

# 中華民國第 59 屆中小學科學展覽會 作品說明書

---

國小組 物理科

080119

排好排滿－探討不同排水形式與排水速度的關係

學校名稱：臺北市私立靜心國民中小學(小學部)

作者： 小六 邵詠文 小六 陳伯恩 小六 江安嫻 小六 駱翊涵	指導老師： 蔡垂其 王晶瑩
---	---------------------

關鍵詞：排水、落水頭、漩渦

## 摘 要

排水的快慢與那些因素有關？如何才能加快排水的速度？我們設計製作一套排水實驗裝置，以 Arduino 超音波測距模組搭配電腦進行測量與自動記錄，並用 3D 列印設計製作不同的落水頭形式，同時考慮可能影響排水的因素，進行相關的研究實驗，結果發現排水速度較快的條件如下：一、圓形孔的排水口。二、直徑較大的排水口。三、排水口下方的排水管較短。四、落水頭的傾斜角較大。五、排水口下方的排水管無積水最快，其次積水高度較低者。最後為了避免漩渦加快排水速度，我們設計製作排水口上方加蓋與側邊加圓柱間隔欄柵的落水頭，經實驗結果證明，的確能達到排好排滿的滿管排水，加速 20% 的排水效果，並實際應用於學校的露台，為學校的排水系統增加一道加速裝置。

## 壹、研究動機

水是生命的源泉，是人類賴以生存和發展不可缺少的重要物質資源之一，而排水系統自古以來都是重要課題，夏禹治水是歷史上赫赫有名的事例。去年八月二十三日受熱低壓影響，台灣中南部降下超大豪雨，造成南部大淹水，今年五月二十日北部的強降雨，也造成北台灣多處淹水。學校也曾因颱風夾帶超大豪雨，產生校園淹水的情形，經調查發現主要是因排水口被落葉阻塞，才發生排水不良的淹水情形，有鑑於此困擾之問題，我們四位同學相約以此題材來進行研究，我們以瞬間大雨，在處理落葉阻塞排水口以後之進一步研究，無落葉阻塞排水口，仍可能會因排水速度不足而產生淹水，我們研究落水頭形式、排水管大小及其他可能影響排水速度的因素，進而找出加快排水速度的方式。

我們利用課堂學過的知識和技能：康軒版三下第二單元「百變的水」，水是透明、可流動的液體，水總是由高處往低處流，水有浮力，所以能使物體浮在水上或水中；翰林版四下第三單元「水的奇妙現象」，虹吸現象，裝滿水的水管，將水從水位高的容器中引出，再流向水位低的一端；翰林版六上第二單元「聲音與樂器」，一般人所能聽到的聲波頻率範圍，大約在 20 至 20000 赫茲，聲波頻率超過 20000 赫為人所聽不到的超音波；翰林版六下第一單元「力與運動」，水受地球引力的作用會向下流動。

我們嘗試設計製作一套排水實驗裝置，並用 3D 列印機設計製作不同的落水頭形式，同時考慮可能影響排水的因素，進行相關的研究實驗，希望能找出不同排水形式與排水速度的關係，進而找出排水速度較快的落水頭設計方式。

## 貳、研究目的

一、落水頭排水口相同開口面積，不同開口形狀與排水速度的關係。

二、落水頭排水口相同形狀，不同開口面積大小與排水速度的關係。

三、落水頭下方排水管不同長度與排水速度的關係。

四、落水頭不同傾斜角與排水速度的關係。

(一) 落水頭排水口不同上口大小，相同下口大小與上下口距離固定，造成傾斜角不同，對排水速度的影響。

(二) 落水頭排水口上口與下口大小固定，上下口距離不同(斜高)所造成傾斜角不同，對排水速度的影響。

五、落水頭下方排水管積水水位高度對排水速度的影響。

六、如何避免漩渦，達到加快排水的速度。

## 參、研究設備及器材

一、研究器材：

1. Arduino 超音波測距模組 HC-SR04 × 1 組 (精度：3mm 距離範圍：2 ~ 450cm)	2. 3D 列印機 × 1 台	3. 實驗水槽 × 1 個 (自行設計)	
4. 筆記型電腦 × 1 台	5. DV 攝影機 × 1 台	6. 沉水泵浦 × 1 台	7. 整理箱 × 1 個
8. 行動載具(手機) × 1 台	9. PLA 線材 × 5 捲	10. LED 燈 × 3 個	11. 珍珠板 × 1 片
12. 強力磁鐵 × 20 個	13. 木板(厚) × 4 片	14. 木板(薄) × 4 片	15. 腳架 × 1 個
16. USB 延長線 × 1 條	17. 塑膠尺 × 3 支	18. 塑膠盒 × 5 個	19. 油黏土 × 5 包
20. 伸縮排水管 × 2 條	21. 玻璃瓶 × 2 瓶	22. 水族箱 × 2 個	23. 米尺 × 1 個
24. 萬用手機夾 × 1 個	25. 計時器 × 2 個	26. 釣魚線 × 1 段	27. 塑膠板 × 3 片

## 二、研究設備：

### (一)、排水實驗裝置：

為了要進行排水實驗，我們考量水要重覆使用，以達到節約水資源，所以我們設計了一個水循環的系統，下方放置一個大型收納箱當作儲水槽，儲水槽中放置一個沉水型泵浦，可將儲水槽中的水抽到上方的緩衝水槽，緩衝水槽則可以減少沉水型泵浦所抽上來的強大水流，造成上方水槽中的水流混亂而影響實驗結果，水經過緩衝水槽的緩衝後，流入實驗水槽中，再由所設計製作的排水口落水頭，向下流回下方的儲水槽，如此就能達到水循環使用的目的。

排水速度則以水位變化的快慢趨勢來呈現，我們使用 Arduino 超音波測距模組 (HC-SR04，精度：3mm，距離範圍：2 ~ 450cm)，在水面上放置一塊圓形珍珠板，從水面上方透過超音波的反射來測量水位變化的情形，用筆記型電腦搭配 Arduino 的程式，每 0.5 秒就自動記錄一次水位的高度，進而得到不同排水方式，實驗水槽排水的水位高度變化情形。

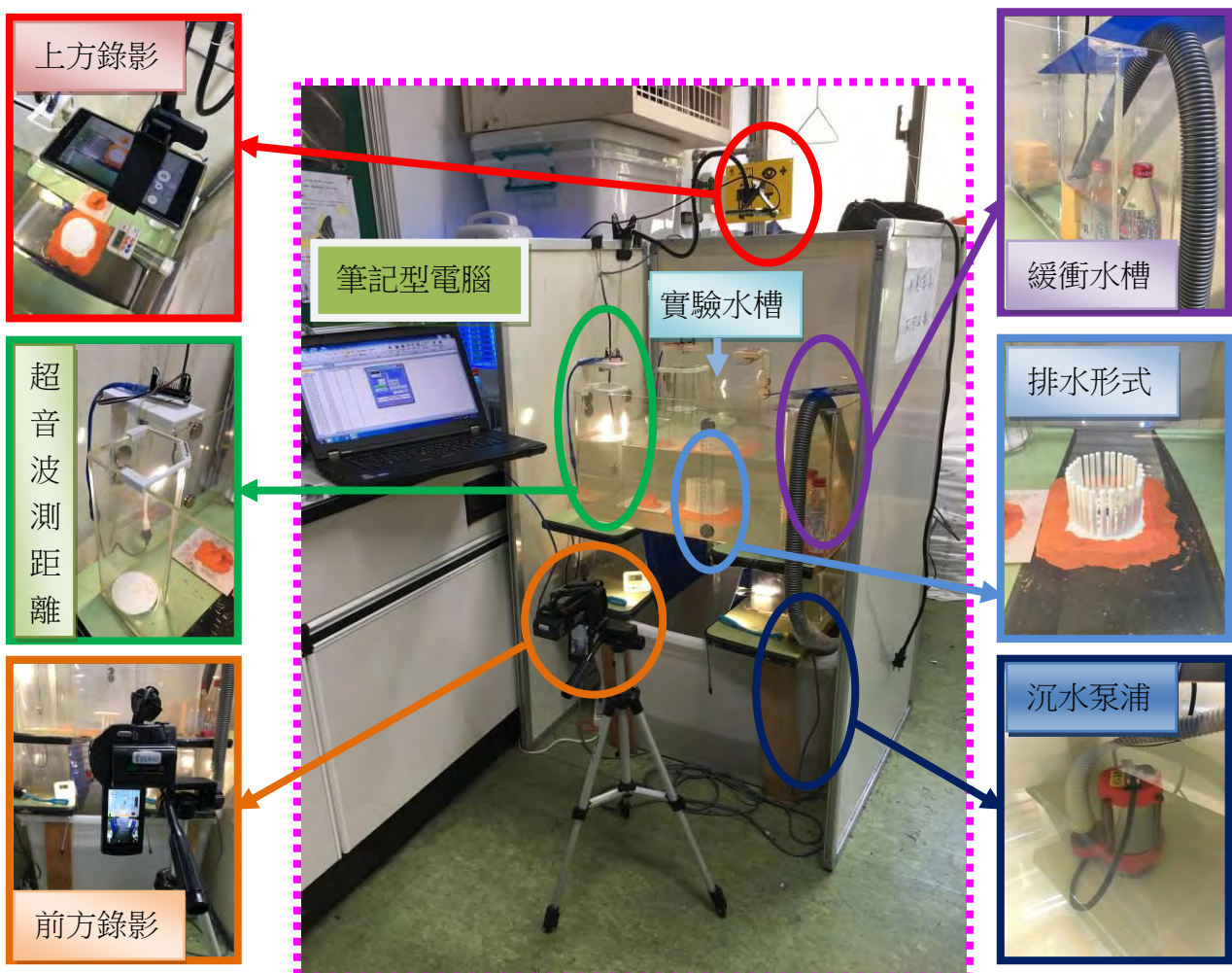


圖 3.1 排水實驗裝置

## 肆、研究過程或方法

※研究架構與流程：

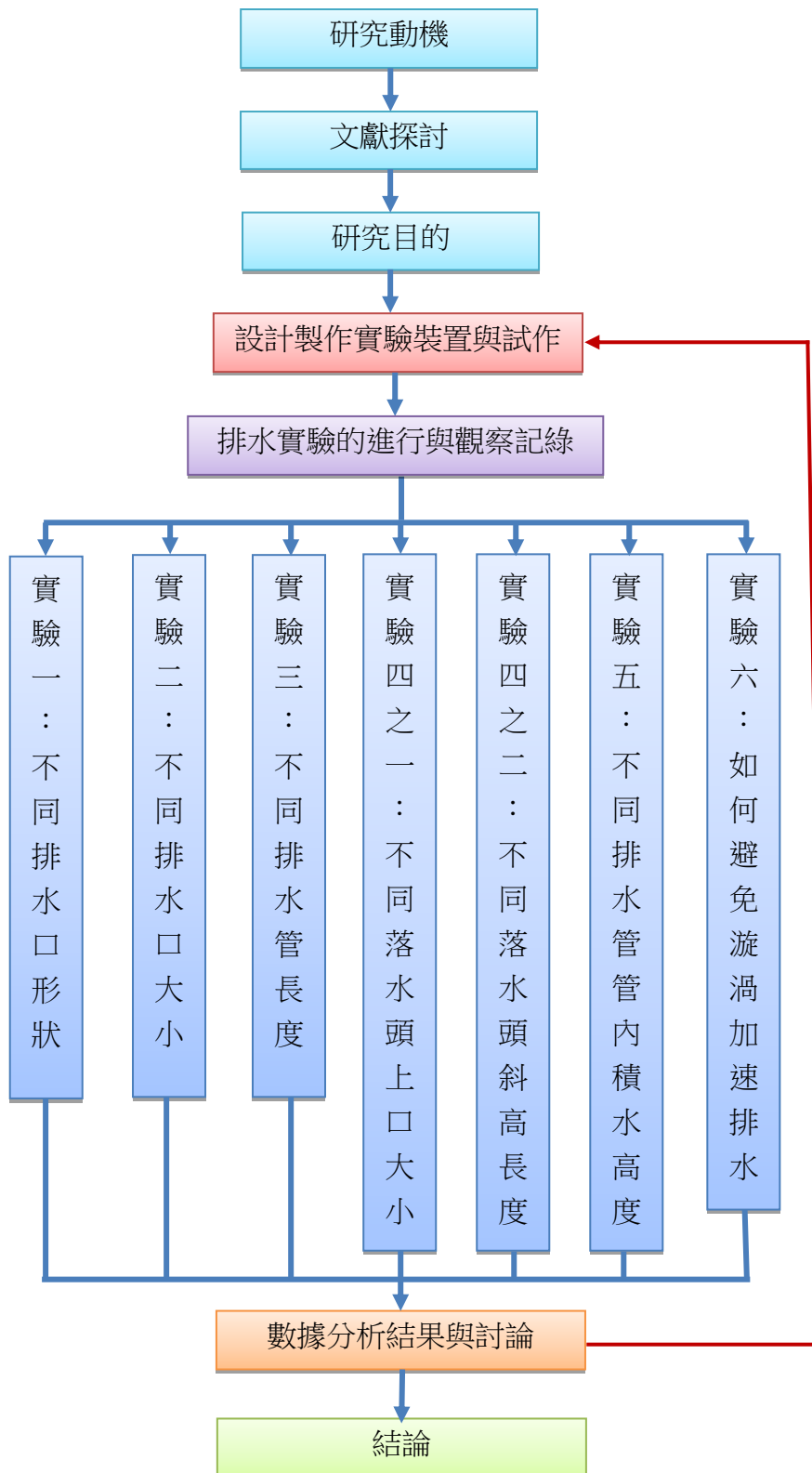


圖 4.1 研究架構與流程圖



### ※排水實驗裝置操作步驟：

- 1.實驗前，先將兩個計時器與兩台筆記型電腦時間同步(誤差為 1 秒之內)。
- 2.更換將要實驗的落水頭，再用油土將落水頭四週的縫隙塞住。
- 3.移動落水頭蓋，蓋住實驗之落水頭，減緩實驗水槽中的水快速排出。
- 4.啟動筆記型電腦中超音波距離量測，並開始進行測量與自動記錄。
- 5.啟動實驗水槽前方和上方的錄影設備，並開始進行錄影。
- 6.啟動沉水型泵浦，開始將下方儲水槽中的水抽到緩衝水槽，進而流進實驗水槽。
- 7.待實驗水槽的水達到預設的高度記號時，關閉沉水型泵浦，停止抽水。
- 8.待緩衝水槽的水因虹吸現象，被抽回下方的儲水槽，直到停止回抽，可避免實驗水槽中的水位因沉水型泵浦之水管回抽快結束時所產生的振動，另外也可讓實驗水槽中的水因減少流動，而變為較穩定。
- 9.拉動釣魚線，移動落水頭蓋至一旁，使落水頭開始進行排水。
- 10.待實驗水槽的水，經落水頭排入下方的儲水槽，直到水位高度已無明顯變化。
- 11.關閉實驗水槽前方和上方的錄影設備，結束錄影。
- 12.關閉筆記型電腦中超音波距離量測，結束測量，並將檔案依編號另存新檔。
- 13.每一種落水頭，重覆步驟 2 至步驟 12，重覆 5 次實驗。

