

鳥瞰東北角萊萊地質區

文◎ 謝承恩、尤芊翔

早期如果人類要看地球，必須透過飛機或人造衛星等載具，費用較高；然而無人飛行載具的普及，使人們以超低的成本，用「鳥的視野」看世界！而從空中看東北角萊萊地質區又會帶來怎樣的感受？且看本文怎麼說！

定翼型無人機 vs. 旋翼型無人機

無人飛行載具(Unmanned Aerial Vehicle，縮寫UAV)，簡稱無人機，若以機型種類作為分類的依據，大致可分為「定翼

型」與「旋翼型」二種。簡單來說，定翼型就像一般我們所搭乘的客機一樣，續航力長（1至2小時）、抗風能力較高且載重較重，但缺點是需要適當跑道進行起降及較高端的操作技巧；旋翼型就像一般的直升機，能懸停於

空中定點執行任務，機動性高、定位精準，且起降操作較為容易，但由於旋槳一直處於動作的狀態，耗電量較大，因此續航力相對較差（約15至20分鐘）。就操作容易度而言，旋翼型無人機更適合初學者作為入門工具，配



旋翼型無人機各優勢比較圖，旋翼型無人機充分展現高機動以及低成本的特性，常用於災區勘災、地形測繪、地質測繪等用途。

謝承恩

國立中央大學應用地質研究所畢業。

合高解析度之數位相機(Digital camera)等器材，可作為地質調查的先驅工具，例如：進行區域性的地質構造測繪。

地質構造測繪

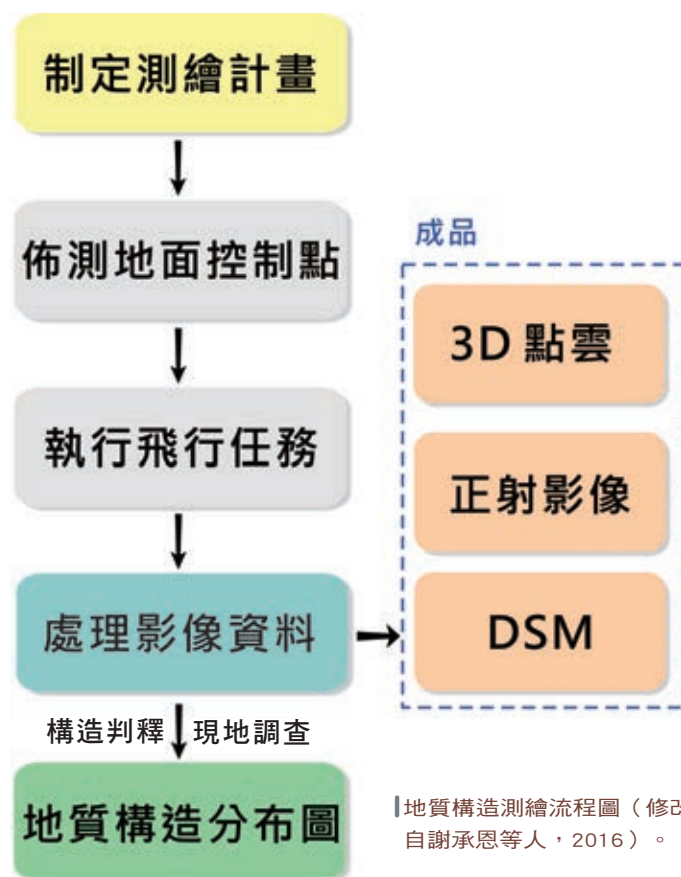
在帶領各位悠遊東北角萊萊地質區前，先來瞭解一下什麼是「地質構造測繪」。測繪包含「測量」以及「繪製」，地質構造測繪就是將可見之地質構造，如層面、裂隙、節理、斷層、岩脈等地質構造詳細記錄之。

