

# 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

范書睿<sup>1</sup>、黃文正<sup>1,2</sup>、羅偉<sup>3</sup>

## 摘要

桃園大溪背斜為臺灣西北部褶皺逆衝帶之前緣構造，主控大溪地區岩層分布，半波長約 4 到 5 公里，其形貌類似斷層延展褶皺 (fault-propagation fold)，兩翼不對稱，西翼岩層較陡 ( $45^{\circ}\sim 90^{\circ}$ )，伸向向西。因大漢溪的流貫與下切，河道兩側出現多階階地，河床連續出露背斜西翼中新世 (南港層) 至更新世 (楊梅層) 的岩層。本研究致力於調查大漢溪河床中視尺度地質構造的空間分布，及研判形成先後順序。透過野外觀察與紀錄，繪製各段河床露頭的構造地質圖；使用無人飛行載具空拍大面積河床露頭，由 Pix4Dmapper 軟體生成地面解析度 5 公分之正射空拍影像，大幅增加野外調查之效率與精度。調查結果顯示，出露的中視尺度構造及形成順序為寄生褶皺、斷層及裂理。寄生褶皺具有與大溪背斜軸相同的趨勢，大致上皆為向南傾沒：於桂竹林層中以一系列半波長 500 至 600 公尺的形式出現；於楊梅層則僅出露一個半波長 150 公尺的 S 形褶皺。共軛平移斷層組夾角約  $60^{\circ}$ 、錯距約數十公分至數公尺，截切南莊層岩層；另一組左移斷層以走向  $010^{\circ}$  至  $040^{\circ}$ 、高傾角截切桂竹林層及楊梅層岩層，斷層長度約數十至數百公尺，水平錯距約數公尺。一組方向性的裂理，以走向  $080^{\circ}$  至  $110^{\circ}$ ，出現於桂竹林層上部、錦水頁岩及卓蘭層岩層。根據未變形階地的年代，大溪背斜停止增長應早於 4.7 萬年前。

**關鍵詞：**中視尺度地質構造、大溪背斜、大漢溪河床

## 前言

褶皺逆衝帶分布於世界各處地殼劇烈擠壓的造山帶，臺灣的西部麓山帶即為其中一例。逆衝帶的地質構造研究極其重要，且與日常生活息息相關，舉凡礦產與油

1. 國立中央大學地球科學系
2. 國立中央大學應用地質研究所
3. 國立臺北科技大學資源工程研究所

氣資源之探勘開採（如出磺坑背斜的油氣開採），工程建設之規劃設計（如石門水庫的選址與設計），乃至地質災害之預防與減損（如南投草嶺的地滑），皆須對逆衝帶的岩層分布有精確的掌握及地質構造有充分的瞭解。

大溪背斜位於臺灣西北部麓山帶前緣，兩翼不對稱，形貌上較類似斷層延展褶皺（圖 1，AA'剖面）。此背斜西翼之岩層，因大漢溪之下切侵蝕而出露近 10 公里長的沉積岩露頭，從河床的空拍影像中，可初步判釋出岩層具有褶曲和錯動等現象（圖 2）。

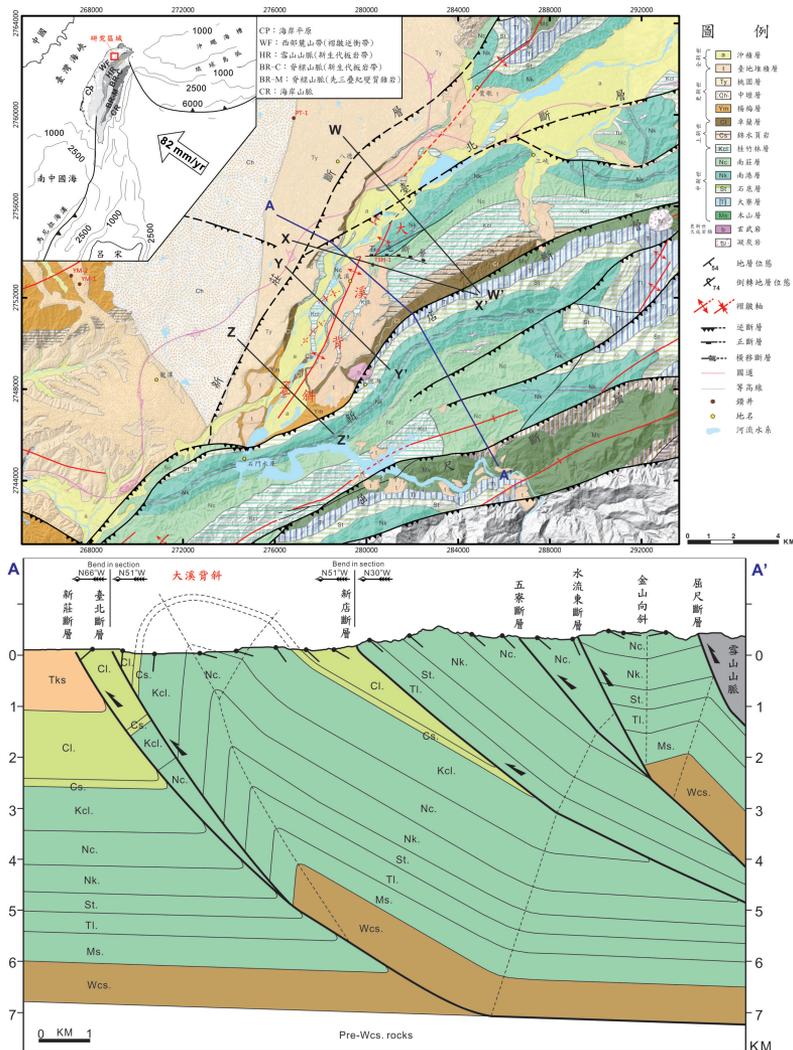


圖 1 臺灣西北部桃園大溪地區地質圖及地質構造剖面圖。地質圖修改自中央地質調查所五萬分之一地質圖以及中國石油公司十萬分之一地質圖。AA'地質剖面為作者參考 Suppe (1980) 與黃旭燦等 (2004) 的平衡剖面而重新繪製。

前人對大漢溪河床及大溪背斜構造的地質調查與研究，從最早中國石油公司（1975）對大溪構造的油氣探勘評估、何春蓀（1983）的台灣北部煤田調查、至近年 Pan *et al.*（2015）的前陸盆地地層沉積環境研究，但尚未有文獻報導河床露頭中尺度構造詳細的分布情形。因此，本研究的首要任務，即利用無人飛行載具空拍河床露頭，透過 Pix4Dmapper 軟體，生成地面取樣距離（Ground sample distance, GSD）達 5 cm/pixel 的正射影像，以利描繪整段河床的岩層分布，及判釋中尺度構造的分布情形。再進行實地露頭觀察與量測，繪製河床以及大溪區域的大比例尺之精密地質圖。研究目的為：第一，建立大溪背斜的中視尺度次生構造分布；第二，解釋中尺度構造與大溪背斜的關係；第三，推論大溪背斜的演化過程。

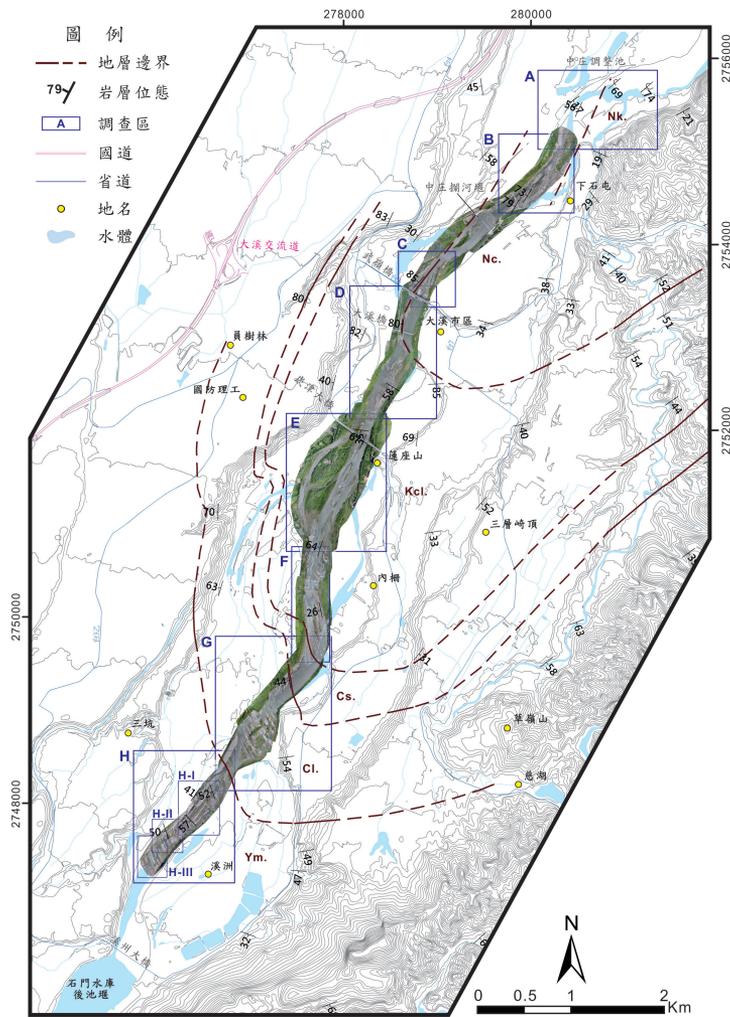


圖 2 大漢溪河床空拍圖及各調查區索引圖。調查區由北到南依序命名為 A 至 H 區，其中 H 區再細分為三個子調查區。

## 區域地形與地質背景

### 河階地形特徵

大溪地區之地形以大漢溪河階地最為顯著，西鄰桃園中壢臺地，為古大漢溪(古石門溪)的沖積扇，東毗大溪山脈及熊空山脈(圖3)。大漢溪中下游段(石門水庫下游)具有多階的階地地形特徵，這些階地於河道兩側呈不對稱分布。Tomita(1937)及Chen and Liu(1991)，根據這些階地相對於現今河床面的高程及其組成物質風化的程度，將本區的階地由高往低分為：紅土階地(LT, Lateritic Terrace)、河流階地(FT, Fluvial Terrace)及氾濫平原(FP, Flood Plain)。本研究依據上述，將本區的階地標示為LT1(中壢臺地)、LT2(桃園臺地)、FT1、FT2及FP(圖3)。

