

中華民國第四十八屆中小學科學展覽會
作品說明書

國中組 生物及地球科學科

第一名

031730

叱「柵」風雲--透水柵工法在台灣의適用性研究

學校名稱：臺北縣立永和國民中學

作者： 國一 薛皓薰	指導老師： 李伶慧 林秋美
-------------------	-----------------------------

關鍵詞： 透水柵工法、篩分效益、分流

叱『柵』風雲---『透水柵工法在台灣之適用性研究』

~勘查台灣大學實驗林土石流防治與透水柵工法的篩分功效之研究

摘要

2003 年台灣引進土石流透水柵工法，是否適用於台灣值得深入探究，因此本研究藉由實驗模擬來探討土石流通過透水柵的流動特性、堆積情形與篩分功效。試驗變因有土石粒徑大小、柵棒間隙、渠床坡度、柵面篩分裝置的設置方式、柵面篩分角度、柵棒長度等。

實驗結果顯示，土石流流經柵面會呈現停積、推擠、流動、再停積的現象，篩分效果和柵棒間隙有很大關係，而柵面篩分角度增大與柵棒長度加長可使篩分效果增大，進而減少主河道的土石流規模。建議台灣在設置透水柵時考量當地粒徑大小，並依地形坡度而採用不同的逆坡、平面或順坡方式設置，使篩分角度略大於土石停積的角度，將有助於柵面上土石的自清效果，實驗後提出建議，作為透水柵工法設置時之參考。

壹、研究動機

多年前目睹土石流掩埋村落的現場，讓我相當震驚，開始了我四年來的土石流研究（詳見參考資料），台灣近數年來所施作之各種大小不同治山防洪工程，卻常遭土石毀壞，暑假與父母到溪頭森林區度假，看到一種稱為「透水柵工法」的防治方式，讓我相當好奇，返家後蒐集相關訊息，台灣2003年引進，但資料相當少，因此引起研究它的興趣，我參考日本長野縣燒岳山的透水柵，開始了一連串的實驗歷程與勘查活動，希望能更瞭解此種工法，並能應用於台灣。

【一】電話詢問專業人員：

為瞭解台灣土石流防治工程，以電話詢問水土保持局第一和第三工程所，得知目前以透過性梳子壩、潛壩、防砂壩、固床工、護岸居多，溪頭大學坑2003年引進透水柵工法，但目前僅溪頭大學坑設置，防治效果正在評估中。

【二】請教中興大學水土保持系段教授：

透水柵工法在日本長野縣燒岳山的防治效果佳，引進後曾計畫設計於松鶴部落，但因為當地土石流災情的資料不足，因此暫緩進行。而溪頭大學坑的透水柵工法是屬於平面透水柵結合格柵型梳子壩和沉砂池來設計，透水柵工法值得進一步探究以適用於台灣。

★與課程相關單元：

社會科第一篇台灣的環境第六章自然生態與環境保護（國中第一冊翰林版）

貳、研究目的

- 一、瞭解不同形式的土石流防治工法。
- 二、實地勘查溪頭森林遊樂區的土石流防治情形。
- 三、探討溪頭森林區土石流發生的致災原因？
- 四、模擬不同類型土石流通過透水柵裝置時，其篩分功能如何？
- 五、探討透水柵棒的間隙對土石流篩分效益的差異性？
- 六、模擬不同地形坡度的透水柵工法篩分效益、堆積特性有何差異性？
- 七、分析不同篩分角度的透水柵篩分效益與堆積特性的差異性？
- 八、探討大坡度順向篩分角度對透水柵自清能力的影響？
- 九、探討透水柵長度不同對土石流篩分效益的差異性？
- 十、瞭解日本 長野縣 燒岳山的透水柵裝置與台灣透水柵的差異與適用性。

參、研究設備與器材

表 3-1 實驗器材一覽表

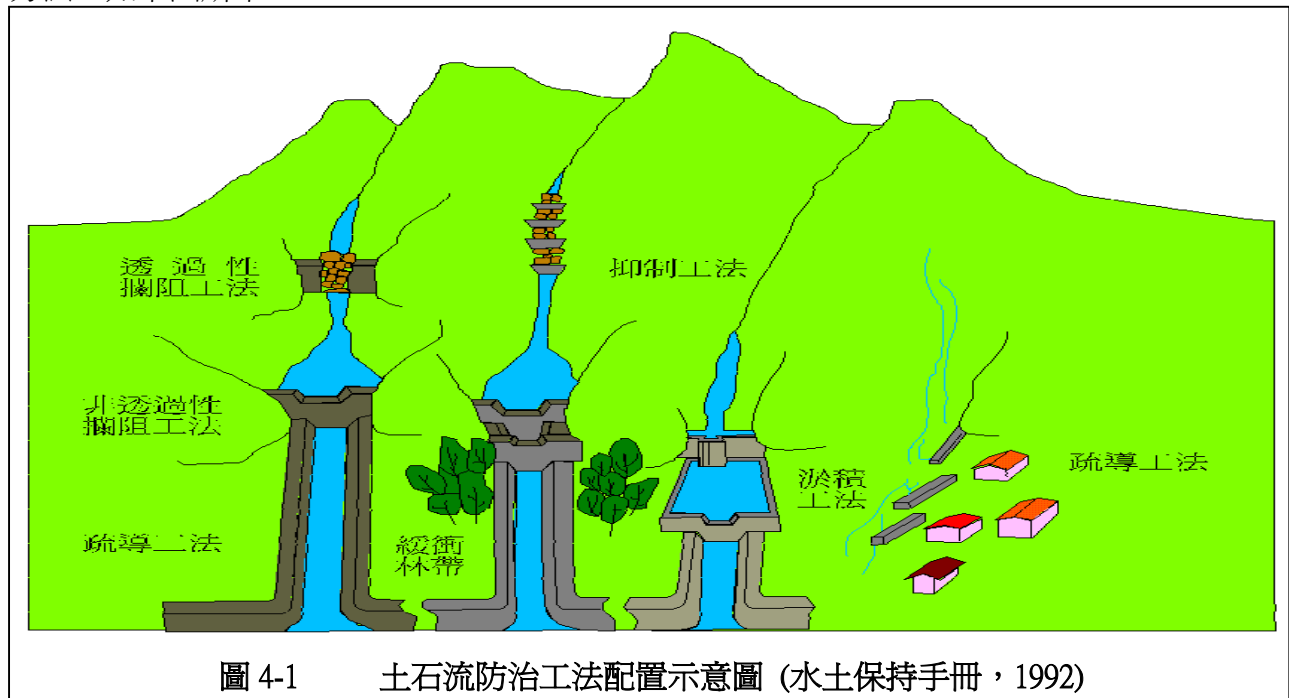
設 備	
實驗渠槽	1.小渠道（長寬高 200*20*20 cm）：木板釘製而成，渠槽底部鋪上一層粗糙的塑膠布防止水滲漏。 2.大渠道（長寬高 250*40*20 cm）：木板釘製成主河道和分河道。（如圖 4-3）
供水設備	供水箱水龍頭流出的水，流入定水頭水箱，以控制水壓的穩定，定水頭水箱的五個出水孔，可做為流量大小之控制，連接管線至渠槽上游面，給予固定之出水量。
攝影設備與影像擷取	1.Canon 數位攝錄影機，錄取實驗過程，放置於渠槽旁拍攝。 2.以繪聲繪影影像擷取軟體與 CyLink PowerDVD 軟體，分析整個實驗過程。
實 驗 材 料	
六分石、三分石、一分石、粗砂各 2 袋、土 2 袋、篩網 5 支（規格 3/4"、1/2"、1/4"、#8、#30）、塑膠籃(25*40*10 cm)6 個、小鏟子 2 支、透明杯 5 個、量杯（1000ml）1 個、標籤紙 1 包、承接水箱 2 個、大水桶 2 個、仰角觀測器 1 個、100cm 直尺 1 支、水管 3 公尺、透明直徑 1cm 水管 5 小段、大水箱 2 個、電鑽、塑膠透明野餐墊、小白板、白板筆、塑膠量杯（1000ml）2 個、體重計	
透水柵裝置	
1.透水柵：方型木條、白膠、鋸子、尺、奇異筆、木板 2 片（20*40*2 cm） 2.上下游壩體：壓克力板、白膠、切割器	

肆、研究過程與方法

一、文獻蒐集

1.土石流防治工法

(1)針對土石流在上中下游不同特性的防治，分別有抑制、攔阻、淤積、疏導及緩衝等工程方法，如下圖所示。



(2) 土石流輸送段的防治：

土石流因為大量水流的作用而快速流動，一旦脫水後就會慢慢停下來，因此在溪床上可設置梳子壩或鋼管樁壩等透水性之攔砂壩，或以水平之格柵工鋪陳於溪床上，一來可以讓土石流減速，再來當土石流流經水平柵時，水分可以向下滲透，而使水土分離，達到脫水之效果，促使土石流停止。

2.透水柵工法

表 4-1 前人研究結果一覽表

作者	研究結果
黃怡仁 (1990)	透水柵具有脫水、減勢和調節土石流攜出土砂規模的能力，是防治土石流的主要工法之一。透水柵具有現地施工期短、施工花費省、結構設計簡易等好處，但最大之優點，在於其可避免土石流巨大衝擊力的正面撞擊。
陳虹合 (2002)	一般透過性壩體所遭遇之最大問題，也就是容易受土石流巨大衝擊力而損壞及壩體上游貯砂空間不足，因而設置平面篩分裝置，此平面篩分裝置由

	兩座相距很近的防砂壩上面再架設平行於流心線而有間隙的數十根 H 型鋼所組成，具有一般透過性壩體之特性，可調節土砂流出量，且沿著土石流流向設置，以避免土石流直接衝擊，並將貯砂場所移至下游，可有較大之貯砂空間。
林忠義（1998）	透水柵和土石流間的土砂互動行為具有以下三個特點： (1)土石流通過透水柵時，上、下 分離土砂之數量多寡，受上游入流土砂規模、柵體上游邊界條件、柵體幾何尺寸及溪床質特徵等因素影響而產生變異。 (2)透水柵可有效將土石流之水體與土砂分離，使先端部粗大礫石迅速脫水停積，並形成一臨時性堆積阻攔後續流動的土砂。 (3)透水柵是平行設置於溪床上，故觀察試驗中堆積於透水柵上土砂之厚度普遍不大，且土砂結構極為鬆散，此有利於河川自身於常流量時對柵上土砂之清除。
謝宗憲（2003）	土石流發生時，水與坡度為其行進動力的重要因子。當其流經平面柵時大部分水被析出，留下土砂石，這些土石的前進僅靠慣性力與重力，其中重力的部分與坡度有關，若能控制柵棒角度找出土石流在不同角度過篩的影響，則能改善粗顆粒土砂阻塞柵棒的問題。
陳虹合（2002） 黃怡仁（1990）	土石流受平面篩分作用，會產生流動、停積、再流動、再停積之重覆現象，最後平面柵失去功效，土石流越流而過。
洪國凱（2005）	土石流分離後之土砂堆積造成透水柵淤塞、篩分功能喪失之缺點，加以改良設計大角度傾斜角透水柵，可藉由慣性力及重力之斜面分力產生下滑力作用自然滾落至主流河道預計沉積處。
土石流防災資訊網	南投縣信義鄉豐丘村，桃芝颱風豪雨再度發生土石流，受到貯砂池攔蓄，部分土砂自右岸及下游透水柵流出，除台 21 線遭部分流出土石砂埋沒，未有重大災害產生。