傳統的程序是以人力在地面拉線的方式設置固定大小網格，地質師在露頭面依照網格所賦予的比例大小，詳細地素描記錄。但此方法對於面積較大的露頭或是一完整的溪流流域等面積較廣的範圍，調查曠日廢時，且人力成本較高；若採用旋翼型無人機掛載高解析度相機輔助，將可節省調查的日數及各項人力成本，在國內外應用愈來愈廣泛！

完整的無人機地質構造測繪程序包含：(1)制定測繪計畫；(2)地面控制點佈設、測量；(3)飛行任務執行；(4)影像資料處理；(5)地質構造判釋。



傳統地質測繪拉線法現場圖，在UAV不普及的年代，地質調查者常在需要記錄的露頭區域，設置固定大小的網格（如圖中紅藍線）進行細部調查記錄，測繪成果之精度較差，且過程耗時又費人力。現以UAV進行測繪，除了更快速且機動性高之外，對於地質構造分布的精度更能有效掌握。

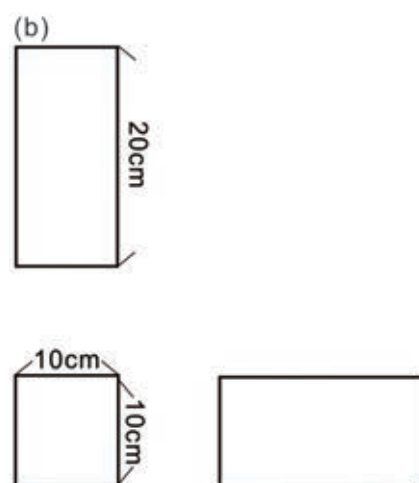
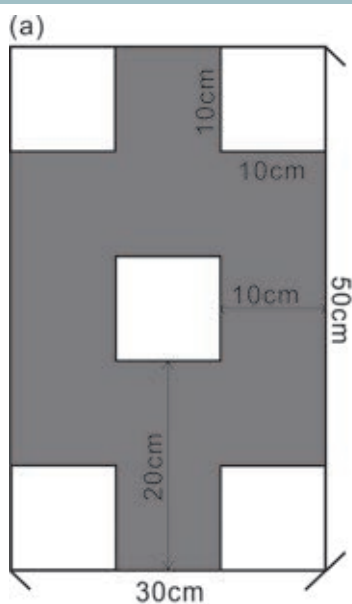


地質構造測繪流程圖（修改自謝承恩等人，2016）。

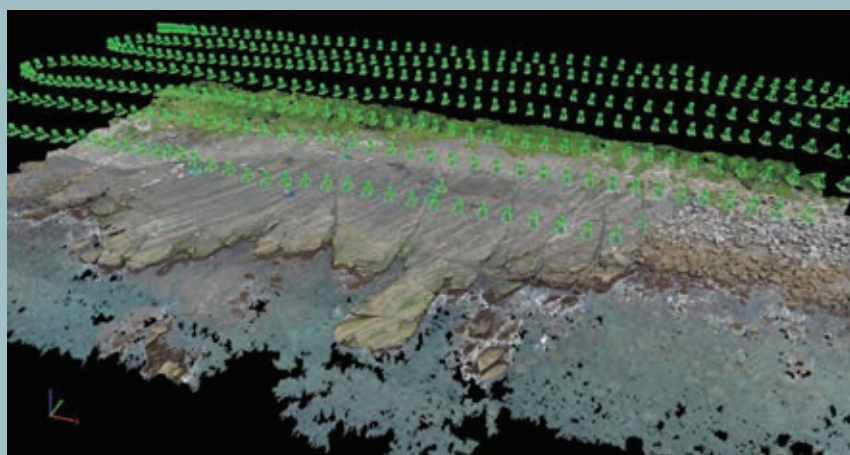
設置地面控制點的重要性

市售搭載相機之無人機已將全球衛星定位系統（Global Positioning System，縮寫GPS）坐標融入每張照片之中，為何還需以地面測量的方式設置地面控制點？原來是為了提高圖幅影像的精度所設置，因無人機上的GPS誤差範圍約5公尺，對於大比例尺且精細之地質測繪而言，5公尺的誤差足以造成構造判釋的錯誤，故我們常以即時動態衛星技術（Real-time kinematic，縮寫RTK），獲取高精度的地面控制點坐標，約制測繪成品的誤差大小。

