

中華民國第四十六屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

第二名

081569

讓大地不再哭泣-我是大地小醫生～探討「斜坡
滲流破壞」引發土石流與「土石流預警器」製作
之研究

學校名稱： 臺北縣永和市永和國民小學

作者：

小五 薛皓薰

小五 謝和秦

小六 吳杰倫

小五 黃莉云

小六 劉睿昉

小六 孫毓禧

指導老師：

劉秋燕、 劉純曲

關 鍵 詞：土石流、滲流作用、斜坡土壩

讓大地不再哭泣—我是大地小醫生

～探討斜坡滲流破壞引發土石流與土石流預警器製作之研究

摘 要

台灣地勢陡峭、地質破碎，加上山坡地常被不當使用，一旦豪雨或颱風侵襲時，上游的土壩易潰敗崩落，令人心驚膽跳。

藉由土石流的模擬實驗，發現土石流的發生與坡度、水量、土體結構有密切的關係，而土壩被水入滲破壞的情形也會因土體緊密度、土體粒徑粗細、上游水位高低、入流量大小、土壩寬度而有不同的破壞類型與崩塌速率，土石堆積面積和堆積高度也與當地土體結構有密切關係。另實驗發現土石流動的驅動力與堆積物所在的坡度也有很大的關係，坡度愈大或流量愈大、水位愈高時，其滲流速度就會愈快，壩趾被破壞的時間也愈快。粒徑愈粗，崩塌速率也有劇增情形。

本實驗有助於斜坡災害的認識，也期盼土石流預警器能減少土石流災害對人們的傷亡。

壹、研究動機

土石流是一項可怕的斜坡災害，時常威脅著我們的生命與財產，去年我們對不同土沙比例的土體遇到各種降雨強度時，所引發的土砂流失做了初步的探討，今年我們針對斜坡土體遇到滲流水，產生入滲崩壞、地滑、潰壩、溢頂、沖刷等各種情形，進行土壩崩潰及轉化為土石流的過程，做一系列的探索活動，希望能對滲流破壞引發土石流能有更進一步的了解，進而思索土石流預警器的製作。

★與課程相關單元：自然與生活科技五上第四單元山河大地（南一版）

貳、研究目的

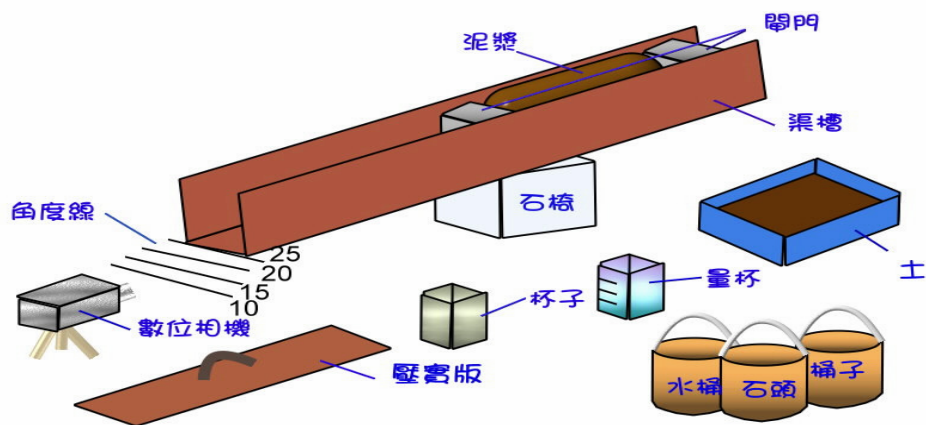
- （一）瞭解土石流的特性。
- （二）探討土體結構、傾斜度、水量對土石流的影響。
- （三）瞭解天然土壩被水破壞的過程。
- （四）探討不同土沙比例的流動土體，在各種斜坡坡度上的流動差異。
- （五）探討不同土石比例的流動土體，在各種斜坡坡度上的流動差異。
- （六）探討不同含水量之流體，在各種斜坡坡度上的流動差異。
- （七）探討不同含水量之流體，其堆積區的範圍，高度有何差異。
- （八）探討斜坡上之土體緊密度不同時，水入滲的過程和潰壞的差異性。
- （九）探討斜坡上之土體粒徑的粗細大小時，水入滲的過程和潰壞的差異性。
- （十）探討上游面水位高度不同時，斜坡上之土壩被水入滲的過程和潰壞的差異性。

- (十一) 探討上游面持續降雨，水的入流量大小不同時，斜坡上之土壩被水入滲的過程和潰壞的差異性。
- (十二) 探討斜坡傾斜坡度不同時，斜坡上之土壩被水入滲的過程和潰壞的差異性。
- (十三) 探討土壩寬度增加時，土壩崩壞潰流的過程。
- (十四) 設計土石流預警器。

參、研究設備與器材

表一 實驗器材一覽表

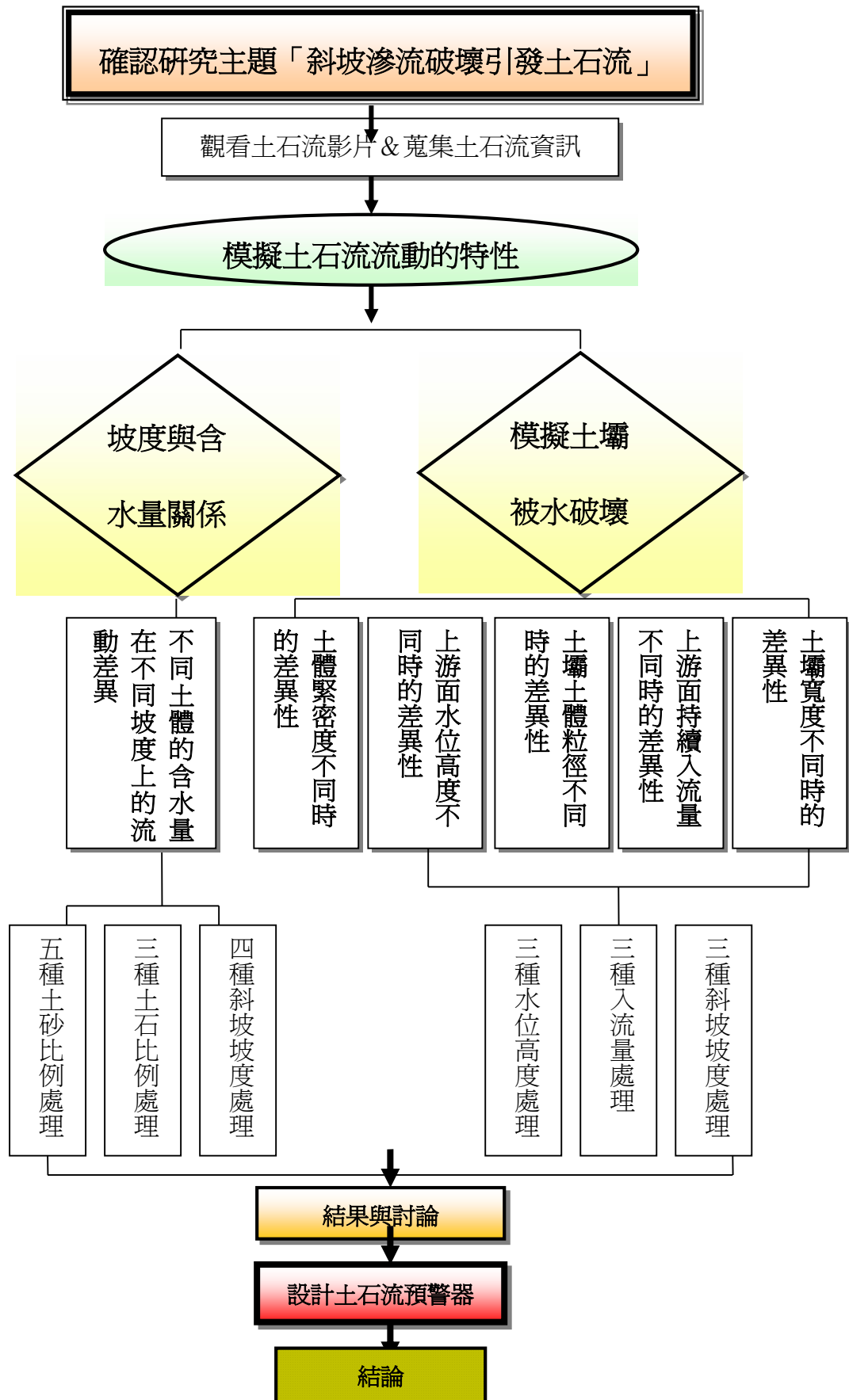
設 備	
自製傾斜溝渠(200*20*20 cm)	木板釘製而成，兩側加上一片 1 公分厚之強化透明玻璃，可翻開觀察土體內部變化。底部為渠槽內鋪上一層透明塑膠布防止水滲漏，並在底部黏一層工業用砂紙，以增加底床的粗糙度，並增加摩擦力。
自製壓實板(60*20*3 cm)	木板釘製而成，方便壓實土體，使力道平均。
數位攝錄影機	
實 驗 材 料	
砂子 2 袋、土 2 袋、篩網 6 支(1mm、2mm 孔徑)、塑膠籃(25*40*10 cm)6 個、小鏟子 6 支、透明杯 5 個、秤 1 個、馬錶 1 個、標籤紙 1 包、承接水箱 2 個、大水桶 2 個、量角器 1 個、100cm 直尺 1 支、水管 3 公尺、小吸管 1 包、粉筆、大水箱 2 個、鑽子、塑膠透明野餐墊、鐵釘 1 包、強化玻璃 1 片、工業用砂紙 1 片、木板 1 片、鋸子、白膠、鐵製把手 1 支、滑輪組 6 組、輪軸實驗組 2 組、雨量計、熱熔膠槍、電池組、蜂鳴器、彈珠 5 包	



