

灰色與綠色建設的完美結合 Gray to Green (G2G)

陳起鳳

中國文化大學土地資源系

綠色建設 Green Infrastructure

- ▶ 定義
- ▶ 美國景觀設計師協會（ASLA）：

Nature is also infrastructure.

- Nature can protect people against flooding or excessive heat, or help to improve air and water quality, which underpin human and environmental health.
- ▶ When **nature** is harnessed by people and **used as an infrastructural system** it's called "**green infrastructure.**"

大自然也是一種基礎建設

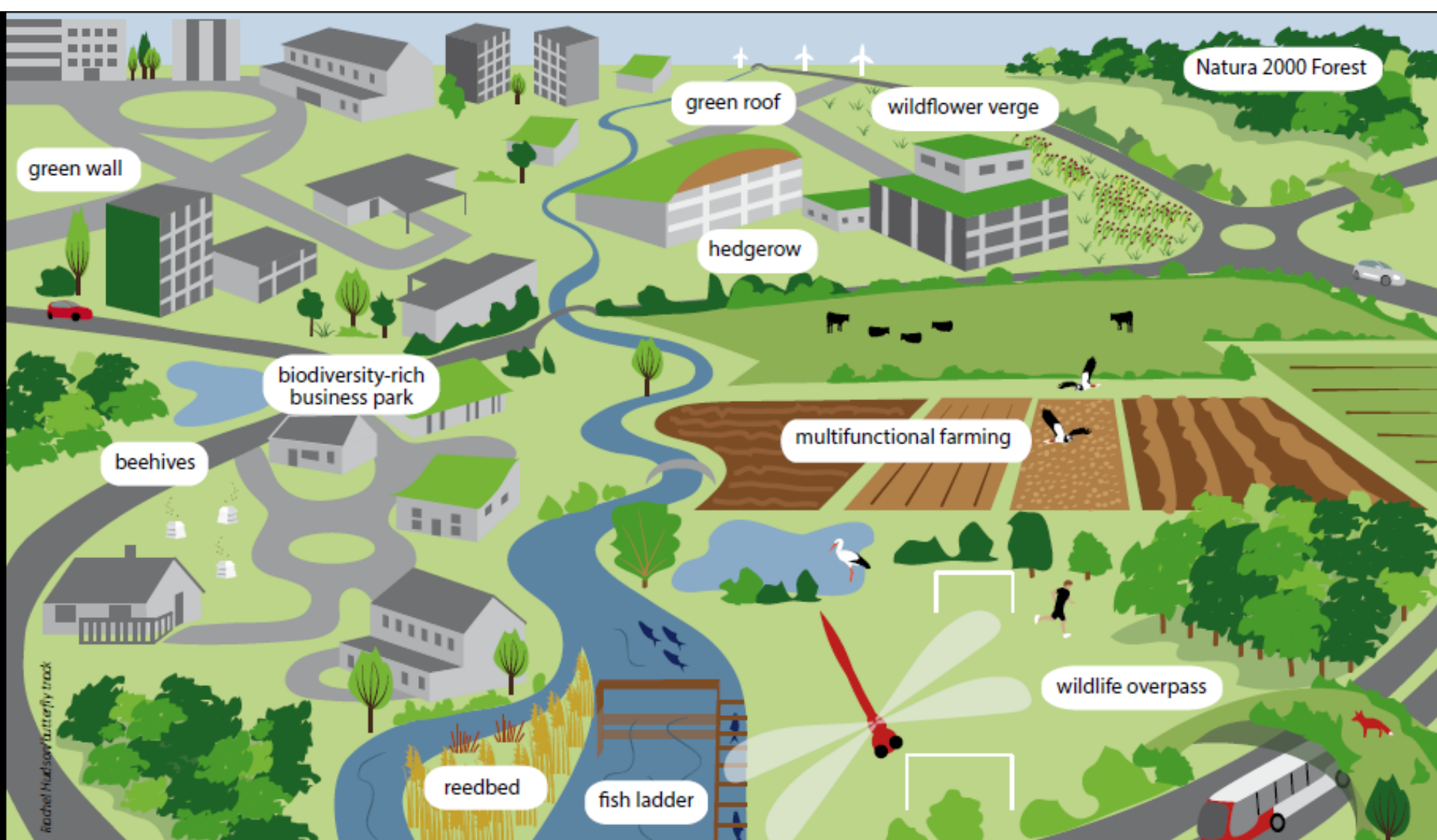
綠色建設 Green Infrastructure

- ▶ 定義
- ▶ 美國環保署（ USEPA ）： **Green infrastructure** is a cost-effective, resilient approach to managing **wet weather impacts** that provides many community benefits.
 - **Gray stormwater infrastructure** is designed to move **urban stormwater** away from the built environment.
 - **Green infrastructure** reduces and treats stormwater at its source while delivering environmental, social, and economic benefits.

著重在開發地區的濕天氣管理

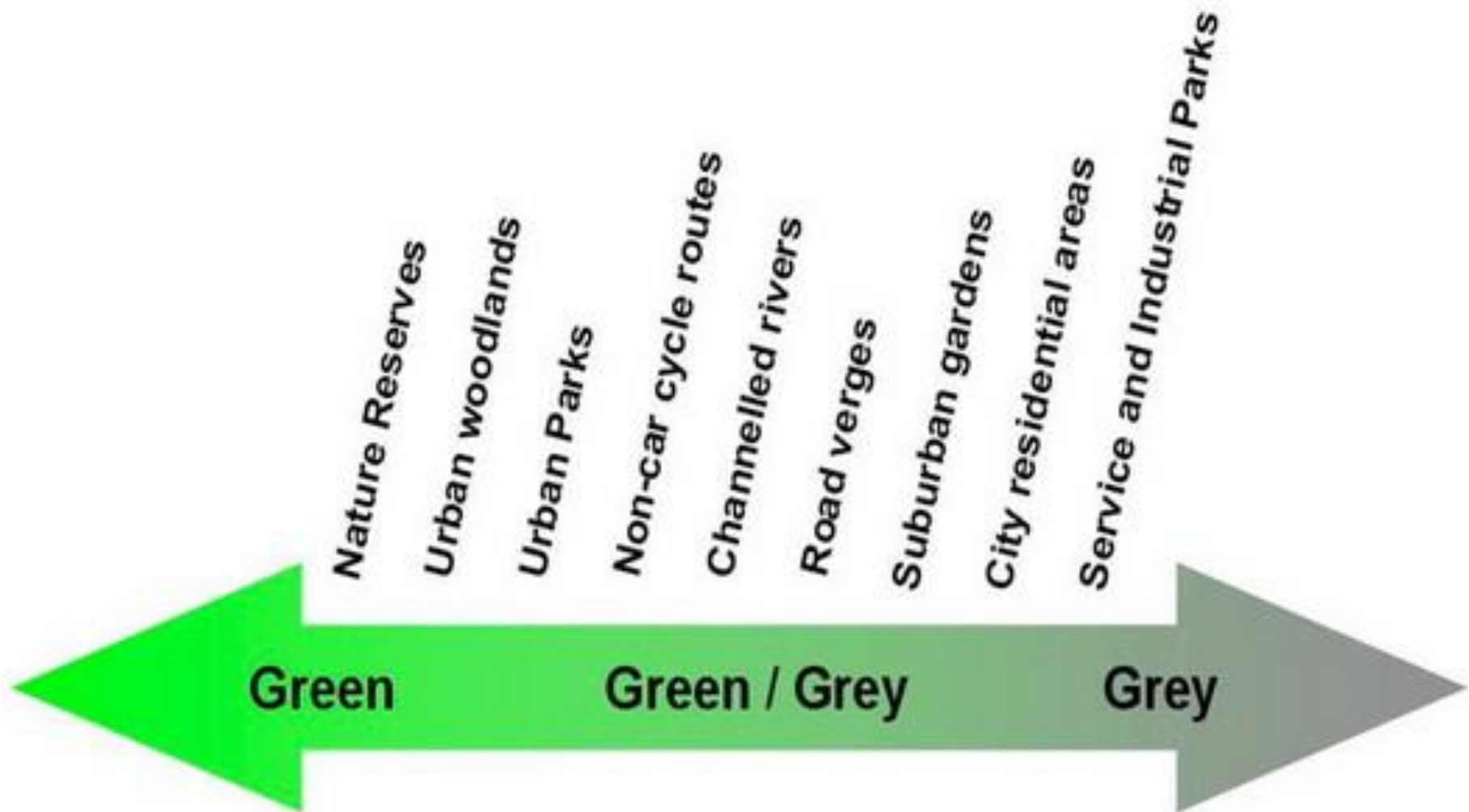
綠色建設 Green Infrastructure

- ▶ 定義
- ▶ 歐盟（EU）：**Green Infrastructure** can be broadly defined as **a strategically planned network** of high quality **natural and semi-natural areas** with other environmental features, which is designed and managed to deliver a wide range of **ecosystem services** and protect **biodiversity** in both rural and urban settings.
 - GI, **being a spatial structure** providing benefits from nature to people
 - **enhance nature's ability** to deliver multiple valuable **ecosystem goods and services**, such as clean air or water.



Potential components of a Green Infrastructure

歐盟綠色建設強調空間規劃、與大自然和諧共處，並強化自然服務功能與價值⁵



(Bartley, et al., 2009)

綠色建設 Green Infrastructure

▶ 本專題定義

▶ 範圍：

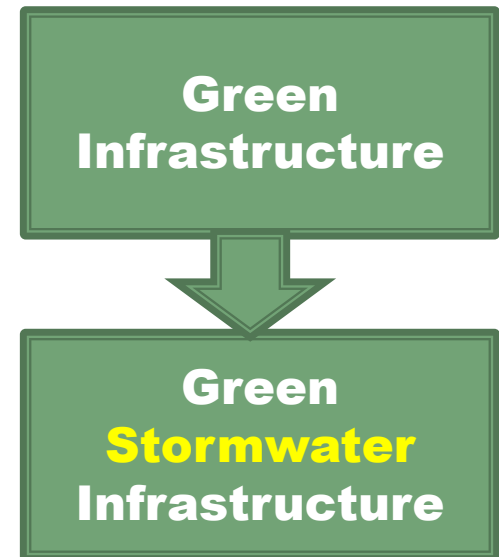
人為開發區、城市、
社區、基地、流域中下游

▶ 目標：雨水管理

▶ 方法：自然 (nature)

▶ 效益：除雨水外更多的附加價值

(生態、景觀、汙染改善、節能減碳、氣候變遷調適)



對都市雨水的基本了解

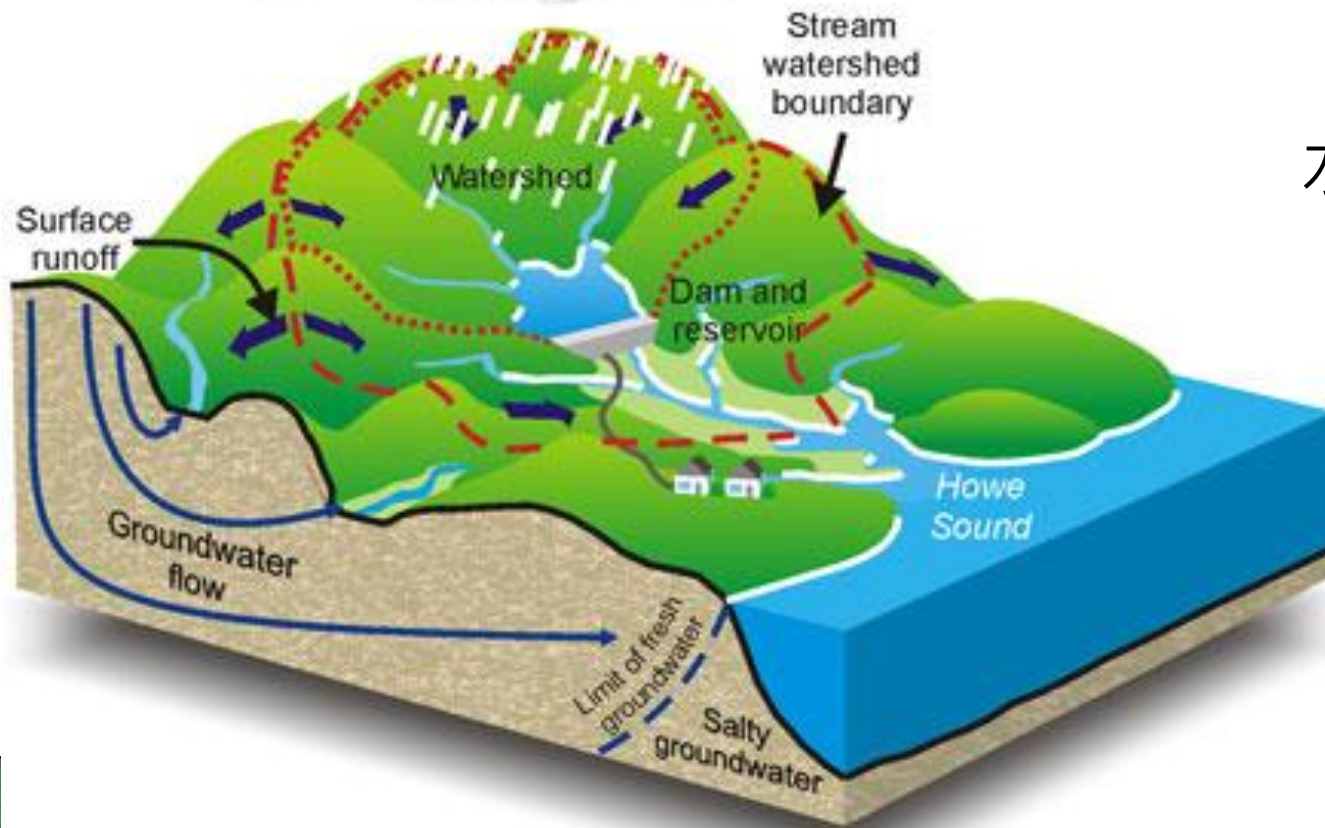
- ▶ 1.都市雨水也是水資源，不要只想排出去。
- ▶ 2.都市水文循環隨發展改變，且仍在變動。
- ▶ 3.都市地表逕流是髒的，屬於非點源汙染。

都市裡的雨水也是水資源!

