

# 中華民國第 51 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 地球科學科

第一名

080508

山河大地～實地勘查並探討土石流防治工法與  
警戒區危險範圍規劃之研究

學校名稱：臺北市大安區幸安國民小學

作者： 小六 薛定暉	指導老師： 楊央熙 張福鑫
---------------	---------------------

關鍵詞：透過型壩體、攔阻率、分流率

## 得獎感言



我是薛定暉，這次得獎我要感謝我的指導老師和爸媽，因為參展作者只有我一個人，獨自做實驗非常的辛苦，如果沒有家人的陪伴和老師的鼓勵，我早就放棄了，我還要感謝台大劉格非教授，當我遇到困難時，他都很熱心的提供專業的知識，今天我有這個榮耀，我覺得非常的有成就感，因為在實驗中我學會了研究方法和態度，我對周遭幫助我的師長們充滿感激。比爾蓋茲說：「人生永遠不要害怕更大的期待」，所以我覺得人生不要妄自菲薄，夢想有多大，成就就會有多高，得獎後科教館安排我們與總統見面，實在太興奮了，又安排與中研院的院士們座談，我對他們的學識與成就很羨慕，我要向他們看齊，在研究的路上我要不斷的精進與成長。

## 山河大地

# 實地勘查並探討土石流防治工法與警戒區危險範圍規劃之研究

### 摘要

台灣的土石流災害非常嚴重，土石流下游危險氾濫區範圍的規劃是很重要的課題，而防災壩體以「透過式防砂壩」為現代的趨勢，我藉由地形坡度、梳子壩體高度、間距寬度、柵面角度等條件，來探討兩種防砂壩的防災效益，並嘗試提出改良型壩體設計。

實驗結果顯示：

1. 危險氾濫區的堆積範圍會隨坡度和供水量的增加而變大，供水量少或流動區的地形坡度小時，堆積最高點出現在渠槽出口處。
2. 梳子壩的間距增大，其壩前堆積長度和高度皆呈現下降的趨勢。而採用「雙層間距梳子壩體」雖然攔阻率比較低，卻可使自我排砂的調節功能增加。
3. 透水柵的總攔阻效果以平行渠床架設法優於順坡架設法，但採用順坡架設法有助於分流功效及柵面土石的清除，使用上要小心評估。

### 壹、研究動機

上自然課時得知土石流災害已成為世界十大天然災害之一，台灣地區每逢颱風或豪雨，就令人心驚膽顫，總帶給政府和人民極度的恐慌。

我以「土石流災害」作為資優班的專題獨立研究報告已經邁入第三年，一年比一年有更深的體悟，每年暑假回花蓮爺爺家度假，爺爺總會帶我和姊姊去花蓮的大興村、銅門村、鳳林鎮……等水源地遊玩，爺爺總會提醒我們土石流災害的傷痛與可怕，我在當地也看到很多的固床工、系列式潛壩、梳子壩、重力式傳統壩體……等，在戶外勘察時梳子壩是目前常見的直立型壩體，而透水柵卻是非常少見的平面式壩體，因此我興起拿這兩種壩體進行研究的想法，我蒐集資料發現在「壩體間距設計」與「土石流警戒區危險範圍規劃」非常重要，有必要進一步探討，因此做為我主要的研究方向，並整理三年來實地勘查的勘查紀錄，希望能在國小畢業前將多年的研究完整的呈現，於是開始了一系列的探究活動。

★與課程相關單元：自然與生活科技第四單元「山河大地」（五年級上學期南一版）

自然與生活科技第二單元「大地的奧秘」（六年級上學期康軒版）

## 貳、研究目的

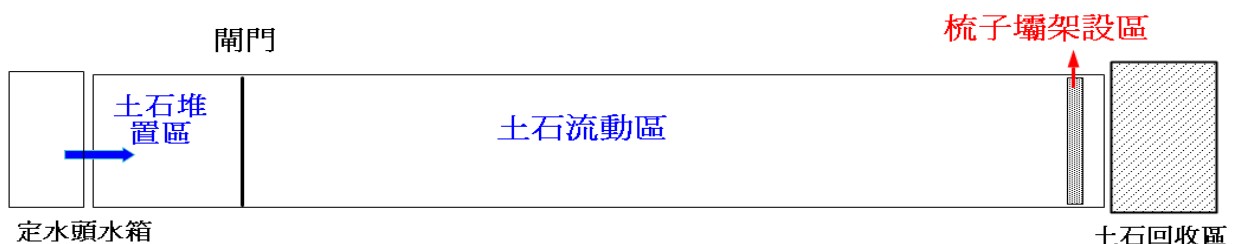
- 一、透過實地勘查活動，瞭解土石流防治工法。
- 二、探討土石流下游危險區域，在不同的地形坡度、土石量與供水量下，土石流的堆積模式與堆積範圍有何差異？
- 三、探討梳子壩的間距、壩柱高度、地形坡度等，對礫石型土石流的「攔阻效果」為何？對壩體上游面的貯砂空間有何差異？以及越壩土石對壩體下游面的破壞有何差異？
- 四、探討平面式透水柵的間距、架設角度等，對礫石型土石流的「攔阻效果」為何？「分流效果」為何？
- 五、提出「改良型梳子壩體」，並分析其與傳統梳子壩的攔阻功效的差異性。
- 六、提出「改良型透水柵」，並分析其與日本平面柵的攔阻功效差異性。

## 參、研究設備與器材

參觀中興大學水土保持學系的水工實驗室，得知要模擬土石流其渠槽的寬度和土石的粒徑大小是有一定的規定，必須符合流動時的力學，流動時為了不受到邊界的影響，河道的寬度必須是最大粒徑的 5 倍以上，我又請教台大土木工程學系的教授，得知流動時的深度必須是中值粒徑的 10 倍以上，而且要以當地的土體資料為基本來模擬，因此我的實驗設計如下：

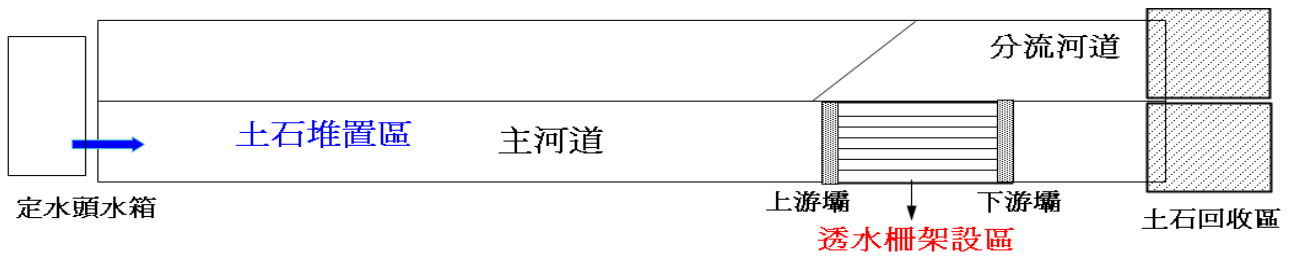
### (一) 渠槽的設計

A. **梳子壩渠槽** (長 × 寬 × 高 = 250 × 30 × 30 cm)：以透明壓克力板製成，側面整片皆有寬 2cm 之方格刻度，以方便錄影後分析堆積高度，上游設置土石堆置區並設置閘門。

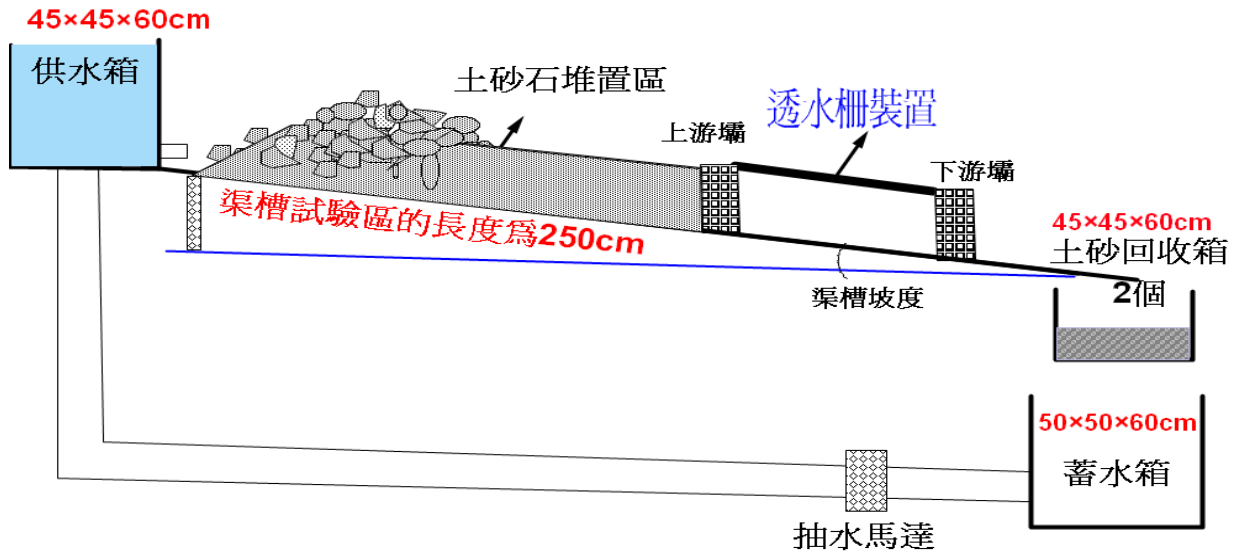


圖一 渠槽俯視圖

B. **透水柵渠道** (長 × 寬 × 高 = 250 × 40 × 30 cm)：以木板隔成主河道和分河道，各寬 20cm，有設置下游壩和上游壩各 15 公分高，製成主河道和分河道，分河道主要是蒐集掉落柵棒間隙之細砂石。



圖二 渠槽俯視圖



圖三 渠槽側視示意圖

## (二) 土砂石材料的選定

以水土保持局在南投縣信義鄉神木村的土石流明坑採樣挖掘報告為基礎，依粒徑分布曲線擬定出下表一所示的土石粒徑比例表，再請教台大教授審視是否合乎渠槽試驗的標準。

表一 本試驗的粒徑比例表

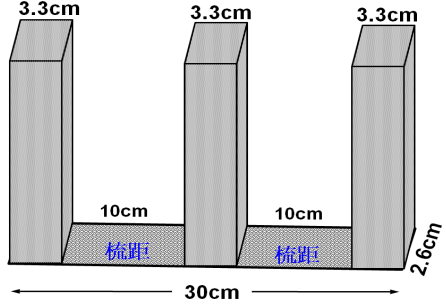
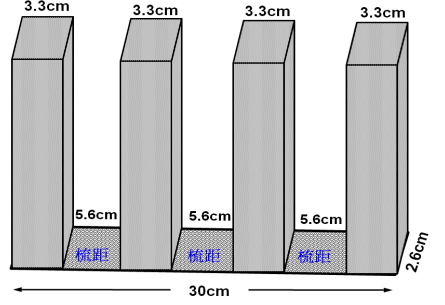
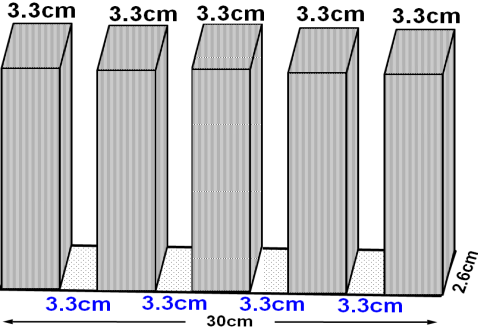
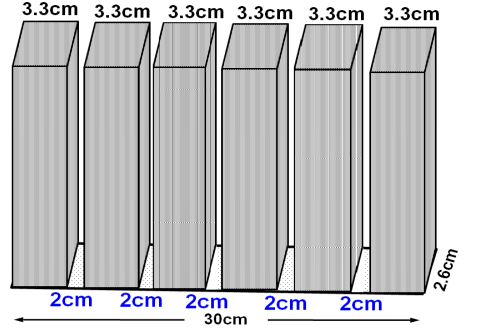
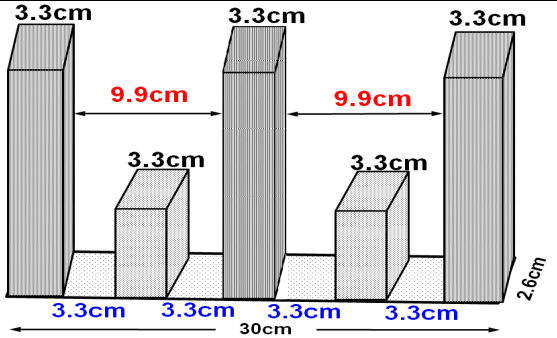
篩網規格	粒徑 (mm)	重量百分比		
		梳子壩試驗	透水柵試驗	氾濫堆積區試驗
#4	4.8 以下	26%	26%	26%
1/4"	4.8~6.3	10%	10%	10%
3/8"	6.3~9.5	14%	14%	14%
1/2"	9.5~12.7	20%	20%	20%
3/4"	12.7~19.1	15%	30%	30%
3/2"	19.1~38.4	15%	0%	0%