此外，每次測繪的成品包含了三維點雲模型(3D point clouds)、正射影像(Orthoimage)、地表數值地表模型(Digital surface model, DSM)等，能應用於諸多的地質科學研究，在課堂上能重現野外較真實的面貌，讓學生快速學習；或是作為工程規劃初期的參考依據模型，並可於軟體內直接丈量目標物的尺寸或是體積大小。



地面控制點測量情形與航空標種類示意圖，(a)板型框標，攜帶方便，適用於地形不易噴漆之區域；(b)L型噴漆框標，直接以噴漆或是油漆於地面做記號。



3D點雲與航拍照片圖，地面彩色畫面為3D點雲組成，畫面上方綠點為無人機於空中所攝照片實際位置。

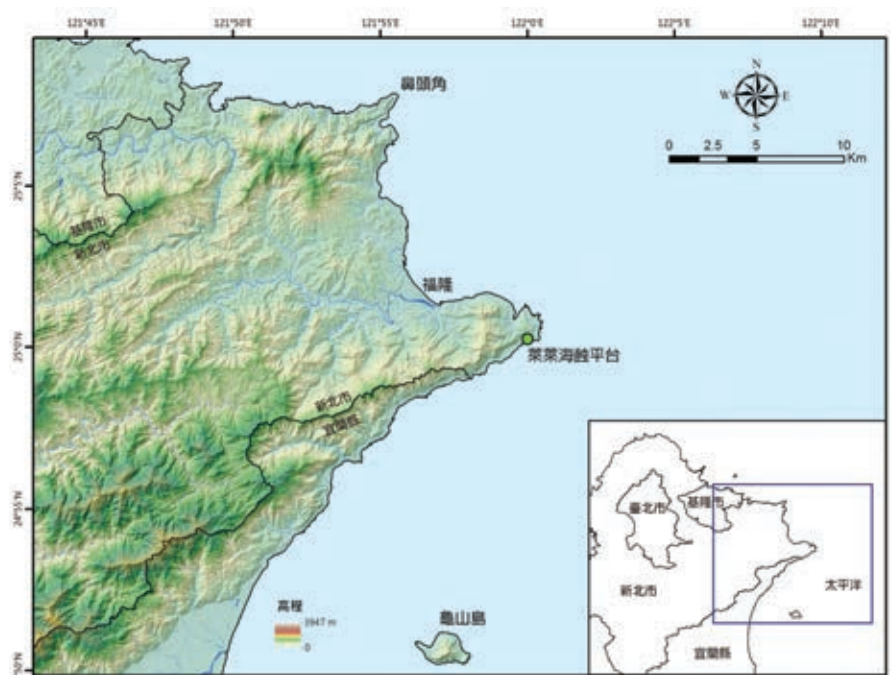
東北角萊萊地區地質簡介

臺灣東北角萊萊海蝕平台位於臺灣本島的最東邊，台2線109.5K處，海蝕平台出露之岩層，乃由低度變質之灰黑色硬頁岩及砂岩層組成。此外，平台上出露圍牆貌的鹼性玄武岩脈。