二、研究問題：

表 4-1 研究問題彙整表

研究一、瞭解土石流的防治工法	
問題	<一> 土石流防治工法有哪些？

研究二、實地勘查溪頭森林遊樂區的土石流防治情形	
問	<一>溪頭森林遊樂區的土石流防治狀況？
題	<二>溪頭森林區土石流發生的致災原因？
研究三、「透水柵工法」在台灣的應用情形	
問	<一>溪頭大學坑「透水柵工法」的應用情形與成效如何？
題	<二>日本長野縣燒岳山的透水柵與台灣大學坑的透水柵差異為何？
研究四、不同類型土石流的透水柵工法的適用性	
問題	<一>平面透水柵對泥流型土石流的篩分效益如何？
	<二>平面透水柵對一般型土石流的篩分效益如何？
	<三>平面透水柵對礫石型土石流的篩分效益如何？
研究五、探討不同透水柵柵寬間距對土石流篩分效益的差異性	
問題	<一>透水柵柵寬間距愈大時，土石流篩分效益會如何變化？
研究六、模擬不同地形坡度的透水柵工法篩分效益與堆積特性的差異性	
問題	<一>渠床愈大，透水柵工法篩分效益與堆積特性如何變化？
研究七、探討不同篩分角度的透水柵篩分效益與堆積特性的差異性	
問	<一>透水柵架設方式是否會影響土石流的篩分效益？
題	<二>在不同的篩分角度下，對土石流流動的停止及沉積有何影響？
研究八、探討大坡度順向篩分角度對透水柵的自清能力的影響	
問題	<一>柵面土石流是否藉由慣性力及重力之斜面分力產生下滑力作用，自然滾落至主流河道預計沉積處，改善粗顆粒土砂阻塞柵棒的問題？
研究九、探討不同透水柵長度對土石流篩分效益的差異性	
問題	<一>透水柵長度愈長時，土石流篩分效益是否會提高？
研究十、透水柵與其他防砂壩體的比較	
問題	<一>透水柵與梳子壩、人字壩、格柵壩、格子壩、封閉式壩體的比較

三、研究架構圖：

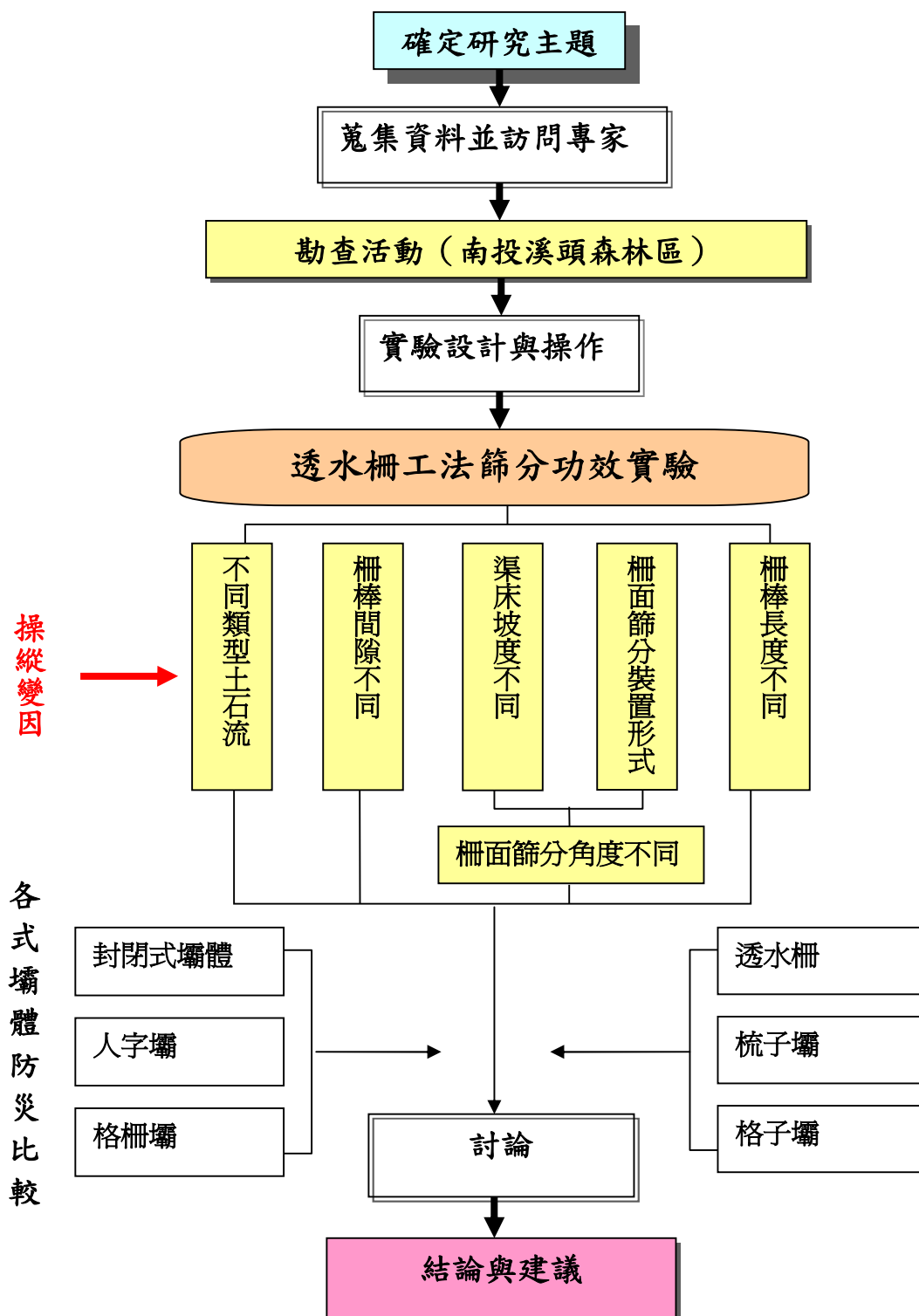


圖 4-2 研究架構圖

四、試驗設計與條件：

以渠槽模型進行模擬實驗

1. 實驗渠槽

實驗渠道共設計多種形式（詳見會場實驗日誌）。

（1）小渠道（長寬高 200*20*20 cm）：參考日本 燒岳的透水柵製作而成，沒有設置下游壩，上游壩 11 公分高，下游處於渠槽上鑽兩孔插入一根粗鐵棒供放置透水柵之用。

（2）大渠道（長寬高 250*40*20 cm）：製成主河道和分河道，以方便實驗篩分的粗砂石與穿過柵棒間隙細顆粒砂石的估算而設計的。

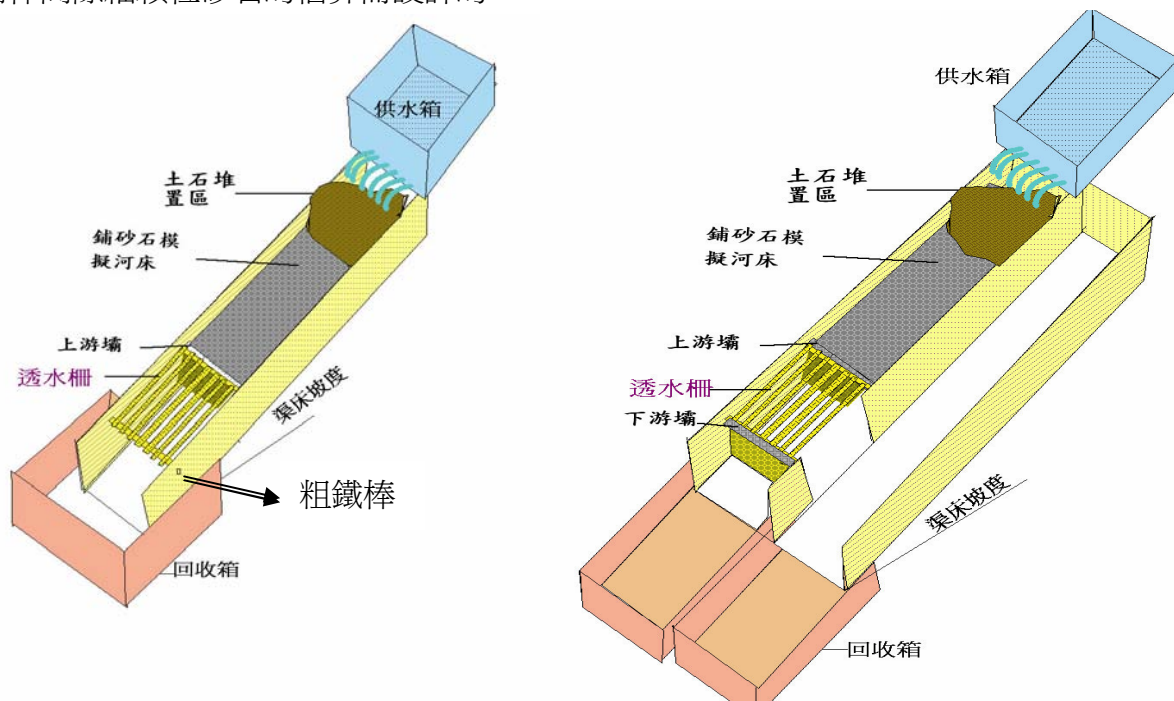


圖 4-3 實驗裝置示意圖

2.土砂石材料的選定

資料蒐集後，依不同類型土石流的定義，討論後選定下列不同粒徑比例的土砂石，組合成三種類型土石流：

- （1）泥流型土石流＝粗沙：泥＝2：3＝40%：60%
- （2）一般型土石流＝大石：中石：小石：粗沙：泥＝20%：20%：10%：20%：30%
- （3）礫石型土石流＝大石：中石：小石：粗沙：泥＝20%：20%：30%：20%：10%

表 4-4 礫石型土石流粒徑比例表

土體	篩網規格	粒徑 (mm)	重量百分比%	累計重量百分比%
大 石	3/4"	19.1	20%	20%
中 石	1/2"	12.7	20%	40%
小 石	1/4"	6.3	30%	70%
粗 砂	#8	2.4	20%	90%
泥	#30	0.6	10%	100%

