

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會 作品說明書

高級中等學校組 工程學(二)科

052404

"橋"遷之喜-水流對橋墩壓力與流速之探討

學校名稱：臺中市立臺中工業高級中等學校

| | |
|---------------|---------------------|
| 作者： 高二 黃 晴 | 指導老師： 張炳堯 黃俊峯 |
|---------------|---------------------|

關鍵詞：橋墩、壓力、流速

摘要：

在日常生活中，橋墩遭河水猛烈沖刷，導致車輛或行人無預警的落橋事件，因此瞭解橋墩如何遭受水流破壞為當前重要課題。本研究藉由自製模擬渠道模型，探討水流碰到橋墩後的變化，並記錄不同變因下水流壓力與水流速度的關連性。經過實驗後，得到：

渠道水位越高時，則表層流速越慢，且壓力隨水位深度加深呈非線性增加。橋墩的存在會增加各量測的壓力值，尤其在橋墩前後壓力為最大，並隨橋墩與渠道邊的距離縮小，水壓會愈大而流速越慢。在橋墩形狀中發現，水流接觸的表面積越大，對壓力的變化也越大。不同橋墩形狀的流速比較 $\triangle > \bigcirc > \diamond > \square > \square$ ，橋墩為四角柱時流速比較 $\diamond > \square > \square > \square$ 。最後進行實際渠道測量，並與模擬分析比較，發現所有變因皆有共同的趨勢。

壹、研究動機：

臺灣有許多河流，但降雨時間和空間分布非常不均，颱風及滯留鋒面的影響往往造成大豪雨的來臨，加上台灣溪流坡度陡峭，造成洪水流速湍急。因此豪雨形成之高洪峰流量常引發橋墩遭受強烈的水流侵蝕，危及橋梁安全。於是我想做一些簡單實驗來瞭解橋墩受沖刷時的情況，以及哪些變因會影響水流的壓力及水流的速度。為解開疑惑，於是先利用土木工程與技術概論課第三章所學習的大地工程及水利工程蒐集相關資料以瞭解橋墩沖刷過程、何處會產生渦流及形成的原因，並藉由模擬渠道設計、量測渠道表層、中層、深層的水壓，研究水位高低對水流速度及壓力的影響，並將實驗結果數據化，以助將來進一步的科學分析。

貳、研究目的：

- 一、了解橋墩沖刷過程、渦流的形成原因。
- 二、藉由自製模擬渠道的模型，探討水流壓力與水流速度的變化。
- 三、探討不同橋墩形狀、水位高度、底層障礙物與橋墩位置，對渠道的水流壓力與水流速度的變化。
- 四、探討多重圓柱橋墩，對渠道水流壓力與水流速度的變化。
- 五、實際測量橋墩對水流壓力與水流速度的變化。

參、文獻回顧：

一、橋墩沖刷過程[1]

水流在碰到橋墩會先往上形成波峰，再往下掉落及由兩側繞過，之後再向上游方向反轉，同時夾帶大量空氣，呈白色水花狀。水流經圓柱型橋墩周圍的水流形態可分為四部份，分別為水面渦流形成的『墩前壅水』、『向下射流』、『馬蹄形渦流』、『尾跡渦流』，詳如圖1所示。其中以向下射流與馬蹄型渦流為造成橋墩局部沖刷之主要原因。

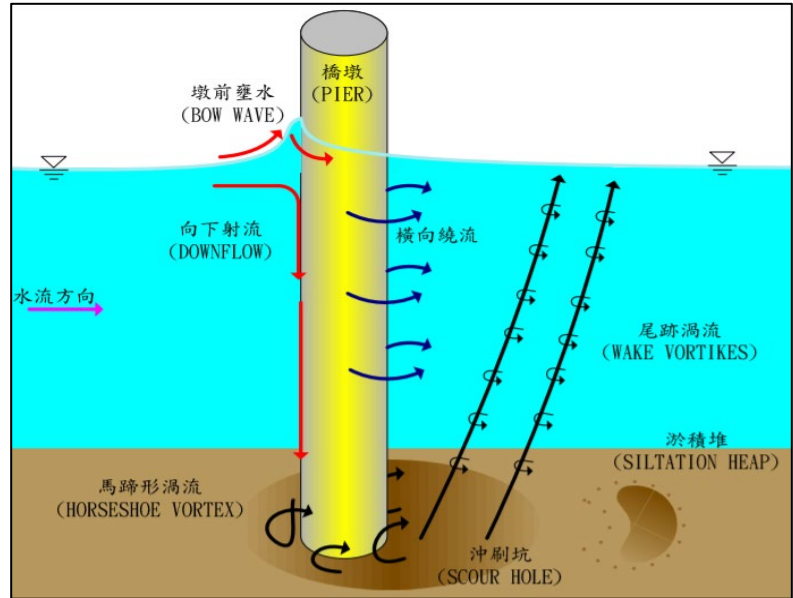


圖1 橋墩沖刷示意圖[1]

其中以向下射流與馬蹄型渦流為造成橋墩局部沖刷之主要原因。

二、渦流形成原因[2]

在河流轉彎處或是橋墩的周圍常有渦流的形成，這是由於水流維持直線的流動，而橋墩卻強迫水流轉彎，這時候內側的水流受到外側的壓力，被擠回的時候，一部份水流會回來填補缺水的地方，就形成了渦流的狀況。另外根據上網查詢許多資料後發現，利用『白努利定律』(Bernoulli principle)可以解釋許多渦流的現象。依據白努利定律知道，水流穩定且無轉動、無黏滯性且不可壓縮的典型流體系統概念，由式(1)可以知道，相同深度(h)時，水流速度(v)越大，則流體所受壓力(p)越小，同理，相同流速(v)時，水深(h)越淺，則流體所受壓力(p)也越小。

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{constant} \quad \text{式(1)}$$

v = 流動速度

g = 地心加速度

h = 流體處於的高度

p = 流體所受的壓力大小

ρ = 流體的密度

constant = 常數

◆限制條件：1.穩定流動

2.不可壓縮流動

3.無摩擦流動

4.沿著同一流線流動

(非旋性渦流)

肆、實驗設計與步驟：

一、實驗設備：仿渠道的設計與製作

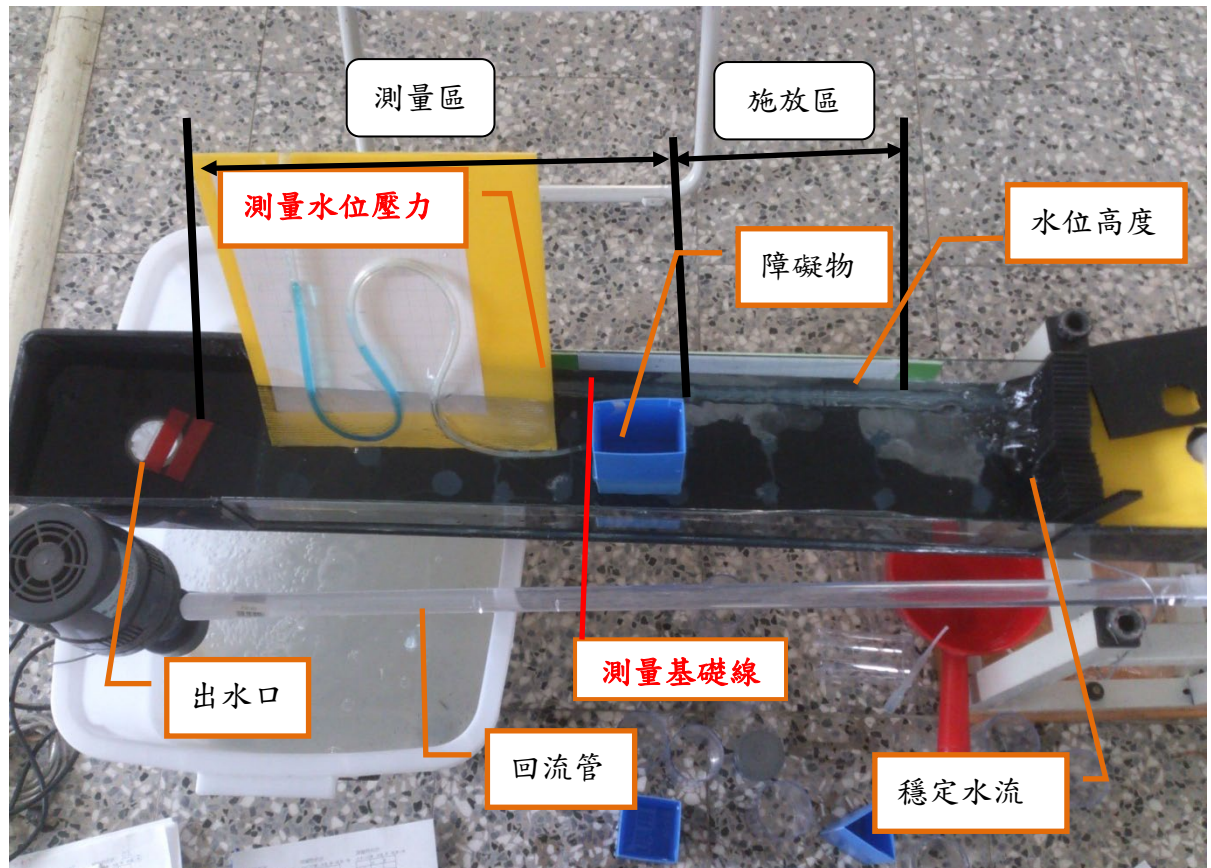


圖 2 渠道整體實驗配置圖

二、實驗設計：

- (一)穩定水流控制方式：剛開始實驗發現，水流入口處會有『水躍現象』，造成入水口的流速不穩定，所以利用瓦楞板的中空特性切幾片橫放至入水口以控制水流進入，能使水流穩定進入渠道，減少渠道中水流的變動。

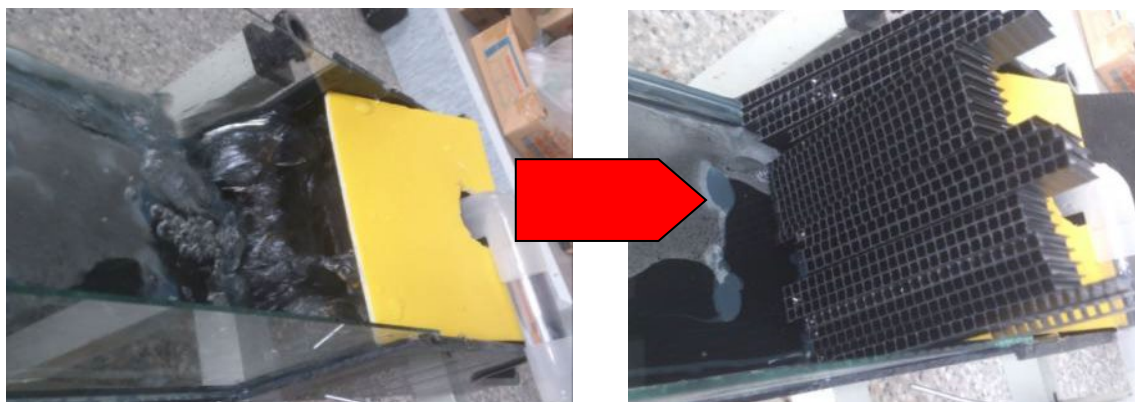


圖3 入水口穩流的設計方式

(二)渠道高度觀察：使用透明玻璃建造渠道透明中空部

分，以利觀察渠道內水流的變化，並在渠道側黏貼方格紙(3 mm)以瞭解渠道水位高度，方便觀察記錄水位高度，並分別設定不同高度代表所量測水位之表層、中層及深層三個水位高度。



圖4 渠道水流高度量測

(三)水位壓力測量方式：使用『連通管原理』，利用自製透明塑膠管測量壓力器，將

塑膠管子黏著固定在塑膠板上成為U形，背後貼上方格紙(3 mm)以方便觀察記錄管內水位高度。因連通管原理在相同壓力下管內兩水位會相同，因此藉著管內水位差來量測渠道中水壓大小。根據流速愈快壓力愈小、流速愈慢壓力愈大的原理來測定水流在同樣高度〈表層、中層、深層〉下，不同變因之水壓，最後分析整理相關資料值。為使U

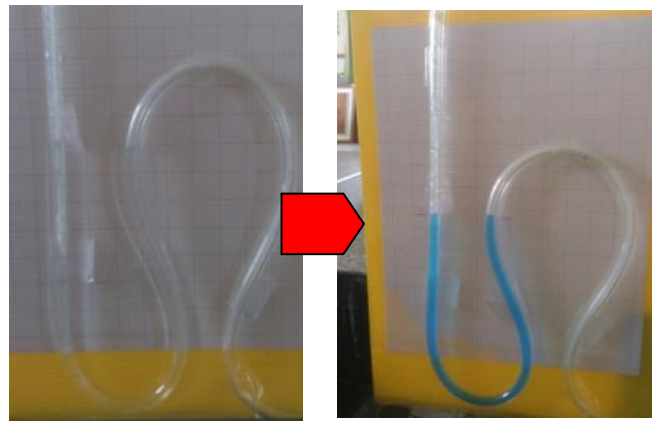


圖5 水位壓力測量

形管內液體能方便記錄，管內填入藍色墨水以利觀察明確高度值。

(四)藉由塑膠管中兩邊的藍墨水所產生的高低差數值，量取各點水流壓力所造成的A-B壓力差，轉化成圖表，加以整理分析。

(五)水流速度測量方式：首先利用100顆保

麗龍球及賓果球測量流速，但實驗後發現保麗龍球會黏在渠道玻璃邊上，而賓果球會沉入水底影響流動，無法正確的計算出數量。最後，選擇自製流速球，先裁剪固定吸管長度一截，將吸管頭尾黏一層膠帶，避免水流進吸管裡，外面再包覆一層錫箔紙，使它能漂浮，讓彼此間也不會團聚在一起。最後紀錄每次實驗中，單位時間內通過的自製流速球數量，加以整理分析。

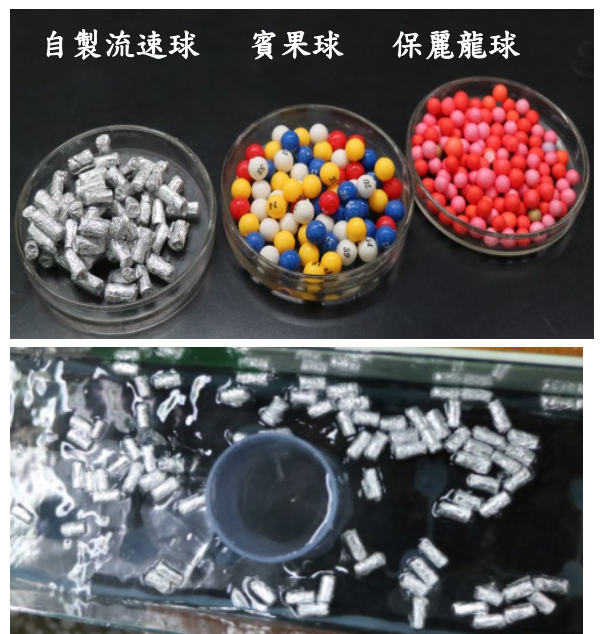


圖6 水流速度測量

(六)**出水口控制**：利用馬達將水由底部水槽抽回送至高處水桶循環利用。利用出水口的大小來控制水位高度及渠道水流的速度，使用玻璃片控制出水口大小分為三段式，分別為無蓋、第一格(2cm)、第二格(2.5cm)，抽水馬達固定出水量6500 L/H，經由回流管維持渠道水位高度穩定並控制出水速度。



三角柱 長方柱 正方柱 圓柱

(七)**橋墩形狀**：分別自製圓形、三角、正方形與長方形四種柱體，代表渠道中不同橋墩的形狀。底層障礙物是利用不同吸管大小及數量形狀設計底層障礙物，平面利用1、5與10枝，立體使用6、10與15枝，代表渠道底部不同大小之障礙物。

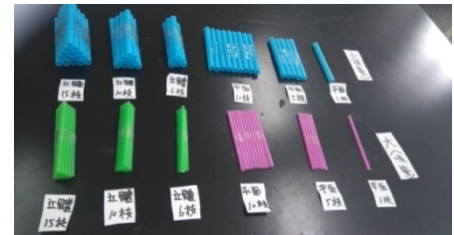


圖7 障礙物形狀種類

三、實驗步驟：

- (一)確定在大氣壓力、無水流的狀況下，先定義連通管內的水位為基準值。
- (二)固定排水口的大小，使其排水量穩定，以控制渠道中之水位高低，並觀察水位與水流流速的變化，分別設定無蓋時水位高度為低，第一格(2cm)水位高度為中、第二格(2.5cm)水位高度為高，如圖8。
- (三)在無橋墩且相同的流速下，量測不同水位高度差所造成連通管內差值。
- (四)實驗各種設定條件參數下，在渠道中量取橋墩前、中、後及渠道高度表層、中層及深層各點的壓力值。
- (五)記錄A、B兩點的數值，轉換成長度距離 mm，繪製成圖並分析實驗結果。

