

中華民國第四十七屆中小學科學展覽會
作品說明書

國小組 自然科

佳作

081558

捍衛福爾摩沙與天災和平共存~探討土石流防治工法的攔阻
效益與過壩行為之研究

學校名稱：臺北縣永和市永和國民小學

作者：	指導老師：
小六 薛皓薰	劉秋燕
小六 黃莉云	劉純曲
小五 李連耀	
小五 沈冠廷	
小五 陳季其	

關鍵詞：土石流防治工法 攔砂壩 貯砂率

捍衛福爾摩沙-與天災和平共存

~探討土石流防治工法的攔阻效益與過壩行為之研究

摘要

「土石流」令人聞之色變，攔阻工法是土石流防災的重要課題。由渠槽的模擬實驗，探討防砂壩的攔阻效益與自清能力，藉以瞭解土石流防治工程。

實驗發現：通過式壩體雖無法完全攔阻土石流的流動，卻可減緩土石流的衝擊力，又具備清水流的自清能力。通過式壩體的攔阻效益受開口間距大小和當地土石流最大粒徑大小的影響很大，土石流穿過壩體的行為受土體粒徑組成、土石滲流速度、坡度、水流量大小、表面逕流速度和壩體開口的間距大小等影響，也影響壩前堆積的情形。建議在設計壩體時要多方考量，方能兼顧貯砂率、自清能力和粒徑分離能力，以減緩土石流威力。

最後，我們設計多款不同規格的壩體，來印證研究結果，希望可提供日後壩體設計的參考。

壹、研究動機

上自然課「山河大地」單元時，老師播放一片土石流影片給我們看，他的威力強大，可使橋樑斷裂、房屋倒毀、人員傷亡，真是一項令人聞之色變的可怕災害，我們討論後提出各種變因，老師鼓勵有興趣的同學繼續深入探究，於是幾個同學便組成一個特搜小組，請家長假日出遊時多多注意我們的環境，我們討論後決定針對攔阻工法深入瞭解，於是透過不斷的討論、模擬與實驗，希望能更深入瞭解土石流攔阻工法的優缺點與效益，因此開始了一系列的研究活動。

★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）

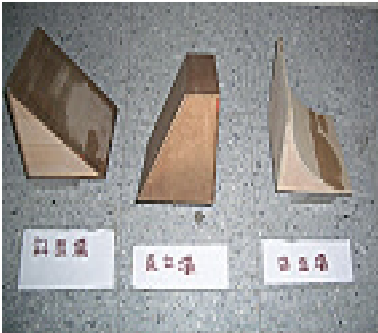
貳、研究目的

- 一、瞭解不同形式的土石流攔阻壩。
- 二、探討透過式壩與非透過式壩的攔阻效益之差異性。
- 三、探討不同形式的攔阻壩，找出較佳的攔阻效益之幾何形狀壩面。
- 四、探討影響梳子壩的貯砂攔阻效率的可能變因，並設計實驗瞭解貯砂率的差異。
- 五、探討梳子壩於不同梳距、不同壩柱寬度與坡度組合下對土石流的防治功效。
- 六、探討梳子壩梳距和土體組成的最大粒徑對貯砂效率的影響關係。
- 七、探討不同濃度的土石流，其壩體的攔阻效益和堆積差異。
- 八、探討不同類型的土石流，在各式梳子壩前的堆積差異與過壩特性。

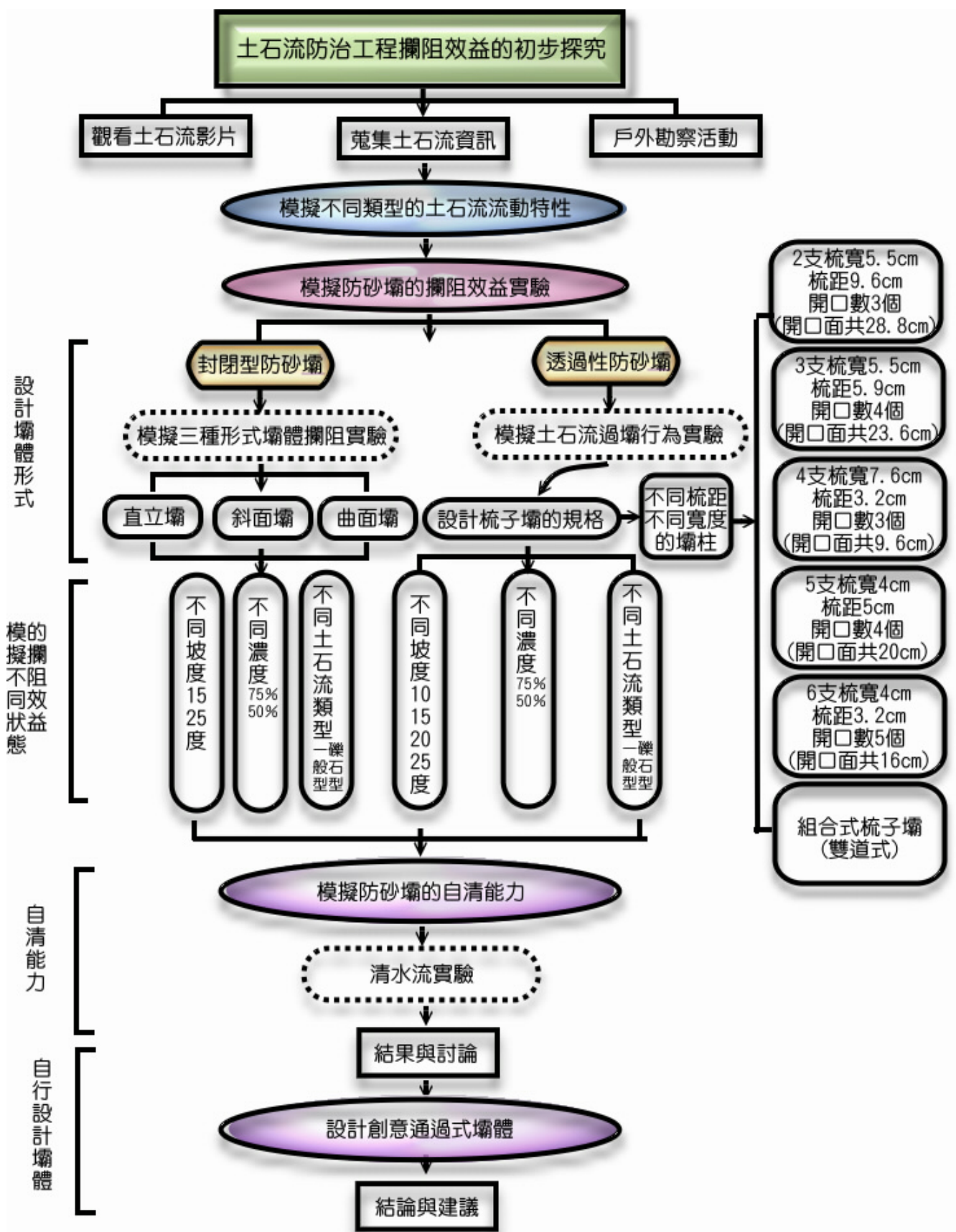
- 九、模擬土石流後的封閉式壩體的自清能力。
- 十、探討梳子壩於不同梳距、不同壩柱寬度與坡度組合下的壩體自清能力。
- 十一、探討系列式組合型梳子壩的攔阻效益。
- 十二、根據實驗結果，設計不同形式的梳子壩體，並提出土石流防治之建議。
- 十三、依據實驗結果設計各式壩體，並試驗其貯砂能力。

參、研究設備與器材

表 3-1 實驗器材一覽表

設 備	
渠槽兩個長寬高： 1. 200*20*20 cm 2. 250*40*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。
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，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與 CyLink PowerDVD 軟體，分析整個實驗過程。
實 驗 材 料	
十分石、六分石、三分石、一分石、粗砂各 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、量杯(100ml) 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、大水箱 2 個、鑽子、塑膠透明野餐墊、強化玻璃 1 片、工業用砂紙 1 片、小白板、白板筆、塑膠量杯(1000ml) 2 個、體重器	
實驗攔砂壩體的材料	
木板、白膠、鋸子、尺、砂紙、抹布、奇異筆、博士膜、膠帶、木板 2 片(20*40*2 cm)	
創意設計壩體的材料	
方型與圓形壓克力棒、速乾膠、竹筷子、各式規格的小積木、鐵條、橡皮筋、鋁槍	
壩體圖	
 封閉式壩體	
 梳子壩體	
 透過式壩體	

肆、研究過程與方法



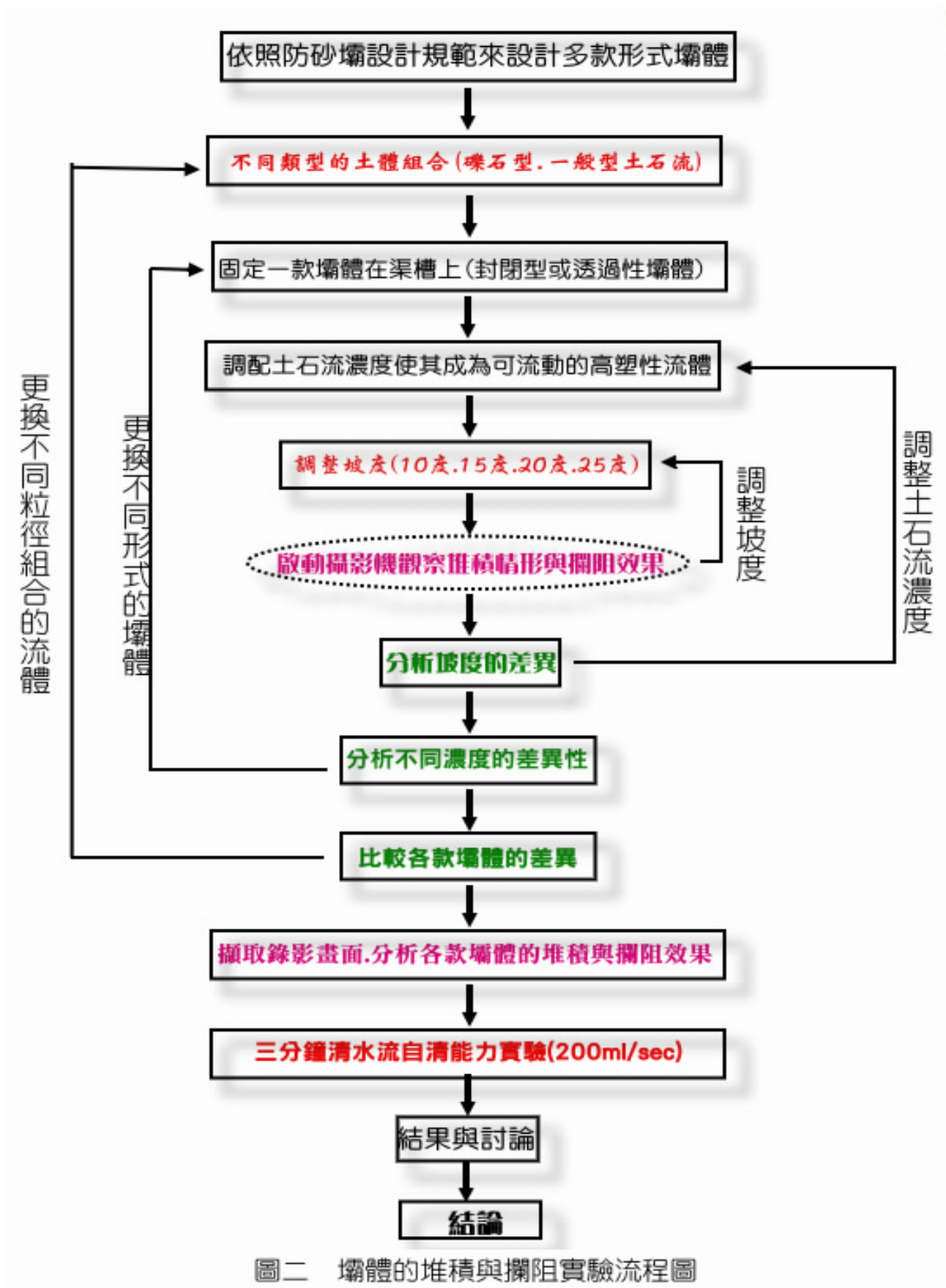
一、 研究問題：

表 4-1 研究問題彙整表

研究一、瞭解土石流的防治工法有哪些？	
想法	<問題一> 防砂壩的設計有何規範？ <問題二> 土石流防治工法有哪些？ <問題三> 如何兼顧生態防治與土石流防治？
研究二、不同類型土石流的流動特性與堆積特性	
想法	<問題一> 不同粒徑組成的土體，土體含水量與流動的關係？ <問題二> 不同的粒徑組成，土石流堆積面積和堆積高度有何特性？ <問題三> 不同的粒徑組成的堆積土體，發生土石流的坡度有何差異？
研究三、封閉型的土石流防砂壩的攔阻效益和壩前堆積情形	
想法	<問題一> 防砂壩的形式與特別規定為何？ <問題二> 不同形式的壩體對土石流的攔阻效益與堆積情形有何差異？ <問題三> 不同坡度時，壩體的攔阻效益與堆積情形有何差異？ <問題四> 不同濃度的土石流，壩體的攔阻效益與堆積情形有何差異？
研究四、非封閉型土石流防治壩，土石流過壩行為與貯砂效益	
想法	<問題一> 不同形式的透過式防砂壩體對土石流的攔阻效益與堆積情形有何差異？ <問題二> 不同坡度時，壩體的攔阻效益與堆積情形有何差異？ <問題三> 不同濃度的土石流，壩體的攔阻效益與堆積情形有何差異？
研究五、梳子壩的梳距與最大粒徑之間的關係，對貯砂率的影響	
想法	<問題一> 不同的梳距，壩體的攔阻效益、堆積情形有何差異？ <問題二> 影響梳子壩的『貯砂率』的變因是什麼？
研究六、土石流防治壩體的自清能力	
想法	<問題一> 不同的梳距，土石流自清能力有何差異？ <問題二> 不同寬度的壩柱，土石流自清能力有何差異？
研究七、系列式組合型梳子壩體的攔阻效益？	
想法	<問題一> 單壩與雙壩的攔阻效益與自清能力有何差異？
研究八、設計各式透過性壩體	
想法	<問題一> 依據實驗結果，設計壩體，其貯砂情形如何？

