

中華民國第 62 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 地球科學科

團隊合作獎

080504

河中「漩」機

學校名稱：桃園市桃園區建德國民小學

作者：	指導老師：
小六 楊康廷	王敏妃
小六 徐士閔	林芳薇
小六 黃澄婕	
小六 劉彥妤	
小六 劉繼元	

關鍵詞：漩渦、河流的石頭、河道凹槽

摘要

實地到大豹溪觀察漩渦、河道與石頭的分布，再到實驗室模擬石頭分布與河道。探討水流衝擊石頭時，石頭數量與位置是否影響漩渦的數量與形成的位置，以及單邊河道出現凹槽時，是否會影響漩渦的形成。透過石頭的密集度、水流速度、石頭的數量，三種方向研究漩渦產生的位置與數量；以及用三種不同深度的河道凹槽，觀察漩渦的數量與位置差異。發現石頭間的縫隙較寬的話，特別容易形成漩渦；石頭的間距增加或是水流速度較緩慢時，漩渦數量會增加；石頭間的夾縫、水流的匯集與分流處都是漩渦容易產生的位置；石頭數量減少漩渦也會變少；河道單側有凹槽時，會出現漩渦；凹槽深度不同時，漩渦位置與旋轉方向會有所差異。

壹、前言

一、研究動機

以前曾看到大豹溪常常發生溺水事件，跟家人討論到河中的暗流，這讓人對河流多了些興趣。剛好在六上的自然課第三單元中教到了河流地形，我們又談起了幾年前的大豹溪溺水事件，這才讓我們知道了大豹溪位在新北市三峽區，就在鶯歌區旁邊，而我們學校距離新北市鶯歌區只有一公里左右的路程，沒想到惡名昭彰的大豹溪離我們這麼近。聽說大豹溪有許多漩渦與暗流造成不少的溺水事件，究竟河中的漩渦是什麼?又是怎麼形成的呢?

二、研究過程與文獻探討

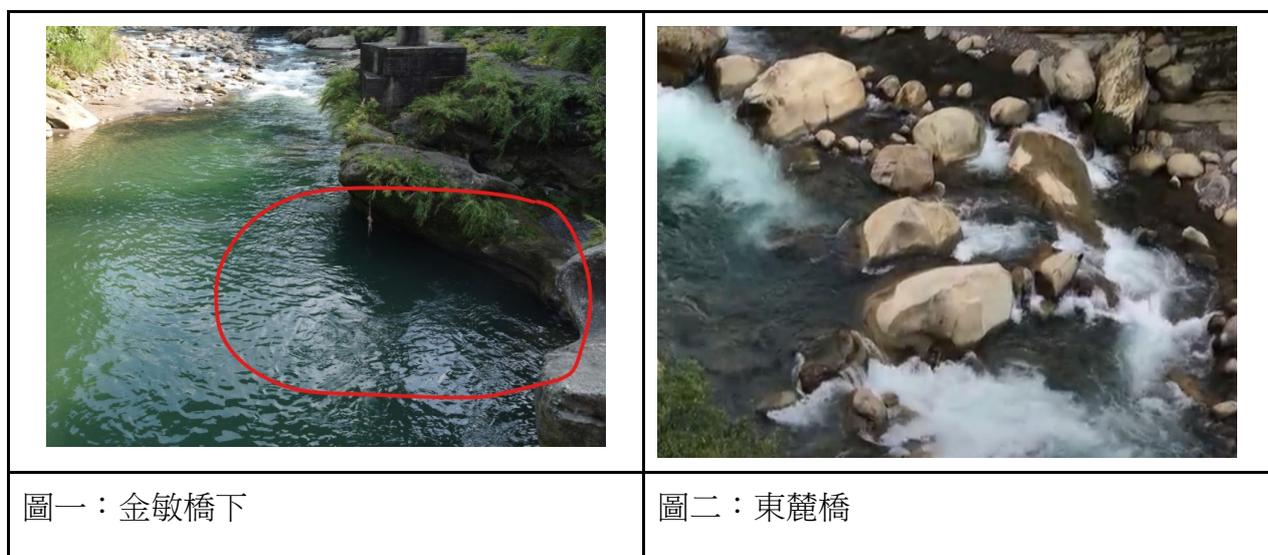
(一) 大豹溪位置

大豹溪位於新北市三峽區，屬於大漢溪支流三峽河上游，是台灣最危險的水域之一，那裡是原住民泰雅族大嵙崁群大豹社居住的地方，因而稱為「大豹溪」。

(二) 實地勘查：

1. 首先致電給消防隊三峽大隊，負責大豹溪巡邏的消忙隊員洪先生依經驗告訴我們經常發生暗流及漩渦的地方，有東麓橋及金敏橋河段，還有其他河段也有暗流及漩渦但屬於私人土地是收費的遊樂區無法進入，所以不建議前往。另外也提醒我們新冠疫情期間不能靠近水邊。

2. 實地到金敏橋河段觀察石頭分布與河流漩渦，在現場遇到消防隊員告訴我們暗流的表面水流平順，看不出來底下有漩渦，這裡的暗流在靠近河邊河底深約 2 公尺的地方(紅圈處)，旁邊有石頭分布讓遊客想要從石頭上往下跳，因此捲入暗流而溺水，消防隊員表示有曾經在此處救過一個人的經驗，實地觀察確實看不出漩渦，也發現水流並不是很快，於是將石頭分布與河道拍照記錄。接著前往東麓橋，石頭分布附近就容易有漩渦形成，將石頭分布位置拍照記錄。由於疫情期間無法靠近水邊，因此利用空拍機靠近河流上方拍照或錄影方式記錄。實地勘察期間還有再遇到其他巡邏的消防隊員，也分享了其他容易溺水的地點，但我們沒有找到這些地點，未來有機會再研究探討的話可以請消防隊員協助帶領到相關地點拍攝並研究。



(三) 文獻探討：

1. 漩渦的形成：在「漩渦對橋墩侵蝕與堆積現象之探討」的報告中提到當水流遇道障礙物時水流速度受阻，因此造成障礙物旁的水流變慢水壓變大，造成一股力量將水流往外推，旁邊水流又會進來填補空缺而造成水流旋轉，因此形成了漩渦。
2. 王國川教授於 2004 年在《衛生教育學報》發表的〈探討台北縣溪域發生溺水之危險因素〉中，提到因不熟悉水域及水性，在急流、暗流、漩渦附近玩水，而造成溺水的危機。內容沒有急流、暗流、漩渦的特性與定義，但透過內文提供的訪談資訊能發現在石頭周圍有漩渦產生的可能。
3. 游牧笛於〈新北市大豹溪之河道地形與遊憩環境分析〉的論文中提到大豹溪本身河底地形複雜，有許多暗流在河底形成，除了河底暗流，岸邊的靜水區也可能會有漩渦，將人帶到主流道。
4. 內政部消防署特種搜救隊的金大衛隊員曾與國立高雄科技大學的彭生富教授合作拍攝〈急流水域的分析〉的影片，內容提及主流域常出現在河道的正中央，遇到障礙

物時會改變主流的方向。從表層到河底流速會不同，出現在底部較慢，表面層則較快。而急流的特性分為水流速度會增加水流的力量同時衝擊物體的力量也跟著增加、水流是持續不斷的流動、水勢的流動明顯可預測水流方向等三種特性。

5. 內政部消防署的〈消防月刊〉與《急流救生基礎訓練教材》內的兩篇文章中，將河流遇上障礙物或河道改變時會發生的情況分成十種。如下表：

急流	形成說明
覆蓋流	河道由寬，往下游急速變窄，主水流被推向底部，支流則被強壓至河道邊際撞擊彈回，重新覆蓋主水流所造成。
微笑流	水流撞擊河道中的障礙物，由中央向兩旁流出。於障礙物上游處形成。
翻滾流	急流蓋過障礙物時，於瞬間落差之下游發現；這是上游順流而下的強勁水流，遇到落差後與底部水流反彈上衝交會形成。
漩渦流	水流被迫繞著岸邊轉彎處、凹陷區域或障礙物時，形成漩渦。
迴流區	水流經過障礙物時，由障礙物兩側經過，此時障礙物之兩側水流速會加快，由障礙物正後方形成之滯空迴流。
V 流	水流衝擊多個水中障礙物形成，V 字尖端朝上游處。
倒 V 流	水流過兩個水中障礙物之間而形成，V 字尖端朝下游處
沸騰線	產生於人工建築物攔沙壩、攔水閘、低水壩等下方整面河域處，水流為快速上夏捲繞方式困住人員與物體。
皺眉流	流面對下游方向撞擊平面障礙，因地形障礙之影響，造成外側匯集到中央而產生。
白色水域	水流中和障礙物碰撞後，產生白色氣泡的水域。

由上述的實地勘查與文獻進行推論，當急流有障礙物時，易產生漩渦，因此，我們產生了幾種假設。影響漩渦產生的因素有：障礙物的密集程度、水流速度、障礙物的數量、沿岸凹槽的深度等。水量與水的深度，我們也認為有影響，但由於時間不足，無法將實驗完成，所以留待未來再進行實驗。

三、研究目的

- (一) 石頭的鬆散或密集與漩渦的關係
- (二) 水流速度影響漩渦形成
- (三) 石頭數量的位置與漩渦的關係
- (四) 河道凹槽與漩渦的關係

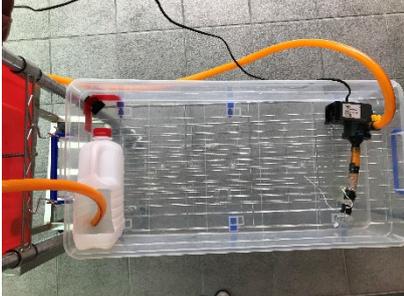
貳、研究設備及器材

一、水箱車：鐵架兩個、長形水箱一個、抽水馬達兩個、6mm 水管(4 分管)、牛奶罐、24L 普力桶、S 型掛勾、曬衣夾。

二、器材：量角器、石頭、萬用黏貼土、小白菜種子、色素水、滴管、3mm 透明壓克力板、1.5cm 方形透明淺盤。

鐵架(高)	鐵架(矮)	水箱	24L 普力桶	勾繩		
						
馬達 1	馬達 2	牛奶罐	水管	延長線		
						
石頭	萬用黏貼土	1.5cm 方形透明淺盤	透明壓克力板	照明燈		
						
S 型掛勾	曬衣夾	紅墨水	滴管	小白菜種子	油土	網杓
						

三、組裝圖。

以 S 型掛勾勾住水箱(正面)	以 S 型掛勾勾住水箱(側面)	上游水箱和馬達 2
		
下游水箱(模擬河道)俯視圖	石頭和壓克力板	河道凹槽和壓克力板
		
實際模擬圖	組裝完成的模擬河道(左側)	組裝完成的模擬河道(右側)
		

參、研究過程、研究方法、研究結果與討論

一、石頭的鬆散或密集與漩渦的關係

實驗一：

(一)步驟：

1. 在校園中撿拾許多大小形狀不一的石頭，選取形狀大小接近東麓橋石照片的石頭固定在壓克力板上放入水箱，並將石頭編號進行模擬，如右圖。
2. 為了使水量穩定使用了兩台抽水機並利用水箱儲水，使水可以循環利用以節約水資源。
3. 為使水流像河流般多點從上而下，因此使用大牛奶罐側邊整齊鑽出上下兩排大小間距一致的孔洞，使水流均勻從整排孔洞流出。
4. 利用電腦繪圖將東麓橋石頭分布畫下來，石頭群依照最接近上游方向的石頭開始編號 1 號，以順時鐘方向陸續將石頭編號，共有 10 個石頭。
5. 照片中測量出石頭群中編號 1 和 6 號最接近，間距是 3 公分為原始圖，模擬現場實際狀況。
6. 用繪圖軟體將石頭編號 1 和 6 號間距放大為 4 公分，其他石頭也依輻射方向等比例拉開間距。
7. 同步驟 2，將間距拉大為 5 公分，將石頭按照圖片擺放後固定於水箱中進行實驗。
8. 本次實驗水流速度以水箱傾斜角度 8 度，是目測水流速度接近實地觀察東麓橋時水流速度。
9. 水流持續沖刷石頭 10 分鐘以上，大家一起觀察並反覆確認漩渦出現的位置及數量。
10. 滴入紅墨汁或放置小白菜種子的水流碰撞石頭時，若水流有反轉 180 度及超過 180 度且紅墨汁有滯留的現象，或是看見水流有下沉後再翻轉上來的現象，我們定義為有漩渦形成，經由 3 名學生以上於流水十分鐘之內反覆確認此處有此現象，則計數形成一個漩渦。

