

大安森林公園集水排水 與低衝擊開發設施之研究

成果報告

委託單位：財團法人大安森林公園之友基金會

執行單位：星亞文化有限公司

中華民國 104 年 12 月 10 日

目錄

摘要.....	iii
壹、前言	1
貳、工作項目	7
參、結果與討論	8
肆、結論與建議	40
參考文獻	41

圖目錄

圖 1 錦安公園的透水鋪面、雨水花園基地鳥瞰.....	3
圖 2 大安森林公園地形圖.....	4
圖 3 台北市雨水下水道地圖(大安森林公園部分).....	5
圖 4 大安森林公園與雨水下水道套疊圖.....	6
圖 5 排水系統地圖示意(來源:SWMM 手冊).....	9
圖 6 大安森林公園劃分集水面積(catchment area)工作流程.....	12
圖 7 GIS 點圖層(由 AutoCAD 測點轉換).....	13
圖 8 GIS 網格圖層(2m×2m).....	14
圖 9 GIS 等高線圖層	15
圖 10 GIS 水流的流向圖層	16
圖 11 GIS 集水分區分布圖層	17
圖 12 GIS 可能的水流匯集點	18
圖 13 套繪雨水下水道集水井與管線.....	19
圖 14 套繪 Google 衛星空拍圖.....	20
圖 15 利用 BASINS 軟體將 ArcGIS 轉 SWMM 相容格式.....	21
圖 16 SWMM 模式修改管線與陰井參數	21
圖 17 排水模擬整體工作流程.....	22
圖 18 一小時暴雨 5 年重現期降雨組體圖.....	24
圖 19 逆坡管線位置.....	25
圖 20 降雨組體圖(兩年回歸期、降雨延時一小時).....	26
圖 21 大安森林公園在降水條件下可能溢淹的位置.....	27
圖 22 降雨組體圖(25 年回歸期、降雨延時一小時).....	28
圖 23 大安森林公園在降水條件下可能溢淹的位置.....	29
圖 24 納莉颱風時雨量歷線.....	30
圖 25 大安森林公園在降水條件下可能溢淹的位置.....	31
圖 26 出流孔(out11)排水路示意圖	34
圖 27 草溝(乾式溝)配置圖(相當於線性雨水花園).....	35
圖 28 不同坡度草溝(濕式溝)出流歷線比較.....	36
圖 29 不同回歸期下(1 小時延時)洪峰流量減少比率	37
圖 30 設置不同 LID 之出流歷線比較.....	38
圖 31 不同回歸期下(1 小時延時)洪峰流量減少比率	38
圖 32 新設生態池對排水影響(納莉颱風降雨歷線).....	39

摘要

本計畫擬藉由暴雨逕流管理模式(SWMM)建構大安森林公園排水系統的模型，掌握集水排水現象，對於將來地形地貌、排水路的改善情境方案，經由模式模擬做預測，以了解在不同類型的降雨事件，排水的逕流歷線變化。另一目的在於建構排水模型後，引低衝擊開發(LID)單元的草溝、透水鋪面等規劃，並以數值模式 SWMM 模擬，以了解其不同條件下的排水出流歷線。

關鍵詞：暴雨逕流管理模式(SWMM)、大安森林公園、低衝擊開發、排水、歷線

壹、前言

(一)計畫緣由

本計畫擬對大安森林公園的集水排水現象，進行調查分析，以利將來規劃的生態池等情境方案進行模擬，掌握其在極端水文事件下的反應。

(二)文獻回顧

目前國內對於都市暴雨管理之解決辦法大致上仍然停留在雨水下水道排水的觀念，利用雨水下水道系統將地表逕流快速傳導排入下游排水設施，屬於都市暴雨管理中水文循環末端的逕流處理。

低衝擊開發 LID 之概念則不同，其在於利用貯留、滲透等工程方式，將降雨留置於基地內以達到保水、降低洪峰、延長集流時間之目的。目前台灣已將此種基地保水之概念納入建築技術規則，其各項設施之設計及操作方式，則仍處於持續發展階段。本團隊於 2014-2015 年，在台大水工試驗所進行各項的 LID 的水工模型試驗(包含綠屋頂、草溝、透水磚、雨水花園、樹箱等)，本研究認為對於公園的保水效果以透水鋪面、雨水花園較為理想，基此，曾在台北市大安區麗水街的錦安公園，實施透水鋪面、雨水花園等設施(圖 1)。

臺灣大學徐硯庭 (2013)，運用 SWMM 模式探討低衝擊開發設施大量運用於都市化地區的減洪效應。該研究以中永和地區為例，使用民國 66、85 以及 95 年該區土地利用使用分區為基礎，

分別採用貝蒂(1972)、賀伯(1996)以及納莉(2001)之降雨量，研究低衝擊開發導入後的減洪效果。臺灣大學張富銘(2015)，以壓克力砂箱進行低衝擊開發單元的試驗，進行透水鋪面、雨水花園、綠屋頂、雨水桶、植草溝、樹箱等試驗。

王雯雯(2012)以深圳市光明新區為研究區域，根據實地監測資料，建立暴雨雨水管理模式(SWMM)，模擬都市化前後和加入 LID 設施(鋪設透水磚和下凹式綠地)等不同情境的水文過程，評估城市化對流域水文過程的影響，對於 LID 效用的實地試驗，在國外有許多案例，例如綠屋頂對直接逕流量的減少比例，因地處位置有些不同，但平均大約為 63% (Dietz, 2007)。進行過綠屋頂監測的案例不少，如瑞典的 Augustenborg (Bengtsson et al. 2005)、美國的奧瑞岡 Oregon (Hutchinson et al. 2003)、密西根 Michigan (Monterusso et al. 2004)、北卡 North Carolina (Moran et al. 2004) 等地。

美國康乃狄克 Waterford 的 Jordan Cove 都會集水區計畫，曾進行傳統雨水管理設施與 LID 設置的比較。其 LID 設施包含一連串的草溝、生態滯留單元、透水鋪面等，對於傳統暴雨排水設施，觀測到逕流與污染物均大幅增加；但對於 LID 的排水區域，逕流量與氮磷等水質項，幾乎沒有什麼增加 (Dietz and Clausen 2007)。



圖 1 錦安公園的透水鋪面、雨水花園基地鳥瞰

(三)蒐集圖資資料

本計畫收集大安森林公園地形圖，為 AutoCAD 格式地圖(圖 2)，另搜集台北市雨水下水道地圖(圖 3)，圖中記載大安森林公園部分與週邊排水出口，將下水道地圖與現有的地形圖相互套疊，如圖 3。



圖 2 大安森林公園地形圖

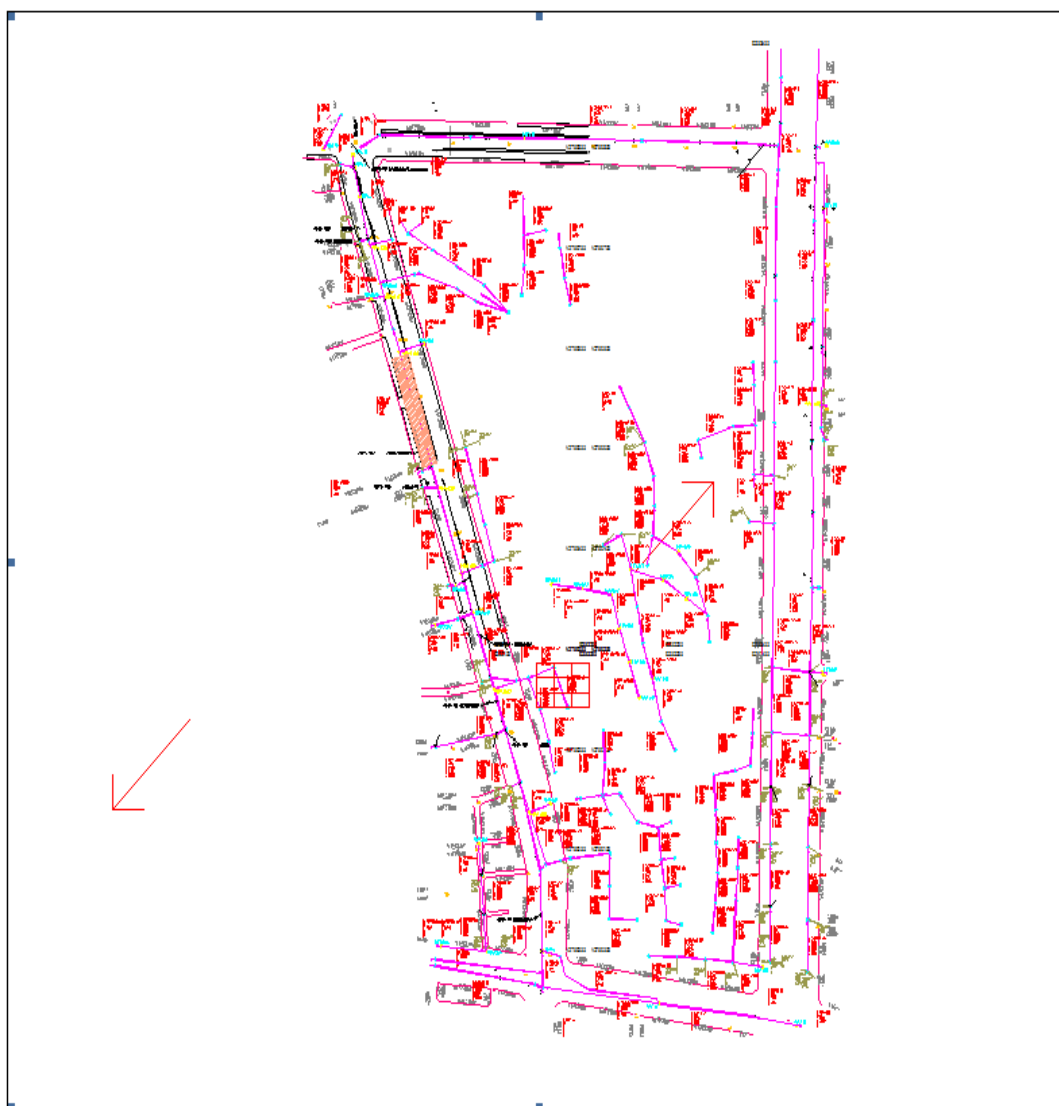


圖 3 台北市雨水下水道地圖(大安森林公園部分)

