

新竹市第四十四屆中小學科學展覽會
作品說明書

科 別：地球科學

組 別：國中乙組

作品名稱：土勢如流—探討土石流危害、威力與防災應用

關 鍵 詞：土石流、含水率

編號：115JB-E002

摘要

台灣地形多山且降雨集中，豪雨期間常發生土石流。本研究利用模擬斜坡裝置，探討含水率、土壤成分及坡度對土石流流動特性與衝擊力的影響，並以砝碼位移作為指標。研究發現，土石流破壞力受多重因素交互影響。在水土比例上，以 2：1 展現最強衝擊力，顯示特定含水率能將流體動能極大化。就材質而言，純砂土因摩擦力小且無黏性，其衝擊力最具破壞性；反之，腐植土因具高吸水性與疏鬆質地，會吸收動能並緩衝衝擊。地形角度也是關鍵，當坡度增加至 25 度時，流速與力量大幅提升；但若達 30 度，土壤常在加水前便因重力提前滑落，難以形成典型機制。本模擬實驗有助於理解形成條件，可作為後續防災教育與工程設計之參考。

壹、前言

一、研究動機

在台灣，土石流是一種常見的自然災害。每當颱風或豪雨來臨時，新聞上常會報導各地發生土石流的情形，例如花蓮光復地區曾發生嚴重的土石流災害，讓我們了解到如果沒有適當防範，土石流可能造成相當大的破壞與危險。台灣地形多山且降雨集中，土石流災害發生的機率相對較高。土石流的破壞力除了與地形和降雨量息息相關之外，也會受到土石與水混合比例、土壤成分以及坡度等因素影響。因此，我們希望透過模擬實驗，探討不同條件下土石流的流動情形與衝擊力變化，進一步了解土石流形成的基本機制，並思考可能的防災應用方式。

二、研究目的

- (一) 探討當混合物含水率改變時，土石流的流速、到達距離與對下方物的衝擊力將如何改變。
- (二) 探討當組成成分（砂、粉土、石子）改變時，流動型態與破壞力的差異。
- (三) 探討當坡度改變時，衝擊力、流動型態與破壞力的放大與減弱。
- (四) 實地考察並探討不同土石流發生地的土質和土石流的發生有何關係。

三、文獻探討

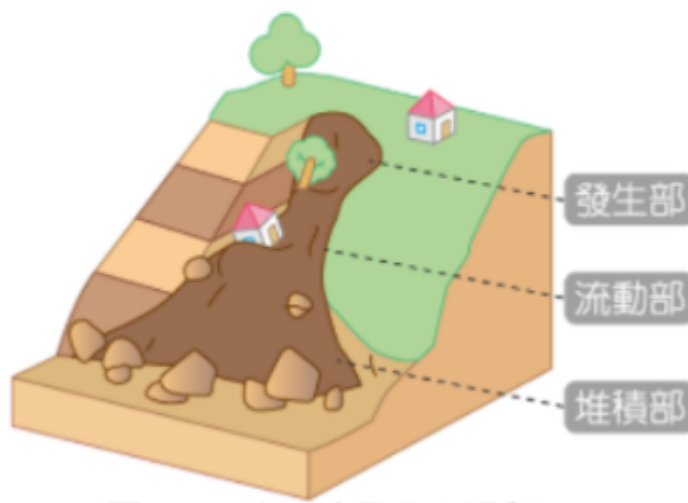
(一) **土石流定義**：土石流是指泥、砂、礫石和巨石等物質經水混合後，受到重力作用影響，沿著斜坡或河道由高處流向低處的自然災害。

(二) **土石流特徵**：它具有突發性、流速快、衝擊力、破壞性大等特性。

(三) **土石流發生條件**：土石流的發生需要三個主要條件：

1. **豐富的堆積物**：足夠鬆散的土砂提供固態物質來源，例如山崩或地滑區的堆積物。
2. **充份的水分**：水分會降低土石之間的摩擦力，作為潤滑劑幫助固態物質流動，通常由颱風或豪大雨提供。
3. **足夠的坡度**：足夠大的坡度能提供土石流流動的動力，使土石流能持續向低處流動。
4. **發生地特徵**：土石流過程可分為發生部、流動部和堆積部三個階段(如圖一)，起因是鬆散的土石與水在足夠的坡度下，受到重力作用而形成的混合物由高處往低處快速下滑。

