
2009 年國際地球科學奧林匹亞 IESO-- 測量地形學應用於 921 集集地震震度調查 --ITFI 野外考察活動實作手冊

葉孟宛^{1*} 姜彥麟² 張俊彥³ 簡佑達³ 梁媛翔⁴

¹ 國立臺灣師範大學 通識教育中心

² 行政院經濟部 地質調查所

³ 國立台灣師範大學 科學教育研究所

⁴ 國立台灣師範大學 地理系

壹、前言

地球科學可說是本世紀重要的科學領域，其結合了地質，氣象，天文，大氣，海洋，生物，生態，工程等相關領域之自然科學。相較於其他自然科學，地球科學在內容及方法上，具有強烈的環境性、統整性及實用性。21 世紀的人們正面對著氣候變遷、人口爆炸、汙染嚴重且資源短缺等生存攸關的問題，地球環境與資源的永續利用已成為全人類必須認真面對的課題，當今台灣社會中常見到的環境議題，諸如酸雨、空氣汙染、臭氧洞、水資源與水汙染、土地利用、氣象預報、氣候變遷、地震防治、地質災害等等，皆是每個國民及國家決策者都必須面對與學習的。而野外實查及團隊合作亦是本學科必須具備之重要能力，有鑑於此，相較於其他學科之奧林匹亞競賽，國際地球科學奧林匹亞 (IESO) 中還多加了野外考察及國際團隊

野外考察活動 (I T F I) 兩大項目。本 ITFI(International Team Field Investigation) 野外考察活動實作手冊需與葉等人，2011 於科學教育月刊所發表之『2009 年國際地球科學奧林匹亞 IESO--測量地形學應用於 921 集集地震規模調查--ITFI 野外考察活動講義』配合使用。雖然本野外考察活動是為 2009 年國際地球科學奧林匹亞競賽所設計，但此活動教案可供任何高中與大專院校相關野外課程操做與參考。

貳、任務目標

地質學家雖然可以運用現代科技知識與監測技術來並紀錄現今發生的地震，但若要研究一個古代發生過的地震事件，我們就必須透過野外考察，依據古地震事件在當時於地形和構造形態上所留下的紀錄加以分析之後，才能描繪勾勒出當時地震事件的規模，以及其活動歷史，並且得知附近地區的地震形態與應力環境為張裂或壓縮。

*為本文通訊作者

基於 ITFI 野外考察活動講義（葉等人，2011）中的基礎知識之上，此次的野外考察活動，你和隊友們將針對臺灣中部的車籠埔斷層的兩個區域進行考察。第一個區域為南投名間鄉之台電高壓電及觀光鐵道紀念區（圖一），第二個區域為中興大學位於霧峰鄉之葡萄園區（圖二）。



