

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會
作品說明書

高級中等學校組 地球與行星科學科

第一名

051908

從臺灣中部地區彰化斷層之斷層地形探討其活動特性

學校名稱：臺北市立中山女子高級中學

作者： 高二 廖培忻	指導老師： 張淵淑
---------------	--------------

關鍵詞：彰化斷層、斷層崖、1848 年彰化地震

得獎感言

彰化斷層既有趣又神秘，由於資料缺乏，科學家對其了解有限，然而它可能曾經引起彰化地震，也通過了中部的都會區，當我第一次閱讀斷層相關文獻時，彰化斷層便深深吸引了我。確立研究目標後，我開始進行研究，為期約一年，研究包含了多個步驟，地形分析、實地測量、數據處理，至最後的報告撰寫，一路上跌跌撞撞，遇到了不少瓶頸，但我成功克服困難，完成了一份研究。我想感謝一路上給我幫助的每一個人，指導老師、指導教授、研究室的學長姐們，以及支持我的父母、老師、同學們，謝謝你們的付出、鼓勵、信任，讓我能無後顧之憂地做研究，也順利產出自己相當滿意的成果。做研究是一條艱辛的路，卻能從中學習並有所成長，包括科學態度及方法、個人時間分配與情緒管理，而我也很享受研究過程，即便容易感到辛苦，在解決問題後，總能獲得滿滿的成就感。此外，很高興能對彰化斷層進行研究，現在我對它有了更多的了解，也希望能透過這份作品，讓更多人認識彰化斷層。我完全不後悔投入心力做這份研究，若未來還有機會，希望能在這方面進行更深入的探討，此外，我也鼓勵對自然科學有興趣的同學們，可以嘗試投入科學研究，這樣的過程能讓自己成長很多，或許也能有令人意想不到的收穫，世界上還有很多未知等待我們探索，期待科學研究的風氣在未來能更加興盛。



我正在使用標竿，上方的稜鏡搭配全站儀能建構斷層崖地形剖面圖。

摘要

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界處，活躍的板塊運動讓臺灣分布許多活動斷層，而活動斷層錯動時常引發災害型地震。根據歷史文獻記載，西元 1848 年臺灣中部曾發生一次災害型地震，稱為彰化地震，在中部地區造成嚴重災情。鄭世楠（2015）的研究推論此地震可能為彰化斷層錯動所引起，其震矩規模約為 7.2。

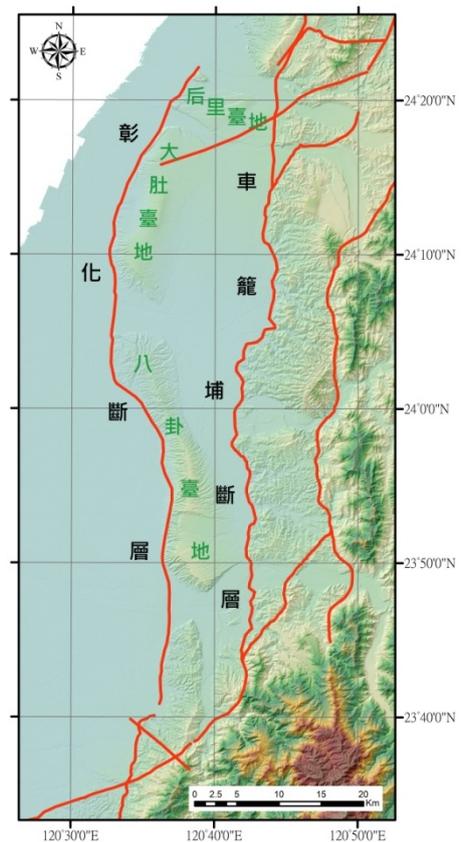
本研究分析數值高程模型找出彰化斷層可能出露位置及斷層地形，並實地測量地形高度進而推算斷層一次錯動的抬升量與地震規模。根據測量與計算結果，彰化斷層一次錯動的可能抬升量約 0.7 公尺，對應震矩規模 7.28 的地震事件，亦與鄭世楠（2015）推估的震矩規模相似，故可以佐證彰化地震很有可能為彰化斷層錯動產生，該次事件抬升量約為 0.7 公尺。

壹、研究動機

臺灣位於歐亞板塊與菲律賓海板塊交界處，活躍的板塊運動讓臺灣本島分布許多活動斷層，而活動斷層的錯動時常引發災害型地震，例如車籠埔斷層曾於 1999 年 9 月 21 日引發震矩規模 7.6 的地震。

在車籠埔斷層西邊，有一條彰化斷層，它位於后里臺地、大肚臺地及八卦臺地的西緣（圖一），為向東傾斜的逆斷層，約於 10 萬~20 萬年前形成，是臺灣中部最年輕的斷層。根據文獻記載，西元 1848 年在臺灣中部曾發生一次災害型地震，歷史上記錄為彰化地震，當時於彰化、鹿港地區造成巨大災害，有學者根據相關資料推論此次地震可能為彰化斷層錯動所引起（鄭世楠，2015）。

中央地質調查所（2017）將彰化斷層分類為第一類活動斷層，即過去一萬年內曾有活動的跡象。但因其在地表出露位置未定，故被認定為盲斷層。雖然彰化斷層



圖一、臺灣中部地形與構造圖，斷層位置由台灣地震模型 (Taiwan Earthquake Model, TEM) 繪製。

為盲斷層，但仍為第一類活動斷層，且橫跨臺中、彰化都會區，斷層總長度約 80 公里，若斷層錯動可能會為中部帶來災害型地震。

找出活動斷層於地表的分布有許多地形上的判斷方法，其中一種方式為藉由觀察地形偏移量找出活動斷層的地表位置，而地形偏移量搭配沉積物定年可以更進一步求得其滑移速率。有許多前人研究將其應用於水平錯動的走滑斷層，如美國的聖安德列斯斷層（Sieh & Jahns, 1984）與中國的崑崙斷層（Van der Woerd, Tapponnier, Ryerson, Meriaux, Meyer, Gaudemer, Finkel, Caffee, Zhao, & Xu, 2002），以研究活動斷層的平均滑移速率與一次地震事件的錯動量。此外，亦有前人針對逆衝斷層進行地形與滑移速率的研究（Hetzl, Tao, Stokes, Niedermann, Ivy-Ochs, Gao, Strecker, & Kubik, 2004），但比例相對較少。臺灣位於板塊碰撞帶，有許多逆斷層的分布與災害型地震事件的發生，但在臺灣尚未有相關研究是利用上述地形判斷方法推論斷層可能的一次事件錯動量。因此本研究嘗試透過地形分析找出彰化斷層可能的地表出露位置，並利用斷層崖高度的分布推算彰化斷層一次錯動的可能抬升量，與該抬升量造成的地震規模。

貳、研究目的

- 一、透過地形分析找出彰化斷層可能的地表出露位置。
- 二、實地測量年輕斷層崖的高度，透過高度分析推算彰化斷層一次錯動的可能抬升量。
- 三、推算彰化斷層一次錯動可能造成的地震規模。

參、研究設備及器材

一、地形分析

（一）ArcGIS：

ArcGIS 是一套可以執行輸入、儲存、查詢、分析和展示的地理資訊系統軟體，由許多的應用程式組件所組成，本研究主要使用 ArcMap 進行製圖、編輯、分析，以及使用 ArcCatalog 記錄屬性資料。

（二）網格間距 5 公尺的數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）：

數值地形模型（Digital Terrain Model, DTM）泛指一般數值地形資料，是以數值的方式來表示真實地形特徵的空間分布（圖二）。其中包含數值高程模型（Digital

Elevation Model, DEM) 以及數值地表模型 (Digital Surface Model, DSM)。本研究使用 DEM，其表現不含植被及人工建物之地表天然高程起伏面，而 DSM 則表示地球表面可見光無法穿透的最上層表面，包含建物及植被的最上層表面 (謝有忠，無年代)。

(三) Google Earth：

Google Earth 是一套虛擬地球儀軟體，可以呈現街景、地形、衛星圖、航照圖，以及路名、地名等資訊 (圖三)。



圖二、臺灣中部 DEM 影像。



圖三、臺灣中部衛星影像。

二、實地測量

(一) 全站式電子速距儀 (Electronic Total Station)、標竿及稜鏡：

全站式電子速距儀 (基準站) 簡稱全站儀 (圖四)，有水平、垂直、距離、高低測量功能，也可以進行記錄、儲存、計算，透過向固定高度之標竿 (測量點) 上的稜鏡發射雷射並接收反射光，得到儀器與測量點的相對位置 (捷成儀器，2011)。

(二) 雷射測距儀：

利用雷射光發射與接收反射回來訊號的時間差及相位差來測量儀器與掃瞄點之間的距離和角度 (圖五) (粘基非，2004)。

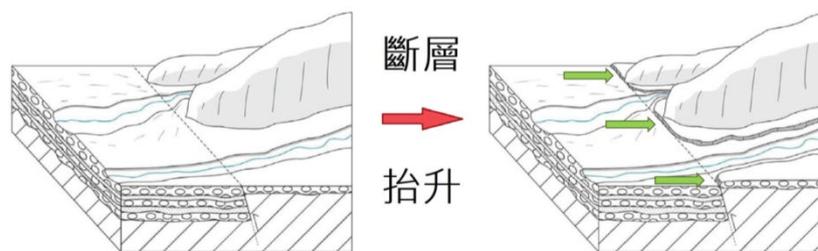


圖四、全站式電子速距儀、標竿及稜鏡。圖五、雷射測距儀（鴻宇光學，無年代）。

肆、研究過程或方法

一、地形分析

活動斷層錯動會使地表產生地形起伏，若該斷層近期發生垂直方向的錯動，在沖積平原上會出現台階狀的線性高度落差，稱之為斷層崖（fault scarp）（圖六），找出斷層崖的分布有助於推測斷層在地表的分布位置（Shyu, Chuang, Chen, Lee, & Cheng, 2016）。根據前人研究，彰化斷層是帶有逆衝分量的第一類活動斷層，因此近期的斷層活動可能會在地表形成明顯的斷層崖。本研究嘗試利用數值高程模型（Digital Elevation Model, DEM）找出彰化斷層斷層崖的分布，進一步推測彰化斷層在地表可能的出露位置。



圖六、斷層崖的形成示意圖（綠色箭頭所指的灰色區域為斷層崖）（Shyu et al., 2016）。

本研究先將臺灣西部 5 公尺網格間距的數值高程模型 DEM 匯入 ArcGIS 地理資訊系統軟體，觀察 DEM 影像的亮暗分布與繪製地形剖面圖，分析地形的坡度及高度以尋找后里臺地、大肚臺地、八卦臺地西緣可能的斷層崖地形。越低矮的斷層崖表示經歷的抬升次數越少，顯示可能為近期形成的斷層崖。但地形長時間受侵蝕或沉積物覆蓋，容易影響垂直方向上的測量結果，為避免此類無法確定之因素造成地形高度與真實累積抬升量差異過大，影響後續分析結果，同時也考量到未來進行測量的困難程度，因此本研究設

定要尋找的目標斷層崖高度在 20 公尺以下，以期能找出可能是近期地震事件產生的斷層崖。進行上述地形分析同時搭配 Google Earth 的衛星影像及街景進行比對，確認地形是否受到嚴重侵蝕、有較厚的沉積物覆蓋或受到人為建設破壞，用以排除非原生地形之處。本研究透過上述分析可以推測斷層線及斷層崖可能的位置，並在 ArcGIS 軟體中進行繪製及標示。

二、實地測量

本研究利用 DEM 尋找到斷層崖的位置後，至當地測量其高度。主要測量工具為全站式電子速距儀，並搭配雷射測距儀。

使用全站式電子速距儀進行測量時，首先將全站儀基準站架設在視野良好的地方，並確認測量點上的稜鏡不受遮蔽，可順利接收基準站發射出的光並反射回基準站，即可開始進行測量。持標竿者在垂直於斷層崖延伸方向的直線上進行測量，每行走約 15 步測量一次，有了測量點和基準站間 x（東西）、y（南北）、z（上下）三個維度的距離，記錄在全站儀中，可以建構斷層崖剖面的樣貌。而雷射測距儀可以快速求得斷層崖頂及崖底的高度落差，儀器誤差在 ± 0.1 公尺內，數據則使用野帳本記錄。

三、資料處理

（一）輸出資料

從全站儀輸出測量點與基準站的相對位置（單位：公尺），含 x（東西）、y（南北）、z（上下）三個方向的數值，記錄在 Excel 中。

（二）轉換坐標

基準站的經緯度坐標在測量時為已知數據，但測量點記錄到的數據是與基準站 x、y 方向的距離，因此需要利用大地坐標轉換公式將測量點與基準站 x、y 方向的距離單位由公尺轉換成經緯度的度數。在北緯 24 度，經度 1 角秒約等於 28.25 公尺，緯度 0.00001 度約等於 1.02 公尺 (Bala Wu, 2018)，經由下列公式進行換算：

$$\text{測量點經度坐標(度)} = \text{基準站經度坐標(度)} + \frac{\text{距離(公尺)}}{28.25(\text{公尺})} \times \frac{1}{3600}(\text{度}) \quad (\text{式一})$$

$$\text{測量點緯度坐標(度)} = \text{基準站緯度坐標(度)} + \frac{\text{距離(公尺)}}{1.02(\text{公尺})} \times 0.00001(\text{度}) \quad (\text{式二})$$

測量點的大地基準為 WGS84，是世界大地測量系統（World Geodetic System, WGS）最新定義的版本，通用於全球；但 DEM 底圖使用的大地基準為 1997 臺灣大地基準（TWD97），僅適用於臺灣。為了避免測量點匯入 ArcGIS 軟體後與 DEM 底圖不吻合，本研究使用國立成功大學水工試驗所大地坐標轉換程式（成功大學水工所，無年代）將 WGS84 轉換為底圖使用的 TWD97，記錄在 Excel 中。

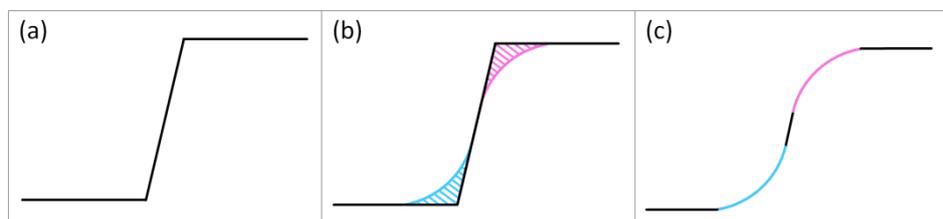
（三）繪製剖面圖

從 Excel 中輸出測量點的 TWD97 坐標文字檔，轉換成點的 shapefile（應用於地理資訊系統的檔案格式）後匯入 ArcGIS 軟體，接著在 ArcGIS 中將測量點投影到垂直於斷層崖延伸方向的直線上，匯出投影點的相對距離與高度資料至 Excel 繪製剖面圖，使用的圖表類型為帶有直線及資料標記的 XY 散布圖，以利直接觀察地形高低起伏的趨勢，而其橫軸代表投影點的相對距離，縱軸代表投影點的相對高度。

四、結果分析與計算

（一）求出斷層崖之高度

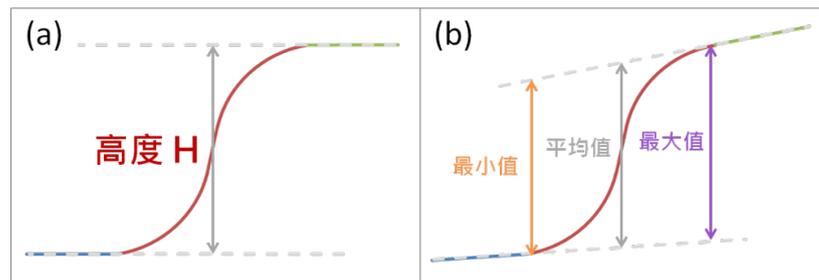
斷層錯動後，剛形成的斷層崖會有明顯的台階狀特徵（圖七(a)），但由於地形可能曾經受到些微侵蝕作用或有沉積物覆蓋（圖七(b)），而使其台階狀特徵變得較不明顯（圖七(c)），因此需要更進一步觀察其高低起伏的總趨勢，結合實地測量時觀察到的情形，以推測此地過去可能受到的影響。



