

國立中央大學

應用地質研究所

碩士論文

Graduate Institute of Applied Geology

National Central University

Master Thesis

臺灣西北部石門斷層與大平地斷層之構造關係

探討

**Structural Relationships of the Shimen Fault
and Taipingti Fault, Northwestern Taiwan**

研究生：譚寧

Student: Ning Tan

指導教授：黃文正 博士

Advisor: Dr. Wen-Jeng Huang

中華民國一百一十五年六月

June, 2026

臺灣西北部石門斷層與大平地斷層之構造關係探討

中文摘要

石門斷層與大平地斷層位於臺灣西北部麓山帶前緣，石門水庫西側，為研究區內兩條相鄰之逆衝斷層。前人繪製地質圖中雖已有石門斷層與大平地斷層地表斷層跡線，然而受限於斷層沿線缺乏明確且可連續追蹤之斷層露頭，使得斷層的精確位置、傾角、活動性及兩者地下連接關係仍然存在不確定性，斷層構造關係亦難以直接由地表判定。因此，本研究依據野外地質調查所得之岩性分布與位態資料，並結合高解析度 DEM 所產製之日照陰影圖，利用地形明暗與差異侵蝕特徵判釋與構造大致平行之地形線形，重新繪製研究區域內地表岩性分布，作為剖面建構之地表依據；並整理鄰近石門斷層之鑽井岩心資料，辨識岩心中破碎帶、斷層角礫岩以及剪切構造較為集中的區段以判定斷層帶於岩心中的位置，作為斷層地下淺部構造的限制條件。綜合地表地質分布、鑽井、前人研究與地層厚度資料及區域構造背景，本研究建構之地質剖面 AA'與 BB'顯示，石門斷層與大平地斷層於近地表雖呈現兩條相鄰之斷層跡，但兩者可能屬於同一逆衝斷層系統，並於深部連接至低角度滑脫面。此外，鑽井顯示中新世地層與鬆軟礫石沉積單元呈異常接觸關係，由於該鑽井位置位於大漢溪襲奪前古流域範圍內，因此可解釋為大漢溪所搬運之沉積物，但該礫石沉積物與古大漢溪之關聯性，以及其對石門斷層活動時間之推估，仍有待後續沉積來源分析與年代資料做進一步驗證。

關鍵詞：石門斷層、大平地斷層、地質剖面、斷層活動性、地下構造關係

Structural relationships of the Shimen Fault and Taipingti Fault, northwestern Taiwan

Abstract

The Shimen Fault and the Taipingti Fault are two adjacent thrust faults located on the western side of Shihmen Reservoir, along the frontal part of the Western Foothills in northwestern Taiwan. Although previous geological maps have shown the surface traces of both faults, their exact locations, fault dips, activity, and subsurface connection remain uncertain due to the lack of clear and continuously traceable fault outcrops along the fault zones. Therefore, the structural relationship between these two faults cannot be determined directly from surface observations alone.

In this study, lithologic distributions and bedding attitudes obtained from field geological investigations were integrated with hillshade maps derived from high-resolution digital elevation models. Topographic shading, differential erosion features, and geomorphic lineaments roughly parallel to regional structures were used to reinterpret the surface lithologic distribution in the study area, providing surface constraints for geological cross-section construction. In addition, borehole core data near the Shimen Fault were compiled to identify intervals with concentrated fractured zones, fault breccia, and shear structures. These intervals were used to constrain the possible positions of fault zones in boreholes and to provide near-surface subsurface constraints for fault geometry.

By integrating surface geological distribution, borehole data, previous studies, stratigraphic thickness, and regional structural constraints, geological cross

sections AA' and BB' were constructed. The results suggest that although the Shimen Fault and the Taipingti Fault appear as two adjacent fault traces near the surface, they may belong to the same thrust fault system and may connect to a low-angle detachment at depth. In addition, an anomalous contact relationship between Miocene strata and a loose gravelly sedimentary unit was identified in the borehole data. Because the borehole is located within the paleodrainage area of the Dahan River before river capture, this gravelly unit may be interpreted as sediment transported by the paleo-Dahan River. However, the relationship between this gravelly sedimentary unit and the paleo-Dahan River, as well as its implication for constraining the timing of Shimen Fault activity, requires further verification through sediment provenance analysis and geochronological data.

Keywords: Shimen Fault, Taipingti Fault, geological cross section, fault activity, subsurface structural relationship

誌謝

回首這段研究所的旅程，從最初未曾想過要念研究所，到如今能夠完成學業，這一路對我而言幾乎是一項不可能的挑戰。能夠走到今天，要感謝許多人一路上的扶持與陪伴。

首先，衷心感謝我的指導教授與師母。在研究過程中，老師不僅耐心指正我的錯誤，也總是適時給予方向與資源，讓我得以專注於研究，即使在百忙之中，老師仍抽出時間與我討論，並在理解我同時修習教程課程的情況下，仍不忘督促與提醒，使我能在壓力與支持中持續前行。對老師的教誨與包容，我心懷無限感激。

同時，我要感謝研究所的同學與學長姐及師培中心的同儕們，這份論文能夠成形並完成，學長功不可沒。研究雖常被視為孤獨的道路，但因為有你們的討論、建議與鼓勵，我在這段路程中不再孤單，並深刻體會到，在追求知識與人生的過程中，並非獨自一人，而是與一群志同道合的「戰友」一同奮鬥。能在這個人生階段遇見你們，真是我莫大的幸運。

最重要的感謝，獻給我的家人。謝謝你們讓我能安心投入研究生生活，並支持我追尋成為老師的理想。特別要感謝我的妹妹，因為她無怨無悔地承擔起家庭的責任，讓我能勇敢地在中央完成三年的學業。若沒有她的付出，我無法全心追夢，這份恩情將是我一生的感激。

在這段旅程中，我受到許多人的幫助與關照，無法逐一寫下名字，但每一份支持我都銘記在心。能夠走到今天，是因為有這些陪伴與扶持，如今學業即將告一段落，我將帶著這份感謝與祝福，邁向下一段旅程。

目錄

中文摘要	I
Abstract	II
誌謝	IV
目錄	V
圖目錄	VII
表目錄	IX
第一章 緒論	1
1-1 前言	1
1-2 研究動機及目的	2
第二章 區域地質概述	3
2-1 地形與水系	3
2-2 區域概況	6
2-2-1 地層	6
2-2-2 研究區域主要構造	14
第三章 文獻回顧	21
3-1 臺灣西北部麓山帶之褶皺與逆衝構造	21
3-2 石門斷層與大平地斷層	23
3-2-1 工程地質調查報告	23
3-2-2 研究區前人相關研究	29
3-3 桃園臺地群形成與大漢溪流域變遷	34
第四章 研究方法	37
4-1 野外地質與岩性分布調查	37
4-2 鑽井岩心紀錄及地層柱建構	39
4-3 建構地質剖面	40

4-3-1 剖面位置與限制	40
4-3-2 彙整地質資料	41
4-3-3 剖面繪製方法	42
第五章 研究結果	47
5-1 野外調查結果	47
5-2 鑽井資料判釋	59
5-3 地質剖面	64
5-3-1 剖面 AA'	64
5-3-2 剖面 BB'	69
第六章 討論	73
6-1 石門地區區域構造的關係	73
6-2 構造可能之演化	75
6-3 石門斷層活動性之地質證據與限制	78
第七章 結論與建議	81
7-1 結論	81
7-2 建議	83
參考文獻	84
附錄一 BH04 鑽井地層柱狀圖之紀錄	89
附錄二 DH08 鑽井地層柱狀圖之紀錄	90
附錄三 口試委員意見修正與回覆說明	91

圖目錄

圖 1 研究區域地形圖。.....	3
圖 2 研究區域及周圍地區主要水系分布圖。.....	5
圖 3 桃園臺地群地形面。.....	5
圖 4 研究區域地質圖。.....	7
圖 5 三峽湊合剖面石底層與南港層地層柱狀圖。.....	12
圖 6 地質構造剖面位置與資料整合地質圖。.....	17
圖 7 湖口—平鎮背斜至觀音陸棚之震測剖面。.....	18
圖 8 湖口楊梅背斜之構造地質剖面。.....	19
圖 9 臺灣北部褶皺—逆衝帶之平衡剖面。.....	22
圖 10 石門水庫鄰近地電阻剖面。.....	24
圖 11 工程鑽井位置圖。.....	26
圖 12 聯通管隧道開挖面影像與地質構造素描圖。.....	28
圖 13 大平地斷層條帶地質圖(北段)。.....	30
圖 14 大平地斷層竹東露頭照片。.....	31
圖 15 大平地斷層北段之鑽探結果。.....	32
圖 16 新屋—童話世界測線 2017~2021 年測段高程差比較圖。.....	33
圖 17 桃園臺地群礫石堆積層之堆積順序圖。.....	35
圖 18 DEM 衍生融合圖層與野外調查資料套疊示意圖。.....	38
圖 19 剖面 AA' 與剖面 BB' 之資料彙整圖。.....	43
圖 20 繪製鉛直剖面之過程。.....	45
圖 21 野外調查點與露頭照片之分布。.....	47
圖 22 岩性分區圖。.....	50
圖 23 紅土礫石層露頭照片。.....	51

圖 24 黃棕色中粒砂岩露頭照片。	51
圖 25 灰白色塊狀砂岩露頭照片。	52
圖 26 塊狀青灰色砂岩露頭照片。	52
圖 27 照片點 6 之塊狀灰白色砂岩露頭照片。	53
圖 28 照片點 5 之塊狀青灰色砂岩露頭照片。	53
圖 29 隧道開挖面之採樣岩塊。	56
圖 30 以鑽井資料推估斷層面傾角方法示意圖。	60
圖 31 BH04 鑽井岩心照片與石門斷層帶判釋。	61
圖 32 DH08 鑽井岩心照片與石門斷層帶判釋。	63
圖 33 本研究繪製之剖面 AA' 地質剖面圖。	67
圖 34 本研究繪製之剖面 BB' 地質剖面圖。	71
圖 35 區域構造演化示意圖。	77

表目錄

表 1 研究區域地層對照表。	13
表 2 石門水庫至新竹聯通管工程鑽孔位置與主要用途。	27
表 3 桃園臺地群地形面不同分類簡稱及可能形成年代。	36
表 4 本研究施密特錘現地估算抗壓強度量測結果彙整表。	55
表 5 工程地質報告之岩石單軸壓縮試驗成果表。	57
表 6 本研究施密特錘現地估算強度與工程地質報告單軸壓縮試驗成果比較表。	58

第一章 緒論

1-1 前言

石門水庫位於桃園市大溪、龍潭一帶的大漢溪中上游，為臺灣北部極具代表性的水利設施，兼具蓄水、灌溉、公共給水與發電(石門水力發電廠)等功能；其中在公共給水方面，桃園地區多數淨水廠的重要水源即是來自於石門水庫，其長期支援桃園地區及新北部分地區民生用水，近年更在北部區域水資源調度體系中扮演關鍵角色，隨著極端氣候加劇與區域供水韌性需求提升，尤其新竹地區於 110 年上半旱象期間，主要供水水源的寶山第二水庫蓄水率最低僅餘約 2.6%，顯示既有供水系統在枯旱及極端氣候條件下之備援能力仍有可強化的空間。在此背景下經濟部水利署推動「石門水庫至新竹聯通管工程」，使石門水庫的水資源可支援新竹科技重鎮，作為強化西部供水系統的重要建設之一(黎明工程顧問股份有限公司，2024)。

隨著石門水庫周邊近年持續推動取水、輸水、隧道及相關的水利工程，鄰近區域之地質構造條件對工程規劃、設計與施工安全的重要性亦相對提高。就本研究區域而言，有三條斷層鄰近石門水庫及其相關工程帶，第一為新店斷層，其在經過後池後分為兩條斷層，分別為大平地斷層及石門斷層，雖這三條斷層並未列為活動斷層，但釐清石門斷層及大平地斷層之構造幾何與關係對區域地質理解及工程地質評估仍具有重要意義。

1-2 研究動機及目的

石門斷層與大平地斷層位於石門水庫的西側，儘管其對區域構造解釋及工程地質評估相當重要，然而兩條斷層沿線之地表露頭普遍稀少，野外多受崩積層堆積、植被覆蓋及局部人為設施影響，使斷層露頭呈現零星且不連續的分布，難以直接依據地表觀察確定其精確位置與構造特徵，現有地質圖中，石門斷層與大平地斷層之地表斷層位置多半根據地形線型、岩性分布及地層比對結果加以推測，雖可作為區域構造判釋的重要依據，但對於兩條斷層於地下之幾何形貌、深部延伸方式及彼此是否為同一構造系統之斷層，仍缺乏足夠的證據去確認其關係與型態。

因此，本研究透過野外地質調查與地表岩性分布整理，建立研究區域之地表地質架構，作為地質剖面建構的地表限制，並進一步整理既有地質圖、鑽井資料及相關資訊，探討石門斷層與大平地斷層之構造幾何與關係，嘗試建立合理之構造模型。另一方面，本研究也將審視大漢溪河川襲奪、桃園河階發育時序及鑽井資料，評估其是否可對斷層活動之相對定年提供間接限制，在此基礎上討論石門斷層的活動性。

第二章 區域地質概述

2-1 地形與水系

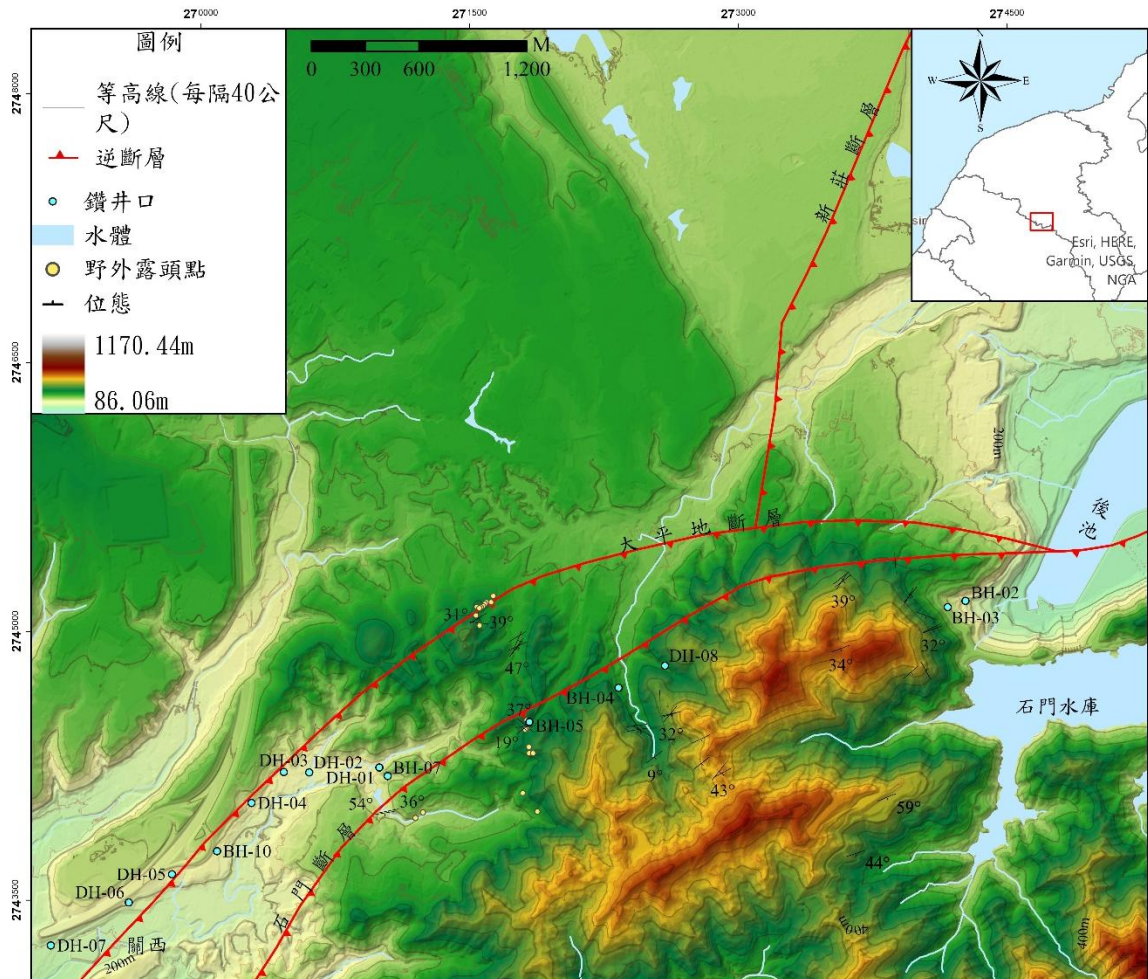


圖 1 研究區域地形圖。斷層地表跡改自地礦中心中壢圖幅地質圖（塗明寬與邵屏華，2001）。

研究區域位於臺灣西北部(圖 1)，地處桃園臺地群東南側與西部麓山帶前緣交界，範圍主要位於石門水庫西側一帶。區域地形由東南側之丘陵山地向西北側逐漸過渡為臺地與臺地崖地形，整體反映山區與臺地交接帶之地貌特徵。研究區域的西北側為桃園臺地，地勢平緩，海拔高度多介於 50 到 200 公尺之間，為更新世晚期至全新世沖積層與臺地堆積層所構成，地表受

人為開發影響明顯；向研究區域東南向進入到丘陵地形，地勢起伏明顯，海拔高度可達 500 到 800 公尺以上，地層以中新世至上新世沉積岩為主，岩性差異控制地形發育，膠結較好的砂岩層常形成山稜線，泥岩與頁岩則形成較緩的坡面。

上述研究區西北側，關於桃園臺地群的形成背景可以追溯至 25000 年前大漢溪襲奪事件(鄧屬予等，2004)影響之古石門沖積扇的發育，富田芳郎(1937)認為古大漢溪自石門地區流出山區後，曾經向西流向桃園-中壢一帶，形成大面積的沖積扇，其扇面整體由東南向西北傾斜，形成一連串由高至低的紅土階地。其後原先向西流經桃園-中壢地區之古大漢溪河道因後續河道遷移與襲奪作用而在石門地區附近改向，以北北東的方向流入臺北盆地，古石門沖積扇亦停止堆積，並在後續構造抬升之作用下逐漸成為今日所見臺地群地形。

由現今區域水系分布可見(圖 2)，大漢溪為研究區東側最主要之幹流；此外桃園臺地群及其周圍尚有老街溪、鳳山溪、頭前溪等區域河川分布，這些河川大多短小且分散，顯示在大漢溪改道後原古石門沖積扇不再由單一大型幹流控制，而是轉為多條地方性河川所構成的排水系統。

桃園臺地群並非單一連續平坦的地形面，而是由多個不同高度之臺地面組成，依石再添等(1983)之地形面分類(圖 3)，桃園臺地群可依據地形高度、坡度、相對高度以及活斷層的分布與特性，分為桃園面、中壢面、大崙面、楊梅面、富岡面，以及位於東南側較高位的關西面、銅鑼圈面與店子湖面等地形面。由於本研究區域位於桃園臺地東南緣與西部麓山帶前緣交接，所以大致可將其歸類於高位臺地分布區，其在地形面分類中的相對位置不僅可作為研究區域地形背景判讀，亦與後續討論古石門沖積扇之分布範圍及相關礫石沉積亦密切相關，至於地形面分類與古石門沖積扇範圍、高位臺地面對比關係及相關地形亦將於後續討論章節進一步說明。

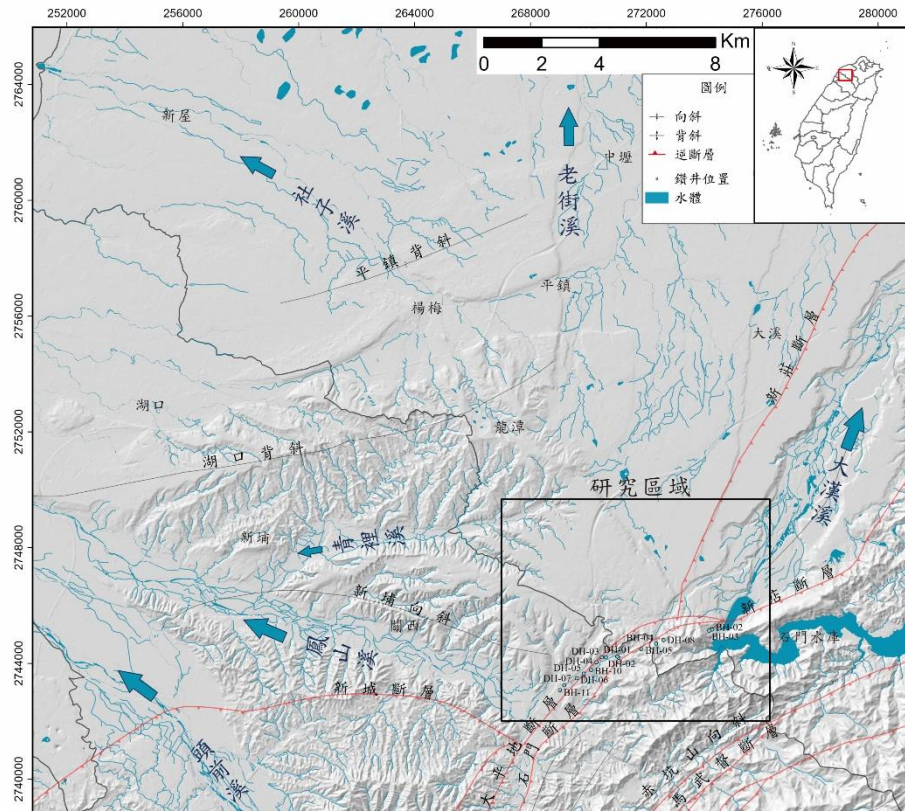


圖 2 研究區域及周圍地區主要水系分布圖。藍色箭頭表示水流方向。

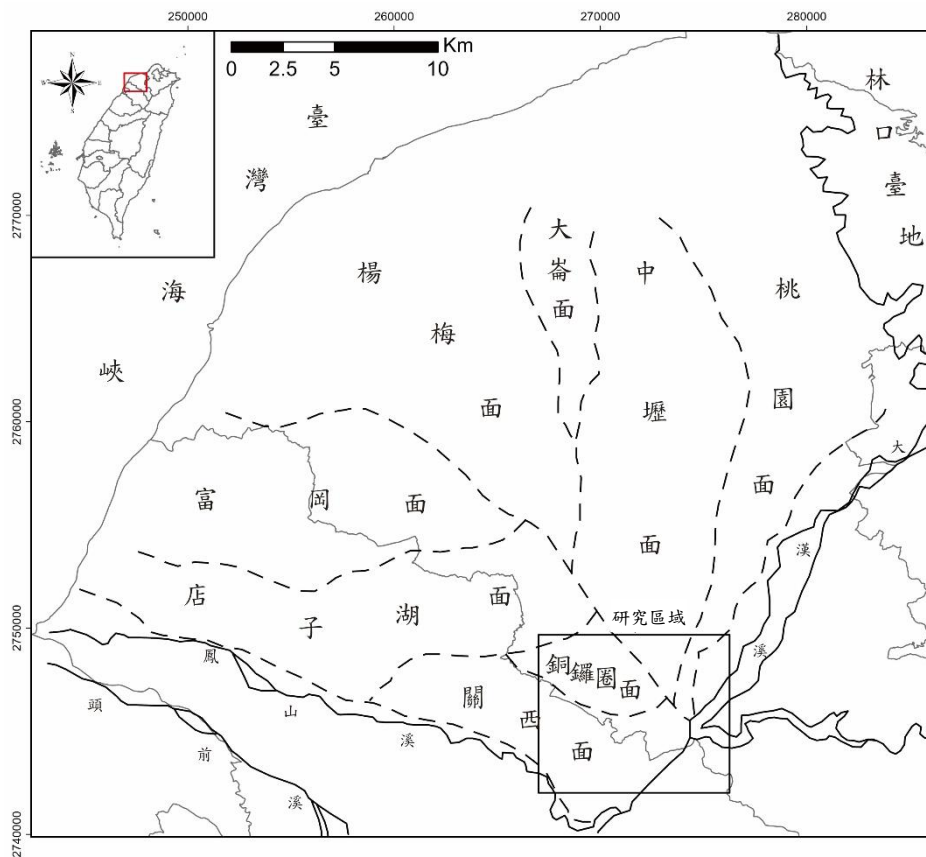


圖 3 桃園臺地群地形面。(改繪自石再添等，1983)

2-2 區域概況

研究區域內地層分布具有明顯的空間差異，主要受到斷層與褶皺影響。整體而言，區域內出露地層以中新世至更新世沉積岩層與未固結沉積物為主，其中石門斷層與大平地斷層沿地表斷層跡附近主要出露如南莊層、南港層以及石底層等中新世地層，接下來向西北連接臺地之區域則多為更新世之臺地堆積層與沖積層以及礫石層為主，地形上較為平緩，就區域分布而論，研究區由東南側山麓丘陵帶向西北側桃園臺地群過渡，其地層年代與岩性組成呈現明顯差異。

2-2-1 地層

本研究區域地層分布如圖 4 所示，劃分主要參考五萬分之一中壢圖幅、桃園圖幅及其說明書(塗明寬和邵屏華，2001；林啟文和張育仁，2014)與中油出版之地質圖(中國石油公司，1978)進行描述，地表出露及剖面建構之相關地層由老至新包括石底層、南港層、南莊層、桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層、楊梅層、大茅埔礫岩、店子湖層、中壢層、桃園層以及臺地堆積層及沖積層，其彙整如表 1，以下分別說明：

1. 石底層(St):

其岩性下部以淺灰色、厚層或塊狀砂岩為主，夾有薄層頁岩及砂質頁岩之薄互層；中部以砂岩與頁岩之薄互層及帶狀互層為主，並為主要的含煤帶，可見上、下二層煤；上部以薄層至厚層狀砂岩為主，夾有頁岩及帶狀砂岩頁岩之互層。本層厚度約 400 公尺，屬於中新世中期地層，整合覆於大寮層之上，伏於南港層之下，其地層柱狀圖可參考圖 5。

