

# 出國報告（出國類別：考察）

## 出流管制及低衝擊開發研習

服務機關：經濟部水利署

姓名職稱：耿承孝正工程司、廖雯雯工程員、詹明修工程員

派赴國家：美國

出國期間：103年9月20日至103年10月1日

報告日期：103年11月







# 摘 要

本次出國係經濟部水利署「103 年度水資源作業基金出國計畫」項下之「出流管制及低衝擊開發研習」。經由機關辦理甄選後選派 3 人，共同赴美國科羅拉多進行出流管制及低衝擊開發研習研習課程，課程重點在使用 SWMM 模式、防洪局之 WQCV 及 LID 設計程式來進行防洪及 LID 設施之設計，藉由淺漸深的課程講座及實作練習安排，提供研習人員一整套分析評估流程及結果資料研判，借此學習美方對於水利工程設施設計的經驗，作為日後推動國內相關水利業務的參考。



# 目 錄

第壹章	目的.....	1
一、	緣起.....	1
二、	研習目標.....	1
第貳章	過程.....	3
一、	SWMM 課程.....	3
(一)	安裝與初始設定。.....	4
(二)	Width 之計算.....	6
(三)	模擬不透水區域流經透水區域之減洪效果.....	8
(四)	道路排水之設計.....	9
(五)	長期分析.....	10
二、	防洪局課程.....	12
(一)	UWSI 防洪局簡介.....	12
(二)	課程概論.....	14
三、	LID 設施參觀(UWSI 防洪局).....	20
(一)	University of Denver Parking Structure Sand Filter in City of Denver.....	21
(二)	Denver Housing Authority (DHA)- South Lincoln Campus in City of Denver.....	21
(三)	Colorado Supreme Court Building in the City of Denver.....	24
(四)	14 <sup>th</sup> Street Renovation.....	25
(五)	Highland Bridge Lofts Rain Garden.....	26
(六)	Taxi Redevelopment Area in the City of Denver.....	27
(七)	21th and Iris in the City of Lakewood.....	29
四、	LID 設施參觀(郭教授).....	29
(一)	道路轉角開發區 LID 設施.....	29
(二)	丹佛市區 Arapahoe St 與 17 街交口之 Skyline Park.....	30
(三)	利特爾頓(Littleton)南普拉特河(South Platte River)-Toast 附近.....	30
(四)	南普拉特河旁之商場:.....	32

(五) 商場停車場間設置分隔島.....	34
(六) 社區內的 LID:.....	35
五、 科工學會年會 .....	36
第參章 心得及建議 .....	41

# 表 目 錄

表 2-1 研習及參訪行程表 .....	3
表 2-2 width 參考值 .....	6
表 2-3 防洪局課程表.....	13
表 2-4 最佳管理作業的選擇 BMPs .....	16

# 圖 目 錄

圖 2-1SWMM 模式下載及安裝.....	4
圖 2-2 初始設定.....	5
圖 2-3Routing 設定.....	5
圖 2-4 集水區參設定.....	7
圖 2-5 不同流路設定示意圖.....	7
圖 2-6 正方形集水區不流流路之逕流量分析.....	8
圖 2-7 集水區不透水區至透水區現地照片.....	9
圖 2-8Subarea Routing 設定.....	9
圖 2-9 道路排水設定.....	10
圖 2-10 長期雨量輸入格式設定.....	11
圖 2-11 長期分析總結報告.....	11
圖 2-12 事件頻率分析.....	12
圖 2-13 防洪局(UWSI)上課情形.....	14
圖 2-14 事件分佈圖(Guo and Urbonas, 1989).....	15
圖 2-15 WQ-COSM 介面.....	18
圖 2-16WQCV 結果.....	19
圖 2-17 Stormwater Best Management Practice (BMP) Design Excel 介面.....	19
圖 2-18 Grass Swale 設計介面.....	20
圖 2-19LID 排水盲管.....	20
圖 2-20 Denver 校園 LID.....	21
圖 2-21 停車場之透水鋪面.....	22
圖 2-22 行道樹周邊採用隔柵.....	23
圖 2-23 複合式的景觀效果.....	23
圖 2-24 Colorado Supreme Court Building 景觀.....	24
圖 2-25 Colorado Supreme Court Building 排水.....	25
圖 2-26 丹佛 14 街街區.....	26
圖 2-27 (五)Highland Bridge Lofts Rain Garden.....	27
圖 2-28Taxi Redevelopment Area in the City of Denver.....	28
圖 2-29 告示牌說明設計之降雨深度.....	28
圖 2-30 監測儀器.....	29
圖 2-31 道路轉角開發區 LID 設施出流管制.....	30
圖 2-32 (二)丹佛市區 Arapahoe St 與 17 街交口之 Skyline Park.....	30
圖 2-33 利特爾頓(Littleton)南普拉特河複合型設計.....	31
圖 2-34 停車場鋪面及濕地.....	32
圖 2-35 出流管制至河川.....	33
圖 2-36 分隔島兼具 LID 設施.....	34
圖 2-37 社區內的 LID.....	35
圖 2-38 科工會刊.....	36

圖 2-39 科工會議程.....	37
圖 2-40 郭純園教授致歡迎詞.....	38
圖 2-41 傅金城博士介紹臺灣的颱風災害應變之演進.....	38
圖 2-42 江申博士介紹臺灣集水區治理之發展.....	39
圖 2-43 邱昱嘉博士介紹臺灣之低衝擊開發相關設計及操作之發展.....	39
圖 2-44 科工會上課情形.....	40
圖 2-45 大合照.....	40

# 第壹章 目的

## 一、緣起

台灣地狹人稠，土地開發利用率相當高，原本得透過土地入滲的方式削減洪水，惟因不透水鋪面的設置，降低了入滲率、加重了排水系統負載。為了降低因土地開發造成的影響，近年興起低衝擊開發的概念，期由開發單位，透過基地內的設施設置，降低因開發所造成的洪水影響，並透過出流管制手段，控制流入河川之水量。

美國政府與學術界合作所發展的防洪與洪災管理政策、經驗及技術，毫無疑問地是位於全世界先進國家之列，尤其是在工程與非工程措施的工程技術與法令政策執行上所累積的實務經驗，一直是其他各國學習與參考的重要對象。

早期美國的防洪減災政策主要以修建大量的水庫、堤防等防洪工程建設為主要工程治理手段，在一定程度上減輕了洪水災害損失，其所取得的防洪效益是無庸置疑的。但是，由於洪氾區土地的無序開發及其人口、資產的不斷增加，水災損失與政府的災害救濟費用每年仍呈現增長趨勢。鑑此，美國聯邦政府開始計畫同時採用非工程措施來減輕洪澇災害損失的問題，美國的防洪政策也由此作了相應的調整，開始注重發展非工程措施的減災作用。洪水保險與土地開發出流管制為其主要推動發展的非工程措施項目，洪水保險主要由美國聯邦政府推行，而土地開發出流管制則由各州政府在不抵觸聯邦法律下各自依需要訂定訂定法律推行。

## 二、研習目標

本計畫係科技部資助美國科羅拉多大學辦理區域性河川防洪總體規劃研習班，以一星期的“加強班”訓練台灣種子團隊；種子會員能在政府內、實業界，發揮傳播的功能使 US EPA SWMM5 (美國環保署的暴雨洪水電腦模式)及 LID(Low Impact Development)在台灣生根、並發揮治洪設計的功能。

課程參與人員總計 8 人，包括本署 3 位(水利防災中心、北區水資源局、水利規劃試驗所各 1 位)、國家災害防救科技中心(NCDR)2 位、國立台灣大學 1 位及巨廷工程顧問公司 2 位，政府單位、學研團體及顧問工程三方人員齊力研習，期望能使 LID 設施

概念在台灣發展。

中華民國科技部(國科會)資助美國科羅拉多大學主辦區域性河川防洪總體規劃研習班。本計劃是希望以一星期的「加強班」訓練臺灣的種子團隊；種子會員能在政府內、實業界，發揮傳播的功能使 US EPA SWMM5(美國環保署的暴雨洪水電腦模式)在台灣生根、並發揮治洪設計的功能。

## 第貳章 過程

本次行程係參加美國科羅拉多大學（University of Colorado Denver）於科羅拉多州丹佛市舉辦為 7 天(9 月 21 日至 9 月 27 日)之「2014 Workshop on River-Basin Master Planning for Flood Mitigation」(區域性河川防洪總體規劃研習班)課程，本署與會人員於 103 年 9 月 20 日由桃園機場啟程前往丹佛。本次研習班成員包括本署、國家災害防救科技中心、國立台灣大學及巨廷工程顧問公司共 8 人參與。本次研習內容包括室外 LID 設施現勘課程二天、室內 SWMM5 系統操作二天、美國 URBAN WATERSHEDS RESEARCH INSTITUTE (UWSI；防洪局)設計訓練(Stormwater BMP and LID Selection, Design & Economics)課程二天及參加美國中華科學暨工程學會第 32 屆年會一天，合計七天課程(如表 貳-1)，以下依序分別就室內課程、現場勘查及科工年會分別說明。

表 貳-1 研習及參訪行程表

日期	內容
9/20(六)	路程(桃園-東京-丹佛)
9/21(日)-9/22(一)	LID設施現場勘查
9/23(二)-9/24(三)	SWMM5系統介紹及案例設計
9/24(四)-9/25(五)	美國 URBAN WATERSHEDS RESEARCH INSTITUTE (UWSI；防洪局)設計訓練( <a href="#">Stormwater BMP and LID Selection, Design &amp; Economics</a> )課程
9/26(六)	美國中華科學暨工程學會第32屆年會
9/27(日)-9/28(一)	資料整理

### 一、SWMM 課程

雨水管理模式 SWMM 是美國環境保護局發展之軟體，是一個動態降雨—逕流模擬計算程序，主要用於城市區域逕流量和水質的單一事件或者長期（連續）之模擬。SWMM 的演算部分，計算通過由管道、渠道、蓄水/處理設施、水泵和