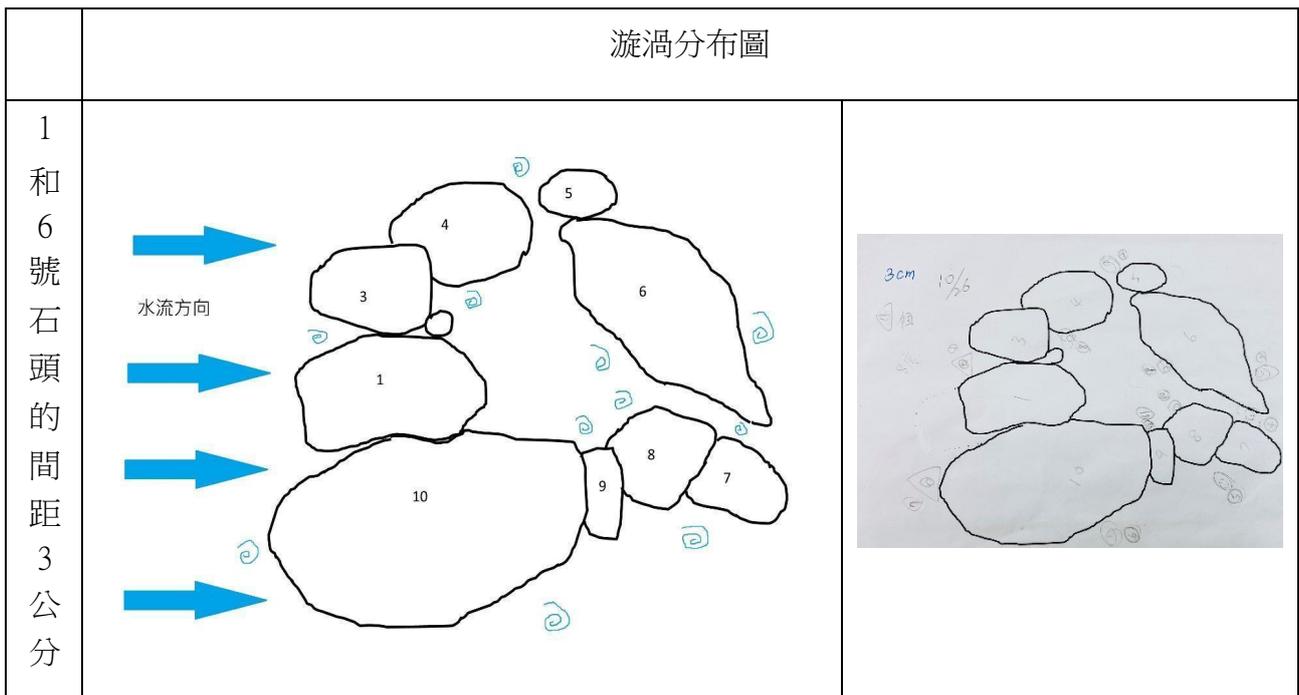


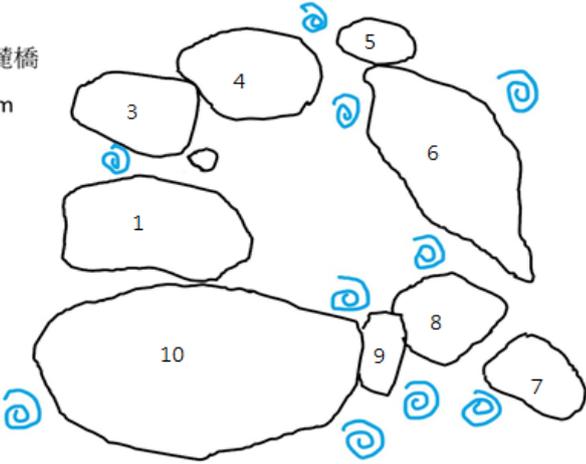
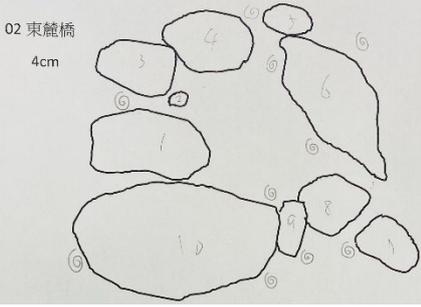
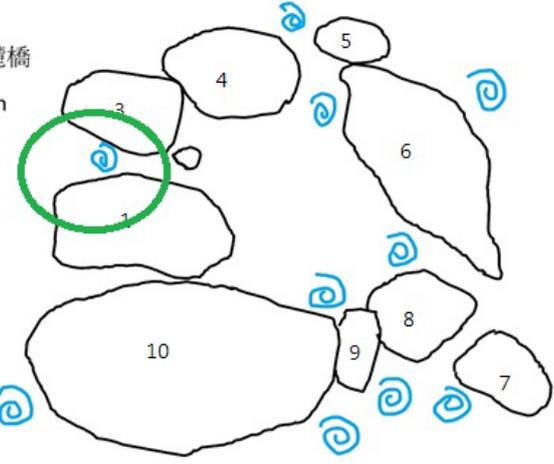
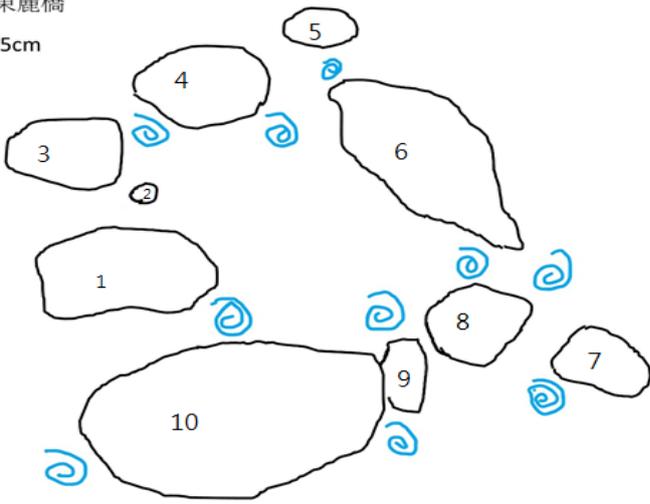


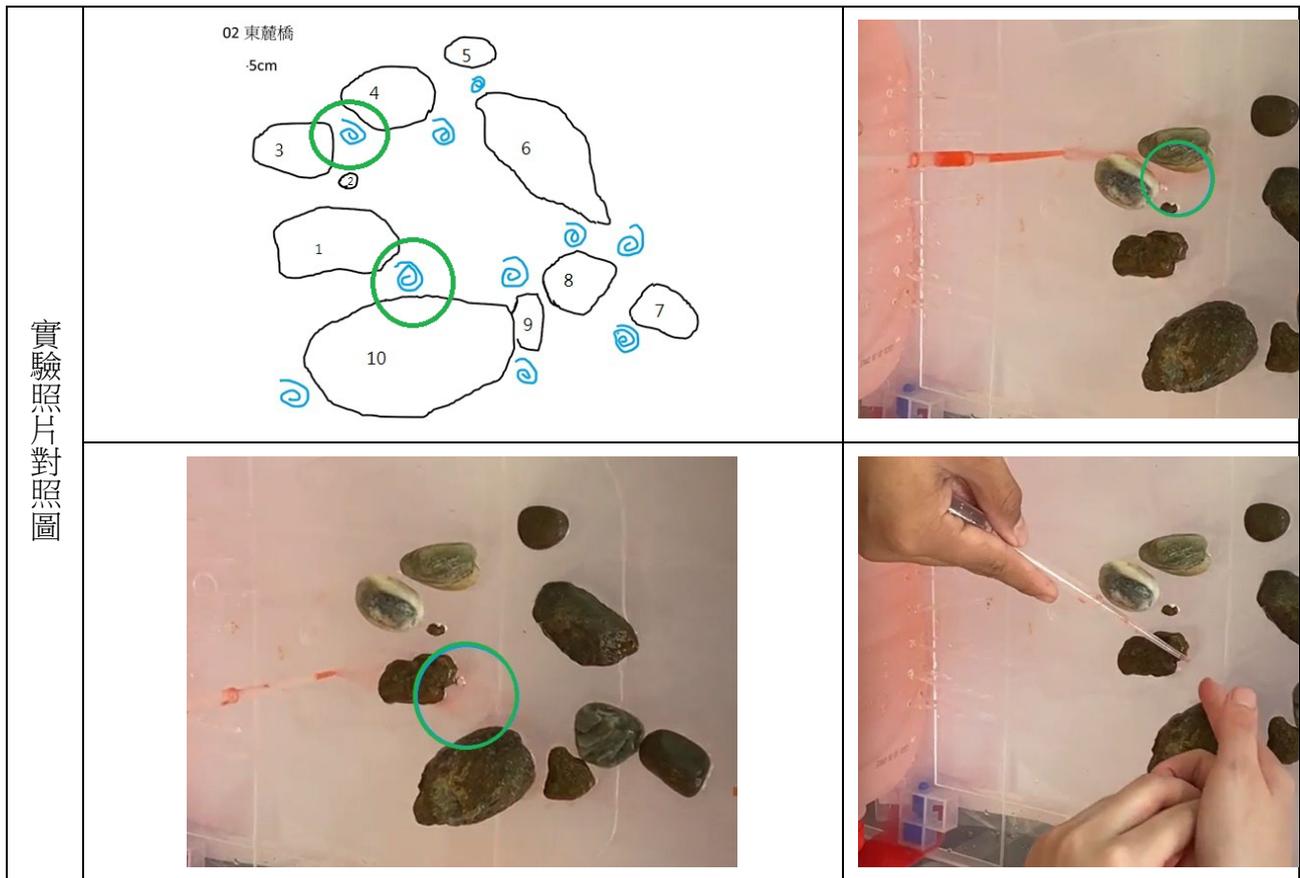
(二)結果：

實驗一石頭的密集度			
照片中編號 1 和 6 號石頭の間距	3 公分	4 公分	5 公分
總漩渦數量(個)	11	10	10
石頭群外側 漩渦數量(個)	7	7	4
石頭群內側與縫隙間 漩渦數量(個)	4	3	6

漩渦出現位置如附圖



<p>石頭 的 間 距 4 公 分</p>	<p>02 東麓橋 -4cm</p> 	
<p>實 驗 照 片 對 照 圖</p>	<p>02 東麓橋 -4cm</p> 	
<p>石頭 的 間 距 5 公 分</p>	<p>02 東麓橋 -5cm</p> 	



(三)發現：

1. 石頭密集度不同，但漩渦數量為 10-11 個，數量上差異不大，但漩渦出現位置卻不同。
2. 石頭間距為 3 或 4 公分時，石頭排列較密集，漩渦主要出現在石頭群外側有 7 個，內側是 3-4 個。
3. 當石頭間距加大為 5 公分時，石頭間排列鬆散多了，石頭群外側漩渦 4 個，漩渦主要出現在石頭間縫隙與石頭群內側，共有 6 個。

(四)結果與討論：

1. 觀察漩渦數量時，用滴紅墨汁或放小白菜種子方式在水不斷流動衝擊石頭的情況下觀察十分鐘以上，細數出現的漩渦位置與數量時還是會出現誤差，例如從文獻中得到的資訊我們預期水流繞過石頭後匯集處應該有漩渦出現，有時卻沒觀察到漩渦，因此若漩渦數量差異在 2 個以內，我們認定為數量差異不大。
2. 實驗過程中，現場用肉眼觀察漩渦遠比照片或錄影下來的影像清楚很多，並且馬上紀錄在紙本上後再將結果利用電腦繪圖呈現。
3. 從文獻探討中，可以知道當水流遇到障礙物時會改變方向，水流量增加，急流越

容易形成，所以推論石頭間距較寬，水流可以沖入石頭間縫隙增加，當急流形成時，石頭縫隙間的漩渦數也增加。反之，石頭越密集，流經石頭間縫隙的水較少，導致石頭群外側的漩渦數比內部的漩渦數多。

4. 實驗中只能用目測水流可能與在大豹溪拍攝的影片差不多，除了因為疫情期間大豹溪禁止人員近水觀測的原因之外，偵測水流需要更精密的流速器，而在此次實驗中未能取得。
5. 除了石頭間距影響漩渦形成外，文獻探討中也提到急流的特性，其中一項是水流速度會增加水流的力量同時衝擊物體的力量也跟著增加，那麼水流速度或是石頭的數量是否也會影響漩渦形成呢？如果想到溪邊玩耍，水流慢的區域是否比水流快的區域還要安全呢？

二、水流速度影響漩渦形成

實驗二：

(一)步驟：

1. 利用水箱角度控制水流速度，角度越大水流速度越快。
2. 用量角器測量，控制支架高度使水箱傾斜角度呈現 4 度、8 度及 12 度。水流速度計算如下：實測水箱中水流速度，測量滴入紅墨汁的水流經過長度 100 公分所需秒數，並換算成每秒水流公尺數。
3. 石頭分布方式依照實驗一的原始圖中石頭分布。
4. 水流持續沖刷石頭 10 分鐘以上，大家一起觀察並反覆確認漩渦出現的位置及數量。

(二)結果：

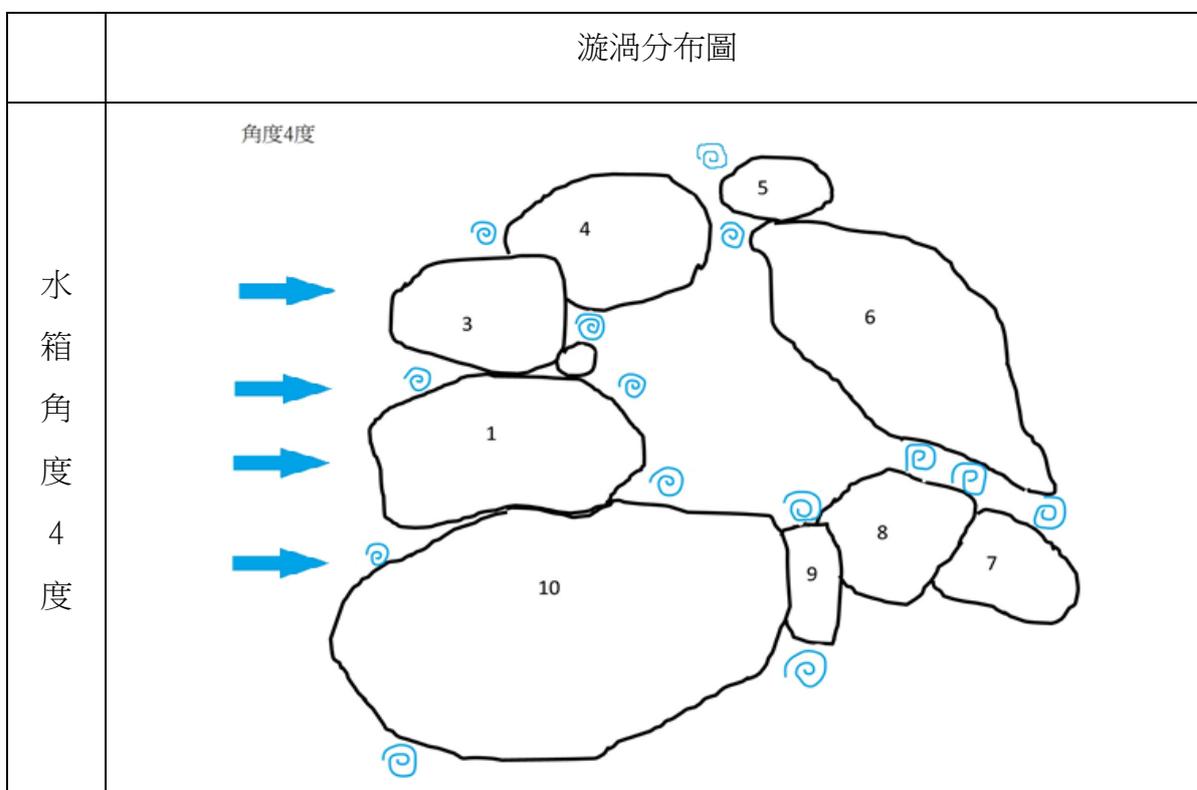
1. 水流速測量：水流經過長度 100 公分所需秒數。

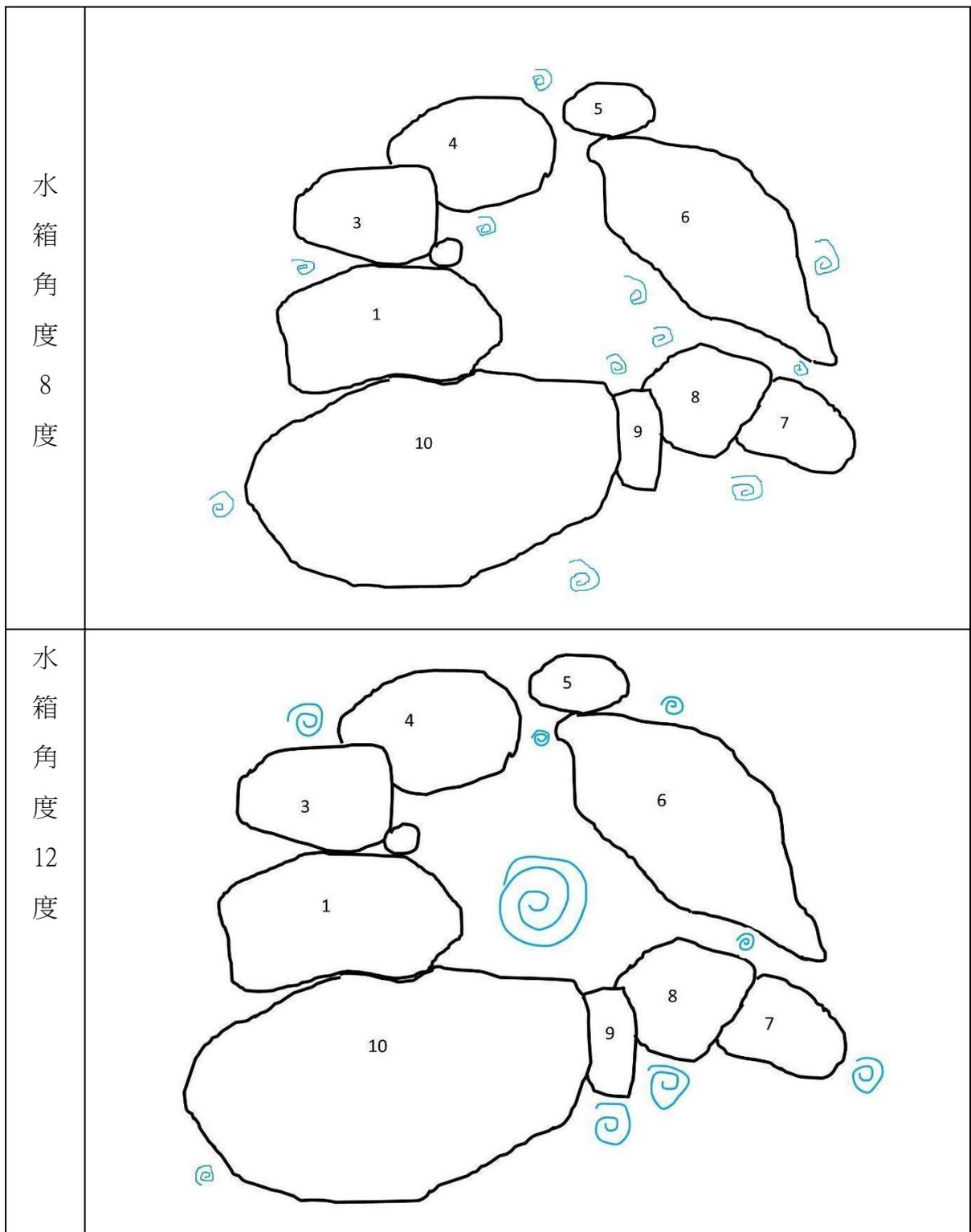
水箱角度	4 度	8 度	12 度
第一次	2.26	1.82	1.16
第二次	1.96	1.6	1.06
第三次	2.3	1.56	0.8
平均	2.17	1.66	1.01
換算每秒公尺數	0.46	0.60	0.99

