

花蓮縣第 60 屆國民中小學科學展覽會

作品說明書

科 別：地球科學科

組 別：國小組

作品名稱：洄瀾灣美得冒泡
～氣泡屏障攔截河川垃圾之探究

關 鍵 詞：洄瀾灣、氣泡屏障

目次

壹、	研究動機.....	2
貳、	研究目的.....	2
參、	研究流程.....	3
肆、	研究設備與器材.....	3
伍、	研究過程與方法.....	4
一、	實地調查洄瀾灣主要溪流樣貌及出海口垃圾分布現況.....	4
(一)	美崙溪.....	4
(二)	吉安溪.....	7
(三)	花蓮溪出海口.....	10
二、	文獻探討.....	13
(一)	河水的流動與速度.....	13
(二)	河流的搬運作用及荷重.....	13
(三)	「氣泡屏障」攔下水中垃圾新聞報導.....	14
三、	實驗模擬氣泡屏障對漂流物的攔截作用.....	15
【實驗槽設置】.....	15	
【實驗一】探討氣泡條「擺放角度」對煉石攔截率的影響.....	16	
【實驗二】探討氣泡條「擺放範圍」對煉石攔截率的影響.....	18	
【實驗三】探討氣泡條「擺放位置」對煉石攔截率的影響.....	20	
【實驗四】探討實驗槽中各區段煉石的流動速率.....	21	
【實驗五】修正『實驗二』氣泡條「擺放範圍」對煉石攔截率的影響.....	23	
【實驗六】河川流速調查.....	25	
【實驗七】探討『實驗槽地形』對煉石攔截率的影響.....	26	
【實驗八】河川鹽度調查.....	29	
【實驗九】實驗槽中水體鹽度對煉石攔截率的影響.....	30	
陸、	結論.....	31
柒、	參考資料.....	31

洄瀾灣美得冒泡~氣泡屏障攔截河川垃圾之探究

摘要

本研究經由實地調查，發現花蓮洄瀾灣三條主要河川，的確有漂浮垃圾的問題。該區域現行河川攔截垃圾方式，以設置攔截繩為主。此外藉由文獻探討，我們也瞭解到要減低河川的搬運力，達到攔截垃圾的效果，可以使用氣泡屏障減低水體的密度、降低水流的亂流狀態；河川流速越大則水流搬運力越強。

為了探討氣泡屏障運用在花蓮市重要河川攔截垃圾的可行性，我們展開實驗研究，以瞭解氣泡屏障對水體中漂浮物的影響。

實驗研究發現：一、煉石在實驗槽中的位置越後段，流動速度越快，因此氣泡條設置在實驗槽中的位置越後段，則對煉石的攔截率越低，此和文獻資料中提到:搬運力與流速成平方倍增長有關。二、氣泡屏障可降低水體平均密度，有效降低亂流情形，對提高實驗槽中的煉石攔截率有功效。三、若實驗槽內換成有鹽度的水體，則攔截率會下降，這個結果可能與提高水體密度會提高亂流有關。

本研究證實:氣泡條產生的氣泡屏障，可降低水體的搬運力。如果要使用氣泡屏障工程攔截河川漂浮物，依照實驗結果，我們給的建議是:需要配合河川的流速、選擇馬力足夠的打氣馬達，並且將工程設置在沒有鹽度、且水流速較緩的河流區段。

壹、 研究動機

在暑假的時候，我們參加小論文競賽，針對全球暖化的議題進行探究，對於地球所遭受到的破壞有了更深的體會。比賽結束後，我們繼續發想科展競賽的研究議題。我們查閱到荷蘭使用氣泡屏障攔截河川垃圾的新聞，引發大家高度的興趣。

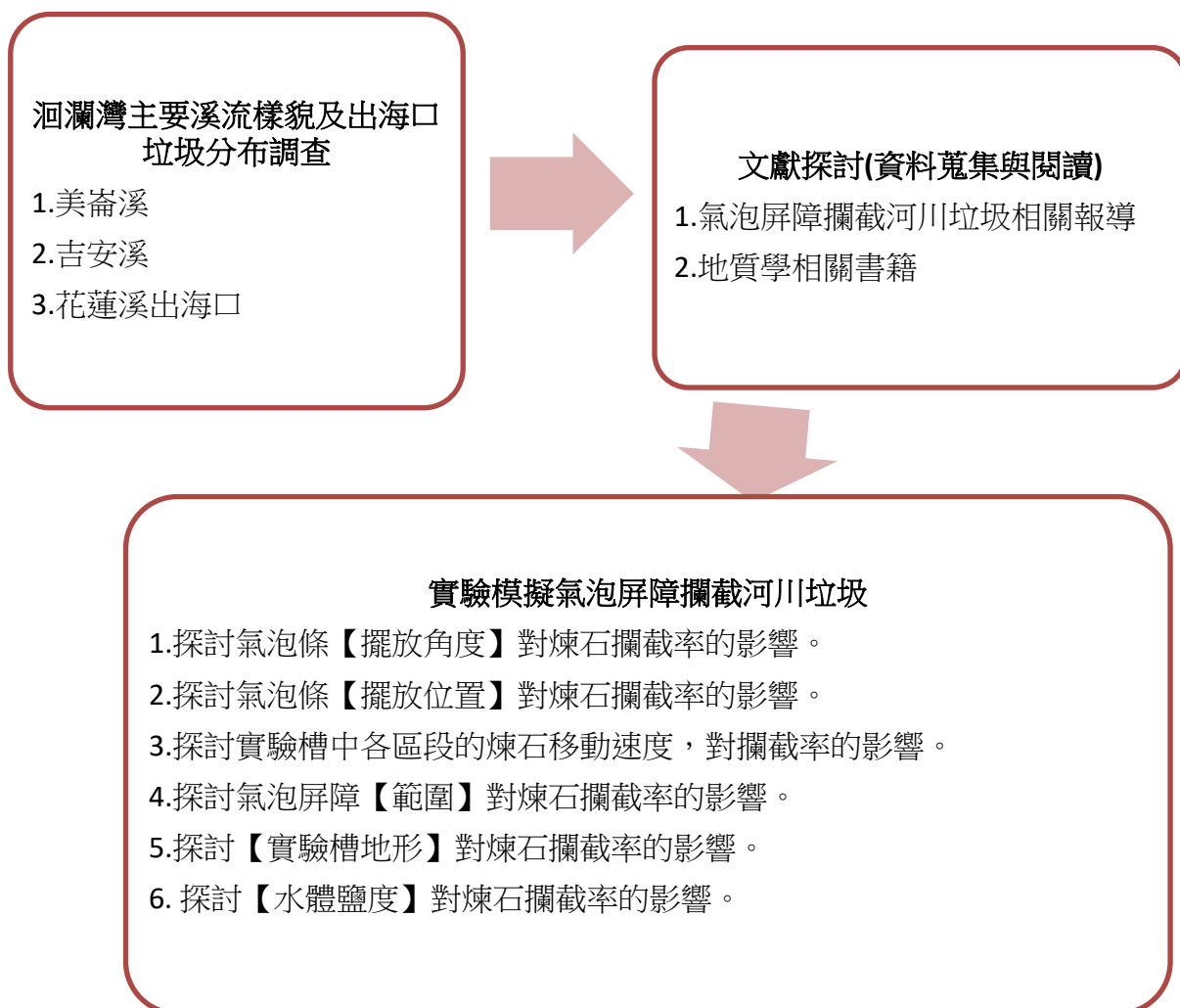
我們學校位在花蓮市北端，臨近許多條溪流的出海口，如美崙溪、吉安溪、花蓮溪等。老師時常告訴我們要愛護海洋生態環境，因此會帶大家到溪流出海口淨灘。印象中，這些溪流的出海口總是充斥著各式各樣的垃圾，撿都撿不完……。如果我們能在垃圾漂流進大海前，就先攔截它，那麼美麗的海洋就不會受到垃圾的危害，同時也能對花蓮的觀光產業及漁業帶來幫助。

於是我們開始展開美崙溪、吉安溪、花蓮溪的考察，並在學校實驗室中設置實驗槽，研究如何使用氣泡屏障攔截垃圾。

貳、 研究目的

- 一. 藉由野外考察，瞭解洄瀾灣主要溪流樣貌及出海口垃圾分布現況。
- 二. 藉由文獻探討，瞭解河水的運動與荷蘭氣泡屏障攔截河川垃圾現況。
- 三. 藉由河水採樣及流速測量，瞭解洄瀾灣主要河流的鹽度與流速。
- 四. 藉由實驗研究，模擬氣泡屏障攔截漂浮物的情況，並藉由研究結果，提出可行的建議。

參、 研究流程



肆、 研究設備與器材

研究階段	研究設備與器材
野外調查	數位相機、筆、筆記本、垃圾袋、磅秤、河水取樣瓶、棉繩、捲尺、噴漆、標示牌、標籤紙……
實驗研究	造流器、玻璃槽、打氣機、氣泡條、空心磚、塑膠墊、計時器、油性筆、記錄紙、相機、攝影機。

伍、 研究過程與方法

一、 實地調查洄瀾灣主要溪流樣貌及出海口垃圾分布現況

為了瞭解花蓮市主要溪流及出海口垃圾分布現況，我們選擇鄰近學校的美崙溪、吉安溪及花蓮溪口這些區域，也就是本研究所定義的「洄瀾灣」來進行實地探查，希望透過詳細的觀察記錄，幫助我們更瞭解洄瀾灣海岸的樣貌。

洄瀾灣北起美崙溪口，南至花蓮溪口，包含花蓮市與吉安鄉長約四公里的海岸線。本區域的主要河川共有三條，由北至南分別為美崙溪、吉安溪以及花蓮溪。



圖 1：洄瀾灣海岸（資料來源：張國儀 2011）

（一） 美崙溪

美崙溪舊名為「沙婆碇溪」，發源於中央山脈的七腳川山，全長約 20 公里，流域面積約 76.4 平方公里，分布於花蓮縣中北部，包含花蓮市大部分及新城鄉、秀林鄉與花蓮市交界地帶。美崙溪自水源村出山谷，經過沙婆碇沖積扇之後，便進入花蓮平原，一路還納入八堵毛溪和須美基溪。到了嘉新村一帶，由於受到美崙台地和美崙山的阻擋，形成 90 度大轉彎，沿著南北走向的斷層谷往南流。最後從美崙山和花崗山台地之間穿出，在花蓮港南側注入太平洋。

