

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國中組 地球科學科

團隊合作獎

030508

水土比一比

學校名稱：桃園市立建國國民中學

作者： 國二 于 可 國二 邱奕旻 國二 林億和	指導老師： 莊健暉 李冠英
---	-----------------------------

關鍵詞：土石流、土壤含水量、發生部坡度

摘要

因為桃園區會稽里轄內靠近虎頭山具有 2 條土石流潛勢溪流，透過實地考察與資料收集，瞭解桃園區土石流潛勢溪流之成因。模擬「降雨時於表土土壤石礫空隙下產生之水流」觀測土壤含水量與水流侵蝕土石量之關係，與模擬「發生部表土狀態」，觀測土壤含水量與發生部坡度之關係。實驗結果發現，當土壤含水量越達飽和時，此時土壤黏性越高較不易因水流而沖刷，發生部崩塌坡度也大，較不易崩落與滑動。但土壤含水量一超過飽和，黏滯性下降，大量崩塌滑落的發生部坡度快速下降，表示此時的土石因泥水下滑力容易滑動且造成土石流。

壹、研究動機

我們在 youtube 上看到曾經因颱風造成的土石流帶來的災害影片後，開始思考有那些因素會造成土石流，於是上網查到有關颱風造成的土石流相關資訊，其中莫拉克颱風造成全台嚴重災害，特別是小林村 9~18 鄰全被土石流掩埋，幾近滅村，死亡人數近 500 人，電視上不斷播放土石流的鏡頭與小林村土石流前後的景象，才第一次感受到土石流的可怕與震撼。並在土石流防災資訊網查到所在的桃園區有 2 條土石流潛勢溪流，引發了我們想去瞭解土石流成因的動機，因此作為這次研究探討的主題。

貳、研究目的

- 一、探討土壤含水量不同與水流侵蝕土石量之關係。
- 二、透過土壤含水量與發生部坡度差異，認識泥石流與土石流的發生條件與特徵。

參、文獻探討

一、土石流

(一) 土石流定義

土石流係指泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，受重力作用所產生之流動體，沿坡面或溝渠由高處往低處流動之自然現象。

(二) 土石流特徵

流動速度快、泥砂濃度高、侵蝕力強、衝擊力大。土石流表面流動速度快，而土石流下面流動速度較慢。

土石流之流動速度受到所含有土石的粒徑大小、土石顆粒和泥水比例的多少、及溪谷坡度所影響。礫石型土石流 流速約 3~10M/S，而泥流型土石流則約為 2~20M/S。

土石流的前端隆起、流量大，多為集中的巨大石礫，後續的水流則多為泥流。

土石流中石礫的分布多為大石頭在上、小石頭在下。由於溪谷出口的坡度緩且寬度大，能有效降低土石流的流動速度，因此土石流常在此形成扇狀堆積。

(三) 土石流發生條件

1. **充份之水分**：充分之水分能降低土石流中土砂間的摩擦力，使固態物質流動。
2. **豐富的堆積物**：足夠的鬆散土砂提供土石流中所需的固態物質。
3. **足夠的坡度**：足夠大的斜面坡度讓土石流有流動的動力，使土石流克服摩擦力後繼續向低處流動(如圖 1)。

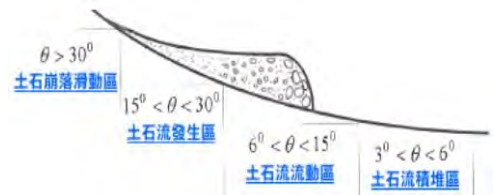


圖 1 一般土石流過程(詹前登, 1998)

(四) 土石流的地形特徵

一場土石流過程包含有發生部、流動部及堆積部(圖 2)。

1. **發生部**：出現在上游谷壁崩坍的碎屑會大量堆積的地方，受重力作用下切地表，形成橫剖面形狀多為 V 字形，而四周的植被常顯得相當稀疏。
2. **流動部**：為土塊與水侵蝕坡面後留下，通常位於山溝河谷流域的中下游，剖面較成 U 字形，河床上會有河谷兩岸崩坍下來的碎屑物。
3. **堆積部**：多發現於溪流下游出口處，常形成沖積扇狀的平坦地形，表面與前緣多巨大的岩塊堆積，下方填充顆粒大小層狀分佈的土砂。



圖 2 土石流運動過程

(五) 土石流的分類

土石流按其物質的組成可分為：(水土保持手冊, 2017)

1. **泥流型土石流**：粒徑 $d_s < 0.1mm$ 以下的細顆粒泥砂含量超過50%，且粒徑 $d_s > 2.0mm$ 以上的粗顆粒泥砂含量少於10%者。這種流型係由水體和細顆粒泥砂混合而成的漿體，屬於單相流(one-phase flow)。
2. **礫石型土石流**：粒徑 $d_s < 0.1mm$ 的細顆粒泥砂含量小於10%，且粒徑 $d_s > 2.0mm$ 的粗顆粒泥砂含量超過50%者。這種流型屬於固液兩相流，其中液相部分係由水體和極少量細顆粒泥砂所組成，固相部分則以粗顆粒泥砂為主，並為運動特徵之主導因素。在流變模型上，多認為屬於非牛頓流體中的膨脹流體(dilatant fluid)。
3. **土石流**：粒徑 $d_s < 0.1mm$ 的細顆粒泥砂含量介於10%~50%，且粒徑 d_s 大於2.0mm的粗顆粒泥砂含量介於50%~100%者。這種流型因大小泥砂顆粒之填充作用，使得泥砂顆粒間孔隙變得很小，從而導致水砂混合體具有較高的泥砂含量。

二、土壤含水量(土壤及底泥水分含量測定方法—重量法(NIEA S280.62C))

(一) 田間含水土壤樣品測定

1. 將土壤置於不吸水分的乾淨表面(如玻璃板)加以混合。以篩網去除大於 2mm 直徑的石礫、樹枝等。
2. 取乾淨稱量瓶及瓶蓋置於烘箱內，以 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 乾燥 1 小時，然後蓋上蓋子移至乾燥器內冷卻至少 45 分鐘，測定加蓋稱量瓶的重量 (m_0)，精稱至 10mg。稱取 30 至 40g 土壤置入稱量瓶中，精稱內含土壤之加蓋稱量瓶重量 (m_1)，精稱至 10mg。
3. 將土壤、稱量瓶及瓶蓋放入烘箱中，以 $105 \pm 5^\circ\text{C}$ 乾燥至恆重。
4. 將稱量瓶加蓋後移至乾燥器中冷卻至少 45 分鐘。
5. 取出稱量瓶，旋即精稱內含乾燥後土壤之加蓋稱量瓶重量 (m_2)，精稱至 10mg。

(二) 土壤水分含量計算

以下式乾重為基礎計算水分含量，以重量百分比表示，精確至 0.1%(m/m)

$$\text{水分含量 } w_{\text{H}_2\text{O}} (\%(\text{m}/\text{m})) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \times 100$$

m_0 ：含蓋稱量瓶空重 (g)

m_1 ：含蓋稱量瓶及風乾樣品或田間含水土壤重 (g)

m_2 ：含蓋稱量瓶及烘乾樣品重 (g)

三、桃園區土石流潛勢溪流

根據行政院農委會水土保持局所公開的資料所示，桃園地區土石流潛勢溪流共有 52 條，其分佈為復興(30 條)、大溪(10 條)、龜山(10 條)、桃園(2 條)，顯示出土石流發生地點大都位於山坡地區。桃園區會稽里轄內具有 2 條土石流潛勢溪流(如圖 3)，分別為桃市 DF011 土石流，與道路交會於大興路轉進興二街 92 巷處，另一為桃市 DF012 土石流，與道路交會於大有路與大德三街交會處。民國 90 年 9 月納莉颱風時，大德三街上游之野溪因崩塌土石淤塞水溝涵洞而造成大有路上土石堆積、道路中斷，造成大德三街及大有路附近數百戶住家遭淹及交通受阻等情形。



圖 3 桃園區土石流潛勢溪流

四、歷屆作品分析

(一)「沖沖沖！石頭石頭我不怕～探討水的力量對大自然的災害及其防治之道」-第 51 屆全國科展國中組地球科學

水量越大越快，流速越大，力量也越大，可以沖走越大的石頭；而且液體密度越大，其衝擊石頭的力量也越大。水位高度和水速平方成線性關係，與出水口孔徑大小無關。

(二)「紅色警戒」-第 51 屆全國科展國中組地球科學

1. 礫石型組成的吸水性差，在 40 度左右出現崩落下滑的現象，激發礫石型土石流主因在於流水推力，而非土石含水量，短時間內的累積雨量當是決定礫石型溪流是否會發生土石流主要指標。
2. 一般型土石呈現三階段特徵：當含水量不足時主要以崩落型態出現；當含水量趨於飽和時土石間的黏滯性大增，崩塌時仍以滑動崩落為主；當含水量超過飽和時，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象(產生土石流)，此後水土含量比愈高發生部坡度愈小。
3. 泥流型顆粒縫隙小，滲水慢，含水量高，但一超過飽和含水量，黏滯性因稀釋快速減小，發生部坡度快速下降。長時間累積水量為造成土石流關鍵。

綜合以往兩件作品我們已經得知水速與出水口大小無關，且土石流依不同類型，崩落方式也不同。我們考量到降雨時，土壤含水量會有所變化，降雨在滲透作用下會於岩石或土壤的空隙中產生水流，當遇到緻密的不透水層時，才會停止下滲。我們想模擬「降雨時於表土土壤下產生之水流」觀測土壤含水量與水流侵蝕之關係，與進行模擬「發生部表土狀態」，觀測土壤含水量與發生部坡度之關係。

肆、研究設備器材

- 一、**水流系統**(圖4)：木製滑水道、木質用接著劑、保鮮膜、防水漆、沉水式抽水馬達、水位控制器(水桶、寶特瓶、水管轉接頭)、出水孔、透明水管、熱熔膠槍、防水修復膠帶、伸縮衣架、濾水裝置。



圖4 水流系統

(一) **水位控制器**(圖5、圖6)：多餘水量可經由此排出，以達到水位控制的目的。亦能調節水流系統之水流流速穩定。



圖5 水位控制器

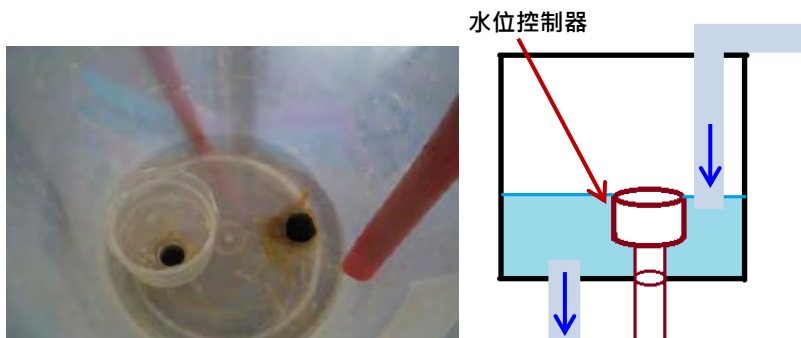


圖6 水位控制器內部構造

(二) **出水孔**(圖7)：使用木板固定位置，並可依孔蓋大小，調整水流量。

(三) **滑水道**(圖8)：寬8cm×長133cm×高6cm，為使木製滑水道不因水之滲透發霉，及水流下滑穩定集中，使用防水漆塗於滑水道上，並鋪上一層保鮮膜控制水流方向。

(四) **濾水裝置**(圖9)：利用毛巾、麥飯石、木炭、細砂粒、面紙等製作濾水層。讓實驗後混濁的泥砂水，經過濾後的水可再重複使用。



圖7 出水孔



圖8 滑水道



圖9 濾水裝置

(五) **滑水道坡度控制裝置**(圖10)：利用伸縮衣架高度調整滑坡角度，經三角函數tan值計算，得知滑坡角度。

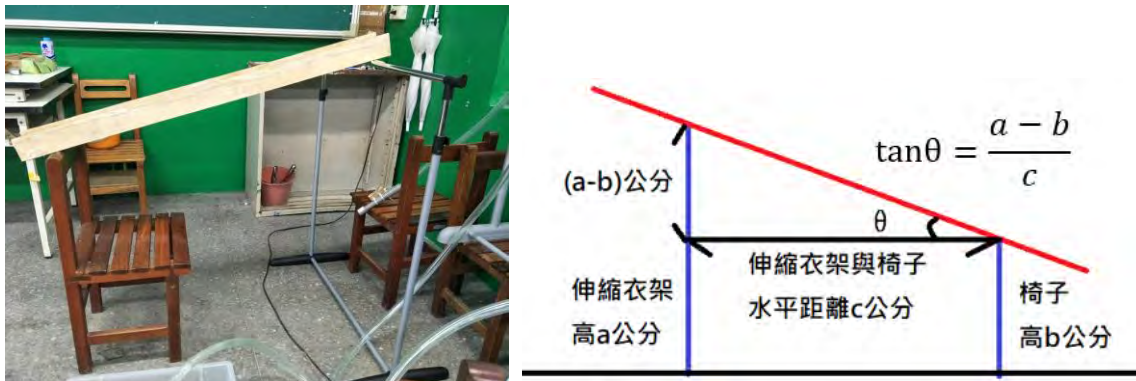


圖10 滑水道坡度裝置

二、**滑道傾斜裝置**(圖11)：滑水道(寬16cm×長133cm×高6cm)、木質用接著劑、伸縮衣架、鐵夾、塑膠繩、量角器。滑道上於底端起測量1公尺，每10公分繪製測量觀測線。並利用繩索垂直下拉方式調整滑坡角度，為確認調整滑道時之穩定，於桌面上繪製直線。使用量角器測量坡道傾斜角度。



圖11 滑道傾斜裝置

三、**水流流速測量**(圖 12)：小保麗龍球、手機高速攝影、威力導演 14。因入水孔與出水孔之大小與流速不相同(白努利原理)，且無法量測。因而水流流速暫以保麗龍黑球隨水流 60cm 平均時間表示。

四、**壓模裝置**(圖 13)：木工夾、烘焙模具。將土壤與水混合後，利用木工夾進行 20-30 分鐘壓模，以模擬現實土壤狀態，非起初混合時鬆散樣貌。木工夾之夾壓長度固定，控制壓模之穩定性。

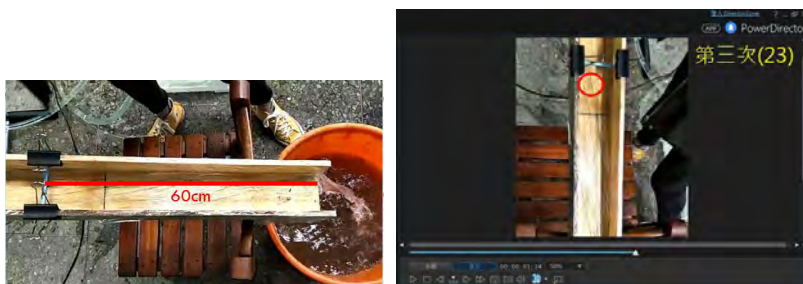


圖 12 水流流速測量



圖 13 壓模裝置

五、**降雨裝置**(圖 14)：使用五腳狀寶特瓶製作水量分流裝置，免洗餐盒以 1cm*1cm 間隔鑽 0.2cm 孔洞製作降雨盒，並利用伸縮衣架調整降雨盒與滑道土堆間的距離。