## (三) 供水裝置

採用表面逕流所具備強勁的沖刷能力及滲流作用，沖刷推移土層中的泥砂礫石以模擬土石流的形成。所以使用長寬高為50x40x45cm之定水頭水箱（高度為45cm）穩定供水，共有4個出水孔，可以控制每秒流出的水量，實驗後的水導入大水坑，透過抽水機回收再利用。

(四) 梳子壩體模型：有 5 種規格

表二 梳子壩模型規格表

<p>3 支梳子壩 (梳距=10cm)</p>	<p>4 支梳子壩 (梳距=5.6cm)</p>
	
<p>5 支梳子壩 (梳距=3.3cm)</p>	<p>6 支梳子壩 (梳距=2cm)</p>
	
<p>雙層間距梳子壩 (上層梳距=9.9cm、下層梳距=3.3cm)</p>	
	

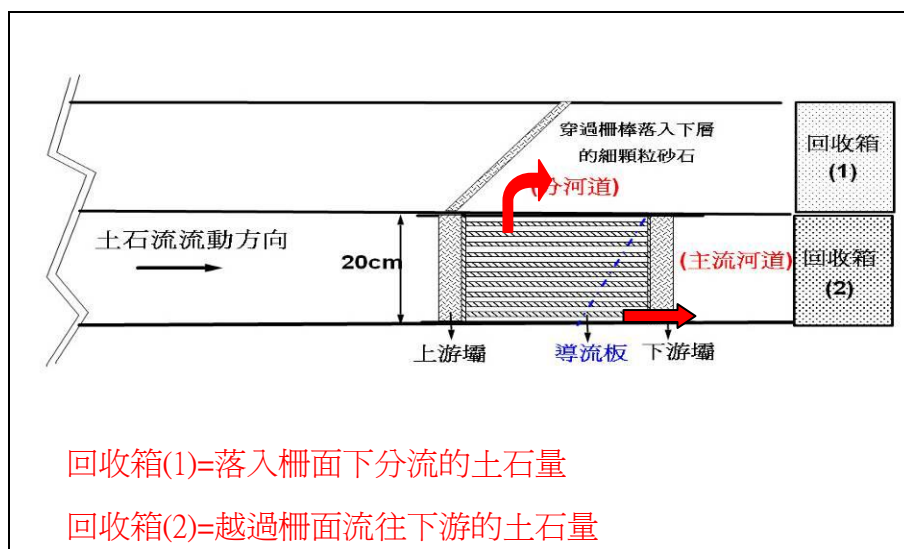
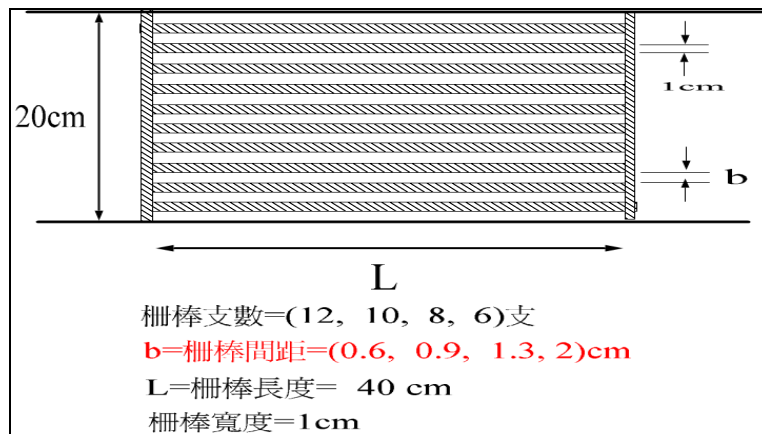
(五) 透水柵與土石回收裝置裝置

根據薛皓薰 (2008) 研究：「如果柵棒太短，則來不及充分過篩即往下游衝過，迅速越過透水柵面的土石量會大增，而且礫石流因脫水而停止的功能也因長度不足而減低，對下游具有威脅性，建議長度必須大於最大粒徑的 15 倍 ( $L/D_{max} > 15$ )。」(第 48 屆國展)

所以我以最大粒徑的 20 倍 (即 40 公分) 的柵棒長度作為本實驗的柵棒長度，利用 1cm 方形木棒製作，前人研究未提及柵棒間距的部份，我覺得柵棒間距也是一項重要的變因，因此我以透水柵形式有 6 支柵棒、8 支柵棒、10 支柵棒柵棒、12 支柵棒柵棒，來設計柵面，間距分別為 2cm、1.3cm、0.9cm、0.6cm，製成柵面寬度為 20cm 透水柵模型，共有有四片不同間距

之柵面。

土石流會被分成三部分：一部分是落入柵棒下的細砂石，一部分是停積在柵面上並往上游面回溯的土石，另一部分是越過柵面衝往下游的土石。因此我在下游處設置回收箱 2 個，分別收集主河道越過柵面之土石以及穿過柵面間隙流到分流道的細顆粒土砂，回收箱內襯「細內裡布與細紗網」過濾濕砂土並秤重量。



圖四 透水柵面與土石回收裝置示意圖

#### (六) 渠槽坡度的設定

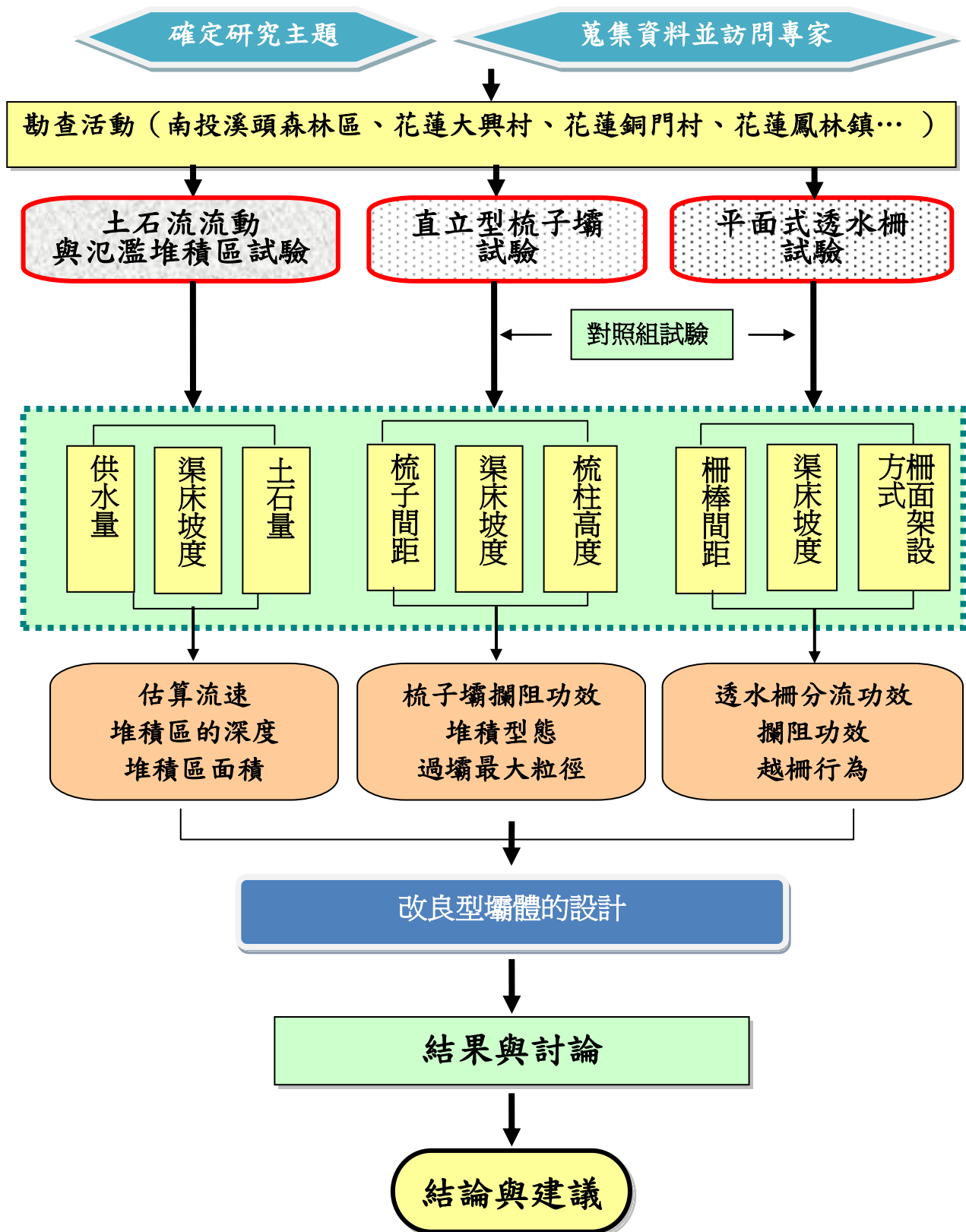
由蒐集的資料得知土石流發生區的坡度大約在 15 ~ 30 度之間，而堆積區的坡度在 6 度以下，因此我們決定渠槽的坡度以 15°、20°、25°來進行，堆積區以 0 度為主。

#### (七) 攝影裝置

Canon 數位攝錄影機，錄取實驗過程，放置於渠槽旁拍攝，藉由影像播放軟體，採用定格播放的方式，記錄土石流通過透過式壩體時流動、停積、過壩等情形。

# 肆、研究過程或方法

## 一、研究架構圖



圖五 研究架構圖



表三 試驗條件表

項目	說明	
河床坡度	三種渠床坡度	15°、20°、25°
供水量	固定水量	0.3 公升/秒、0.6 公升/秒、0.9 公升/秒、1.2 公升/秒、
梳子壩間距	五種間距	(1) 單一間距壩體 2cm、3.3cm、5.6cm、10cm (6 支柵棒、5 支柵棒、4 支柵棒、3 支柵棒) (2) 改良式雙層間距壩體：下層 3.3cm、上層 9.9cm
梳子壩的壩柱高度	二種高度	5cm、20cm
平面柵棒間距	四種間距	0.6cm、0.9cm、1.3cm、2cm (12 支柵棒、10 支柵棒、8 支柵棒、6 支柵棒)
柵棒長度	固定長度	40cm
柵棒架設方式	三種方式	逆坡架設、平行渠床架設、順坡架設