1.美崙溪調查

109 年 3 月 21 日，我們進行美崙溪全流域調查活動。從水源區開始，順著河岸旁的道路往中下游走，沿路記錄美崙溪的樣貌。



圖 2. 美崙溪源頭是水源保護區，為大花蓮地區自來水源供應所在。



圖 3. 水源區溪水清澈見底，常有民眾前往釣魚。



圖 4. 溪流源頭設置有攔砂壩及魚梯，水流非常湍急。



圖 5-7. 美崙溪上游河谷，大略是指入山檢查哨往下游至水源大橋附近處。本區位於美崙溪沖積扇之扇頂位置，也就是山地與平原交會處之谷口，因為坡度突然降低，沖積物大量堆積，故河道上巨礫、大礫隨處可見。



圖 8. 美崙溪中游地區泛指水源大橋以下，直至國福橋附近，也就是美崙溪主流沖積扇扇央和扇翼部分。

圖 9. 美崙溪中游以國福大橋上下河道最寬，大橋以上經常呈現乾涸狀態，大橋以下在港天宮附近才有滲流溢出。



圖 10-11. 美崙溪中游~水道滲流溢出後，枯水期河道很窄、水流量小，經過嘉里村仁本橋，繼續流向下游。



圖 12-14. 美崙溪下游~農兵橋、尚志橋等流域，河道稍寬、水量稍多、流速緩慢。尚志橋目前施工單位正在進行橋樑維修作業，不便進行調查。



圖 15-17. 美崙溪流經中正橋、菁華橋、中山橋、曙光橋後，河道漸寬、水流緩慢，河岸兩旁整治為河濱公園，方便民眾進行親水性活動，民生里社區為主要人口聚集處。

2.美崙溪出海口

除了進行美崙溪全流域的考察外，研究期間，我們一共進行 3 次出海口垃圾分布的考察。過程中意外發現:美崙溪在出海口處形成的沙嘴地形會不斷變化。



圖 18-19. **108.12.08 第一次考察**，出海口較窄，因有沙嘴地形擋住水流。

圖 20. **109.01.11 第二次考察** 沙嘴地形變寬，出海口窄了。

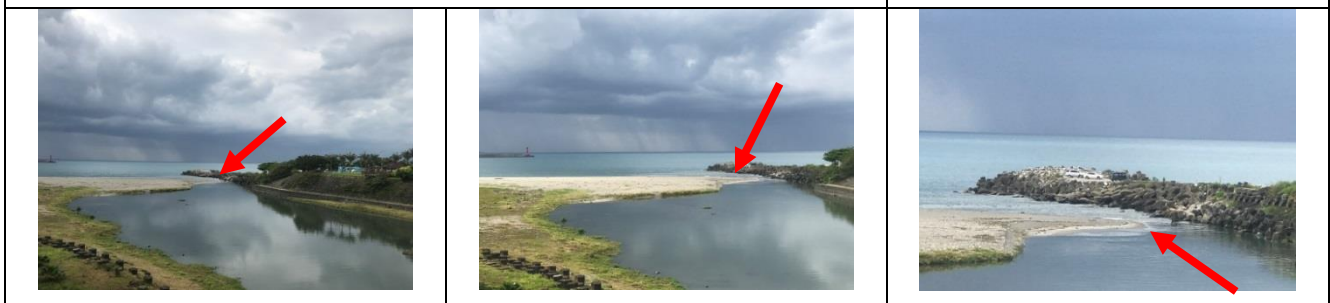


圖 21-23. **109.04.28 第三次考察**，沙嘴地形因潮流而變化。

3.美崙溪出海口垃圾分布調查(中山橋下)

在中山橋與曙光橋中間的河道，我們發現相關單位設置了垃圾攔截繩(帆布繩)，用來攔截垃圾、布袋蓮等漂浮物。研究期間，我們一共進行 3 次垃圾分布的考察，記錄河道上垃圾攔截繩可以攔截到的垃圾種類。



圖 24-26 **109.12.08.第一次考察**，我們發現鄰近曙光橋的中山橋下，設置了橘色厚帆布製成的垃圾攔截繩，可以攔截到少許的布袋蓮、汙泥，河岸邊還有民眾在垂釣呢!



圖 27-29. 109.01.11 第二次考察，我們發現垃圾攔截繩內，攔截到比上次更多的布袋蓮、汙泥，攔截區域中隱約可以看到少許的人工垃圾



圖 30-32. 109.04.28 第三次考察，此次攔截繩攔截到的布袋蓮、汙泥又更多了，有關單位似乎還沒有派專人來清理。

(二) 吉安溪

吉安溪屬花蓮吉安鄉，集水區範圍多。主流發源於標高 1321 公尺的吉安山東側，流經吉安鄉慶豐村、勝安村、宜昌村及花蓮市區，並於吉安溪橋附近注入太平洋。主幹流長約 11 公里、流域面積約 42 平方公里，研究調查期間，正在進行水環境整體營造計畫的施工。

1. 吉安溪河川樣貌調查

109 年 3 月 28 日，老師為我們安排了一次吉安溪全流域的考察活動。我們從吉安溪源頭吉安山開始調查、沿著河岸旁道路順流而下，記錄吉安溪的河川樣貌，說明如下：



圖 33-35. 翠堤橋位於吉安溪源頭，103 年 7 月竣工的。從吉安鄉觀光導覽休閒地圖上，可清楚判讀吉安溪流經的村落。



圖 36-37. 從翠堤橋上往吉安溪山谷眺望，大型攔砂壩可防止山崩落石、土石流瞬間沖入吉安溪。

圖 38. 枯水期，吉安溪河道水量並不大。



圖 39.吉安溪大山部落，設置七腳川事件紀念碑，紀念原住民抗日英雄事蹟。



圖 40.大山部落同時為吉安鄉親山線自行車步道的起點。



圖 41.在枯水期可明顯看見河床上有小型的攔砂設施。



圖 42-44.吉安溪流經慶豐村人口密集區，家庭廢水會排入吉安溪河道。我們在河床上還發現許多垃圾，河床環境顯得髒亂許多。



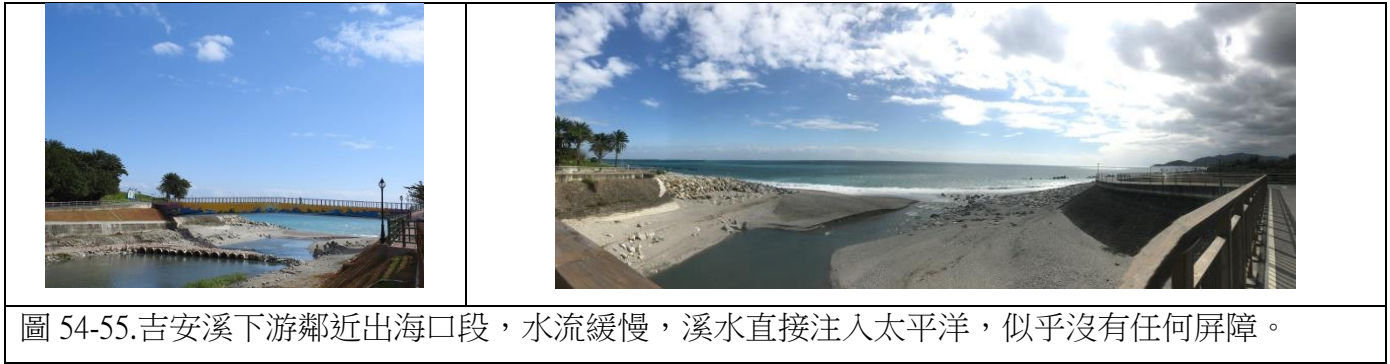
圖 45-47.吉安溪沿著慶豐村順流而下，可以看見河道旁正在進行河道整治施工。此區段水流量稍大，河床邊種植水生植物淨化水源，但似乎也會讓垃圾卡在植物區，不容易漂流。



圖 48-50.吉安溪行經仁里村，河道兩側種植水生植物綠化美化，堤岸兩旁的道路，還種植高大的台灣欒樹，形成非常美麗的行道樹景觀。此區段河道平緩，水流緩慢，河道兩岸非常乾淨。



圖 51-53.吉安溪下游河道尚未整治完成，水質也較混濁。河道旁築起高高的堤防，並進行藝術作品的美化，非常有聚落特色。



2.吉安溪出海口的垃圾分布調查

鄰近吉安溪出海口處，分別有兩座橋:吉安溪橋和洄瀾橋(距離太平洋約 1 公里處)。這兩座橋下，相關單位都設置了垃圾攔截繩(帆布繩)，用來攔截河面上的垃圾、植物等漂流物。研究期間，我們一共進行 3 次的垃圾分布調查，記錄如下:

(1)吉安溪橋下的垃圾攔截情況

<p>圖 56. 108.12.08.第一次考察 鄰近吉安溪出海口的第一座橋是吉安溪橋。橋下有設置垃圾攔截繩。</p>	<p>圖 57.遠看垃圾攔截繩區域，有攔截到少許垃圾。</p>	<p>圖 58.近看攔截區內，攔截到各種垃圾及汙泥。</p>
<p>圖 59-61. 109.01.11 第二次考察 橋下的垃圾攔截區，垃圾明顯增加。走近一看，有紙盒、寶特瓶、塑膠袋、飲料杯等各種垃圾，數量非常多。</p>		
<p>圖 62-64. 109.04.29 第三次考察 專人剛清理過攔截區，垃圾明顯減少許多。</p>		

(2) 河瀾橋下的垃圾攔截情況



圖 65-67. 108.12.08 第一次考察

河瀾橋下也設置一條垃圾攔截繩，攔截了許多垃圾與泥沙。河岸上有三大袋的垃圾，應該是專人定期會來清理、分類回收。



圖 68-70. 109.01.11 第二次考察

河瀾橋下的攔截繩，攔截到更多的垃圾、汙泥。下游水流較平緩，垃圾似乎不會衝出攔截繩區域，呈現越積越多的狀態。



圖 71-73. 109.04.29 第三次考察

這次的考察，剛好遇到清潔人員在清理攔截繩內的垃圾，他們用力地將垃圾耙到河岸上，再仔細分類、裝袋，真是非常辛苦！

(三) 花蓮溪出海口

花蓮溪從上游攜來大量沖積物至入海口，與海水交互作用形成堆積地形。花蓮溪口的沙嘴地形向南連接陸地，向北延伸到河口與河流直交。雨季來臨水量豐沛時，沙嘴就會縮短，反之則增長。(資料來源：台灣濕地網)