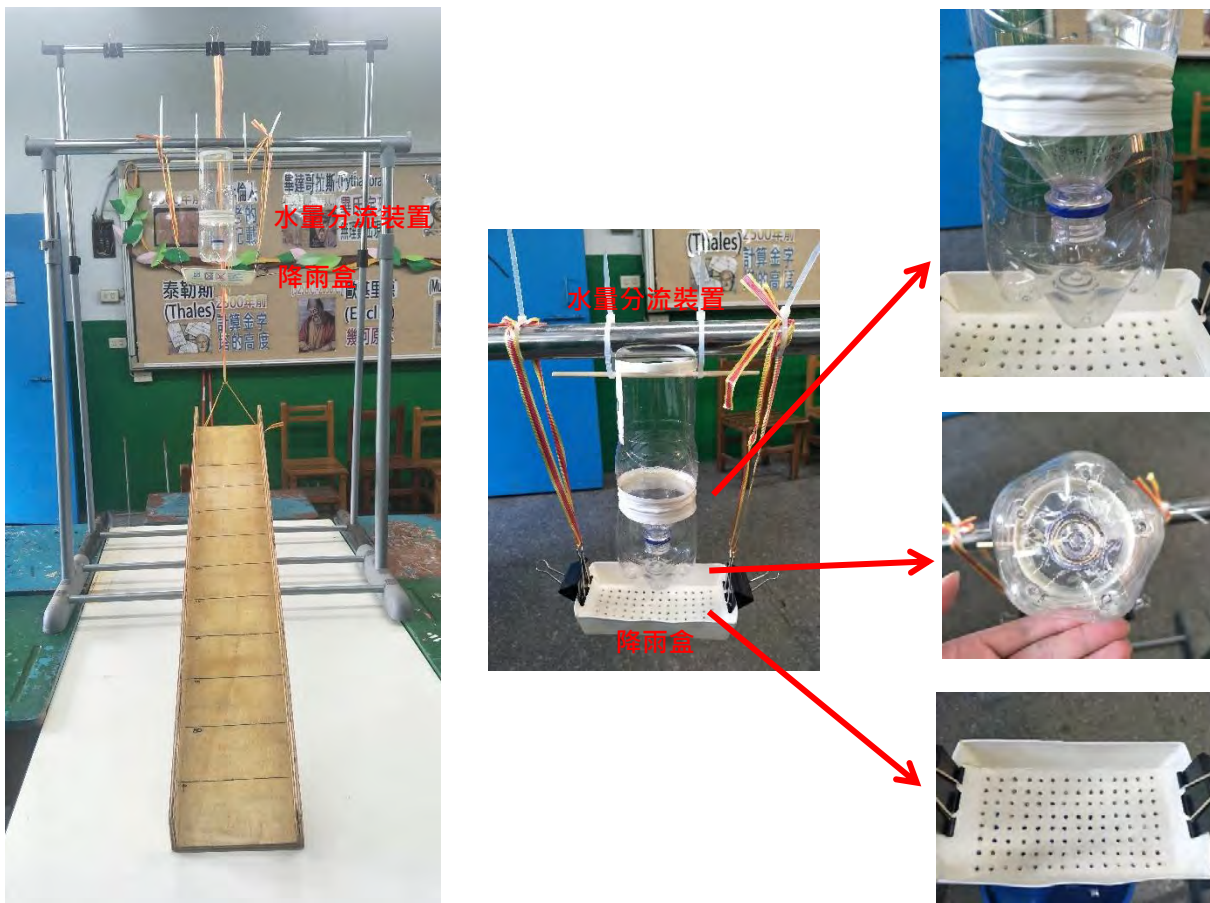


圖 14 降雨裝置

六、**其他**：烘箱、秤量瓶直徑 60×高 30(mm)、篩網(孔徑 1mm)、水桶、挖土器具、電子秤(精密度 0.1g)、XClinometer。

伍、研究過程與方法

一、桃園區土石流潛勢溪流實地考察

根據行政院農委會水土保持局所公開的資料所示，桃園區會稽里轄內具有 2 條土石流潛勢溪流(圖 3)，分別為桃市 DF011 土石流(圖 15)，與道路交會於大興路轉進興二街 92 巷處，另一為桃市 DF012 土石流(圖 16)，與道路交會於大有路與大德三街交會處。

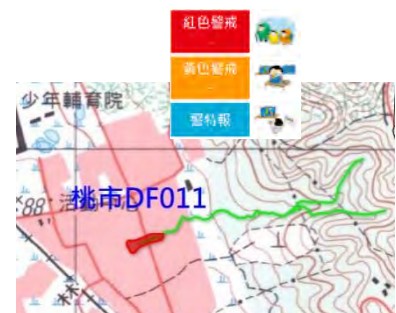


圖 15 桃市 DF011 土石流

我們到達兩處紅色警戒區進行考查，桃市 DF011 土石流區實景(圖 17)，在小北百貨大有店附近，該地為斜坡地且有圳道，使用手機 XClinometer APP 進行量測圳道旁巷道斜坡度數為 4.2 度(圖 19)。兩地經實地考查應為當年土石流之堆積部。桃市 DF012 土石流實景(圖 18)，該地上方有圳道，下方為斜坡小巷道，使用手機 XClinometer APP 進行量測巷道斜坡度數為 6.6 度(圖 19)。並據當地居民敘述當時土石流災害是因崩塌土石淤塞水溝涵洞而造成，兩地經實地考查應為當年土石流之堆積部。

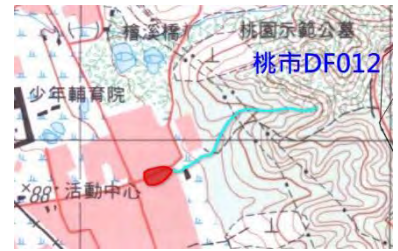


圖 16 桃市 DF012 土石流

兩地往上游道路前進，均因巷道封閉無法再往上前進。在圖 15、圖 16 可知 2 條土石流潛勢溪流之上游區均在虎頭山上，且為兼顧安全因素，因而實地土石採集改至虎頭山環保公園靠近桃市 DF011 上游區的道路旁進行採集，如圖 20。

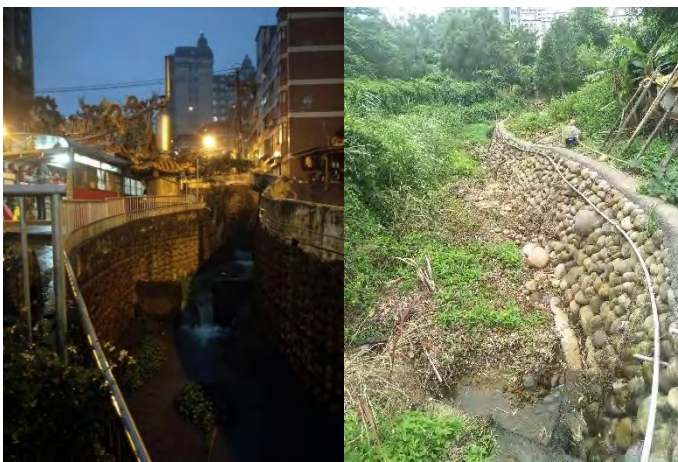


圖 17 桃市 DF011 土石流-場勘河道及街道景

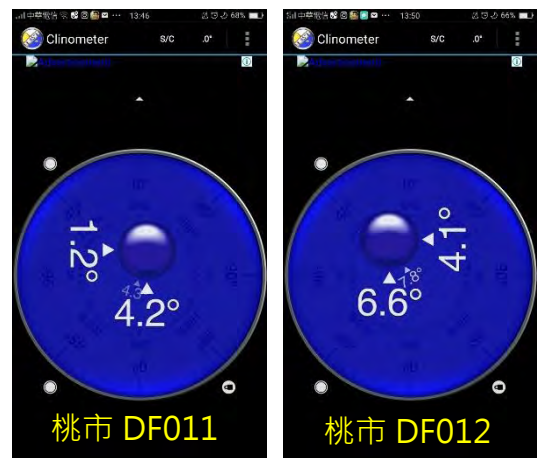


圖 19 土石流街道坡度實測



圖 18 桃市 DF012 土石流-場勘河道及街道景



圖 20 土石採樣點

二、探討土壤含水量與水流侵蝕之關係

(一) 實驗設計想法

降雨時，雨水會滲入岩石或土壤的空隙中產生水流，當遇到緻密的不透水層時，才會停止下滲。我們將實驗滑水道模擬為「降雨時於表土土壤石礫空隙下產生之水流」，觀測土壤含水量不同與水流侵蝕土石量之關係。

(二) 實驗假說

在固定坡度、水流流速與侵蝕時間下，土壤含水量越高，土石侵蝕量越多。

(三) 實驗變因

1. 控制變因：土石採樣、土石重量、水流流速、水道坡度、壓模形狀、水沖 30 秒、放置位置
2. 操作變因：土壤含水量
3. 應變變因：水流侵蝕之土石重量



圖 21 樣區樣本土

(四) 實驗步驟

1. 土石採樣區 (在採集上游土石前，為能進行實驗設備測試，便先採用校內花園土石)

(1) 校內花園

- ① 土壤顆粒組成：隨機採樣 100g 土石烘乾後，過篩 2 次秤重比例-粒徑<1.0mm 約 52%，粒徑>2.0mm 約 48%。
- ② 土壤水分含量：取 2 瓶粒徑<1.0mm 土壤 50 公克重放入秤量瓶(圖 21)，以 105 °C 烘乾 2 小時，然後蓋上蓋子移至通風處冷卻 2 小時，量測烘乾後土壤第一瓶淨重 45.7 公克，土壤含水量約 8.6%；第二瓶淨重 45.3 公克，土壤含水量約 9.4%。土壤水分含量估計值 9%。

(2) 虎頭山上游附近道路旁

- ① 土壤顆粒組成：隨機採樣 100g 土石烘乾後，過篩 2 次秤重比例-粒徑<1.0mm 約 37%，粒徑>2.0mm 約 63%。
- ② 土壤水分含量：取 2 瓶粒徑<1.0mm 土壤 50 公克重放入秤量瓶(圖 21)，以 105 °C 烘乾 2 小時，然後蓋上蓋子移至通風處冷卻 2 小時，量測烘乾後土壤第一瓶淨重 44.2 公克，土壤含水量約 11.6%；第二瓶淨重 44.6 公克，土壤含水量約 10.8%。土壤水分含量估計值 11.2%。

2. 土壤過篩及烘乾

使用篩網(孔徑 1mm)過篩 2 次，並用烘箱以 105 度，烘 48-72 小時。

3. 水道坡度(圖 10)

$$a=100\text{cm}, b=72\text{cm}, c=100\text{cm}, \tan\theta = \frac{100-72}{100} = 0.28。$$

查三角函數 tan 表， θ 約 15° 40'。

4. 水流流速

因入水孔與出水孔之大小與流速不相同(白努利原理)，且無法量測。因而水流流速暫以保麗龍黑球隨水流 60cm 平均影格時間表示，如圖 12、表 1。

表 1 黑球隨著水流 60cm 影格時間(威力導演 15-每秒 30 影格)

107/12/29

序別(檔名)	0cm	60cm	影格時間
第一次(21)	3 秒 04	3 秒 19	0 秒 15
第二次(22)	2 秒 08	2 秒 22	0 秒 14
第三次(23)	1 秒 23	2 秒 08	0 秒 15
第四次(24)	1 秒 18	2 秒 05	0 秒 17
第五次(25)	1 秒 02	1 秒 18	0 秒 16
估計影格時間		0 秒 15.4	

108/04/04

序別(檔名)	0cm	60cm	影格時間
第一次(41)	1 秒 00	1 秒 17	0 秒 17
第二次(42)	1 秒 21	2 秒 09	0 秒 18
第三次(43)	3 秒 13	4 秒 00	0 秒 17
第四次(44)	2 秒 00	2 秒 17	0 秒 17
第五次(45)	1 秒 18	2 秒 07	0 秒 19
估計影格時間		0 秒 17.6	

108/05/26

序別(檔名)	0cm	60cm	影格時間	序別(檔名)	0cm	60cm	影格時間
第一次(51)	0 秒 29	1 秒 22	0 秒 18	第五次(55)	1 秒 01	1 秒 18	0 秒 17
第二次(52)	2 秒 17	3 秒 07	0 秒 20	第六次(56)	2 秒 17	1 秒 08	0 秒 21
第三次(53)	1 秒 19	2 秒 09	0 秒 20	第七次(57)	1 秒 00	1 秒 23	0 秒 23
第四次(54)	1 秒 15	2 秒 05	0 秒 20	第八次(57)	2 秒 06	1 秒 27	0 秒 21
估計影格時間		0 秒 20					

5. 壓模形狀及放置位置

為模擬現實土壤狀態，非起初混合時之鬆散樣貌，將土石使用烘焙模具進行壓模。並以吸管與鐵夾置於離出水孔 40 公分，為放置土石侵蝕放置位置。橫向吸管需與滑道表面距離 1 至 2 公分，以防止水流碰到吸管後產生回流侵蝕，如圖 22。



圖 22 滑道上土石放置位置

6. 水流侵蝕後土石耗損重

當水流侵蝕土石時，土壤與石頭超過離出水口 40cm 處，即判別為被水流侵蝕之土石。並於滑道底處架設篩網(孔徑 1mm)，撈起被水流沖刷之石頭。將未被侵蝕之土石堆與被侵蝕之石頭，放進烘箱以 105 度，烘 96-120 小時後，取出放置陰涼處 1-2 小時，再進行秤重。

(五) 實驗數據

- 實驗 1：土壤顆粒組成粒徑<1.0mm，探討土壤含水量與水流侵蝕土壤量之關係。
 - 實驗 1-1：土塊模型成分-50g 烘乾土(土石採樣區-校內花圃)，實驗數據如表 2。

表 2 土壤含水量與水流侵蝕土壤量之關係(土石採樣區-校園花圃)-實驗 1-1 數據

實驗日期：107/12/29
(單位：公克重)

土壤含水量	15%		20%		25%		30%	
實驗前烘乾土重	50	50	50	50	50	50	50	50
實驗前水重	8.8	8.8	12.5	12.5	16.7	16.7	21.4	21.4
總重量	58.8	58.8	62.5	62.5	66.7	66.7	71.4	71.4
實驗後烘乾土重	33.9	26.0	23.1	17.3	44.1	42.7	28.4	29.0
侵蝕後土耗損重	16.1	24.0	26.9	32.7	5.9	7.3	21.6	21.0
土耗損重估計值	20.05		29.8		6.6		21.3	

實驗日期：108/04/04
(單位：公克重)

土壤含水量	15%		20%		25%		30%	
實驗前烘乾土重	50	50	50	50	50	50	50	50
實驗前水重	8.8	8.8	12.5	12.5	16.7	16.7	21.4	21.4
總重量	58.8	58.8	62.5	62.5	66.7	66.7	71.4	71.4
實驗後烘乾土重	32.7	28.2	32.8	36.2	46.2	48.2	31.4	30.0
侵蝕後土耗損重	17.3	21.8	27.2	23.8	3.8	1.8	18.6	20.0
土耗損重估計值	19.55		25.5		2.8		19.3	

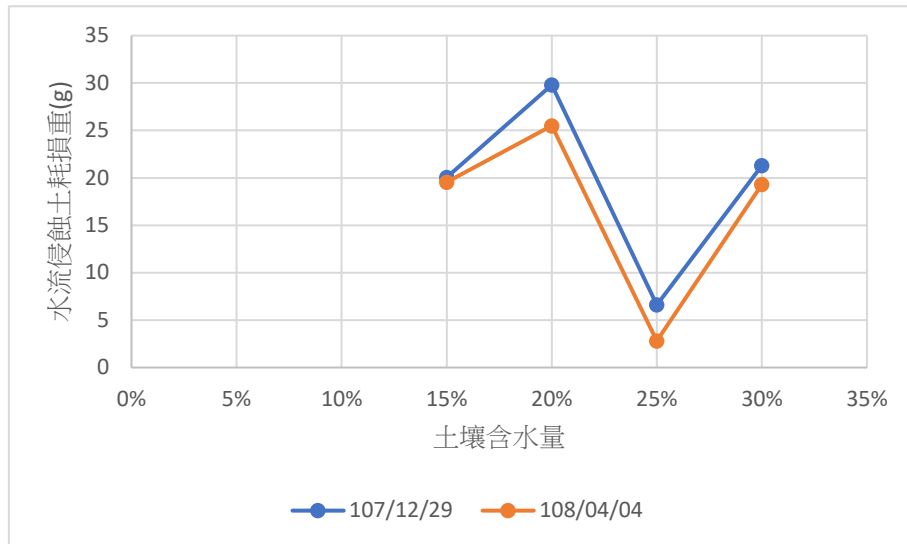


圖 23 土壤含水量與水流侵蝕之關係(土石採樣區-校園花園)-實驗 1-1 數據

從表 2、圖 23 中，可發現在固定坡度(θ約 15° 40')、水流流速，侵蝕 30 秒的條件下，校園內的土壤含水量 15~20%，含水量越高，侵蝕土壤量越多。土壤含水量 25%，侵蝕土壤量最少。土壤含水量 30%與 15%的侵蝕土壤量差不多。