### ※落水頭形式的設計與製作：

先於電腦上使用 Tinkercad 線上版 3D 繪圖軟體(圖 4.2)，繪製長 119.5mm、寬 119.5mm、高 2mm 的基板，再於基板之中央處，依所設計的排水口大小形狀與形式，留下所設計的排水口形式，利用 3D 列印機，將繪製於基板上排水口形式列印出成品(圖 4.3)，以配合實驗水槽底部中央長 120.5mm、寬 120.5mm、高 2mm 的排水基座。如圖 4.4 所示。



圖 4.2 Tinkercad 線上畫面

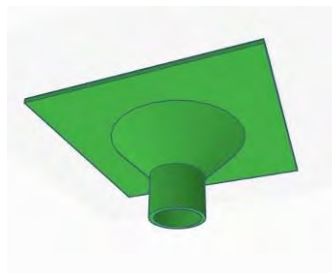


圖 4.3 排水基板與形式

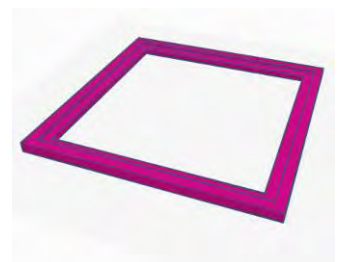








圖 4.4 排水基座

## 一、落水頭排水口相同開口面積，不同開口形狀與排水速度的關係

一般落水頭排水口都是圓孔為設計，排水管也是圓管，我們想了解若是以不同的形狀的落水頭排水口，會有什麼差異呢？以直徑 30mm 的圓孔排水口面積為基準，對應改為正方形的排水口與正三角形的排水口，使三種不同形狀的排水口面積相同，進行排水實驗。









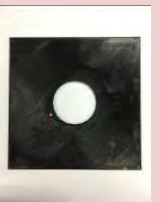
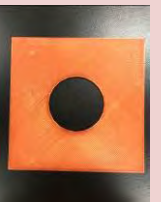
表 4.1 相同開口面積，不同形狀的排水口

形狀	圓孔	正方孔	正三角孔
尺寸(mm)	30 (直徑)	26.59 (邊長)	40.40 x 34.99 (底 x 高)
孔洞面積(mm <sup>2</sup> )	706.5	706.5	706.5
3D 圖示			
排水口圖片			

## 二、落水頭排水口相同形狀，不同開口面積大小與排水速度的關係

我們知道落水頭排水口開口愈大，排水速度就會更快，但我們更想要知道，隨著落水頭排水口直徑的加倍，排水速度也是加倍嗎？我們在不同基板(厚 2mm)中央處留下圓形排水口，圓孔開口直徑分別為下表所列，再進行排水實驗。





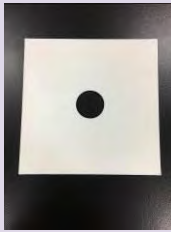



表 4.2 相同形狀，不同開口面積大小的排水口

圓孔直徑	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
3D 圖示					
落水頭圖片					

### 三、落水頭下方排水管不同長度與排水速度的關係(排水口大小固定為圓形孔，直徑 25mm)

從文獻探討中，我們發現大多的研究與討論是探究地面排水蓋形式和排水蓋上方的變化對排水速度的影響，對排水蓋下方的研究顯然較少，這也是我們更想了解排水蓋下方的變因對排水速度有何影響的原因。我們先從排水口下方的排水管長度進行實驗設計，我們設計如下的尺寸並進行排水實驗。

表 4.3 排水口下方不同排水管的長度

排水管長度	2mm	50mm	150mm	250mm
3D 圖示				
排水口圖片				

### 四、落水頭不同傾斜角與排水速度的關係

排水蓋下方除了排水管長度的因素，再者就是排水管不是以直角的方式與地面排水口連接，而是以有斜度的方式，也就是連接排水管前的落水頭本身具有斜度，這樣的斜度對排水速度有何影響呢？因此我們考慮有斜度的落水頭，進行設計實驗。

#### (一) 落水頭排水口不同上口大小，相同下口大小與上下口距離固定，造成傾斜角不同，對排水速度的影響

首先造成落水頭有斜度是因為上口比下口大，所造成的傾斜角，我們考慮連結排水管的下口大小固定為直徑 25mm，而斜高也設定為 25mm，總長則設定為 50mm，而改變上口的大小，如下表所列，造成不同落水頭的傾斜角，進行排水實驗。

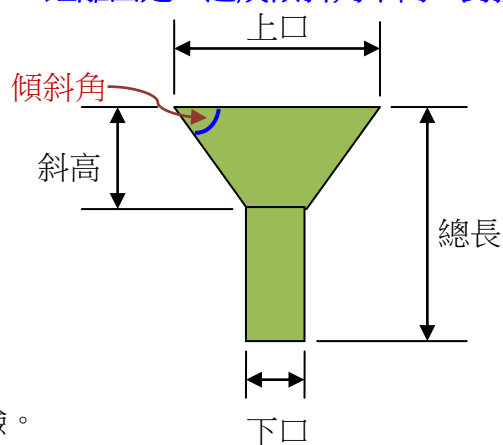




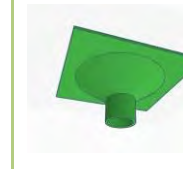
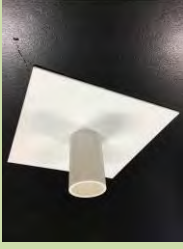






圖 4.5 落水頭排水口圖示









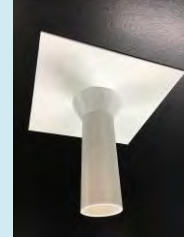
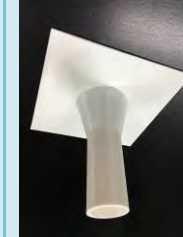
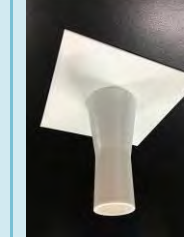

表 4.4 不同上口大小，下口直徑 25mm，斜高 25mm，總長 50mm

上口直徑	25mm	40mm	60mm	80mm	100mm
傾斜角	90 度	73.3 度	55.0 度	42.3 度	33.7 度
3D 圖示					
排水口圖片					

(二) 落水頭排水口上口與下口大小固定，上下口距離不同(斜高)所造成傾斜角不同，對排水速度的影響


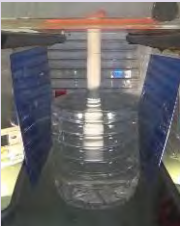


造成落水頭有斜度，除了上述固定下口尺寸和斜高，改變上口尺寸所產生的不同斜度，另一種情形則是上口尺寸大於下口尺寸，且兩者皆固定大小，此時改變斜高，也會造成落水頭產生不同的斜度。因此，我們也設計了固定上下口尺寸(上口為 50mm，下口為 25mm)，總長固定為 100mm，不同的斜高的大小，如下列所示，進行排水實驗。

表 4.5 不同斜高，上口 50mm，下口 25mm，總長 100mm

斜高	直管	20mm	40mm	60mm	80mm
傾斜角	90 度	59.0 度	72.6 度	78.2 度	81.1 度
3D 圖示					
排水口圖片					

## 五、落水頭下方排水管積水水位高度對排水速度的影響

真實排水情況中，有可能因積水造成管內水位高度變高而接近排水口，我們想了解若排水口下方有積水，對排水速度有何影響，我們在實驗水槽下方，加裝一個積水槽，使實驗水槽下方的水位高度距離落水頭排水口為 85mm，進行實驗，此高度實驗完成後再截切積水槽高度，使水位高度距離落水頭排水口為 130mm，以此類推，再將水位高度設定為 175mm 和 220mm。 表 4.6 積水水位高度離排水口不同距離

離排水口距離	85mm	130mm	175mm	220mm
排水口圖片				

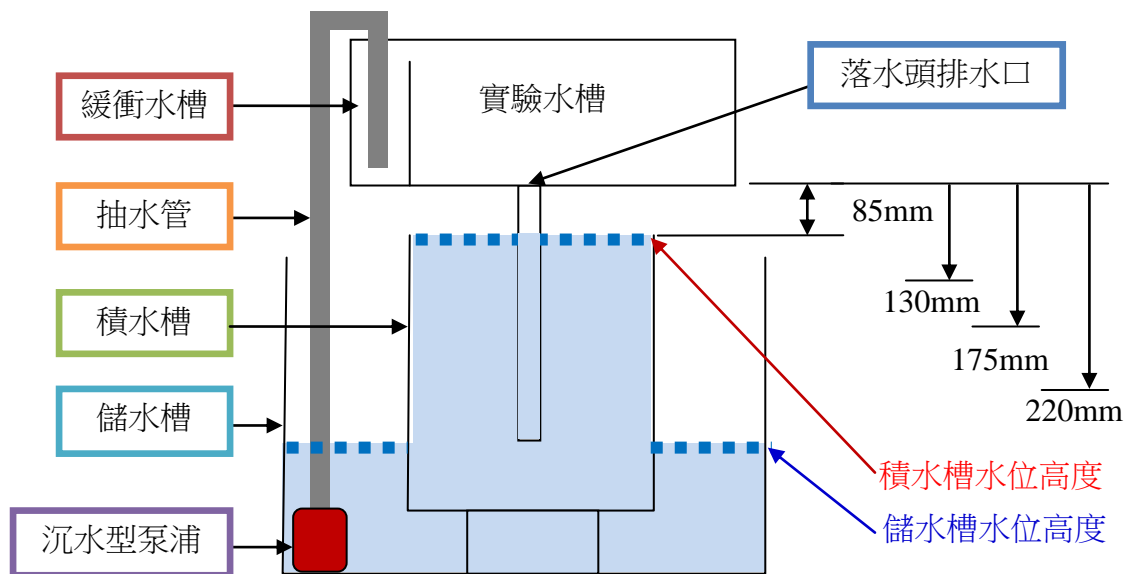




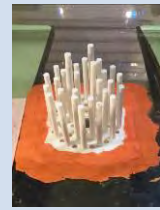



圖 4.6 積水水位高度離排水口距離示意圖

## 六、如何避免漩渦，達到加快排水的速度

一般排水時，會形成漩渦，漩渦對排水的速度有無影響呢？為了找出排水口上口固定尺寸大小時，最快的排水方式，我們觀察漩渦是在排水口上方形成，故嘗試用一圓形蓋板，固定於排水口上方，進行實驗；又漩渦是接近排水口的旋轉水流，因此嘗試在排水口側邊增加阻擋裝置，想要使排水口在排水時，因水流是穩定向排水口的直線水流，而無法形成漩渦，進行實驗，最後再嘗試上方與側邊同時裝置防漩渦裝置，進行實驗。

相關的嘗試如下表所列： 表 4.7 避免漩渦的設計

形式	上方加蓋	側邊小圈 N12	側邊大圈 N28	側邊大圈 N14	側邊混合	上蓋+大圈 N28
排水口 圖片						

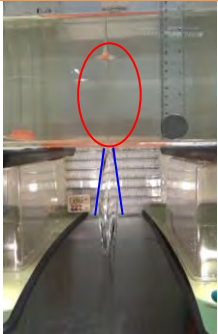



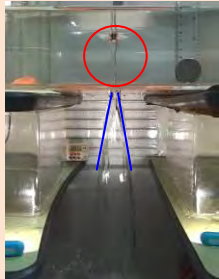

說明：排水口直徑 25mm，小圈較為接近排水口(距離中心 19mm)，大圈離排水口較遠(距離中心 44mm)；N 表示數量。

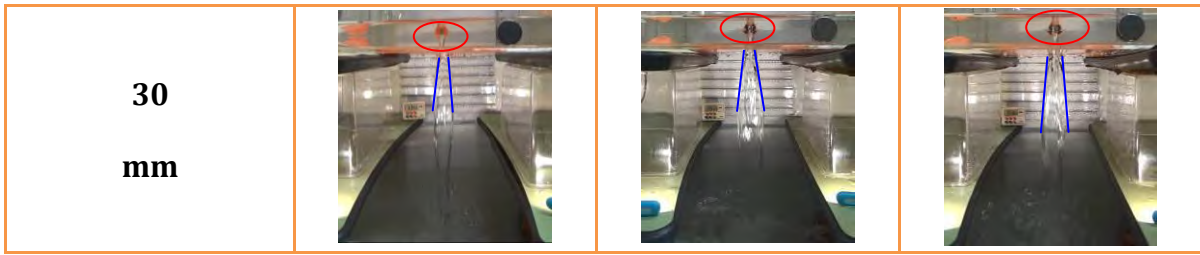
## 伍、研究結果

### 一、落水頭排水口相同面積，不同開口形狀與排水速度的關係

(一)觀察排水口下面的前方 DV 攝影機所拍攝的排水漩渦與水柱影片，並擷取水位高度為 150mm、90mm、30mm 的畫面做為比較。

表 5.1 相同面積，不同形狀的排水口排水情形

形狀	圓孔	正方孔	正三角孔
尺寸(mm)	30 (直徑)	26.59 (邊長)	40.40 x 34.99 (底 x 高)
周長(mm)	94.2	106.34	121.21
孔洞截面積(mm <sup>2</sup> )	706.5	706.5	706.5
150 mm			
90 mm			



**實驗影片分析：**(紅色圈表示漩渦，藍色線條表示排口下方水柱形狀)

- 1.水位高度在 150mm 和 90mm 時，排水口下方水柱的外擴情形，正三角形最大，圓形最小。
- 2.由排水口下方水柱的外擴情形，可以判斷是否有漩渦產生。
- 3.漩渦形成時，下方水柱也會開始產生外擴的情形，隨著漩渦愈來愈大，外擴的情形也愈大，之後又隨著水位的逐漸降低至排水口，外擴的情形也隨之變小。

(二)將經由 Arduino 超音波測距模組所得到水位高度變化的數據乘上實驗水槽的底面面積

(2500 平方公分)，轉換成**排水量**，並以 10 秒為間隔，進行排水量與排水時間的分析。

	0秒	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	70秒	80秒	90秒	100秒	110秒
圓形孔 (平均)	0	7250	14250	21500	28250	34000	37750	40750	43750	44750	45750	45750
標準偏差 (誤差)	0	582.7	656.7	612.4	591.6	582.7	612.4	591.6	612.4	582.7	568.3	553.4
正方形孔 (平均)	0	8500	15750	22250	29250	32250	36000	39500	42000	44250	45500	46000
標準偏差 (誤差)	0	656.7	660.9	582.7	612.4	582.7	591.6	612.4	582.7	568.3	582.7	553.4
正三角形孔 (平均)	0	8500	15750	22000	28000	32750	36500	39750	42500	44750	45000	46250
標準偏差 (誤差)	0	660.9	656.7	612.4	660.9	591.6	582.7	591.6	612.4	568.3	553.4	568.3