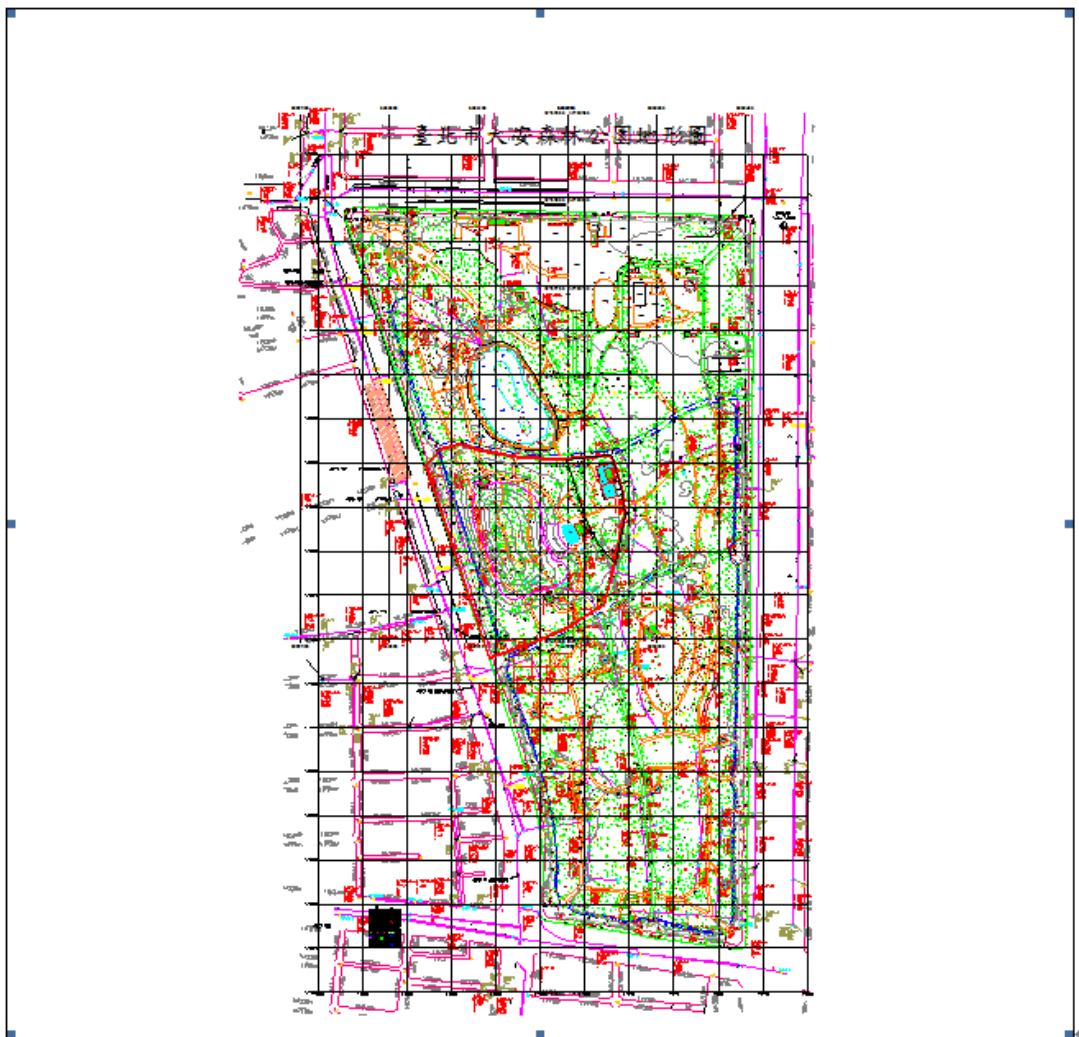


圖 4 大安森林公園與雨水下水道套疊圖

貳、工作項目

1. 蒐集整理相關資料
2. 建立現有排水系統之暴雨逕流管理模式
3. 低衝擊開發 LID (Low impact development)單元規劃
4. 情境方案的排水模擬

參、結果與討論

1. 建立排水系統之暴雨逕流管理模式

本計畫擬建立大安森林公園的 SWMM 模式應用，暴雨逕流管理模式(SWMM)是美國環保署所開發之模式，其可模擬集水區或都市內因降雨量產生逕流，以及進入對下水道排水系統後所衍生之水量變化與流動情形，可結合雨水下水道、污水下水道、滯留設施、雨水貯留、LID 設施及其他相關系統，可應用於都市及非都市地區，是目前廣泛應用於世界各地的雨水逕流規劃、分析和設計的水文和水力系統。

SWMM 包含有水文資料輸入模組(Hydrology Module)，以及水力資料輸入模組(Hydraulic Module)，各模組分別包含不同的組件如雨量站(Rain Gages)、集水區(Subcatchments)、蓄水設施(Storage Units)、管路(Conduits)、抽水機(Pump)、孔口(Orifices)、堰(Weirs)、出流口(Outfalls)等等，而且 SWMM 內設 LID 設施編輯器(LID Control Editor)，其為附屬於集水區(Subcatchments)以下的一個編輯設定介面，經此介面輸入各項 LID 之表層、土壤層或蓄水層尺寸與參數後，即可完成 LID 設施的建置，並用以模擬得到 LID 出口逕流歷線。應用在大安森林公園的工作執行方法如下：

(1)建立 SWMM 排水系統

進行暴雨逕流管理模式 SWMM 的模擬，要先建立排水系統地圖 (drainage map)，例如圖 5 為 EPA 手冊中的案例，範圍不大但是個涵蓋基本單元的基地排水地圖。

此項工作包含標繪集水單元(storage units)位置、下水道涵管 (conduit)位置、連接點(junction)位置、排水出口(outfall)位置，利用台北市政府下水道位置高程等圖資，進行判識。

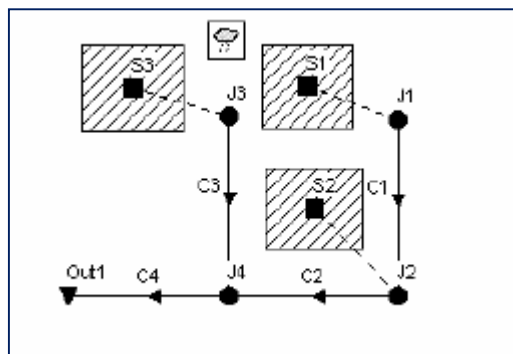


圖 5 排水系統地圖示意(來源:SWMM 手冊)

(2)集水單元之集水區面積

SWMM 中分成許多集水單元，研究中最繁重的工作當屬集水區面積的判定。過去的研究案例，集水單元的面積判定經常流於主觀判斷，由於大安森林公園地形高低變化多樣，本研究利用地理資訊系統 (GIS)應用程式 ArcGIS 工具群組，藉科學化的分析工具，進行計算。

分析的流程如圖 6，包含從地形圖測點轉換成 GIS 可用的圖層步驟，另外是將台北市雨水下水道地圖轉換成可套疊在 GIS 的點線圖

層。

以下說明面積劃分的工作細節與目前初步成果。利用蒐集的大安森林公園地形圖(AutoCAD 格式)，利用 ArcGIS 工具，將 AutoCAD 圖面測點轉成 GIS 點圖層(point shape file)(圖 7)，再利用點圖層轉換為網格(2m×2m)圖層(圖 8)，藉由網格建立等高線圖(圖 9)，再計算水流的流向(圖 10)，後切分成許多小型集水分區(圖 11)，這些集水分區圖可用以進一步判斷可能的水流匯集點(圖 12)。由於測量資料有其空間分布細緻的限制，在處理過程中，GIS 工具所計算出的結果，若有不合理處，需要逐一進行檢視後人工手動調整，最後再與台北市下水道圖相套繪。

將台北市下水道圖的 AutoCAD 格式，利用 GIS 工具轉換成點、線圖層，其中集水井點位轉成點圖層、管線轉成線圖層，再套疊到水流流向圖層，如圖 13。為確認圖資作法正確，再匯入 Google 衛星空拍圖作為底圖，初步檢視套疊情形，大致良好(如圖 14)。

接下來利用 BASINS 軟體將 ArcGIS 資料，轉 SWMM 相容格式，以作模擬前的準備，如圖 15。相關資料匯入 SWMM，需要人工修改管線與陰井參數，作業畫面如圖 16，管線資料由中華顧問公司提供。陰井參數則皆設為直徑 60 公分，深度則由大安森林之友基金會提供之地表高程與中華顧問公司提供之陰井底部高程相減。

