經 濟 部

計畫編號：B10933

活動斷層特性精細調查（2/4）

Detailed investigation of characteristics of active faults (2/4)

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 109 年 12 月

經濟部

計畫編號：B10933

活動斷層特性精細調查（2/4）

Detailed investigation of characteristics of active faults (2/4)

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 109 年 2 月至 109 年 12 月

中華民國 109 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，目前臺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。本年度目標斷層為崙後斷層南段、口宵里斷層，共計完成了兩條目標斷層的沿線空拍及地表地質調查、200公頃曾文溪河床高精度影像空拍、1處口宵里斷層地質剖面開挖（挖溝）、3處曾文溪階地沉積物挖掘採樣、12組C-14定年及3組OSL定年。調查結果顯示，崙後斷層南段於走馬瀨的曾文溪旁岩壁及蘆芝坑溝剖面出露最為明顯，位於此兩處露頭之間的斷層跡，為河階覆蓋未出露，曾文溪旁岩壁觀察到高度剪切變形的斷層帶，寬度至少有15~20公尺，剪切面呈高傾角，蘆芝坑溝剖面觀察到由兩到三組剪切帶所組成的剪裂帶，剪裂帶的寬度約120公尺，上界為明顯的斷層面，測量到的斷層位態為N18°E，傾角30°E；口宵里斷層則在劉陳灣曾文溪南岸及貓兒干出露最為明顯，此區間以南及以北的斷層位置只能從地形線形崖或層面傾角變化的位置推斷，斷層帶在劉陳灣曾文溪南岸的水平寬度約為32公尺，暗黑色的剪切帶約略平行分布其間，其中數道寬度達數十公分，從構造型態分析可判定口宵里斷層為一逆移斷層。從定年結果分析，崙後斷層於近2千年內，上下盤之間無明顯垂直滑移量，曾文溪南岸露頭斷層帶切穿全新世的河階地沉積物，口宵里斷層仍是活躍的，口宵里斷層若4千內有活動，則垂直滑移速率至少小於9.5 mm/yr，斷層滑移速率須小於13.9 mm/yr，若1.2萬年內有活動，則垂直滑移速率至少小於3.2 mm/yr，斷層滑移速率須小於4.6 mm/yr。本案依調查結果，繪製出崙後斷層南段、口宵里斷層五千分之一斷層跡測繪圖，以及曾文溪沿岸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、崙後斷層、口宵里斷層

Abstract

After the 1999 Chi-Chi earthquake, the phase of active fault investigation has been shifted from overall survey to detailed investigation. Until now, the nature of a fault, its accurate location and the parameters of its activity are not completely derived for all of the 33 recognized active faults in Taiwan owing to the limitation of survey condition and societal factors. Furthermore, the current geologic maps of the Taiwan active faults are mostly based on surveys conducted 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. There is a 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 active faults which activity characteristics are incomplete. The 7 unlisted faults are known as Chusiang fault, Chekualin fault, Lunhou fault, Kousiaoli fault, Yuchang fault, Touhuanping fault, and Futoukeng fault. The goals of this project are （1）to pinpoint the location of a fault accurately;（2）to unravel the nature of the fault; and （3）to analyze the rate of its activity. For the south part of the Lunhou and Kousiaoli faults, which are the targets in this year, the results include aerial photography, geological survey along the two fault traces, 200-hectare high-resolution aerial photography of the Zengwen riverbed, a trench dug across the Kousiaoli fault, three pits on Zengwen river terraces, 12 C-14 ages, and 3 OSL ages. The Lunhou fault can be clearly identified at the Zengwen riverbed and Luzhikeng creek. The fault is covered by a terrace in the region between these two sites. The fault zone observed in a cliff by the Zengwen River at Tsoumalai is about 15~20 m wide and is composed of highly sheared fault rock. In contrast, the shear zone at Luzhikeng creek is composed of two or three sets of shear bands. The width of the shear zone is about 120 m. There is an obvious of fault contact at upper boundary of shear zone. The attitude of the fault measured at Luzhikeng creek is N18°E, 30°SE. The Kousiaoli fault can be clearly identified at the southern bank of the Zengwen River and at Mao-er-gan. North of the Zengwen River and south of Mao-er-gan, the fault trace can be defined at few sites only, based on escarpments in terraces or the change of bedding attitude. The width of the fault zone, composed of densely distributed, sub-parallel, shear bands, is about 32 m. A few shear zones are composed of numerous shear bands with a width of up to tens of centimeters. The Kousiaoli fault can be referred to as a thrust fault based on field observations. Based on the dating results and terrace analysis, there is no relative vertical movement between the hanging-wall and footwall of the Lunhou fault in the last 2 ka. The Kousiaoli fault can be identified as an active fault because it cuts into the Holocene sediments. Based on tentative terrace

correlation, we estimated a maximum vertical slip rate 9.5 mm/yr and a maximum fault slip rate of 13.9 mm/yr since at least 4 ka, maximum vertical slip rate 3.2 mm/yr and a maximum fault slip rate of 4.6 mm/yr since at least 12 ka. The fault trace mapping of the south part of the Lunhou fault and Kousiaoli fault at the scale of 1 to 5000 and the structural mapping of the Zengwen riverbed at the scale of 1 to 1000 are completed in this second-year project.

KEYWORDS: active faults, nature of a fault, Lunhou fault, Kousiaoli fault

目錄

摘要.....I
Abstract.....II
目錄.....IV
圖目錄.....VI
表目錄.....X
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
2.3 活動斷層構造特性分析.....19
2.4 活動斷層參數蒐集.....20
第三章 斷層位置精細調查.....28
3.1 地理位置及地形概述.....28
3.1.1 崙後斷層南段.....28
3.1.2 口宵里斷層.....29
3.2 斷層沿線空拍.....35
3.3 地質背景及沿線地質調查.....38
3.3.1 崙後斷層南段.....41
3.3.2 口宵里斷層.....47
第四章 斷層特性及斷層帶分析.....57
4.1 曾文溪沿岸高精度（高解析度）空拍影像.....57
4.2 地質剖面清理（挖溝）成果.....59
4.2.1 挖溝的位置及背景.....59
4.2.2 挖溝壁面測繪成果.....63
4.3 斷層構造特性分析.....65

第五章 斷層長期滑移速率評估.....72
5.1 曾文溪沿岸河階地判釋.....72
5.2 階地沉積物探坑挖掘採樣成果.....77
5.3 定年結果及分析.....84
第六章 討論.....90
6.1 斷層位置.....90
6.2 斷層帶寬度及斷層帶側向構造變化.....92
6.3 斷層長期滑移速率評估.....94
第七章 結論.....96
參考文獻.....100
委員意見回復表.....102
斷層跡(帶)測繪圖.....105

附錄一、沿線空拍影像精度報表
附錄二、高精度（高解析度）空拍影像精度報表
附錄三、沉積物探坑挖掘採樣施工相關照片
附錄四、C-14 定年採樣地點及定年結果報表
附錄五、OSL 定年年結果報表
附錄六、教育訓練手冊
（附錄請參閱光碟）

圖目錄

圖 1 臺灣島上的活動斷層分布圖（引自地調所 2012 公布的活動斷層分布圖）。.....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 本案於崙後斷層南段及口宵里斷層沿線工作執行內容。.....11
圖 4 教育訓練辦理情況。.....12
圖 5 本案之工作流程圖。.....13
圖 6 本案空拍執行流程（謝承恩等，2016）。.....15
圖 7 地面控制點佈設工作照。.....16
圖 8 以 VBS-RTK 量測地面控制點之工作照。.....16
圖 9 野外空拍工作照。.....17
圖 10 空拍影像處理工作截圖。.....17
圖 11 本案使用的無人機。(a) DJI Phantom 3 Professional；(b) DJI Mavic pro；(c) DJI Mavic 2 pro。.....18
圖 12 本案斷層沿線空拍航線規劃圖。.....18
圖 13 槽溝開挖流程（修改自黃台豐與簡逢盈，2017）。.....19
圖 14 探坑開挖過程與土方堆置。.....22
圖 15 探坑壁面清理照。.....22
圖 16 沉積層中含碳質物的採集。.....23
圖 17 探坑中採集的光螢光定年樣本。.....23
圖 18 C-14 定年樣本採樣照。.....25
圖 19 C-14 定年碳樣本。.....25
圖 20 OSL 定年樣本照片。.....26
圖 21 OSL 定年樣本採集工作照。.....26
圖 22 於實驗室等校劑量測量的工作照。.....27
圖 23 使用伽瑪光譜儀測量年劑量的樣本。.....27
圖 24 崙後斷層南段及口宵里斷層的地形圖（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）。.....30
圖 25 崙後斷層楠西隧道北側地形特徵。(a) 山脈與丘陵交界處（紅色虛線）為崙後斷層跡

的大致位置；(b) 山脈與丘陵交界處有大量的崩落的落石。 31
圖 26 崙後斷層曾文溪南岸山地及河階地。 32
圖 27 崙後斷層南端菜寮溪一帶的地形線形。 32
圖 28 照興地區河階地中 2 道約與斷層同向的地形崖。 33
圖 29 曾文溪北側內豐地區地形特徵。(a) 內豐地區河階地中有數條約南北走向地形崖；(b) 每道地形崖的崖高約 3~5 公尺。 34
圖 30 崙後斷層南段及口宵里斷層影像資料分區索引圖。 36
圖 31 崙後斷層南段及口宵里斷層沿線區域地質圖，底圖引自地調所五萬分之一地質圖。(何信昌等，2005；宋國城等，2000；邵屏華等，2009；張憲卿等，2008)。 39
圖 32 玉井地區跨崙後斷層南段及口宵里斷層地質剖面圖（改繪自何信昌等，2005)。.....40
圖 33 曾文溪走馬瀨橋北端東側的斷層帶露頭。(a) 北面露頭可觀察到約 15~20 公尺厚的斷層帶；(b) 南面露頭只出露斷層帶東側的界面，斷層帶東側砂岩層位態約 70°向西傾斜。 .43
圖 34 走馬瀨農場南方裂開路面的露頭。 44
圖 35 蘆芝坑溝剖面露頭。(a) 蘆芝坑溝出露約 700 公尺寬的完整露頭面；(b) 露頭西側有剪裂帶中含大量的剪切帶，且有被褶曲、截斷的砂岩層；(c) 露頭中段厚層泥岩偶夾砂岩層，偶有出現數公尺厚向東傾斜的剪裂帶。 45
圖 36 蘆芝坑溝南側丘陵地的剪裂帶露頭。(a) 鄰近崙後斷層的位置皆發現數公尺厚、向東傾斜的剪裂帶；(b) 剪裂帶附近的砂岩層呈高傾角。 46
圖 37 曾文二號橋附近露頭。(a) 曾文二號橋東側出露岩層的層面是平緩的；(b) 曾文二號橋西側岩層傾角約 40°~60°向東傾斜，且有受到褶曲的現象。 49
圖 38 灣潭地區露頭。(a) 露頭的西側岩層較陡；(b) 距離東側 20 公尺處的露頭，東側岩層較為平緩，西側有較多的裂面，並無觀察到明顯的剪切構造。兩處露頭之間被植被覆蓋。 50
圖 39 內豐地區露頭狀況。(a) 內豐西側河階地之中的小溪溝並無露頭出露；(b) 內豐地區東側出露傾角約 30°向東傾斜的岩層。 51
圖 40 劉陳灣地區曾文溪兩岸露頭狀況。(a) 曾文溪南北兩岸皆有完整露頭出露；(b) 曾文溪南岸壁面密集的斷層帶帶寬度約 32 公尺。 52
圖 41 劉陳灣廢棄河道上露頭狀況。(a) 東側岩層傾角較為平緩，約 20°向東傾斜；(b) 西側岩層傾角較陡，約 60°~70°向東傾斜。 53
圖 42 口宵里斷層露頭中構造特徵。(a) 斷層帶中的剪切構造顯示斷層逆移；(b) 斷層帶東

側的界面截穿河階地礫石層。.....54
圖 43 劉陳灣南側的貓兒干地區露頭狀況。.....55
圖 44 貓兒干兩處岩層位態驟變的露頭。(a) 露頭中出現一向西傾斜的斷層；(b) 小斷層西側岩層呈低傾角，東側岩層呈高傾角。.....56
圖 45 高精度（高解析度）空拍影像分布圖。.....57
圖 46 本案槽溝開挖位置、廢棄河道露頭及曾文溪南岸斷層露頭相對關係。.....59
圖 47 本案槽溝（編號：KSLT-02）開挖及地質剖面清理位置圖。.....60
圖 48 槽溝 KSLT-02-N（北牆）影像及測繪結果。(a) 北牆剖面的接合影像；(b) 北牆剖面的素描圖。.....61
圖 49 槽溝 KSLT-02-S（南牆）影像及測繪結果。(a) 南牆剖面的接合影像；(b) 南牆剖面的素描圖。.....62
圖 50 槽溝北牆 8~11 公尺處的剪切帶及被截斷的砂岩層。.....64
圖 51 槽溝南牆 4~6 公尺處未切穿河階地礫石層的剪切帶。.....64
圖 52 走馬瀨橋東側崙後斷層帶中的剪切帶及小斷層。.....67
圖 53 走馬瀨橋旁露頭礫石層近拍照。.....67
圖 54 蘆芝坑溝剖面西側斷層帶樣貌。(a) 剖面最西側可觀察到約 120 公尺寬的髮辮狀剪切帶；(b) 厚層砂岩位態近乎垂直且被剪斷。.....68
圖 55 曾文溪南岸口宵里斷層露頭照片及素描。(a) 壁面岩層出露完整的斷層帶露頭；(b) 上盤岩層有褶曲、錯斷的現象，下盤岩層出現類似急折褶皺的變形，斷層帶中層面呈高傾角，有數條延伸數公尺剪裂帶（橘色實線）。.....69
圖 56 口宵里斷層帶中的剪裂帶。.....70
圖 57 口宵里斷層帶上盤露頭。.....70
圖 58 走馬瀨橋西側約 600 公尺處的剪裂帶露頭。.....71
圖 59 曾文溪河床崙後斷層與口宵里斷層之間偶出現被剪切帶截斷的砂岩層。.....71
圖 60 曾文溪沿岸鄰近崙後斷層及口宵里斷層處之階地分布圖。.....74
圖 61 灣潭地區口宵里斷層附近露頭照。.....75
圖 62 灣潭地區跨口宵里斷層的地形陰影圖及地形剖面圖。(a) 南北走向的地形崖與口宵里斷層走向大概平行，並根據野外觀察到的現象（圖 61），可能是斷層活動造成（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）；(b) 斷層兩側階面的高程差約為

40 公尺。 76
圖 63 探坑挖掘、階地露頭採樣位置及本案定年結果分布圖 （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）。 79
圖 64 探坑 LKP-01 開挖範圍與四端點位置。（底圖引自五千分之一相片基本圖） 80
圖 65 探坑 LKP-02 開挖範圍與四端點位置。（底圖引自五千分之一相片基本圖） 80
圖 66 探坑 LKP-03 開挖範圍與四端點位置。（底圖引自五千分之一相片基本圖） 81
圖 67 探坑 LKP-01 沉積物分層。 82
圖 68 探坑 LKP-02 沉積物分層。 82
圖 69 探坑 LKP-03 沉積物分層。 83
圖 70 曾文溪沿岸階地與 C-14 定年結果投影河道剖面圖。（改繪自 Hsieh and Knuepfer，2002） 87
圖 71 樣本編號 TW20-L2、TW20-L3 與 TW20-L6 之等效劑量分布圖。 88
圖 72 劉陳灣曾文溪南岸口宵里斷層臆測構造模型。 93

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。.....5
表 4 活動斷層特性精細調查（2/4）交付項目整理表。.....7
表 5 地質剖面開挖（挖溝）位置.....8
表 6 階地沉積物探坑挖掘採樣位置。.....8
表 7 活動斷層特性精細調查（2/4） C-14 定年標本表。.....9
表 8 活動斷層特性精細調查（2/4） OSL 定年標本表。.....10
表 9 斷層沿線空拍各區空拍影像之地面解析度整理。.....37
表 10 崙後斷層南段及口宵里斷層沿線各區空拍影像地面解析度擷取自報表資訊。.....37
表 11 本案與斷層相關專有名詞之定義。.....38
表 12 高精度（高解析度）影像空拍各區影像地面解析度。.....58
表 13 高精度（高解析度）空拍影像各區空拍影像地面解析度擷取自報表資訊。.....58
表 14 本案 OSL 定年標本之放射性元素含量與年劑量。.....89

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 年地調所已公布臺灣地區共有 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）。

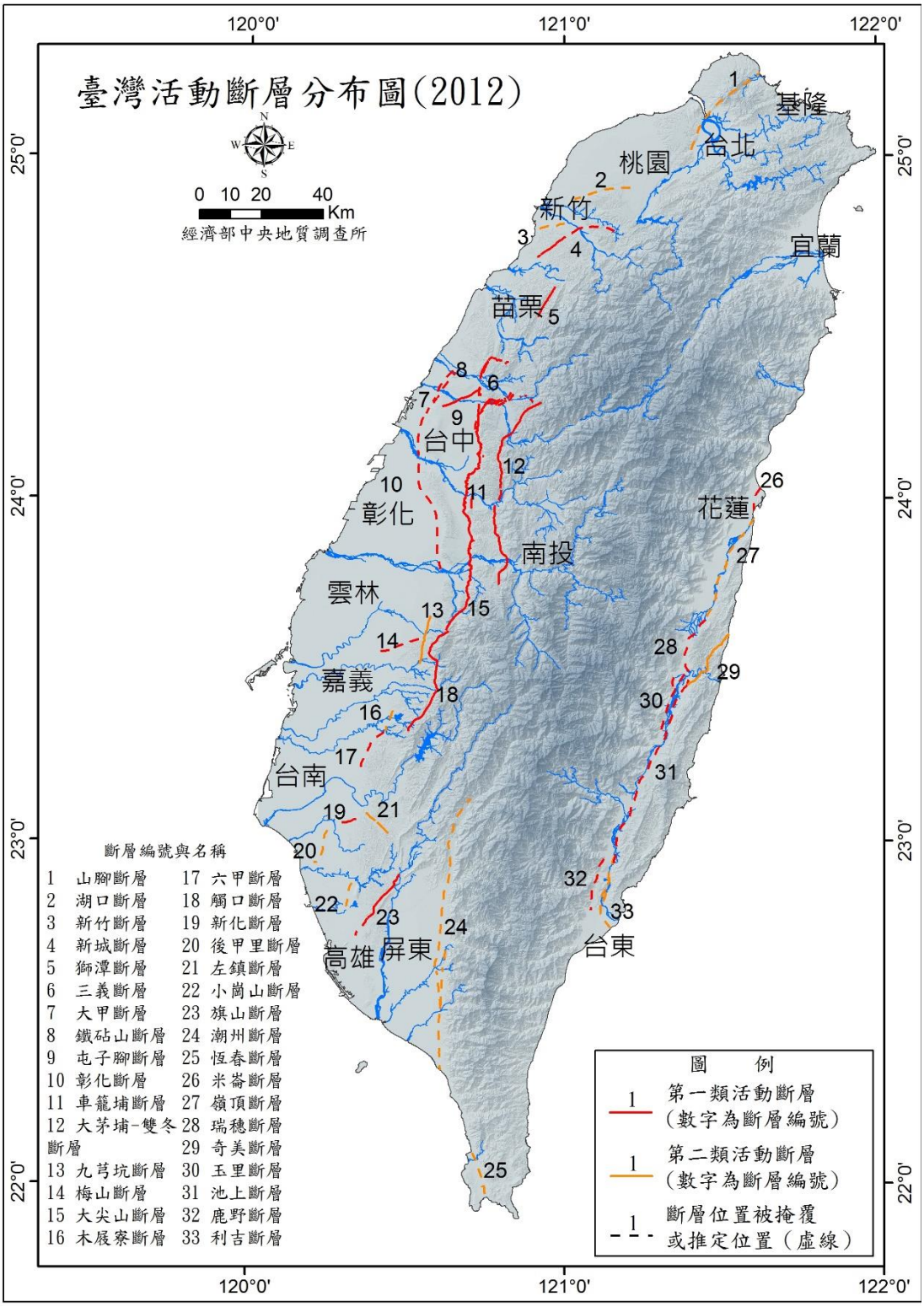


圖 1 臺灣島上的活動斷層分布圖（引自地調所 2012 公布的活動斷層分布圖）。

Fig.1 Distribution map of active faults in Taiwan（CGS, 2012）.

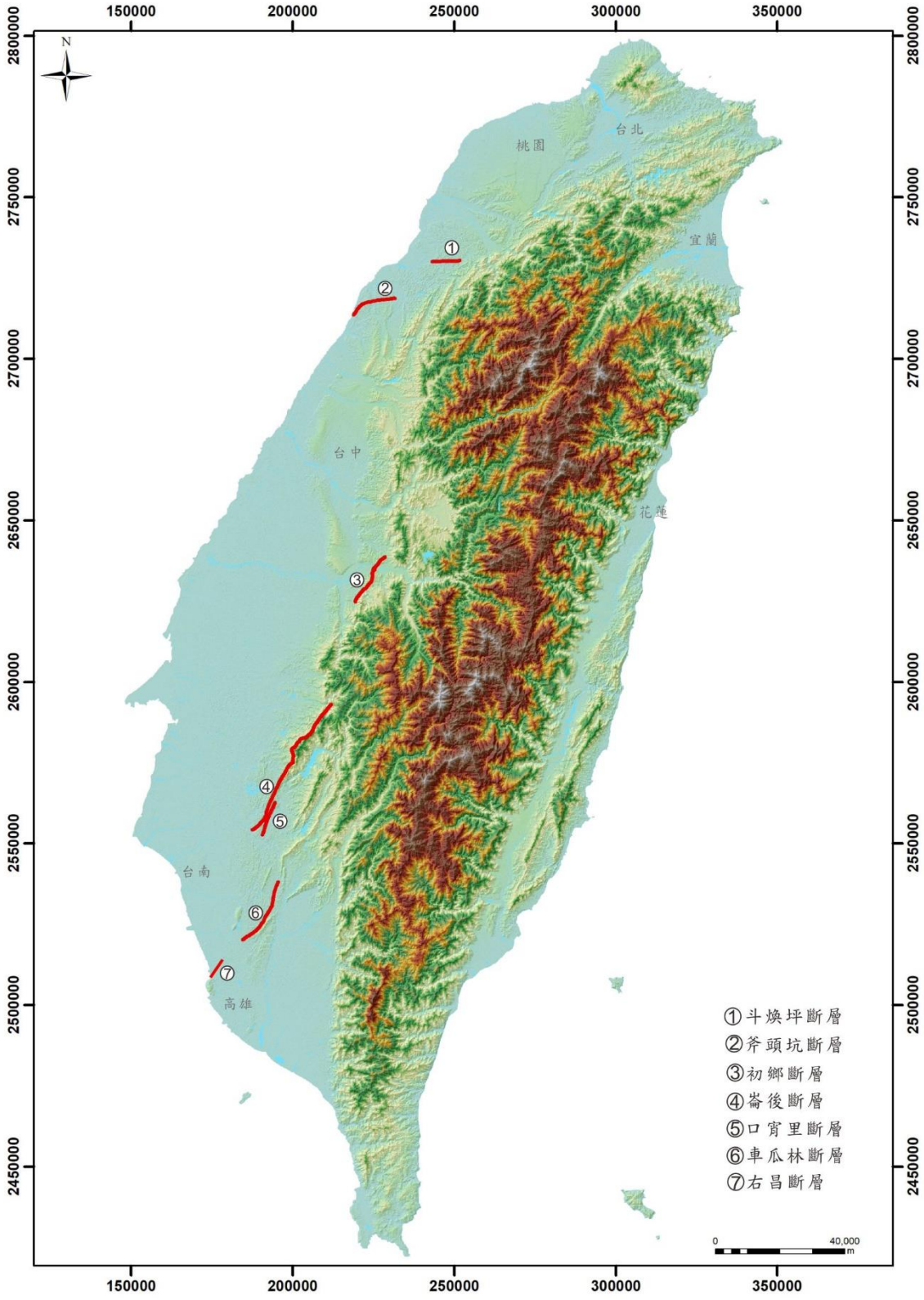


圖 2 近年來學者提出的可能的活動斷層之分布圖。

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	提及疑似有活動性的文獻
1	斗煥坪斷層（逆斷層）	新竹縣	（林啟文等人，2007）
2	斧頭坑斷層（逆斷層）	苗栗縣	（袁宇威，2018）
3	初鄉斷層（逆斷層）	南投縣	（林啟文等人，2008）
4	崙後斷層（逆斷層）	嘉義縣、臺南市	（林啟文等人，2007）
5	口宵里斷層（逆斷層）	臺南市	（何信昌等人，2005）
6	車瓜林斷層（逆斷層）	高雄市	（林啟文等人，2012）
7	右昌斷層（逆斷層）	高雄市	（景國恩，2017）

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 that lack 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。

第一年度初鄉斷層及車瓜林斷層，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南段及口宵里斷層為目標，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。

第三年度及第四年度則以地調所方指定的斷層為目標進行調查。

（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，提供地質調查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崙後斷層南段及口宵里斷層，工作執行日期為 109 年 2 月 20 日至 109 年 12 月 31 日止。本年度交付項目整理如表 4，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 80 平方公里，地質剖面開挖（挖溝）2 單位共計 57.5 平方公尺。斷層特性及斷層帶分析部分，本案共計完成 204 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 3 處的階地沉積物探坑挖掘採樣（表 6），並完成 12 組 C-14 定年樣本送樣 （表 7，定年結果報表如附錄四），及 3 組 OSL 定年（表 8），本案崙後斷層南段及口宵里斷層沿線之工作施作範圍如圖 3 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，繪製崙後斷層南段及口宵里斷層比例尺 1/5000 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，並將以上的調查工作結果彙整成「活動斷層特性精細調查（2/4）」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，參加人數共有 14 人，舉辦地點位於臺南市玉井區的劉陳灣地區，本年度教育訓練內容劉陳灣的槽溝參觀及口宵里斷層露頭參訪，教育訓練舉辦狀況如圖 4。

表 4 活動斷層特性精細調查（2/4）交付項目整理表。

Table 4 Synthesis of the required items for Project （2/4） 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	80 平方公里	崙後斷層南段及口宵里斷層沿線空拍面積合計約 80 平方公里。	第一期驗收
地質剖面開挖	2 單位(每單位 25 平方公尺)	槽溝北牆實際清理至少 32 平方公尺，南牆至少 25.5 平方公尺，皆符合契約規範每單位至少 25 平方公尺。	第二期驗收
高精度（高解析度）影像空拍	204 公頃	曾文溪河床露頭及蘆芝坑溝剖面空拍	第一期驗收
階地沉積物探坑挖掘採樣	3 處	於曾文溪沿岸河階地，挖坑共 3 處	分 2 期繳交，第一期驗收，繳交 2 處，第二期驗收，繳交 1 處，合計 3 處
C-14 定年	11 組（12 組送樣分析，11 組完成實驗）	見表 7 說明	分 2 期繳交，第一期驗收，繳交 3 組，第二期驗收，繳交 8 組，合計 11 組
OSL 定年	3 組	見表 8 說明	第一期驗收
教育訓練	1 式	109 年 10 月 19 日辦理槽溝參訪與口宵里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六。	第二期驗收
斷層跡（帶）測繪（崙後斷層南段及口宵里斷層）（比例尺至少 1/5000）	1 份	以原比例尺紙本文件另外繳交	第二期驗收

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 地質剖面開挖（挖溝）位置

Table 5 Location of the excavated geological profile（trench）

槽溝編號	TWD97_X	TWD97_Y
KSLT-02	192374.132	2557657.869
	192372.803	2557655.132
	192391.19	2557646.266
	192388.907	2557643.33

表 6 階地沉積物探坑挖掘採樣位置。

Table 6 Location of the pits excavated for terrace sediment sampling

坑號	所屬階地	TWD97_X	TWD97_Y	長/寬/深（m）	備註
LKP01	T3	192539.283	2560022.813	2.1 公尺/2.1公尺/3.4 公尺（北牆 2.3 公尺）	第一期驗收
		192539.354	2560020.776		
		192541.387	2560022.743		
		192541.578	2560020.552		
LKP02	T4a	190909.79	2559931.623	2.4 公尺/2.5公尺/3.0 公尺	第一期驗收
		190909.644	2559934.191		
		190912.173	2559934.494		
		190912.707	2559931.551		
LKP03	T2	194852.544	2563142.139	1.4 公尺/2.1公尺/3.3 公尺	第二期驗收
		194854.08	2563141.375		
		194855.692	2563148.155		
		194853.912	2563144.829		

表 7 活動斷層特性精細調查（2/4） C-14 定年標本表。

Table 7 List of C-14 ages produced for Project （2/4） 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
TW20-C26	焦炭（Charred material）	T1 階地（190141.748, 2558999.672）	7940±30 BP	8979-8642 cal BP	第一期驗收
TW20-C79	焦炭（Charred material）	T4b 階地（192372.334, 2556830.472）	3710±40 BP	4219-3926 cal BP	第一期驗收
TW20-C76	焦炭（Charred material）	T2 階地（189700.889, 2558479.447）	410±30 BP	520-330 cal BP	第一期驗收
TW20-C31	焦炭（Charred material）	T1 階地（190141.748, 2558999.672）	7870±30 BP	8770-8589 cal BP	第二期驗收
TW20-C128	焦炭（Charred material）	T4a 階地（191052.642, 2559153.079）	1990±30 BP	1998-1878 cal BP	第二期驗收
TW20-C158	焦炭（Charred material）	T4b 階地（192128.369, 2556890.661）	2960±30 BP	3212-3005 cal BP	第二期驗收
TW20-C188	焦炭（Charred material）	T3 階地（189819.089, 2557539.747）	3280±30 BP	3578-3446 cal BP	第二期驗收
TW20-C135	焦炭（Charred material）	T4a 階地（191052.642, 2559153.079）	>43500 BP	>43500 cal BP	第二期驗收
TW20-C147	焦炭（Charred material）	T2 階地（189700.889, 2558479.447）	250±30 BP	429-149 cal BP	第二期驗收
TW20-C164	焦炭（Charred material）	T3 階地（189819.089, 2557539.747）	3420±30 BP	3820-3584 cal BP	第二期驗收
LKP03-C07	植物（Plant）	T3 階地（194852.544, 2563142.139）	190±30 BP	302-137 cal BP	第二期驗收
TW20-C201	焦炭（Charred material）	T3 階地（195330.766, 2563567.843）	本標本經實驗室測量後認定焦碳含量不足，故決議停止此標本實驗。		第二期驗收

表 8 活動斷層特性精細調查（2/4） OSL 定年標本表。

Table 8 List of OSL samples, associated information and age models produced for Project （2/4） of detailed investigation of characteristics of active faults.

標本編號（TWD97）	使用材料	採集地點（TWD97）	等效劑量（Gy）			年劑量（Gy/ka）	測定年代（ka）		
			CAM	MAM-3	L5%		CAM	MAM-3	L5%
TW20-L2	62-105 *μm* 石英顆粒	T4a 階地（189595.055, 2559601.283）	109.7 ± 5.2	67.7 ± 4.3	58.1 ± 4.3	2.70 ± 0.14	40.6 ± 4.0	25.1 ± 2.9	21.5 ± 2.7
TW20-L3	62-105 *μm* 石英顆粒	T1 階地（190141.748, 2558999.672）	84.3 ± 3.0	61.1 ± 3.3	52.3 ± 0.6	2.57 ± 0.13	32.8 ± 2.9	23.8 ± 2.5	20.4 ± 1.3
TW20-L6	62-105 *μm* 石英顆粒	T2 階地（189700.889, 2558479.447）	54.9 ± 3.0	31.9 ± 2.2	27.7 ± 1.7	2.74 ± 0.15	20.1 ± 2.2	11.6 ± 1.4	10.1 ± 1.2

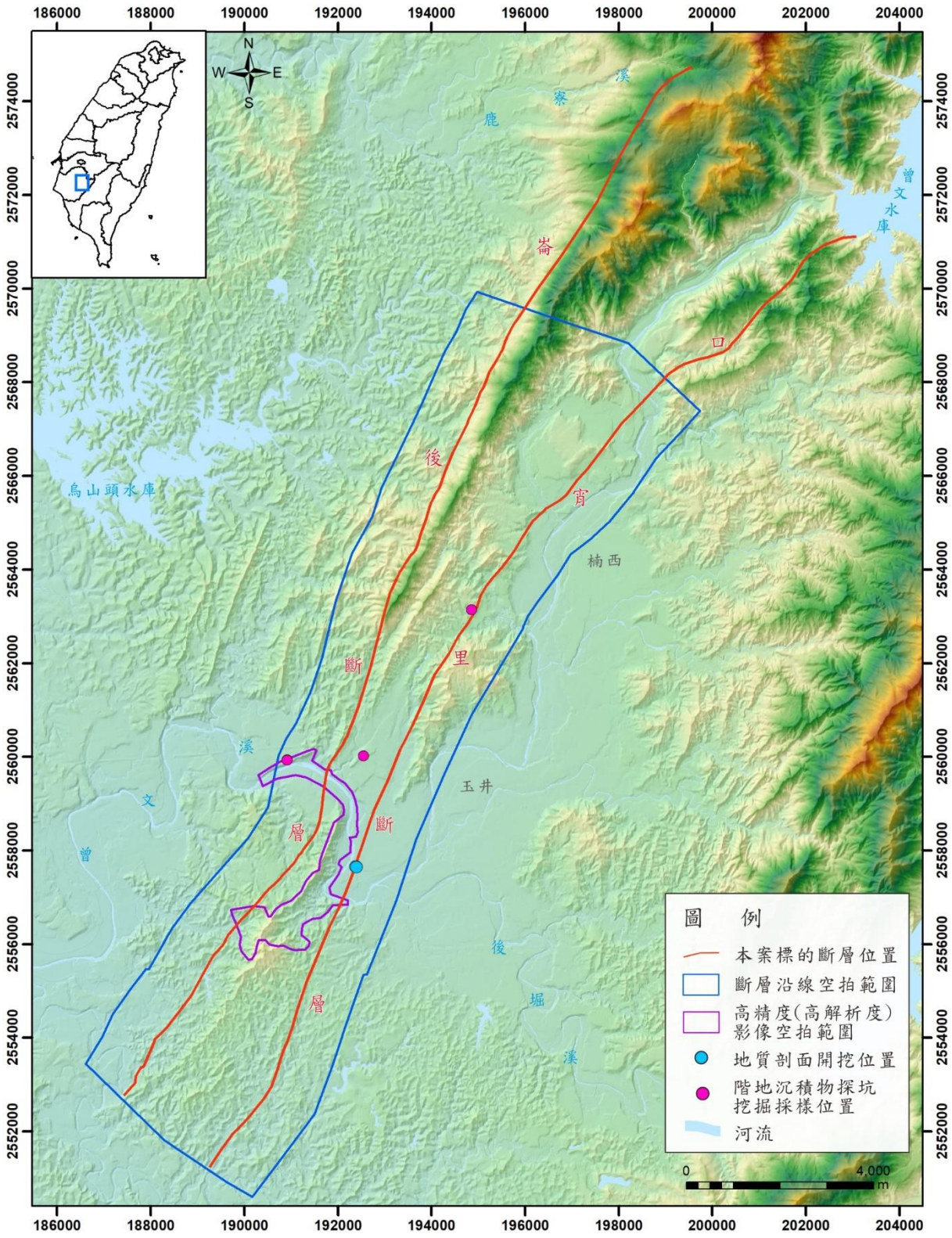


圖 3 本案於崙後斷層南段及口宵里斷層沿線工作執行內容。

Fig. 3 Location map of excavations and UAV acquisitions completed for this project, on the southern part of the Lunhou Fault and Kousiaoli Fault.



