

An aerial photograph of a city street, likely in Taipei, showing a wide road with multiple lanes, green trees lining the sidewalks, and several modern, multi-story buildings in the background. The sky is clear and blue. A semi-transparent dark box is overlaid on the center of the image, containing white text.

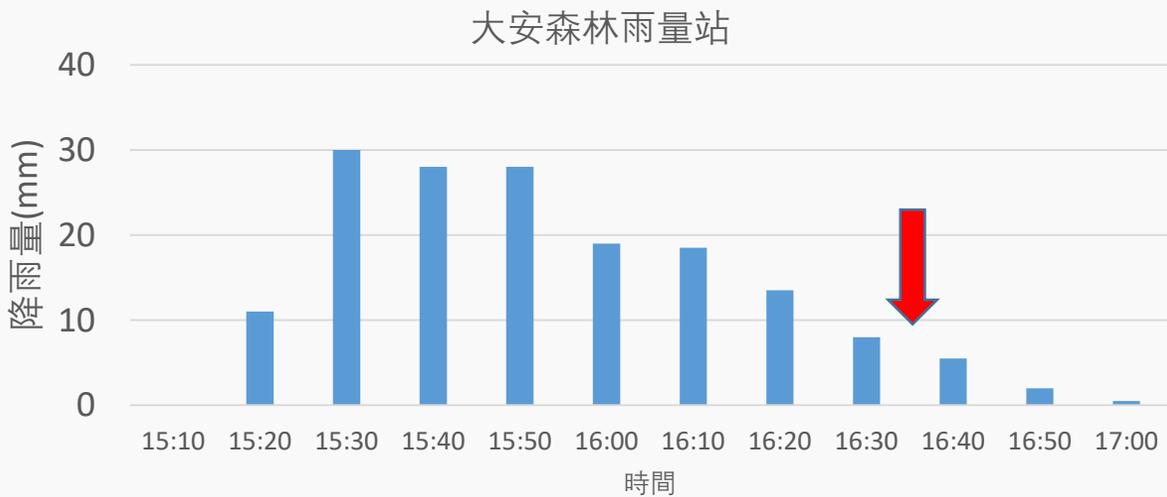
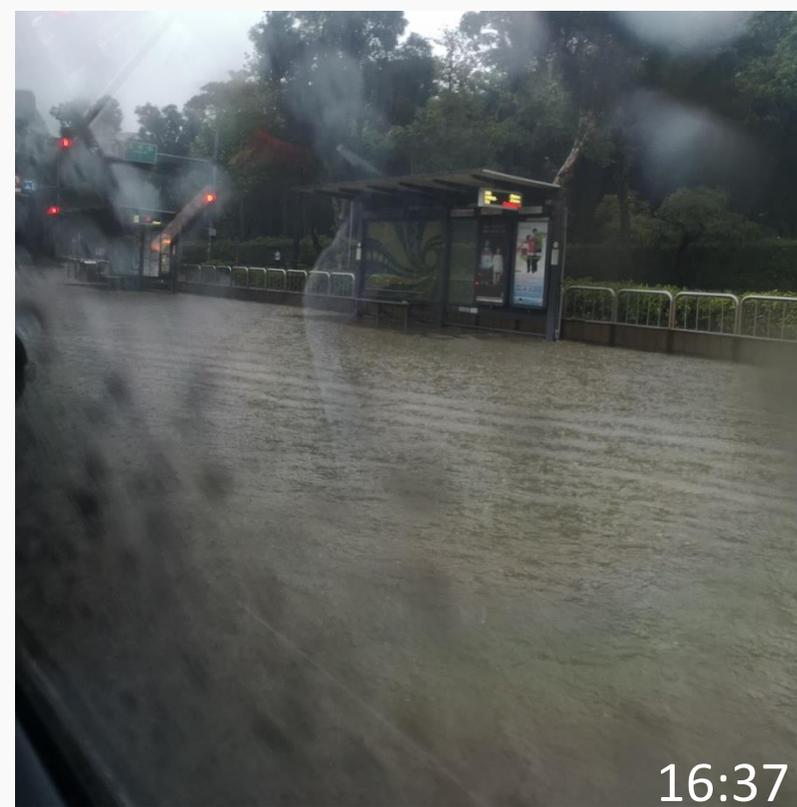
海綿城市監測與效益評估

林鎮洋

臺北科技大學土木系教授兼水環境研究中心主任
土木水利學會環境工程委員會主任委員

2019年7月22日大安森林公園

時間	降雨量 (mm)	小時累積降雨 (mm)
15:10	0	0
15:20	11.0	11.0
15:30	30.0	41.0
15:40	28.0	69.0
15:50	28.0	97.0
16:00	19.0	116.0
16:10	18.5	134.5
16:20	13.5	137.0
16:30	8.0	115.0
16:40	5.5	92.5
16:50	2.0	66.5
17:00	0.5	48.0
總	164	-



