

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

最佳(鄉土)教材獎

081568

土石流不流-探討土石流成因、對橋墩的破壞及預防機制

學校名稱：臺中縣豐原市翁子國民小學

作者： 小六 詹昆樺 小六 陳俊穎 小六 張哲維 小六 張世英	指導老師： 楊宗榮 范翠玲
---	-----------------------------

關鍵詞： 簡易土石流預警器、土石流、壩體

作品摘要：

利用自製河道、坡度控制板、沖擊力測量器、灑水器研究影響土石流的三大因素：1. 豐富鬆散的堆積物、2. 充足的水分（地表水及地下水）、3. 足夠的坡度（重力影響大）。發現土沙

層為底層、土石比例為 2：1 時，越容易產生土石流。土石比例為 1：2 時，土石流的沖擊力最大。橋墩與土石流的接觸面積、橋樑間隙、重心位置、河床淤積皆會影響土石流對橋樑的沖擊力。梳子壩裝在上游，攔砂壩裝在中游、發生區打樁編柵，能降低土石流的沖擊力。

壩體前出現淤積會導致土石流爬升，沖毀壩體。雨量是影響土石流的關鍵因素，依此因素來製作簡易土石流預警器，我們把它分成三個等級，黃燈警戒，紅燈警告，蜂鳴器響危險，趕快撤離。

壹、研究動機

去年跟老師到大甲溪的中游-橫流溪作溪流調查，9月多強颱風來臨，大雨沖刷河道，產生土石流將河道景觀改變，連帶造成生態的破壞，河道上方的攔砂壩也隨之崩塌，沒想到看似堅固的攔砂壩居然被沖毀，引發我們對土石流的好奇心。隨著10月、11月的強颱風接續侵台，新聞經常報導山上某段的橋被沖毀、民眾被困在山裡，所以我們除了想知道影響土石流的機制外，還想找出沖毀橋的機制，希望這樣的事不要再發生。

貳、研究目的

- 一、探討地質的因素對土石流的影響。
- 二、探討地形的因素對土石流的影響。
- 三、探討氣候的因素對土石流的影響。

- 四、找出土石流沖毀橋樑的影響因素。
- 五、探討攔砂壩、梳子壩、打樁編柵降低土石流沖擊力的影響。
- 六、根據影響土石流的主要因素設計土石流預警器。

參、研究問題

- 一、地質的因素對土石流的影響
 - (1) 不同砂石比例的土石會影響土石流的產生及沖擊力嗎？
 - (2) 為什麼土石流時，大石頭會出現在上方呢？
 - (3) 哪一種土層分佈會比較容易產生土石流？
- 二、地形的因素對土石流的影響
 - (1) 河道坡度會影響土石流動的產生及沖擊力嗎？
- 三、氣候的因素對土石流的影響
 - (1) 降雨時間會影響土石流的產生及沖擊力大小嗎？
 - (2) 降雨雨量多寡會影響土石流的產生及沖擊力大小嗎？
 - (3) 地下水滿溢和形成土石流有關嗎？
- 四、土石流如何破壞橋樑？
 - (1) 橋墩形狀是否影響土石流堆積及沖擊力？
 - (2) 橋墩高低是否影響土石流堆積及沖擊力？
 - (3) 橋墩數量是否影響土石流堆積及沖擊力？
 - (4) 河床淤積是否加強土石流沖擊力？
- 五、土石流預防措施效果如何？
 - (1) 攔砂壩及梳子壩是否能降低土石流沖擊力？
 - (2) 淤積會造成攔砂壩及梳子壩崩毀嗎？
 - (3) 打樁編柵是否能降低土石流沖擊力？
- 六、製作土石流預警器
 - (1) 簡易土石流預警器。

肆、研究器材與設備：

用途	材料
河道	大型厚木板數片、捲尺 1 個、鐵鎚 1 把、鐵釘 1 包
沖擊力測量器	大型厚木板數片、薄木板數片、彈簧 1 包、熱熔膠、長尺 1 把
坡度控制板	大型厚木板數片、鐵釘 1 包、量角器 1 個
模擬降雨器	灑水器 5 個
土層實驗	油黏土數包、土沙、石頭
探討大石頭浮起實驗	大寶特瓶 1 個、黃豆 1 包、乒乓球 1 個
地下水滿溢實驗	5 公升保特瓶 1 個、保麗龍板、土及石頭、灑水器 1 個
簡易雨量筒	方形量筒 1 個
橋樑實驗	木板數片、釘子 1 包、保特瓶 3 個、鋁箔包數個、塑膠板 1 片、彈簧數個

製作沉積岩	石頭、土沙、石膏粉 1 包
壩體實驗	厚木板、鐵釘 1 包、紙黏土數包、木條數根、筷子數包、膠帶 1 捲
簡易土石流警報器	5 公升保特瓶、30 公分長尺、鋁箔、電池盒、電池、LED 燈、木板、蜂鳴器、各地雨量危險警示表、電線 1 捆
測量工具	體重計、長尺
數位設備	數位照相機一台、電腦一台、印表機一台

伍、研究過程及方法

分別利用木板、鐵釘、彈簧製作河道(圖 1)、坡度控制板、沖擊力測量器(圖 2)。

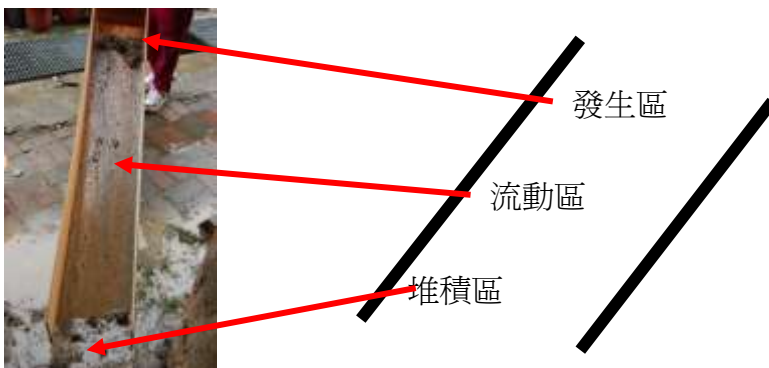


圖 1. 河道及坡度控制板



圖 2. 沖擊力測量器

一、地質的因素對土石流的影響

實驗 1-1 不同砂石比例的土石會影響土石流的產生及沖擊力嗎？

1. 分別利用磅秤量取 A(土 1.5 公斤)、B(砂礫 1.5 公斤)、C(大石頭 1.5 公斤)、D(土 0.75 公斤+石 0.75 公斤)、E(土 0.5 公斤+石 1 公斤)、F(土 1 公斤+石 0.5 公斤)。
2. 將不同比例的土石放在河道上方，並將河道調整至坡度 20 度。
3. 以灑水器灑水 1 公升，觀察並記錄土石流動情形，紀錄檔板後退幾公分。

實驗 1-2 為什麼土石流時，大石頭會出現在上方呢？

1. 以乒乓球當作大石頭，黃豆當作土沙。
2. 左右搖晃保特瓶，模擬土石流流動，觀察乒乓球是否移動。
3. 利用太白粉加水及顏料，再放入黃豆模擬石頭，混合後放入盆子中，將盆子傾斜。
4. 再分別以太白粉、芝麻、黃豆模擬土、沙、石頭的顆粒，觀察模擬土石流的流動。

實驗 1-3 哪一種土層分佈會比較容易產生土石流？

1. 選擇沙、黏土、石頭三種地層，以下、中、上層輪流排列，A(沙、黏土、石頭)、B(黏土、石頭、沙)、C(石頭、沙、黏土)、D(砂、石頭、黏土)、E(黏土、砂、石頭)、F(石

頭、黏土、沙)。以灑水器灑水 30 秒。觀察並紀錄流動情形。

二、地形的因素對土石流的影響

實驗 2-1 河道坡度會影響土石流的產生及衝擊力嗎？

1. 分別將同重量的土 2 公斤+石 2 公斤放在河道上。
2. 改變河道坡度 5 度、10 度、15 度、20 度、25 度、30 度、35 度。
3. 以灑水器灑水 30 秒。觀察並紀錄土石流動的情形。紀錄檔板後退幾公分。(圖 3)



