中華民國第 51 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高職組　土木科

佳作

091201

生命洪道

學校名稱：高雄市立高雄高級工業職業學校

作者：	指導老師：
職二 廖昱捷 職二 邱郁棋 職二 謝勝閑	黃天枝

關鍵詞：疏洪、保水、轉折水頭

壹、摘要

本研究試圖於道路地層設置雨水疏洪池，達到疏洪保水效益爲主題，探討(1)道路兩側水溝孔總面積、(2)道路疏洪管徑總面積與(3)疏洪管徑輸送彎角，三者對應疏洪保水效益關係進行分析比較。

使用凡爾旋轉角度控制流速模擬出中央氣象局所定義的單日平均降雨量，並藉由此降雨器模擬出在發生豪雨時，道路 2% 的洩水坡度，透過道路兩側水溝孔總面積與下水道疏洪管徑總面積配置的建構實驗，將道路上的積水迅速排除，並藉由道路下的蓄水設施來進行保水儲存，以達供枯水期的用水目的。經研究實驗分析後，道路兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 與疏洪管徑總面積 31.4cm^2，彎角以 15°角疏洪管徑的排水速率較爲顯著，可取得最大保水效益。

貳、研究動機

全球極端的氣候已成了人類必須正視的重要議題，現今全球已有許多地方因爲變化無常的氣候，而造成了許多自然災害。

2009 年 8 月 6 號颱風莫拉克登陸臺灣，挾帶著豐沛的雨量衝擊東南部地區，使林邊溪堤防潰堤，導致林邊、佳冬兩鄉遭大水淹沒，佳冬鄉爲重災區之一，淹水最深達兩層樓高，這是近 50 年來最嚴重的水患。根據水利署統計，這次颱風最大時雨量紀錄落在屏東縣萬巒鄉，每小時 135 毫米。兩天累積雨量最高在三地門鄉，共 2500 多毫米，不但高居全國第一，也造成沿海及低窪鄉鎮淹水。

澳洲東北部昆士蘭省遭颶風「麗莎」侵襲，從去年十一月開始，便豪雨不斷，造成澳洲 50 年來最嚴重水患，東北部 20 多萬人受災。而位於省府布里斯班西部的一座城市－圖伍巴死火山附近，地處海拔 600 多公尺高，過去十年慘遭乾旱之苦，現在卻遭水淹沒。

「水」，是人類不可或缺的生存條件，爲了要灌溉農作物和發電，人類以興建水庫來儲存雨水以提供我們的需求。然而臺灣地形屬於地幅狹長高山地形，造成河川水流湍急，又處於四面環海的地理環境，不易儲存雨水(保水)，所以儲水(保水)設施爲臺灣水利建設上極爲重要的一環。

近幾年來，臺灣的年降雨量變化異常，使得桃園和具有雨都之稱的基隆市均發生枯水期時發生缺水的問題。在大高雄地區的水源來自高屏溪，但在枯水期時溪水流量，亦常發生供水不足窘境，爲了改善此情況，興建水庫成爲必要課題。爲了因應大高雄區用水，美濃建興水庫議題雖早於十幾年前評估決議建置，但當地人士與綠聯盟團體之極力抗爭而延宕多時，水庫建造爲能興建，造成目前大高雄地區的用水在枯水期間備受考驗。

本研究團隊研究方向旨在思考如何有效利用都市道路地下空間，收集由道路上所排洩掉的雨水，一方面有助道路上的雨水疏洪並達到降低道路淹水，減少交通阻斷的機率；另一方面可以充分蒐集道路上的雨水加以保存，並將這些蒐集到的雨水，在枯水期時供應該地區的民生用水、消防與行道樹的灌溉等許多用途，達到真正珍惜水資源與落實建立綠色都市的理念素求。

