

# 中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國中組 生物科

佳作

030302

力爭上游-虹吸式管狀魚道規劃及試驗研究

學校名稱：宜蘭縣立國華國民中學

作者：  國二 賴禹彤  國二 林嘉亮	指導老師：  覺一容  邱旻昇
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞：管狀魚道、生態工程、虹吸現象

## 摘要

目前臺灣未有成功使用虹吸式管狀魚道。本研究為了設計出可虹吸現象和適合台灣魚類的魚道，同時改良傳統水泥魚道建設和維護困難、難以適用多樣魚類、枯水期功能中斷等問題，進行一系列相關試驗。我們採用塑膠管及大小頭減速器，嘗試組裝虹吸式管狀魚道，用水球測量流速，過程中多次因氣泡而導致水流中斷，後來使用氣球、防水膠布解決了氣密問題，做出可成功形成虹吸現象的管狀魚道。後續於人工水域測試魚類使用情形，雖魚未上溯成功，但流速符合魚種需求。野地實測發現，魚雖未使用魚道，但魚道仍可正常運作，推測魚未使用，可能因當地成體魚數量不多、不合魚上溯的季節等因素。目前仍有一些問題尚未克服，但本實驗為台灣魚道發展建立新的里程碑。

## 壹、研究動機

在初期構思研究主題的時候，我們回想過去飼養魚的經驗，多是寵物店購買的鬥魚及金魚等，這也讓我們對台灣原生性的淡水魚類感到好奇，想知道它們野外的生長環境，以及是否能在人工的水族箱生活。查詢資料發現，台灣大部分河川屬於荒溪型河川，許多河川都有攔沙壩，攔沙壩的興建對水土保持固然有所助益，但未考慮對水域的整體影響。攔沙壩上下游的水理特性與物理環境丕變，就意味水生生物的分佈能力特性受限制、棲息地變化與族群連續性零碎化，防砂壩的阻隔造成防砂壩上游與下游鮭魚族群無法交流，降低基因歧異度。所以需要魚道來幫助魚類上游，然而台灣環境因素，豪雨容易爆發山洪，造成魚道堵塞和構造受損，另外枯水期也始魚道水位過低沒有溢流，無法使魚道完全發揮功效。2012 年西日本工業大學發表了一種利用虹吸現象來運作的管狀魚道，這種魚道可以解決枯水期水位過低沒有溢流的問題，不但材料取得方便，價格也便宜，而且安裝方便。但是目前台灣管狀魚道的研究及成功案例並不多，所以我們想藉由此研究了解改變管狀魚道的條件，對減緩流速的效果和魚類上游的效果由何影響，使用虹吸式管狀魚道來改善河壩對溪流生態的影響。

## 貳、研究目的

### 【研究一、虹吸式管狀魚道設計】

- 實驗1 調查當地的魚種及基本資料
- 實驗2 嘗試虹吸式管狀魚道的測試及組裝
- 實驗3 改良魚道氣泡堆積問題
- 實驗4 改變彎頭角度對魚道運作的影響
- 實驗5 減速器的口徑大小對流速的影響
- 實驗6 一定長度內的串接減速器數量對流速的影響

### 【研究二、水箱實測-實驗室管狀魚道的生物使用情形】

- 實驗7 人工水域中魚道的利用情形分析

### 【研究三、野地實測-水圳樣區管狀魚道的生物使用情形】

- 實驗8 水圳樣區中魚道的利用情形分析
- 實驗9 魚道分段水流流速分析

## 參、研究設備及器材

### 一、設備器材

表 3-1、各式實驗器材

			
塑膠管	減速器	彎頭	
1.規格 1+1/2"(小) (管外徑 4.8cm 內徑 4.0cm) 2. 規格 2"(大) (管外徑 6.0cm 內徑 5.2cm )	1. 大頭 1+1/2" 小頭 1"、3/4"、1/2" 2. 大頭 1" 小頭 3/4"、1/2"	90 度、45 度、斜梯 45 度	
			
游標尺	裁剪工具	膠帶	水管修補膠布
			
蝦籠	水線	水桶	水球
			
計時工具	口罩(透氣不透水層)	園藝剪刀	水管

## 肆、研究過程與方法

### 一、研究架構





## 二、 研究原理

### (一)生態保育工程-魚道

台灣河川由於國土保安需求興利諸多河川整治工程，建設許多橫向構造物，如攔河堰、防砂壩、水庫等，部分工程建設物對溪流環境生態帶來許多負面影響，其壩體造成水位落差，妨礙水生生物魚蝦蟹類的移動遷徙，進而導致洄游生物阻隔、生物族群縮小與區隔化、棲息地單調化，甚至衍生單向基因流動與基因庫零碎化等遺傳多樣性問題。

隨著生態思維的蓬勃發展，水土保持相關治理工程已從安全為考量之傳統思維，逐漸轉變為以環境安全與生態保育兼顧之治理模式。

魚道或稱魚梯，係以人為方式建置提供洄游魚類之通道，以克服河溪中的一些阻礙，使魚類能順利溯河洄游或降河洄游，以完成生活上之各種需求，包含產卵、覓食、越冬、躲避災害、尋找合適棲地等。魚道形式多元，台灣常見的有階梯式魚道、水路式魚道(魚骨形魚道)、全斷面近自然型魚梯等，透過不同的工法，達到降低流速的效果。



尖石鄉玉峰攔砂壩

圖片來源：<https://bit.ly/3ckUftm>



階梯式魚道(烏來鄉加九寮溪上的魚梯)

圖片來源：<https://bit.ly/2PoTtm3>



水路式魚道(魚骨形魚道)

圖片來源：<https://bit.ly/3ck75aZ>



全斷面近自然型魚梯

圖片來源：<https://bit.ly/3d3PtPY>

清華大學曾晴賢教授曾指出目前許多台灣魚道發展上的問題：

1.魚道設計的適用對象不當：諸多魚道未考量到該河段的不同物種及體型的差異，未能符合真正生態需求。

2.缺乏不同魚類使用之考量：大部分魚道都是單一規格，僅適用於跳躍性或游泳力強的魚種使用，對於攀爬性或黏貼性生物不易使用。

3.工程設計問題：魚道配置未能和主體工程配合，有些魚道盡設計在主壩，副壩並無魚道設計。或是當堰堤結構毀壞，魚道一併被摧毀。魚道的擺設位置和主水流方向不同，忽略當地水文特性或是受壩體形狀影響，水流方向不同而造成魚道缺水。

4.魚道入水堵塞：因流木或是砂石堆積且欠缺管理，造成魚道荒廢，桶後溪、烏石坑溪、楓港溪雙流森林遊樂區。亦有部分魚道進水口較高，須高水位才有水流，大部分皆為乾枯。

5.魚道管理欠缺：許多魚道缺乏水量調節措施，許多時候皆為缺乏水流情況，無法實現其功能。

## (二)虹吸式管狀魚道

虹吸式管狀魚道是 1866 年美國人發明的，可是它並沒有真正被利用，直到 100 年後，日本人發現虹吸式管狀魚道有不受水位限制、價位低廉、製作和安裝簡單、易於運輸、流量穩定等優點，才開始被利用。傳統魚道常利用水泥大範圍建置，施工不易且耗時耗工，造價不菲。

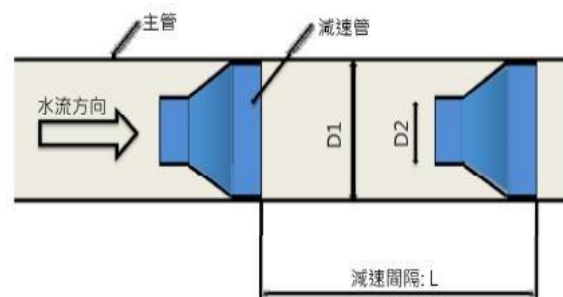
虹吸式管狀魚道，則是一種導管魚道，它是一個  $\Pi$  型水管，末節裡面裝有數個倒漏斗狀的減速裝置，前後有避免氣泡進入管中的彎頭方便魚進入魚道，所有材料皆可於五金百貨行取得。

根據魚類生理學，紅色肌肉的代謝是有氧的，而白色肌肉則確認為厭氧過程，一旦激活了白肌，乳酸的積累就會迅速發生，魚很快就會筋疲力盡，所以利用主水管內口徑較小的減速器，讓水流速度減緩，幫助魚類克服水壩的阻隔，溯至上游的河川。

虹吸式管狀魚道其最大的突破是目前可克服河川無溢流問題的方法，也是目前他種魚道無法達到的效果，對於台灣荒溪型河川於旱季時攔河堰無溢流狀況，他種魚道之功能亦視同中斷，而虹吸式管狀則可能為台灣魚道帶來新的契機。

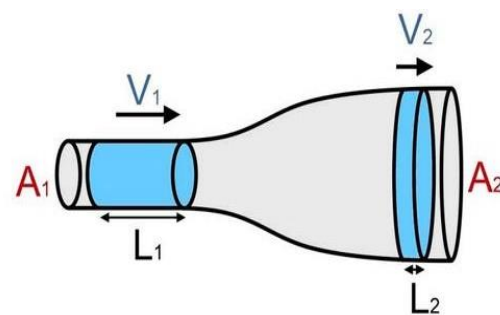
## (三)減速器原理：白努利原理 ( Bernoulli's principle )

根據白努利定律，流體若具有穩定、無黏滯性且不可壓縮的特性時，同一段時間內，上端流入與下端流出的質量應相等，則為截面積為  $A_1$  與截面積為  $A_2$  的流體體積相等。假設流體的密度為  $\rho$ ，則  $\rho A_1 L_1 = \rho A_2 L_2$ ，管徑較大處，流體流速較小；在管徑較小的地方，流速變大。倒漏斗狀的減速器因前窄後寬，讓水流速度得到相對地減速，進而讓洄游生物沿著管狀魚道的內部溯至河川上游。



圖：管狀魚道示意圖

圖片來源：<https://bit.ly/3ozV6cq>



圖：白努利原理(Bernoulli's principle)

圖片來源：<https://bit.ly/2MAAUtm>



## 伍、研究結果與討論

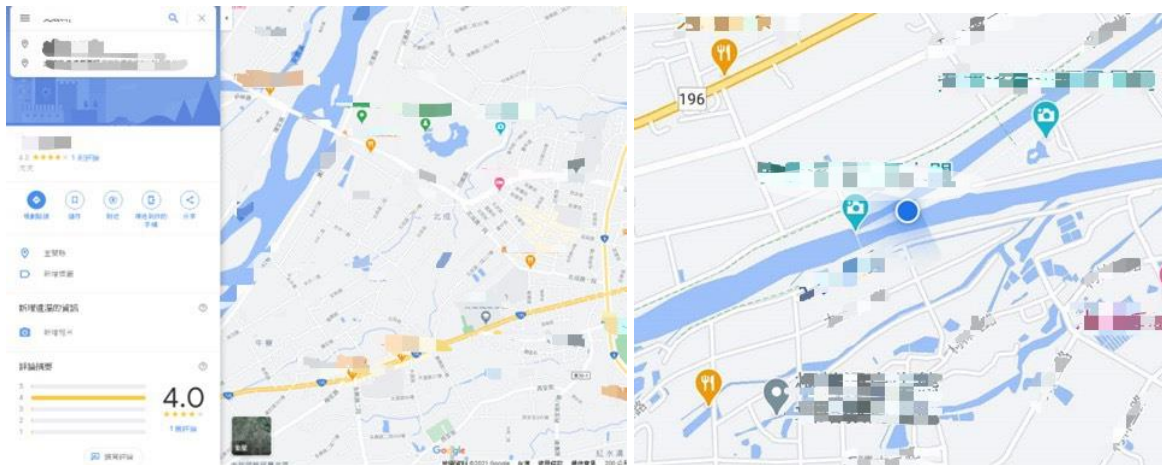
### 【研究一：虹吸式管狀魚道設計】

#### 實驗 1：調查當地的魚種及基本資料

##### 1、實驗方式



觀摩研究團隊



樣點一、二

樣點三

- (1)使用 google map 調查學校附近水圳的分布，並選定樣點
- (2)利用空閒時間實地探查
- (3)用蝦籠進行當地生物相調查
  - i. 在蝦籠中放置餌料(雞骨頭、土司、飯、地瓜)
  - ii. 用繩頭綁住蝦籠的末端，另一頭綁在欄杆上
  - iii. 在蝦籠前端和內部綁幾顆石頭或銅片增加重量
  - iv. 將蝦籠放入水中，並確保蝦籠前端面朝下游



樣點一



樣點二

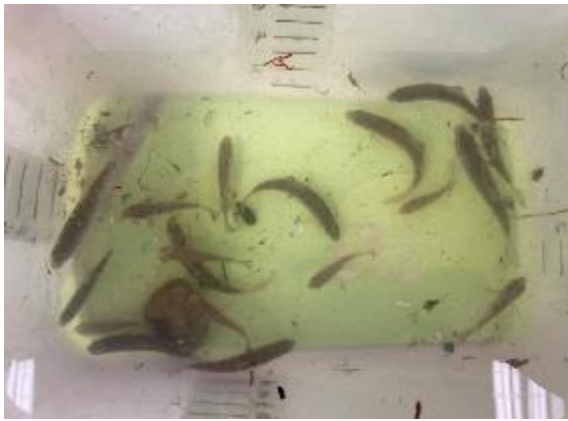


樣點三



採集水中生物





## 2、實驗結果

回校飼養及魚種鑑定

表 5-1、各式實驗器材

	樣點二		樣點一		樣點三	
	餌料	結果	餌料	結果	餌料	結果
第一次	狗飼料	小魚*1 小蝦*1	狗飼料	開口皆被雜草 落葉堵住	油雞骨頭	沼蝦*1
第二次	狗飼料	台灣石鱚*1 小蝦子*1	狗飼料	開口皆被雜草 落葉堵住		
第三次	油雞骨頭 麵包/白飯 炒飯/地瓜	台灣石鱚 *12 吳郭魚*6				
第四次	鹽酥雞骨頭	台灣石鱚*7				
第五次	油雞骨頭 吐司	台灣石鱚*7				
第六次	油雞骨頭 吐司	台灣石鱚 *7 溪哥*5				
第七次	油雞骨頭 吐司	台灣石鱚*3				

### 樣點常見生物介紹

俗名：台灣石鱚

學名：*Acrossocheilus paradoxus*

分類地位：條鰭魚綱/新鰭魚亞綱/鯉型目/鯉科/石鱚屬/台灣石鱚(臺灣光唇魚)

外型特徵：

體延長而略側扁，腹部略圓。頭中大而尖。吻圓鈍而前端稍突出。口略寬。唇稍厚，上唇包住上頷，下唇則與下頷前端分離。

生態習性：

初級淡水魚。喜歡棲息於水流湍急、較高溶氧的溪流及較清澈的深潭底層中。成魚白天較常躲藏於石縫之中，夜間才出來覓食。雜食性，主要攝食石頭上的藻類及水生昆蟲。



圖片來源：台灣魚類資料庫

俗名：吳郭魚

學名：*Oreochromis niloticus*

分類地位：條鰭魚綱/新鰭魚亞綱/鱸型目/隆頭魚亞目/麗魚科/口孵非鯽屬/尼羅口孵非鯽(尼羅非鯽)