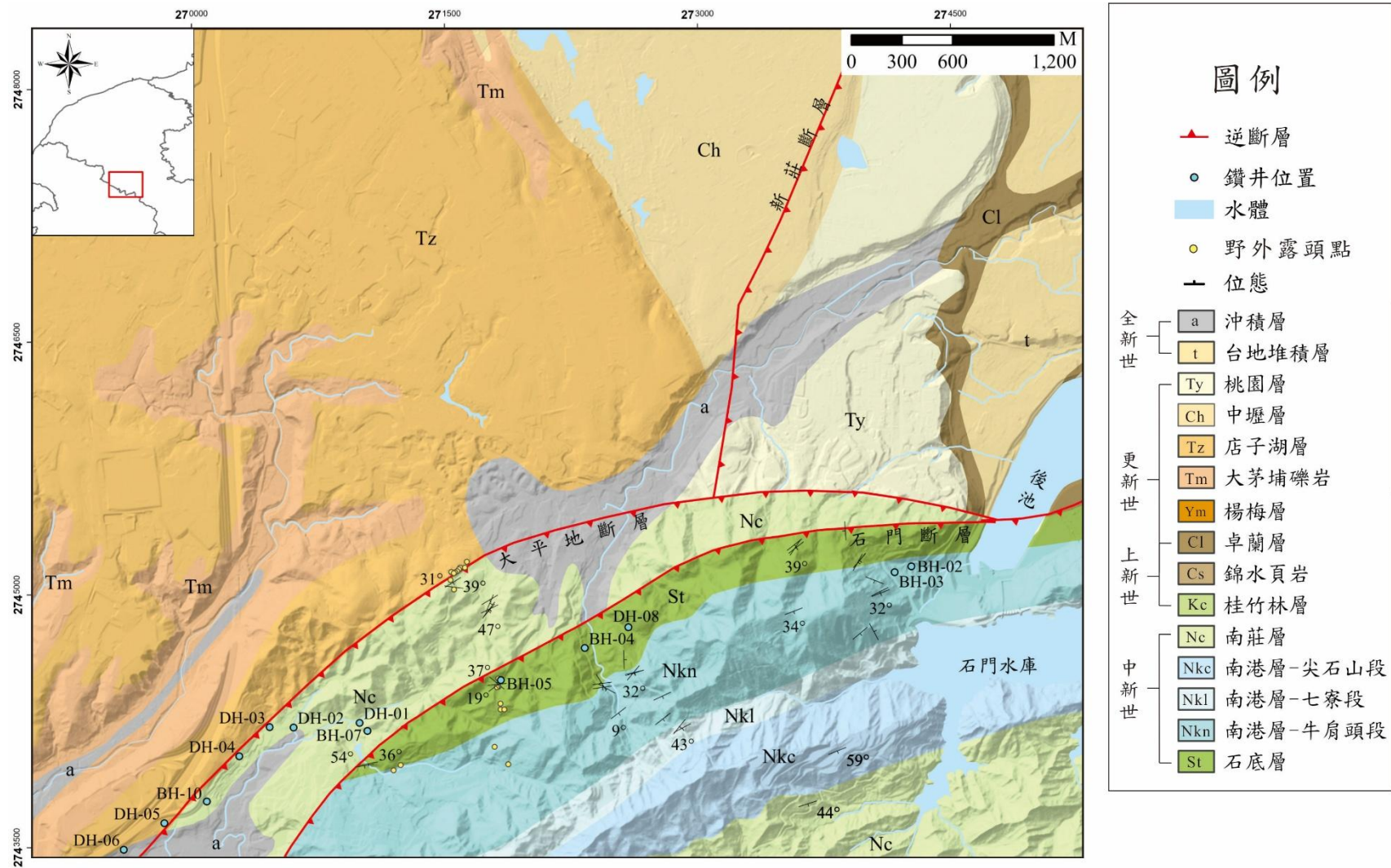


圖 4 研究區域地質圖。改繪自地礦中心(塗明寬與邵屏華，2001；黎明工程顧問股份有限公司，2024)。

2. 南港層(Nk):

位於南莊層以下和石底層以上之海向地層，此外，因中間部位存有一厚頁岩層，故通常將本層劃分為三個岩層單位：

(1) 牛肩頭段(Nkn):

石門水庫之大壩即修築在本岩段之砂岩上，為南港層最下部之岩段，主要為淺灰色至青灰色厚層至塊狀細粒砂岩，含石灰質，每層厚度在二至五公尺以上，層理不甚明顯，局部夾頁岩處可見較清晰之層面，風化後呈棕色或黃灰色；本段厚度約 400 公尺，整合於石底層之上，整合伏於七寮段之下，對應到苗栗地區或其他臺灣中北部地區，中國石油公司以中段頁岩層為準，將其劃分為北寮層、打鹿頁岩、觀音山砂岩等由下而上三個岩層，本段即可與北寮層作對比，屬中新世中期沉積之岩層。

(2) 七寮段(Nkl):

本段整合覆於牛肩頭段之上，伏於尖石山段之下，可對應到打鹿頁岩之層位，屬中新世中期之岩段。主要由青灰色至黃灰色之塊狀粉砂岩，顆粒較粗者可稱為砂岩；泥質較多則稱為泥岩，粉砂岩層理不顯著，常呈球狀風化剝離，富含石灰質，厚度約 180 公尺，局部較薄在 100 公尺左右。

(3) 尖石山段(Nkc):

主要為灰色或淡青色，厚層或塊狀細粒至中粒砂岩、間夾砂岩頁岩之薄互層，砂岩堅硬緻密，每層厚度在一至五公尺以上，局部具泥質或石灰質；頁岩為青灰至暗灰色，常含植物碎片，在此段上部砂岩與頁岩互層較為發達，有時甚至以黑色頁岩為主。本段砂岩厚度約 300 公尺，整合覆於七寮段上，整合伏於南莊層之下，可與觀音山砂岩相對比。

3.南莊層(Nc):

本層可分為上、下二部，下部為薄條紋狀砂岩與頁岩及薄層砂岩之互層，間夾厚層砂岩，互層中的砂岩與頁岩通常呈薄層緊密相間，砂岩呈白色，頁岩呈黑色，且下部南莊層含有五層煤層，但因連續性不佳，一般缺乏開採價值。上部以白砂岩為主並含有薄層砂岩與頁岩互層，白砂岩呈現塊狀厚層，各層厚度相差頗大；含有三層煤層，由上而下第三層煤為本層，主要開採之對象。

在本區南莊層含有不少火山岩，多為凝灰岩，少部分為玄武岩流；本層厚度約 800 公尺左右，整合覆於南港層之上，伏於桂竹林層之下，為中新世晚期地層。

4.桂竹林層:

主要由厚層至塊狀淺灰色至青灰色泥質砂岩組成，夾砂頁岩互層及薄層深灰色頁岩，偶夾灰白色砂岩。下部主要為厚層至塊狀泥質砂岩，局部可見強烈生物擾動現象；上部以厚層至塊狀黃灰色細粒至中粒砂岩為主，夾砂頁岩互層，常見交錯層理及波痕等沉積構造。

本層厚度約為 700~900 公尺，整合覆於南莊層之上，並伏於錦水頁岩之下，地質年代為晚中新世至上新世。

5.錦水頁岩(Cs):

以深灰色頁岩為主，夾薄層細粒砂岩，厚度約 125 公尺，整合覆於桂竹林層之上，整合伏於卓蘭層之下，為上新世地層。

6.卓蘭層(CI):

主要為厚層細至中粒砂岩與頁岩互層、夾塊狀砂岩及頁岩，可分為三部分，本層下部以生物擾動厚層砂岩與頁岩互層為主；中部以厚層砂岩與頁岩互層為主，常含貝殼碎片、碳化木與草根；上部砂頁岩互層夾為塊狀細粒至中粒砂岩，並含貝類、牡蠣化石與碳化木。本層厚度於研究區域可見厚度約

為 650 公尺，整合覆於錦水頁岩之上，整合伏於楊梅層之下，為更新世地層。

7.楊梅層(Ym):

主要由礫岩、砂岩及泥岩之互層組成，其中以砂岩成分較多，含有眾多原生沉積構造如交錯層、波痕等構造，依據岩性可區分為上、下二段：

(1) 照鏡段(Ymc):

主要由厚層砂岩和砂岩及泥岩互層所組成，自下而上砂岩比例漸次減少，砂岩呈淺灰色或黃灰色，細粒至粗粒，膠結相當疏鬆；部分砂岩呈塊狀厚層，通常淘選不良，較常在本岩段下部出現，厚度在 800 公尺以上。本岩段整合覆於卓蘭層之上，整合伏於照門段之下。時代為更新世中期至晚期，可與頭嵙山層的下段砂岩相對比。

(2) 照門段(Ymm):

本岩段主要由礫岩、砂岩及泥岩之互層組成，自下而上，礫岩比例逐漸增加，砂岩呈淺灰色或淺黃色，細粒至粗粒，膠結疏鬆，礫石主要為中新世的沉積岩，基質多為泥質材料；本段岩層含有多種沉積構造，厚度約 350 公尺，整合覆於照鏡段之上，大部分整合於大茅埔礫岩之下；時代應屬更新世中期至晚期，可與頭嵙山層中的過渡帶岩層相對比。

8.大茅埔礫岩(Tm):

本層主要由礫岩所組成，偶含砂岩透鏡體，礫石主要以沉積岩為主，其中以石英岩及砂岩占多數，形狀為圓形至次圓形，直徑大小在數公分到一公尺之間，淘選度不佳，常呈覆瓦狀排列可指示古水流方向，厚度約 80 公尺，整合覆於楊梅層照門段岩層之上，可與頭嵙山層上部礫岩段相對比，年代應屬更新世晚期。

9.店子湖層(Tz):

主要由下部礫石層和上部紅土層組成，礫石主要為白色石英砂岩、暗灰色細質砂岩、淺灰色砂岩等，直徑約在 10 至 30 公分之間，也有到 1 公尺以上者，與上覆紅土層為逐漸轉化關係；厚度約為 10 到 20 公尺，其中紅土層約在 1 到 2 公尺間，與下伏岩層大茅埔礫岩或楊梅層呈不整合接觸，應屬更新世晚期。

10. 中壠層(Ch):

主要以礫石和上覆 1 公尺左右之紅土組成，礫石為矽質砂岩，膠結物為泥砂，淘選度甚差，排列無系統規則，一般厚度在 20 到 30 公尺之間，紅土平均厚度為 1 公尺，不整合覆蓋在更新世固結岩層上，為更新世晚期之產物。

11. 桃園層(Ty):

由紅土與礫石構成，岩性與中壠層極為相似，本層與店子湖層、中壠層都為紅土臺地堆積層，厚度不詳。

12. 臺地堆積層(t):

主要位於鳳山溪及頭前溪河岸兩側，平均高出河床約 20 公尺，主要由礫、砂、泥等無膠結之堆積物組成。

13. 沖積層(a):

分布於研究區域內各溪流河床，主要由礫、砂、泥組成，其中砂、泥佔比較多，來自溪流上游之砂岩、泥岩、火山岩及石灰岩等。

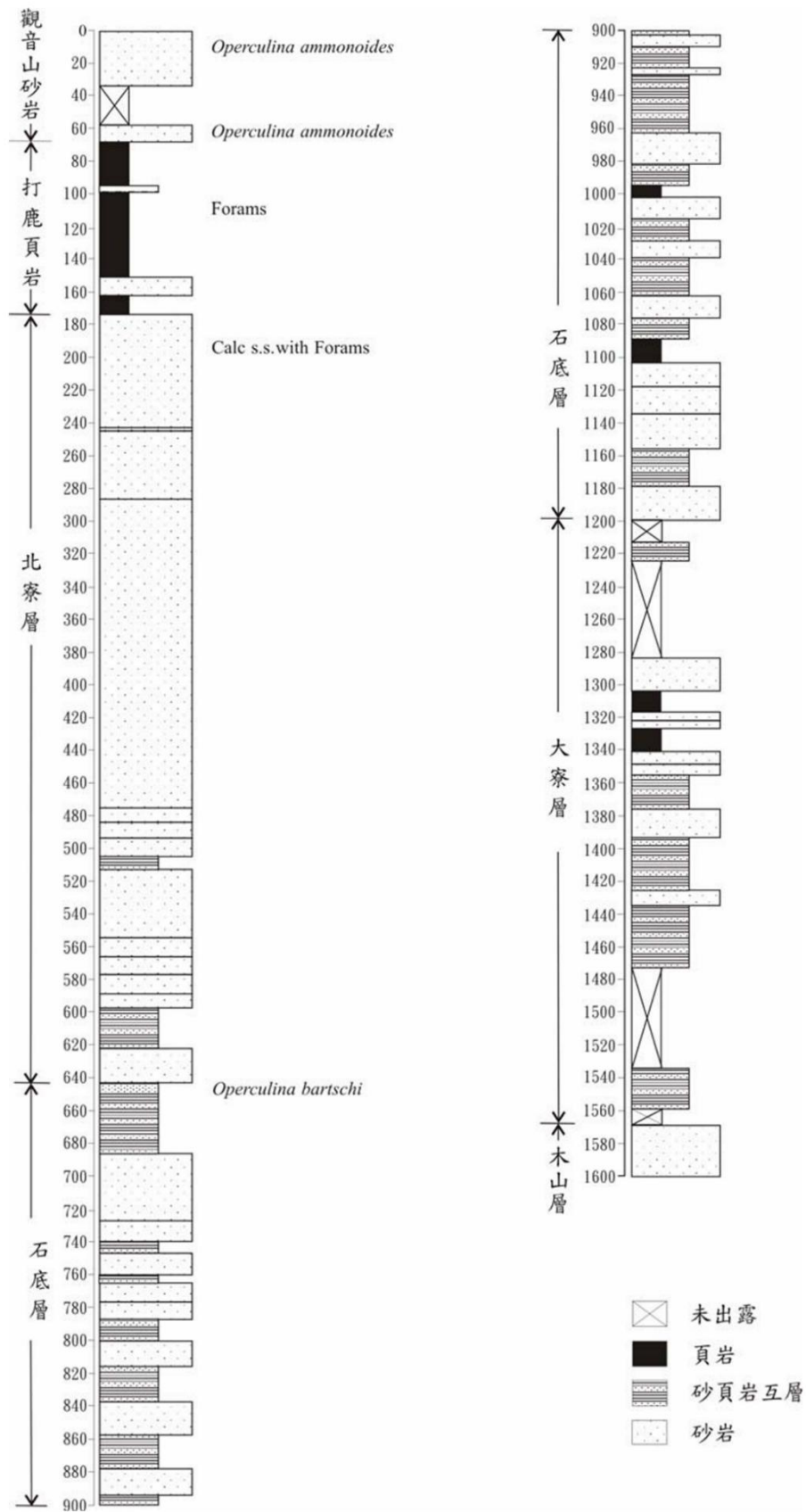


圖 5 三峽湊合剖面石底層與南港層地層柱狀圖。摘自林啟文與張育仁(2014)，原圖另註明其改繪來源。

表 1 研究區域地層對照表。表彙整自塗明寬與邵屏華(2001)、林啟文與張育仁(2014)、詹新甫(1962)。

年代	中壢圖幅 (塗明寬、邵屏華，2001)	桃園圖幅 (林啟文、張育仁，2014)	桃園角板山區地質 (詹新甫，1962)	本研究地質剖面
全新世	沖積層			沖積層
	臺地堆積層	臺地堆積層		臺地堆積層
更新世	桃園層	桃園層 (~30m)		桃園層
	中壢層 (20~30m)	中壢層 (~30m)		中壢層
	店子湖層 (10~20m)	未出露		店子湖層
	大茅埔礫岩 (80m)	林口層 (200m)		大茅埔礫岩
	楊梅層 (1150m)	大南灣層		楊梅層
	卓蘭層 (650m+)	卓蘭層 (>1600m)		卓蘭層
	未出露	錦水頁岩 (125m)		錦水頁岩
上新世	桂竹林層 (700~900m)	桂竹林層 (700~900m)	桂竹林層 (700~900m)	桂竹林層
中新世	南莊層 (800m)	南莊層 (700~900m)	南莊層 (700~900m)	南莊層
	南港層 (860m)	南港層 (600~950m)	烏嘴山層 (600~950m)	南港層
	石底層 (400m)	石底層 (400~600m)	石底層 (400~600m)	石底層
	大寮層 (400m)	大寮層 (300~450m)	大寮層 (300~450m)	大寮層
漸新世	未出露	木山層 (600m)	木山層 (600m)	木山層
		大桶山層 (520m+)	五指山層 (400m+)	五指山層

2-2-2 研究區域主要構造

本研究區域及剖面(圖 6)範圍內之主要構造以東北走向之逆衝斷層與褶皺為主，包括石門斷層、大平地斷層、新店斷層、新莊斷層，以及湖口背斜、平鎮背斜、大溪背斜以及赤柯山向斜等構造。石門斷層與大平地斷層為本研究主要探討之逆衝斷層構造，上述其餘構造分布於剖面延伸範圍內，可作為區域構造幾何與地層變形之背景依據，以下針對提及之構造進行描述。

1. 石門斷層

大型逆斷層，為北臺灣主要構造線之一，在本區域內主要呈現東北走向，於石門附近轉為東西方向。石門斷層斷面傾向東南，近地面傾角約為 60~70 度之間(徐鐵良，1960)，東南昇側之組成岩層包含石底層、南港層和南莊層，西北降側之岩層為南莊層。

2. 大平地斷層

位於石門斷層西側，大平地斷層在關西附近呈東北走向，向北延伸走向逐漸偏東，並於石門附近與石門斷層相交，本斷層東南昇側岩層為南莊層，西北降側之南段為卓蘭層，北段為店子湖層之堆積物。

3. 新店斷層

為東北東走向之逆移斷層，斷層面向東南傾斜，上盤出露大桶山層、木山層、大寮層與石底層，下盤出露桂竹林層、錦水頁岩與卓蘭層(林啟文與張育仁，2014)，於桃園大溪南方之石門水庫附近之新店斷層，其近地表斷層傾角約 65~70 度，推測向地下延伸轉為低角度逆斷層。

4. 新莊斷層

新莊斷層為臺灣北部重要逆斷層之一，整體呈東北走向，沿臺北盆地西緣向南延伸，在鶯歌以南為桃園臺地所掩覆，地表無明顯斷層地形特徵，依中油地質圖顯示，新莊斷層可能繼續延伸至龍潭與石門水庫之間，並與大平地斷層空間上具有銜接關係。

5.湖口背斜與湖口斷層

為湖口臺地最重要的褶皺構造，整體呈現東西至東北東走向，主要由楊梅層組成，兩翼呈不對稱構造，南翼較為平緩，傾角約在 15~35 度之間；北翼較陡，傾角可達 70 度，軸部附近的傾角約為 15~28 度(圖 7、圖 8)。另外關於湖口斷層，推測其位於平鎮背斜與湖口背斜之間，由於受到中壢層堆積物之掩蓋，於地表無法直接觀察，Wang *et al.* (2001)依據淺層反射震測結果指出湖口斷層附近之地層並未呈現明顯斷裂錯移，而多表現為連續且強烈之彎曲變形，其中湖口斷層附近地層彎曲角度可達約 40~50 度，此結果顯示湖口斷層可能不一定有明確切穿地表之斷層，而可能與湖口背斜下方之盲逆衝或斷層相關褶皺作用有關。由於其地表斷層跡線與幾何形貌仍具不確定性，且與本研究主探討之石門斷層及大平地斷層關係較間接，故未將其作為主要構造單元加以描述，僅將湖口斷層作為湖口背斜之相關區域構造背景加以說明。

6.大溪背斜

大溪背斜(何春蓀, 1983)由大溪市區東北方之大溪山地起，朝南南西延伸至石門水庫後池為止，褶皺軸呈北北東走向，向南傾沒，由北向南依序出露南港層、南莊層、桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層以及楊梅層，地層年代依序逐漸年輕化，背斜兩翼沿層位態並不對稱，西北翼傾角較陡峭，為 50~80 度向西傾；東南翼較緩，約 40~50 度向東傾。大溪背斜向北延伸受臺北斷層所截切，向南延伸則受新莊斷層截切。范書睿(2017)進一步指出，大溪背斜為控制大溪區域地層分布之主要構造，依其形貌可解釋為斷層延展褶皺，褶皺軸向 209 度方向傾伏，傾伏角約為 29 度，使背斜西翼岩層於河床連續出露。

7.平鎮背斜

平鎮背斜位於湖口背斜北方，王昱(2003)指出，平鎮背斜之延伸範圍可

能較地礦中心之《中壢圖幅說明書》所顯示更長，並可向東延伸至桃園市南方，但由於本構造大多受紅土化臺地堆積層覆蓋，地表出露有限，因此其位置與形貌大多依賴早期中油震測、重力量測以及鑽井資料加以判釋(圖 7)，Hsiao(1967)依據桃園臺地震測資料，建立南港層、南莊層、桂竹林層、錦水頁岩及卓蘭層等主要反射層位之地下構造圖，並指出湖口—平鎮一帶為桃園臺地南部主要構造起伏區，證實了平鎮背斜的存在。

8. 赤柯山向斜

赤柯山向斜位於本研究區東南側，為區域內褶皺斷層帶重要的褶皺構造，褶皺軸呈北 45 度東走向，兩翼以同等傾角 60 度向東南傾斜，呈等斜褶皺型態，其中西北翼為正常翼，東南翼為倒轉翼，且約三分之二岩層被馬武督斷層所截切。

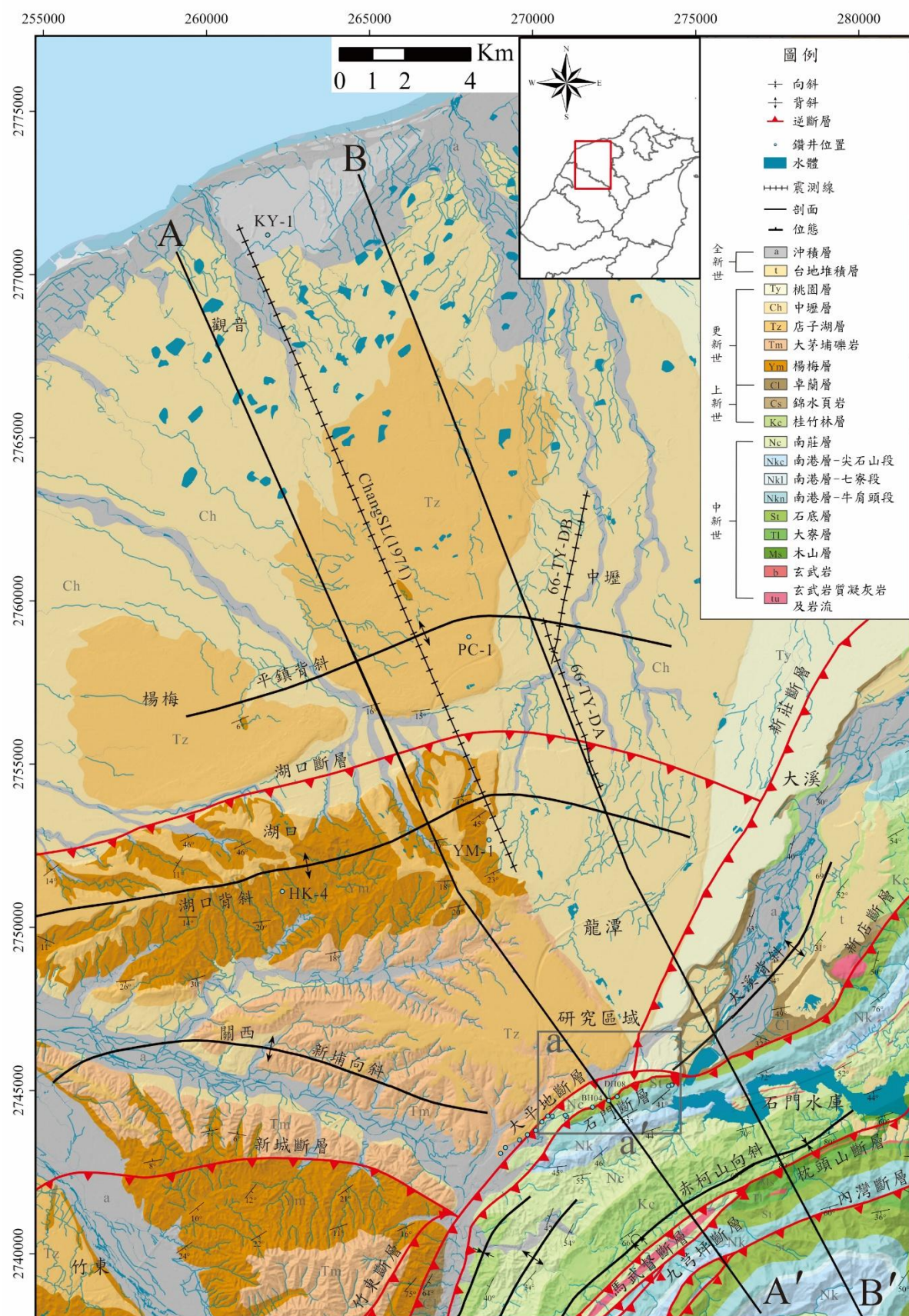


圖 6 地質構造剖面位置與資料整合地質圖。

圖中顯示本研究 A-A'與 B-B'地質剖面位置、主要地層、斷層、褶皺等構造，以及輸水隧道、鑽井位置、地電阻測線與野外露頭及位態資料。地質圖資改繪自中國石油公司(1978)、塗明寬與邵屏華(2001)、林啟文與張育仁(2014)、林朝宗(1992)以及陳文政(1990)；工程地質則參考中興工程顧問股份有限公司(2023)及黎明工程顧問股份有限公司(2024)。