參、研究目的

一、測試管徑 6 分凡爾與二個 4 分凡爾開啓角度的控制，以模擬出比例 1/10 之單日平均降雨量。

二、探討道路兩側水溝孔總面積與道路疏洪管徑總面積(導水管孔徑數)，豪雨時的排水速率關係。

三、探討道路兩側水溝孔總面積，道路疏洪管徑總面積與疏洪管徑輸送彎角，豪雨時的排水速率關係。

四、探討道路兩測水溝孔總面積、道路疏洪管徑總面積與疏洪管徑輸送彎角，三者對應疏洪保水效益關係加以比較。

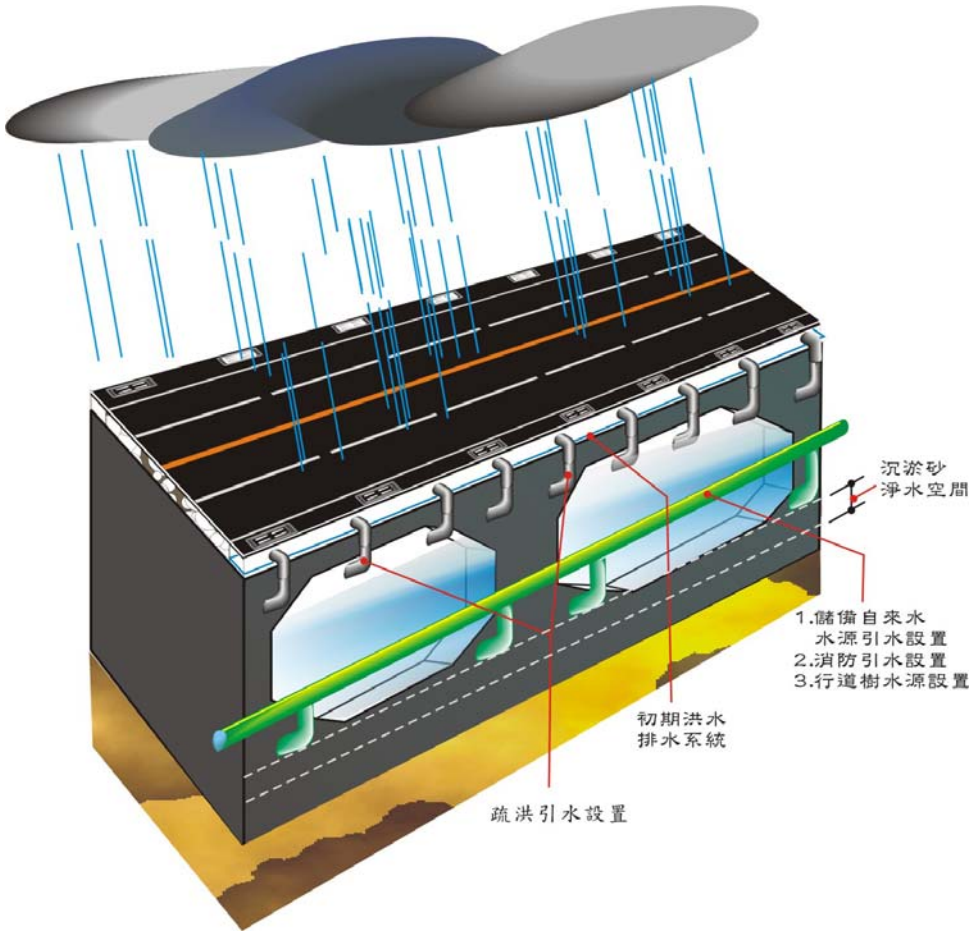
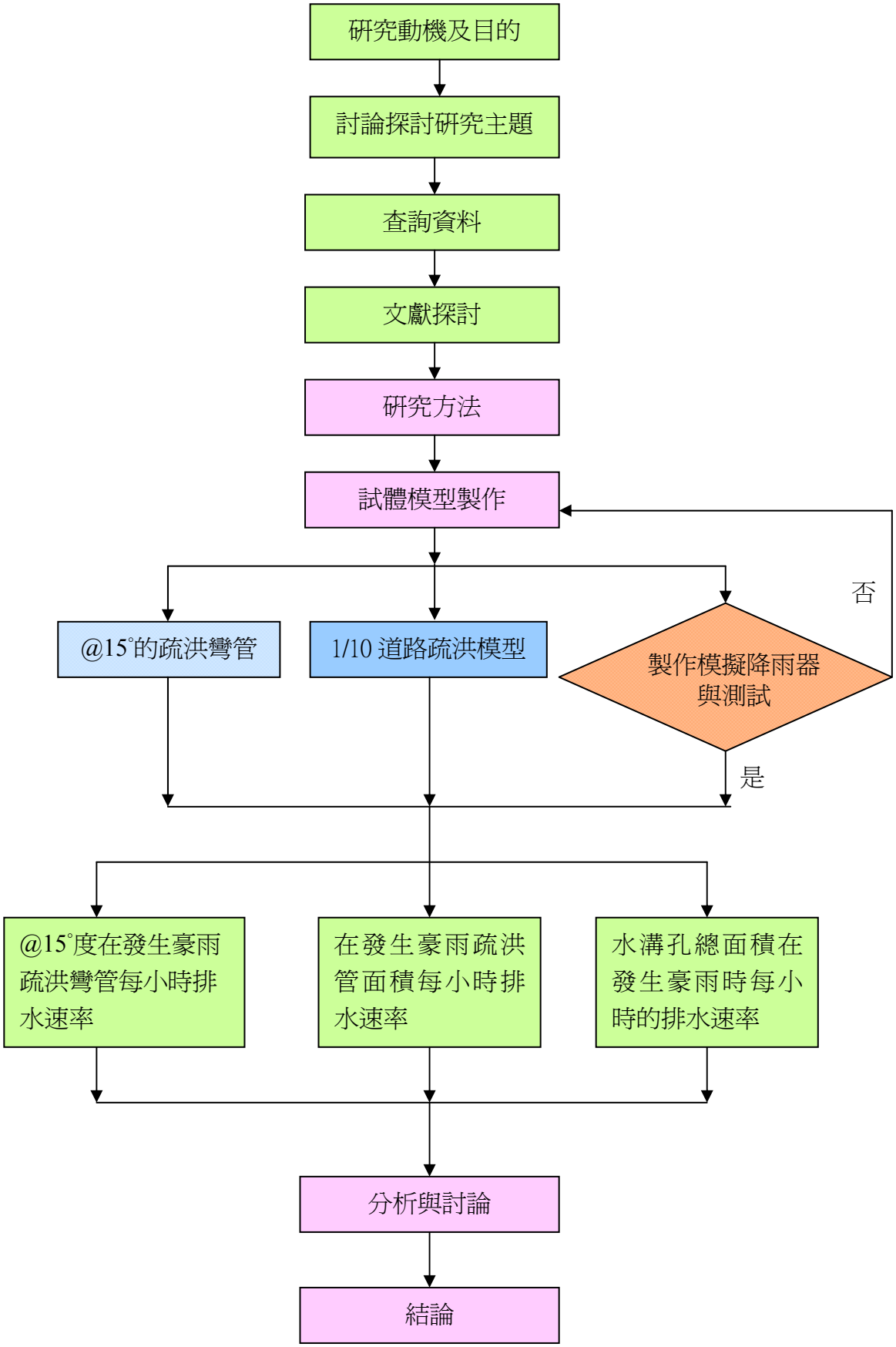


圖 1. 生命洪道示意圖

肆、研究流程


研究動機及目的
討論探討研究主題
查詢資料
文獻探討
研究方法
試體模型製作
@15°的疏洪彎管
1/10 道路疏洪模型
製作模擬降雨器與測試
否
是
@15°度在發生豪雨疏洪彎管每小時排水速率
在發生豪雨疏洪管面積每小時排水速率
水溝孔總面積在發生豪雨時每小時的排水速率
分析與討論
結論

伍、研究設備與器材

本研究所使用的設備及器材用具，如表 1 所示。

表 1　研究試體與模型製作設備與器材

設備與器材			
木板(道路主體)	水管	矽利康	砂子
鑽孔機	水管剪	瓦斯噴燈	壓克力板(水溝模型)
水準尺	捲尺	進水器	90°彎管
量筒	鑿刀	塑膠水桶(道路下蓄水)	木工手工鋸
凡爾(控制降雨量)	電焊器(挖壓克力孔)	溫度計	油漆

陸、文獻探討

一、洪災案例探討

在現今的氣候變化，異常氣候發生的頻率已逐年增加，近年低氣壓颱風，引進的雨量造成不少的傷害(如表 2)。民國 99 年 8 月 8 日莫拉克氣流，臺灣出現了有史以來最大的降雨紀錄，它造成單日最大降雨達到 1400 毫米，各地均在其氣流籠罩下，當日雨量達至暴雨層級(如圖 2)。曾文水庫當日有效蓄水量在颱風前跌破一億五千萬公噸下限，滿水位水量則有六億一千萬公噸，相差約四億六千萬公噸，換算起來是三座南化水庫總容量，超短時間內達成，進水速度之快，讓曾文水庫管理中心形容有如坐雲霄飛車般提心吊膽。且暴雨時數累積雨量及累積進水量高於 48 年的八七水災，打破史上記錄，並在全臺各水庫創下驚人雨量（如表 2 及圖 3 所示）。因爲保水設施不健全，使得臺灣全島災情四起，既不能充分疏洪亦無法有效地將這次的降雨量收集起來。

表 2.　近年颱風降雨量與災害損失

颱風名稱	地點	時間	降雨量(mm)	傷亡	災害損失 (億)
辛樂克	臺灣	2008.9.14.	880	14 人死亡，7 人失蹤	75
莫拉克	臺灣	2009.8.8	1400	673 人死亡,26 人失蹤	164
西亞	澳洲	2011.1.11.	343	10 人死亡 79 人失蹤	1600

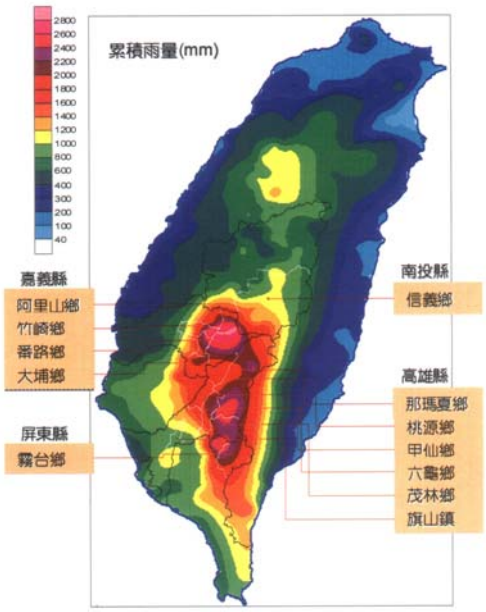


圖 2. 莫拉克全台雨量線圖

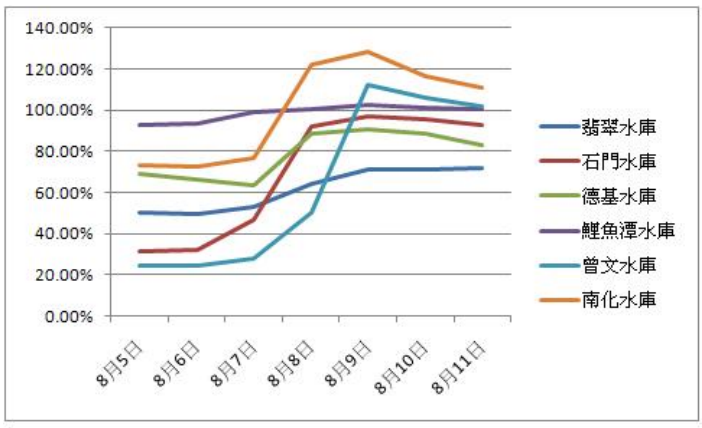


圖 3. 台灣主要水庫 8 月 5 日至 11 日的水位百分比變化表（單位：百分比）(民 98，張清源)