1. 出海口的地形

在研究期間，我們定期到花蓮溪出海口考察，對於出海口地形的觀察，每一次都有不同的發現，說明如下：

		
<p>圖 74-76. 108.11.24 第一次考察 東北季風盛行，沙嘴面積較寬廣，出海口水流量大、流速快。</p>		
		
<p>圖 77-79. 109.01.11 第二次考察 此次調查時，發現花蓮溪出海位置偏移到河口南側。</p>		
		
<p>圖 80-82. 109.03.21 第三次考察 時序進入春夏季，東北季風減弱，沙嘴面積也縮小了。河岸邊長出許多青苔類植物。</p>		
		
<p>圖 83-85. 109.04.29 第四次考察 考察時間正逢漲潮，河道更加寬廣，水量也非常大，出海口位置又南移些。</p>		

2. 出海口海灘的垃圾量分布調查

為了瞭解花蓮溪出海口河岸上的垃圾分布情形，研究期間，我們定期到出海口進行調查，一共進行了四次。我們利用採樣法調查河岸邊的垃圾分布。首先以測距輪量測樣區範圍，每 150 公尺設置一個採樣點。接著利用 1 平方公尺的紅色線，框選垃圾分布區域，進行垃圾的分類、秤重，並計算出各種垃圾的百分比。

經過幾次的統計，我們發現：花蓮溪出海口的垃圾，除了天然漂流木堆積外，大部分是釣客或是漁民飲食後隨手拋棄的玻璃瓶、寶特瓶、塑膠瓶、鐵鋁罐、鋁箔包、塑膠袋等。隨著捕魚季的來臨，河岸上的垃圾量明顯會增加許多。

		
<p>圖 86.組員使用測距輪量測距離，選定垃圾調查採樣點。</p>	<p>圖 87.利用 1 平方公尺的線框出垃圾採樣範圍。</p>	<p>圖 88.將範圍內的垃圾用夾子撿拾，並分類裝好。</p>
		
<p>圖 89.利用行李秤量測每一種垃圾的重量。</p>	<p>圖 90-91.我們將垃圾分類、秤重，並記錄在紀錄表上。</p>	
		
<p>圖 92-93.此為採樣區內常見的垃圾種類及漂流木等。</p>	<p>圖 94.調查完垃圾，我們還會將垃圾帶到垃圾場丟棄，完成一次淨灘活動呢!</p>	

綜合洄瀾灣三條主要河川的調查結果，我們整理成下表:

溪流名稱 調查項目	美崙溪	吉安溪	花蓮溪出海口
河道坡度	上游為花蓮市自來水供應地，中下游為扇形沖積平原，河道平緩。	上游發源於吉安山，出谷河道陡峭，中下游漸趨平緩。	出海口附近河道平緩。
河道寬度、水量、流速	中下游河道漸寬，政府單位將其整治為河濱公園，適合民眾在河岸邊散步。雨季水流量大；枯水期則水量少、流速緩慢。河水於花蓮港南側注入太平洋。	中下游河道整治，適合民眾從事親水活動。雨季水流量大、水流湍急；枯水期則水量少、流速緩慢。河水於洄瀾橋附近直接入海。	出海口河道一年四季都非常寬廣，水量豐沛、流速快。河道出海口會隨潮流改變水流入海位置。

流域經過聚落	發源於七腳川山，流經水源村、嘉新村、花蓮市等人口密集區。	發源於吉安山，流經吉安鄉慶豐村、勝安村、宜昌村及花蓮市區，並於吉安溪橋附近注入太平洋。	出海口海灘常聚集漁民、釣客、遊客等，是河瀾灣重要觀光景點。
垃圾分布情況	公園化的河岸，不常見到人為丟棄的垃圾。出海口附近攔截到的垃圾，多為漂浮型水生植物。	中下游屬吉安鄉、花蓮市住宅密集區，除了家庭廢水引排入河道外，也會發現各種垃圾。因此，可在出海口附近攔截到大量的垃圾。	出海口海灘面積廣闊，常聚集漁民、釣客、遊客等，所以人為丟棄的垃圾種類、數量非常多。受到漲退潮的影響，垃圾、漂流木等會堆積在海灘上。

二、 文獻探討

為了瞭解與本研究相關的知識，我們開始蒐集網路資料，並到圖書館借閱相關書籍，進行閱讀與討論。以下就河水流動與速度、河流搬運作用與荷重、氣泡屏障攔截水中垃圾等知識與報導，進行討論。

(一) 河水的流動與速度

當降水在地面上超過滲入地下的水量時，會成為地表逕流；逕流受到重力因素會順著坡面而下，稱為地面流；地面流順著重力作用，匯聚成較大的水體，成為河川。

河水的流動可分為兩種方式，一種稱為層流或是片流。當河水在光滑的河道內會呈直線型的流動，一個水層流過另外一個水層，不相混合，平行於河道岩壁，流速也比較慢。

另一種稱為亂流，當流速增加、水深增加、河道粗糙不規則時，水流由直線變成渦流狀；水體產生上下左右移動並無一定方向，上下水層也不斷發生混合，稱為亂流。一般而言，水流的深度和密度增加有助於亂流的發生。亂流對於河川的侵蝕作用和搬運物質的能力都比較強。(何春蓀，1990)

河水的流動影響因素多元且複雜，但主要和幾個因素有關係，我們大致可用以下的關係式來表示：

$$\text{流量 (立方公尺/秒)} = \text{河床寬度 (公尺)} \times \text{河床深度 (公尺)} \times \text{流速 (公尺/秒)}$$

(二) 河流的搬運作用及荷重

在河流流域內所有東西皆經由河流搬運，從支流到主流、從主流到海洋，所有的東西進入河流當中就成為河流的荷重。所謂的荷重，是指一定時間內河流所搬運物質的實際數量，該數量與流量成正比。根據文獻探討，我們可以知道：河流搬運物質數量既然與流量成正比，也會和河流的寬度、深度、流數成正比。

在一定條件下，河流能夠搬運物質的總量，稱為河流的最大負載量。一條河流的最大負載量與其流速、流量、荷重有關。而河流能搬運最大顆粒的大小稱為河流的搬運力。河流的搬運力與流速、流量、坡度相關；其中流速為最大影響因子，河流搬運力與流速的平方成正比，也就是流速若增加一倍，則搬運力可增強四倍。

(三) 「氣泡屏障」攔下水中垃圾新聞報導

2019 年 11 月 9 日，全球各大新聞媒體都在報導，世界上首座由氣泡構成的水中垃圾屏障，在荷蘭阿姆斯特丹揭幕。這項「大氣泡屏障」(Great Bubble Barrier) 計畫是由當地新創企業與政府合作，用簡單方法就能攔阻河中廢棄物，尤其小型塑膠垃圾，沖往河邊集中，可望減少部分從市內運河攜往大海的垃圾。

形成水中屏障的裝置是，一條長形多孔的管線，以**傾斜的角度**置於「Westerdok」運河的底部，全長約 60 公尺。透過向管線打入壓縮空氣，空氣會自管線上浮形成氣泡屏障，此時河水的自然流動，就會自動將河中垃圾沿著屏障沖到河邊的小平台收集。

前期測試顯示，這項裝置有助攔阻 8 成以上的浮游垃圾。《衛報》(The Guardian) 引述這項科技的共同發明人艾爾宏 (Philip Ehrhorn) 表示，海洋中的塑膠垃圾有超過 2/3 來自河川與運河，「如果必須攔截，會什麼不在河川裡完成？」艾爾宏並說，之所以用氣泡而非實體屏障，是要顧及運河的野生動植物與休閒需求。

艾爾宏是德國造船師與海洋工程師，氣泡屏障的靈感來自 2015 年他在澳洲求學時，參觀濾水廠的經驗。他當時看到濾水廠有個階段的工作，是將水通氣、施放氣泡，「就像是按摩浴缸」，如此一來水中的小塑膠垃圾就集中到一個角落。這樣的作法給了他啟發：為什麼不直接在河川裡，用相似的方法過濾垃圾？用氣泡裝置來攔截垃圾，可望能改善當前海洋的塑膠垃圾危機。

《衛報》引述估計顯示，每年約有高達 800 萬公噸的塑膠會流落海洋，等於是每分鐘都有約一整個卡車的塑膠瓶罐、餐具等廢棄物倒入大海。這個首座投入實用的氣泡屏障，計畫在阿姆斯特丹 3 年間 24 小時運作，輔助當地的河道清掃工程。現在該市的清河工作每年可以從水道中，收集約 4.2 萬公斤較大型的塑膠廢物。至於氣泡屏障收集的廢物則會另外處置，並由塑膠垃圾行動團體「乾淨河川」(Schone Rivieren) 所分析。

在阿姆斯特丹議會主管永續事務的多寧克(Marieke van Doorninck) 表示，希望此舉成為成功範例。她指出阿姆斯特丹的運河很有吸引力，但人們通常不會想到河中的塑膠垃圾。而氣泡屏障建立之後，意味流入海洋的塑膠廢物會變少，是自然環境管制的進步，可以為人類、野生動物與環境帶來好處。

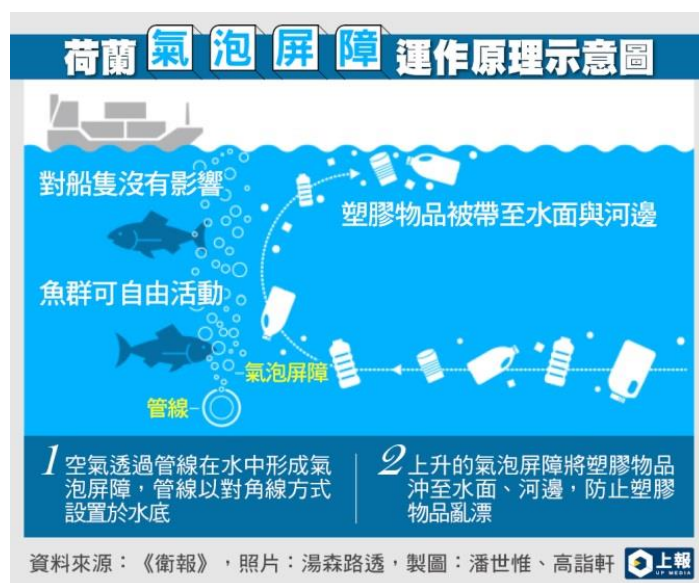


圖 94.氣泡屏障攔下水中垃圾。資料來源：黃梅茹(2018)。

三、 實驗模擬氣泡屏障對漂流物的攔截作用

【實驗槽設置】

為了實驗模擬氣泡攔阻河川垃圾的工法，我們必須先建構出實驗槽體。以下依照實驗槽的修改過程加以說明。

1. 實驗槽與造浪器設置

我們以長 150cm、寬 90cm、深 100cm 的大型玻璃魚缸為實驗槽體。接著要模擬河水流動，必須設計一個簡單實用的造流器。

我們試著使用風力，馬達抽水等方式製造水流。但因實驗槽體太小，風力除了使水流動，也吹動了水面上的漂浮物，產生實驗誤差。實驗結果不是水流造成漂浮物移動，而是風力造成漂浮物移動。馬達抽水的方式，則是因為能造成的水流太小，漂浮物的移動速度太慢，以上兩者都不是理想的造流方式。