從數值地形，到地理資訊系統 ArcGIS 整理子集水區畫分，到匯入 SWMM 模式，整體工作流程如圖 17。

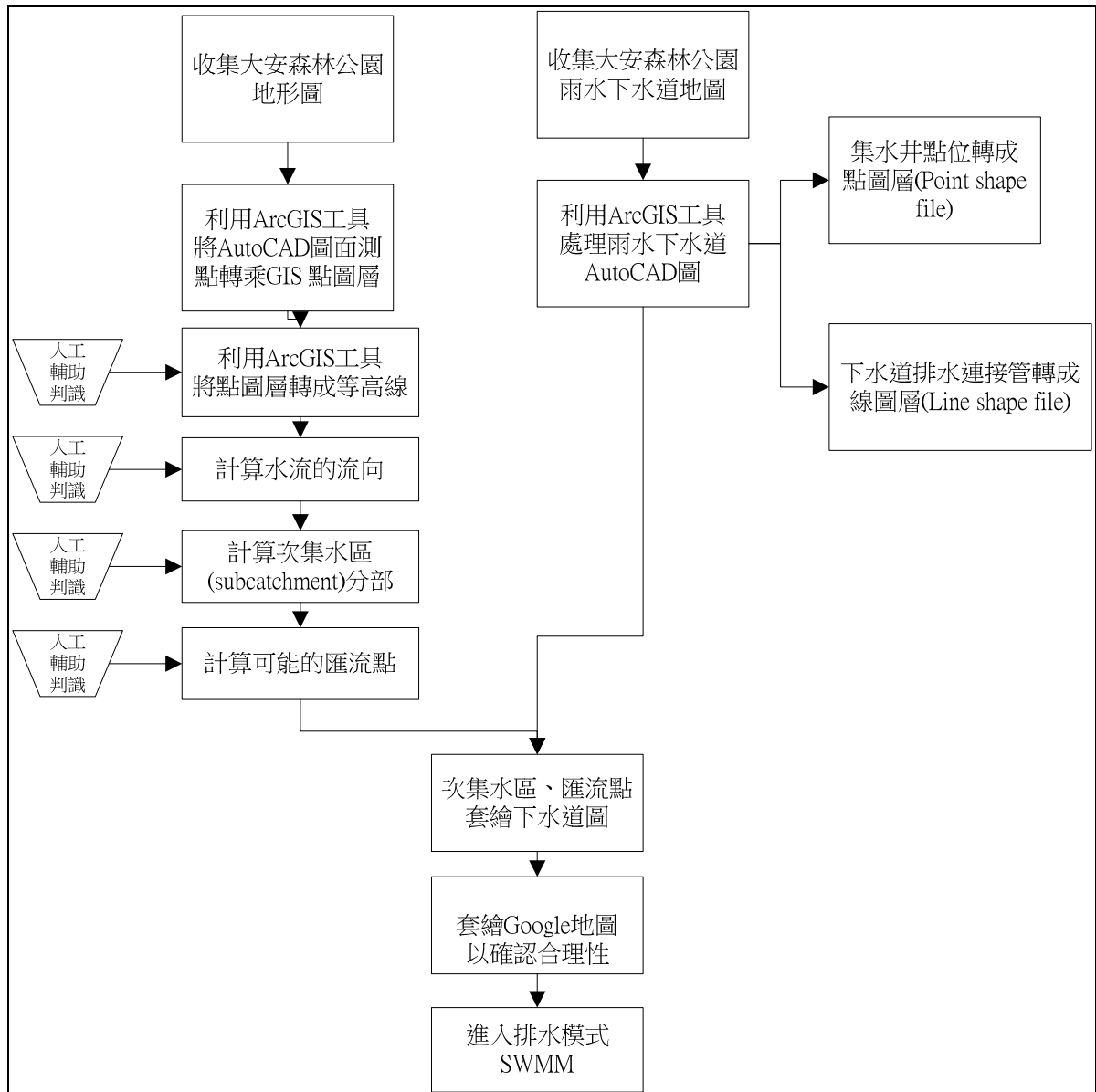


圖 6 大安森林公園劃分集水面積(catchment area)工作流程

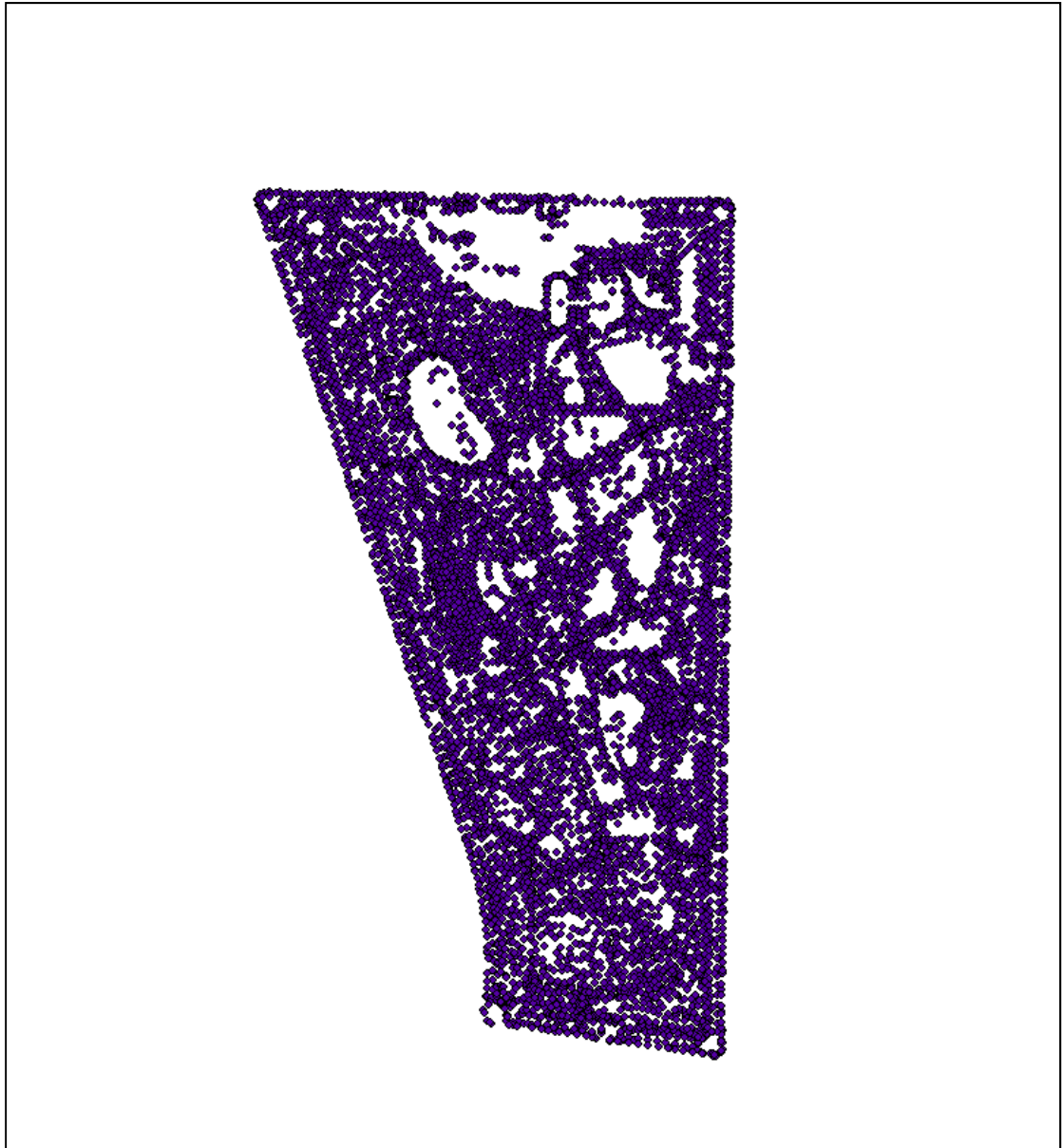


圖 7 GIS 點圖層(由 AutoCAD 測點轉換)

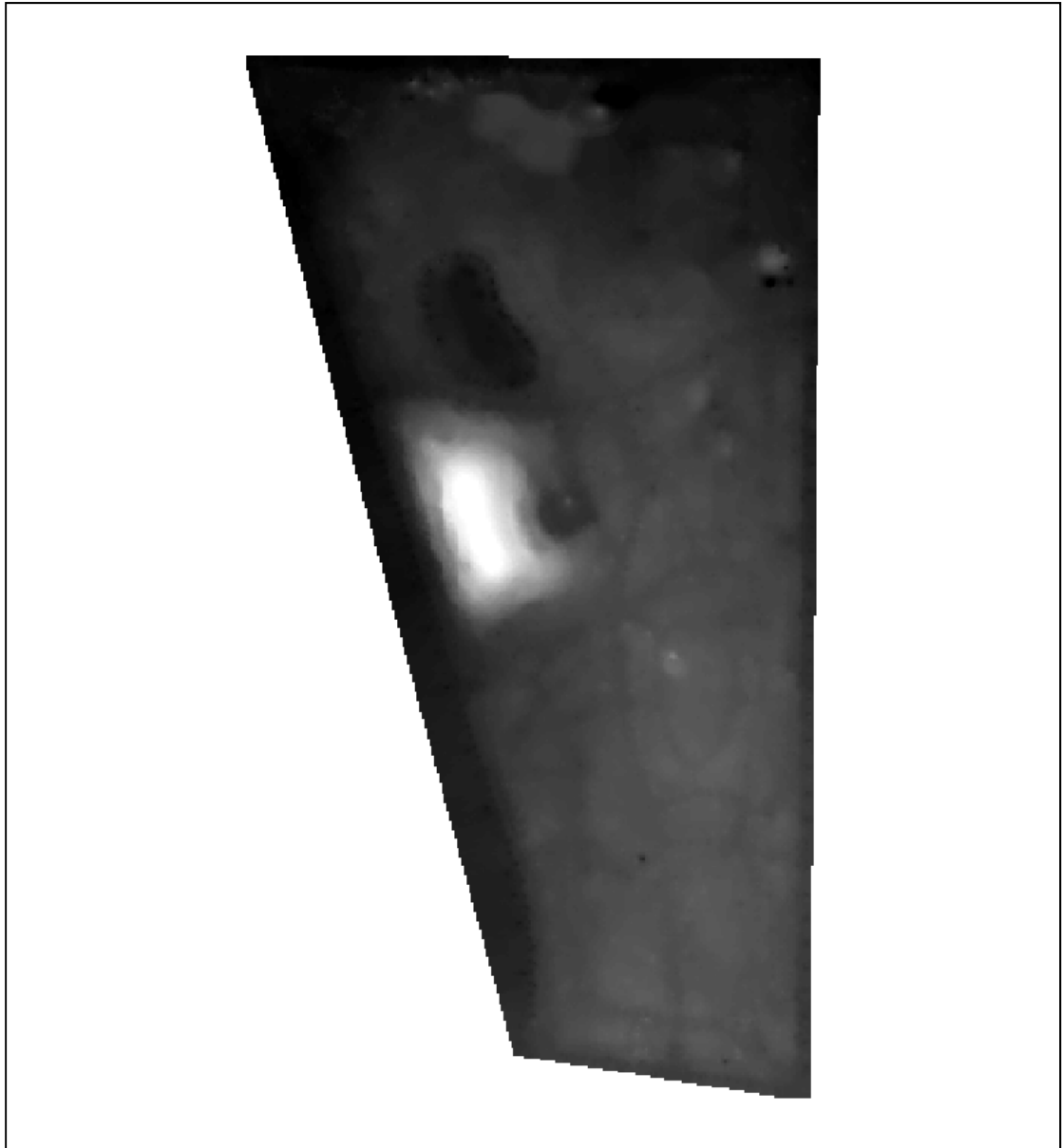


圖 8 GIS 網格圖層(2m×2m)