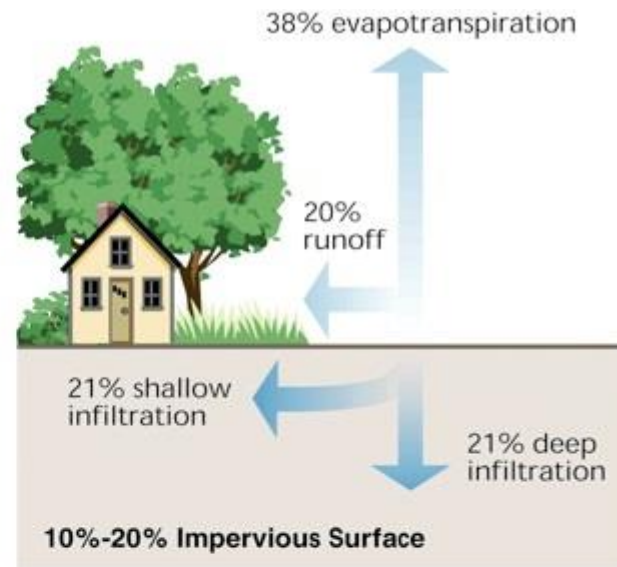
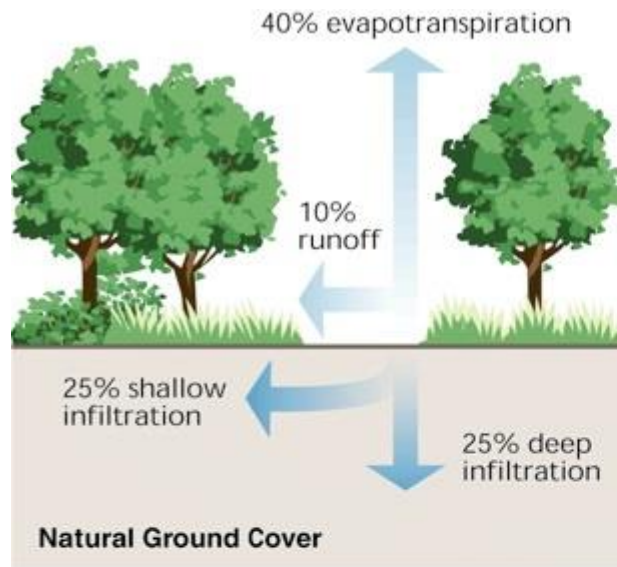
水庫集水區：水質水量保護
都市集水區：水趕快排走?!



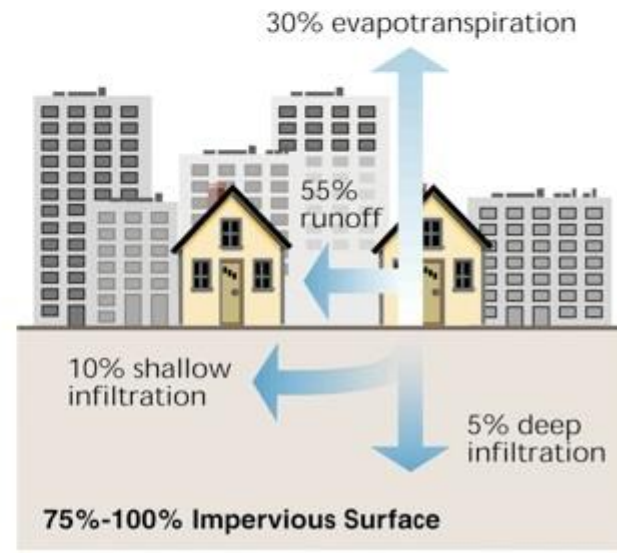
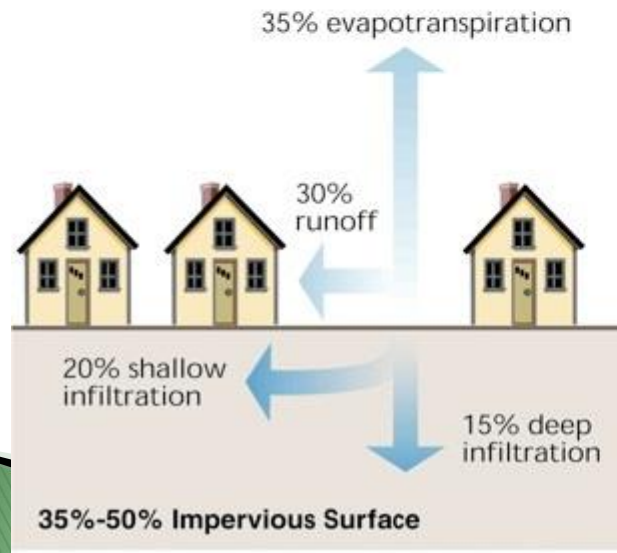
水質水量保護



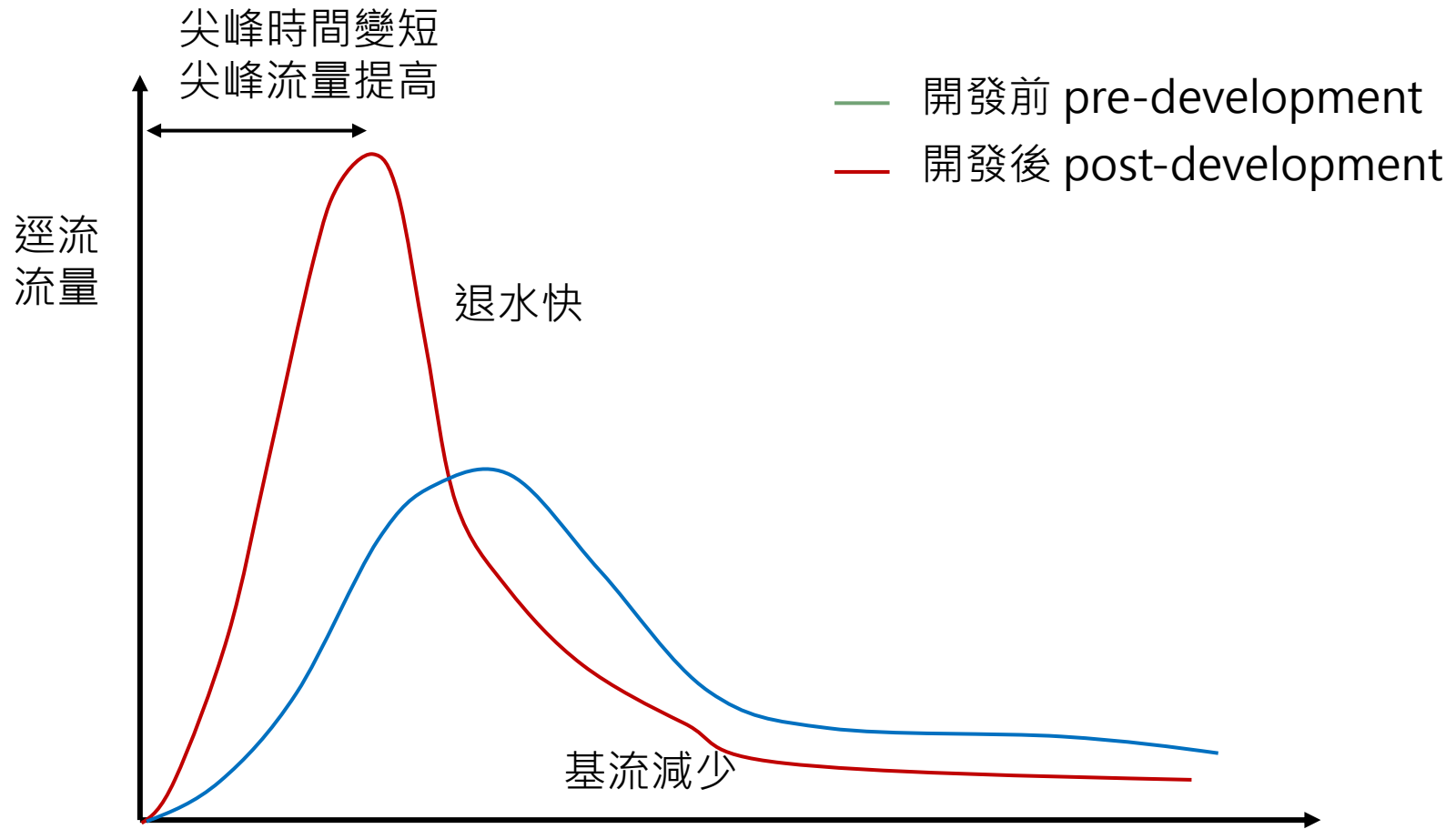
都市水文循環動態變化



不透水面越多，
地面逕流越多



都市逕流歷線變化



集水區下游影響(downstream effects)



局部低窪地區淹水頻繁

都市逕流非點源汙染

都市逕流(urban runoff)污染物包括：

- ▶ 沉積物Sediment
- ▶ 油脂
- ▶ 有毒化學物質
(如PAH, PCB)
- ▶ 致病菌
- ▶ 農藥
- ▶ 營養鹽
- ▶ 重金屬

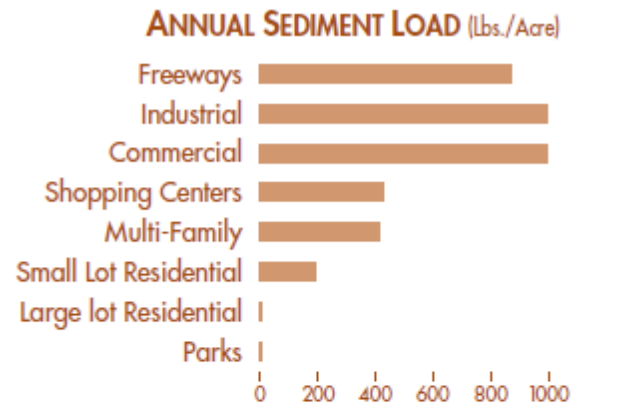
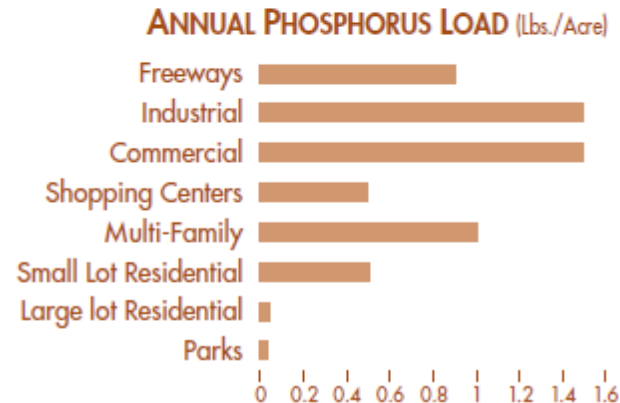
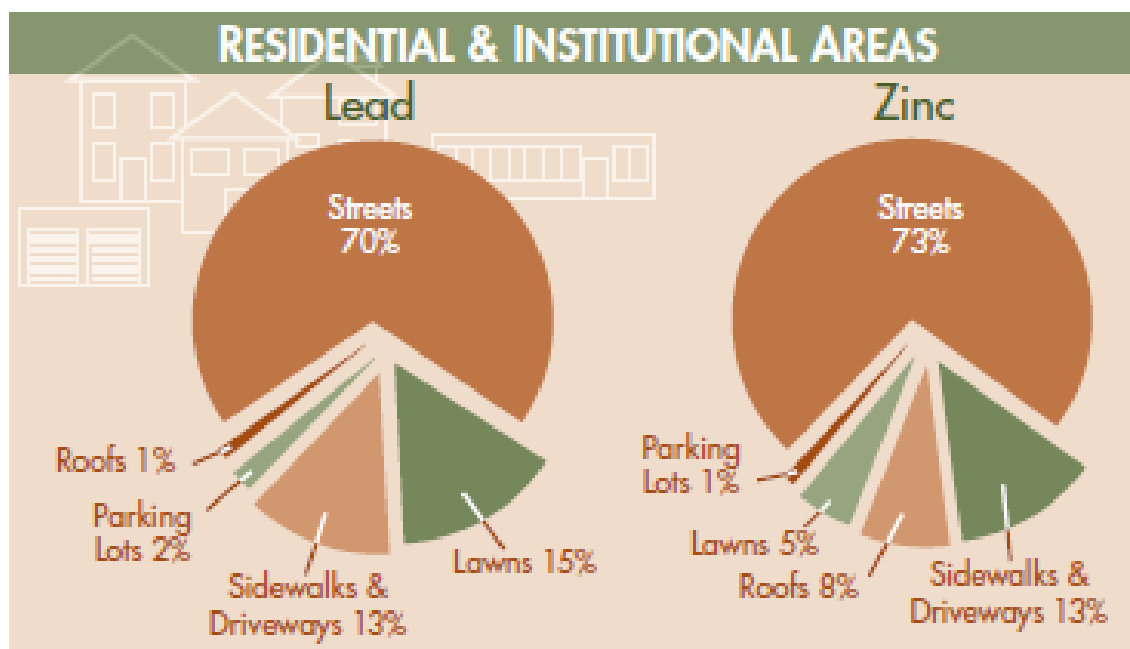
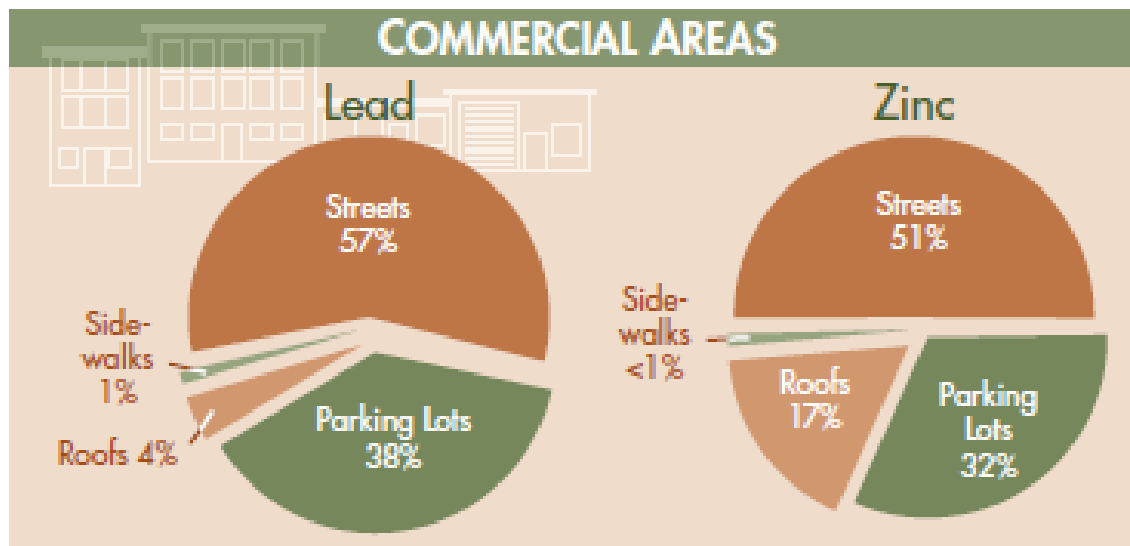


Figure 1



都市逕流中鉛、鋅來源：



重金屬主要
來自道路

都市道路逕流濃度調查（台北與新北市）

Table 4. Sample mean concentration (SMC) for runoff analysis (mg/L, ppm).

