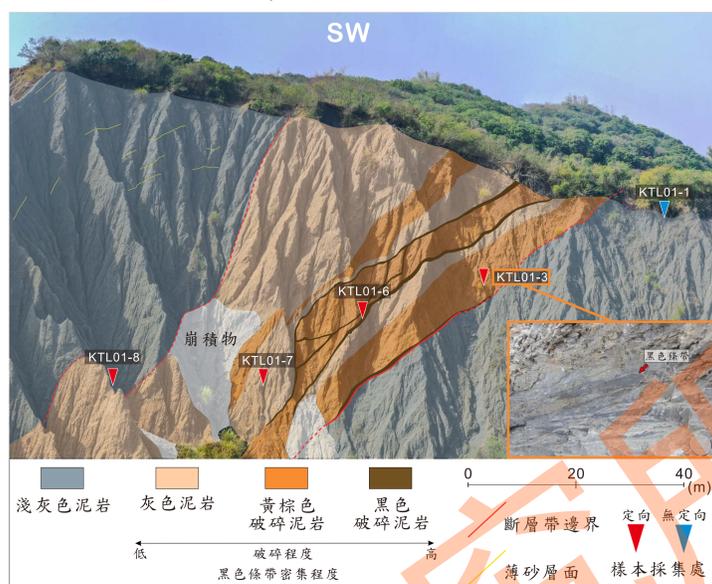


圖一、車瓜林斷層區域地質圖。紅色斷層跡突顯車瓜林斷層，黃色星號為採樣露頭點，藍色星號為岩心鑽取點。(改繪自地調所旗山圖幅[2013]；車瓜林斷層跡對彙與林啟文[2021])

摘要

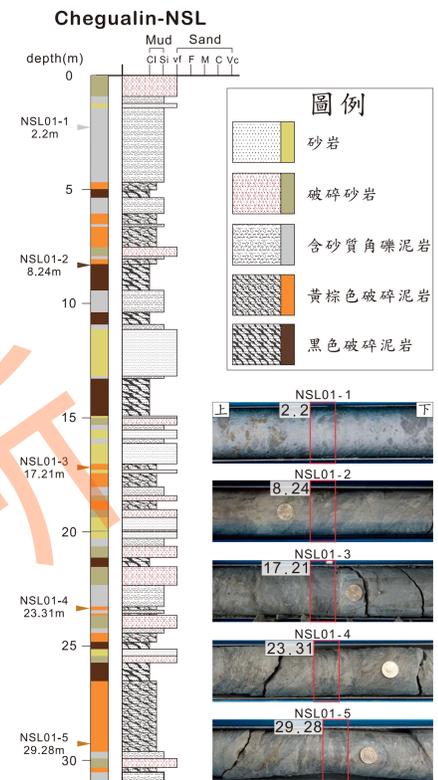
車瓜林斷層位於臺灣西南部，為東傾的逆移斷層，其斷層跡主要分布於厚層泥岩所組成的古亭坑層中(圖一)；然而泥岩容易受到冲刷侵蝕使斷層活動產生的線型崖不易保存，使依據地形推測斷層跡分布有其難度，而前人(陳新翰, 2021)根據野外調查觀察到在大地測量顯示有明顯地表變形的地方，露頭存在水平寬度數十公尺且呈現較深顏色的寬帶，而寬帶內的岩石含有公厘至公分寬的黑色條帶，經由觀察認為此產狀差異由斷層作用造成，可表示車瓜林斷層的斷層跡。然而缺乏微細構及礦物組成觀察，對於車瓜林斷層帶的變形機制了解程度有限，因此本研究本研究基於前人於車瓜林斷層露頭進行地質剖面開挖後於中視尺度下對斷層帶的岩體單元分類，分別在斷層露頭(露頭位置標示於圖一黃星)及斷層岩心(鑽取位置標示於圖一藍星)採集不同岩體單元樣本，進行微細構觀察及礦物組成分析，比較斷層帶內不同岩體單元在微細構及礦物組成的差異，以了解車瓜林斷層的變形機制。