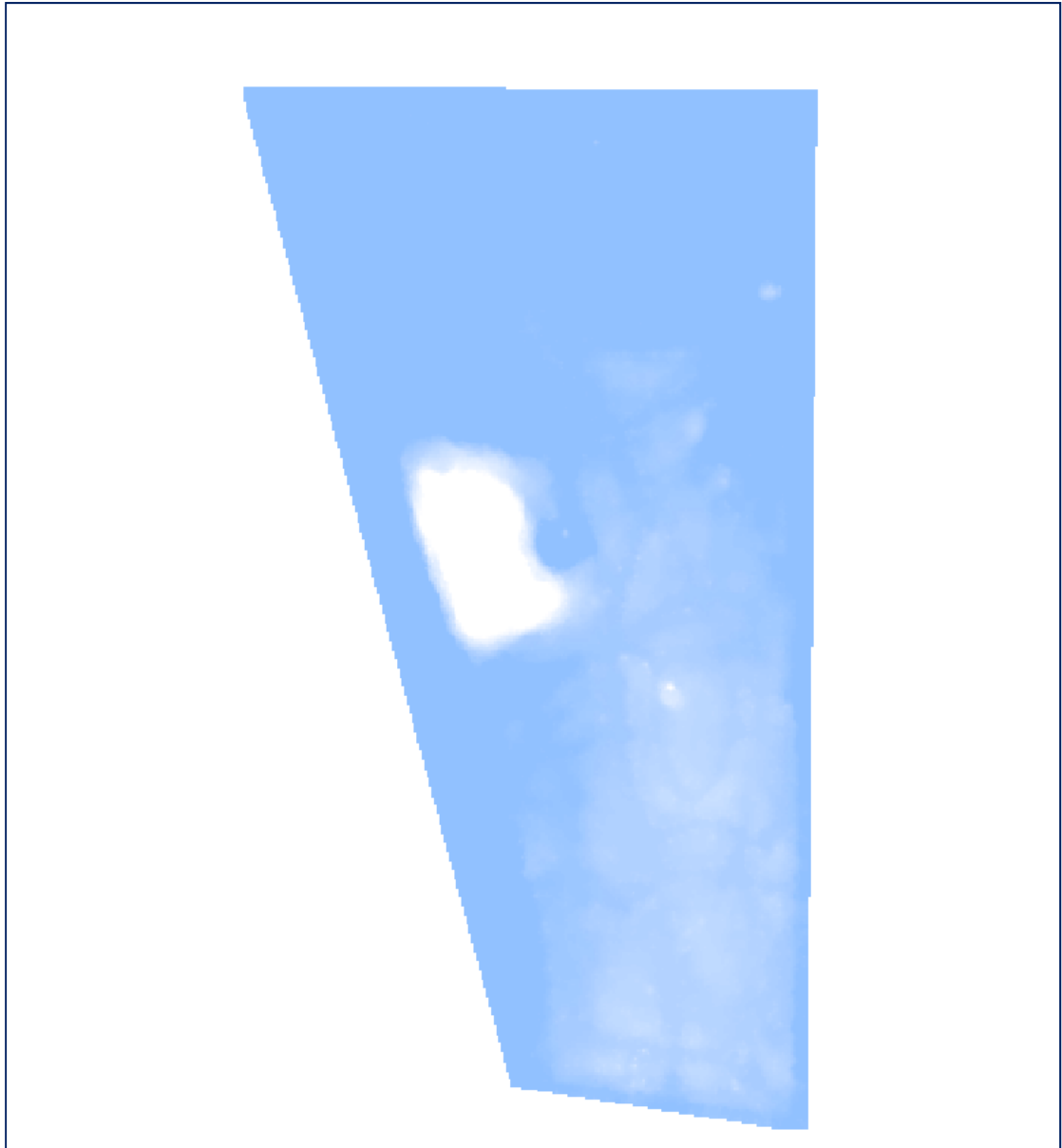


圖 9 GIS 等高線圖層

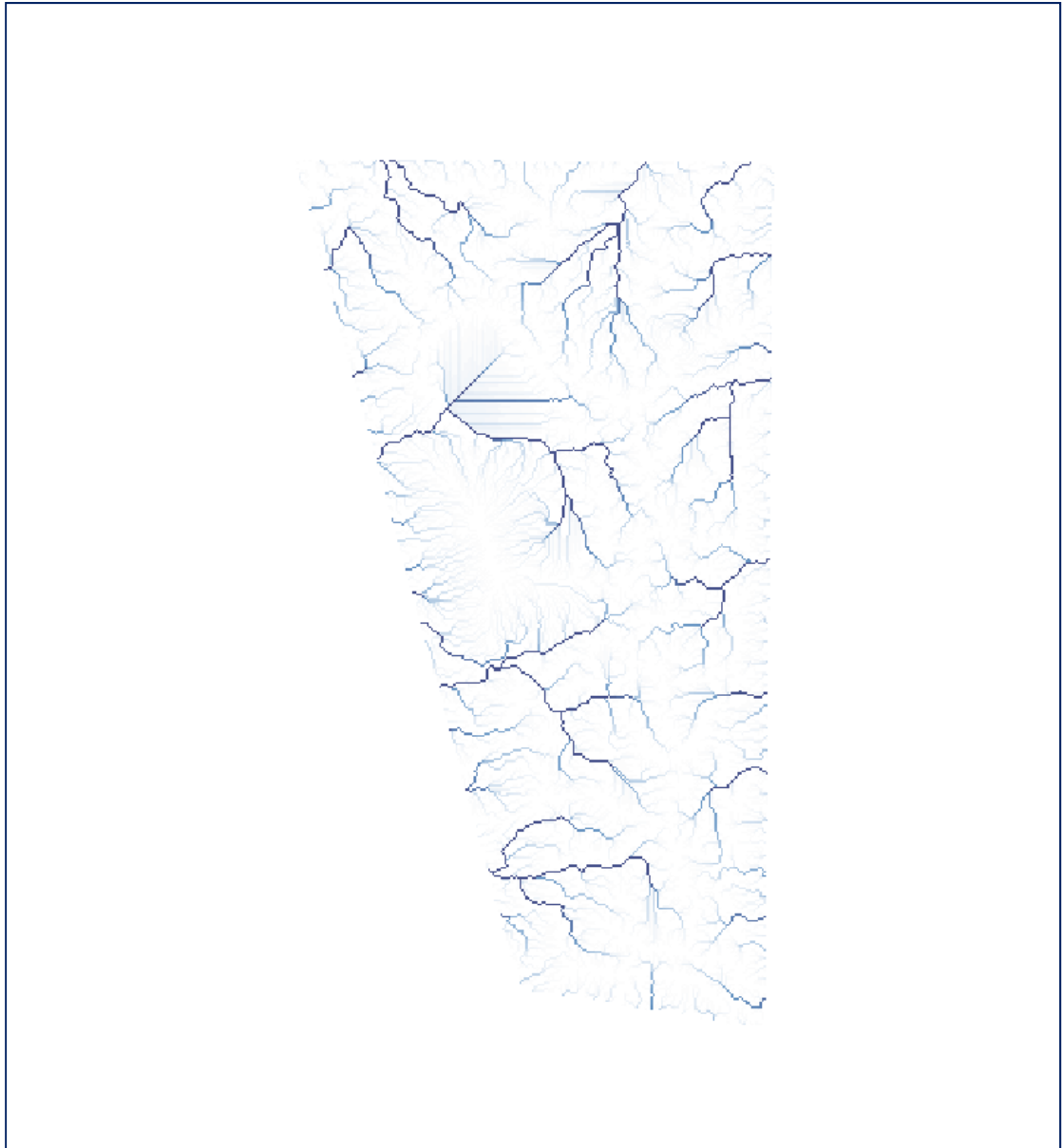


圖 10 GIS 水流的流向圖層

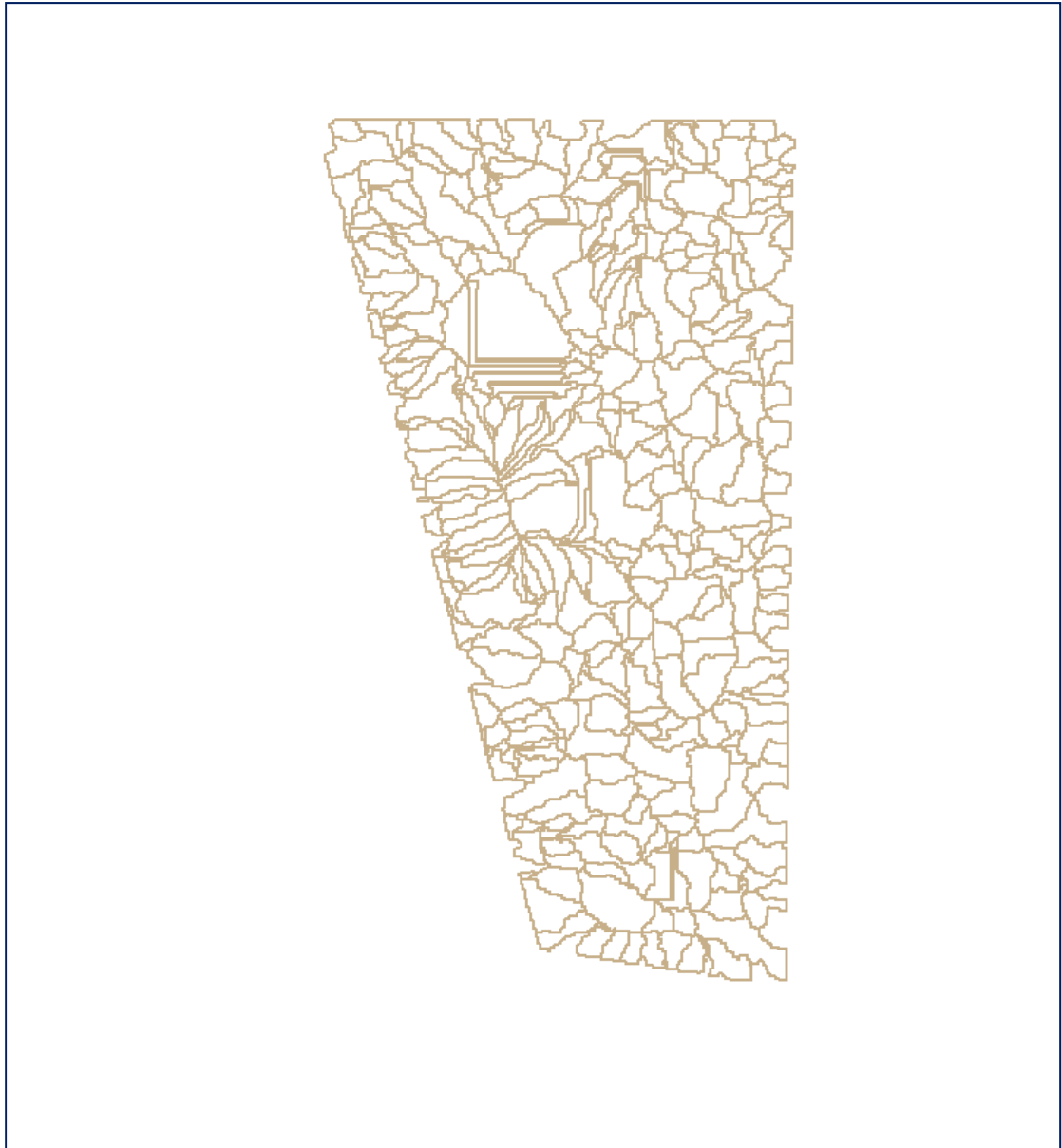


圖 11 GIS 集水分區分布圖層

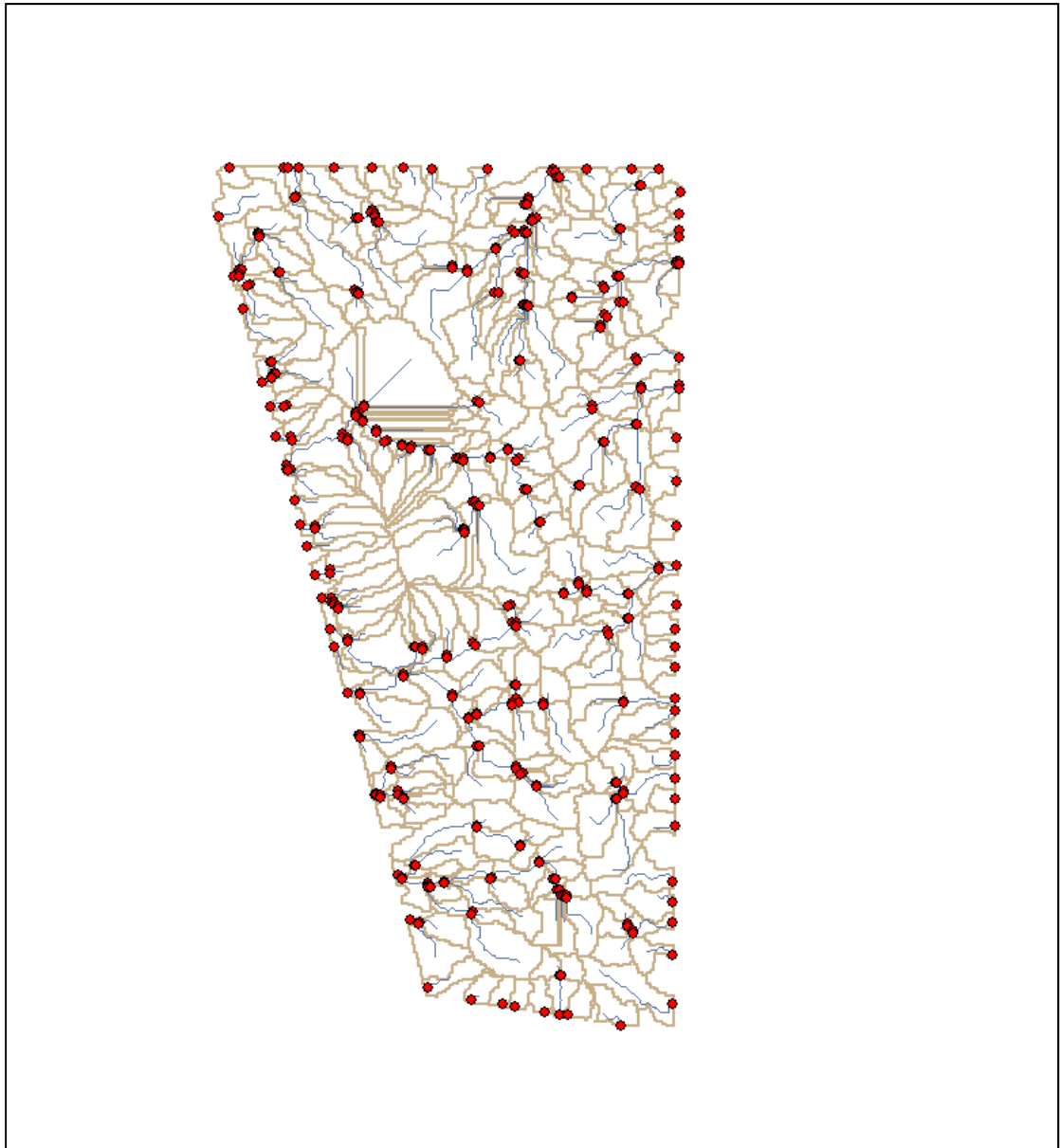


圖 12 GIS 可能的水流匯集點

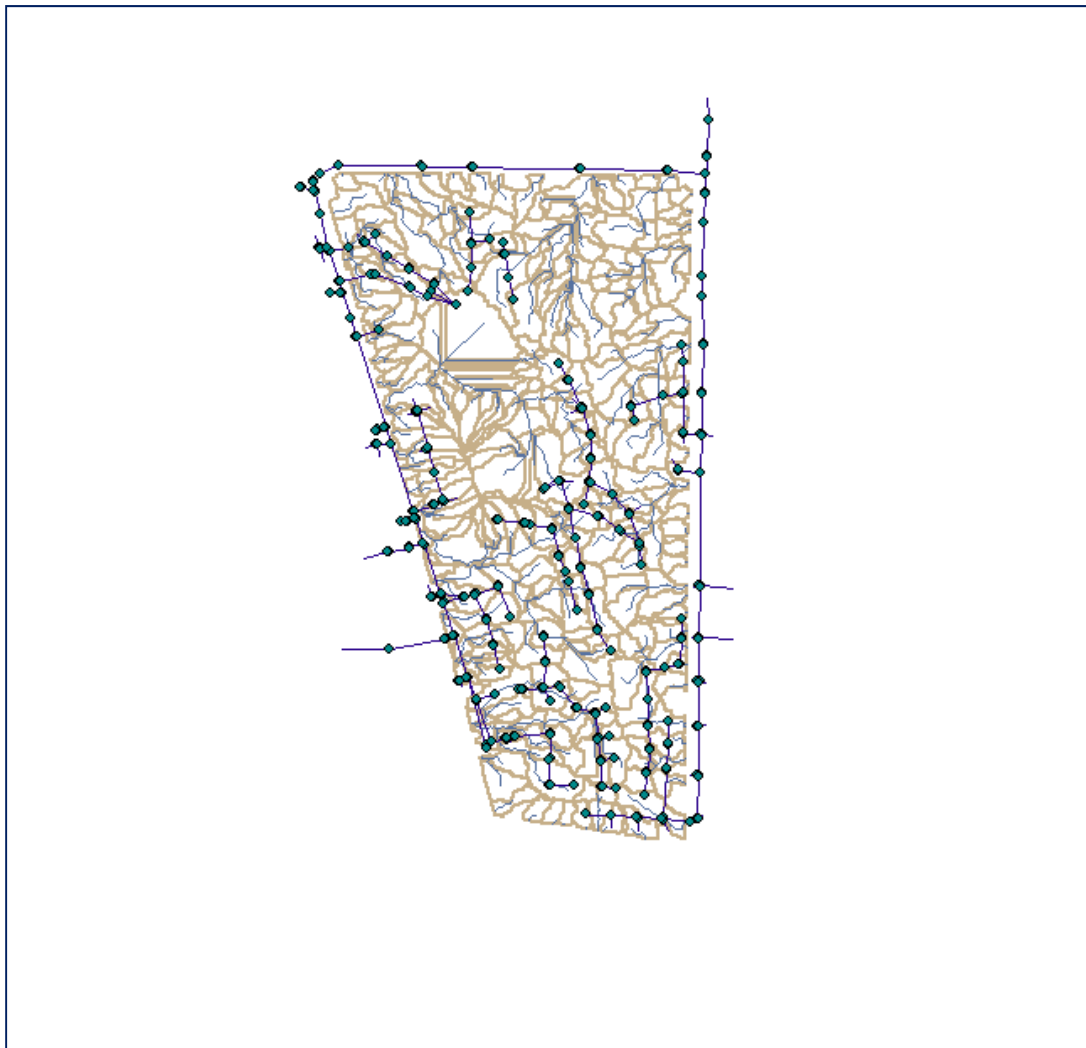


圖 13 套繪雨水下水道集水井與管線



圖 14 套繪 Google 衛星空拍圖

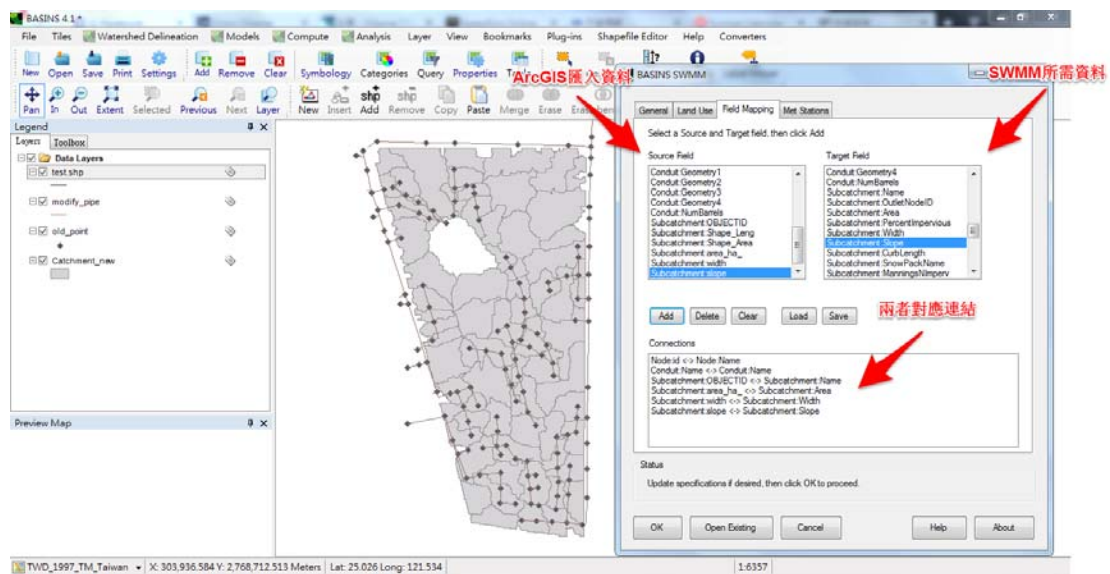


圖 15 利用 BASINS 軟體將 ArcGIS 轉 SWMM 相容格式

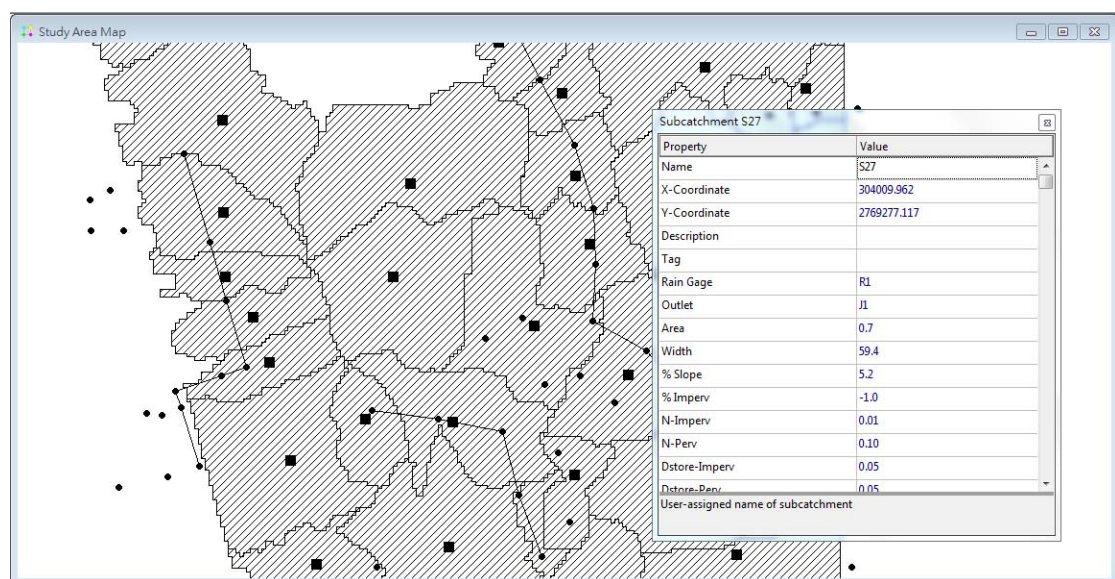


圖 16 SWMM 模式修改管線與陰井參數

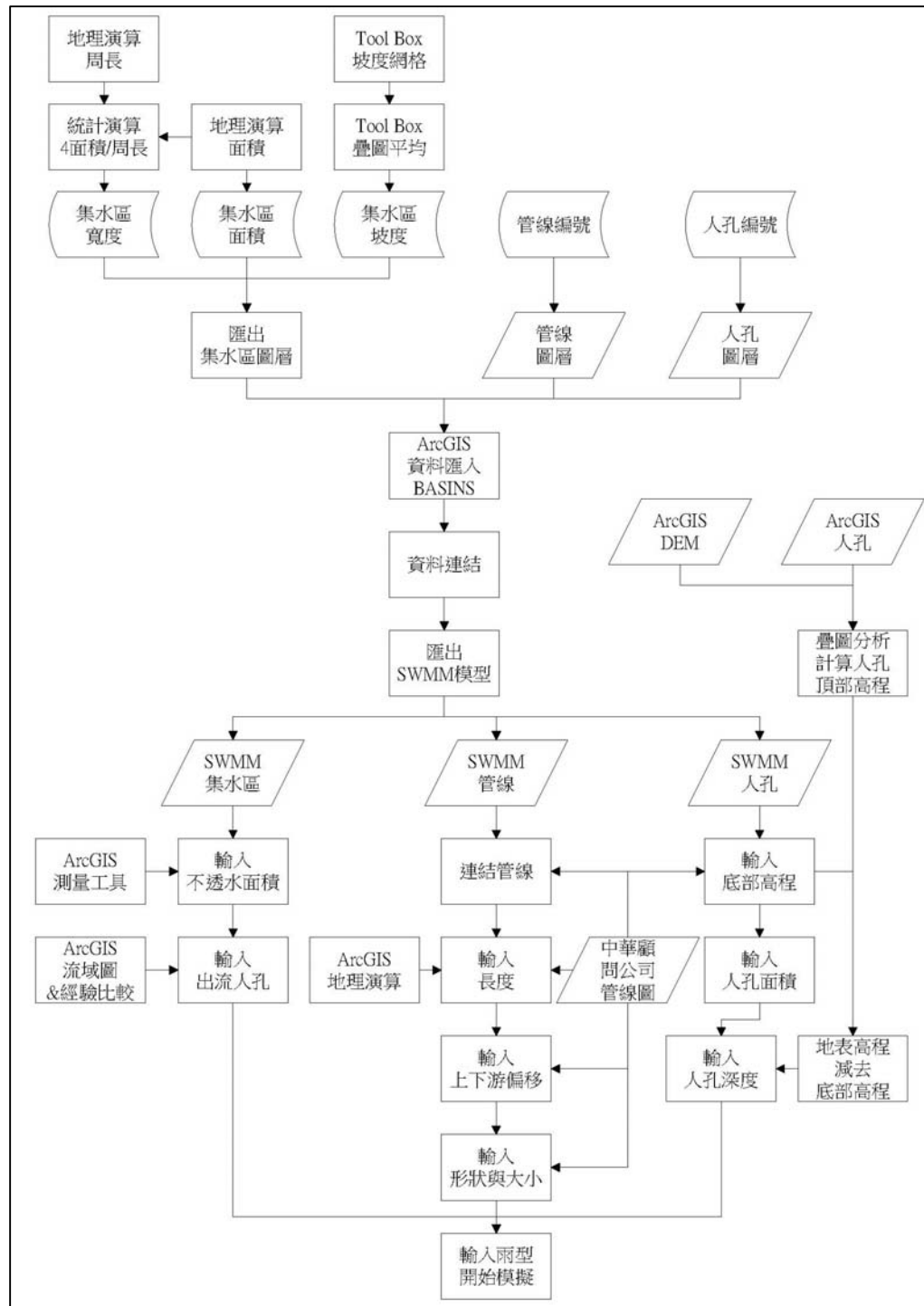


圖 17 排水模擬整體工作流程

(3)降雨分析