圖一、考察地點一，南投名間鄉之台電高壓電及觀光鐵道紀念區對面之安全島之地表起伏為車籠埔斷層之斷層崖。



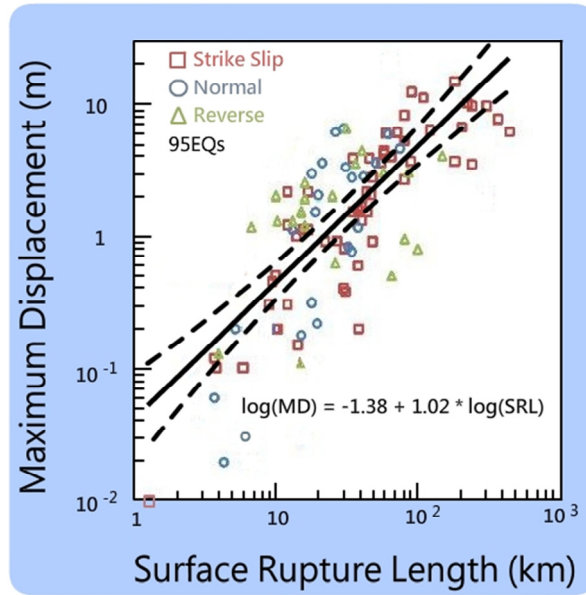
圖二、考察地點二，中興大學位於霧峰鄉之葡萄園區之地表起伏為車籠埔斷層之斷層崖。

雖然此次考察選定此兩區域，但任何有斷層崖或車籠埔斷層經過有造成地表落

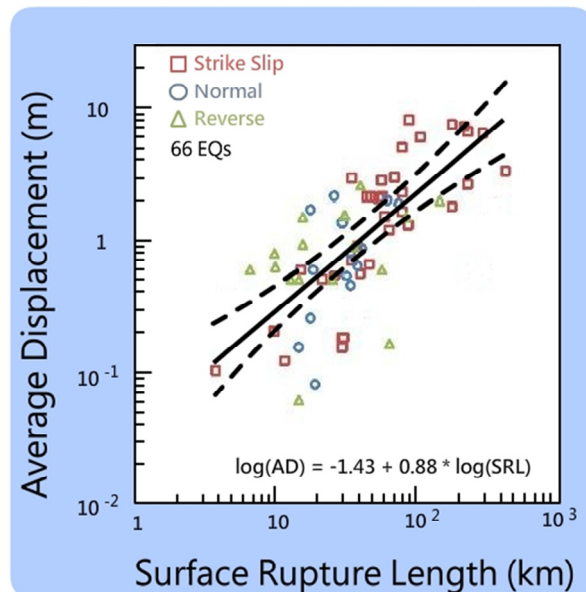
差之區域皆適用此考察教案。學生們的主要任務是測量此區間車籠埔斷層附近之地形，且運用所收集到的地形數據以繪製斷層崖之地形剖面圖、計算破裂面的長度，並推估當時的地震規模。請善用本次野外考察提供的資訊，配合學生們所學的知識，以及跟隊友之間良好的團隊合作來共同完成這些任務。

參、考察目的與步驟

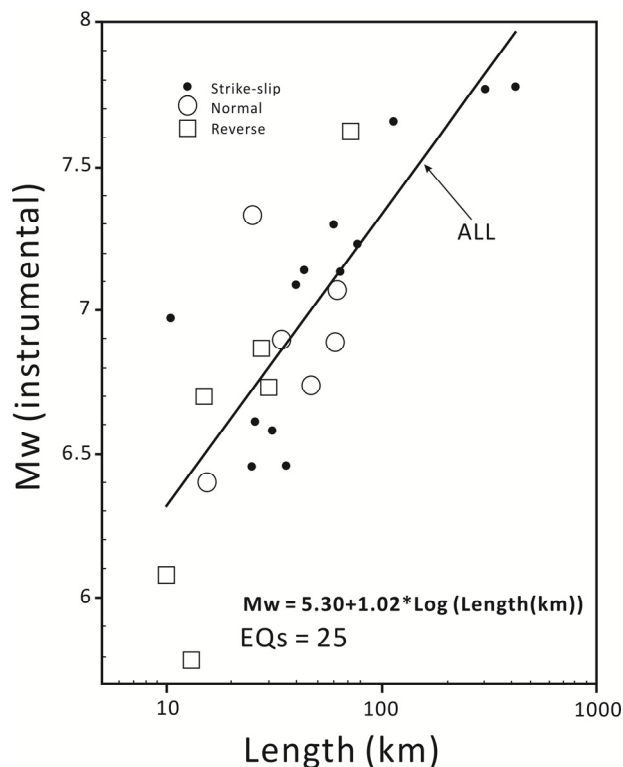
對於每一考察點，當小隊於考察地點完成 GPS 定位之後，接下來的第一個任務是測量地形起伏，並繪出該斷層崖的地形剖面；第二個任務則是計算出此斷層的垂直位移量，再參照圖三和圖四中所顯示之斷層破裂面長度與垂直位移量之乘幕關係以計算出此斷層之地表破裂面長度。最後則是利用你們所算出的地表破裂面長度，藉由圖五所顯示之地表破裂面長度的和地震規模的回歸關係算出地震規模；第三個任務則是將你們計算出的結果與當時集集地震發生時儀器測量所得之記錄做比較。對於此地震事件，藉由地形測量及相關斷層位移量之乘幕計算結果是否與紀錄的結果相吻合？如果答案為非，有哪些原因可能造成這樣不一致的結果？理論上在同一條斷層上的位移變化應該是均值的，但在自然界卻不是如此，所以，最後一個任務是，請比較 2 個考察點位的各種差異，並討論如何利用圖三、四和五(例如應該使用最大位移量，或是平均位移量)，為不一致的結果作更合理之解釋。



