

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

082908

水漫校園 陸路成渠-校門口排水系統改善方案

學校名稱：新北市板橋區沙崙國民小學

作者：	指導老師：
小六 何文碩	沈昱穎
小六 蕭鈺軒	許皓鈞
小六 江曉虛	
小六 陳奕璇	
小六 莊景涵	

關鍵詞：淹水排水、洩水坡度、水溝蓋

摘要

本研究擬以自製降雨系統及依真實比例縮小的溝渠模型及各類水溝蓋改善本校校門口淹水問題，水溝、陰井的製作皆盡可能模擬真實情境。我們經由尋求專業水利技師的諮詢後，決定了三項影響疏洪效果的變因進行實驗。研究結果發現不同種類的水溝蓋集水效果不同、水溝洩水坡度和校內排水溝連接聯外排溝的樣式與角度則會影響排水效果，本研究針對學校實際問題提供階段式具體的建議方案，並公開發表研究結果，有助於改善淹水問題。

壹、研究動機

在我們四年級的家長日，板橋區下起了豪大雨，學校因為水溝的問題而淹大水造成參加家長會的家長個個都寸步難行。目前雖然學校已經重修水溝、陰井並使用透水鋪面水溝蓋，但我們發現透水鋪面水溝蓋在卡車或重量較重的車經過時，都會下陷或破裂，而且因為校地本身的限制，這次的整修無法全方面改善。所以我們希望透過我們重現目前校內水溝的模樣，並藉由實驗提出較佳方案，期望當學校有一筆經費進行翻修時，可以參考我們的研究成果。

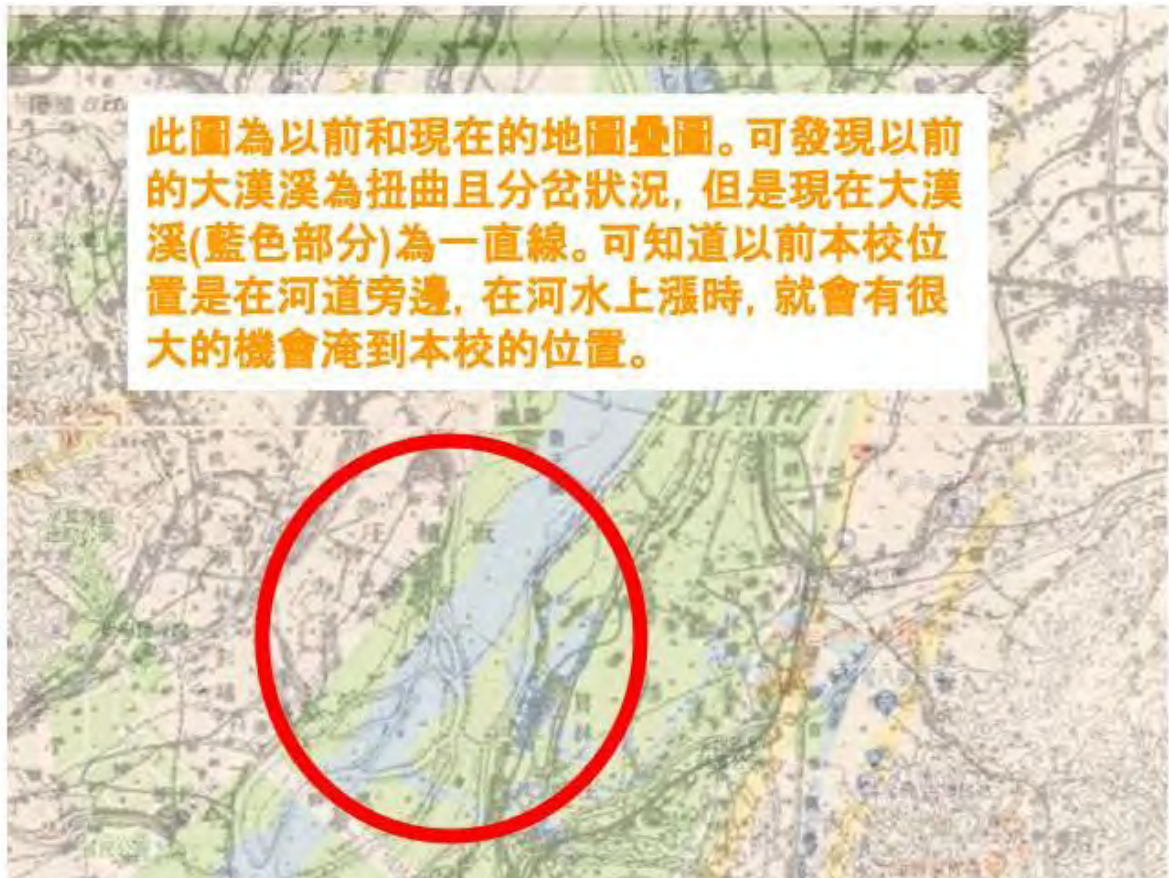
研究背景分析

(一)本校所在區域之古今地形分析

(1)古今地圖之比較

從中央研究院人文社會科學研究中心「地圖與遙測數位典藏計畫」網站結合 Google 地圖介面，我們對比出本校日治時期及現今地圖如下：

可發現以前此地區為大漢溪附近，現在已轉為一般馬路。但是可證實以前的河道比目前大許多，甚至對面國小是處於在河道裡的狀況。



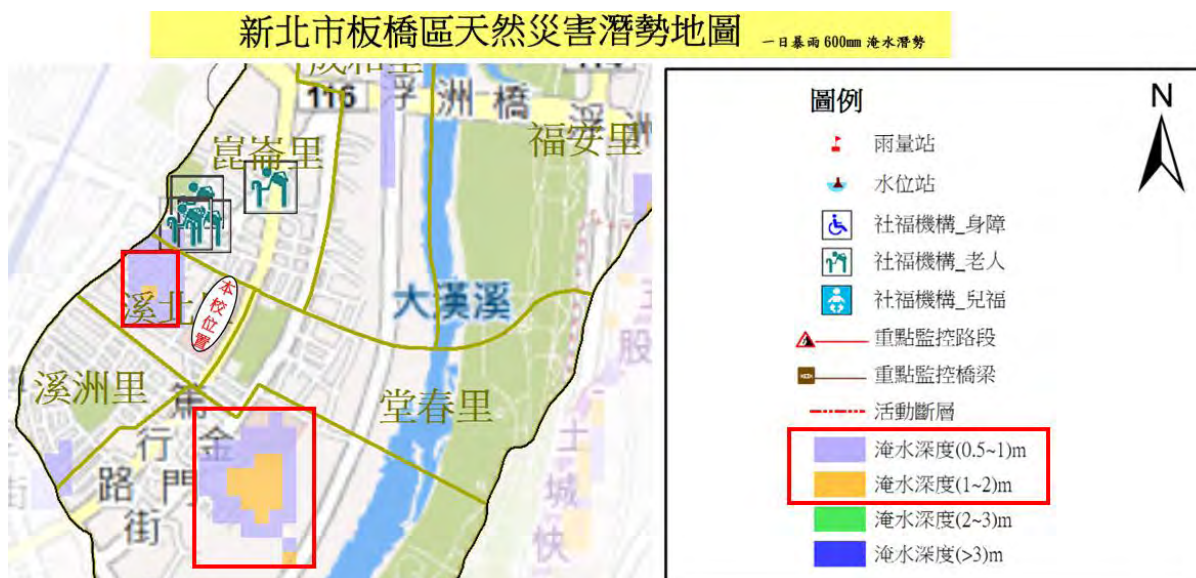
[圖 1]板橋區附近古今地圖疊圖

(2)本校古今產業發展：

我們從文獻[枋橋河流文化協會](#) 部落格文章 [概覽板橋浮洲地史](#)得知：「大漢溪與新店溪匯流前，水流緩，原來寬廣河道漸次淤積，淤沙逐漸堆積成沙洲，漸次陸化，即成為浮洲。清朝時代，此一區域地勢較低，許多區域為不穩定的沼澤，遇颱風大雨即被淹沒……」

根據上面文章所敘述的內容，我們可以得知，早期本校所屬區域相較其他地方低，為低窪地帶。

(二)本校所在區域之災害潛勢圖



[圖 2] 新北市板橋區淹水深度地圖潛勢地圖

根據上圖我們可以發現，現在本校的位置也是相對低窪，故本校周圍經常會有淹水的情形發生。

綜觀以上的文獻，以及三年前家長日、今年 5/20 本校淹水的情況，更促使我們想要進行以下的研究。

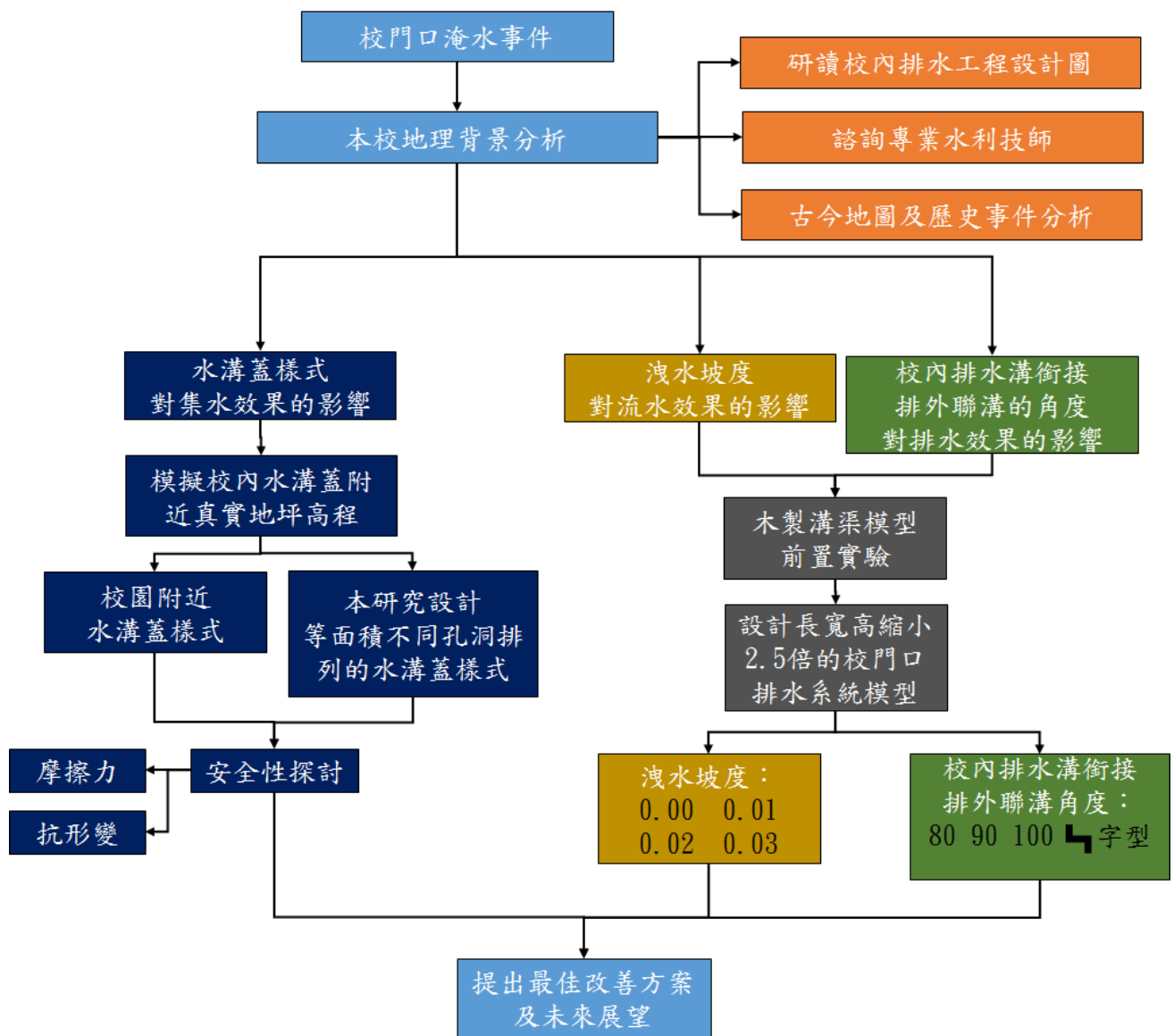


[圖 3] 本校 5/20 淹水情形

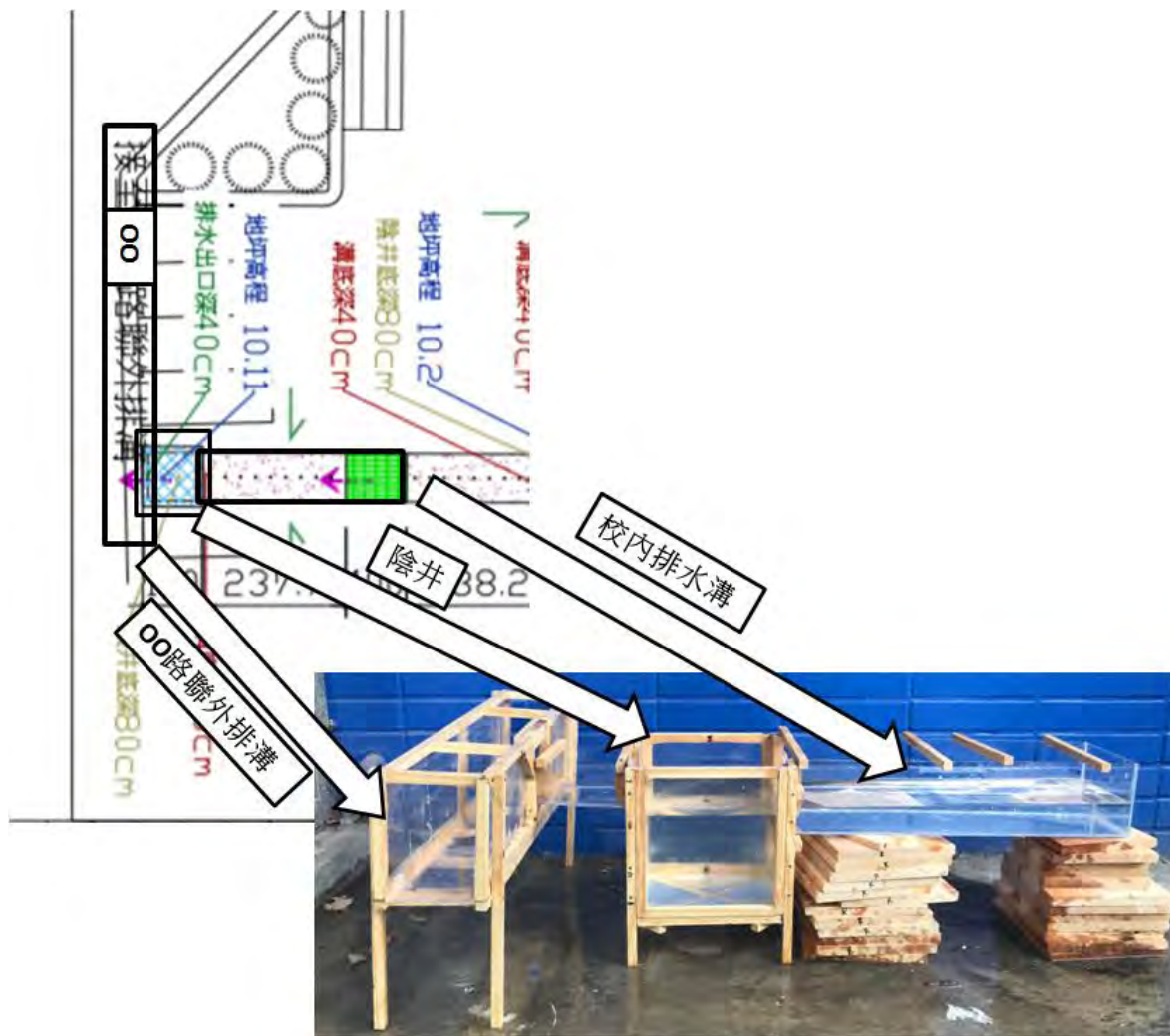
貳、研究目的和架構圖

本研究之研究目的為下：

- 一、探討水溝蓋樣式對集水效果的影響
- 二、探討洩水坡度對流水效果的影響
- 三、探討校內水溝銜接聯外排溝角度對排水效果的影響
- 四、水溝蓋材質對摩擦力之探討
- 五、水溝蓋材質加水後的摩擦力之探討
- 六、水溝蓋孔洞數對水溝蓋的抗形變程度的影響



[圖 4] 本研究架構圖



[圖 5]洩水坡度及角度實驗模型示意圖

參、文獻探討

(一)第 51 屆中小學科學展覽會【生命洪道】

從第 51 屆中小學科學展覽會【生命洪道】我們找出了幾個實驗方法，如下：

- 1.該研究有從降雨系統來調整角度來控制出水量，因此我們也使用同樣的方式在水龍頭上調整角度。
- 2.該研究使用降雨系統來模擬下雨，因此我們也用同樣的方式做實驗，只是降雨系統是參考其他影片來製作。
- 3.該研究有將水溝蓋縮小比例製作來探究集水效果，我們也使用塑膠片參考其方式來

製作水溝蓋模型。

(二) 自製降雨系統方法:

我們從 YOUTUBE 找到一部製作降雨系統影片 **“How To: Build A DIY Rain Machine For Under \$20!”**，並且參考其所需材料與製作方法，歸納步驟如下：

1. 先將一條 2 公尺的 3/4 分 PVC 水管平分成四等分。
2. 把四條水管用 3/4 轉 1/2T 管連接起來(有一條接金屬 3/4 轉 1/2 接頭，金屬轉接頭一邊接塑膠水管)，再接 1/2PVC 水管。
3. 1/2 PVC 水管接 1/2 內牙，在鎖旋葉噴頭。

(三) 生命力新聞：拒當「卡」奴 防卡水溝蓋助你安全上路 網路新聞稿

「防卡水溝蓋」和傳統水溝蓋最大不同之處，在於將原本垂直路面的橫軸旋轉成大約二十度的傾斜面，除了能防止穿高跟鞋的女性、拄拐杖的老人以及輪椅使用者被卡住之外，也能避免異物掉入水溝造成淤積而使排水更順暢。