二、實驗流程圖：

爲了瞭解封閉式和非封閉式壩體，對土石流的攔阻效果，本研究分爲封閉式和非封閉式兩種不同的攔砂壩。實驗流程如下圖。



三、實驗設計與條件：

從網路資料和書籍報告等得知土石流之固體部份包含粗礫石與細泥砂所組成，爲了瞭解土石流運動瞬間情形以及爲了短時間內了解防災壩體對土石流攔阻成效，決定以縮小比例的模型進行模擬。

1.土石材料的選定

根據土石流的類型，大約可分爲泥流型、礫石流型、一般型土石流，由於土石流前端的礫石撞擊力很大，所以，我們討論後決定土石材料的選定，採用礫石型土石流和一般型土石流爲研究對象。

(1) 一般型土石流：十分石：六分石：三分石：一分石：粗沙：泥=1：1：1：1：1：5

(2) 礫石型土石流：十分石：六分石：三分石：一分石：粗沙：泥=2：2：1：1：1：3

2.土石流濃度之設定

土石流濃度大小之決定，從網路上蒐集 19 筆不同地區的土石流地點，其重量濃度大約 20~91%，而其本積濃度大約在 20~80%之間，依此最後決定本實驗的土石流體積濃度爲 75%和 50%。依土石砂的體積搭配不同體積的水量來調配。

3.坡度的設定

由蒐集的資料得知土石流發生的坡度大約爲 15°~25°以上，而土石流流動區的坡度爲 6°~15°，因此我們決定以 10°、15°、20°、25°來進行。

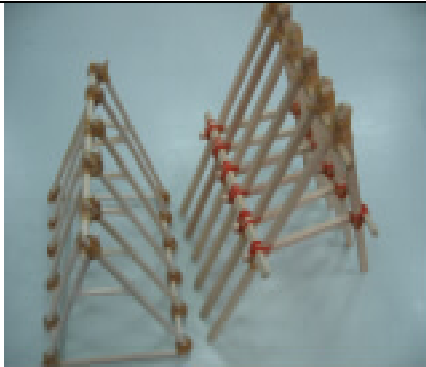
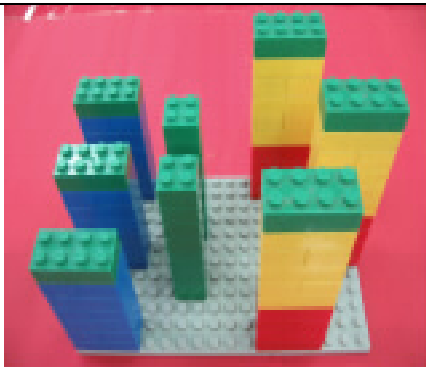
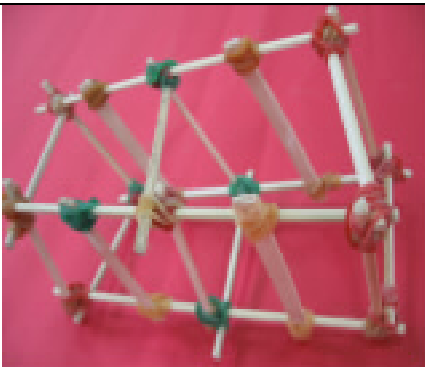
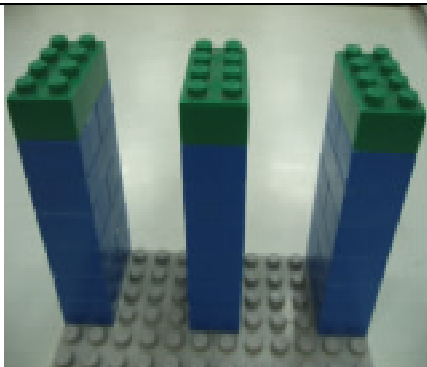
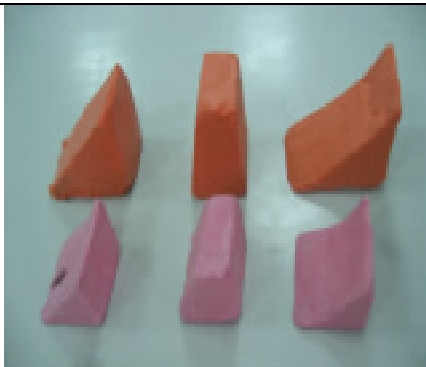
4.實驗設備

(1) 實驗渠道共有兩種規格（詳見表一）。側面玻璃貼上刻度，以便實驗數據的分析，每隔 1cm 用奇異筆畫一條 20cm 垂直渠槽底部之透明標尺，可方便分析拍攝受土石流衝擊時之堆積高度的情形。

(2) 數位攝錄影機:可藉由影像播放軟體，採用定格播放的方式，記錄土石流前端流動之情形、流動的深度與土石淤積之情形。

四、防砂壩體的設計過程：

以下是我們設計的各種防砂壩體：

		
嘗試各種材質來設計壩體	以白膠黏合冰棒棍設計壩體	利用飛機木與橡皮筋
		
利用竹筷子設計的模型	完成的冰棒棍人字壩模型	積木設計的組合式梳子壩
		
竹籤設計的通過式壩體	積木設計的梳子壩模型	油土設計的封閉式壩體模型

在考慮堅固、耐用，並能解決我們提出的問題後，經過不斷的討論決定以木頭來釘製，依研究目的設計出下列規格的梳子壩：【實體請詳見比賽會場】

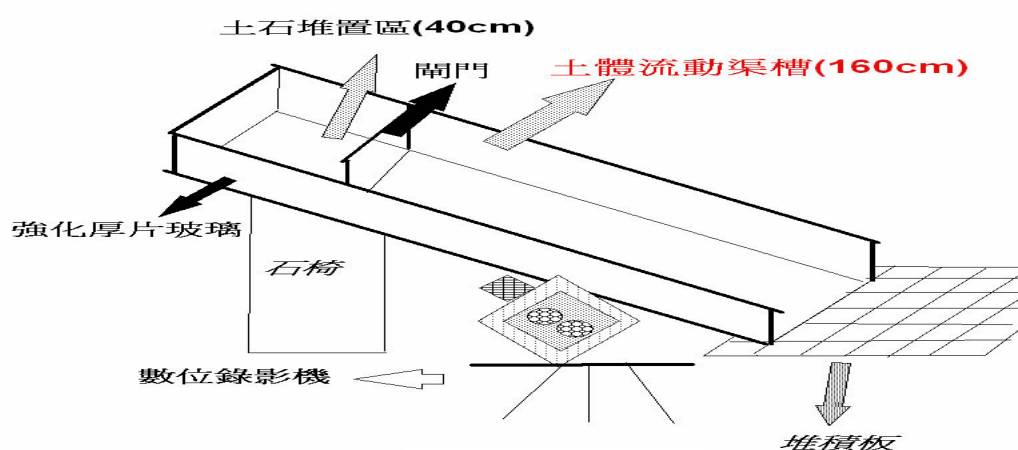
- (a) 封閉式壩體採用三種形式：直立壩、斜面壩、曲面壩。
- (b) 非封閉式壩體採用梳子壩，設計五款不同規格的梳子壩。

五、實驗步驟：

(一) 土石流的流動特性

表 4-2 土石流的流動特性實驗步驟表

步驟 1	堆積平台上畫上格子每格為 100cm^2 (如圖三所示)
步驟 2	設計三種不同粒徑組成的土體： ①三分石：泥=1：4 ②三分石：泥=1：1 ③三分石：泥=4：1
步驟 3	加入定量的水，混合成濃度 50% 的高塑性流體。
步驟 4	將土石流体放在渠槽最上方的堆置區。
步驟 5	調整坡度 25° ，打開閘門使土石流向下流動。
步驟 6	觀察流動特性。
步驟 7	估算土石流堆積的面積和高度。
步驟 8	改變不同類型的粒徑組合土體，重複上述 4~8 步驟。



圖三 實驗裝置圖

(二) 封閉式壩體受土石流衝擊與壩前堆積實驗

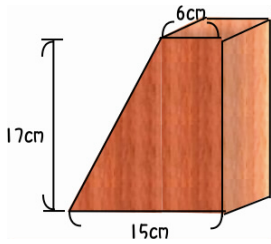
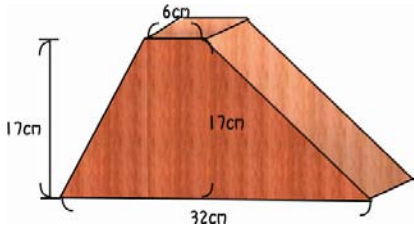
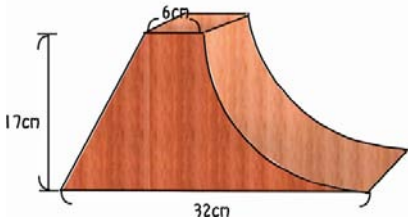
表 4-3 封閉式壩體受土石流衝擊與壩前堆積實驗步驟表

步驟 1	將壩體放置在渠槽下游段，鎖上螺絲釘，使壩體固定在渠槽底，壩體兩側、底部與渠槽接觸面以防水膠填塞，以防止滲流。
步驟 2	渠槽側面壓克力板上用奇異筆畫上刻度，每 1cm 畫一條 20cm 垂直渠槽底之標尺，方便攝影與分析。
步驟 3	將土砂石依比例組成後加入定量水攪拌，土體濃度為 75% 放置土石區。
步驟 4	調整坡度 10° 啟動數位攝影，打開閘門，使土石流體向下流動。
步驟 5	觀察土石流衝擊壩體的過程與堆積情形。
步驟 6	將土石流運動過程拍攝，並用電腦擷取影像，加以分析。