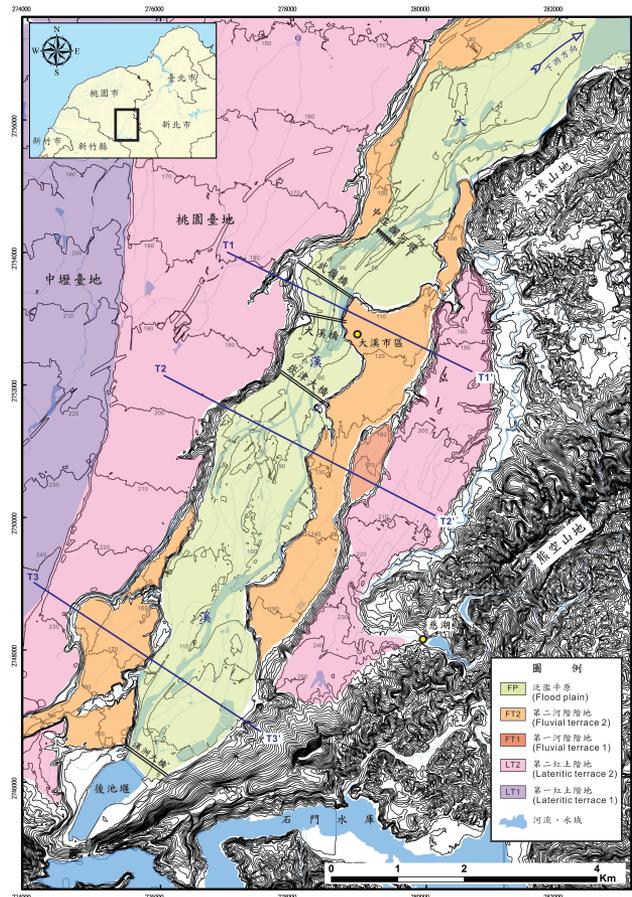


圖3 桃園大漢溪鄰近處河階地及紅土階地分布圖。大漢溪兩側分別有多階的階地，但分布並不對稱，黑線實線為間距十公尺的等高線，T1-T1'、T2-T2'及T3-T3'為圖4階地剖面的位置。

在晚更新世，古大漢溪向西流經桃園中壢後注入臺灣海峽，形成桃園臺地群(林朝榮，1957)。之後，由於全球海水面下降，古大漢溪於三萬年前左右發生河川襲奪，方始流入臺北盆地，下切逐漸形成大漢溪河階地形(鄧屬予等，2004；Chen and Liu，1991)。Chen and Liu (1991) 針對各階面做碳十四定年，LT2 測得  $46800 \pm 2400$  yrBP、FT1 推估為 18000 yrBP、FT2 測得  $11600 \pm 90$  yrBP、FP 測得  $375 \pm 55$  yrBP (圖 4)。

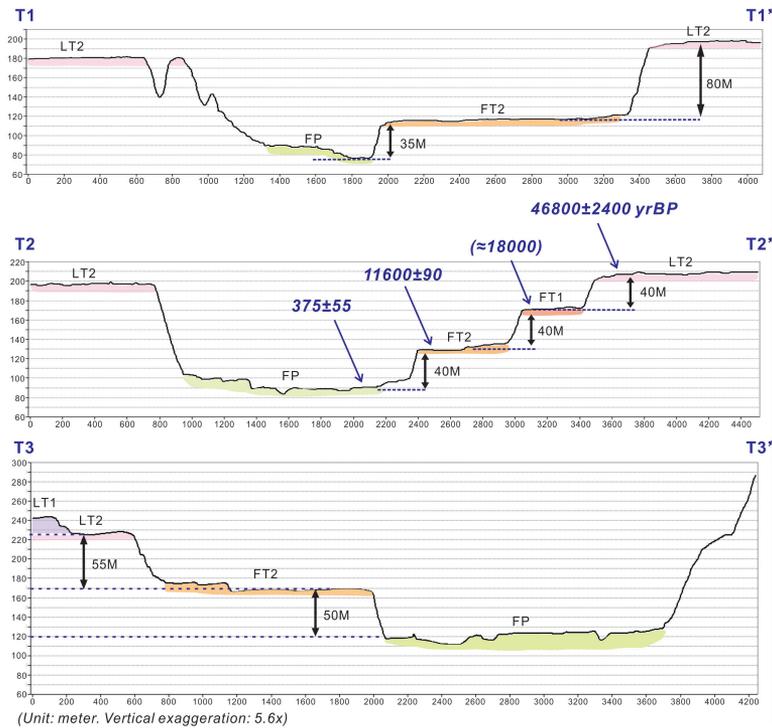


圖 4 大漢溪階地地形剖面及各階碳十四定年結果。剖面垂直放大 5.6 倍。T2-T2'剖面中藍色數字為碳十四定年資料，引用自 Chen and Liu (1991)。剖面位置見圖 3。

### 區域地質構造模型

臺灣西北部之麓山帶構造是由一系列的褶皺與逆衝斷層所構成，五指山層底部發育基底滑脫面，使得五指山層及其上覆沉積地層不斷受到褶曲與錯動，形成數個覆瓦狀斷塊 (Suppe, 1980)。新莊斷層、臺北斷層及新店斷層為此褶皺逆衝帶中主要的逆斷層(圖 1)，大溪背斜則位處新莊斷層與新店斷層間的斷塊，即處於新莊斷層之上盤，亦屬新店斷層之下盤。中國石油公司(1975)曾對此區進行油氣的探勘，鑽探結果(大溪一號井，代號 TSH-1)顯示大溪構造(即大溪背斜)無油氣開發潛能，地塊缺乏良好儲集層。黃旭燦等(2004)繪製本區約略東西向的垂直平衡剖面，



## 河床出露地層

大漢溪河床由北而南連續出露中新世至更新世地層，依序為南港層、南莊層、桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層及楊梅層。出露範圍北起中庄調整池、南至石門水庫後池堰下游為止（圖 5）。

### 南港層 (Nk)

南港層（何春蓀等，1964）最早被稱為上部海棲化石層（丹桂之助，1929）。岩性以灰色厚層塊狀細粒至中粒砂岩為主，夾砂頁岩互層，含有大量貝類、有孔蟲化石及生痕化石，具強烈生物擾動。地層厚度約 600 至 900 公尺（詹新甫，1962），年代為中新世中期。本層岩層出露於中庄調整池（大溪市區東北方 2.5 公里）旁大漢溪河床以及大溪山地一帶；草嶺溪（大漢溪支流）溪谷及福瑞橋旁山壁皆有出露厚層塊狀砂岩（圖 6a）。

### 南莊層 (Nc)

南莊層（何春蓀等，1954）最早被稱為上部夾炭層（市川雄一，1930）。南莊層下部為薄至中層細粒至中粒砂岩與頁岩互層，常含薄煤層；上部以白色中粒至粗粒砂岩為主，偶夾砂頁岩互層，亦常含薄煤層。白色之砂岩為辨認南莊層之重要指標。沉積構造包括平板狀交錯層、槽狀交錯層、波狀紋理等，並偶見直徑數至十餘毫米之黃鐵礦富集出現。地層厚度約 700 至 900 公尺（詹新甫，1962）。年代為中新世中期至晚期。本層岩層出露於大溪下石屯附近之河床，中庄攔河堰下游右岸出露良好（圖 6b）。

### 桂竹林層 (Kcl)

桂竹林層（鳥居敬造與吉田要，1931）命名之下部岩性為厚層塊狀灰色砂岩，夾砂頁岩互層，富含貝類化石與生痕化石；上部為厚層青灰色砂岩為主，夾深灰色頁岩，偶夾白色砂岩；常見大型膠結結核排列於青灰色厚層砂岩中（圖 6c）。地層厚度約 700 至 900 公尺（林啟文與張育仁，2014），本研究以大漢溪河床估算約 860 公尺。年代為中新世晚期至上新世。本層岩層出露於武嶺橋、大溪橋及崁津大橋下大漢溪河床，以及內柵附近河床。

### 錦水頁岩 (Cs)

錦水頁岩（安藤昌三郎，1930）之岩性以深灰色頁岩為主，夾薄層極細粒至細粒砂岩。在大漢溪河床，相較於下伏桂竹林層與上覆卓蘭層，錦水頁岩段之地勢明

顯較低且平坦（圖 6d）。本層岩層出露於內柵至埔尾水頭一帶河床。本層於大漢溪河床出露厚度僅 125 公尺（Pan *et al.*, 2015）。

### 卓蘭層（C1）

卓蘭層（鳥居敬造，1935）之岩性以厚層細粒至中粒砂岩與砂頁岩互層為主，夾塊狀砂岩及頁岩，下部至中部具有生物擾動現象（圖 6e）。可見平板狀交錯層、槽狀交錯層、波痕，含有貝殼、牡蠣化石及炭化木。地層厚度約 760 公尺（Pan *et al.*, 2015）。年代為更新世早期。本層岩層出露於大溪垵頂至溪洲之間之大漢溪河床。

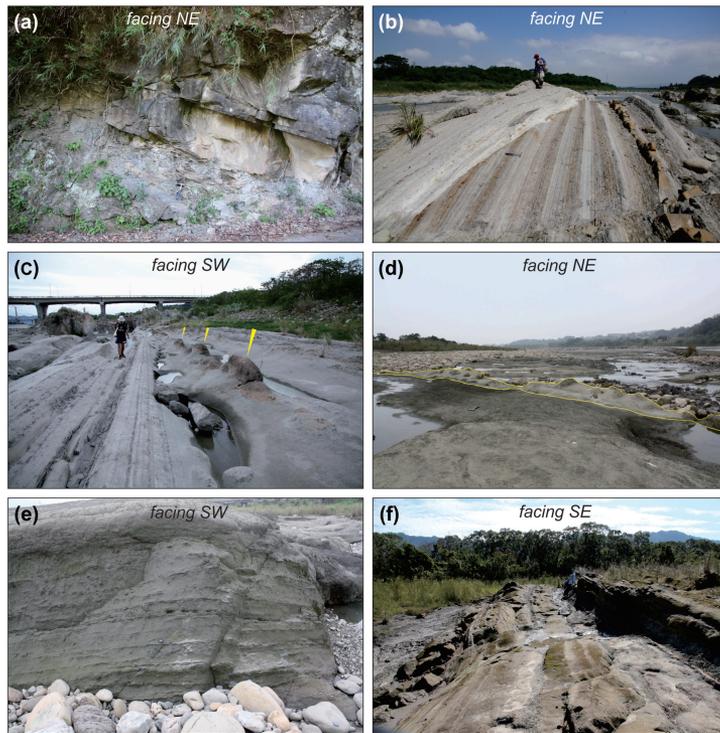


圖 6 大溪地區各地層岩層之野外露頭。(a) 厚層細粒砂岩，屬南港層。(b) 白色砂岩與泥岩薄紋層，屬南莊層。(c) 青灰色厚層泥質砂岩，屬桂竹林層。(d) 頁岩偶夾薄層粉砂岩，屬錦水頁岩。(e) 膠結不佳之細粒砂岩與泥岩互層，屬卓蘭層。(f) 厚層細粒砂岩與泥岩互層，屬楊梅層。