單位：立方公分

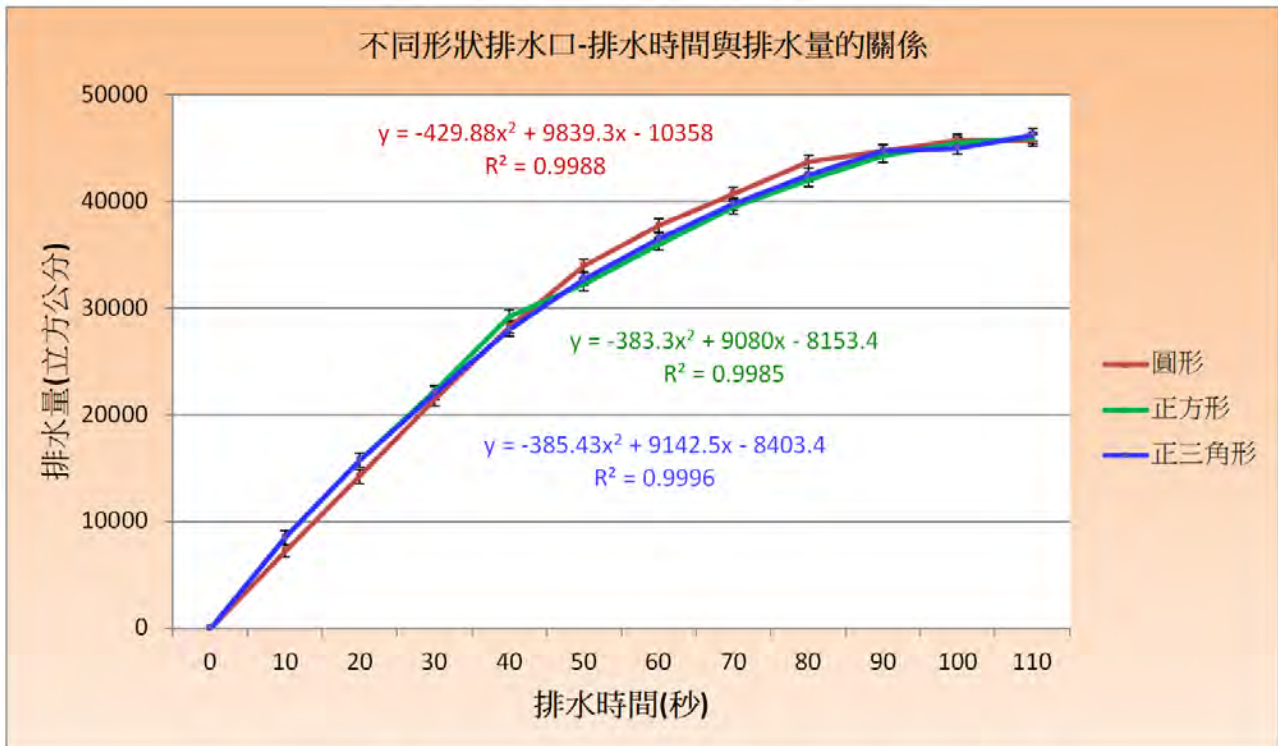


圖 5.1 不同形狀排水口，排水時間與排水量的關係折線圖



## 實驗數據結果分析：

1.從排水時間與排水量的關係折線圖，可以發現相同開口面積的不同形狀孔洞，排水的速度比較結果如下：

圓形孔 > 正三角形孔  $\approx$  正方形孔。

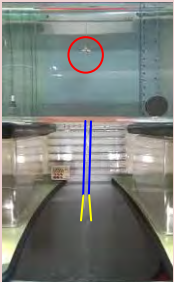
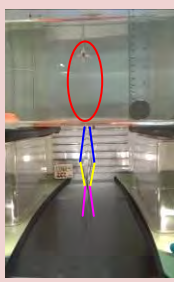

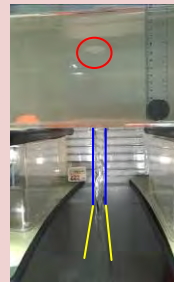


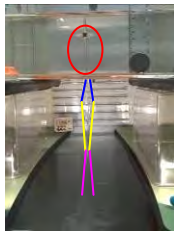




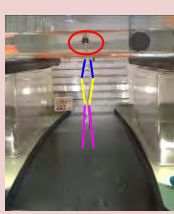



相同開口面積時，圓形孔的排水速度較快。

2.因此在設計排水口時，若以排水速度為考量，圓形孔為較佳；正方形孔和三角形孔除了因為有角的產生而影響排水的速度，使排水速度變得較慢，另外也因邊長的增加，而增加水與排水管壁的接觸面積，產生較多的磨擦阻力，而使排水速度變慢。

## 二、落水頭排水口相同形狀，不同面積大小與排水速度的關係

(一)觀察排水口下面的前方 DV 攝影機所拍攝的排水漩渦與水柱影片，並擷取水位高度為 150mm、90mm、30mm 的畫面做為比較。

表 5.2 相同形狀(圓形)，不同面積大小的排水口排水情形

圓孔直徑	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm	50 mm
孔洞周長	31.4 mm	62.8 mm	94.2 mm	125.6 mm	157 mm
孔洞面積 (mm <sup>2</sup> )	78.5(1 倍)	314(4 倍)	706.5(9 倍)	1256(16 倍)	1962.5(25 倍)
150 mm					
90 mm					
30 mm					



**實驗影片分析：**(紅色圈表示漩渦，藍色線條、黃色線條、粉紅色線條表示排口下方水柱形狀)

- 1.水位高度 150mm 時，直徑 10mm、直徑 40mm 和直徑 50mm，三種排水口下方的水柱，因孔徑太大或太小，水柱先有一段直圓柱，然後才產生外擴情形。
- 2.水位高度 30mm 時，直徑 10mm 排水口下方的水柱已看不出有外擴的情形。
- 3.直徑 20mm 排水口下方的水柱，可以見到較接近排水口的水柱第一次外擴，然後縮小，縮小的下方再第二次外擴，然後縮小的情形，但第二次外擴情形變小，像一個倒葫蘆形。

(二) 將經由 Arduino 超音波測距模組所得到水位高度變化的數據乘上實驗水槽的底面面積 (2500 平方公分)，轉換成排水量，並以 10 秒為間隔，進行排水量與排水時間的分析。

	0秒	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	70秒	80秒	90秒	100秒	110秒	120秒
D10 (平均)	0	1000	1800	3250	4750	5750	6750	8000	9000	9500	10250	11000	12500
標準偏差 (誤差)	0	660.9	656.7	660.9	656.7	612.4	656.7	612.4	591.6	582.7	591.6	591.6	568.3
D20 (平均)	0	4500	8250	11500	14500	17500	21500	24250	25500	28000	29000	31250	33500
標準偏差 (誤差)	0	707.1	689.2	660.9	656.7	660.9	656.7	591.6	612.4	582.7	582.7	568.3	582.7
D30 (平均)	0	7250	14750	22250	28250	33000	36750	39500	41250	43000	43750	44250	
標準偏差 (誤差)	0	711.5	689.2	707.1	660.9	656.7	612.4	612.4	591.6	568.3	591.6	582.7	
D40 (平均)	0	14000	27250	33750	39750	43750	44750						
標準偏差 (誤差)	0	711.5	707.1	689.2	660.9	612.4	656.7						
D50 (平均)	0	20750	35750	42750	44500								
標準偏差 (誤差)	0	724.6	711.5	707.1	689.2								

單位：立方公分

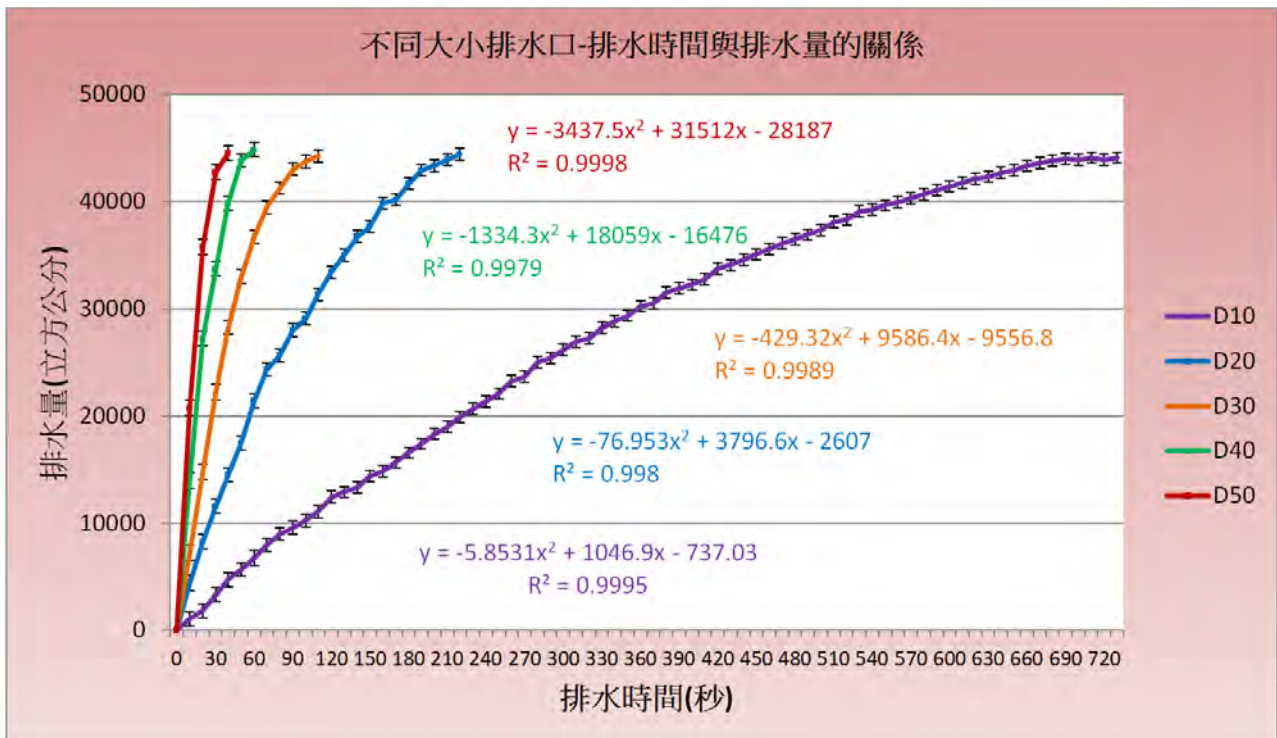


圖 5.2 不同圓孔直徑排水口，排水時間與排水量的關係折線圖

### 實驗結果分析：

1.從折線圖的分析中，可以發現圓形孔的不同尺寸大小，排水的速度比較結果如下：

直徑 50mm > 直徑 40mm > 直徑 30mm > 直徑 20mm > 直徑 10mm



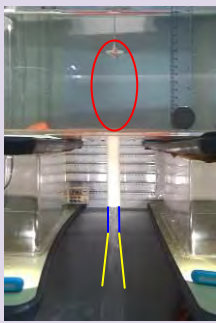


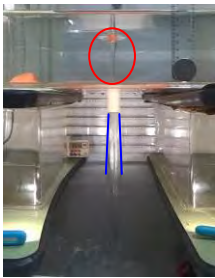





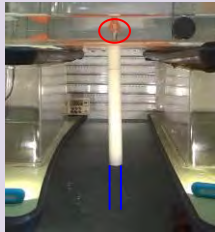
因此圓形排水口的直徑愈大，排水口截面積就愈大，排水速度愈快。

2.相同水位高度(180mm)，排水所需要的時間，分別如下：D10 是 730 秒，D20 是 226 秒，D30 是 120 秒，D40 是 68 秒，D50 是 38 秒，可以發現不同直徑的排水口，排水速度也不是線性趨勢，而是以平方比趨勢變化，因此排水口太小時，兩種不同口徑的排水速度的差異會非常大，而排水口太大時，兩種不同口徑的排水口，排水速度差異就變小。

### 三、落水頭下方排水管不同長度與排水速度的關係(排水口大小固定為 25mm)

(一)觀察排水口下面的前方 DV 攝影機所拍攝的排水漩渦與水柱影片，並擷取水位高度為 150mm、90mm、30mm 的畫面做為比較。

表 5.3 排水口下方不同排水管長度的排水情形

排水管長度	2mm	50mm	150mm	250mm
150 mm				
90 mm				
30 mm				

實驗影片分析：(紅色圈表示漩渦，藍色線條、黃色線條表示排口下方水柱形狀)

- 1.水位高度 150mm 時，排水管長度 150mm 下方的水柱有一小段的直圓柱，然後才有外擴。
- 2.隨著水位的逐漸降低至排水口，水柱外擴的情形也隨之變小。
- 3.水位高度 30mm 時，只剩排水管長度 2mm 有較明顯的外擴情形。
- 4.隨著排水口下方的排水管變長，水柱的外擴情形也變小，排水管長度 250mm 已經看不到明顯的外擴情形，但漩渦都仍是存在。

(二) 將經由 Arduino 超音波測距模組所得到水位高度變化的數據乘上實驗水槽的底面面積 (2500 平方公分)，轉換成排水量，並以 10 秒為間隔，進行排水量與排水時間的分析。

	0秒	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	70秒	80秒	90秒	100秒	110秒	120秒
L2 (平均)	0	5500	11000	15750	20750	26500	30500	34000	36000	38750	41500	43500	45750
標準偏差 (誤差)	0	591.6	612.4	656.7	553.4	660.9	612.4	591.6	656.7	553.4	660.9	612.4	582.7
L50 (平均)	0	6500	14500	19000	24000	28200	32350	36050	38750	41500	44000	46250	46750
標準偏差 (誤差)	0	660.9	612.4	656.7	612.4	591.6	553.4	582.7	591.6	660.9	582.7	656.7	591.6
L150 (平均)	0	9500	16000	22000	25250	30750	35750	38250	40250	41000	43500	45250	46500
標準偏差 (誤差)	0	582.7	660.9	553.4	582.7	582.7	612.4	553.4	612.4	660.9	660.9	591.6	656.7
L250 (平均)	0	9500	18250	23250	27750	32000	35750	38500	41000	42750	44500	46250	47000
標準偏差 (誤差)	0	660.9	591.6	582.7	660.9	591.6	612.4	656.7	591.6	656.7	612.4	656.7	553.4