圖一 渠槽裝置圖

肆、研究過程與結果

(一) 研究架構



（二）研究過程與結果

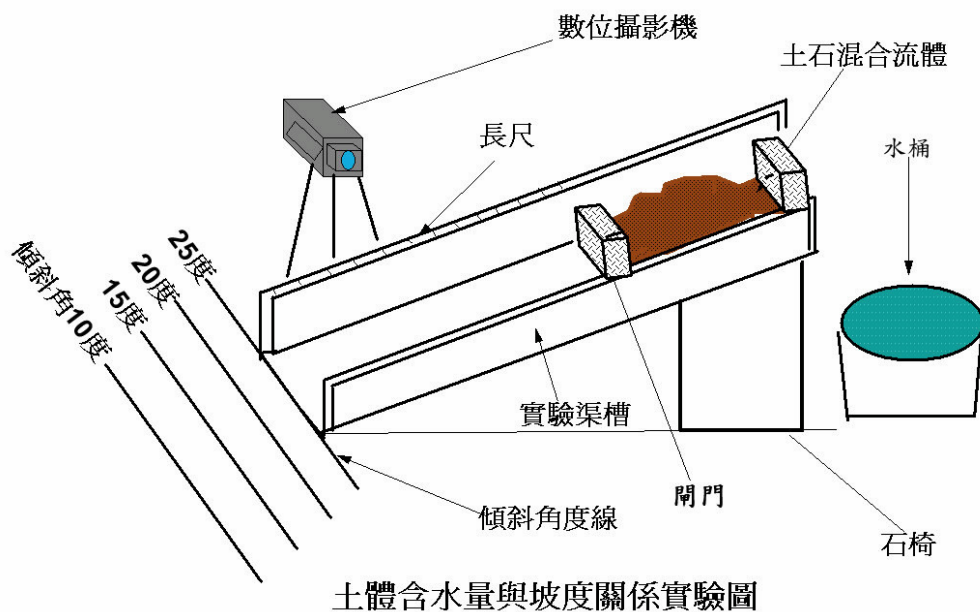
活動一、探討土石流流動特性

＜問題一＞何種傾斜坡度會形成土石流？土體含水不足會形成土石流嗎？小石頭為何會流動？又為何停止呢？

（一）土石流模擬步驟：

1. 用傾斜角度為 10 度之實驗渠槽進行模擬。
2. 實驗渠槽 內鋪設 3 公分厚的鬆土，加水使土變成飽和的狀態。
3. 調配砂、土、石比例為 1：2：1 土體，加水至飽和狀態後，將土體堆置實驗渠槽最上方，關上閘門。
4. 打開供水箱的水門開關，使水往下流動，再將擋土的閘門打開，使土體順著滑下，土體瞬間與水混合，轉化成土石流向下滑動。（此時水流量必須固定）
5. 假若無法流動，則關上閘門，改變傾斜角度為 15 度、20 度、25 度重複嘗試，或每次再加水 1000 cc，直至成為可流動之流體。
6. 觀察土石流流動特性。

（二）實驗裝置圖：



（三）結果：

實驗模擬中可知，土石流的發生條件為充足的水分供給、適當的坡度、大量堆積的物質材料或不安定的鬆散土體。



加水攪拌使成為流體



土石流捲起坡面上之土石繼續前進。



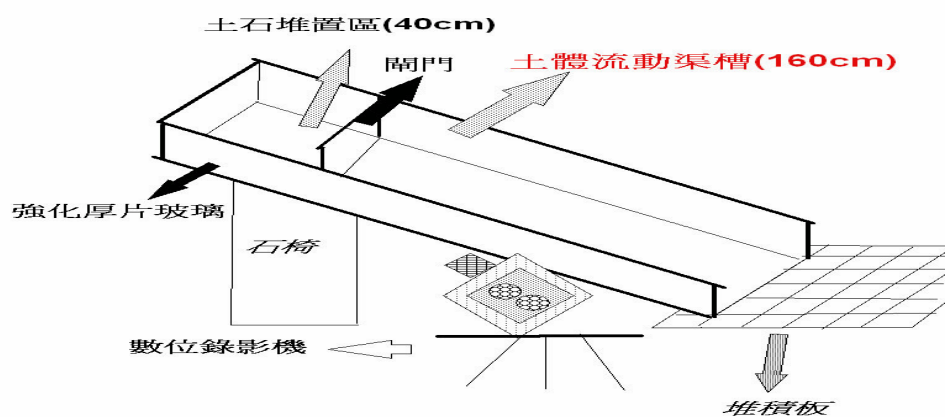
坡度緩時，砂石堆會卡在上方板上，不會形成向下滾動的流體。含土量愈多，泥漿愈黏，向下滾動時會帶動其他泥沙堆積向下滾。



前端部位有顯著粗大石子集中的現象，大石頭不容易被水流沖走，但會因泥沙的流動而推動，適量的黏土是土石流動的必要條件。

活動二、探討坡度與含水量的關係

一、實驗設備示意圖：



<問題二>不同土體的含水量在不同坡度上的流動有何差異呢？

一、五種土砂比例處理

(一) 實驗設計：

實驗一：土砂比例不同

實驗二：斜坡傾斜度：10°、15°、20°、25°、30°

(二) 結果：

表二 土砂流動與坡度的關係紀錄表

沙土比例 傾斜度	不同砂土比例（砂：土）				
	全土 A (0：1)	砂佔 1/4 B (1：3)	砂佔 1/2 C (1：1)	砂佔 3/4 D (3：1)	全砂 E (1：0)
10 度	×	×	×	×	×
15 度	○	×	×	×	×
20 度	○	○	○	×	×
25 度	○	○	○	×	×
30 度	○	○	○	○	×

發現：

- 1.上游有水分不斷補充時，含土量愈高，愈易形成流體。
- 2.含砂量愈多的土體易脫水，要產生流動的坡度必須比較大，而含土比例愈高的土體，坡度小也可能發生流動情形。
- 3.在土石流模擬時，不同土體發生土石流的坡度不一樣。

註 1：「○」表示產生流動；「×」表示未發生流動。

註 2：控制變因：等體積土體（6250 cm³），含水量相同（1500ml）

(三) 討論：

整體而言，當坡度大約在 15° 至 30°之間將發生土石流，坡度大約在 5° 至 15° 之間仍會繼續流動，而坡度降至 5°以下將產生堆積現象。

	
坡度 30 度以上土體快速滑落	沙子比例愈高，易造成水與沙子的脫水現象

二、三種土石比例處理

(一) 實驗設計：

實驗一：土石比例不同

實驗二：斜坡傾斜度不同：10°、15°、20°、25°

(二) 結果：

表三 土石流動與坡度的關係紀錄表

土石比例 傾斜度	不同土石比例(土：石)		
	A (1：4)	B (1：1)	C (4：1)
10 度	×	○	○
15 度	○	○	○
20 度	○	○	○
25 度	○	○	○
發現： 1.當傾斜坡度愈小，土石流態會有「上沖刷，下淤積」的情形。			
註 1：「○」表示產生流動；「×」表示未發生流動。			
註 2：控制變因：等體積土體（6250 cm ³ ），含水量相同（1000ml）			

(三) 討論：

1.土石流在流動時，其前端通常有巨大石塊集中，土石流大多呈現間歇流動，當前端部分受阻而停止向前運動時，後面部分會有隆起壅高的現象，接著，因後端往前流動的壓力加大而迫使前端再次流動，所以有波段式的流動情形，與蒐集的資料完全符合。

	
在相同的水量下，同體積的土體其含土比例愈高，發生土石流流動的距離愈長。	含石比例愈高，坡度緩時，容易擱置坡道上。



含石比例高的土體，有脫水現象，但坡度愈高，礫石則有滾落的情形。



當土石流移動時，大石子在最前方，衝擊力一定非常大。

2. 土石流發生後，由陡降至地勢較緩時，其土石流動特性是如何呢？將實驗結果整理成下表三。

表四 坡度與土石流運動情形歸納表

坡度	土石流運動特徵
$0^\circ < \theta < 5^\circ$	堆積作用，土石流幾乎停止，只有清水流動。
$5^\circ \leq \theta < 10^\circ$	流動速度減低，前端停止了，有細小石子開始淤積了。
$10^\circ \leq \theta < 15^\circ$	流動速度漸減而暫停，有礫石淤積情形。
$15^\circ \leq \theta < 20^\circ$	土石流發生了，而且向下流動。
$20^\circ \leq \theta < 25^\circ$	土石流發生，並流動迅速。
$25^\circ \leq \theta$	崩落或由邊坡滑動的方式，向下崩落至溝槽下方。
註：土石比例為 4：1，土體 12500 cm ³ 加水 2000ml	

<問題三> 土石流發生與流動距離，和土體含水量與地形坡度有何關係？堆積面和堆積高度有何特性？

(一) 實驗設計：

實驗一：坡度 10 度、15 度、20 度、25 度。

實驗二：含水量 1000ml、1200ml、1400ml、1600ml、1800ml。

堆積平台上畫上格子每格為 100 cm²

(二) 結果：

表五 土體含水量與坡度變化對土石發生與流動之觀察表（土：石=4：1）

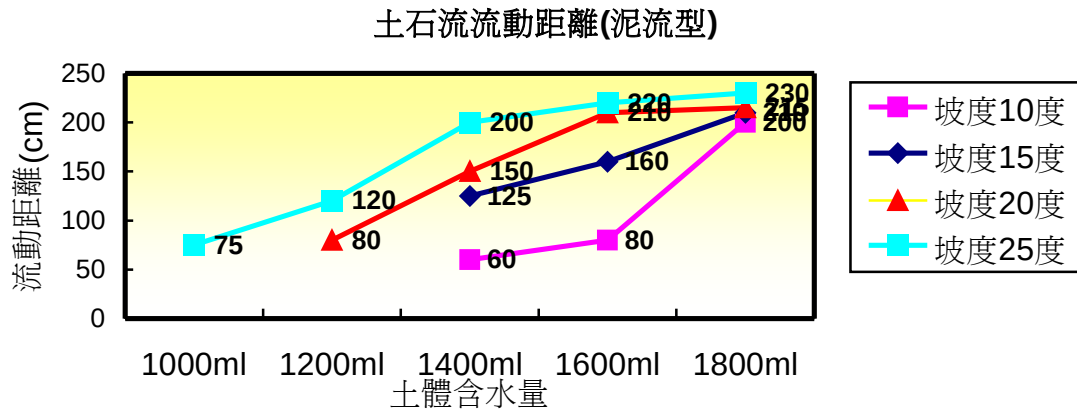
傾斜坡度 \ 含水量	1000ml	1200	1400	1600	1800
10°	×	×	○ (60cm)	○ (80cm)	○ (200cm)
15	×	×	○ (125cm)	○ (160cm)	○ (210cm)
20	×	○ (80cm)	○ (150cm)	○ (210cm)	○ (215cm)