1. 利用體重計測量土石重量。 2. 利用量角器測量坡度。 3. 利用灑水器模擬降雨。

圖 3. 不同坡度實驗過程圖

三、氣候的因素對土石流的影響

實驗 3-1 降雨時間會影響土石流的產生及衝擊力大小嗎？

1. 將土 1 公斤+石 1 公斤混合後放在坡度 30 度的河道上。
2. 分別以灑水器在 60 公分處灑水 30 秒、60 秒、90 秒、120 秒。
3. 觀察並紀錄土石流沖蝕堆積情形並紀錄檔板後退距離。



圖 4. 降雨時間實驗圖

實驗 3-2 降雨雨量多寡會影響土石流的產生及衝擊力大小嗎？

1. 以量筒和長尺製作簡易雨量筒並測量 1 支、2 支灑水器灑水 30 秒的雨量。
2. 將土石各 1 公斤，混合後放在坡度 30 度的河道上。
3. 分別以 1~5 支灑水器灑水 30 秒。觀察並紀錄。(圖 5)



1. 利用雨量筒測量雨量。 2. 將土石固定在發生區。 3. 三支灑水器降雨。 4. 四支灑水器。 5. 五支灑水器。

圖 5. 不同雨量實驗過程圖

實驗 3-3 地下水滿溢和形成土石流有關嗎？

1. 剪開 5 公升的寶特瓶，底部打洞，下方填滿砂石，中間放穿洞的保麗龍板。
2. 保麗龍板上方鋪上砂石 0.3 公斤，再利用 1 支灑水器灑水兩次，模擬降雨 2 分鐘。
3. 觀察土石是否被沖到寶特瓶外部，造成土石流。(圖 6)



1. 保麗龍上方鋪上土石 2. 利用灑水器模擬降雨 3. 保麗龍上方土石被抬昇 4. 土石已經溢出保特瓶 5. 繼續抬昇，土石溢出

圖 6. 地下水滿溢實驗過程圖

四、 土石流如何破壞橋樑？

實驗 4-1 橋墩形狀是否影響土石流堆積及衝擊力？

1. 利用木板、螺絲釘製作簡易橋樑 (圖 7)。並製作不同形狀的橋墩，圓柱 (保特瓶)、三角柱 (塑膠板)、長方體 (鋁箔包) 三根，以熱熔膠固定在橋面下。(橋墩高 9 公分)
2. 橋樑兩側裝上彈簧，固定在河道上，製作衝擊力測量器。(圖 8)
3. 在坡度 30 度 (坡度控制板 55 公分) 的河道上放上混合土石 (各 2 公斤)，以擋土板擋住。距離土堆 25 公分 (坡度控制板 80 公分)，利用 2 支灑水器模擬降雨 30 秒。觀察土石流動堆積情形及橋樑後退距離。(圖 9)

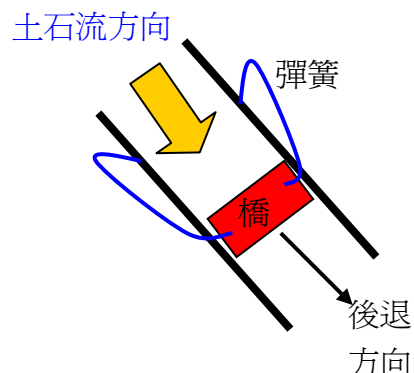
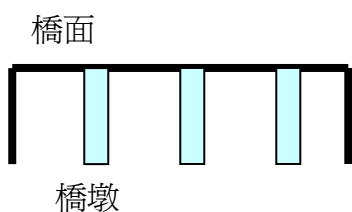


圖 7. 簡易橋樑

圖 8. 衝擊力測量器



圓柱橋墩 三角柱橋墩 長方體橋墩 擋土板 兩支灑水器 測量距離

圖 9. 不同橋墩形狀實驗圖

實驗 4-2 橋墩高低是否影響土石流堆積及衝擊力？

分別以鋁箔包製作長 3、5、7、9 公分的橋墩（長方體）3 根，並固定在橋面下。進行實驗。

實驗 4-3 橋墩數量是否影響土石流堆積及衝擊力？

分別以鋁箔包製作 1~5 根橋墩（長方體）固定在橋面下。進行實驗。

實驗 4-4 河床淤積是否加強土石流衝擊力？

1. 以 1 公斤石膏粉+土 0.5 公斤+石 0.5 公斤模擬砂石在橋墩淤積的情形。
2. 將橋（三根橋墩）固定在衝擊力測量器上，橋下分別鋪上 0~4 公斤的土石。進行實驗。

五、 土石流預防措施效果如何？

實驗 5-1 攔砂壩及梳子壩是否能降低土石流衝擊力？

1. 利用木板製作攔砂壩及梳子壩（圖 10），並用釘子固定在河道中，後方放上衝擊力測量器（圖 11）。在坡度 30 度的河道上放上混合土石（各 4 公斤）。
2. 利用 2 支灑水器模擬降雨 30 秒。觀察土石流動堆積情形及隔板後退距離。

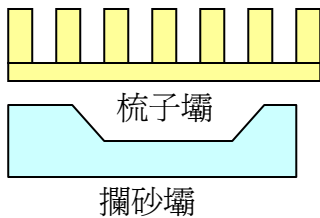


圖 10. 壩體設計圖



製作木板梳子壩 攔砂壩及測量器（右）固定壩體
圖 11. 各種壩體實驗過程

實驗 5-2 淤積會造成攔砂壩及梳子壩崩毀嗎？

1. 以 1 公斤石膏粉+土 0.5 公斤+石 0.5 公斤模擬砂石在攔砂壩及梳子壩淤積情形。

2. 利用筷子及黏土製作攔砂壩及梳子壩，並固定在河道中（圖 12）。
3. 分別在黏土製攔砂壩、梳子壩前放置淤積土石（各 1 公斤）



圖 12. 黏土壩體淤積實驗

實驗 5-3 打樁編柵是否能降低土石流沖擊力？

利用筷子及膠帶製作柵欄。並在混合土石上插上柵欄（圖 14）。



圖 13. 打樁編柵土石流實驗過程

六、製作土石流預警器。

1. 利用 5 公升保特瓶、30 公分長尺、鋁箔、電池盒、電池、LED 燈、木板、蜂鳴器、各地雨量危險警示表、電線，製作簡易土石流預警器，分成警戒(60 mm)、警告(120 mm)、危險(120mm)三種。(圖 14)
2. 利用 2 支灑水器模擬降雨 30 秒。觀察預警器作用情形。

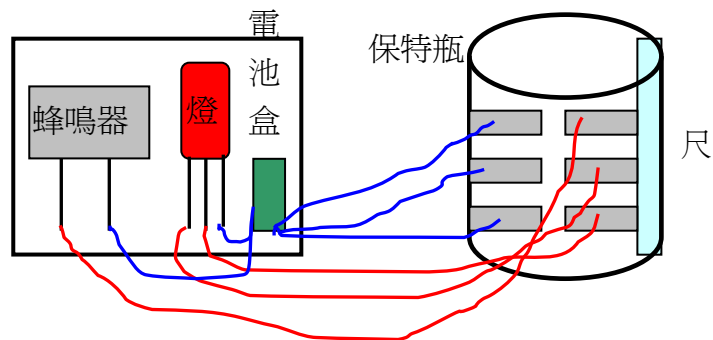




圖 14. 土石流預警器設計圖

陸、研究結果

實驗 1-1 不同砂石比例的土石會影響土石流的產生及沖擊力嗎？

表 1. 不同比例砂石產生土石流觀察記錄。

土石比例	實驗前	流動情形	堆積情形	說明
A(土 1.5 公斤)				土的顆粒小，易產生泥流，河道上留下波浪狀沉積。
B(砂礫 1.5 公斤)				沙易脫水，發生區留下沖刷的峽谷，堆積區形成扇狀堆積。
C(大石頭 1.5 公斤)				石頭不容易受水流影響，沖刷後，仍留在發生區。
D(土 0.75 公斤 + 石 0.75 公斤) 土：石 1:1				有些石頭在滾動的途中脫水留在流動區，有些在堆積區的土上方。
E(土 0.5 公斤 + 石 1 公斤) 土：石 = 1:2				泥流量比較少，所以石頭移動的距離比較短。