Sites	D		E	F	Average
Date	2012/04/05	2012/08/17	2012/12/18	2013/02/27	
SS	73.5	801.2	148.4	416.9	360
NH ₃ -N	1.8	1.0	3.24	1.06	1.77
TP	0.15	0.26	0.65	0.35	0.35
COD	160	200	104	192	164
Oil and Grease	-	10.8	2.5	1.8	5.03
Cu	0.009	0.009	0.009	0.05	0.02
Zn	0.46	0.21	0.22	0.72	0.40
Pb	0.07	<0.05	0.14	<0.05	0.08
Cr	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
Hg	<0.0005	0.0007	<0.0005	0.0007	0.001
As	0.0036	0.0006	<0.0005	0.0005	0.001
Cd	<0.002	<0.002	<0.002	<0.002	0.002
Ni	<0.02	<0.02	<0.02	0.05	0.028

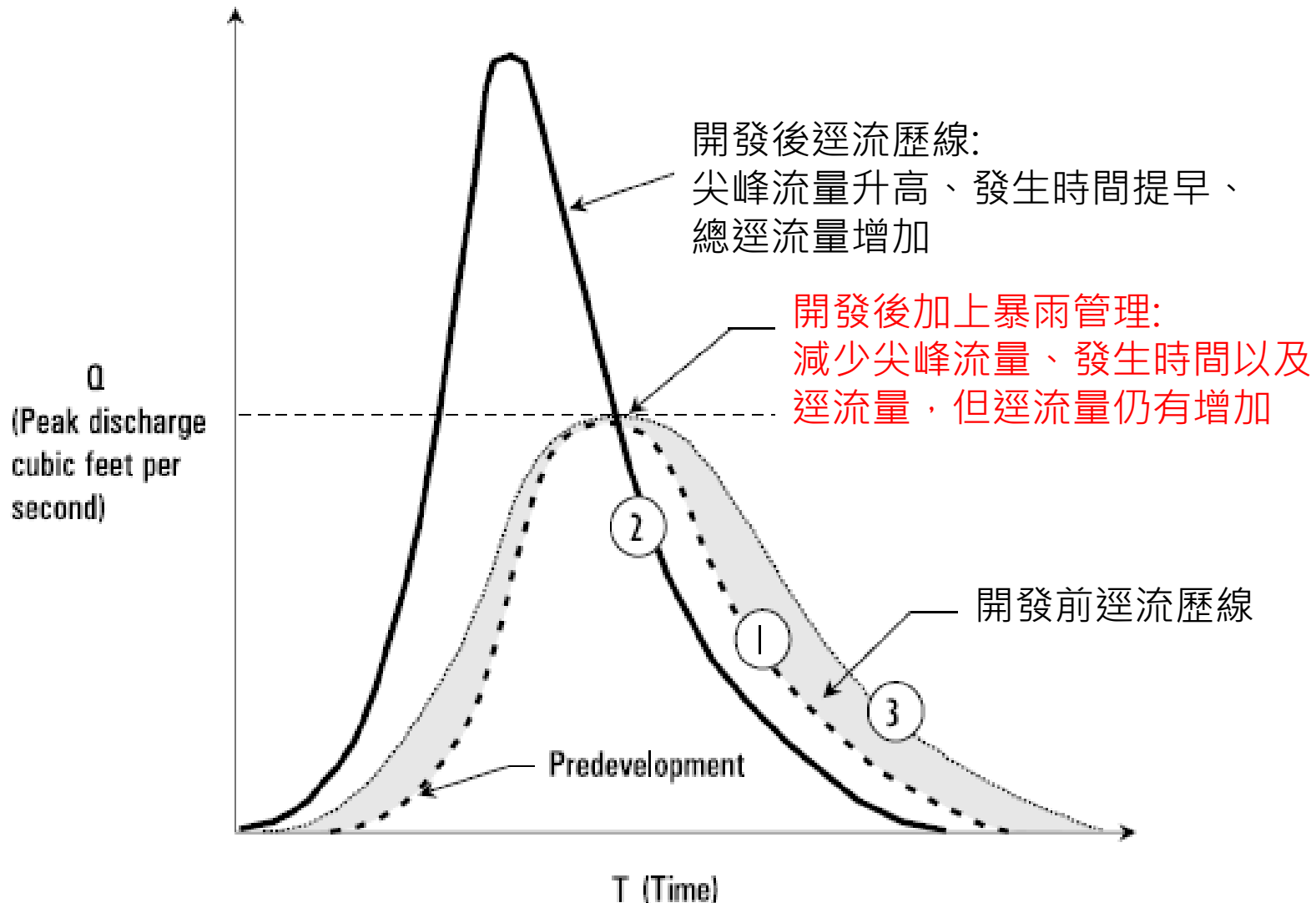
-: not test.

(Wang, Chen, and Lin, 2013)

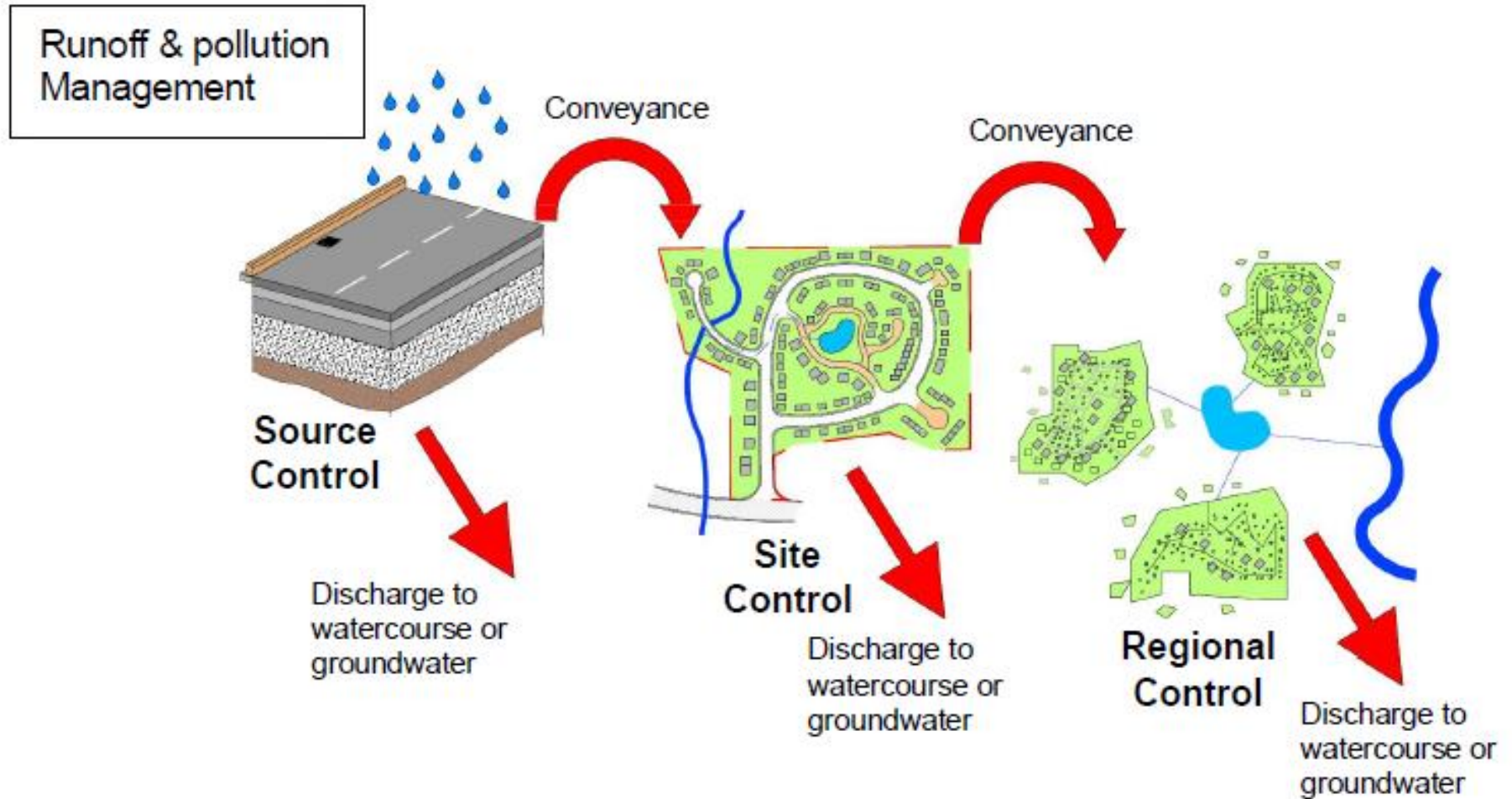
新 都市水環境管理

- ▶ 美國: Low Impact Development (LID)
- ▶ 英國: Sustainable Drainage Systems (SuDS)
- ▶ 澳洲: Water Sensitive Urban Design (WSUD)
- ▶ 日本: 總合治水
- ▶ 中國: 海綿城市

Low Impact Development (美國)

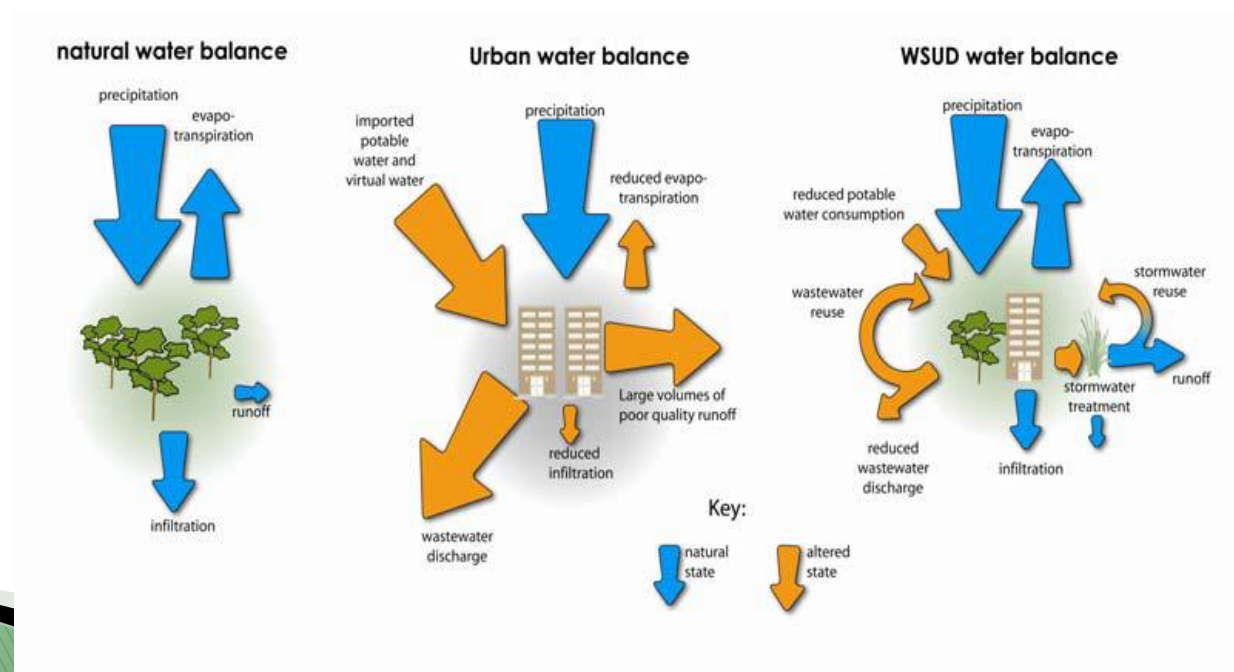


Surface Water Management Train (英國)



Water Sensitive Urban Design (澳洲)