25	○ (75cm)	○ (120cm)	○ (200cm)	○ (220cm)	○ (230cm)
----	----------	-----------	-----------	-----------	-----------

觀察發現：呈現泥流型態。

註：1.「○」表示產生流動；「x」表示未發生流動

2.括號內是土石流動的距離。



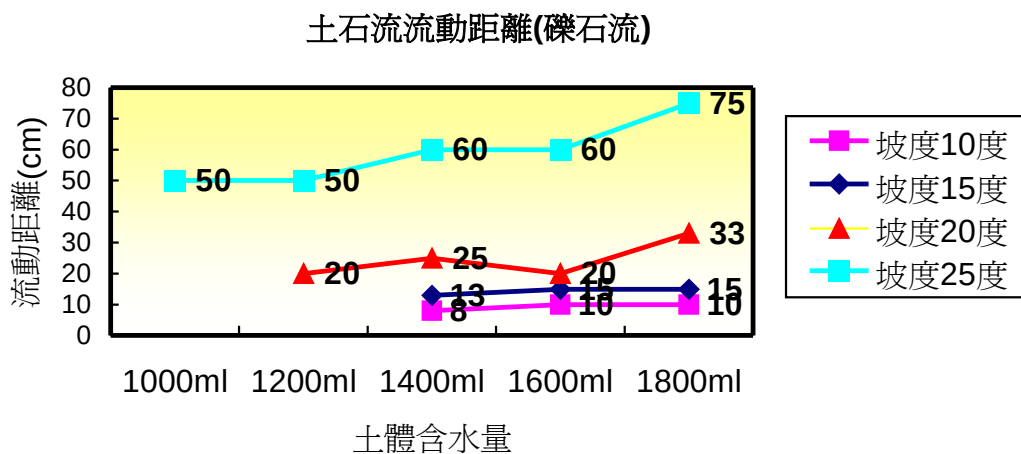
表六 土體含水量與坡度變化對土石發生與流動之觀察表（土：石=1：4）

含水量 傾斜坡度	1000ml	1200	1400	1600	1800
10 度	x	x	○ (8cm)	○ (10cm)	○ (10cm)
15 度	x	x	○ (13cm)	○ (15cm)	○ (15cm)
20 度	x	○ (20cm)	○ (25cm)	○ (20cm)	○ (33cm)
25 度	○ (50cm)	○ (50cm)	○ (60cm)	○ (60cm)	○ (75cm)

觀察與發現：有礫石流動現象。

註：1.「○」表示產生流動；「x」表示未發生流動。

2.括號內是土石流動的距離。

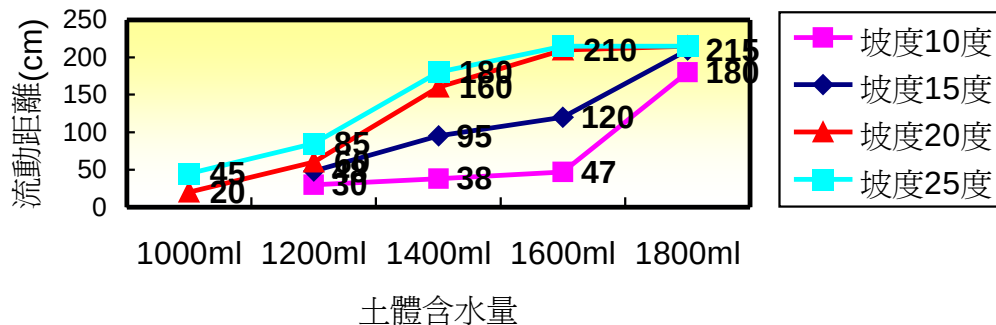


表七 土體含水量與坡度變化對土石發生與流動之觀察表（土：石=1：1）

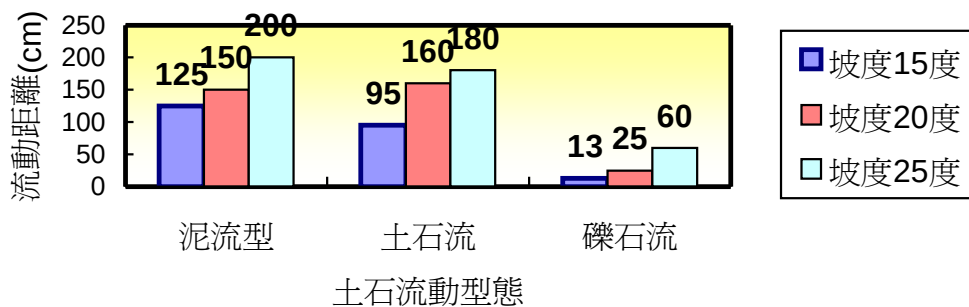
含水量 傾斜坡度	1000ml	1200	1400	1600	1800
10 度	x	○ (30cm)	○ (38cm)	○ (47cm)	○ (180cm)
15 度	x	○ (48cm)	○ (95cm)	○ (120cm)	○ (210cm)
20 度	○ (20cm)	○ (60cm)	○ (160cm)	○ (210cm)	○ (215cm)

25 度	○ (45cm)	○ (85cm)	○ (180cm)	○ (215cm)	○ (215cm)
觀察與發現：土石一起流動。含水量愈多或傾斜坡度越陡時，土石流動越易發生。					
註：1.「○」表示產生流動；「x」表示未發生流動。2.括號內是土石流動的距離。					

土石流流動距離(土石流型)

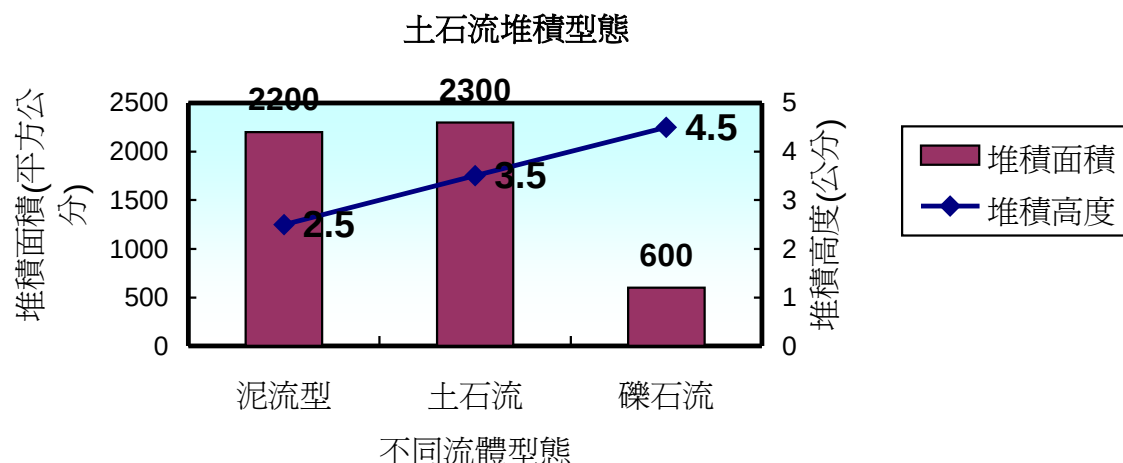


土石流流動距離



表八 坡度 25° 土體流體化的移動與堆積情形

不同土體 分析項目	A (4 : 1)	B (1 : 1)	C (1 : 4)
主要的流動特性	泥流	土石流	礫石流
堆積面積 (cm ²)	2200	2300	600
堆積高度 (cm)	2.5	3.5	4.5
註：相同土體體積 6250 cm ³ 、相同含水量 1500ml 時			



(三) 發現與討論

從實驗中發現，當坡度大約在 25 度到 15 度之間土石產生流動；而當溝槽的坡度降至 15 度以下，就有較大的礫石開始淤積，而細泥、細石粒、沙等則繼續向下流動，形成土砂流；直至坡度 10 度以下，則細沙、小石粒有開始淤積的情形；再降至 5 度左右，則土石流幾乎停止，僅存清水流動而已。上述實驗結果與所蒐集的資料大致相符（水土保持手冊 1992 的資料顯示，土石流發生坡度大約在 15 度到 30 度之間較多，堆積點的坡度則在 3 度到 6 度之間較多）。

表九 三種土體的觀察比較表

觀察項目	說明
流動形式	礫石型土石流較易產生堆積是直進型，而泥流型則擴散性較強。
堆積範圍與高度	礫石流堆積高度比較大，泥流堆積面積大而高度較低些。坡度增大時則堆積面皆會擴大，而堆積高度會減少，而且發生土石流的機率變高了。
流動速度	礫石型一旦發生流動時，其直進性比較強，流速比泥流型更快些，而泥流型的左右擴散能力比較大。



（土：石=1：1）泥流型的左右擴散能力比較大，而且較具流動性。當水量愈多時，會降低土石流引發的坡度，因此更易引起土石流的發生與流動。



（土：石=1：4）礫石流易脫水與減速，流動的距離短，直進性比其他土石流強。並且水易脫離礫石，而單獨向下流去，有脫水現象。影響此型態土石流動的主要影響因素是『坡度』，坡度愈大，礫石流動愈遠。



（土：石=4：1）1000ml 在 10 度時，只見水向下流 15 cm，但石頭沒動；1000 cc 在坡度 20 度時，才發生土石流，可是水一直脫離土石向下流，所以土石只流了 86 cm；而 25 度時流動長度最長。