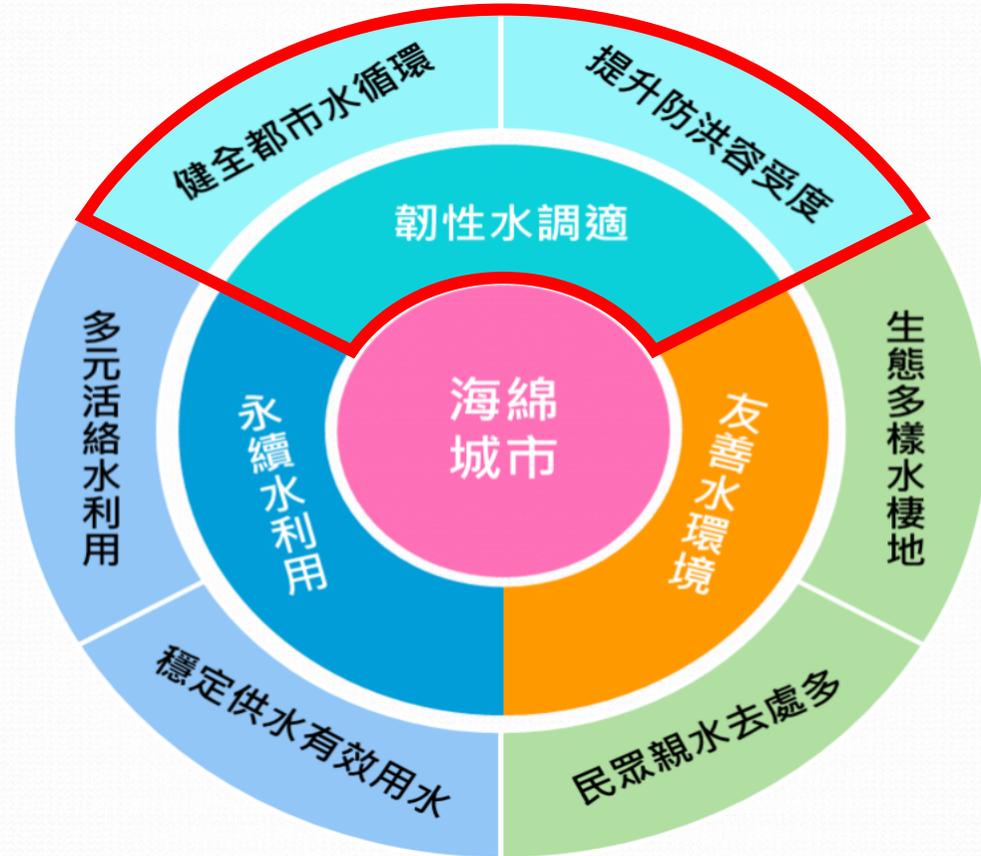


台北市合江街71巷：我家



臺北市「海綿宜居城市」政策

以「韌性水調適」、「永續水利用」、「友善水環境」勾勒出臺北市水環境的3大願景，透過工程面、管理面、法制面相關措施，並納入開放政府、民眾參與及公私協力等理念，研訂相關推動策略及相關執行計畫。



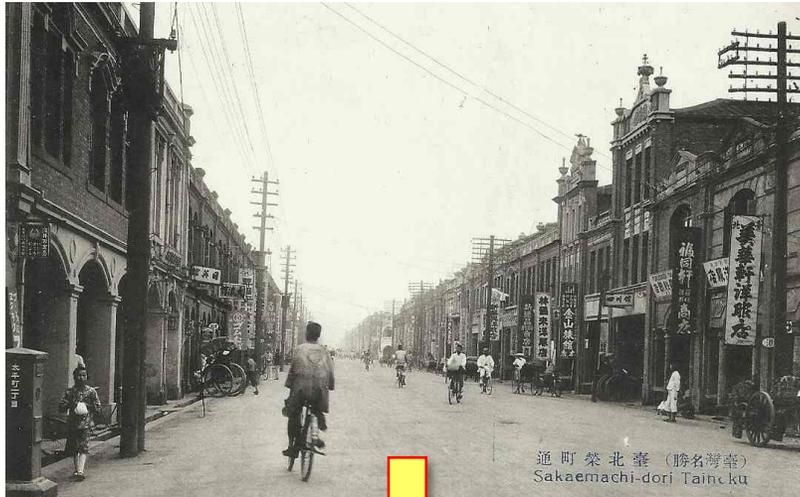
三橫三縱自行車道

以「三橫三縱」路網串聯，打造自行車城市並推廣綠色運輸，採人車分道，提供安全的行車環境路面設計，**面層為透水鋪面**，減輕雨水下水道系統排水負擔、**延緩洪峰流量並可減緩熱島效應**，使溫度下降，達到節能減碳的效果。



Resilient and Adaptive City – Restore Urban Water Cycle

Tuesday 15 March 2016 10.07 GMT



theguardian

home > world > cities development europe US americas asia australia all

Cities Cycling the city

Return of the Bicycle Kingdom? How pavement cycling is transforming Taipei

Green Infrastructure, Green Transportation !
infiltration, evapotranspiration → sustainable, healthy



Source: http://www.theguardian.com/cities/2016/mar/15/bicycle-kingdom-reborn-pavement-cycling-taipei-taiwan?CMP=share_btn_fb