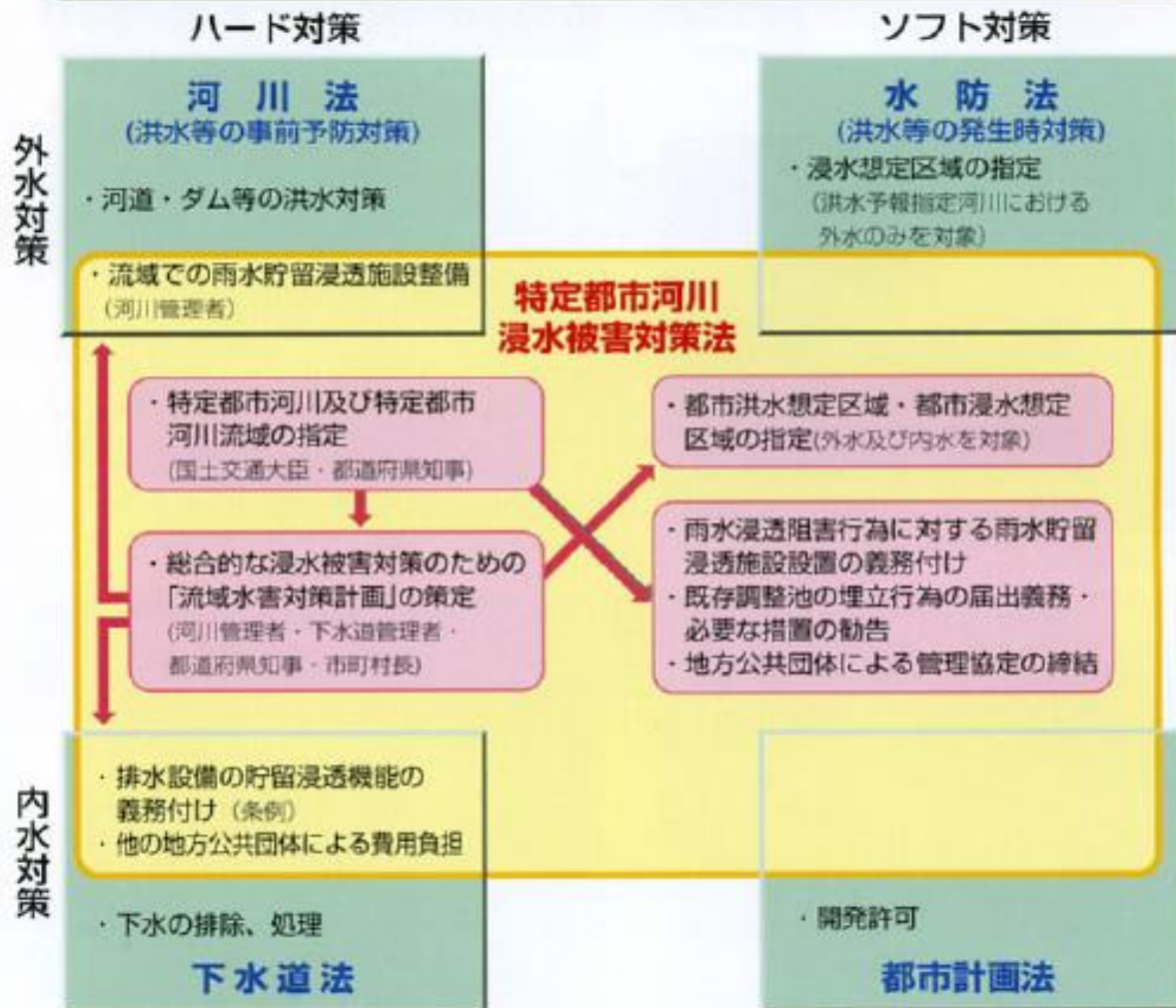
- Water Sensitive Urban Design (WSUD) is about integration of water cycle management into urban planning and design.
結合水循環管理於都市計畫與區域設計



特定都市河川浸水被害対策法

(平成15年法律第77号)

都市部を流れる河川の流域において、著しい浸水被害が発生し、又はそのおそれがあり、かつ、河道等の整備による浸水被害の防止が市街化の進展により困難な地域について、特定都市河川及び特定都市河川流域として指定し、浸水被害対策の総合的な推進のための流域水害対策計画の策定、河川管理者による雨水貯留浸透施設の整備、雨水の流出を抑制するための規制、都市洪水想定区域の指定等、浸水被害の防止のための対策の推進を図る。



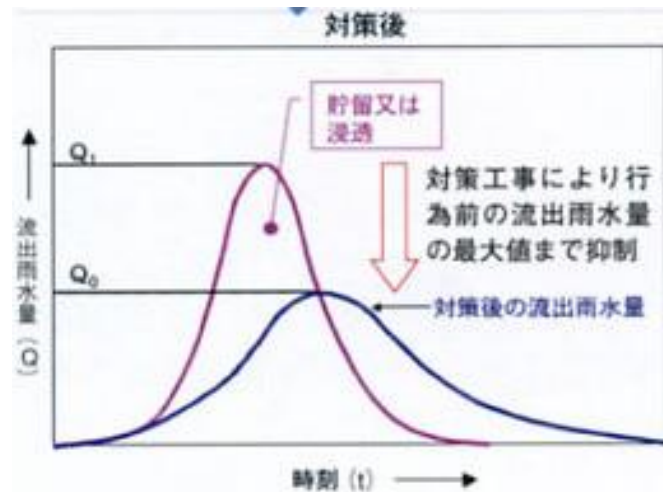
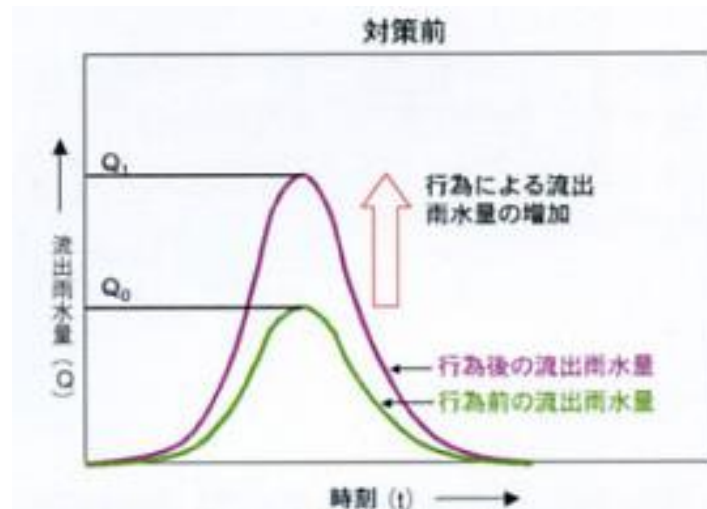
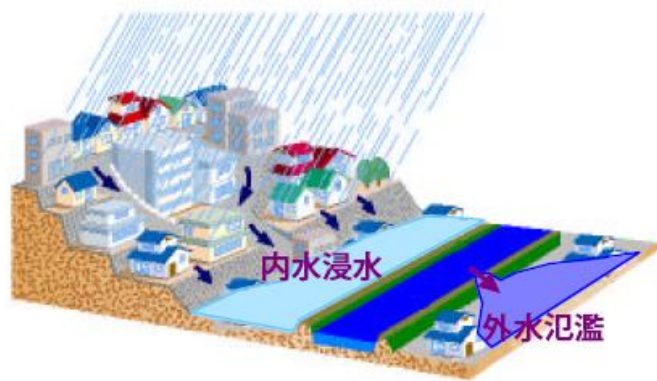
日本因應都市淹水制定新法，內容涵蓋河川法、水防法、下水道法、都市計畫法的範圍。

日本：特定都市河川浸水被害対策法

- ▶ 因應都市淹水災害所訂的特別辦法，促進被指定地區的防洪總合計畫發展。



宅地造成等により、雨水が地下に浸透せず河川等に一度に流出し浸水被害をもたらす



中國：海綿城市

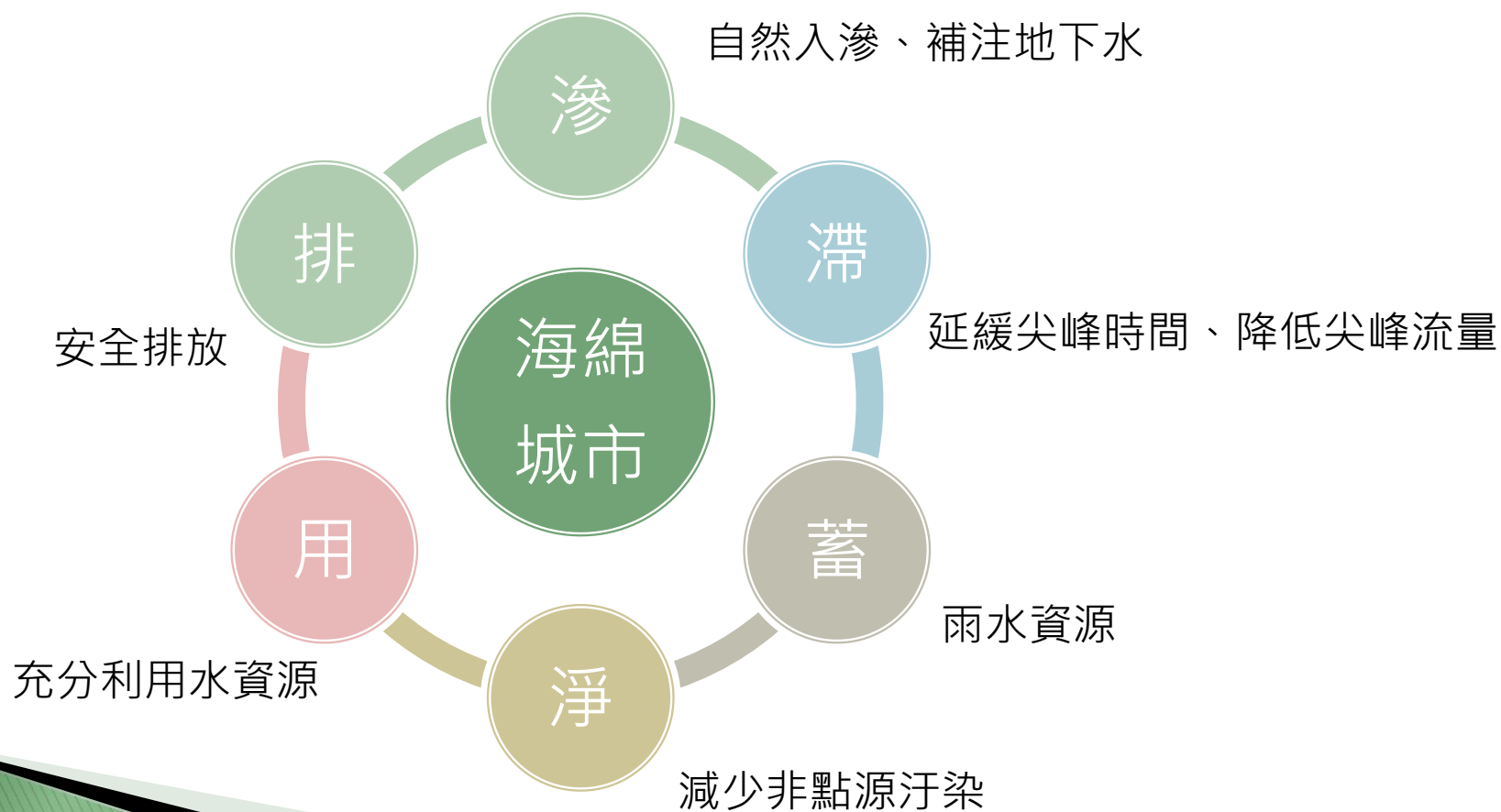
▶ 海綿城市建設目標



- 傳統模式：
“大截排、大集中”
- 海綿城市：
“系統治理、集散結合”

中國：海綿城市

▶ 海綿城市六字箴言(技術層面)



雨水（暴雨）治理觀念的改變

- ▶ 污染控制：
從管末處理(處理污染)到源頭管制(預防污染)

同樣的：

- ▶ 雨水治理：
從排水工程(處理逕流)到源頭控制(控制逕流)

傳統暴雨治理

- **導水、排水為主**：
快速將雨水導引離開。
- **設施**：排水溝、排水管、滯洪池、抽水設備。
- **對河川影響**：承接過多的地表逕流量，河道改變。
- **缺點**：不處理**水質**問題、對水生生態、河濱棲地恐有衝擊。

新暴雨治理

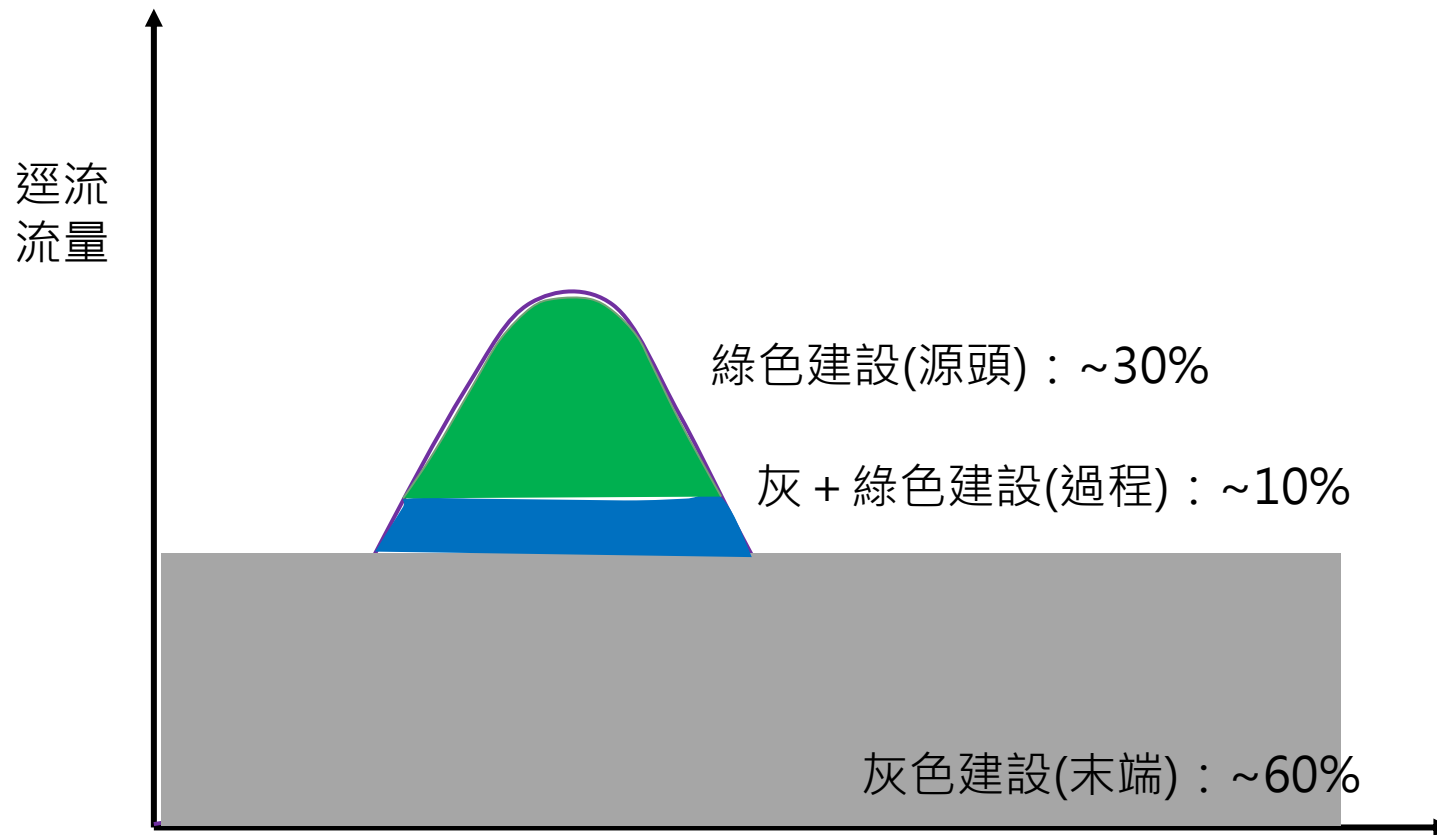
- **源頭控制以及入滲為主**：
將雨水入滲量最大化。
- **設施**：把開放空間設計在低地，作為雨水滯留處；不要在滲透性高的土地開發；搭配各種LID設施。
- **對河川影響**：降低尖峰流量、增加地下水補注。