步驟 7	更改坡度 25°，重複上述步驟。
步驟 8	更改濃為 50%，重複上述步驟。
步驟 9	更改壩體，重複上述步驟。

依照防砂壩設計規範，設計三款壩體，採組合式如下表：

圖表 4-1 封閉式壩體規格表

名稱	壩體照片	尺寸圖
直立壩		
斜面壩		
曲面壩		

(三) 透過型壩體「梳子壩」土石流過壩行為與攔阻效益的實驗

A、單壩體實驗

B、組合型梳子壩實驗

圖表 4-3 實驗過程畫面

準備畫面



估算攔阻的體積與實驗土石材料

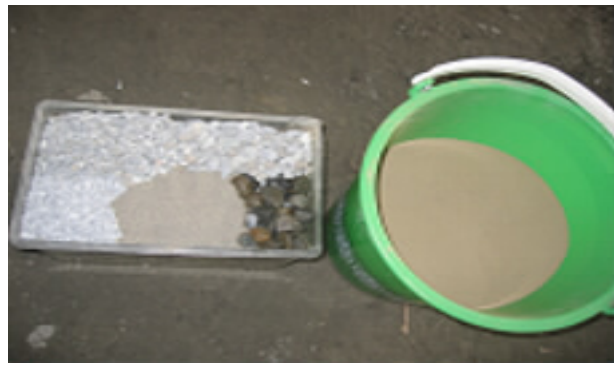
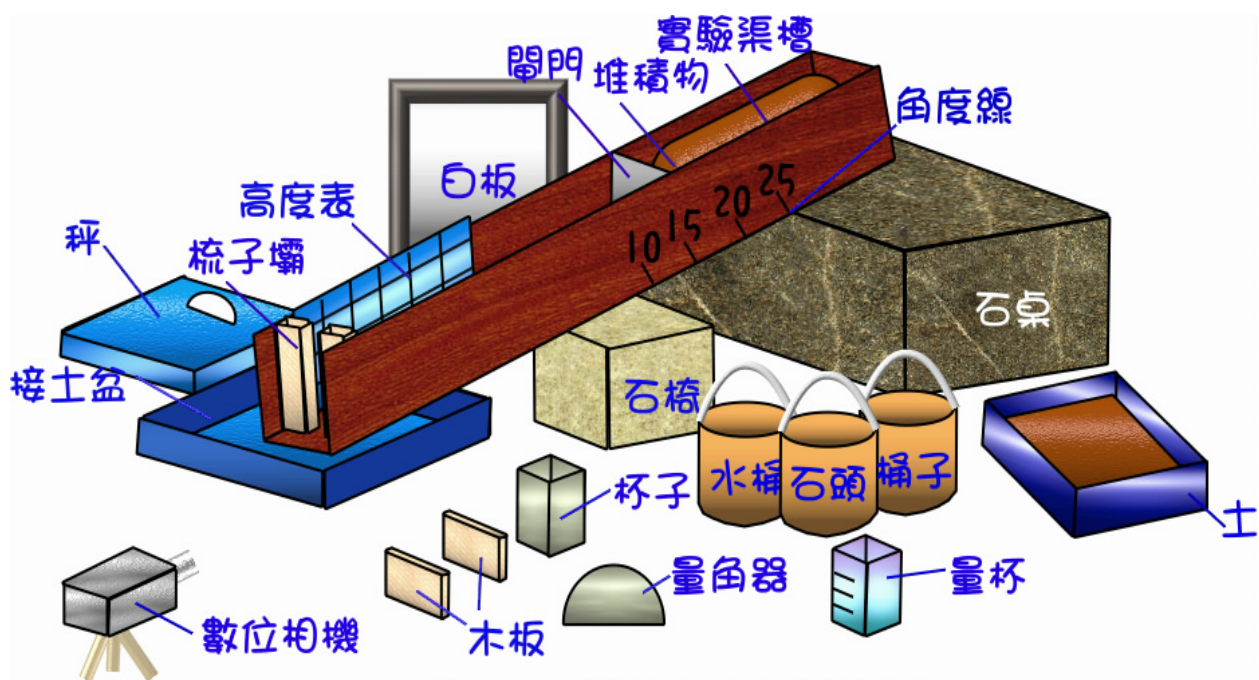


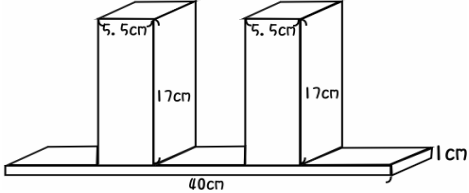
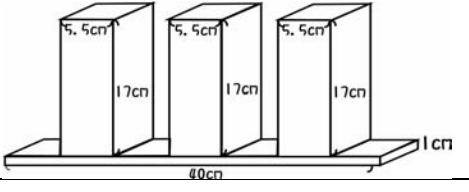
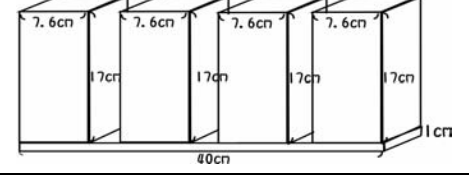
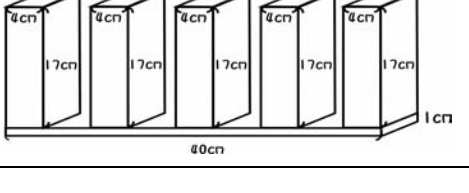
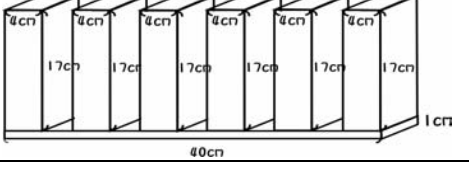
表 4-4 透過型壩體「梳子壩」土石流過壩行為與攔阻效益的實驗步驟表

步驟 1	將礫石和泥依照比例混合(十分石：六分石：三分石：一分石：粗砂：泥=2：2：1：1：1：3) 共重 33 kg，加水調成濃度 75%，放入渠槽內。(如下圖裝置)
步驟 2	將渠槽放在支點上，上下前後搖晃翻滾數十次，直至土石和水完全混合成泥漿狀才能進行實驗。
步驟 3	調整坡度 10°，放入並固定梳子壩，打開閘門使土石向下流，衝撞梳子壩。
步驟 4	觀察並用數位相機錄下土石流撞擊壩體的過程，以及記錄壩體的攔阻情形。
步驟 5	計算通過梳子壩的土石量，記錄攔阻的砂石量，換算成貯砂率。
步驟 6	調整坡度，反覆上述五步驟完成 15°、20°、25°。
步驟 7	更換壩體(梳距 9.6 cm、5.9 cm、3.2 cm、5 cm) 重覆上述六步驟。
步驟 8	調整土石流濃度為 50%，重覆上述七步驟。
步驟 9	重新調配土體，依照比例混合(十分石：六分石：三分石：一分石：粗砂：泥=1：1：1：1：1：5) 成一般型土石流，濃度 75%，重複 1~8 步驟。



圖四 攔阻效益實驗裝置圖

圖表 4-4 梳子壩五種規格 (渠槽寬度 40cm)

壩體形式	壩體規格	梳子 寬度 (cm)	開口間距 (梳距 cm)	總開口數 (個)	總開口面長度 (cm)
2 支		5.5	9.6	3	28.8
3 支		5.5	5.9	4	23.6
4 支		7.6	3.2	3	9.6
5 支		4	5	4	20
6 支		4	3.2	5	16

(四) 自清能力的實驗

A、一般型土石流的自清能力實驗

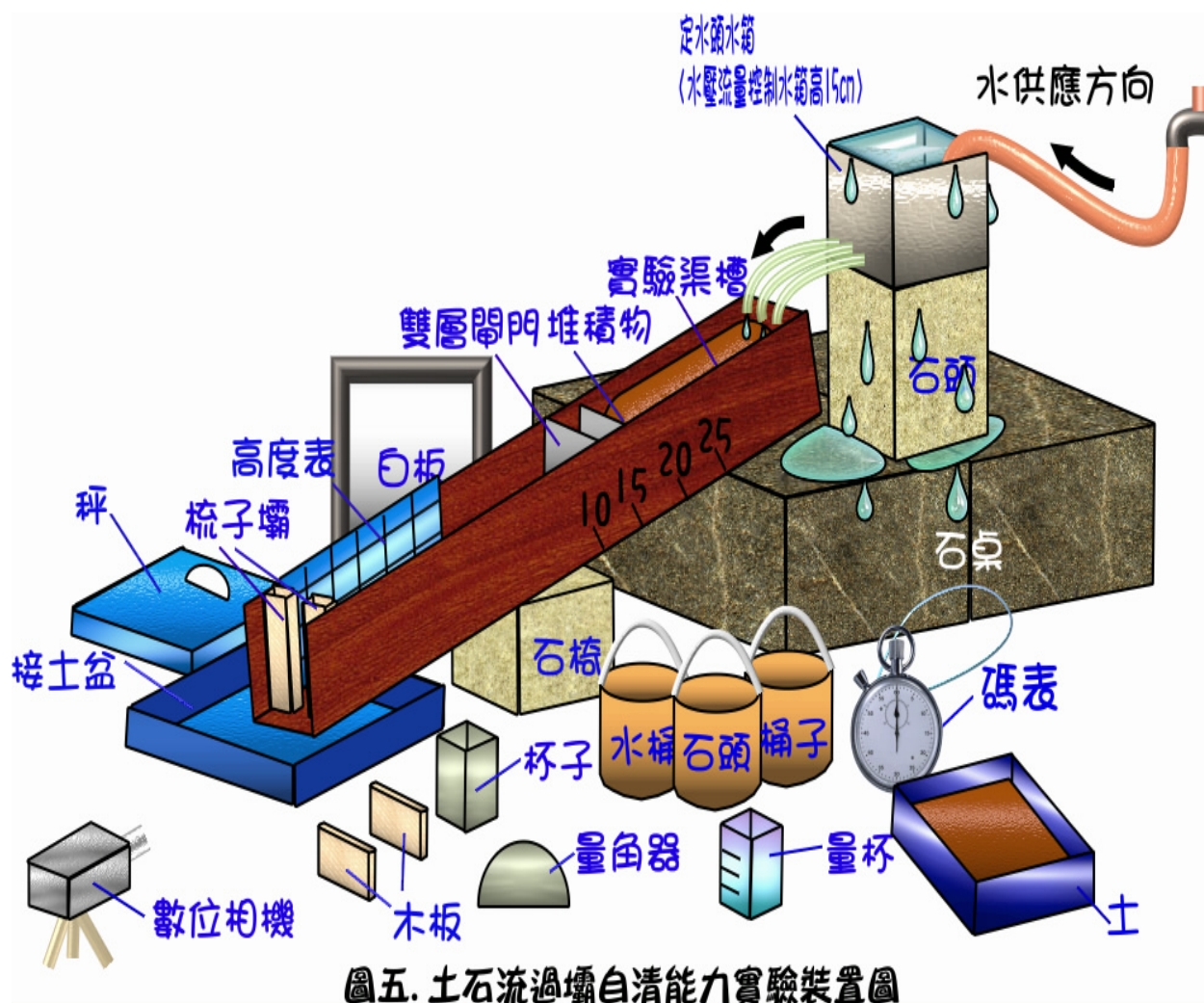
表 4-5 一般型土石流的自清能力實驗的實驗步驟表

步驟 1	調整渠槽坡度為 25 度。
步驟 2	在渠槽下游出口處設置梳子壩，六支型梳距 3.2 cm 壩體固定在渠槽最下方渠道上。
步驟 3	在渠槽土石堆置區倒入土石，並利用擋土板擋住閘門防止土體向下滑落。土體為濃度 75% 之一般型土石流混合體，比例為十分石：六分石：三分石：一分石：粗砂：泥=1：1：1：1：1：5，重量 33 kg，總體積 17500cm ³ 。
步驟 4	利用人力攪拌使石頭和水充份混合成為可流動之高塑性土石流泥漿。
步驟 5	瞬間抽出擋土閘門，使土石流向下移動。
步驟 6	觀察土石流通過梳子壩的流動情形，並用攝影機錄影。
步驟 7	當土體堆積情況穩定時，即開始供水 3 分鐘，小流量為 5 孔共 30ml/sec。
步驟 8	測量堆積之攔阻的土體，其清水的自清情形。
步驟 9	計算貯砂率的變化。

B、礫石型土石流的自清能力實驗

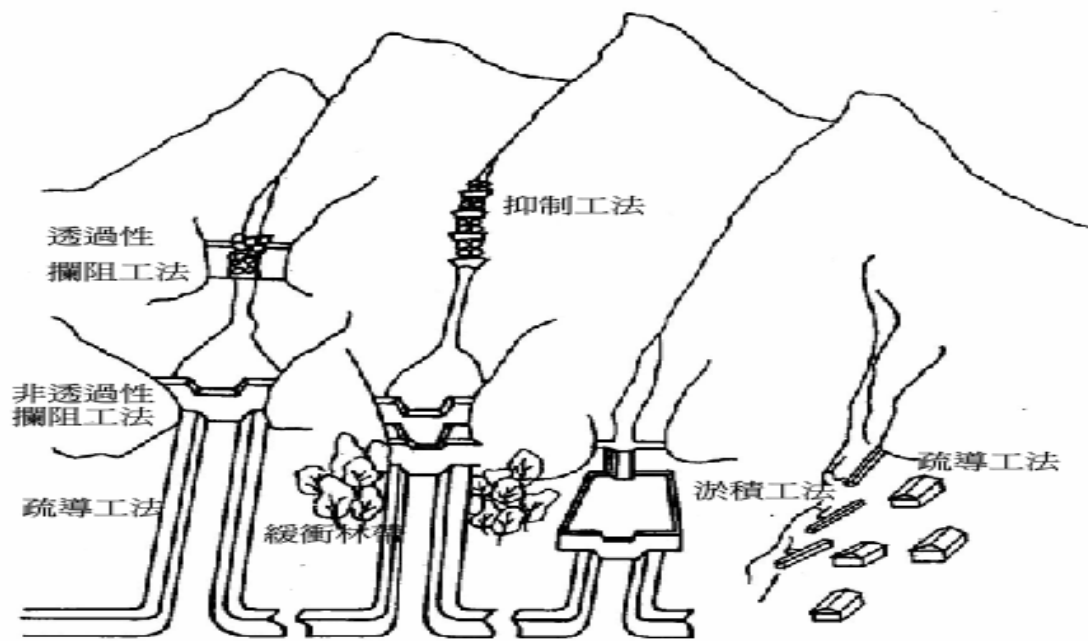
表 4-6 礫石型土石流的自清能力實驗的實驗步驟表

步驟 1	改變土體組合為十分石：六分石：三分石：一分石：粗砂：泥=2：2：1：1：1：3 之礫石型混合體，總重量 35 公斤，總體積 18250cm ³ 。
步驟 2	重複上表 4-5 的實驗步驟 1~6。
步驟 3	當土體堆積情況穩定時，即採用大流量清水流（出水量為 200ml/sec）3 分鐘。
步驟 4	計算並比較貯砂率的變化情形，以瞭解壩體的自清能力。（如圖五所示）