圖三、對比級數圖顯示斷層破裂面長度(SRL)和最大斷層錯移量(MD)的關係，EQs 是地震事件，紅色正方形為平移斷層，藍色圓圈為正斷層，灰色三角形為逆斷層（數據整合自 Well 與 Coppersmith, 1994; Lee 與 Chan, 2007; Marrett 與 Allmendinger, 1992; Rubin 等人, 2001; Walsh 與 Watterson, 1987; Walsh 等人, 1991; Walsh 與 Watterson, 1992; Wells 與 Coppersmith, 1994; Wesnousky, 2008 及 Yielding 等人, 1996）。



圖四、對比級數圖顯示斷層地表破裂面長度(SRL)和(AD)的關係，EQs 是地震事件，紅色正方形為平移斷層，藍色圓圈為正斷層，灰色三角形為逆斷層（數據整合自 Well 與 Coppersmith, 1994; Lee 與 Chan, 2007; Marrett 與 Allmendinger, 1992; Rubin 等人, 2001; Walsh 與 Watterson, 1987; Walsh 等人, 1991; Walsh 與 Watterson, 1992; Wells 與 Coppersmith, 1994; Wesnousky, 2008 及 Yielding 等人, 1996）。



圖五、對比級數圖顯示斷層破裂面長度(L)和地震規模(Mw)的回歸關係, EQs 是地震事件, 黑點為平移斷層, 圓圈為正斷層, 正方形為逆斷層(數據整合自 Well 與 Coppersmith, 1994; 及 Wesnousky, 2008)。