單位：立方公分

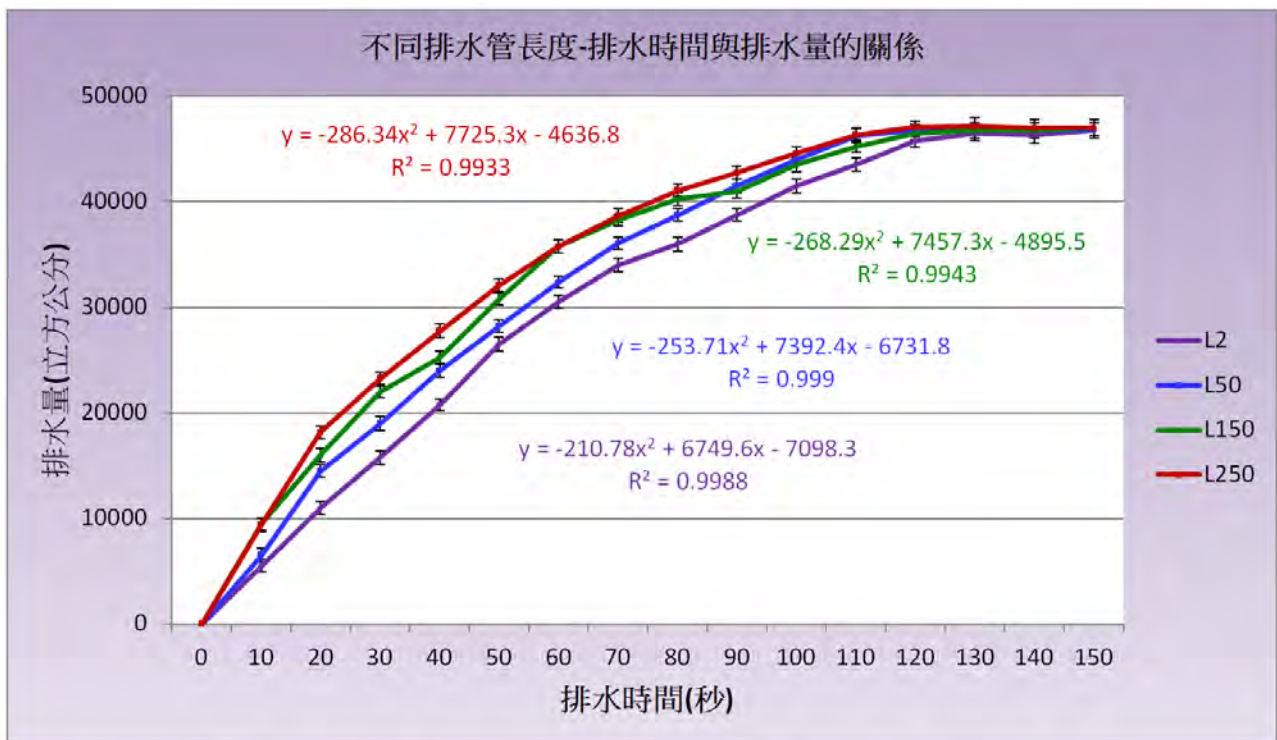


圖 5.3 排水口下方不同排水管長度，排水時間與排水量的關係折線圖

### 實驗結果分析：

1. 從折線圖的分析中，可以發現不同長度的排水管，排水的速度比較結果如下：

長度 250mm > 長度 150mm > 長度 50mm > 長度 2mm



因此排水管長度 250mm，排水速度較快，排水管長度 2mm，排水速度較慢。
















2.排水管愈長，水在管內流動時，會與排水管的管壁會產生磨擦，而造成流動的速度變慢，排水管愈長，所受到的摩擦力影響也就愈大，排水的速度也應隨之變慢，但本研究卻發現排水管較短時，排水速度反而卻變慢，經觀看攝影機所拍攝的排水漩渦與水柱的畫面後，我們發現排水管較短時，排水口下方的水柱因為排水口上方產生較大漩渦有較多的空氣影響而產生外擴，導致排水速度變慢；排水管較長時，排水口下方的水柱因為排水口上方產生較小漩渦有較少的空氣影響，而使排水速度較快些。

#### 四、落水頭不同傾斜角與排水速度的關係

##### (一) 落水頭排水口不同上口大小，相同下口大小與上下口距離固定，造成傾斜角不同，對排水速度的影響

1.觀察排水口下面的前方 DV 攝影機所拍攝的排水漩渦與水柱影片，並擷取水位高度為 150mm、90mm、30mm 的畫面做為比較。

表 5.4 不同上口大小造成傾斜角不同的落水頭排水情形

上口直徑(mm)	直管(對照)	40	60	80	100
150 mm					
90 mm					
30 mm					

實驗影片分析：(紅色圈表示漩渦，藍色線條、黃色線條表示排口下方水柱形狀)

(1)水位高度 150mm 時，上口直徑 40mm 和上口直徑 60mm，排水口下方水柱有噴射的樣貌；上口直徑 80mm 和上口直徑 100mm，排水口下方先有一段直圓柱，才有外擴的情形；上口直徑 60mm、上口直徑 80mm 和上口直徑 100mm，上方沒有明顯的漩渦的產生，但看下方的水柱可知水已有旋轉流動的現象。

(2)水位高度 90mm 時，上口直徑 40mm 排水口下方水柱外擴情形最大；上口直徑 100mm，排水口下方水柱外擴後，仍不見內縮的現象。

2.將經由 Arduino 超音波測距模組所得到水位高度變化的數據乘上實驗水槽的底面面積

(2500 平方公分)，轉換成排水量，並以 10 秒為間隔，進行排水量與排水時間的分析。

	0秒	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	70秒	80秒	90秒	100秒	110秒	120秒
D25 (平均)	0	6000	12500	17500	22500	27000	30250	33500	36250	39000	40750	42250	43500
標準偏差 (誤差)	0	591.6	612.4	591.6	656.7	568.3	568.3	553.4	656.7	568.3	612.4	612.4	656.7
D40 (平均)	0	9500	18000	24750	30250	35000	39250	42500	44500	44500			
標準偏差 (誤差)	0	568.3	656.7	656.7	591.6	656.7	591.6	656.7	591.6	553.4			
D60 (平均)	0	8250	18000	24750	31000	35500	39000	42250	44500	45000			
標準偏差 (誤差)	0	553.4	612.4	591.6	612.4	553.4	612.4	524.4	656.7	524.4			
D80 (平均)	0	8000	15500	22000	27250	33250	37750	41000	44250				
標準偏差 (誤差)	0	656.7	553.4	568.3	612.4	591.6	612.4	591.6	656.7				
D100 (平均)	0	8250	17000	23000	29250	33500	37750	41750	45000				
標準偏差 (誤差)	0	612.4	524.4	612.4	553.4	612.4	656.7	524.4	553.4				

單位：立方公分

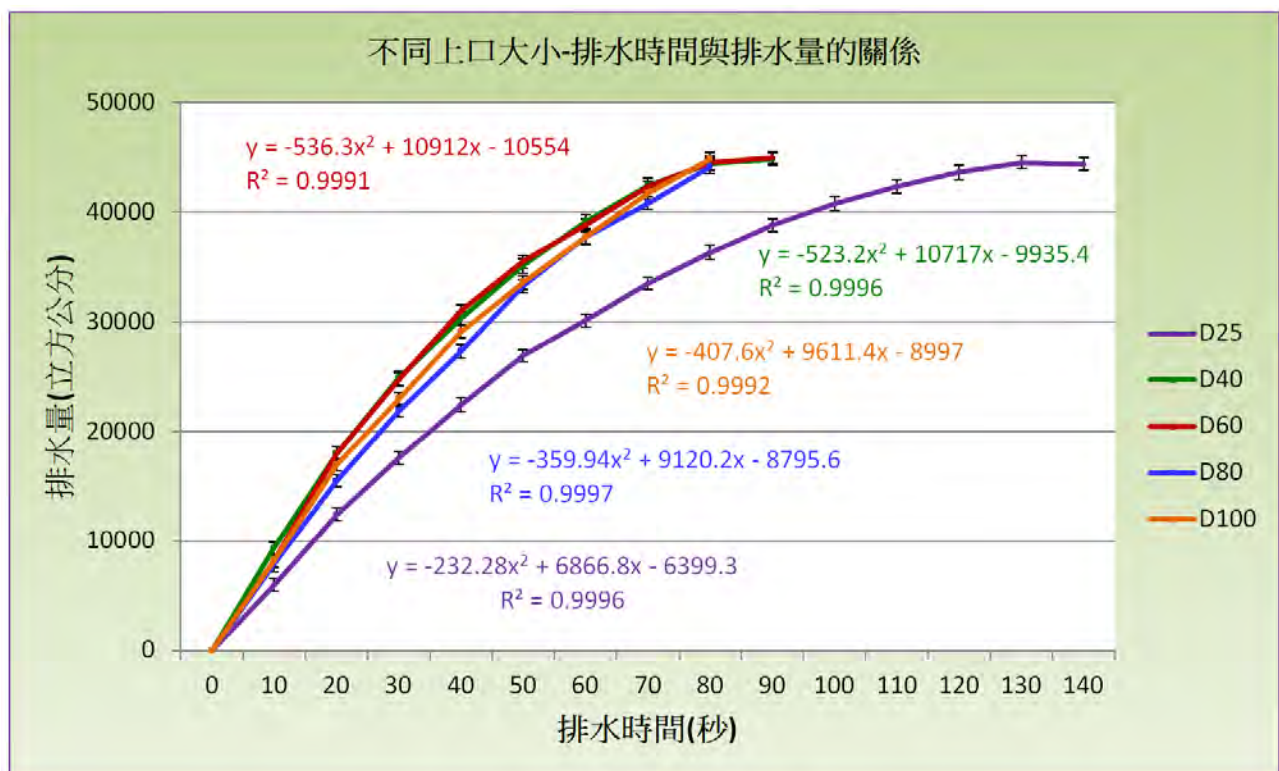


圖 5.4 不同上口大小造成傾斜角，排水時間與排水量的關係折線圖



### 實驗結果分析：

(1)從折線圖的分析中，可以發現上口直徑大小不同，下口直徑 25mm，斜高 25mm，總長 50mm 的落水頭排水口，排水的速度比較結果如下：

直徑 60mm > 直徑 40mm > 直徑 100mm > 直徑 80mm > 直徑 25mm(直管)

(2)因此落水頭排水口的上口直徑只要大於下口直徑，而產生排水的傾斜角，排水速度就會比直管的排水速度較快。

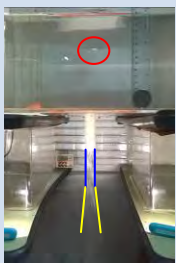
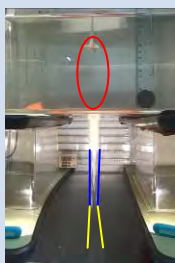
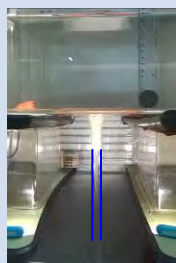
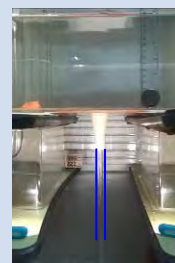
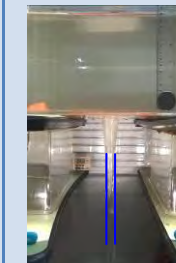


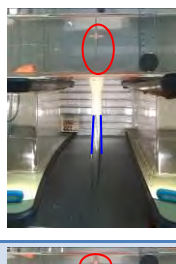


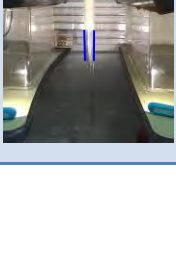
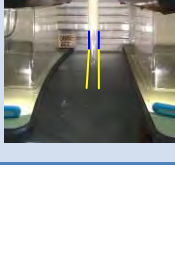


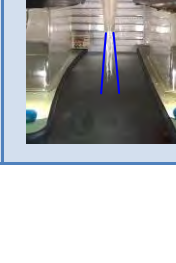
(3)上口直徑不是愈大，排水速度就會愈快，因為隨著上口直徑變大，排水的傾斜角也隨之變小，排水的速度也變慢；而當上口直徑變小時，雖然排水的傾斜角變大，但因上口直徑變小，排水的速度也變慢。

(4)因此在設計落水頭排水口時，應該同時考慮上口的大小尺寸與排水的傾斜角。

### (二) 落水頭排水口上口與下口大小固定，上下口距離不同(斜高)所造成傾斜角不同，對排水速度的影響

1.觀察排水口下面的前方 DV 攝影機所拍攝的排水漩渦與水柱影片，並擷取水位高度為 150mm、90mm、30mm 的畫面做為比較。

表 5.5 不同斜高造成傾斜角不同的落水頭排水情形

上下口距離	直管(對照)	20mm	40mm	60mm	80mm
150mm					
90mm					
30mm					

**實驗影片分析：**(紅色圈表示漩渦，藍色線條、黃色線條表示排口下方水柱形狀)

- (1) 水位高度 150mm 時，直管與斜高 20mm，已產生漩渦影響排水口下方水柱，另三種斜高長度，因為水位高水壓強，加上傾斜角的作用，水柱則是以直圓柱向下排出。
- (2) 水位高度 90mm 時，漩渦皆已產生，直管的水柱以直圓柱向下排出，其餘的也都出現水柱外擴的情形。
- (3) 水位高度 30mm 時，直管的水柱仍以直圓柱向下排出，斜高 20mm 的排水口下方水柱，先是一小段直圓柱，然後才稍微外擴。

2. 將經由 Arduino 超音波測距模組所得到水位高度變化的數據乘上實驗水槽的底面面積

(2500 平方公分)，轉換成排水量，並以 10 秒為間隔，進行排水量與排水時間的分析。

	0秒	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	70秒	80秒	90秒	100秒	110秒	120秒
直管 (平均)	0	9750	18250	23000	28000	32000	34500	37250	39500	41250	43250	45250	45750
標準偏差 (誤差)	0	660.9	656.7	612.4	660.9	582.7	656.7	582.7	660.9	553.4	656.7	582.7	612.4
H20 (平均)	0	10750	19000	24250	30000	34750	38250	42000	44750	45600			
標準偏差 (誤差)	0	568.3	660.9	568.3	656.7	656.7	568.3	660.9	568.3	582.7			
H40 (平均)	0	10500	18750	26500	33250	37250	41000	44250	45750				
標準偏差 (誤差)	0	582.7	660.9	553.4	582.7	660.9	660.9	553.4	612.4				
H60 (平均)	0	10500	19750	27250	33250	39000	42750	45500					
標準偏差 (誤差)	0	612.4	689.2	568.3	656.7	568.3	612.4	568.3					
H80 (平均)	0	11000	21500	30500	37250	43000	45750						
標準偏差 (誤差)	0	689.2	553.4	689.2	656.7	553.4	656.7						