圖七、(a)剛形成的斷層崖之剖面圖；(b)斷層崖受到侵蝕及覆蓋之示意圖（粉紅色斜線處為受到侵蝕而移除的地形，淺藍色斜線處為後來覆蓋的沉積物）；(c)受到侵蝕及覆蓋的斷層崖之剖面圖。

透過觀察剖面圖上資料點的連線斜率，將剖面圖總體中，連線斜率小的低處定為崖底，連線斜率小的高處定為崖頂，而兩者間連線斜率較大者定為崖面。本

研究使用 Excel 將崖底、崖頂的資料點加上線性趨勢線並延伸，建構其過去較原始的樣貌，重現更為明確的台階狀特徵。接著在崖面中點作一鉛垂線，使其與崖底、崖頂趨勢線的延伸相交，兩交點的高度差定為斷層崖可能的高度，數值取至小數點後第一位（圖八(a)）。由於部分斷層崖的崖底、崖頂之趨勢線斜率不相同，斷層崖的高度亦會隨作鉛垂線的位置有所改變，鉛垂線若通過崖面兩端點，得出的崖高為最大值與最小值，故本研究在崖面中點作鉛垂線，其崖高為兩極值的平均數，並將極值和平均數間的差距定為誤差，數值亦取至小數點後第一位（圖八(b)）。



圖八、(a)求斷層崖高度的方法示意圖（藍色虛線為崖底，綠色虛線為崖頂，紅色曲線為崖面，而灰色虛線為趨勢線的延伸，最後在崖面中點作鉛垂線求出崖高）；(b)斷層崖崖底、崖頂之趨勢線斜率不相同時，鉛垂線位置對崖高數值的影響。

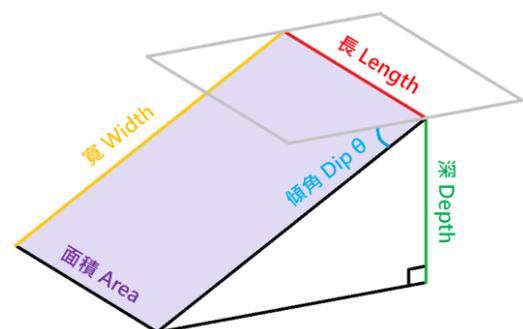
(二) 估計斷層一次錯動造成的可能抬升量

斷層每錯動一次，便會造成地表抬升；若斷層過去曾經錯動數次，則抬升量也不斷累積，斷層崖的高度亦增加。本研究假設在斷層線上任一位置每一次錯動造成之地表抬升量為固定的單一數值，則累積抬升量和一次抬升量必成倍數關係，即可藉由觀察、分析各個斷層崖的高度，得出斷層一次錯動的可能抬升量。

(三) 計算地震規模

地震矩 M_0 是一個用以描述地震能量大小的參數，單位為達因-平方公分，可經由斷層的各项幾何參數（圖九）求得，公式如下：

$$M_0 = \mu WLD \quad (\text{式三})$$



圖九、斷層的幾何參數。

其中 μ 是斷層面的剛性係數，在地殼中約為 3×10^{11} 達因／平方公分； W 代表斷層面的寬度（公分）； L 代表斷層面的長度（公分）； D 代表沿著斷層面的平均滑動量（公分），計算時需注意斷層面可能傾斜，並非垂直於水平面，但前一步驟得出之斷層抬升量是垂直於水平面的高度 H ，因此需藉由斷層傾角 θ 轉換：

$$D = \frac{H}{\sin\theta} \quad (\text{式四})$$

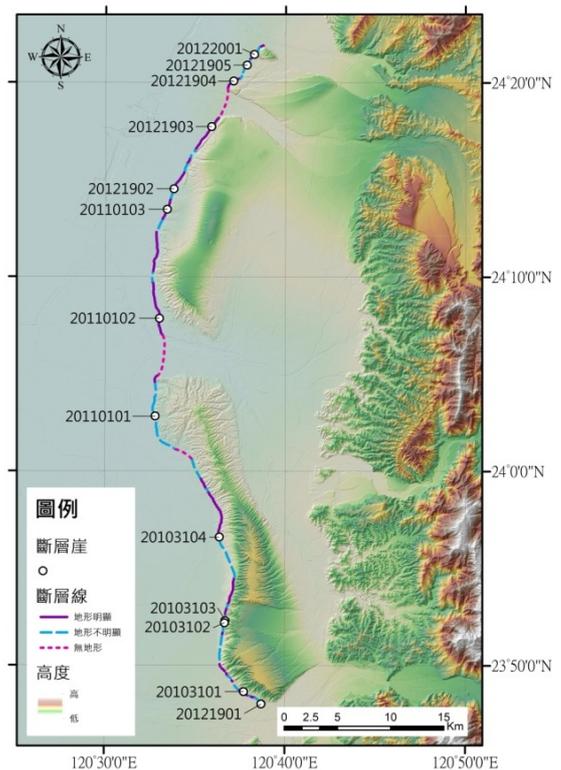
求出地震矩後，即可使用式五轉換為震矩規模 M_w (Shyu, Sieh, Chen, & Liu, 2005)：

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.73 \quad (\text{式五})$$

伍、研究結果

一、斷層線與斷層崖的位置

彰化斷層可能的地表出露位置與斷層崖的分布及編號如圖十所示。本研究將斷層線分為三類：紫色實線代表有完整且延伸性佳的明顯地形起伏，得以確認斷層位置；淺藍色虛線代表地形可能受侵蝕、覆蓋或人為破壞，造成原生地形變得較不完整，而無法確定斷層位置，但其仍然有些微的高度起伏；粉紅色虛線代表完全無地形起伏，例如現生河道，僅能從兩側地形推測斷層可能的連接位置。經由 ArcGIS 計算，本研究繪製的斷層線總長約 71.67 公里。而斷層崖共有 13 處，依測量年（西元年後兩位數）、月、日、測量順序將其編號。



圖十、斷層線與斷層崖的位置。

二、斷層崖的測量點位、剖面圖及高度

在進行實地測量後，將測量點的坐標輸入 ArcGIS，以確認各點在 DEM 上的位置，接著在 ArcGIS 中將測量點投影到垂直於斷層崖延伸方向的直線上並輸出剖面圖，其橫軸

代表投影點的相對距離，縱軸代表海拔高度。此外，可以根據剖面圖顯示的地形起伏對斷層線的位置進行細部修改。

斷層崖除了依測量日期將其編號外，部份情況特殊的斷層崖，有其他命名方法：

1. 本研究定義崖底、崖頂後作趨勢線延伸，進而得出斷層崖的高度，在 20103101 及 20121904 兩處定義了兩種不同情況（將於後方內容說明），於測量日期後方加上 a、b 做為區別；
2. 在 20110102 除了使用全站儀測量外，亦使用了雷射測距儀測量其附近兩個較低矮的斷層崖高度，於編號後方加上 1、2 做為區別；
3. 在 20121904、20121905、20122001 三處皆有兩個以上個別的斷層崖地形，由所在位置最低者開始，以帶有圓圈的數字依序命名，並加在測量日期後方。各斷層崖的測量工具及高度如表一。

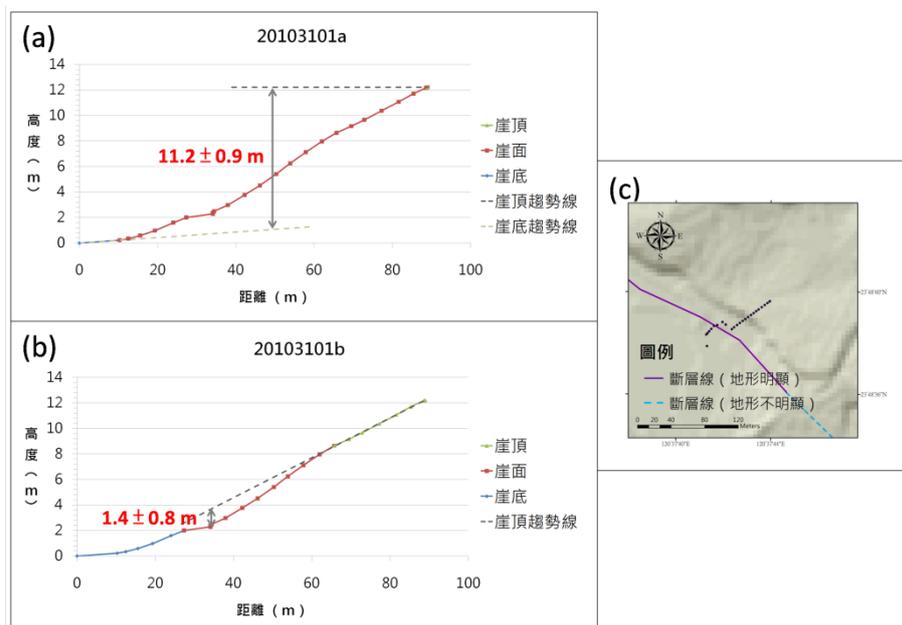
表一、斷層崖的測量工具及高度。

編號	測量工具	高度（公尺）	編號	測量工具	高度（公尺）
20103101a	全站儀	11.2 ± 0.9	20121902	全站儀	4.7 ± 0.5
20103101b	全站儀	1.4 ± 0.8	20121903	全站儀	4.0 ± 0.6
20103102	全站儀	3.1 ± 0.4	20121904a-①	全站儀	0.9 ± 0.1
20103103	全站儀	3.3 ± 0.8	20121904b-①	全站儀	0.5 ± 0.1
20103104	全站儀	11.8 ± 2.8	20121904b-②	全站儀	0.3 ± 0.1
20110101	全站儀	5.6 ± 0.7	20121904a-② 20121904b-③	全站儀	1.9 ± 0.1
20110102	全站儀	5.6 ± 0.1	20121904a-③ 20121904b-④	全站儀	3.5 ± 0.1
20110102-1	雷射測距儀	2.1 ± 0.1	20121905-①	全站儀	1.7 ± 0.4
20110102-2	雷射測距儀	0.7 ± 0.1	20121905-②	全站儀	6.1 ± 0.4
20110103	全站儀	3.1 ± 0.1	20122001-①	全站儀	0.6 ± 0.1
20121901	全站儀	3.1 ± 0.1	20122001-②	全站儀	5.6 ± 0.1

(一) 20103101

考慮測量方便性，此處沿一斷層崖上的小路測量，且此小路垂直於斷層崖，沿線經過一較寬且平行於斷層崖的馬路（圖十一(c)），故在剖面圖中，在橫軸 30 公尺處出現斷層崖剖面圖不連續的情形。本研究對此斷層崖定義了兩種情況：

1. 由於測量點沿線路面有轉彎情形，實地測量時僅能測量到剖面圖中最右側測量點，無法繼續往高處測量，故無法確定更高處是否有更平緩的崖頂。因此在圖十一(a)中，本研究將最高處定為崖頂作水平的延伸線，較低且平緩處定為崖底作趨勢線，進而得到其崖高為 11.2 ± 0.9 公尺；
2. 此處可能為一較大的沖積扇，斷層錯動造成的地形高度落差已較不明顯，若仔細觀察剖面圖，仍能發現微小斜率變化，橫軸 65~90 公尺處的斜率較橫軸 30~65 公尺處的斜率略微平緩，故區別出崖頂及崖面，而平行於斷層崖的馬路可能沿斷層崖邊興建，因此本研究在圖十一(b)中將崖頂的趨勢線延伸至路面，並於路面處得出此處崖高為 1.4 ± 0.8 公尺。

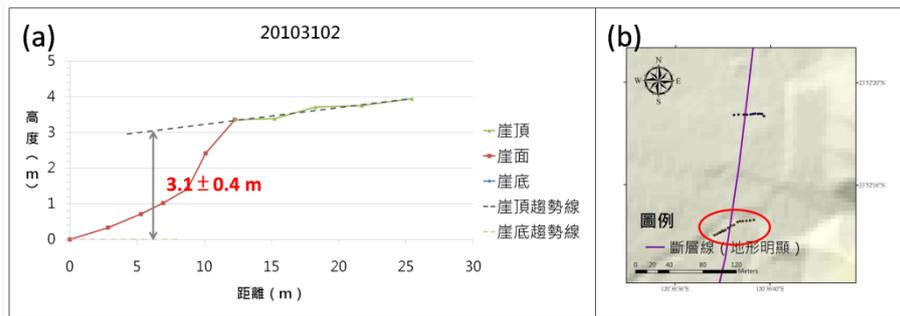


圖十一、斷層崖 20103101：(a)剖面圖（情況 a）；(b)剖面圖（情況 b）；(c)測量點位與斷層線。

(二) 20103102

此處為一原始的斷層崖，無路面覆蓋，情況較為單純，惟實地測量限制，崖

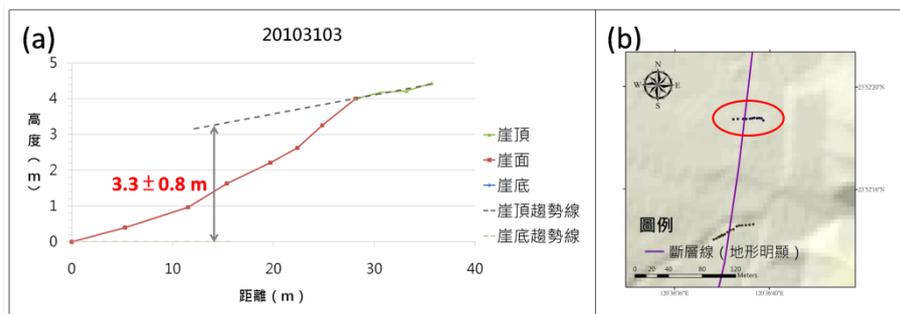
底位於民宅內，僅能測量到圖十二(a)中最左側測量點，無法繼續往低處測量，故將最低點定為崖底作水平的延伸線，較高且平緩處定為崖頂作趨勢線，進而得到崖高為 3.1 ± 0.4 公尺。



圖十二、斷層崖 20103102：(a)剖面圖；(b)紅色圓圈為斷層崖 20103102 測量點位與斷層線。

(三) 20103103

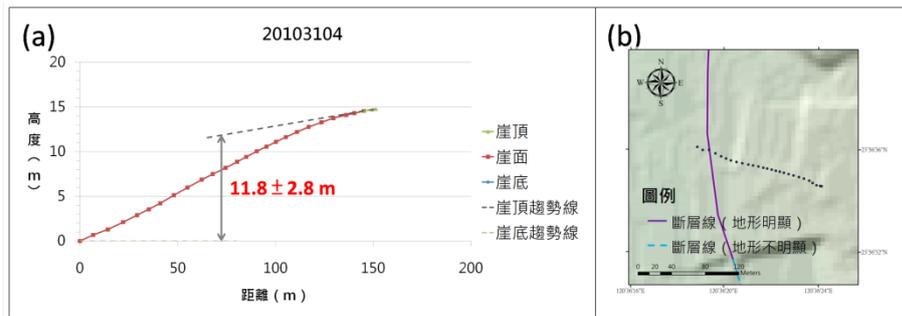
此處位於果園中，情況與 20103102 相同，崖底位於民宅內，僅能測量到圖十三(a)中最左側測量點，故也將最低點定為崖底作水平的延伸線，較高且平緩處定為崖頂作趨勢線，進而得到崖高為 3.3 ± 0.8 公尺。