肆、評分標準

一、最佳團隊獎之評分標準

評審們將會於小組進行野外考察活動時依據隊友之間的溝通技巧和合作情況等面向, 從個人表現和團隊互動予以評分, 選出最優秀的隊伍。

二、最佳團隊報告獎之評分標準

評審們會從你們報告的方式與內容是否符合科學正確性, 資料的準確度、呈現方式、如何詮釋和討論資料等予以評分。

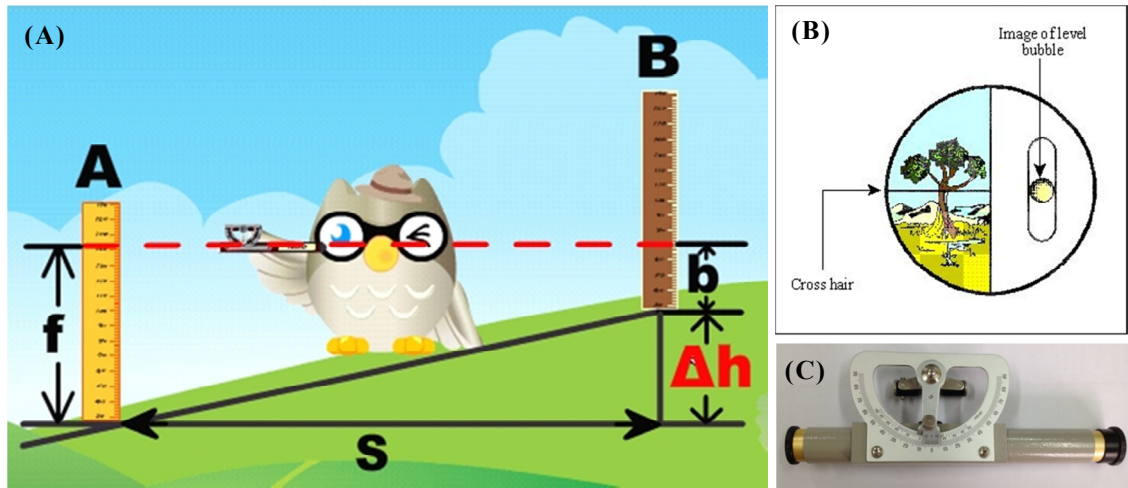
伍、測量方法

一、水平測量

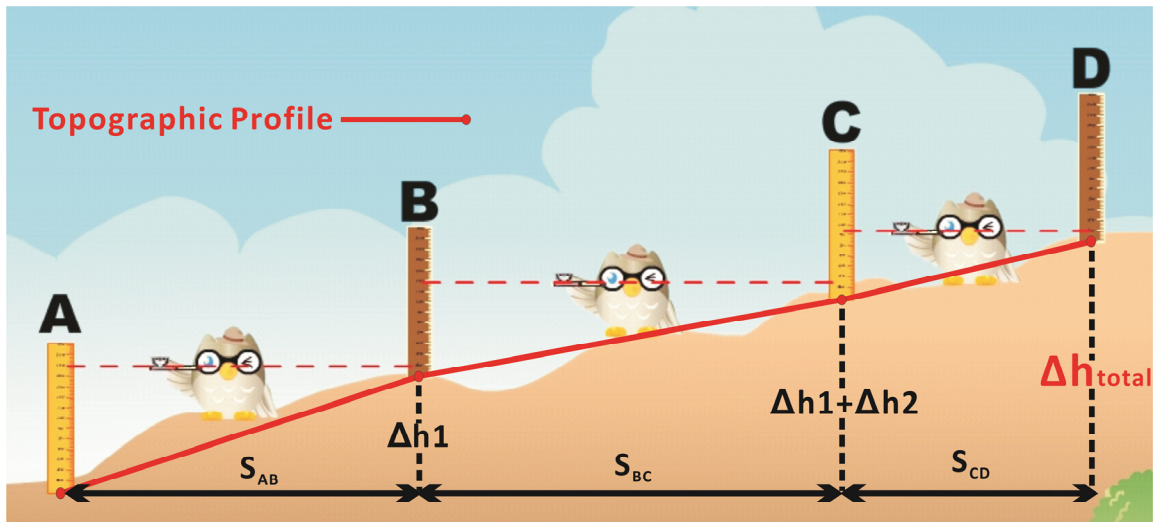
你可以利用兩點的高度來算出相對高差, 從圖六裡可以找到一個等式來計算想要的高差(Δh):

$$\Delta h = f - b \dots\dots(\text{eq } 2)$$

因此, 只要像圖七所示, 重複地計算地形切面上的高度差, 你們就能得出自己隊上研究區的等高線, 而繪製的時候, 標尺和標尺之間的水平距離越小, 畫出來的等高線就會越平滑。



圖六、(A)水平標高測量法於地形剖面之示意圖：灰色器具代表手持水準儀，黃色杆子表示標尺， S 表示標尺 A 和 B 的水平距離， f 是標尺 A 從地表到手持水準儀上觀察到的高度數值， b 則是地表到手持水準儀，用標尺 B 測量觀察到的高度數值，用 f 減掉 b 得到的 Δh ，就是 A 和 B 的相對高度差。(B)手持水準儀觀測視窗示意圖，右半邊為水平儀。當氣泡置中時代表平視，左半邊為測量觀測窗，其中黑線為視線高度。(C)手持水準儀照片。



圖七、一地區以水平標高方法測量地表高度起伏之示意圖。

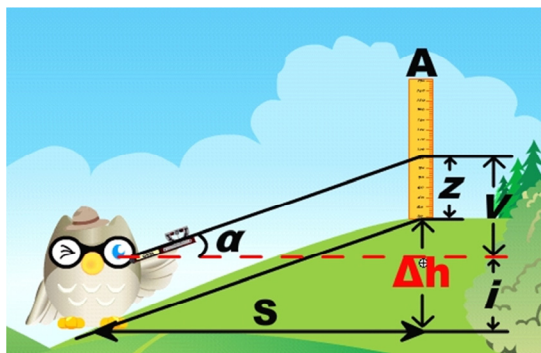
二、三角高程測量法

三角高程測量法是另一個可以測量地形起伏的方法，你們可以自行決定要使用哪種方法測量，但不同於前述使用兩個點位高度差繪出地形起伏變化的方式，如圖八所示，三角高程測量法只需知道一個點的標高，測量觀測者眼睛到所處地面的標高 ”i”，再測出觀測者到標尺 A 的水平距離”S”，和觀測者視線與標尺形成的” α ”角及標尺到地面的距離”z”，我們就可以從下列式子中求出” Δh ”，也就是 A 標尺所在的高度為何。

$$\therefore \Delta h = V + i - z \quad (\text{eq 3})$$

$$V = S \cdot \tan \alpha \quad (\text{eq 4})$$

$$\therefore \Delta h = S \cdot \tan \alpha + i - z \quad \dots \dots \text{eq 5}$$