伍、結果與討論

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。土石流的攔阻方法如防砂壩，則是應用於溪谷的中上游，由於土石流流經此區時已含有大量土砂、巨石，濃度已近飽和，藉由堅實的工程構造物直接攔阻或使土石流脫水，可以阻止土石流動。（其他有關土石流防治工法與照片請詳見展示場資料圖片彙整本）



圖表 5-1 土石流防砂壩（取自陳樹群（2004），洪水與土石流。
nr.stpi.org.tw/ejournal/Nscm/9302/9302-03.pdf）

實驗結果與分析如下：

分析一、不同類型土石流的流動特性與堆積特性

1. 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。
2. 在實驗渠槽模擬時，發現石塊易擱置在坡道上，石塊與渠道的摩擦力比較大，但是如果坡度增大或上游面水量充足時，礫石一旦向下游滾動，對壩體的衝擊力依然很大，甚至遠甚於一般型或泥流型。
3. 含水量高之土石流，土石固體比較少，泥沙的體積濃度和黏稠性比較低，所以當土石流流動時，受到水流的重力作用，從實驗中可以發現流速比高濃度(含水量較少)時快速，而且實驗操作中可明顯看到一般型土石流的流速大於礫石型之土石流。
4. 不同的粒徑組成的堆積土體，發生土石流的坡度有差異性存在，當上游有水分不斷補充時，含土量愈高，愈易形成流體。而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，即使在坡度小時，也可能發生流動情形。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。

表 5-1 三種土體的觀察比較表

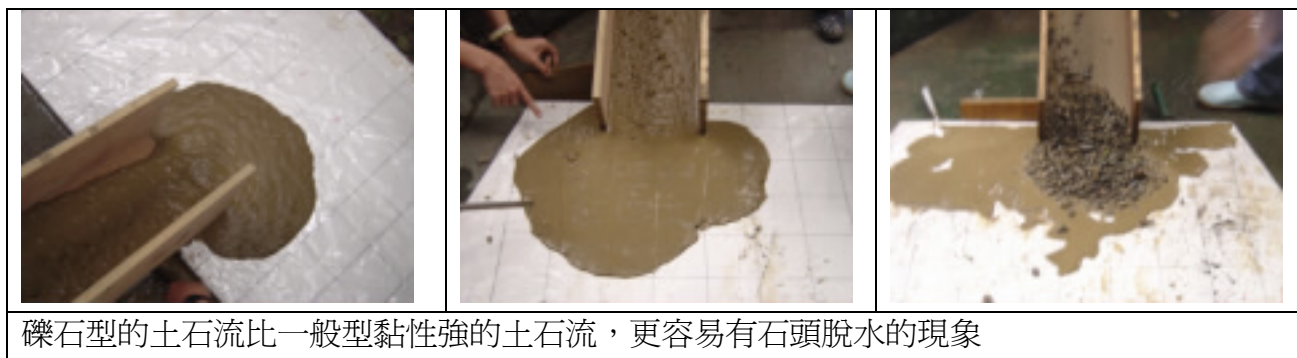
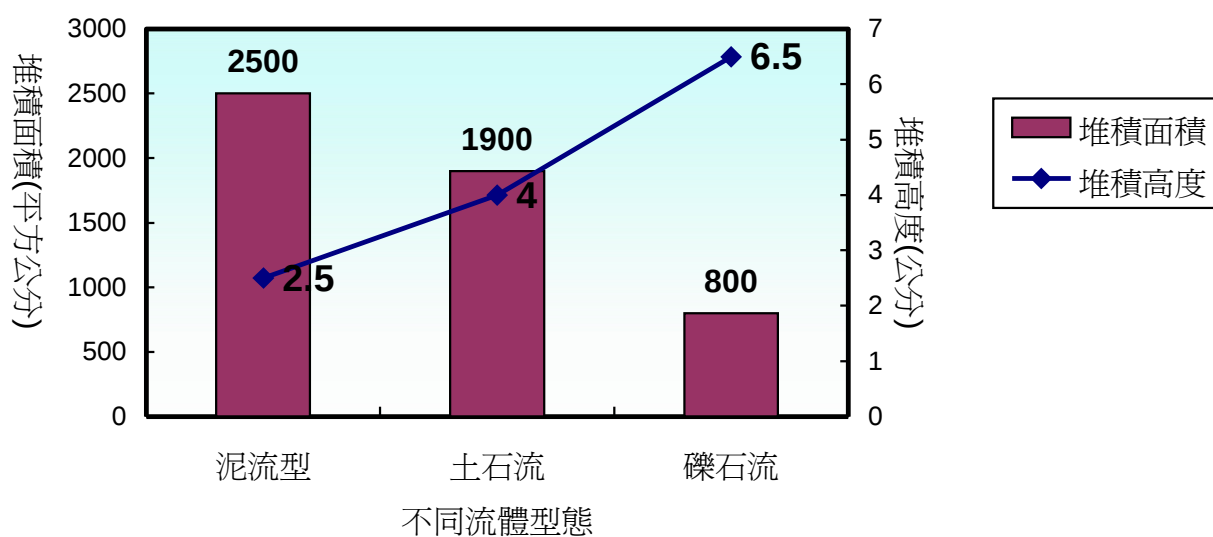
觀察項目	說明
流動形式	礫石型土石流較易產生堆積是直進型，而泥流型則擴散性較強。
堆積範圍與高度	礫石流堆積高度比較大，泥流堆積面積大而高度較低些。坡度增大時則堆積面皆會擴大，而堆積高度會減少，而且發生土石流的機率變高了。坡度愈陡流動距離愈長。
流動速度	礫石型一旦發生流動時，其直進性比較強，流速比泥流型更快些。

表 5-2 坡度 25° 土體流體化的移動與堆積情形

分析項目 \ 不同土體	A 土：三分石=4：1	B 土：三分石=1：1	C 土：三分石=1：4
主要的流動特性	泥流	土石流	礫石流
堆積面積 (cm ²)	2500	1900	800
堆積高度 (cm)	2.5	4.0	6.5

註：相同土體體積 8000 cm³、相同含水量 2000ml

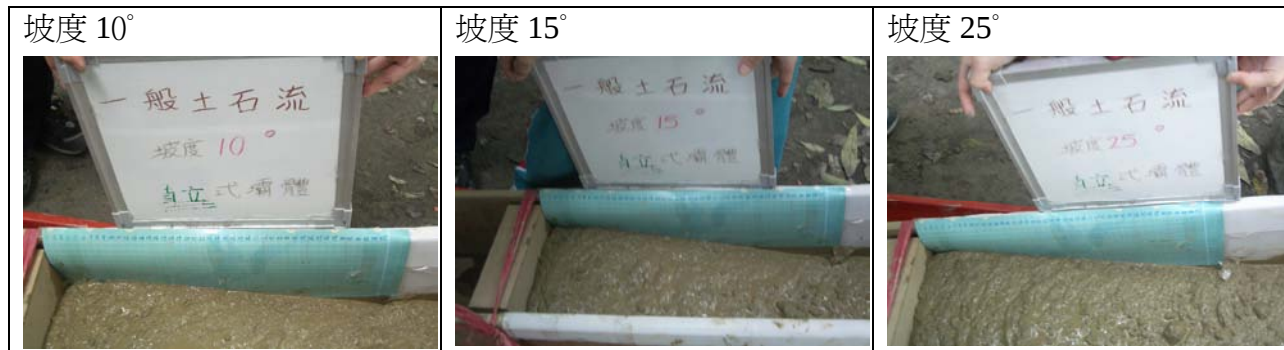
圖五-1 土石流堆積型態



分析二、封閉型土石流防砂壩的攔阻效益和壩前堆積情形

1. 就壩體穩定性而言，斜面壩和曲面壩皆優於直立壩。
2. 土石流量太大時會有溢壩現象。
3. 使用 CyberLink PowerDVD 軟體將動態錄影畫面擷取成靜態照片如下：

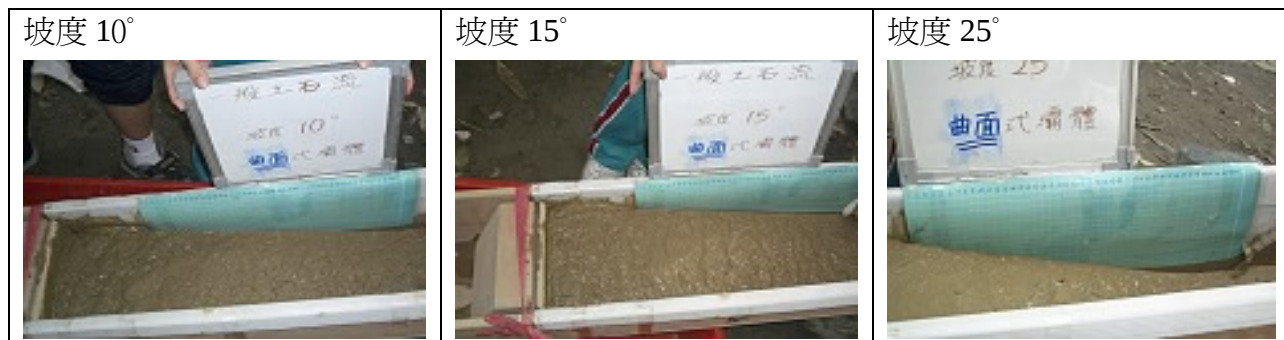
圖表 5-2 直立壩不同坡度土石流撞擊堆積畫面（濃度 75%、一般型土石流）



圖表 5-3 斜面壩不同坡度土石流撞擊堆積畫面（濃度 75%、一般型土石流）



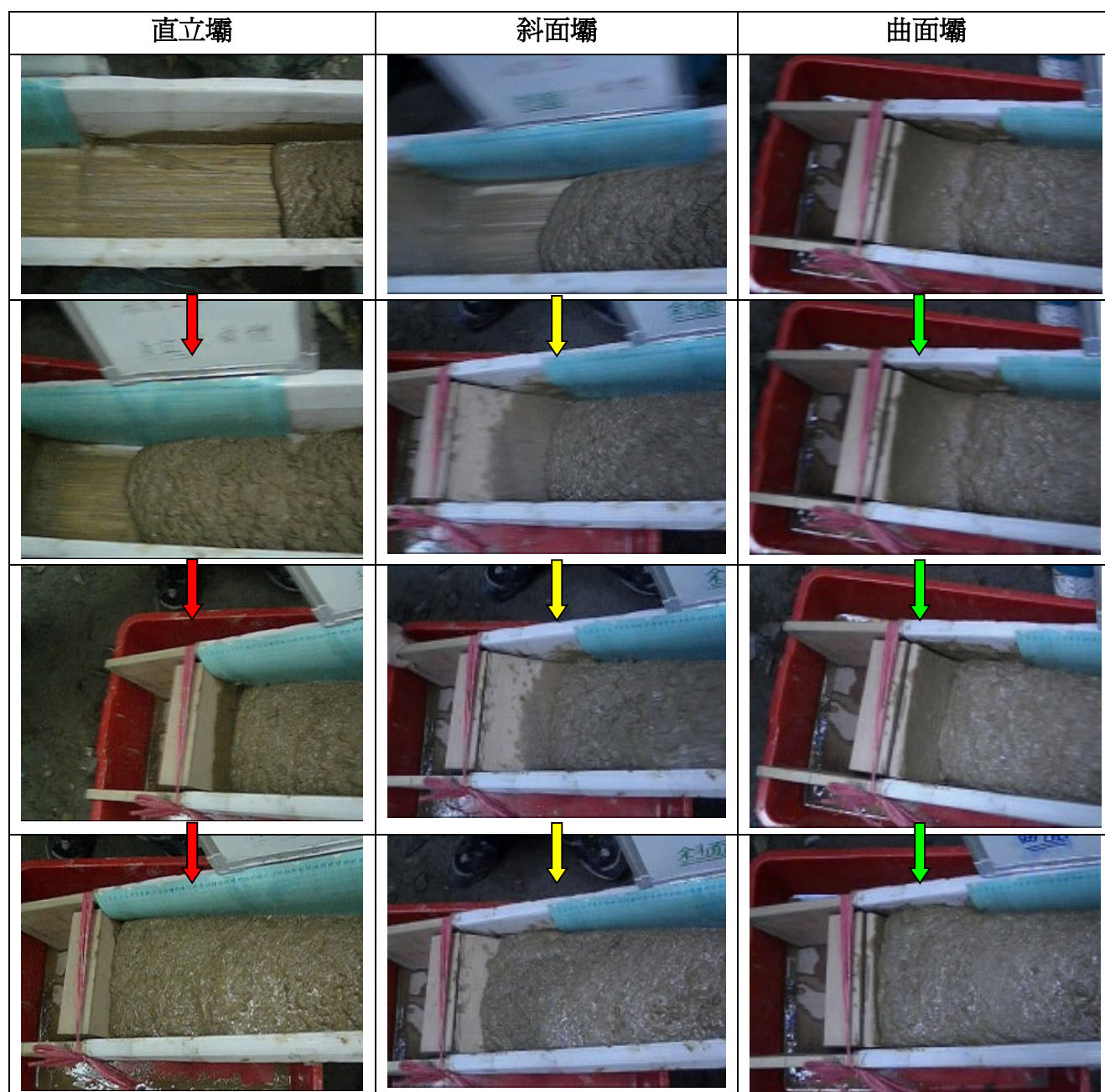
圖表 5-4 曲面壩不同坡度土石流撞擊堆積畫面（濃度 75%、一般型土石流）



圖表 5-5 礫石型土石流壩前堆積形狀剖面圖（15°）



圖表 5-6 一般型土石流撞擊畫面 (25°、濃度 75%)