最後，我們選用水族館使用的變頻式馬達造流器，利用它的變頻設計，可製作出穩定水流。此一造流方式也與文獻探討的理論符合：魚缸缸壁為平滑表面，若用抽水方式，水依舊會呈現層流方式移動，不符合河川流動的狀態。使用變頻馬達扇葉間歇式造流的方式，會使水體產生上下混合，達到亂流的形式，較符合河川水體流動的現況。

我們完成實驗缸設置：在沒有氣泡條的狀態之下，三分鐘的實驗時間內，約 90% 的漂浮物會被吹到缸底，達成攔截率 10% 左右的狀態。

2. 漂浮物模擬

實驗研究初期，我們打算以河岸考察中的各類漂浮垃圾，按照比例分配來進行槽體中漂浮物模擬。但我們發現許多問題無法克服，例如：各類漂浮物的大小不一、槽體太小、部分漂流物會污染水體等，這些原因會造成實驗進行與討論的困難。

我們也試過空寶特瓶，但發現體積太大，小小的實驗槽一下子就塞滿了。還使用過寶特瓶蓋，但因為水花的潑濺容易使瓶蓋從浮體變沉體。

最後，我們發現發泡煉石這個材料，有著大小統一、方便計量、不會污染水體等多項優點，非常適合進行實驗的討論。

3. 攔截網設置

在測試實驗中，我們發現發泡煉石被沖到缸壁後，會因為缸體封閉的關係，造成回流的現象。此現象與文獻探討中的水流狀態符合，但卻會造成攔截率計算的困難。為了減低這個現象，我們設計煉石攔截網，可使得移動至實驗缸末端的煉石完全被攔截，達成 0% 回流率。

4. 正式實驗流程說明

關於氣泡條的實驗操作，都以下列流程進行。為了避免後續實驗逐項敘述，統一說明如下：

- (1) 將造流器設置在實驗槽一側，離底部高 35 公分處。(如圖 96 所示)
- (2) 將一根木棒放置在實驗槽 145 公分處。將一個洗衣網的右側用夾子夾在木棒上，左側用夾子夾在隔板；另一個右側洗衣網則相反。(如圖 97 所示)
- (3) 將該實驗的氣泡條放置在實驗槽底部實驗所需處，並用棍子調整位置，拍照記錄。
- (4) 將 100 顆煉石放入塑膠盒中，並將塑膠盒的外側靠在實驗槽寬 22 公分和 38 公分之記號處。

- (5)仔細聆聽造流器的聲響，在馬達運轉完畢瞬間，將煉石倒入水中，開始計時三分鐘。
- (6)三分鐘後，觀察並記錄沒有通過實驗缸 100 公分處的煉石數、洄流的時間，以及洄流、未洄流的煉石數量。
- (7)重複 4、5、6 之實驗步驟 12 次。
- (8)實驗結束後，將攔截率最高值和最低值排除，計算其餘 10 次的平均數。

		
<p>圖 95.以長 150cm、寬 90cm、深 100cm 的玻璃缸為實驗槽。</p>	<p>圖 96.變頻式馬達造流器、發泡煉石。</p>	<p>圖 97.實驗槽設置完成圖。</p>

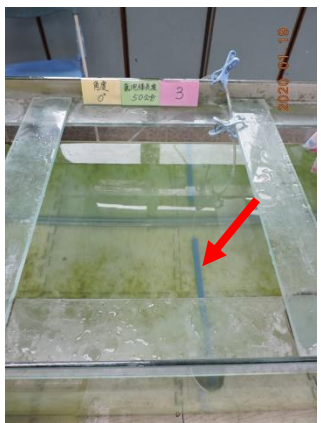

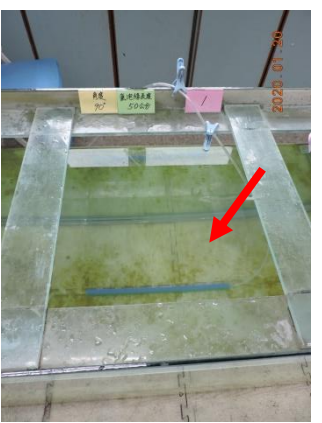
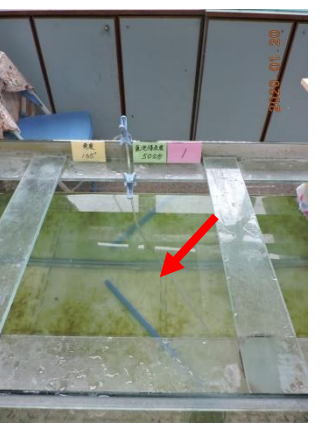
【實驗一】探討氣泡條「擺放角度」對煉石攔截率的影響

為了瞭解氣泡條擺放方式對於實驗槽中煉石攔截率的影響，我們先依照文獻探討中讀到的新聞報導，以傾斜的氣泡條攔截河川漂流物，來進行氣泡條「擺放角度」的實驗設計。

因此第一個實驗我們便以氣泡條【擺放角度】作為操作變因，進行實驗。[我們假設:依照新聞報導所述，夾角 45 度與 135 度的氣泡條擺放，會有比較好的攔截效果。](#)

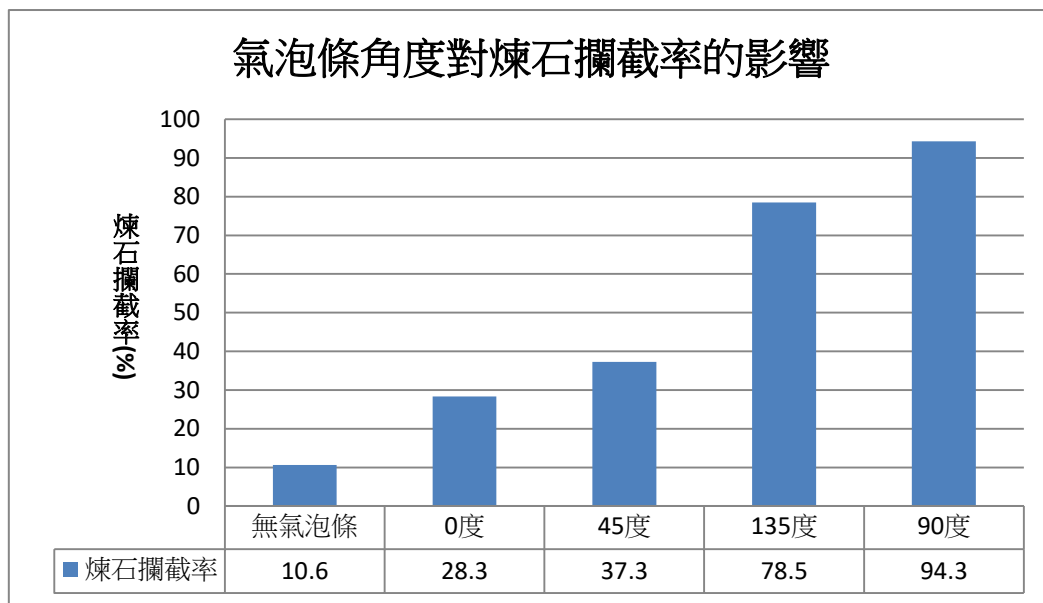
(一) 實驗步驟

- 1.依照前述正式版實驗流程布置實驗槽。
- 2.本實驗設置一條氣泡條並以打氣機兩孔推力進行。
- 3.以 100cm 處為 0 度線，分別操作 0 度、45 度、90 度、135 度等四組實驗，以正式版實驗流程進行攔截率等資料收集。

			
<p>圖 98.氣泡條擺放角度 0 度。</p>	<p>圖 99.氣泡條擺放角度 45 度。</p>	<p>圖 100.氣泡條擺放角度 90 度。</p>	<p>圖 101.氣泡條擺放角度 135 度。</p>

(二) 實驗記錄與結果分析

氣泡條擺放角度對煉石攔截率的影響					
次數	無氣泡條	0°	45	90°	135°
第 1 次	23	27	25	99	96
第 2 次	5	21	39	90	99
第 3 次	2	32	27	90	83
第 4 次	7	25	28	96	44
第 5 次	7	33	36	90	99
第 6 次	7	35	34	89	81
第 7 次	12	24	42	99	80
第 8 次	13	21	65	98	93
第 9 次	11	28	33	95	61
第 10 次	19	37	44	97	49
平均數	10.6	28.3	37.3	94.3	78.5



(三) 發現與討論

- 1、依據氣泡條擺放角度不同，對煉石攔截率的影響，從高到低為 90 度 > 135 度 > 45 度 > 0 度 > 無氣泡條。
- 2、從結果可知，有氣泡條的狀態皆比無氣泡條攔截率高，表示氣泡條對於煉石攔截的確有其功效，而以角度 90 度為最高，角度 0 度為最低。
- 3、45 度和 135 度兩者，分別為由左後往右前斜與左前往右後傾斜(依水流方向)，但兩者的攔截率卻有很大的差異。綜合質性觀察的結果，我們發現:大多數的煉石皆由實驗缸左邊突破氣泡攔截，且突破時都有速度突然加快的狀態。故我們推測，實驗槽中左邊的流速應該比較快。且 135 度為左前往右後(依水流方向)傾斜，我們猜想，氣泡條位置在前段槽體，可使煉石無法加速至逃脫速度。因為根據文獻探討:河流的搬運力與流速的平方成正比，故此