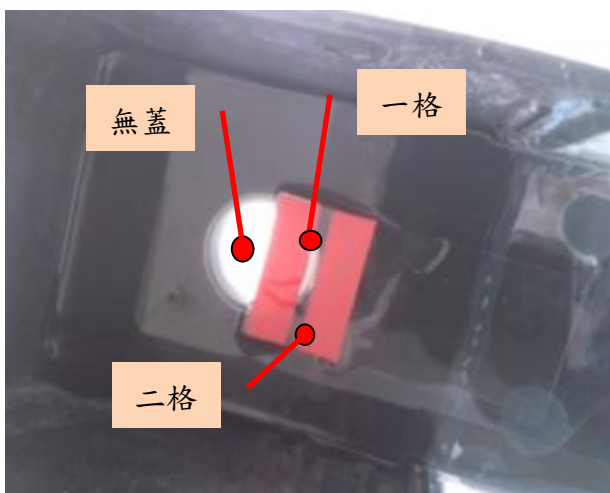


圖8 水位高度的設定

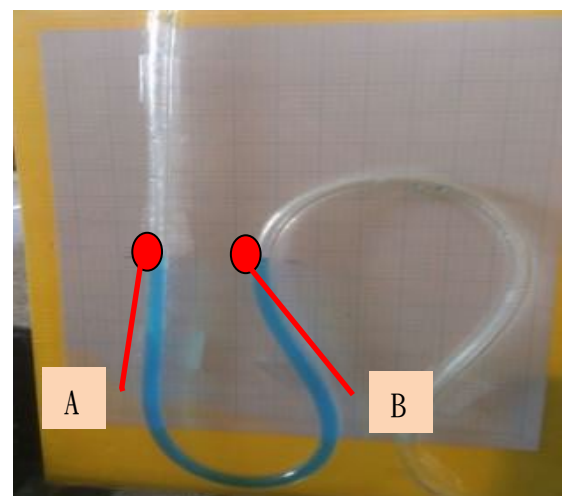


圖9 連通管內A、B兩點液面高度位置

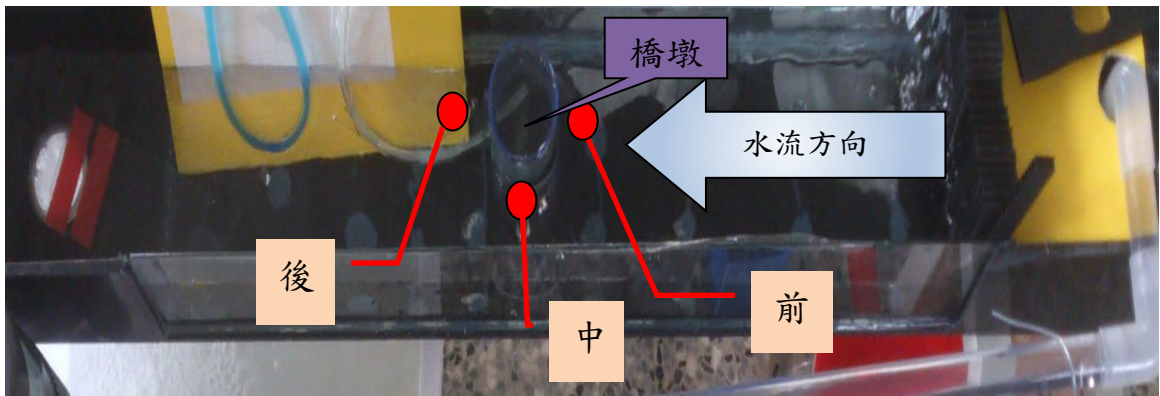


圖 10 渠道中橋墩前、中、後測量位置

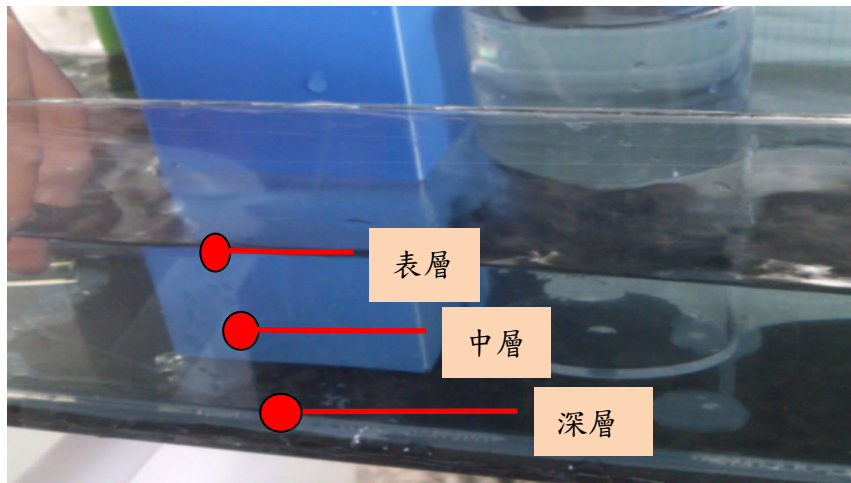


圖 11 測量渠道表層、中層及深層的壓力位置

四、實驗構思

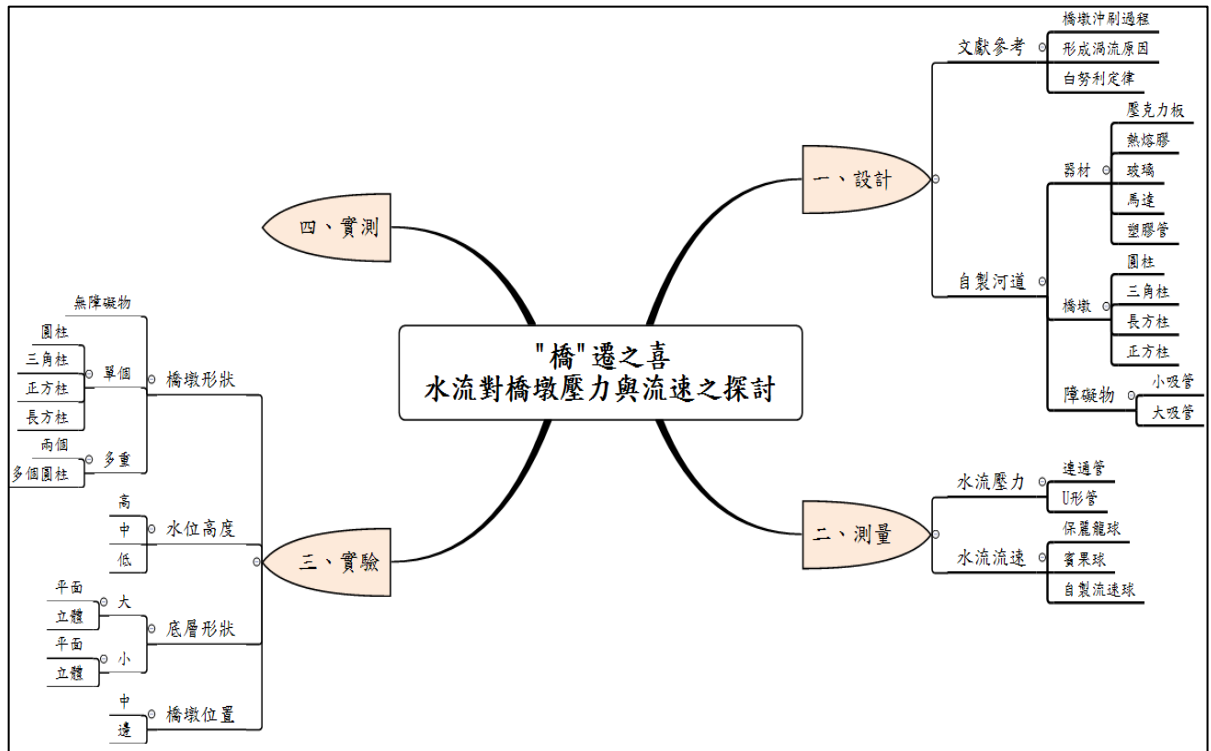


圖 12 研究心智圖

伍、研究過程與結果：

實驗一、探討渠道無障礙物時的數值

藉由自製渠道模型，在無障礙物渠道中探討相同出水量的狀況下，而不同水面高度，分別量取表層、中層與深層的水位高度，測量水流壓力及流速變化並比較其差異性。出水口速度為實驗步驟（二）所設定。

實驗步驟：

1. 將渠道放置一箱子於出水口下方接水，再利用抽水馬達將水打回渠道上游，藉此形成循環系統，並製造穩定水流。
2. 於渠道中不放置任何障礙物，分析水流的表層、中層與深層的壓力變化。
3. 將U形管口置入水中，量測不同地方的壓力，得到方格紙A、B兩點高度差，1格3mm，再轉化成圖表，加以整理分析。
4. 測量不同水位高度時的流速，利用 100 顆自製流速球，紀錄 5 秒內流經數量，再轉化成圖表，加以整理分析。

表 1 無障礙物下，不同水位高度對水流壓力的結果

單位：mm

| 實驗序號 | 【1-1】 | | | 【1-2】 | | | 【1-3】 | | |
|------|-------|----|------------|-------|-----|------------|-------|-----|------------|
| | 低 | | | 中 | | | 高 | | |
| 水位高度 | | | | | | | | | |
| 量測位置 | A | B | A-B 壓力差 | A | B | A-B 壓力差 | A | B | A-B 壓力差 |
| 表層 | / | / | / | / | / | / | 6 | -3 | 9 |
| 中層 | / | / | / | 9 | -3 | 12 | 12 | -9 | 21 |
| 深層 | 9 | -6 | 15 | 15 | -12 | 27 | 24 | -18 | 42 |

*「/」表量測不到數值

表 2 無障礙物下，不同水位高度對水流速度的結果

單位：顆

| 實驗序號 | 【1-4】 | | | | 【1-5】 | | | | 【1-6】 | | | |
|------|-------|-----|-----|----|-------|-----|-----|----|-------|-----|-----|----|
| | 低 | | | | 中 | | | | 高 | | | |
| 水位高度 | | | | | | | | | | | | |
| 次數 | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 | 實驗一 | 實驗二 | 實驗三 | 平均 |
| 數量 | 91 | 94 | 86 | 90 | 62 | 60 | 75 | 66 | 7 | 5 | 12 | 8 |

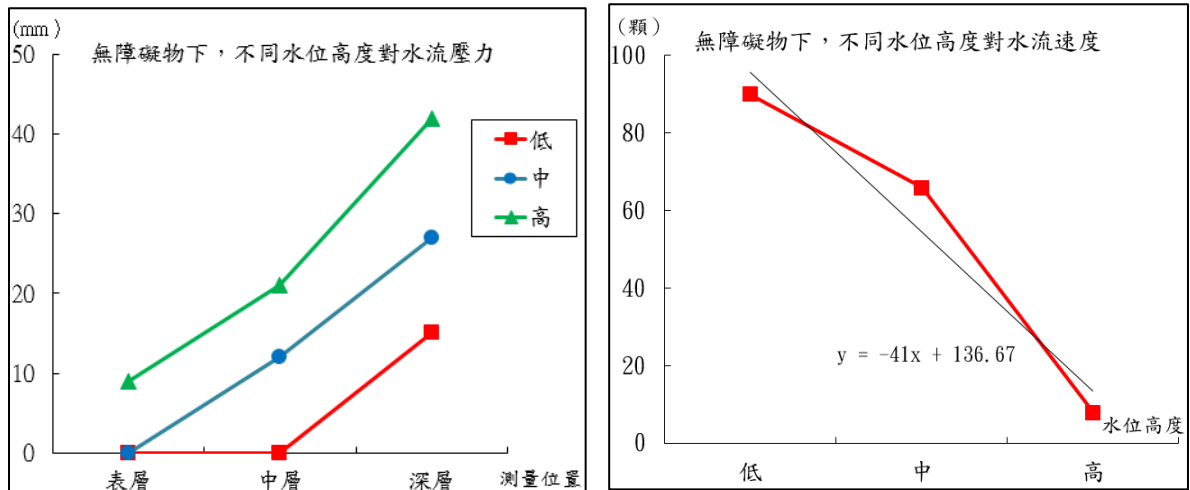


圖 13 渠道無障礙物下，在不同水位高度對水流壓力及速度的折線圖

水流壓力狀況分析：

由圖 13 可以看出，出水口置無蓋時（水位高度為低），因為水流速度太快，無法量取表層及中層水壓；水位高度為中時，則無法量測到表層水壓；隨著降低出水口大小，水位高度為高時，可以看出水流壓力會隨水深而增加的趨勢，因此可說明在相同流速時，水深越深，則所受壓力也越大，但水深與壓力並非呈現線性的關係。

水流速度狀況分析：

水位高度在低時，流速會比較快，因出水口無蓋，並且在附近會形成較大的漩渦，所以大部分的球都會通過；相反地，水位高度為高時，流速較慢，流量也較穩定，通過的球數也較少。計算斜率可發現無障礙物下，流速最多 137 顆。

實驗二、探討不同橋墩形狀的影響

【實驗二-1】：橋墩形狀為『圓柱』，放置渠道中間，量取橋墩前、中、後及水深表層、中層及深層的壓力值數據，探討圓柱體及水位高度對水流壓力的影響。

實驗步驟：

1. 改變出水口大小，出水口速度為實驗步驟（二）所設定方式 1、2、3。
2. 於渠道測量基礎線放置圓柱，分析水流受圓柱阻礙的壓力變化。
3. 將 U 形管口置入水中，測量不同定點的壓力，量取 A-B 壓力差值，探討圓柱各點位置對水流壓力的變化情形。
4. 得到方格紙 A、B 兩點高度差，1 格 3mm，再轉化成圖表，加以整理分析。

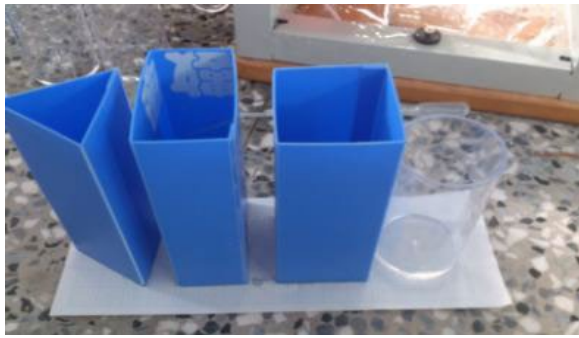


圖 14 各種幾何形狀橋墩

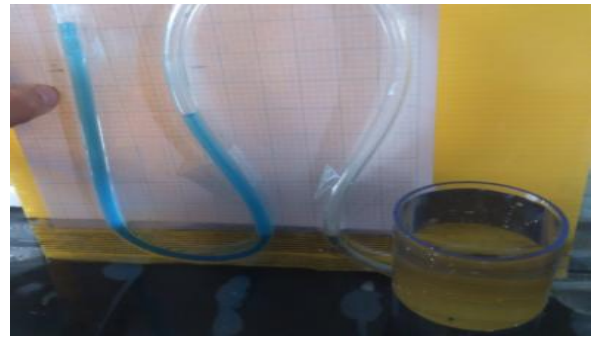
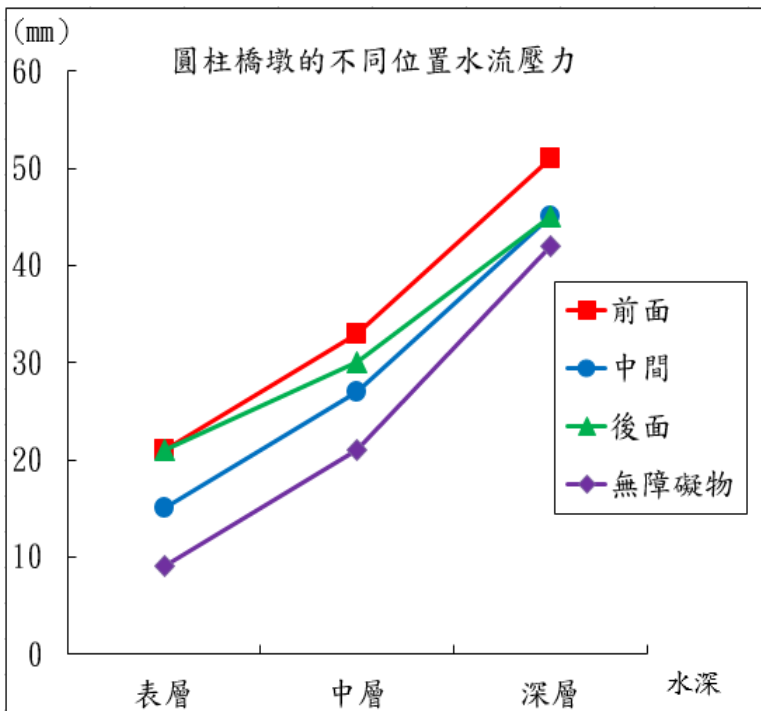