將土石以篩網篩分



試驗的土石



柵面架設後



渠槽下半部份往下游面俯視

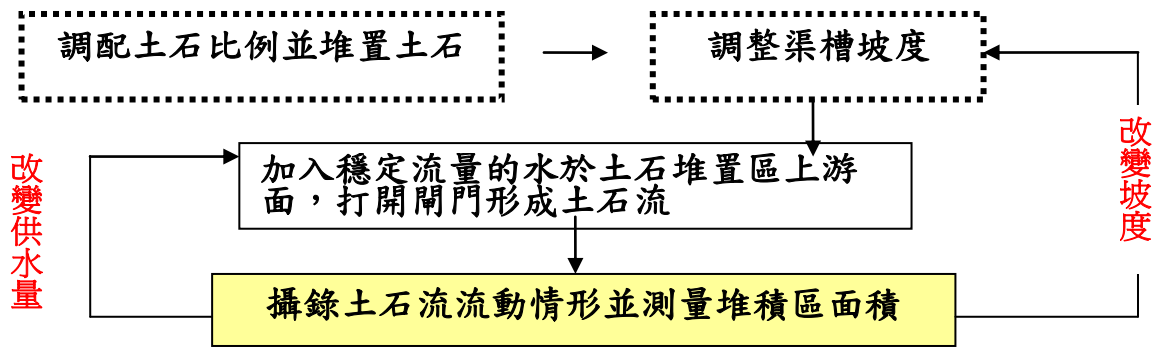


渠槽長度 250cm



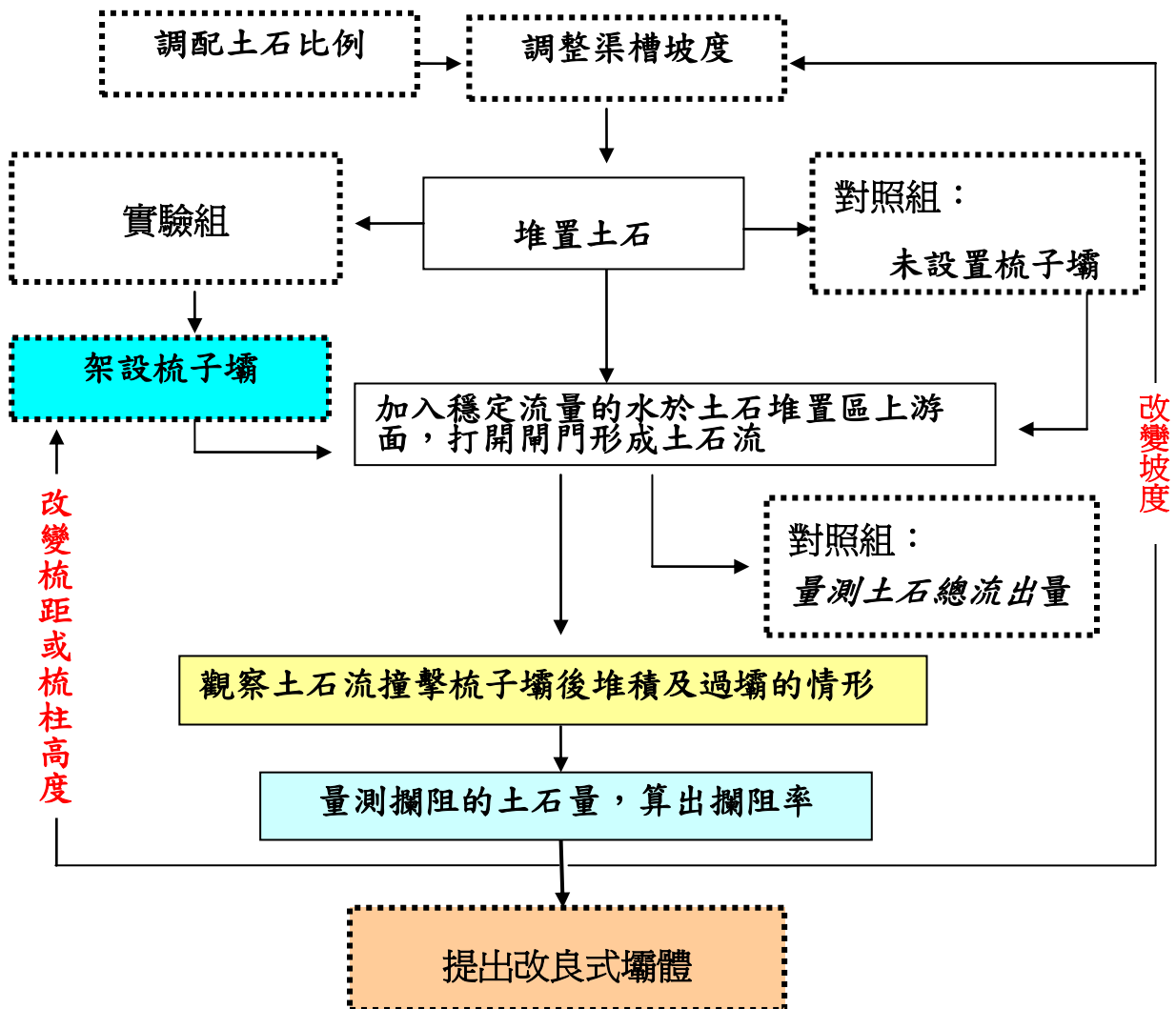
取下並計算攔阻的土石量

## 二、土石流況與氾濫堆積區試驗流程圖



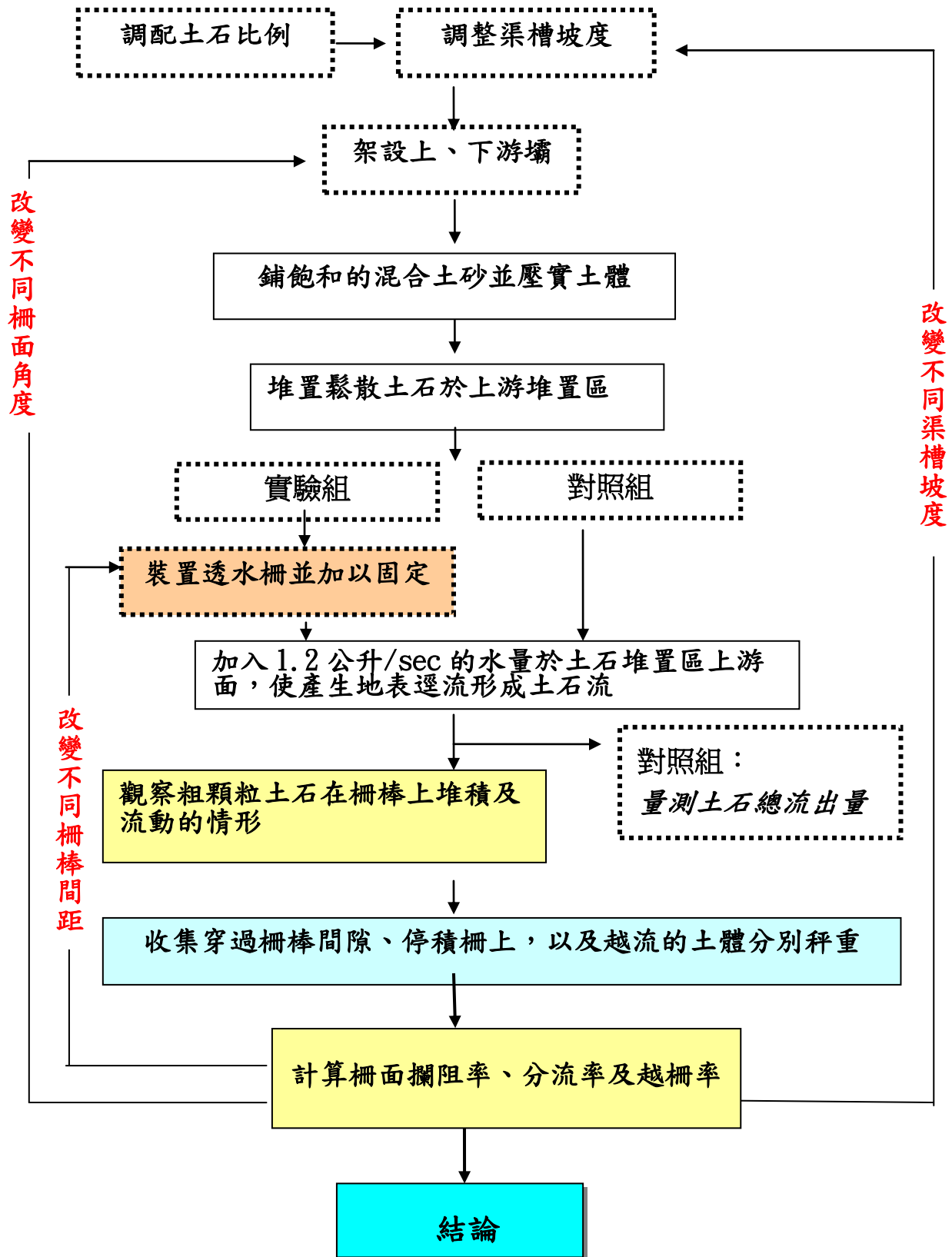
圖六 氾濫堆積區試驗流程圖

## 三、梳子壩試驗流程圖










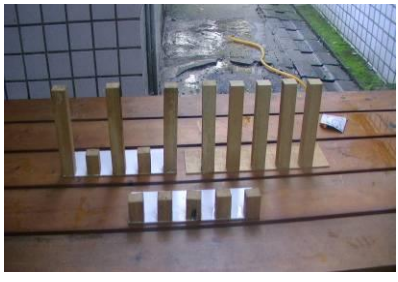



圖七 梳子壩試驗流程圖

#### 四、平面柵試驗流程圖



圖八 平面柵試驗流程圖

表四 實驗過程照片

透水 水柵 試驗 過程			
	b = 0.9cm, $\theta = 15^\circ$ , 試驗過程	b = 1.3cm, $\theta = 20^\circ$ 側面堆積圖	b = 0.9cm, $\theta = 15^\circ$ 側面堆積圖
			
	b = 2cm, $\theta = 15^\circ$ , 試驗過程	b = 1.3cm, $\theta = 35^\circ$ 側面架設圖	b = 1.3cm, $\theta = 15^\circ$ 側面堆積圖
梳 子 壩 試 驗 過 程			
	不同間距的梳子壩體	將土體堆置在渠槽上端	梳子壩貯砂量計算
			
不同高度的梳子壩體	撞擊力太大梳子壩被撞垮了	調配土體並堆置於渠槽上	
渠槽側面刻度可知堆積高度			
梳子壩試驗渠槽	估算堆積區面積與高度		

## 伍、研究結果

土石流是一種自然現象，我們能避開則盡量遠離危險區，如果無法避開它對我們的威脅，只好降低他的傷害程度，我選擇兩種土石流攔阻工法來探討「透過式攔阻工法」的效益，一個是常見的直立型梳子壩體，另一個是台灣少見的平面式透水柵體，我想瞭解這兩種壩體的攔阻效果，所以藉由一連串的渠槽試驗，希望能清楚土石流的流動與堆積狀況，並提出一些新的想法。

### 研究一、勘查土石流防治工法

勘查地點為花蓮縣大興村、花蓮縣鳳林鎮、花蓮縣銅門村、花蓮縣和平鄉蘇花公路、南投縣三號坑、南投縣大學坑、南投縣神木村。

表五、實地勘查土石流壩體（自攝 2010 年 7 月、2009 年 8 月、2008 年 7 月）



我們在大興村發現了一座直立式梳子壩，他有間距可以使水往下流，不會影響下游生態，又可以達到防災的效果，真是一舉數得。



我指的就是潛壩，可以減緩石頭往下衝的力量，因為我們是從下游往上游拍，所以有一整排的洩水孔。



和平鄉和仁村的蘇花公路邊坡看到土石流攔阻工法，在照片的最上幾層，都是有加輪胎的直立式梳子壩，接下來有兩層是格柵壩，周圍邊坡是採用砌石護岸的堆疊方式。



我們在花蓮銅門村仁壽橋下看到的箱籠護坡，它可以防止土石流使邊坡崩塌，還有一種稱為蛇籠護坡，唯一不同的是蛇籠護坡是圓的，而箱籠護坡是方形的。



這也是潛壩只不過它是淤滿而且沒有洩水孔的潛壩，潛壩大都不會超過一公尺，可以減低土石流的力量。



這是我們往下游拍的一系列潛壩，在台灣比較常見的是梳子壩和潛壩，而透水柵比較少見。



這是花蓮縣鳳林鎮水源地，我們站在思源橋上往上游面拍攝，思源橋是在桃芝颱風後重建的，當時土石流就從這條河道衝往下游，我們不可以忽視土石流的力量。



我們在大興村的河床上，發現石頭內的石英礦物使石頭閃閃發光。



南投溪頭遊樂區三號坑的格柵壩，坡度 25~30 度左右。下游面 50 公尺處就是土石流監測小屋和紅樓。



這是南投溪頭遊樂區三號坑的梳子壩，桃芝颱風時攔阻很多土石，但是毀損也很嚴重，這是新設置的梳子壩。



這是南投溪頭遊樂區大學坑的平面透水柵結合直立式格柵壩，平面透水柵下有四個分流槽，柵間距是 20cm，柵面長度 20m，柵面寬度 3m。



這是南投溪頭遊樂區大學坑的平面透水柵上游面的竹椿編柵，它是生態工法的一種喔！

## 研究二、探討土石流的流動速度與深度

### 【問題一】供水量的大小會影響土石流的流動嗎？

#### 1. 當土石量很多而供水量太小時：

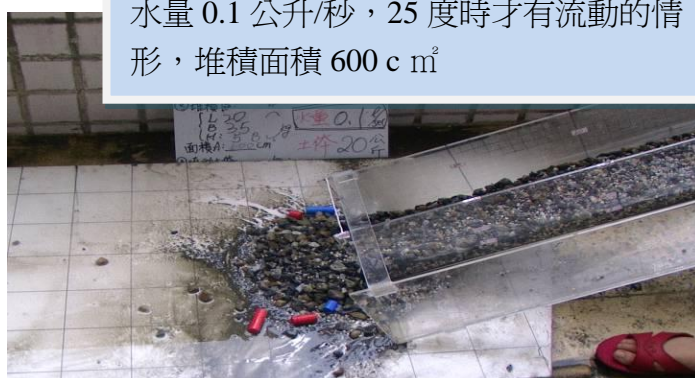
如圖中坡度 20 度，但供水量僅 0.1 公升/秒，則土石流不容易流動，而擱置在渠槽上方，可是過了 30 分鐘我將坡度增加至 25 度時，發現土體前端開始有流動的情形，所以坡度是影響土石流動的一個重要因素，當坡度太陡時，即使當時的雨量不大，依然隱藏土石流的危險性。

