

中華民國第 58 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

佳作

030504

會呼吸的梳子壩？！

~華山土石流整治實察與透砂率探究

學校名稱：高雄市立國昌國民中學

作者： 國二 郭益廷 國二 鄭鈞元 國二 李柔嫻	指導老師： 陳惠玲
---	------------------

關鍵詞：土石流、梳子壩、透砂率

摘要

我們先從梳子壩的認識與華山探勘著手，實察地質、梳子壩防治工法與崙角溪野溪 (第一部分)。模擬土石流研究梳子壩在不同水量及砂量的透石、砂效果(實驗一、二)，發現梳子壩後方的砂不易透出(實驗三)。接著我們模擬已淤積砂和石的壩體持續沖水，加入粒徑較大的碎石，透砂率明顯降低，找到了梳子壩輸砂的盲點，並推理縫隙模型(實驗四)。為了降淤，我們追加模擬鋼管壩實驗，以相同條件沖水與降壩體，發現鋼管壩抵擋土石流，後續可讓淤積的壩體透砂透石，實驗數據顯示比對梳子壩效果好太多；另外藉著降低壩體運作模式，結果能清空壩前土石。期待真實防治工法也能多採取此模式，讓整治的溪流自然降淤高，恢復到流暢的野溪型態(實驗五)。

壹、研究動機

一年級夏末的戶外教學，我們到華山土石流教學園區，一開始在崙角溪保留區溯溪，潛浸在冰涼美麗的野溪生態。接著來到整治的華山溪，一路向上看見水泥河床、三座梳子壩。在壩體附近，我們看到高起的攔砂壩將砂石完全攔住，墊高河床成數段垂直的地形，導致地表水量大減，到冬天甚至上游完全乾涸，而下游水泥河床依然可以流出少許的水流。我們在想這些壩體究竟能產生多少功效，整治攔砂造成河床累積砂石，梳子壩是否能達成真正透砂？我們對壩體透砂所造成的影響，感到好奇，於是開始進行研究。

貳、文獻探討

一、華山土石流教學園區簡介雲林縣古坑鄉的華山村，東有海拔 1,304 公尺的大尖山和 1,200 公尺的二尖山，西側崗巒環抱，宛如「畚箕」的地形；華山位於底部，因此古名「大湖底」。民國八十八年「九二一大地震」後，大、二尖山地層鬆動，一遇豪雨就發生土石流。行政院農業委員會水土保持和雲林縣政府積極整治華山溪，陸續完成系列「梳子壩」、「砌石壩」等防治工事。特別成立國內第一座「土石流教學園區」，以華山溪與崙角溪為主要溪流



圖 1

二、華山園區土石流安全防治：

華山上游河段因 921 地震造成大量崩塌及表土鬆動，土層鬆軟遇雨沖刷而下，為土砂之生產源，治理方式以穩定坡面之源頭處理(裂縫填補)及控制土石下移，設置透過性防砂壩。

中上游段溪床因已有大量土砂堆積，採用攔阻工法調節、控制土砂，交叉設置透過性及非透過性防砂壩。

園區華山溪與料角溪皆為整治過的河床，料角溪地處頭料山層砂頁岩層(香山相)，地質穩定，前後段整治之後，中段得以保留一段約 800 公尺的自然野溪型態，水質清澈，可供親水遊憩。而華山溪地質為頭料山層礫岩層(火炎山相)，土質鬆散，水濁是土石流高危險區。料角溪鄰近華山溪不到一百公尺，地質迥異整治方式不同，風貌大相逕庭。

二、梳子壩

在土石流或土砂流量較高之溪流，為減少大量土砂流出致災，而將防砂壩壩體加以改良，其中壩體設計成狀似梳子型態者謂之。梳子壩屬透過型壩，在一般山地洪流時，水流及土砂得以穿越壩體，使壩體上游可以維持適當之貯砂空間，以備土石流或高含砂流通過時，可適時發揮攔阻土砂和延遲流出時間之效果。

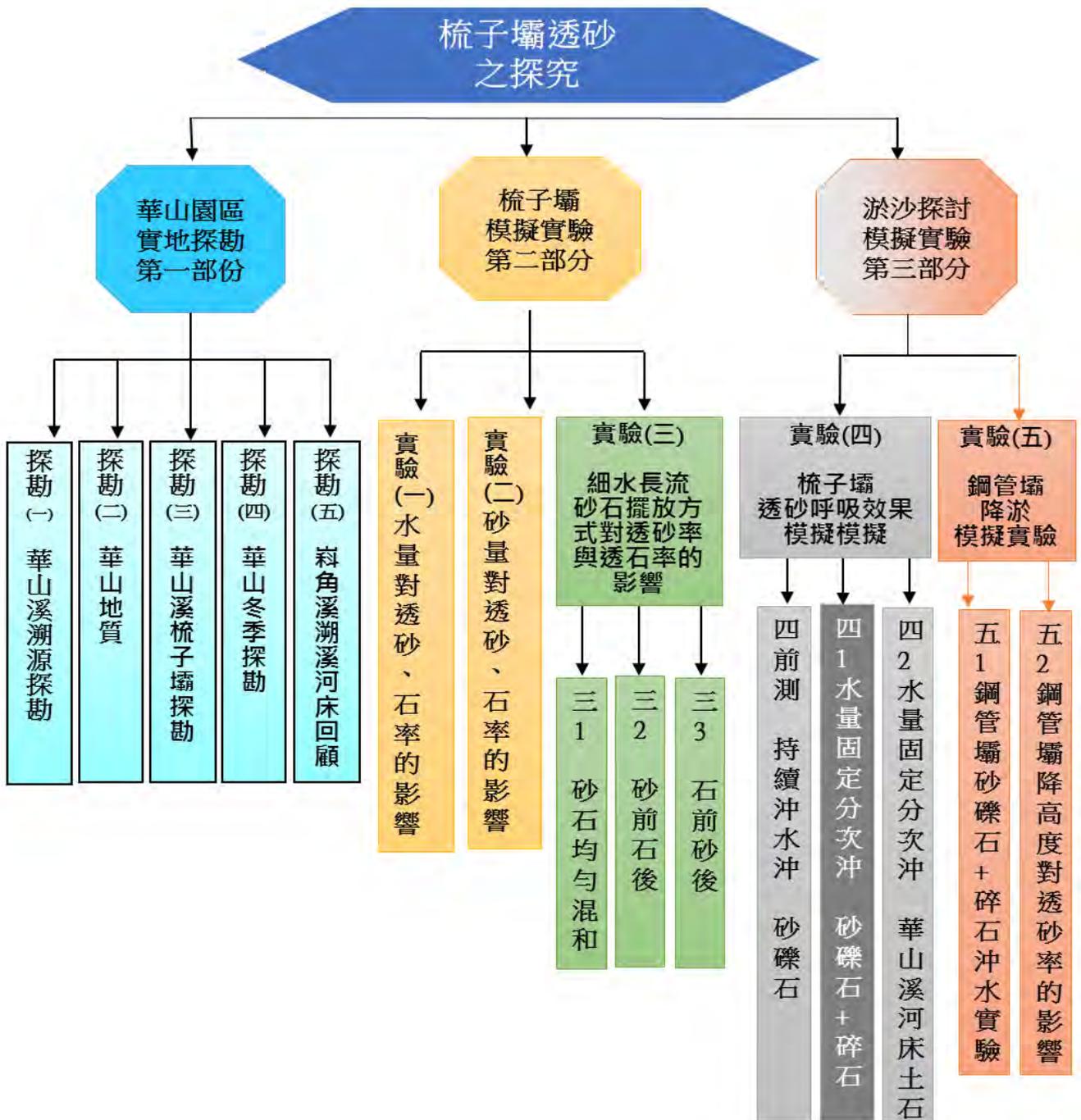


圖 2

華山園區內一共建有三座這種像梳子的鋼筋混凝土大壩。位於上游的第一道防線一號壩，壩高六公尺，壩距二·五公尺，每座寬三公公尺，基部縱深約五公尺，上端縱深約三·五公尺；中游的；下游的三號壩高五·五公尺，壩距一公尺，壩體規格與二號壩相同。

參、研究目的與研究架構圖

- 一、實地探勘華山土石流園區，觀察地質、梳子壩防治工法與野溪探勘
- 二、研究梳子壩在不同水量下透砂率與透石率的變化
- 三、研究梳子壩在擺放不同砂量對透砂率與透石率的影響
- 四、研究梳子壩在細水長流下不同的砂石擺放方式對透砂率與透石率的影響
- 五、觀察梳子壩在不同砂石種類下的透砂效果
- 六、研究鋼管壩在降高度前後的透砂率、透碎石率，與透卵礫石率



肆、研究器材裝置

一、使用土體

約 3-4mm 實驗室大理石碎片、1-2mm 二峰圳河床砂礫、0.1-0.3mm 砂、1-1.5cm 卵礫石、華山一號壩上游攔砂壩上表層挖掘的混和土體

二、水道與壩體

我們設計長 1m 寬 25cm 的水道，將長 1m 寬 5cm 的塑膠板長條兩片，如圖固定在長 1m 寬 60cm 的 PP 板上，並做了四個支撐強化兩邊，水道背面輔以兩根突出兩端的木條，加強水道面的強度，便於操作。

我們用線鋸機將木條裁成長 3cm 寬 1cm 高 3.5cm 小木頭作為壩體單元，做成總長 25 公分的壩體模型，壩體寬度 1 公分，間距 1 公分，共 13 個壩體單元穿插排列而成。

華山平均坡度是 22%，也就是 12.4 度，但考慮這是平均值，所以我們決定使用最高坡度 27%，也就是 15 度來當作實驗的坡度。

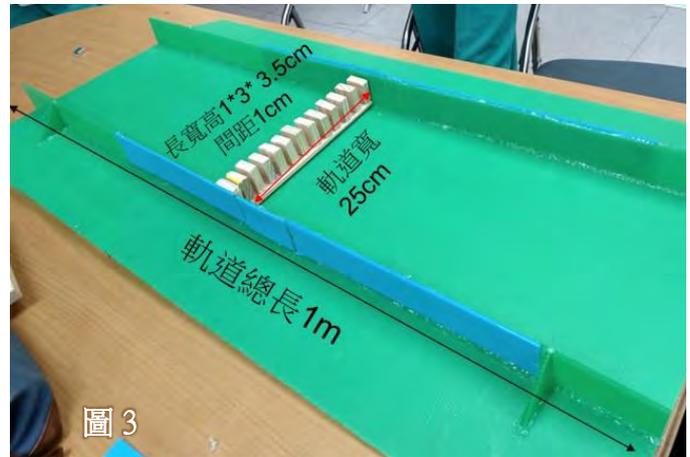


圖 3

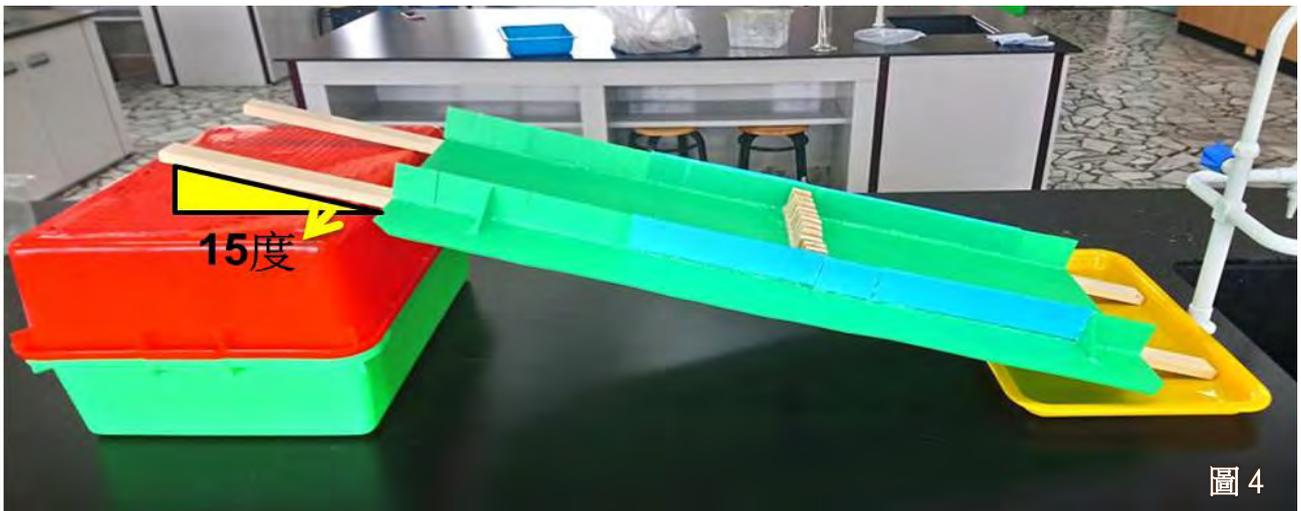


圖 4

三、細水長流裝置

我們在長 20 cm 寬 15cm 高 12cm 的塑膠盆上切下長 8 cm 寬 1cm 的開口 7 個，下方鋪滿土石慢慢倒水，模擬已經靜止的土石，探究細水長流狀態下的透砂率(圖 5)。

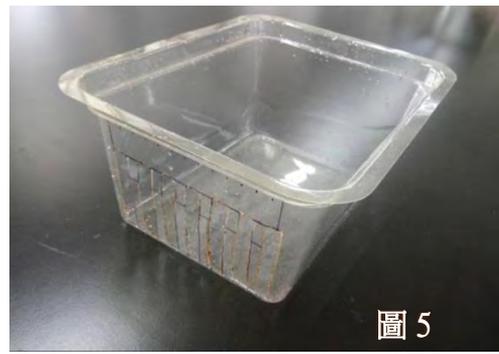


圖 5

四、鋼管壩裝置

我們用雷雕機切割長 26 cm 寬 15cm 高 17cm 壓克力盆 12*24 公分缺口，另雷雕壓克力板成高低兩種柵欄狀固定於前方，進行透砂石實驗。

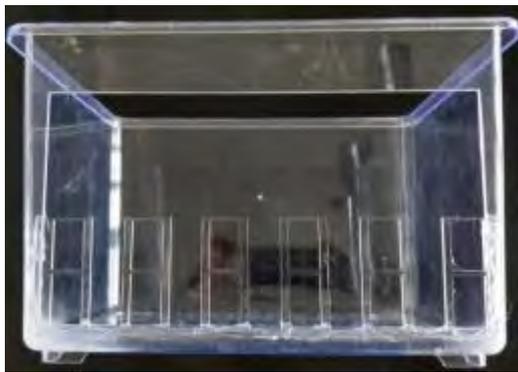


圖 6

伍、研究過程(步驟、結果、分析、發現與立即討論)