說明：

水量增加或坡度增大時，斜面壩和曲面壩的貯砂效率皆明顯降低，直立壩的貯砂效率優於其他兩種壩體。討論後認為是斜面壩因斜面，而曲面壩因曲面的關係，使土石躍過壩體的能力增加之故。

圖表 5-7 一般型土石流撞擊畫面（10°、濃度 75%）



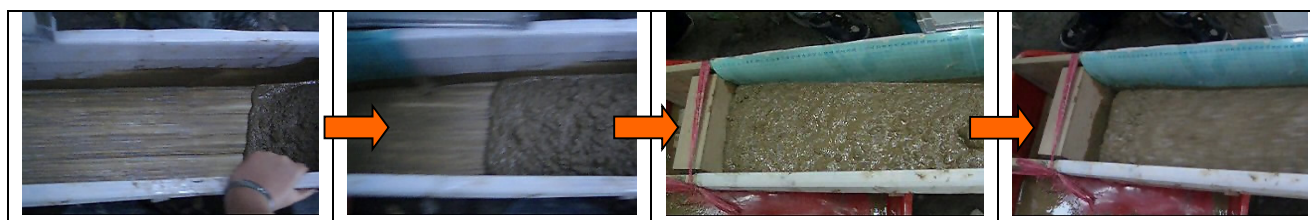
說明：

土石流具有強大的衝擊力，尤其是黏性強的土石流，在實驗渠槽模擬時，**發現黏稠性流體具有極大的浮托力**，石塊可以漂浮在土石流表面，而且土石與渠道的摩擦力變小了，土石流快速向下衝流，瞬間撞擊壩體的力道很強。

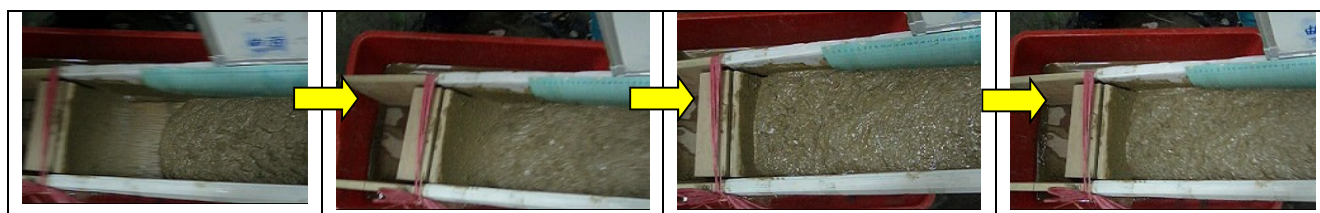
（註：礫石流坡度 10°、15°、25°錄影擷取畫面詳見展示會場資料本）

3.不同形式的壩體，土石流撞擊堆積的形勢不同，如下表：

圖表 5-8 直立壩土石流撞擊畫面（15°、濃度 75%、一般型土石流）



圖表 5-9 曲面壩土石流撞擊畫面（15°、濃度 75%、一般型土石流）



分析三、梳子壩土石流過壩行為與攔阻效益

將攔阻結果換算成貯砂百分比如下表 5-3、表 5-4：

表 5-3 一般型土石流在不同型式的梳子壩之貯砂率實驗記錄表（單位：%）

濃度	坡度	2 支梳寬 5.5 cm，梳距 9.6 cm（開口數 3 個開口長度為 28.8 cm）	3 支梳寬 5.5 cm，梳距 5.9 cm（開口數 4 個開口長度為 23.6 cm）	4 支梳寬 7.6 cm，梳距 3.2 cm（開口數 3 個開口長度為 9.6 cm）	5 支梳寬 4 cm，梳距 5 cm（開口數 4 個開口長度為 20 cm）	6 支梳寬 4 cm，梳距 3.2 cm（開口數 5 個開口長度為 16 cm）
高	10°	62.5	81.3	93	87.3	90.6
	15°	62.5	77.5	87.3	85	87.3
	20°	50.2	74.9	86	77.5	85
	25°	43.8	66.3	85	70	77.5
低	25°	15	22.5	42.5	27.5	38
貯砂率＝攔阻的土砂石量/總土砂石量×100%						

表 5-4 礫石流型土石流在不同型式的梳子壩之貯砂率實驗記錄表（單位：%）

濃度	坡度	2 支梳寬 5.5 cm，梳距 9.6 cm（開口數 3 個開口長度為 28.8 cm）	3 支梳寬 5.5 cm，梳距 5.9 cm（開口數 4 個開口長度為 23.6 cm）	4 支梳寬 7.6 cm，梳距 3.2 cm（開口數 3 個開口長度為 9.6 cm）	5 支梳寬 4 cm，梳距 5 cm（開口數 4 個開口長度為 20 cm）	6 支梳寬 4 cm，梳距 3.2 cm（開口數 5 個開口長度為 16 cm）
高	10°	80.3	93.9	99.8	95.2	99.4
	15°	69.7	90.9	98	93.9	99.1
	20°	63.6	84.8	98	90.9	98.5
	25°	51.5	75.8	95	84.8	95.5

低	10°	77.3	92.4	-	93.9	-
	15°	63.6	89.4	-	90.9	-
	20°	57.6	80.3	-	84.8	-
	25°	45.5	72.7	-	81.8	-

1. 貯砂率 = 攔阻的土砂石量 / 總土砂石量 × 100%

2. 梳距 3.2 cm 時，開口間距小，通過量極少，所以未一一做實驗，以「-」代表。

結果與分析：

(一) 貯砂率

1. 礫石流濃度 75%（最大粒徑約 3.8 cm）在 25° 時：

（1）開口間距 9.6 cm，貯砂效果達到 51.5% 左右。

（2）開口間距 5.9 cm 以下時，貯砂效果可達到 75.8% 以上。

2. 礫石流濃度 50%，在 25° 時：

（1）開口間距 9.6 cm 的貯砂效果達到 45.5%。

（2）開口間距 5.9 cm 以下時，貯砂效果可達到 72.7% 以上。

3. 一般型土石流濃度 75%，在 25° 時：

（1）開口間距 9.6 cm，貯砂效果達到 43.8% 左右。

（2）開口間距 5.9 cm 以下時，貯砂效果可達到 66.3% 以上。

4. 一般型土石流濃度 50% 時，而坡度 25° 時：

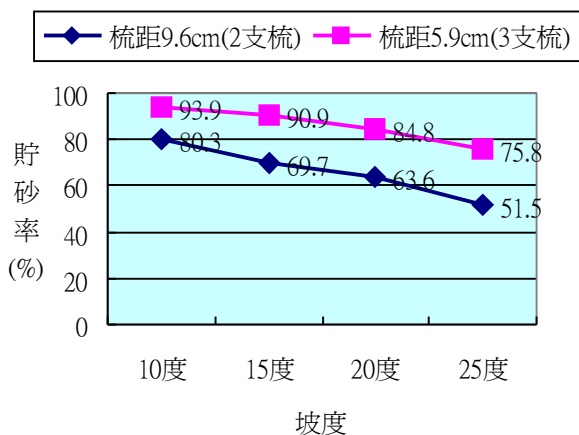
（1）開口間距 9.6 cm 的貯砂效果降至 15%。

（2）開口間距 5.9 cm 時，貯砂效果降至 22.5%。

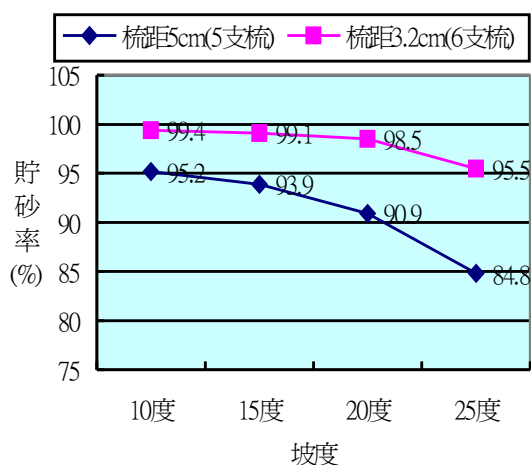
（3）開口間距 3.2 cm 時，貯砂效果也只有 38%。

5. 一般型土石流，攔阻效果以梳距 3.2 cm 優於梳距 5cm，代表開口間距小時，攔阻效果比較佳，但在清水流自清能力梳距愈小愈差，所以梳距不宜太小。

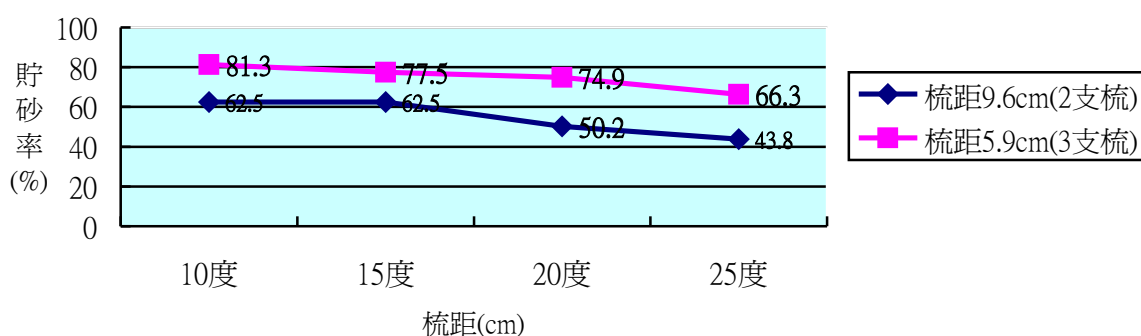
圖五-2 不同梳距梳子攔貯砂率比較圖
(礫石型土石流 高濃度75% 每支梳寬為 5cm)



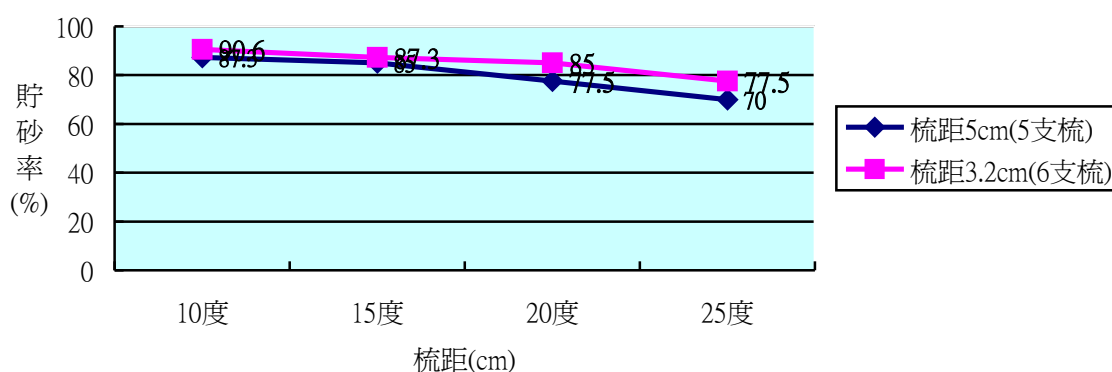
圖五-3 不同梳距梳子攔貯砂率比較圖
(礫石型土石流 高濃度75% 每支梳寬為4cm)



圖五-4 不同梳距梳子壩在各坡度的貯砂率比較圖
(一般型土石流 高濃度75% 每支梳寬皆為5cm)



圖五-5 不同梳距梳子壩在各坡度的貯砂率比較圖
(一般型土石流 高濃度75% 每支梳寬皆為4cm)



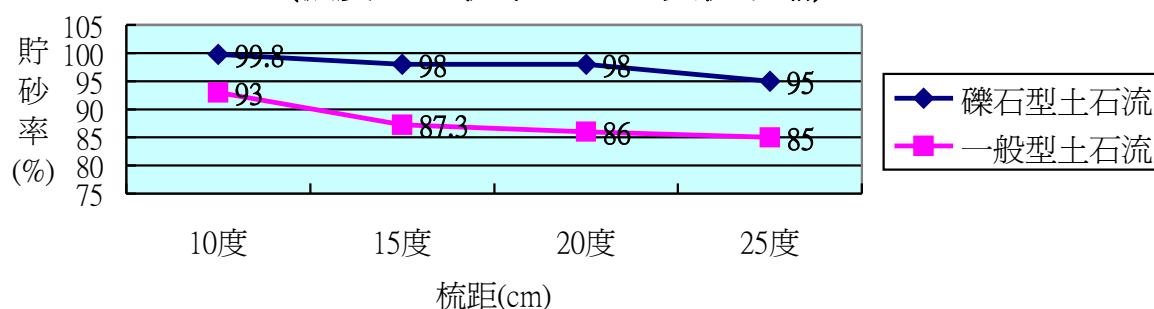
6.從上面實驗結果可知，貯砂率受到壩體開口梳距的大小和最大粒徑大小的影響。

(1) 在每支梳寬相同而梳距愈大時，貯砂率愈小。即梳距 $5\text{cm} < 3.2\text{cm}$ ； $9.6\text{cm} < 5.9\text{cm}$ (如圖五-4 一般型土石流；圖五-5 礫石型土石流)