3.坡度的設定

由蒐集的資料得知土石流發生的坡度大約為 15°~25°以上，而土石流流動區的坡度為 6°~15°，因此我們決定以 15°、20°、25°來進行。

4.供水裝置

採用地表逕流來促發土石流，使用長寬高為 15×15×30cm 之定水頭水箱，五管水流穩定供水（3 公升/秒）。

5. 上下游壩體模型

以壓克力 5×5×20cm 製作多個方形壩體，依實驗需要組合成所需的規格與柵面坡度。

6. 透水柵模型

1cm 方形木棒製作，長度分別為 20cm、30cm、40cm、50cm 各十支，完成 4 片透水柵模型。

7. 土石回收裝置

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過濾濕砂土秤重量。

8. 攝影裝置

數位攝錄影機藉由影像播放軟體，採用定格播放的方式，記錄土石流通過透水柵篩分、流動、停積之情形。

五、實驗步驟：

1. 調配土石比例。
2. 架設上下游壩體，高度 11 公分高。
3. 調整實驗的渠槽坡度 15°。
4. 將 20 公分長的透水柵面固定在上下游壩體上面，在柵面下斜放一片墊板，使掉落柵下的細顆粒能導引至分河道，不至於堆放在柵面下而影響砂石的掉落。
5. 在上游壩面向上堆置 180 公分長的飽和的土砂石並壓實，使高度和壩面同高，模擬天然河床的情形，並用灑水器充分澆水使土石達飽和狀態。
6. 在距上游壩 180 公分處堆置鬆散重 30 公斤的試驗土石。
7. 渠槽下方設回收箱 2 個，內襯兩層內裡布，分別收集主河道和分河道的濕砂石。
8. 打開供水箱開關，固定水量（3 公升/秒），並穩定供水直到土石流發生，不再沖刷土石時，即關閉開關。
9. 觀察土石在柵面上停積、流動的情形，並紀錄分河道回收箱內、透水柵面上及掉落主河道的溼土石的重量，算出篩分比。
10. 更換柵棒間隙為 2cm 的柵面，重複步驟 2~9。
11. 更換不同粒徑組合的土體，重複步驟 1~10。
12. 改變渠槽坡度 20°和 25°，重複步驟 2~11。
13. 改變不同柵棒長度，重複步驟 2~12。
14. 調整上下游壩的高度，改變平面柵的架設方式，在不同的篩分角度下，重複步驟 2~13。

$$\text{篩分比} = \frac{\text{穿過柵棒落入分河道的細沙泥重量}}{\text{流經透水柵之土石流土砂石的總重量}}$$

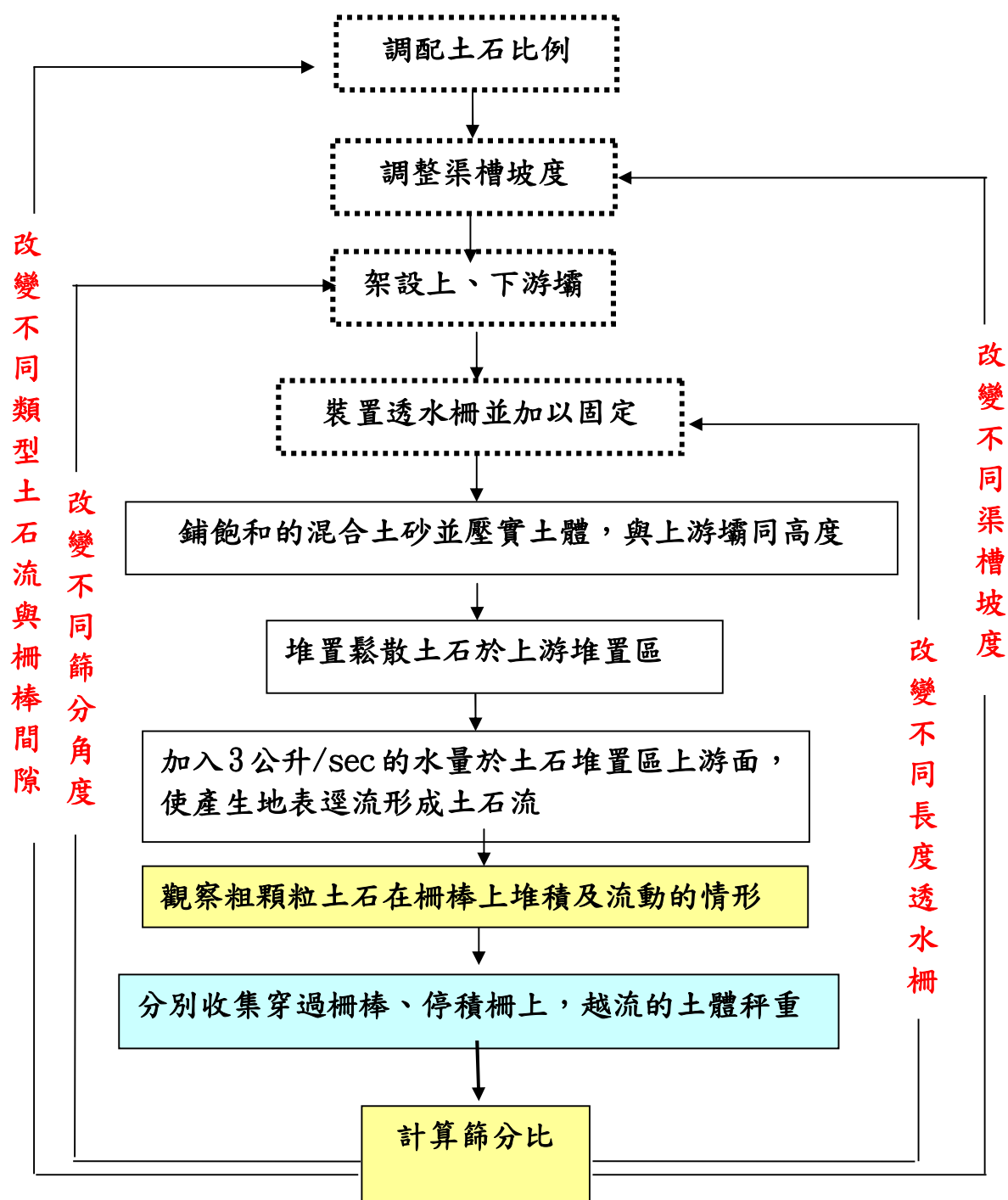


圖 4-7 試驗流程圖

表 4-5 試驗條件表

河床坡度	15°、20°、25°
供水量	3 公升/秒
柵棒距離	1cm、2cm
平面柵篩分裝置	平面柵 0°、緩逆向坡度 10°、順向坡度 10°、20°、30°
柵棒長度	20cm、30cm、40cm、50cm

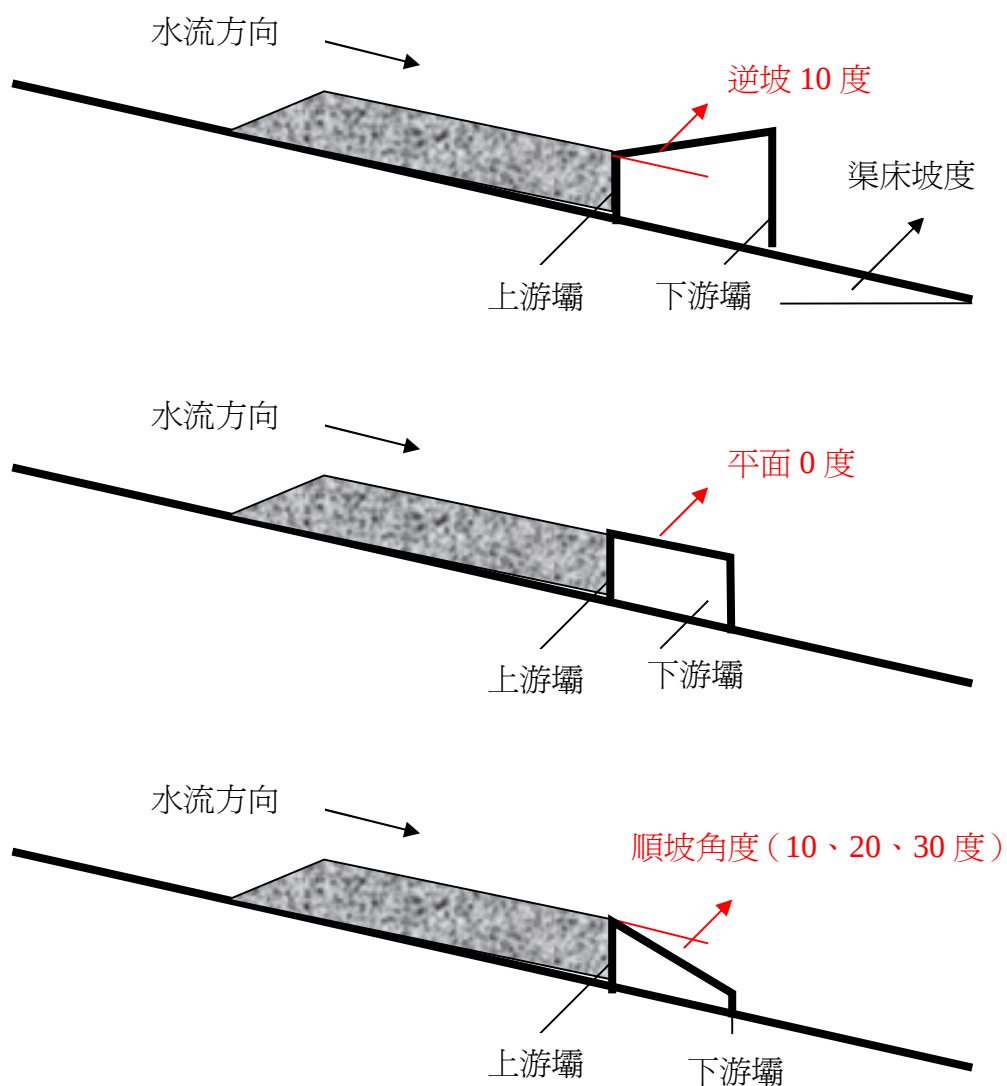


圖 4-6 柵面篩分裝置側視圖



伍、結果與討論

第一部分、實地勘查溪頭森林遊樂區的土石流防治情形

(一) 溪頭現況：

1. 在地質方面：本區岩體常受到陳有蘭溪斷層作用，加上九二一大地震造成無數裂縫之影響，岩體破碎，且經風化、運搬與堆積，造成大量鬆散之沉積物堆積於河床及河流兩側。
2. 在地形方面：自玉山主峰標高 3952m，沿陳有蘭溪陡降到 200m 左右的濁水溪河床，地形起伏極大。
3. 在雨量方面：颱風造成的超大雨量，造成多處的土石流與邊坡滑動災害。

討論：

實地勘查後發現：溪頭地區除了符合上述土石流發生的三大要件外，人爲之開發，如公路的開挖與棄土，及濫墾、濫挖、濫建等因素，以致引發一些邊坡滑動，且道路沿線溪流如陳有蘭溪、和社溪等，當溪水暴漲時，則常造成路基損壞、引發道路坍方、甚至於邊坡滑動，導致溪頭森林區土石流的發生。