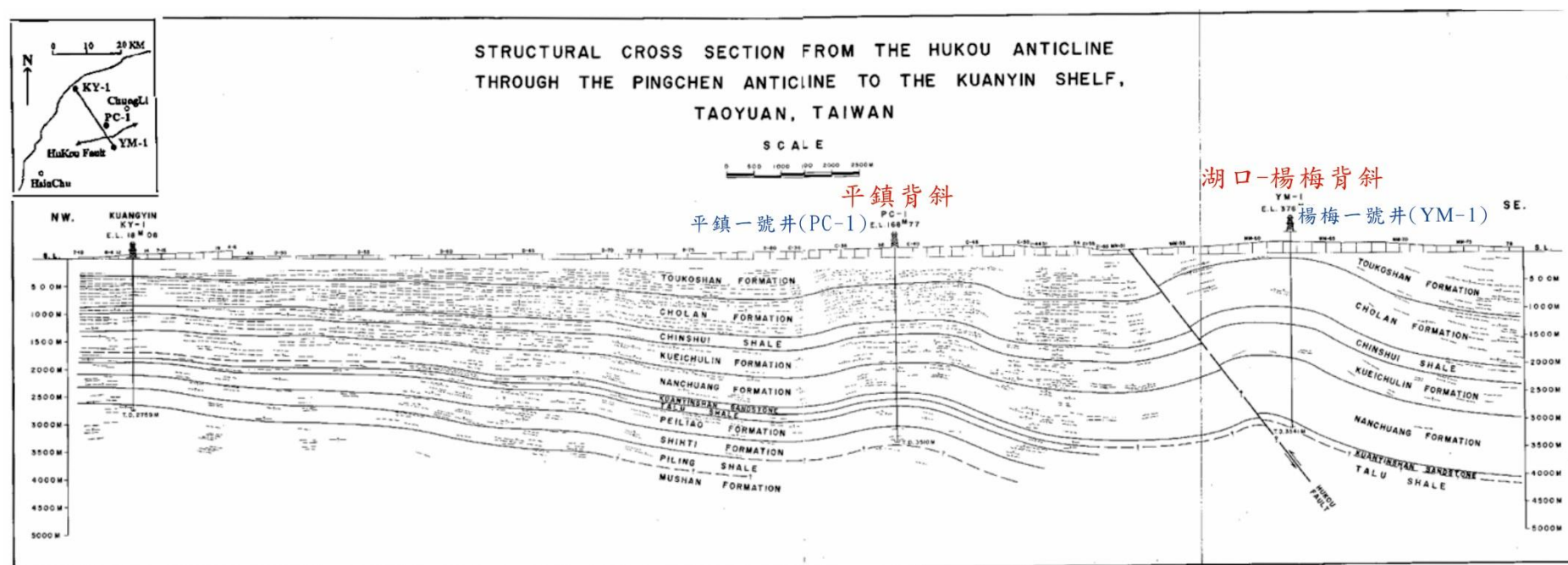


圖 7 湖口—平鎮背斜至觀音陸棚之震測剖面。剖面摘自 Chang (1971)，左上角指示地圖摘自 Wang et al. (2001)。

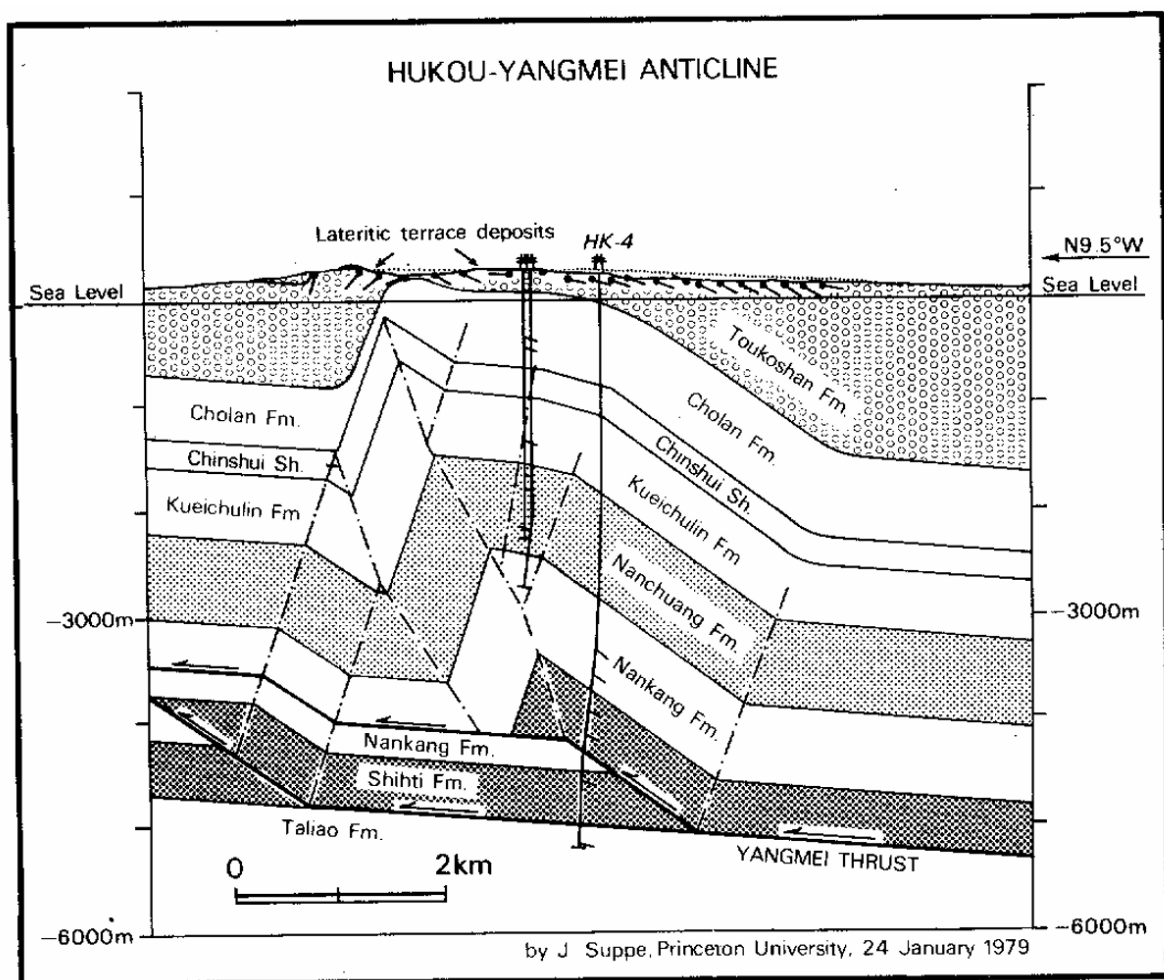


圖 8 湖口楊梅背斜之構造地質剖面。摘自 Suppe and Namson (1979)。

第三章 文獻回顧

3-1 臺灣西北部麓山帶之褶皺與逆衝構造

臺灣島位於菲律賓海板塊與歐亞大陸邊緣之聚合型板塊邊界，現在造山帶主要與呂宋島弧和歐亞大陸邊緣之斜向碰撞有關。Teng(1996)指出，此弧陸碰撞系統自晚中新世以來逐漸發展起來，並隨菲律賓海板塊向西北移動，使碰撞造山帶逐漸擴展與遷移。然而，北臺灣同時受到琉球隱沒系統及沖繩海槽張裂作用影響，其構造環境不同於臺灣中、南部仍以壓縮為主的造山帶核心區，臺灣西部麓山帶位於中央山脈與西部平原之間，為臺灣造山帶西側之前緣構造區，何春蓀(1986)將西部麓山帶列為臺灣主要地質分區之一，並指出其主要由第三紀至更新世初期之沉積岩層組成，岩層在造山作用下形成背斜及向斜，進而於褶皺陡翼發生逆衝錯動，形成一系列低角度逆衝斷層，其中逆斷層常呈覆瓦狀排列，這些區域性構造變形構成西部麓山帶褶皺—逆衝構造之基本型態，王昱(2003)亦認為新竹—桃園地區位於碰撞壓縮與後期伸張作用轉換的位置。

以西臺灣前緣多個背斜為例，Suppe and Namson(1979)提出西臺灣前緣多個背斜可由逆衝斷層自深部滑脫面向上爬升時所產生之斷層彎曲褶皺作用(fault-bend folding)形成，其中亦包含湖口—楊梅背斜等前緣構造。而後進一步結合地表地質與地下震測資料，提出一套臺灣北部地體構造剖面圖(Suppe, 1980)，將新莊斷層、臺北斷層、新店斷層以及屈尺斷層等主要逆衝構造解釋為向深部連結至五指山層底部滑脫面之褶皺—逆衝系統(圖 9)，奠定北臺灣前緣構造幾何與深部滑脫關係之區域剖面架構。

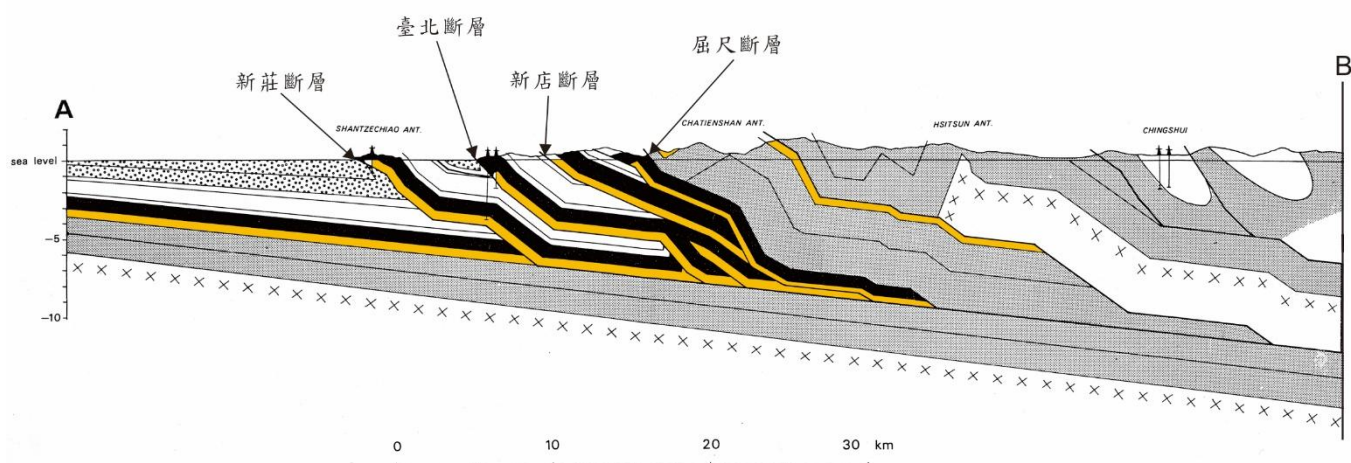
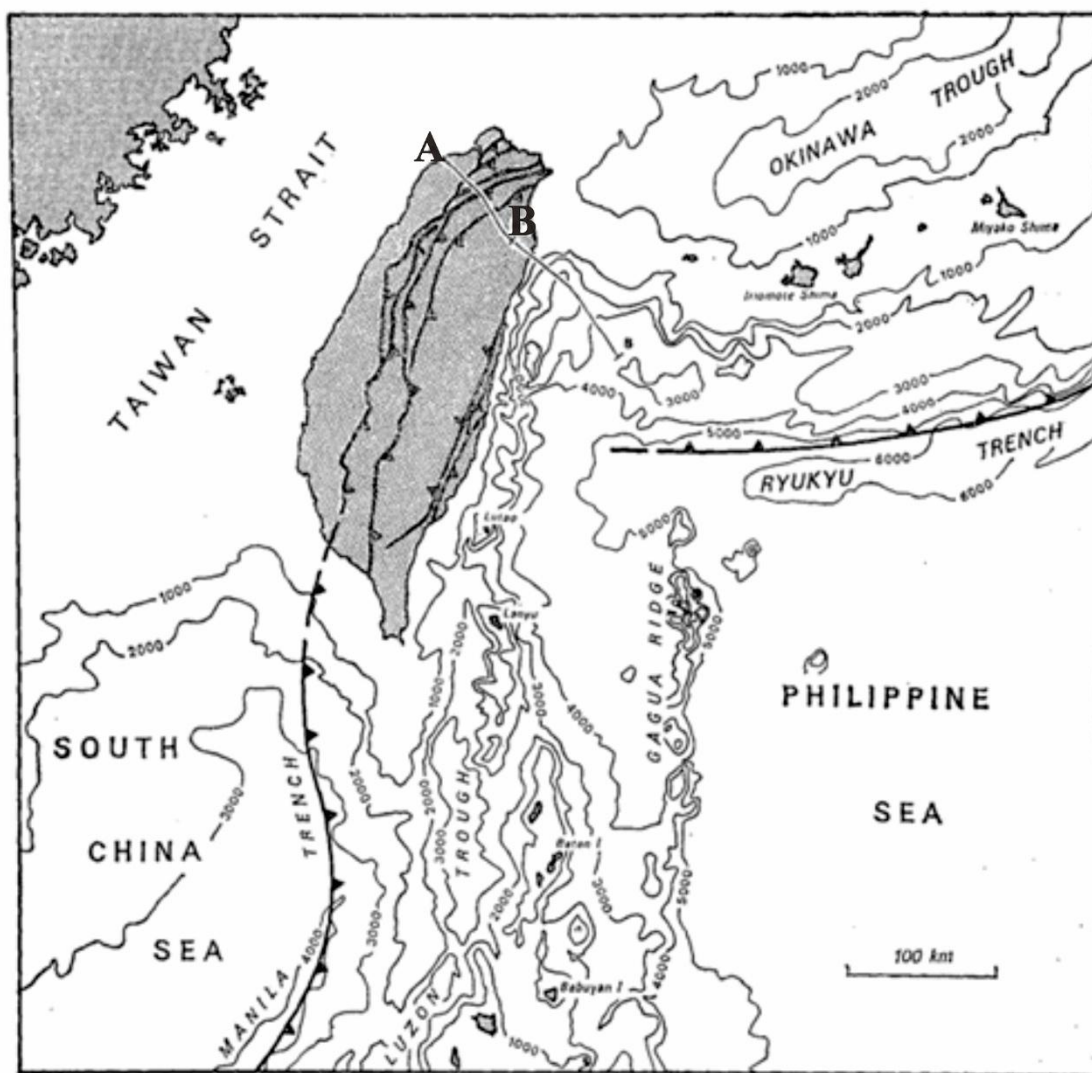


圖 9 臺灣北部褶皺—逆衝帶之平衡剖面。剖面顯示北臺灣的地體構造主要為一系列的褶皺與逆斷層，從最前緣的新莊斷層至屈尺斷層間為西部麓山帶的範圍。修改自 Suppe(1980)。

3-2 石門斷層與大平地斷層

3-2-1 工程地質調查報告

既有工程地質調查報告之地電阻剖面顯示(圖 10)，石門水庫周邊隧道沿線存在多處低電阻異常與電阻率急遽變化之區域，可作為判釋斷層破碎帶、剪裂帶、含水層與岩性界線之輔助資料，其中 RIP-1 剖面於里程 225~280 公尺之間有一低電阻區，報告將其推測為石門斷層及其擾動帶，該低電阻區南側對應斷層上盤之石底層砂頁岩互層與南港層厚層砂岩，北側則對應下盤之南莊層砂岩；RIP-2 剖面則在里程 080~160 公尺之間有一低電阻區，同樣被解釋為石門斷層及其擾動帶(中興工程顧問股份有限公司，2023)。此外，112-RIP-4 測線位於小粗坑古道附近，並經過 112-DH-08 鑽孔，於剖面里程約 180 公尺之東側至 220 公尺有一高傾角之電性不連續區域，報告將其解釋為石門斷層之剪裂帶，並將其和其他里程區域相比較，如里程 280 公尺處，其高電阻率區域以 20 度向東南方向傾沒，應為砂岩層岩盤(黎明工程顧問股份有限公司，2024)。

99RIP-1 為阿姆坪防淤工程中沿隧道路線布設之地電阻剖面，總長約 4200 公尺，主要用於判釋阿姆坪隧道沿線之水文地質條件，並在報告中提及剖面里程 2K+220~2K+260 公尺處有一低電阻率區域，其兩側高電阻率區域應為砂岩質之地層，報告將其解釋為新店斷層帶所經過之區域，斷層帶寬度在地表約為 40 公尺寬，往下漸寬(聯合大地工程顧問股份有限公司，2011)。

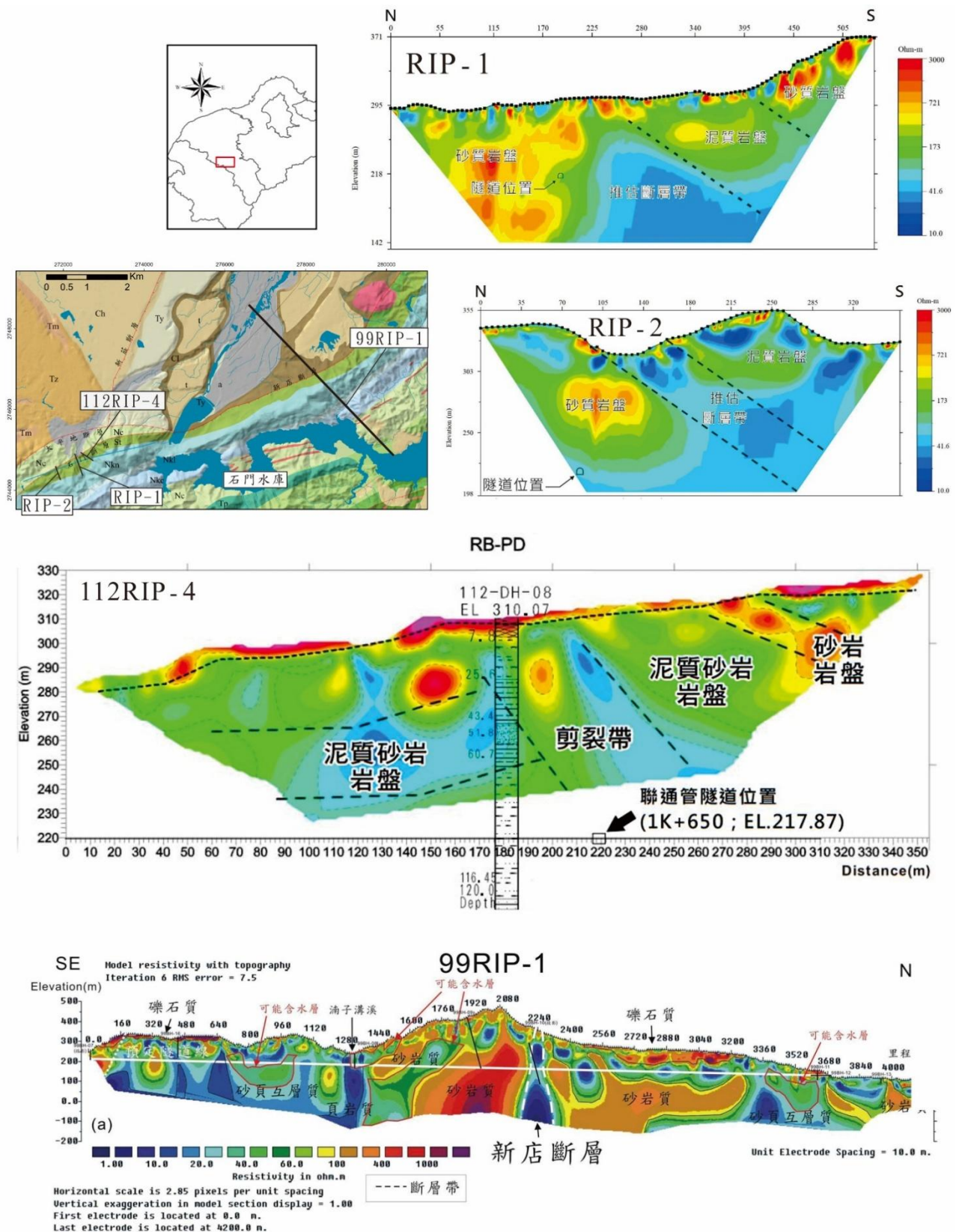


圖 10 石門水庫鄰近地電阻剖面。RIP-1 & RIP-2 (中興工程顧問股份有限公司，2023)、112RIP-4(黎明工程顧問股份有限公司，2024)指可能的石門斷層，99RIP-1(聯合大地工程顧問股份有限公司，2011)指新店斷層的位置。

地質鑽探資料主要以石門水庫至新竹聯通管隧道段周圍之鑽井(圖 11)為主，其提供沿線近地表之岩性限制與斷層地下幾何形態之推估(表 2)。

BH-1~BH-7 主要約束聯通管隧道段近地表岩層與石門斷層附近之岩性變化(中興工程顧問股份有限公司，2023)，其中 BH-04 為石門斷層位置推估之關鍵鑽孔，在其深度 40.2~42.9 公尺處由斷層泥及斷層角礫組成，深度 42.9~47.2 公尺產狀類似崩積層，頂部受風化呈黃棕色，深度 50.0~62.4 公尺為礫石層，礫石形狀為圓至次圓狀，深度在 62.4 公尺下主要為灰白色砂岩，故報告推估 42.9 公尺處可能為石門斷層位置，其以上屬於石底層，以下為斷層下盤之南莊層，另外，岩盤與塊石層為斷層接觸關係，依地礦中心第二類活動斷層之定義，BH-04 之斷層可能具有活動性。

112-DH-01~112-DH-07 則多為明挖覆蓋段淺孔，112-DH-08 則用於判釋石門斷層主斷層帶與下盤分支擾動帶(黎明工程顧問股份有限公司，2024)，其中富含密集剪裂紋理，並依據剪裂、擾動程度、岩性以及破碎狀態，研判石門斷層主斷層位置應為 43.4~51.8 公尺處，其整體呈現破碎貌且含剪裂紋理及角礫岩塊，並於 90~116 公尺處又見富含角礫岩塊、密集剪裂紋理之區段，推估為石門斷層下盤分支斷層擾動帶。相關岩心照片與本研究重新整理之岩心柱狀圖，將於研究結果章節中進一步呈現與討論。

依據施工影像紀錄與現場觀察說明，聯通管隧道進口端入洞後約 500 公尺內可見受斷層擾動之岩體狀態，局部出現剪裂夾泥、岩層錯移及褶皺等現象；由單一開挖面照片仍難以精確判定主斷層面位置，較適合作為辨識受斷層擾動影響範圍之輔助資料。本文選取隧道里程 0K+436.0 公尺處之開挖面影像，繪製素描說明圖，標示可辨識之岩層、層狀紋理、疑似岩體不連續與局部變形集中區域，以輔助說明工程影像所呈現之地質現象（圖 12）。

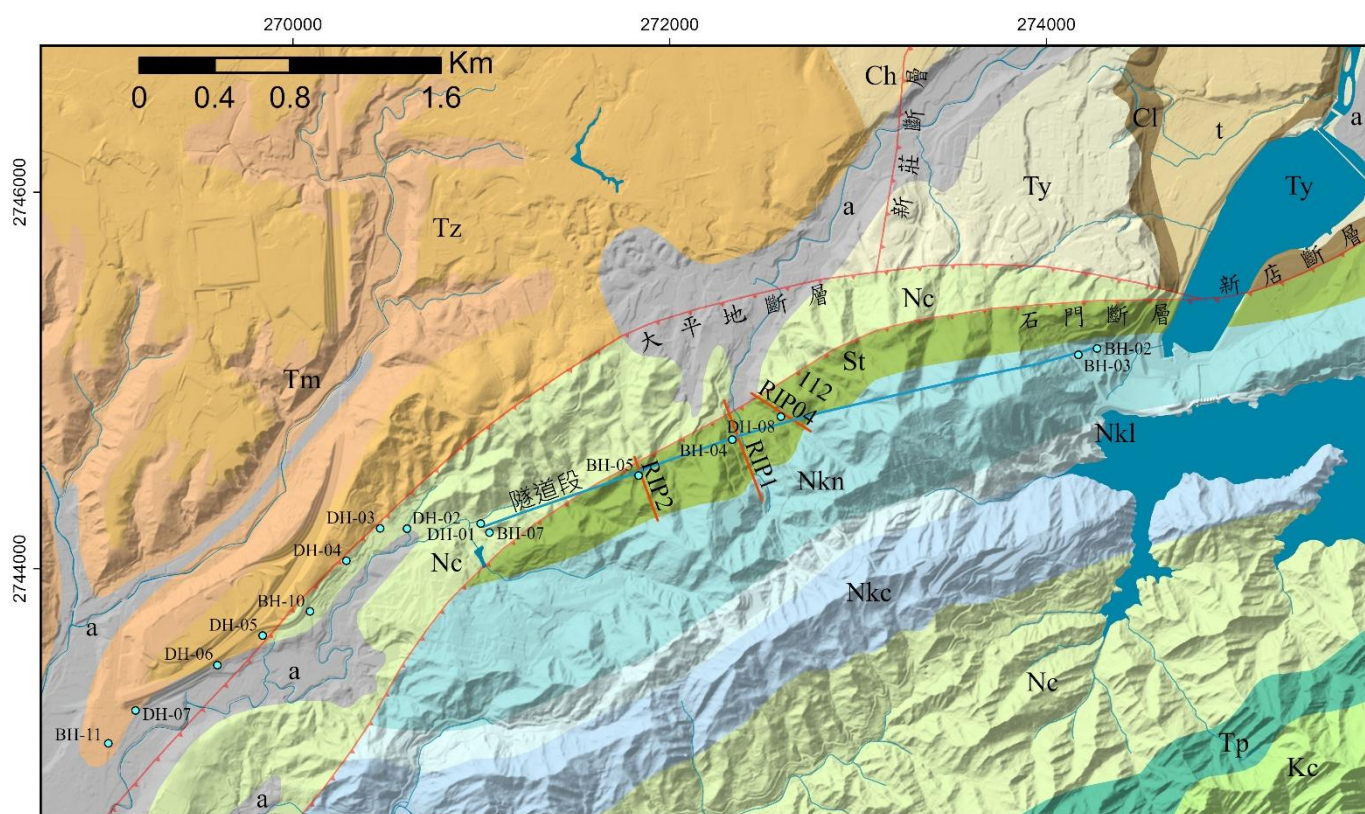


圖 11 工程鑽井位置圖。(改自中興工程顧問股份有限公司，2023；黎明工程顧問股份有限公司，2024)

表 2 石門水庫至新竹聯通管工程鑽孔位置與主要用途。其中鑽孔 BH-1~7 來自中興工程顧問股份有限公司(2023)，112-DH-01~08 來自於黎明工程顧問股份有限公司(2024)。

鑽孔名稱	深度	主要用途
BH-01~03	20~60 公尺	隧道進口崩積層厚度、石底層破碎岩盤與斷層擾動之判釋。
BH-04~05	100~120 公尺	石門斷層附近岩性變化與低電阻帶對照；BH-04 提供斷層位置推估，BH-05 提供南莊層岩性特徵判別。
BH-07	45 公尺	隧道出口崩積層厚度與南莊層岩性特徵判別。
112-DH-01~07	8~20 公尺	明挖覆蓋段岩土交界深度、崩積層厚度與局部受擾動岩體之狀態。
112-DH-08	120 公尺	石門斷層主斷層帶、擾動帶與分支構造之垂直方向深度限制。

