

中華民國第 57 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國中組 地球科學科

第三名

030508

打破沙土排到底-訪查湖山水庫下游及探討湖山水庫自製異重流排沙的可行性

學校名稱：雲林縣立斗六國民中學

作者： 國二 盧佩筠 國二 蕭熙陵 國二 廖婕瑄	指導老師： 丁崇祺 何玉月
---	-----------------------------

關鍵詞：異重流、渦流、湖山水庫

摘要

經由親自探訪湖山水庫，了解水庫是由南投桶頭攔河堰引水過來，因無直接由河川匯集，故出水處的梅林溪有淤積的可能。再加上水庫周遭樹林砍伐，保土功能變差，進而可能導致水庫自身淤積現象發生。可能的解決方法就是利用異重流排沙。

研究發現：

- 1、 異重流比重越大，異重流越清楚，捲流也較明顯，有益排沙。
- 2、 異重流比重越大，壩體坡度越小，異重流越安定；比重越小，反而是坡度越大越穩定。
- 3、 在湖山水庫底土上新世與更新世頭嵙山層的條件下，以溪沙最適合當異重流的土壤。
- 4、 水庫水面越高，排沙越不易，因異重流位能變少，且水阻變大之故。
- 5、 淤積沙土高度，要取決當下水庫水面高度，並不是淤積越高越好排沙。
- 6、 發現排沙最適溫度為 20°C。

壹、研究動機

過去斗六地區的水源主要是從外縣市或是直接使用地下水，這總令人不安，但今年終於蓋好了雲林縣第一座水庫“湖山水庫”，使得我們更加注意他的相關訊息，而根據新聞報導，環保團體針對湖山水庫，從竹山引水，水源引自清水溪，因水庫周遭林木砍伐，含沙量急劇升高，若使用 20 年後儲水效能可能不彰。這消息讓我們很震驚，政府花了大錢，要是只能使用短短的一二十年，想必對未來的雲林是一大傷害。

而要如何讓水庫能永續經營，水庫的壽命減少是在於水庫的淤積問題，淤積的問題只要一天不解決，我們就只能眼睜睜的看著水庫蓄水量一天天的減少。而對於台灣的水庫來說，以石門水庫為例，解決淤積的方法就是利用颱風過境而產生異重流來清理水庫底部的淤積(李鐵民, 2016)，所以我們就思考，為何只能等待颱風?如果在平常的時候就自製異重流來清理水庫裡的淤積，增加水庫的壽命，這樣不是比較好嗎?於是我們就開始用簡易的湖山水庫模型，針對湖山水庫的環境，判斷自製異重流對排沙清理淤積的可行性做相關性的研究。






貳、研究目的

- 1、以染色食鹽水模擬濁流對水庫底部產生的渦流影響。
- 2、能製作並觀察異重流與依照湖山水庫地形圖的相對應模型。
- 3、探討並模擬不同土壤的異重流與水庫底土對引出夾砂水濁度的影響
- 4、探討並模擬水庫淤積高度對引出夾砂水濁度的影響
- 5、探討並模擬水庫水位高低對異重流引出夾砂水濁度的影響。
- 6、探討並模擬異重流溫度對引出夾砂水濁度的影響。




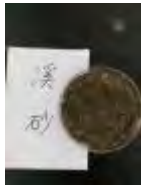



參、研究器材

程式：tracker & picpick

器材：

沉水馬達 	電腦與手機 	比色皿 	水庫模型 
自製 arduino 光度計 	熱對偶溫度計 	電子秤 	異重流觀察箱 

材料：

食鹽 	水彩 	陽明山土 	溪沙 
沙土 	壤土(田土) 	黏土(陶土) 	

肆、研究過程或方法

研究架構圖：

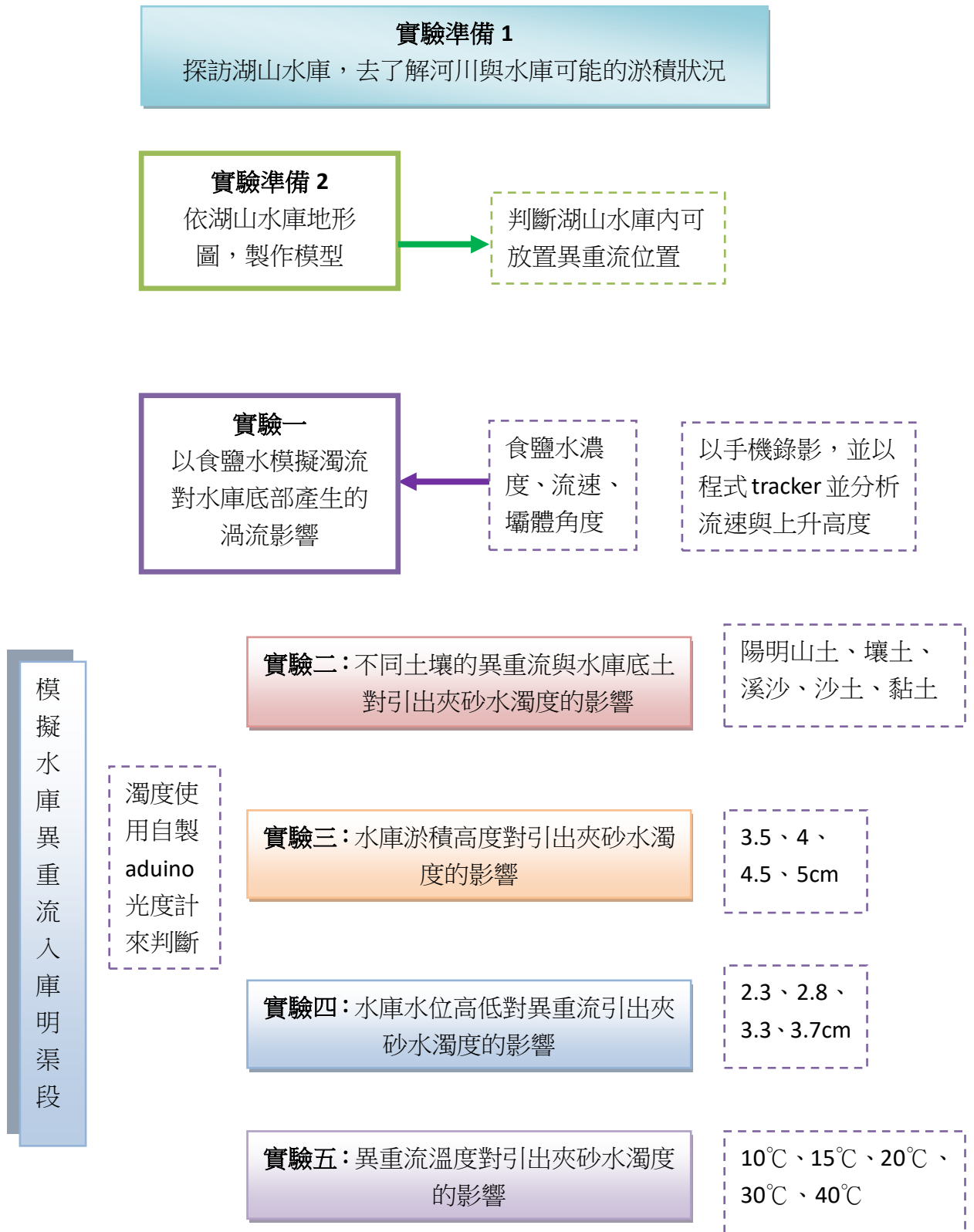


圖1 研究架構圖

實驗準備 1

湖山水庫淤積的可能性：

在實驗之前，首先了要了解湖山水庫周遭地形與河川狀況，先就 google 的衛星雲圖來看，湖山水庫引出的水最後會到達梅林溪，而本身水庫雖然看似由土地公坑、北勢坑、南勢坑以及中坑等河川所匯集的地區(如右圖 2)，但因為集水區域範圍很小，這些河川不足以供應整個水庫，所以實際上水源卻是遠從南投竹山的清水溪而來，建造桶頭攔河堰引水直線距離將近 6.18 公里 (如右圖 3)。湖山水庫的大壩共有三座，分別為湖南壩、湖山主壩及湖山副壩，前兩者最高達 76 公尺，副壩最高 63 公尺，由北往南分別湖山主壩、湖山副壩及湖南壩 (湖山水庫, 2016)。

既然我們已經知道源頭是在桶頭攔河堰，而長距離的水源運輸是利用暗管傳送的話，想必運輸時已經先過濾過，內含的泥沙量應該可以相對減少，但同時也代表著湖山水庫本身是沒辦法像石門水庫那樣可以利用颱風產生的河川濁流來清理淤積的泥沙，那麼解決的方法可能會是落在湖山水庫本身的部分。



圖 2 湖山水庫周遭河川



圖 3 桶頭攔河堰

於是我們把視線拉回湖山水庫來觀察，從湖山水庫下游的梅林溪一直到正在蓋的湖山水庫本體來訪查，將其分為六個觀察點A~F來分別觀察(如下圖4)。



圖 4 湖山水庫與梅林溪沿岸觀察點

A點： A點是第一個可以直接下到河川的點，可以發現這裡的淤積不少，並生長很多蘆葦，水流量不多(如圖5)，於是我們拜訪附近耆老，想了解是否是因為蓋水庫導致水流變小，而產生淤積的現象，耆老說明，這幾條溪的水流量本來就不大，蓋水庫的前後並沒有很大的差別。



圖 5 梅林溪 A 觀察點淤積狀況

另外，我們可以在A觀察點發現藻類滋生水質優養化的情形(如圖6)，探訪附近的產業，才了解溪底里這一帶大都是養家禽為主，家禽的糞便會因雨水而排入河川中，因此家禽的糞便是造成河川優養化及蘆葦生長茂密的主因。



圖 6 梅林溪 A 觀察點優養化與蘆葦生長情形

B點：這裡為福天吊橋，不能直接下去河床觀察，於是在吊橋上拍攝(如圖7)，可以發現植物生長狀況都與A觀察點一致，這可能跟觀察點A與B都是家禽糞便排放點有關，另外此地點同樣也是淤積嚴重，河道被淤積的泥沙分成兩個細小的支流。



圖 7 梅林溪 B 觀察點淤積狀況

C點：這裡是到達梅林溪的一個很大的轉折點，從蘆葦數量減少的趨勢可以發現這一帶已經開始漸漸遠離飼養家禽的區域，另外，這裡同時也是另一個可以下到河床觀察的地方(如圖8)，可以清楚看到水質比較清澈，藻類消失而沒有優養化的情形，大部分的樹種已改為小型灌木叢以及一般的野草，但仍有泥沙淤積的地方，主要以鵝卵石與礫石淤積為主。



圖 8 梅林溪 C 觀察點淤積狀況

D點：從梅林溪最大轉折點過來之後，在直線旁的側面路旁觀察，可以發現河川沉積的情形減少，蘆葦完全消失，僅剩小型灌木叢，河流清澈及寬闊(如下頁圖9)，令人納悶差異不到五百公尺的C、D兩點彷彿是兩條不同的河川，探訪附近產業，可以發現這裡不再是養殖家禽，而大部分是種植柚子，由文獻了解這裡土壤有過多的施肥現象，含磷、鉀都比一般農田高 (薛 & 許, 2007)。



圖 9 梅林溪 D 觀察點淤積狀況

E點：是湖山水庫出梅林溪唯一最近且可以觀測的橋梁，一直到湖山水庫內，並無其他人煙，從橋上往下可觀測出灌木與野草已經消失，可觀察到仍有一些鵝卵石沉積(如圖 10)。



圖 10 梅林溪 E 觀察點淤積狀況

F點：這觀察點為正在蓋的水庫內部，正面這裡被封鎖，所以從後面斜坡上去，可以發現底層使用大量的鵝卵石來鋪底，當下觀察時，水庫雛型尚未完成，但可以看出是以自然工法來建築，同時也可以看到附近的植物已被清得一乾二淨(如下圖11)。



圖 11 湖山水庫 F 觀察點

綜合以上可看出，梅林溪的淤積不是因為蓋水庫才產生的。而就水庫的淤積可能性來看，水庫預定地具有大量的植被，而當預定地完成後，周遭的植被消失，水土保持很可能會變差，故水庫內的淤積會有疑慮，另外梅林溪周遭的養殖業加速河川內的植物生長，當水庫水量過多而排放時，也會有河川氾濫的疑慮，我們若能持續間斷式的將水庫內的淤積清除，對於水庫壽命以及河川整治應該會很有幫助。

持續過一陣子，等到水庫已完工，並開始放水，我們又再去觀察，可以觀察到水庫已有雛形出來，但仍未放滿水，但已經可以看出與之前的差別了。



圖 12 當今水庫蓄水情形(107.1.7)



圖 13 未來水庫地形圖

跟之前的圖片來對照，可以發現這裡的植被已消失，所以這裡很可能會從主壩的側向往中間淤積。

實驗原理：

目前台灣對水庫的淤積幾乎沒輒，往往只能等待水庫的使用年限到期，或是等颱風到才以異重流來帶走部分淤積，也就是水流泥砂會混和成比重大於 1 的渾水。而渾水由河道流進入庫區時，因為比重較大，會潛入水庫原本蓄留的清水下，形成水庫異重流(如下圖 14)。進而將水庫底層的泥砂撞擊帶走。

經過實地鄉野調查後，發覺湖山水庫的水源是來自於其他地方，非河川匯集，所以湖山水庫與石門水庫最大的不同是無法以渾水明流直接撞擊底部淤積的部位，可能的方法是尋找附近水位較高之處，建立產生異重流的區域

，模擬石門水庫清沙的狀況，而由自己產生的異重流來清沙。

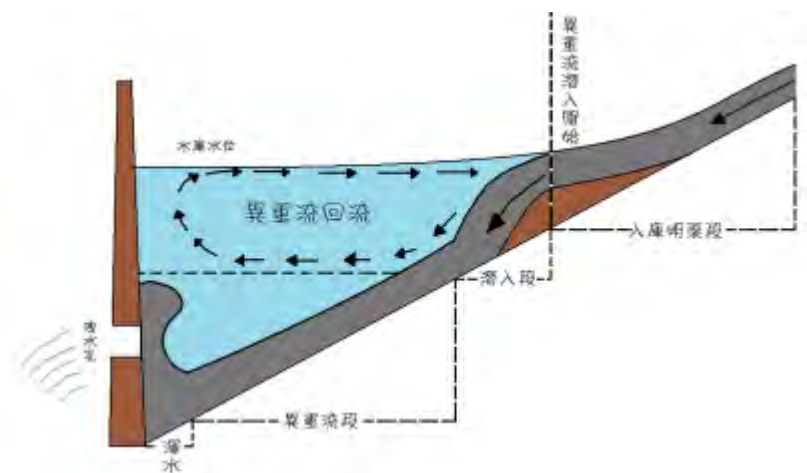


圖 14 異重流示意圖

實驗準備 2 製作異重流觀測箱與水庫剖面模型

異重流觀測箱

想利用食鹽水造成不同比重的液體，觀察流體異重流的變化，於是利用壓克力板製作異重流觀察盒，成為一個長 50cm、寬 5cm、高 20cm 以及厚度為 0.4cm 的半開放的空盒，為了能調整壩體的角度，所以另行製作一片不黏著的 30*4.9*0.4cm 的壓克力片，再利用防水膠帶或黏土固定，由另外一端以沉水馬達引水進來觀察。