二、臺灣水庫淺碟效應探討

由於水庫淤積嚴重，再加上缺水，大部分水庫已經陸化，學者稱這種現象稱作爲水庫淺碟化。

專研水利的國立成功大學校長黃煌煇指出，極端氣候成爲常態，水庫的每一滴容量對台灣來說都更爲重要，「水庫淺碟化」的現象不容坐視，否則未來將陷入洩洪、缺水，惡性循環的危機。根據水利署資料，全台 33 座重要水庫，有 16 座淤積超過三成；因地質原因，愈往南淤積愈嚴重，像鹿寮溪水庫淤積超過七成，尖山埤逾八成。

三、臺灣每年用水探討

極端臺灣的氣候有愈益嚴重的趨勢。過去十年，台灣有五年水災接旱災，這是台灣最大的反諷天災竟然要靠天災來解決(民國 98 年第 428 期天下雜誌)。根據統計，臺灣每年的降雨量是世界平均的兩倍半。老天一年降給臺灣九百億噸的雨水，可以把大小四十幾座水庫灌飽四十五次。但是，台灣爲什麼還是不時在缺水?除降雨量、降雨天數的減少，降雨型態的改變，也是重要的因素。但是，人們的用水與蓄水的習慣，才是最重要的。如何有效的將發生暴雨時所產生的積水迅速排除，並使之儲存起來，再透過淨化系統，以應付將來在乾旱期間可以做爲民生用水，即爲本次科展的研究方向。

表 3.自來水公司漏水率

年度	漏水率(%)	漏水量(億立方公尺)
2004	23.8	7.09
2005	23.7	7.21
2006	23.5	7.31
2007	23.1	7.28
2008	22.0	6.81

表 4. 2008 年度每人每日生活用水量

縣市	用水量(公升/人/日)
臺北市	330
臺中市	328
新竹市	302
高雄市	292
基隆市	290

四、實驗基礎理論

本研實驗需設置模擬降雨器，疏洪導管彎角，探討疏洪保水池效益，爲達到在變因數條件下並有效控制減少變因，使整體實驗模型設計與實驗操作，在能量守恆定律、白努利方程式水壓變化、彎管水頭流速變化等理論下，進行模擬實驗。實驗理論分述如下：

(一) 能量守恆定律

本研究試驗是採用定量流(steady flow)，即是水流於每一單位時間內經過任一橫斷面的體積爲流量。水流力學由能量(energy)爲作工的能力，在試體設計過程則以動能與位能之質能守恆條件作爲基礎建置。動能(E_k)=1/2(mv^2) ； 位能(E_k)=mgh。根據壓力的定義，容器底部所承受得液體壓力 P 爲：P=F/A=A×h×D/A=H×d。本研究模擬降雨器裝置水的壓力 P=28.2×1=28.2 kg/cm^2，研究裝置的水流速爲 6.5m/s。

(二) 白努利方程式(Bernoulli's equation)

功能原理：力對系統做功＝系統動能的改變。

如圖 4 假設我們忽略流體的黏滯阻力，則作用於系統左右兩端的力分別爲 $F_1=P_1A_1$ 和 $P_2=P_2A_2$ 以及重力，當流體由圖 4 (a)流至 (b) 位置時，由於：

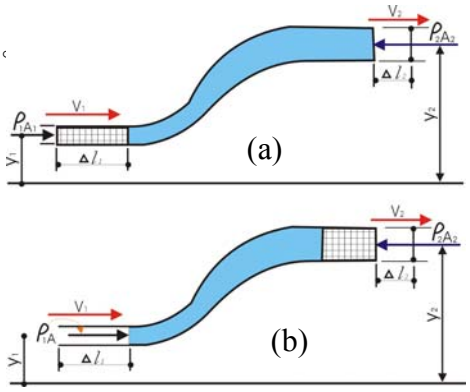


圖 4 白努利作功示意圖

1.左邊的力 F1 所做的功：$P_1A_1\triangle L_1$。

2.右力的力 F2 所做的功：$-P_2A_2\triangle L_2$，負號代表負功。

3.重力對系統所做的功使斜線部份的流體由高度 y_1 上升到 y_2，其值爲：

$-mg(y_2-y_1)$，其中 m 表示斜線部份流體的質量。

所以，合力所做的功爲：$W=P_1A_1\triangle L_1-P_2A_2\triangle L_2-mg(y_2-y_1)$式中，斜線部份流體元素之體積 $A_1\triangle L_1(=A_2\triangle L_2)$等於 m/ρ ，其中 ρ 爲流體密度。

由於兩個流體元素均具有相同的質量，所以當我們令 $A_1\triangle L_1=A_2\triangle L_2$ 時，亦間接的假設了該流體是不可壓縮的。根據這個假設，我們可以得到

$$W=(P_1-P_2)(m/\rho)-mg(y_2-y_1) \quad \cdots\cdots\cdots (1)$$

流體元素的動能改變量爲 $\Delta K=1/2(mv_2^2)-1/2(mv_1^2)\cdots\cdots\cdots (2)$

由功能原理 $W=\triangle K$ 或$(P_1-P_2)(m/\rho)-mg(y_2-y_1)=(mv_2^2)-1/2(mv_1^2)$ ……（3）

上式可表示爲 $P_1+1/2(\rho v_1^2)+\rho g y_1=P_2+1/2(\rho v_2^2)+\rho g y_2$ ……（4）

即 $P_1+1/2(\rho v)+\rho g y = cons\ tant\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$

方程式(5)稱爲白努利方程式(Bernoulli's equation)，適用於穩態，無黏滯效應及不可壓縮之流體。當流體靜止時，$V_1=V_2=0$，方程式（4）可表示爲：

$P_1+\rho g y_1=P_2+\rho g y_2$ 即$(P_1-P_2)=-\rho g (y_1- y_2)$……（6）

基於本方程基礎，實驗凡爾旋轉角度控制，才能獲得適當水流速提供模擬降雨器達到各級降雨所需的速率控制。

(二) 管徑輸送彎角(水頭變化)與流水速率關係

在管路曲折損失水頭理論基礎上，進行實驗探討與驗證。依據實用水力學管路曲折損失水頭(民 69，丁成五)折管損失水頭，一部分由於水流變向，一部分由於水流轉折先速縮而放大如圖 5 所示一折管，

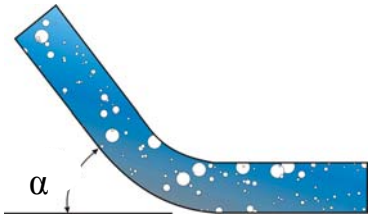


圖 5　水管折管

α 爲折角，流速水頭的函數第(a)式。

$h_b'=K_b'(V^2/2g)$……(a)