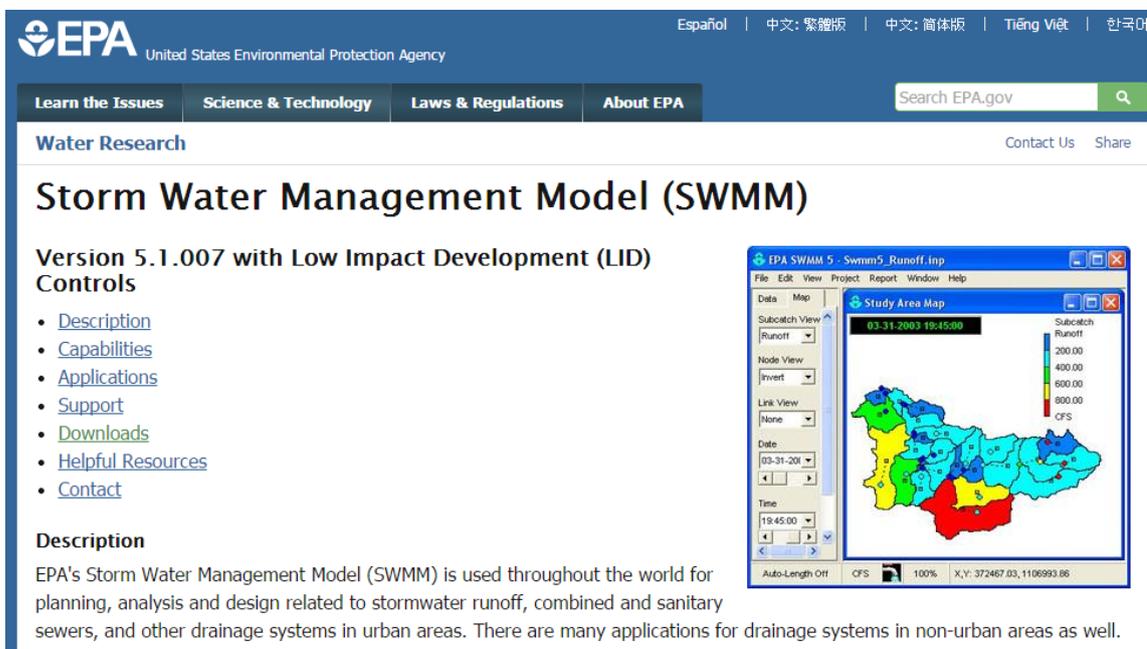
調節器所構成系統的逕流。SWMM 最初開發於 1971 年，此後經歷了幾次重要升級，目前最新之版本為 Version 5.1.007 with Low Impact Development (LID)。該模式在世界各地被廣泛應用，範圍包括城市地區雨水逕流、污水管道和其他排水系統的規劃、分析和設計，另外 SWMM 電腦程式是以 FORTRAN 語言撰寫，且美國環保署可提供原始程式碼內容供使用者自行改寫以配合實際需求。

以下就本模式 (SWMM)之課程幾個重點分述如下:

### (一)安裝與初始設定。

SWMM Version 5.1.007 可至美國環保署之網站

(<http://www2.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm?>) 下載及安裝。

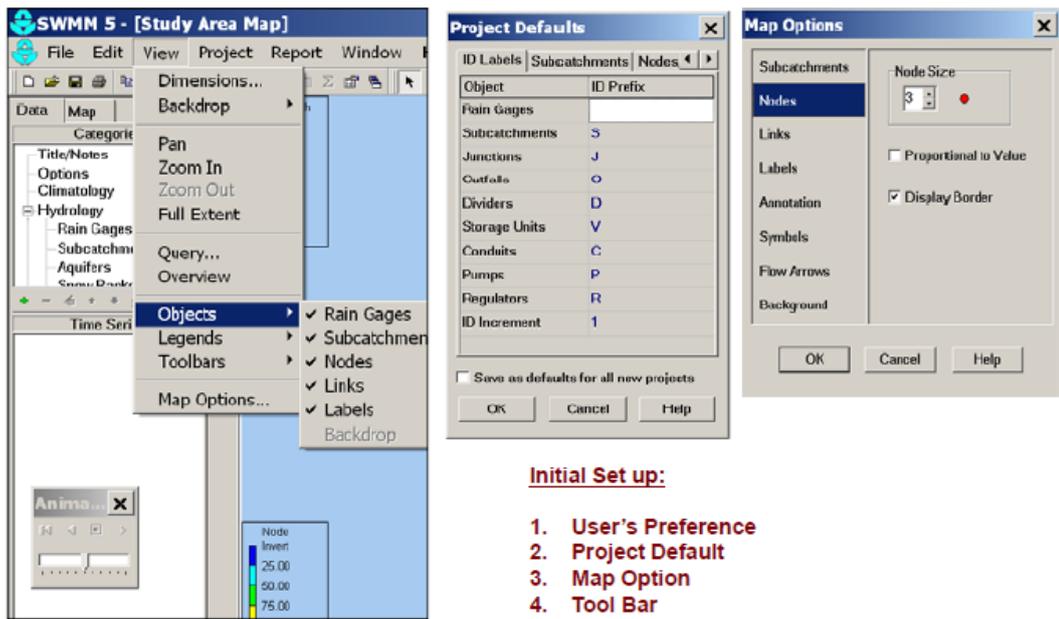


The image shows a screenshot of the EPA website's 'Storm Water Management Model (SWMM)' page. The page header includes the EPA logo and navigation tabs for 'Learn the Issues', 'Science & Technology', 'Laws & Regulations', and 'About EPA'. The main heading is 'Storm Water Management Model (SWMM)' with a sub-heading 'Version 5.1.007 with Low Impact Development (LID) Controls'. A list of links includes 'Description', 'Capabilities', 'Applications', 'Support', 'Downloads', 'Helpful Resources', and 'Contact'. A 'Description' section states that SWMM is used for planning, analysis, and design of stormwater runoff, combined and sanitary sewers, and other drainage systems in urban and non-urban areas. To the right, there is a screenshot of the SWMM software interface, showing a 'Study Area Map' with a color-coded runoff scale from 200.00 to 800.00 CFS. The software window title is 'EPA SWMM 5 - Swmm5\_Runoff.inp' and it displays various settings like 'Subcatch View', 'Node View', 'Link View', 'Date', and 'Time'.

圖 貳-1SWMM 模式下載及安裝

郭老師建議在 SWMM 開始前先進行以下幾個 Initial Set up( User's Preference, Project Default, Map Option, Tool Bar, Animator, Background Watershed Map)以利後續資料之輸入如圖 貳-2 及 圖 貳-3。其中 Dynamic Wave 動力波方程式可表現迴水現象，而 Kinematic Wave 不能模擬迴水現象，是兩個完全不同的結果，在此畫面需先完成設定。

## Initial Set Up for SWMM Model



### Initial Set up:

1. User's Preference
2. Project Default
3. Map Option
4. Tool Bar
5. Animator
6. Background Watershed Map

圖 貳-2 初始設定

## Simulation Options

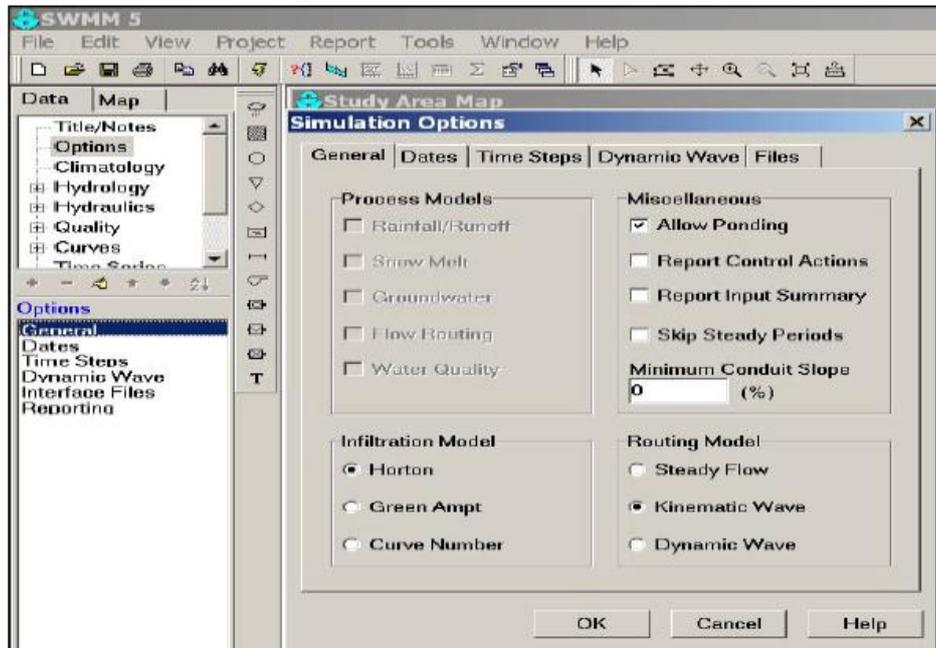


圖 貳-3 Routing 設定

## (二)Width 之計算

課程中老師提到輸入集水區的寬度(width)與方向是國內外水利人員常犯之錯誤，除應確認方向外，輸入值可參考”APPLICATION OF KINEMATIC WAVE CASCADING PLANE TO IRREGULAR WATERSHED” 進行設定如表貳-2 及圖 貳-4。

集水區之寬度不僅在 SWMM 模式需輸入外，包括大流域 HEC-HMS 模式亦可應用該公式進行計算。

表 貳-2 width 參考值

Condition	K=specified variable	K=4
General formula	$\frac{L_w}{L} = (1.5 - Z) \left[ \frac{2}{1 - 2K} \left( \frac{A}{L^2} \right)^2 - \frac{4K}{1 - 2K} \frac{A}{L^2} \right]$	$\frac{L_w}{L} = (1.5 - Z) \left[ 2.286 \frac{A}{L^2} - 0.286 \left( \frac{A}{L^2} \right)^2 \right]$
Central Channel (Z=0.5)	$\frac{L_w}{L} = \frac{2}{1 - 2K} \left( \frac{A}{L^2} \right)^2 - \frac{4K}{1 - 2K} \frac{A}{L^2}$	$\frac{L_w}{L} = 2.286 \frac{A}{L^2} - 0.286 \left( \frac{A}{L^2} \right)^2$
Rectangle (Z=0.5 and A/L <sup>2</sup> =B/L)	$\frac{L_w}{L} = \frac{2}{1 - 2K} \left( \frac{B}{L} \right)^2 - \frac{4K}{1 - 2K} \frac{B}{L}$	$\frac{L_w}{L} = 2.286 \frac{B}{L} - 0.286 \left( \frac{B}{L} \right)^2$
Square (Z=0.5 and B/L=1)	$\frac{L_w}{L} = 2$	$\frac{L_w}{L} = 2$
Side Channel (Z=1.0)	$\frac{L_w}{L} = \frac{1}{1 - 2K} \left( \frac{A}{L^2} \right)^2 - \frac{2K}{1 - 2K} \frac{A}{L^2}$	$\frac{L_w}{L} = 1.143 \frac{A}{L^2} - 0.143 \left( \frac{A}{L^2} \right)^2$
Rectangle (Z=1.0 and A/L <sup>2</sup> =B/L)	$\frac{L_w}{L} = \frac{1}{1 - 2K} \left( \frac{B}{L} \right)^2 - \frac{2K}{1 - 2K} \frac{B}{L}$	$\frac{L_w}{L} = 1.143 \frac{B}{L} - 0.143 \left( \frac{B}{L} \right)^2$
Square (Z=0.5 and B/L=1)	$\frac{L_w}{L} = 1$	$\frac{L_w}{L} = 1$
At A/L <sup>2</sup> =0	$\frac{L_w}{L} = 0$	$\frac{L_w}{L} = 0$
At A/L <sup>2</sup> =K	$\frac{L_w}{L} = (1.5 - Z) \frac{-K^2}{1 - 2K} = (1.5 - Z)b$	$\frac{L_w}{L} \approx 2.286(1.5 - Z)$

