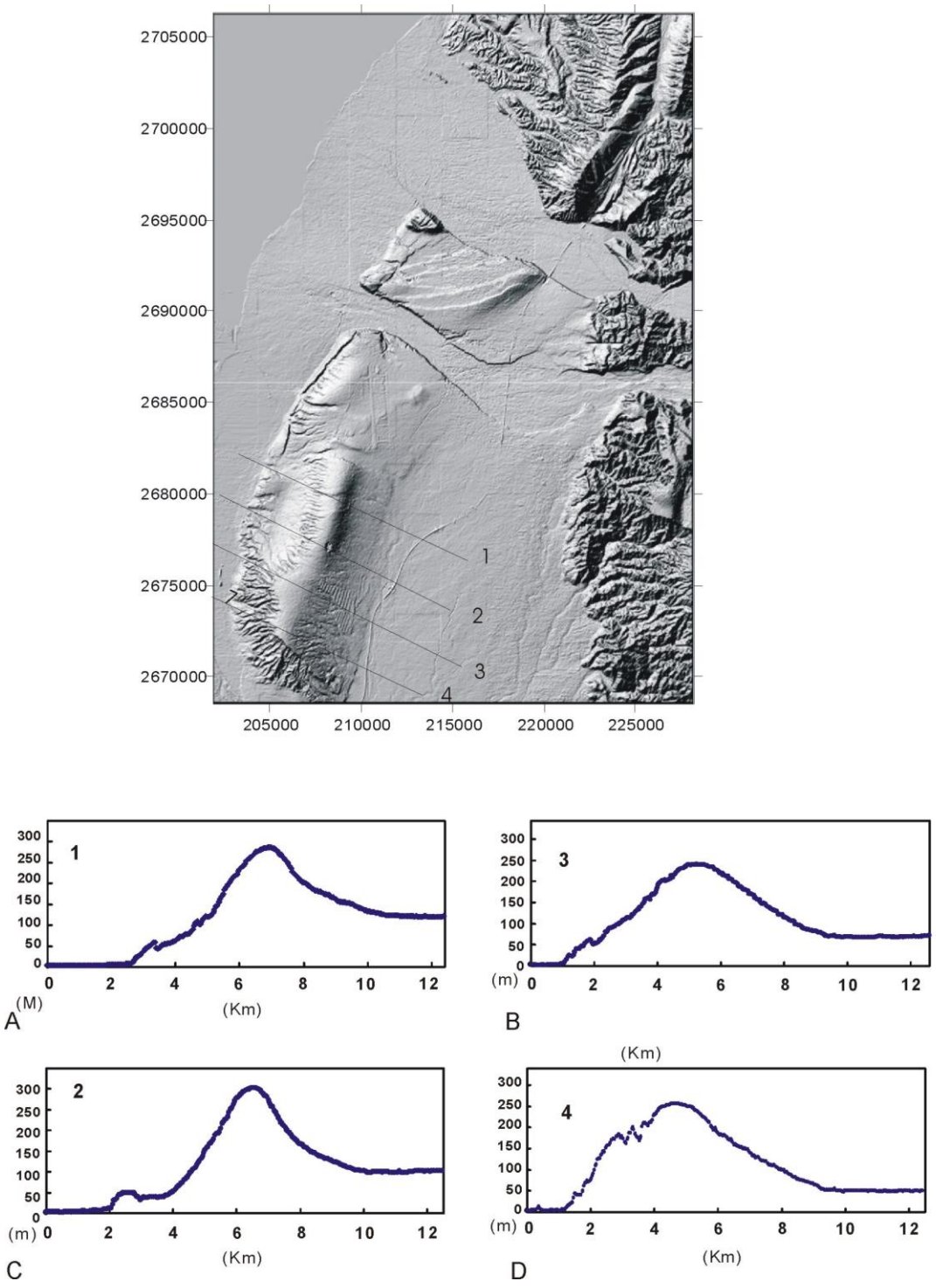


圖 5.4 清水斷層南段的地形剖面，此地形剖面型態反應地下構造行為的差異，圖 C 的構造形態近似於圖 5.3.C，圖 D 的構造近於圖 5.3A 及 B。

5-2 三維地下構造模型

斷層的行為常可由斷層上盤所伴隨發育的構造加以判釋，我們分析從大甲到清水斷層的地形特徵我們發現由北向南斷層上盤的褶皺或構造行為有極大的差異，此暗示斷層行為的差異。圖 5.5 為大甲斷層上盤地形剖面，斷層上盤地形大致平整，圖 5.6 為清水斷層地形，剖面 1-3 上盤平整，近於大甲斷層，剖面 4 以南，斷層上盤發育背斜構造，地形南北分界在沙鹿附近，位置與泰安斷層近似。由震測剖面顯示，大甲斷層為低角度逆衝斷層，但由大肚溪震測剖面顯示清水斷層最南段構造為一弧形斷層(listric fault)，而清水斷層在沙鹿以北上盤平整，並未發育背斜構造，且此區域的清水斷層上盤發育的鐵砧山斷層北沿至大甲斷層，因此我們認為大甲斷層構造形態應可南延至沙鹿，沙鹿以南的清水斷層為一弧形斷層。

大甲斷層與清水斷層南段除了斷層形態的差異外，斷層滑動層位與斷層系統亦有極大的差異，圖 5.7 為大甲斷層與清水斷層南段地下構造，A 為大甲斷層，大甲斷層之下尚有一斷層，滑動層位為五指山層，大甲斷層淺部切過頭嵙山層與卓蘭層，而南段的清水斷層淺部切過頭嵙山層與卓蘭層，向深部延展並以錦水頁岩為滑脫面。由於鐵砧山背斜為一不對稱的褶皺，且褶皺伸向向東，本研究亦利用 Trishear 4.5.4 模擬此種褶皺機制，圖 5.8 為模擬斷層彎曲褶皺，斷層形態為一弧形形態，在此一斷層形態下的斷層彎曲褶皺其伸向向東，近於鐵砧山背斜構造。

在圖 5.9 我們繪製由南至北三維地下構造，圖中可見斷層形態由南向北逐漸改變，為何會構造形態會有這樣的差距？我們認為主要受控於前陸盆地形貌，圖 5.10 為大甲至彰化錦水頁岩深度分布圖，由於錦水頁岩厚度僅 100-200 公尺，為一極好的指準層，雖然前陸盆地開始於桂竹林層(Lin et al., 2003)，但桂竹林層厚度數百公尺，由於錦水頁岩有較好的反射訊號且層厚近似，因此我們利用錦水頁岩沈積以來的厚度，作為分析前陸盆地沈積厚度的變化，由於受後來構造作用，在大甲斷層區域少部份頭嵙山層地層已被侵蝕，但由圖 5.10 中仍可發現在大甲斷層附近，錦水頁岩之上沈積厚度約 2500 公尺，相對的在清水斷層南段，沈積厚度近 4500-5000 公尺，沈積厚度的差異，導致構造行為的差異，此外我們亦發現，在前陸盆地形成時的正斷層亦扮演了控制活動構造的行為重要因素，圖 5.10 的紅線為前陸盆地形成時期的正斷層，這些正斷層在後來的構造活動中大多轉為橫移斷層，導致斷層區段作用，泰安斷層現為橫移斷層，但過去亦可能為正斷層。在大安溪旁的露頭中我們