2. 水流速度與漩渦數量：

水箱角度	4 度	8 度	12 度
漩渦數量(個)	14	11	9
石頭群外側 漩渦數量(個)	8	7	7
石頭群內側與縫隙間 漩渦數量(個)	6	4	2

漩渦出現位置如附圖





(三)發現：

1. 水箱角度越小，流速越慢，水箱角度 4 度觀察到的漩渦數量最多共有 14 個，石頭群外側 8 個，內側有 6 個小漩渦。擋住水流的石頭前方、石頭間的夾縫中及繞過石頭後水流匯集處都有漩渦。
2. 角度 8 度和 12 度，出現的漩渦數量是 11 個和 9 個，石頭群外側漩渦數都是 7 個，兩

者數量差不多，出現位置差異也不大。

3. 將角度 4 度的漩渦位置比較角度 8 度和 12 度時，擋住水流的 1、3、10 號石頭前方，漩渦數量有 4 個，角度 8 度和 12 度則只出現 1 或 2 個。
4. 角度 12 度的石頭群內側只有出現兩個漩渦，石頭群中心出現一個翻滾式的大漩渦。
5. 不同水流速度中，石頭編號 7、8、9 附近的漩渦大約是 4-6 個，且出現位置相似。

(四)結果與討論：

1. 根據文獻探討我們了解到水流遇到障礙物時會改變主流的方向，也可能會出現漩渦，我們觀察到水流速度也會影響漩渦形成。
2. 角度 4 度和角度 8 度兩者皆有在石頭前方與下游處都觀測到漩渦，依文獻的說法，在石頭前方會產生微笑流，此時漩渦會形成，而石頭下游處發現漩渦，推測是與迴流區有關。從實驗結果發現，水流速度越慢，漩渦數越多。
3. 依據文獻探討中，當水流速度增加，水的力量也會跟著增加，推斷角度 12 度因為水流速度增加直接蓋過前方障礙物，在下游處就是石頭群中間，由高低落差而產生大翻滾漩渦，與文獻探討中水流湍急時形成的翻滾流非常相似。
4. 實驗中觀察到水流速度最慢的漩渦數量最多，而水流快的時候，會形成大的翻滾漩渦看起來也相當危險，所以在溪邊玩耍時千萬不要以為水流速不快就比較安全。
5. 編號 7、8、9 號石頭附近的漩渦在水流快與慢都有形成數量與位置相似的漩渦，可能是 7、8、9 號排列平行於水流方向，但排列的不直有點像是河道凹凸岸的感覺，可能因此導致水流轉向而形成漩渦。
6. 溪流中有石頭的附近容易形成漩渦，依據實驗結果是到溪邊玩水都有潛在危險的。
7. 接著我們想問：石頭附近會有漩渦，若是石頭群數量有所改變會影響漩渦形成嗎？

三、石頭數量與位置與漩渦的關係

實驗三：依序取走一顆石頭，是否影響漩渦形成

(一)步驟：

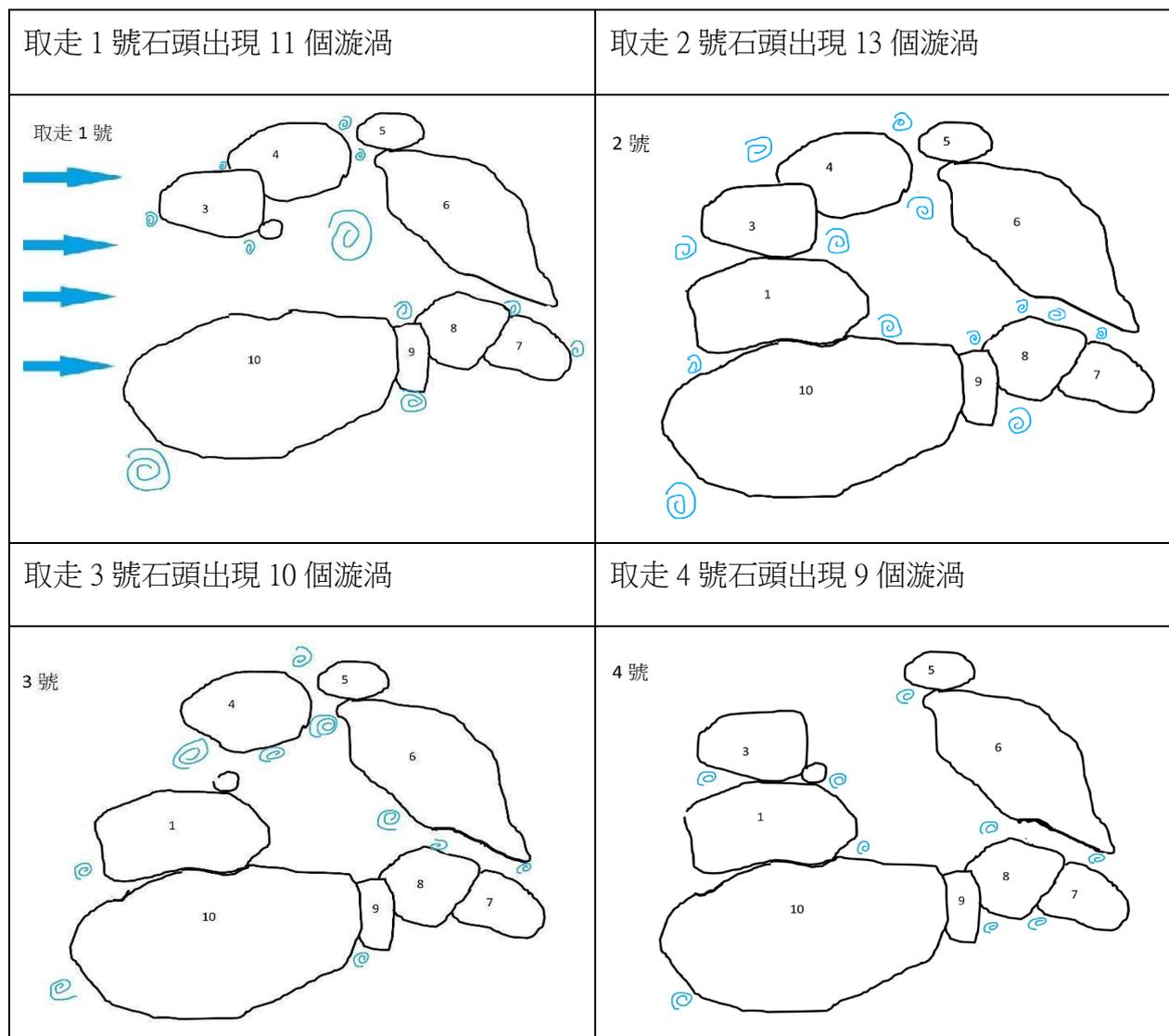
1. 根據實驗二結果，水箱角度 4 度會形成較多漩渦，因此將水箱角度固定為 4 度。
2. 依據實驗一東麓橋原始照片中石頭群編號 1 和 6 號間距 3 公分排列位置進行實驗。
3. 按照編號順序，依序取走一顆石頭，觀察流水形成的漩渦，直到每一個編號的石頭都被取走過一次。
4. 每次水流持續沖刷石頭 10 分鐘以上，大家一起觀察並反覆確認漩渦出現的位置及

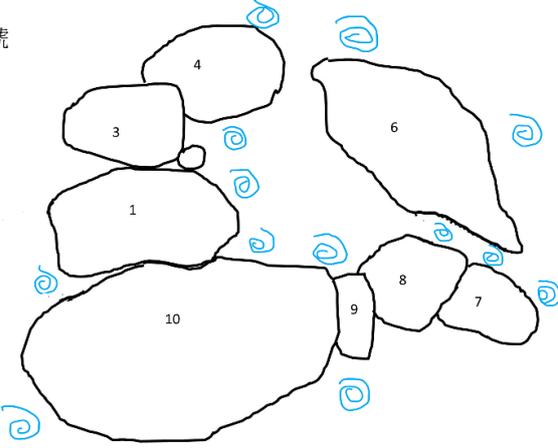
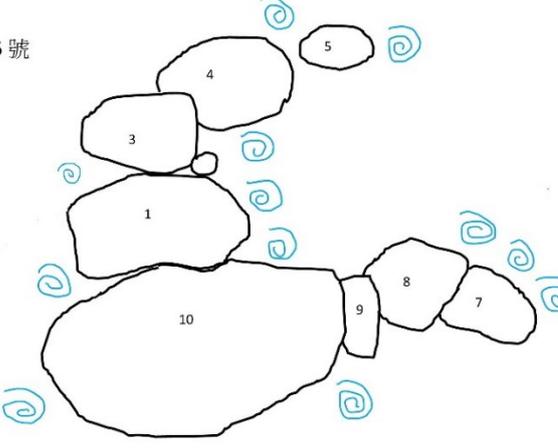
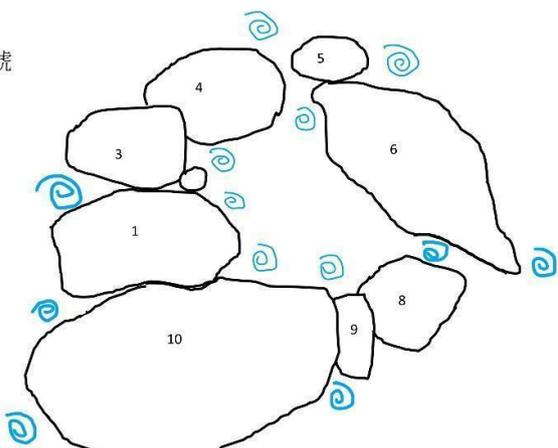
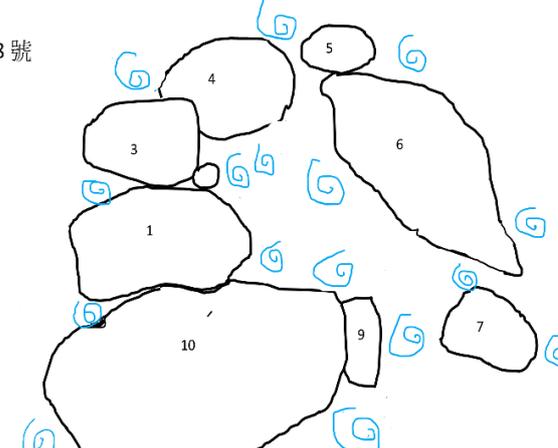
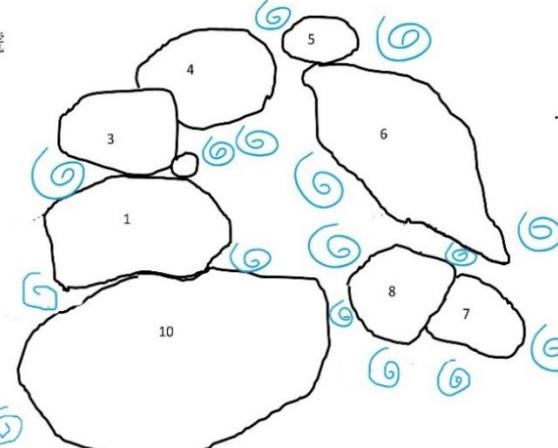
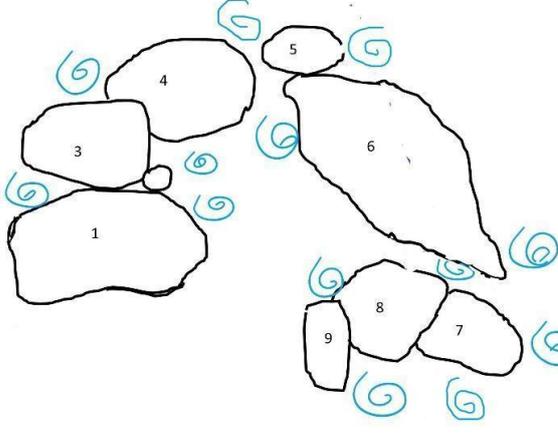
數量。

(二)結果：

根據石頭編號依序取走一個石頭										
取走一顆石頭的編號	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號	6 號	7 號	8 號	9 號	10 號
漩渦數量 (個)	11	13	10	9	13	12	13	16	16	13

漩渦出現位置如附圖



<p>取走 5 號石頭出現 13 個漩渦</p>	<p>取走 6 號石頭出現 12 個漩渦</p>
<p>5 號</p> 	<p>6 號</p> 
<p>取走 7 石頭出現 13 個漩渦</p>	<p>取走 8 號石頭出現 16 個漩渦</p>
<p>7 號</p> 	<p>8 號</p> 
<p>取走 9 號石頭出現 16 個漩渦</p>	<p>取走 10 號石頭出現 13 個漩渦</p>
<p>9 號</p> 	

(三)發現：

1. 取走 1 號石頭形成漩渦數量為 11 個，比原本石頭完整時的 14 個漩渦少了 3 個，減少的 3 個漩渦是在 1 號石頭的周邊，而石頭群中間形成一個大漩渦。
2. 取走 2 號石頭形成的漩渦數比完整石頭群減少 1 個漩渦，數量上差異不明顯，而 13 個形成的漩渦位置幾乎相同。
3. 分別取走 3、4 號石頭形成的漩渦數為 9 個和 10 個，減少的漩渦大多是在被取走石頭的周邊。
4. 取走 5、7 號石頭形成的漩渦數量兩者差異不大，比原本石頭完整時的 14 個漩渦少了 1 至 2 個，減少的漩渦大多是在被取走石頭的周邊。
5. 取走 6 號石頭的漩渦數比原本石頭完整時少了 2 個，缺少漩渦位置在 6 號石頭周邊。
6. 取走 8、9 號石頭形成的漩渦數比原本石頭完整時的 14 個漩渦多了 2 個，且發現水流出石頭群的方向改由缺少的 8、9 號石頭位置流出。
7. 取走 10 號石頭，漩渦數雖然比原始圖少 1 個，但是漩渦出現位置不同，出現在 7、8、9 號石頭旁的漩渦變多了。