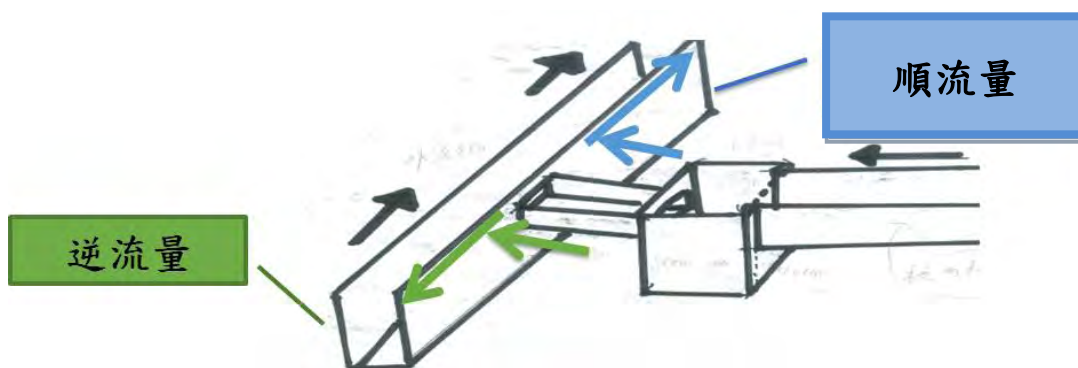
(四) 名詞解釋：

$$\text{洩水坡度} = \frac{\text{水溝或道路前端和尾端的高低差}}{\text{水溝或道路總長度}}$$

例如：水溝長 100 公分前後高低差 1 公分，洩水坡度即為 0.01。

順流量：意指當校內水溝流入聯外排溝時，順著聯外排溝原本水向的水量

逆流量：意指當校內水溝流入聯外排溝時，逆著聯外排溝原本水向的水量

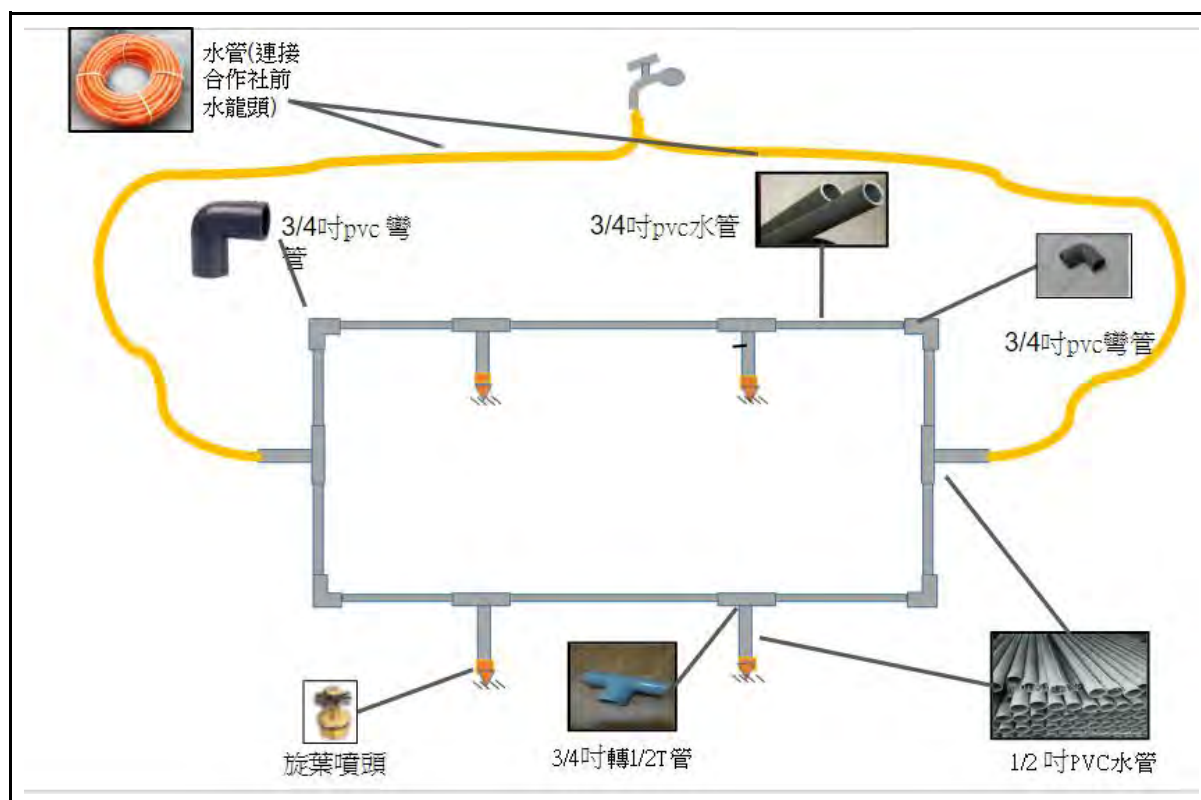


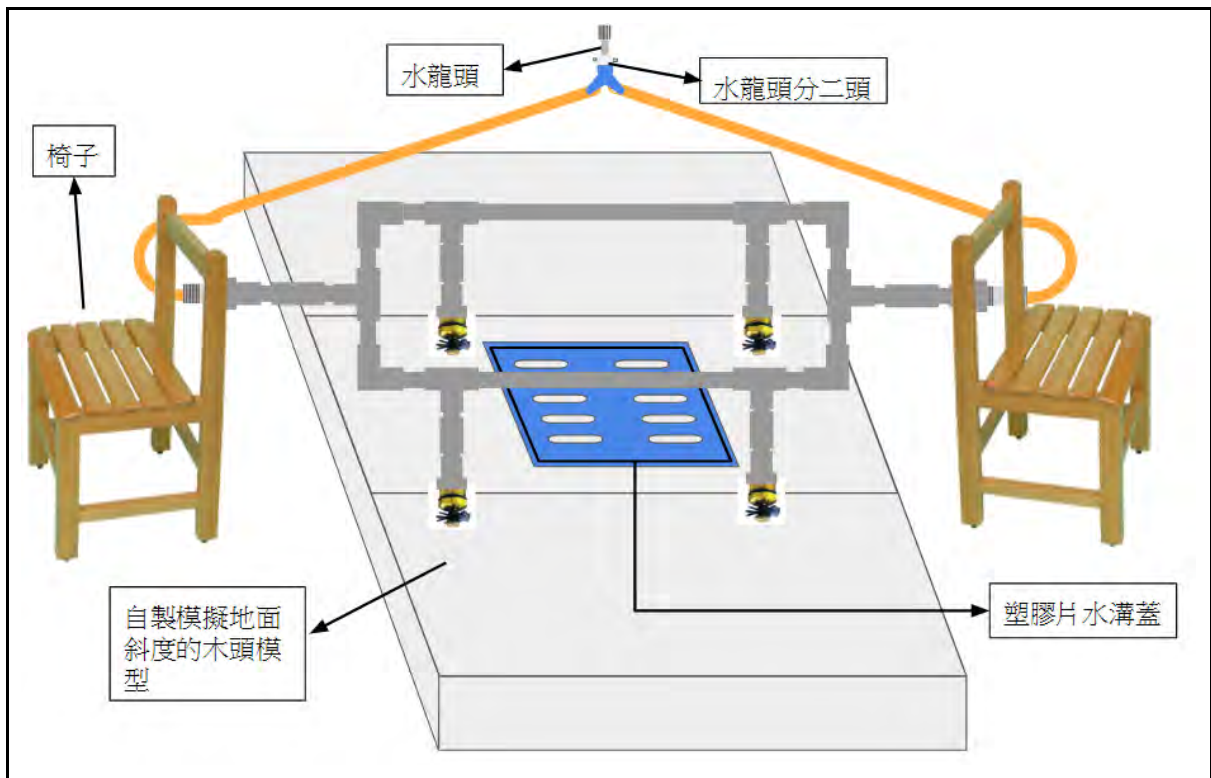
[圖 6] 順流量、逆流量示意圖

肆、研究設備與器材

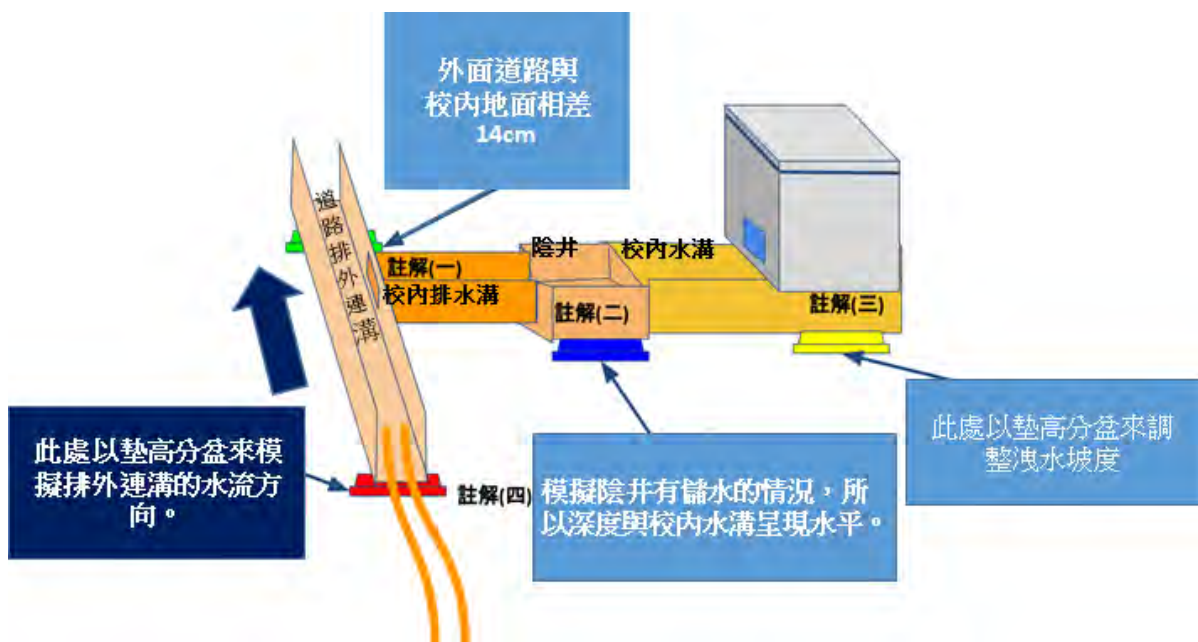
木板	3/4 吋 彎管	塑膠透明片	水管膠
3/4 吋 PVC 水管	3/4 吋*1/2 吋 金屬水管轉接頭	碟型水管束	3/4 吋*1/2 吋 T 型管
1/2 吋 PVC 水管	3/4 吋 管帽	雨衣架	護貝紙
水管剪	橡膠水管	雷射切割機	旋葉噴頭
量角器	強力防水布膠帶	圓鋸機	壓克力板
角料	L 型角鋼	白色/透明矽利康	防水漆
刷子	塑膠水箱	塑膠椅	螺帽

自製器材





[圖 7] 水溝蓋樣式對集水效果的影響實驗之自製降雨系統示意圖及照片



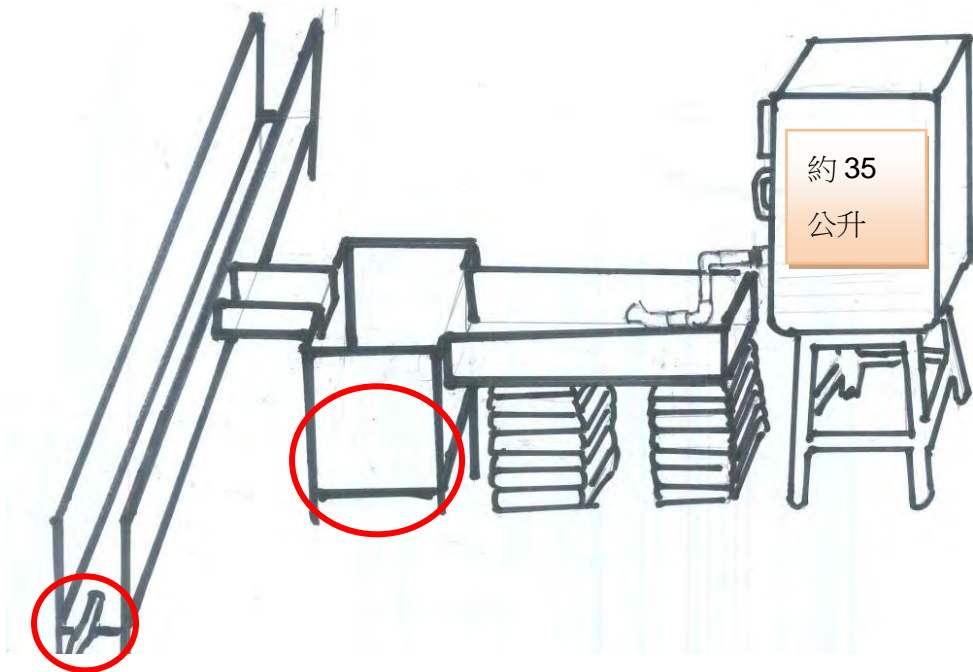
[圖 8] 實驗二、實驗三 第一版 全木製溝渠模型 體積縮小 8 倍 示意圖

註解(一)：為校內水道連接排外聯溝的部分，由於本校地坪相較人行道較低窪，高度差了 14 公分，因此本模型銜接處也模擬真實情況做出地面高度差。

註解(二)：陰井部分從設計圖上看來，實際較水道深 40 公分，但考量到製作過程的困難點以及擺放地上的耗損，我們決定將陰井考量為平日蓄水的情況來模擬，因此底部深度是與圖最右側的校內水溝水相等。

註解(三)：此部份上圖分盆數量目的是讓水溝呈現水平 (意即無洩水坡度)；而此處的分盆數量在實驗二(洩水坡度不同)中會增加分盆數量來做為變因。

註解(四)：排外聯溝的部分放了兩條水管並以虹吸現象取得校內水生池的水，目的是為了模擬水溝的洩水方向以及溝內水不斷流動的情形。而水溝兩端分盆的高度差是為創造洩水坡度。



[圖 9] 實驗二、實驗三 第二版 溝渠模型示意圖



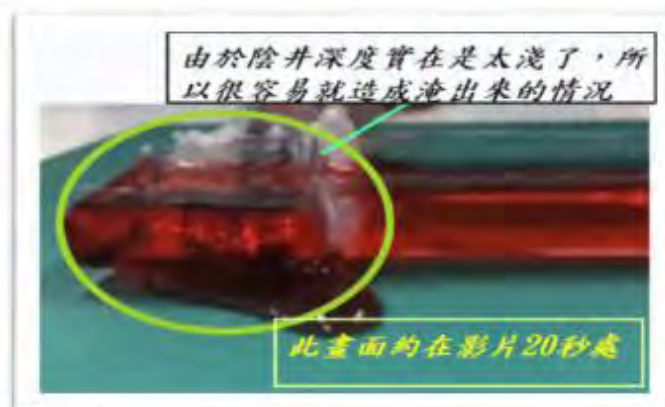
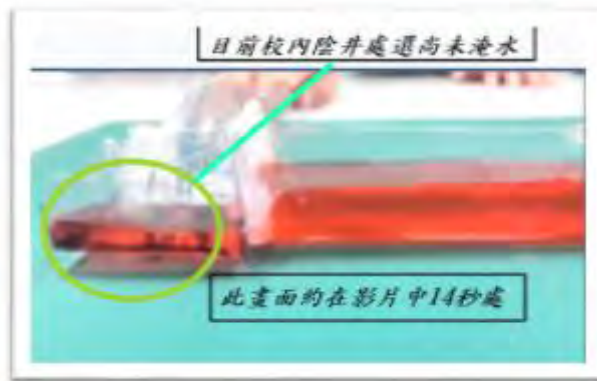
[圖 10] 實驗二、實驗三 第二版 溝渠模型圖

伍、研究過程及方法

前置實驗

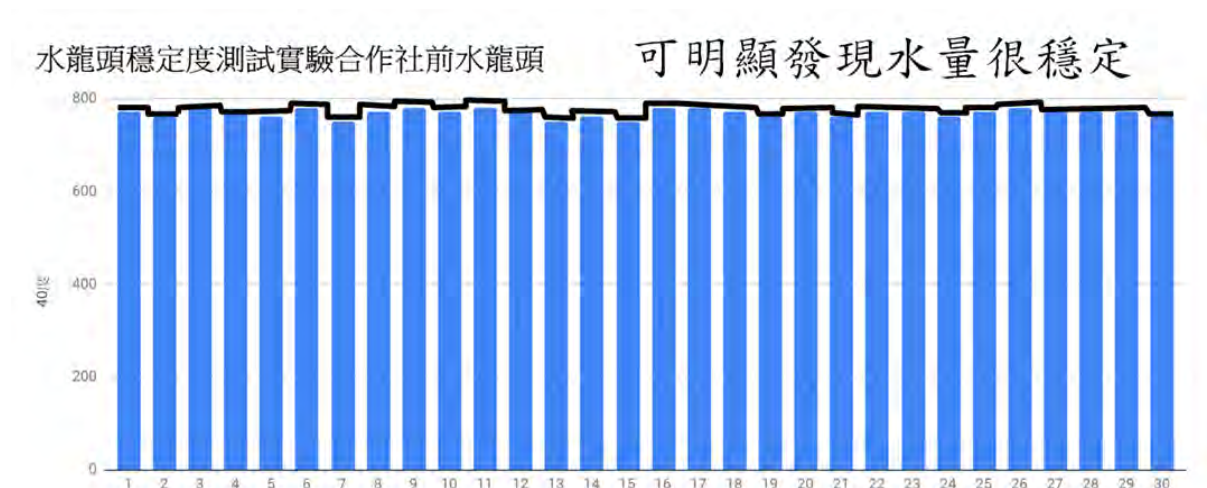
一、校門口塑膠模型水溝

我們想試著發現兩年前校內淹水的原因，因此將塑膠板製作成校內水溝及陰井的模型，後來發現校門口其中一個陰井深度竟然比銜接的水溝還要淺，雖然在去年學校已經在校門口進行重修改善工程，但效果不是很好，所以我們帶著設計圖去找水利技師諮詢而衍伸本實驗的變因。



二、水龍頭穩定度測試

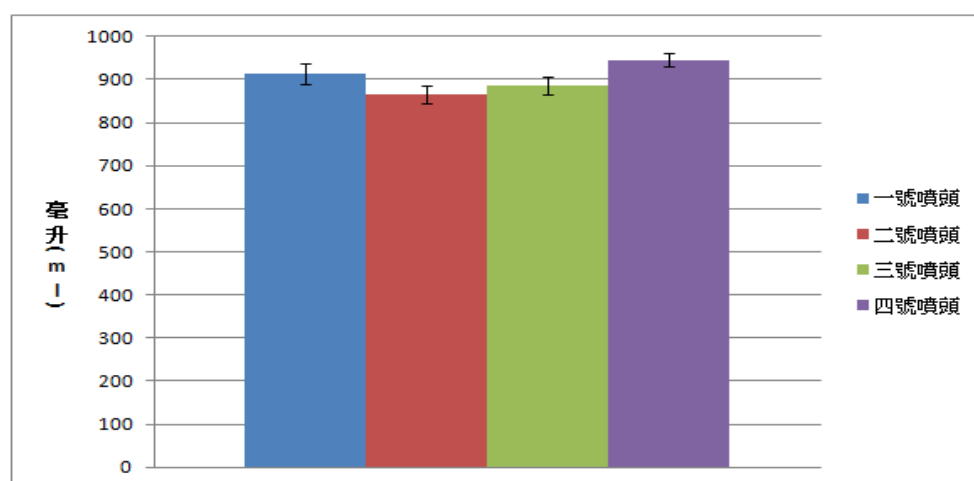
我們找了圖書館前、自然教室前兩測的水龍頭、合作社前水龍頭和幼兒園前水龍頭，後來問了學校得知合作社前的水是直接從自來水廠接來的，所以除了合作社前的水龍頭，其他的水龍頭出來的水量都不穩，因此我們最後使用合作社前水龍頭做水溝蓋實驗。



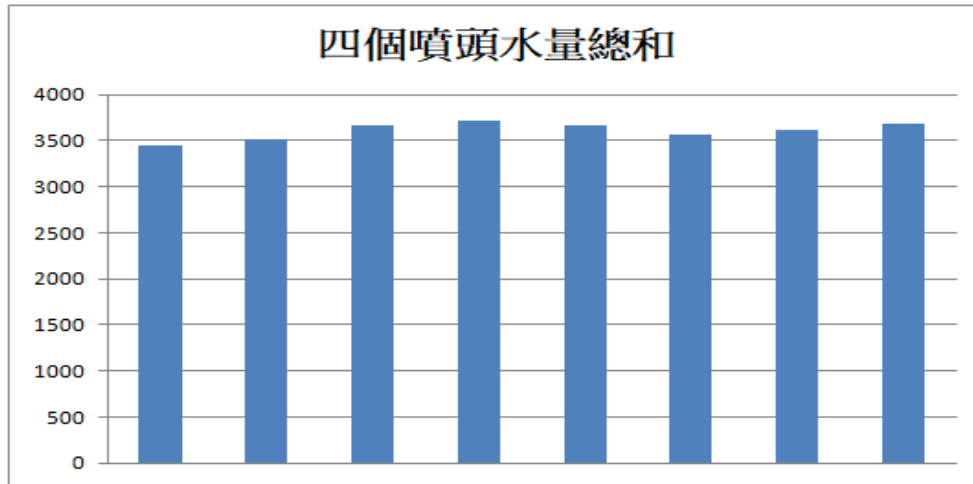
[圖 11] 合作社前水龍頭排水量

三、降雨系統穩定度測試

我們以 PVC 水管及灑水噴頭來自製降雨系統，分別測試四個噴頭從平均及標準差來看都有相當的準確性，而測量 10 次四個噴頭的總水量也相當穩定，故我們以此裝置來協助進行實驗一。



[圖 12] 降雨系統穩定度測試長條圖



[圖 13] 降雨系統穩定度測試長條圖

[實驗一] 探討水溝蓋種類對集水效果的影響

- 1.將模型之器材就位
- 2.開水(開到最大)，並計時 30 秒
- 3.將模型中的水倒出並測量紀錄



[圖 14] 探討水溝蓋種類對集水效果之實驗裝置

[實驗二] 洩水坡度對流水效果的影響

- 1.把要實驗的洩水坡度裝到陰井模型上
- 2.在水箱內裝滿 35 公升的水
- 3.將水箱抬至實驗起始處
- 4.將膠帶撕開後開始計時一分鐘

5.測量水量並記錄

[實驗三]校內水溝連接聯外排溝角度對排水效果的影響

- 1.把要實驗的角度裝到陰井和聯外排溝模型上
- 2.將水箱裝滿 35 公升的水
- 3.將水箱抬至實驗起始處
- 4.將膠帶撕開後開始計時一分鐘
- 5.量水量並記錄

[實驗四-1]水溝蓋種類的摩擦力探討

- 1.使用一個小盒子裡頭裝 2 個小螺帽，並在盒子上貼砂紙
- 2.在盒子上加上彈簧秤
- 3.於該實驗的水溝蓋放上盒子彈簧秤組並拉動彈簧秤，看最大靜摩擦力多少



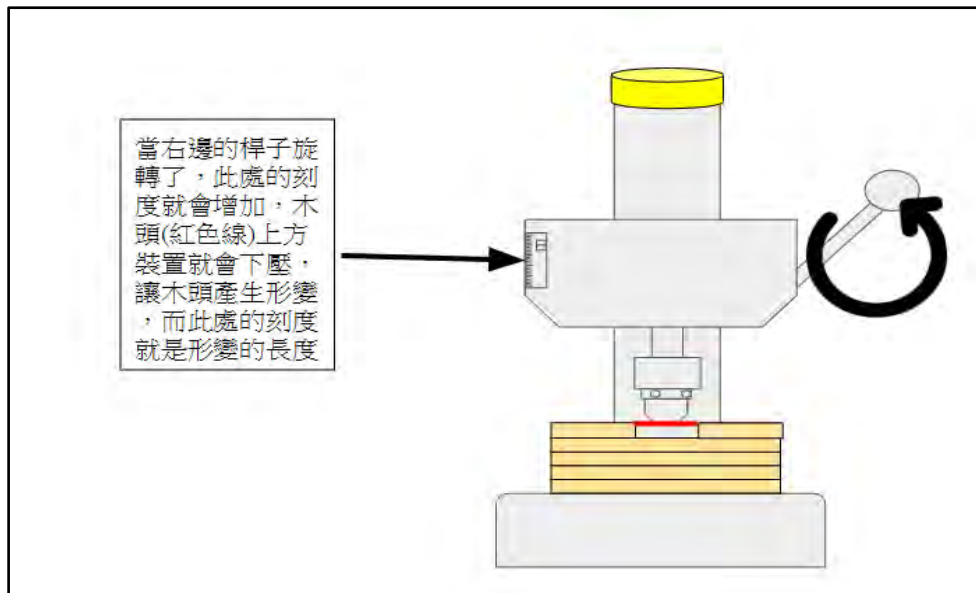
[圖 15]探討水溝蓋種類的摩擦力之實驗裝置

[實驗四-2]不同水溝蓋加水後的摩擦力

- 1.使用一個小盒子裡頭裝 2 個小螺帽，並在盒子上貼砂紙
- 2.在盒子上加上彈簧秤
- 3.在該實驗的水溝蓋上潑水(潑水程度為表面濕滑)
- 4.於該實驗的水溝蓋放上盒子彈簧秤組並拉動彈簧秤，看最大靜摩擦力多少