第一部分：實地勘察華山土石流園區

緣起：為深入了解華山地區土石流防治工法與地質，我們再次實地探勘華山土石流園區。

(一)華山溪溯源探勘 1061009



圖 7



圖 8

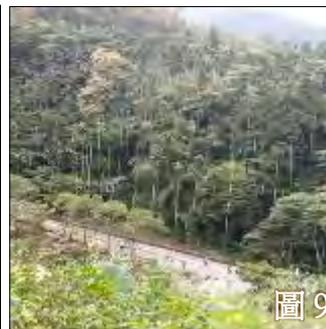


圖 9



圖 10

繞過商圈進入華山溪沿岸步道，我們在下段，看到華山溪的溪水在整治後的水泥河床上緩緩流下(圖 7)，沿著華山溪旁的步道向上遊走，左方是整治過後有梳子壩的河床(圖 8)，從第一個砌石壩走到對岸遠眺南邊遠山，我們看到滿山成片的檳榔樹(圖 9)，經過下游不明顯的 3 號

梳子壩，我們站在攔砂壩上的便道，透過垂直的砌石壩向上看見 2 號梳子壩在眼前(圖 10)



圖 11



圖 12



圖 13



圖 14

在 2 號梳子壩步道旁，有一間資料接收中心，能迅速將資料傳到水土保持局的災害應變中心(圖 11)，從小天梯吊橋走到河床對面的山，筆直的步道忽然繞個半圈，回頭手指處是來時原路徑，原來中間有一大塊崩塌陷落的路段，這地質應證華山溪北岸是鬆散礫石層 (圖 12)，繼續沿步道往上游，我們又看見採自然工法堆砌的砌石壩 10 月已經沒甚麼水(圖 13)，看見最上游的是兩個紅色的鋼管壩，選擇向左最後走到一個大型的水泥攔砂壩，下方透水形成一片水窪，小草小樹鬱鬱蔥蔥，還看到濕潤的石頭旁有一隻烏龜(活的)(圖 14)。

(二)華山地質



圖 15



圖 16



圖 17



圖 18

華山文化中心前河床北岸的山壁，讓我們輕易看見鵝卵石卡在對面露頭上。華山的礫石層(圖 15)，前面敘述的步道繞路，我們在中間凹陷處上端處看到懸空的地磚，才知道原來筆直的步道，整個向下崩塌了(圖 16)。越到上游攔砂壩，我們看到垂直砌石壩下還有溪水形成的水窪，水不再從表面流出，但下游河床探去卻還有水，一定是滲入地底，(圖 17)。繼續向上走到無路可走，又是已經積滿砂石的攔砂壩，前端鋪了水泥，就變成橫跨河床的便道，下方砂石移動造成表面水泥地缺洞，裡面探去，一整個是鬆散的砂礫石，河床變成垂直的形狀，末端幾乎都看不到地表水，也談不上生態 (圖 18)。

(三)華山梳子壩探勘

走過整個華山後，我們藉由觀察華山壩體的相片，看看五座壩體的週遭環境和壩體本身比較，相關內容及解說如下：



圖 19

三號梳子壩



圖 20

二號梳子壩



圖 21

一號梳子壩



圖 22

上游兩座鋼管壩

我們沿著步道往上走不久，雜草叢生旁找到不明顯的三號梳子壩，我們在下方溪床中清楚看見溪水緩緩流動著(圖 19)，接著來到二號梳子壩，壩的下面可見兩道就地取材的透砂砌石壩，壩體の間隔比第三座還寬(圖 20)，之後來到小天梯旁的一號梳子壩，前後都是乾涸大小不一的石頭，幾乎沒有什麼雜草 (圖 21)；最上游的部分源頭有兩道分支，河床堆滿土石。高起的坡上，分別架設兩座醒目的紅色鋼管壩(圖 22)。

(四)華山冬季探勘 1061224



圖 23



圖 24



圖 25

上游



圖 26

下游

之前曾經發生過土石流，上游溪床看得出是由不同大小的石頭、砂與泥所構成，淘選度極差(圖 23)。乾季，最上游的鋼管壩前一片乾涸，一如預期 (圖 24)，往下游走，在 2 號梳子壩上游面，河床齊頭於縫隙處，地表仍然沒有水(圖 25)，同時，我們也看到在 2 號梳子壩壩體下游面河床略低於縫隙處，上方堆積一些砂(圈圈處)，證明這個梳子壩目前縫隙面之下透砂，縫隙之上，尚未再經大型土石流的考驗(圖 26)。



圖 27



圖 28



圖 29



圖 30

順著二號梳子壩再往下游走一些，我們看到溪床堆砌了砌石壩，墊高溪床，當豐水期地表有水時它就會成瀑布型下降，不過我們知道到了秋冬季只剩下地下滲流，無地表面(圖 27)，因此在砌石攔砂壩之下，當然一片乾涸(圖 28)，同一個地點向下游看，是這次冬季探勘開始看到水的位置，這些水都是從地下滲出來的(圖 29)，整治末端的水泥溪床有微小的水流，但可以推知，低下的地勢若有從土體回滲的水可能會被水泥河床阻擋(圖 30)。



圖 31

(圖 31)：106 年 11 月 3 日更新拍到的觀測站前告示牌。

(五) 崙角溪溯溪溪床回顧 1050924



圖 32



圖 33



圖 34



圖 35

從這座橋我們可以看到崙角溪，不同整治後方法造成不同的樣貌(圖 32)：下游的崙角溪經過整治，河床有鋪水泥，大石頭已被清除，剩下小石頭與泥砂，樹木比還沒整治過的崙角溪少很多，因此下游溪水皆曝露在太陽下(圖 33)；另一邊的崙角溪仍保有原始生態，石頭遍布，有各種不同大小的石頭，兩旁樹木非常茂密(圖 34)。我們徜徉在野溪中，野溪溪水十分沁涼，也很清澈，兩岸及河床沒有水泥加工，所以樹林茂密，兩岸有些自然的風化崩落，水底的泥砂及石頭縫隙間也有許多小生物，大小石頭造成水流或而湍急，或而舒緩，快慢有別，小生物能找到適合自己的流速的區域生長，水聲蟲鳴鳥嘯，充滿生機。不像整治的華山溪，水流順著水泥河床，或經攔砂壩垂直落下，或在水泥河床散開慢流，到了冬季一片乾涸，完全不用談河床生態(圖 35)。

第二部分：梳子壩模擬實驗

緣起：一開始我們模擬 3 號梳子壩做了一個迷你水道與壩體，我們想知道水量與砂石比例，造成流動的情形，於是進行水量與土體變因之探究。

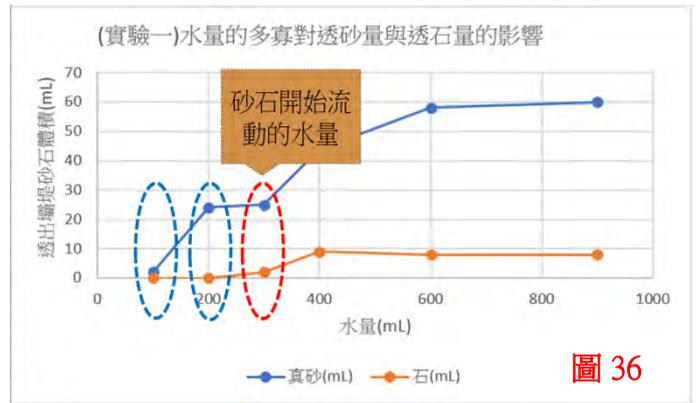
實驗(一)：水量的多寡對透砂率與透石率的影響

步驟：1.將體積 300mL 的卵礫石、100mL 的砂及水加入塑膠袋混和，水量初始為 100mL，接著將塑膠袋放置於水道上方，實驗開始時迅速抽開塑膠袋，使水、砂及卵礫石衝向壩體，在分別計算透過去的卵礫石和砂的體積。

2.每次實驗增加 100mL 的水，直到水量為 900mL，重複以上實驗

結果：

水量的多寡對透砂量與透石量的影響 表 1						
改變水量(砂:100mL,石:300mL,坡度:15度)						
水量(mL)	100	200	300	400	600	900
視砂(mL)	3.5	42.0	43.8	77.0	101.5	105.0
真砂(mL)	2	24	25	44	58	60
透砂量百分比	2.0%	24.0%	25.0%	44.0%	58.0%	60.0%
石(mL)	0	0	2	9	8	8
透石量百分比	0.0%	0.0%	0.7%	3.0%	2.7%	2.7%



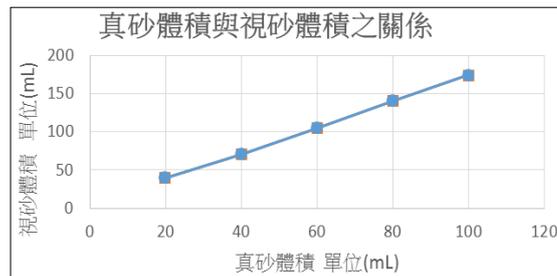
討論：

- (一) 每次增加水量，透出壩體的砂體積皆有增加，卵礫石變化不大，(過程比較像因衝擊太快而向上跳出壩外，而非透出)。推測為卵礫石粒徑大多大於模型壩的距離，而砂粒徑遠小於壩距所造成的結果。
- (二) 100mL 及 200mL 的水量砂石並無明顯流動，約是緩慢向下移動。但水量改為 300mL 後砂土流動的速率變快，所以能使定量砂石開始流動的水量為 300 mL。
- (三) 水量在 300mL 到 600mL 時的排砂量大量增加，排出的卵礫石也在水量 300mL 到 600mL 時較大，水量在 900mL 時排出的砂石與水量 600mL 時差不多，推測是砂量太少趨於穩定。

(四) 真砂體積與視沙體積比例探討

1. 砂子體積測量：我們在實驗前先將量筒加 100mL 的水，再加砂至 200mL。我們發現砂沉澱穩定後刻度位於 175mL，當成視砂為 175mL，而實際砂的體積只有 100mL，因此實驗中砂體積的測量為「視砂*100/175 mL」(圖 37)。

2. 我們做出真砂體積與視砂體積的對應圖，二者約成正比，因此以方便操作的視砂體積，依比例推出真砂體積確實可行。



小結論：水量越大排砂量越大，水量超越某極限就趨於穩定，**往後實驗以水量 300mL 做實驗**

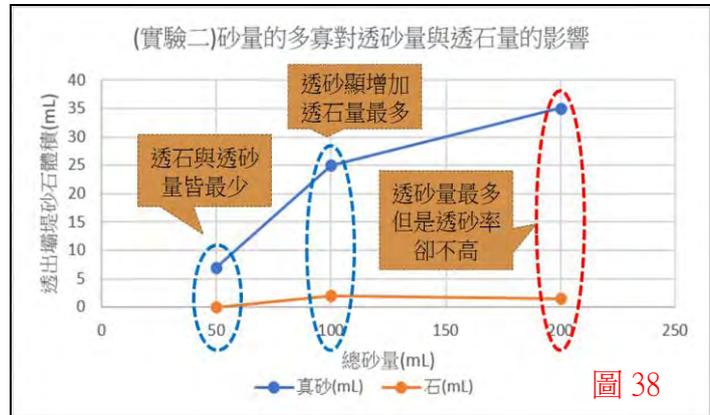
實驗(二)：含砂量多寡對排砂量的影響

緣起：從實驗一，我們觀察到水量越大透砂率越高，但是攔石率是相對較穩定的，經過討論後，我們希望知道不同砂子的量對壩體的透砂率有什麼不同的影響。

步驟：將 300 mL 水與 300 mL 的卵礫石放入塑膠袋，個別加入 50 mL、100 mL 和 200mL 的砂子，在塑膠袋混合，放置於水道上方放開，等到砂石不再流動後，計算砂石流過壩體的體積。

結果：

砂量的多寡對透砂量與透石量的影響			
表 2 改變砂量(水:300mL,石:300mL,坡度15度)			
總砂量(mL)	50	100	200
視砂(mL)	12.3	43.8	61.3
真砂(mL)	7	25	35
透砂量百分比	14.0%	25.0%	17.5%
石(mL)	0	2	1.5
透石量百分比	0.0%	0.7%	0.5%



討論：

- (一)砂總量增加，透石量依舊不受到影響，而砂總量 200mL 時排砂量最多。
- (二)從上表可知砂總量 50mL 時，卵礫石並沒有透出壩體，排砂量也很少，砂總量 100mL 時，透砂量明顯增加，透石量也是最多，砂總量 200mL 時，排砂量最多但是排砂率不高。
- (三)由上表可知，排砂量是跟著砂總量增加，但並不是按比例增加，所以我們進行下一場慢慢倒水細水長流實驗，探討壩體在堵住時的排砂效果，砂體採用透砂量最多的 200mL。

實驗(三)壩體在細水長流下的透砂效果：

緣起：查資料得知梳子壩可以攔住大石，透過小石，在第二次實地探勘時，我們卻看到華山的砌石壩體都被砂石堵塞，因此我們也想探討梳子壩的透砂效果。

步驟：我們採用砂 200mL、石 300 mL、水 1000 mL 做四次實驗，先將砂石均勻混和鋪在壩體前，以盆子裝 1000 mL 的水，十秒鐘平均將水均勻倒出，計算透出壩體的砂石體積，一共重複 4 次沖刷的動作。後來兩次換成砂前石後，與石前砂後，重複實驗測透砂率。

