

中華民國第 53 屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 地球科學科

第三名

030506

坍與不坍－崩塌地之土粒研究

學校名稱：桃園縣立楊光國民中(小)學

作者： 國二 許祐誠 國二 陳柏展 國一 陳郁翔	指導老師： 張聰陽 彭淑媛
---	-----------------------------

關鍵詞：崩塌、土粒大小、孔隙率

坍與不坍—崩塌地形之土粒研究

摘要

本研究經由觀察生活中常見的崩塌並研究其土壤結構及組成，探討其發生原因及特性，如：土壤的崩塌測試以觀察其承受力，再進行各地土壤的含水比、孔隙比、顆粒大小等。發現崩塌地形的產生多屬人為坡度開發不當造成，其中含水比約為 38.5%、孔隙比 88.3%~245.6% 以及土壤粒子多為 $\geq 1.2\text{mm}$ ，三者增量交互作用時，易形成崩塌地。

壹、研究動機

幾年前，台灣的高速公路曾經發生走山事件，嚴重影響台灣的交通，山上也常常有崩塌的情況發生，這些看似輕微的崩塌事件，卻嚴重的影響住在山上的居民的安全。有時候在山路上會看到崩塌掉的路面，這些崩塌地是不是就是下一次在同一地點發生大規模崩塌事件的跡象，有時還會在對面山上發現一大片崩塌掉的山壁，這些崩塌的地質組成，是不是就是發生崩塌地形的原因？我們可不可以事先預測以避開危險的區域！

貳、研究目的

- 一、探討崩塌地形的判釋方法及田調。
- 二、探討地形對崩塌之影響。
- 三、探討各種土壤所能承受水量之程度
- 四、探討崩塌與未崩塌之土壤組成。
- 五、探討崩塌與未崩塌之土壤結構。

參、研究設備及器材

Soil Sampling Tube(簡易土壤採樣管)、數位相機、保麗龍*4(5cm 厚)、土壤篩目網(46 OPN、20 OPN、046 OPN、041 OPN)、農林航空測量所相片基本圖*2(9622-4-046、9622-4-056)、壓克力顏料、雷射測距儀、Google Earth、航空攝影測量測製成果 100 及 500 公尺網格數值高程模型、密封袋(裝樣品)、電子磅秤(鑽石用)、烤箱、Golden Software Surfer 10 (32-bit)。

肆、研究過程或方法

- 一、崩塌地點的判釋及田野調查
 - (一)、農林航空測量所相片基本圖判釋

因為在進行崩塌地形判釋時，通常是針對大區域研究，不大可能進行實際走訪的方式至每地進行地形的解讀，所以我們想要利用國家現有的資源進行判釋，於是我們向林務局採買「農林航空測量所相片基本圖」，並向內政部地政司衛星量測中心申請「航空攝影測量測製成果網格數值高程模型」(俗稱空載光達)。農林航空測量所相片基本圖是以中心投影相片，加上等高線及地物與註記說明，成為相片基本圖，而空載光達使用飛機進行測製，上頭裝有雷射測距儀，並使用波長約 1 微米的遠紅外線，以每秒約 20~40 萬次的頻率沿途發射訊號，再接收反射的回波而描繪出地形模型。

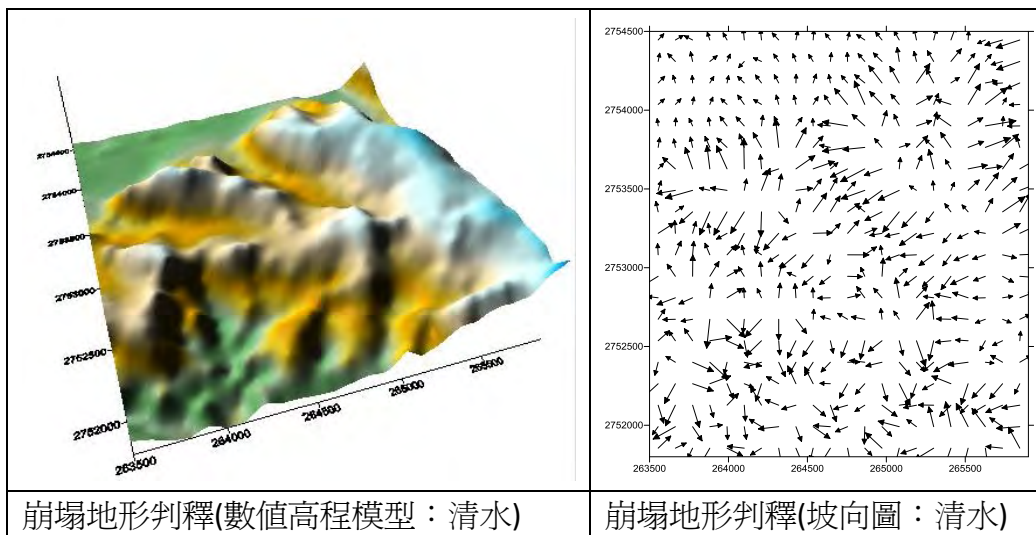


圖 4-1 1 空載光達 DEM

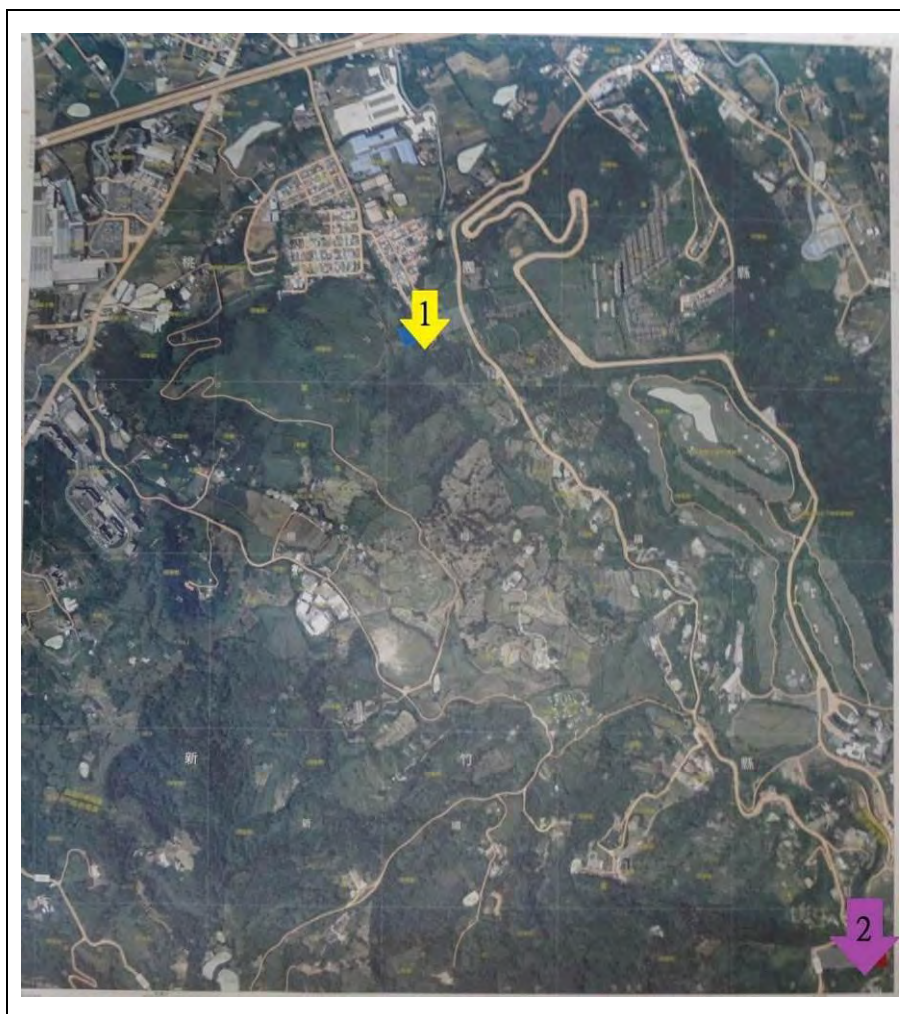


圖 4-1 2 崩塌地形判釋(相片基本圖：清水)

這兩項圖資進行判釋的原因是希望集「相片基本圖的等高線及路標、空載光達的 3D 立體模型及坡度向量圖」於一身，以增加判釋的準確度。

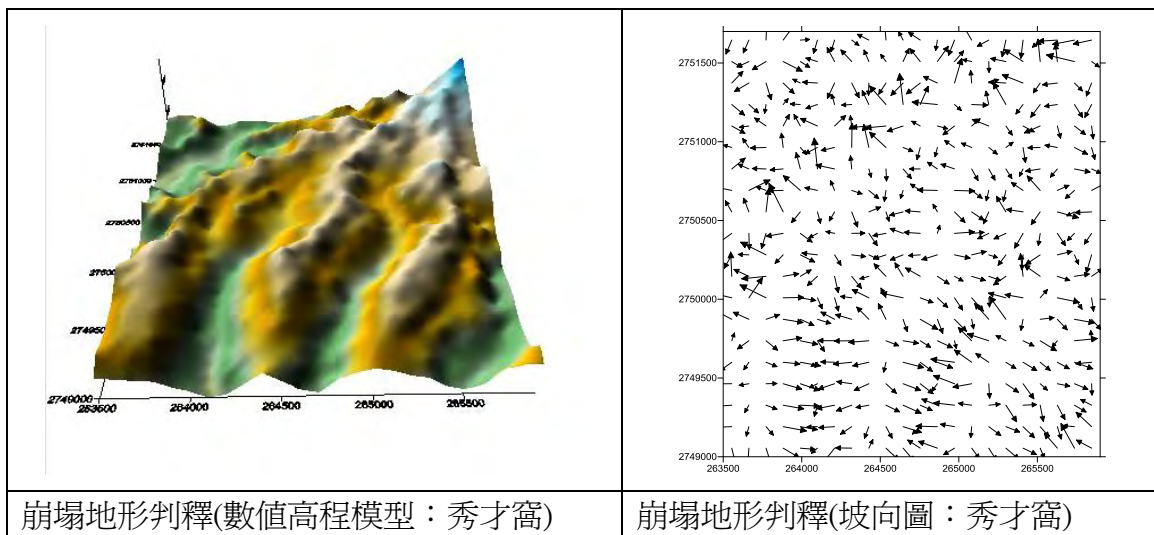


圖 4-1 3 空載光達 DEM

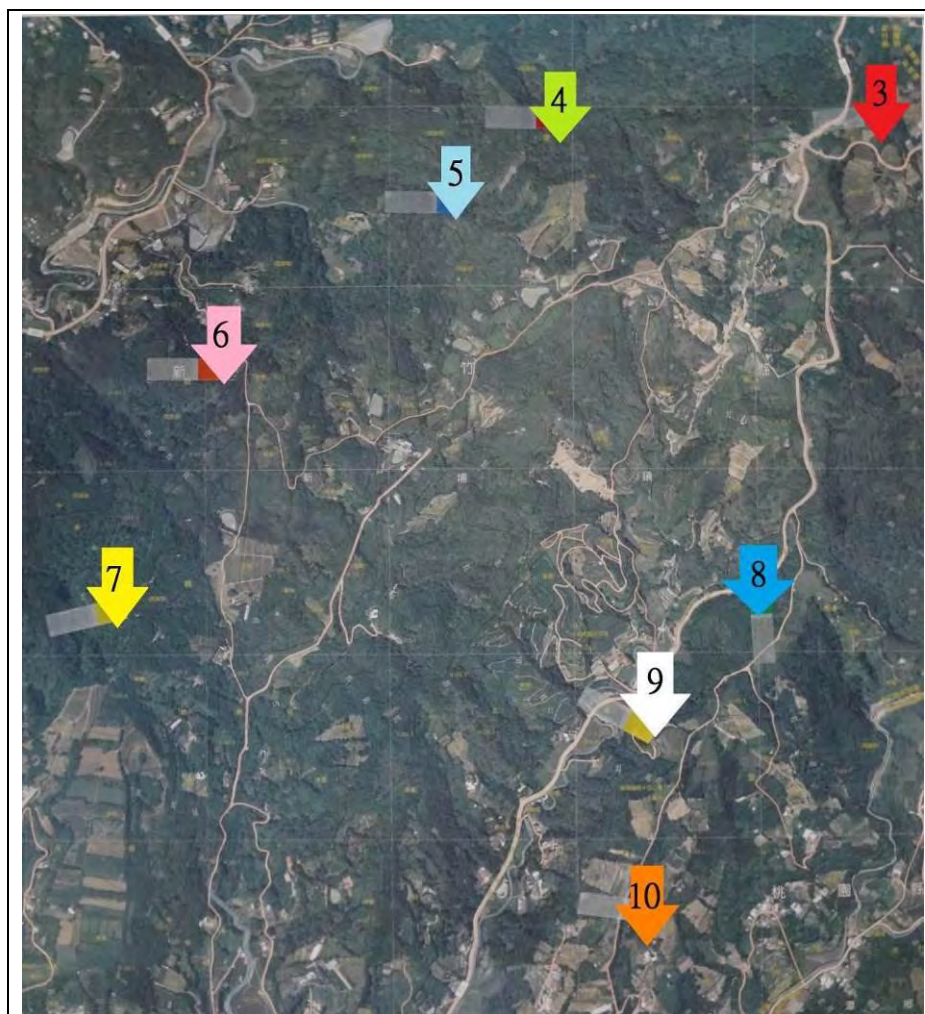


圖 4-1 4 崩塌地形判釋(相片基本圖：秀才窩)

綜合兩種圖資進行判釋後，我們可以得知各個地點的坡度起伏狀態，搭配坡向圖後我們還可以知道各個崩塌地的坡向。我們選擇等高線較密的地點並標記，作為田調的首要地區。

(二)、田調及採樣

經過實際走訪判別點後，發現先前判別的地點與預期中有些許的差異，於是我們尋找實際上有產生崩塌的地點及未崩塌的參照點進行探查，並以 GPS 進行定標，以再次走訪調查。