(2) 就坡度而言，坡度愈大，貯砂率愈小。

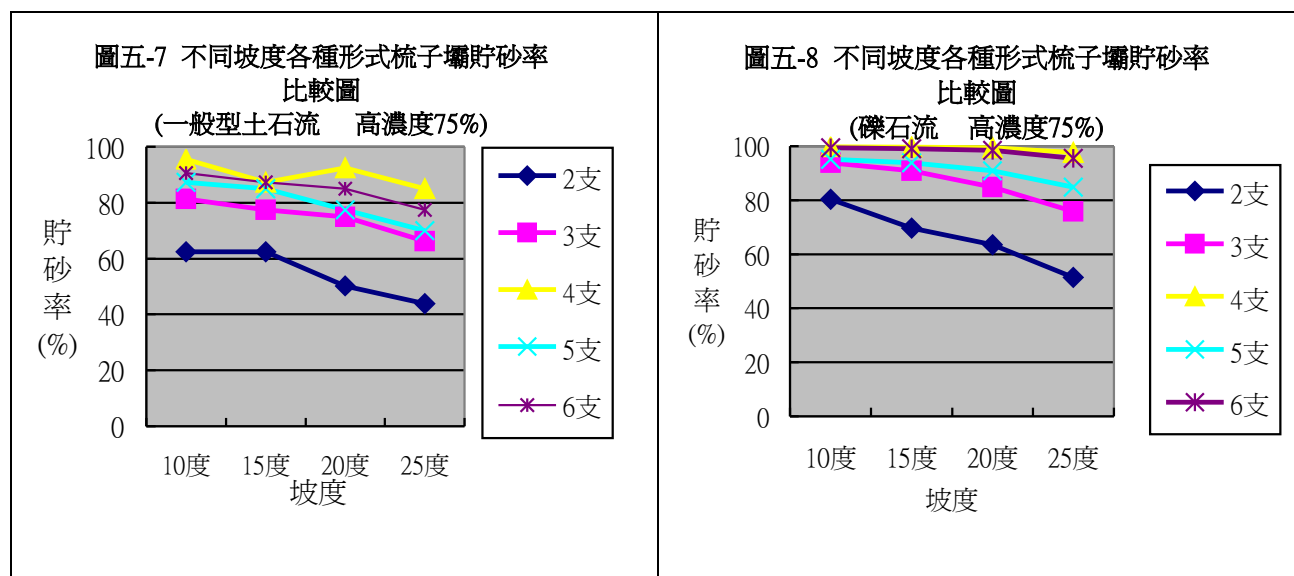
7.在相同的梳子壩體，貯砂量以礫石流多於一般型土石流，而且坡度愈高，土石流過壩量愈多，即攔阻量愈少。

圖五-6 不同坡度梳子壩貯砂率比較圖
(濃度75% 梳距3.2cm 4支梳子壩)

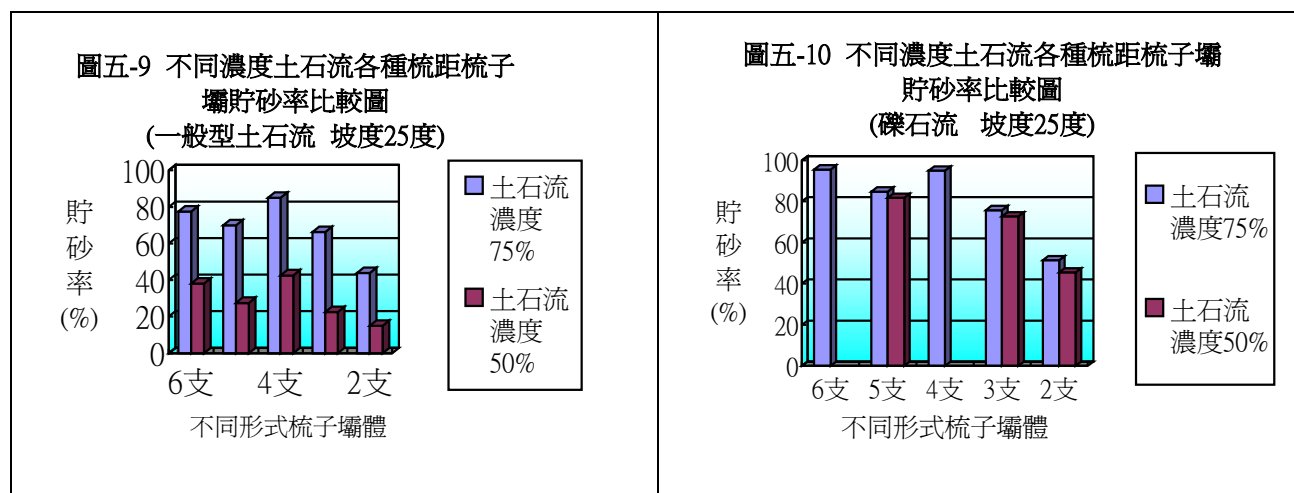


(二) 攔阻效益

1. 從坡度上看：結果顯示貯砂率以 $25^{\circ} < 20^{\circ} < 15^{\circ} < 10^{\circ}$ ，即坡度愈陡，土石流通過量就愈大，攔阻效益會降低。



2. 從濃度上看：濃度愈高的土石流貯砂率愈高（濃度 $75^{\circ} > 濃度 50^{\circ}$ ），代表攔阻效益愈大。



3. 從梳距大小來看：當開口數相同但梳距愈大者，通過的土石量就越多，代表貯砂率愈小即攔阻效益愈低。
4. 梳距相同而梳寬愈大者來看：攔阻量會增加，如實驗中的 4 支壩 $>$ 6 支壩。

討論：

當梳距小時，土石流因梳距不夠寬而無法順利通過，因而卡在梳子壩前，但後方的土石不斷撞上而逐漸堆積，隨著堆積高度的升高，使得不少隨後的土石躍飛過壩體，而堆積在壩間和壩後，此時後方較細小的土砂流也緩慢爬過壩體，填充滿整個壩間，討論後認為應是後段土石流黏稠度高，受重力作用而向前推擠。

(三) 過壩運動行為

- 1.不同的梳距，土石流飛躍過壩的行為不盡相同。梳距大時，飛躍情形減少，甚至沒有發生。
- 2.梳距若夠寬，則土石流前端碰撞到梳子壩時，速度減慢進入壩間，直直向前進，從錄影慢速播放的畫面中可明顯看到壩間含 BB 彈的土石流有橫向移動的情形，最後流出梳子壩後再直向前進。
- 3.當坡度大時，越壩飛躍的現象愈多，而後續流至的土石流緩慢爬越堆積的土石，使堆積高度增加，而造成先前堆積的土石不穩定時，便會開始崩落。

圖表 5-10 土石流過壩照片



從實驗中發現，過壩的土石大部分形成個別運動的情況，威力比起土石流集體運動時減緩。討論後認為應是壩體的阻擋使土石流成為分流的過壩現象。

(四) 堆積情形

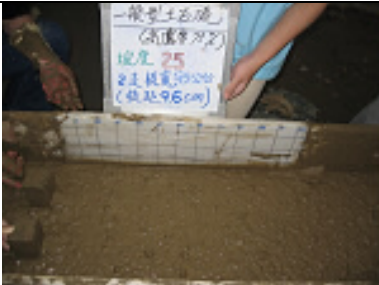
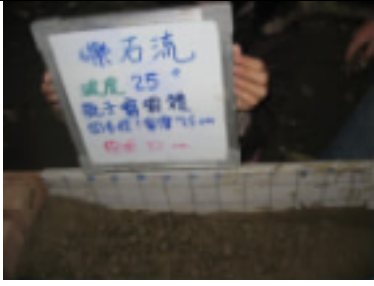
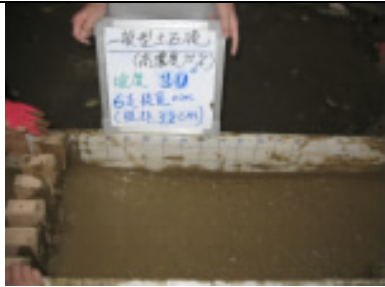
梳距愈大，堆積的情形比較緩。從實驗錄影畫面分析，應是梳距大，前端的土石能順利通過，所以隨後而至的土石流堆積高度也減緩的緣故。反之，梳距小時，堆積高度較高，堆積面也較陡。濃度愈高，堆積情形也是如此，堆積高度比較高。

討論：

梳距愈小，土石愈不易通過壩體，所以導致土石在壩前越堆越高，所以土石粒徑愈易卡在壩間時，土石堆積高度會隨之變大。換句話說，在相同的梳距下，土石粒徑愈大則堆積高度愈高。

梳子壩體的前後長度如果太長，則壩體會較為穩固，但卻會影響土石橫向移動的空間不足，而不能順利前進，經相互推擠後在壩體開口間距處堆積，阻擋後方土石的向前，即使梳距夠大，仍會有此情形。

圖表 5-11 不同規格的梳子壩體壩前堆積情形

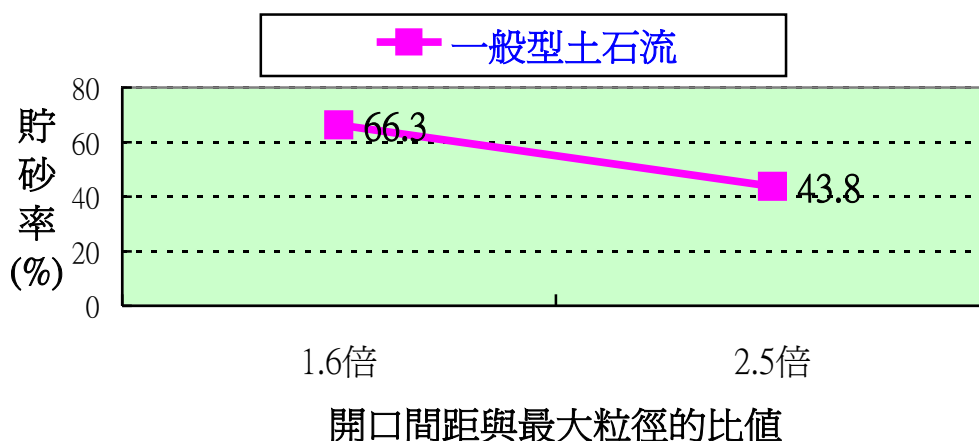
形式	礫石流 25°	一般型土石流 25°	一般型土石流 10°
2 支梳子壩			
3 支梳子壩			
4 支梳子壩			
5 支梳子壩			
6 支梳子壩			
註：坡度 10°、15°、20°錄影擷取畫面詳見展示會場資料本		註：坡度 15°、20°錄影擷取畫面詳見展示會場資料本	

分析四、梳子壩的梳距與最大粒徑的關係對貯砂率的影響

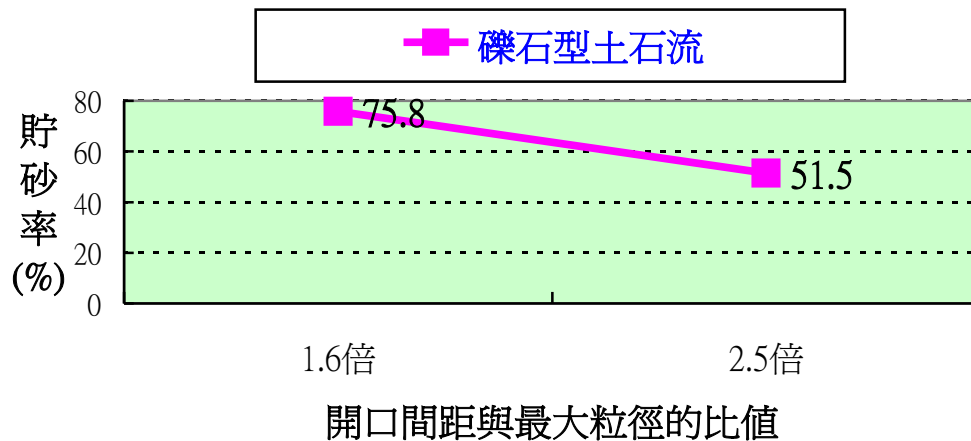
從分析三的實驗結果發現，貯砂率和梳距與粒徑大小有密切的關聯：

1. 一般型土石流，開口間距若大於最大粒徑 1.6 倍時，從實驗操作中發現通過的土石中有很多粗礫石，可見分離土石流粗礫石的功效已經降低。
2. 開口間距愈大攔阻效果愈差，貯砂率愈低。
 - (1) 當坡度 25°，高濃度一般型土石流而間距超過最大粒徑 2.5 倍時，一般型土石流的貯砂率會低於 50%。而低濃度時，過壩量甚多，貯砂率已降低至 5%。
 - (2) 當開口間距超過最大粒徑 2.5 倍時，礫石型土石流在坡度 25°的貯砂率會低於 51.5%左右。因此建議在設計梳子壩時，應考慮當地的粒徑和坡度，如果礫石量多，易發生礫石型土石流的區域，開口間距勿大於最大粒徑的 2.5 倍。
3. 一般型土石流的貯砂率：
 - (1) 開口間距為最大粒徑的 1.6 倍以上時，貯砂率會低於 66.3%。
 - (2) 開口間距(梳距)為最大粒徑的 2 倍以下時，比較具有分離土石流粗礫石的功效，因為大石的通過量不大。
4. 攔阻效果與梳距有密切的關係，每支梳子的開口距離如果很小，則貯砂率就會提高，至於總開口的長度就算很大而梳距小，仍然可使貯砂率提高，所以並不是開口面的總長度大，通過量就愈高。