亦發現許多東西走向的正斷層，圖 5.11 為大安溪旁的正斷層，圖中可見正斷層切過礫石層與砂岩層。

5-3 斷層的分段

由於清水斷層以泰安斷層為界南北的斷層行為不同，且泰安斷層以北清水斷層性質近於大甲斷層，因此建議將大甲斷層重新定義，南沿至沙鹿，而清水斷層由於清水位於沙鹿以北，因此難以沿用既有名稱，因此建議沙鹿以南的清水斷層修改為大肚斷層（圖 5.12）。

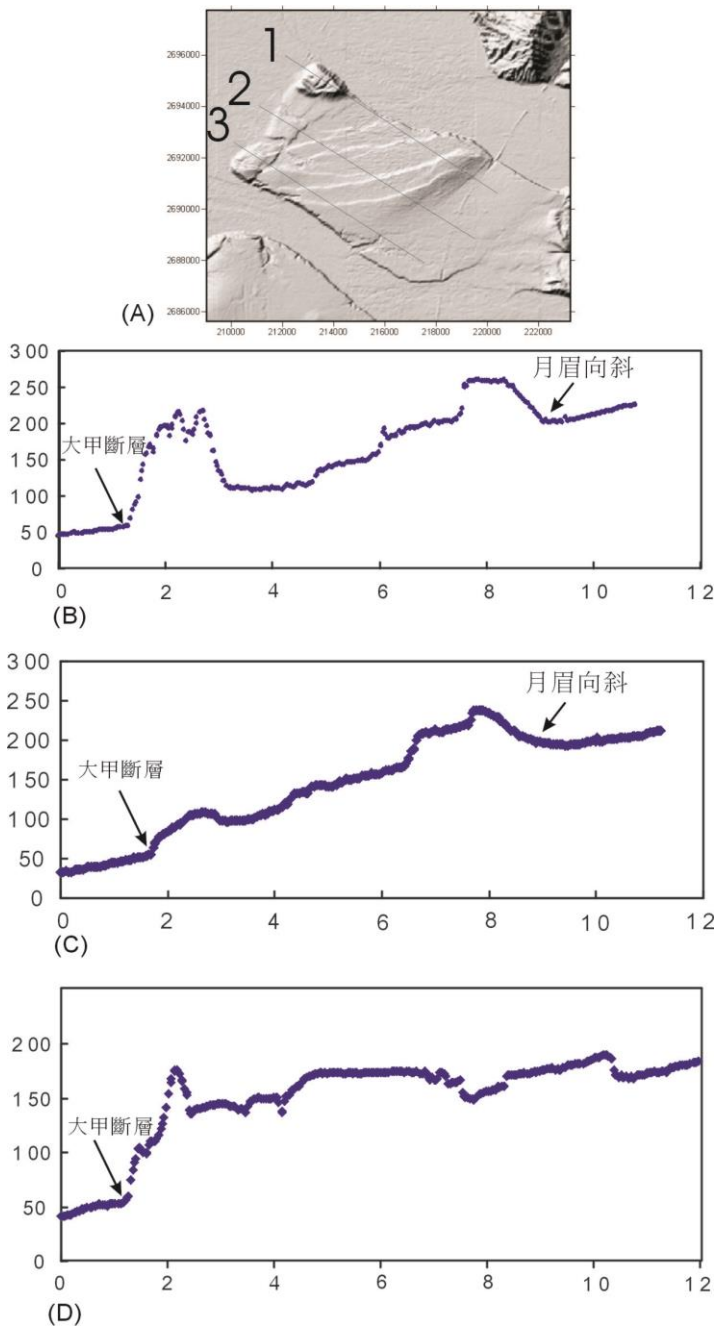


圖 5.5 大甲斷層地形剖面,地形反應受斷層抬升階地的型態，整體而言斷層上盤階面除在月眉向斜附近有變形外大致平整。

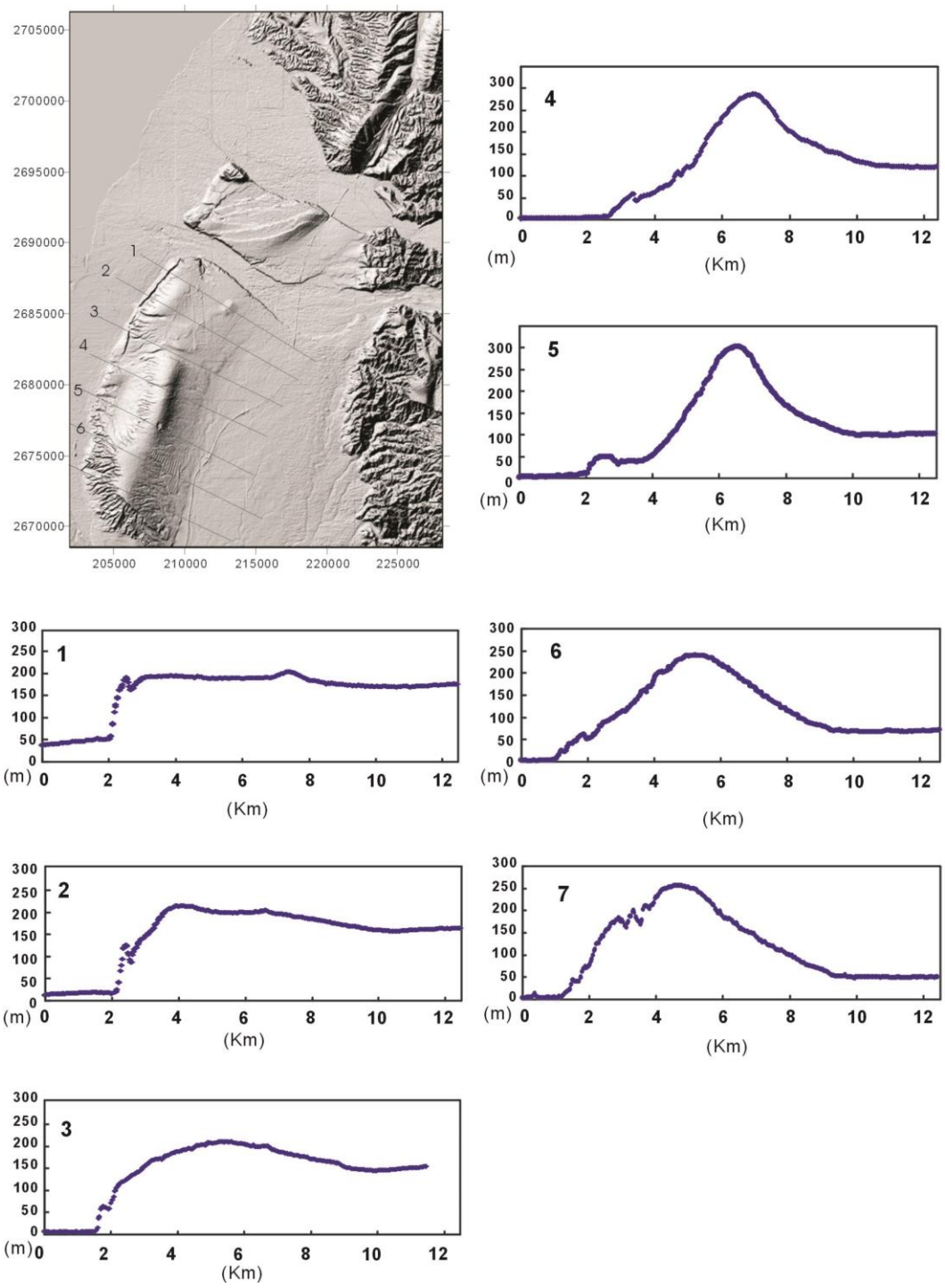


