經濟部

計畫編號：B10834

活動斷層特性精細調查（1/4）

Detailed investigation of characteristics of active faults (1/4)

成果報告書

委託機關：經濟部中央地質調查所

執行單位：國立中央大學

計畫主持人：黃文正

執行單位：國立中央大學

中華民國 108 年 12 月

經濟部

計畫編號：B10834

活動斷層特性精細調查（1/4）

Detailed investigation of characteristics of active faults (1/4)

成果報告書

（定稿本）

計畫主持人：黃文正

協同主持人：陳建志

研究員：波玫琳、顏一勤

計畫期程：中華民國 108 年 5 月至 108 年 12 月

中華民國 108 年 12 月

（本報告內容為階段性之區域地質調查成果，內容包括依據現階段資料之假設與推論，參考時請注意相關基本條件及其限制）

摘要

921 地震後，活動斷層調查工作逐漸由普查轉為精細調查，以往受限於調查條件及社會環境因素，斷層的特性及斷層精確位置及參數並非十分完備，此外，目前台灣活動斷層的地質圖資料多來自於2002~2009年的調查成果,近年來學界亦多提出新的活動構造或活動斷層，這些斷層未經過系統性的調查，也缺乏斷層活動時間證據。因此，本案預計將以 4 年為期，分年度針對初鄉斷層、車瓜林斷層、崙後斷層、口宵里斷層、右昌斷層、斗煥坪斷層及斧頭坑斷層等 7 條新提出尚未收錄的斷層及目前資料尚未完整的活動斷層，進行斷層位置精查、斷層構造特性分析及斷層活動參數蒐集。本年度目標斷層為初鄉斷層、車瓜林斷層，共計完成了兩條目標斷層的沿線空拍及地表地質調查、200 公頃濁水溪河床高精度影像空拍、1 處跨初鄉斷層 812 公尺地電阻探勘剖面、1 處車瓜林斷層地質剖面清理及 4 處東埔蚋溪階地沉積物挖掘採樣，調查結果顯示，初鄉斷層位置於濁水溪河床及東埔蚋溪階地可藉由地形及露頭清楚界定，於濁水溪至東埔蚋溪間的初鄉底則依地電阻探勘剖面界定，濁水溪以北及東埔蚋溪以南，僅能根據層面位態及地形特徵判定。其中濁水溪河床出露完整的斷層露頭，故可界定初鄉斷層下盤僅約 3 公尺寬，上盤約有 150 公尺，且上下盤變形程度相當不對稱，根據斷層兩側之階地高度差配合定年結果可推估初鄉斷層長期滑移速率約 2.5-7.5 mm/yr。車瓜林斷層位置自崑山西側延伸至千秋寮間最明顯，斷層帶可追跡約 4.5 公里，其餘斷層沿線則無明顯地形特徵或露頭不佳而難以追跡，根據斷層露頭及地質剖面清理結果顯示斷層帶厚度約為 5-10 公尺寬，且由間距數公分至十數公分密集分布的剪切帶所構成。本案依調查結果，繪製出初鄉斷層及車瓜林斷層五千分之一斷層跡測繪圖，以及初鄉斷層一千分之一地質構造分布測繪圖。

關鍵詞：活動斷層、斷層特性、初鄉斷層、車瓜林斷層

Abstract

After the 1999 Chi-Chi earthquake, the phase of active fault investigation has been shifted from overall survey to detailed investigation. Up to now, the nature of a fault, the accurate location of the fault and the parameters of its activity are not completely derived for all of 33 active faults owing to the limitation of survey condition and societal factors. Furthermore, the current geologic maps of the Taiwan active faults are mostly based on the survey results from 2002 to 2009. Researchers have proposed some unlisted "active" faults or structures in the past few years. These faults or structures haven't been systematically examined. They are lack of the evidences for their activity, as well. Thus, this project will spend 4 years focusing on the detailed investigation of 7 unlisted faults as well as those incomplete active faults. The 7 unlisted faults are known as Chusiang fault, Chekualin fault, Lunhou fault, Kousiali fault, Yuchang fault, Touhuanping fault, and Futoukeng fault. The goals of this project are (1) Pinpointing the location of a fault accurately; (2) unravelling the nature of the fault; and (3) analyzing the rate of its activity. For Chusiang fault and Chekualin fault, which are the targets in this year, the results include aerial photography and geological survey along the two fault traces, 200-hectare high-resolution aerial photography of Choshui riverbed, one 812-meter-long ERT profile straddling the Chusiang fault, scraping and mapping on one Chekualin-fault outcrop, and four pits on Dungpuna river terraces. The Chusiang fault is exposed on the Choshui river and was reported on Dungpuna river. The fault trace is constrained with the abrupt change of bedding attitude and topographic features north of Chusiang fault and south of Dungpuna river. Furthermore, the fault trace is determined by ERT profile in Chusiangdi between Choshui River and Dungpuna River. Based on the exposure of the Chusiang fault zone along the Choshui river, the width of fault-affected deformation is only 3 m in the footwall, and the one is 150 m in the hanging wall. Not only are the widths of the deformation but also the characteristics distinctly different in between the footwall and the hanging wall. The long-term slip rate of the Chusiang fault is 2.5-7.5 mm/yr estimated based on the elevation difference and dating results on the river terraces. The Chekualin fault zone continuously extends approximately 4.5 km long from the region west of Kunshan to Qianqiuliao, but the rest part of its trace is hard to be delineated. According to the fault outcrops and the mapping result of the scrapped fault outcrop, the Chekualin fault zone is estimated in the range of 5 to 10 m thick. The fault zone is composed of many thin shear bands with spacing of few centimeters or/and one decimeter. The fault trace mappings of Chusiang fault and Chekualin fault in a scale of 1 to 5000 and the structural mappings of Chusiang fault in a scale of 1 to 1000 are completed in this first-year project.

KEYWORDS: active faults, nature of a fault, Chusiang fault, Chekualin fault

目錄

摘要.....I
Abstract.....II
目錄.....III
圖目錄.....V
表目錄.....IX
第一章 計畫內容.....1
1.1 整體計畫概述.....1
1.2 本年度計畫概述.....6
第二章 計畫執行方法及進行步驟.....13
2.1 標的斷層之文獻蒐集及斷層沿線野外初勘.....14
2.2 活動斷層位置精查.....14
2.2.1 沿線空拍.....14
2.2.2 地電阻測勘.....18
2.2.3 剖面清理.....23
2.3 活動斷層構造特性分析.....23
2.4 活動斷層參數蒐集.....23
第三章 斷層位置精細調查.....24
3.1 初鄉斷層.....24
3.1.1 地理位置及地形概述.....24
3.1.2 初鄉斷層沿線空拍.....28
3.1.3 地質背景及沿線地質調查.....31
3.1.4 地電阻測勘結果.....38
3.2 車瓜林斷層.....43
3.2.1 地理位置及地形概述.....43
3.2.2 車瓜林斷層沿線空拍.....43
3.2.3 地質背景及沿線地質調查.....48
第四章 斷層特性及斷層帶分析.....54
4.1 初鄉斷層.....54

4.1.1 濁水溪河岸高精度空拍影像.....54
4.1.2 濁水溪初鄉斷層帶構造特性.....56
4.2 車瓜林斷層.....63
4.2.1 清理剖面的位置及背景.....63
4.2.2 剖面清理測繪成果.....66
第五章 斷層長期滑移速率評估.....75
5.1 初鄉斷層沿線河階地判釋.....75
5.2 階地沉積物探坑挖掘採樣.....78
5.3 定年結果及分析.....86
第六章 討論.....87
6.1 斷層位置.....87
6.2 斷層帶寬度及斷層帶側向構造變化.....89
6.3 初鄉斷層長期滑移速率評估.....90
第七章 結論.....92
參考文獻.....96
委員意見回復表.....98
斷層跡(帶)測繪圖.....101

附錄一、沿線空拍影像精度報表
附錄二、高精度空拍影像精度報表
附錄三、 C-14 定年結果報表
附錄四、 教育訓練講義
附錄五、 岩心紀錄
附錄六、 地電阻剖面逆推資料處理流程
(附錄請參閱光碟)

圖目錄

圖 1 台灣島上的活動斷層分布圖。.....2
圖 2 近年來學者提出的可能的活動斷層之分布圖。.....3
圖 3 本案於初鄉斷層沿線工作執行內容。.....10
圖 4 本案車瓜林斷層沿線工作執行內容。.....11
圖 5 教育訓練辦理情況。.....12
圖 6 本案之工作流程圖。.....13
圖 7 本案空拍執行流程 (引自謝承恩等，2016)。.....15
圖 8 本案使用的無人機。(a) DJI Phantom 3 Professional；(b) DJI Mavic pro；(c) DJI Mavic 2 pro。.....15
圖 9 地面控制點佈設工作照。.....16
圖 10 以 VBS-RTK 量測地面控制點之工作照。.....16
圖 11 野外空拍工作照。.....17
圖 12 資料處理工作截圖。.....17
圖 13 地電阻影像儀器面板與線路配置圖。.....18
圖 14 本案地電阻測勘施測流程圖。.....19
圖 15 電極排列方式簡圖。.....20
圖 16 電極棒置放處之記號。.....21
圖 17 固定電線於電極棒的施作過程工作照。.....22
圖 18 電線與儀器設備連接之工作照。.....22
圖 19 初鄉斷層沿線地形圖 (本影像經由經濟部中央地質調查所提供之空載光達數值地形資料產製)。.....25
圖 20 初鄉斷層北端地形遠眺。.....26
圖 21 東埔蚋溪南岸向北眺望東埔蚋溪以北地形特徵。.....26
圖 22 東埔蚋溪南岸階地的地形崖。.....27
圖 23 初鄉市區以南初鄉斷層跡推測位置。.....27
圖 24 初鄉斷層影像資料分區索引圖。.....30
圖 25 初鄉斷層沿線地質圖，底圖引自地調所五萬分之一地質圖(陳華玟等，2004；黃鑑水等，2000；劉桓吉等，2004；陳勉銘等，2016)。.....33

圖 26 坑口碑溪溝露頭。(a)中層至厚層砂岩呈高傾角；(b)圖 a 西側約 80 公尺處呈低傾角砂岩層。.....34
圖 27 濁水溪初鄉斷層剖面。.....34
圖 28 初鄉底初鄉斷層西側高傾角的中層至厚層細砂岩層。.....35
圖 29 東埔蚋溪初鄉斷層。(a)東埔蚋溪初鄉斷層露頭 (林啟文，2008)；(b)2002 年東埔蚋溪初鄉斷層露頭附近全景(林啟文 攝)；(c) 2019 年東埔蚋溪初鄉斷層露頭附近植被覆蓋。.....35
圖 30 東埔蚋溪上游河床露頭。厚層階地沉積物覆蓋於高傾角的桂竹林層之上。.....36
圖 31 投 48 中正路三段小巷子露頭。(a) 本案推測斷層位置為沿著明顯約 2~3 公尺地形崖的崖腳；(b)小崖坡上方(圖 a 箭頭處)呈高傾角的厚層砂岩。.....37
圖 32 初鄉斷層初鄉底地區 108-CSF-ERT-1 測線位置圖。.....38
圖 33 地電阻影像原始剖面。.....40
圖 34 逆推結果剖面圖 I。.....40
圖 35 逆推結果剖面圖 II。.....41
圖 36 電阻率誤差剖面圖。.....41
圖 37 地電阻地質剖面解釋圖。.....41
圖 38 岩心中裂隙填充的方解石脈。.....42
圖 39 車瓜林斷層沿線地形圖 (本影像經由經濟部中央地質調查所提供之空載光達數值地形資料產製)。.....44
圖 40 車瓜林斷層影像資料分區索引圖。.....46
圖 41 原始空照中泥岩區斷層帶。.....47
圖 42 車瓜林斷層沿線地質圖，底圖引自地調所五萬分之一地質圖(林啟文，2013)。.....49
圖 43 半天寮大坑巷底的露頭。.....50
圖 44 高 40 公路北側眺望空照。.....50
圖 45 高 40 南側車瓜林斷層帶露頭剖面。.....51
圖 46 國道 3 號往北側眺望空照。.....51
圖 47 國道 3 號南側泥岩區斷層帶露頭。(a)中寮隧道西側國道 3 號南側全景；(b)宏宮寺北側斷層帶露頭；(c)宏宮寺東側斷層帶露頭。.....52
圖 48 雞冠山東側露頭照。.....53
圖 49 勝興宮東側露頭剖面。.....53
圖 50 高精度空拍影像分布圖。.....54

圖 51 初鄉斷層至車籠埔斷層於濁水溪的剖面。.....57
圖 52 濁水溪集集攔河堰下游處初鄉斷層兩側的高精度空拍影像(上圖)及構造判釋圖(下圖)。.....58
圖 53 頂溪州背斜的 Beta 圖(左)及 Pi 圖(右)。.....59
圖 54 頂溪州背斜東翼的岩層狀態。(a)數道含球枕構造的極厚層砂岩；(b)為小斷層截切的砂頁岩互層。.....59
圖 55 濁水溪初鄉斷層上盤的厚砂岩層(卓蘭層)中的兩組變形條帶。.....60
圖 56 濁水溪集集攔河堰下游處的初鄉斷層露頭。.....61
圖 57 濁水溪南岸的初鄉斷層露頭近照。(a) 初鄉斷層及鄰近下盤的小斷層；(b) 初鄉斷層面近照；(c) 初鄉斷層鄰近上盤中的豆莢狀剪裂砂岩段。.....62
圖 58 車瓜林斷層剖面(編號：CGL-001)清理位置圖。.....63
圖 59 車瓜林斷層清理剖面的空照斜拍。.....64
圖 60 剖面清理成果空照圖。圖中淺藍框內即為清理範圍。.....64
圖 61 剖面影像圖及立面測繪結果。(a)剖面接合照片；(b)剖面素描圖；(c)構造分區素描索引圖。.....65
圖 62 剖面 0~5m 處編號 A 區局部構造素描圖。.....68
圖 63 剖面 5~10m 處編號 B 區局部構造素描圖。.....69
圖 64 剖面 14~19m 處編號 C 區局部構造素描圖。.....70
圖 65 剖面 28~34m 處編號 D 區局部構造素描圖。.....71
圖 66 黑色破碎泥岩內夾受拖曳構造及旋轉的小砂塊。.....72
圖 67 黃色破碎泥岩中夾的砂岩塊。.....72
圖 68 緻密泥岩中的束狀黑色剪切帶。.....73
圖 69 斷層帶下邊界及黃色破碎泥岩、黑色破碎泥岩交界。.....73
圖 70 剖面 5m 處編號 B1 區局部構造素描圖。.....74
圖 71 剖面 28~34 米處灰色緻密泥岩尚未清理前表面存在的黑色條帶狀構造。.....74
圖 72 初鄉斷層沿線河階地判釋圖。.....76
圖 73 東埔蚋溪河階圖。.....77
圖 74 階地沉積物探坑挖掘位置。.....80
圖 75 CSP-01 探坑施工照片。.....81
圖 76 CSP-02 探坑施工照片。.....81

圖 77 CSP-03 探坑施工照片。 82
圖 78 CSP-04 探坑施工照片。 82
圖 79 CSP-01 探坑剖面與碳標本位置。(a)開挖位置(b)南牆剖面(c)北牆剖面(d)東牆剖面。 .83
圖 80 CSP-02 探坑剖面與碳標本位置。(a)開挖位置(b)東牆剖面(c)南牆剖面(d)西牆剖面。 .84
圖 81 CSP-03 探坑剖面與碳標本位置。(a)開挖位置(b)北牆剖面(c)西牆剖面(d)東牆剖面。 .85
圖 82 CSP-04 探坑剖面。(a)開挖位置(b)東牆剖面。 86
圖 83 東埔蚋溪現今河道及初鄉斷層通過之 $T_{DP}2$ 的剖面。(a)A-A'為現今河道剖面投影方向，B-B'為 $T_{DP}2$ 階地表面剖面方向(b) B-B'投影至 A-A'的剖面上，並以斷層上下盤階面高差推算垂直抬升量為 85 米。 91

表目錄

表 1 臺灣地區可能的活動斷層。.....4
表 2 尚未劃設地質敏感區的活動斷層。.....4
表 3 斷層長期滑移速率資料不足的活動斷層。.....4
表 4 活動斷層特性精細調查(1/4)交付項目整理表。.....7
表 5 階地沉積物探坑挖掘採樣位置。.....8
表 6 活動斷層特性精細調查(1/4)定年標本表。.....9
表 7 初鄉斷層各區空拍影像之地面解析度整理。.....28
表 8 初鄉斷層各區空拍影像地面解析度擷取自報表。.....29
表 9 本案與斷層相關專有名詞之定義。.....32
表 10 地電阻影像剖面資訊彙整表。.....38
表 11 車瓜林斷層各區空拍影像之地面解析度整理。.....45
表 12 車瓜林斷層各區空拍影像地面解析度擷取自報表資訊。.....45
表 13 高精度影像空拍各區影像地面解析度。.....55
表 14 高精度空拍影像各區空拍影像地面解析度擷取自報表資訊。.....55

第一章 計畫內容

1.1 整體計畫概述

(1) 研究目的、計畫背景、整體構想：

臺灣位處板塊交界，地震頻繁，由歷史紀錄顯示斷層活動常引發災害性地震，因此，就防災減災的目的而言，活動斷層的精確位置與構造特性分析是相當重要且迫切的工作。

921 地震後，地調所斷層調查工作逐步由斷層位置普查進入精細調查。一方面是配合地質法進行活動斷層地質敏感區劃設，以及斷層的活動特性分析。受限以往調查條件與社會環境等因素，斷層的特性及斷層位置的精確位置與參數非十分完備。此外，目前使用的活動斷層條帶狀地質圖（比例尺 1/25000）大多來自 2002~2009 年間完成的地質調查資料，於 2012 年地調所已公布台灣地區共有 33 條活動斷層，各條斷層的分布位置參見圖 1。然而，近年來學術界多有提出除這 33 條以外，存疑性的活動構造或是活動斷層（如表 1），這些斷層沒有經過系統性的調查，且缺乏野外露頭證據，也缺乏斷層活動時間的證據，因此這些活動斷層尚無法被納入臺灣活動斷層分布圖中（圖 1）。

有鑑於此，本計畫將這些尚未有足夠證據的斷層列為調查及研究目標，對於缺乏斷層活動時間資訊、參數或是位置不明確的斷層進行調查，希望加強斷層位置的確認，以及重要活動斷層的特性作進一步調查，作為國土規劃利用的基礎資訊。因此，本計畫之目的為：

1. 提供活動斷層的精確位置，測繪 1/5000 比例尺的斷層位置分布圖，出露良好區段測繪詳細構造與岩層分布。分年針對可能的活動斷層，初鄉斷層、車瓜林斷層、崙後斷層、口宵里斷層、斗煥坪斷層、斧頭坑斷層、右昌斷層等 7 條（位置見圖 2），以及尚未劃設地質敏感區的活動斷層（如表 2）作為調查目標，以下以標的斷層稱之。
2. 標的斷層之斷層特性分析。
3. 斷層活動參數資料的收集，包括斷層長期滑移速率評估。收集該年度的標的斷層或貴所目前缺乏足夠斷層長期變動速率的活動斷層（如表 3）。

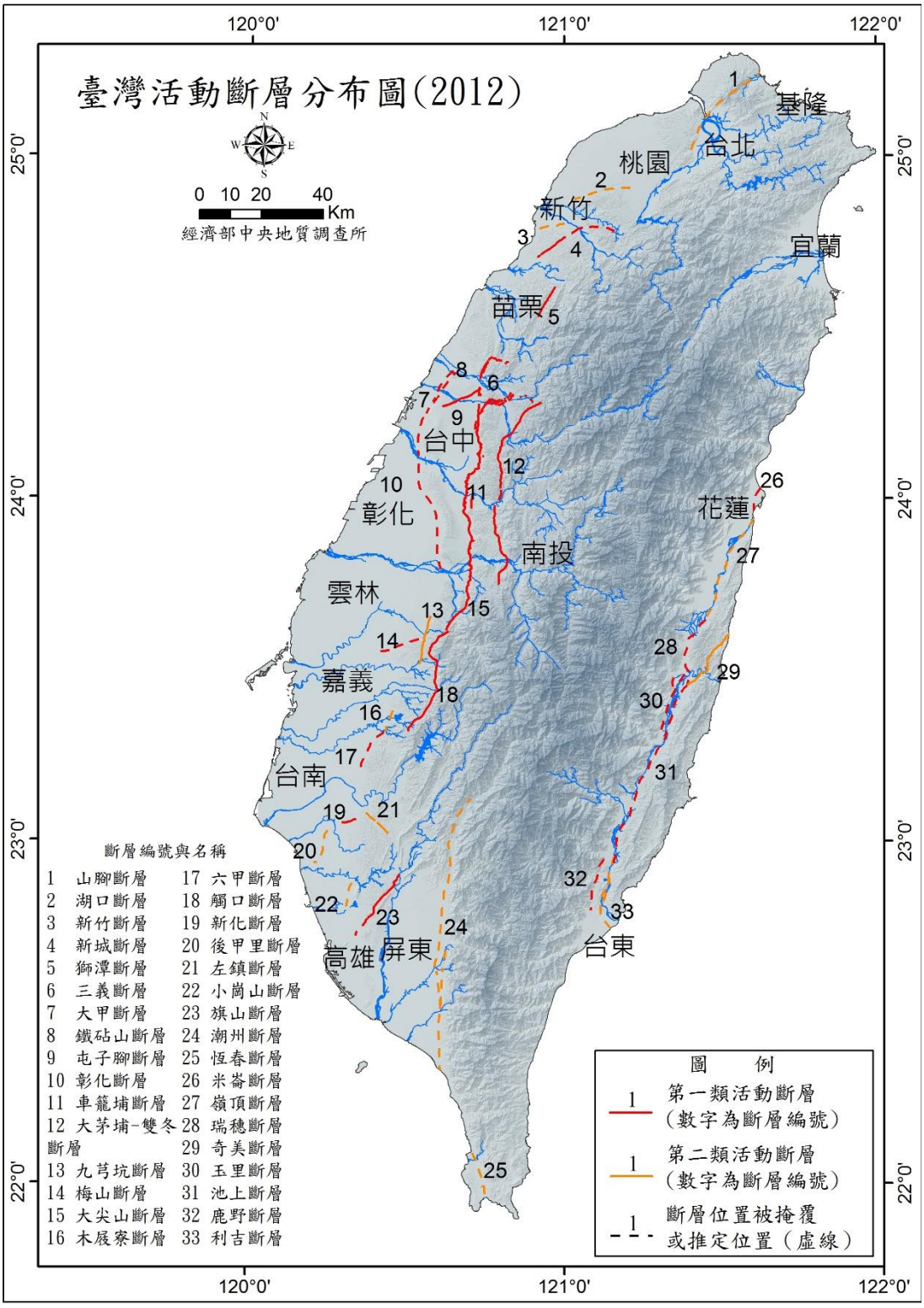


圖 1 台灣島上的活動斷層分布圖。

Fig.1 Distribution map of active faults in Taiwan.

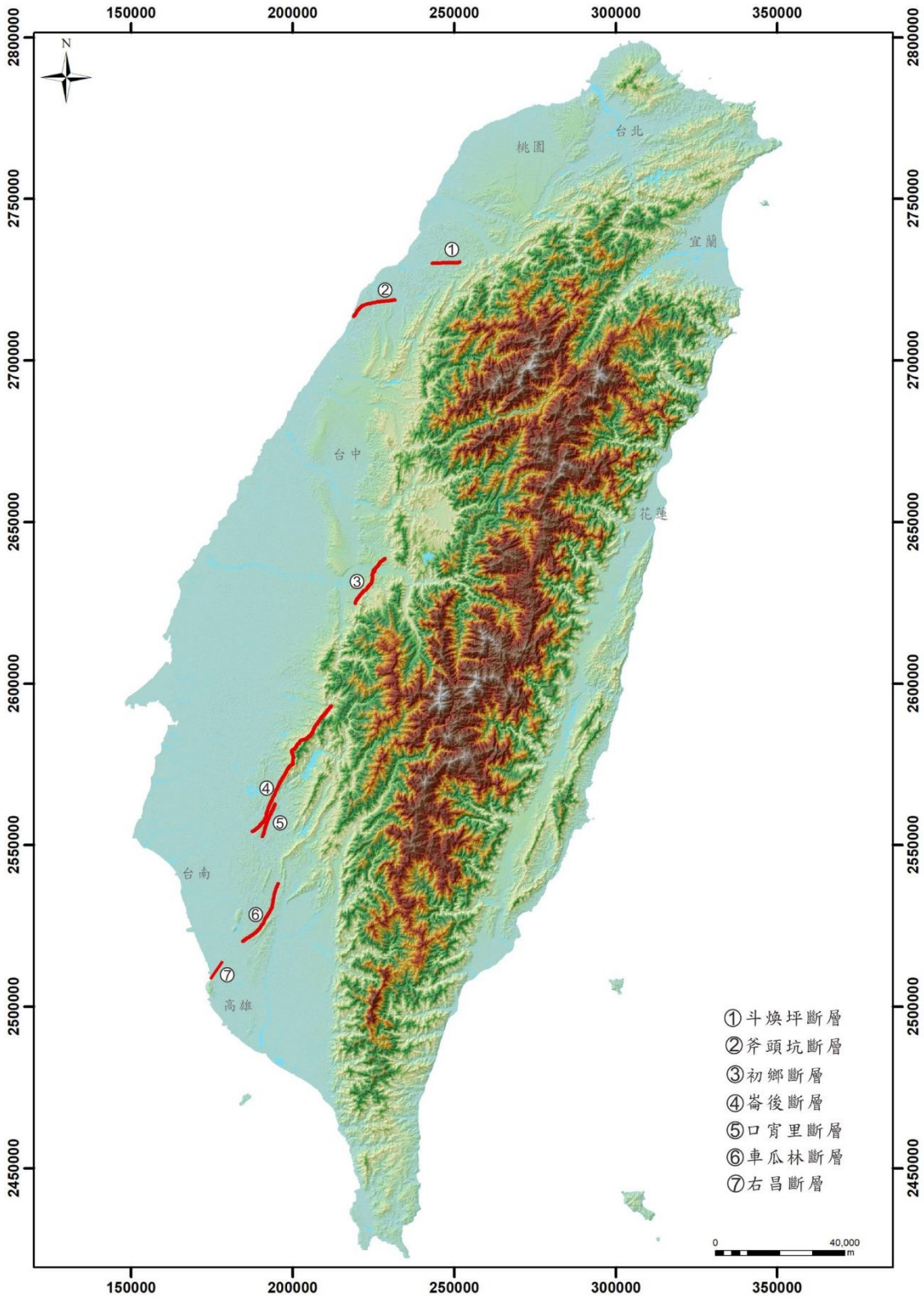


圖 2 近年來學者提出的可能的活動斷層之分布圖。

Fig.2 Distribution map of potential active faults that scholars addressed in recent years.

表 1 臺灣地區可能的活動斷層。

Table 1 Potential active faults in Taiwan

	斷層名稱（斷層型態）	斷層跡經過區域
1	初鄉斷層(逆斷層)	南投縣
2	車瓜林斷層(逆斷層)	高雄市
3	右昌斷層(逆斷層)	高雄市
4	崙後斷層(逆斷層)	嘉義縣、台南市
5	口宵里斷層(逆斷層)	台南市
6	斗煥坪斷層(逆斷層)	新竹縣
7	斧頭坑斷層(逆斷層)	苗栗縣

表 2 尚未劃設地質敏感區的活動斷層。

Table 2 Active faults that haven’t been delineated their geologically sensitive area.

	斷層名稱	滑移特性
1	山腳斷層	正移
2	湖口斷層	逆移
3	鐵砧山斷層	逆移
4	彰化斷層	逆移
5	大茅埔-雙冬斷層	逆移
6	梅山斷層	右移
7	木屐寮斷層	逆移
8	觸口斷層	逆移
9	後甲里斷層	逆移
10	左鎮斷層	左移
11	小崗山斷層	逆移
12	潮州斷層	逆移
13	恆春斷層	逆移
14	嶺頂斷層	左移兼逆移
15	玉里斷層	左移兼逆移
16	利吉斷層	逆移

表 3 斷層長期滑移速率資料不足的活動斷層。

Table 3 Active faults which lack of long-term slip rate data

	斷層名稱	滑移特性
1	山腳斷層	正移
2	獅潭斷層	逆移
3	鐵砧山斷層	逆移
4	屯子腳斷層	右移
5	大茅埔-雙冬斷層	逆移
6	梅山斷層	右移
7	大尖山斷層	逆移兼右移
8	觸口斷層	逆移
9	新化斷層	右移
10	左鎮斷層	左移
11	奇美斷層	逆移

(2) 工作內容概述：

本計畫預計以 4 年的時間，分年進行標的斷層的精確位置調查、活動特性調查及斷層活動參數評估，關於斷層位置精查，本計畫預計採用野外調查、無人機攝影測繪(空拍)或地球物理探勘(地電阻或震測)或地質剖面開挖的方法進行調查；斷層構造特性調查的部分，本計畫將針對良好露頭地區使用空拍或攝影的方式，取得高解析度的影像，以此為底圖，進行斷層帶(fault zone)測繪；斷層參數資料評估，將包括 C-14（cabon-14）或 OSL（Optically-Stimulated Luminescence）定年，對被斷層錯移之沉積層的形成時間上有所掌控，進而得以評估斷層兩側變動速率。

第一年度初鄉斷層（17 公里長）及車瓜林斷層（22 公里長），進行此兩條斷層之斷層位置、斷層構造特性及斷層長期滑移速率之調查工作。

第二年度將以崙後斷層為目標，進行此條斷層之斷層位置、斷層構造特性及斷層長期滑移速率之調查工作，標的斷層的選定將視地調所需求或經費狀況調整。

第三年度及第四年度則以右昌斷層、口宵里斷層、斗煥坪斷層及斧頭坑斷層為優先目標，或其他尚未劃設地質敏感區的活動斷層，進行斷層位置、斷層構造特性及斷層長期滑移速率之調查工作，標的斷層的選定將視地調所需求或經費狀況調整。

(3) 計畫成果效益及其應用：

本計畫將獲得活動斷層精確位置，提供貴所新的活動斷層分布圖的改版資訊，讓民眾有更明確且更精確的活動斷層跡的位置；同時獲得活動斷層的構造特性、斷層參數及斷層長期

滑移速率，這些將可作為活動斷層引致之地震危害潛勢評估之基本資料，以期未來地震發生時，得以避免或減緩地震災情。

1.2 本年度計畫概述

本年度標的調查斷層為初鄉斷層及車瓜林斷層，工作執行日期為 108 年 5 月 8 日至 108 年 12 月 31 日止，調查工作的進行可分為斷層位置精細調查、斷層特性及斷層帶分析、與斷層長期滑移速率評估 3 個部分，其中斷層位置精細調查部分，本年度完成了斷層沿線空拍 89 平方公里：分別為初鄉斷層沿線空拍 38.5 平方公里，及車瓜林斷層沿線空拍 50.6 平方公里，地球物理探勘(地電阻)測線 812 公尺，地質剖面開挖(清理剖面)共 68 平方公尺。斷層特性及斷層帶分析部分，本案共計完成 200 公頃的高精度影像空拍。斷層長期滑移速率評估的部分，本案完成 4 處的階地沉積物探坑挖掘採樣(表 5)，並完成 12 組 C-14 定年樣本送樣，目前取得 9 組定年結果(表 6，定年結果報表如光碟附錄三)，本案初鄉斷層沿線之工作施作範圍如圖 3 所示，車瓜林斷層沿線之工作施作範圍如圖 4 所示。本案藉由以上調查結果，並配合前人文獻資料及野外調查，繪製初鄉斷層與車瓜林斷層比例尺 1/5000 斷層跡(帶)測繪圖(以原比例尺紙本文件另外繳交，資料縮製如第 101~104 頁斷層跡(帶)測繪圖)，以及利用高精度影像空拍影像，完成比例尺 1/1000 地質構造分布測繪圖(以原比例尺紙本文件另外繳交)，並將以上的調查工作結果彙整成「活動斷層特性精細調查(1/4)」期末報告書，另外，本年度計畫執行期間也辦理教育訓練一次。參加人數有 16 人，舉辦地點為竹山車籠埔斷層保存園區及濁水溪河床，本年度教育訓練的內容包含無人機的簡介、空拍影像於地質上的運用、無人機飛行示範、及濁水溪沿岸露頭參觀及討論，本年度交付項目整理如表 4，教育訓練舉辦狀況如圖 5，詳細教育訓練內容可參閱光碟附錄四。

表 4 活動斷層特性精細調查(1/4)交付項目整理表。

Table 4. Collated table of required items for Project (1/4) of detailed investigation of characteristics of active faults.

交付項目	交付數量	說明	附註
斷層沿線空拍	89 平方公里	1. 初鄉斷層沿線實際空拍面積為 38.5 平方公里。 2. 車瓜林斷層沿線空拍實際空拍面積為 50.6 平方公里。 3. 兩者面積合計約 89 平方公里。	第一期驗收
地球物理探勘(地電阻)	812 公尺	初鄉斷層初鄉底地電阻剖面。	第一期驗收
地質剖面開挖	2 單位 (每單位 25 平方公尺)	車瓜林斷層實際剖面清理面積為 68 平方公尺。	第二期驗收
高精度影像空拍	200 公頃	濁水溪河床露頭之空拍	分 2 期繳交，第一期驗收，繳交 176 公頃，第二期驗收，繳交 24 公頃，合計 200 公頃
C-14 定年	9 組 (12 組送樣分析，9 組完成實驗)	見表 6 說明	第二期驗收
階地沉積物探坑挖掘採樣	4 處	於初鄉斷層東埔蚋溪南北岸階地，挖坑共 4 處。	第二期驗收
教育訓練	1 式	108 年 10 月 31 日辦理空拍與初鄉斷層露頭調查教育訓練。 辦理情形如第 12 頁。 教育訓練手冊如附錄四。	第二期驗收
斷層跡(帶)測繪（初鄉斷層與車	1 份	以原比例尺紙本文件另外繳交，資料縮製如第 101~104	第二期驗收

瓜林斷層）（比例尺至少 1/5000）		頁斷層跡(帶)測繪圖	
地質構造分布測繪（比例尺至少 1/1000）	1 份	以原比例尺紙本文件另外繳交	第二期驗收

表 5 階地沉積物探坑挖掘採樣位置。

Table 5 Locations of pits for sampling terrace sediment

坑號	TWD97_X	TWD97_Y	長/寬/深(m)
CSP-01	222681.051	2627770.947	1.7 / 1.6 / 1.8
	222681.226	2627772.641	
	222683.109	2627772.473	
	222683.064	2627770.819	
CSP-02	221376.271	2628538.557	3.1 / 2.3 / 2.2
	221377.869	2628538.194	
	221377.474	2628535.128	
	221375.555	2628535.108	
CSP-03	222017.315	2628557.268	2.33 / 1.9 / 1.54
	222017.098	2628559.391	
	222014.756	2628558.897	
	222015.468	2628556.892	
CSP-04	223426.271	2628956.599	4.5 / 2 / 3.2
	223428.182	2628956.849	
	223430.035	2628952.611	
	223428.296	2628951.398	

表 6 活動斷層特性精細調查(1/4)定年標本表。

Table 6 Sample list of C-14 dating for Project (1/4) of detailed investigation of characteristics of active faults.