[實驗五]不同水溝蓋孔洞術對水溝蓋的耐重程度的影響

- 1.把鑽孔機的鑽頭拿掉，並將要實驗的孔洞數木板架好
- 2.旋轉右邊的把手轉到木頭斷掉，同時看刻度到多少

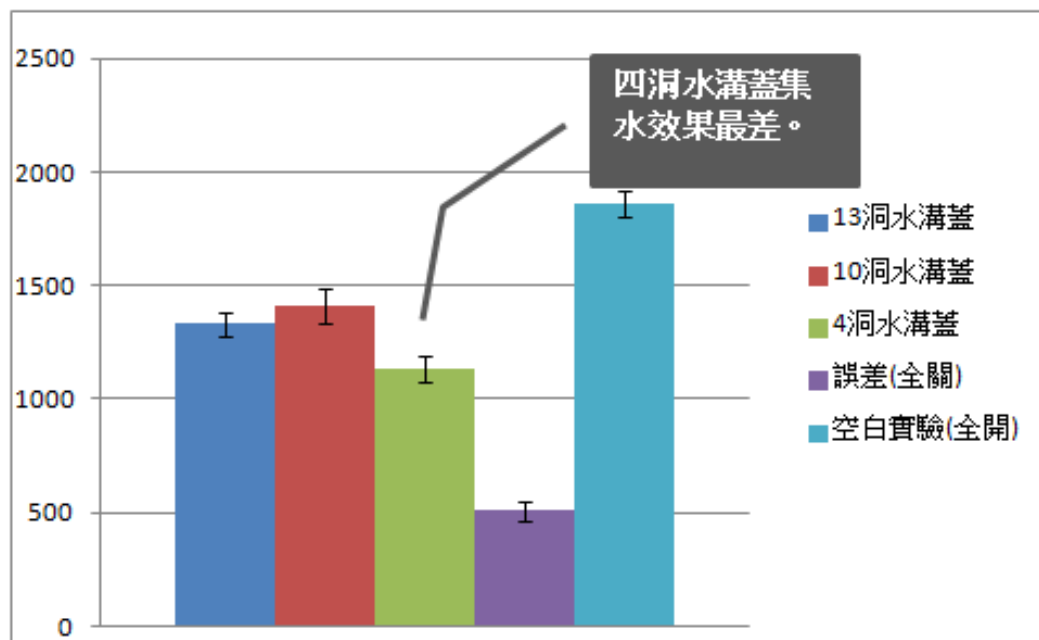


[圖 16]水溝蓋抗型變實驗時裝置圖

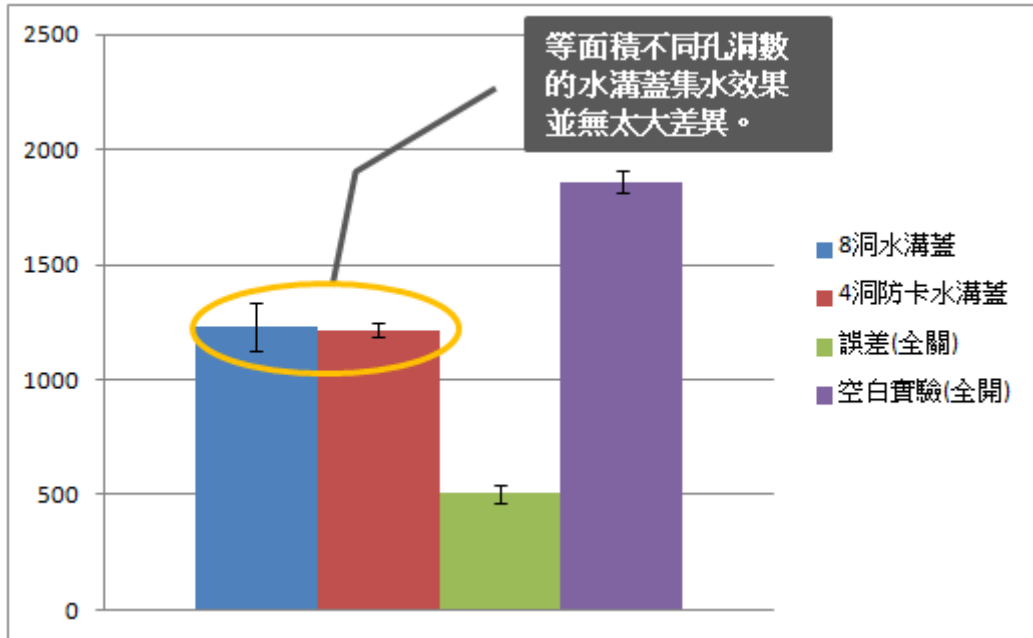
陸、實驗結果

一、探討不同水溝蓋種類對及水效果的影响

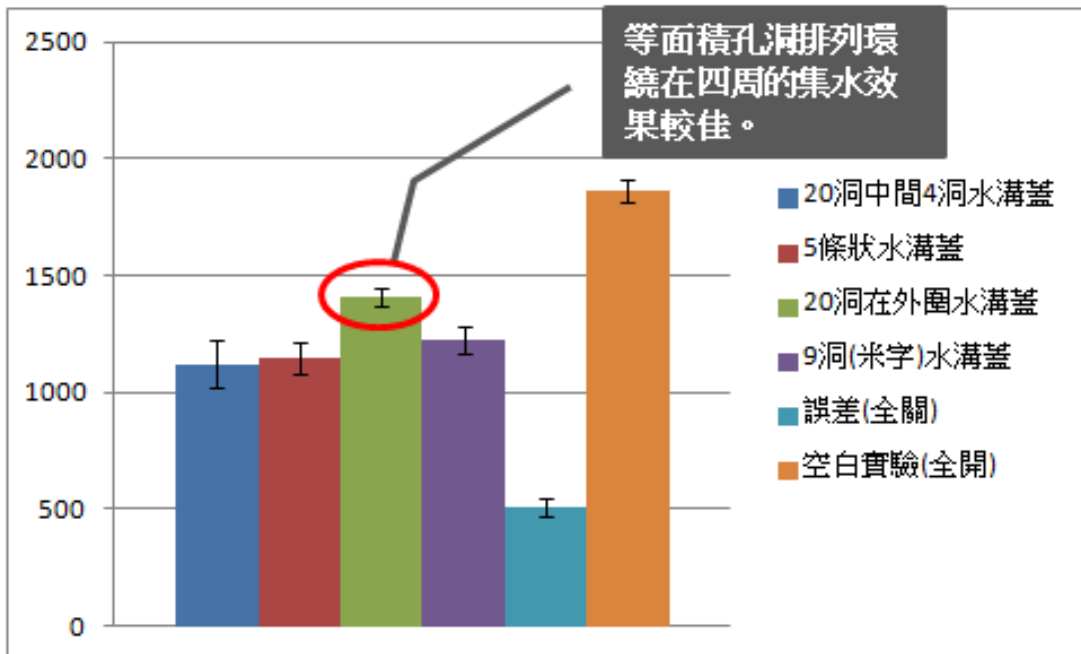
由實驗發現孔洞面積較多的水溝蓋及水量較佳；此外等面積的情況下不同孔洞的排列方式集水效果不同，孔洞面積環繞在四周的集水效果較佳。



[圖 17]13 洞、10 洞、4 洞水溝蓋平均水溝蓋平均集水量



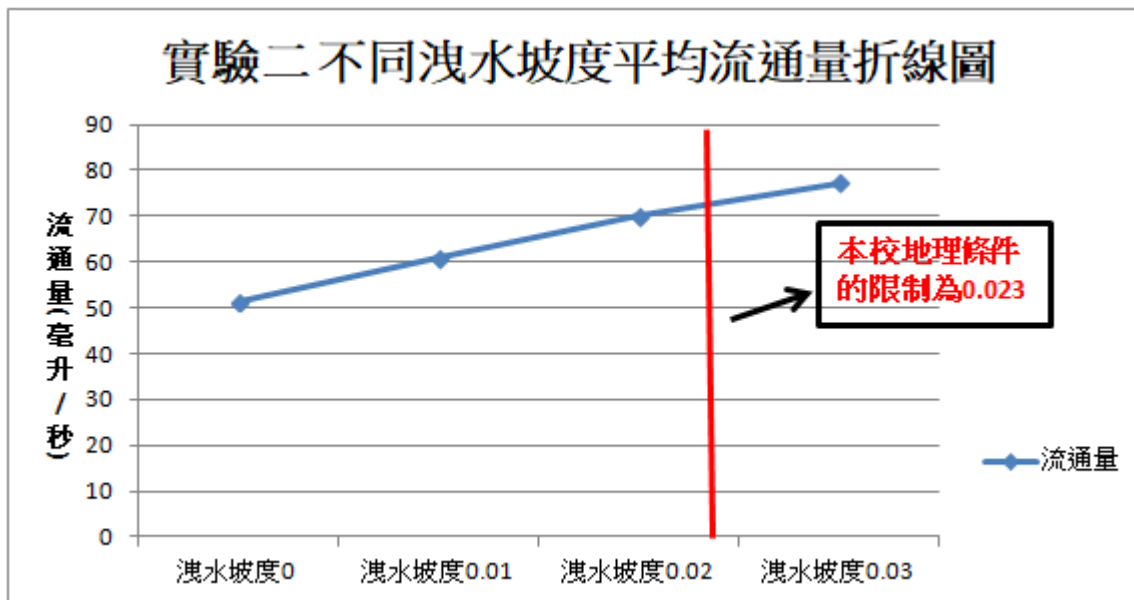
[圖 18] 8 洞、4 洞防卡水溝蓋平均水溝蓋平均集水量



[圖 19] 五種水溝蓋集水量長條圖

二、探討洩水坡度對排水效果的影響

此實驗發現在洩水坡度 0~0.03 此區間，流通量會隨洩水坡度增加而提升。

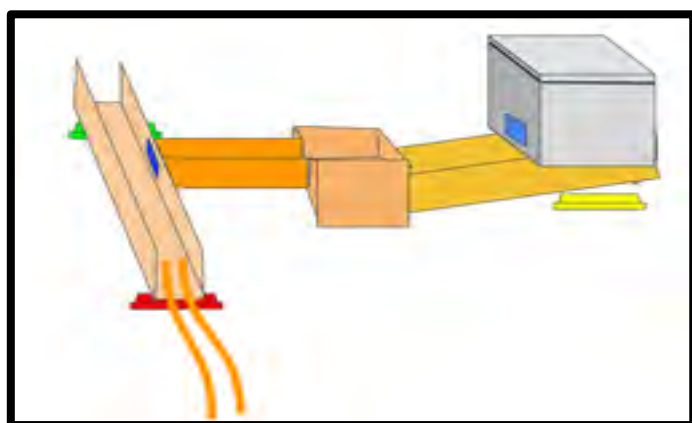


[圖 20]探討洩水坡度對排水效果的影響長條圖

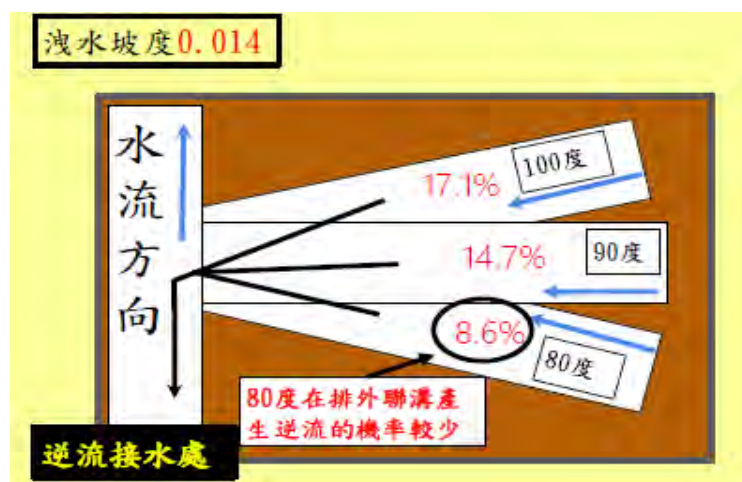
三、探討校內水溝銜接聯外排溝角度對排水效果的影响

在第一版木製溝渠模型時，我們採用兩條橡膠水管，以虹吸現象抽取水生池的水來模擬聯外排溝的水流狀況。

我們觀察到角度 100 度時，聯外排溝的逆流會增加，漂浮物也會再銜接處產生停滯和漩流，我們推論會使排水效果降低；而銜接角度 80 度則是逆流量最少，推論排水較為順暢。



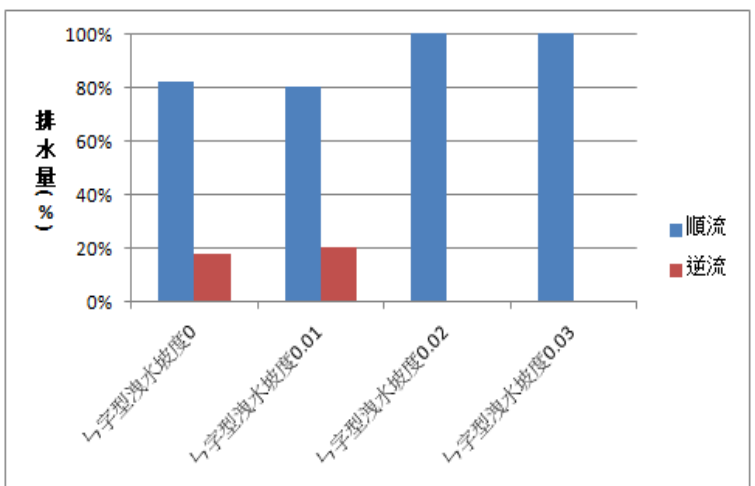
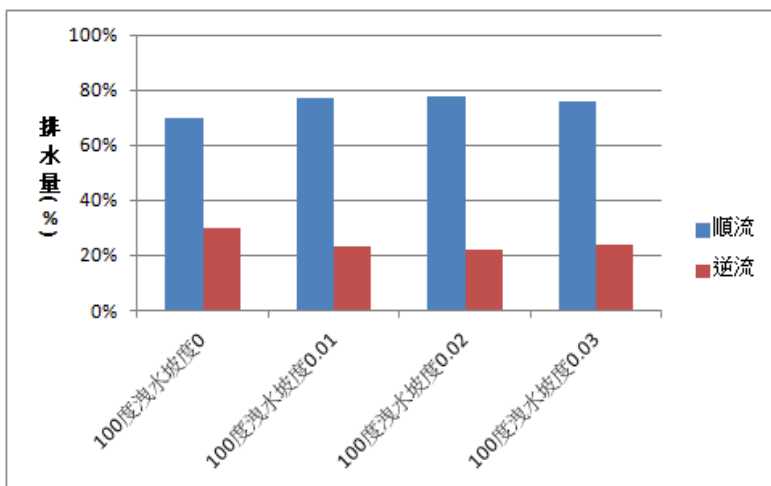
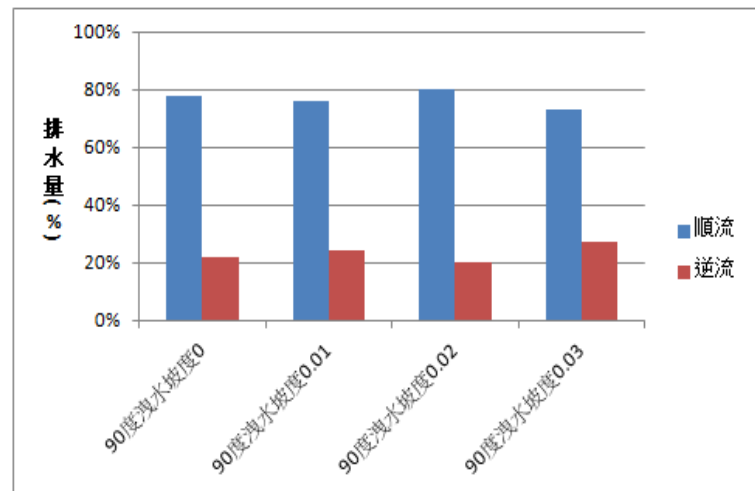
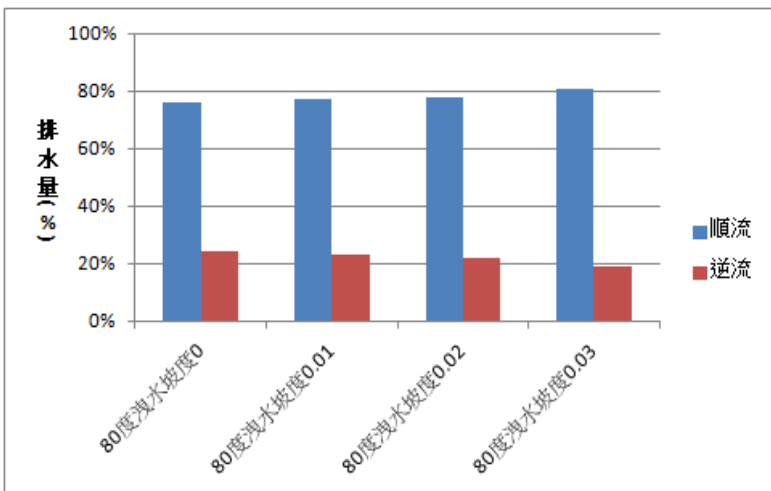
[圖 21]實驗三第一版模型示意圖



[圖 22]實驗三第一模型實驗結果

然而，進一步自製成第二版模型，我們為配合模型尺寸，將原本虹吸現象的水管換成較細小的水管。

在本實驗 80、90、100 三種角度的排水量則無明顯差異，而不同連接方式的 L 字型排水溝逆流量較少。











[圖 23、24、25、26] 探討校內水溝銜接聯外排溝角度對排水效果的影響長條圖





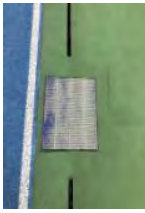



四、水溝蓋材質對摩擦力之探討

(一)校內及校園附近水溝蓋摩擦力探討

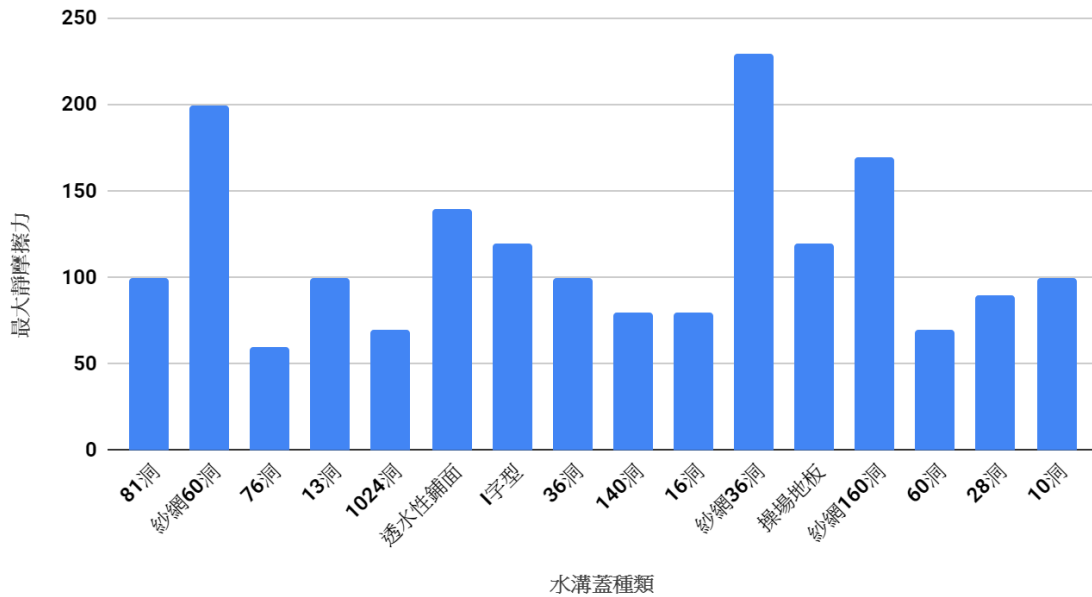
本實驗結果顯示，當水溝蓋的孔度數越少，代表接觸面積越多，其靜摩擦力就會越大，增加沙網可以有要增加接觸面積，雖然孔洞數多但接觸面積更大，所以靜摩擦力也會增加。

[表一] 水溝蓋材質之最大靜摩擦力

								
最大靜摩擦力	100	200	60	100	70	140	120	100
水溝蓋種類	81 洞	紗網 60 洞	76 洞	13 洞	1024 洞	透水性鋪面	I 字型	36 洞

實際圖片								
最大靜摩擦力	80	80	230	120	170	70	90	100
水溝蓋種類	140 洞	16 洞	紗網 36 洞	操場地板	紗網 160 洞	60 洞	28 洞	10 洞

各種校內外水溝蓋最大靜摩擦力





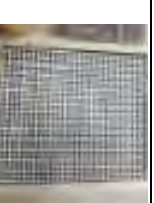






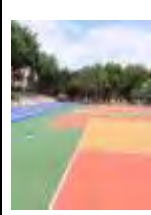

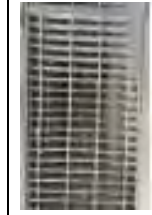
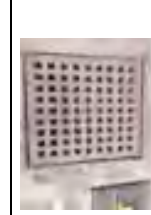
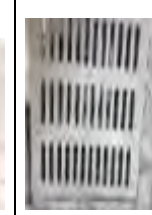
[圖 27]水溝蓋材質對摩擦力之探討