## Watershed Parameters for Overland Flow

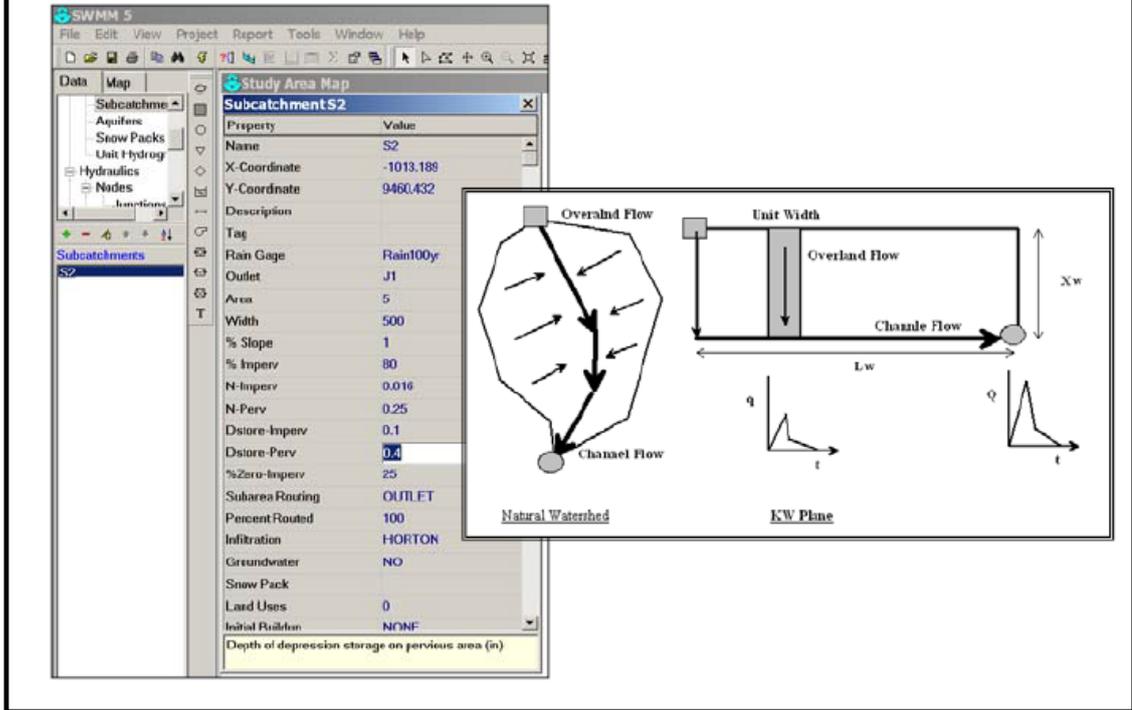


圖 貳-4 集水區參設定

若我們設定一個假設案例為正方形集水區，但流路分別為中央集中、側邊及中央穿越三種如圖 貳-5，則其以 SWMM 模式計算出來流量如圖 貳-6 所示，中央集中的洪峰最大，側邊集中為最小。

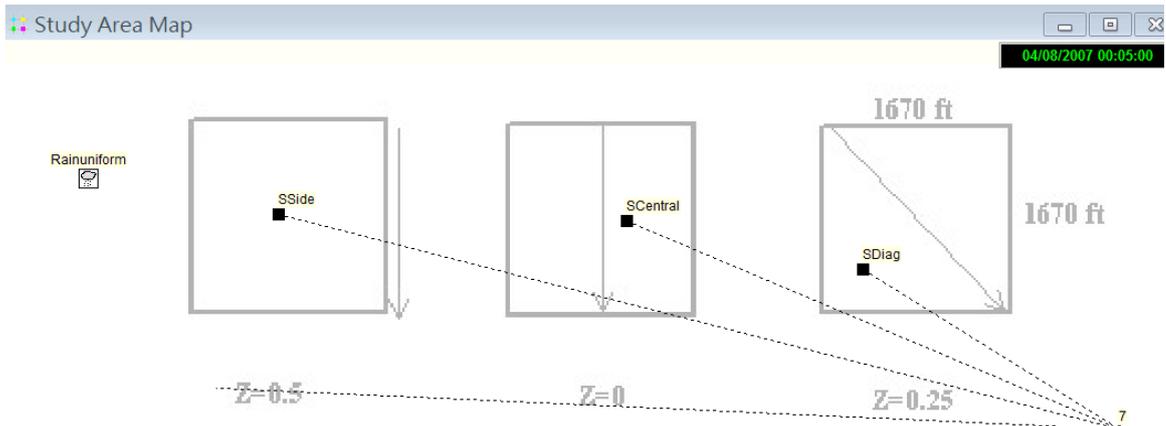


圖 貳-5 不同流路設定示意圖

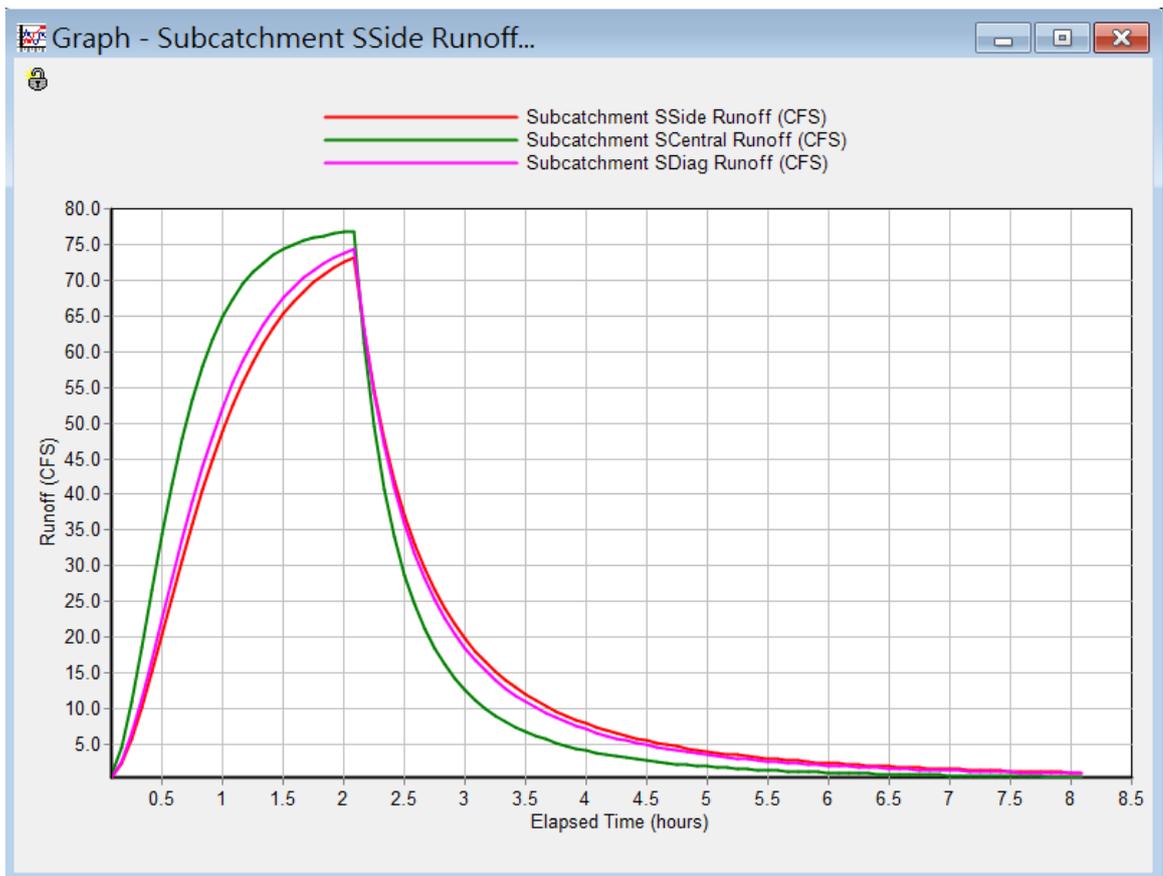


圖 貳-6 正方形集水區不流流路之逕流量分析

### (三) 模擬不透水區域流經透水區域之減洪效果

Denver 地區有些住家的屋頂(不透水區)排水口會連接至透水區域(如圖 貳-7)，SWMM 模式可模擬這種洪峰減量的方式，在 Subarea Routing 的部份設定為"PERVIOUS"即可評估其效果(如圖 貳-8)。



圖 貳-7 集水區不透水區至透水區現地照片

Property	Value
Name	S10
X-Coordinate	3300.000
Y-Coordinate	5250.000
Description	
Tag	
Rain Gage	Rain100
Outlet	J1
Area	52
Width	2344
% Slope	0.6
% Imperv	53
N-Imperv	0.015
N-Perv	0.15
Dstore-Imperv	0.1
Dstore-Perv	0.3
%Zero-Imperv	0
Subarea Routing	PERVIOUS
Percent Routed	100
Infiltration	HORTON