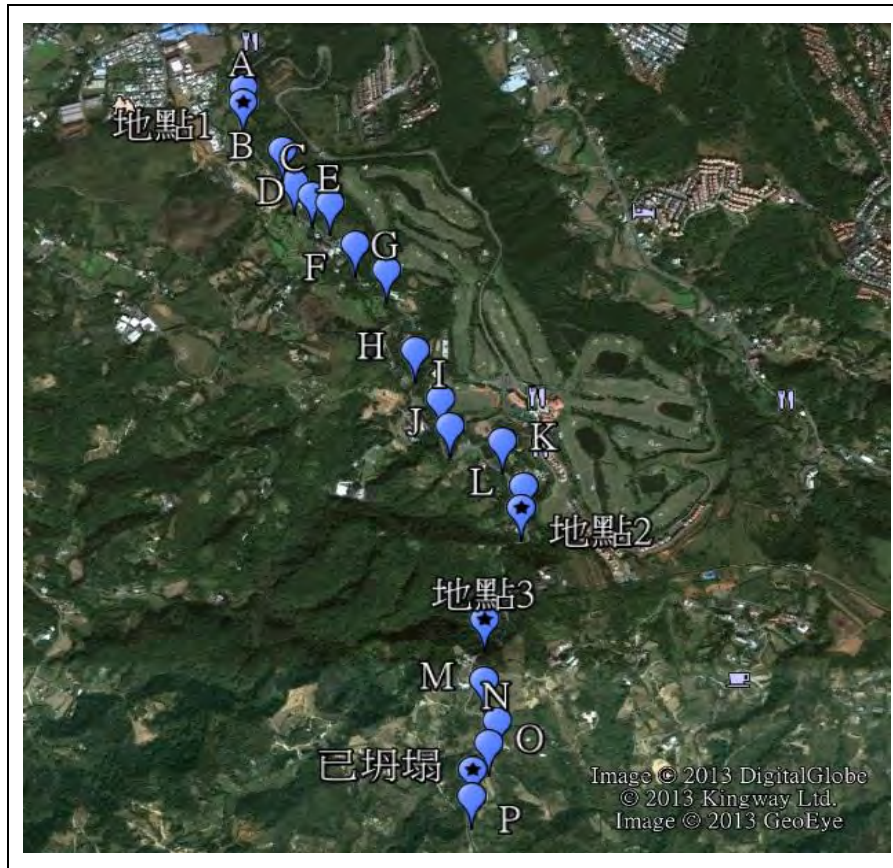


圖 4-1 5 田調地點圖

1. 崩塌地土樣採取



圖 4-1 6 崩塌土樣採取(人物已模糊處理)

首先選擇崩塌地點採土，接著使用土壤採樣管打入土層中採取土樣並標記。

2. 比較組土樣採取



圖 4-17 參照點土樣採取(人物已模糊處理)

首先選擇參照地點採土，再使用土壤採樣管打入土層中採取土樣並標記。

二、崩塌地形模擬研究

將厚保麗龍板黏合成保麗龍塊。使用印表機放大相片基本圖再透過窗戶描繪出等高線圖。利用美工刀將等高線圖描上保麗龍塊接著利用燒熱的美工刀切割模型，最後使用線香修去稜角並將模型上色。

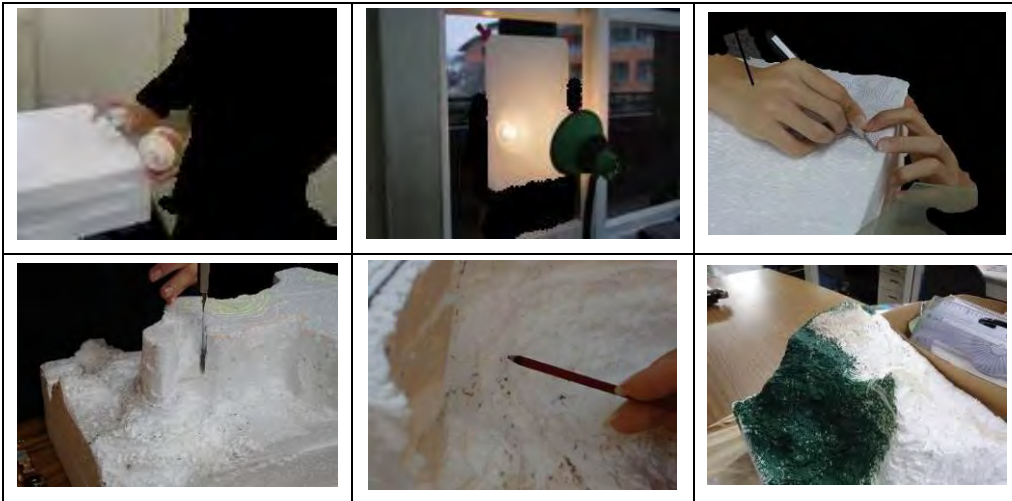


圖 4-21 保麗龍模型製作(人物已模糊處理)

製作灑水器以進行坡度暨逕流量關係實驗。



圖 4-22 定量灑水器製作

(一)、地形模型各點逕流量

我們爲了探討坡度對崩場地會造成怎麼樣的影響，使用灑水器將水灑落到模型上並觀察水的流向及距離。另外因爲灑水器的出水量爲 340ml/sec，我們爲了避免水的範圍擴散至太大而增加實驗的變因，所以選擇計時 3sec 爲實驗的時間。

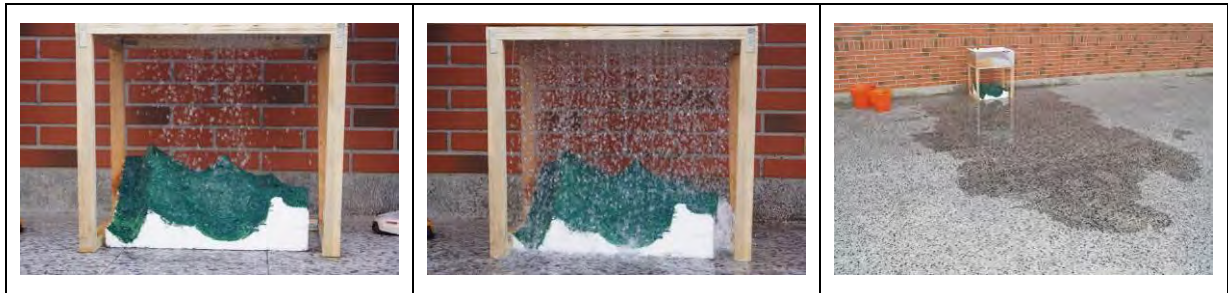


圖 4-2 3 坡度暨逕流量關係實驗



圖 4-2 4 模型側面圖

表 4-2 1 水流距離

代號	逕流距離(cm)	代號	逕流距離(cm)	代號	逕流距離(cm)
Q	201	1	74	10	129.5
R	221	2	72.5	11	127.5
S	209	3	69.5	12	128.5
T	197.5	4	44	13	146.5
U	104.5	5	40.5	14	144.5
V	106	6	34.5	15	159
W	108.5	7	39	16	216
X	66	8	40	17	91
Y	54	9	36	18	61

從以上的數據我們可以發現到，坡度最陡的區域反而水流距離都不是最遠的，這不符合位能與動能的互換關係。於是我們思考實驗的過程是否有過大的錯誤，發現到水流到地上時的流向會因爲坡向的關係而產生很大的改變，於是我們決定改變作法，重新試驗。

(二)、地形模型各點逕流量修改版

爲了使前一個實驗更準確，我們決定將灑水器改良成用吸管將不同集水區的水引到燒杯裡的方式計算水量，而這次我們使用 6sec 爲實驗的時間。

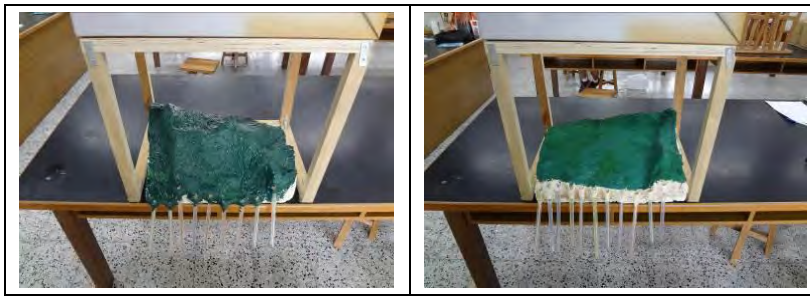


圖 4-2-5 坡度暨逕流量關係實驗修改版

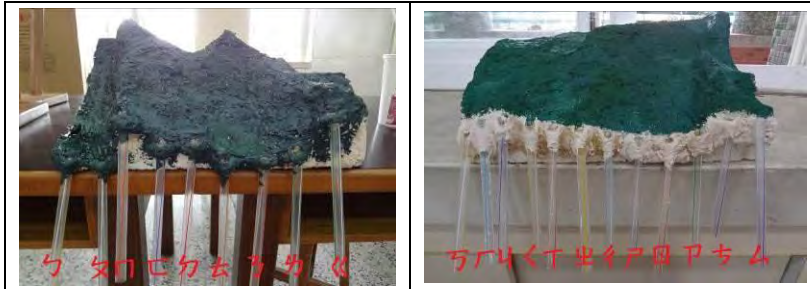


圖 4-2-6 模型側面圖

表 4-2-2 水流距離修改

代號	逕流量(ml)	代號	逕流量(ml)
	模型 1		模型 2
ㄅ	23	ㄅ	62
ㄆ	34	ㄆ	42
ㄇ	11	ㄇ	40
ㄏ	47	ㄏ	46
ㄏ	60	ㄏ	59
ㄏ	72	ㄏ	48
ㄏ	78	ㄏ	51
ㄏ	45	ㄏ	67
ㄏ	29	ㄏ	93
		ㄏ	41
		ㄏ	36
		ㄏ	24

這次經過修改的實驗數據相較之下就較符合位能與動能的相互關係，崩塌地點大部分位於水流距離較遠的集水區上游處，但並非完全一樣，於是我們決定進行每個地點的地形研究。

(三)、各地形坡度起伏探究

爲了清楚的了解到崩塌地形的地形起伏，我們使用 surfer 這套軟體將內政部 3D 立體模型進行切割並取得它的剖面(附錄)。爲了使數據精確，我們另外還使用等高線來計算它的坡度，計算出兩條等高線的高度差，再利用比例尺將等高線間的水平距離量出來。有了上述兩個值後，我們可以得出 $\tan\theta$ (對邊/底邊)的值，與三角函數值表相對照後，就可以知道 θ ，爲所求。

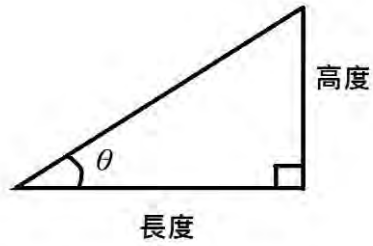


圖 4-2 7 計算方法圖示

表 4-2 3 各地點坡度

地點	垂直高度(m)	水平距離(m)	坡度
A	30	105	16.37853
B	25	45	31.84713
C	10	75	7.643312
D	10	60	9.55414
E	25	120	11.94268
F	25	155	9.245942
G	15	115	7.477153
H	10	60	9.55414
I	40	100	22.92994
J	35	125	16.05096
K	25	125	11.46497
L	20	100	11.46497
M	15	85	10.11615
N	20	50	22.92994
O	15	40	21.49682
P	10	50	11.46497
Q	10	100	5.732484
R	10	50	11.46497
S	10	25	22.92994
T	20	85	13.4882
地點一	5	20	14.33121
地點二	20	50	22.92994
地點三	25	50	28.66242
地點四	4.6	35	7.534122
地點五	25	50	28.66242
地點六	20	50	22.92994

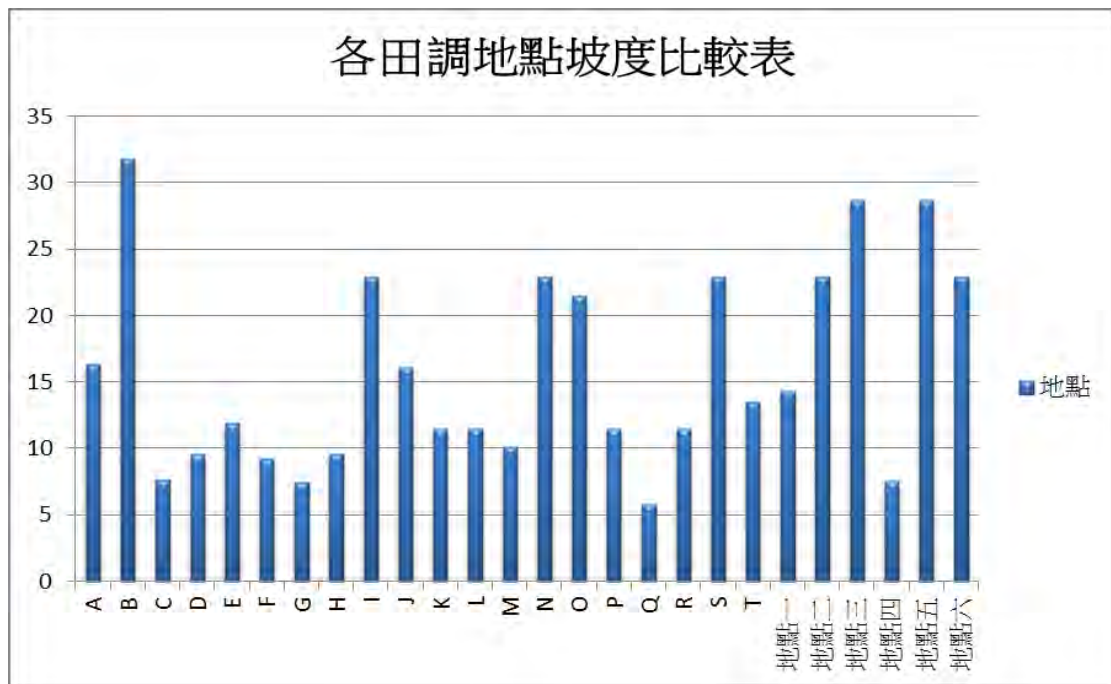


圖 4-2 8 各地點坡度比較表

經過整理後我們可以發現到，地點二、三、五、六點坡度與其他地點相較都是比較陡峭，然而也有一些則否，如 B 點和地點四等少數特例。於是我們決定進行土壤的模擬崩塌，以觀察各點土壤所能承受的沖刷。