圖 15 U形管量測水中壓力

表 3 量取圓柱的不同位置水流壓力結果

單位：mm

| 實驗序號 | 【2-1】 | | | 【2-2】 | | | 【2-3】 | | |
|------|-------|-----|------------|-------|-----|------------|-------|-----|------------|
| | 低 | | | 中 | | | 高 | | |
| 量測位置 | A | B | A-B 壓力差 | A | B | A-B 壓力差 | A | B | A-B 壓力差 |
| 前表 | / | / | / | / | / | / | 12 | -9 | 21 |
| 前中 | / | / | / | 15 | -12 | 27 | 18 | -15 | 33 |
| 前深 | 18 | -15 | 33 | 21 | -18 | 39 | 27 | -24 | 51 |
| 中表 | / | / | / | / | / | / | 9 | -6 | 15 |
| 中中 | / | / | / | 12 | -12 | 24 | 15 | -12 | 27 |
| 中深 | 15 | -15 | 30 | 18 | -18 | 36 | 27 | -18 | 45 |
| 後表 | / | / | / | / | / | / | 12 | -9 | 21 |
| 後中 | / | / | / | 12 | -12 | 24 | 15 | -15 | 30 |
| 後深 | 18 | -15 | 33 | 21 | -18 | 39 | 27 | -18 | 45 |



*「/」表量測不到數值

水流壓力狀況分析：

1. 水位高度在低【2-1】與中【2-2】時，許多數據量測不到，所以取高水位分析。
2. 在渠道深度方面，深層壓力最大，表層壓力最低。
3. 圓柱前面及後面的壓力比中間為高。
4. 與無橋墩數據相比發現，圓柱橋墩的存在會增加各位置之量測的壓力值，尤其以表層壓力變化最大。

圖 16 在高水位時，不同圓柱位置的水流壓力變化

【實驗二-2】：此實驗固定水位高度為高水位，橋墩形狀為『三角柱、正方柱、四角柱』，放置在渠道中間的測量基礎線上，量取橋墩前面、中間、後面位置及水深表層、中層及深層共計9點數值，量取各點水流壓力所造成的A-B壓力差值。利用100顆自製流速球，測量5秒內流經數量，再轉化成圖表，加以整理分析。



圖17 渠道流速量測

表4 不同橋墩形狀及不同位置的水流壓力結果

單位：mm

| 實驗序號 | 橋墩形狀 | 圖形 | 前表 | 前中 | 前深 | 中表 | 中中 | 中深 | 後表 | 後中 | 後深 |
|--------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 【1-3】 | 無 | △ | 9 | 21 | 42 | 9 | 21 | 42 | 9 | 21 | 42 |
| 【2-3】 | 圓柱 | ○ | 21 | 33 | 51 | 15 | 27 | 45 | 21 | 30 | 45 |
| 【2-4】 | 三角柱 | △ | 12 | 27 | 45 | 9 | 33 | 48 | 12 | 33 | 45 |
| 【2-5】 | 三角柱 | ▽ | 21 | 39 | 48 | 15 | 30 | 42 | 18 | 36 | 45 |
| 【2-6】 | 正方柱 | □ | 21 | 39 | 51 | 18 | 27 | 42 | 18 | 36 | 48 |
| 【2-7】 | 菱形柱 | ◇ | 12 | 24 | 45 | 12 | 28 | 42 | 12 | 24 | 45 |
| 【2-8】 | 四角柱 | ▭ | 24 | 42 | 57 | 21 | 24 | 45 | 24 | 42 | 54 |
| 【2-9】 | 四角柱 | ▮ | 18 | 27 | 45 | 15 | 27 | 42 | 15 | 27 | 45 |
| 【2-10】 | 四角柱 | ◊ | 15 | 36 | 45 | 12 | 24 | 45 | 15 | 33 | 45 |
| 【2-11】 | 四角柱 | ◊ | 15 | 36 | 45 | 12 | 24 | 45 | 15 | 33 | 45 |

表5 不同橋墩形狀的水流速度結果

單位：顆

| 實驗序號 | 水位高度 | | 低 | 中 | 高 |
|--------|----------|----|------|------|------|
| | 次數 形狀 | 圖形 | 平均數量 | 平均數量 | 平均數量 |
| | | | | | |
| 【2-12】 | 無 | △ | 90 | 66 | 8 |
| 【2-13】 | 圓柱 | ○ | 70 | 49 | 6 |
| 【2-14】 | 三角柱 | △ | 74 | 45 | 4 |
| 【2-15】 | 三角柱 | ▽ | 55 | 40 | 5 |
| 【2-16】 | 正方柱 | □ | 50 | 20 | 6 |
| 【2-17】 | 菱形柱 | ◇ | 53 | 40 | 7 |
| 【2-18】 | 四角柱 | ▭ | 40 | 10 | 2 |
| 【2-19】 | 四角柱 | ▮ | 45 | 32 | 3 |
| 【2-20】 | 四角柱 | ◊ | 48 | 34 | 5 |
| 【2-21】 | 四角柱 | ◊ | 46 | 33 | 4 |

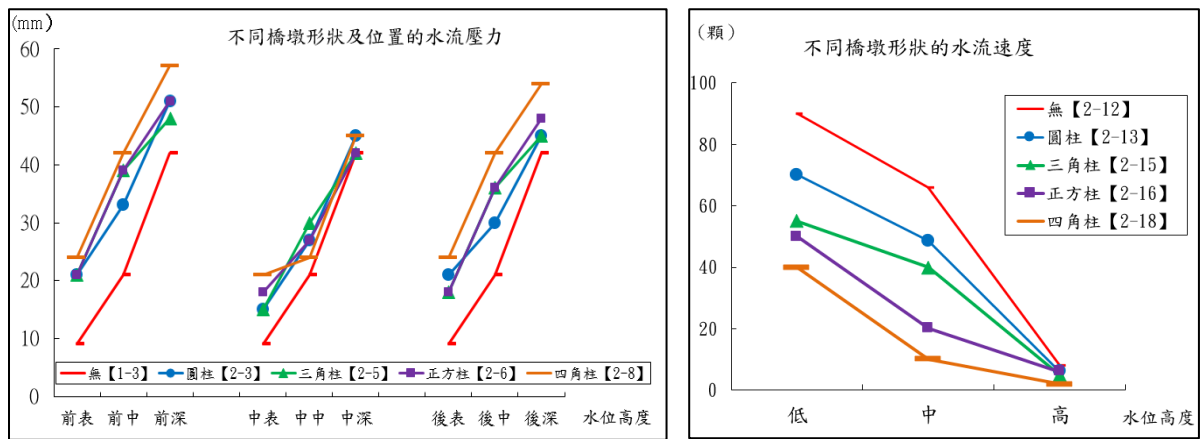


圖18 不同橋墩形狀對水流壓力及速度的折線圖

水流壓力狀況分析：

1. 各種橋墩前面表層的水流壓力以實驗【2-8】最大，而實驗【2-4】、【2-7】所受的前面表層水流壓力最小，而在中層與深層也有此趨勢的現象。
2. 各形狀橋墩中間的位置水流壓力都很接近，但都比無障礙物時高。
3. 在水深方面，相同深度時，水流速度越快，則壓力越小。橋墩中間的壓力較小；橋墩前面及後面壓力最大，發現易造成渦流的現象。

水流速度狀況分析：

1. 由圖18得實驗【2-18】橫的四角柱，會阻擋較多的自製流速球前進，因此水流速度較慢，不管水位高度在低、中、高，流過的球數都是最少的，球數比無障礙物還少。
2. 在高水位時，因為流速慢，導致球通過的數量較少，可能因為出水口大小及渠道斜度不足所造成的。
3. 流速的快慢除了會因水位高低之外，橋墩阻擋渠道的面積也會有影響。
4. 發現增加橋墩會降低流速，在低水位時流速由快而慢： $\triangle > \bigcirc > \square > \square$ 。

實驗三、探討渠道底層障礙物的影響

【實驗三-1】：將障礙物橫放於渠道底部，每次實驗量取障礙物前、後及表層、中層及深層共計 6 點壓力值數據，探討在高水位時，不同底層障礙物形狀對水流壓力及流速的變化。實驗步驟：

1. 控制出水口大小，出水口速度為實驗步驟（二）所設定方式3。
2. 於渠道測量基礎線橫放障礙物於渠道底部，障礙物分為平面及立體兩種，分析水流受障礙物阻礙時的壓力及流速變化。
3. 將U形管口置入水中，測量不同定點的壓力，量取A-B壓力差值，探討底層障礙物

各點對水流壓力的變化情形。得到方格紙A、B兩點高度差，1格3mm，再轉化成圖表，加以整理分析。

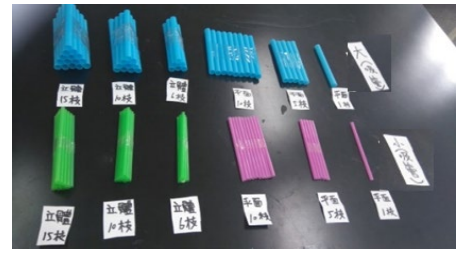


圖 19 底層障礙物形狀

4. 利用 100 顆自製流速球，測量 5 秒內流經數量，再轉化成圖表，加以整理分析。

表 6 不同底層障礙物形狀及不同位置的水流壓力結果

單位：mm

| 實驗序號 | 3-1 | 3-2 | 3-3 | 3-4 | 3-5 | 3-6 | 3-7 | 3-8 | 3-9 | 3-10 | 3-11 | 3-12 |
|------|------|-----|-----|------|-----|-----|------|-----|-----|------|------|------|
| 障礙物 | 平面小枝 | | | 平面大枝 | | | 立體小枝 | | | 立體大枝 | | |
| 形狀位置 | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 6 | 10 | 15 | 6 | 10 | 15 |
| 前表 | 6 | 12 | 9 | 9 | 9 | 15 | 9 | 12 | 12 | 9 | 12 | 18 |
| 前中 | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 | 27 | 27 | 34 | 27 | 27 | 27 | 30 |
| 前深 | 36 | 39 | 39 | 39 | 45 | 45 | 42 | 42 | 42 | 36 | 45 | 51 |
| 後表 | 6 | 9 | 9 | 6 | 9 | 12 | 9 | 9 | 9 | 9 | 12 | 12 |
| 後中 | 21 | 21 | 21 | 21 | 34 | 24 | 21 | 24 | 21 | 24 | 27 | 27 |
| 後深 | 33 | 33 | 36 | 42 | 45 | 42 | 42 | 45 | 45 | 39 | 39 | 48 |

表 7 不同底層障礙物形狀的水流速度結果

單位：顆

| 實驗序號 | 3-13 | 3-14 | 3-15 | 3-16 | 3-17 | 3-18 | 3-19 | 3-20 | 3-21 | 3-22 | 3-23 | 3-24 |
|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 障礙物 | 平面小枝 | | | 平面大枝 | | | 立體小枝 | | | 立體大枝 | | |
| 形狀次數 | 1 | 5 | 10 | 1 | 5 | 10 | 6 | 10 | 15 | 6 | 10 | 15 |
| 平均 | 12 | 10 | 9 | 10 | 7 | 3 | 11 | 8 | 5 | 4 | 4 | 0 |

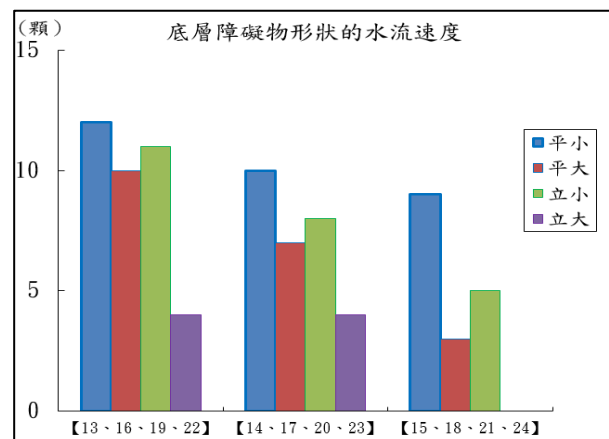
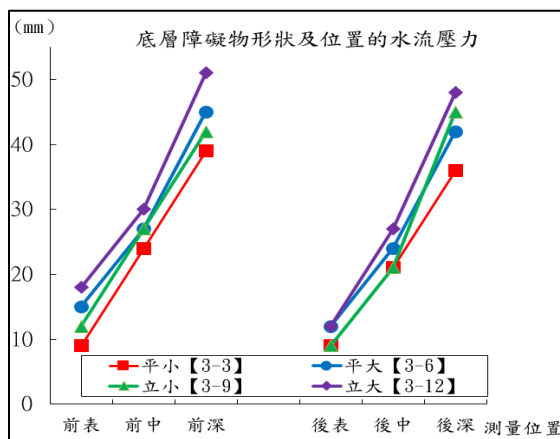


圖 20 底層障礙物形狀的水流壓力與流速折線圖與柱狀圖

水流壓力狀況分析：

1. 由圖20得知，在障礙物前面及後面深層的位置，壓力明顯比表層及中層大。
2. 發現立體的壓力較平面的大，且障礙物枝數越多，壓力越大。因此可推測於渠道底部若障礙物越大、越多，將會對橋墩周邊壓力有較大影響。
3. 因平面小枝對水流影響較小，因此不同枝數間的壓力相差不大。

水流速度狀況分析：

1. 隨著枝數變多，在障礙物後面造成的渦流越大，使自製流速球被捲入，無法到達出水口，因此量測出的數據接近零，但仍然有少數的自製流速球通過，以立大最為明顯。
2. 流速變化：枝數少 > 枝數多；平面 > 立體。
3. 立小和平小因阻擋較少水流，不會造成渠道水流明顯改變，因此能通過的自製流速球顆數較多，流速較快。

實驗四、探討橋墩在渠道邊時的影響

【實驗四-1】：橋墩形狀『各形狀柱體』放置渠道旁邊，探討在出水口流速 3 時，不同水位高度及各橋墩位置對水流壓力及流速的影響。



圖 21 橋墩位於渠道位置

實驗步驟：

1. 控制水位高度，出水口速度為實驗步驟（二）所設定方式水位高度為高。
2. 於測量基礎線渠道邊放置不同形狀之橋墩，分析水流受橋墩阻礙的壓力變化。
3. 量測不同類型橋墩特性，U形管口置入水中，測量不同定點的壓力，量取A-B壓力差值，探討不同橋墩形狀與水位高度及位置對水流壓力的變化情形。
4. 得到方格紙 A、B 兩點高度，1 格 3mm，再轉化成圖表，加以整理分析。
5. 利用 100 顆自製流速球，測量 5 秒內流經數量，再轉化成圖表，加以整理分析。

表 8 不同橋墩形狀放置渠道邊及不同位置的水流壓力結果

單位：mm

| 實驗序號 | 1-3 | 4-1 | 4-2 | 4-3 | 4-4 | 4-5 | 4-6 | 4-7 | 4-8 | 4-9 |
|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 形狀 | 無 | 圓柱 | 三角柱 | 三角柱 | 正方柱 | 菱形柱 | 四角柱 | 四角柱 | 四角柱 | 四角柱 |
| 位置 | 無 | ○ | △ | ▽ | □ | ◇ | ▭ | ▭ | ▭ | ▭ |
| 圖形 | | ○ | △ | ▽ | □ | ◇ | ▭ | ▭ | ▭ | ▭ |
| 前表 | 9 | 24 | 18 | 24 | 24 | 18 | 27 | 21 | 21 | 24 |
| 前中 | 21 | 38 | 48 | 48 | 45 | 45 | 51 | 45 | 39 | 42 |
| 前深 | 42 | 63 | 54 | 60 | 66 | 57 | 69 | 66 | 63 | 63 |

| | | | | | | | | | | |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 中表 | 9 | 24 | 15 | 15 | 15 | 21 | 21 | 24 | 24 | 21 |
| 中中 | 21 | 36 | 36 | 42 | 45 | 39 | 33 | 30 | 51 | 33 |
| 中深 | 42 | 57 | 57 | 51 | 60 | 57 | 54 | 54 | 51 | 51 |
| 後表 | 9 | 24 | 18 | 15 | 15 | 24 | 24 | 21 | 24 | 18 |
| 後中 | 21 | 39 | 42 | 45 | 36 | 51 | 51 | 33 | 45 | 39 |
| 後深 | 42 | 57 | 57 | 60 | 57 | 57 | 57 | 54 | 57 | 54 |

表 9 不同橋墩形狀放置渠道邊的水流速度結果

單位：顆

| 實驗 序號 | 2-12 | 4-10 | 4-11 | 4-12 | 4-13 | 4-14 | 4-15 | 4-16 | 4-17 | 4-18 |
|----------|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 形狀 次數 | 無 | 圓柱 形 | 三角 柱 | 三角 柱 | 正方 柱 | 菱形 柱 | 四角 柱 | 四角 柱 | 四角 柱 | 四角 柱 |
| 圖形 | | | | | | | | | | |
| 平均 | 8 | 3 | 0 | 4 | 3 | 5 | 0 | 5 | 2 | 4 |

