

大安森林公園環境基礎調查

期末報告

運用低衝擊開發設施改善大安森林公園排水減洪能力

梁崇淵

中華民國 106 年 6 月

摘要

全球氣候變遷造成極端降雨事件的強度、頻率隨之增加，而都市不斷的開發使得其不透水面積大量增加，都市排洪的體質變差的情況下又須面對較大的洪災壓力，以往的集中式排水管線系統概念已經漸漸不敷使用，韌性都市、水敏感城市、低衝擊開發等概念漸漸興起，透過增加保水入滲的設施、綠地調整都市排洪體質，使其盡力恢復至都市開發之前。

以往大安森林公園僅被關注休憩、生態、景觀等功能，在導入這些概念的脈絡之下，都會公園已被納入都市減洪的架構之中，然而以往對於大安森林公園內部的排水管線系統資料並不完善，更遑論改善其蓄水、防洪能力。因此本研究透過新舊管線資料比對與現地測量，建立排水系統之數值模擬系統，以此深究大安森林公園的排水問題以及如何透過低衝擊開發設施增進其排水、減洪能力。此外，亦利用所建立之 SWMM 數值模型，透過敏感度分析了解過去較少探討的植生溝的減洪功能，以建議實際設計應注意之細節。

以此調查與數值模型作為都會公園排水、減洪之初探，期盼後人能據此深入持續鑽研探討，打造兼具休憩、生態、景觀、防災等多項功能之都會公園。

關鍵字：大安森林公園、低衝擊開發設施、都會公園、敏感度分析、SWMM

目錄

摘要	ii
目錄	iii
圖目錄	v
表目錄	vi
第 1 章 緒論.....	1
1.1 研究動機與目的	1
1.2 研究流程與架構	5
第 2 章 研究方法.....	6
1.3 研究區域	6
1.4 植生溝(Grass Swales).....	7
1.5 暴雨逕流管理模式 (SWMM)	8
1.5.1 運算原理	8
1.5.2 LID 元件	14
1.5.3 數值模擬之限制	18
第 3 章 模式建立.....	19
1.6 管線資料整理與調查	19
1.7 SWMM 模型建立	22
1.7.1 建立流程	22
1.7.2 降雨條件(rain gage)	23
1.7.3 次集水區(subcatchment)	23
1.7.4 人孔(junction)	25
1.7.5 管線(conduit)	25
1.7.6 出流邊界(outfall).....	25
1.7.7 LID 元件(LID control)	25
第 4 章 模擬結果.....	27
1.8 新設小生態池	27
1.8.1 參數率定驗證	27

1.8.2	極端降雨事件模擬.....	29
1.9	植生溝敏感度分析	29
1.9.1	設置與假設.....	29
1.9.2	結果與分析.....	32
第 5 章	結論與建議	34
參考文獻		36

圖目錄

圖 1-1 都市開發後地表逕流增加	1
圖 1-2 水敏感城市概念圖	2
圖 1-3 午後雷陣雨過後大安森里公園積水一隅	2
圖 1-4 LID 設計概念圖	3
圖 1-5 大安森林公園小生態池	4
圖 2-1 大安森林公園空拍圖	6
圖 2-2 植生溝組成結構剖面示意圖	7
圖 2-3 SWMM 模式之 LID 概念模型(資料來源:美國環保署)	14
圖 2-4 SWMM 模式之 LID 設施配置	15
圖 3-1 管線圖資	19
圖 3-2 管線圖資套疊結果	20
圖 3-3 集水井現地盤點	21
圖 4-1 現地相關深度測量	27
圖 4-2 2017 年 6 月 2 日暴雨事件參數率定結果	28
圖 4-3 2017 年 6 月 3 日暴雨事件參數驗證結果	28
圖 4-4 極端事件模擬結果	29
圖 4-5 植生溝敏感度分析變數示意圖	30
圖 4-6 利用 1 小時延時 100 年迴歸期降雨挑選排水系統	31
圖 4-7 植生溝設置	31
圖 4-8 敏感度分析結果	32
圖 5-1 大安森林公園雨後積水狀況	35

表目錄

表 2-1 SWMM 模式之 LID 設施配置	16
表 3-1 設計雨型	23
表 3-2 次集水區統一參數設定	24
表 3-3 土壤分類及最小入滲率	24
表 3-4 Horton 入滲參數設定	25
表 3-5 LID 元件參數設定	26
表 4-1 敏感度分析整理	33

第1章 緒論

1.1 研究動機與目的

過去民眾對於都會公園之想像大多只停留才遊憩用途，但隨著國民教育的普及以及教育程度、公民素養的提升，加上近年來全球關心的氣候變遷、極端氣候等議題浮上檯面，環境意識以及社區意識的抬頭使得都會公園之功能有了更多的想像，不同領域的學者專家也希望透過這些都會當中不易出現之公園綠地達到多種目的，諸如生態多樣性與維持、都市景觀的營造、社區鄰里之共鳴、環境教育的紮根以及防災減洪的能力。

隨著氣候變遷將降雨漸趨集中，且大多數的植被綠地被，隨著都市開發被瀝青鋪面的道路以及鋼筋混凝土的高樓等不透水材料取代，外在之降雨強度變大加上內在之排水體質不良，使得都市內水宣洩不及成為都市防洪之重要課題。近年來韌性都市(Urban Resilience)、水敏感城市(Water Sensitive City)、低衝擊開發(Low Impact Development, LID)等概念由歐美國家導入台灣當中，透過保水、蓄水的方式來面對現今的洪災困境，而不再如同過去強調以集中排出式的下水道管網處理所有降雨情形，在這樣的觀念之下，都會公園的滯留、蓄水功能將會是附近鄰里以及下游減洪之重要關鍵。

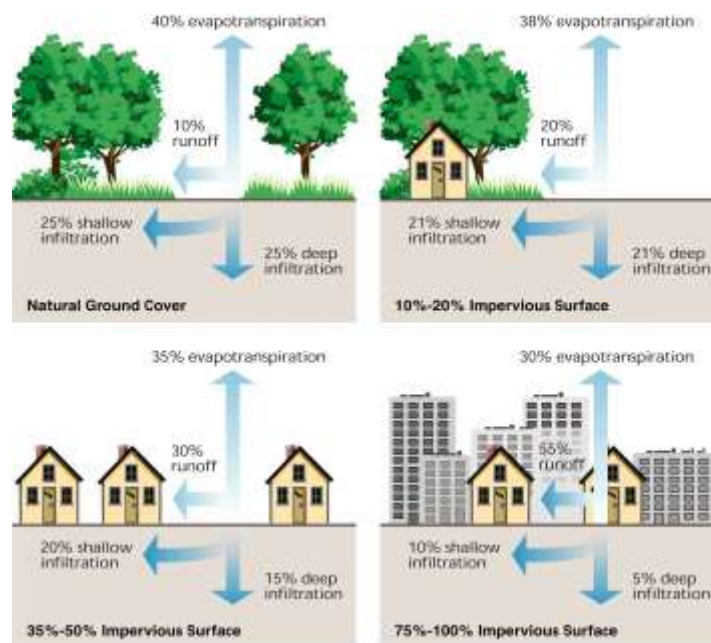


圖 1-1 都市開發後地表逕流增加

(資料來源：City of Auburn Hills 網站)

韌性都市、水敏感城市的概念強調在極端降雨事件時，可以接受一定程度的淹水甚至是災害損失，但在承受災害過後可以快速地恢復正常機能，相較於一般都市的狀況儘管會有一定成本的付出，但在高危險的情況下所付出的風險、成本是較低的。同樣的概念也應套用於大安森林公園之中，在一般日常當中應具有相當的排水能力，以便達成休憩、生態等其他用途，但在颱風、梅雨等較長延時且大量降雨時，應能具有蓄水功能負起減洪責任，降低對於周遭及下游的衝擊。

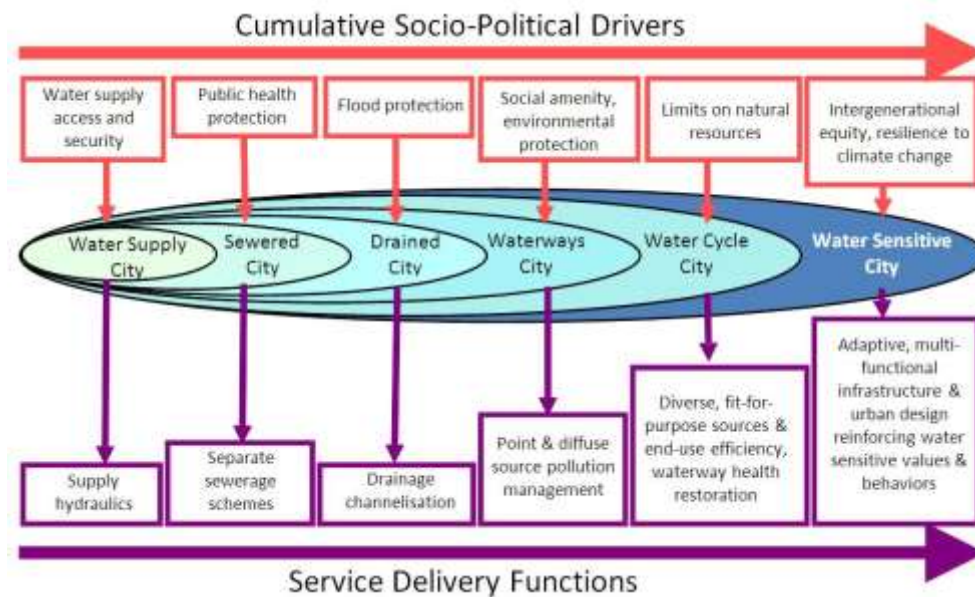


圖 1-2 水敏感城市概念圖

(資料來源：Monash University)

然而，大安森林公園在一般午後雷陣雨過後經常出現路面積水的情形(如圖 1-3 圖 1-3 午後雷陣雨過後大安森里公園積水一隅)，甚至排水不良造成地面長時間潮濕積水影響休憩使用，且在未有詳細規劃的滯洪、蓄水設施的情況下，無法發揮附近鄰里的甚至是下游出流的減洪效果，看來與韌性都市概念中的理想仍有一段距離。



圖 1-3 午後雷陣雨過後大安森里公園積水一隅

低衝擊開發(Low Impact Development, LID)於 1980 年代出現在北美以及紐西蘭，其概念強調將已開發的都市，藉由生態滯留單元、透水鋪面、綠屋頂、雨水桶、植生溝等功能型設施，最小化不透水區域，盡可能回復開發基地的保水、入滲、蒸發散機能至開發前。除了能夠有效延緩洪峰逕流之外，其保水與植栽蒸發散亦能減少都市熱島效應帶來的高溫，配合都市景觀設計得以達成環境綠美化。(Fletcher et al., 2015)

低衝擊開發脫離傳統集中式的鋼筋混凝土下水道，利用較小尺度的單元從源頭的分散處理，新穎概念及多方面的效益，讓低衝擊開發為之盛行。在紐西蘭低衝擊開發更強調生態系統的保護、維持，並且著重去除汙染及水質涵養。除此之外，低衝擊開發並非只著重於「水」，其「衝擊」可以是許多不同的面向，包含景觀、都市計畫、經濟、生態、微氣候、社會科學等，都有機會是低衝擊開發所涵蓋的範疇。(Fletcher et al., 2015)