外型特徵：體呈橢圓形，側扁；背部輪廓隆起。頭中大。口中大，後端不及眼眶前緣。吻圓鈍，唇厚。

生態習性：廣鹽性魚類，可存活於淡水及海水中，對環境的適應性很強；繁殖能力強，生長快速。雜食性，以浮游生物、藻類、水生植物碎屑等為食。



圖片來源：台灣魚類資料庫

俗名：溪哥/粗首馬口鱮

學名：*Zacco platypus*

分類地位：條鰭魚綱/新鰭魚亞綱/鯉型目/鯉科/馬口鱮屬/粗首馬口鱮

外型特徵：體延長而側扁，腹部圓，無肉稜。頭較大。吻略突。眼中大，上位。口斜裂，上頷骨末端可達眼中部下方，雌魚口裂稍大於雄魚。無鬚。

生態習性：臺灣的特有種，原產於北部、西部的溪流中，但不產於花東地區與恆春半島。初級淡水魚。喜好棲息於河川的中、下游

及溝渠中水流較緩的潭區或淺灘。幼魚為雜食性，以藻類、水生昆蟲及有機碎屑為食；成魚為偏肉食性，以水生昆蟲、小魚及小蝦等為食。在繁殖季節，常可看到雄魚追逐雌魚的求偶行為，雌魚大多在黃昏時後於緩流的淺灘處進行產卵。



圖片來源：台灣魚類資料庫

### 3、分析討論

經過多次實驗採集，我們發現魚類多是吳郭魚、溪哥和台灣石鱮，其中該樣點以石鱮居多，此外，亦有捕捉到其他種類的淡水螺類及蝦類。

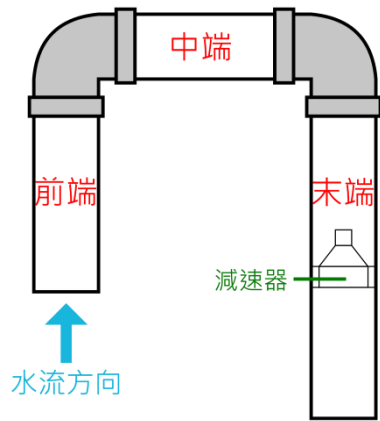
## 實驗 2：嘗試虹吸式管狀魚道的測試及組裝

### 1、實驗方式

(1)到水電行購買材料



(2)魚道設計圖



魚道完成圖

(3)組裝魚道

- i. 裁切管子
- ii. 將無法完全密合的彎頭先用膠帶在管子捆幾圈，再裝上



未使用膠帶(縫隙較大)

使用膠帶(縫隙較小)

(4)測試魚道



先填充水槽

魚道虹吸現象運作測試

(5)觀察魚道水流情況，再進行調整



## 2、實驗結果

魚道可以流一段時間，但是管子內會一直囤積氣泡，當氣泡達一定量時魚道就會停止運作。



水管無法被填滿的狀況

## 3、分析討論

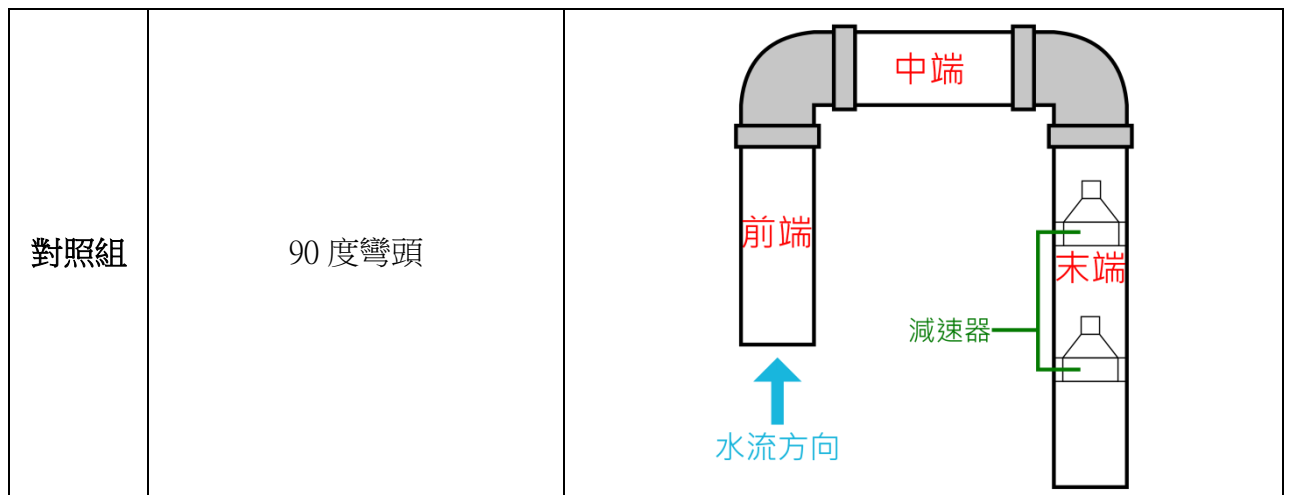
經多次測試，皆因氣泡的影響導致魚道水流停止，因此我們想辦法排除氣泡。我們閱讀前人的研究，發現有研究在前端的彎頭改成梯形彎頭來排除氣泡，所以我們想在下一個實驗嘗試使用不同彎頭是否會對魚道內氣泡有減少功能。

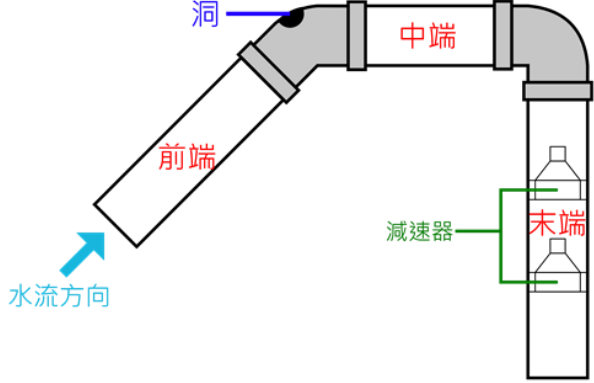
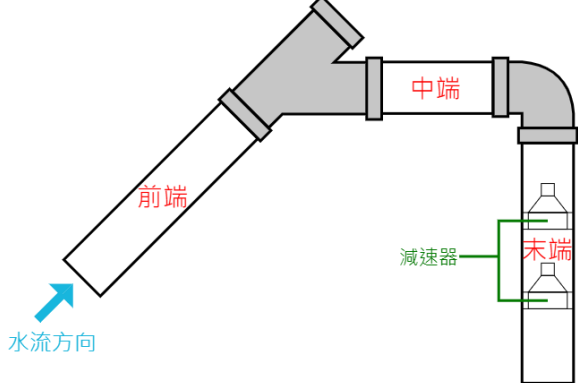
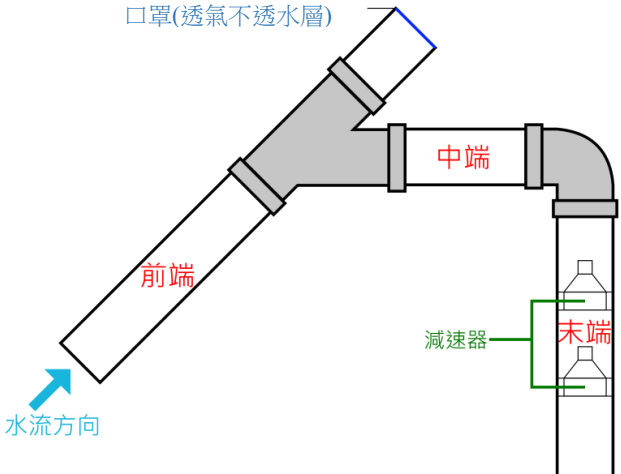
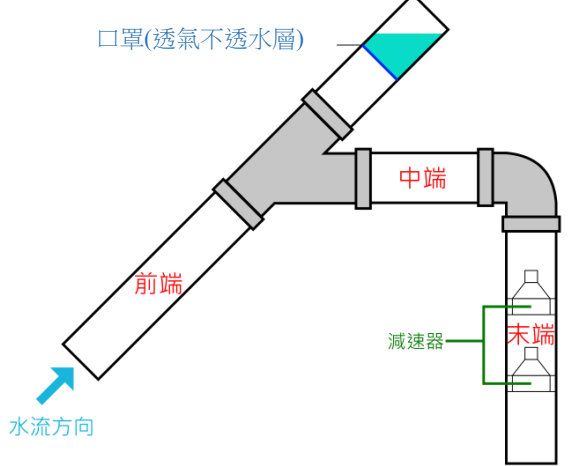
### 實驗 3：改良魚道氣泡堆積問題

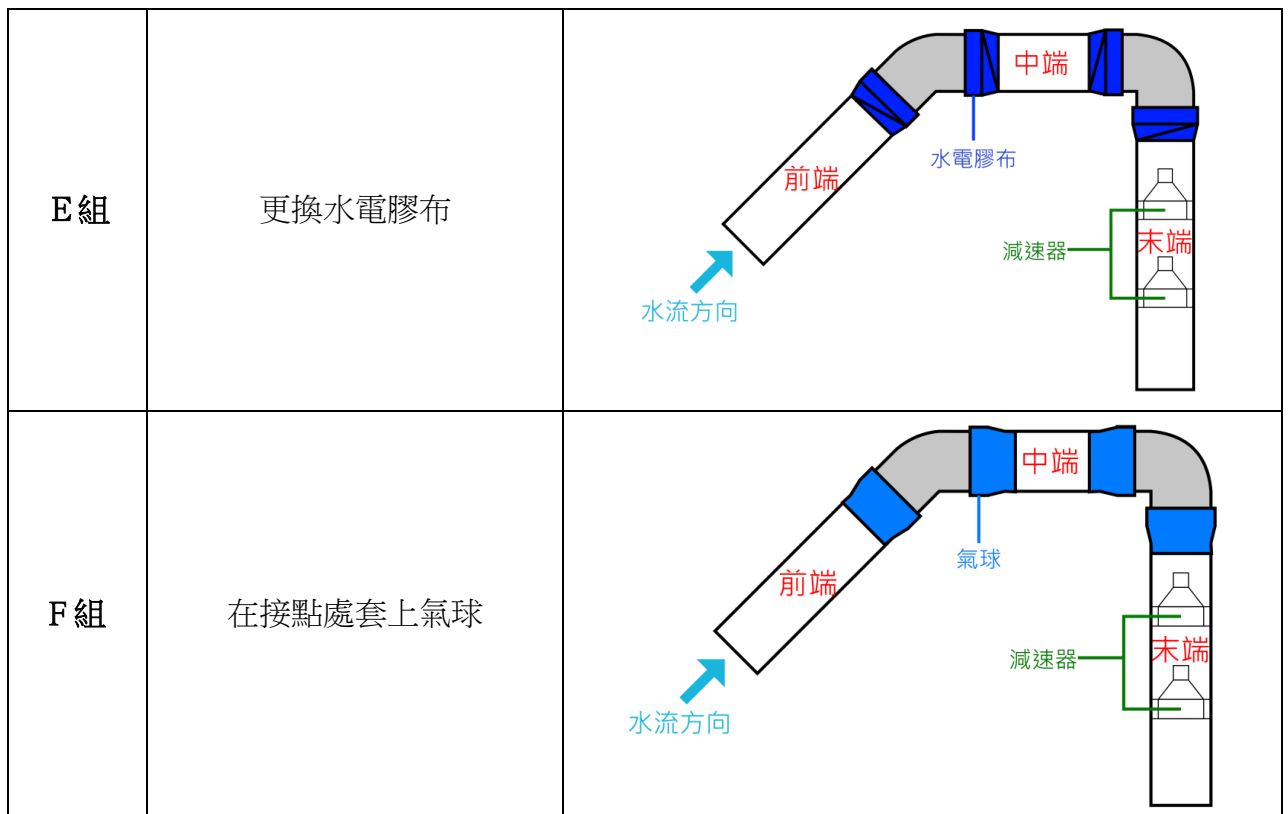
因為在做實驗時發現管內時常出現氣泡(如上圖)，當管內的氣泡達一定量，就會影響管內虹吸現象的運作，使水停止流動，所以我們陸續使用了各種方法來解決此問題，觀察在彎頭處挖洞、使用斜梯 45 度彎頭、在斜梯 45 度彎頭上增加口罩，何者排除氣泡的效果最好。

#### 1、實驗方式

改變不同實驗組的彎頭條件，觀察器泡是否變少，以及水流情形



實驗組	操縱變因	裝置圖
A 組	在彎頭處鑽一個小洞	
B 組	90 度彎頭改成 45 度斜梯	
C 組	在斜梯 45 度彎頭上增加口罩防水層	
D 組	在斜梯 45 度彎頭上增加口罩防水層，口罩上方加一小段管子並裝水	



## 2、實驗結果

表 5-2、不同改良方式的魚道水流測試

實驗組	結果
A 組 (在彎頭處鑽一個小洞)	沒有辦法形成虹吸現象
B 組 (90 度彎頭改成 45 度斜梯)	沒有辦法形成虹吸現象
C 組 (在斜梯 45 度彎頭上增加口罩防水層)	沒有辦法形成虹吸現象
D 組 (在斜梯 45 度彎頭上增加口罩防水層，口罩上方加一小段管子並裝水)	可以流一段時間，透氣不透水層沒有明顯排氣功能，最後氣泡填滿管子中段，虹吸現象停止
E 組 (更換水電膠布)	可以一直流，如果有氣泡也會慢慢被水流沖下去直到填滿
F 組 (在接點處套上氣球)	可以一直流，如果有氣泡也會慢慢被水流沖下去直到填滿



D 組(加上口罩防水層並加一段水管)





E 組(更換水電膠布)

F 組(在接點處套上氣球)

### 3、分析討論

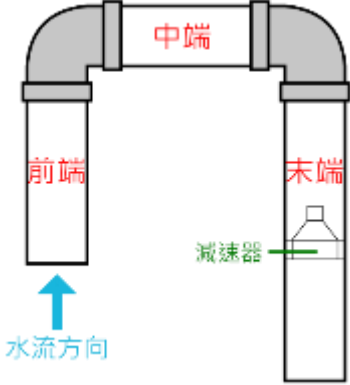
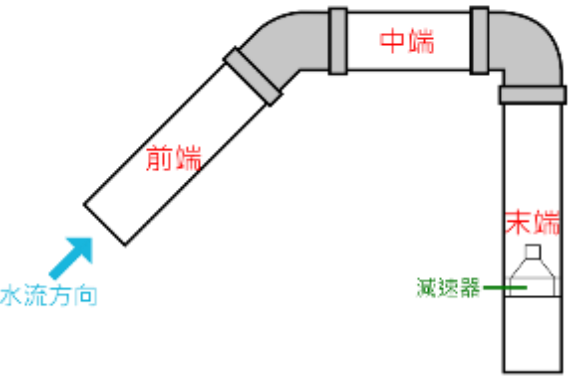
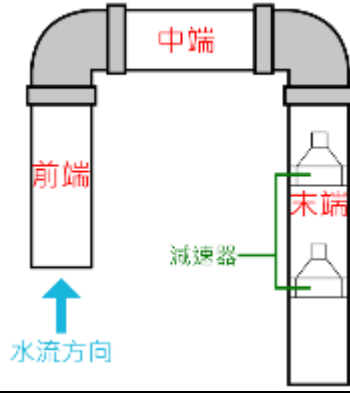
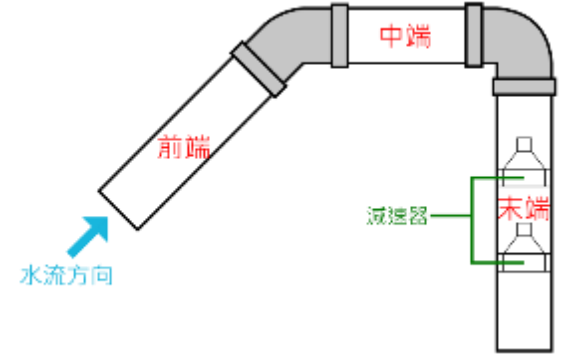
一開始，我們將彎頭處鑽一個小洞，可是魚道因失去密閉空間而使虹吸現象無法持續進行，然後我們將於道彎頭改成了 45 度斜梯，在斜梯上方綁上透氣不透水的口罩，可是還是有相同的問題，最後我們將口罩上方加一小段管子並裝水，使空氣只出不進，但效果有限，直到我們使用水電膠布和氣球後氣泡的問題才有明顯改善。