圖十三、斷層崖 20103103：(a)剖面圖；(b)紅色圓圈為斷層崖 20103103 測量點位與斷層線。

(四) 20103104

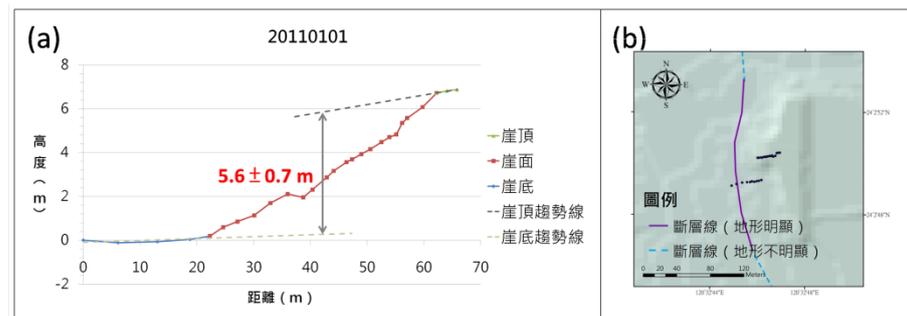
考慮測量方便性，此處亦沿一斷層崖上的馬路測量，而馬路兩邊分別是民宅及樹林，雖然樹林較為原始，但會遮蔽全站儀向稜鏡發射的光，故選擇在馬路上測量。但由於馬路有略微彎曲，稜鏡無法接收到全站儀發射的光，僅能測量到圖十四(a)中最左側測量點，無法繼續往低處測量，故將最低點定為崖底作水平的延伸線，較高且平緩處定為崖頂作趨勢線，進而得到崖高為 11.8 ± 2.8 公尺。



圖十四、斷層崖 20103104：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。

(五) 20110101

此處為一原始的斷層崖，無路面覆蓋，由於實地測量限制，為完整測量斷層崖樣貌，測量沿線有偏移，並非完整直線（圖十五(b)），故圖十五(a)中，在橫軸 35~40 公尺處有剖面圖不連續的情形。因斜率變化明顯，崖底、崖面、崖頂的定義較為單純，對崖底、崖頂作趨勢線並延伸，進而得到崖高為 5.6 ± 0.7 公尺。

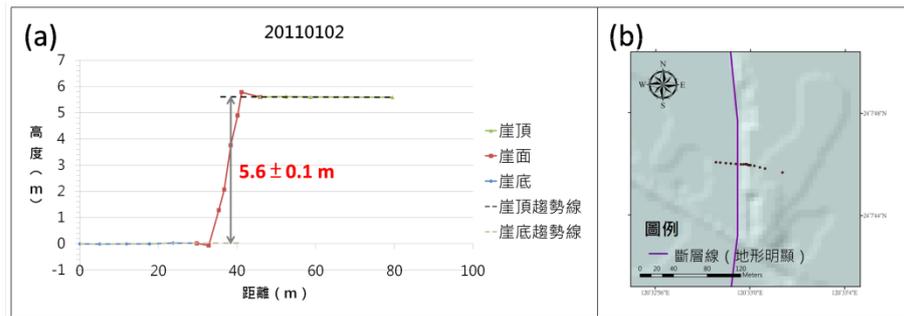


圖十五、斷層崖 20110101：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。

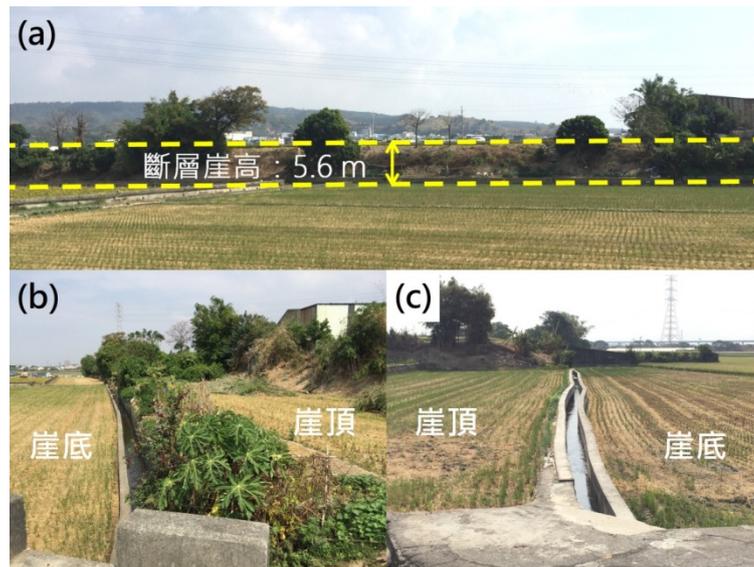
(六) 20110102

此處為一原始的斷層崖，崖頂及崖底為田地，斷層崖階狀特徵非常明顯，為本研究中最為標準的斷層崖地形，在圖十六(a)中可以明顯看出台階狀的特徵，而其外觀如圖十七(a)。此處崖底、崖面、崖頂的定義也較為單純，對崖底、崖頂作趨勢線並延伸，進而得到其崖高為 5.6 ± 0.1 公尺。此外，除了使用全站儀測量主要的崖外，亦使用了雷射測距儀測量其附近兩個較低矮的斷層崖，命名為 20110102-1（圖十七(b)）與 20110102-2（圖十七(c)），雖然崖頂、崖底間有渠道隔開，但由於崖頂、崖底相當寬廣且延伸性佳，本研究推測並不會有前人刻意將田地加高，此地形應該為斷層錯動所造成，地表抬升後才開闢渠道，故可列入本研究之斷層崖地形，經由雷射測距儀得知崖高分別為 2.1 公尺與 0.7 公尺；而因雷射

測距儀本身誤差為 ± 0.1 公尺，故將其定為這兩個崖高的誤差。



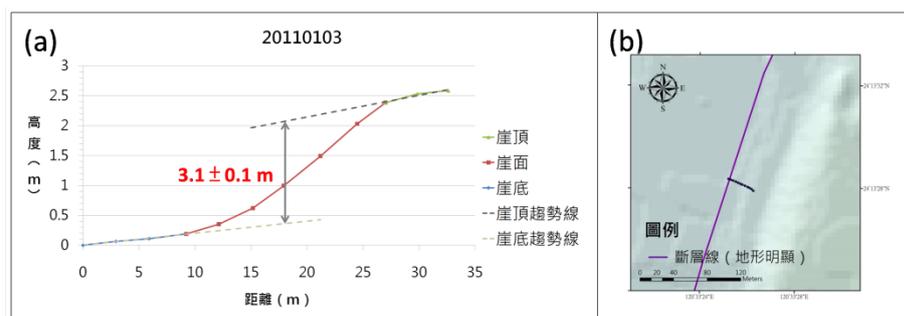
圖十六、斷層崖 20110102：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。



圖十七、(a)斷層崖 20110102 之外觀（面向東邊拍攝）；(b)斷層崖 20110102-1 之外觀（面向北邊拍攝）；(c)斷層崖 20110102-2 之外觀（面向南邊拍攝）。

(七) 20110103

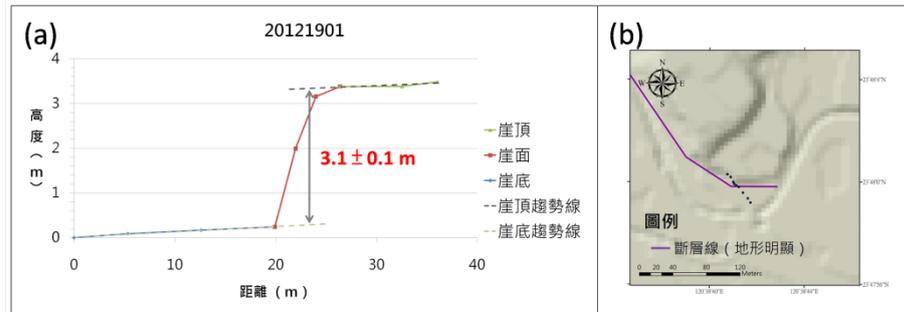
考慮測量方便性，此處亦沿斷層崖上的小路測量，路的兩邊皆為民宅。在圖十八(a)中能容易區分連線斜率的陡緩，定義崖底、崖面、崖頂後作趨勢線並延伸，進而得到崖高為 1.7 ± 0.2 公尺。



圖十八、斷層崖 20110103：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。

(八) 20121901

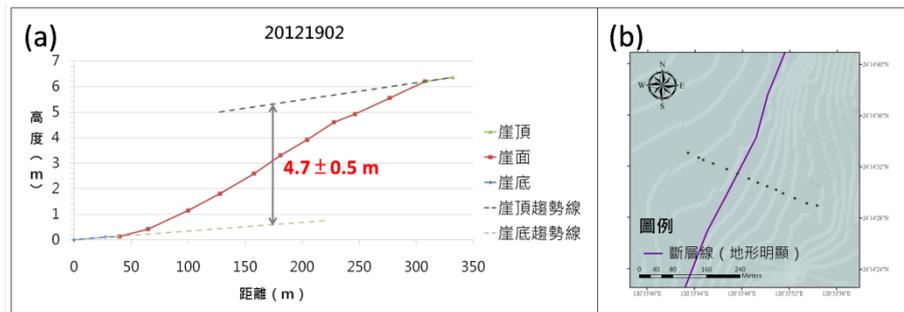
此處為一原始的斷層崖，無路面覆蓋，斷層崖台階狀特徵亦非常明顯，也是相當標準的斷層崖地形。圖十九(a)中可以容易區分連線斜率，定義崖底、崖面、崖頂後作趨勢線並延伸，進而得到崖高為 3.1 ± 0.1 公尺。



圖十九、斷層崖 20121901：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。

(九) 20121902

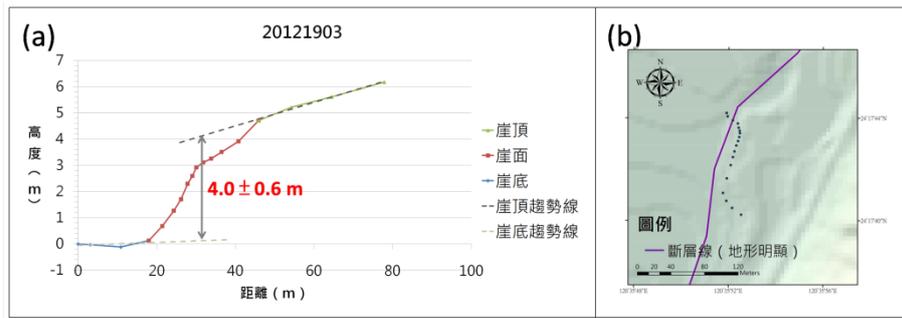
此處亦沿斷層崖上的馬路測量，由於被馬路覆蓋，斷層崖的台階狀特徵已不明顯，但若仔細觀察圖二十(a)，仍能在左邊及右邊找到連線斜率較平緩的地方，故可以定義崖底、崖面、崖頂後作趨勢線並延伸，進而得到崖高為 4.7 ± 0.5 公尺。



圖二十、斷層崖 20121902：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。

(十) 20121903

由於測量限制，此處僅能沿斷層崖上的馬路測量，而此馬路較彎曲，並非一完整直線（圖二十一(b)），故投影到垂直於斷層崖的直線後，圖二十一(b)中崖面的形狀較為複雜，但仍不影響崖底及崖頂的判斷，能作趨勢線並延伸，進而得到崖高為 4.0 ± 0.6 公尺。

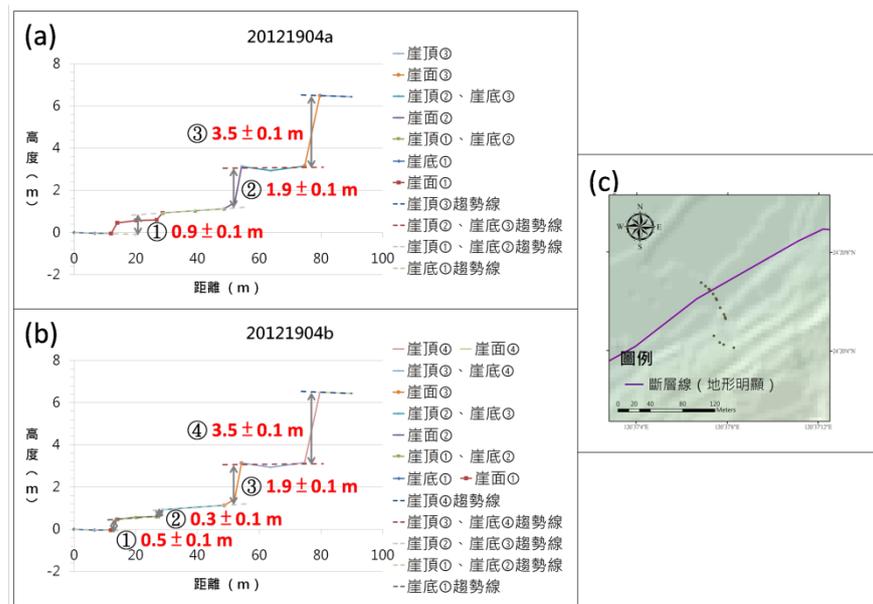


圖二十一、斷層崖 20121903：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。

(十一) 20121904

此處為一原始的斷層崖，和 20110102 一樣為田地，斷層崖階狀特徵非常明顯，也是本研究中相當標準的斷層崖地形，惟討論斷層崖個數時較為複雜。圖二十二(a)、(b)中，橫軸 48~54 公尺及 75~80 公尺處分別是兩個獨立的崖面，其崖高分別為 1.9 ± 0.1 公尺與 3.5 ± 0.1 公尺，而在 0~48 公尺處，可看出兩段較小的地形起伏，定義了兩種情況：

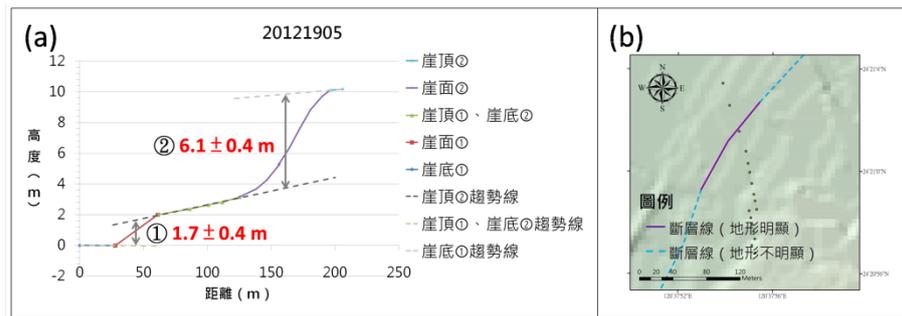
1. 情況 a 中，可能是地表抬升後再由人為移除部分地形，造成兩段式的起伏，故定義此處僅有一個斷層崖，高度為 0.9 ± 0.1 公尺；
2. 情況 b 中，可能兩段地形起伏均是由斷層抬升所造成，故定義此處有兩個斷層崖，高度分別為 0.5 ± 0.1 公尺與 0.3 ± 0.1 公尺。