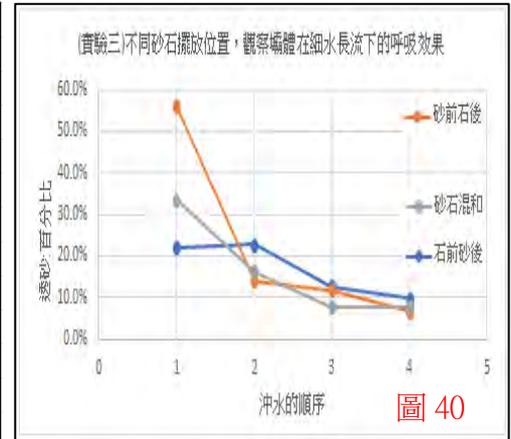


名詞定義與結果統整：

※細水長流：固定水量以長時間平均連續倒出，模擬小水量的河水沖刷。

※透砂效果：水流過壩體後透過壩體的砂石佔原有的比率，也就是我們說的呼吸效果。

沖水的順序	第一次	第二次	第三次	第四次	累計	
砂石混和	視砂(mL)	117.5	57	27	27	
	真砂(mL)	67.1	32.6	15.4	15.4	
	透砂量百分比	33.6%	16.3%	7.7%	7.7%	65.3%
砂前石後	視砂(mL)	196	49	41	23	
	真砂(mL)	112.0	28.0	23.4	13.1	
	透砂量百分比	56.0%	14.0%	11.7%	6.6%	88.3%
石前砂後	視砂(mL)	77	80	44	34	
	真砂(mL)	44.0	45.7	25.1	19.4	
	透砂量百分比	22.0%	22.9%	12.6%	9.7%	67.1%



實驗三觀察討論：

1. 砂石均勻混合擺放

(1) 由上圖可知，均勻砂石透砂率是穩定下降，而且透砂量到達 57%時，透砂率漸漸穩定。

(2) 後來流出來的砂，是卡在後方卵礫石縫隙間，最後一次沖水透砂率較小。

2. 砂石擺放成砂前石後 (水流順序：石-砂-梳子壩)

因為砂子離壩體較近，所以第一次倒水就有 56%大量的砂子透過壩體，之後幾次倒水的透砂率因為總砂量變少而大幅下降，而整體透砂率為 88%仍為三者之冠。

3. 砂石擺放成石前砂後 (水流順序：砂-石-梳子壩)

因為砂子離壩體較遠，所以第一次倒水就只有 22%砂子透過壩體，是三種擺放模式最少的，之後含砂量依然很多，所以砂子逐步由縫隙透出去，而整體透砂率為 67%，與砂石均勻混和擺放模式相當。

4. 綜合比較

從實驗可知剛開始砂子的擺放位置越接近壩體，第一次的透砂率就會越高，可是一開始就透完大部分的砂，會導致接下來的透砂量大幅減少，之後單次沖水透砂量反而比不上其他配置。

發想：由實驗得知，慢速水流之下大的卵礫石會全部擋在梳子壩上方，前半部的砂較能成功透砂。政府在華山溪設置了梳子壩，若土石流發生，期待壩體要能及時攔住砂石又需在後續能正常的輸送粒徑比壩體間距小的砂石。但是從模擬實驗與實際探勘，都發現壩體上游端的砂容易淤積，事實證明長時段細水長流很難透出後方的砂，除了位置原因之外，真實狀況到底是甚麼？我們還需要模擬實驗。

第三部分：淤沙探討模擬實驗

實驗(四) 利用塑膠盆模擬壩體，測量呼吸效果

緣起：我們做完實驗三之後發現壩體前方透砂的呼吸效果還不錯，可能是因為卵礫石間的縫隙較大，砂子很容易就流出壩體，所以我們決定加入粒徑介於砂與卵礫石的碎片，並且使用透明塑膠盆進行進水實驗，希望能夠進一步找出壩體被砂石堵住的原因。

實驗(四)-前測 持續以水沖水沖砂+石

裝置：將長寬高 15*20*12cm 盆子前端切割成梳子狀(圖 41)，傾斜 15 度，加入 300mL 的卵礫石、200mL 的砂，並使其與桌面平行，用擋板擋住出口(圖 42)。



圖 41



圖 42

作法：將上述裝置持續沖大量的水

結果：卵礫石完全保留在盆內，砂子完全透出

實驗(四)-1 設計固定水量分次沖 砂+卵礫石+各式碎石

1.水量說明

1.用上述裝置，測量壩體透砂呼吸效果，將 2000mL 的水量以不同方式倒完，可分為：

(1)第一 ~ 四次：將 500mL 的水倒入後抽起擋板，測量透出的砂的體積，共重複 4 次。

(2)細水長流(第五次)：先倒入 500mL 的水，抽起擋板後倒入 1500mL 的水持續 1 分鐘，最後測量透出的砂的體積。

(3)大洪水(第六次)：快速倒入 2000mL 的水，抽起擋板後測量透出的砂的體積。

2.不同砂石土體說明：

以上述的倒水方式，用 300mL 卵礫石、200mL 砂 為基礎土體，進行三次不同透砂率實驗

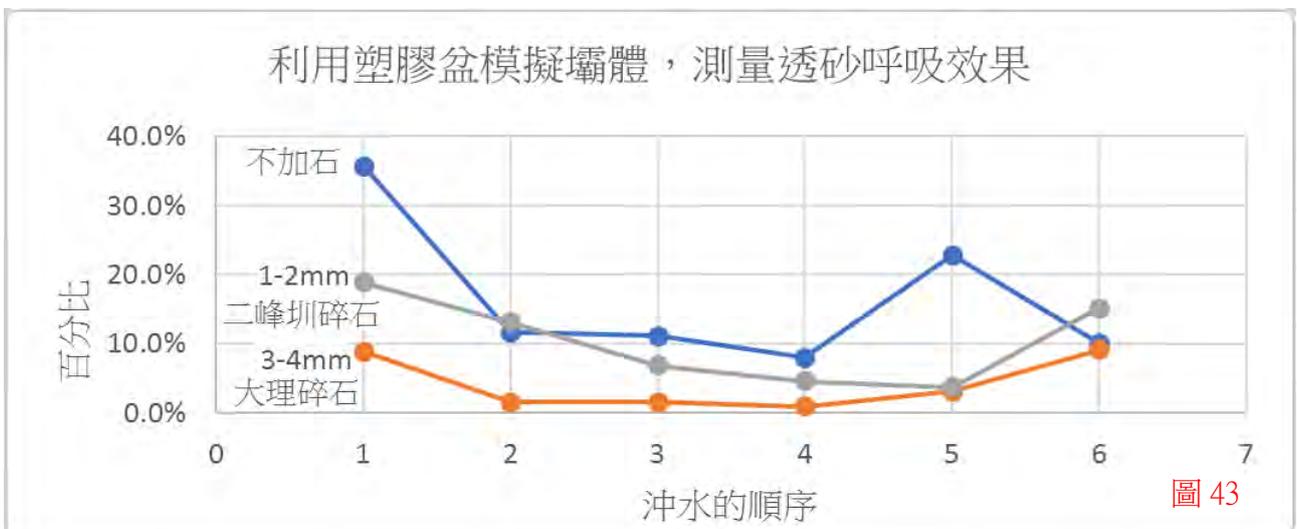
第一次不額外添加碎石

第二次加入 200mL 的 3-4mm 大理石碎石

第三次加入 200mL 的 1~2mm 二峰圳碎石。

結果：

表4 利用塑膠盆模擬壩體，測量不同土體、不同水量 透砂呼吸效果							
基礎土體:砂200mL、卵礫石300mL、坡度15度 選添碎石：3~4mm大理石200mL、1-2mm二峰圳石200mL 沖水:1~4次各500mL，5細水長流2000mL(倒水時間:1分鐘)，6大洪水2000mL							
沖水的順序		一(500mL)	二(500mL)	三(500mL)	四(500mL)	五(細水長流)	六(大洪水)
不加石	視砂(mL)	125.0	40.7	38.9	27.8	79.6	35.2
	真砂(mL)	71.4	23.3	22.2	15.9	45.5	20.1
	透砂量百分比	35.7%	11.6%	11.1%	7.9%	22.8%	10.1%
	透沙累進百分比	35.7%	47.4%	58.5%	66.4%	89.2%	99.2%
大理石碎石 (3-4mm石)	視砂(mL)	31	5.2	5.4	3.2	11	32
	真砂(mL)	17.7	3.0	3.1	1.8	6.3	18.3
	透砂量百分比	8.9%	1.5%	1.5%	0.9%	3.1%	9.1%
	透沙累進百分比	8.9%	10.3%	11.9%	12.8%	15.9%	25.1%
二峰圳碎石 (1-2mm石)	視砂(mL)	66	46	24	16	13	53
	真砂(mL)	37.7	26.3	13.7	9.1	7.4	30.3
	透砂量百分比	18.9%	13.1%	6.9%	4.6%	3.7%	15.1%
	透沙累進百分比	18.9%	32.0%	38.9%	43.4%	47.1%	62.3%
3-4mm 大理石	視大理石(mL)	27	5.6	2.2	3	4.4	9.8
	真大理石(mL)	15.4	3.2	1.3	1.7	2.5	5.6
	透碎石量百分比	7.7%	1.6%	0.6%	0.9%	1.3%	2.8%
	透石累進百分率	7.7%	9.3%	9.9%	10.8%	12.1%	14.9%
1-2mm 二峰圳	視二峰圳石(mL)	40	36	16	16	16	32
	真二峰圳石(mL)	22.0	19.8	8.8	8.8	8.8	17.6
	透碎石量百分比	11.0%	9.9%	4.4%	4.4%	4.4%	8.8%
	透石累進百分率	11.0%	20.9%	25.3%	29.7%	34.1%	42.9%



觀察與討論：

1.砂與卵礫石分布位置：

- (1)每一組土體，卵礫石透砂率極低，因此不予考慮。
- (2)經過第二次的水沖前端細砂透出後，分布狀況大致變為卵礫石裸露在前，碎石與砂囤積在中後方，水沖越多次，狀況越明顯；3-4mm 大理碎石，比 1-2mm 二峰圳碎石易堆積



2.添加碎石的透砂率與透碎石率：

- (1)不加碎石的基礎土體前測時，水無限制時，砂子在縫隙中流動，可以完全透出梳子壩。用設計的六次水量沖刷時，第一次有較高的透砂率 35.7%。之後遞減，直到細水長流 22.8% 平均 500m 也有 5.7%的透過率，可視為延續，最後的砂在大洪水中全被帶走，也有很高的透過率 99.2%，此透砂量作為後續實驗的**對照組**。
- (2)基礎土體**加 3-4mm 大理碎石**，我們發現除了第一次有較高的透砂率 8.9%之外，之後的慢水量，透砂率降得很低，平均約 0.4-1.6%(相對於 500mL 慢水)，連最後一次大洪水，也只有 9.1%的透砂率，實驗結束**總透砂率只有 25.1%，只有對照組的 1/4**，差異很大。
- (3) 利用塑膠盆模擬壩體，我們以**孔隙觀點**做模型來**解釋透砂**結果。

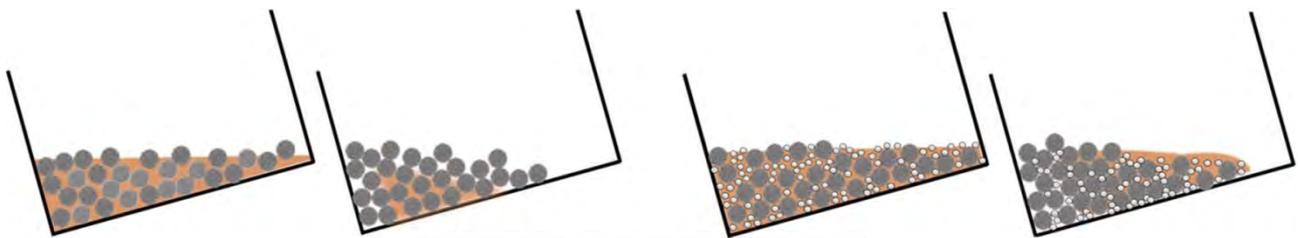


圖 45 碎石影響透砂率示意圖

不加碎石

不加碎石卵礫石的空隙很大，砂子也會隨著水從壩體排出，所以只要水夠多砂子便可完全流出。

添加3-4mm大理碎石

多加了大理碎石，卵礫石間的空隙變小，以致砂子流動受阻，透砂量大減，前半部砂易流出壩體，剩下碎石與砂幾乎被囤積於後方

3. 孔隙探討：

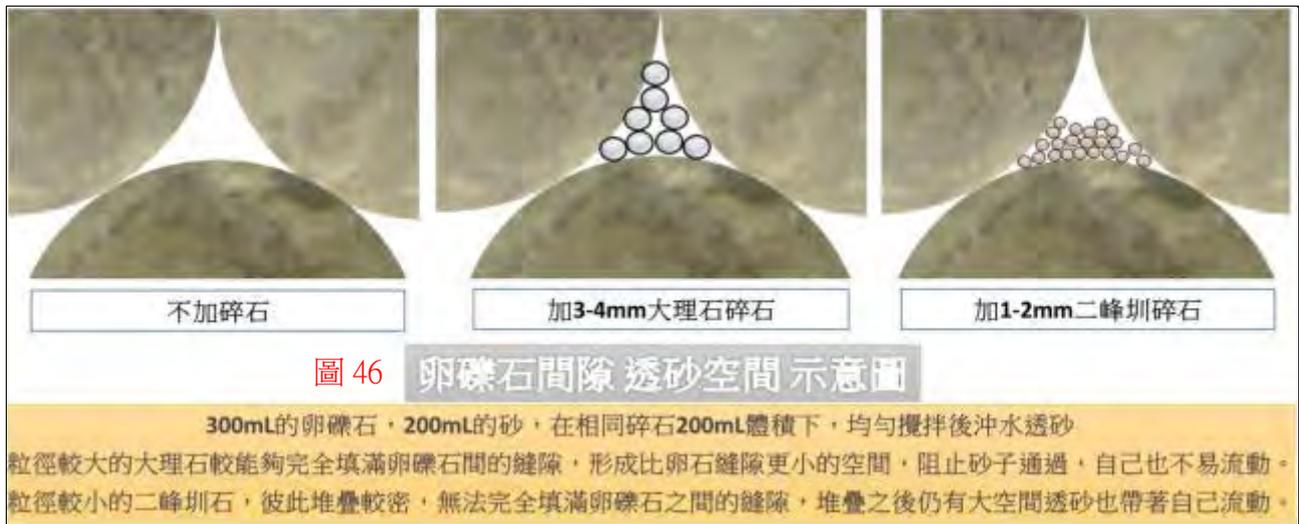
- (1)我們從對照組與大理碎石組的數據，發現孔隙對於透砂率大有影響，於是補做添加過篩後 1-2mm 二峰圳河床碎石的對應實驗。結果發現第一次透砂率 18.9%為對照組約一半，為大理石碎片的兩倍。慢水透砂率也比 3-4mm 大理碎石高出不少，數據居中，**總透砂率**為：