標本編號	標本種類	採集地點	測定年代(BP)	樹輪校正年代	備註
CSP01-C1	Charred material	探坑 CSP-01	101.76 +/- 0.38 pMC	1954 - 1956 cal AD (-5 ~ -7 cal BP)	AMS
CSP01-C2	Charred material	探坑 CSP-01	560 +/- 30 BP	1307 - 1429 cal AD (643 ~ 521 cal BP)	AMS
CSP01-C4	Plant material	探坑 CSP-01	100 +/- 30 BP	1805 – 1935 cal AD (145 ~ 15 cal BP)	AMS
CSP01-C6	Charred material	探坑 CSP-01	124.96 +/- 0.47 pMC	1980 - 1983 cal AD (-31 ~ -34 cal BP)	AMS
CSP01-C10	Organic sediment	探坑 CSP-01	無法確定有機沉積物是否能代表所在沉積層年代，且其他相同位置的定年結果不如預期，故決議停止此標本實驗。		
CSP02-C1	Organic sediment	探坑 CSP-02	本標本經實驗室測量後認定此標本炭含量不足，故決議停止此標本實驗。		
CSP02-C2	Wood	探坑 CSP-02	134.65 +/- 0.50 pMC	1975 - 1978 cal AD (-26 ~ -29 cal BP)	AMS
CSP03-C3	Charred material	探坑 CSP-03	111.58 +/- 0.42 pMC	1993 - 1997 cal AD (-44 ~ -48 cal BP)	AMS
CSP03-C4	Wood	探坑 CSP-03	113.26 +/- 0.42 pMC	1991 - 1994 cal AD (-42 ~ -45 cal BP)	AMS
CSP03-C10	Organic sediment	探坑 CSP-03	無法確定有機沉積物是否能代表所在沉積層年代，且其他相同位置的定年結果不如預期，故決議停止此標本實驗。		
CSP03-C13	Charred material	探坑 CSP-03	101.51 +/- 0.38 pMC	1954 - 1956 cal AD (-5 ~ -7 cal BP)	AMS
CSP03-C16	Charred material	探坑 CSP-03	210 +/- 30 BP	1646 – 1806 cal AD (304 ~ 144 cal BP)	AMS

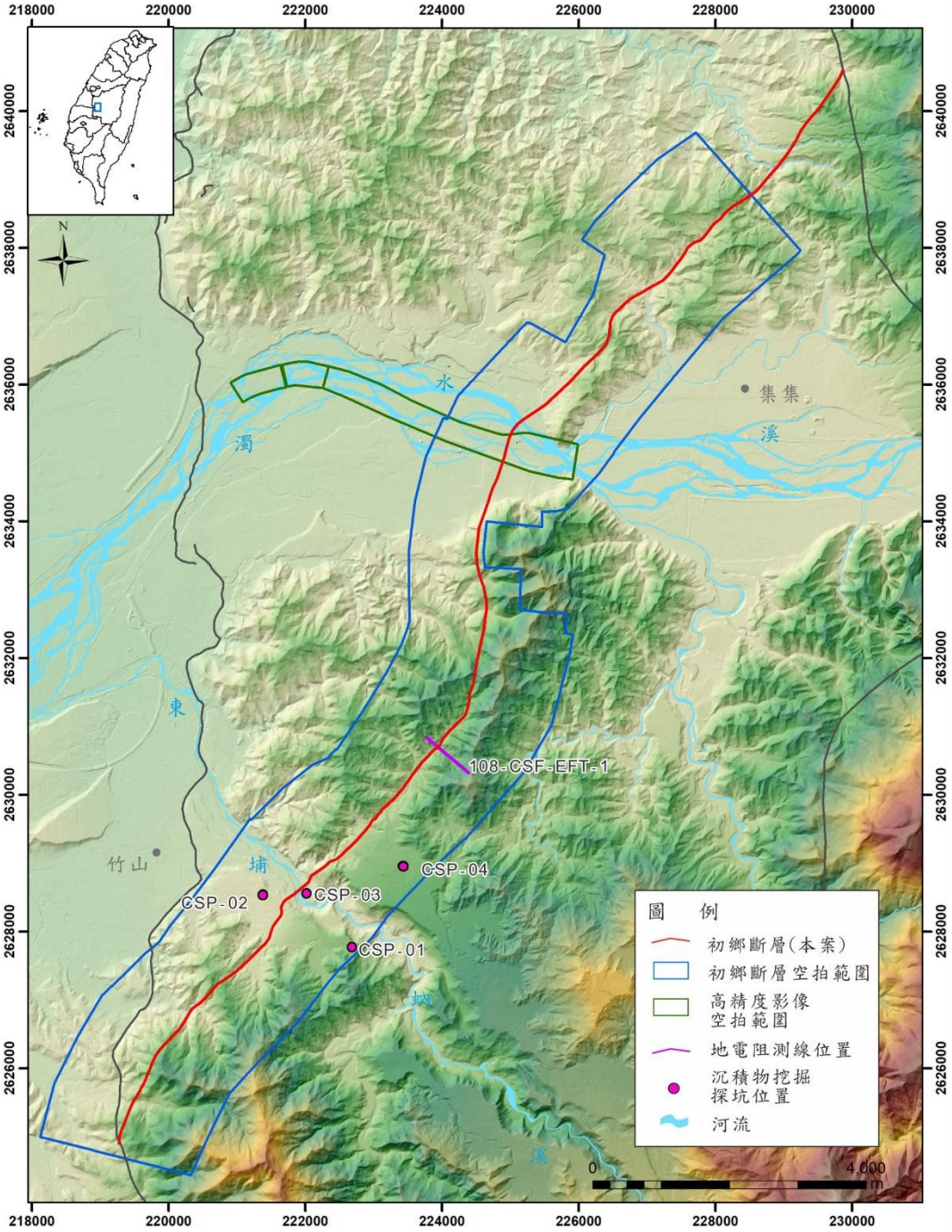


圖 3 本案於初鄉斷層沿線工作執行內容。

Fig. 3 Tasks of the Chusiang Fault for this project.

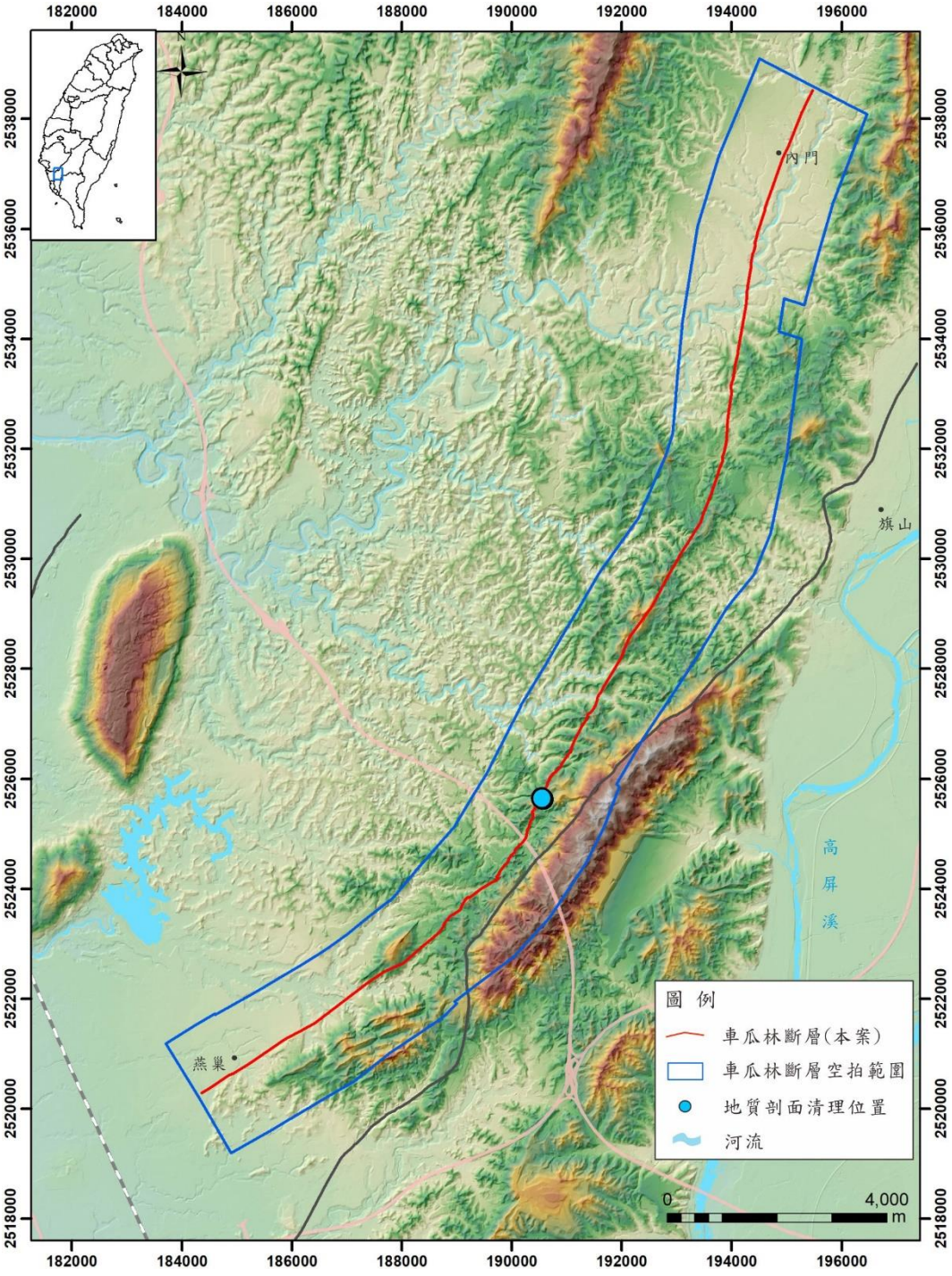


圖 4 本案車瓜林斷層沿線工作執行內容。

Fig. 4 Tasks of the Chekualin Fault for this project.



圖 5 教育訓練辦理情況。

Fig. 5 Photo collection for education training.

第二章 計畫執行方法及進行步驟

本計畫今年度的目的為精細調查初鄉斷層及車瓜林斷層，調查內容包含活動斷層位置精查、活動斷層特性分析及活動斷層長期滑移速率分析。計畫執行之初先針對兩條目標斷層進行文獻蒐集及野外踏勘等初步調查工作，接著根據不同的目的安排不同的工作內容。活動斷層位置精查的部分進行斷層沿線空拍、地球物理探勘及地質剖面開挖等工作；活動斷層特性分析進行高精度影像空拍及地質構造分布兩項工作；活動斷層長期滑移速率分析進行階地沉積物開挖 C-14 定年或 OSL 定年等工作，最後再彙整本案調查成果及前人研究，撰寫「活動斷層特性精細調查(1/4)」成果報告書，本案的工作流程如圖 6 所示，各項的工作內容描述如下：

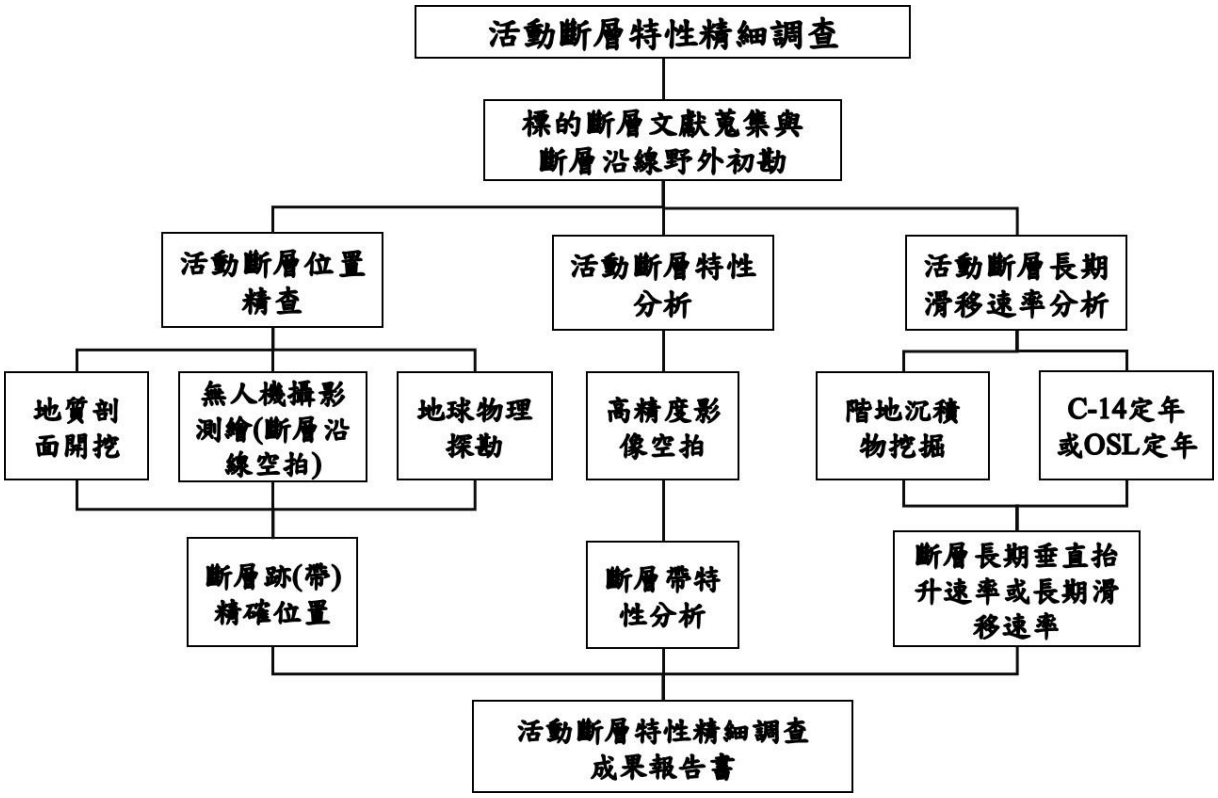


圖 6 本案之工作流程圖。

Fig. 6 Work flow chart of this project.

2.1 標的斷層之文獻蒐集及斷層沿線野外初勘

本案蒐集國內外關於初鄉斷層及車瓜林斷層相關的文獻，根據前人的調查結果，進行初鄉斷層及車瓜林斷層的現地調查，判斷此兩條斷層地表跡的位置。

2.2 活動斷層位置精查

2.2.1 沿線空拍

本案攝影測繪(空拍)的步驟如圖 7 所示，首先於空拍範圍內，選擇通透度良好的位置均布數個地面控制點(圖 9)，地面控制點的尺寸應使其可直接於影像上辨識為原則，並採用即時動態定位(VBS-RTK)的方法測量地面控制點(圖 10)，取得地面控制點高精度的坐標。下一步是飛行計畫執行的部分，航線規劃以棋盤式飛行為原則，逐步完成斷層跡沿線兩側的空拍(圖 11)。飛行計畫執行的下一步驟為影像資料處理，將量測的地面控制點坐標及航拍照片匯入 Pix4Dmapper pro 專業測繪軟體進行，Pix4Dmapper pro 首要步驟為利用軟體內建相機初始參數進行率定，再透過影像匹配和空中三角測量，解算匹配後點雲的坐標，接續進行點雲密集化、3D 貼圖網格生成等(圖 12)，最終成品為彩色正射影像 (流程圖參考圖 7 處理影像資料部分)。

本案使用的空拍機種類為 DJI Phantom 3 Professional、DJI Mavic pro 及 DJI Mavic 2 pro 等 3 款無人機 (圖 8)，此三款無人機具有高機動性以及便攜性等特性，mavic pro 與 mavic 2 pro 可摺疊收納，方便攜帶。mavic pro 的續航時間可達 27 分鐘、mavic 2 pro 的續航時間可達 30 分鐘、phantom 3 pro 的續航時間則可達 20 分鐘，可於距離起飛點約兩公里遙控操作。並搭載能夠符合本案要求解析度之照相機，mavic pro 與 phantom 3 pro 的鏡頭可拍攝最高 1200 萬畫素的照片，mavic 2 pro 的鏡頭則可達 2000 萬畫素。以上三台無人機續航力及遙控距離的限制足夠本案使用，且考量其便利性，因此本案選擇之無人機執行本案目標空拍區域大部分的任務。

本案利用沿線空拍的原始拍攝照片以及正射影像，判釋斷層沿線露頭出露位置，以及初步判是露頭中是否有構造存在，詳細判釋結果將於後面章節陳述。

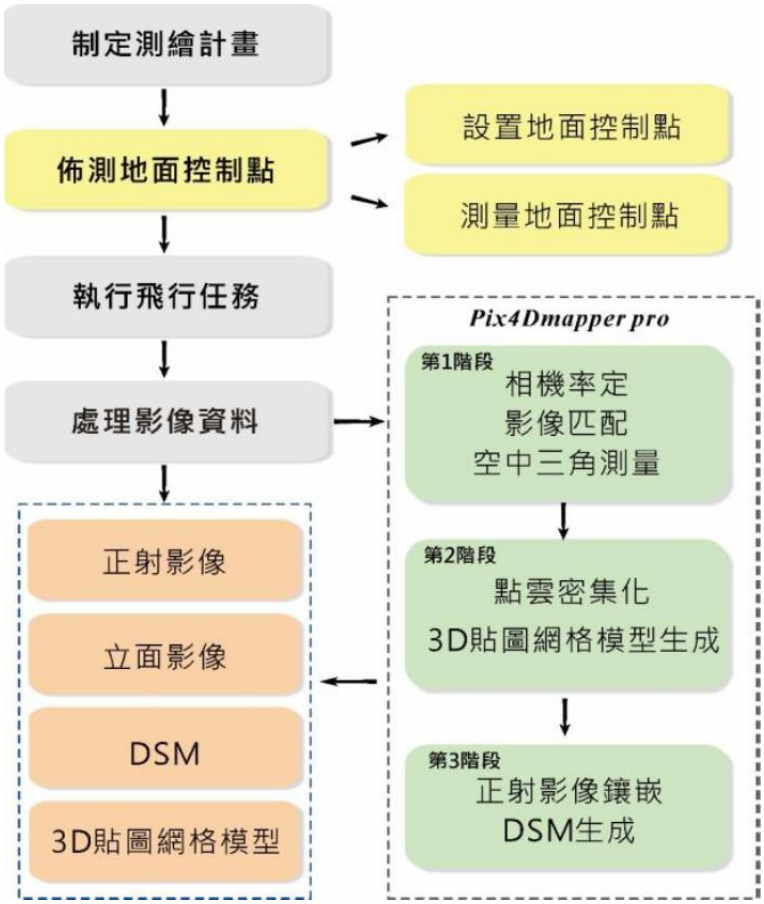


圖 7 本案空拍執行流程 (引自謝承恩等，2016)。

Fig. 7 Work flow chart of aerial photography for this project (Heish et al., 2016).

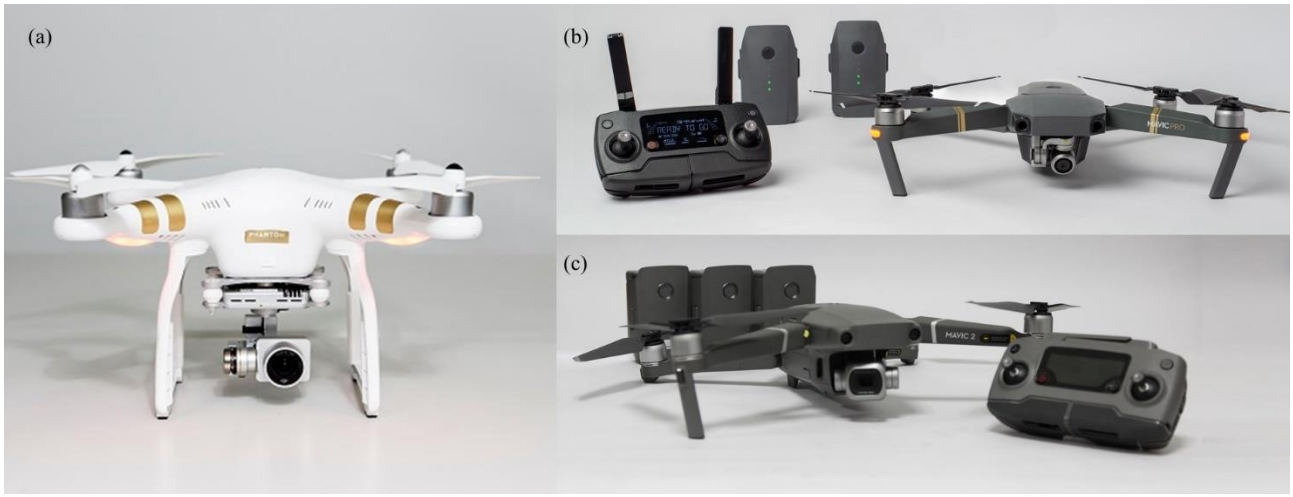


圖 8 本案使用的無人機。(a) DJI Phantom 3 Professional；(b) DJI Mavic pro；(c) DJI Mavic 2 pro。

Fig. 8 UAVs used in this project (a) DJI Phantom 3 Professional. (b) DJI Mavic pro. (c) DJI Mavic 2 pro.



圖 9 地面控制點佈設工作照。

Fig. 9 Picture of setting a ground control point.



圖 10 以 VBS-RTK 量測地面控制點之工作照。

Fig. 10 Picture of measuring the location of ground control points by VBS-RTK.



圖 11 野外空拍工作照。

Fig. 11 Picture of operating UAV in the field.

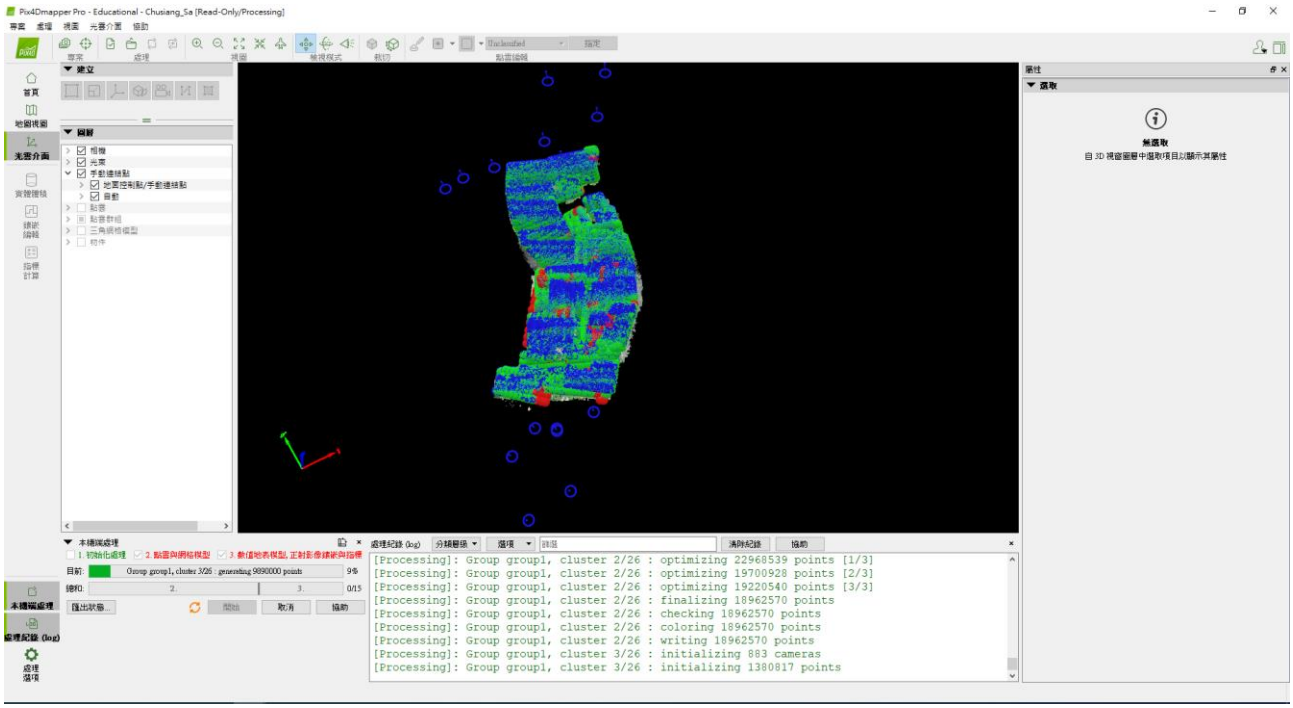


圖 12 資料處理工作截圖。

Fig. 12 Snapshot of processing orthoimage.

2.2.2 地電阻測勘

(一) 施測儀器

本案所用的儀器為多波道直流電阻法與自然電位法全自動監測系統，地電阻設備共計包括電探儀、電源供應器、多波道探測纜線、不鏽鋼電極棒、電線等。

(1)電極棒：不鏽鋼材質之金屬棒。

(2)電探儀：儀器面板與線路配置圖，如圖 13。

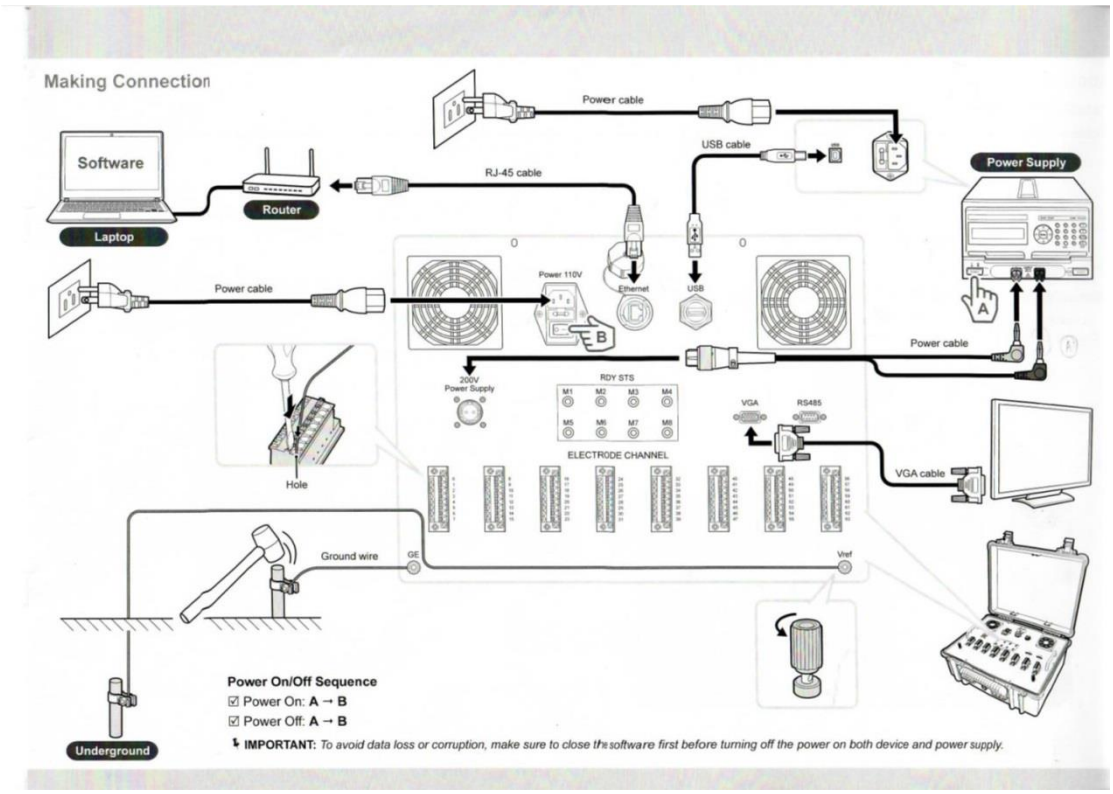


圖 13 地電阻影像儀器面板與線路配置圖。

Fig. 13 Diagram of electrical resistivity imaging instrument and wiring configuration.

(二) 施測方法與施測步驟

本案測線採用直流電阻法（Direct Current Resistivity Method）是利用地表以下不同物質電性構造不同之原理，以人為製造的電場探測地下構造之地球物理方法。當探測場址之地下物質有較大電阻率差異時，便可使用直流電阻法。本研究採用 CPP 排列法（CPP Array）進行施測，共佈置 1 條測線，108-CSF-ERT-1 電極間距為 8 公尺。以下為電極排列說明及大致施測流程（圖 14）。

1、 電極排列說明

地層電阻率測量過程中，需要藉由改變傳統陣列的電極排列方式以及施測的位置及順序，方能測得不同的解析度、不同的測深範圍內真實地層電阻率剖面，所以本研究採用非傳統陣列的「CPP 排列法」，於測量時各電流極以特定排序分別作為電流極或電位極，以此為前提使用一根電流極（C）與兩根電位極（P）交錯並重複排列，選定其中一電位極為 N 極（共負極，P_0），當各個電極對（P_0P_1、P_0P_2）使用同一個 N 極時，將各電位極對測量而獲得的電位差相減，即可得到另外一組電位極對（P_1P_2）的電壓差（圖 15）。此種排列的優點，是可以同時進行多波道的測量。相較於傳統儀器與測量方法，此測量方法可以於大量節省時間，並可以得到大量的資料點，同時測量資料中也包含有其他傳統電極陣列的數據資料，可以挑出並進行比較，詳細的資料處理流程請參見光碟附錄六。

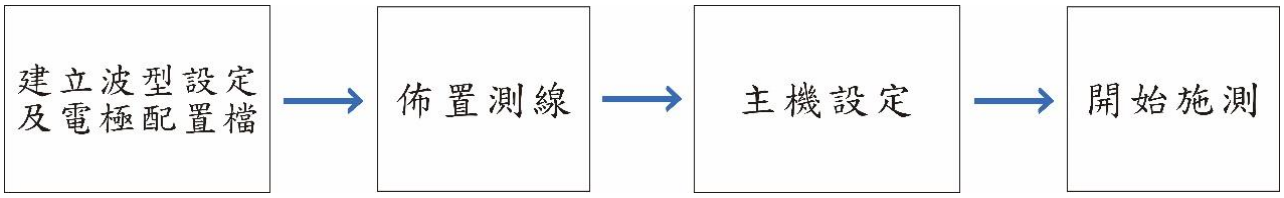


圖 14 本案地電阻測勘施測流程圖。

Fig. 14 Work flow chart of electrical resistivity prospecting for this project.

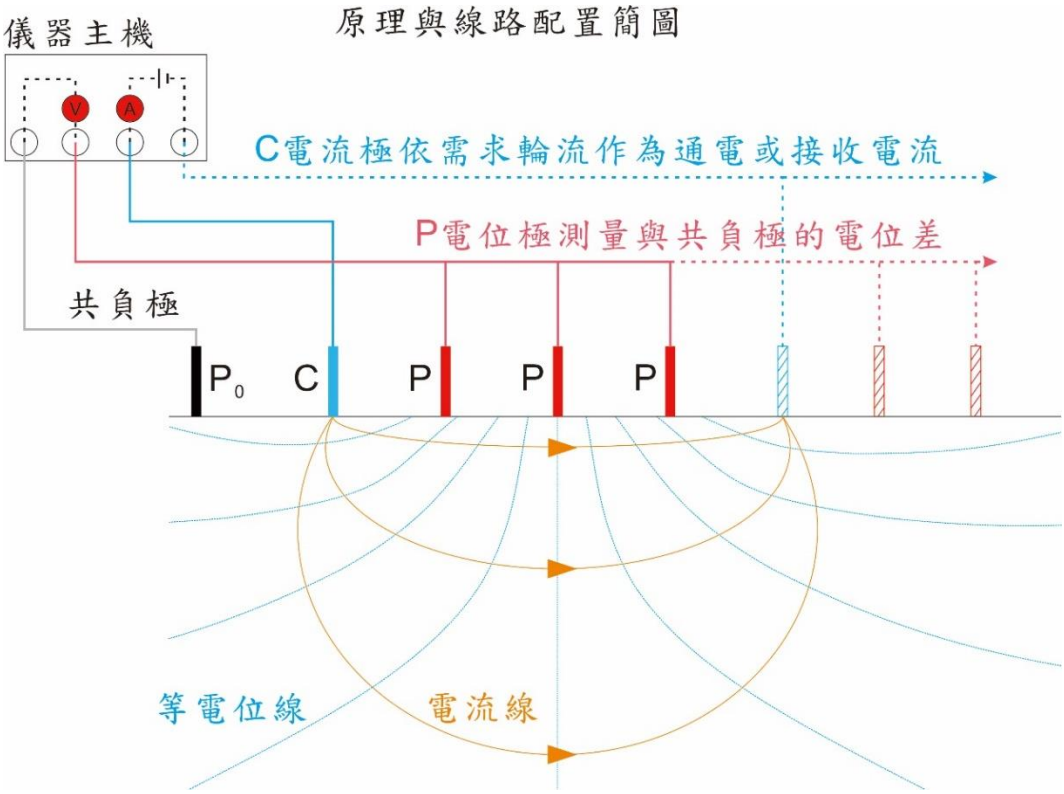


圖 15 電極排列方式簡圖。其中P_0為共負極、C 為電流極、P 為電位極；量測時選定兩個電流極 C 進行放電，並由共負極P_0與所有的電位極 P 進行量測。

Fig. 15 Electrode configuration of the CPP array. P_0 is a common negative electrode, C is a current electrode, and P is a potential electrode. During the measurement, two current electrodes C are selected for discharge, and the common negative electrode P_0 and all potential electrodes P are measured.

2、 現地施測步驟

(1) 建立波型設定檔及電極配置檔

於施測前將施測時須使用到的波型設定檔(.json)及電極配置檔(.table)，並匯入 R2MS.exe 軟體中。

(2) 佈置測線

將在野外所需要的執行檔建立及布置電極完成，並且連接 R2MS 主機後，即可進行施測作業。以下介紹本案施測前，現地佈置測線的基本步驟及相關注意事項：

a. 於測線上使用經緯儀進行放樣工作，固定初始位置並於欲放置電極棒處做記號（圖 16）。

b. 放置電極棒，利用鐵鎚將電極棒固定於地面，且插入地表至少 10 至 15 公分為佳。

c. 連接電極棒與電線。利用絕緣膠帶固定電線上與電極棒的接頭處使其保持接觸（圖 17）。

d. 將 R2MS 主機與電源供應器連接，並將連接電極棒的電線與主機 R2MS 連接妥當後，利用筆記型電腦操作 R2MS.exe 軟體，即可開始進行施測作業（圖 18）。

(3) 主機設定

將 RM2S.exe 開啟連線後，檢查預先設定好的波型設定檔(.json)與電極配置檔(.table)以及設定每次的放電時間，最後測試參數是否正確。

(4) 開始施測

當現場測線佈置完成後，且主機中的量測相關參數設定完畢後，即可開始進行施測作業。



圖 16 電極棒置放處之記號。記號上的數字 360 指示此處距地電阻測線西端為 360 公尺遠。

Fig. 16 Tag marked the position where the electrode rod was placed. The Arabic number of 360 indicates the distance of 360 meters between this site and the western end of the survey line.



圖 17 固定電線於電極棒的施作過程工作照。

Fig. 17 Working picture for fixing the wire on the electrode rod.



圖 18 電線與儀器設備連接之工作照。

Fig. 18 Working picture for connecting the wire to the equipment.