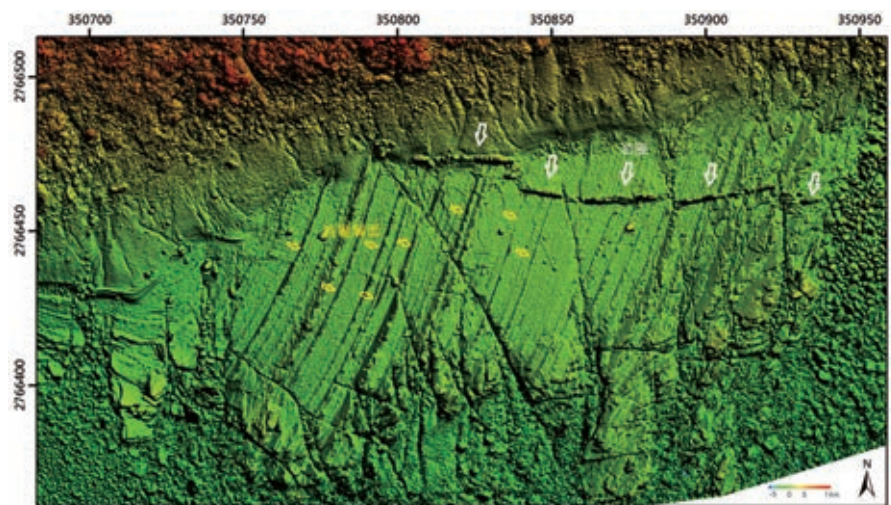
萊萊海蝕平台的地質構造

從DSM上可見萊萊海蝕平台地勢平緩，南北向寬度最大150公尺，平台海陸兩側高差約為2公尺，向南邊緩慢傾斜。平台面上東西向條紋是玄武岩脈，是整個海蝕平台上最醒目的地標，最高可達3公尺，如圍牆一般。另外，平台面所見的東北—西南向的平行條紋是一層一層的岩層，因為岩性不同所造成的差異侵蝕，導致硬頁岩凹陷、砂岩層突出。

經過現地調查、判釋正射影像上的線形和構造，岩脈分為19塊斷塊（編號A至S），彼此之間沒有互相連接，其中11處中斷處是被斷層I至XI錯開所造成的，A、C岩脈中斷處則是過去岩漿侵入的終點，其餘中斷處是受海岸沖積物掩埋。再來看平台上的斷層及裂隙，由於海蝕作用興盛的緣故，裂隙大多以海蝕溝的形貌呈現；而截切岩脈的南北向斷