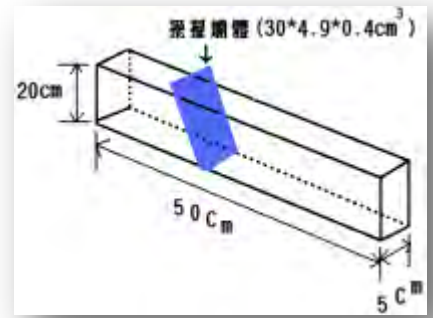


圖 15 異重流觀察箱設計圖



圖 16 異重流觀察箱

水庫剖面模型

原本是利用 Tinkercad 的網頁來設計(如圖 17)，但因為很簡易，3D 列印機的部分重要參數無法設定，所以一開始使用學校的 3D 列印機，往往都是失敗收場(如圖 18)。

所以我們藉由鄰近科大的幫忙，利用他們的程式設計完我們所要的東西。也將物件切割，分開列印各個物件(如下圖 19)，再以黏膠連結，但發現有縫隙，所以利用汽車補土將表面輕輕塗一層(如下圖 20)，最後利用鐵夾與橡皮筋將壓克力板兩邊以矽利康與主體緊密相連完成實體(如下圖 21)。

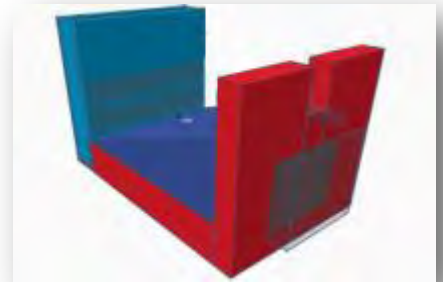


圖 17 Tinkercad 模擬水庫設計圖

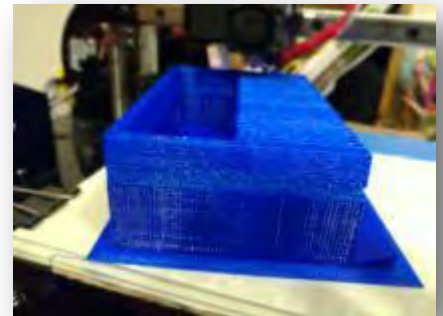


圖 18 3D 列印失敗品



圖 19 3D 列印成品積木



圖 20 斜面使用汽車補土



圖 21 模型即將完成圖

實驗步驟：

實驗一：食鹽水模擬濁流對水庫底部產生的渦流

影響壩體的角度有很多因素，跟壓力、與容納水的體積等等都有很大的影響，就湖山水庫設計圖可以看到，由設計圖來看它主壩的部分，利用 picpick 電腦上測量角度為 18.99° ，約 19° 度，但想將異重流放大效果來看，所以將角度測量定為 45° 、 55° 、 65° 、 75° 。

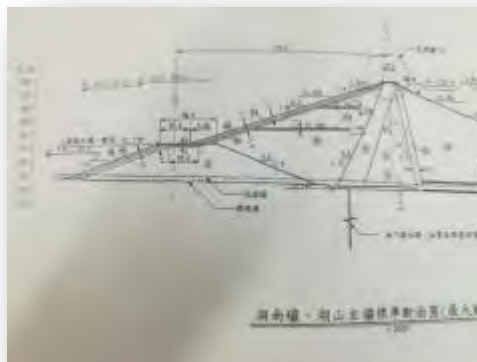


圖 22 湖山水庫主壩設計圖

- 1、 配置食鹽水濃度為 4%、6%、8%各 10 公升，再添加固定量的不同顏色的水彩。
- 2、 取 4%的有色食鹽水於 1000ml 的燒杯中，將壓克力箱裝滿水，固定壩體位置後，調整仰角為 45° 度，以可調速沉水馬達引食鹽水打向模擬壩體，直到燒杯溶液打到空為止。
- 3、 利用手機即時錄影，之後以程式 tracker 與 picpick 分析其運動狀態。
- 4、 調整另外三種不同速度重複步驟 2 至 3。
- 5、 將壩體改變仰角，分別調整為 55° 、 65° 、 75° ，重複實驗 2 至 4。
- 6、 接著更換濃度為 6%及 8%的有色食鹽水，重複步驟 2 至 5。

實驗二：不同土壤的異重流與水庫底土對引出夾砂水濁度的影響

- 1、 取五種不同顆粒大小的泥土(陽明山土、沙土、溪沙、壤土、黏土)，分別填入底層淤積泥沙約 1cm 厚，再加水並靜置至澄清。
- 2、 各自將五種土壤加水至混濁，達到濁度最大值，各自取出濁液，分別加水配成 $1/2$ 及 $1/4$ 濁度，再以自製光度計測量起始濁度。
- 3、 取異重流濁水 500cc 放入燒杯內，攪拌避免沉澱，
- 4、 分別以不可調速沉水馬達(固定速度)引水打向模擬壩體處，取出流出的溶液，攪拌均勻後再利用自製光度計測量
- 5、 變化土壤與濁度，重複步驟 3 到 4。

實驗三：水庫淤積高度對自製異重流引出夾砂水濁度的影響

- 1、 將沙土填入底層，當淤積泥沙離底部分別為 3.5、4、4.5、5cm，加水至相同高度並靜置至澄清。
- 2、 以實驗二最佳化配置，配置固定濁度，以沉水馬達引水打向模擬壩體處，取出流出的溶液，攪拌後再利用自製光度計測量濁度。

實驗四 水位高低對自製異重流引出夾砂水濁度的影響

- 1、 沙土填入底層，使淤積泥沙離底部為 1cm，並加水將水位調整離底部 2.3、2.8、3.3、3.7cm，並靜置至澄清。
- 2、 重複實驗三步驟 2，觀察並記錄。

實驗五：異重流溫度對引出夾砂水濁度的影響

- 1、 沙土填入底層，使淤積泥沙離底部為 1cm，並加水將水位調整離底部為 5cm，並靜置至澄清。
- 2、 將實驗二最佳化配置，利用冰塊與熱水調整其濁流溫度為 10、15、20、30、40°C，再用光度計測量其濁度。
- 3、 重複實驗四步驟 2，觀察並記錄。

伍、研究結果與討論

實驗一 以食鹽水模擬異重流對水庫底部產生的渦流影響

流速與流量對應不同比重溶液的影響

判斷濃度 4% 的異重流不同流速的爬升程度

流速	狀態(壩體角度 45 度)						爬升高度
15.82 cm/s							8.72cm
18.48 cm/s							9.08cm
26.49 cm/s							12.04cm
31.71 cm/s							14.01cm

流速	狀態(壩體角度 55 度)						爬升高度
15.08 cm/s							6.98cm
18.75 cm/s							8.18cm
23.77 cm/s							9.92cm
38.50 cm/s							14.17cm

流速	狀態(壩體角度 65 度)						爬升高度
12.05 cm/s							5.33cm
20.03 cm/s							6.80cm
27.15 cm/s							7.96cm
32.46 cm/s							13.08cm

流速	狀態(壩體角度 75 度)						爬升高度
11.27 cm/s							5.93cm
20.54 cm/s							7.00cm
21.26 cm/s							11.15cm
28.18 cm/s							12.24cm

可以發現在狀態上，4%食鹽水低流速異重流的展現不太明顯，也發現水與食鹽水的交界有擴散的現象，流速越快流量越大，回捲的現象才會比較明顯，以軌道尺寸為 30cm，在 21.26cm/s 的流速下，異重流的頭才很明顯跑的出來。

判斷濃度 6%的異重流不同流速與流量的爬升程度

流速	狀態(壩體角度 45 度)						爬升高度
10.91 cm/s							6.64cm

21.70 cm/s		9.08cm
26.95 cm/s		10.73cm
34.66 cm/s		14.70cm

流速	狀態(壩體角度 55 度)	爬升高度
16.88 cm/s		6.72cm
19.38 cm/s		8.04cm
30.84 cm/s		12.06cm
34.02 cm/s		13.56cm

流速	狀態(壩體角度 65 度)	爬升高度
16.89 cm/s		6.05cm
19.74 cm/s		6.32cm
22.05 cm/s		12.05cm
34.18 cm/s		12.29cm

流速	狀態(壩體角度 75 度)						爬升高度
18.60 cm/s							7.33cm
20.34 cm/s							8.16cm
27.76 Cm/s							10.43cm
36.59 cm/s							11.51cm

6%食鹽水異重流的展現很明顯，也發現水與食鹽水的交界比較容易界定，可能是密度也大到一定的程度了，擴散現象有減緩的趨勢，當然流速越快流量越大，回捲的現象越明顯，以軌道尺寸為 30cm，在 26cm/s 的流速下，異重流就可以很明顯的顯示出來。

判斷濃度 8%的異重流不同流速與流量的爬升程度

流速	狀態(壩體角度 45 度)						爬升高度
10.01 cm/s							7.93cm
17.54 cm/s							7.28cm
23.78 cm/s							11.86cm
37.11 cm/s							13.22cm

流速	狀態(壩體角度 55 度)						爬升高度
17.66 cm/s							5.96cm

23.33 cm/s								8.90cm
27.50 cm/s								10.80cm
35.93 cm/s								14.63cm

流速	狀態(壩體角度 65 度)							爬升高度
15.27 cm/s								7.23cm
19.90 cm/s								8.28cm
27.13 cm/s								10.87cm
30.16 cm/s								11.97cm

流速	狀態(壩體角度 75 度)							爬升高度
12.17 cm/s								7.55cm
19.08 cm/s								7.76cm
33.68 cm/s								10.29cm
34.92 cm/s								12.90cm

8%食鹽水異重流的展現非常明顯，因為是飽和溶液，所以容易界定水與食鹽水的交界，擴散現象仍有減緩的趨勢，當然流速越快流量越大，回捲的現象越明顯，以軌道尺寸為 30cm，

在 19cm/s 的流速下，異重流就可以很明顯的顯示出來。

在壩體的部分，可以發現角度越大，其爬坡速度越快也越高，主要因為是角度越大，爬坡的空間越小，單位分子所傳遞的能量越多，而通道的情形是角度越大，坡度越陡，所走的坡道越短、摩擦力越少，到底部的流速越快，而讓爬坡速度更快。

實驗二 不同土壤的異重流與水庫底土對引出夾砂水濁度的影響


選擇此五種土壤原因是因為容易取得，另外也可以提供對其他溪流水庫的狀況，首先要了解湖山水庫位於林內鄉內，而此地的岩層主要為上新世（PQC）及更新世頭嵙山層（PQS）為主，其岩層多由礫岩、砂岩、泥岩及頁岩所組成，經由陸地劇上升而產生之大規模侵蝕造成岩屑堆積，在地形上常形成鋸齒狀的山峰和比較高的台地。礫岩相以塊狀之礫岩為主，夾有薄層砂層，在砂岩中出現交錯偽層，主要分佈於林內至水底寮近平原之淺山部份。碎屑岩相則以砂岩、頁岩互層的碎屑岩相為主，成帶狀分佈於棋盤厝至古坑、梅山附近。（雲林縣政府農民團體輔導科, 98），對於此模型來看，最接近的是礫岩縮小版的溪沙與沙土。

表 1 五種土壤內容說明

土壤種類	溪沙	陽明山土	沙土	壤土	陶土(黏土)
顆粒大小比較	5 至 20cm (最大)	0 至 20mm (第二)	0.0625 至 2mm(第三)	0.2mm 至 0.02mm(第四)	0.001 至 0.005mm (最小)
成分	大部分由沙粒組成，密度較高。	安山岩風化而成	由大量的沙和少量的黏土混合而成，以泥炭土為主。	指土壤顆粒組成中黏粒、粉粒、砂粒含量適中的土壤	主要成分為矽酸鋁和氧化鋁

我們針對這五種土，做異重流的土與水壩的土做交叉比對，看哪種土壤環境下，以何種土當異重流的土效果最好。




先以異重流土壤本質為陽明山土，也就是以安山岩粉屑為主。

土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	陽明山土		陽明山土	
異重流濁度	282	262	163	
水庫流出濁度	260	235	268	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	陽明山土		沙土	
異重流濁度	282	262	163	
水庫流出濁度	208	244	235	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	陽明山土		溪沙	
異重流濁度	282	262	163	
水庫流出濁度	277	137	127	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	陽明山土		壤土	
異重流濁度	282	262	163	
水庫流出濁度	363	325	299	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	陽明山土		黏土	
異重流濁度	282	262	163	
水庫流出濁度	208	170	172	


再來以異重流土壤本質為沙土，粉末顆粒不均勻，也就是密度不均勻，具有黏土與沙粒。

土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	沙土		陽明山土	
異重流濁度	107	144	190	
水庫流出濁度	169	234	219	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	沙土		沙土	
異重流濁度	107	144	190	
水庫流出濁度	194	219	218	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	沙土		溪沙	
異重流濁度	107	144	190	
水庫流出濁度	128	130	285	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	沙土		壤土	
異重流濁度	107	144	190	
水庫流出濁度	227	211	341	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	沙土		黏土	
異重流濁度	107	144	190	
水庫流出濁度	135	157	267	





接下來用溪沙當異重流土壤本質，主要為沙粒與石頭，密度最高，不含較細的黏土。

土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	溪沙		陽明山土	
異重流濁度	88	80	76	
水庫流出濁度	166	262	169	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	
	溪沙		沙土	
異重流濁度	80	88	76	
水庫流出濁度	265	230	238	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	溪沙		溪沙	
異重流濁度	88	80	76	
水庫流出濁度	156	122	98	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	
	溪沙		壤土	
異重流濁度	88	80	76	
水庫流出濁度	275	212	298	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	溪沙		黏土	
異重流濁度	88	80	76	
水庫流出濁度	128	108	120	

再來使用壤土當異重流土壤本質，主要成分以黏土為主，沙粒有含少部分。

土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	壤土		陽明山土	
異重流濁度	363	157	131	
水庫流出濁度	383	258	230	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	
	壤土		沙土	
異重流濁度	363	157	131	
水庫流出濁度	365	187	229	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	
	壤土		溪沙	
異重流濁度	363	157	131	
水庫流出濁度	235	181	129	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	
	壤土		壤土	
異重流濁度	363	157	131	
水庫流出濁度	385	398	258	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	
	壤土		黏土	
異重流濁度	363	157	131	
水庫流出濁度	170	107	129	

最後使用黏土當異重流土壤本質，主要成分為顆粒最小的黏土。

土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	黏土		陽明山土	
異重流濁度	207	143	138	
水庫流出濁度	313	288	216	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	黏土		沙土	
異重流濁度	207	143	138	
水庫流出濁度	232	286	232	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	黏土		溪沙	
異重流濁度	207	143	138	
水庫流出濁度	239	157	157	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	黏土		壤土	
異重流濁度	207	143	138	
水庫流出濁度	334	167	230	
土壤種類	異重流土壤		壩體土壤	狀態
	黏土		黏土	
異重流濁度	207	143	138	
水庫流出濁度	210	181	178	

顆粒大小為溪砂>陽明山土>沙土>壤土>黏土，五種土壤中，除了因為溪沙的顆粒不會太小，比較容易沉澱，可以減少靜置的時間，還有湖山水庫的土壤主要是沙土為主，黏土較少 (薛 & 許, 2007)，所以我們要找出對沙土的排沙最好的異重流土壤。