2.2.3 剖面清理

經分析野外調查、斷層沿線空拍結果比對，本案選定車瓜林斷層沿線 1 處斷層帶附近出露良好的露頭進行地質剖面清理，並進行地質構造描繪。剖面線選擇為與斷層走向接近直交的剖面，地質剖面清理面積至少 50 平方公尺，地質剖面構造描繪時將以垂直線間距 1 公尺、水平線間距 0.5 公尺為單位布設網格，若沉積層為礫石層時改為垂直線間距 2 公尺，水平線間距 1 公尺為單位，並將每一網格拍攝相片後拼接一起，同時量測地質剖面端點坐標(TWD97)位置，最後地質剖面之測繪成果以立面圖展現，比例尺以不小於 1/100 為原則。

2.3 活動斷層構造特性分析

a. 高精度影像空拍及地質構造分布測繪

本案選擇初鄉斷層沿線，濁水溪河床露頭出露良好處，使用空拍機拍攝高解析度之相片，拼接成高解析度之正射影像。

b. 地質構造分布測繪

以空拍製成之高解析度正射影像為底圖，測繪斷層帶內的構造分布，地質構造分布測繪圖的比例尺以至少 1/1000 為原則。

2.4 活動斷層參數蒐集

a. 階地沉積物開挖

本案經文獻蒐集及野外地形初勘後，將選定數處地點開挖階地沉積物，記錄開挖沉積物內容，並試圖尋找是否有定年的材料，本案採用的定年方式為 C-14 定年。

b. C-14 定年

本案之定年材料來源主要來自於階地沉積物開挖採樣的標本，使用 C-14 定年方式進行地質定年。

第三章 斷層位置精細調查

3.1 初鄉斷層

3.1.1 地理位置及地形概述

初鄉斷層由南至北通過南投縣中寮鄉、集集鎮及竹山鎮，北起約在南投縣集集攔河堰東北側約 4~5 公里處，往南延伸過濁水溪、東埔蚋溪，至竹山鎮南方約 3 公里處，似併入車籠埔斷層，斷層跡長約 17.4 公里 (見圖 19)，斷層走向約呈東北-西南向，本案調查範圍為以斷層跡為中心，兩側一公里的範圍。

初鄉斷層北端至濁水溪間，西側及東側皆為山地地形，地形高程約為海拔 200~300 公尺，山地間有一約呈東北-西南向的凹谷，從 1 米空載光達資料產製斜坡圖顯示，凹谷西側 1 公里範圍內岩層約呈西北西-東南東走向，岩塊大至較為完整，凹谷東側 1 公里範圍內，岩層走向較無特定方向性。

濁水溪北岸初鄉斷層出露位置附近，河階地與山坡地的地形特徵變化明顯，地形變化最大處高程差約 140 公尺；濁水溪南岸至初鄉底以北，斷層東側山地高程約為 550~650 公尺，斷層西側高程海拔約 200~300 公尺，兩側高程差至少 200 公尺，東側與西側坡地變化最顯著處，地形特徵呈明顯約成南-北向的線形崖，線形崖的位置約略為濁水溪河床初鄉斷層出露位置的延伸。

初鄉底以南至東埔蚋溪北側為山地，山地中間存在一東北-西南向延伸約 3 公里的凹谷，凹谷的東西兩側山地地形陡峭，且東側的山坡約略高於西側，地形高程約在 300~500 公尺，凹谷沿線兩側的坡地。

東埔蚋溪南北兩側的階地，從空載光達數值地形資料判釋，有似受斷層傾動的現象河階地，明顯地形線形崖可連續追蹤約 800 公尺(圖 22)，東埔蚋溪河階地形分析詳細見 5-1 小節。東埔蚋溪南側河階地以南至初鄉斷層南端與車籠埔斷層相接處，為高程 300~500 公尺的坡地，呈東側較高、西側較低的趨勢。

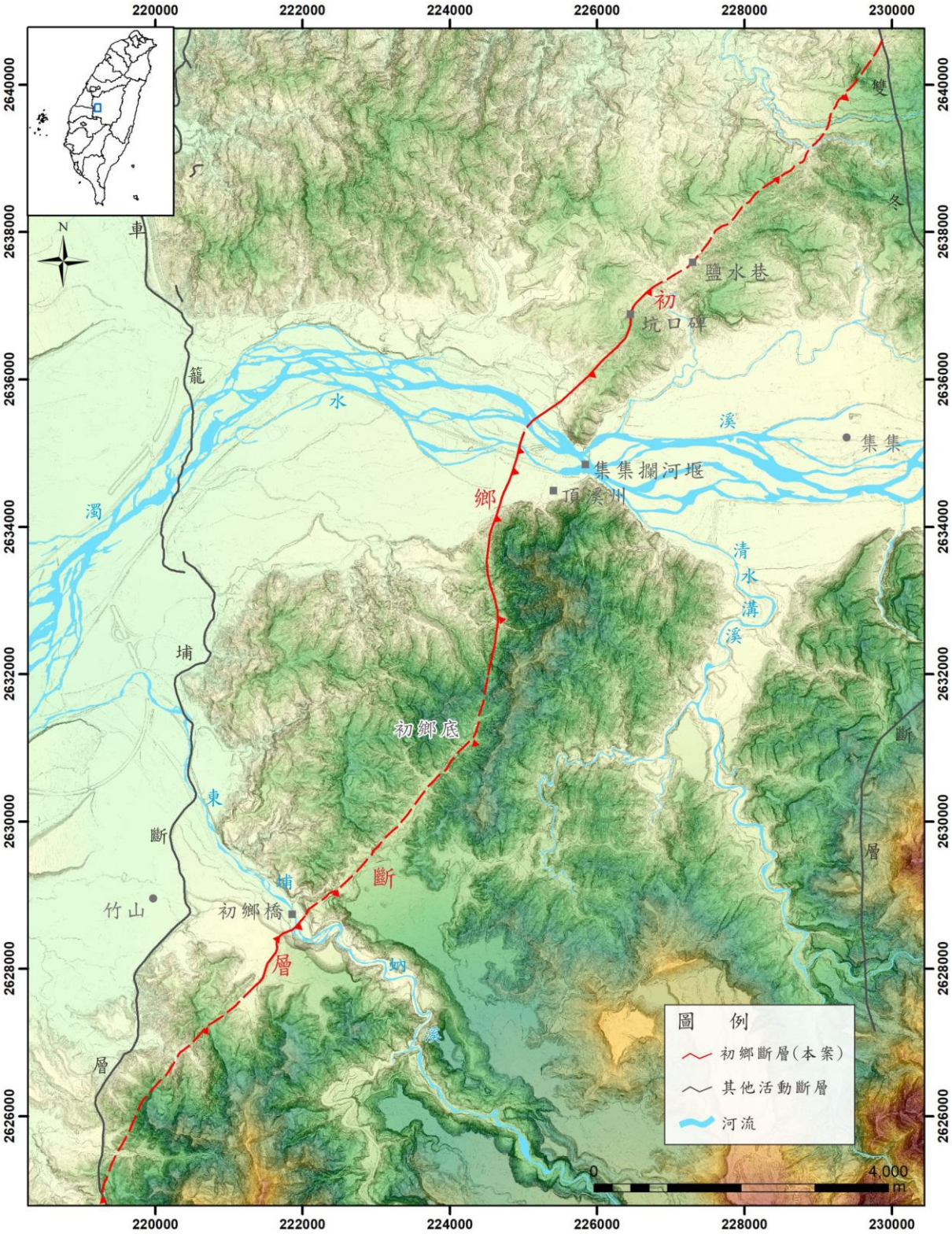


圖 19 初鄉斷層沿線地形圖 (本影像經由經濟部中央地質調查所提供之空載光達數值地形資料產製)。

Fig. 19 Topographic map containing the entire Chusiang Fault trace (the image was produced from 1m Lidar DTM provided by CGS).



圖 20 初鄉斷層北端地形遠眺。本照片在合音寺停車場向南拍攝，紅色虛線指示凹谷亦為可能的斷層跡位置。

Fig. 20 Panoramic view of the topography in the northern part of Chusiang Fault. This picture was taken toward the south at parking space of Ho-in temple. The dashed line in red shows the valley, that is likely the fault trace.



圖 21 東埔蚋溪南岸向北眺望東埔蚋溪以北地形特徵。

Fig. 21 Topographic characteristic of northern side of the Dungpuna river viewing to the north from south bank of the Dungpuna river.



圖 22 東埔蚋溪南岸階地的地形崖。紅線示意河階地之地形崖坡腳位置。

Fig. 22 Escarpment at the southern bank of the Dungpuna river. The red line indicates the toe of the escarpment.



圖 23 初鄉市區以南初鄉斷層跡推測位置。箭頭處為圖 22 地形崖位置，紅色虛線為可能的斷層跡的位置。

Fig. 23 Inferred Chusiang fault trace south of Chusiang village. The arrow indicates a topographic escarpment as shown in Fig. 22. The dashed line in red indicates the inferred fault trace.

3.1.2 初鄉斷層沿線空拍

本案完成初鄉斷層及車瓜林斷層沿線的空拍，初鄉斷層施作空拍之全長為 17.4 公里，其中範圍內有陸軍兵工整備發展中心基地，在濁水溪南岸空缺的部分為地形落差大無人機經常斷訊區域，無法施作空拍，初鄉斷層沿線空拍涵蓋斷層兩側至少 1 公里範圍，完成的面積共計 38.5 平方公里，正射影像套疊之坐標系統採用 TWD97。本案將初鄉斷層空拍影像的範圍分割成 5 塊，分別為 Chusiang_01、Chusiang_02、chusiang_03 chusiang_04 以及 chusiang_05 空拍影像分布範圍如圖 24，各區塊影像地面解析度如表 7 及表 8 所示，本案空拍範圍內共布設 26 個地面控制點，拍攝原始影像同一航帶的相片重疊率約為 75~85%，航帶相片重疊率約為 60~75%，各區接合影像地面解析度(GSD)為 0.07~0.1 公尺之間，影像平面誤差分別為 X：0.03~1 公尺；Y：0.04~0.25 公尺；Z：0.25~4.6 公尺。各區影像之精度報表、平面誤差詳見光碟附錄一。

本案利用生成的正射影像及原始空拍影像，判釋較難到達的溪溝或河流當中，是否有露頭出露，藉航照判釋，濁水溪河床集集攔河堰西側至少 2 公里範圍內，及東埔蚋溪初鄉橋東側 300 公尺外、和西側的河床，皆有良好露頭出露，空拍範圍內除了濁水溪及東埔蚋溪之外，多數的溪溝未發現良好露頭，多為人工護坡，山坡地幾乎為植被、田地或人造物覆蓋，未有大片且完整的露頭出露。

表 7 初鄉斷層各區空拍影像之地面解析度整理。

Table 7 Collated table of the ground sampling distance (GSD) of each aerial image along Chusiang Fault.

編號	地面解析度 (cm)
Chusiang_01	8.26
Chusiang_02	8.23
Chusiang_03	7.51
Chusiang_04	7.10
Chusiang_05	9.71

表 8 初鄉斷層各區空拍影像地面解析度擷取自報表。

Table 8 GSD information excerpted from report of each aerial image along Chusiang Fault

Chusiang_01

Project	Chusiang_N_all
Processed	2019-09-06 16:18:45
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)(1), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)(2), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)(3), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)(4), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)(5), FC300X_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	8.26 cm / 3.25 in
Area Covered	20.063 km^2 / 2006.2543 ha / 7.75 sq. mi. / 4960.1284 acres

Chusiang_02

Project	chusiang_S_a1
Processed	2019-09-13 21:03:34
Camera Model Name(s)	FC300X_3.6_4000x3000 (RGB), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	8.23 cm / 3.24 in
Area Covered	11.410 km^2 / 1140.9837 ha / 4.41 sq. mi. / 2820.8915 acres
Time for Initial Processing (without report)	13h:16m:01s

Chusiang_03

Project	Chusiang_Sa
Processed	2019-09-06 08:49:05
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	7.51 cm / 2.96 in
Area Covered	20.125 km^2 / 2012.5155 ha / 7.77 sq. mi. / 4975.6082 acres

Chusiang_04

Project	Chusiang_Sa2_final
Processed	2019-09-18 12:00:20
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	7.10 cm / 2.80 in
Area Covered	12.539 km^2 / 1253.8666 ha / 4.84 sq. mi. / 3099.9756 acres

Chusiang_05

Project	Chusiang_Sb
Processed	2019-09-06 08:27:17
Camera Model Name(s)	FC220_4.7_4000x3000 (RGB), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	9.71 cm / 3.82 in
Area Covered	17.575 km^2 / 1757.4648 ha / 6.79 sq. mi. / 4345.0378 acres

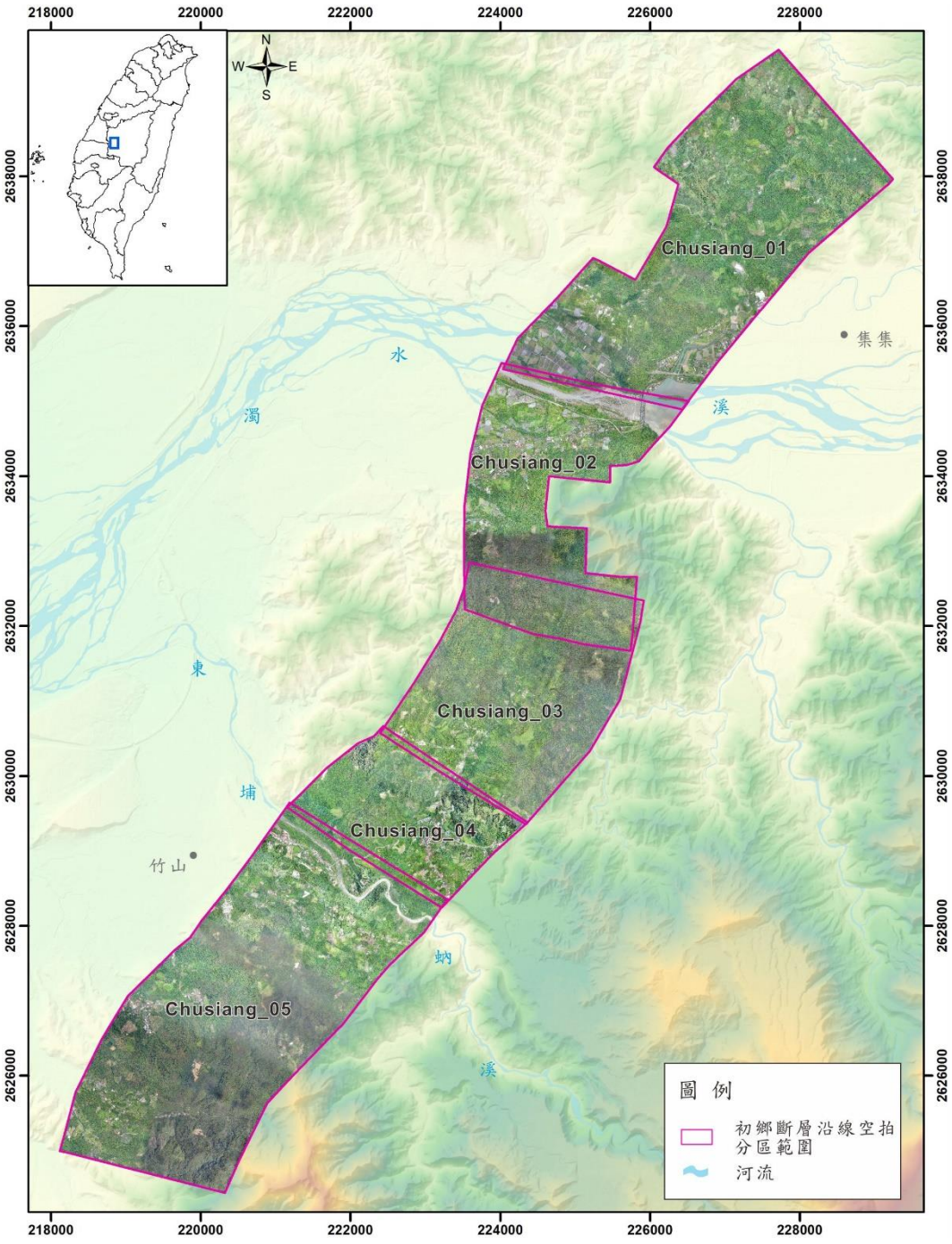


圖 24 初鄉斷層影像資料分區索引圖。

Fig. 24 Index map of aerial images along Chusiang Fault

3.1.3 地質背景及沿線地質調查

濁水溪以北初鄉斷層上盤與下盤岩層分別為卓蘭層與頭嵙山層，濁水溪至東埔蚋溪，初鄉斷層上盤為卓蘭層，下盤側由北向南從頭嵙山層變化至卓蘭層，東埔蚋溪以南上盤側為桂竹林層、下盤側為卓蘭層(陳華玟等，2004；黃鑑水等，2000；劉桓吉等，2004；陳勉銘等，2016) 。然而，濁水溪南北側地層的認定尚有爭議，林啟文等(2019)判定濁水溪南北測初鄉斷層下盤應屬卓蘭層。本案蒐集久住久吉(1939)、黎明工程顧問公司(2013)及林啟文(2019)調查資料，再藉由空照判釋，逐步完成沿初鄉斷層之斷層沿線調查，以下由北至南敘述初鄉斷層沿線調查結果及彙整資料：

(1) 濁水溪以北

初鄉斷層北端至鹽水巷沿線，鮮少有露頭出露，於濁水溪北側約 3 公里處，陸軍兵工整備發展中心東側小徑坑口碑旁，出露傾斜角度約 80 度，高傾角的中層至薄層的細粒砂岩，西側約 80 公尺處，出露傾斜角度約 20 度，低傾角的中層至薄層的細粒砂岩(圖 26)。濁水溪以北約 3 公里範圍內，初鄉斷層沿線多處出露斷層影響帶(fault-affected zone)的露頭(黎明工程顧問公司，2013)(本案與斷層相關專有名詞之定義如表 9，報告書後面若出現與斷層相關專有名詞，也請參閱此表)。

(2) 濁水溪河床

濁水溪集集攔河堰西側約 700 公尺處，出露約 80 公尺厚的斷層泥，斷層上盤（東側）出露淺灰色厚層砂岩夾中至薄層的砂頁互層，屬卓蘭層。斷層下盤（西側）出露厚層至極厚層青灰色或深灰色之混濁砂岩、厚層泥岩，及中至薄層的砂頁岩互層，屬頭嵙山層（圖 27）。

(3) 初鄉底

根據黎明工程顧問公司 2012 年調查結果，濁水溪以南至初鄉底以北約 3 公里的區間，未有發現到受斷層擾動的露頭。初鄉底地區至東埔蚋溪北岸河階地，初鄉斷層東側(上盤)側並未有良好的露頭，斷層西側(下盤)層面位態十分凌亂，且初鄉底凹谷西側的坡地，仍出現高傾角的中層至厚層細砂岩層，似屬卓蘭層的岩層(圖 28)。

(4) 東埔蚋溪

初鄉橋東側東埔蚋溪河床，初鄉斷層東側上盤為桂竹林層、西側下盤卓蘭層及階地堆積層(林啟文，2008)，現今初鄉斷層的位置已為護坡及茂密的植被覆蓋(圖 29)，斷層跡東側約 200 公尺外的河床露頭(上盤)仍出露完整，岩層約南北走向，40~80 度向東傾斜，岩層上方堆積厚層的階地沉積物(圖 30)。

(5) 東埔蚋溪南側

東埔蚋溪以南至初鄉斷層南端與車籠埔斷層相接的位置，東西向道路沿線零星露頭出露，投 48 公路旁，地形崖崖坡上方出現高傾角厚層砂岩(圖 31)，斷層西側(下盤)側無良好露頭出露，斷層跡東側(上盤)為約呈走向 N30°W 的中層至厚層細粒砂岩，傾角約 28~35 度向東傾斜，中心崙林道初鄉斷層西側(下盤)側未有良好露頭出露，初鄉斷層東側(上盤)出露 N30°W 走向中層至厚層細粒砂岩，傾角約 28~35 度向東傾斜。

表 9 本案與斷層相關專有名詞之定義。

Table 9 The definition of proper nouns relative to fault in this project.

中文地質名詞	英文地質名詞	定義
斷層影響帶	fault-affected zone	泛指斷層及其錯移所造成的兩側變形區域，亦即包括斷層帶及其旁被撓曲但未破裂的範圍。
斷層帶	fault zone	由許多的破裂、剪切帶、斷層角礫及斷層泥所組成的帶狀構造，這裡的破裂包括具可察覺錯移量的剪破裂及不具可察覺錯移量的剪破裂及開破裂。
斷層核心帶	fault core	為成熟完整的斷層帶中相對強烈變形的部分，主要由斷層泥和斷層角礫組成，也常出現具錯動量的不連續面，即斷層面。
斷層破壞帶	fault damage zone	為成熟完整的斷層帶中界於相對強烈變形的核心帶與未具破裂變形的圍岩間，以存在破裂為主的變形區。
剪裂帶	shear zone	有許多的具可察覺錯移量或不具可察覺錯移量的剪破裂，亦或剪切帶所組成的條帶狀構造。
剪切帶	shear band	薄層的平板狀構造，因受剪變形之故，於其中的顆粒，相較兩側為小，厚度通常僅數公厘，但也可達公分級。

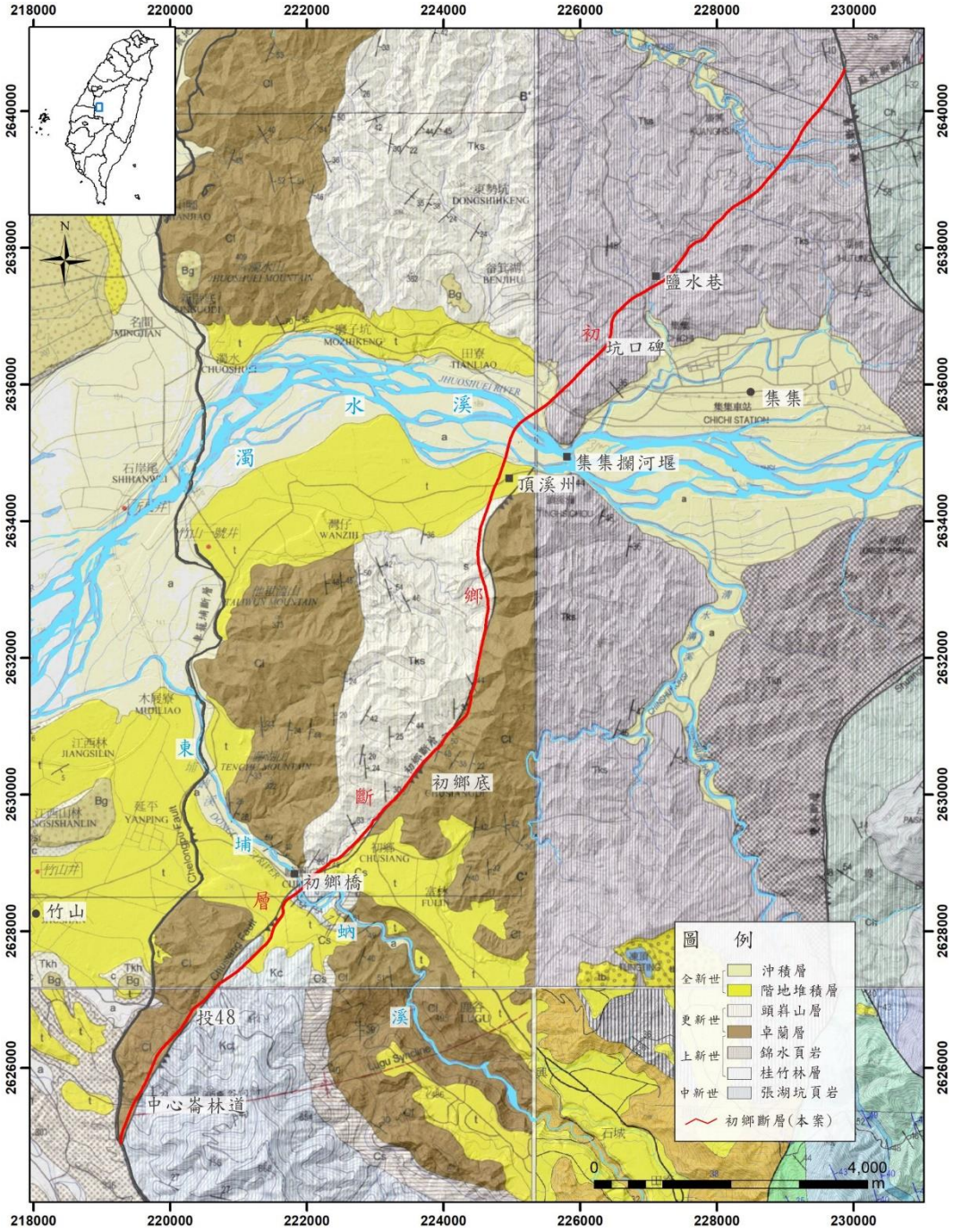


圖 25 初鄉斷層沿線地質圖，底圖引自地調所五萬分之一地質圖(陳華玟等，2004；黃鑑水等，2000；劉桓吉等，2004；陳勉銘等，2016)。

Fig. 25 Geological map containing the entire Chusiang Fault trace. The base maps are geological maps in scale of 1 to 50000 published by CGS. (Chen et al., 2004; Huang et al., 2000; Liu et al., 2004; Chen et al., 2016)

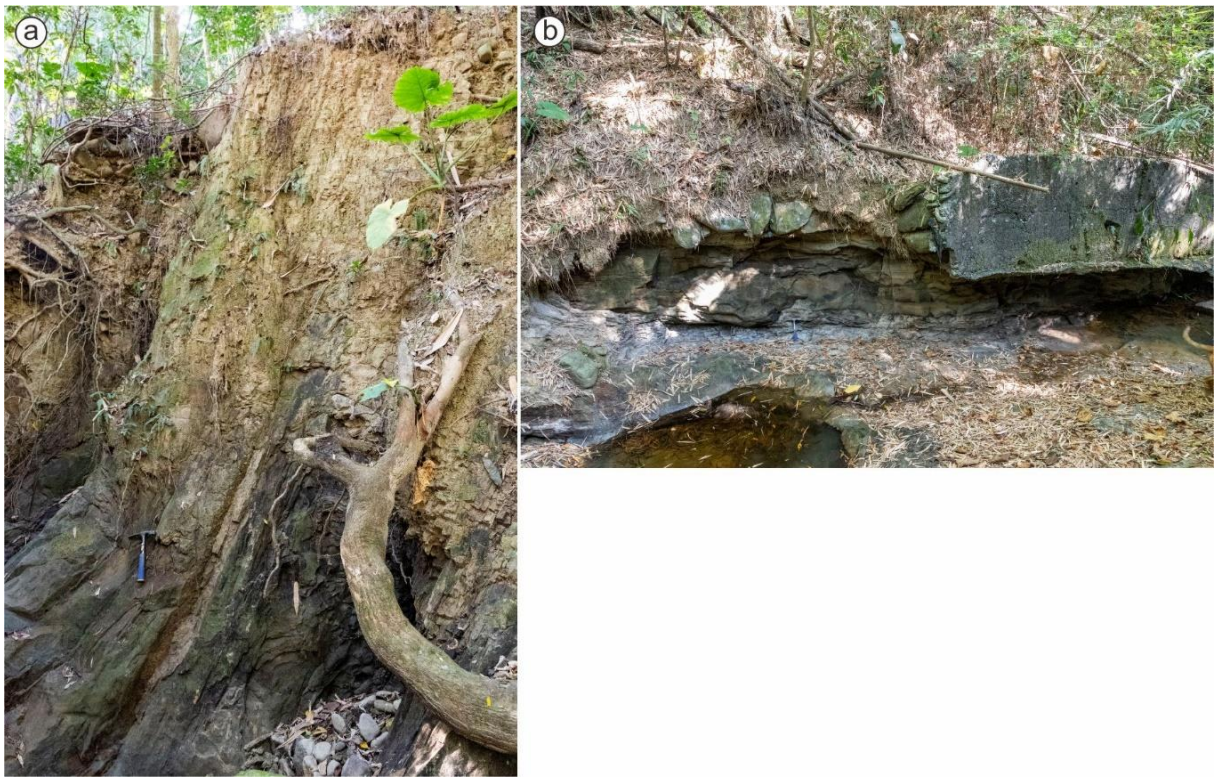


圖 26 坑口碑溪溝露頭。(a)中層至厚層砂岩呈高傾角；(b)圖 a 西側約 80 公尺處呈低傾角砂岩層。

Fig. 26 Outcrops at Kenkoubei creek. (a) Medium to thickly bedded fine-grained sandstone with high dipping angle (b) Low-angled fine-grained sandstone 80 m west of the outcrop in Fig. (a)



圖 27 濁水溪初鄉斷層剖面。

Fig. 27 Chusiang Fault profile at Choshui river.



圖 28 初鄉底初鄉斷層西側高傾角的中層至厚層細砂岩層。

Fig. 28 Medium to thickly bedded fine-grained sandstone with high dipping angle west of Chusiang fault in Chusiangdi.



圖 29 東埔蚋溪初鄉斷層。(a)東埔蚋溪初鄉斷層露頭 (林啟文，2008)；(b)2002 年東埔蚋溪初鄉斷層露頭附近全景(林啟文 攝)；(c) 2019 年東埔蚋溪初鄉斷層露頭附近植被覆蓋。

Fig. 29 Chusiang Fault at Dungpuna river. (a) Chusiang Fault outcrop at Dungpuna river (Lin et al., 2008); (b) Panoramic view of Chusiang Fault outcrop at Dungpuna river in 2002 (Photograph by Lin)；(c) Chusiang Fault outcrop has been covered with vegetation in 2019.

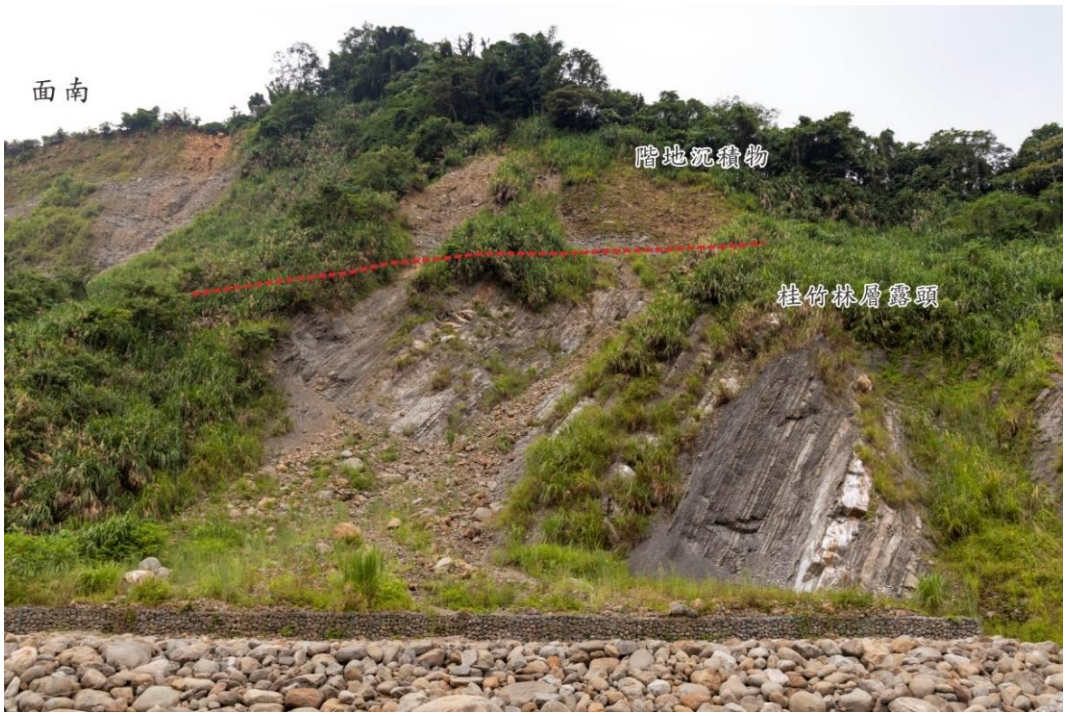


圖 30 東埔蚋溪上游河床露頭。厚層階地沉積物覆蓋於高傾角的桂竹林層之上。

Fig. 30 Outcrop upstream of Dungpuna river. The thick terrace sediment is overlaid on top of steep dip strata, part of Kueichulin formation.



圖 31 投 48 中正路三段小巷子露頭。(a) 本案推測斷層位置為沿著明顯約 2~3 公尺地形崖的崖腳；(b)小崖坡上方(圖 a 箭頭處)呈高傾角的厚層砂岩。

Fig. 31 Site and outcrop at alley of Section 3 of Zong-Zheng road, Road No.48. (a) Toe of 2~3 m high escarpment indicated by a dashed line in red. It is inferred as the Chusiang fault trace. (b) Thickly bedded sandstones with a steep dip on the top of the escarpment. The location of this outcrop is indicated by an arrow in Fig (a).

3.1.4 地電阻測勘結果

經斷層沿線地質調查的結果，濁水溪與東埔蚋溪皆可明顯界定出初鄉斷層的位置，然而，兩條河流之間的區域多為植被覆蓋，鮮少露頭出露，斷層位置僅能由地形特徵及零星的露頭判斷，因此本案將地電阻測線部於初鄉底附近，以期更精確的定義初鄉斷層位置。本次調查共完成 1 條地電阻影像剖面（Electrical Resistivity Tomography, ERT），剖面編號為 108-CSF-ERT-1，總長為 812 公尺，此研究目的為採用地電阻斷層掃描法探查初鄉斷層可能的位置之地下岩性分佈情形及地下構造分布。由於本計畫主要是針對活動斷層調查為主，因此本案採用 CPP 排列法（CPP Array）進行地電阻探測，而獲得較深層的地下構造剖面，以確認此活動斷層的地層及構造分布。探測的坐標與調查目的如表 10，測線位置如圖 32。

表 10 地電阻影像剖面資訊彙整表。

Table 10 Collated information of electric resistivity survey line.

測線編號	調查目的	測線長度 (m)	座標 (TWD97)		
			N	E	高程(m)
108-CSF-ERT-1	初鄉斷層可能出現位置的岩性分布情形及地下構造分布。	812	2630844.044	223764.448	397.656
			2630322.100	224386.476	551.124

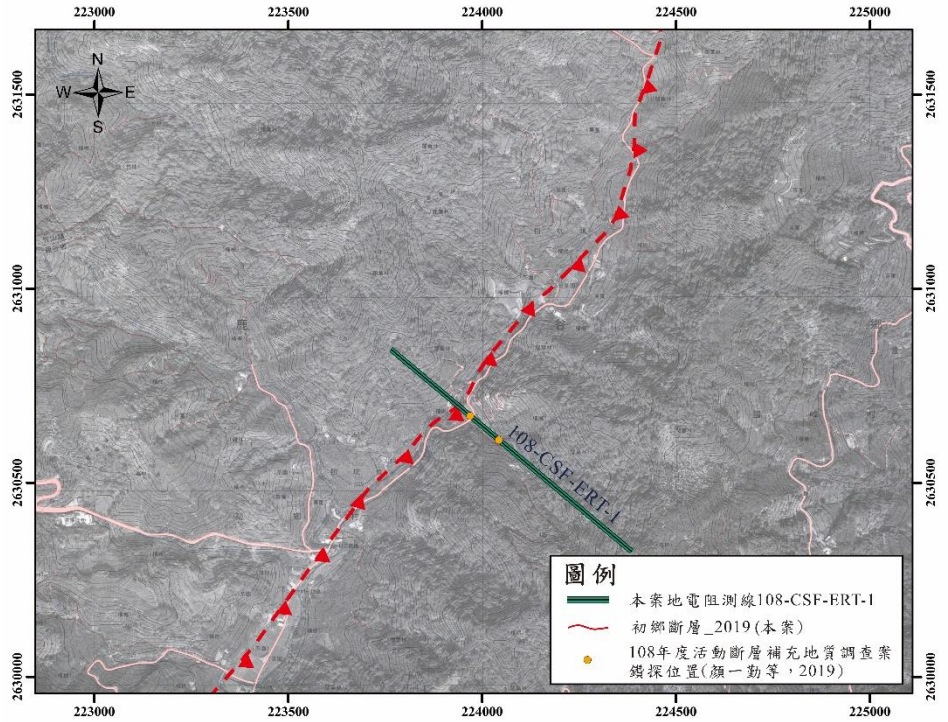


圖 32 初鄉斷層初鄉底地區 108-CSF-ERT-1 測線位置圖。

Fig. 32 Location of the ERT survey line 108-CSF-ERT at the Chusiangdi area.

地電阻影像原始剖面圖如圖 33，本案共製作 2 種逆推結果剖面圖，逆推結果剖面圖 I 如圖 34，將野外收集的電性資料再重新整理、計算，逆推結果剖面圖 II 如圖 35，是另外調整參數設定所獲得的剖面，目的是為了減少在計算時因為不同的參數設定產生的反演誤差，並提高剖面的精確度，詳細的資料處理請參見光碟附錄六。透過比較不同的參數設定而獲得的反演結果與四分位距誤差，找出最適合的參數設定，也可以藉由計算獲得電阻率誤差剖面（如圖 36），指示電阻率構造的不確定性。兩個剖面都可以觀察到約 200~300 公尺處電阻率的變化明顯，代表此區域地下電性分布不連續。本案推測此變化劇烈的區域為斷層周遭不連續的過渡帶。

逆推結果剖面圖 II 可看到電性界線更為明顯，從圖 37 中可觀察到深度由地表至約 10~20 公尺內出現較高電阻的區域可能為崩積層；較低電阻的區域則可能位於地下水位面之下。剖面中段部分，約剖面橫坐標 220 至 350 公尺之間電阻率變化顯著，且近地表處未發現高電阻率的崩積層，本案推測可能為斷層帶（紅色虛線的範圍），電阻率的高低的現象可能反映出不同時期構造作用，剖面中高阻、低阻區有可能分別是較近期或較早期的斷層活動造成。其中較老的破裂可能為在早期形成的裂隙，因水份長期滲流進裂隙累積便會呈現較低的電阻率（如剖面中斷層帶右側）；而斷層帶中高電阻率則可能為較新的裂隙。因為兩側形成至今裂隙間仍較不連續，水份尚未大量滲入；或是尚未形成礦脈等因素導致高電阻率（如剖面斷層帶左側）。

為驗證上述推測，本案紀錄 108 年活動斷層補充地質調查案一案鑽井資料：初鄉 1A (100m) 與初鄉 1B (50m)，鑽井位置分別於剖面橫座標 268 及 364 公尺（圖 37），詳細岩心紀錄參見光碟附錄五。1A 井 0~7.4 公尺屬於崩積物，7.4~66.2 公尺處無明顯的層理，剪切帶(shear bands) 分布密集，66.2~100.0 公尺處層面呈約 60~70 度高角度傾斜，並出現零星的剪切面，岩心大致完整；1B 井 0~7.6 公尺屬於崩積物，7.6~50.0 公尺處無明顯的層理，剪切帶分布密集。兩口井的岩心皆有看見裂隙中具白色充填物，為方解石脈(圖 38)，1A 井約在 16 公尺處即出現方解石脈，50.9~54.9 公尺處方解石脈寬度較寬、較為明顯，1B 井約在 9 公尺處即出現方解石脈，16.8~34.4 公尺處方解石脈寬度較寬。填充方解石脈的裂隙原因，可能其形成時間較早且有水份滲流，在 1B 井中方解石脈出現較為密集，1A 井中此現象則相對稀少。

根據地電阻量測結果及岩心紀錄資料，1A 井 0~66.2 公尺、1B 井應皆位於斷層帶內。1A 井因裂隙較少有方解石脈，1B 井方解石脈較為密集，顯示 1B 井裂隙形成較早，因地下水流動形成方解石脈，1A 井中的裂隙屬於較晚形成，方解石脈較少。此現象也與本案地電阻剖面電阻率分布大致吻合。

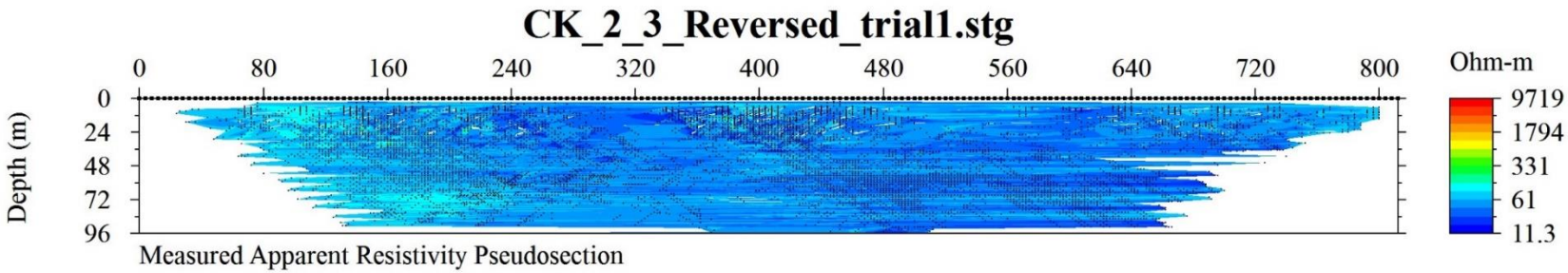


圖 33 地電阻影像原始剖面。

Fig. 33 Electrical resistivity raw-data profile.