實驗中礫石流動產生堆積時，堆積高度可達

泥流擴散面積與土石 1：1 比例之流動土體的

4.5cm，是實驗中三種土體最高者。	堆積面積皆大於礫石流之堆積面。
	
在課堂上進行土砂堆愈到降雨情形的實驗中，也發現在 25°斜坡上，也會有大石子擱置在傾斜渠槽上。	泥土含量高之土體，泥流產生的堆積高度比較低。

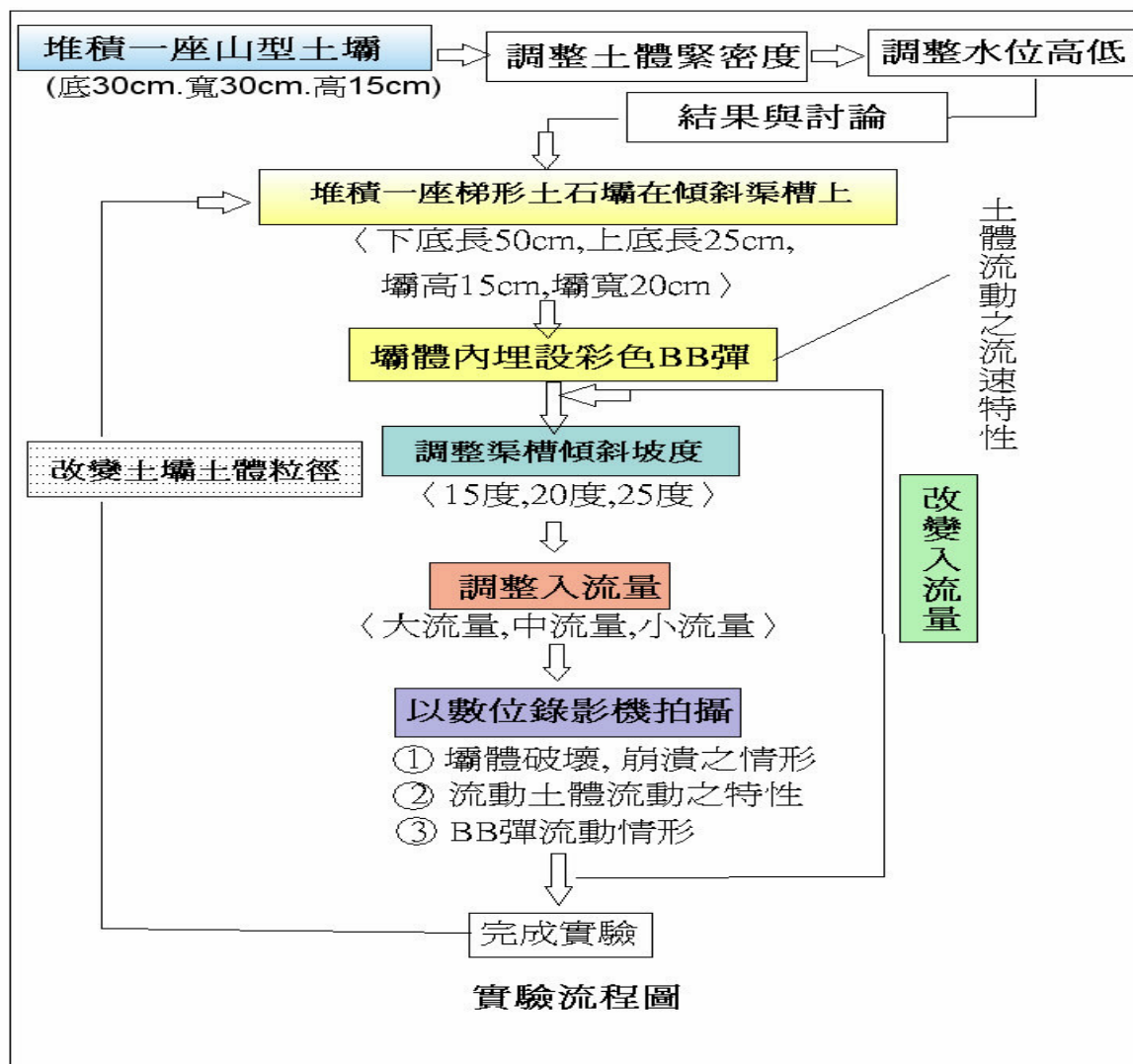
活動三、模擬天然土壩被水破壞的過程

一、實驗設計：

表十 實驗設計說明一覽表

項目	實驗設計
(一) 實驗渠槽：	1.長*寬*高=200 公分*20 公分*20 公分 2.材質：木板釘製而成，兩側加上一片 1 公分厚之強化透明玻璃，可翻開觀察土體內部變化。 3.底部：渠槽內鋪上一層透明塑膠布防止水滲漏，並在底部黏一層工業用砂紙，以增加底床的粗糙度，使增加摩擦力。
(二) 供水設備：	供水箱水龍頭流出的水，流入定水頭水箱，以控制水壓的穩定，定水頭水箱的五個出水孔，可做為流量大小之控制，連接管線至渠槽上游面，給予固定之出水量。
(三) 實驗渠槽的傾斜坡度：	將渠槽一端放置階梯上，另一端則置於地面，並在地面上刻畫渠槽之傾斜度(10 度、15 度、20 度、25 度、30 度)，視實驗需要，放置在刻度上。
(四) 入流量控制：	在水流五個出水孔連接管線，每個孔出水量為 6ml/sec，出水孔可依實驗需要同時出水。
(五) 實驗的土體：	為校園內挖出之土體，利用不同網目的篩網篩選而得，篩網網目為 1mm 和 2mm。
(六) 攝影設備與影像擷取：	1.Canon 數位攝錄影機，錄取實驗過程，並輔以 SONY 照相機拍照，放置於渠槽兩側和上方拍攝。 2.以繪聲繪影影像擷取軟體，分析整個實驗過程。

二、實驗流程：



〈問題四〉土體緊密度不同時，土壩被水入滲的過程如何？潰壞情形有何差異呢？

(一) 實驗設計：

操縱變因：土壩土體緊密度不同（利用啞鈴從 10cm 落下 50 下為鬆散土體，100 下為密實土體，做二個土壩進行比較。）

(二) 實驗結果：

表十一 土體緊密度不同時其滲水造成崩落觀察紀錄表

觀察項目 土體緊密度	水滲出之時間	土體崩落觀察
密實土體	172 秒	水分滲出速度慢，但土體開始崩落時，是整個坡面整塊迅速崩滑而下。

鬆散土體	55 秒	水分滲出速度快，土體從土堆的下緣處開始崩壞，崩落範圍逐次慢慢向上延伸，最後整體坡面崩潰而下。
註：控制變因為上游面入流量 6ml/sec、斜坡傾斜度(10 度)、土壩底*寬度*高(30*30*15cm)，乾土體的體積為 6250 cm ³ 。		

(三) 發現與討論：

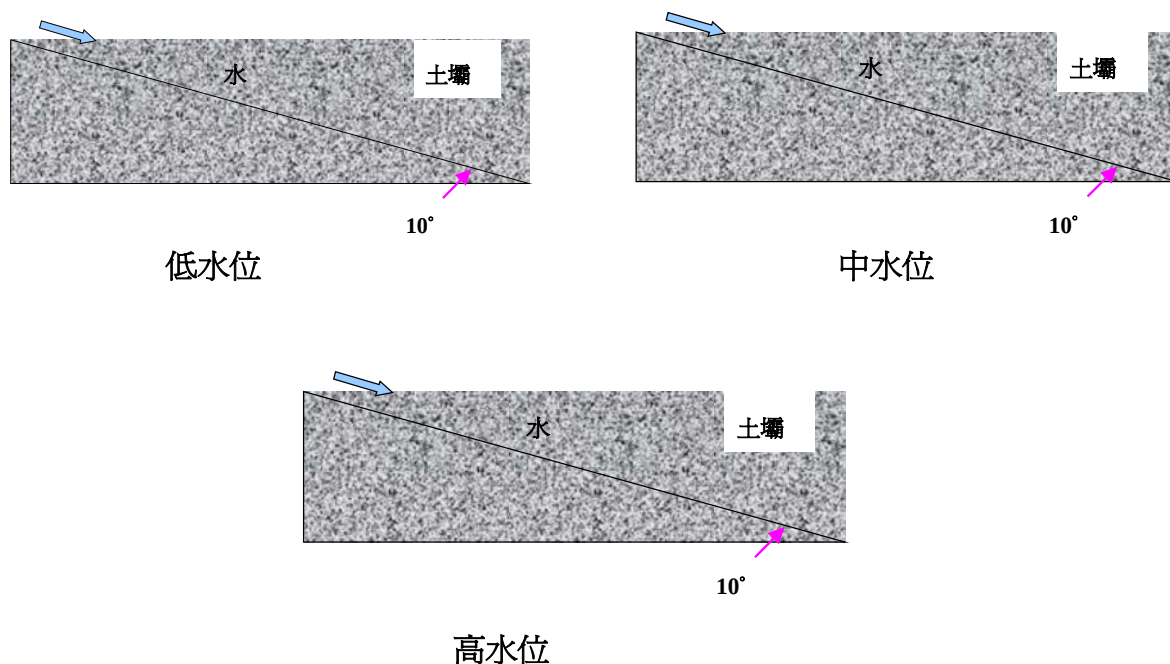
	
由壩趾開始破壞，此時上游水位趨於穩定。	由下游面壩趾處逐漸向上溯源掏刷。
	
不安定的土體，在 20 度傾斜角度下，一旦碰到充足的水分，皆可能引發土體坡面的崩落。	土體緊密度較高時，水分進入後不易排出，易累積水分在土中，當重量逐漸加重時才整塊崩落。
	

土體結構鬆散時，土體結構比較不穩定，土體滲透性佳，易將水排出，而土體本身無法承受太大的滲流作用，所以在下緣處開始崩落，並向上延伸破壞。	崩落土體有些依然持續流動，有時因摩擦作用及土石相互碰撞，而停積在渠槽下方的底床中。
---	---