實驗三 水庫淤積高度比例對自製異重流引出夾砂水濁度的影響

做這個實驗是為了想了解淤積時間的長短不同，利用異重流再清理，哪種比較合適，可以看出並不是愈積越高越好，應該是有適當的條件下，才容易打出淤積的泥沙來。

淤積高度	3.5cm	4cm	4.5cm	5cm
異重流濁度	88	88	88	88
排開水濁度	273	356	275	269
濁度增加比	210.23%	304.55%	212.50%	205.68%

實驗四 水位高低對自製異重流引出夾砂水濁度的影響

水位高度	2.3cm	2.8cm	3.3cm	3.7cm
異重流濁度	88	88	88	88
排開水濁度	335	275	261	257
增加百分比	280.68%	212.50%	196.59%	192.05%

從結果可以看到水位越高，排沙效果越差，所以不能利用河川自然力量的湖山水庫，在中南部異重流排沙季節可能較適合在降雨量較少的秋季與冬季。

實驗五 自製異重流溫度對引出夾砂水濁度的影響

溫度	10℃	15℃	20℃	30℃	40℃
異重流濁度	88	99	102	96	86
排開水濁度	362	305	343	308	318
濁度增加比	212.50%	220.83%	311.36%	236.27%	208.08%

我們一開始的想法是，應該溫度越高，熱對流越旺盛，攪動底層淤積應該會越好才對，結果表現最佳的反而是在 20 度，後續會以圖來說明可能的原因。

陸、結論

實驗一 以食鹽水模擬濁流對水庫底部產生的渦流影響

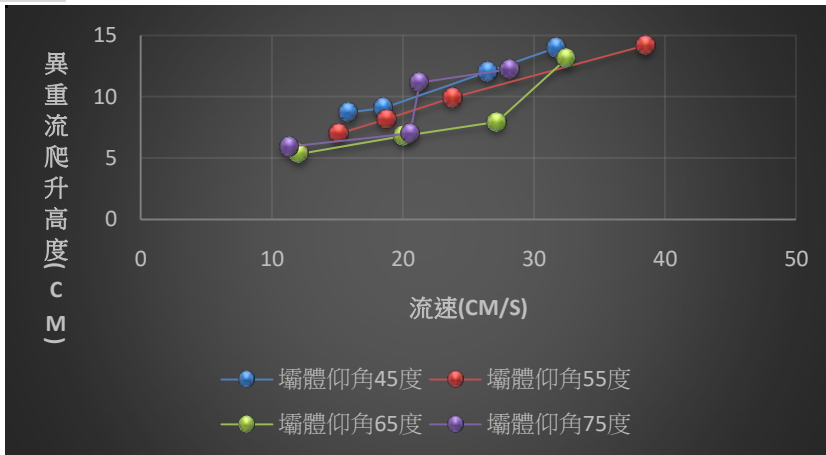


圖 23 不同仰角下 4%異重流流速對爬升高度的關係圖

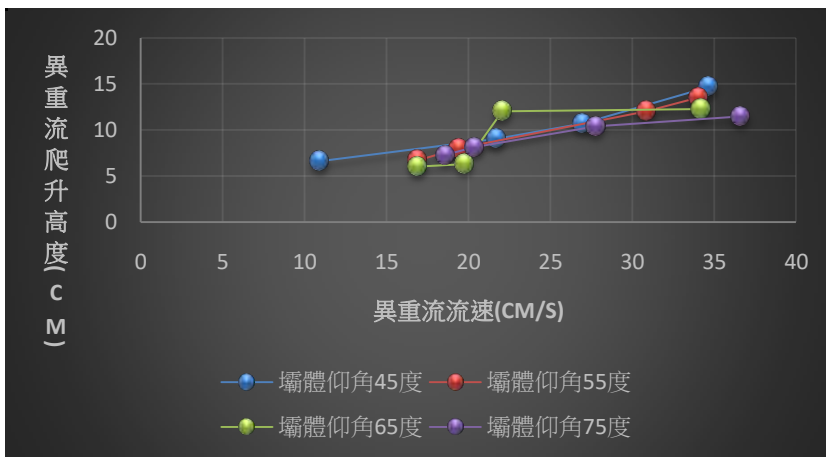


圖 24 不同仰角下 6%異重流流速對爬升高度的關係圖

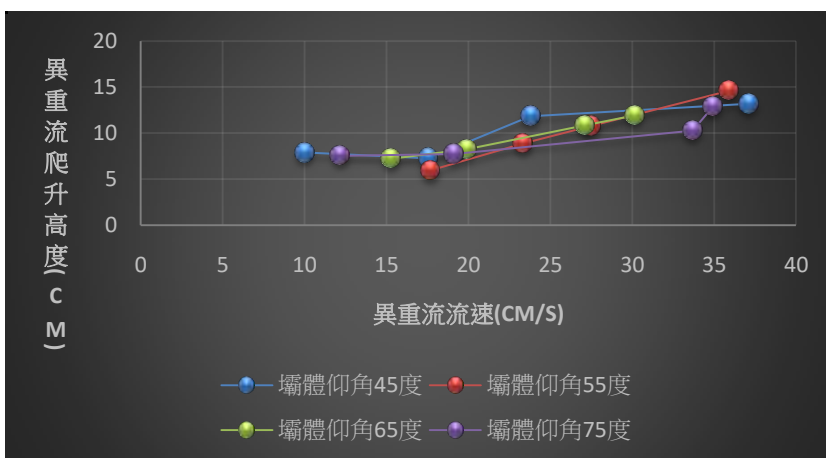


圖 25 不同仰角下 8%異重流流速對爬升高度的關係圖

從各自濃度來看，可以看出 4%異重流流速大到一個值時，高度會提高，可能原因是因為密度小且輕，較不受重力與摩擦力影響，當角度大時，上升空間的體積較小，而更容易抬升。

可以發現在仰角 55 度時，異重流濃度最不受影響，但爬升高度並不代表容易將底土打出，我們認為反而越受影響，渦流越容易產生，底土打出的機率也越大，所以高濃度在低角度時效果最好。低濃度反而是在仰角高的坡度效果才好。

利用食鹽水模擬水庫的異重流來看，可以發現濃度越大，模擬異重流的食鹽水流所產生的捲水現象較明顯，觀察異重流，可以看出在衝入水裡時，會形成壓縮的現象，就像一個三角形，後面的波撞擊過來時，開始往前進，可以看出異重流的頭形產生，接著在底部運動的過程中，會發生擴散，以及接近壩體時，可能速度變慢加上水壓的關係，濃度越低會被壓成三角形，濃度越高，圓形的頭比較完整，最後在壓克力盒內形成一個波峰，往最裡面的壁面衝擊並爬升，當然可以看出濃度越大，所能爬升的高度也越低，可能是因為濃度越大越重，而造成摩擦力越大之故。

如果我們針對各個角度來看，不同濃度的食鹽水表現如下圖 26~29：

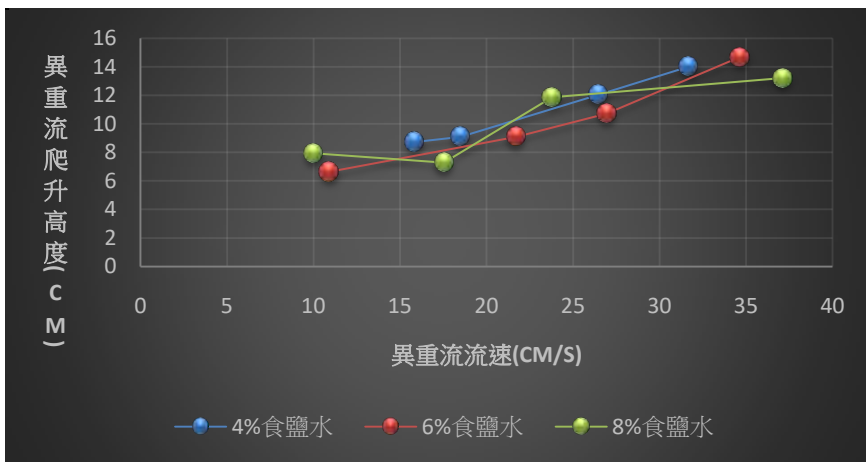


圖 26 45 度，不同濃度異重流對爬坡高度的影響圖

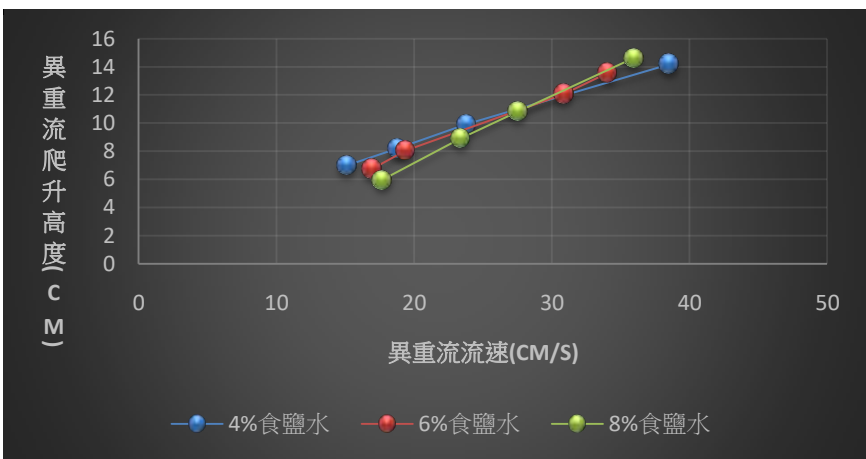


圖 27 55 度，不同濃度異重流對爬坡高度的影響圖

如果分開角度綜合圖 26~29 來看，角度小於 55 度時，比重大小，似乎較沒影響爬坡高度，流速穩定進而造成爬坡與流速幾乎呈現正比關係。

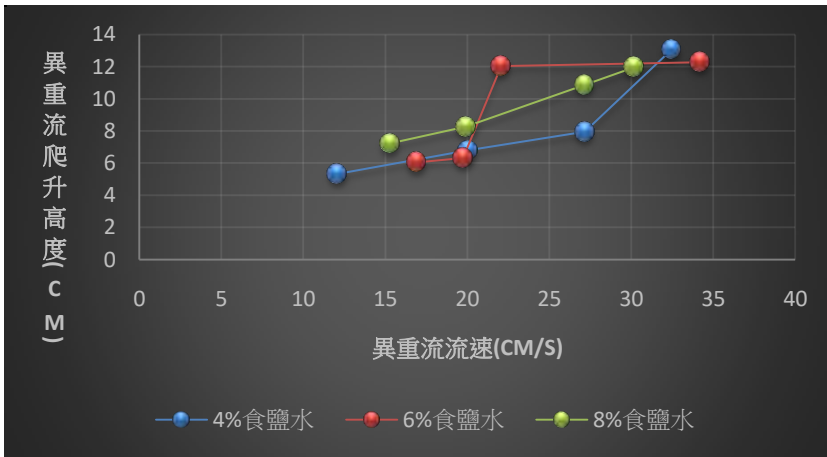


圖 28 65 度，不同濃度異重流對爬坡高度的影響圖

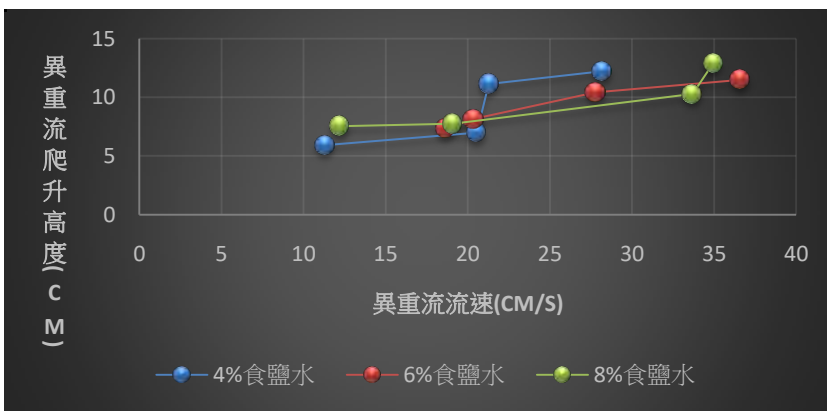


圖 29 75 度，不同濃度異重流對爬坡高度的影響圖

實驗二 不同土壤的異重流與水庫底土對引出夾砂水濁度的影響

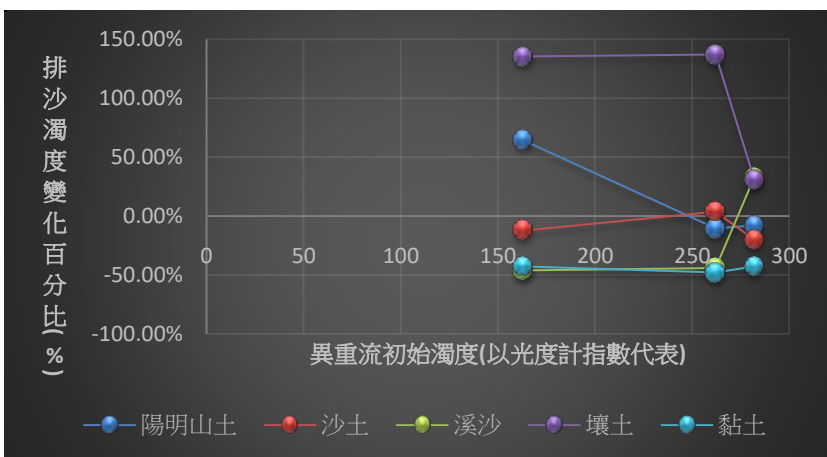


圖 30 陽明山土當異重流對其他土壤排沙效益圖

，不過角度超過 65 度，可以看出來重力影響很大，造成整個渦流很混亂，濃度越小，越明顯，而異重流的密度高時，水庫的坡度較低比較理想，而湖山水庫的坡度約 20 度，很適合異重流的產生。

可以發現以陽明山土當異重流土壤時，因為陽明山土是安山岩風化造成，而導致顆粒大小不均，黏土太密合，很難打出來，當濁度越高，代表陽明山土的顆粒反而越小，可以看出效果都變差，唯一比較有效的是在底土為壤土

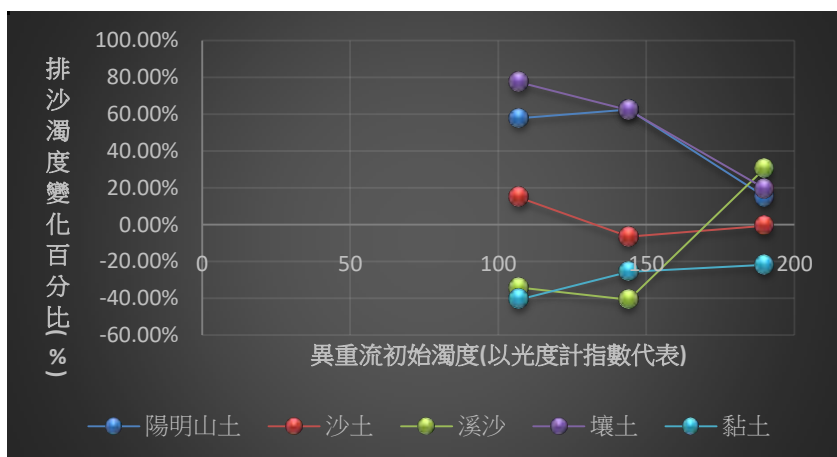


圖 31 砂土當異重流對其他土壤排沙效益圖

可以發現沙土當異重流土壤，在固定流速下，有效用的為陽明山土、沙土以及壤土，而黏土可能密合度較高，不易打出，溪沙則需要更大的濁度來撞擊。不過可以看出，沙土當異重流的效果算是很不錯，可能是因為本身含有大量沙石之故。

