

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

第三名

080501

『壩』氣『石』足~探討影響調整型鋼管壩儲砂
空間之研究

學校名稱： 高雄市小港區港和國民小學

作者：	指導老師：
小六 黃立羽	顏志昌
小五 顏以勛	劉仔娟
小五 張晏銘	
小五 吳苡甄	
小五 洪亮	
小五 羅鼎緋	

關鍵詞： 調整型鋼管壩、儲砂空間、橫桿縱材

『壩』氣『石』足 ---探討影響調整型鋼管壩儲砂空間之研究

摘要

台灣發生「土石流」頻繁，所以興建防砂壩已經是常態，然而，大量的泥砂使得防砂壩儲砂空間飽和，降低攔阻效能。因此，本研究的目的，希望找出影響調整型鋼管壩儲砂空間的因素並提出調整模式，以因應台灣多變的氣候環境。經研究結論如下：**一、壩後淤滿時，透過反覆調整鋼管壩開口，可以增加儲砂空間率，壩體的再攔阻率也會提升 14.2%；二、建議枯水期調整橫桿或縱材，利用豐水期增加壩後的儲砂空間；三、壩後巨礫+粗礫逐漸提高，不利於增加儲砂空間率；四、壩後淤滿有漂流木，會造成儲砂空間率大幅降低；五、我們提出調階段性調整鋼管壩，第(一)、拆除中央橫桿、第(二)、拆除縱材、第(三)、拆除加深模式，可以增加儲砂空間並減緩土石流的衝擊。**

<<本作品之所有照片、圖片、表格，皆由作者親自拍攝、繪製，凡是引用皆標明出處>>

壹、前言

一、研究動機：

隨著全球氣候變遷，極端天氣事件愈來愈頻繁，颱風、強降雨已經不是一天兩天的事情，土石流的災害也時常可見，我們要找出和地球共存的方式，而不是用硬碰硬來面對極端天氣。我們身在台灣，由於地形的關係和人為環境的破壞，每逢豪雨季節，土石流就很容易發生，像最近 2024 年康芮颱風登陸台東，造成東部多處土石流，甚至土石流沖入民宅影響大家生命財產安全，於是我們思考著，有什麼方法可以解決這個問題，於是向老師提問，在老師指導下查閱網路資料後發現，有一種工程方法稱為防砂壩，可以攔截土石流，而且我們還發現中興大學陳教授有發表一種壩體稱為調整型鋼管壩，這些壩體對於土石流的防治作用是如何呢？為了解開這些疑問，我們與老師便開始展開防砂壩後續的一系列研究，希望能透過實驗設計，認識防砂壩並提出對於防砂壩的研究建議。

二、研究目的:

一、分析現階段土石流的防治工法

(一)設計問卷訪談專家老師

二、了解調整型鋼管壩的攔阻與儲砂空間能力

(一)比較有無防砂壩對攔阻溪流砂石的影響

(二)土石流來臨時，調整型鋼管壩與其他形式壩體對攔阻溪流砂石的影響

(三)壩體淤滿時，調整型鋼管壩與其他形式壩體的儲砂空間比較

三、探討拆除調整型鋼管壩模組對防砂壩儲砂空間的影響

(一)拆除不同的鋼管壩橫桿位置對防砂壩儲砂空間的影響

(二)拆除不同的鋼管壩縱材位置對防砂壩儲砂空間的影響

四、探討不同的水流流量對拆壩後儲砂空間的影響

五、探討不同的礫石結構對拆壩後儲砂空間的影響

六、探討使用階段性調整鋼管壩對防砂壩儲砂空間的影響

三、文獻資料探討:

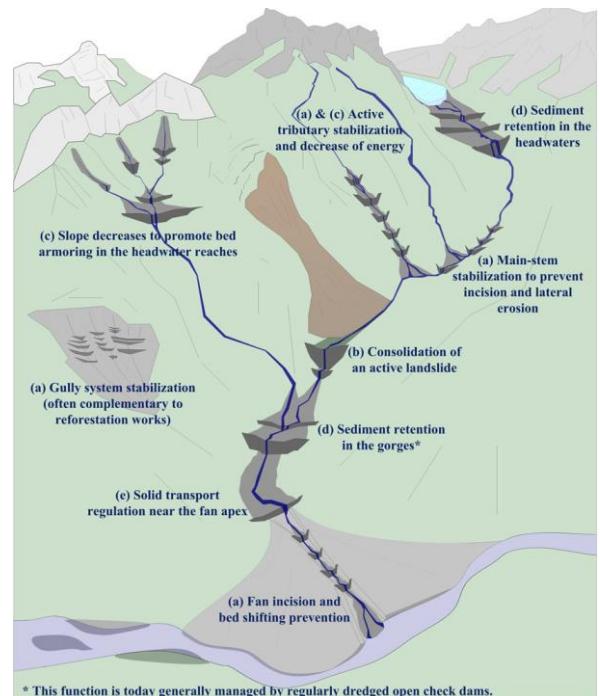
【防砂壩介紹】

根據陳樹群教授(2016)溪流特性將防砂壩分為三種類型，開口型、孔隙型及封閉型防砂壩；開口型為砂石容易通過，主要是攔阻漂流木及土石流；孔隙型為大部分砂石被攔阻，水流由孔隙滲出；封閉型：泥砂與水皆被攔阻在壩體上游，**台灣主要為開口型與封閉型。**

【防砂壩功能】

防砂壩的主要功能：(1)穩定河床：防止河床繼續刷深及橫向偏移；(2)邊坡穩定：防止鬆散之邊坡砂石進入河道；(3)減緩河床坡度：砂石淤積使坡度變緩，減少水流能量及砂石運輸能力；(4)蓄存泥砂：壩體上游可蓄積大量砂石；(5)調節泥砂：砂石暫時沉積以調節砂石輸送量。

圖(Piton et al, 2017)**(a)穩定河床、(b)邊坡穩定、(c)減緩坡度、(d)蓄存泥砂、(e)調節泥砂輸送**



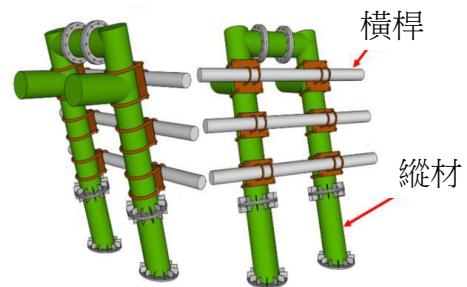
【調整型防砂壩】

◆概念◆

台灣早期主要以興建封閉式混擬土防砂壩減少溪流砂石對下游的危害，但隨著時間的演進，防砂壩上游逐漸淤滿，失去攔阻功能。並使下游河床產生淘刷，也降低河川輸砂功能。為了維持溪流砂石平衡及生態連續性，陳樹群教授（2019）提出調整型防砂壩之概念，在河道來砂量高峰期時，攔阻過多砂石、巨石及漂流木，避免下游受砂石之災害；河道進入來砂量消減期時，可以移除部分防砂壩的結構，使防砂壩上游砂石釋放到下游，保持上游的儲砂空間，減緩下游的沖蝕現象，故此防砂壩可以隨著環境之攔阻及輸砂需求變化而調整其功能。

◆原理◆

調整型鋼管壩一般為開口型並在開口處裝置鋼管或格柵設施等，主要在強調橫桿、縱材都必須相互獨立分別組裝及拆卸。透過經常性的反覆調整結構，管理溪流砂石。



可調式防砂壩(陳樹群等), (2016)

【歷屆防砂壩研究分析】

研究者針對歷屆防砂壩相關實驗研究，閱讀後整理部份重點如下：

1. 中華民國第 47 屆中小學科展作品---國小組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

本研究主要在探討通過性防砂壩與封閉性防砂壩的攔阻效益，發現通過性壩體的攔阻效益受到開口間距大小和當地土石流最大粒徑大小影響很大。

2. 中華民國第 51 屆中小學科展作品---國小組山河大地～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

本研究是針對「透過式防砂壩」的攔阻效益進行分析，藉由地形坡度、梳子壩體高度、間距寬度、柵面角度等條件，來探討防砂壩的攔阻效益。

★歷屆防砂壩研究方向主要關注防砂壩的攔阻效益，並無針對儲砂空間進一步分析★

貳、研究設備與器材：

◆模型製作：壓克力水槽(長 200cm×寬 100cm×高 30cm)、壓克力長形水槽(長 200cm×寬 30cm×高 20cm)、1HP 抽水馬達 2 個、水箱 2 個、珍珠板、長尺、美工刀、油土、剪刀、壓克力板、塑膠 PVC 水管、碼錶、止滑條、砂石、泡棉、雙面膠、竹筷子、砂紙、PVC 槍型切管刀、切割機。



◆觀察與測量：測距儀、攝影機、奇異筆、量角器、腳架、20 公斤電子秤。

參、研究過程與方法：

◎研究一：分析現階段土石流的防治工法

想法：希望透過訪談，了解土石流的防治方式以及進一步認識防砂壩，並透過專家的指導提供實驗後續模型製作基礎。

◆實驗(一)：設計問卷訪談專家老師

【訪談內容摘要】

Q1：請問專家，台灣目前的土石流防治方式有哪些呢？

A1：依照工程方法來分類的話，分為 1.防砂壩：將很多砂石擋在上游；2.疏導河道：將河道打寬，引導砂石下來直接穿到下游；3.加高提防：將土石流關在河川裡，其中，防砂壩是大家比較能接受的方式。

Q2：請問專家，防砂壩的概念不是要攔阻砂石，為什麼還要設計開口型防砂壩？

A2：台灣過往防砂壩設計概念大多以全封閉式設計，此型式前期攔阻效能高，後期卻會造成壩體上游泥沙淤積，坡度減緩，降低水流沖蝕及輸砂能力，導致水流蜿蜒兩側邊坡受沖刷；對生態來說，河川棲地也會受橫向構造物阻斷而造成縱向不連續的困境，生態棲地遭受破壞；**而現在的防砂壩觀念則崇尚 NbS(Nature-based Solutions，簡稱 NbS/以自然為本的解決方案)，強調人與自然共好的概念，除了攔阻外，更著重有彈性的調節砂石量，增加壩體的儲砂空間**，因為溪流的泥沙是變動的，而調整型防砂壩可以透過管理橫桿與縱材，因應不同時期的來砂量。

Q3：請問專家，開口型防砂壩當中，有一種近期稱為調整型防砂壩，它與傳統的壩體有什麼不同呢？

A3：調整型防砂壩一般均採用開口型在開口處裝置鋼管及格柵設施等主要在強調橫桿、縱材都必須相互獨立，分別組裝及拆卸。可以攔阻大礫石及漂流木，主動進行調節溪流的砂石；反觀，封閉型防砂壩主要為攔阻砂石，並無因應溪流變化而調節砂石量。

Q5：請問專家，我們以您提供的蘭島溪上游 2019 年 11 月組裝的調整型鋼管壩設計尺寸模型圖縮小比例尺，材質採最細 3 分 PVC 塑膠管設計調整型鋼構壩模型，有什麼建議嗎？

A5：你們帶來的 PVC 材質鋼構壩模型是參考蘭島溪調整型鋼管壩尺寸設計，以縮小比例尺的方式模擬，尺寸基本上沒有問題，另外，材質的部分能抵擋礫石的衝擊就可以，不用特別去探討，調整型鋼構壩最重要的元素縱材與橫桿也完成可拆式設計。

發現：1.因為台灣的土石流頻繁，在溪流中使用防砂壩成效不錯，但是主要都關注在攔阻效果，較少針對調節砂石量-輸砂能力進行科學研究，近期強調兼顧攔阻及輸砂效益，可適度的調節溪流砂石量，符合NbS(Nature-based Solutions, 簡稱NbS/以自然為本的解決方案)；所以，調整型鋼管壩的研究與推廣是值得深入探討的方向。



與專家討論模型的可行性

◆實驗(二)：文獻資料分析

【調整型鋼管壩尺寸】

根據專家老師所提供之設計圖，蘭島溪二號橋實體調整型鋼管壩尺寸約為寬2公尺、高7公尺；後續，我們就以設計圖尺寸作為製作調整型鋼管壩模型的依據。

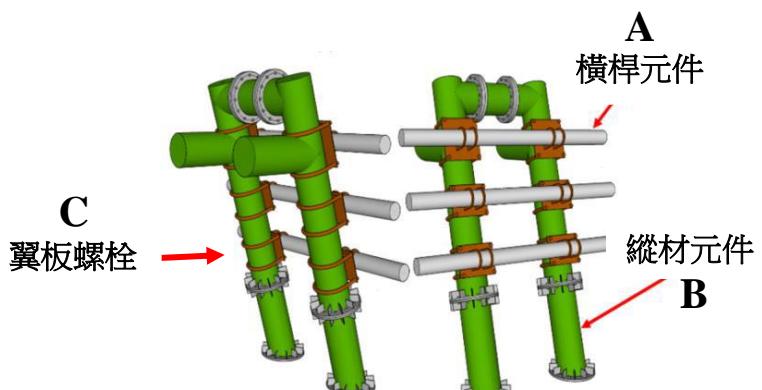
【調整型鋼管壩構造】

根據現勘惠蓀林場蘭島溪二號橋調整型鋼管壩的構造分析如下：

- A.橫桿元件：架設於鋼管壩柱體上，方向平行於水平面，架設數量會依據鋼管壩體高度而有不同，而且橫桿元件是可拆解的。
- B.縱材元件：為鋼管壩體本身，垂直於地面，縱材元件是可分段拆解。
- C.翼板螺栓：提供鋼管壩本體縱材之間的銜接處，視環境砂石量變化，可以由翼板螺栓處拆解縱材。



蘭島溪二號橋調整型鋼管壩探訪



可調式防砂壩.陳樹群等，(2016)

◎研究二：了解調整型鋼管壩的攔阻與儲砂空間能力

想法：由於調整型鋼管壩是近期農業部農村發展及水土保持署推廣的土石流防治工法，我們很好奇，調整型鋼管壩屬於開口型壩體，它的攔阻效能如何？更重要的輸砂效果又是如何？與其他壩體之間的差異是什麼呢？

◆研究限制◆

(一)調整型鋼管壩的模型以 PVC 管縮小比例尺 1/50 來進行實驗，鋼管壩材質不在本次的研究範圍內，研究內容以鋼管壩結構穩定不會被礫石破壞為原則進行實驗。

(二)本實驗是以計算礫石的重量來代表數據，倘若加入水與泥沙混合的土石流，會無法精確計算，故模擬土石流採用礫石而不加入泥沙進行實驗；所以，實驗不考慮現地泥砂之黏滯性，僅以木板夯實。

◆水槽模型說明◆我們與老師討論如何設計實驗情境，主要實驗設施如圖所示。

(一)實驗水槽A：長200cm、寬28cm、高30cm之水槽。水槽內分為3個區域，砂石預備區、砂石流動區、壩體實驗區。水流經過蜂巢式緩衝區讓水流穩定，往實驗區移動，水槽底面貼上0.1公分厚的止滑條，模擬土石流動與地面的摩擦力；河道坡度則參考土石流災害發生坡度範圍 (詹錢登，2000) ，選定坡度為15度。