(2) 實驗 1-2：土塊模型成分-50g 烘乾土(土石採樣區-虎頭山)，實驗數據如表 3。

表 3 土壤含水量與水流侵蝕土壤量之關係(土石採樣區-虎頭山)-實驗 1-2 數據

實驗日期：107/12/29
(單位：公克重)

土壤含水量	15%		20%		25%		30%	
實驗前烘乾土重	50	50	50	50	50	50	50	50
實驗前水重	8.8	8.8	12.5	12.5	16.7	16.7	21.4	21.4
總重量	58.8	58.8	62.5	62.5	66.7	66.7	71.4	71.4
實驗後烘乾土重	34.4	35.7	33.0	32.4	35.7	35.7	34.8	35.5
侵蝕後土耗損重	15.6	14.3	17.0	17.6	14.3	14.3	15.2	14.5
土耗損重估計值	14.95		17.3		14.3		14.85	

實驗日期：108/04/04
(單位：公克重)

土壤含水量	15%		20%		25%		30%	
實驗前烘乾土重	50	50	50	50	50	50	50	50
實驗前水重	8.8	8.8	12.5	12.5	16.7	16.7	21.4	21.4
總重量	58.8	58.8	62.5	62.5	66.7	66.7	71.4	71.4
實驗後烘乾土重	37.3	36.3	34.2	35.2	41.4	38.0	39.7	41.1
侵蝕後土耗損重	12.7	13.7	15.8	14.8	8.6	12.0	10.3	8.9
土耗損重估計值	13.2		15.3		10.3		9.6	

實驗日期：108/05/26
(單位：公克重)

含水量	15%			20%			25%			28%			30%			32%		
實驗前烘乾土重	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	
實驗前水重	8.8	8.8	8.8	12.5	12.5	12.5	16.7	16.7	16.7	19.4	19.4	19.4	21.4	21.4	21.4	23.5	23.5	23.5
總重量	58.8	58.8	58.8	62.5	62.5	62.5	66.7	66.7	66.7	69.4	69.4	69.4	71.4	71.4	71.4	73.5	73.5	73.5
實驗後烘乾土重	29.7	27.6	26.7	20.5	26.7	27.8	44.2	35.5	32.7	40.6	44.9	47.0	44.7	44.5	44.1	41.2	44.4	38.8
侵蝕後土耗損重	20.3	22.4	23.3	29.5	23.3	22.2	5.8	14.5	17.3	9.4	5.1	3.0	5.3	5.5	5.9	8.8	5.6	11.2
土耗損重估計值	22.0			25.0			12.5			5.8			5.6			8.5		

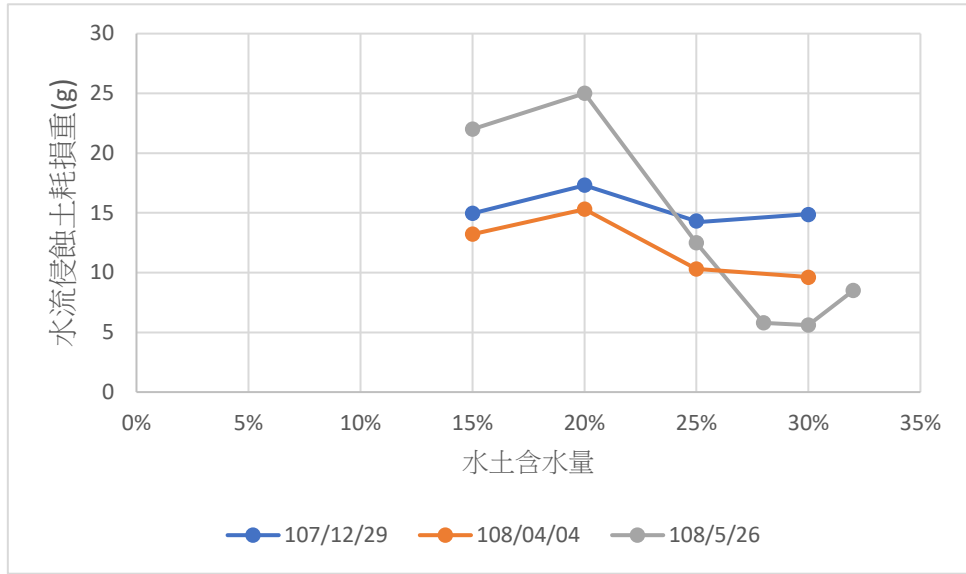


圖 24 土壤含水量與水流侵蝕土壤量之關係(土石採樣區-虎頭山)-實驗 1-2 數據

從表 3、圖 24 中，可發現在固定坡度(θ 約 $15^\circ 40'$)、水流流速，侵蝕 30 秒的條件下，虎頭山的土壤含水量 15~20%，含水量越高，侵蝕土壤量越多。土壤含水量 25-30%，侵蝕土壤量較少。

2. 實驗 2：探討土壤含水量與水流侵蝕土石量之關係，實驗數據如表 4。

模擬土壤取樣區土壤顆粒組成型態，土石模型：30g 烘乾土(土石粒徑 $<1.0\text{mm}$)占重 40%、45g 石頭(粒徑 $>2.0\text{mm}$)占重 60%。

表 4 土壤含水量與水流侵蝕土石量之關係(土石採樣區-虎頭山)-實驗 2 數據

實驗日期：108/05/26

(單位：公克重)

土壤含水量	15%			20%			25%			30%		
實驗前烘乾土重	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
實驗前水重	5.3	5.3	5.3	7.5	7.5	7.5	10	10	10	12.9	12.9	12.9
實驗前烘乾石重	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
總重量	80.3	80.3	80.3	82.5	82.5	82.5	85	85	85	87.9	87.9	87.9
實驗後烘乾土石重	32.2	4.4	63.6	52.4	56.0	60.4	67.6	71.7	66.2	60.9	69.5	62.0
侵蝕後土石耗損重	48.1	75.9	16.7	30.1	26.5	22.1	17.4	13.3	18.8	27.0	18.4	25.9
侵蝕後石耗損重	21.5	41.2	6.4	8.6	4.0	2.7	2.9	0.7	3.6	1.2	1.6	1.7
石耗損重估計值	9.7			5.1			2.4			1.5		
土耗損重估計值	26.6	34.7	10.3	21.5	22.5	19.4	14.5	12.6	15.2	25.8	16.8	24.2
土耗損重估計值	23.9			21.1			14.1			22.3		



圖 25 經水流侵蝕後之剩餘土壤含水量 25% 土石烘乾後樣貌

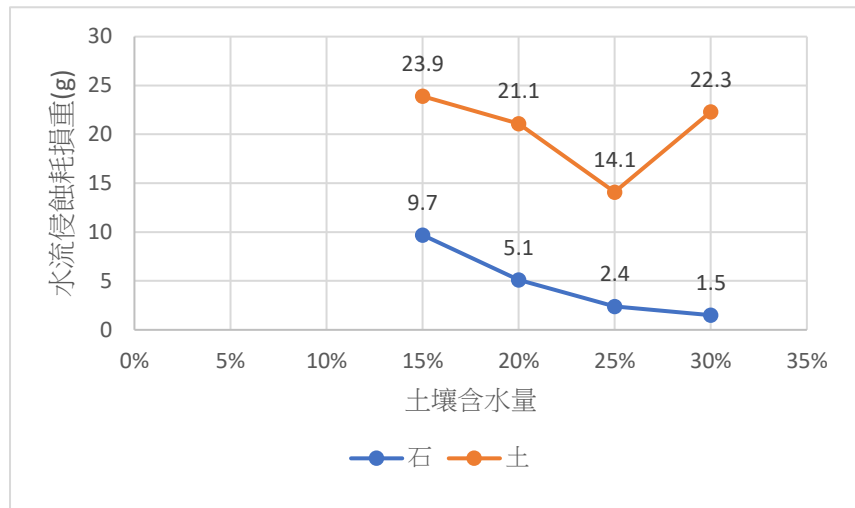


圖 26 土壤含水量與水流土石量侵蝕之關係(土石採樣區-虎頭山)-實驗 2 數據

從表 4、圖 26 中，可發現在固定坡度(θ 約 $15^\circ 40'$)、水流流速，侵蝕 30 秒的條件下，虎頭山的土壤含水量 15~30%，含水量越高，侵蝕石頭量越少；土壤含水量 15~25%，含水量越高，侵蝕土壤量越少。土壤含水量 25%，侵蝕土壤量最少。土壤含水量 30%與 15%的侵蝕土壤量差不多。

(六) 實驗結果與討論

實驗假說：在固定坡度、水流流速與侵蝕時間下，土壤含水量越高，土石侵蝕量越多

【結果】1. 在實驗 1 中，在固定坡度、水流流速，侵蝕 30 秒的條件下，

(1) 校內花圃

土壤含水量 15~20%，含水量越高，侵蝕土壤量越多。

土壤含水量 25%，侵蝕土壤量最少。

土壤含水量 30%與 15%的侵蝕土壤量差不多。

(2) 虎頭山

土壤含水量 15~20%，含水量越高，侵蝕土壤量越多。

土壤含水量 25-30%，侵蝕土壤量較少。

2. 在實驗 2 中，在固定坡度、水流流速，侵蝕 30 秒的條件下，

土壤含水量 15~30%，含水量越高，侵蝕石頭量越少。

土壤含水量 15~25%，含水量越高，侵蝕土壤量越少。

土壤含水量 25%，侵蝕土壤量最少。

土壤含水量 30%與 15%的侵蝕土壤量差不多。

【討論】1. 校內土壤含水量 25%，侵蝕土壤量最少；虎頭山土壤含水量 25~30%，侵蝕土壤量較少。猜測是因土壤黏性變大，且未達土壤含水量之飽和上限，土壤仍可再吸附水分，因而在 30 秒的水流侵蝕下侵蝕土壤量最少。也有可能因人為實驗操作誤差導致。

2. 在實驗 2 中，土壤含水量 15~30%，含水量越高，侵蝕石頭量越少。猜測是因土壤黏性變大，將石頭黏附其中，且土壤未達含水量之飽和上限，仍可再吸附水分，因而在 30 秒的水流侵蝕下侵蝕石頭量越少。

3. 在實驗之前，我們提出實驗假說「在固定坡度、水流流速與侵蝕時間下，土壤含水量越高，土石侵蝕量越多」，原先以為土壤含水量越高，土壤越容易與水流混合成為泥流，土石被侵蝕的越多。經實驗結果，發現與我們所預期的不同，土壤含水量達 25~30%，可能因土壤黏性越大，使得土石侵蝕量越少。

【結論】在固定坡度、水流流速與侵蝕時間下，土壤含水量達 25~30%，土壤侵蝕量較少；土壤含水量未達飽和上限，含水量越高，石頭侵蝕量越少。

【實驗設計改進】

1. 實驗次數太少，需多準備再進行實驗。
2. 流速之表示與測量需再找文獻資料，更準確地描述。
3. 對於土壤質地的認識，需再找文獻資料了解。
4. 實驗設計可再擴大為土壤含水量 5~35%與水流土石侵蝕量之關係，來更加瞭解相同土質土壤在不同含水量時，受降雨水流侵蝕之狀況。

三、探討土壤含水量與發生部坡度之關係

（一）實驗設計想法

山區常因地形而產生降雨，土壤含水量因而有所改變，含水量多寡也許會對於土石崩塌產生影響。我們將實驗滑道模擬為「發生部」，觀測土壤含水量與發生部坡度之關係。

（二）實驗假說

土壤含水量越高，土壤黏著度越高，崩塌或滑落所需的坡度角度越大。

（三）實驗變因

1. 控制變因：土壤採樣、土壤重量、滑道、放置位置
2. 操作變因：土壤含水量
3. 應變變因：滑道傾斜角度與土壤崩塌狀況描述

（四）實驗步驟

1. 土石採樣區（在採集上游土石前，為能進行實驗設備測試，便先採用校內花園土石）
 - (1) 校內花園
 - ①土壤顆粒組成：隨機採樣 100g 土石烘乾後，過篩 2 次秤重比例-粒徑<1.0mm 約 52%，粒徑>2.0mm 約 48%。
 - ②土壤水分含量估計值 9%。
 - (2) 虎頭山上游附近道路旁
 - ①土壤顆粒組成：隨機採樣 100g 土石烘乾後，過篩 2 次秤重比例-粒徑<1.0mm 約 37%，粒徑>2.0mm 約 63%。
 - ②土壤水分含量估計值 11.2%。

2. 土壤過篩及烘乾

使用篩網(孔徑 1mm)過篩 2 次，秤重後，並用烘箱以 105 度，烘 48-72 小時。

3. 滑道傾斜角度測量與崩塌觀測(圖 11)

- (1) 滑道上於底端起測量 1 公尺，每 10 公分繪製測量觀測線。
- (2) 利用繩索垂直下拉方式調整斜坡角度，為確認調整滑道時之穩定，於桌面上繪製直線。
- (3) 使用量角器測量滑道傾斜角度。
- (4) 每拉起傾斜角度 5-10 度停止坡度改變，觀察土石崩塌滑落情形，若有崩塌滑落產生，則等待其運動停止後再繼續改變滑道傾斜角度。

4. 土石崩塌滑落描述

- (1) **些微水流**：因土壤含水量已達飽和，部分水量無法吸收而留下。或因水快速沖蝕土石產生泥水流狀。
- (2) **些微掉落**：些許土壤或砂石，因重力影響而鬆散崩落至離發生部 50 公分以上。
- (3) **許多掉落**：許多土壤或砂石，因重力影響而鬆散崩落至離發生部 50 公分以上。
- (4) **許多泥流**：許多土壤或砂石，因水快速沖蝕土石產生泥水流狀。
- (5) **大塊/全部崩塌**：大量土壤或砂石，因重力影響而鬆散崩落至離發生部 50 公分以上。
- (7) **大塊滑落**：大塊黏著土壤或砂石，因重力影響而滑落至離發生部 50 公分以上。
- (8) **小塊滑落**：黏著土壤或砂石，因重力影響而慢慢滑落至離發生部 50 公分以上。
- (9) **些許留下**：土壤或砂石均已掉落至離發生部 90 公分以上。些許因滑道摩擦力與土壤黏著力而殘留發生部之土壤或砂石。

(五) 實驗數據

1. 實驗 3：土壤顆粒組成粒徑<1.0mm，探討土壤含水量與發生部坡度之關係。

(1) 實驗 3-1：土堆成分-500g 烘乾土(土石採樣區-校內花圃)，實驗數據如表 5。

表 5 土壤含水量與發生部坡度之關係(土石採樣區-校內花圃)-實驗 3-1 數據

含水量	實驗前 烘乾土重	實驗前 水重	總重量	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	
15%	500g	88.2g	588.2g	10	無	20	些微 掉落	30	些微 掉落	40	許多 掉落	50	許多 掉落	55	全部 崩塌							
20%	500g	125.0g	625.0g	10	無	20	些微 掉落	30	些微 掉落	40	些微 掉落	50	些微 掉落	60	些微 掉落	70	全部 崩塌					
25%	500g	166.7g	666.7g	10	無	20	無	30	些微 掉落	40	些微 掉落	50	許多 掉落	60	許多 掉落	70	無	86	大塊 崩塌	90	些許 留下	
30%	500g	214.3g	714.3g	10	無	20	無	30	無	40	無	50	無	62	大塊 滑落	70	些許 留下					
35%	500g	269.2g	769.2g	10	些微 水流	20	無	30	些微 掉落	40	小塊 滑落	54	大塊 滑落	62	大塊 滑落	76	小塊 滑落	80	些許 留下			
40%	500g	333.3g	833.3g	已成泥水狀，無法成形																		