(四) 土石流圖例



(圖片來源:網路 網址:<https://www.ehanlin.com.tw>)

1. **發生部**：位於山坡地或山谷，風化的土石、碎石等鬆散物質堆積在此處。當豪雨或颱風等因素導致水分滲入，土石間的摩擦力降低，就會開始滑動或崩塌。

2. 流動部：崩塌的土石與水混合後，開始沿著河道或斜坡迅速向下流動。這個階段的土石流流速快、衝擊力強，並以波浪狀的方式前進。

3. 堆積部：當土石流流到平緩區域（如山腳或河口），流速減慢，便會將攜帶的土石堆積下來，形成一個扇狀的堆積地形。

（五）歷屆作品分析

1. 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 水土比一比：

(1)通常土石流有流速快、侵蝕力強等特性,在其報告中有提到礫石型土石流的衝擊力通常為3-10m/s,而泥流行土石流流速通常為2-10m/s.

(2)雨水滲入土石匯集成水流會帶動土石開始流動,此為形成土石流的過程

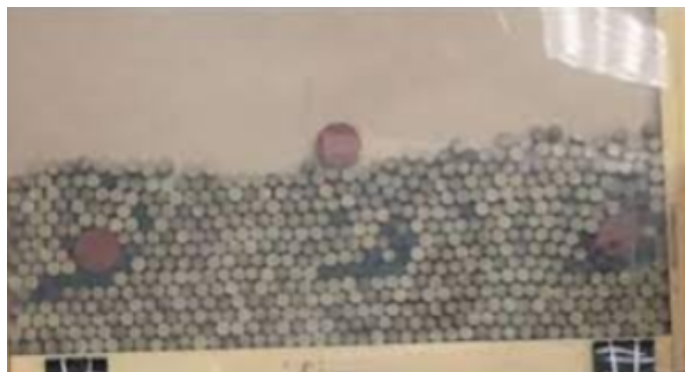
2. 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 紅色警戒：

在其報告中提到：「土石流的啟動機制為：當重力足夠克服傾斜面上的顆粒間的磨擦力後，顆粒在表面開始滑動，形成彈跳性強烈的氣化區(如同空氣分子間碰撞的行為)」

看完告後我們得出了以下重點:

(1).土石流中的較小顆粒(如礫石)能提供大顆粒(如巨石)更省力的接觸面,史劇時往往流速較快.




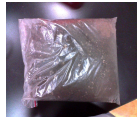


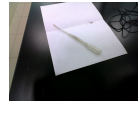
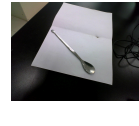

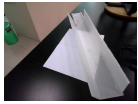






(2).土石流為流體物質,上方往往受到的摩擦力較小,故土石流表面流速較快，底部流速愈慢.



(圖片來源：網路 網址:<https://sci.ptc.edu.tw>)