萊萊海蝕平台位置及臺灣東北角數值地形圖，萊萊海蝕平台近臺灣最東邊，鄰近基隆、鼻頭角等東北角觀光區。



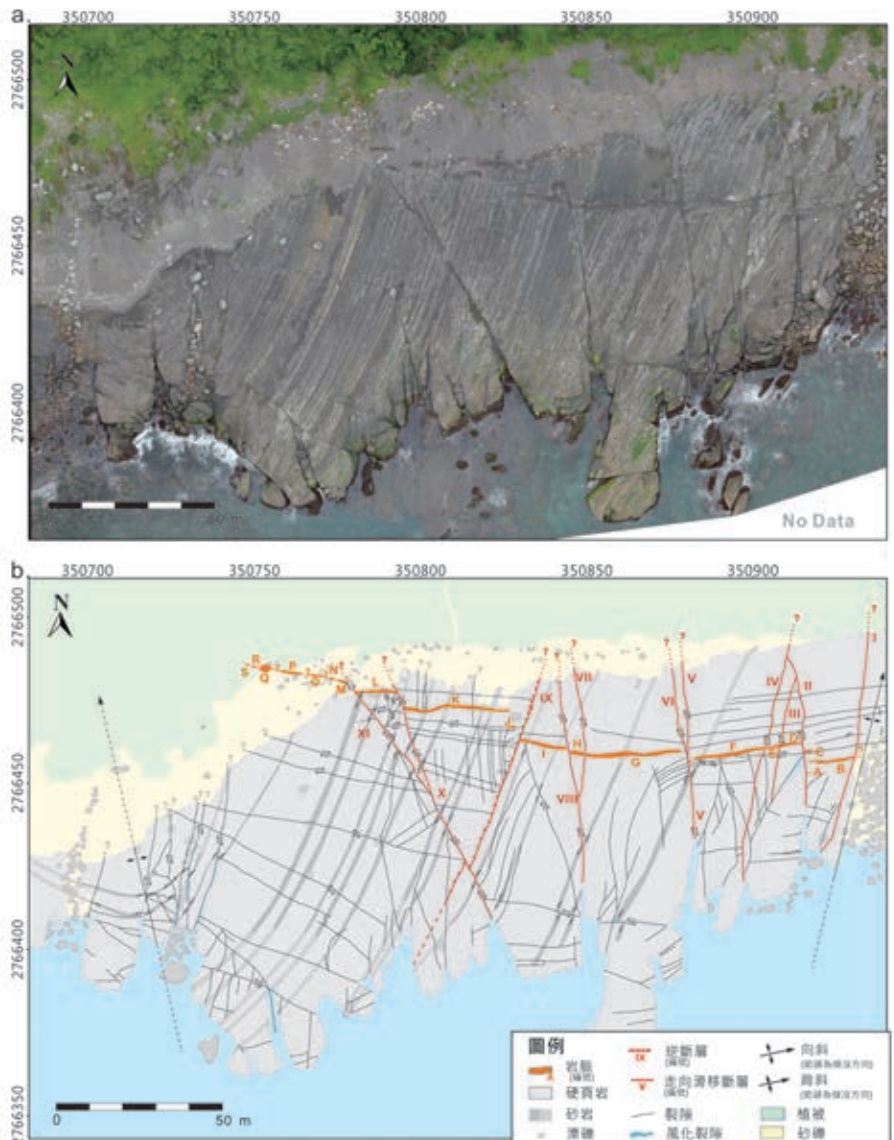
萊萊海蝕平台紅藍高程DSM示意圖，白色箭頭所指為岩脈位置，顯見其凸出於地表；黃色箭頭標示為岩層層面。詳細構造地質圖請參考萊萊海蝕平台全區地質圖（第26頁）。



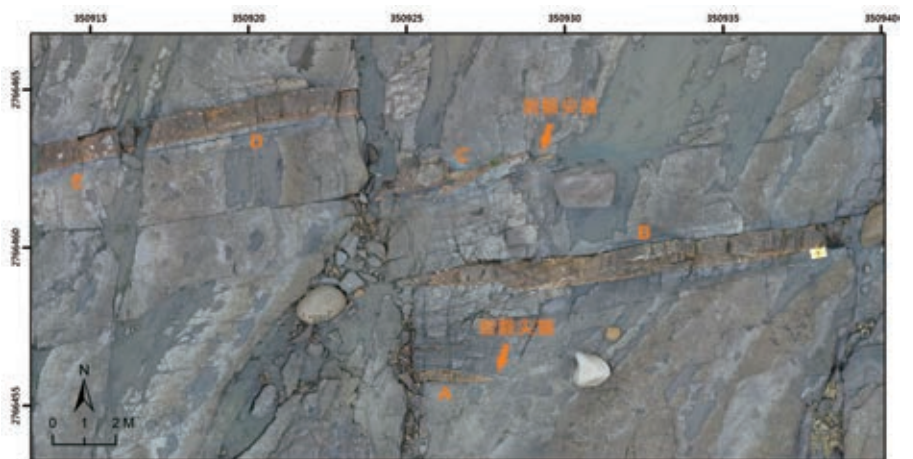
如牆阻之鹼性玄武岩脈展示（3D點雲），岩脈以接近垂直聳立於地表如牆一般。

層，由東至西依序為斷層I到XI，這些斷層除了切穿、錯動岩脈（最大錯距可達5.5公尺），還貫穿整個海蝕平台，在正射影像及DSM上即可輕易地分辨出來。其餘還可以看到一系列的東西向節理組，但分布較為局部，在本文不多做贅述。再來，呈北北東—南南西走向的帶狀彎曲線形，伴隨著深淺不一的顏色為不同岩性的岩層，地層於平台西側呈現開口朝北的V字形。過去此處岩層受到造山運動作用而褶曲，深色為突出的砂岩層，淺色為凹陷的硬頁岩層，由於歷經多次海水漲退潮及蒸發作用，白色的鹽結晶沉澱於凹陷處，使硬頁岩層顏色較砂岩層淺。