(2) 實驗 3-2：土堆成分-500g 烘乾土(土石採樣區-虎頭山)，實驗數據如表 6。

表 6 土壤含水量與發生部坡度之關係(土石採樣區-虎頭山)-實驗 3-2 數據

含水量	實驗前 烘乾土重	實驗前 水重	總重量	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況		
15%	500g	88.2g	588.2g	10	無	20	些微 掉落	30	些微 掉落	40	許多 掉落	50	許多 掉落	52	全部 崩塌						
20%	500g	125.0g	625.0g	10	無	20	些微 掉落	30	些微 掉落	40	些微 掉落	50	些微 掉落	60	些微 掉落	65	全部 崩塌				
25%	500g	166.7g	666.7g	10	無	20	無	30	些微 掉落	40	些微 掉落	50	許多 掉落	60	許多 掉落	63	些微 掉落	75	大塊 崩塌	80	些許 留下
30%	500g	214.3g	714.3g	10	無	20	無	30	無	40	無	50	無	58	大塊 滑落	65	些許 留下				
35%	500g	269.2g	769.2g	10	些微 水流	20	無	30	些微 掉落	40	小塊 滑落	50	大塊 滑落	64	大塊 滑落	68	小塊 滑落	70	些許 留下		
40%	500g	333.3g	833.3g	已成泥水狀，無法成形																	

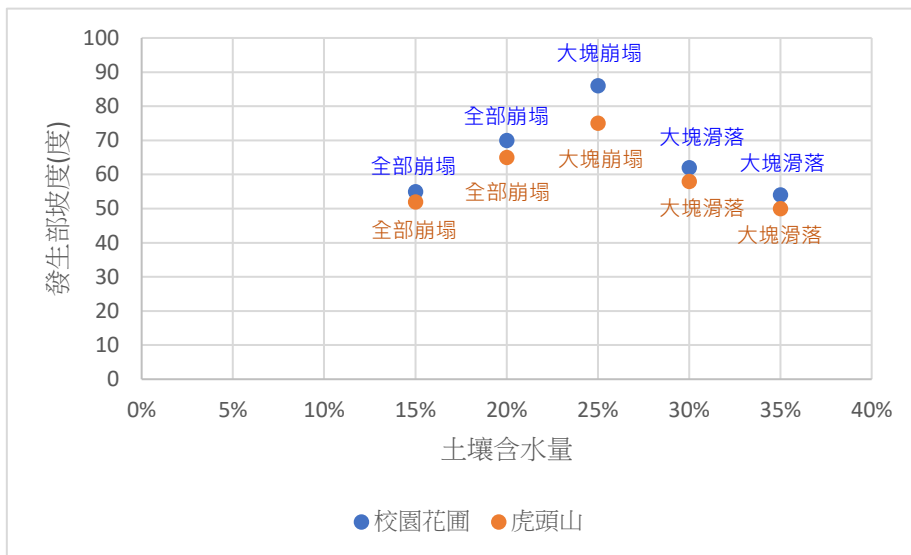


圖 27 土壤含水量與發生部坡度之關係(土石採樣區-校園花園、虎頭山)-實驗 3 數據

從表 5、表 6、圖 27 中，土壤重量相同，含水量達 15-25%時，含水量越高，大塊崩塌的滑道傾斜角度越大。含水量達 25%時，大塊崩塌角度最大約 75-86 度，如圖 28。含水量達 30-35%，黏著度高，會整塊或分塊如泥漿般滑落，滑落角度約 50-62 度，如圖 29。含水量達 40%，已成泥水狀，無法成形，如圖 30。



圖 28
發生部坡度實驗-土壤含水量 25%
(校內花園)



土壤含水量 30% · 整塊崩塌滑落 土壤含水量 30% · 整塊崩塌滑落
圖 29
發生部坡度實驗土壤(校內花園)



土壤含水量 40% 已成泥水狀
圖 30
發生部坡度實驗-土壤含水量 40%
(校內花園)

2. 實驗 4：使用土石採樣區之隨機取樣石、砂及土 500g，在土石上方使用燒杯均勻加入不同水量的水後，改變發生部坡度進行實驗，探討加水量與發生部坡度之關係，實驗數據如表 7。

表 7 加水量與發生部坡度之關係(土石樣區-校園花園、虎頭山)-實驗 4 數據

土石樣區	加水量	實驗前土石重	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況
校內	0g	500g	10	些微掉落	20	許多掉落	25	全部崩塌										
校內	100g	500g	10	些微掉落	20	許多掉落	30	許多掉落	35	全部崩塌								
校內	200g	500g	10	些微掉落	20	些微掉落	30	許多掉落	40	無	42	大塊滑落	50	些許留下				
校內	300g	500g	10	些微水流	20	些微掉落	30	小塊滑落	36	大塊滑落	40	些許留下						
校內	400g	500g	10	水流流下	20	小塊滑落	24	大塊滑落	27	大塊滑落	30	些許留下						
虎頭山	0g	500g	10	些微掉落	20	許多掉落	28	全部崩塌										
虎頭山	100g	500g	10	無	12	些微掉落	20	些微掉落	23	許多掉落	30	許多掉落	38	全部崩塌				
虎頭山	200g	500g	10	些微掉落	20	些微掉落	27	許多掉落	30	無	37	大塊滑落	40	些許留下				
虎頭山	300g	500g	10	些微水流	20	些微掉落	26	小塊滑落	30	小塊滑落	32	大塊滑落	40	些許留下				
虎頭山	400g	500g	10	水流流下	18	小塊滑落	20	小塊滑落	22	大塊滑落	30	小塊滑落	40	些許留下				

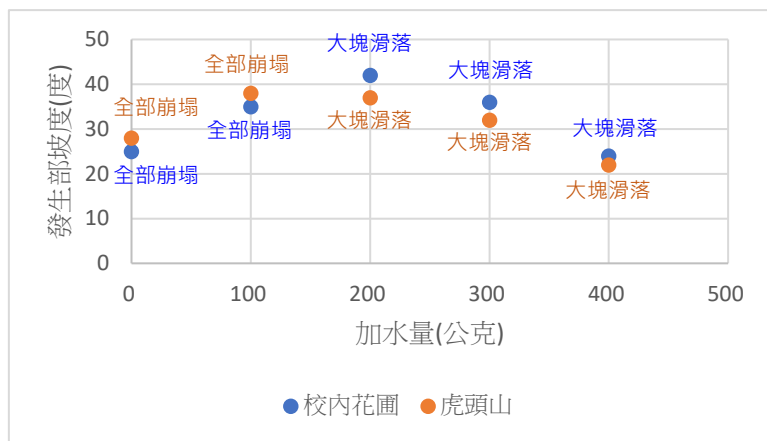


圖 28 加水量與發生部坡度之關係(土石樣區-校園花園、虎頭山)-實驗 4 數據

在實驗 4 中，觀察發現較大的砂石會在 10-30 度先掉落。土石堆重量相同，加水量 0、100 公克時，土石堆以崩塌方式掉落；加水量 200、300、400 公克，土石堆以滑落方式掉落。並在加水量 300、400 公克，隨著發生部坡度的改變，觀察到較大的砂石會漸漸集中在滑落的前端，帶動土石堆的滑落。

因實驗 4 之土石堆為隨機取樣的石、砂及土 500g 構成，所以各次實驗土石堆的土、砂、石等組成比例均不相同，故表 7、圖 28 僅是當下實驗觀察的呈現，並不能進行過多的分析探討。因此接下來的實驗，我們將針對泥流型土石流與土石流的探討石，土石的比例上進行實驗控制。

3. 實驗 5：土石採樣區-虎頭山，因樣區土壤水分含量估計值 11.2%。製作土石水分含量約 10%之土石堆，在土石堆上方均勻加入不同水量的水後進行實驗，探討加水量與發生部坡度之關係。

(1) 實驗 5-1：泥流型土石流

土堆製作-烘乾土重 500g，加入 55.6g 水，均勻混合後，製作土壤水分含量約 10%之土堆。實驗數據如表 8。

表 8 泥流型土石流-加水量與發生部坡度之關係(土壤含水量 10%)-實驗 5-1 數據

加水量	實驗前 土堆重(含水)	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	
0g	555.6g	10	無	20	些微 掉落	24	些微 掉落	30	許多 掉落	35	許多 掉落	40	許多 掉落	45	大塊 崩塌	50	大塊 崩塌	53	許多 掉落			
100g	555.6g	10	無	20	些微 掉落	30	些微 掉落	40	些微 掉落	50	些微 掉落	52	許多 掉落	60	許多 掉落	70	無	76	大塊 涓落	80	些許 留下	
200g	555.6g	10	些微 水流	20	些微 水流	30	無	40	無	50	大塊 涓落	57	大塊 涓落	60	無	70	無	80	許多 掉落			
300g	555.6g	10	些微 水流	20	無	30	無	40	無	50	無	60	無	63	大塊 涓落	70	些許 留下					
400g	555.6g	10	水流 流下	20	無	30	無	40	無	50	無	54	大塊 涓落	60	大塊 涓落	70	些許 留下					


(2) 實驗 5-2：土石流

土石堆製作-200g 烘乾土重(土石粒徑<1.0mm)占重 40%及 300g 烘乾土石(粒徑>2.0mm)占重 60%，加入 55.6g 水，均勻混合後，製作土石水分含量約 10%之土石堆。實驗數據如表 9。

表 9 土石流-加水量與發生部坡度之關係(土石含水量 10%)-實驗 5-2 數據

加水量	實驗前 土石重(含水)	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	
0g	555.6g	10	些微 掉落	20	些微 掉落	26	許多 掉落	30	許多 掉落	32	大塊 崩塌	36	大塊 崩塌	40	許多 掉落							
100g	555.6g	10	無	20	些微 掉落	30	些微 掉落	40	無	43	許多 掉落	50	許多 掉落	60	些微 掉落	66	大塊 涓落	70	些許 留下			
200g	555.6g	10	些微 水流	20	些微 水流	30	無	40	無	43	小塊 涓落	50	無	56	大塊 涓落	60	無	62	大塊 涓落	70	些許 留下	
300g	555.6g	10	些微 水流	20	無	30	無	33	小塊 涓落	38	大塊 涓落	40	些許 留下									
400g	555.6g	10	水流 流下	20	無	24	小塊 涓落	30	無	32	大塊 涓落	40	些許 留下									

在實驗 5-1 中，模擬虎頭山土壤含水量 10%樣土，在上方加入 100g 水時，大塊土壤已因黏性使得大塊涓落狀態的滑道傾斜角度達 76 度。加入 200-400g 水，大塊涓落的滑道傾斜角度在 50-63 度。在加入 300-400g 水時，涓落的土堆，已成扁平的泥流狀下滑。

在實驗 5-2 中，土石含水量 10%之土石堆，在上方加入 100g 水時，大塊土壤已因黏性使得大塊涓落狀態的滑道傾斜角度達 66 度。加入 200-400g 水，大塊涓落的滑道傾斜角度在 32-56 度。並在加入 300-400g 水時，涓落下的土石堆，前端呈「」狀，顆粒土石集中於前端隆起，後面有著緩緩的泥流跟著下滑。

4. 實驗 6：土石採樣區-虎頭山，因樣區土壤水分含量估計值 11.2%，製作土石含水量 10%之土石堆。因文獻中查到發生部之坡度約 15-30 度，控制滑道傾斜角度為 15、30 度，在土石堆上方每一次緩慢均勻加入 50g 的水後進行實驗，探討加水量與發生部坡度之關係。

(1) 實驗 6-1：泥石流型土石流

土堆製作-烘乾土重 500g，加入 55.6g 水，均勻混合後，製作土壤含水量約 10%之土堆。實驗數據如表 10。

表 10 泥石流型土石流-加水量與發生部坡度之關係(土壤含水量 10%)-實驗 6-1 數據

角度	實驗前 水量重	實驗前 土堆重	實驗前 總重量	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況		
15 度	55.6g	500g	555.6g	50	些微 水流	100	些微 水流	150	些微 水流	200	許多 泥流	250	小塊 滑落	300	許多 泥流	350	許多 泥流	400	小塊 滑落	450	小塊 滑落
				500	小塊 滑落	550	大塊 滑落	600	大塊 滑落	650	小塊 滑落	--	些許 留下								
30 度	55.6g	500g	555.6g	50	些微 水流	100	些微 水流	150	許多 泥流	200	小塊 滑落	250	許多 泥流	300	許多 泥流	350	許多 泥流	400	小塊 滑落	450	小塊 滑落
				500	大塊 滑落	550	小塊 滑落	600	大塊 滑落	--	些許 留下										


(2) 實驗 6-2：土石流

土石堆製作-200g 烘乾土重(土石粒徑<1.0mm)占重 40%及 300g 烘乾土石(粒徑 >2.0mm)占重 60%，加入 55.6g 水，均勻混合後，製作土石含水量 10%之土石堆。實驗數據如表 11。

表 11 土石流-加水量與發生部坡度之關係(土石含水量 10%)-實驗 6-2 數據

角度	實驗前 水量重	實驗前 土堆重	實驗前 總重量	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況	加水 量	狀況		
15 度	55.6g	500g	555.6g	50	些微 水流	100	些微 水流	150	些微 水流	200	許多 泥流	250	許多 泥流	300	許多 泥流	350	許多 泥流	400	小塊 滑落	450	小塊 滑落
				500	小塊 滑落	550	許多 泥流	600	小塊 滑落	650	大塊 滑落	700	小塊 滑落	750	大塊 滑落	--	些許 留下				
30 度	55.6g	500g	555.6g	50	些微 水流	100	些微 水流	150	許多 泥流	200	許多 泥流	250	小塊 滑落	300	許多 泥流	350	小塊 滑落	400	許多 泥流	450	小塊 滑落
				500	小塊 滑落	550	許多 泥流	600	小塊 滑落	650	大塊 滑落	700	小塊 滑落	--	些許 留下						

在實驗 6-1 中，起先加入 50-100g 的水量，僅有部分水分未被土堆吸附，而產生些微水流流下；加水量達 150-200g 時，未被土壤吸附之水量增加並混雜著土壤呈現泥流下滑；加水量達 400g 左右，土塊崩解，小塊土塊呈扁平黏稠狀隨泥流滑落；加水量達 500-550g，大塊土塊崩解滑落；加水量達 600g 以上，崩解的土堆呈現扁平黏稠狀隨泥流滑落。

在實驗 6-2 中，加水量不同造成土石堆崩解滑落情況，與實驗 6-1 差不多，在加水量 650g 滑落下之土石堆呈現黏稠狀，前端呈「」狀，顆粒土石集中於前端隆起，後面有著緩緩的泥流跟著下滑。

從實驗 6 中，發生部滑道傾斜角度為 15 度、30 度對於土堆、土石堆加水後開始產生大量崩塌、滑落之加水量差異較不明顯。

5. 實驗 7：土石採樣區-虎頭山，製作土石含水量 10%及 25%之土石堆。控制滑道傾斜角度為 15 度，在土石堆上方使用降雨裝置(距離 60cm)每一次加入 50g 的水後進行實驗觀察，探討加水量與土石含水量之關係。