三、崩塌模擬

我們爲了瞭解各種不同土壤的土質實際上的逕流情形，使用自製的坡道進行小型土石崩落的實驗，爲使實驗結果明確，我們使用 500g 的土依序遞增降水量 500、1500、3000ml，使土壤形成泥漿並從 30° 的木製坡道留下，並拍照記錄每種土壤不同水量沖刷時流動的情形，如下圖：



圖 4-3 1 土壤種類暨逕流量關係實驗(人物已模糊處理)

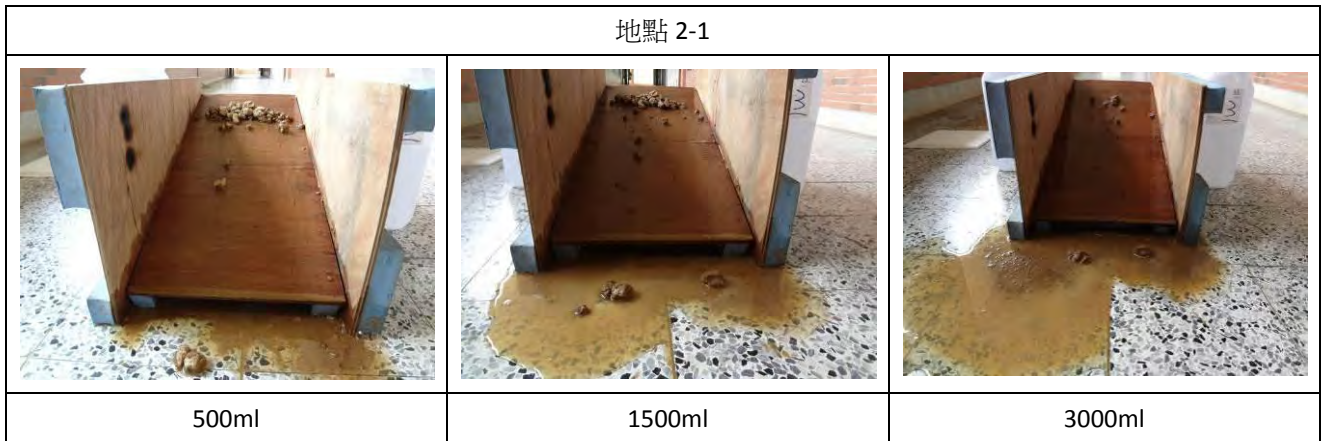


圖 4-3 2 地點 2-1 土壤逕流圖

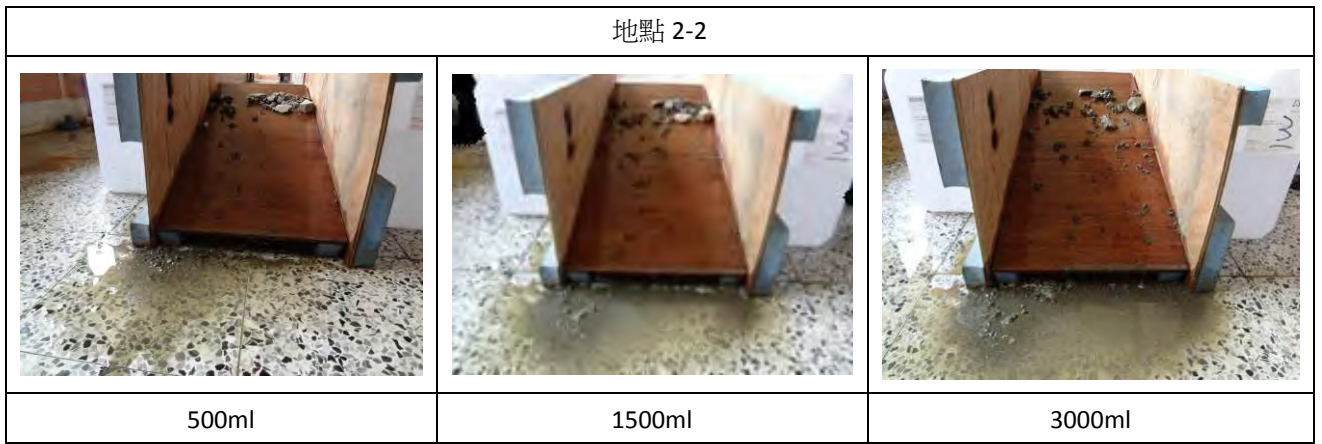


圖 4-3 3 地點 2-2 土壤逕流圖

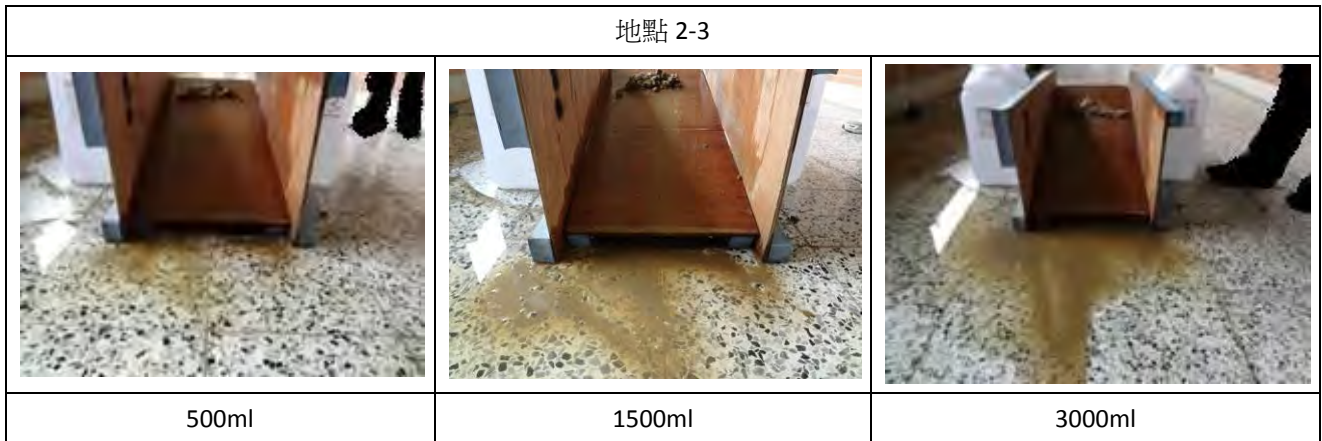


圖 4-3 4 地點 2-3 土壤逕流圖

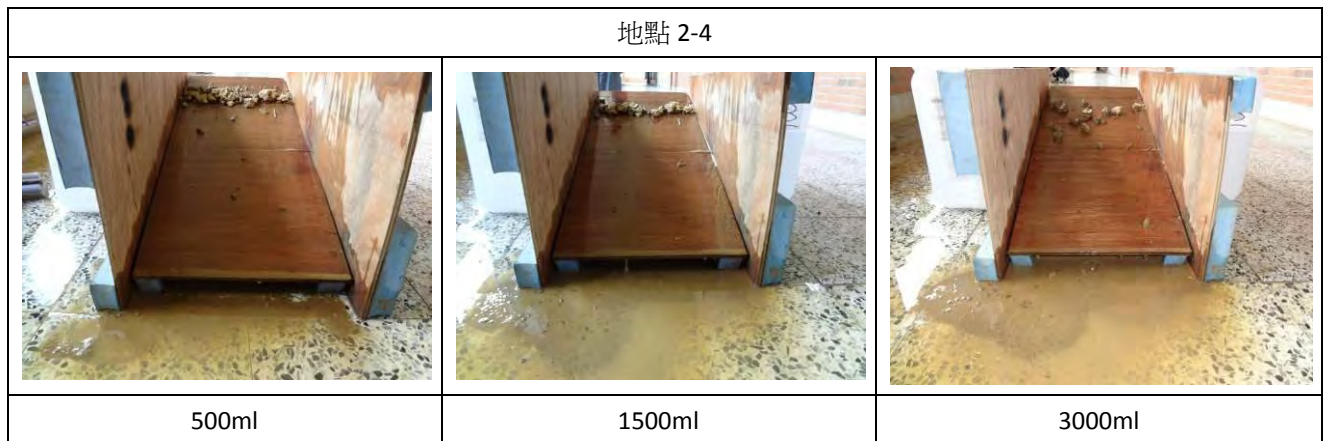


圖 4-3 5 地點 2-4 土壤逕流圖

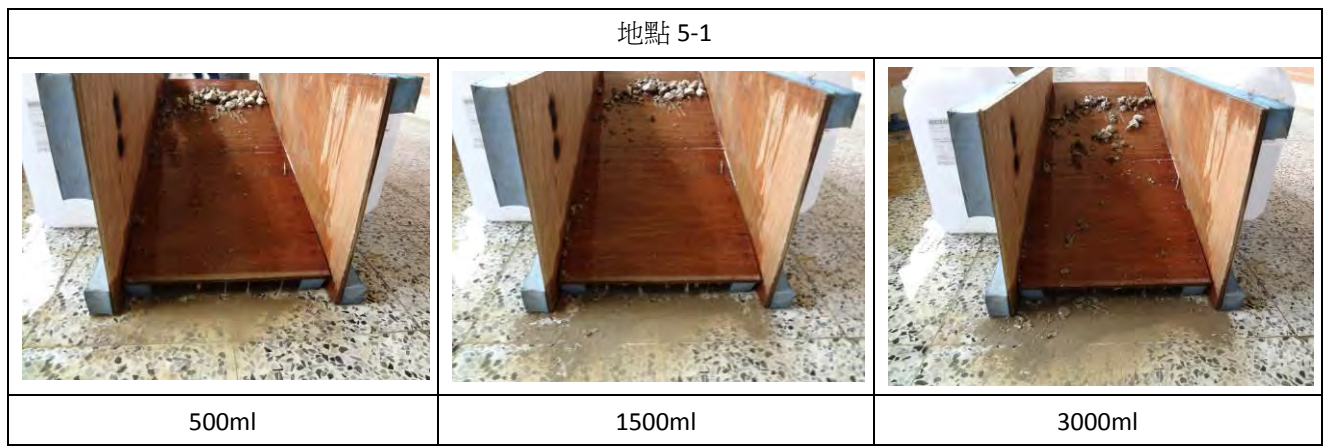


圖 4-3 6 地點 5-1 土壤逕流圖