5-1 照片 台大實驗林溪頭森林區土石流破壞情形（照片由台大實驗林提供）

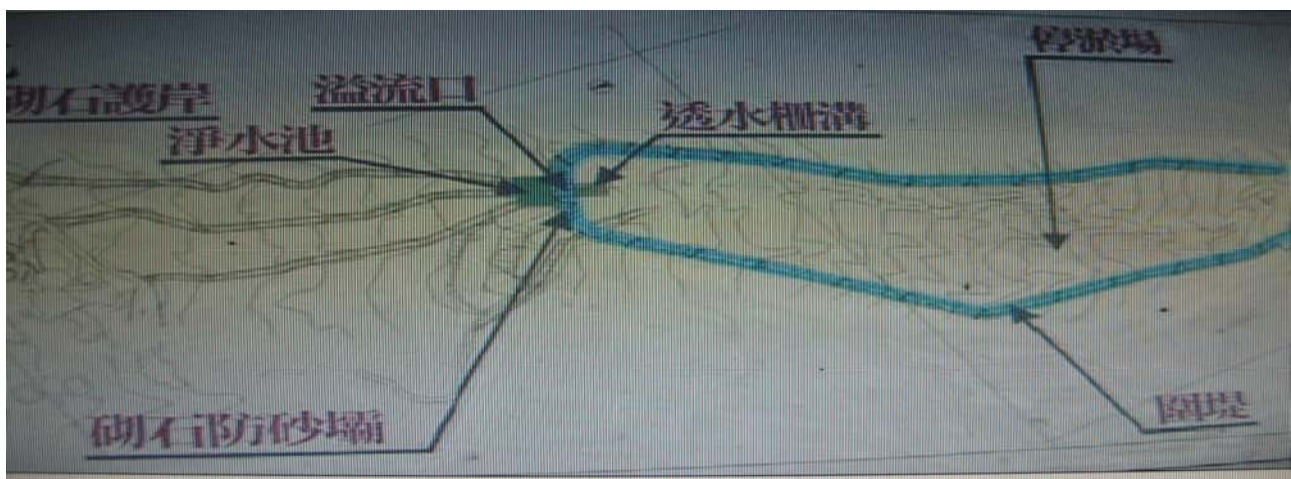




（二）台大實驗林溪頭實地勘查結果

◆ 勘查大學坑「透水柵工法」整體配置：

1. 停淤場目的在留置土石流帶來的大量土石，土石將定期清除，大約長 450m、寬 120m，由圍堤、砌石防砂壩、透水柵溝及溢流口組成。
2. 砌石防砂壩將直接承受土石流的衝擊，故防砂壩中央埋置柱列式鋼管，外部再由塊石堆砌，長約 133m，堤頂寬 5m、高 5m。
3. 透水柵的裝置長度 20m、寬 3m，下面分為四個流槽，柵面鋪設鋼軌來分離土石。淨水池的設置在削減水流能量及沉澱土砂，寬 30m、長 20m、高 6.5m，水流在此沉砂及分流入三條寬 5m、深 3m 之坑溝，再安全導入下游。



5-2 照片

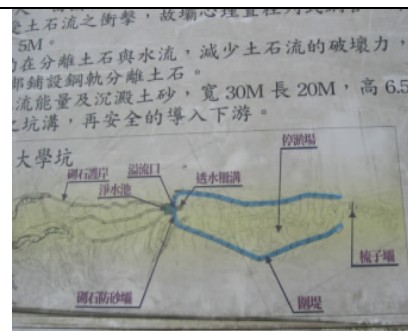
大學坑「透水柵工法」勘查照片（自攝於 2007/08/31）



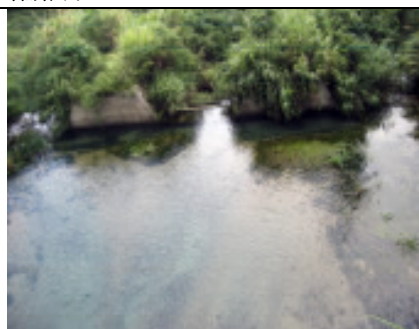
利用木樁所製作的壩體（竹樁編柵）



竹樁編柵正面照片



大學坑透水柵平面圖



淨水池



由上游向下游俯視停淤場



竹樁編柵



氣象觀測風向風力儀



下游面的溢流口



砌石護岸

◆ 三號坑「梳子壩工法」

5-3 照片

三號坑勘查照片（攝於 2007/08/31）



透過性梳子壩體



透過性重力式梳子壩體



下游透過式開放性壩體



第二部份、透水柵工法實驗

一、不同類型土石流的透水柵工法適用性模擬

1. 泥流型土石流由於顆粒小，在濃度 70% 時，幾乎全數由柵面間隙穿流而下，無法利用透水柵將土石和水分分離，濃度 90% 時才有部份泥流停積柵面上，但一旦上游再次供給水分時又產生穿流的情形，因此易發生泥流型土石災害的地區比較不適合此工法。
2. 礫石型與一般型土石流流經柵面時可分離土石流，細顆粒和水分會穿過間隙轉化為一般土砂流。但流經透水柵時，若已形成高濃度黏性強的黏稠性土石流時，則粗顆粒阻塞柵棒的情形會加劇，而使透水柵失去功能，因此透水柵防治工法宜設置在黏性低的土石流經區，故防治礫石型土石流比較佳，因此後續的實驗以礫石型土石流為研究對象。
3. 在透水柵面上和主河道堆積區的土石都發現粒徑由上至下逐漸粗大的情況。此現象應是

與土石流先端部的土石原本就有巨石集中的流動特性有關，而且粗大顆粒的石頭易阻塞並卡在柵棒的間隙，使得後續土石逐漸停滯，柵棒被大石塞住，後續小石子無法穿過柵棒而堆積在柵面上已停積的大石上方，呈現上小下大的粒徑分布情形。

討論：

模擬土石流的方式有兩種，但由於礫石型土石流易產生黏度低而脫水的現象，在坡度不足時有擱置在坡道上的情形，因此實驗的進行不宜利用固定濃度與土石按比例先充分攪拌成為土石飽和流體的形式操作，多次試驗後，於是改用第二種方法：在渠槽上游面堆積一層飽和的堆積土層，供給固定流量的水，利用表面逕流與滲流作用，達到土體鬆動破壞時，而產生土石流的方式來進行，以下是實驗過程利用影像軟體定格播放擷取連續流動的畫面照片。

5-5 照片 土石流流經柵面的連續照片圖（柵棒長 20cm 柵棒間距 1cm）



礫石型土石流（坡度 20° ），粗大顆粒的石頭易阻塞並卡在柵棒的間隙，使得後續土石逐漸停滯



礫石型土石流（坡度 15° ），通過柵面時隨機阻塞的情形



一般型土石流（坡度 20° ），已形成高濃度黏性強的黏稠性土石流時，則粗顆粒阻塞柵棒的情形會加劇，而使透水柵失去功能

二、透水柵柵棒間隙的寬度對土石流篩分效益的影響

實驗結果

1.柵棒間隙 > 土石流最大粒徑時，停積在柵面上的土石量非常少，掉落分河道的土石量很多。

5-28 照片 礫石型土石流流經柵面的情形（坡度 20° 柵棒長 20cm ）



2.渠床坡度 15 度、柵棒 20 公分、篩分角度 15 度（水平形式）的實驗中可明顯看到柵棒間距 1cm 的篩分比=0.25，穿過柵棒的細沙石有 6.5 公斤，停在柵上的土石有 3 公斤，因柵棒太短而越過柵面落入主河道的砂石有 16.5 公斤。而柵棒間距 2cm 的篩分比高達 0.78，幾乎沒有停在柵上的土石，造成土石和水分皆掉落柵棒下，流入分河道，造成篩分比過高，反而失去篩分的用意。

表 5-29 不同柵棒間隙的土石流篩分紀錄表

土石重 寬度	柵面上土石重量 (公斤重)	越過柵面土石重 (公斤重)	穿過柵棒土石重 (公斤重)	篩分比
柵棒間隙 1cm	3	16.5	6.5	0.25
柵棒間隙 2cm	0	5.5	20	0.78

討論與建議：

1. 柵棒間隙太大時，篩分比很高，雖然可有效減緩主河道土石流災害，但會引發分河道成為另一波土石流，因此建議篩分比不要超過 0.5，因此在評估透水柵間隙寬度時，要依照當地土石粒徑的大小進行估測，以免造成間隙太大而失去篩分的用意，或間隙太小造成柵棒阻塞嚴重，篩分功效不彰的情形。
2. 本實驗調配的乾土砂石利用柵面來進行篩分時，篩分結果有 60% 左右的土砂石會通過柵棒間隙，而實驗中篩分比最佳的情形是 52%，出現在柵棒 50 公分長，順坡裝置（篩分角度為 40° ）時。

三、地形坡度對透水柵工法篩分效益與堆積特性的影響

（一）實驗中土石流流動的觀察情形

1. 實驗過程可看到：土石流經透水柵時有飛越柵棒上游約 5 公分的現象，而後才發生脫水作用，當粗顆粒砂石停積於柵面造成阻塞，後續土石推擠而帶動方才堆積的土石向前移動。
2. 坡度愈大，會沿拋物線飛越的現象更明顯，停積、推擠，再越流的情形重複發生。
3. 越流規模最大的是 25 度；越流次數最明顯的是 15 度。



5-6 照片
一旦柵棒阻塞時，飛越現象很明顯，篩分功能喪失。



5-7 照片
地形 25 度時，平面柵上堆積的情形。

（二）柵面上堆積情形

渠床坡度會影響土石流通過透水柵的堆積情形。觀察結果如下：

1. 在渠槽坡度 15 度時，柵上堆積物呈現平緩的堆積情形。
2. 隨坡度增大，越流的情形加大，一旦柵棒被阻塞，停積高度增大，所以堆積角度最高的是 25 度。

5-8 照片 傾斜地形坡度不同平面柵堆積比較照片（平面柵棒 20cm、柵棒間隙 1cm）



(三)篩分效益

- 1.一旦柵上堆積很多土石時，水的分流情況會喪失，大多越過柵上土石而流入主河道，篩分功效也會受影響。
- 2.在相同的柵棒長度下，渠床坡度對篩分比並無明顯的相關性，例如地形坡度變陡，柵棒 20 公分時，篩分比有略為增大的趨勢，但隨柵棒的加長，卻呈現不穩的情形，如下圖中柵棒 50cm 在 25 度時篩分比有下降的情形，推測可能是坡度變陡，柵棒加強阻塞而引起。