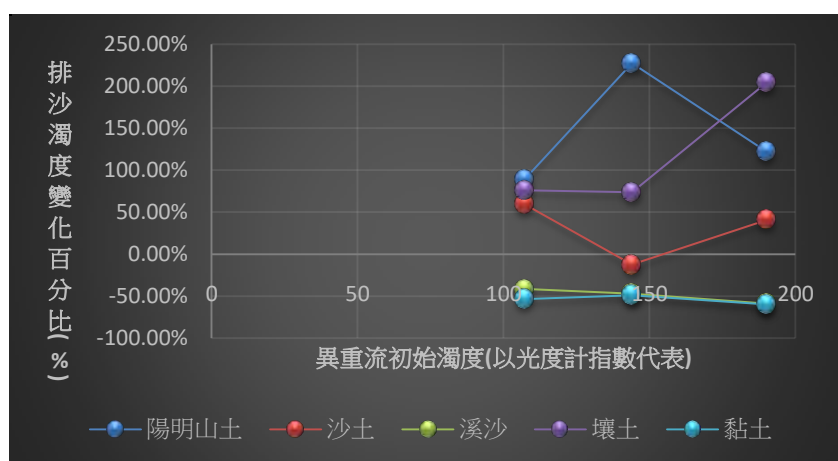


圖 32 溪沙當異重流對其他土壤排沙效益圖

溪沙排沙效果算是五種土壤中最最好的，適合排沙的土壤為陽明山土、沙土及壤土，溪沙與壤土或許提高流速，可以提高效果，效果奇佳的原因恐怕是本身是以顆粒大，密度高的砂石為主。

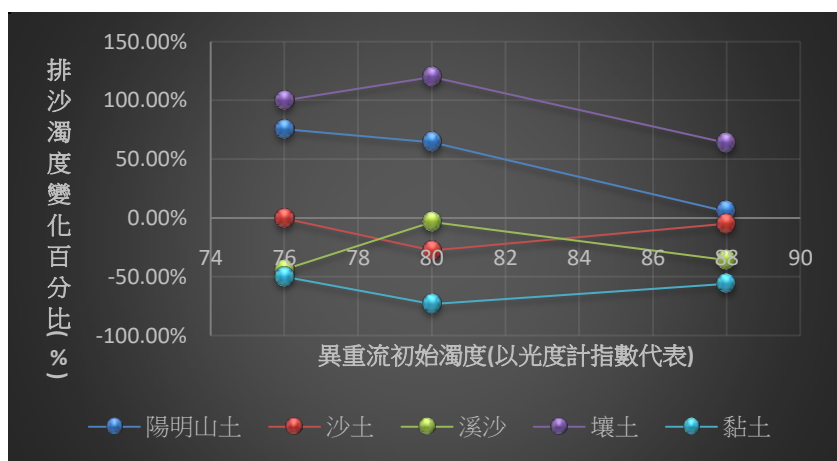


圖 33 壤土當異重流對其他土壤排沙效益圖

壤土跟陽明山土一樣，顆粒不均勻，當濁度越大，顆粒會越小，排沙效果當然會下降，容易排沙的底土為壤土。

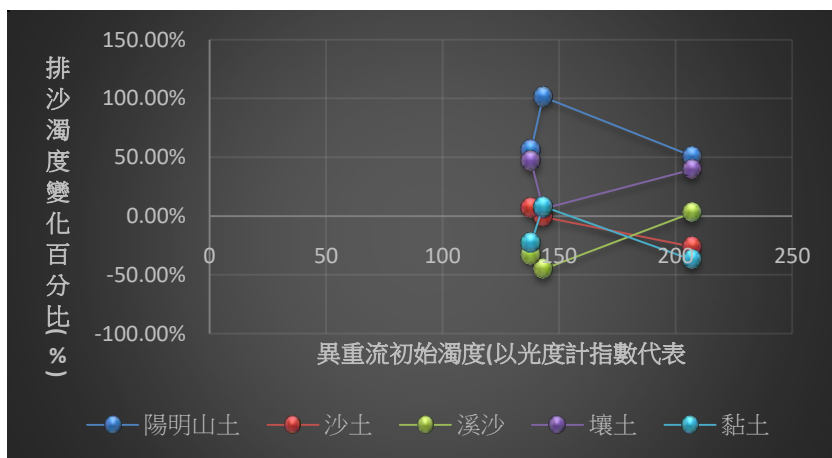


圖 34 黏土當異重流對其他土壤排沙效益圖

黏土的效果差，主因是顆粒小且軟，對底土的撞擊效力很有限，顧名思義黏性也很高，導致很大一部分的土壤反而被黏住，只有顆粒較不均勻的陽明山土與壤土效果會好一些。

綜合五種土壤來看，效果最佳的是溪沙，再來是沙土，就兩者之間的相關性來看，含有硬度高顆粒中小的沙石粒應為主因，針對湖山水庫主要土壤為第四紀的沖積層，以及部分是更新世頭嵙山層來看，主要以砂石與大顆礫石為主，以縮小的模型來看，縮小版的礫石，也就是溪沙是最佳模擬的選擇。綜合效果後，整理為下表 2。

表 2 異種流與水庫底土比較優勢圖

異重流 \ 底土	陽明山土	沙土	溪沙	壤土	黏土
陽明山土	△	×	×	○	×
沙土	○	△	×	○	×
溪沙	○	△	×	○	×
壤土	△	×	×	○	×
黏土	×	×	×	△	○

(○：佳，△：尚可，×：不佳)

實驗三 水庫淤積高度對引出夾砂水濁度的影響

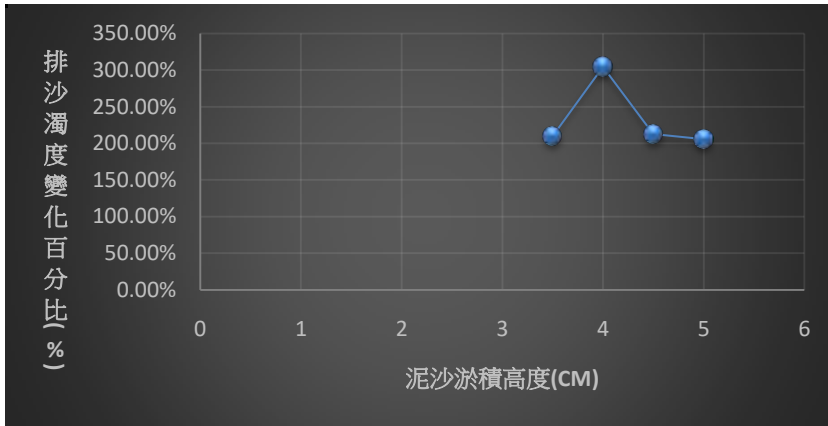


圖 35 淤積高度對引出夾砂水濁度的關係圖

實驗四 水庫水位高低對異重流引出夾砂水濁度的影響

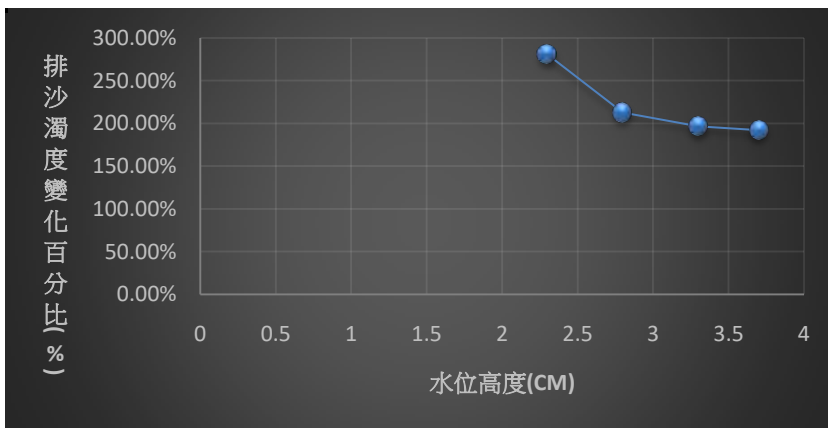


圖 36 水位高低對引出夾沙水濁度的關係圖

實驗五 異重流溫度對引出夾砂水濁度的影響

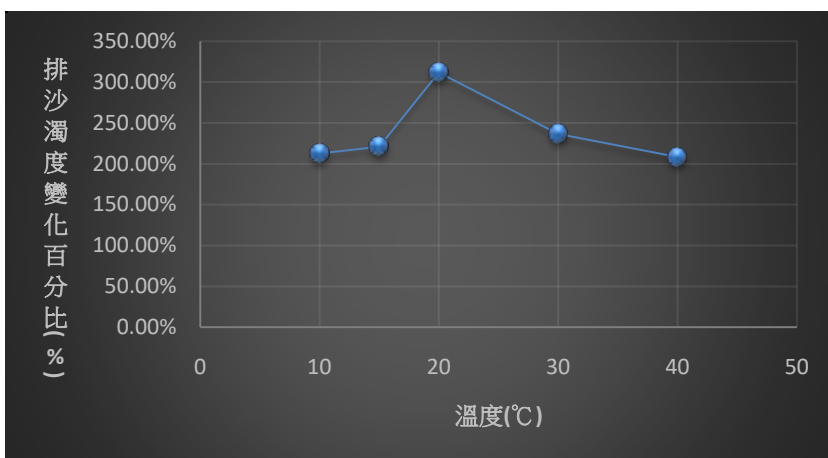


圖 37 異重流溫度對引出夾砂水濁度的關係圖

可以看出，在一定的淤積高度，效果反而最好，並不是淤積越多，排沙會越多。原因應該與水庫本身水位與淤積泥沙的比例有關，若是累積太多的淤積底土，反而會因水壓造成越底部越密合，尤其是黏土，就更難撞擊出來。

由圖 36 來看，水位越高，排沙效果越差。可以觀察到水位的高低造成濁度影響的情形有兩個，一個是進水時水位較高時，進水水的阻力比較大而讓流速減慢，二可以看出異重流所能利用的位能較少，轉換的動能也會變少。

我們判斷溫度過高，有可能會造成異重流的密度與水庫水的密度差異收縮，造成效果變差，主要是液體密度造成影響，而低於 20°C，底層土壤的密度會變大，造成不易用異重流的方式撞擊排出，主要是固體密度造成影響。所以並不是溫度越高或越低越好，要在適當的溫度比較理想，就台灣來看，溫度在 20°C 大約在春季或秋季，綜合實驗四來看，秋季可能是較適合的季節了。

柒、未來展望

我們模擬水庫的情形，可以發現以沙引沙的方案是可行的，因為湖山水庫本身不是由河川所灌入的關係。未來如果在湖山水庫設置沙土的撞擊點，撞擊到主壩前的中心，相信可以延長水庫的壽命。可能的設置點應為水庫的兩側，由兩側往主壩前撞擊可以帶來比較好的結果。



圖 37 水庫可能的異重流設置與撞擊點

捌、參考資料

- 1、李鐵民. (2016 年 5 月 14 日). 認識石門水庫異重流. 2016 年 11 月 15 日 擷取自 科學 online:
<http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=70379>
- 2、湖山水庫. (2016 年 11 月 16 日). 2016 年 11 月 20 日 擷取自 維基百科:
<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B9%96%E5%B1%B1%E6%B0%B4%E5%BA%AB>
- 3、陳鎮東, & 王冰潔. (1997). 台灣的湖泊與水庫. 國立編譯館
- 4、薛美莉, & 許正一. (2007). 湖山水庫預定地土壤特性和植被類型的關係--湖山水庫預定地. 國立屏東科技大學.
- 5、<https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%84%B0%E8%89%B2%E5%8F%8D%E5%BA%94>
雲林縣政府農民團體輔導科. (98). 雲林縣環境現況分析. 於 雲林縣農地資源空間規劃計畫 (頁 1-76). 雲林縣政府.

【評語】 030508

1. 試驗工作是利用不同材料配比來進行，嘗試了解異重流排砂的效果，具有原創性，值得肯定。
2. 研究主題清楚，而且相當聚焦，具有鄉土特性。
3. 現場調查觀測，分析清楚，說明完整。

作品海報

摘要

經由親自探訪湖山水庫，了解水庫是由南投桶頭攔河堰引水過來，因無直接由河川匯集，故出水處的梅林溪有淤積的可能。再加上水庫周遭樹林砍伐，保土功能變差，可能導致水庫自身淤積現象發生。可能的解決方法是利用異重流排沙。

研究中了解：

1. 異重流比重越大，產生的異重流越清楚，捲流也較明顯，有益排沙。
2. 異重流比重越大，壩體坡度越小，異重流越安定；比重越小，反而是坡度越大越穩定。
3. 以湖山水庫底土為沙土的條件下，五種異重流土壤中，以溪沙最適合。
4. 水庫水面越高，排沙越不易，因異重流位能變小，且水阻變大之故。
5. 淤積沙土高度，要取決當下水庫水面高度，並不是淤積越高越好排沙。
6. 發現排沙最適溫度為20°C。

壹 研究動機

斗六地區的水源過去主要是從外縣市或是直接使用地下水，但今年終於蓋好了雲林縣第一座水庫”湖山水庫”，使得我們更加注意他的相關訊息，而根據新聞報導，環保團體針對湖山水庫，從竹山引水，水源引自清水溪，因水庫周遭林木砍伐，含沙量急劇升高，若使用20年後儲水效能可能不彰。這消息讓我們很震驚，政府花了大錢，要是只能使用短短的一二十年，想必對未來的雲林是一大傷害。

而要如何讓水庫能永續經營，水庫的壽命減少是在於水庫的淤積問題，淤積的問題只要一天不解決，我們就只能眼睜睜的看著水庫蓄水量一天天的減少。以石門水庫為例，解決淤積的方法就是利用颱風過境而產生異重流來清理水庫底部的淤積(李鐵民, 2016)，我們思考為何只能等待颱風?如果在平常的時候就自製異重流來清理水庫裡的淤積，增加水庫的壽命，於是就開始用簡易的湖山水庫模型，針對湖山水庫的環境，判斷自製異重流對排沙清理淤積的可行性做相關性的研究。

貳 研究目的

- 1、以染色食鹽水模擬濁流對水庫底部產生的渦流影響。
- 2、能製作並觀察異重流與依照湖山水庫地形圖的相對應模型。
- 3、探討並模擬不同土壤的異重流與水庫底土對引出夾砂水濁度的影響。
- 4、探討並模擬水庫淤積高度對引出夾砂水濁度的影響。
- 5、探討並模擬水庫水位高低對異重流引出夾砂水濁度的影響。
- 6、探討並模擬異重流溫度對引出夾砂水濁度的影響。