(四)結果與討論：

1. 取走 1 號石頭漩渦數量減少的位置是石頭周邊的 3 個，可見石頭缺少會影響漩渦的形成；另外取走 1 號石頭後，石頭群中間形成一個大漩渦，推測因為 1 號石頭是直接阻擋水流的大石頭，少了它水直接衝入石頭群中狹小空間，形成皺眉流，而產生的大漩渦。
2. 分別取走 2、5、6、7 號石頭形成的漩渦數對比完整石頭群的漩渦數量與位置差不多，推測因為 2 號石頭較小顆且位置在 1 號 3 號石頭夾縫中，也沒有直接阻擋水流，所以對漩渦形成沒有影響；5、6、7 號石頭位在整體石頭群側邊或最下側、或在石頭群中屬於體積較小，幾乎不會阻擋或影響到水流。
3. 分別取走 3、4 號石頭後，對比取走 1 號石頭形成的漩渦數差異不大，石頭群中間卻沒有形成大漩渦，推測因 3、4 號石頭位置不如 1 號石頭缺少時水流會直接沖入，所以沒有形成大漩渦。
4. 最有趣的是，取走 8、9 號石頭形成的漩渦數比原本石頭完整時多了 2 個，看起來數量上差異不大，但是漩渦出現在被取走石頭的縫隙中，推測取走 8、9 號石頭使得水流方向改變，因此漩渦數增加。

5. 取走 10 號石頭，出現在 7、8、9 號石頭間的漩渦增加了，推測 10 號石頭在上游阻擋了 7、8、9 號石頭的水流，取走後水流直接衝擊 7、8、9 號石頭造成漩渦增加，在實驗五中將進行探討若只保留 7、8、9 號石頭的漩渦數變化。
6. 若連續取走相鄰的兩個石頭，是否也影響漩渦的形成呢？

實驗四：依序取走兩顆石頭，是否影響漩渦形成

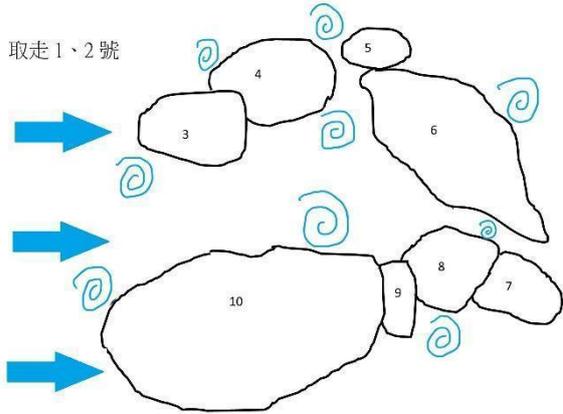
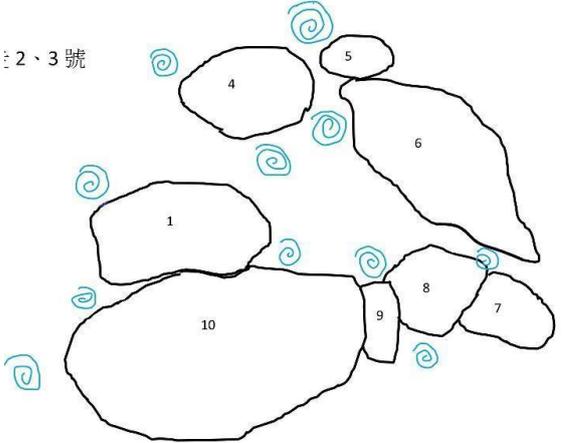
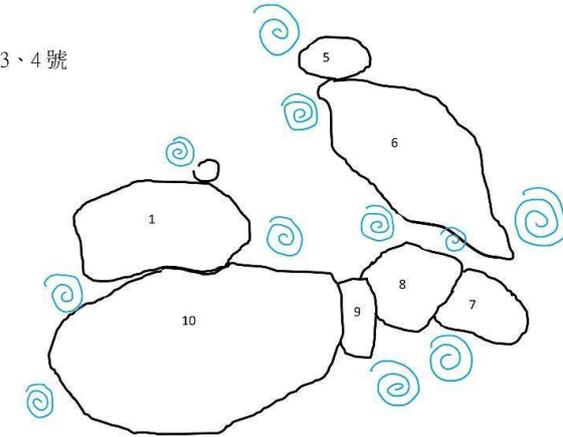
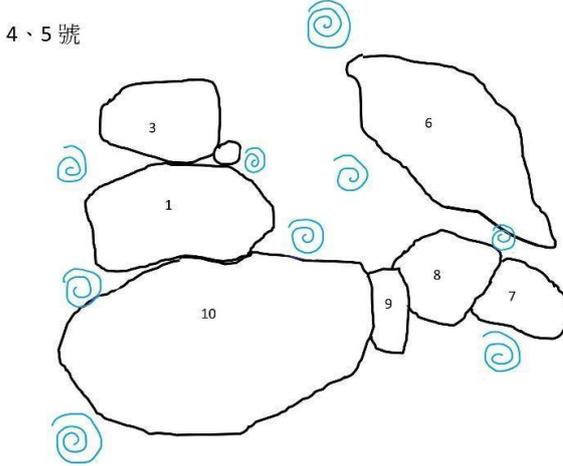
(一)步驟：

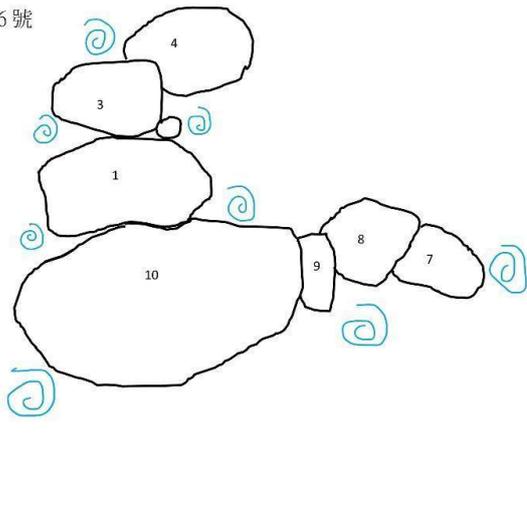
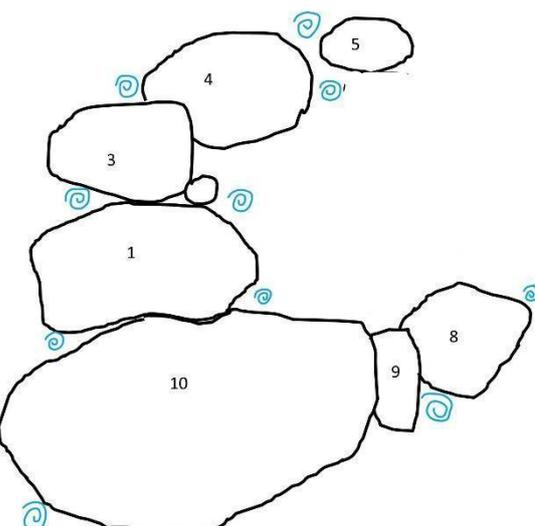
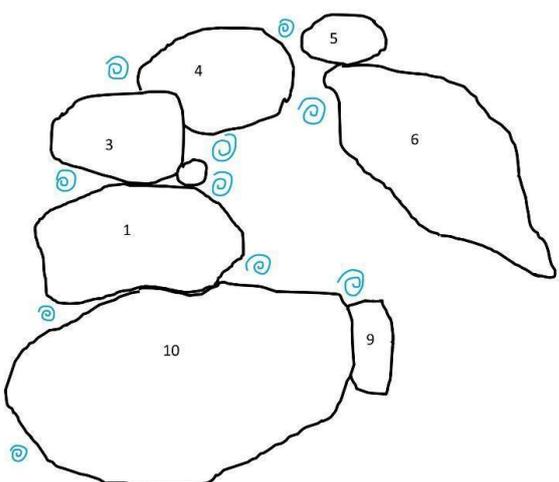
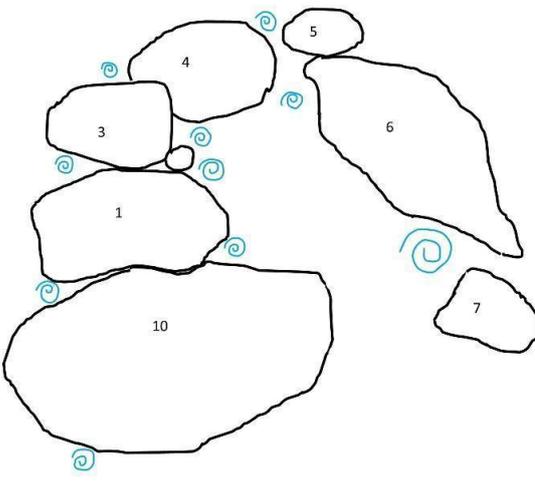
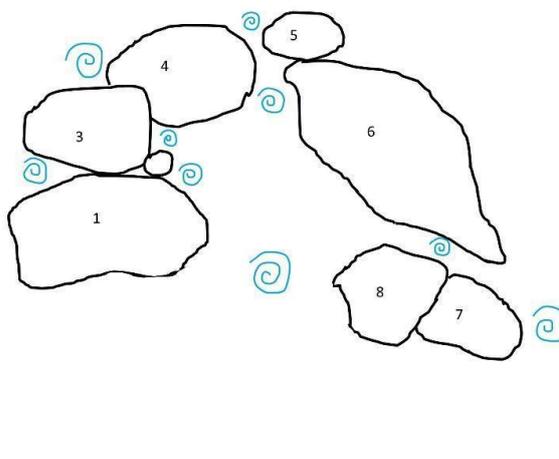
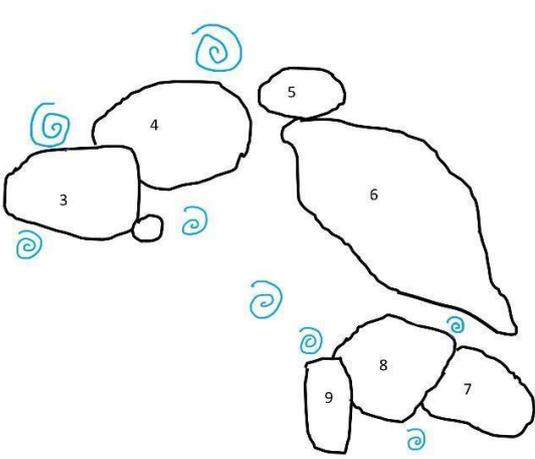
1. 根據實驗三石頭的排列位置進行實驗。
2. 按照編號順序，依序取走兩顆石頭，觀察流水形成的漩渦。
3. 每次水流持續沖刷石頭 10 分鐘以上，大家一起觀察並反覆確認漩渦出現的位置及數量。

(二)結果

根據石頭編號依序取走兩個石頭										
取走兩顆 石頭的編 號	1 號	2 號	3 號	4 號	5 號	6 號	7 號	8 號	9 號	10 號
漩渦數量 (個)	9	11	11	9	8	11	10	10	9	8

漩渦出現位置如附圖

<p>取走 1、2 號石頭後出現 9 個漩渦</p>	<p>取走 2、3 號石頭後出現 11 個漩渦</p>
<p>取走 1、2 號</p> 	<p>取走 2、3 號</p> 
<p>取走 3、4 號石頭後出現 11 個漩渦</p>	<p>取走 4、5 號石頭後出現 9 個漩渦</p>
<p>3、4 號</p> 	<p>4、5 號</p> 
<p>取走 5、6 號石頭後出現 8 個漩渦</p>	<p>取走 6、7 號石頭後出現 11 個漩渦</p>

<p>5、6號</p> 	
<p>取走7、8號石頭後出現10個漩渦</p>	<p>取走8、9號石頭後出現10個漩渦</p>
	
<p>取走9、10號石頭後出現9個漩渦</p>	<p>取走10、1號石頭後出現8個漩渦</p>
	

(三)發現：

1. 每次取走的石頭數為 2 顆，形成的漩渦數量普遍比只取走一顆石頭的少，減少的漩渦位置是在被取走的石頭周邊。
2. 取走 1、2 號石頭，水流直接進入石頭群中，有形成兩個較大的漩渦。
3. 取走 2、3 與 3、4 號石頭漩渦數比取走 3 號石頭少了一個，漩渦出現的位置則差異不大。
4. 取走 4、5 號石頭與單獨取走 4 號石頭的漩渦數一樣是 9 個，但是比單獨取走 5 號石頭的 13 個漩渦數少了 4 個。
5. 取走 5、6 和 6、7 號石頭漩渦數量跟其他取走相鄰兩顆石頭，或單獨取走 6 號和 7 號石頭的漩渦數量上差異不大，但是比單獨取走 5 號和 6 號石頭的漩渦數少很多。
6. 取走 7、8 號石頭比單獨取走 7 號石頭的漩渦數少 4 個，比單獨取走 8 號石頭的漩渦數少 6 個，漩渦缺少的位置大都在取走 7、8 號石頭旁。
7. 取走 8、9 號石頭比單獨取走 8 號和 9 號石頭的漩渦數少 6 個，漩渦缺少的位置大都在取走 8、9 號石頭旁。
8. 取走 9、10 號石頭比單獨取走 9 號的漩渦數少 7 個，比單獨取走 10 號的漩渦數少 4 個，漩渦缺少的位置大都在取走的石頭旁。
9. 取走 10、1 號石頭比單獨取走 10 號少 5 個，比單獨取走 1 號少 3 個，且石頭群中間沒有像單獨取走 1 號時中間形成大漩渦。

(四)結果與討論：

1. 取走石頭數量越多，形成的漩渦數減少，推測是障礙物減少，水流減少改變方向。
2. 取走上游的石頭後，在石頭群中心發現較大的漩渦，推測是因為皺眉流的產生，所以能觀察到較大的漩渦，與實驗三的結果一致。
3. 取走 4、5 號和 5、6 號石頭比單獨取走 4、5、6 號石頭的漩渦數少了 3-6 個，缺少的漩渦位置分布在石頭附近和石頭群中間，推測取走 4、5 號石頭造成石頭群側邊多出空洞，取走 5、6 號石頭則在石頭群下游方出現空洞，減少漩渦的形成。
4. 取走 7、8 號石頭後水流可以從此處流出的縫隙變大了，漩渦數量卻變少且缺少的漩渦位置就在被取走的石頭旁，思考與實驗一縫隙變大漩渦數變多的差別，可能在於實驗一中石頭數是不變的，石頭間縫隙變大是水流可以通過的地方多了而使水流改變方向；取走 7、8 號石頭雖然縫隙變大了，但是水流方向卻沒有什麼改變，因此漩渦數不增反減了。

5. 取走 9、10 和 10、1 號石頭漩渦變少很多，尤其 10 號石頭體積最大，又是水流主要衝擊的地方，還影響位在下游方向的 7 號 8 號石頭旁的漩渦也變少了，因此推測石頭越大對漩渦形成的影響越大。