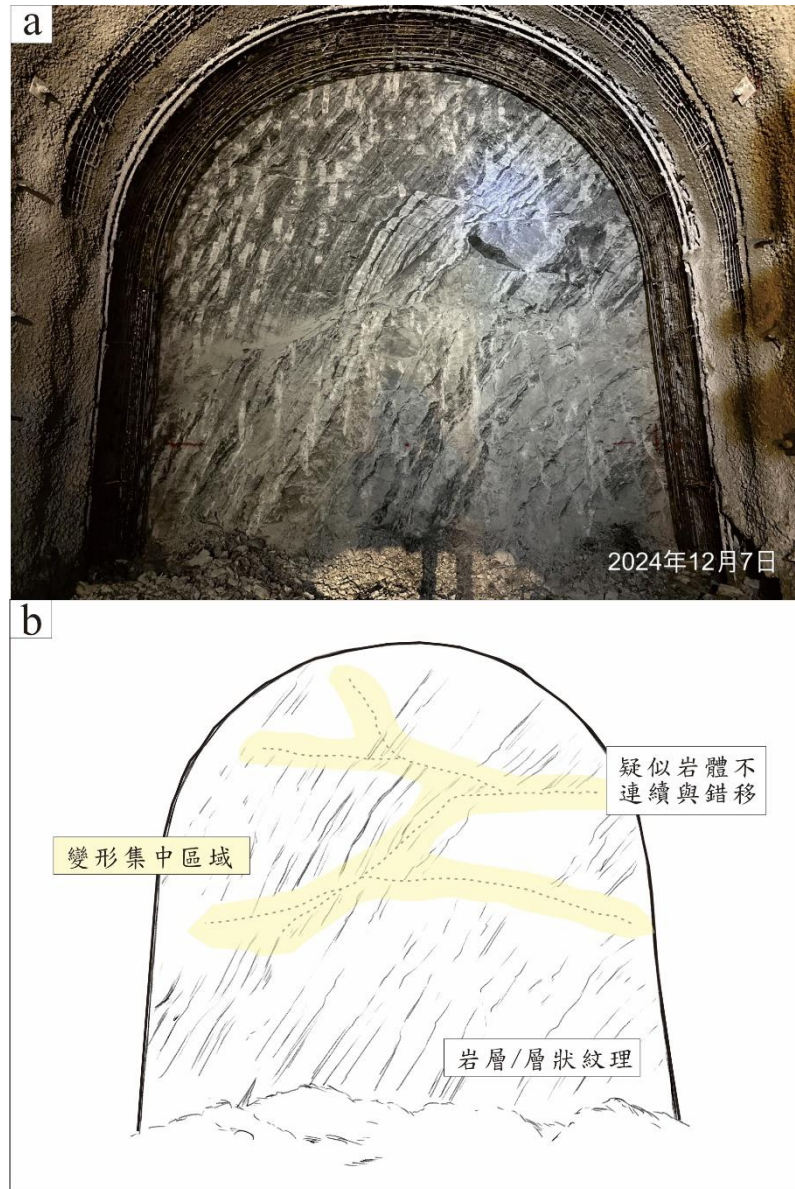


圖 12 聯通管隧道開挖面影像與地質構造素描圖。(a)隧道里程 0K+436 公尺處之開挖面影像。(b)照片內容之素描說明圖。圖中以細實線標示岩層以及層狀紋理，以虛線標示疑似岩體不連續與錯移位置，淡黃色區域則表示局部變形較集中之範圍。照片來源：聯通管隧道施工影像紀錄，福清營造股份有限公司提供；素描說明圖為本文依照片繪製。

3-2-2 研究區前人相關研究

大平地斷層為逆移斷層，並分為北、南兩段(林啟文等，2007)，北段約呈北偏東走向，由桃園石門向南延伸至新竹橫山一帶(圖 13)；南段呈東北東走向，由橫山附近向南延伸至峨眉一帶，此段亦稱作北埔斷層。

在北段，上盤出露南莊層，下盤出露卓蘭層與店子湖層，其調查指出，石門至關西沿線多受沖積層與階地堆積層覆蓋，且上盤出露地層位態混亂，未能有明顯斷層露頭可以直接觀察，並且在上盤另有一主要逆移斷層-石門斷層，因此大平地斷層可能是石門斷層下盤發育之分支斷層。關西以南約在新城圳東側出露南莊層、西側出露卓蘭層，缺失桂竹林層與錦水頁岩，岩層大多呈東北走向並且高角度向東傾斜，顯示大平地斷層沿線具有顯著之地層落差，斷距相當大。

在大平地斷層之南段(北埔斷層)部分，於竹東南方開挖一處較連續斷層露頭(圖 14)，該露頭上盤為厚層青灰色泥質砂岩與頁岩互層，層態呈東北東走向、向北傾斜且接近垂直，下盤為厚層砂岩偶夾薄層泥岩，亦呈現高角度傾斜或倒轉。露頭中可見斷面擦痕、斷層泥、斷層角礫與數條伴生小型斷層，依據此特徵故以 B 斷層作為主斷層，A、C、D、E 斷層為伴生斷層，並推估北埔斷層毀壞帶寬度可達 150 公尺以上。

於北段之鑽井並未觀察到斷層經過之特徵(圖 15)，在北段布設之六號新屋童話世界水準測線(圖 16)也未發現明顯之地形高程差異，綜合地形、露頭、鑽探、地電阻與大地測量資料，報告認為大平地斷層尚未發現更新世晚期活動證據，因此由第二類活動斷層改列為存疑性活動斷層。

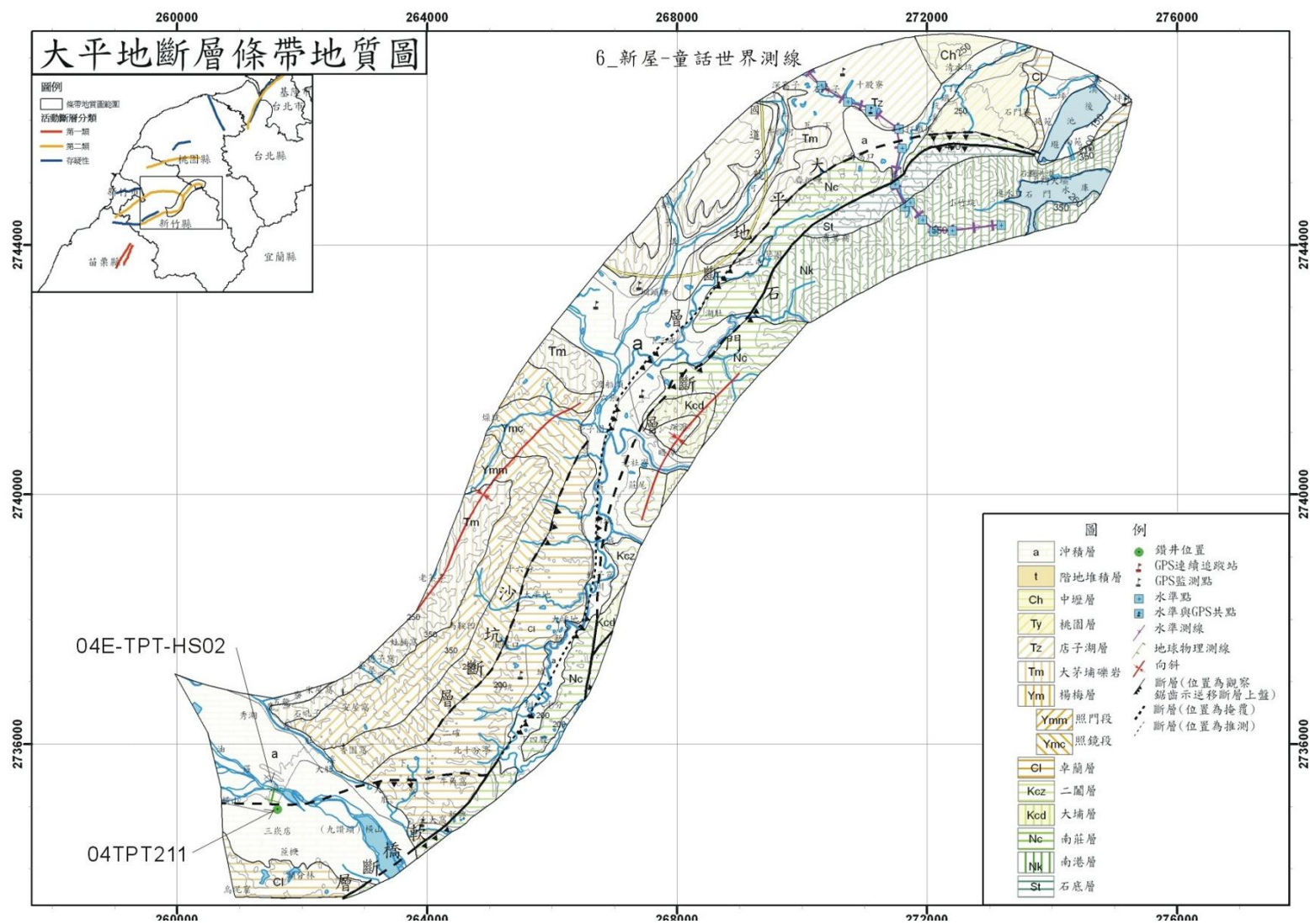


圖 13 大平地斷層條帶地質圖(北段)。(摘自林啟文等，2007)

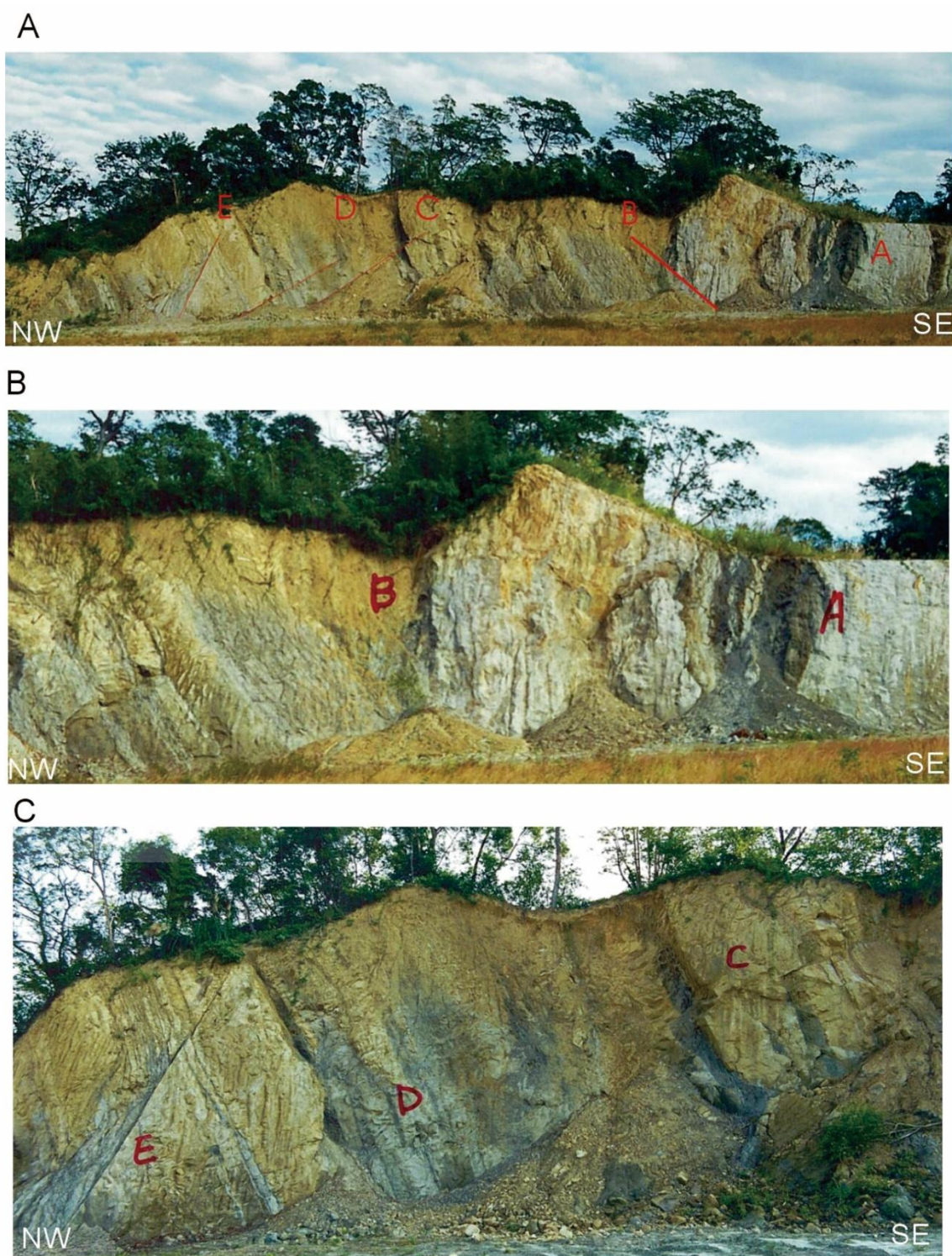


圖 14 大平地斷層竹東露頭照片。(A)大平地斷層在竹東附近之露頭。(B)露頭東半部近照。(C)露頭西半部近照，其中 C、D、E 斷層之斷面傾斜方向與主斷層相反。摘自林啟文等(2007)

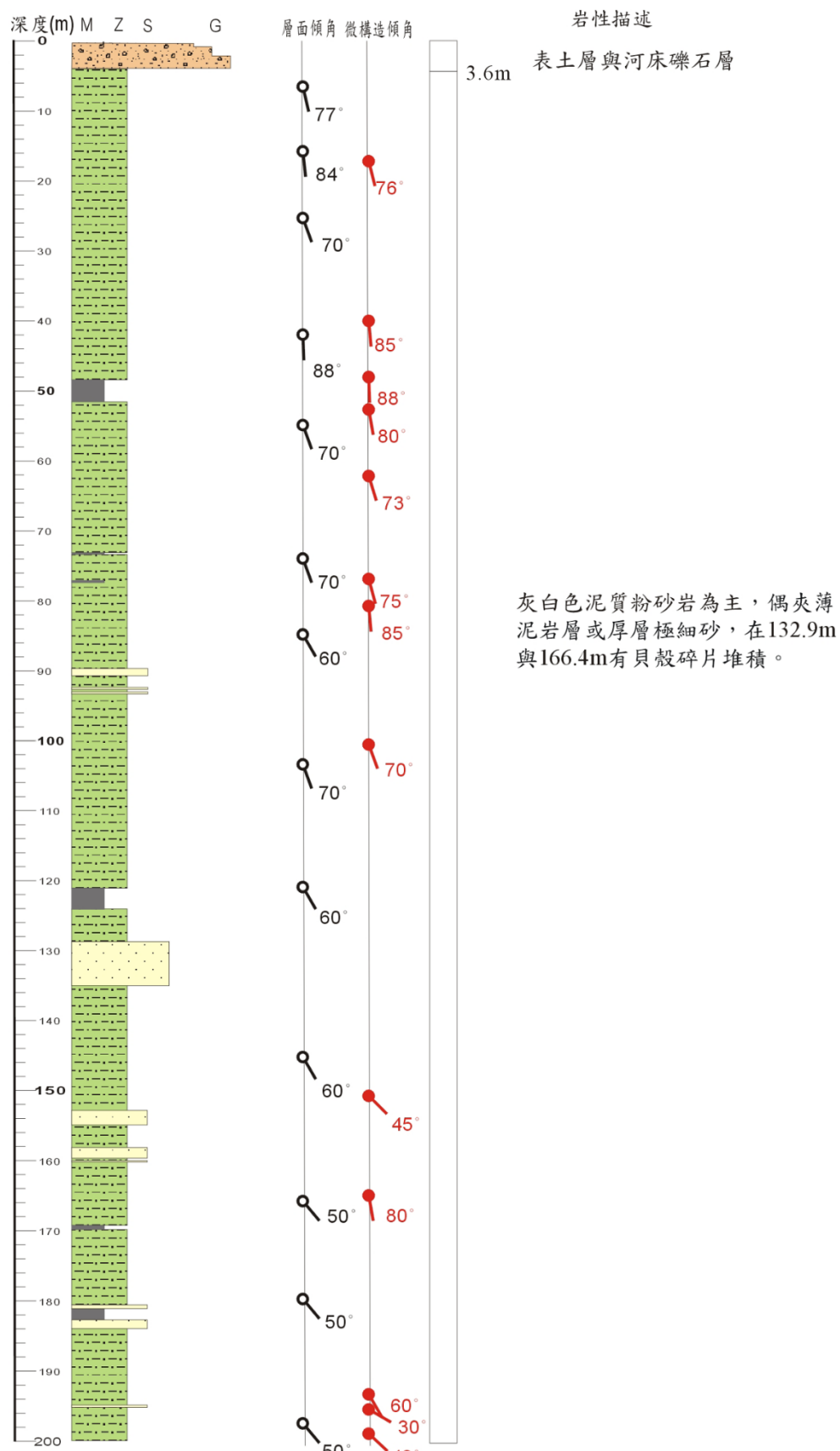


圖 15 大平地斷層北段之鑽探結果。在其中並無發現斷層存在之現象。

(摘自林啟文等，2007)

06 新屋-童話世界測線 2017~2021 年測段高程差比較圖

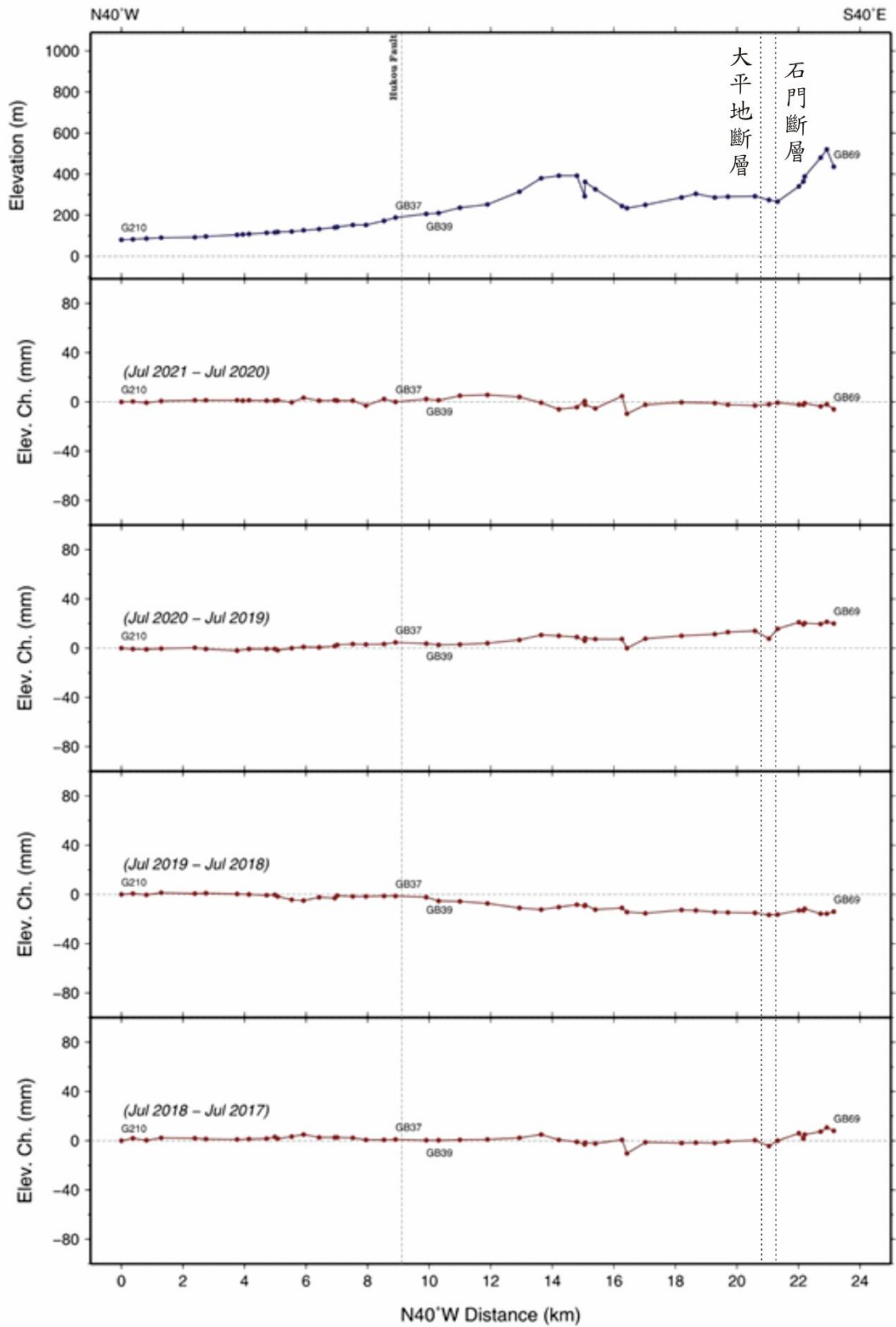


圖 16 新屋—童話世界測線 2017~2021 年測段高程差比較圖。(摘自經濟部中央地質調查所，2021)

3-3 桃園臺地群形成與大漢溪流域變遷

桃園臺地群之地形面分類與空間分布已於第二章說明，前人多將其視為由不同高度、不同保存狀態之紅土臺地面或河階面所組成，而非單一連續平坦面。

針對臺地區之礫石分布、礫石組成與古水流方向進行研究，討論其與古大漢溪流域演變之關係(黃祥慶，1995)，結果指出桃園—新竹以北臺地區上覆礫石層厚度約 10–50 公尺，多數約為 20–30 公尺，且礫石層之古水流方向顯示其主要水流來源來自今日石門水庫一帶，隨著古大漢溪河道逐漸向北或東北側順時針遷移，臺地群亦呈現由較老地形面至較年輕地形面逐步形成的關係，反映古大漢溪在被襲奪以前的河道遷移與沖積扇發育過程(圖 17)。

關於大漢溪襲奪時間之討論，主要來自古河道之沉積、臺北盆地地層紀錄與沉積物來源分析等證據，大漢溪下游柑園附近發現一埋沒谷(陳于高等，1990)，其走向與現今大漢溪近乎垂直，且谷中沉積物主要來自鄰近中新世非變質岩層，與現今大漢溪河床以變質砂岩礫為主之組成不同；其碳十四定年結果顯示古河道沉積約形成於 50–30ka，並將 30ka 以後大漢溪轉向臺北盆地與河川襲奪事件相連結。由臺北盆地探鑽井地層指出，景美層為含有大量雪山山脈來源變質砂岩礫之厚層沖積扇相礫層，代表大漢溪於景美層堆積時就已被襲奪進入臺北盆地(鄧屬予等，2004)，並推論真正襲奪時間應接近景美層開始堆積之時，大約為 25ka 左右。依據樹林地區鑽井岩芯中五股層與景美層交界處之沉積物組成變化，認為大漢溪襲奪應發生於景美層開始沉積時(鞏慧敏，2007)，但其依據岩芯漂木碳十四年代與河階沉積物光螢光定年(OSL)，推論襲奪年代約介於 61.2±5.6ka 至 50ka 之間。

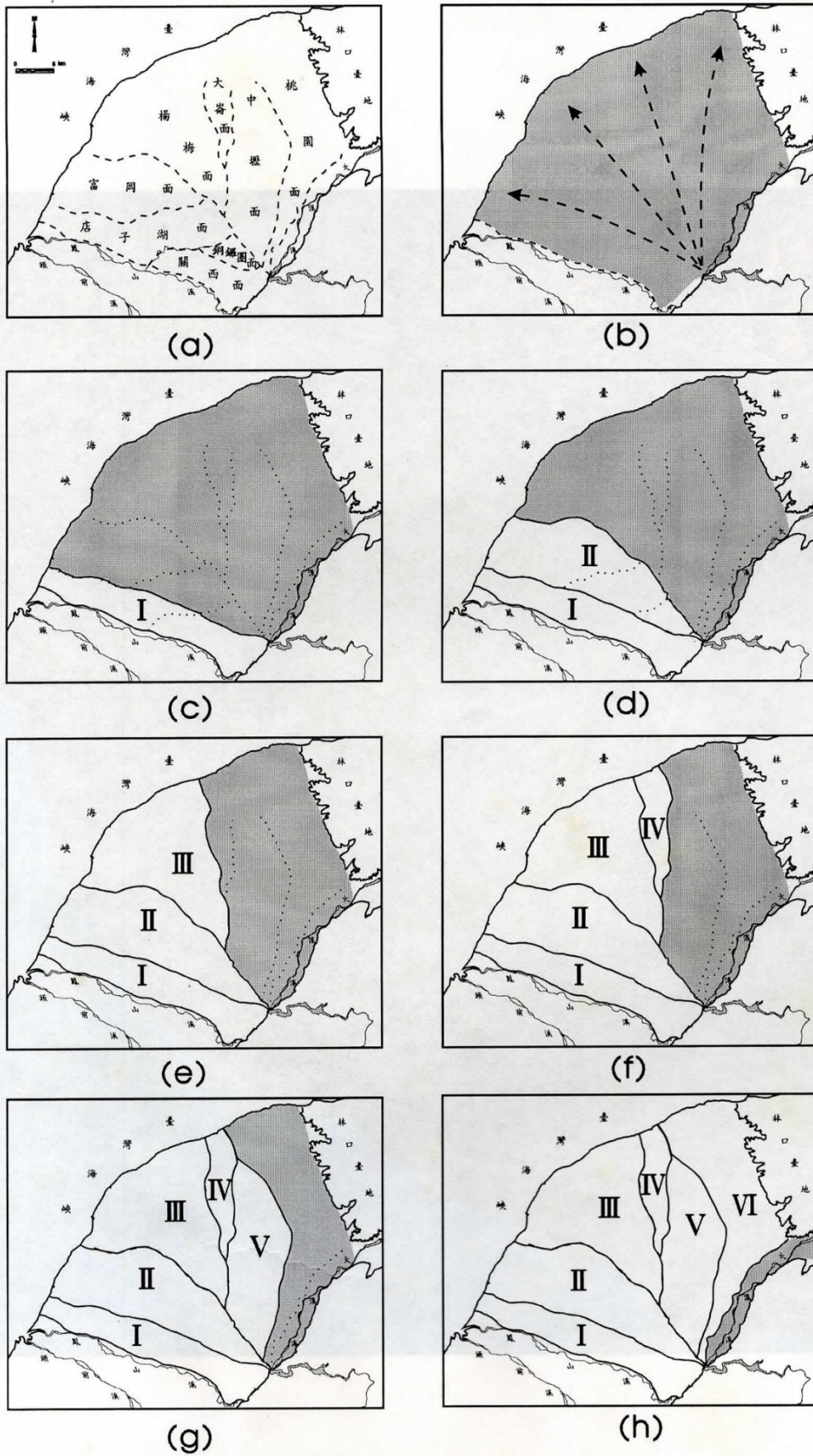


圖 17 桃園臺地群礫石堆積層之堆積順序圖，顯示古大漢溪向東呈順時針遷移。摘自黃祥慶，1995。

關於桃園臺地群地形面之沉積年代，彙整前人對桃園臺地群地形面之分類，並將研究區地形面區分為紅土緩起伏面(LH)、高位紅土河階(LT)、低位沖積河階(FT)與沖積平原(FP)等類型，其分類對照可見於表 3(譚凱英，1995)，其後續利用崖坡形態與崖坡定年方法討論不同地形面之相對發育時序，並參考前人對紅土臺地及河階沉積物之年代資料，推估高位紅土地形面 LH 之沉積年代約為 80000 年前左右，而 LT(V)開始下切之時間為 55000 年前，LT(IV)為 50000 年前、LT(III)為 32000 年前、LT(II)為 33000 年前以及 LT(I)為 28000 年前，與前人推估之年代範圍不衝突。

表 3 桃園臺地群地形面不同分類簡稱及可能形成年代。(改自譚凱英，1995)