參考台灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式參數分析結果，採用臺北雨量站降雨強度頻率延時曲線 IDF 公式，如式(1)。例如使用 1 小時(Elapsed Time)暴雨 5 年重現期(return period)的降雨組體圖(rainfall hydrograph)，計算的降雨強度與時間曲線，如圖 18，作為 SWMM 雨量輸入的條件。若要計算更大的暴雨(如 100 年重現期)，查詢公式 a,b,c 參數值後，可推算之。亦可自行設定降雨條件，以了解極端水文事件下，大安森林公園的集水排水能力，是否能滿足需求。

$$I = \frac{a}{(t + b)^c} \quad (1)$$

式中 $t(\text{min})$ ， $I(\text{mm/hr})$ ， $a=8606$ ， $b=49.14$ ， $c=1.00$ 。

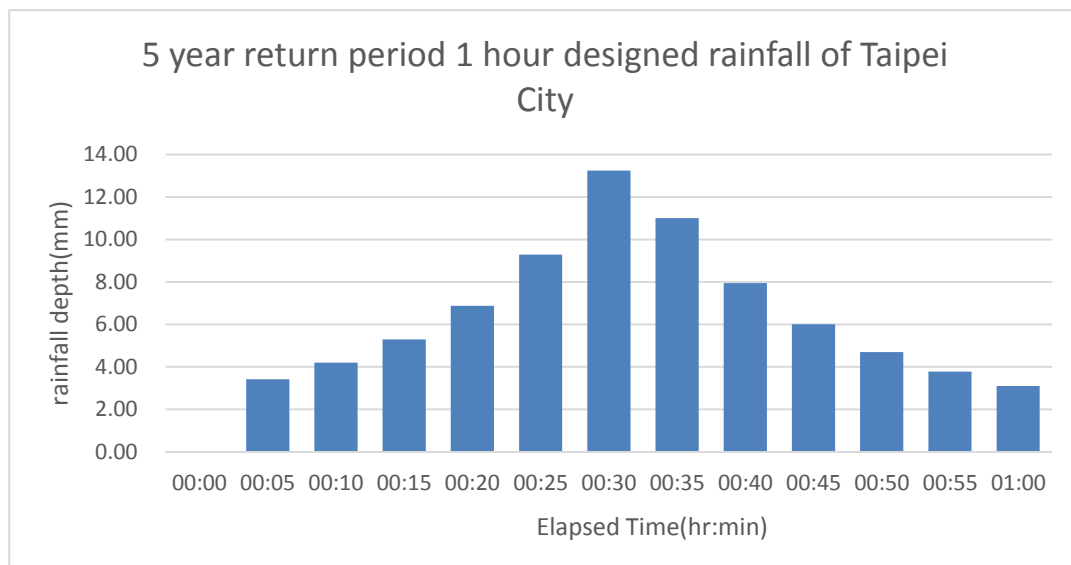


圖 18 一小時暴雨 5 年重現期降雨組體圖

(4)模擬結果與討論

在輸入陰井資料過程，發現有少數陰井點的入流高程低於出流，造成排水不易，對少數陰井進行測量儀器高程檢查，確實如此。此現象稱為逆坡，SWMM 無法接受斜率為負的管線，故將其調整至斜率為 0。大安森林公園有 6 處屬於此情形，其位置標繪如圖 19。