由魏斯巴氏研究折管的 K_b' 得有經驗公式如(b)式

$K_b'=0.9457\sin^2(\alpha/2)+2.047\sin^4(\alpha/2)$

略簡計之，得 $K_b'=\sin^2(\alpha/2)+\sin^4(\alpha/2)$ ……(b)

由上式推算 K_b'之值如下表 5 所示。

表 5. 折管損頭係數 K_b'

α	20°	30°	40°	50°	60°	70°	80°	90°	100°	110°	120°	130°	140°
K_b'	0.046	0.073	0.139	0.234	0.364	0.533	0.740	0.984	1.26	1.56	1.86	2.16	2.43

資料來源：實用水利學　丁成五

本研究實驗疏洪導管彎角，即是建構於此理論，探討疏洪導管彎角對疏洪保水效益的影響，並將經由實驗再與以求證，提出效益比較。

(三)蝶式活門與流水速率關係

管路中水門啓閉以控制流量多寡，有用活栓(cock valve)或蝶式水門(butterfly valve)司局部開關者，均足爲水流的障礙。不獨縮減管之斷面，且生較大損頭，所生損頭難以論證，惟其爲流速水頭的函數則無義議。如第(c)式，式中爲蝶式活門 K_g 實驗係數，如表 6 所示

$h_g=K_g(V^2/2g)$……(c)

表 6. 蝶式活門損頭係數 K_g

ω	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	60°	90°
K_g	0.24	0.52	0.90	1.54	2.51	3.91	6.22	10.8	18.7	32.6	118	∞

資料來源：實用水利學　丁成五

本研究基於上述學理基礎，利用浮球控制進水以穩定基本水位，控制水壓；經由控制蝶式活門(凡爾)角度，製作豪大雨量模擬器設計來穩定雨量變數，最後經由道路疏洪彎管水頭模擬裝置，使整個研究模型建構完成。

柒、研究過程

一、研究方法

研究選以比較性實驗法進行測試探討，1/10 模擬豪大雨發生道路兩側水溝孔總面積、道路疏洪管徑面積與疏洪管徑輸送彎角，利用 Microsoft Excel XP 運算三者對應疏洪保水效益數值變化關係，進而加以比較。

(一)蒐集資料

開始研究前，研究成員與老師共同討論有關豪雨發生道路兩側水溝孔總面積、道路疏洪管徑總面積與疏洪管徑輸送彎角之排水速率的問題，老師引導書面資料與尋求知識的方向，藉助實驗數據佐證本研究主題的可行性。在詳閱資料和所蒐集的資料做問題分析討論後，提出測試實驗的癥結，並思考解決之方法，訂立研究方向，開始研究之探討。

(二)研究設計

以水管、水箱、進水控制器與凡爾模擬降雨系統，並在凡爾上搭配角度盤，並測試各角度配置所對應比例 1/10 的豪雨降雨量；運用 6 分排水管彎成以 15 度倍角的變化疏洪管徑及道路兩側水溝孔總面積，與豪雨速率搭配測其疏洪蓄水速率。

二、研究試體製作

(一)模型設計

1.降雨系統：本系統是將 6 分管徑長 100cm 之 PVC 水管以每 10cm 間距開孔 ϕ 1mm 並聯製作成 2 組，再將 2 組交錯放置，依所屬豪大雨量以 1：10 測試（如圖 6～8 所示）。

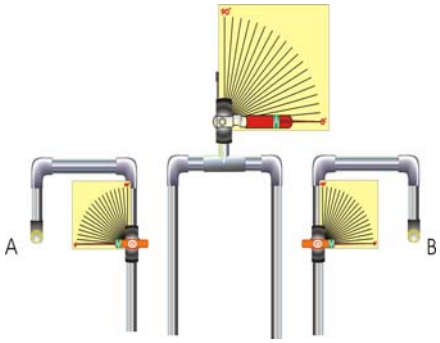


圖 6. 降雨雨量模擬控制器

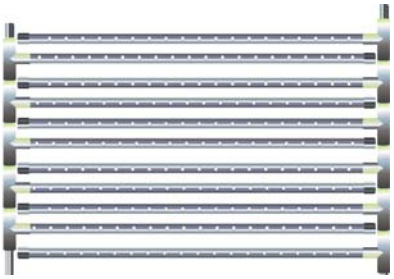


圖 7. 降雨雨量出水器

圖 8. 降雨模擬實驗系統

2.道路模型：依建築法規以 1:10 的規格 60cm×100cm 之模板，洩水坡度 2%（如圖 9）。

圖 9. 60cm ×100cm 道路 1/10 模型

圖 10. 水溝模型

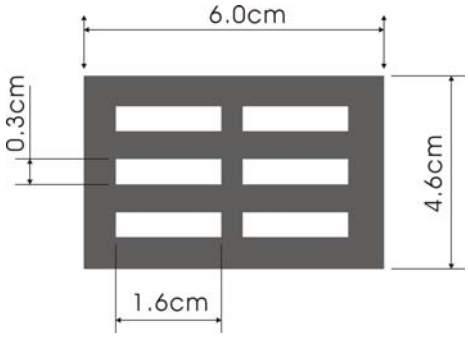


圖 11.水溝孔

3.水溝：規格 6cm×4.6cm×100cm，(如圖 10 所示)。

4.排水系統：6 分 PVC 規格 15、30、45、60 度之水管固定一定長度。

5.水溝孔： 1 小孔面積 1.6cm×0.3cm，總面積 2.88 cm^2（如圖 11 所示）。

(二)研究試體

疏洪彎管角度製作過程（如圖 12~15 所示）。

圖 12. 烘軟 pvc 管

圖 13. 彎曲 15°倍角疏洪管

圖 14. 冷卻塑型

圖 15. 完成彎曲 15°倍角疏洪管

四、研究測試

本次實驗，在降雨時間、降雨量、道路疏洪系統模型，皆採 1/10 比例模式控制與製作。

(一)實驗一

1.測試目標

測試本研究所製作之降雨量模擬器。由6分凡爾及4分凡爾轉動之角度，控制降雨量並與中央氣象局所訂定之單日平均降雨（400mm～1200mm）的1/10是否相互吻合。

2.測試流程

(1)計算[（道路面積x單日平均降雨量）÷24 小時]/10＝所需之水量。

(2)以浮球控制進水流量，使出水與進水的水量相同，達到固定水壓的目的

(3)在凡爾上安裝角度盤，於每次實驗時，轉動六分凡爾或四分凡爾，逐度測試。

(4)實驗時間 6 分鐘結束後，將凡爾關閉（停止降雨），等待保水設施完全將本次降雨之雨量收集，並量測其降雨量是否與計算出的降雨量值相符。

3.模凝降雨凡爾角度實驗數據（如表 7~表 15）

表 7. 1200mm 模擬降雨測試數據

1200mm	
	雨量
實驗一	3005ml
實驗二	3012ml
實驗三	2996ml
實驗四	3001ml
實驗五	2990ml
角度	六分凡爾 22 度 四分凡爾 90 度

表 8. 1100mm 模擬降雨測試數據

1100mm	
	雨量
實驗一	2753ml
實驗二	2747ml
實驗三	2751ml
實驗四	2741ml
實驗五	2752ml
角度	六分凡爾 21 度 四分凡爾 50 度