#### 2. 當供水量太大時：

如果水量太大則土石流會提早發生，而且在坡度很陡時會變成「含砂水流」，也就是說土體會瓦解而由水流帶到下游，此時流得很快，在實驗過程所拍下來影片以慢速播放來分析，發現土石流動深度會變得比較淺，但是到達下游時因流速快，所以在堆積區依然迅速堆積，因此我覺得對下游居民依然具有很高的危險性。



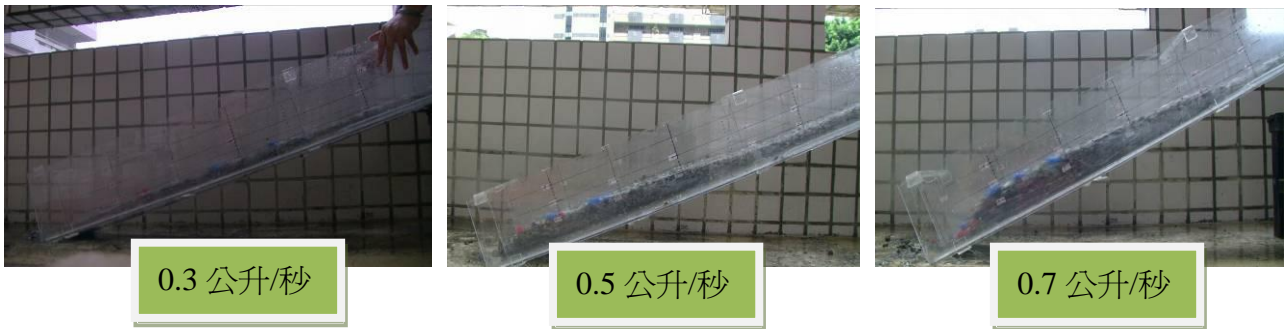
坡度 20 度，但水量僅 0.1 公升/秒，供水量太小，則土石流不容易流動，而擱置在渠槽上方。



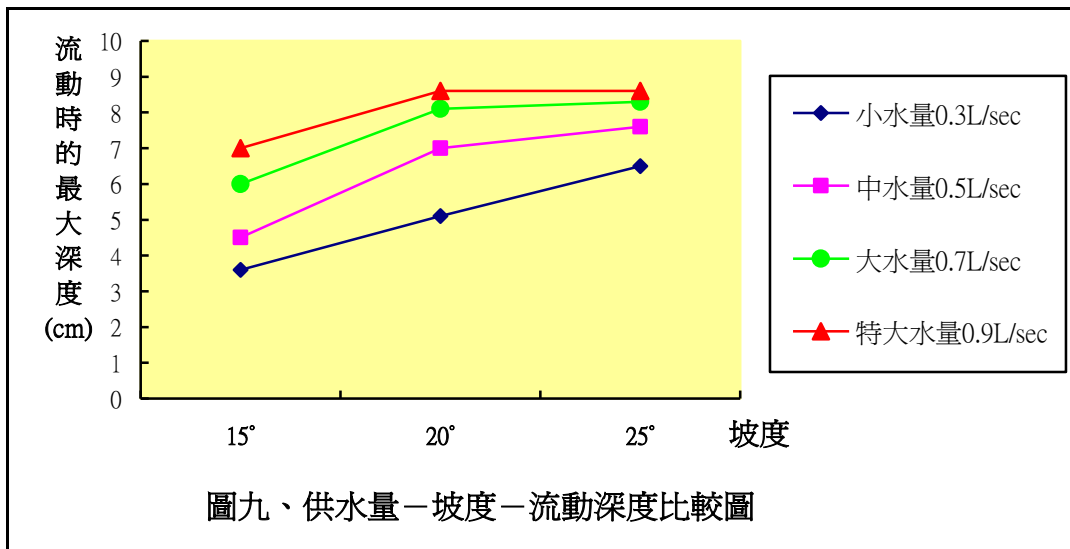
水量 0.1 公升/秒，25 度時才有流動的情形，堆積面積 600 c m<sup>2</sup>

**【問題二】 供水量的大小會影響土石流流動時的深度嗎？**

1. 供水量愈大時，流動時的深度也愈大。流動深度比較：0.9 公升/秒 > 0.7 公升/秒 > 0.5 公升/秒 > 0.3 公升/秒。
2. 以下照片是坡度 25 度時的流況照片。土石流出量分析：發現水量大時被沖下來的土石量也愈多。

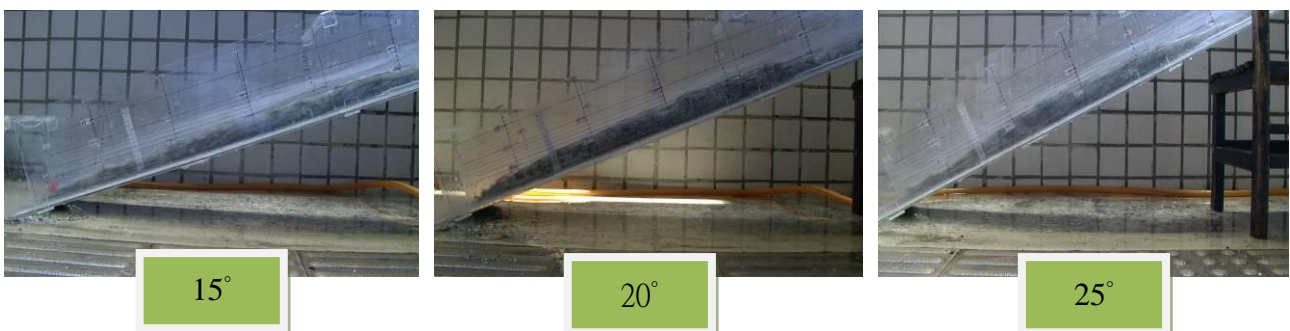


3. 流動深度分析：供水量愈大，流動時的最大深度就愈高。



**【問題三】 坡度不同時，土石流流動的深度有何差異？**

1. 試驗顯示坡度愈大時，流動時的深度也愈大。
2. 以下照片是供水量 0.7 公升/秒，土石量 20 公斤，流動深度比較：25° > 20° > 15°。
3. 流動深度分析：從上圖九可知坡度愈高，流動時的最大深度就愈高。

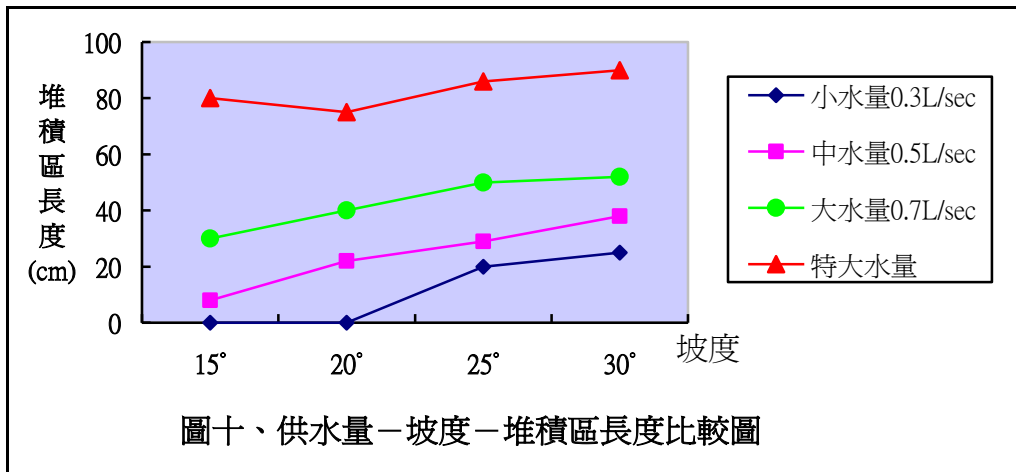




### 研究三、探討土石流危險氾濫區

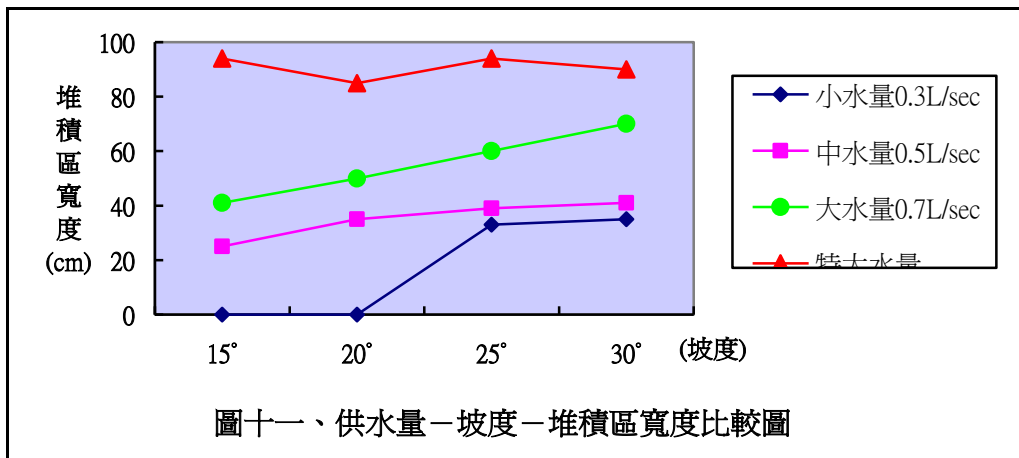
#### 【問題四】下游氾濫危險區的堆積長度和供水量與坡度大小有關嗎？

1. 實驗結果圖十顯示：氾濫堆積區長度隨著坡度的增加而增加。
2. 由實驗發現供水量愈大則土石被衝得愈遠，所以危險區的堆積長度也就愈大。



#### 【問題五】下游氾濫危險區的堆積寬度和供水量與坡度大小有關嗎？

1. 從圖十一得知：氾濫堆積區寬度隨著坡度的增加呈現上升的趨勢。
2. 從圖中發現：堆積寬度隨水量增加而增加，但是水量太大時（0.9L/sec），堆積寬度有略微下降的現象。



#### 討論：

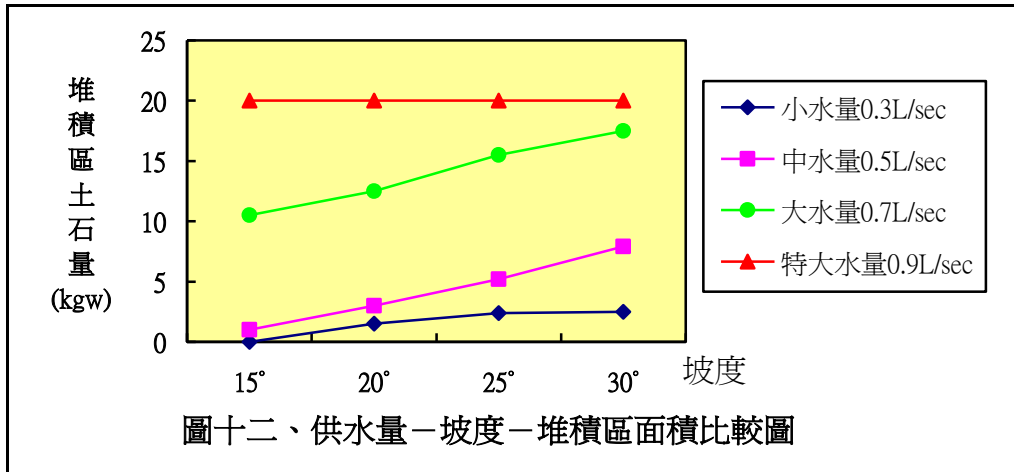
從實驗錄影的影片中發現：土石的流速會影響堆積區的範圍，流速愈快時下衝的動力大，直進性也愈大，所以土石流得比較遠，土石流出量也比較多，所以向左右擴散的寬度也比較大，但是如果供水量實在太多了，則容易轉變成「含砂水流」，水量多於土石量時，濃度下降了，直進性更大了，因而造成土石擴散寬度有下降的現象，如圖十一供水量 0.9L/s 所顯示之折線。

**【問題六】** 下游氾濫危險區的土石堆積量和供水量與坡度大小有關嗎？

1. 從實驗折線圖十二發現：氾濫堆積區的土石量隨著水量的增加而增加。

討論：

我發現水量愈大時，被帶往下游的土石會增加，但是水量太大時（0.9L/sec），堆積面積未隨坡度增加而增加，主要是本實驗的土石總重量就是 20 公斤，因水量太大所以已將全部 20 公斤土石攜帶至下游堆積區，所以才呈現水平線。