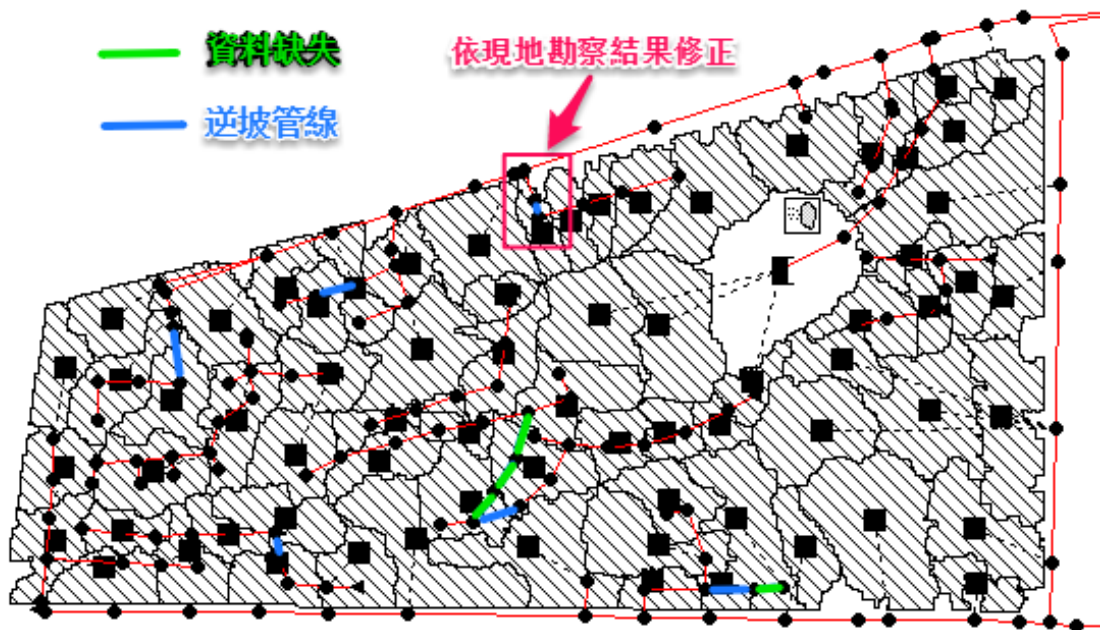


圖 19 逆坡管線位置

a. 兩年回歸期降雨延時一小時

參考台灣地區雨量測站降雨強度-延時 Horner 公式，採用臺北雨量站參數，找出回歸期 $T=2$ yr，延時 1 小時的 a,b,c 參數，輸入公式 (1)，計算降雨組體圖作為輸入的降雨事件(圖 20)。計算大安森林公園有可能溢淹的位置，輕微溢淹的地方屬於圖 21 右下角靠近建國南路的位置，該處屬於下水道管線的末端，另外一處在公園的中央，屬於逆坡管線，顯示溢淹屬合理現象。

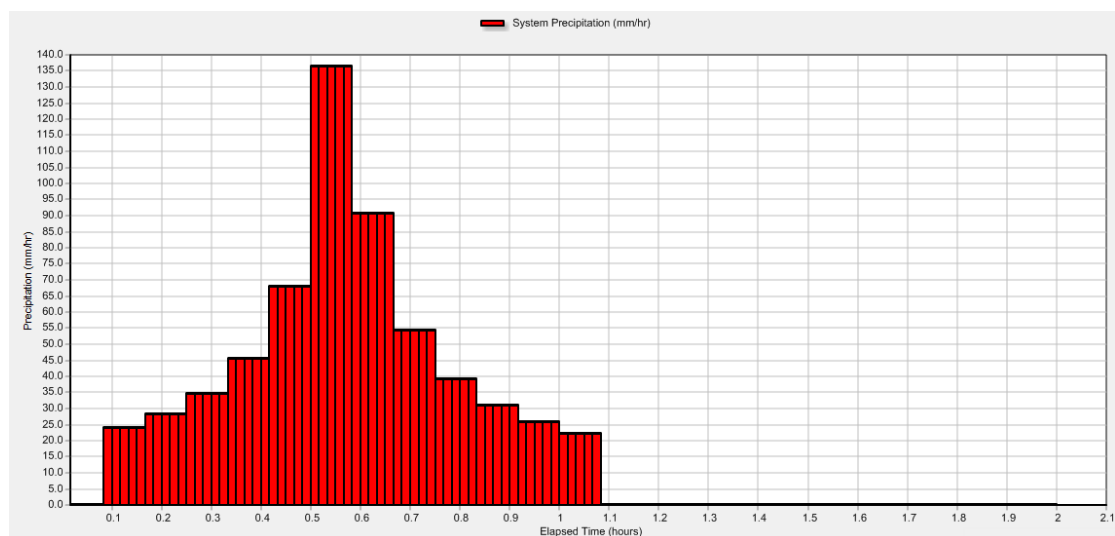


圖 20 降雨組體圖(兩年回歸期、降雨延時一小時)

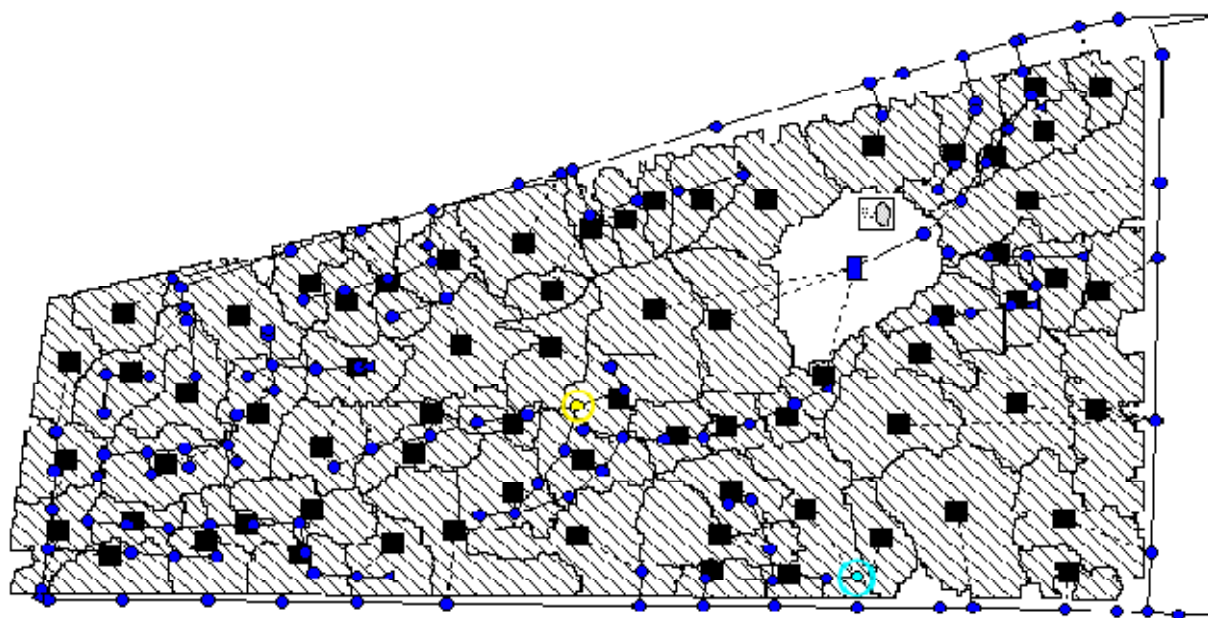


圖 21 大安森林公園在降水條件下可能溢淹的位置

(25 年回歸期、降雨延時一小時)

b. 廿五年回歸期降雨延時一小時

採用臺北雨量站參數，找出回歸期 $T=25$ yr，延時 1 小時的 a,b,c 參數，輸入公式(1)，計算降雨組體圖作為輸入的降雨事件(圖 22)。

計算大安森林公園有可能溢淹的位置，輕微溢淹的地方屬於圖 23 右下角靠近建國南路的位置、公園的中央，與前述回歸期 $T=2$ yr 的結果類似，但溢淹稍為嚴重。

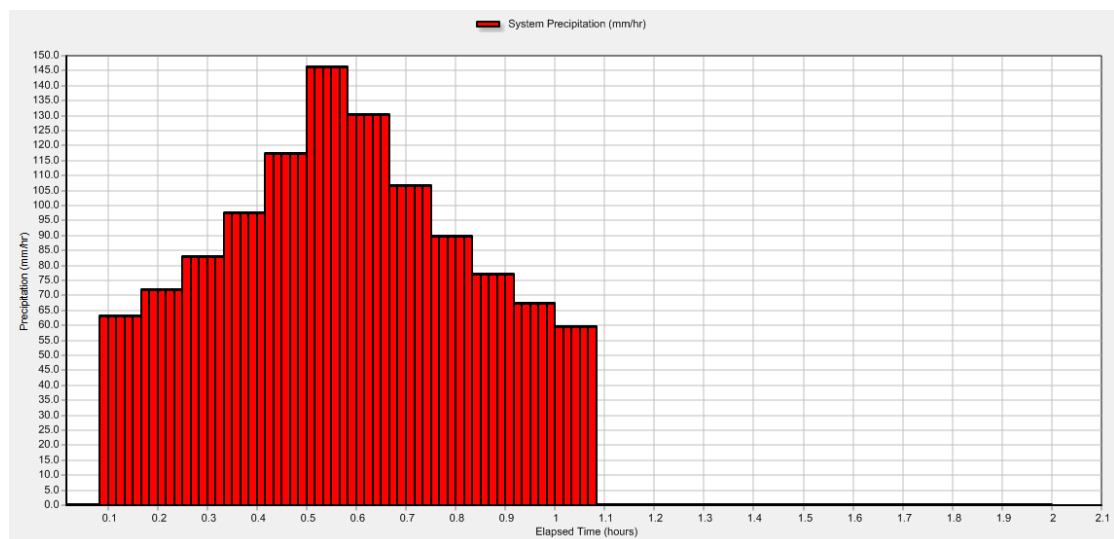


圖 22 降雨組體圖(25 年回歸期、降雨延時一小時)

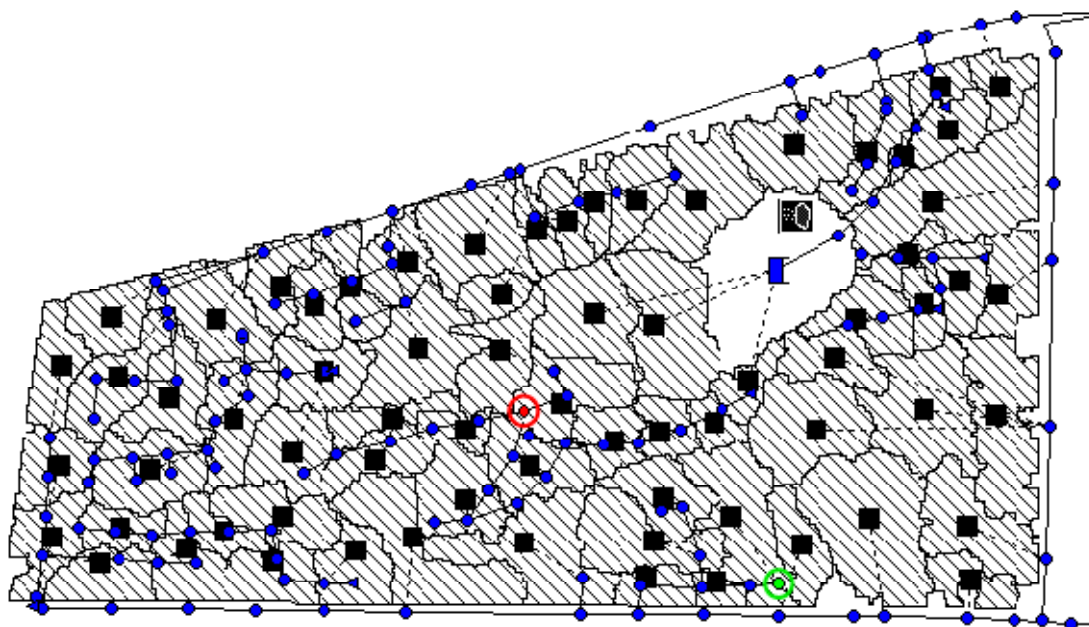


圖 23 大安森林公園在降水條件下可能溢淹的位置
(25 年回歸期、降雨延時一小時)

c. 2001 年納莉颱風降雨

採用 2001 年納莉颱風降雨事件的時雨量，降雨歷線圖如圖 24，該資料係由水利署的水文資訊網取得。以 SWMM 計算大安森林公園有可能溢淹的位置，演水較為嚴重的位置有 8 處，較輕微有 1 處，如圖 25。