## 實驗 4：改變彎頭角度對魚道運作的影響

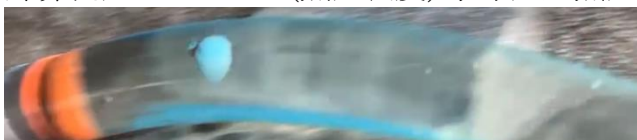
### 1、實驗方式

(1) 組裝前端彎頭角度不同的魚道

實驗組	彎頭角度 減速器個數	裝置圖
A 組	90 度無減速器	
B 組	45 度無減速器	

C 組	90 度有 1 個減速器	
D 組	45 度有 1 個減速器	
E 組	90 度有 2 個減速器	
F 組	45 度有 2 個減速器	

- (2) 用膠帶標示水位控制高度
- (3) 將水槽水裝至膠帶記處，一定水位開始，觀察流動過程中，中間的管子氣泡是否減少，以及水流狀況
- (4) 計算流速： $v = 2.37\text{m}(\text{魚道長度}) / \text{水球進入魚道至水球出魚道的時間}$



左圖為水球在魚道內的移動情形

## 2、實驗結果 (四捨五入到小數第 2 位)

表 5-3、不同彎頭角度的魚道水流測試

實驗組	20 秒時氣泡量	40 秒時氣泡量	60 秒時氣泡量	水流時間	平均流速
A 組	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	1 分 16 秒水流停止	1.36(m/s)
B 組	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	1 分鐘水流停止	1.38(m/s)
C 組	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	超過兩分鐘	1.10(m/s)
D 組	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	超過兩分鐘	0.97(m/s)
E 組	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	超過兩分鐘	0.8(m/s)
F 組	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	沒有明顯氣泡	超過兩分鐘	0.83(m/s)

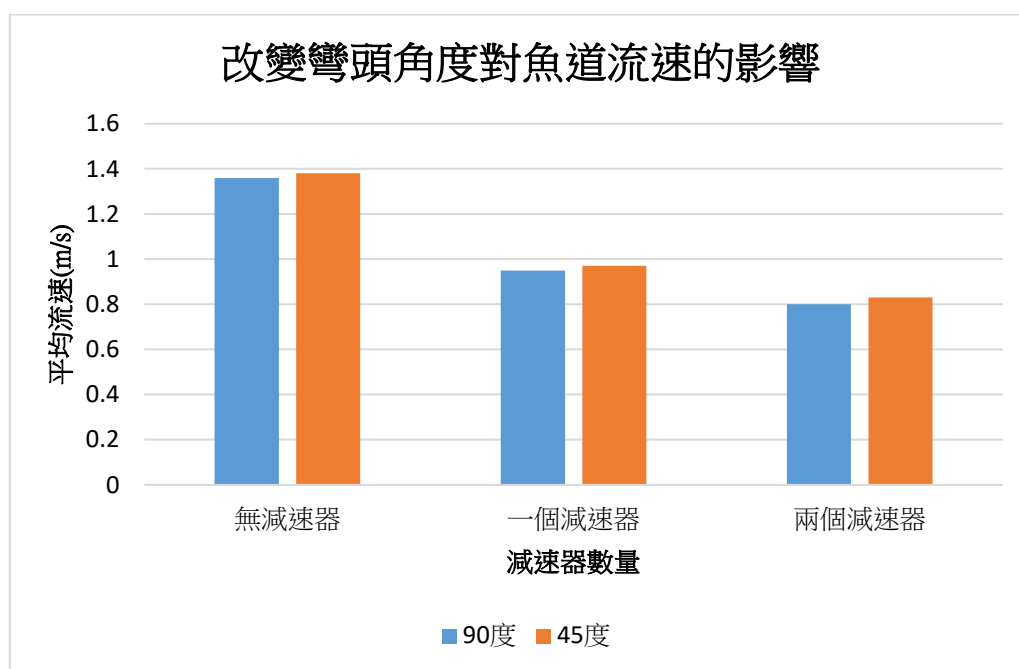


圖 5-3、改變彎頭角度對魚道流速的影響

## 3、分析討論

無論是無減速器、一個減速器、兩個減速器時，同樣使用水電膠布和氣球的情形下，90 度彎頭和 45 度彎頭的魚道皆可以正常運作，流速沒有太大差異。裝一個減速器的後，流速從 1.38m/s 明顯減緩至 1m/s 左右，但裝兩個的時候流速的差異就較不明顯。



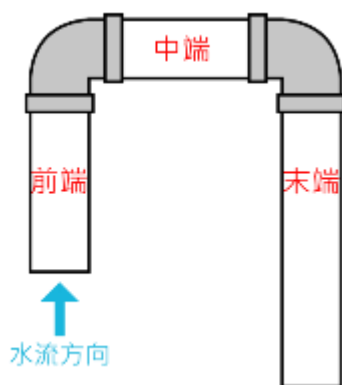
## 實驗 5：減速器的口徑大小對流速的影響

不同環境的魚適合的流速也不同，為了能讓我們製作的魚道適合當地的魚種，我們從能調整流速的減速器下手，觀察減速器中大口徑與小口徑之間的大小比例，對魚道流速的影響

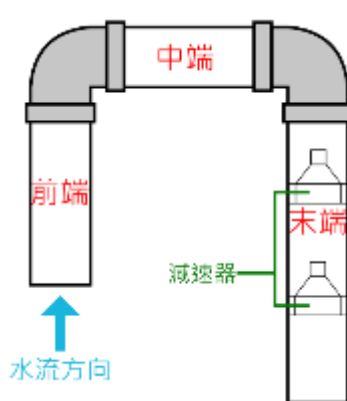
### 1、實驗方式

#### 1. 組裝魚道

(1)未裝減速器



(2)有裝減速器



2. 使魚道運作，待水填滿魚道將水球放入

3. 計算流速： $2.37\text{m}$ (魚道長度)/水球進入魚道至水球出魚道的時間

### 2、實驗結果(四捨五入到小數第 2 位)

表 5-4、減速器不同口徑大小的魚道水流測試

無減速器		大減速器(大頭 1"，小頭 ½")x2		小減速器(大頭 1"，小頭 ¾")x2	
水球通過時間(s)	流速(m/s)	水球通過時間(s)	流速(m/s)	水球通過時間(s)	流速(m/s)
1.62	1.46	3.77	0.62	3.96	0.59
1.87	1.28	3.74	0.63	4.06	0.58
1.71	1.39	3.45	0.68	4.16	0.56
平均 1.73	平均 1.38	平均 3.65	平均 0.64	平均 4.06	平均 0.58

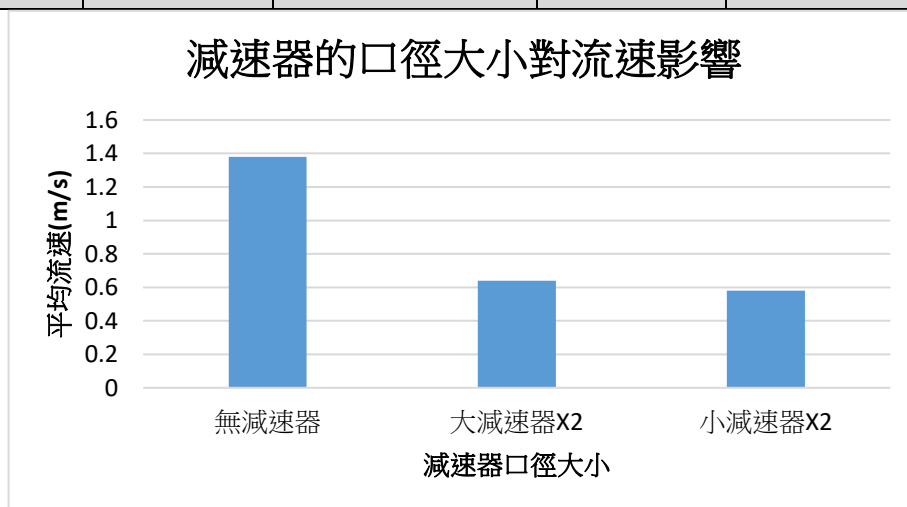


圖 5-4、減速器的口徑大小對魚道流速影響

### 3、分析討論

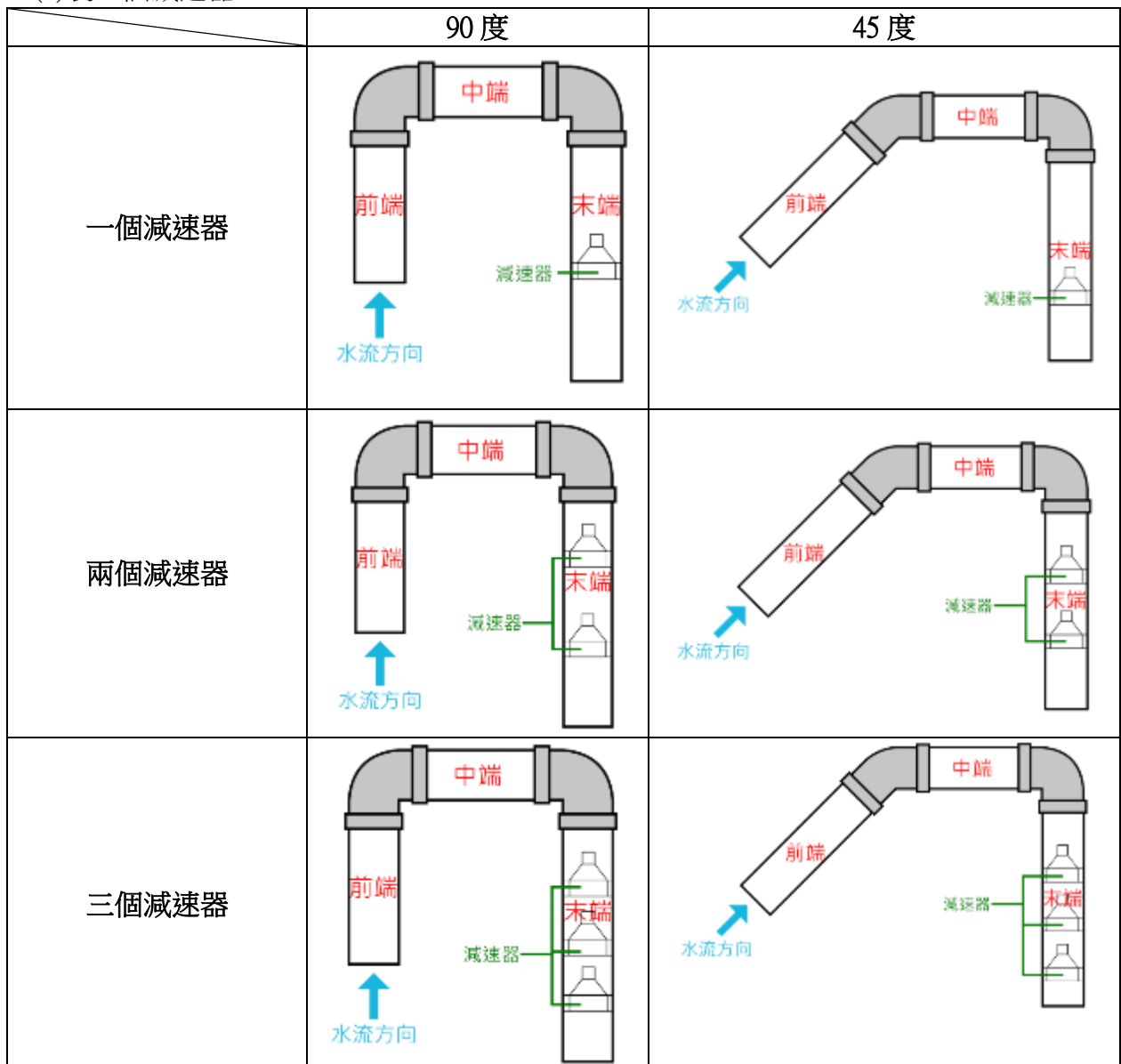
經過測試，兩個大減速器的平均流速為 0.64m/s，兩個小減速器的平均流速為 0.58m/s，相差 0.06m/s，可知小減速器的減速效果較大減速器佳，但差異不大。

### 實驗 6：一定長度內的串接減速器數量對流速的影響

#### 1、實驗方式

1. 組裝魚道，使用大頭 1"，小頭 ½"的減速器

- (1)裝一個減速器
- (2)裝兩個減速器
- (3)裝三個減速器



2. 使魚道運作，待水填滿魚道將水球放入

3. 計算流速： $2.37\text{m}(\text{魚道長度})/\text{水球進入魚道至水球出魚道的時間}$

## 2、實驗結果(四捨五入到小數第 2 位)

表 5-5、串接減速器數量對流速的影響

	一個減速器		兩個減速器		三個減速器	
	水球通過時間(s)	流速(m/s)	水球通過時間(s)	流速(m/s)	水球通過時間(s)	流速(m/s)
90 度	2.07	1.14	2.75	0.86	4.09	0.58
	2.24	1.05	3.13	0.75	3.98	0.6
平均流速	2.15	1.10	2.94	0.8	4.04	0.59
45 度	2.45	0.97	2.72	0.87	3.77	0.62
	2.45	0.97	2.94	0.8	3.94	0.6
平均流速	2.45	0.97	2.83	0.83	3.86	0.61

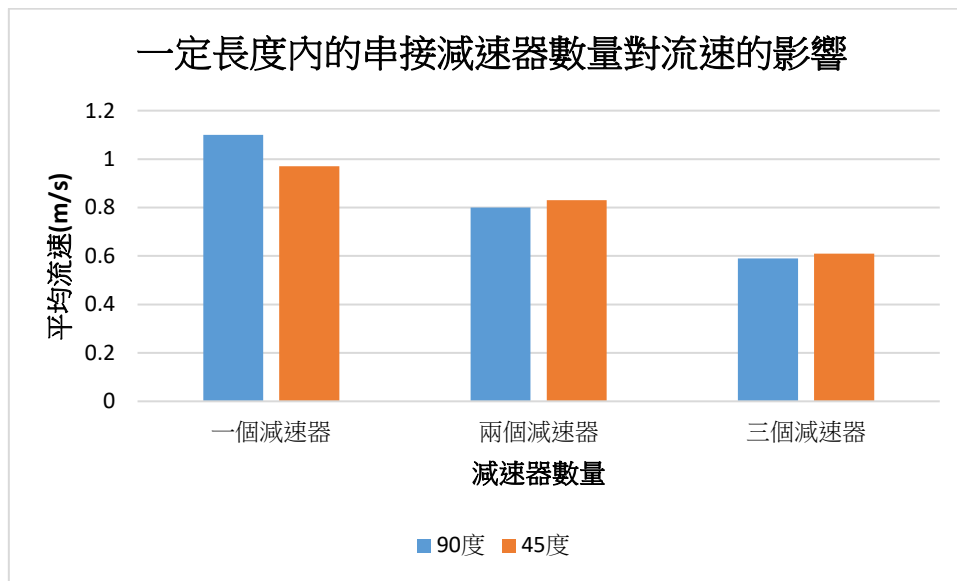


圖 5-5、一定長度內的串接減速器數量對流速的影響

## 3、分析討論

90 度彎頭和 45 度彎頭一個減速器的時候速率在 1m/s 左右，兩個減速器的時候速率下降至 0.8m/s 左右，三個減速器的時候速率下降至 0.6m/s 左右，增加一個減速器流速平均下降 0.2m/s 左右。