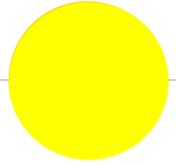
大安高工前-透水鋪面



左側透水瀝青自行車道

右側透水混凝土磚



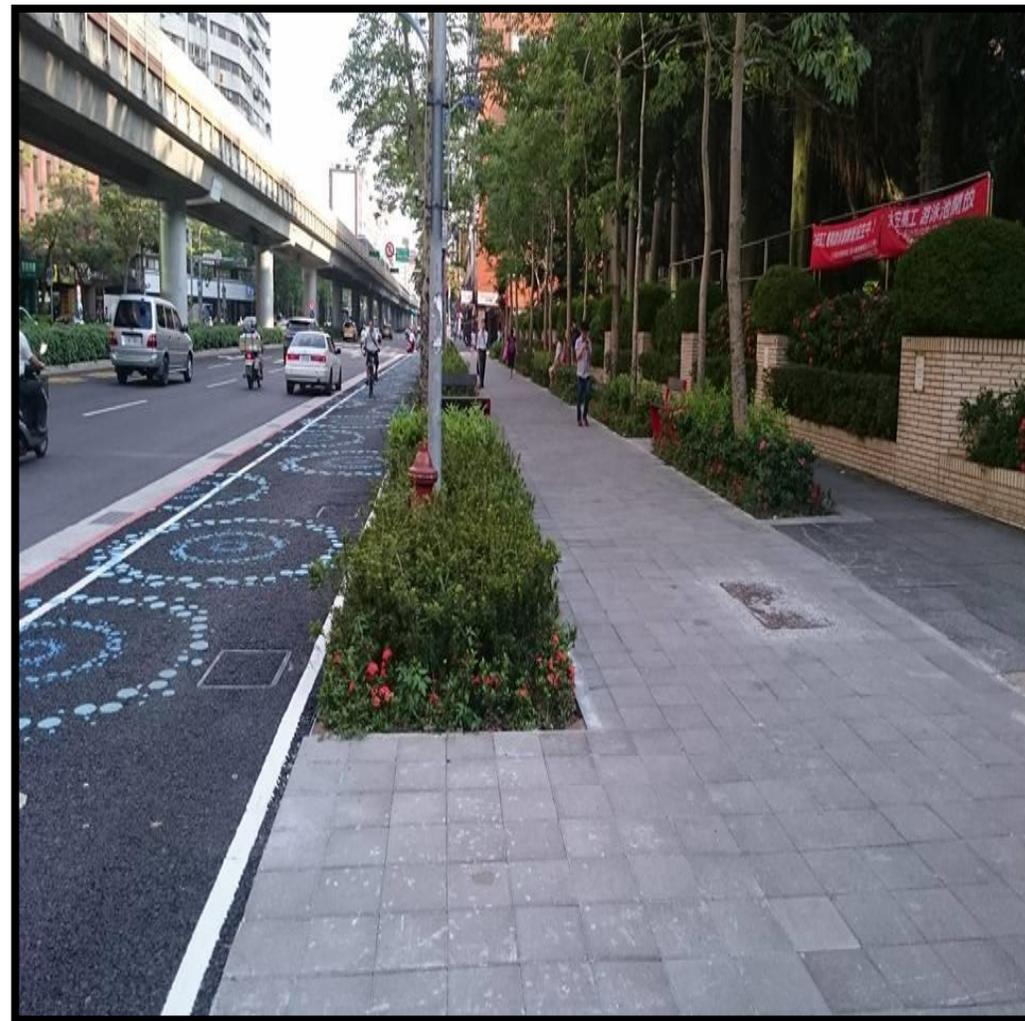


場址説明

施工前

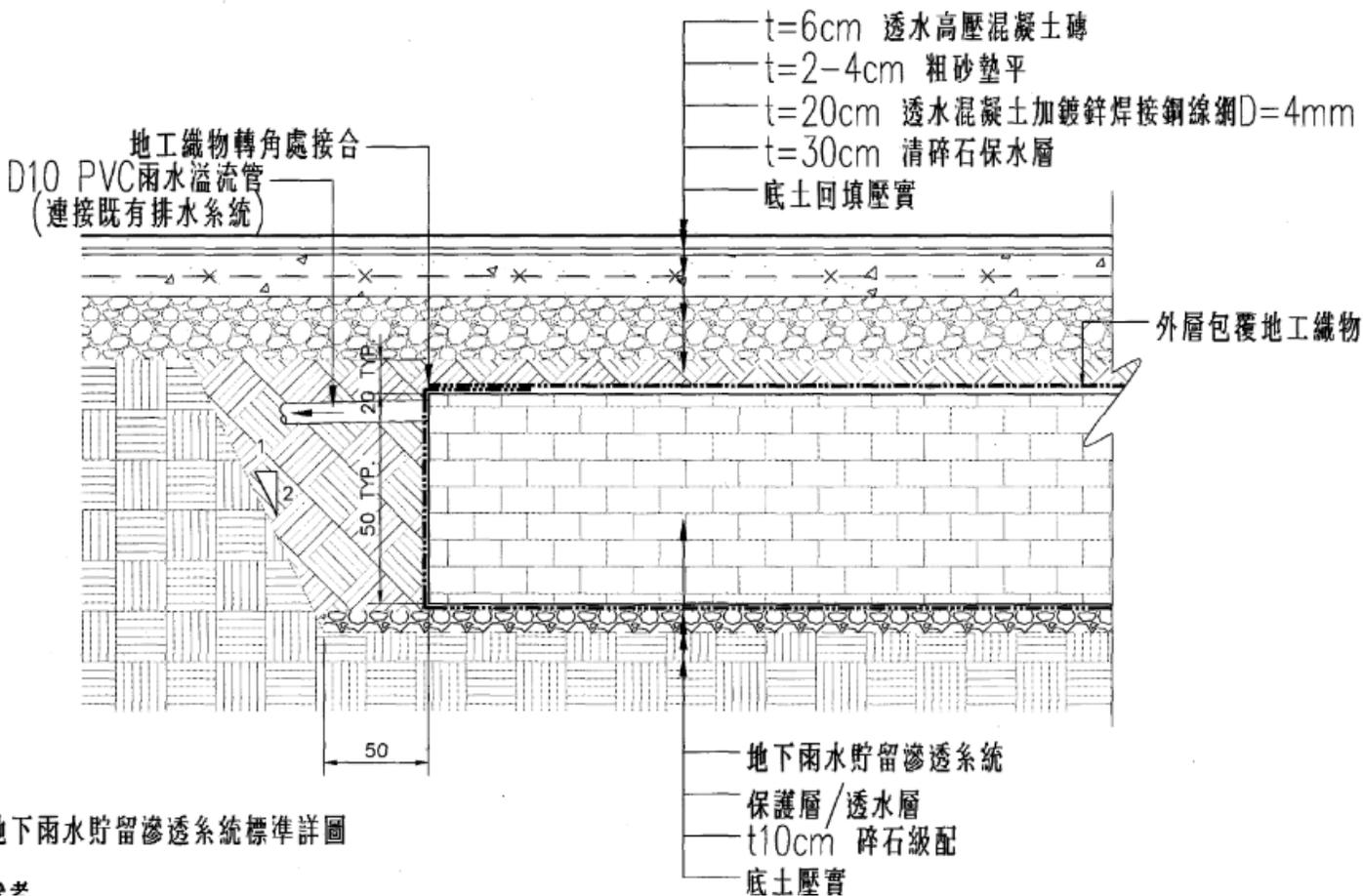


施工後

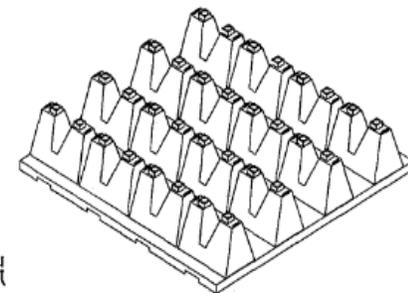
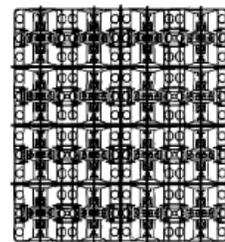




大安高工前-雨水貯流系統

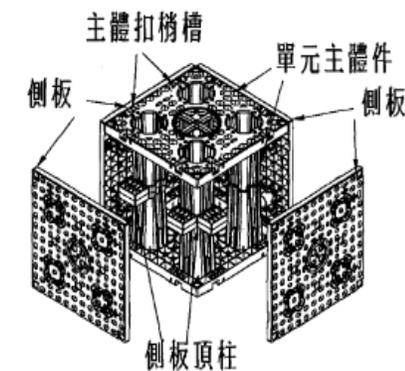
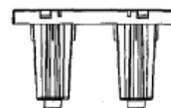
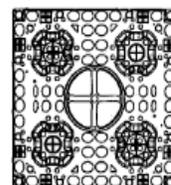


參考型式1

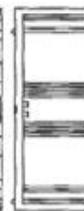
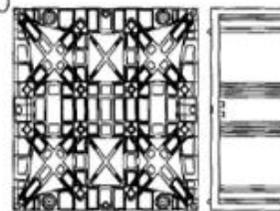