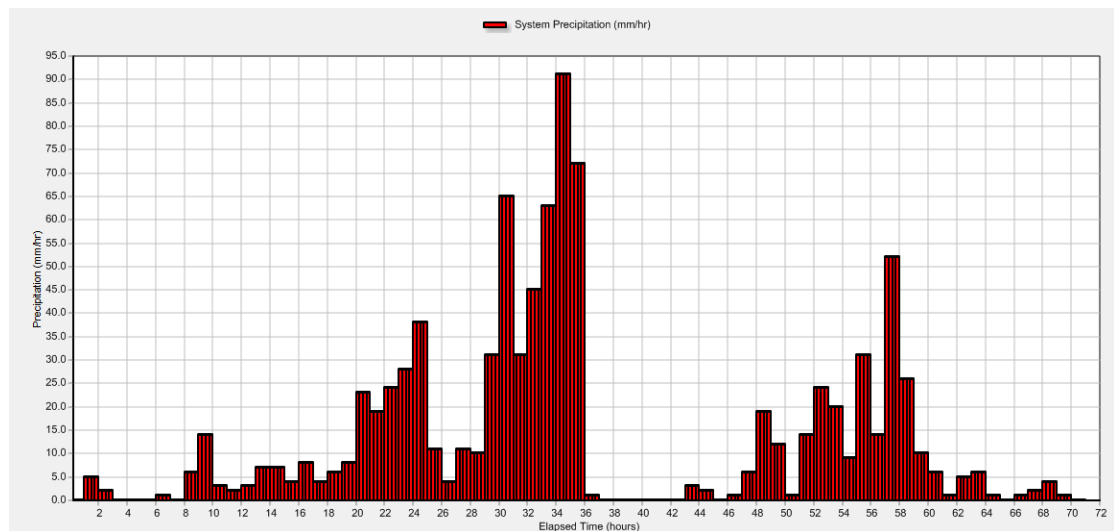


圖 24 納莉颱風時雨量歷線

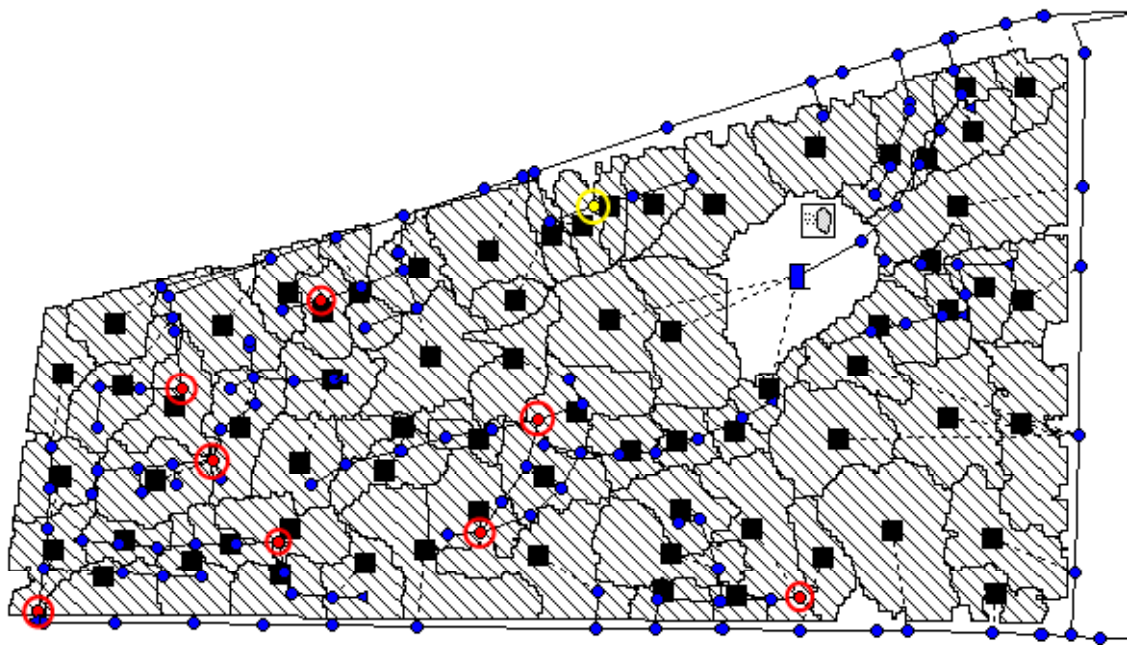


圖 25 大安森林公園在降水條件下可能溢淹的位置
(納莉颱風降雨事件)

2. 低衝擊開發單元規劃

現行低衝擊開發 LID 單元，包含綠屋頂、雨水桶、草溝(Swale)、滲透溝、透水磚、雨水花園、樹箱，其附屬設施包含陰井、側溝等，視為一個系統。

檢視大安森林公園的排水現況，暴雨的逕流多數流入雨水下水道排水系統，對都市排水並未有效發揮分擔減洪的作用，目前排水的水流方向，分別往建國南路、新生南路排出，此與低衝擊開發的概念不同，低衝擊開發的做法，是將降雨多數的水流保留在基地內，必要時再往外排出。

本計畫推介 LID 單元中的草溝、透水性鋪面，用以改善公園排水，草溝可分為「乾式溝」及「濕式溝」兩類。乾式溝(圖 27)具有蓄水入滲層，使大部分水量入滲地表下，原理類似線狀生態滯留單元，透水性佳；濕式溝則未特別設置蓄水入滲層，亦即多數的逕流從表面流出，僅有少數的水量會入滲，透水性差。

3. 情境方案的排水模擬

(1)情境設置

本研究利用 SWMM 數值模型進行模擬，先進行草溝(濕式溝)不同條件比較，包含不同坡度、不同回歸期的比較，發現草溝(濕式溝)

對都會公園的檢洪效果並不佳。本研究再提出不同情境，例如於大安森林公園中人行道設置透水性鋪面，並於人行道兩側設置草溝(乾式溝)。分析比較 a)原本情況、b)僅用透水性鋪面、c)僅用草溝(乾式溝)、d)透水性鋪面與草溝(乾式溝)兩者並用等 4 種情境，降雨條件使用 IDF 雨型設計法，設計回歸期 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年，降雨延時 1 小時、3 小時、6 小時、9 小時、12 小時，所組合之降雨組體圖做為模擬之降雨條件。

(2)出流歷線結果討論

採用 SWMM 排水模擬系統中編號(out11)出流孔作為檢視的對象(位置如圖 26)，因其排水路較為單純且資料完整，故本研究取其作為主要分析對象。分析不同降雨以及設置不同 LID 設施的情況下，其出流歷線以及洪峰流量減少比率。



圖 26 出流孔(out11)排水路示意圖

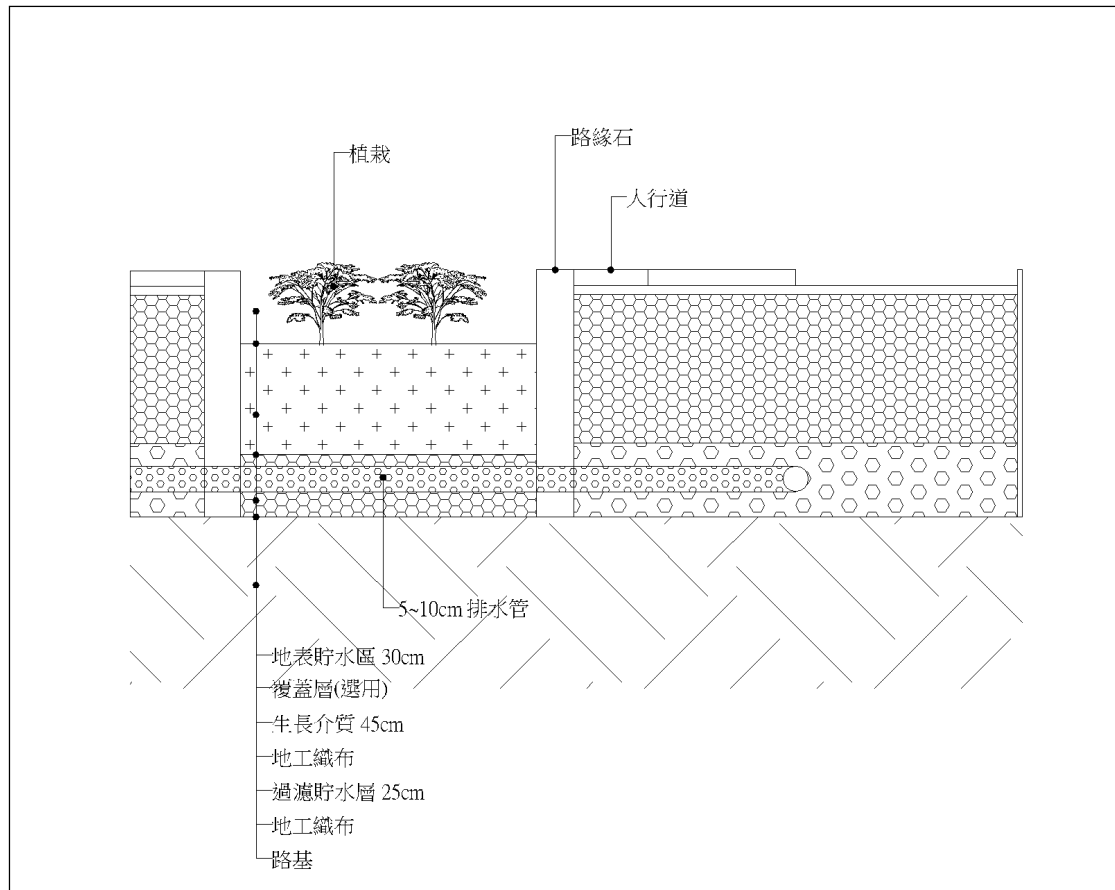


圖 27 草溝(乾式溝)配置圖(相當於線性雨水花園)

a.不同坡度草溝(濕式溝)比較

本研究比較坡度為 2%、0.2%、0.02%之草溝(濕式溝)(Swale，透水性差)之減洪效果，如圖 28。不論何種坡度於降雨前期都有一定減少逕流量、滯留之效果，但草溝(濕式溝)於洪峰之後卻因為沒有設置蓄水層且入滲效果較差，若坡度非十分平緩，如坡度 2%及 0.2%之草溝(濕式溝)，將造成降雨前期蓄積之逕流跟著強降雨峰值同時匯聚至出流孔，反而因此增加出流排水管線之負擔。反觀 0.02%較為平緩之設計，不只能夠減少洪峰流量，甚至能夠延遲洪峰到達時間。

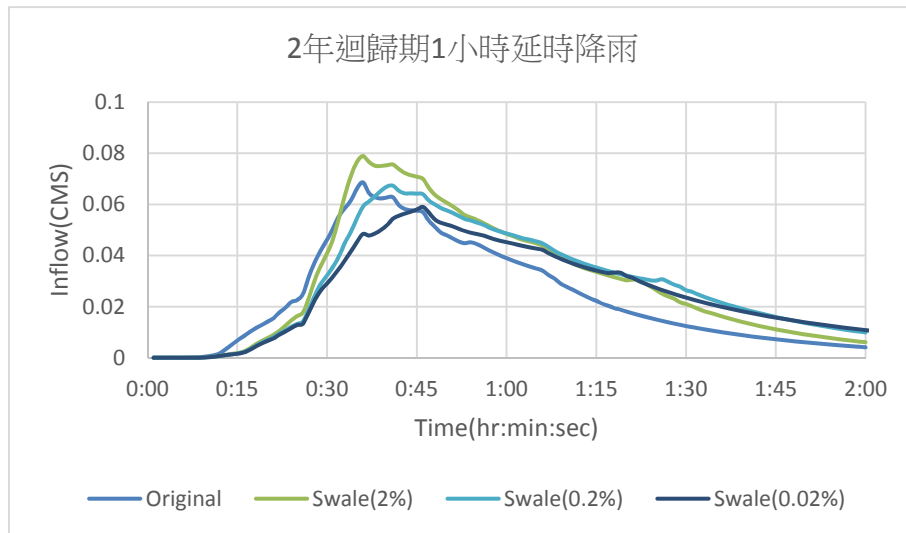


圖 28 不同坡度草溝(濕式溝)出流歷線比較

b.不同回歸期草溝(濕式溝)比較(1 小時延時)