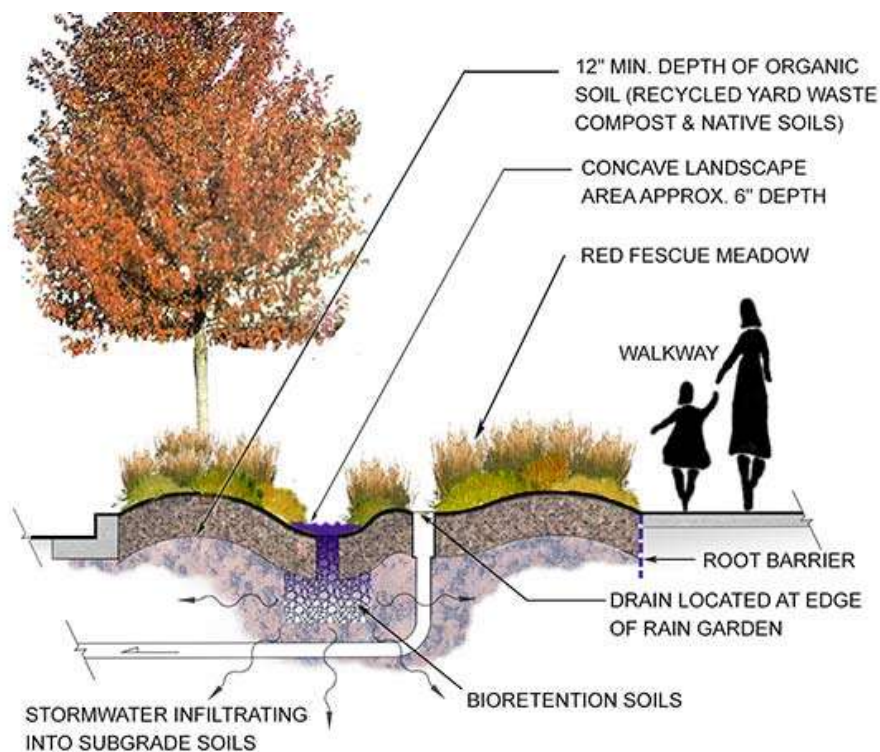


圖 1-4 LID 設計概念圖

(資料來源：HBB Landscape Architecture)

而大安森林公園具有大片綠地，十分適合設置需要一定長度、空間之植生溝，然而，國內外對於低衝擊開發的研究林林總總，但大多集中討論生態滯留單元、透水鋪面、綠屋頂等較易設置於一般住家、建物之設施(何媚華, 2014; 徐硯庭, 2014; 栗晨堃, 2016; Morsy, Goodall, Shatnawi, & Meadows, 2016)，對於植生溝之效果、相關參數與設計方式討論不多，因此本研究將會利用簡單敏感度分析，進一步了解其使用機制，並給予實際設計上一些建議。



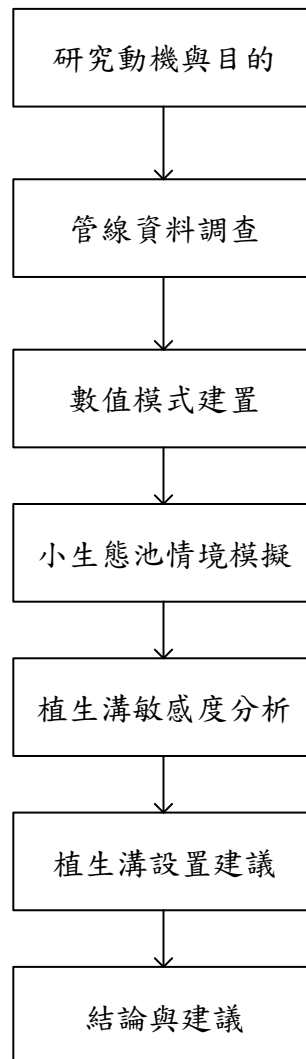
圖 1-5 大安森林公園小生態池

然而不論是未來考慮設置植生溝或是其他低衝擊開發設施，或是如不久前大安森林公園新設之小生態池，都需要透過對現況排水的深入調查並利用數值計算來模擬分析，才能夠了解各項設施或是變動對於大安森林公園本身以及附近的排水影響。為此，本研究將整理大安森林公園的管線資料，並配合現況調查補足缺漏圖資，以建立數值模型，並以此為基礎模擬新設小生態池以及加入植生溝等情境。除了對於現況排水有更清楚的了解之外，亦可作為未來改善大安森林公園排水問題，甚至是改造成為名符其實之防災公園的物理依據。

1.2 研究流程與架構

由於大安森林公園經過多次翻修，深層排水系統新舊圖資有所出入，因此必須先透過現地調查以了解排水系統現況，再依據調查結果及過去資料建立數值模型進行後續模擬。本研究之模擬目標主要包括新設生態池之排水影響以及植生溝之敏感度分析，並依據模擬結果提供實際設置上之建議。

研究流程圖如下：



第2章 研究方法

1.3 研究區域

大安森林公園位於台北市大安區精華地段，占地 25.894 公頃，除了大量的樹木、綠地之外，亦設有人工生態池，其豐富的鳥類生態經常成為賞鳥、攝影之熱門地點；此外，內部規劃的步道、涼亭提供鄰里居民以及外地遊客遊憩散步，最外圍之紅土跑道可供運動慢跑使用；台灣知名樂團五月天於 2017 年 3 月 29 日，在大安森林公園露天音樂台舉辦之 20 週年演唱會，更是在一個晚上吸引了三萬人次進出大安森林公園。具有生態、休憩、藝術、教育等諸多功能，讓其成為台北市十分重要的公共空間。

大安森林公園土壤大多為沉積數千數萬年之黏土，本身透水能力不佳，加上過去做為眷村使用，拆遷過程之混凝土殘留其中，使得透水能力不佳的情況雪上加霜，且在近年因附近鄰里以及遊客大量的使用人次，土壤受到踐踏、壓密之頻率相較一般綠地高出許多，造成大安森林公園除了樹木根系不易深入成長之外，亦出現了排水不彰、積水嚴重之問題。



圖 2-1 大安森林公園空拍圖

(資料來源：聽遊台灣—大安森林公園)

1.4 植生溝(Grass Swales)

植生溝 (grass swale) 指寬淺且有地被植物或草皮之溝渠。主要功能為水體傳輸，在運移過程中水體可入滲土壤以減少地表逕流量，亦可透過地被植物之吸附及過濾來改善水質。植生溝一般分為乾式溝 (dry swale) 及草溝渠 (grassed channel)，前者可被視為滲透溝，因具有植被、生長介質、過濾貯水層及多孔排水管等結構，設計複雜者有時會被視為線型生態滯留單元；而後者僅單純具有植被，主要以水體傳輸為主，較不具入滲功能。(內政部營建署, 2015)

植生溝適用於道路、停車場、庭院、公園及都市間的公共設施空間。惟設置在道路時，不建議置於車流量大及重要道路（污染源過多）而應以社區道路為主，因其仍具滲透保水功能，為避免弱化道路路基承载力，產生不均勻沉陷，故需配合設置側向滲透阻隔設施（如防滲襯墊）。乾式溝主要結構包含植生溝槽體、前處理設施、生長介質、過濾貯水層、土工織布、排水管、植栽、覆蓋層。(內政部營建署, 2015)

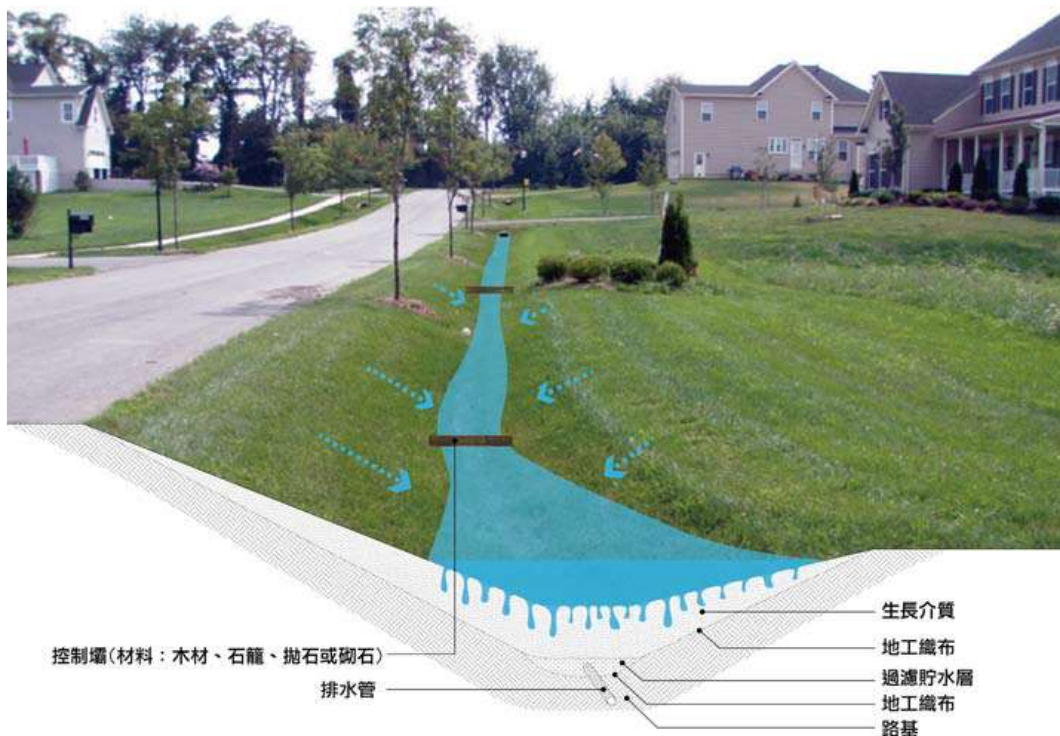


圖 2-2 植生溝組成結構剖面示意圖

(資料來源：水環低衝擊開發設施操作手冊)

1.5 暴雨逕流管理模式 (SWMM)

1.5.1 運算原理

SWMM(Storm Water Management Model)為美國環保署(US EPA)於 1971 年開發的水文、水理模式，可模擬單一降雨事件或長期連續降雨的地表逕流量，SWMM 主要分析模擬降雨產生之地表逕流以及下水道管網的輸水過程，洪水則透過下水道滿管以及人孔溢淹呈現，故以下主要說明 SWMM 之地表逕流模組與輸水幹線模組。

(1) 地表逕流模組(Runoff module)

此模組為模擬雨滴在降落地面後，進入到排水系統前的漫地流現象。當降雨強度超過地表的入滲速度或是土壤達到飽和時，無法入滲至土壤中的雨水將匯聚於地表低窪處，當積水量超過低窪處可容納的體積後，便會溢流至地面而形成地表逕流，接著再流入排水管線當中。

SWMM 視每個集水區為非線性水庫來運算地表逕流，該模擬過程所需之計算包括了降雨量、入滲量，其算法簡述如下：

1. 依據欲模擬之降雨強度組體圖計算降雨後之水深

$$D_1 = D_t + R_t \cdot \Delta \quad (2.1)$$

式中， D_1 ：雨過後之次區水深

D_t ：在 t 時刻時之次區水深

R_t ：在 Δt 時段內之平均降雨強度

Δt ：計算之時距(time interval)

2. SWMM 模式中有三種估算入滲的方式，包括 Horton's equation、Green-Ampt Method 和 Curve Number Method。而本研究採用荷頓方程式(Horton's equation)來計算入滲損失，其參數值依據本研究區域之土壤特性推估而得。