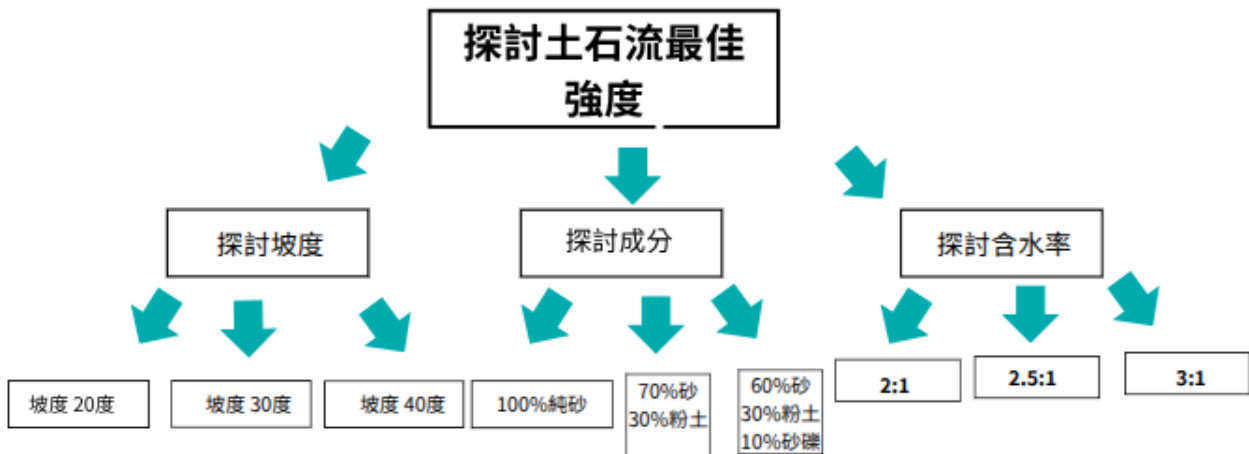
貳、研究設備與器材

研究設備與器材表(以下來源均自行拍照)：

燒杯 	量筒 	攪拌棒 	腐植土 	砂石 	土 	滴管 	刮勺 
電子秤 	壓克力板 	彈簧秤 	熱熔膠 	量角器 	水桶 	砝碼 	裝置 

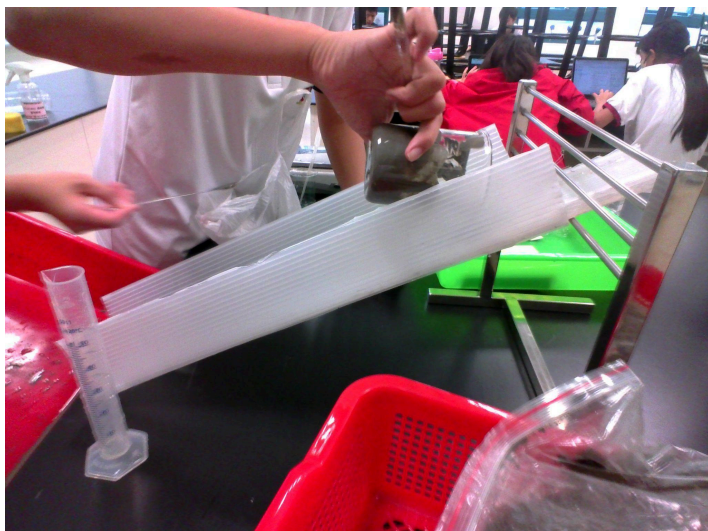
參、研究過程與方法

一、研究架構圖



測試一：探討測驗之使用砝碼重量

(一) 實驗設計：



(圖片來源:自己拍攝)

