

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

國小組 地球科學科

佳作

080509

防淤大作戰～探討水庫淤泥問題及其改善方法

學校名稱：高雄市三民區愛國國民小學

作者： 小六 黃柏鈞 小五 施昀萱 小五 王家盈 小五 陳薇安	指導老師： 陳建良 王雅柔
---	---------------------

關鍵詞：水庫、清淤、攪動

摘要

本研究透過資料蒐集了解台灣的水庫現況，其中的 13 座民生水庫，平均淤積量已超過三分之一，因此，水庫的清淤刻不容緩。

經設計實驗探究發現：自然的水流不易帶走泥沙，需要大量的水流或攪動，比較容易透過水流帶走泥沙，達到排沙效果。

另外，發現運用洩降排沙時，壩體底孔開啟的閘門應該選擇接近泥沙和水的交界處，再使用適量的水就能達到較佳的排沙效果；並發現移動式虹吸的排沙方式，排沙效果較佳，是一項簡易方便的清淤工法，如果能再配合攪動泥沙的方式進行虹吸，排沙效果應該會更好。

最後提出建議：可以增加排沙道長度，讓不同工法排出的泥沙可在排沙道上流動一段時間，泥沙因沉降作用而分離出泥沙和水，再將較乾淨的水源導引至水庫內再利用。

壹、研究動機

台灣 109 年的豐水期因為沒有颱風來襲，面臨了 56 年來最嚴峻的水情，到 12 月不僅嘉南一期稻作宣布停灌，工業用水也要求從節水 5%擴大到 7%；根據統計曾文水庫集水區的年度累積降雨量，僅有歷年平均的 65%，嚴重影響上游逕流，是目前面臨乾旱危機的主要原因。

水庫的缺水問題，除了降雨量是主因外，水庫泥沙的淤積更讓水庫面臨了"折壽"的危機；根據水利署統計，全台 95 座水庫，有 13 座民生水庫平均淤積量高達 36%，其中 4 座甚至使用壽命不過百年；在平均年淤積量中最为嚴重的曾文水庫，是全台規模最大、主要供應南台灣用水的水庫，但是一年淤積高達 640.94 萬立方公尺，估計在 90 年內將變成"土庫"，水庫清淤勢在必行。看到這些新聞報導，激起了我們對於水庫淤積的問題產生興趣，於是找了幾位好朋友，一起進行這個研究。

貳、研究目的

- 一、了解目前台灣的水庫現況。
- 二、探討不同條件對水中泥沙的影響。
- 三、探討不同的清淤方式對水庫泥沙淤積的影響。
- 四、提出水庫清淤方式較佳的建議。

參、研究設備及器材

水槽(模擬水庫①長 50cm×寬 35cm×高 20cm、②長 90cm×寬 30cm×高 20cm)、給水槽(長 50cm×寬 40cm×高 30cm)、出水管(孔徑 2mm、3mm、4mm、5mm)、沉水馬達(規格 57LPM)、水管、量筒、水平儀、透明中空圓管、濾沙篩網(#5-4.000m/m、#10-2.000m/m、#18-1.000m/m、#40-0.420m/m、#70-0.210m/m)、泥沙、碼錶、攪動機、小馬達、扇葉、電烤箱、電子秤、數位相機、DV 攝影機。

肆、研究過程或方法

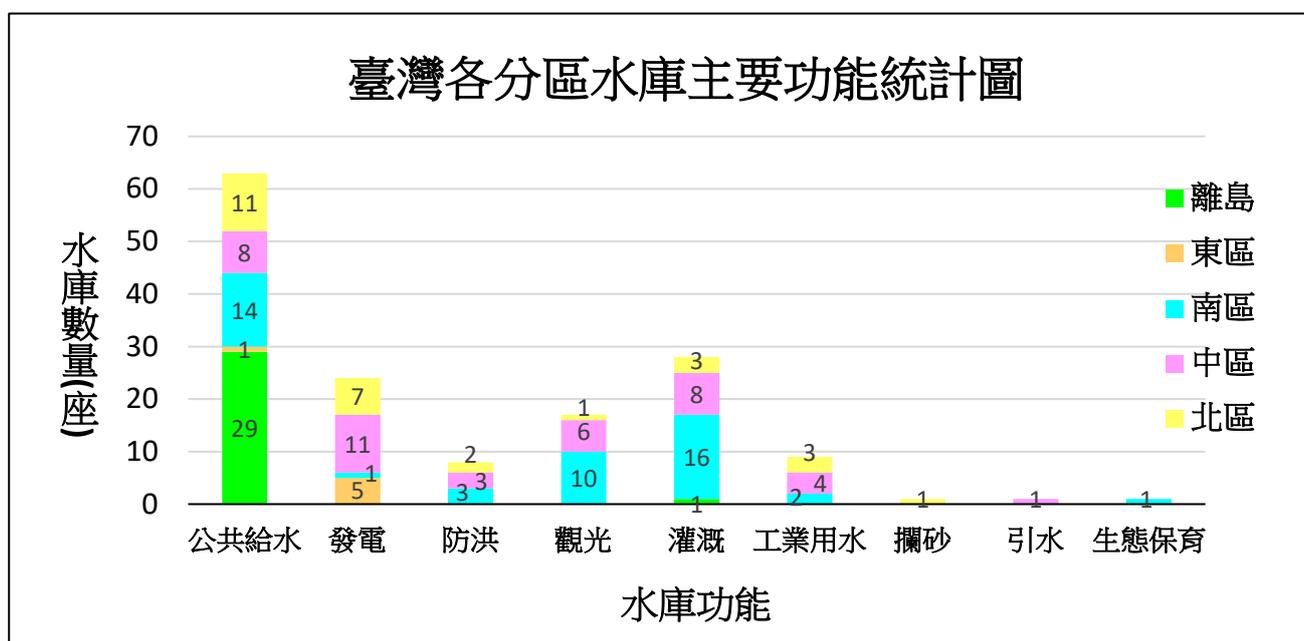
研究一、了解目前台灣的水庫現況

(一)台灣現有水庫統計概況

台灣現有 95 座水庫，包括北區 16 座、中區 21 座、南區 23 座、東區 6 座及離島地區 29 座(含澎湖 8 座、金門 13 座、連江 8 座)。

根據經濟部水利署 109 年度現有水庫概況統計資料，我們整理出各水庫的主要功能概況一覽表(如附件)，並分區統計各主要功能的水庫數量如下：

主要功能 區域	公共給水	發電	防洪	觀光	灌溉	工業用水	攔砂	引水	生態保育
北區	11	7	2	1	3	3	1	0	0
中區	8	11	3	6	8	4	0	1	0
南區	14	1	3	10	16	2	0	0	1
東區	1	5	0	0	0	0	0	0	0
離島	29	0	0	0	1	0	0	0	0
全區(座)	63	24	8	17	28	9	1	1	1



從以上資料我們發現：台灣水庫以公共給水佔最多數，其次是灌溉和發電，南區則以灌溉和觀光居次。在東區只有一座公共給水的水庫，其餘都是用來發電的；而離島的水庫也是以公共給水為主。

另外，發現中區具發電功能的水庫較其他區域多，推論應該是中部較多高山，可以利用地形的高低落差來進行水力發電。

(二)台灣水庫淤積情形及對我們的影響

1.水庫淤積情形

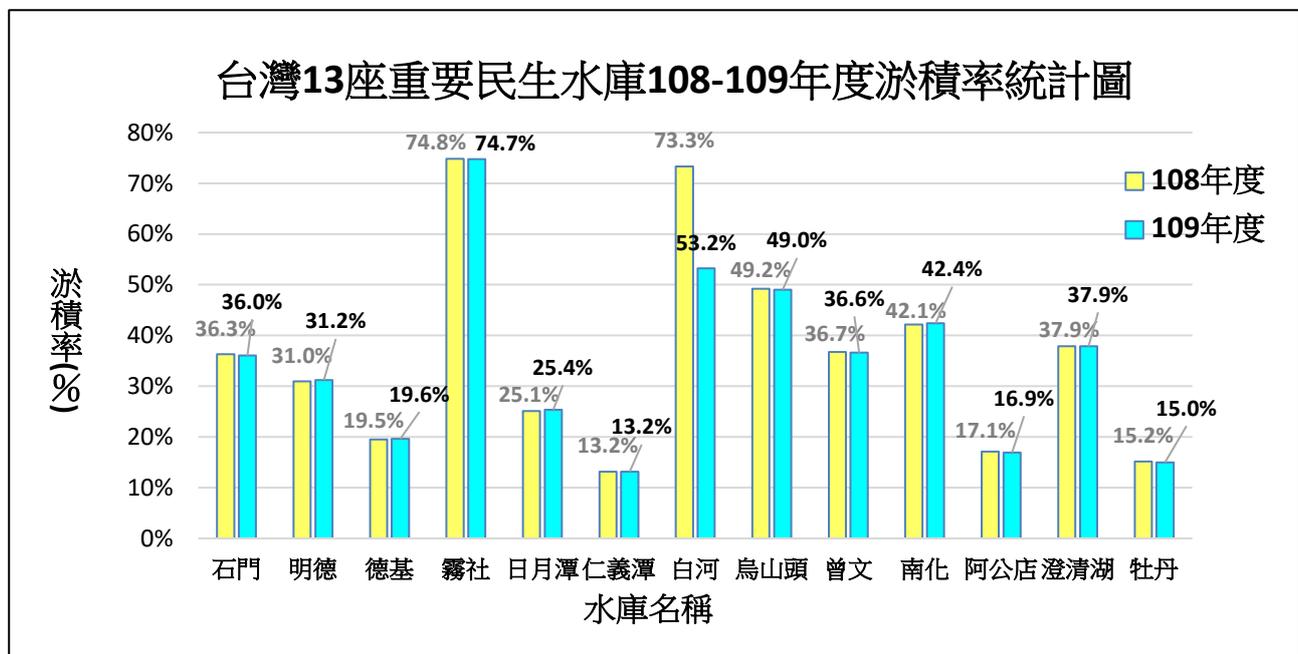
我們依據經濟部水利署公告的 108、109 年現有水庫概況統計資料，計算出 13 座重要民生水庫的淤積率，各水庫淤積情況數據如下：

水庫名稱	設計 總容量	108 年度				109 年度			
		測量年月	有效容量	淤積量	淤積率	測量年月	有效容量	淤積量	淤積率
石門水庫	30912.0	108.12	19690.2	11221.8	36.3%	109.12	19774.1	11137.9	36.0%
明德水庫	1770.0	107.12	1222.0	548.0	31.0%	109.05	1217.32	552.7	31.2%
德基水庫	23200.0	108.02	18679.0	4521.0	19.5%	109.01	18642.4	4557.6	19.6%
霧社水庫	14860.0	108.01	3745.0	11115.0	74.8%	109.11	3752.9	11107.1	74.7%
日月潭水庫	17162.1	108.02	12858.0	4304.1	25.1%	109.11	12806.04	4356.1	25.4%
仁義潭水庫	2911.3	107.09	2527.5	383.8	13.2%	107.09	2527.5	383.8	13.2%
白河水庫	2509.0	108.01	669.5	1839.5	73.3%	109.11	1173.5	1335.5	53.2%
烏山頭水庫	15415.0	104.06	7828.0	7587.0	49.2%	109.11	7857.9	7557.1	49.0%
曾文水庫	80381.7	108.11	50849.0	29532.7	36.7%	109.11	50955.9	29425.8	36.6%
南化水庫	15805.0	107.11	9145.4	6659.6	42.1%	109.11	9097.9	6707.1	42.4%
阿公店水庫	1837.0	108.09	1522.5	314.5	17.1%	109.09	1525.89	311.1	16.9%
澄清湖水庫	412.0	108.04	256.0	156.0	37.9%	108.04	256	156.0	37.9%
牡丹水庫	3119.0	108.11	2645.7	473.3	15.2%	109.11	2651.3	467.7	15.0%
平均					36.3%				34.7%

單位：萬立方公尺

※紅色數據表示淤積率超過三成

資料來源：https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=2945&s=7395-現有水庫概況(108-109 年度)



發現全台的 13 座重要民生水庫的平均淤積率已從 108 年度的 36.3% 降至 109 年度的 34.7%，白河水庫的淤積率減少較明顯，但多數水庫平均淤積率還是超過了三分之一，有 8 座重要民生水庫的淤積率都超過了三成，因此，清淤的工作及成效仍應繼續強化進行。

2.水庫淤積改善概況

(1)清除淤泥的困難：水庫清淤主要有 3 個難處

① 舊的清除太慢太少，新的又來得太快太多	以石門水庫為例，淤積量約為 1 億立方公尺，但一台卡車卻只能載運約 12 立方公尺的淤泥，每天能清出 2000 噸就已經很多。這個速率下，大概需要耗時 5 萬天，約 136 年才清的完。颱風一來，大量的泥沙也就跟著滑落水庫，清淤速度完全跟不上淤積速度。
② 清出來的淤泥沒有地方可去	淤泥不比砂石，經濟效益極低，沒有什麼業者想要購買，清出來的淤泥又不能隨意棄置，反而無處可去。
③ 施工難度高	淤泥往往淤積於水庫底部，雖然大旱，但水庫中仍然有水，清淤的施工難度高，如果直接開挖，大家可想而知，水庫裡的水會因此太過混濁，無法飲用，因此只能用抽淤泥的方式，慢慢把淤泥抽出來。

(2)水庫淤積整體改善策略

針對水庫淤積情形，水利單位也提出在不同區域可進行的改善策略，如下表：

位置	上游	中游	庫區	下游
主要目的	減淤	導淤	排淤	回歸
策略	集水區保育及土地管理、防砂壩	分洪排砂、陸挖	陸挖、抽泥、水力排砂	土石回歸河道、洩洪沖刷排除

本研究擬針對〔庫區〕位置的〔排淤〕目的作為實驗設計探究的方向。

(3)近期清淤報導摘要

媒體報導	相關清淤報導摘要
2021-01-03 聯合報	<ol style="list-style-type: none"> 1.台電為搶救中部水庫，除啟動日月潭、霧社與德基水庫的排砂防淤計畫，另獲行政院核定霧社水庫的防淤工程計畫，將投入超過 50 億元興建水力排砂隧道等設施。 2.日月潭水庫進行排砂防淤方案，規畫從大竹湖淤積區至大觀一廠進水口，在庫底布設四公里長輸泥管線，利用水力重力來排砂。