單位：立方公分

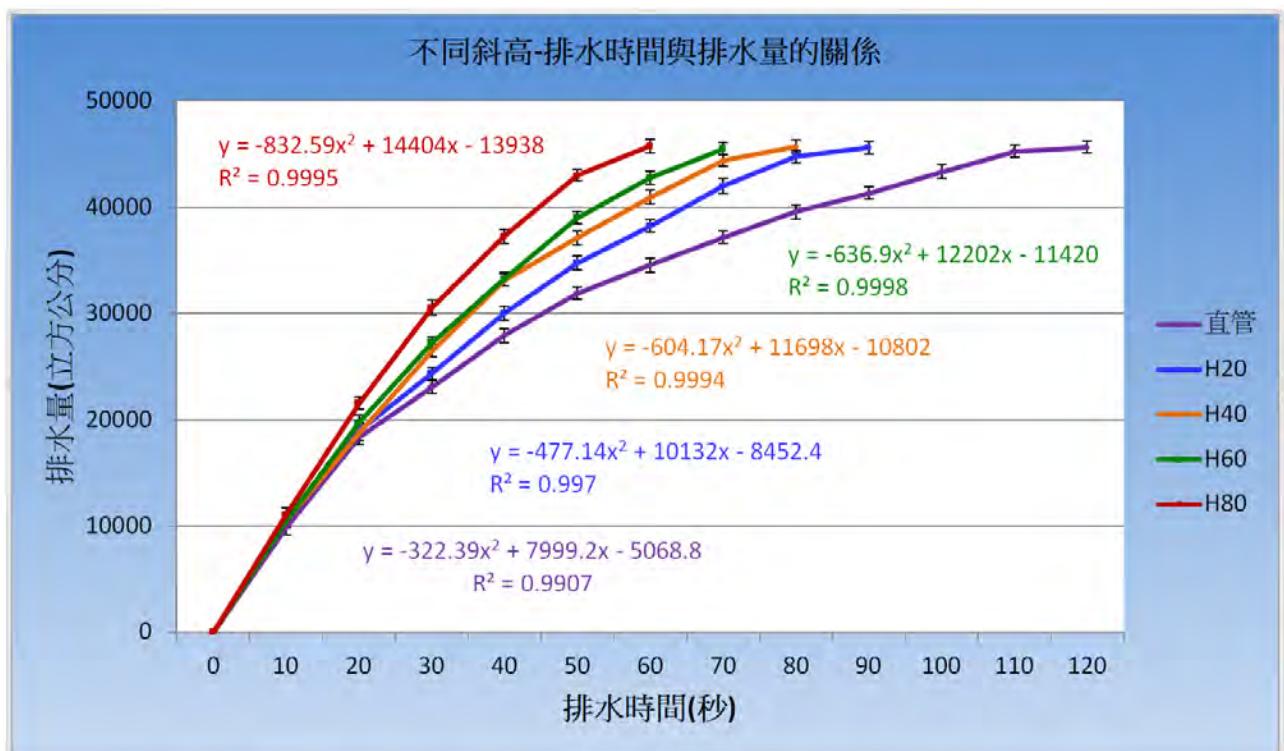


圖 5.5 不同斜高長度造成傾斜角，排水時間與排水量的關係折線圖

### 實驗結果分析：

(1)從折線圖的分析中，可以發現上口直徑 50mm，下口直徑 25mm，斜高不同高度時，總長 100mm 的落水頭排水口，排水的速度比較結果如下：

斜高 80mm > 斜高 60mm > 斜高 40mm > 斜高 20mm > 斜高 0mm(直管)

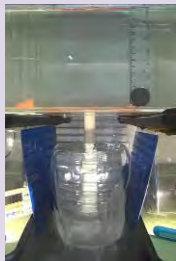


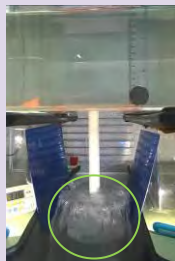











(2)因此落水頭排水口的上口直徑相同，下口直徑也固定，斜高愈長，會產生愈大的排水傾斜角，排水速度就會比較快。

(3)因此在設計落水頭排水口時，若上口尺寸大小固定，距離連接下方排水管的斜高，則可以盡量長一些，可以讓排水傾斜角較大，排水速度較快，但要考慮裝設地板的厚度，因為斜高愈長，落水頭的長度也愈長。

### 五、落水頭下方排水管積水水位高度對排水速度的影響

(一)觀察排水口下面的前方 DV 攝影機所拍攝的排水漩渦與水柱影片，並擷取水位高度為 150mm、90mm、30mm 的畫面做為比較。

表 5.6 不同積水高度至排水口距離的排水情形

距離排水口	85 mm	130 mm	175 mm	220 mm	沒有積水(對照)
150 mm					
90 mm					
30 mm					

實驗影片分析：(紅色圈表示漩渦，綠色圈表示水流特別明顯)



- 1.水位高度 150mm 時，都仍無明顯的漩渦產生，積水槽的水位隨著距離排水口愈遠，積水槽水溢流到儲水槽的情形愈明顯，離排水口 220mm，積水槽水溢流到儲水槽的情形最為明顯。
- 2.水位高度 90mm 時，不同積水高度至排水口距離，皆已有明顯的漩渦產生。
- 3.水位高度 30mm 時，不同積水高度至排水口距離，積水槽水溢流到儲水槽的情形皆已較不明顯。

(二) 將經由 Arduino 超音波測距模組所得到水位高度變化的數據乘上實驗水槽的底面面積 (2500 平方公分)，轉換成排水量，並以 10 秒為間隔，進行排水量與排水時間的分析。

	0秒	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	70秒	80秒	90秒	100秒	110秒
離口85mm (平均)	0	9000	17500	21750	27250	30000	34500	36500	40000	41250	43250	43750
標準偏差 (誤差)	0	689.2	711.5	612.4	568.3	660.9	568.3	689.2	656.7	591.6	568.3	660.9
離口130mm (平均)	0	9750	18750	22500	27250	31000	34500	36500	39250	41250	43250	43750
標準偏差 (誤差)	0	707.1	656.7	711.5	612.4	689.2	689.2	612.4	689.2	591.6	612.4	568.3
離口175mm (平均)	0	11500	17750	23000	27250	31250	35000	37250	39500	41750	43000	43500
標準偏差 (誤差)	0	707.1	689.2	591.6	660.9	660.9	656.7	656.7	660.9	591.6	660.9	656.7
離口220mm (平均)	0	11250	18250	24000	28250	32500	35500	37750	40250	42250	43250	43750
標準偏差 (誤差)	0	711.5	689.2	711.5	656.7	689.2	612.4	689.2	568.3	612.4	660.9	660.9
沒積水 (平均)	0	10750	20500	26000	30750	34250	36500	39500	41750	43250		
標準偏差 (誤差)	0	711.5	707.1	591.6	660.9	689.2	591.6	689.2	591.6	656.7		

單位：立方公分

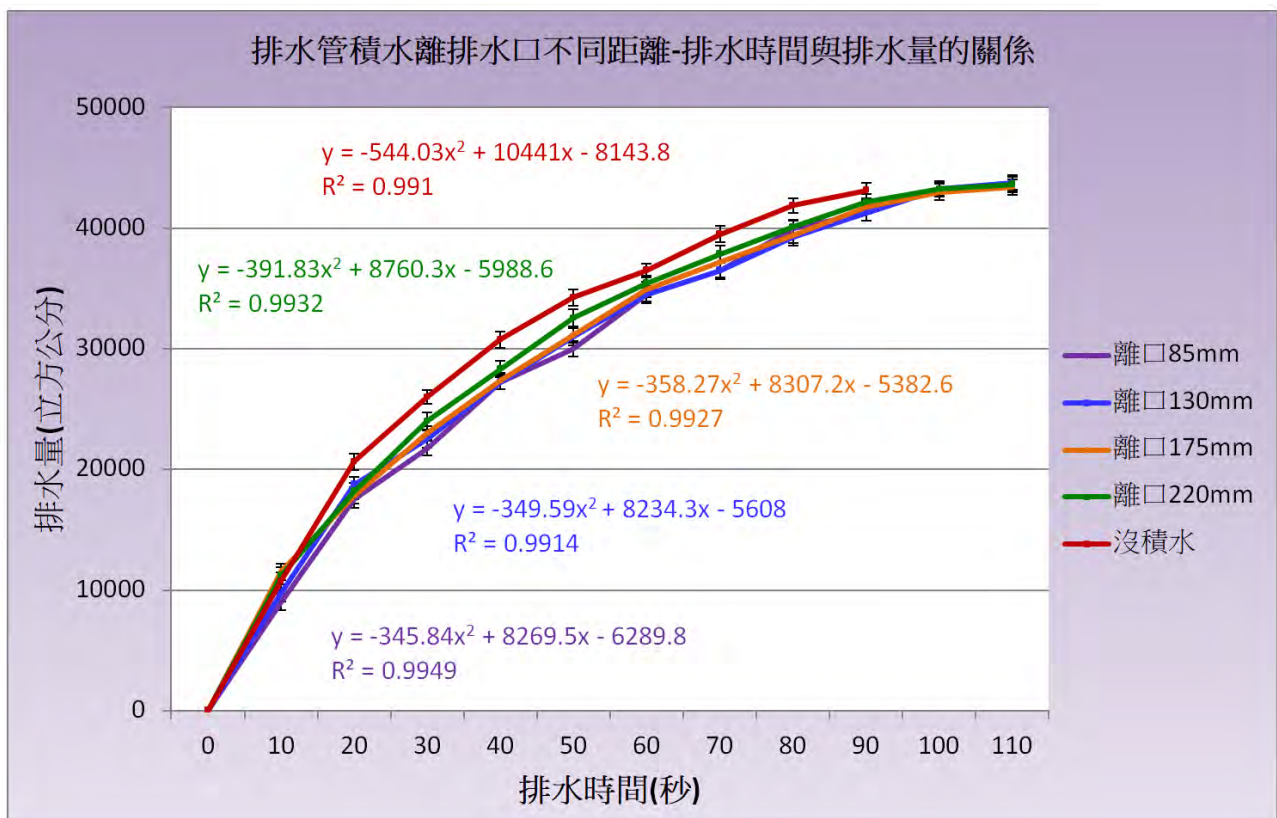


圖 5.6 積水高度離排水口不同距離，排水時間與排水量的關係折線圖

## 實驗結果分析：

1. 從折線圖的分析中，可以發現排水管內不同的積水高度離排水口不同距離時，排水的速度比較結果如下：

沒有積水 > 離口 220mm > 離口 175mm > 離口 130mm > 離口 85mm

2. 沒有積水的排水速度最快，積水高度離排水口 85mm 時，排水速度最慢；隨著積水水面高度離排水口愈近時，排水的速度就愈慢。


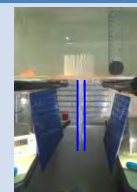
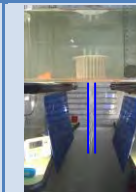





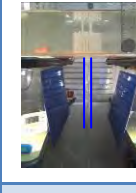
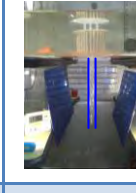
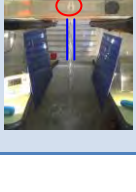
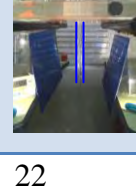
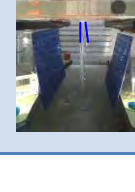
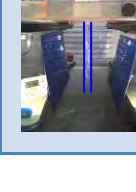
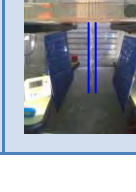
3. 造成積水水面高度離排水口距離不同時，會有不同的排水速度，與虹吸現象有關，水從較高的實驗水槽向下方的積水槽流動，當積水槽的水面愈高時，與實驗水槽的水面高度差就愈小，流速因而變慢，而當積水槽的水面愈低時，與實驗水槽的水面高度差就愈大，流速因而變快。

4. 當排水管路系統開始積水時，排水的速度也會變慢，如此一來，更有可能造成排水不良而產生積水淹水的情況，所以保持排水管路的順暢也就相當重要，故颱風豪雨來臨之前，確實清理排水系統也就格外的重要。

## 六、如何避免漩渦，達到加快排水的速度

(一) 觀察排水口下面的前方 DV 攝影機所拍攝的排水漩渦與水柱影片，並擷取水位高度為 150mm、90mm、30mm 的畫面做為比較。

表 5.7 避免產生漩渦的落水頭排水口排水情形

形式	無裝置	上蓋	N12	N28	N14	混合	上蓋 +N28
150 mm							
90 mm							
30 mm							



**實驗影片分析：**(紅色圈表示漩渦，藍色線條表示排口下方水柱)

- 1.水位高度 150mm 時，產生漩渦的有：無裝置、上蓋等兩種方式產生漩渦。
- 2.水位高度 90mm 時，產生漩渦的有：無裝置、上蓋、N28、N14 等四種方式產生漩渦。
- 3.水位高度 30mm 時，產生漩渦的有：無裝置、上蓋、N14 等三種方式產生漩渦。
- 4.除了目視實驗水槽中是否有漩渦產生，另外也可以從排水口下方的水柱形狀判斷是否有漩渦的產生，在此三個水位高度，都沒有明顯的漩渦且排水口下方水柱為直圓柱的有：N12、上蓋+N28。

(二) 將經由 Arduino 超音波測距模組所得到水位高度變化的數據乘上實驗水槽的底面面積 (2500 平方公分)，轉換成排水量，並以 10 秒為間隔，進行排水量與排水時間的分析。

	0秒	10秒	20秒	30秒	40秒	50秒	60秒	70秒	80秒	90秒	100秒	110秒	120秒
無 (平均)	0	5500	11750	16500	20750	24750	29750	33250	36250	39000	41000	43000	45000
標準偏差 (誤差)	0	656.7	660.9	463.2	660.9	553.4	660.9	591.6	524.4	660.9	582.7	660.9	591.6
上蓋 (平均)	0	4500	10250	16500	22000	26750	31250	35000	38500	41750	43250	45000	47000
標準偏差 (誤差)	0	656.7	463.2	524.4	660.9	656.7	553.4	660.9	591.6	591.6	612.4	656.7	656.7
小圈N12 (平均)	0	6250	11500	17000	23000	27250	31750	35500	39250	41000	43500	45750	47000
標準偏差 (誤差)	0	591.6	660.9	582.7	582.7	656.7	568.3	591.6	660.9	656.7	656.7	553.4	612.4
大圈N28 (平均)	0	5000	10750	17000	22000	26750	31000	36000	39500	42000	44500	46000	47250
標準偏差 (誤差)	0	568.3	660.9	591.6	568.3	612.4	660.9	582.7	612.4	660.9	582.7	660.9	582.7
大圈N14 (平均)	0	5250	10750	16000	22250	26750	31000	34750	40500	43500	45000	46250	48000
標準偏差 (誤差)	0	582.7	660.9	463.2	612.4	656.7	568.3	656.7	656.7	568.3	524.4	660.9	660.9
側邊混合 (平均)	0	6000	11750	18250	23000	29000	34250	38250	40250	42500	44250	46250	47500
標準偏差 (誤差)	0	612.4	524.4	612.4	591.6	524.4	660.9	463.2	524.4	591.6	660.9	591.6	591.6
上蓋+N28 (平均)	0	6000	11750	18250	23250	26750	32000	35750	38250	42500	45500	46750	48000
標準偏差 (誤差)	0	660.9	524.4	553.4	656.7	612.4	656.7	463.2	660.9	553.4	656.7	656.7	612.4