地形名稱	地形面	林朝榮 (1957)	石再添 (1983)	譚凱英(1995)	林朝榮認為形成 年代
沖積平原				FP	全新世晚期
沖積河階				FT	全新世早期
桃園臺地	桃園面	LT ₃	LT ₅	LT(I)	更新世晚期
中壢臺地	中壢面	LT ₂	LT ₄	LT(II)	
	大崙面		LT ₃	LT(III)	
	楊梅面		LT ₂	LT(IV)	
	富岡面		LT _{1b}	LT(V)	
湖口臺地	銅鑼圈面	LT ₁	LT _{1a}	LT(VI)	更新世中期
	店子湖面	LH	LH _a	LH _a	
	關西面		LH _b	LH _b	

第四章 研究方法

4-1 野外地質與岩性分布調查

本研究之野外地質調查主要目的在於建立研究區域之地表岩性、地層位態及岩石強度等基礎資料，並建立後續剖面繪製之地表限制。路線地質圖之記錄主要沿石門以西之石門山登山步道、粗坑路以及東安農路等沿線露頭進行調查，紀錄包含岩性、層理或構造位態、顏色、粒徑、膠結程度、風化程度以及岩體破碎程度等特徵，此外，主要於砂岩及礫石層出露之露頭進行施密特錘量測，以取得不同岩性單元之現地反彈值，並作為估算岩石抗壓強度之參考，本研究使用數位式 Schmidt hammer (Silver Schmidt) 進行野外露頭岩石表面強度量測，該儀器於量測回彈特性後，會依據內建經驗關係換算為以 MPa 表示之等效抗壓強度估算值，並作為不同岩性與測點之相對強度比較依據，具體作法為刮除野外露頭表面受風化嚴重之區域，選擇垂直於層面之點位進行 10 次以上施力，並於這 10 次求取平均值與岩體抗壓強度，各測點之量測結果則以多次施測值作為該點之代表性強度估算，不過由於施密特錘量測之結果容易受到風化程度、表面粗糙度、裂隙發育及含水狀態等因素影響，因此所得數值主要反映露頭表面條件下之強度特性，與室內單軸抗壓強度試驗並非完全相同，其結果僅用於作為岩石強度趨勢之輔助資料，並於後續與工程地質報告中室內單軸抗壓強度試驗成果進行對照，以討論不同地層及岩性之強度差異。

另外，由於研究區域之露頭分布不連續，部分岩性界線難以直接由野外追蹤，除去野外地質調查以外還須配合高解析度之數值地形模型(DEM)所產製地形陰影圖作地形判釋。高解析度之 DEM 可濾除地表植被與建物之影響，可以呈現較接近真實地表之地形起伏特徵，前人研究曾利用 DEM 之衍

生圖搭配三維地形觀察與野外查核輔助判釋岩層線型、岩性邊界或構造線型(施乃慈，2018；趙柏濂，2021)，然而本研究區域受露頭不連續、崩積物以及人為開發影響，坡度圖未能呈現連續且明確之岩性帶狀特徵(圖 18)，因此將其作為輔助，主要使用地形陰影圖與野外露頭資料推估露頭間岩性之分界。

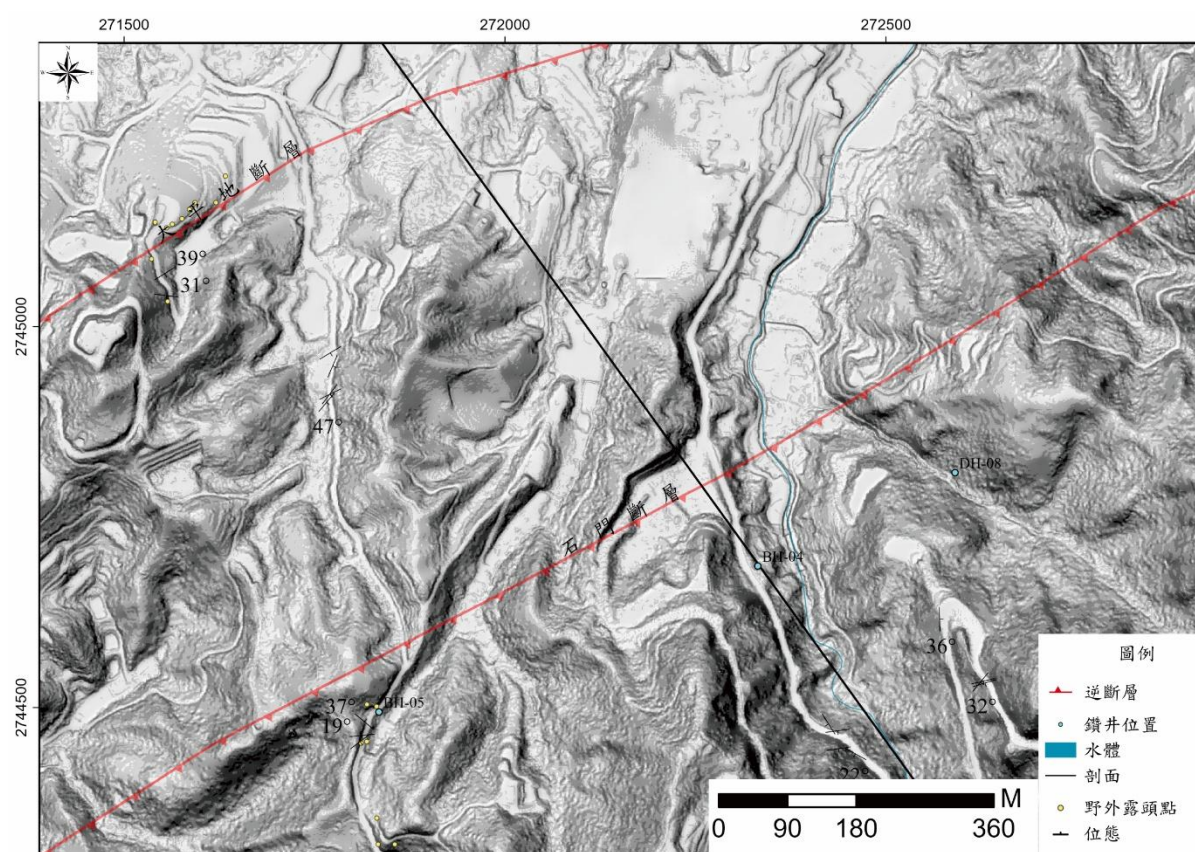


圖 18 DEM 衍生融合圖層與野外調查資料套疊示意圖。底圖為 DEM 產製之地形陰影圖與坡度圖經透明度套疊後之視覺化成果，顏色越淺可代表坡度越平緩，用於輔助觀察地形線型、坡面型態及坡面陡緩變化。

4-2 鑽井岩心紀錄及地層柱建構

本研究利用研究區內工程地質調查之鑽井資料取得地表露頭以外之淺部地下岩性與岩體狀態資訊，作為後續岩性對比、地層柱建構及地質剖面繪製之地下約制。鑽井資料主要包含 DH08 與 BH04 兩口鑽井，因其位置鄰近石門斷層與大平地斷層之研究核心區域，並且由於工程地質報告之鑽井紀錄主要以工程分類與岩體品質描述為目的，未必完全符合本研究對岩性變化與構造變形特徵之判釋需求，因此本研究針對仍可取得之 DH-08 重新進行觀察與紀錄，井位可參考圖 11。BH-04 則因為已經無法取得，故未能重新檢視，僅依據報告所提供之資料重新整理為本研究所使用之柱狀圖。

DH08 岩心紀錄時，主要記錄岩性、顏色、粒徑、膠結程度、風化程度、裂隙發育、岩心破碎程度及可能構造變形特徵，並針對破碎、剪裂紋理、角礫化、細粒化、裂隙密集或岩性突變等區段加以標註，以作為後續判斷可能構造變形區段之參考；地層柱建構則依據鑽井深度，整合岩性描述、主要岩性界線、破碎區段與試驗資料位置，並以統一格式呈現 BH04 與 DH08 兩口鑽井資料。

4-3 建構地質剖面

本研究將繪製 AA' 以及 BB' 兩條地質剖面(圖 6)，以整合地表地質調查、鑽井資料、前人資料等，探討石門斷層與大平地斷層之幾何形貌、相互關係及其於區域構造架構中之位置，地質剖面為依據現有地質資料所建立之合理解釋，用以呈現不同構造之幾何關係，並進一步討論其可能相對之發育順序。

4-3-1 剖面位置與限制

剖面線之位置(圖 6)主要依據研究區主要構造走向、石門斷層與大平地斷層之分布、鑽井位置以及地層走向，其中盡量使剖面方向垂直區域主要構造走向，以降低斜切構造所造成之地層傾角、地層厚度與構造幾何之縮短量判讀誤差，其中剖面 AA' 主要通過石門斷層與大平地斷層並向西北方向延伸，經過湖口背斜以及平鎮背斜至觀音地區；剖面 BB' 則是以近乎平行於剖面 AA' 的方向通過新店斷層、大溪背斜、新莊斷層以及湖口背斜。

考量石門斷層與大平地斷層位於臺灣西北部麓山帶前緣構造系統中，其地下延伸可能與鄰近褶皺、逆衝斷層及區域滑脫構造有關，因此剖面範圍不僅侷限於斷層地表位置附近，而是向西北與東南側延伸，涵蓋研究區域主要之地層分布與構造單元，檢視石門斷層與大平地斷層與鄰近構造之可能連結關係。

然而，於本研究區可直接約束地下構造之資料有限，現有鑽井資料主要提供淺部之地下約制，難以對深部之斷層型態有約制，並且因地形關係，地球物理探測資料也相對缺乏，因此本研究所繪製之地質剖面於深部仍具有不確定性，後續將以剖面結果作為推論，進一步提出石門斷層與大平地斷層地下延伸關係及相對發育關係之可能解釋。

4-3-2 彙整地質資料

彙整資料包含地表高程、地表地質資料、地質鑽探與地球物理相關資料，其中地表高程利用內政部 20 公尺網格數值地形模型資料；地表地質主要參考前人(塗明寬和邵屏華，2001；林啟文和張育仁，2014；中國石油公司，1978；中興工程顧問股份有限公司，2023；黎明工程顧問股份有限公司，2024)之地表岩層之位態與石門斷層之地表斷層跡，篩選沿線兩側約 2 公里之範圍內的位態點，並配合本研究野外調查所建立之地表岩性分區成果進行修正與對比，再換算為投影至剖面上之視傾角，彙整結果如圖 19。

地下資料方面，地質鑽探主要彙整研究區域內 BH-04 與 DH-08(中興工程顧問股份有限公司，2023；黎明工程顧問股份有限公司，2024)兩口鑽井，以及鄰近湖口背斜之 YM-1 之鑽井資料與相關剖面，與平鎮背斜 PC-1 以及構造前緣之 KY-1(Chang, 1971)等鑽井資料；震測剖面包含湖口背斜與平鎮背斜之震測剖面(Suppe and Chang, 1983)。

區域內新第三紀地層厚度整體呈由北向南增加之趨勢，其中南港層與桂竹林層亦具有向東南增厚的現象(Hsiao, 1967)。由於本研究剖面大致呈西北—東南向，故將此區域趨勢作為剖面東南側地層可能較厚之參考，不過，為簡化剖面繪製，仍假設各地層於本研究剖面範圍內之厚度變化有限，並採用表 1 所彙整之代表性厚度，各層厚度如下：五指山層(Ws)500 公尺；木山層(Ms)700 公尺；大寮層(Tl)400 公尺；石底層(St)500 公尺；南港層牛肩頭段(Nkn)400 公尺；南港層七寮段(Nkl)150 公尺；南港層尖石山段(Nkc)300 公尺；南莊層(Nc)800 公尺；桂竹林層(Kc)800 公尺；錦水頁岩(Cs)125 公尺；卓蘭層(Cl)650 公尺；楊梅層照鏡段(Ymc)800 公尺；楊梅層照門段(Ymm)350 公尺；大茅埔礫岩(Tm)80 公尺；店子湖層(Tz)15 公尺；中壢層(Ch)25 公尺；桃園層(Ty)25 公尺。

剖面深部構造則參考前人對臺灣西部麓山帶褶皺逆衝構造及構造平衡

剖面之研究，本研究主要參考 Suppe (1980) 對臺灣西部麓山帶覆瓦狀逆衝構造、區域滑脫面及構造平衡剖面之討論，提供本研究判斷研究區深部構造樣式與區域構造關係之概念基礎，作為區域構造與西部麓山帶邊緣逆斷層系統之基本假設，兩張剖面之資料彙整於圖 19。

4-3-3 剖面繪製方法

剖面繪製大致可分為彙整資料階段以及假設與解釋階段(圖 20)。首先將前述之地表與淺部地下資料整合至同一剖面，地下地層之延伸以地表界線、位態、鑽井紀錄以及地層厚度為主要限制，並盡量維持地層厚度與構造幾何之合理性。

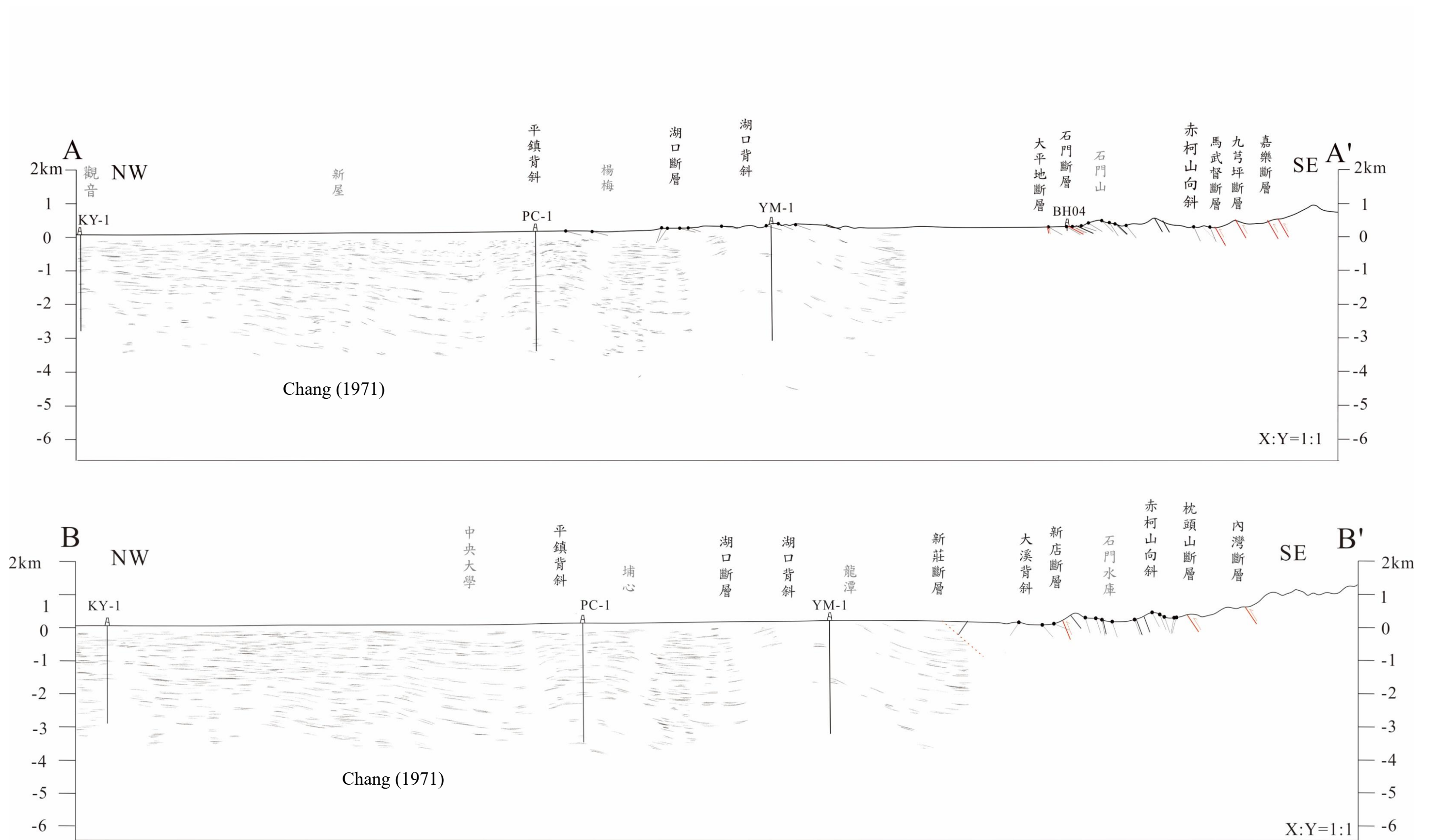


圖 19 剖面 AA'與剖面 BB'之資料彙整圖。圖中淺色線條為震測資料(Chang, 1971)之解釋線，地表資料包含剖面附近之地表岩層位態、鑽井及主要構造資料，用以作為後續地質剖面繪製之約制。部分遠離剖面線或資料密度較低之區段，其地下構造解釋仍具較高不確定性。

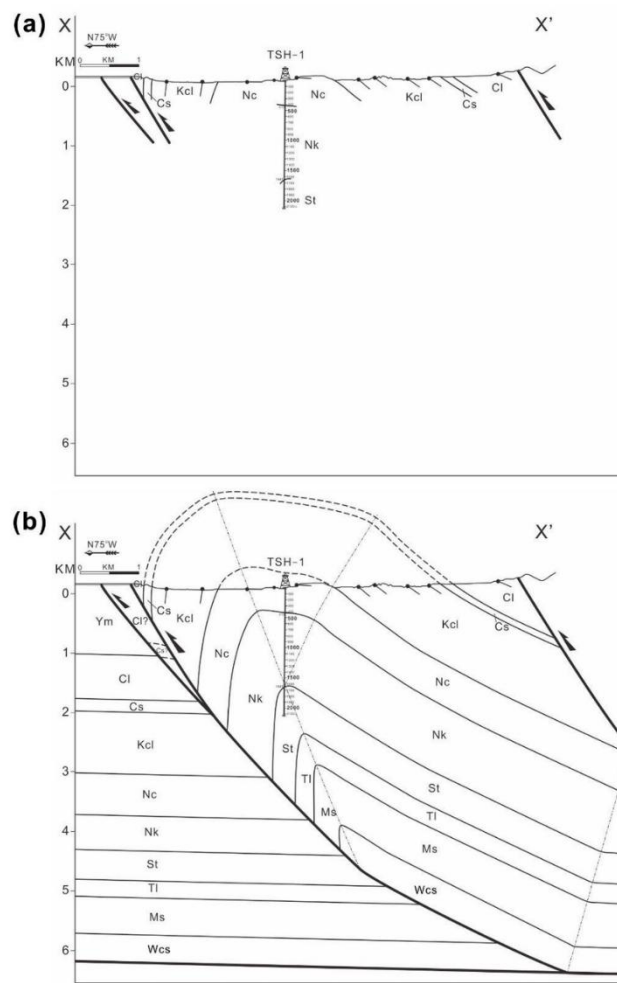


圖 20 繪製鉛直剖面之過程。(a)彙整資料階段。(b)假設與解釋階段。(摘自范書睿，2017)

第五章 研究結果

5-1 野外調查結果

本節呈現研究區域野外地質調查之主要成果，內容包含地表岩性分布、露頭岩性特徵、隧道開挖面與新鮮岩塊樣本觀察，以及岩石強度之現地量測結果，其中野外露頭點及照片之分布如圖 21 所示。

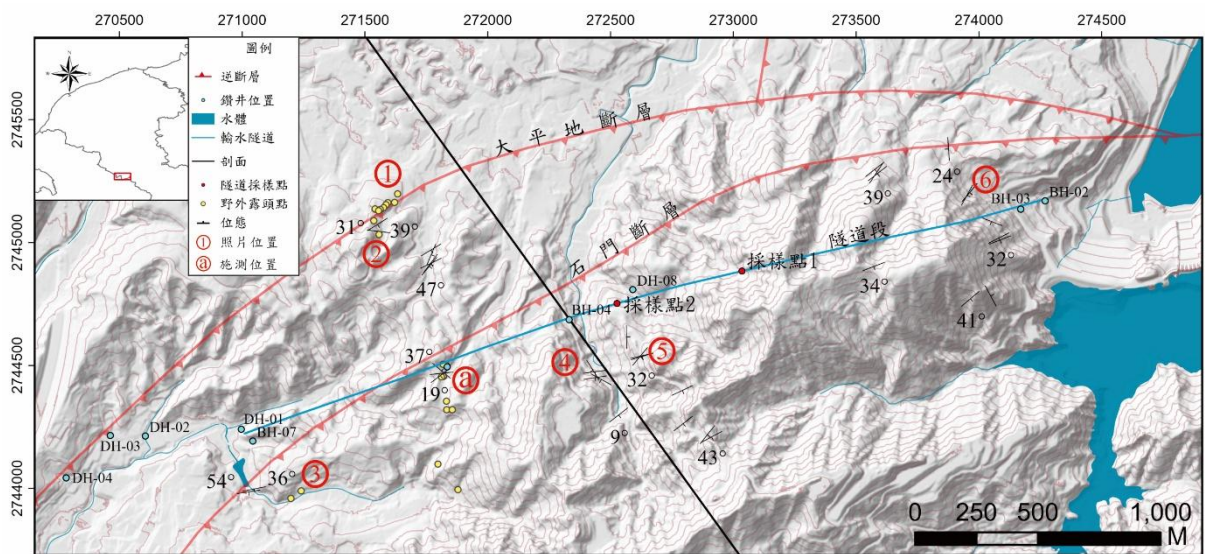


圖 21 野外調查點與露頭照片之分布。

地表岩性分布與露頭觀察

依據野外調查結果建立地表岩性分區(圖 22)，主要用以呈現研究區局部尺度之岩性分布、露頭特徵及可能岩性界線位置，並作為後續地質剖面近地表地層配置之參考。地表可觀察數個具代表性之岩性區段，包括紅土礫石層、厚層白色砂岩、塊狀青灰色砂岩以及黃棕色、質地較鬆軟之砂岩，整體呈現帶狀分布，上述岩性區段在顏色、膠結程度、風化程度、層理發育及岩體完整性上具有差異，可配合岩石強度之現地量測結果作為本研究判釋地表岩性分布之主要依據，其各代表性露頭位置如圖 21 所示，露頭照片如圖

23~圖 28 所示。

其中紅土礫石層主要分布於研究區北側地勢較低之區域，露頭(圖 23)中可見紅土化基質與礫石堆積特徵，礫石多呈次圓狀至圓狀，粒徑不一，風化嚴重，其特徵與文獻中店子湖層之描述相符。土黃色區塊於圖 22 則為觀察到黃棕色至黃褐色中粒砂岩之露頭分布區，風化程度較高，岩體質地相對其他區域觀察到之露頭鬆軟，顯見裂隙發育(圖 24)，與其他色塊之地區相比膠結程度與岩體完整性較差。依據露頭位置與既有地質圖對照，該區段大致位於南莊層之分布範圍，然而觀察到之岩性特徵與前人所記述膠結良好、岩體強度高之情形有所落差，此差異可能與露頭表層之風化程度、局部岩性變化，以及鄰近大平地斷層與石門斷層推估位置之擾動帶有關，因此將觀察到露頭的部分認為可能是受斷層擾動或風化嚴重之弱化區段。

接下來是圖 22 中淺黃色區塊，露頭以塊狀灰白色砂岩為主，部分露頭可見裂隙與層理發育，部分產狀破碎(圖 25、圖 27)，依其出露位置及既有地質圖之對照，推測此岩性區塊大致位於石底層之分布範圍內，並且可能受到石門斷層擾動帶之影響，觀察顯示，此區塊內之砂岩相較於鄰近黃棕色砂岩有較高之抗蝕性，施密特錘現地量測結果顯示其回彈值整體較高，但此結果不代表石底層整體岩性組合之強度特徵。

最後主要分段為圖 22 之淺藍灰色區塊，露頭主要呈現青灰色至深灰色砂岩，岩體多為塊狀至厚層，部分露頭可見裂隙發育，在夾有頁岩之露頭可見層理(圖 26、圖 28)，依其出露位置及既有地質圖對照，推測此岩性區塊大致位於南港層牛肩頭段之分布範圍內，此區域內砂岩之露頭岩體完整性較高，與黃棕色中粒砂岩在顏色、抗風化程度上有所不同，質地較為緻密；而與塊狀白色砂岩相比，其層理相對不明顯，風化後之岩體強度與顏色也不盡相同，故將其分為第三區塊，接下來往東南部延伸，砂岩之含泥量逐漸升高，並且發展為砂頁岩互層，岩性有明顯變化，依露頭位置做推估應為南港

層之七寮段，但因露頭數量稀少，故其界線大多為搭配 DEM 陰影圖做推測之結果。

綜合上述，本研究所判釋之大平地斷層附近岩性界線與既有地質圖及前人研究所示之地表斷層跡大致相符，顯示該區岩性變化與既有構造位置具有一致性，然而石門斷層附近之岩性界線則呈現局部差異，尤其研究區中部，其岩性分界並非呈現平滑直線延伸而是具有彎曲轉折之形態，相較於既有地質圖所示之地表斷層跡，本研究判釋之中段部分岩性界線位置略向東南側偏移，最大約為 10~20 公尺。

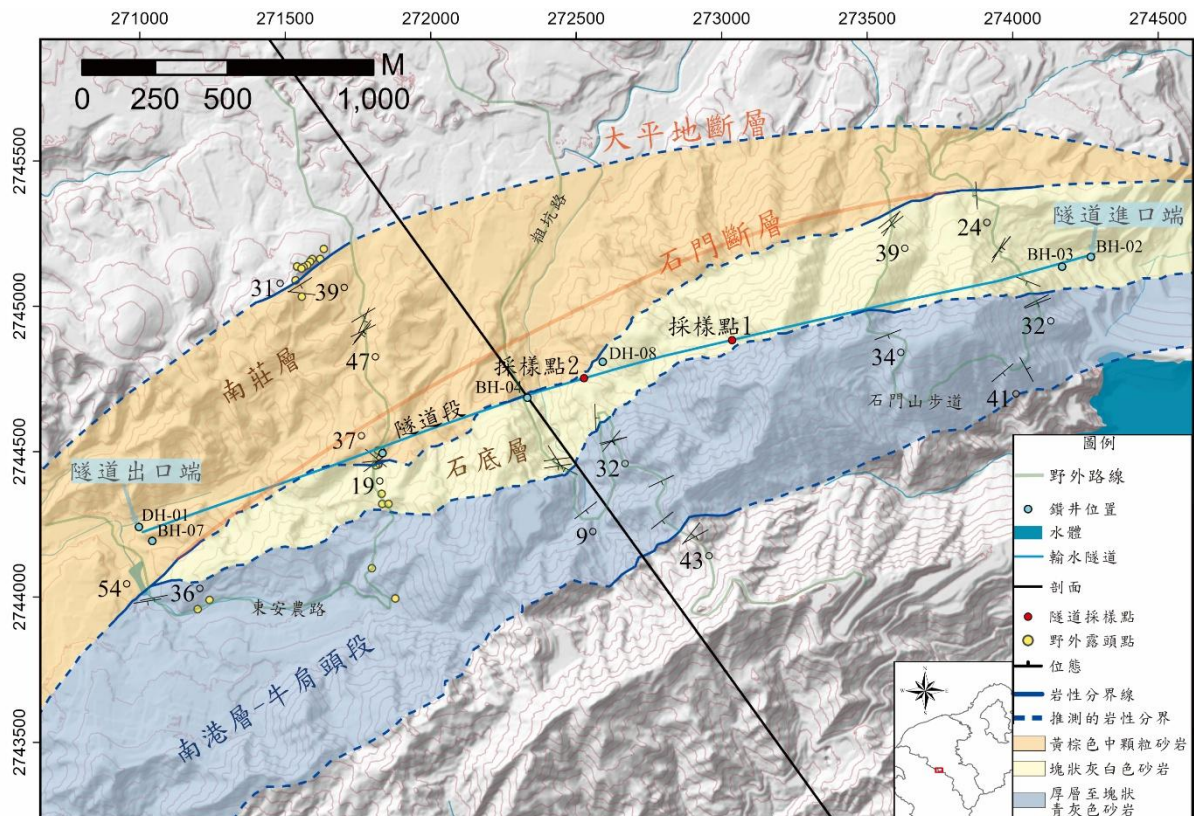


圖 22 岩性分區圖。淺色紅線為原先地礦中心所繪製之石門斷層地表斷層跡，顏色覆蓋區域為區域性代表露頭之顏色與產狀，並非表示全區域都是單一岩性之露頭，由於研究區內部分岩性界線無法由連續露頭直接確認，故本研究將露頭控制較明確之岩性分界以實線表示，對於較無法確定之界線則採用 DEM 配合相鄰露頭、地形線形及差異侵蝕等特徵輔助判釋，以虛線表示其推測位置。