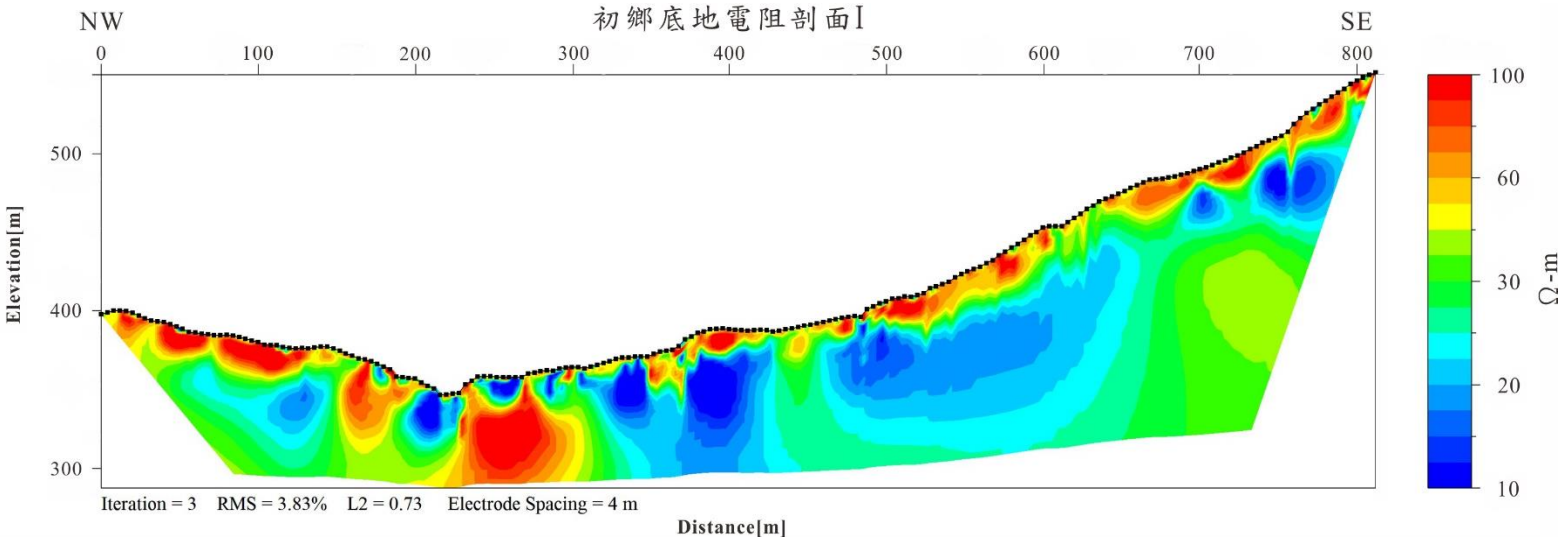


圖 34 逆推結果剖面圖Ⅰ。

Fig. 34 Electrical resistivity inverted profile I.

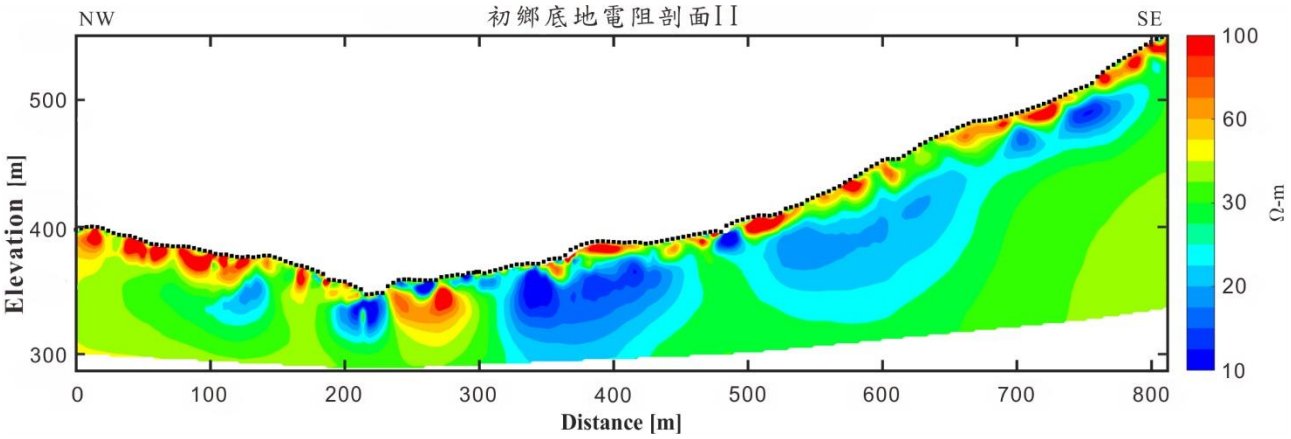


圖 35 逆推結果剖面圖 II。

Fig. 35 Electrical resistivity inverted profile II.

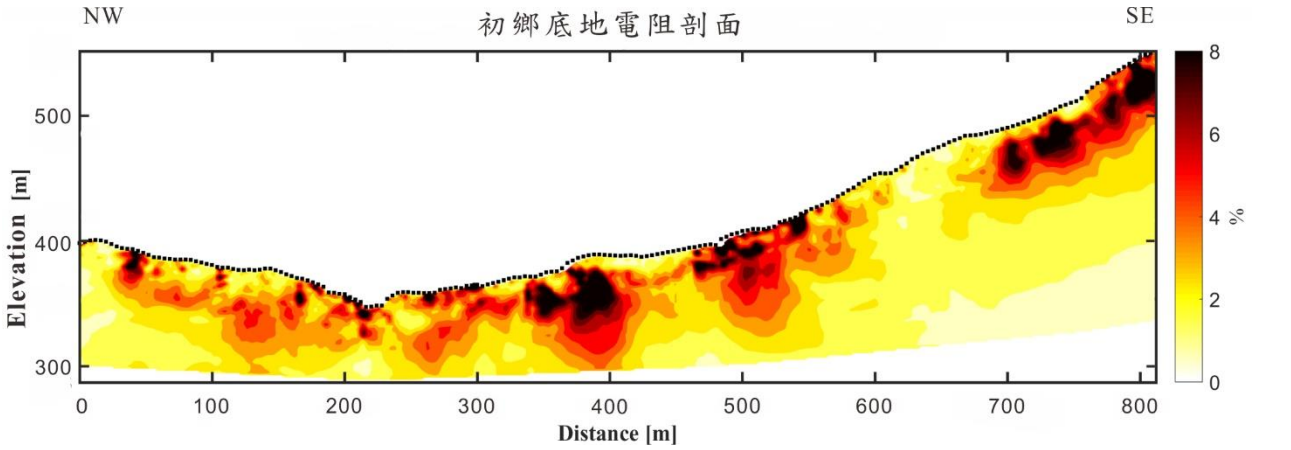


圖 36 電阻率誤差剖面圖。

Fig. 36 Electrical resistivity error-data profile.

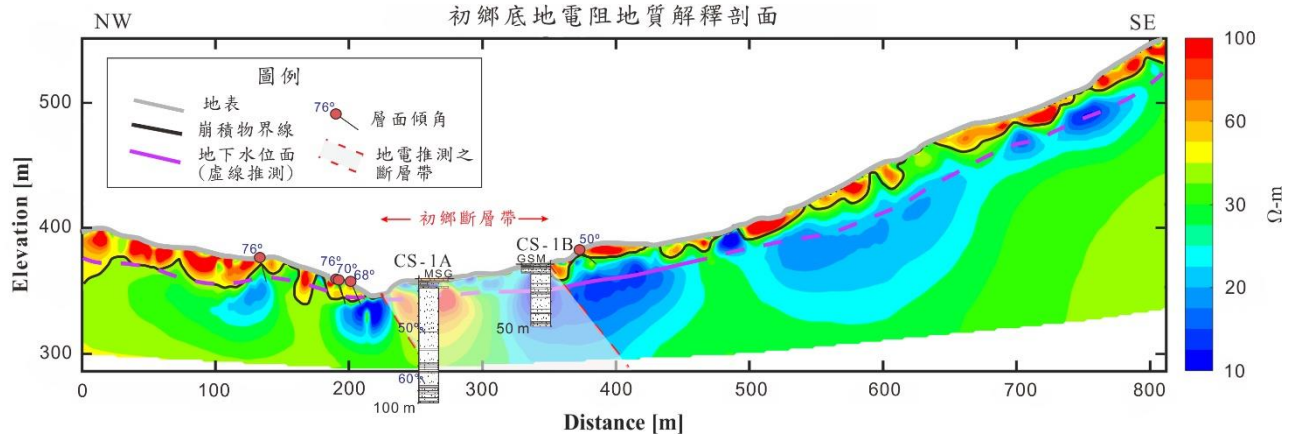


圖 37 地電阻地質剖面解釋圖。

Fig. 37 Electrical resistivity interpretation profile.

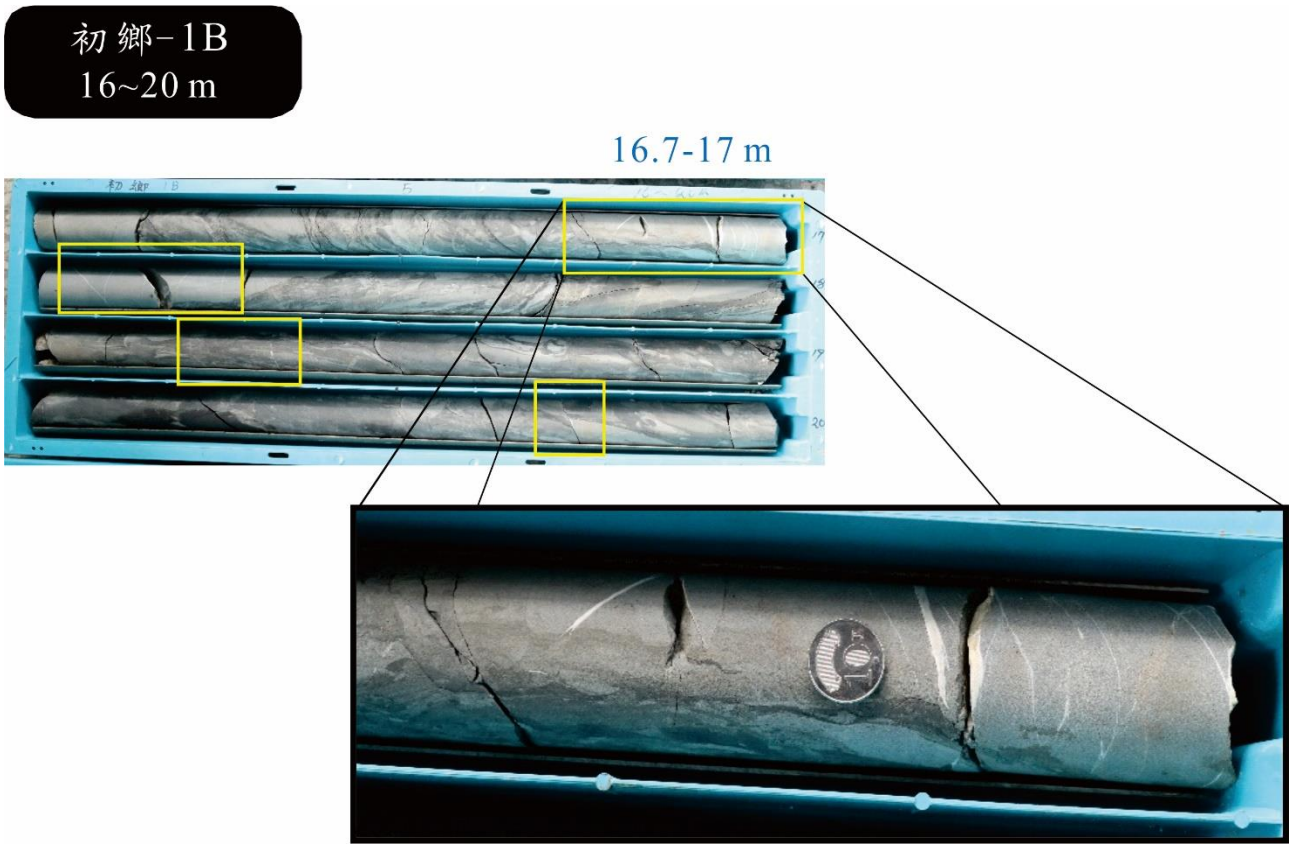


圖 38 岩心中裂隙填充的方解石脈。

Fig. 38 Calcite-filled fractures within rock cores.

3.2 車瓜林斷層

3.2.1 地理位置及地形概述

車瓜林斷層位於高雄市內門區、田寮區及燕巢區，由高雄內門區的學子李往南延伸至半天寮，呈北北東向；再往南經大廓亭山至燕巢區的崎溜，此段約略呈東北西南向，斷層跡約22 公里(圖 39)，本案調查範圍為車瓜林沿線兩側至少一公里的範圍。

車瓜林斷層沿線地形圖如圖 39，車瓜林斷層北側內門-半天寮至最南測崎溜地區大部分為丘陵地形，唯車瓜林斷層東側，崑山向南經國道 3 號中寮隧道口至千秋寮附近，有一成北北東-南南西走向的山脈，山脈中海拔最高的中寮山高程為 420 公尺，為車瓜林斷層沿線相對地形較高的區域，崎溜以西燕巢市區，為平原地形。丘陵地的高程大約都在海拔 100~150 公尺之間，丘陵地沿線地形較高的地方分別為，馬頭山(海拔 219 公尺)、大廓亭山(海拔 235 公尺)、雞冠山及崎溜山(海拔 236 公尺)，從地形判釋結果顯示，車瓜林斷層內門至崎溜地區未發現明顯斷層線形崖，崎溜以南至燕巢市區外緣有一東北-西南走向的線形崖，可連續追跡約2 公里。

3.2.2 車瓜林斷層沿線空拍

車瓜林斷層施作空拍之全長為 22 公里，其中範圍內有腳帛寮營區基地無法拍攝，車瓜林斷層沿線空拍涵蓋斷層兩側至少 1 公里，完成的面積共計 50.6 平方公里。本案將車瓜林斷層斷沿線空拍影像分割成 5 段繳交，分別為 CGL_01、CGL_02、CGL_03、CGL_04 以及 CGL_05。各區影像分布如圖 40 所示，空拍範圍內共布設 34 個地面控制點，拍攝原始影像同一航帶的相片重疊率約為 75~85%，航帶相片重疊率約為 60~75%，各區接合影像地面解析度(GSD)為0.07~0.1 公尺之間(表 11 及表 12)，影像平面誤差分別為 X：0.05~0.62 公尺；Y：0.06~1.6 公尺；Z：0.15~1.9 公尺。各區影像之精度報表、平面誤差詳見光碟附錄一。

本案車瓜林空拍範圍內，從車瓜林斷層北端至橋仔頭為內門市區南側，大部分為民房及植被所覆蓋，橋仔頭至半天寮大部分為植被覆蓋，偶有零星泥岩層露頭，半天寮至崎溜區為惡地地形，泥岩區露頭出露良好，崎溜西側至車瓜林斷層最南端的範圍燕巢市區外緣，亦多為田地、植被及房屋。其中本案利用正射影像和原始航拍，尋找空拍範圍內泥岩區露頭中深色斷層帶的位置(圖 41)，及初步判釋車瓜林斷層位置，並作為本案安排野外露頭點調查的基礎資訊。

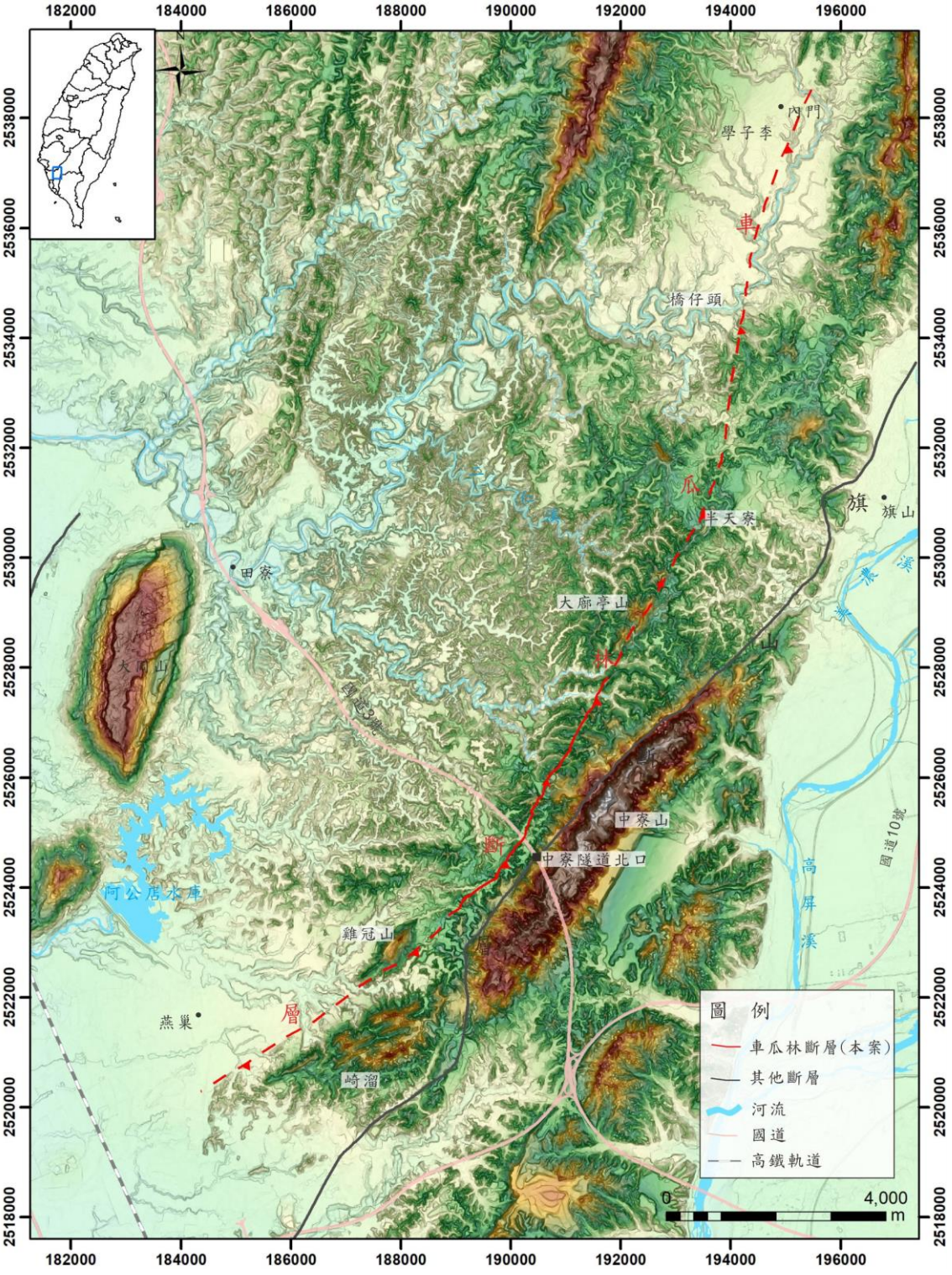


圖 39 車瓜林斷層沿線地形圖 (本影像經由經濟部中央地質調查所提供之空載光達數值地形資料產製)。

Fig. 39 Topographic map containing the entire Chekualin Fault trace (the image was produced from 1m Lidar DTM provided by CGS).

表 11 車瓜林斷層各區空拍影像之地面解析度整理。

Table 11 GSD collated table for aerial images along Chekualin Fault

編號	地面解析度 (cm)
CGL_01	7.55
CGL_02	9.43
CGL_03	9.79
CGL_04	8.16
CGL_05	9.80

表 12 車瓜林斷層各區空拍影像地面解析度擷取自報表資訊。

Table 12 GSD information excerpted from report of each aerial image along Chekualin Fault

CGL_01

Project	CGL_part1
Processed	2019-09-07 07:52:38
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB), FC300X_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	7.55 cm / 2.97 in
Area Covered	18.343 km^2 / 1834.2611 ha / 7.09 sq. mi. / 4534.9040 acres

CGL_02

Project	CGL_02_plus_1
Processed	2019-09-06 21:07:45
Camera Model Name(s)	FC220_4.7_4000x3000 (RGB)(1), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)(2), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC300X_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	9.43 cm / 3.71 in
Area Covered	17.298 km^2 / 1729.8117 ha / 6.68 sq. mi. / 4276.6702 acres

CGL_03

Project	CGL_03_final
Processed	2019-09-21 06:12:15
Camera Model Name(s)	FC220_4.7_4000x3000 (RGB), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	9.79 cm / 3.85 in
Area Covered	13.589 km^2 / 1358.9008 ha / 5.25 sq. mi. / 3359.6550 acres
Time for Initial Processing (without report)	19h:34m:59s

CGL_04

Project	CGL04_02
Processed	2019-09-11 12:27:34
Camera Model Name(s)	FC220_4.7_4000x3000 (RGB), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	8.16 cm / 3.21 in
Area Covered	11.629 km^2 / 1162.8819 ha / 4.49 sq. mi. / 2875.0311 acres
Time for Initial Processing (without report)	17h:54m:47s

CGL_05

Project	CGL05
Processed	2019-09-11 02:36:13
Camera Model Name(s)	FC220_4.7_4000x3000 (RGB), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	9.80 cm / 3.86 in
Area Covered	11.142 km^2 / 1114.1679 ha / 4.30 sq. mi. / 2754.5940 acres
Time for Initial Processing (without report)	06h:21m:22s

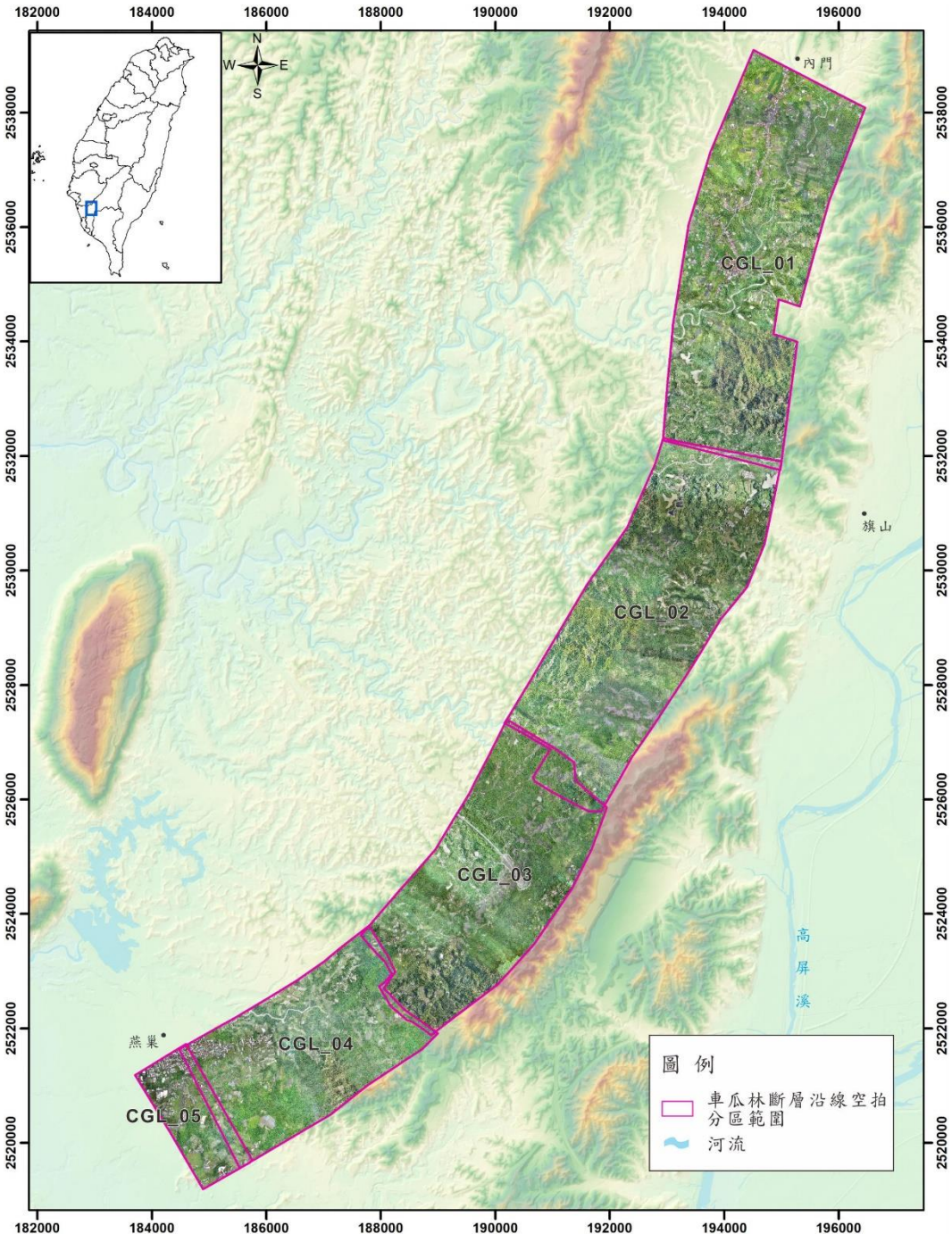


圖 40 車瓜林斷層影像資料分區索引圖。

Fig. 40 Index map of aerial images along Chekualin Fault.



圖 41 原始空照中泥岩區斷層帶。

Fig. 41 Fault zone in mudstone in original aerial photo.

3.2.3 地質背景及沿線地質調查

車瓜林斷層沿線地質圖如圖 42，車瓜林斷層兩側皆為古亭坑層，以厚層泥岩為主，偶夾薄砂岩層，斷層兩側之薄砂岩層則明顯有所不同（林啟文，2013），本案蒐集吉田要(1932)、林啟文(2013)及蘭于鈞(2019)的調查資料，並藉由空照判釋，逐步完成車瓜林斷層之斷層沿地質調查。車瓜林斷層沿線半天寮至崎溜地區為惡地地形，有大片良好的泥岩區露頭完整出露，其餘地點露頭出露較為零星，或甚至無露頭出露，以下分區描述車瓜林斷層沿線調查結果：

(1) 內門至半天寮

本區以往稱之為橋仔頭斷層(徐慶雲，1975)，後來將此段稱之為車瓜林斷層，斷層東側岩層向東傾斜，斷層西側岩層向西傾斜，岩性為厚層泥岩偶夾薄層砂岩(林啟文，2013)，本案調查結果顯示，內門區至旗亭巷多為植披覆蓋，旗亭巷至半天寮間零星泥岩露頭，有發現高傾角的剪切帶。

(2) 半天寮至崑山西側

此區泥岩出露良好，本案參考（林啟文，2013）斷層位置實際調查(圖 43)，未判釋出較明顯的呈深灰色的斷層帶，圖 43 位於半天寮大坑巷底，岩性為厚層泥岩偶夾薄層砂岩，層面傾角 50 度向東傾斜，本案判定此露頭仍然位於車瓜林斷層的上盤，因此斷層應該還在更西側的位置。

(3) 崑山西側至千秋寮北側

崑山西側至千秋寮北側，車瓜林斷層明顯出露於泥岩區露頭中，斷層帶附近顏色明顯呈黃棕色，斷層帶寬度約略 15~20 公尺，約 30 度向東傾斜。斷層帶可從高 40 公路北側崑山西側的泥岩區露頭(圖 44)追至高 40 公路南側(圖 45)，並從高 40 公路的南側延伸至國道 3 號中寮隧道口西側約 800 公尺處(圖 46)，向南至千秋寮北側附近也可看明顯車瓜林斷層帶(圖 47)，斷層帶可明顯追跡的長度約 4.5 公里。斷層上盤側為厚層泥岩偶夾薄層細粒砂岩，下盤側為塊狀砂質泥岩。

(4) 千秋寮至崎溜

千秋寮至崎溜地區，車瓜林斷層出露狀況相對於崑山西側較為不明顯，也較不易觀察到泥岩區明顯的斷層帶，雞冠山東側的泥岩區，露頭當中可追蹤到灰色的斷層帶，斷層帶不似崑山西側附近至千秋寮之間車瓜林斷層帶偏黃棕色，產狀略微不同，且岩層呈現高傾角(圖 48)。崎溜附近興勝宮露頭剖面，從追蹤厚層泥岩中的薄砂岩層層面方向，岩層明顯被褶曲，西南側層面的傾角約為 80 度向南傾斜、剖面東北側層面傾角約 40 度向南傾斜，剖面中並未發現到類似崑山西側至千秋寮北側可追縱深灰色的斷層帶 (圖 49) 。

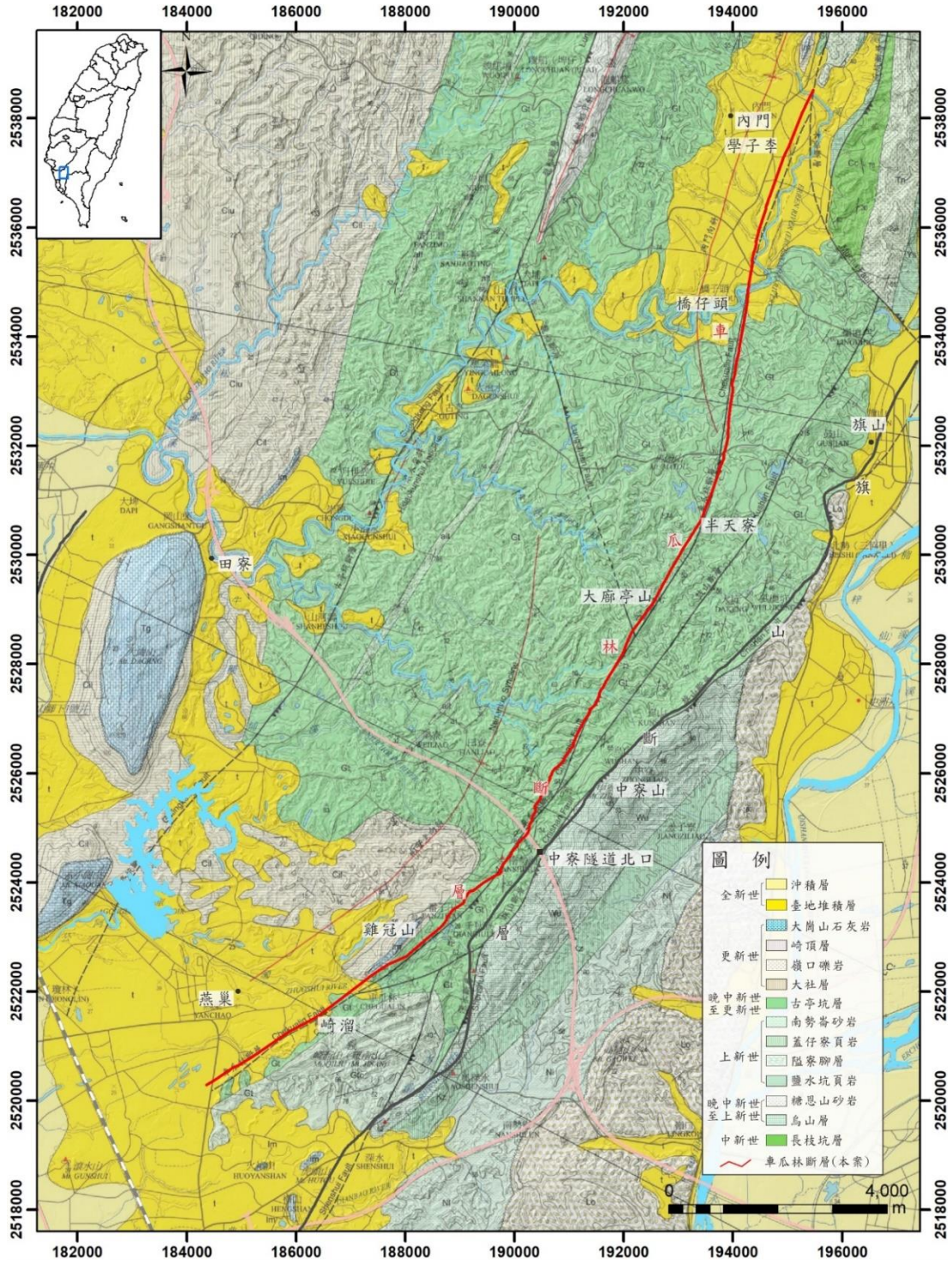


圖 42 車瓜林斷層沿線地質圖，底圖引自地調所五萬分之一地質圖(林啟文，2013)。

Fig. 42 Geological map containing the entire Chekualin Fault trace. The base map is from 1/50000 geological map published by CGS (Lin, 2013).



圖 43 半天寮大坑巷底的露頭。出露的岩性以厚層泥夾薄層砂岩為主。

Fig. 43 Outcrop at the end of Danken alley in Bantianliao. It is mainly composed by the thickly bedded mudstone embedded with thinly bedded sandstone.



圖 44 高 40 公路北側眺望空照。車瓜林斷層帶(紅色箭頭)大約可追跡約 1 公里。

Fig. 44 Panoramic view of the northern side of Road No. 40. The Chekualin fault zone, pointed by red arrows, can be traced at least 1 km long.



圖 45 高 40 南側車瓜林斷層帶露頭剖面。斷層帶向東傾斜，寬度約 15~20 公尺。

Fig. 45 Chekualin fault zone outcrop profile at the southern side of Road No. 40. The fault zone dips to the east with 15~20 m in width.



圖 46 國道 3 號往北側眺望空照。高 40 公路南側至國道 3 號北側露頭之間，可連續追蹤車瓜林斷層帶(紅色箭頭)。

Fig. 46 Panoramic view of the northern side of Highway No. 3. The Chekualin fault zone, pointed by red arrow, can be traced on outcrops in between Road No. 40 and Highway No. 3.



圖 47 國道 3 號南側泥岩區斷層帶露頭。(a)中寮隧道西側國道 3 號南側全景；(b)宏宮寺北側斷層帶露頭；(c)宏宮寺東側斷層帶露頭。

Fig. 47 Chekualin fault zone at the southern side of Highway No. 3. (a) Panoramic view of the southern side of Highway No. 3. (b) Shear zone outcrop at the northern side of Hongkong temple. (c) Shear zone outcrop at the eastern side of Hongkong temple.