單位：立方公分

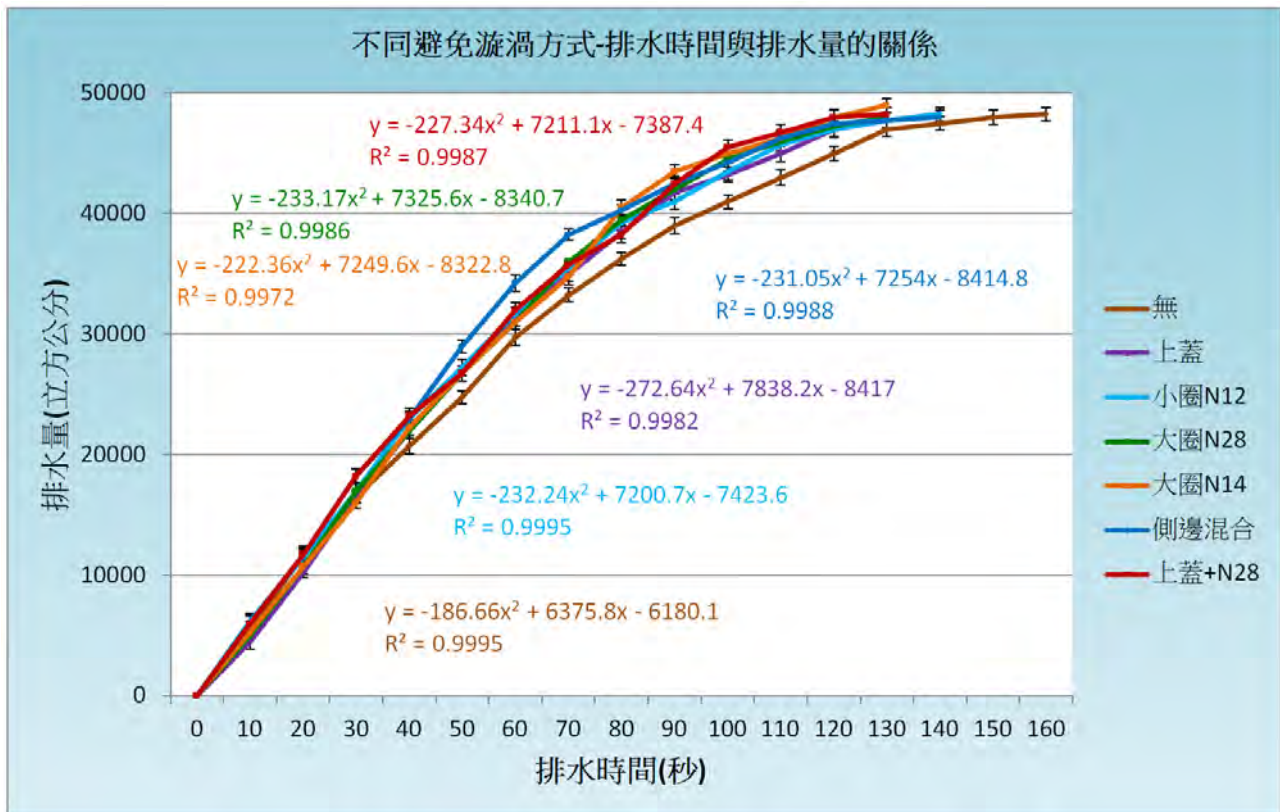


圖 5.7 避免產生漩渦方式，排水時間與排水量的關係折線圖

### 實驗結果分析：

1. 從折線圖的分析中，可以發現嘗試避免漩渦加速排水時，排水的速度比較結果如下：

上蓋+N28 > 大圈 N28 > 大圈 N14 > 側邊混合 > 上蓋 > 小圈 N12 > 無裝置

上蓋加上大圈 N28，排水速度最快，落水頭排水口完全沒有加裝的，排水速度最慢。

2. 上蓋加上大圈 N28 排水過程中幾乎沒有漩渦產生，只有在快排完時，在接近排水口中心處有產生小漩渦，但排水速度是最快，而完全沒有裝置的容易產生漩渦排水速度也最慢。

3. 原以為排水口附近沒有任何裝置，保持空曠無任何阻擋，排水速度會是最快，沒想到漩渦會來影響排水的速度，因為產生漩渦時，排水過程中會有空氣在排水口的中心處流動，而使原本可以是整個落水頭排水口與排水管充滿水的排放情況，變成有空氣佔據落水頭排水口與排水管，而無法達到滿管排水，透過避免漩渦的產生，確實達到排滿的加速排水速度。

4. 一般沒有任何額外構造直徑為 25mm 的圓形排水口，從水位高度 150mm 排至 30mm 時，耗時 85 秒，而若是以上蓋+N28 的落水頭方式，從水位高度 150mm 排至 30mm 時，耗時 71 秒，可見使用我們設計的落水頭，可以達到 16.47%的加速排水效果。若是從水位高度 150mm 排至 10mm 時，分別耗時 135 秒與 108 秒，更可達 20%的加速排水效果。

## 陸、討論

一、從本研究不同形狀的排水口與排水速度的實驗結果，我們發現相同面積時，圓形排水口排水速度較快，而相同面積的平面圖形中以圓形的周長最短，如此在製作排水管時，可以達到最省材料最為經濟，再者若作為排放有夾雜固體異物的排水管，相同截面積時，圓形管可以容納最大的圓形物體，且排放的物體不易因有夾角而卡住，這也是水管為什麼都是圓的。

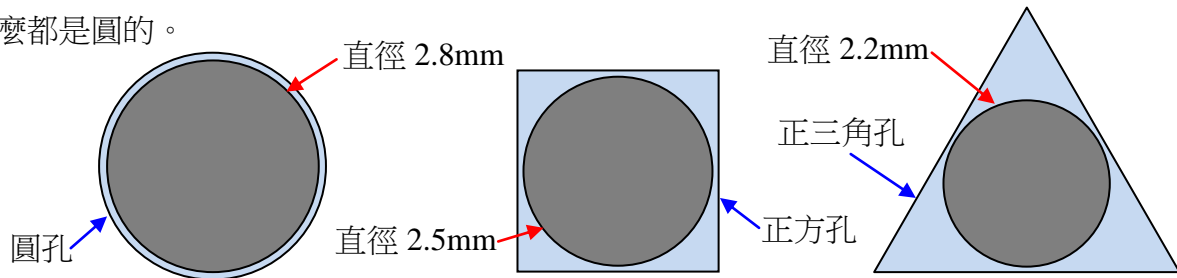


圖 6.1 可通過 2.8mm 圓形物 圖 6.2 可通過 2.5mm 圓形物 圖 6.3 可通過 2.2mm 圓形物

二、從本研究不同形狀的排水口與排水速度的實驗過程中，我們發現三角形和方形的排水口的排水情形，呈現一個三角形的形狀，且隨著漩渦的旋轉方向，會隨之產生偏移，圓形排水口則無此情形，這種有角度的排水現象或許是造成排水速度變慢的原因。

三、落水頭排水管下方常有存水彎的設計，存水彎由於其形狀，保留了少量的水形成密封，防止臭氣及其他氣體逆流或倒灌進室內，也可防止蚊蟲從下方排水管進到室內，大多數存水彎可以拆卸進行清洗，而存水彎對排水速度的影響，如同本研究中排水口下方有積水而造成排水速度變慢，同時也會因存水彎內積留的異物，而使排水速度更慢。

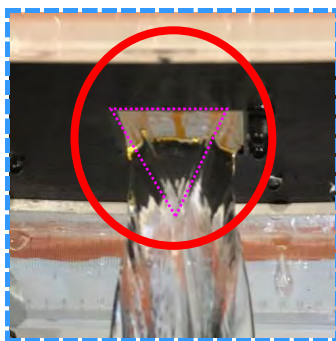


圖 6.4 正方形孔排水

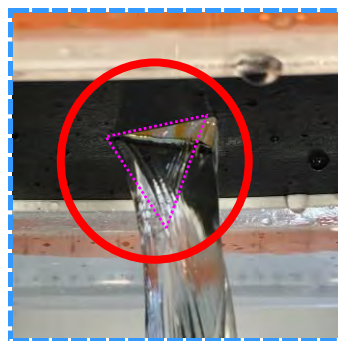


圖 6.5 正三角形孔排水

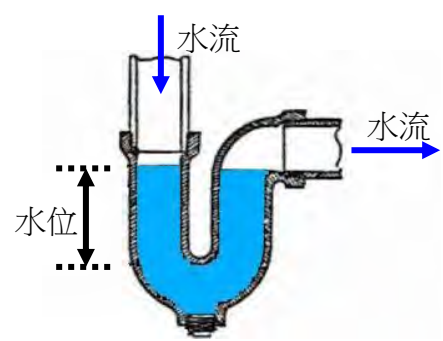


圖 6.6 存水彎示意圖

四、一般排水口漩渦的產生，是因為水槽注水時，水會產生流動，而水旋轉的方向，稱為「**初始旋動**」，注水的方式不同會造成不同的初始旋動，要讓水沒有初始旋動，就要依初始旋動的大小，而有對應需要靜置的時間長度，當水無初始旋動時，可以避免產生漩渦。



五、當產生漩渦時，排水口中心處會有空氣延伸至排水口下方，而造成落水頭排水口內有空氣和水的相互作用，此時可能產生排水的氣鳴聲，且排水口下方的水柱會有外擴的情形，隨著水位愈低，漩渦會愈明顯也愈大，如此若是排水口下方接著排水管時，管內就會有水和空氣，空氣也就佔據了排水的空間，無法達到滿管排水的效果，而使排水速度變慢。

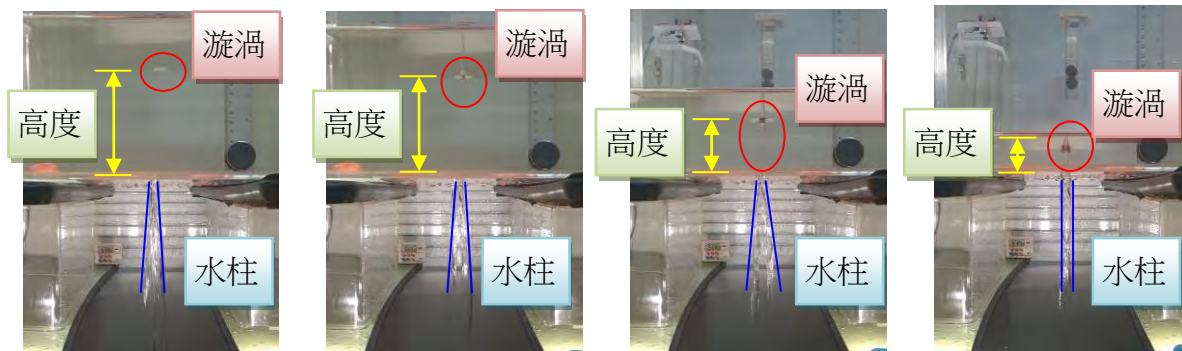


圖 6.7 漩渦產生

圖 6.8 漩渦變大

圖 6.9 漩渦變更大

圖 6.10 排水水柱變小

六、觀察漩渦的產生，會在排水口中心處上方水面，向下產生空氣錐體，延伸至排水口再至排水口下方影響排水口所排出的水柱形狀，因此在排水口上方設計成有蓋板的落水頭，原以為可以阻擋空氣錐體延伸至排水口，就無法形成漩渦，但實際觀察接近排水口的水流與排水口下方的排水水柱形狀和水聲，仍發生有漩渦產生的狀況，尤其水位低於蓋子後，排水口上方就會明顯產生漩渦。



圖 6.11 上蓋下方產生漩渦



圖 6.12 低於上蓋產生漩渦

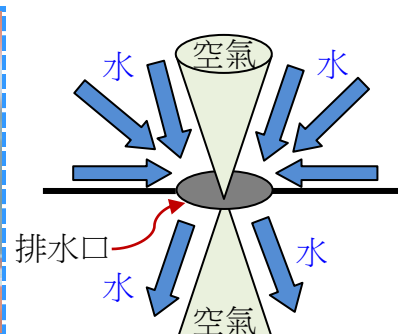


圖 6.13 漩渦結構示意圖

七、排水時產生漩渦對排水速度會產生影響，思考設計不同的落水頭構造來避免漩渦的產生，同時又可以加快排水的速度，分析下列四種形式，分別在不同水位高度時的差異。觀察排水口上方的漩渦產生的情形，無裝置和上蓋都有漩渦產生的情形，尤其是無裝置，特別明顯，上蓋則產生在蓋子的下方；觀察水柱的形狀，可以發現 N28 和上蓋+N28 水柱較為筆直穩定，沒有太大的形狀變化；觀察下方水花的情況 N28 和上蓋+N28 也較少於無裝置和上蓋，表示 N28 和上蓋+N28 水流較穩定，故產生水花較少，排水產生的聲音也較小。



表 6.1 避免漩渦加速排水方式，水位高度 150mm、90mm、30mm 比較圖

形式	無裝置	上蓋	N28	上蓋+N28
150 mm	<p>漩渦</p> <p>高度</p> <p>水柱</p>	<p>漩渦</p> <p>高度</p> <p>水柱</p>	<p>水柱</p>	<p>水柱</p>
90 mm	<p>漩渦</p> <p>高度</p> <p>水柱</p>	<p>漩渦</p> <p>高度</p> <p>水柱</p>	<p>漩渦</p> <p>高度</p> <p>水柱</p>	<p>水柱</p>
30 mm	<p>漩渦</p> <p>高度</p> <p>水柱</p>	<p>漩渦</p> <p>高度</p> <p>水柱</p>	<p>水柱</p>	<p>水柱</p>

## 柒、結論

一、落水頭排水口相同面積，不同開口形狀的排水速度比較如下：

圓形孔 > 正三角形孔 ≙ 正方形孔

圓形孔的排水速度比正三角形孔和正方形孔快。

正三角形孔和正方形孔的排水速度沒有顯著差異。

二、落水頭排水口相同形狀（圓形），不同大小的排水速度比較如下：

直徑 50mm > 直徑 40mm > 直徑 30mm > 直徑 20mm > 直徑 10mm

圓形排水口的直徑愈大，排水口面積就愈大，排水速度愈快。

隨著圓形排水口直徑等差加大，排水口的面積是半徑平方比增加，因此排水速度也是以平方趨勢增加，直徑太小的排水口的排水速度會非常緩慢，直徑太大且尺寸接近的兩個排水口，排水速度就不會有非常明顯的差異。

三、落水頭排水口相同大小，排水管不同長度的排水速度比較如下：

長度 250mm > 長度 150mm > 長度 50mm > 長度 2mm

當排水受漩渦影響時，排水管長度 250mm，受漩渦影響較小，排水速度較快，排水管長度 2mm，受漩渦影響較大，排水速度較慢。

四、落水頭排水管不同斜度與排水速度的關係

(一) 落水頭排水口上口尺寸不同，下口尺寸固定(25mm)與上下口距離相同(25mm)，造成傾斜角不同，對排水速度比較如下：

直徑 60mm > 直徑 40mm > 直徑 100mm > 直徑 80mm > 直徑 25mm(直管)

上口直徑為 60mm，傾斜角為 55.0 度時，排水速度最快。

上口直徑為 40mm，雖然傾斜角較大為 73.3 度，但因上口尺寸小，排水速度為其次。

上口直徑為 100mm，雖然上口為最大，但傾斜角反而變小為 33.7 度，故排水速度排在第三。

因此排水口要增快排水速度，落水頭排水口要同時考慮上口大小與傾斜角兩個因素。

(二) 落水頭排水口上口(50mm)與下口(25mm)尺寸固定，上下口距離(斜高)不同所造成，造成傾斜角不同，對排水速度比較如下：

斜高 80mm > 斜高 60mm > 斜高 40mm > 斜高 20mm > 斜高 0mm(直管)

上下口距離(斜高)為 80mm，形成 81.1 度的傾斜角，使排水速度為最快。

排水口上口與下口大小固定時，上下口距離愈大，傾斜角愈大，排水速度愈快。

五、落水頭排水口距離下方排水管的水位的高度，對排水速度比較如下：

沒有積水 > 離排水口 220mm > 離排水口 175mm > 離排水口 130mm > 離排水口 85mm

沒有積水的排水速度最快，積水高度離排水口 85mm 時，排水速度最慢；

隨著積水水面高度離排水口愈近時，排水的速度就愈慢。

六、避免漩渦加速排水的方式，對排水速度比較如下：

上蓋+大圈 N28 > 大圈 N28 > 大圈 N14 > 側邊混合 > 上蓋 > 小圈 N12 > 無裝置

避免漩渦的方式就是避免「初始旋動」，排水口側邊可增加物體，破壞水的初始旋動，排水口上方可增加蓋板，可減緩側邊物體與排水口之間的漩渦產生的時間，因此排水口上方加蓋與側邊以 28 根圓柱圍繞的落水頭，可以達到**排好排滿的較佳排水速度，加速 20% 的排水效果。**