	<p>3.武界壩淤積嚴重，正評估排洪設施改造可行性，配合日月潭排砂一起整治。</p> <p>4.德基水庫部分，台電也規畫整體防淤策略，預定今年辦理水下抽泥。</p> <p>5.水利單位近來啟動「繞庫排砂」工程，在石門、白河水庫實施繞庫防淤隧道以水力排淤，同時在豐水季節抽淤排除淤泥，只是每抽出一噸的泥沙，至少要耗費三至六噸的水。</p> <p>6.大甲溪發電廠指出，淤積加上旱象，讓德基水庫 2020 年清淤量是歷年平均的兩倍。</p>
2020-12-30 中央通訊社	<p>1.經濟部水利署南區水資源局利用今年降雨量偏低情形加強曾文水庫清淤作業，年清淤量為歷年最高的 392.5 萬立方公尺，加上上游沖刷泥沙減少，水庫容量呈現少見的正成長，較去年增加 155 萬立方公尺。</p> <p>2.今年降雨量偏低，南水局利用機會以多元化工法加強清淤，除傳統陸挖及河道疏通外，另增加抽泥及水運方式擴大清淤能量。</p>
2020-08-04 聯合報	<p>1.哈格比颱風在南台灣帶來豐沛雨量，阿公店水庫集水區累積雨量達 120 毫米，水利署南區水資源局利用此機會在阿公店水庫啟動空庫排砂操作，讓集水區進流量直接回歸河道後排放入海，藉此減少水庫淤積以增加庫容量。</p> <p>2.高雄阿公店水庫以防洪為主，兼具農業灌溉與給水等功能，是全國唯一在豐水期進行空庫排砂防淤的水庫，排砂之後可增加庫容量，有利防洪與蓄水。</p>

3.水庫淤積對我們的影響

水庫的淤積已經嚴重影響到民生、農業、工業用水等，近年來極端氣候更加重水庫淤積的問題，經討論列出水庫淤積造成直接或間接的影響問題，如下：

- (1)水庫淤積會造成水庫原有可存的儲水量減少，當豐水期時便無法留存更多的水。
- (2)當水庫儲水量不足時，如遇上旱季，長期沒有下雨時(如 109 年狀況)，民生、農業灌溉及工業用水等將受到限制，造成非常大的不便。

(3)水庫儲水量的減少可能導致部份提供水力發電的水源不足，造成水力發電無法正常運作，發電量減少。

(4)嚴重的淤積將使清淤的工作更加困難，增加清淤的成本，也可能造成水庫的使用壽命提前結束。

綜上所述，水庫清淤的工作已經刻不容緩，政府也正積極推動各項清淤工作，希望能透過陸挖、抽泥與水力排砂等多元清淤方式減緩水庫的淤積，延長水庫使用的壽命。

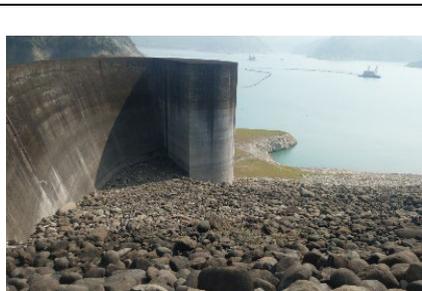
根據以上資料我們發現臺灣地區因為山高坡陡、河流短而急、地質條件欠佳、山區地質鬆軟，因此颱風豪雨一來山坡地經常發生崩塌造成河川淤積或水庫淤積；長期下來，水庫淤積嚴重，要清淤除了耗時費工外，更需要花費巨額經費，清淤困難。水庫淤積會減少儲水量，就長遠來看，嚴重淤積已經影響到民生、農業、工業用水等，也可能導致水力發電的水源不足，也因淤積導致水庫使用壽命減少。

歷年來雖然政府單位花費許多心力清淤，但效果難以趕上淤積的速度；我們認為應該針對水利專家提出的水庫淤積整體改善策略確實規畫，分別從上游、中游、水庫區到下游進行不同方式的改善，才能一勞永逸改善水庫的淤積問題，並不是只停留在水庫區的清淤工程而已。當然做好水土保持，建立起民眾的公德心更是重要的，如此才能事半功倍，延長水庫的使用壽命。

(三)實地探訪南部地區水庫

利用假日，老師帶我們走訪了曾文、南化、阿公店水庫及附近水利設施，記錄如下：

		<p>(1)來到<u>曾文水庫</u>的「曾文之眼」參觀，了解曾文水庫的五大功用：防洪、灌溉、給水、發電及觀光。</p> <p>(2)館內熱心林叔叔帶我們戶外簡易導覽，說明水庫的發電方式是利用高低差來進行水力發電。</p>
---	--	---

		<p>(1)介紹在馬路旁很長又很粗的管子，是用來抽取淤泥的管路及其加壓設備。</p> <p>(2)在大壩遠眺水庫中抽泥船在作業著</p>
		<p>(1)遠處的坡地土石裸露，多層深淺顏色的邊坡。</p> <p>(2)大壩旁全裸露的礫石護坡有黑有白，可看出水庫水位曾有的高低變化。</p>
		<p>(1)南化水庫邊坡土石裸露，近處的礫石護坡深淺顏色分明</p> <p>(2)作業船隻在湖面上；老師介紹南化水庫進行越域引水工程，其中部份的水源就來自於甲仙攔河堰。</p>
		<p>(1)阿公店水庫水位降低，堤岸護坡大面積裸露。</p> <p>(2)水面上布滿太陽能光電設備。</p>

參訪途中經甲仙攔河堰及高屏溪攔河堰，緊臨的楠梓仙溪及高屏溪幾乎沒有什麼水，只見大量乾枯的河床。經過這一趟水庫走訪，讓我們更了解到報導中的水庫缺水後淤積的現況，將作為後續研究的參考。

(四)台灣水庫淤泥常見的清理方法

台灣目前水庫淤泥清理常見的方法包括：怪手陸上挖掘及水上抽泥船抽取淤泥，但清淤量及速度並不夠快；因此，現有水庫防淤工作大都以多元方案為水庫延長壽命，而經濟可行的方案之一就是「水力排砂」。

水力排砂是一種利用水流自身的力量，將淤砂排出水庫外的一種方式，水力排砂的優

勢是不需要考量淤砂的後續處置措施，以及可將原本上游的土砂回歸至下游河道。水力排砂可藉由水庫操作方式(空庫排砂、洩降排砂、洩洪排砂、異重流排砂、渾水水庫排砂)及工程方法(水壓吸引排砂、前後庫排砂、繞庫排砂)來達成目的，也可依排砂時機區分成通砂與除砂兩類型，概述整理如下表：

類型	名稱	清淤方式	使用時機或限制
促進洪水來砂通過(通砂)	繞庫排砂	水庫上游興建分洪堰及排砂隧道至水庫下游端，可將部份推移質及懸浮質經由此排砂隧道，“繞道”至水庫下游	當入庫流量大於排砂道的排洪能力時，部分挾帶泥砂之洪水仍會流入水庫而造成水庫的淤積
	洩洪排砂	在洪水時段，開啟洩流設施洩放水庫儲水以降低水位，使來洪在沒有壅水之情況下，維持較高流速，將所挾帶之泥砂，穿過水庫，排入下游河道	基本應用條件必須有充分洩流能力的底孔與適當水庫地形相配合
	異重流排砂	利用洩流底孔將潛流至大壩前之高含砂量渾水排出水庫；當渾水含砂量愈大、流速愈小、水深愈大，便愈容易形成異重流	異重流形成需有源源不斷的渾水補充，入庫渾水一旦停止，則庫內異重流很快停止運移，而形成渾水潭。異重流並非每次洪水都會發生，因此只能排出部份洪水之來砂，應視為一輔助性之清淤方式，無法僅依靠此一排砂方式來維持長期有效庫容
	渾水潭排砂	到達壩前的異重流，若不能全部排出庫外，結果在清水下面滯留蓄積形成渾水潭。	渾水潭內的泥砂沉澱很慢，有相當長的時間保持較高的含砂濃度，此時將混濁的庫水排出，可提高排砂效率，降低渾水於壩前淤積
排除前期淤積土砂(除砂)	空庫排砂	洩空水庫後，繼續以上游逕流利用底孔進行較長期間沖刷淤泥之一種水力排砂方式	操作前提必須維持一段空庫的時段，勢必對水庫供水功能有所影響，並非每一個水庫都適用
	洩降排砂	在不完全性的降低水庫水位情況下洩流，其壩體底孔打開時，洞口附近會造成局部沖刷力量，來攪揚水庫內淤積土砂，與空庫排砂同樣利用壩體底孔來沖刷淤砂	有效沖刷範圍僅侷限於底孔附近，但許多水庫之底孔附近往往配置重要的進水口，故洩降排砂仍可作為維護進水口正常操作的主要對策。洩降排砂有時可視為洩洪或空庫排砂之前奏階段

	水壓吸引排砂	主要是改良自傳統機械浚渫方法中的虹吸抽泥，大多應用於水深足夠的壩前淤砂排除，其適用之粒徑為 0.2mm 以下之沖瀉載	本工法排砂效率高，排砂濃度可高達 10 萬~20 萬 ppm，且可直接排放到下游河道，整體費用相較於機械清淤便宜，而且處理的部分是無法作為骨材的微細粒料，對於水源運用較吃緊的水庫，是一種可嘗試的排砂對策
--	--------	--	---

資料來源：e 河川知識服務網 <https://e-river.wra.gov.tw/System/NewArticle/DealData.aspx?s=21799CA50FDAD78E&index=7B1842DEA8A0AD52&sm=E9D6617A5BA7B615>

我們從資料中發現，水力排砂是水庫清淤主要的運作方式，但不同的清淤方式適用在不同的水庫區域、時間及環境條件下，無法以某一種特定的清淤方式套用在所有的水庫清淤中，因此，水庫在進行清淤前應對各水庫的地理環境等條件做一研究探討，找出適用的清淤方式，才能達到事半功倍的效果。

(五)文獻分析過去相關研究

研究者針對過去相關之實驗研究，閱讀後整理部份重點摘要如下：

1.中華民國第 60 屆中小學科展國中組作品---底泥出清－阿基米德螺旋汲水器在水庫清淤上的運用

本研究為探討阿基米德螺旋汲水器汲取淤泥的效果，主要設計出四組長為 50 公分的螺旋，分別針對螺旋內外半徑比、葉片數、裝置傾角、泥水比例和轉速等操縱變因，進行實驗。

研究發現：螺旋內外半徑比以 1/2 的汲泥效果最佳；葉片數以三葉片螺旋的效能較高；汲水裝置傾角則是傾角愈大汲取量愈少；泥水比例以泥水比為 2：1 的汲取量高於泥水比 1：1 的；轉速以 120rpm 的汲取量優於 60rpm，且能突破傾角 40 度角無法汲起淤泥的限制。另外，也發現：只要水位高過螺旋前端的第一個腔室，就可以順利汲取泥水。

2.中華民國第 58 屆中小學科展國中組作品---水清石見浪淘淨－水庫水力旋流排淤之探討

本研究採旋風吸塵器概念製作結構簡單的水力旋流分離裝置，在水庫供水時同時排淤，並運用虹吸引水方式抽取淤泥，期望能幫助臺灣水庫早日水清石見，遏止淤積問題的惡化。研究者以高度、管徑、圓桶長度作為影響旋流分離的主因，改變此三項變因可影響流速進而影響分離率，實驗中發現可有效分離 99%河砂與 97.5%白河水庫淤泥。

研究者也探討淤積粒徑的分布區與不同水力排淤工法的效益，發現：水力旋流分離適用於水庫中上游粒徑大於黏土的淤積，水庫下游可搭配排淤隧道排出較難分離的黏土淤積，兩者搭配使用在清淤時，就可以不再受到天候的限制。

3.中華民國第 57 屆中小學科展國中組作品---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

本研究經研究者探訪水庫，發現水庫周圍樹木砍伐，導致水土保持差，出現水庫淤積的問題，同時發現台灣的水庫常用颱風過境後所產生的異重流來排淤泥，於是決定針對湖山水庫的環境，來探討異重流對排砂清理淤泥的可行性做相關性的研究。

研究發現：當異重流比重越大，異重流越清楚，捲流也較明顯，有益排沙。水庫水面越高，因異重流位能變少，排沙越不易；在湖山水庫以溪沙最適合當異重流的土壤等。

根據以上資料的統整分析，我們發現過去曾有研究者針對不同的工法在水庫清淤上的運用進行探討，包括運用阿基米德螺旋汲水器、水力旋流排淤、異重流排沙等；研究發現適當比例大小的阿基米德螺旋汲水器可以順利汲取泥水、水力旋流分離裝置可有效分離 99%河砂與 97.5%白河水庫淤泥、當異重流比重越大，異重流越清楚，有益排沙等結果。

本研究除了資料蒐集了解水庫淤泥情形外，擬透過實驗，觀測泥沙在水中的沉降及受水流的影响，根據結果再進一步以水庫淤積整體改善策略中〔庫區〕的〔排淤〕作為實驗設計探究方向，並對應排砂時機中的〔排除前期淤積土砂(除砂)〕類型，以其中的〔洩降排砂〕及〔水壓吸引排砂〕工法，設計〔洩降排砂〕方式的壩體底孔位置與〔水壓吸引排砂〕方式中的虹吸抽泥工法做為後續實驗的主要操縱變因，進行操作。

研究二、探討不同條件對水中泥沙的影響

我們為了觀察泥沙在水中的運動情形，因此，事先準備了不同顆粒大小的泥沙，並使用不同網目大小的篩網(#5-4.000m/m、#10-2.000m/m、#18-1.000m/m、#40-0.420m/m、#70-0.210m/m)分別篩出 0.21mm 以下、0.21-0.42mm、0.42-1mm、1-2mm 及 2-4mm 顆粒大小的泥沙，依各變因條件需求取用，泥沙顆粒規格及說明如下：(不同尺度範圍的名稱以巫登 - 溫特瓦分級來定義)

定義大小範圍(公制)	2-4mm	1-2mm	½-1mm	¼-½mm	125-250µm
名稱	極細礫	極粗砂	粗砂	中砂	細砂

實際使用之泥沙顆粒	2-4mm	1-2mm	0.42-1mm	0.21-0.42mm	0.21mm 以下
-----------	-------	-------	----------	-------------	-----------



5 個不同網目大小的篩網



濾沙情形



不同顆粒大小的泥沙

(一)觀察不同條件下泥沙的沉降情形

- 1.本實驗擬觀察泥沙在水中的沉降情形，利用內徑 4cm 的透明中空圓管做為觀察的主要器材，依各實驗需要之觀測長度在圓管上方標示「藍色」記號做為起點，圓管下方標示「紅色」記號做為終點，如下圖示。



藍色標記



紅色標記



起點

中空透明圓管

終點

操作配置

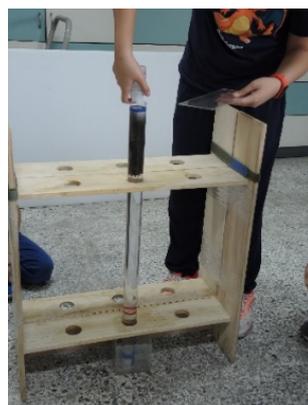
- 2.實驗操作時，研究者將固定量之泥沙裝入養樂多空瓶中，再以壓克力板蓋住後反向靜置於圓管上方開口處，快速移除壓克力板的同時開始計時，記錄泥沙從藍色記號到紅色記號的沉降時間。沉降過程中記錄 2 個時間點：