參 研究器材與材料

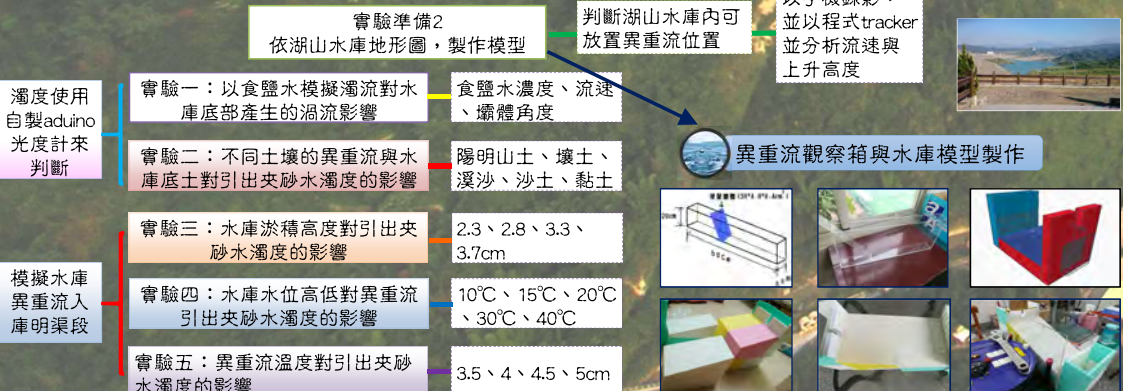
程式：tracker & picpick

器材	沉水馬達 自製arduino光度計	電腦與手機 熱對偶溫度計	比色皿 電子秤	水庫模型 異重流觀察箱
材料	食鹽 沙土	水彩 壤土(田土)	陽明山土 黏土(陶土)	溪沙

肆 研究準備—觀察湖山水庫



肆 研究架構圖



伍 研究結果與結論

實驗一 以食鹽水模擬異重流對水庫底部產生的渦流影響

判斷濃度4%的異重流不同流速的爬升程度

流速	狀態(壩體角度 45 度)	爬升高度	流速	狀態(壩體角度 55 度)	爬升高度
15.82 cm/s		8.72cm	15.08 cm/s		6.98cm
18.48 cm/s		9.08cm	18.75 cm/s		8.18cm
26.49 cm/s		12.04cm	23.77 cm/s		9.92cm
31.71 cm/s		14.01cm	38.50 cm/s		14.17cm

流速	狀態(壩體角度 65 度)	爬升高度	流速	狀態(壩體角度 75 度)	爬升高度
12.05 cm/s		5.33cm	11.27 cm/s		5.93cm
20.03 cm/s		6.80cm	20.54 cm/s		7.00cm
27.15 cm/s		7.96cm	21.26 cm/s		11.15cm
32.46 cm/s		13.08cm	28.18 cm/s		12.24cm

判斷濃度6%的異重流不同流速與流量的爬升程度

流速	狀態(壩體角度 45 度)	爬升高度	流速	狀態(壩體角度 55 度)	爬升高度
10.91 cm/s		6.64cm	16.88 cm/s		6.72cm
21.70 cm/s		9.08cm	19.38 cm/s		8.04cm
26.95 cm/s		10.73cm	30.84 cm/s		12.06cm
34.66 cm/s		14.70cm	34.02 cm/s		13.56cm

流速	狀態(壩體角度 65 度)	爬升高度	流速	狀態(壩體角度 75 度)	爬升高度
16.89 cm/s		6.05cm	18.60 cm/s		7.33cm
19.74 cm/s		6.32cm	20.34 cm/s		8.16cm
22.05 cm/s		12.05cm	27.76 cm/s		10.43cm
34.18 cm/s		12.29cm	36.59 cm/s		11.51cm

判斷濃度8%的異重流不同流速與流量的爬升程度

流速	狀態(壩體角度 45 度)	爬升高度	流速	狀態(壩體角度 55 度)	爬升高度
10.01 cm/s		7.93cm	17.66 cm/s		5.96cm
17.54 cm/s		7.28cm	23.33 cm/s		8.90cm
23.78 cm/s		11.86cm	27.50 cm/s		10.80cm
37.11 cm/s		13.22cm	35.93 cm/s		14.63cm

流速	狀態(壩體角度 65 度)	爬升高度	流速	狀態(壩體角度 75 度)	爬升高度
15.27 cm/s		7.23cm	12.17 cm/s		7.55cm
19.90 cm/s		8.28cm	19.08 cm/s		7.76cm
27.13 cm/s		10.87cm	33.68 cm/s		10.29cm
30.16 cm/s		11.97cm	34.92 cm/s		12.90cm

以角度來看

如果分開角度綜合圖4~7來看，角度小於55度時，比重大小，似乎較沒影響爬坡高度，流速穩定進而造成爬坡與流速幾乎呈現正比關係。不過角度超過65度，可以看出來重力影響很大，造成整個渦流很混亂，濃度越小，越明顯，而異重流的密度高時，水庫的坡度較低比較理想，而湖山水庫的坡度約20度，很適合異重流的產生。

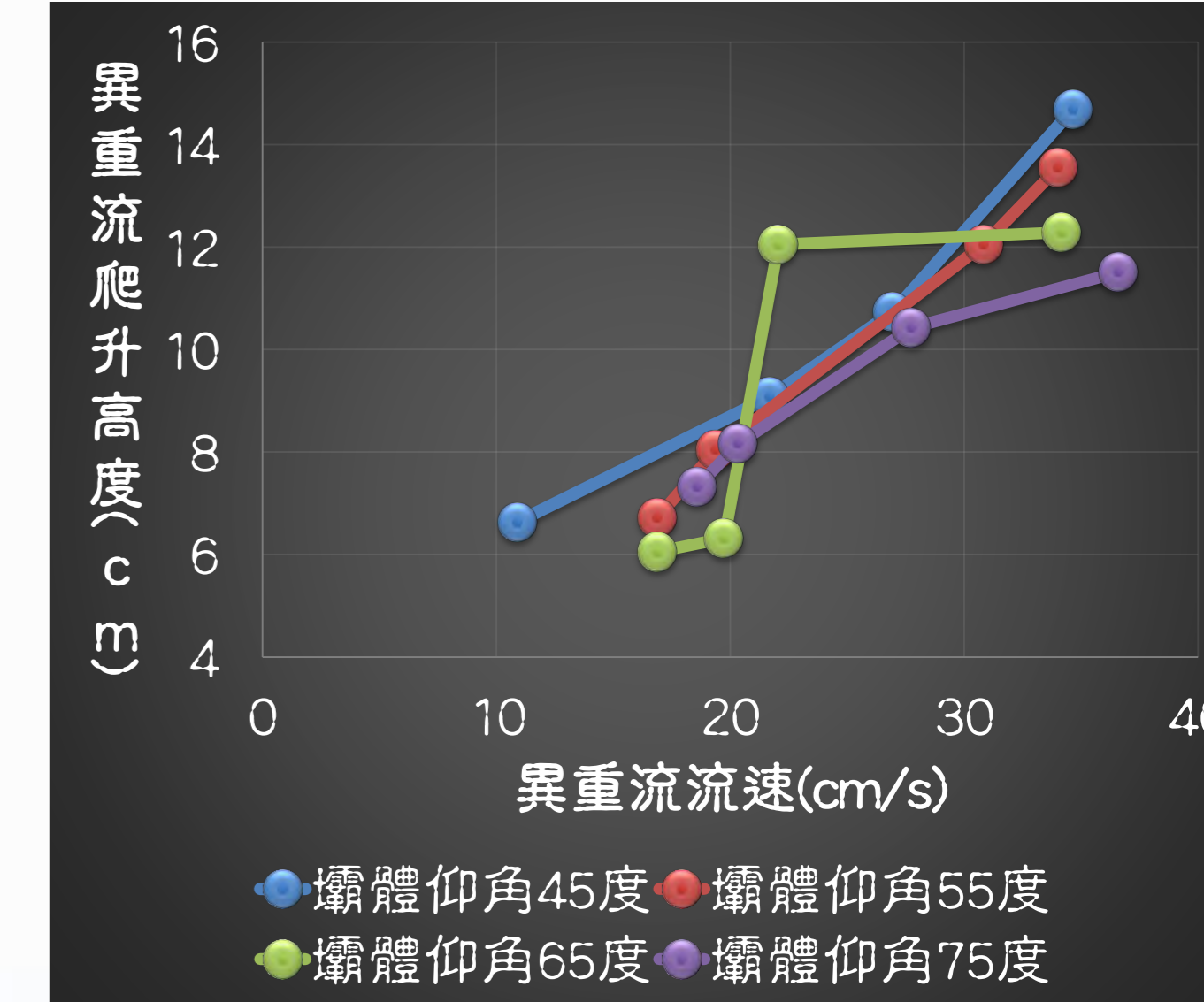
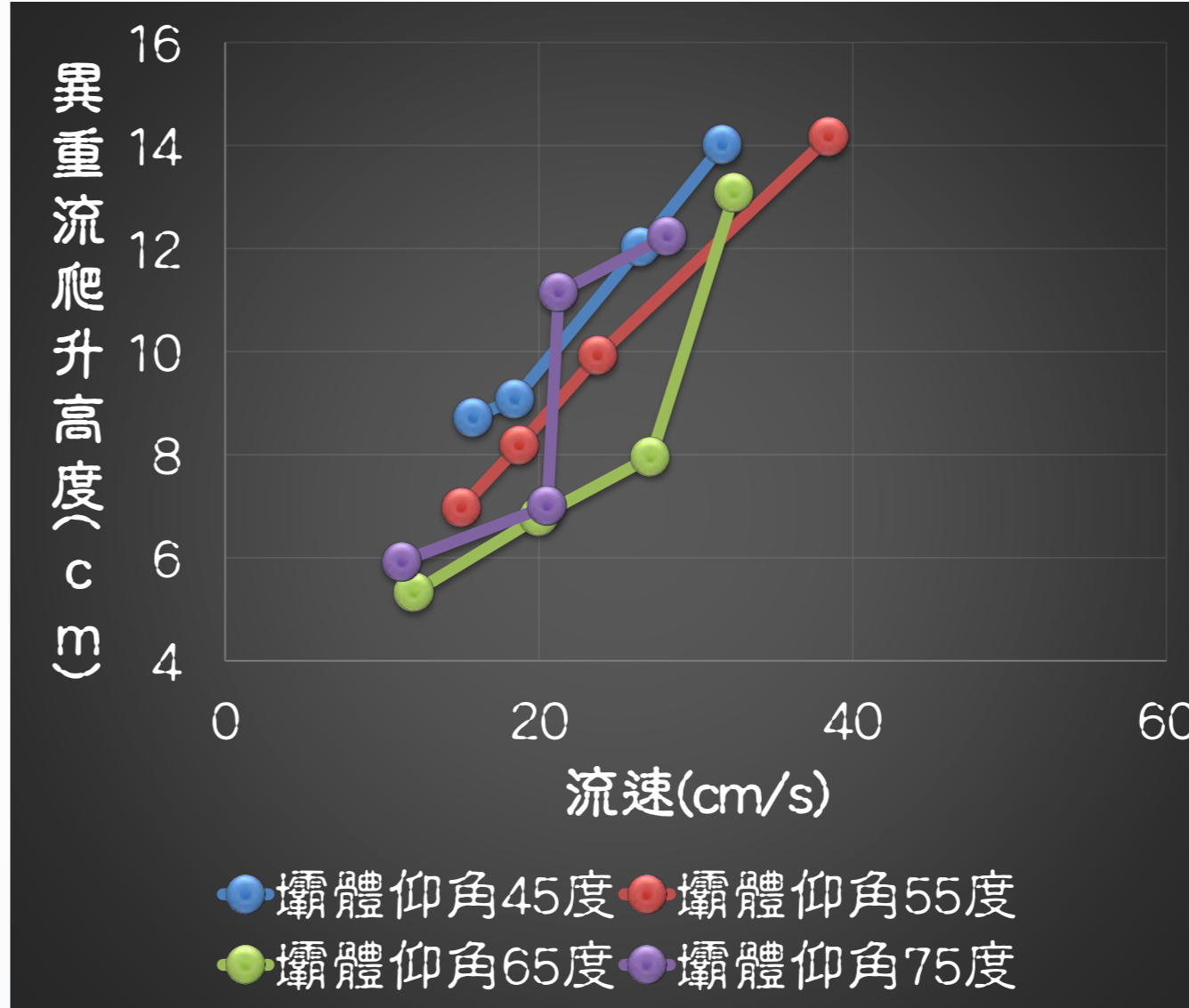


圖1 不同仰角下4%異重流流速對爬升高度的關係圖

圖2 不同仰角下6%異重流流速對爬升高度的關係圖

以濃度來看

利用食鹽水模擬水庫的異重流來看，可發現濃度越大，食鹽水流所產生的捲水現象較明顯，觀察異重流，可以看出在衝入水裡時，會形成壓縮的現象，就像一個三角形，後面的波撞擊過來時，開始往前進，可以看出異重流的頭形產生，接着在底部運動的過程中，會發生擴散，以及接近壩體時，可能速度變慢加上水壓的關係，濃度越低會被壓成三角形，濃度越高，圓形的頭比較完整，最後在壓克力盒內形成一個波峰，往最裡面的壁面衝擊並爬升，當然可以看出濃度越大，所能爬升的高度也越低，可能是因為濃度越大越重，而造成摩擦力越大之故。