圖二十二、斷層崖 20121904：(a)剖面圖（情況 a）；(b)剖面圖（情況 b）；(c)測量點位與斷層線。

(十二) 20121905

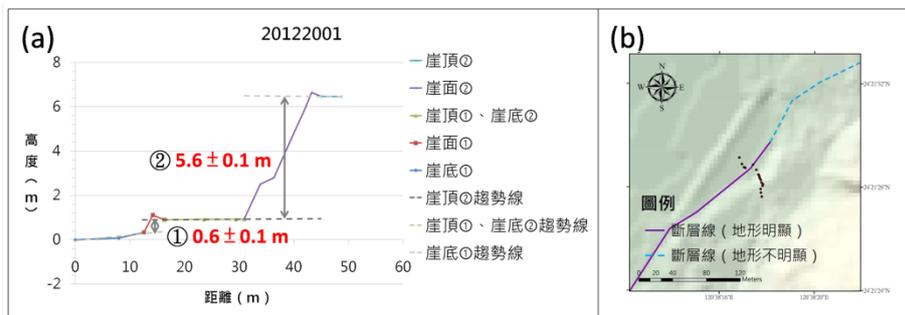
此處亦沿斷層崖上的馬路測量，需另外注意的是，圖二十三(a)中，在橫軸30~60公尺處有平行於斷層崖的鐵路經過，故無法進行測量，僅能越過鐵路繼續測量。本研究在此處定義了兩個斷層崖，鐵路的兩側分別為崖底①與崖底②（即崖頂①），因崖底①地形相當平坦，又崖底②（即崖頂①）斜率連續且較緩，故作此定義。對崖底、崖頂後作趨勢線並延伸，進而得到崖高分別為 1.7 ± 0.4 公尺與 6.1 ± 0.4 公尺。



圖二十三、斷層崖 20121905：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。

(十三) 20122001

此處為一原始的斷層崖，斷層崖階狀特徵非常明顯，也是本研究中相當標準的斷層崖地形。在圖二十四(a)中可看出兩個階狀的地形，而此處和20110101一樣崖頂、崖底皆為寬廣、延伸性佳的田地，本研究推測並不會有前人刻意將田地加高，應為斷層錯動所造成，且有兩個斷層崖地形，對崖底、崖頂後作趨勢線並延伸，進而得到崖高分別為 0.6 ± 0.1 公尺與 5.6 ± 0.1 公尺。

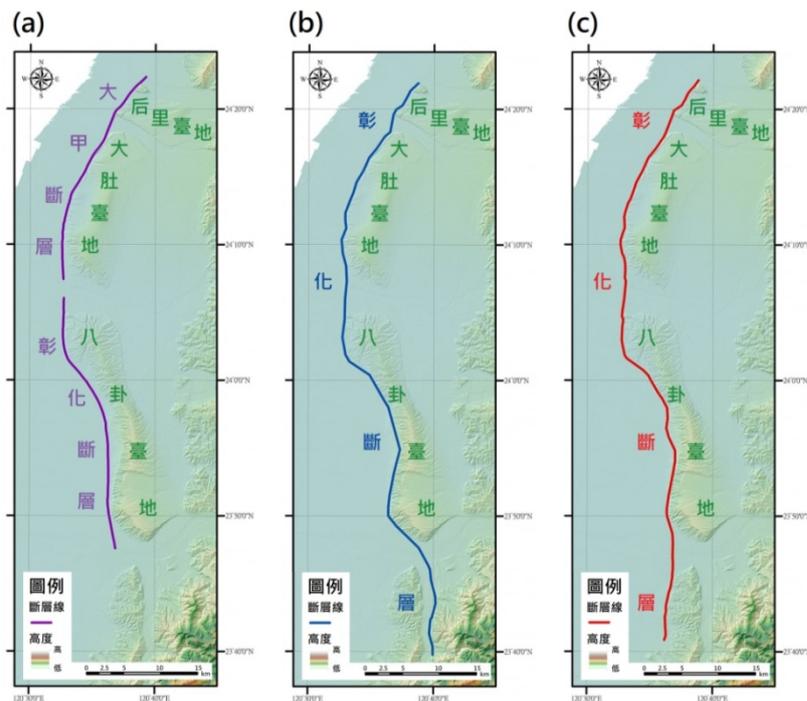


圖二十四、斷層崖 20121902：(a)剖面圖；(b)測量點位與斷層線。

陸、討論

一、彰化斷層的斷層線分布

地調所於 2012 年公布臺灣的活動斷層中，在后里臺地及大肚臺地的西緣為大甲斷層，長約 30 公里；在八卦臺地的西緣為彰化斷層，長約 36 公里，兩者可能連接（圖二十五(a)）。而 Shyu 等人（2016）以及 Shyu 等人（2020）在 TEM 計畫則將地調所的两條斷層直接連接起來，命名為彰化斷層（圖二十五(b)、(c)）。此外，圖二十五中三個版本斷層線在南端有明顯差異，地調所的彰化斷層南端僅到八卦臺地便不再延伸；TEM 計畫則將其延伸到更南邊的丘陵地形邊緣，且兩版本的斷層延伸位置亦有所不同，2016 年版的斷層線沿著八卦臺地南緣，向東邊延伸後進而往南；2020 年版的斷層線則沒有繪製在八卦臺地南緣，無向東偏的趨勢，斷層線直接往南延伸。

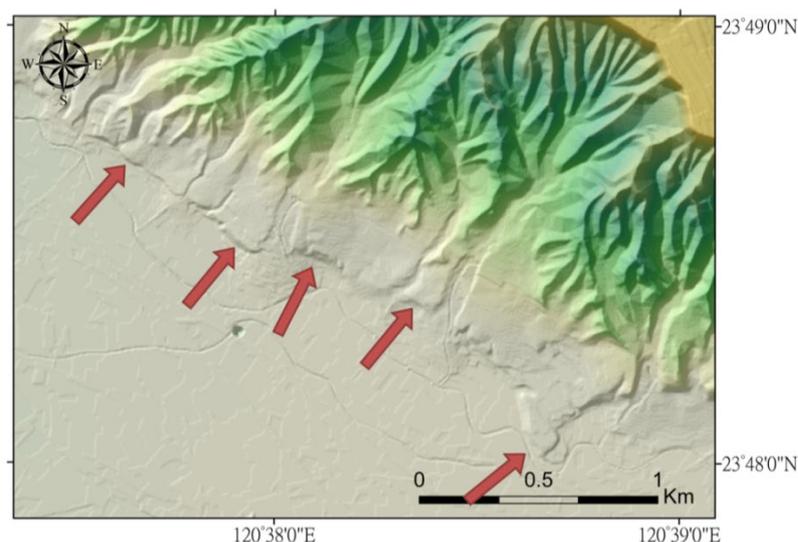


圖二十五、(a)由地調所繪製的大甲斷層與彰化斷層；(b)由 TEM 計畫繪製的彰化斷層；
(c)由 TEM 計畫更新版繪製的彰化斷層。

鄭世楠（2015）對 1848 年彰化地震的研究中，他根據奏摺、地方志、廟誌、碑文等歷史資料，從地方受災情形推估各地的震度，並由地調所公布的斷層模擬斷層錯動造成的震度，進而繪製等震度圖，以推測此次地震可能為哪一條斷層所引起。他模擬了三種情形，分別是大甲斷層單獨破裂、彰化斷層單獨破裂、大甲斷層和彰化斷層同時破裂，

研究結果中，大甲斷層和彰化斷層同時破裂的等震度圖最符合受災情形，故推論 1848 年彰化地震應為大甲斷層和彰化斷層所引起，其震矩規模為 7.2。

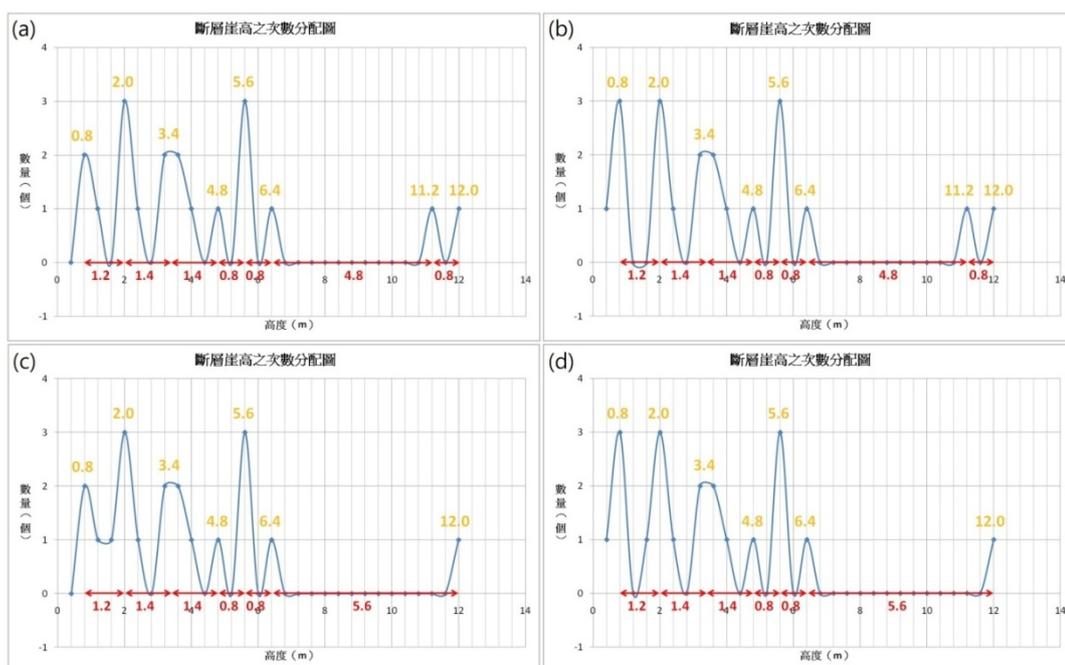
由鄭世楠（2015）的推論，本研究認為可以連接地調所的大甲斷層和彰化斷層，並參照 TEM 計畫將其命名為彰化斷層。而斷層線南端，圖二十五中三個版本有明顯差異，因目前尚未有相關調查佐證彰化斷層南端是否如 TEM 所描述的位置延伸，故本研究參照地調所的版本，斷層南端僅繪製到八卦臺地。此外，根據八卦臺地南緣的地形，有明顯且延伸性佳的地形起伏，部分區域亦可看出台階狀特徵（圖二十六紅色箭頭所指處），而因為距離河流較遠，推測其並非由河流侵蝕所造成，本研究認為應該是由斷層錯動造成的地形，故參照圖二十五(b)將斷層線沿臺地南緣繪製，但不繼續向東南邊之丘陵延伸。



圖二十六、八卦臺地南緣的 DEM 影像（紅色箭頭所指的地形有台階狀特徵）。

二、斷層的一次抬升量

為了更清楚觀察各斷層崖間的高度關係，本研究參考 Van Der Woerd 等人（2002）對崑崙斷層之水平錯動量的研究，繪製斷層崖高度的次數分配圖。本研究先將各斷層崖的高度記錄在 Excel 中，並在 Excel 中使用 FREQUENCY 函數繪製斷層崖高的次數分配圖，橫軸代表崖高，間隔為 0.4 公尺，縱軸代表斷層崖個數。繪製出分配圖後，觀察並找出各個斷層崖高的峰值，以黃色數字標示出高度，接著計算每一個峰值間的差距，以紅色數字表示（圖二十七）。在此需注意的是，由於在斷層崖 20103101 和 20121904 兩處，對剖面圖定義了兩種不同情況，必須分開討論，故繪製了四個版本的次數分配圖。



圖二十七、斷層崖高之次數分配圖：(a)20103101 的 a 情況搭配 20121904 的 a 情況；
 (b)20103101 的 a 情況搭配 20121904 的 b 情況；(c)20103101 的 b 情況搭配
 20121904 的 a 情況；(d)20103101 的 b 情況搭配 20121904 的 b 情況。

圖二十七(a)與圖二十七(b)中斷層崖高峰值的間距依序為 1.2、1.4、1.4、0.8、0.8、4.8、0.8，而圖二十七(c)與圖二十七(d)中斷層崖高峰值的間距依序為 1.2、1.4、1.4、0.8、0.8、5.6。根據本研究原先的假設，斷層線上任一位置每一次錯動造成之地表抬升量為固定的數值，則累積抬升量和一次抬升量必成倍數關係。但在自然界中並不會有如此單純的情況發生，累積抬升量可能無法完全對應某一數值的整數倍，而存在著些許誤差。本研究嘗試藉由觀察、分析斷層崖高度峰值的間隔，將其拆解成兩數的乘積，如表二。

表二、斷層崖高峰值間距的拆解結果。

崖高峰值間距 (m)	拆解結果 (m)	崖高峰值間距 (m)	拆解結果 (m)
1.2	0.6×2	0.8	0.8×1
1.4	0.7×2	4.8	0.8×6
1.4	0.7×2	0.8	0.8×1
0.8	0.8×1	5.6	0.7×8 與 0.8×7

根據表二，本研究推論彰化斷層一次事件的抬升量為 0.7 ± 0.1 公尺。然而，次數分配圖無法全面反應斷層崖高的原始資料，僅能表現總體的分布趨勢，有部分崖高的原始

數值無法在次數分配圖中看出，為了更謹慎檢驗抬升量的合理性，本研究將上述得出之抬升量 0.7 的倍數，與斷層崖高的原始資料進行比對，如表三。

表三、斷層崖高原始資料與 0.7 的倍數之關係。

編號	崖高原始資料 (m)	崖高誤差 (m)	0.7 的倍數 (m)	崖高原始資料與 0.7 倍數的差距 (m)
20103101a	11.2	0.9	$0.7 \times 16 = 11.2$	0
20103101b	1.4	0.8	$0.7 \times 2 = 1.4$	0
20103102	3.1	0.4	$0.7 \times 4 = 2.8$	0.3
20103103	3.3	0.8	$0.7 \times 5 = 3.5$	0.2
20103104	11.8	2.8	$0.7 \times 17 = 11.9$	0.1
20110101	5.6	0.7	$0.7 \times 8 = 5.6$	0
20110102	5.6	0.1	$0.7 \times 8 = 5.6$	0
20110102-1	2.1	0.1	$0.7 \times 3 = 2.1$	0
20110102-2	0.7	0.1	$0.7 \times 1 = 0.7$	0
20110103	3.1	0.1	$0.7 \times 4 = 2.8$	0.3
20121901	3.1	0.1	$0.7 \times 4 = 2.8$	0.3
20121902	4.7	0.5	$0.7 \times 7 = 4.9$	0.2
20121903	4.0	0.6	$0.7 \times 6 = 4.2$	0.2
20121904a-①	0.9	0.1	$0.7 \times 1 = 0.7$	0.2
20121904b-①	0.5	0.1	$0.7 \times 1 = 0.7$	0.2
20121904b-②	0.3	0.1	$0.7 \times 1 = 0.7$	0.4
20121904a-②	1.9	0.1	$0.7 \times 3 = 2.1$	0.2
20121904b-③				
20121904a-③	3.5	0.1	$0.7 \times 5 = 3.5$	0
20121904b-④				

表三、斷層崖高原始資料與 0.7 的倍數之關係 (續)。

編號	崖高原始資料 (m)	崖高誤差 (m)	0.7 的倍數 (m)	崖高原始資料與 0.7 倍數的差距 (m)
20121905-①	1.7	0.4	$0.7 \times 2 = 1.4$	0.3
20121905-②	6.1	0.4	$0.7 \times 9 = 6.3$	0.2
20122001-①	0.6	0.1	$0.7 \times 1 = 0.7$	0.1
20122001-②	5.6	0.1	$0.7 \times 8 = 5.6$	0

根據表三，考慮斷層崖高的誤差範圍，若崖高原始資料與 0.7 倍數的差距，比崖高誤差小，則該斷層崖可能經歷過多次抬升量約為 0.7 公尺地震事件，而差距比崖高誤差大的斷層崖有 20110103、20121901、20121904a-①、20121904b-①、20121904b-②、20121904a-② (即 20121904b-③)，故在表三中以紅色字體區分。然而，本研究求得的抬升量亦存在誤差，斷層造成每一次的地表抬升量可能並非皆為 0.7 公尺，故在表四中，嘗試將崖高原始資料用 0.6、0.7、0.8 三個數值拆解分析，確認抬升量與斷層崖高的關聯。