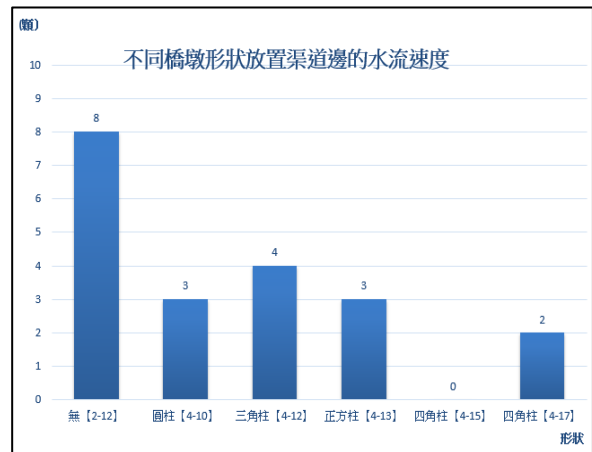
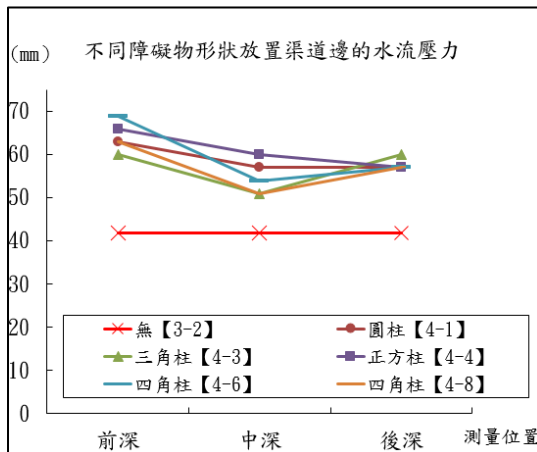


圖22 不同橋墩相對位置的水流壓力與流速折線圖與柱狀圖

水流壓力狀況分析：

1. 在橋墩位置方面，以橋墩前面及後面比中間的壓力大，以實驗【4-6】最大，實驗【4-3】各量測位置壓力較小。
2. 在深度方面，無論前面、中間還是後面，深層的壓力都比表層及中層來的大。
3. 與橋墩放置渠道中間相比，整體各點的壓力值都有增加的趨勢。
4. 實驗【4-8】與【4-9】比較發現數值不同，雖橋墩形狀相似但其因擺放角度不同所造成之壓力也不同。

水流速度狀況分析：

1. 在高水位時，每顆通過的數量都較低水位少，因出水速度慢，造成流速變慢。

2. 發現自製流速球流經橋墩時，因橋墩周圍形成漩渦而使自製流速球停滯不前，且橋墩會擋住渠道的水流，所以增加橋墩的流速較無橋墩流速慢。
3. 橋墩放置渠道邊時，以實驗【4-12】流速最快，和實驗二-2 相比發現橋墩放置渠道邊上時，流速較橋墩置於渠道中慢。

實驗五、探討多重橋墩的影響

【實驗五-1】：多重圓柱橋墩對水流壓力與流速的變化，放置兩個、三個及五個圓柱橋墩於渠道的中間及渠道邊上，測量不同位置及深度時對水流壓力與流速的影響。

表 10 多重圓柱橋墩放置渠道不同位置及深度的水流壓力結果 單位：mm




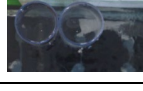




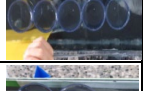

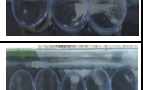
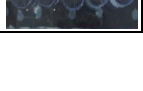
| 實驗序號 | 配置圖 | 配置 | 前表 | 前中 | 前深 | 中表 | 中中 | 中深 | 後表 | 後中 | 後深 |
|------|---|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 5-1 |  | 2 圓 中間 | 21 | 36 | 51 | 18 | 33 | 48 | 21 | 39 | 60 |
| 5-2 |  | 3 圓 中間 | 24 | 39 | 51 | 24 | 36 | 51 | 21 | 36 | 63 |
| 5-3 |  | 5 圓 中間 | 27 | 42 | 57 | 21 | 30 | 54 | 24 | 36 | 63 |
| 5-4 |  | 2 圓 靠邊 | 27 | 39 | 60 | 24 | 36 | 57 | 24 | 36 | 57 |
| 5-5 |  | 3 圓 靠邊 | 24 | 42 | 66 | 27 | 27 | 51 | 27 | 39 | 54 |
| 5-6 |  | 5 圓 靠邊 | 33 | 45 | 69 | 27 | 39 | 57 | 24 | 36 | 60 |

表 11 多重圓柱放置渠道不同位置的水流速度結果 單位：顆

| 實驗序號 | 配置圖 | 配置 | 水位高度-低 | 水位高度-中 | 水位高度-高 |
|------|---|-----------|--------|--------|--------|
| | | | 平均數量 | 平均數量 | 平均數量 |
| 5-7 |  | 2 圓 中間 | 77 | 55 | 10 |
| 5-8 |  | 3 圓 中間 | 71 | 49 | 7 |
| 5-9 |  | 5 圓 中間 | 69 | 42 | 7 |
| 5-10 |  | 2 圓 靠邊 | 73 | 43 | 8 |
| 5-11 |  | 3 圓 靠邊 | 70 | 37 | 5 |
| 5-12 |  | 5 圓 靠邊 | 65 | 35 | 0 |

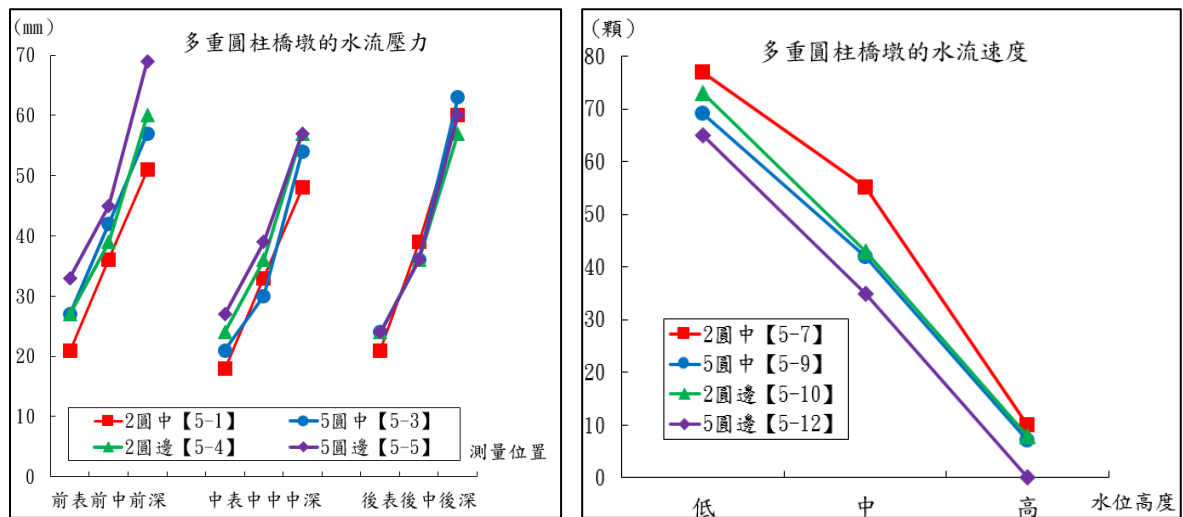


圖23 多重圓柱的水流壓力及速度折線圖

水流壓力狀況分析：

1. 圓柱越多，越靠近出水口，所量測到的壓力值越大。
2. 在圓柱中間所量測到壓力比較接近均值。而圓柱物後面的壓力比前面來的小。
3. 相同圓柱數量，橋墩前、中、後，表、中、深層的壓力均為渠道邊>渠道中間。

水流速度狀況分析：

1. 圓柱越少流速越快，且圓柱靠邊流速比中間慢。
2. 比較【2-3】，發現增加越多橋墩，使各點位壓力值變大，相對流速變慢。
3. 5圓(邊)在高水位流經的球數連一顆都沒有，因為高水位流速較慢，且因圓柱較多，會增加多處渦流，導致自製流速球無法通過。

實驗六、模擬與實際測量結果

實際到校園內的渠道測量理論與實際的差異，先準備好相關器材，自製壓力計及自製流速球，利用礦泉水當圓柱橋墩，分別測量壓力及流速，改變的因素包含量取位置水深、橋墩前後的壓力及橋墩放置位置。利用100顆自製流速球，測量10秒內流經數量，再轉化成圖表，加以整理分析並比較之前的實驗數據。

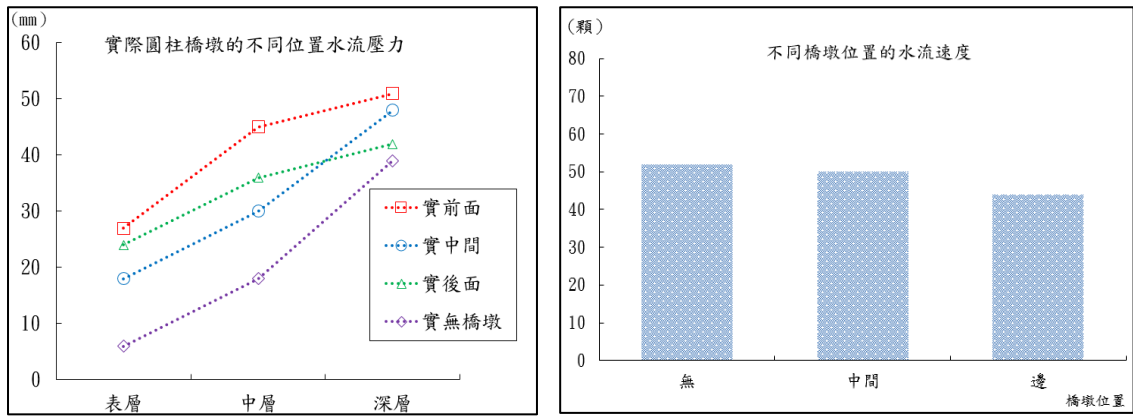


圖 24 實際測量圓柱橋墩的不同位置水流壓力與流速

水流壓力狀況分析：實地測量後發現因渠道裡面較多變因，所以壓力也有所不同，但其趨勢和模擬渠道相同。無橋墩的壓力最低，障礙物前深層壓力最大，另外橋墩前後壓力會比橋墩中間大。

水流速度狀況分析：因為為實地測量，所以無法改變水流的高低。根據數據比較發現水流速度較模擬測量慢。以無橋墩為基本值後發現，橋墩在邊流速最慢。

陸、實驗分析與討論：

整理前面數據資料，在不同橋墩形狀、位置及水深的壓力及流速，得到以下發現：

- 一、由【實驗二】可以整理如圖25所示，不同橋墩形狀放置渠道中間，在水位高度為3的條件下，分別彙整各橋墩形狀在水深為表層、中層與深層的折線圖，圖26為不同橋墩形狀放置渠道中間，在不同水深的流速折線圖。

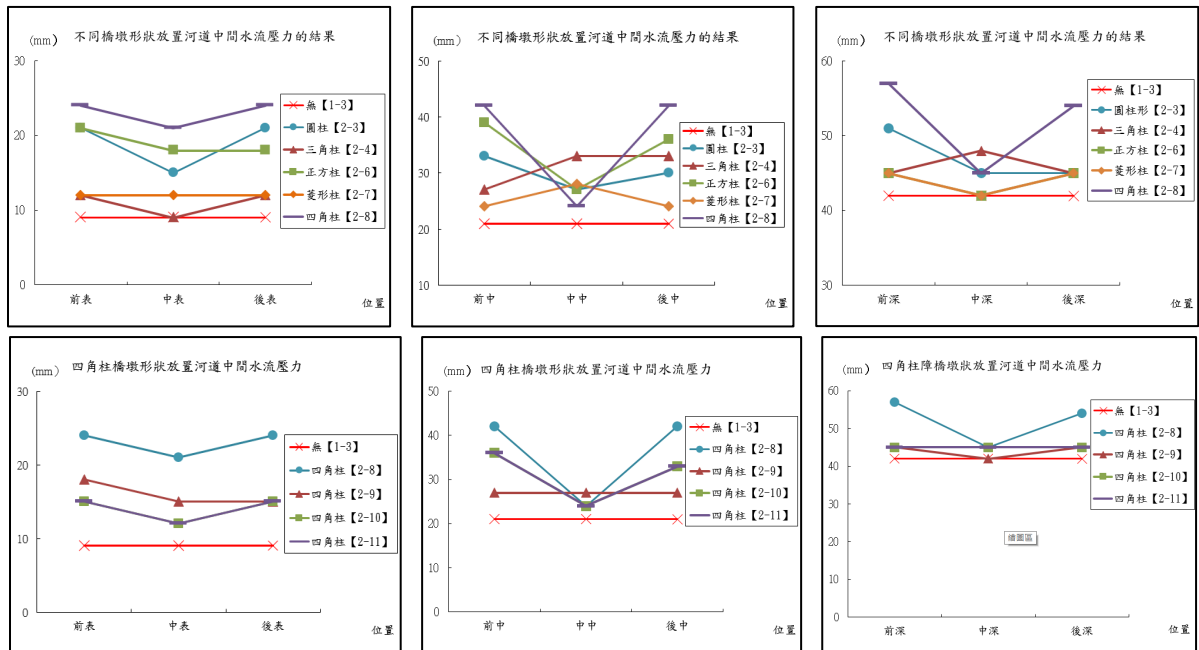


圖 25 不同橋墩形狀放置渠道中間，在不同水深的壓力比較

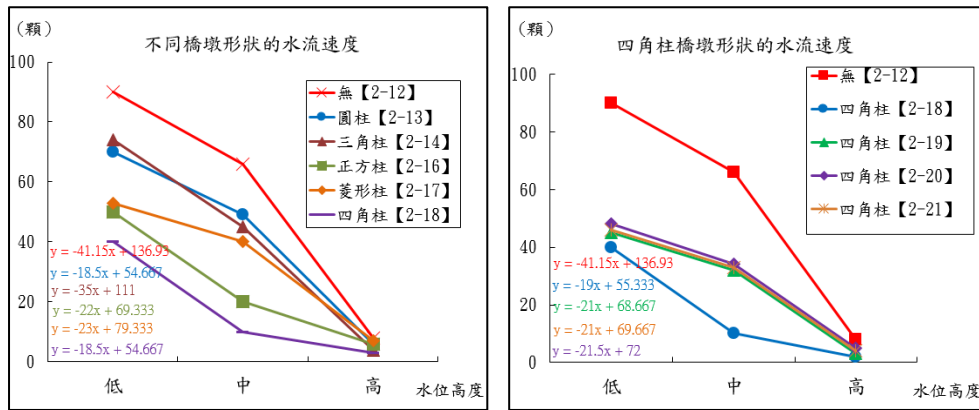


圖26 不同橋墩形狀放置渠道中間，在不同水深的流速比較

1. 由圖25發現，不論在表層，中層或深層，橋墩形狀都將造成水壓變大的現象。
2. 實驗【2-8】的壓力不論是和各形狀比較或和四角柱比較皆為最高。
3. 由圖25發現，橋墩與水流的接觸面積大小會是影響壓力的重要因素。
4. 渠道中橋墩應以圓形為主，因希望條件為流速慢、壓力小之橋墩形狀，然而依白努力定律可知壓力與流速成反比，因此橋墩之壓力及流速取適中為佳。
5. 圖26發現，有橋墩會降低流速。不同形狀的流速比較， $\triangle > \bigcirc > \diamond > \square > \square$ 。
6. 橋墩為四角柱時，【2-18、19、20、21】的流速比較， $\diamond > \square > \square > \square$ 。