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c)^{-kt} \quad (2.2)$$

式中， f_t ：任一時間的入滲率(mm/hr)

f_0 ：起始入滲率(mm/hr)

f_c ：最終平衡入滲率(mm/ hr)

k ：入滲衰減常數(1/ hr)

t ：降雨時間(hr)

3. 利用前述二式，求得入滲後之水深 D_2 ：

$$D_2 = D_1 - f_t \cdot \Delta t \quad (2.3)$$

當 D_2 於地表阻滯量 D_d (detention requirement)時，會有地表逕流產生，其流量及流速可利用簡化之動量方程式（曼寧公式）計算得知：

$$v = \frac{1}{n} (D_2 - D_d)^{2/3} S^{1/2} \quad (2.4)$$

$$Q_w = vW (D_2 - D_d) \quad (2.5)$$

式中， Q_w ：流量， v ：漫地流流速， W ：次集水區寬度

4. 利用連續方程式計算下一時段 $(t + \Delta t)$ 之水深 $D(t + \Delta t)$

$$D(t + \Delta t) = D_2 - \left(\frac{Q_w}{A} \cdot \Delta t \right) \quad (2.6)$$

式中， A ：次集水區面積

5. 接著，計算側溝之入流量(Q_{in})，再利用連續方程式計算側溝之水深：

$$Q_{in} = \sum Q_{w,i} + \sum Q_{g,i} \quad (2.7)$$

$$Y_1 = Y_t + \left(\frac{Q_{in}}{A_s} \cdot \Delta t \right) \quad (2.8)$$

式中， $\sum Q_{w,i}$ ：各次集水區入流量之總和

$\sum Q_{g,i}$ ：上游側溝流量之總和

Y_1 ：側溝水深

A_s ： Y_1 及 Y_t 之自由水面面積平均值。

6. 透過曼寧公式求得側溝流速(v_g)及流量(Q_g)：

$$v_g = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.9)$$

$$Q_g = v_g \cdot A_c \quad (2.10)$$

式中， R ：側溝中水深為 Y_1 時之水力半徑

S ：側溝之溝底縱坡

A_c ：側溝水深為 Y_1 時之通水面積。

7. 再以連續方程式計算下個時段 $(t + \Delta t)$ 側溝之水深 $Y(t + \Delta t)$ ：

$$Y(t + \Delta t) = Y_t + (Q_{in} - Q_g) \cdot \Delta t / A_s \quad (2.11)$$

8. 重覆上述步驟 4~7 待所有側溝皆完成計算。

這一系列計算所得之出口流量 Q_w 及水深 $Y(t + \Delta t)$ ，將作為輸水幹線模組計算之資料。

(2) 輸水幹線模組(Extran module)

降雨形成之地表逕流藉由側溝進入人孔後，可透過該模組計算出水流在管線中之過程，以便了解各管渠中的流量以及各人孔處有無溢流之現象。Extran module 以一維變量流理論，採動力波進行水理演算，故能考慮迴水現象，並能對壓力管流進行較佳的計算。以下針對該模組的控制方程式、基本假設、演算過程與限制條件進行說明：

1. 控制方程式

該模組將管線中的水流流況視為緩變化流，故利用迪聖凡南(de Saint-Venant)所導出的一維緩變量流之連續方程式與動量方程式來進行演算，在無側流量下，公式如下：

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \quad (2.12)$$

$$\frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} + \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = S_0 - S_f \quad (2.13)$$

$$S_f = \frac{V^2 n^2}{R^{4/3}} \quad (2.14)$$

式中， Q ：流量， A ：斷面通水面積，

x ：沿流動方向之空間座標， t ：時間座標，

V ：斷面平均流速， g ：重力加速度，

n ：曼寧係數， R ：水力半徑，

S_0 ：渠底縱向坡度， S_f ：摩擦坡度。

2. 基本假設

Extran module 在運行上，為了避免演算時間過長及考量部分資料取得不易，故做了以下假設：

(a) 忽略局部加速度項(local acceleration term) $\partial V/\partial t$ 的影響，視其為準變量流(擬似定量流)(quasi-steady)。故(2.13)可寫成：

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} \left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} \right)^{1/2} \quad (2.15)$$

(b) SWMM 模式假設一旦淹水，其溢流之水量可暫時淤積於人孔附近，待排水管線有空間時，水再流回排水系統中。

(c) 都市地區地形平坦，管線坡度較為和緩且兩端壓力水頭差變化不大，故 SWMM 模式假設人孔淹水造成能量坡降線提升的狀況可忽略，而用管線坡度代替能量坡降線來計算下游管線滿管之流量。

3. 演算過程

(a) 求解連續方程式(2.12)，其有限差分方程式可寫成：

$$\begin{aligned} & \frac{(1-W_t)(A_{j,n+1} - A_{j,n}) + W_t(A_{j+1,n+1} - A_{j+1,n})}{\Delta t} + \\ & \frac{(1-W_x)(Q_{j+1,n} - Q_{j,n}) + W_x(Q_{j+1,n+1} - Q_{j,n+1})}{\Delta x} = 0 \end{aligned} \quad (2.16)$$

其中， W ：取時間微分時，在點 $j+1$ 位置之權重係數

$1-W_t$ ：取時間微分時，在點 j 位置之權重係數

W_x ：取位置微分時，在 $n+1$ 時段之時間權重係數；

$1-W_x$ ：取位置微分時，在 n 時段之時間權重係數。

$$\begin{aligned} & Q_{j+1,n+1} + \frac{\Delta x W_t}{\Delta t W_x} A_{j+1,n+1} + \frac{\Delta x}{\Delta t W_x} \left[(1-W_t) \cdot (A_{j,n+1} - A_{j,n}) + W_t A_{j+1,n} \right] \\ & + \frac{1-W_x}{W_x} (Q_{j+1,n} - Q_{j,n+1}) Q_{j,n+1} = 0 \end{aligned} \quad (2.17)$$

若以下標 f 代表滿流情況，定義 α 及 φ 值如下：

$$\alpha = \frac{A}{A_f} \quad (2.18)$$

$$\varphi = \frac{Q}{Q_f} \quad (2.19)$$

其中， A_f 及 Q_f 分別表示滿流時之斷面積及流量，如此式可改寫如下：

$$\varphi_{j+1,n+1} + C_1 \alpha_{j+1,n+1} + C_2 = 0 \quad (2.20)$$

$$C_1 = \frac{\Delta x W_t A_f}{\Delta t W_x Q_f} \quad (2.21)$$

$$C_2 = \frac{\Delta x A_f}{\Delta t W_x Q_f} \left[(1 - W_t) \cdot (\alpha_{j,n+1} - \alpha_{j,n}) - W_t \alpha_{j+1,n} \right] + \frac{1 - W_x}{W_x} (\varphi_{j+1,n} - \varphi_{j,n}) - \varphi_{j,n+1} \quad (2.22)$$

在每一段計算過程當中， C_1 及 C_2 值均可利用已知之邊界條件或起始條件代入(2.21)、(2.22)式中計算出；(2.20)式因有 $\varphi_{j+1,n+1}$ 及 $\alpha_{j+1,n+1}$ 兩個未知數，故必須再引進動量方程式可求解，由(2.14)及(2.15)式得：

$$\varphi = \frac{Q}{Q_t} = \frac{AR^{2/3}S^{1/2}}{A_t R_t^{2/3} S_t^{1/2}} = \frac{AR^{2/3}}{A_t R_t^{2/3}} = f(\alpha) = f\left(\frac{A}{A_t}\right) \quad (2.23)$$

因斷面資料為已知，水力半徑 R 亦為通水斷面積 A 之函數。(3.15)式在滿流情況下可寫成：

$$Q_f = \frac{1}{n} A_f R_f^{2/3} S_f^{1/2} \quad (2.24)$$

$$Q_f = \frac{1}{n} A_f R_f^{2/3} \left(S_0 - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{v}{g} \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (2.25)$$

再將上述微分式寫成差分式，而式中各項值均可以前時段之值代入，得：

$$S_f = S_0 + \frac{y_{j,n} - y_{j+1,n}}{\Delta x} + \frac{v_{j,x}^2 - v_{j+1,x}^2}{2g\Delta x} \quad (2.26)$$

為減少可能發生的不必要微小振盪及考慮迴水因素(back-water effect)的影響，SWMM 模式在每一時段中可使用數次疊代以求得 Q 值，且在計算 Q 時，採用前次疊代值與剛計算所得值之平均值，更能增加結果之穩定性。如以 i 代表疊代之次數，則在第 i 次疊代中 Q 可寫成：

$$Q_{f,i} = \frac{1}{2} Q_{f,i-1} + \frac{1}{2} \left(\frac{1}{n} A_f R_f^{2/3} S_f^{1/2} \right) \quad (2.27)$$

由(2.27)、(2.28)式及前時段資料計算出 Q ，由斷面資料及(2.23)式建立 α 及 φ 之關係曲線，再代入(2.20)式中，以牛頓—拉福生法

(Newton-Raphson)解得 α 及 φ 值，最後代入(2.18)式中，可算得下游段之 Q 及 A 值，依此逐步向下游演算，直至最下游段為止。同理再向下一時段推進，直至模擬時間終止。其中，下水道系統由於管線交叉，其分配流量各依其排水能力。

$$QI_j = QO_i \cdot \frac{QF_k}{QF_j + QF_k} \quad (2.28)$$

$$QI_k = QO_i \cdot \frac{QF_k}{QF_j + QF_k} \quad (2.29)$$

其中， QI ：入流量

Q ：出流量

QF ：滿管流量

i, j, k ：單元編號

(b) 考慮迴水現象，求解動量方程式，即解迪聖凡南變量流方程式(2.13)，其差分式可寫成：

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = -gAS_f + 2v \frac{\partial A}{\partial x} + v^2 \frac{\partial A}{\partial x} - gA \frac{\partial H}{\partial x} \quad (2.30)$$

$$S_f = \frac{K}{gAR^{4/3}} Q|v| \quad (2.31)$$

$$K = g \left(\frac{n}{1.49} \right)^2 \quad (2.32)$$

其中， Q ：管線中流量， A ：水流截面積，

v ：管線中流速， H ：水頭，

R ：水力半徑， S_f ：摩擦坡度。

(2.31)式以速度項的絕對值確定 S_f 的方向性質，並保證摩擦力永遠與水流方向相反。接著，將(2.30)~(2.32)式合併改寫並解出 $Q(t+\Delta t)$ ：

$$Q(t+\Delta t) = Q - \frac{K\Delta t}{R^{4/3}} |v| Q(t+\Delta t) + 2v \frac{\Delta A}{\Delta t} + v^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - gA \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \quad (2.33)$$

求解：

$$Q(t+\Delta t) = \frac{1}{1 + \frac{K\Delta t}{R^{4/3}} |v|} \left(Q + 2\bar{v} \Delta A + \bar{v}^2 \frac{A_2 - A_1}{L} \Delta t - g\bar{A} \frac{H_2 - H_1}{L} \Delta t \right) \quad (2.34)$$

其中， $\bar{v}$ 、 $\bar{R}$ 、 $\bar{A}$ 為時刻 t 管線的加權平均值，(2.34) 式中的未知數包含 $Q(t+\Delta t)$ 、 H_2 與 H_1 ，而 $\bar{v}$ 、 $\bar{R}$ 、 $\bar{A}$ 亦相關到 Q 和 H ，故可由一節點的連續方程式寫出 Q 和 H 的相關性：