表 9. 1000mm 模擬降雨測試數據

1000mm	
	雨量
實驗一	2504ml
實驗二	2507ml
實驗三	2496ml
實驗四	2500ml
實驗五	2491ml
角度	六分凡爾 21 度 四分凡爾 40 度

表 10. 900mm 模擬降雨測試數據

900mm	
	雨量
實驗一	2250ml
實驗二	2257ml
實驗三	2249ml
實驗四	2240ml
實驗五	2252ml
角度	六分凡爾 20 度 四分凡爾 58 度

表 11. 800mm 模擬降雨測試數據

800mm	
	雨量
實驗一	2004ml
實驗二	2001ml
實驗三	1998ml
實驗四	2003ml
實驗五	2000ml
角度	六分凡爾 21 度 四分凡爾 25 度

表 12. 700mm 模擬降雨測試數據

700mm	
	雨量
實驗一	1740ml
實驗二	1749ml
實驗三	1752ml
實驗四	1748ml
實驗五	1756ml
角度	六分凡爾 20 度 四分凡爾 90 度

表 13. 600mm 模擬降雨測試數據

600mm	
	雨量
實驗一	1500ml
實驗二	1494ml
實驗三	1497ml
實驗四	1509ml
實驗五	1492ml
角度	六分凡爾 19 度 四分凡爾 90 度

表 14. 500mm 模擬降雨測試數據

500mm	
	雨量
實驗一	1255ml
實驗二	1252ml
實驗三	1248ml
實驗四	1250ml
實驗五	1260ml
角度	六分凡爾 20 度 四分凡爾 30 度

表 15. 400mm 模擬降雨測試數據

400mm	
	雨量
實驗一	1003ml
實驗二	997ml
實驗三	1001ml
實驗四	1004ml
實驗五	1012ml
角度	六分凡爾 18 度 四分凡爾 19 度

4.分析與討論:

由實驗數據呈現出可透過凡爾控制，模擬一日降雨量 400mm~1200mm 實驗環境，並建構出本道路疏洪保水的研究後續實驗發展的可行性。

(二)實驗二

1.測試目標

現行道路兩側水溝孔總面積 17.28cm^2 與疏洪管徑總面積 18.84cm^2 、25.12 cm^2、31.4cm^2 在降下單日平均降雨量 800mm 至 1200mm 對應洩水坡度@15 度保水量之變化。

2.測試流程（如圖 16 所示）

依據測試目標裝置模擬測試進行測試，並量測蓄水量作數據分析比較。

裝設角度水管	轉動凡爾角度
時間到，抽出水桶	量取水量

圖 16. 實驗流程圖

3.測試數據

道路兩側水溝孔總面積 17.28cm^2 與疏洪管徑總面積 18.84cm^2 、25.12cm^2、31.4cm^2 在降下單日平均降雨量 800mm 至 1200mm 對應洩水坡度實驗測試數據分析統計表（如表 16~18 所示）。

表 16. 10 公尺道路兩側水溝孔總面積 17.28 cm^2 對應疏洪管徑總面積 18.84cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	683	1356	1474	1649	1788
30 度	653	1435	1515	1651	1869
45 度	618	1333	1467	1627	1860
60 度	598	1419	1401	1591	1857
75 度	568	1359	1363	1584	1774
雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min 溫度:20~20.5℃					

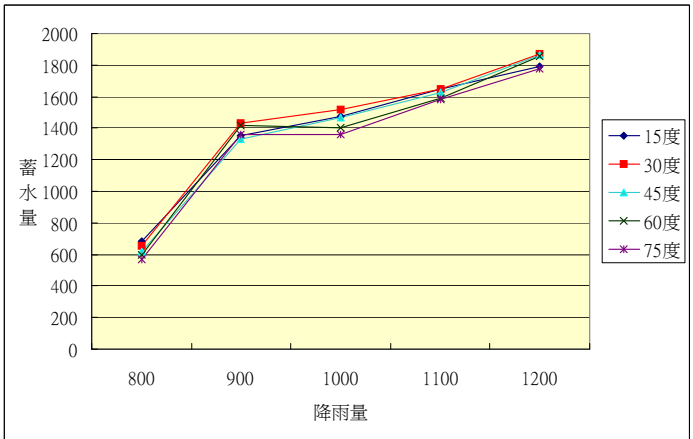


圖 17 @15°兩側水溝孔總面積 17.28cm^2 對應疏洪管徑總面積 18.84cm^2 水平向之蓄水量變化圖

表 17. 10 公尺道路兩側水溝孔總面積 17.28 cm^2
對應疏洪管徑總面積 25.12cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	700	1528	1617	1702	1827
30 度	647	1475	1588	1657	1797
45 度	697	1473	1547	1615	1752
60 度	547	1428	1472	1548	1772
75 度	665	1315	1500	1535	1787

雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min
溫度:20~20.5℃

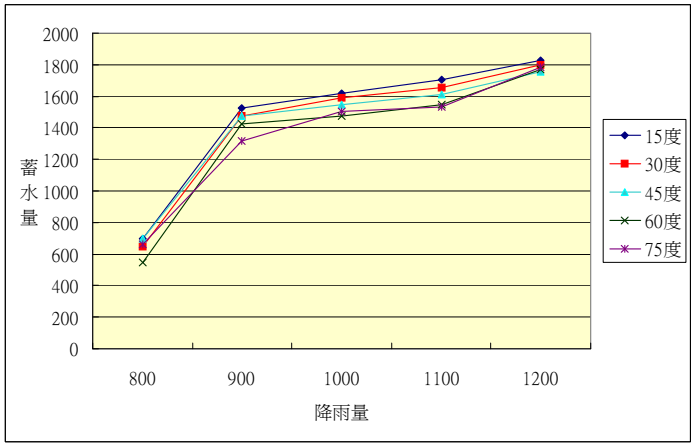


圖 18. @15˚兩側水溝孔總面積 17.28cm^2 對應疏洪管徑總面積 25.12cm^2 水平向之蓄水量變化圖

表 18. 10 公尺道路兩側水溝孔總面積 17.28 cm^2
對應疏洪管徑總面積 31.4cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	669	1463	1555	1845	1950
30 度	744	1427	1555	1809	1889
45 度	677	1330	1583	1790	1883
60 度	677	1343	1485	1703	1840
75 度	701	1313	1428	1773	1810

雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min
溫度:20~20.5℃

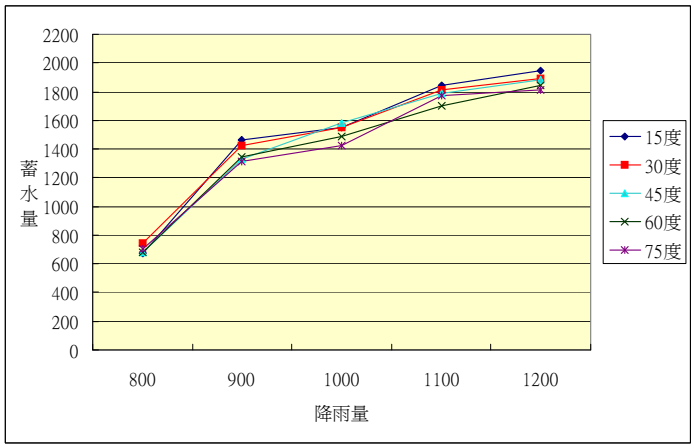


圖 19. @15˚兩側水溝孔總面積 17.28cm^2 對應疏洪管徑總面積 31.4cm^2 水平向之蓄水量變化圖

4.分析與討論:

由以上三個數據圖表，若以現有道路排水溝孔蓋（長 60cm×46cm，排水孔面積 3cm×16cm×6 孔）設置兩側，排水開孔總面積 17.28cm^2 時，排水效能偏低且出現大量積水情形。在地下疏洪管徑總面積 18.84cm^2、25.12cm^2、31.4cm^2，可發現在 1200mm 的降雨量下，洩水坡度角度在 15˚時排水速率爲最好，能顯著收集到的保水量，分別爲 1788ml、1827ml、1950ml。就效益層面思考，利用洩水坡度 15˚搭配管徑總面積 31.4cm^2 每分鐘的排水速率 325ml/min 爲最大。

(三)實驗三

1.測試目的

兩側水溝孔總面積 23.04 cm^2 與疏洪管徑總面積 18.84 cm^2 、25.12 cm^2、31.4 cm^2

在降下單日平均降雨量 800mm 至 1200mm 對應洩水坡度@15 度保水量之變化。

2.測試流程

依據測試目標裝置模擬測試進行測試，並量測保水量作數據分析比較。

3.測試數據

兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 與疏洪管徑總面積 18.84cm^2、25.12cm^2、31.4cm^2 在降下單日平均降雨量 800mm 至 1200mm 對應洩水坡度實驗測試數據分析統計表（如表 19~21 所示）。

表 19　10 公尺道路兩側水溝孔總面積 23.04 cm^2 對應疏洪管徑總面積 18.84cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	868	1533	1633	1945	2053
30 度	810	1473	1603	1914	2003
45 度	790	1475	1513	1880	1993
60 度	690	1373	1445	1853	1985
75 度	658	1315	1455	1895	1968
雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min 溫度:20~20.5℃					

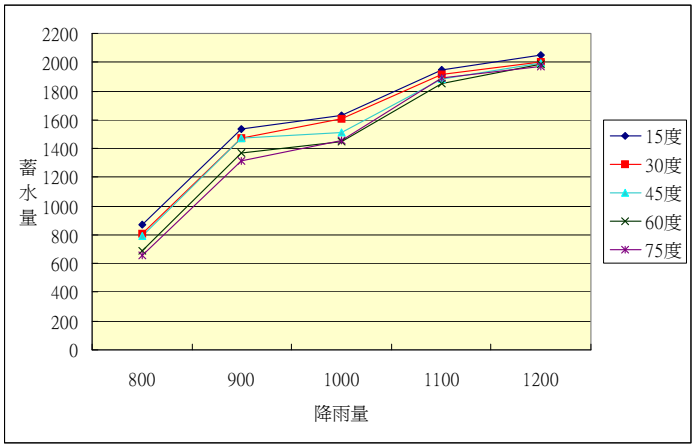


圖 20. @15°兩側水溝孔總面積 23.04cm^2 對應疏洪管徑總面積 18.84cm^2 水平向之蓄水量變化圖

表 20.　10 公尺道路兩側水溝孔總面積 23.04 cm^2 對應疏洪管徑總面積 25.12cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	728	1445	1600	1825	2068
30 度	738	1562	1730	1975	2078
45 度	778	1375	1565	1835	2050
60 度	868	1545	1700	1910	1988
75 度	918	1480	1555	1830	1973
雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min 溫度:20~20.5℃					

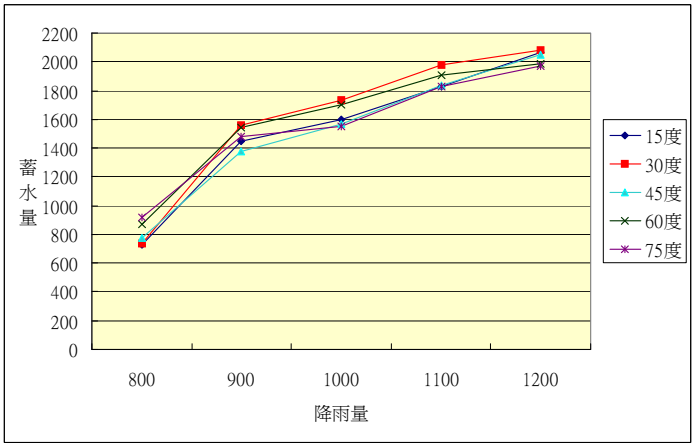


圖 21. @15°兩側水溝孔總面積 23.04cm^2 對應疏洪管徑總面積 25.12cm^2 水平向之蓄水量變化圖

表 21　10 公尺道路兩側水溝孔總面積 23.04cm^2 對應疏洪管徑總面積 31.4cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	807	1572	1685	1888	2117
30 度	842	1462	1677	1853	2017
45 度	792	1445	1672	1893	2022
60 度	767	1535	1665	1853	1942
75 度	847	1545	1632	1834	2022

雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min

溫度:20~20.5℃

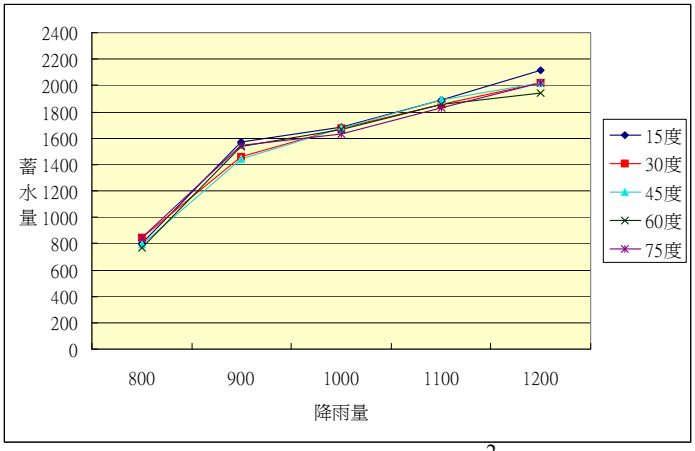


圖 22. @15˚兩側水溝孔總面積 23.04cm^2 對應疏洪管徑總面積 31.4cm^2 水平向之蓄水量變化圖

4.分析與討論:

由以上三個實驗數據中，道路兩側水溝孔總面積 23.04cm^2 的設置，在豪大雨道路表面排水效能已較現有道路所施設改善許多，積水現象較爲之趨緩。模擬道路兩側排水溝內的疏洪管徑面積 18.84cm^2、25.12cm^2、31.4cm^2，可發現在 1200mm 的降雨量下，搭配洩水坡度（彎角）15˚其收集到的保水量最大疏洪效益提升，分別爲 2053ml、2068ml、2117ml。利用洩水坡度 15˚搭配管徑總面積 31.4cm^2 每分鐘的排水速率 353ml/min 爲最大，同時驗證管路曲折損失水頭理論在疏洪管洩水坡度(彎角)發生作用，保水進水流速與鉛直線彎角愈大則流速愈快，所收集到的保水量亦依次遞增。對於疏洪管洩水坡度(彎角)與保水進水流速的關聯性，研究實驗(四)將在進行實驗觀察與紀錄在行分析歸納。

(四)實驗四

1.測試目標：

兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 與疏洪管徑總面積 18.84cm^2、25.12cm^2、31.4cm^2 在降下單日平均降雨量 800mm 至 1200mm 對應洩水坡度@15 度蓄水量之變化。

2.測試流程：

依據測試目標裝置模擬測試進行測試，並量測保水量作數據分析比較。

3.測試數據

兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 與疏洪管徑總面積 18.84cm^2、25.12cm^2、31.4cm^2 在降下單日平均降雨量 800mm 至 1200mm 對應洩水坡度實驗測試數據分析統計表（如表 22~24 所示）。