圖 23 紅土礫石層露頭照片。礫石多呈次圓至圓狀，基質具紅土化特徵，攝於照片點 1。



圖 24 黃棕色中粒砂岩露頭照片。砂岩風化嚴重，含多組裂隙，岩體完整性較差，攝於照片點 2。



圖 25 灰白色塊狀砂岩露頭照片。露頭可見多組裂隙，整體呈現破碎樣貌，攝於粗坑路照片點 4。



圖 26 塊狀青灰色砂岩露頭照片。岩體呈塊狀至厚層狀，整體較為完整，攝於東安農路旁照片點 3。



圖 27 照片點 6 之塊狀灰白色砂岩露頭照片。露頭發育多組高角度裂隙，整體呈現破碎樣貌。



圖 28 照片點 5 之塊狀青灰色砂岩露頭照片。砂岩質地較緻密，岩體呈塊狀。

岩石強度之現地量測結果

本研究現地量測資料包含兩類樣本來源：其一為地表岩性分區中之代表性露頭，主要反映岩體於地表出露條件下之風化程度、裂隙發育與岩體完整性；其二為隧道開挖面附近所採集之新鮮岩塊樣本(圖 29)，作為受表層風化影響較小之岩體對照。本文分別對上述二者進行施密特錘之現地量測，用以輔助不同岩性區段之相對岩石抗壓強度，具體位置可以參照圖 21，資料彙整可見表 4。

首先紅土礫石層中之礫石抗壓強度介於 62~73.05MPa，為所有樣本中數值最高者，其測量目的在於檢視其礫石是否為高抗壓強度之岩石，由於前人文獻描述店子湖層之礫石為古大漢溪所沉積，而古大漢溪上游搬運來自雪山山脈之砂岩、石英砂岩等較堅硬之岩石，因此測定所得之抗壓強度可作為礫石來源之輔助證據，然而此類量測主要反映單顆礫石之強度，並不代表紅土礫石層整體基質與礫石堆積體之岩體強度，因此後續不將其與南莊層砂岩露頭進行直接比較。

砂岩露頭部分，黃棕色中粒砂岩區塊之露頭抗壓強度落在 8.5~13.5MPa，為各砂岩區段中最低，且有多筆資料顯示測量結果小於儀器有效換算範圍，故未納入平均值作計算，這一結果與前述露頭觀察到膠結較差、質地較為鬆軟以及岩體完整性較差等特徵相符；相較之下，塊狀灰白色砂岩區塊之抗壓強度介於 14.5~35MPa 之間，平均為 22.25MPa，厚層青灰色砂岩區塊則是落在 15.5~30MPa，平均為 24.2MPa，兩者數值較為相近，且整體高於黃棕色砂岩區塊，雖然部分裂隙發育明顯，但結果顯示二者具有相對於黃棕色砂岩區塊之抗蝕性與完整之砂岩岩體狀態。

至於在隧道開挖面之新鮮樣本之施測結果顯示，石底層之砂岩樣本抗壓強度高於南莊層之砂岩抗壓強度，與地表露頭之趨勢大致相同，然而因隧道內樣本有限，此結果僅供輔助對照。

表 4 本研究施密特錘現地估算抗壓強度量測結果彙整表。註：表中「有效量測組數」指的是納入統計之代表性量測組數；每一量測組均於露頭或岩塊樣本上進行約 10 次施密特錘施壓。

岩性區塊/ 樣本來源	位置	樣本 狀態	有效 量測 組數	現地測量之抗 壓強度範圍 (MPa)	平均值 (MPa)	推測所屬地層
紅土礫石 層之礫石	照片點 1	地表 風化 礫石	5	62~73.05	66.41	店子湖層之分布 範圍
黃棕色中 粒砂岩	照片點 2	地表 露頭	9	8.5~13.5	10.5	南莊層之分布範 圍，有 5 筆資料 之抗壓強度 <22.0Q，故未納 入平均計算
塊狀灰白 色砂岩	施測點 a	地表 露頭	5	14.5~35	22.25	石底層之分布範 圍，有 1 筆資料 之抗壓強度 <22.0Q，故未納 入平均計算
厚層青灰 色砂岩	照片點 5	地表 露頭	5	15.5~30	24.2	南港層牛肩頭段 之分布範圍
隧道進口 1218.2m	採樣點 1	新鮮 岩塊 樣本	3	21.5~25	23.25	石底層之分布範 圍，其中有 1 筆 資料之抗壓強度 <22.0Q，故未納 入平均計算
隧道進口 1611.73m	採樣點 2	新鮮 岩塊 樣本	2	12.5~13	12.75	南莊層之分布範 圍。

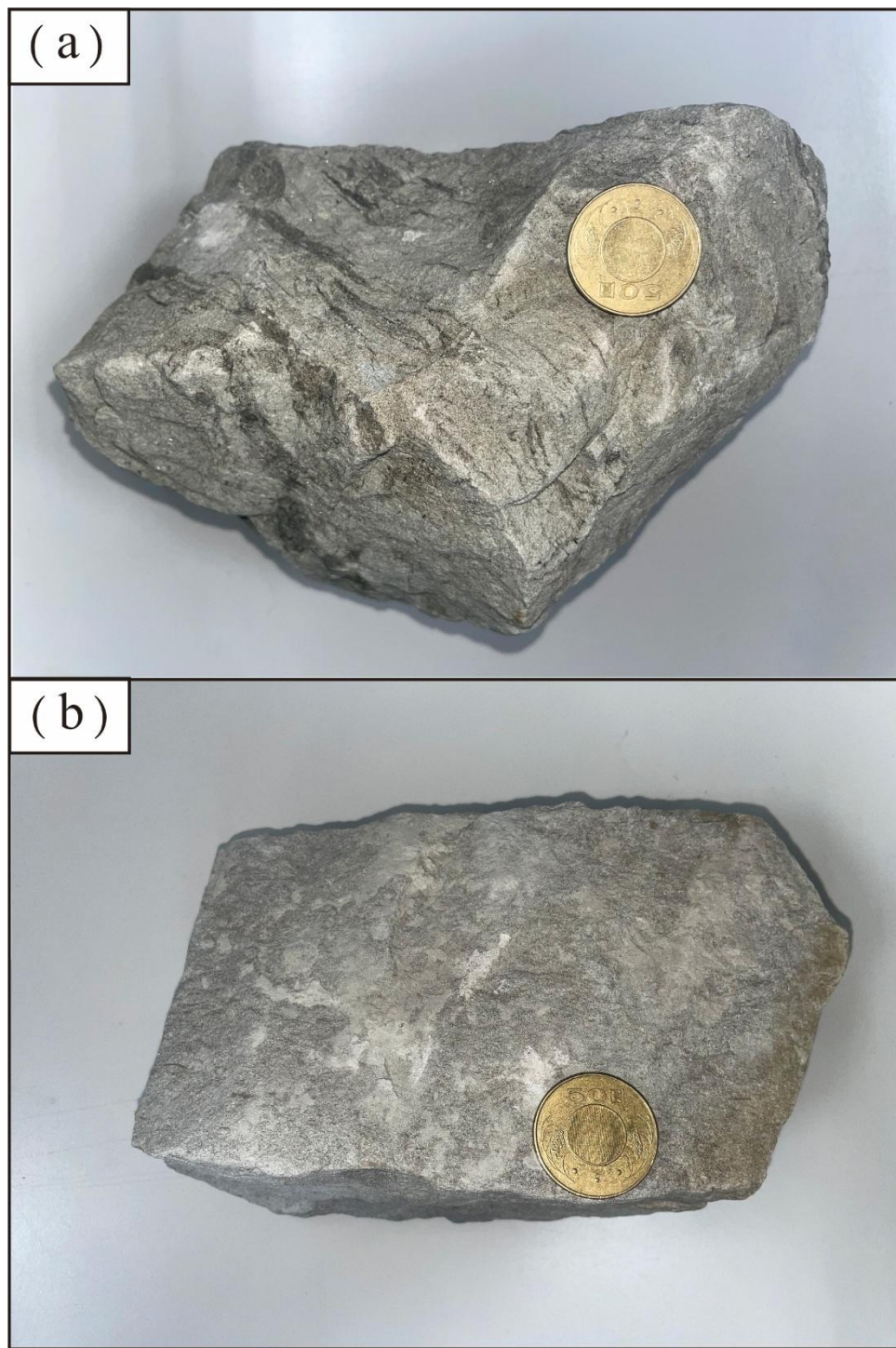


圖 29 隧道開挖面之採樣岩塊。(a)採樣自隧道進口端 1218.2 公尺處(採樣點 1)，為石底層之新鮮砂岩樣本，可見夾有頁岩之層理。(b)採樣自隧道進口端 1611.73 公尺處(採樣點 2)，為南莊層之新鮮砂岩樣本。

為進一步檢視現地施測抗壓強度之意義，本文彙整既有工程地質調查報告中之岩石單軸壓縮試驗成果(中興工程顧問股份有限公司，2023；黎明工程顧問股份有限公司，2024)作為對照，兩者雖然皆可反映岩石在受壓條件下之強弱表現，但其試驗尺度、受力方式與代表之力學意義不同，故無法將其作為等價數值相比較，而僅將二者作為不同岩性、風化程度及岩體完整性等條件下之相對強度趨勢之對照。

表 5 工程地質報告之岩石單軸壓縮試驗成果表。(彙整自中興工程顧問股份有限公司，2023；黎明工程顧問股份有限公司，2024)

鑽井孔	深度(m)	地層岩性	單壓強度 q_u	
			kg/cm^2	MPa
BH-02	14.5~15.5	石底層之灰色砂岩	3.13	0.307
BH-03	39.5~39.8	石底層之灰色砂岩	1.99	0.195
BH-04	21~21.3	石底層之灰色頁岩	4.48	0.439
BH-04	64.2~64.5	南莊層之灰色砂岩	571	56.015
BH-05	36.6~37	南莊層之灰色砂岩	141	13.832
BH-07	39.6~40	南莊層之灰色砂岩	12.2	1.197
BH-21	8.5~8.8	南莊層之黃棕色砂岩	5.78	0.567
112-DH-01	6.5~7	南莊層之灰色砂岩夾頁岩(剪裂帶)	4.97	0.488
112-DH-08	40.8~41	石底層之灰色砂岩夾頁岩(剪裂帶)	9.3	0.912
112-DH-08	57.6~58	南莊層之灰色砂岩	242.07	23.747
112-DH-08	65.5~66	南莊層之灰色砂岩	144.84	14.209
112-DH-08	106.5~107	南莊層之灰色砂岩(剪裂帶)	13.17	1.292

由表 5 結果可見，完整砂岩樣本通常具有較高單壓強度，而頁岩、砂頁岩、泥質砂岩、砂岩夾頁岩及剪裂帶樣本則明顯偏低，雖然表中南莊層完整砂岩之單壓強度高於多數石底層樣本，但由於表列石底層樣本多屬頁岩、砂岩夾頁岩或剪裂帶樣本，故其無法推論南莊層整體強度必然高於石底層，相較之下，現地量測結果反映的是地表露頭或新鮮岩塊樣本之局部強度表現，其數值受露頭風化程度、量測面狀態、岩體完整性與裂隙發育影響，因此結果差異可能反映兩者取樣對象與樣本狀態不同，推測為岩性、風化程度、剪裂擾動及樣本完整性差異所造成(表 6)。

表 6 本研究施密特錘現地估算強度與工程地質報告單軸壓縮試驗成果比較表。比較結果顯示，部分工程岩心之單軸壓縮強度與現地估算值差異較大，故本文僅據以討論相對趨勢，不將兩類數值進行直接定量比對。(室內單軸壓縮強度彙整自中興工程顧問股份有限公司，2023；黎明工程顧問股份有限公司，2024)

岩性區塊	樣本狀態	現地測量之抗壓強度範圍 (MPa)	工程報告試體類型	室內單軸壓縮強度
黃棕色中粒砂岩	風化地表露頭	8.5~13.5	BH-21 之南莊層之黃棕色砂岩	5.78 kg/cm^2
塊狀灰白色砂岩	風化地表露頭	14.5~35	BH-03 之石底層之灰色砂岩	1.99 kg/cm^2

5-2 鑽井資料判釋

本研究於 BH04 與 DH08 岩心中並未觀察到可明確量測位態且連續性良好之單一斷層面，因此不以單一面構造作為斷層通過位置之判定依據，而是根據岩心中破碎程度、剪裂構造發育、角礫化、泥化或細粒化以及岩性混雜等特徵，將特定深度區間判釋為可能斷層帶或構造擾動帶，另外可利用鑽孔位置、地表斷層跡及斷層帶深度之幾何關係，概略推估石門斷層近地表傾角，其計算概念如圖 30 所示。

BH04

位於剖面 AA'線上(圖 6)，為本研究約束石門斷層近地表構造位置之關鍵鑽井，其中鑽井深度 50~62.4 公尺為礫石沉積單元(圖 31b)，為鑽井中之特殊岩性單元，石門斷層兩側主要出露中新世地層，當中鑽井遭遇之地層包含石底層與南莊層，其岩性多以砂岩、頁岩及砂頁岩互層為主，並非典型礫石沉積地層，因此此礫石沉積區段不宜視為上述基盤地層之一部分，可能代表斷層帶附近之近地表沉積單元，並於礫石沉積單元上部約鑽井深度 40.2~42.9 公尺處，集中出現密集剪裂紋理，並伴隨角礫化、岩性混雜與局部泥化等特徵(圖 31a)，42.9~47.2 公尺間出現崩積層，基質為黃灰色之砂和泥，上下接觸有明顯之岩性變化，故將此段判釋為石門斷層通過之區間。

由於剖面 AA'近乎垂直於構造走向，故可由鑽井之石門斷層帶深度大致推估其斷層面傾角，利用三角函數的原理(圖 30)，將野外描繪之石門斷層地表斷層跡，與 BH04 地表鑽井位置當作三角面之其中一股 x ，而鑽井地表垂直至斷層經過區間之深度為 y ，計算 $\tan^{-1}(\frac{y}{x})$ 可得斷層面近似之傾角，此方法計算出來之傾角約為 29.7 度，與前人文獻中所記載 60~70 度之間(徐鐵良, 1960)有所不同，因此推論石門斷層應比較接近低角度之逆斷層型態。

此外，上述提到於鑽井深度 50~62.4 公尺處為礫石沉積單元，推測為古

大漢溪所沖積之沉積物，若能得知其沉積年代，可以提供石門斷層活動相對之時間限制，若其為近斷層崩積或再搬運之沉積物，則反映斷層附近可能有過顯著之地形或構造運動，關於礫石層來源與沉積年代仍需結合前人文獻進一步檢視，其所代表之構造意義與限制將於第六章討論。

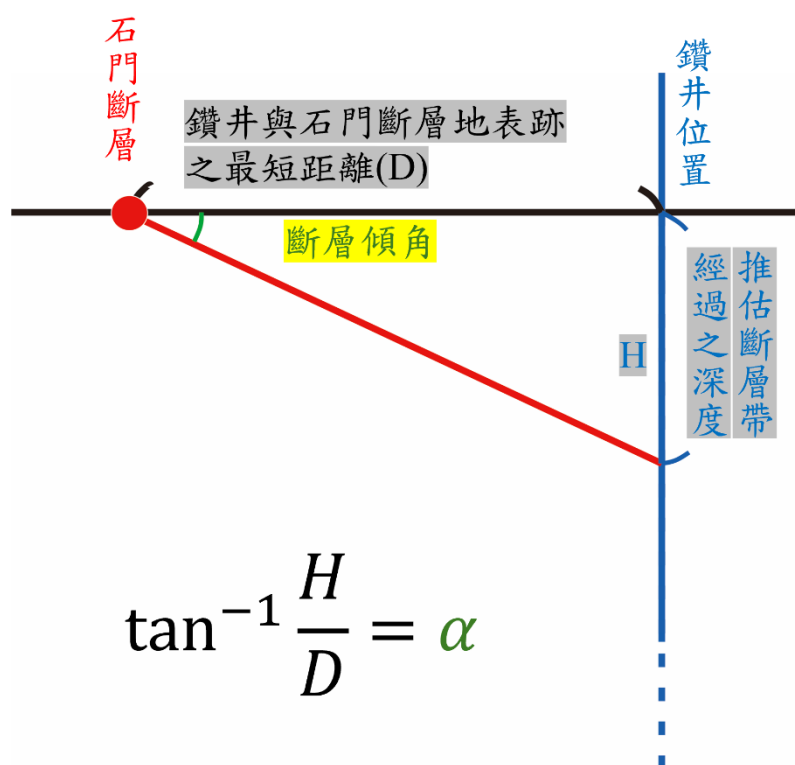


圖 30 以鑽井資料推估斷層面傾角方法示意圖。



圖 31 BH04 鑽井岩心照片與石門斷層帶判釋。(a)BH04 鑽井深度 40~43 公尺處，有明顯角礫化、密集剪裂紋理以及細粒泥質物，推論為石門斷層經過之範圍。(b)BH04 鑽井深度 53~56 公尺處之礫石沉積單元，可以透過照片觀察以灰白色礫石為主，形狀圓至次圓狀，淘選度差，膠結狀況不好，推論為河川之沉積物。

DH08

為本研究重新觀察與紀錄之鑽井岩心，依據資料可將鑽井內部分為斷層帶上盤、主斷層帶、斷層帶下盤以及下盤分支毀壞帶(fault damage zone)等區間，整段皆可見剪裂紋理與高角度之裂隙分布，於 43.4~52 公尺處出現明顯之破碎與剪裂特徵，並且出現角礫化與局部泥質化等現象(圖 32a)，且岩心完整度與岩體強度明顯降低，故推論此區段為石門斷層帶的斷層核心(fault core)，在此區段以上大多以砂岩、頁岩及砂頁岩互層組成，按前述推斷應為石門斷層之上盤出露地層—石底層之岩性。

於主斷層帶下方 52~87.3 公尺處主要以灰色頁岩、中粒砂岩及砂岩夾泥岩為主，部分區域可見層理與剪裂紋理發育，相對於上盤與主斷層帶之區段，此區段雖局部仍有高角度裂隙與剪裂紋理，但其岩性之連續性較佳，且與鹽酸皆會起反應，推測應含有碳酸鈣，與前人文獻中南莊層之敘述相符，按推論應為石門斷層之下盤。

另外，於深度 92~114 公尺處也有觀察到剪裂構造以及裂隙擾動，並含有角礫岩塊和細粒泥質基質(圖 32b)，由於此區間位於主斷層帶下方，且變形特徵較主斷層帶分散，岩心也未呈現破碎樣貌，故將其判釋為石門斷層之下盤分支毀壞帶。

與 BH04 不同之處在於 DH08 這口鑽井並未有任何礫石相關之沉積單元被發現，造成此差異可能有兩種解釋：其一，BH04 所見之礫石沉積單元可能屬於古河道或局部低窪地形中之透鏡狀沉積，沿側向快速變薄或尖滅，因此未延伸至 DH08；其二，DH08 所在位置之礫石沉積可能曾受到後續侵蝕、構造抬升或斷層作用影響而未能保存。由於目前缺乏兩鑽井間之連續鑽探、沉積相變化及年代資料，尚無法完全排除第二種可能，但考量礫石沉積單元通常具有較明顯之側向變化，本研究較傾向前者，亦即 BH04 所見之礫石沉積單元可能為局部保存之沉積單元，而非可連續延伸至 DH08 之區域性地層。除此之外，依舊可以從其他特徵等辨識出石門斷層帶可能經過之深

度區段，故也可透過三角函數來推算斷層面之傾角，驗證 BH04 之推論是否準確，其計算結果傾角為 38.5 度，雖略大於 BH04 鑽井口之計算結果，整體依舊小於前人之文獻記載，石門斷層按兩口井之計算，其並非為高角度之逆斷層，應為較低角度之逆衝斷層。



圖 32 DH08 鑽井岩心照片與石門斷層帶判釋。(a)DH08 鑽井深度 43~52 公尺處，有明顯角礫化、岩體破碎、密集剪裂紋理以及斷層泥之區段，推論為石門斷層的斷層核心。(b)DH08 鑽井深度 96~100 公尺處，為石門斷層下盤發現之角礫化以及細粒泥質基質之區段，但因其破碎不明顯，變形特徵較上部(a)分散，故推論其為石門斷層之下盤分支毀壞帶。

5-3 地質剖面

5-3-1 剖面 AA'

為本研究區域之主要地質剖面，呈現西北—東南向，剖面西北端起自觀音、新屋一帶，向東南依序通過平鎮背斜、湖口背斜、大平地斷層、石門斷層、赤柯山向斜及馬武督斷層，並鄰近 BH04 與 DH08 等關鍵鑽井，因此可作為約制研究區近地表之構造型態之主要依據，全長約 37.3 公里，呈現石門斷層、大平地斷層及鄰近岩性單元近地表之配置關係，其中西北側之深部地層厚度與位態主要參考 Chang (1971) 之震測剖面(圖 7)、Suppe and Namson(1979)之湖口背斜剖面(圖 8)、KY-1、PC-1 以及 YM-1 等鑽井資料，東南側深部缺乏直接鑽井與震測資料限制，因此本節著重於文獻所支持相關構造結果，深部斷層之延伸與區域構造關聯則於第六章進一步討論。

剖面 AA'(圖 33)西北側之地層整體呈緩傾斜至寬緩褶皺形貌，平鎮背斜與湖口背斜附近可見地層邊界向上拱起，反映麓山帶前緣之褶皺構造特徵，由於湖口斷層與湖口背斜已被前人列為本區重要活動構造，本研究參考震測剖面之解釋(圖 7)於湖口背斜下方以紅線示意湖口斷層之位置，作為區域構造背景之參考，相較之下，剖面中段至東南側地層位態變化較為劇烈，在車頭附近之店子湖層近乎水平覆蓋於下伏地層之上，大茅埔礫岩、楊梅層以及其下伏之地層，則是以傾角約 3~4 度向東南傾斜，通過大平地斷層之後，地層傾斜程度逐漸增加，並且在經過石門斷層截切後傾角逐漸變得更加陡峭，至赤柯山向斜一帶，地層進入倒轉褶皺構造範圍，向斜兩翼皆以約 60 度之視傾角向東南傾斜。

大平地斷層與石門斷層位於剖面中偏東南段，兩者皆為向東南傾斜之逆斷層(圖 33)，大平地斷層之近地表傾角主要參考其南段露頭所顯示之高角度斷層面，並以 70-90 度之中間值 80 度繪製，表示其近地表為一高角度

逆斷層；石門斷層則依據本研究重新判釋之地表斷層跡、岩性分布及鑽井資料加以約束，近地表以傾角 29.7 度向東南傾斜繪製，由剖面結果來看，於近地表約 0.5 公里以內，AA'剖面顯示大平地斷層與石門斷層為兩條相鄰且皆向東南傾斜之逆斷層構造，兩者共同控制石門水庫一帶之地層分布與岩性單元配置，然而就現有近地表資料而言，尚未能直接判定兩者之深部連接關係。剖面東南側之赤柯山向斜為地層向下彎曲之倒轉褶皺構造，整體向斜約有三分之一受馬武督斷層截切，馬武督斷層於剖面中作為東南端主要構造邊界，依據《中壢地質圖幅說明書》，其於地面附近呈現高角度之傾角，轉向地下趨於平緩，傾向東南向之逆斷層，本研究剖面取 60 度作為其近地表之傾角。整體而言，剖面 AA'顯示研究區西北側以寬緩褶皺構造為主，而石門水庫西側至赤柯山向斜一帶則轉為受多條逆斷層與倒轉褶皺共同控制之構造區。

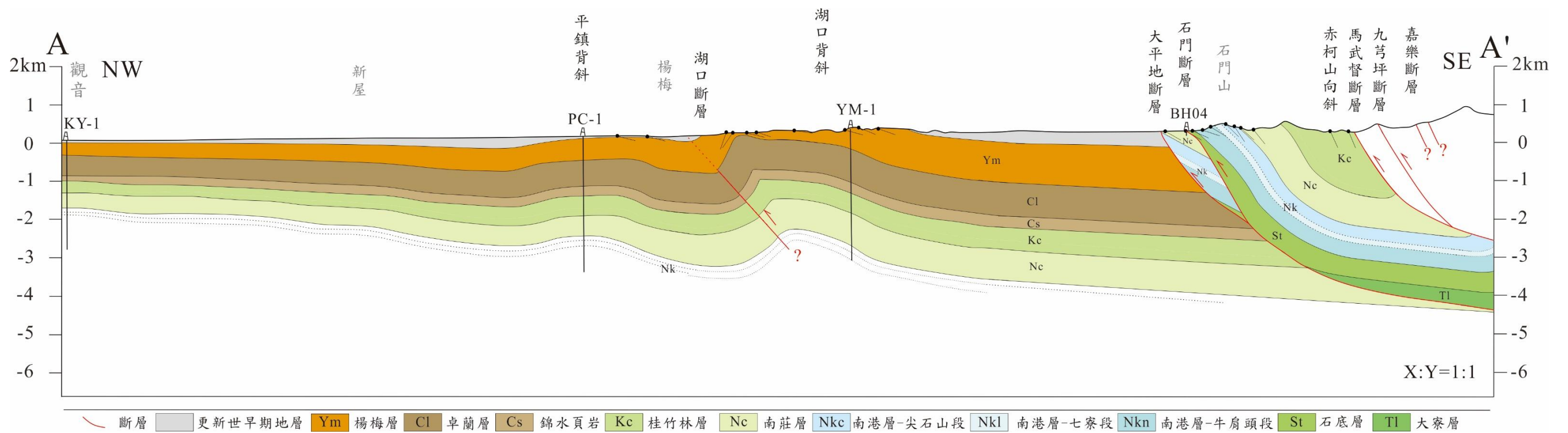


圖 33 本研究繪製之剖面 AA'地質剖面圖。由西北向東南依序通過平鎮背斜、湖口斷層、湖口背斜、大平地斷層、石門斷層、赤柯山向斜及馬武督斷層，主要呈現研究區內石門斷層與大平地斷層之近地表構造關係，其中紅色實線為主要斷層，紅色箭頭表示斷層相對運動方向，黑色細線為地層邊界。