圖 4 教育訓練辦理情況。

Fig. 4 Photograph collection illustrating the education training session of this project.

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崙後斷層南段及口宵里斷層，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（2/4）」成果報告書，本案的工作流程如圖 5 所示，各項的工作內容描述如下：

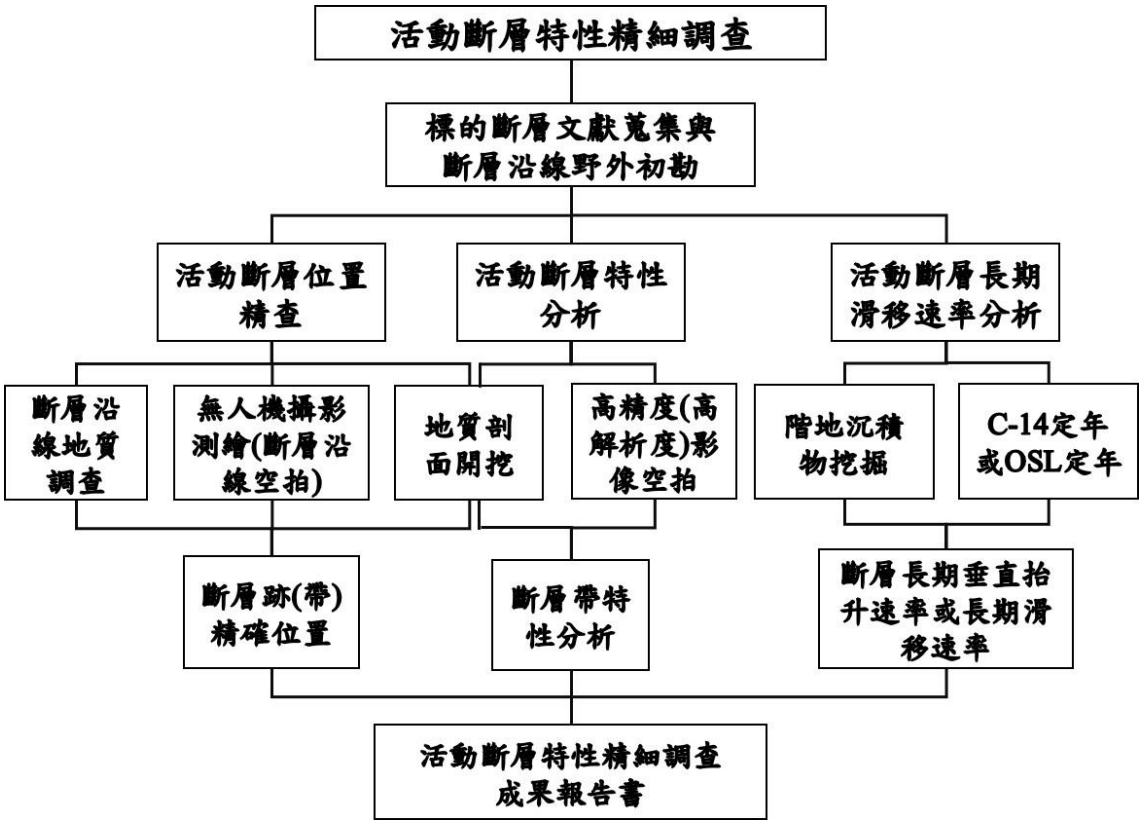


圖 5 本案之工作流程圖。

Fig.5 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崙後斷層及口宵里斷層相關的文獻，根據前人的調查結果，進行崙後斷層南段及口宵里斷層的現地調查，判斷此兩條斷層地表跡的位置。

2.2 活動斷層位置精查

a. 斷層沿線地質調查

斷層沿線地質調查將結合空拍機先行在野外調查露頭，再由人員對於可抵達露頭進行詳細地質調查，若為無法抵達露頭，則利用空拍機進入，以不同的拍攝角度，多次近拍露頭，以利記錄及判釋。本案調查區曾文溪以南多半為泥岩區的露頭，泥岩區中的斷層帶或剪碎帶（shear zone）通常較泥岩深色，利用空拍的影像判釋，將有利於斷層帶及剪碎帶的追跡，若是無人機飛進入含砂岩層的露頭，也可利用空拍影像大略判定岩層傾角大小及傾向，或是藉由影像觀察岩層是否有受構造擾動。

b. 沿線空拍

本案攝影測繪（空拍）的步驟如圖 6 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 7），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 8），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 9）。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 10），最終成品為彩色正射影像 （流程圖參考圖 6 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 11），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。

本案空拍之航線規劃已大略平行斷層參考線的方向，因受限於飛機飛航最大距離的限制，因此本案以垂直於斷層參考線方向的方式分段，以平行斷層參考線的方向飛行，逐步由南往北完成空拍，空拍航跡如圖 12 所示，本案的空拍飛航規劃中，每條飛航航帶內，前一張跟後一張原始空照的相片重疊率介於 80%~85%之間，相鄰的兩個航帶相片重疊率介於 60%~72%之間。

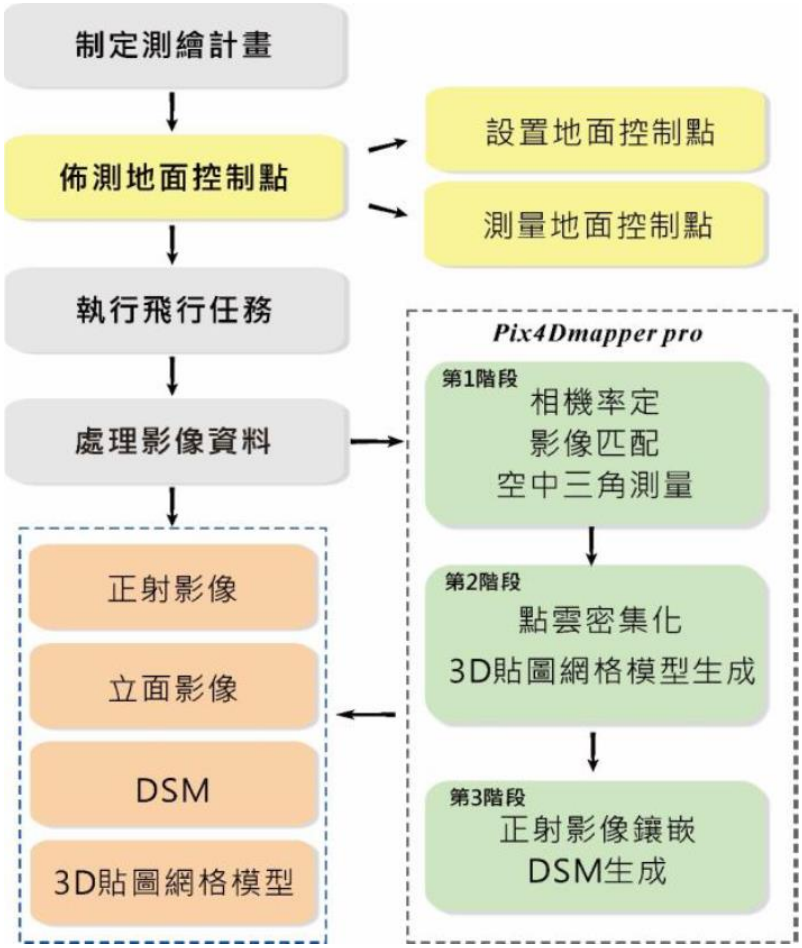


圖 6 本案空拍執行流程（謝承恩等，2016）。

Fig.6 Work flow chart of aerial photography acquisition and derivative products for this project(Hsieh et al., 2016）.



圖 7 地面控制點佈設工作照。

Fig.7 Set-up a ground control point.



圖 8 以 VBS-RTK 量測地面控制點之工作照。

Fig.8 Measurement of the location of a ground control point using VBS-RTK.



圖 9 野外空拍工作照。

Fig.9 Operating UAV in the field.

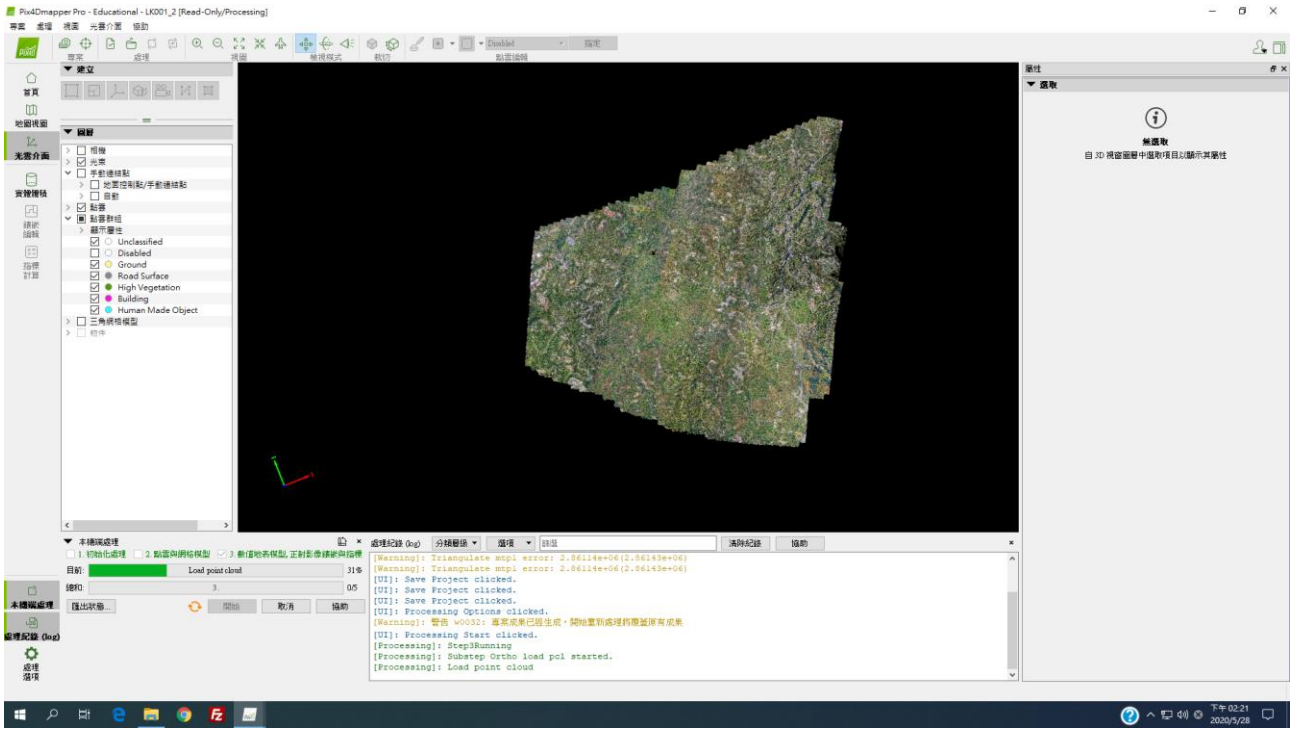


圖 10 空拍影像處理工作截圖。

Fig.10 Snapshot of the processing of an orthoimage.

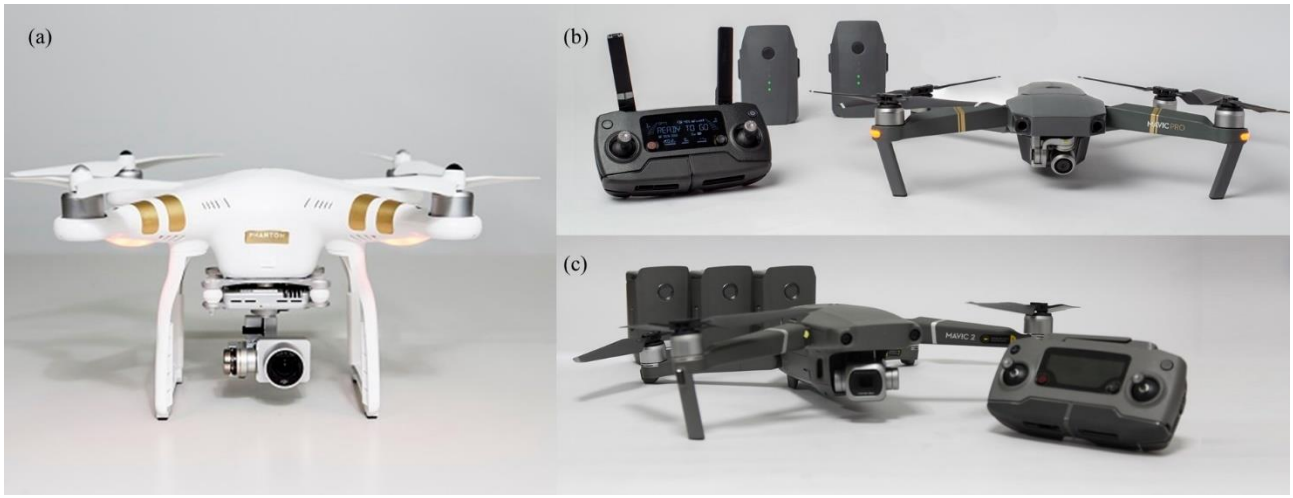


圖 11 本案使用的無人機。(a) DJI Phantom 3 Professional；(b) DJI Mavic pro；(c) DJI Mavic 2 pro。

Fig.11 UAVs used in this project. (a) DJI Phantom 3 Professional；(b) DJI Mavic pro；(c) DJI Mavic 2 pro.

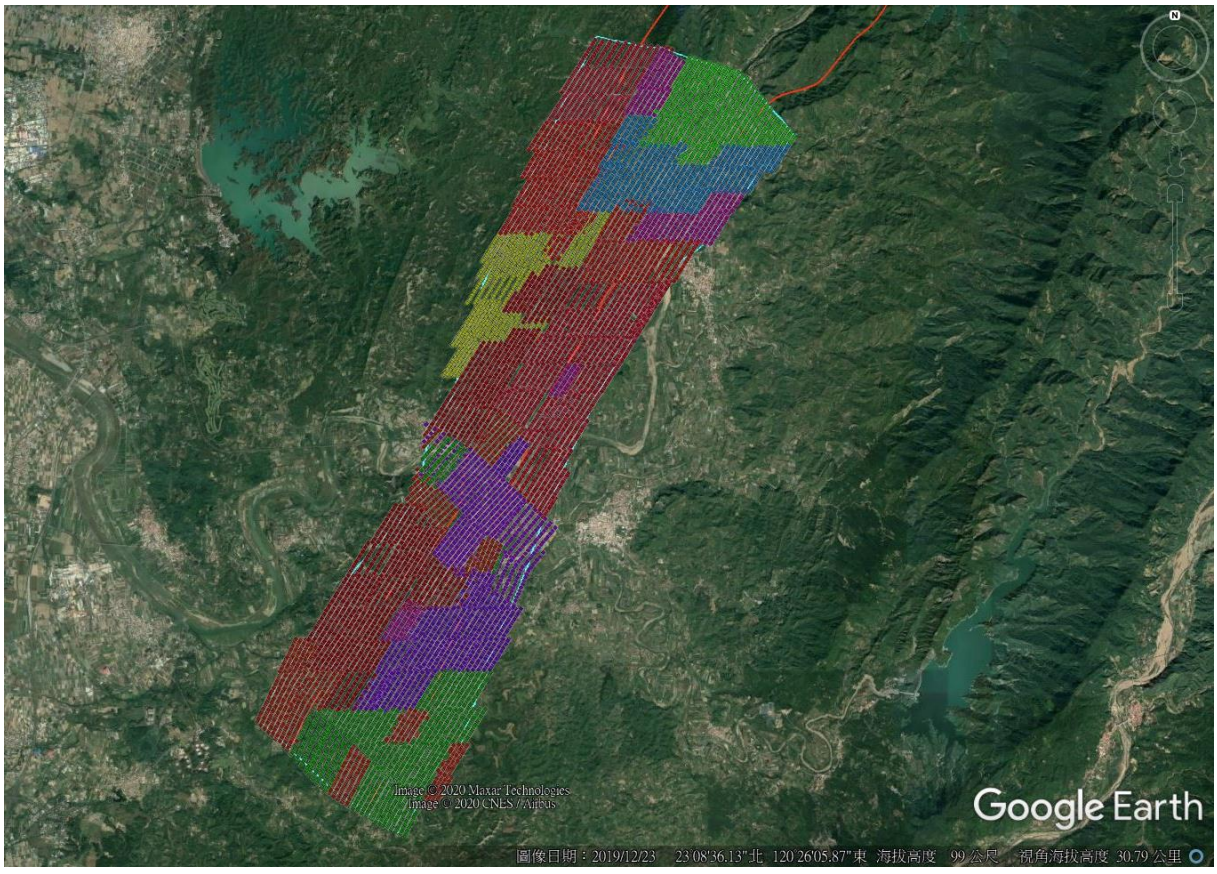


圖 12 本案斷層沿線空拍航線規劃圖。每個點代表空拍原始照片的位置。

Fig.12 Fly track of UAV in this project. The dots show the place where to take photos.

2.3 活動斷層構造特性分析

a. 高精度（高解析度）影像空拍及地質構造分布測繪

本案選擇崙後斷層南段及口宵里斷層之間曾文溪河床露頭出露良好處，進行空拍高精度（高解析度）影像空拍，空拍的步驟流程參閱圖 6。

b. 地質構造分布測繪

經分析野外調查、斷層沿線空拍結果比對，本案選定鄰近口宵里斷層的斷層帶 1 處進行槽溝開挖，並於開挖的槽溝兩側壁面進行地質剖面清理及地質構造描繪。槽溝開挖方向選擇為與斷層走向接近直交的方向，槽溝兩側壁面清理面積各至少 25 平方公尺，清理總面積至少 50 平方公尺。挖溝流程包含槽溝用地選址、挖溝範圍地形測量、槽溝開挖與土方堆置、槽溝開挖壁面清理與網格線測布、槽溝壁剖面照相及地質剖面測繪、槽溝本體測量、槽溝回填，開挖流程如圖 13。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。

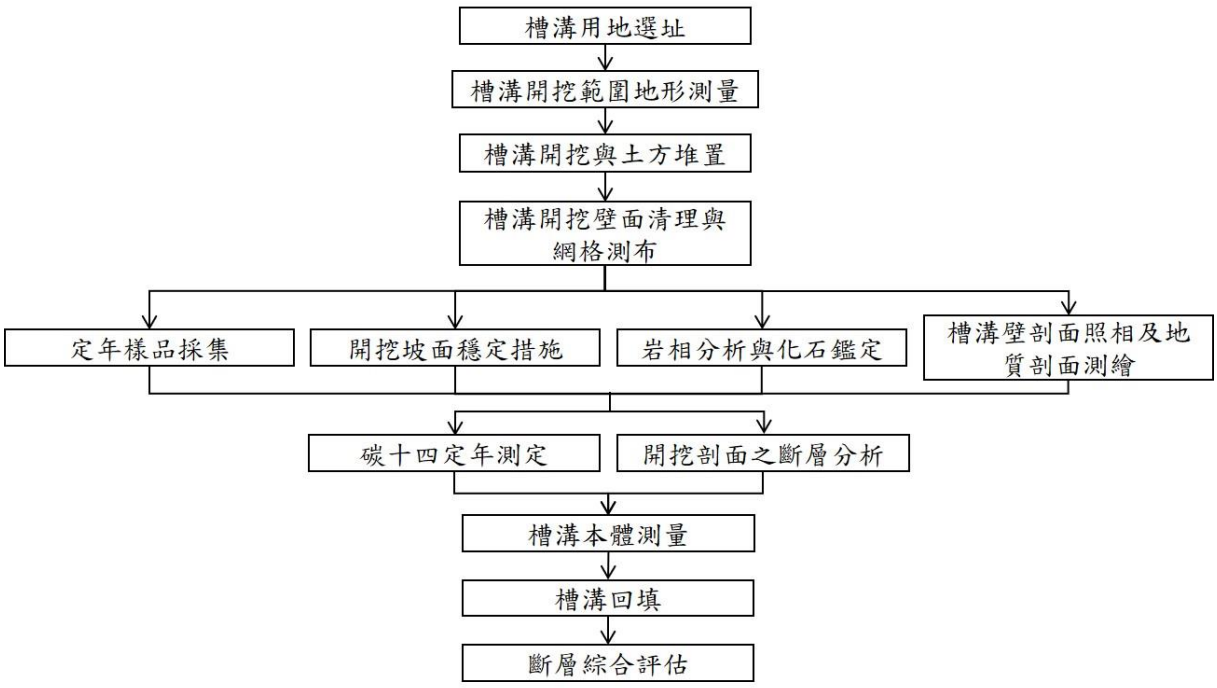


圖 13 槽溝開挖流程（修改自黃台豐與簡逢盈，2017）。

Fig.13 Trench excavation process（Modified from Huang & Jian, 2017）

2.4 活動斷層參數蒐集

a. 階地沉積物開挖

本案於曾文溪沿岸階地進行階地調查與採樣，並選於較無露頭出露之階地進行探坑挖掘與採樣工作，階地調查範圍北起曾文水庫南端，並沿曾文溪主流延伸至下游二溪里地區，長約 13 公里，寬約 7 公里，調查範圍內主要聯絡道路為 84 快速道路及臺 3 線與其相交之次要道路，以下說明探坑挖掘的流程。

（1）用地取得

本案共完成三個探坑之施作，施作前經向地主說明本案用意之後，獲地主同意提供土地進行探坑挖掘施作，並於同意書簽訂後進行施工。

（2）地形測量與探坑用地範圍

本案以利用 1:5000 相片基本圖與 LiDAR 地形陰影圖做為底圖，探坑挖掘以長方體為原則，探坑範圍則使用衛星定位儀測量探坑於地表面的四角位置，並標示出探坑實際開挖範圍。

（3）探坑開挖與土方堆置

本案使用挖土機進行開挖工作，探坑開挖範圍寬約 1~2 公尺，深約 2 公尺，長約 2-3 公尺，探坑開挖時所產生的土方則堆置於探坑的周圍，以利探坑回填時使用（圖 14）。

（4）探坑開挖壁面清理與定年樣本採集

在挖土機進行開挖後，再以刮刀清理探坑壁面（圖 15），讓剖面細部的沈積構造顯現，並於清理同時採集沉積層中的碳質物並標註採樣位置（圖 16），同時也採集 OSL 定年樣本備用（圖 17）。

（5）剖面照相

探坑進行壁面清理並採樣後，便會進行拍照及記錄，兩個探坑各有三個平整的壁面，拍照時一般常使用網格方便記錄，而本案開挖探坑邊長及深度皆不超過 3 公尺，故使用捲尺及 1 公尺長尺作為拍照與紀錄參考的刻度。

（6）探坑開挖地質剖面圖繪製

探坑開挖除了於現場拍照外，亦會紀錄探坑中出露的構造或沉積層序，並根據沉積物

粒徑大小或顏色等特徵進行分層，並繪製出以照片為底的地質剖面圖，同時標示出標本採樣位置。

（7）探坑尺寸測量

探坑開挖後，以皮尺測量探坑長度、寬度、深度，並放置 1 公尺長尺做為比例尺，以拍照紀錄皮尺刻度。

（8）探坑施工與回填

探坑施工前後及施工過程皆有照片紀錄，施作過程全程錄影，並在回填後，現場請地主確認回填完成，確認後請地主們簽署用地回復確認書，避免日後爭議，關於施工前中後的照片請參閱附錄三。



圖 14 探坑開挖過程與土方堆置。

Fig.14 Pit excavation in progress and soil stack.



圖 15 探坑壁面清理照。壁面清理目的是為使探坑剖面的細部沈積構造及定年標本顯現。

Fig.15 Working in the pit. The walls were scraped in order to reveal the details of the stratigraphy and the presence of datable samples of organic material in the profile.



圖 16 沉積層中含碳質物的採集。採集後以釘子及標籤標出採樣位置。

Fig.16 Collection of carbonaceous-rich materials in the sedimentary deposit. After collection, the sampling location will be marked with nails and labels.



圖 17 探坑中採集的光螢光定年樣本。

Fig.17 Photo of a luminescence dating (OSL) sample collected in pit using a metal tube.

b. C-14 定年

本案 C-14 定年樣本來源為曾文溪河階地沉積物的露頭及探坑挖掘採集到的樣本，C-14 標本的採樣過程會將疑似是木炭物質的材料裝進小玻璃管等容器，需避免以手直接接觸標本（圖 18)，採集後的樣本皆委託美國的 Beta 實驗室進行 C-14 定年實驗，當樣本送至 Beta 後，會先進行前處理，以確認樣本材料是否有足夠含量能進行定年（圖 19)。C-14 定年法之原理主要利用碳元素中的放射性碳同位素（^{14}C)，由於放射性元素較不穩定，存在於動植物體內的 ^{14}C 在其死亡後會隨時間逐漸衰變成 ^{14}N，並釋放出電子，稱為 β 衰變，而半衰期為放射性元素衰變至原本原子數目的一半所需的時間，故可以此參數計算含碳材料之年代，^{14}C 定年方法可以測定近五萬至六萬年內的含碳物質年代。美國的 Beta 實驗室目前採用 AMS 法（Accelerator Mass Spectrometry)，利用加速器質譜儀直接測量 ^{14}C 原子數目，此方法測量更為靈敏且快速。

c. OSL 定年

本案 OSL 定年樣本來源為曾文溪河階地沉積物的露頭，OSL 定年所使用的樣本主要為細砂，故會先挑選均質的細砂層來採集樣本，樣本可分為兩種：可照光樣本及不可照光樣本（圖 20)，可照光樣本主要用途為估算年劑量，以透明標本袋裝約 2 公斤即可，不可照光樣本則會以金屬管或塑膠管，並先將一端以報紙塞住，防止光線照射樣本，接著利用重錘將採樣管垂直壁面敲入（圖 21)，將樣本管取出後迅速用報紙將另一端蓋上，最後以膠布封緊兩端開口即完成採樣。

OSL 定年法的原理是，當晶體礦物經過放射線照射後，部分電子會脫離本來的位置而掉入晶格缺陷中，假設輻照強度固定，落入晶格缺陷的電子數量會跟時間成正比穩定累積，一旦晶體礦物受到光線照射後便會曬退，晶格缺陷所捕獲的電子會被釋出並釋出螢光。根據上述原理，此方法可藉由實驗室暗房中之儀器給予固定光照並測量樣本於地層中累積的電子數量（等效劑量)，本團隊使用的晶體礦物為石英，在進行測量前須先進行一連串前處理，僅保留細砂中顆粒大小為 62-105 μm 的石英顆粒，並將石英顆粒放置於直徑約 8 毫公尺的圓形鐵片上進行測量（圖 22)。此外 OSL 定年法亦須取得年劑量才得以計算樣本年代，年劑量亦即 1 年的輻照量，利用伽瑪光譜儀可測得每一樣本的放射性同位素濃度，進而推算樣本的年劑量，製備時需先將樣本搗成均質細砂，再平鋪於特殊的測量杯中（圖 23)。OSL 定年法會假設沉積物沉積時有受到足夠光照曬退，此時沉積的礦物中應無累積任何等效劑量，接著開始

被後面沉積的顆粒逐漸覆蓋並累積等效劑量，因此 OSL 定年法能藉由等效劑量與年劑量之關係直接測定沉積物的沉積年代。



圖 18 C-14 定年樣本採樣照。

Fig.18 Collection of samples for C-14 dating from an outcrop.

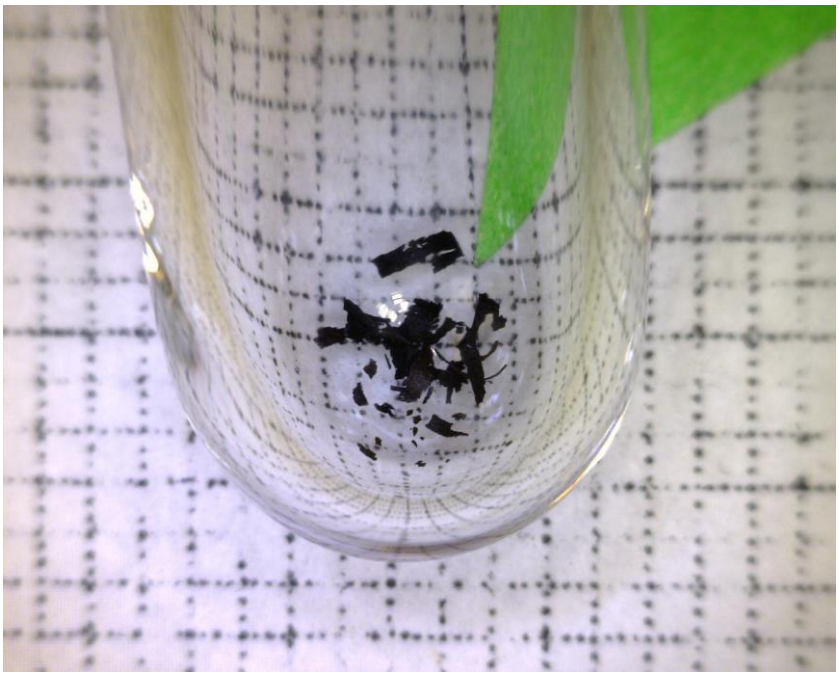


圖 19 C-14 定年碳樣本。C-14 定年樣本經 Beta 實驗室進行前處理後的焦炭（Charcoal）。

Fig.19 C-14 dating: Pieces of charcoal material extracted from one of our samples after sample chemical pretreatment by Beta laboratory.

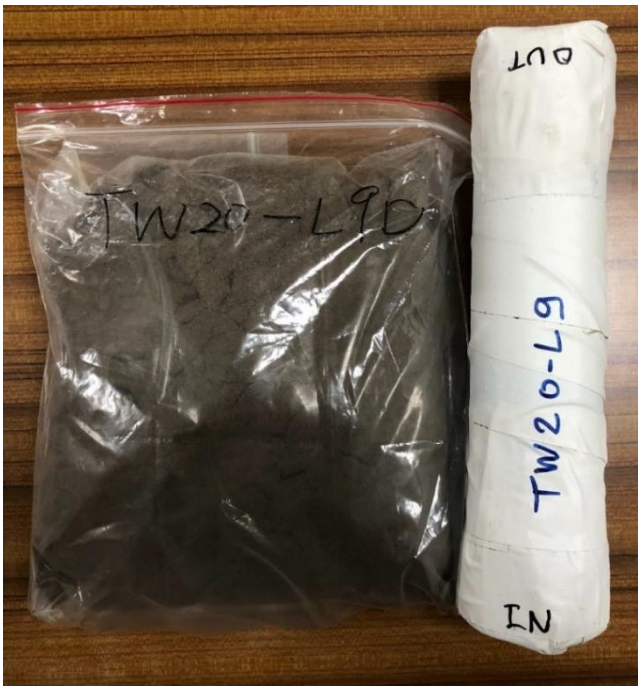


圖 20 OSL 定年樣本照片。左邊為估算年劑量率的可照光樣本，右邊為不可照光樣本，利用此樣本中被掩埋沉積物的石英顆粒測量輻照總量。

Fig.20 OSL dating samples. Left: sample used for estimating the annual dose rate of the sediment. Right: sample protected from light, used for measuring the total irradiation dose acquired since the quartz grains were buried in the sediment.