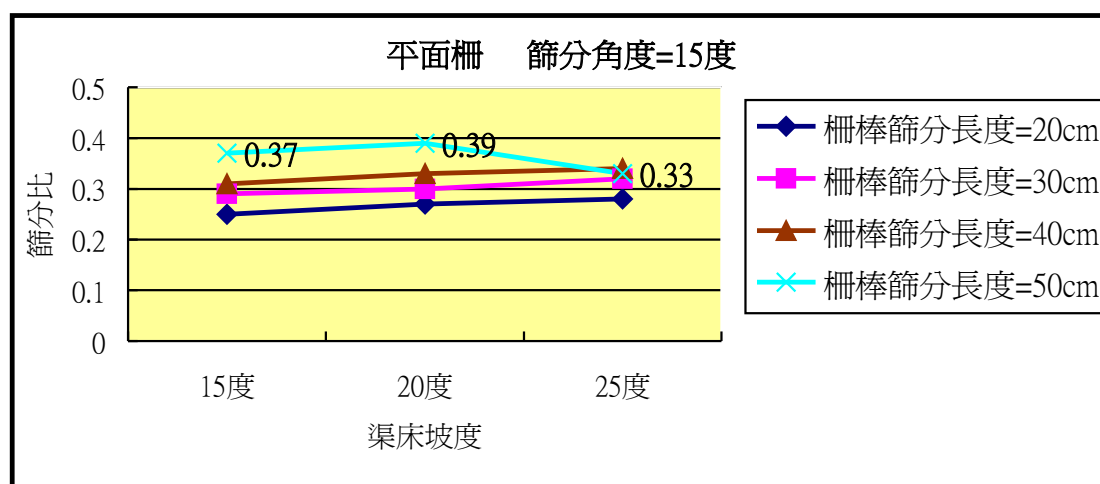


圖 5-9 不同渠床坡度下透水柵篩分比折線圖

有關後續實驗的思考面向：

1. 土石流的前進動力來自本身的重力與慣性力，而重力部分與地形有關，此與文獻相符。
2. 土石堆積在柵上時，篩分功效會降低，必須適時清除柵面上土石，若能減少柵棒堆積堵塞的情形，將有助透水柵篩分功能，或許加大篩分裝置的坡度是可行方式之一，宜再後面的實驗證明。
3. 柵棒上堆積越多，影響篩分比的效應也越大，如果加長柵棒長度，在後續的研究中宜再實驗證明值得再深入探究。

5-10 照片 土石流過平面柵連續照片



四、篩分裝置的裝置形式對透水柵篩分效益與堆積特性的影響

◆實驗目的：根據上述實驗的結果，對相同渠床坡度時，架設方式不同會產生何差異性進行探討。

◆透水柵篩分裝置：逆坡 10°、平面 0°、順坡 10°

(一) 實驗結果：

1. 柵棒長度可使篩分效益加大，如下圖 5-11，柵棒 50 cm 最佳。
2. 篩分比：順坡 10° 的篩分裝置 > 平面 0° > 逆坡 10°。

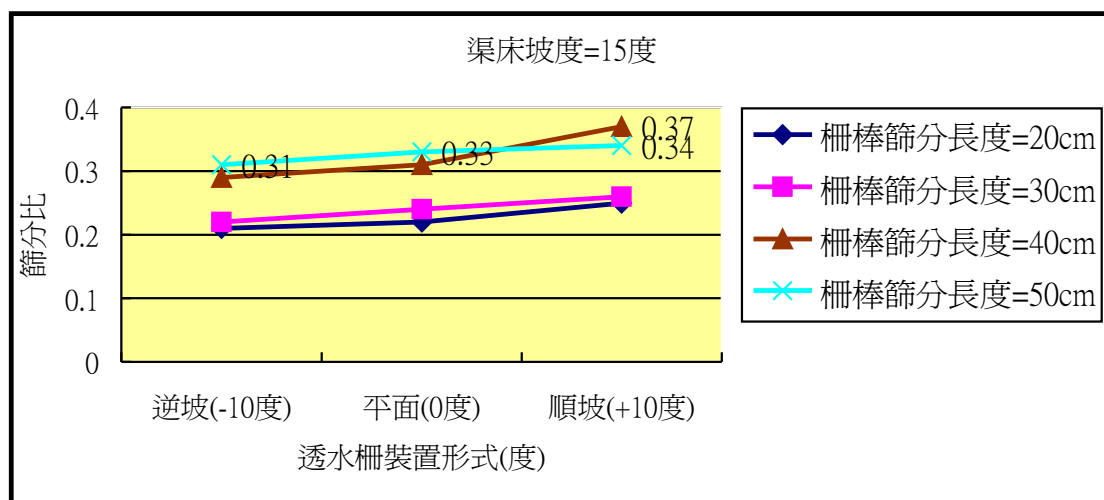


圖 5-11 不同的透水柵篩分裝置篩分比較圖 (渠床 15 度)

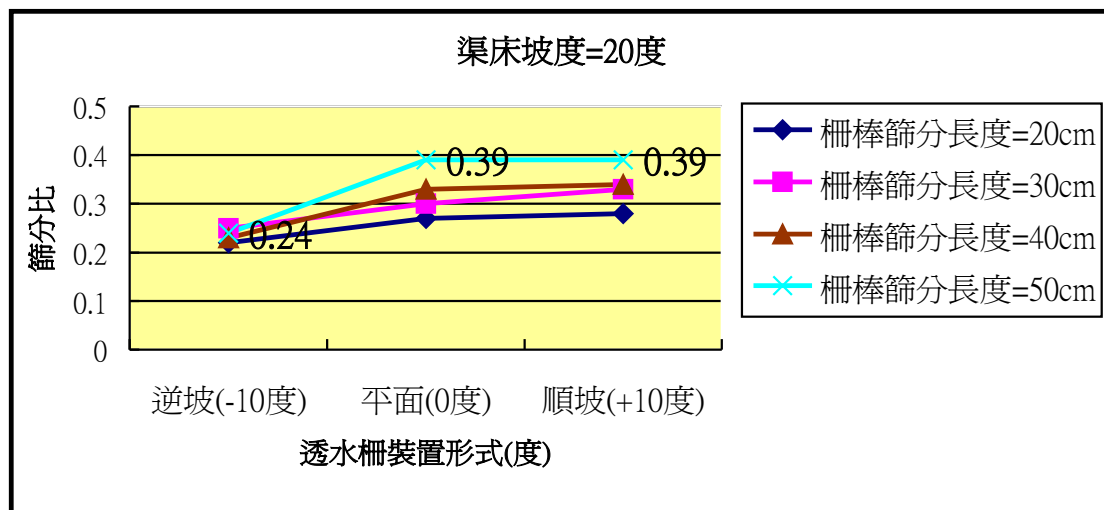


圖 5-12 不同的透水柵篩分裝置篩分比較圖（渠床 20 度）

3.柵面上的土石量：逆坡 10°>平面 0°>順坡 10°。

5-13 照片 不同篩分角度的柵面土石量比較照片（地形 15 度、20cm 柵棒）



（二）討論：

從 5-13 照片中發現：渠槽逆坡 10 度的裝置，其篩分效果明顯比其他裝置小，在實驗過程中發現逆坡形式最接近水平式，其柵面篩分角最小，而土石在柵面停積、推擠的情況是最頻繁也最明顯，可能此原因使其篩分比最小。

5-14 照片 地形傾斜 15 度土石流過柵連續照片（順坡 10 度、平面 0 度詳見現場照片集）



五、篩分角度對透水柵的篩分與自清能力的試驗結果

◆**實驗目的：**希望能藉由土石本身的重力，而使柵上堆積的土石產生下滑滾落，不再堆積堵塞透水柵。

◆**透水柵篩分裝置：**順坡 10°、順坡 20°、順坡 30°

從上述的實驗中都顯示渠槽坡度和透水柵裝置方式對篩分比具有影響性，為了更清楚不同組合下會篩分情形，因此將之整合如下：

逆坡 10°、平面 0°、順坡 10°、順坡 20°、順坡 30°五種形式篩分角度，對於地形傾斜坡面（15 度、20 度）的角度共產生 10 種柵面篩分角度（ θ ）如表 5-15，深入分析。

表 5-15 透水柵篩分角度彙整表

渠床坡度	透水柵裝置形式	篩分角度（ θ ）	渠床坡度	透水柵裝置形式	篩分角度（ θ ）
15 度	逆坡 10°	5°	20 度	逆坡 10°	10°
	平面 0°	15°		平面 0°	20°
	順坡 10°	25°		順坡 10°	30°
	順坡 20°	35°		順坡 20°	40°
	順坡 30°	45°		順坡 30°	50°

（一）實驗結果：

- 1.順坡篩分角度愈大時，下滑速度快，柵上堆積情形幾乎不存在，所以篩分脫水功能好。
- 2.柵棒長度太短（柵棒長度 20cm），會有過篩不完全的情況，越過柵面流入主河道的土石很明顯。

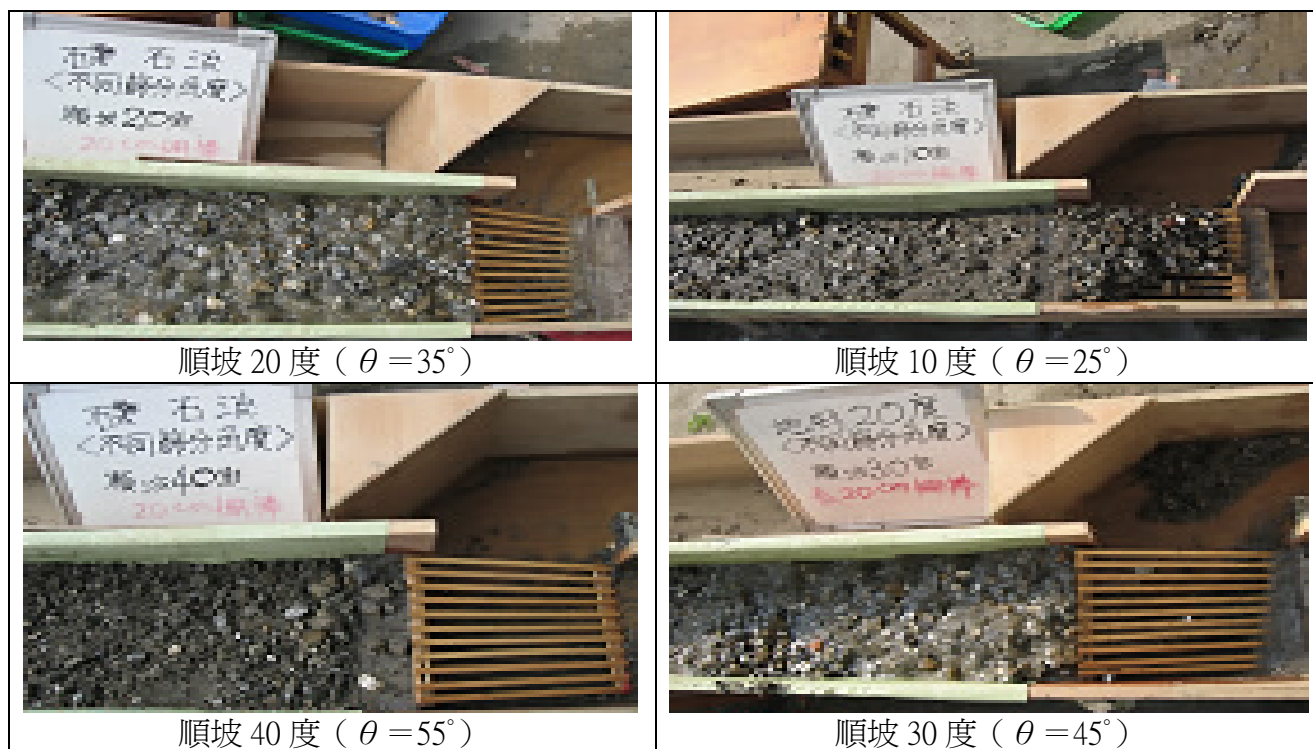


5-16 照片 土石落入主河道實驗照片

- ▲ 柵棒阻塞的情況下，越過柵面流入主河道的土石很多。
- ▲ 部分的水流越流到主河道，而未流往分河道。

- 3.篩分角度大時，柵面堵塞堆積情形變少，所以篩分功效有提升情形，土石流流經柵面時，如果透水柵篩分角度大於土石在柵上停積的角度時，則土石比較不會堆積在柵面上，可使篩分效益增大。