由於岩脈高度可達2公尺，除了以人力爬至岩脈頂部記錄細部構造外，輔以低空拍攝的高解析度正射影像與立面影像判釋構造。本文挑選岩脈上構造較為豐富之G岩脈段，展示高精度及高解析度的調查成果。由正射影像顯見，G岩脈被一系東西走向的走向滑移斷層切割成類併置構造(duplex-like structures)，使G岩脈可分為G1至G7七段似肌肉細胞狀的小岩脈，且各走向滑移斷層的錯動量為數公分到數十公分不等。而位於G岩脈的東側及西側，岩脈分別被斷層VI及斷層VII截切，再從立面圖可見岩脈內部一系列南北走向、傾角向西的逆斷層分布於岩脈中，同時截切底部硬頁岩。



萊萊海蝕平台全區地質圖（修改自尤芊翔等人，2016）。



岩脈A至E近照（解析度1.45公分／像素），如箭頭所指，顯見該二處為岩脈A、C之岩漿入侵終點處。

未來展望

旋翼型無人機應用於地質測繪，配合傳統地表地質調查，是未來地質調查普遍且較為省力、快速的探查方式。測繪成果精度可達43公分，相較於傳統地質測繪方式更為精確；三維展示的方式更能使課堂學生或一般民眾快速瞭解野外實際情形，若作為

科學研究用途，更能直接於軟體內測量目標物的長寬高或是體積等，十足方便且精確。然而，目前的旋翼型無人機的動力來源是電力，續航力有其限制，一次約莫只能飛15至20分鐘，未來若有續航力更好的無人飛行載具，或更高解析度的相機，有效率地產出更高精度的地質調查成品，且讓您我一同期待。

誌謝

特別感謝國立中央大學應用地質研究所地質力學研究室提供無人飛行載具等研究器材，以及良好的研究環境幫助我們順利完成研究。同時感謝指導教授黃文正教授的指導與教誨，使本篇能夠順利出刊。