### 【研究二：水箱實測-實驗室管狀魚道的生物使用情形】

#### 實驗 7：人工水域中魚道的利用情形分析

##### 1、實驗方式

1. 在垃圾桶鑽洞使水位得到控制(如右圖)
2. 在魚道末端放垃圾桶
3. 在魚道末端裝上 Y 字形水管(出水口)方便魚類游入魚道
4. 使魚道運作(七個減速器)待水填滿魚道將水球放入
5. 計算流速： $2.37\text{m}(\text{魚道長度})/\text{水球進入魚道至水球出魚道的時間}$
6. 將魚放入垃圾桶中
7. 觀察魚是否會使用魚道並記錄把魚放入至於游出時間



用電鑽在垃圾桶上鑽洞



Y 字形水管

魚道種類
兩個大減速器
三個大減速器
四個大減速器
七個大減速器
七個大減速器+兩個小減速器

## 2、實驗結果

表 5-6、人工水域中魚道的利用情形分析

魚道種類	魚使用情形
兩個大減速器(平均流速：0.83m/s)	沒有魚使用，都躲在魚道後側
三個大減速器(平均流速：0.61m/s)	沒有魚使用，都躲在魚道後側
四個大減速器	沒有魚使用，都躲在魚道後側
七個大減速器(平均流速：0.47m/s)	魚會進入 Y 字水管(出水口)，但沒有向上進入魚道
七個大減速器+兩個小減速器 (平均流速：0.42m/s)	魚會進入 Y 字水管(出水口)，但沒有向上進入魚道



圖為實測情形



### 3、分析討論

使用兩個到四個減速器，魚皆未使用，我們推測應是水流過強、流速過快，我們參考前人文獻，得知魚道建議流速為 0.6m/s，為一般魚道適用情形，然而配合本實驗管徑大小，我們使用的魚體型不大，大約在 7 到 10cm 左右，一般巡航游速只有二到四個體長，不適用於目前魚道，所以增加減速器，減緩流速，至其巡航游速。因多次實驗，魚皆沒有向上進入魚道的跡象，因此我們想實際到水圳樣區測試魚道，觀察是否有魚類使用。

## 【研究三：野地實測-水圳樣區管狀魚道的生物使用情形】

### 實驗 8：水圳樣區中魚道的利用情形分析

#### 1、實驗方式

- 1.將魚道填滿水後置入水中
- 2.在魚道前端放置蝦籠，捕捉使用魚道的生物(若魚從魚道末端進入，應會進入蝦籠)
- 3.用水線固定魚道
- 4.隔天觀察蝦籠內有無魚



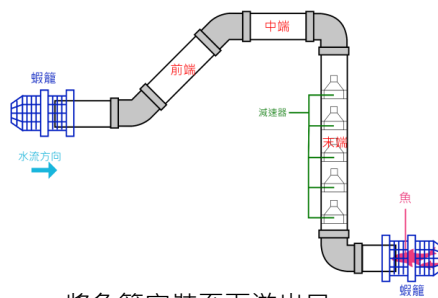
樣點二的魚道設置情形

#### 2、實驗結果

表 5-7、水圳樣區中魚道的利用情形分析

實驗次數	結果	水流情形
第一次(一天後)	蝦籠內沒有東西	虹吸現象正常運作
第二次(五天後)	螺*2	虹吸現象正常運作

因為一直沒有魚我們嘗試了許多方法希望能解決魚隻未入管狀魚道之困難，最後我們試著將魚籠安裝在魚道下游入口，讓魚道成為魚的唯一出口，結果觀察到魚成功上溯的情形，表示虹吸式管狀魚道能幫助魚類上溯。



將魚籠安裝至下游出口



觀察到魚成功上溯的情形

### 3、分析討論

野外實測，虹吸現象能成功運作五天以上，一開始蝦籠內並無魚隻，顯示未有魚使用魚道上溯，因此我們推論出以下幾種可能

- (1) 經過閱讀文獻，我們得知石鱸主要上溯季節為秋天，而我們在春天，不合時節。因此建議延長觀測時間，方能對魚道實際效益有更全面的了解。

表 3-7 九種台灣原生種魚類之突進泳速試驗

試驗魚種	階梯式魚道試驗 (河川環境管理規劃技術手冊, 2010)					潛孔式魚道溯游試驗 (莊明德等, 2004)		環形水槽試驗 (葉明峰等, 2004)	
	突進泳速 (m/s)	較佳適合度 水深區間(m)	較佳水位差 (跳躍高度)	主要上 溯季節	舟通式魚 道較佳坡 度	突進泳速 (m/s)	試驗魚平 均體長(cm)	突進泳速 (m/s)	試驗魚體 範圍(cm)
台灣錢頰魚	1.28	~	30 cm	夏、秋	1/8	2.5	11.4	1.12-2.64	5.1-17.8
台灣石魚鱖	1.16	0.52~0.62	40 cm	秋	1/8	2.5	12	1.16-2.47	5.6-16.1
粗首鱖	0.78	~	40 cm	秋、冬	1/8	2.0	8.3	0.78-1.43	4.4-10.2
台灣馬口魚	1.09	0.52~0.62	~	~	~	2.4	7.9	1.09-1.96	7.7-14.9
台灣櫻口鯪	~	~	40 cm	秋、冬	無限制	2.5	5.8	~	~
台灣間爬岩鯪	2.30	0.62~0.72	50 cm	秋、冬	無限制	>2.6	6.5	~	~
明潭吻鰕虎	~	0.72~0.82	30 cm	秋、冬	無限制	2.4	5.2	1.48-2.02	3.5-5.8
平頰鱖	~	~	~	~	~	~	~	0.74-1.41	4.2-12.6
短吻紅斑吻鰕虎	~	~	~	~	~	2.0	3.8	~	~
鱸鰻	0.40(註1)	~	~	~	~	~	~	~	~

註：1.水流流速超過 0.4 m/s，鱸鰻會改以蛇形狀的擺動方式鑽行於淺水邊。

2.游泳能力與魚類體型有關。

表格來源：水土保持單元叢書 03 - 生物通道

圖片來源：<https://reurl.cc/Kxqa4p>

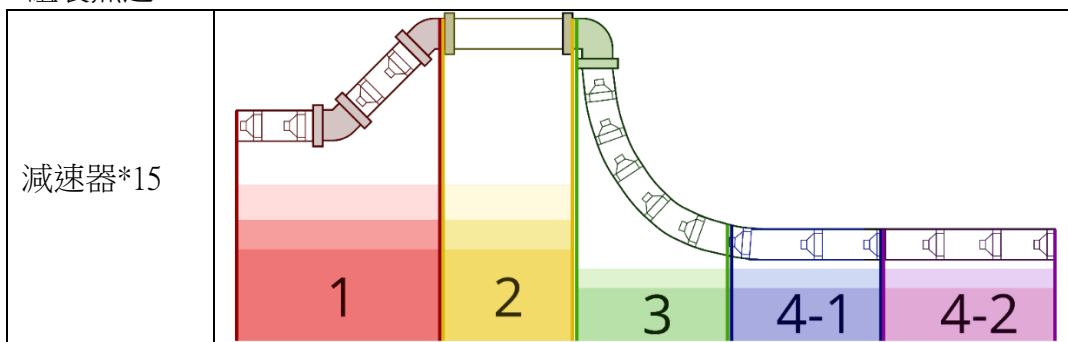
- (2) 當地成體魚數量不多，魚道流速不適合幼體魚上溯。
- (3) 魚不適應魚道，不敢去使用。
- (4) 魚道擺放位置不符合魚類上溯之路徑。

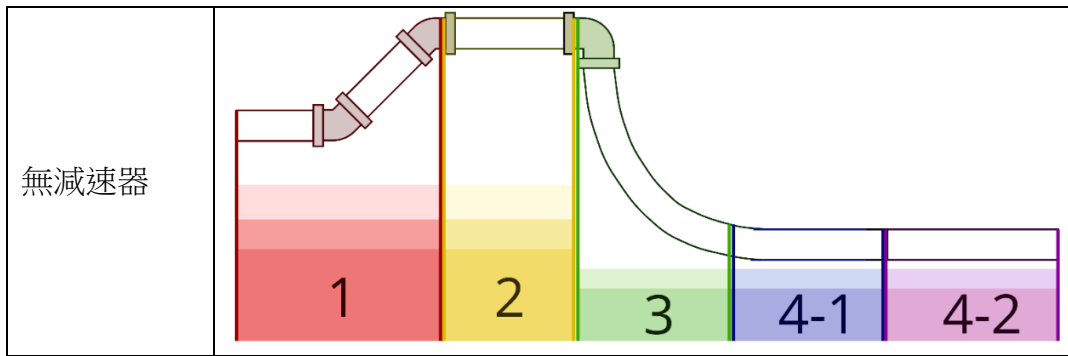
然而，經過我們將魚籠安裝在魚到下游入口後，已觀察到魚成功上溯的情形，表示虹吸式管狀魚道能幫助魚類上溯。

### 實驗 9：魚道分段水流流速分析

#### 1、實驗方式

- (1) 組裝魚道





- (2) 貼上分段標示及校正刻度 2cm
- (3) 測量水位差及魚道長度
- (4) 將水球放入魚道
- (5) 分段錄影水球經過過程
- (6) 將影片利用 Tracker 分析(質點以水球最前端標示)



校正刻度

## 2、實驗結果

- (1) Tracker 分析圖(水位差 18cm)

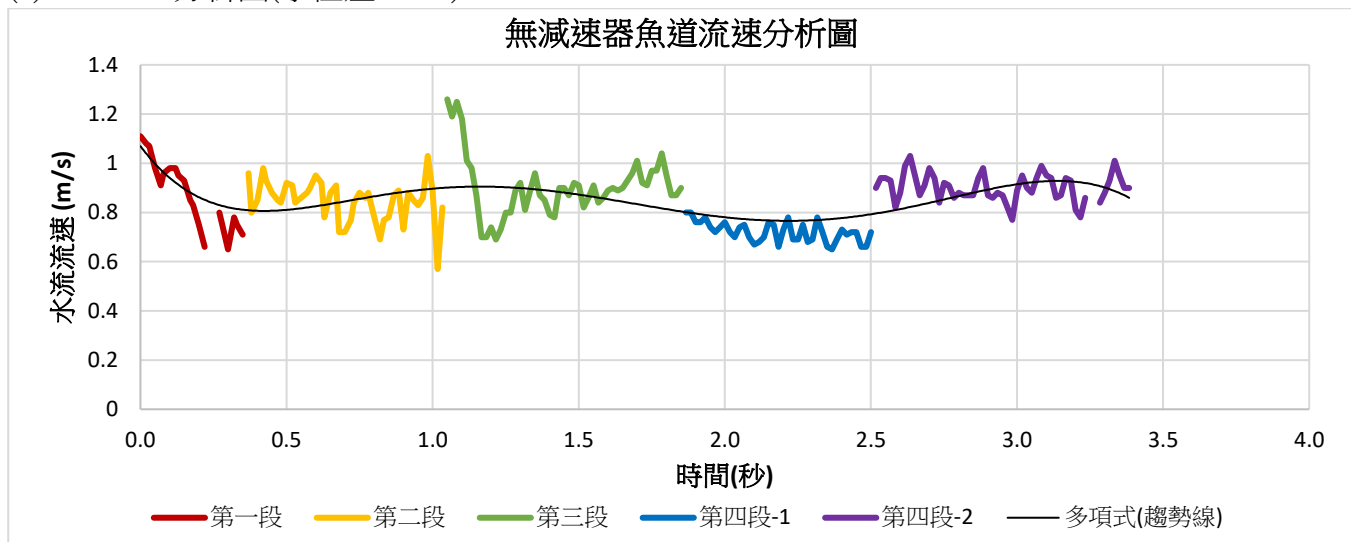


圖 5-6、無減速器魚道流速分析圖

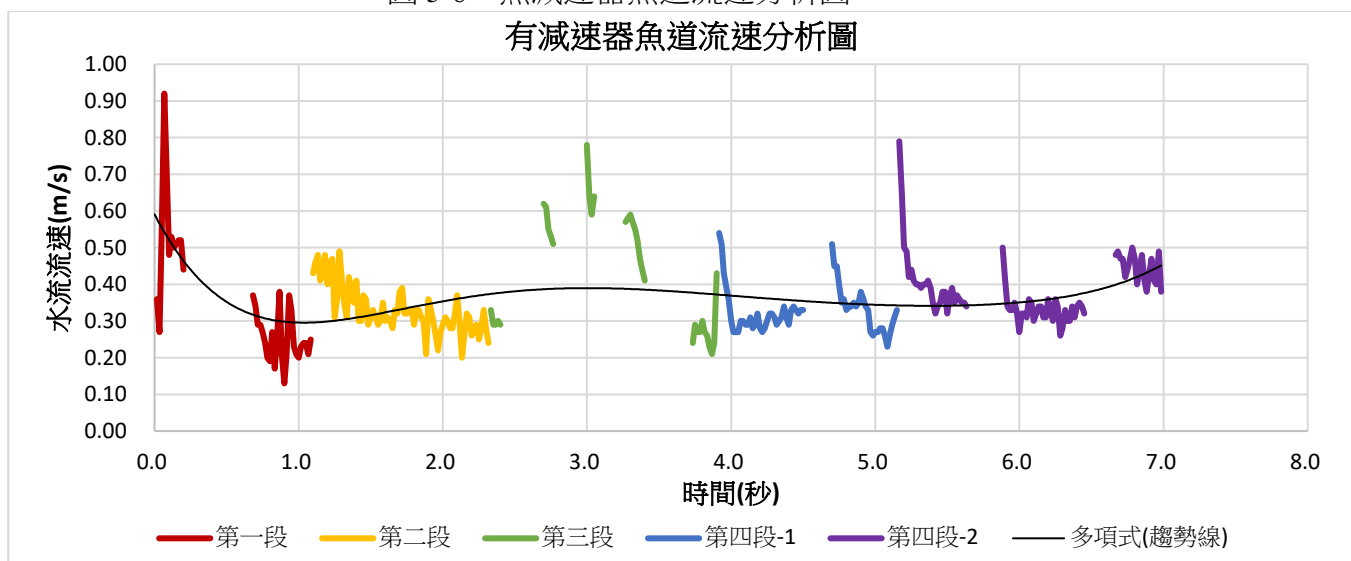


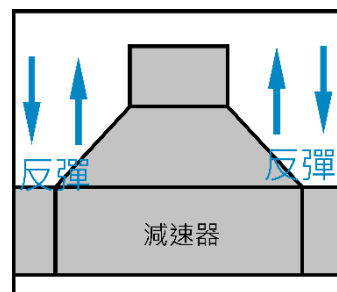
圖 5-7、有減速器魚道流速分析圖

表 5-8、各段平均流速分析

	第 1 段	第 2 段	第 3 段	第 4-1 段	第 4-2 段	整體平均
有減速器	0.37m/s	0.33m/s	0.32m/s	0.33m/s	0.38m/s	0.41m/s
無減速器	0.87m/s	0.85m/s	0.90m/s	0.72m/s	0.90m/s	0.81m/s