將實驗物品架設好，將砝碼放置於裝置下方，並將調好的土倒進裝置使土衝擊砝碼並使砝碼產生位移。

(二) **實驗假說**：若土石流能使砝碼位移或甚至將砝碼推至紅色盆子的話就代表土石流的衝擊力會大於推動砝碼的最大靜摩擦力。

(三) 變因：

1. 控制變因：裝置坡度、調配的土的含水率、距離盆子的距離等
2. 操縱變因：砝碼的重量
3. 應變變因：砝碼的移動距離

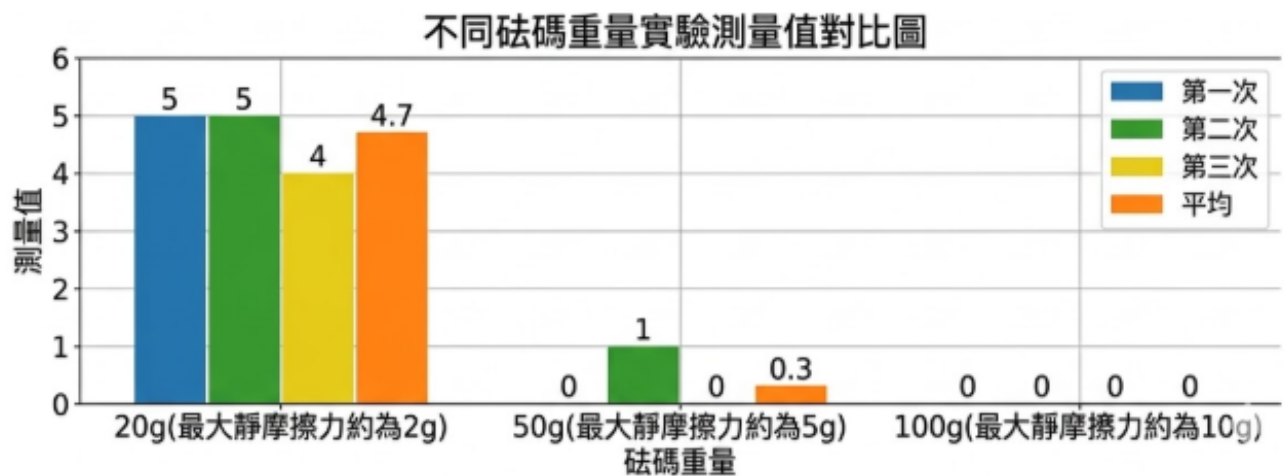
透過不同重量砝碼測試裝置所產生的推動效果，以選擇最適合後續實驗量測的砝碼重量，而我們不選用推動的最大重量當作應變變因是因為土石流給予建築物等物品時持續性的衝擊力，故選用移動距離會比較符合我們的實驗目的。

(四) 實驗步驟：

1. 將砝碼架設完成
2. 將砝碼放置於裝置下方
3. 調配實驗用土
4. 將土平鋪在裝置裡
5. 加水100mL以致流動
6. 將移動距離(cm)記錄

(五) 實驗數據：

實驗次數 砝碼重量	第一次	第二次	第三次	平均
20g(最大靜摩擦 力約為2g)	5	5	4	4.7
50g(最大靜摩擦 力約為5g)	0	1	0	0.3
100g(最大靜摩 擦力約為10g)	0	0	0	0



(六) 討論：

在這次實驗中，我們發現模擬出的土石流蘊含的能量其實非常小，遠遠無法達到新聞中”拔山倒樹”的樣子，可能原因如下：

1. 混合的不夠久，可能是因為水與土沒有完全混和好時就將它沖下去，造成的推力可能只是來自水和零星的泥沙。
2. 我們尚未往材料裡添加石子，這可能是導致我們土石流破壞力不足的原因之一。
3. 坡道的長度和坡度可能也會影響撞擊砝碼的力道，因為實驗時我們都只使用了裝置的最低角度，再加上長度不足，尚未混和好的泥沙就直接衝擊砝碼，這可能也是導致我們土石流破壞力不足的原因之一。

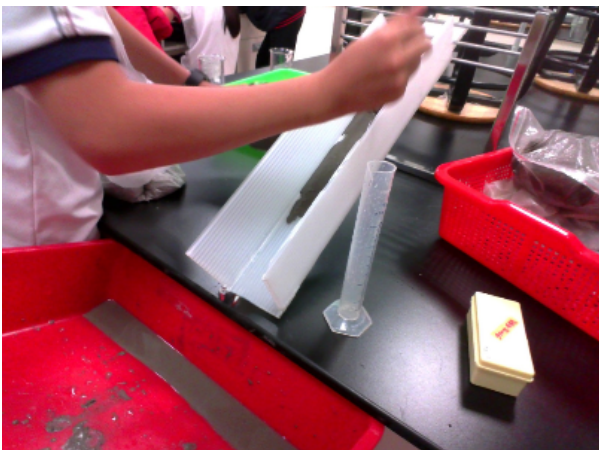
(七) 結論：

在綜合所有可能的原因後，我們發現如果土石流的破壞力要大，就要有以下條件：

1. 內含較大堅硬固體(如石頭)
2. 須有足夠的坡度和長度
3. 需有充分混和時間
4. 往後實驗選用20g砝碼

實驗一：探究實驗用土之含水率對破壞力之關連

(一) 實驗設計：



(圖片來源:自己拍攝)