F(土 1 公斤 + 石 0.5 公斤) 土：石 = 2：1					易產生土石流，瞬間就將石頭帶到堆積區，石頭移動的距離比較遠。
-----------------------------------	---	---	---	--	--------------------------------

1. 粒徑大小 = 石頭 > 沙 > 土，粒徑越大，保水性越差，越容易脫水，所以單只有石頭，很難產生土石流。
2. 土加水產生泥流，滲到石頭下方，使摩擦力降低，就會產生土石流；下方土被沖刷掉，也會使石頭重心不穩，產生滾動，土：石 = 2：1 時，產生土石流的速度最快；土：石 = 1：2 時，石頭滾動距離短，容易沉積在流動區。

表 2. 不同砂石比例的土石流衝擊力記錄

土石比例	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
A(土 1.5 公斤)	17	13	11	9	14	12.8
B(砂礫 1.5 公斤)	13	11	14	14	14	13.2
C(大石頭 1.5 公斤)	2	1	1	1	1	1.2
D(土 0.75 公斤 + 石 0.75 公斤)	17	19	20	21	17	18.8
E(土 0.5 公斤 + 石 1 公斤)	29	27	27	28	26	27.4
F(土 1 公斤 + 石 0.5 公斤)	22	21	23	24	24	22.8

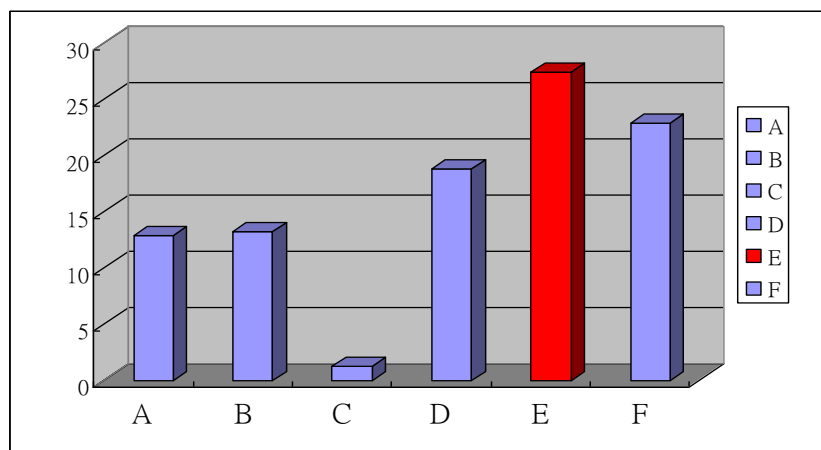


圖 15：不同砂石比例的土石流衝擊力直條圖

3. 流動及堆積時，石頭都在上層。
4. 當土：石 = 1：2 時，所產生的土石流衝擊力最大（圖 15）。

實驗 1-2 為什麼土石流時，大石頭會出現在上方呢？




圖 16. 土石流模擬圖

- 搖動時，黃豆向下移動，將比較輕的乒乓球抬到表層，所以土石流動時，土及砂往下層移動，大石頭就被抬昇到表層。利用太白粉模擬土石流，會呈現波浪狀流動，前面流太慢時，後面的波浪會蓋過去，讓土石流出現不斷重疊的現象。
- 黃豆浮起在波浪前端滾動、芝麻第二層、太白粉最底層。(圖 16)

實驗 1-3 哪一種土層分佈會比較容易產生土石流？

表 3. 土層分佈觀察記錄表

土層順序	實驗前	流動情形	土石流過後	說明
A(沙、黏土、石頭)				沙層先被水沖走，造成黏土凹陷，石頭重心不穩往下滾動。
B(黏土、石頭、沙)				沙層被水沖走，石頭層和黏土層相互的摩擦力較大，不易被水沖走。
C(石頭、沙、黏土)				石頭沒有受沙流影響而崩落，黏土卻受沙流的影響而產生少許移動。

D(砂、石頭、黏土)		沙流降低摩擦力，而石頭被黏土包住，會產生整體滑動。
E(黏土、砂、石頭)		黏土在最下層，不會移動，但中間沙流會帶走石頭。
F(石頭、黏土、沙)		最上方沙層全部流光，黏土及石頭均不受影響，留在發生區。

1. 黏土層具有較強的摩擦力，在石頭層旁時，能抓住石頭，使其不被沙流帶走。
2. 沙層在最上方時，只會產生泥流，不容易產生土石流，如果沙層在下方，上層土層容易滑動。
3. B(黏土、石頭、沙)沙子會滲進石頭縫中，被摩擦力強的黏土層留住，所以發生區能留下最多石頭和沙。

實驗 2-1 河道坡度會影響土石流的產生及衝擊力嗎？



圖 17. 不同坡度土石流產生實驗

表 4：不同坡度水流種類表

河道坡度	5 度	10 度	15 度	20 度	25 度	30 度	35 度
水流種類	小型泥流	中型泥流	大型泥流	土石流	中度土石流	強土石流	強土石流

從圖 17 及表 4 可知，坡度小於 20 度時，只會產生泥流，坡度大於 20 度時，會產生土石流，隨著坡度越大，發生區的土石被沖到堆積區的比例就越高。

表 5：不同坡度沖擊力記錄表

河道坡度	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
5 度	16	12	14	13	12	13.4
10 度	18	16	17	17	17	17
15 度	20	20	21	20	22	20.6
20 度	24	22	24	24	21	23
25 度	26	28	26	29	27	27.2
30 度	30	31	29	30	30	30
35 度	32	34	34	32	34	33.2

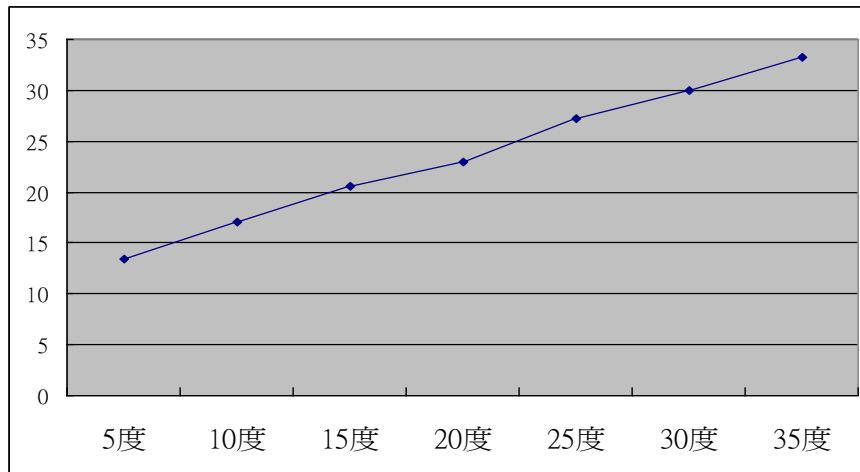


圖 18：不同坡度沖擊力折線圖

從圖 18 可知，隨著坡度增加，土石流受重力影響越大，沖擊力也越大。

實驗 3-1 降雨時間會影響土石流的產生及沖擊力大小嗎？

表 6：不同降雨時間沖擊力記錄表

降雨時間	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
30 秒	14	15	14	15.5	13.5	14.4
60 秒	18	16	15	15.5	14	15.7
90 秒	14	15	16	15	17	15.4
120 秒	17	16.5	15	15	15	15.7