連接板片

參考型式2



參考型式3

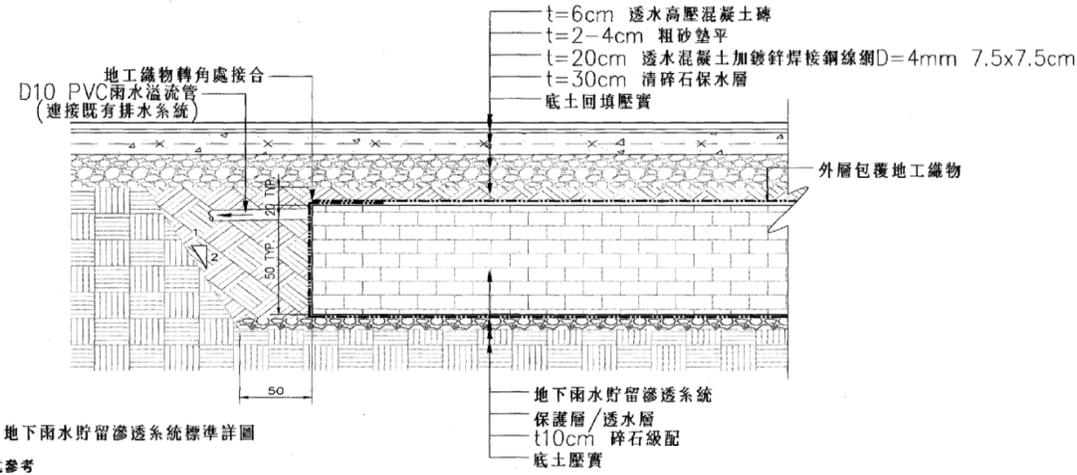




大安高工前-雨水貯流系統



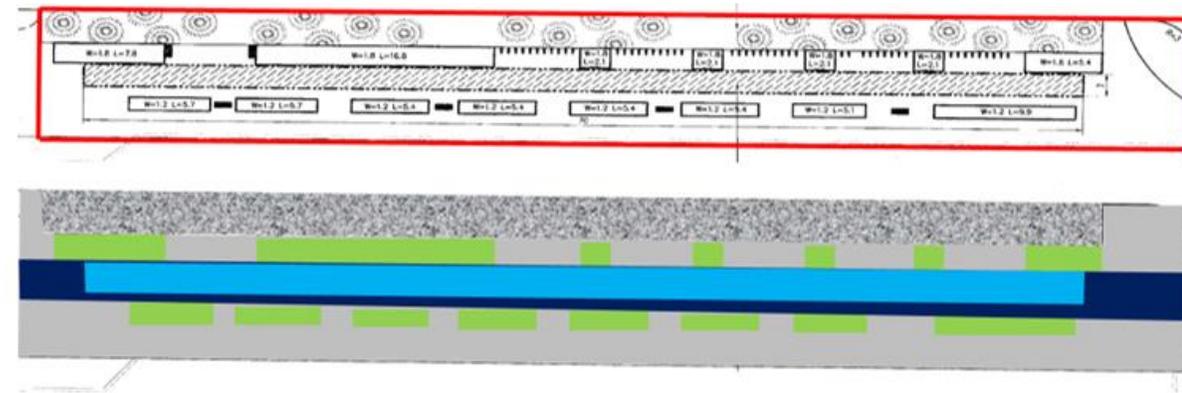
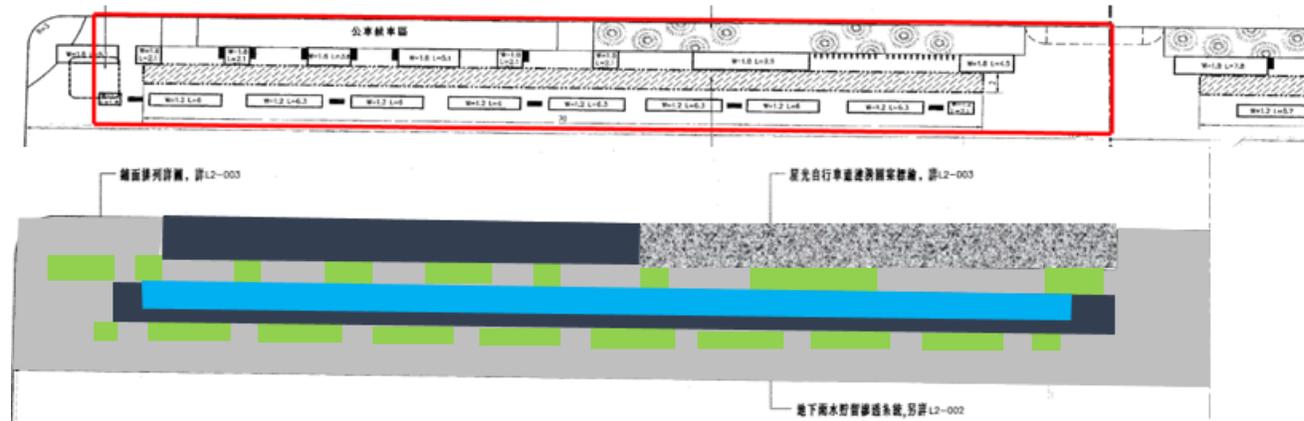
基地設施配置說明