(1)大量泥沙(主集團)最前緣到達終點(紅色記號)的時間，記錄為「起始」時間。

(2)全部泥沙到達終點(紅色記號)的時間，記錄為「結束」時間。



準備移除壓克力板



泥沙開始進入管中



記錄泥沙沉降時間

主集團
泥沙前緣

實驗 1.不同泥沙量對水中泥沙沉降的影響

步驟(1)在長 120cm、內徑 4cm 的透明中空圓管上下各做一個記號，標示觀測長度 100cm，並以塞子塞住底部。



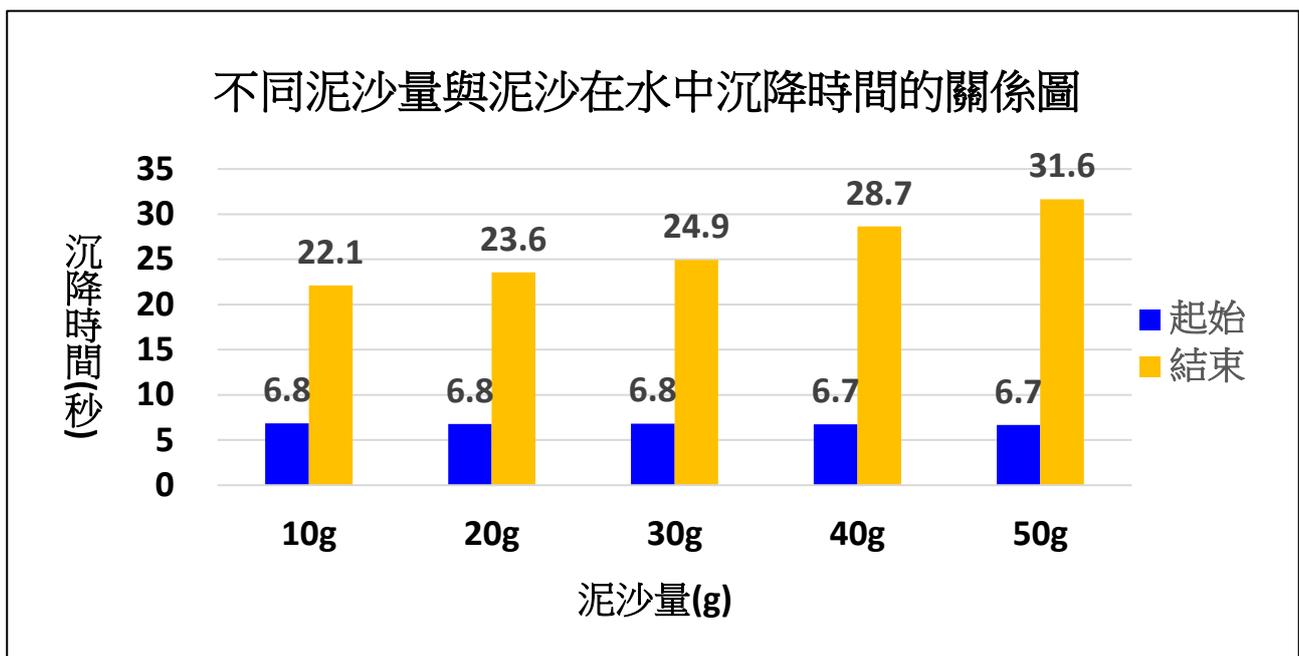
(2)在管內倒滿水，待水靜止後，由圓管上方固定位置倒入 10 克重 0.42-1mm 顆粒大小的泥沙，並開始計時。

(3)觀察沉降情形，並記錄泥沙沉降 100cm 的[起始]及[結束]時間，重複操作 5 次。

(4)依序改變泥沙的量，重覆(1)-(3)步驟，進行實驗觀測與記錄。

泥沙量 \ 次數	10g		20g		30g		40g		50g	
	起始	結束								
第一次	6.61	22.32	7.13	23.52	6.73	24.08	7.02	27.04	6.45	30.28
第二次	6.52	21.53	6.71	23.83	6.87	24.67	6.77	27.97	6.89	29.84
第三次	7.09	21.81	6.71	23.55	6.63	25.84	6.52	31.16	6.96	32.42
第四次	6.95	22.02	6.62	22.94	7.09	24.38	6.98	28.87	6.35	32.41
第五次	6.99	22.92	6.78	23.99	6.75	25.71	6.35	28.22	6.62	33.28
平均(秒)	6.8	22.1	6.8	23.6	6.8	24.9	6.7	28.7	6.7	31.6

※結果：實驗數據中發現 5 種不同的泥沙量，主要泥沙沉降到終點的[起始]時間都差不多，並沒有明顯的差異；而泥沙量越多，全部泥沙沉降[結束]時間就越長。



實驗 2.不同水量高度對水中泥沙沉降的影響

步驟(1)在長 60cm、內徑 4cm 的透明中空圓管上下各做一個記號，標示觀測長度 40cm，並以塞子塞住底部。

(2)在管內倒滿水，待水靜止後，由圓管上方固定位置倒入 30 克重 0.42-1mm 顆粒大小的泥沙，並開始計時。

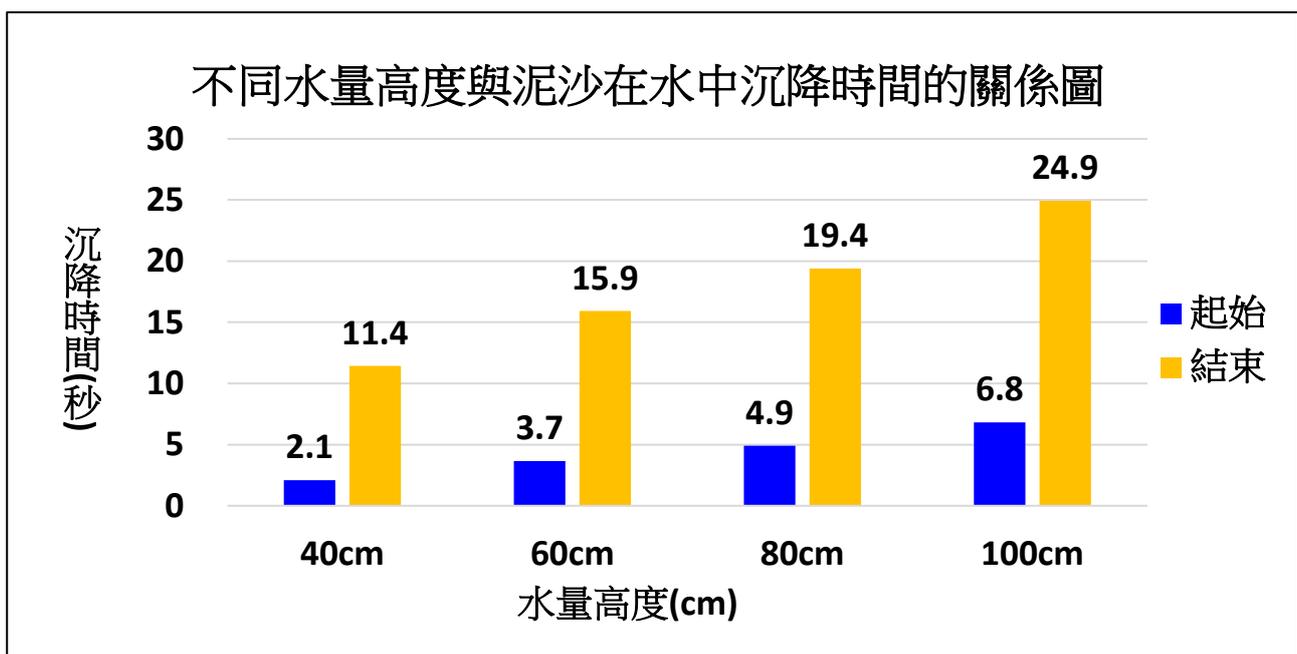
(3)觀察沉降情形，並記錄泥沙沉降 40cm 的[起始]及[結束]時間，重複操作 5 次。

(4)依序改變水量高度(更換圓管)，重覆(1)-(3)步驟，進行實驗觀測與記錄。



水量高度 次數	40cm		60cm		80cm		100cm	
	起始	結束	起始	結束	起始	結束	起始	結束
第一次	2.26	11.6	3.59	15.82	4.84	20.63	6.73	24.08
第二次	1.79	10.82	3.54	15.39	4.68	19.54	6.87	24.67
第三次	2.36	10.96	3.71	16.33	5.14	18.45	6.63	25.84
第四次	2.01	11.7	3.69	15.76	4.98	19.39	7.09	24.38
第五次	2.05	12.05	3.73	16.27	4.89	18.99	6.75	25.71
平均(秒)	2.1	11.4	3.7	15.9	4.9	19.4	6.8	24.9

※結果：實驗數據中發現水量高度越高，主要泥沙沉降到終點的[起始]時間及全部泥沙沉降的[結束]時間都越長；水量高度越低，主要泥沙沉降到終點的[起始]時間及全部泥沙沉降的[結束]時間都越短。



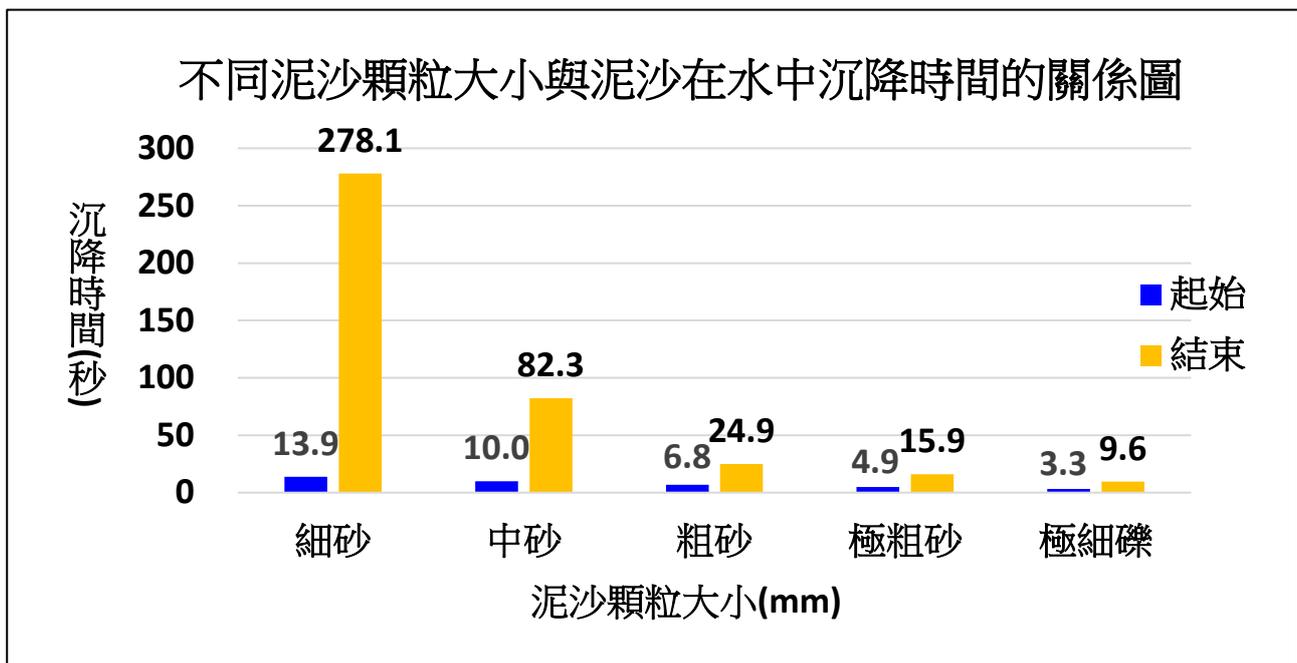
實驗 3.不同泥沙顆粒大小對水中泥沙沉降的影響

- 步驟(1)在長 120cm、內徑 4cm 的透明中空圓管上下各做一個記號，標示觀測長度 100cm，並以塞子塞住底部。
- (2)在管內倒滿水，待水靜止後，由圓管上方固定位置倒入 30 克重 0.21mm 以下顆粒大小的泥沙，並開始計時。
- (3)觀察沉降情形，並記錄泥沙沉降 100cm 的[起始]及[結束]時間，重複操作 5 次。
- (4)依序改變泥沙顆粒大小，重覆(1)-(3)步驟，進行實驗觀測與記錄。



顆粒大小 次數	細砂 (0.21mm 以下)		中砂 (0.21-0.42mm)		粗砂 (0.42-1mm)		極粗砂 (1-2mm)		極細礫 (2-4mm)	
	起始	結束	起始	結束	起始	結束	起始	結束	起始	結束
第一次	14.32	282.62	9.28	74.82	6.73	24.08	4.89	15.75	3.41	9.71
第二次	13.63	273.45	10.29	85.35	6.87	24.67	4.68	15.32	3.45	8.92
第三次	14.13	281.32	10.41	87.55	6.63	25.84	5.03	16.26	2.98	9.53
第四次	13.08	274.33	10.35	84.12	7.09	24.38	5.06	16.34	3.23	10.38
第五次	14.39	278.65	9.72	79.73	6.75	25.71	4.92	16.05	3.47	9.26
平均(秒)	13.9	278.1	10.0	82.3	6.8	24.9	4.9	15.9	3.3	9.6

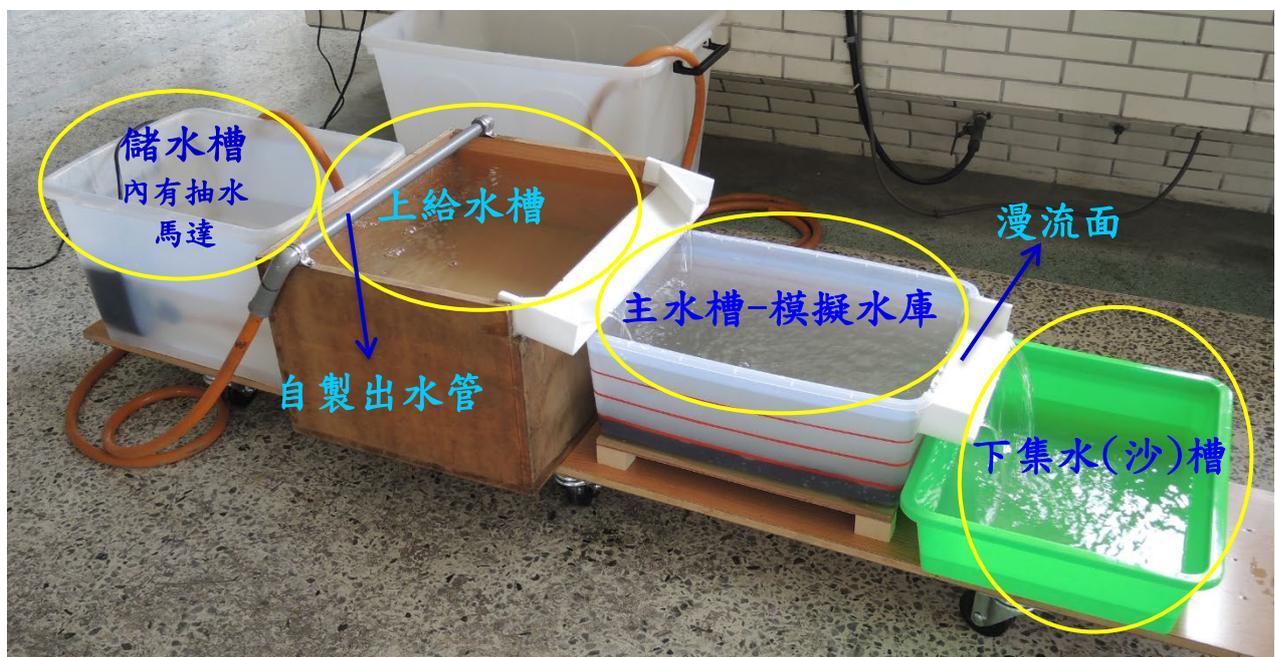
※結果：實驗數據中發現泥沙顆粒越大，主要泥沙沉降到終點的[起始]時間及全部泥沙沉降的[結束]時間都越短；泥沙顆粒越小，主要泥沙沉降到終點的[起始]時間及全部泥沙沉降的[結束]時間都越長。