<問題五> 上游面水位高度不同時，土壩被水入滲的過程如何？潰壞情形有何差異呢？

(一) 實驗設計：

操縱變因：上游面水位高度不同。



(二) 結果：

表十二 模擬三種水位對土壩破壞的紀錄表

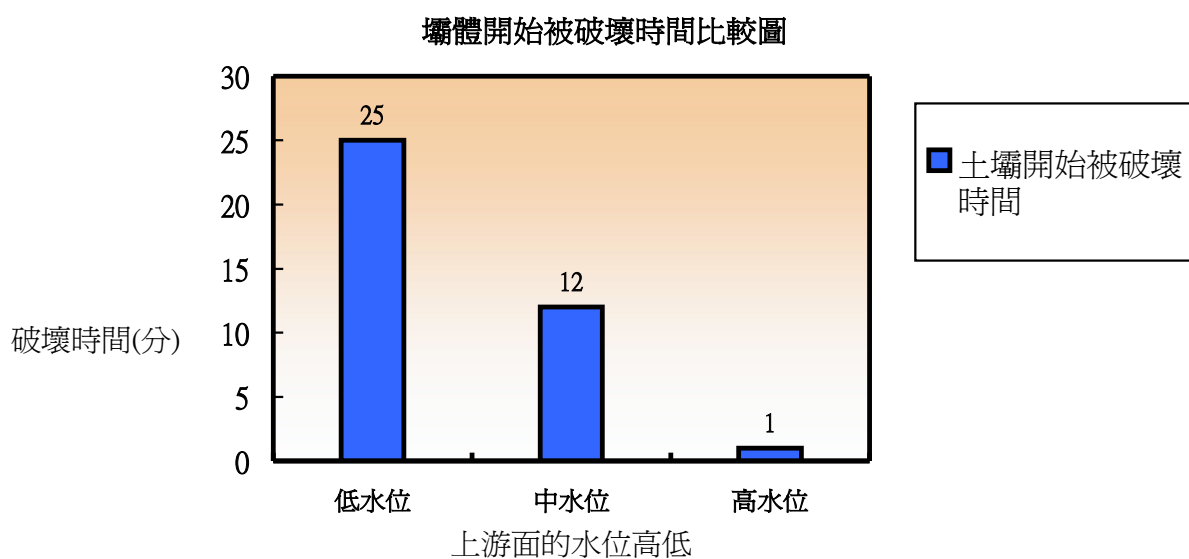
不同水位	觀察紀錄
低水位 (達 1/2 高)	土壩底層被水滲入，造成不穩的現象，從土壩下緣底部的地方開始鬆動，最後土體潰壞坍塌，壩體左右兩側結構較弱的地方也開始被水滲透而被沖垮。
中水位 (達 2/3 高)	土壩下游的地方有逐漸漲大的感覺，水入滲土壩內，堆積土體產生鬆動，突然間滑動破壞，崩潰而下。
高水位 (達頂高)	水會從壩頂溢出，產生沖蝕破壞，土體上層不斷被水流侵蝕破壞，是由上而下潰敗，加上水滲流到底層，土壩下游面由下而上崩落，最後潰敗。
註：控制變因為斜坡傾斜度(10 度)、土壩寬度(寬 30cm 長、底 30cm 長)、土壩高度(15cm)、乾土體的體積為 6250 cm ³ 。	

(三) 發現與討論：

三種水位高度，對土壩的破壞作用及破壞過程不相同，但最後土壩皆崩塌而下。

表十三 三種水位高度對壩體的破壞觀察匯整比較表

觀察項目	高水位	中水位	低水位
被破壞的速度	快	中	慢
破壞型式	侵蝕破壞型	突然產生滑動的型式	漸進慢慢破壞型



用尺或木板壓製一座土壩，將水流阻隔在土壩上方



高水位的侵蝕是沖刷式的，破壞情形是由上而下，水滲流到底層，土壩下游面由下而上崩落

	
低水位時水進入土體是慢慢的滲透進去，剛流出的土體大多是很細小的細泥沙，土體下部漸漸不穩，進而導致潰敗與滑動等情形。	中水位的突發性滑動，可能是因為水不斷的滲入，土體膨脹，裡面的水壓可能上升，所以，鬆動時大量滑落。
	
當土壩被水滲漏時，如果土體結構不夠堅硬，堆積土體就很快被水滲流，造成不穩定的狀態。	從土壩下緣底部的地方開始鬆動，最後土體潰壞坍塌。

（四）討論：增加土壩寬度，土壩潰壞又會如何呢？

如果天然土壩寬度比較大時，一旦潰敗引發土石流的情況是否更加嚴重呢？因此我們提出以下問題，並設法模擬梯形土壩侵蝕、入滲、沖刷之各種情形。

<問題六> 土壩土體粒徑不同時，土壩被水入滲的速度如何？潰壞情形有何差異呢？

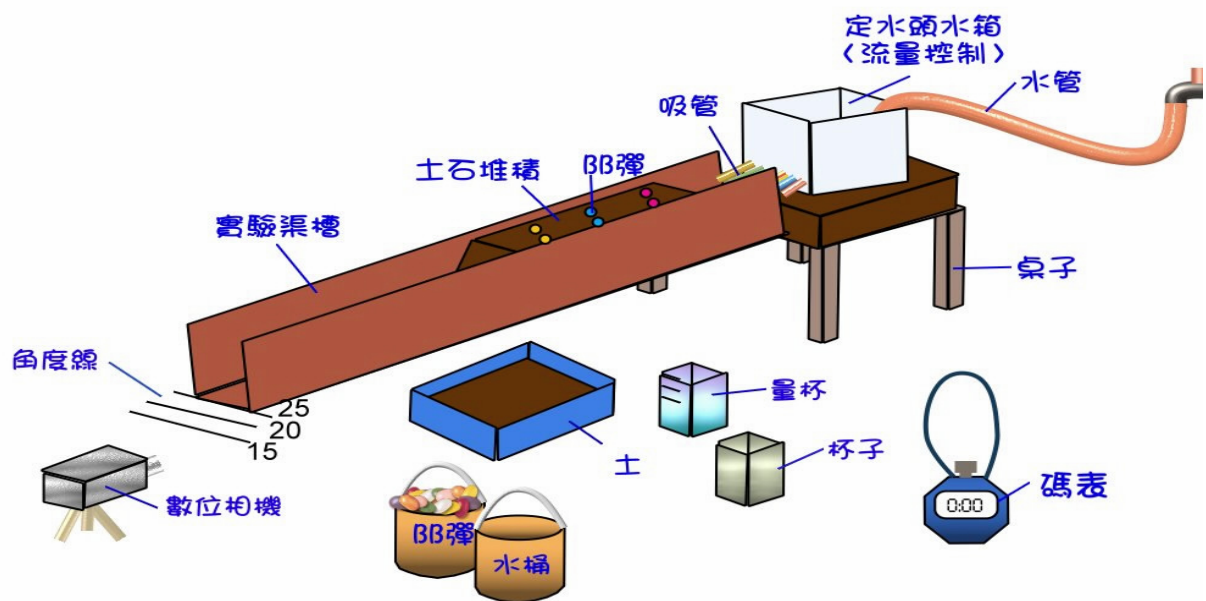
（一）實驗設計：

1 操縱變因：土體粒徑不同。

（1）2mm 土體。

（2）1mm 土體。

2.控制變因：土體壓實緊密次數(100 下)、乾土體體積(12500 cm^3)、入流量(小)、坡度(15度)、壩高(15cm)、壩底(50cm)、上底 (25cm)。



實驗裝置示意圖

(二) 結果與討論

1. 當上游面的水位慢慢上升，水不斷滲入土壩內，土體粒徑愈粗，水入滲速度愈快。
2. 實驗發現上游水位達平衡時，下游面的壩趾處開始有水湧出，形成小條水流滲出。
3. 粒徑愈細小，水入滲速度愈慢，崩塌速率也較平緩。



當土壩的土體達飽和程度時，會發生整體鬆動滑落而潰決情形。



邊壁若不夠緊實，會產生裂隙，形成沖刷潰流而下的狀況。

	
粒徑愈粗，崩塌變化大。	在水中加入白色顏料，隨水位不斷上升，從側面玻璃可清楚看到滲流線，滲流線逐漸上升中。

<問題七> 上游面持續入流量不同時，土壩被水入滲的過程如何？不同的斜坡坡度，土壩潰壞情形又會有何差異呢？

操縱變因：

實驗一：流量大小〈小、中、大〉

實驗二：斜坡坡度〈15°、20°、25°〉

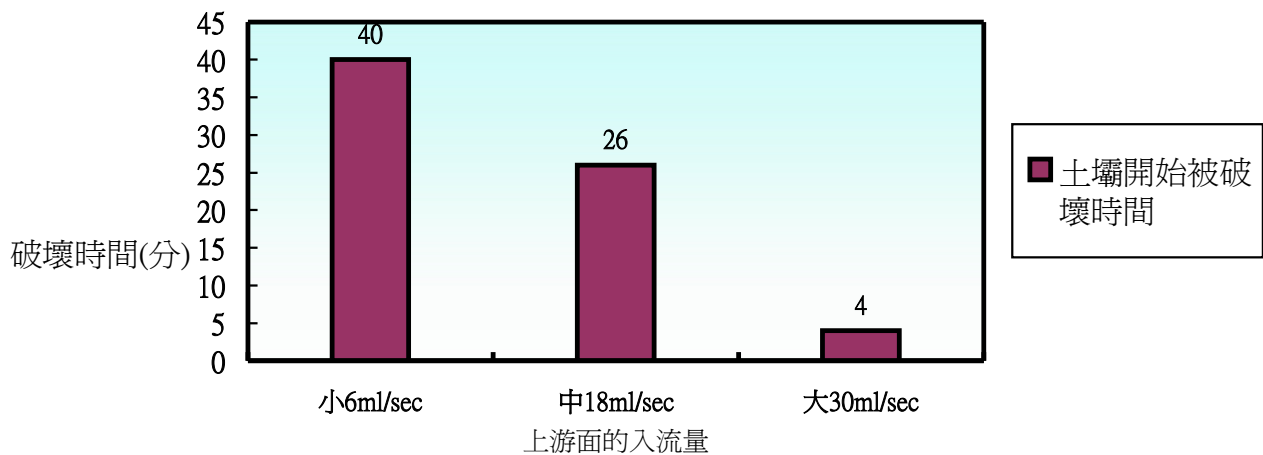
(一) 實驗步驟：

- 1.土體粒徑為 1mm 之篩網篩選之土體。在前一天先將土石加以少許定量水量直至飽和濕潤後，堆積一座梯形土壩於實驗渠槽上，下底長度為 50cm，上底為 25cm，寬 20cm，高度 15cm，用自製的壓實板壓實土體，壓實方式為將壓實板〈60cm*20cm*2cm〉放置土堆上方，並利用健身用之啞鈴在 10cm 高處自由落下，壓 100 下。
- 2.調整坡度 15 度及小流量〈出水孔一管 6ml/sec〉水流入渠槽土壩的上游面，仔細觀察上游面水位變化和滲流水滲出之時間及土體潰敗的情形。
- 3.從注入水後，實驗時間定為 40 分鐘，將整個破壞過程用錄影機錄製。
- 4.調整流量〈三管或五管〉重複上述步驟。
- 5.用繪聲繪影軟體加以分析。
- 6.調整坡度〈20 度或 25 度〉重複上述步驟。