### 3、分析討論

- (1) 無減速器時，魚道整體流速約在 0.6m/s~1m/s，而增加減速器可以有效將整體流速減緩至 0.2m/s~0.6m/s，由此結果可知減速器可有效減緩水流。
- (2) 以趨勢線來看有減速器的魚道流速變化比無減速器的平緩些。
- (3) 無論有無減速器，第一段的流速皆有減緩，可能因魚道第一段隨管道上升，流速皆因抵抗重力而減緩，在第三段及第四段的因管道陡降，水流的重力位能轉動能，所以流速上升。
- (4) 有減速器的魚道，從減速器出來的那段流速普遍偏高，推測因為水流衝撞到減速器之邊緣會有反作用力，進而使水流減速。
- (5) 而有無減速器皆有第 4-1 段比第 3 段流速慢的狀況，我們推測可能是因為魚道轉彎，管壁對水流產生阻力，使水流方向改變，流速降低。
- (6) 做完此實驗我們發現，有減速器魚道水流流速最高仍可達到 0.92m/s，魚很可能游不過去，因此，在魚道設計時仍須考量細部流速，而不是整體流速。



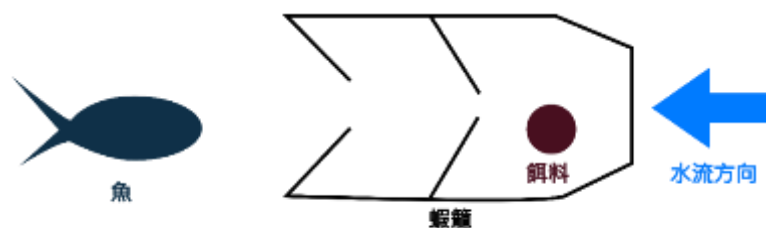
減速器前緩衝水流

## 陸、研究綜合討論

### 【研究一：虹吸式管狀魚道設計】

#### 實驗 1：調查當地的魚種及基本資料

我們一開始放蝦籠是把蝦籠口朝上，認為魚會被水流沖下來，結果不然，魚道被落葉泥土塞住，經網路查詢，得知蝦籠的口要朝下游，因為下游的魚聞到魚道內餌料會上溯。



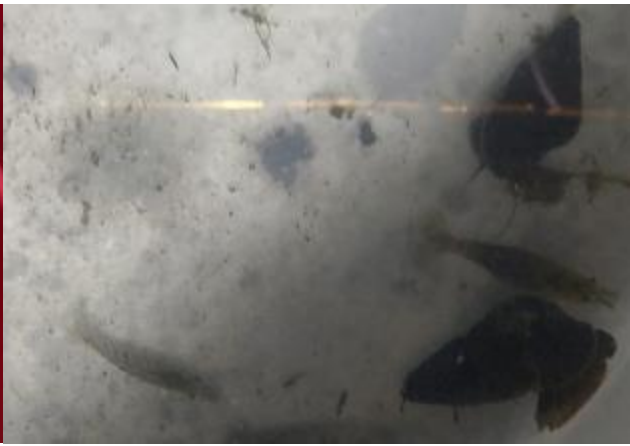
蝦籠原理示意

在抓魚過程我們試了許多種誘餌，炒飯、白飯、餅乾、雞骨頭、狗飼料、吐司……，誘魚效果最好的是雞骨頭和吐司。我們不只有抓到魚類，還有抓到其他的淡水螺類及蝦類。





在樣點三捕捉到的蝦子



在樣點二捕捉到的蝦子和螺類

### 實驗 2：嘗試虹吸式管狀魚道的測試及組裝

我們去水電行買的管子一開始都是彎的，為了讓水管變直我們先嘗試把水管綁在一根又硬又直的管子上，曬在太陽下和烘箱，但是效果不佳，後來我們把水管泡在熱水中，待水管變軟後把它彎直，重複多次直到管子變直，我們也有利用吹風機把管子變軟、方便塑形，把它反捲在一起，這樣管子就直了。



用圓藝剪刀將管子裁成需要長度

#### 魚道實驗步驟

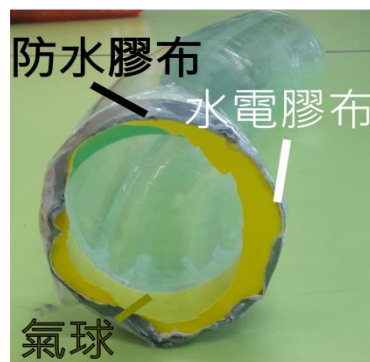
1. 先把魚道末端堵住，從前端灌水直到全滿
2. 確保前端管頭在水面以下
3. 把末端出水口放開
4. 等水流動穩定後，放入氣球觀察流速

### 實驗 3：改良魚道氣泡堆積問題

我們做完實驗後，發現魚道可以持續的流在於它是否密閉，因此我們嘗試使用水電膠布、防水膠布、套氣球……等許多種方式，測試哪一種膠布密閉效果最佳。水電膠布有彈性，可以和管子貼合，所以密閉效果佳，但它沒有很黏，在魚道運作時，加上魚道內水的重量加壓，可能會使魚道斷裂。防水膠布沒有像水電膠布有彈性，密閉效果較差，但是它非常黏，使魚道在運作時不容易斷裂。而氣球非常有彈性，就算是連接處縫隙很大，也能使魚道密閉，但相對的它沒有黏性，無法始魚道固定。所以最後我們接魚到時，先套氣球，然後纏水電膠布，最後纏防水膠布，這樣能使魚到固定的牢且密閉。

表 5-9、膠布和氣球比較

	水電膠布	防水膠布	氣球
彈性	有	無	有
黏性	沒有很黏	很黏	無



改良後，魚道的剖面圖

#### 實驗 4：改變彎頭角度對魚道運作的影響

一開始魚道未改良為水電膠布魚道時 45 度彎頭的氣泡較 90 度少，我們推測水壓影響氣泡體積大小。經過我們仔細觀察後發現於道內氣泡的來源分為兩種，一、來自管內底部，原本管內底部的氣泡隨水流上升水壓漸小，氣泡體積隨之增加。二、有一部份氣泡來自外界空氣，藉由魚道接孔縫隙滲入。第一種氣泡是源自於水龍頭的水流衝擊水面造成的氣泡，因此我們採用黃色水管深入水底來填充，使補充的水不會直接衝擊水面造成氣泡。第二種氣泡我們則是使用氣球、水電膠布和防水膠布，密封魚道轉彎處的接孔縫隙，防止氣泡進入。經過改良後，不論是 45 度或 90 度都沒有明顯氣泡。



水龍頭的水衝擊  
水面造成氣泡



裝上水管解決此問題

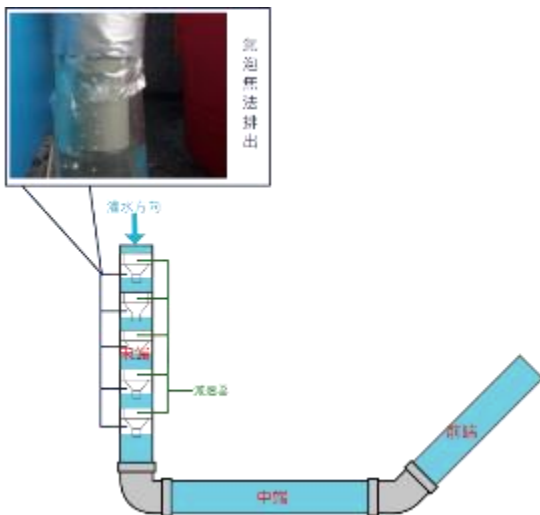
深度	绝对压力	气体体积
0m	1	●
10m	2	●
20m	3	●
30m	4	●
40m	5	●

壓力會影響氣體體積大小

圖片來源：<https://pse.is/3j3gpp>

#### 實驗 5：減速器的口徑大小對流速的影響

一開始我們倒著用水填充管子的時候，減速器附近會有氣泡，無法把水管填滿，所以我們改成將水管深入前端管子內來填充，解決了減速器的氣泡堆積問題。



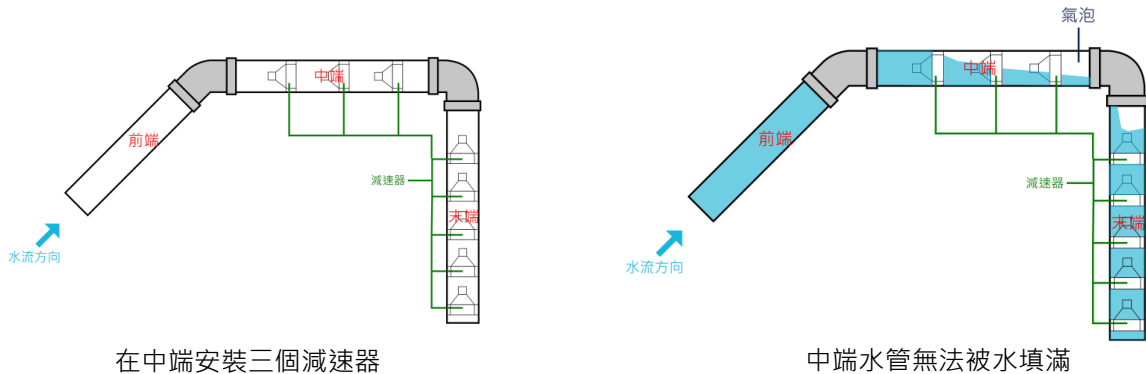
倒著灌水導致減速器附近氣泡填不滿



將水管深入前端管子內來填充水

### 實驗 6：一定長度內的串接減速器數量對流速的影響

我們嘗試把減速器安裝在魚道中端測試流速是否變慢，但實驗後發現這樣會增加氣泡的量，讓中端的管子無法被水填滿，流一段時間後便停止，因此我們改成密集的把減速器裝在末端，改善了此問題。



### 【研究二：水箱實測-實驗室管狀魚道的生物使用情形】

#### 實驗 7：人工水域中魚道的利用情形分析

(1)因為魚一開始都不進去魚道，所以我們想是不是因為魚道管徑太小，使魚不想進去或進不去。因此我們嘗試將魚道管徑加大，改成規格為 2"(管外徑 6.0cm 內徑 5.2cm )的管子，魚道總長為 2.10m，但是魚仍未使用魚道。



大魚道完整圖

左為小管(規格為 1+1/2")，右為大管(規格為 2")

(2)本實驗受限於管徑大小，採用體型較小的魚，可能屬於未成年的幼體魚，其生態習性與成體魚不同，上溯意願可能較低。

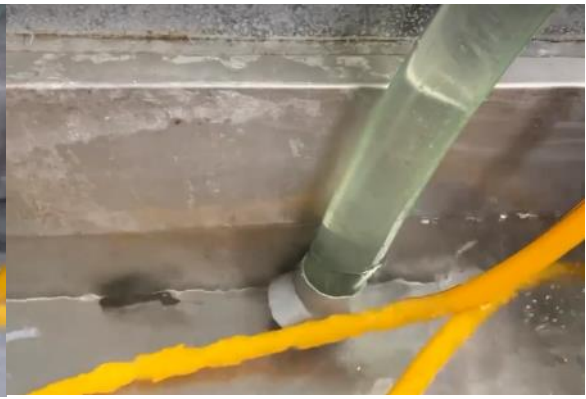
(3)於實驗前將魚置入試驗桶內，於可能因不適應環境，魚因而產生緊迫感、壓力較大，降低上溯意願。

(4)因為魚皆無向上進入魚道的跡象，因此我們想測試魚類是否有向上逆流的能力。我們改把魚放在魚道前端水槽，觀察牠被魚道吸進去的時候是否會逆流游出來。



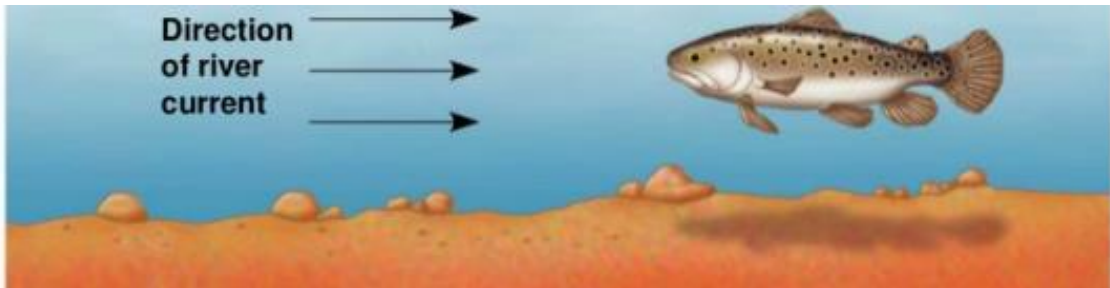


魚嘗試逆流游出魚道



魚順利游出魚道

在實驗時，不管頭還是尾先進魚道，魚在魚道內都會逆著水游，由此可知道魚具有逆流的能力，我們有查相關資料，得知魚逆著水流是為了固定位置不被水帶走，除此之外，逆水流時魚可以省力的張開嘴享受水流帶下來的營養物質，這樣的行為屬於魚類的一種趨流性。



許多魚在面對水流時會呈現正趨性，並靠著逆流來獲取水中養分

圖片來源：<https://reurl.cc/2b3M36>

### 【研究三：野地實測-水圳樣區管狀魚道的生物使用情形】

#### 實驗 8：水圳樣區中魚道的利用情形分析

到了水圳我們穿青蛙裝下水，利用水流來填滿魚道，解決填滿魚道的問題。圳裡有許多水草和泥沙被沖下來可能造成魚道堵塞，因為實驗需求裝上了蝦籠，所以大部分的雜質都被過濾掉了。除此之外我們利用水線綁住並用石頭壓住魚道，使魚道固定。在設置魚道的過程，我們在圳上端發現一些小魚和小蝦對抗著水流，這意味著這些水中生物需要上溯，或保持不被水流沖走。



左圖：填充魚道，  
右圖：用水線和石頭固定魚道



## 實驗 9：魚道分段水流流速分析

在實驗時，為了避免實驗誤差我們作了以下措施：

- (1) 避免水深過低產生旋渦將空氣吸入，我們都是在流水充足、水位較深的河流正中央進行
- (2) 在拍攝時與魚道還有校正刻度平行，避免角度偏差
- (3) 縮小水球大小，使質點尋找更明確
- (4) Tracker 分析時，質點統一標示於水球最前端



分析質點標示於水球最前端

## 柒、研究結論與應用

### 一、結論

#### 【研究一：虹吸式管狀魚道設計】

1. 樣點流域的魚類大部分為溪哥、吳郭魚和台灣石鱚。
2. 魚道可以持續流動的關鍵，在於魚道是否密閉。
3. 減速器小頭的部分越小，減速效果越佳，但差異不大。
4. 前端彎頭的角度(45 度、90 度)對流速影響不顯著。

#### 【研究二：水箱實測-實驗室管狀魚道的生物使用情形】

1. 經實測魚並無主動使用管狀魚道，但可接受管內水流流速。

#### 【研究三：野地實測-水圳樣區管狀魚道的生物使用情形】

1. 魚道虹吸現象運作正常。
2. 推測魚未使用魚道的原因：
  - (1) 當地成體魚數量不多，魚道流速不適合幼體魚上溯。
  - (2) 魚不適應魚道，不敢去使用。
  - (3) 不合魚上溯的季節。
3. 魚道內的流速並非一致，設計魚道時仍須考量分段流速。
4. 實測有減速器的魚道流速 0.41m/s，無減速器流速為 0.81m/s，增加減速器減速成效顯著。