圖 21 OSL 定年樣本採集工作照。利用重錘將金屬管或 PVC 管敲入垂直壁面採集以細砂為主的不可照光的樣本。

Fig.21 Sampling for OSL dating in the field. Hitting a metal or PVC tube into the vertical outcrop using a hammer to collect fine-sand sediment samples protected from the light.

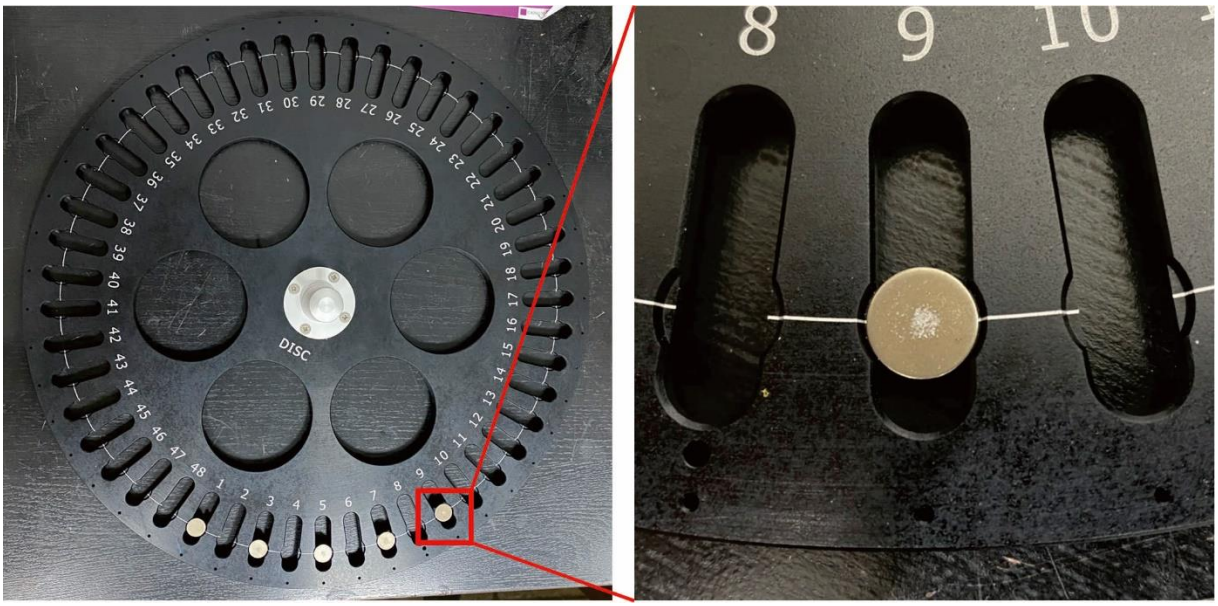


圖 22 於實驗室等校劑量測量的工作照。樣本經前處理後，會將保留下的石英顆粒放置於圓形鐵片進行測量。

Fig.22 Measuring the equivalent dose in the OSL laboratory. The quartz grains, isolated during chemical treatment, are placed on stainless steel discs and loaded in the Risoe TL/OSL reader.



圖 23 使用伽瑪光譜儀測量年劑量的樣本。樣本製備時需將其搗成均質細砂，再平鋪於特殊的測量杯。

Fig.23 Sediment sample ready for the annual dose measurement by gamma-ray spectrometry. The sample is poured homogeneously into a U-shape cylindrical box.

第三章 斷層位置精細調查

3.1 地理位置及地形概述

本案今年兩條標的斷層崙後斷層南段、口宵里斷層皆位於臺南市，崙後斷層為一東北-西南走向的斷層，本案崙後斷層南段調查範圍橫跨東山區、楠西區、玉井區及左鎮區，調查區北側始於臺南市東山區的檳榔宅附近鹿寮溪主流以南，向南延伸至烏山嶺西側，並通過走馬瀨向南延伸至臺南市左鎮區榮和村，口宵里斷層則位於崙後斷層東側約 2~3 公里處，範圍跨過楠西區、玉井區及左鎮區，為一東北-西南走向的斷層，北端始於曾文水庫南側，向南延伸至頂湖一帶，並跨越過曾文溪劉陳灣，向南延伸至左鎮，南端為左鎮斷層所截切。調查區及其附近以數值地形資料產製的地形坡度圖，與高程的分層設色如圖 24，藉由觀察斷層沿線的地形線形崖，或地形異常之處，初步判釋目標斷層可能的位置，以下分別敘述崙後斷層南段及口宵里斷層沿線的細部的地形特徵：

3.1.1 崙後斷層南段

崙後斷層南段從檳榔宅至走馬瀨曾文溪以北的區間，崙後斷層東側為南北走向的西烏山嶺山列，海拔約在 400~800 公尺左右，山脈高程由北向南逐漸變低，山脈南端終止於內豐地區的西北側，於西烏山嶺山列西側與其相鄰的丘陵地，屬於嘉義丘陵的一部分，海拔高程約在 150~180 公尺左右，於檳榔宅至楠西隧道之間，山脈地形與丘陵地形的交界處，具為坡度明顯的變化，為崙後斷層跡的大致位置。此交界處為山脈的前緣，可見崩積物所形成堆積，其中有為數不少的巨形(公尺級)砂岩塊充斥於其中（圖 25），推測這些砂岩塊應為構成山脈嶺脊的糖恩山砂岩自山頂滾落。

曾文溪走馬瀨以南至蘆芝坑溝之間，劉陳灣西側緊鄰曾文溪主流處，為南北走向的山脈，其海拔高程約為 150 公尺，其中高程最高處為口宵里山：海拔高程 184 公尺，山脈的西側較為平坦的區域，為曾文溪的河階地地形，河階地中並無看到受斷層活動影響的階地(圖 26)。

蘆芝坑溝以南則屬新化丘陵的一部分，為惡地地形。崙後斷層最南端約接近菜寮溪的榮和村，河階地與新化丘陵之間有約南北向的地形線形，從地圖視角觀察，河階地與丘陵交界的線形較為曲折，西側河階地中亦有觀察到約 10 公尺高，延伸方向為約 N40°E 方向，與崙後斷層大約同向的地形崖，從空載光達地形來看，此地形崖的線形十分的平直，可追蹤約 600

公尺（圖 27）。

3.1.2 口宵里斷層

口宵里斷層曾文水庫南側至照興地區一帶鄰近曾文溪的西岸，為平坦的河階地形，由空載光達數值地形影像及野外調查結果，鄰近口宵里斷層處，有 2 道大約與斷層方向同向的地形崖，東側的地形崖高程差約 10 公尺，西側的地形崖高程差約 3 公尺（圖 28），其中後者的西側高起處，可觀察到風化度較高的岩層，而東側低處，則只觀察到階地堆積層。照興地區至灣潭地區，緊鄰西烏山嶺山列的東側，海拔高程約為 200~250 公尺之間，其中於灣潭處，曾文溪西岸的階地，有一延伸方向約與口宵里斷層同向的地形崖，崖坡高程差約 40 公尺，此地形崖的線形十分的平直，可追蹤約 700 公尺。內豐地區東側為凸出的山坡地，其中以斗六山標高最高，西側為平坦的河階地，鄰近斷層的階地中，出現數道約南北走向的地形崖，地形崖高程差皆約 3~5 公尺，若以地圖視角觀察這些地形崖，地形崖的線形較為崎嶇（圖 29）。位於曾文溪北岸劉陳灣地區，則為平坦的河階地地形，階地中地形並無受斷層影響的特徵。曾文溪以南則為新化丘陵，為惡地地形，平均地形高程約為 100~150 公尺左右。

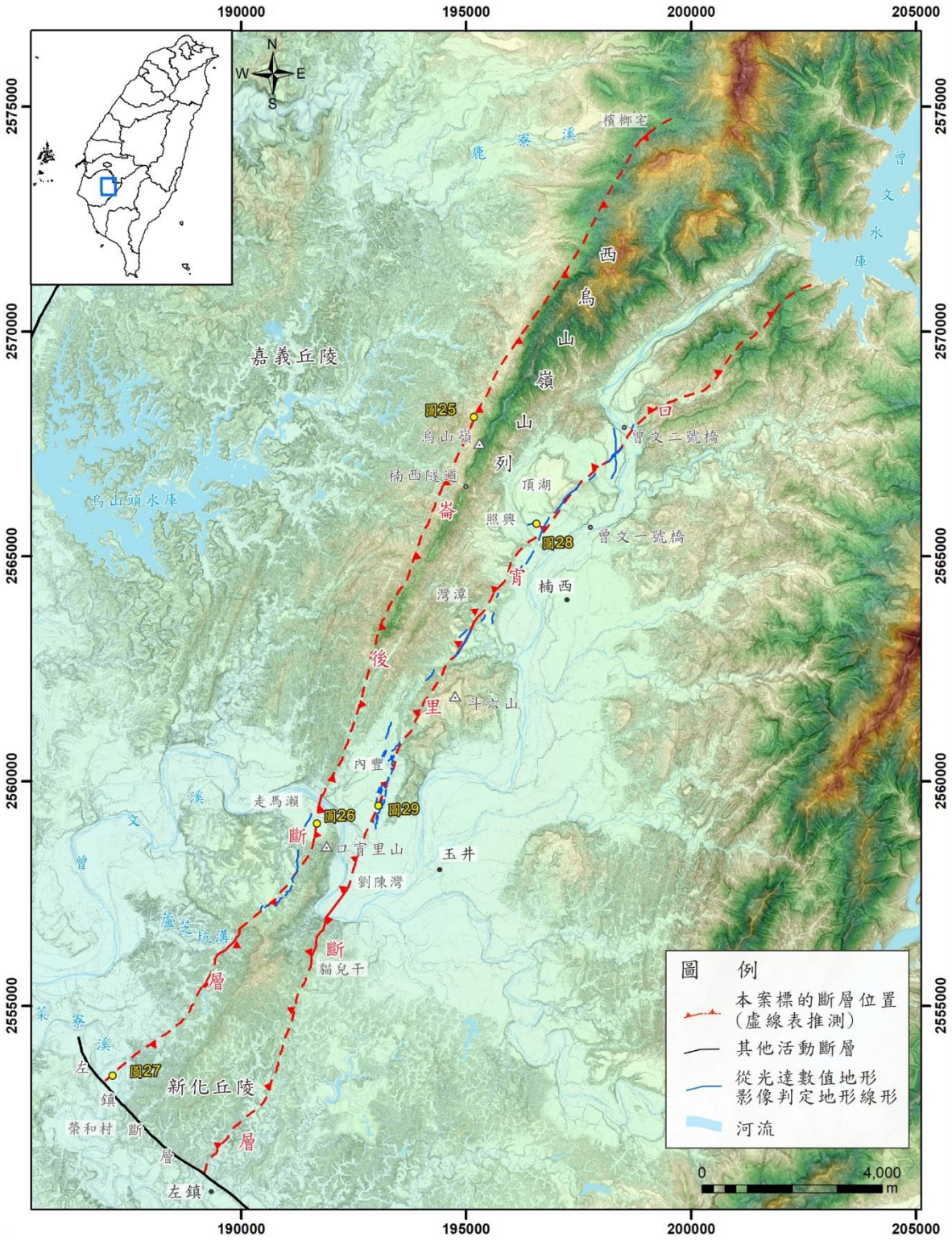


圖 24 崙後斷層南段及口宵里斷層的地形圖（本影像經由經濟部中央地質調查所提供之空載光達數值地形資料產製）。

Fig.24 Topographic map containing the entire fault trace for the southern part of Lunhou fault and Kousiaoli fault（the image was produced from 1m Lidar DTM provided by CGS）.



圖 25 崙後斷層楠西隧道北側地形特徵。(a) 山脈與丘陵交界處（紅色虛線）為崙後斷層跡的大致位置；(b) 山脈與丘陵交界處有大量的崩落的落石。

Fig.25 Topography characteristics at the north end of the Nanxi Tunnel. (a) The location of the Lunhou fault is roughly along the boundary between mountains and hills (red dash line); (b) Falling rocks at the boundary between mountains and hills.

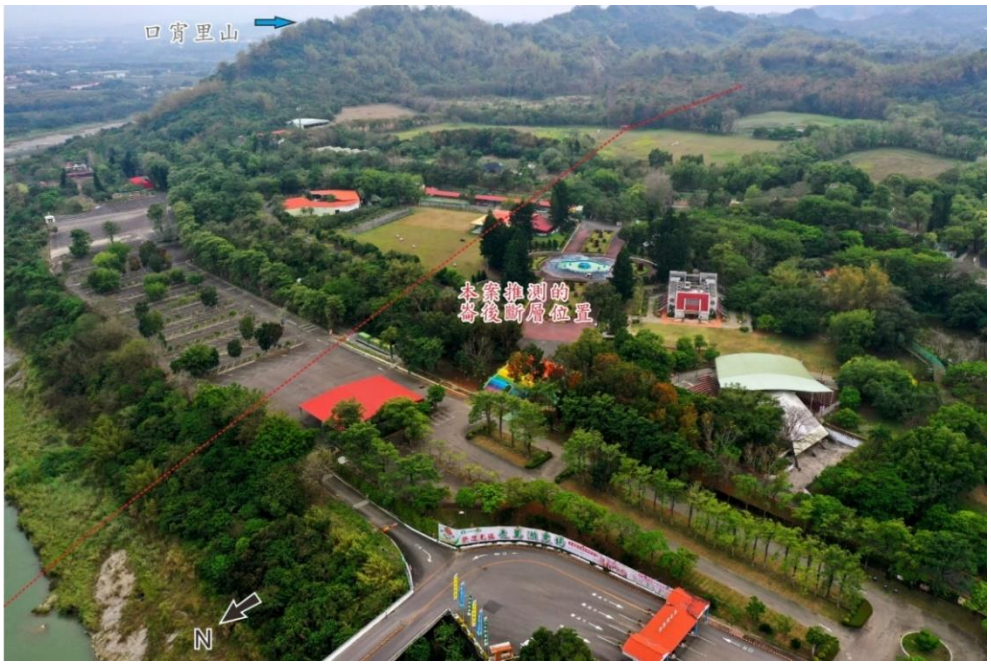


圖 26 嵖後斷層曾文溪南岸山地及河階地。曾文溪南岸的階地於本案推測嵖後斷層經過的位置，地形無明顯隆起成斷層崖的特徵。

Fig.26 Mountain and river terrace (T4b) at the south bank of the Zengwen River at Tsoumalai. There is no obvious scarp along the Lunhou fault referred by the project on the terrace



圖 27 嵖後斷層南端菜寮溪一帶的地形線形。丘陵與河階地交界及河階地中皆有 N40°E 方向的地形線形崖。

Fig.27 Lineament near the Cailiao River, at the southern end of the Lunhou fault: N40°E linear escarpment within a river terrace, near the boundary between hills and terrace



圖 28 照興地區河階地中 2 道約與斷層同向的地形崖。

Fig.28 Two escarpments, nearly parallel to the Kousiaoli fault, on the river terrace in Chaoxing area.



圖 29 曾文溪北側內豐地區地形特徵。(a)內豐地區河階地中有數條約南北走向地形崖；(b)每道地形崖的崖高約 3~5 公尺。

Fig.29 Topography characteristics at Neifeng area, northern side of the Zengwen river, along the Kousiaoli fault.（a）Several N-S escarpments located on the river terrace, Neifeng area；(b) The height of each escarpment is about 3~5 m..

3.2 斷層沿線空拍

本案崙後斷層南段及口宵里斷層沿線空拍，空拍範圍涵蓋斷層參考線兩側至少 1 公里的範圍，完成空拍的面積共計 80.0 平方公里，正射影像套疊之坐標系統採用 TWD97。本案完成崙後斷層南段及口宵里斷層沿線的空拍正射影像分成 5 塊，分別為 Lh&Ksl_01、Lh&Ksl_02、Lh&Ksl_03 、Lh&Ksl_04 及 Lh&Ksl_05 ，各區塊的影像分布範圍如圖 30，空拍範圍內共佈設 49 個地面控制點，影像接合後各區塊影像地面解析度為 8.47~10.47 公分之間 （表 9 及表 10），影像平面誤差分別為 X：1~5 公分之間；Y：1~5 公分之間，Z：24~47 公分之間，各區影像之精度報表、平面誤差資訊詳見光碟附錄一。

崙後斷層南段空拍的範圍始於烏山嶺北側約 1 公里處，南端拍攝至與左鎮斷層相交之處，楠西隧道以北西烏山嶺山脈的西側多為植被所覆蓋，西烏山嶺山列的東側偶有東西向的崩塌地有露頭出露，楠西隧道至曾文溪之間西烏山嶺山列的西側，有幾處出露較大片的露頭，從空照判釋並未發現到有斷層帶的露頭，於曾文溪走馬瀨附近的河床面有較大片且完整的露頭出露，走馬瀨以南至蘆芝坑溝之間，階地大部分為果園及住宅，道路旁的壁面偶有露頭出露，蘆之坑溝剖面及其南側一公里範圍內的果園或溪溝旁的壁面，有許多出露較為連續的露頭，蘆芝坑溝以南的丘陵地為惡地地形，有多處有露頭出露。

口宵里斷層空拍的範圍始於曾文二號橋，南端拍攝至與左鎮斷層相交之處。曾文溪曾文二號橋的河床面，多為河道沉積物，但河道兩側的坡面或峭壁，有較為連續的露頭出露；曾文二號橋以南至照興地區的階地，多為耕種地及民房。曾文一號橋的南側河床多為河道沉積物，偶有出露較完整的露頭。照興地區的南側灣潭地區，大部分地表面為植被所覆蓋，偶有曾文溪分支出來的東西向支流，這些支流靠近東側河階地處，河床面大多已建蓋了護坡，無露頭出露，靠近西側山區的支流河道，則有較完整的露頭出露。再往南側的內豐地區，東側以斗六山為主的隆起山坡，偶有崩塌的岩壁面可看到岩層出露，西側的河階地則多為耕地及民房，無露頭出露。曾文溪河床劉陳灣處則有較大片的露頭出露，曾文溪劉陳灣以南新化丘陵的範圍，則為惡地地形，多處有較大片的露頭出露。

本案綜合套疊 1 公尺光達數值地形的地形陰影圖及空拍正射影像，大概推估斷層可能的位置，並藉由斷層位置空照上的資訊，作為規劃野外調查的依據，若露頭處為人員可到達處，則會接近並進行詳細地質調查，若為人員不可到達處，利用空拍機進入，以不同的拍攝角度，進行野外記錄及判釋。

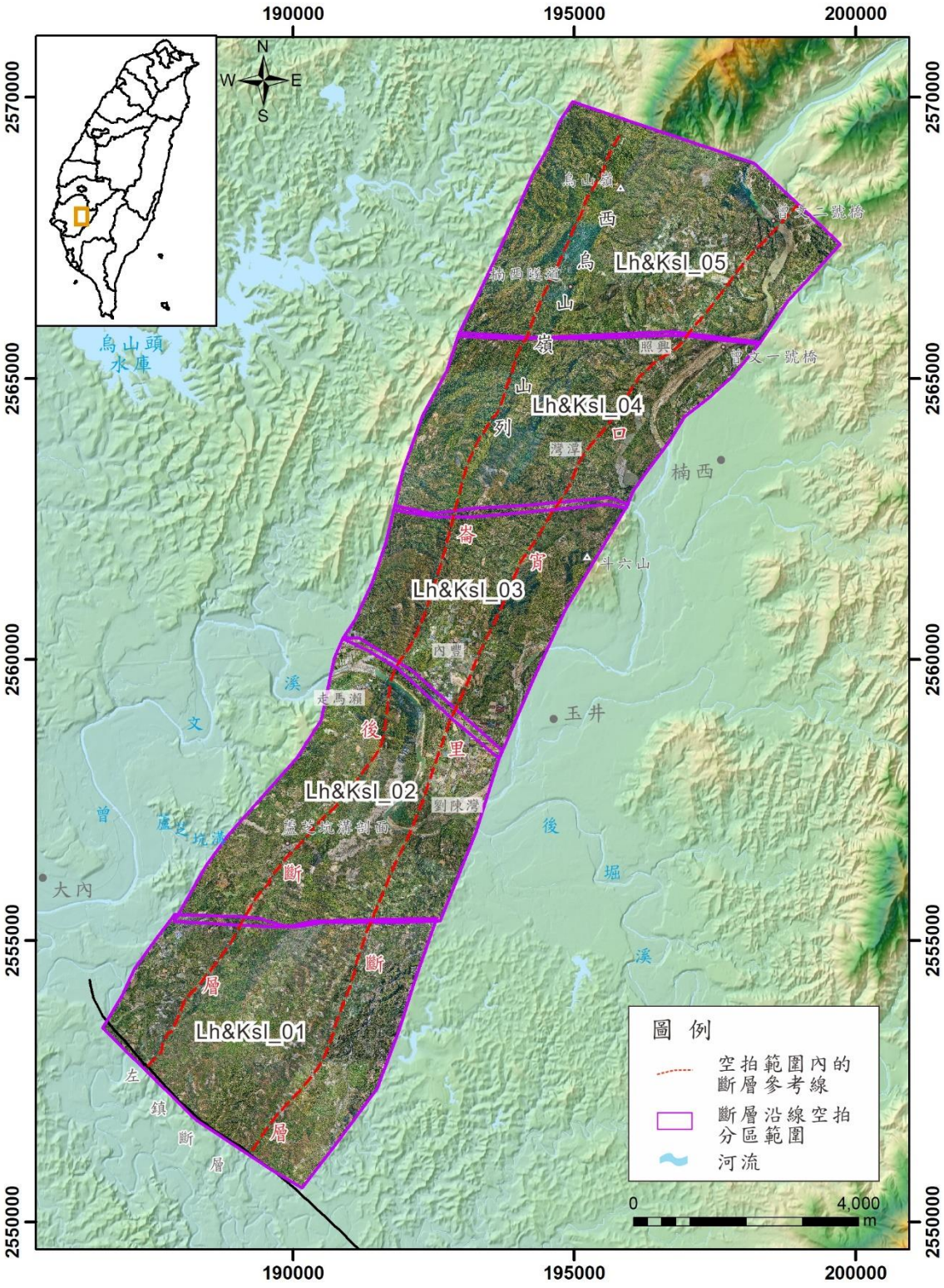


圖 30 崙後斷層南段及口宵里斷層影像資料分區索引圖。

Fig.30 Index map of aerial images along the southern part of the Lunhou and Kousiaoli faults.

表 9 斷層沿線空拍各區空拍影像之地面解析度整理。

Table 9 Ground sampling distance（GSD）of each aerial image along the two target faults.

編號	地面解析度 （cm）
Lh&Ksl_01	8.77
Lh&Ksl_02	8.53
Lh&Ksl_03	8.47
Lh&Ksl_04	10.37
Lh&Ksl_05	10.47

表 10 崙後斷層南段及口宵里斷層沿線各區空拍影像地面解析度擷取自報表資訊。

Table 10 GSD information excerpted from the report of each aerial image along the southern part of the Lunhou fault and Kousiaoli fault.

Lh&Ksl_01

Project	LK001_2
Processed	2020-04-24 08:14:04
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	8.77 cm / 3.45 in
Area Covered	22.461 km^2 / 2246.0787 ha / 8.68 sq. mi. / 5553.0541 acres

Lh&Ksl_02

Project	LK002_V2
Processed	2020-05-08 10:49:39
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	8.53 cm / 3.36 in
Area Covered	20.610 km^2 / 2061.0199 ha / 7.96 sq. mi. / 5095.5271 acres

Lh&Ksl_03

Project	LK003_V2
Processed	2020-04-27 16:13:27
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	8.47 cm / 3.34 in
Area Covered	15.967 km^2 / 1596.7217 ha / 6.17 sq. mi. / 3947.6275 acres

Lh&Ksl_04

Project	LK004_V2
Processed	2020-04-24 20:31:39
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB), FC220_4.7_4000x3000 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	10.37 cm / 4.08 in
Area Covered	21.482 km^2 / 2148.1786 ha / 8.30 sq. mi. / 5311.0125 acres

Lh&Ksl_05

Project	LK005_V2
Processed	2020-05-18 22:24:10
Camera Model Name(s)	FC220_4.7_4000x3000 (RGB), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	10.47 cm / 4.12 in
Area Covered	24.473 km^2 / 2447.2604 ha / 9.45 sq. mi. / 6050.4423 acres

3.3 地質背景及沿線地質調查

崙後斷層南段及口宵里斷層鄰近的區域地質圖如圖 31，於玉井地區跨兩條斷層的地質剖面如圖 32，崙後斷層為逆移斷層，呈東北-西南走向（中國石油公司，1986），崙後斷層位態為 N26°E，傾角 20°E（陳文山等，2003），崙後斷層南段東側（上盤），主要出露的地層包含糖恩山砂岩、鹽水坑頁岩、隘寮腳層、茅埔頁岩與竹頭崎層，為中新世晚期至上新世的地層，崙後斷層西側（下盤），主要出露的地層包含濁水溪層、六重溪層、崁下寮層及二重溪層，為上新世晚期至更新世的地層（林啟文等，2007）；口宵里斷層為一向西傾斜的背向逆斷層，上盤為竹頭崎層、北寮頁岩及玉井頁岩，下盤的岩層為隘寮腳層、茅埔頁岩及竹頭崎層（中國石油公司，1986），斷層東側岩層傾角較低，為 25°以下向東傾斜，斷層西側岩層傾角較高，為 60°~80°向東傾斜（何信昌等，2005）。本案沿崙後斷層南段及口宵里斷層完成斷層沿線調查，以下兩小節分別敘述兩條斷層由北至南的調查結果及彙整資料，本案與斷層相關專有名詞之定義如表 11，若以下報告書中有出現與斷層相關專有名詞，也請參閱此表。

表 11 本案與斷層相關專有名詞之定義。

Table 11 Definition of the terms relating to fault zones used in this project.

中文地質名詞	英文地質名詞	定義
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，厚度通常僅數公釐，但也可達公分級。
剪裂帶	shear zone	由許多的剪切帶，或具可察覺錯移量或不具可察覺錯移量的剪破裂(shear fractures) 所組成的條帶狀構造。
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，且兩側邊界以斷層與岩層分隔，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。

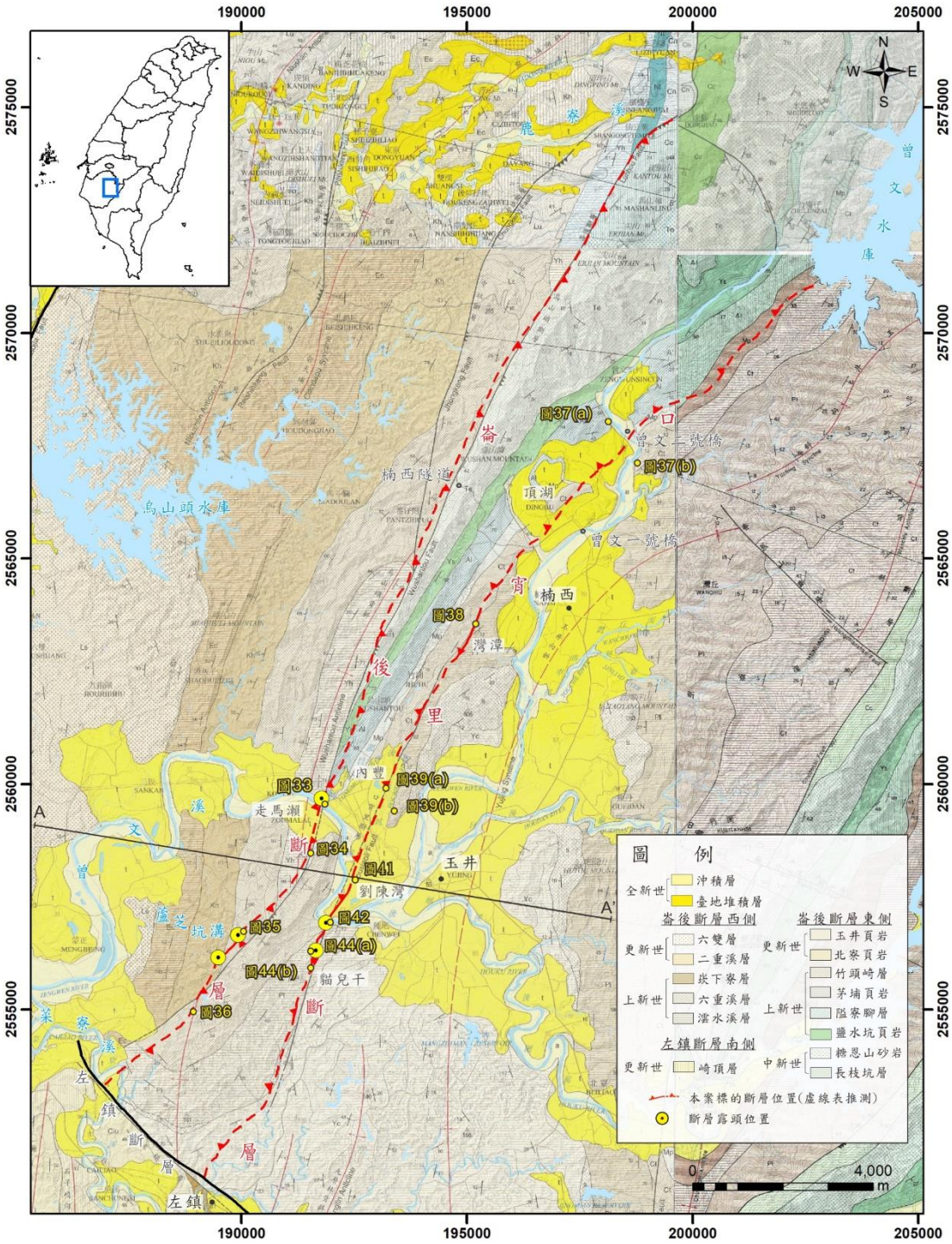


圖 31 崙後斷層南段及口宵里斷層沿線區域地質圖，底圖引自地調所五萬分之一地質圖。(何信昌等，2005；宋國城等，2000；邵屏華等，2009；張憲卿等，2008)。

Fig.31 Geological map containing the entire fault trace of the south part of Lunhou fault and Kousiaoli fault. The base maps are geological maps in scale of 1 to 50000 published by CGS. （Ho et al., 2005; Sung et al., 2000; Shao et al., 2009; Chang et al., 2008）

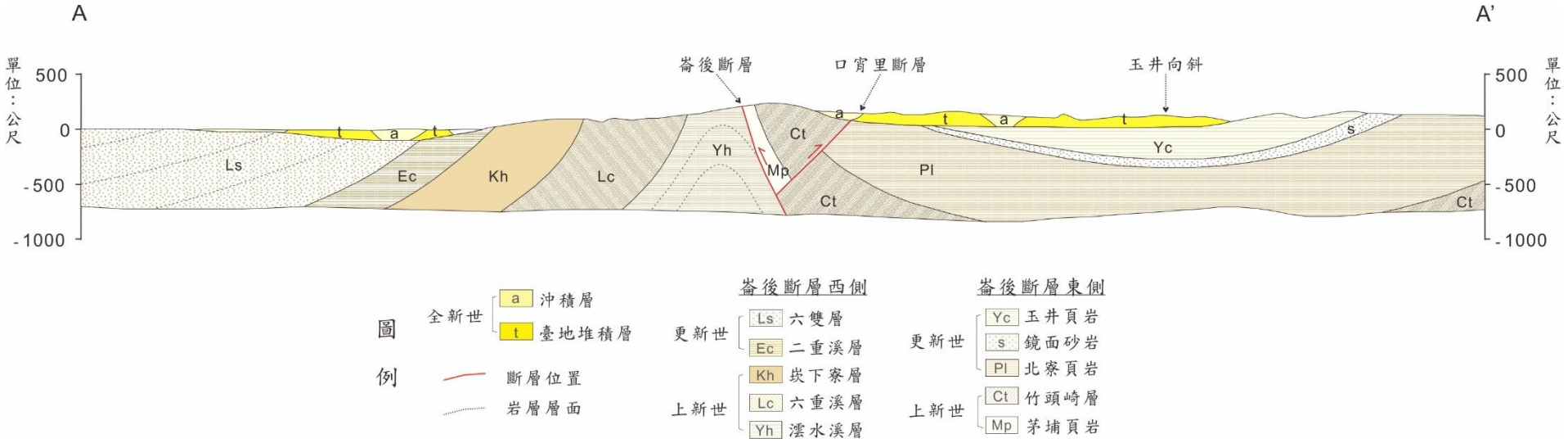


圖 32 玉井地區跨崙後斷層南段及口宵里斷層地質剖面圖（改繪自何信昌等，2005）。剖面位置請參照圖 31。

Fig.32 Geological profile across the southern part of the Lunhou fault and Kousiaoli fault, Yujing area (modified from Ho et al., 2005). Profile location is shown on Fig. 31.