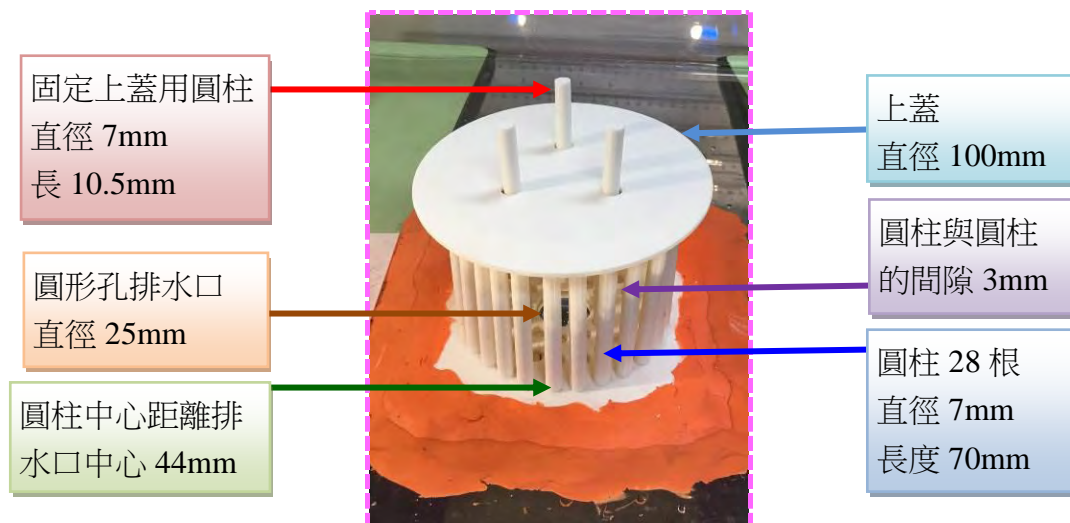


圖 6.14 滿管排水加速排水之落水頭

七、將研究發現可以避免產生漩渦，加快排水速度的自製落水頭，實際裝設於學校四樓的露台，為學校的排水系統增加一道加速裝置，同是也是為避免淹水增加一道防護。



圖 6.15 增加自製落水頭加速排水



圖 6.16 下雨天我們實際去觀察落水頭排水的情形

八、未來展望：

無落葉阻塞時，我們發現適當的落水頭形式，可以避免漩渦產生，加快排水速度，減少淹水的機會。不同排水口大小，搭配的落水頭高度應該是多高、縫隙的大小數量應該是多少、落水頭的總排水面積應該是多少等因素，才可以得到最佳的排水速度，我們期望以此為下一次研究的目的，設計製作出符合不同排水口大小的加速排水落水頭，並在落水頭外層加上一層較大的圓頂形網罩，如此較大的圓頂形網罩可阻檔樹枝落葉，網罩內的落水頭可以避免漩渦產生，加快排水速度，以此達到實用的價值並申請專利。

## 捌、參考資料

白美洪(2011)。流言追追追第三季—南北漩渦大不同？。財團法人公共電視文化事業基金會。

李宛融等三人(2005)。「排水口」上見真章。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會，國小組自然科。

蔡宗育等四人(2007)。水中的殺手——漩渦。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會，國小組自然科。

簡辰羽等四人(2018)。「落水頭-弱水頭」-探討落水頭排水效果之研究。中華民國第五十八屆中小學科學展覽會，國小組生活與應用科學(二)科。



## 【評語】 080119

1. 題目具生活化。
2. 實驗具創意。
3. 結果具實用性。
4. 為何最後落水頭要用圓柱？用板狀一片片環繞來阻止水旋轉不是更好？
5. 可以避免直觀的結果，例如，排水口越大，排水能力自然較佳，排水口下水管越短，排水效果較佳。
6. 應考慮密閉管中空氣流動問題？

# 摘要

排水的快慢與那些因素有關？如何才能加快排水的速度？我們設計製作一套排水實驗裝置，以 Arduino 超音波測距模組搭配電腦進行測量與自動記錄，並用 3D 列印機設計製作不同的落水頭形式，同時考慮可能影響排水的因素，進行相關的研究實驗，結果發現排水速度較快的條件如下：一、圓形孔的排水口。二、直徑較大的排水口。三、排水口下方的排水管較短。四、落水頭的傾斜角較大。五、排水口下方的排水管無積水最快，其次積水高度較低者。最後為了避免漩渦加快排水速度，我們設計製作排水口上方加蓋與側邊加圓柱間隔欄柵的落水頭形式，經實驗結果證明，的確能達到排好排滿的滿管排水，加速 20% 的排水效果，並實際應用於學校露台，為學校的排水系統增加一道加速裝置。

## 壹、研究動機

水是生命的源泉，是人類賴以生存和發展不可缺少的重要物質資源之一，而排水系統自古以來都是重要課題，夏禹治水是歷史上赫赫有名的事例。去年八月受熱低壓影響，台灣中南部降下超大豪雨，造成南部大淹水，今年五月北部的強降雨，也造成北台灣多處淹水。學校也曾因颱風夾帶超大豪雨，產生校園淹水，經調查發現主要是因排水口被落葉阻塞，才發生排水不良的淹水情形，有鑑於此困擾之問題，我們以瞬間大雨，在處理落葉阻塞排水口以後之進一步研究，無落葉阻塞排水口，仍可能會因排水速度不足而產生淹水，我們研究落水頭形式、排水管大小及其他可能影響排水速度的因素，進而找出加快排水速度的方式。

## 貳、研究目的

- 一、落水頭排水口相同面積，不同開口形狀與排水速度的關係。
- 二、落水頭排水口相同形狀，不同開口面積與排水速度的關係。
- 三、落水頭下方排水管不同長度與排水速度的關係。
- 四、落水頭不同傾斜角與排水速度的關係。
  - (一) 落水頭排水口不同上口大小，相同下口大小與上下口距離固定，造成傾斜角不同，對排水速度的影響。
  - (二) 落水頭排水口上口與下口大小固定，上下口距離不同(斜高)所造成傾斜角不同，對排水速度的影響。
- 五、落水頭下方排水管積水水位高度對排水速度的影響。
- 六、如何避免漩渦，達到加快排水的速度。

## 參、研究設備及器材

表 1. 研究器材

1. Arduino 超音波測距模組 × 1 組	2. 3D 印表機 × 1 台	3. 實驗水槽 × 1 個 (自行設計)
4. 沉水泵浦 × 1 台	5. DV 攝影機 × 1 台	6. 筆記型電腦 × 1 台
7. 整理箱 × 1 個	8. 行動載具 × 1 台	9. 伸縮排水管 × 2 條

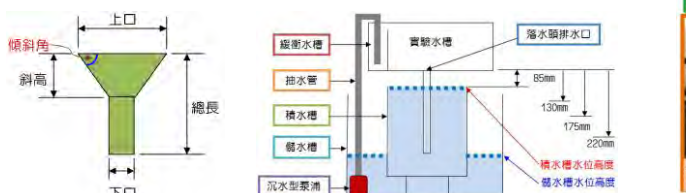


圖 1. 落水頭排水口圖示 圖 2. 積水水位高度離排水口距離示意圖 圖 3. 排水實驗裝置

## 肆、研究過程及方法

### 一、落水頭排水口相同面積，不同開口形狀與排水速度的關係

形狀	圓孔	正方孔	正三角孔
尺寸 (mm)	30 (直徑)	26.59 (邊長)	40.40 x 34.99 (底 x 高)
孔洞面積 (mm <sup>2</sup> )	706.5	706.5	706.5
3D 圖示			

### (二) 落水頭排水口上口與下口大小固定，上下口距離不同(斜高)所造成傾斜角不同，對排水速度的影響

斜高	直管	20mm	40mm	60mm	80mm
傾斜角	90 度	59.0 度	72.6 度	78.2 度	81.1 度
3D 圖示					
排水口圖片					

說明：不同斜高，相同上口 50mm，相同下口 25mm，總長 100mm

### 二、落水頭排水口相同形狀，不同開口面積與排水速度的關係

圓孔直徑	10mm	20mm	30mm	40mm	50mm
3D 圖示					

### 三、落水頭下方排水管不同長度與排水速度的關係

排水管長度	2mm	50mm	150mm	250mm
3D 圖示				

### 四、落水頭不同傾斜角與排水速度的關係

#### (一) 落水頭排水口不同上口大小，相同下口大小與上下口距離固定，造成傾斜角不同，對排水速度的影響

上口直徑	25mm	40mm	60mm	80mm	100mm
傾斜角	90 度	73.3 度	55.0 度	42.3 度	33.7 度
3D 圖示					

說明：不同上口大小，相同下口直徑 25mm，斜高 25mm，總長 50mm

### 五、落水頭下方排水管積水水位高度對排水速度的影響

離排水口距離	85mm	130mm	175mm	220mm
排水口圖片				

### 六、如何避免漩渦，達到加快排水的速度

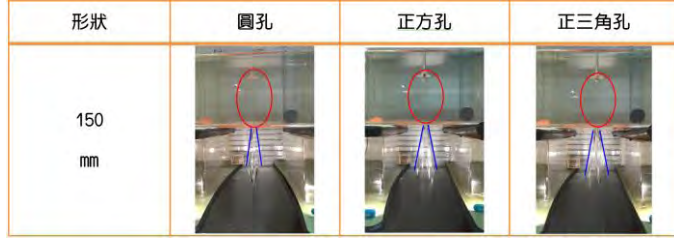
形式	上方加蓋	側邊小圈 N12	側邊大圈 N28	側邊大圈 N14	側邊混合	上蓋+大圈 N28
落水頭圖片						

說明：排水口直徑 25mm，小圈較為接近排水口(距離中心 19mm)，大圈離排水口較遠(距離中心 44mm)；N 表示數量。



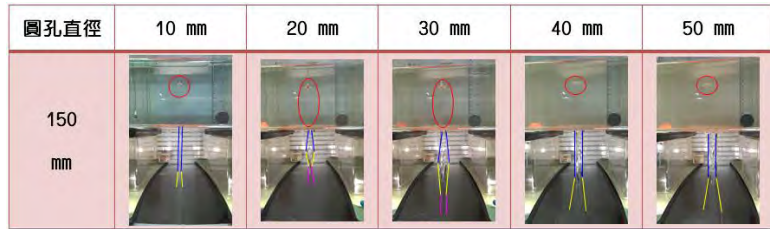
## 伍、研究結果

### 一、落水頭排水口相同開口面積，不同開口形狀與排水速度的關係



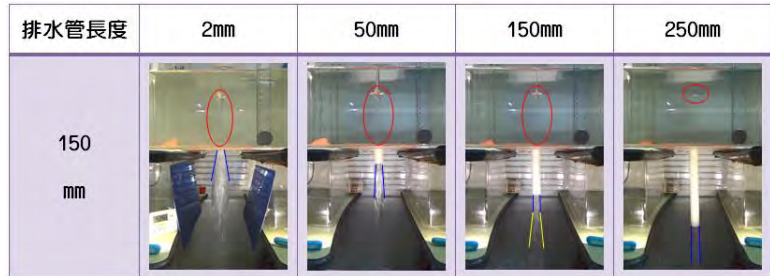
**實驗影片分析：**水位高度在 150mm 時，排水口下方水柱的外擴情形，正三角形最大，圓形最小。

### 二、落水頭排水口相同開口形狀，不同開口面積大小與排水速度的關係



**實驗影片分析：**水位高度 150mm 時，直徑 10mm、直徑 40mm 和直徑 50mm，三種排水口下方的水柱，因孔徑太大或太小，水柱先有一段直圓柱，然後才產生外擴情形。

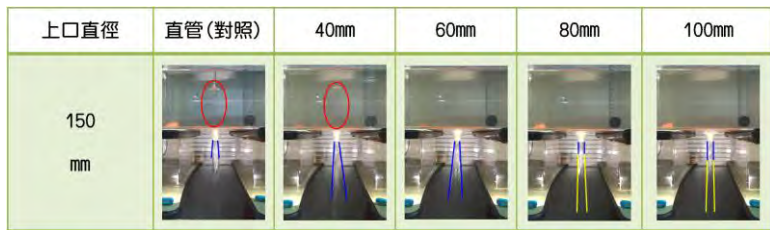
### 三、落水頭下方排水管不同長度與排水速度的關係



**實驗影片分析：**水位高度 150mm 時，排水管長度 150mm 下方的水柱有一小段的直圓柱，然後才有外擴情形。

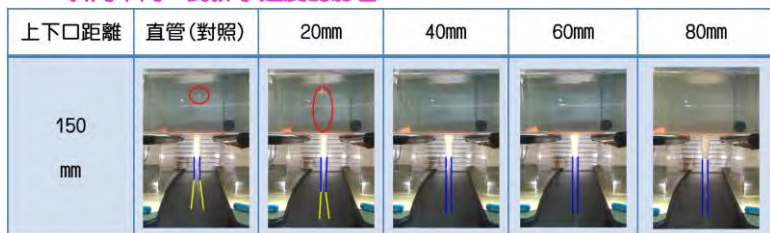
### 四、落水頭不同傾斜角與排水速度的關係

(一) 落水頭排水口不同上口大小，相同下口大小與上下口距離固定，造成傾斜角不同，對排水速度的影響



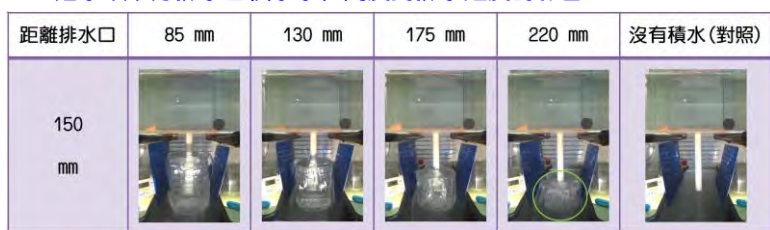
**實驗影片分析：**上口直徑 40mm 和上口直徑 60mm，排水口下方水柱有噴射的樣貌；上口直徑 80mm 和上口直徑 100mm，排水口下方先有一段直圓柱，才有外擴的情形。