**【問題七】** 下游氾濫危險區的堆積深度和供水量與坡度大小有關嗎？

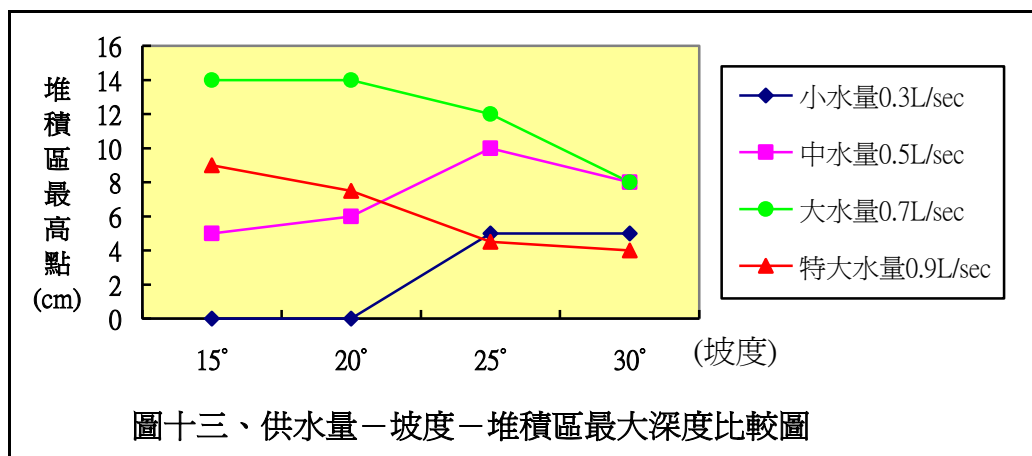
1. 從下圖十三發現：當水量比較小時（每秒 0.3 公升），堆積區的最深的深度隨坡度增加而上升，

但是供水量達到每秒 0.5 公升時，剛開始仍有上升現象，超過 25 度後開始有下降的情況。

2. 當水量比較大時（每秒 0.7 公升以上），堆積區的最深的深度隨坡度增加而有明顯下降的趨勢。

討論：

出現上述的下降現象，討論後覺得是因為上游面我們所準備的土石量不足，水量愈多能攜帶的土石量愈多，但是如果水量繼續增加，而土石量已全部帶完時，堆積區的面積因坡度愈大而愈大時，卻無土石可以再補充，因此出現堆積高度下降的現象。



### 【問題八】供水量的大小不同時，實驗過程的觀察有何發現呢？

1. 在相同的坡度下，供水量愈大時，剛開始時堆積區土石被沖得很遠，堆積高度比較低，但是氾濫危險區域的面積愈大。
2. 但是實驗繼續進行發現：供水量愈大時，被帶往下游的土石量愈多，堆積高度逐漸增加，因此從實驗推論對下游的村落是一項大威脅。
3. 在相同的坡度下，供水量愈小，因為動力不足所以停積在渠槽的土石比較多，堆積最高點出現在渠槽出口處。(如下圖紅圈圈所示)
4. 流量大小之不同，在堆積的土石堆尾端亦可發現不同程度之舌狀堆積。
5. 土石堆積的情況以攝影機慢速播放發現有下列階段：
  - (1) 當泥砂從流動段進入堆積段時，堆積初期泥砂會在出口處呈現小幅度的擴散。
  - (2) 當後續的土石流持續流出時，會在渠槽出口處推擠原先已成形之小土石堆，使得堆積的土石堆往前方下游擴散發展，堆積深度持續加高。
  - (3) 可是等到後續之土石流無法推擠移動堆積的土石堆時，就會朝兩側擴散。
  - (4) 最後呈現扇狀的堆積。

#### 討論：

位於下游堆積區域的村落，若雨量太大促使上游土石大量流動而下時，氾濫危險區域的範圍必須擴大，撤村的範圍勢必增大。



右圖供水量比較小，堆積高度最高點出現在渠槽出口處，左圖供水量比較大，堆積高度最高點向前推移約 50cm，而且氾濫範圍比較大。

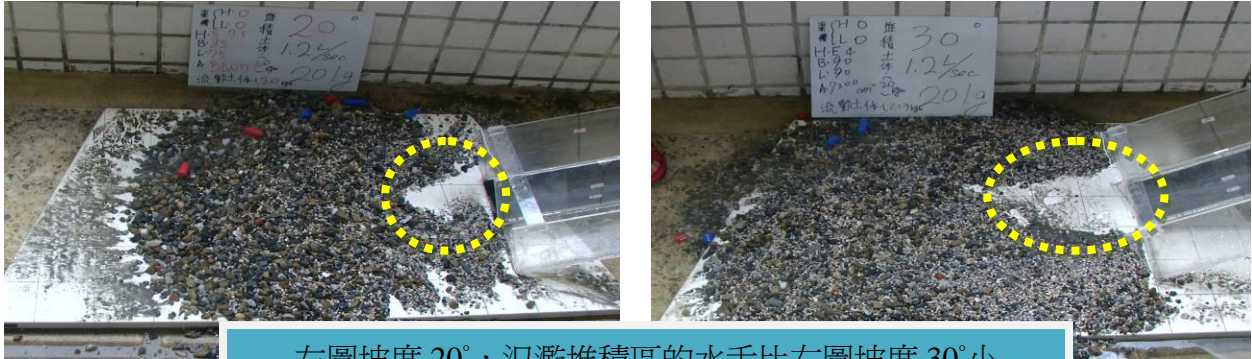
### 【問題九】坡度的大小不同時，實驗過程的觀察有何發現呢？

1. 在相同的供水量下，坡度愈大時，土石流動速度變快，氾濫堆積區域的面積也愈大。危險區域的面積比較： $30^\circ > 25^\circ > 20^\circ > 15^\circ$ 。
2. 坡度愈小時，堆積高度最高的位置會出現在流動渠槽出口處，甚至出現往上游面回溯現象，渠槽上土石的堆積長度也比較長。而位於出口處左後方或是右後方的區域也會有土石蔓延，因此仍屬於危險區段。

3. 堆積的土石堆尾端水舌大小隨坡度增加而增大。( 如下圖黃色虛線 )

討論：

鬆散的土石量固定時，坡度愈大則堆積高度最高的位置會遠離渠槽出口處，有向前推移的趨勢，其原因應該是坡度愈大流速愈快的緣故，土石向前衝的動力增加所造成。



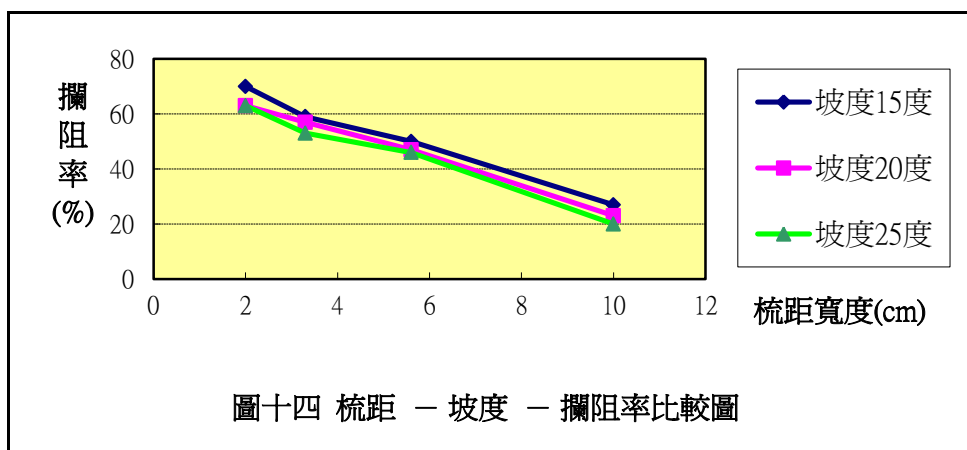
### 研究四、梳子壩對礫石型土石流的攔阻功效

【問題十】不同的梳距，攔阻率的差異性如何？

1. 但從下圖十四知：梳距間距對攔阻率卻有明顯的差異性存在，攔阻率會隨梳距寬度的增加而有下降趨勢。
2. 實驗過程發現：梳距愈小則被壩體攔截的土石量會愈多。
3. 當壩體高度設計足夠時，攔阻率會隨坡度的增加有些微的下降，但差異並不明顯。

討論：

梳距的寬度可反映土石流通過壩體的難易程度，實驗結果顯示梳距愈小，則砂石愈容易被攔擋而堆積在壩體上游面，梳距小的壩體有比較佳的攔阻效益。



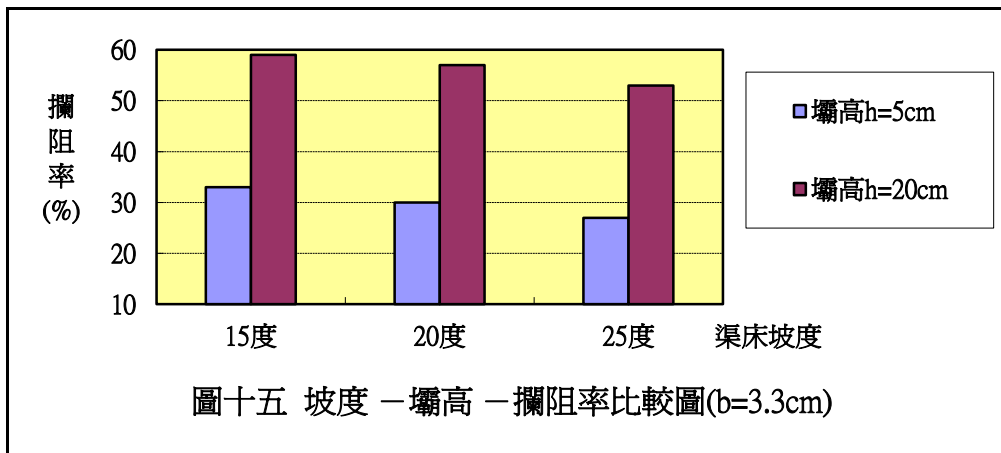
【問題十一】壩體高度設計如果不足，對攔阻率有何影響？

1. 從試驗結果圖十四得知：不論何種壩高的壩體，透過適當的梳距設計，則皆有攔阻功效，而且攔阻率與梳距成反比關係，即梳距愈寬攔阻效果愈差。

- 當壩體高度設計不足時 ( $H=5\text{cm}$ )：攔阻率比較小，尤其是坡度陡時 ( $\theta=25^\circ$ ) 越壩情形更嚴重，所以攔阻率更小。從實驗觀察推論應該是和壩前的貯砂空間有關，梳柱高度不足時，貯砂的空間小，所以壩前可堆積的庫容空間很快就被淤滿，因此才會發生越過壩柱頂端的情形，所以攔阻率比較小。
- 當壩體高度大時 ( $H=20\text{cm}$ )：壩前的貯砂空間比較大，可容納的土石量比較多，攔阻功效比較高，但實驗中也發現壩體所承受的重力變大了。

### 討論：

在試驗過程中發現坡度越陡時，壩前貯砂的空間庫容量比較小，所以壩體的高度必須增加才可增加攔阻量，尤其坡度越陡時，會使土石更容易被帶動而使土石流的總流出量更多，所以梳子壩的高度顯得更加重要，壩體的承受力也不能忽視。所以建議工程施做時必須考慮壩體的承受力，尤其是梳距小時或坡度陡時更應考慮其承载力是否足夠，否則潰壩時會引發更大的災情。