3.3.1 崙後斷層南段

（1）曾文溪以北

崙後斷層南段曾文溪以北的區間未出現斷層露頭，於西烏山嶺山脈的西側，沿南北向的鄉道公路有數條東西走向的溝渠，溝渠兩側及道路邊坡皆做了防護坡，無發現露頭出露，西烏山嶺山脈東側部分溪溝有露頭出露，層面位態約為 N33°E，傾角 81°E，西烏山嶺山脈西側的丘陵地，岩層位態的傾角約為 30°~50°向西傾斜。

（2）走馬瀨-曾文溪河床

崙後斷層於曾文溪出露的地方位於走馬瀨橋北端東側的小溝，小溝的南北兩面皆有露頭出露，兩面的露頭高度約 25 公尺，寬度約 100 公尺，兩側的露頭的上方皆可看到覆蓋了厚度約 3~10 公尺的河階堆積礫石層，北面露頭中觀察到寬度約 15~20 公尺的斷層帶（fault zone），南面露頭只出露了斷層帶的東側邊界，斷層帶東側岩性為中層至薄層泥質砂岩與頁岩互層，岩層傾角約為 70°向西傾斜，斷層帶西側岩性為厚層泥岩偶夾薄層砂岩，岩層傾角約為 80°向東傾斜（圖 33）。

（3）曾文溪以南至蘆芝坑溝

曾文溪走馬瀨橋以南至蘆芝坑溝之間，所找到露頭岩性為厚層泥岩偶夾薄層細粒砂岩，岩層傾角約為 40°~70°向東南傾斜，於走馬瀨南側的小徑路面裂開處，可觀察到岩層被剪切帶（shear band）截斷的現象（圖 34）。

（4）蘆芝坑溝剖面

蘆芝坑溝剖面位於走馬瀨南側約 3.5 公里處，此處出露約 800 公尺寬的剖面，剖面東側 300 公尺寬的範圍，岩性為中層砂岩與頁岩互層，露頭岩層完整，未受斷層擾動的跡象。剖面西側 500 公尺寬的範圍，岩性為厚層泥岩偶夾中厚層砂岩，偶有向東傾斜的剪裂帶（shear zone），剪裂帶厚度約為數十公分至公尺等級。露頭的最西側可觀察到密集的剪裂帶，剪裂帶中有 2~3 組的剪切帶，剪切帶傾角約為 26°~30°向東傾斜，剪裂帶的上界有近乎垂直且被截斷、折彎的砂岩層（圖 35）。

（5）蘆芝坑溝以南至菜寮溪

蘆芝坑溝以南的丘陵地，岩性多以厚層泥岩偶夾薄層砂岩為主，鄰近崙後斷層處可觀察到露頭中有向東傾斜約 40˚~50˚的剪裂帶，剪裂帶寬度約數十公尺厚，剪裂帶由數條剪切帶構成，剪裂帶附近的岩層大多呈高傾角（圖 36），靠近左鎮地區，則無明顯的斷層露頭或剪裂帶露頭出露。

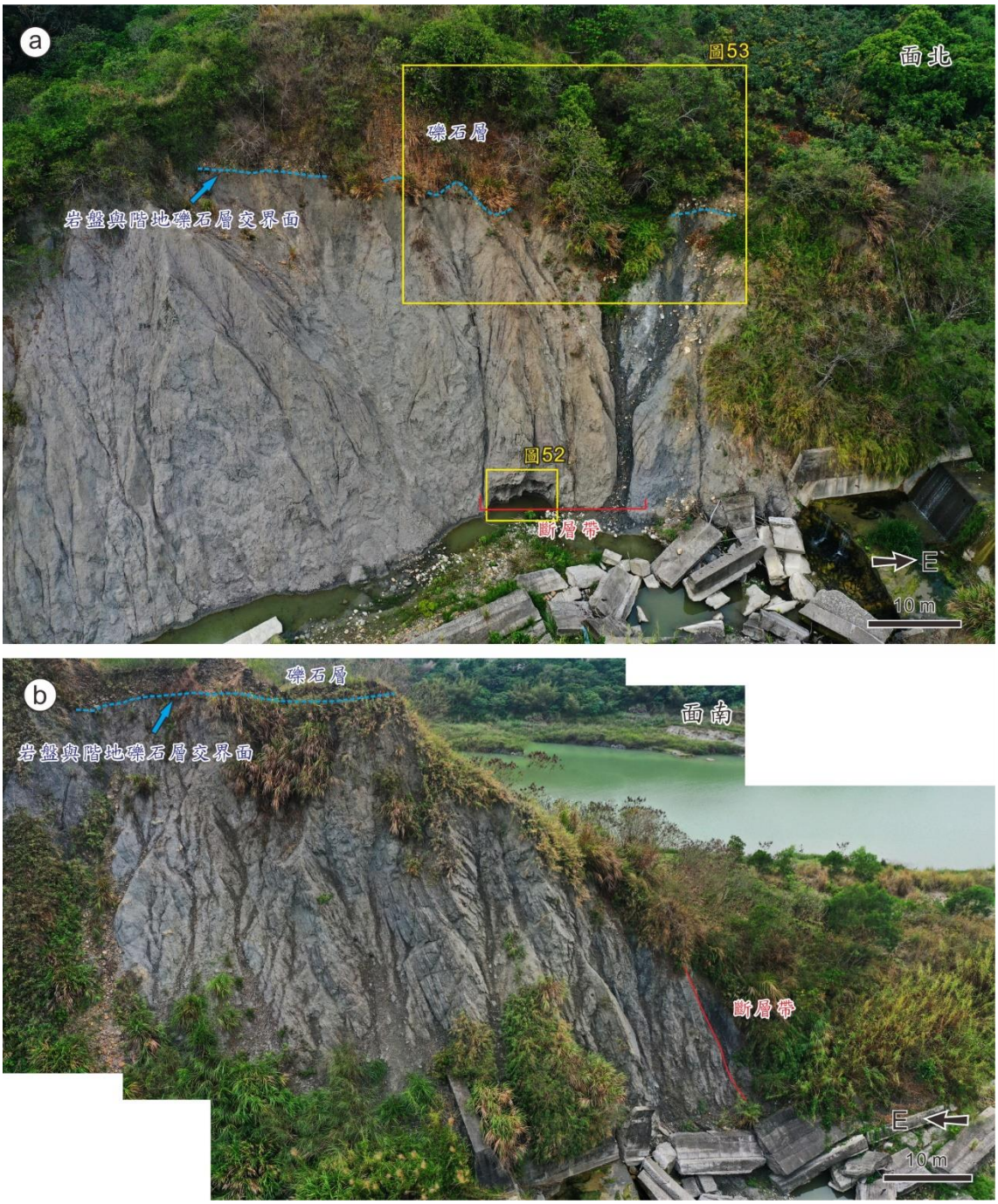


圖 33 曾文溪走馬瀨橋北端東側的斷層帶露頭。(a) 北面露頭可觀察到約 15~20 公尺厚的斷層帶；(b) 南面露頭只出露斷層帶東側的界面，斷層帶東側砂岩層位態約 70°向西傾斜。

Fig.33 Fault outcrop located east of the north end of the Tsoumalai bridge. (a) A 15~20-m-wide fault zone can be identified on the northern wall of the outcrop (red bracket)；(b) The outcrop on the southern wall only shows the east boundary of the fault zone. The dipping angle of the sand layers east of the fault zone is 70° to west.



圖 34 走馬瀨農場南方裂開路面的露頭。剪切帶（紅色線處）截切過薄砂岩層。

Fig.34 Outcrop on the cracked road, south of Tsoumalai farm. The shear band（red line）cut through the thinly bedded sandstone.



圖 35 蘆芝坑溝剖面露頭。(a) 蘆芝坑溝出露約 700 公尺寬的完整露頭面；(b) 露頭西側有剪裂帶中含大量的剪切帶，且有被褶曲、截斷的砂岩層；(c) 露頭中段厚層泥岩偶夾砂岩層，偶有出現數公尺厚向東傾斜的剪裂帶。

Fig.35 Outcrop at Luzhikeng creek. (a) 700-m-wide outcrop exposed at Luzhikeng creek; (b) Numerous shear bands cut folded sand layers on the western part of the outcrop; (c) Thick-bedded mudstone with sand layer, and few-meters thick, east-dipping shear zone in the middle part of outcrop.

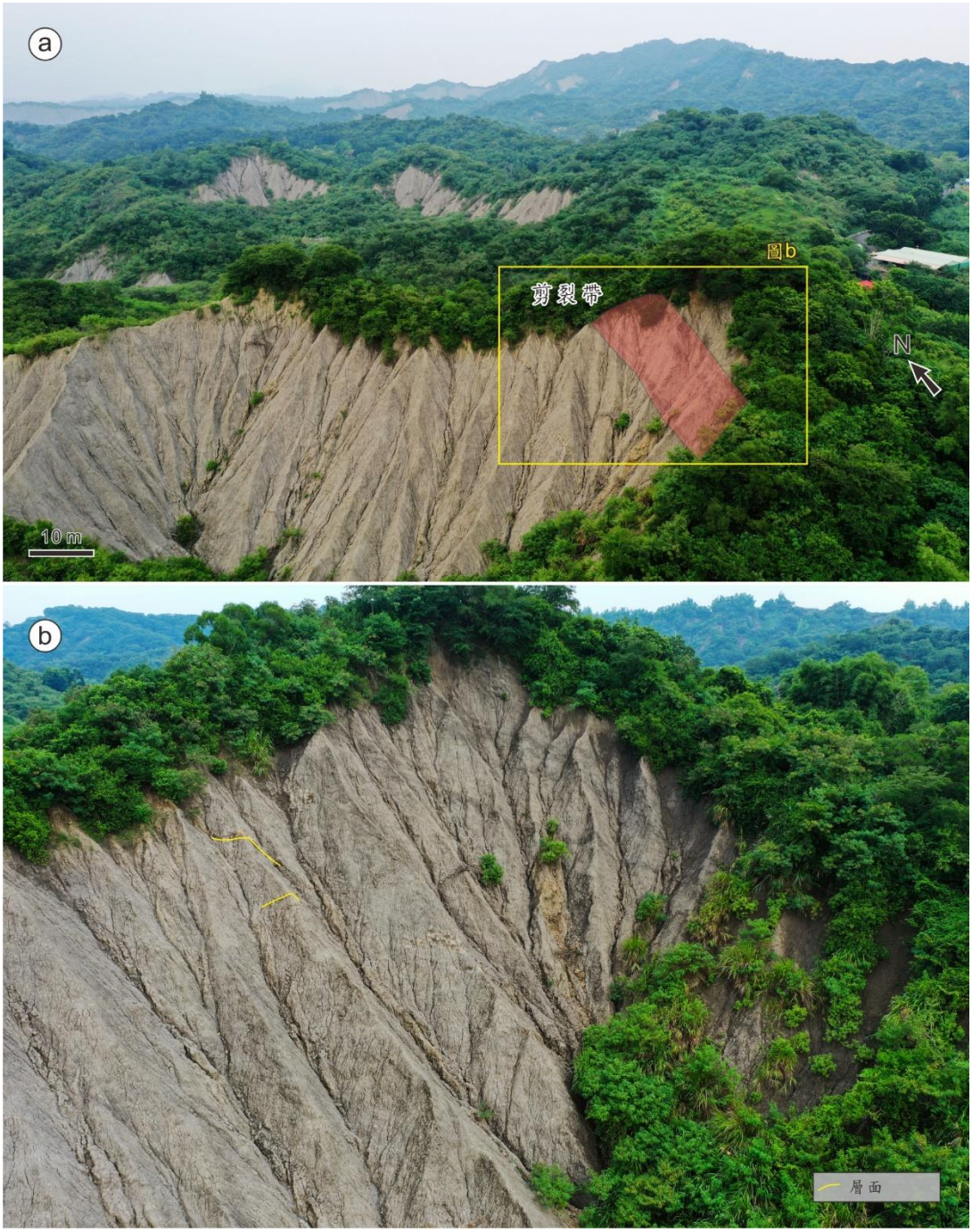


圖 36 蘆芝坑溝南側丘陵地的剪裂帶露頭。（a）鄰近崙後斷層的位置皆發現數公尺厚、向東傾斜的剪裂帶；（b）剪裂帶附近的砂岩層呈高傾角。

Fig.36 Shear zone on the hills, south of Luzhikeng creek. （a）A few-meters-wide East-dipping shear zone can be found near the Lunhou fault.（b）The dipping angle of sand layer near the shear zone is steep.

3.3.2 口宵里斷層

（1）曾文水庫管理處

曾文溪曾文二號橋東西兩側皆有露頭出露，曾文二號橋東側約出露約 170 公尺寬、100 公尺高的露頭，露頭岩性為厚層或中層細粒砂岩與頁岩互層，岩層位態約為走向 N76°W，傾角 22°S，曾文二號橋的西側壁面約 70%為植被所覆蓋，未被植被覆蓋的區域可觀察到岩層岩性為中層至薄層砂岩與頁岩互層，層面視傾角約為 40°~60°向東傾斜，部分岩層有被褶曲的現象（圖 37）。

（2）照興、灣潭地區

灣潭地區有數條曾文溪東西走向的支流及小溝，其中位於具明顯平行於斷層的地形崖北側小溪溝，出露較良好的露頭，位於地形崖坡的附近，出露的兩處露頭層面差異十分明顯，兩處露頭之間相距約 20 公尺，中間被植被覆蓋。西側露頭岩性為厚層泥岩偶夾薄層砂岩，層面的位態約為 N43°E，傾角 71°E；東側露頭可發現一道較明顯界面，此界面以東的岩性為中層至厚層泥質砂岩偶夾薄層泥岩，層面的位態約為 N5°E，傾角 23°E，傾角較為平緩，界面西側岩體存在較密集的裂面，但未發現明顯的剪切構造，此界面約略位於地形崖高程變化處（圖 38）。

（3）內豐地區

此區東側斗六山小徑及溪溝切過的地方偶有露頭出露，岩性大部分為中層至厚層細粒砂岩偶夾薄層頁岩層，層面的位態約為 N36°E，傾角 36°E，西側內豐地區則為平坦的河階地，河道下切的侵蝕小溝只可看到河階礫石層及河道沉積物，無岩盤露頭出露（圖 39）。

（4）曾文溪河岸兩側

曾文溪河岸劉陳灣地區北岸皆有較為完整的露頭出露（圖 40），北岸的河階地東西向廢棄河道處出露較大片的露頭，露頭西側出露厚層泥岩偶夾薄層砂岩，層面位態約為走向 N46°E，傾角 67°E，露頭的東側為青灰色厚層細粒砂岩夾中厚層棕色砂岩，棕色砂岩層中富含大量的貝類化石，岩層面的位態約為走向 N35°E，傾角 22°E（圖 41）。

曾文溪南岸岩壁出露寬約 1 公里、高度約 50 公尺的完整露頭，此處可觀察到完整的斷層

露頭，斷層約 40˚向西傾斜，露頭中斷層帶寬度約 32 公尺，斷層帶內的剪切帶組構顯示口宵里斷層為一逆斷層（圖 42a），斷層帶東側的界面可明顯觀察到斷層截切過階地礫石層（圖 42b），斷層西側上盤岩性為厚層泥岩偶夾薄層砂岩，層面約 70˚向東傾斜，露頭的東側下盤處為青灰色厚層細粒砂岩夾中厚層細粒砂岩，層面約 20˚向東傾斜。

（5）貓兒干地區

於曾文溪南岸口宵里斷層露頭南側約 700 公尺至 1 公里處的丘陵地貓兒干地區，出露大量的露頭（圖 43），其中，有觀察到兩處層面傾角驟變的露頭，距離曾文溪河岸約 700 公尺，露頭中可觀察到約 30˚~40˚向西傾斜的斷層，斷層東側出露的岩性為厚層泥岩，剪裂帶西側出露的岩性為薄層砂岩與頁岩互層，岩層的傾角相當平緩（圖 44a），此處岩性變化明顯，為本案判釋口宵里斷層位置，距離曾文溪河岸約 1 公里處，約在前述露頭的西南側，以空拍機追蹤觀察，可觀察到一條小斷層，斷層兩側岩性為泥岩層夾薄砂岩層，斷層東側層面傾角較緩，西側層面傾角較陡，約為 50˚~70˚向東傾斜（圖 44b）。

（6）貓兒干地區以南

貓兒干地區以南的露頭，斷層西側多為厚層泥岩偶夾薄砂岩層，層面傾角約為 50˚~70˚向東傾斜，斷層東側層面層較為平緩，傾角約為 10˚~30˚向東傾斜，鄰近口宵里斷層處，露頭中可看見零星的剪切帶，未發現明顯的斷層露頭及較厚的剪裂帶露頭。



圖 37 曾文二號橋附近露頭。(a) 曾文二號橋東側出露岩層的層面是平緩的；(b) 曾文二號橋西側岩層傾角約 40˚~60˚向東傾斜，且有受到褶曲的現象。

Fig.37 Outcrops near the Zengwen bridge No. 2. (a) The bedding plane on the eastern side of Zengwen bridge No. 2 is gentle；(b) The dip angle of folded bedding on the western side of Zengwen bridge No. 2 is about 40˚~60˚to the east.



圖 38 灣潭地區露頭。(a) 露頭的西側岩層較陡；(b) 距離東側 20 公尺處的露頭，東側岩層較為平緩，西側有較多的裂面，並無觀察到明顯的剪切構造。兩處露頭之間被植被覆蓋。

Fig.38 Outcrops in Wantan area. (a) The bedding dip angle on the western side of the outcrop is steep; (b) 20 meters further east, the bedding dip angle is shallow and the outcrop is densely fractured on the west side. The lack of outcrop between the two photographs prevented us from characterizing the transition between these dip domains.

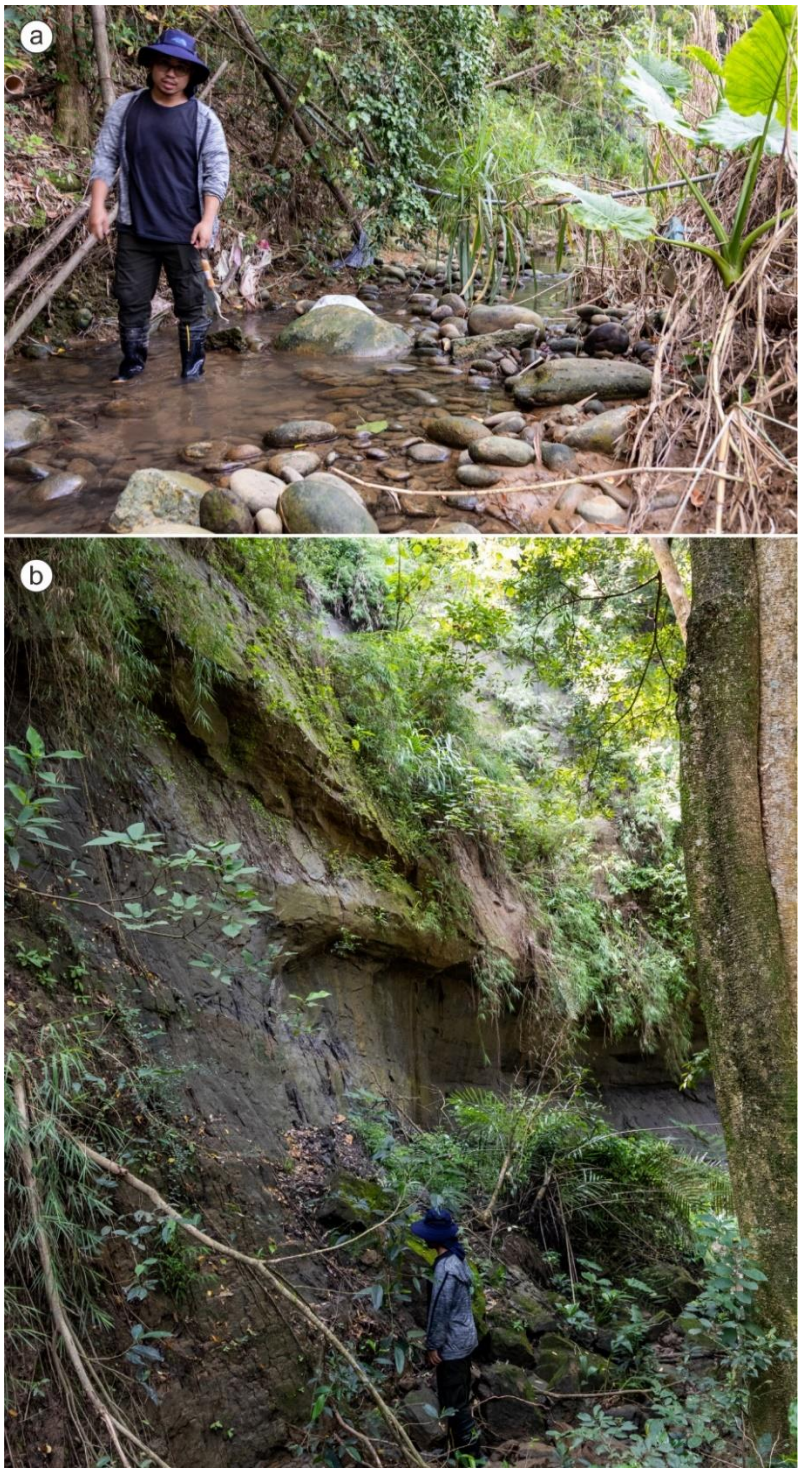


圖 39 內豐地區露頭狀況。(a) 內豐西側河階地之中的小溪溝並無露頭出露；(b) 內豐地區東側出露傾角約 30˚向東傾斜的岩層。

Fig.39 Outcrop in Neifeng area. (a) No outcrop can be found in the stream, in the western part of Neifeng area；(b) The bedding dip angle is about 30˚ to the east in the eastern part of Neifeng area.



圖 40 劉陳灣地區曾文溪兩岸露頭狀況。(a) 曾文溪南北兩岸皆有完整露頭出露；(b) 曾文溪南岸壁面密集的斷層帶帶寬度約 32 公尺。

Fig.40 Outcrops on both sides of the Zengwen River, in Liuchenwan area. (a) Extensive outcrops across or near the Kousiaoli fault can be found in this area；(b) The width of the Kousiaoli fault zone is about 32 m.



圖 41 劉陳灣廢棄河道上露頭狀況。(a) 東側岩層傾角較為平緩，約 20˚向東傾斜；(b) 西側岩層傾角較陡，約 60˚~70˚向東傾斜。

Fig.41 Outcrop along an abandoned branch of the river at Liuchenwan. (a) The dipping angle is 20˚ to east on the eastern part of the abandoned river；(b) The dipping angle is 60˚~70˚ to the east on the western part.

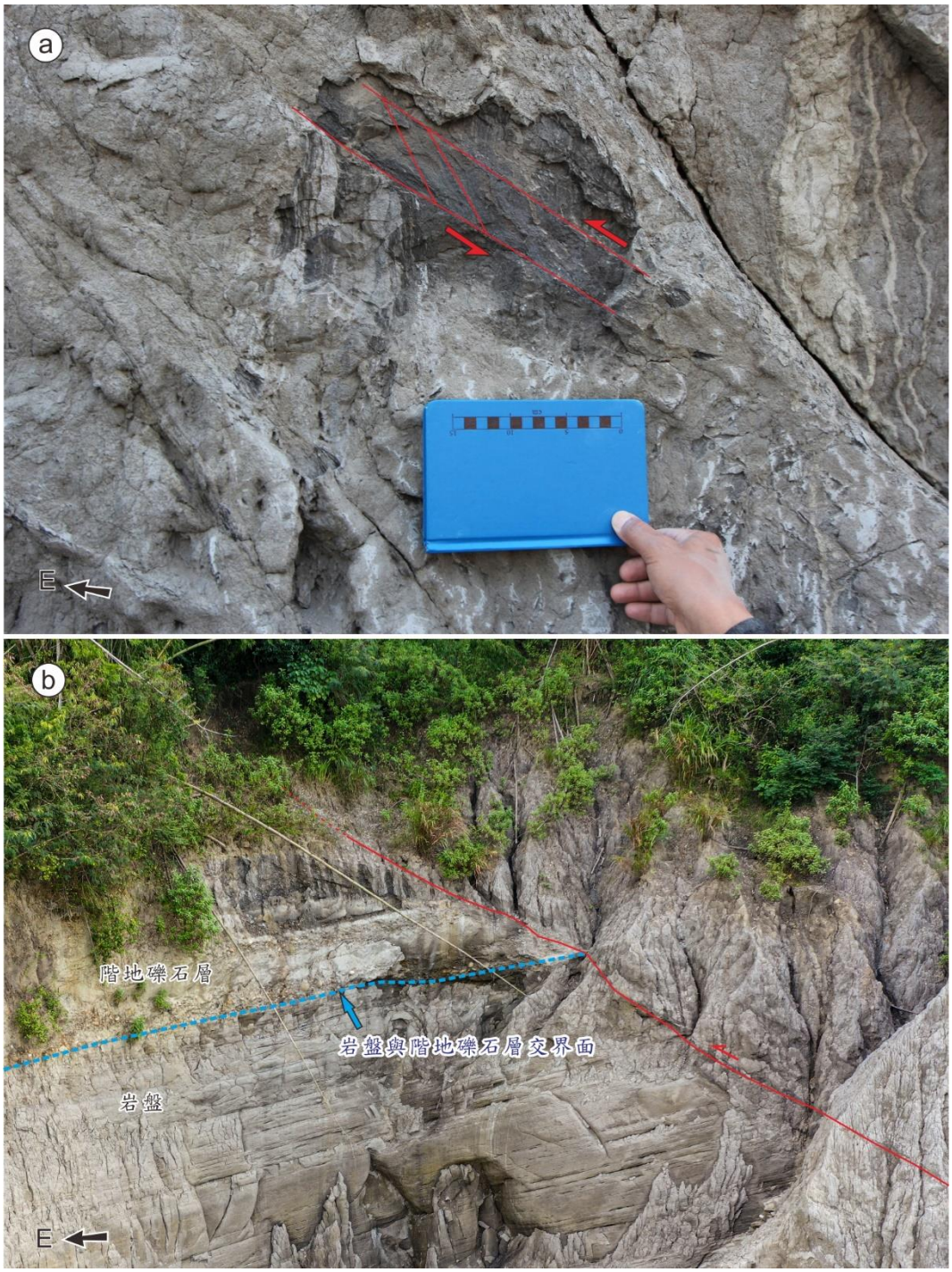


圖 42 口宵里斷層露頭中構造特徵。(a) 斷層帶中的剪切構造顯示斷層逆移；(b) 斷層帶東側的界面截穿河階地礫石層。

Fig.42 Structural characteristics of the Kousiaoli fault zone at the Liuchenwan outcrop. (a) The fault zone shows thrust shear sense；(b) The eastern branch fault of the fault zone cut through the conglomerate layer.

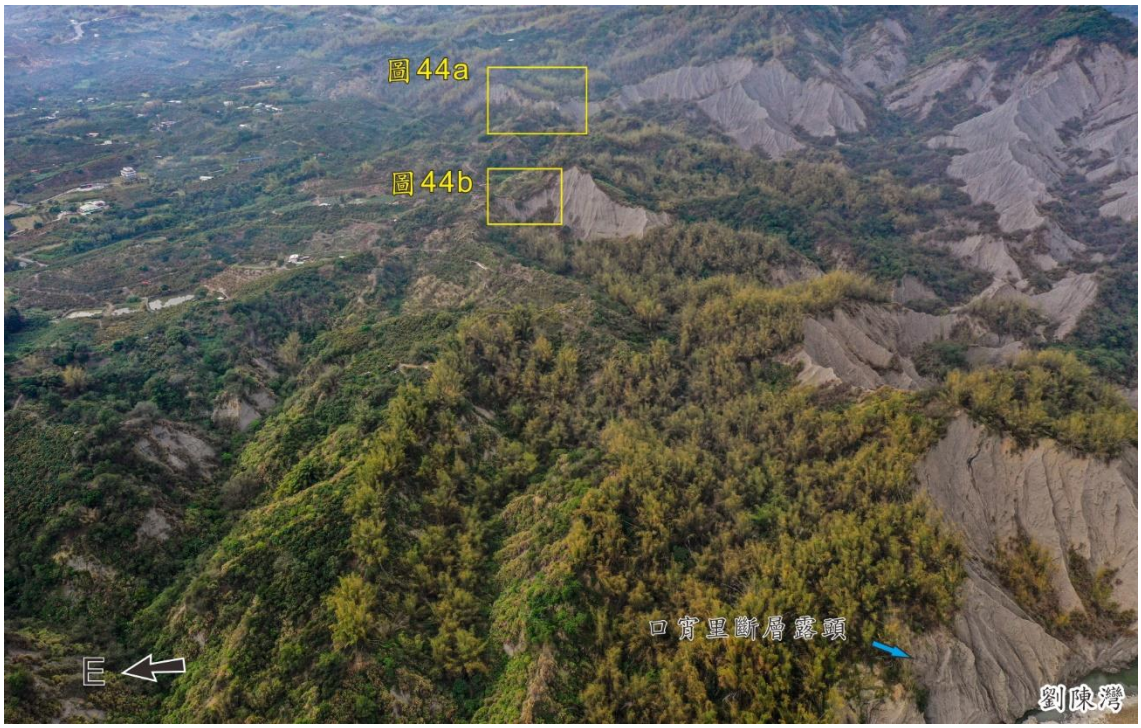


圖 43 劉陳灣南側的貓兒干地區露頭狀況。曾文溪南側出露大量的露頭，其中有兩處可觀察到層面位態驟變。

Fig.43 The outcrop in Mao-er-gan, south of Luichenwan. There are amounts of outcrop at the southern side of the Zengwen River. Suddenly-changed bedding outcrop can be observed at two sites.



圖 44 貓兒干兩處岩層位態驟變的露頭。（a）露頭中出現一向西傾斜的斷層；（b）小斷層西側岩層呈高傾角，東側岩層呈低傾角。

Fig.43 Two outcrops in Mao-er-gan that show sudden changes in bedding attitude.（a）West-dipping fault on the outcrop；（b）The dipping angle is low at east of minor fault while is high at west.

第四章 斷層特性及斷層帶分析

4.1 曾文溪沿岸高精度（高解析度）空拍影像

本案高精度（高解析度）影像空拍主要範圍位於曾文溪沿岸走馬瀨至劉陳灣一帶，及蘆芝坑溝附近露頭出露良好處，此區域除了露頭出露良好之外，高精度空拍的範圍更跨越崙後斷層南段及口宵里斷層，將此區作為高精度（高解析度）影像空拍之目標區域，將有助於本案兩條斷層之構造特性之研究，故以此區為做為高精細（高解析度）影像空拍的目標。本案完成之曾文溪沿岸空拍影像面積大小為 204 公頃，正射影像套疊之坐標系統採用 TWD97，影像的範圍如圖 45。編號 ZengwenR_01 影像地面解析度（GSD）為 5.36 公分，RMS〔X〕及 RMS〔Y〕的誤差分別為 3 公分及 1 公分，影像之精度報表、平面誤差資訊詳見光碟附錄二。

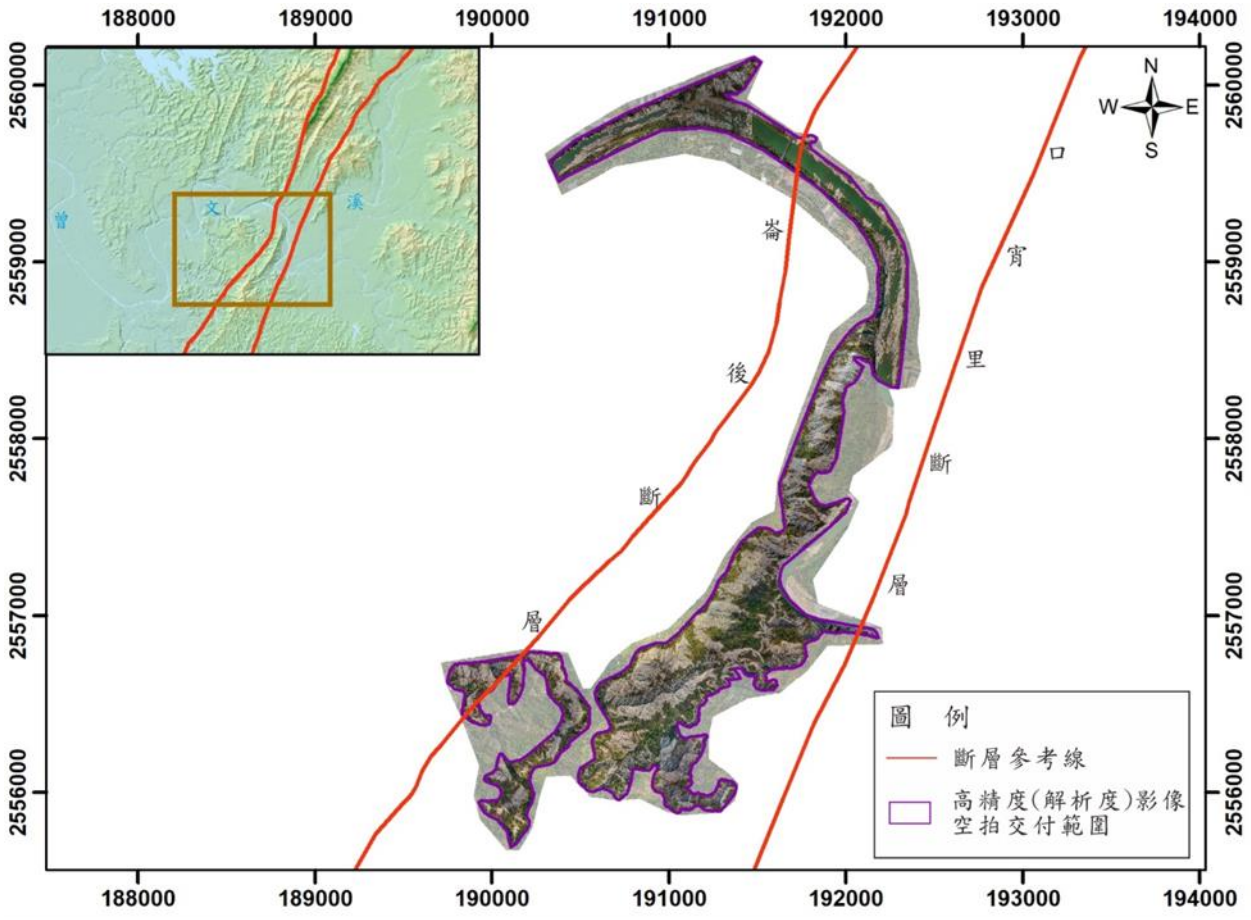


圖 45 高精度（高解析度）空拍影像分布圖。

Fig.45 Index map of high-resolution aerial images.