實驗五：保留特定的三顆石頭，是否影響漩渦形成

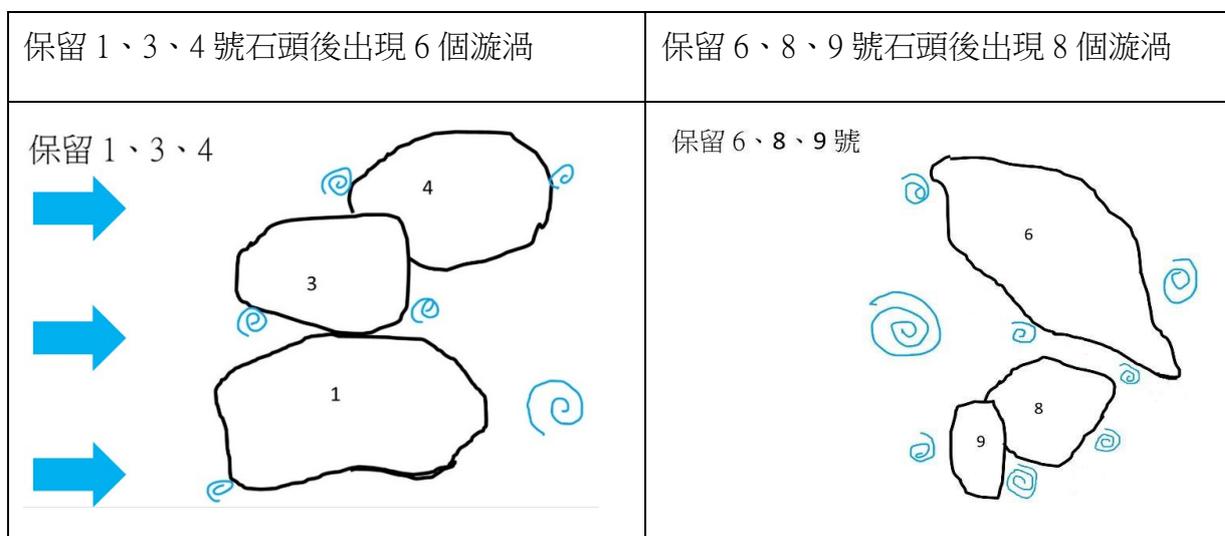
(一)步驟：

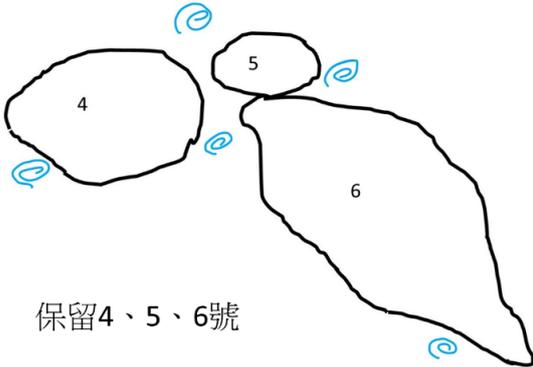
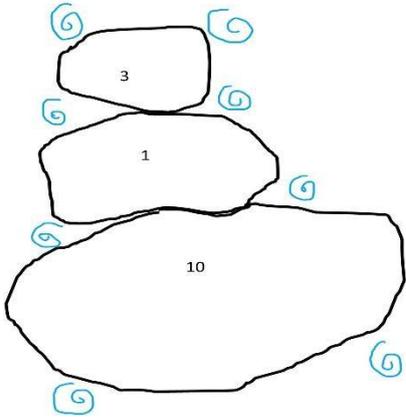
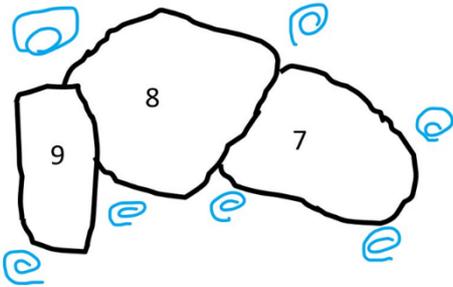
1. 選擇相鄰且排列方式不同的三顆石頭，分別為 1、3、4 號；4、5、6 號；6、8、9 號；7、8、9 號；10、1、3 號。
2. 根據原始圖石頭的排列位置進行實驗。
3. 按照編號順序，依序保留三顆石頭，觀察流水形成的漩渦。
4. 每次水流持續沖刷石頭 10 分鐘以上，大家一起觀察並反覆確認漩渦出現的位置及數量。

(二)結果：

根據石頭編號依序保留三個石頭					
保留 3 顆石頭的編號	1、3、4 號	4、5、6 號	7、8、9 號	6、8、9 號	10、1、3 號
漩渦數量(個)	6	5	7	8	8

漩渦出現位置如附圖



保留 4、5、6 號石頭後出現 5 個漩渦	
 <p>保留4、5、6號</p>	<p>保留 10、1、3 號石頭後出現 8 個漩渦</p> <p>保留 10、1、3 號</p> 
<p>保留 7、8、9 號石頭後出現 7 個漩渦</p> <p>保留 7、8、9 號</p> 	

(三)發現：

1. 保留 1、3、4 號與 4、5、6 號和 10、1、3 號三組石頭的漩渦位置和數量與原始圖的差異不大，幾乎接近原本出現的位置。
2. 保留 4、5、6 號石頭的 5 號石頭和 6 號石頭之間出現一個新漩渦。
3. 保留 7、8、9 號石頭的漩渦數量，比在原始圖中的 7、8、9 號石頭周圍多，也比實驗三取走 10 號石頭後 7、8、9 號石頭旁的漩渦數多。
4. 保留 6、8、9 號石頭的漩渦數量，比在原始圖中的 6、8、9 號石頭多一個，但漩渦位置有差異。
5. 保留 6、8、9 號石頭中，在 6、9 號中間出現一個較大的漩渦。

(四)結果與討論：

1. 保留 1、3、4 號石頭、保留 4、5、6 號石頭和保留 10、1、3 號三者皆沒有改變水流方

- 向，因此，漩渦數量與出現位置與原始圖差異不大。
2. 保留 4、5、6 號石頭的實驗中，5 號石頭和 6 號石頭之間出現一個新的漩渦，推測是因為上游障礙物消失，流經的水流量增加，使 5 號石頭和 6 號石頭旁的水流速度加快，產生迴流區。
 3. 保留 7、8、9 號石頭的周圍漩渦數比原始圖還多，推測原本在上游處的石頭移走後，流水量增加，在 9 號石頭上游處形成微笑流，而在這三個石頭旁形成漩渦流，因此石頭側邊的漩渦數比起原始圖 7、8、9 號石頭旁漩渦數還要多。這與實驗三結論中的推論相符。
 4. 保留 6、8、9 號石頭時，8 號石頭下游的漩渦位置與原始圖的實驗結果不同，推測是由於下游的 7 號石頭消失，迴流區改變，而造成漩渦位置改變。
 5. 保留 6、8、9 號石頭中，6、9 號中間出現一個較大的漩渦，推測 6、9 號石頭的排列方式成 V 字，形成皺眉流，產生較大的漩渦。因此，推論若石頭排列方式接近 V 字或從上游往下呈現袋狀排列的話，形成的漩渦會較大，危險性更高。。
 6. 推測由於急流的形成不同，所以保留 7、8、9 號石頭和保留 6、8、9 號石頭中的 9 號石頭周圍的漩渦數和位置有所差異。

實驗六：保留特定的兩顆石頭，是否影響漩渦形成

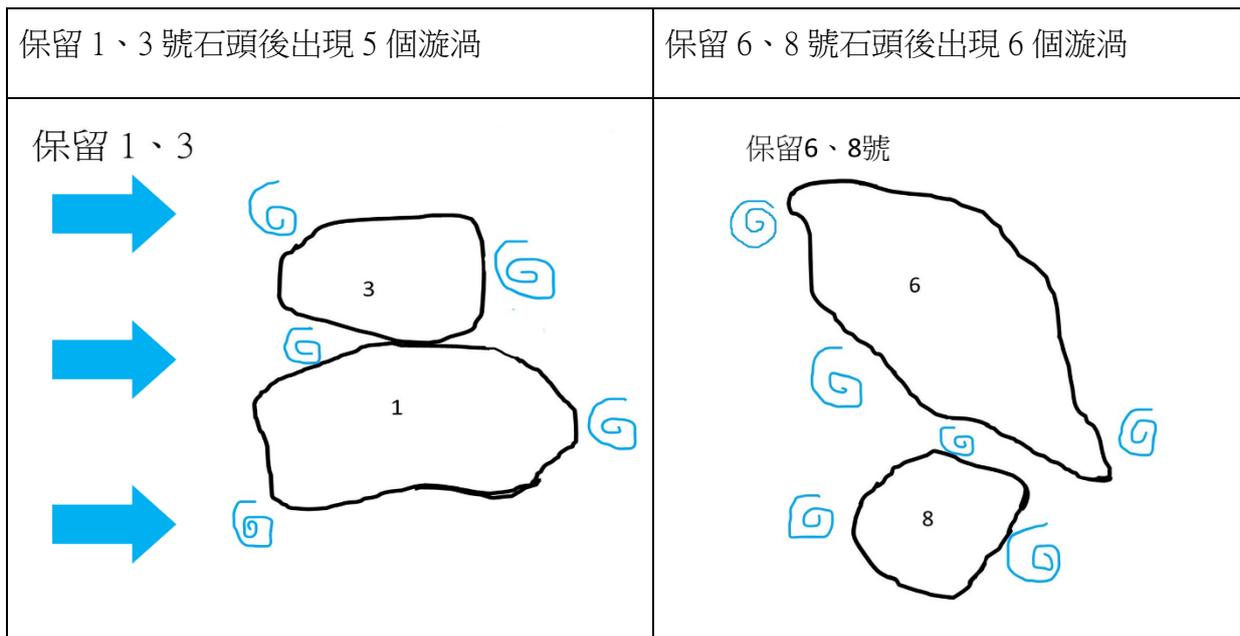
(一)步驟：

1. 根據實驗五的結果，選擇漩渦數最多的保留 6、8、9 號和保留 10、1、3 號石頭兩組。
2. 保留 10、1、3 號石頭中，將最大的 10 號石頭移開，所以保留 1、3 號石頭，觀察漩渦變化。
3. 欲觀察 6 號與 8 號兩個石頭間縫隙與漩渦的關係，故將保留 6、8、9 號中的 9 號移除，保留 6、8 號石頭。
4. 依照原始圖石頭的排列位置進行實驗。
5. 每次水流持續沖刷石頭 10 分鐘以上，大家一起觀察並反覆確認漩渦出現的位置及數量。

(二)結果：

根據石頭編號依序保留兩個石頭		
保留 2 顆石頭的編號	1、3 號	6、8 號
漩渦數量(個)	5	6

漩渦出現位置如附圖



(三)發現：

1. 保留 1、3 號石頭的漩渦數量比保留 1、3、4 號石頭的漩渦數量少 1 個。
2. 保留 1、3 號石頭時，漩渦數和漩渦位置與實驗三、四、五的中的 1 號、3 號石頭差異不大。
3. 保留 6、8 號石頭時，比保留 6、8、9 號石頭的漩渦數量少 2 個。
4. 保留 6、8 號石頭時，原本在保留 6、8、9 號石頭中，6、9 號中間出現的較大漩渦消失。

(四)結果與討論：

1. 與實驗五的討論 1 相同，1、3 號石頭是主要被水流衝擊的地方，因此，漩渦數量與出現位置與原始圖差異不大，石頭數量減少，漩渦數也會減少，與之前實驗結果相符。
2. 少了一個石頭後，保留 1、3 號石頭和保留 6、8 號石頭的漩渦數量比實驗五中的漩渦數量少，所以推論石頭數量減少，漩渦數也會減少。

3. 在保留 6、8 號石頭中，原本較大的漩渦消失，推測是因為 9 號石頭消失，無法形成皺眉流，所以原本在 6、9 號中間出現的較大漩渦消失。

四、河道凹槽與漩渦的關係

實驗七：

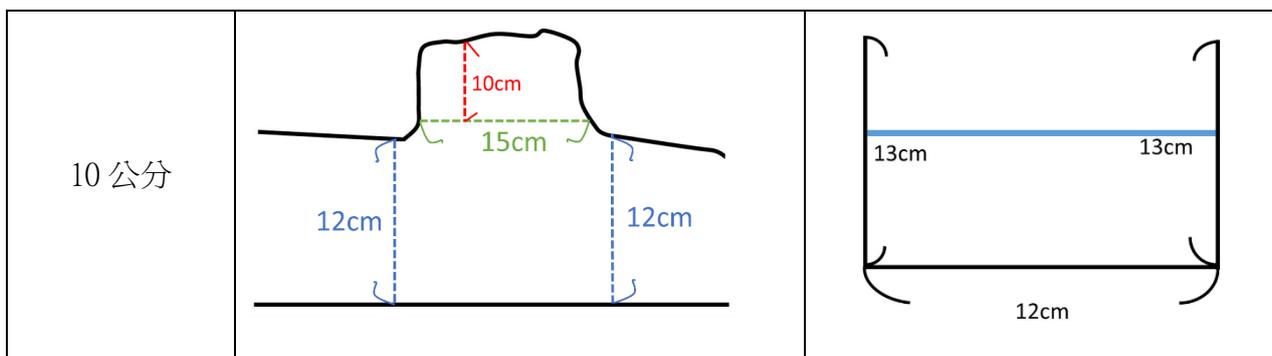
(一)步驟：

1. 將金敏橋河段照片列印成 A4 大小，並在上方放透明壓克力板，用白板筆畫出河道凹槽的輪廓。
2. 利用黏土和石頭製作另一側的河道和河道凹槽，固定在壓克力板上。
3. 利用水箱的一側作為固定河道，將壓克力板放上，調整河床寬度，固定為 12 公分。



4. 將凹槽固定為寬度 15 公分，高度 10 公分以上，製作三種不同深度的河道凹槽，分別為 0 公分、5 公分、10 公分。如下圖所示。

河道凹槽深度	俯視圖	剖面圖
0 公分		
5 公分		



5. 本次實驗水流速度以水箱傾斜角度 4 度，目測水流速度接近實地觀察金敏橋時水流速度。
6. 將紅墨水、輕黏土、防水紙片、小白菜種子等物品放入水中，觀察漩渦出現的情形。
7. 每次水流持續沖刷石頭 10 分鐘以上，大家一起觀察並反覆確認漩渦出現的位置及數量。

(二)結果：

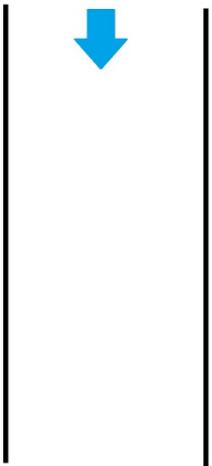
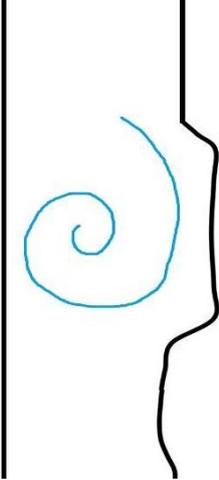
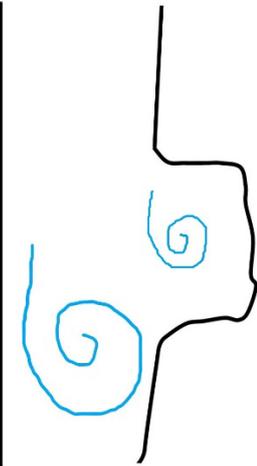
1. 模擬金敏橋下實際河道凹槽實驗影片截圖--小紙片旋轉路徑圖