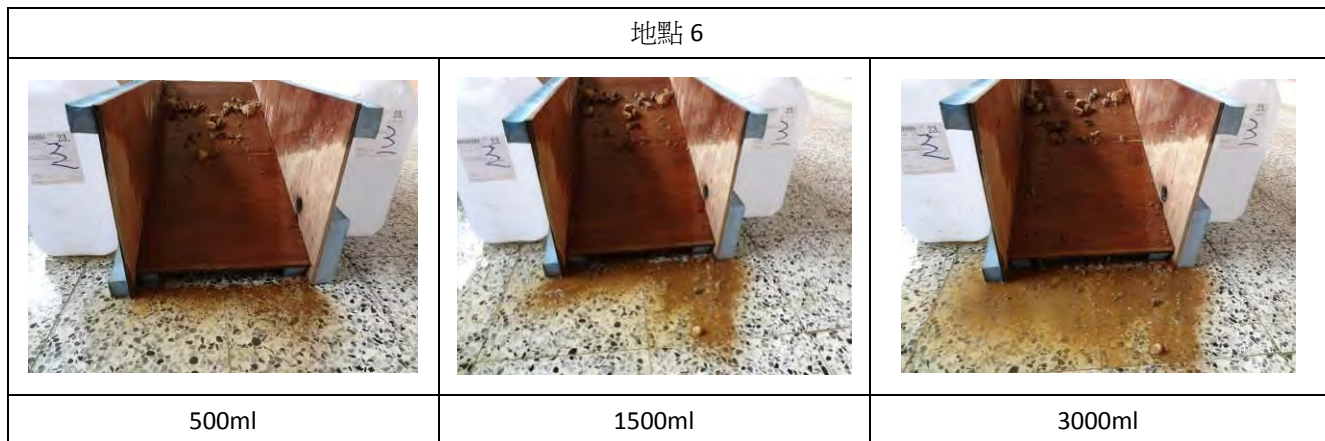


圖 4-3 7 地點 6 土壤逕流圖

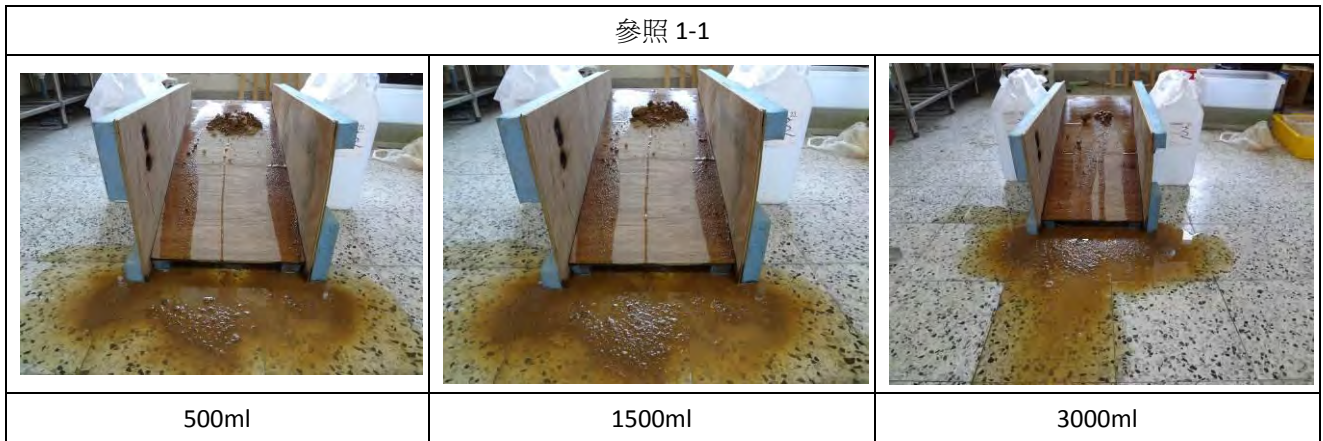


圖 4-3 8 參照點 1-1 土壤逕流圖

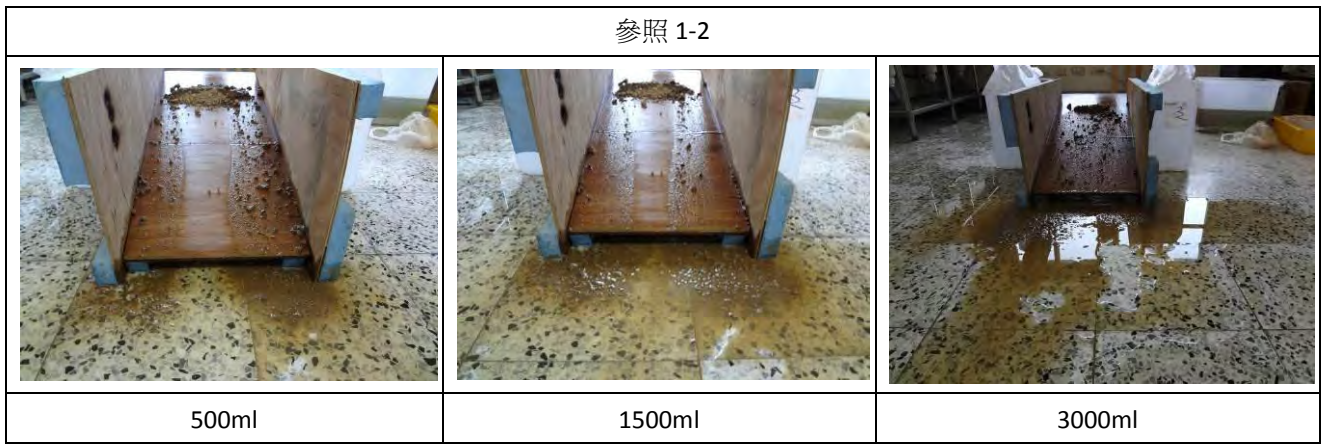


圖 4-3 9 參照點 1-2 土壤逕流圖

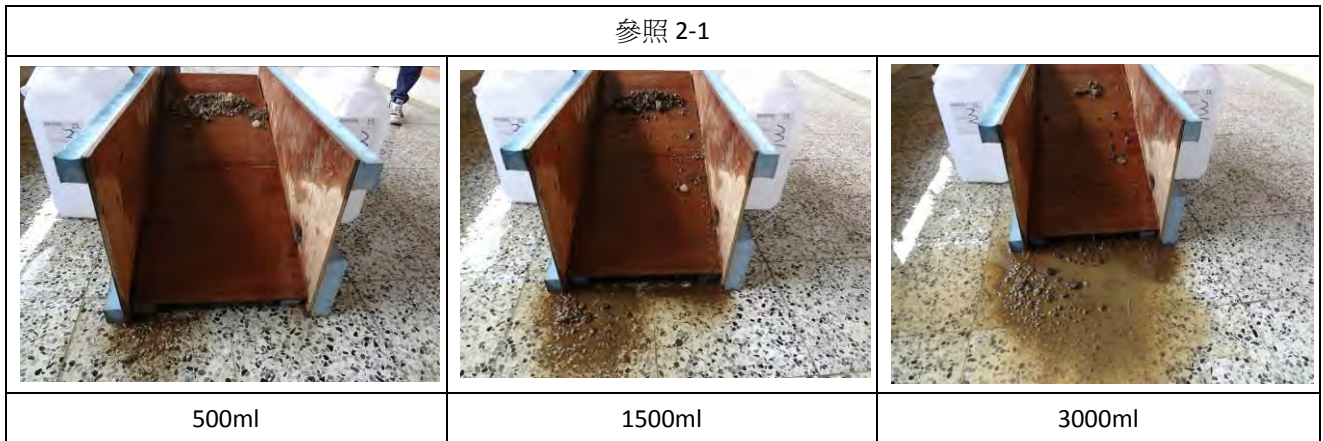


圖 4-3 10 參照點 2-1 土壤逕流圖

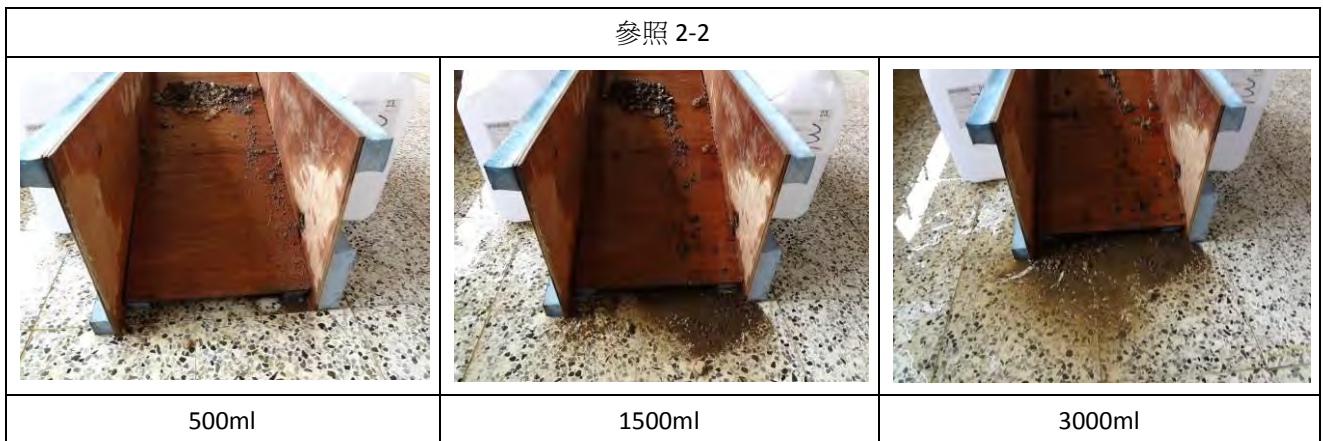


圖 4-3 11 參照點 2-2 土壤逕流圖

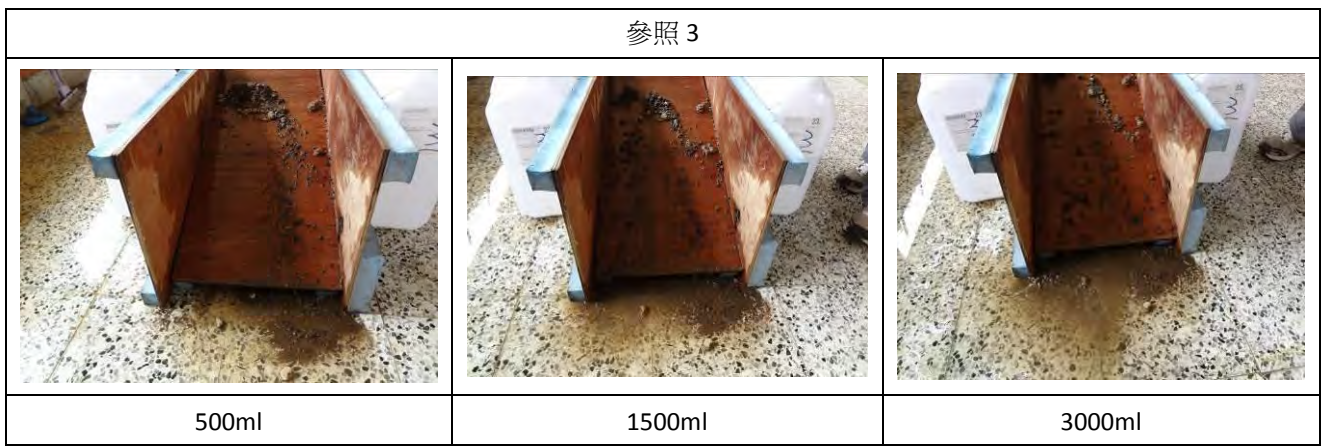


圖 4-3 12 參照點 3 土壤逕流圖

觀察實驗結果後得出下表，崩場地點所能承受的水量都算高，只有少數地點相反，像是地點 2-2 和地點六，可以承受地水量比其他都還要少上許多，從田調結果來看，我們推測因為礫石較多的緣故。於是我們決定從土壤的組成來研究。