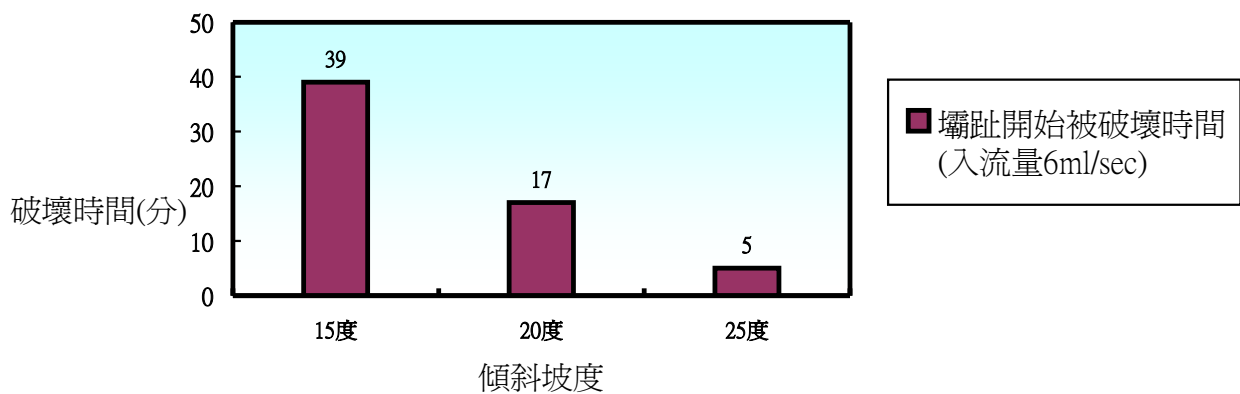
(二) 發現與討論：

- 1.坡度愈陡，水滲出的時間愈快，破壞情形常於出現裂隙後而大塊的滑動潰敗而下。
- 2.水量的大小對土壩破壞的形式呈現不同的破壞類型。
- 3.從整個實驗過程發現，坡度愈陡與入流量愈大時，水位快速上升而漫過土壩，沖刷壩體表面，而壩趾滲水的速度也比較快，雙重的作用下，加速了土壩潰壞的速度。

壩體開始被破壞時間比較圖



壩體開始被破壞時間比較圖



當小流量而水位低時，水從壩體下游面的壩趾處滲出的時間比較慢，而後溯源而上，慢慢由下而上的淘刷，進而潰流形成土石流。



中流量時，上游面水位上升加速了，壩趾處開始被破壞，水位逐漸升高，直至越過壩體頂部，沖蝕著壩體表層，因此壩趾滲流加上壩體表層沖蝕，加速了土石流之形成。



大流量時，水位迅速上升直至漫過壩頂，造成表層土體被沖刷侵蝕，此時壩趾尚來不及滲出水，在強大的水流量下沖刷表面，加速了土石流之潰流。



小流量時，上層和中層的 BB 彈是隨壩體崩塌而散落在流動土石之上。下層的 BB 彈是隨流動土體而逐漸出現在流動土體表層。

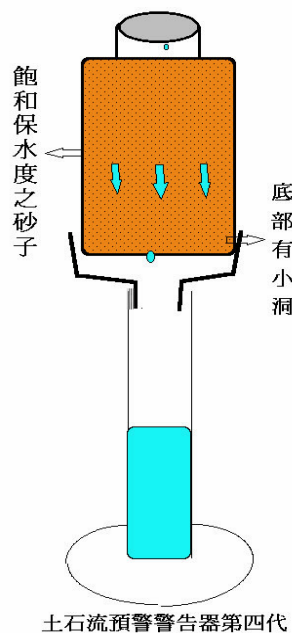


大流量時，土體崩落後之壩體，因水溢頂而將中心部位之壩體沖蝕掏空。壩體崩落後形成中央凹陷而兩側凸的情形。

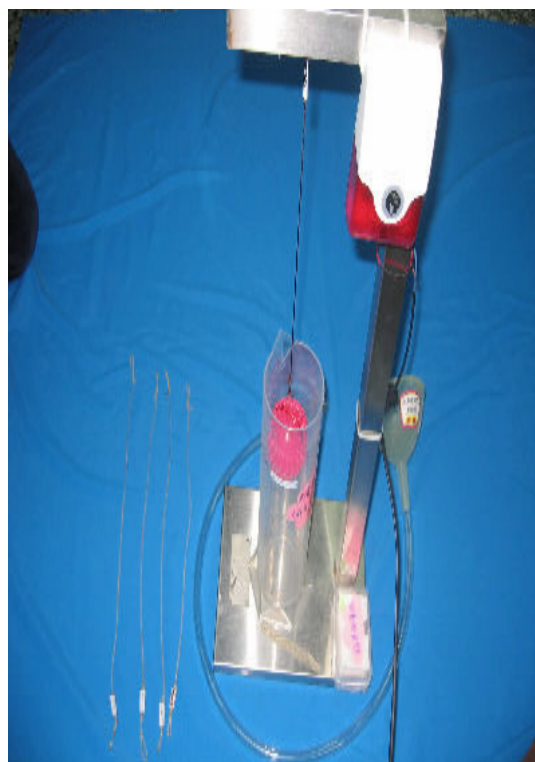
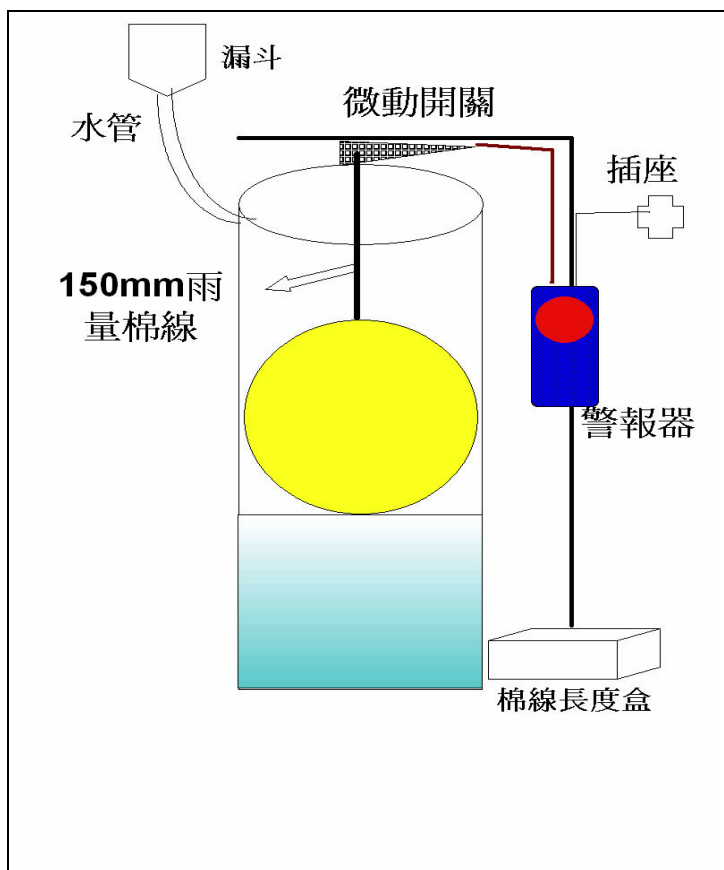
活動四、設計土石流預警器

台灣地區土石流發生之預警及預報方面，目前大多是以雨量情形為基準。我們蒐集的資料以及向農委會水利局用電話詢問土石流預警之發布情形，土石流預警系統是根據曾發生過土石流的地區計算出當地臨界雨量線，定出當地雨量警戒基準與避難基準，透過氣象局之雨量紀錄由電腦發出訊息通知當地居民，但是此套系統目前僅有少數十五個鄉鎮有設置，耗費又多，因此山區土石流危險區域自製警告器有其必要性。