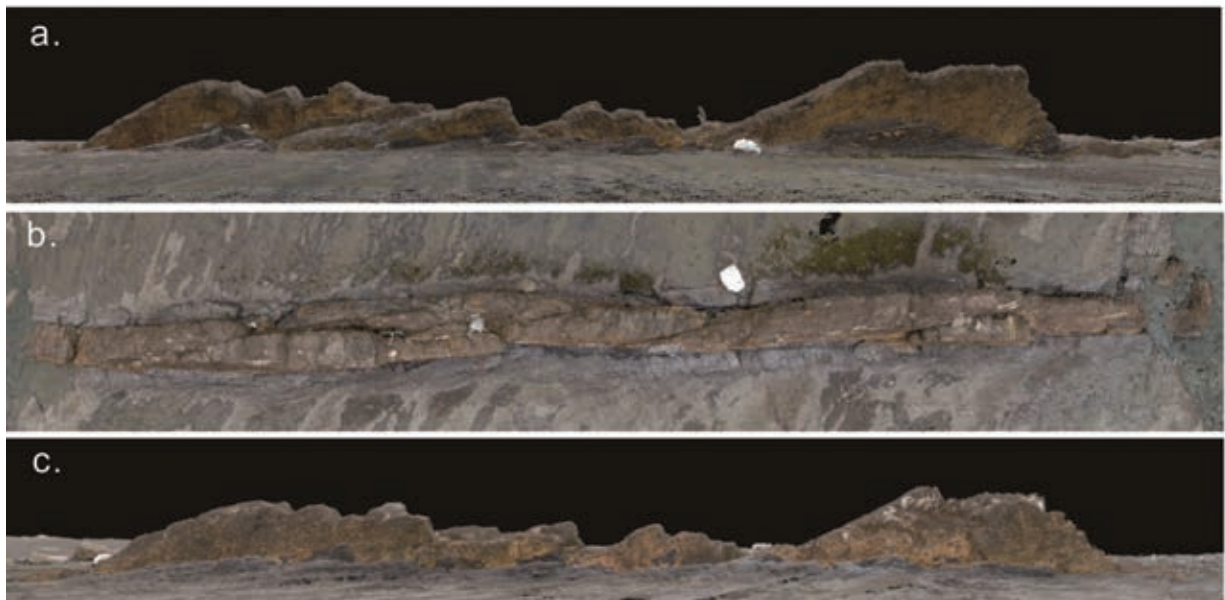


圖1 岩脈G構造俯視圖與立面圖，(a)北立面鏡射立面3D點雲影像；(b)俯視3D點雲影像；(c)南立面3D點雲影像。

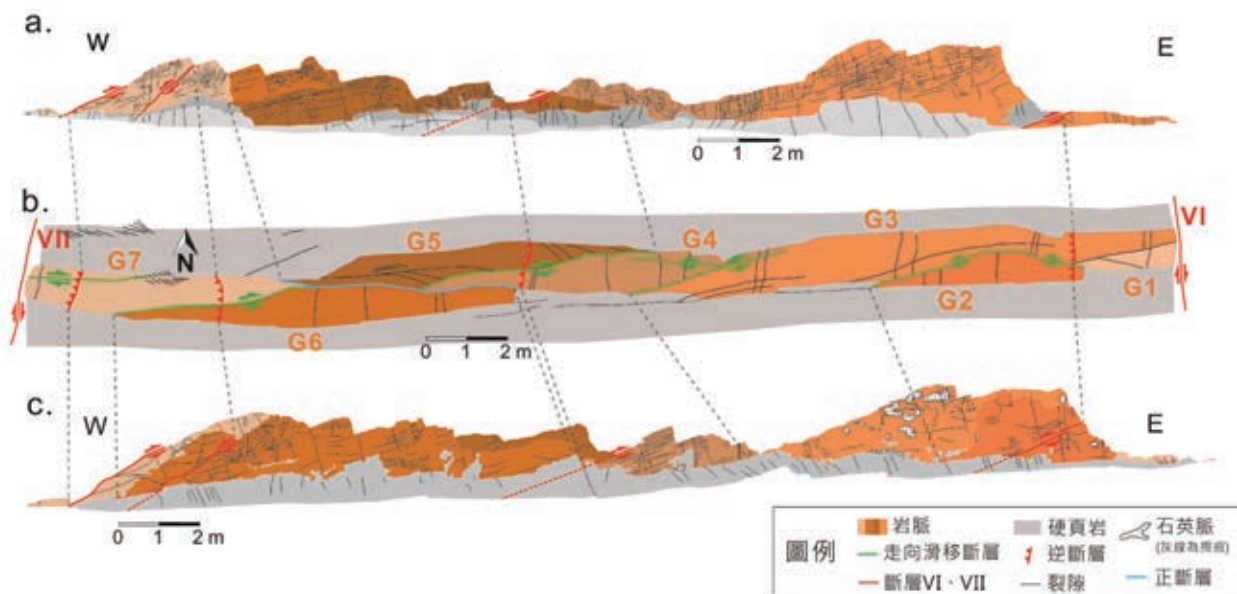


圖2 經野外調查以及立面影像判釋之岩脈G構造圖（修改自尤芊翔等人，2016）。