表 22　10 公尺道路兩側水溝孔總面積 28.8 cm^2 對應疏洪管徑總面積 18.84cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	850	1744	1929	2075	2386
30 度	945	1630	1713	1903	2355
45 度	860	1433	1733	1874	2170
60 度	860	1680	1813	1917	2250
75 度	890	1573	1665	1805	2090

雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min
溫度:20~20.5℃

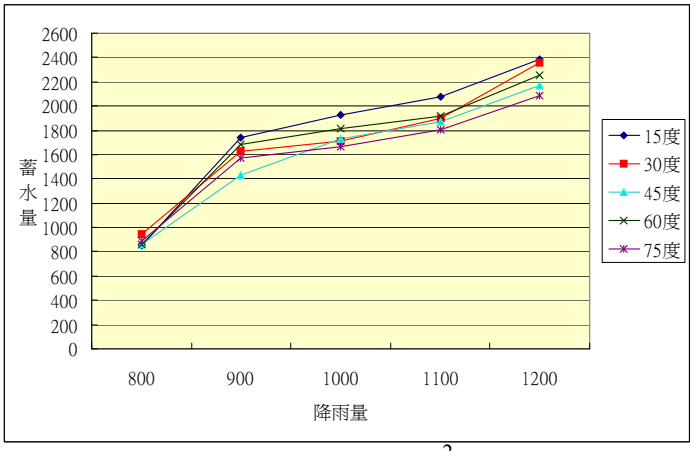


圖 23. @15°兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 對應疏洪管徑總面積 18.84cm^2 水平向之蓄水量變化圖

表 23　10 公尺道路兩側水溝孔總面積 28.8 cm^2 對應疏洪管徑總面積 25.12cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	1297	2232	2332	2483	2567
30 度	1237	2143	2295	2465	2492
45 度	1234	2140	2290	2413	2552
60 度	1247	2087	2177	2393	2517
75 度	1182	2097	2145	2393	2527

雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min
溫度:20~20.5℃

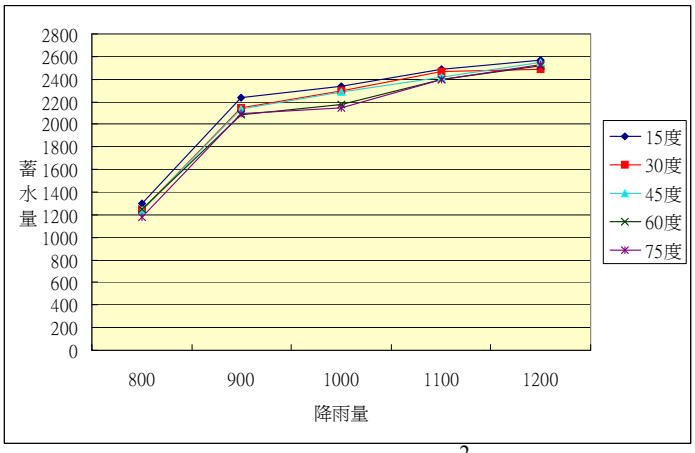


圖 24. @15°兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 對應疏洪管徑總面積 25.12cm^2 水平向之蓄水量變化圖

表 24　10 公尺道路兩側水溝孔總面積 28.8 cm^2 對應疏洪管徑總面積 31.4cm^2 水平向比較

雨量 / 角度	800	900	1000	1100	1200
15 度	1245	2300	2305	2700	2922
30 度	1245	2309	2330	2675	2812
45 度	1345	2235	2230	2640	2707
60 度	1270	2223	2255	2617	2740
75 度	1285	2211	2235	2620	2697

雨量單位:mm/每日；排水速率單位:ml/6min
溫度:20~20.5℃

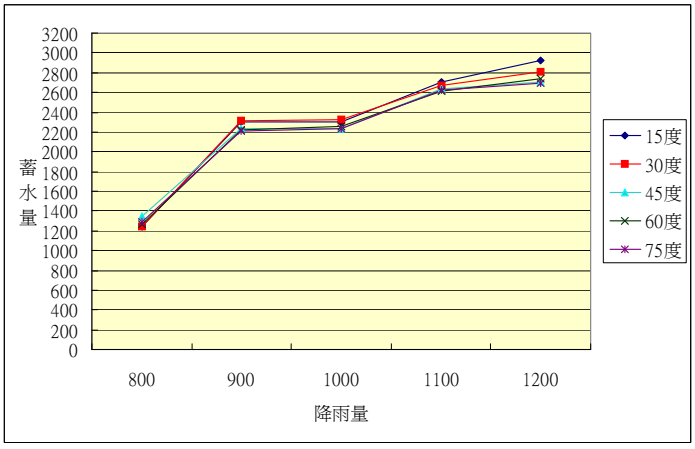


圖 25. @15°兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 對應疏洪管徑總面積 31.4cm^2 水平向之蓄水量變化圖

4.分析與討論:

由以上三個實驗數據中，道路兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 的設置，在豪大雨道路表面排水效能更優於 23.04cm^2 的規劃施設，積水現象更加減緩近乎全爲疏洪裝設所排除；但實驗觀察過程中，發現現行坡度 2% 道路法規之排水速度稍呈不足，但此不在本研究範疇，故不作分析探討。模擬道路兩側水溝內的疏洪管徑總面積由 18.84cm^2、25.12cm^2、31.4cm^2，可發現在 1200mm 的降雨量下，搭配洩水坡度（彎角）15°其收集到的保水量最大疏洪效益更加提升，分別爲 2386ml、2567ml、2922ml。利用洩水坡度 15°搭配管徑總面積 31.4cm^2 每分鐘的排水速率 487ml/min 爲最大，同時再次驗證管路曲折損失水頭理論在疏洪管洩水坡度(彎角)發生作用，保水進水流速與鉛直線彎角愈大則流速愈快，所收集到的保水量亦依次遞增。

綜合實驗二至實驗四的數據分析，經研究分析歸納，可將豪大雨量 800mm 至 1200mm 降雨模擬器，與道路疏洪導管彎角的保水量推算出近似於線性排水速率方程式爲：

15 度疏洪管導管彎角線性排水速率方程式 $y=0.0274^{1/2}x-2.53$，±1……(A)

30 度疏洪管導管彎角線性排水速率方程式 $y=0.0270^{1/2}x-2.66$，±2……(B)

45 度疏洪管導管彎角線性排水速率方程式 $y=0.0283^{1/2}x-1.87$，±2……(C)

60 度疏洪管導管彎角線性排水速率方程式 $y=0.0282^{1/2}x-1.44$，±2……(D)

75 度疏洪管導管彎角線性排水速率方程式 $y=0.0281^{1/2}x-1.35$，±1……(E)

通用疏洪管導管彎角線性排水速率方程式 $y=0.02910^{1/2}x-5.45$，±2……(F)

(註 y：排水速率 ml/min　x：蓄水量 ml)

其中(A)~(E)爲單一角度的線性方程式，(F)爲通用線性排水速率方程式。

捌、結論

本研究在基礎理論能量守恆、白努利原理及管路曲折損失水頭理論基礎下建置疏洪道路保水模型，由實驗(一)中可以測試出降雨量 1200mm 至 400mm 與凡爾角度的關係。由於 6 分凡爾與 4 分凡爾兩個相互搭配下，1200mm 至 400mm 各以一組控制角度模擬控制，可以將本研究的降雨模擬測試而出。由於實驗(一)建置，使此研究基礎更具完整性。