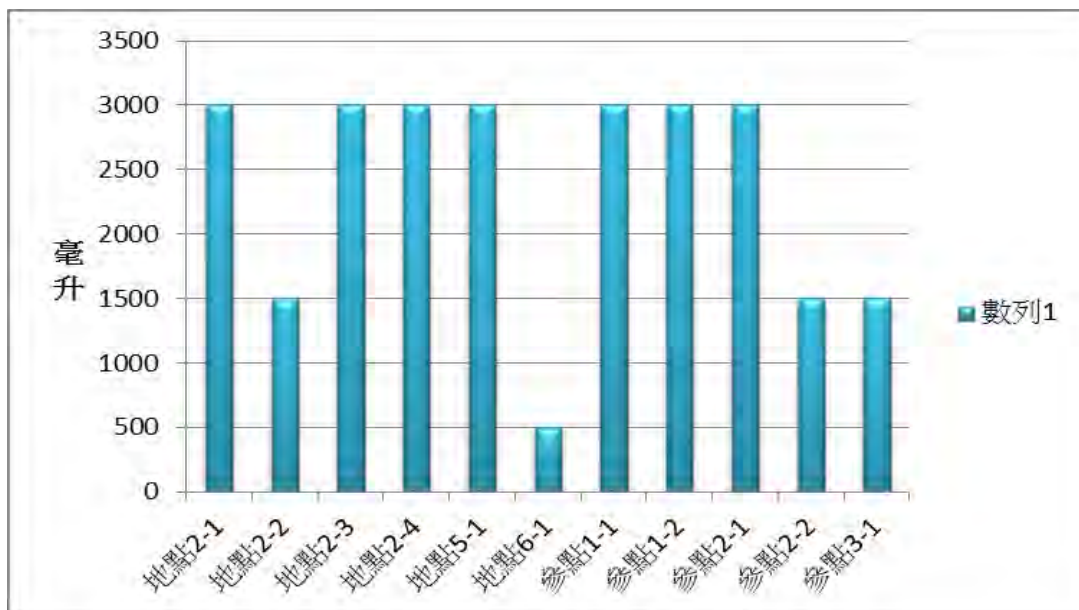


圖 4-3 13 各地點崩場水量表

四、土壤組成探討

(一)、土壤顆粒篩檢實驗



圖 4-4 1 將土壤烘乾敲碎

為使採集的土樣方便進行實驗，我們將土樣分裝，放進烤箱烘乾。並將烘乾的土塊用工具擊碎(只擊碎結塊部分，使其能夠放入篩目網，並非磨碎)，方便進行土壤篩檢的實驗。

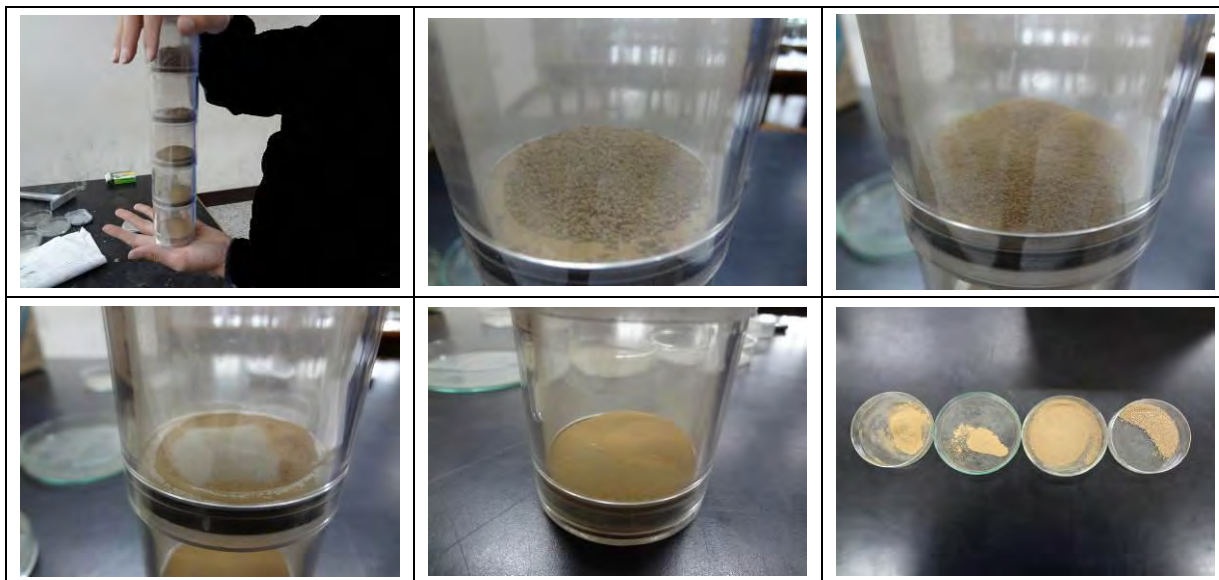


圖 4-4 2 土壤顆粒分開

使用土壤篩目網將土粒子依粒徑分開，並將不同粒徑的土壤取出，盛於培養皿內。

1. 土壤顆粒重量比



圖 4-4 3 土壤秤重

將顆粒大小不同的土粒子分開後，利用鑽石秤(為使數據精確)秤重，依序測量並記錄各篩目網上土壤顆粒的重量，以比較各粒徑土壤的重量。

崩塌地土壤顆粒重量比

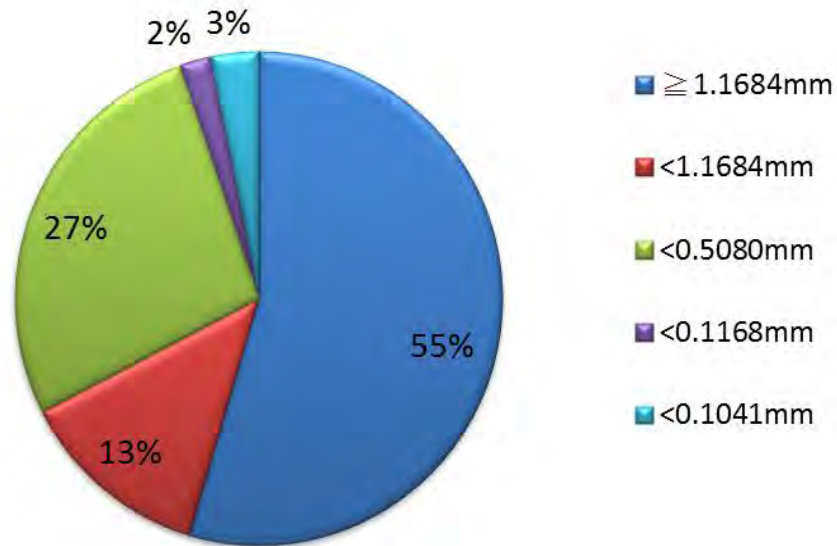


圖 4-4 4 崩塌地土壤顆粒重量比圖

參考點土壤顆粒重量比

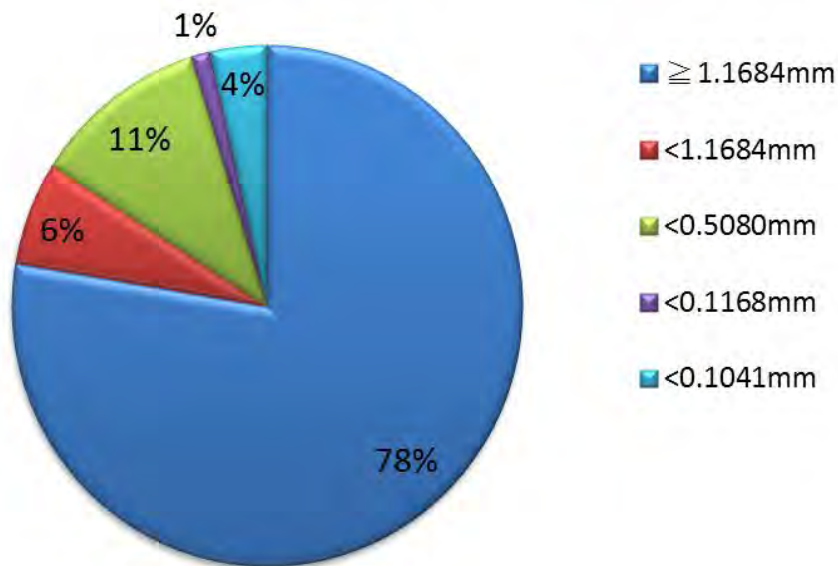


圖 4-4 5 參考點土壤顆粒重量比圖

根據國際篩目網規格對照表，我們可以知道 46、20、046、041 OPN 的篩目網的孔徑至小數下四位，分別為 1.1684、0.5080、0.1168、0.1041mm。

2. 土壤顆粒體積比



圖 4-4 6 土壤體積測量

將顆粒大小不同的土粒子分開後，使用蓋玻片的盒子測量體積。土粒子過大的話，像是 $\geq 1.1684\text{mm}$ 的土粒子及石頭我們就使用阿基米德法測量。

崩塌地土壤顆粒體積比

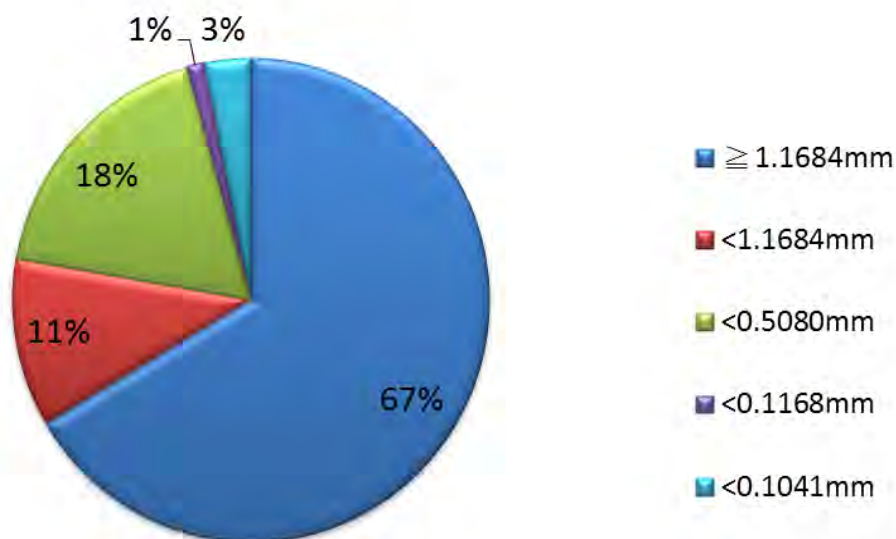


圖 4-4 7 崩塌地土壤顆粒體積比圖

參照點土壤顆粒體積比

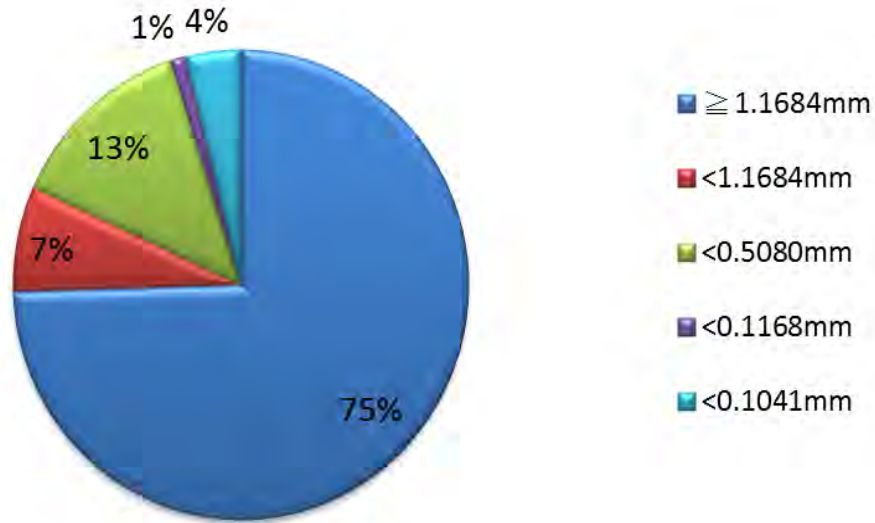


圖 4-4 8 參考點土壤顆粒體積比圖

我們選擇製作土壤顆粒大小的重量比及體積比兩項實驗，經由土壤重量及體積比較後我們可以得知各土壤密度。

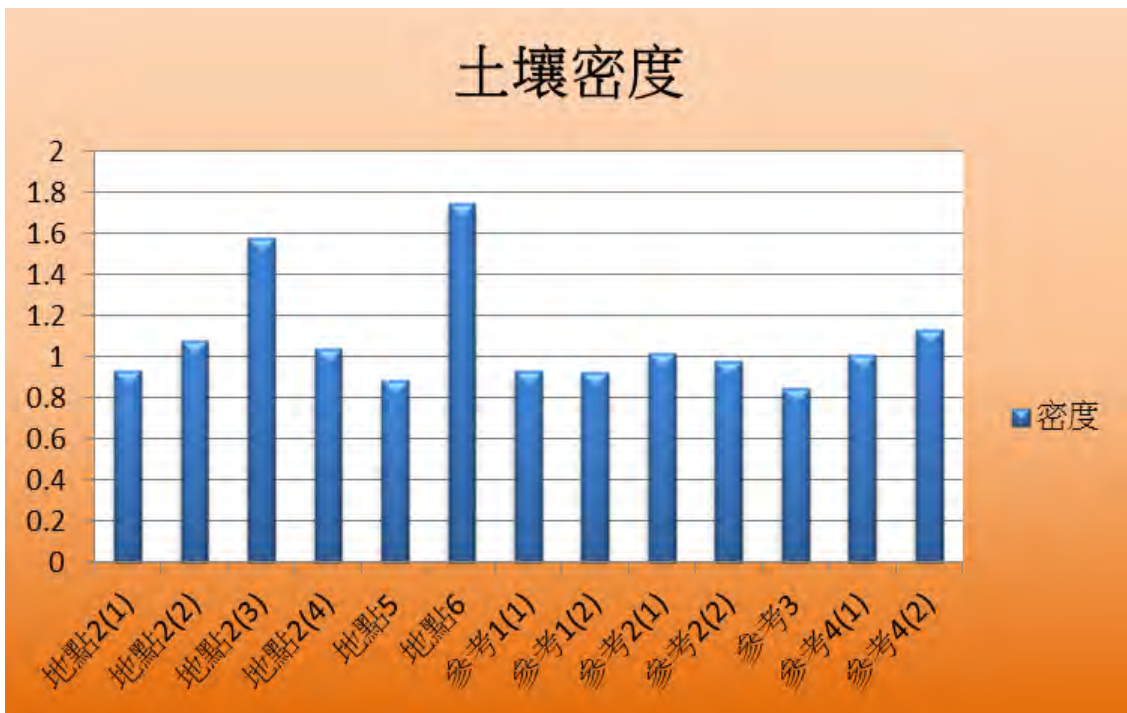


圖 4-4 9 土壤密度圖(單位：克/平方公分)

由實驗可知，地點 6 的密度最大，觀察土樣後發現該地點含大量粒石，在崩塌模擬實驗中(圖 4-3 13 P13)，地點六所能承受的水量也是最少的，因此推斷礫石含量愈多，愈容易造成崩塌。

(二)、植物根系附著量

大家都說水土保持是多種樹，那麼為甚麼有些種很多樹的山上還是會崩塌呢？爲了研究這個問題，我們要進行以下土樣中根系重量的研究，看是根系是否真的對崩塌有顯著的影響。



圖 4-4 10 土壤根系附著量實驗

崩塌地根系對照圖

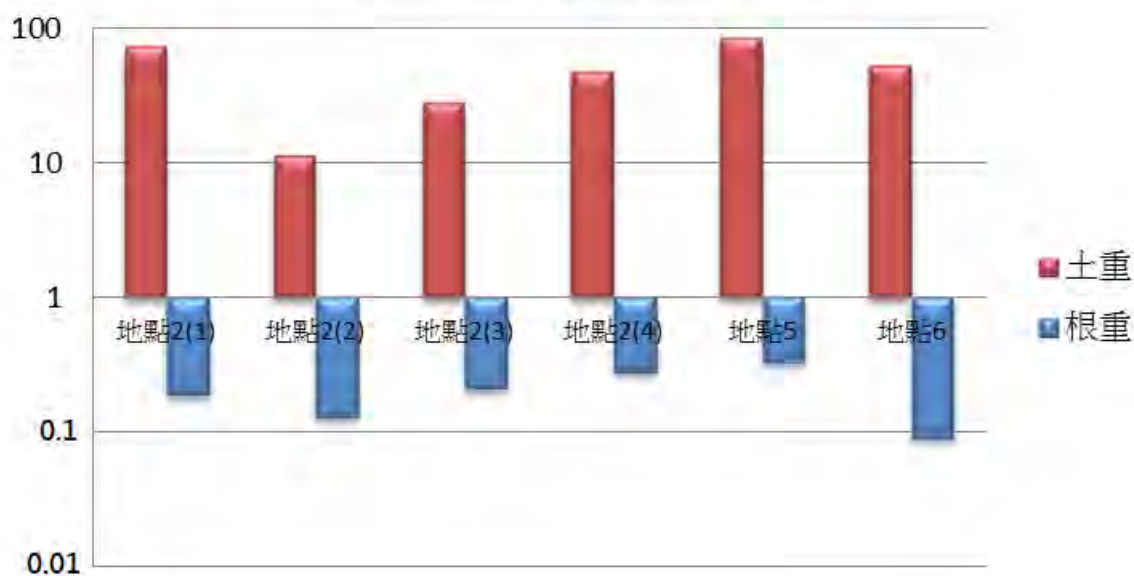


圖 4-4 11 崩塌地根系對照圖(單位：克)

參照點根系對照圖

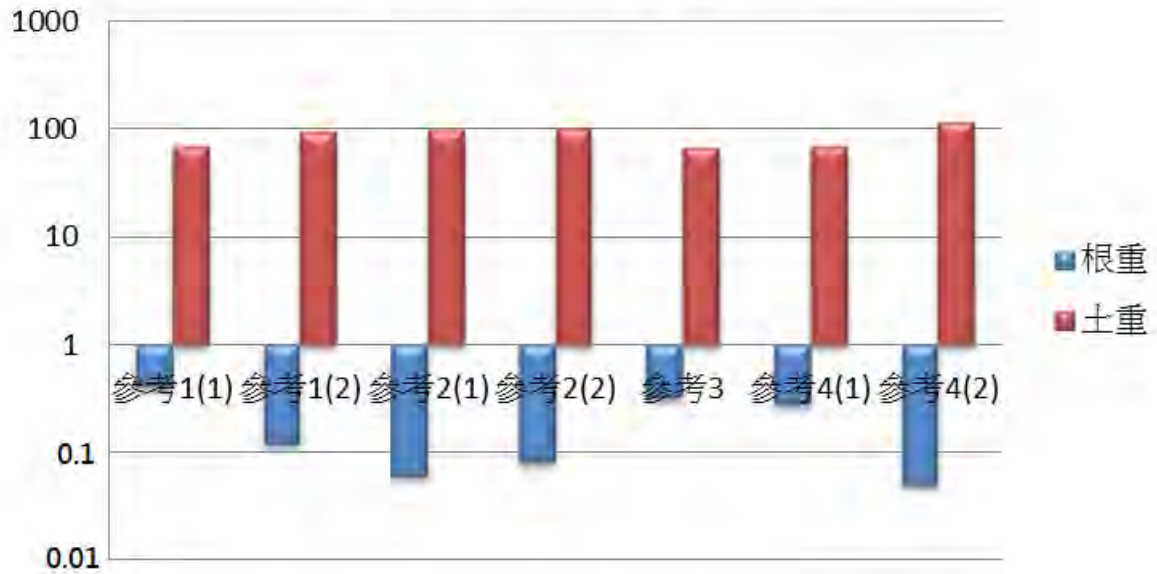


圖 4-4 12 參照點根系對照圖(單位：克)