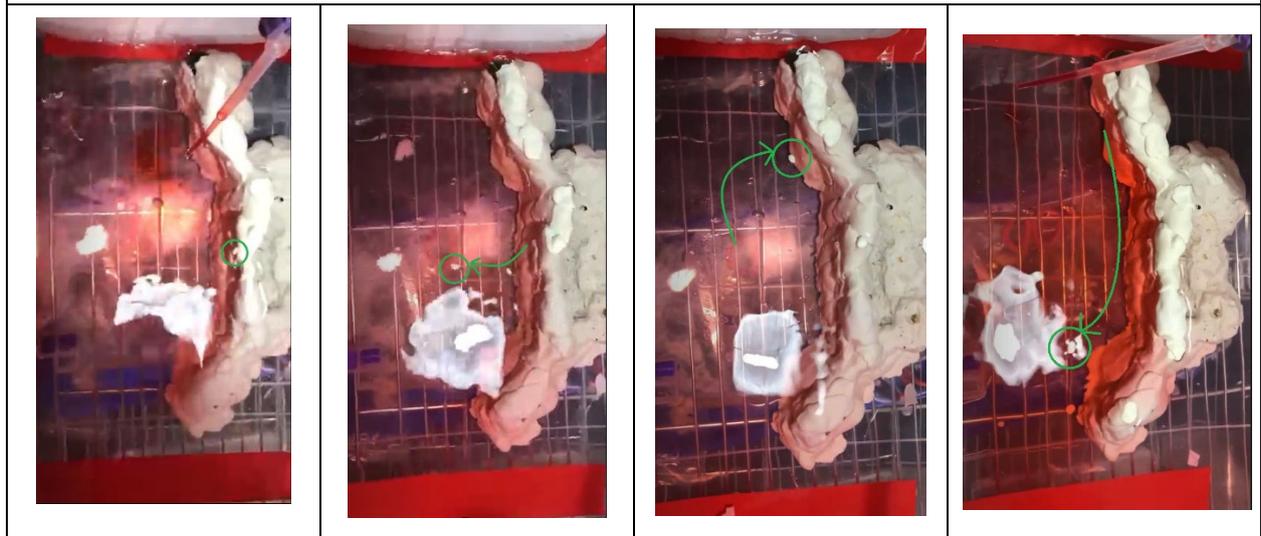
2. 單側河道凹槽的深度出現的漩渦數量

根據單側河道凹槽的深度			
河道凹槽長度	0 公分	5 公分	10 公分
漩渦數量(個)	0	1	2

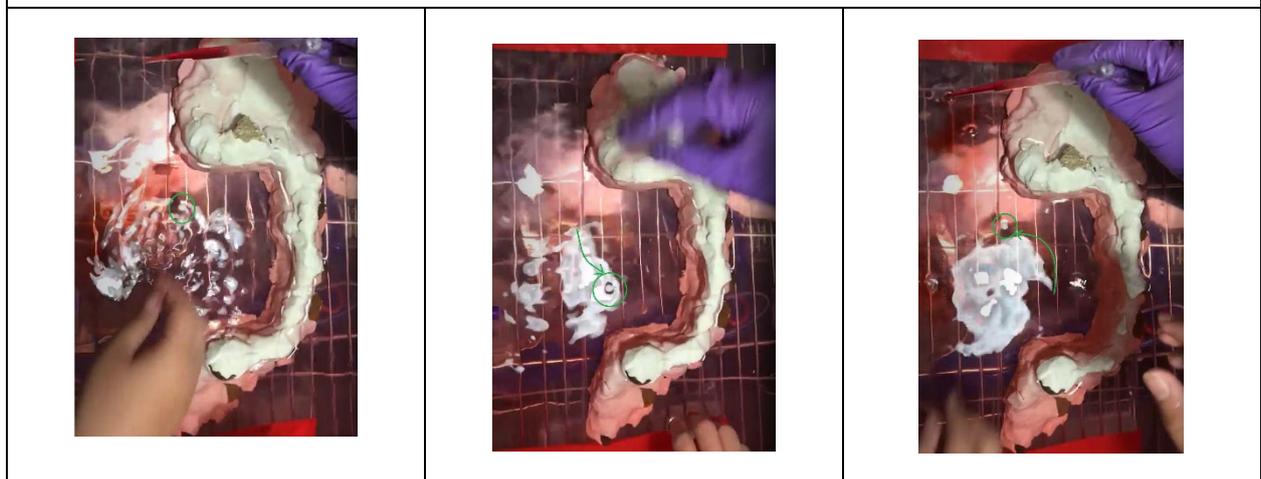
漩渦出現位置如附圖

河道凹槽 深度	0 公分沒有漩渦出現	5 公分凹槽出現一個大 漩渦	10 公分凹槽出現一個大 和一個小漩渦
漩渦位置			

5 公分凹槽出現一個大漩渦實驗影片截圖：輕黏土片旋轉路徑圖

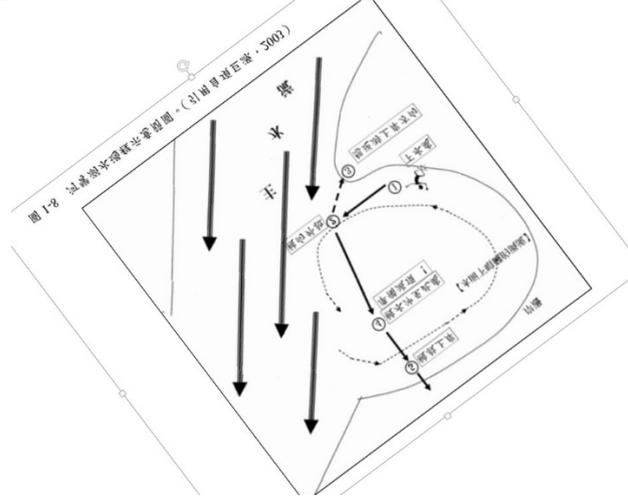


10 公分凹槽內出現一個小漩渦實驗影片截圖：輕黏土片旋轉 5 秒後旋出凹槽路徑圖



(三)發現：

1. 模擬金敏橋下實際河道凹槽發現如果沒有任何東西輔助確實不容易看出有漩渦，但是丟下小紙片後觀察到紙片旋轉明顯，有一個大漩渦產生。
2. 河道無凹槽，且兩側平整時，沒有漩渦產生。
3. 河道凹槽深度 5 公分，在河道上與凹槽內的範圍有一個較大且明顯的漩渦，輕黏土片約 2 秒就從凹槽外旋入凹槽內並離開反轉向上。
4. 河道凹槽深度 10 公分的凹槽內出現一個小漩渦，小漩渦轉動速度很慢，輕黏土片約花了 5 秒才旋了一圈出凹槽，旋轉方向與文獻「河灣溺水過程示意簡圖」中提到河道凹槽漩渦相似；還有一個黏土片進入凹槽邊緣後停滯在原地 2 秒後才離開凹槽；此外有一個大漩渦出現的位置在凹槽外靠近下游的位置。

<p>「河灣溺水過程示意簡圖」旋轉成與實驗水流方向，凹槽位置相同時。</p>	<p>其中一黏土片進入凹槽邊緣後停滯在原地 2 秒後才離開凹槽。</p>
	

5. 河道凹槽深度 5 公分和河道凹槽深度 10 公分的大漩渦方向不同。河道凹槽深度 5 公分的漩渦方向為順時針；河道凹槽深度 10 公分為逆時針。
6. 因水流速度緩慢，肉眼看漩渦並不明顯，利用滴入紅墨汁、撒小白菜種子、放入輕黏土片和防水紙片輔助觀察，才看清楚大漩渦和旋轉方向。

(四)結果與討論：

1. 從文獻探討中可以得知水流被迫繞著岸邊轉彎處、凹陷區域或障礙物時，會形成漩渦，因此岸邊的靜水區也可能會有漩渦，將人帶到主流道。因此，不論在河道凹槽深度 5 公分或 10 公分的實驗裡都能觀測到漩渦的出現。
2. 河道凹槽深度 0 公分沒有漩渦，推測是因為沒有改變水流方向的要素，因此沒有產生

- 漩渦。
3. 河道凹槽深度 5 公分的漩渦較大且明顯，推測是因為凹槽較淺，水流能沿著河道流進凹槽內旋轉，形成大漩渦，漩渦旋轉速度比凹槽 10 公分還要快。
 4. 河道凹槽深度 10 公分太深了，水流的影響較低，因此凹槽內測的漩渦旋轉速度比 5 公分凹槽慢，
 5. 兩者大漩渦方向不同，我們推測依照白努力定律，水流會衝進凹槽 5 公分處，水流速度變快，造成河道水往凹槽處補充，所以方向為順時針；而河道凹槽 10 公分，河道水流只有少量進入凹槽內，因此河道流速較快，造成凹槽內的水往河道補充，所以方向為逆時針。
 6. 從實驗結果知道水流緩慢時看不清楚大漩渦，因此我們推論在河邊嬉戲時，不要以為在河道旁邊凹槽玩水較安全，凹槽內也會出現漩渦。

肆、結論

- 一、 石頭間距變大，出現漩渦數量會增加。
- 二、 石頭間的縫隙較寬的話，特別容易形成漩渦。
- 三、 水流速越慢，出現的漩渦數量越多。
- 四、 出現漩渦的位置是擋住水流的石頭前方、石頭間的夾縫中及繞過石頭後水流匯集處。溪流中有石頭的附近容易形成漩渦，我們覺得夏天到溪邊玩水都有潛在危機。
- 五、 水流快速並匯集在石頭群中心時會出現一個翻滾式的大漩渦。
- 六、 石頭數量減少會使漩渦的形成變少。
- 七、 直接阻擋水流的石頭被取走，則水流直接衝入石頭群中間會形成較大的漩渦。
- 八、 取走的石頭若使得水流方向改變可以從這缺縫處流出，會使漩渦數變多。
- 九、 取走的石頭數量變多，形成的漩渦變少了，推測是水流撞擊次數變少導致的。
- 十、 實驗四中取走 7、8 號石頭後漩渦數量卻缺少且缺少的位置就在被取走的石頭旁，推測與實驗一的差別可能在於石頭間縫隙變大之外還要使水流改變方向，漩渦數才會增加。
- 十一、 實驗四中取走 10 號石頭的體積最大，又是水流主要衝擊的地方，還影響位在下游方向的 7 號 8 號石頭旁的漩渦也變少了，因此推測石頭越大對漩渦形成的影響越大。
- 十二、 實驗六取走下游的石頭後，原本下游出現的漩渦數除了減少之外，下游漩渦位置也會產生偏移。
- 十三、 河道單側有凹槽時，會出現漩渦。

- 十四、 水流緩慢時看不清楚大漩渦，因此我們推論在河邊嬉戲時，不要以為在河道旁邊凹槽玩水較安全，凹槽內也會出現漩渦。
- 十五、 水流緩慢時看不清楚大漩渦，所以在河邊嬉戲時，不要以為在河道旁邊的凹槽裡玩水較安全，若是凹槽不深可能會出現更大的漩渦，凹槽內也會出現漩渦，靠近河道的地方也有大漩渦形成，非常危險。
- 十六、 未來可以使用流速計讓研究就更精準些；還可以追加研究石頭間的縫隙寬度多少，石頭排列出怎樣的形狀和水流方向改變多少角度後特別容易形成漩渦。
- 十七、 未來可以探討河道凹槽深度的範圍和漩渦的關係，哪些深度開始就會有漩渦出現。

伍、參考文獻資料

- 吳禹潼、張文瀚、游馥瑀(2013)。漩渦對橋墩侵蝕與堆積現象之探討。國立宜蘭高中。第12屆旺宏科學獎。
- 平震傑、左伊心、蔡宗育、黃家偉(2007)。水中殺手-漩渦。國立高雄師範大學附屬高級中學。第四十七屆中小學科學展覽會。
- 洪毅芸、葉心淳(2013)。漩渦 X-ray——透視溪流裡石頭附近的漩渦。私立普台高中。全國高級中學小論文寫作。
- 平震傑、左伊心(2008)。神祕的拉扯——漩渦與漩渦現象的探討。國立高雄師範大學附屬高級中學。第四十八屆中小學科學展覽會。
- 王國川 (2004)。探討台北縣溪域發生溺水之危險因素。衛生教育學報，21：123-146。
- 游牧笛(2014)。新北市大豹溪之河道地形與進憩環境分析。國立臺灣師範大學地理學系碩士論文。
- 謝伯彥(2013)。激流訓練的美妙。內政部消防署消防月刊，3:66-68。
- 金大衛、彭生富 (2018年2月18日)。5-3 急流水域的分析(改)。Youtube。
<https://www.youtube.com/watch?v=hGNBABQWzJE>

【評語】 080504

研究主題具鄉土性及與生活相關，將構想具體化，施作詳細且善用操作變因，逐一實驗找出結果。建議未來實驗設計可以注意水深、水流量、速度與石塊大小之間的比例，相關配置皆會影響實驗結果。除了肉眼觀察外，可以考慮加入數位追蹤技術。

作品簡報

河中「漩」機

國小組 地球科學科

壹、前言

金敏橋的河道凹槽



六上自然課第三單元學習河流地形，並實地到大豹溪觀察，再到實驗室模擬。探討水流衝擊石頭，石頭數量與位置是否影響漩渦的數量與形成位置，及單邊河道出現凹槽時，是否會影響漩渦的形成。研究之結果希望未來能結合教育部體育署與內政部消防署「學生水域安全宣導」探討溪邊戲水的安全性。

文獻名稱	來源	內容摘要	與本研究內容之異同
漩渦對橋墩侵蝕與堆積現象之探討	國立宜蘭高中	<ul style="list-style-type: none"> 水流受阻，障礙物旁水流旋轉形成了漩渦。 研究各種形狀的橋墩之侵蝕現象與漩渦。 	<ul style="list-style-type: none"> 從文獻中了解到漩渦在圓形容器中的成因與構造。
水中殺手-漩渦	國立高雄師範大學附屬高中	<ul style="list-style-type: none"> 圓形容器內底洞不同、流速不同及不同濃稠度水溶液對漩渦影響。 圓形容器內漩渦結構。 用砝碼與石膏塊模擬海底地形對漩渦的影響。 	<ul style="list-style-type: none"> 天然形成的漩渦不可能是在圓形容器中，因此本研究為模擬天然河道流動水流遇到石頭群與河道凹槽造成漩渦形成，並了解漩渦出現位置與數量。
神祕的拉扯—漩渦與漩渦現象的探討	衛生教育學報	<ul style="list-style-type: none"> 大豹溪水域中容易發生溺水的地方及溺水的成因。其中，提及東麓橋附近容易有漩渦與暗流，但未說明漩渦與暗流的成因。 	<ul style="list-style-type: none"> 本研究中探討了大豹溪部分河段中，可能產生漩渦的原因。 研究中探討了河道有凹槽時漩渦位置。
探討台北縣溪域發生溺水之危險因素	游牧笛	<ul style="list-style-type: none"> 大豹溪的河底地形崎嶇形成漩渦與暗流。 探討河底、落石與河道對漩渦和暗流的影響。 	<ul style="list-style-type: none"> 本研究探討的方向為石頭的數量、石頭的間距與水流速度對漩渦的影響。
急流救生基礎訓練教材	消防月刊	<ul style="list-style-type: none"> 十種急流成因。急流容易產生漩渦，因此，本研究套用急流成因來對發現的漩渦做說明。 	<ul style="list-style-type: none"> 本研究驗證急流是否易產生漩渦。 探討在緩慢的水流中，是否也會產生漩渦。

根據《急流救生基礎訓練教材》對漩渦的定義，以下四種為本研究引用的急流名稱。

微笑流



迴流區



皺眉流



漩渦流



貳、研究方法

研究目的

一、石頭的鬆散或密集與漩渦的關係

實驗一：模擬石頭間距離3、4、5公分形成的漩渦數與位置。

1. 水箱傾斜8度，石頭群中1號和6號最接近間距是3公分為原始圖。
2. 用繪圖軟體依輻射方向等比例將1號和6號間距放大為4和5公分。

二、水流速度影響漩渦形成

實驗二：水箱傾斜角度呈現4、8、12度使水流速度不同所形成的漩渦數與位置。

石頭間距是3公分。

三、石頭數量的位置與漩渦的關係

實驗三、四：依序取走一顆和兩顆石頭所形成的漩渦數與位置。

1. 水箱角度4度會形成較多漩渦，因此將水箱角度固定為4度。
2. 石頭群間距同原始圖的3公分。

實驗五、六：保留特定的三顆和兩顆石頭所形成的漩渦數與位置。

四、河道凹槽與漩渦的關係

實驗七：依照片模擬三種不同深度的河道凹槽，是否影響漩渦形成。

金敏橋河段照片列印成A4大小，用黏土和石頭製作河道凹槽模擬，再製作出凹槽分別為0、5、10公分，水箱傾斜角度4度。

研究限制：

1. 滴入紅墨汁或放置小白菜種子的水流碰撞石頭時，若水流有反轉180度及超過180度且有滯留的現象，或是看見水流有下沉後再翻轉上來的現象，我們定義為有漩渦形成，經由3名學生以上於流水十分鐘之內反覆確認此處有此現象，則計數形成一個漩渦。
2. 觀察漩渦時，肉眼細數出現的漩渦位置與數量時還是會出現誤差，若漩渦數量差異在2個以內，我們認為數量差異不大。
3. 實驗過程中，現場用肉眼觀察漩渦遠比照片或錄影下來的影像清楚很多，將肉眼觀察結果立即紀錄在紙本上後，再將結果利用電腦繪圖呈現。
4. 實驗三~七的水箱角度固定為4度，依實驗一東麓橋照片中石頭群編號1和6號間距3公分進行實驗。
5. 實驗中只能用目測水流可能與在大豹溪拍攝的影片差不多，除了因為疫情期間大豹溪禁止人員近水觀測的原因之外，偵測水流需要更精密的流速器，而在此次實驗中未能確實考慮。