資料提供：臺北市政府工務局水利處

大安高工復興南路校門口北側

大安高工復興南路校門口南側



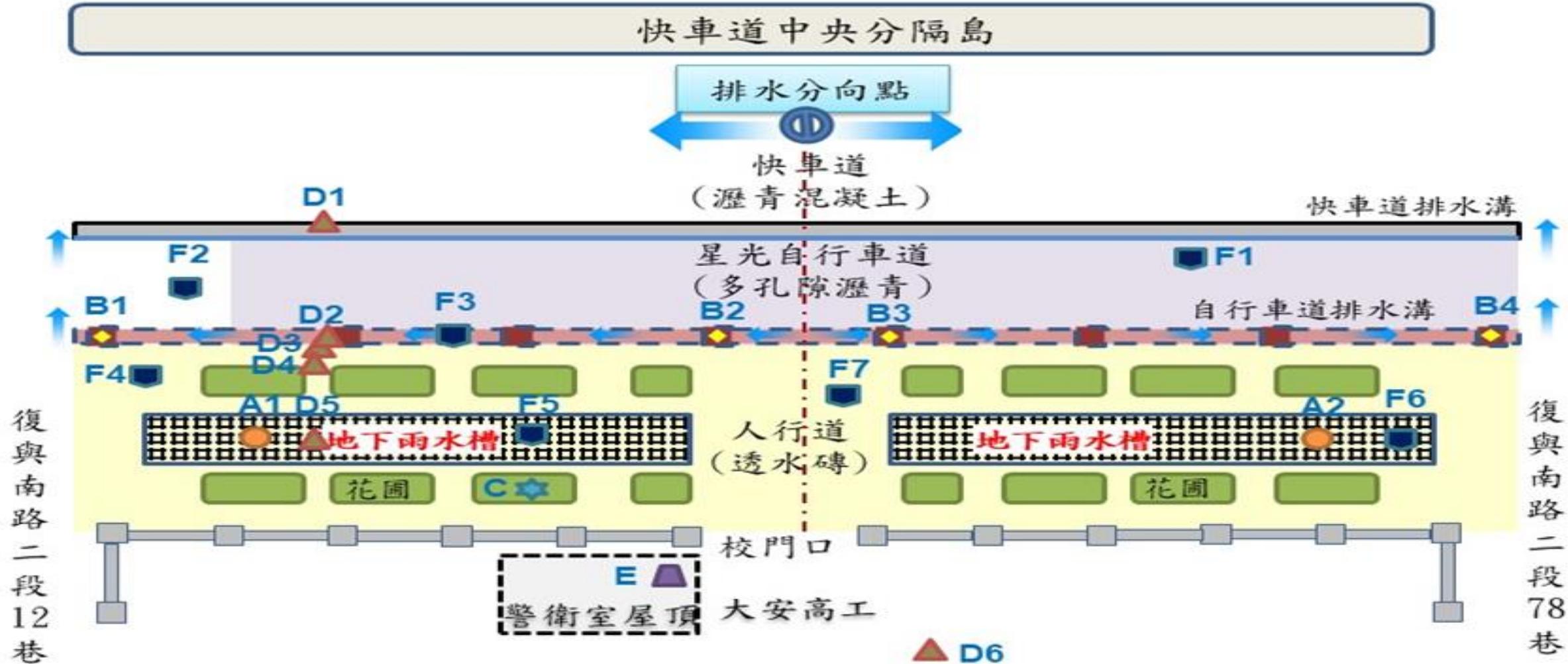
- 北側集水區範圍(長89.3m * 寬11.46m 共1023.378m²)
- PAC多孔隙透水瀝青自行車道-(長36.6m * 3.1m 共113.46m²)
 - 植生滯留槽與樹箱-(共129.6m²)
 - 透水高壓混凝土下方之雨水入滲貯留系統-(共140m²)
 - 透水高壓混凝土磚(人行道)-(323.564m²)
 - 不透水磚-(共160.216m²)

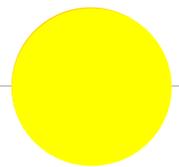
- 南側集水區範圍(長60m * 寬11.46m 共687.6m²)
- 多孔隙PAC面積(長58.4m * 3.1 共181.04m²)
 - 植生滯留槽面積(共100.62m²)
 - 透水高壓混凝土磚(雨水貯留系統)(共108m²)
 - 透水高壓混凝土磚(共137.724)
 - 100%不透水磚(共160.216m²)

臺北市大安區大安高工監測計畫

- : 水位計(2處)/A1, A2
- ★ : 水位觀測井(1處)/C
- ▲ : 雨量計(1處)/E

- ◇ : 流量計(4處)/B1~B4
- ▲ : 溫度監測計(6處)/D1~D6
- : 入滲試驗儀(7處)/F1~F7





監測項目與儀器說明

雨量計

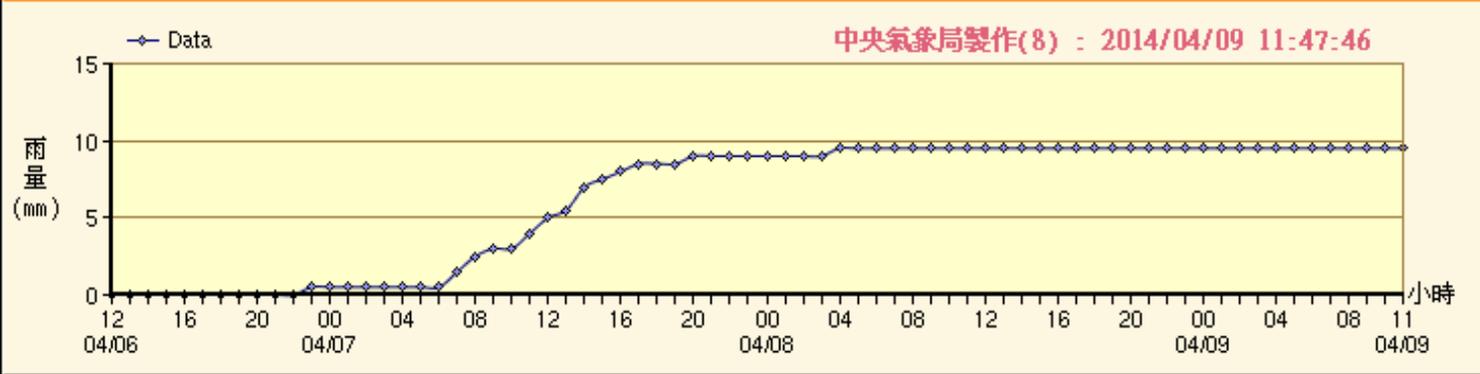
目的：了解示範場址之降雨量及降雨特性，作為後續評估入滲設施在不同雨型條件下之表現