不加碎石對照組 99.2% > 加 1-2mm 二峰圳碎石 62.3% > 加 3-4mm 大理石碎石 25.1%

(2)另外我們還發現 1-2mm 二峰圳碎石的透碎石率不差，數據為

1-2mm 二峰圳碎石 42.9% > 加 3-4mm 大理石碎石 14.9%

代表二峰圳碎石與砂一起流動透出，而較大的大理石碎石較不易流動。我們進一步做進階模型解釋我們的實驗結果。



實驗(四)-2 利用塑膠盆模擬壩體，測量華山採集砂石呼吸效果

步驟：利用(四)-1 相同實驗裝置與相同倒水模式，將砂石改換成華山上游表層的土石。篩選出較大石頭(粒徑約 6 公分)、中石頭(粒徑約 2~3 公分)、較小石頭(粒徑約 1 公分以下)與底層風化下來的泥沙均勻混和，收集沖下來的濁水，比較採集土體與模擬實驗的差異。



結果：

1.華山溪一號梳子壩上方的攔砂壩平台所取的砂石多為頁岩，表層風化會產生粉砂泥(粒徑 1/16mm 以下)，在沖水時，會先形成混濁，會沉澱的大顆砂較少。



2. 收集沖下來的濁水(圖 48)，趁混濁均勻時裝雞精瓶，靜置後以利判別沉澱量與濁度
3. 結果如圖 49。第一次沖水到第四次沖水都十分混濁，2000mL 細水長流一來是慢速衝擊，二來是水量較多，所以比前四次清澈，2000mL 大洪水因為一次快速沖下，比起細水長流更混濁。

討論：

1. 華山土質樣本粒徑分類與質地探討

我們將實際取得的華山上游砂石粒徑大小(取測量中最長粒徑)粗分為四種，分別是：

大石頭：約 5cm

中石頭：約 2~3cm

小石頭：2cm~0.3cm

泥沙：1/16mm 以下



把其中一石頭敲碎，發現華山溪上游河床的土石變細小之後很柔細，很少砂，依質地我們推估是頁岩，石頭風化或經過外力刺激會漸接崩解成泥。



2. 我們發現華山挖的河床礫石含砂量並不多，

實驗做到最後才知道原來華山的石頭風化後不是變成砂而是變成粉砂泥，所以實驗 4-1 做的是一般河床卵礫石透砂實驗的模型。

3. 經過實驗(四)-2 華山土石沖水實驗後，發現泥沙透出量並不多，從實驗(四)-1 的模型得知，粒徑大小不同的石頭若能填充大石頭間的縫隙，就更不易透砂透碎石，土石更容易囤積在壩體後方不動，之後只能隨水透出表面風化的粉砂泥來。

實驗(五)鋼管壩降淤模擬實驗(沖水透砂實驗、降高度透砂透石率探究)

緣起：

作完實驗四之後，我們了解到梳子壩的透砂呼吸效果未如預期的好。一旦土石流發生，大大小小淘選不佳的土石，會塞住縫隙，阻礙透砂，更別談粒徑更大的土石。梳子壩降淤只能靠汛期洪水，但大石頭依然需要人工清淤，令人不解。降淤的需求讓我們對華山溪上游的另一種透過性鋼管壩感到好奇，於是我們以網路鋼管壩相片為底圖，並用 Rdworks 作圖雷雕出壩體模型，在相同沖水條件之下，測試柵欄狀壩體透砂率，並降低高度，數據相比較，找出壩體堆積降淤解決之道。

裝置：將長寬高 26*15*17cm 壓克力盆上切割 24*12 公分的缺口，並以 RD-works 設計版型，切割壓克力板模擬鋼管壩，壩體比例數據如下圖。實驗盆體前傾斜 15 度，加入 900mL 的卵礫石、600mL 的砂，並使砂體堆積與桌面平行，用擋板擋住出口。



圖 52

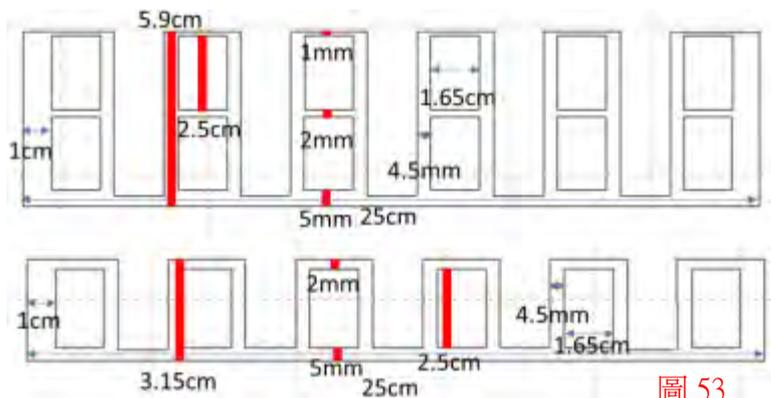


圖 53

土體說明：900mL 卵礫石、600mL 砂、600mL 的 3-4mm 大理石碎石

水量說明

1.如實驗 4-1，測量壩體透砂呼吸效果，將 6000mL 的水量以不同方式倒完，可分為：

(1)第一 ~ 四次：將 1500mL 的水倒入後抽起擋板，測量透出的砂的體積，共重複 4 次。
(2)細水長流(第五次)：先倒入 1500mL 的水，抽起擋板後倒入 4500mL 的水持續 1 分鐘，最後測量透出的砂的體積。

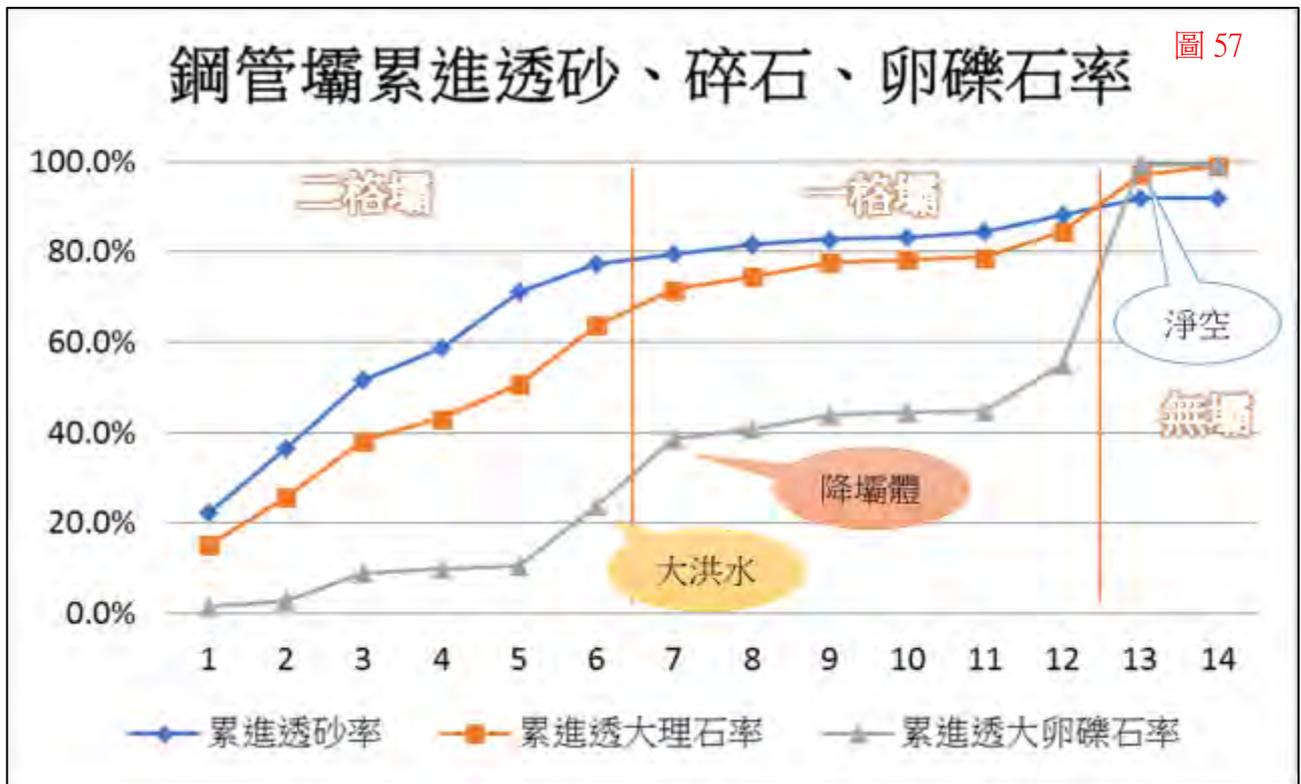
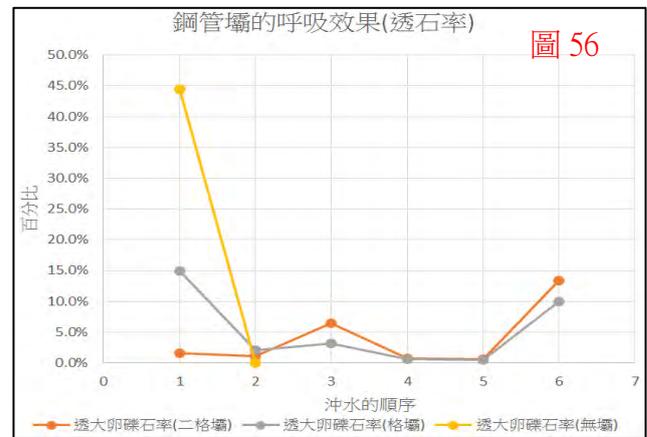
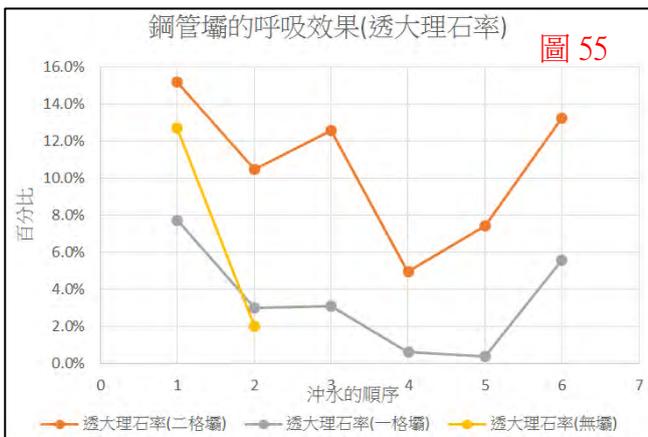
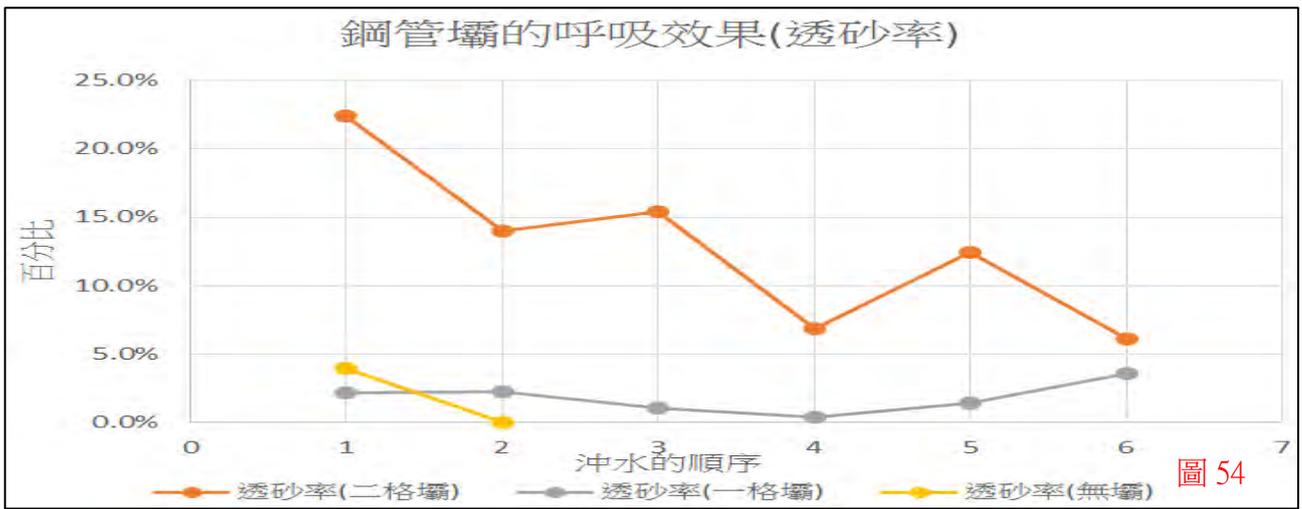
(3)大洪水(第六次)：快速倒入 6000mL 的水，抽起擋板後測量透出的砂的體積。