圖 5.6 清水斷層上盤地形特徵。剖面 1~3 上盤地形近於大甲斷層，地形較為平整。剖面 4 以南，斷層上盤發育明顯背斜構造。此暗示清水斷層南北構造有別。

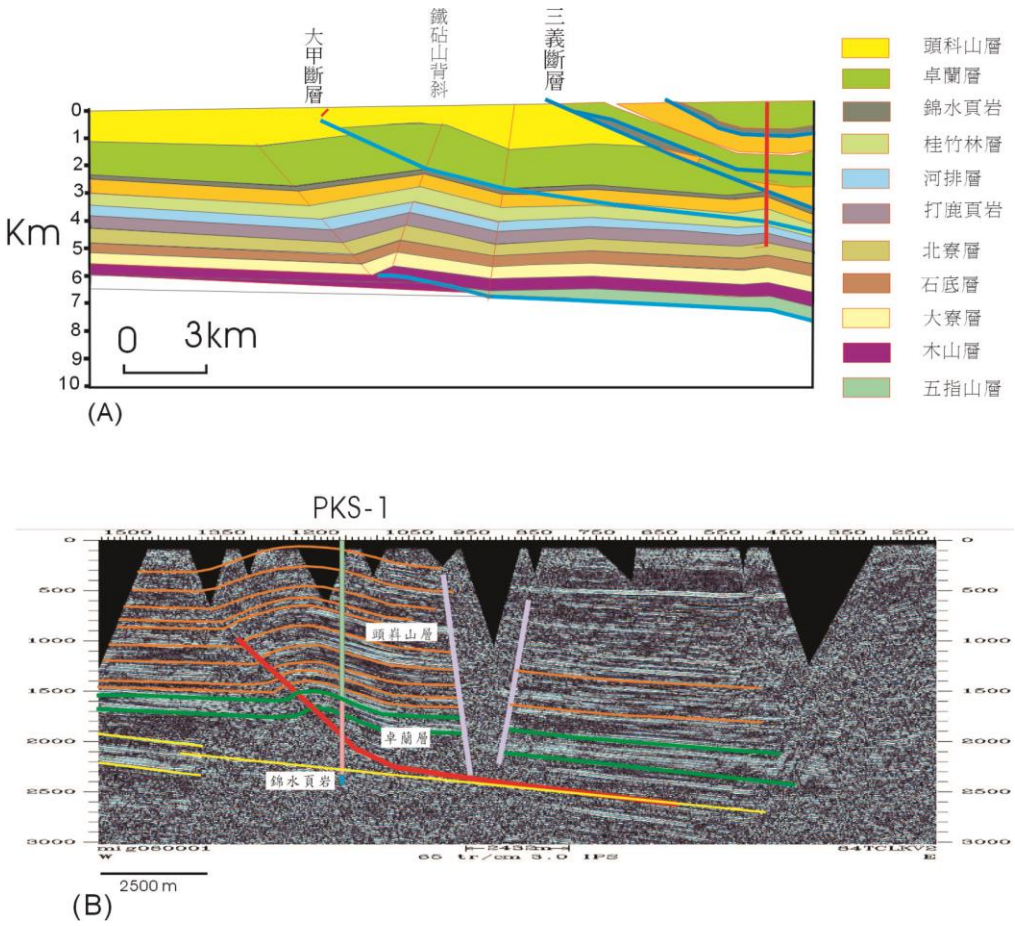


圖 5.7 大甲斷層與清水斷層南段的構造形態。

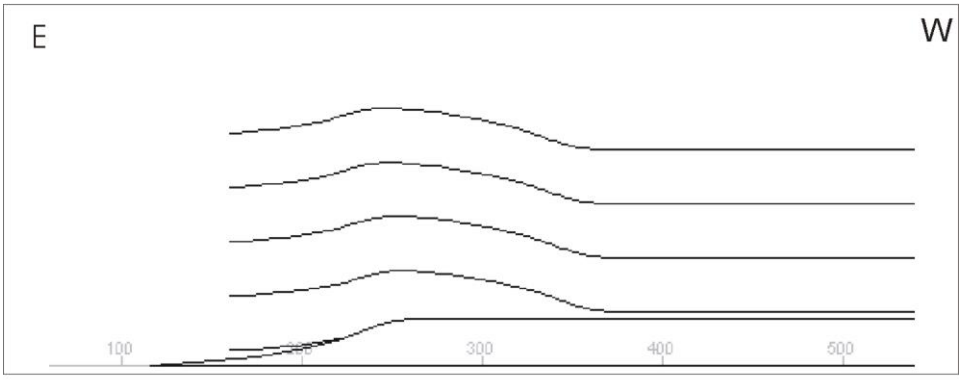


圖 5.8 模擬伸向向東的斷層彎曲褶皺，當斷層形態為一弧形形態，則斷層彎曲褶皺的伸向向東，近於鐵砧山背斜伸向向東的構造。

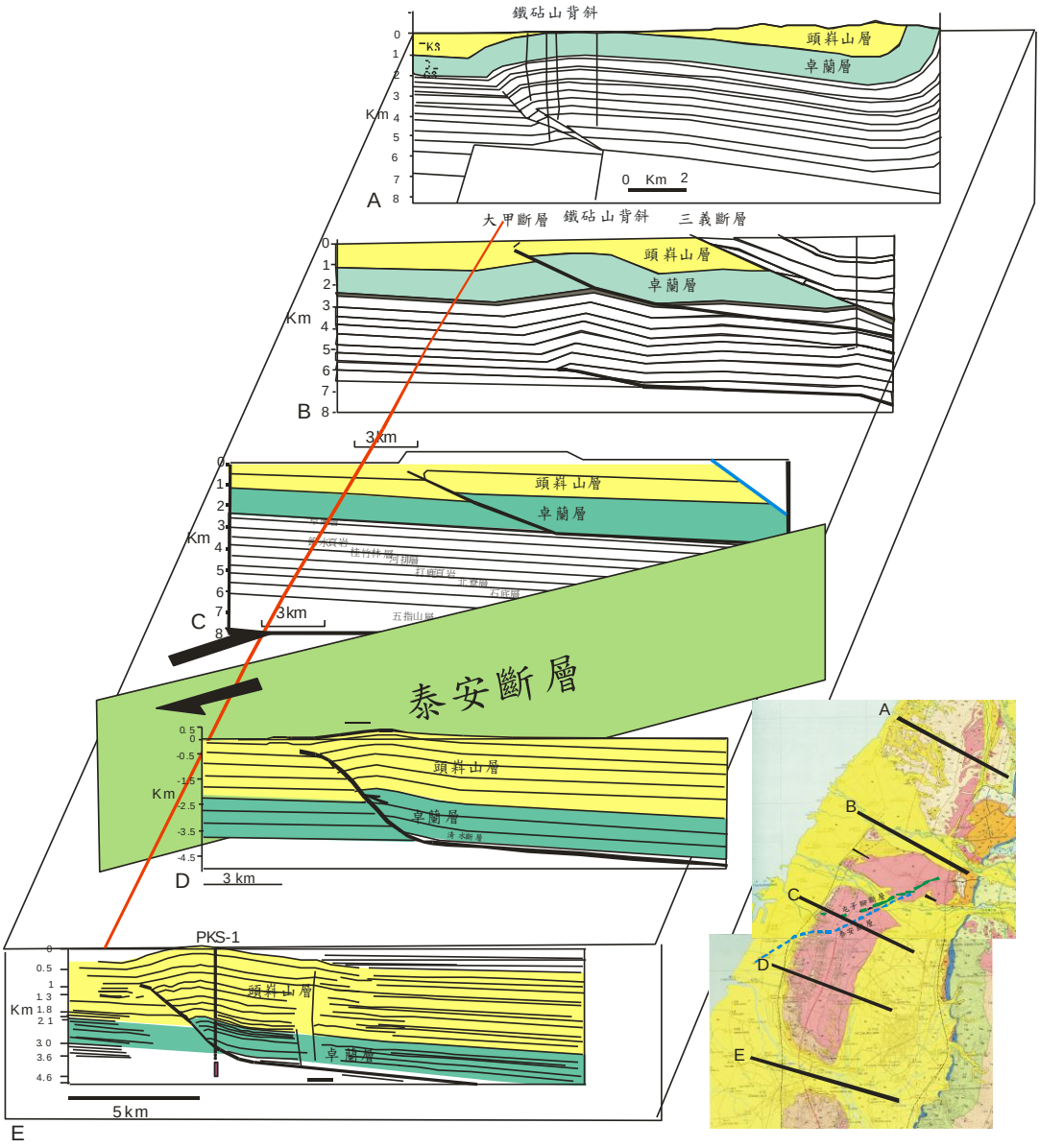


圖 5.9 大甲斷層至清水斷層地下三維構造模型，A 圖位於為大甲斷層以北，此處僅見鐵砧山背斜與下伏的斷層（修改自鐘開真,1996），B 