(二)校內及校園附近水溝蓋加水後摩擦力探討

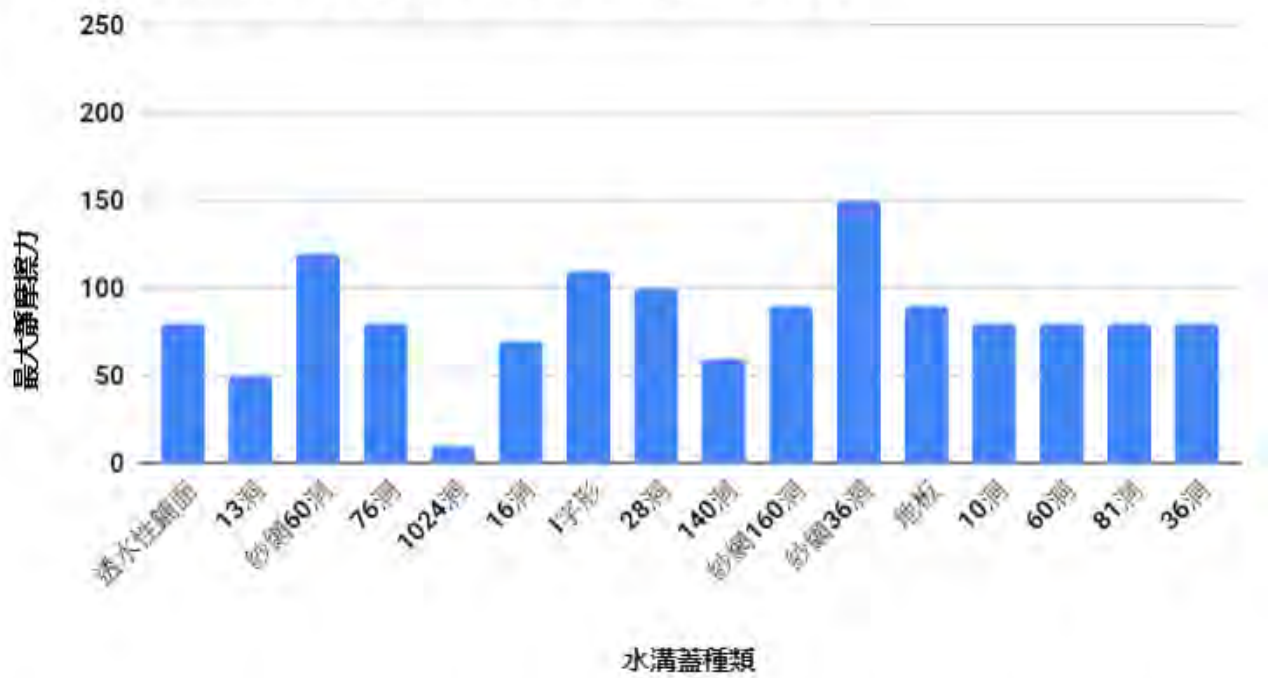
在模擬降雨過後的水溝蓋摩擦力，可以明顯的發現所有的水溝蓋的靜摩擦力都有所下降，然而鋪沙網的一樣可以有效增加靜摩擦力，所以在學生容易奔跑的場域例如：操場，水溝蓋的設計可以設置紗網來增加靜摩擦力，提高安全性，而重要的排水溝渠則建議採用沒有紗網的設計，以保留足夠的孔洞面積來集水。

[表二] 水溝蓋材質(加水後)之最大靜摩擦力

								
最大靜摩擦力	80	50	120	80	10	70	110	100
水溝蓋種類	透水性鋪面	13洞	60洞	76洞	1024洞	16洞	I字型	28洞

實際圖片								
最大靜摩擦力	60	90	150	90	100	80	80	80
水溝蓋種類	140 洞	160 洞	紗網 36 洞	操場地板	10 洞	60 洞	81 洞	36 洞



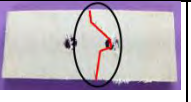
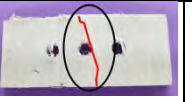


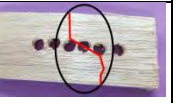
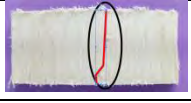

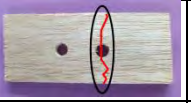

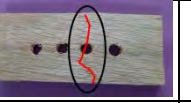
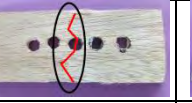
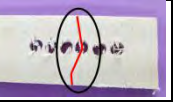




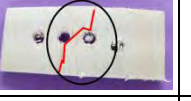
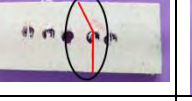





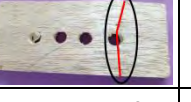

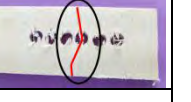
各種校內外水溝蓋最大靜摩擦力(表面有水)



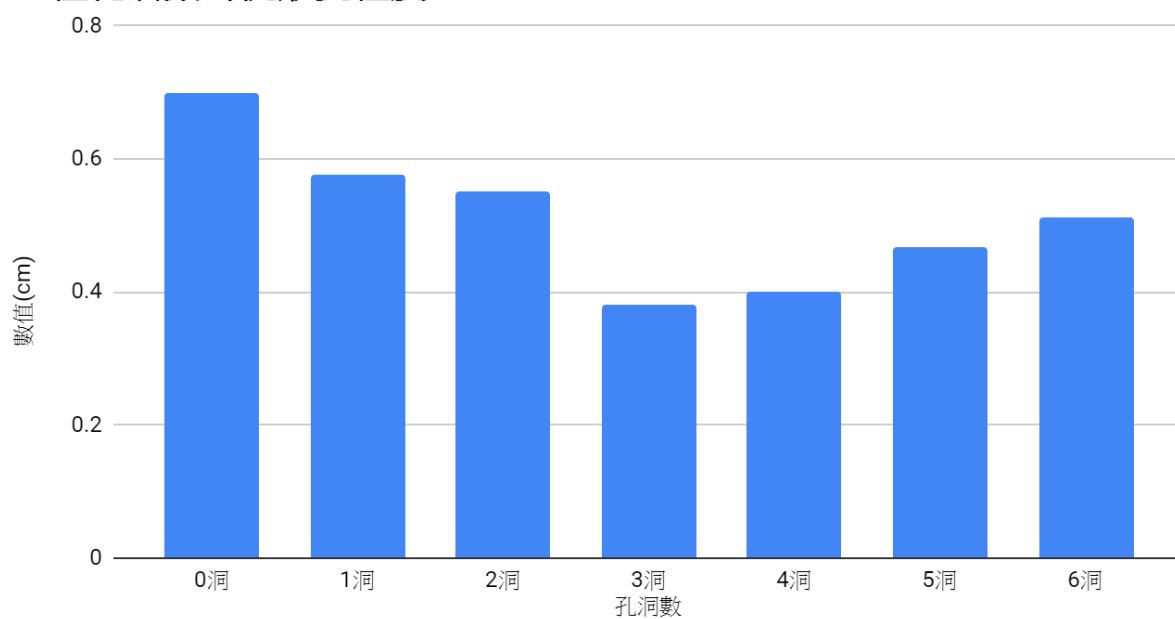
[圖 28]水溝蓋材質(加水後)對摩擦力之探討

五、不同水溝蓋孔洞數對水溝蓋形變程度的影響

[表三]七種孔洞數的抗形變程度數據

	0 洞	1 洞	2 洞	3 洞	4 洞	5 洞	6 洞
1	0.6	0.55	0.45	0.35	0.3	0.32	0.5
							
2	0.5	0.55	0.55	0.37	0.35	0.4	0.7
							
3	1	0.7	0.55	0.45	0.4	0.65	0.4
							
4	0.7	0.5	0.65	0.35	0.55	0.5	0.45
							
平均	0.7	0.575	0.55	0.38	0.4	0.4675	0.5125

七種孔洞數的抗形變程度



[圖 29]七種孔洞數的抗形變程度長條圖

柒、討論

一、

我們將實驗一的研究裝置進行了改善，不僅能模擬實際降雨的情況也能針對陸地上的徑流做模擬。數據資料上，我們可以發現使用降雨系統灑水模擬降雨，在五種不同種類水溝蓋中，十洞水溝蓋集水效果最佳，而四洞水溝蓋則最差。

我們推論可能原因如下：

	四洞 四洞防水溝蓋 八洞	十洞 五條 九洞米字 二十洞在外圍 二十洞中間四洞	十三洞
水溝蓋孔 洞佔水溝 蓋面積 百分比	8.6%	21.4%	37.3%

四洞防卡水溝蓋：可能是噴頭使水落下呈現扇形形狀，打在防卡水溝蓋上時，因為有一傾斜面，所以雨滴較不易被彈走，而會直接順延斜面落入分盆當中，因此集水效果比四洞好。

四洞水溝蓋：孔洞面積最小，且沒有斜面的幫忙，因此集水效果最差。

十洞與十三洞水溝蓋：此兩種水溝蓋雖然沒有做傾斜面，但由於孔洞面積比例高，因此我們認為當雨落下時，比起傳統四洞應該有較大的機率接收到雨水。

我們決定再深入探討，假設：**雨水落入水溝蓋不只一種模式，由上而下直接落入是第一種，沿著地板斜面流入水溝蓋則是第二種，並且我們認為第二種發生的機會更為常見。**

我們認為這跟停留在水溝蓋表面的雨水是否容易被帶進洞中有關，八洞的水溝蓋，孔洞面積雖然與四洞相同，但較密集且範圍集中，因此當新的一批水來臨時，會將停留在表面的雨水帶入孔洞中。

此外，我們也設計了不同造型的水溝蓋，在孔洞面積率一樣的前提下，我們將孔洞更改排序以及多寡，少孔洞多的孔洞小，孔洞少的孔洞大，實驗結果顯示，20 洞在外圍

的水溝蓋的集水效果最好，我們推測，孔洞在水溝蓋的外圍有利於收集陸地徑流的雨水，有較好的集水效果，根據此實驗結果我們有一個重要的推論，**水溝蓋在收集雨水時最主要的雨水來源為陸地上徑流的雨水，所以之後在設計水溝蓋的時候需將"如何收集到最多陸地徑流的雨水"為最主要的設計依據。**

二、

針對實驗一的結果，我們在思考，如果水溝蓋孔洞數越多集水效果越好，那設計水溝蓋時是否一直增加孔洞數就好，但結果是不行的。

因為還必須考慮靠水溝蓋的安全性，水溝蓋鋪設在道路的兩側，會有許多機車或轎車壓過，若孔洞數太多容易變形，安全性會下降，所以實驗六我們額外探討孔洞數對於水溝蓋抗形變的影響，根據實驗結果我們發現，當孔洞數增加抗形變的能力就會下降，但當孔洞數增加的 3 以上時，抗形變的能力就無明顯的下降。

觀察裂痕的位置，我們發現裂痕的產生都是在中間的孔洞且是靠近施力點附近的孔洞，所以當施力點附近的孔洞產生裂紋時就代表力都在集中在該孔洞附近，額外的孔洞較不會受影響，所以當孔洞數一定數量以上時抗形變的能力也不會有明顯的下降。

三、

除了抗形變，我們也針對水溝蓋的摩擦力進行實驗，測試水溝蓋孔洞數是否對於摩擦力有所影響，另外我們也有測量當水溝蓋經雨淋濕後的摩擦力。根據實驗結果我們發現，材質及表面水分是影響摩擦力的主要因素，水泥及透水鋪面摩擦力較金屬材質大，而水溝蓋淋濕後摩擦力下降。

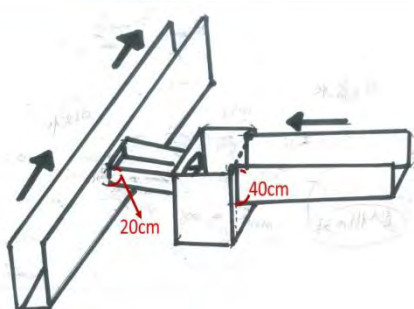
孔洞數並沒有直接影響到摩擦力，而是接觸的面積會有所影響，自製摩擦力測量器雨水溝蓋接觸的面積越多摩擦力就越大，所以我們認為最好的水溝蓋設計，應為孔數多且分散在水溝蓋周圍，以利收集陸地上的徑流，且中間無孔洞增加輪胎或鞋底的接觸面積，使摩擦力增加，行人較為安全。

四、

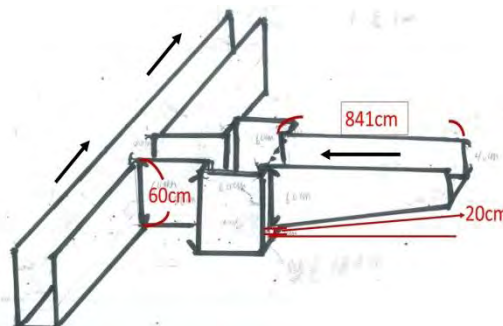
實驗二結果發現洩水坡度愈大流通量較多，而本校水溝目前洩水坡度趨近於 0，可以從數據發現，排水較困難。又因本校先天劣勢，地坪高程較外面低，排外出水口較水溝高，因此校內水溝必須淹到一定程度，才會流向聯外排溝，因此若不做出洩水坡度，將沒有足夠的衝力將水排出。

若試計算實際情況，目前校內水溝連接至陰井處(陰井低於水溝 40cm)，經專業水利技師諮詢後得知陰井至少留存 20cm 深的儲水及泥沙淤積空間，因此水溝可再向下挖 20cm，經計算後發現洩水坡度約為 0.023 左右，我們認為是可行的方案。

洩水坡度： $20\text{ cm} / 841\text{ cm} = 0.023$ (意即每 1 公尺下降 2.3cm)



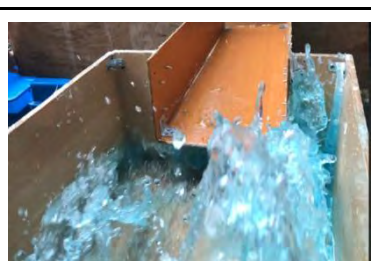
[圖 30]原始水溝及陰井深度示意圖



[圖 31]建議修正水溝及陰井深度示意圖

再者，若要做出洩水坡度，一定得考量到本身的地形限制，我們需把校內水溝深度配合連接校外的出水口及陰井，在此條件之下 0.03 的洩水坡度，回推去算水溝的另一端將會超過地面，因此不可行。

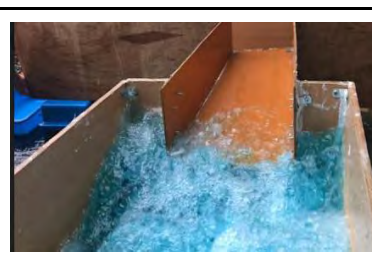
值得討論的是，我們在此實驗發現洩水坡度若愈大，由慢動作的影片中可以看到水撞擊到陰井的速度與力道都更快速、猛烈，因此我們會考量到有部分水回衝的問題以及是沒有足夠的時間讓泥沙沉澱在陰井。若因洩水坡度的增加導致陰井失去原有功能，我們可能必須再花成本將陰井長寬面積增大，也會增加施工困難度。



[圖 32-1]實驗二洩水坡度 0.014 陰井處慢動作截圖 時間軸 1



[圖 32-2]實驗二洩水坡度 0.014 陰井處慢動作截圖 時間軸 2



[圖 32-3]實驗二洩水坡度 0.014 陰井處慢動作截圖 時間軸 3

		
[圖 33-1]實驗二洩水坡度 0.042 陰井處慢動作截圖 時間軸 1	[圖 33-2]實驗二洩水坡度 0.042 陰井處慢動作截圖 時間軸 2	[圖 33-3]實驗二洩水坡度 0.042 陰井處慢動作截圖 時間軸 3

最後綜觀此實驗，解決辦法可以規劃為兩階段：

(一)將洩水坡度調整至 0.023，以及挖深排水溝至 60 公分。

(二)將來學校有一筆較充足的經費進行全面翻修時，可以提高我們的地坪高程，讓校內水溝至少跟排水溝可以達成同一平面，目前的情況是校內比較低，所以導致大部分的水量都留在校內水溝及陰井內。



[圖 34] 水流出後有大部分會先在校內水溝及陰井處積到一定高度才流向聯外排溝

五、

實驗三從數據中我們發現若出水口與聯外排溝連接的角度不同時，在聯外排溝水量多時，100 度會產生較多逆流的現象；但當聯外排溝水量較少，則銜接處採用三種角度都沒有明顯差異。

當聯外排溝水流大時，可以從影片觀察到當銜接角度為 100 度時，染色的水及漂浮物會發生停滯及旋流，而以下是我們透過慢動作拍攝所擷取的畫面。

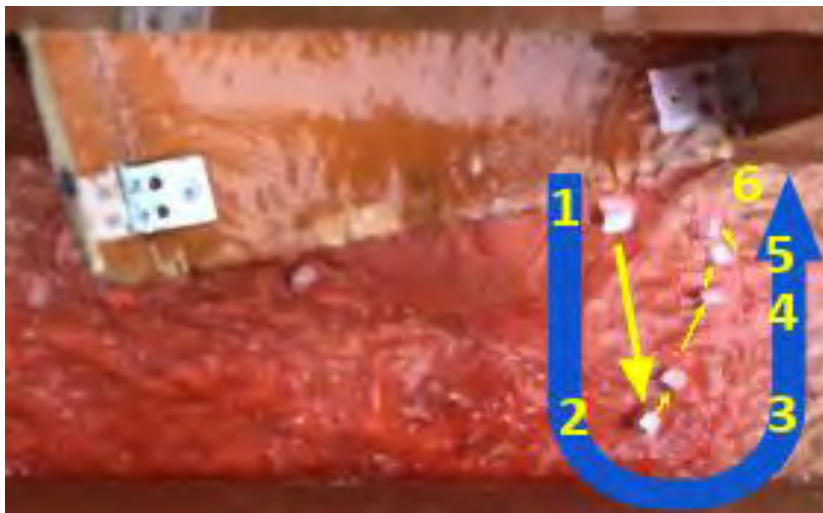


← 聯外排溝水流方向



← 聯外排溝水流方向

[圖 35] 水溝與聯外排溝銜接為 100 度可以觀察到小白立方體落下時會往逆流移動



[圖 36] 實驗三慢動作影片中小白立方體在時間內連續截圖可觀察到有旋流現象

此外，在做實驗時我們也發現，若排水溝與聯外排溝距離過近，在大量洩洪時會不斷打到聯外排溝的溝壁，導致水在此處產生多餘的滯留，也會造成排水效率變差。

以本校為例，若因先天地形條件無法修改與聯外排溝銜接的角度，可以使用不同的形式的校內排水溝，來減少逆流產生增加排水效果，例如：L字型的校內排水溝，增長了陰井到聯外排溝的路徑，實驗結果發現流入聯外排溝時的**速度較直的排水溝慢**，且逆流量也有明顯降低，可以改善因逆流或者旋流造成的排水效率下降的現象。

六、本實驗在溝渠模型中無淹水，但依實驗水箱內水量推算至真實情境，則可算出**若聯外排溝已堵塞，校內水將無法再排出，此時大約 6~7 分鐘本校就會開始淹水。**

$35000 \times 64 / 2 = 1120000$ → 水箱內的水推算到實際情境

$1120000 / 182400 = 6.14$ → 校門口右側的水/右側水溝底面積=6.14 公分/分鐘

由此可知，校內大約 6~7 分鐘後，水會充滿水溝湧出地面。



排水溝(直)



排水溝(L字型)



陰井處保麗龍回衝 實驗影片

捌、結論

透過研究成果，我們針對集水及排水兩面向來給予本校校門口排水系統改善的具體方案。

我們從模型發現目前校內水溝的水在進入排水溝時流速減緩，不容易排到聯外排溝，再者目前校門口的水溝蓋也有載重易破裂的問題，因此實驗分析後，我們依本校地理條件所建議的排水改善為：

校內排水溝採用L字型並挖深至 60 公分、校內水溝洩水坡度從 0 調整至 0.023

集水部分則建議：

設計孔洞分布於四周的水溝蓋供學校參考。

綜觀集水效果與行人安全層面，也建議學校在操場的水溝蓋設置紗網，但重要的校內水溝處則採用無紗網設計。

目前我們依本研究提供學校改善方案，而在未來可以延續研究的部分如下：

- 一、排水溝銜接聯外排溝的部分增置單向閥對本校淹水的改善情形
- 二、結合社區鄰近蓄水池，為本校提供颱風、豪大雨時的防護措施

玖、參考資料

一、降雨系統製作影片：

Motion Caffeine。(2014年4月18日)。How To: Build A DIY Rain Machine For Under \$20!。取自 https://www.youtube.com/watch?v=XnHRB_P4F70

二、防卡水溝蓋：

生命力新聞：拒當「卡」奴 防卡水溝蓋助你安全上路 網路新聞稿(2011年3月3日)。

三、科展文獻

(一)廖昱捷、邱郁棋、謝勝閑(51屆)。【生命洪道】全國中小學科學展覽會作品說明書。

四、痞客邦部落格文章：概覽板橋浮洲地史 文／陳健一（枋橋河流文化協會）(2007年11月22日)。取自 <http://nanzaigou.pixnet.net/blog/post/28246543-%E2%80%BB-%E6%A6%82%E8%A6%BD%E6%9D%BF%E6%A9%8B%E6%B5%AE%E6%B4%B2%E5%9C%B0%E5%8F%B2>

五、淹水潛勢圖

國家災害防救科技中心災害潛勢地圖網站。取自 <https://dmap.ncdr.nat.gov.tw/>

六、臺灣百年歷史古地圖

中央研究院人社中心「地圖與遙測數位典藏計畫」。取自 <http://gissrv4.sinica.edu.tw/gis/newtaipei.aspx>

【評語】 082908

極端氣候的發生頻繁，強降雨的事件頻頻，本作品探討校門口排水系統的改善方案，源自解決校園淹水問題，立意良好且研究結果可具有應用性。建議多參考前人研究的設計，並說明如何修正和使用。以模擬的方式探討淹水的原因和改善方案的各種條件，雖然無法完全符合實際工程的材料和施作條件，但已能基於模擬實測結果提出具體的構想，值得鼓勵。

摘要

本研究自製縮小4倍的溝渠模型及塑膠片水溝蓋來找出並改善本校校門口淹水問題，從降雨系統到水道、陰井的製作皆盡可能模擬真實情境，藉由實驗來尋找更適合本校地理條件的方案。而我們經由尋求專業水利技師的諮詢後，決定了三項影響排水效果的變因進行實驗，發現不同種類的水溝蓋集水效果不同，而水溝洩水坡度及校內排水溝銜接聯外排溝的角度則會影響排水效果，最後本研究的價值在於透過數據的分析統整，並針對學校提供階段式具體的建議方案。

壹、研究動機及研究背景分析

2016年的家長日，板橋區下了豪大雨，學校因此淹大水，所以我們想透過排水和集水的實驗，來給學校最完善的參考建議。目前學校已經重修校門口水溝及改成透水鋪面水溝蓋，但我們發現透水鋪面水溝蓋在比較重的車經過時，容易破裂，而且因為本校地理條件的限制，這次的整修無法全方面改善。