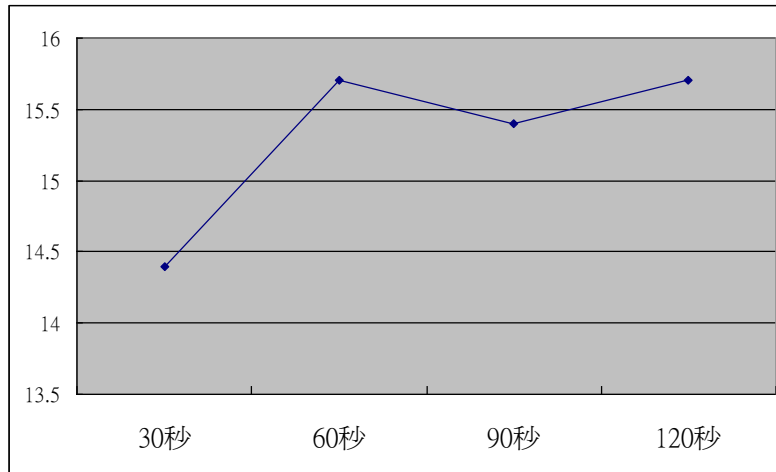


圖 19：不同降雨時間沖擊力折線圖

從圖 19 可看出，澆水 60 秒及 120 秒的土石流有較高的沖擊力，但是以表 1 的平均來看，60 秒以後的沖擊力差異不大。

實驗 3-2 降雨雨量多寡會影響土石流的產生及沖擊力大小嗎？

表 7. 雨量多寡影響土石流沖擊力記錄

灑水器個數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
1 個	14	12.5	11	13	16	13.3
2 個	22	25	23.5	20	23	22.7
3 個	34.5	33	30	30	29.5	31.4
4 個	35	36	34.5	31	34	34.1
5 個	38.5	40	41	36	38	38.7

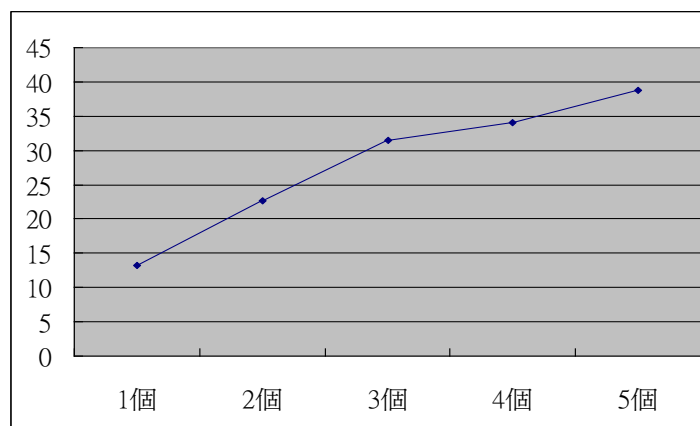


圖 20：雨量多寡影響土石流沖擊力折線圖

1 支灑水器灑水 30 秒的雨量約為 90mm，兩支約為 220mm。從圖 20 可知，降雨量越多，土石流的沖擊力越大。

實驗 3-3 地下水滿溢和形成土石流有關嗎？

表 8. 地下水滿溢記錄表

次數	1	2	3	4	5	溢出次數
土石溢出	●	●	×	●	●	4

降雨量過大，地下水無法順利排出，會造成地層升高，使泥流流出造成土石流。

實驗 4-1 橋墩形狀是否影響土石流堆積及衝擊力？



圖 21：不同橋墩形狀土石堆積情形

根據圖 10，我們將堆積情形統整後，如下表。

表 9. 不同橋墩形狀堆積比較表

分類項目	圓柱	三角柱	長方體
相同	先發生泥流，被橋墩分隔後，再匯集；接著發生土石流，衝擊橋墩，使橋後退。等橋停止移動時，堆積的土和小石頭會隨著水流，從橋墩間隙流到下游。		
橋下堆積	<p>堆積</p> <p>橋前端堆積</p>	<p>堆積</p> <p>橋內側堆積</p>	<p>堆積</p> <p>橋前端堆積</p>
沙土流失速度	中等	最快	最慢

表 10：不同橋墩形狀影響土石流衝擊力記錄表（單位：公分）

橋墩形狀	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
圓柱	14	13.5	15.5	15	12.5	14.1
三角柱	12.5	11.5	13	12	11	12
長方體	15	16	15.5	14.5	16	15.4

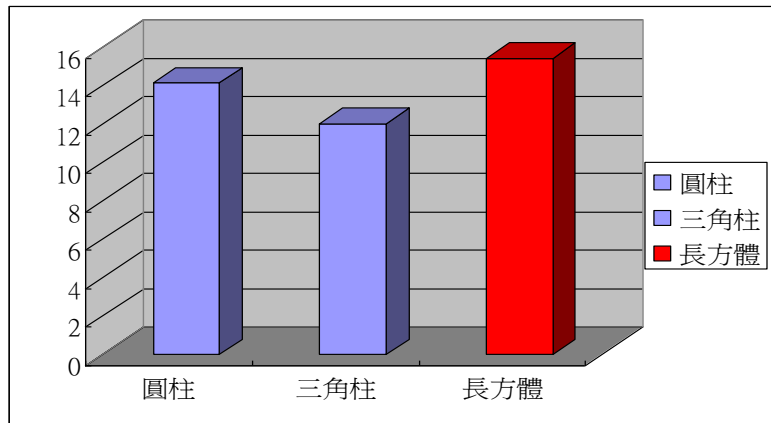


圖 22：不同橋墩形狀影響土石流沖擊力直條圖

從圖 22 可知，長方體橋墩受土石流的沖擊力最大，三角柱橋墩能使水流快速通過，所以土石流對其沖擊力最小。

實驗 4-2 橋墩高低是否影響土石流堆積及沖擊力？



3公分橋墩。上層泥流會淹過橋面，土石將橋墩間隙完全塞住，前方淤積大量土石。
 5公分橋墩。部分沙土會隨著水流從橋墩間隙往下游流動。小石頭仍留在橋墩前端。
 7公分橋墩。沙土及部分小石頭隨著水流往下游流動，淤積物都是大、小石頭。
 9公分橋墩。沙和小石頭會隨著水流往下游流動，淤積物大都是比間隙大的大石頭。

圖 23. 不同橋墩高度土石流堆積情形

從圖 22 的紀錄，我們將堆積情形統整後，如下表。

表 11. 不同橋墩高度淤積物比較表

分類項目	3 公分	5 公分	7 公分	9 公分
淤積物高度	與橋墩齊高	四分之三橋墩	二分之一橋墩	三分之一橋墩
佔橋墩比例	100%	75%	50%	33%
淤積物主要成分	沙土、小石頭、大石頭	小石頭、大石頭	部分小石頭、大石頭	大石頭

表 12：不同橋墩高低影響土石流沖擊力記錄表（單位：公分）

橋墩高低	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
3 公分	26	24.5	24	26.5	25	25.2
5 公分	20.5	21	22	21.5	19	20.8
7 公分	18.5	17	18	18	17.5	17.8

9 公分	15	14	15.5	15	16	15.1
------	----	----	------	----	----	------

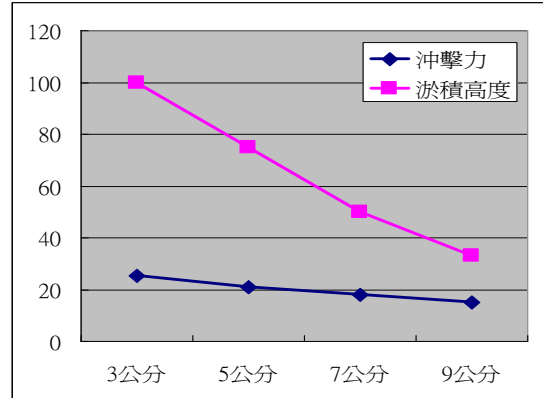
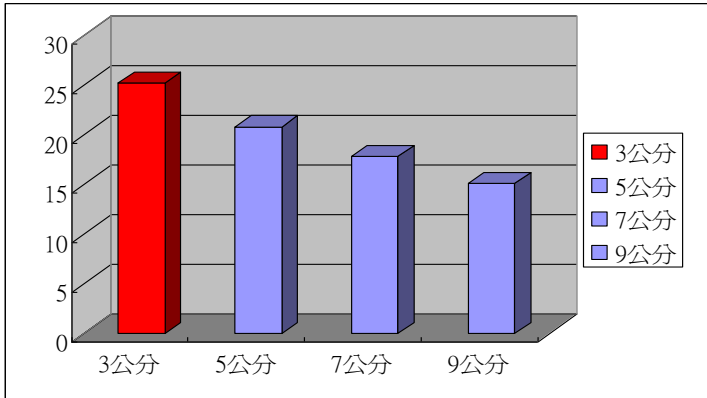