5-3-2 剖面 BB'

為進一步討論石門地區之區域構造關係，除前述剖面 AA'外，本研究另建立一條剖面 BB'作為輔助討論之用。剖面 AA'主要呈現研究區內近地表構造與地層之配置，相較之下，剖面 BB'主要用於連結研究區北側之區域構造背景，特別是大平地斷層、石門斷層與新店斷層系統之可能關係，由於剖面 BB'之部分深部構造幾何主要依據前人文獻、區域地質圖及構造合理性推估，其性質偏向討論用之解釋性剖面，將於本章節配合剖面 AA'進行討論。

剖面 BB'呈西北—東南向，其走向近乎平行於剖面 AA'，橫跨研究區北側之主要構造帶，其中西北側之深部地層厚度與位態主要參考 Chang(1971)之震測剖面(圖 7)與 KY-1、PC-1 以及 YM-1 等鑽井資料，其依序通過平鎮背斜、湖口斷層、湖口背斜、新莊斷層、大溪背斜、新店斷層、赤柯山向斜及枕頭山斷層(圖 34)，雖然剖面 BB'之深部幾何同樣具有一定不確定性，但其可作為檢視石門斷層以及大平地斷層向北延伸之重要參考。

在剖面 BB'中，依據震測剖面資料西北側地層整體仍呈緩傾斜至寬緩褶皺形貌，平鎮背斜與湖口背斜附近可見地層邊界向上拱起，湖口斷層位於湖口背斜前翼，作為區域活動構造背景之參考，剖面 BB'西北側之部分與剖面 AA'相近，構造形貌並未改變太多；往東南進入龍潭至大溪一帶後，地層轉為受斷層與褶皺共同控制，新莊斷層位於大溪背斜西北側，於剖面中可視為桃園臺地東北緣褶皺區與大溪構造帶之間的主要區隔界線，新店斷層則位於大溪背斜東南側，並與赤柯山向斜西北側之地層配置相鄰，此種配置與剖面 AA'中石門斷層東南側銜接赤柯山向斜之關係相似。其中，大溪背斜為大溪地區主要控制地層分布之構造，位於新莊斷層上盤與新店斷層下盤之間，北端被臺北斷層所截，南端被新莊斷層所截，范書睿(2017)依其形貌將其判釋為斷層擴展褶皺 (fault-propagation fold)，顯示其位置介於主要逆斷層系統之間。

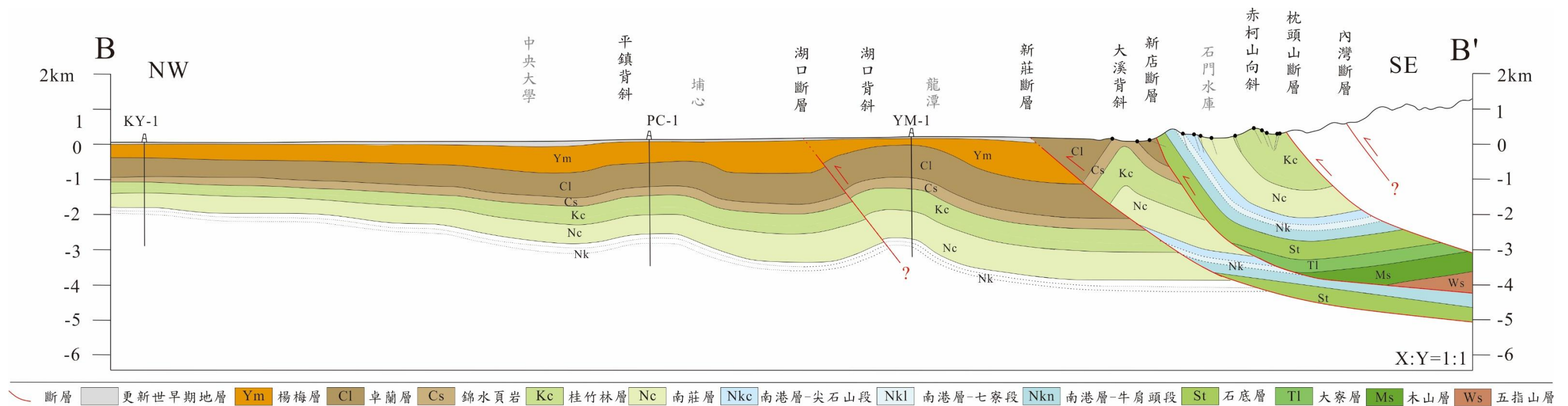


圖 34 本研究繪製之剖面 BB'地質剖面圖。剖面 BB'近乎平行於剖面 AA'，由西北向東南依序通過平鎮背斜、湖口背斜、新莊斷層、大溪背斜、新店斷層、赤柯山向斜及枕頭山斷層，主要用於對照石門斷層與大平地斷層向北可能連接之區域構造背景，其中紅色實線為主要斷層，紅色箭頭表示斷層相對運動方向，黑色細線為地層邊界。

第六章 討論

6-1 石門地區區域構造的關係

綜合剖面 AA'與 BB'之結果，剖面 AA'則進一步將此構造關係置於平鎮背斜、湖口背斜至赤柯山向斜之區域剖面架構中，而剖面 BB'則提供北側新店斷層系統之對照。在剖面 AA'中，石門斷層以較低角度向東南傾斜，然而，若石門斷層於深部仍持續維持相同之低角度向東南延伸，則斷層以東之石底層、南港層、南莊層等地層厚度將難以容納於剖面空間中，且不易與赤柯山向斜一帶陡傾甚至倒轉之褶皺構造相銜接，故石門斷層不宜被視為一條自近地表至深部皆維持低角度、平緩延伸之斷層面，其於深部可能下切或幾何轉折，使其能同時滿足近地表鑽井與岩性約束，以及東南側赤柯山向斜之地層配置。

大平地斷層於剖面 AA'中為高傾角之逆斷層，若石門斷層向深部下切或發生轉折，推論合理之連接方式為於深部約 2.5 公里與大平地斷層相連，在此解釋下，兩斷層自地表至深部匯合處之間所界定的楔狀地層塊體，可視為由兩條逆衝斷層分支所夾持之斷層夾岩（horse），若兩斷層深部長距離分離，則斷層夾岩應可向北延續並於剖面 BB'中表現出相對應之構造位置，然而剖面 BB'並未顯示此類可對應之斷層夾岩，因此本研究推論石門斷層與大平地斷層於深部在相對有限的深度範圍內相連。

此外若由沿走向觀察，石門斷層向北延伸後並未在剖面 BB'中表現為一條可獨立追蹤且具明顯地層落差之斷層，其斷距可能逐漸減小，使石門斷層不再表現為一條獨立斷層。基於上述理由，本研究於剖面 AA'中將石門斷層解釋為較淺部之分支斷層，其向深部下切後可能連接至大平地斷層，大平地斷層則可視為較主要之深部斷層面，並向北與剖面 BB'之新店

斷層系統相對應。

石門斷層與大平地斷層相連後，整體斷層面仍需再經一處幾何轉折，使斷層傾角由近地表較陡之逆斷層型態逐漸轉為較低角度延伸，在本研究區北側之剖面 BB' 中，新店斷層與新莊斷層可參考北臺灣可回復剖面中所呈現之低角度逆衝系統，解釋為向深部逐漸轉緩並連接至較深部滑脫面之逆衝斷層(Suppe, 1980)，因此大平地斷層為新店斷層向南延伸後之對應構造，其深部幾何亦應與新店斷層系統之深部構造型態相符，亦即由近地表高角度逆斷層逐漸轉為較低角度之深部滑動面，在此架構下，石門斷層之斷距可能向北逐漸遞減並轉由大平地斷層承接，而大平地斷層可能於深度約 3~4 公里處逐漸轉為較緩傾之深部滑動面，並沿大寮層底部附近之地層界線或弱面延伸。需注意的是，大寮層底部僅代表本剖面範圍內用以連接斷層深部幾何之可能區域性滑動面；若剖面繼續向東南側延伸，該斷層系統仍可能進一步連接至更深部或更大範圍之區域逆衝斷層系統。

6-2 構造可能之演化

由前述剖面結果可知石門斷層與大平地斷層於近地表雖呈現兩條相鄰之斷層跡，但若由區域構造尺度觀察(圖 33、圖 34)，兩者可能並非彼此獨立發育之斷層，而是由新店斷層系統向西南延伸至石門地區後，在近地表所表現出之兩條相鄰斷層，由於缺乏可直接判定斷層活動先後之定年資料與深部震測資料，因此本節所討論之演化模式主要依據剖面幾何、斷距、區域構造連續性及縮短量概念進行推論，應視為可能之解釋，而非唯一之構造演化模型。

在褶皺—逆衝帶之構造演化中，前人多認為此類構造通常發育於深部滑動面之上，並由多條逆衝斷層與相關褶皺共同組成(Dahlen, 1990)。在一般情況下，逆衝構造的發育可能隨造山作用逐漸向前緣傳遞，也就是較靠近山區之構造可能較早形成，而較靠近臺地或平原前緣之構造則可能代表較晚期之變形，也就是依序逆衝作用(in-sequence thrusting)，然而 Lacombe and Beaudoin(2024)指出此一趨勢並非絕對，局部仍可能因後期斷層再活動、非依序逆衝活動(out-of-sequence thrusting)或既有構造影響而呈現較複雜之變形順序，湖口斷層及湖口背斜位於研究區西北側較前緣的位置，顯示該區仍有前緣變形，可視為臺灣西北部麓山帶前緣變形之一部分，且可能代表區域壓縮變形向前緣傳遞後之較晚期構造，但其存在並不否定較內側之新店—大平地—石門斷層系統曾累積較大的構造變形，換句話說，湖口斷層可作為前緣變形之表現，而石門斷層與大平地斷層則可能記錄新店斷層系統向西南延伸至石門地區後，在較內側位置所形成之主要變形與分支構造。

在上述架構下，大平地斷層相較於石門斷層較可能代表新店斷層系統向西南延伸後之主要斷層，於剖面 AA'中可作為主要之斷層面，且其向北

可與新店斷層系統相對應，故其斷距與縮短量相較於石門斷層應較接近於新店斷層之斷距與縮短量，並且由圖 33、圖 34 輔助判釋，可知大平地斷層已累積較石門斷層大的變形量，其可能較石門斷層更早形成，與之相比石門斷層之斷距與縮短量可能沿著向北之走向逐漸減小，並於新店斷層——大平地斷層系統中不再表現為獨立構造，因此本研究推論大平地斷層及新店斷層應為較早形成之主要逆衝構造，而石門斷層則是在大平地斷層累積一定變形後發育之分支斷層。

關於石門斷層作為後續之分支斷層形成，其可能與大平地斷層累積變形後，上盤近地表變形逐漸集中有關，由剖面 AA'可見石門地區地層由西北側之低傾角，向東南逐漸轉為較陡傾，至赤柯山向斜一帶甚至進入陡傾至倒轉之褶皺構造，顯示本區變形可能並非單純由單一斷層錯移控制，而同時受到逆衝作用與褶皺變形影響，此外西北臺灣褶皺——逆衝帶之構造走向具有明顯側向變化，且區域破裂構造與應力場亦可能反映不同階段之構造作用，Chu et al. (2013) 藉由小尺度斷層、節理與脈體等破裂構造分析，指出西北臺灣褶皺——逆衝帶中破裂構造之發育與區域褶皺、逆衝作用及構造應力狀態具有關聯性，並可透過構造辨識出不同方向之壓縮事件，結果顯示，在區域構造走向轉變或應力場調整之位置，可能伴隨局部破裂構造或分支斷層之發育，因此本研究推測石門斷層與大平地斷層於近地表所呈現之相鄰斷層跡，可能與新店斷層系統向西南延伸後之構造轉向與近地表變形調適有關。

湖口斷層及湖口背斜可視為研究區西北側更前緣之變形構造，由前人資料與剖面建構(Lim, 1971；朱傲祖等，2012)可知其主要表現為淺部地層彎曲與局部地層落差，其可辨識之斷距或縮短量相較於大平地斷層與石門斷層有限，因此在區域壓縮變形持續作用下，湖口斷層及湖口背斜可能代表新店——大平地——石門斷層系統形成後，構造變形進一步向西北側前緣傳

遞之表現。

綜合上述，本研究推論石門地區至觀音一帶之構造演化可能分為三個主要階段(圖 35)，首先新店—大平地斷層系統作為較主要之逆衝構造，可能較早形成並累積較大的位移與縮短量，隨大平地斷層持續活動，其上盤側淺部地層可能受褶皺緊縮、層面弱面、局部變形集中及區域構造轉向影響，使部分縮短量重新分配至較內側之分支斷層，形成石門斷層，最後區域壓縮變形可能進一步向西北側前緣傳遞，形成湖口斷層及湖口背斜等前緣變形構造。

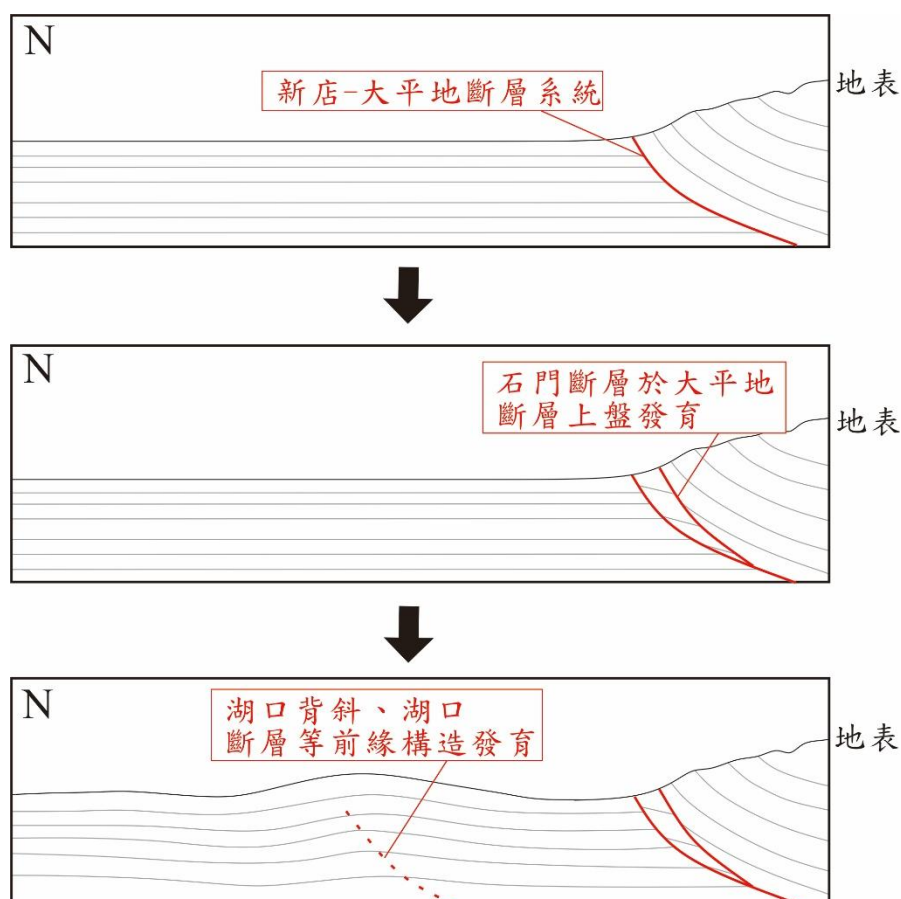


圖 35 區域構造演化示意圖。

6-3 石門斷層活動性之地質證據與限制

本研究對石門斷層活動性之討論，主要依據 BH04 鑽井顯示之中新世岩層與礫石沉積單元之接觸關係，並配合桃園臺地群與古大漢河流域演變之時間架構進行推論。依據工程地質鑽探紀錄與 5-2 結果之判釋，BH04 於鑽井深度 42.9 公尺以上為破碎之頁岩夾薄砂岩，屬石底層並位於石門斷層擾動帶內，50~62.4 公尺間為礫石沉積單元，62.4 公尺以下則為斷層下盤之南莊層，本研究依據 50 公尺附近岩盤與礫石沉積單元之岩性突變與接觸關係，將其解釋為石門斷層可能通過之位置，因此若該礫質沉積單元可視為階地堆積層或臺地堆積層之一部分，則石門斷層可能具有晚第四紀以來之近地表活動紀錄。

然而 BH04 礫石層目前缺乏直接定年資料，因此其沉積來源仍具有不確定性，依據鑽井紀錄該礫石層以圓至次圓狀礫石為主，基質為砂及泥，並呈顆粒支持，顯示其較可能為經搬運後形成之礫質沉積單元，而較不支持其為單純由斷層破碎作用形成之構造角礫岩，依據第二章及第三章所整理之桃園臺地群與古大漢河流域演變之討論，若 BH04 之礫石沉積單元可與關西面或桃園臺地群高位紅土緩起伏面相關之礫石堆積層對比，則其沉積年代可能受該地形面年代限制，約為晚更新世 80000 年前後，若此解釋成立，則說明石門斷層至少於該礫質沉積單元形成之後仍曾發生過活動或構造變形。

另外一種可能性為 BH04 之礫石沉積單元亦可能並非古大漢溪主河道沉積，而是近斷層崖坡、崩積、土石流或局部沖積扇沉積，其仍可代表斷層附近曾存在未固結之近地表沉積物，並可能反映當時斷層鄰近地形具有明顯高差或不穩定坡面環境，但若是此情況便不宜直接利用桃園臺地群或大漢溪襲奪年代來約束石門斷層活動時間。因此本研究將 BH04 鑽井中之

礫石沉積單元視為石門斷層可能切穿或接觸第四紀未固結礫質沉積物之證據，其確切關係與年代仍需透過實際定年確認。

綜合而言，BH04 提供石門斷層可能影響未固結礫質沉積單元之重要線索，支持石門斷層具有晚第四紀以來活動可能性的討論，但由於目前缺乏礫石單元沉積年代、礫石組成與沉積相分析，本研究僅能將其作為石門斷層活動性之相對地質證據，而非斷層活動年代之直接證據，後續若能針對該礫石層進行礫石岩性組成比對、沉積構造觀察及光螢光定年或其他年代分析，將有助於進一步釐清其是否可與桃園臺地群、古石門沖積扇或其他近山麓沉積系統對比，並進一步約束石門斷層於晚第四紀以來可能之活動時間。

第七章 結論與建議

7-1 結論

本研究整合野外地質調查、岩心紀錄、地形判釋、前人地質圖資與地質剖面，重新檢視石門斷層與大平地斷層之地表位置、淺部構造特徵與地下幾何關係。主要結論如下：

- 一、 依據野外地質調查與 DEM 地形判釋結果，研究區地表岩性可區分為紅土礫石層、黃棕色中粒砂岩、塊狀灰白色砂岩及塊狀青灰色砂岩等主要岩性區段，其中大平地斷層附近之岩性界線與既有地質圖所示斷層位置大致相符，顯示該區岩性變化與既有構造位置具有一致性；相較之下，石門斷層附近之岩性界線則呈現局部差異，本研究判釋之部分岩性界線相較既有地質圖所示斷層跡略向東南側偏移，最大約為 10~20 公尺。
- 二、 BH04 與 DH08 鑽井岩心中皆可辨識出岩體破碎、角礫化、剪裂紋理密集及局部細粒泥質物增加等構造變形特徵，顯示石門斷層帶可能通過之深度區段，其中 BH04 鑽井約於深度 40.2~42.9 公尺處出現剪裂紋理密集、角礫化及細粒泥質物，DH08 鑽井則於深度 43.4~52 公尺處出現明顯破碎與剪裂構造，並可作為石門斷層近地表位置之約束。依據地表斷層跡、鑽井位置以及鑽井斷層帶深度推估，石門斷層近地表傾角於 BH04 附近約為 29.7 度，於 DH08 附近約為 38.5 度，皆低於前人文獻所記載之 60~70 度，顯示石門斷層於研究區近地表可能呈較低角度之逆衝斷層型態。
- 三、 由地質剖面 AA' 之結果可知，石門斷層與大平地斷層於近地表雖表現為兩條相鄰斷層，但兩者於深部可能並非彼此獨立發育，為同時滿

足地表斷層位置、鑽井所約束之淺部傾角、東南側地層厚度及區域構造配置，推論石門斷層於深部以高角度向下連接至大平地斷層或共同連接至較低角度之逆斷層系統。

四、 依據剖面幾何、斷距大小與區域構造連續性，本研究推論大平地斷層可能為新店斷層系統向西南延伸至石門地區後之主要構造，而石門斷層則可能為其後續發育之近地表分支或變形調適構造，此解釋可說明兩者於近地表呈現相鄰斷層跡，於深部可能相互連接之構造關係。另一方面，湖口斷層與湖口背斜位於研究區西北側更前緣之位置，可能代表區域壓縮變形進一步向前緣傳遞後所形成之構造表現，然而由於目前缺乏可直接限定斷層活動先後之定年資料與深部震測資料，故上述構造演化仍應視為依據現有剖面與區域構造資料所提出之合理推論。

五、 BH04 鑽井中之礫石沉積單元提供石門斷層可能切穿或接觸第四紀未固結沉積物之線索，支持石門斷層具有晚第四紀以來活動可能性之討論，然而該礫石沉積單元目前缺乏直接定年資料，其來源亦可能為古大漢溪或古石門沖積扇相關沉積，或為近斷層坡積、崩積、土石流及局部沖積扇沉積，因此本研究僅將其作為石門斷層活動性之相對地質證據，而非斷層活動年代之直接證據。

7-2 建議

本研究所建立之地質剖面受限於研究區深部控制資料不足，尚未進一步進行剖面回復與平衡檢核，後續研究可採用急折法繪製剖面與應用回復方法，檢驗石門斷層與大平地斷層位移回復後，南莊層及其他地層是否能回復至合理之深度與厚度配置，並量化斷層斷距及區域縮短量。此外，本研究主要以臺灣西部麓山帶之褶皺—逆衝構造模型作為深部幾何之概念基礎，但既有之幾何模型未必能完整反映研究區不同岩性、材料力學性質及構造沿走向變化所造成之影響，未來可進一步結合岩石材料破壞行為、數值模擬或物理模型，檢驗石門斷層與大平地斷層之間的斷層夾岩是否曾發生其他運動模式，以及新莊斷層除逆移作用外，是否亦具有走滑或側向位移成分，藉此釐清新莊—大平地—石門斷層系統之三維構造關係與可能演化機制。

地形方面，桃園臺地群之河階面整體向桃園方向降低，其形成可能同時受到河流下切、區域構造抬升及褶皺或斷層活動影響，並非僅能由單一構造加以解釋。後續可整合不同河階面之高程、分布、沉積物來源與定年資料，並配合湖口背斜及鄰近斷層之空間關係，進一步評估區域構造對桃園臺地群形成與古大漢河流域演變之影響。此外，石門水庫下游公園及鄰近河階地仍可能保存斷層、地層接觸或河階沉積物之露頭，未來可針對該區進行較密集之野外地質調查、河階剖面測繪與沉積物定年分析，以增加石門斷層地表位置、構造活動性及河階演化之直接控制資料。

參考文獻

- Chang, S. S. L., 1971, Subsurface geologic study of the area from the Taipei Basin to the Kuanyin Shelf, Taoyuan, Taiwan: *Petroleum Geology of Taiwan*, no. 9, p. 123–144.
- Chu, H. T., Lee, J. C., Bergerat, F., Hu, J. C., Liang, S. H., Lu, C. Y., and Lee, T. Q., 2013, Fracture patterns and their relations to mountain building in a fold-thrust belt: a case study in NW Taiwan: *Bulletin de la Société Géologique de France*, v. 184, no. 4–5, p. 485–500.
- Dahlen, F. A., 1990, Critical taper model of fold-and-thrust belts and accretionary wedges: *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 18, p. 55–99.
- Hsiao, P. T., 1967, Seismic study of the Taoyuan Tableland, Taiwan: *Petroleum Geology of Taiwan*, no. 5, p. 63–79.
- Hsu, T. L., 1960, The Hsintien fault and related features in the Shihmen area, Taoyuan: *Proceedings of the Geological Society of China*, no. 3, p. 49–57.
- Lacombe, O., and Beaudoin, N. E., 2024, Timing, sequence, duration and rate of deformation in fold-and-thrust belts: a review of traditional approaches and recent advances from absolute dating (K–Ar illite/U–Pb calcite) of brittle structures: *Comptes Rendus. Géoscience*, v. 356, special issue S2, p. 467–494.
- Lim, Y. K., 1971, A petrographic study of the Miocene formations of the Hukou structure in northern Taiwan: *Petroleum Geology of Taiwan*, no. 9, p. 67–78.
- Suppe, J., and Chang, Y. L., 1983, Kink method applied to structural interpretation of seismic sections, western Taiwan: *Petroleum Geology of Taiwan*, no. 19,

p. 29–49.

Suppe, J., and Namson, J., 1979, Fault-bend origin of frontal folds of the western

Taiwan fold-and-thrust belt: *Petroleum Geology of Taiwan*, no. 16, p. 1–18.

Suppe, J., 1980, A retrodeformable cross section of northern Taiwan: *Proceedings*

of the Geological Society of China, no. 23, p. 46–55.

Teng, L. S., 1996, Extensional collapse of the northern Taiwan mountain belt:

Geology, v. 24, no. 10, p. 949–952.

Wang, C. Y., Chiu, J. D., and Lin, L. A., 2001, The detection of three active faults

on the Taoyuan Terrace, northwestern Taiwan by shallow reflection seismics:

TAO, v. 12, no. 4, p. 599–614.