### 楊梅層（Ym）

楊梅層（牧山鶴彥，1935）依照岩性可分為下部照鏡段與上部照門段（湯振輝，1963）。本研究區包含下部照鏡段，岩性以厚層細粒至粗粒砂岩與砂泥岩互層為主，砂岩呈灰色至暗黃色，膠結狀況不佳容易剝落（圖 6f）。沉積構造可見平板狀與槽狀交錯層、波痕、崩移構造、荷重構造，亦含有炭化木。照鏡段厚度約 1070 公尺

(Pan *et al.*, 2015)。本層年代約為更新世中期至晚期。在大溪地區，本層與下伏卓蘭層之交界為一層極粗粒砂岩（瓣狀河相之岩性組合）(Pan *et al.*, 2015)。本層照鏡段岩層出露於大溪溪洲至石門水庫後池堰下游之間河床。

## 空拍影像處理技術

本研究使用 Pix4Dmapper 影像匹配軟體進行影像處理，生成正射影像。以無人飛行載具掛載鏡頭，完成整段河床露頭空拍作業，總相片數達 3500 張。此軟體將影像資訊加入匹配計算，包含每一張相片的影像色彩、GPS 位置、飛航姿態。軟體生成正射影像的流程為初始化、點雲密集化與正射影像鑲嵌三步驟；在運算過程中，可主動挑除因拍攝效果不佳或匹配程度不良的部份，以達到最佳匹配的結果。本研究製作之正射影像之地面解析度皆維持 5 公分以內。

## 調查結果

### 河床露頭岩性與中視構造

本研究將大漢溪河床露頭由北而南分為調查區 A 至 H 區，共計 8 個分區，各調查區位置見圖 2。表 1 為各調查區出露岩層所屬地層與中視尺度構造特徵對照表。整體而言，大溪背斜西翼當中具有向西南至南方傾沒之中視尺度褶皺現象；河床沿線普遍分布北北東走向、高傾角的左移斷層。在河床北段（B 區）高傾角岩層為兩組共軛斷層所截切；在河床南段（F 及 G 區）出現一組方向性的裂理。

### 調查區 A（南港層/南莊層交界）

本區河床西側設有中庄調整池，東側為大溪山地丘陵（圖 7）。在河床西側，出露砂泥薄互層及淡灰色細砂岩，含煤跡；位於河道中央可見中層至厚層砂岩與砂頁岩互層；位於河道東側靠近丘陵山腳下，以厚層塊狀砂岩為主，含豐富生物擾動現象與貝類化石。依岩性變化及區域地層分布趨勢判斷，這一帶可能是南港層與南莊層交界位置，由西向東從南莊層下部進入南港層上部。

河床西側有一個向斜構造，兩翼岩層位態大致分別為  $177^{\circ}/55^{\circ 04}$ （西翼）與  $205^{\circ}/59^{\circ}$ （東翼），向斜之褶皺軸位態為  $7^{\circ}/211^{\circ 05}$ 。向斜東翼岩層傾角往東漸陡甚至倒轉（圖 7）。

註 4 此為面位態(如地層層面、斷層面)，本文中格式一律以「走向(strike)/傾斜(dip)」呈現。走向採順時針 360 度方位角；傾斜方向遵守右手定則，故省略傾向方位。  
 註 5 此為線位態(如褶皺軸)，本文中格式一律為「傾沒角(plunge)/走勢(trend)」呈現。走勢亦採順時針 360 度方位角。

表 1 各調查區地層與中視尺度構造對照表。

調查區	地層	中視構造	說明
A (圖 7)	南港層/南莊層交界	向西南傾沒之向斜	褶皺軸 7°/211°
B (圖版 1)	南莊層	共軛斷層	一組走向 140°-160° 左移斷層及另一組走向 085°-095° 右移斷層。
C (圖版 1)	南莊層/桂竹林層交界	左移斷層	有一道長度至少 100 公尺，走向 220°、傾角 86°。數道長度相對短許多。
D (圖版 2)	桂竹林層下部	左移斷層	斷層走向 220°、高傾角，除一道錯距為 5-8 公尺，其餘的侷限於砂岩層。
E (圖版 2)	桂竹林層中段	向西南傾沒之向斜	貌似尖頂褶皺，褶皺軸 24°/225°
F (圖版 3)	桂竹林層上部	向西南傾沒之背斜、一組裂理	背斜內弧出現小波長寄生褶皺，外弧則平滑，褶皺軸 37°/223°。裂理走向約 110°，部份具錯移量。
G (圖版 3)	錦水頁岩	一組裂理	走向約呈 110°，部份具錯移量。
	卓蘭層	一組裂理	走向約呈 110°，無錯移量。
H (圖版 4)	楊梅層	向南傾沒之 S 形褶皺	褶皺軸 31°/179°
		左移斷層	走向 010°-020°，長度約數十公尺，錯距數公尺。

### 調查區 B (南莊層, 圖版 1)

本區位於離大溪老街市區北北東 1.5 公里的下石屯。此調查區上游設有中庄攔河堰。岩性主要為灰白色極細至中粒厚層砂岩與砂泥薄紋層，偶夾煤塊與煤跡，富含集之黃鐵礦結核。厚層砂岩厚度平均約 30 至 50 公分，可拼合呈數公尺厚。砂泥薄紋層當中偶夾淡灰色中至厚層砂岩。其中有砂岩顏色呈純白色，可對應南莊層上部的岩性特徵。

岩層位態約為 210°/85°，傾角幾乎垂直。由空拍影像線形判釋與野外岩層追跡，一共可歸納出兩組斷層：一組走向 085° 至 095° 之右移斷層以及另一組走向 140° 至 160° 之左移斷層。兩組斷層水平錯動量皆在數十公分至一公尺左右，且有互相截切現象。斷層露頭多覆於水下，不易實際量得傾角，但可判釋近乎垂直，兩組的夾角粗估約為 60°，研判可能為同期形成的成對共軛斷層組。若將這兩組斷層的走向做銳角平分線，所得到的方位為北偏西 60° (方位角 300°)，與大溪背斜整體走勢 (方位角 209°) 幾乎垂直，亦即兩者所反映的可能最大古 (壓) 應力方向協調

(concordant)。

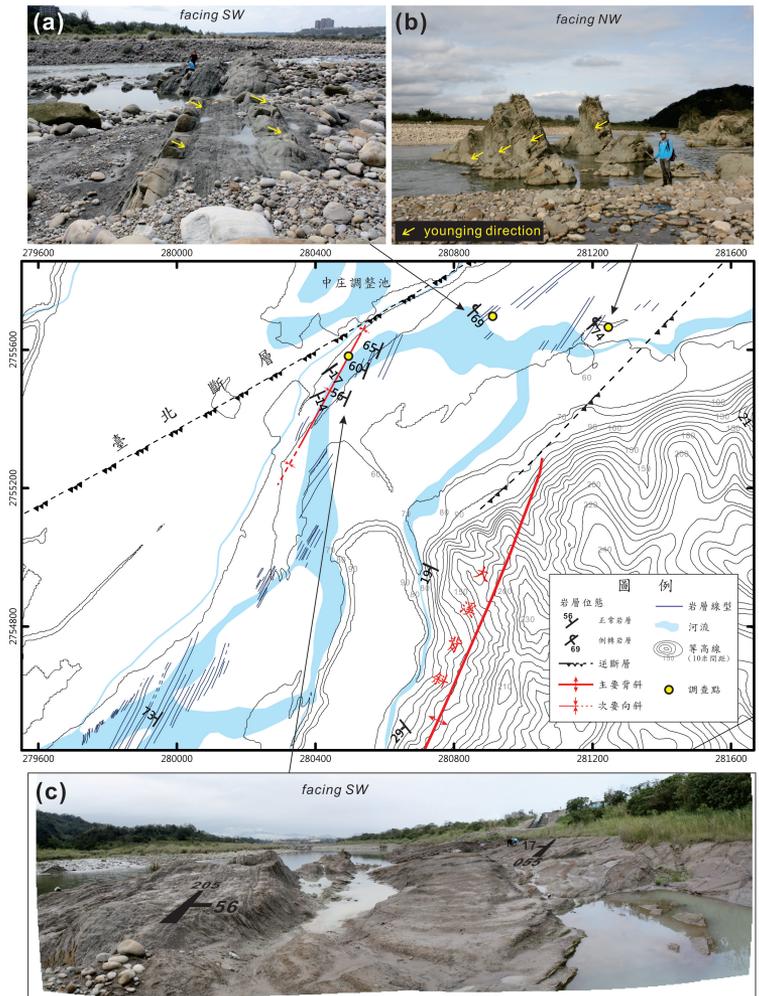


圖 7 調查區 A 之路線地質圖。(a) (b) 岩層呈高角度倒轉，向東傾斜。(c) 向西南方傾沒之向斜軸部。

### 調查區 C (南莊層/桂竹林層交界，圖版 1)

此區露頭分部於武嶺橋下河床，從橋上及河岸即可見矗立在河道中的岩層。岩性以厚層青灰色細粒砂岩為主，夾薄層泥岩，偶見粗粒砂岩至粗礫。河道中央可見厚層一道厚層白色砂岩及砂頁薄紋層。青灰色砂岩中富含貝類化石，具槽狀交錯層理；大型膠結結核排列於特定厚層砂岩層中，結核直徑約 50 公分至一公尺。一道厚達 50 公分至一公尺的厚層煤層出露，側向至少可追跡 50 公尺以上。