圖有大甲斷層與下伏滑脫面斷層，C 剖面為清水斷層北段構造，構造形態近於大甲斷層，D 剖面為清水斷層南段，斷層在淺部改變傾角，E 剖面為大肚溪面，斷層呈現弧形斷層形態(listric fault)，右圖為剖面位置。

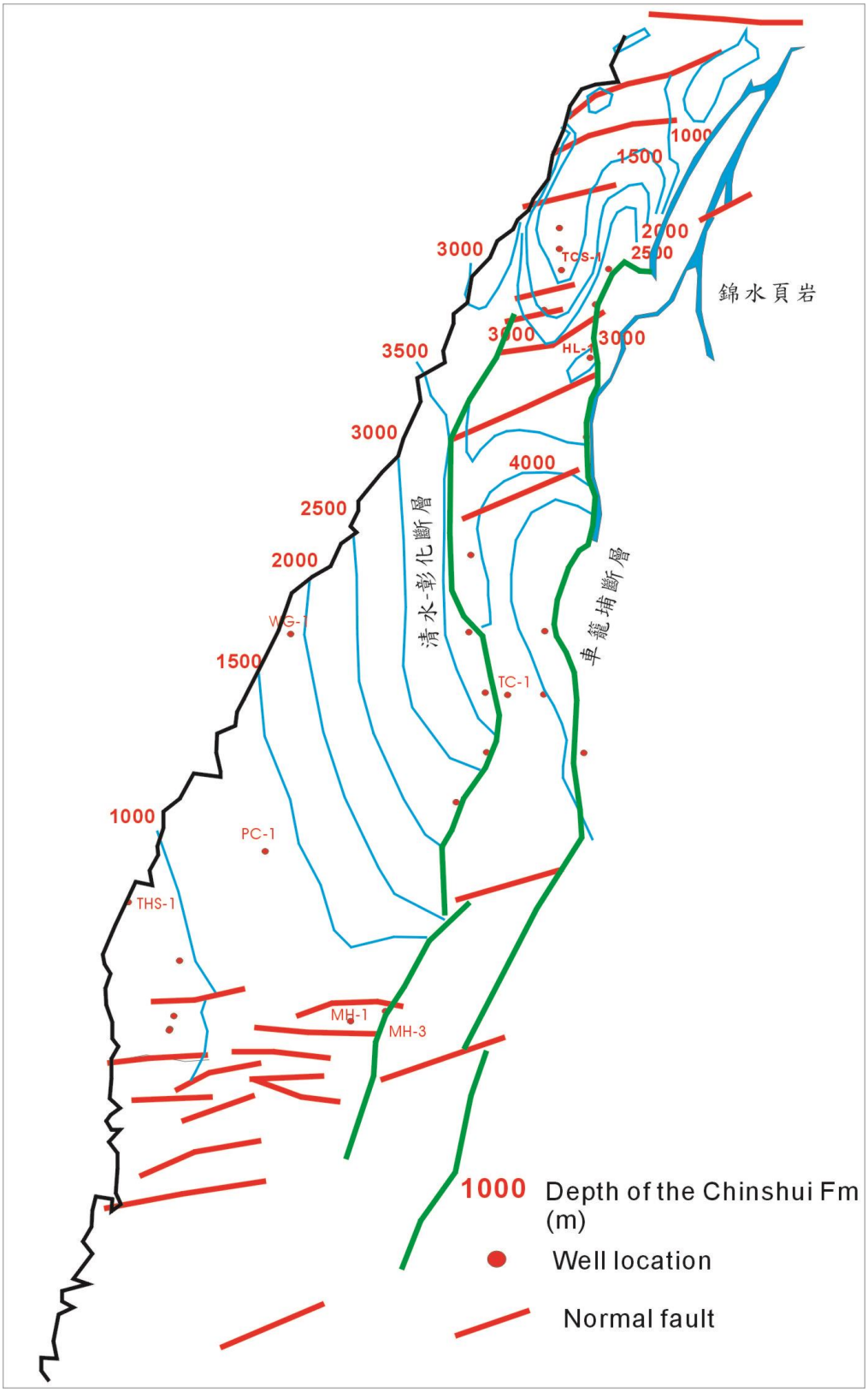


圖 5.10 錦水頁岩構造深度分布圖,資料修改自 Pan(1967)，錦水頁岩以上地層厚度在清水-彰化斷層一帶高達 4500- 5000 公尺厚，大甲一帶約 2500 公尺厚。



（A）



（B）



（C）

圖 5.11 為大安溪旁的東西走向的正斷層。（Ａ）共軛的正斷層。（Ｂ）正斷層切過 Unit B 及 UnitA。（Ｃ）為（Ｂ）圖近照，圖中可見礫石層受斷層作用拖曳現象。