而比較短延時不同回歸期之降雨條件，結果如圖 29，發現坡度為 2%較陡之草溝(濕式溝)，皆導致前述的負面效果。而 0.2%、0.02%在較小的降雨都有不錯的減峰滯流效果，但超過五年回歸期之後效果大幅降低且大致相同，僅有回歸期 25 年造成較強烈的負面效果。推測因為此草溝(濕式溝)於對於較短回歸期之降雨仍有一定蓄積、滯流空間；於中等回歸期之降雨其滯留空間飽和時間正好與降雨峰值接近，致使蓄積水量瞬間與降雨匯聚流出增加出流洪峰量；於較長回歸期之降雨，草溝很早即進入超量溢流階段，故減峰滯洪效果不佳，但無蓄積水量與降雨洪峰匯聚增強之情形發生，故沒有明顯負面效果。

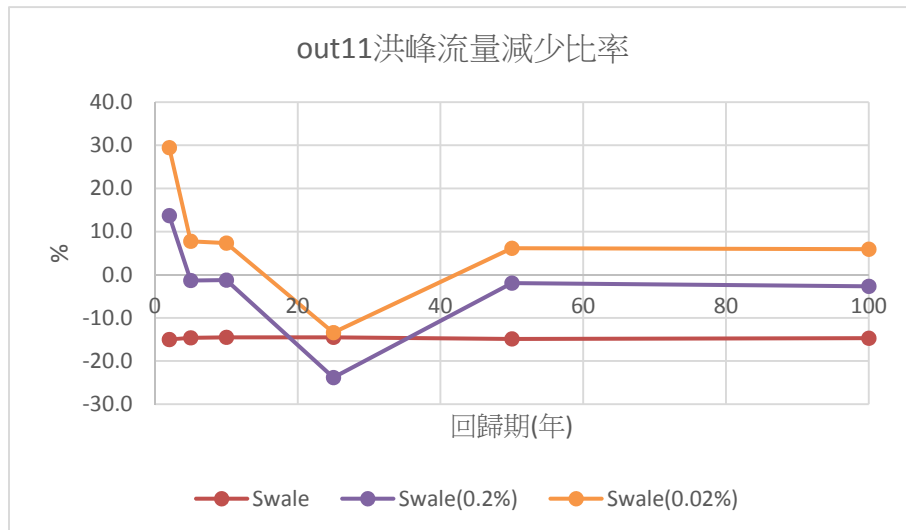


圖 29 不同回歸期下(1 小時延時)洪峰流量減少比率

c.不同配置方式(乾式溝與透水鋪面)比較

若採用具有蓄水入滲功能之乾式溝"Swale"(註：前述 b.的 Swale 指的是草溝(濕式溝)，與此處不同)，結果如圖 30，則其有明顯之減峰滯流效果。而透水性鋪面"Pav"僅能減少洪峰量，對於延遲洪峰抵達時間效果不彰，兩者並用(Pav&Swale)之效果最佳，但與僅使用具乾式溝之效果相當。

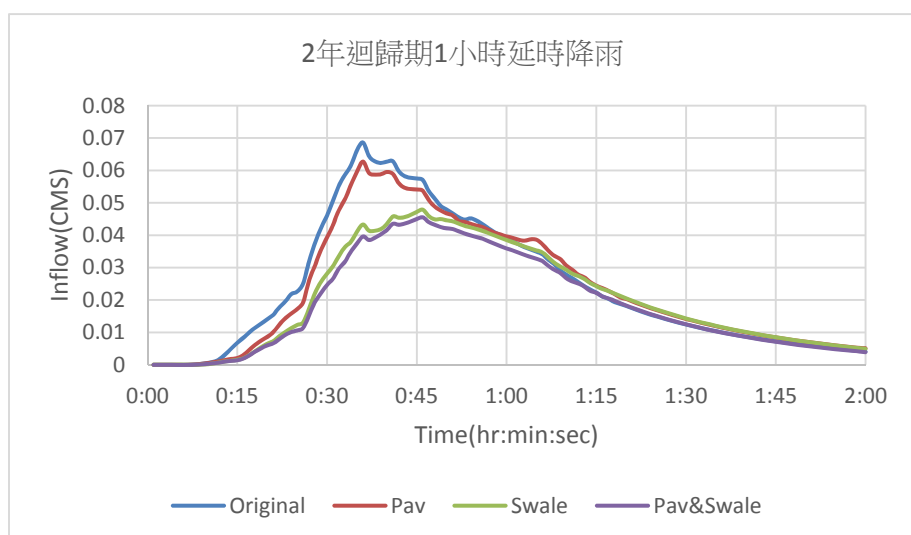


圖 30 設置不同 LID 之出流歷線比較

d. 不同回歸期比較(1 小時延時)

比較不同回歸期降雨條件下 LID 之減少洪峰流量效果，如圖 31。

於 1 小時延時降雨中，較短回歸期降雨下乾式溝有很好的減峰效果，其效果隨回歸期增長而降低。而透水性鋪面則效果平平。

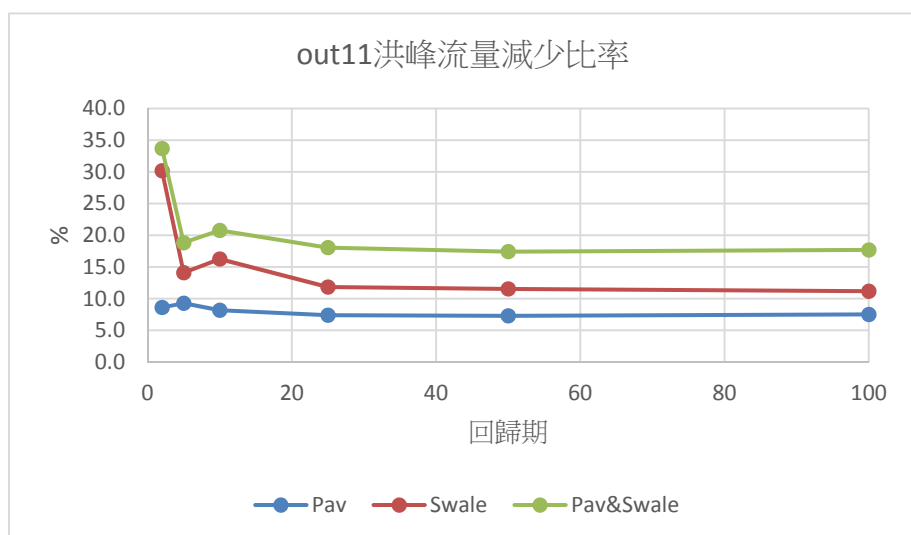


圖 31 不同回歸期下(1 小時延時)洪峰流量減少比率

4. 新設生態池的排水模擬

以建立的 SWMM 排水模式模擬大安森林公園的排水，今年新設的小生態池(圖 32 圓圈處)，在極端的納莉颱風降雨事件下，大安森林公園會溢淹的陰井位置並未改變，新設生態池對公園排水無負面影響。

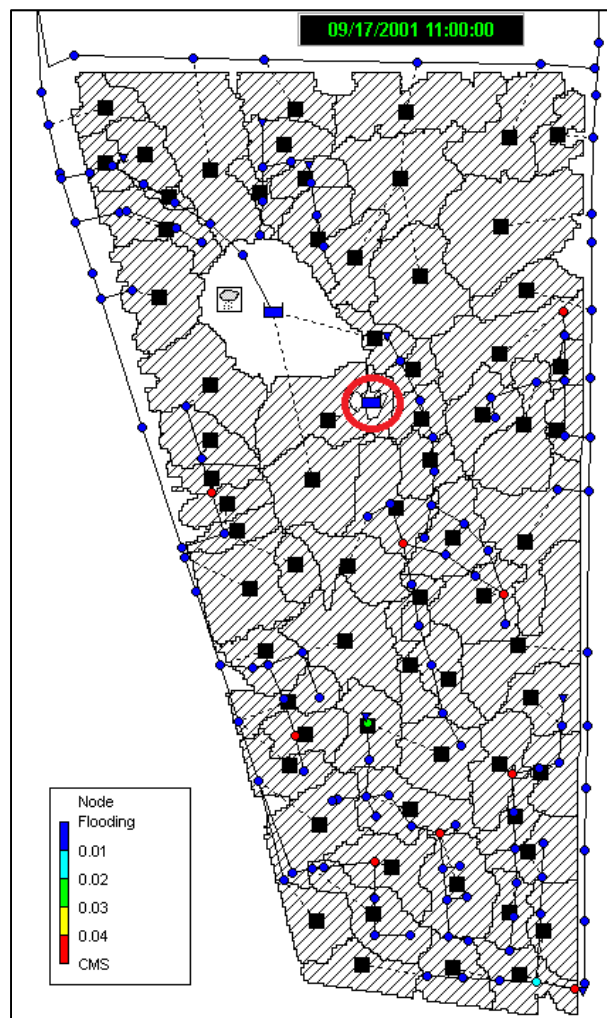


圖 32 新設生態池對排水影響(納莉颱風降雨歷線)

肆、結論與建議

- 一、草溝(濕式溝)較無法提升都會公園之減洪效果，反而有可能增加都會排水系統之負擔；而設置乾式溝能夠有效發揮減洪效果，短延時(如 2 小時以內)、較短回歸期之降雨條件下效果較佳，長時間降雨，例如颱風造成的降雨，則效果有限。
- 二、草溝(濕式溝)的坡度，較平緩之坡度較有利於減少洪峰流量，此外設置面積、寬度及邊坡斜率等亦有可能影響減洪效果，需要進一步研究。
- 三、於公園大量設置大量草溝(乾式溝)，能有效減少洪峰量，為都會排水系統減輕負擔，若能與透水性鋪面一同設置則效果更佳，以達海綿城市的理想。
- 四、今年新設的生態池，對大安森林公園的排水無負面影響。

參考文獻

1. 王雯雯, 趙智杰, 秦華鵬 2012 「基于SWMM 的低衝擊開發模式水文效應模擬評估」 北京大學學報(自然科學版), 第48卷, 第2期, 第303-309頁。
2. 徐硯庭 2014, 低衝擊開發運用在高都市化地區的減洪效益: 以新北市中永和地區為例, 國立臺灣大學土木工程研究所碩士論文。
3. 張富銘 2015, 低衝擊開發規劃與設計應用, 國立臺灣大學土木工程研究所博士論文(初稿)。
4. Bengtsson, L., Grahn, L., and Olsson, J. 2005 "Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden" *Nordic Hydrology* 36(3):259–268.
5. Dietz, M. E. and Clausen, J. C. 2007 "Stormwater runoff and export changes with development in a traditional and low impact subdivision" *Journal of Environmental Management* DOI.1016/j.jenvman.2007.03.026.
6. Dietz, M.E. (2007), 2007 "Low Impact Development Practices: A Review of Current Research and Recommendations for Future Directions" *Water Air Soil Pollut* 186:351–363.
7. Guo, James C.Y. (2004). "Hydrology-Based Approach to Storm Water Detention Design Using New Routing Schemes," *ASCE J. of Hydrologic Engineering*, Vol 9, No. 4, July/August
8. Hutchinson, D., Abrams, P., Retzlaff, R., and Liptan, T. 2003 "Stormwater monitoring two ecoroofs in Portland, Oregon, USA" First Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show, Chicago, IL.
9. Monterusso, M. A., Rowe, D. B., Russell, D. K., and Rugh, C. L. 2004 "Runoff water quantity and quality from green roof systems" *Acta Horticulturae* 639:369–376.
10. Moran, A., Hunt, W., and Jennings, G. 2004 "Greenroof research of stormwater runoff quantity and quality in North Carolina" NC State University, A&T State University, Cooperative Extension ISSN 1062-9149.