(二)觀察泥沙受到水流影響的情形

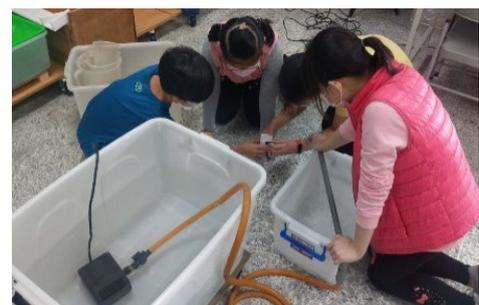
為了了解流動的水帶走泥沙的情形，經討論後我們決定以泥沙量、水流量、顆粒大小作為本研究觀察之操縱變因進行實驗觀測，並經討論、設計及測試後，自行製作及改造相關器材，歷程說明如下：

1. **實驗器材配置**：實驗操作的器材包括儲水槽、上給水槽(長 50cm、寬 40cm、高 30cm)，及主要進行實驗觀測的主水槽-模擬水庫(長 50cm、寬 35cm、高 20cm，漫流面高度 15cm)，和最下方的下集水(沙)槽 4 個部份。器材定位後，再以水平儀校正水平，進行實驗的操作觀測，器材配置如下圖示：



2. **給水控制**：為了控制穩定的水流，我們設置[儲水槽]和[上給水槽]，先利用抽水馬達由儲水槽中抽水後連接不同孔徑大小的出水管(每管挖 5 個孔)流入上給水槽，再以自然流動的方式漫流進入模擬水庫的主水槽中，做為給水的控制。並先分別測量不同孔徑大小的出水管每分鐘的水流量，記錄如下表：(以每分鐘最大流量 57L 的沉水馬達操作)

出水管孔徑大小	2mm	3mm	4mm	5mm
水流量(公升/分鐘)	4.5L	8.6L	13.3L	17.5L



測量不同孔徑大小出水管每分鐘的出水量

3. 泥沙鋪設方式：事先以不同篩網分別篩出 0.21mm 以下、0.21-0.42mm、0.42-1mm、1-2mm 及 2-4mm 顆粒大小的泥沙，依需求再取用鋪沙。泥沙鋪設高度依各實驗變因條件，於模擬水庫的主水槽中進行鋪沙。



主水槽中鋪沙 4cm 高



泥沙量 12cm 高度鋪沙

4. 操作方式：

(1) 在主水槽內依條件鋪沙完成後，加水至 15cm 高，再啟動抽水馬達從[儲水槽]將水由出水管流入[上給水槽]內。

(2) 水再漫流至已經鋪沙的[主水槽]後，主水槽內的水在流動過程中挾帶泥沙漫流至[下集水槽]中。

(3) 其中[攪動]的組別，當啟動水流後，同時以攪動機在主水槽內

靠近漫流面位置
固定深入泥沙 2cm 深
度，持續攪動泥沙至水流停止。



水槽定位後利用水平儀校正水平



利用攪動機在固定位置攪動泥沙

5. 觀測記錄：收集被水流挾帶流入下集水槽內的泥沙，烘乾後測量重量再予以記錄。並以拍照及錄影方式記錄實驗過程，輔助我們目測的觀察，以利結果的記錄與討論。



收集流入下集水槽內的泥沙再烘乾



烘乾後的泥沙秤重再記錄

實驗 4.不同泥沙量(高度)對水流帶走泥沙的影響

步驟(1)在透明主水槽中以 0.42-1mm(粗砂)的泥沙鋪平 4cm 高，再加滿至 15cm 高的水。

(2)待水槽內的水靜止後，以出水孔徑 3mm 水流量開始抽水，使水從上給水槽漫流進入主水槽內再漫流至下集水(沙)槽中，1 分鐘後關閉水流。

(3)記錄主水槽內的泥沙被水流帶走流入下集水(沙)槽中的量，並重複操作 5 次。

(4)重覆(1)-(3)步驟，開始抽水後同時以攪動機在主水槽內靠近漫流面位置固定深入泥沙 2cm 深度持續攪動泥沙至水流停止，進行實驗觀測記錄。

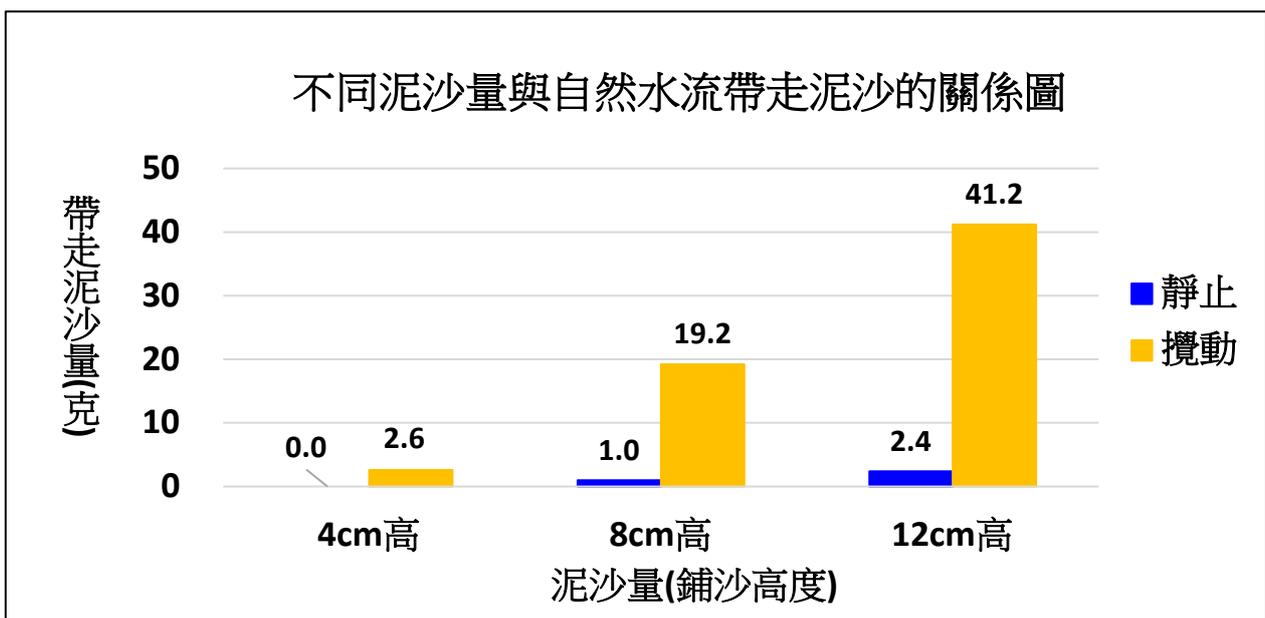
(5)依序改變泥沙的量(高度)，重覆(1)-(4)步驟，進行實驗觀測與記錄。



泥沙量(高度) \ 次數	4cm 高		8cm 高		12cm 高	
	靜止	攪動	靜止	攪動	靜止	攪動
第一次	0	2.6	0.9	18.9	2.8	39.9
第二次	0	2.7	1.1	19.5	2.2	41.7
第三次	0	2.4	0.9	18.9	2.4	41.8
第四次	0	2.9	1.0	19.7	2.5	40.9
第五次	0	2.5	0.9	18.9	2.3	41.5
平均(克)	0.0	2.6	1.0	19.2	2.4	41.2

※結果：

- 1.實驗中發現在泥沙靜止狀態下，不同泥沙量的組別，水流帶走的泥沙量都很少，差異並不明顯。在攪動的狀態下，泥沙量越多(高度越高)，水流帶走的泥沙量就越多，泥沙越少(高度越低)，水流帶走的泥沙量就越少。
- 2.發現不管泥沙量多少，攪動狀態都比靜止狀態下所帶走的泥沙還多。



實驗 5.不同水流量對水流帶走泥沙的影響

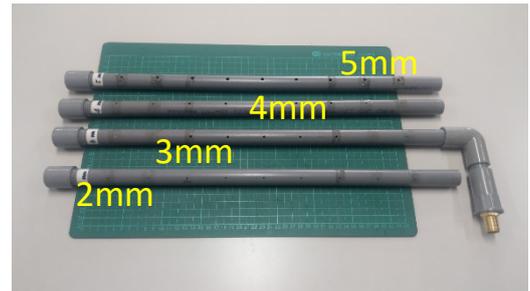
步驟(1)在透明主水槽中以 0.42-1mm(粗砂)的泥沙鋪平 8cm 高，再加滿至 15cm 高的水。

(2)待水槽內的水靜止後，以出水孔徑 2mm 水流量開始抽水，使水從上給水槽漫流進入主水槽內再漫流至下集水(沙)槽中，1 分鐘後關閉水流。

(3)記錄主水槽內的泥沙被水流帶走流入下集水(沙)槽中的量，並重複操作 5 次。

(4)重覆(1)-(3)步驟，開始抽水後同時以攪動機在主水槽內靠近漫流面位置固定深入泥沙 2cm 深度持續攪動泥沙至水流停止，進行實驗觀測記錄。

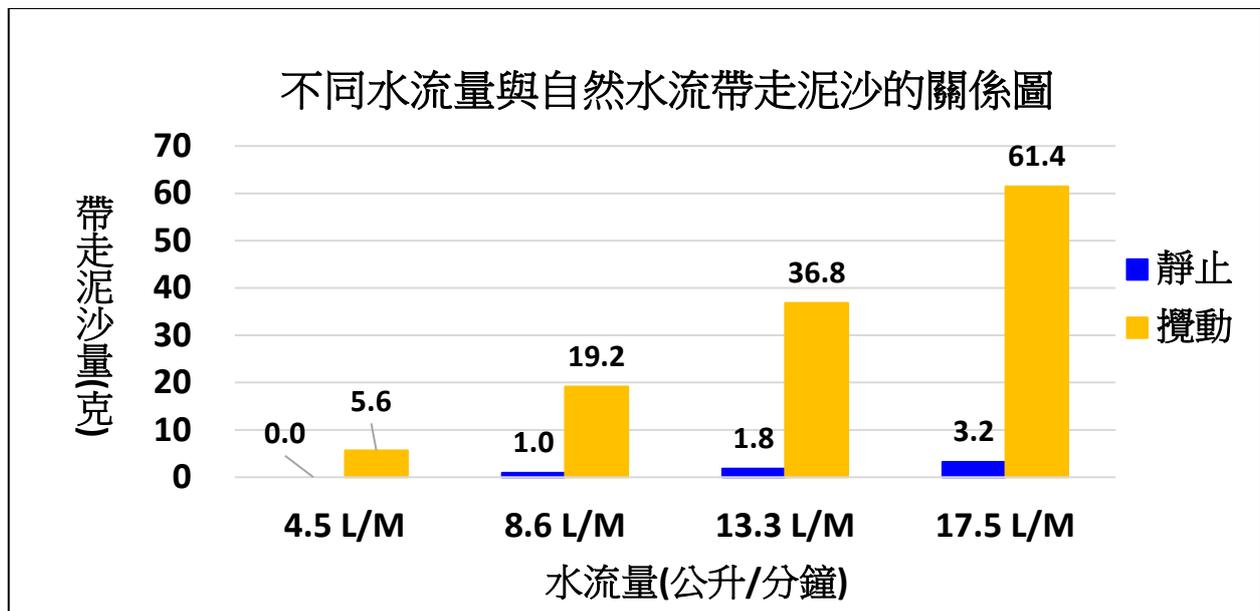
(5)依序改變水流量(出水孔徑)，重覆(1)-(4)步驟，進行實驗觀測與記錄。



水流量(孔徑)	4.5 LPM (孔徑 2mm)		8.6 LPM (孔徑 3mm)		13.3 LPM (孔徑 4mm)		17.5 LPM (孔徑 5mm)	
	靜止	攪動	靜止	攪動	靜止	攪動	靜止	攪動
第一次	0	5.8	0.9	18.9	1.8	37.1	3.2	61.2
第二次	0	5.4	1.1	19.5	1.8	36.5	3.1	61.5
第三次	0	5.7	0.9	18.9	1.6	36.8	3.3	60.8
第四次	0	6.0	1.0	19.7	2.1	37.1	3.5	62.1
第五次	0	5.3	0.9	18.9	1.8	36.5	2.9	61.6
平均(克)	0.0	5.6	1.0	19.2	1.8	36.8	3.2	61.4

※結果：

- 實驗中發現在泥沙靜止狀態下，不同水流量的組別，水流帶走的泥沙量都很少，差異並不明顯。在攪動的狀態下，水流量越大，水流帶走的泥沙量就越多，水流量越小，水流帶走的泥沙量就越少。
- 發現不管水流量多少，攪動狀態都比靜止狀態下所帶走的泥沙還多。