(二) 落水頭排水口上口與下口大小固定，上下口距離不同(斜高)所造成傾斜角不同，對排水速度的影響



**實驗影片分析：**直管與斜高 20mm，已產生漩渦影響排水口下方水柱，另三種斜高高度，因為水位高水壓強，加上傾斜角的作用，水柱則是以直圓柱向下排出。

### 五、落水頭下方排水管積水水位高度對排水速度的影響



**實驗影片分析：**積水槽的水位隨著距離排水口愈遠，積水槽水溢流到儲水槽的情形愈明顯，離排水口 220mm，最為明顯。

### 六、如何避免漩渦，達到加快排水的速度



**實驗影片分析：**水位高度 90mm 時，產生漩渦的有無、上蓋、N28、N14 等四種方式產生漩渦。

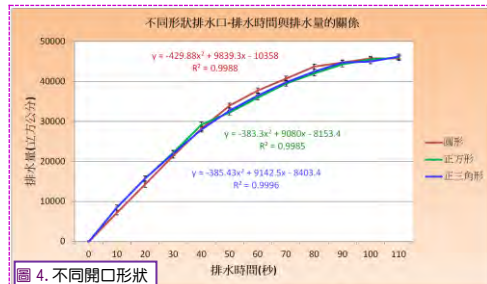


圖 4. 不同開口形狀

#### 實驗結果分析：

截面積相同，不同形狀孔洞，排水的速度比較結果如下：  
圓形孔 > 正三角形孔 ≈ 正方形孔  
相同截面積時，圓形孔排水速度較快

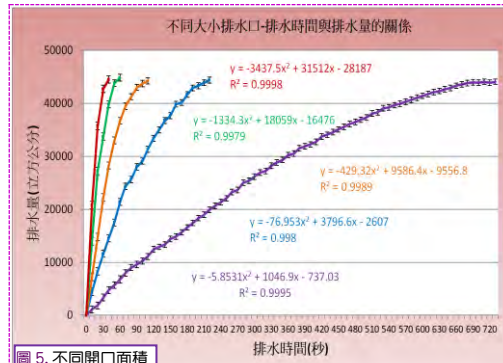


圖 5. 不同開口面積

**實驗結果分析：**排水的速度比較結果如下：直徑 50mm > 直徑 40mm > 直徑 30mm > 直徑 20mm > 直徑 10mm  
圓形排水口的直徑愈大，排水口截面積就愈大，排水速度愈快。

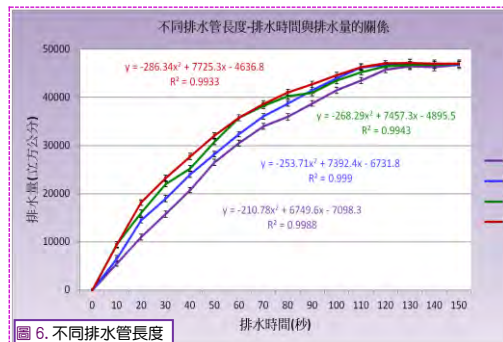


圖 6. 不同排水管長度

**實驗結果分析：**排水的速度比較結果如下：長度 250mm > 長度 150mm > 長度 50mm > 長度 2mm  
排水管長度 250mm 受漩渦影響較小，排水速度較快。

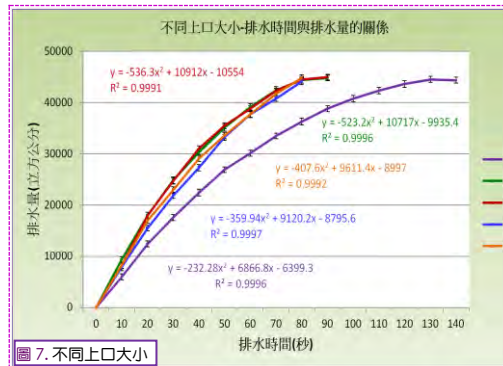


圖 7. 不同上口大小

**實驗結果分析：**排水的速度比較結果如下：直徑 60mm > 直徑 40mm > 直徑 100mm > 直徑 80mm > 直徑 25mm(直管)  
設計落水頭排水口時，應該同時考慮上口的大小尺寸與排水的傾斜角。

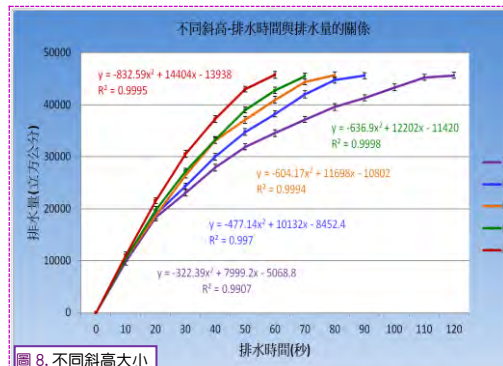


圖 8. 不同斜高大小

**實驗結果分析：**排水的速度比較結果如下：斜高 80mm > 斜高 60mm > 斜高 40mm > 斜高 20mm > (直管)  
上口直徑相同，下口直徑固定，斜高愈長，產生愈大的排水傾斜角，排水速度就會比較快。

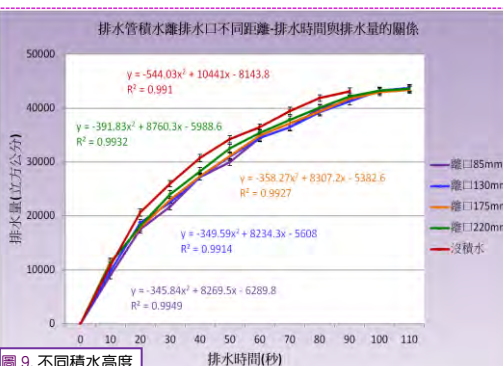


圖 9. 不同積水高度

**實驗結果分析：**排水的速度比較結果如下：沒有積水 > 離口 220mm > 離口 175mm > 離口 130mm > 離口 85mm  
沒有積水排水速度最快，積水高度離排水口 85mm 時，排水速度最慢；隨著積水水面高度離排水口愈近時，排水的速度就愈慢。

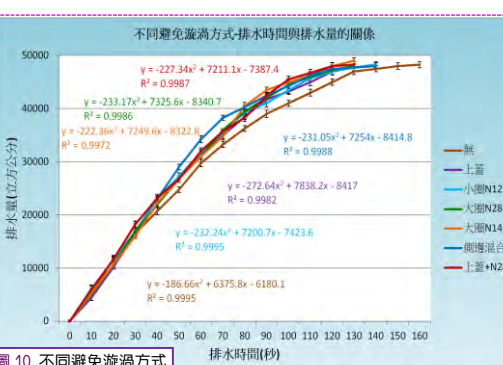


圖 10. 不同避免漩渦方式

**實驗結果分析：**排水的速度比較結果如下：上蓋+N28 > 大圈 N28 > 大圈 N14 > 側邊混合 > 上蓋 > 小圈 N12 > 無(一般有漩渦)  
上蓋加上大圈 N28，排水速度最快，排水口完全沒有加裝的，排水速度最慢。



## 陸、討論

- 一、從本研究不同形狀的排水口與排水速度的實驗結果，我們發現相同截面積時，圓形的排水速度是較快的，而所有同面積的平面圖形中以圓的周長最短，如此在製作排水管時，可以達到最省材料最為經濟，再者若作為排放有夾雜固體異物的排水管，相同截面積時，圓形管可以容納最大的圓形物體，且排放的物體不易因有夾角而卡住，這也是水管為什麼都是圓的。
- 二、從本研究不同形狀的排水口與排水速度的實驗過程中，我們發現三角形和方形的排水口的排水情形，呈現一個三角形的形狀，且隨著漩渦的旋轉方向，會隨之產生偏移，圓形排水口則無此情形，這種有角度的排水現象或許是造成排水速度變慢的原因。
- 三、落水頭排水口下方常有存水彎的設計，存水彎由於其形狀，保留了少量的水形成密封，防止臭氣及其他氣體逆流或倒灌進室內，也可防止蚊蟲從下方排水管進到室內，大多數存水彎可以拆卸進行清洗，而存水彎對排水速度的影響，如同本研究中排水口下方有積水而造成排水速度變慢，同時也會因存水彎內積留的異物，而使排水速度更慢。

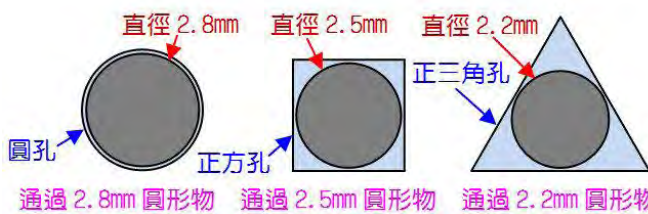


圖 11. 不同形狀排水口的比較

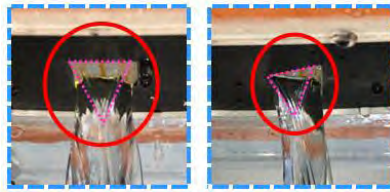


圖 12. 不同形狀排水口排水情形

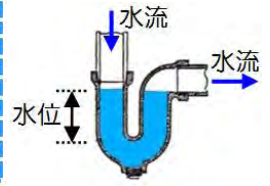


圖 13. 存水彎示意圖

- 四、一般排水口漩渦的產生，是因為水槽注水時，水會產生流動，而水旋轉的方向，稱為「初始旋轉」，注水的方式不同會造成不同的初始旋轉，要讓水沒有初始旋轉，要依初始旋轉的大小，對應需要靜置的時間長度，當水無初始旋轉時，可以避免產生漩渦。
- 五、當產生漩渦時，排水口中心處會有空氣延伸至排水口下方，而造成落水頭排水口內有空氣和水的作用，此時可能產生排水的氣鳴聲，且排水口下方的水柱會有外擴的情形，隨著水位愈低，漩渦會愈明顯也愈大，如此若是排水口下方接著排水管時，管內就會有水和空氣，空氣也就佔據了排水的空間，無法達到滿管排水的效果，而使排水速度變慢。
- 六、觀察漩渦的產生，會在排水口中心處上方水面，向下產生空氣錐體，延伸至排水口再至排水口下方影響排水口所排出的水柱形狀，因此在排水口上方設計成有蓋板的落水頭，原以為可以阻擋空氣錐體延伸至排水口，就無法形成漩渦，但實際觀察接近排水口的水流與排水口下方的水柱形狀和水聲，仍發生有漩渦產生的狀況，尤其水位低於蓋子後，排水口上方就會明顯產生漩渦。

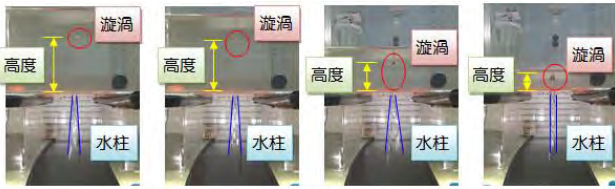


圖 14. 漩渦的產生與變化情形



圖 15. 增加上蓋時漩渦的產生與變化情形

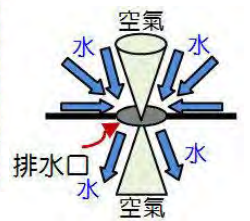


圖 16. 漩渦結構示意圖

- 七、排水時產生漩渦對排水速度會產生影響，思考設計不同的落水頭構造來避免漩渦的產生，同時又可以加快排水的速度，分析四種形式，分別在不同水位高度時的差異。觀察排水口上方的漩渦產生的情形，無裝置和上蓋都有漩渦產生的情形，尤其是無裝置，特別明顯，上蓋則產生在蓋子的下方；觀察水柱的形狀，可以發現 N28 和上蓋+N28 水柱較為筆直穩定，沒有太大的形狀變化；觀察下方水花的情況 N28 和上蓋+N28 也較少於無裝置和上蓋，表示 N28 和上蓋+N28 水流較穩定，故產生水花較少，排水產生的聲音也較小。

## 柒、結論

- 一、落水頭排水口相同面積，不同形狀的排水速度比較如下：

圓形孔 > 正三角形孔 = 正方形孔  
圓形孔的排水速度比正三角形孔和正方形孔快。

- 二、落水頭排水口相同形狀，不同大小的排水速度比較如下：

直徑 50mm > 直徑 40mm > 直徑 30mm > 直徑 20mm > 直徑 10mm  
圓形排水口的直徑愈大，排水口面積就愈大，排水速度愈快。

- 三、排水口相同大小，排水管不同長度的排水速度比較如下：

長度 250mm > 長度 150mm > 長度 50mm > 長度 2mm  
排水管長度 250mm，受漩渦影響較小，排水速度較快。

- 四、落水頭排水口不同斜度與排水速度的關係

- (一) 落水頭排水口上口尺寸不同，下口尺寸固定與大小口距離相同，造成傾斜角不同，對排水速度比較如下：

直徑 60mm > 直徑 40mm > 直徑 100mm > 直徑 80mm > 直徑 25mm  
排水口要增快排水速度，落水頭排水口要同時考慮上口大小與傾斜角兩個因素。

- (二) 落水頭排水口上口與下口尺寸固定，大小口距離(斜高)不同所造成，造成傾斜角不同，對排水速度比較如下：

斜高 80mm > 斜高 60mm > 斜高 40mm > 斜高 20mm > 斜高 0mm  
排水口上口與下口大小固定時，大小口距離愈大，傾斜角愈大，排水速度愈快。

- 五、落水頭排水口距離下方排水管的水位的高度，對排水速度比較如下：

沒有積水 > 離排水口 220mm > 離排水口 175mm > 離排水口 130mm > 離排水口 85mm  
隨著積水水面高度離排水口愈近時，排水的速度就愈慢。

- 六、避免漩渦加速排水的方式，對排水速度比較如下：

上蓋+大圈 N28 > 大圈 N28 > 大圈 N14 > 側邊混合 > 上蓋 > 小圈 N12 > 無(一般)  
排水口上方加蓋與側邊以 28 根圓柱圍繞的落水頭，可以達到排好排滿的最佳排水速度，加速 20% 的排水效果。

- 七、將研究發現可以避免產生漩渦，加快排水速度的自製落水頭，實際裝設於學校四樓的露台，為學校的排水系統增加一道加速裝置，同是也是為避免淹水增加一道防護。

- 八、未來展望：無落葉阻塞時，我們發現適當的落水頭形式，可以避免漩渦產生，加快排水速度，減少淹水的機會。不同排水口大小，搭配的落水頭高度應該是多高、縫隙的大小數量應該是多少、落水頭的總排水面積應該是多少等因素，才可以得到最佳的排水速度，我們期望以此為下一次研究的目的，設計製作出符合不同排水口大小的加速排水落水頭，並在落水頭外層加上一層較大的圓頂形網罩，如此較大的圓頂形網罩可阻擋樹枝落葉，網罩內的落水頭可以避免漩渦產生，加快排水速度，以此達到實用的價值並申請專利。

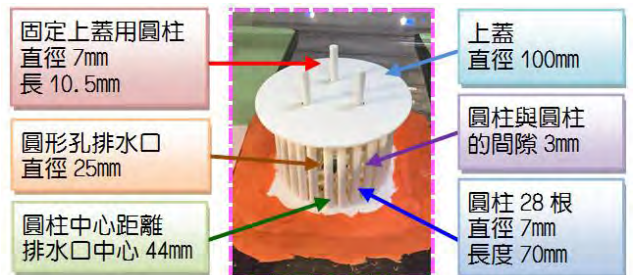


圖 17. 加速排水之滿管排水落水頭



圖 18. 裝設於露台



圖 19. 實際觀察落水頭的排水情形

## 捌、參考資料及其它

- 白美洪 (2011)。流言追追追第三季—南北漩渦大不同?。財團法人公共電視文化事業基金會。  
李宛融等三人 (2005)。「排水口」上見真章。中華民國第四十五屆中小學科學展覽會，國小組自然科。  
蔡宗育等四人 (2007)。水中的殺手——漩渦。中華民國第四十七屆中小學科學展覽會，國小組自然科。