圖 貳-8 Subarea Routing 設定

#### (四)道路排水之設計

在美國都市地區其各類排水是溢流系統，低衝擊開發的設施(LID)的設計基準是可通過 0.25~0.5 年(3~6 個月)重現期洪水(嚴謹地說，此係指降雨事件，

應非歸類於洪水)；而下水道系統的設計基準是可通過 2 年重現期洪水， $Q_2$ ；而街道的設計基準則以通過 $\Delta Q=Q_{100}-Q_2$ 。

台灣目前並無相關道路排水之設計，未來若有新都市開發或更新時應可納入考量。

課程之範例如圖 貳-9 所示，道路排水除了可以增加通洪面積外，亦可以儲蓄大量的洪水體積。

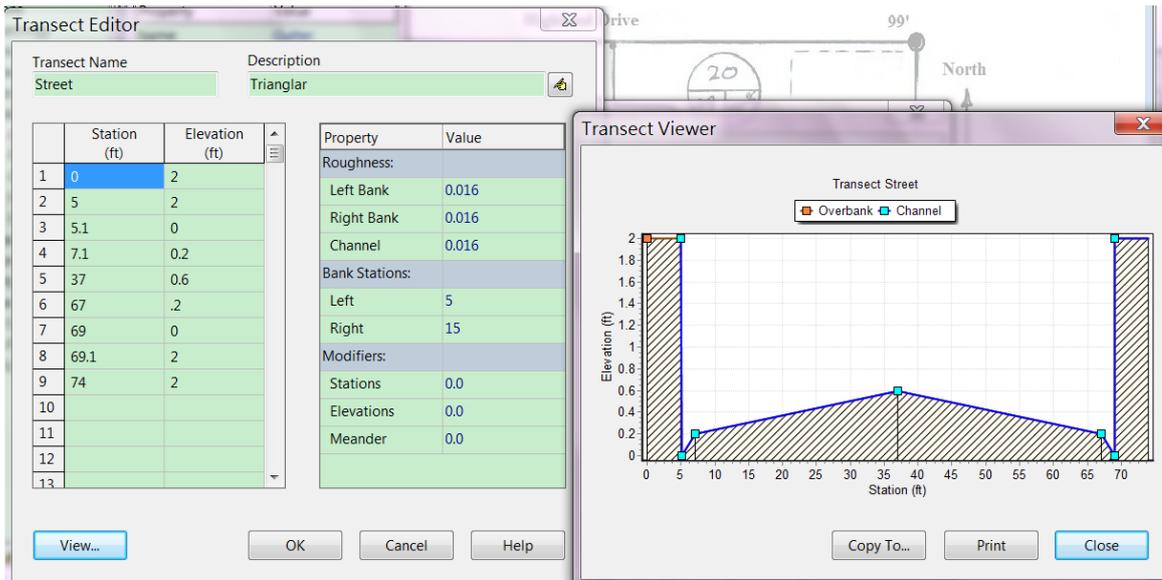


圖 貳-9 道路排水設定

### (五)長期分析

SWMM 除了可以計算單一暴雨事件外，亦可以計算長時間多事件之暴雨條件下，相關排水及 lid 設施對逕流的影響。

長期分析中的統計功能以上課之範例為例，DENVER 30 年之雨量資料(相關雨量格式設定輸入圖 貳-10)，可由 Report 下的統計功能求得事件的個數如圖 貳-11(需先設定事件定義為多少時間不下雨為區隔)、最大事件、最小事件及相關頻率分析資料，由結果可以發現，在 DENVER 地區之降雨事件之平均降雨在超越機率 10%時也僅有 0.8in/hr(如圖 貳-12)。

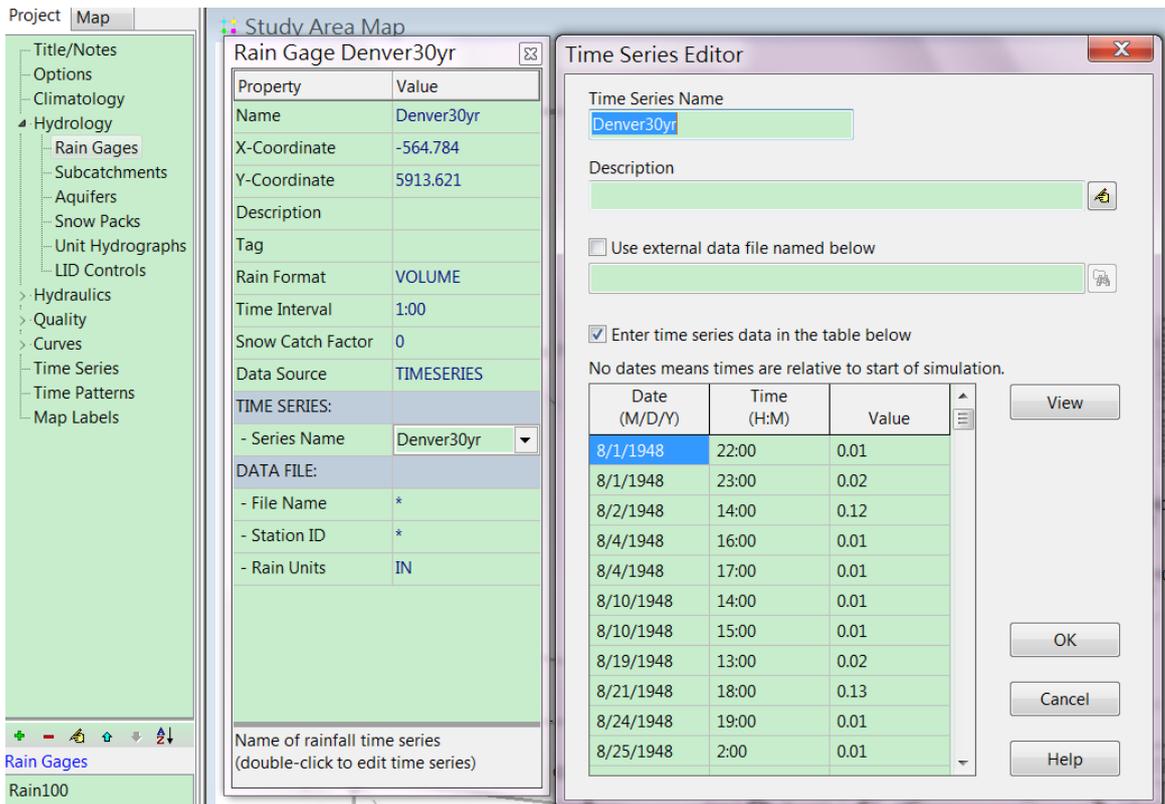


圖 貳-10 長期雨量輸入格式設定

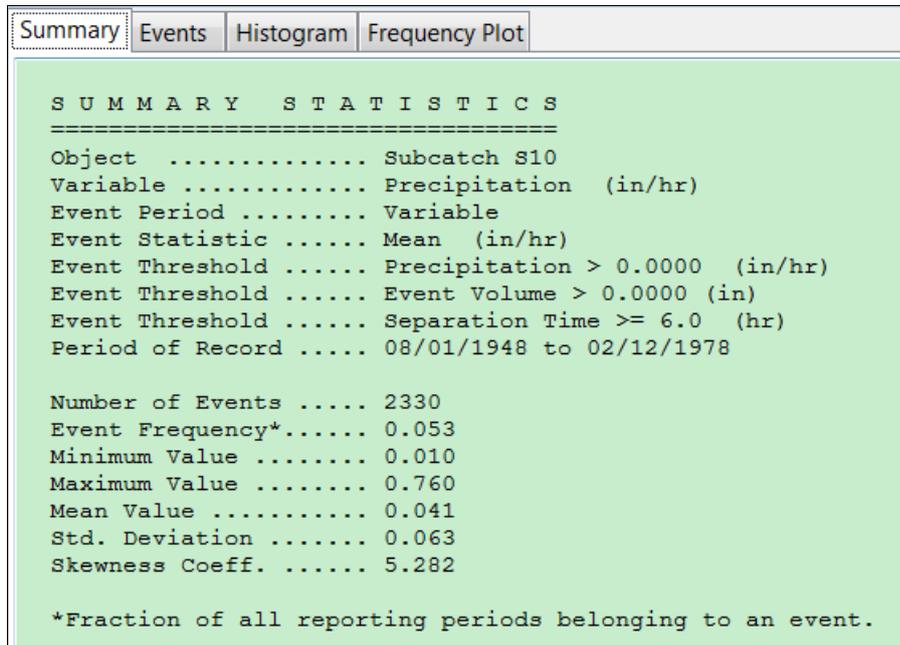


圖 貳-11 長期分析總結報告

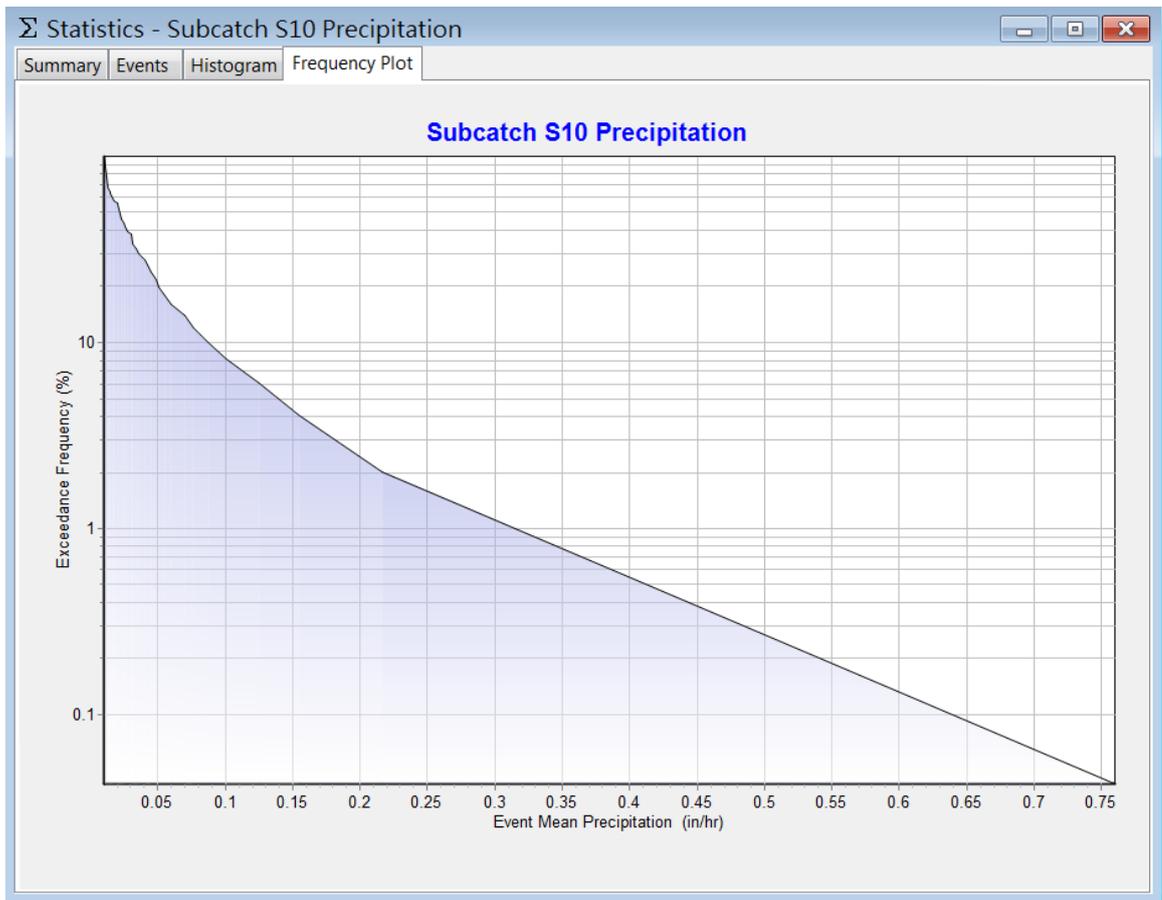


圖 貳-12 事件頻率分析

## 二、防洪局課程

本次課程 9 月 25 日及 9 月 26 日於 URBAN WATERSHEDS RESEARCH INSTITUTE (UWSI；防洪局)參加設計訓練([Stormwater BMP and LID Selection, Design & Economics](#))課程，防洪局簡介、時間表及研習內容如下：