攔截率較高。結合以上說明，我們假設氣泡條位置對煉石攔截率有影響，此假設值得後續實驗繼續討論。



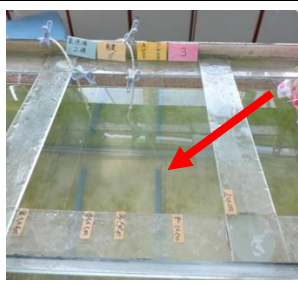
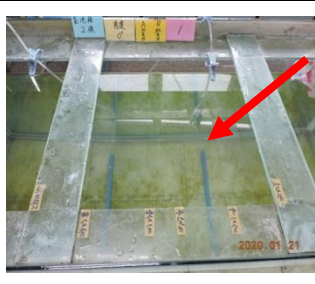
- 4、90 度為四者中最佳，這與文獻探討結果及實驗假設不同。我們認為有兩個可能原因：
 - (1) 因 90 度氣泡條能在實驗槽中製作較大範圍的氣泡，氣泡條範圍可能對煉石攔截率有影響。因為根據文獻探討的理論，密度增加有助於亂流發生，但因為氣體的加入和水體混合會減低其密度，故此會減少亂流發生，使得流速減低，有助於提高攔截率。
 - (2) 90 度氣泡條是四組實驗中距離實驗槽體前段缸較近的，表示氣泡條位置在前段缸可使得煉石無法加速至逃脫速度。因為根據文獻探討，河流的搬運力與流速的平方成正比，流速低則搬運力弱，故此攔截率較高，此假設和第二點相同。
- 5、從【實驗一】的結果，我們得出對煉石攔截率的兩種假設：
 - (1) 氣泡條範圍對煉石攔截率有影響。
 - (2) 氣泡條位置對煉石攔截率有影響，將在後續實驗中證明。

【實驗二】探討氣泡條「擺放範圍」對煉石攔截率的影響

從【實驗一】中，我們發現擺放位置 90 度的氣泡條，攔截率接近百分之百。我們推測可能原因與 90 度氣泡條能在實驗槽中製作較大範圍的氣泡，有密切的關係。因為氣泡條擺放角度為 90 度時，實驗缸中的氣泡產生範圍，自缸壁 50cm 延伸至 100cm 處。於是我們以此為依據，縮短氣泡條的擺放寬度進行實驗。[我們假設:氣泡條範圍越大，則攔截效果越好。](#)設計了以下實驗:

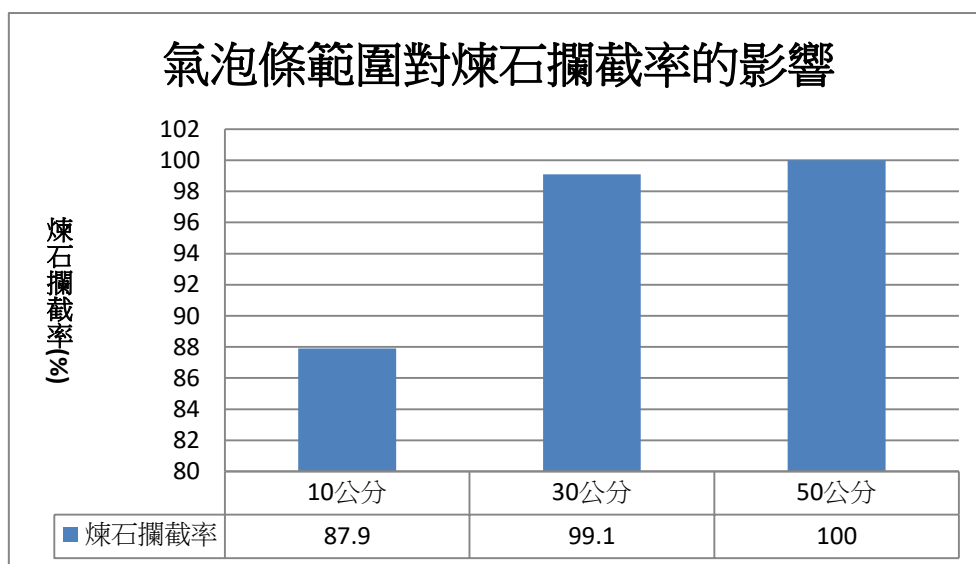
(一) 實驗步驟

- 1.依照前述正式版實驗流程布置實驗槽。
- 2.本實驗中設置兩條氣泡條，並以四孔的推力進行。
- 3.以兩條氣泡條擺放角度皆為 0 度，並以間距 10cm(70cm、80cm 處)；30cm(60cm、90cm 處)；50cm(50cm、100cm 處)為變因，進行三組實驗，以正式版實驗流程進行攔截率等資料收集。

			
圖 102. 氣泡條兩條，打氣機以四孔的推力打氣。	圖 103. 氣泡條擺放間距 10cm(70cm、80cm 處)。	圖 104. 氣泡條擺放間距 30cm(60cm、90cm 處)。	圖 105. 氣泡條擺放間距 50cm(50cm、100cm 處)。

(二) 實驗記錄與結果分析

次數	間距 10cm	間距 30cm	間距 50cm
第 1 次	79	98	100
第 2 次	89	97	100
第 3 次	89	100	100
第 4 次	84	99	100
第 5 次	98	100	100
第 6 次	94	100	100
第 7 次	87	100	100
第 8 次	93	98	100
第 9 次	79	100	100
第 10 次	87	99	100
平均數	87.9	99.1	100



(三) 發現與討論

1. 依據氣泡擺放範圍的不同，對煉石攔截率的影響，效果從大到小為間距 50cm > 30cm > 10cm。
2. 依據實驗結果，氣泡條擺放範圍越大效果越好。間距 50cm 與角度 90 度的氣泡條，涵蓋的範圍相同，亦符合文獻探討中降低水體密度可減少亂流減低水流的搬運能力。
3. 實驗結果雖然和假設相符，但我們發現，在三次實驗中，改變氣泡條擺放範圍的同時，其實也改變了氣泡條位置。若以實驗槽的位置說明，氣泡條位置越靠近槽體前端，攔截煉石效果越好。因此，需要後續實驗再次證明，「氣泡條範圍」與「氣泡條位置」，何者為煉石攔截率較主要的影響因素？
4. 我們也發現，在此實驗設計中，打氣機的出氣孔數為四孔，而【實驗一】中的打氣機出氣孔數為兩孔，出氣量的孔數不同，會造成攔截率達成百分之百的效果，因此後續實驗應注意打氣機孔數是否相同。

【實驗三】探討氣泡條「擺放位置」對煉石攔截率的影響

從【實驗一】中發現，擺放角度 90 度的氣泡條，攔截率接近百分之百。我們推測可能原因是，除了氣泡條範圍外，還有一個可能因素，是因為 90 度氣泡條的前端在實驗缸 50cm 處，為【實驗一】四種擺放角度，離煉石起點最近的一種。因此，我們認為氣泡條的擺放位置，也是影響攔截率的重要因素。於是我們以氣泡條在實驗槽中的位置為變因，設計了以下實驗。我們假設：氣泡條在實驗槽中位置越前段，則攔截率越高。

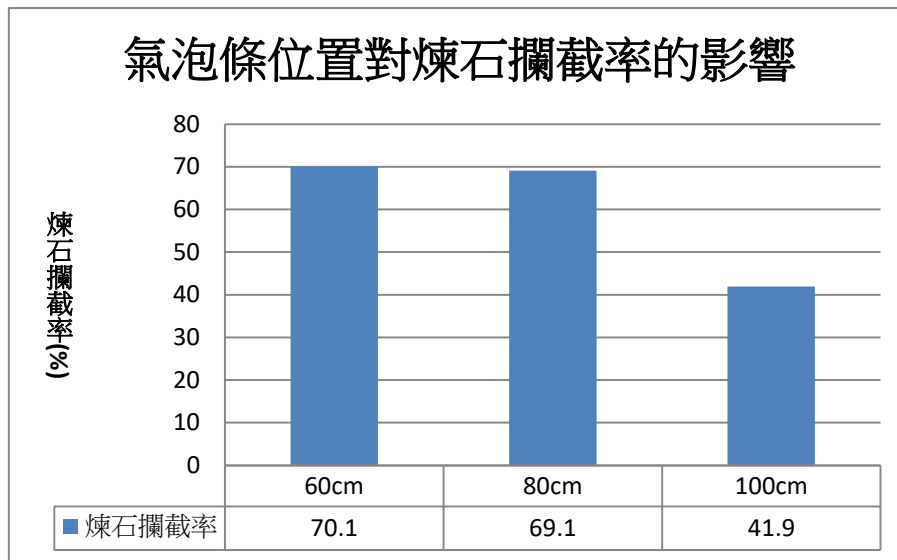
(一) 實驗步驟

1. 依照前述正式版實驗流程布置實驗槽。
2. 本實驗設置一條氣泡條並以打氣機兩孔推力進行。
3. 以一條氣泡條擺放角度 0 度，分別操作位置 60cm、80cm、100cm 等三組實驗，以正式版實驗流程進行攔截率等資料收集。



(二) 實驗記錄與結果分析

氣泡條擺放位置對煉石攔截率的影響			
次數	60cm	80cm	100cm
第 1 次	86	49	78
第 2 次	34	67	32
第 3 次	48	45	76
第 4 次	50	80	63
第 5 次	68	99	35
第 6 次	98	50	14
第 7 次	31	79	44
第 8 次	98	66	28
第 9 次	91	100	31
第 10 次	96	56	18
平均數	70.1	69.1	41.9



(三) 發現與討論

- 1、依據氣泡條擺放位置的不同，對攔截率影響，效果從大到小為 60cm > 80cm > 100cm。
- 2、依據實驗結果，氣泡條擺放位置越前段，則攔截效果越好，60cm 處與 80cm 的攔截率相同，而 100cm 攔截率則下降很多。
- 3、配合先前實驗的質性觀察，可以發現：煉石通常在中段缸以後突然加速，逃離氣泡屏障。因此，我們認為：如果煉石速率達到一定值（逃脫速率），則攔截率就會下降。從實驗結果中，氣泡條位置在 60cm 處與 80cm 處的攔截率相同，而 100cm 處攔截率下降很多。也可以說在前段缸設置氣泡條，速率還未達到逃脫速率時，攔截率最高。此推論與本實驗假設相符，也與文獻探討中所提，流速越大則河流搬運力越強的結果相同。
- 4、配合本實驗結果，我們推測：在實驗槽內前段(60cm 處)與中段(80cm 處)的流速未達逃脫速率，所以這兩段的攔截率皆高且類似，而 100cm 處速率增加，並已達到逃脫速率，故此攔截率驟減。
- 5、此推測在【實驗一】中也能得到證實，擺放角度 90 度的氣泡條，在實驗缸 50 公分處，便已經攔截煉石，所以攔截率最高。擺放角度 0 度的氣泡條，則在實驗缸 100 公分處，才攔截煉石，所以攔截率最低。
- 6、我們認為煉石有無達到逃脫速率，對攔截率有很大的影響。