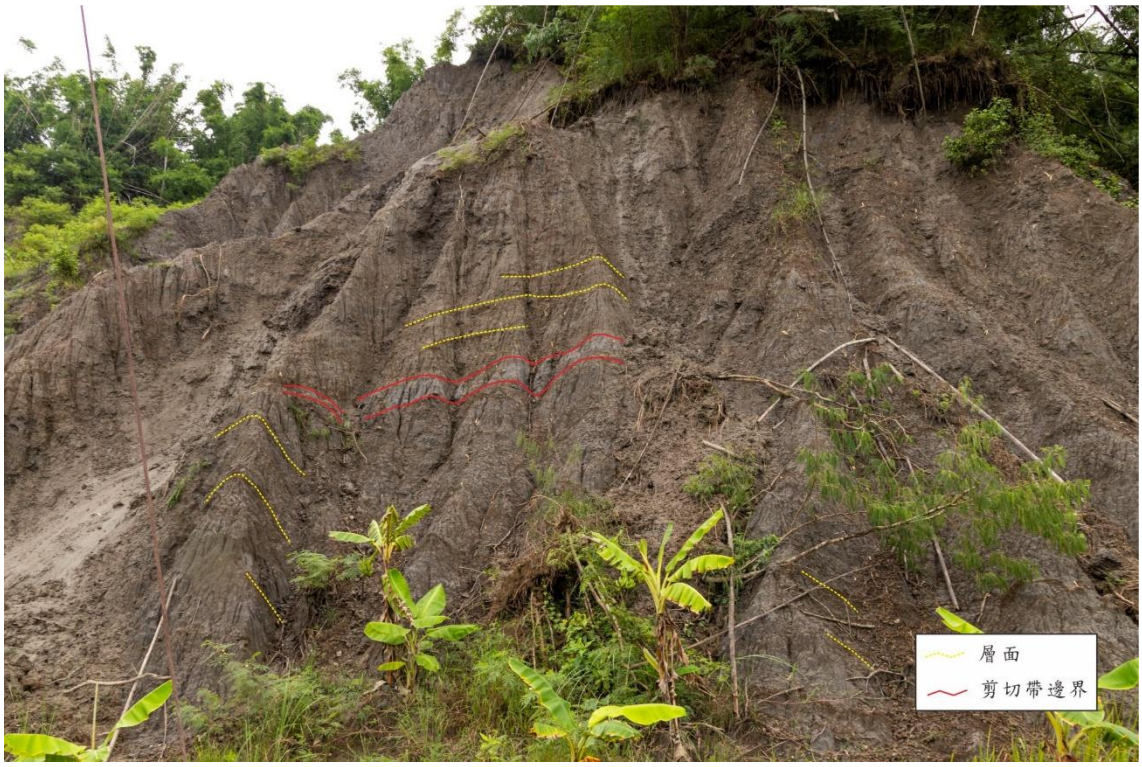


圖 48 雞冠山東側露頭照。厚層泥岩中的薄砂岩層呈高傾角，且存在約數十公分寬的剪裂帶

Fig. 48 Outcrop east of Mt. Jiguan. Thinly bedded sandstones with a high dip are embedded in thick mudstone along with a shear zone tens of centimeters wide.

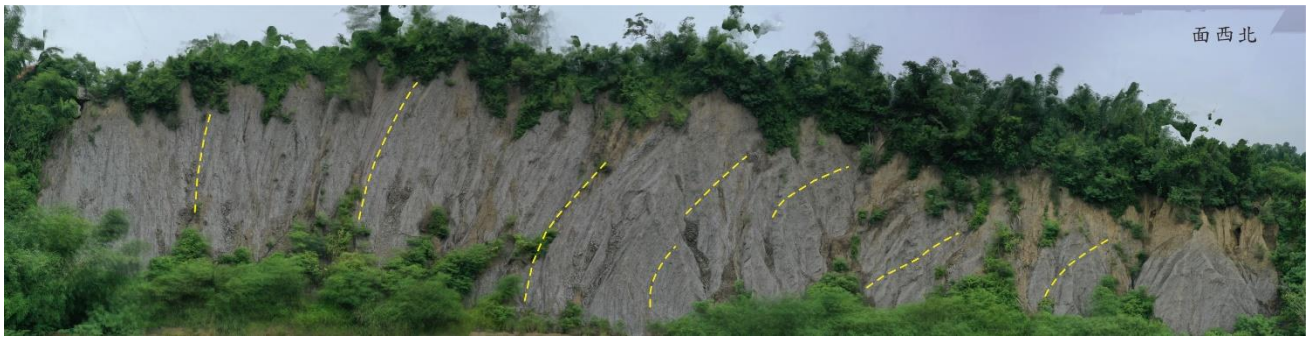


圖 49 勝興宮東側露頭剖面。層面傾角(黃色虛線示意)往東北側變緩。

Fig. 49 Outcrop profile east of Shengxings temple. Beddings, represented by dashed lines in yellow, are steep and become gentler toward the northeast.

第四章 斷層特性及斷層帶分析

4.1 初鄉斷層

4.1.1 濁水溪河岸高精度空拍影像

經沿線地質調查，集集攔河堰西側初鄉斷層的上、下盤，從集集攔河堰至攔河堰西側約5公里處(亦即921集集地震地表破裂的位置)，河床露頭連續且狀況良好，由於河道地形變動非常大，往往一次颱風事件即可能造成大面積的露頭被掩蓋或侵蝕，加上集集攔河堰下游的另一工程正在進行，預定於兩年內完成另一道攔砂壩，屆時集集攔河堰至攔砂壩間的河床將被淤砂攔砂壩覆蓋，故本案以濁水溪沿岸河床露頭做為高精度空拍之目標(本案高精度空拍是以解析度的高低定義之)。本案共計完成濁水溪沿岸精細空拍200公頃，正射影像套疊之坐標系統採用TWD97，影像分布如圖 50。本案精細空拍分割成3個部分，分別為Choshui_R_01、Choshui_R_02及Choshui_R_03，第一期交付計價面積為176公頃(如Choshui_R_01、Choshui_R_02)，第二期交付計價面積為24公頃(如Choshui_R_03)，拍攝原始影像同一航帶的相片重疊率約為75~85%，航帶相片重疊率約為60~75%，各區接合影像地面解析度(GSD)約為0.05公尺之間(表 13及表 14)，影像平面誤差分別約為X：0.006公尺；Y：0.001公尺；Z：0.03公尺。各區影像之精度報表、平面誤差詳見光碟附錄二。

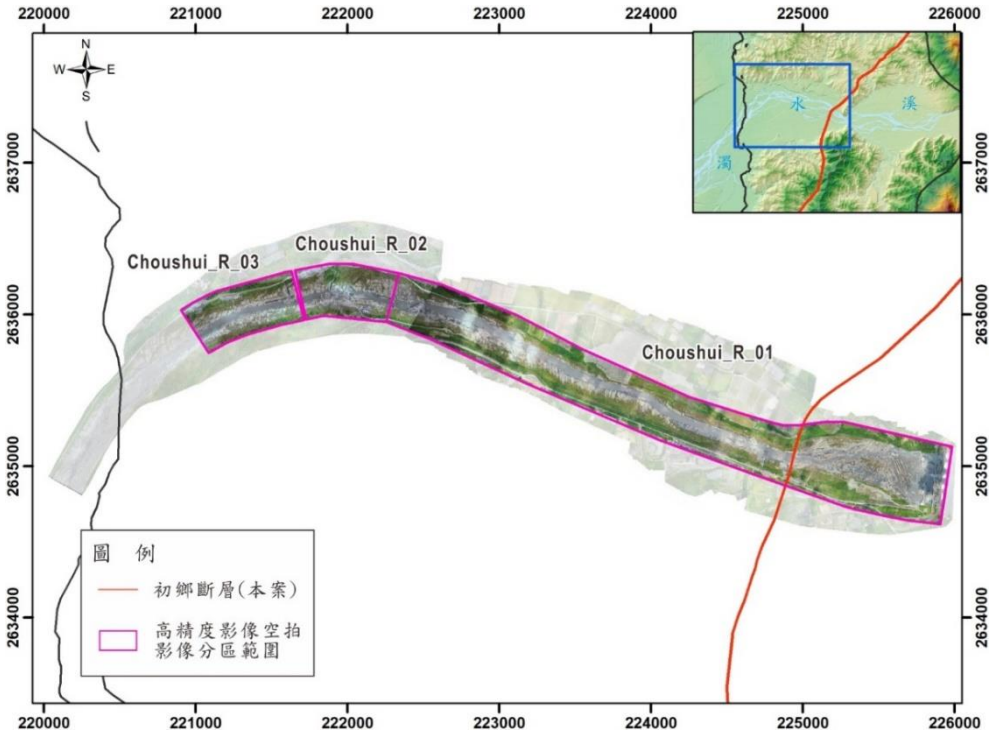


圖 50 高精度空拍影像分布圖。

Fig. 50 Index map of high-resolution aerial images.

表 13 高精度影像空拍各區影像地面解析度。

Table 13 GSD collated table of each high-resolution aerial image

編號	地面解析度 (cm)
Choshui_R_01	5.28
Choshui_R_02	4.19
Choshui_R_03	4.19

表 14 高精度空拍影像各區空拍影像地面解析度擷取自報表資訊。

Table 14 GSD information excerpted from report of each high-resolution aerial image

Choushui_R_01

Project	ChiChiDam_CGSDetail
Processed	2019-07-02 21:14:04
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.28 cm / 2.08 in
Area Covered	3.002 km^2 / 300.2409 ha / 1.16 sq. mi. / 742.2954 acres
Time for Initial Processing (without report)	28m:07s

Choushui_R_02 & Choushui_R_03

Project	20190808_chichi
Processed	2019-08-09 00:31:59
Camera Model Name(s)	FC300X_3.6_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	4.19 cm / 1.65 in
Area Covered	3.250 km^2 / 325.0150 ha / 1.26 sq. mi. / 803.5454 acres
Time for Initial Processing (without report)	03h:49m:47s

4.1.2 濁水溪初鄉斷層帶構造特性

濁水溪河岸從集集攔河堰至名竹大橋，沿線距離約 7 公里，露頭出露狀況良好(圖 51)。車籠埔斷層出露於名竹大橋東北方約 0.6 公里處，該處可見以泥岩為主的岩層 (應為錦水頁岩的部分岩段) ，上覆於近代的礫石層(圖 51a)；初鄉斷層則出露於集集攔河堰西側約 1 公里處，斷層兩側的岩層由砂頁岩互層所組成，岩性雖非明顯不同，但位態及變形特徵的差異卻極為顯著。初鄉斷層及車籠埔斷層之間的岩層，由一系列東傾的砂頁岩組成，傾角約在 35-50 度間變化，走向以南北方向最常見，其間雖有些小斷層、局部的岩層褶曲及垂直層面的節理組，但大體上岩層尚屬完整(圖 51)。

初鄉斷層上盤的岩層則為一半波長約 1 公里、褶皺軸以 34 度向東北傾沒的頂溪州背斜所構成(圖 52、圖 53)，背斜東側岩層完整(圖 54a)，傾角約在 30-50 度間變化向東北傾，僅於接近褶皺軸面處偶見錯動量數十公分的斷層(圖 54b)；背斜西側岩層位態，由近褶皺軸面的走向東北-西南，傾角約 30-60 度，往西側的初鄉斷層變化，轉成約東西走向高傾角，甚至近乎垂直，岩層也相對破碎，可見為數不少且錯距數公尺以上的斷層(圖 52)，且於砂岩層除垂直的節理組外，亦可見剪破裂(shear fractures)及一到兩組變形條帶(deformation bands)(圖 55)，岩層變形破碎的情況越近初鄉斷層越為劇烈。

圖 56 為初鄉斷層帶的露頭照片，斷層帶中的主斷層面(亦即初鄉斷層)，於南北兩岸的露頭，皆可由岩性特徵、位態變化及岩體變形程度之差異與以鑑識，特別是緊鄰這主斷層面的上盤處，由深黑色被高度剪變的泥質岩組成(類似斷層泥)，見圖 57b，乾燥時相當堅硬，含水量高時黏塑性極強，約數公分厚，於南岸特別明顯，由其在南北兩岸的位置及露頭，推估主斷層的位態，為走向 N5°E，傾角 47°E。此主斷層下盤的岩層受擾動變形的寬度僅約兩三公尺寬，於北岸可見緊鄰主斷層的中層砂岩被扭曲(圖 56a)，但延續性尚佳，泥岩中可觀察到約略平行於核心帶的剪切面，南岸則可見中層砂岩被小斷層錯斷(圖 57a)。主斷層上盤的岩層擾動變形甚劇的寬度約可達一、兩百公尺寬，南北兩岸皆可觀察到公尺級的褶皺及錯動量公尺級的斷層，緊鄰主斷層寬度 10 到 15 公尺的範圍內之變形相較更劇，以泥質為基質，其中充斥被剪碎的豆莢狀砂岩(圖 57c)，長度從公尺到公分皆有，也可觀察到略平行於主斷層的剪切面。

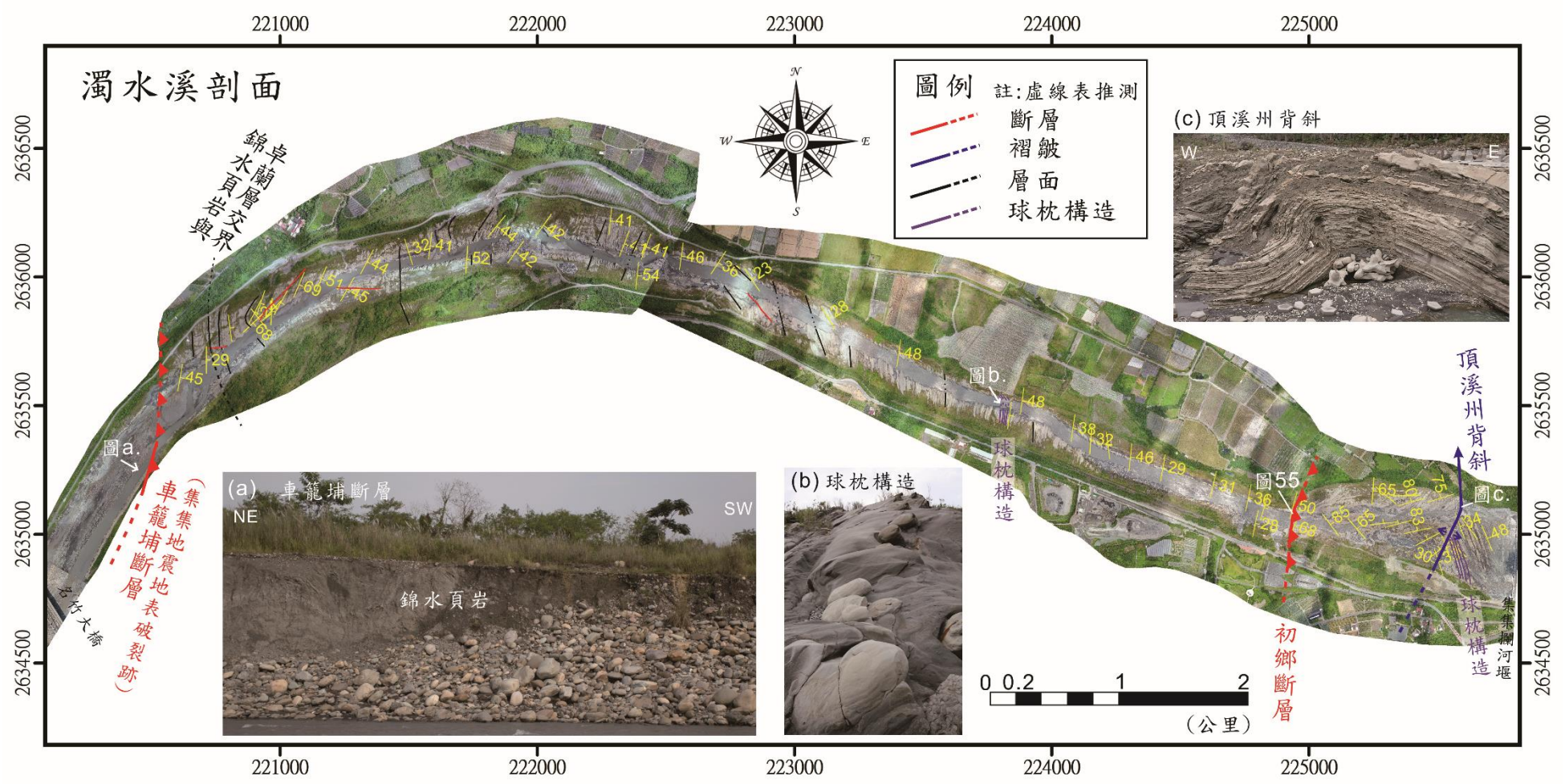


圖 51 初鄉斷層至車籠埔斷層於濁水溪的剖面。

Fig. 51 Choshui-river profile in between Chusiang fault and Chelungpu fault.

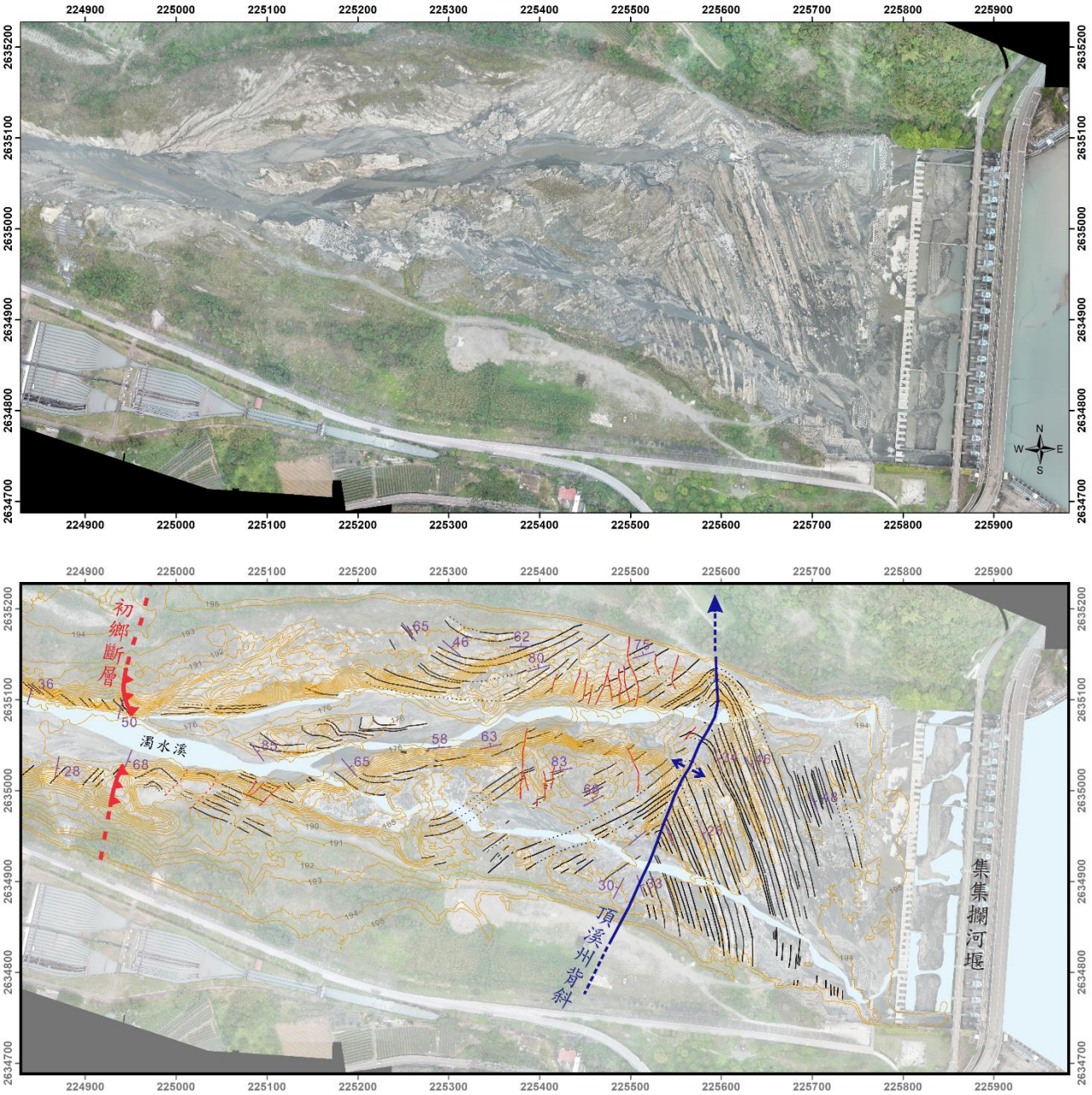


圖 52 濁水溪集集攔河堰下游處初鄉斷層兩側的高精度空拍影像(上圖)及構造判釋圖(下圖)。下圖中的黃色線條為一公尺間距的等高線。

Fig. 52 High-resolution aerial image of the Choshiu riverbed across the Chusiang fault downstream of Chi-Chi dam (upper) and structural recognition (lower). The yellow lines in the figure are 1 m interval contours.

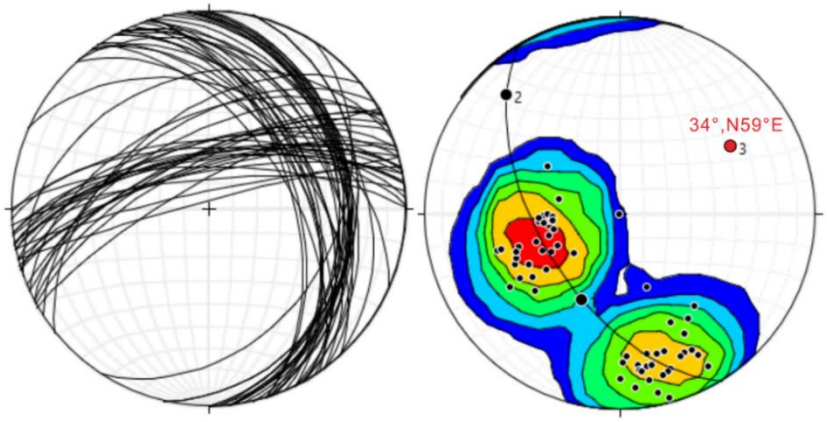


圖 53 頂溪州背斜的 Beta 圖(左)及 Pi 圖(右)。背斜軸位態為 34°，N59°E。

Fig. 53 Beta diagram (left) and Pi diagram (right) of Tingsichou anticline. The attitude of anticline axis is 34°, N59°E.



圖 54 頂溪州背斜東翼的岩層狀態。(a)數道含球枕構造的極厚層砂岩；(b)為小斷層截切的砂頁岩互層。

Fig. 54 Strata of eastern limb of the Tingshuicho anticline. (a) Several very thickly bedded sandstones containing sedimentary pillows; (b) Alternation of sandstone and shale cut by minor faults.

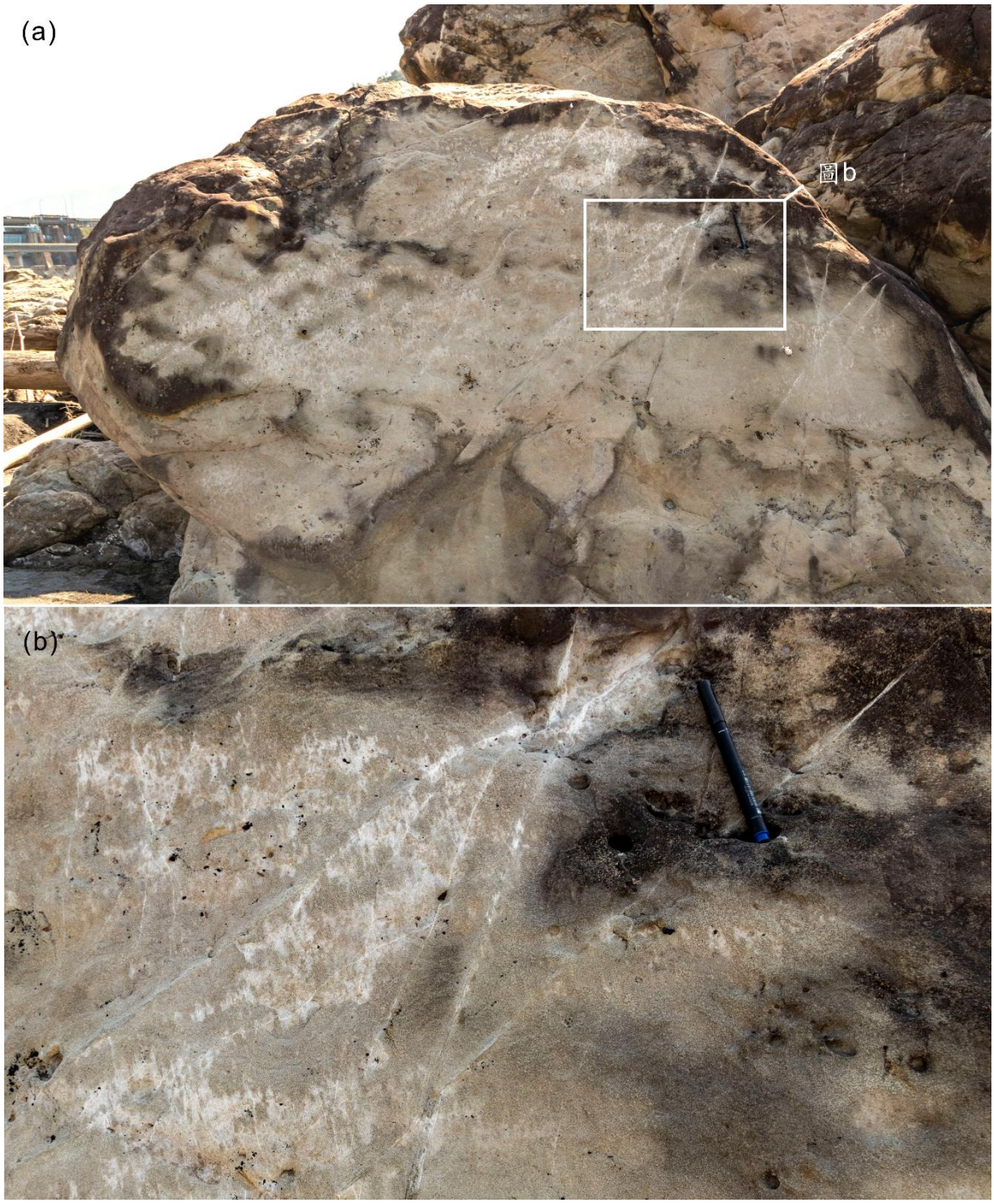


圖 55 濁水溪初鄉斷層上盤的厚砂岩層(卓蘭層)中的兩組變形條帶。

Fig. 55 Two sets of deformation bands within the thick-bedded sandstone along Choshui river on the hanging wall of Chusiang fault.



圖 56 濁水溪集集攔河堰下游處的初鄉斷層露頭。斷層西側出露厚層至極厚層青灰色或深灰色之混濁砂岩、厚層泥岩及中至薄層的砂頁岩互層，層態為東北西南走向，向東傾約 25~30 度；斷層東側為厚層泥岩及中至薄層的砂頁岩互層，岩層位態變化急遽。

Fig. 56 Chusiang fault outcrop at the Choshui river downstream of Chi-Chi dam. West of the fault, exposure of thickly and very thickly bedded greenish or darkly gray greywacke, thickly bedded mudstone and the alternation of medium to thinly bedded sandstone and shale striking northeast to southwest and dipping 25° to 30° to the east. East of the fault, exposure of thickly bedded mudstone and the alternation of medium to thin bedded sandstone and shale with dramatic change in their attitude.



圖 57 濁水溪南岸的初鄉斷層露頭近照。(a) 初鄉斷層及鄰近下盤的小斷層；(b) 初鄉斷層面近照；(c) 初鄉斷層鄰近上盤中的豆莢狀剪裂砂岩段。

Fig. 57 Close-ups of Chusiang fault outcrop at the south bank of Choshui river. (a) Chusiang fault and minor fault adjacently exposed in its foot wall; (b) Close-up of Chusiang fault plane; (c) Pod-like sheared sandstones adjacent to the Chishiang fault in its hanging wall.

4.2 車瓜林斷層

4.2.1 清理剖面的位置及背景

經沿線地質調查及判釋，本案剖面清理地點選址地點為國道 3 號中寮隧道口往北約 1 公里處，高 40 公路旁的泥岩區露頭 (圖 58)，剖面(編號：CGL-001)位置位於泥岩區中，通過車瓜林斷層帶，剖面範圍與斷層帶的相對關係，詳見圖 59 與圖 60 空照。剖面兩端點 TWD97 坐標為(1905443.837，2525653.194)及(190570.244，2525631.449)，全長 34 米、高 2 米，長邊方向受地形影響呈 N55°W-N45°W，與斷層 N31°E 之走向近乎直交，剖面內部每 0.5 公尺布設一條水平網格線，每 1 公尺布設一條垂直網格線，剖面影像接合成果與立面圖測繪成果如圖 61，分區構造描繪成果如圖 62 至圖 65 所示。

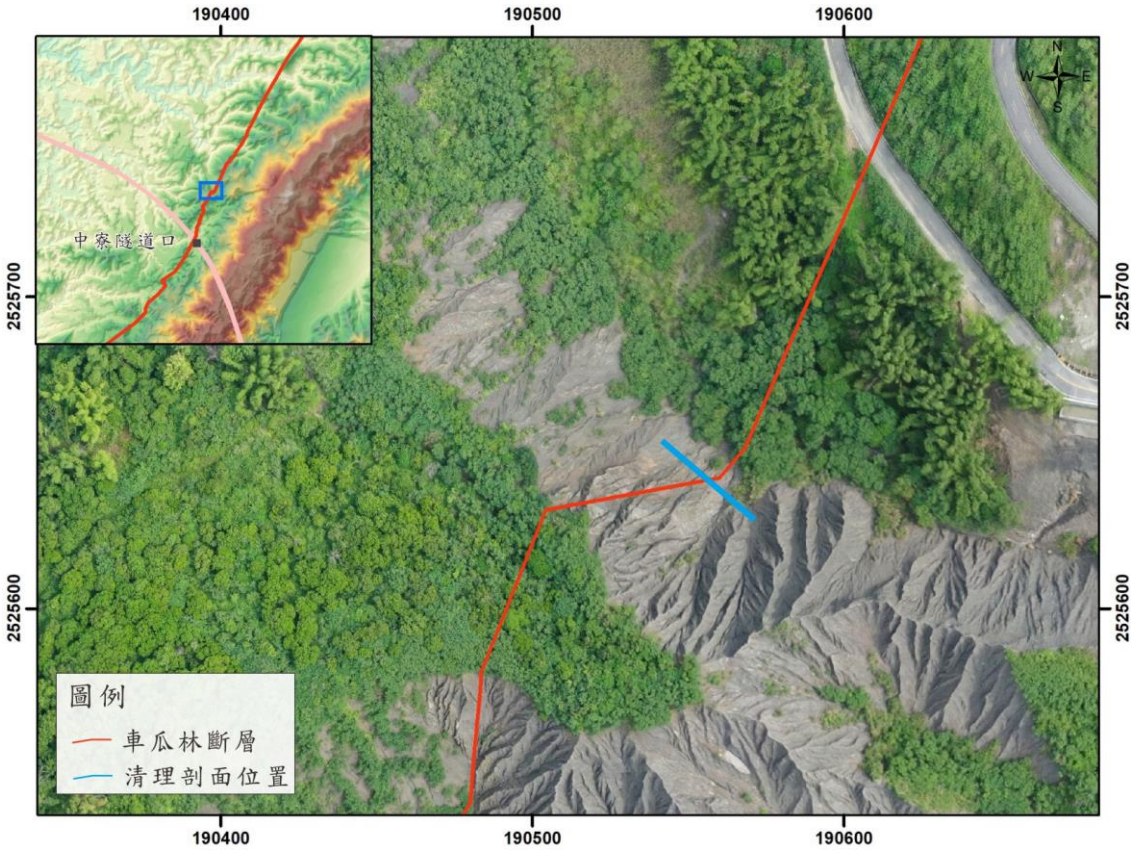


圖 58 車瓜林斷層剖面(編號：CGL-001)清理位置圖。

Fig. 58 Location of the scraped and mapped Chekualin fault outcrop(No. CGL-001).



圖 59 車瓜林斷層清理剖面的空照斜拍。

Fig. 59 Oblique aerial photograph of the Chekualin fault outcrop.



圖 60 剖面清理成果空照圖。圖中淺藍框內即為清理範圍。

Fig. 60 Aerial photograph of the scraped fault outcrop. The region bounded by light blue lines is the area being scraped and mapped.

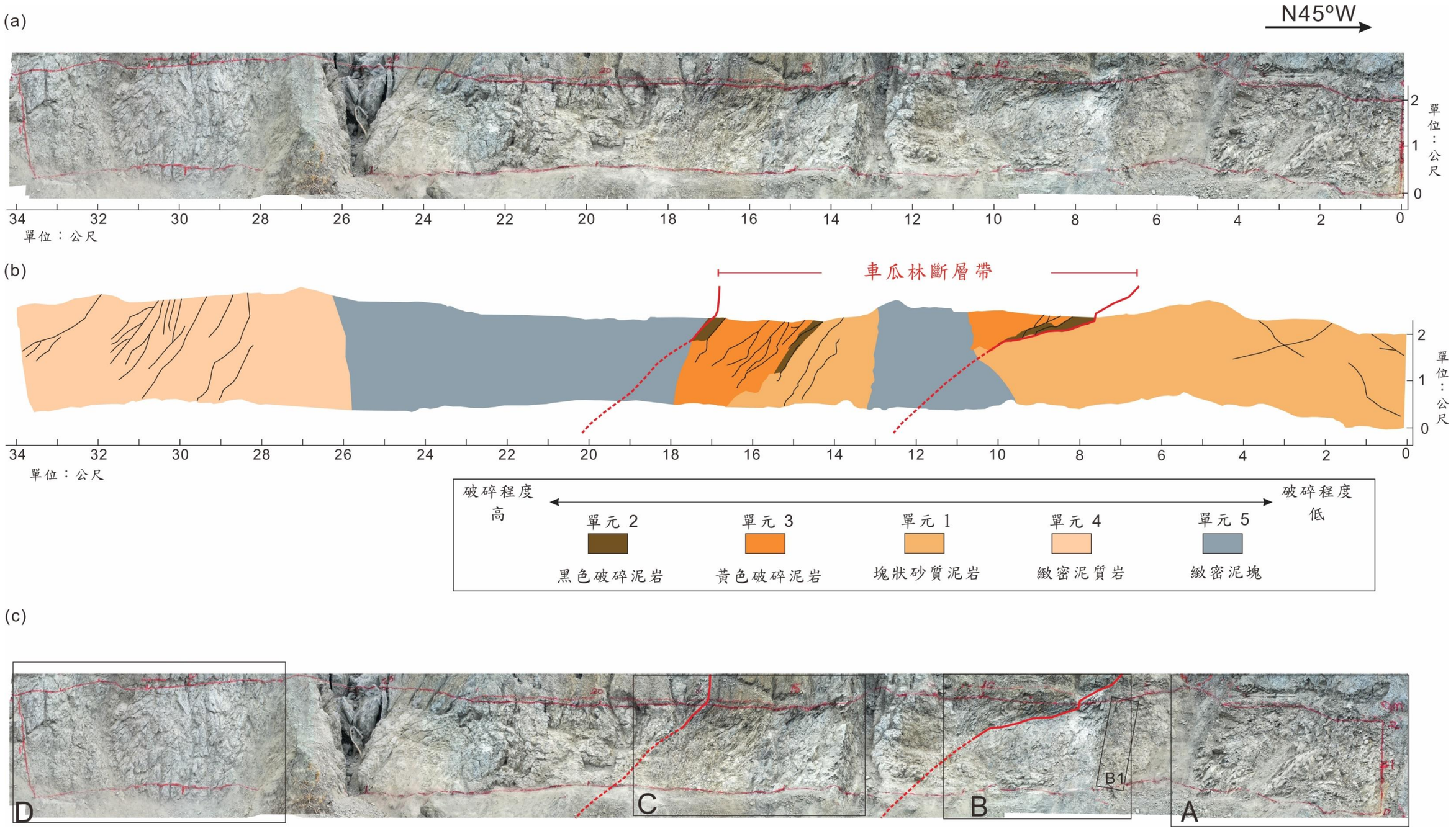


圖 61 剖面影像圖及立面測繪結果。(a)剖面接合照片；(b)剖面素描圖；(c)構造分區素描索引圖。

Fig. 61 Image and elevation mapping of the scraped profile. (a) Integrated picture of the scraped profile (b) Elevation sketch of the scraped profile (c) Index map of structural partitions.