表 12 高精度（高解析度）影像空拍各區影像地面解析度。

Table 12 GSD collated table of high-resolution aerial image

編號	地面解析度 （cm）	備註
ZengwenR_01	5.36	相關參數詳見附錄二報表第 1~3 頁

表 13 高精度（高解析度）空拍影像各區空拍影像地面解析度擷取自報表資訊。

Table 13 GSD information excerpted from report of high-resolution aerial image

ZengwenR_01

Project	Zengwen_river_CGS2020_merge
Processed	2020-04-02 08:56:25
Camera Model Name(s)	L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)(1), L1D-20c_10.3_5472x3648 (RGB)(2)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	5.36 cm / 2.11 in

4.2 地質剖面清理（挖溝）成果

4.2.1 挖溝的位置及背景

經初步的地質調查結果，本案選定於曾文溪北岸劉陳灣鄰近口宵里斷層處進行槽溝開挖，位於本案槽溝開挖處南側約 700 公尺處，為曾文溪南岸口宵里斷層斷層露頭，位於本案槽溝開挖處南側約 50 公尺處，河階地上廢棄河道地面出露約東西向長約 150 公尺、寬約 40 公尺大小的露頭，露頭的西側為厚層泥岩偶夾薄層砂岩，層面位態約為走向 N46˚E，傾角 67˚E，露頭的東側為青灰色厚層細粒砂岩夾中厚層棕色砂岩，棕色砂岩的位態約為走向 N35˚E，傾角 22˚E，本案選定的挖溝位置則位於曾文溪南岸斷層露頭、及廢棄河道露頭中層面位態急遽變化處連線的延伸，本案槽溝開挖位置、廢棄河道露頭及曾文溪南岸斷層露頭相對關係如圖 46，槽溝開挖位置如圖 47。

槽溝（編號 KSLT-02）全長 20 公尺、高 2.5~3 公尺，長邊方向為 N53˚W，與曾文溪南岸口宵里斷層露頭及廢棄河道層面位態急遽轉變處連線 N37˚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，槽溝壁面北牆及南牆的剖面影像接合成果與立面圖測繪成果分別如圖 48 及圖 49。



圖 46 本案槽溝開挖位置、廢棄河道露頭及曾文溪南岸斷層露頭相對關係。

Fig.46 The relationship between fault outcrop at south bank of the Zengwen River, abandon river outcrop and trench site.

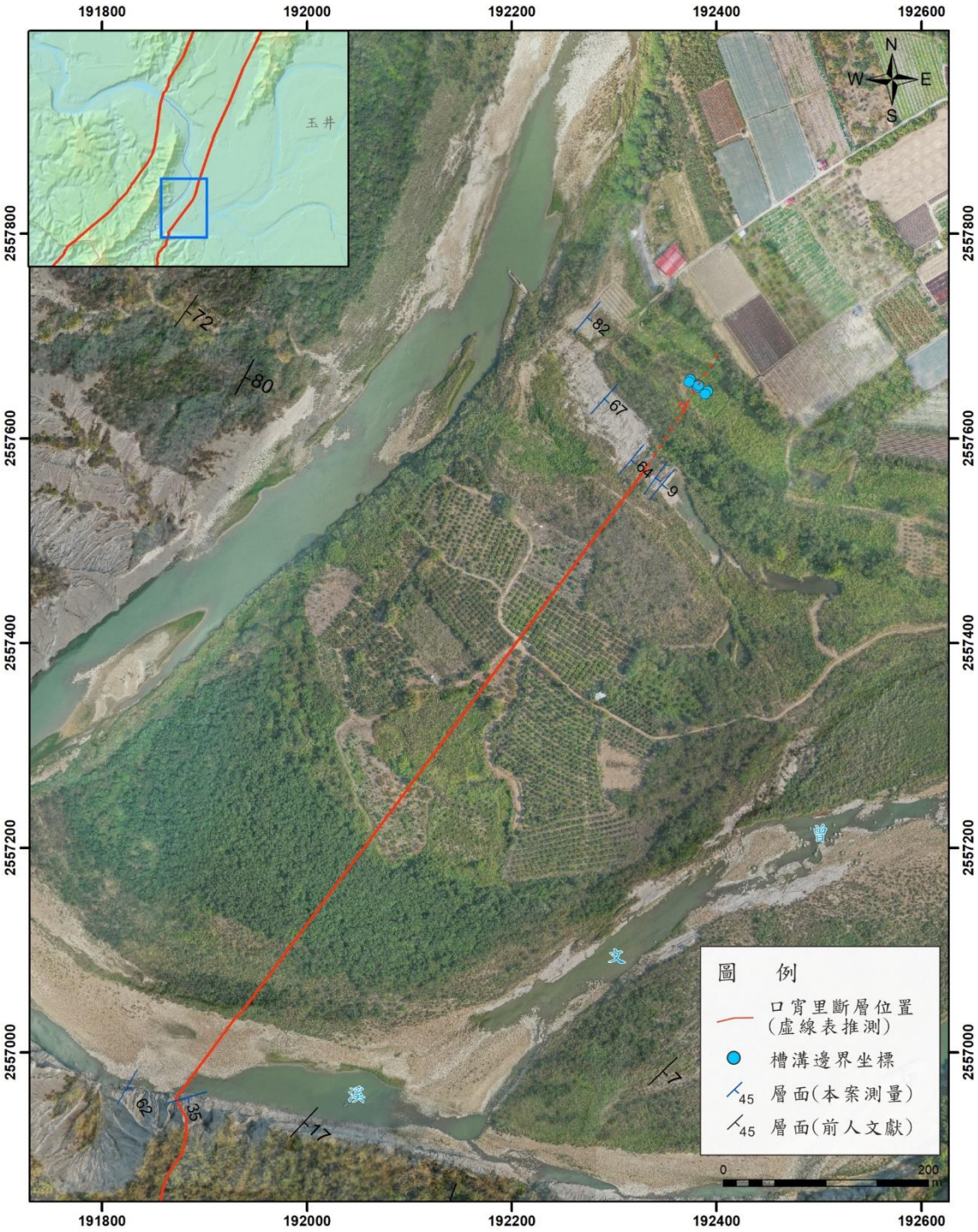


圖 47 本案槽溝（編號：KSLT-02）開挖及地質剖面清理位置圖。

Fig.47 Location of the trench（No. KSLT-02）along the Kousiaoli fault.

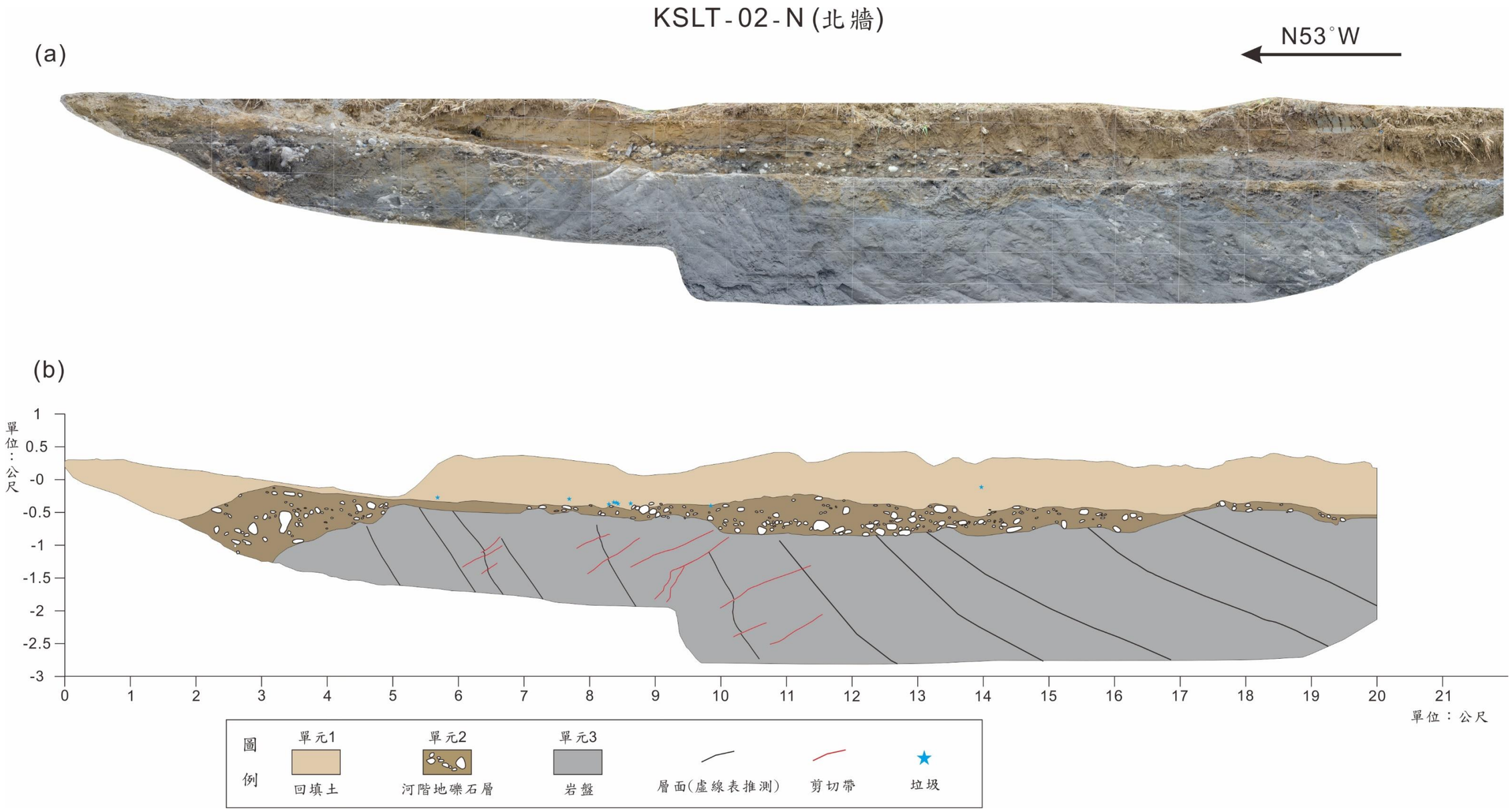


圖 48 槽溝 KSLT-02-N（北牆）影像及測繪結果。(a) 北牆剖面的接合影像；(b) 北牆剖面的素描圖。

Fig.48 Image and mapping at the northern wall of the trench. (a) Integrated picture of the northern wall of the trench (b) Elevation sketch of the northern wall of the trench.

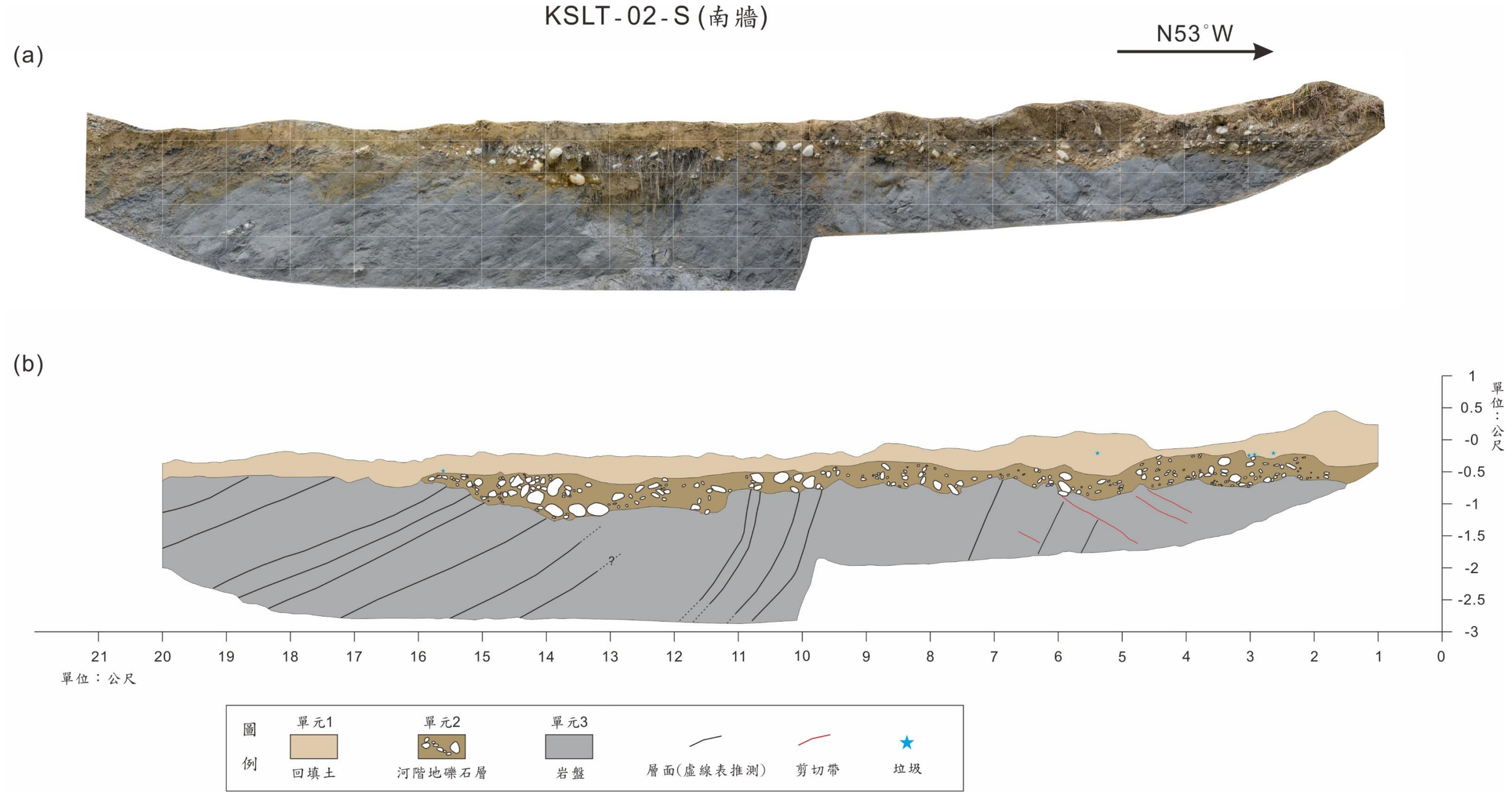


圖 49 槽溝 KSLT-02-S（南牆）影像及測繪結果。(a) 南牆剖面的接合影像；(b) 南牆剖面的素描圖。

Fig.49 Image and mapping at the southern wall of the trench. （a） Integrated picture of the southern wall of the trench （b） Elevation sketch of the southern wall of the trench.

4.2.2 挖溝壁面測繪成果

本案槽溝開挖因施工方便的因素，北牆的設計為 2 階，南牆的設計為 1 階，南牆在施工時表層有被剝除掉約 0.5 公尺，因此南牆的起始高程略低於北牆。根據槽溝兩側壁面記錄到的岩性，可將剖面區分成 3 個單元，以下詳述各層的特徵：

（1）回填層（單元 1）：

本層位於剖面的最上層，厚度約在 0.5~1.0 公尺之間，此層已遭受人為因素擾動，可在剖面的多處地方見到垃圾、繩索等等的非自然堆積物。

（2）河階地礫石層（單元 2）：

本層位於表土層的下一層，厚度約為 0.4~0.7 公尺不等。礫石層為基質支持，礫石的成分由細砂所組成，形狀近乎圓球狀，而周圍基質是棕色細砂。於槽溝的 0~15 公尺處礫石的分布大小不一，礫石的直徑大至 40 公分、小至 2 公分，15~20 公尺顆粒皆小於 20 公分，但大多為小於 5 公分的極細礫（pebble），於 10~15 公尺處，礫石長軸排列方向約東南傾 20 度，其於地方礫石排列方向排列較為不規則。

（3）岩盤（單元 3）：

本層位於剖面的最下層，是薄層泥及泥質砂層互層。由東到西泥質砂層含砂量漸少而泥質含量漸升，且層面傾角也從緩變陡，東側岩層位態量測結果為 N20°E，傾角 24°E，西側岩層位態為 N19°E，傾角 61°E。於槽溝北牆 4~12 公尺處可觀察到明顯的剪切構造，於 4~6 公尺處有數條深黑色剪切帶，剪切帶的厚度約數公釐，剪切帶的視傾角向西傾斜，從此處的剪切帶並無明顯的證據可判定剪切方向，8~11 公尺處可追蹤到到至少 4 條深黑色、視傾角向西傾斜的剪切帶，此區間的砂岩層傾角相較兩側較陡，視傾角至少 65 度向東傾斜，有些已近乎呈現垂直，部分砂岩層可觀察到被剪切帶拉長或截斷的現象，露頭中亦有看到與層面近乎平行的剪切帶（圖 50）；於槽溝南牆壁面 4~6 公尺處也可觀察到 2 道明顯剪切帶，剪切帶向西傾斜，呈髮辮狀，厚度約為 3~5 公分，在壁面可追蹤約 2 公尺，剪切帶的上端停止於河階地礫石層及岩盤的交界處，並未切穿礫石層延伸至地表（圖 51）。

根據槽溝剖面的紀錄結果，剖面東側及西側傾角明顯不同，且在 4~12 公尺處有觀察到向西的剪切帶，不過在 4~8 公尺處岩體大致完整，只有在 8~11 公尺處岩體被剪切帶剪切得較為破碎，然而這些證據無法證明口宵里斷層主斷層面的位置通過於此，本案推測口宵里斷層於

此處有兩種可能性，其一，斷層可能未切穿至地表，其二，斷層可能還在西側一點的位置。

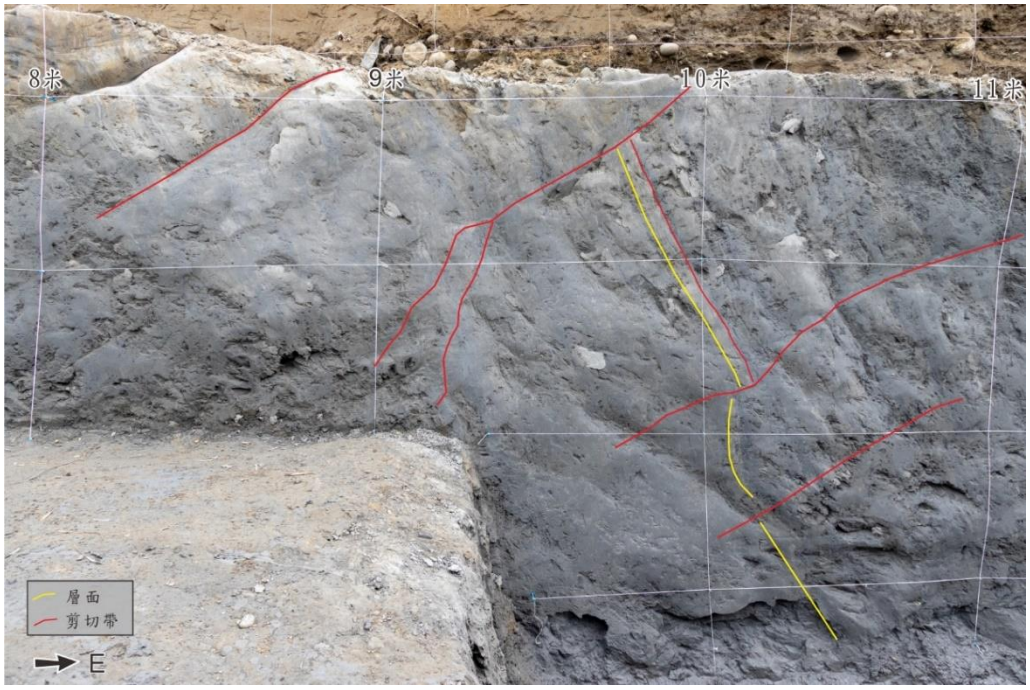


圖 50 槽溝北牆 8~11 公尺處的剪切帶及被截斷的砂岩層。

Fig.50 Sand layers cut by shear zone at 8~11 m on the northern trench wall.

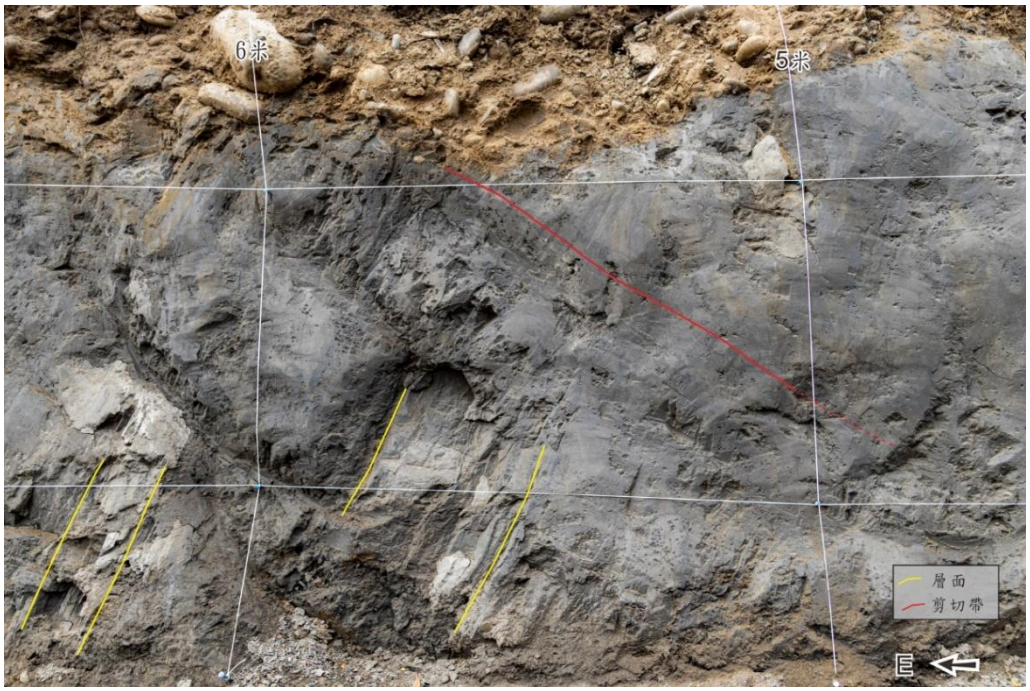


圖 51 槽溝南牆 4~6 公尺處未切穿河階地礫石層的剪切帶。

Fig.51 Shear band capped by the conglomerate layer at 4~6 m on the southern trench wall.

4.3 斷層構造特性分析

因本案曾文溪高精度（高解析度）空拍影像涵蓋了崙後斷層南段及口宵里斷層，且本案挖溝地點亦在曾文溪河道空拍範圍的附近，因此以下將針對此區域的調查結果進行綜合分析：

崙後斷層沿線露頭出露較完整之處，為曾文溪走馬瀨橋旁及蘆芝坑溝剖面，於走馬瀨橋下方東側的小溝，斷層帶寬度約為 15~20 公尺，斷層帶東側上盤處的薄層砂岩層位態為 N25°E，傾角 70°W，斷層西側下盤處的砂岩位態為 N5°W，傾角 75°E，斷層帶的組成為分布密集的剪切帶或小斷層，剪切帶或小斷層的傾角呈約 60°~70°的高角度，露頭中可觀察到薄砂岩層被小斷層錯斷成數小段（圖 52），位於斷層帶的上方，觀察到斷層帶兩側岩盤與河階礫石層交界面的高程無太大的變化，兩側的礫石層皆為顆粒支持，礫石成分也都是石英砂岩，並無太大差異（圖 53）；位於蘆芝坑溝剖面處，較明顯有剪切構造出露的位置集中於剖面的西側，此處的岩性為厚層泥岩偶夾薄層砂岩，偶有較厚層的砂岩層出現，露頭中出現水平寬度約 120 公尺的剪裂帶，剪裂帶中可觀察到約 2~3 組剪切帶，其產狀呈髮辮狀，傾角大多為 15°~30°向東傾斜，剪裂帶的上界為一具明顯錯動量的斷層面，且此界面附近出現數道中層細粒砂岩及一層厚層砂岩，其傾角已近乎垂直，且有被褶曲及錯斷的現象，於剪裂帶的上界量測到的斷層面位態為 N18°E，傾角 30°E（圖 54），本案推斷此處為崙後斷層位置。

口宵里斷層沿線出露良好露頭的位置，為曾文溪劉陳灣處南岸峭壁，露頭的照片及素描如圖 55a 及圖 55b。露頭中可明顯辨識出斷層帶的寬度約 32 公尺，斷層帶內由密集的剪切帶組成，其中有數條寬度達數十公分、可從露頭最下方追蹤至最上方的剪裂帶，斷層帶內亦有幾到可追跡數公尺的薄砂岩層，砂岩層呈傾角（圖 56），本案口宵里主斷層面的位置定義在剪切帶的東界，此界面明顯的截切過階地礫石層，本案斷層面位態的量測結果為走向 N42°E，傾角 43°W。斷層帶的兩側明顯觀察到兩側有不同的岩性，斷層上盤（西側）岩性為細粒砂岩與頁岩互層，岩層位態約為走向 N30°E，傾角 62°E，斷層帶西側界面以西約 20 公尺的範圍內，可見到岩層有受到撓曲或錯斷的現象，不過岩體狀態大致是完整的（圖 57），斷層下盤（東側）岩性為中層至厚層泥質砂岩偶夾薄層細粒砂岩，斷層帶東側界面以東 60 公尺的範圍內，下盤變形的形式呈現類似急折褶皺，褶皺翼部平緩一側的位態量測結果為走向 N74°E，傾角 35°S，位於更東側遠離褶皺的岩層，岩層位態趨近於平緩，其位態約為走向 N43°E，傾角 17°E，岩壁間偶可發現較小規模的層間斷層，小斷層呈共軛，下盤岩層上方覆蓋著厚度約 10~30 公尺的河階地沉積物，岩層與河階地沉積物接觸關係呈不整合接觸。

崙後斷層西側的岩性為厚層泥岩夾薄砂岩層，岩層位態約為走向為南北走向，傾角 70˚~85˚向東傾斜，岩層位態位於走馬瀨橋西側約 600 公尺地形隆起之處，可觀察到一條向西傾斜、寬度約數十公分可追蹤約 250 公尺的剪裂帶，剪裂帶位態約為走向 N26˚W，傾角 31˚W（圖 58）。

崙後斷層與口宵里斷層之間，西側岩層的岩性為中層至厚層砂岩層與頁岩層互層，東側靠近口宵里斷層的岩性則為厚層泥岩層偶夾薄層砂岩，岩層走向為 N30˚E，傾角為 60˚~80˚向東傾斜，偶有出現可追蹤約數十公尺的剪切帶，剪切帶有截斷薄砂岩層的現象（圖 59）。



圖 52 走馬瀨橋東側崙後斷層帶中的剪切帶及小斷層。剪切帶及小斷層呈高傾角。

Fig.52 Shear bands and small fault in the Lunhou fault zone east of the Tsoumalai bridge. Shear bands and small faults have a high dip angle.



圖 53 走馬瀨橋旁露頭礫石層近拍照。跨斷層帶處岩層及礫石層交界面（藍色虛線）幾乎無高程變化。

Fig.53 Near-view picture of the conglomerate layer east of the Tsoumalai bridge. There is no elevation difference for the boundary between conglomerate layer and bedrock（blue dashed line）across the fault zone.

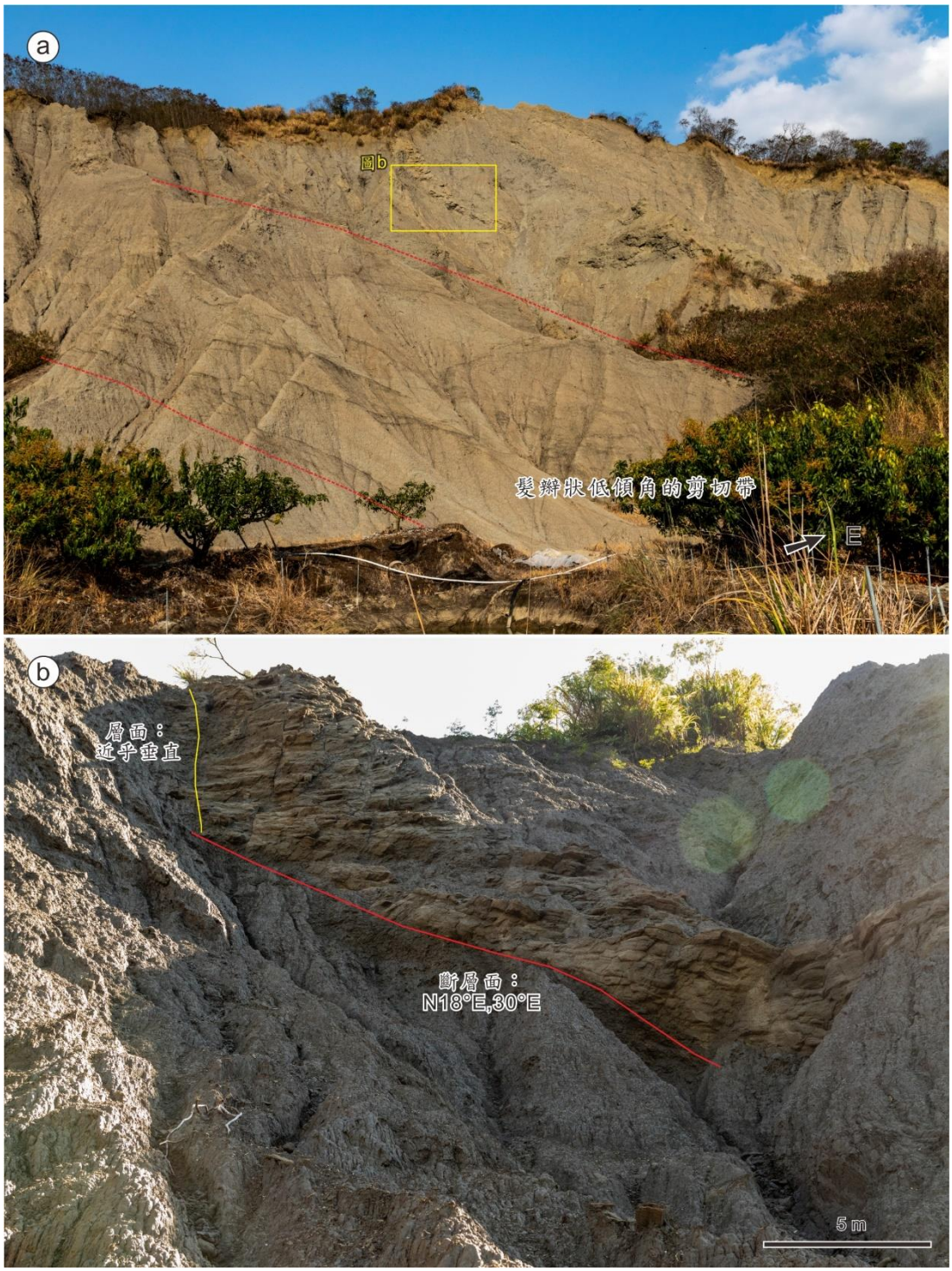


圖 54 蘆芝坑溝剖面西側斷層樣貌。(a)剖面最西側可觀察到約 120 公尺寬的髮辮狀剪切帶；（b）厚層砂岩位態近乎垂直且被剪斷。

Fig.54 The fault outcrop on the western part of Luzhikeng creek profile. （a）120-m-wide braided-liked shear zone on the western part of the profile; （b）The thickly bedded sandstone is nearly vertical and cut by the fault.