(二)實驗水槽B：長200cm、寬100cm、高30cm之水槽。水槽內空間為砂石堆積區。

(三)馬達：兩顆功率各達1HP，並可利用控制閥轉換流量，以模擬不同水流的強度。

(四)流量計：銜接在馬達的出水口，可配合控制閥觀察不同流量數據。

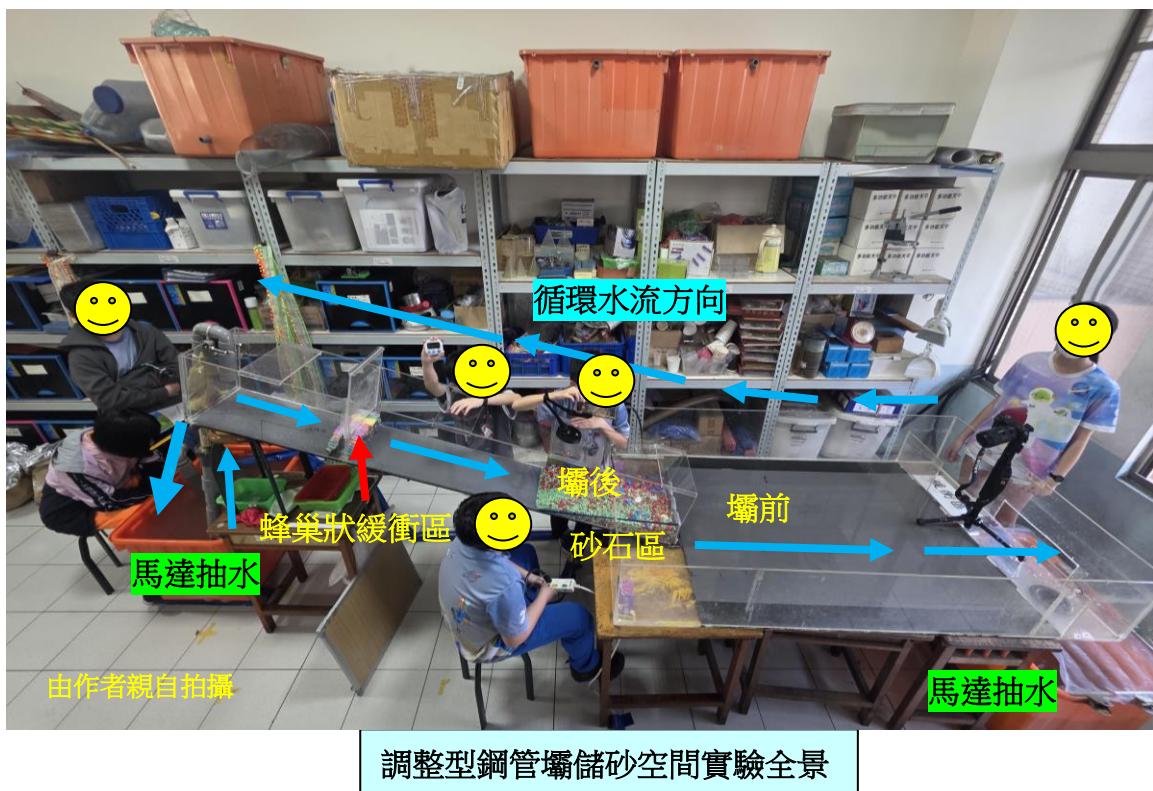
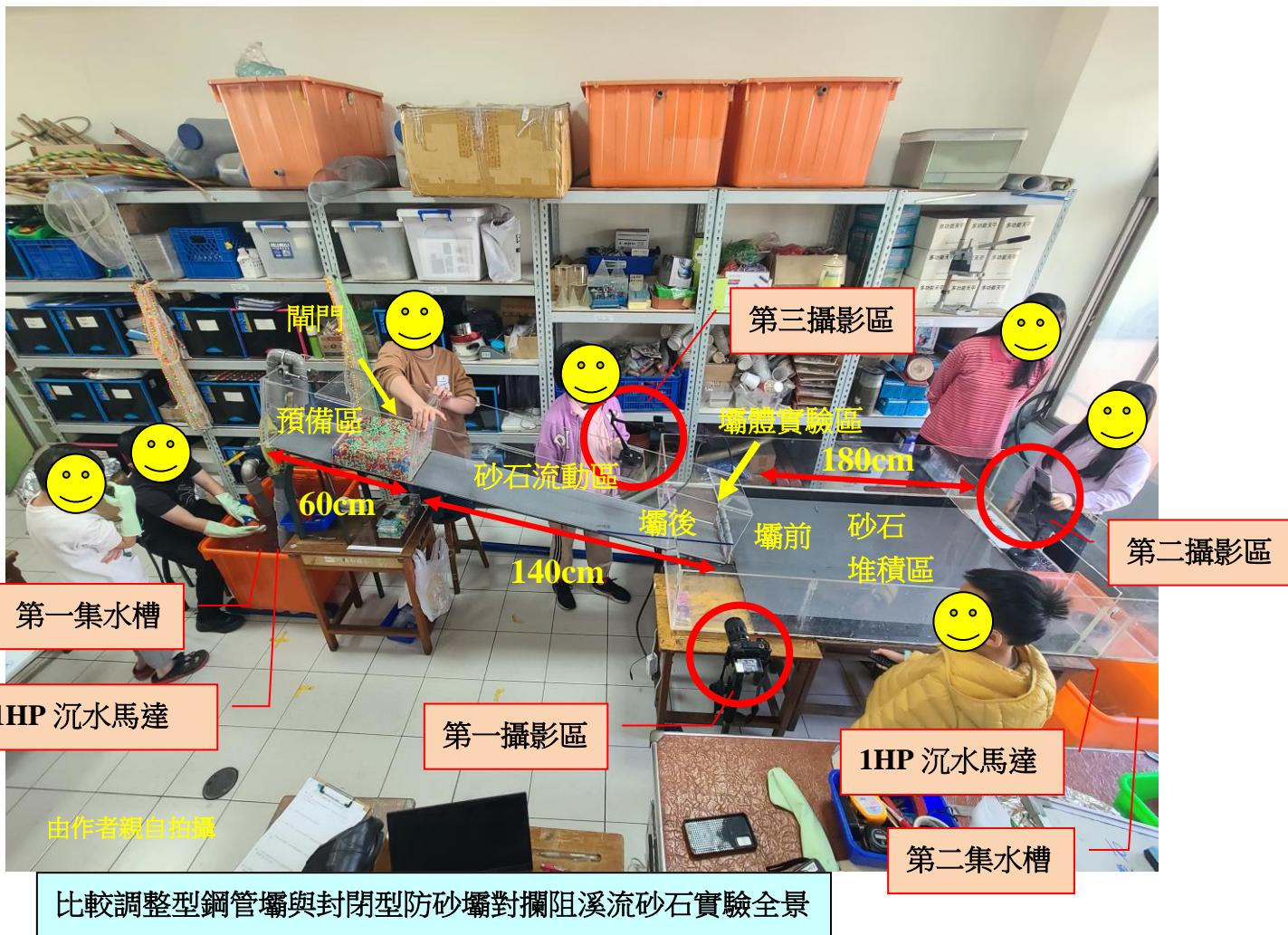
(五)砂石預備區：將模擬礫石流的砂石量共15kg放置在堆積區內，待水槽注入定量的水後，便會拉開防水閘門，讓模擬土石流順著斜坡往實驗區進行實驗。

(六)砂石流動區：流水帶著礫石往斜坡面下游實驗區移動。

(七)壩體實驗區：放置不同的防砂壩，並以水流定義方向，壩體實驗區前方為下游處稱為『壩前』，後方為上游處稱為『壩後』。

(八)抽水軟管：本實驗的用水循環系統，以軟管的結構形成一個循環系統，可以隨時收納，調整供水、排水，節省空間的利用。但為確保軟管的擺設路徑不會去影響到水流，所以在地面黏上標記，讓軟管擺設在相同位置上。

(九)蜂巢狀緩衝區：剪裁長12公分、寬1.5cm的透明粗吸管，彼此交疊在一起放置溪流中，當水流遇到蜂巢狀緩衝區，會優先進行分流，以達穩定水流的目的。



◆實驗條件規劃◆

(一)壩體模型：根據專家的現勘資料與工程圖，**將調整型鋼管壩高7m、寬2m，以縮小比例尺為1/50來製作調整型鋼管壩縮小模型並且設計可拆式橫桿與縱材進行實驗。**

(二)試驗出水量穩定：先將排水閘門關閉，利用馬達的操作閥固定轉速(流量計顯示87.5L/min)，待30秒出水後關閉電源，記錄排水高度，連續測量10次後，18.5cm佔80%，19cm佔20%，馬達轉速穩定。

項次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
水高(公分)	18.5	19	18.5	18.5	18.5	19	18.5	18.5	18.5	18.5	18.6

(三)模擬水流：啟動1HP沉水馬達，透過控制閥及流量計設定穩定的出水量，模擬自然溪流狀況，根據水利署流量觀測資料，一般河川中下游表面流速為0.8~1.2m/s，固定水量為87.5L/min，87.5(量)*0.01326(截面積係數)=1.16m/s(流速)，我們以此流量作為實驗依據，流水經由砂石預備區進入砂石流動區，最終抵達壩體實驗區。

(四)儲砂空間率：當水流沖刷後，上游的砂石移動到壩前區稱為輸砂量，也是壩後區輸砂後的儲砂空間量。

★儲砂空間率=儲砂空間量 / 壩後區可攔阻的全部砂石量。

(五)攔阻率：當預備區砂石被水流帶動停在『壩後區』的砂石量稱為攔阻量。

★攔阻率=攔阻量 / 壩後區可攔阻的全部砂石量。

(六)進水時間：當水流溢入水槽時開始計時，待6分鐘後關閉電源，則進水停止。

(七)儲砂空間能力：針對調整型鋼管壩的儲砂空間能力，我們觀察的指標為

★壩前區：不同礫石輸砂量、礫石輸砂總重量

★壩後區：儲砂空間率、攔阻率、最大沖刷深度、最大沖刷寬度



測距儀測量沖刷深度

測量最大沖刷寬度

計算各礫石輸砂數據並記錄重量

◆實驗模型製作◆

【實驗礫石選擇】

我們參考水土保持局(2017)以蘭島溪梳子壩上游之砂石粒徑為基礎，將砂石縮小成1/50並簡單分為四種不同粒徑的均勻礫石，再與專家教授討論溪流中礫石的配比；最後，擬定砂石粒徑與重量百分比規劃如下，為了實驗中方便計算，**我們分別將不同粒徑噴上白色、藍色、綠色、紅色**。所有實驗，總重量皆為**15公斤**。每次實驗擺放的礫石都在堆積線上，盡量讓體積維持在高**11公分**、長**30公分**之形狀避免擺放高度不一。

另外，實驗中為了更準確計算礫石重量，故不加入泥沙進行討論。

模擬物 項目	小礫石 <特白石>	細礫石 <特白石>	粗礫 <鵝卵石>	巨礫 <鵝卵石>
平均粒徑(cm)	0.6	1	1.5	2
重量百分比(%)	50	35	10	5
顏色(代號)	綠色(G)	紅色(R)	藍色(B)	白色(W)



清洗

噴漆

礫石配比

礫石放置預備區

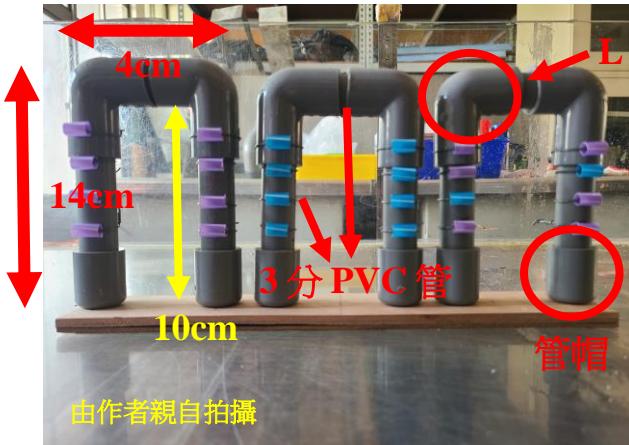
【實驗漂流木尺寸】

我們使用漂流木模擬在河道中經長時間漂移，僅剩樹幹的主體，本研究以鋼管壩開口距離4公分為漂流木長度。漂流木數量則根據2010日本漂流木對策及處理實務文獻中提及，**土石流事件中漂流木體積為土石流砂石量的0.02倍**。所以，將土砂總重**15000公克x0.02(漂流木總體積) / 0.785 cm³**(單根竹筷子體積)共**382根**漂流木。

【調整型鋼管壩】

尺寸：根據專家提供設計圖的資料，蘭島溪二號橋上游鋼管壩尺寸寬度為2m、高度為7m，我們以**縮小比例尺1/50=0.01**採模擬立面的方式，計算鋼管壩模型如下：

鋼管壩原尺寸	寬	高
	200cm	700cm
縮小比例尺 $1/50=0.01$	4cm	14cm



◎◎大學◎◎學系◎◎工程研究室提供

◆縱材元件設計：我們到五金行百貨尋找可以製作鋼管壩的材料，能夠符合第一、高硬度能承受土石流的衝擊、第二、不容易生鏽，第三、能組裝與拆解，於是我們找到最細的3分PVC管為支柱，再搭配PVC管的配件，L型彎頭、雙邊接頭、管帽...等；量好尺寸裁切後組裝成鋼管壩的模型，需要時可以拆除部分縱材元件。

◆橫桿元件設計：我們以鐵絲固定吸管代替卡榫，讓鋁棒水平插入鋼管壩模型上，需要拆除橫桿元件只要抽出即可，由於是縮小模型，為了讓橫桿間距更明顯，我們將現地的六根橫桿調整為四根橫桿以總長度10cm規劃，橫桿間距專家建議訂為1.5cm，符合我們礫石配比的平均粒徑 d_{75} 平均粒徑=0.8cm， $b(\text{間距})/d_{75}(\text{平均粒徑}) < 1.5 \sim 2$ ，扣除每根橫桿本身的寬度 0.4cm，下方橫材與基座間距為 2.4cm，可以提供足夠的空間讓砂石流動。



測量

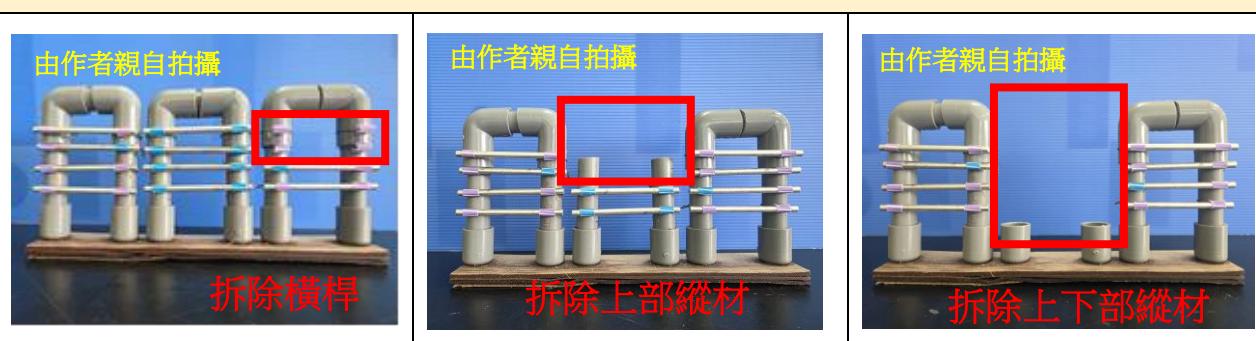
裁切

組裝

塑型

固定

調整型鋼管壩可拆模式



◆實驗(一)：比較有無防砂壩對攔阻溪流砂石的影響

想法：根據訪談資料，我們想了解當土石流來臨時，有防砂壩的攔阻效能是如何呢？

- 方法：1. 將礫石配比巨礫、粗礫、細礫石、小礫石共 15 公斤(5% 10% 35% 50%)放入水槽內砂石準備區，依照堆積線的位置進行夯實整平作業。
 2. 將調整型鋼管壩模型放置實驗區，並架設第一、二、三攝影區紀錄攔阻的過程。
 3. 啟動電源，將馬達抽水至砂石準備區內的水位線準備進行實驗。
 4. 打開閘門讓土石流往砂石流動區移動至實驗區，待砂石靜止時，開始進行測量。
 5. 重複上述 1~4 的實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換沒有防砂壩進行實驗。



對照組



實驗組



由作者親自拍攝
實驗組-壩後攔阻全景



由作者親自拍攝
實驗組-壩前輸砂全景

結果：

▲攔阻效能表 (由作者親自繪製)

項次	組別	對照組(無防砂壩)					實驗組(調整型鋼管壩)				
		巨(W)	粗(B)	細(R)	小(G)	合計	巨(W)	粗(B)	細(R)	小(G)	合計
輸砂量(kg)	0.68	1.25	4.86	7.33	14.12	0.1	0.52	2.29	3.11	6.02	
攔阻量(kg)	0.07	0.25	0.39	0.17	0.88	0.65	0.98	2.96	4.39	8.98	
攔阻率(%)				5.9%					59.9%		勝

★攔阻率(%)：攔阻量 / 壩後區可攔阻的全部砂石量(15kg)

發現：1. 根據攔阻量的比較，實驗組攔阻總量_8.98kg > 對照組攔阻總量_0.88kg，表示

溪流使用調整型鋼管壩比無防砂壩更能攔阻砂石。

2. 由攔阻量換算，實驗組總攔阻率_59.9% > 對照組總攔阻率_5.9%，表示使用調整型鋼管壩可以攔阻砂石達到六成；相反的，未使用防砂壩，攔阻效能低落。

推論：1. 根據實驗結果，使用防砂壩的確具有攔阻砂石的效果，而且調整型防砂壩可以攔阻，減緩土石流的災害。

◆實驗(二)：土石流來臨時，調整型鋼管壩與其他形式壩體對攔阻溪流砂石的影響

想法：我們好奇不同類型的防砂壩其攔阻效能的差異性如何？於是，我們參考文獻取台灣較常見的開口型與封閉型壩體進行比較。

方法：
1.重複研究二實驗(一)的步驟 1~4。

2.重複上述的實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他形式壩體進行實驗。

結果：

■攔阻效能表

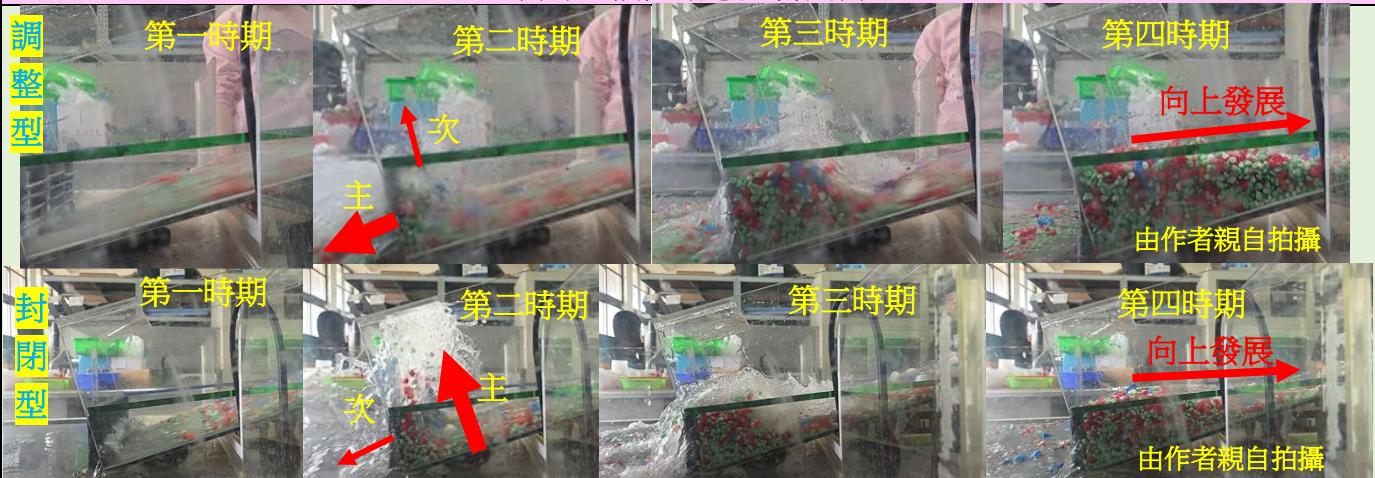
(由作者親自繪製)

項次	對照組(封閉型防砂壩)					實驗組(調整型鋼管壩)				
	巨(W)	粗(B)	細(R)	小(G)	合計	巨(W)	粗(B)	細(R)	小(G)	合計
輸砂量(kg)	0	0.12	0.32	0.43	0.87	0.1	0.52	2.29	3.11	6.02
攔阻量(kg)	0.75	1.38	4.93	7.07	14.13	0.65	0.98	2.96	4.39	8.98
輸砂率(%)	0%	8%	6%	5.7%		13.3%	34.6%	43.6%	41.4%	
攔阻率(%)	94.2% / 勝				59.9%					