### (一)UWSI 防洪局簡介

該局位於科羅拉多州，致力於城市中環境永續及水資源議題，主要研究主題有城市水資源管理、雨水系統模擬、水質及水量管理、洪氾區管理及減輕洪災損失、河川復育、城市生態保護，該機關亦舉辦研討會、研習班、技術培訓班及支援相關技術。本次參與的課程即為 UWSI 規劃之技術培訓課程 [Stormwater BMP and LID Selection, Design & Economics](#) 課程表如表 貳-3 所示，上課情況如圖 貳-13。

表 貳-3 防洪局課程表

<u>Thursday</u>		
8:00 - 8:30	Check in and set up	
8:30 – 8:45	Effects of Urbanization on Waterways	Ben
8:45 - 9:00	Mitigating Urbanization Effects - Four Step Process	Holly
9:00– 9:45	Selecting BMPs	Holly/Ben
9:45 - 10:00	Break	
10:00 – 10:30	Importance of Imperviousness	Ben
10:30 -12:00	Sizing BMPs/LIDs - Continuous Simulation	Ben/Holly
12:00 -12:45	Lunch	
12:45 - 1:30	Grass buffers and Grass Swales	Holly
1:30 – 2:30	Extended Detention Basin (dry) Part 1	Ben/Holly
2:30 - 2:45	Break	
2:45 – 3:45	Extended Detention Basin (dry) Part 2	Ben/Holly
3:45– 4:45	Retention Pond (wet) & Constructed Wetlands	Holly/Ben
 <u>Friday</u>		
8:30 – 9:30	Sand Filter Basin	Holly/Ben
9:30 – 10:30	Bioretention/Rain Gardens	Holly/Ben
10:30– 10:45	Break	
10:45-12:15	Field Experience with BMPs	Erik
12:15 - 1:00	Lunch	
1:00-2:00	Permeable Pavement Systems	Holly/Ben
2:00 - 2:15	Green Roofs	Holly
2:15 - 2:30	Break	
2:30- 3:30	Whole Life Cycle Effectiveness and Costs	Ben
3:30 - 3:45	Break	
3:45 – 4:45	Workshop on BMP Selection/Design of interest	Holly/Ben



圖 貳-13 防洪局(UWSI)上課情形

## (二)課程概論

為了減緩都市化造成之逕流增加的影響，本課程先針對都市化基本概念及水文計算進行介紹，依據丹佛的雨量統計，有 96%的降雨事件小於 1~2 年洪水頻率(如圖 貳-14)，故研習課程之 Best Management Practice (BMP)及 Low Impact Development (LID)的設計，主要是希望能處理這些多數比例的降雨事件，並達到淨化水質的目的，詳述如下：

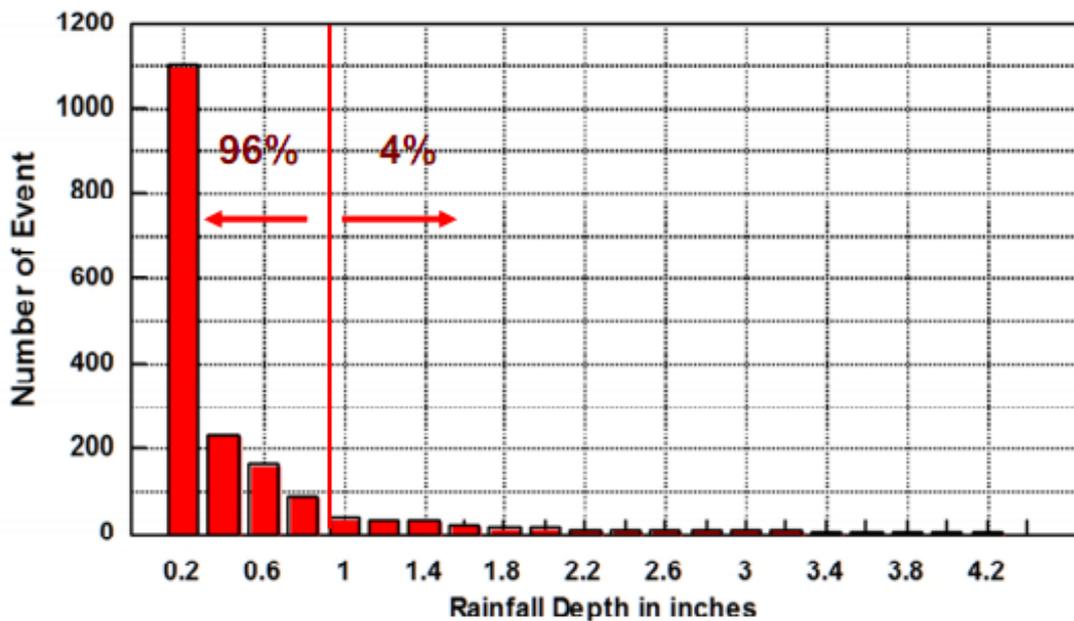


圖 貳-14 事件分佈圖(Guo and Urbonas, 1989)

1、Best Management Practice ,BMP (最佳管理作業)：

最佳管理作業主要針對都市、工廠、施工工地及農地暴雨逕流的非點源污染防治方法，有別於一般點污染源以廢水處理系統及排放標準為依據之水污染防治方式。由於非點源污染之難以掌握特性，最佳管理作業通常是針對可能發生或已發生之污染的狀況採取管制、削減或處理的措施，即以控制污染源頭、減少污染物傳輸進入河川及處理逕流三種控制方式來進行。

2、Low Impact Development ,LID(低衝擊開發)：

低衝擊開發係為解決因都市開發而造成之逕流增加及汙染，並協助保護和淨化水質。包含設計容蓄逕流之設施，利用滲透、蒸散和重新利用雨水的技術來管理水質和水源污染，因此能減低開發對河水、溪流、湖泊、海岸水域和地下水的汙染。

最佳管理作業的選擇 BMPs 如表 貳-4 所示。

Short Course on Selection, Design and Economics of LIDs and BMPs for Storm water Management, 2014

表 貳-4 最佳管理作業的選擇 BMPs

**Grass Swale**



**Grass Buffer**



**Extended Detention Basin (EDB)  
(Micro pool 的設計)**



**Constructed Wetland Ponds**



**Retention Pond**



**Sand Filter**



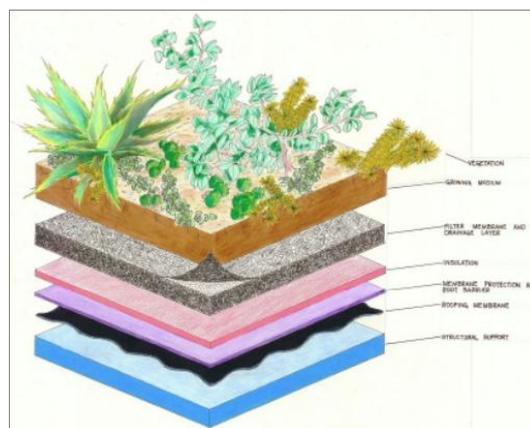
**Bioretention (Rain Garden)**



**Permeable Pavement**



## Green Roof



出處：Short Course on Selection, Design and Economics of LIDs and BMPs for Stormwater Management, 2014

在設計 BMP 尺寸及 LID 設施大小時，第一步是需要確認 WQCV(Water Quality Capture Value)，WQ-COSM (Water Quality Capture Optimization and Statistics Model)為 UWRI 及 UDFCD 共同開發的免費模式(如圖 貳-15)，使用 15 分鐘及 1 小時之降雨資料，能夠計算任何場址之 WQCV(如圖 貳-16)，進而能夠得出應設計 BMP 的尺寸。