二、【實驗三】可以發現如圖27所示，不同底層障礙物，在水位高度為3的條件下，彙整障礙物在水深表、中與深層的折線圖，圖28為底層障礙物的流速折線圖。

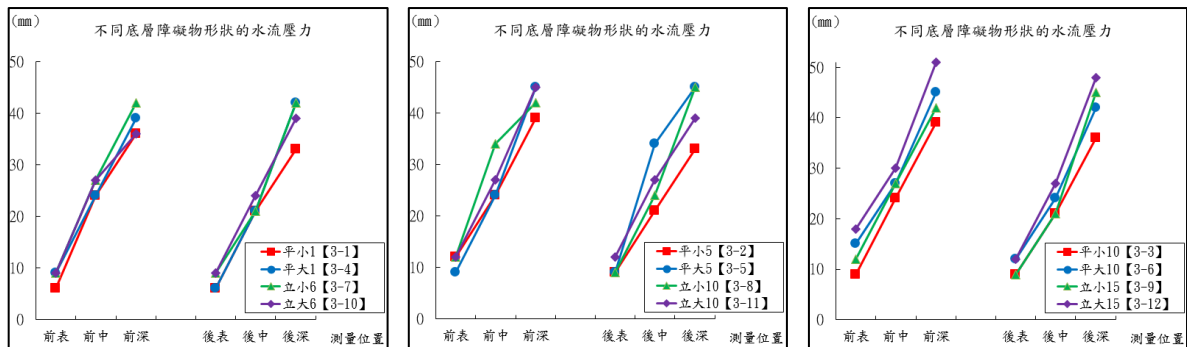


圖27 不同底層障礙物形狀，在相同水深的壓力比較

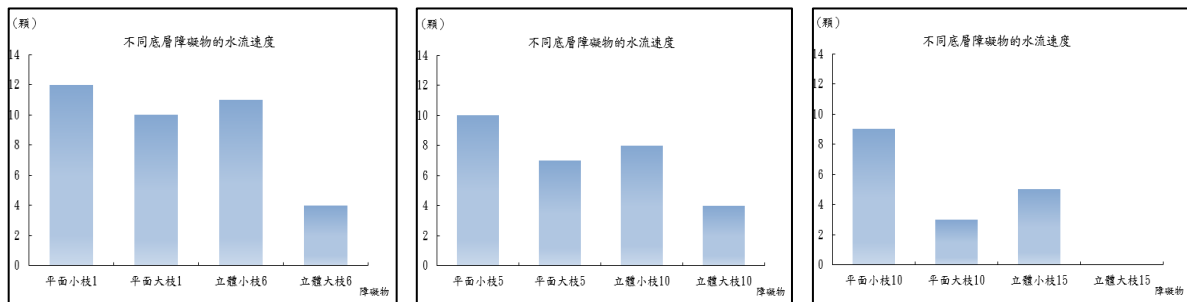


圖28 不同底層障礙物形狀，在相同水深的流速比較

1. 比較實驗3-1、3-4，實驗3-2、3-5，實驗3-3、3-6，可發現平面障礙物越大，壓力越大，另外立體障礙物也有相同結果。
2. 比較實驗3-3、3-9，實驗3-6、3-12，發現立體障礙物壓力大於平面障礙物。
3. 障礙物前後比較，不論平面或立體障礙物，底層障礙物前後的壓力差不多。
4. 由圖28比較可發現，障礙物會導致水流的流速快慢。
5. 比較圖27、28發現枝數越多，障礙物越大，壓力越大，以實驗【3-12】之壓力最大；而流速剛好相反，實驗【3-12】之流速最慢。

三、由【實驗四】整理可以發現如圖29所示，不同橋墩形狀放置渠道邊上，在水位高度為3的條件下，分別彙整橋墩形狀在邊上之水深為表層、中層與深層的折線圖。

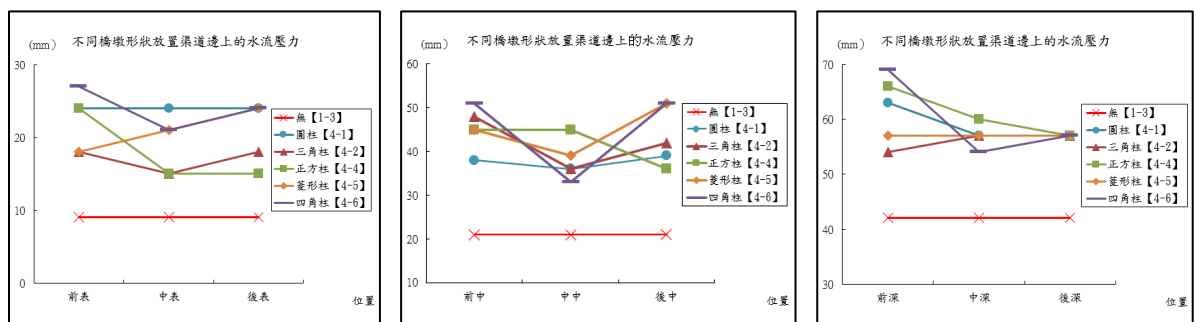


圖 不同橋墩形狀放置渠道邊上，在不同水深下壓力比較

1. 橋墩在渠邊上對水壓有大量的提升效果。
2. 不同橋墩中間的水流壓力除了表層之外，中層及深層比較接近。而在橋墩後深的位置所量測出的數據，不同形狀之橋墩壓力幾乎相同。
3. 在橋墩後面的表層壓力上，以四角柱 > 菱形柱 > 圓形柱 > 三角柱 > 正方柱 > 無。
4. 由表9分析，橋墩的形狀在渠邊上對水流速度影響差異不大。

四、由【實驗五-1】整理可以發現如圖30所示，多重圓柱橋墩在水位高度為3的條件下，分別彙整多重圓柱橋墩放置渠道中間與邊上，在橋墩前面、中間與後面的折線圖。

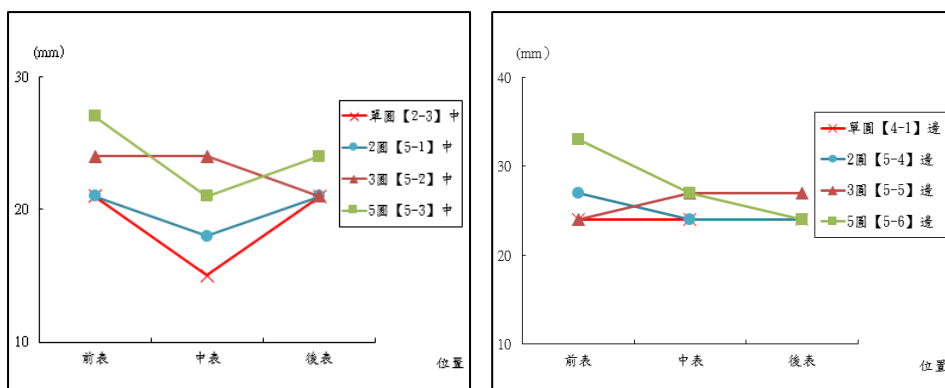


圖30 比較多重圓柱放置渠道的位置，在表層的壓力變化

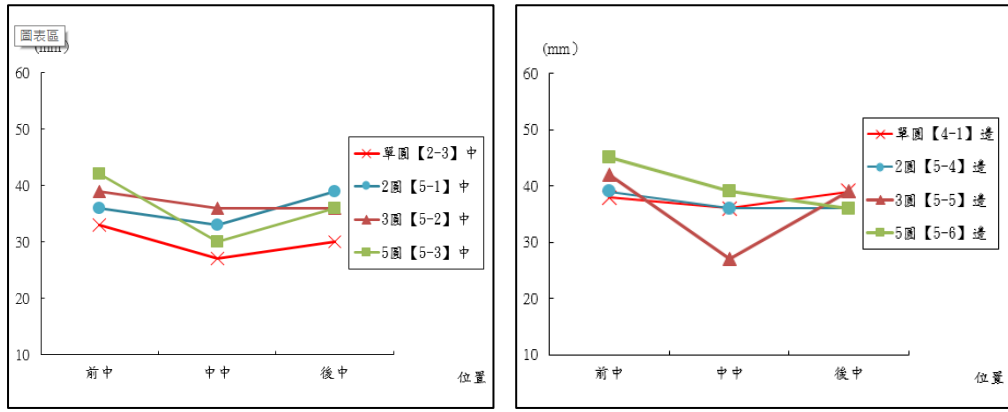


圖31 比較多重圓柱放置渠道的位置，在中層的壓力變化

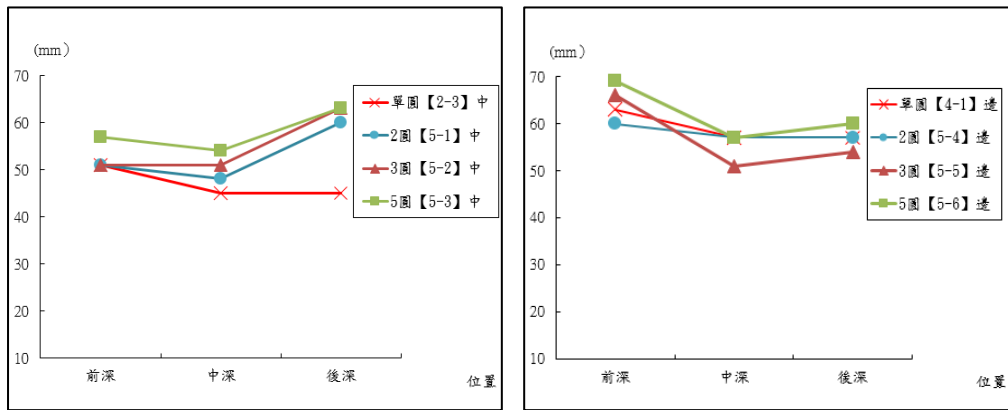


圖32 比較多重圓柱放置渠道的位置，在深層的壓力變化

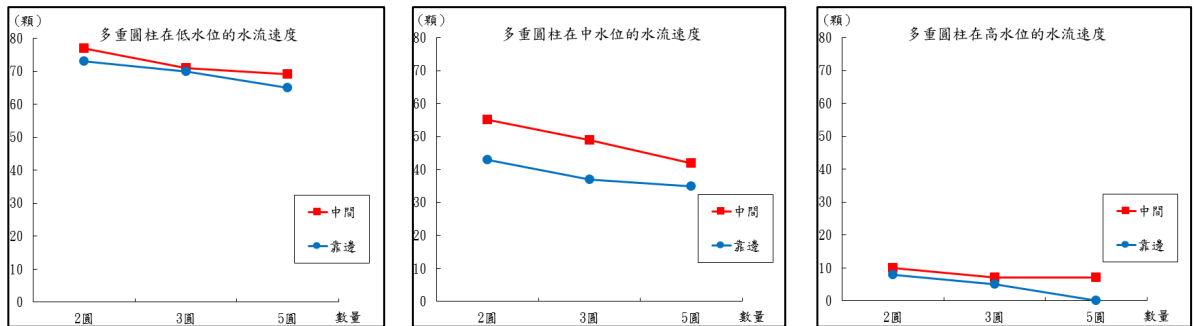


圖33 多重圓柱橋墩，在不同水深的流速比較

1. 雙重圓柱在渠道中，單圓的壓力最小，圖30多重圓柱放置在渠道中間與渠邊上表層壓力變化，圓柱越多，圓柱放置渠道中間時，前面及後面壓力越大；但圓柱放置渠道邊上時，圓柱數量增加，前面壓力越大，但後面壓力和圓柱數量無關。
2. 圖31說明多重圓柱放置在渠道中間與渠邊上中層壓力變化，圓柱放置渠道中間且數量多時，壓力較大；但圓柱放置渠道邊上時，數量無比例的現象發生。
3. 圖32說明多重圓柱放置在渠道中間與渠邊上深層壓力變化，不論圓柱是否靠邊，數量越多，壓力越大。
4. 圖33說明不論橋墩數量或水位高低，放置於渠道中間的水流流速較靠邊快。

五、由【實驗六】與模擬渠道中水位比較，實際渠道與模擬渠道的壓力及速度值

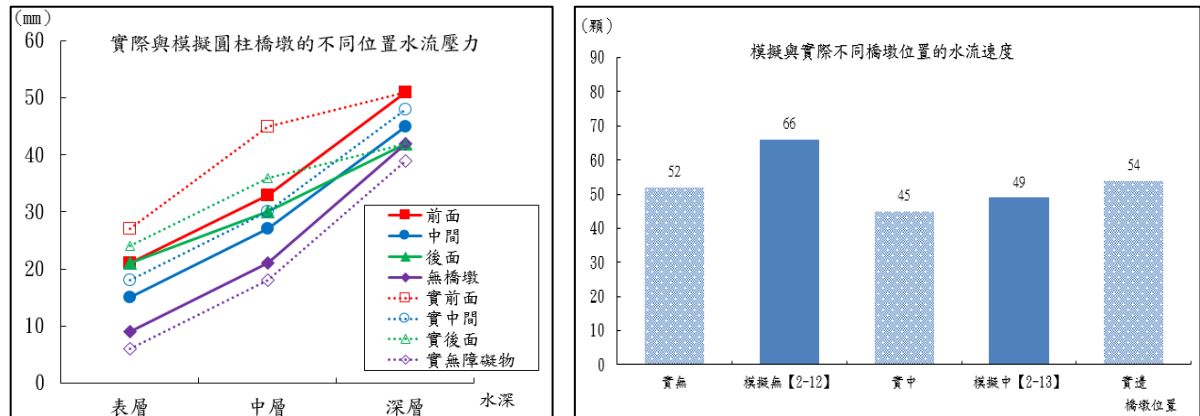


圖34 比較實際渠道與模擬渠道的壓力與速度

1. 實地測量的壓力數據與使用自製模擬渠道的比較發現，壓力變化大致上是相同，在圓柱前的壓力最大，無障礙物的壓力最小，圓柱前後的壓力比中間大。
2. 比較流速數據發現，其流速和模擬的趨勢相同，因實際測量無法改變水位高度，於是假設實際渠道之水位高度為中進行比較。圓柱在渠道旁的流速最快，圓柱在渠道中間流速最慢，與壓力相比後發現符合了白努利定律。

柒、結論：

- 一、實驗觀察渠道中，相同流速下，水位高度越高，所受壓力越大，但兩者並不是線性關係，不完全符合白努利定律，所以表示影響因素還有很多。
- 二、水流碰到橋墩就轉彎，造成速度方向改變，在測量相同位置下，不同橋墩形狀，壓力大小也會不同，會引起不同形態的渦流，而渦流的型態與出水口大小、橋墩形狀、數量與渠道的距離有關。
- 三、出水速度愈快，水流量也愈大，將會影響流速，造成壓力的差異化，水位高低有明顯的變化。
- 四、當渠道的水位高度相同時，水深越淺處，水流速度越快，所受壓力越小；反之，相同流速時，水深越深處，所受壓力越大。
- 五、相同流速時，橋墩前面及後面的壓力較中間的壓力大，且橋墩深層的壓力也比表、中層的壓力大。表示橋墩前面水流流速最慢，水流向橋墩兩側加速前進，造成橋墩後面比中間壓力高的趨勢。
- 六、隨橋墩與渠道邊距變小，流速會越慢，愈靠近岸邊水壓會愈大，壓力梯度變大。
- 七、橋墩與水接觸的表面積越大，對壓力變化也就越大，應避免用四角柱之橋墩。
- 八、觀察連通管左右水位高度差與渠道管流量的變化，實驗結果發現，雖然流量愈

大，連通管高度差愈大，但兩者並不是呈現線性關係。

九、在渠道中放置多重圓柱時，放置的圓柱數量愈多，越接近入水口且深度越深時，壓力會越大，但流速會變慢。

十、從實驗過程中，每次測量的水壓及流速並無法重現全部的數據，發現有些誤差的存在，因此需要重複實驗並計算出平均值，才能得到較正確的數據。說明水流的變化性很高，有較多變因無法掌控，難以準確的觀察，有待繼續努力。

捌、參考資料：

- [1]王傳益、林志遠、黃上軒、張詠善，不同直徑環圈柱橋墩保護工周圍流場之變化，水土保持學報43 (3): 297 - 310 (2011)。
- [2]陳信嘉等，洞裡乾坤，高中組物理科，中華民國第38屆中小學科學展覽會。
- [3]陳奕中，漩渦之美，物理科，台灣二〇〇二年國際科學展覽會。
- [4]林奕汝、賴玟羽、洪文心，“漩”機妙算，高中組物理科，中華民國第52屆中小學科學展覽會。
- [5]陳兩達、呂卓樑(民108)。土木建築工程與技術概論。台科大圖書。

【評語】 052404

本作品藉由自製模擬渠道模型，探討水流碰到橋墩後的變化，並記錄不同變因下，水流壓力與水流速度的關連性。探討不同橋墩形狀、水位高度、底層障礙物與橋墩位置，對渠道的水流壓力與水流速度的變化。其中有關仿渠道設計與製作，包括中空瓦楞板使得出水口水流穩定，透明玻璃與方格紙觀察水位變化，以及自製流速球量測流速等，皆顯示學生自行製作試驗模型組件之創意與用心，值得嘉許，但橋墩與自製流速球大小尺寸宜清楚說明，以單位時間內通過的自製流速球數量代表流速宜確認其可靠度。另外，實際橋墩沖刷問題與橋墩埋入土壤深度有關，亦即橋墩與淤積堆之互制作用，可深入分析探討。最後，縮尺寸模型試驗結果如何轉換至實際橋墩沖刷問題之尺寸效應及可能差異處，例如，渠道模型與真實橋墩附近壓力與流速之關係，宜加以整理說明。

作品簡報



中華民國第61屆中小學科學展覽會

作品名稱：

"橋"遷之喜—水流對橋墩壓力與流速之探討

組別：高中職組

科別：工程學科(二)

一、研究動機 & 研究目的

Motivation & Purpose

臺灣有許多河流，夏天時由於水位變化劇烈，加上障礙物之阻擋下，橋墩產生局部沖刷及累積很多雜物，威脅到橋樑的安全。於是我想做一些簡單實驗來瞭解橋墩受沖刷時的情況，以及哪些變因會影響水流的壓力及速度。藉由模擬渠道設計，量測渠道的水壓，研究水位高低對水流速度及壓力的影響，並將實驗結果數據化，以助將來進一步的科學分析。

- 一、了解橋墩沖刷過程、渦流的形成原因
- 二、藉由自製模擬渠道模型，探討水流壓力與水流速度的變化
- 三、探討不同橋墩形狀、水位高度、底層障礙物與橋墩位置，水流壓力與水流速度的變化
- 四、探討多重圓柱橋墩，對渠道中水流壓力與水流速度的變化
- 五、實際測量橋墩對水流壓力與水流速度的變化