★攔阻率(%)：攔阻量 / 壓後區可攔阻的全部砂石量(15kg)

★輸砂率(%)：單一輸砂量 / 單一砂石總量

★礫石攔阻動態分析圖★



第一時期：土石流跑動細礫、小礫石在前端，巨礫、粗礫石在後端。

第二時期：礫石受壩體攔阻並開始形成堆積，鋼管壩水流主要向前發展，部分向上，封閉式則以水流向上發展為主，帶動礫石產生越壩行為。

第三時期：壩體受礫石卡合後，後方礫石向上游發展堆積，待堆積至一定高度進入第四時期。

發現：1.根據攔阻量與攔阻率的結果，實驗組_調整型鋼管壩 < 對照組_封閉型防砂壩，表示封閉型防砂壩比調整型鋼管壩攔阻砂石的量更多，攔阻效能更高。

2.若由各別輸砂率分析，封閉型防砂壩輸砂率極低，不管砂石大小皆能全面攔阻，但是調整型鋼管壩細礫、小礫石輸砂率較高，粗礫偏少，巨礫更少，表示壩體能讓較小顆粒持續通過，越大顆粒攔阻效果越好。

推論：1.由實驗結果觀察，當土石流來臨時，封閉型防砂壩因為沒有縫隙，不管任何大小的砂石都能攔阻，所以攔阻率的表現更優於調整型鋼管壩；而調整型鋼管壩因為有橫桿間隙，可以選擇性輸砂，讓小礫石通過，攔阻較大的礫石。

◆實驗(三)：壩體淤滿時，調整型鋼管壩與其他形式壩體的儲砂空間比較

想法：自然界的砂石是持續變動的，維持河道上下游砂石量的均衡性是現今防砂壩另外一個重要的目標；於是，我們思考防砂壩在壩後淤滿砂石的情況，當水流來臨，上游淤滿的砂石會如何呢？且儲砂空間的表現呢？

方法：1.將調整型鋼管壩(拆除橫桿 B₁B₂)放置實驗區，並架設第一、二、三攝影區紀錄輸砂以及上游沖刷的過程。

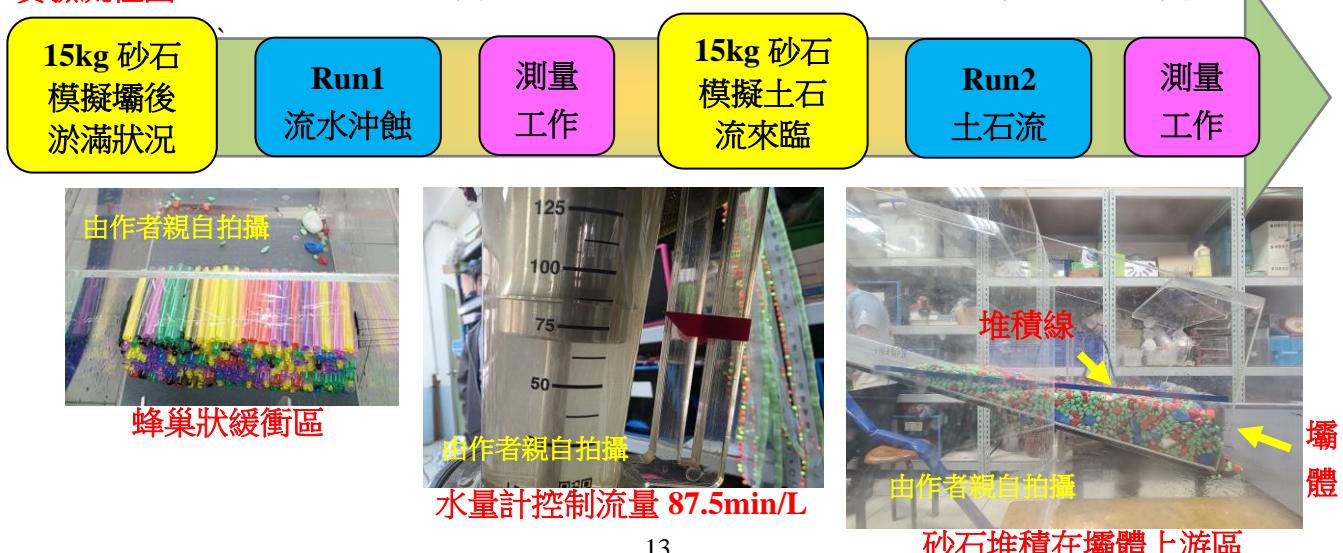
2.將礫石配比巨礫、粗礫、細礫石、小礫石共 15 公斤(5% 10% 35% 50%)放入水槽內壩體實驗區模擬壩後淤滿，依照堆積線進行木板夯實並測量水平作業。

3.調整馬達控制閥設定流量值為 87.5 L/min，啟動電源，水流經過蜂巢狀緩衝區穩流後，往壩後砂石區移動開始進行輸砂，計時 6 分鐘後關閉電源。

4.開始進行壩前礫石重量計算與壩後儲砂空間的測量工作。

5.恢復橫桿 B₁B₂，接續土石流發生，將礫石配比共 15 公斤(5% 10% 35% 50%)再放入水槽砂石準備區，依照堆積線的位置進行夯實整平，最後，打開閘門觀察土石流的移動，待砂石靜止時，開始進行第二次測量。

實驗流程圖 6.重複上述 1~5 的實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他壩體進行實驗。



結果：

儲砂空間比較表			(由作者親自繪製)									
組別 項次	封閉型防砂壩			調整型鋼管壩 (未拆除橫桿元件)			調整型鋼管壩 (拆除橫桿 B ₁ B ₂)					
Run1 流水沖蝕壩後淤滿狀況												
輸砂量(kg)	巨	粗	合計	巨	粗	合計	巨	粗	合計			
	0	0	0.39	0	0.08	0.95	0.05	0.12	2.8			
	細	小		細	小		細	小				
	0.16	0.23		0.36	0.51		1.12	1.51				
攔阻率(%)	97.4%			93.7%			81.4%					
儲砂空間率(%)	2.6%			6.3%			18.6% / 勝					
組別 項次	封閉型防砂壩			調整型鋼管壩 (未拆除橫桿元件)			調整型鋼管壩 (恢復橫桿 B ₁ B ₂)					
Run2 土石流狀況												
輸砂量(kg)	巨	粗	合計	巨	粗	合計	巨	粗	合計			
	0.26	0.68	4.25	0	0.225	3.75	0.00	0.16	1.19			
	細	小		細	小		細	小				
	1.6	1.71		2.32	1.2		0.54	0.49				
再攔阻率(%)	85.6%			87.1%			95.6% / 勝					
攔阻率變化(%)	減少 11.8% ↓			減少 6.6% ↓			增加 14.2% ↑					

★儲砂空間率(%)：儲砂空間量(輸砂量) / 壩後區可攔阻的全部砂石量(15kg)

★再攔阻率(%)：攔阻量 / 壩後區可攔阻的全部砂石量(壩後砂石+土石流 15kg)

發現：1. 比較 Run1 流水沖蝕後輸砂量與儲砂空間率，調整型鋼管壩(拆除橫桿 B₁B₂) > 調整型鋼管壩(未拆除) > 封閉型防砂壩，表示拆除橫桿 B₁B₂，能增加壩前的輸砂量讓壩後儲砂空間率提升 12.3%；反觀，封閉型防砂壩在攔阻砂石後，壩前的輸砂量為 0.39kg，形成壩後儲砂空間率僅有 2.6%。

2. 分析 Run2 土石流來臨後，壩體的攔阻率變化，調整型鋼管壩恢復橫桿增加攔阻 14.2%，調整型鋼管壩都未拆除減少攔阻 6.6%，封閉型防砂壩減少攔阻 11.8%。

推論：1. 從 Run1 實驗結果觀察，調整型鋼管壩本身有橫桿間隙，能進行選擇性輸砂，形成壩後儲砂空間率是封閉型防砂壩的 2.4 倍，若拆除上部橫桿可以擴大間隙，形成儲砂空間率是封閉型防砂壩的 7.2 倍，表示拆除橫桿能夠自然清淤並且增加壩體的儲砂空間。

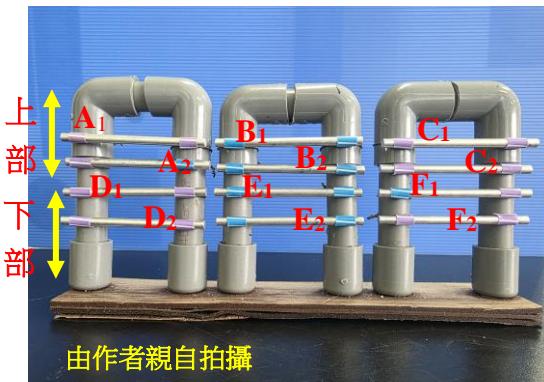
2. 從 Run2 實驗結果觀察，具有儲砂空間率越高的調整型鋼管壩，在土石流來臨時，恢復橫桿元件，能提升壩體的再攔阻能力；反之，封閉型防砂壩沒有增加太多的儲砂空間，所以導致下一次土石流來臨時，再攔阻率的表現是下降的。

3. 反覆性調整鋼管壩能增加壩後儲砂空間，並提高壩體的再攔阻率。

◎研究三：探討拆除調整型鋼管壩模組對防砂壩儲砂空間的影響

想法：從研究二當中，我們發現土石流來臨時，調整型鋼管壩具有攔砂以及部分的自然輸砂功能，而當壩後淤滿砂石經過拆除部分橫桿能增加壩後儲砂空間的效能，提升壩體的再攔阻能力，於是我們思考，如果拆除不同的元件，會如何影響鋼管壩的儲砂空間，後續我們討論幾種拆除的方式進行實驗。

◆實驗(一)：拆除不同的鋼管壩橫桿位置對防砂壩儲砂空間的影響

拆除模式說明	(由作者親自繪製)
 由作者親自拍攝	<p>■單一位置▲</p> <ul style="list-style-type: none"> ★拆除上部：中央(B₁ B₂)、側邊(C₁、C₂) ★拆除下部：中央(E₁ E₂) <p>■複合式位置▲</p> <ul style="list-style-type: none"> ★加深：(B₁ B₂ E₁ E₂) ★加寬：(A₁ A₂ B₁ B₂)、(B₁ B₂ C₁ C₂) (A₁ A₂ B₁ B₂ C₁ C₂)、(D₁ D₂ E₁ E₂ F₁ F₂) ★加深加寬：(A₁ A₂ B₁ B₂ C₁ C₂ E₁ E₂)

★子實驗 a：拆除橫桿元件單一位置對防砂壩儲砂空間的影響

方法：1. 將調整型鋼管壩橫桿元件依據不同單一位置的拆除模式，分別放置實驗區，並架攝影機紀錄。
2. 重複研究二實驗(三)的方法 2~4。
3. 依據實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他拆除方式進行實驗。

導引水流觀察▼

為了方便觀察壩後導引水流，我們在計時 1 分鐘後，每隔 5 秒鐘丟下 1 顆浮球，利用錄影方式記錄浮球的位置變化。



中央沖蝕溝

沖蝕邊坡

結果：

儲砂空間比較表			(由作者親自繪製)												
項次	組別			拆除上部橫桿						拆除下部橫桿					
				中央 B ₁ B ₂ (I)			側邊 C ₁ C ₂ (II)			中央 E ₁ E ₂ (III)					
輸砂量(kg)	巨	粗	合計	巨	粗	合計	巨	粗	合計	0.35					
	0.05	0.12	2.8	0.02	0.06	2.22	0	0	0.18						
	細	小		細	小		細	小							
	1.12	1.51		0.94	1.2		0.17	0.18							
儲砂空間率(%)	18.6% 			14.8%						2.3%					
壩後沖刷型態(cm)	位置	最大寬度	最大深度	位置	最大寬度	最大深度	位置	最大寬度	最大深度	無	0	0			
	B	6.2	3.5	C	5.4	3.3									

發現：1.根據儲砂空間率的比較，拆除(I) > 拆除(II) > 拆除(III)，而且我們觀察到拆除上部橫桿比拆除下部位置，更能提升壩後的儲砂空間率，因為拆除上部橫桿會出現導引水流讓礫石通過壩體，形成壩後小型沖蝕溝，提高儲砂空間率，而拆除下部橫桿，因上方大礫石彼此交疊卡合無法通過橫桿，巨礫與粗礫輸砂率為0，導致只有下方小礫石被水流帶出，也不會出現特定的導引水流沖刷。

2.觀察壩後的沖刷型態，拆除上部橫桿(中央、側邊)皆會出現小型沖蝕溝，但拆除不同的上部橫桿位置，會形成不同方向的導引水流，進而影響沖蝕溝在壩後生成的位置；反之，若是拆除下部橫桿，則沒有出現沖蝕溝的現象。

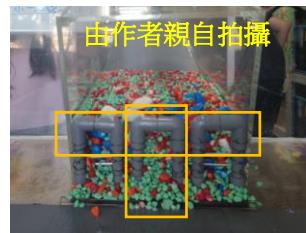
推論：1.建議拆除單一位置要在上部中央橫桿，可以形成穩定的中央導引水流並且發展出沖蝕溝，避免水流往邊坡沖蝕的危險。

★子實驗 b：拆除橫桿元件複合式位置對防砂壩儲砂空間的影響

方法：1.將調整型鋼管壩橫桿元件依據不同複合式位置拆除，分別放置實驗區，並架設第一、二、三攝影區紀錄。

2.重複研究二實驗(三)的方法 2~4。

3.依據實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他拆除方式進行實驗。



結果：

► 儲砂空間比較表 ►

(由作者親自繪製)

組別 項次	拆除加深			拆除加寬					
	B ₁ B ₂ E ₁ E ₂ (I)			A ₁ A ₂ B ₁ B ₂ (II)			B ₁ B ₂ C ₁ C ₂ (III)		
輸砂量(kg)	巨	粗	合計	巨	粗	合計	巨	粗	合計
	0.07	0.15	4.64	0.02	0.1	2.92	0.03	0.09	3.14
	細	小		細	小		細	小	
	2.1	2.32		1.28	1.52		1.38	1.64	
儲砂空間率(%)	30.9% 			19.5%			20.9%		
壩後沖刷型態(cm)	位置	最大寬度	最大深度	位置	最大寬度	最大深度	位置	最大寬度	最大深度
	B	17.2	8.8	A	4.2	3.3	B	5.1	4
				B	4.1	2.8	C	4.4	3.5

組別 項次	拆除加寬						拆除加深加寬		
	A ₁ A ₂ B ₁ B ₂ C ₁ C ₂ (IV)			D ₁ D ₂ E ₁ E ₂ F ₁ F ₂ (V)			A ₁ A ₂ B ₁ B ₂ C ₁ C ₂ E ₁ E ₂ (VI)		
輸砂量(kg)	巨	粗	合計	巨	粗	合計	巨	粗	合計
	0.02	0.19	3.5	0	0.05	1.81	0.02	0.21	5.77
	細	小		細	小		細	小	
	1.4	1.89		0.66	1.1		2.37	3.17	
總輸砂率(%)	23.3%			12.1%			38.5% 		
壩後沖刷型態(cm)	位置	最大寬度	最大深度	位置	最大寬度	最大深度	位置	最大寬度	最大深度
	A	4.2	3.3	無			A	4.2	2.8
	B	4.1	2.8				B	13.4	7.1
	C	4.8	3.6				C	4.8	3.2

發現：1.根據儲砂空間率的比較，拆除(VI)>拆除(I)>拆除(IV)>拆除(III)>拆除(II)>拆除(V)，我們觀察到拆除加深模式、加深加寬模式，能最有效提升壩後儲砂空間達到 38.5%；若拆除加寬模式，隨著拆除寬度增加，儲砂空間率最高只達到 23.3%，而拆除全部下部橫桿，儲砂空間率僅只有 12.1%，原因為加大的橫向間隙，並未能讓原本下層卡合的巨礫、粗礫有較多可以移動的機會。

2.觀察壩後的沖刷型態，拆除加深模式(I)會加強沖刷的深度與寬度，深度 8.8cm、寬度 17.2cm；原因為加大縱向間隙會出現更明顯的導引水流，讓底部的巨礫、粗礫容易移動，造成上層的砂石迅速往下遞補缺口，進而發生礫石移動的連鎖效應，形成大型沖蝕溝在河床中央，具有穩定水流避免邊坡發生沖蝕的功能。拆除加寬模式，水流容易擺盪，壩後無主要沖蝕溝出現；若拆除加深加寬模式，雖然出現主要中央沖蝕溝，但因為拆除面積也同步横向加大，導引水流分散出現多個沖蝕溝，容易造成邊坡被侵蝕。

- 推論：**
- 1.建議拆除橫桿複合式位置要採加深模式，可以獲得最高的儲砂空間表現，而且形成穩定的中央導引水流，發展大型沖蝕溝，避免邊坡被沖刷的危險。
 - 2.不建議調整型鋼管壩採加寬模式，因為儲砂空間率增加有限，並且沒有發展主要沖蝕溝；加深加寬模式雖然有主要沖蝕溝但容易造成邊坡被沖刷的危險。

◆實驗(二)：拆除不同的鋼管壩縱材位置對防砂壩儲砂空間的影響

拆除模式說明 (由作者親自繪製)	
<p>由作者親自拍攝</p>	<ul style="list-style-type: none"> ■單一位置 <ul style="list-style-type: none"> ★拆除上部：A(側邊)、B(中央) ■複合式位置 <ul style="list-style-type: none"> ★加深：(B E) ★加寬：(AB)、(BC)、(ABC) ★加深加寬：(ABC E)

★子實驗 a：拆除縱材元件**單一位置**對防砂壩儲砂空間的影響

- 方法：**
1. 將調整型鋼管壩縱材元件依據不同單一位置的拆除模式，分別放置實驗區，並架設第一、二、三攝影區紀錄。
 2. 重複研究二實驗(三)的方法 2~4。
 3. 依據實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他拆除方式進行實驗。