實驗 6.不同泥沙顆粒大小對水流帶走泥沙的影響

步驟(1)在透明主水槽中以 0.21mm 以下(細砂)的泥沙鋪平 8cm 高，再加滿至 15cm 高的水。

(2)待水槽內的水靜止後，以出水孔徑 3mm 水流量開始抽水，使水從上給水槽漫流進入主水槽內再漫流至下集水(沙)槽中，1 分鐘後關閉水流。

(3)記錄主水槽內的泥沙被水流帶走流入下集水(沙)槽中的量，並重複操作 5 次。

(4)重覆(1)-(3)步驟，開始抽水後同時以攪動機在主水槽內靠近漫流面位置固定深入泥沙 2cm 深度持續攪動泥沙至水流停止，進行實驗觀測記錄。

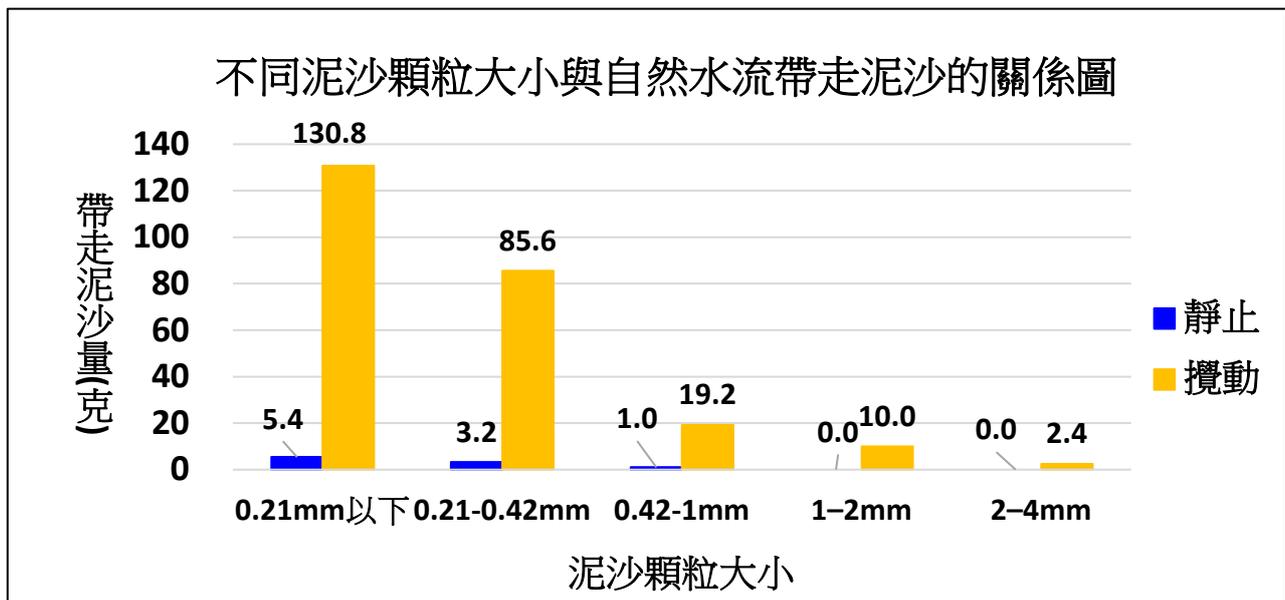
(5)依序改變泥沙顆粒大小，重覆(1)-(4)步驟，進行實驗觀測與記錄。



顆粒大小 次數	0.21mm 以下 (細砂)		0.21-0.42mm (中砂)		0.42-1mm (粗砂)		1-2mm (極粗砂)		2-4mm (極細礫)	
	靜止	攪動	靜止	攪動	靜止	攪動	靜止	攪動	靜止	攪動
第一次	5.3	131.5	3.5	85.9	0.9	18.9	0	10.5	0	2.8
第二次	5.8	130.6	2.9	84.6	1.1	19.5	0	9.7	0	2.6
第三次	5.6	129.4	3.7	86.3	0.9	18.9	0	9.8	0	2.1
第四次	5.1	132.1	3.4	84.9	1.0	19.7	0	9.7	0	2.3
第五次	5.2	130.2	2.7	86.2	0.9	18.9	0	10.2	0	2.2
平均(克)	5.4	130.8	3.2	85.6	1.0	19.2	0.0	10.0	0.0	2.4

※結果：

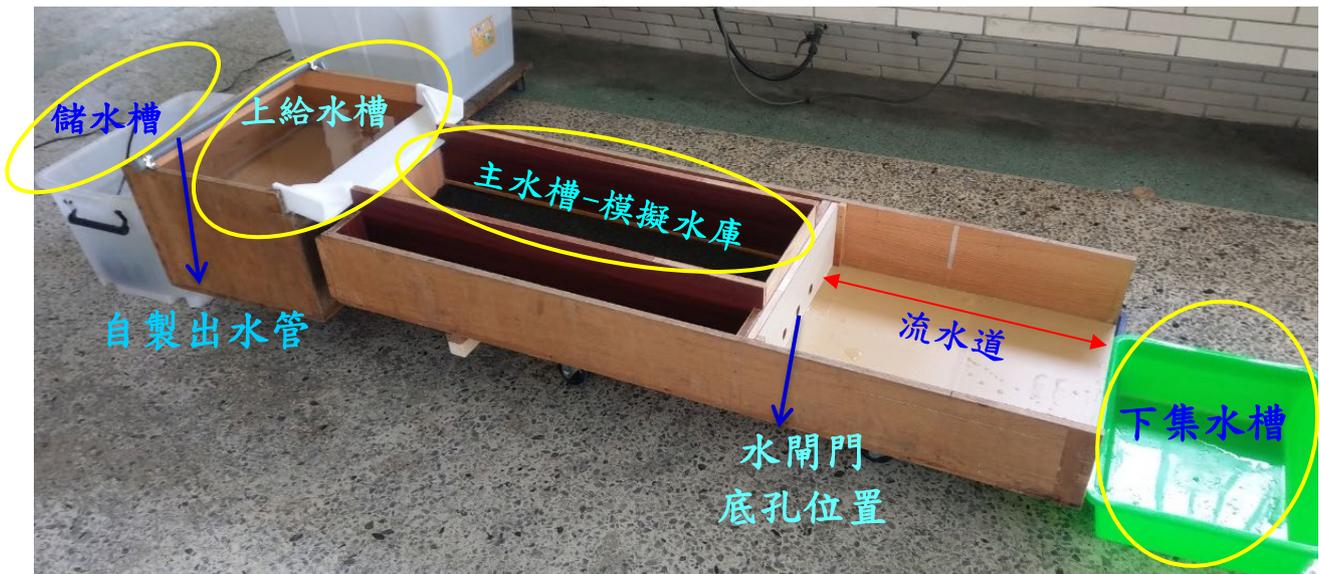
- 實驗中發現在泥沙靜止狀態下，泥沙顆粒較小的組別，水流帶走的泥沙量較多一點點，但差異並不明顯。在攪動的狀態下，泥沙顆粒越大，水流帶走的泥沙量就越少，泥沙顆粒越小，水流帶走的泥沙量就越多。
- 發現不管泥沙顆粒大小，攪動狀態都比靜止狀態下所帶走的泥沙還多。



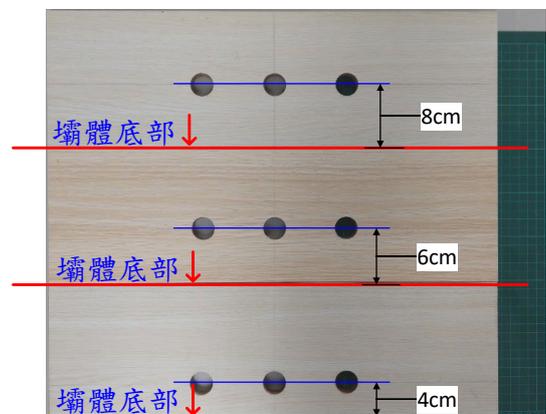
研究三、探討不同的清淤方式對水庫泥沙淤積的影響

根據資料的蒐集、研究二的實驗探討及器材的設計考量，我們討論後決定以〔洩降排砂〕方式的壩體底孔位置與〔水壓吸引排砂〕方式中的虹吸抽泥工法做為後續實驗的探究方向。

1. **實驗器材配置**：實驗主要器材配置和研究二之(二)相同，只有將實驗觀測模擬水庫的主水槽調整為長 90cm、寬 30cm、高 20cm，並設置 60cm 長的流水道。器材定位後，再以水平儀校正後進行實驗操作觀測，配置如下圖示：



2. **壩體底孔位置**：準備 3 片長 50cm、寬 2cm、高 15cm 的木心板，由底部往上測量 4cm、6cm、8cm 位置各挖 3 個直徑 20mm 的孔洞，實驗操作時依變因條件更換模擬水閘門的木板，表示不同壩體底孔位置，如右圖示。



3. **操作方式**：先利用擋水片遮住水閘門孔洞，在主水槽內鋪沙 6cm 高，水加滿至 12cm 高，待水槽內的水靜止後，啟動抽水馬達從 [儲水槽] 將水由出水管流入 [上給水槽] 內，水再漫流至已經鋪沙的 [主水槽] 後，同時間抽掉擋水片，主水槽內的水流動挾帶泥沙從水閘門孔洞流出，再流至 [下集水槽] 中，1 分鐘後關閉水流。
4. **觀測記錄**：收集被水流挾帶流入下集水槽內的泥沙，烘乾後測量重量再予以記錄。並以拍照及錄影方式記錄實驗過程，輔助我們目測的觀察，以利結果的記錄與討論。



實驗 7. 壩體底孔位置(洩降排砂方式)對水庫排沙的影響

步驟(1)在主水槽的下游出口放置底孔位置 4cm 高的水閘門，再加上一片擋水片，以 0.42-1mm 顆粒大小的泥沙鋪平 6cm 高，水加滿至 12cm 高。



(2)待水槽內的水靜止後，啟動抽水馬達以出水孔徑 3mm 水流量抽水，使水從上給水槽漫流進入主水槽後，同時抽掉擋水片，這時水流動挾帶泥沙從水閘門孔洞流出，再流至下集水槽中，1 分鐘後關閉水流。

(3)記錄主水槽內的泥沙被水流帶走經由底孔流入下集水槽中的量，並觀察泥沙流動情形，重複操作 5 次。

(4)依序改變壩體底孔位置，重覆(1)-(3)步驟，進行實驗觀測與記錄。

底孔位置 次數	4cm 高	6cm 高	8cm 高
第一次	1072.4	142.6	34.9
第二次	1059.5	136.7	35.2
第三次	1066.3	141.9	29.5
第四次	1062.1	135.4	28.6
第五次	1074.2	137.6	30.8
平均(克)	1066.9	138.8	31.8



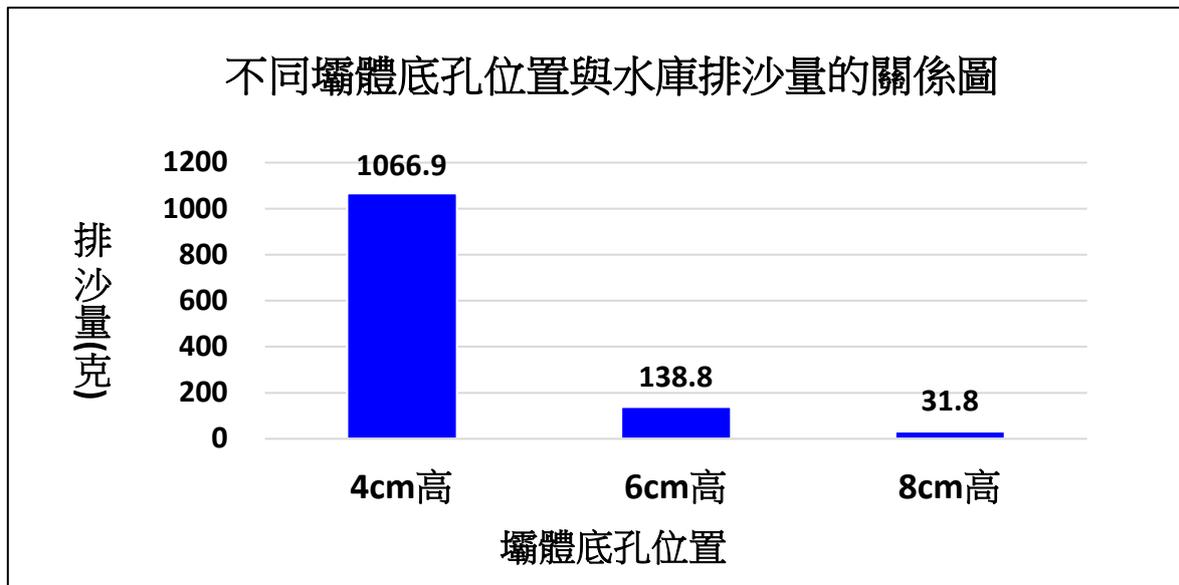
底孔位置 4cm 組別，泥沙大量流出



底孔位置 8cm 組別，只有少量泥沙

※結果：

- 1.實驗中發現壩體底孔位置較低時，水流帶走的泥沙量就較多；底孔位置較高，水流帶走的泥沙量就較少。實驗中以底孔位置 4 公分高所流出的泥沙量最多，底孔位置 8 公分的只有少量泥沙流出，大部分都是清水。
- 2.發現各組別打開擋水片的瞬間，泥沙量流出最多，隨著水流量慢慢減少，流出的泥沙量就變少了。



實驗 8.固定式虹吸抽沙位置(水壓吸引排砂方式)對水庫排沙的影響

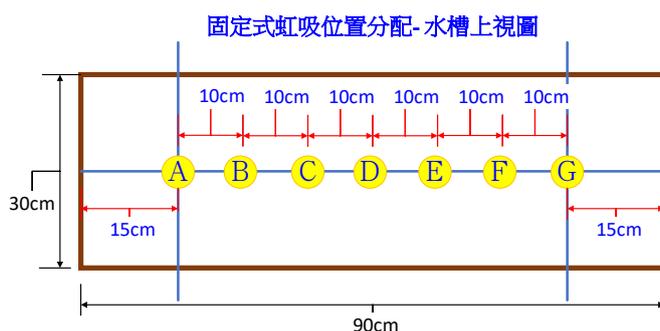
步驟(1)在主水槽下游出口固定一片沒有孔洞的木板，以 0.42-1mm 顆粒大小的泥沙在主水槽中鋪平 6cm 高，水加滿至 12cm 高。

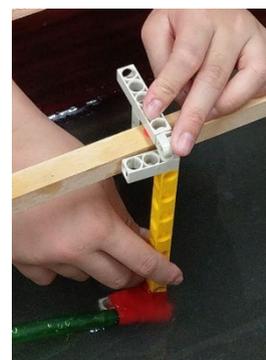
(2)待水槽內的水靜止後，以 9/12mm 水管固定在 D 位置泥沙深度 1cm 處進行虹吸，計時 1 分鐘。