(1) 實驗 7-1：泥流型土石流

土堆製作-使用烘乾土製作土壤含水量 10%及 25%之土堆。實驗數據如表 12。

表 12 泥流型土石流-加水量與土壤含水量之關係(滑道傾斜角度 15 度)-實驗 6-1 數據

土壤含水量	實驗前水量重	實驗前土堆重	實驗前總重量	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況		
10%	55.6g	500g	555.6g	50	許多泥流	100	許多泥流	150	許多泥流	200	許多泥流	250	許多泥流	300	許多泥流	350	許多泥流	400	許多泥流	450	許多泥流
				500	許多泥流	550	許多泥流	600	許多泥流	650	許多泥流	700	許多泥流	750	許多泥流	800	許多泥流	850	許多泥流	900	許多泥流
				950	許多泥流	--	未被降雨沖蝕區域 土堆呈環狀留下														
25%	166.7g	500g	666.7g	50	許多泥流	100	許多泥流	150	許多泥流	200	許多泥流	250	許多泥流	300	許多泥流	350	許多泥流	400	許多泥流	450	許多泥流
				500	許多泥流	550	許多泥流	600	許多泥流	650	許多泥流	700	許多泥流	750	許多泥流	800	許多泥流	850	許多泥流	900	許多泥流
				950	許多泥流	1000	許多泥流	1050	許多泥流	1100	許多泥流	1150	許多泥流	1200	許多泥流	1250	許多泥流	1300	許多泥流	1350	許多泥流
				1400	許多泥流	1450	許多泥流	1500	許多泥流	1550	許多泥流	1600	許多泥流	1650	許多泥流	1700	許多泥流	1750	許多泥流	1800	許多泥流
				1850	許多泥流	1900	許多泥流	1950	許多泥流	2000	許多泥流	2050	許多泥流	2100	許多泥流	2150	許多泥流	2200	許多泥流	2250	許多泥流
				2300	許多泥流	2350	許多泥流	2400	許多泥流	2450	許多泥流	2500	許多泥流	--	土堆崩解後 數塊留下						

(2) 實驗 7-2：土石流(尚未進行實驗)

土石堆製作-200g 烘乾土重(土石粒徑<1.0mm)占重 40%及 300g 烘乾土石(粒徑>2.0mm)占重 60%，製作土石含水量 10%及 25%之土石堆。

因實驗 7-1 的實驗結果與原先預期模擬降雨時觀測土石堆崩落狀態有所差異，因而所設計之實驗 7-2 尚未進行實驗。

在實驗 7-1 中，土壤含水量 10%之土堆，在每次上方加入 50g 降雨時，土堆表層被雨水沖刷混合為泥水流下滑，最後僅剩未被降雨沖刷區之土堆留下，如圖 29。土壤含水量 25%之土堆，在每次上方加入 50g 降雨時，土堆表層被雨水沖刷混合為泥水流下滑，到加水量 700g 時，土堆呈現崩解為數塊小土堆，再繼續加入降雨，亦只有土堆表層被雨水沖刷為泥水流下滑，如圖 30。

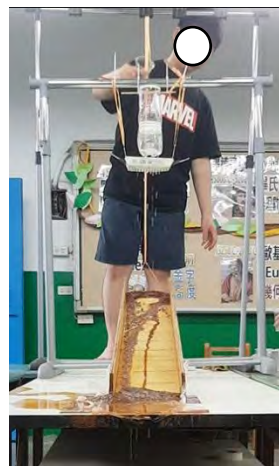


圖 29 經降雨後之土壤含水量 10%土堆

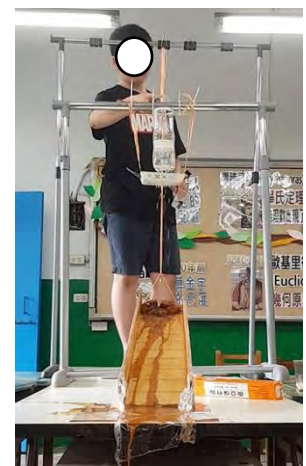



圖 30 經降雨後之土壤含水量 25%土堆

(六) 實驗結果與討論

實驗假說：土壤含水量越高，土壤黏性越高，崩塌滑道角度越大。

- 【結果】
- 在實驗 3 中，二個土石採樣區土壤，在土壤重量相同的條件下，
 - 含水量達 15-25%時，含水量越高，大塊崩塌的滑道傾斜角度越大，約 52-86 度。
 - 含水量達 25%時，大量崩塌開始的滑道傾斜角度最大，約 75-86 度。
 - 含水量達 30%，黏性高，些微水分未被吸收，會開始整塊滑落的角度約 58-62 度。
 - 含水量達 35%(已超過土壤含水飽和)(圖 31)，黏性高，些許水分未被吸收，會開始分塊滑落的滑道傾斜角度約 50-54 度左右。
 - 含水量達 40%(已超過土壤含水飽和)，已成泥水狀，無法成形。
 - 在實驗 4 中，二個土石採樣區採樣石、砂及土(如圖 24)，在重量及加水相同的條件下，虎頭山樣本的開始大量崩塌之滑道傾斜角度均大於校內花圃樣本，且發生部大量崩塌或滑落的滑道角度在 22-42 度之間。
 - 觀察發現較大的砂石會在 10-30 度先掉落。
 - 加水量 0、100 公克時，土石堆以崩塌方式掉落。
 - 加水量 200、300、400 公克，土石堆以崩塌滑落方式掉落。
 - 加水量 300、400 公克，隨著發生部坡度的改變，觀察到較大的砂石會漸漸集中在滑落的前端，帶動土石堆的滑落。
 - 在實驗 5-1(泥流型土石流)中，模擬虎頭山土壤含水量 10%樣土，上方加水。
 - 加入 100g 水時，大塊土壤已因黏性使得大塊滑落狀態的滑道傾斜角度達 76 度。
 - 加入 200-400g 水時，大塊滑落的滑道傾斜角度在 50-63 度。
 - 加入 300-400g 水時，滑落的土堆，已成扁平的泥流狀下滑。

在實驗 5-2(土石流)中，模擬虎頭山土石含水量 10%之土石堆，上方加水。

 - 加入 100g 水時，大塊土壤已因黏性使得大塊滑落狀態的滑道傾斜角度達 66 度。
 - 加入 200-400g 水時，大塊滑落的滑道傾斜角度在 32-56 度。
 - 加入 300-400g 水時，滑落下土石堆，前端呈「」狀，顆粒土石集中於前端隆起，後面有著緩緩的泥流跟著下滑。
 - 在實驗 6-1(泥流型土石流)中，固定滑道傾斜角度為 15、30 度，上方加水。
 - 加入 50-100g 水時，僅有部分水分未被土堆吸附，而產生些微水流流下。
 - 加入 150-200g 水時，未被土壤吸附之水量增加並混雜著土壤呈現泥流下滑。
 - 加入 400g 水時，土塊崩解，小塊土塊呈扁平黏稠狀隨泥流滑落。
 - 加入 500-550g 水時，大塊土塊崩解滑落。
 - 加水量達 600g 以上，崩解的土堆呈現扁平黏稠狀隨泥流滑落。

在實驗 6-2(土石流)中，加水量不同造成土石堆崩解滑落情況，與實驗 6-1 差不多，在加水量 650g 滑落下之土石堆呈現黏稠狀，前端呈「 \cap 」狀，顆粒土石集中於前端隆起，後面有著緩緩的泥流跟著下滑。

5. 在實驗 7-1(泥流型土石流)中，固定滑道傾斜角度為 15、30 度，使用降雨裝置。
 - (1) 土壤含水量 10%之土堆，在每次上方加入 50g 降雨時，土堆表層被雨水沖刷混合為泥水流下滑，最後僅剩未被降雨沖刷區之土堆留下。
 - (2) 土壤含水量 25%之土堆，在每次上方加入 50g 降雨時，土堆表層被雨水沖刷混合為泥水流下滑，到加水量 700g 時，土堆呈現崩解為數塊小土堆，再繼續加入降雨，亦只有土堆表層被雨水沖刷為泥水流下滑。

- 【討論】**
1. 在實驗 3 中，土壤含水量 25%時，大塊崩塌坡度最大。猜測因土壤黏性高，且未達土壤含水量之上限，因而崩塌坡度最大。含水量 30%，土壤黏性高，但有些微水分未被土壤吸收，因而整塊崩塌滑落。
 2. 在實驗 4 中，虎頭山採樣之土壤含水量約 11.2%左右，校園花園採樣之土壤含水量約 9%左右，加入相同水量，虎頭山採樣之含水量仍高於校園花園。依據土壤含水量與發生部坡度之關係-實驗 3 數據，也許可以說明虎頭山採樣之崩塌角度在一開始加水時會大於校園花園的原因。因採樣含有石、砂及土，是否因重力與黏著力之關係，使得在實驗 4 中，發生部大量崩塌開始的滑道傾斜角度在 25-46 度之間，小於實驗 3 土壤含水量 15-35%的滑道傾斜角度。
 3. 在實驗 5-2，模擬虎頭山土石含水量 10%之土石堆，上方加水量不同所造成的土石崩塌滑落狀態，與文獻「紅色警戒」的結論雷同。當含水量不足時主要以崩落型態出現；當含水量趨於飽和時土石間的黏滯性大增，崩塌時仍以滑動崩落為主；當含水量超過飽和時，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象，此後土壤水分含量愈高發生部坡度愈小。
 4. 在實驗 6 中，發生部滑道傾斜角度為 15 度、30 度對於土堆、土石堆加水後開始產生大量崩塌、滑落之加水量差異較不明顯。猜測可能是因為所模擬的土石流規模較為小型。
 5. 在實驗 7-1(泥流型土石流)中，固定滑道傾斜角度為 15、30 度，使用降雨裝置。土壤含水量 10%之土堆，在每次上方加入 50g 降雨時，土堆表層被雨水沖刷混合為泥水流下滑，最後僅剩未被降雨沖刷區之土堆留下。可能因土壤含水量 10%之土堆土壤黏性不高，組成較為鬆散，容易因上方重力掉落之水滴產生侵蝕作用，混合產生泥水流下滑。

【結論】 1. 泥流型土石流

因土壤顆粒縫隙小，滲水慢，當土壤含水量超過飽和時(約 25-30%)，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象，此後土壤水分含量愈高發生部坡度愈小。

2. 土石流

- (1)當土石含水量不足時，主要以崩落型態出現。
- (2)當土石含水量趨於飽和時，土石間的黏滯性大增，崩塌時以滑動崩落為主。
- (3)當土石含水量超過飽和時，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象(產生土石流)，此後水土含量比愈高發生區坡度愈小。且顆粒土石集中於前端隆起，呈「 \cap 」狀，底下與後端伴隨著泥流跟著下滑。

【實驗設計改進】

1. 實驗次數太少，需多準備再進行實驗。
2. 本次實驗 3 以土壤重量相同進行含水量調配而使得總重量有所不同。在滑道角度改變時，總重量不同之重力作用對於崩塌的滑道角度會有影響，應改為總重量相同，不同水土比例進行實驗。
3. 滑道坡道之角度測量及器材設計，需再找文獻資料進行改進。
4. 實驗 7 中，在固定發生部之滑道傾斜角度，模擬降雨量對於不同土堆土壤含水量造成崩落之影響，目前的裝置還無法將雨水均勻灑落到土石堆上，與實際降雨情形仍有很大的差別，可再思考設計模擬降雨的設備。

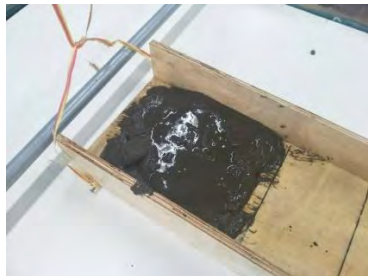


圖 31 發生部坡度實驗-土壤含水量 35%(虎頭山)



圖 32 發生部坡度實驗-虎頭山土樣

陸、結論

1. 在固定坡度、水流流速與侵蝕時間下，土壤含水量達 25-30%，土壤侵蝕量較少，表示此時土壤較不易因水流而沖刷造成土石流。
2. 發生部的土壤含水量越達 25-30%時，土壤黏性越高，大量崩塌的滑道傾斜角度越大，表示此時土壤較不易崩落與滑動。但土壤含水量一超過飽和，黏滯性下降，大量崩塌滑落的發生部坡度快速下降。表示此時土石因泥水下滑力容易滑動且造成土石流。
3. 從土壤含水量與發生部坡度之關係的實驗設計中，可知：
 - (1) 泥流型土石流
因土壤顆粒縫隙小，滲水慢，當土壤含水量超過飽和時，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象，此後土壤水分含量愈高發生部坡度愈小。
 - (2) 土石流
 - ① 當土石含水量不足時，主要以崩落型態出現。
 - ② 當土石含水量趨於飽和時，土石間的黏滯性大增，崩塌時以滑動崩落為主
 - ③ 當土石含水量超過飽和時，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象(產生土石流)，此後水土含量比愈高發生區坡度愈小。

綜合(1)、(2)，對於各土石流潛勢溪流之雨量警戒值之計算更顯得重要。

柒、未來展望

1. 土石流依土石組成的粒徑特性可分類為泥流型土石流、土石流及礫石型土石流。目前研究以探討泥流型土石流及土石流為主，可再加入更多顆粒較粗的礫石進行混合，模擬礫石型土石流。
2. 探討土壤含水量與水流侵蝕之關係的實驗中，如果控制變因水流改為泥漿，可探討土壤含水量與泥流型土石流侵蝕之關係，並觀察流動部與沉積部之情形。
3. 探討土石含水量與發生部坡度之關係的實驗中，如果改善本研究之降雨裝置，加入不同定量水量，可探討降雨量對於土石崩塌狀態之關係。
4. 本文研究設計傾向土石流的開發區，可再設計流動區與堆積部之模擬實驗。
5. 實地考察採集桃園區土石流潛勢溪流之上游土壤樣本，經土石分析後，進行相同實驗操作，將實驗結果與模擬實驗數據進行比較。探討模擬數據是否具有預測力。

捌、參考文獻

1. 詹錢登 (2004)。土石流發生與降雨特性之關係，**科學發展月刊**，374。
2. 郭重吉(主編) (2018)。國中自然與生活科技第五冊。臺南市：翰林。
3. 詹錢登 (1998)。土石流的發生與運動，**土木技術**，第 1 卷，第 1 期。
4. 洪偲璋等 (2011)。沖沖沖！石頭石頭我不怕～探討水的力量對大自然的災害及其防治之道。中華民國第 51 屆中小學科展國中組地球科學科。國立臺灣科學教育館，臺北。
5. 賴真吾等 (2011)。紅色警戒。中華民國第 51 屆中小學科展國中組地球科學科。國立臺灣科學教育館，臺北。
6. 土石流防災資訊網 <https://246.swcb.gov.tw/debrisClassInfo/toknew/toknew1.aspx>。
7. 土壤及底泥水分含量測定方法－重量法(NIEA S280.62C)。
8. 行政院農業委員會水土保持局編(2017)。水土保持手冊(106 年版)-土石流篇。行政院農業委員會，南投。
9. 國立臺灣師範大學地理學系編(2007)。土壤地理學。國立臺灣師範大學，臺北。
10. 臺灣大百科全書 <http://nrch.culture.tw/twpedia.aspx?id=4009>。
11. 國家災害防救科技中心-災害潛勢地圖網站 <https://dmap.ncdr.nat.gov.tw/>。
12. Google Earth <https://earth.google.com/web/>。

【評語】 030508

因為桃園區靠近虎頭山具有 2 條土石流潛勢溪流，透過實地考察與資料收集，瞭解桃園區土石流潛勢溪流之成因。其中莫拉克颱風造成全台嚴重災害，特別是小林村被土石流掩埋，幾近滅村。探討土壤含水量不同與水流侵蝕土石量之關係。透過土壤含水量與發生部坡度差異，認識泥流與土石流的發生條件與特徵。土壤飽和度的穩定性，屬常見題目，較欠缺突破。自行設計實驗，研究題目切合生活，雖實驗不易，作者設法作出定性定量的實驗結果，是一個很好的訓練。下次可考慮加入水時探討用不同的速度對結果的影響。