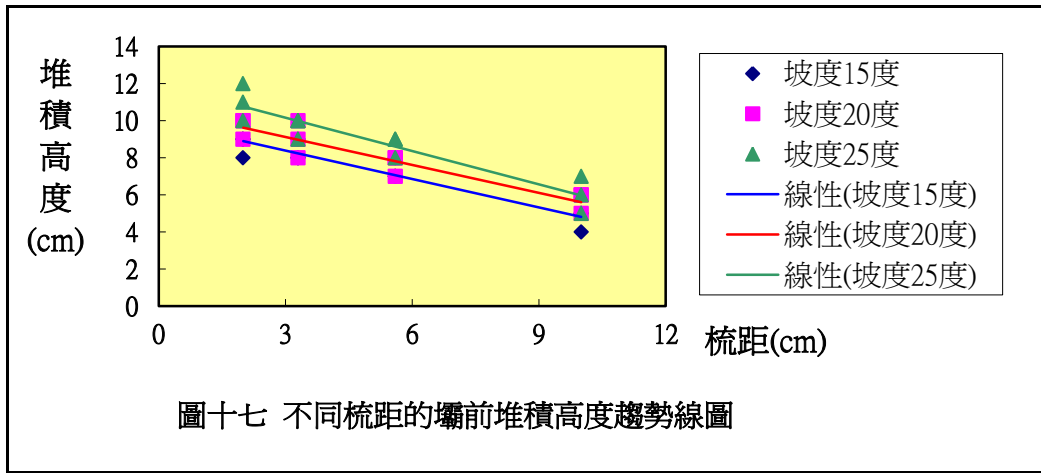
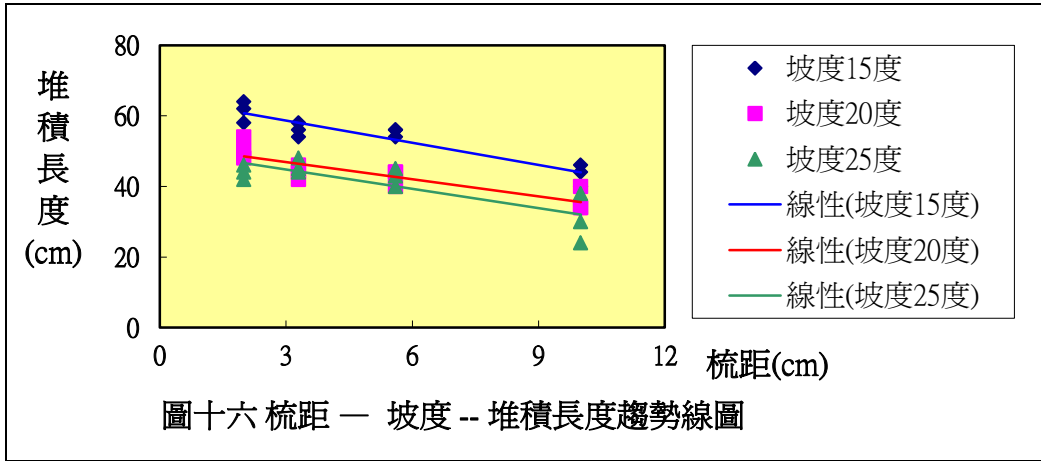
### 【問題十二】梳距不同時，梳子壩攔阻的堆積型態有何差異性？

#### (一) 堆積長度

- 從趨勢線圖十六可知：隨著梳距的增大，壩前堆積長度是呈現下降的趨勢。
- 當梳距寬度較小時，壩前堆積高度較高，但是如果壩體梳柱的高度不足時，則發現後續流動的土砂會越過壩頂往下游移動，此時則攔阻效果就會下降，所以第一波土石流來襲時，壩高愈高其攔阻率也會比較高，而防治效果就會越高。
- 當土石流停止後，在相同渠床坡度時，壩柱愈高則堆積長度有愈長的現象。

#### (二) 堆積高度

- 渠床坡度越大，則堆積高度愈高，而且梳距越小，壩前堆積也愈高。
- 被壩體攔截下來的土石，當梳距小時，常在壩體上游處形成「逆坡堆積」的型態。
- 實驗過程發現當「逆坡堆積」形成時，後續的土砂石會被迫從壩頂越壩而往下游移動，甚至使河床遭受激烈沖刷。



討論：

當間距越小，堆積在壩前的土石，被後續清水流帶走的土砂石愈有限，因此推論：以後若想利用平常的水流來帶走土石，達到清除壩前堆積的土石並不容易。

表六 梳距寬度不同時壩前堆積型態比較 ( $\theta = 15^\circ$ )



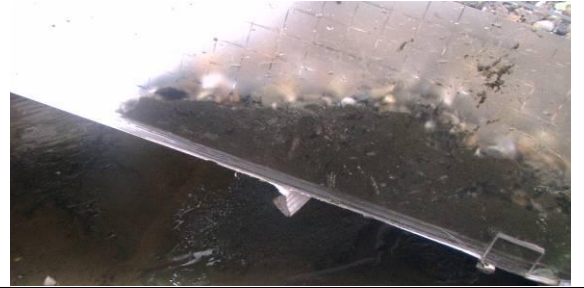



項目 梳距	壩前堆積型態 (側面照片)	堆積型態
2cm		
3.3cm		



**【問題十三】** 坡度不同時，梳子壩攔阻的堆積型態有何差異性？

1. 從圖十六、十七得知：地形坡度愈大，堆積長度雖然愈小，但堆積高度卻愈高。

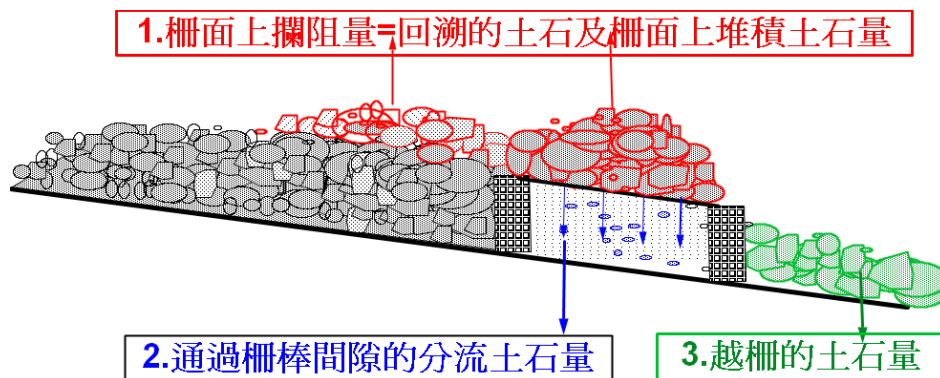
表七 坡度不同時堆積型態比較 (b=5.6cm)

項目 坡度	壩前堆積型態 (側面照片)	堆積型態
<b>坡度 15°</b>		
<b>坡度 20°</b>		
<b>坡度 25°</b>		

## 研究五、透水柵對礫石型土石流的防治功效

### 【問題十四】透水柵攔阻試驗對土石流流動有何影響？

1. 對照組：發現土石流通過無間隙之木板時，土石流快速流過。  
實驗組：土石流剛接觸有間隙之透水柵面時，土石流有飛越柵棒的現象，而後才發生脫水作用。
2. 當粗顆粒砂石停積於柵面，而後續土石會推擠而帶動方才堆積的土石向前移動，接著會出現停積、推擠，再越流的情形重複發生，渠槽坡度愈大，沿拋物線飛越的現象愈明顯。
3. 透水柵工法將土石流分成三部分：一部分是停積在柵面上，柵面堆積的土石有回溯堆積的情形；一部分是穿過柵棒間的空隙掉落下層分河道中；最後一部份是越過柵面飛躍到下游面的渠槽上。



圖十八、透水柵攔截土石示意圖

說明：

$$\text{柵面上攔阻率} = \frac{\text{柵面上攔阻量}}{\text{土石總流出量}} \times 100\%$$

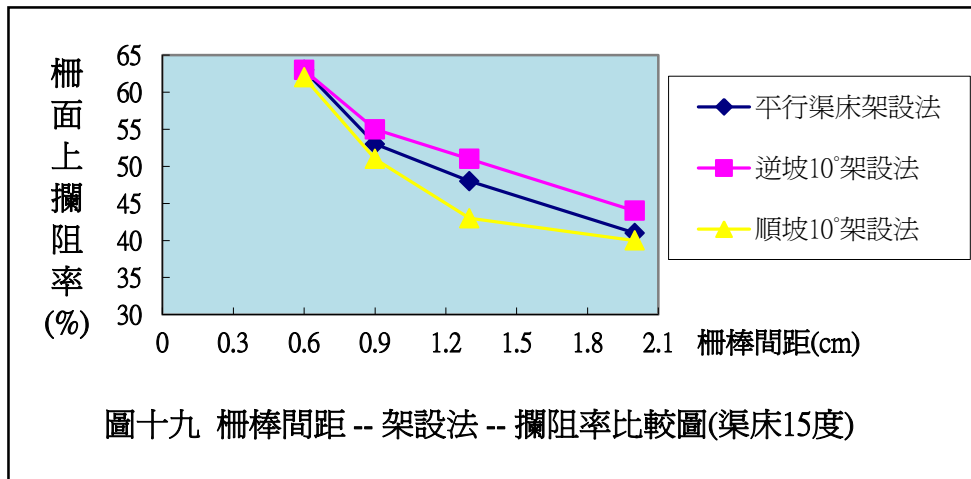
$$\text{分流率} = \frac{\text{通過柵棒間隙的細砂石量}}{\text{土石總流出量}} \times 100\%$$

$$\text{越柵率} = \frac{\text{越過柵面的越柵流出量}}{\text{土石總流出量}} \times 100\%$$

### 【問題十五】透水柵的柵棒間距不同時，其攔阻率的差異性如何？

1. 攔阻量愈多，代表土石流衝向下游的土石量愈少，可減緩對下游的威脅性。
2. 柵棒間距與柵面上的攔阻率呈反比，柵棒間距愈大，攔阻率愈低。
3. 實驗中發現土石落入柵棒下層的多寡和柵棒的間距有相關性，當間距愈大時砂石由間隙落下就愈多，所以柵面上層停積的土石量愈少。





圖十九 柵棒間距 -- 架設法 -- 攔阻率比較圖(渠床15度)

**【問題十六】** 透水柵的柵面架設的角度及渠槽坡度不同時對攔阻率有何差異？

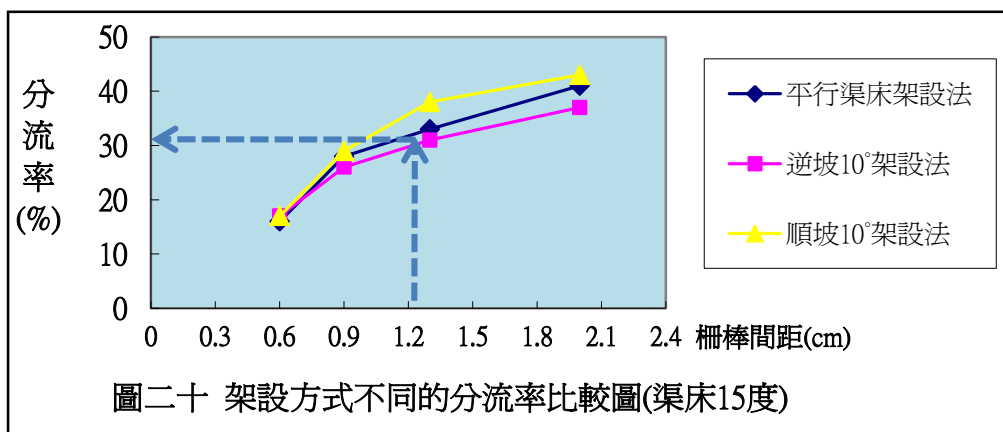
1. 在間距與長度固定的條件下，攔阻率隨柵面角度增大而有減少的趨勢。
2. 圖十九可知：順坡架設法會使攔阻率下降，即攔阻率由大到小排列為：逆坡 10° > 平行渠床 > 順坡 10°。

**討論：**

渠床坡度愈陡，則攔阻率愈小，從實驗觀察推論應該和「流速快」有關。當渠床坡度愈陡，則順坡傾斜架設後柵面的角度呈現更陡的情形，所以柵面上停積的土石量會隨重力作用而滾落至下游，所以攔阻的土石量變小了，順坡架設可減少柵棒間隙被阻塞的機會。

**【問題十七】** 透水柵的柵棒間距大小以及柵面架設的角度對分流率有何影響呢？

1. 分流率以順坡架設法 > 平行渠床架設法 > 逆坡架設法。
2. 掉落柵面下層的土砂分流率隨間距增大而漸增，代表落入下層的土砂比較多。
3. 從下圖中可推知：當間距  $b=1.2$  公分時，因分流作用所以主河道下游處可減少 30% 的土石流量，換句話說：當間距  $b > 1.3$  公分時約可達到三成以上的分流功效。



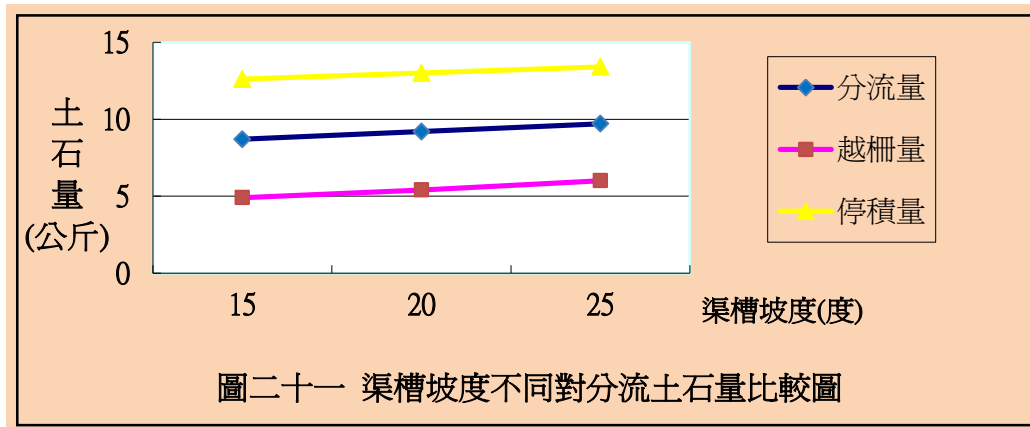
圖二十 架設方式不同的分流率比較圖(渠床15度)