[圖1]本校所在區域古今地圖疊圖



[圖2]本校2019年5月20日淹水照片

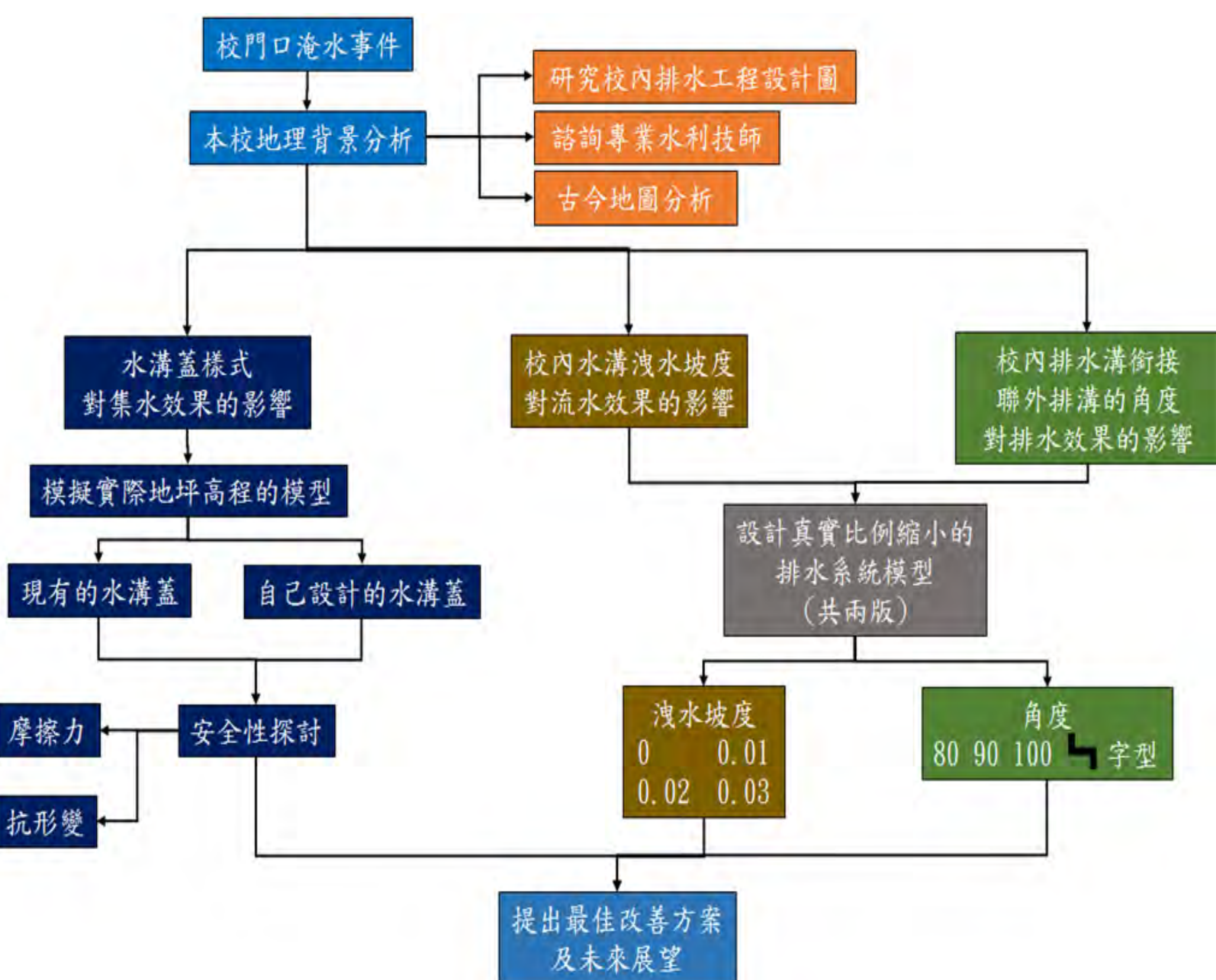


[圖3]板橋區天然災害潛勢地圖

從以前的地圖我們得知本校的所在位置是位於大漢溪河道旁，與其他地方相較之下為較低窪；且從學校附近的災害潛勢圖來看本校所在位置是容易淹水的地方，也確實在2016年的家長日及5/20日時本校皆淹了大水。

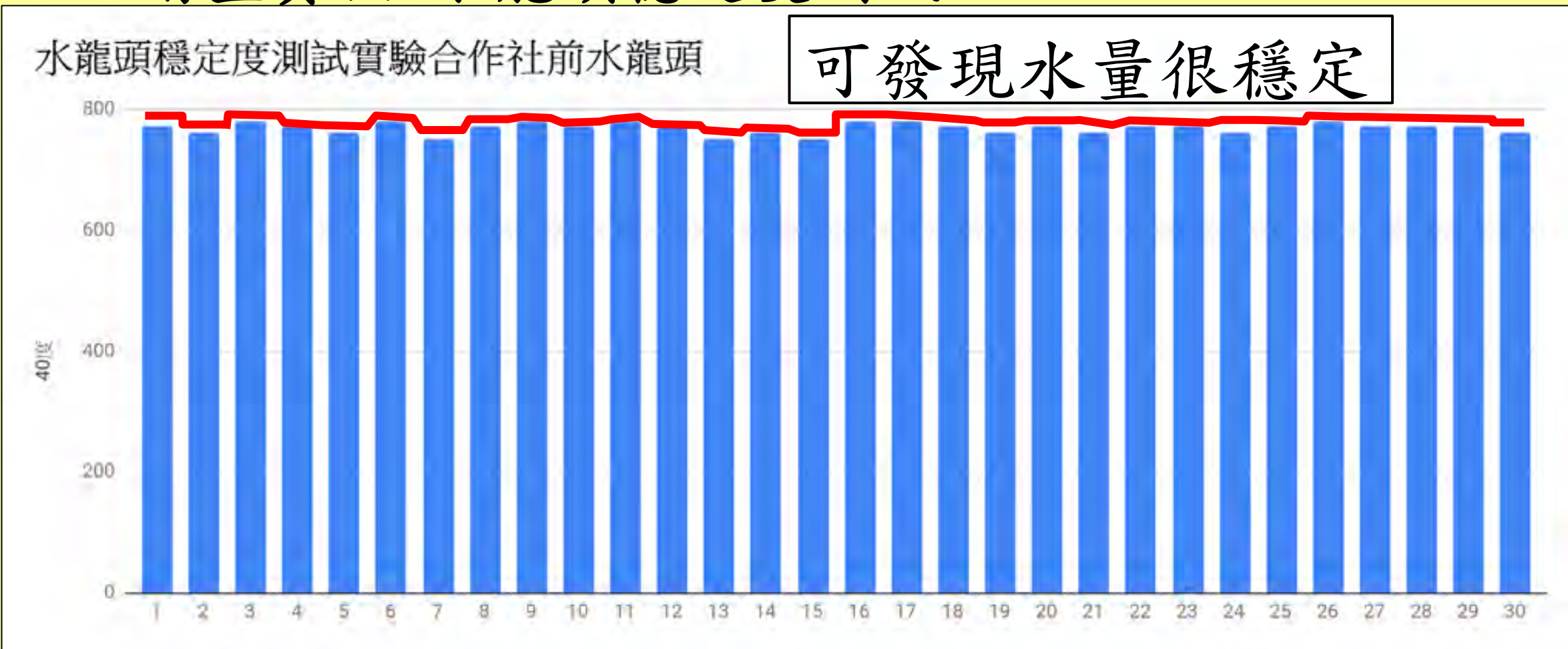
貳、研究目的及架構流程圖

- 一、探討水溝蓋樣式對集水效果的影響
- 二、探討洩水坡度對流水效果的影響
- 三、探討校內水溝銜接聯外排溝角度對排水效果的影響
- 四、水溝蓋材質對摩擦力之探討
- 五、水溝蓋材質加水後的摩擦力之探討
- 六、水溝蓋孔洞數對水溝蓋的抗形變程度的影響



參、研究過程與結果

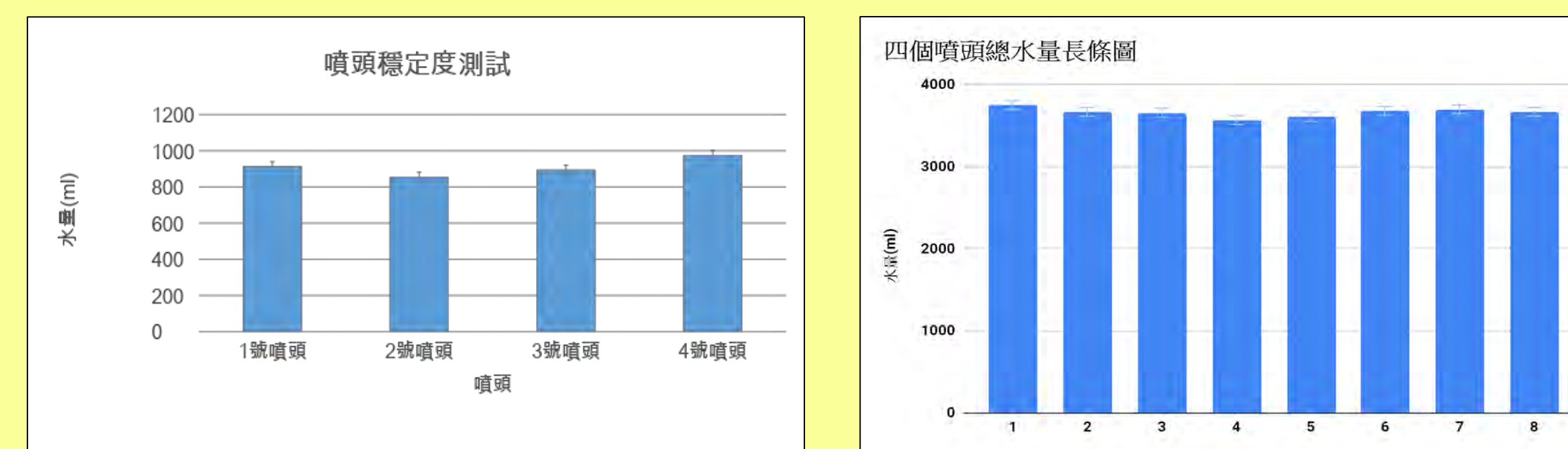
一、前置實驗-水龍頭穩定度測試



[圖4]前置實驗水龍頭穩定度平均長條圖

做了30次的測試後，水量都很穩定，因此任何有降雨系統的實驗皆在此水龍頭進行。

二、前置實驗-降雨系統穩定度測試

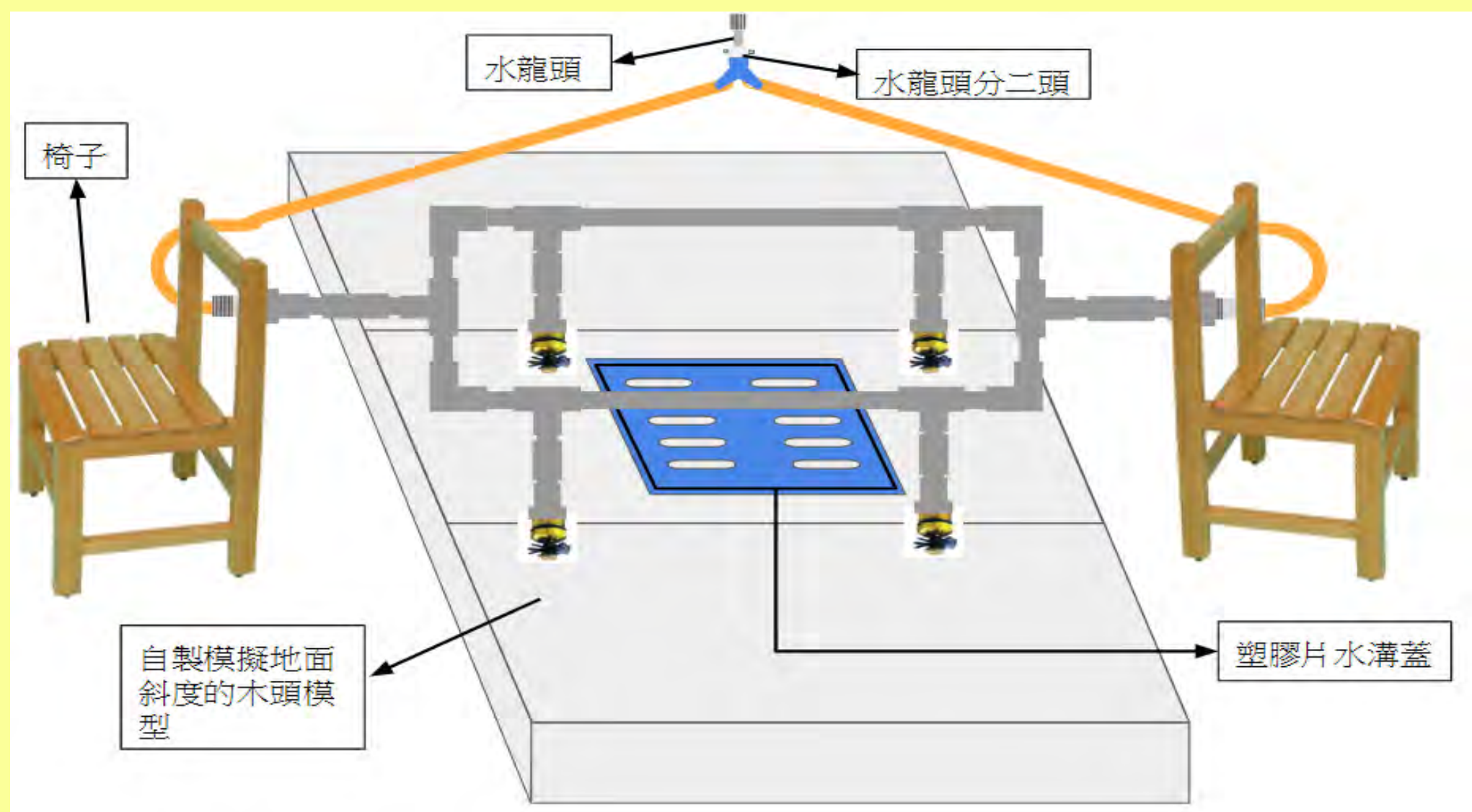


[圖5]前置實驗降雨系統穩定度平均長條圖

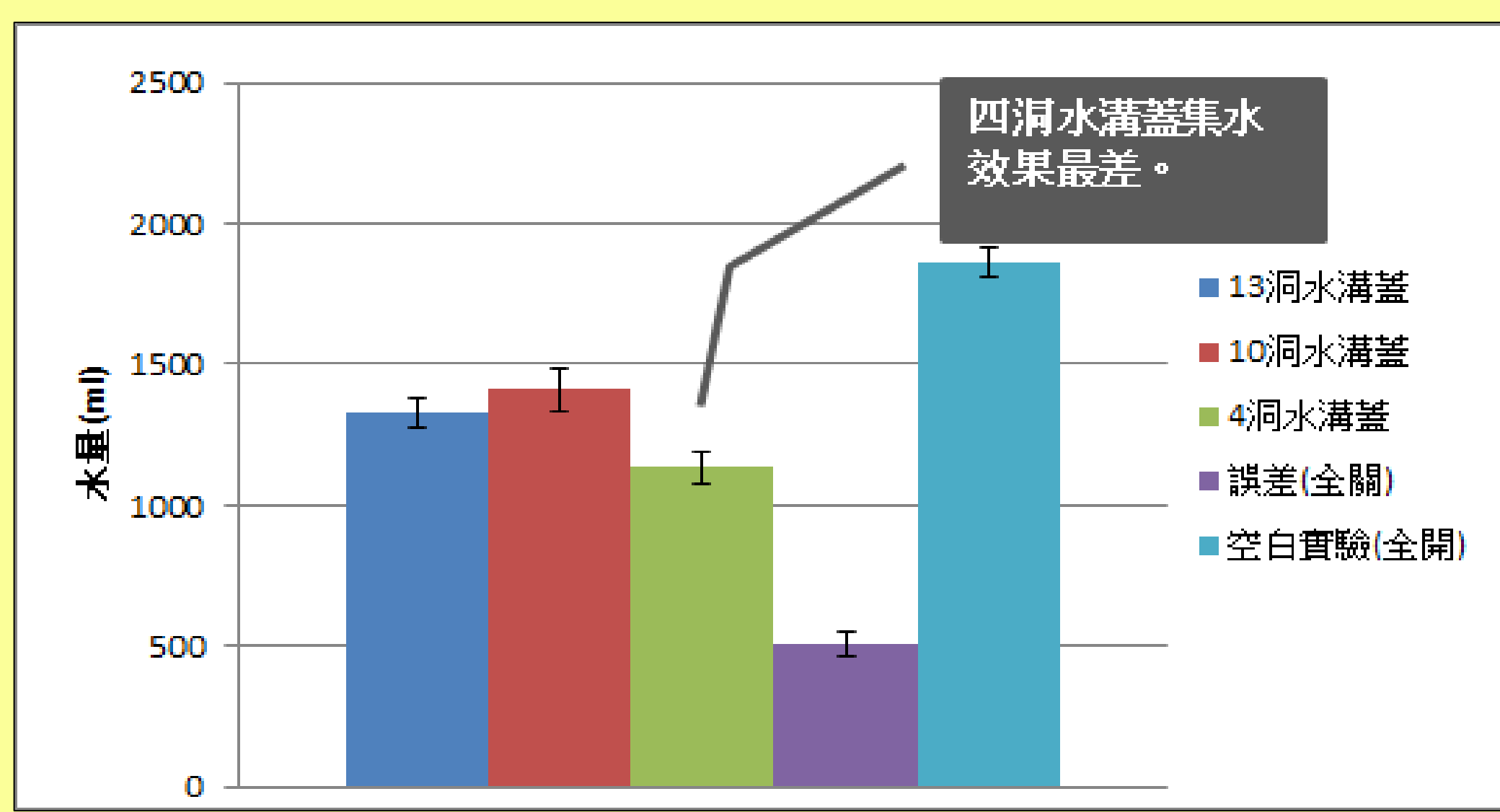
測試四個噴頭從平均及標準差來看都有相當的準確性，測量10次四個噴頭的總水量也相當穩定，因此我們用這個裝置來進行實驗一。

三、探討水溝蓋樣式對集水效果的影響

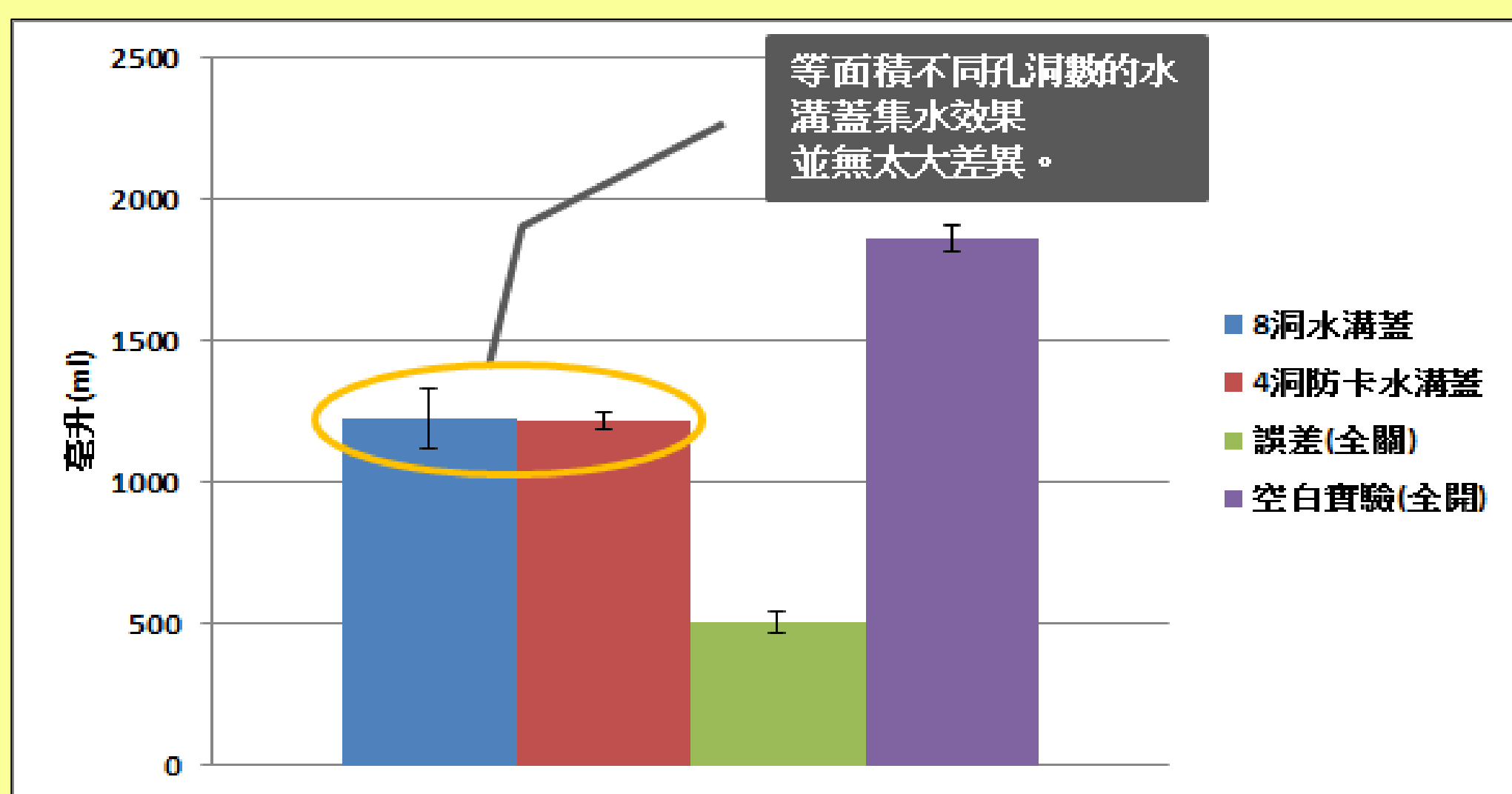
- (一)將模型之器材就位
- (二)開水(開到最大)，並計時30秒
- (三)將模型中的水倒出並測量紀錄