本研究由模擬實驗（二）測試結果，一般道路兩側水溝孔總面積 17.28cm^2，在面臨豪大雨完時，在進行實驗測試時，都有積水的現象，無法達到排水的效果。道路上增設排水溝孔總面積至 23.04cm^2 時，其積水有呈現減少的現象，增設至 28.8cm^2 其積水則可全數排除，因此在未來道路施作上作爲參考。

從由實驗（二）到實驗（四）測試過程與數值，可以顯著歸納出：

一、兩側水溝孔總面積 17.28cm^2 與疏洪管徑總面積 31.4cm^2 在 1200mm 的相輔設置情況下可達到最大蓄水量 1950ml。

二、兩側水溝孔總面積 23.04cm^2 與疏洪管徑總面積 31.4cm^2 在 1200mm 的相輔設置情況下可達到最大蓄水量 2117ml。

三、兩側水溝孔總面積達 28.8cm^2 與疏洪管徑總面積 31.4cm^2 在 1200mm 的相輔設置情況下可達到最大效益蓄水量 2922ml。

並且從實驗過中了解能量守恆雖爲簡易物理觀念，卻給本研究成員於發生實驗困頓時最好的解決問題思考；對管路曲折是否影響著保水進水流速，在實驗(三) 、(四)中之管路曲折損失水頭理論現象顯著呈現，對道路疏洪保水設計的土木工程施作有著參考價值。

由實驗（四）兩側水溝孔總面積 28.8cm^2 與疏洪管徑總面積 18.84cm^2、25.12cm^2、31.4cm^2，在降下單日平均降雨量 800mm 至 1200mm 的蓄水量平均都有顯著的增加。由 1/10 模擬實驗測試所得疏洪管徑總面積 31.4cm^2，洩水坡度 15°每分鐘的排水速率 487ml/min 爲最大，其蓄水量爲 2922ml，因此本研究團隊可以近似推算出每日實際 1200mm 與實際 10m×6m 道路環境條件下，保水設施可集水爲約 2922 公升，足以提供臺北市 8 人每日 330 公升的需求。

此實驗構想從繁榮都市到路下設置疏洪保水池，不但能有效地解決豪大雨時的道路積水問題，更能解決興建水庫的爭議，在都會區枯水時期能及時擔任用水重責。此研究之構思除

利用現有道路外，若結合各級學校操場下的空間增設地下大型集中疏洪保水池與淨化池，以區爲單位，將各級學校的地下保水池管路與區自來水廠連接，能夠在枯水期供應該地區的民生用水、消防與行道樹的灌溉等許多用途。若於豐水期時，則可將保水池內的水，供應於校園內部的使用，如：廁所用水、灌溉花草及樹木，若都市及校園內的植物灌溉無虞，使得花草及樹木欣欣向榮，即可降低都市熱島效應，達到國際綠色都市的目的。

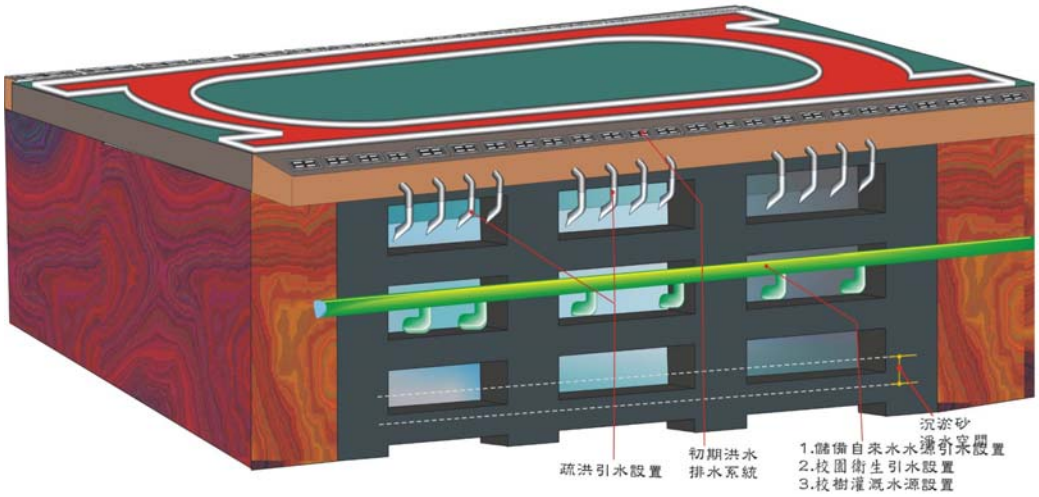


圖 26 校園操場設置疏洪保水池示意圖

玖、參考文獻

一、參考書籍

(一) 俞川心 (1994)。台灣是座氣象博物館。台北縣：果實出版社。

(二) 王時鼎　(2004)。台灣的颱風。台北市：中興工程科技研究發展基金會。

(三)王茂齡　(1987)。輸送現象。台北縣：高立圖書有限公司，初版。

(四)丁成五　(1980)。實用水利學。台北市：大中國圖書公司。

(五)White 原著，范德仙 編譯，流體力學。台北市：全華科技圖書股份有限公司。

(六) 曾守恆、賴江漢、賴岳珍(2007)。台科大進階物理(力學篇)。台北市：台科大圖書。

(七) 曾守恆、賴江漢、賴岳珍(2007)。台科大進階物理(運動篇)。台北市：台科大圖書。

二、參考期刊

(一)天下雜誌 ，第 428 期，民國 98 年 8 月 12 號。

(二)楊偉甫、葉純松等(2010)。「曾文水庫越域引水工程於莫拉。地工技術第 126 期，克颱風後所面臨之課題」。台北市：財團法人地工技術研究發展基金會，32。

(三)歐陽梅芬(2011)。「暖化悲歌 南半球洪患肆虐 反聖嬰加劇災情 重創澳洲巴西南非」。台北市蘋果日報。

(四)張清源(2009)。 ，「莫拉克挹注曾文水庫進水量破紀錄」。高雄市：台灣新聞。

(五)修瑞瑩(2011)。「水庫淺碟化 全台警訊」。台北市：聯合報。

三、網路參考資料

(一) 內政部營建署(2003 年 3 月)。市區道路人行道設計手冊 。

http://w3.cpami.gov.tw/district6/district7.htm 。

(二)中廣新聞(2003)。「澳洲水災至少 8 死 72 失蹤」 。

http://www.epochtimes.com/b5/11/1/11/n3139020.htm 。

【評語】091201

1. 都市暴雨排洪為目前台灣地區許多都會區過度開發後所亟需面對與因應之課題，研究團隊能針對此議題開發解決因應之工程技術頗具前瞻性。
2. 台灣地區一般都市排水採用的設計標準是 5～10 年重現期之時暴雨。建議後續可從時暴雨觀點設計實驗，先從不同集水面積觀點探討所需之滯洪空間與規劃之實務可行性。
3. 所引述之流體力學理論若能實際應用於後續實驗數據之分析則結果將更具科學性佐證。
4. 未來可思考從下水道所收集之雨水如何快速排入滯洪空間，利用疏洪彎管是否足以快速排洪，是否有其他水工結構可更快速疏洪？
5. 道路泥沙若進入滯洪空間，將會減損滯洪容量且後續不易清除，在進入滯洪空間前應有沉砂池以攔蓄道路雨水夾帶之泥沙與雜物。