地點 2-2 根系含量為所有土樣中最高，卻是崩塌地，而參照點 2-1 為所有土樣中最低，卻是未崩塌地，因此可知，崩塌是需要多種因素與根系的交互作用下，才會形成。

五、土壤結構探討

(一)、土壤含水比實驗

將各區域的土取適量並烘乾，秤量其重量後紀錄，加水至飽和，再秤量一次重量並紀錄，相

減後再利用含水比公式 $W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\%$ (水重/土重*百分比) 求出含水比。



圖 4-5 1 含水比實驗

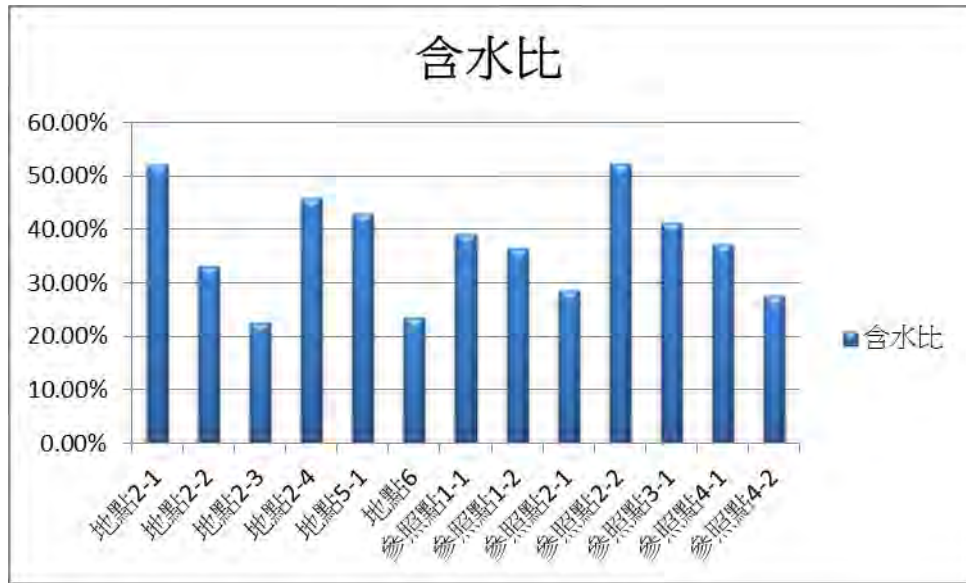


圖 4-5 2 含水比圖表

含水比皆位於 38.5% 上下。

(二)、土壤孔隙比實驗

將飽和土(水加乾土)的體積固定拿去烘乾，烘乾後利用阿基米德法收取溢出的水，在用小數位下兩位的電子秤測量重量，以密度算出溢出水份(即土壤)的體積，最後由孔隙比公式

$$e = \frac{V - V_s}{V_s} \times 100\% (\text{孔隙體積} / \text{土壤體積} * \text{百分比}) \text{可得出土壤的孔隙比。}$$



圖 4-5 3 孔隙比實驗

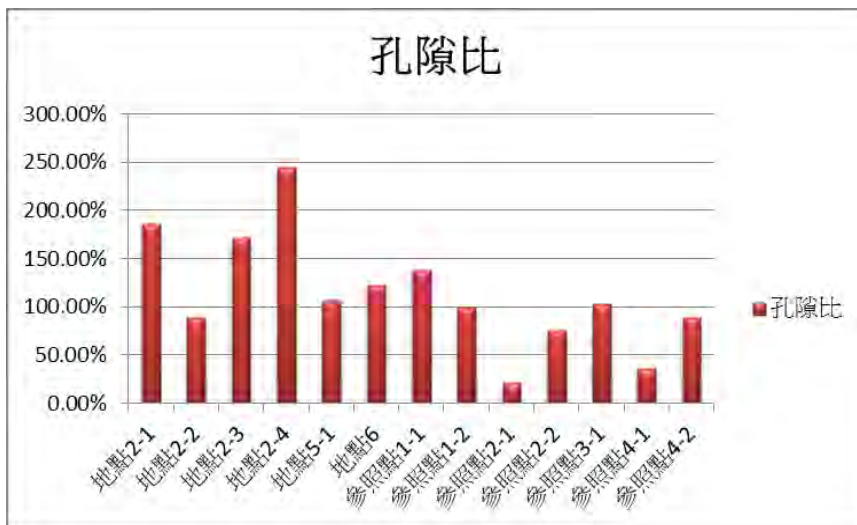


圖 4-5 4 孔隙比圖表

崩場地孔隙介於 88.3%~245.6%，參照點孔隙介於 21.5%~138.2%，因此可知孔隙愈大，愈容易崩塌。

六、深入研究

經過上面的崩塌模擬實驗後我們知道地點 6(圖 4-3 13 p.13)所能承受的崩塌水量較少，於是我們想利用先前的實驗結果來進行改善，看看是否能夠增加土壤所能承受的水量。我們使用大型的土壤篩目網將土壤分成五等分，並依先前的土壤重量比例調出二種土壤，第一種是參照點粒徑的平均比例(78%、6%、11%、1%、4%)，第二種則綜合崩塌與參照點兩種比例(66.5%、9.5%、19%、1.5%、3.5%)。

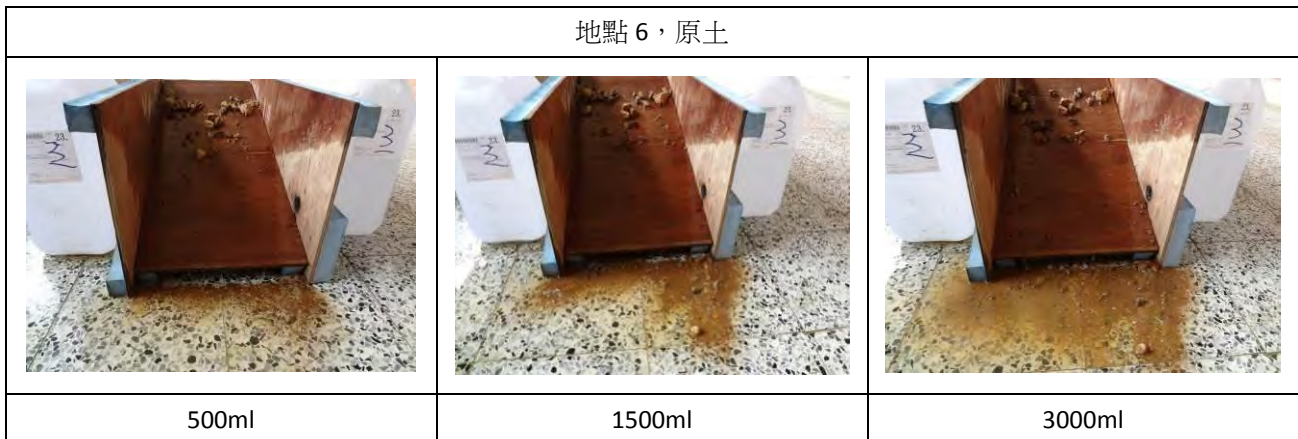


圖 4-6 1 地點六原土土壤逕流圖

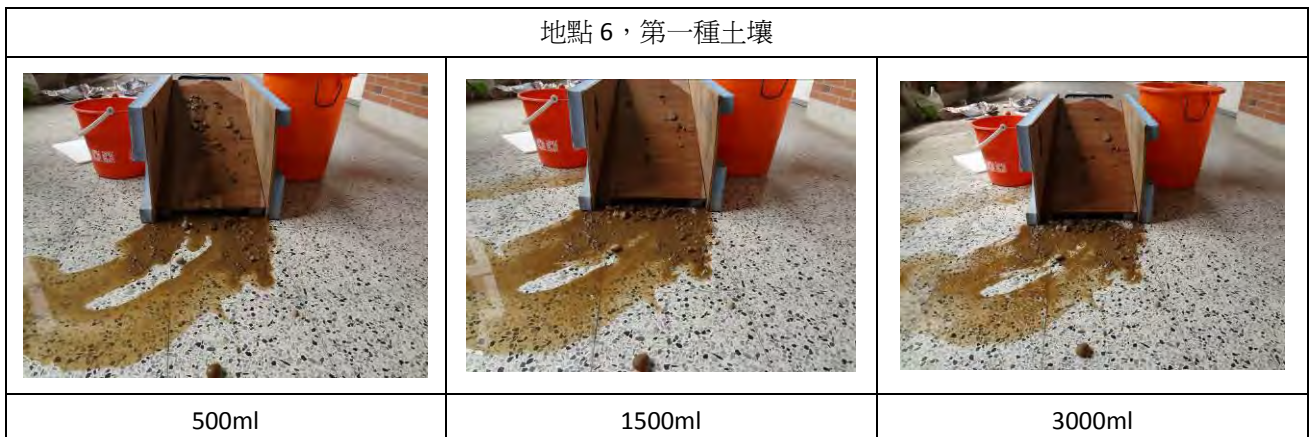


圖 4-6 2 地點六改良土壤逕流圖(第一種)

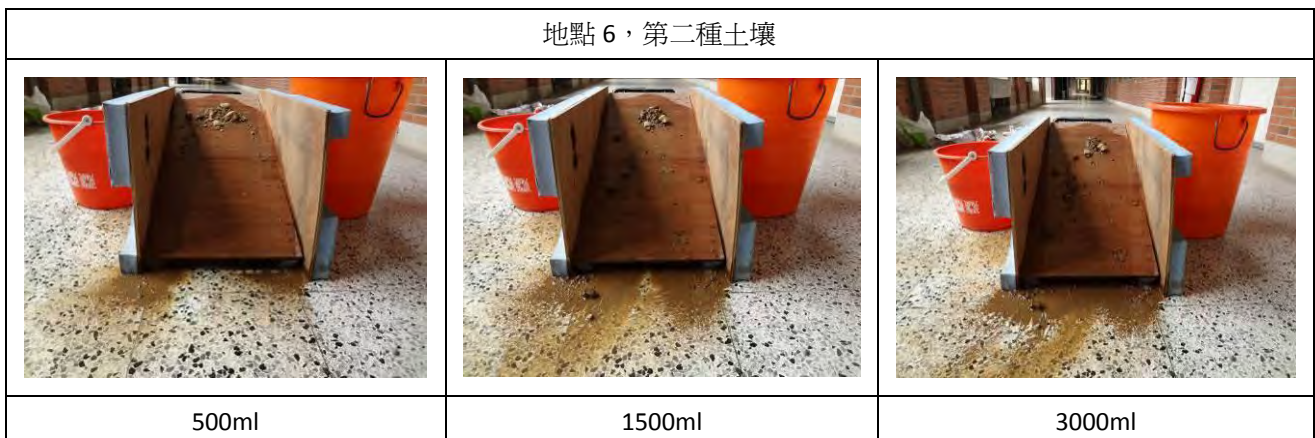


圖 4-6 3 地點六改良土壤逕流圖(第二種)

從結果來看，我們發現地點 6 原土土壤約在 500ml 時崩塌，第一種則崩塌的更嚴重，而第二種將崩塌水量提高到了 1500ml。為增加證據，我們選擇承受水量較中等的參照點 2-2(圖 4-3 13 p.13)再做一次實驗。

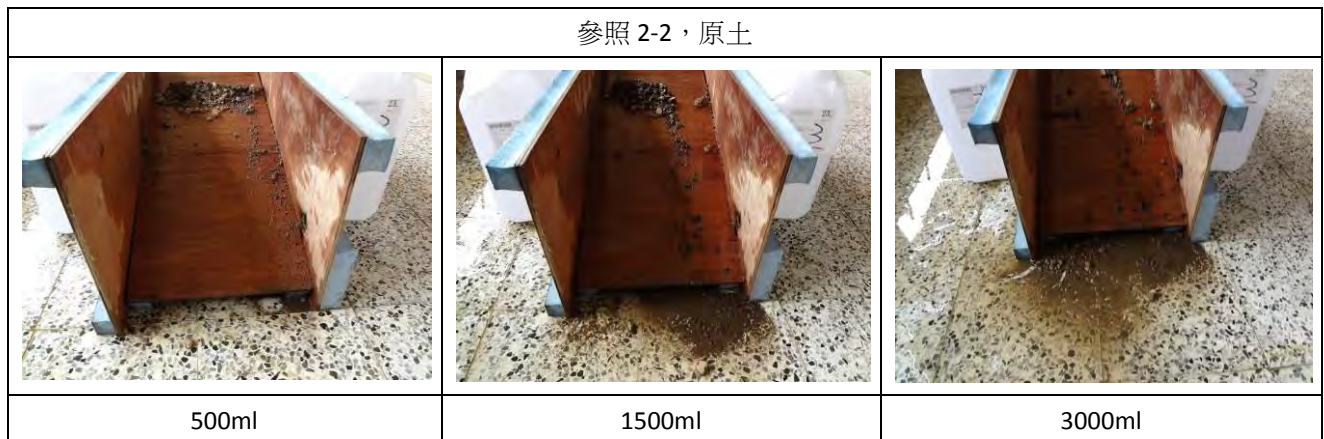


圖 4-6 4 參照點 2-2 原土土壤逕流圖

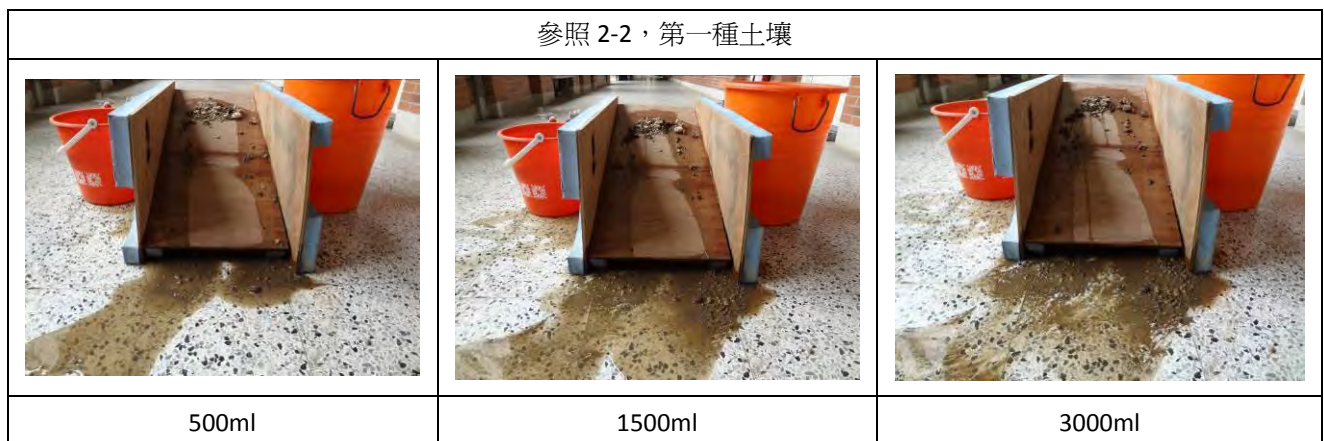


圖 4-6 5 參照點 2-2 改良土壤逕流圖(第一種)