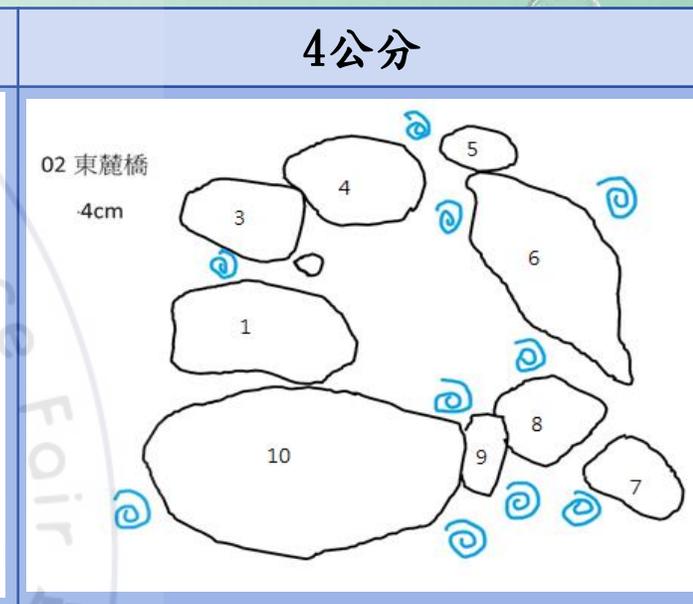
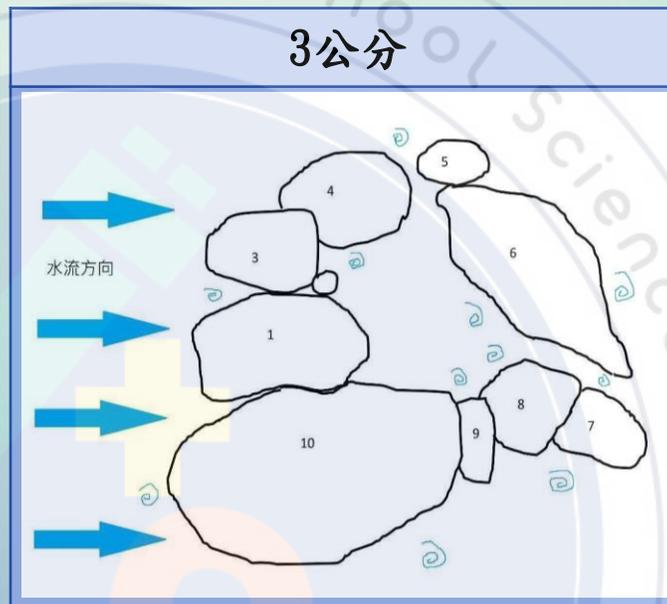
參、研究結果

一、石頭的鬆散或密集

實驗一：模擬石頭間距離3、4、5公分形成的漩渦數與位置

實驗一石頭的密集度

照片編號1和6號石頭的間距	3公分	4公分	5公分
總漩渦數量(個)	11	10	10
石頭群外側漩渦數	7	7	4
石頭群內側與縫隙間漩渦數	4	3	6



發現、結果與討論：

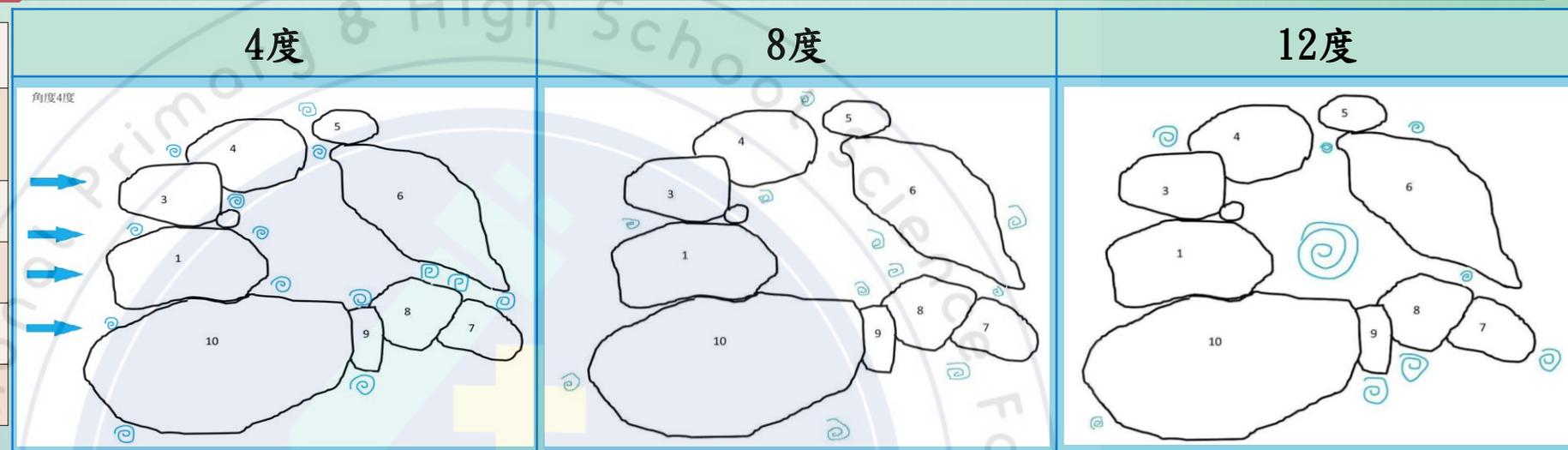
1. 石頭間距為3公分或4公分時，石頭排列較密集，漩渦主要出現在石頭群外側有7個。
2. 當石頭間距加大為5公分時，石頭間排列較鬆散，石頭群外側漩渦4個，漩渦主要出現在石頭間縫隙與石頭群內側，共有6個。
3. 從文獻探討中，可以知道當水流遇到障礙物時會改變方向，水流量增加，急流越容易形成，所以推論石頭間距較寬，水流可以沖入石頭間縫隙增加，當急流形成時，石頭縫隙間的漩渦數也增加。
4. 除了石頭間距影響漩渦形成外，文獻探討中也提到急流的特性，其中一項是水流速度增加水流的力量同時衝擊物體的力量也增加，那麼水流速度或是石頭的數量是否也會影響漩渦形成呢？水流慢的區域是否比水流快的區域還要安全呢？

二、水流速度影響漩渦形成

實驗二：水箱傾斜角度呈現4、8、12度使水流速度不同所形成的漩渦數與位置

水箱角度	4度	8度	12度
水流100cm的速度(秒) 第一次	2.26	1.82	1.16
第二次	1.96	1.6	1.06
第三次	2.3	1.56	0.8
平均	2.17	1.66	1.01
換算每秒公尺數	0.46	0.60	0.99

漩渦數量(個)	14	11	9
石頭群外側漩渦數量(個)	8	7	7
石頭群內側與縫隙間漩渦數(個)	6	4	2



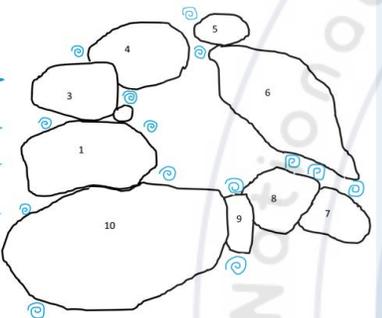
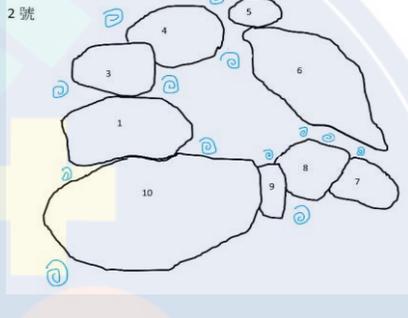
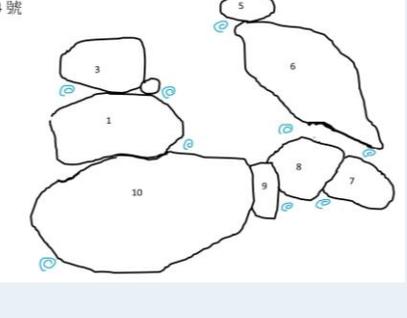
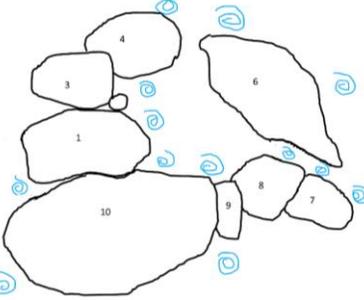
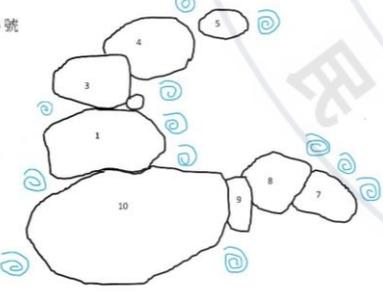
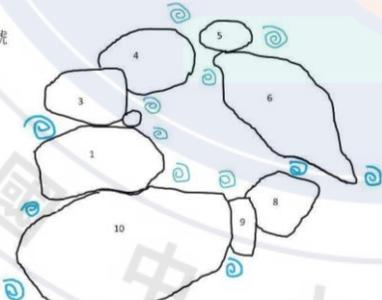
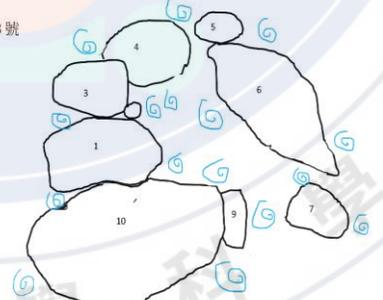
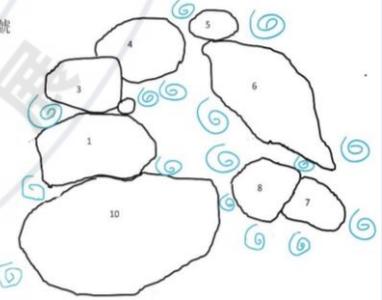
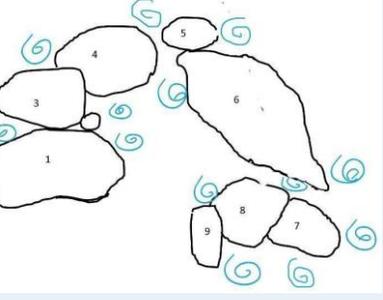
發現、結果與討論：

1. 根據文獻探討我們了解到水流遇到障礙物時會改變主流的方向，也可能會出現漩渦，我們觀察到**水流速度也會影響漩渦形成**。
2. 水箱角度越小，流速越慢，水箱角度4度觀察到的漩渦數量最多共有14個。
3. 將角度4度的漩渦位置比較角度8度和12度時，擋住水流的1、3、10號石頭前方，漩渦數量有4個，角度8度和12度則只出現1或2個。

4. **角度12度的石頭群內側**只有出現兩個漩渦，**石頭群中心**出現一個翻滾式的大漩渦。
5. 角度4度和角度8度兩者皆有在石頭前方與下游處都觀測到漩渦，依文獻的說法，在石頭前方會產生微笑流，石頭下游處發現漩渦，推測是與迴流區有關。
6. 實驗中觀察到水流速度最慢的漩渦數量最多，而水流快的時候，會形成大的翻滾漩渦看起來也相當危險，所以在溪邊玩耍時千萬不要以為水流速不快就比較安全。
7. 溪流中有**石頭**的附近容易形成漩渦，依據**實驗結果**是到溪邊玩水都有潛在危險的。
8. 接著我們想問：石頭附近會有漩渦，若是石頭群數量有所改變會影響漩渦形成嗎？

三、石頭數量的位置與漩渦的關係

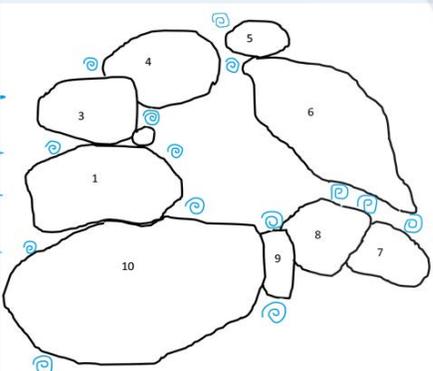
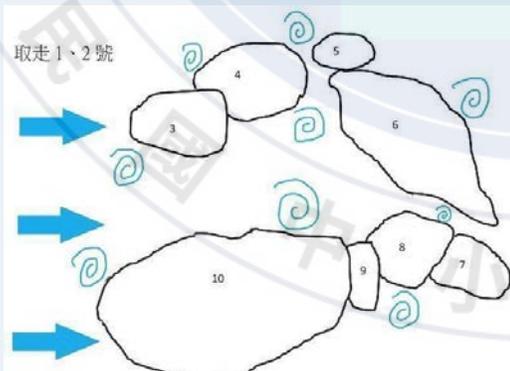
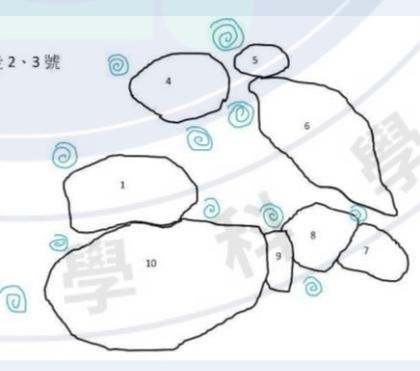
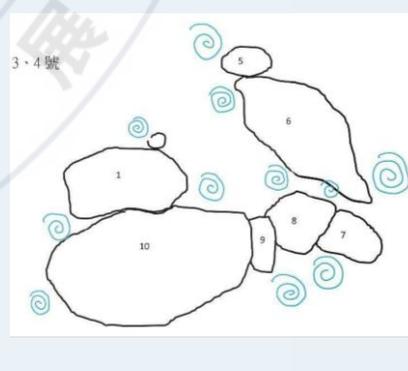
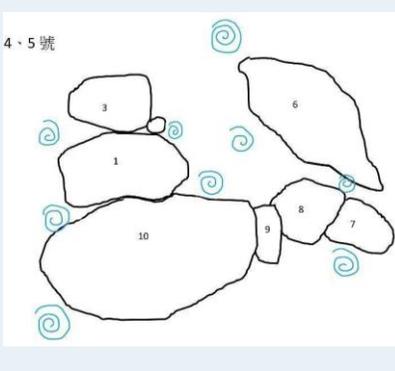
實驗三：依序取走一顆石頭所形成的漩渦數與位置