【實驗四】探討實驗槽中各區段煉石的流動速率

在實驗三中，我們發現：越接近實驗槽前端的攔截率越高，越接近後端則反之，且配合實驗的質性觀察，我們推測這應該與煉石的流速有關。所以我們設計了本實驗，來量測實驗槽中各段的煉石流速，希望藉此找出煉石速率（流速）與氣泡條攔截率的關係。我們假設：在實驗槽越後段缸的區域，煉石速率（流速）要越快。

(一) 實驗步驟

- 1.依照前述正式版實驗流程布置實驗槽，並在 40cm、60cm、80cm、100cm 四個檢查點拉起紅、白線，以方便觀察
- 2.和正式版實驗不同在於，一次只倒入四顆煉石，並分別塗上藍、橘、紅、黑四種顏色，由四位觀察者以攝影方式進行觀察記錄
- 3.以回放方式進行實驗記錄，將煉石通過檢查點的時間記錄下來，並以此回推 40cm~60cm、60cm~80cm、80cm~100cm 三個區段的水流平均速率。

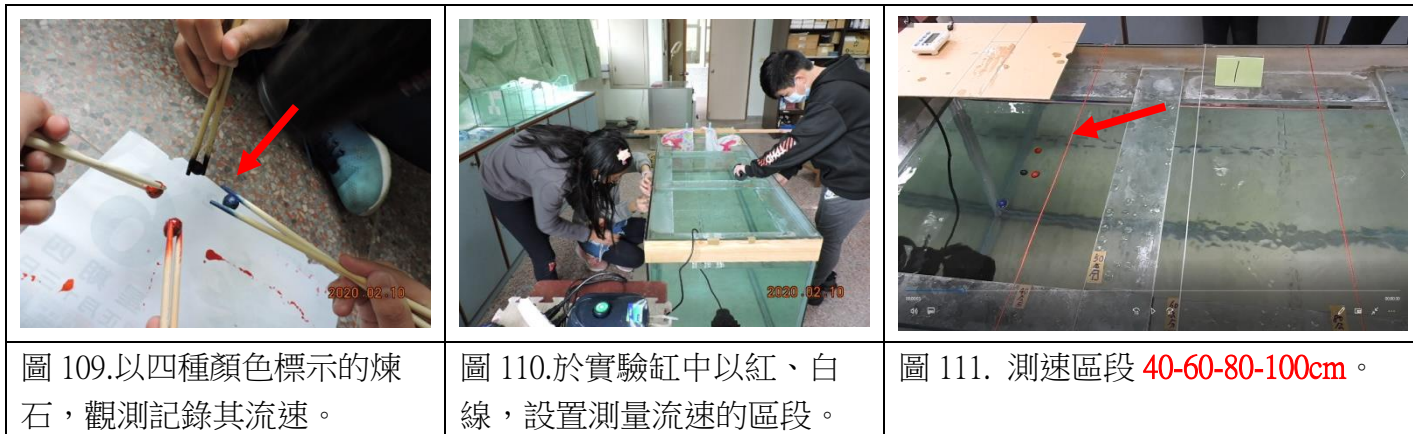


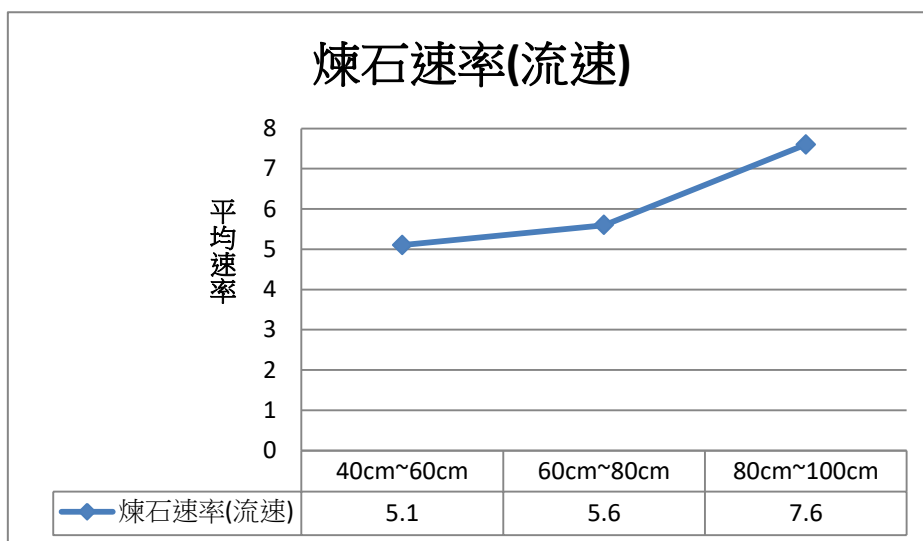
圖 109.以四種顏色標示的煉石，觀測記錄其流速。

圖 110.於實驗缸中以紅、白線，設置測量流速的區段。

圖 111. 測速區段 40-60-80-100cm。

(二) 實驗記錄與結果分析

煉石速率(流速)			
測速區段	40cm~60cm	60cm~80cm	80cm~100cm
橘色	4.40	5.14	9.15
黑色	5.01	7.92	8.97
藍色	5.65	4.62	6.57
紅色	4.99	4.75	5.55
平均流速(cm/s)	5.1	5.6	7.6



(三) 發現與討論

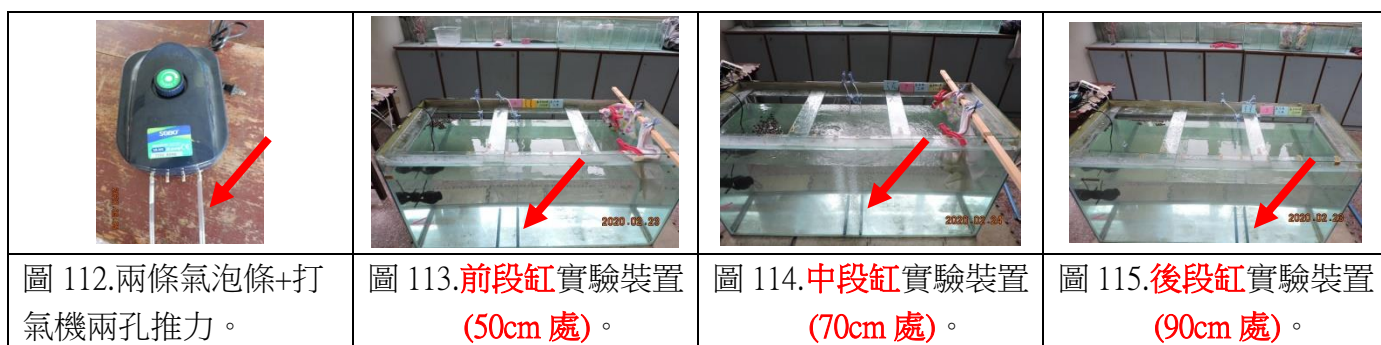
- 1、依據實驗槽中不同位置的測量，其速率小到大為 40cm~60cm = 60cm~80cm < 80cm~100cm。
- 2、其中 40cm~60cm 和 60cm~80cm 約略相等，但小於 80cm~100cm，符合實驗三，60cm 處與 80cm 處的攔截率相同，而 100cm 處攔截率下降很多的結果，約略可推估在實驗槽中逃脫速率介於 5.6cm/s~7.6 cm/s 之間。
- 3、由此可知，煉石是否達到逃脫速率對攔截率的影響最為顯著，這也符合文獻探討中，速度平方和搬運力成正比的理論。為了再次確定氣泡條位置與範圍，何者為最主要的攔截率影響因素，我們修正了實驗二，進行以下實驗。

【實驗五】修正『實驗二』氣泡條「擺放範圍」對煉石攔截率的影響

經過【實驗三】與【實驗四】的驗證，我們發現:因實驗缸中各段的流速不同，使得氣泡條擺放位置對於攔截率的影響是較大的。為此我們修正【實驗二】的氣泡條擺放範圍實驗，原來的實驗雖然是測量氣泡條範圍，但不同範圍的氣泡條，其擺放的位置其實也不相同。為了更精確的討論氣泡條範圍與擺放位置的關係，故設計本實驗。同時，我們也將打氣機的四孔推力，改進成兩孔推力，方便與使用一條氣泡條時的兩孔推力做比較。我們假設:氣泡條擺放位置越前端且範圍越大，則攔截率越高。

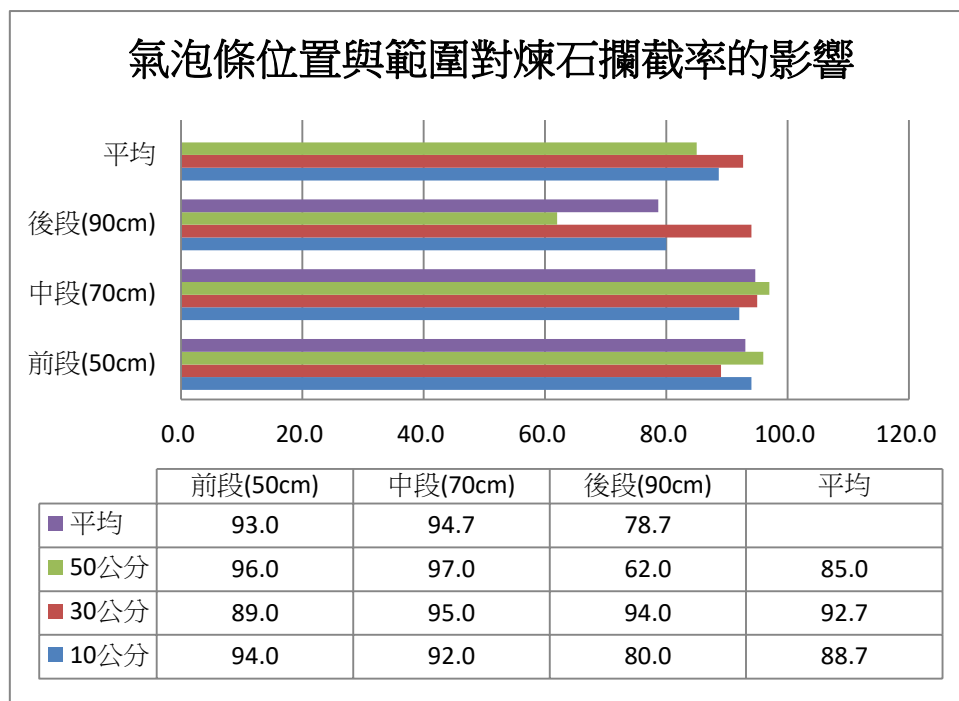
(一) 實驗步驟

- 1.依照前述正式版實驗流程布置實驗槽。
- 2.本實驗設置兩條氣泡條，並以打氣機兩孔推力進行。
- 3.在實驗槽前段缸(50cm 處)，進行氣泡條間距範圍 10cm、30cm、50cm 等三組實驗；中段缸(70cm 處)進行氣泡條間距範圍 10cm、30cm、50cm 等三組實驗；後段缸(90cm 處)進行氣泡條間距範圍 10cm、30cm、50cm 等三組實驗，共計九組實驗。並以正式版實驗流程進行攔截率等資料收集。