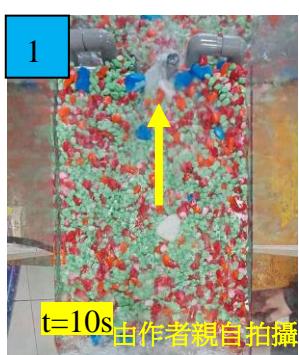
拆除縱材(B)



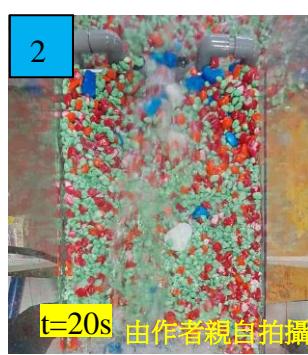
沖刷最大深度與寬度



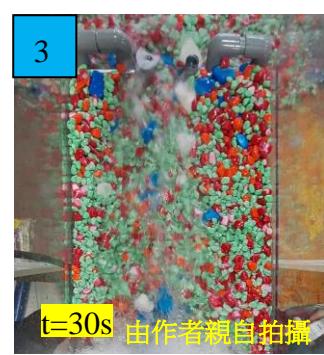
壩後中央沖蝕溝



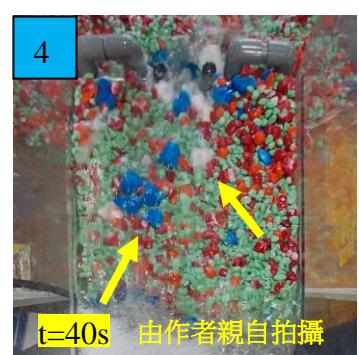
水流流動開始輸砂



壩後導引水流出現



產生明顯沖蝕溝



巨礫、粗礫往壩口處移動

★水流沖刷動態圖★

結果：

► 儲砂空間比較表 ►

(由作者親自繪製)

項次	組別	拆除中央 B(I)					拆除側邊 A(II)				
		巨	粗	細	小	合計	巨	粗	細	小	合計
輸砂量(kg)		0.04	0.22	2.07	2.77	5.1	0.02	0.14	1.52	2.59	4.27
輸砂率(%)		5.3%	14.7%	39.4%	36.9%		2.6%	9.3%	28.9%	34.5%	
儲砂空間率(%)		34% 					28.5%				
壩後沖刷型態(cm)	位置	<u>最大寬度</u>		<u>最大深度</u>			位置	<u>最大寬度</u>		<u>最大深度</u>	
	B	9.3		4.6			A	8.1		4.3	

發現：1.根據儲砂空間率的比較，拆除中央>拆除側邊，表示調整上部中央縱材會有較好的儲砂空間率表現。

2.觀察壩後的沖刷型態，拆除上部中央縱材會形成穩定的中央導引水流帶動礫石通過，形成大型沖蝕溝(深度 4.6cm 寬度 9.3cm)，避免邊坡被沖刷。

推論：1.建議拆除縱材單一位置要採上部中央縱材，可以獲得最高的儲砂空間表現，而且形成穩定的中央導引水流，發展大型沖蝕溝，避免水流往邊坡沖蝕的危險。

2.拆除側邊調整型鋼管壩模式，壩後水流容易擺盪無主要沖蝕溝，造成邊坡被沖刷。

3.拆除縱材>拆除橫桿的儲砂空間率，而且形成較深、較寬的中央沖蝕溝。

★子實驗 b：拆除縱材元件複合式位置對防砂壩儲砂空間的影響

方法：1.將調整型鋼管壩縱材元件依據不同的複合式位置，分別放置實驗區，並架設第一、二、三攝影區紀錄。

2.重複研究二實驗(三)的方法 2~4。

3.依據實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他拆除方式進行實驗。



拆除縱材(BE)



拆除縱材(BC)



壩後水流侵蝕邊坡

結果：

► 儲砂空間比較表

(由作者親自繪製)

項次	組別	拆除加深		拆除加寬				拆除加深加寬	
		B E (I)	A B (II)	B C (III)	A B C (IV)	A B C E (V)			
輸砂量(kg)	巨	粗	巨	粗	巨	粗	巨	粗	巨
	0.14	0.65	0.06	0.32	0.05	0.4	0.08	0.42	0.17
	細	小	細	小	細	小	細	小	細
	3.13	4.9	2.73	3.48	2.68	3.89	2.94	4.12	4.01
	合計 8.82		合計 6.59		合計 7.02		合計 7.56		合計 10.23
儲砂空間率(%)	58.8%	43.9%		46.8%		50.4%		68.2%	
壩後沖刷型態 (cm)	沖刷位置 B	沖刷位置 A B	沖刷位置 B C	沖刷位置 B C	沖刷位置 B	C	沖刷位置 B	C	沖刷位置 B
	最大寬度 21.5	最大寬度 8 6.2	最大寬度 9 5.3	最大寬度 12.5 8	最大寬度 23.8				
	最大深度 8.4	最大深度 6.3 5.4	最大深度 7.6 4.2	最大深度 7.2 6.3	最大深度 10.1				

發現：1.根據儲砂空間率的比較，拆除(V) > 拆除(I) > 拆除(IV) > 拆除(III) > 拆除

(II)，我們觀察到拆除加深或是加深加寬模式會有最高的儲砂空間表現，因為加大的縱向間隙，會迅速出現穩定的導引水流，讓底部的巨礫、粗礫容易往壩前移動；反之，拆除加寬模式，隨著拆除寬度增加，儲砂空間率只到 50.4%，原因為加大的橫向間隙，僅讓上層砂石移動，而原本下層卡合的巨礫、粗礫沒有移動的機會，所以儲砂空間增加有限。

2.觀察壩後的沖刷型態，拆除加深或加深加寬模式會穩定導引水流，加強沖刷深度以及寬度，不會讓水流擺盪沖蝕邊坡；當拆除加寬模式，壩後無明顯主要沖蝕溝產生，造成水流擺盪，沖蝕兩岸邊坡。

推論：1.建議拆除縱材複合式位置要採加深或是加深加寬模式，可以獲得較高的儲砂空間表現，而且形成穩定的中央導引水流，發展大型沖蝕溝，避免水流往邊坡沖蝕的危險。

2.不建議調整型鋼管壩採加寬模式，因為儲砂空間率增加有限，而且容易造成水流中心擺盪形成多個沖蝕溝，造成邊坡被沖刷的危機。

3.綜合研究三結果，拆除元件的原則；第一、單一位置不管拆除橫桿或是縱材要以中央結構為依據。第二、拆除複合式位置以加深或是加深加寬模式為主。第三、拆除位置最好不要在下方橫桿，因為儲砂空間表現非常不佳，或是拆除加寬模式、兩側橫桿與縱材，容易造成壩後水流擺盪，沖刷邊坡的危險。

◎研究四：探討不同的水流流量對拆壩後儲砂空間的影響

想法：延續調整型鋼管壩拆除壩體的儲砂空間研究後，我們好奇當不同季節時，溪流的水流量並不會相同，有差異性的水流量對拆壩後儲砂空間的影響為何呢？

方法：1. 將調整型鋼管壩橫桿元件拆除單一位置(中央橫桿 B₁B₂)放置實驗區，並架設第一、二、三攝影區紀錄。

2. 改變馬達控制閥設定流量值分別為 112.5 L/min、100 L/min、87.5 L/min、75 L/min、62.5 L/min 進行實驗。

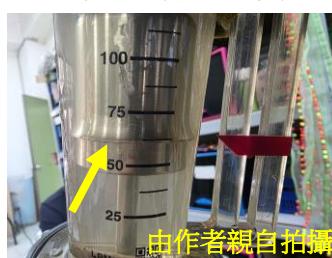
3. 重複研究二實驗(三)的方法 2~4。

4. 依據實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他水流流量進行實驗。

5. 將調整型鋼管壩不拆除元件放置實驗區，進行上述實驗並收集數據。



水流量值 100 L/min



水流量值 62.5 L/min



不拆除橫桿，
水流擺盪帶動浮
球堆積在壩口

結果：

(由作者親自繪製)

輸砂效能表

項次	組別	流量 112.5L/min 流速 1.49m/s	流量 100 L/min 流速 1.33m/s	流量 87.5 L/min 流速 1.16m/s	流量 75 L/min 流速 0.99m/s	流量 62.5 L/min 流速 0.82m/s
拆除上部橫桿	輸砂量(kg)	6.09	5.26	2.8	1.22	0.41
	儲砂空間率 (%)	40.6% 水流集中	35.1% 水流集中	18.6%	8.1%	2.7%
	壩後沖刷型態 (cm)	冲刷位置 B 最大寬度 22.5 最大深度 5	冲刷位置 B 最大寬度 16.7 最大深度 4.2	冲刷位置 B 最大寬度 6.2 最大深度 3.5	冲刷位置 B C 最大寬度 5.4 4.8 最大深度 1.7 1.3	冲刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0
不拆除橫桿	輸砂量(kg)	2.92	2.44	1.21	0.29	0.04
	儲砂空間率 (%)	19.5% ↓ 水流擺盪	16.3% ↓	8.1% ↓	1.9% ↓	0.27% ↓
	壩後沖刷型態 (cm)	冲刷位置 A C 最大寬度 4.2 6.4 最大深度 2.1 4.2	冲刷位置 B C 最大寬度 4.3 7 最大深度 2.1 2	冲刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0	冲刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0	冲刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0

★水流擺盪，無主要的中央沖蝕溝出現，容易造成邊坡被侵蝕的危險★

- 發現：**1.拆除橫桿，儲砂空間率的比較，水流量(112.5 L/min) > 水流量(100 L/min) > 水流量(87.5 L/min) > 水流量(75 L/min) > 水流量(62.5 L/min)，我們發現水流量變大，更有利於提升壩後的儲砂空間率；當水流量減少時，壩後的儲砂空間率也呈現遞減。
- 2.分析拆除橫桿的壩後沖刷型態，**當水流量越大，中央導引水流會越明顯，形成壩後的沖蝕溝深度加劇**，但礙於下部橫桿並未拆除，所以河床的沖刷深度侷限在橫桿的高度位置；而當水流量 75 L/min(流速=0.99m/s)低於一般流速，壩後水流容易隨地形擺盪無主要沖蝕溝，造成邊坡被沖刷的危險。
- 3.根據儲砂空間率的表現，有拆除上部橫桿模式皆高於沒有拆除橫桿模式。
- 4.分析不拆除橫桿的壩後沖刷型態，水流容易隨地形擺盪出現多個沖蝕溝，但無主要沖蝕溝出現，造成邊坡被沖刷的危險。

推論：1.建議可以在枯水期評估上游的砂石是否穩定，屬於來砂量低的狀況，再配合研究三拆除中央橫桿或是縱材元件，當豐水期期間，隨著水流量增加，產生中央沖蝕溝以及較高的儲砂空間率。

2.調整型鋼管壩若沒有透過反覆的調整元件，即使水流量高，壩後淤滿狀況無法得到有效的調節，儲砂空間率表現低，未能提高下次土石流的再攔阻能力。

◎研究五：探討不同的礫石結構對拆壩後儲砂空間的影響

想法：因為溪流的砂石結構是持續在變動的；於是，我們思考如果不同的礫石結構會對拆壩後壩後的儲砂空間造成什麼影響呢？如果礫石又加上漂流木，又會如何呢？

◆實驗(一)：探討無漂流木的礫石結構對拆壩後儲砂空間的影響

方法：1.將調整型鋼管壩拆除單一位置(中央橫桿 B₁B₂)放置實驗區，並架設第一、二、三攝影區紀錄。

2.將礫石依照不同的配比，巨礫、粗礫、細礫、小礫石共 15 公斤放入水槽內壩體實驗區，接續重複研究二實驗(三)的方法 2~4。

3.依據實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他礫石配比進行實驗。



礫石配比~巨 粗 細 小
25% 25% 25% 25%



礫石配比~巨 粗 細 小
15% 15% 35% 35%



礫石配比~巨 粗 細 小
5% 5% 45% 45%

結果：

► 儲砂空間比較表 ►					(由作者親自繪製)										
組別 項次	A		B		C	D									
	巨	粗	細	小	巨	粗	細	小	巨	粗	細	小	細	小	
	5	5	45	45	15	15	35	35	25	25	25	25	50	50	
輸砂量(kg)	3.64				1.95				0.4				10.9		
儲砂空間率 (%)	24.3%				13%				2.7%				72.7%		
壩後 沖刷型態(cm)	沖刷位置 B <u>最大寬度</u> 10.2 <u>最大深度</u> 4.5				沖刷位置 B <u>最大寬度</u> 10.8 <u>最大深度</u> 3.1				沖刷位置 無 <u>最大寬度</u> 0 <u>最大深度</u> 0				沖刷位置 B <u>最大寬度</u> 19.3 <u>最大深度</u> 6.8		

發現：1.根據輸砂量以及儲砂空間率的比較，配比(D) > 配比(A) > 配比(B) > 配比(C)，

當礫石配比巨礫+粗礫逐漸提高，不利於形成壩後的儲砂空間，儲砂空間率最低為 2.7%；而當礫石配比巨礫+粗礫逐漸減少，甚至沒有時，壩後的儲砂空間量大幅度遞增，儲砂空間率最高來到 72.7%。

2.分析壩後的沖刷型態，當巨礫+粗礫的比例越高(配比 C)壩後幾乎看不到明顯的沖蝕溝，儲砂空間率也很低，當巨礫+粗礫的比例越低，壩後的沖刷深度較深，但礙於下部橫桿並未拆除，所以河床的侵蝕程度有限，以配比 D 沒有巨礫+粗礫為例，沖蝕溝最深為 6.8cm，最大寬度為 19.3cm。

推論：1.當壩後巨礫+粗礫比例增加，僅拆除上部中央橫桿位置的調整型鋼管，壩後儲砂空間率表現差建議可以擴大拆除縱材位置。

2.當巨礫+粗礫數量增加，會形成在河床面上護甲層，保護河床不受沖蝕，相對的細小礫石移動性也降低，整體壩後儲砂空間率也隨之遞減。



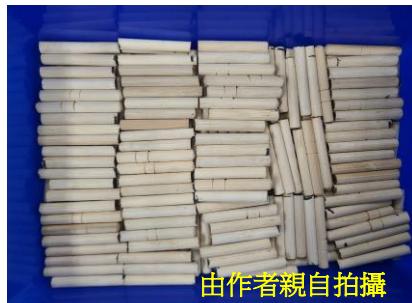
礫石配比~

25% 25% 25% 25%

河床護甲層是指河床中，由較大顆粒的岩石組成的一層自然保護層，會減少水流對底床的岩石的沖刷。

◆實驗(二)：探討有漂流木的礫石結構對拆壩後儲砂空間的影響

- 方法：1. 將調整型鋼管壩拆除單一位置(中央橫桿 B₁B₂)放置實驗區，並架設第一、二、三攝影區紀錄。
2. 將礫石依照不同的配比加入 382 根漂流木混和巨礫、粗礫、細礫石、小礫石共 15 公斤放入水槽內壩體實驗區，接續重複研究二實驗(三)的方法 2~4。。
3. 依據實驗步驟紀錄 5 次數據平均後，更換其他礫石配比加上漂流木進行實驗。



結果：

► 儲砂空間比較表

(由作者親自繪製)

項次	組別	A	B	C	D										
		巨 5	粗 5	細 45	小 45	巨 15	粗 15	細 35	小 35	巨 25	粗 25	細 25	小 25	細 50	小 50
輸砂量(kg)		0.48		0.03		0.005				1.48					
儲砂空間率(%)		3.2%		0.2%		0.003%				9.9%					
壩後 沖刷型態(cm)		沖刷位置 B 最大寬度 5.2 最大深度 2.1		沖刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0		沖刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0				沖刷位置 B 最大寬度 9.6 最大深度 2.9					
漂流木通過率(%)		3.8%(14.8 根)		1.8%(6.8 根)		2.1%(8.2 根)				6.7%(25.6 根)					
未加漂流木 382 根															
儲砂空間率(%)		24.3%		13%		2.7%				72.7%					
儲砂空間 變化率(%)		21.1% ↓		12.8% ↓		2.697% ↓				62.8% ↓					

加漂流木與未加漂流木儲砂空間比較表

單位(%)

單位(%)

加漂流木儲砂空間率
呈現大幅遞減

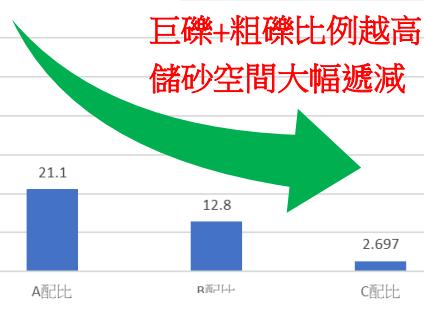
巨礫+粗礫比例越高
儲砂空間大幅遞減



由作者親自繪製

24

儲砂空間變化率比較表

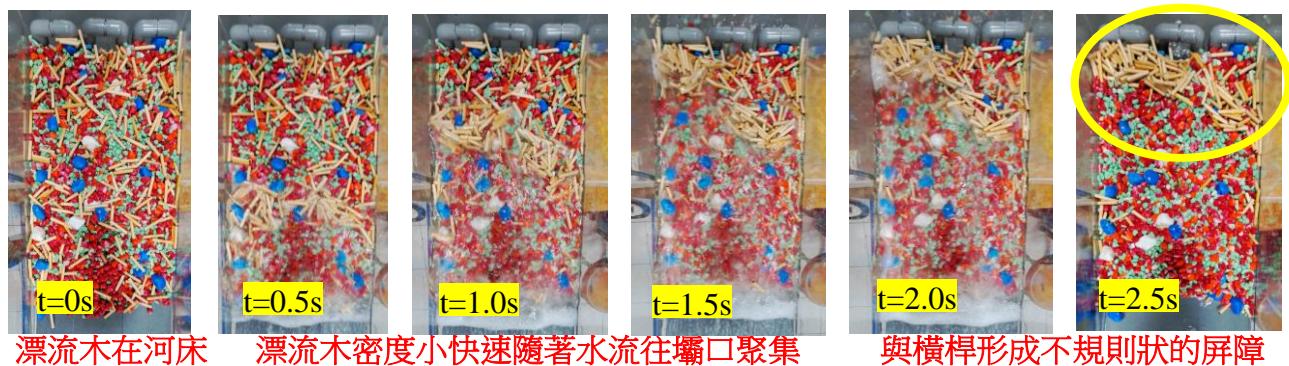


發現：1.根據輸砂量以及儲砂空間率的比較，具有漂流木的配比(D) > 配比(A) > 配比(B) > 配比(C)，當有漂流木時，不同配比的礫石儲砂空間量皆大幅降低，儲砂空間變化率下降最多為壩後堆積單純是細小礫石，下降幅度高達 62.8%，只要壩後淤滿的礫石含有漂流木，就會阻礙礫石往壩前移動，造成調整型鋼管壩的儲砂空間率大幅降低。