圖 24：不同橋墩高低影響土石流沖擊力直條圖

圖 25：衝擊力與淤積高度關係圖

從圖 24、25 可看出，3 公分橋墩受土石流沖擊力最大，橋墩越短、淤積高度越高，受土石流沖擊力越大。

實驗 4-3 橋墩數量是否影響土石流堆積及沖擊力？



圖 26：不同橋墩數量堆積情形

根據圖 26 的紀錄，將堆積情形整理成下表。

表 13. 不同橋墩數量堆積比較表

分類項目	1 個橋墩	2 個橋墩	3 個橋墩	4 個橋墩	5 個橋墩
擋土面積大小	小	漸小	中	漸大	最大
橋墩間隙大小	12cm	8cm	5cm	3cm	1cm
淤積物面積大小	無	小	中	漸大	最大
淤積物主要成分	無	大石頭	大石頭、小石頭、小部分沙土	大石頭、小石頭、沙土	大石頭、小石頭、沙土

擋土面積越大，淤積物越多。

表 14：不同橋墩數量影響土石流沖擊力記錄表（單位：公分）

橋墩個數	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
1 個	11	10.5	12	12.5	11	11.4
2 個	12	12.5	11.5	13	13	12.4
3 個	15.5	16	16.5	15	17	16

4 個	35	33.5	34	34	32.5	33.8
5 個	41	40	42	39	40.5	40.5

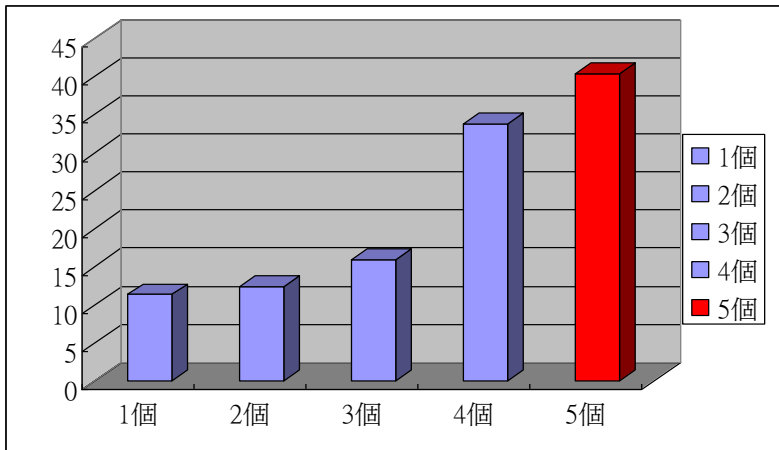


圖 27：不同橋墩數量影響土石流沖擊力直條圖

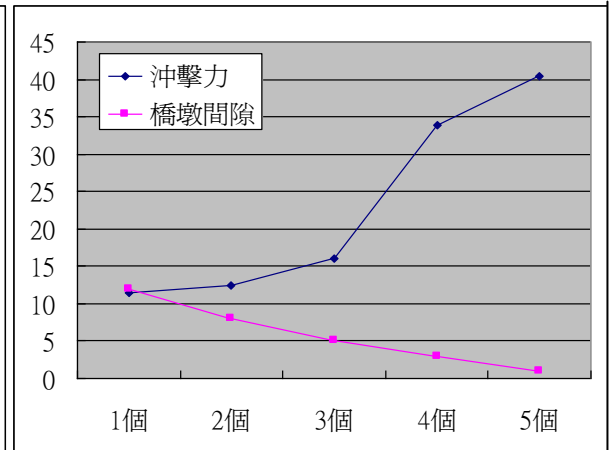


圖 28：沖擊力與橋墩間隙關係折線圖

從圖 27、28 可看出，橋墩數量越多、橋墩間隙越小，受到土石流的沖擊力越大。

實驗 4-4 河床淤積是否加強土石流沖擊力？



圖 29. 模擬河床淤積與土石流沖擊情形

表 15：不同河床淤積重量影響土石流沖擊力記錄表（單位：公分）

淤積重量	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
0 公斤	14	14.5	16	15.5	15	15
1 公斤	7.5	7	8	8	7.5	7.6
2 公斤	10	11	10	9	9.5	9.9
3 公斤	12	12.5	11	12.5	13	12.2
4 公斤	13.5	14	14.5	13.5	14	13.9

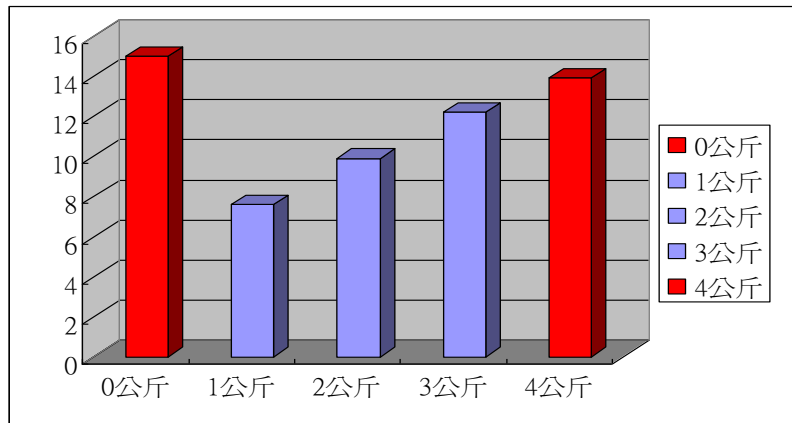


圖 30：不同河床淤積重量影響土石流衝擊力直條圖（單位：公分）

1. 模擬砂石沉積在橋墩下約 40 分鐘，就變成沉積岩，像蓋房子用的混凝土（圖 29）。
2. 土石流會被淤積土石擋住衝擊力，但是隨著流量變大，會越過淤積土石，沖擊橋墩。
3. 從圖 30 可知，橋墩下沒有淤積時，受到的沖擊力最大，隨著淤積的重量增加，對橋樑的沖擊力也會增大。

實驗 5-1 攔砂壩及梳子壩是否能降低土石流衝擊力？



攔砂壩將土石流擋住，造成土石堆積在壩體前，後層土石流疊加上，比較輕的泥流，從上層的缺口溢出，等水流流完，留下含水量較高的沉積物。

圖 31. 攔砂壩阻擋土石流實驗



梳子壩將大石頭攔住，讓泥流從隙縫通過，因為隙縫大，水易流失，造成脫水，留下含水量比較少的堆積物。

圖 32. 梳子壩阻擋土石流實驗



梳子壩在上游攔住大石頭，攔砂壩在中游攔沙。土石流經梳子壩後，變成泥流，流經攔砂壩時，沙土會沉積在壩體前，水則從上方缺口通過。

圖 33. 攔砂壩及梳子壩同時阻擋土石流實驗

將圖 31、32、33 的記錄歸納如下表。

表 16. 不同壩體阻擋土石流的比較表

分類項目	只有攔砂壩	只有梳子壩	兩者皆有
流動情形	土石疊加淹過壩體	泥流流經隙縫	泥流流過梳子壩，水流流過攔砂壩
堆積成分	土沙、大石頭、小石頭	大石頭、小部分砂石	梳子壩：大石頭、攔砂壩：土沙

表 17：不同壩體影響土石流衝擊力記錄表（單位：公分）

壩體	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
兩者皆無	30.5	29	31	29	30	29.9
只有攔砂壩	17	16.5	18	17	17	17.1
只有梳子壩	28	27	27	26.5	28	27.3
兩者皆有	11	10	11.5	12	11	11.1