二、文獻回顧 & 實驗設計與步驟

Literature Review & Experimental Design

在溪流轉彎處或岩石的夾縫處常有障礙物阻擋使原本維持直線流動的水流轉彎。依據白努利定律可知

1. 水流為穩定無轉動
2. 無黏滯性
3. 不可壓縮的流體。

$$\underline{1/2\rho v^2 + \rho gh + p = constant}$$

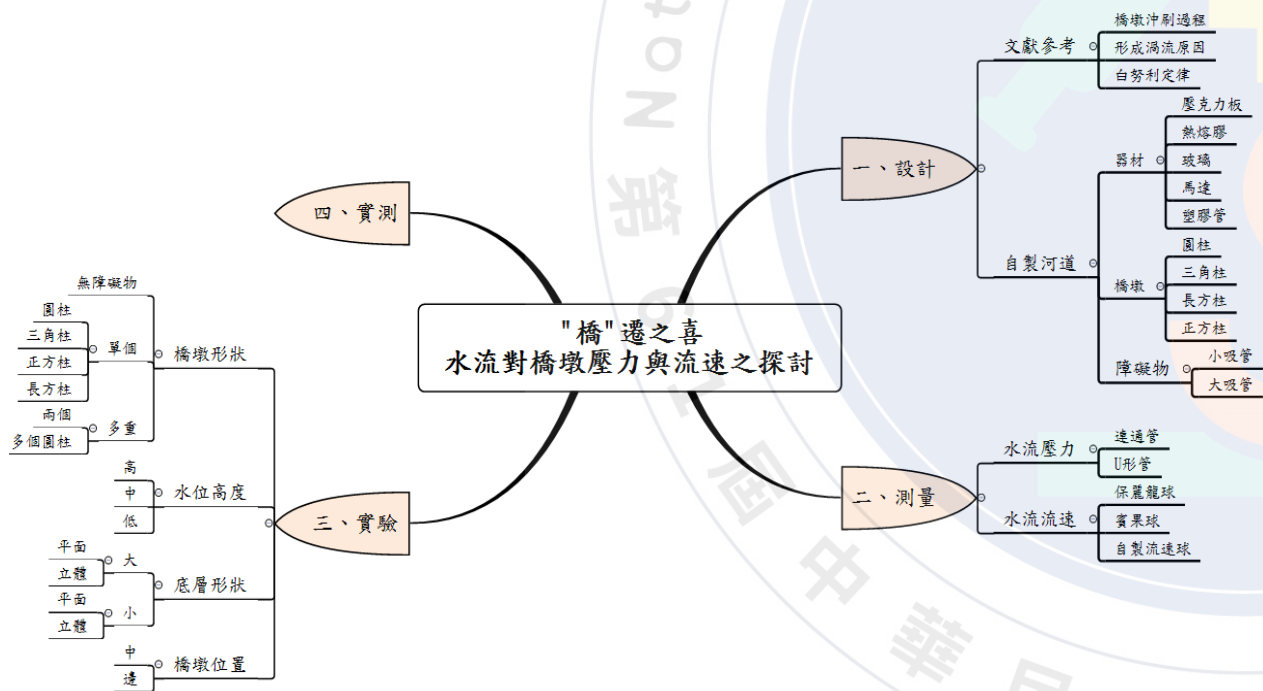


圖1 實驗構思心智圖

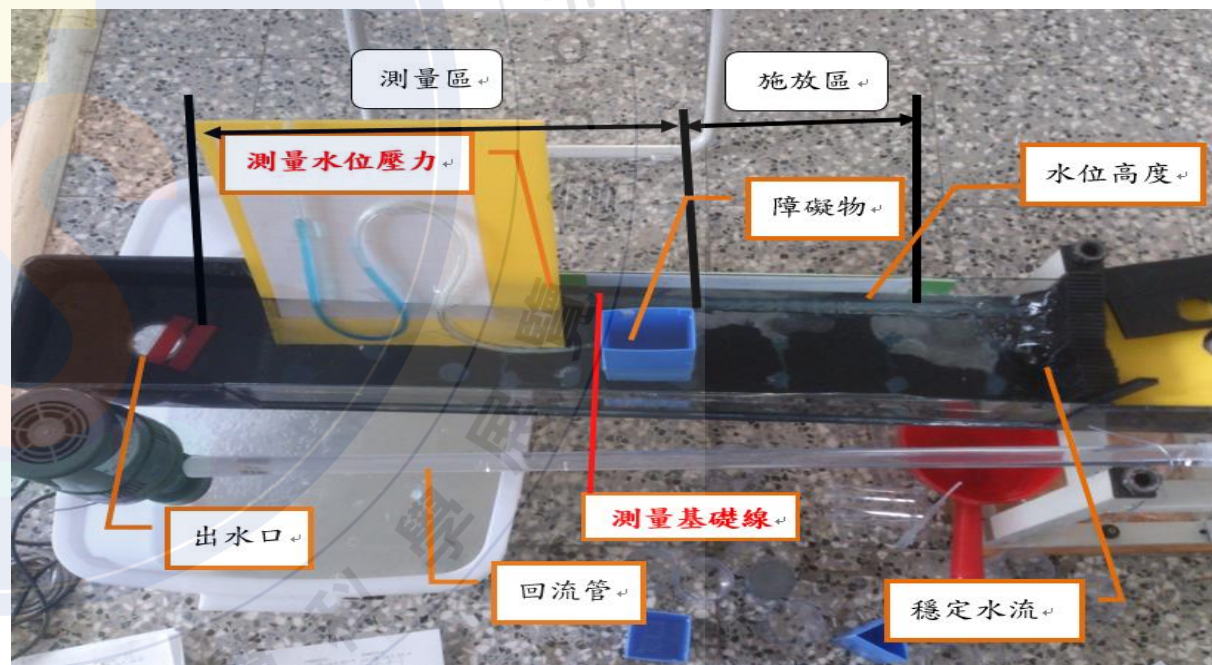


圖2 整體實驗配置圖

三、實驗設計與步驟

Experimental Design



圖3 入水口穩流的設計方式

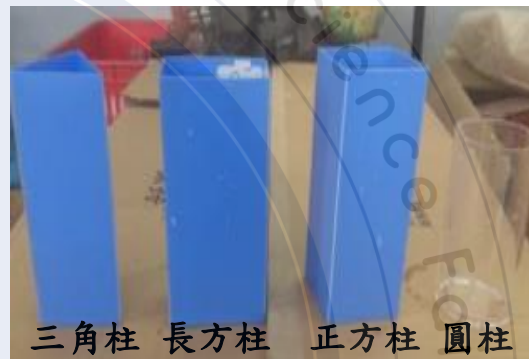


圖4 橋墩及障礙物形狀種類

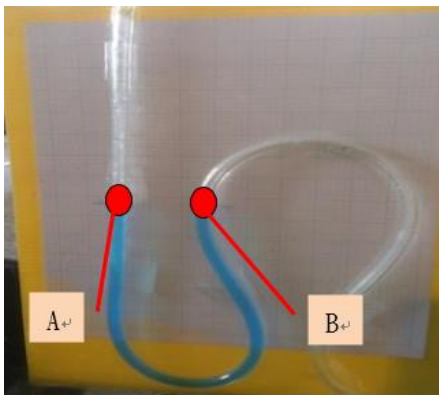
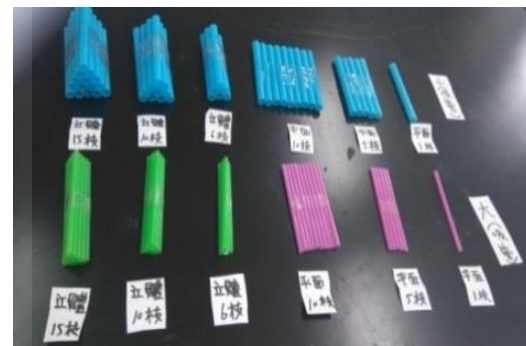


圖5 水流壓力及水流速度測量

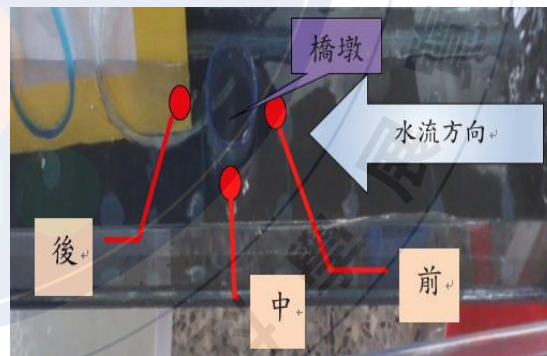
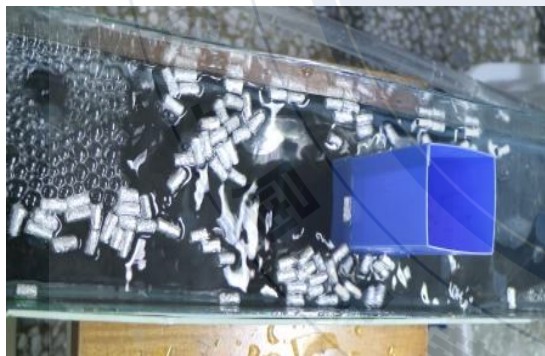
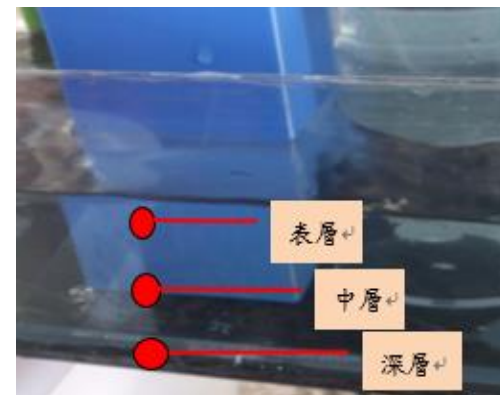


圖6 橋墩位置及水深設定



四、研究過程與結果 & 實驗分析與討論

Experimental Results & Discussion

實驗一、探討無障礙物的基本測量

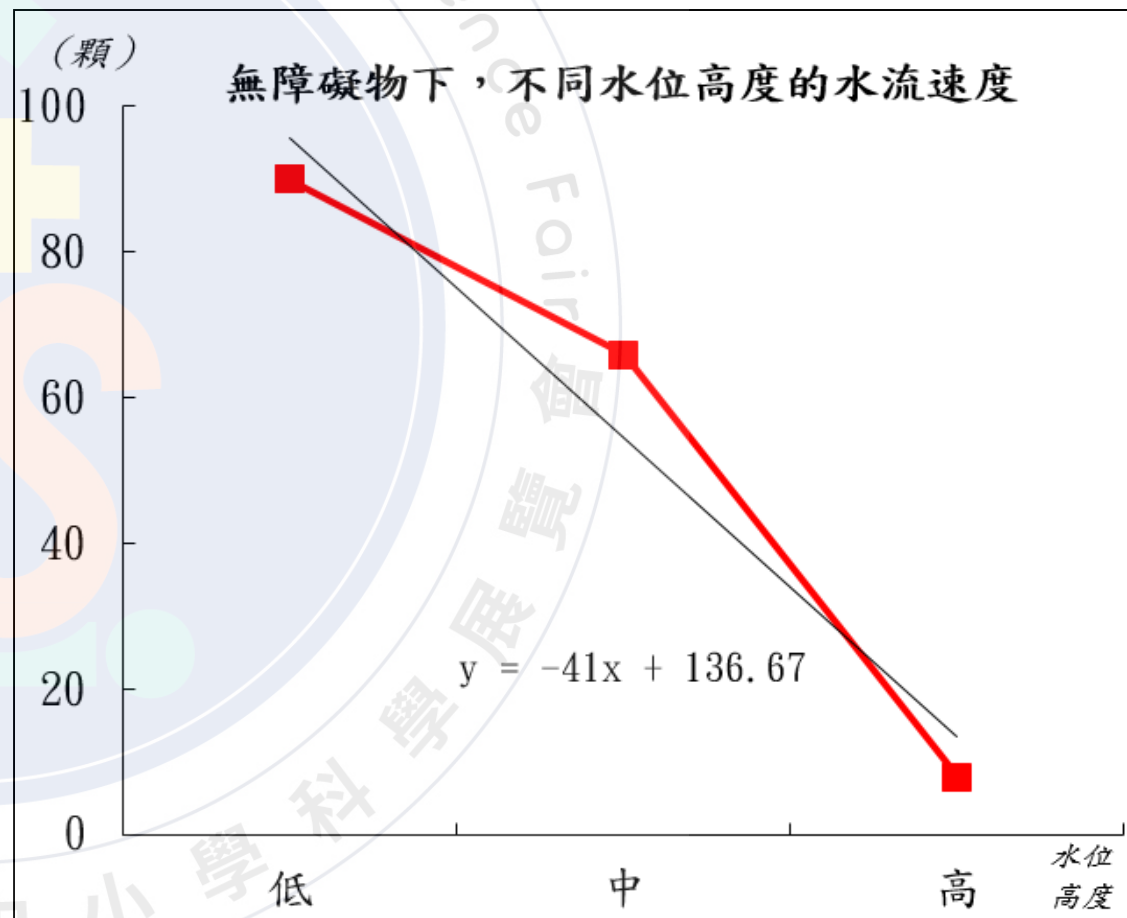
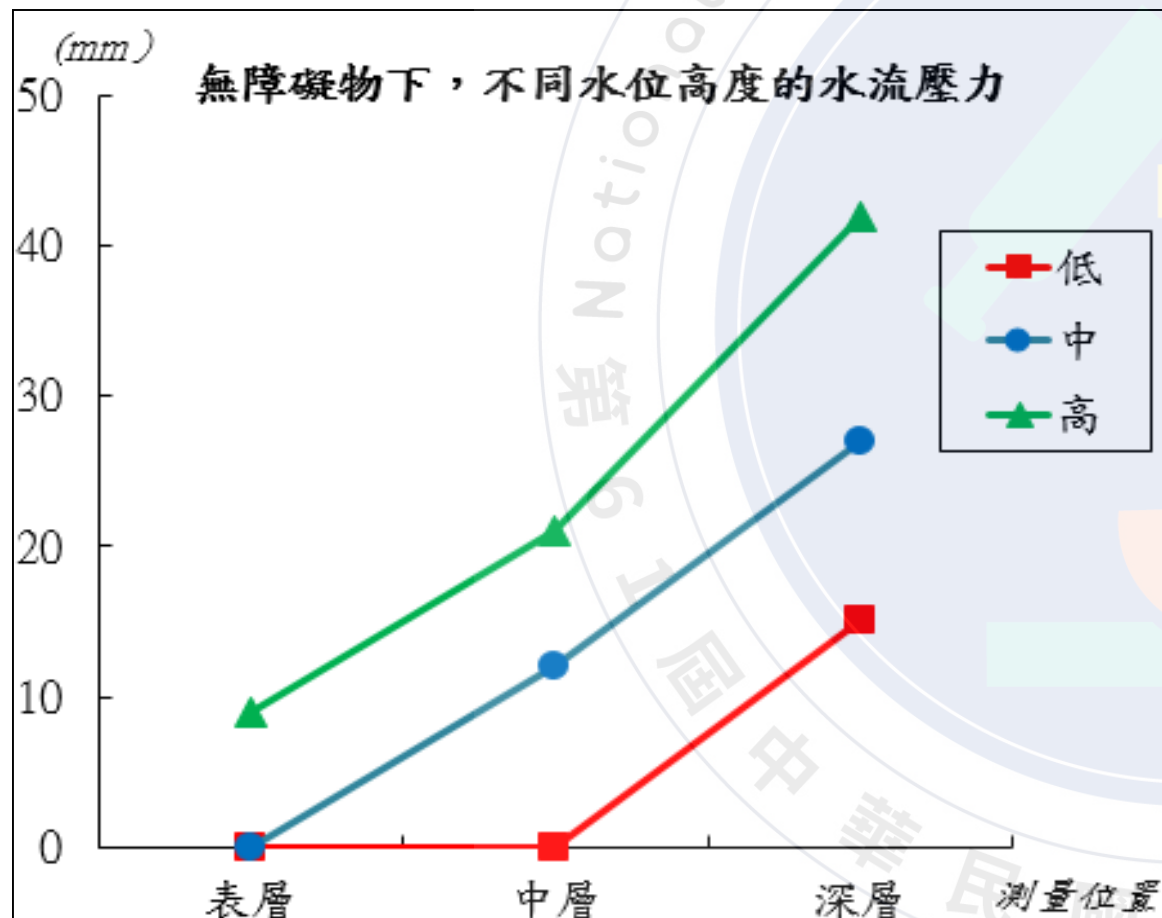