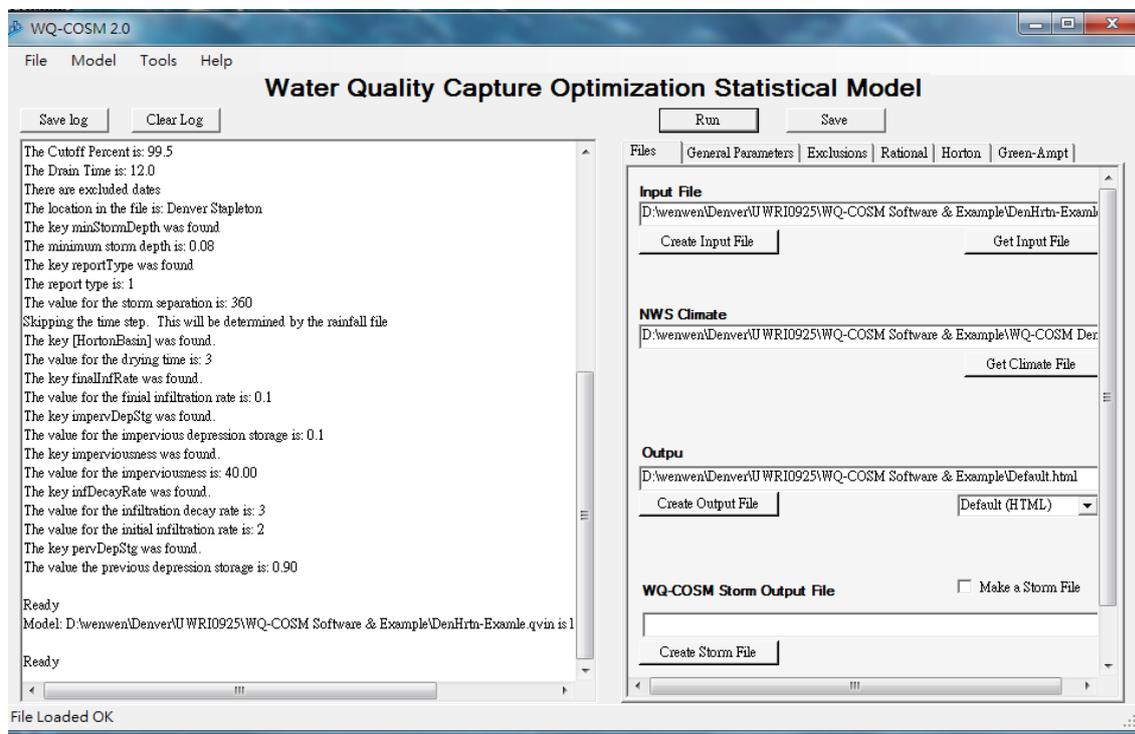


圖 貳-15 WQ-COSM 介面

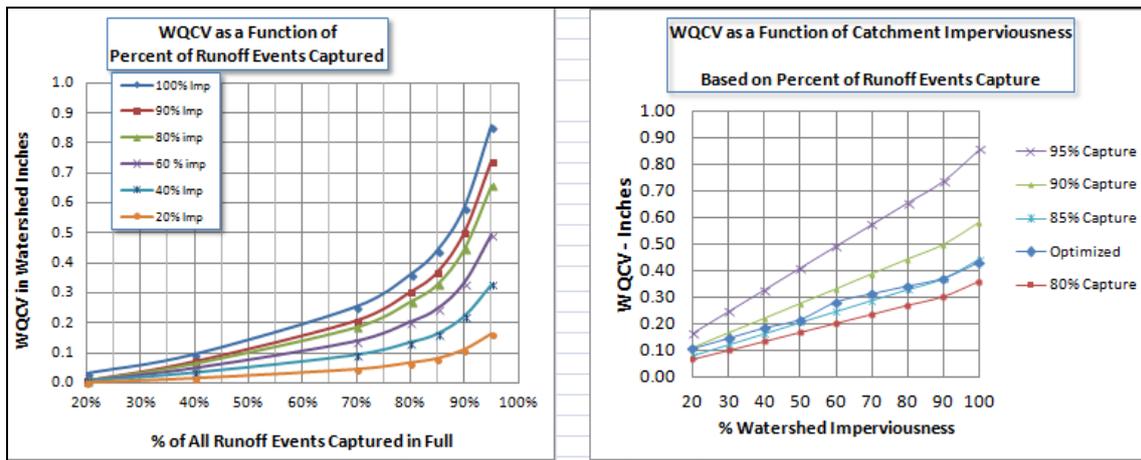


圖 貳-16 WQCV 結果

Stormwater Best Management Practice (BMP) Design(城市排水及洪水控制 BMP 之設計或選擇，如)，可透過 UD-BMP (version 3.03)之支援，選擇出和宜之 BMP，再配合工程師經驗及現場特性，擇定措施後可進行較細節之設計；本程式包含以下功能：BMP 選擇工具、設計入滲係數之計算、10 項 BMP 措施設計選擇如圖 貳-18( Grass Buffer, Grass Swale, Rain Garden, Extended Detention Basin, Sand Filter, Retention Pond, Constructed Wetland Pond, Constructed Wetland Pond, Constructed Wetland Channel, Permeable Pavement Systems)。

上課時亦將 LID 排水盲管實物進行展示，在草溝下或相關 LID 設施底下佈置盲管，透過凹槽開孔集水，可將水蒐集至區排或下水道排出。

1	<b>STORMWATER BEST MANAGEMENT PRACTICE DESIGN WORKBOOK</b>	
2		
3		
4	UD-BMP (Version 3.03, December 2013)	
5	Urban Drainage and Flood Control District	
6	Denver, Colorado	
7	<a href="http://www.udfcd.org">www.udfcd.org</a>	
8	<input type="button" value="View Release History"/>	
9	<b>Purpose:</b>	This workbook is to be used as a design aid in the preliminary stages of BMP design.
10		
11	<b>Function:</b>	To provide the designer with built-in tools to incorporate established criteria and sizing into the preliminary design.
12		
13	<hr/>	
14	<b>Content:</b>	The workbook consists of the following 12 design-aid worksheets:
15		
16	<b>BMP Selection</b>	BMP Selection Tool
17		
18	<b>IRF</b>	LID Credit using Impervious Reduction Factor (IRF)
19		
20	<b>GB</b>	Grass Buffer
21		
22	<b>GS</b>	Grass Swale
23		
24	<b>RG</b>	Rain Garden

INIRO / BMP Selection Tool / IRF / GB / GS / RG / EDB / SF / RP / CWP / CWC / PPS / Mean Storm Depth Map

圖 貳-17 Stormwater Best Management Practice (BMP) Design Excel 介面

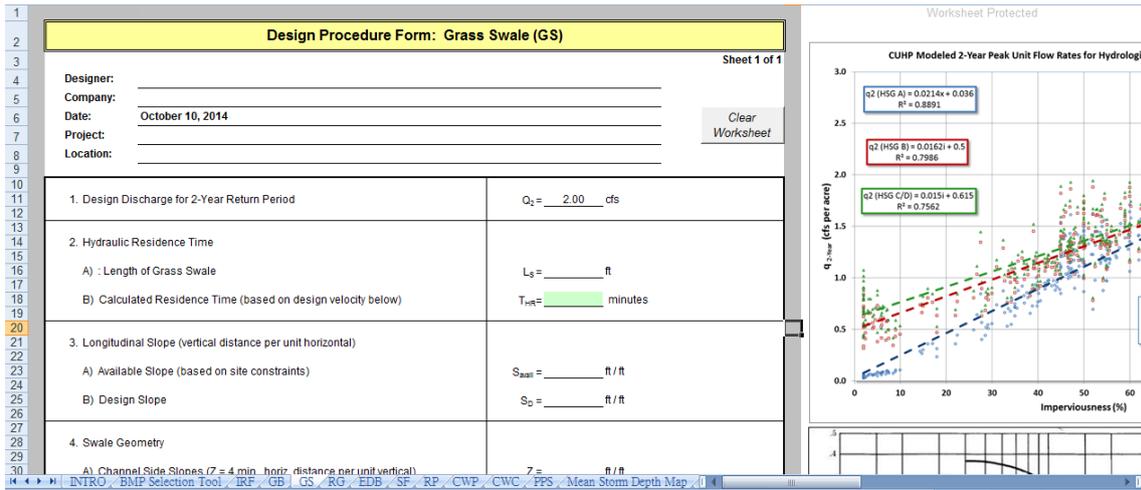


圖 貳-18 Grass Swale 設計介面

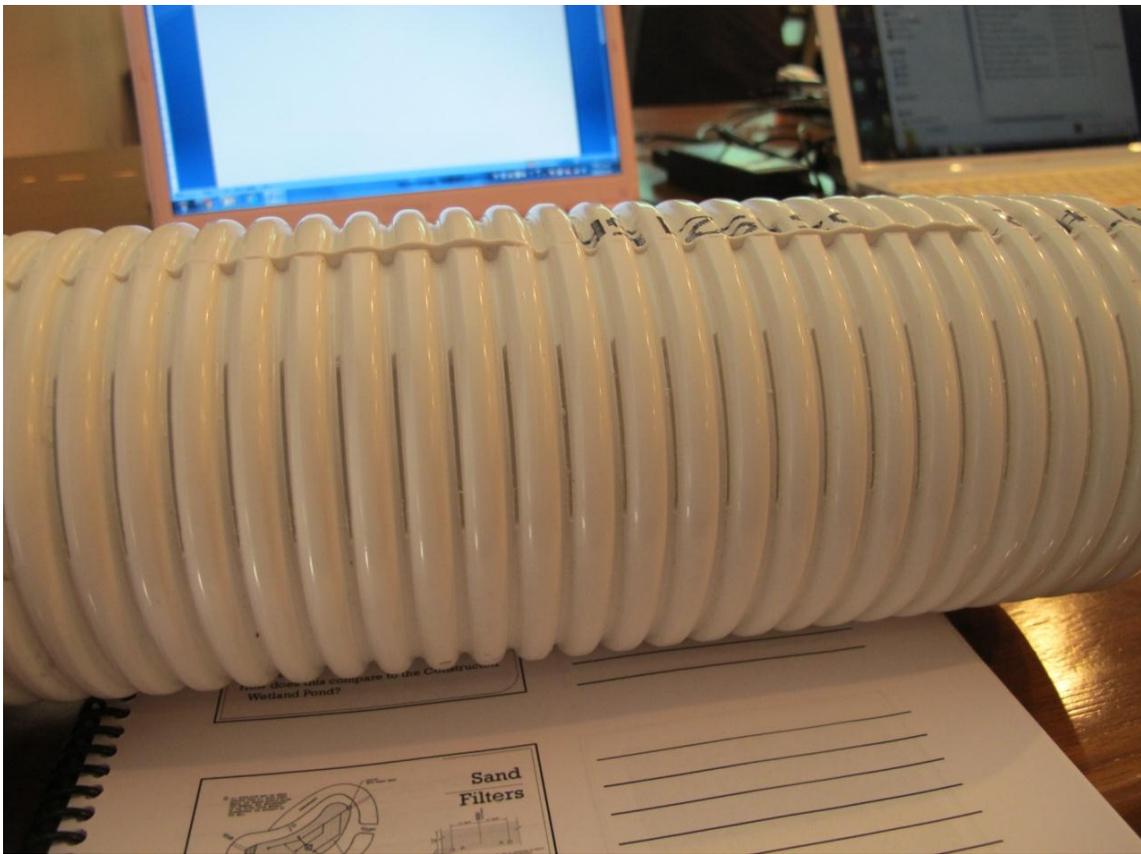


圖 貳-19 LID 排水盲管

### 三、LID 設施參觀(UWSI 防洪局)

由 URBAN WATERSHEDS RESEARCH INSTITUTE (UWSI；防洪局)之局長 Ken 及工程師 Ben 帶領學員至 Denver 市區參訪 Low Impact Development (LID) for Tight Places Sites Field Trip，主要參訪 7 個 LED 現址，皆是較適合都市小區域(如：

校園、社區...)設計的案例，包含透水路面、砂質滲透層、生態滯留設施(雨水花園)等，並於後續的防洪局訓練課程當中，介紹各種不同 LID 設施的設計原則及方式。以下為現場參訪之案例說明：

### (一)University of Denver Parking Structure Sand Filter in City of Denver

本場址位於校園外圍，主要匯集並處理屋頂及停車場逕流，其設計與街區景觀融合，搭以入口消能拋石，並以砂質材質鋪面設計，透過水流入滲，減緩逕流速度，達到淨化水質及逕流分攤之目的(如圖 貳-20)。經現場研討，本場址缺點為 LID 設施之高度以集水面積(校園屋頂及停車場面積)來看，設計深度略顯稍大，應可再多做經濟成本之考量，做更合宜之設計。



圖 貳-20 Denver 校園 LID

### (二)Denver Housing Authority (DHA)- South Lincoln Campus in City of Denver

DHA 有 15 acre (6ha) 的區域設計 LID 暴雨儲流區，包含屋頂滯洪、停車場之透水鋪面(圖 貳-21)、2 個雨水花園以及滯洪設施，雨水花園中埋置入滲溝，使