表四、斷層崖高原始資料使用 0.6、0.7、0.8 拆解的結果。

編號	崖高 (m)	拆解結果 (m)	編號	崖高 (m)	拆解結果 (m)
20103101a	11.2	0.7×16	20110102-1	2.1	0.7×3
20103101b	1.4	0.7×2	20110102-2	0.7	0.7×1
20103102	3.1	$0.6 \times 4 + 0.7 \times 1$ $0.7 \times 1 + 0.8 \times 3$	20110103	3.1	$0.6 \times 4 + 0.7 \times 1$ $0.7 \times 1 + 0.8 \times 3$
20103103	3.3	$0.6 \times 2 + 0.7 \times 3$	20121901	3.1	$0.6 \times 4 + 0.7 \times 1$ $0.7 \times 1 + 0.8 \times 3$
20103104	11.8	$0.6 \times 1 + 0.7 \times 16$	20121902	4.7	$0.6 \times 2 + 0.7 \times 5$
20110101	5.6	0.7×8	20121903	4.0	$0.6 \times 2 + 0.7 \times 4$
20110102	5.6	0.7×8	20121904a-①	0.9	$0.8 \times 1 + 0.1$

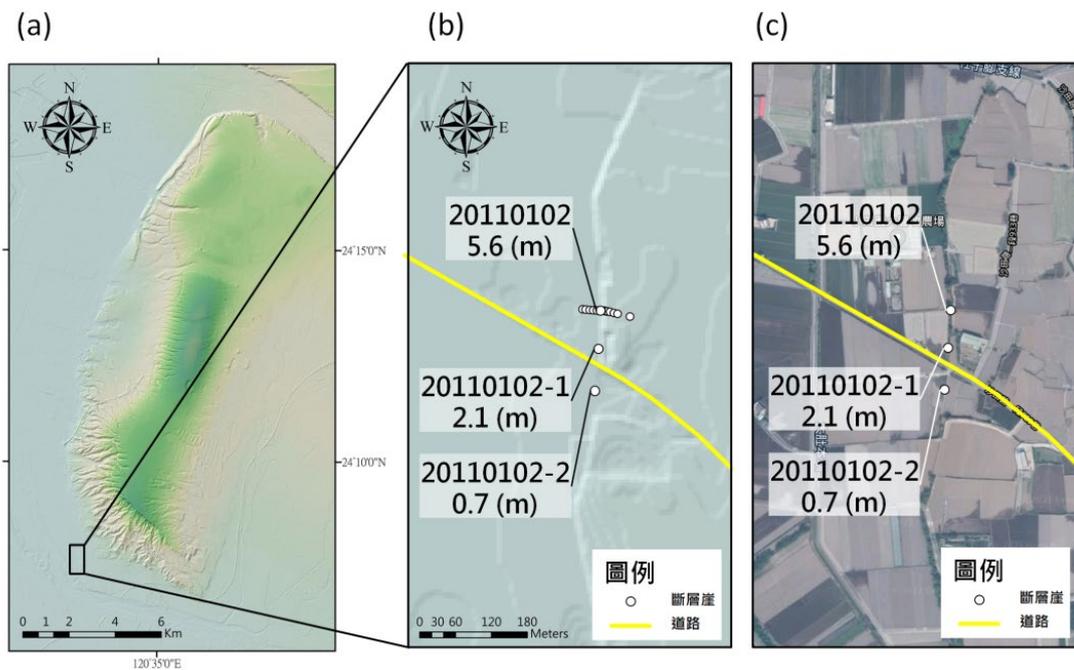
表四、斷層崖高原始資料使用 0.6、0.7、0.8 拆解的結果（續）。

編號	崖高 (m)	拆解結果 (m)	編號	崖高 (m)	拆解結果 (m)
20121904b-①	0.5	$0.6 \times 1 - 0.1$	20121905-①	1.7	$0.6 \times 3 - 0.1$ $0.8 \times 2 + 0.1$
20121904b-②	0.3	0.3×1	20121905-②	6.1	$0.6 \times 2 + 0.7 \times 7$
20121904a-② 20121904b-③	1.9	$0.6 \times 2 + 0.7 \times 1$	20122001-①	0.6	0.6×1
20121904a-③ 20121904b-④	3.5	0.7×5	20122001-②	5.6	0.7×8

根據表四，幾乎所有斷層崖高度都可以用 0.6、0.7、0.8 三個數字進行拆解，且至少可拆解出一種情形（部分崖高可拆解成多種情形暫不一一列出）。無法進行拆解的崖有 20121904a-①、20121904b-①、20121904b-②與 20121905-①，在表四中以紅色字體區分。此外，在表三中，崖高原始資料與 0.7 倍數的差距較崖高誤差大的 20110103 與 20121904a-②（即 20121904b-③），可以用 0.6、0.7、0.8 進行拆解。而 20121904a-①、20121904b-①與 20121905-①雖無法完全拆解，需要加上或扣掉 0.1，但根據斷層崖的剖面圖，0.1 皆在斷層崖高的誤差範圍內；而 20121904b-②在考慮誤差範圍後亦無法拆解。藉由上述分析，本研究認為可以合理將一次抬升量定為 0.7 ± 0.1 公尺，此外，本研究在斷層崖 20121904 定義了兩種情況，根據抬升量與斷層崖高度分析結果，本研究推論情況 a 比情況 b 更加有可能發生。

此外，根據實地調查的結果，斷層崖 20110102 有值得注意的現象，在剖面圖（圖十六(a)）中可以看出其台階狀特徵相當明顯，且延伸性良好，為本研究中最標準的斷層崖地形，高度為 5.6 公尺；而在其附近有兩個較小的崖，分別是 2.1 公尺高的 20110102-1 與 0.7 公尺高的 20110102-2，特別的是，這三個崖的高度皆為 0.7 之倍數。為了更深入探討彰化斷層的一次抬升量，搭配實地測量中的觀察，本研究將針對 20110102 進行更詳細的分析。

斷層崖 20110102 的延伸性佳，此處三個斷層崖皆為南北走向，其衛星及 DEM 影像如圖二十八(b)與圖二十八(c)，白色圓點為各斷層崖的所在位置。根據圖二十八(a)，20110102-1 與 20110102-2 間隔了一條小路，為臺中市的水田路一段 789 巷。假設斷層的活動規律且單一，其在各地造成的抬升量應該相同，然而此處在短距離內測量到三組不同的斷層崖高度（5.6 公尺、2.1 公尺及 0.7 公尺），根據研究結果中的說明，由於台階狀特徵明顯與延伸性佳，本研究推測其並非人為修整的地形，應該為斷層錯動所造成。另外，根據此地附近的地形及人為建設，本研究認為 20110102-1 與 20110102-2 兩個較低矮的斷層崖間的小路過去可能為一小河道，它可能是大肚臺地南邊的大肚溪的支流，而日後興建了大肚堤防使支流消失，原本的河道則開闢成道路。由於河流由東向西流，使部分抬升起來的斷層崖被侵蝕，進而推論此地過去斷層可能先經歷了幾次抬升，接著受到侵蝕，下一次地震事件又繼續抬升，故能觀察到較低矮的斷層崖，代表其經歷過的抬升次數較少。根據上述分析，本研究認為 0.7 公尺高的斷層崖 20110102-2 很可能只經歷過一次抬升，可證明彰化斷層一次抬升量很有可能為 0.7 公尺。

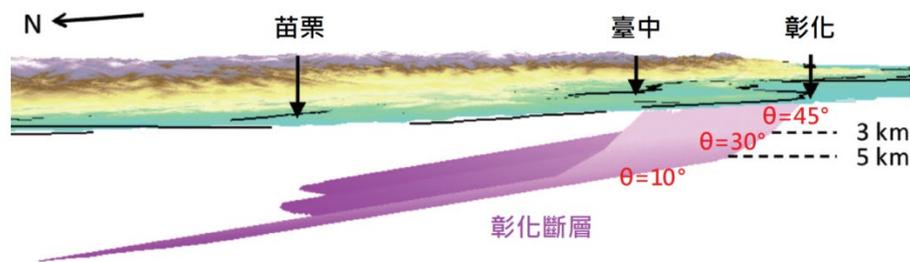


圖二十八、(a)大肚臺地的 DEM 影像；(b)20110102 周圍的 DEM 影像；(c)20110102 周圍的衛星影像。

三、震矩規模計算

欲求得地震矩 M_0 ，需使用的參數包含斷層面的寬度、長度以及平均滑動量（式三），而滑動量需由抬升量與斷層傾角進行轉換（式四）。

利用 ArcGIS 計算得知，本研究繪製的彰化斷層之斷層線總長約為 71.67 公里；經由上述的分析，抬升量使用 0.7 公尺代入公式計算。此外，本研究採用 Shyu 等人（2016）提出之斷層面寬度及傾角的數值，其中彰化斷層的寬度為 48.55 公里。根據文章所提及，彰化斷層為鐘形斷層（listric fault），表示其傾角隨著深度而有所不同：在深 0~3 公里處傾角約 45 度，在深 3~5 公里處傾角約 30 度，在深 5~12 公里處傾角約 10 度（Shyu et al., 2016），如圖二十九所示。此處使用斷層在最接近地表處的傾角 45 度進行換算，各參數的數值及計算結果如表五。



圖二十九、彰化斷層的地下幾何特性（Shyu et al., 2016）

表五、彰化斷層的斷層參數及震矩規模計算結果。

剛性係數 μ	3×10^{11} 達因／平方公分	傾角 θ	45 度
寬度 W	48.55 公里	滑動量 D	0.99 公尺
長度 L	71.67 公里	地震矩 M_0	1.04×10^{27} 達因－平方公分
抬升量 H	0.7 公尺	震矩規模 M_w	7.28

若以一次地震事件抬升量 0.7 公尺計算，且採用斷層近地表的傾角為 45 度，求出的震矩規模為 7.28，此一震矩規模會反應出斷層整體傾角為 45 度時全部破裂釋放的能量。但因彰化斷層為鐘形斷層，深度越深則傾角越緩，當斷層抬升量為定值，若傾角愈小，則滑動量愈大，震矩規模亦愈大；若傾角愈大，則滑動量愈小，震矩規模亦愈小。使用 45 度進行計算出的滑動量為最小值，故另計算斷層傾角與抬升量兩變數改變時的規模，求出一次地震事件震矩規模的可能範圍，計算結果如表六。

表六、抬升量和傾角改變時的滑動量與震矩規模計算結果。

斷層傾角 θ \ 抬升量 H	0.6 公尺	0.7 公尺	0.8 公尺
10 度	D=3.46 公尺 $M_w=7.64$	D=4.03 公尺 $M_w=7.69$	D=4.61 公尺 $M_w=7.72$
30 度	D=1.20 公尺 $M_w=7.34$	D=1.40 公尺 $M_w=7.38$	D=1.60 公尺 $M_w=7.42$
45 度	D=0.85 公尺 $M_w=7.23$	D=0.99 公尺 $M_w=7.28$	D=1.13 公尺 $M_w=7.32$

根據表六，同時考慮抬升量與傾角兩變數，彰化斷層一次錯動造成的震矩規模範圍在 7.23~7.72 之間，而抬升量和滑動量間需藉由角度換算，在表六可看出，在斷層傾角較緩的情況下，對應的滑動量相當的大，震矩規模也較大，由於彰化斷層為深度越深則傾角越緩的錐形斷層，地表上看似不大的抬升量，可能對應到斷層在地底下較大的滑動量，因此有機會造成規模更大的地震事件。

四、與前人研究之比較

(一) 計算震矩規模的方法

因彰化斷層為一逆斷層，Shyu 等人 (2016)、Shyu 等人 (2020) 利用 Wells 與 Coppersmith (1994) 針對逆斷層提出的震矩規模經驗式，經由斷層面面積 A (單位：平方公里) 計算震矩規模 M_w ：

$$M_w = 4.33 + 0.90 \times \log A \quad (\text{式六})$$

求出震矩規模 M_w 後，再使用式五回推地震矩 M_0 ，進而使用式四求出斷層的滑動量 D。

式六只需要斷層的長、寬兩項參數，本研究也使用相同模式，藉由斷層面積來計算，採用本研究繪製出的斷層線長度 71.67 公里與 Shyu 等人 (2016) 提出的斷層寬度進行計算，計算參數和計算結果如表七。

表七、本研究與 Shyu 等人（2016）、Shyu 等人（2020）之參數及計算結果。

	本研究	Shyu 等人 (2016)	Shyu 等人 (2020)
寬度 W (公里)	48.55	48.55	48.55
長度 L (公里)	71.67	86.10	82.20
面積 A (平方公里)	3479.58	4180.15	3990.81
震矩規模 M_w	7.52	7.59	7.57
地震矩 M_0 (達因-平方公分)	2.35×10^{27}	3.01×10^{27}	2.83×10^{27}
滑動量 D (公尺)	2.25	2.40	2.36

從表七可以看出，由於斷層線繪製不同，本研究的斷層長度最短，故求出的震矩規模最小，地震矩與滑動量亦然。此外，本研究使用抬升量求得滑動量為 0.99 公尺且震矩規模為 7.28。此處採用抬升量 0.7 公尺及斷層近地表傾角 45 度，但彰化斷層的傾角並非在所有深度皆為 45 度，而是深度越深則傾角越緩，使用 45 度計算出的滑動量和震矩規模為最小值。此外，本研究利用式六經由斷層面面積計算滑動量為 2.25 公尺且震矩規模為 7.52，比較兩方法，使用抬升量求得的滑動量和震矩規模會較小。

而本研究先前亦考慮了當抬升量以及傾角改變時，得出地震震矩規模的範圍將介於 7.23~7.72 之間，可以發現，使用式六得出的震矩規模 7.52 界於此範圍之內。綜合上述兩種計算方式，若彰化斷層全段破裂，產生地震之震矩規模可能為 7.5 ± 0.3 。

(二) 歷史地震的研究

歷史文獻記載，西元 1848 年（道光 28 年）臺灣中部曾發生一次災害型地震，稱之為彰化地震。為了探討彰化地震發生的可能原因，鄭世楠（2015）參考中央地質調查所公告的活動斷層而提出了六種情況：大甲斷層單獨錯動、彰化斷層單獨錯動、大甲斷層與彰化斷層同時錯動（地調所提出之大甲斷層與彰化斷層即為

本研究所指的彰化斷層)，並同時考量斷層是否有出露地表。鄭世楠（2015）利用 Wells 與 Coppersmith（1994）提出之逆斷層長度與規模的關係經驗式，由斷層的長度計算震矩規模 M_w ，SRL 為出露地表斷層的長度（單位：公里），RLD 為未出露地表斷層的長度（單位：公里）：

$$M_w = 5.00 + 1.22 \times \log(\text{SRL}) \quad (\text{式七})$$

$$M_w = 4.49 + 1.49 \times \log(\text{RLD}) \quad (\text{式八})$$

他採用地調所提出的斷層長度，計算出引發彰化地震的斷層可能破裂情形，規模的計算結果如表八。

表八、鄭世楠（2015）的震矩規模計算結果。

	出露地表	未出露地表
大甲斷層（30 公里）	6.8	6.7
彰化斷層（36 公里）	6.9	6.8
大甲斷層與彰化斷層（66 公里）	7.2	7.2

根據其等震度圖的模擬結果，大甲斷層和彰化斷層同時破裂為較理想情形，該次地震震矩規模為 7.2，但因歷史記載資料缺乏，鄭世楠（2015）的研究並沒有推估出此次地震事件斷層的錯動量與地表抬升量。而本研究求出的彰化斷層一次地震事件震矩規模為 7.5 ± 0.3 ，鄭世楠推論的彰化地震震矩規模 7.2 亦包含在此範圍內，因此本研究認為，1848 年彰化地震很有可能是由地調所公告的大甲斷層與彰化斷層同時破裂所引起，若該次地震事件有造成地表變形，斷層造成的地表抬升量約為 0.7 公尺左右。