### 二、未來展望

#### (一) 新增尼龍網對生物使用魚道的影響

目前魚道僅限於魚類使用，為了讓除了魚類以外的生物，像蝦子、螃蟹……這類的爬行生物也能順利使用魚道，可以在魚道內壁鋪上尼龍網，增加摩擦力，增加爬行生物使用魚道的可能性。

#### (二) 新增休息區對生物使用魚道的影響

許多文獻中皆有提到在魚道中加休息區，方便魚類上溯中途休息，因此我們有想在魚道上新增休息區(T 型管)，觀察是否會增加水中生物使用魚道的上溯成功率，以及是否會影響魚道運作。



文獻中的魚道休息區

圖片來源：<https://reurl.cc/0DQrp6>

## 捌、參考資料

1. Kiyoshi Wada and Yukio Ota (2015) Development of the Siphon System Pipe-type Fishway and Monitoring of fish Migration.
2. 太田有生夫(2017) サイフォン式パイプ魚道における流速制御と遡上魚に与える影響の考察。福岡工業大学環境科学研究所所報 第11巻 P25-P34
3. 和田 清 等(2014) 魚道カルテによる機能評価とサイフォン式パイプ魚道による遡上モニタリング。第42回環境システム研究論文発表会講演集
4. 行政院農業委員會水土保持局。(2020-02 出版)水土保持單元叢書 03－生物通道
5. 台灣河川復育網(經濟部水利署水利規劃試驗所) <http://trrn.wra.gov.tw/web/index-8.html>
6. 台灣河川生態保育工程的發展與問題 <https://reurl.cc/E2WAWv>
7. 台灣魚類資料庫 <https://fishdb.sinica.edu.tw>
8. 王順昌、陳樹群(2012)。台灣本土性魚類魚骨型魚道上溯試驗研究
9. 水土保持單元叢書 03－生物通道(2020-02 出版)
10. 魚類的趨流性(2016) PanSci 泛科學。 <https://pansci.asia/archives/104579>

## 【評語】 030302

1. 本研究探討製造虹吸式管狀魚道的方法，最後成功做出形成虹吸現象的管狀魚道，雖然野地實測時，魚一度未使用虹吸式管狀魚道，但水在魚道仍正常流動。作者推測魚未使用的原因可能是當地成體魚數量不多或是不合魚上溯的季節。學生經歷多次失敗才成功做出虹吸式管狀魚道，整個研製過程令人印象深刻。
2. 雖然嘗試改良傳統水泥魚道建設和維護困難、但本研究的實作難以適用多樣魚類、枯水期功能中斷等問題、且也要時常維護魚道不受垃圾與雜草樹枝堵住的問題。
3. 本設計最大的問題是如何增加魚群進入魚道上溯的機率。建議可在魚道入口處進行改良，增加成功率。
4. 可加入魚類逆流偏好研究，再搭配此裝置的設計。

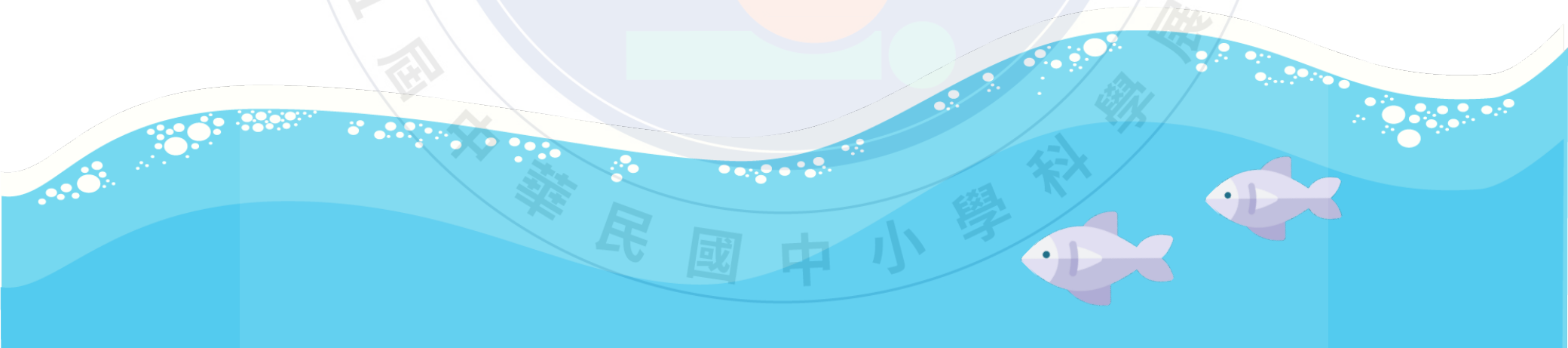
## 作品簡報



國中組 生物科

力爭上游

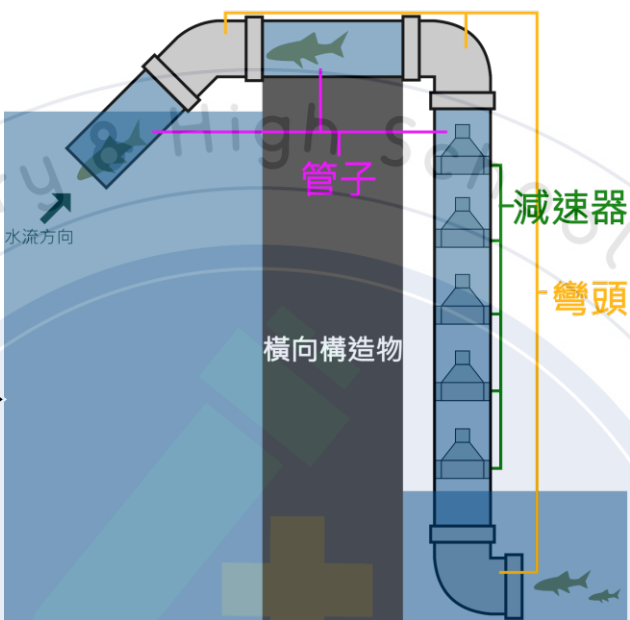
虹吸式管狀魚道規劃及試驗研究



# 研究背景



傳統魚道的限制



虹吸式管狀魚道：材料簡單、成本便宜、製作容易。

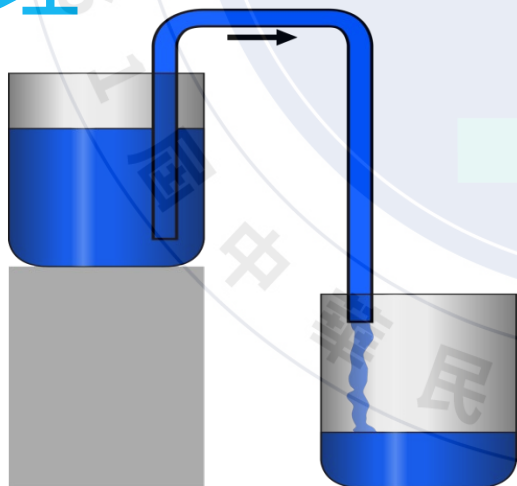


現有管狀魚道不具虹吸功能，枯水期時，難以發揮作

## 探討虹吸式管狀魚道實施的可行性

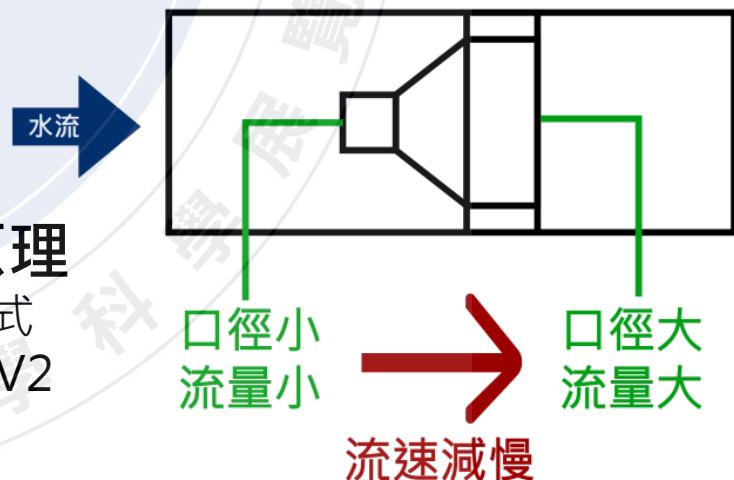
# 研究原理

虹吸現象



伯努力原理

連續方程式  
 $A_1V_1=A_2V_2$



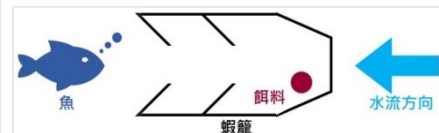
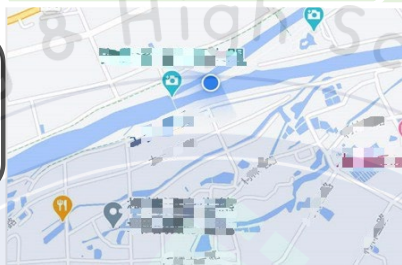
# 研究問題與方法

調查溪流魚種組成

調查水圳分布

實地探查樣區

生物種類調查

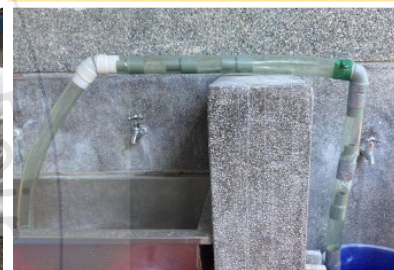
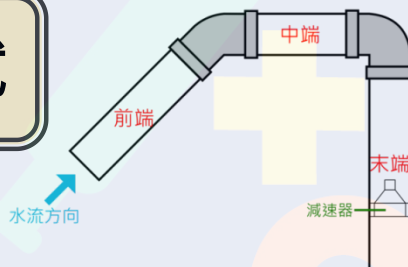


管狀魚道組裝測試

繪製設計圖

準備材料及組裝

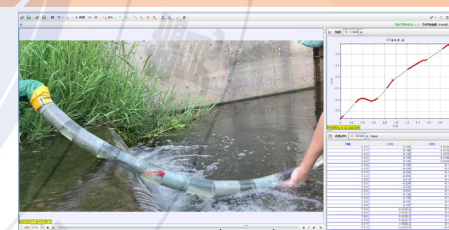
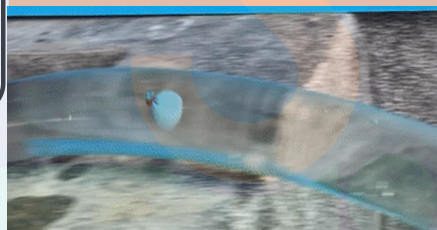
初步測試



魚道流速測量調整

利用水球測量流速

tracker分析



樣區實際架設魚道

架設魚道

檢視生物利用情形





# 研究結果

# 實驗1：調查當地的魚種及基本資料

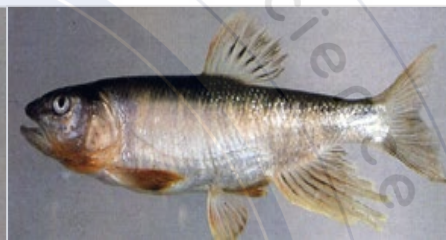


利用蝦籠抓魚

查詢圖鑑，鑑定當地魚種



台灣石賓(77%)



溪哥(10%)



吳郭魚(13%)

# 實驗2：嘗試虹吸式管狀魚道的測試及組裝

魚道開始運作

氣泡堆積

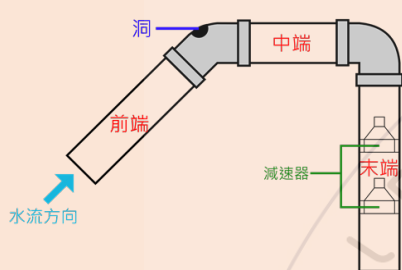
魚道停止運作



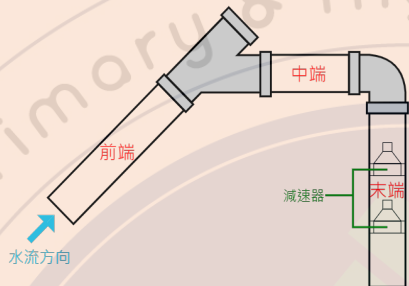


# 研究結果

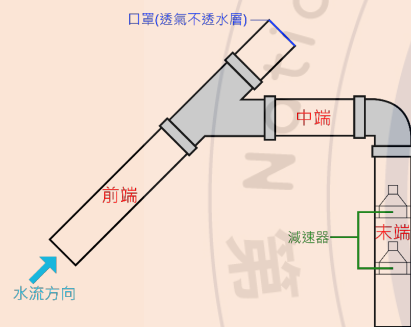
# 實驗3：改良魚道氣泡堆積問題



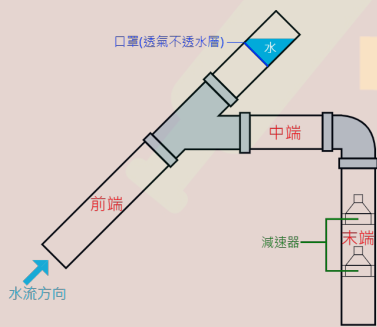
A組 挖洞



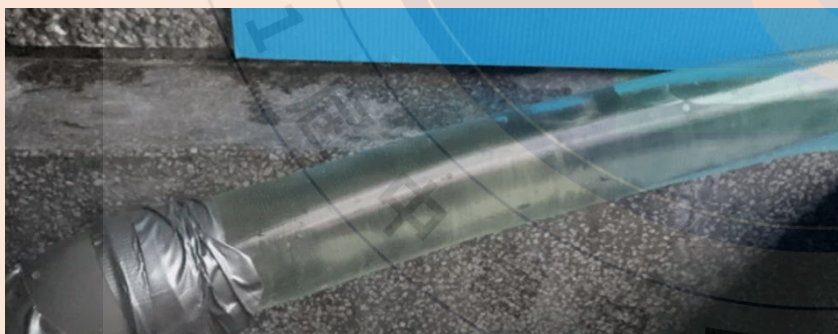
B組 斜梯



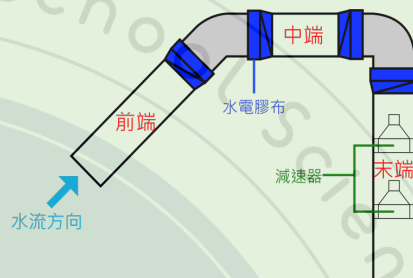
C版 口罩



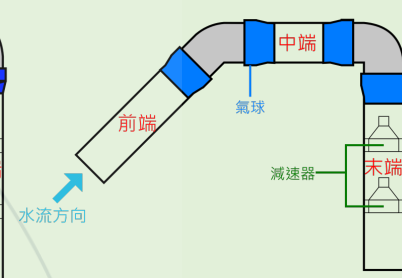
D版 口罩加水



魚道沒有氣密，無持續運作

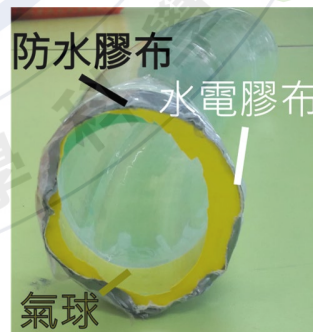
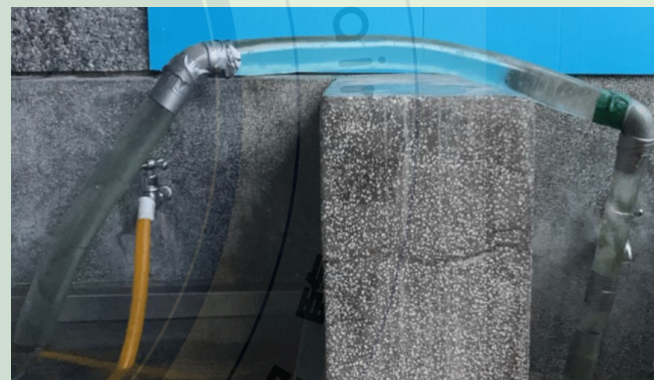