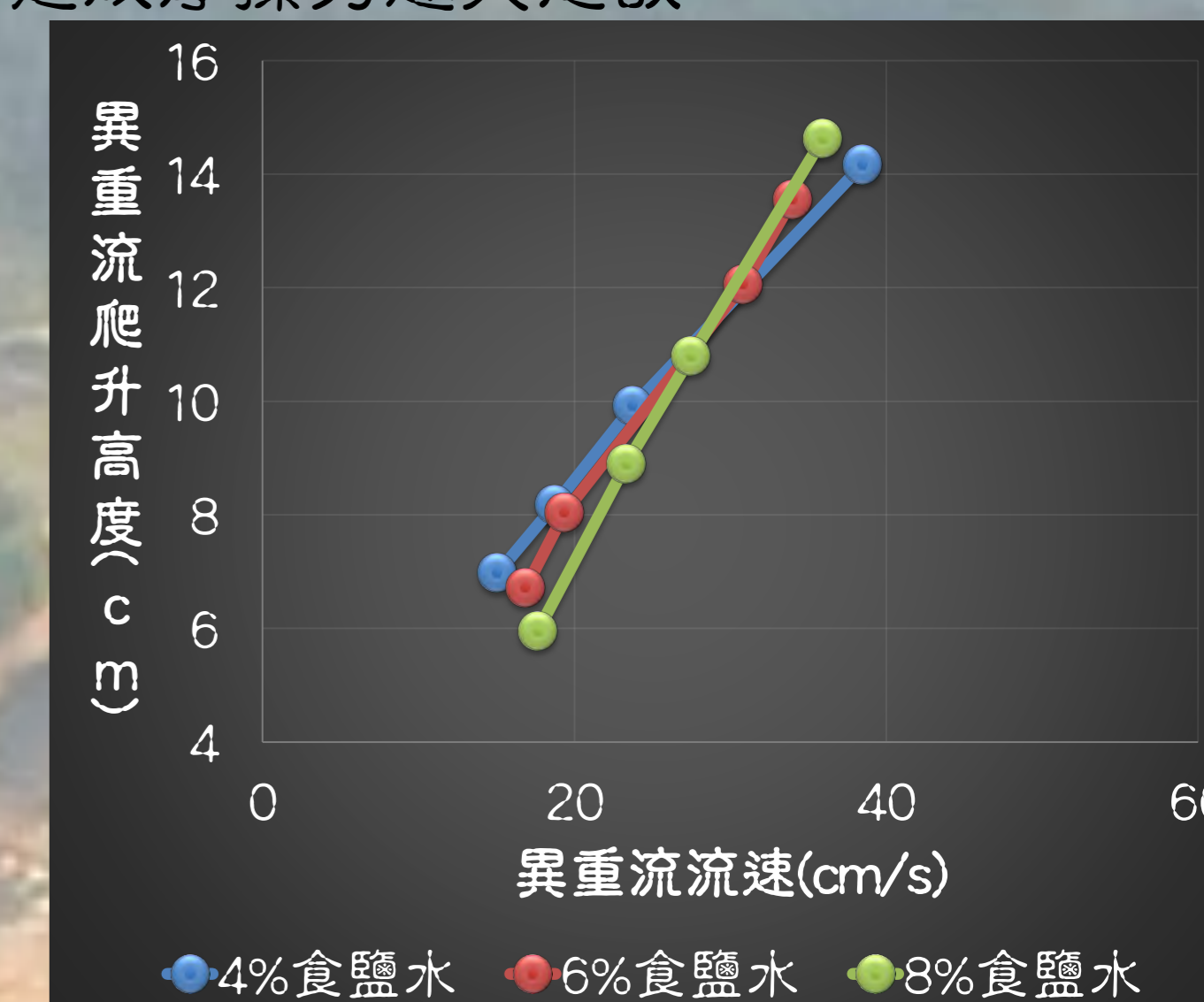
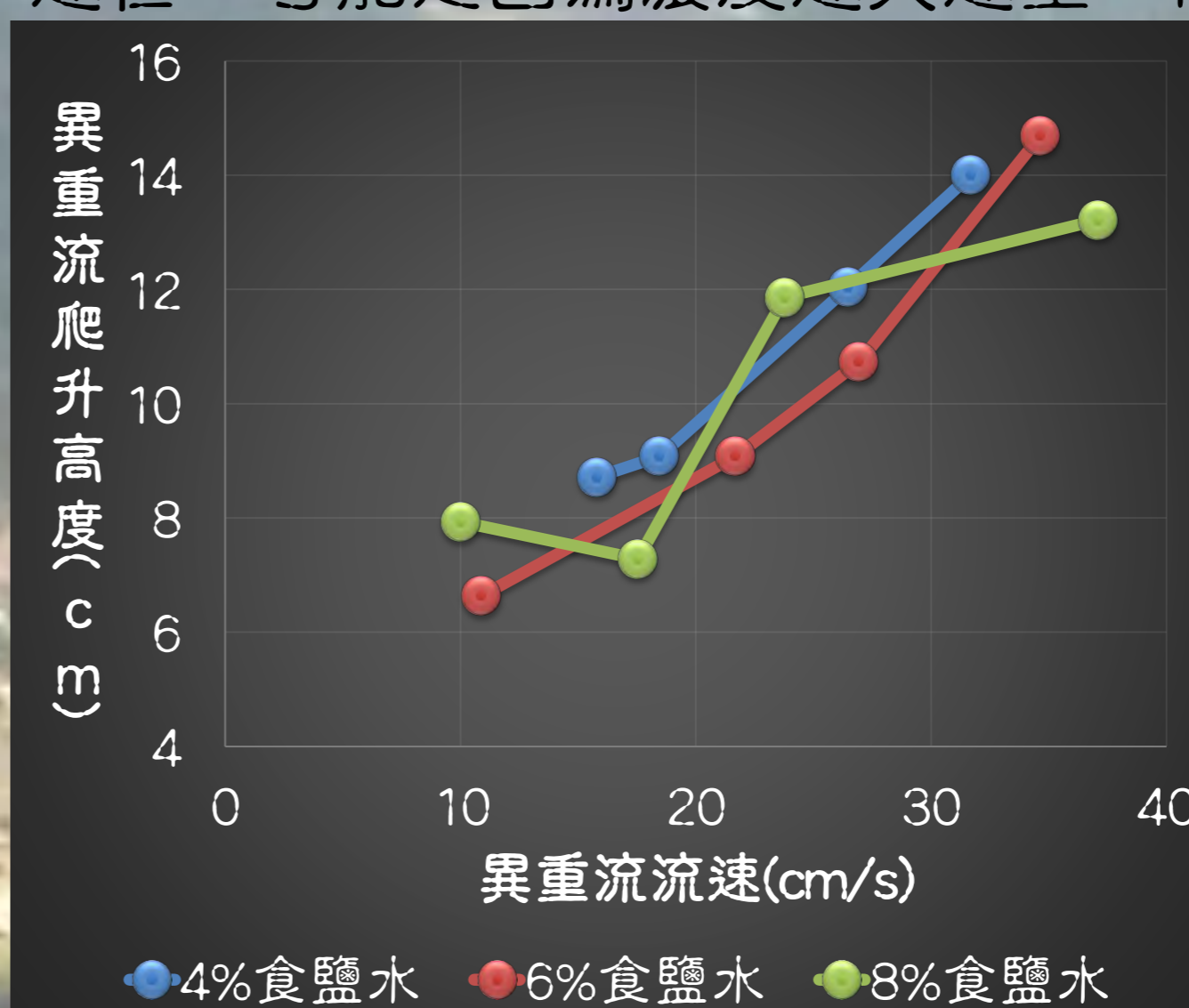


圖4 45度，不同濃度異重流對爬坡高度的影響圖

圖5 55度，不同濃度異重流對爬坡高度的影響圖

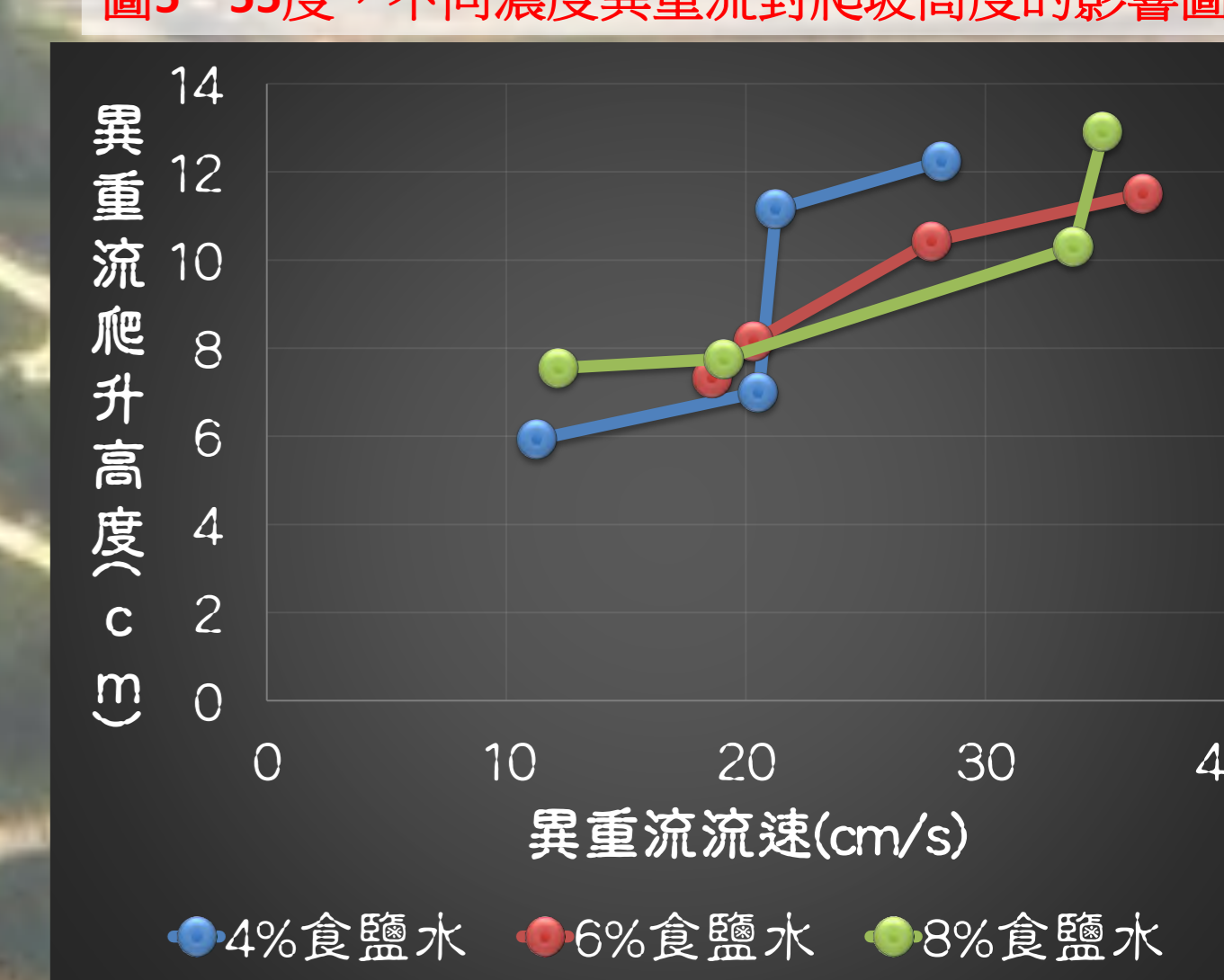
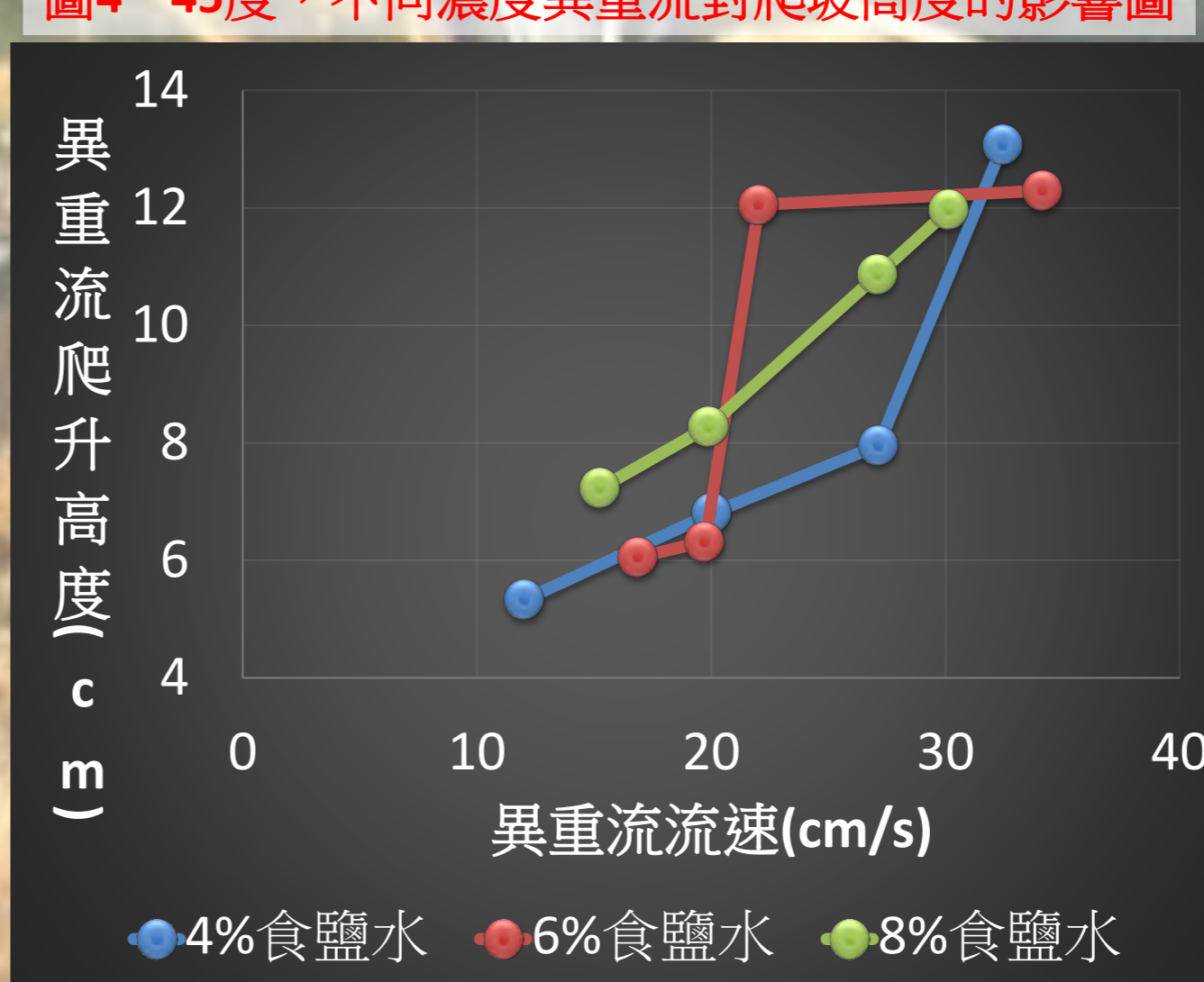


圖6 65度，不同濃度異重流對爬坡高度的影響圖

圖7 75度，不同濃度異重流對爬坡高度的影響圖

實驗三 水庫淤積高度對引出夾砂水濁度的影響

做這個實驗是為了想了解淤積時間的長短不同，利用異重流再清理，哪種比較合適，可以看出並不是愈積越高越好，應該是有適當的條件下，才容易打出淤積的泥沙來。

表1 水位高低對自製異重流引出夾砂水濁度的影響表

淤積高度	3.5cm	4cm	4.5cm	5cm
異重流濁度	88	88	88	88
排開水濁度	273	356	275	269
濁度增加比	210.23%	304.55%	212.50%	205.68%

可以看出，在一定的淤積高度，效果反而最好，並不是淤積越多，排沙會越多。原因應該與水庫本身水位與淤積泥沙的比例有關，若是累積太多的淤積底土，反而會因水壓造成越底部越密合，尤其是黏土，就更難撞擊出來。



圖8 淤積高度對引出夾砂水濁度的關係圖

實驗四 水位高低對自製異重流引出夾砂水濁度的影響

表2 水位高低對自製異重流引出夾砂水濁度的影響表

水位高度	2.3cm	2.8cm	3.3cm	3.7cm
異重流濁度	88	88	88	88
排開水濁度	335	275	261	257
增加百分比	280.68%	212.50%	196.59%	192.05%