5-17 照片 不同篩分裝置柵面上堆積土石比較（地形傾斜 15 度、柵棒長 20 公分）



4. 實驗繪製的柵面篩分角度迴歸線型圖可明顯看出，篩分比會隨著柵面篩分角度呈正相關的趨勢變化。

討論：

篩分比在篩分角度超過 40 度以上時會有下降的趨勢，因此補做 55 度（坡度 15 度+柵面順坡 40 度），從實驗中推其原因可能是篩分角度過大產生土石流動速度太快，掉落主河道的土石量增多，而影響篩分比。迴歸方程式如圖所示。

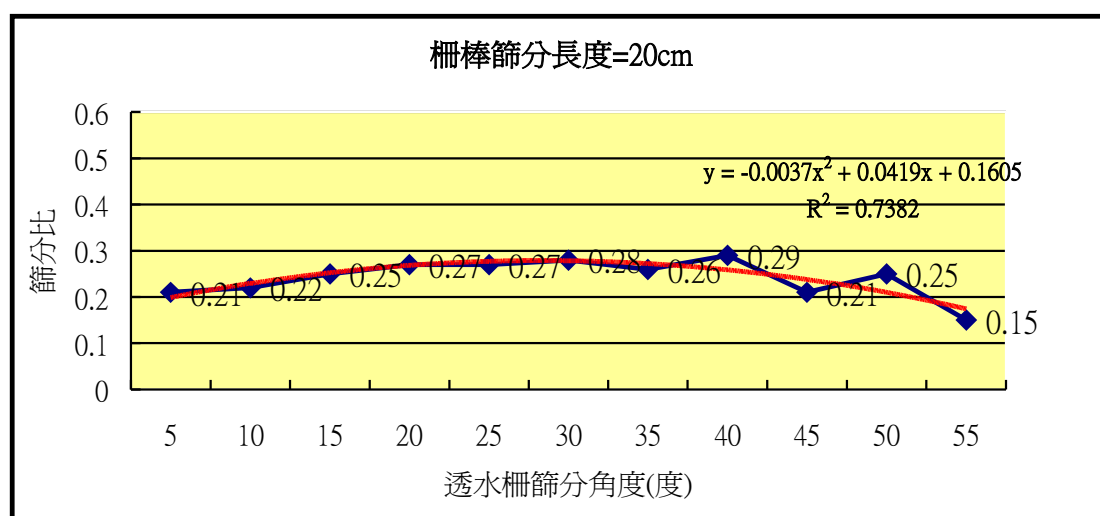


圖 5-18 柵面篩分角度迴歸線型圖 (L=20cm)

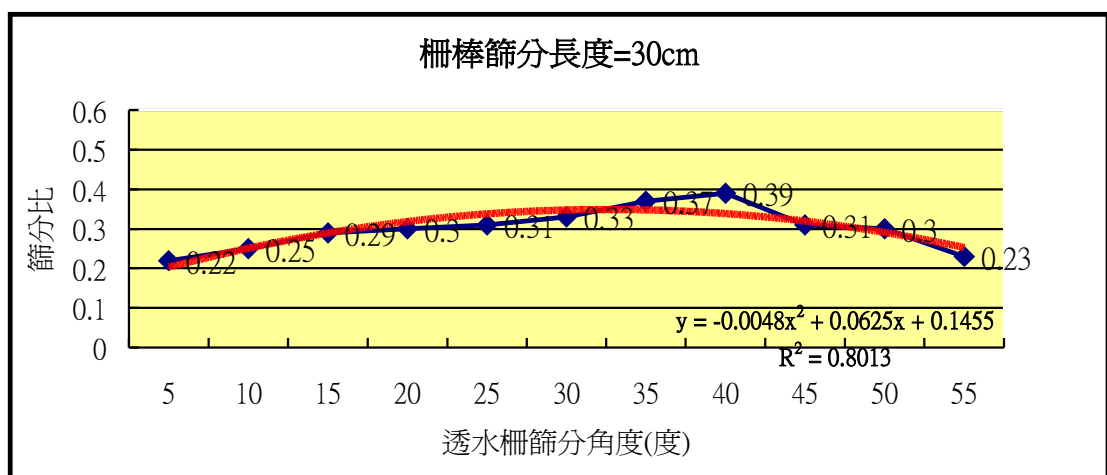


圖 5-19 柵面篩分角度迴歸線型圖 (L=30cm)

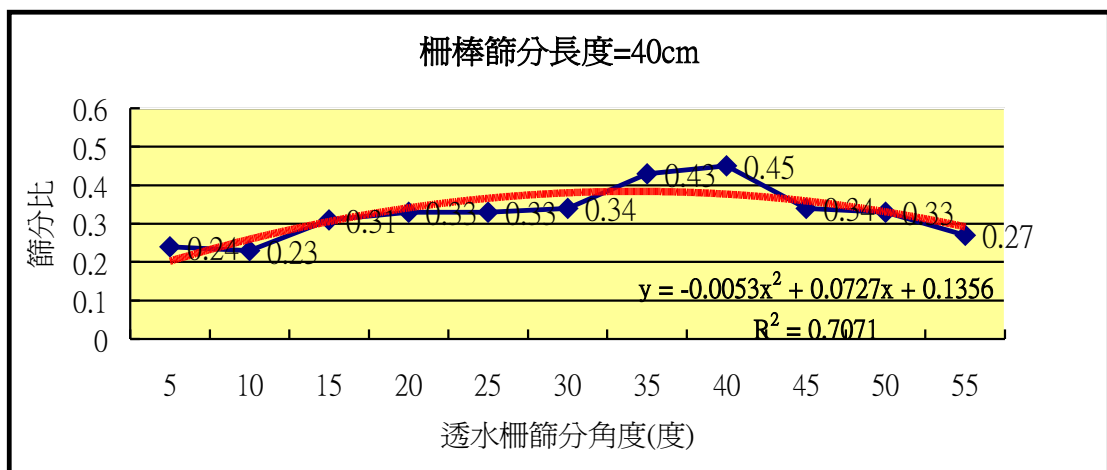


圖 5-20 柵面篩分角度迴歸線型圖 (L=40cm)

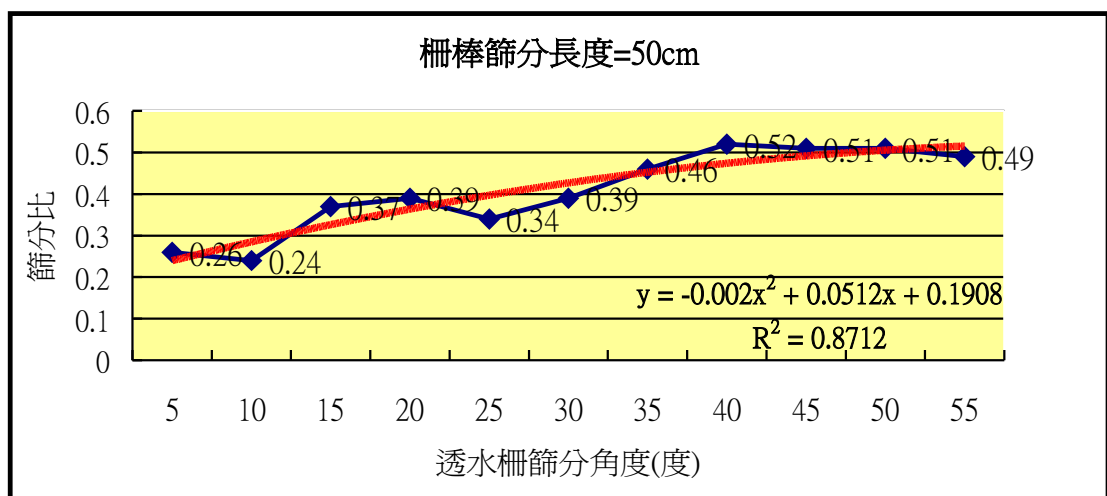


圖 5-21 柵面篩分角度迴歸線型圖 (L=50cm)

5. 柵棒愈長，篩分比有上升趨勢，以柵棒長度 50 公分的篩分效果最佳，但篩分角 40 度以上時會有下降趨勢，而且柵面長度愈短影響愈大。

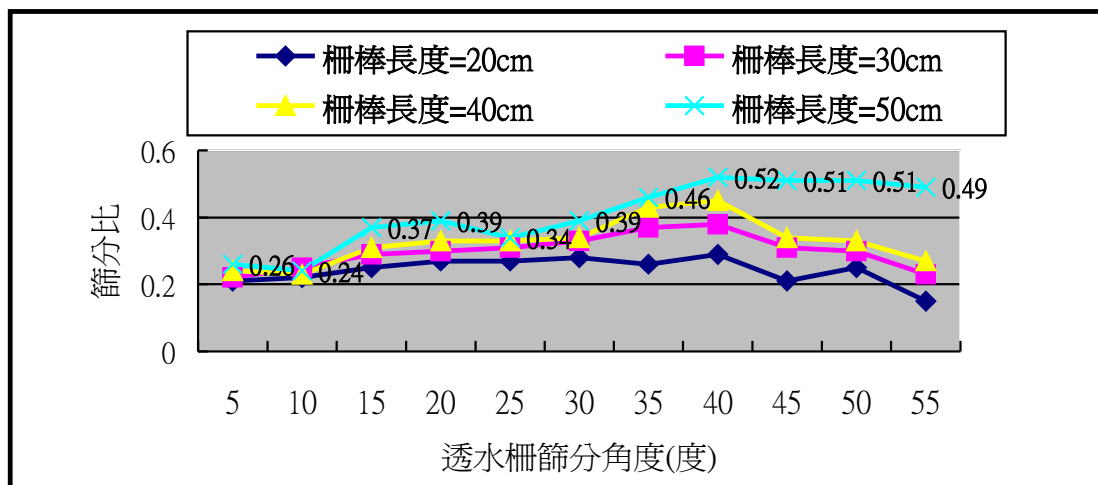


圖 5-22 不同柵棒長度柵面篩分角度與篩分比值的比較圖

六、透水柵長度對土石流篩分效益的影響

1. 柵棒 20cm：

(1) 從停積處土石來看：

隨著柵面坡度的增大，停在柵上和掉落主河道的土石重量也隨著增大。例如：在地形 15 度加上柵面順坡 30 度時（ $\theta = 45$ 度），柵上土石因篩分角度達 45 度，所以無任何土石停積，但落入預定的主河道停積處的土石量達 26.6 公斤，穿過柵棒的細土石有 7.5 公斤，經由分河道流到下游。