摘要

在桃園區會稽里轄內靠近虎頭山有2條土石流潛勢溪流，透過實地考察與資料收集，試圖瞭解土石流潛勢溪流之成因。利用自製水流系統、滑道傾斜裝置，模擬降雨時於表土土壤石礫空隙下產生之水流，觀測土壤含水量與水流侵蝕土石量之關係，以及模擬發生部表土狀態，觀測土壤含水量與發生部坡度之關係。實驗結果發現，當土壤含水量越接近飽和時，此時土壤黏性越高較不易因水流而被沖刷，且發生部崩塌坡度也大，較不易崩落與滑動。但土壤含水量一超過飽和，黏滯性下降，在發生部造成土石大量崩塌滑落的坡度快速下降，表示此時的土石因泥水下滑力增加而容易造成土石流。

壹、研究動機

我們在youtube上看到曾經因颱風造成的土石流帶來的災害影片後，開始思考有哪些因素會造成土石流，於是上網查到有關颱風造成的土石流相關資訊，其中2009年莫拉克颱風造成全台嚴重災害，特別是小林村9~18鄰全被土石流掩埋，幾近滅村死亡人數近500人，電視上不斷播放土石流的鏡頭與小林村土石流前後的景象，第一次感受到土石流的可怕與震撼。在土石流防災資訊網查到所在的桃園區有2條土石流潛勢溪流，引發了我們想去瞭解土石流成因的動機，因此作為這次研究探討的主題。

貳、研究目的

- 一、探討土壤含水量與水流侵蝕之關係。
- 二、透過土壤含水量與發生區坡度差異，認識土石流的發生條件與特徵。

參、文獻探討

一、土石流

(一) 土石流定義

土石流係指泥、砂、礫及巨石等物質與水之混合物，受重力作用所產生之流動體，沿坡面或溝渠由高處往低處流動之自然現象。

(二) 土石流發生條件

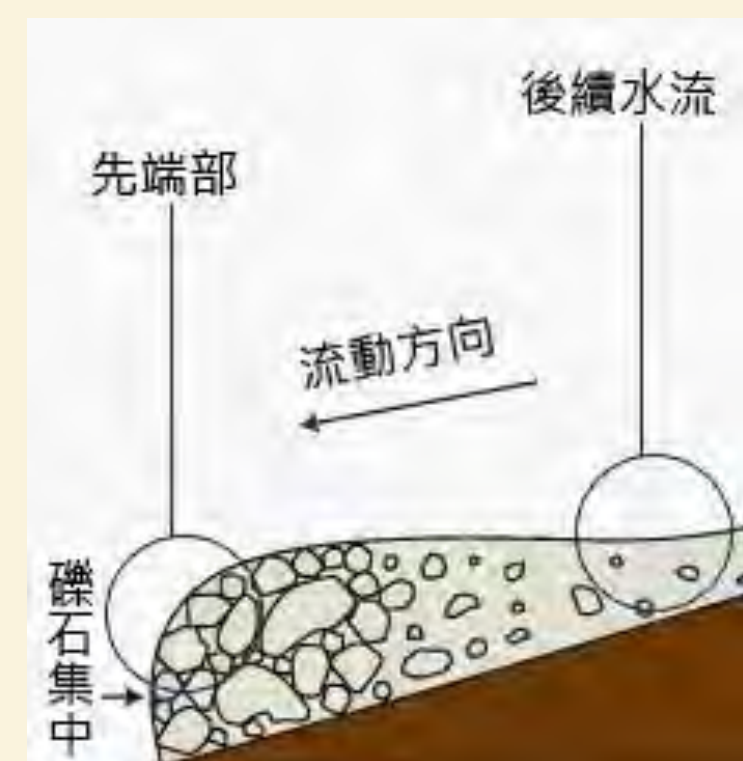
1. 充份之水分
2. 豐富的堆積物
3. 足夠的坡度

(三) 土石流的地形特徵

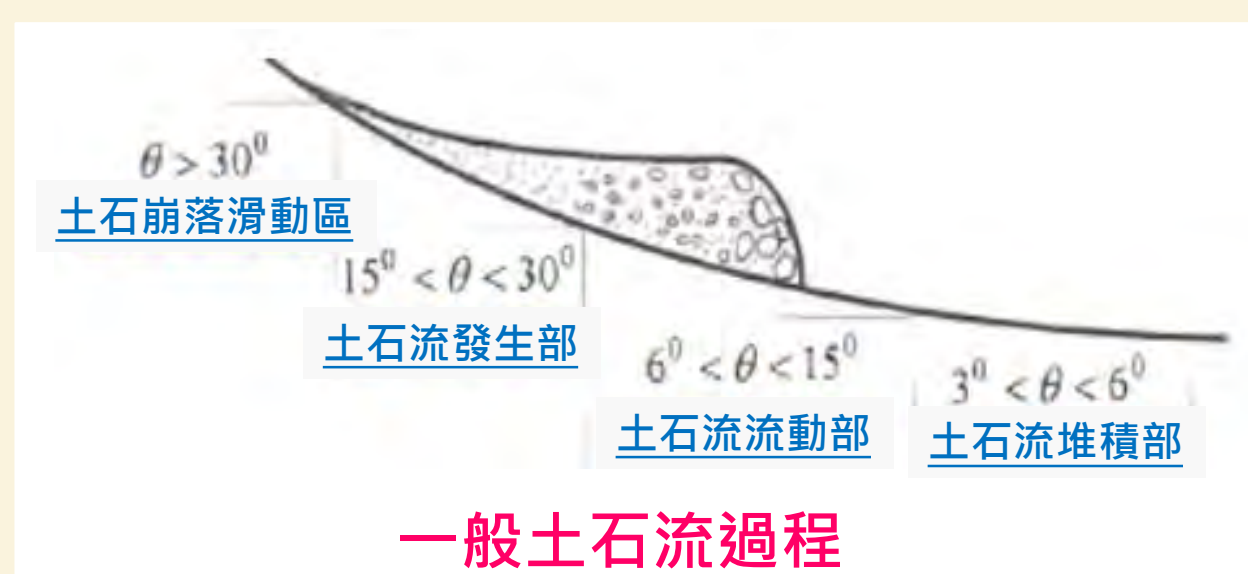
發生部、流動部、堆積部

(四) 土石流的分類

1. 泥流型土石流
2. 礫石型土石流
3. 土石流



土石流的特徵



一般土石流過程

二、土壤含水量(土壤及底泥水分含量測定方法 - 重量法(NIEA S280.62C))

(一) 田間含水土樣品測定

(二) 土壤水分含量計算

以下式乾重為基礎計算水分含量，以重量百分比表示，精確至0.1%(m/m)

$$\text{水分含量 } w_{\text{H}_2\text{O}} (\%(\text{m}/\text{m})) = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_0} \times 100$$

m_0 : 含蓋稱量瓶空重 (g)

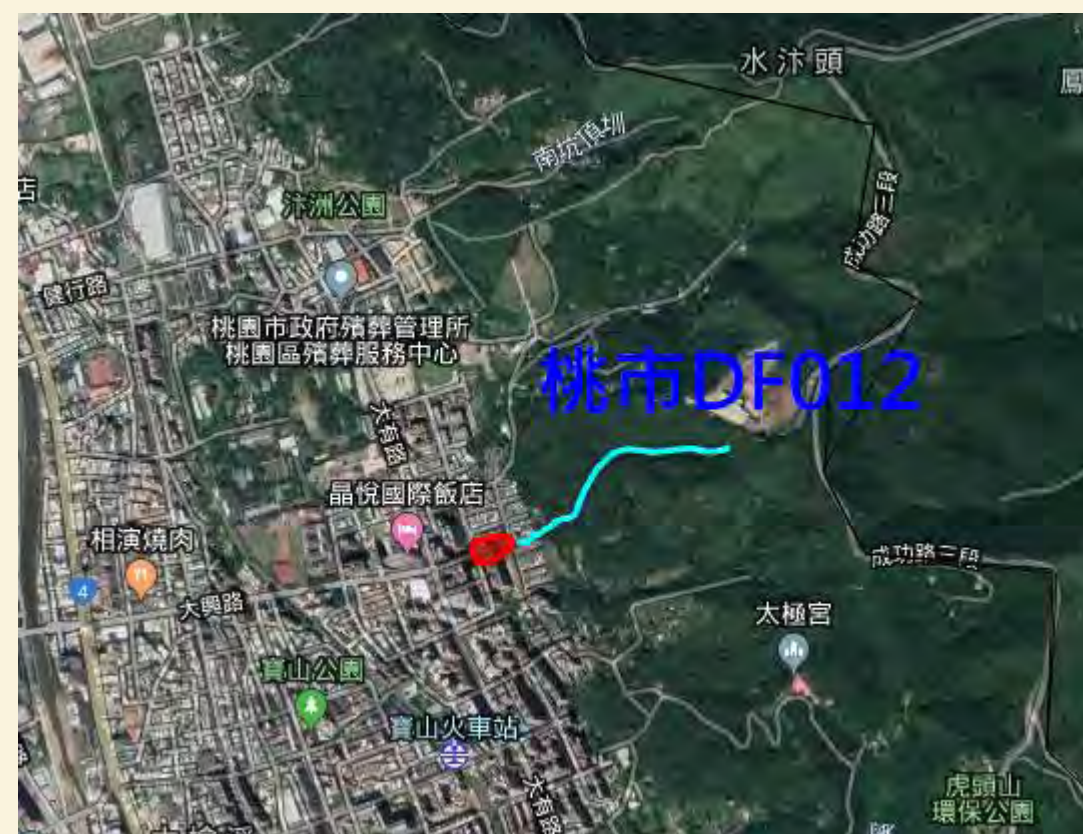
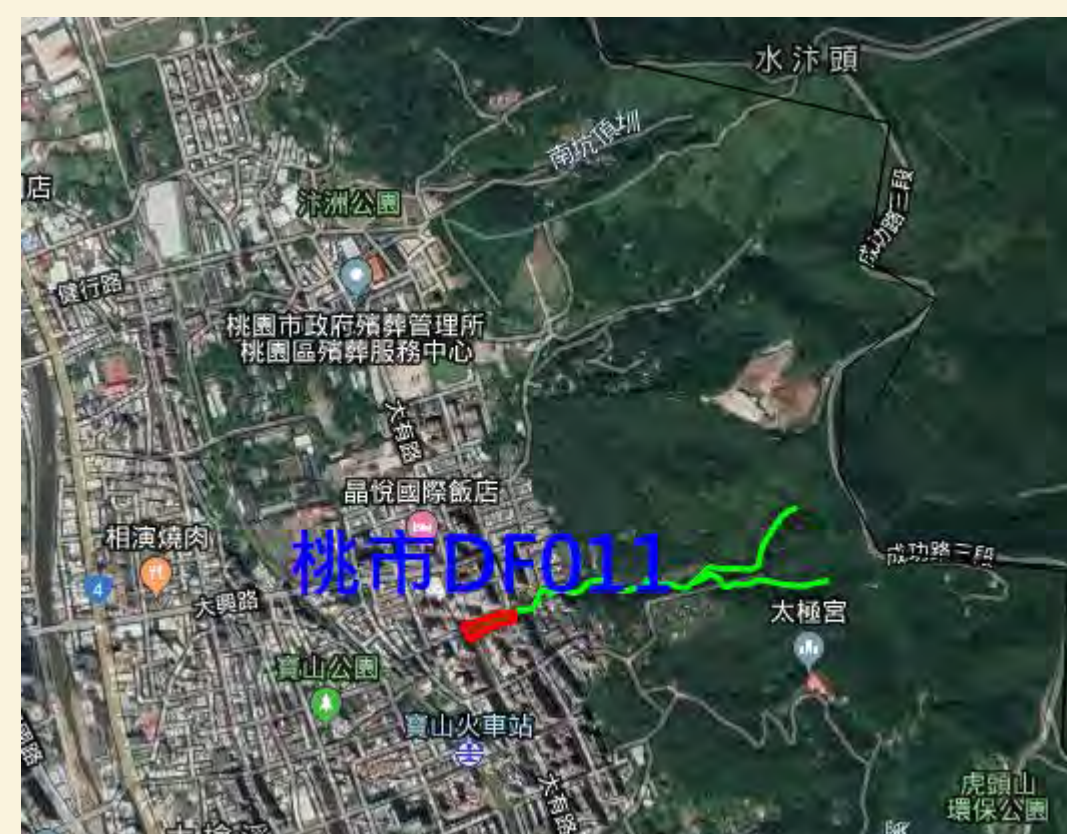
m_1 : 含蓋稱量瓶及風乾樣品或田間含水土樣重 (g)

m_2 : 含蓋稱量瓶及烘乾樣品重 (g)

三、桃園區土石流潛勢溪流

桃園區會稽里轄內靠近虎頭山具有2條土石流潛勢溪流，分別為桃市DF011土石流，與道路交會於大興路轉進興二街92巷處，另一為桃市DF012土石流，與道路交會於大有路與大德三街交會處。

民國90年9月納莉颱風時，大德三街上游之野溪因崩塌土石淤塞水溝涵洞而造成大有路上土石堆積、道路中斷，造成大德三街及大有路附近數百戶住家遭淹及交通受阻等情形。



四、歷屆作品分析

綜合以往歷屆科展作品分析，進行以下模擬實驗：

1. 模擬降雨時於表土土壤下產生之水流，觀測土壤含水量與水流侵蝕之關係
2. 模擬發生區表土狀態，觀測土壤含水量與發生區坡度之關係。

肆、研究設備器材

水流系統、滑道傾斜裝置、降雨裝置、水流流速測量、壓模裝置等。



伍、研究過程與方法

一、桃園區土石流潛勢溪流實地考察

(一) 桃市DF011土石流潛勢溪流

溪流與道路交會於大興路轉進興二街92巷處。實地考查紅色警戒區，該地在小北百貨大有店附近，為斜坡地且有圳道。

(二) 桃市DF012土石流潛勢溪流

溪流與道路交會於大有路與大德三街交會處。實地考查紅色警戒區，該地為斜坡小巷道。

兩地經實地考查應為當年土石流之堆積部。



二、探討土壤含水量與水流侵蝕之關係

(一) 實驗設計想法

降雨時，雨水會滲入岩石或土壤的空隙中產生水流，當遇到緻密的不透水層時，才會停止下滲。我們將實驗滑水道模擬為「降雨時於表土土壤石礫空隙下產生之水流」，觀測土壤含水量與水流侵蝕之關係。

(二) 實驗假說

在固定坡度、水流流速與沖蝕時間下，土壤含水量越高，土壤沖蝕量越多。

(三) 實驗變因

1. 控制變因：土壤採樣、土壤重量、水流流速、水道坡度、壓模形狀、水沖30秒、放置位置
2. 操作變因：土壤含水量
3. 應變變因：水流沖蝕之土石重量

(四) 實驗步驟

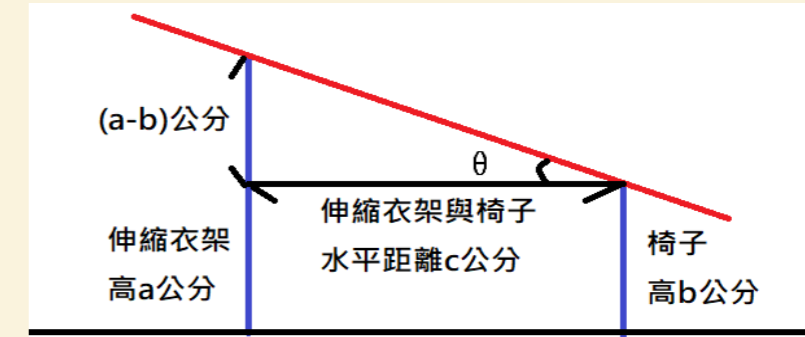


- 虎頭山上游附近道路旁
粒徑<1.0mm約37%
粒徑>2.0mm約63%
- 虎頭山上游附近道路旁
土壤水分含量估計11.2%
- θ 約15° 40'