圖八、三角高程測量法：灰色框表示手水準儀，黃色杆子表示標尺，S 是水平距離， Δh 是相對高度， α 是投影出來的角度，有了這些，只要沿著地形切面重複使用三角高程測量法測量高度，就可以繪出你們要的剖面圖。

陸、小組活動分配

開始小組活動之前，請先把工作分配名單填到下面的表格中，如果你們中途想

要互換，不想整個活動都做同一個工作的話，重分過的工作名單也一樣要填入下表。

請把點位 I 的工作分配名單填入下表。

點位 I		
姓名	負責工作	工作描述
	隊長	領導,組織整個團隊目標
	觀察者	利用水準儀來測量標高
	持標尺 A 者	手持標尺 A,必須確保標尺是垂直於水平面
	持標尺 B 者	手持標尺 B,必須確保標尺是垂直於水平面
	持 GPS 者	利用 GPS 定位目前測量的位置,並決定斷層之走向
	紀錄者	紀錄測量數據資料

請把點位 II 的工作分配名單填入下表。

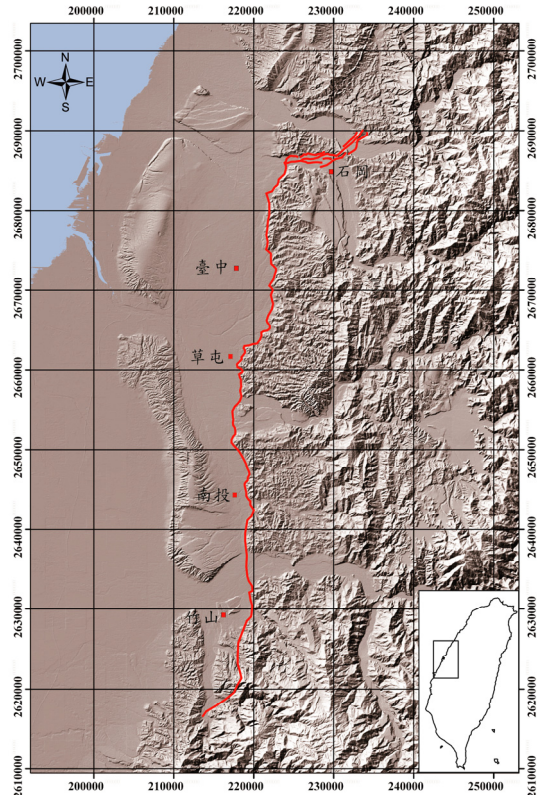
點位 II		
姓名	負責工作	工作描述
	隊長	領導,組織整個團隊目標
	觀察者	利用水準儀來測量標高
	持標尺 A 者	手持標尺 A,必須確保標尺是垂直於水平面

	持標尺 B 者	手持標尺 B,必須確保標尺是垂直於水平面
	持 GPS 者	利用 GPS 定位目前測量的位置,並決定斷層之走向
	紀錄者	紀錄測量數據資料

柒、測量步驟

以下步驟僅供各組參考，只要能求得正確的分析結果，達到測量的目的，步驟順序可自行調整。

步驟 1	辨認出斷層	拍下照片
步驟 2	利用指南針來決定斷層之走向	點位 I: _____ 點位 II: _____
步驟 3	決定斷層走向後，放下測量尺當做導線與斷層面交叉垂直	點位 I: _____ 定點 II: _____
步驟 4	決定你要測量的距離間距	點位 I: _____ 定點 II: _____
步驟 5	決定你想使用的測量方法(水平或三角高程測量)	點位 I: _____ 定點 II: _____
步驟 6	利用 GPS 找出地圖上的位置	點位 I: _____ 定點 II: _____
步驟 7	開始測量	紀錄數據