2.連續進行三次實驗，第一次使用兩格壩體，第二次使用一格壩體，第三次不使用壩體。

結果：

表 5 鋼管壩的呼吸效果

砂:600mL、卵礫石:900mL、3-4mm大理碎石600mL、坡度15度 水:1~4次1500mL，5細水長流6000mL，6大洪水6000mL、細水長流倒水時間:1分鐘)							
沖水的順序		1	2	3	4	5	6
二格壩	視砂(mL)	235	147	162	72	131	64
	真砂(mL)	134.3	84.0	92.6	41.1	74.9	36.6
	透砂率(二格壩)	22.4%	14.0%	15.4%	6.9%	12.5%	6.1%
	累進透砂率	22.4%	36.4%	51.8%	58.7%	71.1%	77.2%
	視大理石(mL)	196	135	162	64	96	171
	真大理石(mL)	91	63	75	30	45	80
	透大理石率(二格壩)	15.2%	10.5%	12.6%	5.0%	7.4%	13.3%
	累進透大理石率	15.2%	25.7%	38.2%	43.2%	50.6%	63.9%
	大卵礫石(mL)	14	10	58	7	5	120
	透大卵礫石率(二格壩)	1.6%	1.1%	6.4%	0.8%	0.6%	13.3%
累進透大卵礫石率	1.6%	2.7%	9.1%	9.9%	10.4%	23.8%	
一格壩	視砂(mL)	23	24	11	4	15	38
	真砂(mL)	13.1	13.7	6.3	2.3	8.6	21.7
	透砂率(一格壩)	2.2%	2.3%	1.0%	0.4%	1.4%	3.6%
	累進透砂率	79.4%	81.7%	82.8%	83.1%	84.6%	88.2%
	視大理石(mL)	100	39	40	8	5	72
	真大理石(mL)	47	18	19	4	2	33
	透大理石率(一格壩)	7.8%	3.0%	3.1%	0.6%	0.4%	5.6%
	累進透大理石率	71.6%	74.6%	77.7%	78.4%	78.7%	84.3%
	大卵礫石(mL)	135	19	28	5	4	90
	透大卵礫石率(一格壩)	15.0%	2.1%	3.1%	0.6%	0.4%	10.0%
累進透大卵礫石率	38.8%	40.9%	44.0%	44.6%	45.0%	55.0%	
無壩	視砂(mL)	42	0				
	真砂(mL)	24	0				
	透砂率(無壩)	4.0%	0.0%				
	累進透砂率	92.2%	92.2%				
	視大理石(mL)	164	26				
	真大理石(mL)	76.26	12.09				
	透大理石率(無壩)	12.7%	2.0%				
	累進透大理石率	97.0%	99.0%				
	大卵礫石(mL)	400	0				
	透大卵礫石率(無壩)	44.4%	0.0%				
累進透大卵礫石率	99.4%	99.4%					



觀察與討論：

1. 鋼管壩裝置、土體、水量設計

我們以梳子壩透砂呼吸效果為雛形，選用最難透砂的加 3-4mm 碎大理石為土體，依據壓克力盆的容量，土體與水量皆放大為實驗 4-1 三倍，考慮 1-1.5 公分卵礫石透過性，裁切間距為 1.65cm 兩格與一格鋼管壩進行模擬實驗。

2. 鋼管壩對透砂率、透碎石率、透卵礫石率的影響 表 6

鋼管壩/透過率	二格壩	一格壩	無壩
透砂率	高 (穩定增加)	低 (穩定)	很低
透碎石率	中 (穩定增加)	中 (穩定)	降壩透出很多
透卵礫石率	低 (少量透出)	降壩大量透出	降壩大量透出淨空

3. 水量設計對透砂率、透碎石率、透卵礫石率的影響

透砂率、透碎石率有類似的曲線，第一回沖水時已經有 77%與 63%的透過率，後來遞減。第一次到第五次細水長流對卵礫石透過率沒有大幫助，但是流速快的大洪水與降壩體，對卵礫石清淤有顯著的影響，尤其是無壩時，上壓的砂石已經透出大半，正向力大減，在第三回第一次水慢流時，剩下的 44.4%卵礫石竟然全部淨空。

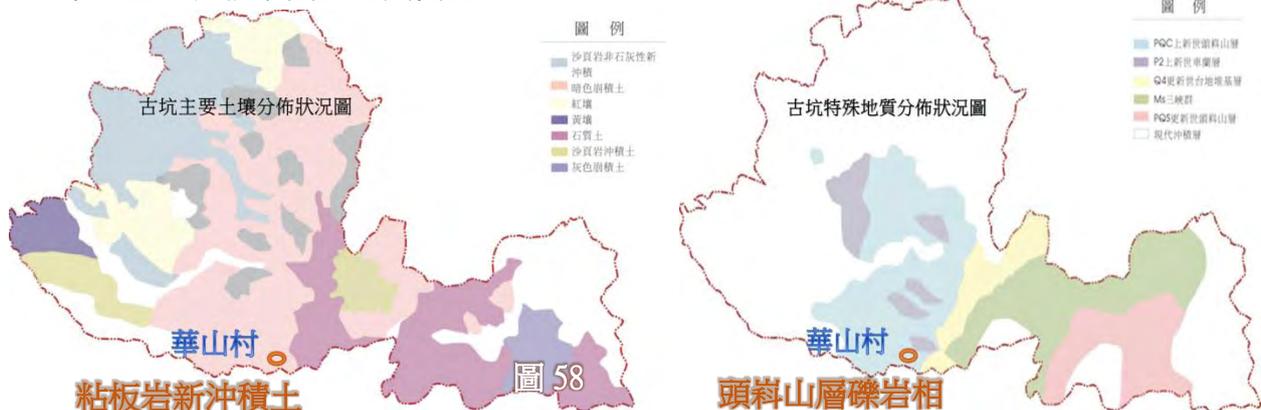
4. 誤差探討，這一次的含砂量加總只有 92.2%，推測是盆底墊高齊平切割線，多次操作下滲到底板下方的砂所導致，整體而言不影響透砂趨勢。

小結論：

從實驗數據，鋼管壩若能擋住第一波土石流後，不論透砂或透石率都相當良好，且可降高度的壩體對於後續的自然清淤也十分方便，非汛期細水長流、汛期大洪水都能夠分段流出不同大小的砂石。

陸、整體討論

一、華山土石流教學園區地質簡述



(一)華山的土質是一種「粘板岩新沖積土」，它的形成方式主要為河流新沖積物沉積。

華山土石流教學園區地質為上新世頭嵙山層礫岩相。頭嵙山層的上部，以塊狀礫岩為主，夾有薄層砂頁岩，而且在砂岩中出現交錯偽層，正是頭嵙山層的典型特徵。礫岩厚度在百公尺以上，常形成峻峭懸崖和鋸齒狀山嶺。



圖 59

(二)我們實地探勘時，我們從華山溪下游第一個砌石壩抬頭看到大尖山的山頂是以礫岩為主(如圖 59)。又如華山文化中心前方(圖 60)，開發露頭看見，上方礫石崩塌層，接著砂頁岩層，下面又是礫石層，所看到陡峭裸露的山壁有不同類的石頭交錯。膠結鬆散，是容易崩塌的脆弱地質。



圖 60

交錯偽層

二、不同季節梳子壩之下的砌石壩水流量比較 1050924 1061009 1061224

(一)不同季節，二號、三號梳子壩下的砌石壩水量比較 (圖 61)

九月我們探訪三號梳子壩時，水流很廣，且成瀑布的垂直型態下降，最後形成清澈的小水池。十月到訪，只剩一道小水流流下，水量比九月時少很多。十二月沒有地表逕流，只有砌石壩正下方地下滲出一小灘水外

去年十月，二號梳子壩也只有一道人體可跨的小水流(圖 54)，十二月沒有地表逕流(圖 55)。水量地景類同三號梳子壩下方的砌石壩。



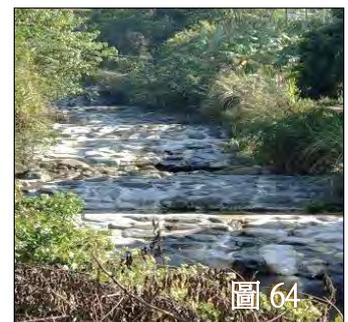
(二)冬季華山探勘製作河床水位示意模型

根據我們探勘的結果，擷取冬季探勘三張華山溪上中下游的相片說明(圖 62)。

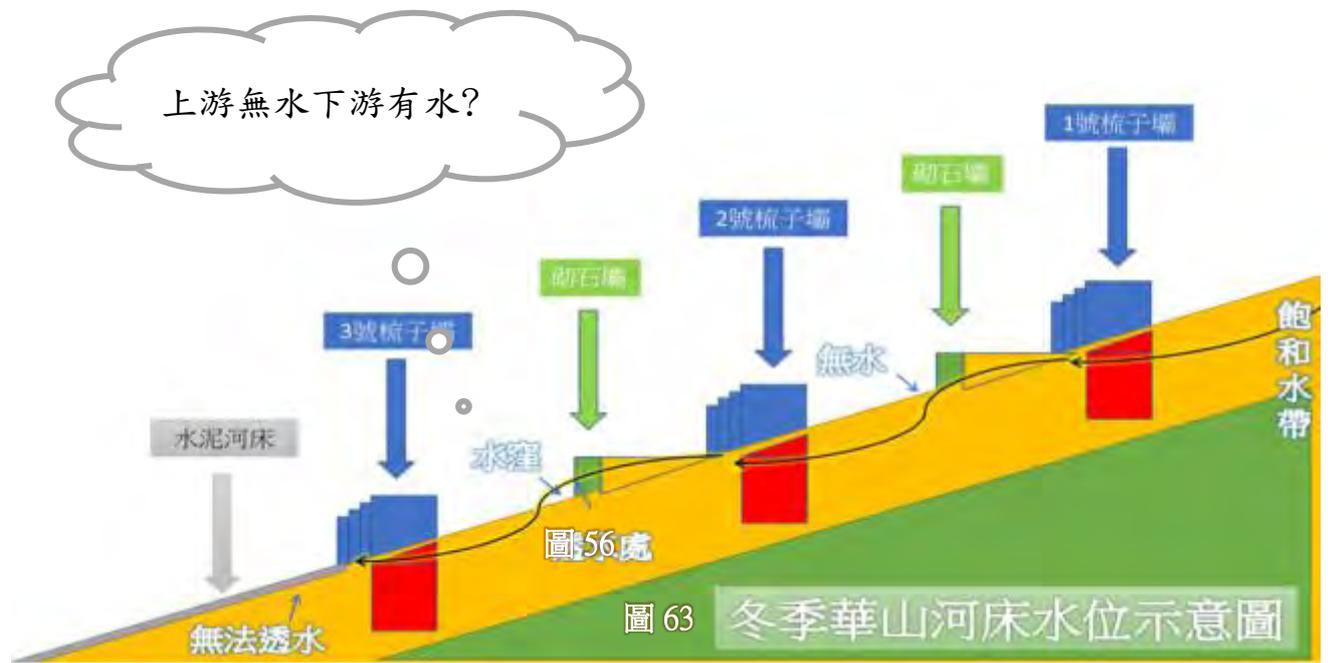


1.在坡度河床上，攔沙壩造成的階梯河床，下方依然有水在滲流，水位時高時低而造成砌石壩下時而有水，時而沒水。而攔下的土石砂，根據我們的實驗結果推知，梳子壩若積滿砂石，透砂透石率已經不佳，更何況是透砂砌石壩。

2.我們推測華山溪河床與飽和帶關係作成下方示意圖(圖 63)：
由於水量漸減，砂土把河床淤高，飽和水帶漸沉於表面砂石之下，在淤高的河床下，水帶稍稍升高，或可在垂直陡降的砌石壩下發



現水窪，或可在下游水從地下滲出，但是若遇到一開始入眼簾的水泥鋪底河床(圖 64)，就無法透水。



3. 另外砂石若沒有水，就不會透砂，水在砂石下方滲透，地表上的砂石堆毫無生態可言。

三、比較野溪與整治人工河床的差異

野溪河床主要由泥砂和大小石自然堆疊而成，為了照顧人民生命財產的安全，而進行整治工程，長期且大規模的整治河川之後，水泥化溝渠化的溪流生機盡失，破壞生物多樣性。野溪有其自然生態的平衡機制，兩岸綠蔭圍繞和河道中的大小石，有利於生物遮蔭、產卵或躲避急流沖擊等生存因素。

以華山當地的崙角溪為例，中段保留的自然野溪生態，不論是樹蔭，還是石頭縫隙間，都是生物的庇護所，當中有無限的生機；而華山溪頭崙山層礫岩相土質鬆軟，容易造成土石流，各種整治迫不得已，當地砌石壩、攔砂壩可以攔砂，卻讓水流無法沿地表自然流出。水泥雖然可以穩固河床，有些地下逕流到下游也可能因表面水泥河床的阻擋，而無法滲出地表。

四、查詢設置梳子壩目的比對模擬實驗之我見：

(一) 梳子壩可以調節土石流及高含砂流之土砂輸出量？

我們的實驗作出當所含的土石大小不一時，擋在前面的大卵礫石會導致位處後方的土砂難以排出。若卵礫石間縫隙比砂大很多，流水量又很大，才有可能排砂。

(二) 土石流發生時梳子壩能及時擋住，之後又能順利地將砂排出？

實驗結果梳子壩體確實能將大於間距的土石流擋下，但後續的透砂狀況並不理想。

(三) 防止溪床大型堆積物移動，將土石流轉化為土砂流？

水道實驗發現，小石可以從間距中推出，大石則是在第一時間從梳子壩上方彈跳，才有可能到下游。在塑膠盆模擬壩體的實驗裡，用不同型態那麼多水來沖，砂子還是很難流出去，慢速流動時，流出來的通常都只有水，實際實驗砂子會與卵礫石一起被囤積於後方。