何春蓀等 (1964) 指出北台灣南莊層與桂竹林層的交界，實為岩性的過渡帶，

同時可見南莊層的特徵白色砂岩以及桂竹林層的特徵含海相化石砂岩；何春蓀（1983）在北海岸金山地區，即以一道厚層中至粗粒白色砂岩層定義南莊層頂部。因此認為武嶺橋下之厚層白色砂岩層為最後一道指準岩層，故本研究將此定義為南莊層與桂竹林層之交界位置。

此處岩層西傾且近乎垂直，但河道兩岸岩層位態略有差異：西岸位態為  $223^{\circ}/85^{\circ}$ ，東岸則為  $200^{\circ}/82^{\circ}$ 。矗立於河道中央的露頭中，出現寬約 3 至 5 公尺的斷層破碎帶，可見形狀不規則且破碎岩塊混雜於斷層帶中，岩塊岩性包括青灰色砂岩、泥岩、白色砂岩及煤塊。於斷層帶西界位置測得斷層面位態為  $220^{\circ}/86^{\circ}$ 。雖與河道西岸之岩層位態大致相同，但鄰近於斷層帶東緣之岩層位態卻約為  $121^{\circ}/50^{\circ}$ ；數道青灰色厚層砂岩與此斷層東緣相接之位置，皆出現岩層位態局部改變之情形。若此位態改變是此斷層作用引起，依岩層偏轉的趨勢，此斷層可能具有左移錯動量；但因斷層兩側無指準層可對應，其錯動量無法估計。另一方面，緊鄰斷層帶西緣為厚層煤層，部分煤層段亦受擾動，而煤層以西的岩層未見有受斷層帶影響之情形。

#### 調查區 D（桂竹林層下部，圖版 2）

此區河床位於武嶺橋至崁津大橋之間，其間另有大溪橋。岩性上以灰色厚層細至極細粒砂岩夾頁岩為主，含貝類化石，較接近桂竹林層之特徵。武嶺橋下之白色厚層砂岩及厚層煤層，向南延伸情況不明。

岩層位態由北而南從  $212^{\circ}/75^{\circ}$  逐漸轉至  $160^{\circ}/59^{\circ}$ ，在 500 公尺內有顯著的變化。許多砂岩層中發育數道的小斷層，斷層面走向約為  $220^{\circ}$ ，傾角約  $60^{\circ}$  至  $75^{\circ}$ ，為左移斷層。

大溪橋以南的部份，河道中央有一道水平錯距 5 至 8 公尺的左移斷層，斷層走向大約為  $215^{\circ}$ ，向南延伸進入左岸河岸後位置不明。斷層露頭已完全浸於主河道當中，以兩側岩層相對錯移辨識，且由斷層附近岩層偏轉的方向與相對位移方向吻合，研判為左移斷層。

#### 調查區 E（桂竹林層中段，圖版 2）

此區為崁津大橋至內柵的河床段，大部分為植被覆蓋，露頭在崁津大橋下狀況較佳，其餘零星分布。岩性為厚層灰白色細粒砂岩夾頁岩為主，含貝類化石。

崁津大橋下出露一向斜露頭，兩翼岩層在幾公尺的距離內急遽改變，褶皺軸部形貌類似尖頂褶皺（chevron fold）。向斜西翼的岩層位態約為  $100^{\circ}/35^{\circ}$ ，東翼位態約為  $207^{\circ}/70^{\circ}$ 。由兩翼岩層位態求得向斜軸位態約為  $24^{\circ}/225^{\circ}$ ，向西南方傾沒。

### 調查區 F (桂竹林層上部, 圖版 3)

此區位於大溪內柵, 距離崁津大橋上游 1.5 公里左右。利用空拍影像追跡指準岩層, 得知從崁津大橋下所見的岩層可往南追跡至此, 是層位相當的同一套岩層。岩性以灰色細粒至粉砂岩夾砂泥岩互層為主。

此河床段出露一背斜露頭, 岩層位態由西翼之  $205^{\circ}/71^{\circ}$  轉至東翼之  $122^{\circ}/33^{\circ}$ 。在背斜軸部的不同層位之岩層, 具有不同的形貌, 如背斜內弧發育多個相對較小波長之寄生褶皺, 外弧則無, 為平滑褶皺。另有一組走向約呈  $110^{\circ}$  的裂理, 亦出現在錦水頁岩, 部分具可察覺的錯動量 (亦即具小錯移量的斷層)。

### 調查區 G (錦水頁岩、卓蘭層, 圖版 3)

桂竹林層與錦水頁岩交界位於內柵以南約 1 公里的河床。相較於桂竹林層及卓蘭層砂頁岩互層的高低差地勢, 在錦水頁岩段河床露頭的明顯低而平坦, 有一組走向約呈  $110^{\circ}$  的裂理, 亦出現在錦水頁岩。此處錦水頁岩岩性為頁岩偶夾薄層細粒砂岩。進入卓蘭層岩性開始出現膠結不佳的厚層砂岩與頁岩互層。此調查區岩層位態大致在  $170^{\circ}/44^{\circ}$  至  $158^{\circ}/26^{\circ}$ , 於錦水頁岩中有一組走向約呈  $110^{\circ}$  的裂理, 卓蘭層中也有一組裂理, 但走向呈  $080^{\circ}$  至  $090^{\circ}$ , 無錯動量。

### 調查區 H (楊梅層下部, 圖版 4)

此調查區位於石門水庫後池堰下游 2.5 公里處, 左岸設有三坑自然生態公園。H 區由北而南可再分為三個子調查區: H-I、H-II 及 H-III。此段河床開始進入楊梅層 (Pan *et al.*, 2015), 岩性以厚層砂岩與泥岩互層為主, 含煤塊。

整體上, 岩層位態約為走向  $157^{\circ}$  至  $166^{\circ}$ 、傾角  $44^{\circ}$  至  $60^{\circ}$  傾向西南方; 然而唯在 H-I 區見位態驟變, 岩層褶曲呈 S 形的不對稱褶皺。河床出露明顯兩道白色厚層粒徑為細砂至粉砂的岩層, 由一向斜與一背斜組成, 呈 S 形褶皺, 共同短翼岩層位態為  $026^{\circ}/42^{\circ}$ 。由兩翼岩層位態求得褶皺軸位態為  $31^{\circ}/179^{\circ}$ , 褶皺向南傾沒。

在子調查區 H-II 與 H-III, 平行岩層中發育多道成組的左移斷層, 走向在  $010^{\circ}$  至  $020^{\circ}$  之間, 水平錯距平均約為數公尺。其中一道斷層規模最大, 斷層跡至少長 300 公尺, 水平錯距可達 40 公尺, 受河水傾蝕形成低窪水道。斷層兩側鄰近岩層因錯動出現變形, 部分岩層呈拖曳褶皺。此組斷層截切過上述 S 形褶皺, 形成多段左階雁形排列的斷塊, 推測此斷層作用可能發生於褶皺形成之後。

在 H 區的極細粒砂岩當中, 局部發育至少兩組方向的小斷層, 錯動量約數公分。同一組小斷層有單條甚至分岔為成束狀; 不同組互相截切而構成網格狀分布 (圖 8)。

## 大溪背斜形貌建構

此章節說明本研究如何繪製大溪背斜剖面，以建構大溪背斜形貌，並同時檢視中視尺度構造在大溪背斜中的分布位置。剖面的繪製假設各地層厚度的側向變化忽略不計，根據前人對大溪地區各地層的報導，採用之地層厚度如下：五指山層(Wcs) 500 公尺(湯振輝與楊建一, 1977; Tang and Huang, 1965); 木山層(Ms) 600 公尺、大寮層(Tl) 300 公尺、石底層(St) 400 公尺、南港層(Nk) 600 公尺、南莊層(Nc) 700 公尺(詹新甫, 1962); 桂竹林層(Kcl) 850 公尺(范書睿, 2017); 錦水頁岩(Cs) 125 公尺(Pan *et al.*, 2015); 卓蘭層(Cl) 760 公尺(Pan *et al.*, 2015); 楊梅層(Ym) 照鏡段 1070 公尺(Pan *et al.*, 2015)。



圖 8 H 區楊梅層極細粒砂岩中之小斷層。其中一組尤其發達，成束狀分佈，截切其他組小斷層。斷層錯距皆甚小，僅數毫米至一公分。

為建構從地表淺部至地下深部(~6 至 7 公里)的構造形貌，除利用本研究收集的野外岩層位態資料，亦整合地調所地質圖、中油地質圖之地表地層分布與岩層位態資料，以及中油大溪一號井(TSH-1)之地層深度資料。且根據大溪背斜西翼岩層傾角 45° 至 90° 甚至倒轉，東翼則約 40° 至 60°，伸向向西等特徵，加上其西側緊鄰新莊斷層，因此以斷層延展褶皺的模型(Suppe and Medwedeff, 1990)為基礎，假定逆斷層上盤的背斜受控於斷層形貌，結合地層厚度資料、地表資料及鑽井資料，從北到南繪製四道剖面，分別為 WW'、XX'、YY'及 ZZ'剖面(圖 9，剖面位置見圖 1)。各剖面中的大溪背斜形貌特徵描述如下：

1. WW'剖面中，大溪背斜軸部與西翼之間岩層傾角變化甚大，西翼出現岩層倒轉，背斜軸部形貌不完整，推測可能有逆斷層切穿軸部的岩層。
2. XX'剖面顯示，大溪背斜西翼傾角甚陡至垂直，兩翼夾角小於 90 度，但背斜

軸部具有平緩寬廣的形貌（桂竹林層與南莊層）。

3. YY'剖面中，背斜兩翼夾角接近 90 度。西翼當中發育數個中視尺度褶皺，推測上部南莊層及下部錦水頁岩中可能具類似的褶皺形貌。
4. ZZ'剖面中，背斜兩翼夾角略大於 90 度。在西翼接近軸部處具 Z 形寄生褶皺（即地表所見為 S 形的褶皺，投影分析參見下節）。