結果可以看到水位越高，排沙效果越差，所以不能利用河川自然力量的湖山水庫，在中南部異重流排沙季節可能較適合在降雨量較少的秋季與冬季。

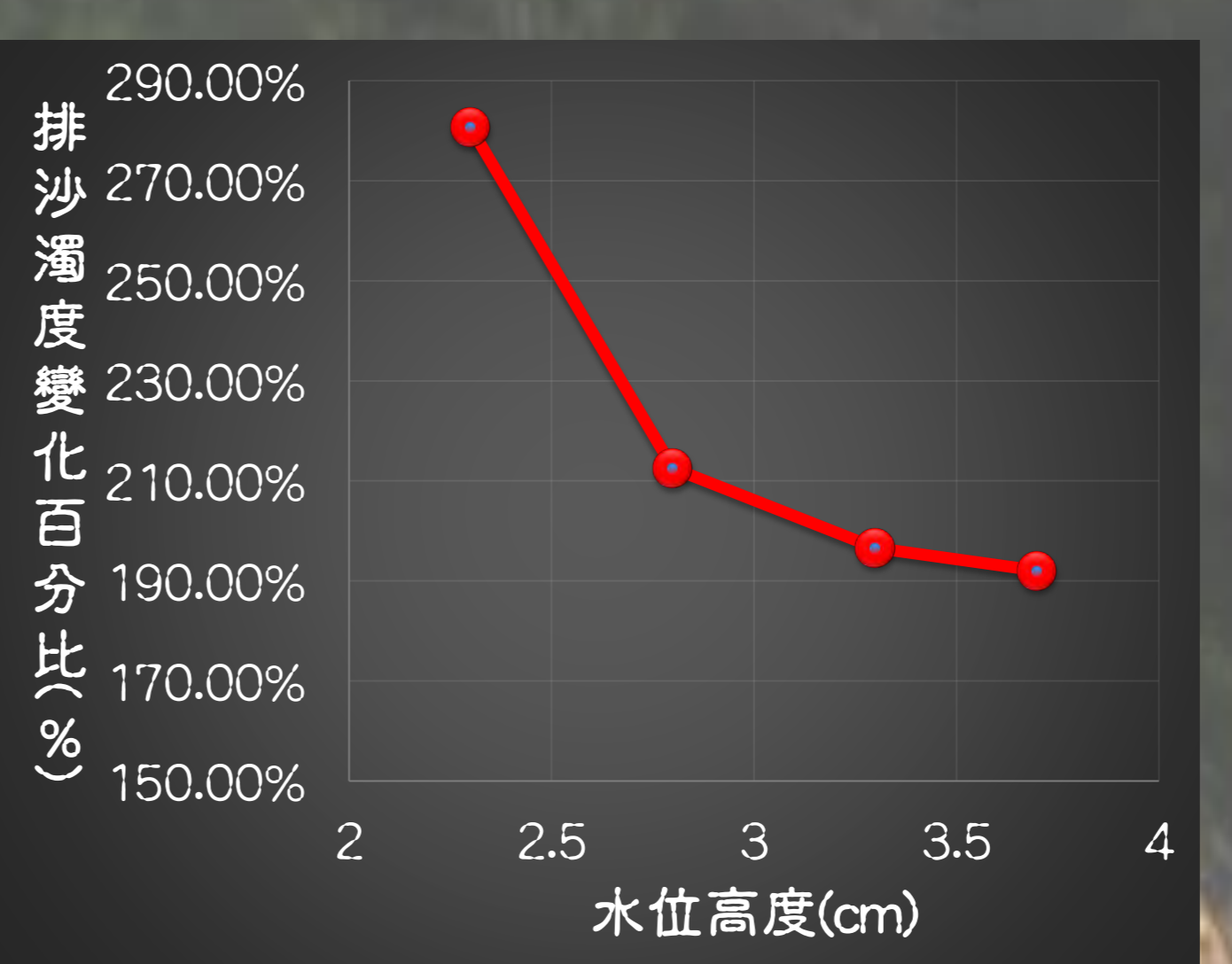


圖9 水位高低對引出夾砂水濁度的關係圖

由圖9來看，水位越高，排沙效果越差。可以觀察到水位的高低造成濁度影響的情形有兩個，一個是進水時水位較高時，進水水的阻力比較大而讓流速減慢，二可以看出異重流所利用的位能較少，轉換的動能也會變少。

實驗二 不同土壤的異重流與水庫底土對引出夾砂水濁度的影響

先以異重流土壤本質為陽明山土，也就是以安山岩粉屑為主。

質為沙土，粉末顆粒不均勻，也就是密度不均勻，具有黏土與沙粒。

表3 五種土壤內容說明

土壤種類	溪沙	陽明山土	沙土	壤土	陶土(黏土)
顆粒大小比較	5至20cm (最大)	0至20mm (第二)	0.0625至2mm(第三)	0.2mm至0.02mm (第四)	0.001至0.005mm (最小)
成分	大部分由沙粒組成，密度較高。	安山岩風化而成。	由大量的沙和少量的黏土混合而成以泥炭土為主。	指土壤顆粒組成中黏粒、粉粒、砂粒含量適中的土壤。	主要成分為矽酸鋁和氧化鋁。