我們將實驗物品及裝置架設好後，將砝碼放置於裝置前方，並將調好的三罐土分批倒進裝置使土衝擊砝碼並使砝碼產生位移。

(二) **實驗假說：**土水比例會影響土石流對於砝碼的衝擊力

(三) **變因：**

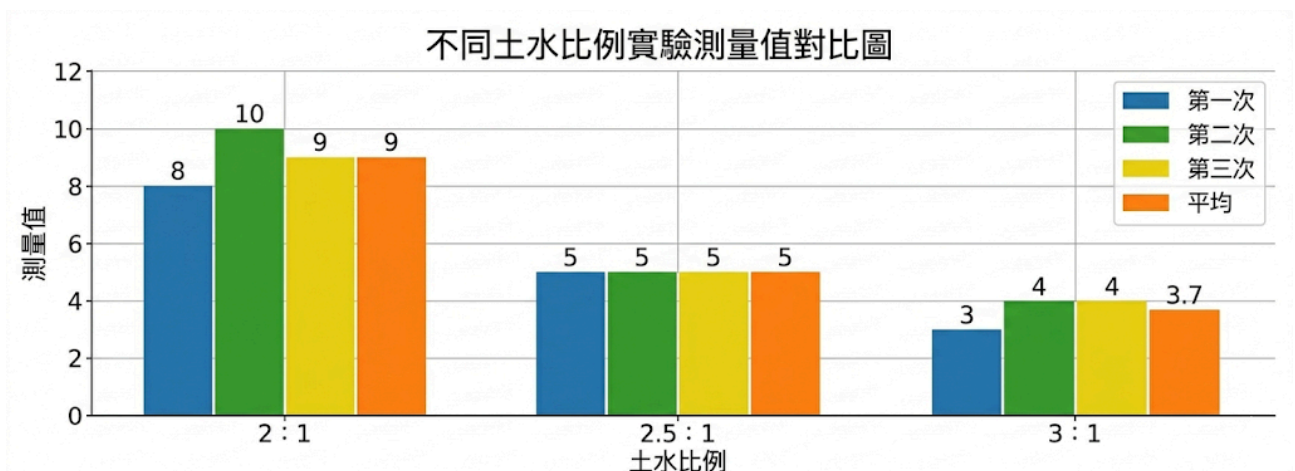
1. 控制變因：裝置坡度、砝碼重量、距離盆子的距離等
2. 操縱變因：調配的土的含水率
3. 應變變因：砝碼的移動距離

(四) **實驗步驟：**

1. 將砝碼架設完成
2. 將砝碼放置於裝置下方
3. 調配實驗用土
4. 將土平鋪在裝置裡
5. 加水100mL以致流動
6. 將移動距離(cm)記錄

(五) 實驗數據：

實驗次數 土水比例	第一次	第二次	第三次	平均
2 : 1	8	10	9	9
2.5 : 1	5	5	5	5
3 : 1	3	4	4	3.7



(六) 結論：

這次實驗讓我們了解到含水率對土石流的影響

1. 土所佔的比例與土石流破壞力並非成正比
2. 土石流含水率以2 : 1為最佳

(七) 討論：

在這個實驗中，我們利用調配土的含水率來找出在什麼狀況下土石流的威力能最大化，實驗過程中，我們發現不是土所佔的比例越多越好，因為當土所佔的比例越多，水要承擔更多的土，讓土石流緩慢且缺乏衝擊力。