圖七、中臺灣的地形圖(TWD 67)，請依據 GPS 測出的座標，標出點位 1 和 2 的位置，圖中紅線是車籠埔斷層的位置。

捌、注意事項

- 周圍的事物都可能是線索，記得不要只拘泥在道路或路旁的花草樹木等一目了然的事物上。
- 避免以特有的蛇、動物棲息的土堆，如：樹枝堆成的巢穴、碎屑堆、植物根系、廢棄建築物和潮溼的地面等表象的事物作為判斷依據，因為這些東西其他地方都可能看得到。
- 請穿著高於腳踝的皮鞋或靴子，避免被蛇咬傷。
- 請勿用腳、手、身體任意坐或攀爬未確定安全性的障礙物，先確認其安全性再

將它移動

- 觀察非常重要！請練習先將研究區整個掃視一遍，避免忽略掉一些有意義的細節。

玖、數據紀錄

請紀錄點位 I 測量到的內容，寫下你測量的方法和算出的結果，如果你想多測量幾個橫切面，多測出的數據也要往下紀錄在表格裡。

水平測量 點位 I					
位置	橫切面#	水平距離 (S)	B 標竿高度 (b)	A 標竿高度 (f)	相對高差 (Δh)
AB1					
AB2					
AB3					
AB4					
AB5					

若表格不夠請自行增加！

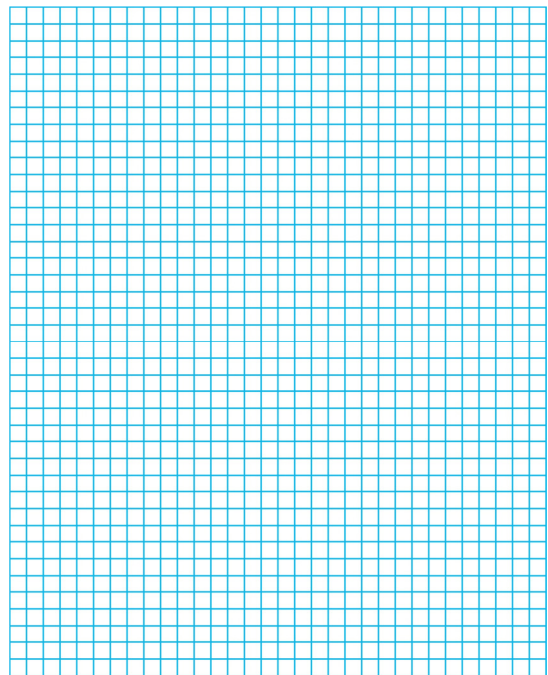
請紀錄點位 I 測量到的內容，寫下你測量的方法和算出的結果，如果你想多測量幾個橫切面，多測出的內容也要往下紀錄在表格裡。

三角高程測量 點位 I							
位置	橫切面#	水平距離 (S)	眼睛水平 (i)	標竿高度 (z)	投射角 (α)	V= (S* $\tan\alpha$)	相對高差 (Δh)
1							
2							

3							
4							
5							
6							
7							
8							

若表格不夠請自行增加！

請用下列方格紙畫出點位 I 斷層坡度起伏的剖面圖。



若方格紙不夠請自行增加！

請紀錄點位 II 測量到的內容，寫下你測量的方法和算出的結果，如果你想多測量幾個橫切面，多測出的內容也要紀錄在往下的表格裡。

水平測量 點位 II					
位置	橫切面#	水平距離 (S)	B 標杆高度 (b)	A 標杆高度 (f)	相對高差 (Δh)
AB1					
AB2					
AB3					
AB4					
AB5					