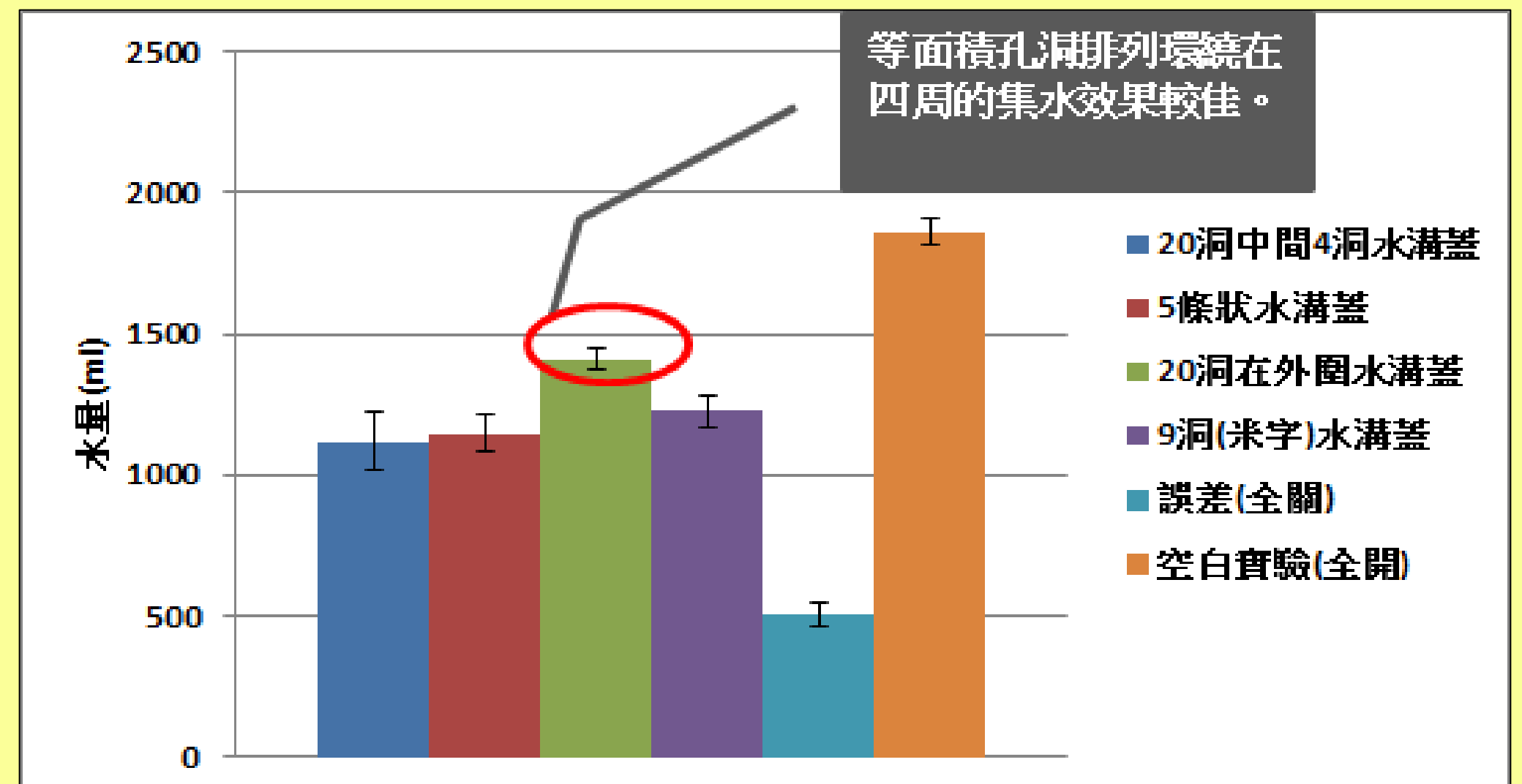
[圖6]實驗一器材示意圖



[圖7]三種水溝蓋集水量長條圖



[圖8]8洞、4洞防卡水溝蓋平均集水量

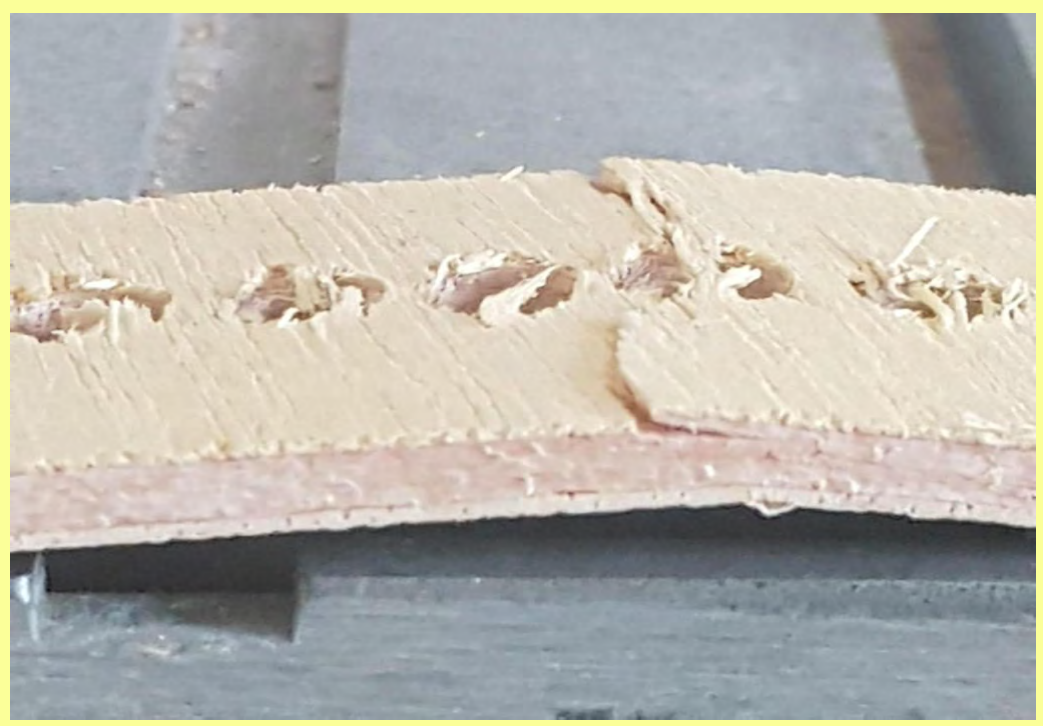


[圖9]四種水溝蓋平均集水量

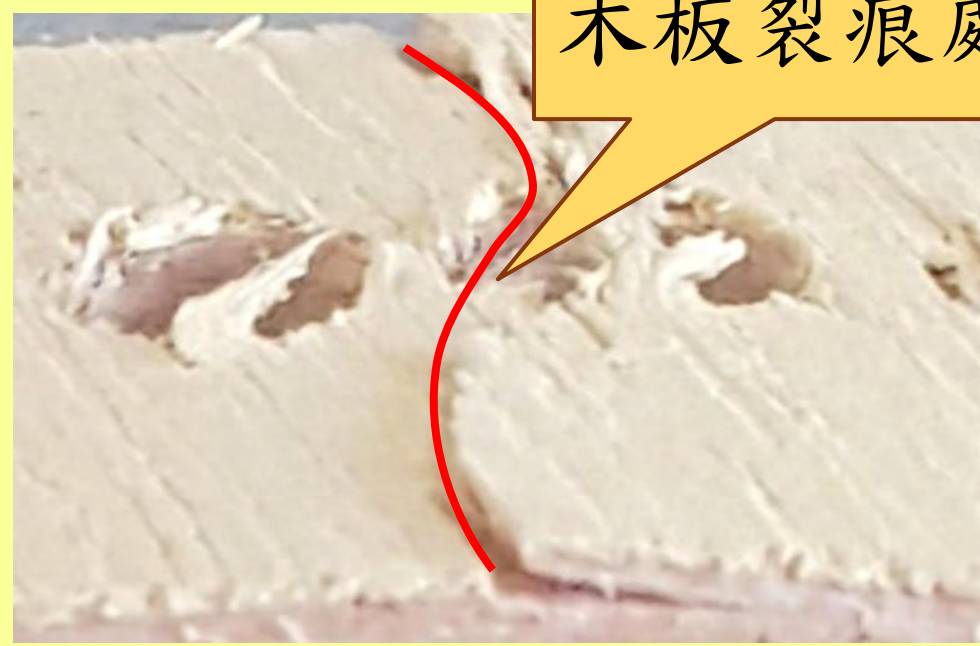
四、水溝蓋孔洞數對水溝蓋的抗形變程度的影響

結果：

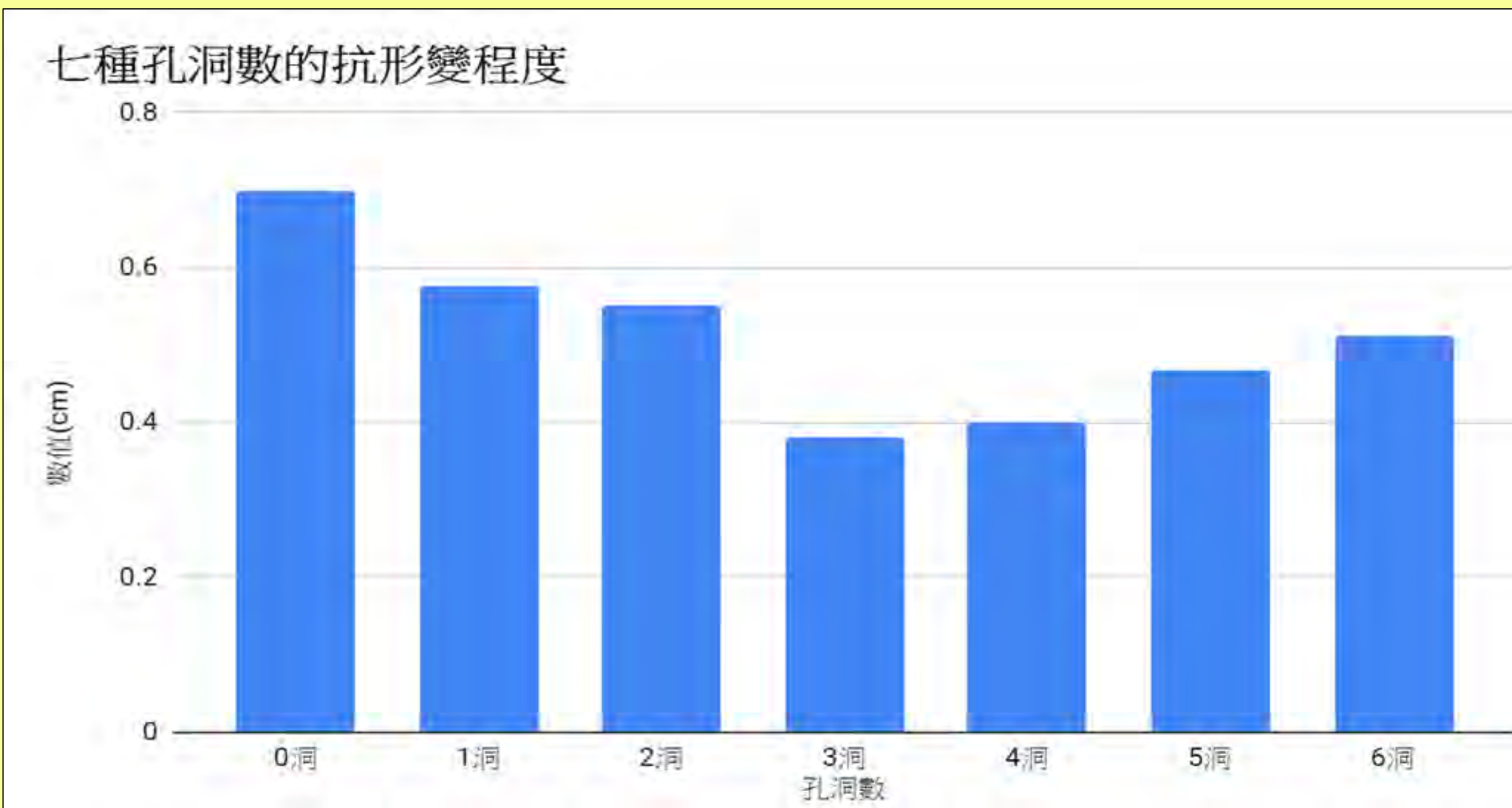
孔洞增加確實會讓水溝蓋抗形變的能力減弱，但在孔洞增加到3以上時，水溝蓋形變上的變化並沒有很明顯



[圖10]木板破裂示意圖



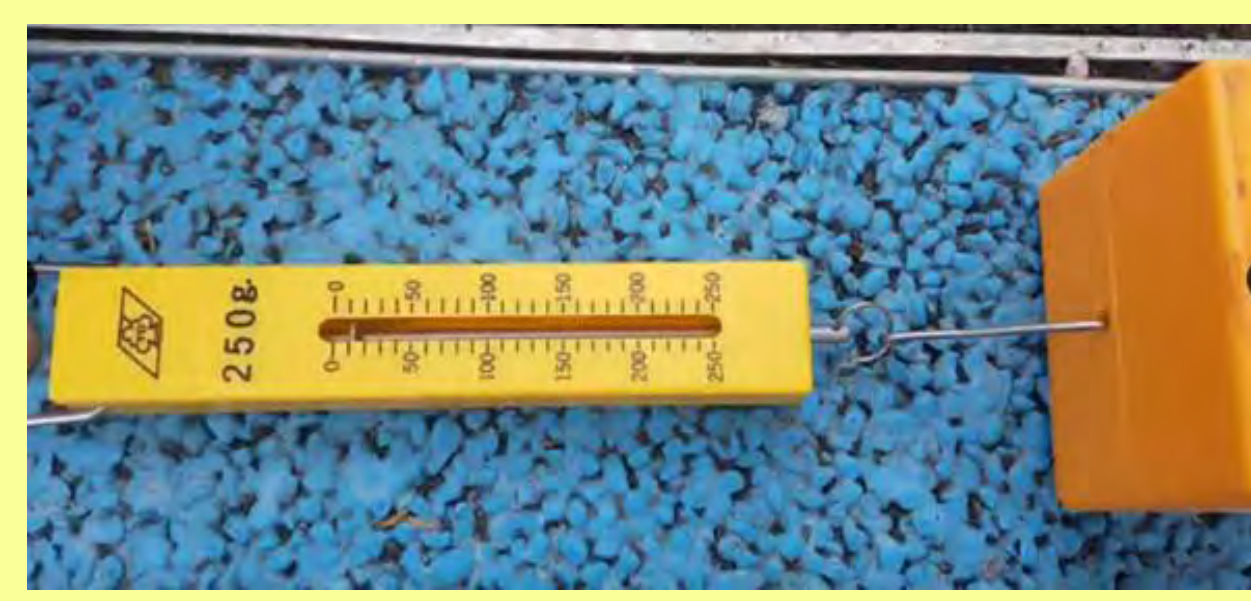
[圖11]木板裂痕示意圖



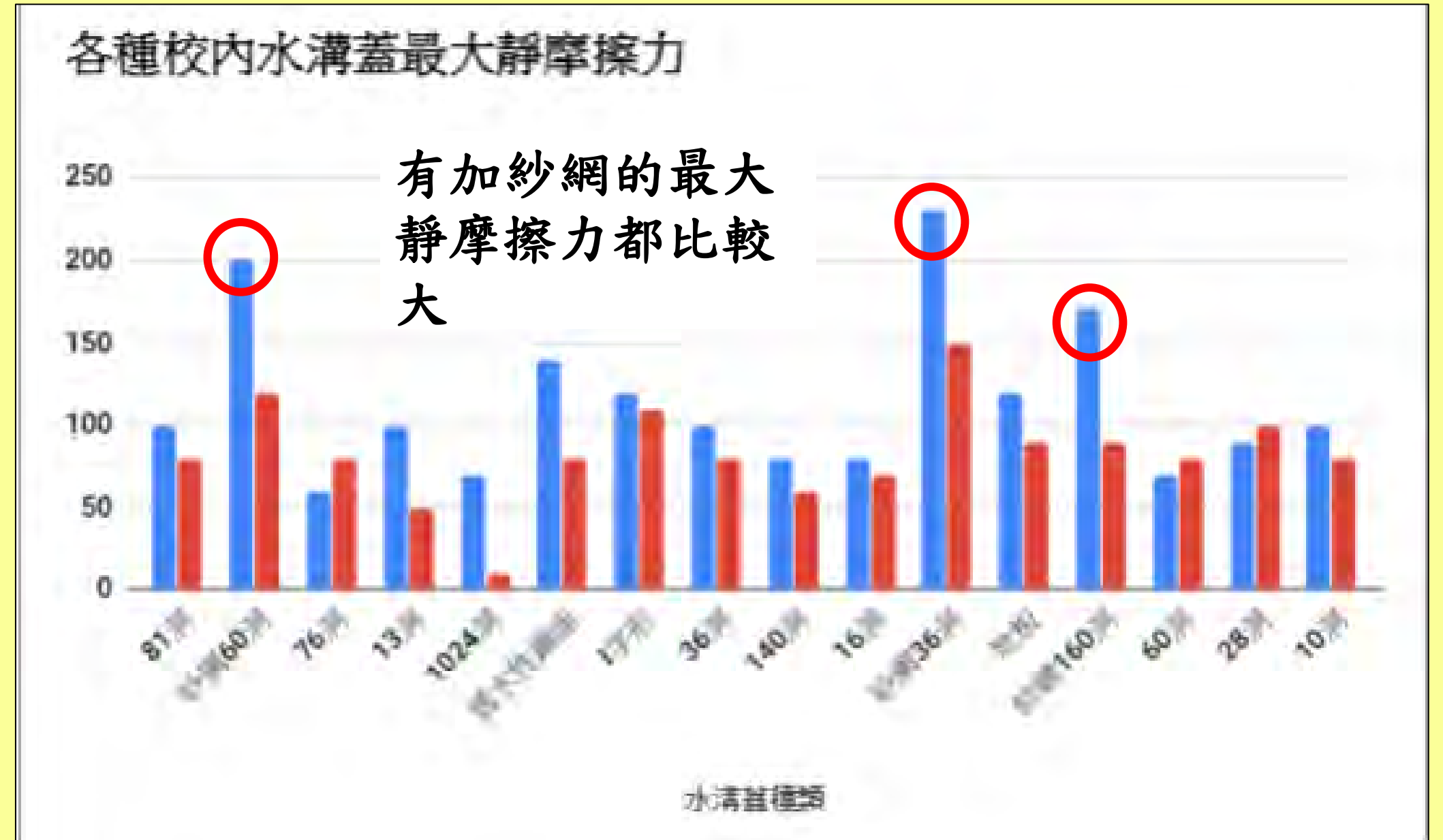
[圖12]七種孔洞數抗形變程度長條圖

五、水溝蓋材質對摩擦力之探討

- (一)使用一個小盒子裡頭裝2個小螺帽，並在盒子上貼砂紙
- (二)在盒子上加上彈簧秤
- (三)於該實驗的水溝蓋放上盒子彈簧秤組並拉動彈簧秤，看最大靜摩擦力多少



[圖13]實驗四、五水溝蓋摩擦力實驗示意圖



[圖14]水溝蓋摩擦力和加水後摩擦力長條圖

六、探討洩水坡度對流水效果的影響

步驟：

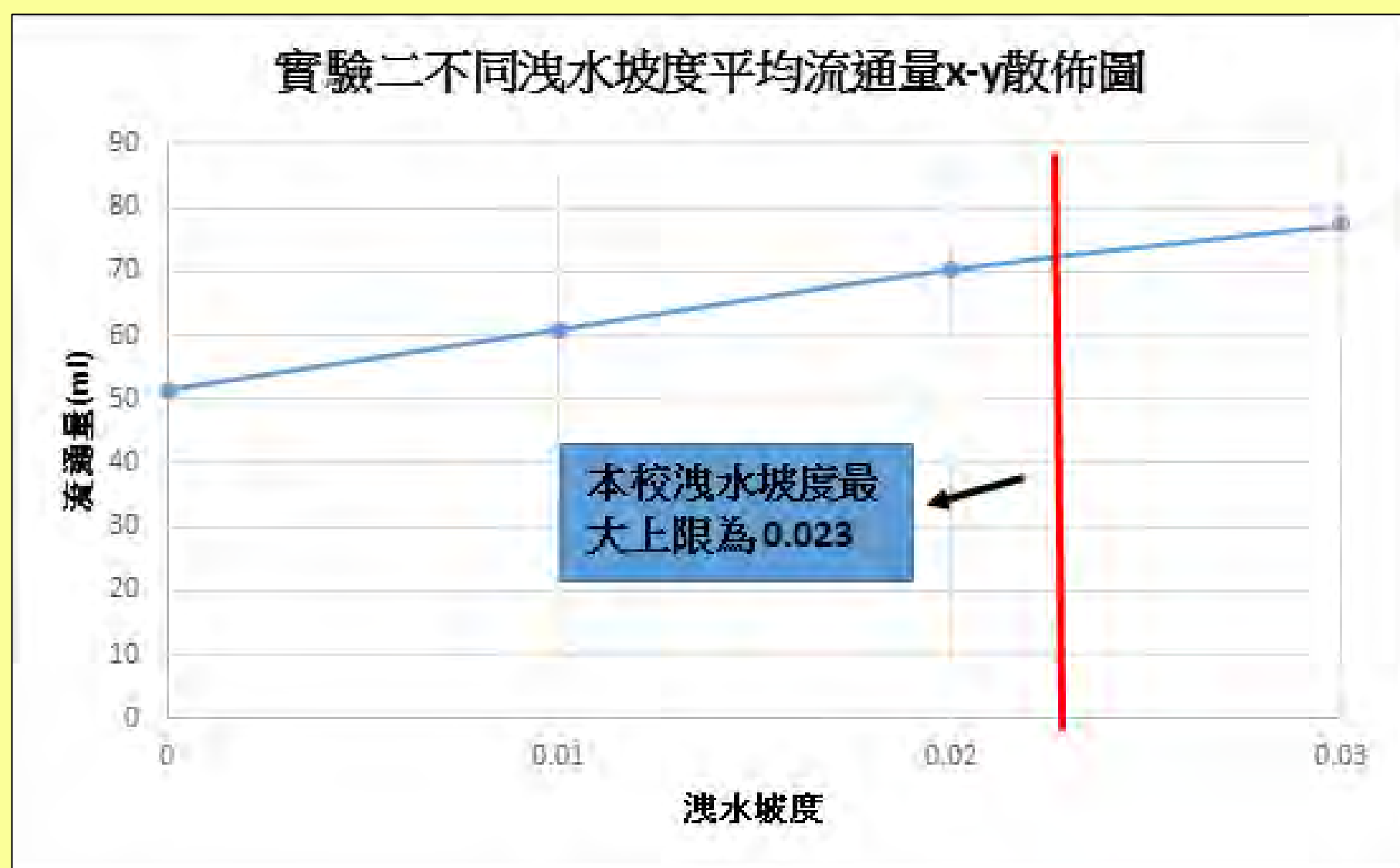
- (一)將模型裝到陰井上後在水箱內裝35公升的水
- (二)水箱抬到實驗起始處時，水箱開關打開後開始計時
- (三)在順逆流處接水並測量水量