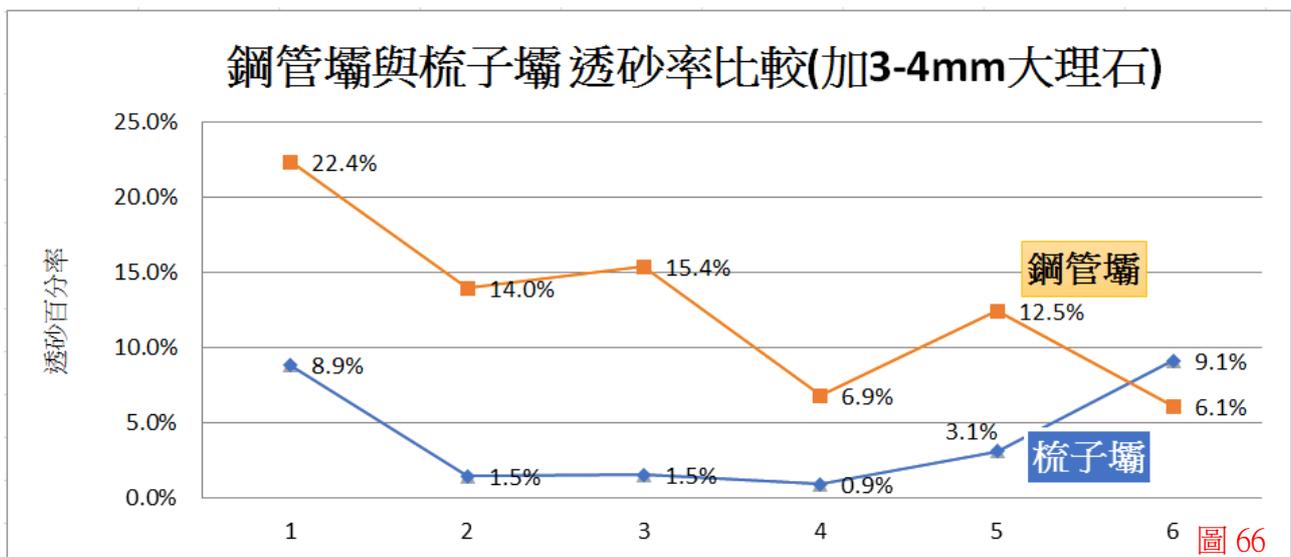
(四) 我們查網看過一張相片，鋼管壩後方，比透石縫隙小的卵礫石隨著土石流堆疊，一樣造成垂直河床，土石重壓摩擦力大，不易流動，造成堆積物堆高動彈不得，變成新的河床。若有新的土石流來，將會直接越過上方似無阻礙。



因此我們認為，梳子壩興建於土石流來臨之前，若真發生土石流，壩體確實能夠擋下第一波傷害，但後續堆滿的砂土所造成的結果會類似攔砂壩，會造成河川運移的連續性受到壩體的影響而中斷，豐水期的階梯水流，將會侵蝕河床與兩岸，藉以恢復其應有的挾砂能力；透過實驗 4-2 可得知，枯水期河床該有的地表細流卻變成更慢的地下逕流，更別談透砂。若要讓梳子壩體恢復呼吸效果，要清除後方砂石，才能成為抵擋下一波土石流有效壩體。

六、透砂石率，鋼管壩明顯優於梳子壩

1. 我們從梳子壩模擬實驗與上方圖片聯想引出降淤的需求，於是最後將梳子壩改成鋼管壩，想要能縱橫比較兩種壩體的相對透砂石率，於是找出實驗四-2 與五-1 的數據，整理如下。



以透砂率的數據為例，原本在實驗四容易淤塞的加大理石碎片土體，僅將梳子壩改成鋼管壩，起始透砂率大增兩倍多，後續也陸續不斷輸出大量砂石。

2.第一輪沖水實驗，相同土體，梳子壩與鋼管壩的各種透砂石率如下：

表 7 比較梳子壩與鋼管壩在相同條件下的累進透砂石率

	累進透砂率	累進透大理碎石率	累進透大卵礫石率
梳子壩	25.1%	14.9%	0%
鋼管壩	77.2%	63.9%	23.8%

從各式數據證明鋼管壩砂石透過性都遠優於梳子壩，自然降淤效果佳，可以改善因整治逐步淤高的河床，讓水不再變成地下滲透的水，讓地面潺潺流水還原自然流暢生態豐富的野溪。

柒、結論

研究一：實地探勘華山土石流園區華山村確實為容易崩塌的頭料山層，為沖積地形土質鬆軟，整治後的河床呈階梯狀攔砂壩前方積滿砂石，梳子壩建立自今尚未經過土石流的考驗。

研究二：模擬實驗透砂率隨水量遞增，透石率不受水量影響。

研究三：模擬實驗透砂率隨原砂量遞增，透石率不受原砂量影響。

研究四：細水長流實驗砂子離壩體越近越容易透出，離壩體越遠越容易囤積。

研究五：細水長流實驗砂石的大小種類越多，孔隙越易填滿，砂體越容易囤積於壩體後方。

研究六：鋼管壩實驗在進行壩體降高度後得知可以將砂和石完全透出，不論透砂率與透石率皆優於梳子壩。

捌、參考資料

一、臺灣月刊(2006)。華山土石流教學園區知性之旅。檢索日期：2017年12月14日。

取自：<http://subtpg.tpg.gov.tw/web-life/taiwan/9510/9510-16.htm>

二、臺灣師範大學地理系。頭嵙山層。檢索日期：2017年12月14日。取自：

[http://www1.geo.ntnu.edu.tw/~shensm/Course/CourseWork/TaiGeom_Stu90/%E5%A9%B7%E5%A9%B7%E7%9A%84\(%E8%A3%9C\)/%E9%A0%AD%E5%B5%99%E5%B1%B1%E5%B1%A4.htm](http://www1.geo.ntnu.edu.tw/~shensm/Course/CourseWork/TaiGeom_Stu90/%E5%A9%B7%E5%A9%B7%E7%9A%84(%E8%A3%9C)/%E9%A0%AD%E5%B5%99%E5%B1%B1%E5%B1%A4.htm)

三、台灣雅石文史工作室(2007)。雲林縣地質與化石介紹之三(華山篇)。檢索日期：2017年12月14日。取自：

<http://folkmit.pixnet.net/blog/post/17656321-%E9%9B%B2%E6%9E%97%E7%B8%A3%E5%9C%B0%E8%B3%AA%E8%88%87%E5%8C%96%E7%9F%B3%E4%BB%8B%E7%B4%B9%E4%B9%8B%E4%B8%89%EF%BC%88%E8%8F%AF%E5%B1%B1%E7%AF%87%EF%BC%89>

四、行政院農業委員會(2004)。華山土石流整治與農村建設成果。檢索日期：2017年12月14日。取自：

<https://www.coa.gov.tw/ws.php?id=8206>

五、內政部土地重劃工程局農村社區土地重劃四年示範計畫執行要點(2010)。雲林縣古坑鄉華山社區農村再生計畫。檢索日期：2017年12月14日。取自：

[https://ep.swcb.gov.tw/ep/File/REGENERATION/0610%E8%8F%AF%E5%B1%B1%E8%BE%B2%E5%86%8D%E8%A8%88%E7%95%AB\(%E4%BF%AE%E6%94%B9\)_201211210958248670.pdf](https://ep.swcb.gov.tw/ep/File/REGENERATION/0610%E8%8F%AF%E5%B1%B1%E8%BE%B2%E5%86%8D%E8%A8%88%E7%95%AB(%E4%BF%AE%E6%94%B9)_201211210958248670.pdf)

六、台中市政府水利局(2015)。梳子壩及開口壩。檢索日期：2017年12月14日。取自：

<http://www.wrs.taichung.gov.tw/ct.asp?xItem=1566189&ctNode=24822&mp=158010>

七、痞客邦(2013)。認識雲林縣地質與化石。檢索日期：2018年3月9日。取自：

<http://folkmit.pixnet.net/blog/post/17654599-%E8%AA%8D%E8%AD%98%E9%9B%B2%E6%9E%97%E7%B8%A3%E5%9C%B0%E8%B3%AA%E8%88%87%E5%8C%96%E7%9F%B3>

八、行政院農業委員會(2011)。華山平均坡度(中華民國100年版災害防救法令彙編 - 第3320頁)。檢索日期：2018年3月16日。取自：

https://books.google.com.tw/books?id=YLOvDwAAQBAJ&pg=PA3320&lpg=PA3320&dq=%E8%8F%AF%E5%B1%B1%E5%B9%B3%E5%9D%87%E5%9D%A1%E5%BA%A6&source=bl&ots=S0A1K6YWgf&sig=WSu3Zi6XGr72q7xh98g3_CYcvV0&hl=zh-TW&sa=X&ved=0ahUKEwii69yWgOvZAhVEjLwKHWSdDIYQ6AEIRzAD#v=onepage&q=%E8%8F%AF%E5%B1%B1%E5%B9%B3%E5%9D%87%E5%9D%A1%E5%BA%A6&f=false

九、中華水土保持學報(2016)。野溪高土砂災害之模組化防砂壩管理。檢索日期:2018年4月21日。取自:

[http://www.cswcs.org.tw/AllDataPos/JournalPos/VOL47/NO3/jcswc47\(3\)111-121_01.pdf](http://www.cswcs.org.tw/AllDataPos/JournalPos/VOL47/NO3/jcswc47(3)111-121_01.pdf)

【評語】 030504

1. 利用現地土石流災害所進行之不同的整治工法，來比較其治理功效之優缺點，相當具有科學性。
2. 在現地的勘查工作中，清楚的比較梳子壩及鋼管壩在滲透砂石的優缺點，整體論述很完整，並具有邏輯。
3. 在實驗室的梳子壩模擬試驗，每一個步驟的規劃很有系統，透砂及透水的說明、紀錄很完整，具有說服性。
4. 模擬試驗的結果指出，鋼管壩的治理工法優於梳子壩，具有實用價值，對於土石流的治理工作，在社會及經濟層面上，產生一定的影響。

壹、摘要

我們先從梳子壩的認識與華山探勘著手，實察地質、梳子壩防治工法與崙角溪野溪(第一部分)。模擬土石流研究梳子壩在不同水量及砂量的透石、砂效果(實驗一、二)，發現梳子壩後方的砂不易透出(實驗三)。接著我們模擬已淤積砂和石的壩體持續沖水，加入粒徑較大的碎石，透砂率明顯降低，找到了梳子壩輸砂的盲點，並推理縫隙模型(實驗四)。為了降淤，我們追加模擬鋼管壩實驗，以相同條件沖水與降壩體，發現鋼管壩抵擋土石流，後續可讓淤積的壩體透砂透石，實驗數據顯示比對梳子壩效果好太多；另外藉著降低壩體運作模式，結果能清空壩前土石。期待真實防治工法也能多採取此模式，讓整治的溪流自然降淤高，恢復到流暢的野溪型態(實驗五)。

貳、研究動機

一年級夏末的戶外教學，我們到華山土石流教學園區，一開始在崙角溪保留區溯溪，潛浸在冰涼美麗的野溪生態。接著來到整治的華山溪，一路向上看見水泥河床、三座梳子壩。在壩體附近，我們看到高起的攔砂壩將砂石完全攔住，墊高河床成數段垂直的地形，導致地表水量大減，到冬天甚至上游完全乾涸，而下游水泥河床依然可以流出少許的水流。我們在想這些壩體究竟能產生多少功效，整治攔砂造成河床累積砂石，梳子壩是否能達成真正透砂？我們對壩體透砂所造成的影響，感到好奇，於是開始進行研究。

參、文獻探討

一、華山土石流教學園區簡介
雲林縣古坑鄉華山村，民國八十八年「九二一大地震」後，大、二尖山地層鬆動，一遇豪雨就發生土石流。政府積極整治華山溪，陸續完成系列「梳子壩」、「砌石壩」等防治工事。特別成立國內第一座「土石流教學園區」，園區內以華山溪與崙角溪為主要溪流。



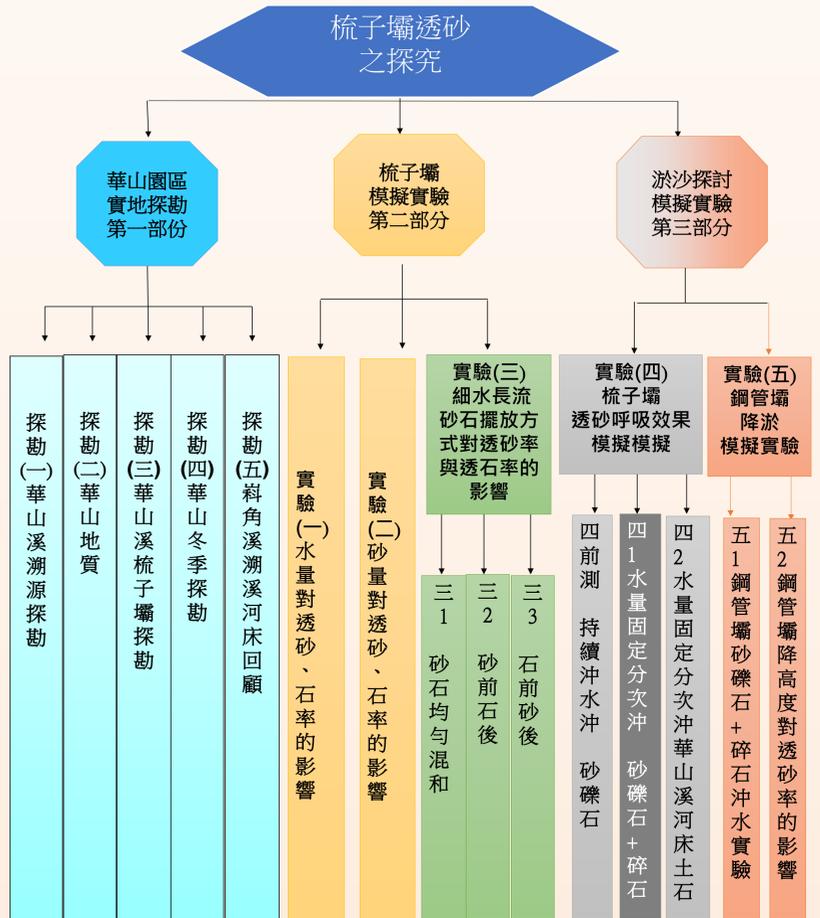
二、華山園區土石流安全防治：華山上游河段因921地震造成大量崩塌及表土鬆動，土層鬆軟遇雨沖刷而下，為土砂之生產源，治理方式以穩定坡面之源頭處理(裂縫填補)及控制土石下移，設置透過性防砂壩。

園區華山溪與崙角溪皆為整治過的河床，崙角溪地處頭崙山層砂頁岩層(香山相)，地質穩定，前後段整治之後，中段得以保留一段約800公尺的自然野溪型態，水質清澈，可供親水遊憩。而華山溪地質為頭崙山層礫岩層(火炎山相)，土質鬆散，水濁是土石流高危險區。崙角溪鄰近華山溪不到一百公尺，地質迥異整治方式不同，風貌大相逕庭。