(2) 從篩分比來看：

在地形坡度 15 度加上順坡 10 度時（ $\theta = 25$ 度），篩分比達 0.27，即穿過柵棒的細土石達 27%，而地形坡度 20 度加上順坡 20 度時（ $\theta = 40$ 度）篩分比達 0.29，但 $\theta = 55$ 度時降到 0.15。

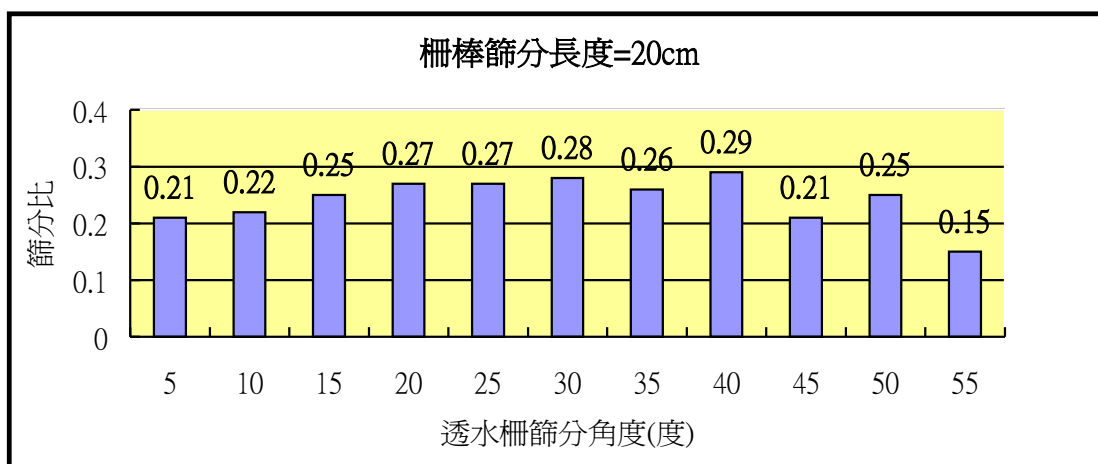


圖 5-23 柵棒長度 20 公分篩分比長條圖

2. 柵棒 30cm

(1) 篩分比最大的是 0.39，出現在地形坡度 20 度加上順坡 20 度時 ($\theta=40$ 度)，而坡度 15 度搭配順坡 20 度 ($\theta=35$ 度)，篩分比也達 0.37。

(2) 柵棒 30cm 比 20cm，篩分比有增加的趨勢。

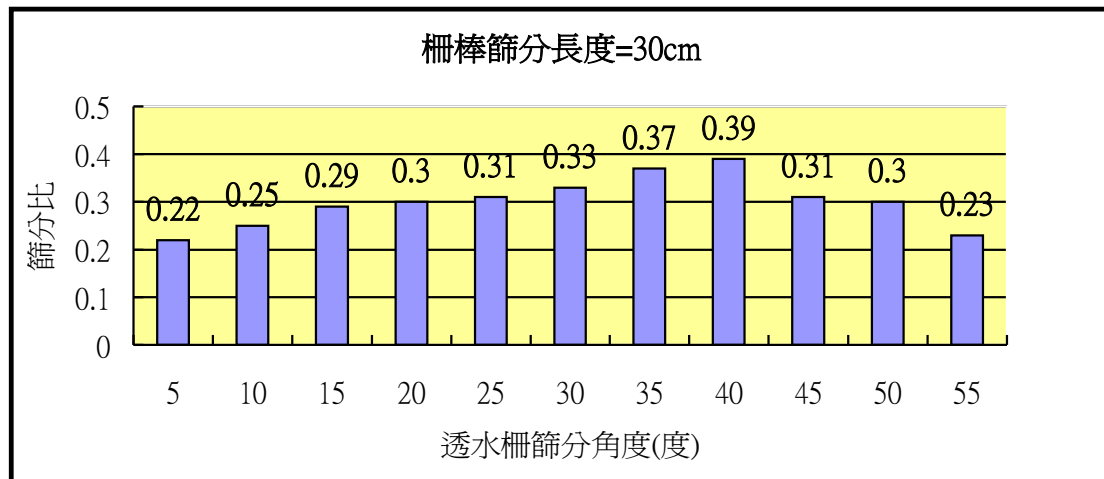


圖 5-24 柵棒長度 20 公分篩分比長條圖

3. 柵棒 40cm

- (1) 篩分比最大的是 0.45，出現在 $\theta=40$ 度時，即地形 20 度搭配順坡 20 度，而 $\theta=35$ 度時，也達到了 0.43。
- (2) 主河道停積處土石量以 $\theta=45$ 度時最多，即地形 15 度搭配順坡 30 度，達 29.4 公斤，柵面上沒有土石停積，但隨著篩分角度 40 度以上，掉落主河道的土石會增加。

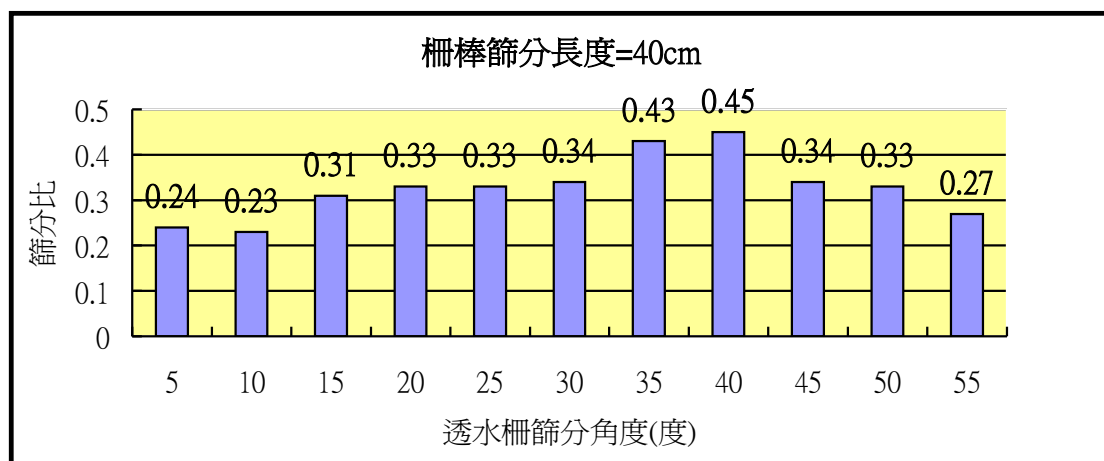


圖 5-25 柵棒長度 20 公分篩分比長條圖

4. 柵棒 50cm

- (1) 篩分比最大可達到 0.52，出現在 $\theta=40$ 度時，而 $\theta=45$ 度和 50 度時也達到 0.51。
- (2) 停積處土石量以 $\theta=25$ 度時最多（地形 15 度 + 10 度順坡），有 24.3kg，分河道有 12.5kg 的細顆粒土石。

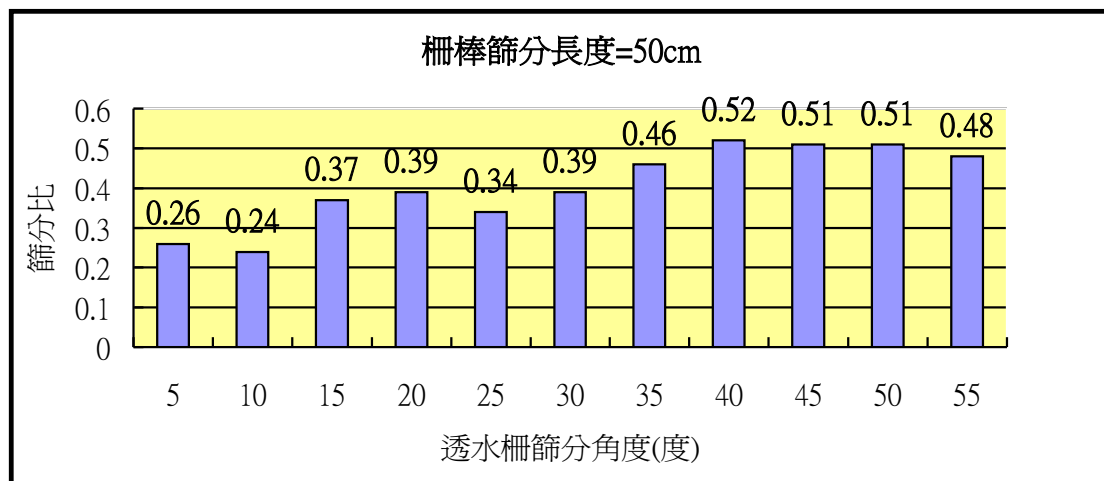


圖 5-26 柵棒長度 20 公分篩分比長條圖

總結：

- 柵棒長度增長，可使土石接觸柵面的時間加大，土石在充分的柵面空間上可充分篩分，使細顆粒砂土落入分河道中，但從實驗中也發現篩分角度增大時，土石流因為重力和慣性作用而加速向下滾落至堆積處，柵面上不會有土石堆積，可以省去清理土石的工作，具有自淨的能力，但篩分角度如果太大而柵棒卻太短時，篩分比反而有下降的趨勢。此項結果可供設計透水柵工法時參考，很符合台灣的河流。
- 柵棒太短時，篩分比值比較小，代表分河道的細顆粒砂土，無法分流到分河道中，而土石流大多停積主河道，則篩分效果不佳，主要是篩分不完全的緣故。
- 從圖 5-27 可看出：柵棒長度增加，篩分比會隨著增大。尤其在篩分角度增加時，柵棒長度的趨勢線方程式的斜率比較高，表示篩分角度大時，篩分比的正相關趨勢比篩分角度小時明顯。