安裝：於校門口警衛室的屋頂安裝一處

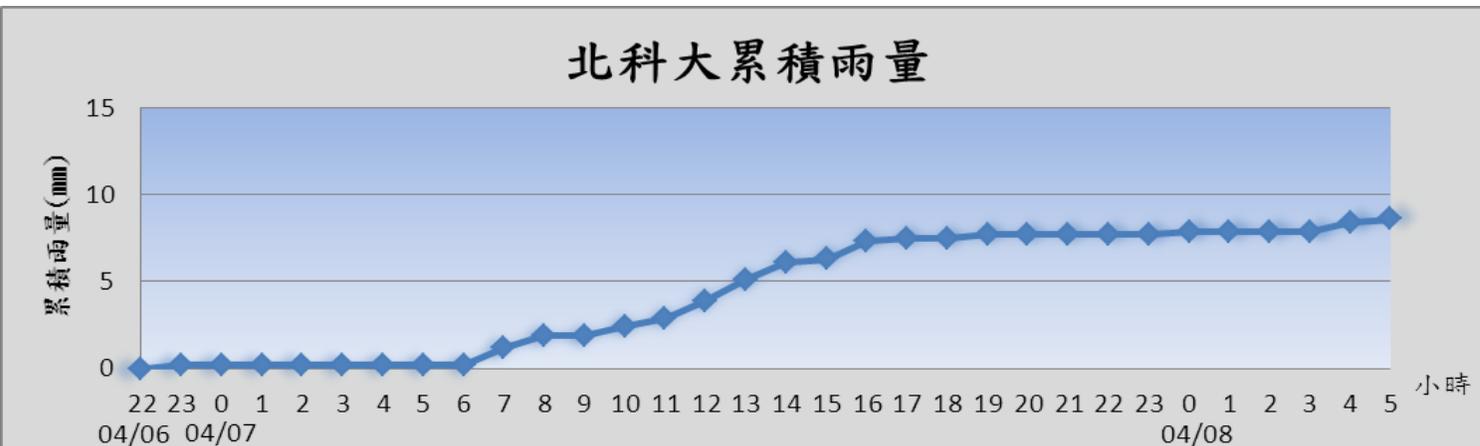
品牌：HOBO-ON SET 自記式雨量計

校正：與公館氣象站之降雨記錄進行比對

公館 過去72小時累積雨量 2014-04-06 12:00 ~ 2014-04-09 11:00



北科大累積雨量



HOBO-ON SET 自記式雨量計

● 水位計

- 目的：降雨時，可量測雨水入流至地下雨水貯留槽之速度及體積
- 安裝：於二處地下雨水貯留槽各安裝一處
- 校正儀器：Geokon 自計式水位計



本案所使用之水位計



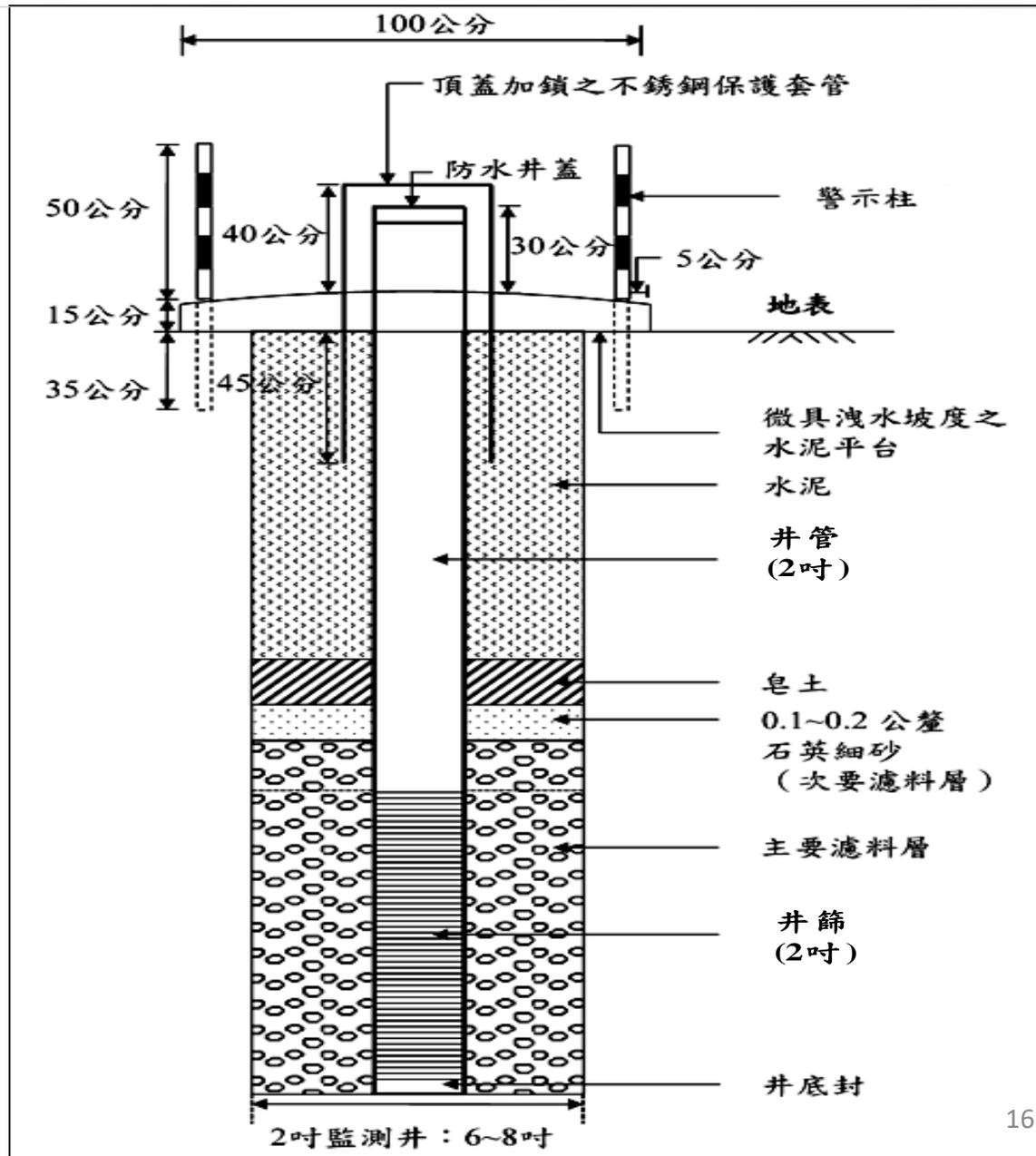
校正水位計之 Geokon 自計式水位計



水位觀測井

目的：了解示範場址之地下水位高度，以作為雨水貯留入滲設施之性能評估參考依據

安裝：於校門口北側之植生滯留槽旁安裝



● 流量監測(矩形堰+水位計)

目的：了解本示範場址之地表逕流最終流入排水側溝的流量，據此計算其實際入滲量

安裝：於南北二集水分區的自行車道下方排水溝之上、下游各安裝一處，共計四處

原理：矩形堰配合水位計測得知水位高，以矩形堰公式轉換為流量





溫度監測

目的：得知不同鋪面之溫度差異性，以了解鋪面種類之降溫效果

安裝：分別於快車道(瀝青混凝土1處)、星光自行車道(多孔隙瀝青2處)、人行道(透水磚2處)、校內人行道(一般地磚1處)及地下水雨貯留槽上方地面(透水磚1處)分別設置溫度監測計，共計設置7處

品牌：HOBO MX2300系列 藍牙溫度記錄器

校正：手持式紅外線溫度計校正



HOBO 藍牙溫度記錄器



校正用手持式紅外線溫度計



入滲試驗儀

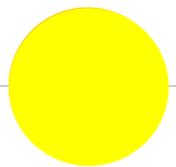
目的：得知不同鋪面之入滲率差異性，以了解鋪面種類之入滲效果；再者，經過一年的量測，可以得知各種鋪面入滲率之衰減情形

安裝：分別於星光自行車道(多孔隙瀝青2處)、人行道(透水磚3處)、及地下水雨貯留槽上方地面(透水磚2處)分別設置監測點位，共計設置7處

品牌：自行研發之入滲試驗儀

校正：進行變水頭試驗





監測數據分析及效益評估



大安高工2018/4/1-2019/5/12有效降雨場次(共36場)

• 有效降雨定義

有效降雨定義為單場降雨之累積雨量需超過12.7mm或是15分鐘內降下6.35mm以上，並且此場降雨需與前場降雨間隔後六小時

(Wischmeier and Smith,1978)

大雨 ←

豪雨 ←

• 中央氣象局強降雨定義：

大雨：80mm/day
或40mm/hr

豪雨：200mm/day
或100mm/3hr

大豪雨：350mm/day