2.分析壩後的沖刷型態，有兩項發現，**第一、具有漂流木的礫石堆積，沖刷深度以及寬度都減弱**，尤其沒有巨礫+粗礫，單純是細小礫石縮減幅度最大，沖蝕溝深度由 6.8cm 減少為 2.9cm，寬度由 19.3cm 減少為 9.6cm；**第二、當巨礫加粗礫偏高佔 30%以上，壩後沒有出現明顯中央導引水流，導致儲砂空間率極低。**

推論：1.根據實驗結果，**壩後淤積若含有漂流木，儲砂空間率會大幅降低，造成下一次土石流來臨時，無法發揮再攔阻的功能**，推測原因為，漂流木密度輕會隨著水流往調整型鋼管壩的橫桿聚集，形成不規則狀障礙物，讓原本橫桿間隙縮小，細礫、小礫石填充於漂流木間隙結合成穩固屏障，隨後而來的巨礫、粗礫也被壩後屏障阻擋，無法進行有效的清淤。

2.推測拆除中央橫桿間隙過小，無法破壞漂流木阻塞的結構，建議加大間隙。



漂流木在河床

漂流木密度小快速隨著水流往壩口聚集

與橫桿形成不規則狀的屏障

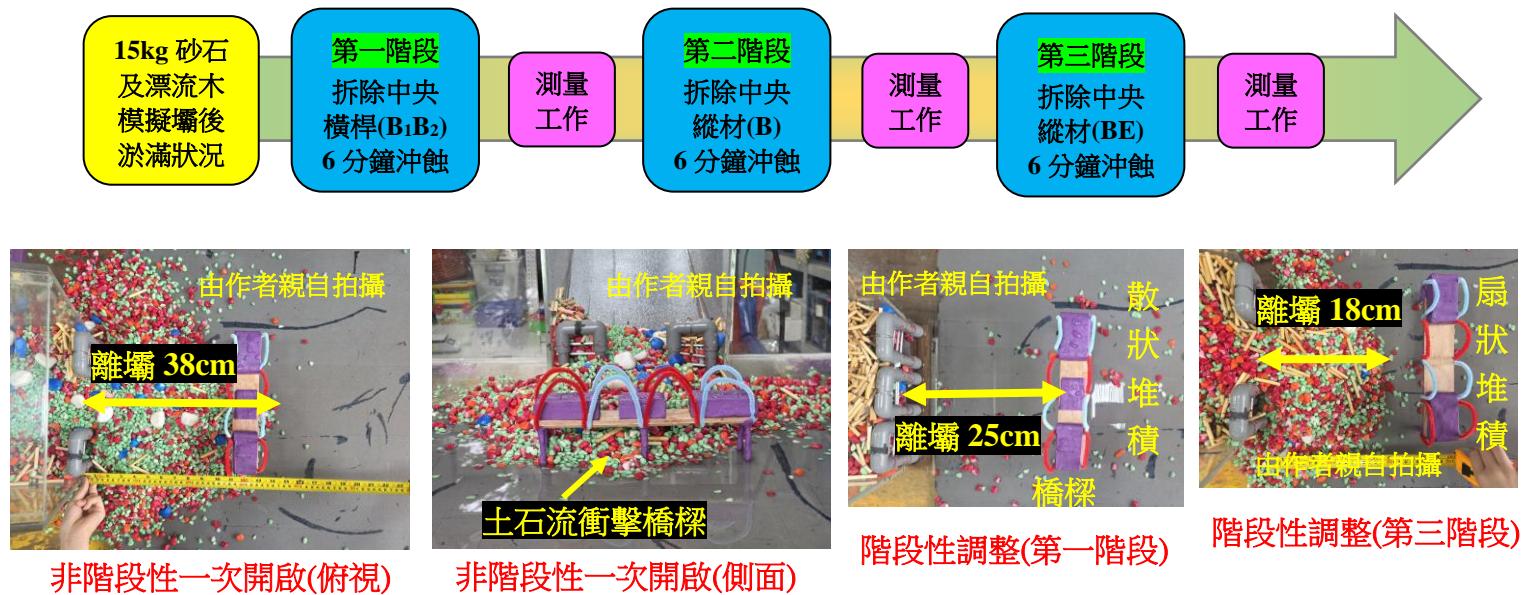
★漂流木運動動態分析圖★

以上由作者親自拍攝

◎研究六：探討階段性調整鋼管壩對防砂壩儲砂空間的影響

想法：根據研究五，當壩後淤積含有漂流木，會降低調整型鋼管壩發展壩後儲砂空間，於是我們參照研究(三)的結果，混和單一位置與複合式，提出階段性加深模式調整鋼管壩，觀察會對壩後儲砂空間造成什麼影響呢？另外，若沒有採階段性，而是一次性開啟壩體又會如何呢？

方法：1.重複研究五實驗(二)方法 1~3(拆除中央橫桿 B₁B₂)，並在距離壩前下游 25cm 處放置模擬橋樑一座(長 6cm、寬 28cm、高 10cm)，待關閉電源後進行測量工作。
 2.第二階段擴大拆除縱材 B 進行實驗，第三階段拆除縱材 BE 加深模式進行實驗。
 3.重複研究五實驗(二)方法 1~3(拆除中央縱材 BE)，進行實驗並收集數據。

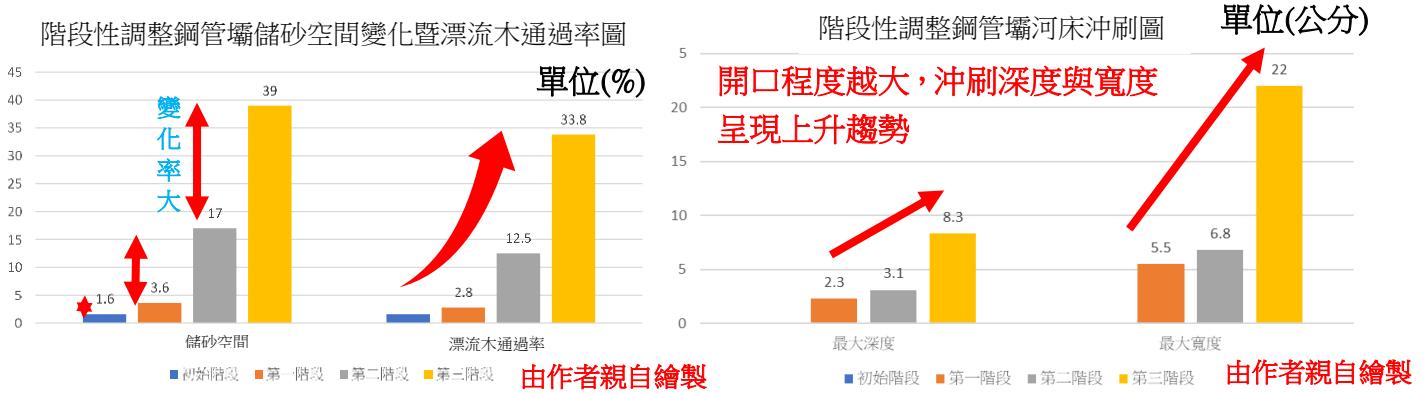


結果：

▲ 儲砂空間比較表

(由作者親自繪製)

組別	初始階段	第一階段	第二階段	第三階段	★非階段性★
	未拆除元件	拆除橫桿 B ₁ B ₂	拆除縱材 B	拆除縱材 BE	拆除縱材 BE
礫石配比(巨 5% 粗 5% 細 45% 小 45%)+382 根漂流木					
輸砂量(kg)	0.24	0.54	2.55	5.85	8.34
儲砂空間率 (%)	1.6%	3.6%	17%	39%	55.6%
儲砂空間變化率(%)	上升 2%	上升 13.4%	上升 22%	上升 54%	
壩後沖刷型態 (cm)	沖刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0	沖刷位置 B 最大寬度 5.5 最大深度 2.3	沖刷位置 B 最大寬度 6.8 最大深度 3.1	沖刷位置 B 最大寬度 22 最大深度 8.3	沖刷位置 B 最大寬度 24 最大深度 8
壩前沖刷型態 (cm)	堆積型態 散狀 離壩距離 0	堆積型態 散狀 離壩距離 5	堆積型態 扇形 離壩距離 9	堆積型態 扇形 離壩距離 18	堆積型態 扇形 離壩距離 38
漂流木通過率(%)	1.6%(6 根)	2.8%(10.6 根)	12.5%(48 根)	33.8%(129.4 根)	61.6%(235.2 根)



發現：1.根據輸砂量以及儲砂空間率的比較，分階段性的拆解橫桿與縱材，可以增加儲砂空間率至 39% 以及漂流木通過率 33.8%，表示採階段性方式可以破壞漂流木阻塞壩體的結構，而且壩前的砂石堆積離壩距離為 18cm，並未達到模擬橋樑位置。相反的，非階段性一次拆解，可以增加儲砂空間率高達 55.6% 以及漂流木通過率 61.6%，但是壩前的砂石離壩距離為 38cm，已經超過模擬橋樑 25 公分的位置。

2.分析壩後的沖刷型態，不論拆除中央橫桿 B_1B_2 、中央縱材 B 、中央縱材 BE ，沖蝕溝發生位置都在河床中央，隨著拆除範圍加深，沖蝕深度加劇、寬度加寬。

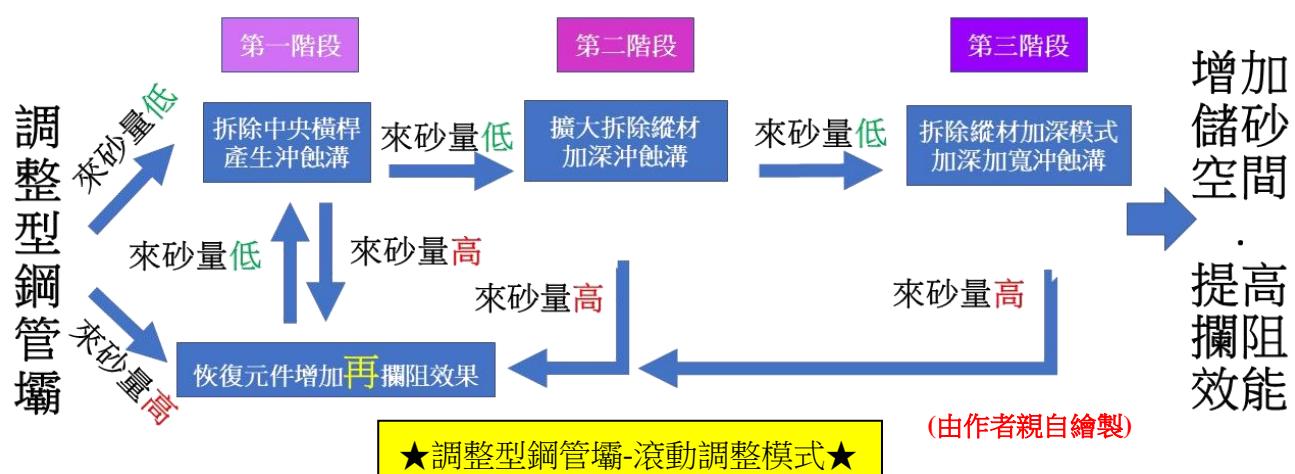
推論：1.根據實驗結果，**壩後淤滿若含有大量漂流木，只有拆除上部中央橫桿無法形成有效的間隙造成自然清淤，建議，採階段性繼續拆除縱材，甚至擴大加深模式讓儲砂空間以及漂流木通過增加，並且可以逐步減緩砂石移動動能，對於下游保護對象是安全的；反之，非階段性一次拆解大範圍，雖然可以快速增加儲砂空間以及讓漂流木通過，但是卻讓砂石釋放全部的移動動能，造成下游保護對象危險；所以，我們不建議直接一次開啟大範圍讓壩體自然清淤。**

伍、討論：

一、在實驗初期，我們以學校澆灌用的塑膠彈力水管為第一代製作鋼管壩模型的材料，彈性材質內填充油土增加硬度，又具有可塑性、不同管徑大小可以銜接管壁形成可拆模式，但經過土石流攔阻測試時，仍然發生模型形變的現象，所以，我們轉而跟學校的職工詢問是否有硬度夠、又可以塑形也可以拆解的物品。最後，我們決定採 PVC 管材質製作，因為 PVC 本身硬度高，另外，因為 PVC 管為普遍的材質，市面上早有開發很多銜接的配件以及尺寸，另外經過土石流攔阻測試，確立模型可以承受衝擊力，因而解決我們製作可調式鋼管壩模型的困境。

二、初始河道模型建立時為壓克力材質光滑接觸面，當土石流由預備區往壩體實驗區移動時，屢次有許多砂石會以快速噴發的方式穿越壩體，直至輸砂區最末端，我們將此現象與專家討論，發現應該是我們光滑接觸面的關係，摩擦力太小所導致，在現實的溪流環境，土石流與河床接觸面應該有摩擦力的存在，所以，我們增加厚度 0.1cm 的金光砂止滑條貼在實驗中的河道上，模擬實際的環境。

三、綜合研究結果，我們討論出調整型鋼管壩滾動調整模式如下：
◆第一階段、當壩體淤滿後，來砂量低時，建議可拆除中央上部橫桿為優先，讓局部砂石進行清淤產生儲砂空間，並且可以保持水流流心往河床中央沖蝕。◆第二階段、壩體後方有較大礫石以及漂流木等阻礙物，且來砂量低時，建議可採取第二階段拆除縱材讓開口範圍加大，漂流木才有機會脫離橫桿，進而帶動大顆礫石移動。◆第三階段、當來砂量低，下游沒有保護對象，可以進行第三階段拆除加深模式釋放更多上游的砂石，增加壩後儲砂空間。
◆來砂量高時任何階段，恢復壩體元件可以減緩土石流的衝擊，增加下游保護對象的安全。



陸、結論：

一、根據研究一，現階段土石流的防治方式，目前比較普遍性的做法是設置防砂壩，而防砂壩的類型在台灣較常見的區分為開口型與封閉型，但不論是哪一種類型，早期主要都在探討攔阻的效能，較少針對調節砂石量進行研究，所以，調整防砂壩的研究是值得深入探討的方向，也符合 NbS 理念，強調人與自然共好共存的概念。

二、根據研究二的實驗結果：

(一)、實驗組攔阻率_59.9% > 對照組攔阻率_5.9%，表示使用調整型鋼管壩可以攔阻砂石達到六成；相反的，未使用防砂壩，攔阻效能低落。

(二)、設置封閉型防砂壩比調整型鋼管壩攔阻砂石的量更多，因為不管任何大小的砂石都能攔阻，攔阻效能高；反之調整型鋼管壩因為有橫桿間隙，可以選擇性輸沙會讓小礫石通過，攔阻較大的礫石。

(三)、模擬壩後淤滿流水沖蝕實驗，調整型鋼管壩儲砂空間率是封閉型防砂壩的2.4倍，若拆除上部中央橫桿可以擴大間隙，形成儲砂空間率是封閉型防砂壩的7.2倍，而且當土石流來臨時，具有高儲砂空間率的調整型鋼管壩，能提升壩體的再攔阻力；反之，封閉型防砂壩以及未管理的調整型鋼管壩，不會增加太多的儲砂空間，所以再攔阻率是下降的。總結，反覆性調整鋼管壩能增加壩後儲砂空間，並提高壩體的再攔阻率。

三、綜合研究三的實驗結果：

(一)、拆除單一位置：不論拆除橫桿或是縱材，建議拆除位置要在上部中央，可以形成穩定的中央導引水流，發展出沖蝕溝，避免水流往邊坡沖刷的危險，而且壩後的儲砂空間率也會提升。

(二)、拆除複合式位置：不論拆除橫桿或是縱材，建議拆除位置要採加深模式，可以獲得最高的儲砂空間表現，而且形成穩定的中央導引水流，發展大型沖蝕溝，避免邊坡被沖刷的危險。另外，不建議第一次拆壩體就以加寬模式，因為儲砂空間率增加有限，而且沒有發展主要沖蝕溝，加深加寬模式雖然有主要沖蝕溝，但容易造成邊坡被沖刷的危險。

(三)、不建議拆除位置；拆除位置建議不要在下方橫桿，因為儲砂空間表現非常不佳或是拆除兩側的橫桿與縱材以及加寬模式，容易造成壩後水流擺盪，沖刷邊坡的危險。

四、綜合研究四的實驗結果：

(一)、建議在枯水期評估上游的砂石是否穩定，屬於來砂量低的狀況，可以配合研究三拆除中央上部橫桿或是縱材，當豐水期來臨，隨著水流量增加，會產生明顯的中央沖蝕溝以及較高的儲砂空間率。

(二)、沒有管理的調整型鋼管壩，即使水流量高，壩後淤滿狀況無法得到有效的調節，儲砂空間率表現低，未能提高下次土石流的再攔阻能力。

五、綜合研究五的實驗結果：

- (一)、無漂流木的礫石結構：當礫石配比巨礫+粗礫逐漸提高，會形成在河床上的護甲層，保護河床不受沖刷，相對的細小礫石移動性也降低，整體壩後儲砂空間率也隨之遞減。
- (二)、有漂流木的礫石結構：壩後淤積若含有漂流木，會造成砂石無法有效清淤，儲砂空間率會大幅降低，當土石流再次來臨時，無法發揮再攔阻的功能。