(二) 實驗記錄與結果分析

氣泡條擺放範圍 (前段缸/中段缸/後段缸)									
次數	間距 10cm	間距 30cm	間距 50cm	間距 10cm	間距 30cm	間距 50cm	間距 10cm	間距 30cm	間距 50cm
第 1 次	100	93	100	98	100	99	68	86	37
第 2 次	100	99	78	90	97	99	57	98	61
第 3 次	100	78	100	100	89	98	67	92	45
第 4 次	80	64	100	94	100	100	86	100	87
第 5 次	79	98	100	89	97	94	60	98	65
第 6 次	100	100	96	84	97	92	97	73	89
第 7 次	86	78	100	72	99	97	79	100	66
第 8 次	99	100	100	94	88	98	99	99	35
第 9 次	100	100	100	100	81	100	95	100	60
第 10 次	100	81	100	100	100	97	85	95	74
平均數	94	89	97	92	95	97	79	94	62



(三) 發現與討論

- 1、依據氣泡條在實驗槽中擺放位置的不同，其攔截率由大到小為前段缸 = 中段缸 > 後段缸。
- 2、依據氣泡條擺放範圍，其攔截率由大到小為 30cm > 10cm > 50cm。
- 3、由第一點可知，氣泡條擺放位置仍舊顯示逃脫速率的重要性，前、中段缸流速低，未能使煉石速率達到逃脫速率，故攔截率高，後段缸則反之。

4、由第二點可知，氣泡條擺放範圍雖然比不上擺放位置的影響，但仍可以發現範圍 30cm 攔截率最高。可見氣泡條的範圍可以提升攔截率，但離太遠反而力道分散，因此在實際施作時須找出最佳範圍。從理論上解釋這現象，應該是氣泡條離太遠，會使得氣泡和水體的混合沒那麼均衡，無法有效降低水體的密度，對降低亂流的效果不大。

【實驗六】河川流速調查

經過以上的實驗，我們瞭解到:對於煉石攔截率影響最大的因素是流速。因此，如果要使用氣泡屏障攔截垃圾，則應該依據河川的流速來改變打氣機的功率。流速越高的河川，需要功率越高的打氣馬達，才能確實的攔截河川的垃圾。本實驗為瞭解實驗槽中的流速與河川實際流速的差異，於是到容易測量河水流速的花蓮溪出海口，進行流速測量。

(一) 實驗步驟

- 1.在安全的河岸邊將空寶特瓶拋出至河中央，並於寶特瓶落水之平行河岸位置，開始使用測距輪測量瓶子漂流距離，同時以碼錶測量瓶子漂流時間。
- 2.直到寶特瓶擱淺停止於岸邊時，記錄碼錶時間與測距輪距離。
- 3.並以此方式重複十二次實驗，再去掉數據中最高與最低的極端值，進行數據平均。

			
圖 116.選定安全的河岸邊，方便使用測距輪。	圖 117.將空寶特瓶拋出至河中央。	圖 118.使用測距輪測量瓶子漂流距離。	圖 119.瓶子擱淺停止於岸邊時，記錄碼錶時間與測距輪距離。

(二) 實驗記錄與結果分析

次數	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	平均
流速(m/s)	0.27	0.35	0.21	0.32	0.17	0.24	0.27	0.20	0.36	0.30	0.27

(三) 發現與討論

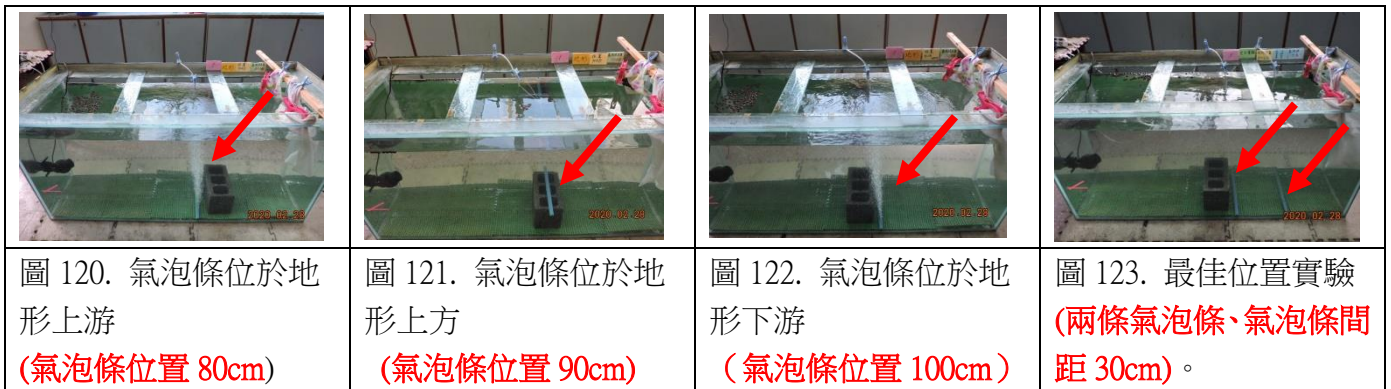
- 1.由實測結果，當日花蓮大橋至出海口水流速約為 0.27 m/s。
- 2.測量當日有風順流而下(風向西南西，陣風 1 級)，有風時流速會在 0.25m/s 以上。
- 3.實測河川的流速約為實驗槽逃脫速度的四倍，因此若要應用實驗室數據建立氣泡條攔截工程，則馬達出力至少要五倍以上，才可以應付較深的水域及河面上有風的狀況。

【實驗七】探討『實驗槽地形』對煉石攔截率的影響

前述各項實驗設計，皆是假設河道為平坦水道。但根據野外考察，我們知道實際河道狀況並非如此。因此本實驗想瞭解，不同河道地形對煉石攔截率的影響。我們先測量單一氣泡條，在地形上游、地形上方、地形下游，對煉石攔截率的影響。再取其中最好的數據，根據前述實驗二、實驗五的最佳結果:氣泡條位置 90cm、氣泡條範圍 30cm 的配置，再進行一次實驗。(90cm 以前的實驗缸位置不考慮，因未達逃脫速率，所以不予討論。) 我們假設:氣泡條設置在地形上方時，因距離水面較近，應該會有較好的攔截效果。

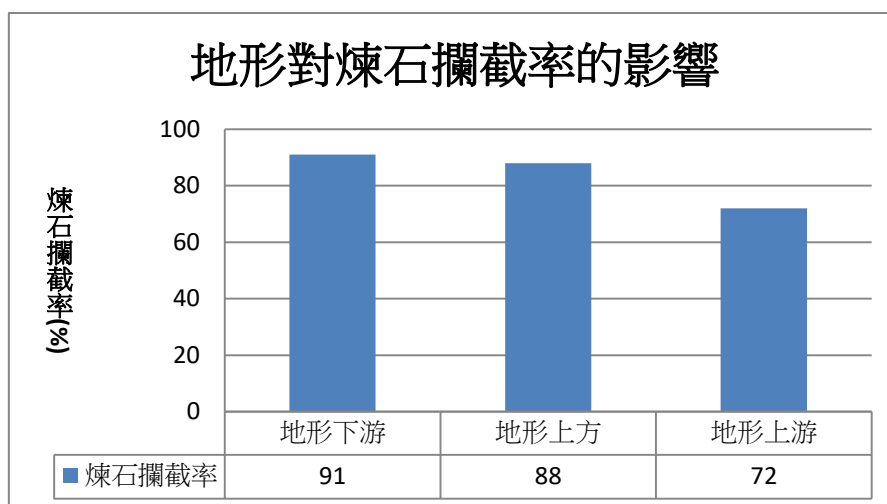
(一) 實驗步驟

- 1.依照前述正式版實驗流程布置實驗槽。
- 2.本實驗設置一條氣泡條，並以打氣機兩孔推力進行。若為兩條氣泡條，也是兩孔推力進行。
- 3.地形擺放位置 90cm 處，以一條氣泡條擺放角度 0 度，分別操作氣泡條位於地形下游(80cm 處)、地形上方(氣泡條位置 90cm)、地形上游(氣泡條位置 100cm 處)等三組實驗，以正式版實驗流程進行攔截率等資料收集後，並討論最佳實驗結果。
- 4.依據步驟 3 最佳結果，再進行兩條氣泡條、距離 30cm 間距的實驗。以正式版實驗流程進行攔截率等資料收集後與實驗五的結果進行比較與討論。

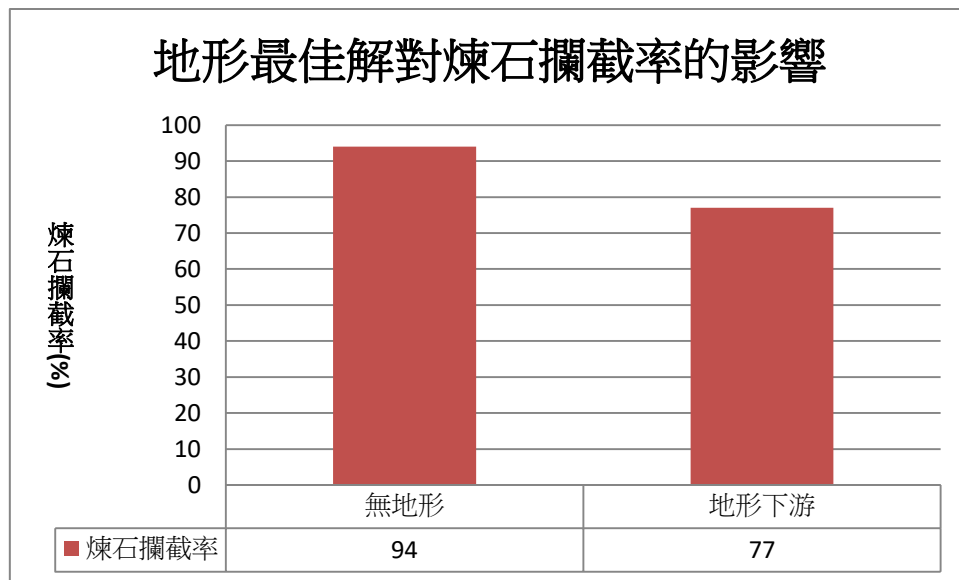


(二) 實驗記錄與結果分析

(1) 氣泡條擺放附近的地形			
次數	地形下游	地形上方	地形上游
第 1 次	87	64	71
第 2 次	95	84	72
第 3 次	95	90	74
第 4 次	95	94	74
第 5 次	91	85	66
第 6 次	92	91	63
第 7 次	87	92	63
第 8 次	90	93	74
第 9 次	91	96	73
第 10 次	91	91	88
平均數	91	88	72