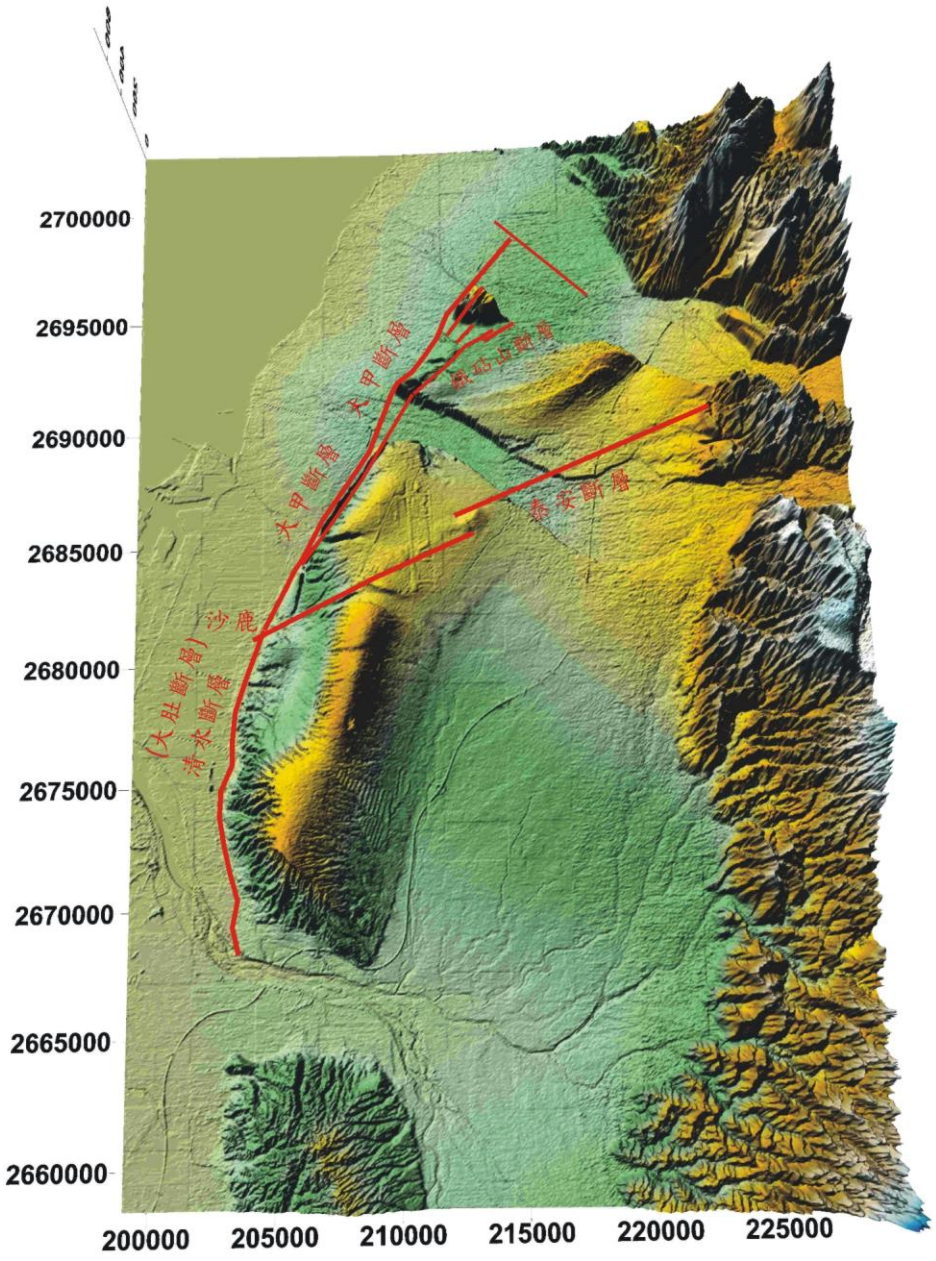


圖 5.12 大甲斷層與清水斷層的斷層分段圖，由斷層性質的差異建議修改大甲斷層與清水斷層定義。

六、討論與結論

依目前調查結果，對於大甲斷層的斷層構造已有較明朗的理解，大甲斷層為向東傾斜約 17-25 度低角度逆斷層，北起於大安溪，南至沙鹿附近，北端的邊界受控於東西向正斷層，南端邊界為泰安斷層，斷層尖端未出露地表，近地表處岩層受斷層傳遞褶皺作用，地層呈現高角度向東傾斜，並發育生長層序。大甲斷層之下尚有一深部的滑脫面斷層，滑脫面以五指山層為滑脫面，此斷層為形成鐵砧山背斜主要的斷層，此深部斷層向南終止於大甲溪。

鐵砧山斷層特性過去僅限於地形證據，缺乏斷層露頭，本研究首次發現此斷層為向西傾斜的低角度斷層，此斷層在北側分散為數條斷層，斷層的發育是由於大甲斷層尖端的地層由於斷層伴隨的褶皺作用造成地層高角度傾斜，此造成斷層尖端不易向前推進，而深部的大甲斷層持續滑動，因此為調適深部斷層的活動，鐵砧山背衝斷層開始發育。由於鐵砧山斷層位移量較小，崖高較低，因此進行槽溝開挖較為容易因此也建議可在鐵砧山斷層進行槽溝開挖，同時可藉由分析鐵砧山斷層進而分析大甲斷層系統的活動歷史。

清水斷層過去定義北起大安溪南至大肚溪之間，但由本研究顯示清水斷層以沙鹿（泰安斷層）為界南北構造形態有別，北端構造近似於大甲斷層，因此考慮斷層區段作用，加上清水在沙鹿以北，因此沿用舊有名稱而僅改其定義並不妥，因此建議重新定義一新的斷層-大肚斷層，大肚斷層北起沙鹿南至大肚溪，由淺層及深部震測研究顯示，最南段的大肚斷層為一碗型斷層(listric fault)，斷層向下延伸，最後接到以錦水頁岩為滑動面的滑脫面，斷層尖端未出露至地表。

大甲斷層與大肚斷層以泰安斷層為界，泰安斷層為一右移斷層（陳太山與蘇福欽, 2002），1935 年屯子腳斷層為泰安斷層的一部分。泰安斷層的發育為前陸盆地發育時期為調適地殼南北撓曲程度不同所形成的正斷層，後來當大甲與大肚斷層斷層持續活動，為調適南北構造形態的差異，原先的正斷層觸發為橫移斷層。

大甲斷層縮短量約 500-600 公尺之間與清水斷層南段(大肚斷層)的斷層縮短量約 500-600 公尺之間，縮短量近似，但構造形態不同，主要控制機制為前陸時期南北盆地沈陷量不同，北側錦水頁岩之上沈積厚度約 2500 公尺，泰安斷層以厚度急速增加至近 4500- 5000 公尺，沈積物厚度的不同導致北側

深部滑脫面層位為五指山層，而南側為錦水頁岩，因此前陸時期沈積厚度不同為控制本區斷層形態及斷層區段最主要的因素。

參考文獻

中油（1974）十萬分之一苗栗圖幅。

中油（1982）十萬分之一台中圖幅。

石再添、鄧國雄、張瑞津、石慶得、楊貴三 (1986) 台灣活動層的地形研究，師大地理研究報告，第 12 期，第 1-45 頁。

石再添、鄧國雄、張瑞津、石慶得、楊貴三、許民陽（1984）臺灣西部與南部活斷層的地形學研究。師大地理研究所地理研究報告，第 10 期，49-94 頁。

石同生、張雲翔 (2005) 屯子腳斷層，經濟部中央地質調查所施政計畫報告，活動斷層調查報告。

何信昌、陳勉銘 (2000) 五萬分之一地質圖- 台中圖幅, 經濟部中央地質調所。

林啟文、林燕慧 (2001b) 清水斷層, 經濟部中央地質調查所活動斷層報告。

林啟文、林燕慧 (2001a) 大甲與鐵砧山斷層, 經濟部中央地質調查所活動斷層報告。

林朝棨（1957）臺灣地形。臺灣省文獻委員會, 共 424 頁。

林啟文、張徽正、盧詩丁、石同生、黃文正 (2000) 台灣活動斷層概論－五十萬分之一臺灣活動斷層分布圖說明書第二版，經濟部中央地質調查所特刊第十三號，共122 頁。

張憲卿（1994）五萬分之一臺灣地質圖幅說明書－大甲圖幅。經濟部中央地質調查所，共 63 頁。

許文立 (2001) 彰化斷層之淺部構造。中央大學地球物理研究所，碩士論文，共106頁。

陳太山、蘇福欽 (2002) 彰化斷層北端之構造形態報告。中油公司。

傅式齊 (1995) 鐵砧山地區及苗栗至彰化外海儲集層之震測評估, 探採彙報第十八期。

黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏 (2004) 台灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究(5/5)-台灣西部麓山帶地區地下構造綜合分析,經濟部中央地質調查所，共72頁。

楊貴三（1986）臺灣活斷層的地形學研究-特論活斷層與地形面的關係。私立中國文化大學地學研究所博士論文，共 178 頁。

董倫道、陳文山、李奕亨（2006）地震地質及活動斷層資料庫建置計畫, 地球物理探勘研究計畫（5/5）, 經濟部中央地質調查所。

劉彥求（2007） 大甲斷層鑽探報告, 經濟部中央地質調查所。

蕭瑞文 (2002) 清水斷層之淺部構造。中央大學地球物理研究所，碩士論文，共113頁。

鐘開增 (1996) 苗栗地區麓山帶的地質構造, 立中央大學應用地質研究所。

Allmendinger, R. W. and Shaw, J. H. (2000) Estimation of fault propagation distance from fold shape: Implications for earthquake hazard assessment. Geology 28, 1099-1102.