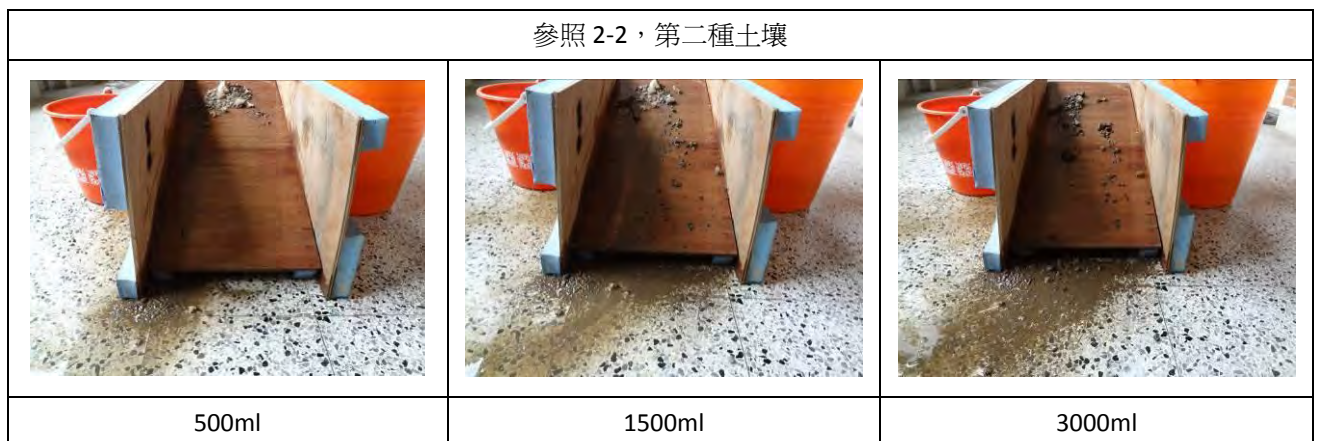


圖 4-6 6 參照點 2-2 改良土壤逕流圖(第二種)

經過實驗後，我們發現到參照 2-2(圖 4-3 13 p.13)原土土壤約在 1500ml 崩塌，第一種則可以撐到 3000ml 才塌，而與地點 6(圖 4-3 13 p.13)相反，第二種土壤約在 1500ml 就崩塌了，為甚麼呢？我們推測是因為地點 6 的礦物含量較參照 2-2 多而造成的狀況，所以如果要應用在建築工程中的話，此方法還有許多問題待突破。

伍、研究結果及討論

一、崩塌地點的判釋及田野調查

- (一)、崩塌地點的產生並非都是因為坡度而產生。
- (二)、崩塌地形的發生地點多可見下列景象：

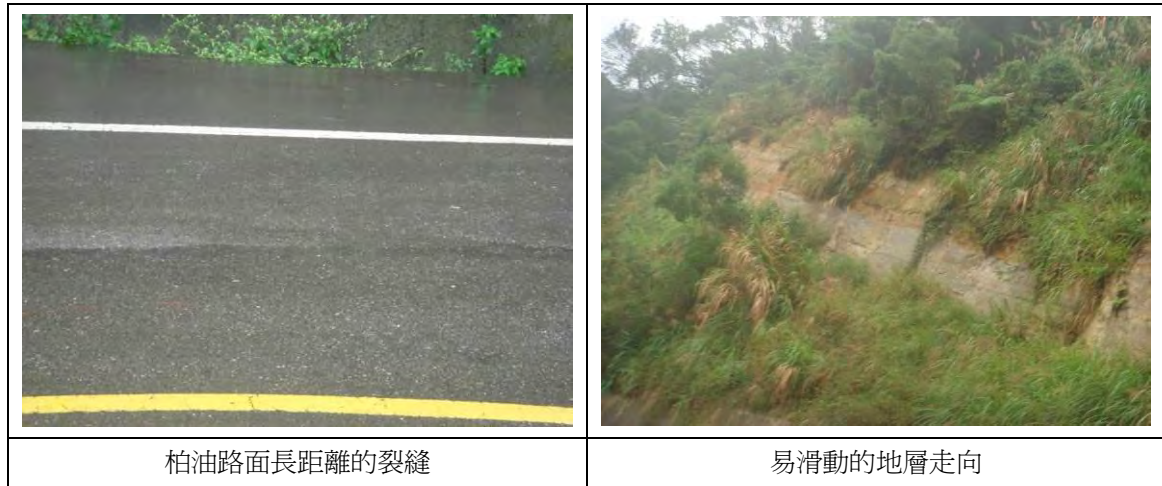


圖 5-1-1 崩塌徵兆

二、崩塌地形模擬研究

- (一)、崩塌地形發生點大都位於水流量較大的地方。
- (二)、有崩塌的地點坡度約介於 $18.5^{\circ}\sim 28.5^{\circ}$ 間，未崩塌的地點坡度則介於 $9.5^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 之間。

三、崩塌模擬

- (一)、在此實驗中共使用了 11 個土樣，而其中可以承受 3000ml 水量沖刷的土樣高達 7 個，佔大多數。此結果可助於我們了解每種土樣受水、土壤組成、土壤結構等因素綜合起來的狀態。

四、土壤組成探討

- (一)、崩塌地平均的土壤粒徑中 $<0.5080\text{mm}$ 及 $\geq 1.1684\text{mm}$ 的土粒子佔多數。而未崩塌地平均的土壤顆粒大小中 $\geq 1.1684\text{mm}$ 的土粒子佔最多。
- (二)、從實驗結果看來，崩塌地的根系含量大多都比未崩塌地多，我們推斷是因為根系較多，土壤相對來講就沒有辦法固結的較緊密。



圖 5-4-1 根系 vs 崩塌水量

根系對減少崩塌的影響並不明顯。像是地點 2-2 的根系重量高於五克，比參照點 2-1 的 0.48 克高上許多，但地點 2-2 在實驗中所能承受的水量只有 1500ml，而參照點 2-1 卻能承受高達 3000ml 的水量。

五、土壤結構探討

- (一)、實驗結果顯示，崩塌及未崩塌地點的含水比除了一個特例外皆位於 38.5% 上下，並未因為是崩塌點而較低或因為未崩塌而較高。
- (二)、實驗結果顯示，各地點的孔隙比雖然不明顯，但可稍微看出崩塌點的孔隙比較為崩塌點高。

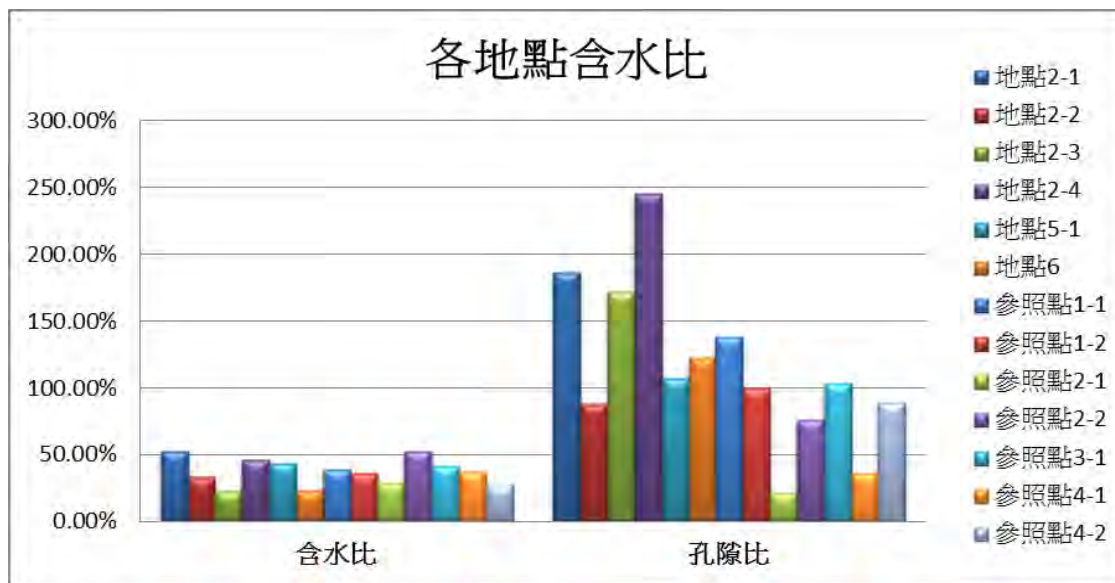


圖 5-5 1 各地區含水比、孔隙比

陸、結論

- 一、崩塌的發生地點尚受土壤坡度、含水量、孔隙的影響。
- 二、田調發現，位於道路附近的崩塌會有崩塌徵兆中的冠部產生。
- 三、在模型上，水流的方式符合位能與動能互換的關係。
- 四、崩塌多發生於坡度 $>20^\circ$ 的陡峭處。
- 五、在除去坡度及土壤中水分影響的情況下，我們的土樣中崩塌點所能承受的水量大多比未崩塌點多。
- 六、由土壤顆粒比可知，崩塌點的土樣中粉沙(0.0625~0.0039mm)的重量皆大於土壤總重量的 32%。
- 七、崩塌地之礫石($\geq 2\text{mm}$)含量較多，相較之下，固結程度也沒有那麼緊密，以致於較易崩塌。
- 八、由各點根系重量可知，根系的多寡對崩塌的產生是有影響的，但由於受土粒子、含水比及孔隙比等因素的交互作用，效用不明顯。
- 九、所有土樣中，含水比皆於 38.5% 上下。
- 十、孔隙比大於 100%，越容易崩塌。

柒、參考資料

陳信雄 《應用土壤環境科學》科技圖書 p123、124

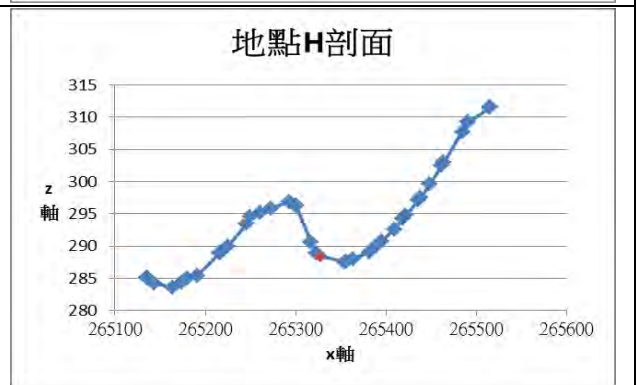
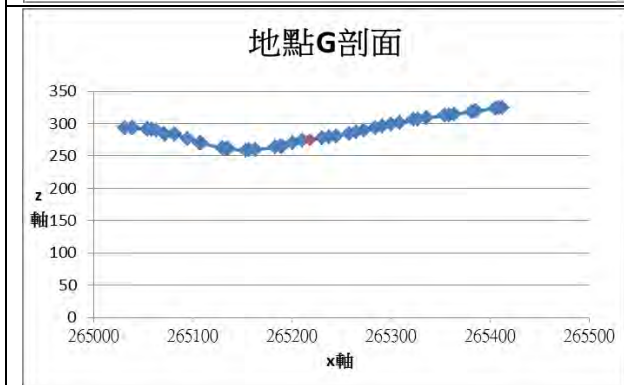
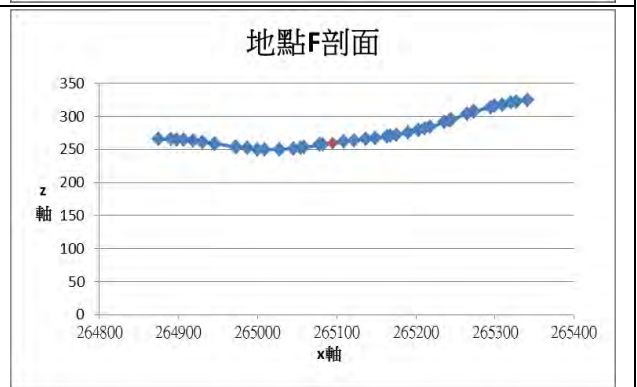
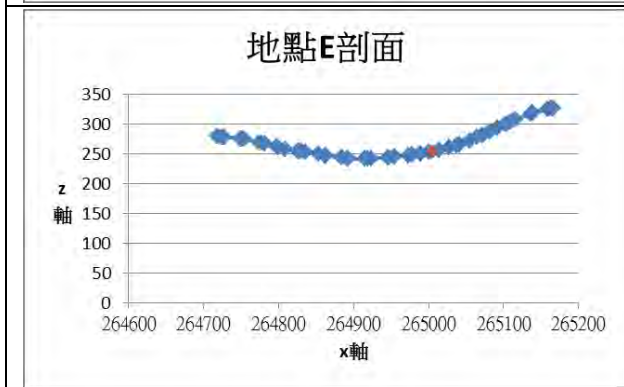
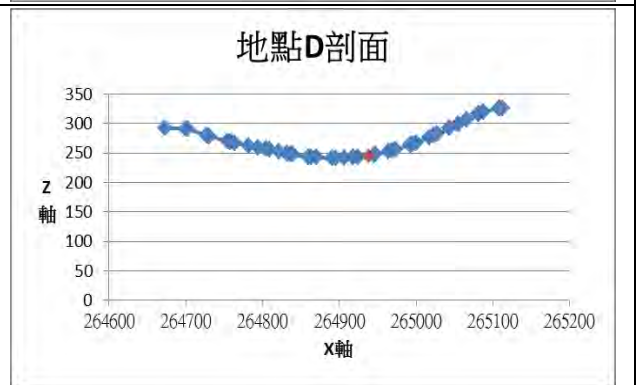
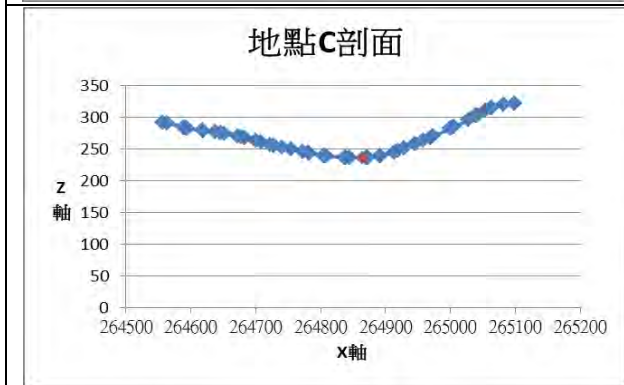
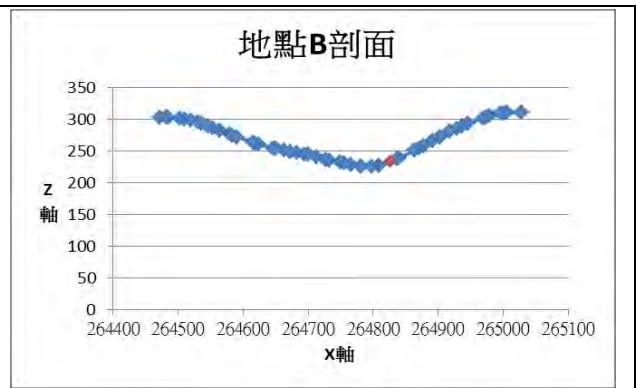
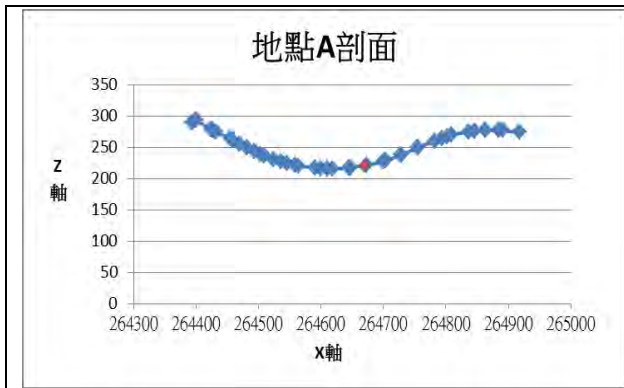
陳士賢 李方胤《土壤分析實驗手冊》新文京開發出版有限公司 (全)