實驗二：探討土石流各種成分對於破壞力之關聯

(一) **實驗設計：**我們將實驗物品及裝置架設好後，將砝碼放置於裝置前方，並將調好的三罐土分批倒進裝置使土衝擊砝碼並使砝碼產生位移。

(二) **實驗假說：**土石流內含的成分會影響對於砝碼的衝擊力。

(三) 變因：

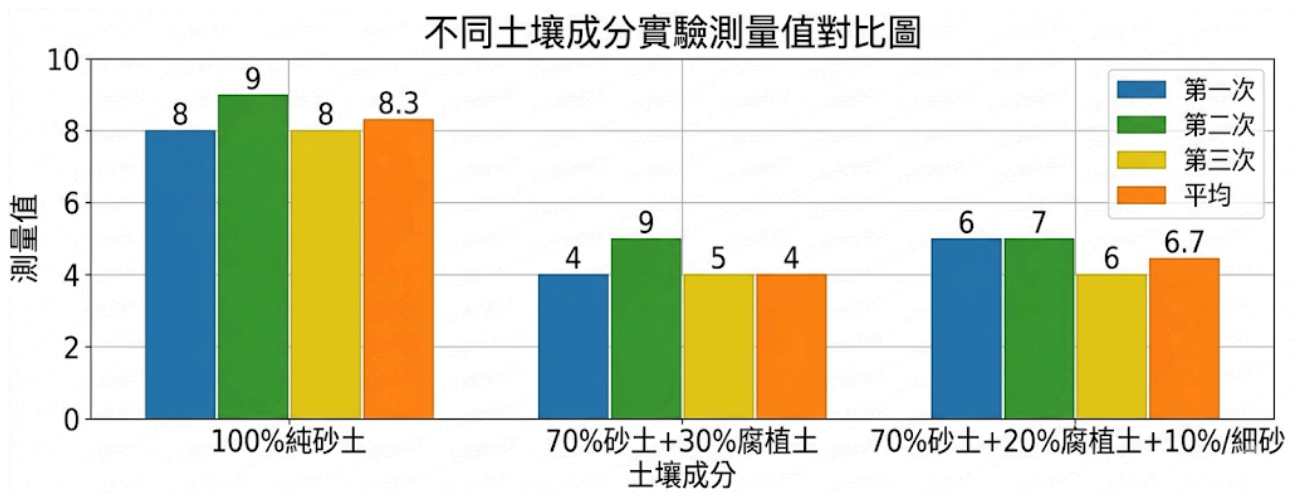
1. 控制變因：裝置坡度、砝碼重量、距離盆子的距離等
2. 操縱變因：調配的土的成分
3. 應變變因：砝碼的移動距離

(四) 實驗步驟：

1. 將砝碼架設完成
2. 將砝碼放置於裝置下方
3. 調配實驗用土(密度為: 成分1:0.63g/cm 成分2: 1g/cm 成分3: 0.93g/cm)
4. 將土平鋪在裝置裡
5. 加水100mL以致流動
6. 將移動距離(cm)記錄

(五) 實驗數據：

實驗次數 成分	第一次	第二次	第三次	平均
100%純砂土	8	9	8	8.3
70%砂土+30%腐 植土	4	5	4	4.3
70%砂土+20%腐 植土+10%細砂	6	7	6	6.7



(六) 結論：

這次實驗讓我們了解到當材質變換時，會不會影響到土石流的衝擊力？

腐植土因重量較輕，且吸水速率較砂土快，會使由它所組成的土石流威力較小。細砂不易吸水，導致其衝擊力低且容易滑落。

(七) 討論：

在這次實驗中，我們分別使用三種不同材質的物體(砂土，腐植土，細砂)來進行實驗，來模擬不同材質形成的土石流衝擊力有何變化，實驗中我們發現腐植土和細砂一個衝擊力低但極其容易吸水，一個幾乎不會吸水且容易滑落，兩種物體都不利於形成衝擊力大的土石流。