土壤種類	異重流土壤	壩體土壤	狀態
	陽明山土	陽明山土	
異重流濁度	282	262	163
水庫流出濁度	260	235	268

土壤種類	異重流土壤	壩體土壤	狀態
	沙土	陽明山土	
異重流濁度	107	144	190
水庫流出濁度	169	234	219

接下來用溪沙當異重流土壤本質，主要為沙粒與石頭，密度最高，不含較細的黏土。

再來使用壤土當異重流土壤本質，主要成分以黏土為主，有含少部分的沙粒。

最後使用黏土當異重流土壤本質，主要成分為顆粒最小的黏土。

土壤種類	異重流土壤	壩體土壤	狀態
	溪沙	陽明山土	
異重流濁度	88	80	76
水庫流出濁度	166	262	169

土壤種類	異重流土壤	壩體土壤	狀態
	壤土	陽明山土	
異重流濁度	363	157	131
水庫流出濁度	383	258	230

土壤種類	異重流土壤	壩體土壤	狀態
	黏土	陽明山土	
異重流濁度	207	143	138
水庫流出濁度	313	288	216

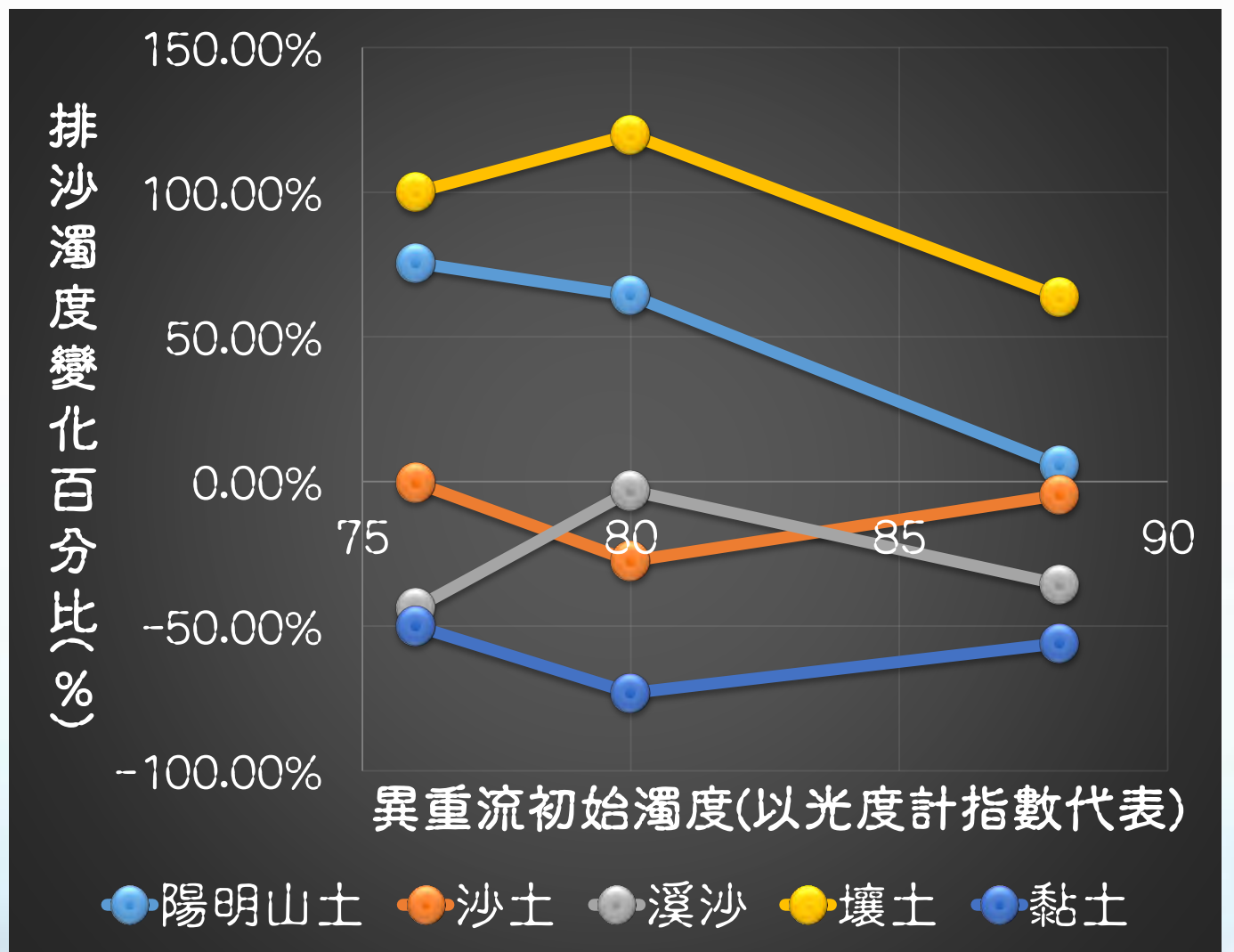


圖13 壤土當異重流對其他土壤排沙效益圖

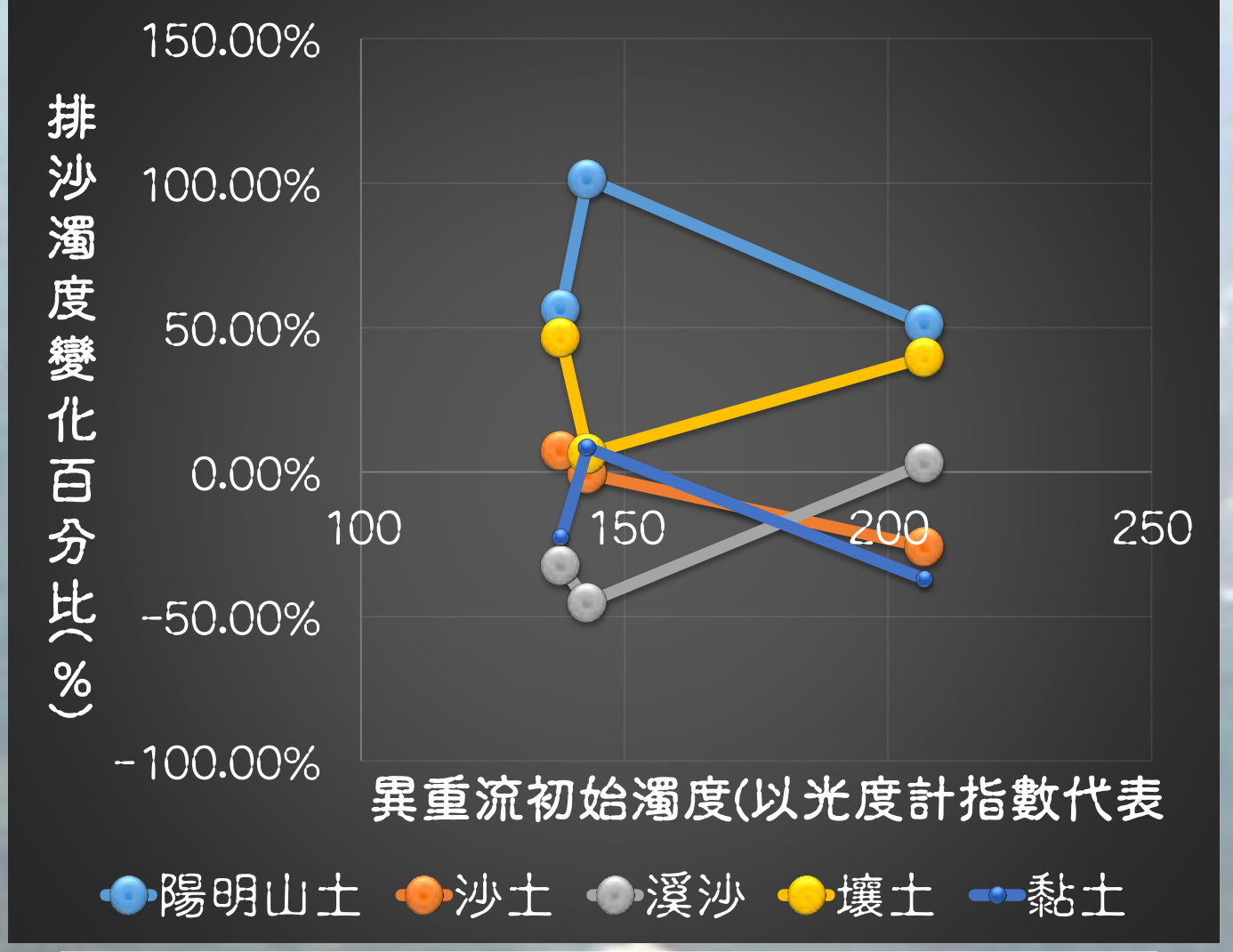


圖14 黏土當異重流對其他土壤排沙效益圖

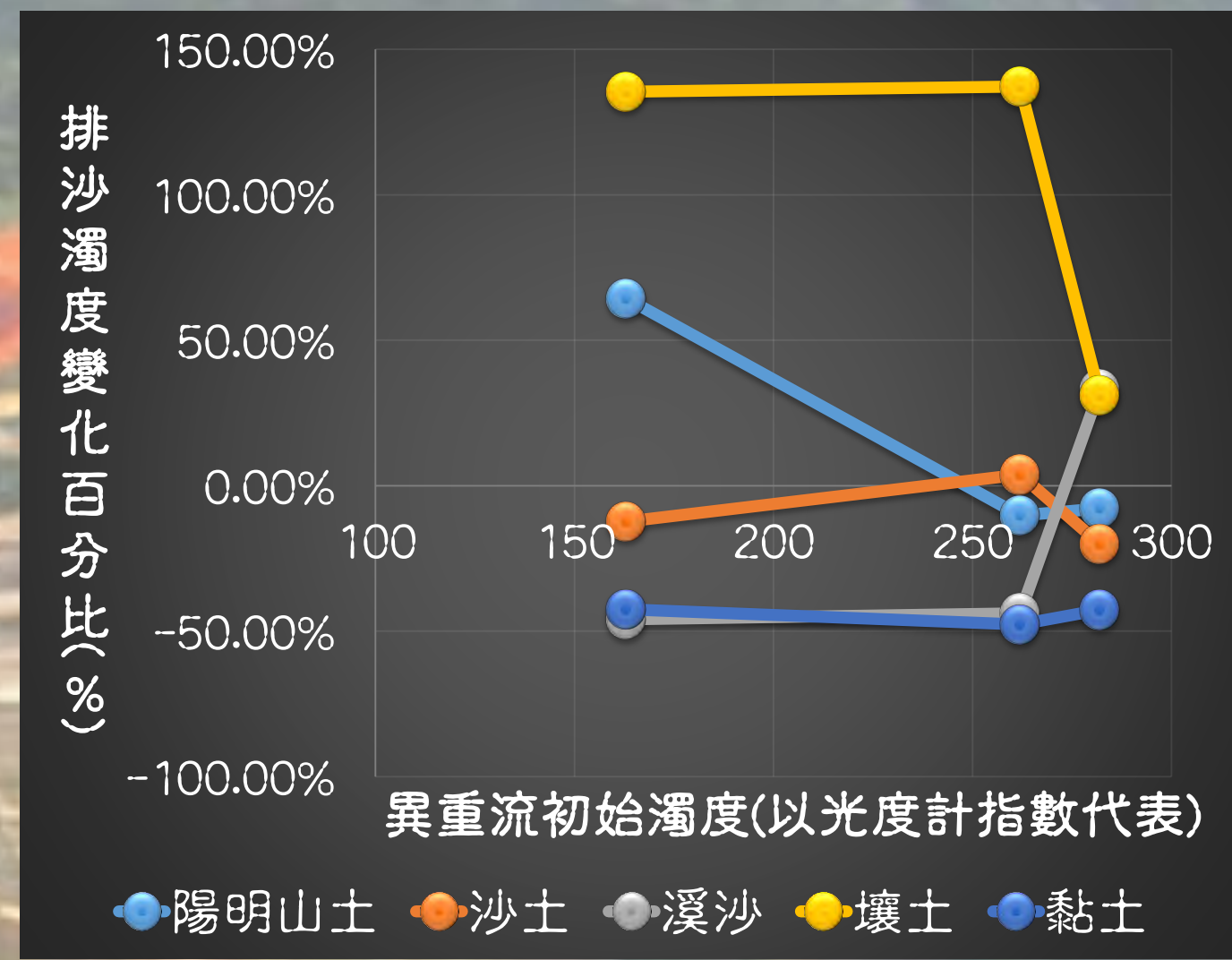


圖10 陽明山土當異重流對其他土壤排沙效益

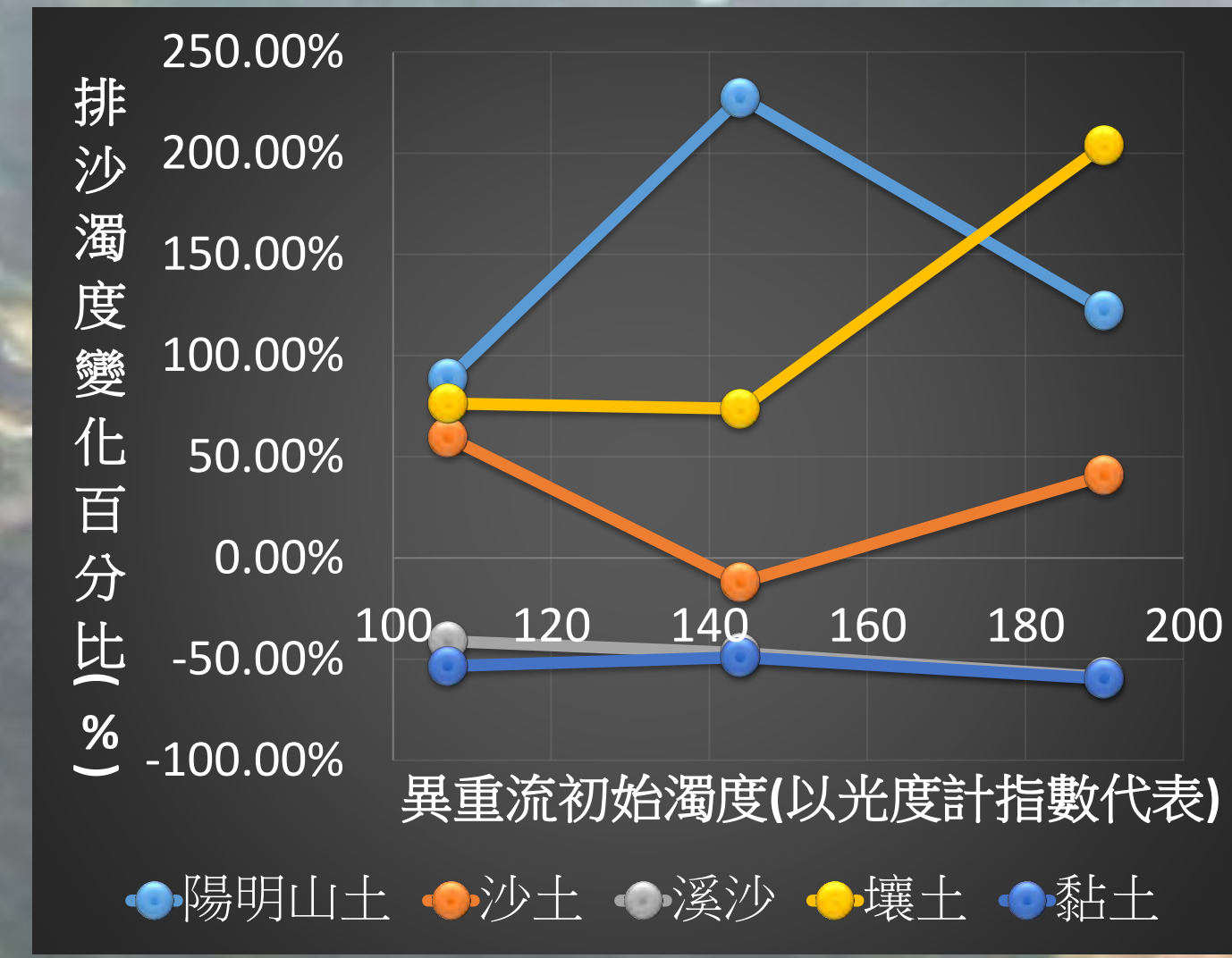


圖12 溪沙當異重流對其他土壤排沙效益圖

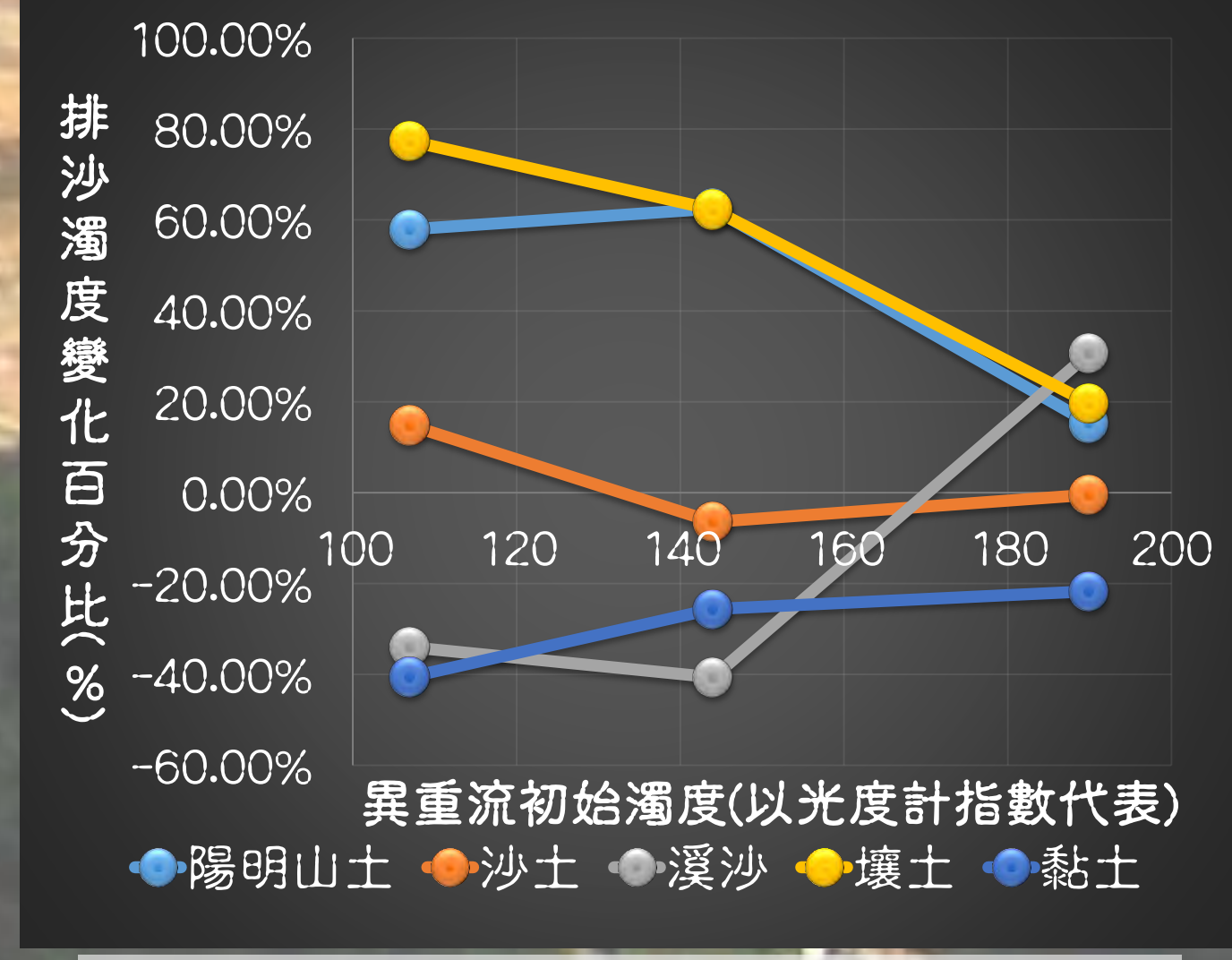


圖11 沙土當異重流對其他土壤排沙效益圖

表4 異種流與水庫底土比較優勢圖

異重流	底土	陽明山土	沙土	溪沙	壤土	黏土
陽明山土		△	×	×	○	×
沙土		○	△	×	○	×
溪沙		○	△	×	○	×
壤土		△	×	×	○	×
黏土		×	×	×	△	○

(○:佳, △:尚可, ×:不佳)

綜合五種土壤來看，效果最佳的是溪沙，再來是沙土，就兩者之間的相關性來看，含有硬度高顆粒中小的沙石粒應為主因，針對湖山水庫主要土壤為第四紀的沖積層，以及部分是更新世頭崙山層來看，主要以砂石與大顆礫石為主，以縮小的模型來看，縮小版的礫石，也就是溪沙是最佳模擬的選擇。綜合效果後，整理為上表3。

陸 未來展望

模擬水庫的情形，發現以沙引沙的方案是可行的，因為湖山水庫本身不是由河川所灌入的關係。未來如果在湖山水庫設置沙土的撞擊點，撞擊到主壩前的中心，相信可以延長水庫的壽命。可能的設置點應為水庫的兩側，由兩側往主壩前撞擊可以帶來比較好的結果。



圖16 水庫可能的異重流設置與撞擊點

柒 參考資料

- 李鐵民. (2016年5月14日). 認識石門水庫異重流. 2016年11月15日 擷取自 科學online: <http://highscope.ch.ntu.edu.tw/wordpress/?p=70379>
- 湖山水庫. (2016年11月16日). 2016年11月20日 擷取自 維基百科: <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E6%B9%96%E5%B1%B1%E6%B0%B4%E5%BA%AB>
- 陳鎮東, & 王冰潔. (1997). 台灣的湖泊與水庫. 國立編譯館
- 薛美莉, & 許正一. (2007). 湖山水庫預定地土壤特性和植被類型的關係--湖山水庫預定地. 國立屏東科技大學.
- <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%84%B0%E8%89%B2%E5%8F%8D%E5%BA%94> 雲林縣政府農林團體輔導科. (98). 雲林縣環境現況分析. 於 雲林縣農地資源空間規劃計畫 (頁 1-76). 雲林縣政府.

實驗五 異重流溫度對引出夾砂水濁度的影響

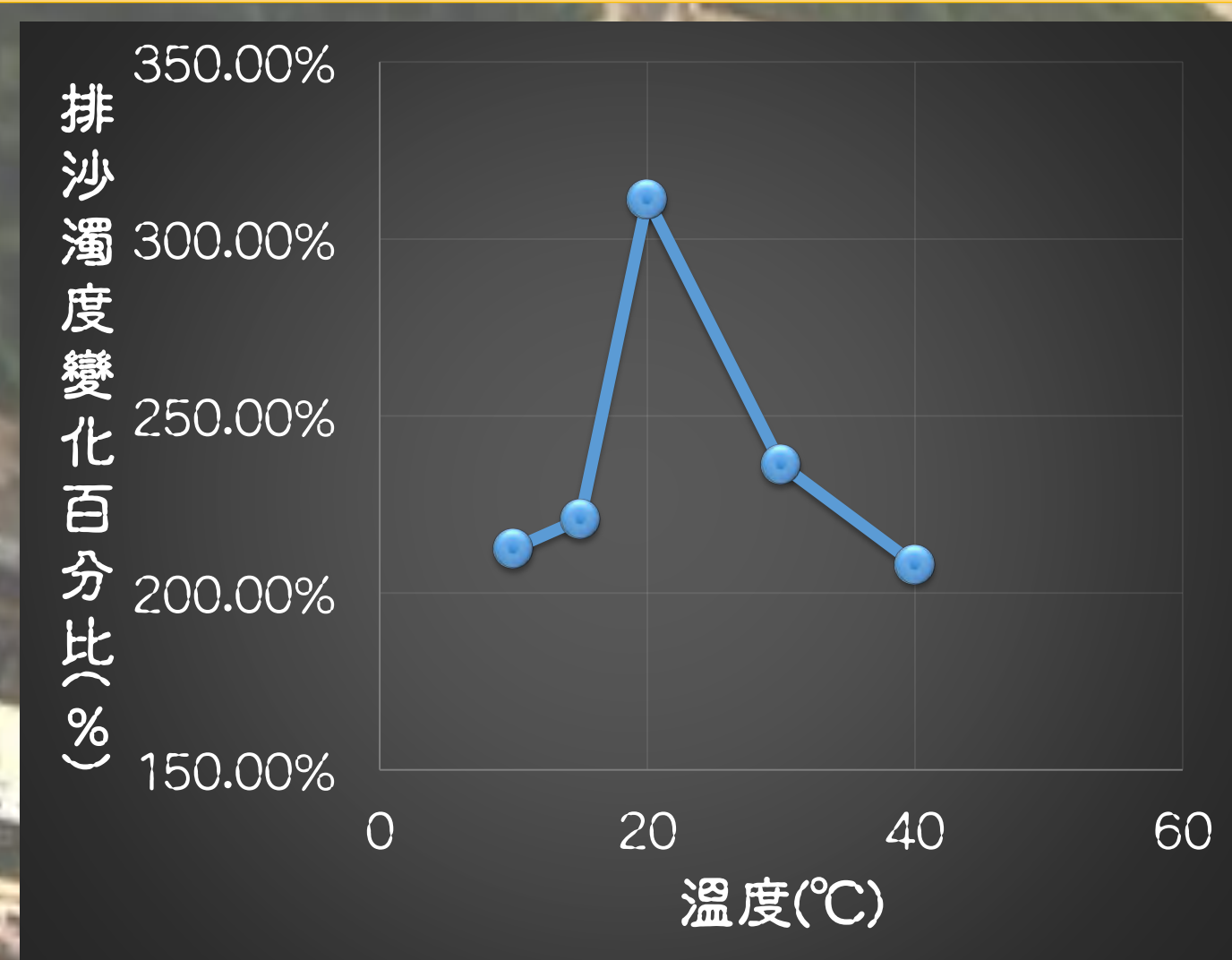


圖15 異重流溫度對引出夾砂水濁度的關係圖

我們判斷溫度過高，有可能會造成異重流的密度與水庫水的密度差異收縮，造成效果變差，主要是液體密度造成影響，而低於20°C，底層土壤的密度會變大，造成不易用異重流的方式撞擊排出，主要是固體密度造成影響。所以並不是溫度越高或越低越好，要在適當的溫度比較理想，就台灣來看，溫度在20°C大約在春季或秋季，綜合實驗四來看，秋季可能是較適合的季節了。