(3)觀察並記錄主水槽內的泥沙經虹吸被水流帶走流入下集水槽中的量及泥沙流動情形，並重複操作 3 次。

(4)依序改變不同的虹吸位置(個數)，重覆(1)-(3)步驟，同樣計時 1 分鐘，進行實驗觀測。

※器材配置說明：為了準確控制每次虹吸的位置固定，經討論規畫 A 到 G 共 7 個位置，每個位置間隔 10cm，並自製木架輔助固定虹吸水管，減少誤差。

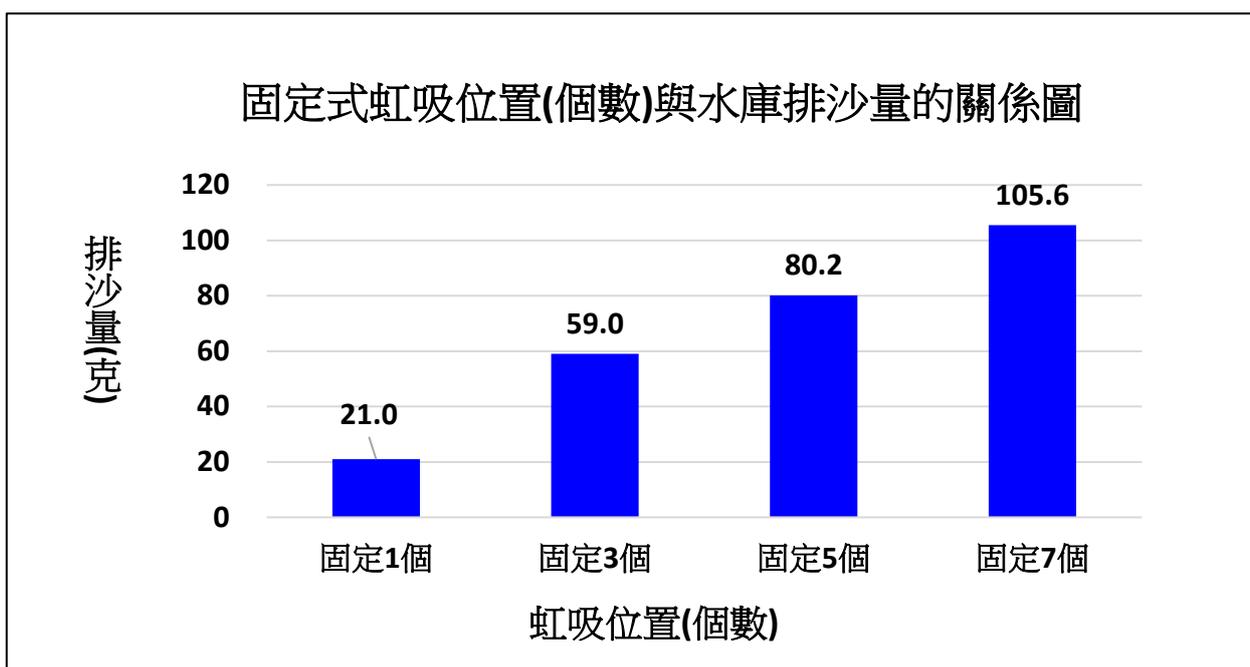




利用輔助木架
在 D 位置進行虹吸實驗

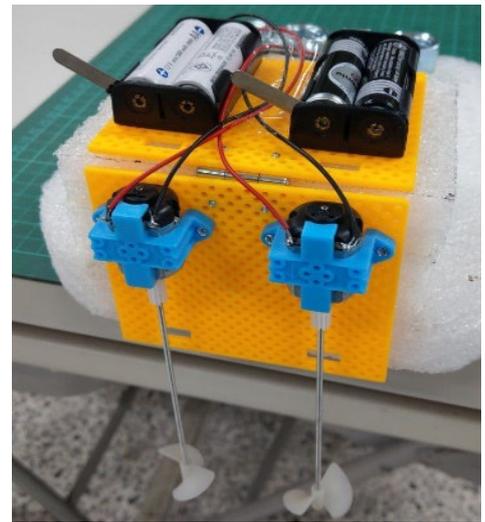
虹吸位置 次數	固定 1 個位置 D	固定 3 個位置 B、D、F	固定 5 個位置 B、C、D、E、F	固定 7 個位置 A、B、C、D、E、F、G
第一次	21.3	59.1	80.6	105.2
第二次	20.8	58.9	79.7	106.2
第三次	21.9	60.6	80.9	105.5
第四次	20.6	57.8	81.2	103.8
第五次	20.2	58.6	78.6	107.1
平均(克)	21.0	59.0	80.2	105.6

※結果：實驗數據發現固定式虹吸位置(個數)越多，排沙量就越多；虹吸位置(個數)越少，排沙量就越少。



※進一步實驗：

從實驗 8 中發現在固定的時間內虹吸位置(個數)越多，流失的泥沙量就越多，因此，我們討論認為可以使用一直改變虹吸位置的〔移動式虹吸〕方式，來進行實驗探討，並結合在研究二中發現攪動效果有助於泥沙流失，增加排沙效果的方式，進行以下實驗。



利用 2 座小馬達+扇葉進行攪動泥沙

實驗 9.移動式虹吸抽沙方式對水庫排沙的影響

步驟(1)在主水槽下游出口固定一片沒有孔洞的木板，以 0.42-1mm 顆粒大小的泥沙在主水槽中鋪平 6cm 高，水加滿至 12cm 高。

(2)待水槽內的水靜止後，以 9/12mm 水管固定在泥沙深度 1cm 處進行移動式虹吸，計時 1 分鐘。

(3)觀察並記錄主水槽內的泥沙經虹吸被水流帶走流入下集水槽中的量及泥沙流動情形，並重複操作 3 次。

(4)增加使用攪動方式，重覆(1)-(3)步驟，同樣計時 1 分鐘，進行實驗觀測與記錄。

※說明：

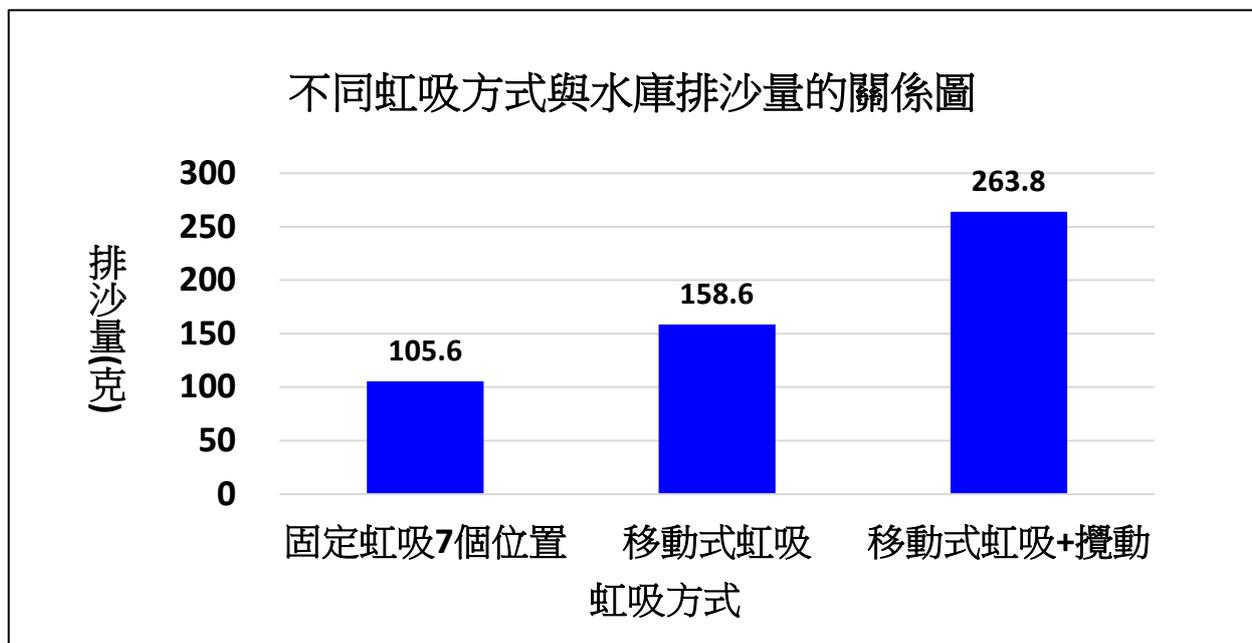
(1)**移動式虹吸**：指虹吸抽沙時不是在一個固定位置進行，而是一直在水槽中移動改變虹吸抽沙的位置。

(2)**移動式虹吸+攪動**：是指在虹吸抽沙的水管旁增設一個攪動泥沙的設備，當進行移動式虹吸抽沙時，同時間啟動電源進行攪動泥沙，同步運作。

虹吸方式 次數	固定 7 個位置 A·B·C·D·E·F·G	移動式虹吸	移動式虹吸+攪動
第一次	105.2	155.6	259.8
第二次	106.2	156.1	264.1
第三次	105.5	159.2	270.6
第四次	103.8	161.2	258.4
第五次	107.1	160.8	266.3
平均(克)	105.6	158.6	263.8

※結果：發現在固定的 1 分鐘內，移動式虹吸方式比固定式虹吸 7 個位置的組別排沙量較

多；移動式虹吸加上攪動的方式，排沙量更多。



研究四、提出水庫清淤方式較佳的建議

經過研究二、三的實驗探討，我們列出針對水庫清淤時的建議，內容如下：

問題發現	實驗根據	建議事項	其他
自然的水流不易帶走泥沙	實驗 4-6 結果發現：大量的水流或攪動，泥沙較容易透過水流帶走，達到較佳排沙效果，尤其是顆粒較小的更容易受到水流影響	「水力排沙」是一項好方法，如果增加「攪動」效果更好	需要大量的水
如何運作洩降排沙，使效果較好？	實驗 7 結果發現：以底孔位置 4cm 高的排沙量最多，這位置孔洞剛好位於鋪沙 6cm 高度之下方，接近與水的交界面	運用時，壩體底孔開啟的閘門應該選擇接近泥沙和水的交界面之下方；使用此工法，需使用適量的水較達到較佳的排沙效果	耗損掉的水該如何回收再利用呢？
如何運用虹吸式排沙，使效果較好？	實驗 9 結果發現：移動式虹吸方式比固定式虹吸的組別排沙量較多；移動式虹吸加上攪動的方式，排沙量更多	移動式虹吸同步配合攪動泥沙的方式進行排沙，效果會更好	是一項簡易方便的工法

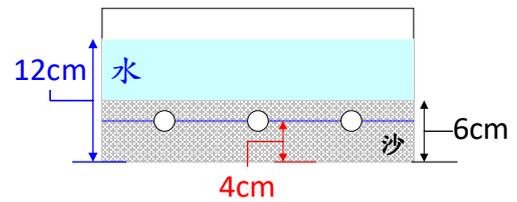
耗損掉的水該如何回收再利用呢？	實驗 1-3 結果發現：泥沙因不同條件有不同的沉降現象 實驗 7-9 觀察討論：透過水流排出的泥沙會在流水道上沉降而堆積在流水道上	增加流水(排沙)道的長度，延長排出泥沙在流水道上流動的時間，泥沙因沉降而分離出泥沙和水	將較乾淨的水源導引至水庫內或其他地方利用
-----------------	--	---	----------------------

伍、討論

- 一、根據資料得知，水庫的功能除了一般人認知的公共給水外，其實還身負灌溉、發電、觀光等重任，因此，水庫儲水量的多少是非常重要的；然而水庫長期的淤積卻造成儲水量的日益減少，如果剛好遇到像去年(109年)缺少雨量的情形，就可能造成嚴重的缺水危機。
- 二、台灣目前水庫清淤常見的方法包括陸挖、水上抽泥等，但效率並不佳；因此水庫防淤工作大都以多元方案為水庫延長壽命，而**經濟可行的方案之一就是「水力排砂」**，包括空庫排砂、洩降排砂、洩洪排砂、異重流排砂、水壓吸引排砂、繞庫排砂等。
- 三、資料蒐集探討發現：不同的清淤方式適用在不同的環境條件下，無法以同一種特定的清淤方式套用在所有的水庫清淤中，因此，水庫在進行清淤前，**應該對各水庫的地理環境等條件做一調查分析探討，找出適用的清淤方式，才能達到事半功倍的效果。**
- 四、本研究為了了解泥沙在水中的運動情形，先進行沉降實驗，發現泥沙量的多少不會影響泥沙最快沉降的時間，而水量高度越低和泥沙顆越大最快沉降的時間都越短；但是**泥沙量越多、水量高度越高及泥沙顆粒越小全部沉降完的時間都越長。**
- 五、本研究探討流動的水帶走泥沙的情形，經實驗觀測發現不管泥沙量多少、水流量多少及泥沙顆粒大小，在靜止狀態下差異並不明顯；但在攪動泥沙的狀態下，**泥沙量越多、水流量越大及泥沙顆粒越小，都會使水流帶走的泥沙量越多；而且攪動狀態都比在靜止狀態下所帶走的泥沙還多。**
- 六、在研究二之(二)攪動實驗中，測試時發現在模擬水庫中攪動的位置會影響到被水流帶走的泥沙量，攪動的位置越靠近上給水槽，水流帶走的泥沙量較少，**攪動的位置越靠近下集水槽，水流帶走的泥沙量就較多。**經過重覆測試與討論，本實驗攪動的位置設定在「靠近漫流面固定深入泥沙 2cm 深度」的位置，進行操作。



七、研究三探討水庫壩體底孔位置實驗中，發現以底孔位置 4cm 高所流出的泥沙量最多，討論認為這個位置的孔洞剛好位於鋪沙 6cm 高度之下方，接近與水的交界面(如下圖)，因此，當擋水片打開時，水流就會很快的帶走泥沙，而且持續一小段時間，直到底孔周邊的泥沙都流掉了；而底孔位置 8cm 的組別因為底孔沒有接觸到泥沙，因此只有少量泥沙隨著水流流出，大部分都是清水。另外發現各組別操作時打開擋水片的瞬間，流出的泥沙量最多，隨著水量慢慢減少，流出的泥沙量就變少了。



八、在實驗 8 探討固定式虹吸抽沙方式對排沙的影響，為控制精確，特別自製固定木架及記號輔助改變虹吸位置時的不便，而且將虹吸用水管先黏貼在特製積木桿上，方便操作，減少誤差。

九、從實驗 8 及 9 中發現固定式虹吸位置(個數)越少，排沙量就越少。透過觀察發現在同一個位置的泥沙，虹吸後泥沙會漸漸減少，所以，要一直改變虹吸位置才會再吸到其他泥沙，因此，虹吸位置越多或採用移動式的虹吸方式，對於泥沙吸取的量會更多。

陸、結論

- 一、研究發現台灣目前有 95 座水庫，公共用水的水庫占最多，其次是灌溉、發電、觀光等功能；其中有 13 座民生水庫，近年平均淤積量都高達三分之一，因此，水庫清淤刻不容緩。
- 二、台灣水庫淤積已經是長期的問題，每當颱風豪雨山坡地的崩塌更加劇了水庫的淤積，但要清除淤泥困難重重，除了耗時費工外，更需花費巨額經費，清出來的淤泥又不好處理；因此，應確實規畫整體改善策略，分別從上游、中游、水庫區到下游進行不同方式的改善，才能一勞永逸改善水庫的淤積問題，增加儲水量，延長水庫使用的壽命。
- 三、本研究沉降實驗中，發現泥沙量越多、水量高度越高及泥沙顆粒越小時，泥沙全部沉降完的時間都越長。
- 四、本研究實驗觀測發現自然的水流不易帶走泥沙，需要大量的水流或攪動，比較容易透過水流帶走泥沙，尤其是顆粒較小的較易受到影響，比較容易被水流帶走。
- 五、研究中發現水庫壩體底孔位置低於或靠近泥沙和水的交界面時，開啟水閘門後，水流帶走的泥沙量就會越多，因此，如果運用洩降排沙時，壩體底孔開啟的閘門應該選擇接近泥沙和水的交界面的下方處，是一項方便的排沙方式，但是在使用此工法排沙時，需要使用適量的水才能達到較佳的排沙效果。
- 六、研究中發現移動式虹吸的抽沙方式，排沙的效果較佳，是一項簡易方便的清淤工法；如