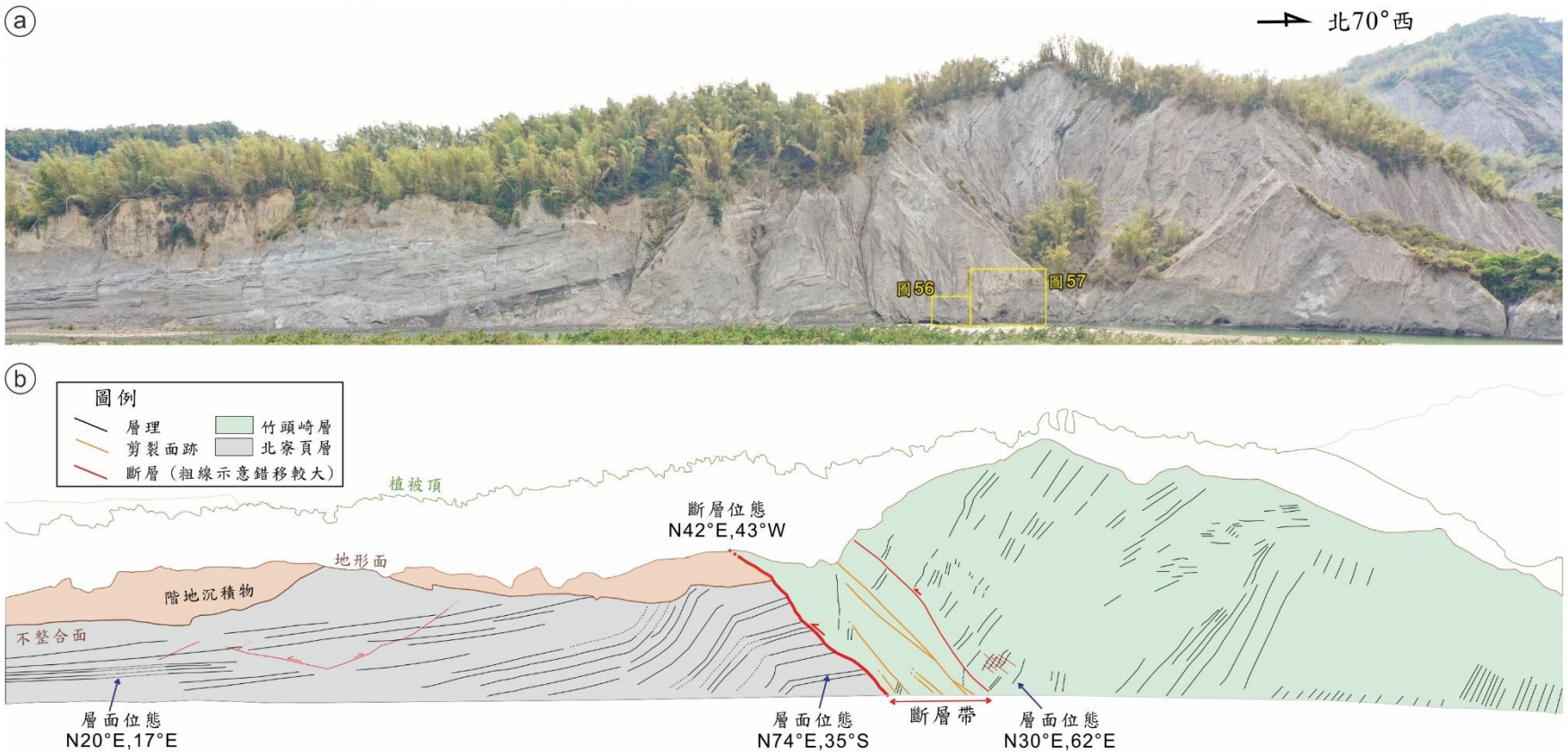


圖 55 曾文溪南岸口宵里斷層露頭照片及素描。(a) 壁面岩層出露完整的斷層帶露頭；(b) 上盤岩層有褶曲、錯斷的現象，下盤岩層出現類似急折褶皺的變形，斷層帶中層面呈高傾角，有數條延伸數公尺剪裂帶（橘色實線）。

Fig.55 Picture and sketch of the Kousiaoli Fault outcrop on the south bank of the Zengwen River at Liuchenwan. (a) The cliff shows a continuous outcrop across the fault; (b) The cut and folded layering can be found on hanging wall and a kink-like fold can be found on the footwall. In the fault zone, the dip angle of the bedding is high. Some shear zone (orange solid line) in the fault zone can be traced along several meters.



圖 56 口宵里斷層帶中的剪裂帶。

Fig.56 Shear zone in the Kousiaoli fault zone.

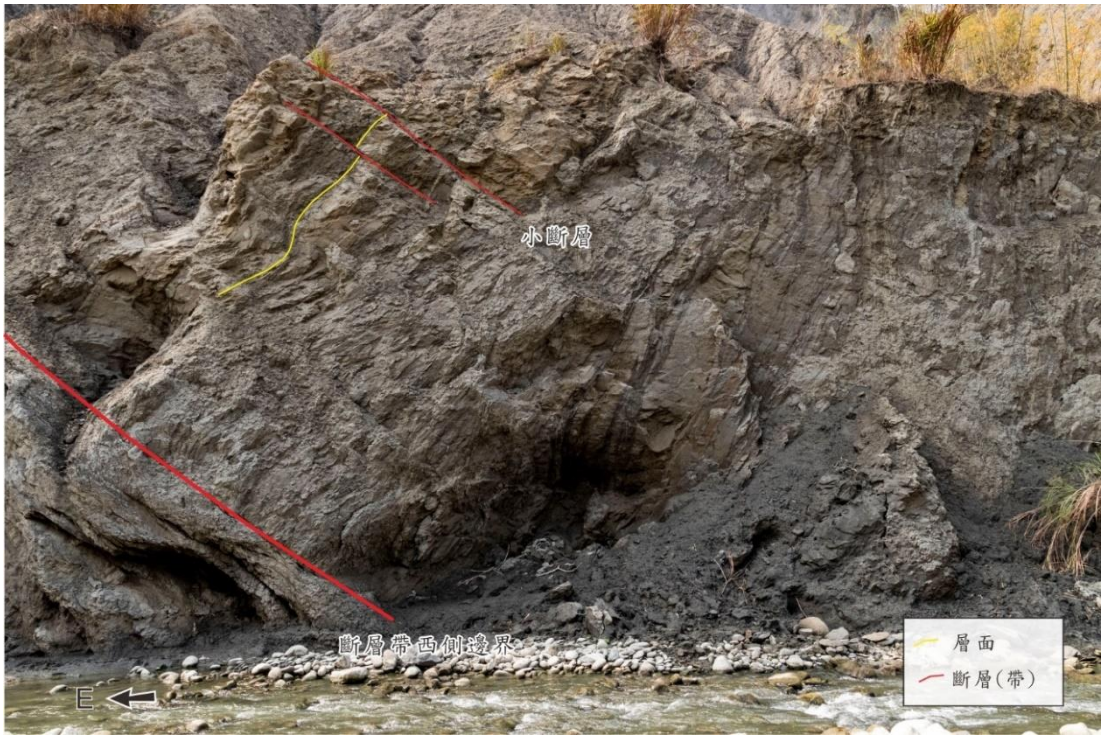


圖 57 口宵里斷層帶上盤露頭。岩層中偶可觀察到砂岩層被褶曲或錯斷，岩體大置完整。

Fig.57 Hanging wall outcrop of the Kousiaoli Fault at Liuchenwan. The outcrop shows some sand layers that are cut and displaced by shear planes, and that are affected by small-scale folds.



圖 58 走馬瀨橋西側約 600 公尺處的剪裂帶露頭。

Fig.58 A shear zone 600 m west of the Tsoumalai bridge.



圖 59 曾文溪河床崙後斷層與口宵里斷層之間偶出現被剪切帶截斷的砂岩層。

Fig.59 Sand layer cut by a shear band at the Zengwen riverbed, between the Lunhou Fault and Kousiaoli Fault.

第五章 斷層長期滑移速率評估

5.1 曾文溪沿岸河階地判釋

崙後斷層及口宵里斷層主要通過曾文溪流域，而斷層沿線可見由曾文溪形成的河階地形，其中以曾文溪主幹所形成的河階地出露較為連續且階數最多，故本案於曾文溪沿岸階地進行階地調查與採樣，並選於較無露頭出露之階地進行探坑挖掘與採樣工作，階地調查範圍北起曾文水庫南端，並沿曾文溪主流延伸至下游二溪里地區，長約 13 公里，寬約 7 公里，調查範圍內主要聯絡道路為 84 快速道路及臺 3 線與其相交之次要道路。

本案根據地表地形特徵與地形高程資料，將曾文溪沿岸階地依階面與現生河道的高程差分成 6 階（圖 60）。本案所標示的階面皆屬於曾文溪主流形成的階地，T1 階面與現生河道高程差約為 140 公尺，T2 階面與現生河道高程差約為 90 公尺，T3 階面與現生河道高程差約為 70 公尺，T4a 及 T4b 階面與現生河道高程差約為 35~40 公尺，T5 階面與現生河道高程差約為 20 公尺。曾文溪沿岸河階地的分布，T4a、T4b、T5 河階分布較為連續且面積較為廣泛，T1、T2、T3 分布的相對較為零星且不連續，但其階面仍能以其高程延伸追蹤。曾文溪沿岸，在口林、走馬瀨、劉陳灣及劉陳尾處，可較清楚觀察到 T4a 及 T4b 河階的沉積物與岩盤的交界面（strath），於走馬瀨至二溪里之間的階地，部分溪溝或懸崖邊也可看到階地沉積物與岩盤的交界面，其中，在劉陳灣曾文溪南岸，觀察到 T4a 河階的階地沉積物與岩盤的交界面高程比 T4b 河階的高出約 15 公尺，因此將 T4a 及 T4b 區分開。根據本案調查結果，T1 階地沉積物厚度至少大於 10 公尺，T2 階地沉積物厚度大約 9~10 公尺，T3 階地沉積物厚度約為 15 公尺，T4a 階地沉積物厚度約為 7~9 公尺，T4b 階地沉積物厚度約為 13~16 公尺。

根據等高線分布情形，崙後斷層沿線的曾文溪河階地，並無觀察到明顯受構造活動影響產生之地形特徵；口宵里斷層沿線的曾文溪河階地，在劉陳灣現生河道南側峭壁的露頭可明顯觀察到斷層帶切穿過河階地礫石層 T4a，為斷層仍活躍的確切證據（圖 42b），於灣潭地區鄰近口宵里斷層處，可看到明顯約走向 N30°E 的地形線形崖，地形崖的兩側皆有河階地分布，附近的露頭岩層與礫石層呈不整合接觸，疑似是斷層截切的證據，但露頭中並未發現剪切構造（圖 61），地形線形崖的延伸方向與口宵里斷層走向大致平行，其高程差約 40 公尺（圖 62），可推測此階面可能受斷層影響而出現地形高低差的變化。

同一個河階面，原則上為同一時期形成，若有正移或逆移斷層截切過同一時期形成階面，會造成斷層兩側的階面高程的差異，本案的目標斷層：崙後斷層南段及口宵里斷層階為逆斷層，因此，本案於口宵里斷層東側（下盤）、口宵里斷層與崙後斷層之間（兩條斷層的上盤）、崙後斷層西側（下盤）河階地尋找定年的材料，並配合合適的定年方法，於斷層上下盤之間進行河階的年代對比，若斷層兩側有找尋到可配對到相同年代的河階地，則利用同一階面受斷層活動影響產生之高程差異及斷層傾角，推估斷層的垂直滑移速率及長期滑移速率。

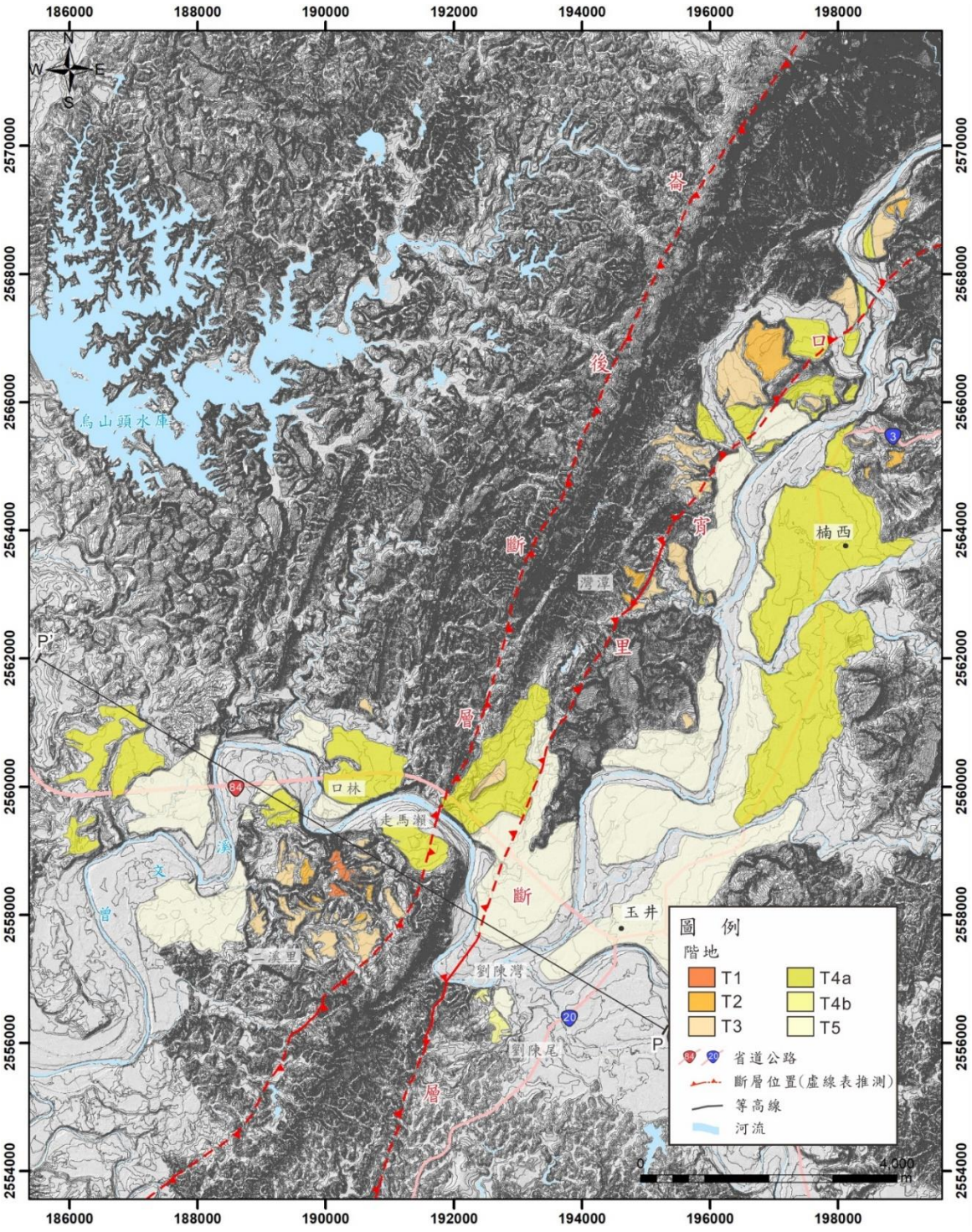


圖 60 曾文溪沿岸鄰近崙後斷層及口宵里斷層處之階地分布圖。階地依階面與現生河道的高程差分類，P-P'階地投影河道剖面圖請見圖 70。

Fig.60 River terraces along the Zengwen River around the Lunhou fault and Kousiaoli fault. Terraces were classified based on their elevation relative to the modern riverbed. P-P' profile is shown on Fig. 70.



圖 61 灣潭地區口宵里斷層附近露頭照。露頭出現疑似岩層逆衝至礫石層的現象。

Fig.61 Outcrop near the Kousiaoli fault, Wantan, showing bedrock probably thrusted on a conglomerate deposit.

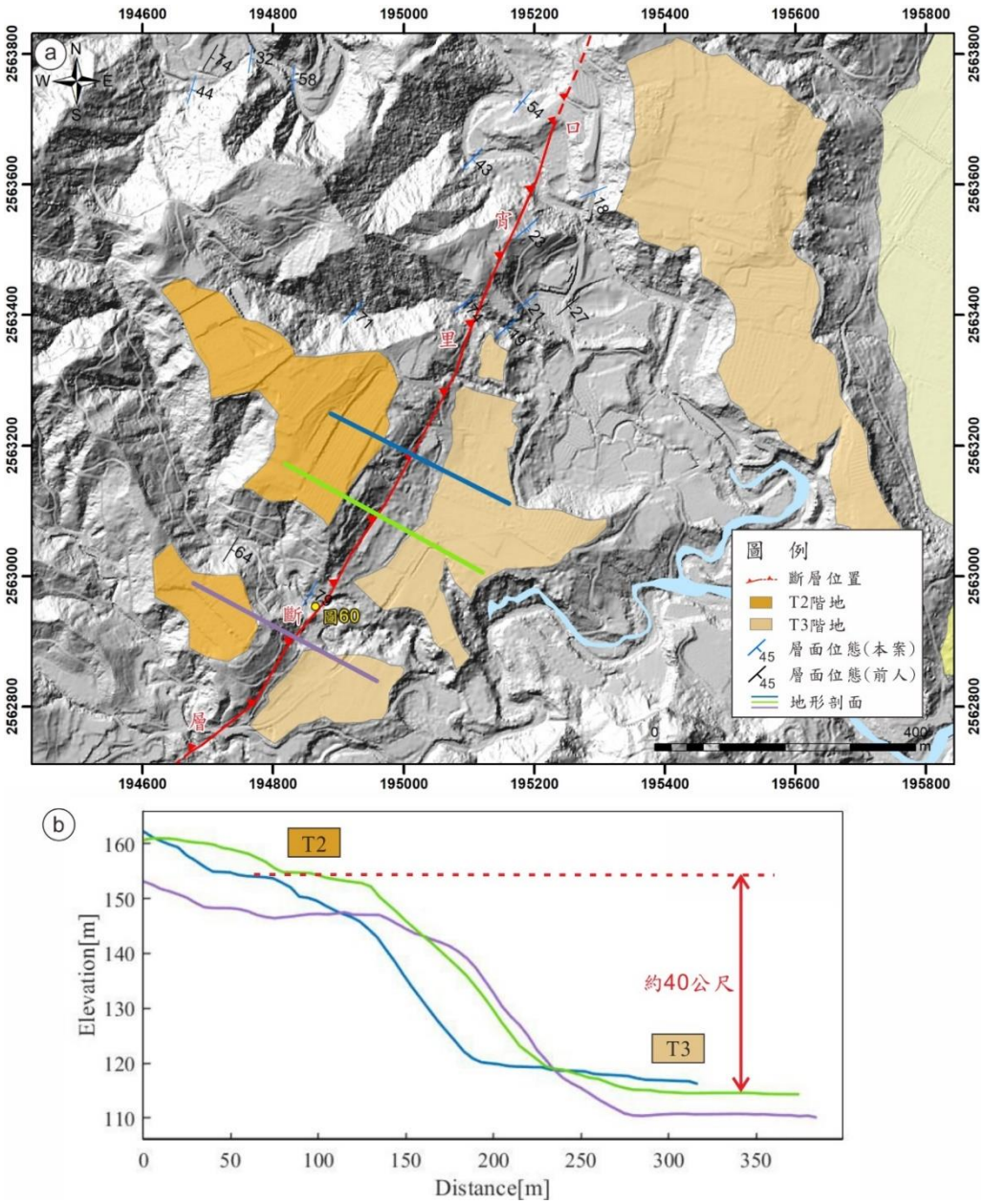


圖 62 灣潭地區跨口宵里斷層的地形陰影圖及地形剖面圖。(a) 走向 N30°E 的地形線形崖與口宵里斷層走向大概平行，並根據野外觀察到的現象（圖 61），可能是斷層活動造成（本影像經由經濟部中央地質調查所提供之空載光達數值地形資料產製）；(b) 斷層兩側階面的高程差約為 40 公尺。

Fig.62 Shaded topography and topographic profile across the Kousiaoli fault at Wantan. （a）The N30°E direction escarpment is interpreted as the Kousiaoli fault trace, also supported by geological observations within the streams flowing across the fault（Fig. 61）.（The shaded image was produced from a 1 m Lidar DTM provided by CGS）；（b）The elevation difference across the Kousiaoli fault scarp is about 40 m.

5.2 階地沉積物探坑挖掘採樣成果

本案針對崙後斷層及口宵里斷層上下盤附近之階地進行河階露頭調查與定年標本採樣，調查結果於曾文溪主流走馬瀨至內豐之間，除內豐里階地及走馬瀨農場對岸階地外，皆有露頭可採集定年標本，內豐里階地大多受到植被覆蓋，僅零星發現礫石堆積物，並未找到能採樣之露頭；走馬瀨農場對岸階地於曾文溪北岸可清楚看到河階堆積物，沉積物上部為細粒沉積物堆積，底部則是礫石堆積並與岩盤相接，然而河岸旁的露頭垂直落差高度過大，難以抵達並採集標本。曾文溪主流的西岸灣潭地區，口宵里斷層東側有找尋到河階地露頭，口宵里斷層西側的階地則是受到植被覆蓋，無階地沉積物露頭出露。因此本案於內豐里階地、走馬瀨農場對岸階地及灣潭地區口宵里斷層西側階地各擇一處施作階地沉積物探坑挖掘採樣，以期能於此三階地上採集到定年標本，3 處探坑挖掘的位置如圖 63 所示。

編號 LKP-01 探坑位於走馬瀨農場北側 1.5 公里內豐里，探坑的四端點坐標如圖 64，探坑長度、寬度分別為 2.1 公尺及 2.1 公尺，探坑深度於西牆及南牆為 3.4 公尺，北牆為 2.3 公尺； 編號 LKP-02 探坑位於走馬瀨農場對岸階地，探坑的四端點坐標如圖 65，探坑長度、寬度分別為 2.4 公尺及 2.5 公尺，探坑深度為 3.0 公尺；編號 LKP-03 探坑位於灣潭地區，鄰近口宵里斷層有明顯地形線形崖的西側，探坑的四端點坐標如圖 66，探坑長度、寬度分別為 1.4 公尺及 2.1 公尺，探坑深度為 3.3 公尺，3 個坑皆已符合規範長度、寬度、深度各至少 1 公尺，探坑尺寸的相片紀錄及施工紀錄詳見光碟附錄三，以下分別敘述 3 個坑的沉積物分層紀錄結果。

探坑 LKP-01（圖 67）:由地表向下依序為表土層（LKP1-S）、紅棕色極細砂層（LKP1-A）、深棕色細砂層（LKP1-B）、深灰色有機細砂層（LKP1-C）、黃棕色細砂層（LKP1-D）。表土層（LKP1-S）厚度約 10-20 公分；紅棕色極細砂層（LKP1-A）則由棕色偏紅的極細砂、粉砂組成，並富含黏土質，厚度約 2.8 公尺，並可發現現生植物根與黑色有機物質分佈於本層；深棕色細砂層（LKP1-B）僅分佈於西牆及北牆，且連續性不佳，可能因土壤化作用而較深色；深灰色有機細砂層（LKP1-C）厚度約 10 公分，顏色呈深棕色，富含黑色有機物質；黃棕色細砂層（LKP1-D）由固結良好的黃色細砂組成，含砂比例高，黏土含量稀少。

探坑 LKP-02（圖 68）：由地表向下依序為表土層（LKP2-S）、黃色含泥細砂層（LKP2-A）、黃色細砂層（LKP2-B）、棕色粉砂-黏土層（LKP2-C）、黃色細砂層（LKP2-D）、棕色粉

砂層（LKP2-E），最底部則有出現礫石。表土層（LKP2-S）厚度約 0-10 公分；黃色含泥細砂層（LKP2-A）厚度約 1.8 公尺，可以觀察到部分區塊黏土含量較高，亦有許多黑色有機物質，根據產狀推測大多為樹根；黃色細砂層（LKP2-B）厚度約 20 公分，細砂含量較高；棕色粉砂-黏土層（LKP2-C）厚度約 40 公分，由棕色粉砂及黏土組成；黃色細砂層（LKP2-D）厚度約 20 公分，與 LKP2-B 層的組成相當接近；棕色粉砂層（LKP2-E）由極細砂及粉砂組成，厚度約 30 公分，此層底部出露零星礫石，根據河岸旁的露頭推測，可能為階地礫石層。

探坑 LKP-03（圖 69）：由地表向下依序為表土層（LKP3-S）、黃色含泥細砂層（LKP3-A）、河階礫石堆積層（LKP3-B）、黃色粉砂-黏土層（LKP3-C）、黃色細砂層（LKP3-D）、河階礫石堆積層（LKP3-E）。表土層（LKP3-S）厚度約 0-50 公分；黃色含泥細砂層（LKP3-A）厚度約 1.4 公尺，可以觀察到部分區塊黏土含量較高，亦有許多黑色有機物質以及白色鬚根，根據產狀推測大多為樹根；河階礫石堆積層（LKP3-B）為基質支持，厚度約 0-16 公分，基質為黃色細砂；黃色粉砂-黏土層（LKP3-C）厚度約 0-4 公分，由黃色粉砂及黏土組成；黃色細砂層（LKP3-D）厚度約 15-30 公分，與 LKP3-A 層的組成相當接近；河階礫石堆積層（LKP3-E）由圓球狀礫石及黃色細砂為基質組成，此層底部出露零星礫石，根據河岸旁的露頭推測，可能為階地礫石層。

本案於探坑 LKP-01 共採集 29 個碳標本（標號 LKP1-C01~ LKP1-C29），於探坑 LKP-02 共採集 17 個碳標本（標號 LKP2-C01~ LKP2-C17），LKP-03 共採集 16 個碳標本（標號 LKP3-C01~ LKP3-C16）。

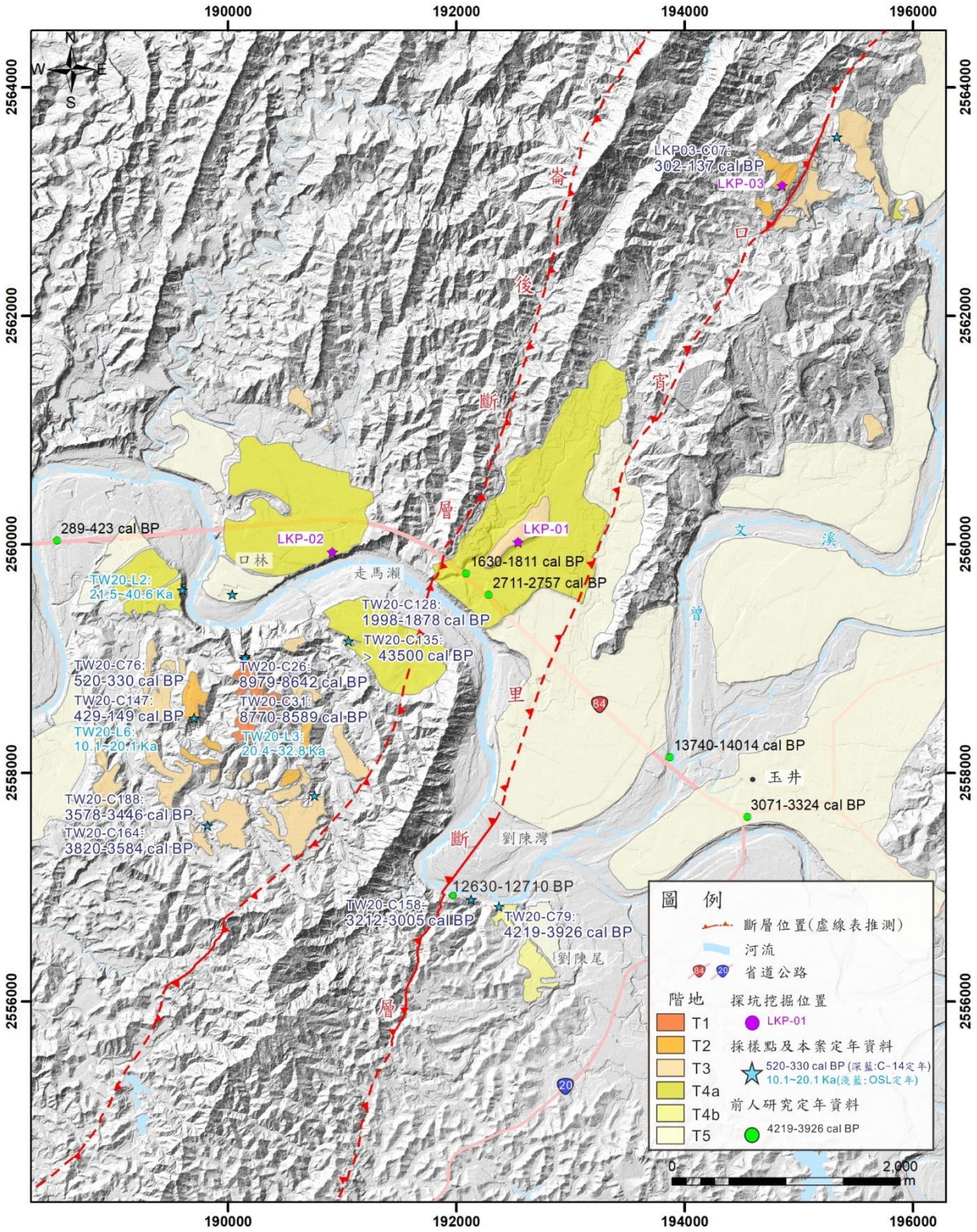


圖 63 探坑挖掘、階地露頭採樣位置及本案定年結果分布圖 （本影像經由經濟部中央地質調查所提供之空載光達數值地形資料產製）。

Fig.63 Locations of pits, river terrace outcrops and dating results from this project and previous works. （the image was produced from 1m Lidar DTM provided by CGS）



圖 64 探坑 LKP-01 開挖範圍與四端點位置。(底圖引自五千分之一相片基本圖)

Fig.64 Excavated range and four corners of pit LKP-01 (base map come from 1to 5000 photo base map.)

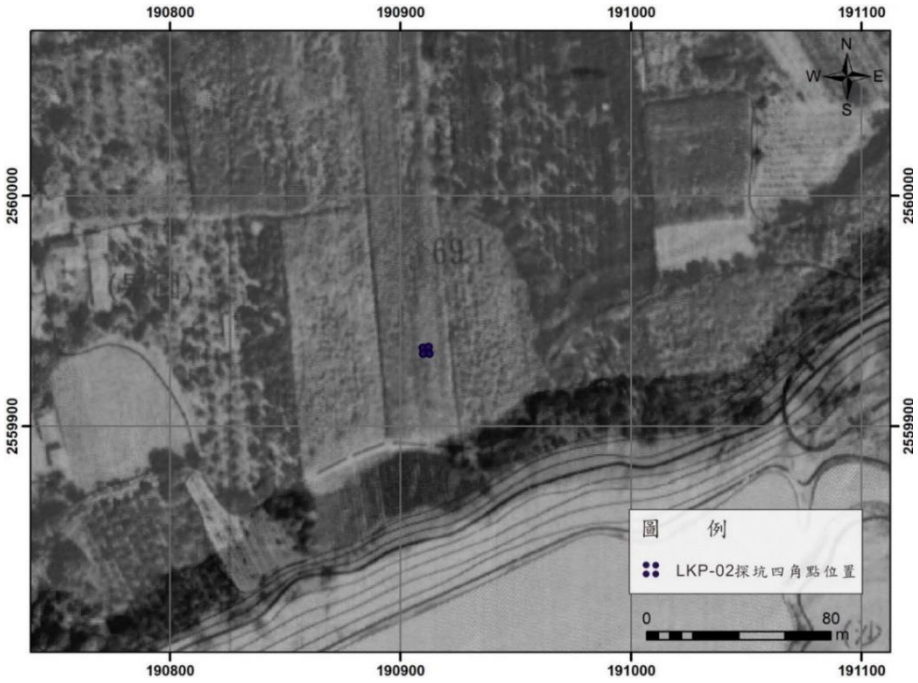


圖 65 探坑 LKP-02 開挖範圍與四端點位置。(底圖引自五千分之一相片基本圖)

Fig.65 Excavated range and four corners of pit LKP-02 (base map come from 1to 5000 photo base map.)