4.2.2 剖面清理測繪成果

根據剖面的岩性、破碎程度以及構造特徵，將其分為五個單元(圖 61)，分別為塊狀砂質泥岩(單元 1)、黑色極破碎泥岩(單元 2)、黃色破碎泥岩(單元 3)、灰色緻密泥岩(單元 4)、及緻密泥塊(單元 5)，其中單元 2、單元 3 及單元 4，除分布於清理的剖面上，亦可追跡至剖面外，甚至整個露頭。以下分別描述其岩性及構造特徵：

1. 塊狀砂質泥岩(單元 1)：本單位分布於剖面 0~5 米及 13~15 米處，為低度破碎之泥岩，具有相對稀疏的裂隙，兩相鄰裂隙相距約 10-30 公分，大部份的延續性不佳。泥岩中偶夾薄層淺色的極細砂，厚度約 1-2 公分，泥岩中存在。亦可觀察到約四道黑色破碎帶，各道寬約 5 公分，亦即圖 62 中的橘色實線。
2. 黑色破碎泥岩(單元 2)：本區位於剖面 8~10 米處、15 米處以及 18 米處(圖 61b)，岩性以泥質為主，夾約寬小於一公分的凸鏡狀小砂塊(圖 66)，砂岩塊有拖曳構造及旋轉的情形，此單元介於塊狀砂質泥岩與黃色破碎泥岩間，呈帶狀分布，有三道，寬約 10-20 公分，可於清理剖面露頭連續追跡約 0.5~1.8 公尺，並且向上延續至清理剖面外。
3. 黃色破碎泥岩(單元 3)：本區為泥岩夾透鏡狀砂岩，所夾的透鏡狀砂岩可達十餘公分以上(圖 67)，砂岩塊亦有拖曳構造及旋轉的情形，分布於 9-10 米及 15-18 米處，寬度約 1-2 公尺。此岩性相較其他岩性單位的砂含比例較高，故外觀呈黃褐色，且與其他泥岩相比較亦為破碎，破碎程度僅次於黑色極破碎泥岩，去除表層風化後，可見其內部所夾的透鏡狀砂岩多於黑色泥岩(單元 2)所夾之砂岩。
4. 灰色緻密泥岩(單元 4)：本區為相對完整(intact)之泥岩，易剝面發育不佳，因此剖面清理時泥岩相較不易剝落，其中存在數條走向相近且可追跡一公尺以上之破裂面，介於正北至北北東之間。細部可觀察到延續性良好，可追跡數公尺之黑色剪切細紋(圖 68)，寬度在 2-5 公釐之間，剪切細紋大致與破裂面走向相同。
5. 緻密泥塊(單元 5)：本區為膠結相當良好，泥塊表面凹凸不平且難以使用鋤頭將其破壞，其中存在數條方向雜亂且難以追跡之黑色剪切細紋，可追跡長度皆小於十公分。緻密泥塊存在侵蝕溝並延伸至地面下之侵蝕洞，表層在進行開挖清理前有砂岩塊及帶有擦痕的方解石塊。

斷層帶(圖 61－B、C 區)：本案判定變形最劇烈處分布於剖面橫坐標 8~18 公尺處，本區主要以黃色破碎泥岩及黑色破碎泥岩兩個單位為主，於 13~15 公尺夾約 2 公尺厚為塊狀砂質泥岩，其中 10~12 公尺受剖面上方崩落下來的緻密泥塊覆蓋，無法記錄到其真實構造分布。黃色破碎泥岩及黑色破碎泥岩外觀相當破碎，且黑色破碎泥岩區中的裂隙，相較於黃色破碎

泥岩更為密集，外觀更為破碎(如圖 63)，岩層中包裹著受拖曳及旋轉砂岩塊，也含有可連續追蹤的剪切細紋(圖 69)，黃色破碎泥岩中含可追跡數公尺的破裂面或剪切帶，略與斷層帶邊皆同向(圖 64 紅線)，位於斷層帶下邊界外的砂質塊狀泥岩之裂隙的密度則較為疏鬆，但仍可在約 7 公尺處，剖面深溝處側邊追蹤到兩條數公尺的黑色剪切帶(圖 70)。在 8~10 公尺處，斷層帶下邊界(破碎泥岩與砂質塊狀泥岩的接觸面)之走向為 N50°E，傾角為 33°S ，14~18 公尺處可看到兩道帶狀黑色破碎泥岩，位態分別為 N39°E、56°S 及 N45°E、56°S，走向與 8-10 公尺出露之黑色破碎泥岩位態大致相同，而兩道黑色破碎泥岩中間包夾黃色破碎泥岩，在剖面上的寬度約為 2 公尺。13~15 公尺塊狀泥岩中裂隙的產狀與 0~8 公尺處泥岩產狀接近，裂隙分布較黃色破碎泥岩稀疏。

斷層帶西北側(下盤)(圖 61－A 區)：於剖面橫坐標 0~8 公尺處，岩性為砂質塊狀泥岩，未發現薄層砂岩，岩層面位態難以取得。本區裂隙依方向大致有 3 組，因遠離斷層變形最劇烈處，裂隙密度相較於破碎泥岩較為稀疏，剖面中存在數道與裂隙略同向，可被追跡數公尺的黑色破碎帶 (圖 62 橘線)。

斷層帶東南側(上盤) (圖 61－D 區)：於剖面橫坐標 28~34 公尺處，岩性以灰色緻密泥岩為主。此區於剖面清理前，露頭表面即可觀察到數條深灰色條帶(圖 71)，清理後的剖面，可追蹤到兩組破裂面，兩組破裂面走向皆為 N-N26°E，傾角分別為約 26°~30°及約 51°向南傾斜，其延續性至少 1 公尺(如圖 65)，近距離觀察，可發現更多束狀的剪切細紋，單條剪切細紋的寬度約為 2~5 毫米，部分剪切細紋可追跡 1 公尺以上，高傾角的剪切細紋被低傾角的剪切細紋截切的現象。此類束狀剪切帶約數十公分出現一束，且束狀剪切帶出現的密度隨著遠離斷層帶分布區而降低。

根據本案構造紀錄結果，本案界定 8~18 公尺泥岩層為剪切變形相較強烈的位置， 28~34 公尺緻密泥質岩中，亦可以追蹤到連續的破裂面或黑色剪切帶，且間距為數公分至數十公分不等，因此此區間亦位於車瓜林斷層影響的範圍內。

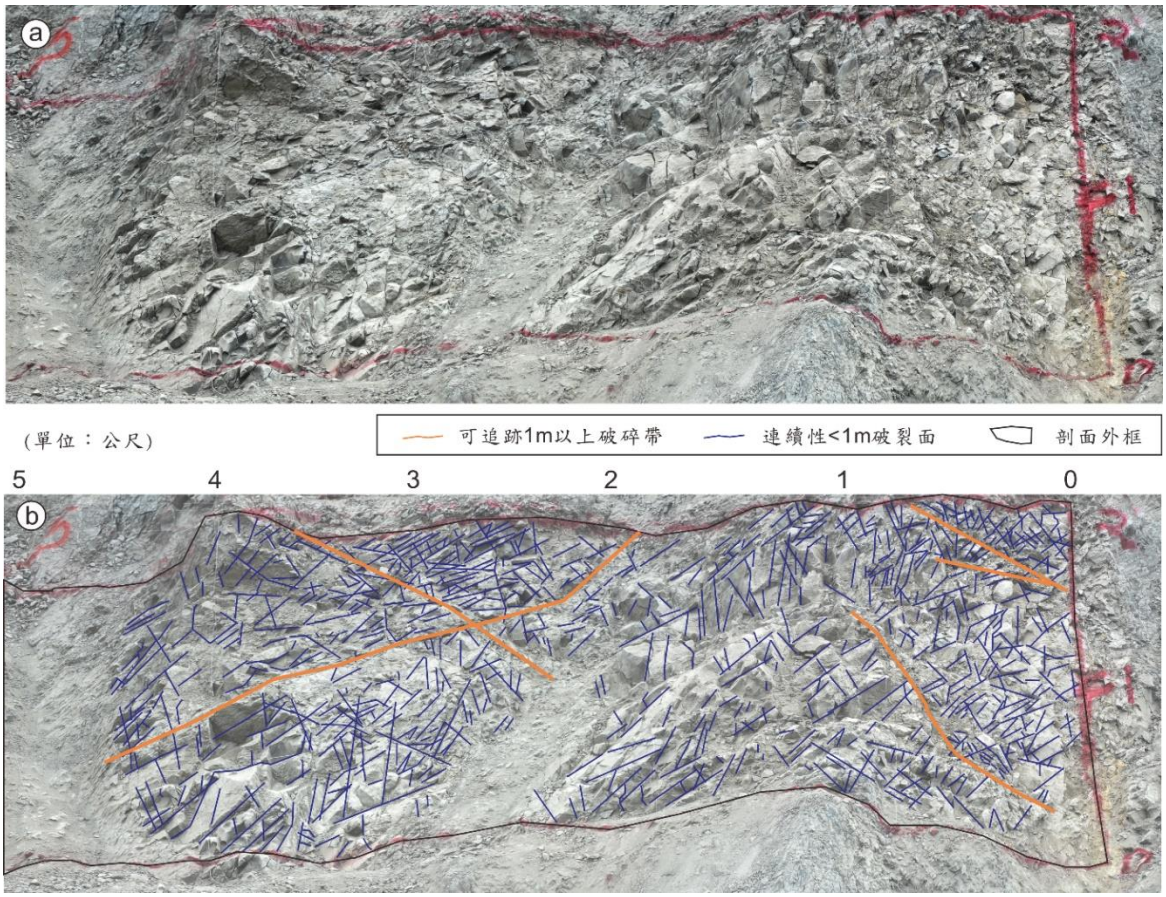


圖 62 剖面 0~5m 處編號 A 區局部構造素描圖。岩性為塊狀砂質泥岩，有 3 組以上連續性小於 1 公尺的破裂面(藍色線段)。有數條可追跡 1 公尺以上的黑色破碎帶(橘色粗線)。

Fig. 62 Structural sketch of section A, 0~5 m, in scraped profile. The lithology in this region is massive sandy mudstone. There are at least 3 sets of fractures, which can't be traced over than 1 meter. There are some black fractured zones which can be traced over than 1 meter.

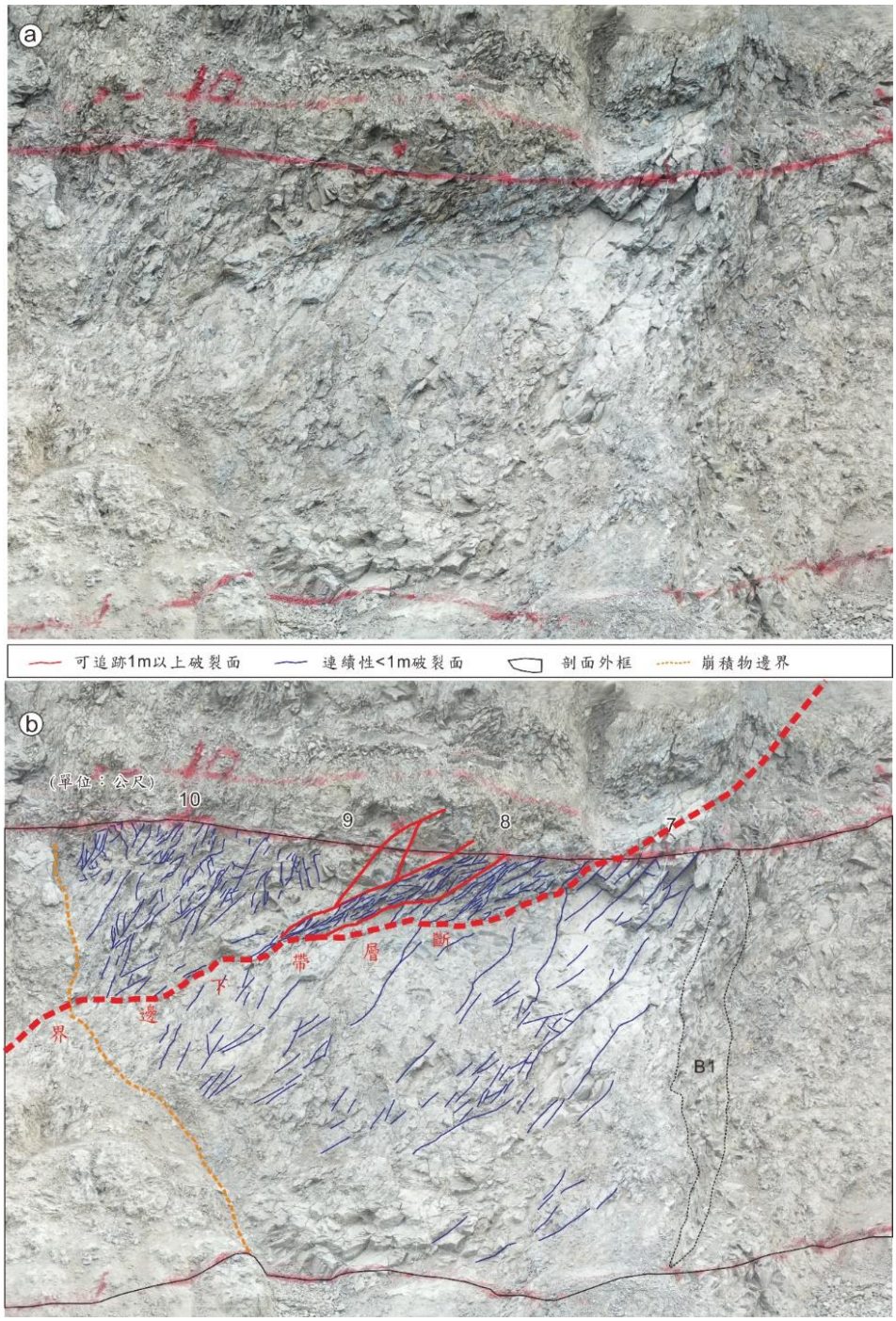


圖 63 剖面 5~10m 處編號 B 區局部構造素描圖。斷層帶下邊界(紅色虛線)通過此區，斷層帶外為塊狀砂質泥岩，斷層帶內破裂面有兩組，其中一組傾角較緩約與斷層帶下邊界方向同向，另一組傾角較大，斷層帶外的破裂面密度較斷層帶內的破裂面密度疏。

Fig. 63 Structural sketch of section B, 5~10 m, in scraped profile. The lower boundary of the fault zone cut through this section. The lithology outside of the fault zone boundary is massive sandy mudstone. There are two sets of fractures in the fault zone, one set of the fractures are with lower dip angle and subparallel to the lower boundary of the fault zone, the other set of fractures are with a higher dip angle. Fracture density is much higher in the fault zone.

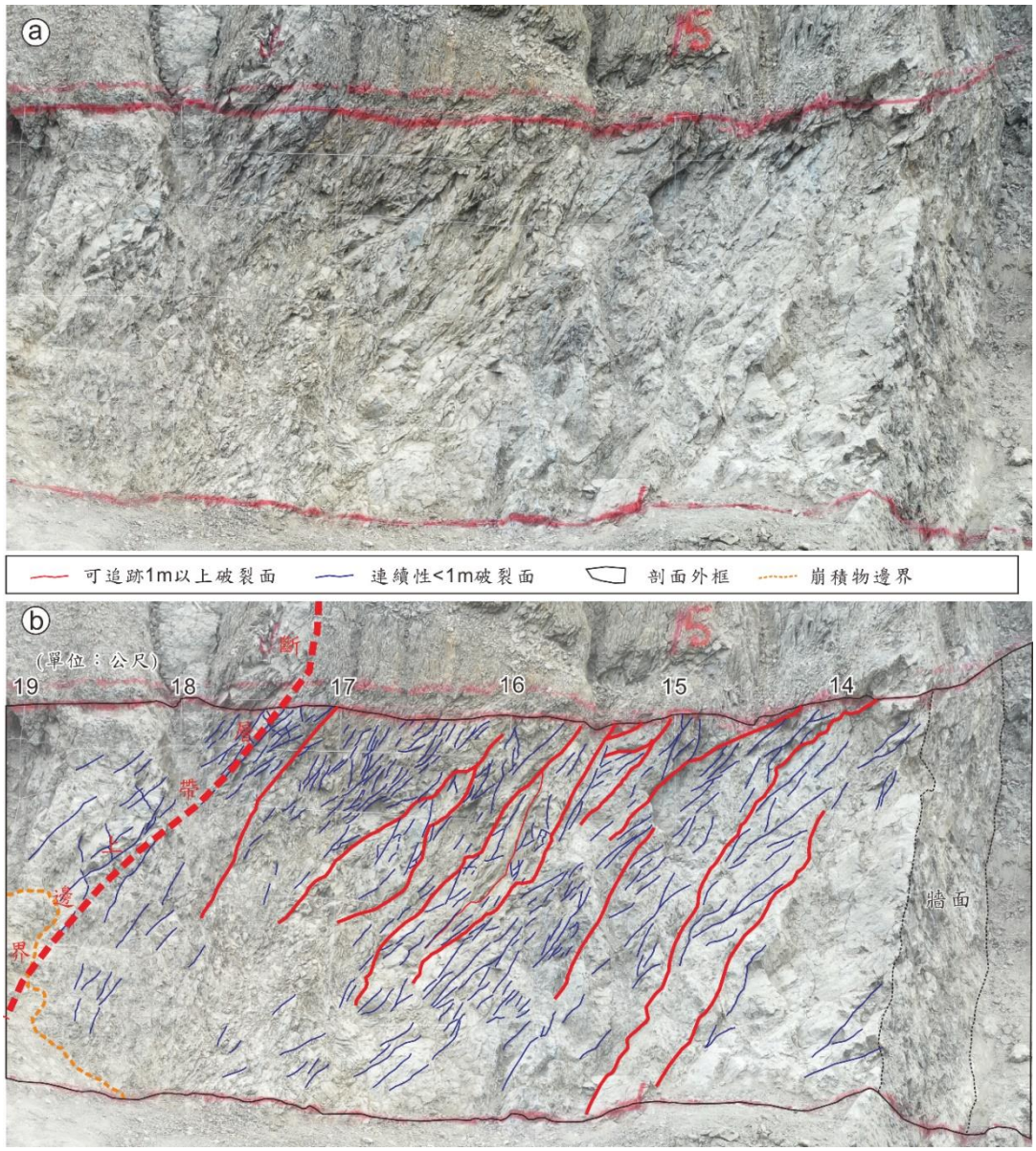


圖 64 剖面 14~19m 處編號 C 區局部構造素描圖。斷層帶上邊界(紅色虛線)通過此區，斷層帶外側為緻密泥塊，斷層帶內破裂面方向相近，略與斷層帶上邊界同向。

Fig. 64 Structural sketch of section C, 14~19 m, in scraped profile. The upper boundary of the fault zone cut through this section. The lithology outside of the fault zone is mainly dense muddy block. The orientation of the fractures is consistent and subparallel to the lower boundary of the fault zone.

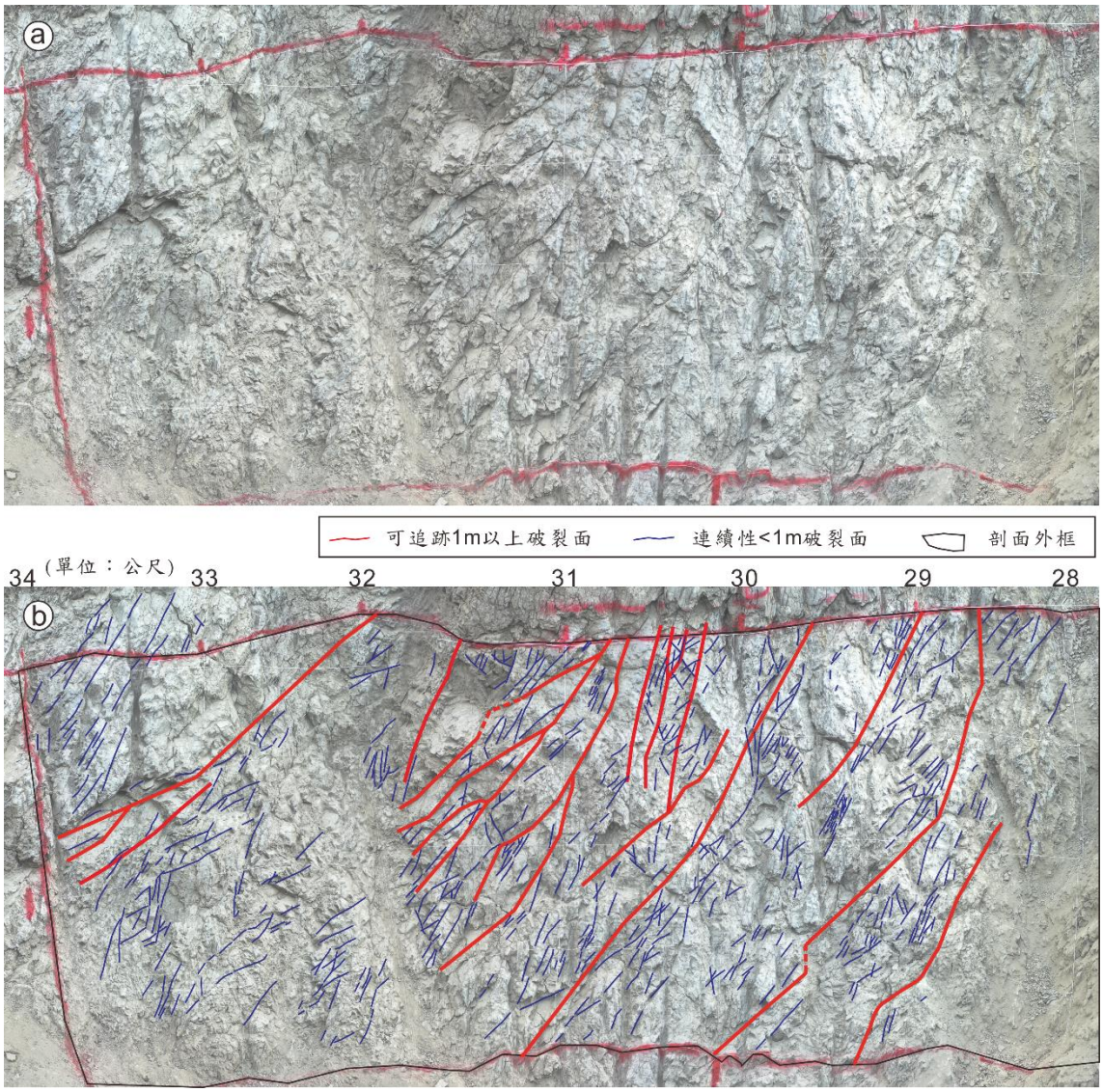


圖 65 剖面 28~34m 處編號 D 區局部構造素描圖。岩性為灰色緻密泥岩。

Fig. 65 Structural sketch of section D, 28~34 m, in scraped profile. The lithology in this region is dense mudstone.



圖 66 黑色破碎泥岩內夾受拖曳構造及旋轉的小砂塊。

Fig. 66 Small rotated and dragged sandstone blocks in black shattered mudstone.



圖 67 黃色破碎泥岩中夾的砂岩塊。黃色破碎泥岩中的砂岩塊較黑色破碎泥岩中的砂岩塊大，亦有拖曳構造及旋轉的現象。

Fig. 67 Rotated and dragged sandstone blocks in yellow shattered mudstone.



圖 68 緻密泥岩中的束狀黑色剪切帶。其延續性良好，可追跡數公尺，寬度在 2-5 公釐之間。

Fig. 68 Braided black sheared bands in dense mudstone. Their thickness ranges from 2 to 5 mm and their continuity is commonly well, i.e. they can be traced for few meters.



圖 69 斷層帶下邊界及黃色破碎泥岩、黑色破碎泥岩交界。破碎泥岩中含受拖曳、旋轉的砂塊及可連續追跡之剪切細紋。

Fig. 69 Lower boundary of fault zone and boundary between yellow shattered mudstone and black shattered mudstone. There are rotated and dragged sandstone blocks and traceable black shear stripes in the shattered mudstone.

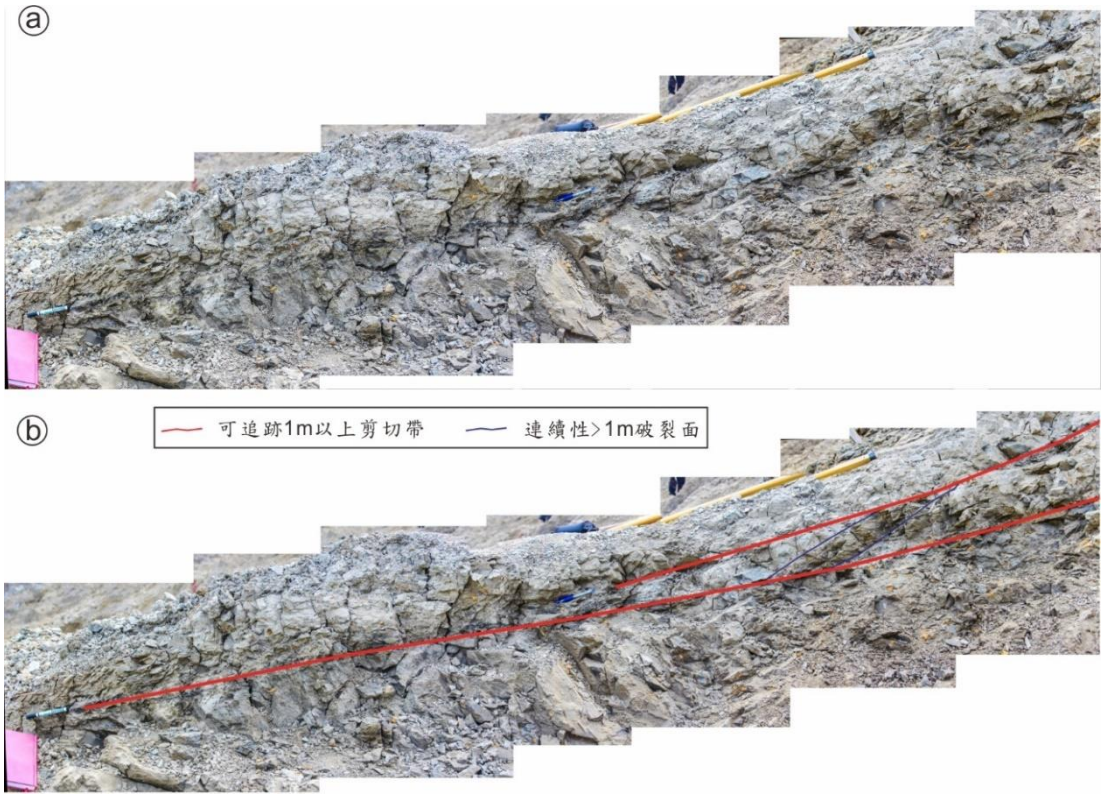


圖 70 剖面 5m 處編號 B1 區局部構造素描圖。與剖面方向斜交的側邊面，黑色剪切帶可連續追蹤。

Fig. 70 Structural sketch of section B1 at spot of 5 m in scraped profile. The traceable black shear bands are on the surface which is oblique to the scraped profile.



圖 71 剖面 28~34 米處灰色緻密泥岩尚未清理前表面存在的黑色條帶狀構造。

Fig. 71 Photograph of section D, 28~34 m, in scraped profile before being scraped. There are some black shear stripes/bands on the surface of the dense mudstone.

第五章 斷層長期滑移速率評估

5.1 初鄉斷層沿線河階地判釋

初鄉斷層主要通過濁水溪流域，而斷層沿線可見由後寮溪(烏溪支流)、清水溝溪及東埔蚋溪(濁水溪支流)形成的河階地形，其中以東埔蚋溪所形成的河階地面積最廣，階數最多，而濁水溪主流並無明顯的階地地形(圖 72)。

東埔蚋溪河階根據與現今河道的高程差變化，可分成四階，由老至年輕為 $T_{DP}1$、$T_{DP}2$、$T_{DP}3$ 及 $T_{DP}4$ (圖 73)。$T_{DP}1$ 為相對於現今河道高程最高之河階，$T_{DP}2$ 的高程相較於 $T_{DP}1$ 則低約 20 至 40 公尺，$T_{DP}3$ 的高程則比 $T_{DP}1$ 低約 75 至 100 公尺，$T_{DP}4$ 則比 $T_{DP}1$ 低約 180 公尺，故推斷 $T_{DP}4$ 為最年輕的河階。$T_{DP}1$ 河階分布最連續且面積遠大於其他階，說明形成此河階時東埔蚋溪的河流侵蝕能力應比現今還強，而 $T_{DP}2$、$T_{DP}3$、$T_{DP}4$ 之河階大小則僅零星分布且面積遠小於 $T_{DP}1$。後寮溪與清水溝溪亦形成河階地，且根據高程差異皆可判釋出兩階，分別為 $T_{HL}1$、$T_{HL}2$ 以及 $T_{CS}1$、$T_{CS}2$ (圖 72)。

根據等高線分布情形，顯示初鄉斷層對於後寮溪與清水溝溪河階並未有明顯受構造活動影響產生之地形特徵，而在東埔蚋溪 T_{DP} 2 河階中面積最大的階地面可以看到明顯的線形崖(圖 73)，坡度突然增加，且此崖面的方向與初鄉斷層跡走向大致平行，故可推斷此階面可能受斷層影響而出現地形變化。利用同一階面受變形產生之高程差異，並配合合適的定年方法以及斷層傾角，即可推估斷層的長期滑移速率。

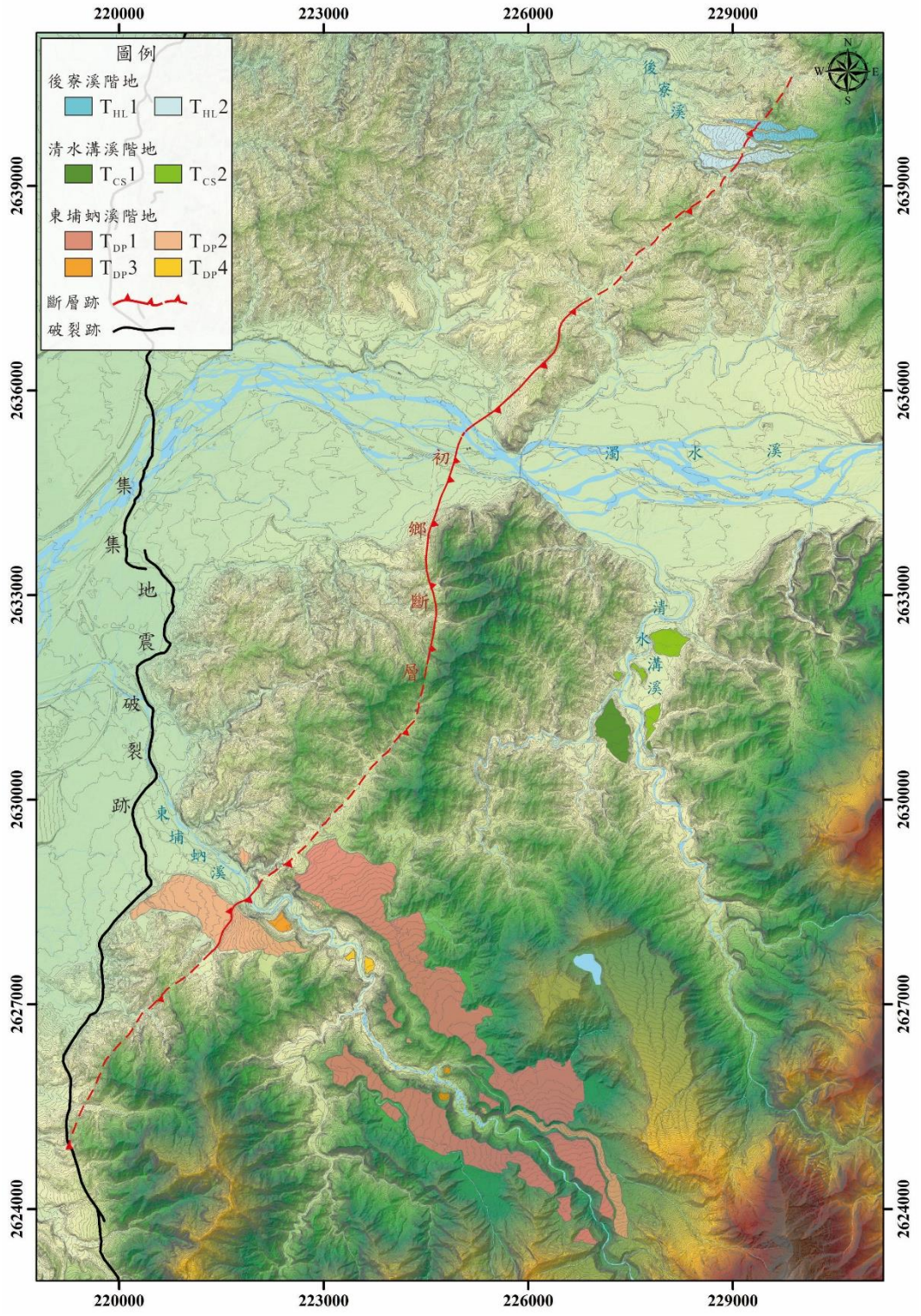


圖 72 初鄉斷層沿線河階地判釋圖。此區域的河階地主要由後寮溪($T_{HL}1$、$T_{HL}2$)、清水溝溪($T_{CS}1$、$T_{CS}2$)及東埔蚋溪($T_{DP}1$、$T_{DP}2$、$T_{DP}3$ 及 $T_{DP}4$)形成。

Fig. 72 River terraces along the rivers flowing through the Chusiang fault. The terraces are distributed along Houliao river, Qingshuigang river, and Dungpuna river.

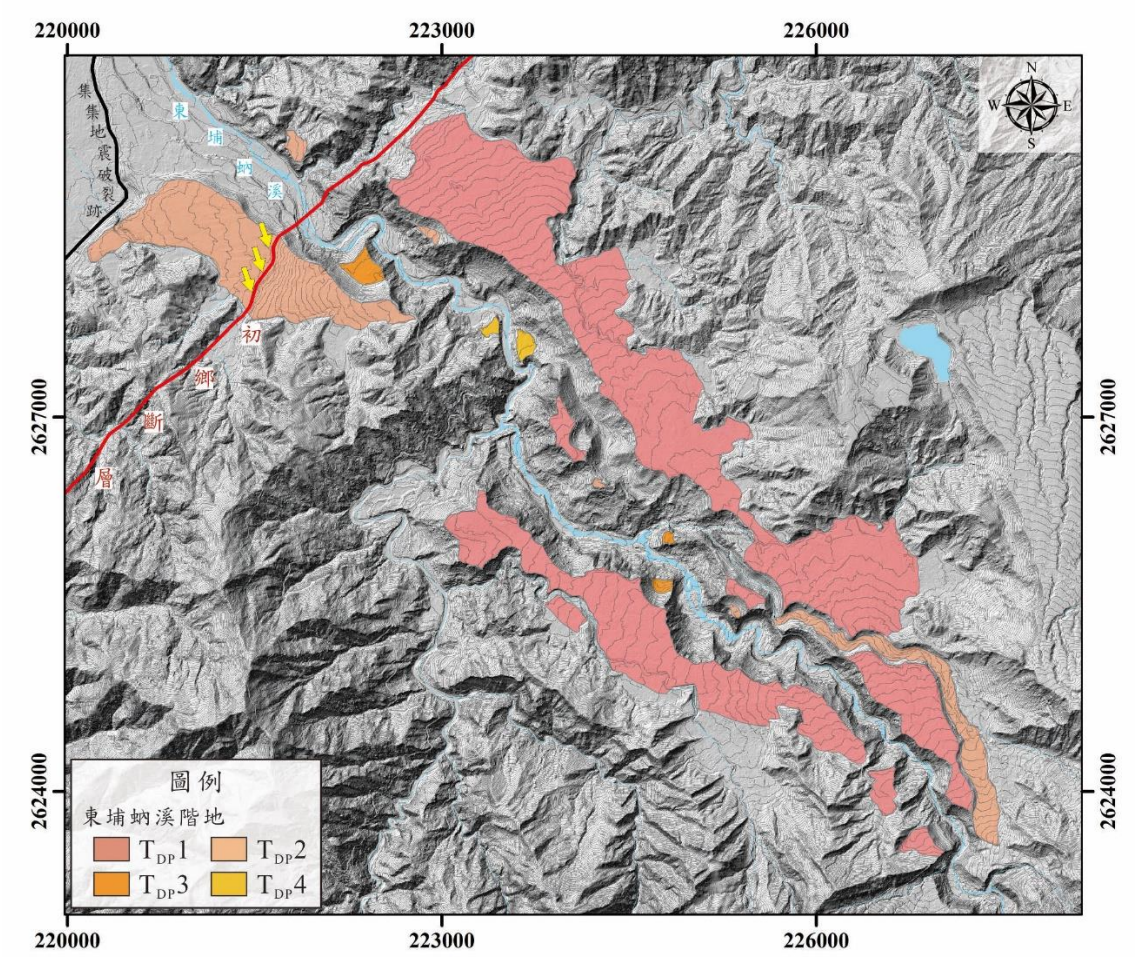


圖 73 東埔蚋溪河階圖。此河階共可分成四階，由老至年輕為 $T_{DP}1$、$T_{DP}2$、$T_{DP}3$ 及 $T_{DP}4$，圖中河階 $T_{DP}2$ 上黃色箭頭所指之處為明顯的線形崖。

Fig. 73 Dungpuna river terraces. The terraces are divided into four groups, $T_{DP}1$, $T_{DP}2$, $T_{DP}3$, and $T_{DP}4$ from the oldest to the youngest group. The yellow arrows in this figure indicate an obvious fault scarp on $T_{DP}2$.