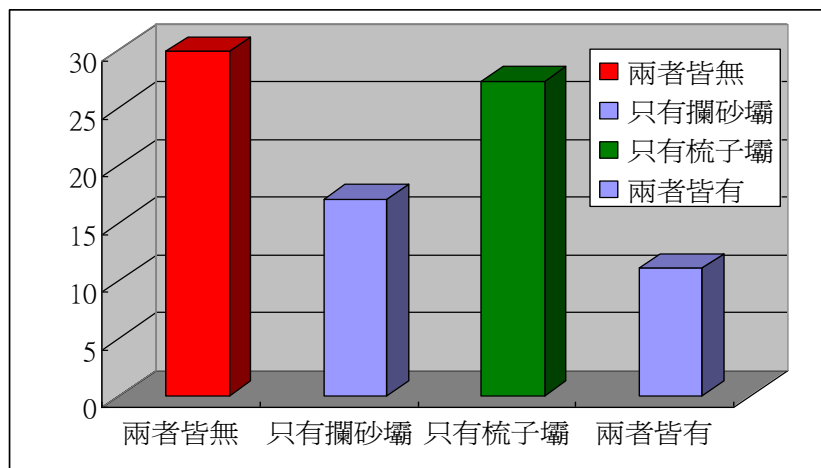


圖 34：不同壩體影響土石流衝擊力直條圖

從圖 34 可知，無壩體時，土石流衝擊力最強。梳子壩，只能防止大石頭，無法防止小石頭及土沙流，所以衝擊力第二。攔砂壩，能攔住石頭和沙，所以衝擊力第三；同時裝梳子壩、攔砂壩，能隔絕石頭和沙土，所以衝擊力最小。

實驗 5-2 淤積會造成攔砂壩及梳子壩崩毀嗎？



圖 35. 前方淤積對黏土梳子壩的影響



圖 36. 前方淤積對黏土攔砂壩的影響

梳子壩前方如有淤積，後方土石流會爬升，沖擊梳子壩上方較脆弱的部分，造成壩體彎曲、傾斜（圖 35）。攔砂壩前有淤積，後方土石流會爬過淤積，沖擊上層壩體，使壩體傾斜變形，失去防護功能（圖 36）。

實驗 5-3 打樁編柵是否能降低土石流沖擊力？



柵欄擋住大石頭和土沙 大量土石留在發生區 水及泥流到下游
 圖 37. 打樁編柵阻擋土石流情形

在土石流發生區裝設柵欄，可防止土石滾動，只讓水通過，不會帶走太多土沙。

表 18：有無柵欄影響土石流沖擊力記錄表（單位：公分）

柵欄	第一次	第二次	第三次	第四次	第五次	平均
有柵欄	11	12	12.5	12	10	11.5
無柵欄	30	29	28.5	28	30	29.1

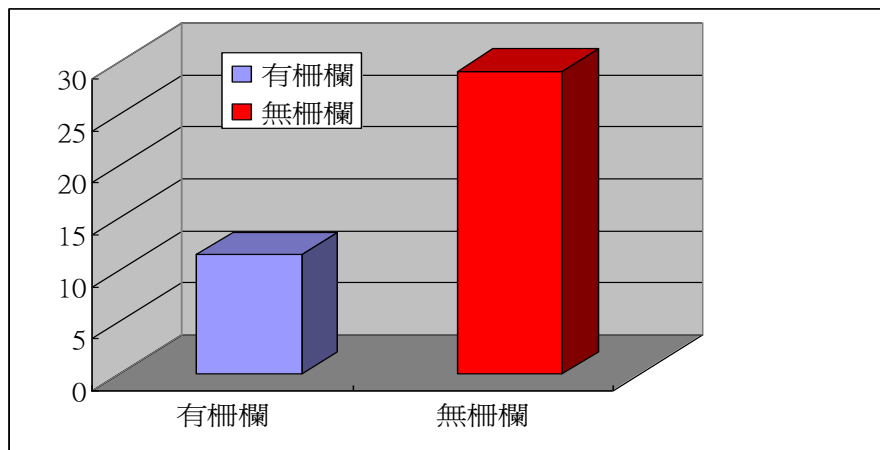


圖 38：有無柵欄影響土石流沖擊力直條圖（單位：公分）

從圖 38 可知，在發生區裝設柵欄可使土石流的沖擊力變低。

實驗 6-1 製作土石流預警器。

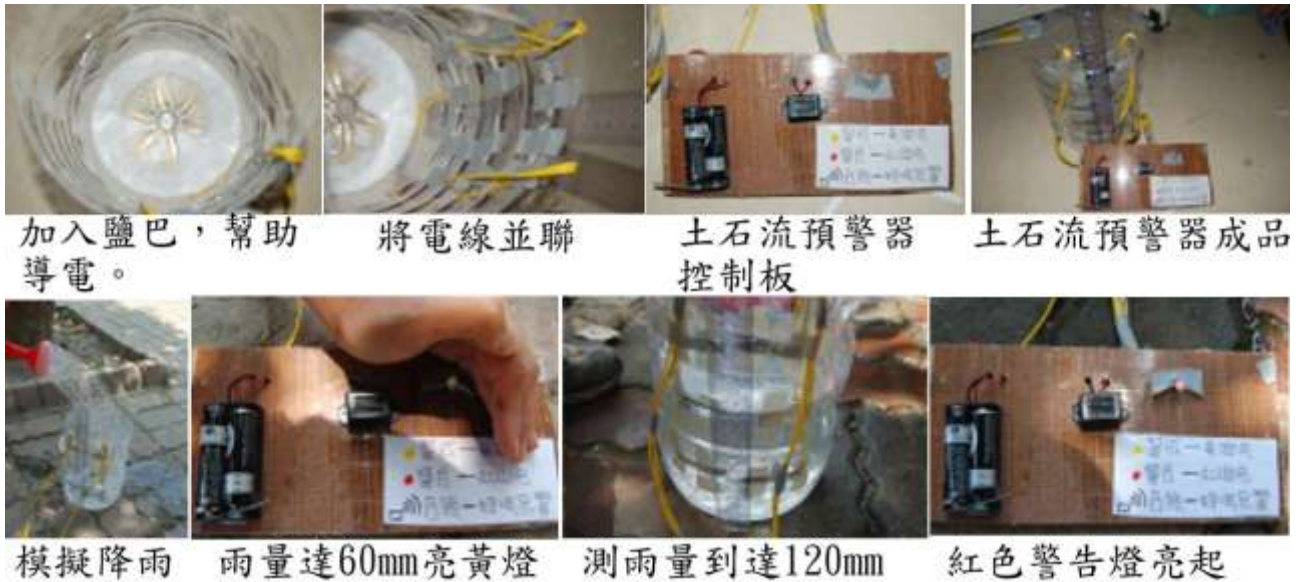


圖 39. 土石流預警器操作過程

加鹽後的簡易土石流預警器，經模擬降雨測試後，能在雨量 60mm 時發出黃光警戒，雨量 120mm 時發出紅光警告，雨量 180mm 時蜂鳴器發出危險聲響。

柒、研究與討論

一、地質的因素對土石流的影響

- (一) 從資料中發現，影響土石流的三大因素分別為地質因素（豐富的堆積物）、氣候因素（充足的水分）、地形因素（足夠的坡度）。
- (二) 為了模擬土石流的產生，我們去工地要人家不要的木板，再用鐵鎚及鐵釘製作木製河道，但河道很重，無法用手支撐，也無法判斷坡度，看到同學使用書架來抄寫作業，所以我們用鐵釘和木板製作坡度控制板，來支撐河道及控制坡度。

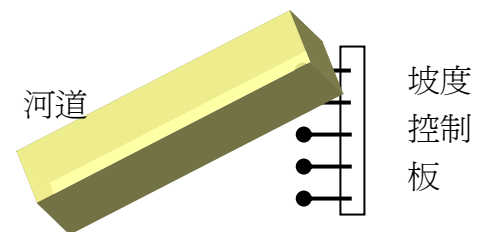


圖 40. 河道與坡度控制板組合圖

- (三) 土石流依粒徑，可分為礫石流、泥流，在實驗 1-1 中，發現發生區只有石頭，很難產生土石流，如果是土，就很容易產生泥流。從粒徑大小來看，石頭 > 沙 > 土，粒徑越大，保水性越差，越不容易隨水流移動。
- (四) 土含大量水後，變成摩擦力很小的流體，使石頭滑動，混合變成土石流。