鄭世楠（2015）整理了有關歷史資料中對彰化地震災情的描述，其中《福建臺灣鎮總兵呂恒安等奏報臺灣彰化等縣同時地震分別籌辦賑濟摺》提及：「彰化縣城內衙署、監獄、倉庫並學宮、祠廟，俱已倒壞。」而《福建臺灣鎮總兵呂恒安等奏請獎敘彰化等被水被震地方捐輸官紳摺》統計當時在彰化縣及嘉義縣倒毀的房屋達 22664 間，死亡人數 1030 人。由上述災情可得知，過去彰化斷層錯動確實造成了嚴重的災害。而現在臺灣中部地區都市發展更加繁榮，人口密集，若彰化

斷層再次錯動產生災害型地震，歷史上的災難可能重演。因此本研究的價值在於找出彰化斷層的地表位置，推估未來彰化斷層錯動可能發生的地震規模與抬升量，使政府在地震防災上能有更多的科學依據。

柒、結論

- 一、本研究繪製彰化斷層的斷層線長度經 ArcGIS 計算約為 71.67 公里。
- 二、進行野外實地觀察與高度分析後，得出彰化斷層一次錯動的抬升量為 0.7 ± 0.1 公尺，由抬升量 0.7 公尺與斷層近地表傾角 45 度計算出彰化斷層全段破裂時，產生地震可能震矩規模為 7.28；若考慮抬升量及傾角改變時，震矩規模的範圍將介於 7.23~7.72 之間。
- 三、由斷層面面積與震矩規模的關係經驗式求得彰化斷層全段破裂時，產生地震可能的震矩規模為 7.52，此結果較使用抬升量 0.7 公尺與傾角 45 度換算出的震矩規模 7.28 更大。
- 四、綜合震矩規模公式以及斷層面面積與震矩規模的關係經驗式兩計算方法，可以得到彰化斷層全段破裂時，產生地震之震矩規模可能為 7.5 ± 0.3 。
- 五、鄭世楠（2015）認為 1848 年彰化地震很可能為彰化斷層錯動所引發，震矩規模約 7.2，此結果包含在 7.5 ± 0.3 的震矩規模範圍之內，故可以佐證彰化地震很有可能為彰化斷層錯動產生，該次事件抬升量約為 0.7 公尺左右。

捌、參考文獻資料

- 一、Hetzl, R., Tao, M., Stokes, S., Niedermann, S., Ivy-Ochs, S., Gao, B., Strecker, M. R., and Kubik, P. W. (2004). Late Pleistocene/Holocene slip rate of the Zhangye thrust (Qilian Shan, China) and implications for the active growth of the northeastern Tibetan Plateau. *Tectonics*, 23, TC6006.
- 二、Shyu, J. B. H., K. Sieh, Y.-G. Chen, and C.-S. Liu.(2005). Neotectonic architecture of Taiwan and its implications for future large earthquakes. *J. Geophys. Res.*, 110, B08402.
- 三、Shyu, J. B. H., Y.-R. Chuang, Y.-L. Chen, Y.-R. Lee, and C.-T. Cheng. (2016). A new on-land seismogenic structure source database from the Taiwan Earthquake Model (TEM) project for seismic hazard analysis of Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 27, 311-323.

- 四、Shyu, J. B. H., Y.-H. Yin, C.-H. Chen, Y.-R. Chuang, S.-C. Liu. (2020). Updates to the on-land seismogenic structure source database by the Taiwan Earthquake Model (TEM) project for seismic hazard analysis of Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, 31, 469-478.
- 五、Sieh, K.E. & Jahns, R.H. (1984). Holocene activity of the San Andreas fault at Wallace Creek, California. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 95, 883 - 896.
- 六、Van der Woerd J., Tapponnier P., Ryerson F.J., Meriaux A.S., Meyer B., Gaudemer Y., Finkel R.C., Caffee M.W., Zhao G.G., Xu Z.Q. (2002). Uniform postglacial slip-rate along the central 600 km of the Kunlun Fault (Tibet), from Al-26, Be-10, and C-14 dating of riser offsets, and climatic origin of the regional morphology. *Geophys. J. Inter.*, 148, 356-388.
- 七、Wells, D. L. and K. J. Coppersmith. (1994). New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 84, 974-1002.
- 八、Bala Wu (2018)。GPS 座標值轉換- [度]與[度分秒]的轉換。取自
https://hiking.biji.co/index.php?q=review&act=info&review_id=5989
- 九、Google Earth 衛星影像。取自
<https://www.google.com.tw/maps/@25.0407203,121.5396521,4334m/data=!3m1!1e3?hl=zh-TW&authuser=0>
- 十、成功大學水工所（無年代）。大地坐標轉換測試程式。取自
<http://gis.thl.ncku.edu.tw/coordtrans/coordtrans.aspx>
- 十一、地質調查所（2017）。活動斷層分類準則。取自
<https://fault.moeacgs.gov.tw/MgFault/index.php/2017-06-16-09-18-50/2017-06-16-09-20-07>
- 十二、地質調查所（2017）。活動斷層條帶地質圖一大甲斷層。取自
http://wordpress.axcell28.idv.tw/ActiveFault_MS/index.php/2017-06-02-08-00-54/80
- 十三、地質調查所（2017）。活動斷層條帶地質圖一彰化斷層。取自
http://wordpress.axcell28.idv.tw/ActiveFault_MS/index.php/2017-06-02-08-00-54/83

十四、地質調查所（2017）。臺灣活動斷層分布圖與說明書。取自

<https://fault.moeacgs.gov.tw/MgFault/index.php/2017-06-16-09-18-50/2017-06-22-05-59-26>

十五、捷成儀器（2011）。全站儀之介紹及使用方式。取自

<https://jcheng268.pixnet.net/blog/post/230633360>

十六、粘碁非（2004）。三維雷射掃描系統。取自

<https://ir.nctu.edu.tw/bitstream/11536/72657/4/655804.pdf>

十七、鄭世楠（2015）。1845 年台中地震與 1848 年彰化地震。取自

<https://tec.earth.sinica.edu.tw/upload/news/HistoryEQ/18451848TaichungChanghuaEQ.pdf>

十八、鴻宇光學（無年代）。Nikon Laser Forestry Pro II 雷射測距望遠鏡。取自

<https://www.galuxe.com.tw/products/nikon-laser-forestry-pro-ii-range-finder>

十九、謝有忠（無年代）。數值地形模型 Digital Terrain Model (DTM)。取自

<https://twgeoref.moeacgs.gov.tw/GipOpenWeb/wSite/ct?xItem=140861&ctNode=1233&mp=105>

【評語】 051908

分析數值高程模型找出彰化斷層可能出露位置及斷層地形，並實地測量地形高度進而推算斷層一次錯動的抬升量與地震規模，研究結果與文獻推估的震矩規模一致，極具科展實作探究精神，作品完整，口頭報告清晰，問題回答明確。事前的研究計劃很完整，並進行紮實的實地量測，最後根據文獻進行比較，佐證分析的結果。研究設計與分析探討完整，結果具參考價值，建議加強說明研究設計與真實情境之差異與參考應用之條件或限制。