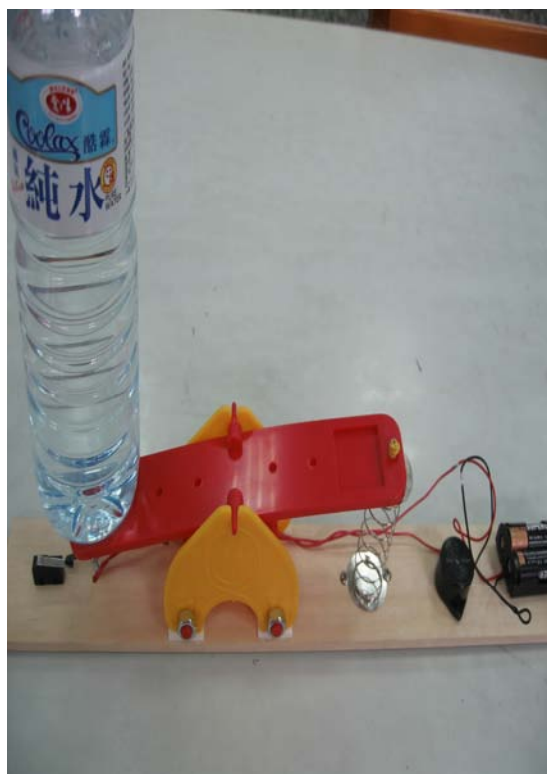
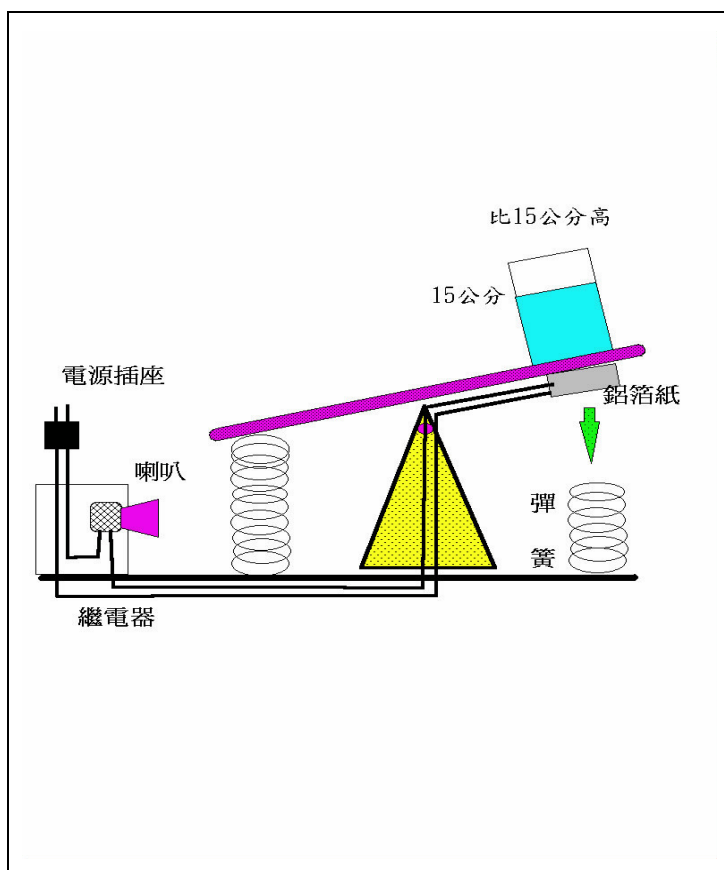
本研究採保守估計的方式，依據專家所提出的當地土石流臨界雨量條件作為依據，來設計土石流預警器，希望能在危險時刻前提出預警功能，最好能發出聲響，即使睡夢中也能逃過災難，而且要易於觀察，並能依據當地警界雨量線加以調整，才可適用於各地。設計模型如下圖所示。（操作與說明請見展覽會場實驗記錄本）



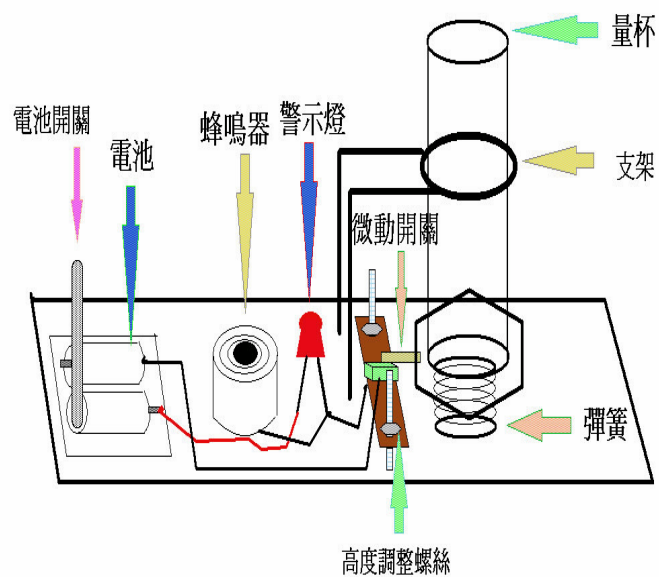
土體雨量飽和度的應用：內裝沙子，利用實際實驗畫出警戒線



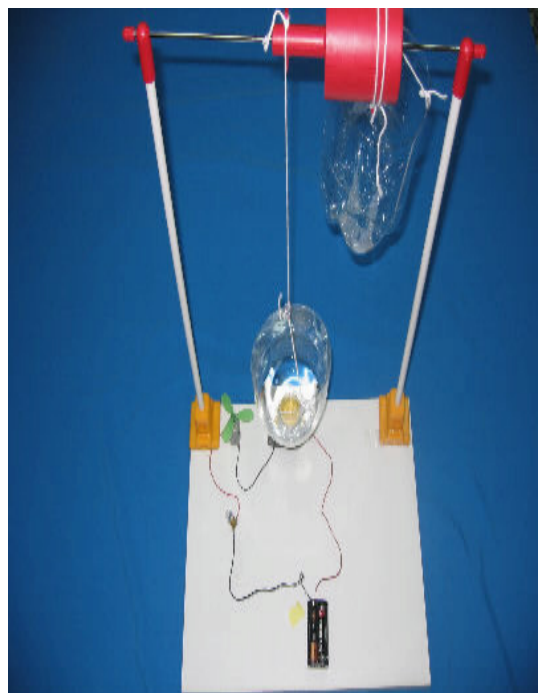
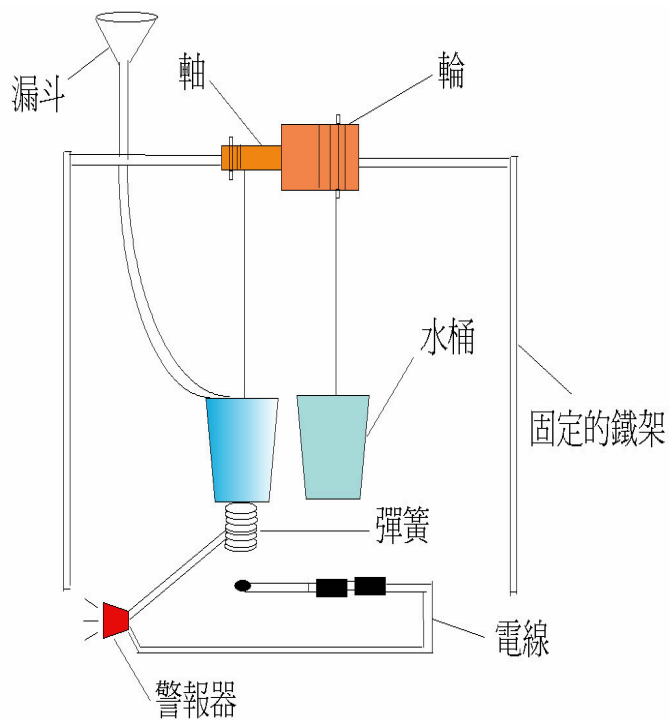
浮力原理的應用：桶內浮球隨水位上升，棉線會啟動微動開關的通路裝置與鈴聲。



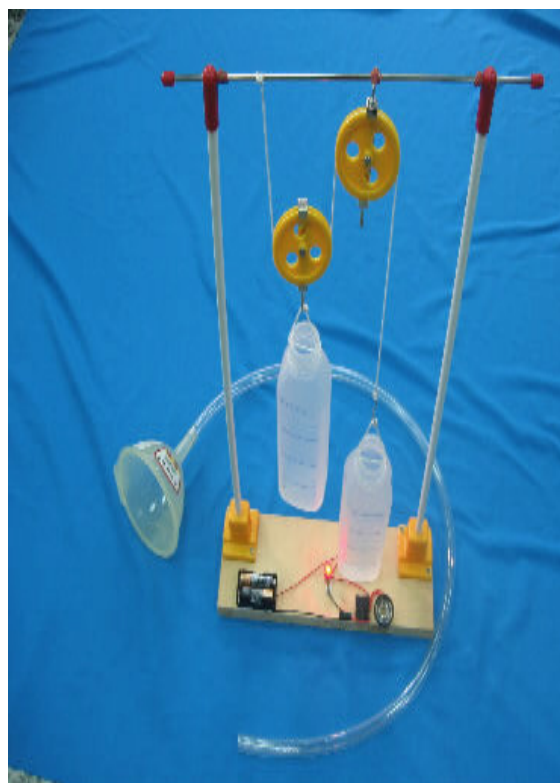
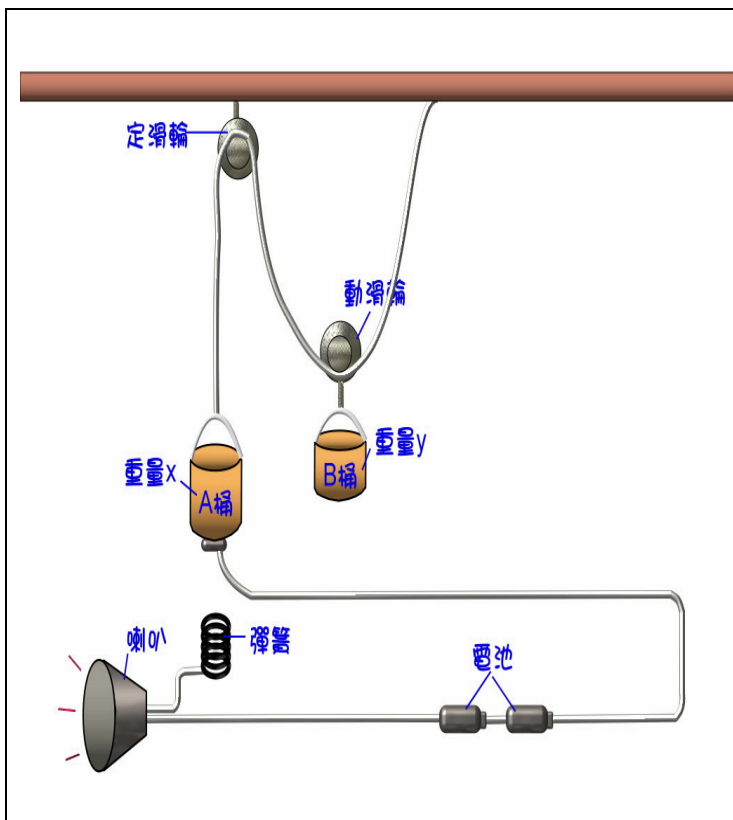
槓桿原理：雨量計放置屋頂，利用水管引雨水入室內翹翹板，利用鋁箔連接彈簧啟動喇叭或蜂鳴器裝置。