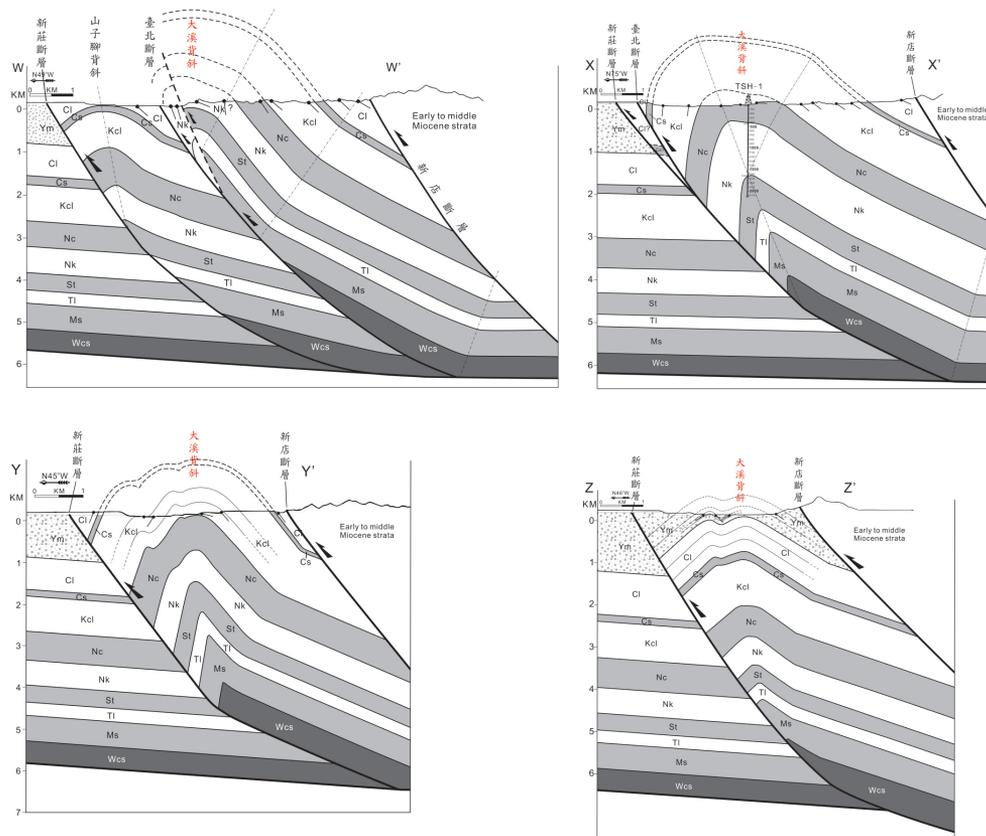


圖 9 跨大溪背斜的垂直地質構造剖面。由北到南依序為 WW'、XX'、YY'及 ZZ'剖面，各剖面位置見圖 1。

## 討論

### 解釋中尺度褶皺與大溪背斜之關係

於大漢溪河床露頭，我們觀察到了數個中視尺度的褶皺構造，其中針對四個出露較完整的露頭進行投影圓分析。本研究使用  $\pi$  圖法分析岩層位態資料，將位態資料繪製於投影圓上，並轉換成極點。假設分析對象皆屬於圓柱型褶皺，則所有極點

皆會落在同一大圓 ( $\pi$  圓) 上, 其極點 ( $\pi$  軸) 即為褶皺軸之位態。分析結果如圖 10 所示。褶皺軸位態分布顯示, 大部份的褶皺軸具有一致向西南傾沒的趨勢, 其中, H 區的 S 形褶皺幾乎向正南方傾沒, 稍微偏離其他褶皺軸。

為了觀察傾沒背斜的形貌, 我們可選擇從褶皺剖面分析之。假設大溪背斜屬於圓柱形褶皺, 首先將整個地表面河床的岩層線形描繪起來, 再沿大溪背斜軸投影至褶皺剖面上 (與褶皺軸垂直之平面), 並以上傾視角 (Up-plunging view) 觀察之 (圖 11a)。剖面顯示 (圖 11b), 桂竹林層中發育一系列波長 500 至 600 公尺褶皺; 楊梅層中的不對稱褶皺呈 Z 字形 (地表所見為 S 字形), 屬於大溪背斜西翼的寄生褶皺, 短翼岩層可能曾經歷順時針旋轉。本研究解釋, 這些中視尺度褶皺現象應屬於大溪背斜 (主要背斜) 的次要褶皺, 是主要背斜形成過程中在西翼部位伴生的褶皺構造。

### 由大溪背斜側向形貌變化推論背斜演化過程

本研究嘗試由背斜現今的形貌, 運用自型模型 (self-similar modelling technique) 的理論假設, 推論背斜演化過程。假設岩層變形行為皆發生在相同溫壓條件下, 遵循漸進式變形 (progressive deformation), 則現今所觀察到空間上構造形貌的側向變化, 即記錄了構造形貌逐步演化的過程 (Means, 1976; Fischer and Woodward, 1992)。在斷層錯移量較小處 (ZZ' 剖面), 逆斷層上盤的背斜構造屬於較初期的階段; 錯移量最大處 (XX' 剖面), 則是構造發育較成熟的階段 (表 2)。逆斷層兩側層位落差由北而南遞減, 這點也可能解釋了大溪背斜向南南西傾沒的幅度甚陡 (約 30 度) 的原因, 為逆斷層南北不等量的抬升量與錯移量所致 (圖 12)。

表 2 各剖面逆斷層之層位落差量比較表。

剖面	逆斷層	層位落差(公尺)
WW'	臺北斷層	約 2300
XX'	新莊斷層	950 至 1300
YY'	新莊斷層	1000 至 1100
ZZ'	新莊斷層	900 至 1100

### 大溪背斜與中視尺度構造之形成順序及年代

由上述褶皺投影圓分析結果歸結, 中視尺度褶皺現象應屬於大溪背斜 (主要背斜) 的次要褶皺, 是主要背斜形成過程中在西翼部位伴生的褶皺構造 (圖 10)。因此至多僅得知這些次要褶皺與主背斜生長階段當中發育的, 但無法準確得知其起訖時間點。

河床岩層中的斷層現象，大致可以歸納為調查區 B 的成對的共軛斷層組，以及調查區 C 至 H 普遍可見走向 010° 至 040° 的左移斷層。如前章節已論及，這成對的共軛斷層組與大溪背斜整體走勢，反映一致的最大古（壓）應力方向。且該共軛斷層組分布於南莊層中傾角 80° 左右的背斜西翼岩層中（圖版 1），因此推測此共軛斷層組應在岩層傾角甚陡的時期才形成，即主要背斜發育晚期形成。另一方面，普遍出現的左移斷層皆截切褶曲的岩層（包括楊梅層中的 S 形褶皺），且部分岩層傾角為 80° 左右，亦可見左移斷層造成岩層拖曳之現象。假設這些走向具一致趨勢的左移斷層屬於同樣的斷層作用，根據截切定律，該斷層作用應發生於褶皺作用之後，且可能為大溪背斜發育的晚期，但其未與分布於南莊層的共軛斷層有交集，因此無法判定形成的先後。此外，桂竹林層上部、錦水頁岩及卓蘭層的系統性裂理，走向不隨岩層位態改變而改變，且不具錯移量或不大，因此研判為最晚形成的次生構造，可能為大溪背斜發育的晚期，亦或大溪背斜停止增長之後。

大漢溪的各階河階面，在垂直主河道的方向上，傾斜角度平均不超過 1 度，不具有明顯受構造擾動或變形之特徵。根據碳十四定年結果，最老河階面的年代大約為 4.7 萬年前（Chen and Liu, 1991）。假設最老河階面不受到下伏背斜活動的影響，則可推論大溪背斜最晚在 47000 年前就已經停止增長。