**【問題十八】**渠槽坡度不同時對掉落下層的細沙石的分流土石量和越過柵面的土石量，以及柵面上堆積的土石量有何影響？

1. 坡度愈大，掉落下層的細砂石量就愈多。
2. 坡度愈大，越過柵面的土石量也愈多。
3. 坡度愈大，從上游被帶下來的土石也愈多，所以柵面上堆積的土石量也略多些。

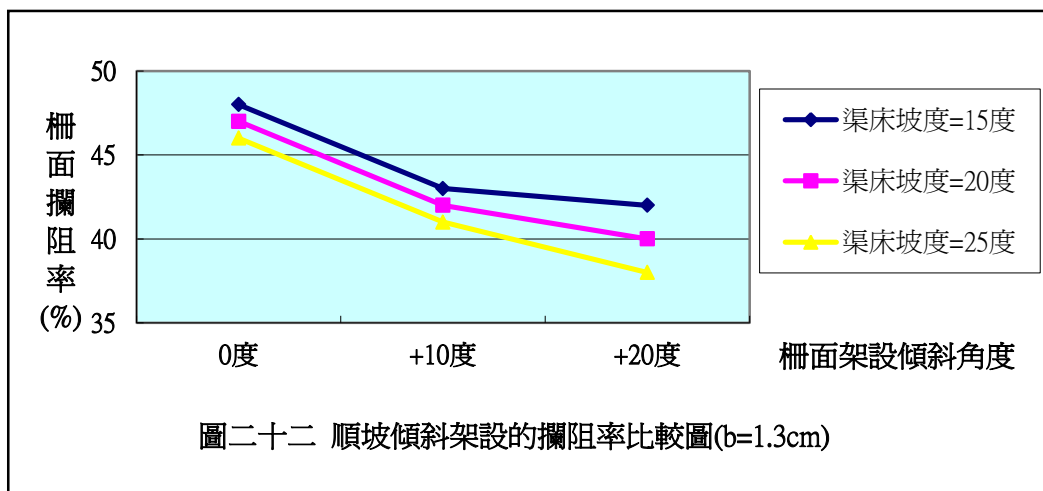
討論：

坡度愈大所帶動的土石總量是比較多的，所以推論下游居民所承受的危險性一定更加大。



**【問題十九】**如果採用大順向坡的柵面架設法對土石流的攔阻率有何影響？

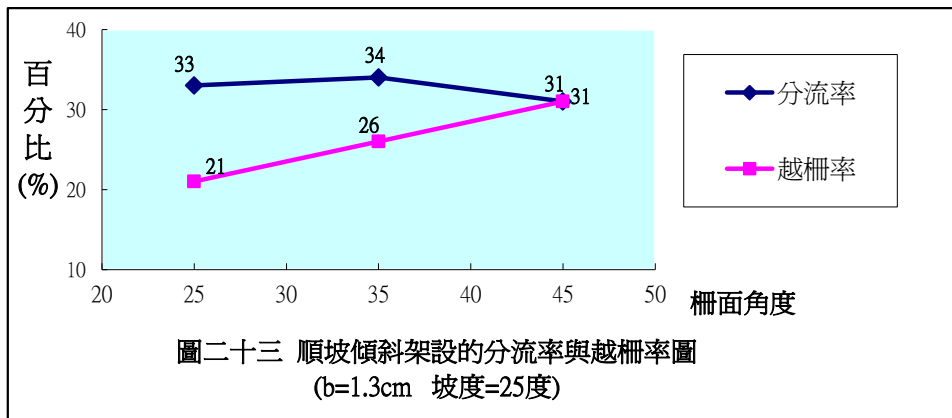
1. 從實驗中發現柵面架設的角度愈大，柵面上的攔阻效果就愈差。
2. 在渠槽坡度 15~25 度的實驗中，由下圖得知柵面的攔阻率皆隨架設角度變大而下降。



**【問題二十】**如果採用大順向坡的柵面架設法對土石流「分流率」與「越柵率」的關係為何？

1. 當柵面坡度增加至 45 度時，分流率有下滑的情形，代表柵面角度太大則落入柵面下的土石比例有下降的現象。

2. 坡度大則飛躍越過柵面落入下游河道土石量會增多，所以越柵率隨柵面角度的增加而呈現上升趨勢。

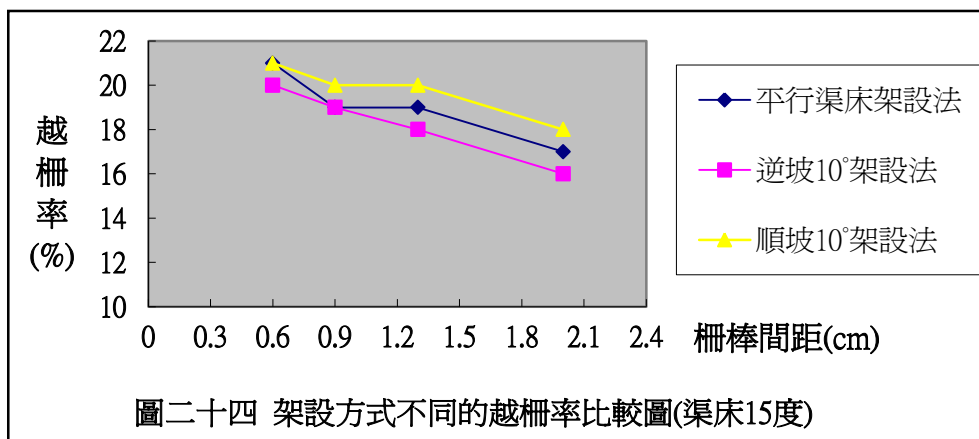


**討論：**

根據試驗結果發現：柵面角度愈大，則柵面攔阻率有下降的趨勢，分流率在柵面坡度太大時也出現下降情形，而且越柵的情形也比較嚴重，這種結果我推測會出現兩種現象，一個是土石不容易在柵面上停積，有助於柵面柵棒間距的篩分作用進行，另一個現象是對越柵土石的處理則必須更加的謹慎，所以我建議越柵的土石應該導引到安全區域，以免對下游居民造成危險。

**【問題二十一】 透水柵的間距大小和柵面架設角度對土石流越柵率有何影響？**

1. 越柵流出率以「順坡架設法」大於其他架設方式。此結果應該和土石流速加快有關。
2. 實驗中發現：間距太小會使越柵的土石量增加，這應該與柵棒間距被快速阻塞有關。



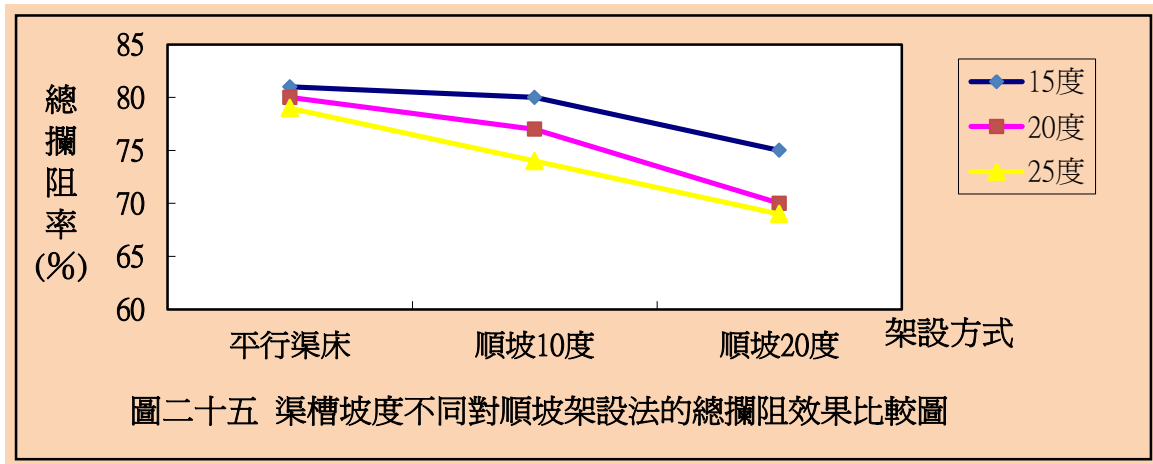
**討論：**

實驗中發現渠槽坡度愈大，飛越的現象愈明顯，停積、推擠，再越流的情形重複發生，而且順坡架設法柵面攔阻率雖然比較低，但分流作用卻略高於其他架設法，因此順坡架設的

整體攔阻效果（貯砂率+分流率）如何呢？值得深入探討。

**【問題二十二】透水柵的順坡架設的整體攔阻效果（柵面上攔阻率+分流率）如何呢？**

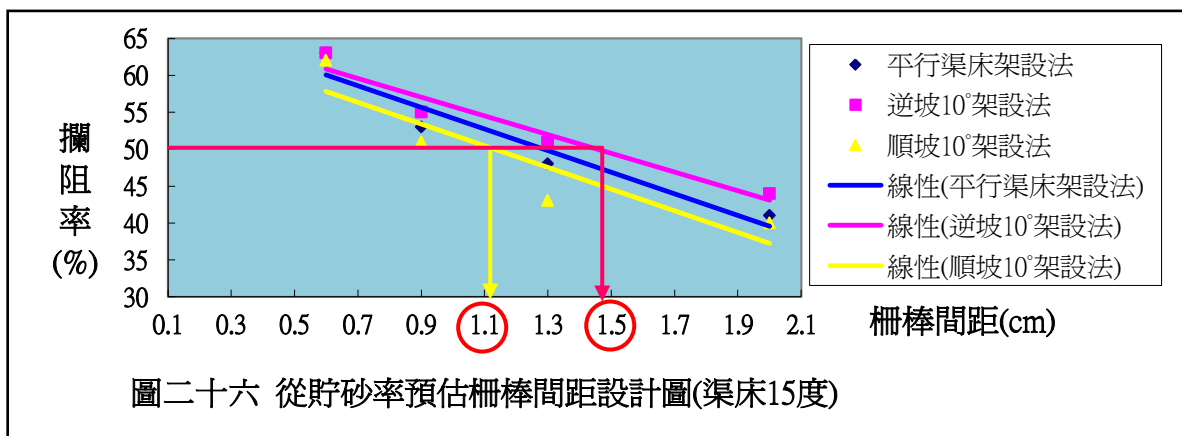
1. 渠槽的坡度愈陡，則總攔阻效果愈差。總攔阻效果以坡度 15 度 > 坡度 20 度 > 坡度 25 度。
2. 總攔阻效果以平行渠床架設法 > 順坡 10 度架設法 > 順坡 20 度架設法。



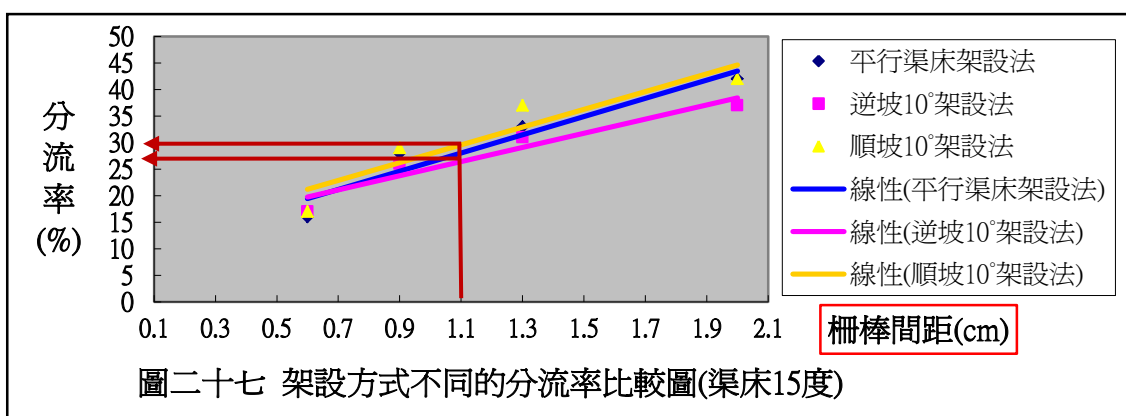
**【問題二十三】柵面上攔阻率和柵面下攔截的分流率到底要多少比較好呢？**

若柵棒間距太寬則落入下層之土石的粒徑太大，而且太多，無形中對分流河道產生太大的負荷，如果間距太小，則柵面上堆積過多的土石，後續而來的土石也會越過柵面而衝向下游，所以究竟柵棒間距的設計準則該如何呢？我以貯砂率和分流率做為防治工法設計時的重要參考值，來進行探討。