E版 水電膠布



F版 氣球

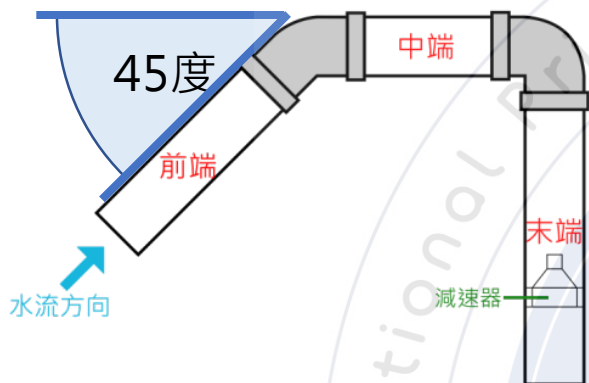
魚道氣密，可持續運作



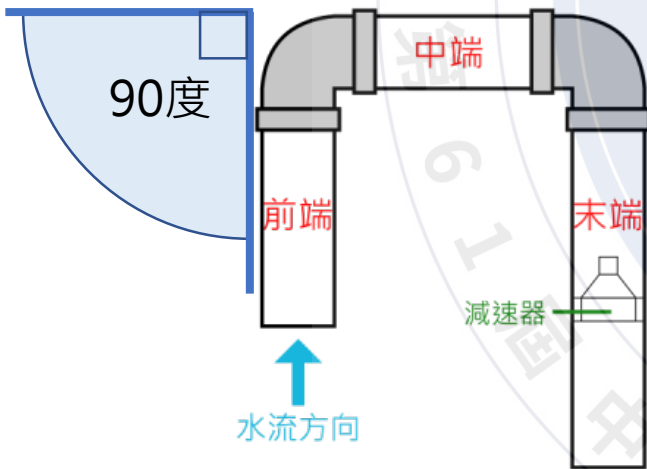
使用三層膠布增強魚道的氣密性

# 研究結果

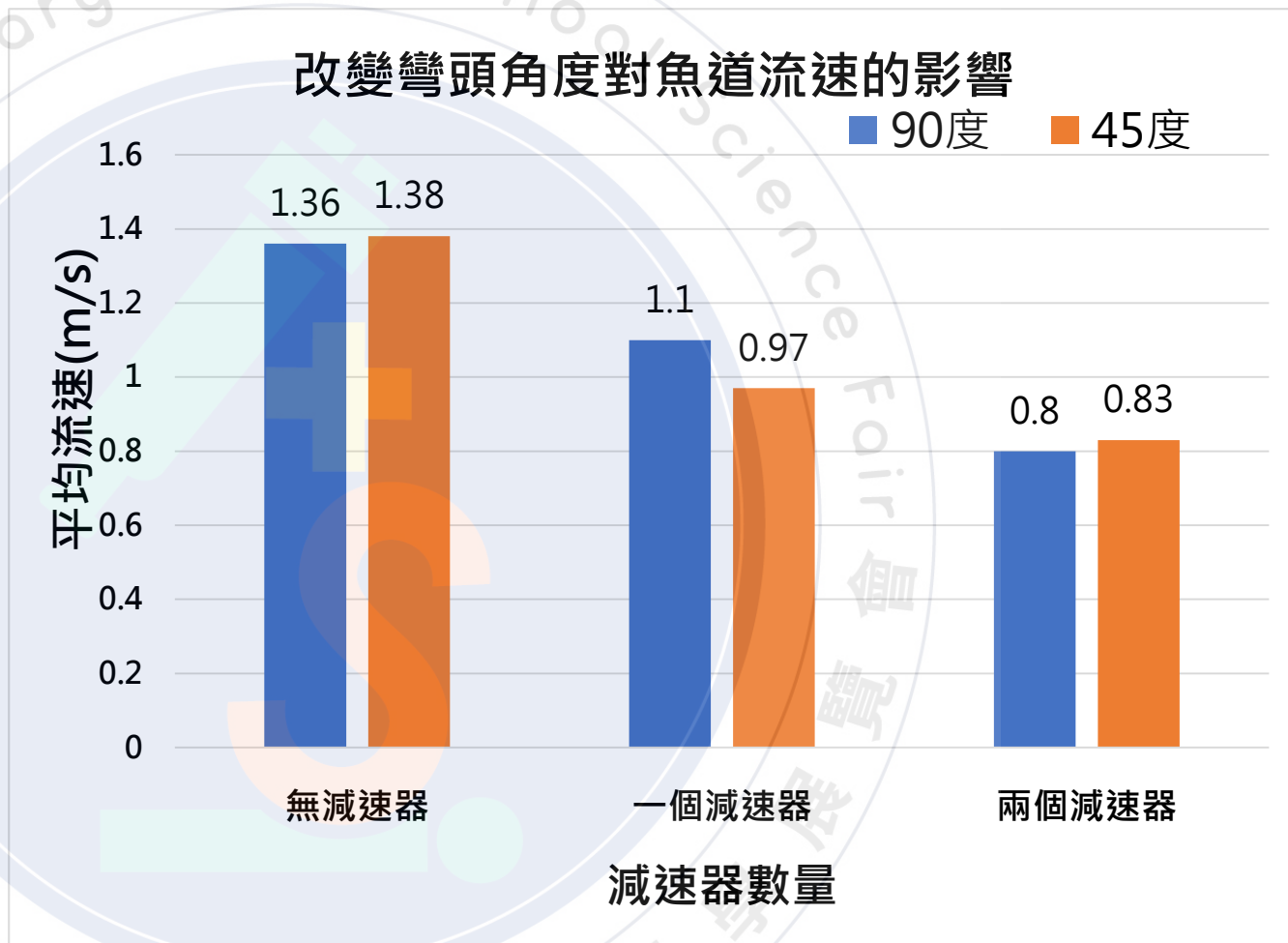
## 實驗4：改變彎頭角度對魚道運作的影響



彎頭45度



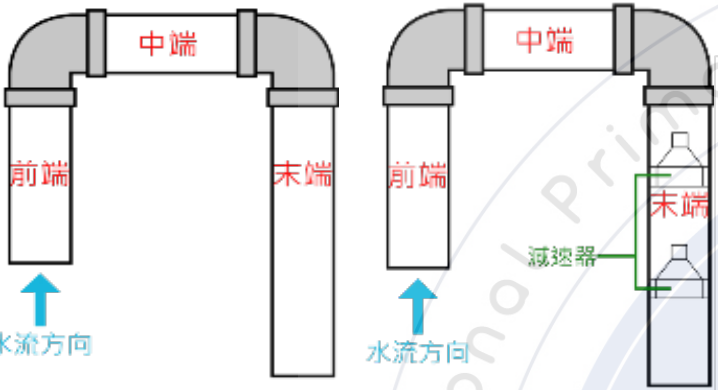
彎頭90度



90度和45度流速沒有太大差異。

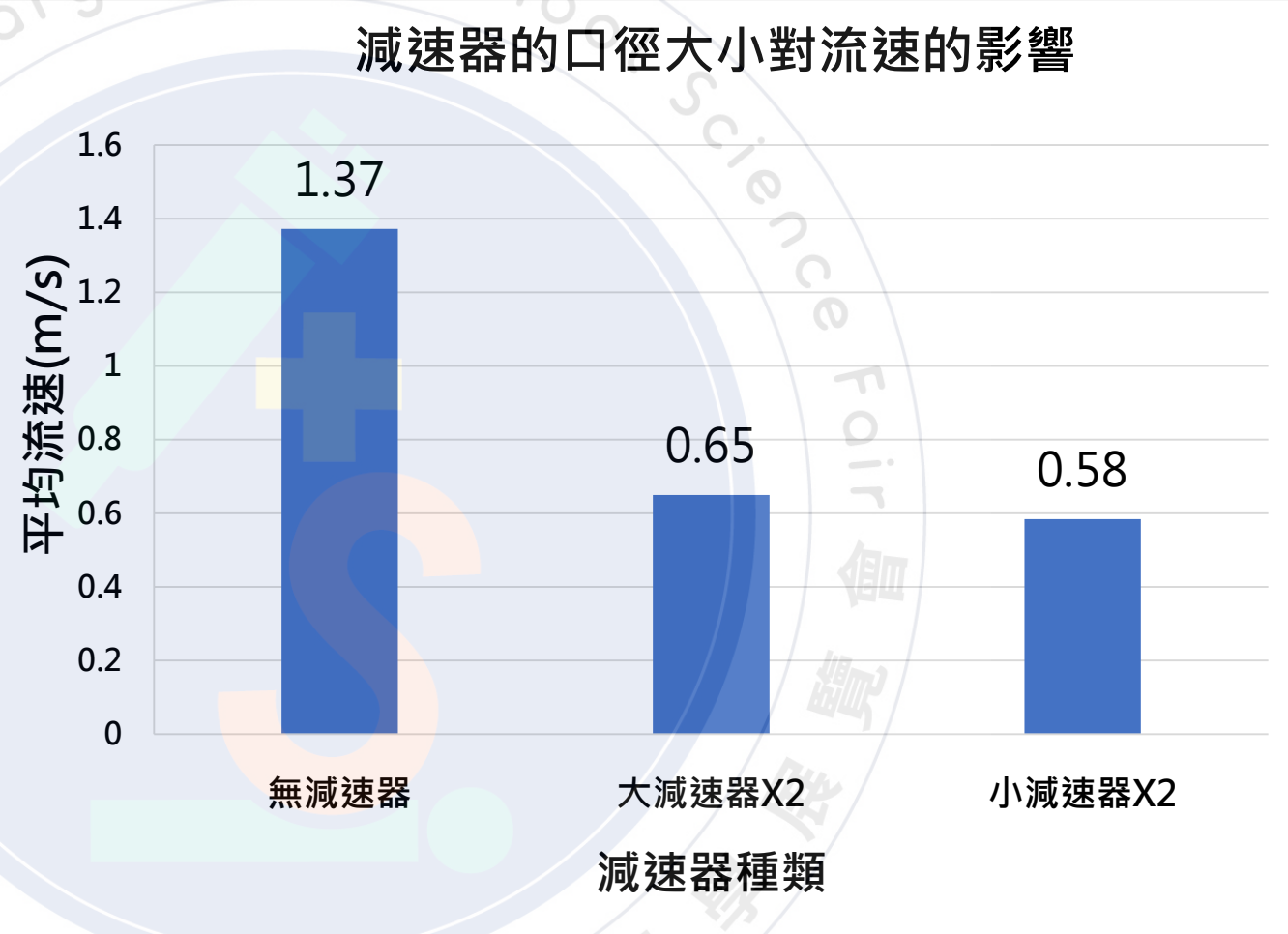
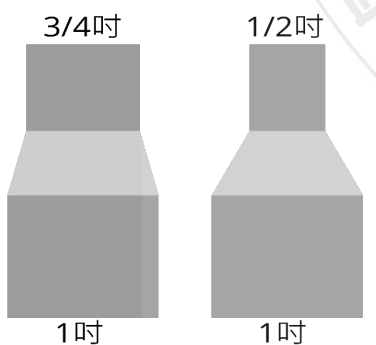
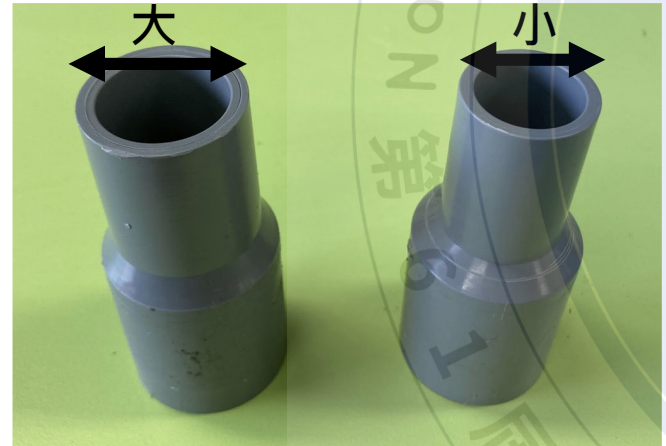
# 研究結果