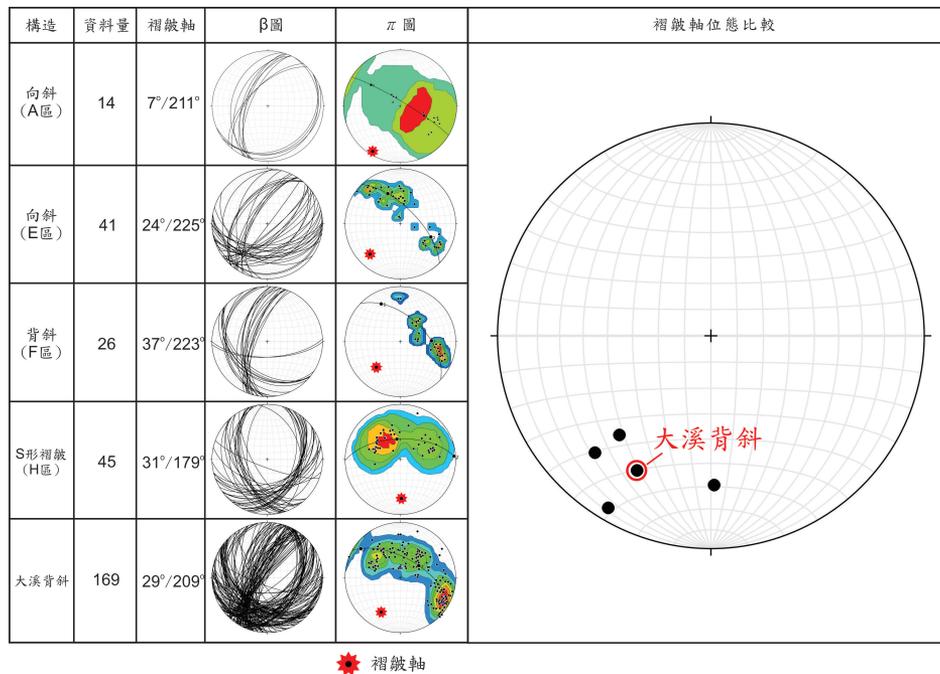


圖 10 層面位態資料及褶皺軸投影圖分析。褶皺軸位態資料具有集中向西南至南方傾沒的趨勢。

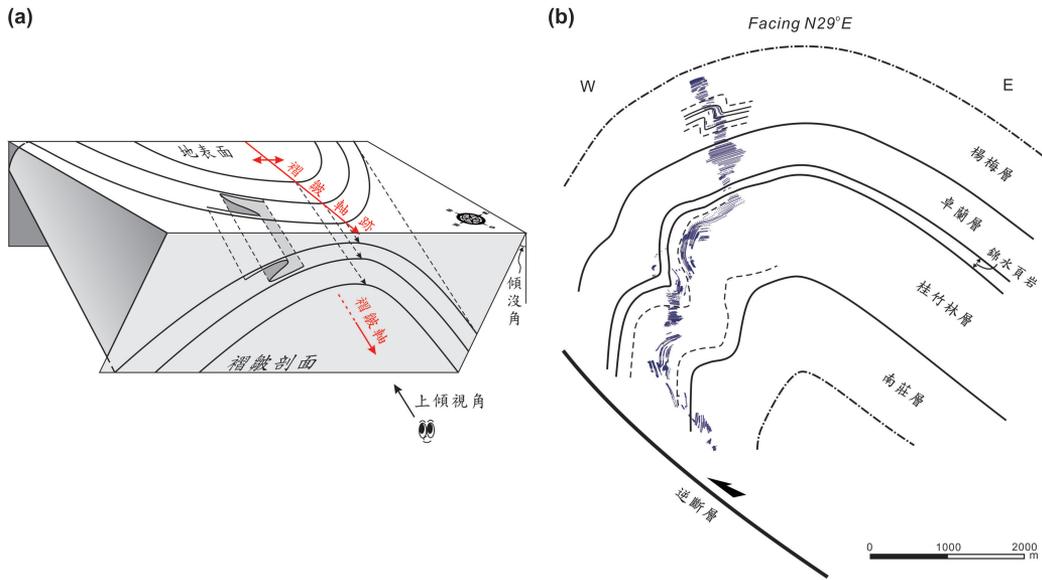


圖 11 褶皺剖面上傾視角所見之褶皺形貌。(a) 地表面褶皺形貌沿褶皺軸投影至褶皺剖面之立體示意圖。(b) 褶皺剖面上之大溪背斜形貌。

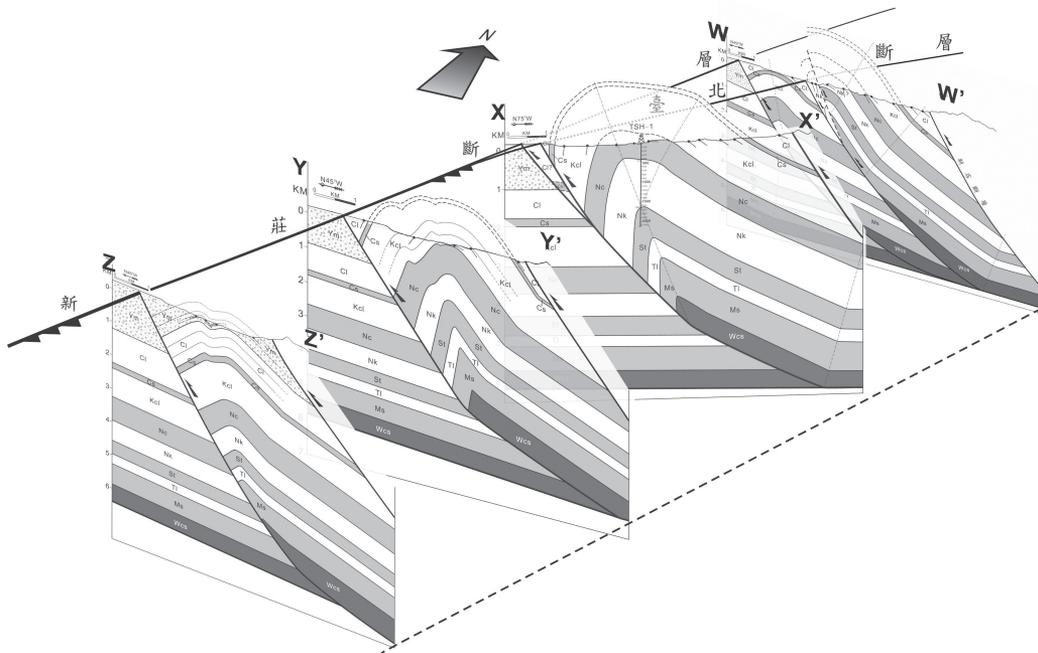


圖 12 大溪背斜剖面立體圖。從 ZZ' 至 WW' 剖面，逆斷層之層位落差由南而北逐漸增加，推論各剖面可能記錄不同時期的背斜形貌主要特徵。

大溪背斜中的楊梅層為最年輕之地層。根據斷層延展褶皺模型，楊梅層會是最晚受斷層影響而變形的地層。已知楊梅層與下伏卓蘭層的交界年代約為 1.75 個百萬年（早更新世）（陳文山，2016），若楊梅層沉積完成後才出現變形，則楊梅層發生變形的年代至少在 1.75 個百萬年前以後（圖 13）。但受限於楊梅層的出露範圍，無法掌握地層厚度的變化，因此不排除楊梅層在沉積時期就持續受到變形。

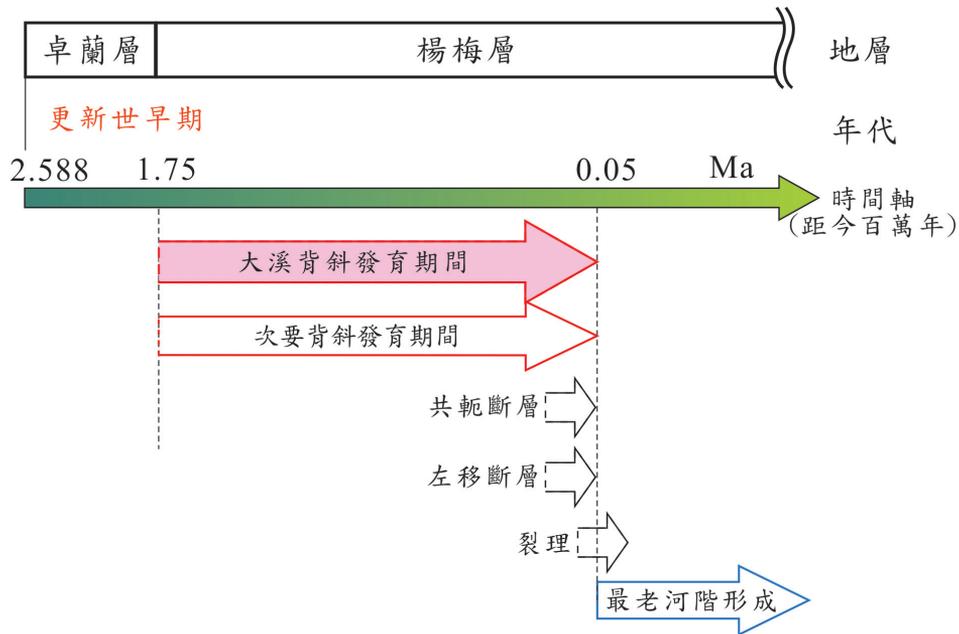


圖 13 大溪背斜與中視尺度構造發育起訖年代推論。

## 結論

大溪背斜為大溪地區主控地層分布的地質構造，褶皺軸位態為  $29^{\circ}/209^{\circ}$ ，向南南西傾沒，伸向向西，形貌不對稱，較類似斷層延展所引致的褶皺。大漢溪河床連續出露大溪背斜西翼之褶皺岩層，由北而南依序出露南港層、南莊層、桂竹林層、錦水頁岩、卓蘭層以及楊梅層。本研究進行野外地質調查與 UAV 空拍影像以記錄河床露頭，繪製中視尺度河床露頭構造分布情形。綜合分析結果顯示，大溪背斜西翼中具有數道伴生的次要褶皺，褶皺軸位態皆向南傾沒，與大溪背斜具相同趨勢。兩組截切南莊層之高傾角岩層的共軛斷層，其銳角平分線之方位與主要背斜軸垂直，推測此屬於背斜發育晚期所伴生的斷層。走向  $010^{\circ}$  至  $040^{\circ}$  的左移斷層普遍分布於大溪背斜西翼岩層中，其中規模最大者斷層跡長度至少 250 公尺，水平錯距約

5 至 40 公尺。左移斷層截切褶曲岩層（包括楊梅層中的 S 形褶皺），推論此斷層亦應形成於大溪背斜發育晚期；桂竹林層上部、錦水頁岩及卓蘭層的系統性裂理，走向不隨岩層位態改變而改變，且不具錯移量或不大，研判為最晚形成的次生構造。大溪背斜在南北側向上的形貌變化，可能記錄了背斜不同時期的主要形貌特徵。根據未變形最老河階的年代，大溪背斜停止增長的時間點應早於 4.7 萬年前；而楊梅層受到大溪背斜發育變形的年代至少在 1.75Ma 以後。

本研究將 UAV 空拍技術應用於大範圍河床露頭調查，並首度繪製大漢溪沿線詳細的中視尺度地質構造分布情形。建議未來於河床水位較低時進行局部河床補充地質調查。

## 誌謝

感謝科技部經費補助（計畫編號: MOST 105-2116-M-008-020-）及中央大學地質力學研究室的成員們盡心協助每一次的野外工作。感謝國立中正大學李元希教授與國立成功大學楊耿明教授兩位審稿委員給予細心的指正與專業的建議。