5.2 階地沉積物探坑挖掘採樣

本案在東埔蚋溪階地共選出四個地點進行階地沉積物探坑挖掘(圖 74)，探坑 CSP-01 與探坑 CSP-02 皆位於 $T_{DP}2$ 階地中唯一有明顯線形崖的階地面上，而 CSP-01 位於初鄉斷層上盤位置，CSP-02 則位於下盤位置，探坑 CSP-03 則位於靠近現今河道的位置，探坑 CSP-04 則位於 $T_{DP}1$ 階地面上。四個探坑挖掘過程之紀錄如圖 75、圖 76、圖 77 及圖 78 所示，以下將針對每個探坑的開挖成果及定年標本採樣位置進行詳細的描述。

探坑 CSP-01 (圖 79)：本探坑長寬為 1.6 米與 1.7 米，高為 1.8 米。依據沉積物組成不同，此坑一共可區分成三層：土壤層(CSP01-S)、黃色細砂層(CSP01-A)、風化礫石層(CSP01-B)。土壤層(CSP01-S)由棕色細砂與粉砂組成，並有許多植物根與人造物出現於此層，土壤層與黃色細砂層間並無明顯清晰的邊界，故難以界定；黃色細砂層(CSP01-A)由黃色細砂以及粉砂組成，夾直徑約 5 至 10 公分左右的風化礫石，礫石的岩性為砂岩；風化礫石層(CSP01-B)為基質支持的礫石層，淘選度不佳，基質由粉砂與黏土組成，礫石多半因氧化而呈橘紅色且容易脆裂，岩性為砂岩，直徑大小多數約 1 至 5 公分，最大可達 40 公分。本坑一共採樣 5 個碳標本進行碳 14 定年，4 個位於 CSP01-B 層，1 個位於 CSP01-A 層，定年材料中有 3 個為木炭，1 個為植物，1 個為有機沉積物(無實驗結果)，定年結果顯示 CSP01-B 層年代約為 1980-1983 cal AD，CSP01-A 層年代約為 1805-1956 cal AD。

探坑 CSP-02 (圖 80)：本探坑長寬為 2.3 米與 3.1 米，高為 2.2 米。依據沉積物組成可區分成兩層：棕色土壤層(CSP02-S)、礫石層(CSP02-A)。本場址經詢問地主後得知此處曾經重新整地過，故棕色土壤層(CSP02-S)的厚度將近 2 米，且夾有許多直徑最大可達 1 米的巨礫，基質則為棕色細砂為主。礫石層(CSP02-A)則以顆粒支持為主，基質以泥為主，礫石則多受氧化影響而呈表面呈深棕色，大小約數十公分左右。本坑一共採樣 2 個碳標本進行碳 14 定年，2 個皆位於 CSP02-A 層，定年材料分別為木頭跟有機沉積物(無實驗結果)，定年結果顯示 CSP02-A 層年代為 1975-1978 cal AD。

探坑 CSP-03 (圖 81)：本探坑長寬為 1.9 米與 2.33 米，高為 1.54 米。依據沉積物組成可區分成五層：土壤層(CSP03-S)、黃色粉砂層(CSP03-A)、礫石層(CSP03-B)、黃色細砂層(CSP03-C)、礫石層(CSP03-D)。土壤層(CSP03-S)由棕色砂質組成，並含有許多現生植物的根；黃色粉砂層(CSP03-A)由黃色粉砂與細砂組成，並含有大量木炭物質與現生植物根；礫石層(CSP03-B)為基質支持礫石層，基質由棕色中砂與細砂組成，礫石直徑大小約 5 至 10 公分，此層同樣含有木炭與現生植物根；黃色細砂層(CSP03-C)由黃色細砂組成，並含有許多木炭物質；礫石

層(CSP03-D)為基質支持的礫石層，基質以黃色細砂為主，礫石淘選度不佳，礫石大小約數公分至 30 公分。本坑一共採樣 5 個碳標本進行碳 14 定年，皆採樣於 CSP03-C 層，定年材料中有 3 個為木炭，1 個為木頭，1 個為有機沉積物(無實驗結果)，定年結果顯示 CSP03-C 層年代約為 1646-1997 cal AD。

探坑 CSP-04 (圖 82)：本探坑長寬為 2 米與 4.5 米，高為 3.2 米。依據沉積物組成可分成兩層：巨礫層(CSP04-A)、泥質礫石層(CSP04-B)。巨礫層(CSP04-A)厚度約 2 米多，基質為棕色細砂，並含有許多巨礫，根據地主說明此處並未整過地，且此處沒有明顯的土壤層；泥質礫石層(CSP04-B)則以泥為基質，而礫石則風化嚴重。本探坑並未發現任何碳標本可以進行碳 14 定年。

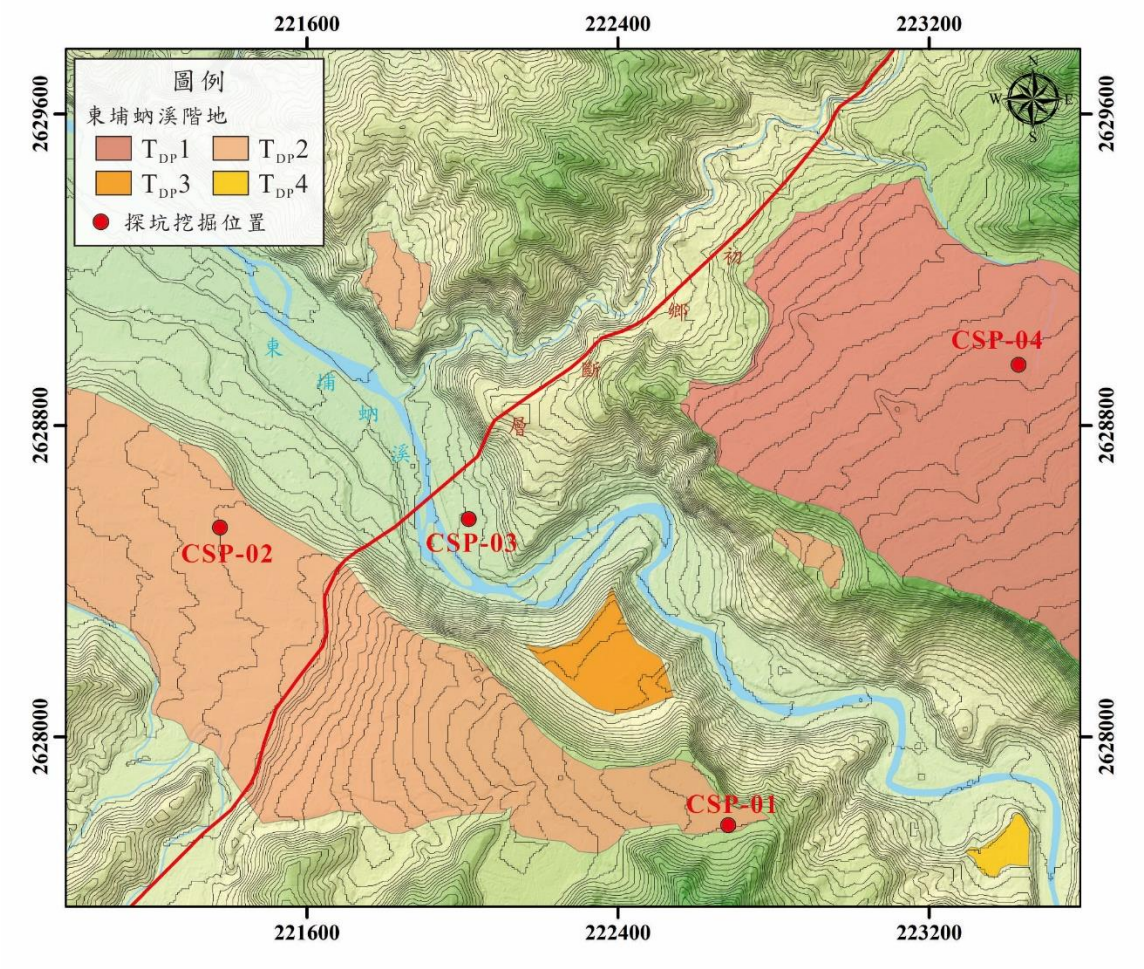


圖 74 階地沉積物探坑挖掘位置。本案執行的探坑中，CSP-01 與 CSP-02 位於 $T_{DP}2$ 階地，CSP-03 位於現今河道旁，CSP-04 位於 $T_{DP}1$ 階地。

Fig. 74 Locations of pits for sampling terrace sediment. CSP-01 and CSP-02 are on the $T_{DP}2$. CSP-03 is just near the modern river. CSP-04 is on the $T_{DP}1$.



圖 75 CSP-01 探坑施工照片。

Fig. 75 Construction process of CSP-01.



圖 76 CSP-02 探坑施工照片。

Fig. 76 Construction process of CSP-02.



圖 77 CSP-03 探坑施工照片。

Fig. 77 Construction process of CSP-03.

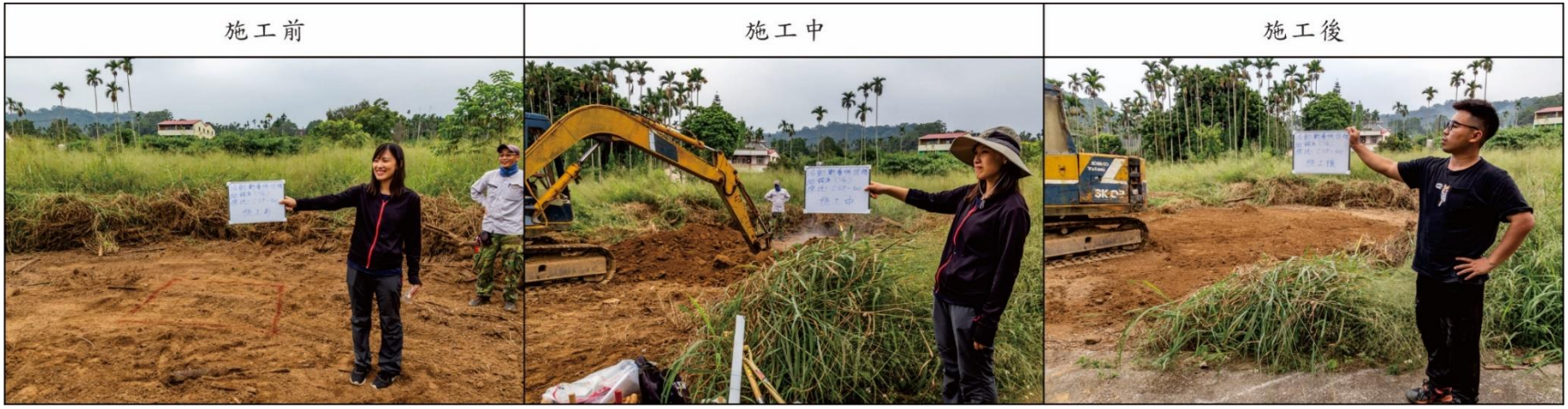


圖 78 CSP-04 探坑施工照片。

Fig. 78 Construction process of CSP-04.

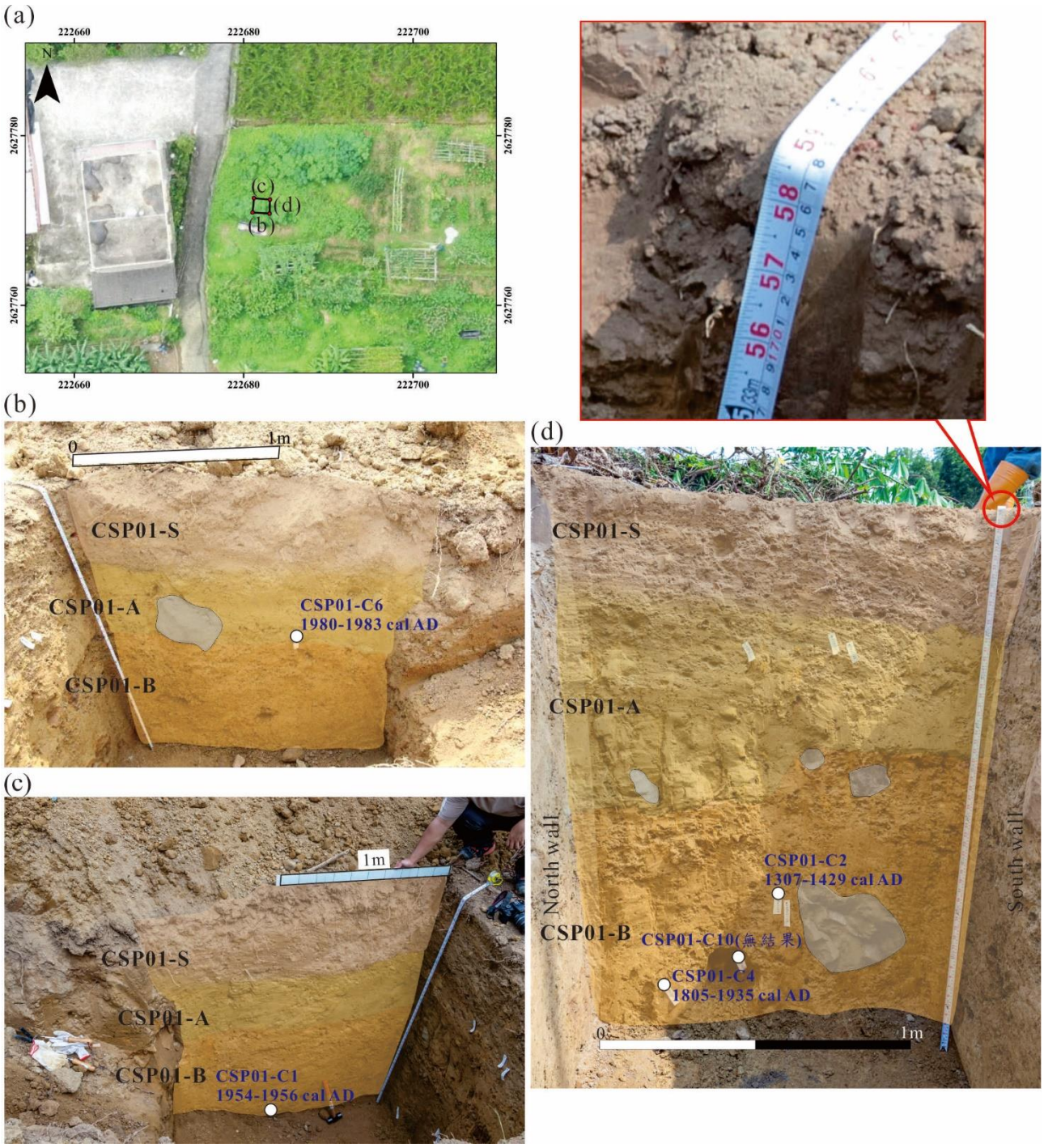


圖 79 CSP-01 探坑剖面與碳標本位置。(a)開挖位置(b)南牆剖面(c)北牆剖面(d)東牆剖面，上圖為捲尺刻度放大圖。

Fig. 79 Profiles of CSP-01 and C-14 sampling locations. (a) Construction location. (b) Profile facing to the south. (c) Profile facing to the north. (d) Profile facing to the east. Photo above is the enlargement of the tape measurement.



圖 80 CSP-02 探坑剖面與碳標本位置。(a)開挖位置(b)東牆剖面(c)南牆剖面(d)西牆剖面。

Fig. 80 Profiles of CSP-02 and C-14 sampling locations. (a) Construction location. (b) Profile facing to the east. (c) Profile facing to the south. (d) The profile facing to the west.

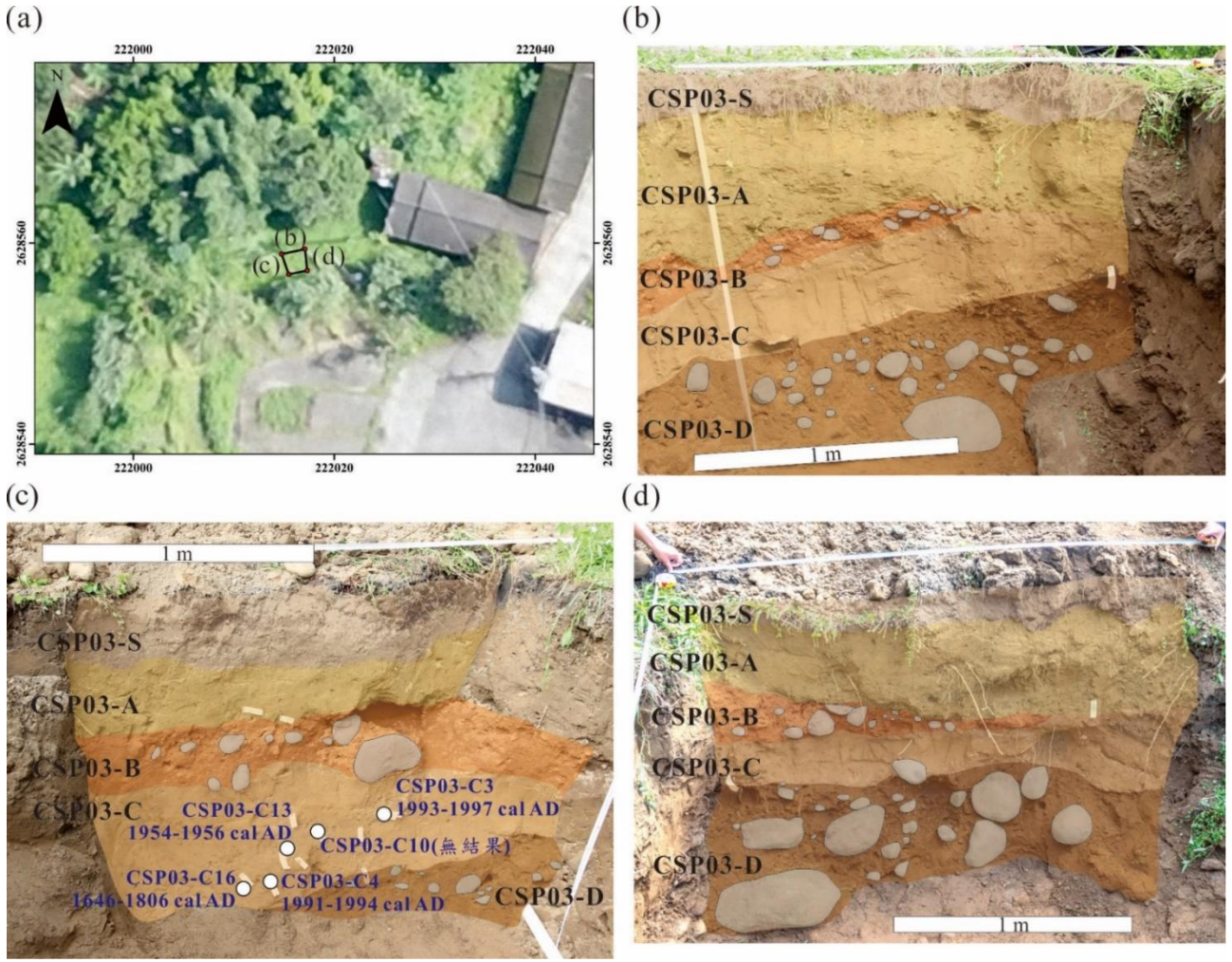


圖 81 CSP-03 探坑剖面與碳標本位置。(a)開挖位置(b)北牆剖面(c)西牆剖面(d)東牆剖面。

Fig. 81 Profiles of CSP-03 and C-14 sampling locations. (a) Construction location. (b) Profile facing to the north. (c) Profile facing to the west. (d) Profile facing to the east.

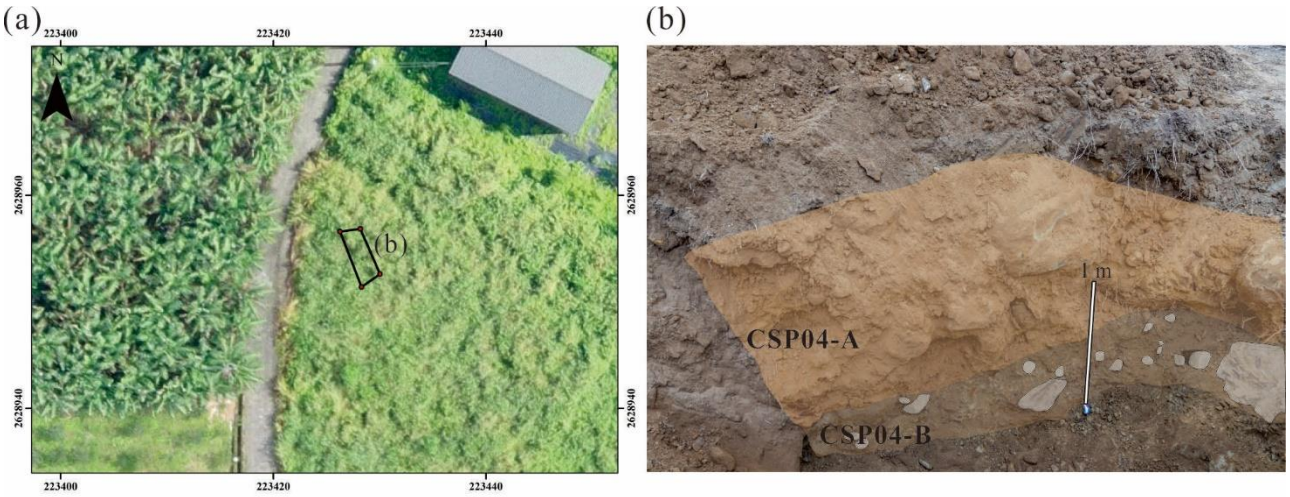


圖 82 CSP-04 探坑剖面。(a)開挖位置(b)東牆剖面。

Fig. 82 Profiles of CSP-04. (a) Construction location. (b) Profile facing to the east.

5.3 定年結果及分析

本案共選出 12 個碳標本並送至美國 Beta Analytic 實驗室進行 AMS 放射定年工作，所有定年結果見光碟附錄三。本案中有 5 個標本來自探坑 CSP-01，2 個來自探坑 CSP-02，5 個標本來自探坑 CSP-03。而目前已知定年結果的碳材料中，6 個標本為木炭，2 個標本為木頭，1 個標本為植物，3 個為有機沉積物(2 個並未進行測量，1 個則是碳含量過少無法測定)。

探坑 CSP-01 的定年結果中，最老的結果為標本 CSP01-C2 的 1307-1429 cal AD，然而另外兩個比標本 CSP01-C2 位於更深的位置，而其定年結果為 1805-1956 cal AD，故推測標本 CSP01-C2 為重複搬運的結果。探坑 CSP-03 的定年結果中，最老的結果為標本 CSP03-C16 的 1646-1806 cal AD，然而其餘三個標本的定年結果為 1954-1997 cal AD，因此標本 CSP03-C16 同樣可能為重複搬運的情形。

綜合所有定年結果可得知，位於東埔蚋溪 $T_{DP}2$ 河階的探坑 CSP-01 的年代結果為 1805-1983 cal AD，而位於同一河階的探坑 CSP-02 的年代結果為 1975-1978 cal AD，位於現今河道旁的探坑 CSP-03 的年代結果為 1954-1997 cal AD，由於所有的定年結果皆過於年輕，故推測本次皆未挖掘到階地的沉積物，而是階地已先形成後才堆積，因此大多數年代皆落在近 200 年內。

第六章 討論

6.1 斷層位置

- **初鄉斷層**

本案蒐集久住久吉(1939)、黎明工程顧問公司(2013)及林啟文(2019)之前人野外調查資料、108 年活動斷層補充地質調查案鑽井資料，並綜合本案斷層沿線空拍影像、經濟部中央地質調查所提供之 1 米空載光達數值地形資料，判釋初鄉斷層的位置，斷層位置詳見比例尺 1/5000 斷層跡(帶)測繪圖，以下彙整初鄉斷層之斷層位置判釋描述：

(1) 濁水溪北側

本案調查距離濁水溪河床北側約 3 公里處，坑口碑溪溝兩處露頭出露處位態明顯不同，本案推測出鄉斷層位置從兩個露頭間通過。濁水溪北岸兩公里的範圍內，則參考黎明工程顧問公司 2013 年調查結果為依據，進行斷層位置修改。

(2) 濁水溪河床

根據精細空拍影像分析，濁水溪河床初鄉斷層明顯出露，故斷層位置移至斷層出露的位置，斷層位態量測結果為走向 N5°E，傾角 47°E。

(3) 初鄉底地區

初鄉底地區，溪谷西側出露中層至厚層砂岩，岩層雖為高傾角但完整非呈破裂狀，並根據地球物理探勘的施測結果，電性變化的位置大約位於溪谷附近，搭配初鄉 1A 的鑽井岩心於深度 67~100 公尺，同樣是以高傾角完整非呈破裂狀的砂岩為主，本案推測此區初鄉斷層於地表的位置(亦即斷層帶西緣)，應約略為溪谷處。

(4) 東埔蚋溪河床

東埔蚋溪雖於本案調查期間未發現到初鄉斷層出露於地表，然而 2002 年時初鄉橋東側初鄉斷層曾經於河床中出露(林啟文，2008)，本案經初鄉橋東側附近山坡植被及地景比對(圖 29)，定出初鄉斷層位置。

(5)東埔蚋溪南岸至初鄉斷層最南端

初鄉斷層南岸初鄉斷層的位置，則根據地形判釋結果，將其修改至河階地中，受斷層傾動的小崖坡腳處(圖 22)。另一個初鄉斷層位置控制，位於本案調查的投 48 公路地形崖處，崖頂出現高傾角的砂岩層(圖 31)，因此本案將推測之初鄉斷層位置向西修改至地形小崖坡腳處。

- **車瓜林斷層**

本案蒐集吉田要(1932)、林啟文(2013)及蘭于鈞(2019)之前人野外調查資料，並綜合本案斷層沿線空拍影像、經濟部中央地質調查所提供之 1 米空載光達數值地形資料，判釋車瓜林斷層的位置，斷層位置詳見比例尺 1/5000 斷層跡(帶)測繪圖，以下彙整車瓜林斷層之斷層位置判釋描述：

內門地區至半天寮之間，以往稱之為橋仔頭斷層(徐慶雲，1975)，後來將此段稱之為車瓜林斷層，斷層東側岩層向東傾斜，斷層西側岩層向西傾斜，岩性為厚層泥岩偶夾薄層砂岩(林啟文，2013)，經本案判釋，本區為植被覆蓋無明顯露頭，因此車瓜林斷層位置仍依照林啟文(2013)的斷層位置畫設；於半天寮以南至大廓亭山，本案參考林啟文(2013)的斷層位置進行空照判釋及野外地質調查，露頭中未能追蹤到明顯斷層帶的位置，岩性以厚層泥岩為主，偶夾薄砂岩層，較似上盤的岩性，因此本案推測車瓜林斷層的位置應在林啟文(2013)劃設位置更西側；從崑山一帶東側至千秋寮，車瓜林斷層帶出露位置明顯，本案依據露頭中可觀察到斷層帶的位置連接；從千秋寮至崎溜一帶，本案調查的幾個露頭當中，可看見厚度較小的深灰色剪裂帶，或於勝興宮東北側的剖面，存在岩層面呈高傾角的露頭，因此本案推測，此區間車瓜林斷層的位置仍在調查點更西側的位置；崎溜至燕巢市區外緣，本案將斷層位置修至崎溜山西北側明顯的地形線形前緣。

6.2 斷層帶寬度及斷層帶側向構造變化

就脆性斷層岩的發育而言，一個成熟完整的斷層帶通常會包含受強烈剪切的斷層核心帶(fault core)，及核心帶兩側受剪裂的斷層破壞帶(fault damage zone) (Stotri et al., 2003) 。斷層核心帶中除常見的斷層泥(fault gouge)和斷層角礫(fault breccia)外，也可能出現具錯動量的不連續面，即斷層面(fault surface)；斷層破壞帶中的岩層破裂，則無或錯動量小，層面通常可追跡(Stotri et al., 2003；邱奕維等, 2019)。以此論之，初鄉斷層具相當錯動量的斷層面(除岩性的差異，亦可由斷層上下盤，重複出現的含球枕構造的厚砂岩層予以研判，見圖 51)、劇烈變形的核心帶及受剪裂的破壞帶，或許可將它認定為成熟的斷層帶；車瓜林斷層則由密集的剪切面所組成，未見劇烈變形的核心帶，或許可將它認定為發育初期的斷層帶，底下就個別斷層論述:

- **初鄉斷層帶**

  初鄉斷層跡沿線其斷層(或斷層帶)出露於地表且被發現的，僅有於濁水溪及東埔蚋溪，然而，東埔蚋溪則為前人的報導及資料，現今原斷層位置已為植被覆蓋，其他地點的斷層跡位置之判定，則根據岩層位態的變化及地形特徵。濁水溪的剖面是初鄉斷層兩側岩層出露最佳也最連續，斷層兩側的斷層帶，相當不對稱，下盤僅約 3 公尺，上盤若以變形相對劇烈的範圍估算，水平寬度約有 150 公尺，但若包括岩層出現破裂(無或錯動量小)之斷層破壞帶，則頂溪州背斜軸面以西至斷層下盤 3 公尺處，約 600 公尺寬，皆可算是斷層帶。此外，本案在初鄉底進行跨斷層跡的地電阻測勘，搭配兩口鑽井資料，對斷層帶的瞭解也有所獲，推估的斷層帶寬約 150 公尺，然而必須注意地是本區的岩性電阻率之分布範圍約在 10~100 Ω-m 間，約略相當於頁(泥)岩與砂岩的電阻率的分布區間，此與施測附近的岩石露頭之岩性相當，為厚至中層的砂岩夾中至薄層的泥岩為主。接著本案再以電阻率水平向變化明顯的 150 公尺區間，加上鑽井資料的輔助，判定為可能的斷層帶，此與地表露頭的斷層帶之認定或有差異。綜合以上，保守推估初鄉斷層帶的寬度約 150 公尺。至於斷層帶側向構造變化已於前面章節的濁水溪初鄉斷層帶構造特性中說明過，不再贅述。

- **車瓜林斷層**

  車瓜林斷層跡沿線，以崑山一帶東側至千秋寮，斷層帶的出露最為明顯可見，其寬度各處不一，甚至同一露頭點也有差異，大致上為 5 到 20 公尺寬的相對顏色呈深灰色之條帶，此寬度應為斷層帶的視厚度，受出露坡面的方位、坡度及坡面上侵蝕溝等影響，以本案剖面清理為例，剖面長邊方向界於 N55˚W-N45˚W 間，與斷層位態走向 N31˚E，傾角 26˚E，

兩者之方位以高角度相交，但受地形面特別是侵蝕溝的影響，雖深灰色斷層帶寬度可達 15 公尺，但實際厚度推估僅 10 公尺，因此保守地推估車瓜林斷層帶的實際厚度約為 5-10 公尺寬。此斷層帶主要由間距以數公分至十數公分密集分布的剪切帶所構成，單條剪切帶(individual shear bands)通常為數毫米厚，亦有公分級的，延續性頗佳。此外，於此密集分布的剪切帶所構成的深灰色寬帶之鄰近處，也常可觀察到相對稀疏的單條剪切帶，如本案剖面清理的 28-34 公尺區間，亦可見相對稀疏的單條剪切帶的出現，然而甚難界定未再出現剪切帶的邊界。因此，若車瓜林斷層帶包括此類相對稀疏的單條剪切帶的出現範圍，斷層帶的厚度將從原本推估的 5-10 公尺寬，變成兩倍寬。由於界定稀疏單條剪切帶出現範圍的邊界將會是個困擾，因此認為此稀疏單條剪切帶的出現需被報導，但斷層帶的厚度推估仍以剪切帶密集分布的深灰色條帶為主。

6.3 初鄉斷層長期滑移速率評估

初鄉斷層長期滑移速率之評估與兩個參數有關：斷層上下盤垂直抬升量及斷層面傾角。Simoes et al. (2007)針對東埔蚋溪進行階地調查，並提出初鄉斷層滑移速率之評估方式，Simoes et al. (2007)調查初鄉斷層所截切之階地於斷層上下盤出露的底岩之高差為 28±11 公尺，然而僅斷層上盤的階地剖面可以量測到底岩出露的高程，下盤則缺少底岩高程資料，僅能根據野外調查資料推測下盤底岩高於目前河道約 16.6 至 36 米。而 Simoes et al. (2007)於斷層跡附近量測到層面傾角為 56°，且根據其繪製剖面顯示初鄉斷層傾角與層面傾角一致，故以 56°做為斷層傾角，並以三角函數關係計算出斷層滑移量為 34±18 公尺，綜合其定年結果計算滑移速率為 2.9±1.6 mm/yr。

而本案以 5m 的 DEM 畫出東埔蚋溪現今河道及初鄉斷層截切之 $T_{DP}2$ 的剖面(圖 83)，發現河階上下盤的坡度差異不大，並以階地表面作為上下盤高差對比的標準，推估斷層的垂直抬升量為 85±7 米，遠大於 Simoes et al. (2007)所推測的高差，並沿用 Simoes et al. (2007)所提供之 56°當作斷層傾角，計算出斷層滑移量為 102±9 公尺。

由於本案所採集之碳標本的年代過於年輕，故採用 Chen et al. (2003)的定年資料來計算長期滑移速率，Chen et al. (2003)文章所提供的採樣座標位置顯示可能位於 $T_{DP}2$ 上，此碳標本年代為 13585±265 cal BP，且根據 Simoes et al. (2007)及本案估算之斷層滑移量約為 34-102 公尺，故可推估長期滑移速率約為 2.5-7.5 mm/yr。

由於本案僅利用階地表面作為斷層垂直抬升量，若要進一步評估更精確的抬升量，未來仍須進行更多野外調查工作來確認斷層上下盤的階地下底岩之高程。

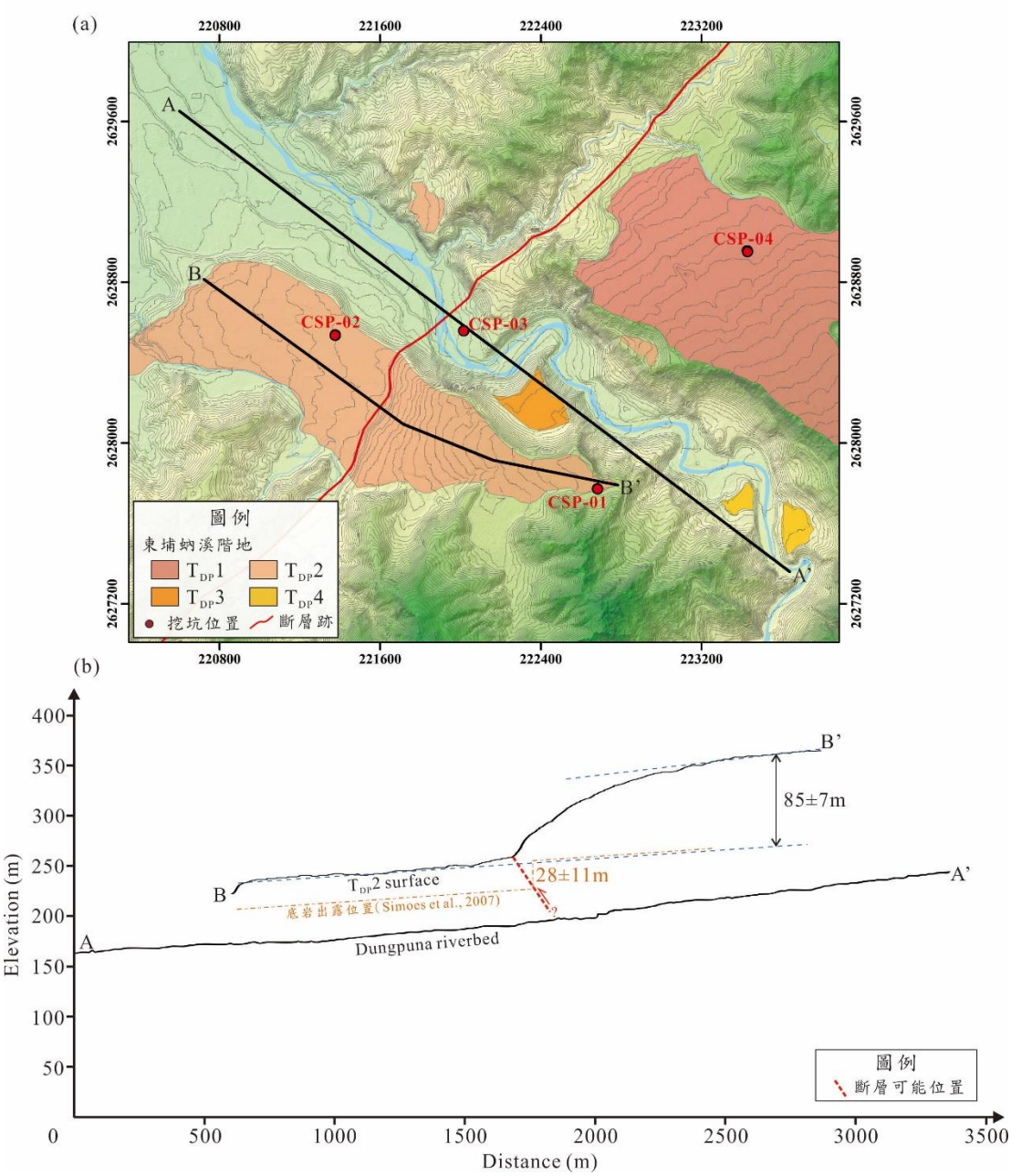


圖 83 東埔蚋溪現今河道及初鄉斷層通過之 $T_{DP}2$ 的剖面。(a)A-A'為現今河道剖面投影方向，B-B'為 $T_{DP}2$ 階地表面剖面方向(b) B-B'投影至 A-A'的剖面上，並以斷層上下盤階面高差推算垂直抬升量為 85 米。

Fig. 83 Dungpuna river and profile of $T_{DP}2$ which traverses the Chusiang fault. (a) Elevation of riverbed and $T_{DP}2$ along the line B-B' are projected on the line A-A'. (b) Data along the B-B' are projected on the A-A' profile, and vertical displacement is 85 meters based on the difference of elevations between the tops of the footwall and the hanging wall.