# 實驗5：減速器的口徑大小對流速的影響



對照組

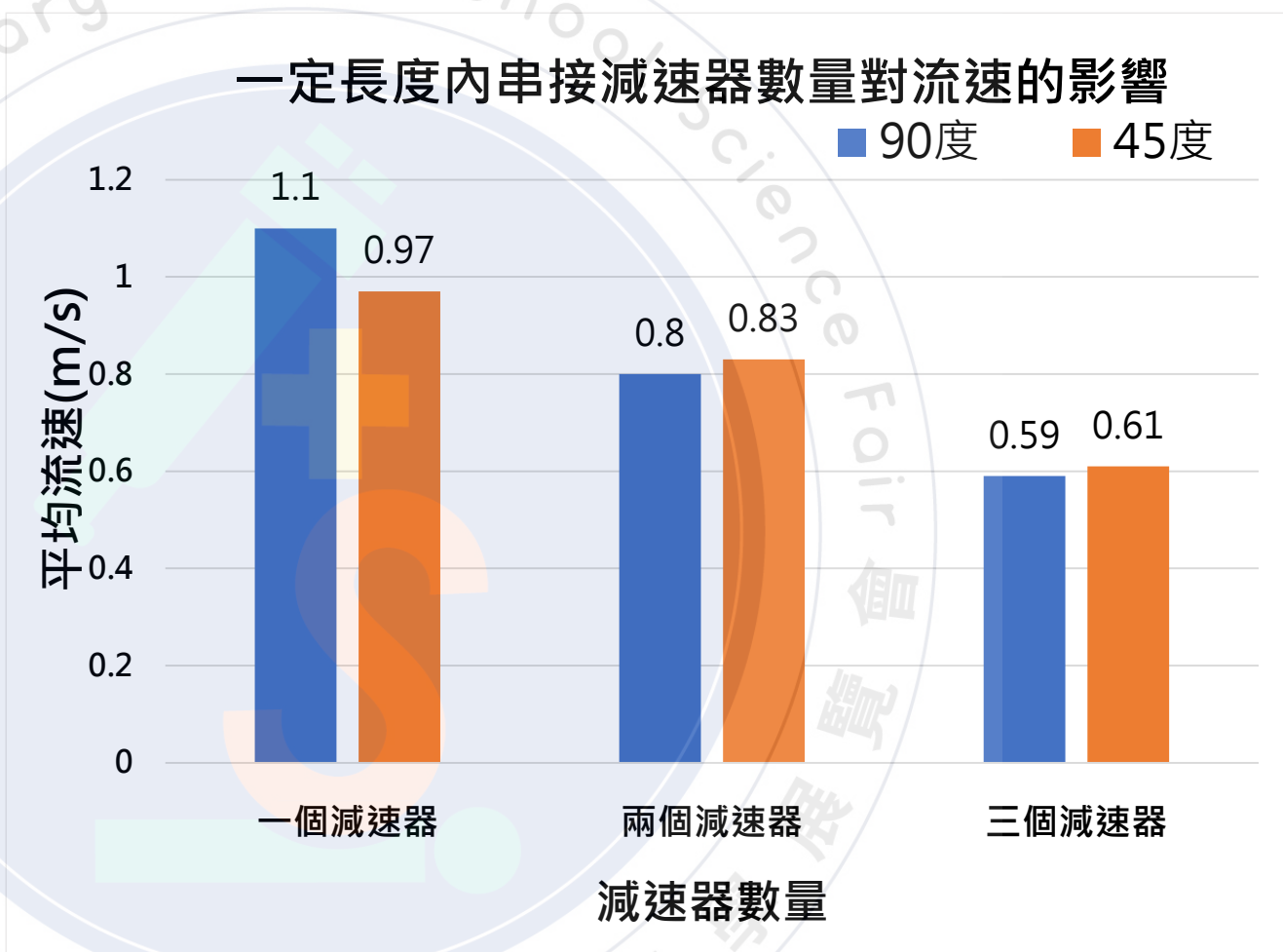
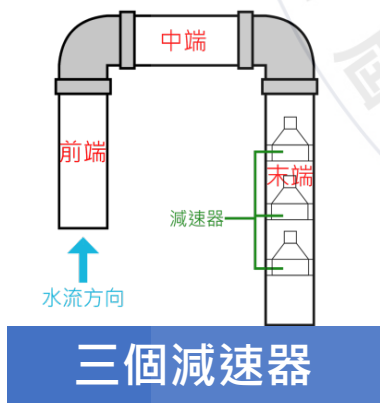
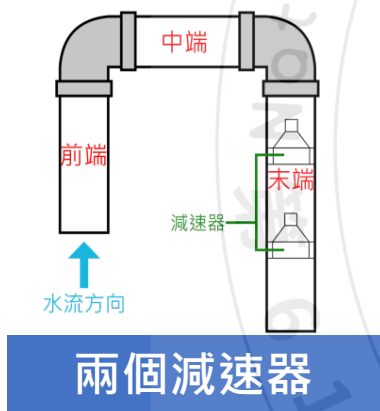
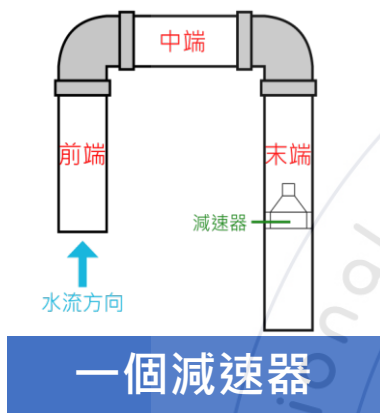
實驗組



經過測試，兩個大減速器的平均流速與兩個小減速器的平均流速相差僅0.06m/s，可知小減速器的減速效果較大減速器佳，但差異不大。

# 研究結果

## 實驗6：串接減速器數量對流速的影響



90度彎頭和45度彎頭一個減速器的流速在1m/s左右，兩個減速器時流速下降至0.8m/s左右，三個減速器時候流速下降至0.6m/s左右，增加一個減速器流速平均下降0.2m/s左右。



# 研究結果

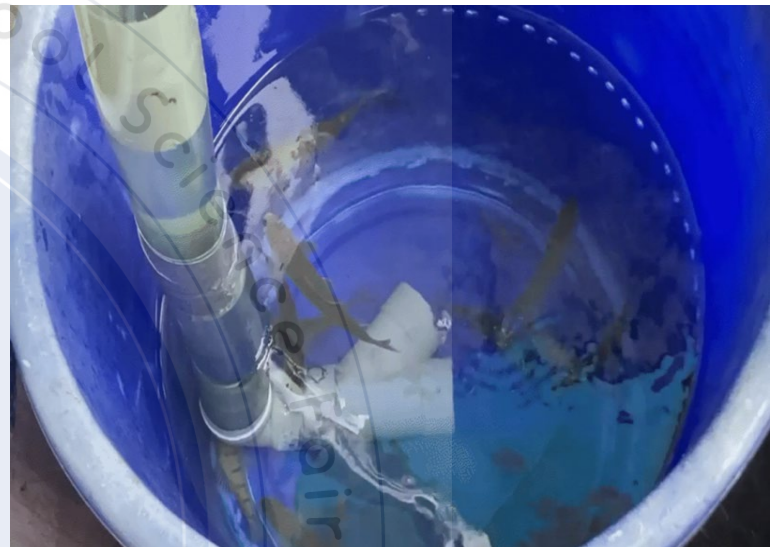
## 實驗7：人工水域中魚道的利用情形分析



製作水位固定的試驗桶



將魚隻放入下游



魚隻並未上溯



魚隻成功逆流而出

我們先製作水位固定的試驗桶，將採集到的魚隻放入下游，魚道雖然可成功運作，但並無魚隻上溯。

我們換個方式將魚隻從上游放入，結果發現魚隻可成功逆流而出，由此可知道魚具有逆流的能力。



# 研究結果

# 實驗8：水圳樣區中魚道的利用情形分析



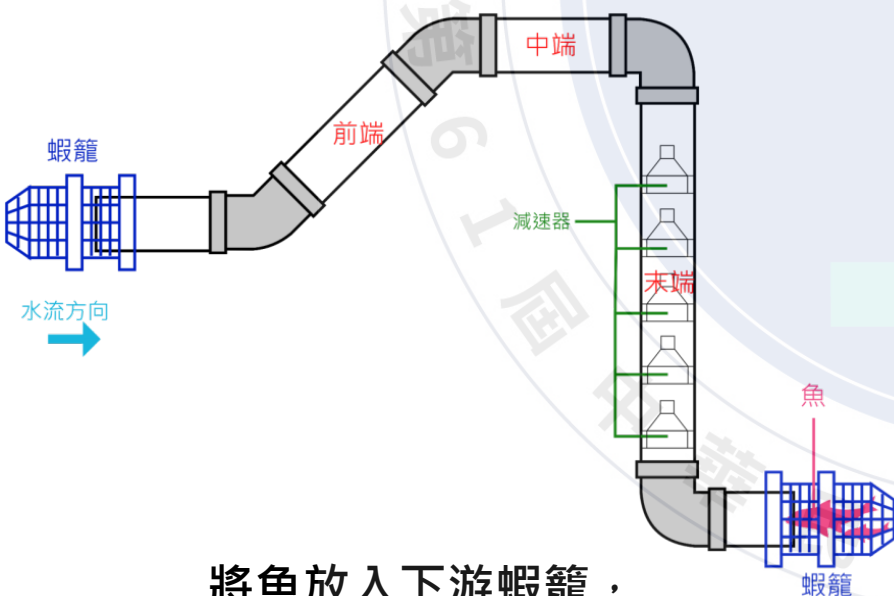
在樣點架設魚道



上游蝦籠捕捉使用魚道的魚隻

魚道可成功運作一週以上，可惜籠內並無魚隻。查詢文獻，歸因如下：

- (1) 不符魚上溯季節
- (2) 架設初期魚不適應
- (3) 擺放位置未能吸引魚類
- (4) 當地成體魚數量不多，魚道流速不適合幼體魚上溯。



將魚放入下游蝦籠，使魚道成為魚的唯一出口



魚類成功上溯

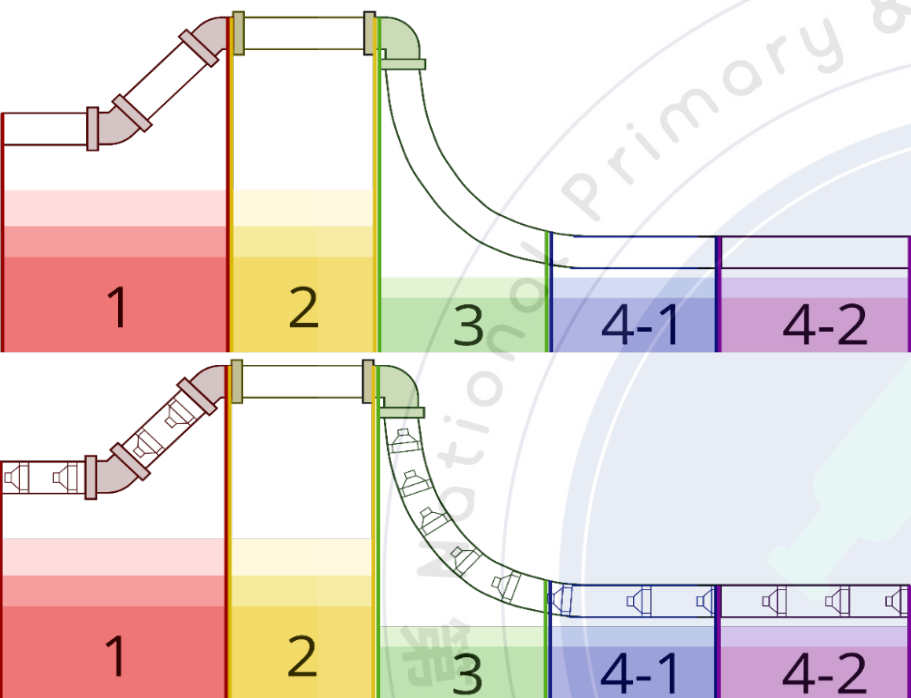
## 改裝魚道進行實驗

我們改成將魚放入下游蝦籠，使魚道成為魚的唯一出口，確認魚類是否會使用此魚道。

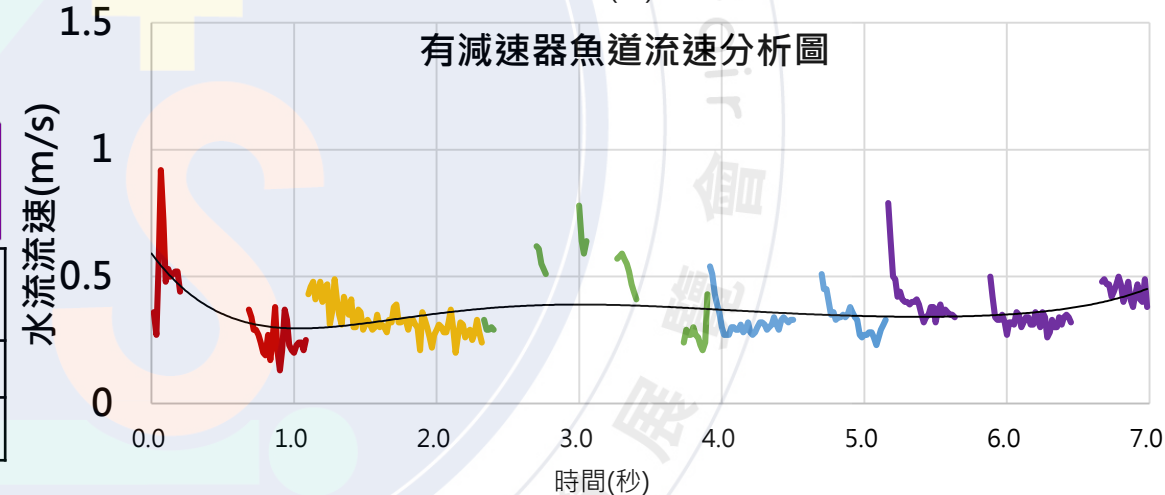
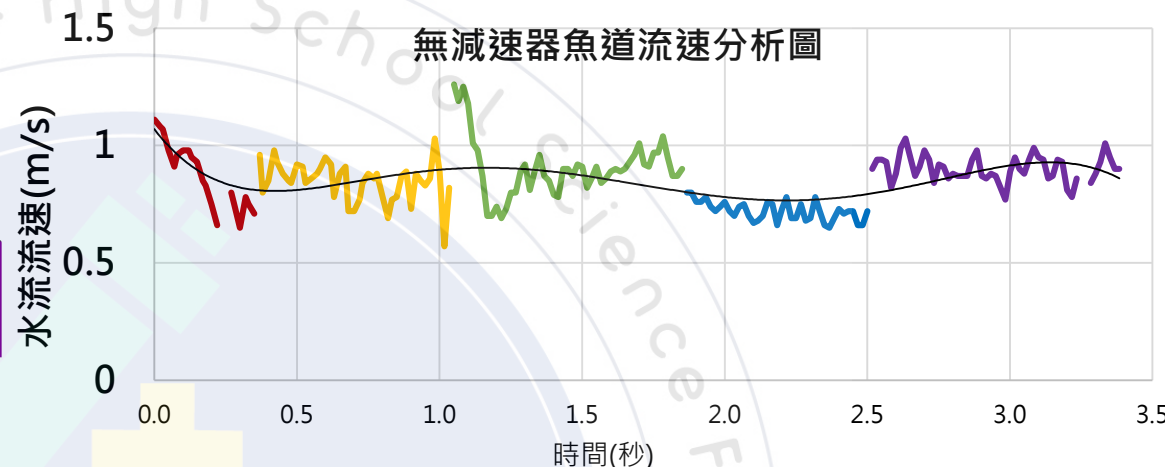
結果，發現有魚類成功上溯！表示虹吸式管狀魚道的確能幫助魚類上溯。

# 研究結果

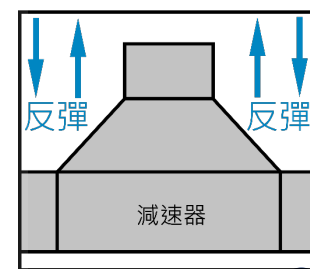
## 實驗9：魚道分段水流流速分析



流速 (m/s)	第1段	第2段	第3段	第4-1段	第4-2段	整體平均
有減速器	0.37	0.33	0.32	0.33	0.38	0.41
無減速器	0.87	0.85	0.90	0.72	0.90	0.81



1. 無減速器魚道流速約在0.6~1.2m/s，增加減速器將流速減緩至0.2~0.9m/s，由此結果可知減速器可有效減緩水流。
2. 有減速器魚道管內流速變化大，最高可達到0.92m/s，因此在魚道設計時仍須考量細部分段流速，而不是整體流速。
3. 減速器前流速減緩明顯，推測水流撞擊減速器邊緣產生反彈，使水流減速。



# 未來展望

1. 新增尼龍網對生物使用魚道的影響
2. 新增休息區對生物使用魚道的影響
3. 使用大口徑的PVC管架設於大型溪流



魚道休息區示意圖

# 參考資料

1. Kiyoshi Wada and Yukio Ota (2015) Development of the Siphon System Pipe-type Fishway and Monitoring of fish Migration.
2. 太田有生夫(2017) サイフォン式パイプ魚道における流速制御と遡上魚に与える影響の考察。福岡工業大学環境科学研究所所報 第11巻 P25-P34
3. 和田 清 等(2014) 魚道カルテによる機能評価とサイフォン式パイプ魚道による遡上モニタリング。第42回環境システム研究論文発表会講演集
4. 行政院農業委員會水土保持局。(2020-02出版)水土保持單元叢書03 - 生物通道
5. 台灣河川復育網(經濟部水利署水利規劃試驗所)
6. 台灣河川生態保育工程的發展與問題
7. 王順昌、陳樹群(2012)台灣本土性魚類魚骨型魚道上溯試驗研究
8. 水土保持單元叢書03 - 生物通道(2020-02出版)
9. 魚類的趨流性(2016) PanSci 泛科學。