1. 從下圖可知：若選擇地形 15 度，間距  $b \leq 1.1$  三種架設法皆可以有 50% 以上的總攔阻效果。
2. 換句話說：若要達到 50% 以上的貯砂功效，採用不同的柵面架設角度其柵棒間距的設計約在 1.1~1.5cm 左右。



3. 若選擇地形 15 度，間距  $b \leq 1.1$ ，可從統計圖推估出分流率約為 27~30%。
4. 整體攔阻效果（攔阻率+分流率）：從上述結果推論，若地形 15 度，間距  $b \leq 1.1$ ，約可達八成以上。



## 研究六、改良型壩體的防治功效

根據前面的試驗，我發現梳子壩與平面柵對土石流都具有攔阻的效益，間距愈小，攔阻量愈多，則能降低土石流流至下游的規模，但是我發現間距太小會有一些隱藏的危機(如表八)，而且在實驗中我發現一些現象，我提出一些看法如下表，並試驗以驗證可行性。

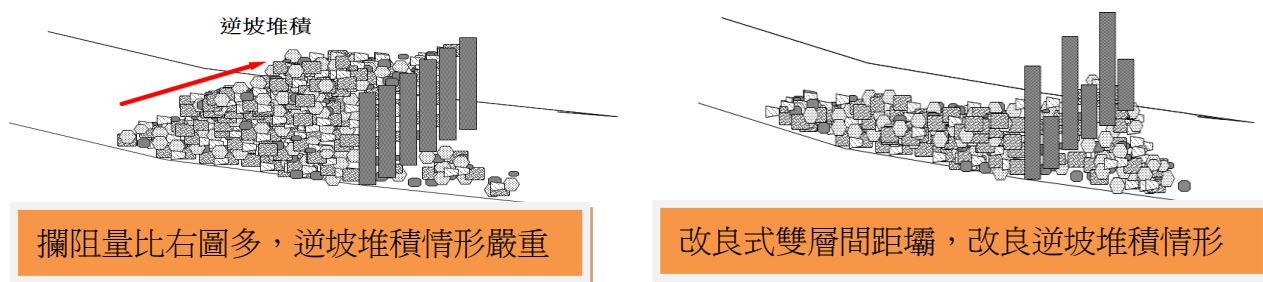
表八 透過式壩體試驗過程的觀察與省思

透過式壩體	困境	我的想法
在梳子壩方面	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 如果貯砂空間不足，則容易有「逆坡堆積」的情形，嚴重影響日後排砂的功能</li> <li>2. 若貯砂量太多對壩體而言是一項沈重的負荷</li> <li>3. 若壩體高度不足而有越壩現象時，對壩趾的侵蝕也是不可忽視的傷害。</li> </ol>	或許允許降低部分的攔阻率，可減少土砂「逆坡堆積」的情形，將能使自我排砂的調節功能增加，因此我提出「雙層間距高低穿插式梳子壩體」的想法。
在透水柵方面	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 柵棒間距太小易有隨機阻塞的現象，影響日後排砂的功能</li> <li>2. 若柵面長度不足易有越柵現象而危害下游安全</li> <li>3. 傳統平面柵的越柵土石易和落入下層的細砂石流再度結合容易引發第二波災害</li> </ol>	柵面採用順坡架設法有助於分流功效及柵面土石的清除，但是越柵土石要引導至安全區域。採用分流道設計法，預防落入下層的細砂石流與主河道結合，越過安全區段再導入主河道

**【問題二十四】**穿插排列成高低組合的梳子壩，形成下部的間距窄，而上部的梳距寬的情形，可以提高自我排砂的調節功能？

1. 攔阻率由高到低排列：傳統單一間距壩（高度  $h=20\text{cm}$ ）>改良式雙層間距壩（高度  $h_1=20\text{cm}$ 、高度  $h_2=5\text{cm}$ ）>傳統單一間距壩（高度  $h=5\text{cm}$ ）。
2. 三種形式壩體攔阻功效的差異性，以渠床坡度  $15^\circ$ 之防治功效的差異略大於  $20^\circ$ 及  $25^\circ$ ，即坡度愈緩愈明顯。
3. 當土石流總土石量小於下層壩體之貯砂空間時，土砂根本不會越過矮梳柱的頂端，所以單

層和雙層壩體的防治攔阻率就無明顯差異。但是土石流總土石量大於壩體之貯砂空間時逆坡堆積愈嚴重，壩體負荷也愈重。



圖二十八 傳統式與改良式梳子壩土石攔阻示意圖

【問題二十五】 在不同坡度時，其梳子壩前可供貯砂的空間不同。在坡度小時，單間距與雙間距壩體之間的差異比坡度大時明顯，原因可能是什麼？

1. 在坡度小 ( $\theta=15^\circ$ ) 時：當  $h=20\text{cm}$  時，貯砂空間大於總土石量，而雙層間距  $h=5\text{cm}$ 、 $h=20\text{cm}$  穿插組合成的梳子壩體，其貯砂空間小於總土石量，砂石會越過下層矮的梳柱頂端，而向下游移動，所以在坡度小 ( $15^\circ$ ) 時，單層壩 ( $h=20\text{cm}$ ) 與雙層壩 ( $h=5\text{cm}, h=20\text{cm}$ ) 兩者防治功效的差異比較大。
2. 在坡度大時 ( $25^\circ$ )：雖然雙層壩效果比較差，但是兩者之間的差異比坡度小時來得小些，討論後覺得應該是在大坡度時，兩者的壩前貯砂空間的庫容量皆小於土石流總土砂量，所以貯砂空間很快被淤滿。

表九 傳統式與改良式梳子壩體堆積型態比較 ( $\theta=20^\circ$ )

規格 項目	壩前堆積型態 (側面照片)	堆積型態
單一梳距 $b=3.3\text{cm}$ $H=5\text{cm}$		
單一梳距 $b=3.3\text{cm}$ $H=20\text{cm}$		
雙層梳距 $b1=3.3\text{cm}$ ; $b2=9.9\text{cm}$ $H1=5\text{cm}$ ; $H2=20\text{cm}$		

## 陸、討論

### 一、梳子壩的間距愈小，攔阻效果佳，但是一定比較好嗎？

梳距愈小，攔阻功能雖然愈佳，但實驗過程中仍發現有一些不良的情形出現。

- (1) 因間距小，逆坡堆積的砂石和壩體之間形成穩定結構，所以推測日後想利用平常的流水來自我排砂應該比較不容易。
- (2) 因攔阻量多，上游貯砂空間必須足夠，壩體耐撞力也要提高，否則自壩頂越壩而下的土砂，會激烈撞擊和沖刷下游河床，則下游河床的穩定性被破壞，因此容易危害梳子壩本身的安定性。

我在花蓮和南投勘查時，發現台灣河川上游的坡度很陡，而且常有系列式連續壩或各種工法結合的設計概念，這應該與本實驗結果所呈現的現象相符，推論應該和壩前貯砂的空間常無法容納一次土石流的總土砂石有關。

### 二、平面式透水柵和直立型梳子壩的攔阻特性有何差異？

- (1) 從撞擊力來看：梳子壩的撞擊力比平面式透水柵大，比較容易毀損。
- (2) 從貯砂空間來看：梳子壩貯砂空間常因梳子壩柱的高度和地形坡度的影響而有不足的現象。平面柵會因柵棒長度不足而容易有越柵的現象，若壩前攔阻空間有限，則對於危害較低的細顆粒『土砂流』可透過柵棒的間隙往下游輸送，或將細顆粒土砂流由分河道導引到安全的區域。

### 三、透水柵工法設計的重點為何？

- (1) 從攔阻率可瞭解此工法柵面上的土石攔截情形，可以作為貯砂空間庫存容量的參考。
- (2) 從總攔阻率（包含主河道貯砂量和分河道的分流土石量）可瞭解此工法所能捕捉攔截的土石百分比。因此貯砂率與分流率為評估壩體攔阻效益的重要指標，
- (3) 越流的土砂石也代表潛藏的危險性，不可以輕忽。  
所以「攔阻率」、「分流率」、「越柵率」成為我研究的重點。

## 柒、結論

### 一、土石流的流速試驗

- (一) 流動區的坡度和降雨量的多寡，會影響土石流的流動深度，呈現正比的現象。
- (二) 土石流速愈快，危險氾濫堆積區的範圍愈大。

### 二、土石流危險氾濫堆積區的規劃要注意土石流的堆積模式。

- (一) 堆積範圍隨坡度和供水量的增加而變大。
- (二) 供水量愈大時，氾濫區堆積的深度比較淺，但面積比較大。
- (三) 供水量比較小或流動區的地形坡度小時，堆積高度最高點出現在渠槽出口處。

### 三、梳子壩的攔阻效益分析：

- (一) 隨著梳距的增大，壩前堆積長度和高度皆呈現下降的趨勢。
- (二) 地形坡度愈陡，則堆積長度愈短，但是堆積高度愈高，壩體的高度若不足則會有越過

壩頂的情形。

- (三) 當梳距小時，在壩體上游處會形成「逆坡堆積」的型態，後續的土砂石會被迫從壩頂越壩而向下游移動，甚至使河床遭受激烈沖刷。

#### 四、透水柵的攔阻效益分析：

- (一) 柵棒間距的寬度對分流作用與柵面上攔阻率具有關鍵性影響，攔阻率隨著柵棒間距增大而下降，分流率則隨著柵棒間距增大有上升的趨勢。
- (二) 柵面順坡架設的角度增大有助於分流功效的提升，但是若達到 45 度時發現分流率與攔阻率皆會有下降的趨勢，而且越柵率也出現增加的情形，因此必須小心處理，以免造成下游居民的危險。

#### 五、創新壩體設計：

- (一) 改良型雙層間距梳子壩體的攔阻效益不如單層梳距佳，但如果貯砂空間不足時，採用雙層間距梳子壩體固然攔阻率比較低，卻可減低造成土砂「逆坡堆積」的情形，而使自我排砂的調節功能增加。
- (二) 透水柵採用分流河道的方法可以避免越柵的土石與水再度結合，減少對下游的威脅，細砂石導入分流道，可以將攔阻的土石分流成兩部分，而且柵面架設方式採用順坡架設法有助於柵面土石的清除。

### 捌、展望與建議

- (一) 本試驗重點放在攔阻功效，對於透水柵分河道的「土砂流」對下游是否產生何種變化並未探討，建議以後可朝此部份進一步探究。
- (二) 土石流的發生及流動，受到許多因素的影響，若土石粒徑的組成與本研究組成的土體相差很大時，則應該因地制宜，以求更精準的設計準則。
- (三) 建議施做透水柵工法時能與其他透過性工法結合作規畫，可增加土石流防治的整體功效。
- (四) 當壩體上游面的貯砂空間不足時，建議降低部分的攔阻率，可減少土砂逆坡堆積之情形，將可以使自我排砂的調節功能增加。
- (五) 改良型雙層間距梳子壩體的設計模式，可進一步深入探究其間距或高度變化對攔阻功效的影響性，建議以後可朝此部份進一步探究。

### 玖、參考資料

1. 土石流防災資訊網。 <http://246.swcb.gov.tw/default-1.as>
2. 洪國凱 (2005)。大角度斜降式透水柵對土石流篩分功效之試驗研究。國立中興大學水土保持學系碩士論文。
3. 段錦浩、謝宗憲、張繼儒 (2003)。土石流透水柵篩分因子之研究，水土保持學報 35(3)：p.321，332。
4. 游繁結 (1993)。土石流之防治工法。水土保持學報，25，(1)，p21~28。
5. 薛皓薰 (2008)。叱『柵』風雲。中華民國第四十八屆中小學科展。



## 【評語】 080508

優點：

1. 主題是近年來相當受到關注的議題，而能針對一個主題進行多年長期的研究，累積許多的觀察與實驗記錄，並嘗試提出改良的方法，相當符合科學的精神，難能可貴。
2. 實驗器材製作精確，實驗過程嚴謹。

缺點：

1. 國小學生科學探究的要求不一定像科學家般嚴謹，宜多一些專屬國小學生天馬行空的創意。