六、綜合研究六的實驗結果：

- (一)、歸納研究結果，調整壩體的三個原則，第一、拆除位置要選在中央、第二、先加深模式再加深加寬模式、第三、開口範圍由小到大。
- (二)、壩後淤滿若含有大量漂流木，建議採階段性調整元件破壞漂流木結構，第一階段拆除中央橫桿、第二階段拆除縱材、第三階段甚至擴大加深模式，讓儲砂空間以及漂流木通過增加，並且可以逐步減緩土石流移動動能，對於下游保護對象是安全的。
- (三)、壩後淤滿若含有大量漂流木，採非階段性一次拆解大範圍，雖然可以快速增加儲砂空間以及讓漂流木通過，但是卻讓土石流釋放全部的移動動能，造成下游保護對象危險；所以，不建議一次開啟大範圍讓壩體自然清淤。

七、建議未來研究方向：

- (一)、在研究調整型鋼管壩的過程中，壩體開口的位置會影響壩前的砂石堆積，針對輸砂的堆積現象可以再進行另外的研究，或者調整型鋼管壩對於保護兩岸邊坡避免被沖刷...等。都是我們在操作過程中發現很多有趣且未來可以再進行的研究方向。

柒、參考文獻資料與其他：

- 薛定暉(2011)。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。第 51 屆中華民國科展國小組地球科學第一名作品說明書。(未出版)。
- 薛皓薰、黃莉云、李連耀、沈冠廷、陳季其(2007)。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。第 47 屆中華民國科展國小組地球科學作品說明書。(未出版)。
- 黃揮凱(2015)。三種防砂壩攔阻漂流木及土砂效率分析。國立中興大學水土保持學士論文。
- 陳樹群、邱渝方(2019)「會呼吸的防砂壩」，科學發展，560，56-62。

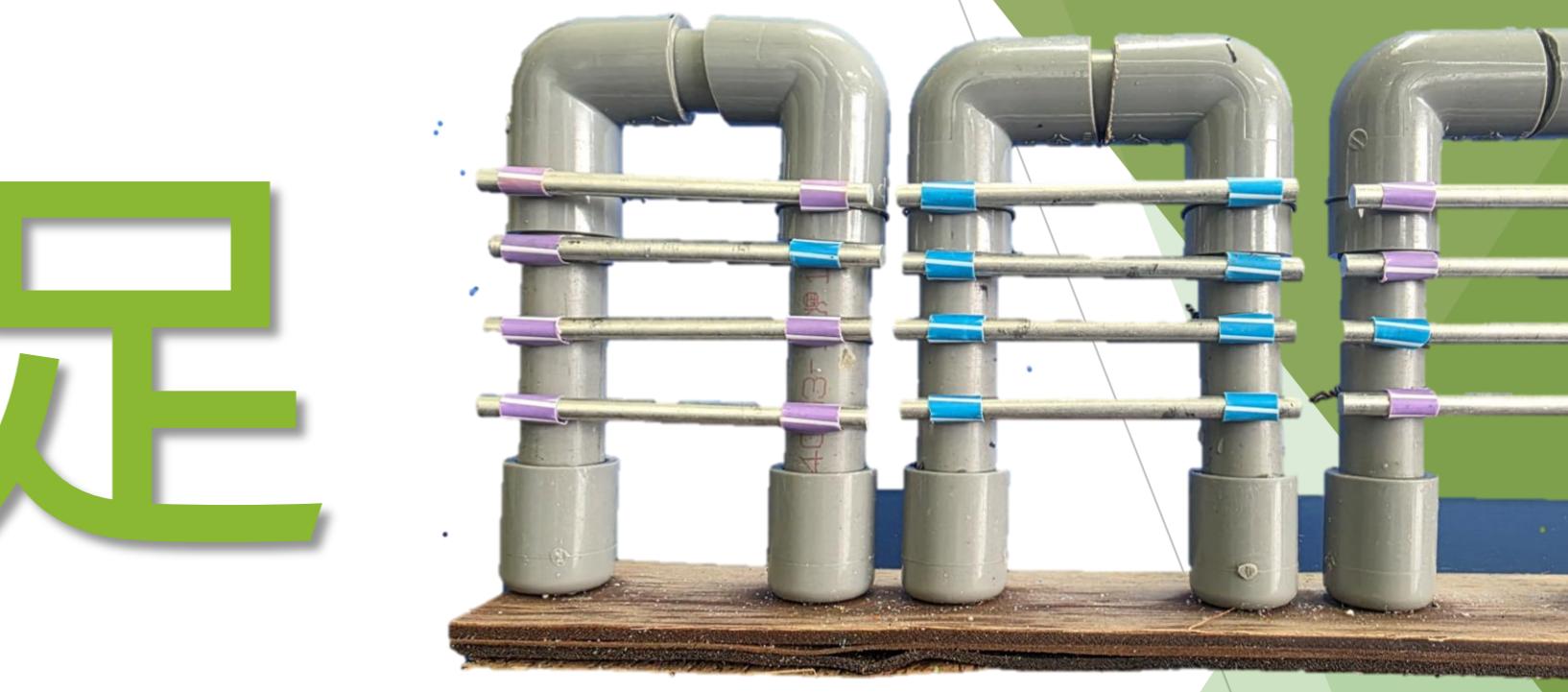
【評語】080501

本研究用室內模型模擬調整型鋼管壩的攔阻效果與調節砂石量。另外，在製作模型前，該團隊諮詢專家教授，藉由討論更深入瞭解調整型鋼管壩的結構與製作模型可能遇到的問題。回答問題簡潔且清楚，而且於展示時利用模型有系統地表達所有相關成果，非常難得。此外，此作品呼應防災與永續特色，而且有相當深度的模型限制討論，值得讚賞。

作品海報

「壠」氣「石」足

-探討影響調整型鋼管壠儲砂空間之研究



摘要

台灣發生「土石流」頻繁，所以興建防砂壩已經是常態，然而，大量的泥砂使得防砂壩儲砂空間飽和，降低攔阻效能。因此，本研究的目的，希望找出影響調整型鋼管壩儲砂空間的因素並提出調整模式，以因應台灣多變的氣候環境。經研究結論如下：一、**壩後淤滿時，透過反覆調整鋼管壩開口，可以增加儲砂空間率，壩體的再攔阻率也會提升14.2%**；二、建議枯水期調整橫桿或縱材，利用豐水期增加壩後的儲砂空間；三、壩後巨礫+粗礫逐漸提高30%，不利於增加儲砂空間率；四、壩後淤滿有大量漂流木，會造成儲砂空間率大幅降低；五、**我們提出調階段性調整鋼管壩，第(一)、拆除中央橫桿、第(二)、拆除縱材、第(三)、拆除加深模式，可以增加儲砂空間並減緩土石流的衝擊。**

壹、前言

一、研究動機

極端天氣頻繁，颱風與強降雨加劇土石流災害，台灣因地形與人為影響更易受害。2024年康芮颱風導致東部多處土石流，影響民宅安全。我們思考如何解決此問題，經老師指導查詢資料後，發現防砂壩可攔截土石流，尤其專家提出的調整型鋼管壩引起我們的關注。為深入了解其防治效果，我們展開研究，希望透過實驗提出改進建議。

二、研究目的

- 一、分析現階段土石流的防治工法
 - (一)設計問卷訪談專家老師
- 二、了解調整型鋼管壩的攔阻與儲砂空間能力
 - (一)比較**有無防砂壩**對攔阻溪流砂石的影響
 - (二)比較調整型鋼管壩與其他壩體對**攔阻溪流砂石的影響**
 - (三)淤滿時調整型鋼管壩與其他形式壩體的**儲砂空間比較**

- 三、探討拆除調整型鋼管壩模組對防砂壩儲砂空間的影響
 - (一)拆除不同的鋼管壩**橫桿位置**對防砂壩儲砂空間的影響
 - (二)拆除不同的鋼管壩**縱材位置**對防砂壩儲砂空間的影響
- 四、探討**不同的水流流量**對拆壩後儲砂空間的影響
- 五、探討**不同的礫石結構**對拆壩後儲砂空間的影響
- 六、探討**使用階段性調整鋼管壩**對防砂壩儲砂空間的影響

貳、文獻資料探討

【調整型防砂壩】

台灣早期防砂壩因上游淤積喪失功能，導致下游淘刷加劇。陳樹群教授（2019）提出調整型防砂壩概念，能在高峰期攔阻砂石，來砂減少時可拆除部分結構，釋放砂石至下游，保持上游的儲砂空間，減緩下游的沖蝕。

【歷屆防砂壩研究】

★**歷屆防砂壩研究方向主要關注防砂壩的攔阻效益，並無針對儲砂空間進一步分析★**

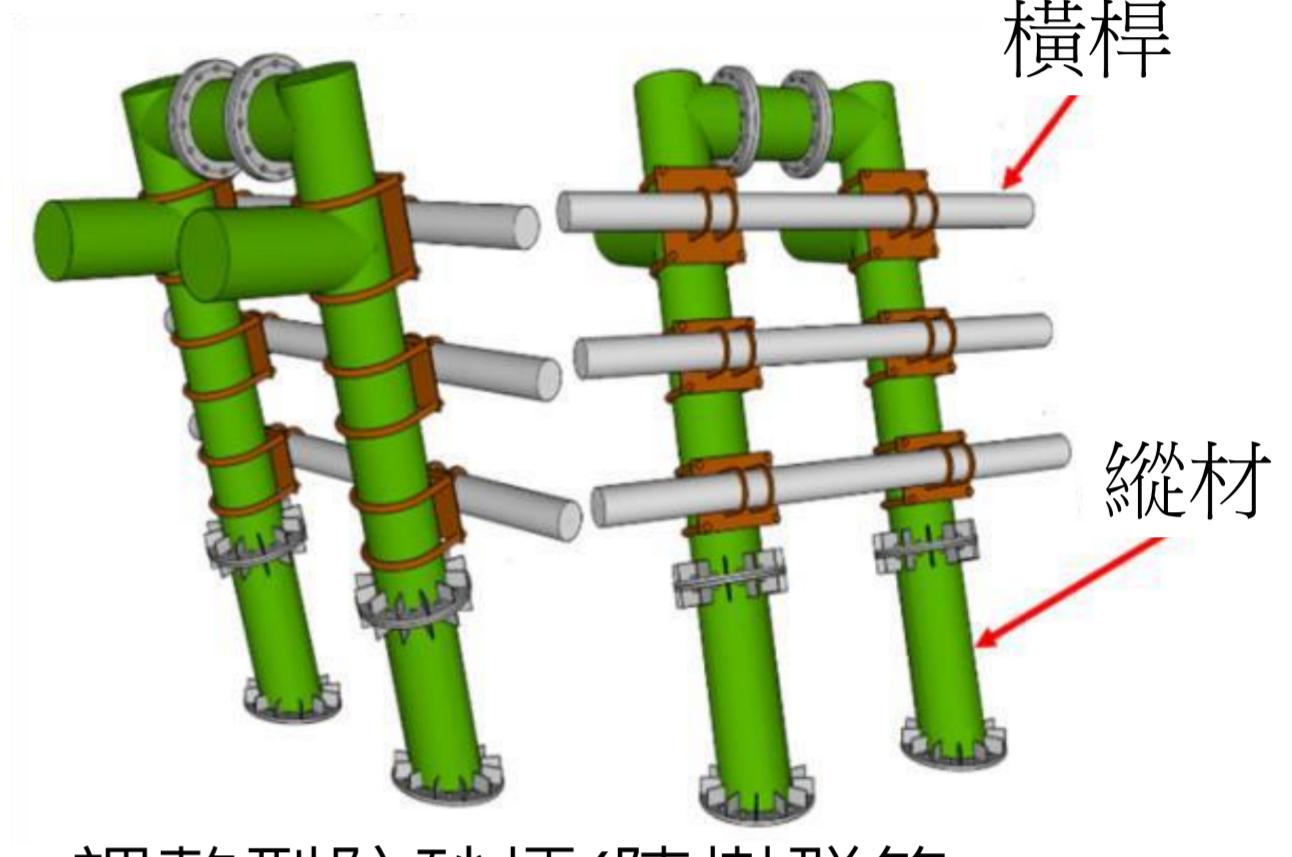
參、研究設備與器材

◆**模型製作：**壓克力水槽(長200cm×寬100cm×高30cm)、壓克力長形水槽(長200cm×寬30cm×高20cm)、1HP抽水馬達2個、水箱2個、長尺、油土、剪刀、塑膠PVC水管、碼錶、止滑條、砂石、雙面膠、竹筷子、砂紙、PVC槍型切管刀。

◆**觀察與測量：**測距儀、攝影機、量角器、腳架、20公斤電子秤。

【原理】

調整型防砂壩一般為開口型，主要在強調橫桿、縱材都必須相互獨立分別組裝及拆卸。透過經常性的反覆調整結構，管理溪流砂石。



調整型防砂壩(陳樹群等，(2016))



照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

肆、研究過程及方法

研究一：分析現階段土石流的防治工法

實驗(一)：設計問卷訪談專家老師

想法：希望透過訪談了解土石流防治及防砂壩，並在專家指導下提供後續模型製作基礎。

發現：

1.**近期防砂壩強調兼顧攔阻與輸砂效益，符合NbS (自然為本的解決方案)**，因此調整型鋼管壩的研究與推廣值得深入探討。

2.依照工程方法來分類的話，分為1.防砂壩：將很多砂石擋在上游；2.疏導河道：將河道打寬，引導砂石下來直接穿到下游；加高提防。



與專家討論模型的可行性

實驗(二)：文獻資料分析

【調整型鋼管壩尺寸】

蘭島溪二號橋實體調整型鋼管壩尺寸約為寬2公尺、高7公尺；我們就以設計圖尺寸作為製作調整型鋼管壩模型的依據。

●實驗模型製作●

我們以**縮小比例尺1/50=0.01**採模擬立面的方式，計算鋼管壩模型如下：

鋼管壩原尺寸	寬	高
	200cm	700cm
縮小比例尺 1/50=0.01	4cm	14cm



照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

◎◎大學◎◎學系◎◎工程研究室提供

◆**縱材元件設計：**我們找到最細的3分PVC管為支柱，再搭配PVC管L型彎頭、雙邊接頭、管帽...等，符合**第一、高硬度能承受土石流衝擊、第二、不容易生鏽，第三、能組裝與拆解**。

◆**橫桿元件設計：**我們以鐵絲固定吸管代替卡榫，用鋁棒模擬活動的橫桿，**橫桿間距訂為1.5cm，符合我們礫石配比粒徑 d_{75} 平均粒徑=0.8cm， b (間距)/ d_{75} (平均粒徑)<1.5~2。**

礫石選擇	模擬物項目	小礫石	細礫石	粗礫	巨礫
	平均粒徑(cm)	0.6	1	1.5	2
	重量百分比(%)	50	35	10	5
	顏色(代號)	綠色(G)	紅色(R)	藍色(B)	白色(W)



研究二：了解調整型鋼管壩的攔阻與儲砂空間能力

實驗(一)：比較有無防砂壩對攔阻溪流砂石的影響

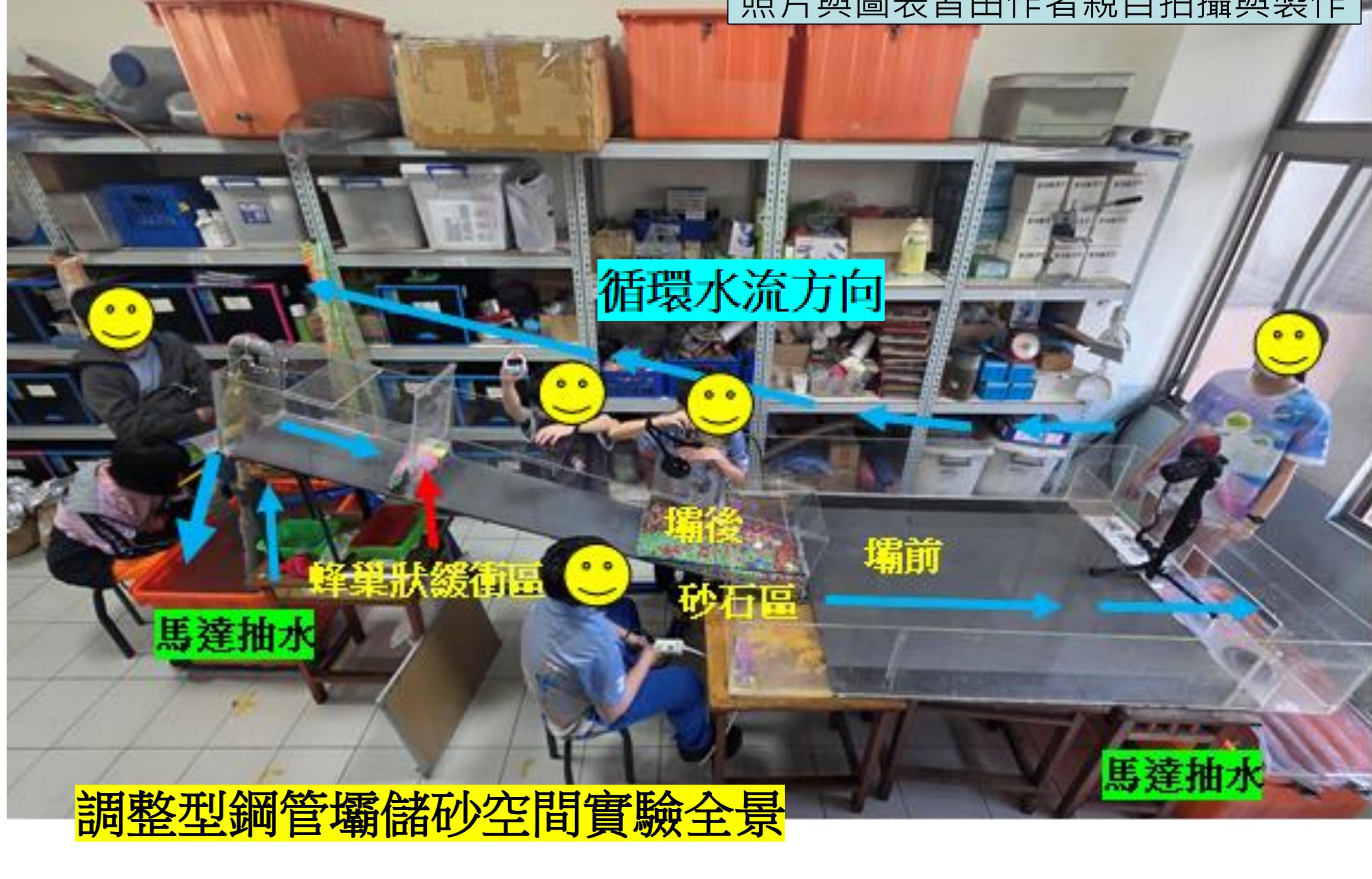
結果：

組別項次	對照組(無防砂壩)	實驗組(調整型鋼管壩)
輸砂量(kg)	14.12	6.02
攔阻量(kg)	0.88	8.98
總攔阻率(%)	5.9%	59.9% (勝)