採樣位置及研究方法



圖二、斷層露頭(露頭點標示於圖一黃星)及採樣位置。本研究以第一道黑色條帶出現位置為斷層帶及岩體邊界，於下盤採集岩體樣本，斷層帶內採集含有黑色條帶(右下角小圖)的斷層岩，並利用黑色條帶位態進行定向。(岩體單元及分布位置參考自陳新翰[2021])

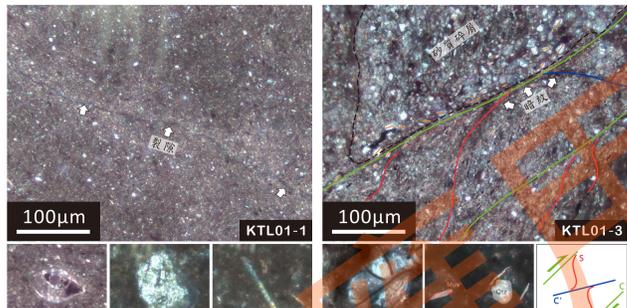
本研究參考陳新翰(2021)所使用的岩體單元分類，分別於斷層露頭(圖二)、岩心(圖三)採集岩體及斷層岩(含有黑色條帶)樣本；樣本製成岩石薄片以偏光顯微鏡、掃描式電子顯微鏡(SEM)進行微細構觀察，礦物組成分析則利用岩石粉末進行X光繞射分析，觀察各岩體單元的全岩、黏土礦物含量及礦物結晶度變化，另外也利用同步X光繞射分析來觀察黑色條帶內是否有非晶質材料存在。



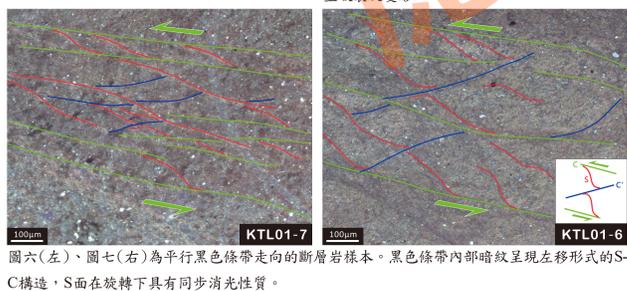
圖三、斷層岩心(鑽取點標示於圖一藍星)及採樣位置。左圖為岩心柱及對應的岩體單元，深度軸標有採樣位置；右圖則為採樣位置岩心段照片，岩心樣本均無定向。