三、梳子壩：在土石流或土砂流量較高之溪流，為減少大量土砂流出致災，而將防砂壩壩體加以改良，其中壩體設計成狀似梳子型態者謂之梳子壩。梳子壩屬透過型壩，在一般山地洪流時，水流及土砂得以穿越壩體，使壩體上游可以維持適當之貯砂空間，以備土石流或高含砂流通過時，可適時發揮攔阻土砂和延遲流出時間之效果。



肆、研究架構



伍、研究目的

- 一、實地探勘華山土石流園區，觀察地質、梳子壩防治工法與野溪探勘
- 二、研究梳子壩在不同水量下透砂率與透石率的變化
- 三、研究梳子壩在擺放不同砂量對透砂率與透石率的影響
- 四、研究梳子壩在細水長流下不同的砂石擺放方式對透砂率與透石率的影響
- 五、觀察梳子壩在不同砂石種類下的透砂效果
- 六、研究鋼管壩在降高度前後的透砂率、透碎石率，與透卵礫石率

陸、研究器材裝置

- 一、使用土體
約3-4mm大理石碎片、1-2mm二峰圳河床砂礫、0.1-0.3mm砂、1-1.5cm卵礫石、華山一號壩上游攔砂壩上表層挖掘的混和土體
- 二、壩體裝置(梳子壩基礎實驗、細水長流、鋼管壩)



柒、研究過程

第一部分：實地勘察華山土石流園區

(一)華山溪溯源探勘1061009



(二)華山地質



(三)華山梳子壩探勘



(四)華山冬季探勘1061224



(五)崙角溪溯溪溪床回顧1050924

下游的崙角溪經過整治，河床有鋪水泥，下游溪水皆曝露在太陽下；上游端的崙角溪仍保有原始生態，石頭遍布，有各種不同大小的石頭，兩旁樹木非常茂密。兩岸有些自然的風化崩落，水底的泥沙及石頭縫隙間也有許多小生物，水聲蟲鳴鳥嘯，充滿生機。



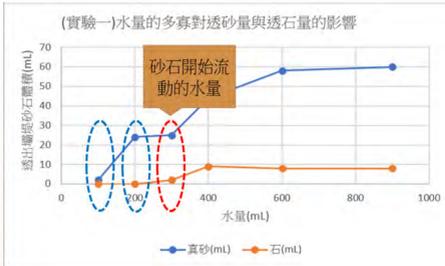
第二部分：梳子壩模擬實驗

實驗(一)：水量的多寡對透砂率與透石率的影響

緣起：一開始我們模擬3號梳子壩做了一個迷你水道與壩體，我們想知道水量與砂石比例，造成流動的情形，於是進行水量與土體變因之探究。

結果：

水量的多寡對透砂量與透石量的影響						
改變水量(砂:100mL,石:300mL,坡度15度)						
水量(mL)	100	200	300	400	600	900
視砂(mL)	3.5	42.0	43.8	77.0	101.5	105.0
真砂(mL)	2	24	25	44	58	60
透砂量百分比	2.0%	24.0%	25.0%	44.0%	58.0%	60.0%
石(mL)	0	0	2	9	8	8
透石量百分比	0.0%	0.0%	0.7%	3.0%	2.7%	2.7%



討論：

1 我們做出真砂體積與視砂體積的對應圖，二者約成正比，因此以方便操作的視砂體積，依比例推出真砂體積確實可行。
小結論：水量越大排砂量越大，水量超越某極限就趨於穩定，往後實驗以水量300mL做實驗

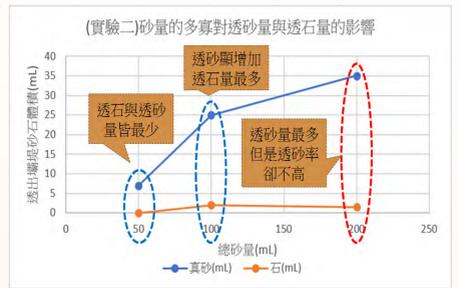


實驗(二)：含砂量多寡對排砂量的影響

緣起：從實驗一，我們觀察到水量越大透砂率越高，攔石率是相對較穩定，經過討論後，我們希望知道不同砂子的量對壩體的透砂率有什麼不同的影響。

結果：

砂量的多寡對透砂量與透石量的影響			
改變砂量(水:300mL,石:300mL,坡度15度)			
總砂量(mL)	50	100	200
視砂(mL)	12.3	43.8	61.3
真砂(mL)	7	25	35
透砂量百分比	14.0%	25.0%	17.5%
石(mL)	0	2	1.5
透石量百分比	0.0%	0.7%	0.5%



討論：

(一)由上表可知，排砂量是跟著砂總量增加，但並不是按比例增加，所以我們進行下一場慢慢倒水細水長流實驗，探討壩體在堵住時的排砂效果，**砂體採用透砂量最多的200mL。**

實驗(三)：壩體在細水長流下的透砂效果：

緣起：查資料得知梳子壩可以攔住大石，透過小石，在第二次實地探勘時，我們卻看到華山的壩體都被砂石堵塞，因此我們想探討梳子壩的透砂效果。

步驟：我們採用砂200mL、石300 mL、水1000 mL做四次實驗，先將砂石均勻混和鋪在壩體前，以盆子裝1000 mL的水，十秒鐘平均將水均勻倒出，計算透出壩體的砂石體積，一共重複4次沖刷的動作。後來兩次換成砂前石後，與石前砂後，重複實驗測透砂率。



發想：由實驗得知，慢速水流之下大的卵礫石會全部擋在梳子壩上方，前半部的砂較能成功透砂。設置了梳子壩，若土石流發生，期待壩體要能及時攔住砂石又需在後續能正常的輸送粒徑比壩體間距小的砂石。但是從模擬實驗與實際探勘，都發現壩體上游端的砂容易淤積，長時段細水長流很難透出後方的砂，除了位置原因之外，真實狀況到底是甚麼？我們還需要模擬實驗。

第三部分：淤沙探討模擬實驗

實驗(四)：利用塑膠盆模擬壩體，測量呼吸效果

緣起：我們做完實驗三之後發現壩體前方透砂的呼吸效果還不錯，可能是因為卵礫石間的縫隙較大，砂子很容易就流出壩體，所以我們決定加入粒徑介於砂與卵礫石的碎片，並且使用透明塑膠盆進行進水實驗，希望能夠進一步找出壩體被砂石堵住的原因。

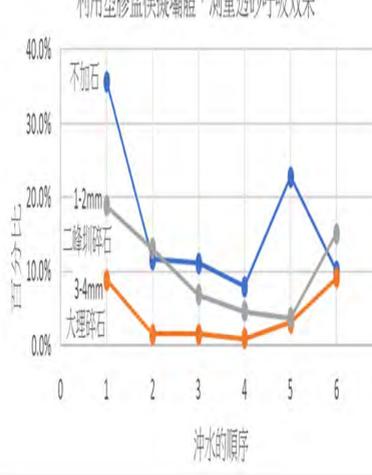
實驗(四)-1設計固定水量分次沖砂+卵礫石+各式碎石



結果：

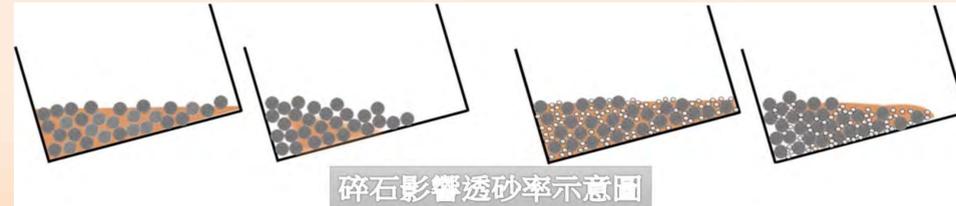
利用塑膠盆模擬壩體，測量不同土體、不同水量 透砂呼吸效果							
基礎土體:砂200mL、卵礫石300mL、坡度15度 選擇碎石:3-4mm大理石200mL、1-2mm二峰圳石200mL							
沖水:1-4次各500mL、5細水長流2000mL(倒水時間:1分鐘)、6大洪水2000mL							
沖水的順序		一(500mL)	二(500mL)	三(500mL)	四(500mL)	五(細水長流)	六(大洪水)
不加石	視砂(mL)	125.0	40.7	38.9	27.8	79.6	35.2
	真砂(mL)	71.4	23.3	22.2	15.9	45.5	20.1
	透砂量百分比	35.7%	11.6%	11.1%	7.9%	22.8%	10.1%
	透砂量百分比	35.7%	47.4%	58.5%	66.4%	89.2%	99.2%
大理碎石(3-4mm)	視砂(mL)	31	5.2	5.4	3.2	11	32
	真砂(mL)	17.7	3.0	3.1	1.8	6.3	18.3
	透砂量百分比	8.9%	1.5%	1.5%	0.9%	3.1%	9.1%
	透砂量百分比	8.9%	10.3%	11.9%	12.8%	15.9%	25.1%
二峰圳碎石(1-2mm)	視砂(mL)	66	46	24	16	13	53
	真砂(mL)	37.7	26.3	13.7	9.1	7.4	30.3
	透砂量百分比	18.9%	13.1%	6.9%	4.6%	3.7%	15.1%
	透砂量百分比	18.9%	32.0%	38.9%	43.4%	47.1%	62.3%

利用塑膠盆模擬壩體，測量透砂呼吸效果



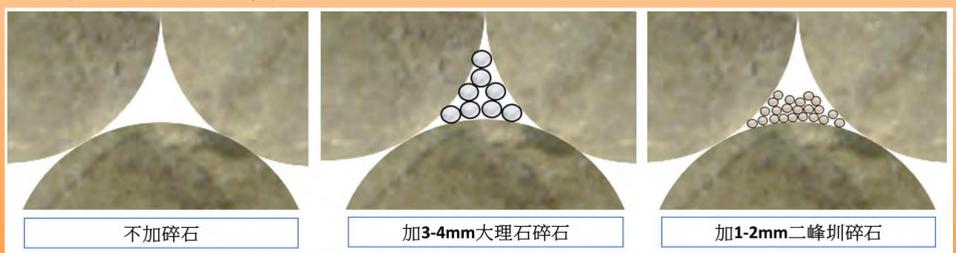
觀察與討論：

- 1.添加碎石的透砂率與透碎石率：
(1)不加碎石的基礎土體有很高的透砂率99.2%，此透砂量作為後續實驗的**對照組**。
(2)基礎土體**加3-4mm大理碎石**，實驗結束總透砂率只有**25.1%**，只有對照組的**1/4**
(3)利用塑膠盆模擬壩體，我們以孔隙觀點做模型來解釋透砂結果。



2.孔隙進階探討：

- (1) **總透砂率：**
不加碎石對照組 **99.2%** > 加1-2mm二峰圳碎石 **62.3%** > 加3-4mm大理碎石 **25.1%**
 - (2) 1-2mm二峰圳碎石的透碎石率不差，數據為 **1-2mm二峰圳碎石 42.9%** > 加3-4mm大理碎石 **14.9%**
- 代表二峰圳碎石與砂一起流動透出，而較大的大理碎石較不易流動。我們進一步做進階模型解釋我們的實驗結果。



300mL的卵礫石，200mL的砂，在相同碎石200mL體積下，均勻攪拌後沖水透砂

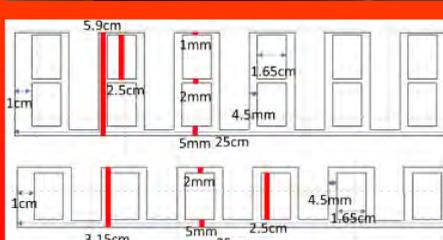
粒徑較大的大理石較能夠完全填滿卵礫石間的縫隙，形成比卵石縫隙更小的空間，阻止砂子通過，自己也不易流動。粒徑較小的二峰圳石，彼此堆疊較密，無法完全填滿卵礫石之間的縫隙，堆疊之後仍有大空間透砂也帶著自己流動。

實驗(五)鋼管壩降淤模擬實驗(沖水透砂實驗、降高度透砂透石率探究)

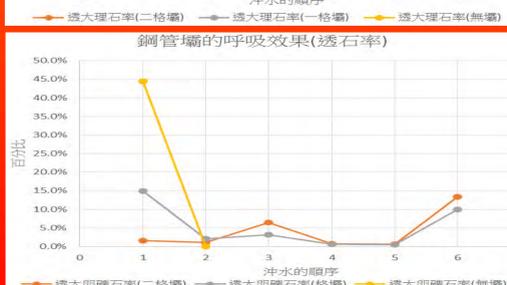
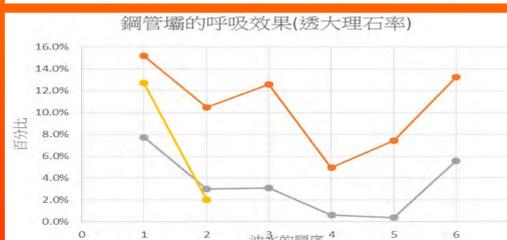
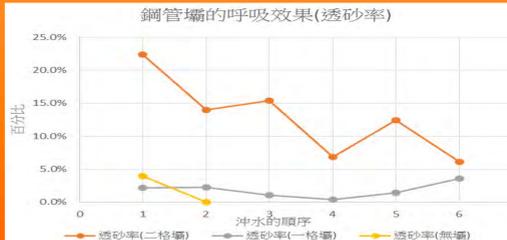
緣起：作完實驗四之後，我們了解到梳子壩的透砂呼吸效果未如預期的好。一旦土石流發生，大大小小淘選不佳的土石，會塞住縫隙，阻礙透砂，更別談粒徑更大的土石。梳子壩降淤只能靠汛期洪水，但大石頭依然需要人工清淤，令人不解。降淤的需求讓我們對華山溪上游的另一種透性鋼管壩感到好奇，於是我們以網路鋼管壩相片為底圖，並用Rd-works作圖雷雕出壩體模型，在相同沖水條件之下，測試柵欄狀壩體透砂率，並降低高度，數據相比較，找出壩體堆積降淤解決之道。