Chang, S. L. (1971) Subsurface geologic study of the Taichung Basin, Taiwan, Pet. Geol. Taiwan, 8, 21– 45.

Chen, J. S. (1978) A comparative study of the refraction and reflection seismic data obtained on the Changhua plain to the Peikang Shelf, Taiwan, Pet. Geol. Taiwan, 15, 199– 217.

Chen, Y. G. et al. (2007) River terrace development in response to folding above active wedge thrusts in Houli, Central Taiwan, Journal of Asian Earth Sciences, doi:10.1016/j.jseaes.2006.07.023

Hsu, T. L. and Chang, H. C. (1979) Quaternary faulting in Taiwan. *Mem. Geol. Soc. China*, no.3, 155-165.

Ku, C.C. (1963) Photogeologic study of terraces in north-western Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, no.6, 51-60.

Namson, J. (1981) Structure of the Western Foothills Belts, Miaoli-Hsinchu Area, Taiwan: (Ⅰ) Southern Part. Petroleum Geology of Taiwan, no.18, 31-51.

Pan, Y.S. (1967) Interpretation and seismic coordination of the Bouguer gravity anomalies over west-central Taiwan, Petroleum Geol. Taiwan, n.5, 99-115

Simoes, M., J. P. Avouac, Y.-G. Chen, A. K. Singhvi, C.-Y. Wang, M. Jaiswal, Y.-C. Chan, and S. Bernard (2007) Kinematic analysis of the Pakuashan fault tip fold, west central Taiwan: Shortening rate and age of folding inception, J. Geophys. Res.,112, B03S14, doi:10.1029/2005JB004198.

Sun, S. C.（1965） Geology and petroleum potentialities of the Chingshui-Yuanlin area, Taiwan. *Petrol. Geol. Taiwan*, no.4, 161-173.

Tang, C. H.（1969） Photogeologic interpretation of the Miaoli area, Taiwan, with special reference to its geologic structures. *Proc. Geol. Soc. China*, no.12, 11-19.

Wang, C. Y., S.-Y. Kuo, W.-L. Shyu, and J.-W. Hsiao (2003) Investigating near-surface structures under the Changhua fault, west-central Taiwan by the reflection seismic method, Terr. Atmos. Oceanic Sci., 14, 343–367.

Yang, K. M., S. T. Huang, J. C. Wu, H. H. Ting, W. W. Mei, M. Lee, H. H. Hsu, and C. J. Lee (2007) 3D geometry of the Chelungpu Thrust System in central Taiwan: its implications for active tectonics. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 18, 143-181, doi: 10.3319/TAO.2007.18.2. 143(TCDP).

期中報告委員意見說明

(1)報告中各斷層的定義，如延伸範圍、分段情形等，請列表說明，以釐清所指斷層的意涵。重新定義各斷層時，亦請清楚說明。	已在最後一段說明分段意義
(2) 大甲溪以南大甲斷層下盤是否有一深部斷層以形成大甲斷層上盤地表之背斜構造請加以說明。	已在震測剖面2.3及2.4中說明
(3) 報告中所提分界的泰安斷層有何野外現象? 泰安斷層與屯子腳斷層二者間關係為何?	屯子腳斷層為泰安斷層一部份
(4)請詳細說明地表調查所發現的小斷層，發生的時間、成因、與構造發展的關係，以便討論這些小斷層與大甲斷層、清水斷層的關係。	已在淺層地下構造構造模式中解釋
請注意文字及圖片使用的版權問題。	已修改
文字、圖片仍多錯漏；請修正內文標題、圖說文字圖例內容、圖版配置，岩心照片品質，參考文獻格式與引用等，以利讀者閱讀。	已修改
請加強調查資料整合，並於期末報告時詳述構造剖面及運動學分析的成果。	已進行構造剖面與運動學分析