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\sum Q_t}{AS_t} \quad (2.35)$$

將(2.35)式寫成差分形式：

$$H(t+\Delta t) = H_t + \frac{\sum Q_t \Delta t}{AS_t} \quad (2.36)$$

最後，由改良的尤勒法(modified Euler method)來解得某一時段每一環節的流量及水頭。如此即可完成 Extran module 之運算。

1.5.2 LID 元件

1.概念模型

LID 設施是由數個垂直分層組合而成，SWMM 模式可運算出雨水在其間移動或儲蓄的量，其概念模型如圖 2-3 所示。SWMM Version 5.1 可模擬 7 種 LID 設施，包含了生態滯留單元、雨水花園、綠屋頂、滲渠、透水性鋪面、雨水貯留桶以及草溝，雖然各設施的分層、元件及特性有所差異，但大致上皆符合此一概念模型的範疇，而各設施模擬所需的配置如圖 2-4 SWMM 模式之 LID 設施配置所示，將其綜合整理如表 2-1 SWMM 模式之 LID 設施配置所示。

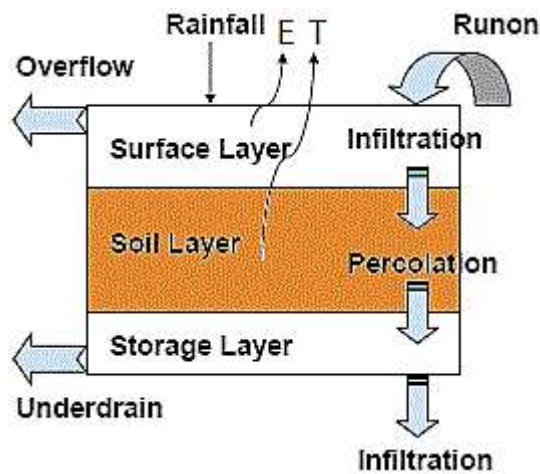


圖 2-3 SWMM 模式之 LID 概念模型(資料來源:美國環保署)

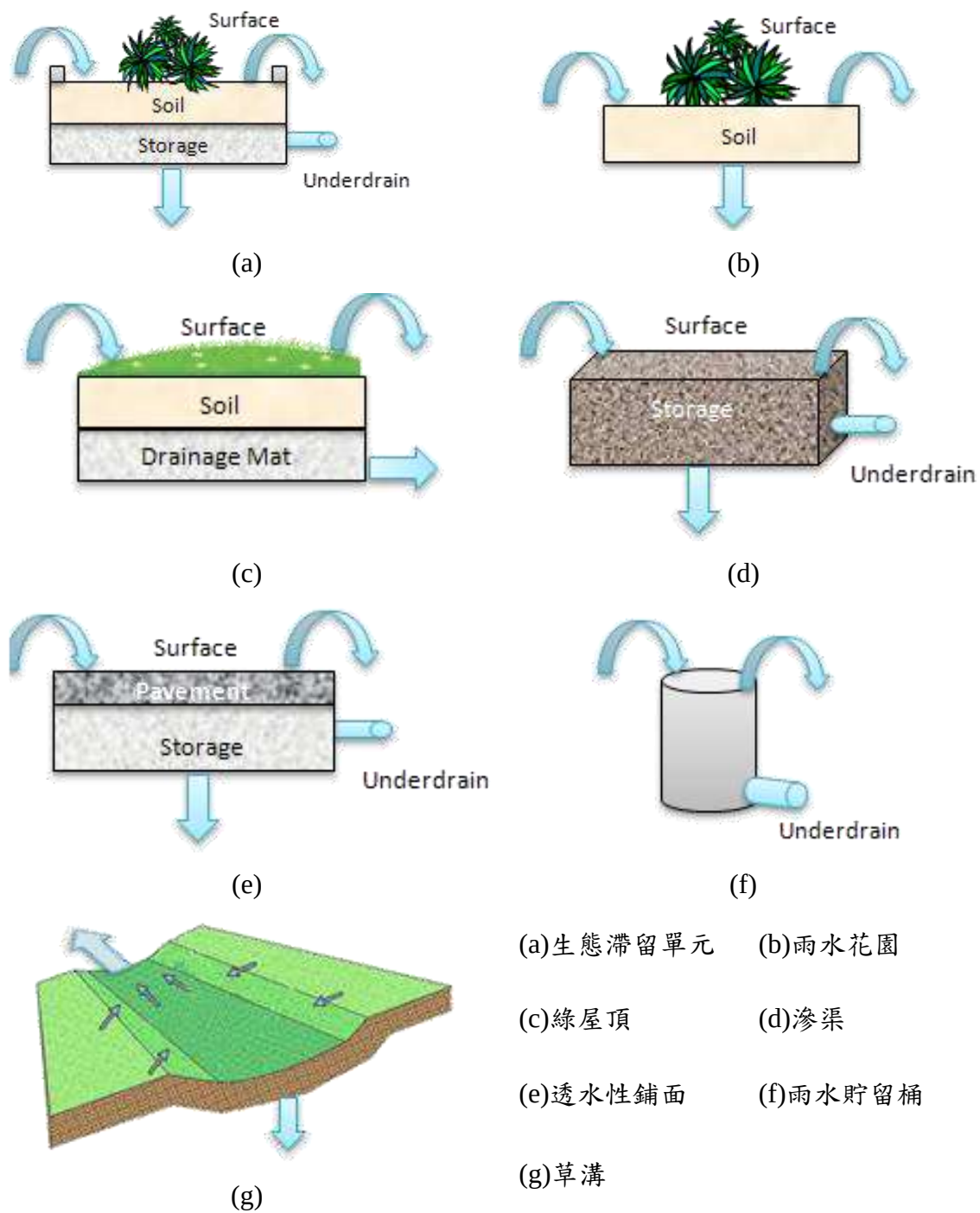


圖 2-4 SWMM 模式之 LID 設施配置

表 2-1 SWMM 模式之 LID 設施配置

LID Type	Surface	Pavement	Soil	Storage	Underdrain	Drainage Mat
Bio-Retention Cell	x		x	x	o	
Rain Garden	x		x			
Green Roof	x		x			x
Infiltration Trench	x			x	o	
Permeable Pavement	x	x		x	o	
Rain Barrel				x	x	
Vegetative Swale	x					

註: x 為必要配置, o 為選擇性配置

資料來源:美國環保署

LID 設施的垂直配置包含了表面層、鋪面層、土壤層(生長介質層)、蓄水層、排水管，以下就各層性質分別說明:

(1) 表面層(surface layer)：

用以呈現設施表面的特性，需輸入的參數包括積水深度、植生體積係數、表面粗糙度、表面坡降以及邊坡坡度。其中，積水深度是指在溢流發生前可允許積水的最大深度，對一般處理地表漫地流的 LID 設施來說，即表示凹陷處可蓄水的深度，對草溝而言為梯形斷面深度；植生體積係數為植物莖、葉體積佔設施表面積的比例，通常可將其忽略，若為茂密植被則建議設定為 0.1～0.2；表面粗糙度即曼寧係數，主要影響設施表面的水流流速；表面坡降只用於綠屋頂、透水性鋪面及草溝，其餘設施將此參數設為 0；邊坡坡度為草溝斷面側邊的斜率，以水平距離比上垂直距離來表示，而其餘設施可忽略此參數。

(2) 鋪面層(pavement layer)：

用以呈現透水性鋪面之特性，需輸入的參數包括鋪面層厚度、孔隙比、透水率、堵塞係數。其中，鋪面層厚度一般採 10~15 公分；孔隙比為土壤中的氣體體積比上其固體體積，一般採 0.12~0.21；透水率為鋪面的透水能力，也可

以為砂、礫石的水力傳導係數，透水性水泥和瀝青的初始透水率高，但隨著時間增加，透水率會因為水流中的細粒材料阻塞而降低；堵塞係數可顯示出透水率減少的速度，其計算必須先假定鋪面從充滿孔隙到完全阻塞的使用年限，若非模擬長期連續降雨者，可忽略該參數。

(3) 土壤層 (soil layer)：

用以呈現土壤級配之特性，需輸入的參數包括土壤厚度、孔隙率、田間含水量、凋萎點、吸力水頭、水力傳導係數，其中，土壤厚度於一般設施採 45~90 公分，而綠屋頂採 7.5~15 公分；孔隙率為土壤孔隙體積與整體體積之比值；田間含水量為土壤重力水排除後的水分含量；凋萎點為能提供植物生長之最低含水量；吸力水頭為土壤濕潤過程中的平均吸力；水力傳導係數為飽和土壤中的導水率。

(4) 蓄水層 (storage layer)：

用以呈現蓄水空間之特性，需輸入的參數包括厚度、孔隙比、入滲率、堵塞係數，其中，厚度是指一般設施中礫石層的厚度，通常採 15~45 公分，而對雨水貯留桶是指其高度，通常採 60~90 公分。

(5) 排水層 (underdrain)：

為選擇性配置，可於該層設置排水管或暗渠將收集到的水，輸送至排水系統當中，需輸入的參數包括排水係數、排水管底部高度，其中，排水係數會決定排水的流量，計算公式如(2.37)式；排水管底部高度為排水管底部與蓄水層底部的距離。

$$q = C(h - H_d)^n \quad (2.37)$$

式中， q ：排水流量， C ：排水係數， h ：蓄水深度

H_d ：排水深度， n ：流量指數

通常可假設排水狀況類似孔口，將 n 設定為 0.5，則排水係數可由排水深度

D 所需花的排水時間 T 來估計，即 $n=0.5, C = 2\sqrt{DT}$ 。

2.設置方法

LID 設施在模式中的設置方法有兩種：

- (1) 於既有的次集水區中設置單一或多種的 LID 設施，設施面積會等量取代既有次集水區的面積。

(2) 建立新的次集水區，而該次集水區完全被單一種 LID 設施所覆蓋。

模式設定採用第一種方法，該方法允許多種 LID 設施混合使用，可分配各種設施負責不同的地表逕流比例，而每單位設施運算採並聯式進行，並非一系列、串聯式的計算。另外，次集水區在設置 LID 設施後，其原有的不透水率和寬度必須進行修正，而新的不透水率為原始不透水面積扣除 LID 設施面積與次集水區面積扣除 LID 設施面積的比值，即 $\frac{\text{原不透水面積} - \text{LID設施面積}}{\text{子不透水面積} - \text{LID設施面積}}$ 。