★攔阻率(%)：攔阻量 / 壩後區可攔阻的全部砂石量(15kg)

推論：

結果顯示，**實驗組調整型鋼管壩具有6成的攔阻率，表示有防砂壩的確能防止土石流並進行有條件的輸砂。**



調整型鋼管壩儲砂空間實驗全景

實驗(二)：土石流來臨時，調整型鋼管壩與其他形式壩體對攔阻溪流砂石的影響

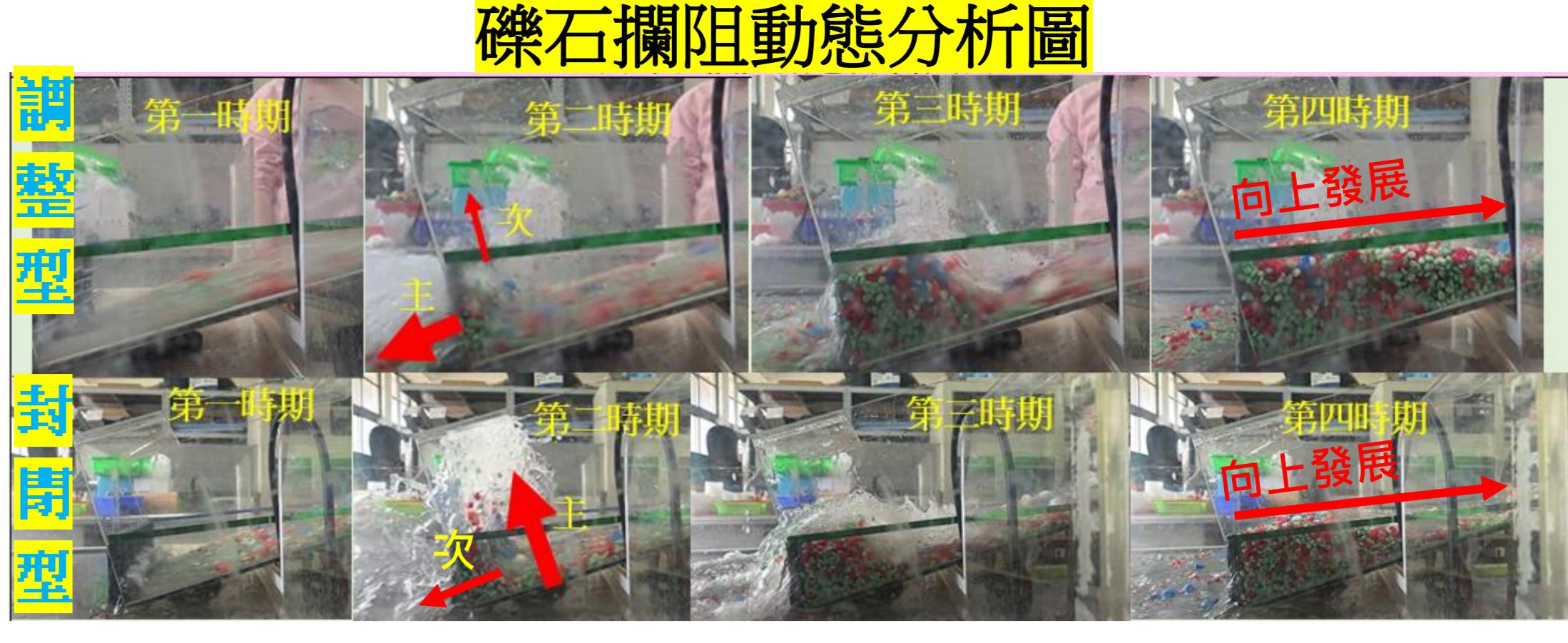
想法：我們好奇不同類型的防砂壩其攔阻效能的差異性如何？

結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

組別 項次	對照組(封閉型防砂壩)				實驗組(調整型鋼管壩)			
	巨(W)	粗(B)	細(R)	小(G)	巨(W)	粗(B)	細(R)	小(G)
輸砂率(%)	0%	8%	6%	5.7%	13.3%	34.6%	43.6%	41.4%
總攔阻率(%)	94.2%	勝			59.9%	小礫石通過多		

推論：

實驗結果顯示，封閉型防砂壩因無縫隙，可全面攔阻各種大小的砂石，總攔阻率較高；而調整型鋼管壩因橫桿間隙，可以選擇性輸砂，僅攔阻較大礫石。



第一時期：細礫、小礫石在前端，巨礫、粗礫石在後端。
第二時期：鋼管壩水流主要向前發展，封閉式則向上發展。
第三時期：後方礫石逐漸向上游發展堆積至第四時期。

實驗(三)：壩體淤滿時，調整型鋼管壩與其他形式壩體的儲砂空間比較

結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

組別 項次	封閉型防砂壩	調整型鋼管壩 (未拆除橫桿元件)	調整型鋼管壩 (拆除橫桿 B ₁ B ₂)
Run1 流水沖蝕壩後淤滿狀況			
儲砂空間率(%)	2.6%	6.3% 提升 12.3%	18.6% 勝
再攔阻率(%)	85.6%	87.1%	95.6% 勝
攔阻率變化(%)	減少 11.8%	減少 6.6%	增加 14.2% ↑

★反覆性調整鋼管壩能增加儲砂空間，並提高壩體的再攔阻率★

研究三：探討拆除調整型鋼管壩模組對防砂壩儲砂空間的影響

實驗(一)：拆除不同的鋼管壩橫桿位置對防砂壩儲砂空間的影響

子實驗a：拆除橫桿元件單一位置對防砂壩儲砂空間的影響

結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

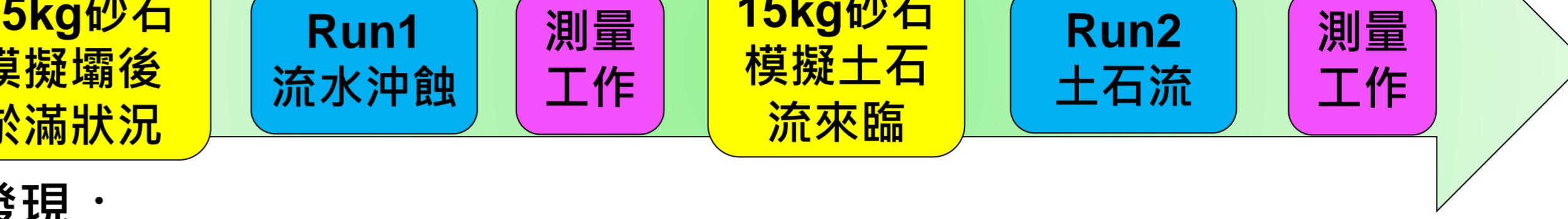
組別 項次	拆除上部橫桿		拆除下部橫桿	
	中央 B ₁ B ₂ (I)	側邊 C ₁ C ₂ (II)	中央 E ₁ E ₂ (III)	
儲砂空間率(%)	18.6% 堪	14.8%	2.3%	
壩後沖刷型態(cm)	位置 最大寬度 6.2 B 最大深度 3.5	位置 最大寬度 5.4 C 最大深度 3.3	位置 最大寬度 無 E 最大深度 0	位置 最大寬度 0 E 最大深度 0

子實驗b：拆除橫桿元件複合式位置對防砂壩儲砂空間的影響

結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

組別 項次	拆除加深		拆除加寬	
	B ₁ B ₂ E ₁ E ₂ (I)	A ₁ A ₂ B ₁ B ₂ (II)	B ₁ B ₂ C ₁ C ₂ (III)	
儲砂空間率(%)	30.9% 堪	19.5%	20.9%	
壩後沖刷型態(cm)	位置 最大寬度 17.2 B 最大深度 8.8	位置 最大寬度 4.2 A 最大深度 3.3	位置 最大寬度 5.1 B 最大深度 4	位置 最大寬度 4.4 C 最大深度 3.5

具有中央沖蝕溝



發現：

- Run1拆除橫桿比未拆除儲砂空間率提升12.3%，比封閉型提升16%。
- Run2調整型鋼管壩恢復橫桿增加攔阻14.2%，調整型鋼管壩都未拆除減少攔阻6.6%，封閉型防砂壩減少攔阻11.8%。

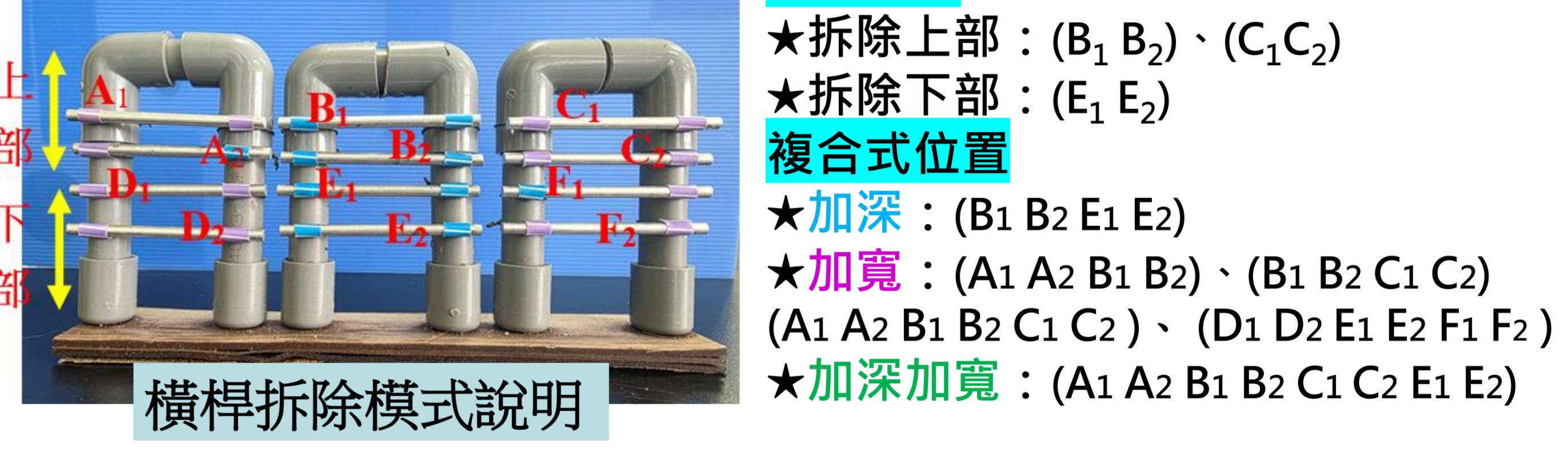


實驗(二)：拆除不同的鋼管壩縱材位置對防砂壩儲砂空間的影響

子實驗a：拆除縱材元件單一位置對防砂壩儲砂空間的影響

結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

組別 項次	拆除上部縱材		拆除下部縱材	
	中央 A ₁ A ₂ (I)	側邊 B ₁ B ₂ (II)	中央 C ₁ C ₂ (III)	
儲砂空間率(%)	18.6% 堪	14.8%	2.3%	
壩後沖刷型態(cm)	位置 最大寬度 6.2 B 最大深度 3.5	位置 最大寬度 5.4 C 最大深度 3.3	位置 最大寬度 無 E 最大深度 0	位置 最大寬度 0 E 最大深度 0



子實驗b：拆除縱材元件複合式位置對防砂壩儲砂空間的影響

結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

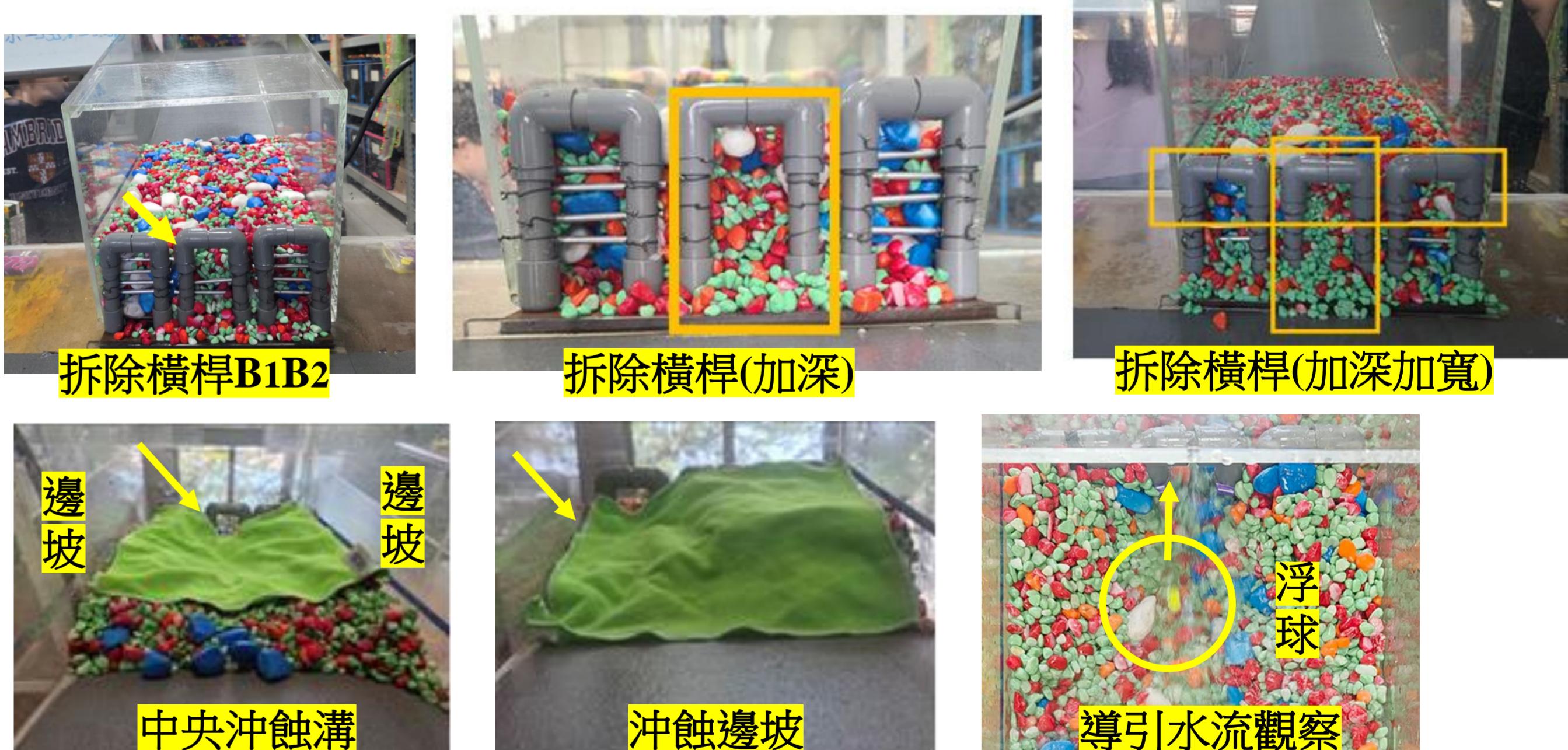
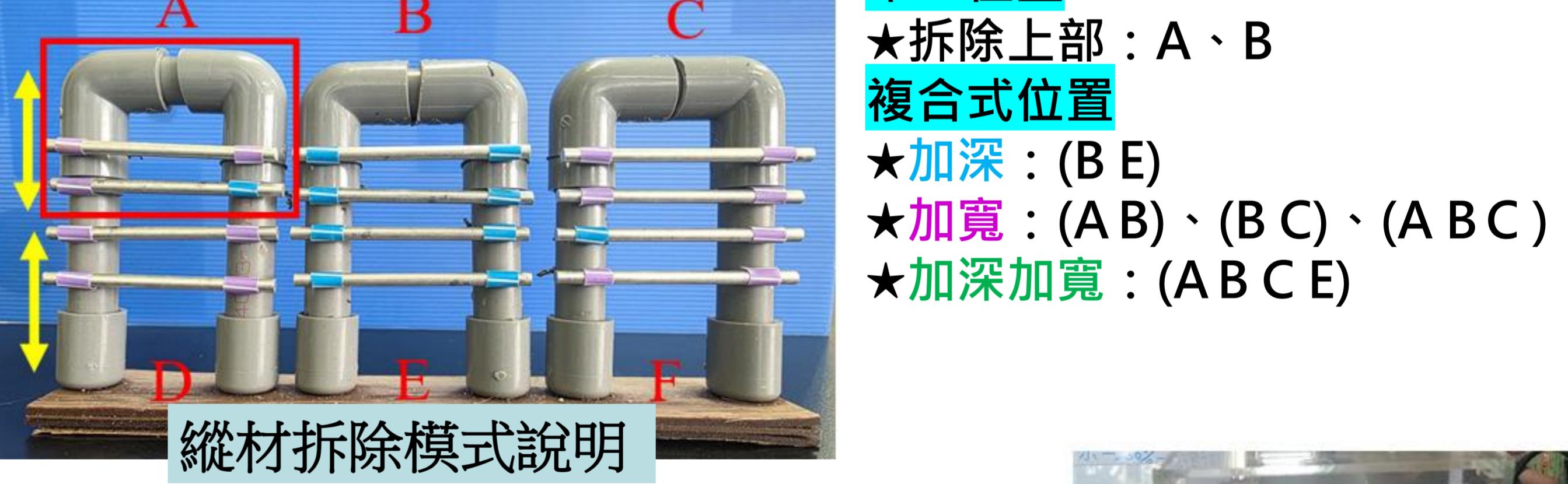
組別 項次	拆除加深		拆除加寬	
	B ₁ B ₂ E ₁ E ₂ (I)	A ₁ A ₂ B ₁ B ₂ (II)	B ₁ B ₂ C ₁ C ₂ (III)	
儲砂空間率(%)	30.9% 堪	19.5%	20.9%	
壩後沖刷型態(cm)	位置 最大寬度 17.2 B 最大深度 8.8	位置 最大寬度 4.2 A 最大深度 3.3	位置 最大寬度 5.1 B 最大深度 4	位置 最大寬度 4.4 C 最大深度 3.5