- (五) 發現土石流在流動時，石頭多在土沙上方，這讓我們覺得很奇怪，石頭不是比較重嗎？歸納心得後發現，雖然單個石頭好像很重，但是對大量的土來說，就變的比較輕，在滾動的過程中，石頭就會浮在泥流上，為了證實這個推理，我們進行實驗 1-2，乒乓球代替石頭，黃豆代替土沙，將乒乓球埋入黃豆中，搖晃罐子，發現果然乒乓球浮起來了。
- (六) 觀察黃豆及乒乓球的移動情形，發現搖晃時，黃豆會往乒乓球下方的隙縫移動，乒乓球就被抬昇最上層。所以土石流流動時，小顆粒的土沙會往石頭的下方移動，將石頭抬昇，減少摩擦力，使石頭在土石流的表層流動（圖 41）。
- (七) 土石流流動時會產生波浪，當前浪速度變慢，後浪就會蓋過前浪，讓土石流出現不斷重疊的情況。
- (八) 實驗 1-3 發現地層如果由下往上以黏土、石頭、土沙排列時，不易產生土石流。以摩擦力來區分的話，以黏土層 > 石頭層 > 土沙層，當黏土層在最下方時，一面抓住河道，另一面抓住石頭，降雨時，上層土沙滲進石頭縫裡，水分就沿黏土層上的洞流走，形成脫水現象，無法降低摩擦力，就不會產生土石流。
- (九) 當土層由下而上排列為黏土、土沙、石頭時，很容易產生土石流，因為中層土沙含水後，產生泥流，使上層石頭受到重力的影響滾動，變成土石流。
- (十) 當土層下游而上排列為土沙、石頭、黏土時，土沙吸水降低摩擦力，使上層石頭、黏土產生大面積滑動，石頭被黏土抓住，就沒有跟泥流一起滾到堆積區，所以土沙層在最下方，上層就容易發生地滑、崩塌及土石流的產生。

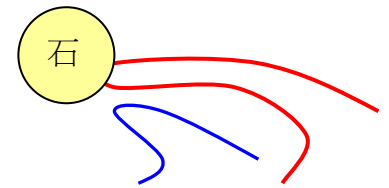


圖 41. 石頭被抬升

二、 地形的因素對土石流的影響

- (一) 資料上說坡度 15-30 度時，會產生土石流，根據實驗結果發現 5-15 度時產生泥流的程度會逐漸加強，卻不會變成土石流。從 20 度到 35 度，土石流的程度逐漸加強，表示坡度越大，重心就容易不穩，容易受重力影響而滾動。
- (二) 為了取水方便（圖 18），校內有灌溉水溝流經，所以將實驗場地移往水溝旁。因為作實驗都要挖很多土石，很浪費時間，所以就將用過的土放在角落晾乾，隔天就有乾燥的土可用（圖 19）。



三、 氣候的因素對土石流的影響

- (一) 從實驗 3-1 降雨時間來看，降雨的時間長短對土石流的衝擊力沒什麼影響，因為在前 60 秒就已經產生土石流了，後續降雨只有造成泥流衝刷，不能使擋土板後退。
- (二) 經常在新聞中看到豪大雨過後，山區就會產生土石流，或許土石流的衝擊力和雨量大小有關。原本不知道什麼是雨量，上網查資料才發現，測雨量是以雨水累積的高度來算，和裝水的容器大小沒有關係。

- (三) 同時間，雨量越多，越容易產生土石流，土石流的沖擊力也越大。土石含大量水分時，整體重量變重，受重力影響變大，流動速度變快，沖擊力也變強。
- (四) 發現降雨時，保特瓶下面地下水出口被崩落土石塞住，出水量變小，進水量逐漸增加，使保麗龍板升高，上方土石隨水流溢出保特瓶，證實降雨後，地下水面如果太高，土壤容易液化，地層些微抬昇，摩擦力下降，造成土石流。

四、土石流如何破壞橋樑？

- (一) 橋墩高度越低，受到土石流沖擊力越大，可能是因為重量變輕及重心位置降低，就像打棒球一樣，打到球心，球就會飛比較遠，當橋的重心位置降低，土石流比較容易沖擊到重心，所以橋會後退比較遠。另一個原因是橋樑的空隙變小，大石頭會擋住後方的土石流，形成大片淤積，增強沖擊力。3公分橋墩會讓土石流滿過橋樑，後退最遠，這也能解釋為什麼電視上的土石流一旦接近橋面時，橋比較容易被沖斷。
- (二) 1根橋樑時，橋樑跨距大、間隙大，土石易流失，受土石流沖擊的面積最小，所以沖擊力最小；5根橋樑時，跨距小、間隙小，受土石流沖擊的面積大，土石流易淤積，造成沖擊力增大。而橋樑跨距大，對橋面的支撐力就會比較小，易造成橋樑倒塌

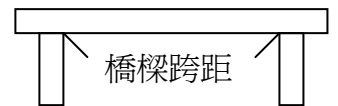


圖 44. 橋樑跨距簡圖

，所以謹慎規劃橋墩形狀、高低及數量，對防止土石流衝斷橋樑有幫助

- (三) 橋下淤積，會降低土石流沖擊力，但是隨著淤積砂石越多，沖擊力隨之增大。因為土石流剛開始產生時，沖擊力比較大，被淤積物擋住了，所以橋樑受到的沖擊力變小，但是淤積物太多，土石流會爬上淤積物，沖擊橋樑重心位置，逐漸增加沖擊力。所以輕微淤積有助於降低土石流沖擊力，但淤積物太多反而會使橋樑被沖毀，因此，平時應清理河床淤積。

五、土石流預防措施效果如何？

- (一) 梳子壩只能攔阻大石頭，降低沖擊力有限。攔砂壩能同時攔阻大石頭及土沙，降低沖擊力，但是容易造成淤積、破壞。最好的方式是將梳子壩裝在上游，攔砂壩裝在中游，能有效降低土石流沖擊力。
- (二) 土石流會對有淤積的黏土梳子壩及攔砂壩造成損壞。因為土石流會越過淤積物，沖擊壩體上層脆弱部分，梳子壩上層面積較小，所以影響較小；攔砂壩上層全由黏土構成，易產生崩毀情形。之前颱風大雨過後，我們去橫流溪進行調查時，發現側面產生土石流（圖 45），大水沖刷攔砂壩（圖 46），造成壩體崩毀（圖 47），使水中生物數量減少（表 19）。



圖45.側面產生土石流



圖46.大水沖刷攔砂壩



圖47.壩體崩毀

表 19. 橫流溪水中生物記錄表

(三) 將柵欄放置在發生區混合土石中，能使大石頭不移動，讓周遭砂石也不移動，將沖擊力降到最低，能有效防止土石流。

六、 製作土石流預警器。

(一) 在之前的實驗中，發現影響土石流最關鍵的因素是水。從土石流防災資訊網中可發現目前的土石流預警機制也是從雨量來判斷，網頁可以查到各地土石流雨量警戒值，所以我們就依此方式來設計土石流預警器。我們將預警機制分成三階段，**第一級為警戒，第二級為警告，第三級為危險（即將發生土石流）。**

(二) 用**並聯**的方式才能同時驅動蜂鳴器及雙色 LED 燈，一開始燈亮不明顯，想起水溶液課程中做過的實驗，水導電效果不好，所以我們**加了鹽巴，果然讓燈亮的更明顯了。**

捌、結論及建議

一、 影響土石流產生有三大要素：1. 豐富鬆散的堆積物、2. 充足的水分（地表水及地

種類	六月	八月	九月	十月	十一月	十二月
台灣石魚賓	2	25			6	
明潭吻鰕虎	12	6			7	8
粗首鱨	24					
纓口鰍	26	15				
馬口魚		1				1
短吻紅斑鰕虎		1				
鯛魚		9	1		2	
拉氏清溪蟹	6	8				1
粗糙藻蝦	38	20			1	20
蜻蜓水蠶	2					
蜉蝣	3					