▶ 綠色建設完全取代灰色建設？

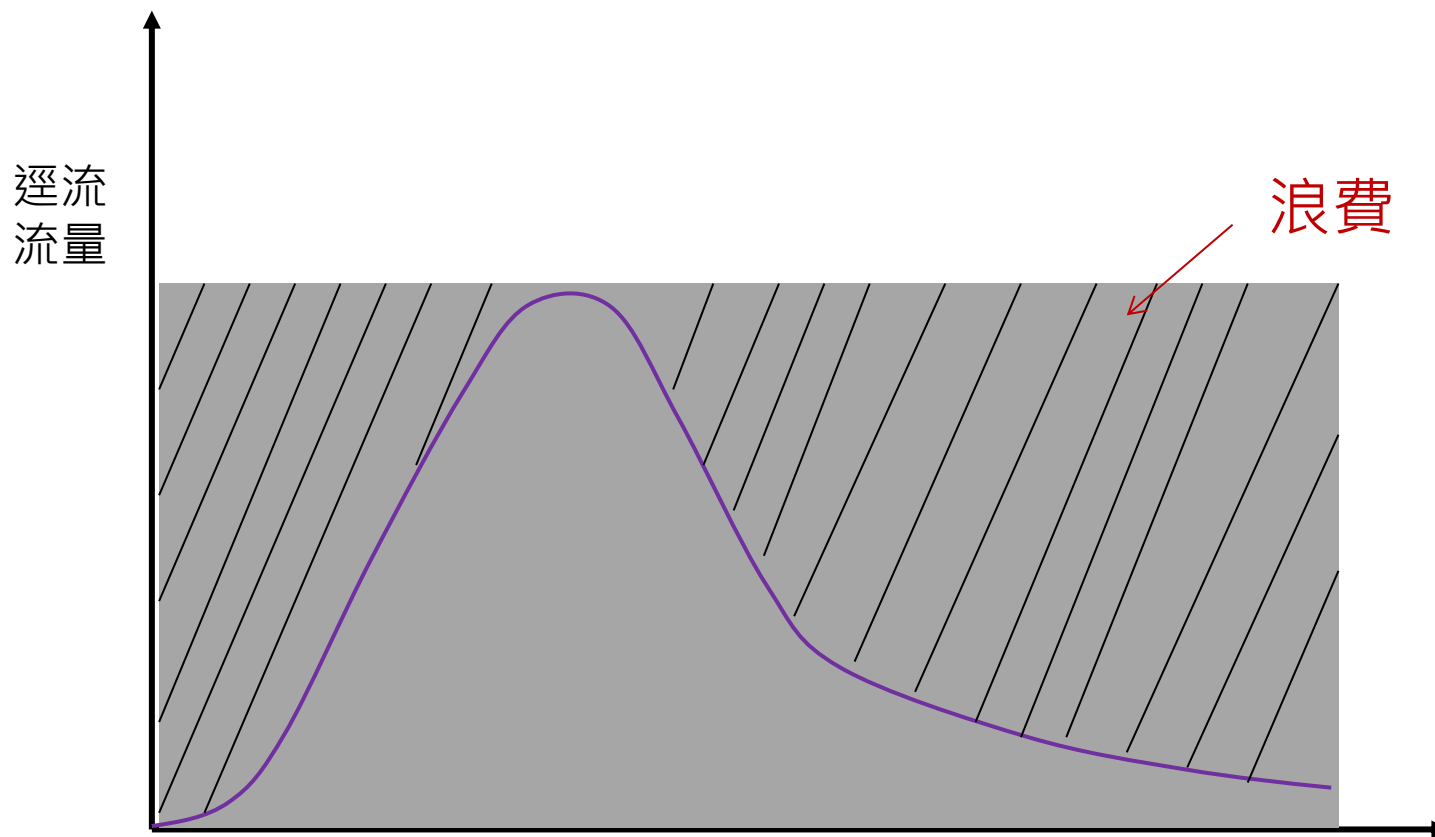
不是！

- 軟體取代（概念）
- 硬體合作（措施）

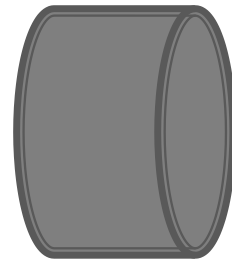
灰色建設與綠色建設的合作關係



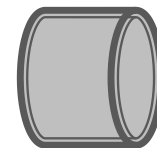
如果全部採用灰色建設：100%



灰色建設與綠色建設的合作關係



節省成本



LID設施生命週期成本(City of Edmonton,2011)

USEPA(2007) 比較17
個實際案例
分析LID的成本效益

LID比傳統方法減少
15~80%成本

加拿大Edmonton 城市
將LID成本歸納

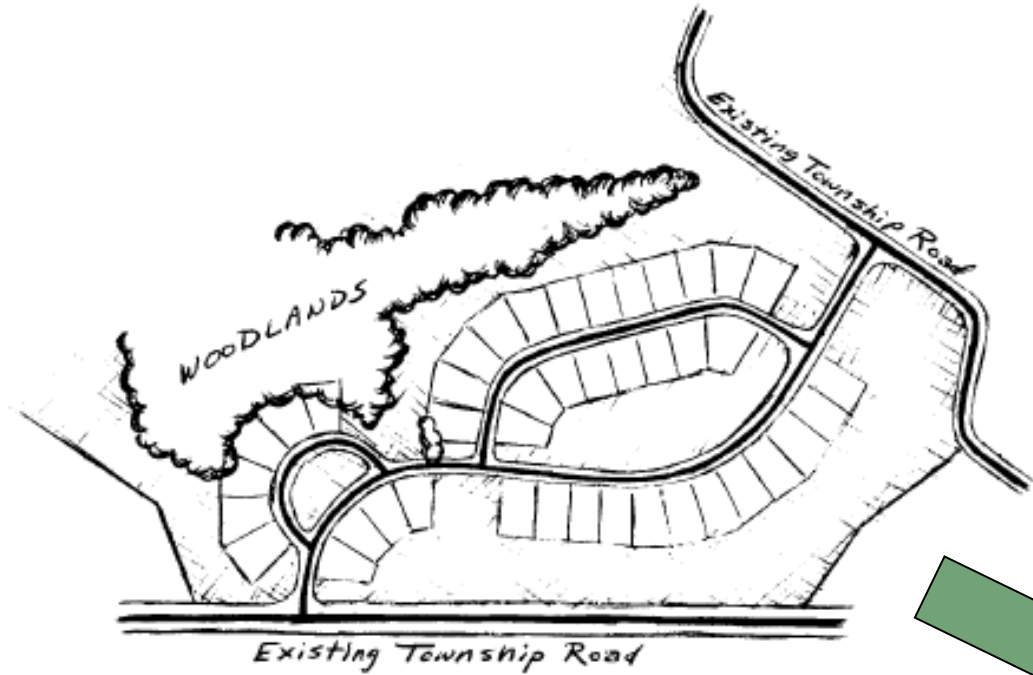
建造成本、維護成本、
更新成本

設施	建造成本	維護成本	生命週期	更新替換成本
雨水貯留	\$2.12~1000/m ³	灌溉使用維護費\$25/yr 室內沖廁使用維護費 \$100~150/yr	25~100年	同建造成本
綠屋頂	薄層型\$230~550/m ² 厚土型 \$500~3000/m ²	前兩年\$3~44/m ²	30~50年	防水層更新\$6/m ² 需定期移除雜草落葉
樹箱	\$30~350/m ²	\$13~30/m ²	25~50年	同建造成本 土壤更新\$10-15/m ²
生物滯留池	\$30~250/m ²	\$13~30/m ²	>20年	每15~20年重製 \$4~170/m ²
透水鋪面	\$340~500/m ²	\$0.15~0.30/m ²	>20年	同建造成本
草溝	\$11~35/m ²	\$0.20~1.00/m ²	>20年	同建造成本 土壤更新\$15~20/m ²

廣泛的都市雨水管理設計準則

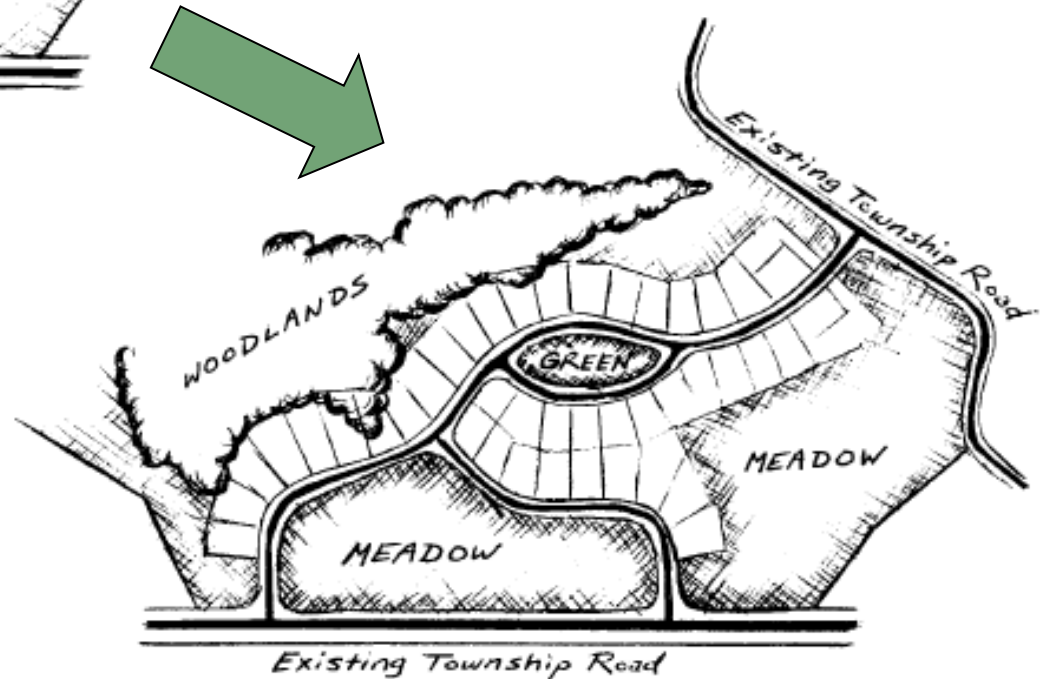
- ▶ 一、保存既有綠地空間 (Conservation)
 - 保留並擴大透水面積
- ▶ 二、維持原地表逕流集流時間
(peak flow control)
- ▶ 三、維持開發前的總逕流量
(runoff volume control)
- ▶ 四、減少非點源污染 (結合BMP)

一、保存既有綠地空間 (Conservation)



整體設計的兩個主要原則:

- 減少總不透水面積
- 減少直接相連的不透水面





In this example, LID design reduces imperviousness by changing the cul-de-sac design, reducing street width and lot size, and instead clustering houses around common green spaces that also serve as infiltration sites and preserving natural features.

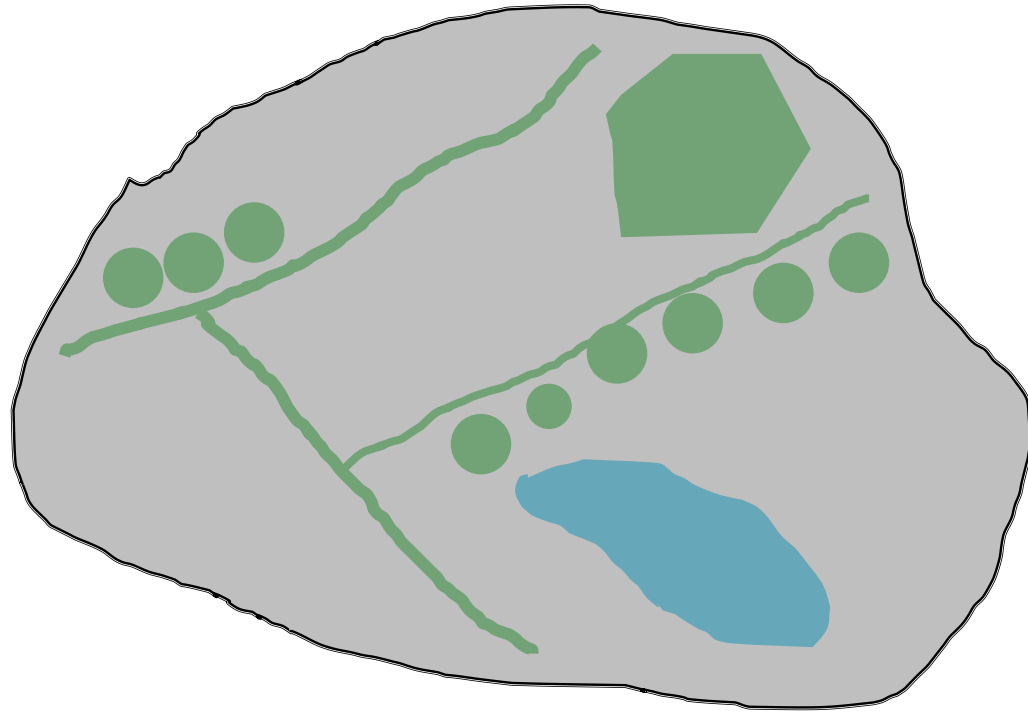
減少街道寬度、將房子設計在綠色空間四周

不透水面積最小化

- ▶ 透過創新的設計策略，將不透水面積最小化。
- ▶ 在建築物設計中，結合綠屋頂與雨水貯留系統。
- ▶ 將屋頂雨水導入透水空間，並在該空間中使用改良的土壤或入滲設施。
- ▶ 保留原有樹木，透過景觀設計創造更多的樹木覆蓋率。