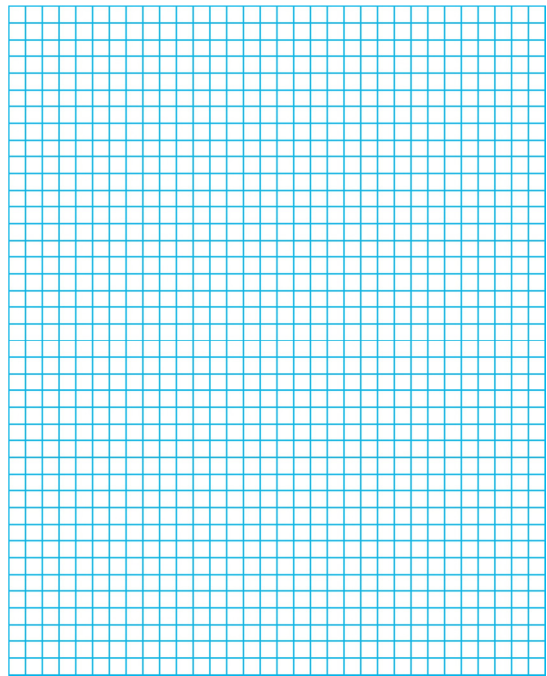
若表格不夠請自行增加！

請紀錄點位 II 測量到的內容，寫下你測量的方法和算出的結果，如果你想多測量幾個橫切面，多測出的內容也要往下紀錄在表格裡。

三角測量法 點位 II							
位置	橫切面#	水平距離 (S)	眼睛水平 (i)	標竿高度 (z)	投射角 (α)	$V = (S * \tan\alpha)$	相對高差 (Δh)
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

若表格不夠請自行增加！

請用下列方格紙畫出點位 II 斷層坡度起伏的剖面圖。



若方格紙不夠請自行增加！

拾、問題討論

測量完成後，請依結果算出斷層垂直位移量，並將答案填入下方表格。

- 根據你們紀錄到的資料，請綜合所有測量到的結果，計算出車籠埔斷層在 921 集集地震時，可能產生的破裂面長度和地震規模，並將答案填入下方表格。

	垂直距離	地表破裂長度	預估規模
點位 I			
點位 II			

- 試問上表中，兩個點位的結果是否一樣？如果不是，什麼原因可能造成他們之間的差異？

3. 我們已經知道 921 地震時，車籠埔斷層的破裂面長度是 100km，地震規模 7.6，此結果是否與你的答案一致？如果不是，請問有哪些可能原因造成兩者差異？

參考文獻

- 葉孟宛，姜彥麟，張俊彥，梁鳳儒，王希俊，黃進達，2011。2009 年國際地球科學奧林匹亞 IESO -測量地形學應用於 921 集集地震規模調查-ITFI 野外考察活動講義。科學教育月刊 342, 28-46.
- Lee, J.C., Chan, Y.C., 2007. Structure of the 1999 Chi-Chi Earthquake Rupture and Interaction of Thrusts in Active Fold Belt of Western Taiwan. *Journal of Asian Earth Sciences* 31, 226–239.
- Marrett, R., Allmendinger, R.W., 1992. Amount of extension on “small” faults: an example from the Viking graben. *Geology* 20, 47–50.
- Rubin, C.M., Sieh, K., Chen, Y.G., Lee, J.C., Chu, H.T., Yeats, R., Mueller, K., Chan, Y.C., 2001. Surface rupture and behavior of thrust faults probed in Taiwan, *Eos, Transactions, American Geophysical Union* 82(47), 565-567.
- Walsh, J.J., Watterson, J., 1987. Distributions of cumulative displacement and seismic slip on a single normal fault surface. *Journal of Structure Geology* 9, 1039–1046.
- Walsh, J., Watterson, J., Yielding, G., 1991. The importance of small-scale faulting in regional extension. *Nature* 351, 391–393.
- Walsh, J.J., Watterson, J., 1992. Populations of faults and fault displacements and their effects on estimates of fault-related regional extension. *Journal of Structure Geology* 14, 701–712.
- Wells, D.L., Coppersmith, K.J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture Length, rupture Width, rupture Area, and surface displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America* 84(4), 974–1002.
- Wesnousky, S.G., 2008. Displacement and geometrical characteristics of earth ruptures: Issus and Implications for Seismic-Hazard analysis and the Process of earthquake rupture. *Bulletin of the Seismological Society of America* 98(4), 1609–1632.
- Yielding, G., Needham, T., Jones, H., 1996. Sample of fault populations using sub-surface data: a review. *Journal of Structure Geology* 18, 135–146.