結果與討論

偏光顯微鏡

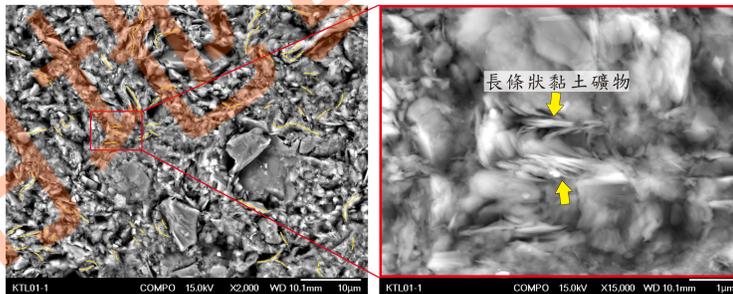


圖四、圖岩樣本。礦物分布均勻且大多未受變形。圖五、垂直黑色條帶走向的斷層岩樣本。黑色條帶具有逆移形式的S-C構造，且內部顆粒產生破裂及變形。

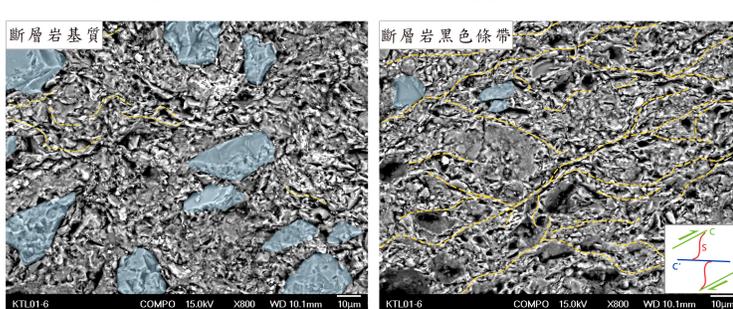


圖六(左)、圖七(右)為平行黑色條帶走向的斷層岩樣本。黑色條帶內部暗紋呈現左移形式的S-C構造，S面在旋轉下具有同步消光性質。

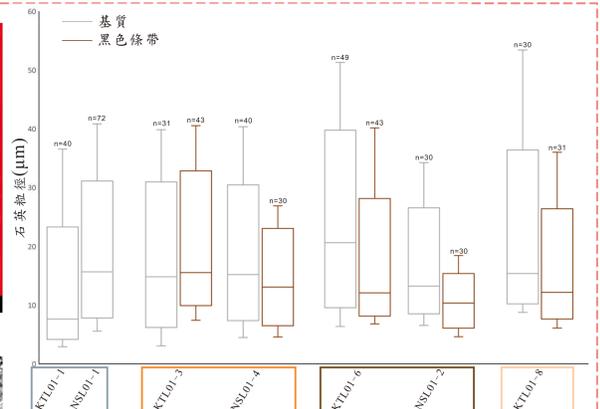
SEM



圖八、圖岩的基質SEM影像。可觀察到內部的黏土礦物排列(黃色虛線)隨機無特定方向性。



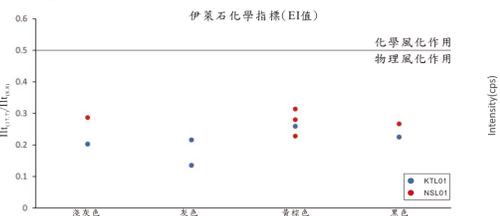
圖九、斷層岩的SEM影像。基質中(左)黏土礦物排列延續性低，黑色條帶中(右)黏土礦物主要沿C、C'面產生順向排列，也能在部分位置觀察到沿S面所產生的排列。



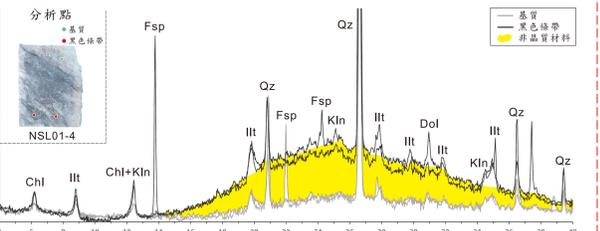
圖十、個樣本中的石英粒徑分布。黑色條帶內石英粒徑有細化現象，在破碎程度與黑色條帶密集程度最高的黑色破碎泥岩(KTL01-6、NSL01-2)中細化程度相對明顯。

相較於圖岩(圖四)，斷層岩中黑色條帶內部礦物顆粒破裂變形(圖五)，黑色條帶內暗紋分布形成S-C構造(圖六、七)，於SEM下可觀察到暗紋由黏土礦物順向排列所構成(圖八、九)，且黑色條帶粒徑產生削減(圖十)，指出黑色條帶為岩體受到剪切變形時主要的變形帶，其密集程度可表示岩體的變形程度。變形機制以黏土礦物順向排列所產生的摩擦滑動(frictional sliding)為主，並且伴隨著碎裂作用(cataclasis)產生粒徑削減。