下水)、3. 足夠的坡度（重力影響大）。

二、 降雨後會先產生泥流，土壤液化，降低石頭摩擦力後，才會產生土石流。

三、 土石比例為**2:1**、土層在最下層時，很容易發生土石流；當土石比例為**1:2**時，產生的土石流沖擊力比較強。

四、 土石重量越重、坡度越大、同時間降雨量越多、地下水滿溢越明顯，越容易發生土石流，土石流的沖擊力也越強。

五、 影響橋樑受土石流的因素與以下幾點有關：1. 橋墩形狀（是否流線型）、2. 橋墩數量（接觸面積、橋樑跨距、橋墩間隙）、3. 橋墩高度（重心位置）、4.（河床淤積）。當橋墩為長方體、橋墩數量越多、接觸面積就越大、橋樑跨距也越大、橋墩間隙就變小、橋墩高度越低，重心越接近土石流沖擊位置，河床出現大量淤積時，橋樑受到土石流的沖擊力越強。**建議政府建設橋樑時須考慮上述因素。**

六、 橋下出現輕微淤積時，反而能降低土石流沖擊力。

- 七、 梳子壩（攔石頭）裝在上游，攔砂壩（攔沙）裝在中游，有最佳防制土石流沖擊力的效果。在發生區對鬆散土石進行打樁編柵，能阻止土石流發生，有效降低土石流沖擊力。
- 八、 壩體前方出現淤積時，土石流會爬升沖擊壩體上層脆弱部分，造成壩體受損，尤以攔砂壩最為嚴重。
- 九、 土石流產生後，會對河川生態造成破壞，使水中生物種類減少。
- 十、 簡易土石流預警器，材料取得方便，且劃分為警戒、警告、危險三種等級，提供足夠撤離時間，預警器控制板可裝置在中下游、預警器裝置在上游區域，萬一上游下豪雨，中下游戲水民眾可及早離開，避免悲劇發生。
- 十一、 我們所設計的實驗方法適合教同學土石流的概念，希望能夠推廣給其他同學。

玖、參考資料

1. 行政院農業委員會水土保持局（民 96 年）。95 年土石流年報。臺北市：作者。
2. 張守陽、林鼎祥、石忠平（民 88 年）。簡易土石流警告器之研究。第二屆土石流研討會。
3. 劉秋燕、劉純曲（民 95 年）。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。第 46 屆中小學科學展覽作品。民國 97 年 1 月 10 日，取自
<http://activity.ntsec.gov.tw/activity/race-1/46/elementary/0815/081569.pdf>
4. 土石流學堂。土石流防災資訊網。民國 97 年 1 月 12 日取自
<http://246.swcb.gov.tw/School/school-toknew.asp>
5. 土石流資訊。行政院農業委員會水土保持局。民國 97 年 1 月 15 日取自
<http://www.swcb.gov.tw/swcb.asp?ptype=swcb03/01-2>

附錄一：文獻探討

1. 前台大地理系教授張石角表示，各種地層變化所發生的現象可歸納為山崩、地滑(民間俗稱「走山」)與土石流三種類型。山崩指的是土地表層崩塌，地滑是土地深層滑動，而崩下的

土石與水混在一起，就會形成土石流。

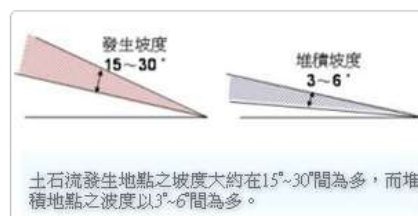
(引用自台灣的土石流及地滑災害)

2. 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。在台灣，土石流大多在豪雨期間發生在山坡地或山谷之中，其外型與一般常見之混凝土砂漿極為相似，因此又被喻成『天然預拌混凝土』。

(引用自土石流防災資訊網)

3. 土石流發生的角度約為 15 度~30 度之間。

引用自（土石流防災資訊網）



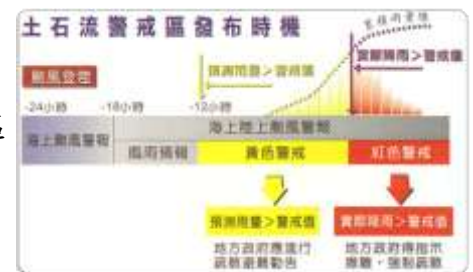
4. 降水量係指在一定時間內之降水，儲積在一平面上，在無蒸發、流失或滲透等損耗情況下，其儲積量之深度謂之。簡單講，自己取一個適當的容器，置於水平面上，在沒有任何損耗的情況下，在**一定時間內**（譬如說：一小時內），容器內所累積的**雨水深度**。這樣做的前提假設是：「雨下得很均勻，所以雨水的收集量與收集雨水容器的截面積、形狀無關」
（引用自 yahoo 奇摩知識區）
5. 過量的地下水或滲流水也會順著溝谷中基盤底下的不連續面往上浮出，**當整個浮出的水量大到足以抬升整個堆積的土石時，所有堆積體便會開始順著地形坡度向下流動、滑移**。就是這樣經過雨水的催化，土石流也就這麼一觸即發了。
引用自（土石流 陳宏宇 1998，台灣科學園地）
6. 地下水位升高形成的土石流，則是指地表下岩層細縫中的地下水，受到他處高水位壓力作用，產生極大的孔隙壓力，造成局部土體的破壞或**土壤液化**而形成土石流。
引用自（豪雨造成的土石流 詹錢登，科普知識）
7. 由於土石流潛勢溪流為數眾多，欲以硬體之工程於短時間內針對所有土石危險溪流進行整治，在人力及財力上實有其困難，因此利用中央氣象局之雨量資料，以**有效累積雨量及降雨強度**為指標，將具有相類似性質之土石流潛勢溪流集水區整合為一群集，劃分**土石流發生警界雨量線**，以供為預警指標。目前已劃定完成，警戒雨量線之有效累積雨量依不同群組不同，約位於 250 至 550mm 間。

縣市	鄉鎮	警戒區座落村里	土石流潛勢溪流數	參考雨量站	警戒值
台中縣	東勢鎮	<u>上城里(1)</u> 、 <u>東新里(1)</u> 、 <u>茂興里(1)</u> 、 <u>泰昌里(1)</u> 、 <u>埤頭里(1)</u> 、 <u>隆興里(4)</u> 、 <u>慶東里(1)</u> 、 <u>慶福里(1)</u> 、 <u>慶福里(7)</u>	18	新伯公	300mm

發布土石流警戒區預報

依據「土石流防災疏散避難作業規定」，土石流警戒時機如下：

- (1) 當中央氣象局發布某地區之預測雨量大於土石流警戒基準值時，由農委會發布該地區為二級(黃色警戒)土石流警戒區，地方政府應進行疏散避難勸告。
- (2) 當某地區實際降雨已達土石流警戒基準值時，由農委會發布該地區為一級(紅色警戒)土石流警戒區，地方政府得指示撤離強制疏散。



引用自（土石流防災資訊網）

附錄二：未成功的實驗

1. 原本我們想試試看當河道彎曲時，土石流流動會不會受到影響，所以我們利用黏土製作彎曲的河道（右圖）發現土石流會在凸岸的堆積坡堆積，不過土石流的沖擊力太強，黏土河道太



脆弱，沖一次就斷成好幾截，只好留待未來找到更好的方法再進行實驗。

2. 我們曾經想過萬一河道變窄，或是兩側有淤積的話，這樣土石流沖擊力會不會變強，所以就利用含水的土石修築了兩側河道，結果發現河道太寬，土石流會直接流掉，不會對土坡造成沖刷（圖 48），河道狹窄，土石流會產生淤積塞住河道，兩側土坡只有稍微被沖蝕一部份（圖 49、50），這和我們推測的不同，含水壓平後的土石比較堅固，不容易被土石流影響而變成土石流，如果的鬆散乾燥的堆積物就很容易受土石流內含水份影響也變成土石流，所以鬆散的廢比較容易轉變成土石流。



【評語】 081568

探討土石流的成因，透過自製的器材，生動地表達土石流的形成機制，並與降雨量的多寡，設計土石流警報器，具有教材的實用價值性，切合主題，能對鄉土的環境保護具有一定的意義。