透水面積與不透水面積比例

- ▶ 開發基地內透水面積至少為不透水面積的1/10
 - 1:5~ 1:10



二、維持原地表逕流集流時間

例如：

- 開放性排水
- 善用綠地空間
- 適度減少坡度
- 分散排水路線
- 延長排水路
- 使用草溝草帶
- 維持天然水路
- 增加片流機會

Maintain Time of Concentration

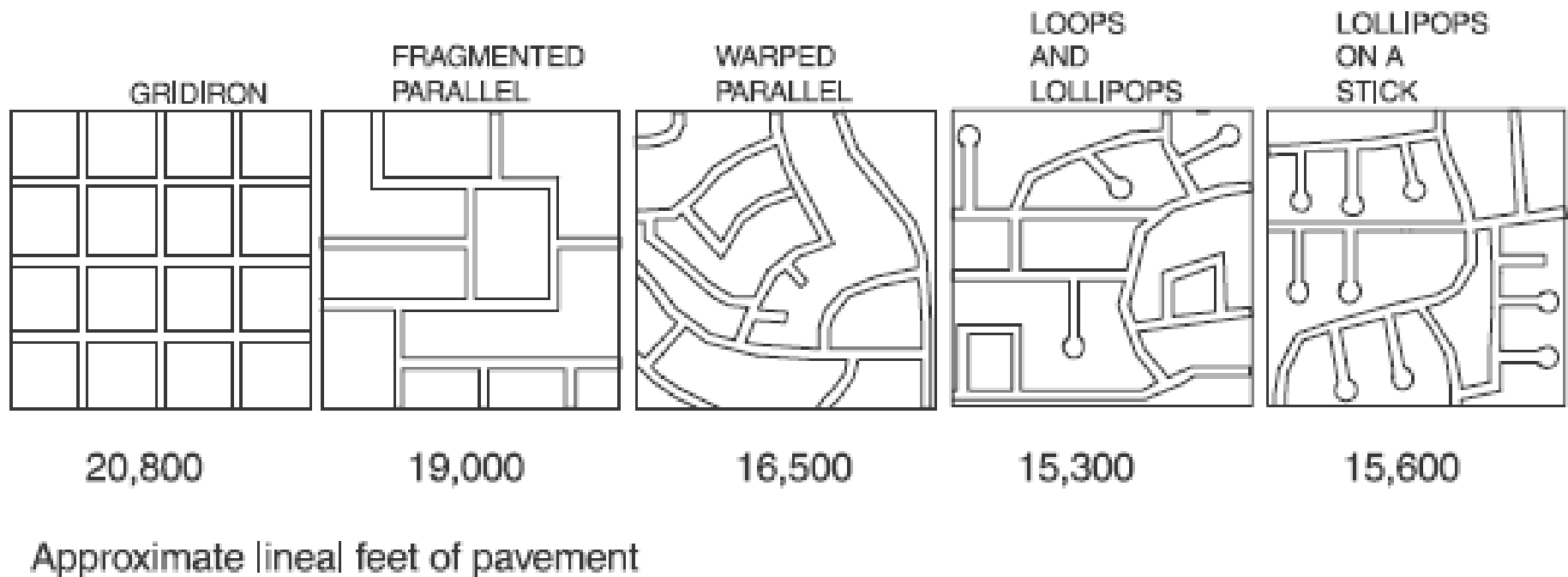
- Open drainage
- Use green space
- Flatten slopes
- Disperse drainage
- Lengthen flow paths
- Save headwater areas
- Vegetative swales
- Maintain natural flow paths
- Increase distance from streams
- Maximize sheet flow



(Coffman, 2002)



開放水路於住宅區的應用
(Toronto and Region
Consrvation Authority,
2010)。



在相同基地面積下，不同街道設計可減少道路長度
(City o Edmonton, 2011)

三、維持開發前的總逕流量

使用各種保水設施，例如：

- 開放性排水溝
- 生物滯留池
- 小型的管線與陰溝
- 入滲
- 窪地貯水
- 屋頂貯水
- 管線貯水
- 雨水利用
- 土壤管理

Storage Detention & Filtration **“LID’s IMP’s”**

- Uniform Distribution at the Source
 - Open drainage swales
 - Rain gardens /bioretention
 - Smaller pipes and culverts
 - Small inlets
 - Depression storage
 - Infiltration
 - Rooftop storage
 - Pipe storage
 - Street storage
 - Rain water use
 - Soil management

(Coffman, 2002)

常用的保水設施（ LID設施 ）

- ▶ 透水鋪面 (Permeable Pavements)
- ▶ 生物滯留池 (Bioretention cell /island/ strip/ swale/ rain gardens)
- ▶ 綠屋頂 (Green roof/ ecoroof/ vegetated roof/ living roof)



Porous pavement covers about 1/3 of each parking space in the D.C. Navy Yard parking



Hollywood Driveways have a dividing strip of grass in order to reduce the amount of impervious surface. Another way to reduce driveway space is to share one with a neighbor.

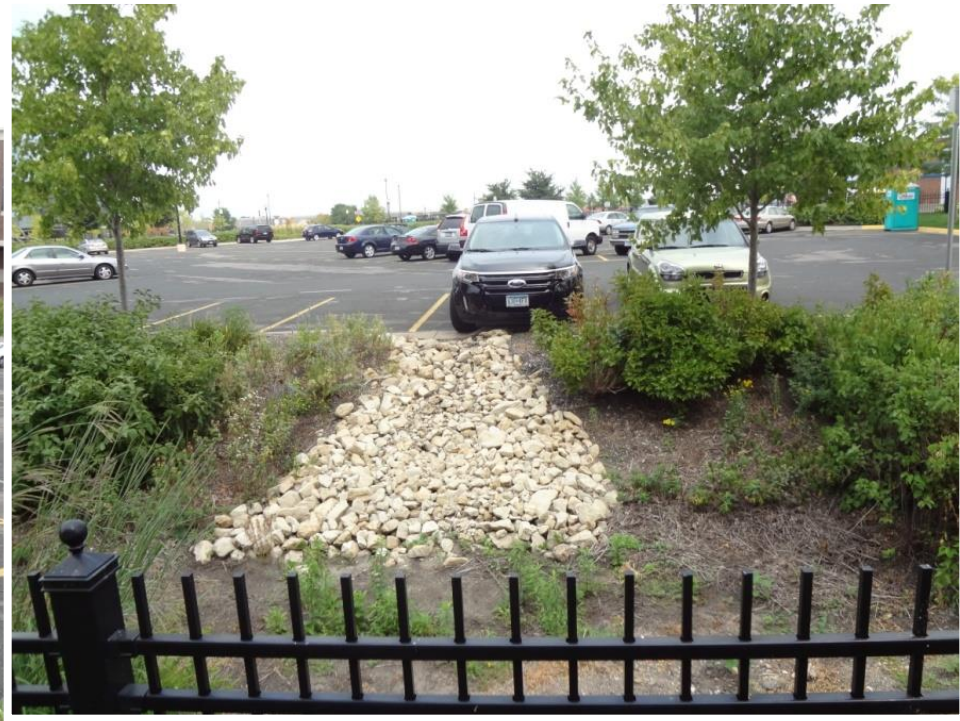
Figure 2: Multi-level or stacked parking behind a business further reduces imperviousness and complies with Emeryville's "Stormwater Guidelines for Green, Dense Redevelopment."

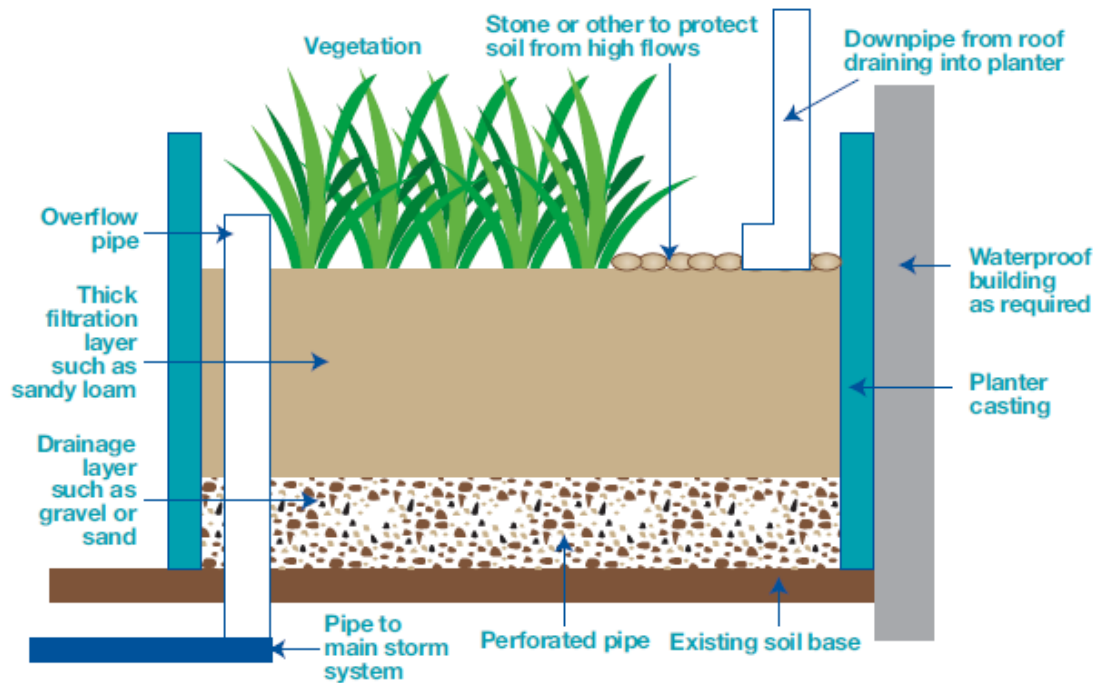


Figure 1: This commercial site includes parking lot swales to bioinfiltrate impervious surface runoff.

USEPA-841-F-10-004, 2010

University of Minnesota's TCF Football Stadium





雨水花園是一般住家社區常用的LID設施



引屋頂雨水

Downpipe delivering water from roof to raingarden.

使用本土耐旱植物

Drought tolerant native species fare well in raingardens.

增加入滲率

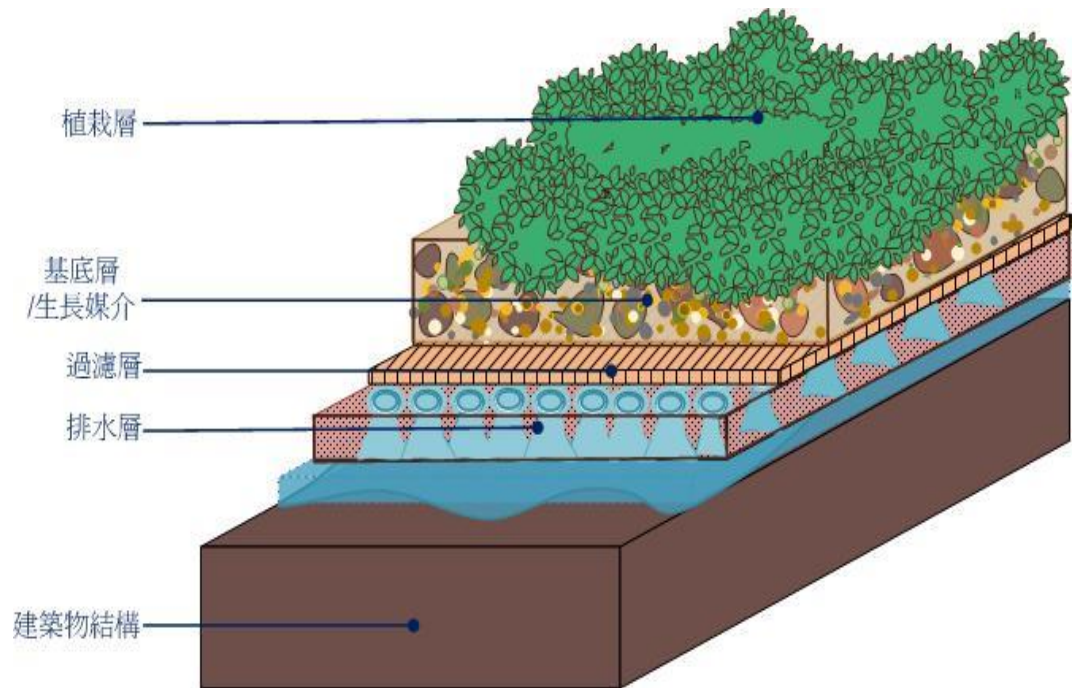
Mulch in garden to keep infiltration capacity high.



USEPA-841-F-10-004, 2010

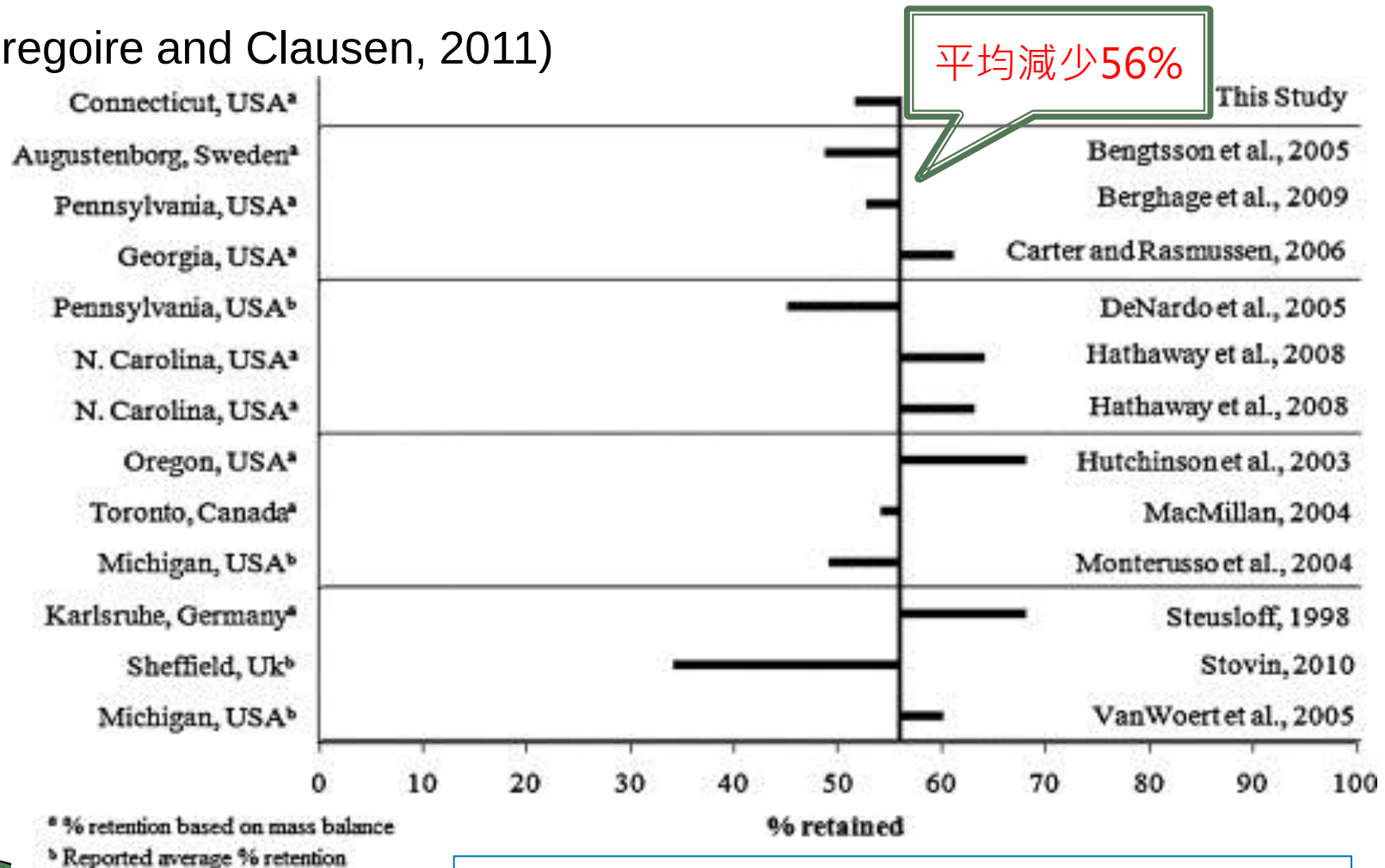
綠屋頂結構

- ▶ 植栽層(plant layer)
- ▶ 生長基層(substrate layer/growing layer)
- ▶ 過濾層(filter layer)
- ▶ 排水層(drainage layer)
- ▶ 防水層
(waterproofing layer)