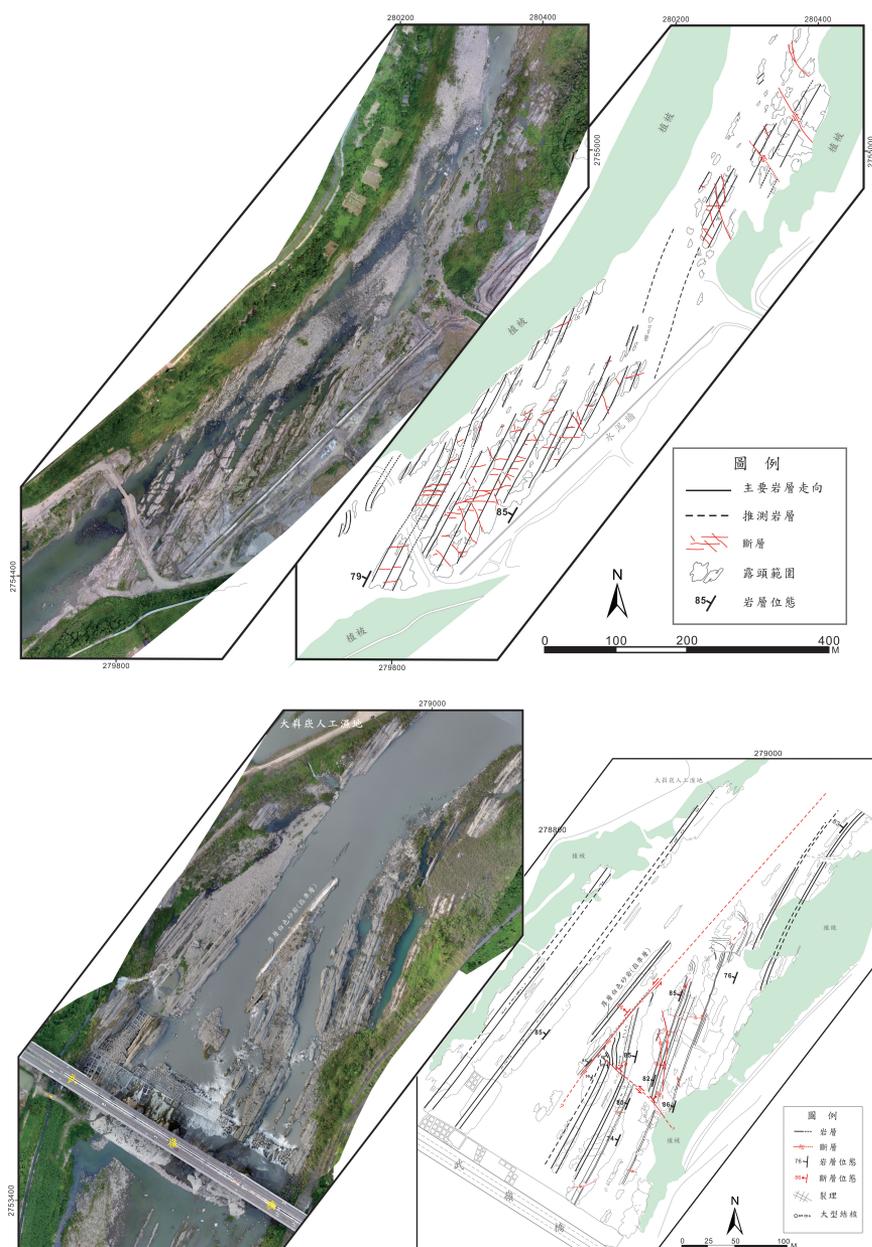
## 參考文獻

- 中國石油公司（1975）桃園縣大溪構造第一號探井地下地質報告。
- 丹桂之助（1929）臺灣山子腳地方の層序に就いて。臺灣博物學會會報，第 19 卷，第 105 號，第 552-558 頁。
- 市川雄一（1930）桃園圖幅說明書，縮尺五萬分之一圖幅第 13 號。臺灣總督府殖產局，第 581 號。
- 安藤昌三郎（1930）臺灣苗栗油田の地質與構造。地質學雜誌，第 37 卷，第 447 號，第 799-803 頁。
- 何春蓀、詹新甫、潘志偉、楊應塘（1954）臺灣苗栗南莊煤田地質，第 6 號，第 1-36 頁。
- 何春蓀、徐茂揚、任樂孫、方傑士（1964）臺灣北部沿海區之地質及煤礦資源。臺灣省地質調查所彙刊，第 15 號，第 1-64 頁。
- 何春蓀（1983）臺灣基隆沿海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。
- 林啟文、張育仁（2014）桃園圖幅及說明書（第二版），五萬分之一圖幅第 8 號。經濟部中央地質調查所，第 1-51 頁。
- 林朝榮（1957）臺灣地形。臺灣省文獻委員會出版，共 423 頁。
- 牧山鶴彥（1935）中壢圖幅及說明書。臺灣總督府殖產局，第 692 號。
- 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，碩士論文，共 136 頁。
- 陳文山（2016）臺灣地質概論。社團法人中華民國地質學會出版，共 204 頁。
- 鳥居敬造（1935）東勢圖幅及說明書。臺灣總督府殖產局出版，第 732 號。

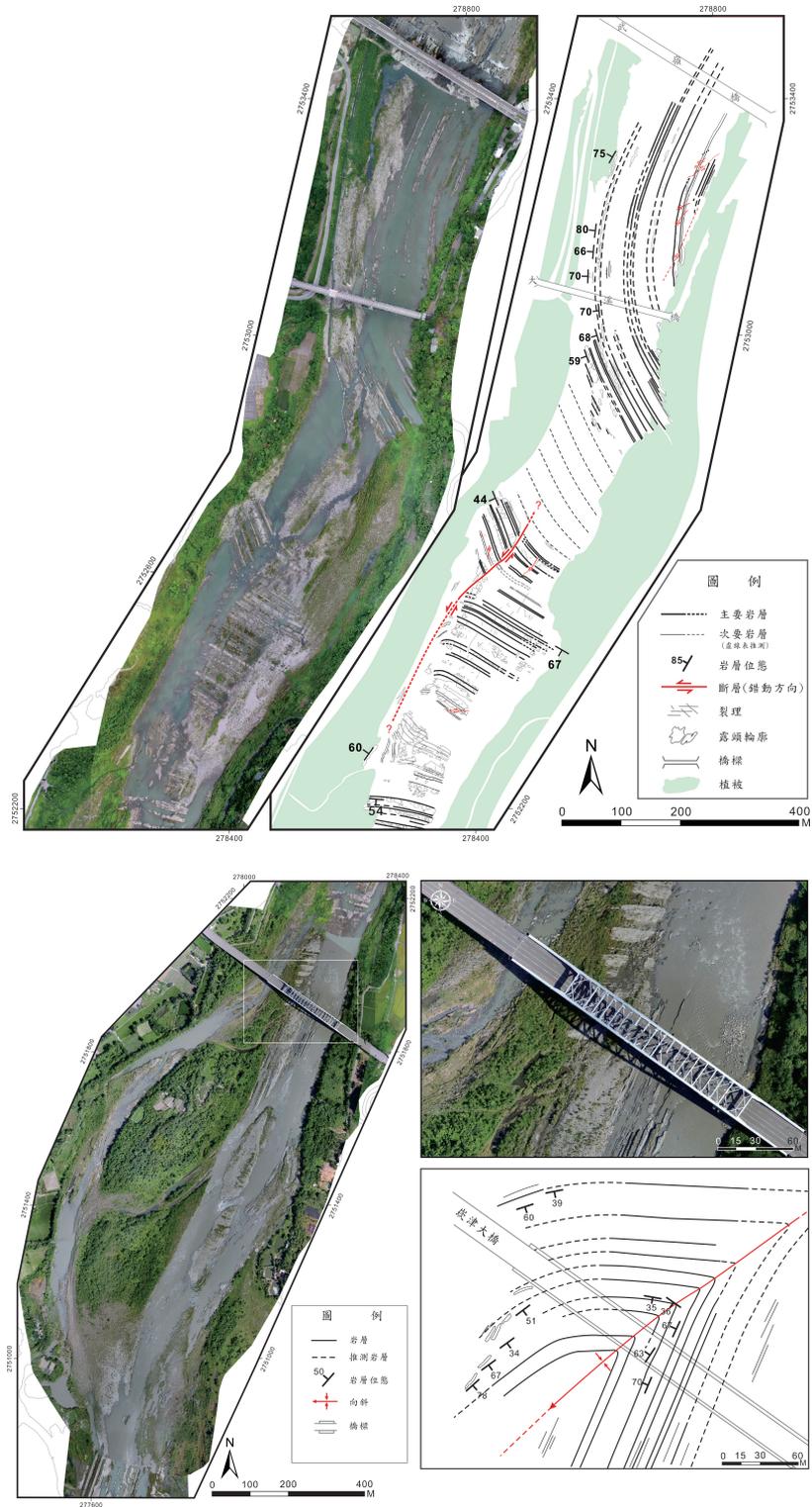
- 鳥居敬造、吉田要（1931）新竹州苗栗及竹東油田調查報告。臺灣總督府殖產局，第 585 號。
- 湯振輝（1963）湖口地區更新世楊梅層與沉積同時之變形，中國地質學會會刊，第 6 號，第 75-79 頁。
- 湯振輝、楊健一（1977）論青潭層與五指山層間之地層對比。臺灣石油地質，第 14 號，第 37-43 頁。
- 黃旭燦、楊耿明、吳榮章、丁信修、李長之、梅文威、徐祥宏（2004）臺灣陸上斷層帶地質構造與地殼變形調查研究(5/5)-臺灣西部麓山帶地下構造綜合分析。經濟部中央地質調查所報告 93-13，共 59 頁。
- 詹新甫（1962）桃園角板山區地質。臺灣省地質調查所彙刊，第 14 號，第 15-28 頁。
- 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。
- Chen, Y. G. and Liu, T. K. (1991) Radiocarbon dates of river terraces along Tahanchi, northern Taiwan. *Proc. Geol. Soc. China*, 175-185.
- Fischer, M. and Woodward, N. (1992) The geometric evolution of foreland thrust systems. *Thrust Tectonics*, 181-189.
- Means, W. (1976) *Stress and Strain: Basic Concepts Of Continuum Mechanics for Geologists*. 393pp.
- Pan, T. Y., Lin, A. T. S. and Chi, W. R. (2015) Paleoenvironments of the evolving Pliocene to early Pleistocene foreland basin in northwestern Taiwan: An example from the Dahan River section. *Island Arc*, 3, 317-341.
- Suppe, J. (1980) A Retrodeformable cross section of Northern Taiwan. *Proceedings of the Geological Society of China*, 46-55.
- Suppe, J. and Medwedeff, D. A. (1990) Geometry and kinematics of fault-propagation folding. *Eclogae Geologicae Helveticae*, 83(3), 409-454.
- Tang, C. H. and Huang, C. L. (1965) Geologic map of the Chingshuikeng anticline, Taipei. Taiwan Petroleum Exploration Division, Chinese Petroleum Corporation.
- Tomita, Y. (1937) Correlation of the geomorphologic surface of the terraces along the river coast of Tanshuiho (in Japanese) . *Taiwan Tigaku Kizi*, 10-12, 101-119.