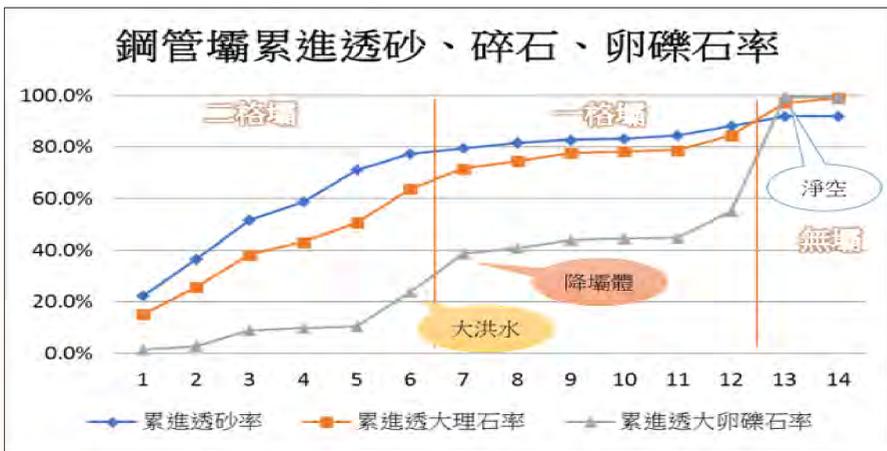
裝置：

將長寬高26*15*17cm 壓克力盆上切割24*12公分的缺口
以RD-works設計版型，切割壓克力板模擬鋼管壩，壩體比例數據如圖。
實驗盆體前傾斜15度，加入900mL的卵礫石、600mL的砂，使砂體堆積與桌面平行，用擋板擋住出口。



鋼管壩的呼吸效果							
砂:600mL、卵礫石:900mL、3-4mm大理碎石600mL、坡度15度							
水:1-4次1500mL、5細水長流6000mL、6大洪水6000mL、細水長流倒水時間:1分鐘							
沖水的順序	1	2	3	4	5	6	
二格壩	視砂(mL)	235	147	162	72	131	64
	真砂(mL)	134.3	84.0	92.6	41.1	74.9	36.6
	透砂率(二格壩)	22.4%	14.0%	15.4%	6.9%	12.5%	6.1%
	累進透砂率	22.4%	36.4%	51.8%	58.7%	71.1%	77.2%
	視大理石(mL)	196	135	162	64	96	171
	真大理石(mL)	91	63	75	30	45	80
	透大理石率(二格壩)	15.2%	10.5%	12.6%	5.0%	7.4%	13.3%
	累進透大理石率	15.2%	25.7%	38.2%	43.2%	50.6%	63.9%
	大卵石(mL)	14	10	58	7	5	120
	透大卵石率(二格壩)	1.6%	1.1%	6.4%	0.8%	0.6%	13.3%
一格壩	視砂(mL)	23	24	11	4	15	38
	真砂(mL)	13.1	13.7	6.3	2.3	8.6	21.7
	透砂率(一格壩)	2.2%	2.3%	1.0%	0.4%	1.4%	3.6%
	累進透砂率	79.4%	81.7%	82.8%	83.1%	84.6%	88.2%
	視大理石(mL)	100	39	40	8	5	72
	真大理石(mL)	47	18	19	4	2	33
	透大理石率(一格壩)	7.8%	3.0%	3.1%	0.6%	0.4%	5.6%
	累進透大理石率	71.6%	74.6%	77.7%	78.4%	78.7%	84.3%
	大卵石(mL)	135	19	28	5	4	90
	透大卵石率(一格壩)	15.0%	2.1%	3.1%	0.6%	0.4%	10.0%
無壩	視砂(mL)	42	0	0	0	0	0
	真砂(mL)	24	0	0	0	0	0
	透砂率(無壩)	4.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	累進透砂率	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%	92.2%
	視大理石(mL)	164	26	0	0	0	0
	真大理石(mL)	76.26	12.09	0	0	0	0
	透大理石率(無壩)	12.7%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
	累進透大理石率	97.0%	99.0%	99.0%	99.0%	99.0%	99.0%
	大卵石(mL)	400	0	0	0	0	0
	透大卵石率(無壩)	44.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
累進透大卵石率	99.4%	99.4%	99.4%	99.4%	99.4%	99.4%	





觀察與討論：

1. 鋼管壩對透砂率、透碎石率、透卵礫石率的影響

鋼管壩/透過率	二格壩	一格壩	無壩
透砂率	高(穩定增加)	低(穩定)	很低
透碎石率	中(穩定增加)	中(穩定)	降壩透出很多
透卵礫石率	低(少量透出)	降壩大量透出	降壩大量透出淨空

2. 水量設計對透砂率、透碎石率、透卵礫石率的影響

透砂率、透碎石率有類似的曲線，第一回沖水時已經有77%與63%的透過率，後來遞減。

第一次到第五次細水長流對卵礫石透過率沒有大幫助，但是流速快的大洪水與降壩體，對卵礫石清淤有顯著的影響，尤其是無壩時，上壓的砂石已經透出大半，正向力大減，在第三回第一次水慢流時，剩下的44.4%卵礫石竟然全部淨空。

誤差探討，這一次的含砂量加總只有92.2%，推測是盆底墊高齊平切割線，多次操作下滲到底板下方的砂所導致，整體而言不影響透砂趨勢。

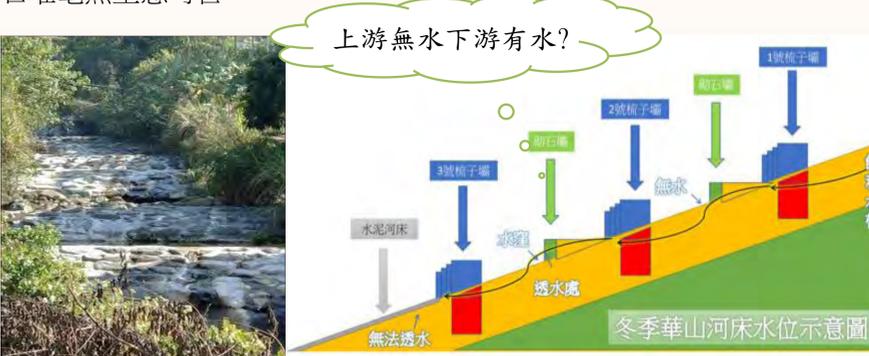
小結論：

從實驗數據，鋼管壩若能擋住第一波土石流後，不論透砂或透石率都相當良好，且可降高度的壩體對於後續的自然清淤也十分方便，非汛期細水長流、汛期大洪水都能夠分段流出不同大小的砂石。

1. 在坡度河床上，攔沙壩造成的階梯河床，下方依然有水在滲流，水位時高時低而造成砌石壩下時而有水，時而沒水。而攔下的土石砂，根據我們的實驗結果推知，梳子壩若積滿砂石，透砂透石率已經不佳，更何況是透砂砌石壩。

2. 我們推測華山溪河床與飽和帶關係作成下方示意圖：由於水量漸減，砂土把河床淤高，飽和水帶漸沉於表面砂石之下，在淤高的河床下，水帶稍稍升高，或可在垂直陡降的砌石壩下發現水窪，或可在下游水從地下滲出，但是若遇到一開始入眼簾的水泥鋪底河床，就無法透水。

3. 另外砂石若沒有水，就不會透砂，水在砂石下方滲透，地表上的砂石堆毫無生態可言。



三、查詢設置梳子壩目的比對模擬實驗結果之我見

(一) 梳子壩可以調節土石流及高含砂流之土砂輸出量？我們的實驗作出當所含的土石大小不一時，擋在前面的大卵礫石會導致位處後方的土砂難以排出。若卵礫石間縫隙比砂大很多，流量又很大，才有可能排砂。

(二) 土石流發生時梳子壩能及時擋住，之後又能順利地將砂排出？實驗結果梳子壩體確實能將大於間距的土石流擋下，但後續的透砂狀況不理想。

(三) 防止溪床大型堆積物移動，將土石流轉化為土砂流？水道實驗發現，小石可以從間距中推出，大石則是在第一時間從梳子壩上方彈跳，才有可能到下游。在塑膠盆模擬壩體的實驗裡，用不同型態那麼多水來沖，砂子還是很難流出去，慢速流動時，流出來的通常都只有水，實際實驗砂子會與卵礫石一起被囤積於後方。

(四) 我們看過一張相片，鋼管壩後方，比透石縫隙小的卵礫石隨著土石流堆疊，一樣造成垂直河床，土石重壓摩擦大，不易流動，造成堆積物堆高動彈不得，變成新的河床。若有新的土石流來，將會直接越過上方似無阻礙。

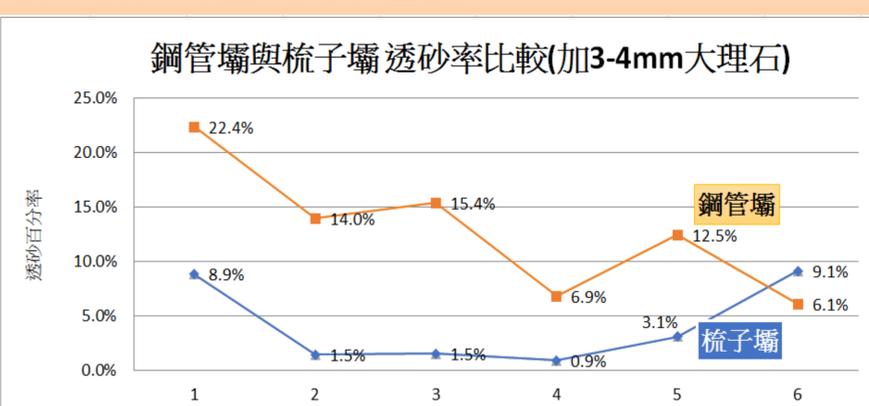


因此我們認為，梳子壩興建於土石流來臨之前若真發生土石流，壩體確實能夠擋下第一波傷害。

但後續堆滿的砂土所造成的結果會類似攔砂壩，會造成河川運移的連續性受到壩體的影響而中斷，豐水期的階梯水流，將會侵蝕河床與兩岸，藉以恢復其應有的挾砂能力。透過實驗4-2可得知，枯水期河床該有的地表細流卻變成更慢的地下逕流，更別談透砂。若要讓梳子壩體恢復呼吸效果，要清除後方砂石，才能成為抵擋下一波土石流有效壩體。

四、透砂率，鋼管壩明顯優於梳子壩

1. 我們從梳子壩模擬實驗與上方圖片聯想引出降淤的需求，於是最後將梳子壩改成鋼管壩，想要能縱橫比較兩種壩體的相對透砂率，於是找出實驗四-2與五-1的數據，整理如下。



若以透砂率的數據為例，原本在實驗四容易淤塞的加大理石碎片土體，僅將梳子壩改成鋼管壩，起始透砂率大增兩倍多，後續也陸續不斷輸出大量砂石。

2. 第一輪沖水實驗，相同土體，梳子壩與鋼管壩的各種透砂率如下：比較梳子壩與鋼管壩在相同條件下的累進透砂率

	累進透砂率	累進透大理碎石率	累進透大卵礫石率
梳子壩	25.1%	14.9%	0%
鋼管壩	77.2%	63.9%	23.8%

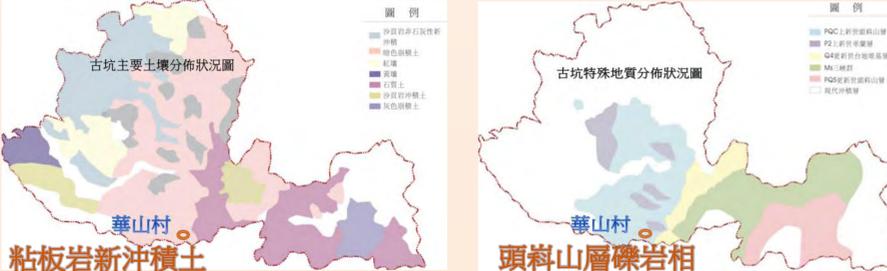
從各式數據證明鋼管壩砂石透過性都遠優於梳子壩，自然降淤效果佳，可以改善因整治逐步淤高的河床，讓水不再變成地下滲透的水。希望有朝一日，能讓地面潺潺流水，還原自然流暢生態豐富的野溪。

玖、結論

- 研究一：實地探勘華山土石流園區華山村確實為容易崩塌的頭嵙山層，為沖積地形土質鬆軟，整治後的河床呈階梯狀攔砂壩前方積滿砂石，梳子壩建立至今，尚未經過土石流的考驗。
- 研究二：模擬實驗透砂率隨水量遞增，透石率不受水量影響。
- 研究三：模擬實驗透砂率隨原砂量遞增，透石率不受原砂量影響。
- 研究四：細水長流實驗砂子離壩體越近越容易透出，離壩體越遠越容易囤積。
- 研究五：細水長流實驗砂石的大小種類越多，孔隙越易填滿，砂體越容易囤積於壩體後方。
- 研究六：鋼管壩實驗在進行壩體降高度後得知可以將砂和石完全透出，不論透砂率與透石率皆優於梳子壩。

捌、整體討論

一、華山土石流教學園區地質簡述



(一) 華山的土質是一種「粘板岩新沖積土」，它的形成方式主要為河流新沖積物沉積。

華山土石流教學園區地質為上新世頭嵙山層礫岩相。頭嵙山層的上部，以塊狀礫岩為主，夾有薄層砂頁岩，而且在砂岩中出現交錯偽層，正是頭嵙山層的典型特徵。礫岩厚度在百公尺以上，常形成峻峭懸崖和鋸齒狀山嶺。

(二) 我們實地探勘時，我們從華山溪下游第一個砌石壩抬頭看到大尖山的山頂是以礫岩為主。又如華山文化中心前方，開發露頭看見，上方礫石崩塌層，接著砂頁岩層，下面又是礫石層，所看到陡峭裸露的山壁有不同類的石頭交錯。膠結鬆散，是容易崩塌的脆弱地質。



二、不同季節梳子壩之下的砌石壩水流量比較 (1050924 1061009 1061224)

(一) 不同季節，二號、三號梳子壩下的砌石壩水量比較



(二) 冬季華山探勘製作河床水位示意模型

根據我們探勘的結果，擷取冬季探勘三張華山溪上中下游的相片說明