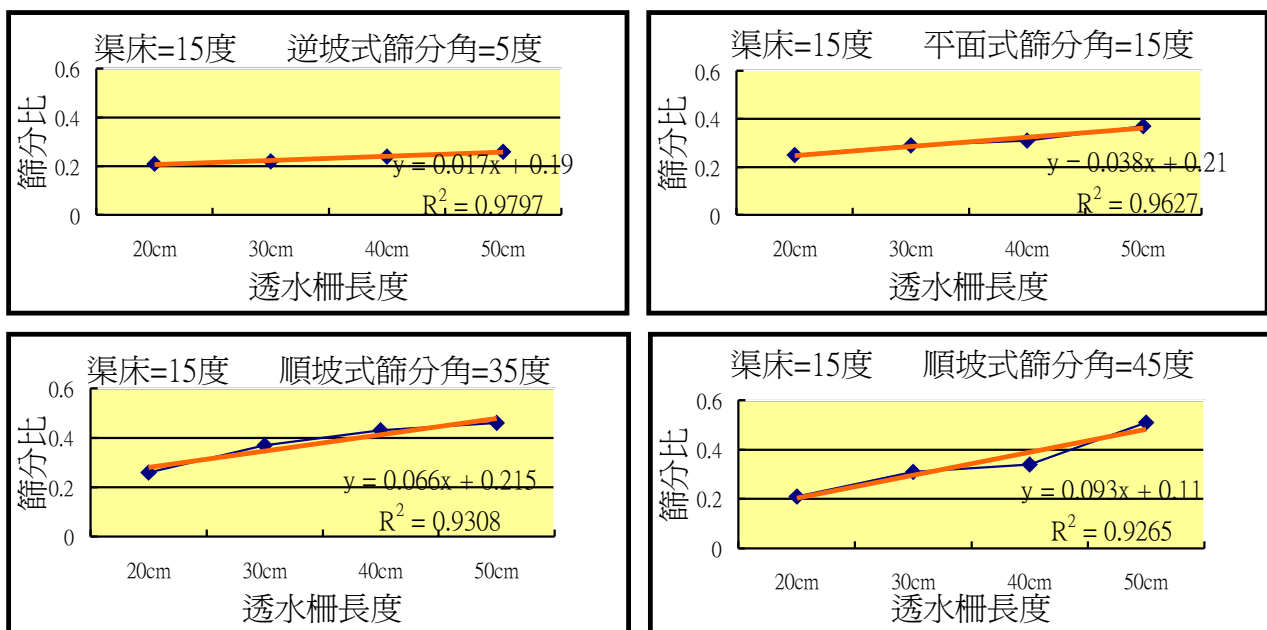


圖 5-27 柵棒長度回歸分析圖

討論與建議：

- 1.在實驗中發現主河道上若有大量土石掉落，應引至預先設計好的堆積區，否則大量的土石，在水流量充沛的時候若柵棒已被阻塞而失去篩分脫水功能時，大量的水流進主河道會引發下一波的土石流，而造成下游的土石災害。
- 2.柵棒長度增加時，代表土石流流經柵面的過篩空間增加，因此篩分比會提升，但有時柵棒間隙一旦被阻塞效果就會受影響，不如預期的好。
- 3.篩分功效隨著柵棒增長，呈現正趨勢增長的情形。尤其是柵棒 50 cm時，篩分角度 40 度時，篩分比達 52%。代表從柵間隙分流出去的細顆粒砂土達 1/2 以上，可有效減少主河道的土石流流量。

陸、討論

一、透水柵工法適用於台灣的土石流防治嗎？

透水柵工法主要是將土體內的水分脫出，使土石流失去前進動力，比較不適用於泥流型地形，台灣發生土石流的統計中一般型與礫石型土石流約佔多數，因此透水柵適用於多數的台灣土石流類型，但仍應考量當地坡度、粒徑、土石流規模、施工難易、防治效益等因素。

表 6-1 台灣地區近年來 34 場土石流發生型態所佔的比例

泥流	一般型土石流 (偏泥流)	一般型土石流	一般型土石流 (偏礫石)	礫石型土石流
6 場	11 場	10 場	2 場	5 場
17.6 %	32.4 %	29.4 %	5.9 %	14.7 %
17.6 %	67.7 %			14.7 %
50 %		29.4%	20.6 %	

二、透水柵工法的篩分裝置的設計？

土石流常有飛越透水柵落入主河道堆積的情形，本研究對於落入主河道之土石是否再發生土石流並無探討，所以僅能猜測若進入主河道的流量如果太大，仍有機會造成下游發生土石流的災害，因此如果能將土石流內的水分析出並導入分河道，將土石流分流為砂石與土砂流，而柵面的篩分角度宜設計略大於土石堆積的角度，則可以達到柵面自清能力，並能透過土石篩分將土砂流導致下游，不至於造成下游砂石短缺，可以維持自然生態平衡。

三、透水柵工法與其他土石流防治壩的比較？

1.從攔阻情形來看：透水柵與人字壩、梳子壩、格柵壩、格子壩等是屬於透過性攔阻工法，可將部分土石攔阻停積，是屬於非封閉式的攔阻壩。

2.從攔阻情形來看：透水柵是利用與地形坡度較為平行的方式裝置，柵棒間隙可以脫水，使細砂土通過柵棒，再向下游流去，其他透過性壩體是直立式裝置採正面攔阻方式。

3.從正面衝擊力來看：透水柵工法正面迎向衝擊的撞擊力最小。

四、台灣 溪頭大學坑設計的透水柵與日本 長野縣燒岳山的透水柵設計上的比較？

表 6-2 台灣的透水柵與日本 長野縣燒岳山的透水柵比較表

國家	照片	說明
<u>日本</u> <u>長野縣</u> <u>燒岳山</u>	 照片來源：中興大學水土保持學系提供	日本有多座的透水柵，規格不盡相同，是一種水平式的透水工法，土石流過透水柵，當先端停止時會往上游回溯，橫向有溢流現象，所以側面做格柵壩防止溢流。
<u>台灣</u> <u>溪頭</u> <u>大學坑</u>	 照片來源：攝於 <u>溪頭</u> <u>台灣</u> 大學實驗林 2007/08/31	是一種水平式的透水工法加上朝上游面的格柵型梳子壩，防止土石流越流或溢流，下游面設置沉砂池，可沉澱土砂。

柒、結論與建議

一、**透水柵工法可補充下游被沖刷之泥沙而且也有效減少主河道的土石量，減小土石流的規模。**

針對土石流流體的特性，讓其中的水分產生脫水作用，使土石流失去流動的動力，又透過柵棒間隙分離粗大顆粒，降低土石流強大的破壞力，而穿過柵棒的細顆粒和水，仍可向下游流動，可補充下游被沖刷之泥沙，而且也可以有效減少主河道的土石量，減小土石流的規模。

二、**順坡式的透水柵自清能力優於其他逆坡與水平式裝置的透水柵。**

1. 實驗結果顯示：

- (1) 就堆積長度而言：逆坡 10°裝置 < 平面 0°裝置 < 順坡 10°裝置。
 - (2) 就堆積高度而言：逆坡透水柵裝置 > 平面 0°裝置 > 順坡 10°裝置。
 - (3) 以攔阻的貯砂率而言：逆坡透水柵 > 平面 0° > 順坡 10°裝置。
2. 順向坡的透水柵裝置，其柵上土石堆積量比逆坡和水平式透水柵多，因為篩分角度大時，土石下滑的力量增大，土石會自動滾落主河道，所以自清能力比較佳，因此柵棒阻塞情形減少，所以篩分功效可增加，因此建議篩分角度應略大於土石停積的安息角度比較好。
3. 大坡度篩分裝置因柵棒因柵棒自清能力的增強，如能善用並導引土石停積在預定的土石堆積區，可減少清除土石流堆積的人力與物力。
4. 土石流經過順坡式透水柵時，因坡度和慣性力的作用，會有飛越的情形，此時若柵棒太短，則影響篩分的功效，柵棒加長則能增加篩分效果。

三、地形坡度與篩分裝置的方式決定透水柵的篩分角度，而影響堆積型態。

1. 透水柵的篩分角度小時，柵面上堆積厚度小，但透水柵的篩分角度太大時，柵面上不會有堆積物。
2. 柵面篩分坡度增大時，則水流越過下游壩而溢流到主河道的現象也會增加。

四、柵棒長度愈大，篩分功效愈佳。

1. 柵面順向傾斜度使篩分角大於渠床坡度時，土石流流經透水柵時會有拋物線飛越柵棒上游端的現象，而且篩分角度愈大，此現象愈明顯，但柵棒長度愈大時，發生越流作用時，柵面上空間足夠，可再進行篩分作用，所以篩分功效比較高。
2. 建議柵棒加長，因柵面空間增大時，可改善篩分長度過短而篩分功效不佳的情形。柵棒加長可增加土石過篩的情況，使篩分效益明顯提升。

五、土石流在柵面上會產生停積、擠壓、越流，再堆積的重複現象，而且柵棒越長或地形坡度小時愈明顯。

1. 實驗中發現，部分水流會越過下游壩溢流至主河道的現象，此情形大多發生在柵棒太短或坡度陡時，且隨篩分角度的增大，而有加重的情況，因此建議柵棒勿太短，且儘可能在柵面下設計導流裝置，將細顆粒土砂水導入分流道，降低主河道堆積區的流量，以免導致堆積區發生另一波土石流災害。
2. 造成柵面篩分功效喪失的主因是柵面上柵棒阻塞並堆積所造成，一旦停積則水不斷補充的情況下，會有越流而過，流入主河道的情形，整個過程是堆積、推擠、再越流。

六、柵棒間隙的設計宜考慮當地土石流的粒徑。

篩分比，會隨柵棒間隙增大而增大，篩分比愈大代表落入分河道的土砂量愈多，易造成另一波的土石災害。

七、平面透水柵比較不會損壞。

透水柵不會像梳子壩一樣正面迎向撞擊，所以不易損壞，這是透水柵工法比其他透過性壩優的原因之一。

八、沉積區建議宜設計排水系統

土石流的流動動力來自坡度和土體的含水量，一旦土體內的的水被脫出，則會有停積現象，但若土石流的流量大、流速快時，即使有透水柵裝置，也可能有水流越過柵面流入主河道，使堆積區的土石再度鬆動，所以沉積區建議宜設計排水系統，減低水流與土石結合成另一波土石災害的機會。

捌、參考資料及其他

（一）感謝

感謝國立中興大學水土保持學系教授提供專業意見，及水土保持局第三工程所技正、台灣大學實驗林服務處的親切服務，指導老師的重點指導與爸媽弟弟的全程陪伴，以及做實驗時在操場運動的陌生學弟妹、學長姐與家長們主動協助實驗的進行，我心存感激。

（二）參考資料

- 1.薛皓薰等（2007），探討土石流防治工法的攔阻效益與過壩行為之研究。中華民國第四十七屆中小學科展。
- 2.薛皓薰等（2006），探討斜坡滲流破壞引發土石流與土石流預警器製作。中華民國第四十六屆中小學科展。
- 3.薛皓薰等（2005），探討降雨強度引發土石流與土石流預警器製作。台北縣93學年度中小學科展。
- 4.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。
- 4.林銘郎與謝正倫（1997），台灣土石流災害特性與研究回顧。www.earth.ce.ntu.edu.tw
- 5.林忠義（1999），透水柵調節土石流之機制研究，逢甲大學土木及水利工程學系碩士論文。
- 6.黃怡仁（1991），透水柵防治土石流功效之試驗，國立中興大學水土保持學系碩士論文。
- 7.土石流防災資訊網 <http://246.swcb.gov.tw/default-1.asp>

【評語】 031730

優點：

台灣深受土石流之害，此研究探討如何防治，收集資料豐富，精心設計實驗，值得嘉許。整體研究針對特定主題有系統且長時間的深入探討，屬上乘之作。

缺點：

論文寫作之格式須改進，如表 3-1、圖 4-1，應統一從表一、圖一列起。

建議改進事項：

由於土石流之種類繁多，各地條件不同，建議簡化參數，詳細分析各參數之影響，更能釐清各參數之影響。