作品簡報

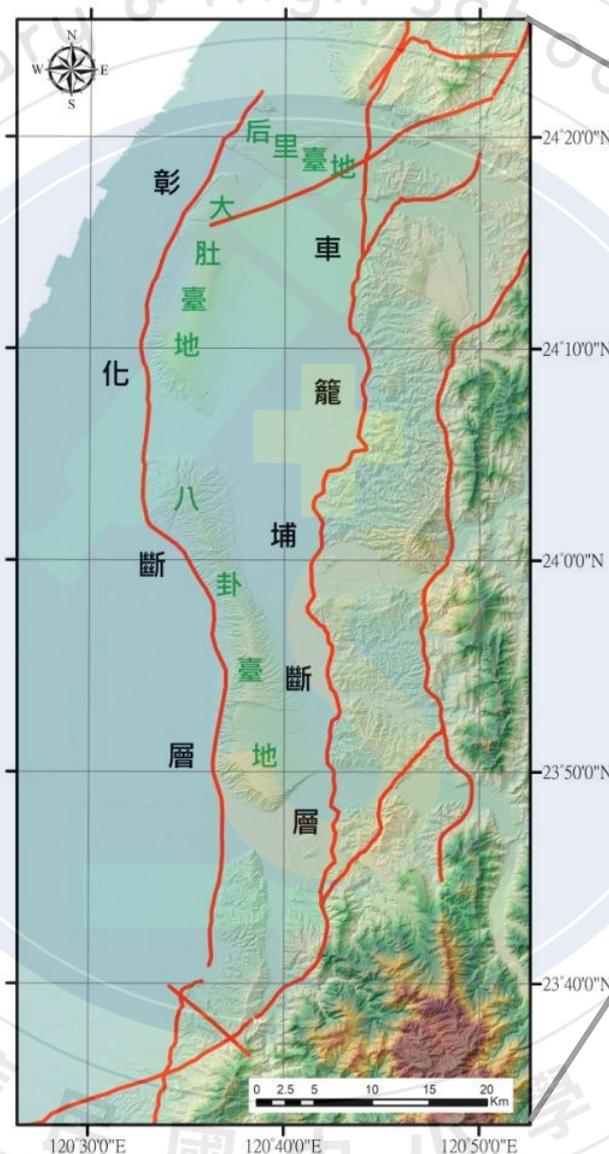
從臺灣中部地區彰化斷層之 斷層地形探討其活動特性

高級中等學校組 地球與行星科學科

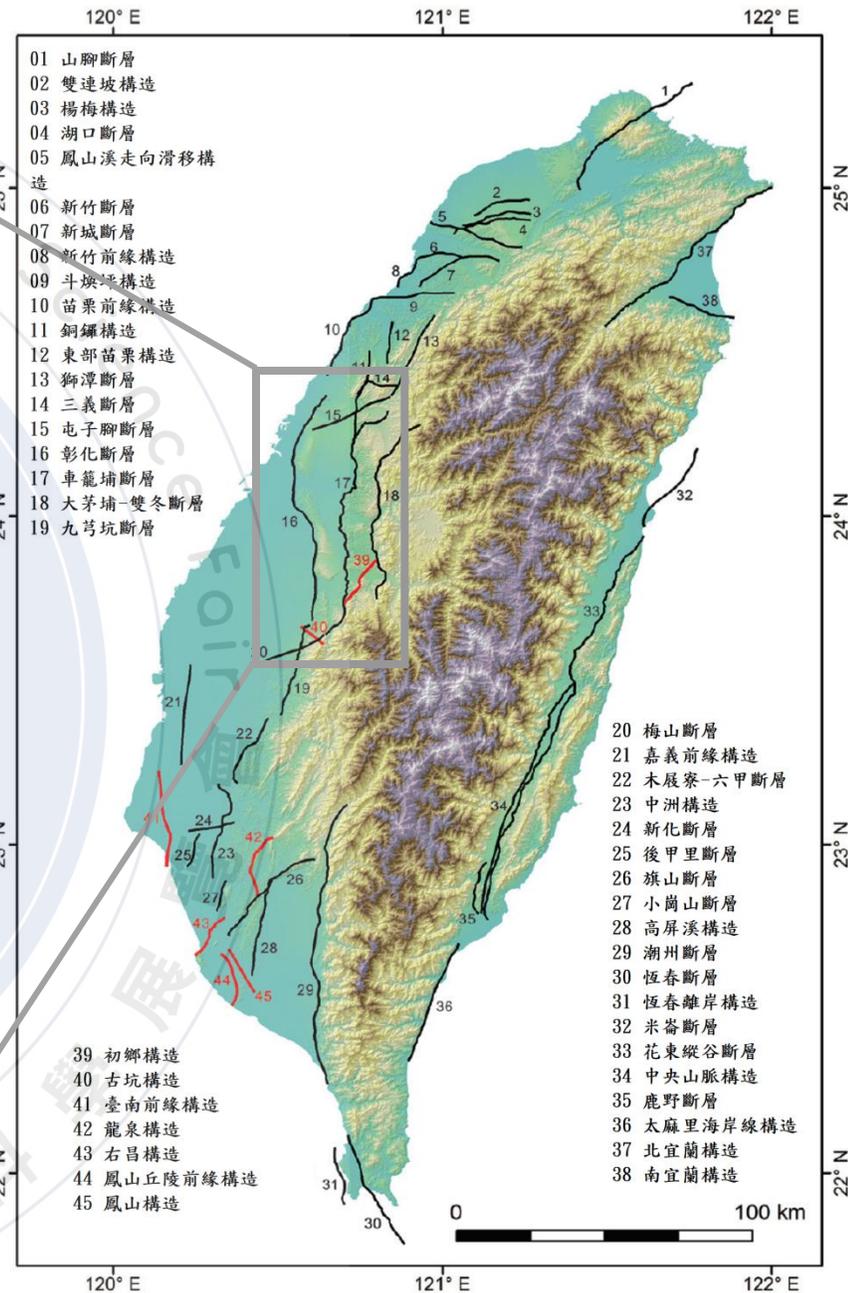
研究動機

彰化斷層

- 可能引起1848年彰化地震
- 向東傾斜之逆斷層
- 第一類活動斷層
- 出露地表的位置未定
- 斷層古地震事件資料不完整
- 通過人口稠密的都會區



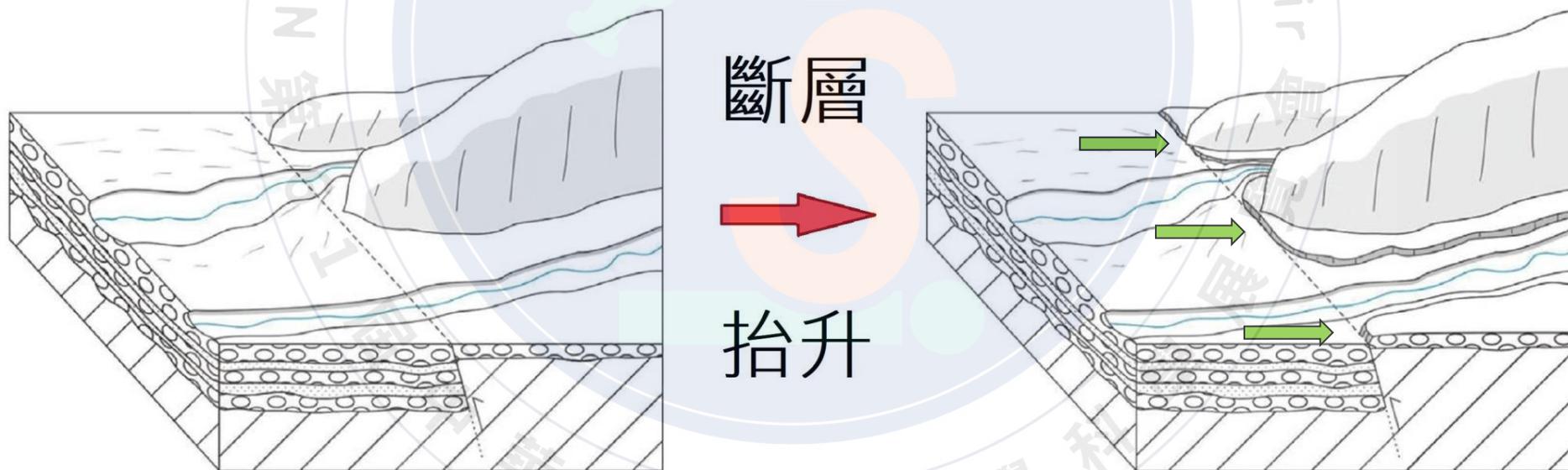
□ 臺灣中部的地形與構造圖。



□ 臺灣的構造圖 (修改自Shyu et al., 2020)。

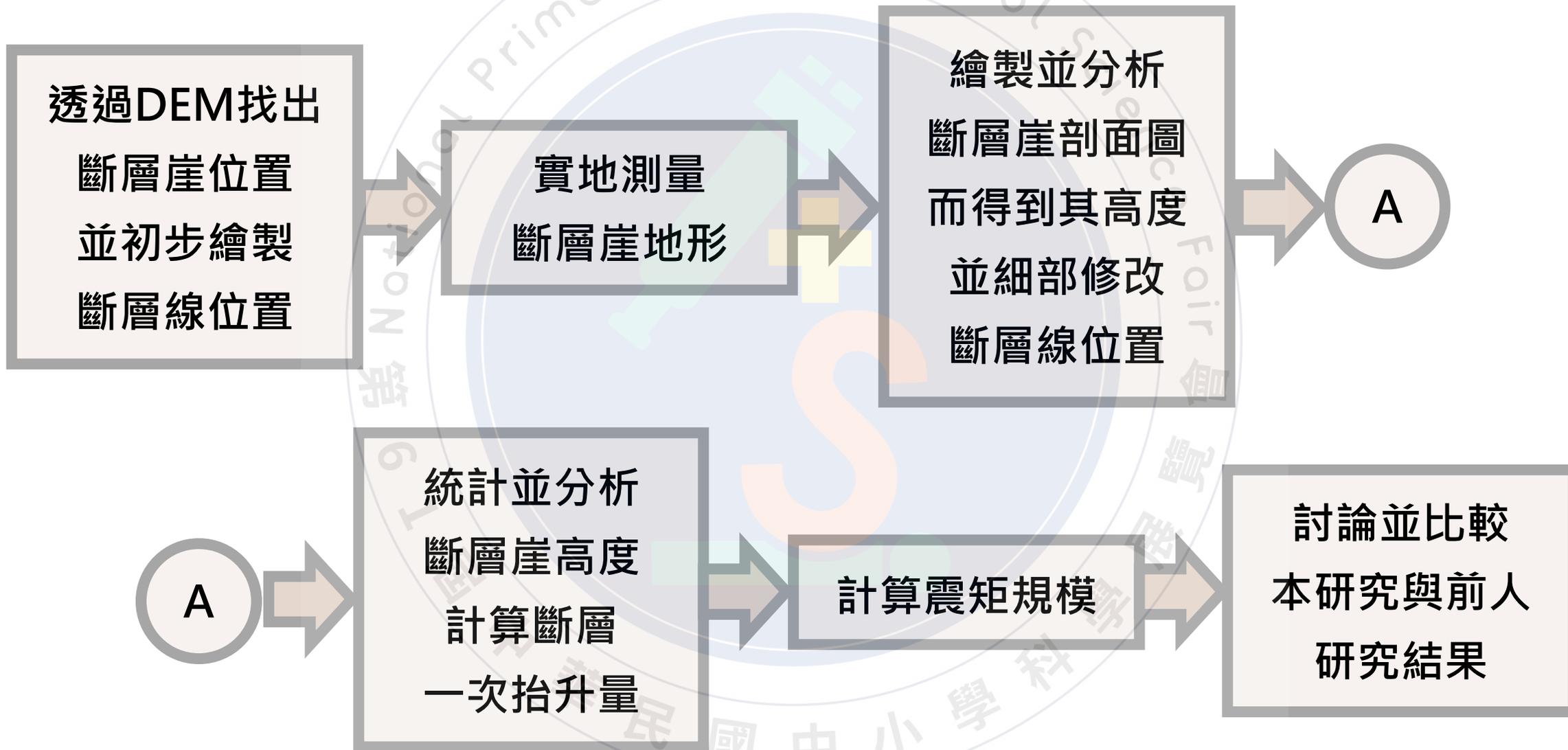
研究目的

- 一、透過地形分析找出彰化斷層可能的地表出露位置。
- 二、實地測量年輕斷層崖的高度，推算彰化斷層可能的一次錯動抬升量。
- 三、推算彰化斷層一次錯動可能造成的地震規模。



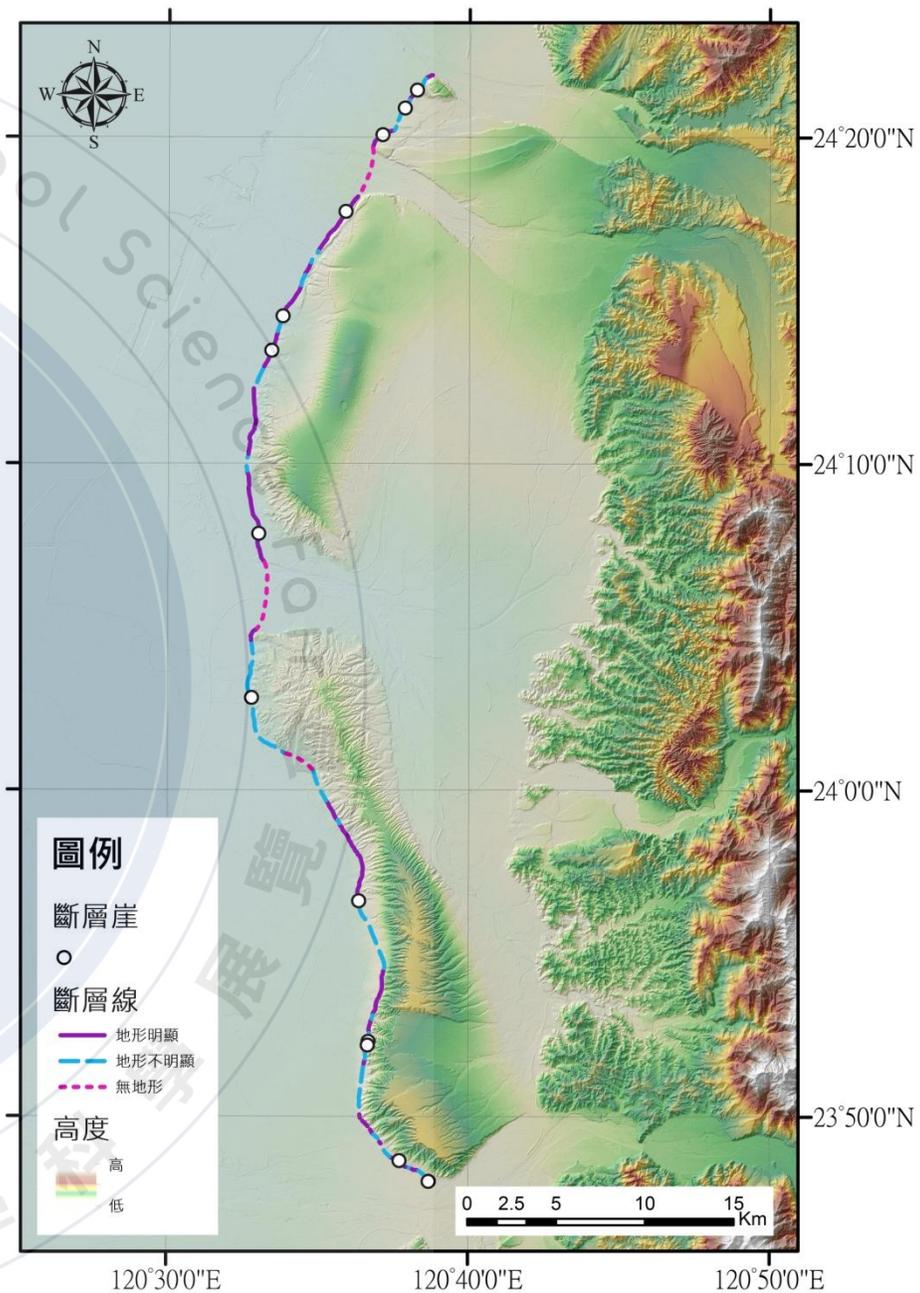
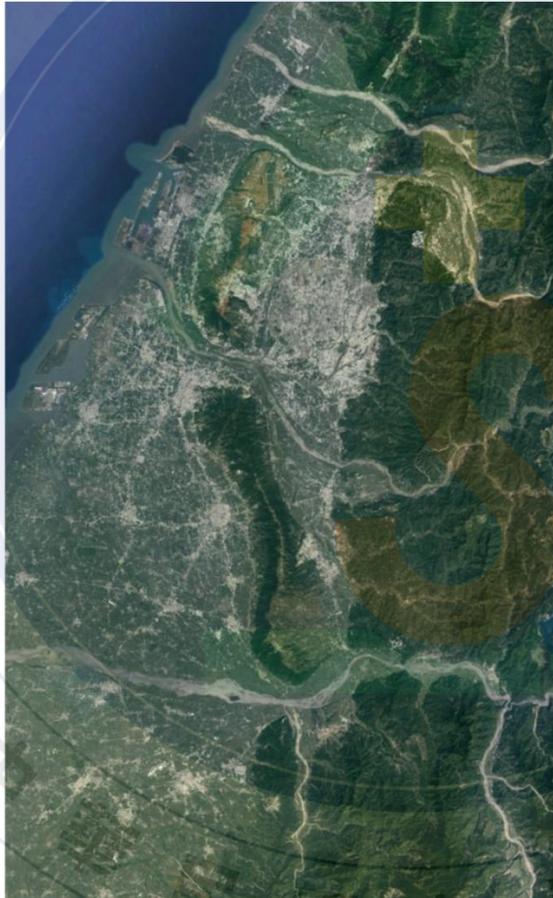
□ 斷層崖的形成 (修改自Shyu等人, 2016)