圖五-6.1 開口間距與最大粒徑對貯砂率影響
(濃度75% 坡度25度)



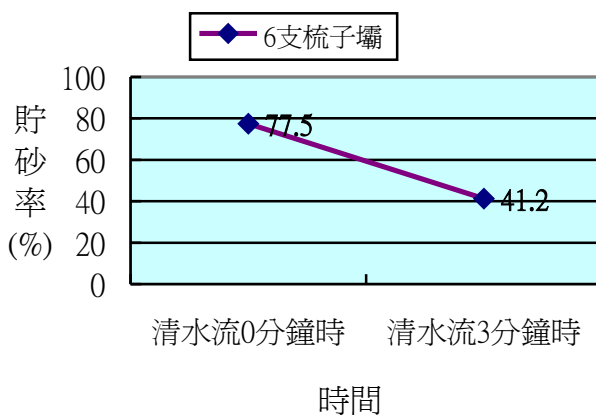
圖五-6.1 開口間距與最大粒徑對貯砂率影響
(濃度75% 坡度25度)



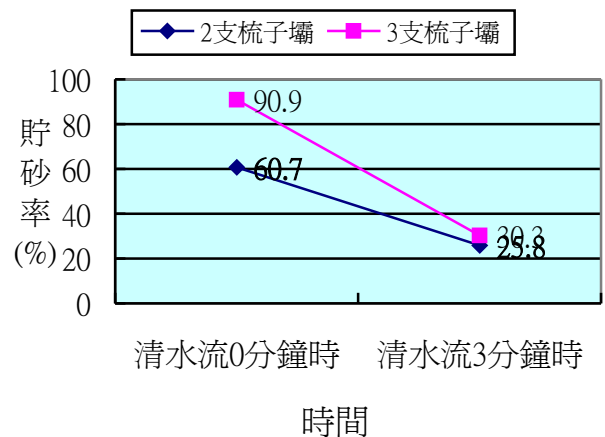
分析五、梳子壩的自清能力

1. 梳距 9.6cm 之 2 支型梳子壩，在 15° 礫石流的攔砂量高達 69.7%，在 3 分鐘的大流量清水流實驗後（出水量 200ml/sec），貯砂率降至 25.8%。
2. 礫石流壩前堆積物，透過水流量（200ml/sec）3 分鐘的清水流後，皆明顯清除大部份的貯砂量，增加梳子壩空庫貯砂能力。
3. 梳距 5.9 cm 之 3 支型，在 15° 梳子壩也由原貯砂率 90.9% 降至 30.3%，可見梳子壩具有自清的作用。
4. 但在小流量（30ml/sec）的清水流下，自清效果卻不理想，推論是因礫石重，不易推動而有沉積現象。
5. 一般型土石流，在高濃度 75%、坡度 25 度時，6 支型梳距 3.2 cm 的梳子壩在小流量（5 孔共 30ml/sec）的 3 分鐘清水流下，可由 77.5% 的貯砂率，清除至 41.2%。

圖五-11 一般型土石流自清後之貯砂率比較圖(25度 出水量30ml/sec)

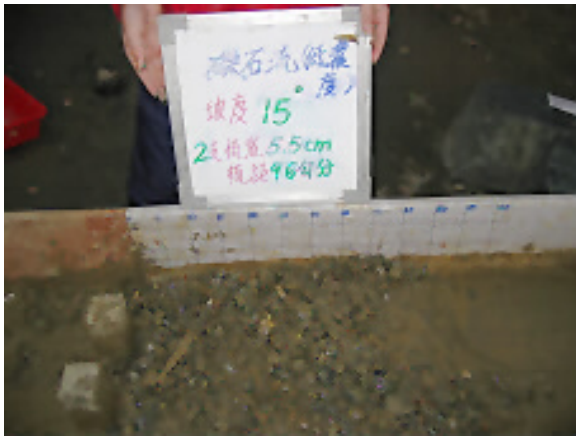


圖五-12 礫石流自清後之貯砂率比較圖(15度 出水量200ml/sec)

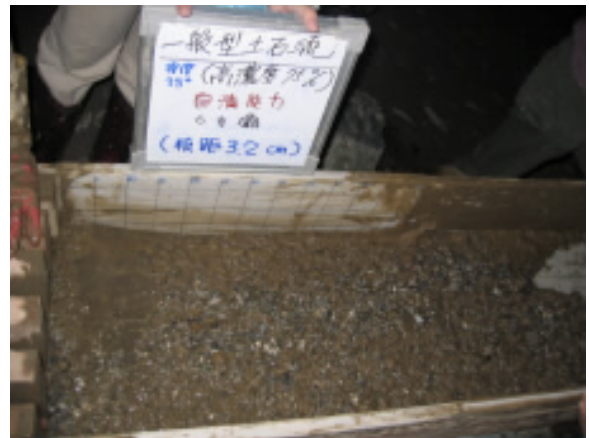


圖表 5-12 自清能力實驗前後對照表

2 支壩（開口梳距 9.6cm）



6 支壩（開口梳距 3.2cm）



討論：

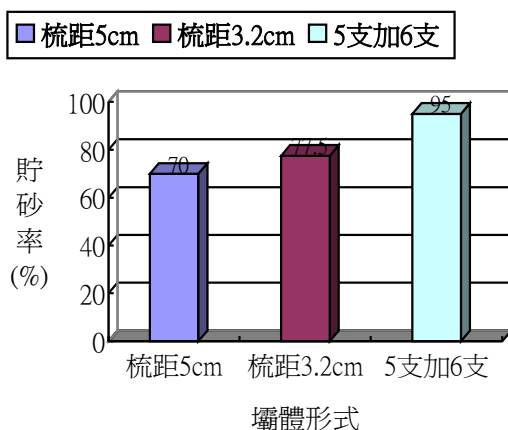
在自清能力的實驗中，當清水流從上游面向下流動時，水慢慢滲入堆積的攔阻砂石內，原本填充於壩前的土體間之細小砂粒及泥漿開始從空隙間流出並向下游流動，使堆積的土石體產生不安定，最後鬆動則產生土石崩落的現象，陸續被清水流沖刷帶走。

坡度愈大，受梳子壩攔阻而堆積的土石就愈不安定，在壩體自清能力的實驗中，發現坡度愈大自清能力較佳。探討原因，可能是坡度愈大，堆積的土石結構穩定性比較差，如果遇到降雨、地表沖刷或再一次的土石流，這些受攔阻的土石被帶至下游的機會將大增，所以 20 度比 10 度自清能力佳。

分析六、系列式組合型壩體的攔阻效益

1. 雙層式的攔阻效果皆優於個別單壩式壩體。
2. 小梳距配合大壩距仍保有攔阻效益。5 支搭配 6 支的梳子壩，兩壩距離加大至 10 cm 時，仍有 90% 之貯砂率。
3. 在戶外山野勘察時，我們常會看到多層式的梳子壩，下層梳子壩的梳距，可決定所能通過而排出的土石量，與我們的實驗結果大致相同，相互呼應。

圖五-13 單壩體與組合雙道式壩體的貯砂率比較圖(25度)



圖五-14 單壩體與雙道式壩體的貯砂率比較圖(25度)

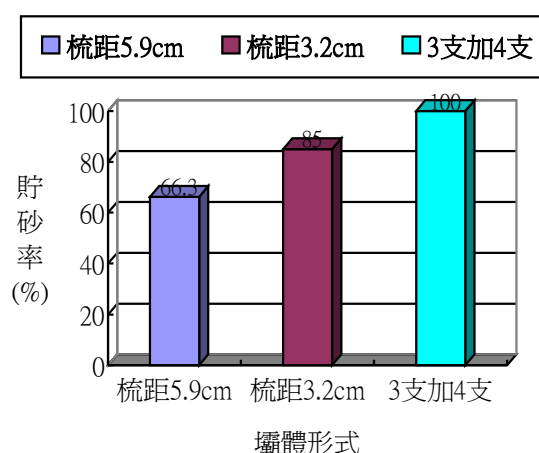
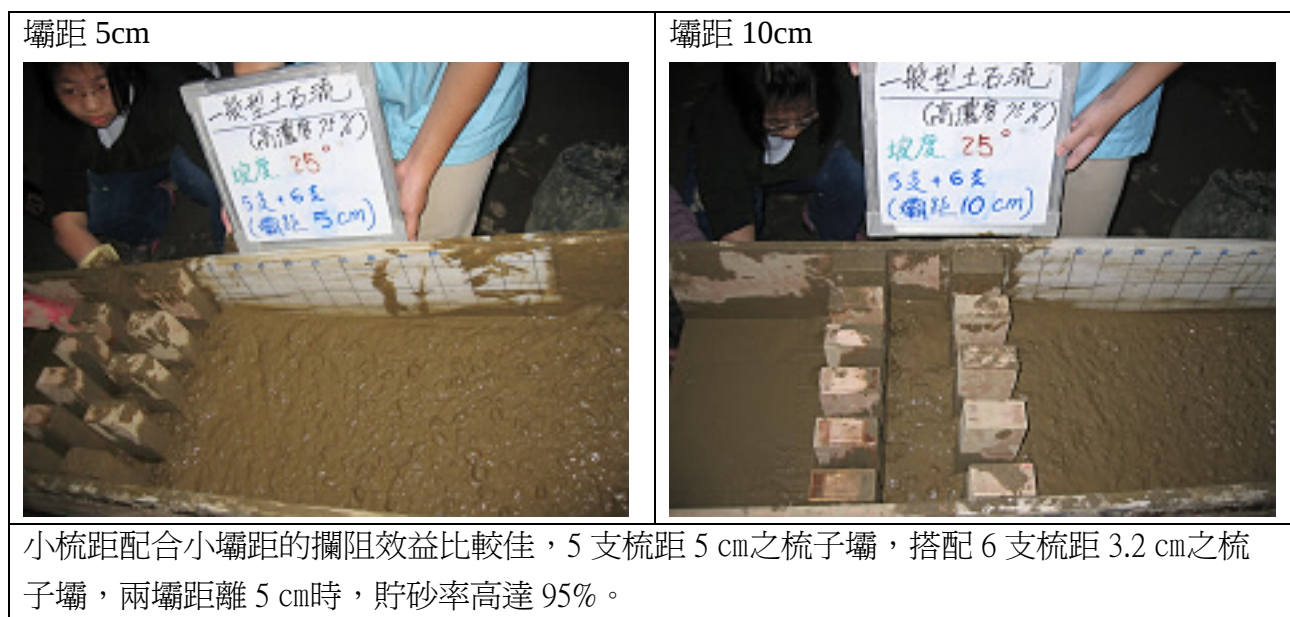