滑水道坡度控制裝置

利用伸縮衣架高度調整斜坡角度，經三角函數tan值計算，得知斜坡角度。

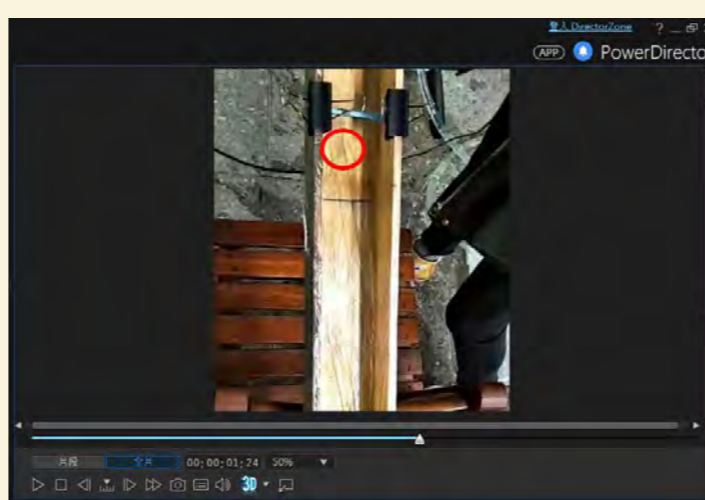
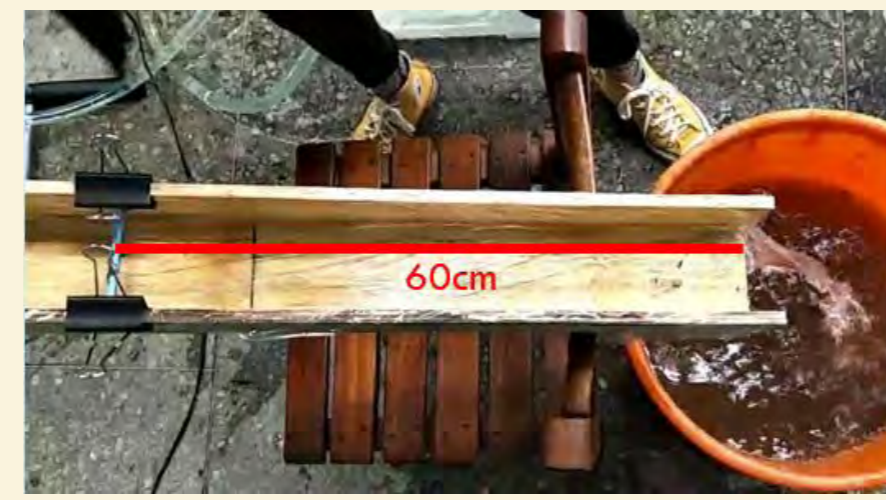


$a=100\text{cm}$, $b=72\text{cm}$, $c=100\text{cm}$

$\tan\theta = \frac{100-72}{100} = 0.28$ 查三角函數tan表， θ 約15° 40'

水流流速測量

因入水孔與出水孔之大小與流速不相同(白努利原理)，且無法量測。因而水流流速暫以保麗龍黑球隨水流60cm平均時間表示。



壓模裝置

將土壤與水混合後，利用木工夾進行20-30分鐘壓模，以模擬現實土壤狀態。(非起初混合時鬆散樣貌)



水流侵蝕之土石

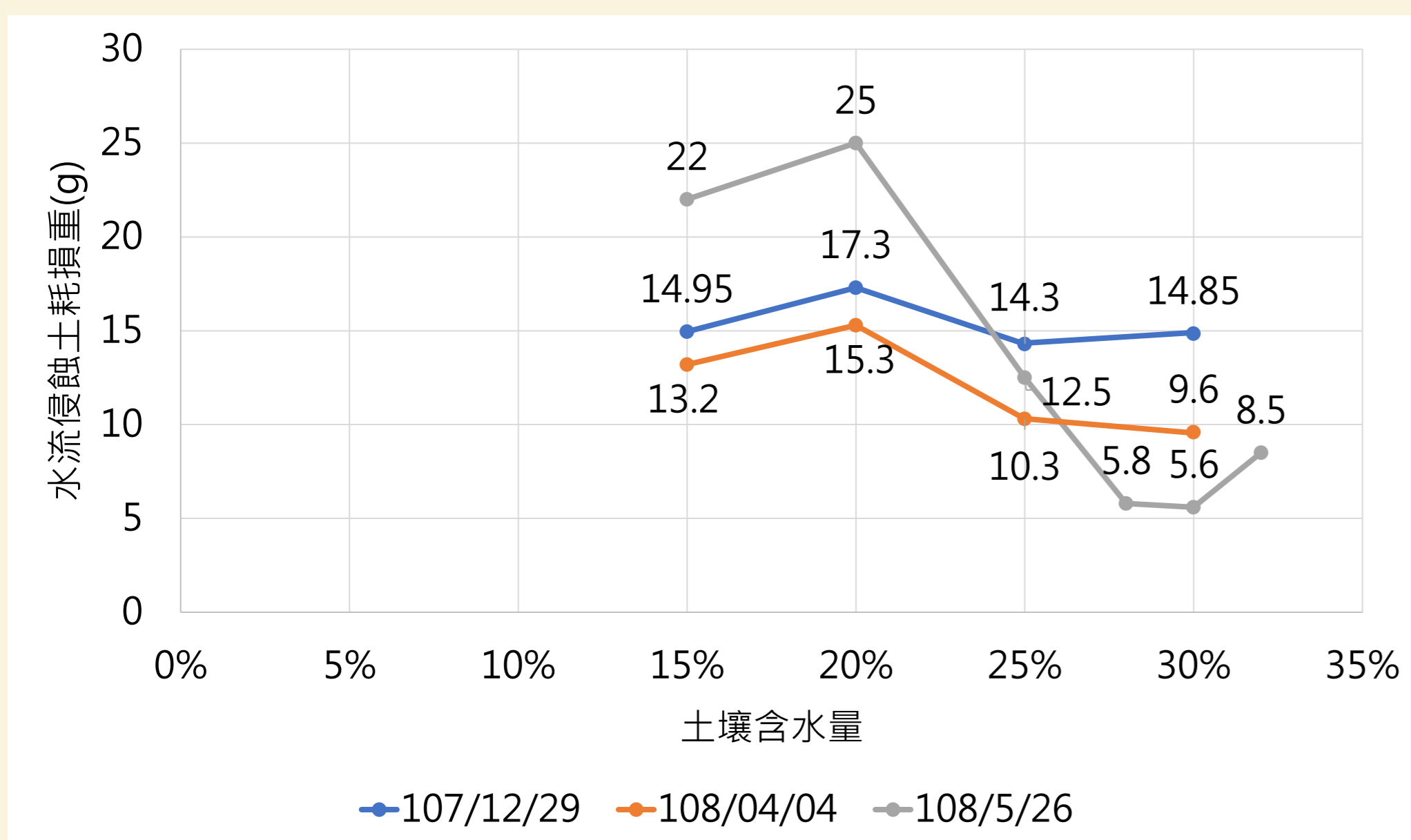
土石模型置於離出水孔40cm。當水流侵蝕土石時，土石超過離出水口40cm，即為被侵蝕之耗損。



(五) 實驗數據

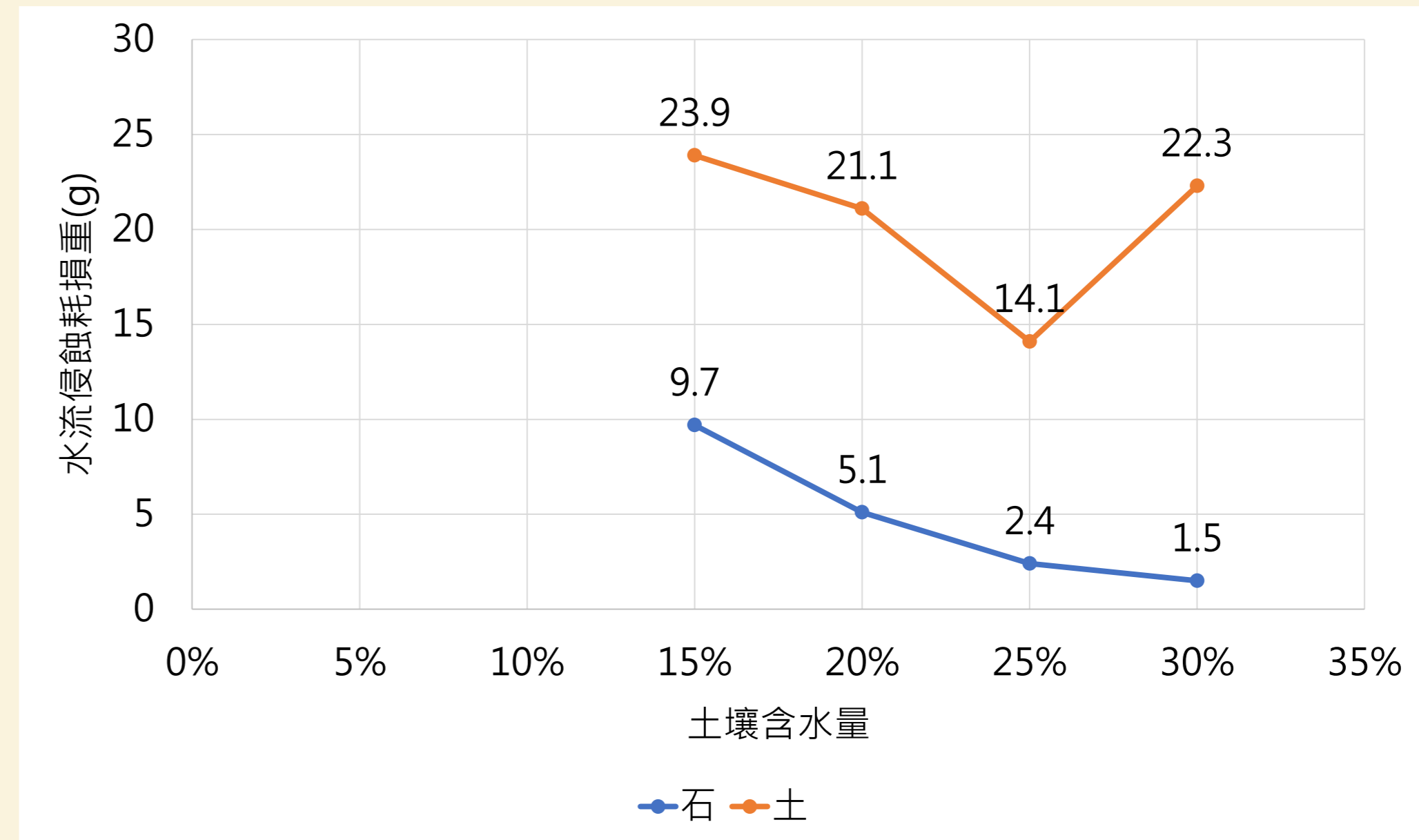
實驗1：探討土壤含水量與水流侵蝕土壤量之關係

土壤模型：50g烘乾土(組成粒徑<1.0mm)



實驗2：探討土壤含水量與水流侵蝕土石量之關係

模擬樣區土石模型：土石重75g(壤粒徑<1.0mm占重40%、土石粒徑>2.0mm占重60%)



(六) 實驗結論

在固定坡度、水流流速與侵蝕時間下，土壤含水量達25~30%，土壤侵蝕量較少；土壤含水量未達飽和上限，含水量越高，石頭侵蝕量越少。

三、探討土壤含水量與發生區坡度之關係

(一) 實驗設計想法

山區常因地形而產生降雨，土壤含水量因而有所改變，含水量多寡也許會對於土石崩塌產生影響。我們將實驗滑道模擬為「發生部」，觀測土壤含水量與發生部坡度之關係。

- (二) 實驗假說：土壤含水量越高，土壤黏著度越高，崩塌角度越大。
- (三) 實驗變因：1. 控制變因：土壤採樣、土壤重量、滑道、放置位置
2. 操作變因：土壤含水量、滑道坡度
3. 應變變因：滑道坡度與土壤崩塌狀況描述

(四) 實驗步驟



- 虎頭山上游附近道路旁
粒徑<1.0mm約37%
粒徑>2.0mm約63%
- 虎頭山上游附近道路旁
土壤水分含量估計11.2%



發生部坡度實驗
土壤含水量25%



土壤含水量30%
整塊崩塌滑落



土壤含水量35%
大塊分塊滑落

滑道坡度測量與崩塌觀測

- (1) 滑道上於底端起測量1公尺，每10公分繪製測量觀測線。
- (2) 利用繩索垂直下拉方式調整斜坡角度，為確認調整滑道時之，於桌面上繪製直線。
- (3) 使用量角器測量坡道傾斜角度。
- (4) 每拉起傾斜角度5-10度停止坡度改變，觀察土石崩塌滑落情形，若有崩塌滑落產生，則等待其運動停止再繼續改變滑道坡度。

土石崩塌滑落描述：(詳述請見說明書)

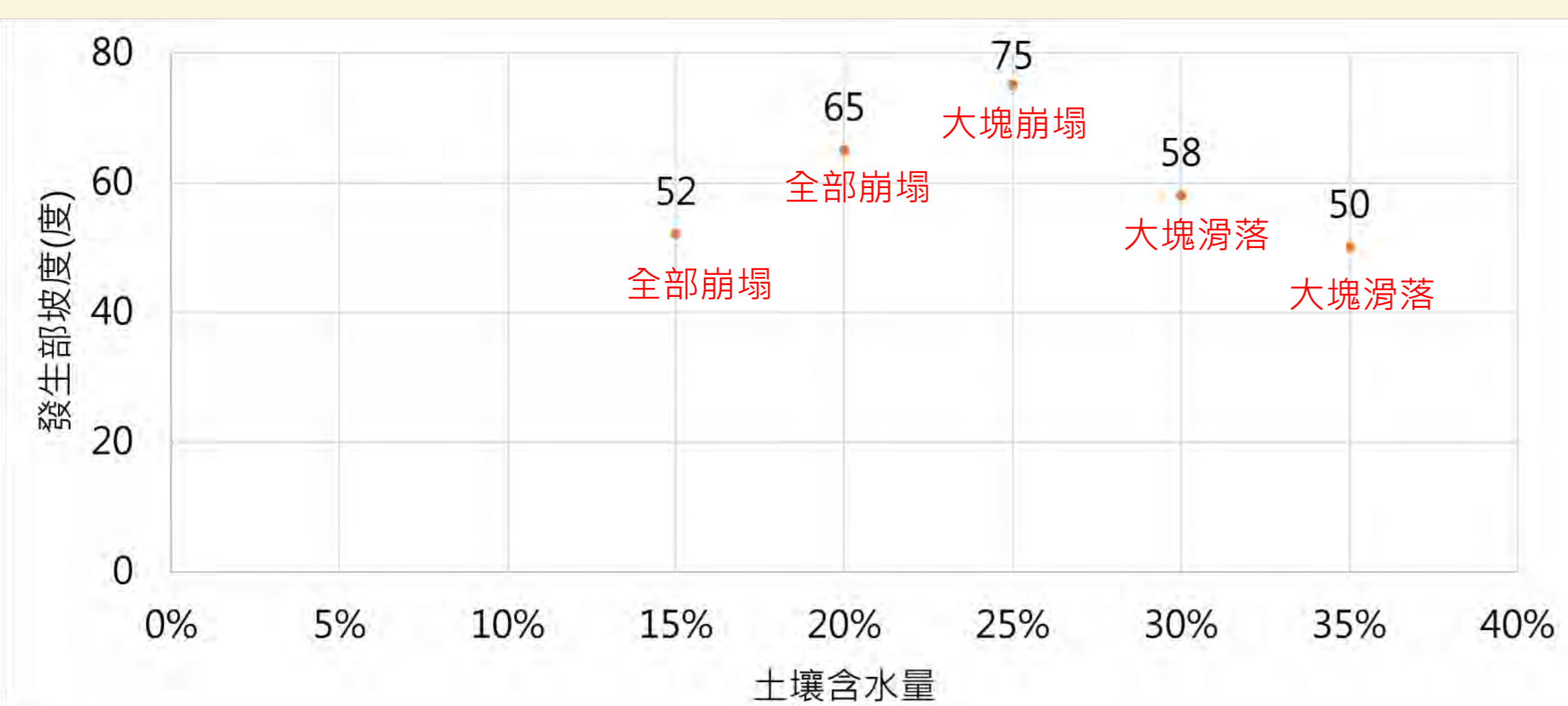
- (1) 些微水流
- (2) 些微掉落
- (3) 許多掉落
- (4) 挾砂水流
- (5) 大塊/全部崩塌
- (6) 大塊滑落
- (7) 小塊滑落
- (8) 些許留下