X光繞射分析

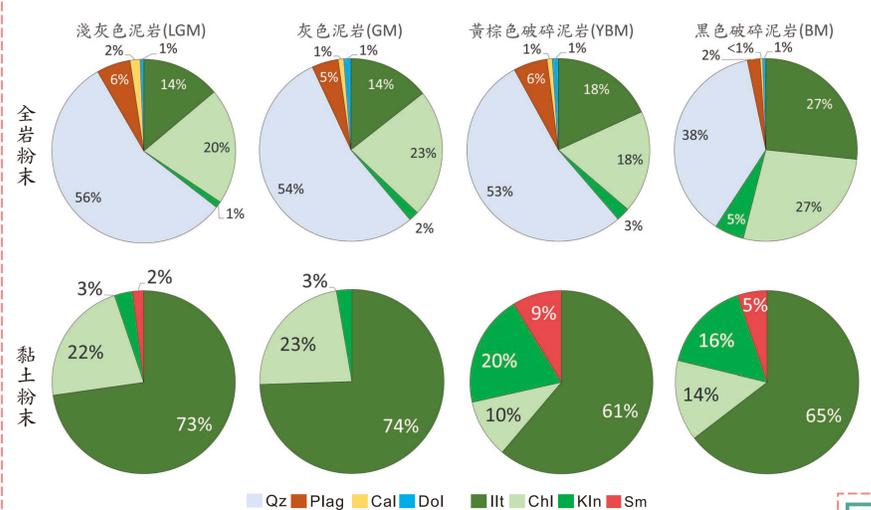


圖十二、樣本EI值均小於0.5且圖岩及斷層岩間並無明顯變化，指伊萊石受到化學作用(岩水反應)的影響有限。



圖十三、同步X光繞射顯示斷層岩中黑色條帶與基質的礦物組成相似，而15°~40°2θ之間的背景值(黃色標示區域)指出黑色條帶中存在非晶質材料。

礦物組成分析觀察到黏土礦物含量在黑色破碎泥岩中大幅增加，且相較於黃棕色破碎泥岩，黑色破碎泥岩中伊萊石增加膨潤石則減少(圖十一)，指出可能有膨潤石-伊萊石礦物相變發生，然而伊萊石的EI值在斷層岩中並無明顯增加(圖十二)，並沒有斷層作用所引發的膨潤石-伊萊石礦物相變；在變形程度較高的斷層岩中石英含量明顯減少而高嶺石增加，因此推論斷層帶內有岩水反應發生，由黏土礦物受斷層作用脫水所產生的液體將易溶性礦物消耗，使黏土礦物含量被動增加；同步X光繞射結果指出斷層岩的黑色條帶含有非晶質材料，非晶質材料在近地表形成後容易與水反應轉變為黏土礦物(Yund et al., 1990; Wu et al., 2020)，因此非晶質材料的存在顯示礦物非晶質化在斷層帶內持續發生，可能與車瓜林斷層的持續性潛移活動有所關聯。



圖十一、礦物半定量結果。全岩粉末半定量結果顯示，在破碎程度越高、黑色條帶越密集的斷層岩中黏土礦物(Ill, Chl, Kln)相對含量增加；黏土粉末半定量結果顯示圖岩中存在少量膨潤石，破碎程度較高的黃棕色、黑色破碎泥岩皆含有較多的膨潤石及高嶺石，指出斷層帶內有液體所引發的岩水反應。Qz: 石英、Plag: 斜長石族、Cal: 方解石、Dol: 白雲石、Ill: 伊萊石、Chl: 綠泥石、Kln: 高嶺石、Sm: 膨潤石。

結論

- 黑色條帶為斷層作用下透過摩擦滑動並且伴隨碎裂作用產生，其密集程度可作為斷層帶內的變形程度指標，顯示斷層帶中的應變並非均勻分布，而黑色破碎泥岩分布位置指出斷層帶中有相對較大應變的位置。
- 礦物組成分析顯示黏土礦物相對含量隨岩體變形程度增加而提高，主要為斷層作用引發的岩水反應使黏土礦物保留而相對增加；而黑色條帶中的非晶質材料產生則可能與車瓜林斷層的持續性潛移有關。