結果：

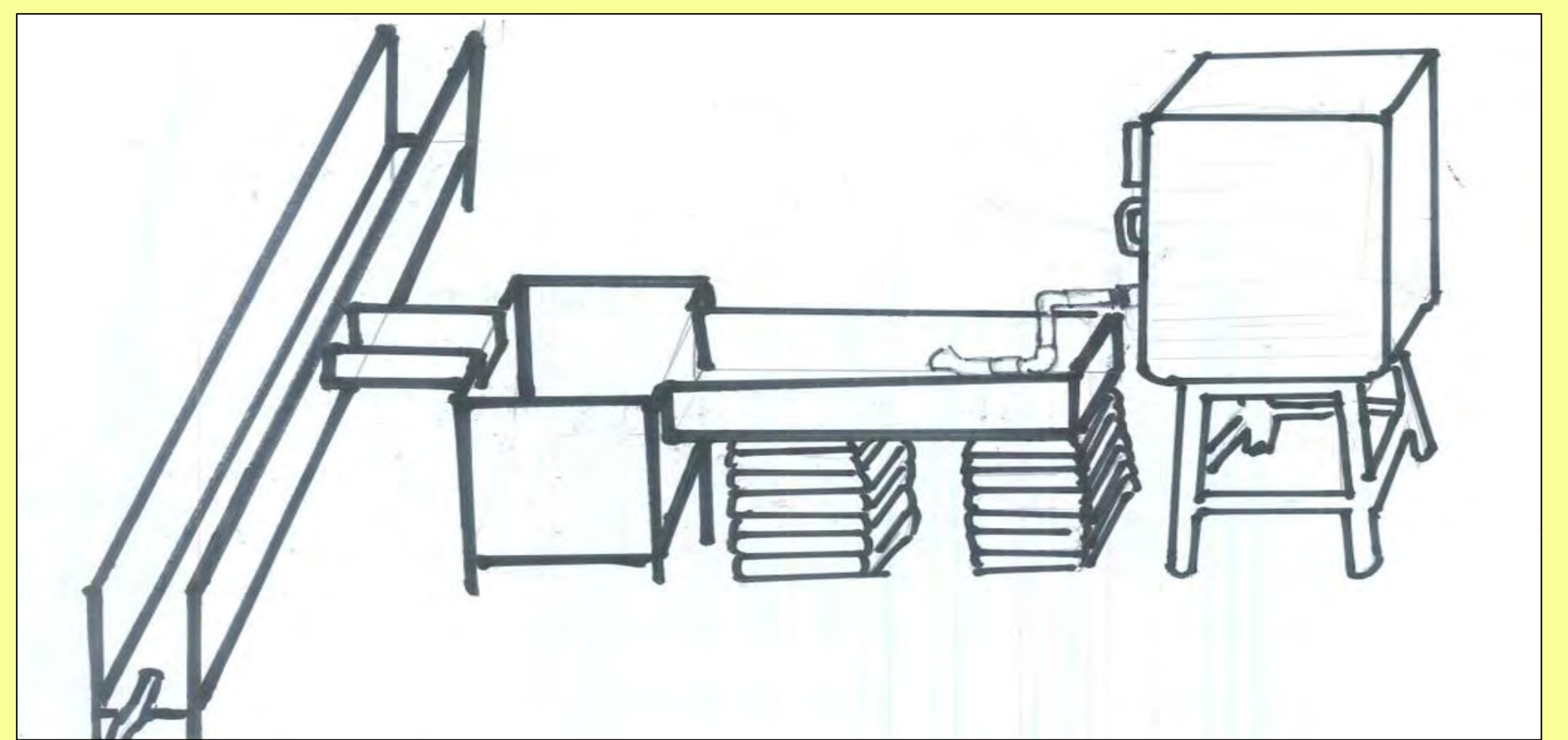
此實驗發現在洩水坡度0~0.03此區間，流通量會隨洩水坡度增加而提升。



[圖15]流、排水實驗設備擺放照片



[圖16]流、排水實驗洩水坡度流通量折線圖



[圖17]流、排水實驗設備擺放示意圖

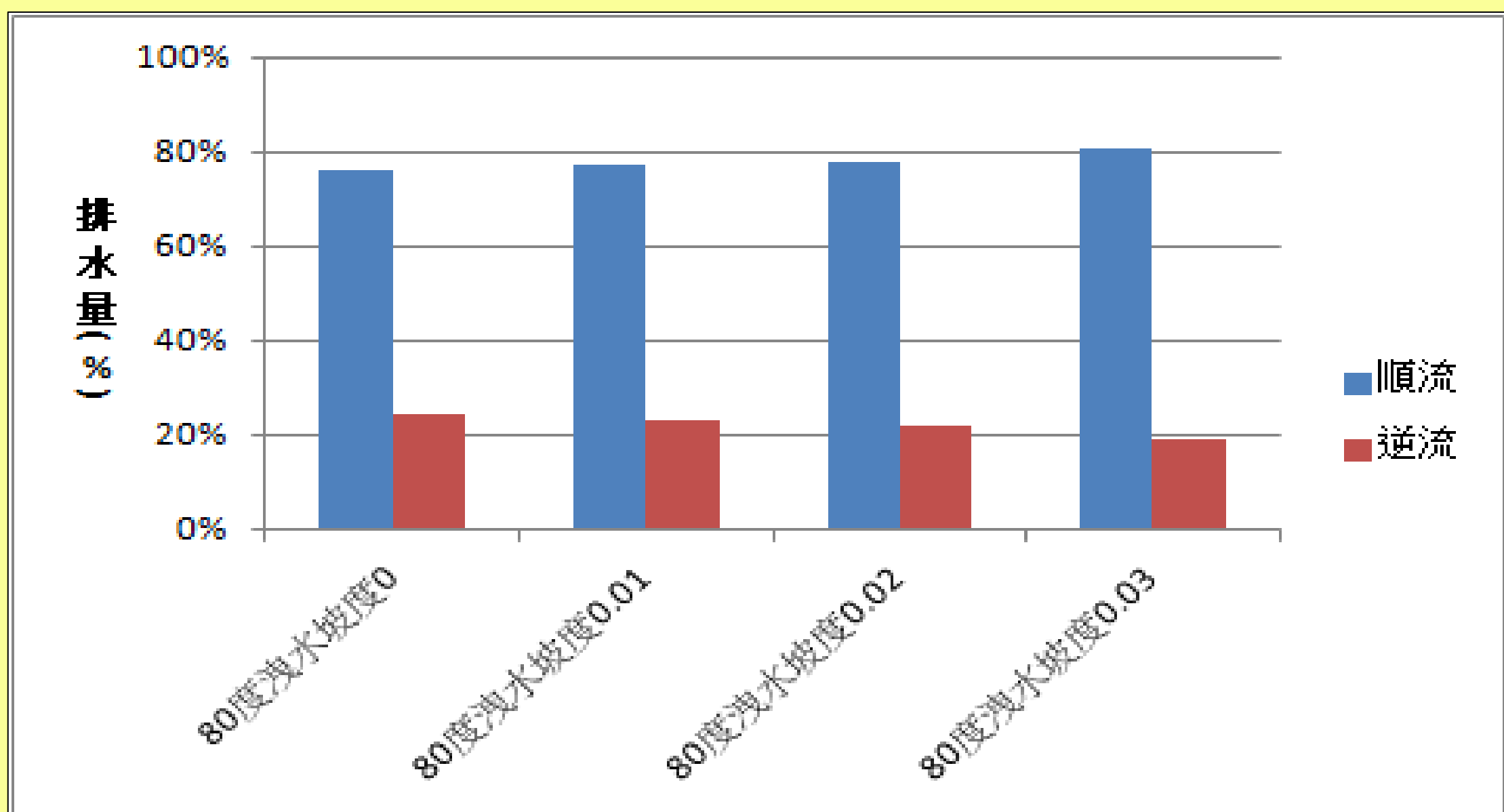
七、探討校內水溝銜接聯外排溝角度對排水效果的影響

步驟：

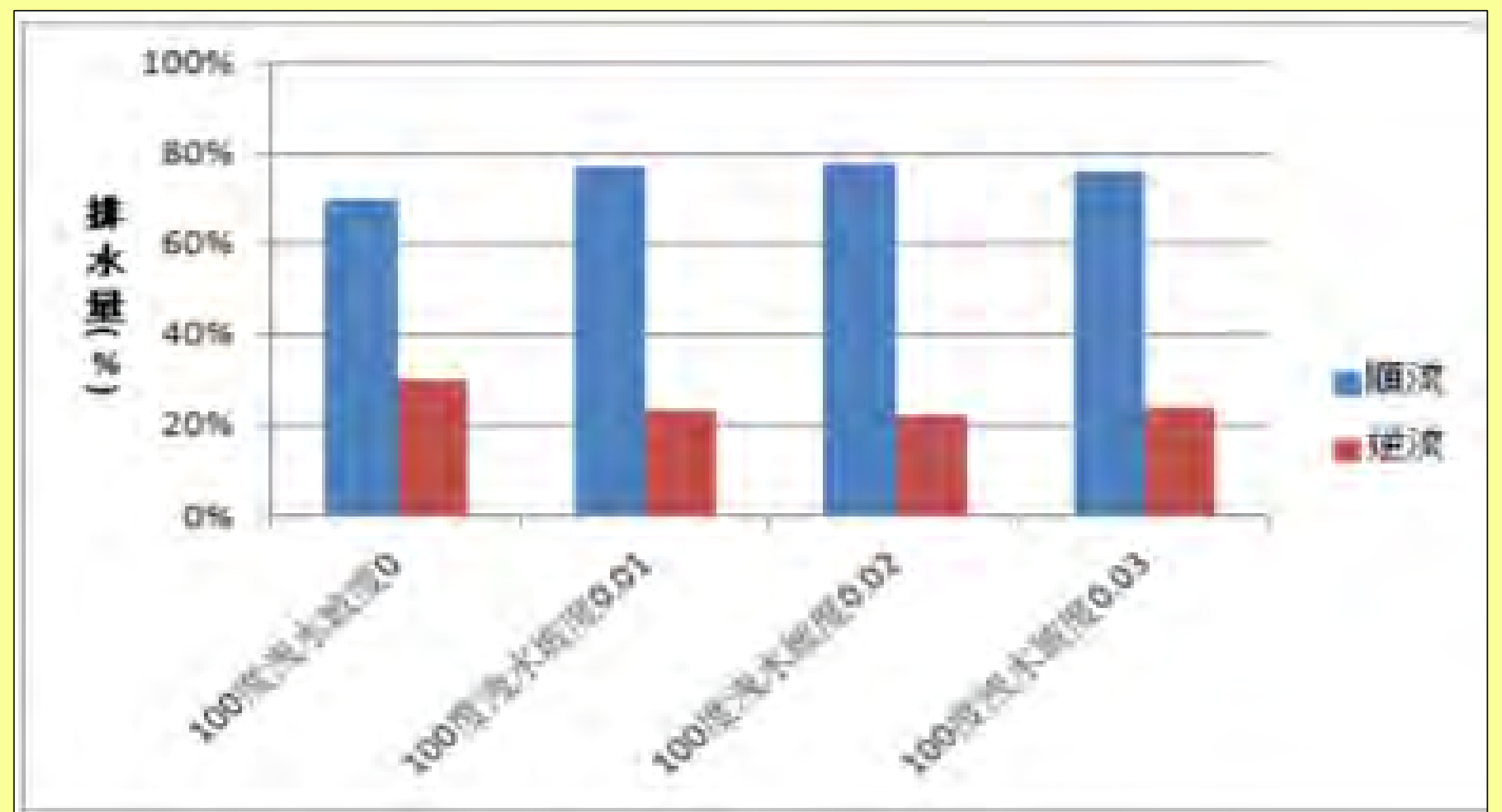
- (一)將要使用的角度裝在聯外排溝及陰井上並在水箱內裝滿35公升的水
- (二)將水箱抬至實驗起始處，水箱開關打開後開始計時
- (三)在聯外排溝順逆流處接水並測量實驗結果

結果：

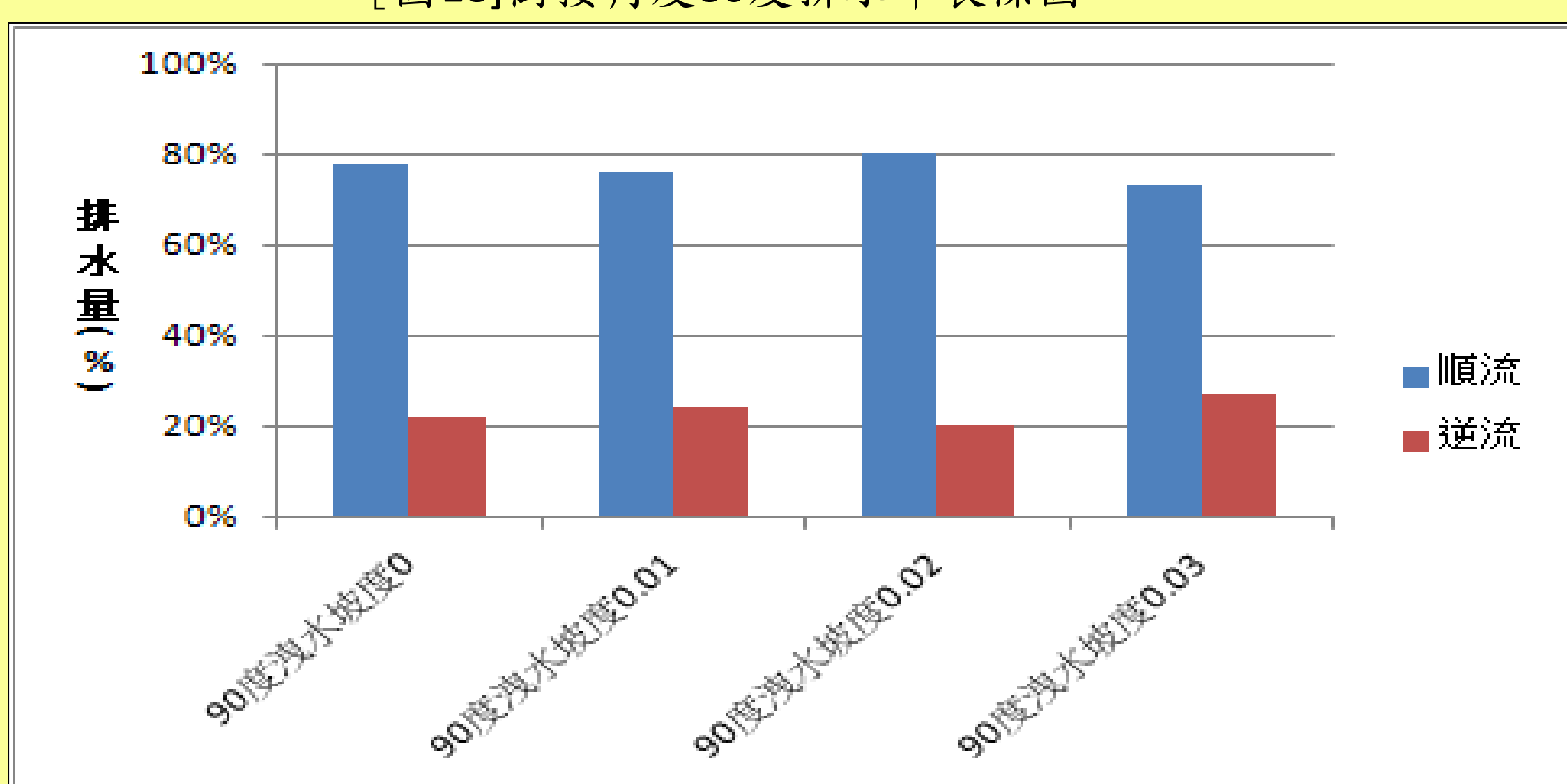
在本實驗80、90、100三種角度的排水量則無明顯差異，而不同連接方式的L字型排水溝逆流量較少。