1.5.3 數值模擬之限制

為確保 Extran module 的演算過程穩定，在設定模式時，必須嚴格限制演算時間間隔 Δt ，根據波傳理論-庫倫(Courant)條件來看，若 $\Delta t_c > \Delta t$ $\Delta t_c > \Delta t$ ，則會使修正尤勒法產生不穩定解，因此 Δt 對每一管線的限制條件為：

$$\Delta t_c = \frac{L}{\sqrt{gD}} \leq \Delta t \quad (2.38)$$

其中， Δt_c ：水面波由管線一端至另一端的時距

L ：管線長度

g ：重力加速度

D ：管線深度或圓管直徑

另外，若研究區域的排水管線最長與最短的比例超過 4~5 倍時，可採等效管 (equivalent pipe) 來解決可能造成的不穩定解現象：

$$n_e = n_p \cdot \sqrt{\frac{L_p}{L_e}} \quad (2.39)$$

其中， L_p 、 n_p ：實際管長及粗糙係數

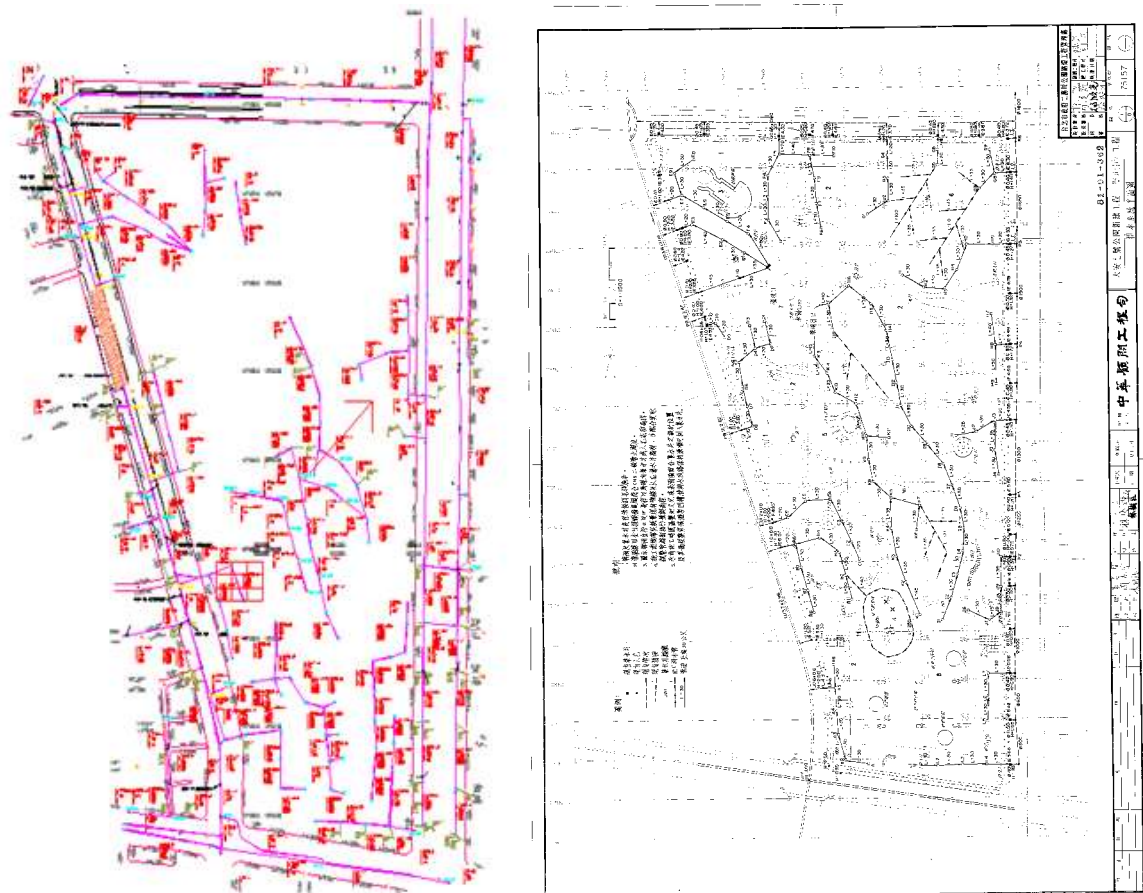
L_e 、 n_e ：等效管長及粗糙係數

第3章 模式建立

1.6 管線資料整理與調查

過去台灣都市的排水系統主要仰賴雨水下水道，僅管低衝擊開發設施於近年來導入台灣，但由於台灣的屬於短延時高強度之雨型與歐美地區相去甚遠，因此仍然無法全然捨棄雨水下水道，而低衝擊開發設施僅能作為下水道之輔助設施而非主力，且大安森林公園之低衝擊開發或是滯留、入滲的設施不多，所以欲了解大安森林公園之排水現況必須要了解其雨水下水道之管線配置。

大安森林公園過去在被興建成為七號公園前為眷村用地，於當時就應有一套下水道系統，經過七號公園的新建以及改名為大安森林公園之後增設了捷運站，其過程當中都有多次的改建以及增減，因此本研究除了不同年代圖資的蒐集並套疊之外，也進行了現地的盤點以及簡易測量，方能建立符合現況之排水數值模型。



(a) 大安森林公園管線圖

(b) 七號公園管線圖

圖 3-1 管線圖資

本研究蒐集了兩套大安森林公園下水道管線圖，分別為近年於大安森林公園區域附近之台北市下水道管線調查結果(圖 3-1(a))，以及中華顧問於民國 81 年七號公園新建之管線圖(圖 3-1(b))。前者除了年代與現今較近之外，同時圖上也包含管線的流向、長度、高程、斜率、尺寸等標示，可以做為模型設置之參考，後者則僅有管線位置以及長度，雖然資料有所缺漏，但依然可供確認比對。

套疊結果儘管新舊圖資因年代久遠而形狀位置有所偏誤，但仍可以比對出新舊圖資皆有之排水系統(如圖 3-2(b))，此外，亦有許多新建的排水管線僅出現於新圖當中，於年代久遠的七號公園管線則尚未出現(如圖 3-2(c))。

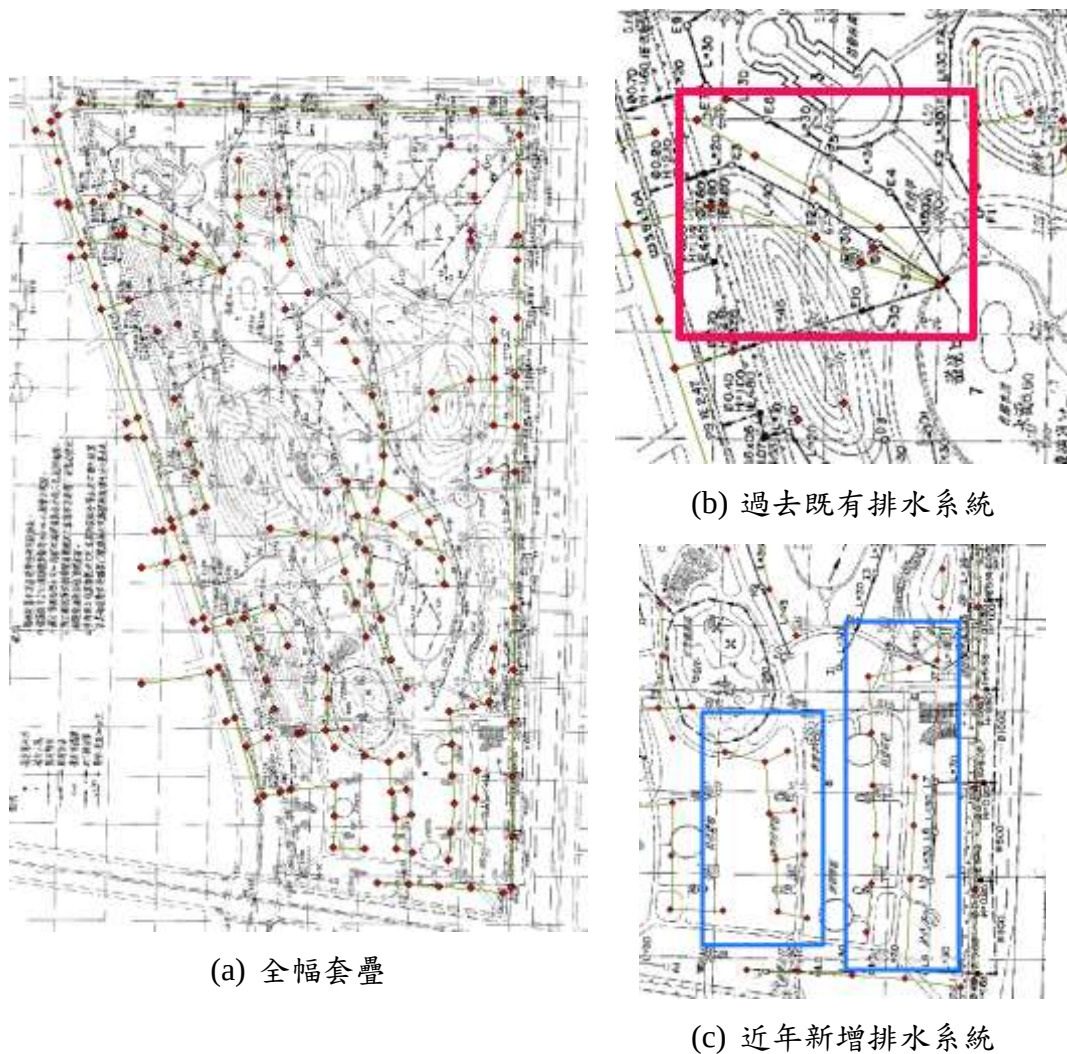


圖 3-2 管線圖資套疊結果

本研究實際走訪大安森林公園多次，透過圖紙以及現地的比對，盤點集水井分佈之現況(圖 3-3(a))，並透過木製標竿測量所見集水井之深度(圖 3-3(b))，同時也將可以打開之集水井蓋掀起，大致了解內部管線配置狀況以及淤積情形(圖 3-3(c))，現地觀察之結果與過去圖資進行比對皆大致吻合，因此數值模型所需之基本資料皆可透過過去台北市下水道圖資輸入建立。

然而，在建立初步的數值模型時，發現有三、四處管線出現下游高程較上游高的逆坡情形，造成水流無法透過重力的方式導入較大的排水系統，僅能提高水位透過水壓來將水推進，致使水位過高甚至容易出現溢淹，是在設計上部應出現之異常情形；除此之外，亦發現有幾處在新舊圖資中皆未標示之集水井。以上兩種狀況需要近一步的確認，因此透過水準儀以及水準尺進行簡易的高程測量。