果能再配合同步攪動泥沙的方式進行虹吸，排沙的效果應該會更好。

七、可以增加流水(排沙)道的長度，讓不同工法排出的泥沙可以在流水(排沙)道上流動，延長排出泥沙流動的時間，泥沙因沉降而分離出泥沙和水，將較乾淨的水源再導引至水庫內

柒、參考文獻資料

- 一、e 河川知識服務網-水庫清淤•經濟部水利署•取自 <https://e-river.wra.gov.tw/System/NewArticle/DealData.aspx?s=21799CA50FDAD78E&index=7B1842DEA8A0AD52&sm=E9D6617A5BA7B615>
- 二、水利統計-公務統計報表-108 年現有水庫概況•經濟部水利署•取自 https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=2945&s=7395&attyear=108%E5%B9%B4
- 三、水利統計-公務統計報表-1109 年現有水庫概況•經濟部水利署•取自 https://www.wra.gov.tw/News_Content.aspx?n=2945&s=7395&attyear=109%E5%B9%B4
- 四、民視新聞(2020 年 12 月 6 日)•56 年來最嚴峻水情...直擊石門水庫清淤•取自 <https://www.ftvnews.com.tw/news/detail/2020C06F08M1>
- 五、余采滢、黑中亮(2021 年 1 月 3 日)•學者：清出淤泥放水庫下游•聯合報•取自 <https://udn.com/news/story/7314/5142501>
- 六、杜易襄(2015)•水庫乾涸見底，為什麼不去清淤？•天下雜誌•取自 <https://www.cw.com.tw/article/5066291>
- 七、汪世輝、李權仁•水庫回春新工法-排砂隧道•取自 <http://www.mp.ncku.edu.tw/var/file/99/1099/img/3686/270168518.pdf>
- 八、周子硯•曾文水庫防淤的世紀挑戰•取自 <http://www.mp.ncku.edu.tw/var/file/99/1099/img/3686/270168518.pdf>
- 九、徐白櫻(2020 年-8 月 4 日)•7 月零颱風 阿公店水庫 46 年來首度 8 月才實施空庫排砂•聯合報•取自 <https://udn.com/news/story/7266/4754688>
- 十、黃寅、黑中亮(2021 年 1 月 3 日)•清淤救水庫 台電砸 50 億•聯合報•取自 https://udn.com/news/story/7314/5142536?from=udn-catebreaknews_ch2
- 十一、黃滢心、廖宣燁、趙寅壯(2020)•底泥出清—阿基米德螺旋汲水器在水庫清淤上的運用•中華民國第 60 屆中小學科學展覽會•取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/60/pdf/NPHSF2020-032920.pdf?569>
- 十二、楊思瑞(2020 年 12 月 30 日)•曾文水庫年清淤創新高 有效容量難得正成長•中央通訊社•取自 <https://www.cna.com.tw/news/ahel/202012300316.aspx>
- 十三、詹鈞評、饒見有、周志明(2017)•象鼻鋼管縮尺模型之水下物件追蹤及四維動畫重

建。航測及遙測學刊，22(4)，275-290。

十四、維基百科-粒徑•取自 <https://zh.wikipedia.org/wiki/%E7%B2%92%E5%BE%91>

十五、盧佩筠、蕭熙陵、廖婕瑄(2017)•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•中華民國第 57 屆中小學科學展覽會•取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/57/pdf/030508.pdf>

十六、謝詠晴、蔡捷羽(2018)•水清石見浪淘淨—水庫水力旋流排淤之探討•中華民國第 58 屆中小學科學展覽會•取自 <https://twsf.ntsec.gov.tw/activity/race-1/58/pdf/NPHSF2018-030509.pdf>

附件-臺灣各水庫主要功能概況一覽表(109 年度統計資料)

分區	水庫名稱	公共給水	發電	防洪	觀光	灌溉	工業用水	攔砂	引水	生態保育	分區	水庫名稱	公共給水	發電	防洪	觀光	灌溉	工業用水	攔砂	引水	生態保育				
北區	新山水庫	V									南區	鏡面水庫	V				V								
	西勢水庫	V										玉峰堰	V												
	翡翠水庫	V	V	V								鹽水埤水庫						V							
	阿玉壩		V									虎頭埤水庫				V	V								
	羅好壩		V									阿公店水庫	V		V		V								
	桂山壩		V									觀音湖水庫					V								
	粗坑壩		V									美濃湖水庫			V		V								
	直潭壩	V										鳳山水庫	V			V		V							
	青潭堰	V										澄清湖水庫	V				V	V							
	榮華壩		V						V			高屏溪攔河堰	V												
	石門水庫	V	V	V	V	V						牡丹水庫	V			V	V								
	高山堰	V				V						龍鑾潭水庫					V							V	
	羅東攔河堰	V					V					東區	南溪壩		V										
	寶山水庫	V								溪畔壩				V											
	寶山第二水庫	V					V			龍溪壩				V											
	隆恩堰	V				V	V			木瓜壩				V											
	大埔水庫			V		V	V			水簾壩				V											
中區	劍潭水庫			V		V					酬勤水庫	V													
	永和山水庫	V					V			赤崁地下水庫	V					V									
	明德水庫	V			V	V	V			成功水庫	V														
	鯉魚潭水庫	V			V	V				興仁水庫	V														
	士林攔河堰	V	V			V				東衛水庫	V														
	德基水庫		V	V	V					小池水庫	V														
	青山壩		V							西安水庫	V														
	谷關水庫		V							烏溝蓄水塘	V														
	天輪壩		V							七美水庫	V														
	馬鞍壩		V							山西水庫	V														
	石岡壩	V			V	V				擎天水庫	V														
	霧社水庫		V							榮湖	V														
	武界壩								V		金沙水庫	V													
	日月潭水庫	V	V		V					陽明湖	V														
	明湖下池水庫		V							田浦水庫	V														
	明潭下池水庫		V							太湖	V														
	銃櫃壩		V							瓊林水庫	V														
	頭社水庫				V	V				蘭湖	V														
	集集攔河堰	V				V	V			西湖	V														
	湖山水庫	V								蓮湖	V														
南區	內埔子水庫					V					菱湖	V													
	仁義潭水庫	V			V					金湖	V														
	蘭潭水庫	V			V					東湧水庫	V														
	鹿寮溪水庫					V	V			坂里水庫	V														
	白河水庫	V			V	V				秋桂山水庫	V														
	尖山埤水庫				V	V				儲水沃水庫	V														
	德元埤水庫					V				津沙一號水庫	V														
	烏山頭水庫	V			V	V				津沙水庫	V														
	曾文水庫	V	V	V	V	V				勝利水庫	V														
	南化水庫	V								后沃水庫	V														
	甲仙攔河堰	V																							

【評語】 080509

【優點】

1. 研究主題與生活貼切，具應用可能。
2. 研究工作完整性高，實驗設計和施作很全面、完整。
3. 客觀推論實驗結果並量化資料。

【建議】

1. 題材不全然創新但結論仍有參考性。
2. 將來可考量尺度比例放大到實際狀況的問題。

作品簡報

中華民國第61屆中小學科學展覽會

防淤大作戰～探討水庫淤泥問題 及其改善方法

國小組 地球科學科

080509

前言

動機

- ➡ 去年沒有颱風來襲，面臨最嚴峻水情
- ➡ 水庫泥沙淤積讓水庫面臨危機
- ➡ 重要民生水庫13座，平均淤積量高達三分之一
- ➡ 曾文水庫估計在90年變成土庫

目的

- ➡ 了解目前台灣的水庫現況
- ➡ 探討不同條件對水中泥沙的影響
- ➡ 不同清淤方式對水庫泥沙淤積的影響
- ➡ 提出水庫清淤方式較佳的建議

文獻

- ➡ 阿基米德螺旋汲水器
- ➡ 水力旋流排淤
- ➡ 異重流排沙



無相同主題

防淤大作戰

研究一 台灣水庫現況

現有水庫統計概況

水庫淤積情形及影響

探訪南部地區水庫

水庫淤泥清理方式

文獻分析相關研究

研究二 不同條件對水中 泥沙的影響

不同條件泥沙沉降情形

實驗1-泥沙量

實驗2-水量高度

實驗3-顆粒大小

泥沙受水流影響的情形

實驗4-泥沙量

實驗5-水流量

實驗6-顆粒大小

研究三 不同清淤方式對水 庫泥沙淤積的影響

洩降排砂方式

實驗7. 壩體底孔位置

水壓吸引排砂方式

實驗8. 固定式虹吸

進一步實驗

實驗9. 移動式虹吸

研究四 提出清淤方式 較佳建議

1. 水力排砂
2. 洩降排砂
3. 移動式虹吸同步攪動
4. 水資源再利用

研究一、了解目前台灣的水庫現況

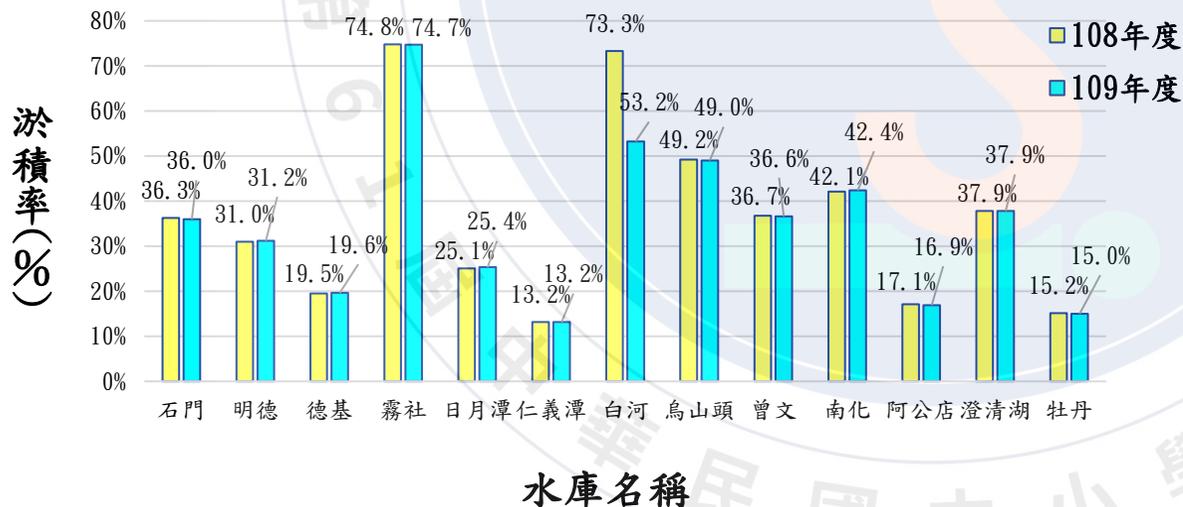
▶ 台灣現有水庫統計概況

現有95座水庫，北區16座、中區21座、南區23座、東區6座及離島29座

台灣水庫以公共給水佔大多數，其次是灌溉和發電，南區則以灌溉和觀光居次

▶ 台灣水庫淤積情形

台灣13座重要民生水庫108-109年度淤積率統計圖



▶ 水庫淤泥常見的清理方法

➤ 陸上挖掘

➤ 水上抽泥船抽泥

➤ 多元方案-水力排砂

空庫排砂、洩降排砂、

洩洪排砂、異重流排砂、

渾水排砂、水壓吸引排砂、

前後庫排砂、繞庫排砂

研究二、探討不同條件對水中泥沙的影響

(一)觀察不同條件下泥沙的沉降情形

► 沉降過程記錄2個時間點：

- (1) 「起始」-大量泥沙最前緣到達終點的時間
- (2) 「結束」-全部泥沙到達終點的時間

起點



終點



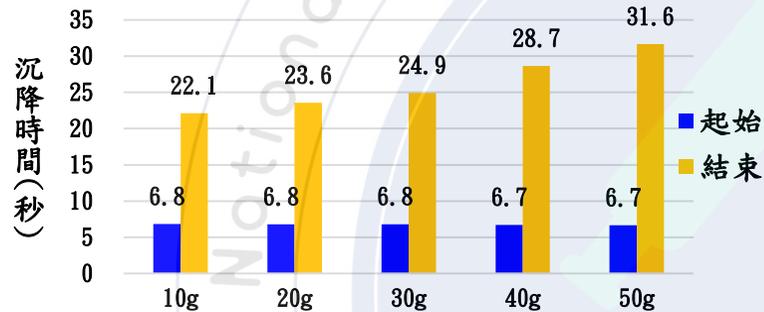
主集團
泥沙前緣

研究二、探討不同條件對水中泥沙的影響

不同條件下泥沙的沉降實驗

實驗1

不同泥沙量與泥沙在水中沉降時間的關係圖

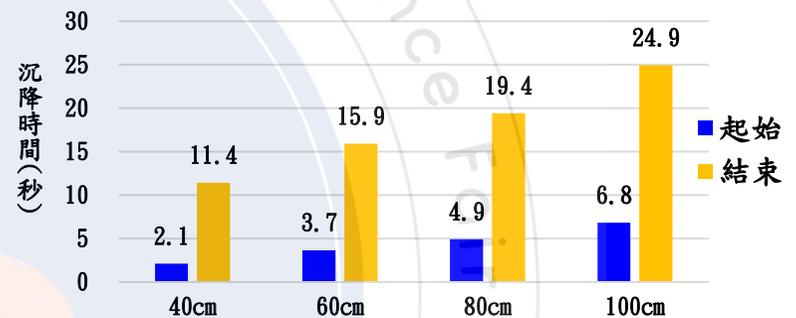


起始：無明顯差異
結束：泥沙越多
時間越長

泥沙量 (g)

實驗2

不同水量高度與泥沙在水中沉降時間的關係圖

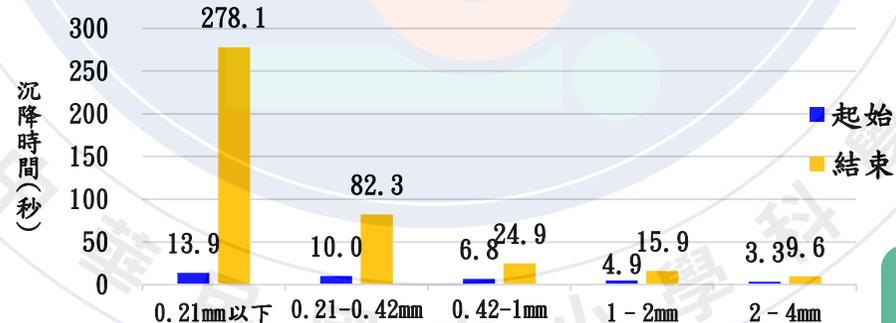


水量越高，起始和
結束時間都越長

水量高度 (cm)