實驗三：探討坡度對土石流破壞力之影響

(一) **實驗設計：**我們將實驗物品及裝置架設好後，將砝碼放置於裝置前方，並將調好的三罐土分批倒進裝置使土衝擊砝碼並使砝碼產生位移。

(二) **實驗假說：**土石流發生部坡度會影響對於砝碼的衝擊力。

(三) **變因：**

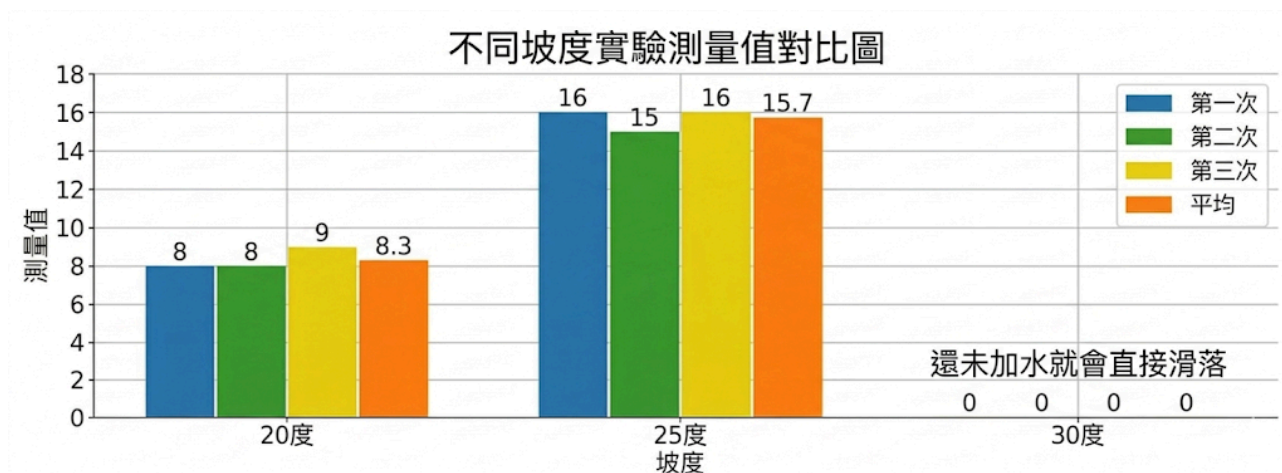
1. 控制變因：調配的土的成分、砝碼重量、距離盆子的距離等
2. 操縱變因：裝置坡度
3. 應變變因：砝碼的移動距離

(四) 實驗步驟：

1. 將砝碼架設完成
2. 將砝碼放置於裝置下方
3. 調配實驗用土
4. 將土平鋪在裝置裡
5. 加水100mL以致流動
6. 將移動距離(cm)記錄

(五) 實驗數據：

實驗次數	第一次	第二次	第三次	平均
坡度				
20度	8	8	9	8.3
25度	16	15	16	15.7
30度	還未加水就會直接滑落	還未加水就會直接滑落	還未加水就會直接滑落	0



(七) 討論：

在這次實驗中，我們發現坡度不同會影響土石流的流動情況和衝擊力。當坡度從20度增加到25度時，砝碼的移動距離變大，表示土石流的衝擊力也變強，因為坡度越大，土往下流的速度也會變快。但是當坡度到30度時，土在沒有加水的情況下就直接滑落，沒有形成真正的土石流。這個現象表示如果發生部坡度太大，土壤可能會直接崩落，而不是和水混合形成土石流。

（八）結論：

這次實驗讓我們了解到當坡度改變時，衝擊力和流動狀態會如何改變？：

1. 土石流不可以在所有角度都形成
2. 在25度時土石流威力最佳
3. 在30°坡度時，土壤即使未加水也會直接滑落，因此無法形成典型土石流，因此未進行加水實驗

肆、結論

本研究透過模擬裝置，探討土石流在不同含水率、不同土壤成分及不同坡度條件下的流動情形與衝擊力大小，並以砝碼的位移距離作為判斷土石流破壞力的指標。經由多次實驗比較後，我們得到以下幾點結論：

（一）含水率會影響土石流的破壞力

實驗結果顯示，當土水比例為 **2：1** 時，砝碼移動距離最大，代表土石流衝擊力最強。若土的比例過高，水需要帶動更多土壤，流動速度會變慢，反而降低衝擊力。

（二）土石流的成分會影響流動特性與衝擊力

在不同成分的比較中，**純砂土所形成的土石流衝擊力最大**。加入腐植土後，由於腐植土較輕且容易吸水，使整體混合物較為鬆散，導致衝擊力下降。

（三）坡度會影響土石流的流速與形成條件

當坡度由 **20 度增加到 25 度** 時，砝碼移動距離明顯增加，表示坡度增加會提高土石流流動速度與衝擊力。但當坡度達到 **30 度** 時，土壤在未加水前就直接滑落，無法形成完整的土石流，顯示土石流並非在所有坡度條件下都能形成。