綠屋頂對逕流影響

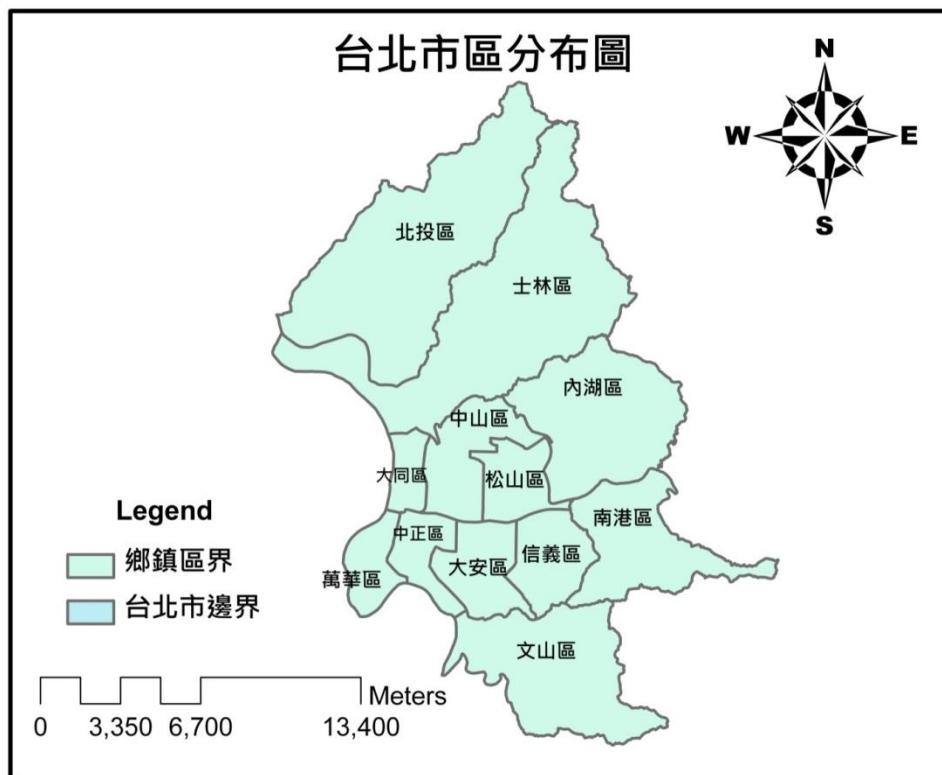
(Gregoire and Clausen, 2011)



綠屋頂逕流受到降雨型態影響，台灣的降雨型態不同於歐美國家，效果可能有限。

綠屋頂對臺北市逕流影響

- ▶ 台北市(建物面積約60平方公里，佔總面積22%)
- ▶ 綠屋頂設置情境：
假設70%的建物屋頂上設置10公分、孔隙率0.3的綠屋頂



SWMM模擬結果(2011年全年雨量)

表 台北市各行政區的現況和綠屋頂情境總逕流量比較

台北市各行政區	現況(m ³)	綠屋頂情境(m ³)	差異(%)
士林區	2,701,771	2,667,311	1%
大同區	1,903,118	1,315,401	31%
大安區	1,084,543	864,625	20%
中山區	777,846	624,442	20%
中正區	758,934	606,932	20%
內湖區	491,529	364,595	26%
文山區	415,609	336,057	19%
北投區	400,307	302,925	24%
松山區	595,718	466,667	22%
信義區	505,255	391,033	23%
南港區	249,974	190,342	24%
萬華區	300,384	235,445	22%

平均減少**21%**

比較美國華盛頓DC設置綠屋頂模擬情境 (採用Green Build-Out Model)

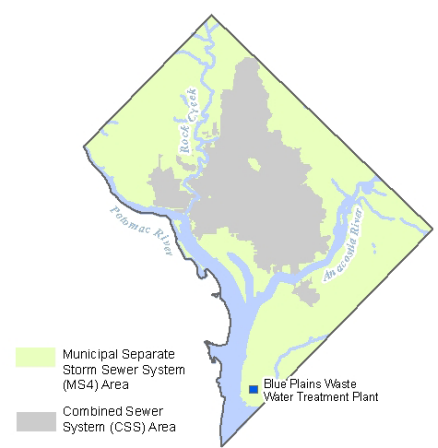
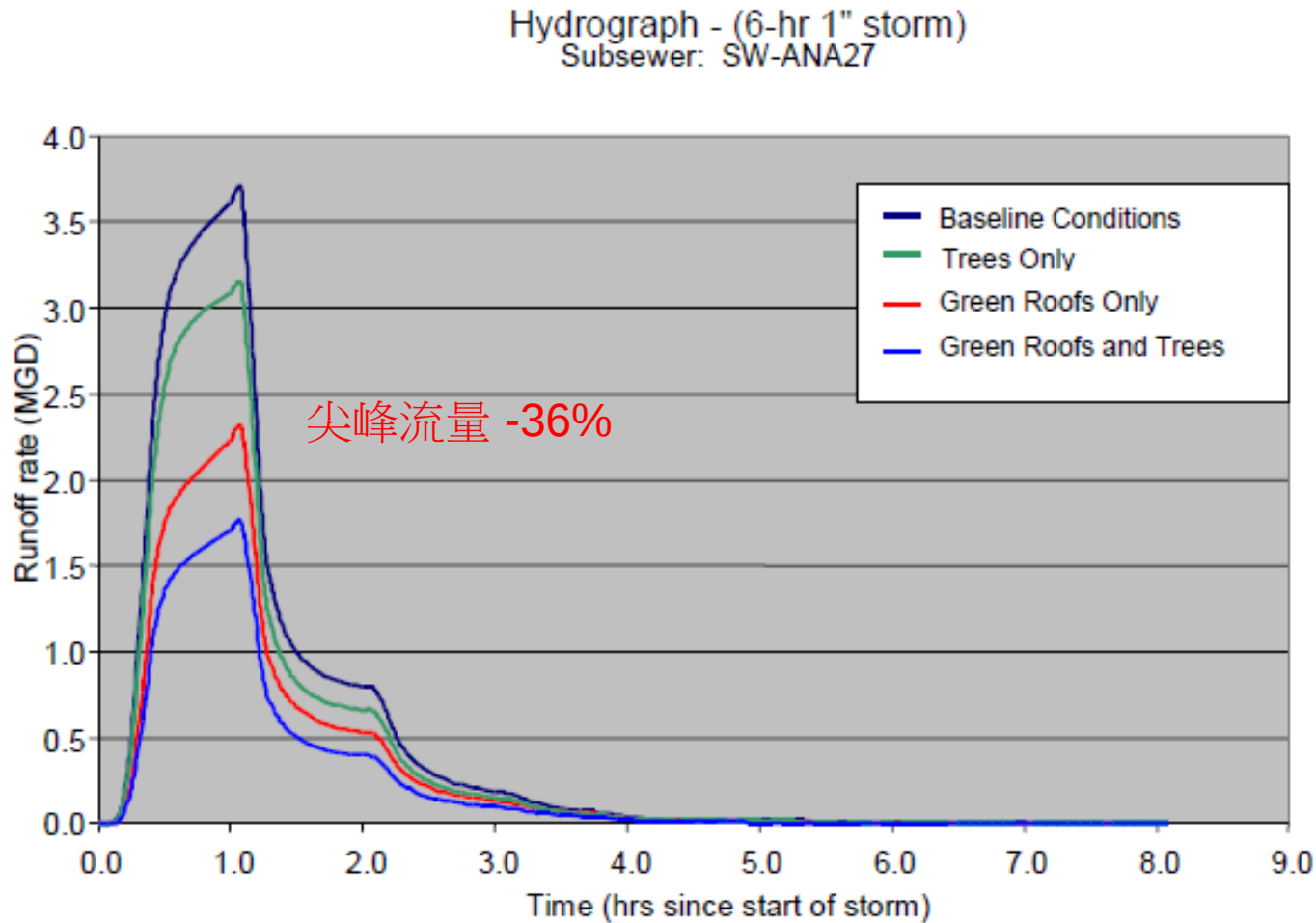
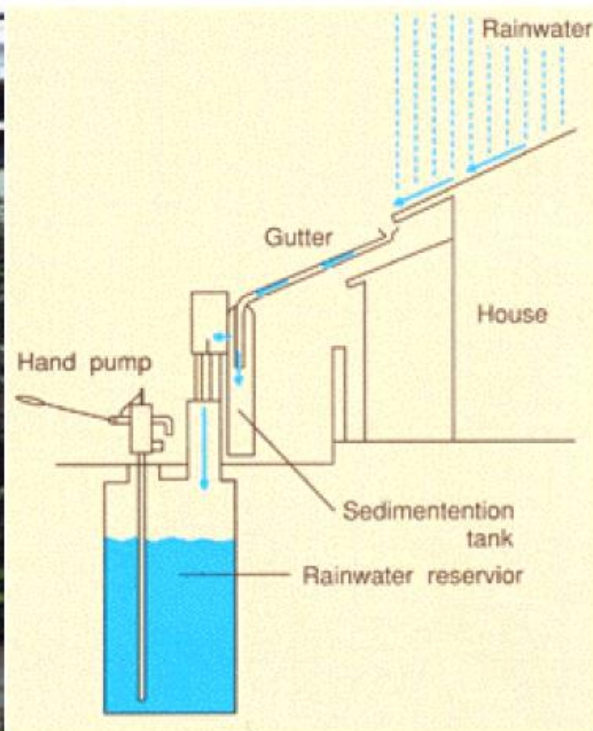


Figure 11: Sample Sewershed Hydrograph (6-hour (1 inch), design storm) (Anacostia Watershed, MS4 area)

建築物雨水貯留



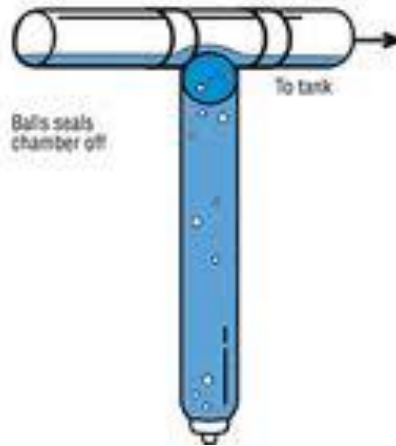
雨水使用前需注意其汙染特性

- ▶ 非點源污染初期沖刷(**first flush**)
 - 降雨初期的逕流水汙染濃度最高，之後受雨水稀釋影響，濃度降低。
 - First flush體積是structural BMP的設計關鍵因子。