(2) 最佳攔截率設置:氣泡條 2 條、間距 30 公分		
次數	無地形	地形下游
第 1 次	99	77
第 2 次	90	97
第 3 次	90	97
第 4 次	96	70
第 5 次	90	95
第 6 次	89	66
第 7 次	99	97
第 8 次	98	75
第 9 次	95	90
第 10 次	97	85
平均數	94	77



(三) 實驗發現與討論

1. 依據實驗槽中地形位置不同，氣泡條攔截率由大到小為地形下游 = 地形上方 > 地形上游。
2. 模擬河道地形實驗，攔截率為:有地形 < 無地形。
3. 這個結果和我們的實驗假設不同，除了地形上方外，我們發現地形下游的攔截率也很高，根據文獻探討:依據水體的連續性，底層水在遇到地形後會產生迴流的現象，此狀態會降低表層水的流速。所以我們推測，當氣泡條在地形下游或地形上時，受地形降低流速的影響，其攔截率會優於地形在氣泡條下游的情形。
4. 應用【實驗五】兩條氣泡條所產生攔截率最好的氣泡屏障，發現攔截率下降，這可能是地形和第二條氣泡條的交互作用所造成的，根據文獻河川底部的地形會增加水體亂流情形，造成河川搬運力的增加，這個推測有待更進一步的實驗確認。

【實驗八】河川鹽度調查

根據荷蘭的氣泡屏障設計，氣泡條工程會設置在河川的出海口，則水體應該會受到鹽度的影響。而鹽度會影響到水的密度，水的密度升高也會降低氣泡條的推力。因此，我們先進行本研究樣區的三條河川之鹽度調查，回到實驗室後，再模擬不同鹽度的水體，對氣泡條攔截率的影響。

(一) 實驗步驟

- 1.將 30 公尺長的童軍繩，每隔一公尺貼上防水膠袋當作標尺，並在尾端綁上磚頭。
- 2.在寶特瓶內裝入 9.5 公分高的沙子(增加沉入水中的重量)。
- 3.抵達溪流出海口前的橋上後，從橋中央將測量工具投入水中，測量河水深度。
- 4.將繩子拉上橋，在水底位置、水面位置和前兩者的中間，使用瓶口結做記號，並將寶特瓶綁在繩子上。
- 5.再次將測量工具放入水中 30 秒，汲取底層、中層與表層的水體(共三瓶)。
- 6.將收集到的水，用瓶蓋緊封，並寫上溪流名稱及寶特瓶在河中的深度位置，回實驗室後進行鹽度檢測。
- 7.在實驗室中先利用蒸餾水校正鹽度計，再測量不同水體樣本之鹽度。
- 8.將各溪流不同深度的溪水，重複步驟 7，一共測量 5 次。
- 9.計算各溪流不同深度的溪水鹽度平均值。



圖 124.河水採樣瓶。

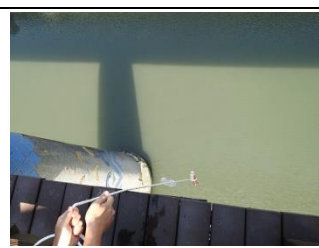


圖 125.美崙溪曙光橋下

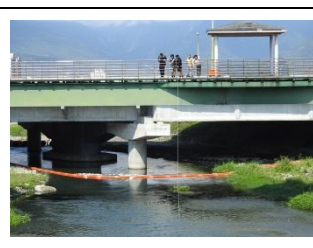


圖 126.吉安溪橋下



圖 127.花蓮大橋下

(二) 實驗記錄與結果分析

地點	美崙溪			吉安溪			花蓮溪		
水深(m)	0	1.5	3	0	0.5	1	0	2	4
第 1 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第 2 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第 3 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第 4 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
第 5 次	0	0	0	0	0	0	0	0	0
平均鹽度(‰)	0	0	0	0	0	0	0	0	0

(三) 發現與討論

- 1.經實測結果:美崙溪出海口(曙光橋下)水深 3m；吉安溪出海口(吉安溪橋下)水深 1m，花蓮溪出海口(花蓮大橋下)水深 4m。
- 2.美崙溪、吉安溪、花蓮溪出海口各採樣點，橋下河水鹽度皆為 0‰。
- 3.實測三條溪出海口的海水，鹽度皆為 32‰。
- 4.受限於我們的實驗能力和研究工具，無法測量出海口至第一座橋間的河水鹽度分布。只能推估，在出海口至第一座橋之間鹽度介於 0‰~32‰之間。

【實驗九】實驗槽中水體鹽度對煉石攔截率的影響

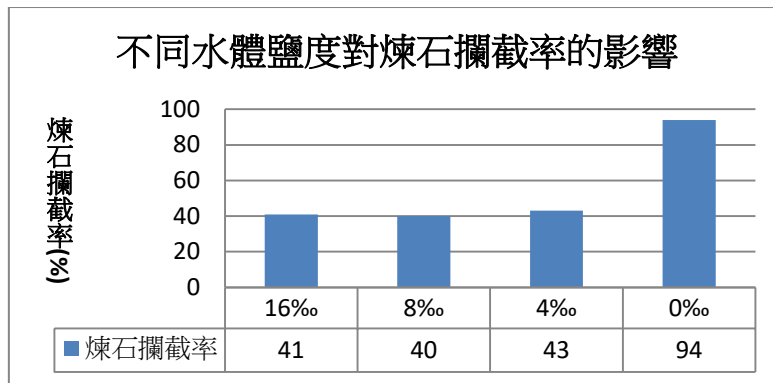
依據文獻探討，氣泡屏障攔截垃圾工程，應接近河口區，所以鹽度會是一個影響因素。因為從文獻資料來看，鹽度的提昇會提高水體密度，而密度的增加會造成亂流的產生，增加河川的搬運能力。因此我們試圖改變水體鹽度，來進行以下實驗。以海水鹽度為 35‰左右來設計，我們分別以 16‰、8‰、4‰、0‰等四種鹽度進行實驗。我們假設:有鹽度的水體，因為密度增加，氣泡屏障攔截率會下降。

(一) 實驗步驟

- 1.依照前述正式版實驗流程布置實驗槽。
- 2.本實驗設置兩條氣泡條、間距 30cm，並以打氣機兩孔推力進行。
- 3.分別操作鹽度為 16‰、8‰、4‰、0‰等四組實驗，以正式版實驗流程進行攔截率等資料收集。

(二) 實驗記錄與結果分析

次數	無加鹽	16‰	8‰	4‰
第 1 次	62	35	58	68
第 2 次	46	55	51	56
第 3 次	64	22	38	41
第 4 次	17	37	34	68
第 5 次	65	70	29	54
第 6 次	29	21	57	28
第 7 次	28	42	33	21
第 8 次	28	61	32	37
第 9 次	35	21	37	25
第 10 次	28	33	36	34
平均數	40	40	41	43



(三) 實驗討論

1. 依據水體鹽度不同，其煉石攔截率由大到小為 $0‰ > 16‰ = 8‰ = 4‰$ 。
2. 由實驗數據可知，不論水體鹽度多寡，氣泡條對煉石的攔截率皆差不多，可能是因為 16‰、8‰、4‰ 三種鹽度的水體，鹽度差異太小，所以接下來我們以「有鹽度」和「沒有鹽度」的水體實驗，來進行討論。
3. 根據上表實驗數據，我們可以知道：有鹽度的水體，氣泡條攔截率會降低。此結果符合水體密度增加，攔截率會下降的假設。也和文獻資料中，增加水體密度會造成亂流的發生，並產生搬運力增加的效果符合。

陸、 結論

- 一、 根據野外調查結果，我們發現花蓮河瀾灣三條主要河川，的確有漂浮垃圾的問題。該區域現行河川攔截垃圾方式，以設置攔截繩為主。
- 二、 根據文獻探討，水體密度增加，有助於河川亂流發生，會使河川的搬運能力變強，反之亦然。河川的流速越大搬運力也越大，其搬運力增加為流速平方倍。
- 三、 整合各項實驗：
 1. 根據【前置實驗】我們設置與河流現狀符合，能在缸中產生亂流的實驗環境，並確立實驗步驟。
 2. 根據【實驗一】的結果：我們得出兩項假設：(一) 氣泡範圍會影響煉石攔截率 (二) 氣泡條位置會影響攔截率。
 3. 根據【實驗二】【實驗五】的結果：氣泡條範圍的確會影響攔截率，但不是範圍越大越好，依照當下條件，可以得出一個效益最大值。
 4. 根據【實驗三】【實驗四】【實驗五】【實驗六】的結果：氣泡條位置會影響煉石攔截率，更準確的說，煉石是否達到逃脫速度會影響攔截率；現實情況中，河川流速大於模擬值，根據氣泡屏障設置當下的條件，需針對河川流速，加大打氣設備的馬力。
 5. 根據【實驗七】的結果：將氣泡條設於地形上或上游處，比設置在下游處，有較佳的煉石攔截效果。但如果使用【實驗五】的雙氣泡條最佳解時，效果會變差，推測與地形的影響有關。
 6. 根據【實驗八】【實驗九】的結果：水體鹽度降低煉石攔截率效果顯著，氣泡屏障設置時必須盡量遠離出海口，使得水體鹽度保持 0 值。若要在花蓮市主要河川設置氣泡屏障，則在河口第一座橋的上游，其水體鹽度測得皆為 0 值。

柒、 參考資料

何春蓀 (1990)。普通地質學。台北市：五南。

Match 生活網 <http://m.match.net.tw/pc/news/international/20191109/5084325>