取走石頭的編號	原始圖(石頭完整)	1號	2號	3號	4號
漩渦數量(個)	14	11	13	10	9
漩渦出現位置					
5號	6號	7號	8號	9號	10號
13	12	13	16	16	13
					

發現、結果與討論：

1. 取走1號石頭比完整時漩渦少且減少的位置是石頭周邊的3個，可見石頭缺少會影響漩渦的形成；另外石頭群中間形成一個大漩渦，推測因為1號石頭是直接阻擋水流的大石頭，少了它水直接衝入石頭群中狹小空間，產生的大漩渦。
2. 最有趣的是，取走8、9號石頭形成的漩渦數比原本石頭完整時多了2個，看起來數量上差異不大，但是漩渦出現在被取走石頭的縫隙中，推測因為10號石頭較大，產生較多不同方向水流，取走8、9號石頭使得縫隙增加，水流方向改變，因此漩渦數增加。取走7號石頭卻沒有此現象，可能是因為水流到7號石頭前經過兩層阻擋，水流速度已經變小，較難產生漩渦。
3. 取走10號石頭，出現在7、8、9號石頭間的漩渦增加了，推測10號石頭在上游阻擋了7、8、9號石頭的水流，取走後水流直接衝擊7、8、9號石頭造成漩渦增加，在實驗五中將進行探討若只保留7、8、9號石頭的漩渦數變化。

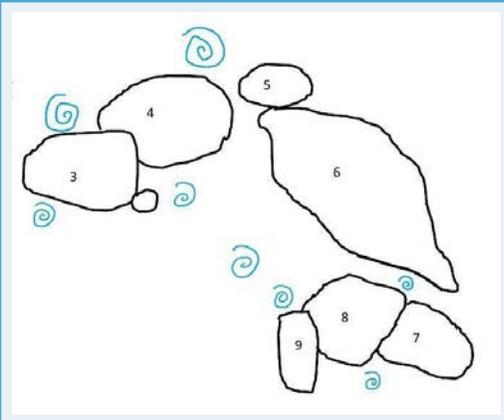
實驗四：依序取走兩顆石頭所形成的漩渦數與位置

取走石頭的編號	原始圖(石頭完整)	1、2號	2、3號	3、4號	4、5號
漩渦數量(個)	14	9	11	11	9
漩渦出現位置					

5、6號	6、7號	7、8號	8、9號	9、10號
8	11	10	10	9

10、1號

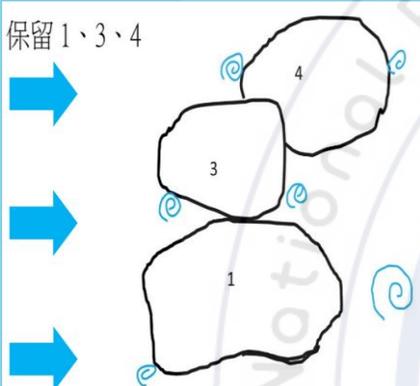
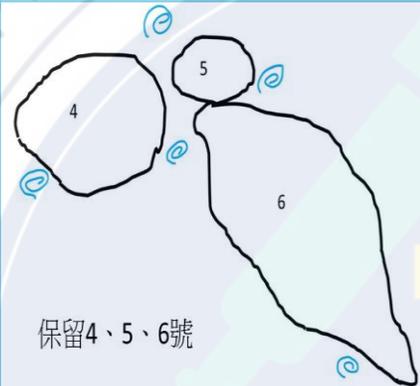
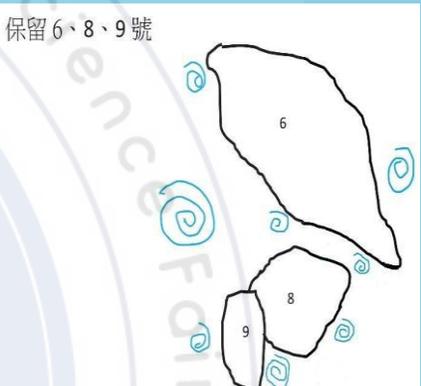
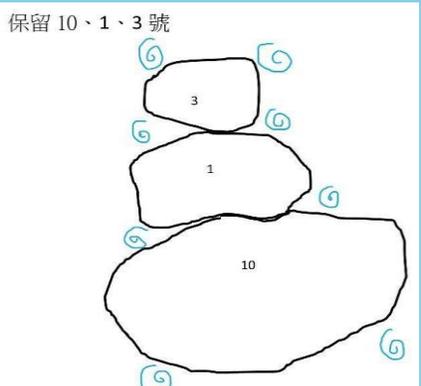
8



發現、結果與討論：

1. 每次取走的石頭數為2顆，形成的漩渦數量普遍比只取走一顆石頭的少，減少的漩渦位置是在被取走的石頭周邊，推測漩渦數減少的原因是障礙物減少，水流方向減少改變。
2. 取走1、2號石頭，水流直接進入石頭群中，有形成兩個較大的漩渦，推測是因為有皺眉流產生，所以能觀察到較大的漩渦，與實驗三的結果一致。
3. 取走7、8號石頭後水流可以從此處流出的縫隙變大了，漩渦數量卻變少且缺少的漩渦位置就在被取走的石頭旁，思考與實驗一結果的差別，可能在於實驗一中石頭數是不變的，**石頭間縫隙變大是水流可以通過的地方多了而使水流改變方向造成漩渦增加。**
4. 取走9、10和10、1號號石頭漩渦變少很多，尤其10號石頭體積最大，又是水流主要衝擊的地方，還影響位在下游方向的7號8號石頭旁的漩渦也變少了，因此推測**石頭越大對漩渦形成的影響越大。**

實驗五：保留特定的三顆石頭，是否影響漩渦形成

保留石頭的編號	1、3、4號	4、5、6號	7、8、9號	6、8、9號	10、1、3號
漩渦數量(個)	6	5	7	8	8
漩渦出現位置	保留1、3、4 	保留4、5、6號 	保留7、8、9號 	保留6、8、9號 	保留10、1、3號 

發現、結果與討論：

- 保留1、3、4號、保留4、5、6號和保留10、1、3號三組皆沒有改變水流方向，因此漩渦數和位置與原始圖差異不大。
- 保留4、5、6號石頭時，5號和6號石頭之間出現一個新的漩渦，推測是因為上游障礙物消失，流經的水流量增加，使5號石頭和6號石頭旁的水流速度加快，產生迴流區。
- 保留7、8、9號石頭的周圍漩渦數比原始圖還多，推測原本在上游處的石頭移走後，流量增加，在9號石頭上游處形成微笑流，而在7、8、9號石頭旁形成漩渦流，因此漩渦數比原始圖多。這與實驗三結論中的推論相符。
- 保留6、8、9號石頭時，8號石頭下游的漩渦位置與原始圖不同，推測是由於下游的7號石頭消失，迴流區改變，而造成漩渦位置改變。
- 保留6、8、9號石頭中，6、9號中間出現一個較大的漩渦，推測6、9號石頭的排列方式成V字，形成皺眉流，產生較大的漩渦。因此，推論石頭排列方式接近V字或從上游往下呈現袋狀排列，形成的漩渦會較大，危險性更高。
- 推測由於急流的形成不同，所以保留7、8、9號石頭和保留6、8、9號石頭中的9號石頭周圍的漩渦數和位置有所差異。

實驗六：保留特定的兩顆石頭，是否影響漩渦形成

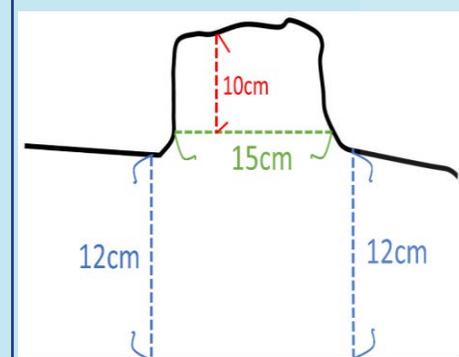
保留石頭的編號	1、3號	6、8號
漩渦數量(個)	5	6
漩渦出現位置	<p>保留1、3</p> 	<p>保留6、8號</p> 

發現、結果與討論：

1. 與實驗五的討論1相同，1、3號石頭是主要被水流衝擊的地方，因此，漩渦數量與出現位置與原始圖差異不大。
2. 少了一個石頭後，保留1、3號石頭和保留6、8號石頭的漩渦數量比實驗五中的漩渦數量少，所以推論**石頭數量減少，漩渦數也會減少**。
3. 在保留6、8號石頭中，原本較大的漩渦消失，推測是因為**9號石頭消失，無法形成皺眉流**，所以原本在6、9號中間的較大漩渦消失。

四、河道凹槽與漩渦的關係

實驗七：依照片模擬三種不同深度的河道凹槽，是否影響漩渦形成

河道凹槽深度	設計圖	實作
10公分		

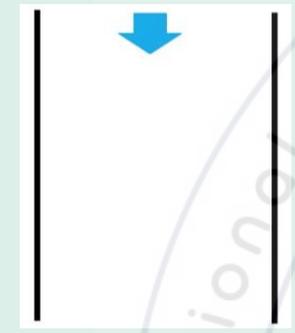
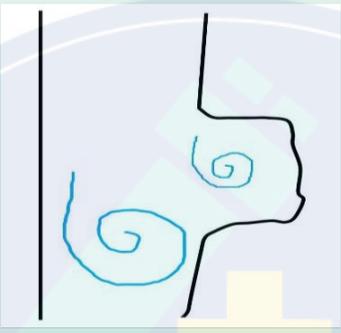


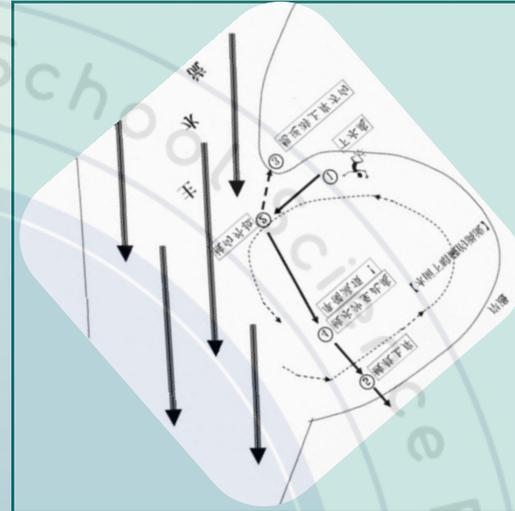
凹槽深度5公分



凹槽深度10公分



河道凹槽深度	0公分	5公分	10公分
漩渦數量(個)	0	1	2
漩渦出現位置			



將游牧笛的「新北市大豹溪之河道地形與進憩環境分析」文獻中「河灣溺水過程示意簡圖」旋轉成與實驗水流方向和凹槽位置相同時，凹槽內的漩渦為逆時針。

發現、結果與討論：

1. 從文獻探討中可以得知水流被迫繞著岸邊轉彎處、凹陷區域或障礙物時，會形成漩渦，因此岸邊的靜水區也可能會有漩渦，將人帶到主流道。因此，不論在河道凹槽深度5公分或10公分的實驗裡都能觀測到漩渦的出現。
2. 河道凹槽深度0公分沒有漩渦，推測是因為沒有改變水流方向的要素，因此沒有產生漩渦。
3. 河道凹槽深度5公分的漩渦較大且明顯，推測是因為凹槽較淺，水流能沿著河道流進凹槽內旋轉，形成大漩渦，漩渦旋轉速度比凹槽10公分還要快。
4. 河道凹槽深度10公分太深，水流的影響較低，因此凹槽內測的漩渦旋轉速度比5公分凹槽慢。
5. 兩者大漩渦方向不同，推測依白努力定律，水流會衝進凹槽5公分處，水流速度變快，使河道水往凹槽補充，所以漩渦旋轉方向為順時針；而河道凹槽10公分，河道水只有少量進入凹槽，故河道流速較快，讓凹槽內的水往河道補，故旋轉方向為逆時針，與文獻中游牧笛的「河灣溺水過程示意簡圖」漩渦旋轉方向相同。
6. 水流緩慢時看不清楚大漩渦，因此在河邊嬉戲時，不要以為在河道旁邊凹槽玩水較安全，凹槽內也會出現漩渦。

肆、結論

一、研究目的一：石頭的鬆散或密集與漩渦的關係

根據實驗一的結果，**石頭縫隙越寬，越容易形成漩渦。**

二、研究目的二：水流速度影響漩渦形成

根據實驗二的結果，**緩速的水流，漩渦數量最多；快速的水流，漩渦較大且明顯。**

三、研究目的三：石頭數量的位置與漩渦的關係

1. 根據實驗三到實驗六結果，發現**石頭數量減少，漩渦數量也減少，漩渦出現在擋住水流的石頭前方、石頭間的夾縫中及繞過石頭後水流匯集處。**
2. 依照實驗三、四、五的結果，當**取走上游阻擋水流的石頭，石頭排列方式從上游往下呈現袋狀排列，水直接衝入石頭群中間會形成較大的漩渦。**
3. 實驗四和實驗一比較後發現，**石頭間縫隙變大之外，還要使水流方向改變漩渦數才會增加。**
4. 依照實驗四的結果推測**石頭越大對漩渦形成的影響越大。**
5. 依實驗五、六保留特定的石頭的結果，當位於下游石頭消失後，鄰近石頭下游的漩渦會減少，其下游的漩渦位置也會產生偏移。

四、研究目的四：河道凹槽與漩渦的關係

依實驗七的結果，**河道單側有凹槽時，凹槽深度不同，會產生不同方向與位置的漩渦。**

五、未來研究與延伸及生活連結

1. 未來可研究其他石頭排列方式與量化石頭間縫隙的寬度後，漩渦數量與位置的變化，並用流速計偵測溪流水流速與實驗水流速，讓研究更精準。
2. 未來能探討河道凹槽深度的範圍和漩渦的關係，哪些深度開始就會有漩渦出現。
3. 在「學生水域安全宣導」及自然課程裡可以增加本研究之結論：**溪流中石頭的附近容易形成漩渦，所以到溪邊玩水都有潛在危機；河道凹槽內與凹槽的下游處內會出現漩渦，故戲水時，若有發現河道有凹槽，要注意漩渦出現。**
4. **本研究將回饋給三峽消防隊，隊員表示將進一步探討並希望可以發布在消防月刊中。**

伍、參考文獻

- 一. 吳禹潼、張文瀚、游馥瑤(2013)。漩渦對橋墩侵蝕與堆積現象之探討。國立宜蘭高中。第12屆旺宏科學獎。
- 二. 平震傑、左伊心、蔡宗育、黃家偉(2007)。水中殺手-漩渦。國立高雄師範大學附屬高級中學。第四十七屆中小學科學展覽會。
- 三. 洪毅芸、葉心淳(2013)。漩渦X-RAY——透視溪流裡石頭附近的漩渦。私立普台高中。全國高級中學小論文寫作。
- 四. 平震傑、左伊心(2008)。神祕的拉扯——漩渦與漩渦現象的探討。國立高雄師範大學附屬高級中學。第四十八屆中小學科學展覽會。
- 五. 王國川(2004)。探討台北縣溪域發生溺水之危險因素。衛生教育學報，21：123-146。
- 六. 游牧笛(2014)。新北市大豹溪之河道地形與進憩環境分析。國立臺灣師範大學地理學系碩士論文。
- 七. 謝伯彥(2013)。激流訓練的美妙。內政部消防署消防月刊，3:66-68。
- 八. 金大衛、彭生富(2018年2月18日)。5-3急流水域的分析(改)。YOUTUBE。
[HTTPS://WWW.YOUTUBE.COM/WATCH?V=HGnBabQwzJE](https://www.youtube.com/watch?v=HGnBabQwzJE)