## 圖版

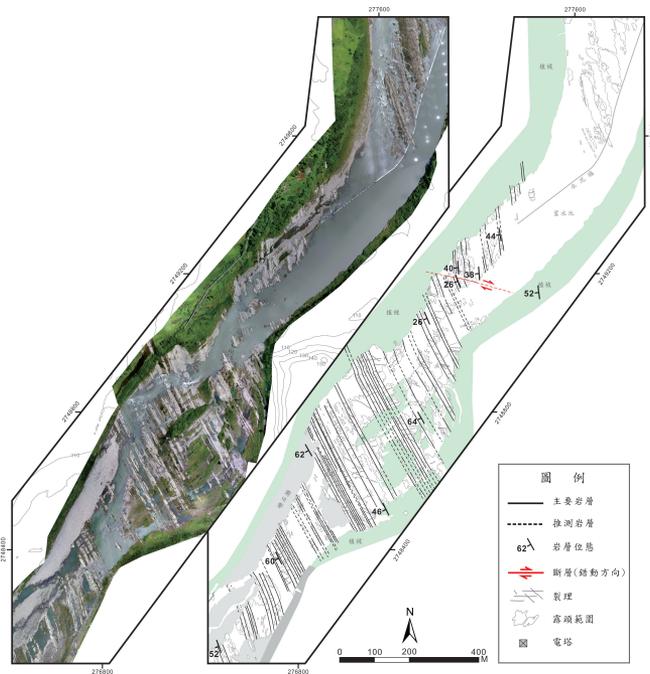
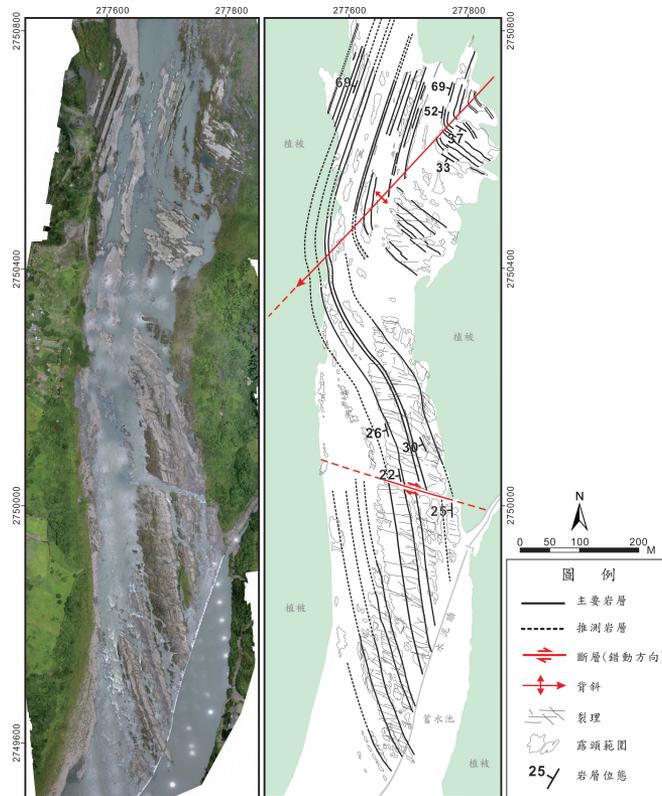
圖版 1 至 4 為調查區 B 至 H 之河床空拍正射影像及構造解釋圖(索引圖請見圖 2)。完整的空拍正射影像圖檔可於以下網站連結中點閱及下載：  
[http://geomech.ncu.edu.tw/06\\_Achievement/AchiUAV.html](http://geomech.ncu.edu.tw/06_Achievement/AchiUAV.html)



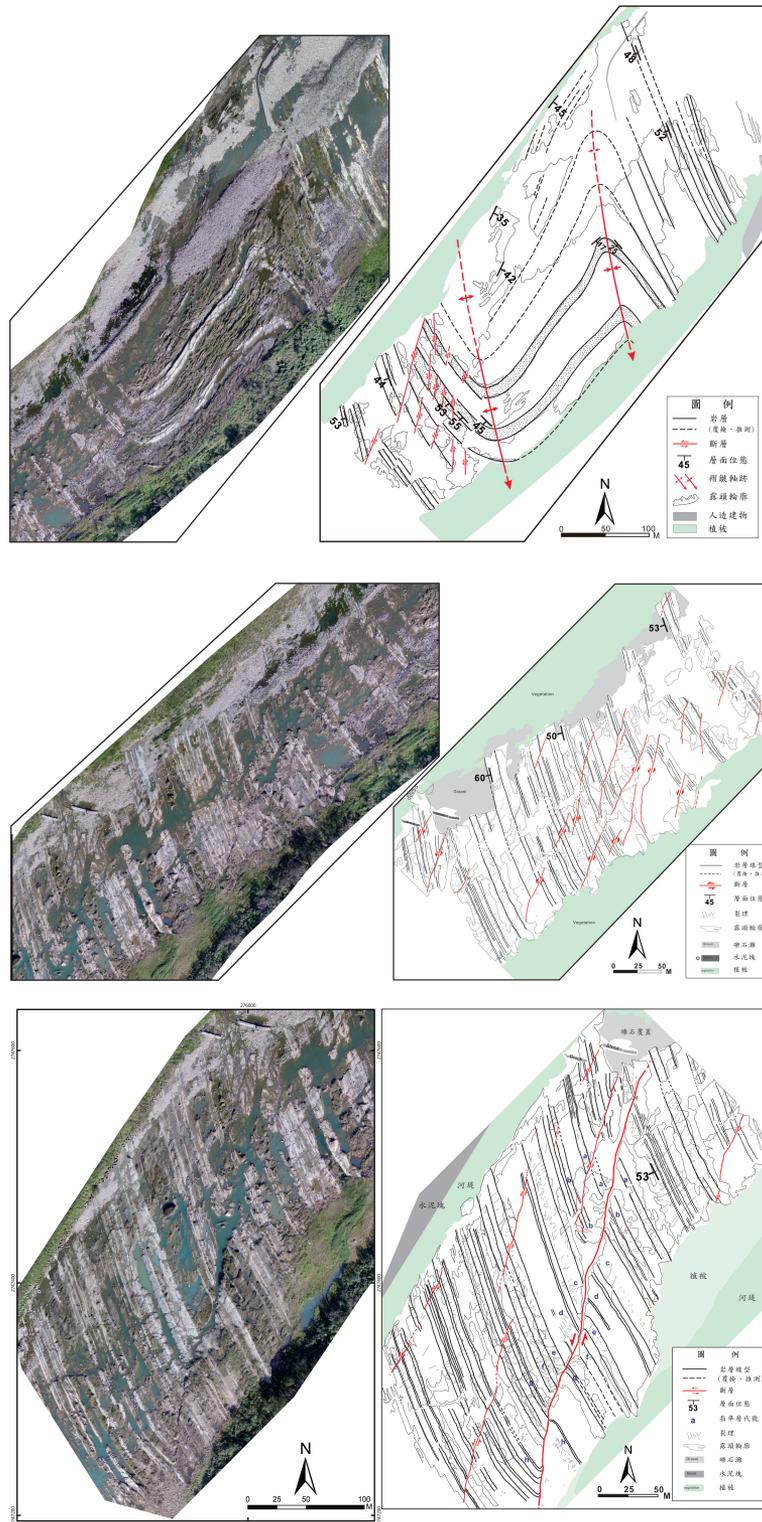
圖版 1 調查區 B(上圖)與調查區 C(下圖)。



圖版 2 調查區 D(上圖)與調查區 E(下圖)。



圖版 3 調查區 F(上圖)與調查區 G(下圖)。



圖版 4 調查區 H-I(上圖)、調查區 H-II(中圖)與調查區 H-III(下圖)。

## Study of Structural Relationship between the Mesoscopic Geological Structures along the Dahan Riverbed and the Daxi Anticline in Taoyuan

Shu-Jui Fan<sup>1</sup>, Wen-Jeng Huang<sup>1,2</sup> and Wei Lo<sup>3</sup>

### ABSTRACT

The Daxi Anticline, a frontal structure of Western foothills in NW Taiwan, dominates the distribution of strata in Daxi area, Taoyuan. With its half-wavelength of 4-5 km, the asymmetrical, west-verging anticline is comparable to those produced by fault-propagation folding in view of its geometrical features. The down cutting of Dahan River resulted in multi-step terraces along its two banks and exposure of the west limb strata of Daxi Anticline on its riverbed incorporating Miocene (Nankang Formation) to Pliocene (Yangmei Formation) strata. The study aims to investigate the spatial distribution of the mesoscopic geological structures on the riverbed of Dahan River and to trace the sequence of their formation. With field observation and documentation, the riverbed exposures are mapped and collated into structural geological maps. In addition, extensive coverage of rock exposure along the river is recorded via UAV photogrammetry and ortho-images with a 5-centimeter ground sampling distance generated using Pix4Dmapper software. Integrating modern techniques into field work, geological survey becomes much more efficient and precise. Our results show that parasitic folds, faults and fractures are the mesoscopic structures formed in sequence on the riverbed. The parasitic minor folds and Daxi Anticline appear to be congruous as both in general plunge to the south. A series of the minor folds develop in Kueichulin Formation with a half wavelength of 500-600 meters, and an S-shaped minor fold with a half wavelength of 150 meters is found exposed in Yangmei Formation. Conjugate sets of strike-slip faults displace the strata in Nanchuang Formation; the acute angle of the conjugate faults is approximately 60°, and the strike separation of the faults ranges from tens of centimeters to several meters. Another set of high-angle-dipping, sinistral strike-slip faults strike 010° to 040° and displace the strata in Kueichulin Formation and Yangmei Formation. The faults commonly extend about tens to hundreds of meters in length, and their strike separation reaches several meters. A set of fractures strike 080° to 110° in upper Kueichulin Formation, Chinshui Formation, and Yangmei Formation. According to the age of undeformed terrace overlying the anticline, it is quite likely that Daxi Anticline became inactive earlier than 4.7 thousand years ago.

**Key words:** Mesoscopic geological structures, Daxi Anticline, Dahan River

1. Department of Earth Science, National Central University
2. Institute of Applied Geology, National Central University
3. Institute of Mineral Resources Engineering, National Taipei University of Technology