(a) 集水井盤點紀錄



(b) 集水井深度測量



(c) 集水井開蓋觀察

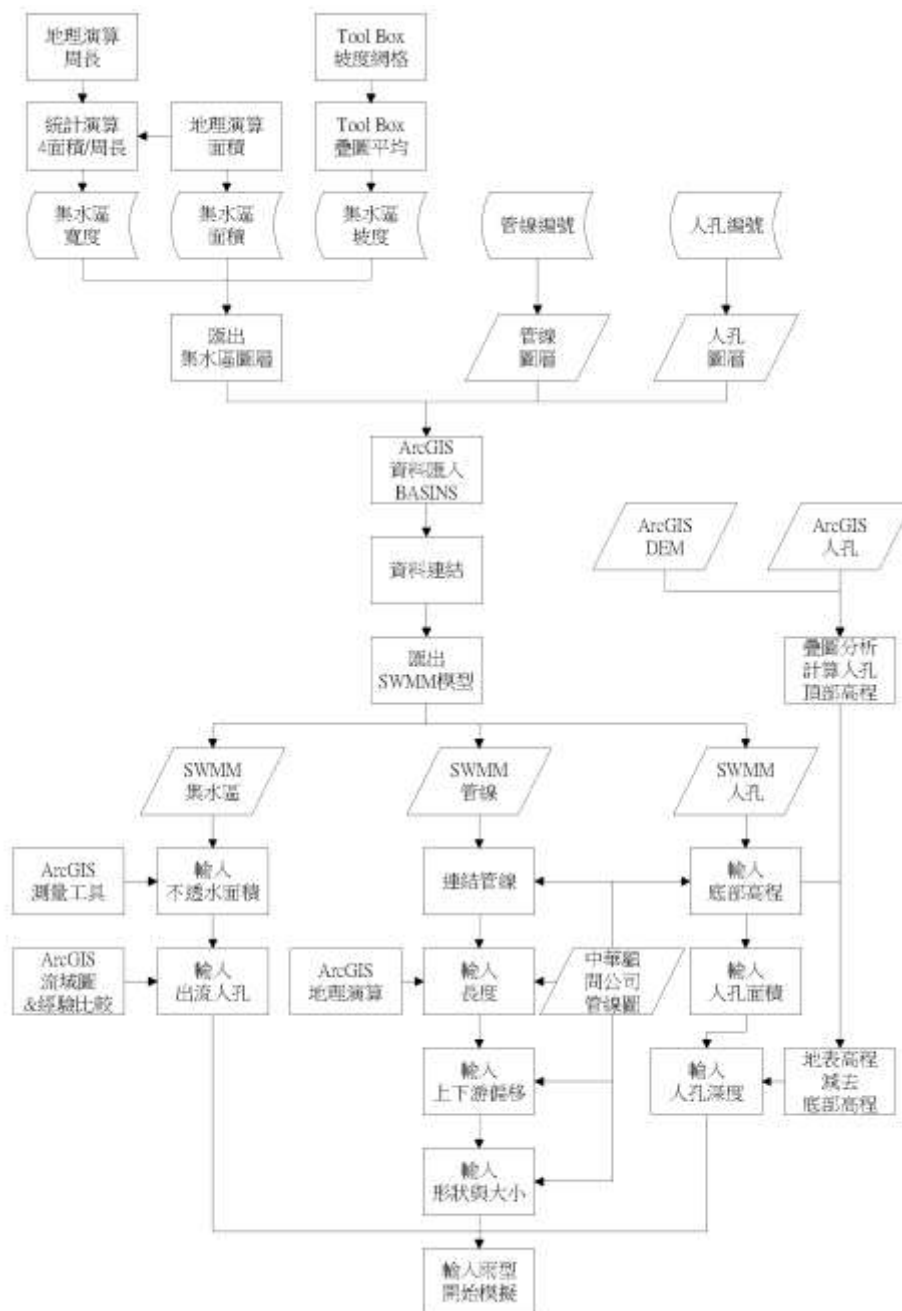
圖 3-3 集水井現地盤點

1.7 SWMM 模型建立

1.7.1 建立流程

SWMM 的數值模式當中最重要三個要素分別是次集水區、下水道管線以及集水人孔，在次集水區的諸多地理資訊相關參數，可以透過地理資訊軟體 ArcGIS 進行演算，並匯入修改管線圖資之圖層，即可透過 BASISs 軟體將這三要素的圖層轉換成 SWMM 的輸入檔(.inp 檔)。

詳細流程圖如下：



1.7.2 降雨條件(rain gage)

過去經濟部水資源局對全台各雨量測站之雨量紀錄進行分析，分別針對 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年及 200 年等七種重現期距與 10 分鐘、30 分鐘、1 小時、90 分鐘、2 小時、3 小時、6 小時、12 小時、24 小時及 48 小時等十種降雨延時，共 70 種的降雨分析資料進行研究(經濟部水資源局, 2001)。本研究取 2 年、5 年、10 年、25 年、50 年、100 年重現期距，降雨分為較 1 小時、2 小時、3 小時等較短延時，及 6 小時、9 小時、12 小時等較長延時，降雨時間序列使用 IDF 雨型設計法，參考《水文設計應用手冊》之台北雨量站參數以及比例，計算出降雨組體圖，做為模擬之降雨輸入條件。

表 3-1 設計雨型

回 歸 期 延 時	2 年	5 年	10 年	25 年	50 年	100 年
1 小時	1	2	3	4	5	6
2 小時	7	8	9	10	11	12
3 小時	13	14	15	16	17	18
6 小時	19	20	21	22	23	24
9 小時	25	26	27	28	29	30
12 小時	31	32	33	34	35	36

1.7.3 次集水區(subcatchment)

於 SWMM 所建立之數值模型將會有一個至數個次集水區，而每個次集水區將依照給定之降雨條件進行演算，並有一個出流點，可以設置為排水人孔、蓄水池等等或是另一個次集水區，而其主要的地理資訊參數包含面積、寬度以及坡度。將 5 公尺乘 5 公尺解析度數值高程資料(DEM)匯入地理資訊軟體 ArcGIS，透過內建的工具進行地表逕流的集水區切割，在透過鄰近區域的合併簡化，共切割為 70 個次集水區，再計算面積、寬度，並由 DEM 計算得到平均坡度。

而有關水理演算的參數，主要包含不透水區域比例、曼寧係數、滯蓄深度以及土壤入滲參數等。不透水區域比例利用 ArcGIS 中衛星影像，將建物以及道路劃為不透水區域，植在綠地則化為透水區域，並依照先前劃分之次集水區個別計算其所占比例；曼寧係數參考 SWMM 操作手冊中之建議數值，將不透水區域之曼寧係數設為 0.02，透水區域為高植栽密度之 0.40；滯蓄深度同樣參考操作手冊，在不透水區域滯蓄 2.5 公分，透水區域為 6.3 公分。最後，土壤入滲使用 Horton 入滲公式，並使用顆粒最小屬於黏土的 D 型土壤作為輸入參數。

表 3-2 次集水區統一參數設定

Subarea			
參數	說明	數值	單位
N-Imperv	不透水區域曼寧 n 值	0.02	none
N-Perv	透水區域曼寧 n 值	0.40	none
Destore-Imperv	不透水區域滯蓄深度	6.50	mm
Destore-Perv	透水區域滯蓄深度	5.00	mm
%Zero-Imperv	無滯蓄深度之不透水區域比例	25.00	%
Subarea Routing	逕流路徑	OUTLET	直接流入人孔

表 3-3 土壤分類及最小入滲率

種類	最小入滲率 (in/hr)	最小入滲率 (mm/hr)	土壤特性
A	0.30~0.45	7.62~11.43	深層砂土，深層黃土，集合沉泥
B	0.15~0.30	3.81~7.62	低有機含量壤土，高黏土含量壤土
C	0.05~0.15	1.27~3.81	黏質壤土，淺層壤土， 低有機含量壤土，高黏土含量壤土
D	0~0.05	0~1.27	潮濕層膨脹之土壤，高塑性黏土，鹹土

表 3-4 Horton 入滲參數設定

Infiltration	Method	Horton
參數	數值	單位
Max. Infil. Rate	5.00	mm/hr
Min. Infil. Rate	0.10	mm/hr
Decay Constant	1.02	1/hr
Drying Time	7.00	days

1.7.4 人孔(junction)

地表逕流在流經次集水區之後將匯流至排水人孔當中，而其亦為下水道管網排水管線之節點，其最主要的參數為底部高程以及最大深度。藉由過去圖資以及現地測量可以得知大部分人孔之最大深度，若遇到人孔蓋無法開啟或是難以測量之情形，藉由假設排水線路斜率相同，以前一個與下一個人孔深度進行線性內插作為假設之最大深度。必須注意的是 SWMM 的簡化模型當中人孔滿管溢淹之後不會二維之漫淹演算，而是使水蓄積在人孔上方，直至下水道管網有能力將其排出。

1.7.5 管線(conduit)

地表逕流流入人孔之後藉由管線江水從上游輸送往下游，其主要參數包含長度、斷面形狀、尺寸以及與上下游人孔相接之抬升高度，透過過去圖資可以得知相關資料。必須注意的是 SWMM 在模式運算當中不允許排水管線出現負向斜率，因此上游之高程必須設定為不低於下游，若遇到負向斜率之情形則將其調整至高程相同，亦即斜率為零即可進行模擬。

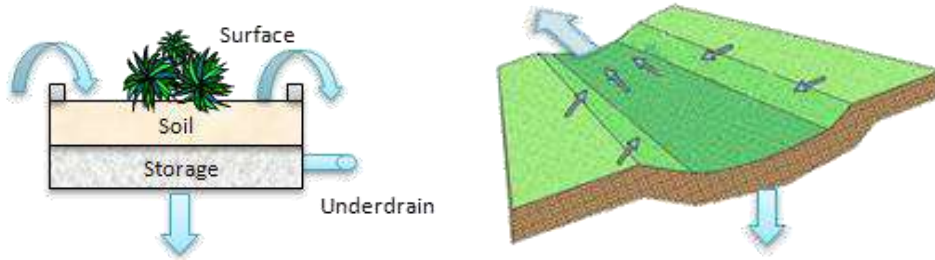
1.7.6 出流邊界(outfall)

由於大安森林公園四周為台北市的主要幹道，其下方皆有約 2 公尺高、4 公尺寬等尺寸較大之排水幹管，因此將出流邊界假設為自由出流(free fall)。

1.7.7 LID 元件(LID control)

本研究所使用的 LID 元件包含最常見的乾式溝(線性生態滯留單元)以及草溝渠兩種，乾式溝包含表面層、土壤層、蓄水層及其排水管，而草溝渠僅有表面層。所有參數設定如表 3-5 LID 元件參數設定。

表 3-5 LID 元件參數設定



Layers	Coefficient	Bio-Retention Cell	Vegetative Swale	Unit/Note
Surface	Berm Height	150	100	mm
	Vegetation Volumn	0.1	0.2	volume fraction
	Surface Roughness	0.2	0.3	Manning n
	Surface Slope	1~11	1~11	%
Pavement	Thickness	none	none	mm
	Void Ratio			volume fraction
	Impervious Surface			surface fraction
	Permeability			mm/hr
	Clogging Factor			mm/hr
Soil	Thickness	450	none	mm
	Porosity	0.25		volume fraction
	Field Capacity	0.2		volume fraction
	Wilting Point	0.1		volume fraction
	Conductivity	50		mm/hr
	Conductivity Slope	40		none
	Suction Head	20		mm
Storage	Thickness	450	none	mm
	Void Ratio	0.43		void/solid
	Seepage Rate	5		mm/hr
	Clogging Factor	0		none
Drain*	Flow Coefficient	4.86	none	none
	Flow Exponent	0.5		none
	Offset Height	250		mm

第4章 模擬結果

1.8 新設小生態池

1.8.1 參數率定驗證

由於小生態池為近期新建設施，且其形狀、水深、植栽較為多樣與複雜，於 SWMM 數值模型當中僅簡化為一簡易蓄水空間，需要透過參數的率定驗證才可以確定這樣的簡化模型以及參數是否貼近現實且值得參考。本研究透過 2017 年 6 月 2 日、3 日兩場暴雨事件，率定驗證小生態池的底部高程及其出流管線之抬升高度，初始水深則設為與監測時間之初始水位相同，最大水深則透過標尺於現地測量得知約為 60 公分，而平日一般水位約在 20 公分左右，與監測水位一致。



圖 4-1 現地相關深度測量

首先將參數劃定在某個合理範圍內，底部高程介於 4.6 至 4.4 公尺之間，出流管線抬升高度則介於 0.2 公尺至 0.4 公尺之間，將兩項變數各切割出 20 個間隔，共 400 種組合，每項組合在第一場暴雨事件下所模擬輸出之水深，與相同時間內之監測資料比對，利用最小平方法找出誤差最小之參數設定作為率定結果。