(五) 實驗數據

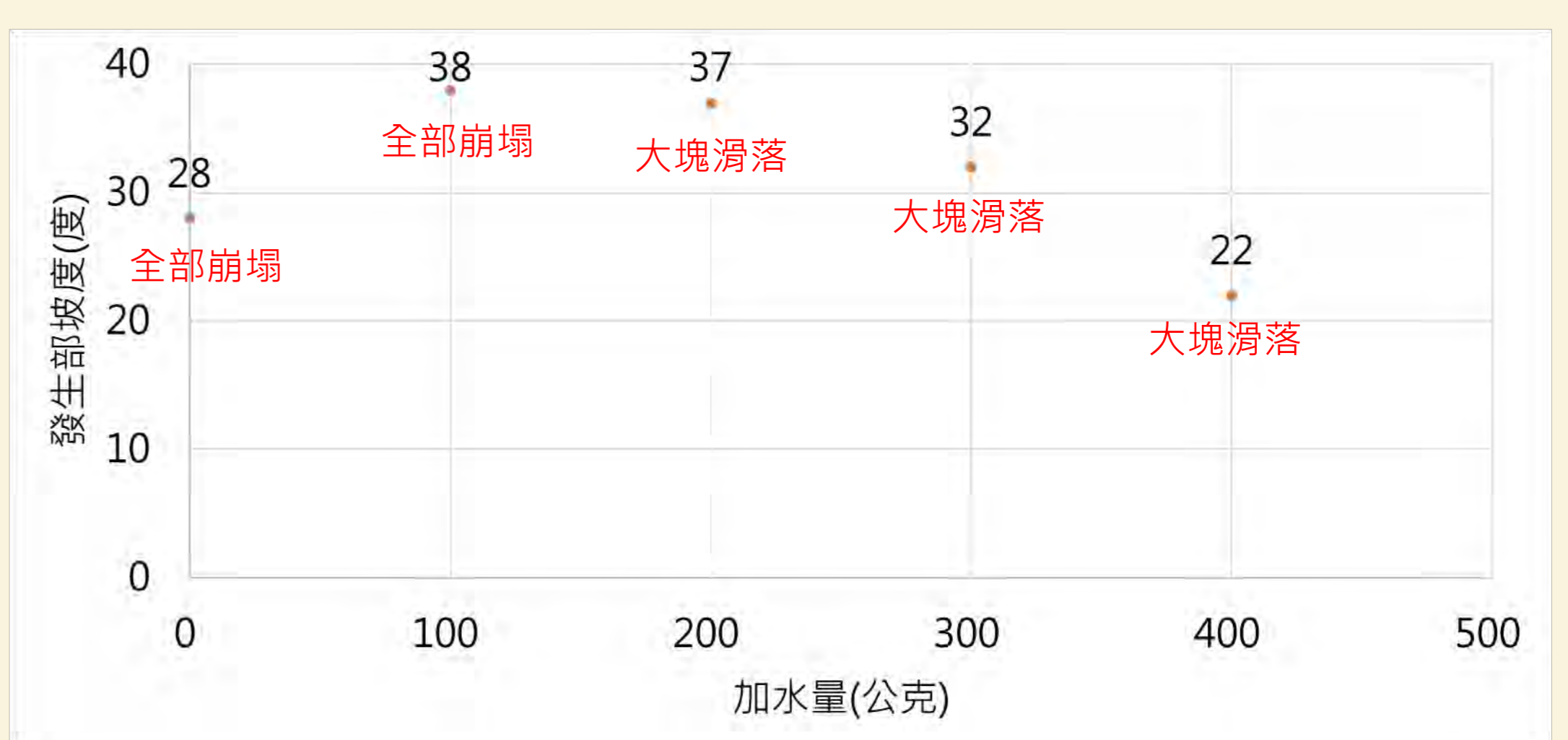
實驗3：探討土壤含水量與發生部坡度之關係

土堆成分：500g烘乾土(組成粒徑<1.0mm)



實驗4：探討加水量與發生部坡度之關係

土石堆成分：使用土石採樣區之隨機取樣石、砂及土500g



含水量	實驗前 烘乾土重	實驗前 水重	總重量	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況		
15%	500g	88.2g	588.2g	10	無	20	些微掉落	30	些微掉落	40	許多掉落	50	許多掉落	52	全部崩塌						
20%	500g	125.0g	625.0g	10	無	20	些微掉落	30	些微掉落	40	些微掉落	50	些微掉落	60	些微掉落	65	全部崩塌				
25%	500g	166.7g	666.7g	10	無	20	無	30	無	40	些微掉落	50	許多掉落	60	許多掉落	63	些微掉落	75	大塊崩塌	80	些許留下
30%	500g	214.3g	714.3g	10	無	20	無	30	無	40	無	50	無	58	大塊崩塌	65	些許留下				
35%	500g	269.2g	769.2g	10	些微水流	20	無	30	些微掉落	40	小塊崩塌	50	大塊崩塌	64	大塊崩塌	68	小塊崩塌	70	些許留下		
40%	500g	333.3g	833.3g																		

加水量	實驗前 土石重	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況
0g	500g	10	些微掉落	20	許多掉落	28	全部崩塌												
100g	500g	10	無	12	些微掉落	20	些微掉落	23	許多掉落	30	許多掉落	38	全部崩塌						
200g	500g	10	些微掉落	20	些微掉落	27	許多掉落	30	無	37	大塊崩塌	40	些許留下						
300g	500g	10	些微水流	20	些微掉落	26	小塊崩塌	30	小塊崩塌	32	大塊崩塌	40	些許留下						
400g	500g	10	水流流下	18	小塊崩塌	20	小塊崩塌	22	大塊崩塌	30	小塊崩塌	40	些許留下						

實驗5：控制土石堆成分比例，探討加水量與發生部坡度之關係

實驗5-1：泥石流型土石流

土堆成分：500g烘乾土(組成粒徑<1.0mm)，加入55.6g水。

實驗5-2：土石流

土石堆成分：200g烘乾土重(土石粒徑<1.0mm)占重40%、300g烘乾土石(粒徑>2.0mm)占重60%，加入55.6g水。

加水量	實驗前 土堆重(含水)	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況				
0g	555.6g	10	無	20	些微 掉落	24	些微 掉落	30	許多 掉落	35	許多 掉落	40	許多 掉落	45	大塊 崩塌	50	大塊 崩塌	53	許多 掉落		
100g	555.6g	10	無	20	些微 掉落	30	些微 掉落	40	些微 掉落	50	些微 掉落	52	許多 掉落	60	許多 掉落	70	無	76	大塊 湧落	80	些許 留下
200g	555.6g	10	些微 水流	20	些微 水流	30	無	40	無	50	50 大塊 湧落	57	大塊 湧落	60	無	70	無	80	許多 掉落		
300g	555.6g	10	些微 水流	20	無	30	無	40	無	50	無	60	無	63	大塊 湧落	70	些許 留下				
400g	555.6g	10	水流 流下	20	無	30	無	40	無	50	無	54	大塊 湧落	60	大塊 湧落	70	些許 留下				

加水量	實驗前 土堆重(含水)	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況	角度	狀況
0g	555.6g	10	些微 掉落	20	些微 掉落	26	許多 掉落	30	許多 掉落	32	大塊 崩塌	36	大塊 崩塌	40	許多 掉落						
100g	555.6g	10	無	20	些微 掉落	30	些微 掉落	40	無	43	許多 掉落	50	許多 掉落	60	些微 掉落	66	大塊 湧落	70	些許 留下		
200g	555.6g	10	些微 水流	20	些微 水流	30	無	40	無	43	小塊 湧落	50	無	56	大塊 湧落	60	無	62	大塊 湧落	70	些許 留下
300g	555.6g	10	些微 水流	20	無	30	無	33	小塊 湧落	38	大塊 湧落	40	些許 留下								
400g	555.6g	10	水流 流下	20	無	24	小塊 湧落	30	無	32	大塊 湧落	40	些許 留下								

實驗6：控制土石堆成分比例與發生部坡度，探討加水量與發生部坡度之關係

實驗6-1：泥石流型土石流

土堆成分：500g烘乾土(組成粒徑<1.0mm)，加入55.6g水。

實驗6-2：土石流

土石堆成分：200g烘乾土重(土石粒徑<1.0mm)占重40%、300g烘乾土石(粒徑>2.0mm)占重60%，加入55.6g水。

角度	實驗前 水量重	實驗前 土堆重	實驗前 總重量	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	
15度	55.6g	500g	555.6g	50	些微 水流	100	些微 水流	150	些微 水流	200	些微 水流	250	小塊 湧落	300	些許 留下			
				500	小塊 湧落	550	大塊 湧落	600	大塊 湧落	650	小塊 湧落	--						
30度	55.6g	500g	555.6g	50	些微 水流	100	些微 水流	150	些微 水流	200	些微 水流	250	小塊 湧落	300	些許 留下			
				500	大塊 湧落	550	小塊 湧落	600	大塊 湧落	--								

角度	實驗前 水量重	實驗前 土堆重	實驗前 總重量	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	
15度	55.6g	500g	555.6g	50	些微 水流	100	些微 水流	150	些微 水流	200	些微 水流	250	小塊 湧落	300	些許 留下			
				500	小塊 湧落	550	大塊 湧落	600	大塊 湧落	650	小塊 湧落	--						
30度	55.6g	500g	555.6g	50	些微 水流	100	些微 水流	150	些微 水流	200	些微 水流	250	小塊 湧落	300	些許 留下			
				500	小塊 湧落	550	大塊 湧落	600	大塊 湧落	650	小塊 湧落	--						

實驗7：控制土石堆成分比例與發生部坡度(15度)，探討加水量與土石含水量之關係

實驗7-1：泥石流型土石流

土堆成分：使用500g烘乾土製作土壤含水量10%及25%之土堆

實驗7-2：土石流(尚未進行實驗)

土石堆成分：200g烘乾土重(土石粒徑<1.0mm)占重40%、300g烘乾土石(粒徑>2.0mm)占重60%，製作土壤含水量10%及25%之土石堆。

土壤 含水量	實驗前 水量重	實驗前 土堆重	實驗前 總重量	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況	加水量	狀況						
10%	55.6g	500g	555.6g	50	挾砂 水流	100	挾砂 水流	150	挾砂 水流	200	挾砂 水流	250	挾砂 水流	300	挾砂 水流	350	挾砂 水流	400	挾砂 水流	450	挾砂 水流		
				500	挾砂 水流	550	挾砂 水流	600	挾砂 水流	650	挾砂 水流	700	挾砂 水流	750	挾砂 水流	800	挾砂 水流	850	挾砂 水流	900	挾砂 水流		
				950	挾砂 水流	--	未被降雨沖蝕區域 土堆呈環狀留下																
25%	166.7g	500g	666.7g	50	挾砂 水流	100	挾砂 水流	150	挾砂 水流	200	挾砂 水流	250	挾砂 水流	300	挾砂 水流	350	挾砂 水流	400	挾砂 水流	450	挾砂 水流		
				500	挾砂 水流	550	挾砂 水流	600	挾砂 水流	650	挾砂 水流	700	挾砂 水流	750	挾砂 水流	800	挾砂 水流	850	挾砂 水流	900	挾砂 水流		
				950	挾砂 水流	1000	挾砂 水流	1050	挾砂 水流	1100	挾砂 水流	1150	挾砂 水流	1200	挾砂 水流	1250	挾砂 水流	1300	挾砂 水流	1350	挾砂 水流		
				1400	挾砂 水流	1450	挾砂 水流	1500	挾砂 水流	1550	挾砂 水流	1600	挾砂 水流	1650	挾砂 水流	1700	挾砂 水流	1750	挾砂 水流	1800	挾砂 水流		
				1850	挾砂 水流	1900	挾砂 水流	1950	挾砂 水流	2000	挾砂 水流	2050	挾砂 水流	2100	挾砂 水流	2150	挾砂 水流	2200	挾砂 水流	2250	挾砂 水流		
				2300	挾砂 水流	2350	挾砂 水流	2400	挾砂 水流	2450	挾砂 水流	2500	挾砂 水流	--	土堆崩解後 數塊留下								

因實驗7-1的實驗結果與原先預期模擬降雨時觀測泥石流型土石流形成之狀態有所差異，因而所設計之實驗7-2尚未進行實驗。




(六) 實驗結論

泥石流型土石流

因土壤顆粒縫隙小，滲水慢，當土壤含水量超過飽和時(約25-30%)，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象，此後土壤水分含量愈高發生部坡度愈小。

土石流

1. 當土石含水量不足時，主要以崩落型態出現。
2. 當土石含水量趨於飽和時，土石間的黏滯性大增，崩塌時以滑動崩落為主。
3. 當土石含水量超過飽和時，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象(產生土石流)，此後土石含水量愈大，土石流發生區坡度愈小。且顆粒土石集中於前端隆起，呈「」狀，底下與後端伴隨著泥流跟著下滑。

陸、結論

1. 在固定坡度、水流流速與侵蝕時間下，土壤含水量達25-30%，土壤及砂石侵蝕量較少，表示此時土壤較不易因水流而沖刷造成土石流。
 2. (1) 當土石含水量不足時，主要以崩落型態出現。
(2) 當土石含水量趨於飽和時，土石間的黏滯性大增，崩塌時以滑動崩落為主。
(3) 當土石含水量超過飽和時，多出的水分可大幅減低土石間的黏滯性而出現流動現象(產生土石流)，此後土石含水量愈高，土石流發生區坡度愈小。
- 綜合以上結論可以發現，在土石流防治上對於各土石流潛勢溪流之雨量警戒值之計算更顯得重要。

柒、未來展望

1. 土石流依土石組成的粒徑特性可分類為泥石流型土石流、土石流及礫石型土石流。目前研究以探討泥石流型土石流及土石流為主，可再加入更多顆粒較粗的礫石進行混合，模擬礫石型土石流。
2. 探討土壤含水量與水流侵蝕之關係的實驗中，如果控制變因水流改為泥漿，可探討土壤含水量與泥石流型土石流侵蝕之關係，並觀察流動部與沉積部之情形。
3. 探討土石含水量與發生部坡度之關係的實驗中，如果改善本研究之降雨裝置，加入不同定量水量，可探討降雨量對於土石崩塌狀態之關係。
4. 本文研究設計傾向土石流的開發部，可再設計流動部與堆積部之模擬實驗。
5. 實地考察採集桃園區土石流潛勢溪流之上游土壤樣本，經土石分析後，進行相同實驗操作，將實驗結果與模擬實驗數據進行比較。探討模擬數據是否具有預測力。

捌、參考文獻

略(詳細請見說明書)