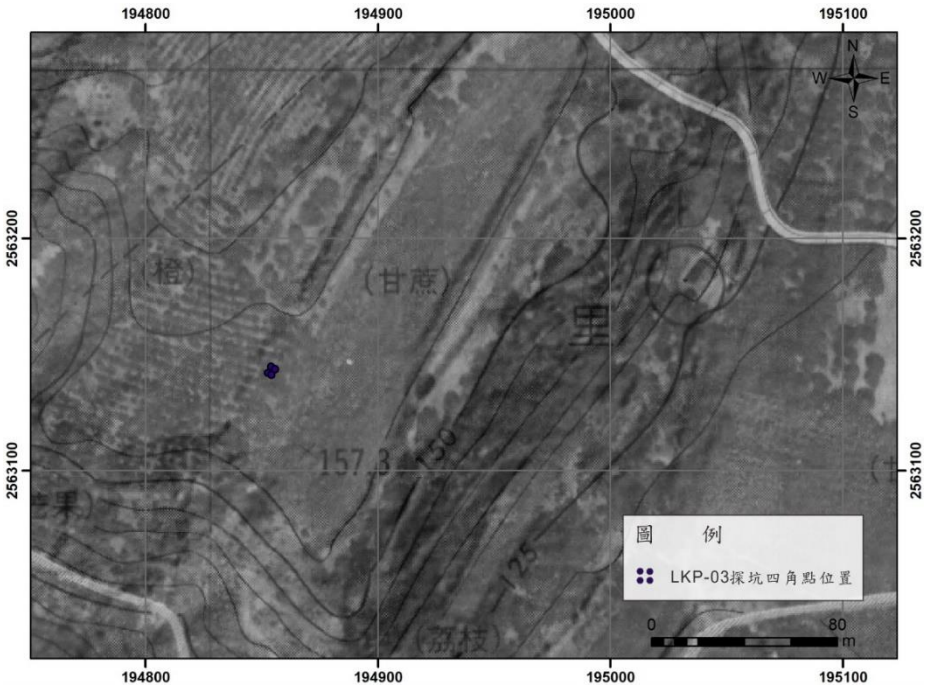


圖 66 探坑 LKP-03 開挖範圍與四端點位置。（底圖引自五千分之一相片基本圖）

Fig.66 Excavated range and four corners of pit LKP-03（base map come from 1to 5000 photo base map.）

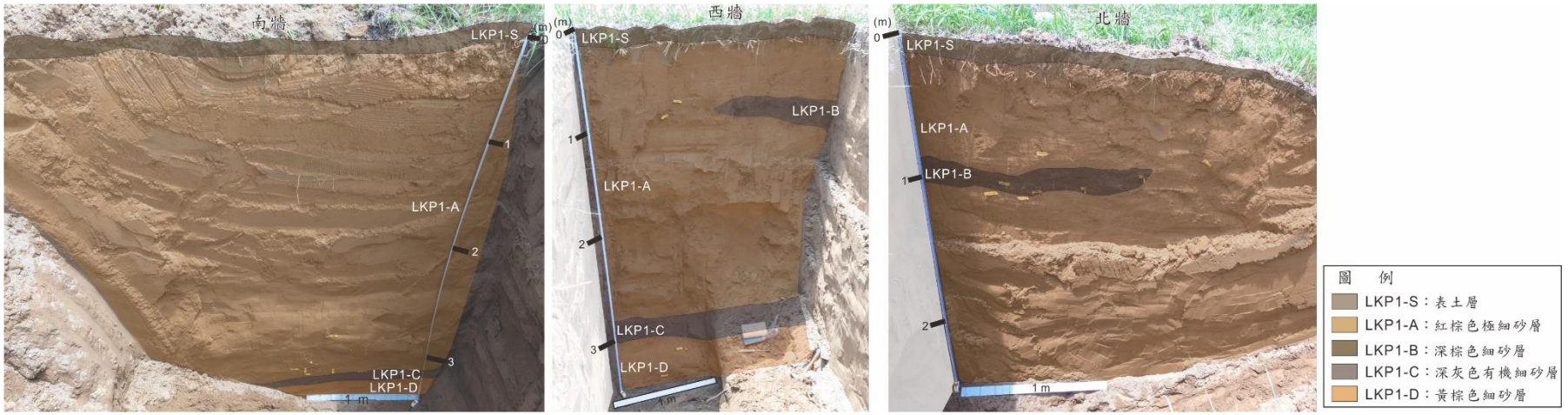


圖 67 探坑 LKP-01 沉積物分層。

Fig.67 Stratigraphic sketch of pit LKP-01.

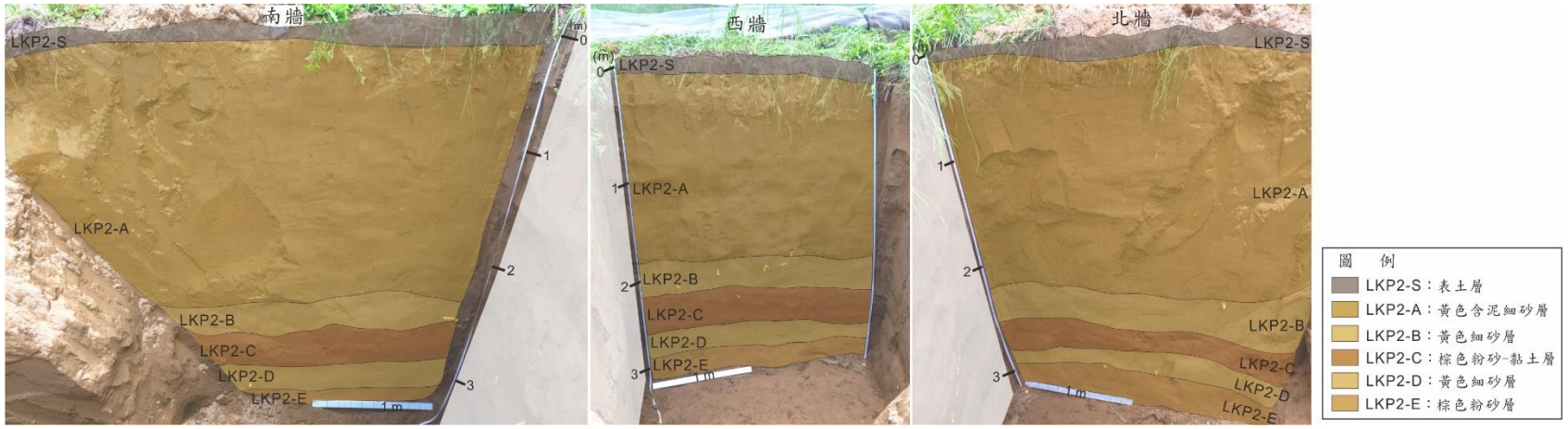


圖 68 探坑 LKP-02 沉積物分層。

Fig.68 Stratigraphic sketch of pit LKP-02.

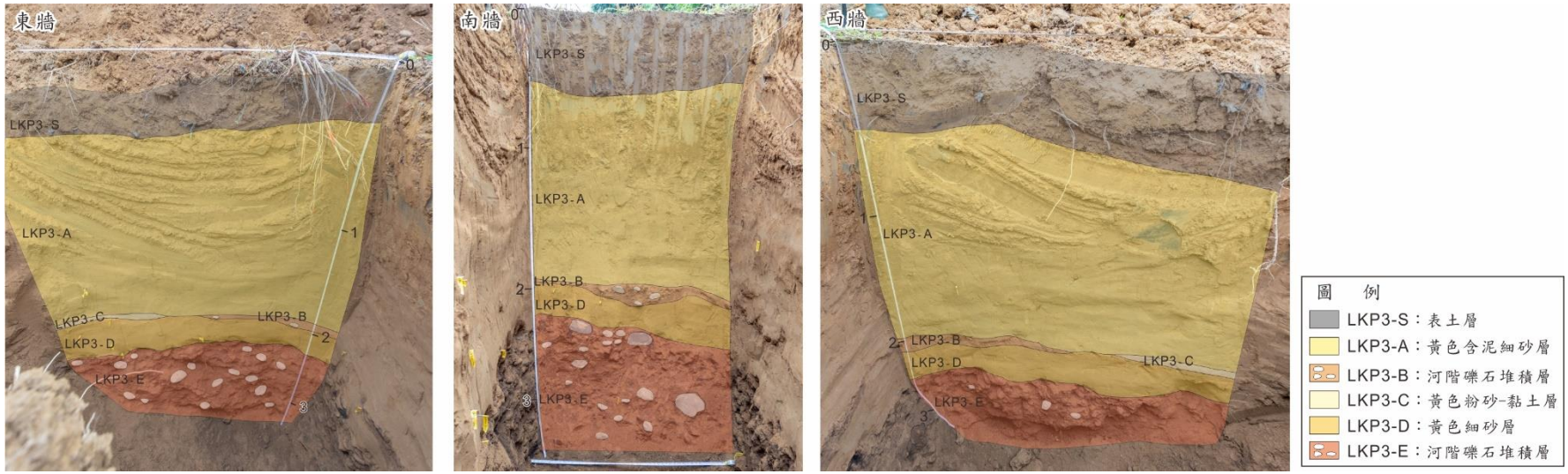


圖 69 探坑 LKP-03 沉積物分層。

Fig.69 Stratigraphic sketch of pit LKP-03.

5.3 定年結果及分析

本案蒐集曾文溪河岸 Hsieh and Knuepfer（2002）及劉彥求等（2020）的定年資料，並針對定年數量較為不足的河階地進行調查及採樣，若未發現到適合採樣的河階地露頭，則施作探坑挖掘並嘗試尋找可定年的樣本，本案探坑編號 LKP-01 及 LKP-02 嘗試採集的樣本多半非為可定年材料，或是經樣本前處理後可定年樣本量不足，因此本案挑選了 12 個位於曾文溪沿岸的河階地或探坑 LKP-03 中的 C-14 定年樣本，送至美國 Beta Analytic 實驗室進行 AMS 放射性定年的工作，挑選了 3 個 OSL 樣本至實驗室進行定年分析的工作，採樣點的分布位置及定年結果請參照圖 63，樣本採集位置及樣本產狀請參照光碟附錄四，曾文溪沿岸階地與定年結果投影河道剖面圖請參照圖 70，以下分別敘述本案 C-14 定年及 OSL 定年分析結果：

（1）C-14 定年結果分析

本案獲得的 C-14 定年結果一共 12 組（表 7），於口宵里斷層東側的 T4b 階地（劉陳尾地區），採集到的樣本有兩組，編號 TW20-C79 樣本，校正後的年代為 4219-3926 cal BP，另一組編號 TW20-C158 樣本，校正後的年代為 3212-3005 cal BP；於崙後斷層西側高程最高的 T1 階地，採集到的樣本有兩組，編號 TW20-C26 樣本，校正後的年代為 8979-8642 cal BP，另一組編號 TW20-C31 樣本，其校正後的年代為 8770-8589 cal BP；於崙後斷層西側曾文溪南岸 T2 階地，採集到的樣本有兩組，編號 TW20-C76 樣本，校正後的年代為 520-330 cal BP，另一組編號 TW20-C147 樣本，其校正後的年代為 429-149 cal BP；於崙後斷層西側的 T3 階地（新社地區），採集到的樣本有兩組，編號 TW20-C188，校正後的年代為 3578-3466 cal BP，另一組編號 TW20-C164，校正後的年代為 3820-3584 cal BP；於崙後斷層西側的 T4a 階地（走馬瀨地區），採集到的樣本有兩組，編號 TW-C128 樣本，校正後的年代為 1998-1878 cal BP，另一組編號 TW20-C135 樣本，校正後的年代 > 43500 cal BP。灣潭地區口宵里斷層西側編號 LKP03-C07 樣本，校正後的年代 302-137 cal BP，口宵里斷層東側編號 TW20-C201 樣本，則經樣本前處理分析碳含量不足，因此決議停止實驗，12 組定年結果報表詳見光碟附錄四。

位於崙後斷層西側 T2 階地的 2 組樣本，其定年結果皆過於年輕，由於此處採樣位置位於河階地邊緣的下凹處，本案採到的樣本可能位在新期堆積事件的沉積物中，因此，此樣本無法代表 T2 階地真實年代，其餘位於崙後斷層西側樣本的定年結果，由老至年輕的排序依序為，T1 階地：約 9 千年、T3 階地：約 4 千年、T4a 階地的編號 TW20-C128 樣本：約 2 千年，

此排序也吻合這三個階地高程由高至低的順序，定年結果符合本案階地分層之預期，T4a 階地編號 TW20-C135 樣本定出的年代，相較於鄰近定年結果過老，此樣本可能是重新搬運過後的樣本。於口宵里斷層東側下盤處，劉陳尾地區 T4b 階地本案的定年結果為 4219-3005 cal BP，與劉彥求等（2020）於鄰近 T4a 階地的定年結果 12630-12710 BP 相差甚大，造成差異的可能原因有二個，其一，劉彥求等（2020）的定年樣本為重新搬運的樣本，這樣只能說明口宵里斷層在 4 千年內有活動，其二，本案樣本跟劉彥求等（2020）的定年樣本都可個別代表該處階地的年代，因此，口宵里斷層在 1.2 萬年內有活動，T4b 階地處在距今 1.2 萬年至 4 千年間相當穩定，若將本案 T4b 階地的定年結果與崙後斷層西側的階地相比，其年代與崙後斷層西側 T3 階地的結果最為相似。位於灣潭處樣本編號 LKP03-C07 的定年結果過於年輕，可能原因為樣本的材料為植物的根部，此年代無法代表灣潭地區河階的真實年代。

（2）OSL 定年結果分析

本案一共完成 3 個 OSL 定年（表 8），第一個樣本（編號 TW20-L2）位於大匏崙地區的 T4a 階地，由於此處難以尋找到適合進行 C-14 定年之材料，故採用本定年法來計算階地年代，計算後可能的年代為 21.5-40.6 ka；第二個樣本（編號 TW20-L3）則與編號 TW20-C26 的碳樣本同樣採集於於崙後斷層西側高程最高的 T1 階地，並將兩種方法所得之年代進行比較，計算後可能的年代為 20.4-32.8 ka；第三個樣本（編號 TW20-L6）位於 T2 階地上，剛好介於 T1 及 T4a 間，故其年代同樣應介於兩者之間，計算後可能的年代為 10.1-20.1 ka。

OSL 定年結果可分為兩部分：等效劑量（Equivalent Dose）及年劑量（Annual Dose）。在取得欲測定之標本後，於暗房中進行自然螢光強度的測定，再配合外加人工輻照劑量的模擬回歸，推得此礦物於地層中所累積之等效劑量（Equivalent Dose），各樣本單一測量結果詳見光碟附錄五。測量之 3 個樣本皆有大約 50 筆測量數據，並將每一樣本的數據分佈繪製成分佈圖（圖 71），即可推估樣本的等效劑量（表 8），目前我們使用三種不同的評估年代模式，包含 CAM （central age model）、MAM-3（3-parameter minimum age model）、L5（Lowest-5% age model），CAM（central age model）為計算所有等效劑量分布的中間值（Galbraith et al., 1999），MAM-3（3-parameter minimum age model）則考慮所有等效劑量測量中較小的劑量作為實際劑量代表（Galbraith et al., 1999），L5%（Lowest-5% age model）同樣考慮所有等效劑量測量中前 5%等效際量之平均值。藉由測定標本的放射性元素含量，即可求得每年周圍環境提供此礦物之年劑量（Annual Dose），本團隊使用伽瑪光譜儀測量樣本的放射性元素含量，3 個 OSL 樣

本的分析結果如（圖 71）所示，並根據公式估算出樣本的年劑量（表 14）。根據計算出的 OSL 樣本年代，TW20-L3 與 TW20-L6 樣本的年代相對關係較為合理，而 TW20-L2 屬於 T4a 階地，測定出的年代卻高於其他兩個階地，而根據 TW20-L2 採樣之露頭推測，此處沉積物為河流氾濫時快速堆積的沉積物，因此礦物顆粒可能有曬退不完全的疑慮，導致此樣本年代老於其他兩個樣本。

將 C-14 定年結果與 OSL 定年結果相比較，目前使用之年代模型（CAM、MAM-3、L5%）所計算出的 OSL 定年結果皆明顯老於 C-14 定年結果，根據 T1 階地的結果顯示，OSL 定年法得到的年代大於 C-14 定年法，推測原因為 OSL 常有曬退不完全的問題，此問題可能亦出現於本調查區之河階，故未來將會於現生河階採樣並進行 OSL 定年實驗，並與目前得到的年代相比較，進而推測出較合理的 OSL 年代。OSL 定年雖然有其疑慮存在，然而 C-14 定年的樣本並不容易找到，而 OSL 定年樣本於具有細沙沉積物的露頭皆可進行採樣，便可替代 C-14 定年來獲取階地年代。

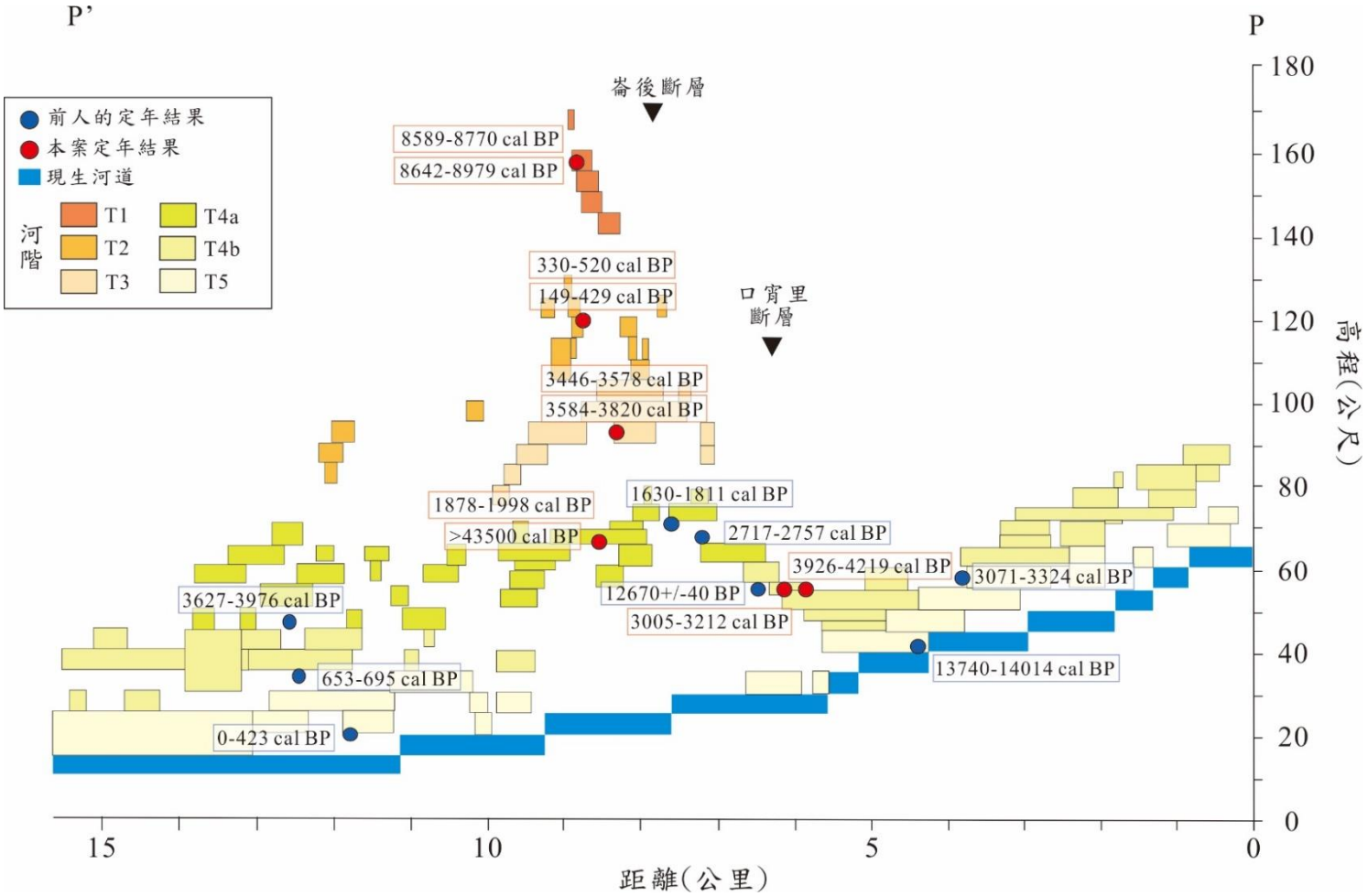


圖 70 曾文溪沿岸階地與 C-14 定年結果投影河道剖面圖（改繪自 Hsieh and Knuepfer，2002）。剖面位置請參閱圖 60。

Fig.70 Synthesis of C-14 ages on a topographic profile along the modern Zengwen River and the Holocene river terraces（modified from Hsieh and Knuepfer, 2002). Profile location is shown on Fig. 60.

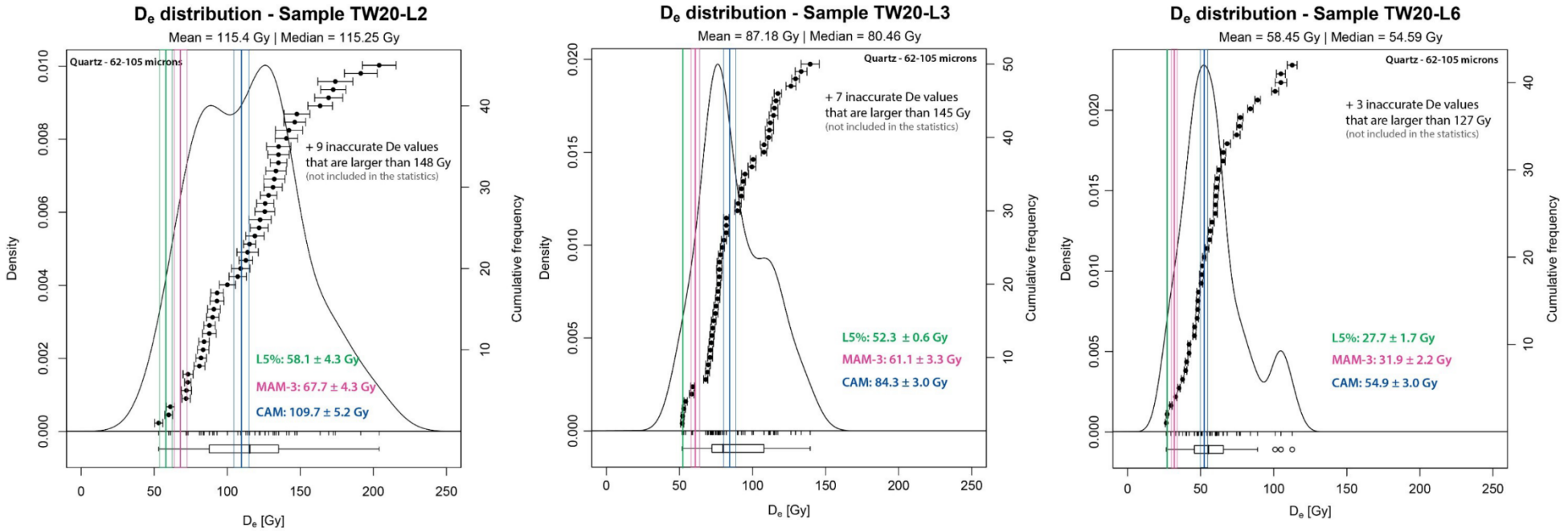


圖 71 樣本編號 TW20-L2、TW20-L3 與 TW20-L6 之等效劑量分布圖。TW20-L2、TW20-L3、TW20-L6 測量後穩定樣本總數分別為 45 個、53 個及 42 個，CAM（central age model）、MAM-3（3-parameter minimum age model）、L5%（Lowest-5% age model）分別為三種不同評估年代的模式（Bailey and Arnold, 2006）。

Fig.71 Equivalent dose distributions for OSL samples TW20-L2, TW20-L3 and TW20-L6. The numbers of successfully measured aliquots are 45, 53 and 42 for TW20-L2, TW20-L3 and TW20-L6, respectively. CAM (central age model) , MAM-3 (3-parameter minimum age model) and L5% (Lowest-5% age model) are three different assessment models to determined the representative dose（Bailey and Arnold, 2006）.

表 14 本案 OSL 定年標本之放射性元素含量與年劑量。含水量及各樣本的化學成分含量乃藉由伽瑪光譜儀分析得知。

Table 14 Water content, geochemical composition (measured by gamma-ray spectrometry), cosmic dose and total annual environmental dose rate for the OSL samples analyzed in this project.

標本編號	採集地點	含水量（%）	K （%）	Th-232 （ppm）	U-238 （ppm）	宇宙射線年劑量 （Gy/ka）	**年劑量 （Gy/ka）**
TW20-L2	T4a 階地 （189595.055, 2559601.283）	10 ± 5	1.66 ± 0.12	9.11 ± 0.76	1.86 ± 0.09	0.18 ± 0.02	**2.70 ± 0.14**
TW20-L3	T1 階地 （190141.748, 2558999.672）	10 ± 5	1.49 ± 0.11	9.55 ± 0.78	1.97 ± 0.09	0.15 ± 0.02	**2.57 ± 0.13**
TW20-L6	T2 階地 （189700.889, 2558479.447）	6 ± 5	1.57 ± 0.12	9.69 ± 0.79	1.92 ± 0.09	0.14 ± 0.01	**2.74 ± 0.15**

第六章 討論

6.1 斷層位置

- **崙後斷層南段**

本案蒐集中國石油公司（1989）、陳文山（2003）、何信昌等（2005）及邵屏華與高銘健（2009）的前人野外調查資料，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 公尺空載光達數值地形資料，判釋崙後斷層南段的位置，斷層位置詳見比例尺 1/5000 斷層跡（帶）測繪圖，以下彙整崙後斷層南段之斷層位置判釋描述：

崙後斷層鹿寮溪以南至曾文溪之間，從地形觀察，此區間山地地形與丘陵地的交界約與前人判釋的崙後斷層同向，然而，楠西隧道以北的斷層大部分為崩積層所覆蓋（陳文山，2003），楠西隧道以南至曾文溪區間，從空照當中也未發現到有斷層露頭出露，雖此區間未有良好的斷層露頭出露，但從地層分辨，崙後斷層上盤出露的地層為中新世的糖恩山砂岩，西側為上新世的濁水溪層，兩側岩層的年代明顯不同，因此本案的判釋崙後斷層亦大致位於山脈與丘陵地的交界處。

崙後斷層於曾文溪至蘆芝坑溝剖面之間，曾文溪走馬瀨橋下方及蘆芝坑剖面兩個有較完整的露頭出露，可判定出斷層實際上的位置，位於兩個斷層露頭間的階地，因階地判釋結果未發現到有受到斷層傾動的階地，崙後斷層可能被覆蓋在階地的下方，因此兩個斷層露頭之間崙後斷層的位置以斷層位態延伸推測。

崙後斷層蘆芝坑溝剖面以南鄰近崙後斷層處，露頭中觀察到的現象多半為寬度約數公尺的剪裂帶，其露頭產狀約與蘆芝坑溝剖面所觀察到的樣貌相似，雖未有明確的斷層露頭出露但可藉由觀察到剪裂帶的位置，大約推測斷層可能位置。接近左鎮榮和村菜寮溪附近，河階地中及丘陵與河階地的交界，皆可觀察到方向約 N40°E 的地形線形，然而，河階地中的地形崖可追跡 600 公尺，且線形十分的平直，可能是斷層的位置，此位置也與陳文山（2003）判釋的位置吻合。

- **口宵里斷層**

本案蒐集鳥居敬造（1932）、中國石油公司（1989）及何信昌等（2005）的前人野外調查資料，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 公尺空載光達數值地

形資料，判釋口宵里斷層的位置，斷層位置詳見比例尺 1/5000 斷層跡（帶）測繪圖，以下彙整口宵里斷層之斷層位置判釋描述：

口宵里斷層北段曾文水庫南側至曾文溪北側內豐地區，從地質圖分布，上盤為上新世的竹頭崎層，下盤為更新世的北寮頁岩，兩者地層有年代上的差異，根據鳥居敬造（1932）對於口宵里斷層兩側層面位態的記載，斷層上盤的岩層的層面呈高傾角、下盤的岩層為的傾角。實地的野外調查結果，此區間並未發現到良好的斷層露頭，於灣潭地區露頭出露較連續的東西走向的小溪溝，雖然有看到層面位態有明顯的變化，但露頭中也沒有看到明顯的剪切構造，因此口宵里斷層北段斷層的位置，僅能由地表地質調查層面位態量測結果，及一公尺光達數值地形影像出現連續地形線形的特徵進行收斂，斷層大約通過的位置可能為由東向西的方向，層面傾角明顯由低傾角轉變為高傾角的地方，或是河階地中有大約南北走向地形線形崖的崖角處。

口宵里斷層於曾文溪河床與貓兒干地區，有較明顯具有斷層證據的露頭出露，斷層位置可明顯的界定，從劉陳灣曾文溪南岸露頭中量測的斷層面位態為走向 N42°E，傾角 43°W。

口宵里斷層貓兒干地區以南，從地質圖分布，上盤為更新世的北寮頁岩，下盤為更新世的玉井頁岩，兩者岩性皆是以砂質泥岩為主（何信昌等，2005），實地的野外調查結果，貓兒干以南丘陵的為惡地地形，丘陵地間紀錄到的岩性多為厚層泥岩偶夾薄層砂岩，口宵里斷層上下盤兩側，觀察到的岩性較雷同，然而，亦可看到岩層位態東側較緩、西側較陡的變化，於鄰近前人記載口宵里斷層位置之處，露頭之中仍只能觀察到數條剪切帶，且剪切帶的分布並非密集，因此口宵里斷層的位置亦以岩層位態變化的位置推斷。

6.2 斷層帶寬度及斷層帶側向構造變化

本案針對崙後斷層南段沿線及口宵里斷層沿線觀察到的幾個斷層露頭，以及斷層沿線調查的結果，比較以及探討個別的斷層帶構造特性，下列分別針對兩條斷層個別論述：

- **崙後斷層南段**

崙後斷層沿線可分析斷層構造特性的露頭，僅有曾文溪走馬瀨橋下方及蘆芝坑溝剖面，從本案的調查結果，兩處的斷層的特性明顯不同，於走馬瀨橋下方，崙後斷層帶的位置定義為露頭中看到密集剪切帶較為密集、寬度約 15~20 公尺的區間，斷層帶內可觀察到被截斷的薄砂岩層，且此處觀察到的剪切帶或小斷層的傾角為 60˚~70˚，呈現為較高傾角。斷層帶兩側，偶可發現可延續數公尺的小斷層將薄砂岩層錯斷，可是整體的岩層狀態仍算是完整的，斷層帶中並無發現到具有明顯錯動量的斷層面。

於蘆芝坑溝剖面，本案將崙後斷層的位置定義在剪裂帶上界，厚層砂岩層明顯被錯斷的斷層面，此處也是露頭中觀察到岩性變化及構造變化最明顯之處，斷層面西側水平寬度約 120 公尺的剪裂帶，相對於曾文溪走馬瀨橋旁岩壁觀察到的斷層帶寬度，蘆芝坑溝剖面剪裂帶相對較寬，此處剪切帶分布的密度與走馬瀨橋旁露頭相比，密度較低，剖面中剪切帶的傾角皆約 15˚~30˚，與曾文溪走馬瀨橋旁露頭相比，剪切帶傾角平緩了許多。

- **口宵里斷層**

口宵里斷層帶出露最明顯的位置，僅出現於曾文溪南岸的壁面，就此出露的露頭而言，斷層帶的位置亦即露頭中剪切帶出現最密集的寬帶，寬度約 32 公尺，斷層帶西側上盤雖有觀察到一些岩層被錯斷或褶曲的現象，但岩層大致完整，根據本案的定義，此區間可歸類在斷層影響帶（fault-affected zone）之中，其寬度約 20 公尺，斷層帶東側下盤也觀察到較明顯的類似急折褶皺，但岩體大致完整，此處岩層雖未有明顯的破裂，但岩層也已經被褶曲，此區間亦可算是斷層影響帶的一部分，其寬度約為 60 公尺，綜合以上，口宵里斷層的整個斷層影響帶約 110 公尺。從剖面中斷層帶觀察到的組構，以及在下盤側褶皺軸一翼測量到的層面位態 N74˚E，傾角 35˚S，本案根據上述的資訊建立出此區的構造模型（圖 72），造成斷層下盤於斷層影響帶內褶皺一翼岩層向南傾斜之現象有兩種可能性，其中一種可能，口宵里斷層為帶左移分量的位移所造成，另一種可能，口宵里斷層為純逆移斷層，但滑移量往南遞減所造成。

口宵里斷層北段，於本案挖溝的位置廢棄河道處，從附近的露頭本案挖溝的地質剖面，即難以界定斷層帶的邊界，內豐地區北側的灣潭處，從河階地判釋可看到與斷層走向近乎平行的地形崖，但在地形崖附近露頭出露較完整的地方，未見到明顯的剪切構造，大多只可看見明顯的層面位態變化，位於貓兒干以南，雖然有較多的露頭出露，但在鄰近前人判釋的口宵里斷層處，也未見到斷層帶露頭，只有發見露頭中有零星的剪切帶，有可能的原因為口宵里斷層，在內豐地區以北及貓兒干以南的地區，斷層活動並未像在曾文溪劉陳灣處觀察到的如此明顯，本案不排除口宵里斷層在最南段及最北段，斷層未切穿至地表的可能性。

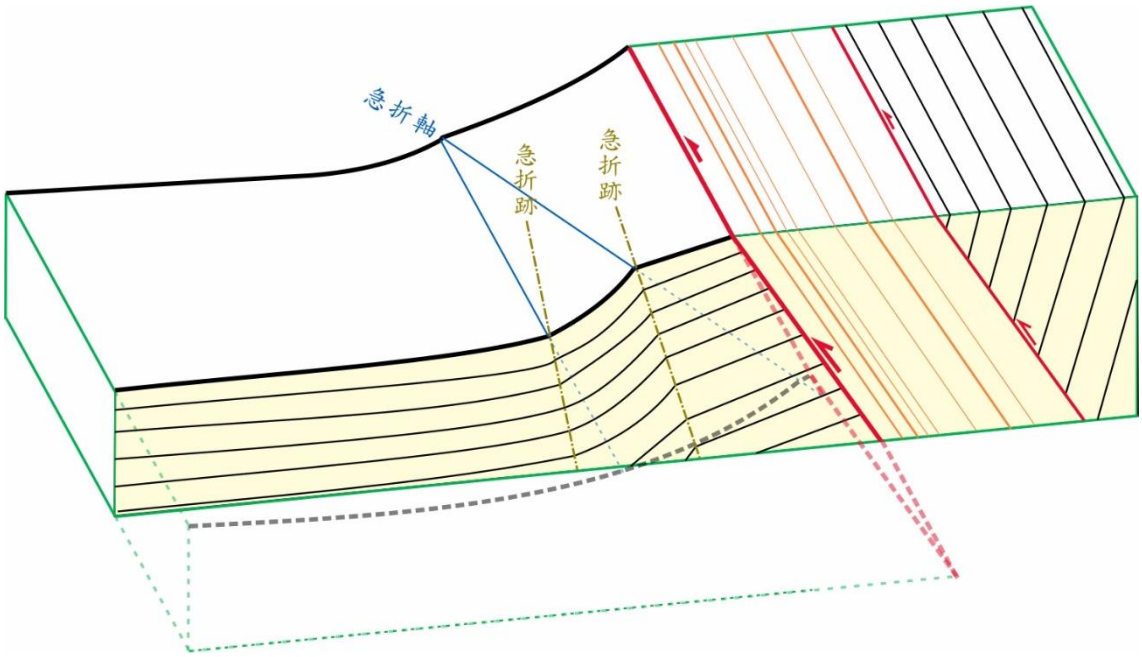


圖 72 劉陳灣曾文溪南岸口宵里斷層臆測構造模型。

Fig.72 Inferred structural model of the Kousiaoli Fault at Luichenwan, south bank of the Zengwen River.