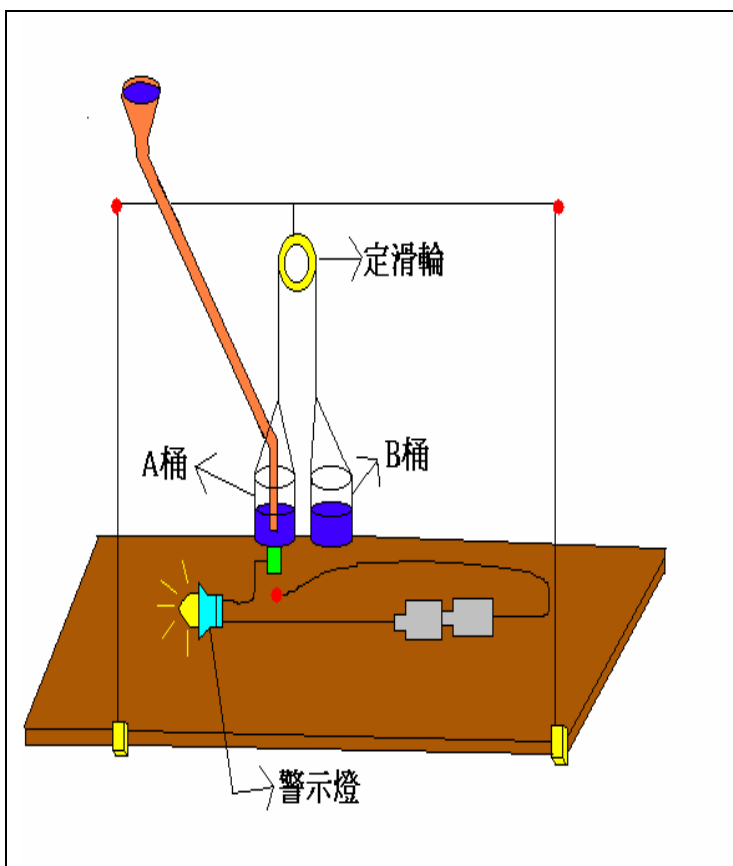
彈簧力的應用：可調高度的微動螺絲組可依當地臨界警戒調整高度。



輪軸的應用： A 桶懸掛在「軸」，B 桶懸掛在「輪」上。輪：軸之機械利益為 10



滑輪組之應用：機械利益為 2



定滑輪之應用：當 A 桶重 > B 桶重量時，則 A 桶向下掉落，而接通「通路」，警示燈會亮。

伍、討論

（一）流動土體的位移與時間之關係要如何設計呢？

1. B B彈陣鋪排於固定的三個位置，即離壩趾 10cm、25cm、40cm，各放一些。
2. B B彈分三層放置，第一層距底部 5cm 第二層距離底部 10cm 第三層放在表面。每層放置同顏色之 B B彈三排，三層共三種顏色。
- 3.移動距離與時間可由所拍攝的錄影畫面加以分析。

（二）壓實方式要如何控制呢？

採兩側先行壓密，使渠槽兩側土石緊密，可防止上游水侵蝕渠槽兩側，而形成兩側被侵蝕的小水溝，將壓實板〈60cm*20cm*2cm〉放置土堆上方，並利用健身用之啞鈴在 10cm 高處自由落下，壓 100 下。

（三）渠槽邊牆對土石壩崩塌之影響？

從實驗中觀察發現，壩體兩側邊牆最先被破壞。探究其原因可能是邊壁處的孔隙比較大，因在壓實過程中是採用自製壓實器，用健身啞鈴高舉於土體上方 10 公分處鬆手，利用啞鈴本身的重量壓密，壩體邊壁處可能較鬆之緣故，且邊壁之毛細效應比較大，因此滲流水會經由毛細作用先滲至壩體坡趾處，而破壞壩體產生崩流情形。流量愈小，邊牆效應越明顯，壩體上方的崩塌長度比側面大。土體粒愈小，邊牆效應較不明顯。

（四）台灣地勢陡峭，地質破碎，山坡地常被不當使用，下游居民該如何預防斜坡災害呢？

1. 建議政府規劃土石流危險區，落實分級制度，依嚴重程度立警告牌、立即撤離或緊急通知的準備。
2. 安全避難處所之調查與開設，緊急聯絡人及通報系統之建立。
3. 組成社區與居民自救隊。
4. 落實避難與疏散計畫之研擬，並且加強對外通訊及救援設備之準備。
5. 注意居住地點附近是否出現落石。
6. 注意建物外壁及附近地表是否有新裂縫，或是舊裂縫是否有逐漸擴大或加長的情形。
7. 注意居家附近的山坡地植被是否有傾斜的情況。
8. 在颱風過後，應在最短時間內設置檔土牆，或預備遷移的措施。
9. 土石流危險溪流的宣導。

可怕的斜坡災害如下：



陸、結論

- (一) 土石流動的驅動力與堆積物所在的坡度有很大的關係。坡度太小則搬運作用不旺盛，但如果坡度太陡，則土石顆粒不易與水混合成泥狀的流體型態，而是以崩落或沿著渠槽的邊壁滑動的方式運動。
- (二) 土石流流動方面：從實驗中觀察得知為間歇性之流動，與我們蒐集之資料相符合。經討論後認為其原因和未飽和區的土體崩塌之砂石呈現暫時性的堆積情形有關，當水流繼續與崩塌之土體充分混合，形成流體化土石流向下游面流動，而未飽和土體不斷的因失去支撐繼續崩落，如此反覆進行，因此呈現間歇性流動情形，而且會一邊流動，一邊捲起底床的砂石，其破壞力和撞擊力皆很大。
- (三) 模擬土石流的過程中，如果水分充足，地形坡度 15 度以上，以及有大量的土砂礫石之來源，比較容易造成土石斜坡災害。
- (四) 土體密實度將影響土體破壞型態，進而影響邊坡被破壞後，崩落土石的流動行為。土體結構愈緊密，水分愈不易排出，當土體內部累積太多水分時，土體是整塊迅速滑落，而結構鬆散之土體，破壞範圍是由下緣壩趾向上延伸崩落。
- (五) 土壩被水滲透的破壞情形有三種破壞形式，一種是低水位時的漸進破壞型，一種是中水位時的突發性滑動型，另一種是高水位時的溢過壩頂沖蝕破壞型，三種皆會造成壩體的潰敗，最後一旦潰堤，對下游居民將是一項可怕的土石災難。
- (六) 當壩趾崩塌時，會有逐次溯源而上的沖刷情形，隨時間之進行，滑動面朝上游發展，直到壩體崩潰。
- (七) 入流量方面：入流量增加時，壩體崩壞速率也隨著加快。壩體前端斜坡的坡趾部最先被破壞，而壩體後半段的崩壞速率較慢。流量愈大，上游面水位越高，壩體破壞時間也越短。
- (八) 坡度方面：坡度愈陡，上游水位尚未升高至壩頂時，因為水已滲流至下游面壩趾處，所以崩潰之土體很快被帶走，此時整體崩塌的速率前後段無明顯差異。而且坡度愈大，壩體穩定度越低，其被破壞的時間越短。
- (九) 在壩體內的滲流水位方面：隨著流量越大，上游面之水位逐漸升高，滲流水位也隨著越高，當壩底土體溼潤飽和後，底部砂土逐漸被沖蝕而掏空，壩體上部未飽和之土體會失去支撐而產生崩塌。
- (十) 粒徑大小方面：粒徑的粗細不同，崩塌速率也不同。討論探究其原因可能因土砂顆粒愈小其質量較輕，在低流速時，細砂土易被水流帶走，因此崩壞速率變化較平緩，反之，粒徑愈粗，崩塌速率有遽增情形。
- (十一) 坡度愈大或流量愈大時，其滲流速度就會愈快，壩趾被破壞時間也就會愈快。而且觀察發現，壩趾處發生破壞時間大致是在上游面水位平衡後才發生。

柒、參考資料

1. 大宮信光 (2004)，**圖解不可不知的天災地變**，世茂出版社，台北縣，第 120~135 頁。
2. 詹坤哲 (2004)，**滲流作用引發土石流**。國立中興大學水土保持學系碩士論文。第 25~38 頁。
3. 詹錢登(1998)，**土石流的發生與運動**，土木技術第一卷第一期，第 132-144 頁。
4. 洪如江 (1992)，**坡地災害防治(一)** 重點科技叢書第六輯，行政院國科會編印，第 32 頁。
5. 山崩與土石流專輯 <http://email.ncku.edu.tw/~em50190/ncku/196/b/b1.htm>
6. 行政院農業委員會水土保持局。<http://www.swcb.gov.tw/Newpage/swcb03/行政院農業委員會水土保持局>
7. 認識土石流。http://www.vgnet.com.tw/~david/new_page_4.htm
8. 行政院農業委員會水土保持局土石流防災應變系統 4.0。

評	語
---	---

081569 讓大地不再哭泣-我是大地小醫生~探討「斜坡滲流破壞」引發土石流與「土石流預警器」製作之研究

1. 學生參與度高，藉由操作、討論，了解土石流的發生。
2. 變因考慮周延，但報告的呈現宜一個實驗探討一個變因，較為清楚。
3. 利用簡單的物理原理設計土石流預警器，頗具創意。