圖7 無障礙物下，不同水位高度對水流壓力及水流速度的影響

四、研究過程與結果 & 實驗分析與討論

Experimental Results & Discussion

實驗二、探討不同橋墩形狀的影響

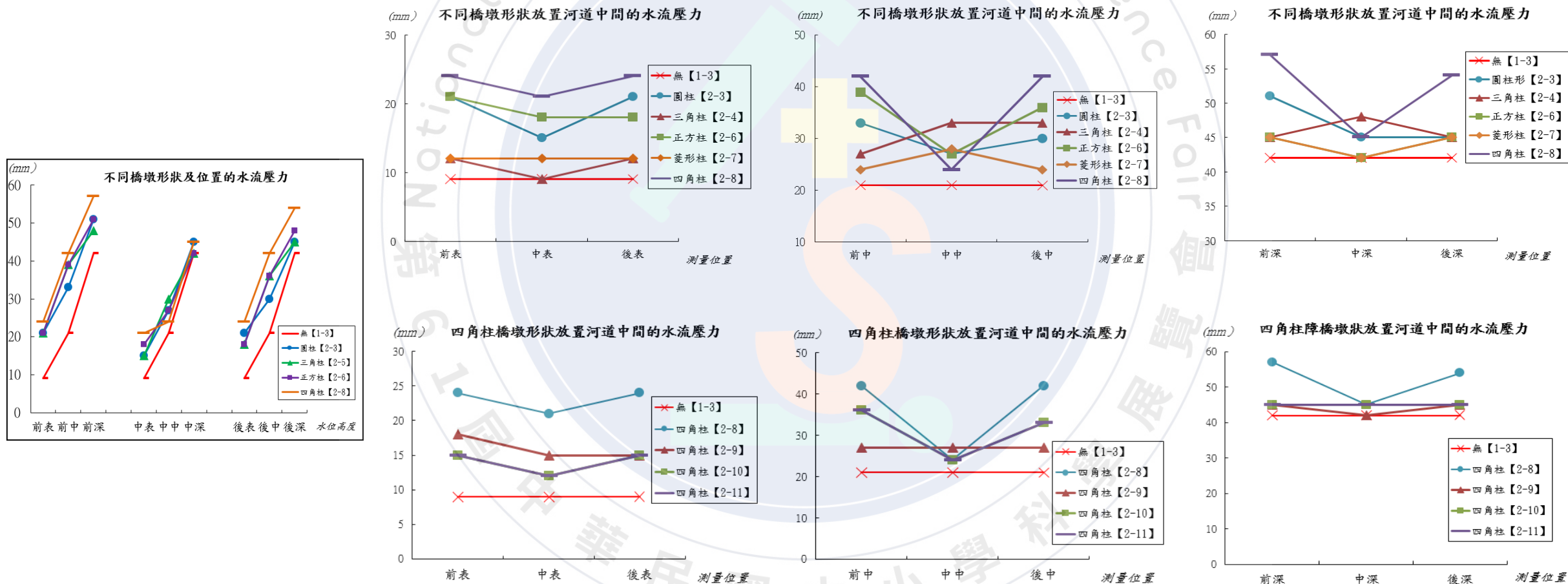


圖8 不同橋墩形狀對水流壓力的影響

四、研究過程與結果 & 實驗分析與討論

Experimental Results & Discussion

實驗三、探討渠道底層障礙物形狀的影響

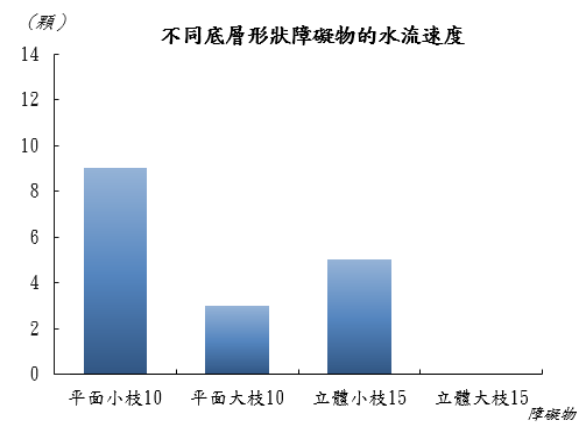
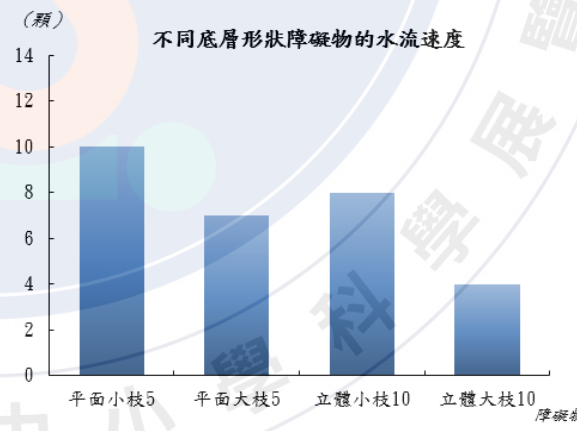
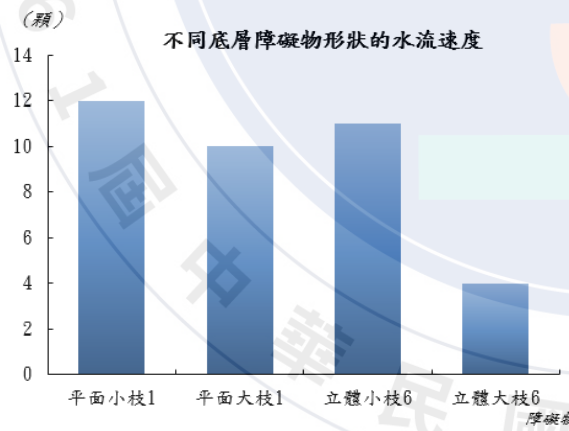
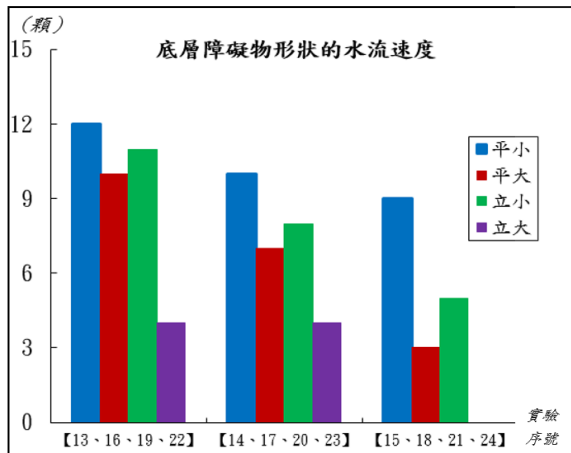
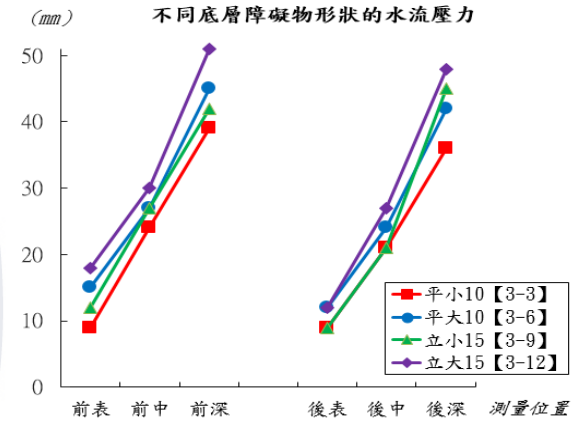
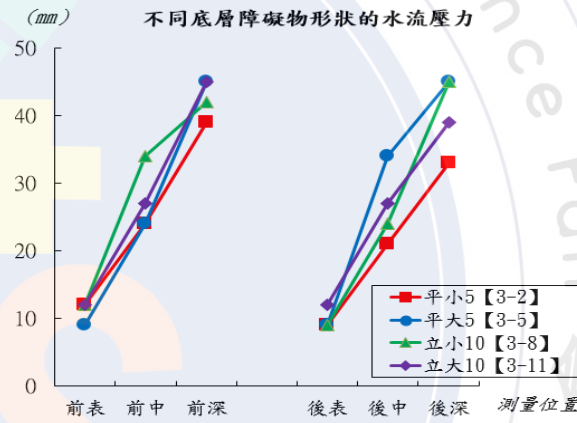
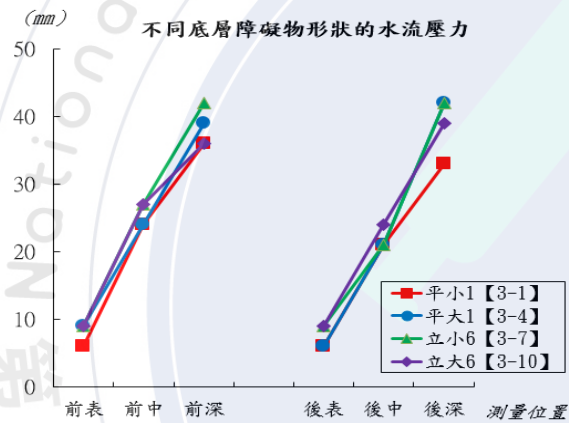
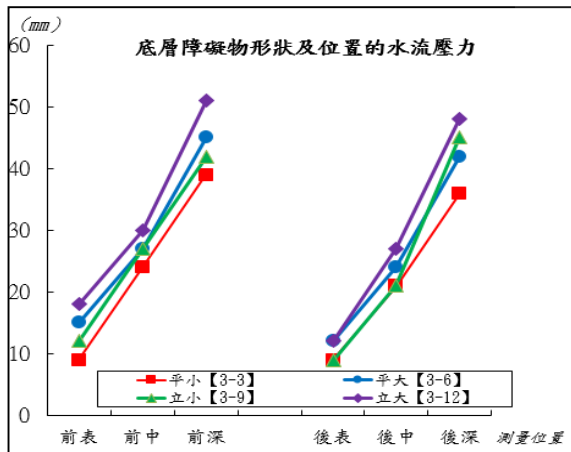


圖9 底層障礙物形狀對水流壓力及水流速度的影響

四、研究過程與結果 & 實驗分析與討論

Experimental Results & Discussion

實驗四、探討橋墩在渠道相對距離時的影響

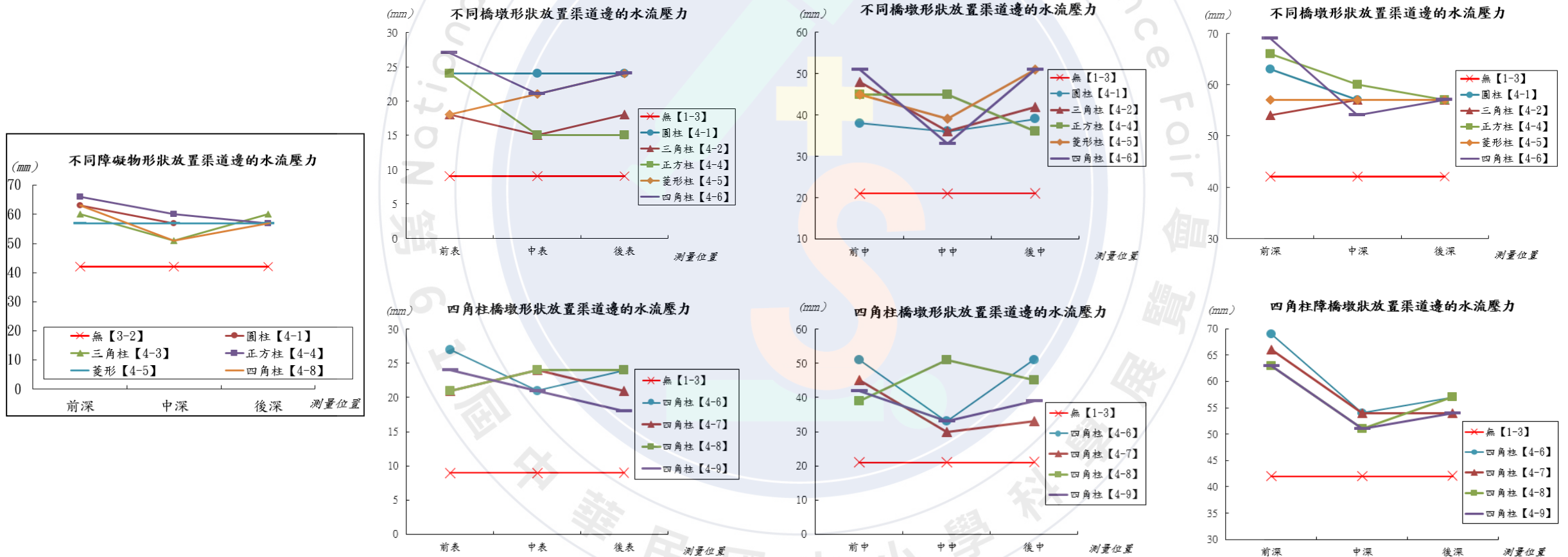


圖10 不同橋墩放置渠道邊對水流壓力的影響

四、研究過程與結果 & 實驗分析與討論

Experimental Results & Discussion

實驗二 四、探討不同橋墩形狀的影響

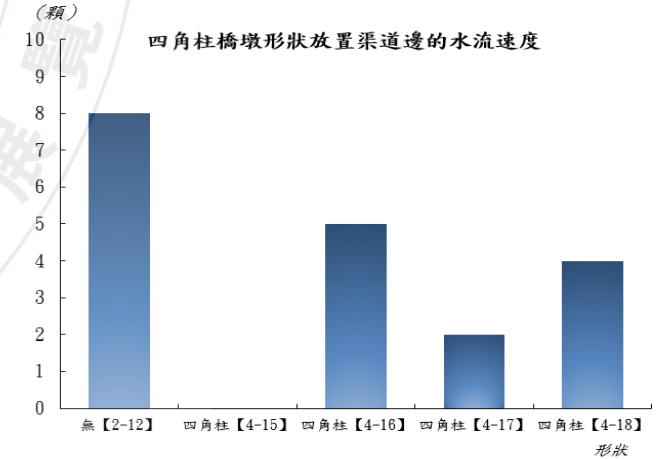
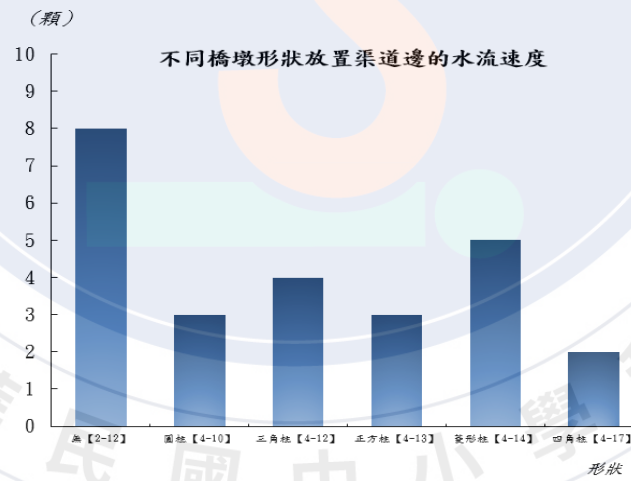
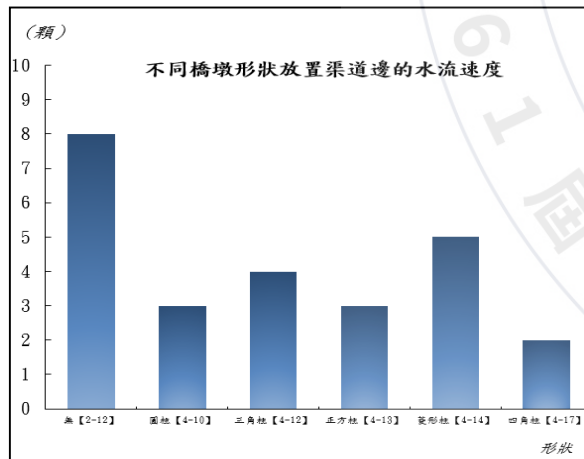
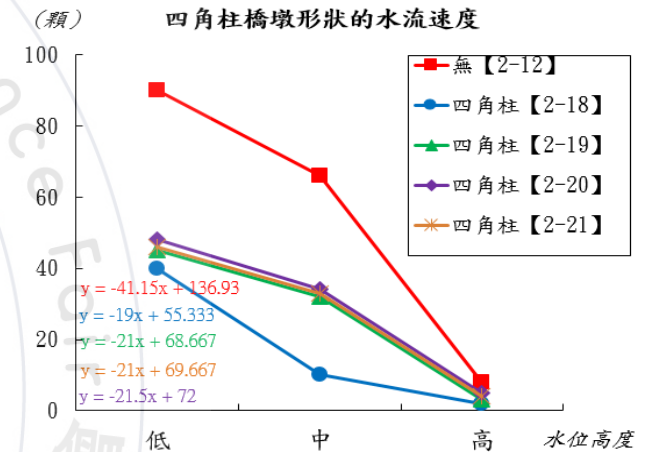
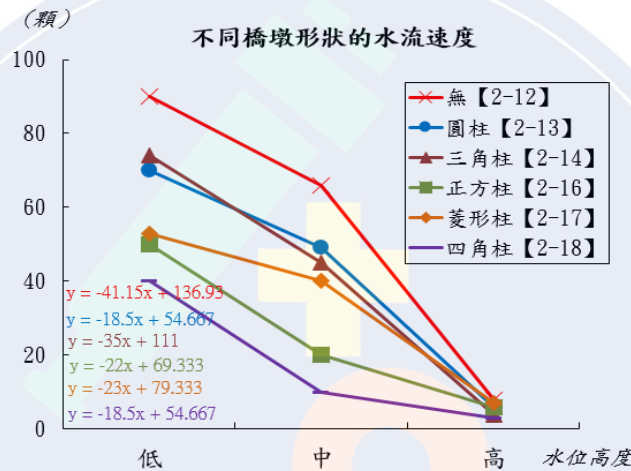
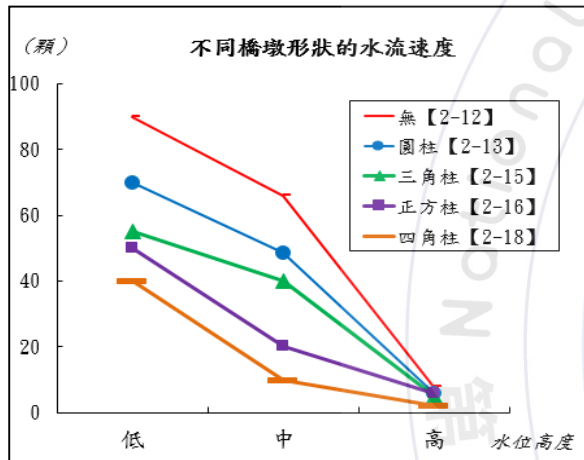