子實驗b：拆除縱材元件複合式位置對防砂壩儲砂空間的影響

結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

組別 項次	拆除加深		拆除加寬		拆除加深加寬	
	B ₁ B ₂ (I)	A ₁ A ₂ (II)	B ₁ B ₂ (III)	A ₁ A ₂ B ₁ B ₂ (IV)	D ₁ D ₂ E ₁ E ₂ F ₁ F ₂ (V)	A ₁ A ₂ B ₁ B ₂ C ₁ C ₂ E ₁ E ₂ (VI)
儲砂空間率(%)	23.3%	12.1%	38.5% 堪			
壩後沖刷型態(cm)	位置 最大寬度 4.2 B 最大深度 3.6	位置 最大寬度 2.8 A 最大深度 2.4	位置 最大寬度 3.6 B 最大深度 4.2	位置 最大寬度 4.8 B 最大深度 3.5	位置 最大寬度 2.8 B 最大深度 1.0	位置 最大寬度 2.8 B 最大深度 1.0



照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

推論：

- 不建議調整型鋼管壩拆除加寬模式，因為儲砂空間率增加有限，而且容易造成水流中心擺盪形成多個沖蝕溝，造成邊坡被沖刷的危機。
- 拆除元件的原則；第一、單一位置不管拆除橫桿或是縱材要以中央結構為依據。第二、拆除複合式位置以加深或是加深加寬模式為主。

第三、橫桿拆除位置不要在下方，因為儲砂空間表現非常不佳，或是拆除加寬模式、兩側橫桿與縱材，容易造成水流擺盪，沖刷邊坡的危險。

研究五：探討不同的礫石結構對拆壩後儲砂空間的影響

實驗(一)：探討無漂流木的礫石結構對拆壩後儲砂空間的影響

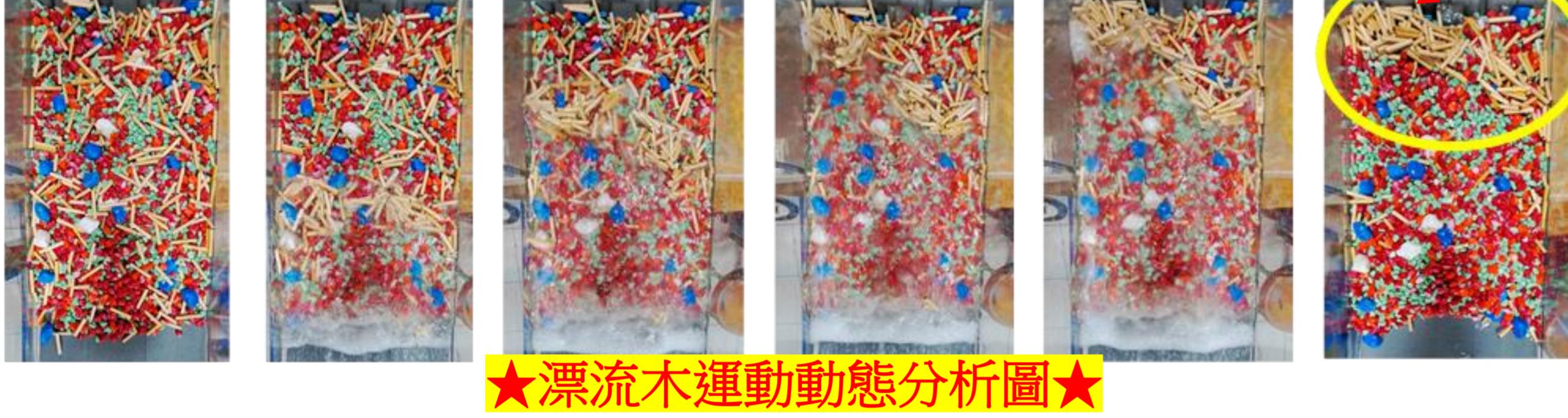
結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

組別	A	B	C	D
項次	巨粗 細 小 5 5 45 45	巨粗 細 小 15 15 35 35	巨粗 細 小 25 25 25 25	細 小 50 50
輸砂量(kg)	3.64	1.95	0.4	10.9
儲砂空間率 (%)	24.3%	13% ↓	2.7% ↓	72.7% ↑
壩後沖刷型態(cm)	沖刷位置 B 最大寬度 10.2 最大深度 4.5	沖刷位置 B 最大寬度 10.8 最大深度 3.1	沖刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0	沖刷位置 B 最大寬度 19.3 最大深度 6.8

大礫石比例高於30% 儲砂空間率低

發現：

- 當巨礫+粗礫逐漸提高，壩後沒有明顯沖蝕溝且不利於形成儲砂空間。
- 當壩後淤積含有漂流木，壩後沒有明顯沖蝕溝，儲砂空間會大幅降低，造成下一次土石流來臨時，無法提升攔阻的功能。
- 推測拆除中央橫桿間隙過小，無法破壞漂流木阻塞的結構，建議加大間隙。

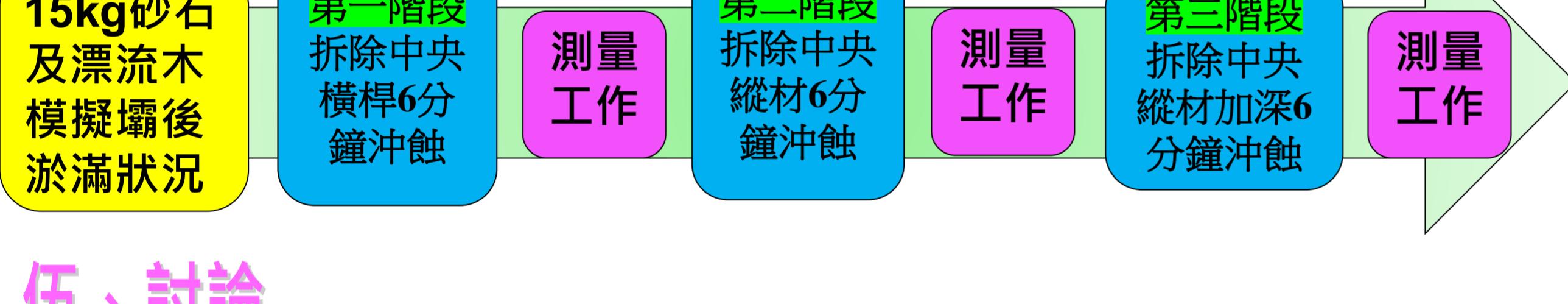


★漂流木運動動態分析圖★

研究六：探討階段性調整鋼管壩對防砂壩儲砂空間的影響

結果：照片與圖表皆由作者親自拍攝與製作

組別	初始階段	第一階段	第二階段	第三階段	★非階段性★
項次	未拆除元件	拆除橫桿 B ₁ B ₂	拆除縱材 B	拆除縱材 BE	拆除縱材 BE
礫石配比(巨 5% 粗 5% 細 45% 小 45%)+382 根漂流木					
儲砂空間率 (%)	1.6%	3.6%	17%	39%	55.6%
儲砂空間變化率 (%)		上升 2%	上升 13.4%	上升 22%	上升 54%
壩後沖刷型態 (cm)	沖刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0	沖刷位置 B 最大寬度 5.5 最大深度 2.3	沖刷位置 B 最大寬度 6.8 最大深度 3.1	沖刷位置 B 最大寬度 22 最大深度 8.3	沖刷位置 B 最大寬度 24 最大深度 8
壩前沖刷型態 (cm)	堆積型態 散狀 離壩距離 0	堆積型態 散狀 離壩距離 5	堆積型態 扇形 離壩距離 9	堆積型態 扇形 離壩距離 18	堆積型態 扇形 離壩距離 38
漂流木通過率 (%)	1.6%(6 根)	2.8%(10.6 根)	12.5%(48 根)	33.8%(129.4 根)	61.6%(235.2 根)



伍、討論

一、研究一專家訪談的結果：

(一) 調整型防砂壩的研究是以NbS自然為本的解決方案，強調人與自然共好共存的概念。

二、研究二調整型鋼管壩的攔阻與儲砂空間能力實驗結果：

(一) 設置封閉型防砂壩攔阻率高達9成；反之調整型鋼管壩因為有橫桿間隙，會讓小礫石通過，攔阻較大的礫石。

(二) 拆除上部橫桿，儲砂空間率是封閉型防砂壩7.2倍，而且當土石流來臨時，具有高儲砂空間率能提升壩體的再攔阻力。

三、研究三拆除調整型鋼管壩模組的實驗結果：

(一) 第一、拆除單一位置建議要在上部中央；第二、拆除複合式位置建議採加深模式，可以得到穩定的中央導引水流，發展大型沖蝕溝，避免邊坡被侵蝕的危險。

四、研究四不同的水流流量實驗結果：

(一) 建議枯水期配合研究三拆除中央上部橫桿或是縱材，當豐水期來臨，隨著水流量增加，會產生明顯的中央沖蝕溝以及較高的儲砂空間率，提高下次土石流來臨時的再攔阻能力。

五、研究五不同的礫石結構實驗結果：

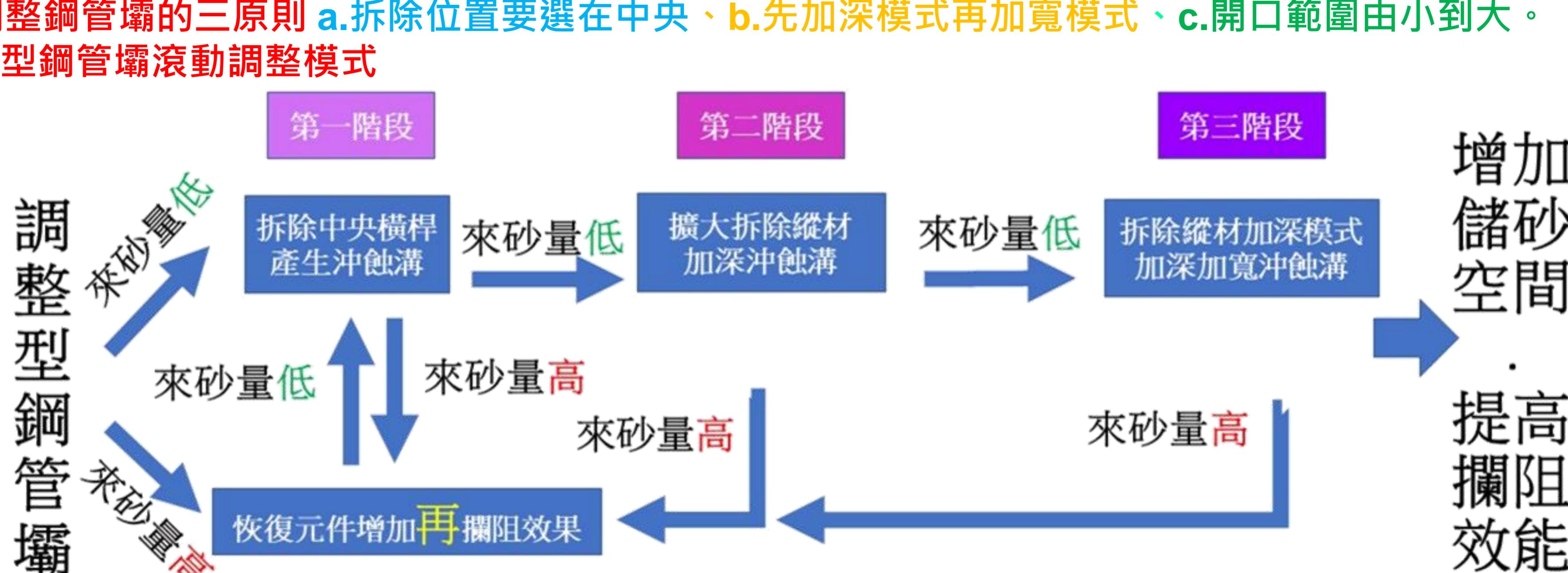
(一) 無漂流木的礫石結構：當礫石配比巨礫+粗礫逐漸提高，會形成在河床上的護甲層，更不利於壩後的儲砂空間形成。

(二) 有漂流木的礫石結構：具有漂流木時容易在橫桿形成阻礙，造成壩後的儲砂空間率大幅降低。

六、研究六階段性調整鋼管壩的實驗結果：

(一) 階段性調整鋼管壩的三原則 a. 拆除位置要選在中央、b. 先加深模式再加寬模式、c. 開口範圍由小到大。

(二) 發展調整型鋼管壩滾動調整模式



柒、參考資料

- 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。第51屆全國科展國小組地球科學第一名作品說明書。
- 黃揮凱(2015)。三種防砂壩攔阻漂流木及土砂效率分析。國立中興大學水土保持學士論文

<<本作品之所有照片或是圖片，凡是引用皆標明出處，其他皆由作者親自拍攝、繪製>>

實驗(二)：探討有漂流木的礫石結構對拆壩後儲砂空間的影響

結果：

模擬漂流木體積為砂石總量的0.02倍

組別	A	B	C	D
項次	巨粗 細 小 5 5 45 45	巨粗 細 小 15 15 35 35	巨粗 細 小 25 25 25 25	細 小 50 50
儲砂空間率 (%)	3.2%	0.2%	0.003%	9.9% 🌟
壩後沖刷型態(cm)	沖刷位置 B 最大寬度 5.2 最大深度 2.1	沖刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0	沖刷位置 無 最大寬度 0 最大深度 0	沖刷位置 B 最大寬度 9.6 最大深度 2.9
漂流木通過率 (%)	3.8%(14.8 根)	1.8%(6.8 根)	2.1%(8.2 根)	6.7%(25.6 根)
未加漂流木 382 根				
儲砂空間率 (%)	24.3%	13%	2.7%	72.7%
儲砂空間變化率 (%)	21.1% ↓	12.8% ↓	2.697% ↓	62.8% ↓

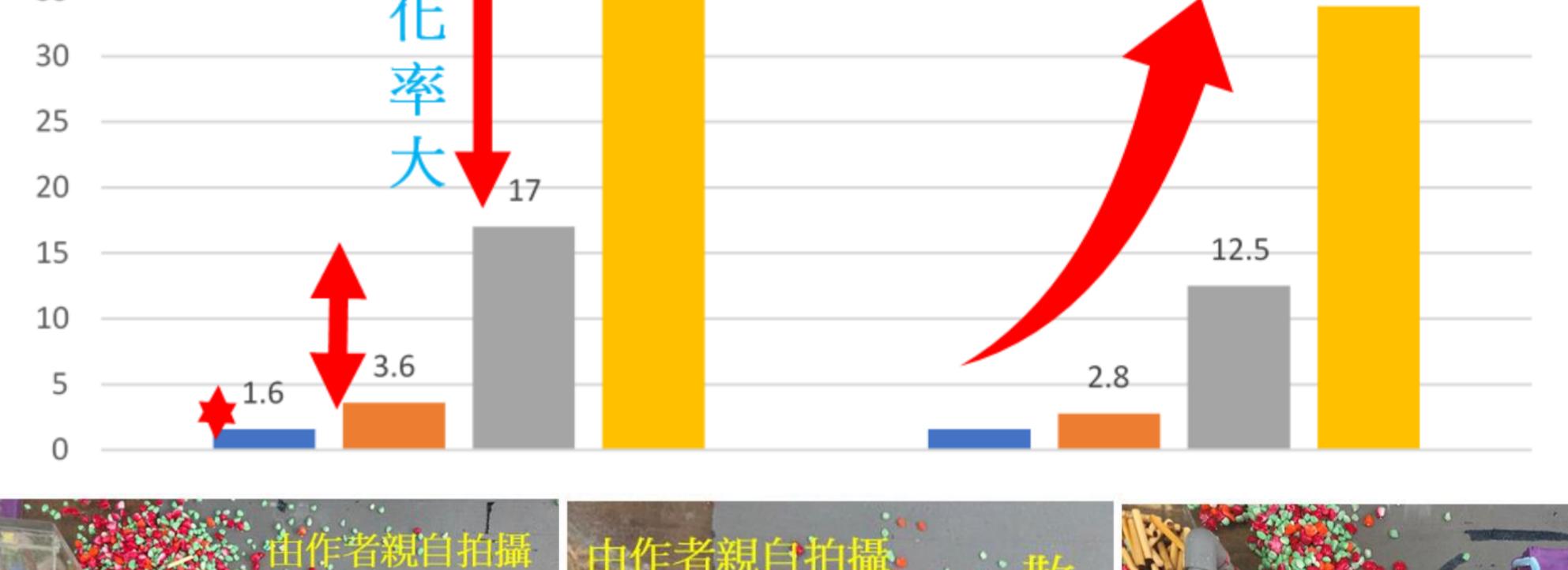
漂流木與未加漂流木儲砂空間比較表



發現：

- 採階段性拆除模式可以讓儲砂空間以及漂流木通過率增加，並且逐步減緩砂石移動動能，對於下游保護對象是安全的而非階段性一次拆除大範圍，會讓砂石釋放全部移動動能，造成下游保護對象危險。

單位 (%)



非階段性一次開啟
★保護對象危險★

階段性調整(第一階段)

階段性調整(第三階段)
★保護對象安全★