First flush of contaminated water is diverted into chamber

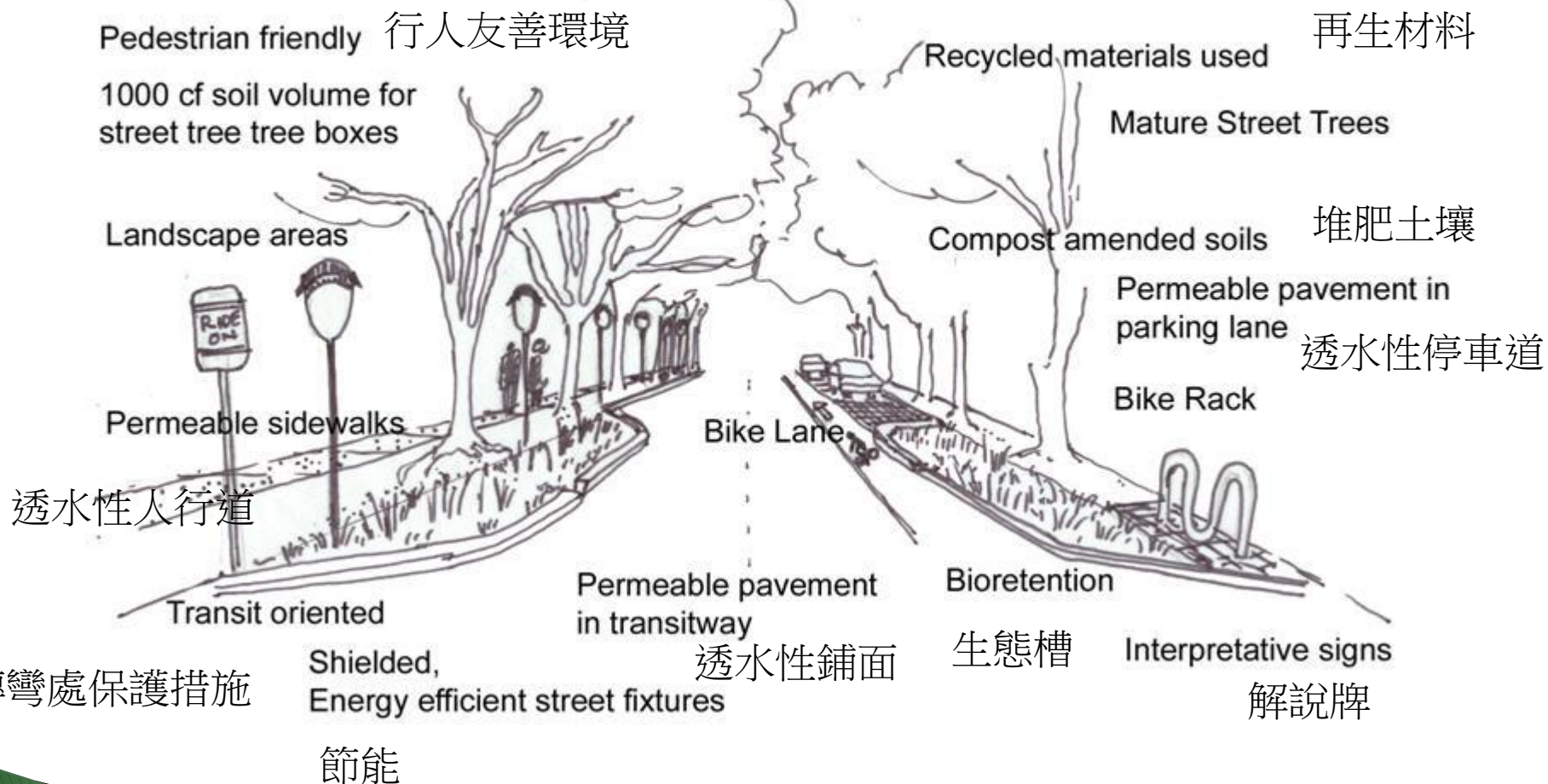


Once chamber is full fresh water flows to tank



綠街道(Green Streets)

Anatomy of a Green Street 綠街道示意圖



資料來源：<http://www.lowimpactdevelopment.org/greenstreets/practices.htm>

Minnesota– Green Line project



Minnesota– Green Line project



美國芝加哥市 Green Alley



✓暴雨治理
✓減少熱

✓利用再生材料
✓省能、減少炫光

圖片來源：The Chicago Green Alley Handbook

住宅區道路

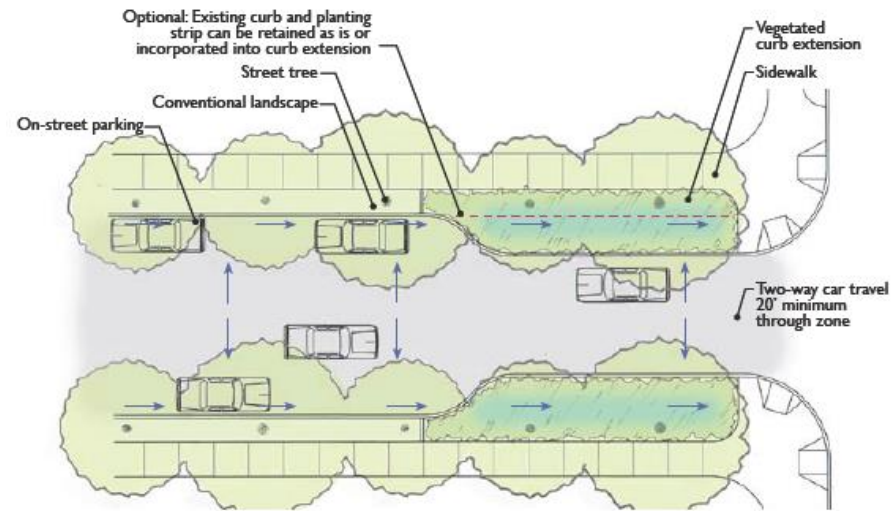
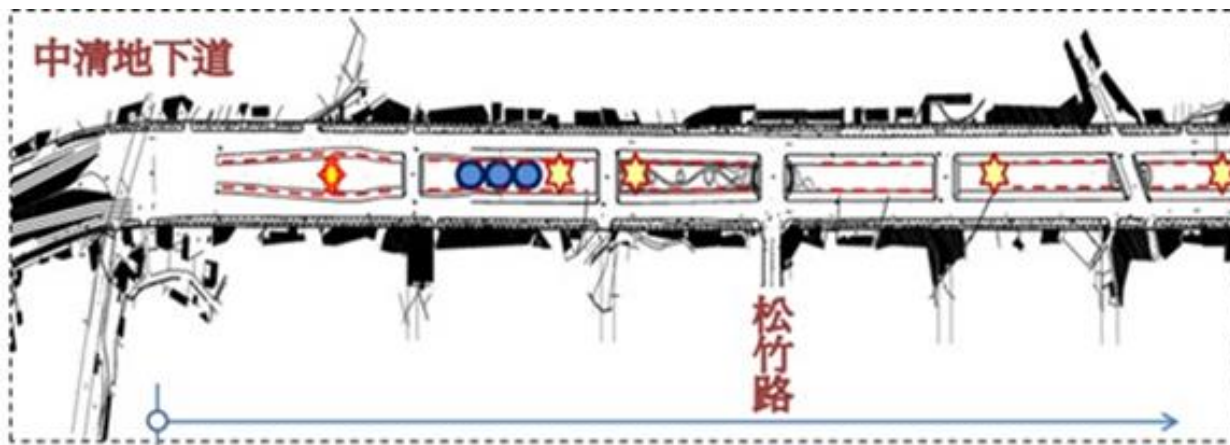


Figure 2: Portland's first Green Streets project at NE 35th and Siskiyou features curb cuts, bump outs and swales.

台中綠色公路案例

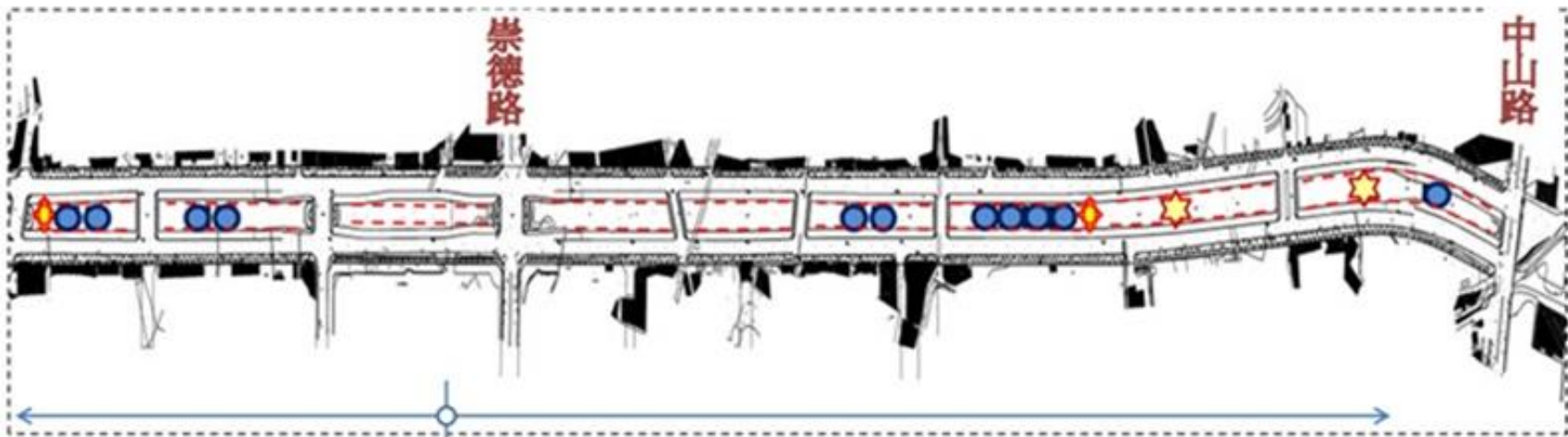
- ▶ **Location:** The Huangjong elevated express road, Taichung city, Taiwan.
- ▶ **Dimensions:** length 4.7 km, width 33.6 m.
- ▶ **LID facilities:** infiltration ponds, infiltration swales, rainfall storage tanks, and ecoponds.
- ▶ **Water reuse:** stored rainfall is filtered and pumped back to watering plants on roads.
- ▶ **Cost:** The road costs 6 billion New Taiwan Dollars (NTD). 50 million NTD are for LIDs.
- ▶ **Benefit ? (runoff reduction rate?)**





legend

- Infiltration swale
- Infiltration pond
- ★ Eco-pond
- ◆ Rainfall storage system

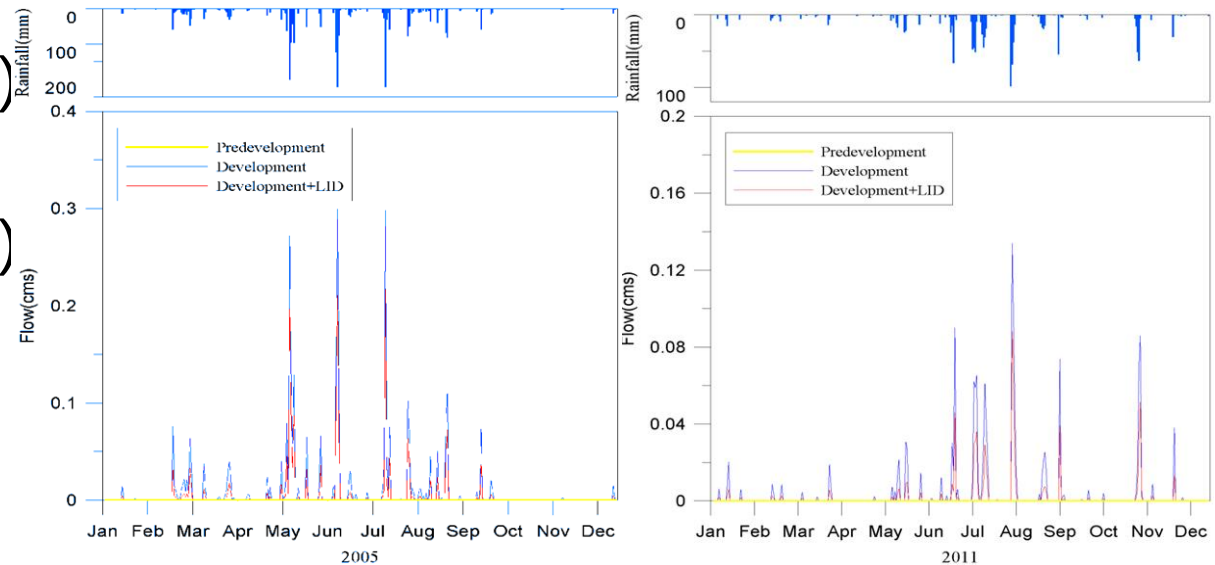


Constructed in 2013

Results of SWMM model

► The runoff reduction rate:

- 43.5% in 2005
(2,575 mm)
- 54.5% in 2011
(1,205 mm)



- the performance of LID is better in less rainfall year.
(because high rainfall intensity results in more water overflow and less water retained in LIDs)

Current pictures of the Green Road (2016/06/17)









四、減少非點源污染(BMP)

例如：

- 維護管理
- 適當的使用、處理與處置
 - 一般民眾(家庭)
 - 工業
 - 商業

減少非點源污染的
產生與累積

Pollution Prevention

30 - 40% Reduction in N&P

Kettering Demonstration Project

- Maintenance
- Proper use, handling and disposal
 - Individuals
 - Lawn / car / hazardous wastes / reporting / recycling
 - Industry
 - Good house keeping / proper disposal / reuse / spills
 - Business
 - Alternative products / Product liability



(Coffman, 2002)

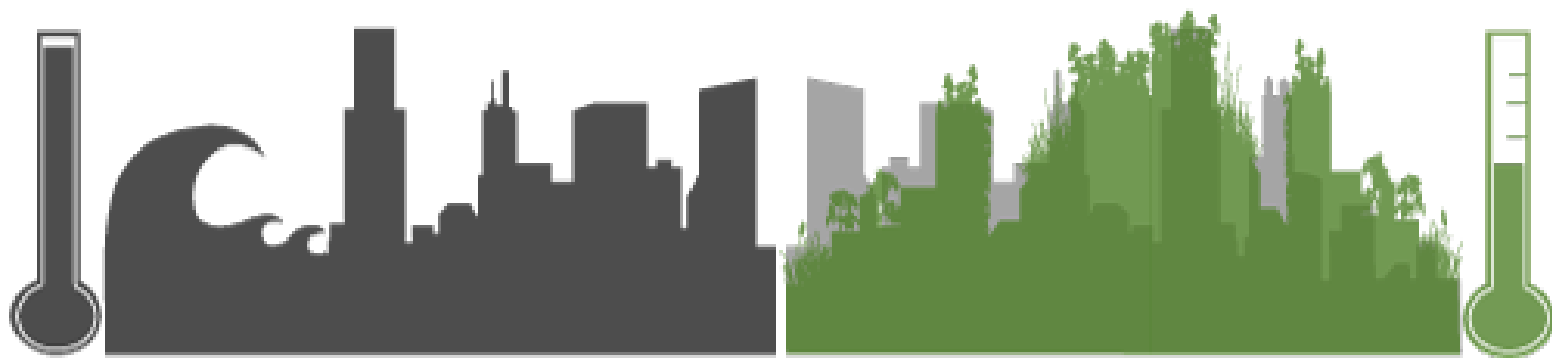
灰色建設與綠色建設結合

- ▶ 保留綠色（自然）並且把綠色（自然）代入灰色（人造）裡。
- ▶ 國際上新的都市水環境管理中心概念：模仿天然水循環。
- ▶ 新都市雨水管理可以同時處理水質、水量以及維持生態、營造舒適生活環境。
- ▶ 除了水有關設施外，需與都市計畫、建築物、道路等都市組成元素一起設計。



<http://www.azuremagazine.com/wp-content/uploads/2013/04/Grey-To-Green-01.jpg>

不要忘了，綠色建設還具有較佳的氣候變遷調適能力。



GREY TO GREEN

Addressing Climate Change with Green Infrastructure

Toronto | June 1-4, 2016 | greytogreenconference.org

A Green Roofs for Healthy Cities Event

報告完畢，敬請指教