圖11 不同橋墩形狀及放置位置對水流速度的影響

四、研究過程與結果 & 實驗分析與討論

Experimental Results & Discussion

實驗五、探討多重橋墩的影響

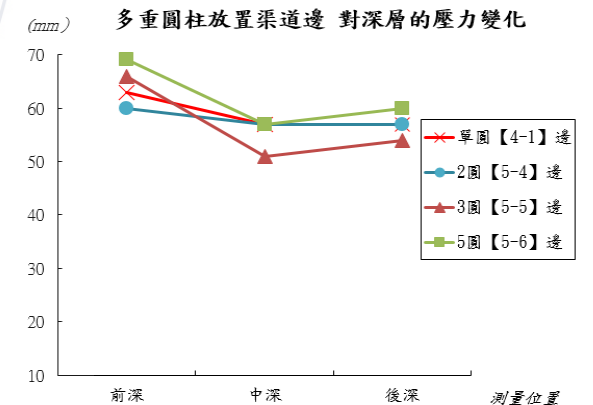
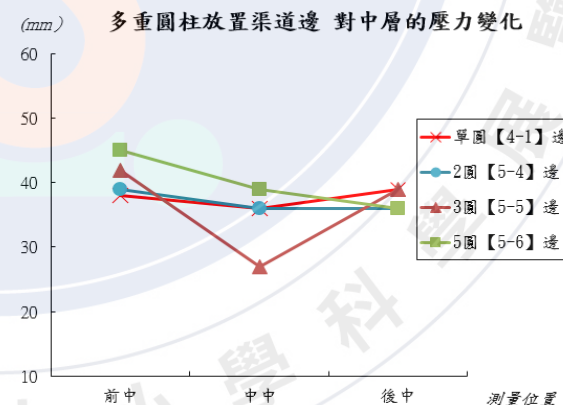
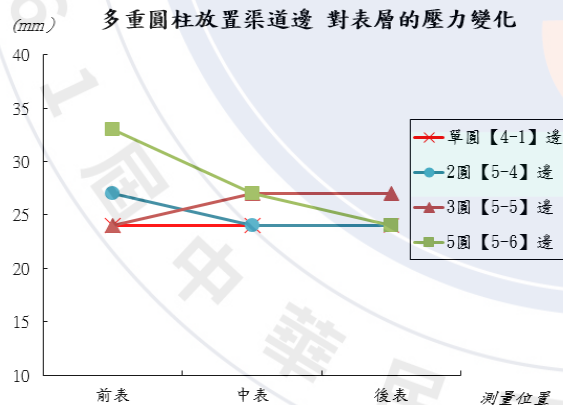
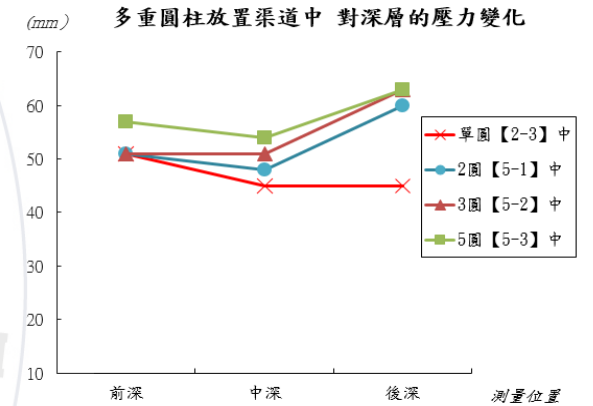
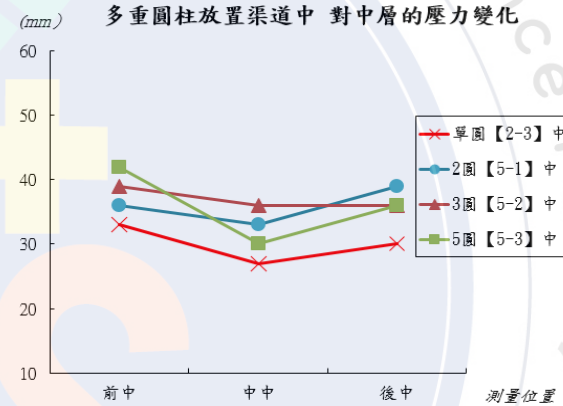
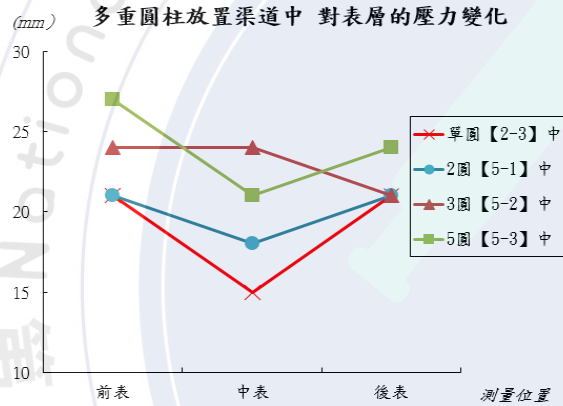
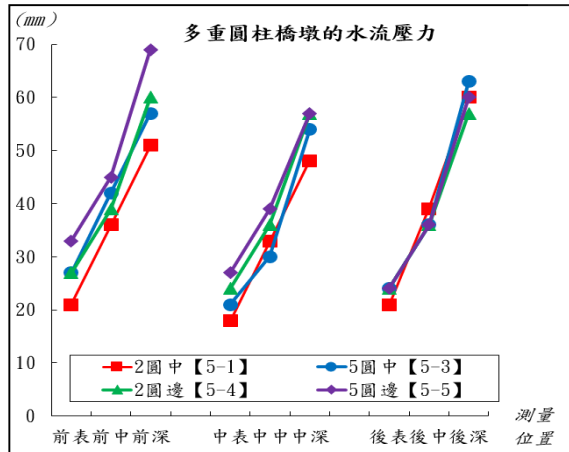


圖12 多重圓柱放置不同位置對水流壓力的影響

四、研究過程與結果 & 實驗分析與討論

Experimental Results & Discussion

實驗五、探討多重橋墩的影響

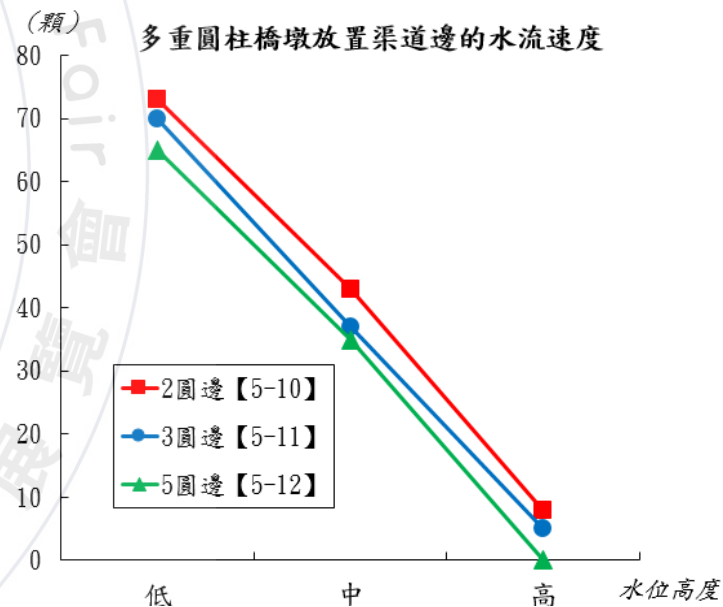
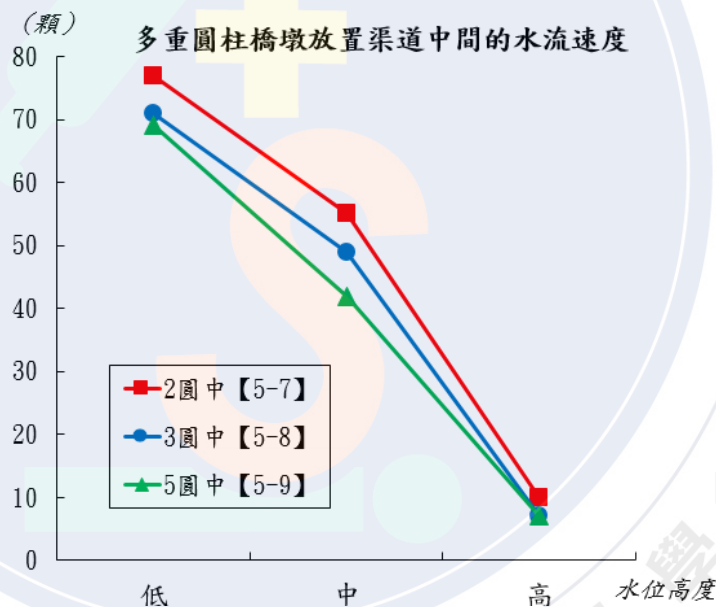
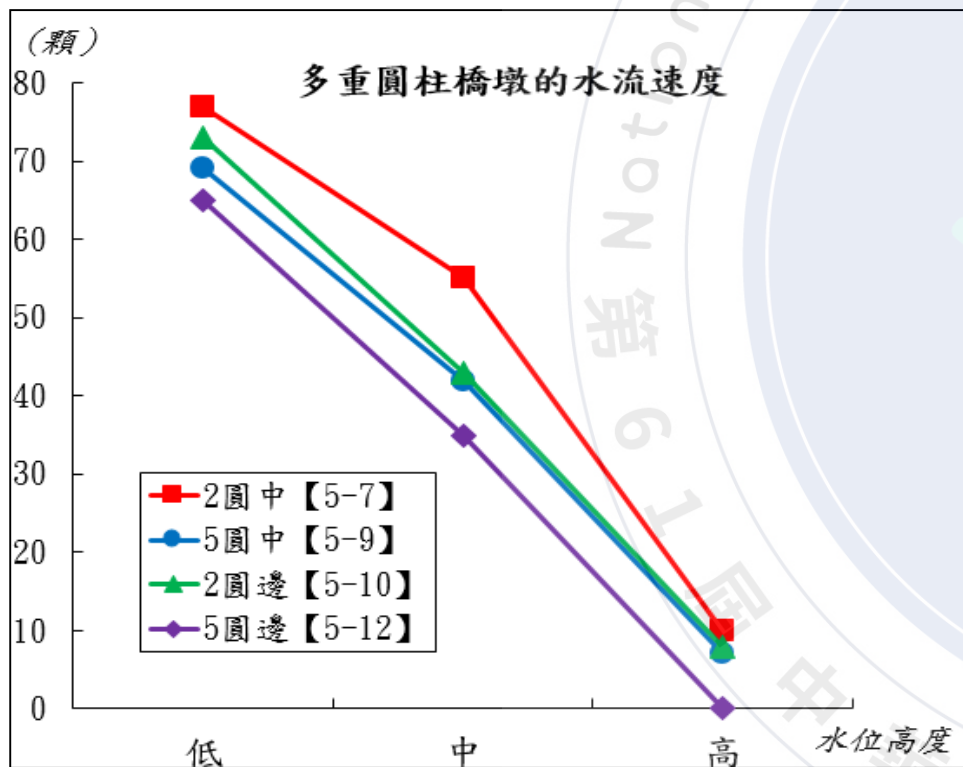


圖13 多重圓柱放置不同位置對水流速度的影響

四、研究過程與結果 & 實驗分析與討論

Experimental Results & Discussion

實驗六、實際渠道測量

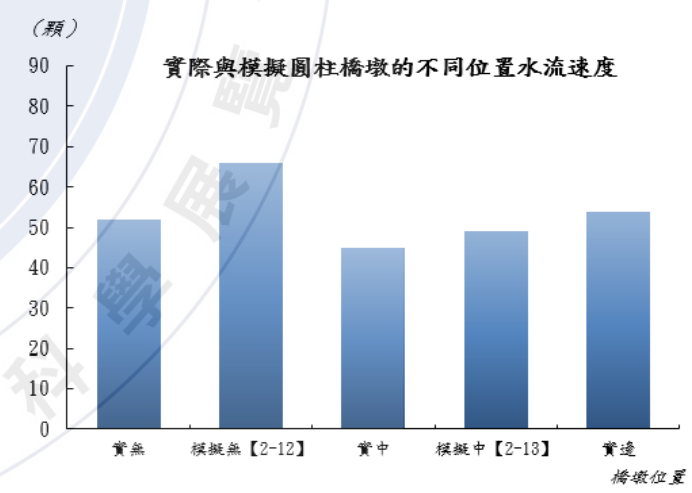
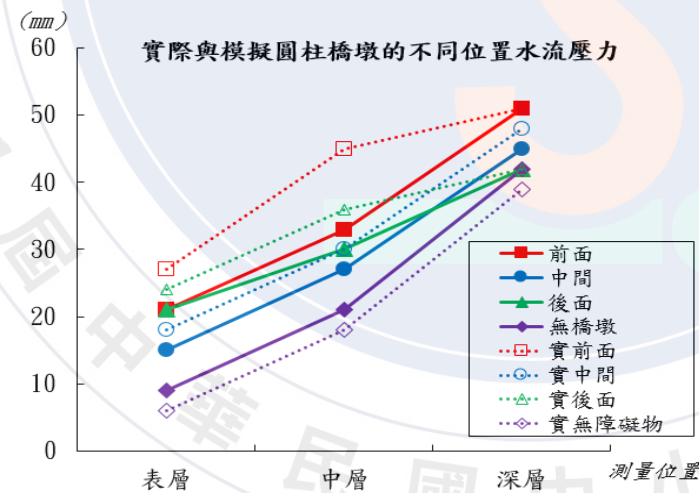
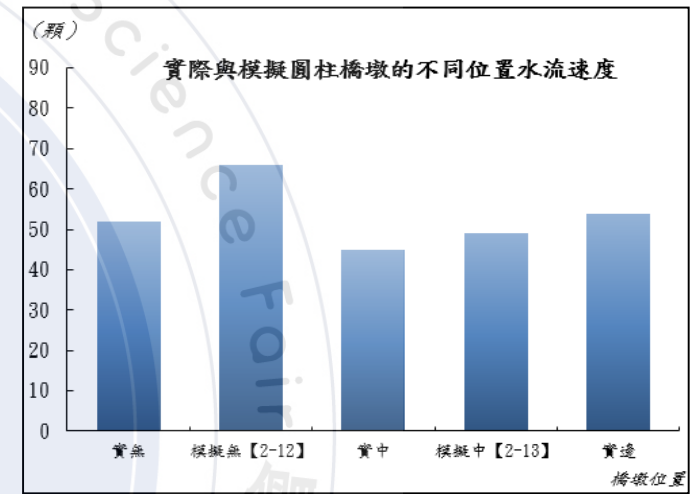
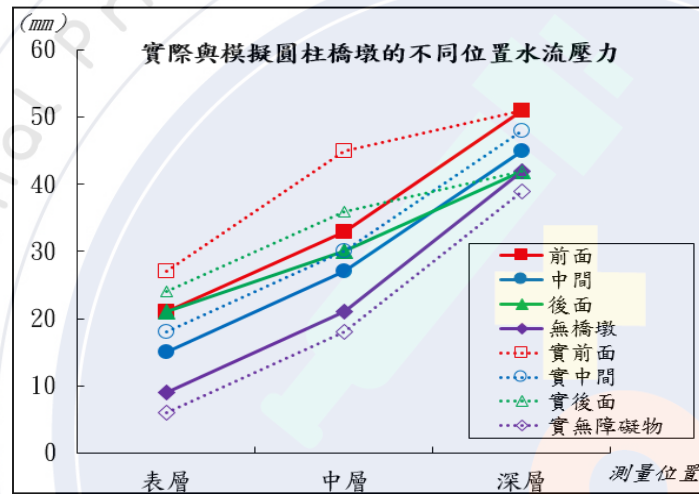


圖14 實際測量圓柱橋墩對不同位置水流壓力及水流速度的影響