中國石油公司，1978，桃園—新竹地質圖，比例尺 1:100,000，第 2 號，中

國石油公司臺灣油礦探勘總處編製。

中興工程顧問股份有限公司，2023，石門水庫至新竹聯通管工程地質調查成

果報告（核定版）：經濟部水利署北區水資源局，民國 112 年 4 月。

王昱，2003，桃園—新竹臺地區構造活動與地形特徵：國立臺灣大學地質科學研究所碩士論文，115 頁。

石再添、張瑞津、黃朝恩、石慶得、楊貴三、孫林耀明，1983，臺灣北部與東部活斷層的地形學研究：國立臺灣師範大學地理研究報告，第 9 期，第 20–67 頁。

朱傲祖、梁勝雄、李建成、陳建良，2012，湖口斷層新釋：上盤活動背衝斷層之新發現及露頭構造分析：經濟部中央地質調查所特刊，第 26 號，第 31–51 頁。

何春蓀，1983，臺灣基隆沿海區至桃園縣大溪間煤田地質及構造：經濟部中央地質調查所彙刊，第 2 號，第 17–70 頁。

何春蓀，1986，臺灣地質概論：臺灣地質圖說明書，第二版：經濟部中央地質調查所，164 頁。

林啟文、張育仁，2014，五萬分之一臺灣地質圖說明書：桃園，第二版，圖幅第八號：經濟部中央地質調查所，101 頁。

林啟文、盧詩丁、石同生、陳致言、林燕慧，2007，臺灣北部的活動斷層，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 19 號，130 頁。

林朝宗，1992，五萬分之一臺灣地質圖說明書：林口，圖幅第三號：經濟部中央地質調查所，36 頁。

林朝榮，1957，臺灣地形：臺灣省通志稿，卷一，土地志，地理篇，第一冊，

臺灣省文獻委員會，424 頁。

施乃慈，2018，在三維環境中繪製高解析度地質圖：以臺灣北部雙溪地質圖

幅為例：國立臺灣大學地質科學系暨研究所碩士論文，153 頁。

范書睿，2017，桃園大漢溪河床中視尺度地質構造與大溪背斜構造關聯性之

研究：國立中央大學地球科學學系碩士論文，158 頁。

陳于高、劉聰桂、王源，1990，大漢溪下游一埋沒谷之碳十四定年與沉積環

境：地質，第 10 卷，第 2 期，第 147–156 頁。

陳文政，1990，五萬分之一臺灣地質圖說明書：大園，圖幅第二號：經濟部

中央地質調查所，18 頁。

富田芳郎，1937，淡水河河岸段丘の地形面對比に就て：臺灣地學記事，第

7 卷，第 10–12 號，第 101–119 頁。

黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏，2004，斷層

活動性觀測與地震潛勢評估調查研究：臺灣陸上斷層帶地質構造與地

殼變形調查研究（5/5）—臺灣西部麓山帶地區地下構造綜合分析：經

濟部中央地質調查所報告 93-13 號，72 頁。

黃祥慶，1995，桃園臺地群之礫石堆積層：國立中央大學應用地質研究所碩

士論文，92 頁。

塗明寬、邵屏華，2001，五萬分之一臺灣地質圖說明書：中壢，第二版，圖

幅第七號：經濟部中央地質調查所，47 頁。

詹新甫，1962，桃園角板山區地質：臺灣省地質調查所彙刊，第 14 號，第

15–28 頁。

經濟部中央地質調查所，2021，活動斷層帶地表變形大地測量（3/4）精密

水準測量成果報告：經濟部中央地質調查所。

趙柏濂，2021，應用空載光達數值地形精進火成岩與沉積岩混合區地質圖：

以海岸山脈地區玉里地質圖幅為例：國立臺灣大學理學院地質科學系

暨研究所碩士論文，143 頁。

黎明工程顧問股份有限公司，2024，石門水庫至新竹聯通管一隧道銜接段工程補充調查工作成果報告書—地質調查（第 1 版核定版）：經濟部水利署北區水資源分署，民國 113 年 3 月。

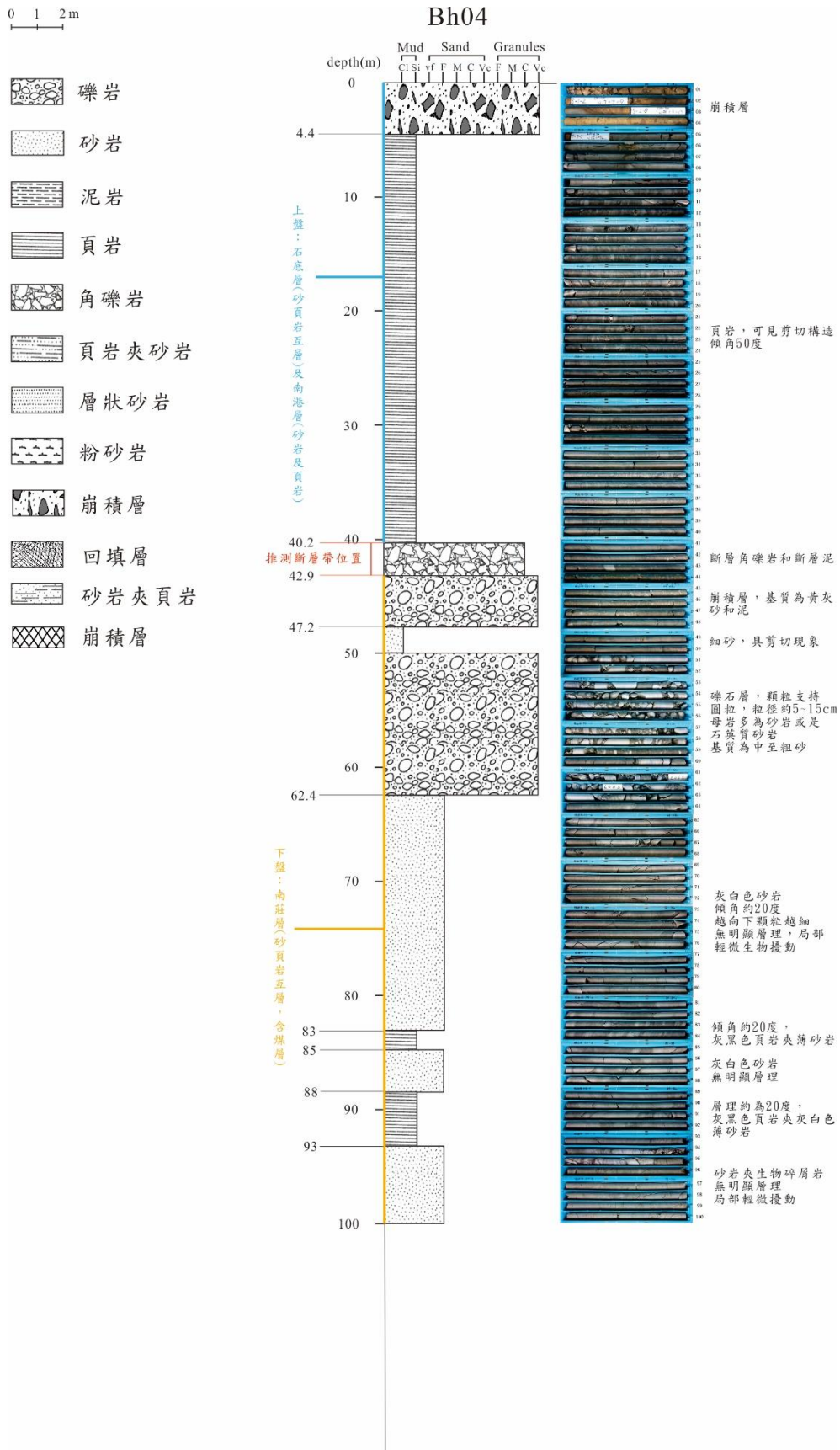
鞏慧敏，2007，晚第四紀以來臺北盆地樹林地區岩芯的沉積物組成特性：探討大漢溪的襲奪年代：國立臺灣大學理學院地質科學系暨研究所碩士論文，97 頁。

鄧屬予、劉聰桂、陳于高、劉平妹、李錫堤、劉桓吉、彭志雄，2004，大漢溪襲奪對臺北盆地的影響：師大地理研究報告，第 41 期，第 61–78 頁。

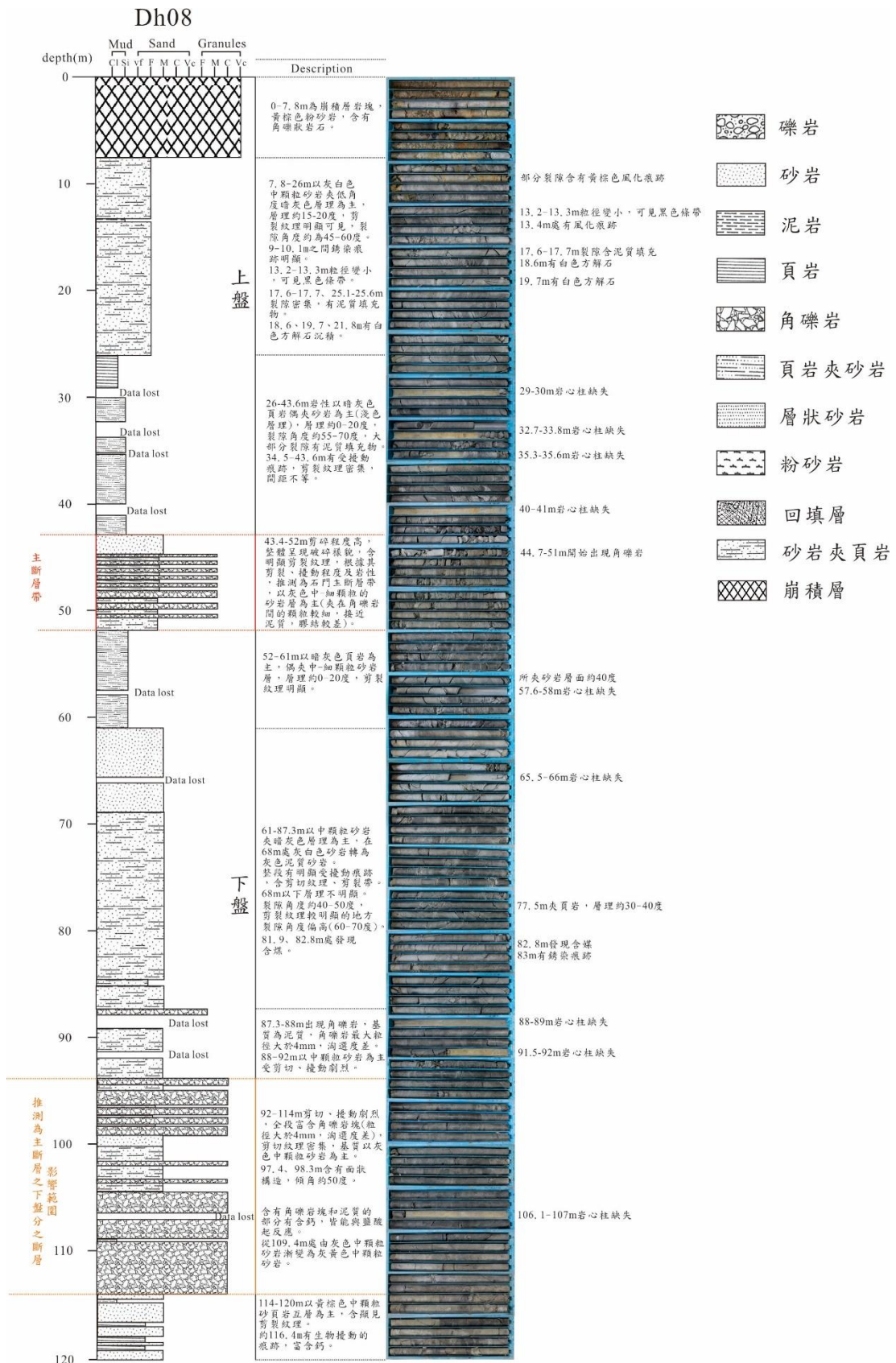
譚凱英，1995，桃園臺地群崖地形之研究：國立中央大學應用地質研究所碩士論文，114 頁。

聯合大地工程顧問股份有限公司，2011，石門水庫阿姆坪防洪防淤工程可行性規劃：地質調查專題成果報告：經濟部水利署北區水資源局，民國 100 年 12 月。

附錄一 BH04 鑽井地層柱狀圖之紀錄



附錄二 DH08 鑽井地層柱狀圖之紀錄



附錄三 口試委員意見修正與回覆說明

頁碼	口試委員意見	修正情形與回覆
第 7 頁	地質圖中 Ty 之標示位置與所代表之地層意義需重新確認，原圖可能存在錯誤標示。	已重新核對地質圖之地層分布與圖例，並刪除圖 4 中位置有誤之 Ty 標示，避免讀者誤判桃園層之實際分布位置。
第 17 頁	圖 6 之部分圖面內容與圖說不完全一致，且圖中缺少部分地層名稱，難以直接辨識各岩性單元。	已重新檢查圖 6 之圖面，並於圖中補充主要地層代號及相關構造標示，使圖中呈現之地層、斷層、褶皺、鑽井及工程資料可與正文及圖例相互對照。
全文	部分圖件之出現順序與正文首次引用順序不一致，應調整圖件及內文引用位置。	已重新檢查全文圖件之首次引用順序，並調整相關內文及圖件位置。
第 50、56 頁	圖中僅標示隧道，但未清楚交代採樣岩塊位於隧道路線之西南端或東北端，進口端描述不明確。	已於圖 22 中補充隧道端點，並配合正文說明隧道路線與鑽井、地電阻測線及主要斷層之相對位置，以避免僅以「進口」一詞造成方向判讀上的疑義。
第 37、54~58 頁	本研究施密特錘量測結果與工程地質報告之單軸壓縮試驗成果分散於不同段落，量測方式及兩類資料之差異亦需進一步說明。	已於第 4-1 節補充施密特錘之野外量測方式、數值意義及使用限制，並於第 5-1 節分別呈現本研究施密特錘現地估算結果及工程地質報告之室內單軸壓縮試驗成果。 此外，新增表 6 整合兩類資料中可對應之地層、岩性、試體狀態與強度範圍。由於兩者在試驗方式、風化程度、試體尺度及岩體完整性上不同，本文僅比較相對強弱趨勢，不將數值視為可直接等價換算之結果。
第 62 頁	BH04 鑽井中可見礫石沉積單元，但 DH08 未發現相同單元，應說明造成兩口鑽井差異之可能原因。	已於 DH08 鑽井判釋段落補充兩種可能解釋。
第 16、64~69	赤柯山向斜於正文中被描述為倒轉褶皺，但原剖面未能清楚呈現倒轉	已重新檢查赤柯山向斜之文字描述及剖面幾何，並於剖面 AA' 中呈現其兩

頁	形貌，文字與圖件之間需保持一致。	翼皆向東南傾斜之倒轉褶皺型態，剖面 BB' 中呈現向斜構造。 正文亦補充說明赤柯山向斜西北翼為正常翼、東南翼為倒轉翼，並說明部分構造受馬武督斷層截切，以使文字與剖面表現一致。
全文	部分句子過長、標點不足，影響閱讀及理解，建議重新檢查全文句構。	已重新通讀全文，針對過長句子補充逗點。
第 37、54~58 頁	應確認施密特錘於野外之操作方式是否適當，並說明量測值可代表的意義與限制。	已於第 4-1 節補充施密特錘量測方法，本文將其定位為露頭表面條件下之等效抗壓強度估算，主要用於不同測點及岩性單元之相對強弱比較。
第 50 頁	本研究將石門斷層地表位置修正約 10~20 公尺，但原圖中前人斷層跡與本研究判釋位置差異不明顯，應加強標示。	已於圖 22 中分別標示地礦中心原繪石門斷層地表跡與本研究依據岩性分布及 DEM 地形判釋所得之岩性分界，其中原斷層跡以淺色紅線表示。
第 14~16 頁	區域地質概述中提及石門斷層與大平地斷層向南、向北延伸及與其他斷層之關係，但部分構造位置未能在圖件中直接對照，可能造成閱讀困難。	已重新檢視第 2-2-2 節之區域構造說明，刪減無法由研究區地質圖直接確認或與本研究關係較間接之延伸描述。
第 41~43 頁	HK-4 鑽井若納入剖面資料，需交代其與主剖面之空間關係及使用目的；若無法合理銜接，則不宜直接作為剖面控制。	已於剖面資料彙整中及剖面 AA' 中刪除。
第 67 頁	剖面 AA' 若繪出湖口斷層，地層應呈現相應之錯移；原剖面中的湖口斷層形貌不足以顯示其為斷層。	已重新檢視湖口斷層之地質證據及剖面表現。依據前人淺層反射震測資料，湖口斷層附近地層主要呈現連續彎曲，未具有明確之斷裂錯移，因此本文繪製湖口斷層之斷距較為保守。
第 64~75 頁	新店斷層之斷距是否可與石門斷層及大平地斷層之斷距總和相對應，應檢查其幾何相容性。	本研究依據剖面幾何將新店斷層、石門斷層與大平地斷層解釋為可能具有深部連接關係之逆衝斷層系統，但由於剖面並非以嚴格平衡剖面或急折法完成，且缺乏足以約束深部斷層形貌之震測與鑽井資料，因此無法準確量化三者斷距並進行數值對應。

第 83 頁	是否曾嘗試進行平衡剖面？若無法完成，原因為何？石門與大平地斷層復原後，南莊層是否能回到合理深度及地層配置？	由於石門斷層與大平地斷層附近之深部震測資料不足、鑽井深度有限，且部分地層界線及斷層幾何主要由區域構造模式推估，目前無法可靠復原斷層位移，亦無法定量驗證南莊層復原後之深度。已於第 7-2 節補充，後續可採急折法或其他構造復原方法，檢驗地層厚度、深度、斷距與縮短量是否具有幾何相容性。
第 39～43、83 頁	應更清楚呈現地質剖面所使用之地表位態、鑽井、震測及其他控制資料，並說明 BH04 與 DH08 可提供之上下盤、層面傾角與斷層幾何約制程度；同時應交代資料不足所造成之構造解釋不確定性，以及後續可補充之研究資料。	已於第 4-2 節及第 4-3-2 節補充說明鑽井與剖面資料之使用方式，並於圖 19 呈現沿剖面之地表高程、地層位態、鑽井位置、主要構造及前人震測解釋線，作為後續剖面繪製之約制。BH04 與 DH08 主要提供石門斷層近地表岩性、破碎帶及可能斷層帶深度之限制，但岩心中缺乏足夠且連續之定向層面資料，因此無法直接確認完整的上、下盤層面傾角，相關斷層幾何仍須結合地表位態、鑽井空間位置及區域構造背景加以推估。另已於第 4-3-1 節及圖 19 圖說中補充說明，遠離鑽井與震測控制之區段，其地下構造解釋具有較高不確定性，並於第 7-2 節將深部震測、增加鑽井控制、剖面平衡與復原及三維構造分析列為後續可研究方向。
第 59～61、78～79、83 頁	BH04 鑽井中之礫石沉積單元與老地層之間是否可確定為斷層接觸？斷層帶內是否可見礫石遭剪切或捲入？在接觸關係與沉積年代尚未確定的情況下，應審慎說明其對石門斷層活動性的意義。	已重新檢視 BH04 鑽井紀錄及岩心照片，工程地質報告將約 42.9 公尺處之破碎石底層與下方塊石或礫石單元間的異常接觸解釋為可能的斷層接觸；然而，因 BH04 岩心目前無法重新取樣觀察，且既有照片不足以確認礫石是否遭剪切、捲入或發生構造變形，本文以「石門斷層可能切穿或接觸第四紀未固結礫質沉積物」作保守描述。 另於第 6-3 節補充礫石可能來自古大

		漢溪、古石門沖積扇，亦可能屬近斷層坡積、崩積、土石流或局部沖積扇沉積；由於缺乏沉積來源及直接定年資料，本文僅將其視為石門斷層晚第四紀活動可能性之相對地質線索，而非活動年代或活動強度之直接證據，並於結論及後續建議中說明仍需透過岩性組成、沉積構造及定年分析加以驗證。
第 41 頁	剖面跨距較大，但研究區地層具有區域性厚度變化，應說明剖面中假設各地層厚度大致一致的依據及限制。	已於第 4-3-2 節補充地層厚度之資料來源與採用方式，為維持剖面建構的一致性，本文採用代表性厚度進行簡化；此假設僅供構造幾何解釋使用，不代表各地層在剖面範圍內實際維持完全等厚。
第 64 頁	大平地斷層於近地表被繪為高角度斷層，其實際證據及採用高角度幾何之理由應更清楚說明。	已於剖面結果及討論中補充大平地斷層近地表幾何之判釋依據，證據來自大平地斷層於南段出露之露頭。
第 71 頁	剖面 BB' 中大寮層之地層代號標示有誤，應由原標示修正為 T1。	已修正圖 34 中大寮層之地層代號為 T1。
第 77 頁	區域構造演化圖不易理解，地表形態與各階段斷層及褶皺發育之關係亦不夠明確，應簡化圖面並加強各階段構造意義之說明。	已新增圖 35 作為示意圖搭配內文說明。
第 7、9、13、17、41、67、71 頁	大埔層、二鬮層與桂竹林層之名稱及區域對比不宜混用；若統一採用桂竹林層，地層厚度及剖面配置亦應一併調整。	已重新核對中壢圖幅、桃園圖幅及鄰近新竹—苗栗地區之地層劃分，本文統一採用「桂竹林層」作為本研究區相應層位名稱，刪除可能造成不同地區地層單位混淆之大埔層與二鬮層用語。區域地質圖、地層對照表、區域地層說明及剖面圖亦配合修正，並將桂竹林層代表性厚度調整為約 700~900 公尺；本研究剖面建構則採 800 公尺作為簡化之代表厚度。
第 19 頁	若引用前人構造剖面或平衡剖面，應說明圖中各構造名稱及其與本研究之關聯，否則不宜保留與研究主題關係不明之圖件。	已刪除黃旭燦等(2004)所繪製之 Line 2 和 Line 3 之平衡剖面。

第 56 頁	岩石照片之背景顏色可能影響岩石顏色判讀，隧道內採集之岩塊樣本應使用較中性(灰)的背景重新拍攝。	已重新拍攝隧道開挖面附近採集之岩塊樣本，並以中性灰色背景呈現，以降低原背景顏色對砂岩顏色與風化程度判讀之影響。
第 59～63、78、82 頁	應區分斷層核心、毀壞帶、岩體破碎、角礫化、泥質材料及斷層泥等不同層次之描述，並依據岩心變形特徵，以斷層核心與毀壞帶等正式術語說明不同區段；「泥化」與「斷層泥」之用詞亦應區別。	已重新檢視鑽井岩心及圖說中的斷層相關用語。對於可由岩心照片直接辨識之現象，優先採用「岩體破碎」、「角礫化」、「密集剪裂紋理」、「細粒泥質物」或「細粒泥質基質」等描述性用語；僅在工程鑽井紀錄明確記載斷層泥，且伴隨集中剪裂與角礫化等特徵時保留「斷層泥」之稱呼。斷層核心與毀壞帶則作為整合多項構造特徵後之判釋。
第 73～74、83 頁	石門斷層與大平地斷層之間的地塊，可否以 horse、斷層夾岩或新店斷片概念解釋？該地塊是否可能在斷層活動過程中發生旋轉？	本研究認為石門斷層與大平地斷層之間的岩體可視為受兩條相鄰逆衝斷層所夾持之斷層夾岩，但現有地表位態、鑽井及剖面資料尚不足以確認其旋轉方向與幅度。因此正文未將旋轉列為唯一構造解釋，而於第 7-2 節將斷層夾岩旋轉或其他運動模式、沿走向構造變化及三維構造分析列為後續研究方向。
全文	「地質剖面」、「構造地質剖面」及相關英文用語應依圖件內容與研究目的統一使用，並注意 cross section 與 profile 之差異。	已檢查全文中英文標題、圖名及正文用語。 本文所繪圖件主要呈現地層、斷層與褶皺之地下幾何關係，因此中文統一為「地質剖面」。
第 3～5、34～36、83 頁	桃園臺地群之地形面整體向桃園方向降低，除古大漢溪河道遷移與河流下切外，亦應思考區域構造抬升、褶皺或斷層活動可能扮演之角色。	已於第 2-1 節及第 3-3 節整理桃園臺地群之地形面分布、古石門沖積扇形成與大漢溪流域變遷，並於第 7-2 節補充後續研究建議。
第 83 頁	新莊斷層可能不僅具有逆衝位移，亦可能包含側向位移或走滑成分，應評估其對區域構造解釋之影響。	正文仍以其逆衝構造角色作為主要討論基礎，但另外於第 7-2 節將新莊斷層可能具有走滑或側向位移之情形列為後續研究方向。
第 34～	建議補充檢視陳于高、譚凱英等有	已重新檢視並整理大漢溪流域變遷與

36、83 頁	關大漢溪河階、古河道與河川襲奪之研究，以加強礫石沉積單元及斷層活動性討論的時間架構。	桃園臺地群相關文獻。第 3-3 節已引用陳于高等人對大漢溪下游埋沒谷及河川襲奪年代之研究，並整理譔凱英對桃園臺地群紅土地形面、河階分類及可能年代之成果；第 6-3 節則將上述研究作為討論 BH04 礫石沉積單元可能來源與相對年代之背景資料。惟因各研究之定年對象、方法及地形面對比仍存在差異，本文未直接將單一年代指定為 BH04 礫石單元之確切沉積年代，而採較保守之可能年代範圍與後續驗證建議。
第 83 頁	Suppe 所提出之幾何模型未必能完全適用於不同岩性、材料性質與力學條件，使用該模型建構剖面時應說明其適用範圍與限制。	本文於第 7-2 節補充，既有幾何模型可能無法完整反映不同岩性之強度、層間弱面、破壞行為與沿走向構造變化，未來可結合岩石力學、數值模擬或物理模型，檢驗不同材料條件下斷層分支及褶皺發育之可能性。
第 67 頁	大平地斷層近地表雖呈高角度，但不應假設其持續以約 70 度傾角延伸至深部，應考慮向下轉緩及與區域滑脫面銜接之可能性。	已修正大平地斷層之深部幾何。本文保留其近地表較高角度之特徵，但不再使斷層以固定高角度持續延伸至深部。
第 67 頁	剖面 AA' 中石門斷層附近之石底層厚度看起來偏薄，應重新檢查其與大平地斷層上盤石底層厚度及區域地層厚度設定是否一致。	已修正剖面 AA' 中大平地斷層上盤之石底層厚顯示。
第 83 頁	石門水庫下游公園及鄰近河階可能保存斷層、地層接觸或河階沉積露頭，可作為後續活動性研究之調查區域。	已於第 7-2 節將石門水庫下游公園及鄰近河階列為後續野外調查區域，建議未來進行較密集之露頭調查、河階剖面測繪、沉積物組成與來源分析及年代研究，以增加大平地斷層以及石門斷層之地表斷層跡、礫石沉積單元來源及可能活動時間之直接控制資料。