常態降雨(約 80%以上機率之降雨)能入滲進入地下水體，並透過盲管連接至道路排水系統，減緩逕流峰值；行道樹周邊採用隔柵(而非水泥鋪面)，增加透水率面積(如圖 2 22)；另以不同鋪面材質設計雨水花園(ex. 木屑、草坪)，營造出良好且複合式的景觀效果(如圖 貳-23)，這個系統包含了 15 個不同的 LID 組合，交互運作集成一個完整的系統。



圖 貳-21 停車場之透水鋪面



圖 貳-22 行道樹周邊採用隔柵



圖 貳-23 複合式的景觀效果

### (三)Colorado Supreme Court Building in the City of Denver

丹佛最高法院外圍設計了非常有創意且吸引人的生態滯洪池，成功的與地景設計結合，營造出良好之都市景觀；多層次的區域設計與水流匯集、入、出流設計方式，皆較精緻，透過合適的規劃，既達到美化市容的目的，又能有效容蓄因都市開發而增加之水量。



圖 貳-24 Colorado Supreme Court Building 景觀



圖 貳-25 Colorado Supreme Court Building 排水

#### (四)14<sup>th</sup> Street Renovation

參觀更新改善後的丹佛 14 街街區(圖 貳-26)，並由主辦 14 街更新及改造設計之顧問公司- Parsons Brinckerhoff 進行簡報並導覽說明；丹佛各街區皆有其特色及歷史沿革，最繁榮的觀光區 16 街，維持最原始風貌的 15 街，以及經過街區更新後煥然一新之 14 街，14 街的設計理念，包含改善人行道空間寬度，讓行人有更舒適的步行空間及戶外咖啡座，透過街景綠化並結合 LID 設施，不但美術館、藝術區域進住、也活化了整個街區並改善了水質及環境。



圖 貳-26 丹佛 14 街街區

#### (五) Highland Bridge Lofts Rain Garden

此雨水花園主要收集大樓及停車場之逕流，並設計人行甲板穿越花園，提供了視覺上的美化，花園中居民種植了非常多的作物，比起剛完工時的景象生態項又豐富了許多，本案例是將洪水設施轉為符合市容及居民喜好的相當好的案例。



圖 貳-27 (五)Highland Bridge Lofts Rain Garden

#### (六)Taxi Redevelopment Area in the City of Denver

本區係將占地相當遼闊之計程車休息區增加 LID 雨水花園設施，可以觀察到很完整的設計，包含入流之集流設計、出流 box、甚至有告示牌說明設計之降雨深度如圖 貳-28 及圖 貳-29。



圖 貳-28 Taxi Redevelopment Area in the City of Denver



圖 貳-29 告示牌說明設計之降雨深度

## (七)21th and Iris in the City of Lakewood

本區為實驗場地，雨水花園連結了監測儀器，可透過水壓壓力計轉換得到水深，以了解雨水花園之入流及出流水深，進而分析其滯留洪峰之功效；另外也配置水質採樣裝置(如圖 貳-30)，於降雨過後將雨水瓶收回，進實驗室分析水中懸浮載，進而了解雨水花園對於水質淨化的效果。



圖 貳-30 監測儀器

## 四、LID 設施參觀(郭教授)

郭教授指出 LID 是一種為了降低都市開發所造成影響的防洪設施，即在都市地下預留排水空間的概念設施，LID 設施在美國科羅拉多州隨處可見，繁華街道的人行道上、道路轉角，只要多加注意，其實都藏有 LID 之身影。郭教授安排了二天的現場勘查行程，摘述說明如下：

### (一)道路轉角開發區 LID 設施

為降低因開發所造成的影響，開發區內自行設置 LID 設施，設計採入口流量大、出口流量小，減緩流速，並增加入滲率。90%流量之鋪面以採混凝土為

宜，維護簡單，減少維護費用、鋪面外則可堆置塊石、植草地等如圖 貳-31。



圖 貳-31 道路轉角開發區 LID 設施出流管制

## (二)丹佛市區 Arapahoe St 與 17 街交口之 Skyline Park

繁忙市區街角的滯洪設施與街景融合，既可達滯洪減災效果，亦為地標造景；馬路的高程多以 100 年洪水設計高程。

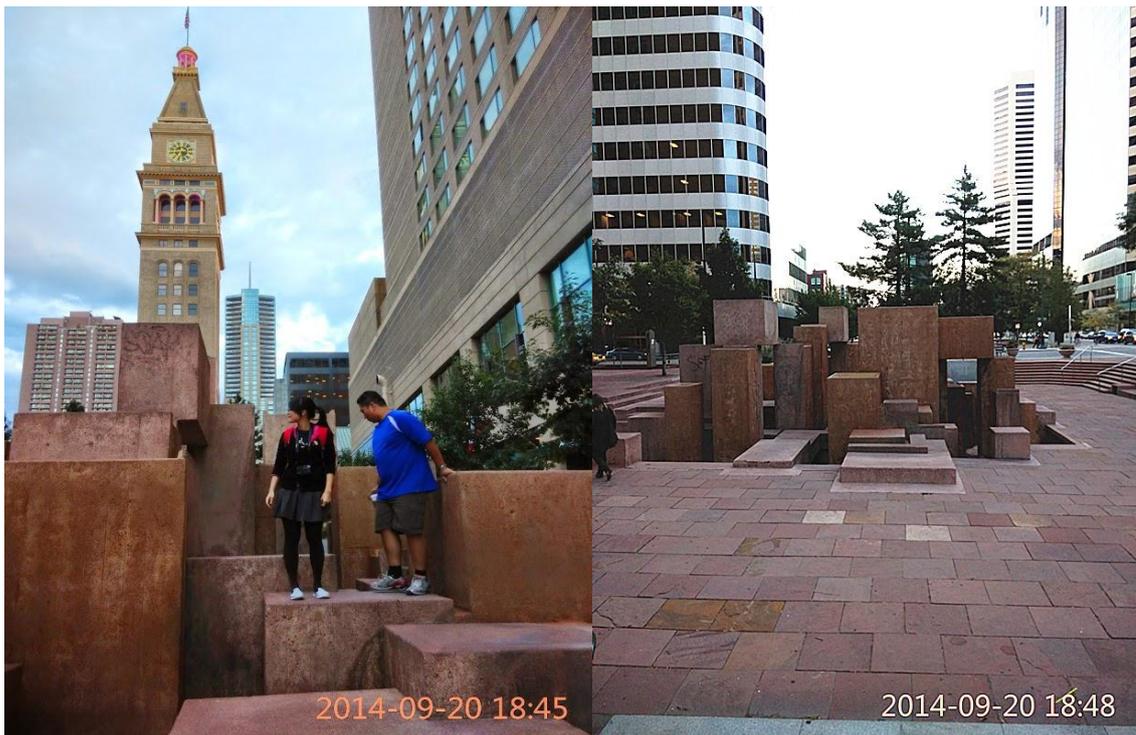


圖 貳-32 (二)丹佛市區 Arapahoe St 與 17 街交口之 Skyline Park

## (三)利特爾頓(Littleton)南普拉特河(South Platte River)-Toast 附近

1、河道設計採複合型方式，即依洪水頻率設計不同水道，5 年頻率為水泥鋪面  
-為水經常流動之處、10 年頻率包括左側涵洞，以塊石鋪面為主進行設計，

100 年頻率則包含自行車道。

2、河道設計蜿蜒，並透過水面坡降調整，以減緩流速(流速設定約在 2m/s)，水面坡降的調整同時可以減低沖刷，流速減小也比較安全。

3、洪氾區內之房舍高程低於 100 年頻率，因有淹水之可能性，須強制其購買洪災保險。



房舍高程低於 100 年設計頻率



圖 貳-33 利特爾頓(Littleton)南普拉特河複合型設計

#### (四)南普拉特河旁之商場:

- 1、停車場區分為二種不同鋪面:水流為水泥鋪面、車行則為柏油鋪面。
- 2、商場設置二組 LID 設施，收集後之水先流經前池，再流入濕地(Wet Land)-種植貓尾草淨化水質，最後流入後池。
- 3、後池處理後之水，以出流管制之控管流量，流入南普拉特河。



圖 貳-34 停車場鋪面及濕地

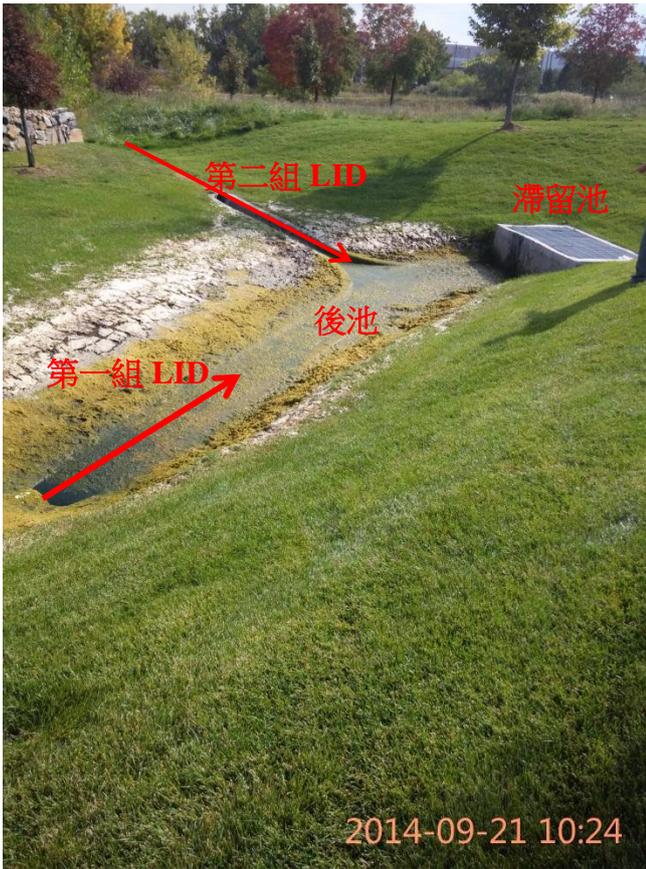


圖 貳-35 出流管制至河川

### (五)商場停車場間設置分隔島

商場停車場間設置分隔島，兼具 LID 功能(如圖 貳-36)，水流透過水泥鋪面導入分隔島中(中間較為低窪)，一般 LID 只種草本植物，因怕植物根系破壞下方結構物，此案例為複合式設計，靠近中央處仍種植草本，推測外側採傳統入滲方式，爰得種植木本植物。