研究步驟



研究結果

地形分析



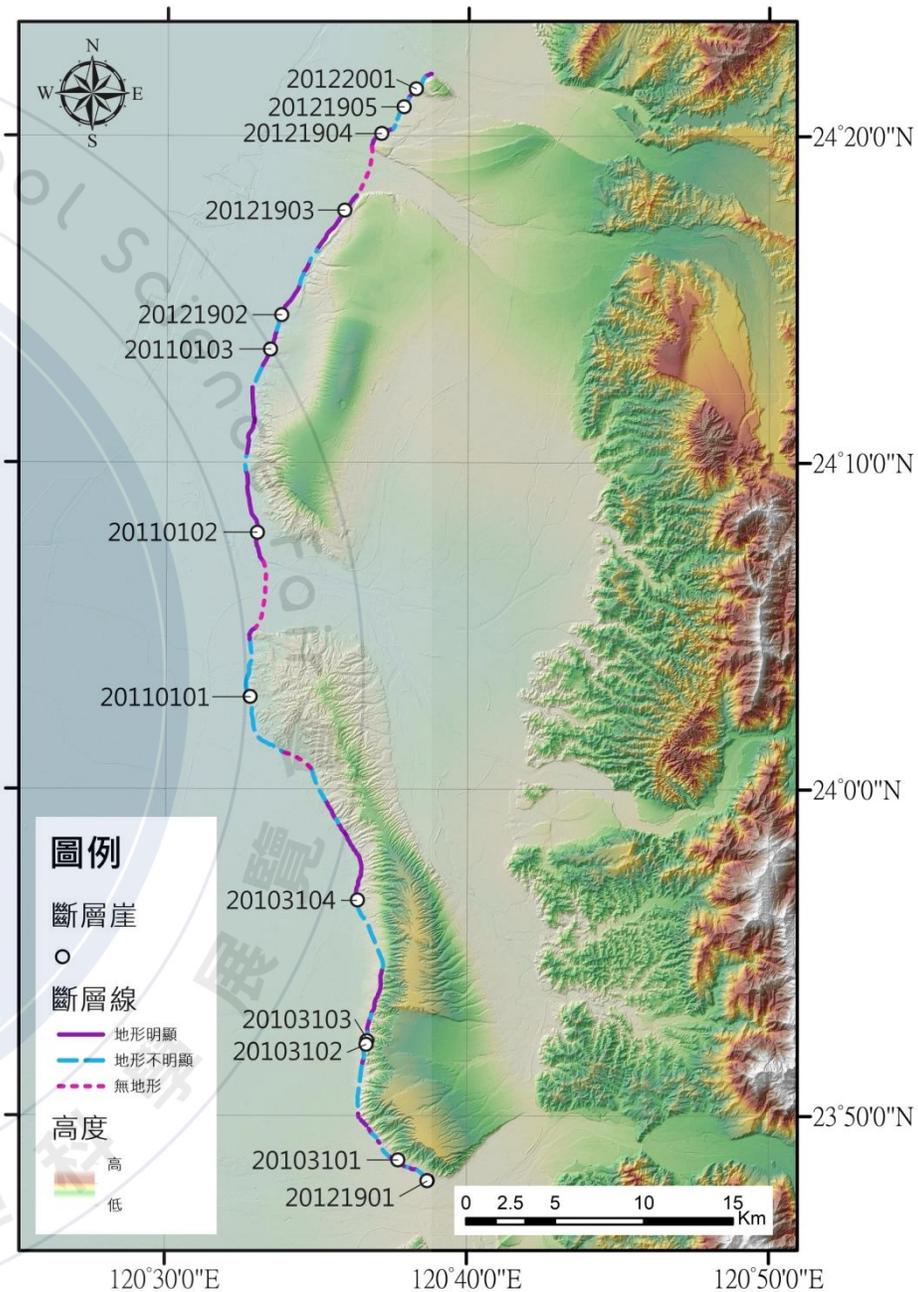
□ 臺灣中部地區之DEM。

□ 臺灣中部地區之衛星影像。

□ 斷層線與斷層崖的位置。

研究結果

實地測量



□ (a) 全站儀。 (b) 標竿及稜鏡。 (c) 雷射測距儀。

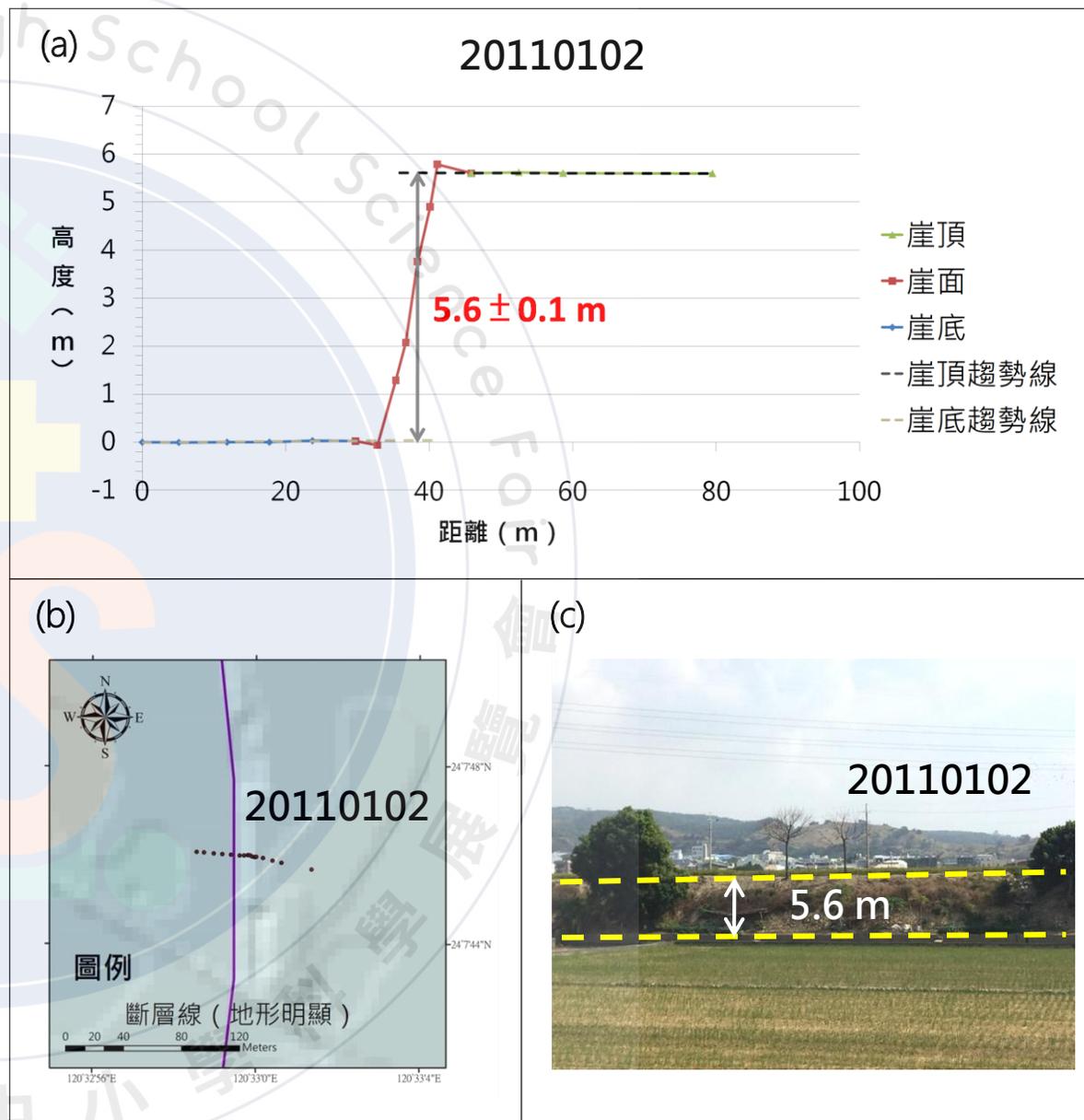
□ 斷層線與斷層崖的位置。

研究結果

實地測量

編號	高度 (m)	編號	高度 (m)
20103101a	11.2 ± 0.9	20121901	3.1 ± 0.1
20103101b	1.4 ± 0.8	20121902	4.7 ± 0.5
20103102	3.1 ± 0.4	20121903	4.0 ± 0.6
20103103	3.3 ± 0.8	20121904-①	0.9 ± 0.1
20103104	11.8 ± 2.8	20121904-②	1.9 ± 0.1
20110101	5.6 ± 0.7	20121904-③	3.5 ± 0.1
20110102	5.6 ± 0.1	20121905-①	1.7 ± 0.4
20110102-1	2.1 ± 0.1	20121905-②	6.1 ± 0.4
20110102-2	0.7 ± 0.1	20122001-①	0.6 ± 0.1
20110103	3.1 ± 0.1	20122001-②	5.6 ± 0.1

□ 彰化斷層之斷層崖高度。

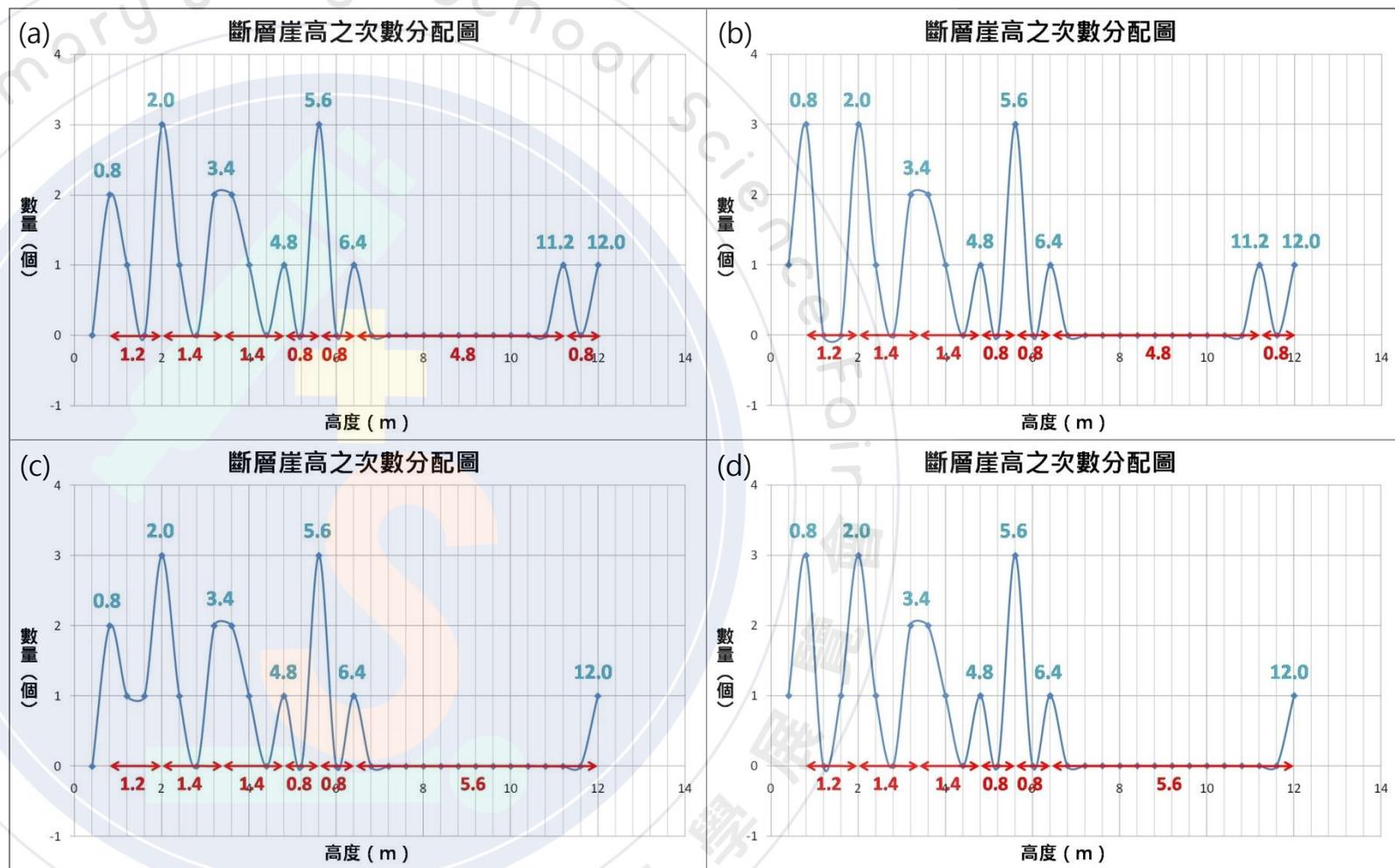


□ (a)斷層崖剖面圖。(b)斷層崖的測量點與斷層線。(c)斷層崖外觀。

討論

斷層一次錯動抬升量

為更進一步探討斷層崖高間的關係，本研究繪製斷層崖高之次數分配圖，根據崖高峰值間距，利用類似公因數的概念，得出彰化斷層一次錯動的可能抬升量為 0.7 ± 0.1 公尺。



□ 斷層崖高度次數分配圖：

(a)20103101a情況搭配20121904a情況；(b)20103101a情況搭配20121904b情況；

(c)20103101b情況搭配20121904a情況；(d)20103101b情況搭配20121904b情況。

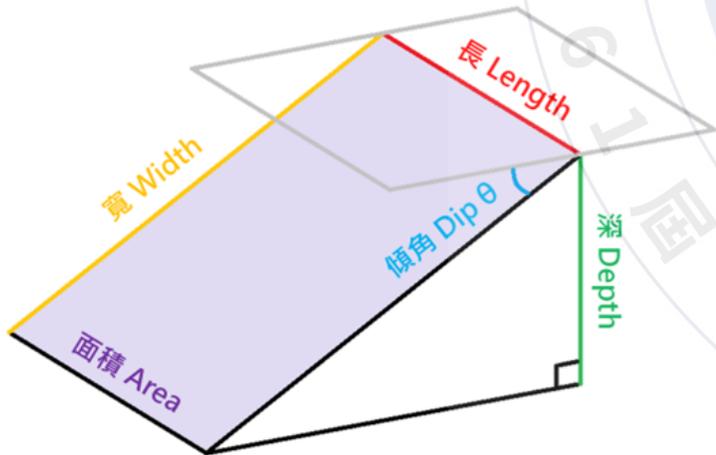
討論

震矩規模的計算

$$M_0 = \mu WLD$$

$$D = \frac{H}{\sin\theta}$$

$$M_w = \frac{2}{3} \log M_0 - 10.73$$



□ 斷層的幾何參數。

剛性係數 μ	3×10^{11} 達因 / 平方公分	傾角 θ	45 度
寬度 W	48.55 公里	滑動量 D	0.99 公尺
長度 L	71.67 公里	地震矩 M_0	1.04×10^{27} 達因 - 平方公分
抬升量 H	0.7 公尺	震矩規模 M_w	7.28

□ 震矩規模的計算參數與計算結果。

抬升量 H	0.6公尺	0.7公尺	0.8公尺
斷層傾角 θ			
10度	$M_w = 7.64$	$M_w = 7.69$	$M_w = 7.72$
30度	$M_w = 7.34$	$M_w = 7.38$	$M_w = 7.42$
45度	$M_w = 7.23$	$M_w = 7.28$	$M_w = 7.32$

□ 抬升量和傾角改變時的震矩規模計算結果。

討論

與前人研究之比較 - Shyu等人 (2016) 、 Shyu等人 (2020)

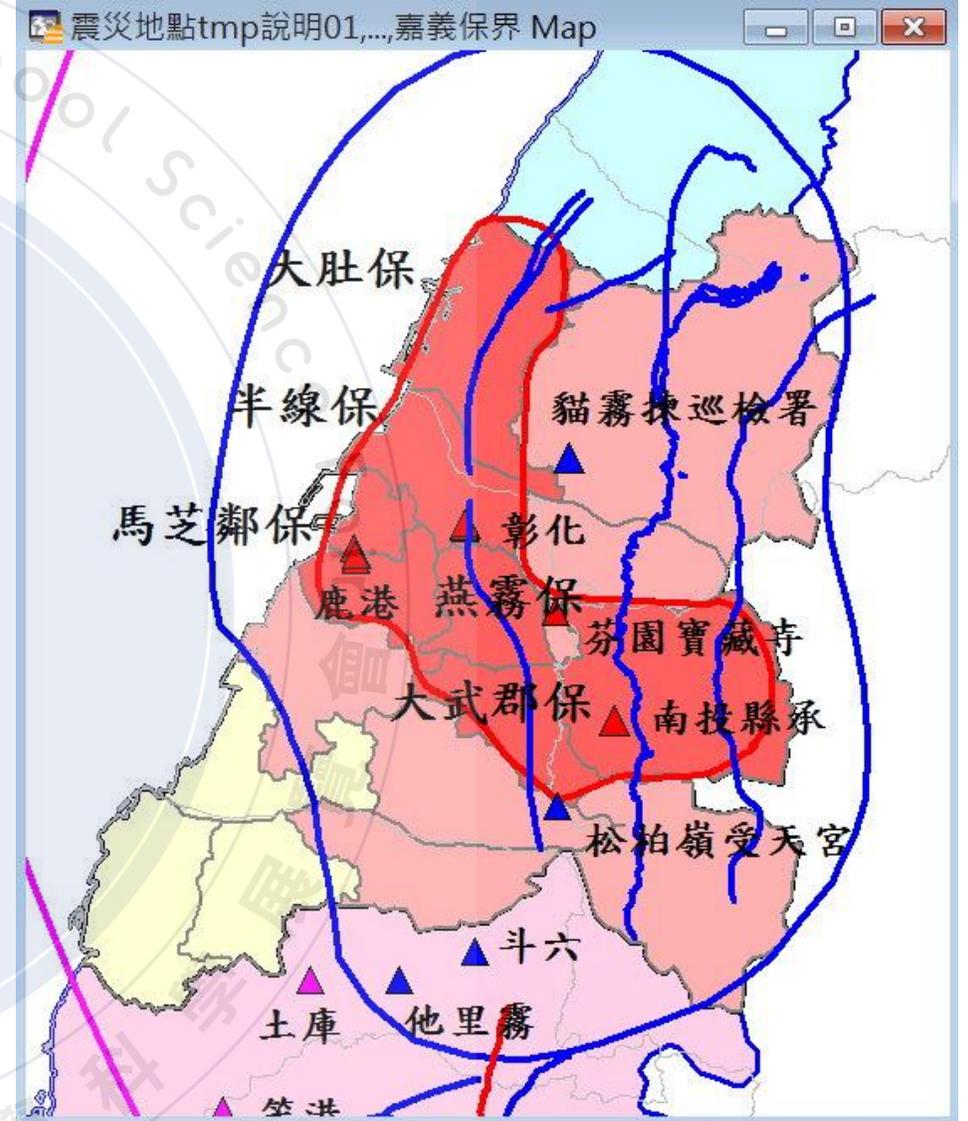
	本研究	Shyu等人 (2016)	Shyu等人 (2020)
寬度 W (公里)	48.55	48.55	48.55
長度 L (公里)	71.67	86.10	82.20
面積 A (平方公里)	3479.58	4180.15	3990.81
震矩規模 M_w	7.52	7.59	7.57
地震矩 M_0 (達因 - 平方公分)	2.35×10^{27}	3.01×10^{27}	2.83×10^{27}
滑動量 D (公尺)	2.25	2.40	2.36

□ 本研究與Shyu等人 (2016) 、 Shyu等人 (2020) 之參數及採用經驗式的計算結果。

討論

與前人研究之比較 - 鄭世楠 (2015)

- 模擬斷層錯動造成地震的震度並比對災情。
- 推論彰化地震為大甲斷層與彰化斷層 (兩者即為本研究的彰化斷層) 錯動導致，且震矩規模為7.2。
- 本研究計算出的震矩規模7.28與其所推估的規模相近。
- 佐證1848年彰化地震很有可能是由彰化斷層錯動所產生，且當時抬升量約為0.7公尺左右。



□ 1848年彰化地震的等震度圖 (鄭世楠, 2015)。

結論

- 一、本研究繪製彰化斷層斷層線長約71.67公里。
- 二、彰化斷層一次錯動抬升量為 0.7 ± 0.1 公尺。
- 三、由抬升量0.7公尺及傾角45度計算，若彰化斷層全段破裂，產生地震可能的震矩規模為7.28，考慮抬升量及傾角換算造成的誤差，震矩規模的範圍為7.23~7.72。
- 四、鄭世楠（2015）推論1848年彰化地震可能為彰化斷層所引起，震矩規模為7.2，此結果與本研究計算出的震矩規模7.28相近，故可以佐證彰化地震很有可能是由為彰化斷層錯動產生，當時抬升量約為0.7公尺左右。

參考資料

- 鄭世楠（2015）。1845年台中地震與1848年彰化地震。
- Shyu, J. B. H., Y.-R. Chuang, Y.-L. Chen, Y.-R. Lee, and C.-T. Cheng. (2016). A new on-land seismogenic structure source database from the Taiwan Earthquake Model (TEM) project for seismic hazard analysis of Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **27**, 311-323.
- Shyu, J. B. H., Y.-H. Yin, C.-H. Chen, Y.-R. Chuang, S.-C. Liu. (2020). Updates to the on-land seismogenic structure source database by the Taiwan Earthquake Model (TEM) project for seismic hazard analysis of Taiwan. *Terr. Atmos. Ocean. Sci.*, **31**, 469-478.