率定結果生態池底部高程為 4.48 公尺，出流管線抬升高度為 0.23 公尺，其水深對應圖如圖 4-2，紅色長條圖為降雨強度，其單位(mm/hr)對應至左方縱軸；橘色線為小生態池監測水位，藍色線則為模擬水位，兩者單位(m)對應至右方縱軸。

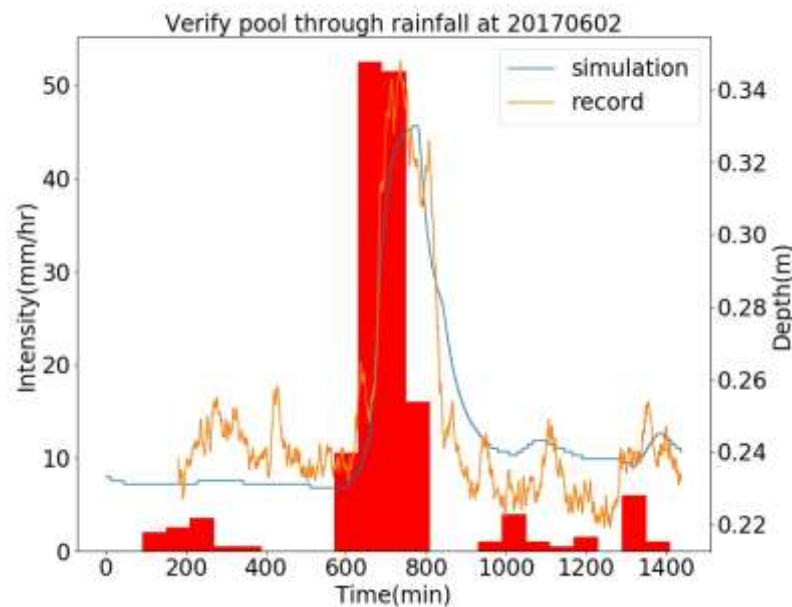


圖 4-2 2017 年 6 月 2 日暴雨事件參數率定結果

接下來利用率定出來的參數以另一場 2017 年 6 月 3 日的暴雨事件進行驗證，率定、驗證的結果模擬水深符合監測水位之趨勢且十分接近，足以信賴以此結果進行數值模擬，唯監測水位會因為抽水馬達、水循環流動以及形狀深度不規則等原因出現震盪，透過簡易模型無法達到完全擬合。

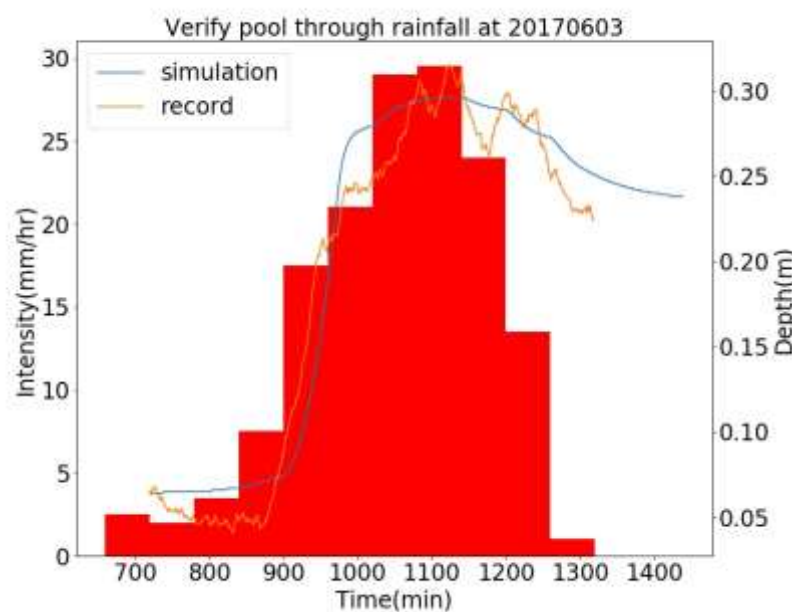


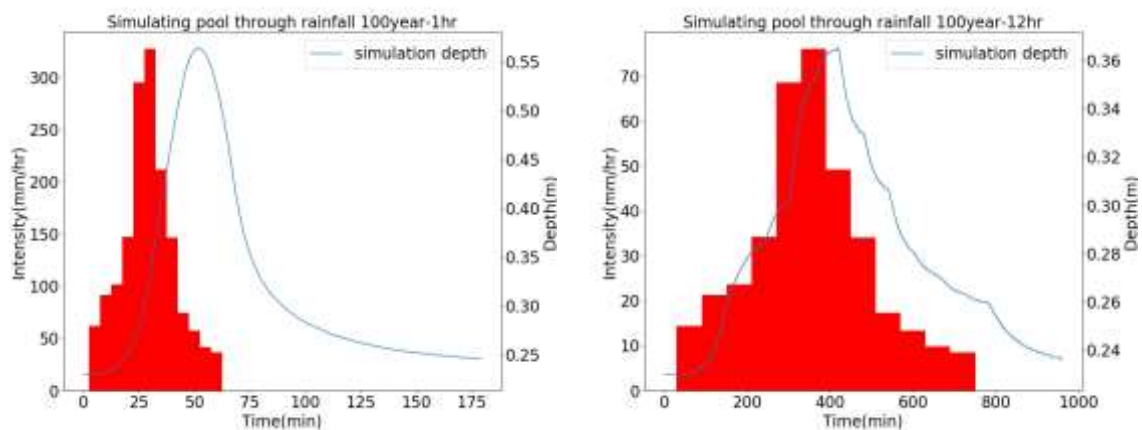
圖 4-3 2017 年 6 月 3 日暴雨事件參數驗證結果

1.8.2 極端降雨事件模擬

在完成率定驗證之後，即可利用此參數進行相關模擬，本研究選取 IDF 方法設計雨型 100 年迴歸期 1 小時延時與 12 小時延時進行比較，以了解新設小生態池於極段降雨情況下是否有淹水之疑慮。

在 12 小時延時的降雨下，降雨延時較長所以降雨強度較低，出流管線有足夠的排水時間將水排出，因此模擬水深最高僅到 36 公分左右；但在 1 小時延時的降雨下，降雨延時很短所以降雨強度非常高，儘管出流管徑不小但仍有其極限，宣洩不及的情況下造成水位持續抬升，最高水位可達 55 公分左右，雖然十分接近測量得到的小生態池最大深度 60 公分，但仍在其範圍之內。

故新設小生態池本身應無溢淹之危險，若遇更為極端的強降雨，則大安森林公園各處之溢淹情況應是無可避免。



(a) 1 小時延時 100 年迴歸期降雨

(b) 12 小時延時 100 年迴歸期降雨

圖 4-4 極端事件模擬結果

1.9 植生溝敏感度分析

1.9.1 設置與假設

敏感度分析乃透過在一定範圍內變動變數，以了解其對於目標函數是否有所影響，甚至藉此觀察出其影響方式及原理。由於草溝渠僅有表面層，因此可以調整的變數僅有渠道斜率、行水寬度、植被覆蓋係數、曼寧係數等，而植被覆蓋係數及曼寧係數在選取材料以及植栽時就已大致決定，渠道斜率及行水寬度則有較大的調整空間。因此，本研究欲比較、了解乾式溝、草溝渠，在變動行水寬度及

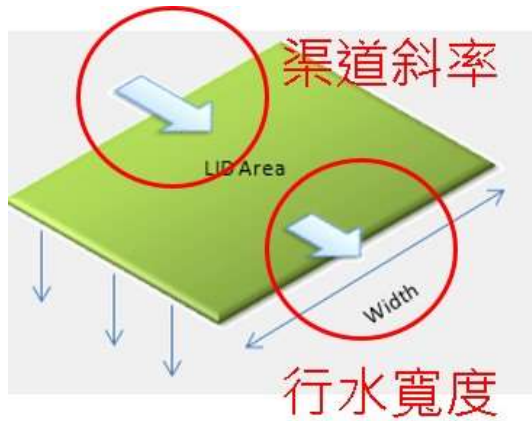
渠道斜率是否會影響其減洪效果(參考圖 4-5)，並目標函數設定為出口之洪峰流量以及各淹水集水井之淹水量總和。



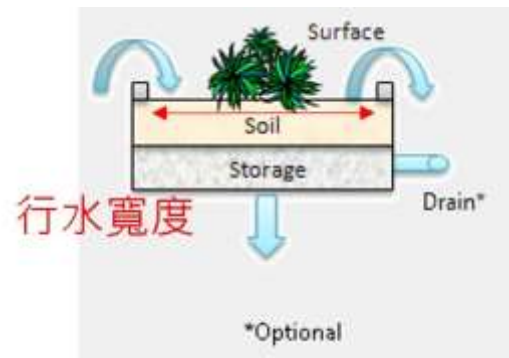
(a) 草溝渠渠道斜率示意圖



(b) 草溝渠行水寬度示意圖



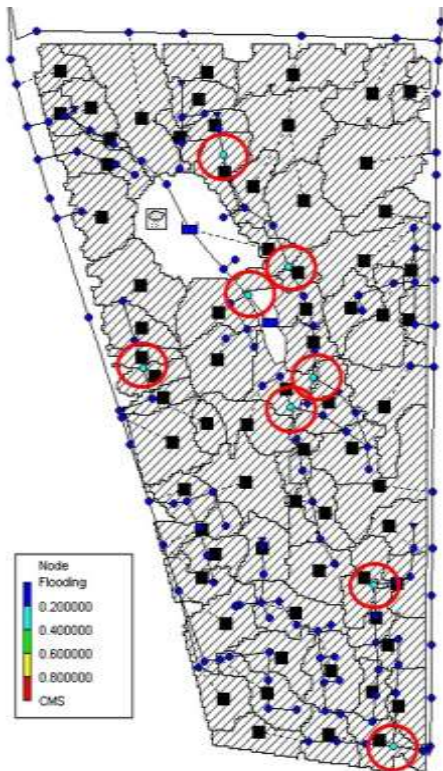
(c) 乾式溝渠道斜率示意圖



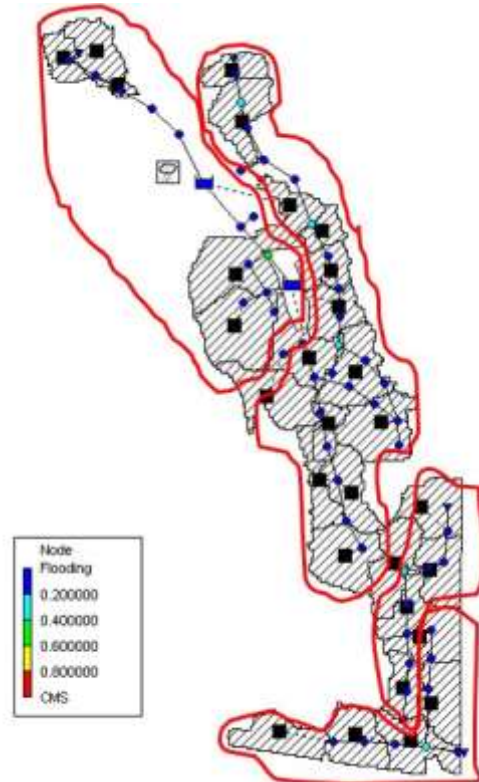
(d) 乾式溝行水寬度示意圖

圖 4-5 植生溝敏感度分析變數示意圖

為此，將渠道斜率設為 1%至 11%，每 0.1%模擬一次，亦即切割為 100 個間隔；同理將行水寬度設為 0.2 公尺至 2.2 公尺，每 0.01 模擬一次，同樣是切割為 100 個間隔，於 36 種設計雨型下進行模擬分析。由於總共需要計算 36 萬次，為了減少計算量以及時間，在模擬分析之前必須要簡化模型，於此僅挑出幾處在 1 小時延時 100 年迴歸期的極端降雨下，淹水問題較為嚴重以及小生態池附近之排水系統作為研究模擬對象(圖 4-6(b))。而植生溝之設置方式，乃是先依照衛星影像圖所見有步道、道路等位置兩旁設置，其長度測量結果如圖 4-7 植生溝設置所示。