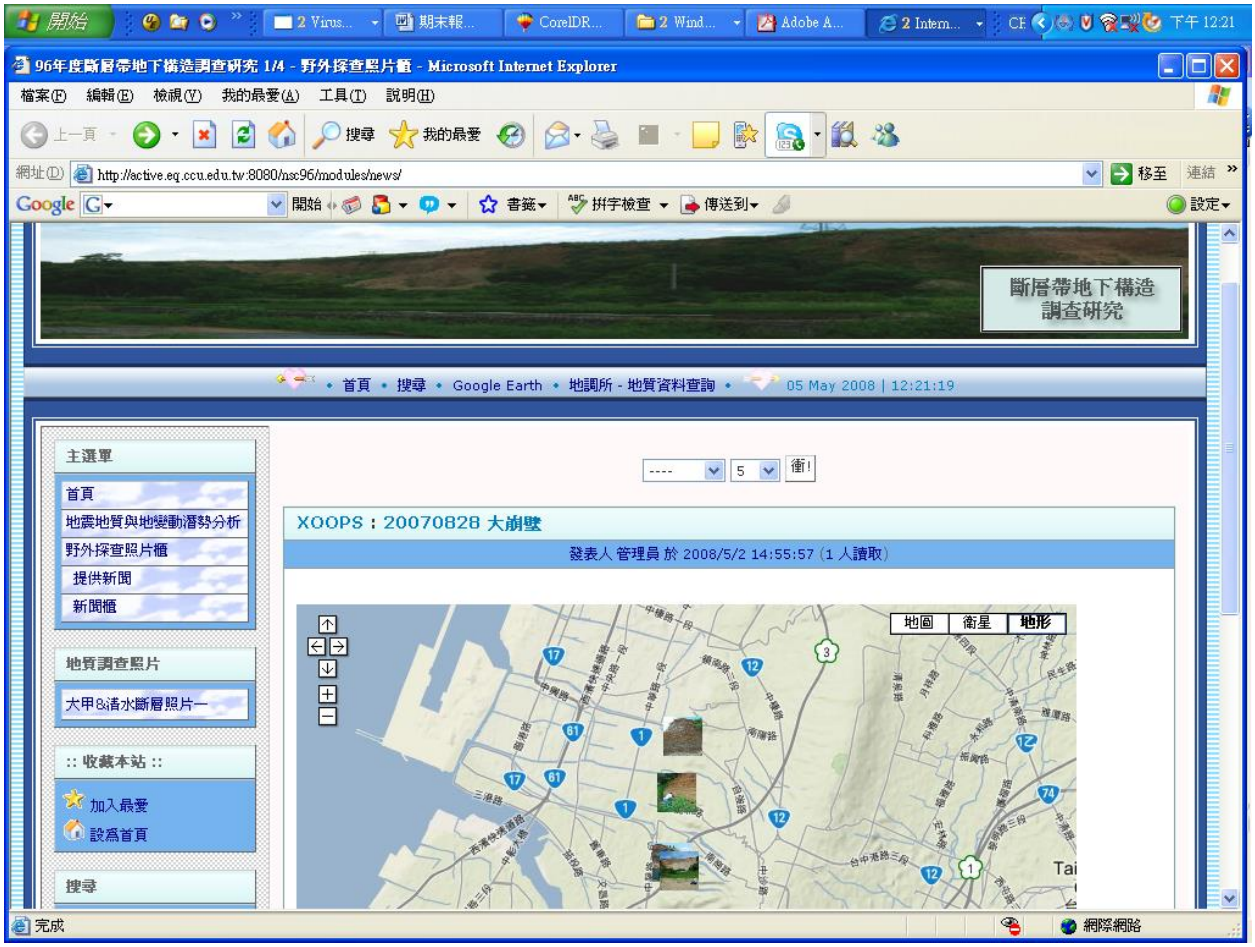
期末報告委員意見說明

(1)請將計畫目標及工作內容等列入期末報告，增加報告的完整性。	已加入前言說明計畫目標及工作內容。
(2)報告之前言或緒論請附一張index map 仔細標示文中所提的所有斷層含大甲、清水、鐵砧山、龍井、彰化等斷層以及褶皺，包含大肚背斜、彰化背斜等的位置。	已在前言中加入圖一說明斷層位置。
(3)應加說明計畫成果和主計畫「地震地質與地變動潛勢分析」之關聯性。	已在文中說明。
(4)請加強說明鑽井分析之結果及其與斷層幾何架構之關係。	已在鑽探分析加強鑽探結果與斷層幾何的關係。
(5)請比較trishear model和實際觀察的野外地質構造形態，Supper等人(2004)曾利用Fault-bend folding 描述彰化斷層與褶皺之間的幾何形態關係，兩者之間的結果亦請作比較。	已在第五章p108，說明。本研究認為由新的震測剖面顯示大肚剖面的褶皺機制近於斷層傳遞褶皺。
(6)震測剖面與野外或井下地質構造觀察不儘相同，如結果和鄰近露頭構造有異，請於報告中加以說明。	已修改震測剖面解釋。
(7) 構造剖面與運動學分析中，剖面中的fault-related folding的形式是否相同。	模擬分析結果與野外剖面極為近似。
(8)大肚背斜與鐵砧山背斜的關係請說明。	兩者並無關連。
(9)建議繪製地下可能滑移面時，考慮鐵砧山背斜的不對稱性(vergence方向)。	本研究利用Trishear 4.5.4程式模擬過(圖5.8)，當斷層彎曲褶皺的斷層唯一弧形時，即可形成伸向向東褶皺。
(10)建議收集相關定年資料或考慮加入定年研究，以利解析相關斷層的活動年代、速率與沈積作用之交互作用。	已利用Simoes et al.(2007)的定年資料，分析彰化斷層長期滑動速率為8.8 mm/yr。
(11)報告書的格式應統一（如字型及行距等）；文字、圖片仍多錯漏與重複應修正(如圖2.3及圖2.7之說明)；用詞應力求妥切；斷層名稱用詞，請定義清	已修改格式。

楚；圖版配置方向請考量習慣修改；部分圖片不清楚難以配合文字說明請修正；參考文獻格式應統一，重複引用情形應修正；報告編排上請再考量，部份資料請放置於附錄，以增加本文可讀性。	

附錄 A

網頁部份內容


96年度斷層帶地下構造調查研究 1/4 - 野外探查照片櫃 - Microsoft Internet Explorer
檔案(F) 編輯(E) 檢視(V) 我的最愛(A) 工具(T) 說明(H)
http://active.eq.ccu.edu.tw:8080/nsc96/modules/news/
斷層帶地下構造
調查研究
首頁 • 搜尋 • Google Earth • 地調所 - 地質資料查詢 • 05 May 2008 | 12:21:19
主選單
首頁
地震地質與地變動潛勢分析
野外探查照片櫃
提供新聞
新聞櫃
地質調查照片
大甲&清水斷層照片一
:: 收藏本站 ::
加入最愛
設為首頁
搜尋
XOOPS：20070828 大崩壁
發表人 管理員 於 2008/5/2 14:55:57 (1 人讀取)
地圖
衛星
地形
完成
網際網路


96年度斷層帶地下構造調查研究 1/4 - 地震地質與地殼動潛勢分析 - Microsoft Internet Explorer
http://active.eq.ccu.edu.tw:8080/nsc96/modules/tadbook2/open_book.php?book_sn=1
主選單
首頁
地震地質與地變動潛勢分析
野外探查照片櫃
地質調查照片
大甲&清水斷層照片一
:: 收藏本站 ::
加入最愛
設為首頁
搜尋
搜尋
進階搜尋
現在時刻
所有書籍
請選擇單元
全螢幕
簡報
斷層帶地下構造調查研究（1/4）
根據震測剖面及構造分析我們認為大甲斷層北起大安溪南至沙鹿。清水斷層北起至沙鹿向南延伸。大甲斷層為向東傾斜約21-25度的逆斷層，根據井下地質的地表地質本研究認為大甲斷層尖端並未出露至地表，變形前緣以褶皺方式變形。本研究並發現大甲斷層東側的鐵砧山斷層露頭，斷層為向西傾斜的低角度逆斷層，推測可能已出露地表。由於鐵砧山斷層相較於大甲斷層位移量較小，因此建議槽溝開挖可在鐵砧山斷層進行已了解大甲斷層系統的活動性。清水斷層為一碗形(listric fault)斷層，淺部較陡，底部較緩，滑脫面為錦水頁岩。由震測剖面分析清水斷層尖端可能未出露地表，地表崖面為褶皺崖。大甲斷層與清水斷層之間以泰安斷層相隔，泰安斷層為橫移斷層，其位置與1935年屯子腳斷層近似。大甲斷層與清水斷層縮短量近似約為400公尺，顯示雖構造行為不同但縮短量近似。
目錄
目錄
摘要
1 前人研究及區域地質概況
1-1 大甲斷層
1-2 清水斷層
2 地下構造分析
2-1-1 大甲斷層 - 深部震測分析
完成
網際網路

地震地質與地變動潛勢分析斷層帶地下構造調查研究（1/4）
大甲斷層與清水斷層

摘要

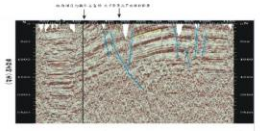
大甲斷層呈北北東走向，北起大甲溪，向南延伸至沙鹿附近，長約19公里，斷層切過不同年代的地形面，並切過最年輕地形面為FT2，具明顯位移累積性，因此為一活動構造，由地下構造分析顯示大甲斷層為一低角度斷層，但斷層尖端未出露地表，由平衡剖面法推估斷層位移量約400-500公尺。

大甲斷層東側的緞砧山斷層，為調適大甲斷層位移的背衝斷層，斷層傾角約20度，切過不同時期階地並具位移累積性，亦為活動性斷層。此外在大甲斷層之下並有一活動的滑脫面斷層，此斷層為形成緞砧山背斜的主要構造。清水斷層以沙鹿為界可分為南北兩段，北段為低角度逆衝斷層，其性質與大甲斷層近似，南段為一弧形斷層(listric fault)，斷層傾角較大，南北段的分界在沙鹿附近，右移的泰安斷層為分隔南北段的構造，1935年的屯子腳斷層為泰安斷層一部份。由於清水斷層北段性質與大甲斷層近似，考量斷層分段建議修改大甲斷層與清水斷層定義，大甲斷層建議北起至自大安溪，南至沙鹿（依目前研究），長度約13公里。由面積平衡剖面法計算龍井斷層龍井斷層的位移量約400-500公尺。