行政院環境保護署環境保護人員訓練所《土壤及地下水採樣方法及快速篩測技術應用土壤汙染評估調查人員訓練教材》p7~11

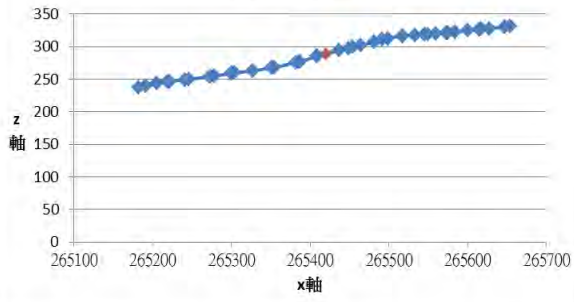
陳尊賢 許正一著《台灣的土壤》遠足文化 (全)

王康 編著《非飽和土壤水流運動及溶質遷移》科學出版社 p9、p52~55

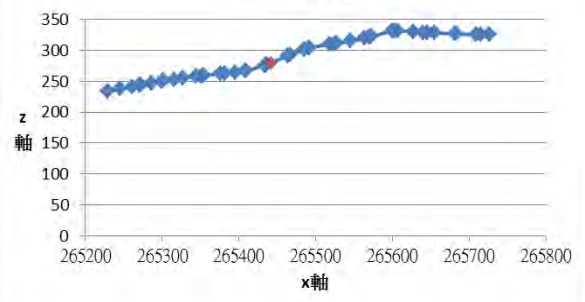
附錄：



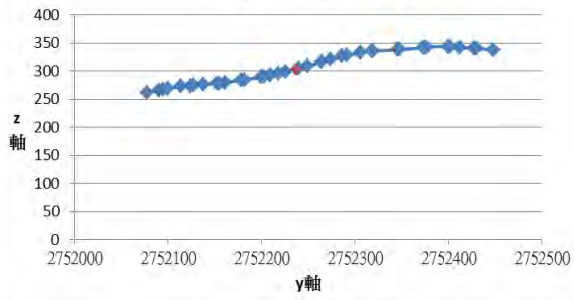
地點I剖面



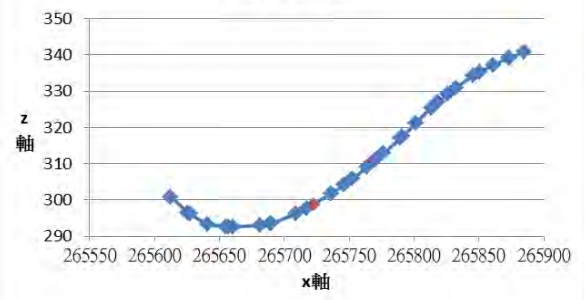
地點J剖面



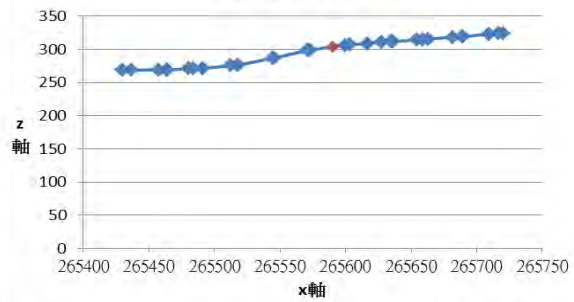
地點K剖面



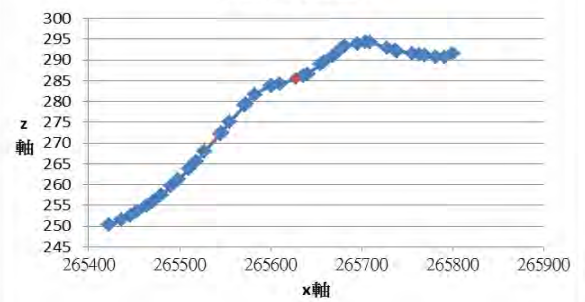
地點L剖面



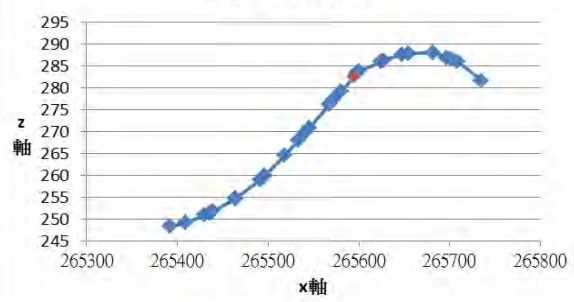
地點M剖面



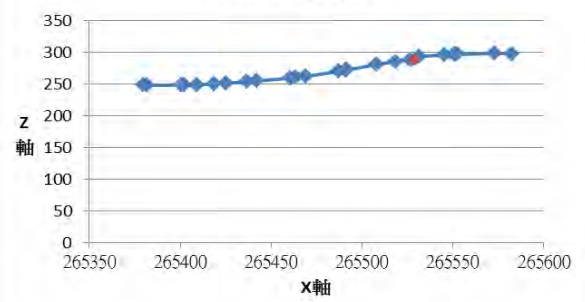
地點N剖面



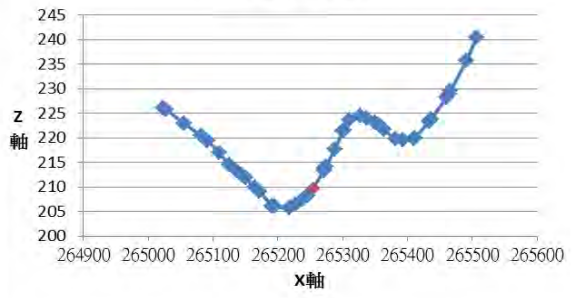
地點O剖面



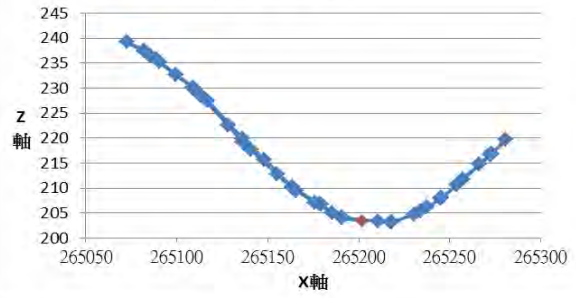
地點P剖面



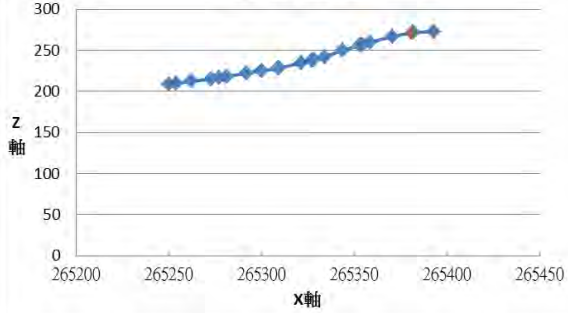
地點Q剖面



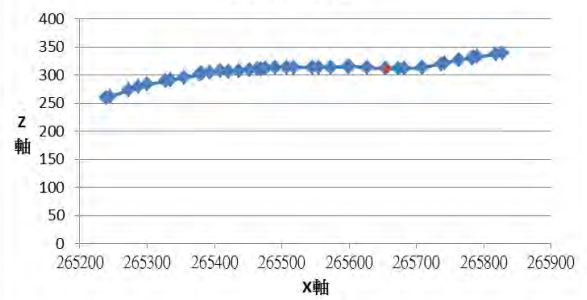
地點R剖面



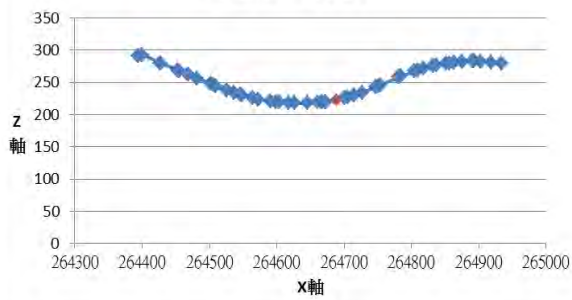
地點S剖面



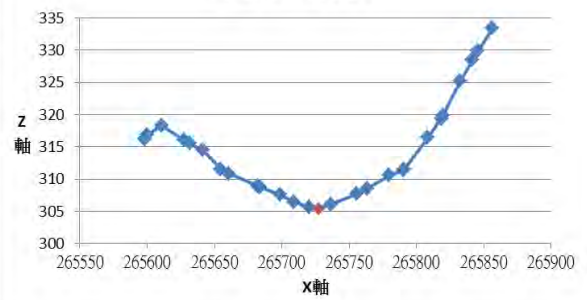
地點T剖面



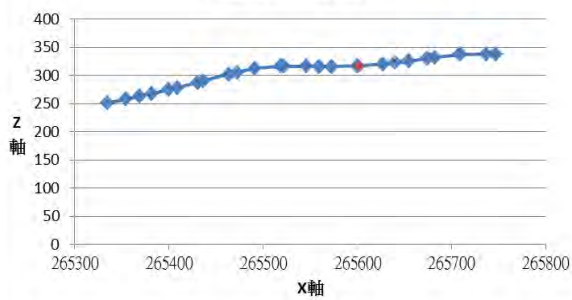
地點一剖面



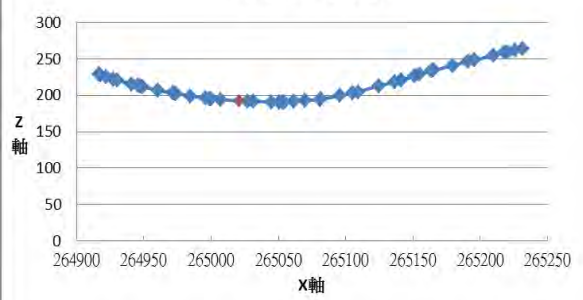
地點二剖面



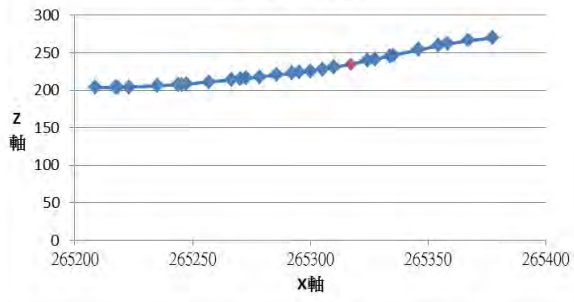
地點三剖面



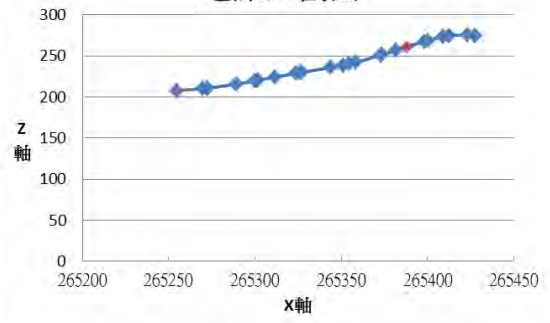
地點四剖面



地點五剖面



地點六剖面



【評語】 030506

1. 資料蒐集、整理、圖表呈現嚴謹，能清楚標示物理量的單位。
2. 依據實驗結果進行邏輯推理。