表 5-5 組合型梳子壩的攔阻效益 (25°, 濃度 75%, 一般型土石流) 單位: cm³

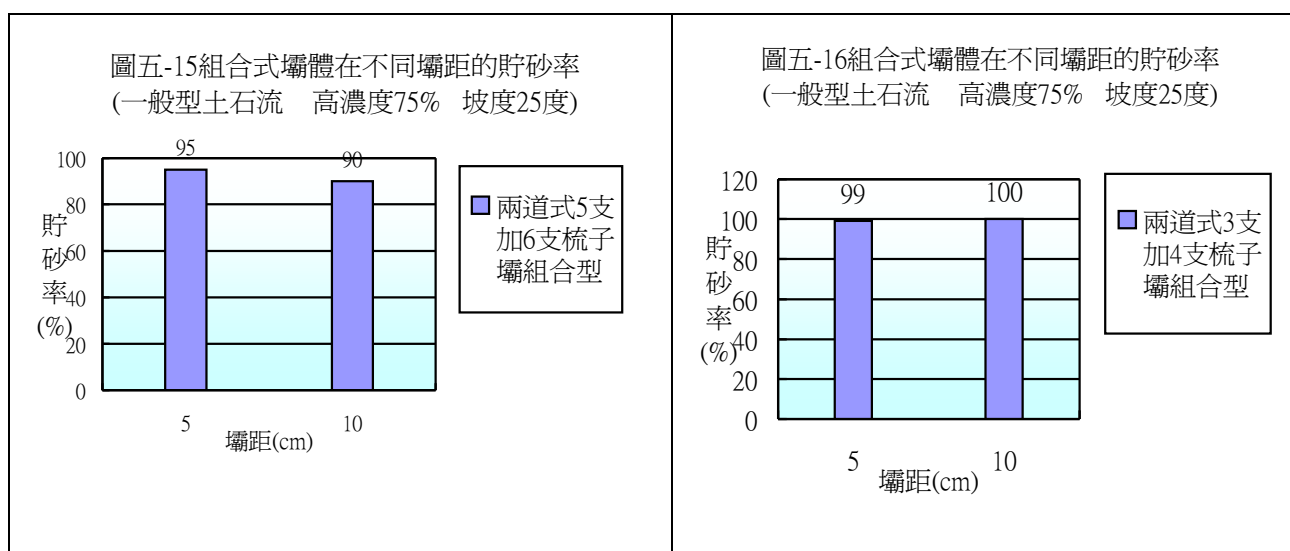
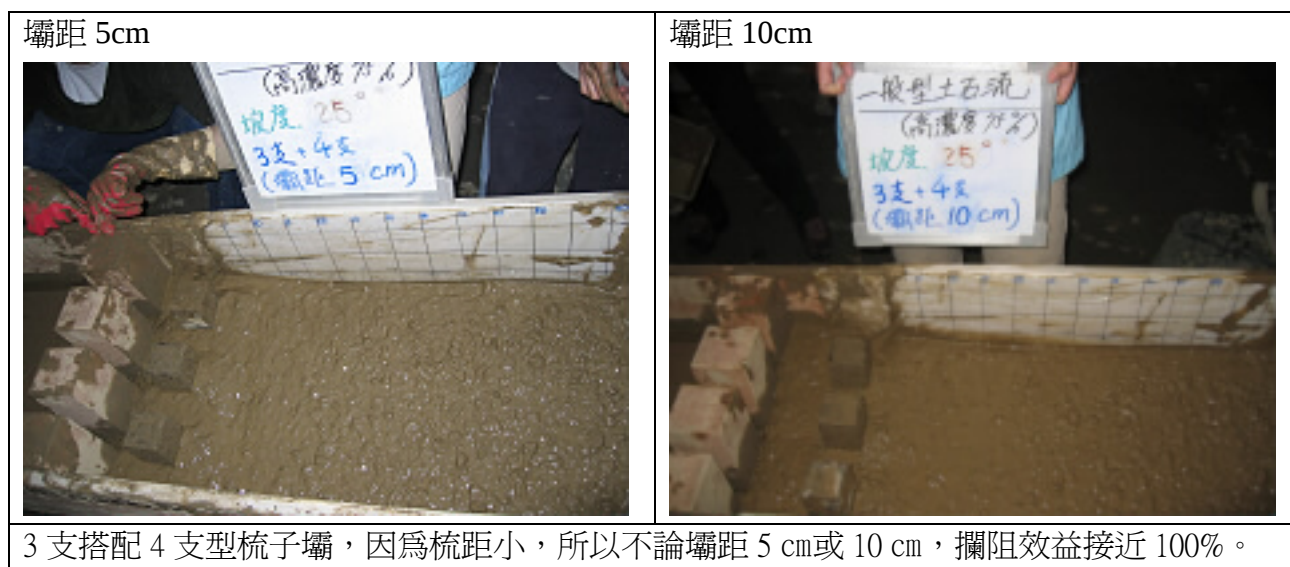
項 目	3 支壩 + 4 支壩 (梳距 5 cm + 梳距 3.2 cm) (梳寬皆為 4 cm)		5 支壩 + 6 支壩 (梳距 5.9 cm + 梳距 3.2 cm) (梳寬 5.5 cm 搭配 7.5 cm)	
	10 cm	5 cm	10 cm	5 cm
壩前貯砂量	14875	16125	16000	16325
兩壩間貯砂量	875	500	1500	1000
總貯砂量	15750	16625	17500	17325
貯砂率	90%	95%	100%	99%

註：總體積 17500 cm³

圖表 5-13 兩道式組合型梳子壩土石流過壩攔阻的堆積情形 (5 支壩 + 6 支壩)



圖表 5-14 兩道式組合型梳子壩土石流過壩攔阻的堆積情形（3 支壩+4 支壩）



分析七、設計各式透過性壩體

壩體設計的貯砂率：

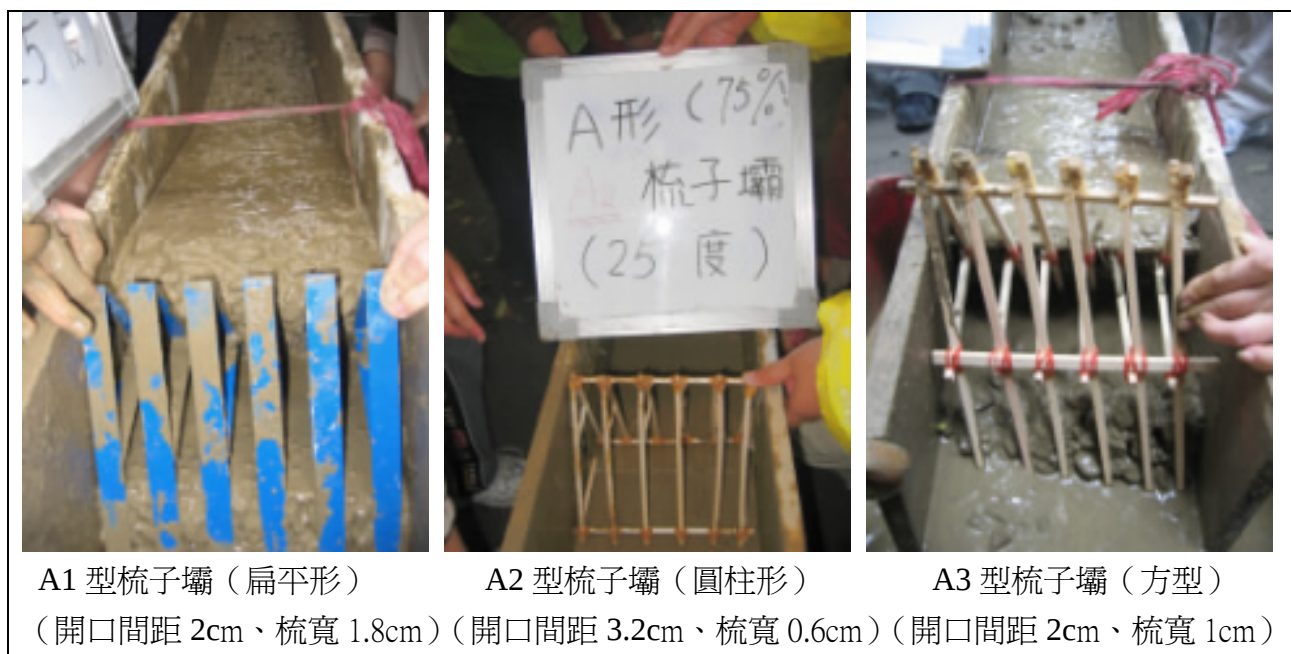
依上述實驗結果自行設計各款透過式壩體，以印證上述實驗結果，結果如下：

* 土石流總體積共 10500 cm³

* 土石流濃度 75%

圖表 5-15 A 型梳子壩的貯砂率紀錄表

壩體名稱	壩前攔阻率	壩間攔阻率	通過率	攔阻總貯砂率
A1 型梳子壩	68.6%	10%	21.4%	78.6%
A2 型梳子壩	47.6%	16.7%	35.7%	64.3%
A3 型梳子壩	64.3%	14.3%	21.4%	78.6%



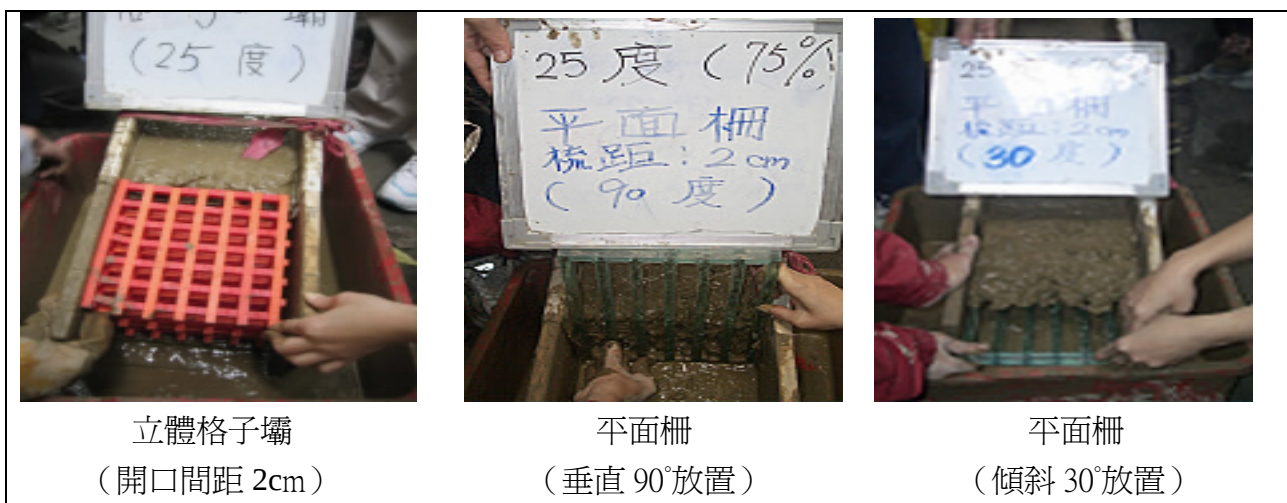
圖表 5-16 人字壩的貯砂率紀錄表

壩體名稱	壩前攔阻率	壩間攔阻率	通過率	攔阻總貯砂率
人字壩（1）	18.8%	5%	76.2%	23.8%
人字壩（2）	38%	23.9%	38.1%	61.9%
組合式人字壩（3）	35.6%	35.8%	28.6%	71.4%

人字壩（1） （開口間距 4.3cm）	人字壩（2） （開口間距 3.2cm）	組合式人字壩（3） （開口間距 4.3+3.2cm、壩距 3cm）
--------------------------------	--------------------------------	--

圖表 5-17 立體格子壩與平面柵的貯砂率紀錄表

壩體名稱	壩前攔阻率	壩間攔阻率	通過率	攔阻總貯砂率
立體格子壩	86.1%	11.9%	2%	88.1%
平面柵 （傾斜 30°放置）	88.1%	-	11.9%	88.1%
平面柵 （垂直 90°放置）	88.1%	-	11.9%	88.1%



陸、結論與建議

- (一) **在土石流的防治上**：可運用良好的植被覆蓋大地來保護破碎裸露的坡地，再運用防砂壩及排水導引工程等，減緩河床陡峻的坡度並引開過多的水量。土石流的攔阻方法如防砂壩，宜應用於溪谷的中上游，由於土石流流經此區時已含有大量土砂、巨石，濃度已近飽和，藉由堅實的工程構造物直接攔阻或使土石流脫水，可以阻止土石流動。
- (二) **就堆積情形而言**：①坡度大 ②流速快 ③濃度較低時，由於動能足夠，過壩的土石比較多，壩前堆積也會較緩。
- (三) **就攔阻效益而言**：①開口間距愈小 ②坡度愈緩 ③濃度愈高 ④土石粒徑愈大時，則攔阻效益愈大。
- (四) **土石流的流動與穿過壩體的行爲受到下列因素影響**①土體粒徑的組成 ②土石之滲流速度 ③坡度 ④水流量 ⑤表面的逕流速度 ⑥梳距等的影響。
- (五) **攔阻效率**越高表示土石流防治功能越好，但是很快就被土石淤積而逐漸失去攔砂效果。
- (六) **就自清能力而言**：坡度愈大，自清能力愈佳，在坡度大的地區受透過式梳子壩攔阻堆積之土石被清水流帶至下游的可能性會比較大，提供防治的能力將可以再次恢復。
- (七) **建議防砂壩應以貯砂率大於 50% 為考慮方向**，然而梳子壩的形式多樣，高度也不相同，所以開口間距的設計仍應配合梳寬、壩體高度作系列的考量。貯砂率受到壩體的開口間距大小和最大粒徑大小來決定。因此在設計梳子壩時要考慮當地之粒徑組成大小。
- (八) 如果壩體高度不足，越壩飛躍的情形會影響貯砂的結果。而土石流流動時的高度如果不超過壩體高度時，最先影響其攔阻效益者應是開口間距，而土石流通過壩體後，影響攔阻率的因子則會變成壩距。

柒、參考資料

1. 陳樹群 (2004)，洪水與土石流。nr.stpi.org.tw/ejournal/Nscm/9302/9302-03.pdf
2. 土石流防治。water.nchu.edu.tw/main/ler_ebook/soilwater4/engin/ch4.html
3. 中華民國四十六屆中小學科展。
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

捍衛福爾摩沙與天災和平共存~探討土石流防治工法的攔阻效益與過壩行為之研究

【評語】 081558

- 1.探討之題材與日常生活，自然災害習習相關，深具鄉土性。
- 2.團隊成員合作無間，表達能力佳。
- 3.實驗設計應再結合實際自然現象。