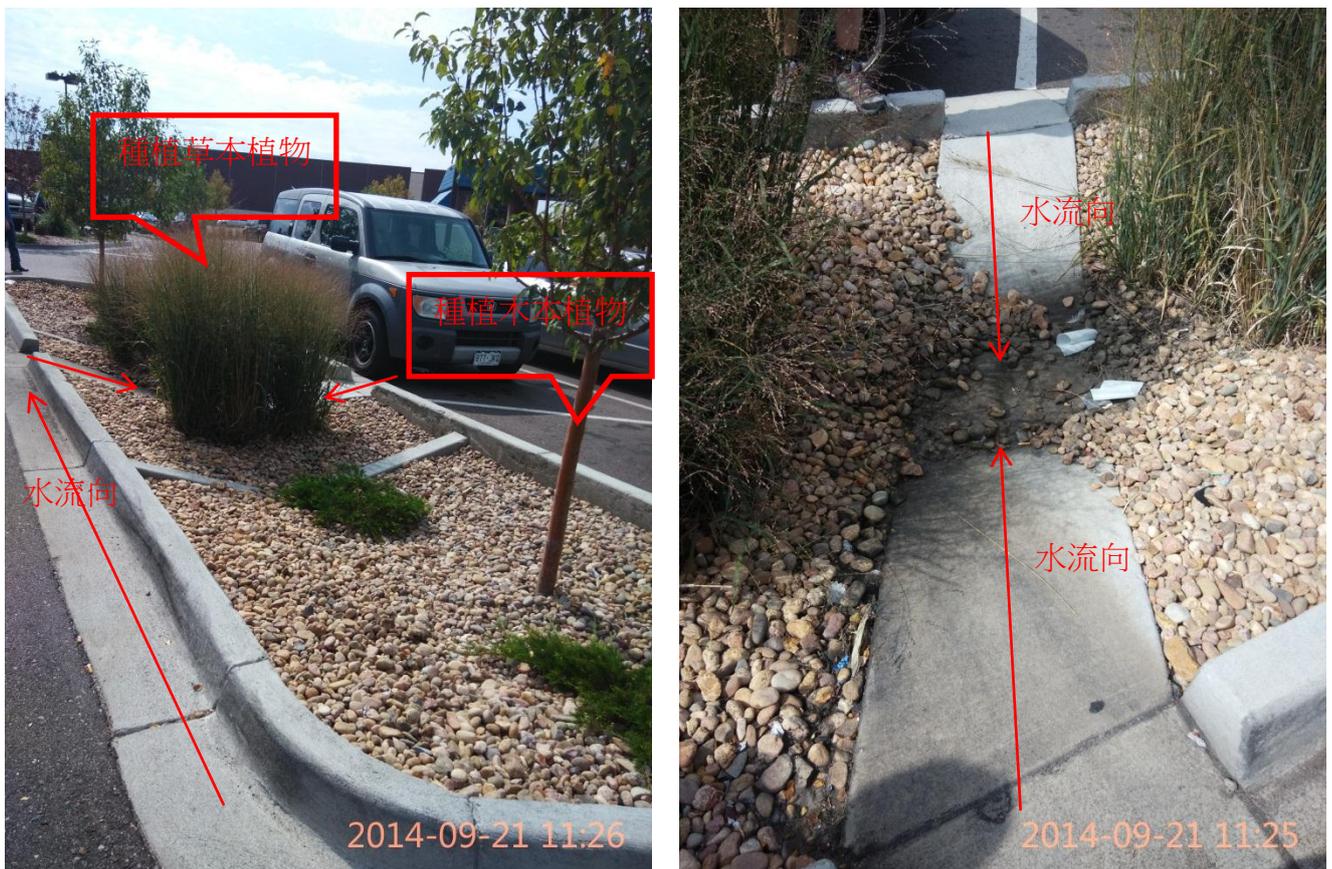


圖 貳-36 分隔島兼具 LID 設施

## (六)社區內的 LID:

屋頂雨水蒐集後流至地面入滲至土壤，透過環境的改變，可以使社區減少澆灌，也達到綠化的效果，可完全吸收 1~2 年頻率的洪水，如圖 貳-37。



圖 貳-37 社區內的 LID

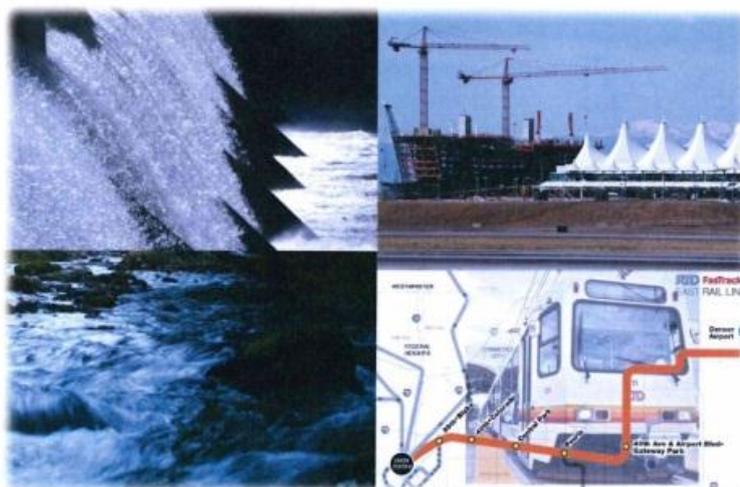
## 五、科工學會年會

科工學會是位於科羅拉多的一個非營利組織，成立於 1982 年；學會定期舉辦研討會，會議和其他社會活動，以提高其會員的專業技術知識並為會員提供目前的技術信息。

第 32 屆科工年會邀請國家災害防救科技中心傅金城博士、江申博士及國立臺灣大學邱昱嘉博士進行簡報，介紹臺灣水利及防救災作業相關發展，年會相關照片如下。

# 科工會刊

RMCSSE Yearbook 2014



HYDROLOGY & HYDRAULIC ENGINEERING | ENERGY | TRANSPORTATION



美國洛磯山中華科學暨工程學會

ROCKY MOUNTAIN CHINESE SOCIETY OF SCIENCE AND ENGINEERING

32<sup>ND</sup> ANNUAL CONFERENCE, SEPTEMBER 27<sup>TH</sup>, 2014

探討學術、交換經驗、擴展視野、溝通情誼

圖 貳-38 科工會刊

## RMCSSSE 32nd Annual Conference Agenda

Theme: Water, Energy, & Transportation

Date: September 27<sup>th</sup> (Saturday), 2014

Location: Daniels Fund, 101 Monroe Street, Denver, 80206

Time	Event
9:00 - 9:45	<b>Registration</b>
9:30 - 9:45	<b>Breakfast &amp; Get to Know Each Other</b>
9:45 - 10:00	<b>Welcome 歡迎致詞</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dr. Hsin-Te Yeh (葉信德), President, RMCSSSE</li> <li>• Dr. Chwen-Yuan Guo (郭純園), Professor, Civil Engineering, University of Colorado Denver</li> <li>• Mr. Yang-Chan Chang (張揚展), Director, Science &amp; Technology Division, TECO Houston</li> </ul>
10:00 - 10:45	<b>Hotel and Transit Center at DIA and East Corridor</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Stu Williams, PE, Program Manager, DIA Transit and Hotel Program, City and County of Denver</li> </ul>
10:50 - 11:20	<b>Development of Watershed Management in Taiwan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dr. Shen Chiang (江申), Associate Research Fellow, National Science and Technology Center for Disaster Reduction, Taiwan</li> </ul>
11:20 - 11:35	<b>Break</b>
11:35 - 12:05	<b>Development of Flood Mitigation Program in Taiwan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dr. Jin-Cheng Fu (傅金城), Associate Research Fellow, National Science and Technology Center for Disaster Reduction, Taiwan</li> </ul>
12:10 - 12:40	<b>Development of Low-Impact-Development Designs and Operations in Taiwan</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Dr. Yu-Jia Chiu (邱昱嘉), Assistant Research Fellow, Hydrotech Research Institute, National Taiwan University</li> </ul>
12:40 - 13:50	<b>Lunch &amp; General Membership Meeting/Elections</b> 科工會大會及理事選舉
14:00 - 14:50	<b>Topic: To Be Announced</b> <b>Speaker: To Be Announced</b>
14:50 - 15:00	<b>Farewell! See You Next Time!</b>

圖 貳-39 科工會議程



圖 貳-40 郭純園教授致歡迎詞



圖 貳-41 傅金城博士介紹臺灣的颱風災害應變之演進



圖 貳-42 江申博士介紹臺灣集水區治理之發展



圖 貳-43 邱昱嘉博士介紹臺灣之低衝擊開發相關設計及操作之發展



圖 貳-44 科工會上課情形



圖 貳-45 大合照

## 第參章 心得及建議

- (一)由於本次課程模式模擬與現地實務面緊密結合，課程規劃包含郭純園老師及防洪局講師室外現地講解，並搭配室內電腦實機設計操作，以增強對課程的領會。建議未來持續派人參加該研習課程，提昇同仁的水利設計能力。
- (二)本次研習除與郭老師建立緊密關係外，亦與一同上課之學員分享交流彼此實務工作環境、方法、遭遇的困難及解決之方法等，例如課程期間及回國後合作就水利署 Horner 設計兩型問題分工從資料端、程式端分工加以處理。未來可加強聯繫，並安排參訪對方工作轄區或就課程所學進行研商，以增廣視野並及建立合作交流關係。
- (三)美國所推行的國家洪災保險計畫是舉世稱道之洪災保險成功範例。其主政機關美國聯邦救難管理總署(United States Federal Emergency Management Agency, US FEMA)所採用洪災保護程度的國家標準(National Standards for the level of protection from flood hazards)為 100 年重現期的洪水，以此為基本洪水，並計算出基本洪水位，據以訂定洪水保險費率。該資訊會公佈在政府的網站，至現地亦可發現開發的地區會一至於某個高程以上，若居民要於 100 年重現期的洪水進行開發，則需面臨繳納高額保險金甚至拒保，以此將土地的開發行為進行限縮。未來類似洪災保險之類的非工程措施於台灣之適用性可納入研究。
- (四)台灣遭遇梅雨、颱風之威脅，所面臨的氣候條件越趨嚴峻，尤以短延時強降雨的事件發生情況日益增加。台灣近幾年防災意識提升，中央及地方政府建立相關應變的標準作業程序，面對洪災的應變體制，已日趨成熟，相關通報及防災資訊系統亦與國外相比亦不遜色，公民教育亦已逐步推動，未來應可就相關經驗與國外分享。
- (五)本次丹佛參訪中發現，其 LID 設施多與滯洪設施(考量 1 年以下、2 年、10 年、50 年及 100 年等多個重現期)進行複合式設計，回顧國內在規劃 LID 及滯洪池設施時則多為分開設置，實可參考丹佛作法，以增加水利設施使用機會。