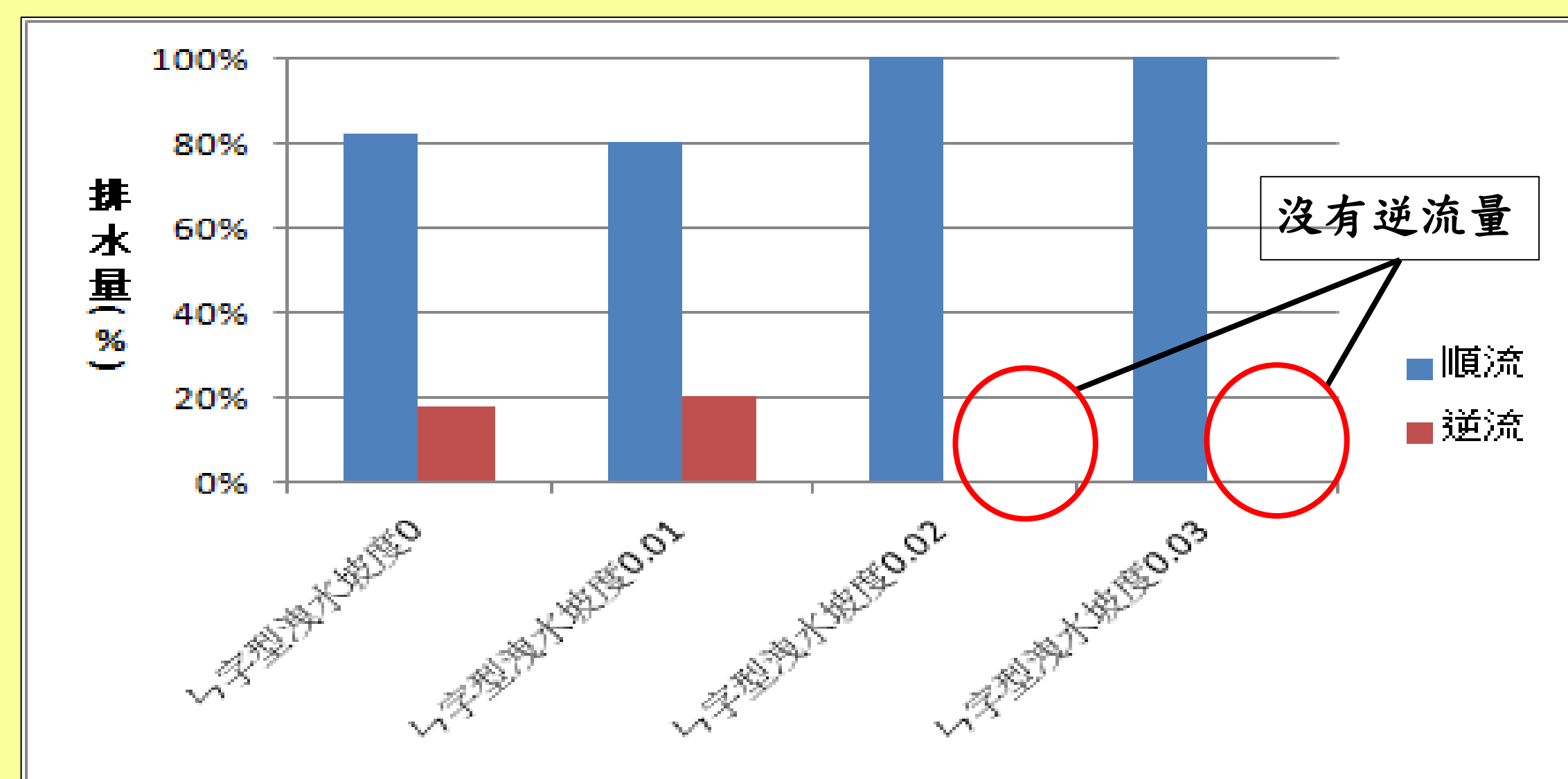
[圖18]銜接角度80度排水率長條圖



[圖19]銜接角度90度接水率長條圖



[圖20]銜接角度100度排水率長條圖



[圖21]銜接角度L字型接水率長條圖

伍、討論

三、20洞外圍水溝蓋的集水效果最好

20洞在外圍的水溝蓋集水效果最佳，我們推測是因為孔洞都分布在外圍，所以較容易接收到路面逕流的雨水。

	9洞(米字)	5條狀	20洞中間	20洞外圍
水溝蓋孔洞佔水溝蓋面積百分比	21.4%	21.4%	21.4%	21.4%

[圖23]自製水溝蓋示意圖

四、裂痕處都在施力點附近，其他孔洞則影響不大



[圖25]實驗後裂痕線條

一、孔洞數最小的集水效果最差

4洞的集水效果較差是因為孔洞的百分比比較少，較不容易接收路面逕流的雨水。

	4洞	10洞	13洞
水溝蓋孔洞佔水溝蓋面積百分比	8.6%	21.4%	37.3%

[圖22]水溝蓋孔洞佔水溝蓋面積百分比分佈位置圖

二、孔洞等面積加上防卡斜面效果較好

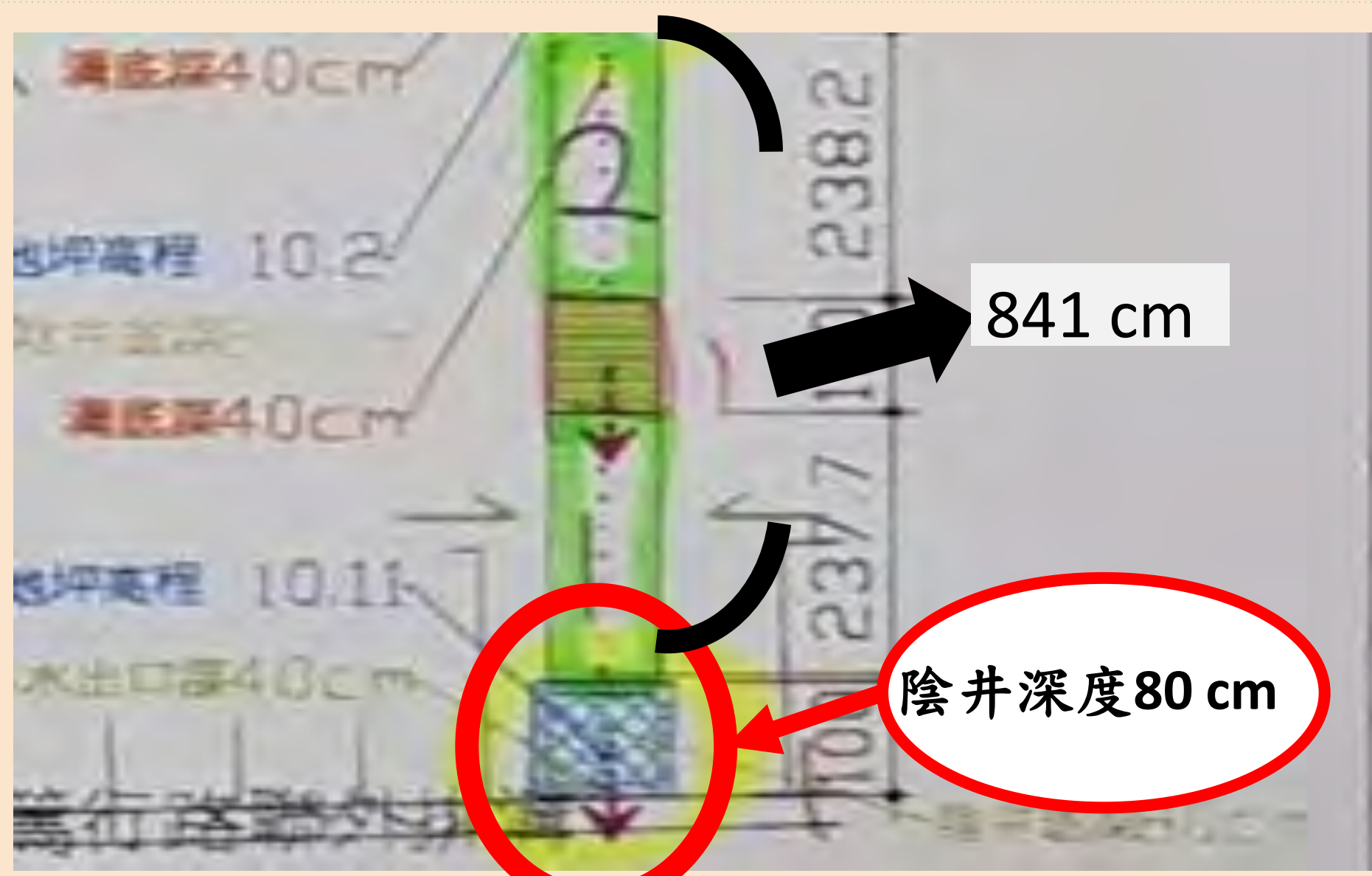
	4洞	8洞	4洞防卡
水溝蓋孔洞佔水溝蓋面積百分比	8.6%	8.6%	8.6%

[圖24]水溝蓋孔洞佔水溝蓋面積百分比分佈位置圖

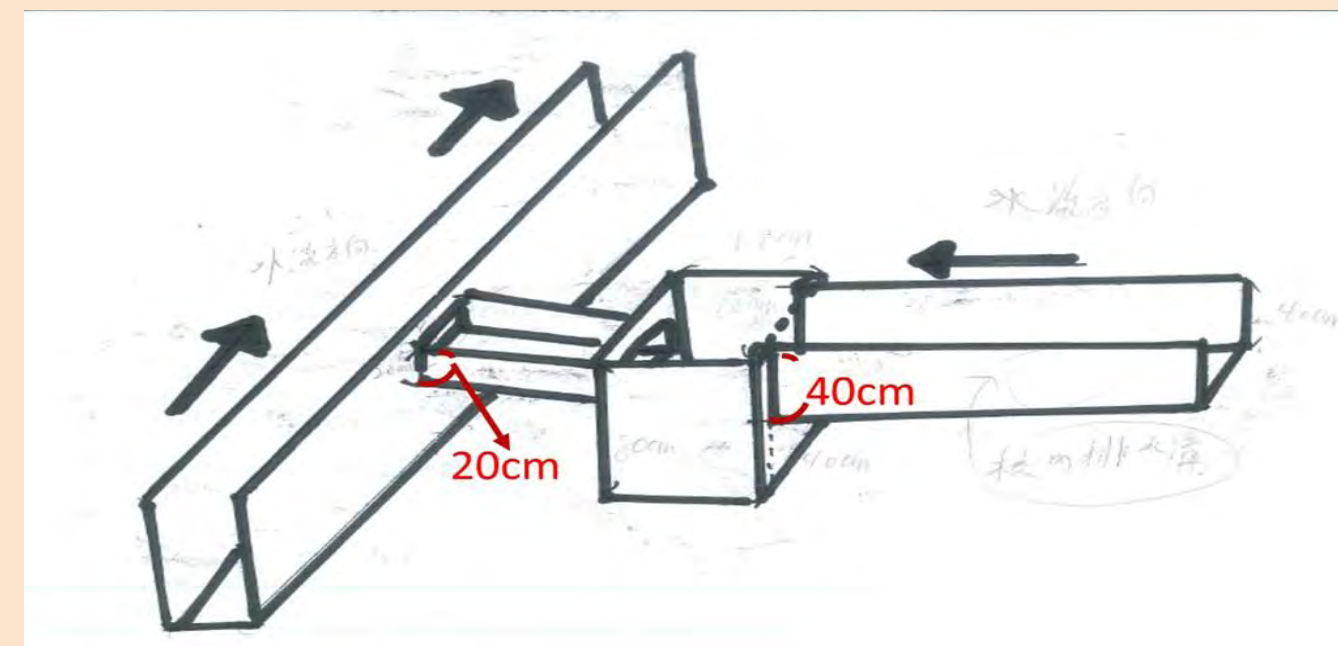
五、本校最適當的洩水坡度為0.023

水溝可再向下挖20 cm，這樣陰井至少留存20 cm深的儲水及泥沙淤積空，經計算後發現洩水坡度約為0.023左右，我們認為是可行的方案。

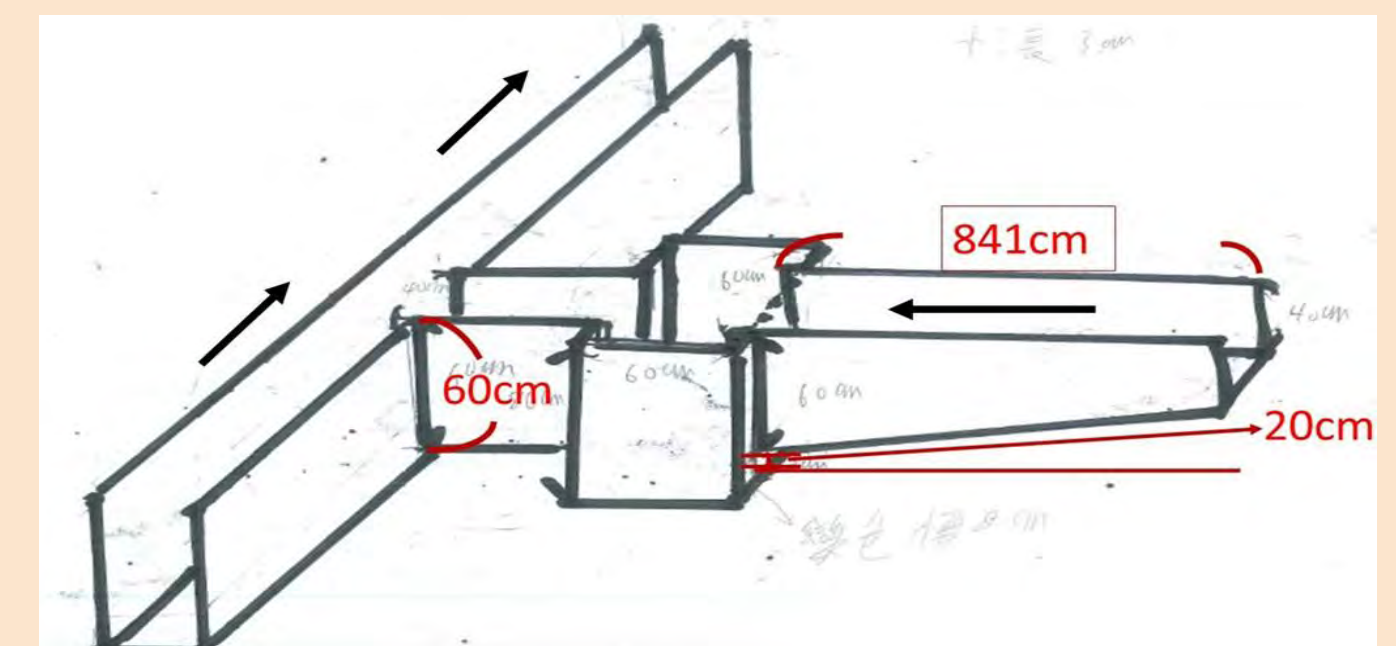
洩水坡度：20 cm / 841 cm = 0.023 (指每1公尺下降2.3cm)



[圖28]校內水溝銜接排外連溝設計圖



[圖26]原始水溝及陰井深度示意圖



[圖27]建議修正水溝及陰井深度示意圖



[圖29]洩水坡度0.014陰井處



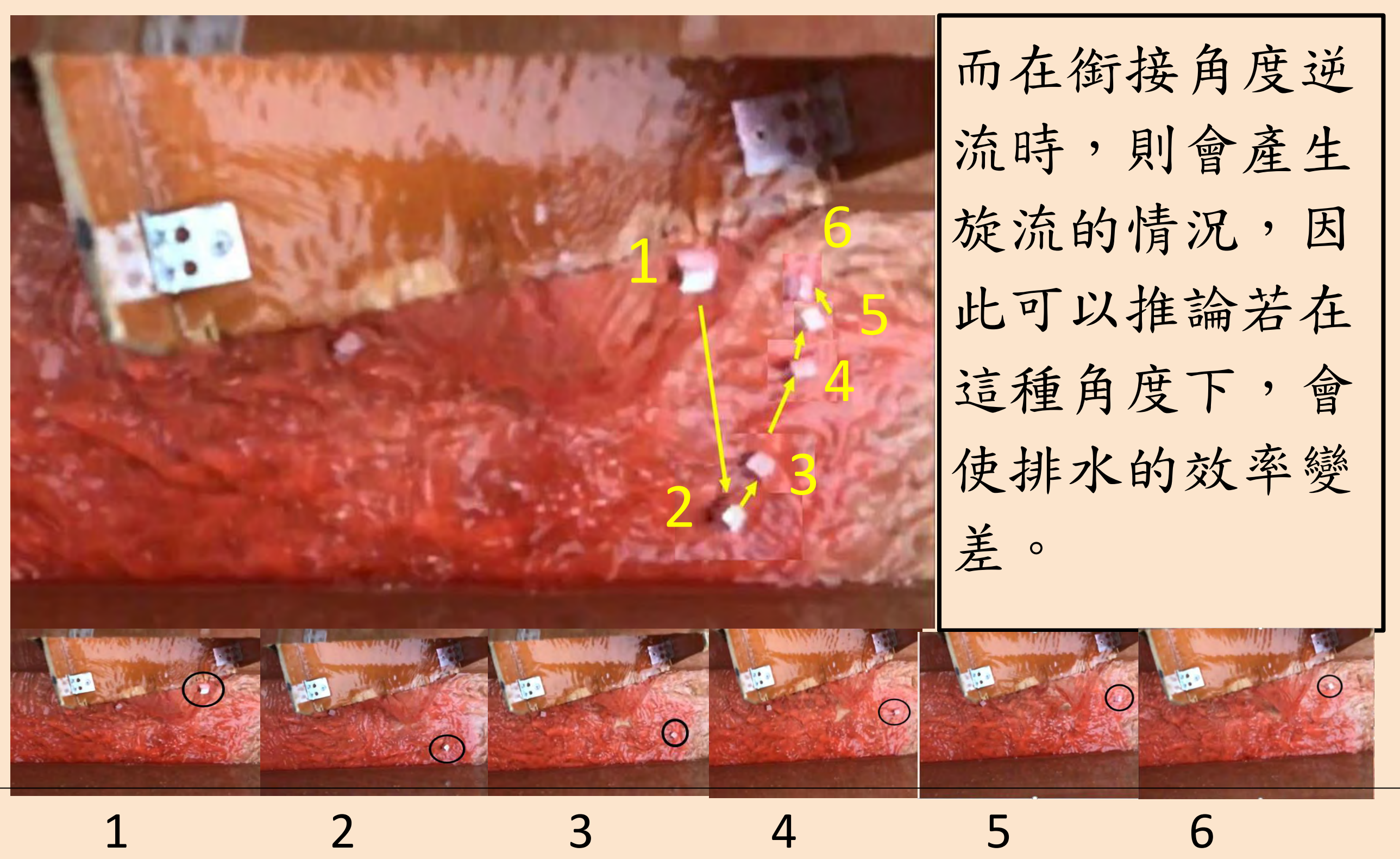
[圖30]洩水坡度0.028陰井處

目前的情況是校內比較低窪，所以導致大部分的水量都留在校內水溝及陰井裡。



[圖31]陰井和聯外排溝處有高低差，水量要淹到一定程度才能排水

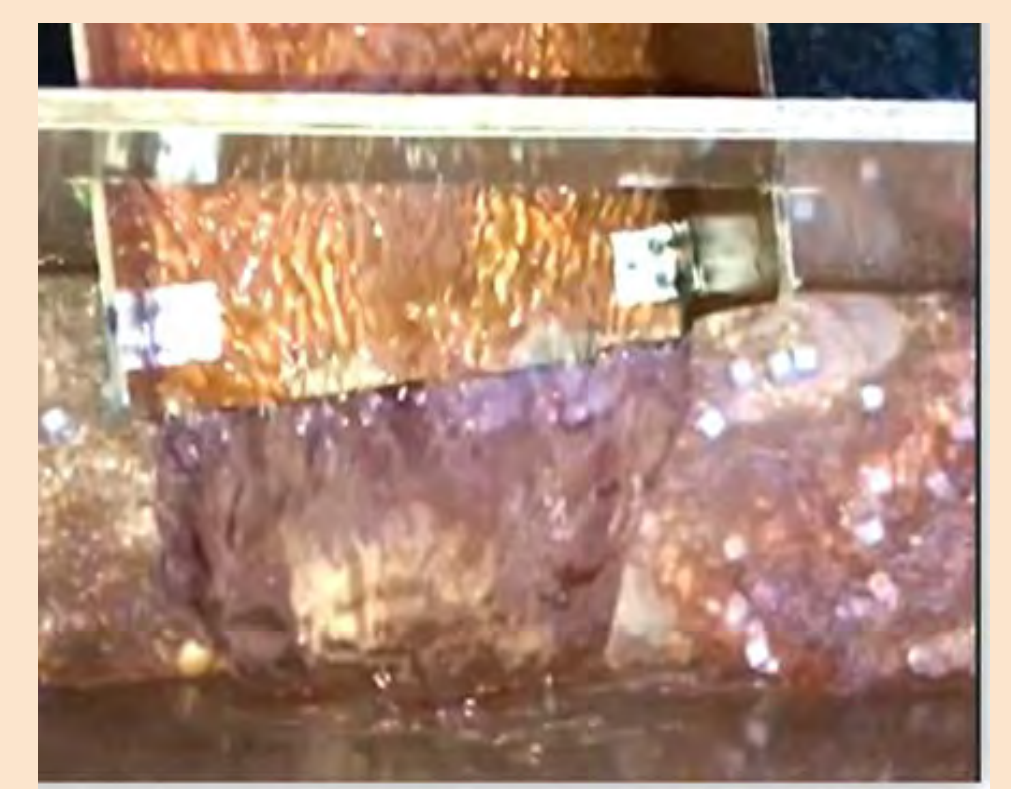
六、當校內排水溝與排外聯溝水流方向相反時，會產生旋流及滯留的現象。



[圖33]實驗三慢動作影片中小白立方體在時間內連續截圖可觀察到有旋流現象



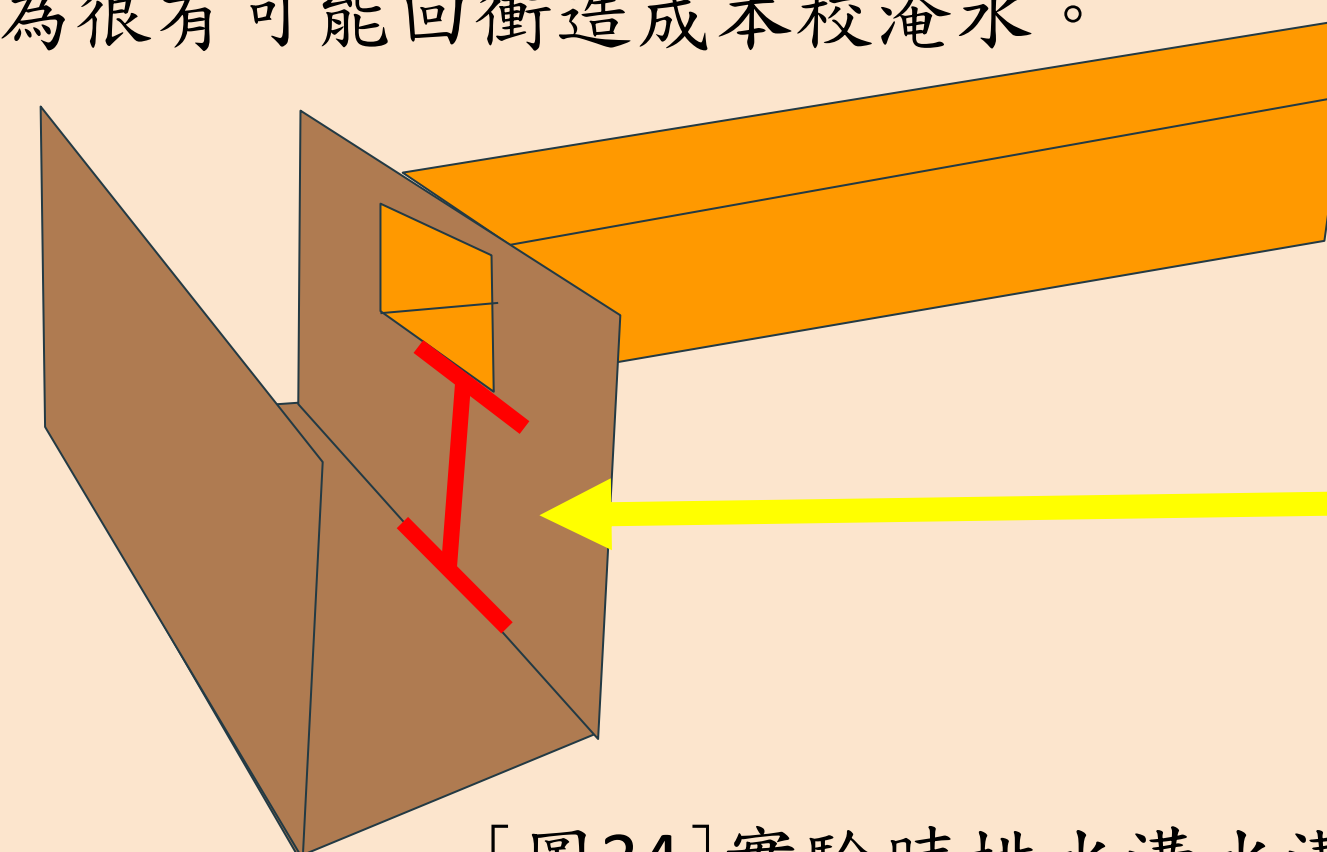
← 聯外排溝水流方向



← 聯外排溝水流方向

[圖32]水溝與聯外排溝銜接為100度可以觀察到小白立方體落下時會往逆流移動

校內水溝銜接排外聯溝模型的地方，因為深度足夠，實驗中未觀察到回衝到本校出水口的情況。但在颱風天，排水溝本身已有一定的積水，我們認為很有可能回衝造成本校淹水。



校內水溝銜接排外連溝模型的地方深度足夠

[圖34]實驗時排水溝水溝深度示意圖

陸、結論

透過研究成果，我們針對集水及排水兩面向來給予本校校門口排水系統改善的具體方案。我們從模型發現目前校內水溝的水在進入排水溝時流速減緩，不容易排到聯外排溝，再者目前校門口的水溝蓋也有載重易破裂的問題，因此實驗分析後，我們依本校地理條件所建議的排水改善為：

校內排水溝採用 \cup 字型並挖深至60公分、校內水溝洩水坡度從0調整至0.023

集水部分則建議：

設計孔洞分布於四周的水溝蓋供學校參考。

綜觀集水效果與行人安全層面，也建議學校在操場的水溝蓋設置紗網，但重要的校內水溝處則採用無紗網設計。

柒、未來展望

一、排水溝銜接聯外排溝的部分增置單向閘對本校淹水的改善情形

二、結合社區鄰近蓄水池，為本校提供颱風、豪大雨時的防護措施