實驗3

不同泥沙顆粒大小與泥沙在水中沉降時間的關係圖



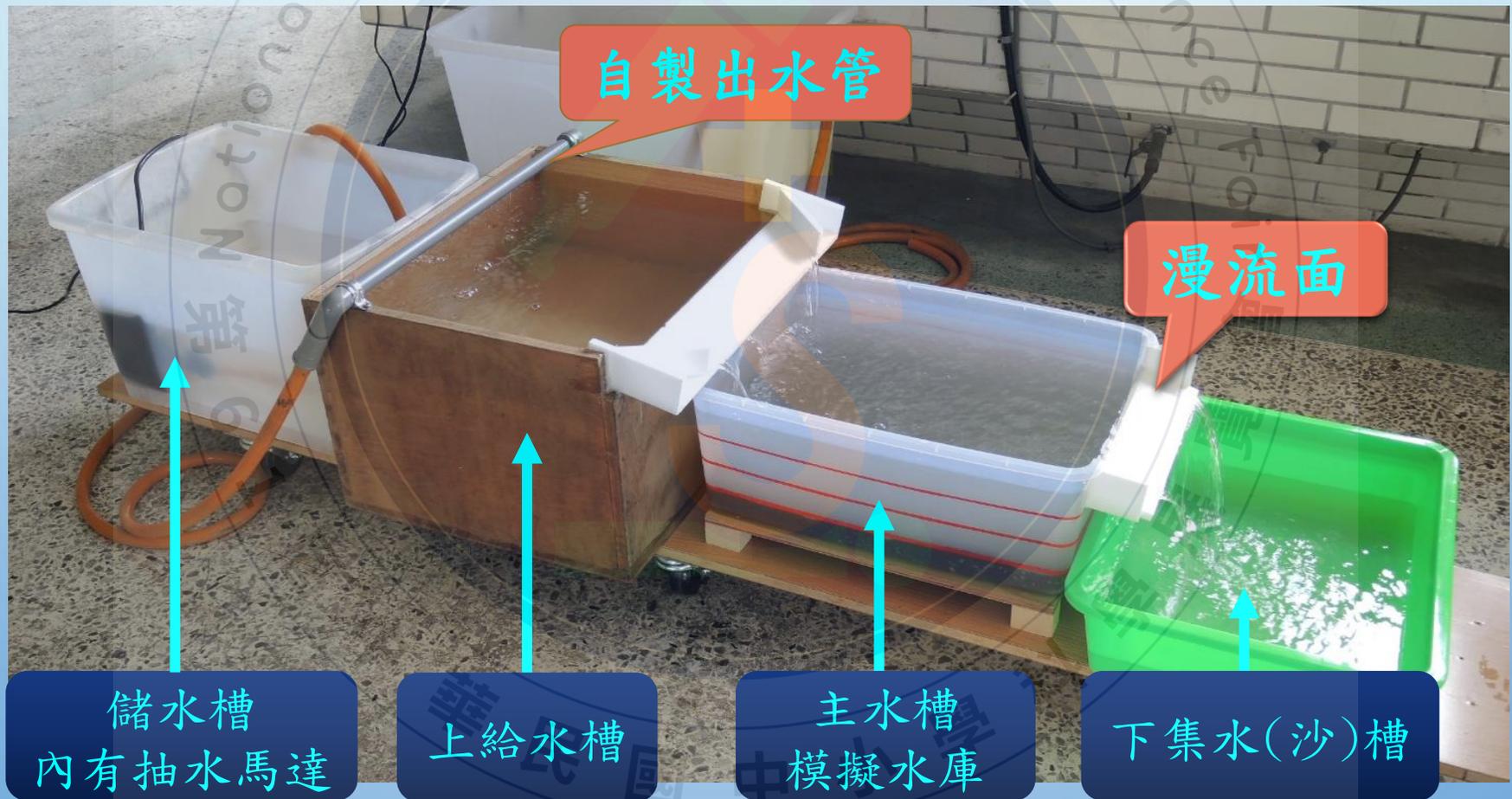
顆粒越大，起始和
結束時間都越短

泥沙顆粒大小 (mm)

研究二、探討不同條件對水中泥沙的影響

(二)觀察泥沙受到水流影響的情形

► 實驗器材配置

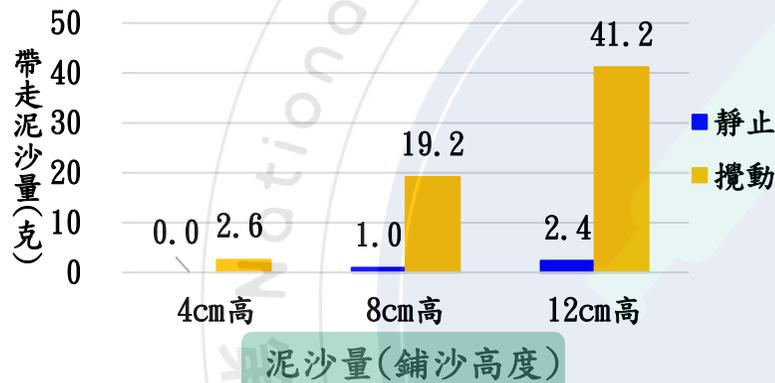


研究二、探討不同條件對水中泥沙的影響

泥沙受到水流影響實驗

實驗4

不同泥沙量與自然水流帶走泥沙的關係圖



靜止：無明顯差異
攪動：泥沙量越多，帶走越多泥沙

實驗5

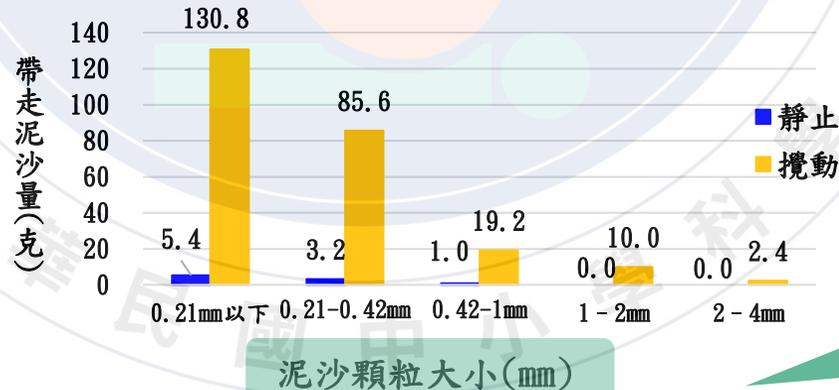
不同水流量與自然水流帶走泥沙的關係圖



靜止：無明顯差異
攪動：水流量越大，帶走越多泥沙

實驗6

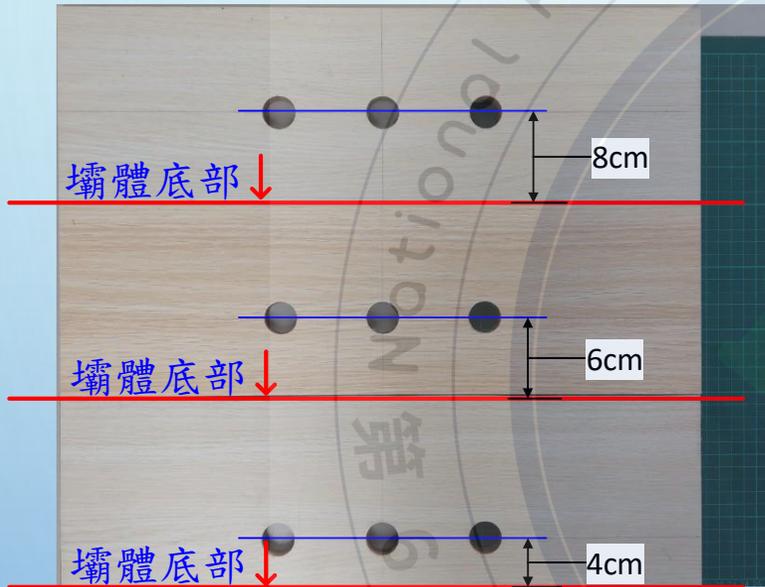
不同泥沙顆粒大小與自然水流帶走泥沙的關係圖



靜止：無明顯差異
攪動：泥沙顆粒越大帶走越少泥沙

研究三、不同的清淤方式對水庫泥沙淤積的影響

實驗7. 壩體底孔位置對水庫排沙的影響



實驗7

不同壩體底孔位置與水庫排沙量的關係圖

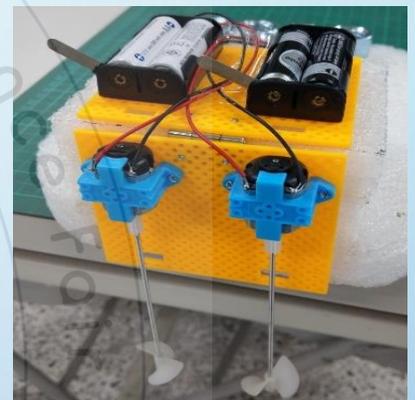
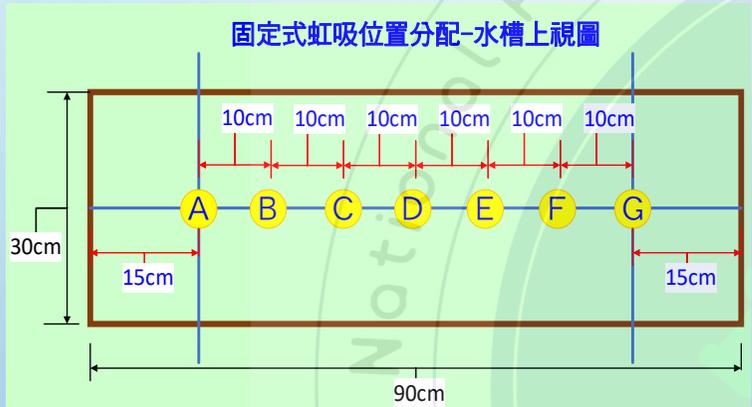


底孔位置4公分高的排沙量最多的

研究三、不同的清淤方式對水庫泥沙淤積的影響

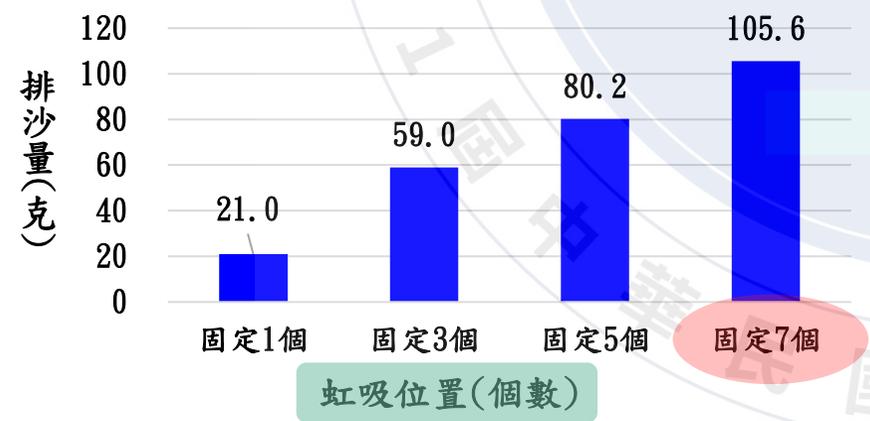
實驗8. 固定式虹吸抽沙

實驗9. 移動式虹吸抽沙



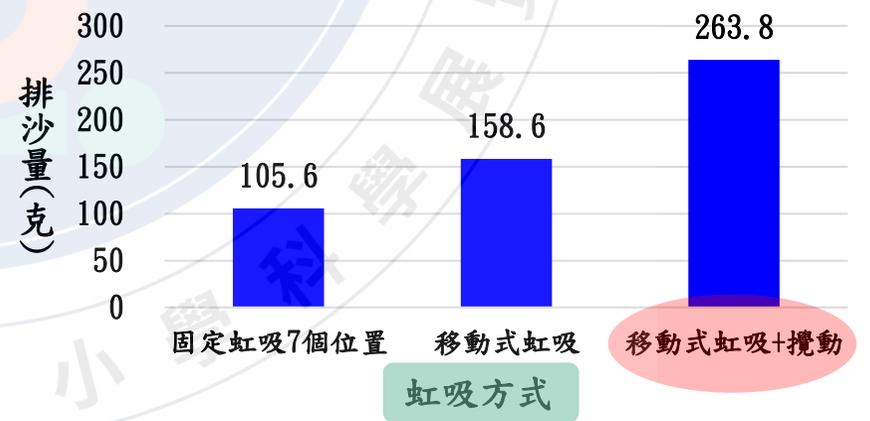
實驗8

固定式虹吸位置(個數)與水庫排沙量的關係圖

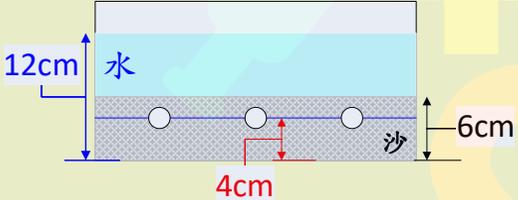


實驗9

不同虹吸方式與水庫排沙量的關係圖



研究四、提出水庫清淤方式較佳的建議

問題發現	實驗根據	建議事項
自然水流不易帶走泥沙	大量水流或攪動較容易帶走泥沙 顆粒較小的較容易受到水流影響	「水力排沙」是一項好方法， 如果增加「攪動」效果更好
如何運作洩降排沙？	 <p>The diagram shows a cross-section of a dam. The top part is water, with a blue arrow indicating a height of 12cm from the sediment interface to the water surface. Below the water is a grey layer representing sediment, with a vertical double-headed arrow indicating a thickness of 6cm. At the bottom of the dam, there are three circular openings. A red arrow points to the distance from the bottom of the dam to the sediment interface, labeled as 4cm.</p>	壩體底孔開啟位置選擇靠近 「泥沙和水的交界面」下方
如何運用虹吸式排沙？	移動式虹吸方式比固定式虹吸組 別排沙量較多；加上攪動，排沙 量會更多	移動式虹吸同步配合攪動泥沙 的方式進行排沙，效果會更好
耗損掉的水該如何回收？	水流排出的泥沙會在流水道上因 沉降現象而堆積	增加排沙道長度，延長排出泥 沙在流水道上流動的時間

參考資料

- ◆ E河川知識服務網-水庫清淤●經濟部水利署
- ◆ 水利統計-公務統計報表-108及109年現有水庫概況●經濟部水利署
- ◆ 徐白櫻(2020年-8月4日)●7月零颱風 阿公店水庫46年來首度8月才實施空庫排砂●聯合報
- ◆ 黃滢心、廖宣燁、趙寅壯(2020)●底泥出清—阿基米德螺旋汲水器在水庫清淤上的運用●中華民國第60屆中小學科學展覽會
- ◆ 盧佩筠、蕭熙陵、廖婕瑄(2017)●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●中華民國第57屆中小學科學展覽會
- ◆ 謝詠晴、蔡捷羽(2018)●水清石見浪淘淨—水庫水力旋流排淤之探討●中華民國第58屆中小學科學展覽會