6.3 斷層長期滑移速率評估

本案於崙後斷層下盤所得到的定年結果，次高階地 T2 的 2 組定年結果與其他階河階定年結果相比過於年輕， T4a 階地編號 TW20-C135 的定年結果過老，灣潭地區 T2 階地編號 LKP03-C07 定年結果亦過於年輕，對於本案較不具參考價值，其他 C-14 定年皆符合本案劃分階地之預期結果，以下討論將上述 4 組樣本排除在外。本案將階地分布及蒐集的定年結果：包含本案的 C-14 定年結果、Hsieh and Knuepfer（2002）及劉彥求等（2020）的定年資料，投影至曾文溪的河道剖面（圖 70），藉由階地及定年結果分布，可推測崙後斷層及口宵里斷層的活動特性。

首先，崙後斷層上盤 T4a 階地的年代 1630-2757 cal BP（Hsieh and Knuepfer, 2002），與本案崙後斷層下盤走馬瀨地區 T4a 階地的年代 1998-1878 cal BP（樣本編號：TW20-C128）相近，再者，兩處階地海拔高程大約都是 70 公尺幾乎一致，又因曾文溪走馬瀨橋旁階地礫石層與露頭的界面的高程，在跨斷層帶處並無明顯變化，因此本案推測，崙後斷層於近 2 千年內，上下盤之間並無明顯垂直滑移量。

本案測得口宵里斷層下盤 T4b 階地（劉陳尾地區）的年代為 4219-3926 cal BP（樣本編號：TW20-C79），Hsieh and Knuepfer（2002）測得口宵里斷層上盤 T4a 階地的年代為 1640-2780 cal BP，在長時間尺度下，河流下切速率可以反映地殼隆升速率，一個河流階地系統的形成，較老的階地因經歷抬升時間較長，經常會高於較年輕的階地，針對兩處地形高程分析，口宵里斷層上盤之 2 千年的階地與口宵里斷層下盤 4 千年的階地海拔高程相近，假設口宵里斷層下盤之 4 千年階地有延續至口宵里斷層上盤，其相對位置應高於口宵里斷層上盤之 2 千年的階地，惟該階地可能已被侵蝕殆盡或因露頭不足而尚未被發現，藉此推論可間接說明口宵里斷層上盤相對於口宵里斷層下盤在千年尺度下是在抬升的。

曾文溪南岸露頭中口宵里斷層切穿階地礫石層的現象（圖 42b），此階地本案的定年結果約為 4ka，為全新世沉積物，以此可判定口宵里斷層仍是活躍的，於灣潭地區近口宵里斷層處與斷層平行的地形線形崖其兩側階地，本案的定年結果（樣本編號：TW20-C201、LKP3-C07）雖難以證實斷層兩側的階地同時沉積形成，然而，從地形判釋結果及地形崖附近的露頭觀察，仍無法排除此崖為口宵里斷層活動造成的可能性，若假設此崖真為斷層活動形成，斷層兩側階地則可假設為同時期沉積形成，雖然計算長期滑移速率的指準層，使用斷層兩側岩盤與沉積物的交界面（strath）的高程落差評估較為恰當，然而於灣潭處較不易發現到岩盤與沉積物

的交界面的露頭，因此以下的滑移量仍使用斷層兩側的階面高程落差評估。口宵里斷層的垂直滑移量，本案使用灣潭地區斷層兩側的階面高程差 40 公尺，斷層滑移量則利用於劉陳灣處所測得的口宵里斷層的斷層面傾角為 43°推算，口宵里斷層於灣潭地區的滑移量約為 58.65 公尺。藉本案階地分類的結果，灣潭地區階地面相對於現生河床面的高程差，大於劉陳灣及劉陳尾處 T4a、T4b 階地相對於現生河床面的高程差，意味著灣潭地區階地年代必定老於劉陳灣及劉陳尾處 T4a、T4b 階地，若根據本案假設一：斷層於 4 千年內有活動過，則使用劉陳尾處 T4b 階地本案的定年結果 4219~3005 cal BP（樣本編號：TW20-C79、TW20-C158）推估，於灣潭地區口宵里斷層附近的階地則必老於 4219 cal BP，依此推算，口宵里斷層的垂直滑移速率小於 9.5 mm/yr，口宵里斷層的長期滑移速率小於 13.9mm/yr；若根據本案假設二：斷層於 1.2 萬年內有活動過，則使用劉陳灣處 T4a 階地劉彥求等（2020）定年結果 12630-12710 BP 推估，於灣潭地區口宵里斷層附近的階地則必老於 12710 BP，依此推算，口宵里斷層的垂直滑移速率須小於 3.2 mm/yr，口宵里斷層的長期滑移速率須小於 4.6 mm/yr。

比對口宵里斷層下盤的 T4b 階地年代為 4219-3005 cal BP（樣本編號：TW20-C79、TW20-C158），與崙後斷層下盤的 T3 階地年代：3820-3446 cal BP 相比（樣本編號：TW20-C164、TW20-C188），兩者年代相近，因此本案可推測兩處階地為同一時期沉積形成，若此推測成立，從現今兩處海拔高程差比對，崙後斷層下盤 T3 階地的海拔高度高於口宵里斷層下盤 T4b 階地的海拔高度，意即崙後斷層下盤相對於口宵里斷層下盤為抬升的，然而，目前尚無證據說明此現象是否與本案的兩條目標斷層活動有關，或是於崙後斷層更西側的構造活動造成。

第七章 結論

本案第二年度計畫工作，於時程內進行崙後斷層南段、口宵里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 80 平方公里、200 公頃高精度（高解析度）影像空拍、1 處地質剖面清理、3 處階地沉積物挖掘採樣、12 組 C-14 定年及 3 組 OSL 定年，並整合前人研究及野外調查結果，繪製崙後斷層南段、口宵里斷層跡（帶）測繪圖，本案調查結論彙整如下：

（1） 崙後斷層南段位置：

崙後斷層沿線，可較明確界定斷層位置的地方為曾文溪走馬瀨橋旁及蘆芝坑溝剖面，位於兩露頭之間，斷層被覆蓋在河階之下。曾文溪以北崙後斷層的位置位於山脈與丘陵地之間，與前人的判定相似，蘆芝坑溝剖面以南的丘陵地，崙後斷層可能的位置可藉由剪裂帶出露的位置大約推測，位於最南端，本案推測崙後斷層的位置位於菜寮溪階地延伸方向約 N40°E 的地形崖處。

（2） 口宵里斷層位置：

口宵里斷層曾文溪以北，本案藉由東側至西側岩層位態由緩變陡的位置，或階地中出現地形線形崖的位置，判定斷層的位置。位於劉陳灣曾文溪南岸處與貓兒干地區，可觀察到較明顯露頭，斷層位置能較清楚的被定義，貓兒干以南地區，露頭中僅能看到較零星的剪切帶，斷層位置仍是以露頭中岩層面傾角的變化的位置來界定。

（3） 斷層帶構造特性：

崙後斷層帶於曾文溪南側與北側觀察到的構造特性不同，走馬瀨曾文溪北岸露頭剖面觀察到斷層帶寬度約 15~20 公尺，斷層帶內的剪切帶為高傾角，相反的，曾文溪南側蘆芝坑溝剖面中，斷層面的位態為 N18°E，傾角 30°E，並可觀察到寬度約 120 公尺的剪裂帶緊鄰此面，剪切帶為低傾角。口宵里斷層位於曾文溪處，斷層帶的寬度約 32 公尺，斷層影響帶約 110 公尺，根據露頭觀察結果，口宵里斷層為一逆移斷層。

（4） 斷層活動性及長期滑移速率評估：

從定年結果分析，本案推測崙後斷層於近 2 千年內，上下盤之間無明顯垂直滑移量，口

宵里斷層上盤相對於口宵里斷層下盤，在千年尺度下是在抬升的，崙後斷層下盤相對於口宵里斷層下盤為抬升的，然而，目前尚未釐清此現象是否與本案的兩條目標斷層活動有關，或是於崙後斷層更西側的構造活動造成。從曾文溪南岸露頭及定年結果分析可說明口宵里斷層仍是活動斷層，根據本案初步的河階對比，口宵里斷層若 4 千內持續活動，則垂直滑移速率至少小於 9.5 mm/yr，斷層滑移速率須小於 13.9 mm/yr，若 1.2 萬年內持續活動，則垂直滑移速率至少小於 3.2 mm/yr，斷層滑移速率須小於 4.6 mm/yr。

Conclusions

The purposes of this project in second year are the geological survey along the south part of the Lunhou fault and along Kousiaoli fault. The tasks included 80-km2 aerial photography of two targeted potential active faults, 200-hectare high-resolution aerial photography, scraping and mapping on one Kousiaoli-fault trench, three pits, and dating of 12 C-14 samples and 3 OSL samples. Based on the previous studies and the results from field surveys, the fault traces of the south part of the Lunhou fault and of the Kousiaoli fault are mapped. In the following, we summarize the conclusions for this second-year project.

（1） Location of the south part of Lunhou fault:

The location of the Lunhou fault can be clearly identified at a cliff exposure by the Zengwen River near Tsoumalai bridge and at an outcrop in Luzhikeng creek, south of the Zengwen River. Between these two outcrops, the fault trace is covered by a terrace. North of the Zengwen River, the fault trace can be roughly located at the boundary of mountains and hills. South of the Luzhikeng creek, the location of fault trace can be roughly inferred by shear zones observed on the hills and from a N40°E escarpment on the Cailiao River terrace.

（2） Location of the Kousiaoli fault:

North of the Zengwen River, the Kousiaoli fault can only be located based on the change in the dip angle of sedimentary layers, from steep on the hanging wall to gentle on the footwall, and based on a linear escarpment formed on river terraces. Obvious fault outcrops are observed along the south bank of the Zengwen River at Liuchenwan and at Mao-er-gan area, south of Liuchenwan. Instead of a fault outcrop, only sporadic shear bands can be found on the outcrops south of Mao-er-gan area. Thus, the fault trace in this region can only be placed through the change in dip angle of the bedding plane.

（3） Structural characteristics :

The structural characteristics of the Lunhou fault vary along strike. At the Zengwen River, the Lunhou fault zone consists of steeply-dipping shear bands and small faults and it is about 15~20 m wide. In contrast, the attitude of fault is measured as N18°E/30°E at the Luzhikeng creek profile, south of the Zengwen River. The width of shallow-dipping shear zones attached to the fault is about 120 m.

The Kousiaoli fault zone is about 32 m wide, and the Kousiaoli fault-affected zone is about 110 m wide based on the observation at the south bank of the Zengwen River at Liuchenwan. The Kousiaoli fault can be identified as thrust fault according to field observation.

（4） The activity of the faults and the long-term slip rate:

Based on the dating results and terrace analysis, there is no relative vertical movement during the last 2 ka across the Lunhou fault, as observed in the Tsoumalai-Neifeng area. The hanging-wall of the Kousiaoli fault was uplifted relative to the footwall of the Kousiaoli fault during the Holocene, as observed at Liuchenwan, Wantan and between Liuchenwan and Neifeng. Larger-scale observations of dated Zengwen river terraces show that the footwall of the Lunhou fault was uplifted relative to footwall of the Kousiaoli fault. However, it is unclear whether this uplift is due to the Kousiaoli fault or another active structure located west of the Lunhou fault. The Kousiaoli fault can be identified as an active fault because it cuts into Holocene sediments. However, the dating efforts conducted during this project did not lead to successful ages that would allow calculating a fault slip rate. Based on tentative terrace correlations, we estimated a maximum vertical slip rate 9.5 mm/yr and a maximum fault slip rate of 13.9 mm/yr since at least 4 ka, or a maximum vertical slip rate 3.2 mm/yr and a maximum fault slip rate of 4.6 mm/yr since at least 12 ka.

參考文獻

Bailey, Richard M., and L. J. Arnold. "Statistical modelling of single grain quartz De distributions and an assessment of procedures for estimating burial dose." Quaternary Science Reviews 25.19-20 (2006): 2475-2502

Galbraith, R.F., Roberts, R.G., Laslett, G.M., Yoshida, H. and Olley, J.M.J.A.（1999）Optical dating of single and multiple grains of quartz from Jinmium rock shelter, northern Australia: Part I, experimental design and statistical models, Archaeometry,41,（2）, 339-364.

Hsieh, M.L. and Knuepfer, P.L.K.（2002） Sychroneity and morphology of Holocence river terraces in the southern Western Foothill, Taiwan: A guide to interpreting and correlating erosional river terraces across growing anticlines: *Geological Society of America Special Paper*, 358, 55-74.

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.

中國石油公司 （1986） 十萬分之一地質圖—嘉義幅。中國石油公司臺探總處出版。

中國石油公司 （1989） 十萬分之一地質圖—臺南幅。中國石油公司臺探總處出版。

何信昌、謝凱旋、高健銘、陳華玟 （2005） 新化圖幅與說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 50 號。經濟部中央地質調查所出版，共 77 頁。

宋國城、林慶偉、林偉雄、林文正 （2000） 甲仙圖幅與說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 51 號。經濟部中央地質調查所出版，共 57 頁。

林啟文、盧詩丁、石同生、劉彥求、林偉雄、林燕慧 （2007） 臺灣西南部的活動斷層，二萬五千分之一活動斷層條帶圖說明書。經濟部中央地質調查所特刊，第十七號， 共 132 頁。

邵屏華、高銘健 （2009） 中埔圖幅與說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 45 號。經濟部中央地質調查所出版，共 87 頁。

黃台豐、簡逢盈 （2017） 活動斷層調查方法-以槽溝開挖為例。大地技師，第 15 期，共 101 頁。

張憲卿 （2008） 嘉義圖幅與說明書，五萬分之一臺灣地質圖第 44 號。經濟部中央地質調查所出版，共 81 頁。

陳文山 （2003） 地震地質調查及活動斷層資料庫建置：槽溝開挖與古地震研究計畫（2/5）— 七、崙後斷層條帶地質圖。經濟部中央地質調查所報告書，共 24 頁。

鳥居敬造 （1932） 臺南州新化區油田調查報告。臺灣總督府殖產局，第 609 號，共 29 頁。

劉彥求、許晉瑋、林啓文 （2020）口宵里斷層之構造特性與活動調查。經濟部中央地質調查所特刊，第三十五號，第 29-46 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釋之應用。航測及遙測學刊，第二十一卷，第 257-269 頁。

委員意見回復表

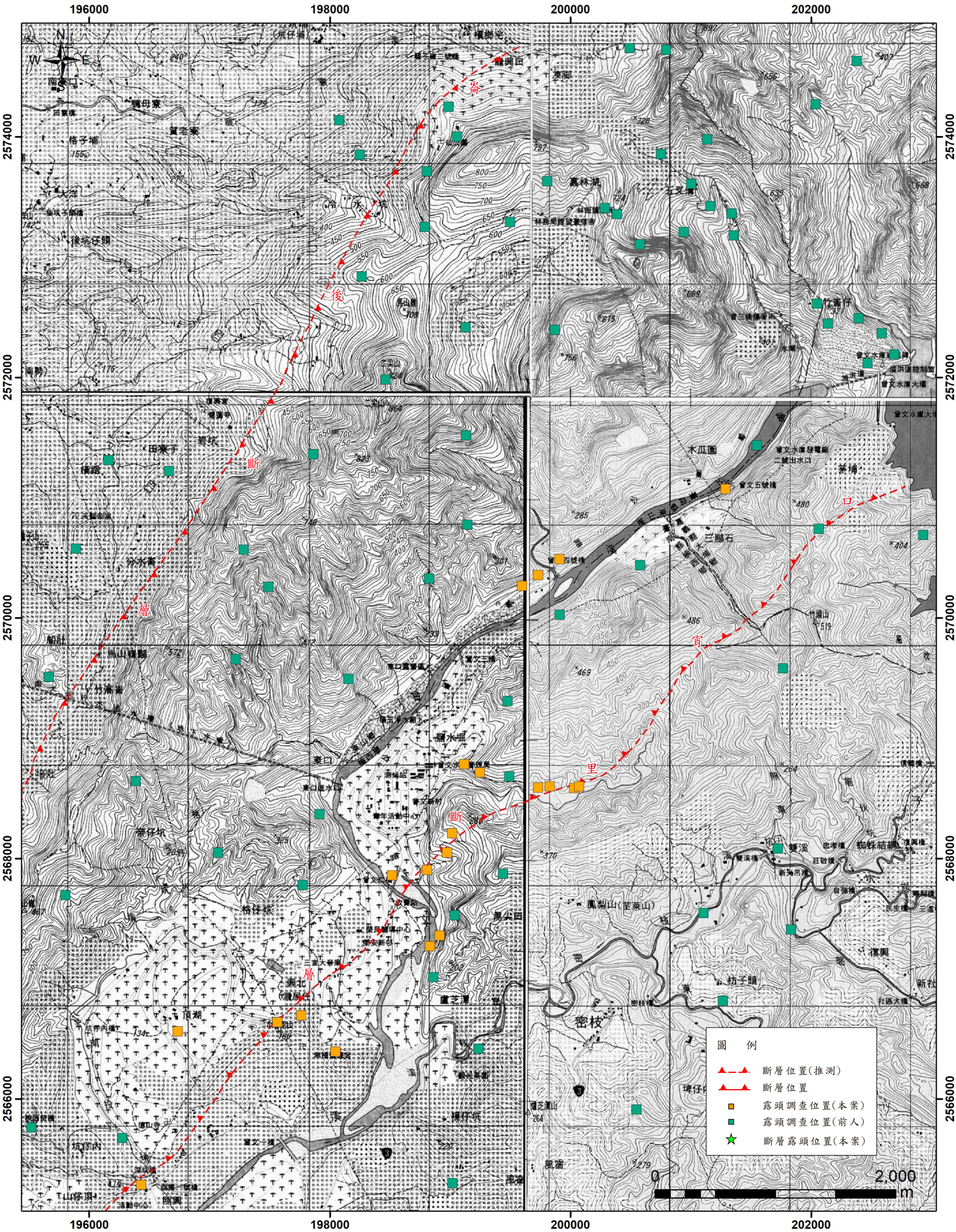
委員意見	回覆內容
第 3 頁圖 2 說明提及學者提出的可能活動斷層，宜列出這些學術的文獻	已於第 1.1 節的表 1 加上可能活動斷層的學術文獻。
第 28 頁關於斷層的地形描述部份，多著重於地形崖面，對其他地形現象敘述太少，建議可加入卡通示意圖，表明各斷層之地形特徵。	已於 3.1.1 及 3.1.2 節地形特徵描述的章節當中，個別針對兩條目標斷層加強描述。然而，本案斷層沿線較明顯斷層特徵已斷層崖坡為主，並未有其他特徵(如：斷層三角面等等)，因此，省去卡通示意說明。
有關第 37 頁表 11 之斷層相關專有名詞，建議加入圖來說明，比較清楚。	表 11 的斷層相關專有名詞已再加強解釋，然而今年度本案的兩條目標斷層的斷層帶，皆難以區分斷層核心帶及斷層破壞帶，因此本報告書移除掉本案較不相關的名詞，並將不探討此部份。
第 51 頁的圖 41b 露頭建議提供清楚的照片。	圖 42b 露頭已更換較為清楚的照片。
在斷層露頭太少或未出露的地區，建議以地層差異來討論斷層的存在性。	已於第 6.1 章節兩條目標斷層的個別論述段落，加入地層的年代及岩性，探討斷層的存在性的部分。
空拍面積很大，耗時多，但是後面應用不多，建議增加關於無人航空載具（UAV）及空載光達影像（LiDAR）應用。	第 3.1 小節引言段落最後兩行的內文，及 3.2 小節的最後一段，加強說明無人航空載具（UAV）及空載光達影像（LiDAR）的應用。
建議空拍露頭照片加上比例尺。	第 3.3 節及第 4.3 節的空拍照片已加入大略比例尺。
部分空拍相片請提供露頭近照，以強化調查成果。	報告書中圖 35c、36b、44a 較小範圍的空照，已更換更近的照片，部分較近的露頭空拍照，也附於光碟附錄中。
第 57、58 頁內圖 46 和圖 47 的箭頭所指方向有誤，請修正。	已於報告書 4.2.1 小節圖 48 和圖 49 修改。
部分照片說明請再詳加描述（如圖 34，圖 35 等）。第 65 頁的圖 53，請詳細描述劉陳灣曾	已於報告書 4.2.3 的圖 55 增加描述。

文溪南岸，所觀察的口宵里斷層帶內的斷層結構。	
河階的高程（比高）建議用河階岩盤面與河床岩盤面的高程差。第 86 頁，階地年代的計算或對比也建議使用此界面為基準計算。	河階的比高已於第 5.1 節的第二段說明，並且增加說明河階沉積物厚度等資訊。
階地的成因建議區分清楚，第 69 頁的圖 58 階地分布圖中有些階地的成因可能是扇階，或支流形成的階地。支流與主流的階地可能需要分開討論，它們的侵蝕基準面不同，所以與河床的比高不同。	本案已針對報告書中圈繪出的河階地再確認，本案所有呈現的河階皆為主流造成的河階。
階地上方的砂層可能是氾濫的沖積層，年代可能較階地形成的年代還年輕，建議執行團隊若用來當階地形成年代，或用來與其他階地對比時要小心。	感謝委員意見。
階地的對比，建議以階地高度作剖面圖，並將定年結果標示其中，較為清楚。	剖面圖已於第 5.3 小節的圖 70 補充。
長期滑移連率評估時，請於文字描述中加註樣本編號，樣本的標示除編號外，建議註記說明樣本位置與野外產狀。	第 6.3 小節長期滑移連率評估，已於文字描述中加註樣本編號。樣本位置與野外產狀則加註於附錄四中。
請執行團隊敘述階地與斷層的關係。	已於 5.1 小節最後一段說明，同一個河階面，原則上為同一時期形成，若有正移或逆移斷層截切過同一時期形成階面，會造成斷層兩側的階面高程的差異，藉由尋找斷層兩側同一年代形成的階面，可推估斷層長期滑移速率。
OSL 定年在臺灣不適用，因為現生的河流沉積物都沒有曬退，年代會比較高。建議之後不要再採用此種方法（臺灣的侵蝕與沉積速率太快）。	感謝委員意見。
第 85 頁，內文說明口宵里斷層可能未切穿地	第 93 頁，內文提及口宵里斷層可能未切穿地

表，但是圖 68 的模型卻是切穿至地表，請執行團隊說明。	表的部分是位於內豐以北，圖 72 的模型是以劉陳灣曾文溪南岸露頭觀察結果建構，兩者討論的地點不同，已於 6.2 小節再增加說明。
口宵里斷層逆移帶左移之說明，建議詳述並補足急折軸、急折帶資料與赤平投影圖。	左移分量的判定，是根據斷層下盤於斷層影響帶內單斜構造之頂部岩層往南傾斜之現象。然而此現象除可能有帶左移分量的斷層位移所造成，亦可能由純逆移但滑移量往南遞減所造成，因此更正略去此判定。此外急折軸及急折帶的判釋，皆利用點雲立面影像判釋，未有量測資料。
附錄一空拍的地理位置定位（Geolocation）Z 軸誤差非常大，建議執行團隊說明原因。	附錄一 Geolocation Bias 表格為無人機內建 GPS 所偵測到的位置，與產製模型時，於軟體中輸入正確的坐標，兩者之間的差異，因此，此 Z 軸誤差，只代表無人機內建 GPS 的誤差，並非代表實際模型的誤差。
附錄三探坑，建議使用較為清晰之皮尺相片。	附錄三部分皮尺刻度較不清晰的照片已更改為較清晰的照片。
請提供一地圖，其上標示河階分布、斷層帶、定年採樣點以及定年年代。	建議中的資訊，已於第 5.2 小節的圖 63 加上。
報告中部份用語建議再斟酌，如沉積物應與岩屑崩積層區別，沉積物的存在或破碎砂岩的存在不應屬地形特徵…等。	已於第 3.1.2 小節修改敘述方式。
建議修正有些中文格式問題，如錯字及標示不統一，英文圖說、表名、英文語句有些不協調。	報告書的錯字已更正，標示也與內文提及內容同步，英文語句也已更正。
報告書內文排版時，行距與段距要有差異。	報告書的行距與段距已調整。
請依簡報處理報告內容不同尺度之照片之間的位置關係。報告書中所提及之地名、建物名稱、露頭及剖面，建議將之標示圖上。	報告書中，圖 33、35、36、40、43、55 較大範圍的空照，已標註上報告書較後面出現，較小範圍照片的位置。

斷層跡(帶)測繪圖

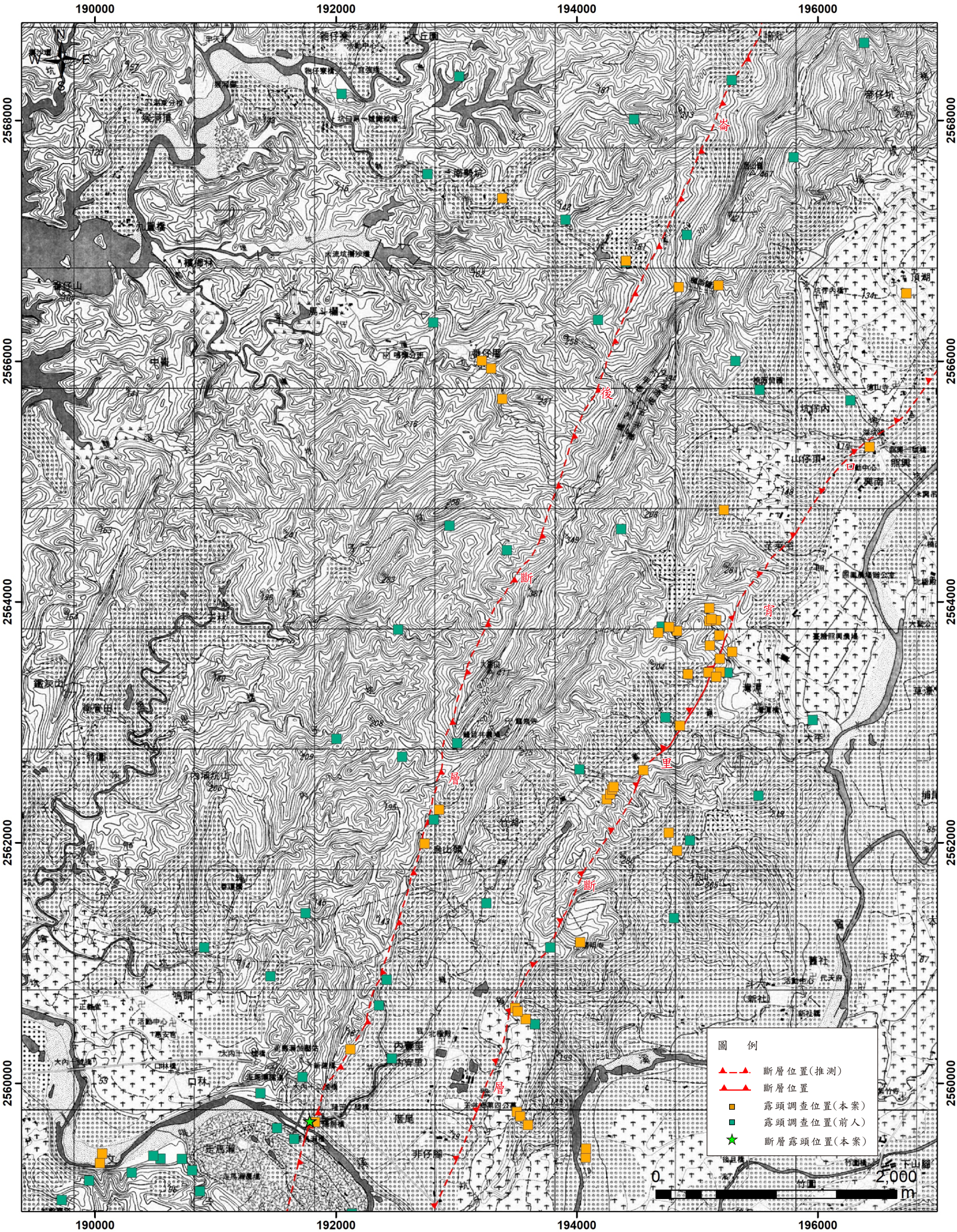
崙後斷層南段、口宵里斷層-1



(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

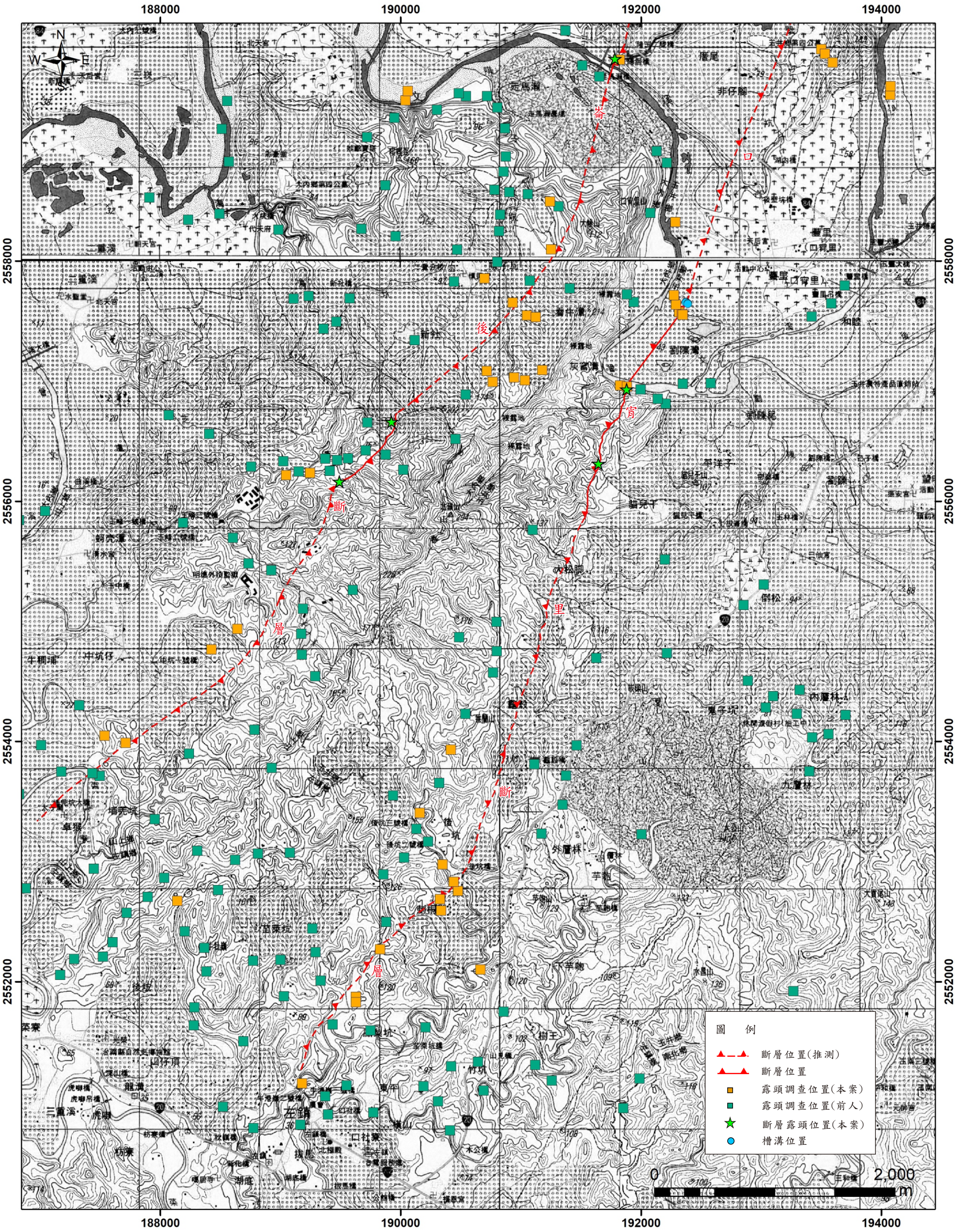
崙後斷層南段、口宵里斷層-2



(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

崙後斷層南段、口宵里斷層-3



(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)