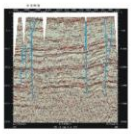
雖大甲斷層與清水斷層南段的斷層傾角與構造特性不同，但總位移量近似，控制斷層形態的主要差異為前陸盆地沈積時期不等量的沈陷量所致



大甲斷層與清水斷層周遭地質圖(CPC, 1974, 1982)



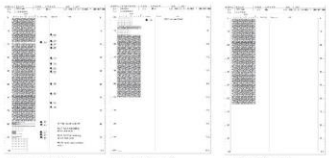
南北向L4測線，此測線中可見大甲斷層北界的橫移斷層(陳文山與蘇振欽，2002)。



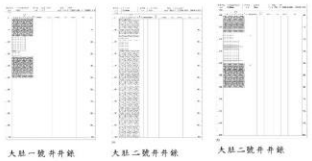
L5 南北向測線中，亦可見泰安斷層存在(陳文山與蘇振欽，2002)



L2測線中觀察到的泰安斷層(陳文山與蘇振欽，2002)



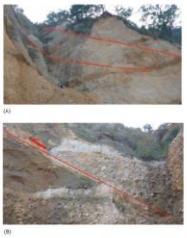
大甲三號井井錄　大甲二號井井錄　大甲四號井井錄



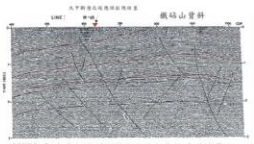
大肚一號井井錄　大肚二號井井錄　大肚二號井井錄



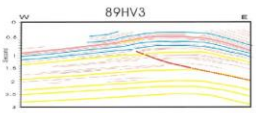
(A) 斷層上盤變形特性，粗選底為下面位置，(B) 近斷層底的斷層上盤位態近平直直。



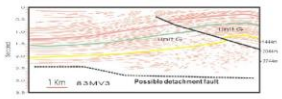
(A) 緞砧山斷層在此處有兩個分支斷層
(B) 圖中可見緞砧山斷層為低角度近斷層且岩性變斷層作用而形成褶斷。



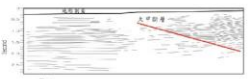
83HV5 震測剖面，此剖面僅見緞砧山資料，未見斷層



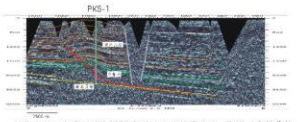
89HV3 震測剖面，此剖面可觀察到大甲斷層，但位移量較小



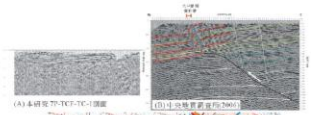
83HV3 震測剖面，此剖面中大甲斷層位移量變大，垂直位移約0.15-0.17秒，大甲斷層之下尚存在另一滑脫面斷層造成緞砧山資料



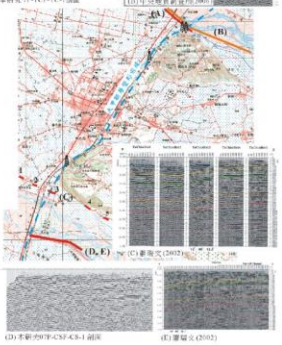
83Y1 震測剖面，此剖面中大甲斷層亦呈低角度逆斷層。



封閉傳水二與蘇振欽(2002)震測剖面的解釋構造，PKS-1底部黃顏色為錦水頁岩，顯示斷層的滑脫面最強大致沿著錦水頁岩面滑動。

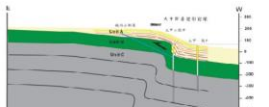


(A)本研究 TP-TCF-TC-1測線　(B)中油地質調查所(2001)

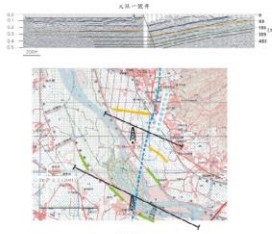


(C)、(D, E) 謝昭文(2002)　(D)本研究TP-CSF-CS-1測線　(E)謝昭文(2002)

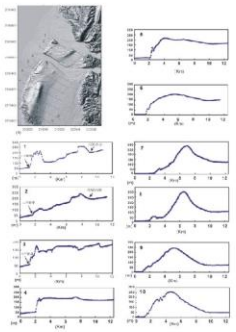
大甲斷層沿線的淺層震測資料與鑽探位置



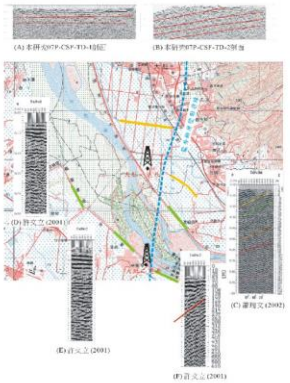
大甲斷層在此處有兩個分支斷層，斷層斷層三維本自露地表，緞砧山斷層為調適淺部大甲斷層位移時形成的構造。



清水斷層與緞砧山斷層的構造剖面，上圖震測剖面為本研究，下圖震測剖面轉自林文欽(2002)。

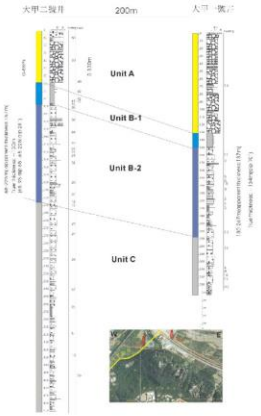


大甲斷層與清水斷層沿線地形剖面，1-6地形特徵較為類似，6-10地形反應褶斷形態

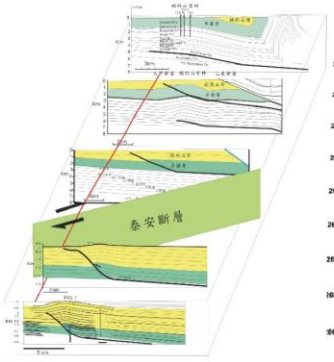


(A) 本研究TP-CSF-TD-1剖面　(B) 本研究TP-CSF-TD-2剖面　(D) 謝昭文(2001)　(C) 謝昭文(2002)　(E) 謝昭文(2001)　(F) 謝昭文(2001)

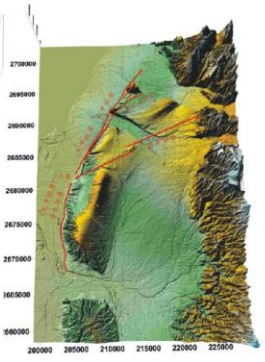
清水斷層南段的淺層震測剖面資料與大肚一號及二號井鑽探位置



大甲一號井與二號井的地層柱及地層對比



大甲斷層呈清水斷層地下三維構造模型，A圖剖面參考Nanson (1981)，B剖面中有大甲斷層與下伏滑脫面斷層，C剖面為清水斷層北段構造，構造形態近於大甲斷層，D剖面為清水斷層南段，斷層在淺部改變傾角，E剖面為大肚溪面，斷層呈現弧形斷層形態(listric fault)。右圖為剖面位置。



大甲斷層與清水斷層的斷層分段分段圖，由斷層性質的差異建議修改大甲斷層與清水斷層定義。

全文完