第七章 結論

本案第一年度計畫工作，於時程內進行初鄉斷層、車瓜林斷層的沿線地質調查工作，包含完成兩條目標斷層的沿線空拍 89 平方公里、200 公頃高精度影像空拍、1 處 812 公尺地球物理探勘剖面、1 處地質剖面清理及 4 處階地沉積物挖掘採樣，並整合前人研究及野外調查結果，繪製初鄉斷層、車瓜林斷層跡(帶)測繪圖，本案調查結論彙整如下：

(1) 初鄉斷層位置：

藉由前人研究資料及本案調查，濁水溪以北 3 公里範圍內，斷層位置可由受斷層擾動露頭的位置推定；濁水溪河床初鄉斷層明顯出露；濁水溪以南至初鄉底，斷層沿著明顯的地形線形崖處延伸，初鄉底以南至東埔蚋溪北岸，根據地電阻測勘結果判釋，東北-西南走向的凹谷似初鄉斷層帶的西界位置；東埔蚋溪河床初鄉斷層的位置可清楚界定；東埔蚋溪南岸河階地出現似受斷層傾動的地形崖，東埔蚋溪南岸階地以南至初鄉斷層南端與車籠埔斷層相接處，則依據野外露頭觀察結果推測斷層位置，並依作圖法連接。

(2) 初鄉斷層帶構造特性：

初鄉斷層帶於濁水溪河床沿線之露頭剖面最為完整，下盤僅約 3 公尺寬，上盤約有 150 公尺。斷層上下盤不僅斷層帶的寬度差異大，其變形程度也相當不對稱。然而此斷層帶具相當錯動量的斷層面、劇烈變形的核心帶及受剪裂的破壞帶，應可算是發育成熟的斷層帶。

(3) 初鄉斷層滑移速率評估

本案根據東埔蚋溪階地表面之上下盤高差及 Simoes et al. (2007)推估之階地底岩高差，並以 Simoes et al. (2007)所提供之 56°當作斷層角度，推測初鄉斷層滑移量約為 34-102 公尺。藉由 Chen et al. (2003)之定年資料，並配合本案評估之斷層滑移量，可推估初鄉斷層的長期滑移速率約為 2.5-7.5 mm/yr。

(4) 車瓜林斷層位置：

藉由前人研究資料及本案調查，車瓜林斷層於內門地區至半天寮，都被植被覆蓋，半天寮至崑山西側，車瓜林斷層的位置應位於林啟文(2013)劃設的位置更西側，崑山西側至千秋寮，車瓜林斷層之斷層帶可連續追蹤，延伸距離約 4.5 公里；千秋寮至崎溜地區，未發現明顯的車瓜林斷層帶，然而在調查區內仍偶見寬度較窄的剪裂帶(shear zone)，或高傾角的岩層，本案推斷車瓜林斷層應位於調查點更西側的位置，崎溜至燕巢市區外緣，車瓜林斷層則根據崎溜山西側邊界地形崖劃設。

(5) 車瓜林斷層帶構造特性：

車瓜林斷層帶以崑山一帶東側至千秋寮的出露最為明顯，野外的露頭調查加上高 40 公路南側剖面清理之調查結果，認為斷層帶的實際厚度約為 5-10 公尺寬，由間距以數公分至十數公分密集分布的剪切帶所構成，單條剪切帶(individual shear bands)寬度通常為數公厘，亦有公分級的，延續性頗佳。

Conclusions

The purposes of this project in first year are the geological survey along the Chusiang fault and the Chekualin fault. The survey included 89-km^2 aerial photography of two targeted potential active faults, 200-hectare high-resolution aerial photography, one 812-meter-long ERT profile, scraping and mapping on one Chekualin-fault outcrop, and four pits. Based on the previous studies and the results from field survey, the fault traces of the Chusiang fault and the Chekualin fault are mapped. The following is the brief conclusions for this first-year project.

(1) Location of Chusiang fault:

The summaries below are based on previous studies and our own survey. The fault trace could be positioned from the Choshui river up to 3 km north from the river. The fault outcrop is well exposed at the Choshui river. From the Choshui river to Chusiangdi, the fault trace could be positioned along the obvious fault scarp. From Chusiangdi to the region northwest of the Dungpuna river, the NE-SW striking valley might be the western boundary of the Chusiang fault zone according to the ERT result. In the Dungpuna riverbed, the fault trace could be positioned easily. An obvious fault scarp remains on the terrace south of the Dungpuna river. From the south of the Dungpuna river to the southern endpoint of the fault, the Chusiang fault trace is inferred based on the outcrops and V-shape rules in order to link to the Chelungpu fault.

(2) Structural characteristics of the Chusiang fault:

The outcrop exposed along the Choshui river is the most complete Chusiang fault outcrop. The width of the fault zone in the footwall is 3 m. On the contrary, the width in the hanging wall is up to 150 m. Not only do the widths of the fault zone in the hanging wall and the footwall change a lot, but also the deformation characteristic varies a lot. This mature fault zone includes a fault plane with a fair amount of slip, an intensely deformed fault core, and damage zones of fractures.

(3) The long-term slip rate of the Chusiang fault:

Based on the elevation differences of the terrace and strath tops along the Dungpuna river in the hanging wall and the footwall, and 56°as the fault dip proposed by Simoes et al. (2007), the slip amount could be estimated as 34 to 102 meters. According to the radiocarbon dating result provided by Chen et al. (2003) and our estimated amount of the fault slip, the long-term slip rate of the Chusiang fault is about 2.5 to 7.5 mm/yr.

(4) Location of Chekualin fault:

The summaries below are based on previous studies and our own survey. Chekualin fault is covered by vegetation in between Neimen and Bantianliao. The Chekualin fault trace should be located west of its location reported by Lin (2013). The Chekualin fault zone can be traced

continuously about 4.5 km from the west of Kunshan to Qianqiuliao. There's no exposure of Chekualin fault from Qianqiuliao to Qiliu. However, there are some narrow shear zones and high-dipping angle bedding at some survey sites. Based on these observations, we infer that the Chekualin fault trace should be located in the west of the survey sites. The Chekualin fault trace from Qiliu to the outskirt of Yanchao is delineated according to the terrain cliff in the west edge of Qiliu mountain.

(5) Structural characteristics of the Chekualin fault:

The Chekualin fault is well exposed from the west of Kunshan to Qianqiuliao. From the field survey and the findings of the scraped profile, we think that the thickness of the fault zone is approximately 5-10 meters and it is composed of dense shear bands spacing few centimeters to ten centimeters more. The thickness of individual shear bands are commonly few millimeters but some of them can reach few centimeters thick with fair continuity.

參考文獻

Chen, Y.G., Chen, Y.W., Chen, W. S., Zhang, J.F., Zhao, H., Zhou, L. P. and Li, S. H. (2003). "Preliminary results of long-term slip rates of 1999 earthquake fault by luminescence and radiocarbon dating. *Quaternary Science Reviews, 22*, 1231-1221. doi:10.1016/S0277-3791(03)00037-4

Ching, K.E., Gourley, J.R., Lee, Y.H., Hsu, S.C., Chen, K.H. and Chen, C.L. (2016) Rapid deformation rates due to development of diapiric anticline in southwestern Taiwan from geodetic observations. *Tectonophysics, 692*, 241-251. doi:10.1016/j.tecto.2015.07.020

Simoes, M., Avouac, J.P. and Chen, Y.G. (2007). Slip rates on the Chelungpu and Chusiang thrust faults inferred from a deformed strath terrace along the Dungpuna river, west central Taiwan. *Journal of Geophysical Research, 112*(B3). doi:10.1029/2005jb004200

Storti, F., Billi, A. and Salvini, F. (2003) Particle size distributions in natural carbonate fault rocks: insights for non-self-similar cataclasis. *Earth and Planetary Science Letters, 20*6, 173-186.

Sun, S.C. (1965). On the occurrence of an unconformity in the upper. *Proceedings of the geological society of China*, 100-102.

Wang, C.Y., Li C.L., Su F.C., Leu M.T., Wu M.S., Lai S.H. and Chern C. (2002) Structural Mapping of the 1999 Chi-Chi Earthquake Fault, Taiwan by Seismic Reflection Methods. *Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences*, 211-226

久住久吉 (1939) 南投油田地形及地質圖。比例尺三萬分之一，台灣總督府殖產局，第 866 號，共 64 頁。

中國石油公司 (1989) 台南地質圖。比例尺十萬分之一，中國石油公司台灣油礦探勘總處。

吉田要 (1932) 高雄州旗山西南部油田調查報告及地質圖。比例尺三萬分之一，台灣總督府殖產局，第 610 號，共 37 頁。

林啟文、盧詩丁、黃文正、石同生、張徽正 (2000) 臺灣中部濁水溪以南地區的集集地震斷層與構造分析，經濟部中央地質調查所特刊，第十二號， 第 89-111 頁。

林啟文、盧詩丁、石同生、林偉雄、劉彥求、陳柏村 (2008) 車籠埔斷層。經濟部中央地質調查所特刊，第二十一號，第 81-120 頁。

林啟文、游鎮源、洪國騰、周稟珊 (2012) 臺灣南部臺南-高雄泥岩區的地質構造研究。經濟部中央地質調查所彙刊，第 25 號，第 143-174 頁。

林啟文 (2013) 旗山圖幅說明書。五萬分之一台灣地質圖說明書，圖幅第 56 號，經濟部中央地質調查所，共 92 頁。

林啟文、周稟珊、張育仁 (2019)，臺灣中部濁水溪地區卓蘭層的構造特性及其意義，經濟部中央地質調查所特刊，第三十四號，第 1-23 頁。

邱奕維、蘭于鈞、黃文正、顏一勤、波玫琳、李元希 (2019) 台灣西南部中寮隧道北端口旗山斷層帶構造特性研究，經濟部中央地質調查所特刊，第三十四號，第 83-100 頁。

徐慶雲 (1975) 台南縣及高雄縣龍船、坑內、小滾水構造地質圖。比例尺二萬五千分之一，中國石油公司未出版報告。

張李群 (2014). 以大地測量資料進行龍船斷層與旗山斷層行為分析之研究。國立成功大學碩士論文，共 110 頁。

黃鑑水、謝凱旋、陳勉銘 (2000) 埔里地質圖說明書。五萬分之一台灣地質圖說明書，圖幅第 32 號，經濟部中央地質調查所，共 75 頁。

陳于高、徐澔德、賴光胤、王昱、莊昀叡、陳文山 (2002) 階地變形和活動構造：以南投東埔蚋溪為例。中國地質學會九十一年年會論文集，第 12-14 頁。

陳華玫、紹屏華、石同生 (2001) 南投地區第四季地質調查研究。經濟部中央地質調查所，九十年度研究發展報告，共 50 頁。

陳華玫、陳勉銘、石同生 (2004) 南投地質圖說明書。五萬分之一台灣地質圖說明書，圖幅第 31 號，經濟部中央地質調查所，共 79 頁。

費立沅、陳勉銘 (2013) 易淹水地區上游集水區地質調查及資料庫建置：圖冊，經濟部中央地質調查所，共 53 頁。

景國恩 (2017) 探討台灣西南部、菲律賓中部與印度東北部主要都會區之震間期地表變形特性及其地震潛能。科技部專題研究計畫成果期末報告，共 24 頁。

趙荃敏 (2016) 利用大地測量及 PSInSAR 技術探討鳳山斷層之運動特性。國立成功大學地球科學系碩士論文，共 89 頁。

黎明工程顧問有限公司 (2013) 集集攔河堰初次使用安全評估地質補充調查及試驗專題報告，經濟部水利署中區水資源局，共 60 頁。

謝世傑等 (2010) 大型攔河堰下游沖刷之地質因素探討—以集集攔河堰為例. 地工技術，第 126 期，第 20-22 頁。

謝承恩、范書睿、林彥廷、黃文正、羅偉 (2016) 無人飛行載具搭載數位相機於地質構造判視之應用。航測及遙測學刊，第二十一卷，第四期，第 257-269 頁。

劉桓吉、李錦發 (1998) 臺灣地區五萬分之一分幅地質圖及說明書，第 38 號－雲林圖幅。經濟部中央地質調查所出版，共 94 頁。

劉桓吉、李錦發、紀宗吉 (2004) 雲林地質圖說明書。五萬分之一台灣地質圖說明書，圖幅第 38 號，經濟部中央地質調查所，共 65 頁。

蘭于鈞 (2019) 台灣西南部中寮隧道北端旗山與龍船斷層太構造特性研究。國立中央大學應用地質研究所碩士論文，共 124 頁。

委員意見回復表

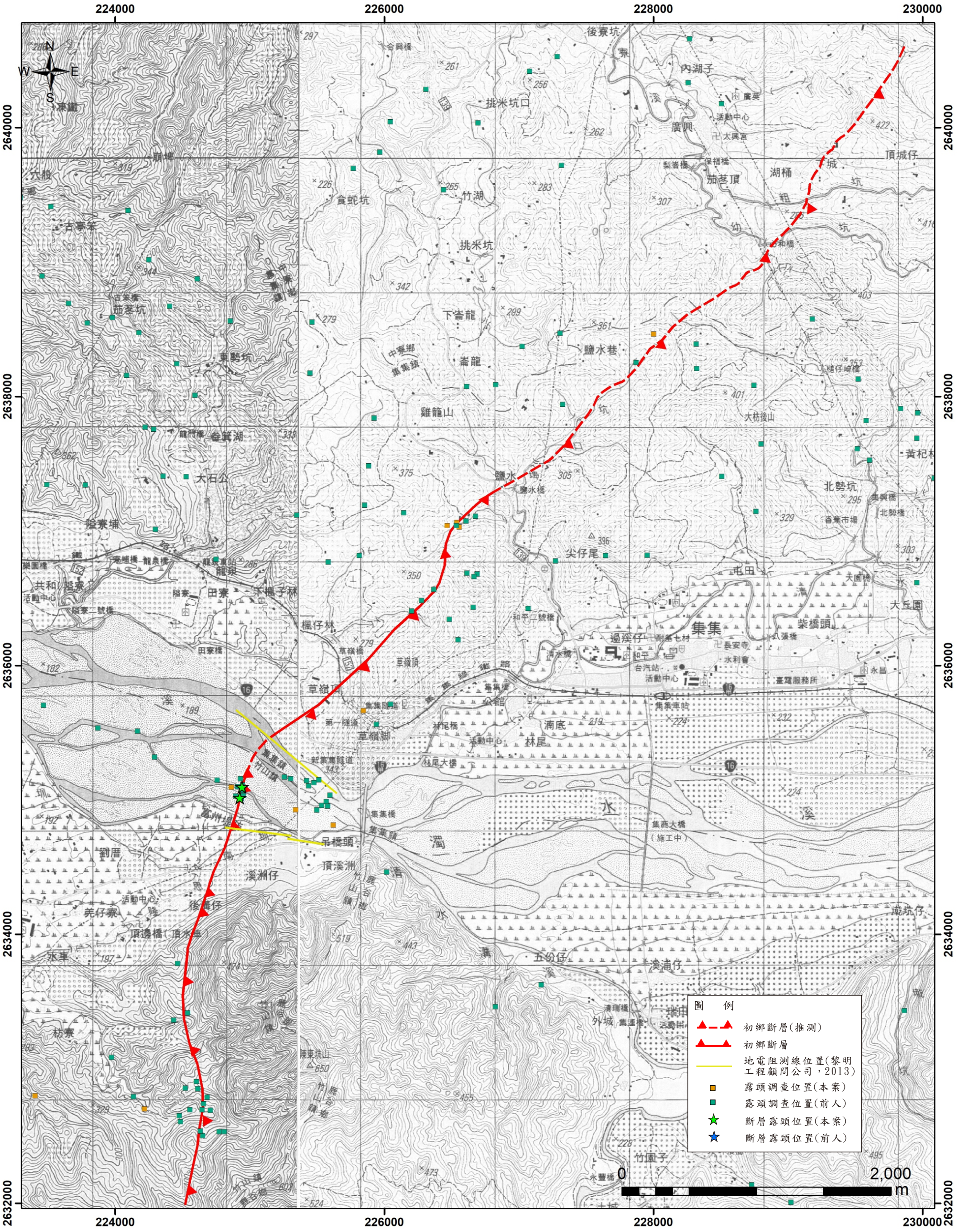
委員意見	回覆內容
有關斷層位置之精細調查，P 24 說明初鄉斷層北端至濁水溪間未見斷層的特徵；初鄉底以南亦未發現任何斷層特徵；P 31 提到多處斷層擾動帶似乎與之前描述矛盾；P 41 車瓜林斷層位置難以判定。上述建議補充此部分何以說明斷層的存在。	已於報告書第 3.1.1 小節 P 24 及 P 31 初鄉斷層的部分，已重新判釋並將內容改寫，第 3.2.1 小節 P 43 車瓜林斷層的部分也以補充說明。
P 84，車瓜林斷層在內門地區，半天寮附近均未能追踪到明顯斷層帶之位置，因此採用林啟文(2013)之劃設。建議補充說明林啟文(2013)劃設之理由	已於報告書第 6.1 小節 P 88 補充劃設之理由。補充之說明如下:斷層東側岩層向東傾斜，斷層西側岩層向西傾斜，岩性為厚層泥岩偶夾薄層砂岩(林啟文，2013)。
車瓜林斷層剖面建議:(1) 車瓜林斷層剖面所解釋的斷層帶之外仍有破裂面存在，例如剖面 0-5 m 與 28-34 m 處，請考量及說明這兩段剖面是否納入斷層帶的範圍。(2) 地形障礙的部分建議標示出岩性。	(1) 剖面 0-5 m 僅出現幾道破碎帶，性質與深灰色條帶中密集分布的剪切帶相較不同，暫不列入斷層帶的範圍。至於，28-34 m 處出現的束狀黑色剪切帶，是否納入斷層帶的範圍，已於 6.2 節的討論中加以論述，見 P88 及 P89。 (2) 圖 61 已修改
可考慮增加初鄉斷層在濁水溪剖面建立似車瓜林斷層剖面同樣的精細構造描述。	感謝委員意見。然而，濁水溪剖面相較寬廣，加上河道的阻隔及剖面垂直之故，調查其間未能如車瓜林斷層剖面一樣，可親手觸及剖面詳實紀錄，雖有立面影像，但認為不宜於短時間內製作出精細構造圖，以免誤導。
無人機影像空拍之影像建議全幅一起運算，以避免分區塊後分塊間接合及地形不一致的情況。	感謝委員意見，因資料量及電腦運算限制，今年的影像可能無法將所有影像接合為一，後續計畫執行過程會在克服。
建議加強補充無人機空拍成果於報告書內呈現，可增加地形建置的成果，將構造地形分析納入斷層位置的討論，尤其針對無人機測	已於報告書第 2.2 小節 P 14、第 3.1.2 小節 P 28、第 3.2.2 小節 P 43 加強空拍於本案運用的描述。

繪所得之地形上所呈現之斷層線跡特徵。	
高精度影像空拍內的成果為影像地面取樣解析度較高，建議以高解析度影像空拍來命名。	有礙於契約書名稱，此部分已於第 4.1.1 章節第 5 行說明。
建議補充精度、誤差、影像重疊率等攝影測量資訊。	已在第 3.1.2 小節 P28 及第 3.2.2 小節 P42 說明斷層沿線空拍影像、第 4.1.1 小節 P 54 說明高精度影像空拍影像的攝影測量資訊。
泥岩地區的空拍宜下完雨後再拍。	感謝委員意見
地電阻探勘的原理與施測方法宜多描述，如 ERT 及 CPP 等差異及優點。	已於第 2.2.2 章節補充說明
地電阻探勘的選線原則及解釋準則可再多描述。	已於第 3.1.4 章節第 2 段補充說明
地電阻資料的原始、逆推及模擬部份建議補充描述，可以附錄方式加入即可。	已於於光碟附錄六說明
P39，由地電阻剖面解釋圖中，初鄉斷層斷層帶的寬度約 150 m，建議說明和地表露頭之差異？	已於 6.2 節中初鄉斷層帶寬度之論述中，加以討論，見 P89。
井位是在地電阻做完後再選點或之前？	井位的挑選是在地電阻做完之後決定。
地電阻不進行兩條 400 m 平行測線而只做一條 800 m 測線的考量原因為何？	野外踏勘選線時，當時認為初鄉底處，初鄉斷層位置可能沿著道路旁的地形崖或溪谷延伸，兩者之間相距約 200 公尺，為更精確了解斷層位置，故當時希望能延長測線長度。
P10、P11，初鄉斷層和車瓜林斷層執行工作內容並不一致，是否符合本計畫之要求？	是的，符合本計畫之要求。兩斷層執行工作內容不同，是依地質狀況及計畫經費之考量。
建議統一名詞，如斷層影響帶(P88)、斷層破壞帶(P64)、斷層毀壞帶(P5)、斷層剪切帶(P45)、斷層擾動帶(P31)、變形帶(P86)等名詞。	已修正，統一名詞。目前使用的專有名詞有斷層影響帶(fault-affected zone)、斷層帶(fault zone)、斷層核心帶(fault core)、斷層破壞帶(fault damage zone)、剪裂帶(shear zone)及剪切帶(shear band)，各名詞有其特定的意義，如報告書中表 9，為避免混用，並於第一次出

	現處，加註英文。
圖表說明請附中英文對照，照片說明請再詳細描述(如 P 34、 P 35…等。)	圖表已加入中英對照，部分照片也已加入詳細說明。
請釐清圖 25 和圖 41 中紅色斷層線的含義。地質圖部份請加註原圖比例尺。	已在圖中加註紅色斷層線為本案判是的斷層位置，圖例已加註原圖比例尺。
P 39，圖 34~37：地電阻剖面的深度值宜調整為以百位數或十位數為整數單位。	圖 34~37 的地電阻剖面的深度值，已依建議修改。
P 45，第 7 行，由空照中，未判釋出明顯剪切帶….，請加入「但是由…可確認斷層…」。	本段已於第 3.2.3 小節 P 48 改寫
P 53 第 6 行，「兩斷層之間的岩層…..」，請說明所指示哪兩條斷層。	已於 P 56 第 6 行加註說明
圖 60 建議加註 Fault Core 及 Damage Zone 部份；圖 61~68 建議加註 shear Sense。	圖 61 為車瓜林斷層的清理剖面圖，本案已於討論的章節論述，車瓜林斷層為未成熟的斷層帶，由密集分布的剪切面組成，依其狀況似乎無加註 fault core 或 damage zone 的必要。此外斷層的清理剖面以泥岩為主，清理其間於破裂面兩側未能找到指準層，因此無法標示 shear sense.
請修正圖 71、72、73 斷層跡位置以及圖 82 BB’剖面斷層位置(剖面上斷層位置並非在階地崖面)。	已於報告書修正前述提及圖片的斷層位置。
斷層位置推測的部分，建議用虛線表示。	已將推測斷層位置的部分已虛線分開表示。
地質構造分布測繪圖：(1) 地質構造的線狀符號可考量使用一般常用的符號，如背斜、逆移斷層（鋸齒表示上升側）、橫移斷層加上斷層兩側相對運動等符號。 (2) 部分圖幅有等高線，部分圖幅沒有，建議統一。	(1) 構造現狀符號已根據建議做調整 (2) 有缺漏等高線的部分圖幅已補上
附錄二應檢附教育訓練簽到單。	已於光碟附錄四最後一頁附上簽到單。

斷層跡(帶)測繪圖

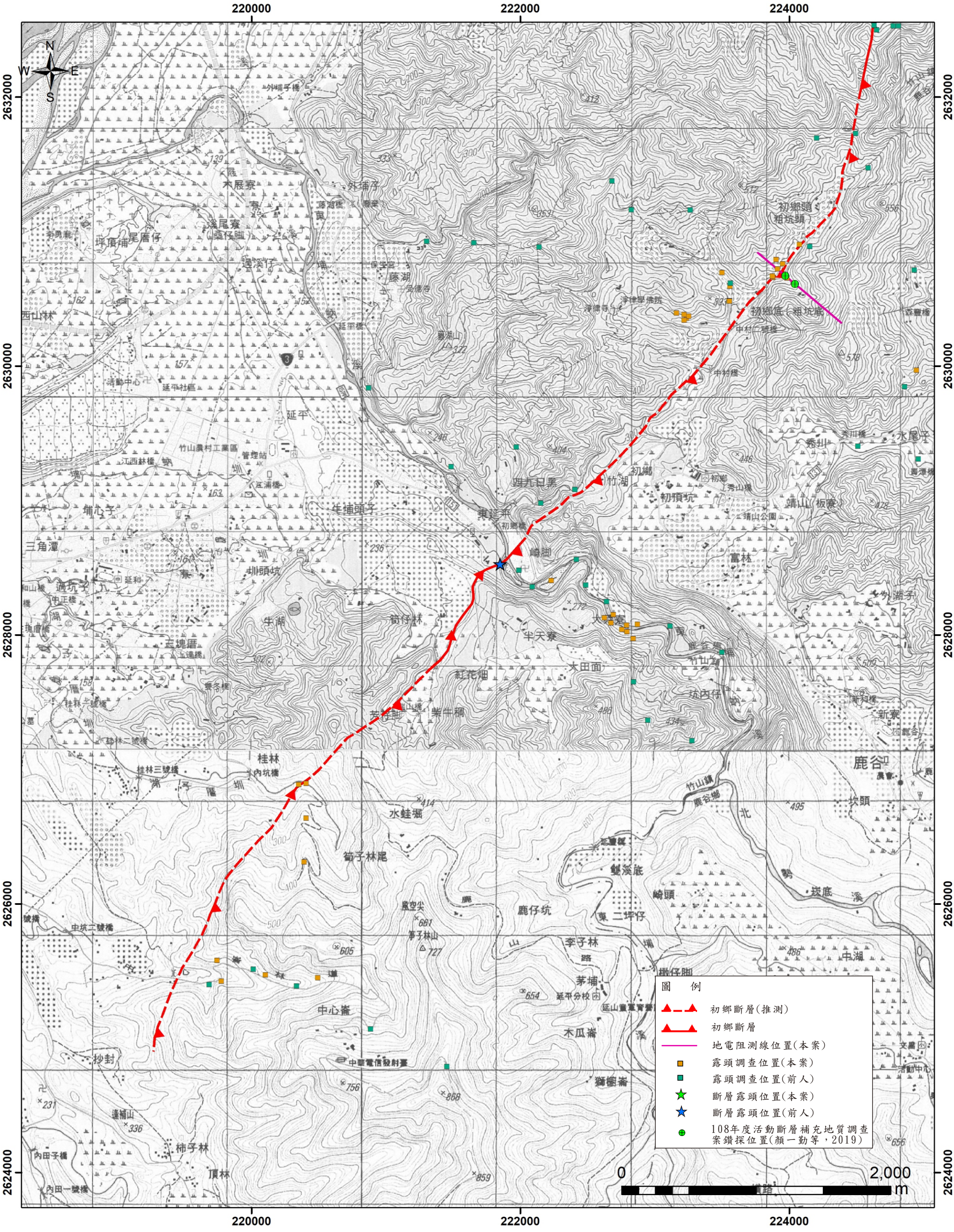
初鄉斷層(北段)



(本資料由比例尺1/5000斷層跡(帶)測繪圖資料縮製而成，底圖為比例尺1/25000經建版地形圖縮圖)

斷層跡(帶)測繪圖

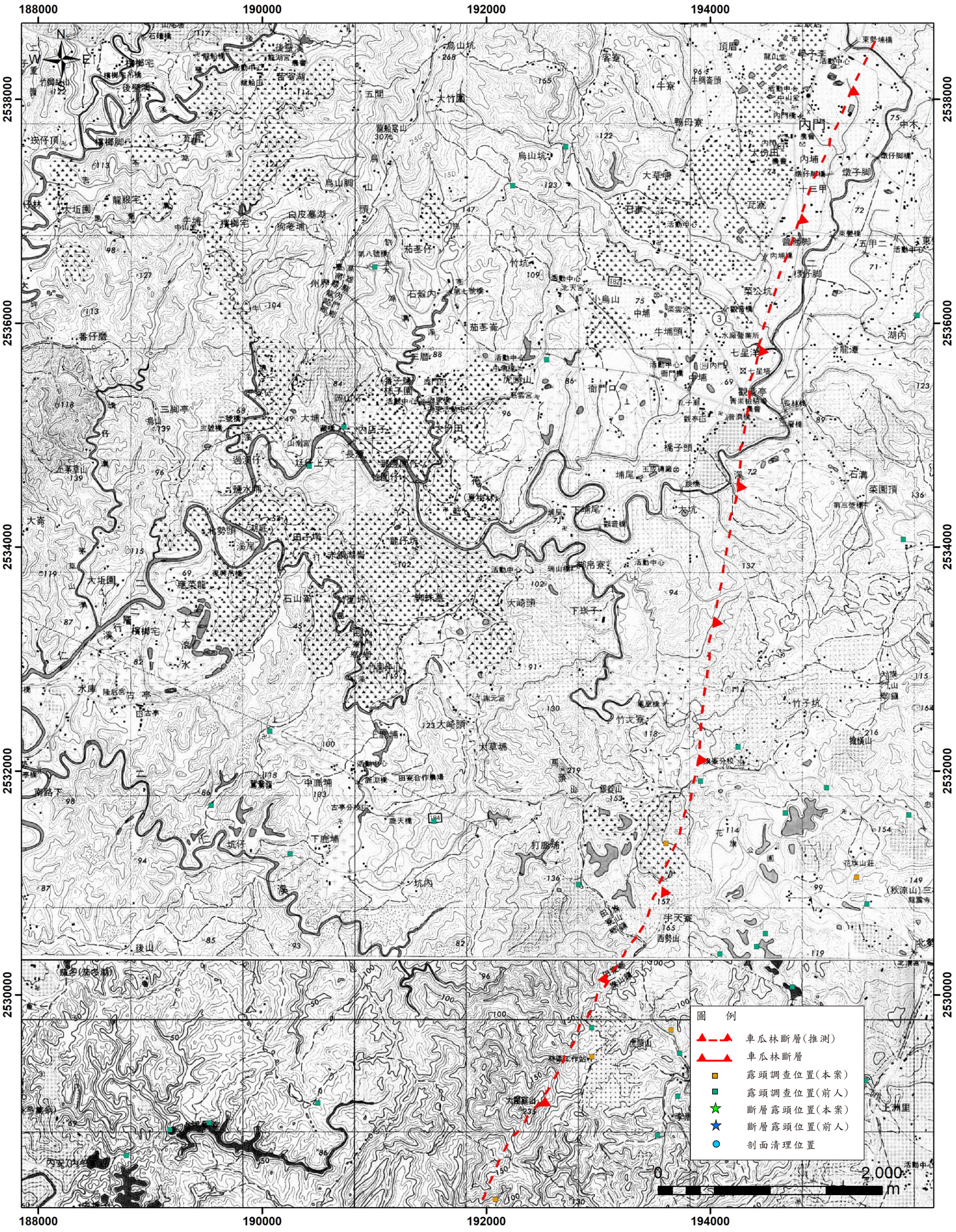
初鄉斷層(南段)



(本資料由比例尺1/5000斷層跡(帶)測繪圖資料縮製而成，底圖為比例尺1/25000經建版地形圖縮圖)

斷層跡(帶)測繪圖

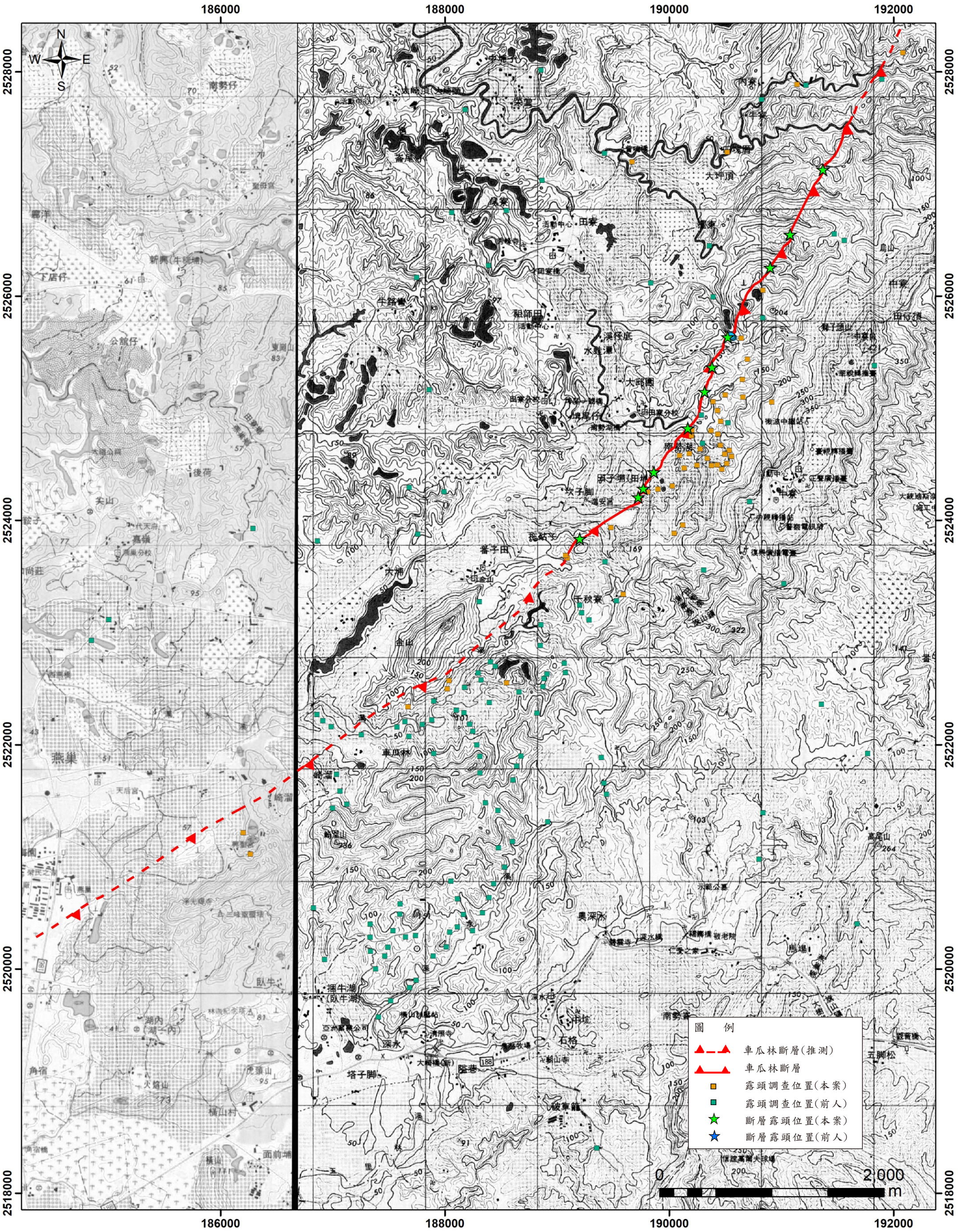
車瓜林斷層(北段)



(本資料由比例尺1/5000斷層跡(帶)測繪圖資料縮製而成，底圖為比例尺1/25000經建版地形圖縮圖)

斷層跡(帶)測繪圖

車瓜林斷層(南段)



(本資料由比例尺1/5000斷層跡(帶)測繪圖資料縮製而成，底圖為比例尺1/25000經建版地形圖縮圖)