（四）土石流破壞力受多種因素共同影響

綜合本研究結果可知，土石流的威力會受到 **含水率、土壤成分及坡度** 等因素影響。當具有適當含水量、較高密度的顆粒組成以及適中的坡度時，較容易形成衝擊力較大的土石流。

綜合以上結果可知，土石流的形成與破壞力受到含水率、土壤成分與坡度等多種因素共同影響。透過本研究，我們對土石流形成的條件與基本物理特性有了更深入的了解，並可作為未來防災教育與工程防護設計的參考。

一、實地勘查(以下圖片均自行實地拍攝)：



(力里山-土石流流動部)



(力里山-土石流發生部)

我們前往了屏東縣力里山去進行實地勘查，我們發現力里山的土質非常破碎，乾燥後的土壤常常呈現小球狀，這種地質遇上豪大雨或颱風就容易被雨水沖落，因此此地常常發生土石流災害，且力里山常見植物多為蕨類和草本類植物，使土木更容易鬆動，再加上大量雨水常常使力里山發生土石流災害。此次實地觀察發現當地土壤鬆散且顆粒破碎，與本研究實驗中「砂質土壤較容易形成高衝擊力土石流」的結果相符，顯示自然環境中的土壤組成確實會影響土石流形成條件。

二、防災應用

做完實驗過後，我們發現土石流的發生條件為：

1. 發生部的土質必須足夠鬆散(這樣水才可以大量滲進土石裡產生流動性)
2. 當地須有足夠的降雨使土石產生流動性
3. 坡度須達到30度以下增強地心引力對於土石流的作用，但土石不會直接滑落

我們認為防範土石流不僅要種樹，還需要讓土石的含水率不會超過臨界值，我們討論後想出的方法是在那些土石流高發地區都鋪上一些性質類似海綿的物品，這個物品可能是使用高吸水性樹脂或天然纖維所製作而成，其外觀可能是向地毯一樣會鋪在那些土石流高發地區的地面上，那樣不僅可以讓土石的含水率不至於太高，但是也不會太低，我們認為這樣可以確實防範土石流且同時保護環境。

伍、未來展望

本研究以小型模擬裝置探討含水率、成分比例與坡度對土石流衝擊力之影響，已初步建立影響因子與破壞力之關聯。然而，由於實驗規模與量測方式仍屬基礎階段，未來可朝以下幾個方向深化研究：

一、模擬真實地形條件：未來可設計可變曲面坡道，模擬自然界山谷 V 型與 U 型地形差異，並加入河道彎曲、障礙物與分流結構，探討地形變化對能量耗散與流動型態之影響，使實驗更貼近真實山區環境。

二、探討極端降雨與氣候變遷因素：近年極端降雨事件頻繁，未來可結合中央氣象資料，模擬不同降雨強度與降雨歷時條件，分析含水率臨界值與崩塌啟動門檻，建立簡易「土石流發生風險判斷模型」。

三、防災工程應用研究：本研究後續可加入不同形式之擋土設施（如攔砂壩模型、消能階梯結構、植生穩定層），測試其對衝擊力降低之效果，評估最佳減災配置方式，使研究成果具備工程應用價值。

四、跨領域整合研究：未來可結合地理資訊系統（GIS）進行地形分析，或與材料科學結合探討不同粒徑混合比例之流變特性，將研究由單一變因實驗提升為系統性災害分析研究。

五、未來應用方向：本研究雖為模擬實驗，但我們希望未來能將其發展為具預測能力之模型工具，協助判斷土石流發生條件與危險程度，進而降低災害風險。我們相信，透過持續改進實驗設計與量測精度，本研究有潛力朝更高層次之科學探究與實務應用發展。

陸、參考文獻資料

- 于可等 (2019) 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會水土比一比.桃園：國立臺灣科學教育館
- 賴真吾等(2011) 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 紅色警戒.花蓮：國立臺灣科學教育館
- 洪偲瑋等（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。
- 詹錢登(2004)。土石流發生與降雨特性之關係，科學發展月刊，374。
- 詹錢登(2000)。土石流概論，科技圖書股份有限公司出版。