(a) 全區溢淹集水井

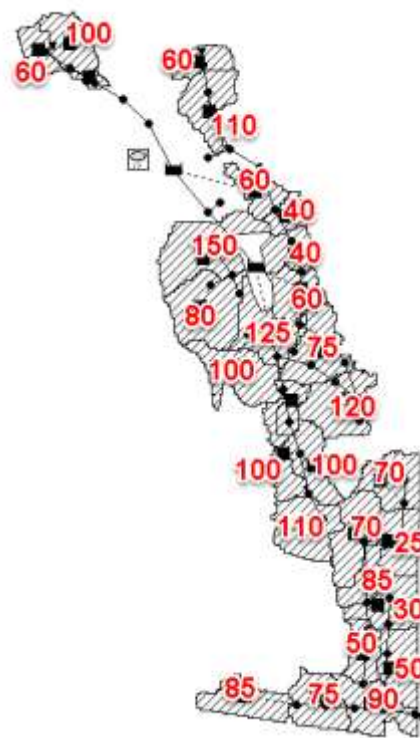


(b) 簡化模型排水系統

圖 4-6 利用 1 小時延時 100 年迴歸期降雨挑選排水系統



(a) 利用衛星影像測量人行道長度



(b) 次集水區對應植生溝長度

圖 4-7 植生溝設置

1.9.2 結果與分析

由於不同降雨條件下之模擬結果趨勢大同小異，且出口口之洪峰流量與區域淹水總量呈現高度正向關係，因此僅取出極端降雨事件 1 小時延時 100 年迴歸期降雨，目標函數為區域淹水總量之模擬結果作分析比較。

由圖 4-8 敏感度分析結果可以發現幾點，首先是乾式溝在淹水量不論是何種設置皆較草溝渠低，可見草溝渠於大多僅有輸水功能，於蓄水、滯留等減洪功能表現較差，因此建議大安森林公園若考慮設置植生溝應以乾式溝為主。在兩項變數的比較上，乾式溝與草溝渠的趨勢表現亦有所差，乾式溝在最小斜率、最大寬度時具有最大的減洪效果，亦即淹水總量最低(如圖 4-8(a))；草溝渠則是在最小斜率、最小寬度時淹水量最低(如圖 4-8(b))。

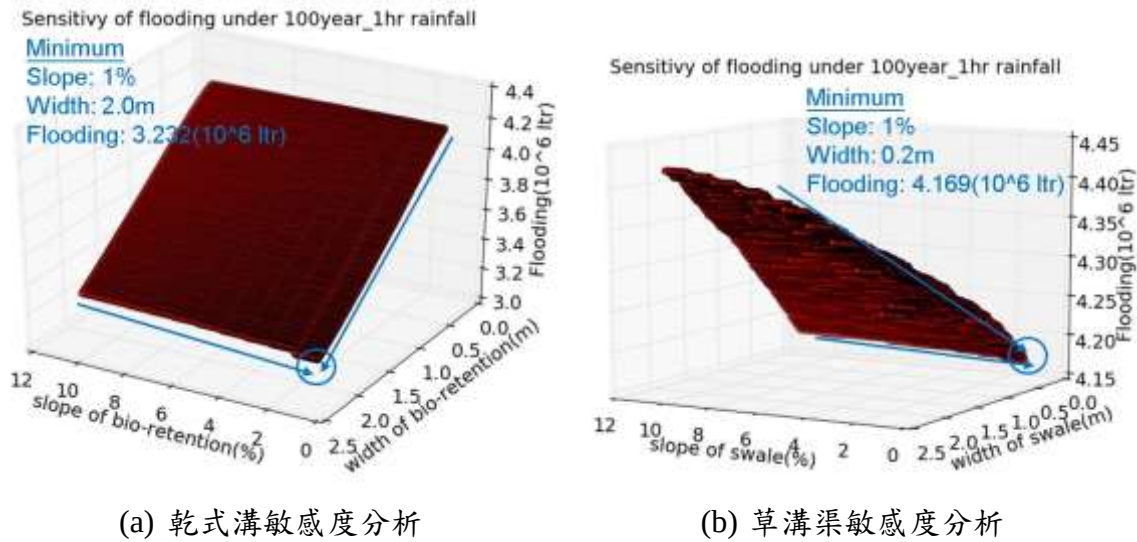


圖 4-8 敏感度分析結果

兩者的敏感度分析結果有所不同，乃是因為乾式溝與草溝渠在蓄水機制上有明顯的不同。草溝渠僅是透過渠道的水深及寬度來蓄積水量，透過曼寧公式(式(4.1))以及簡單的流量計算(式(4.2))，可以得知在較小的斜率下流速較慢，且截面積會隨著寬度減小，因此出流量也將隨之減少，敏感度分析的結果即是呈現，草溝渠透過盡量減少其出流量將水體蓄積在渠道內，以減少對於出流集水井的負擔。

$$v = \frac{1}{n} (D_2 - D_d)^{2/3} S^{1/2} \quad (4.1)$$

$$Q = v \times A = v \times (D_2 - D_d) \times w \quad (4.2)$$

在乾式溝方面，由於減洪效果主要仰賴地下之級配蓄水層，僅在蓄水層蓄積體積到達極限之後，才會轉由表面渠道蓄水，與草溝渠之蓄水機制有所不同。由於蓄水層之體積隨著寬度成正比增加，所以敏感度分析結果會是寬度最大的效果最佳，而其效果並不會受到表面的渠道斜率影響，因此渠道依然是斜率越小越能發揮其渠道蓄水之功能。

表 4-1 敏感度分析整理

	草溝渠	乾式溝
渠道斜率	↓	↓
行水寬度	↓	↑
蓄水機制	渠道蓄水	蓄水層(主) 渠道蓄水(次)

本研究透過敏感度分析了解渠道斜率及行水寬度確實對於植生溝的減洪效果有顯著的影響，且由於乾式溝與草溝渠之蓄水機制不同，導致兩者對於行水寬度的設計方向應截然相反，在未來應用時應多加注意。

第5章 結論與建議

本研究透過新舊圖資的比對以及現地的調查與測量，建立出完整的大安森林公園深層排水系統之數值模型，並利用數值模型模擬極端降雨情況下大安森林公園是否有溢淹的情形，其結果呈現新設生態池並無溢淹的危險，但在其附近以及多出排水管線在圖資上為逆坡的集水井出現滿管並溢淹的情況。若要確實改善需要將這些坡度不夠的管線進行調整，或是另闢管渠將水透過重力導引至下游幹管當中。

除此之外，在夏季日常的午後雷陣雨過後，大安森林公園因為土壤滲透不佳，加上表層排水不良種種原因導致積水嚴重，甚至在雨後兩三天草地依然呈現潮濕積水的狀況，除了潮濕燠熱之外也影響居民、遊客休憩使用。大安森林公園的排水系統應往防洪蓄水的方向進行改善，但同時必須兼具良好的排水功能，避免排水不佳嚴重妨礙其他功能。

大安森林公園的表面排水系統仍然屬於舊有的 RC 側溝，其容易影響限制附近植栽樹木的根系發展，又僅有排水而不具蓄水功能，且多處早已淤積嚴重，甚至積滿土壤不敷使用，建議大安森林公園短期考慮從排水系統的清淤做起，已恢復其應有之功能。

然而大安森林公園仍有多出人行道旁未設有排水側溝，且草地低窪易出現嚴重泥水蓄積(如圖 5-1)，建議可以透過地質改良讓水可以入滲進入深層土壤之中，除了減少地表積水之外，亦可增進土壤的水分涵養。另一方面，也可以考慮在人行道或是積水嚴重的區域增設乾式溝，並將附近的地形做一定程度的調整，導引地表逕流進入乾式溝中，除了能夠減少積水問題之外，表面的植栽亦具有生態、景觀之功能，最重要的是，乾式溝下方的蓄水空間亦可將水保留一段時間，增加大安森林公園之減洪、蓄水功能，真正符合防災公園的設計目標。

最後，未來大安森林公園若考慮新設生態池或滯洪池，須先了解兩者本質上有所差異，生態池需要維持一定的水位高度，但設計上經常需要顧慮到生物的棲息以及植栽的種植，通常無法有太大高度落差，方能展現其生態功能，因此蓄水空間有限；然而滯洪池必須在洪峰來臨之前空出其最大之蓄水空間，在洪峰到來及前一段時間收納大量水體，以減輕下游排水管線之負擔，至降雨緩和之後再緩緩排出，設計概念與生態池截然不同甚至有所牴觸，且需要細部的規劃設計才能

發揮其效用。若考慮增設結合生態、滯洪功能之水池則需要更深入的研究探討及規劃。



圖 5-1 大安森林公園雨後積水狀況

大安森林公園之排水、蓄水系統仍有非常多的改善空間，本研究僅限於大安森林深層排水之現況調查，並建立 SWMM 數值模型以供模擬分析，對於表層排水以及滯洪、防災之設計僅有粗淺概念，仍有待後續補足細部資料之後進一步規劃設計。

參考文獻

1. AkanA.Osman. (1993). Urban stormwater hydrology: a guide to engineering calculations. CRC Press.
2. ArchitectureLandscapeHBB. HBB Landscape Architecture. 擷取自 HBB Landscape Architecture: <http://www.hbbseattle.com/>
3. UniversityMonash. Water for Liveability Centre. 擷取自 Water for Liveability Centre: <http://www.waterforliveability.org.au/?p=7528>
4. 土壤調查與整治研究室. 擷取自 剖面土綱—台灣土壤分類: http://lab.ac.ntu.edu.tw/soilsc/sc/sc_box_taiwan.html
5. 內政部營建署. (2015). 水環低衝擊開發設施操作手冊. 台北市: 營建署.
6. 經濟部中央地質調查所. 擷取自 地質資料整合查詢.
7. 聽遊趣股份有限公司. 聽遊台灣. 擷取自 聽遊台灣: <http://www.atgapp.com/>
8. 何媚華. (2014). 中永和地區都市排洪系統最佳管理措施之探討. 臺灣大學.
9. 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. 臺灣大學.
10. 栗晨堃. (2016). 都市雨水貯留設施設計優化模式發展與應用—以臺北 市民生社區為例. 臺灣大學.
11. 經濟部水資源局. (2001). 水文設計應用手冊.
12. Fletcher, T. D., Shuster, W., Hunt, W. F., Ashley, R., Butler, D., Arthur, S., ...Viklander, M. (2015). SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage. *Urban Water Journal*, 12(7), 525–542.
13. Morsy, M. M., Goodall, J. L., Shatnawi, F. M., &Meadows, M. E. (2016). Distributed Stormwater Controls for Flood Mitigation within Urbanized Watersheds: Case Study of Rocky Branch Watershed in Columbia, South Carolina. *Journal of Hydrologic Engineering*, 18(7), 746–759.