超大豪雨：500mm/day

	總降雨量	最大時雨量	降雨延時		總降雨量	最大時雨量	降雨延時	
2018/4/12	35.5	35	1:10		2018/10/10-11	16.8	8	13:05
2018/4/16-17	17.8	5.4	8:40		2018/10/11-12	25.8	4.2	17:45
2018/5/8	26.6	12	4:00		2018/10/16-17	30.8	6.2	11:00
2018/5/30	18.2	18.2	00:30		2018/11/1-2	21.8	2.6	42:10
2018/7/10-11	126.8	21.2	16:10		2018/12/23-24	41.2	5.8	30:40
2018/7/21	26.6	18.6	7:20		2019/1/16-17	21.1	3	25:00
2018/7/24	27.8	27.6	2:00		2019/2/23-24	57.4	5.4	22:40
2018/8/11	30.2	23.4	7:50		2019/3/6-10	89.4	5	84:20
2018/8/12	45.8	26	6:50		2019/3/25	15	7	6:10
2018/8/17	31.2	30.8	1:40	計畫	2019/3/29-30	24	19	5:20
2018/8/20	13	13	00:40	契	2019/4/11	15.6	8.6	8:30
2018/8/30	54.4	29.8	9:20	約	2019/4/15-16	29	7.8	24:00
2018/9/1	22.6	21.2	1:10	監	2019/4/20-21	40.6	19.2	10:40
2018/9/7	39.6	30.8	3:50	測	2019/4/22	23.8	17.6	5:00
2018/9/8	152.0	94	6:00	至	2019/5/1	46.6	9.6	17:10
2018/9/9	18.4	4.2	17:20	5/2	2019/5/2-3	14.4	3.2	20:30
2018/9/15-16	20.4	5.2	27:30		2019/5/6-7	24.2	2.6	27:10 ²¹
2018/9/25-27	24.2	4.2	35:00		2019/5/9-10	14	2.8	8:20

計畫契約監測至



地下水位觀測井與雨水貯留槽監測 (A1.A2.C)

- : 水位計(2處)/A1, A2
- ★ : 水位觀測井(1處)/C
- ▲ : 雨量計(1處)/E

- ◇ : 流量計(4處)/B1~B4
- ▲ : 溫度監測計(6處)/D1~D6
- : 入滲試驗儀(7處)/F1~F7



快車道中央分隔島

排水分向點

快車道
(瀝青混凝土)

快車道排水溝

星光自行車道
(多孔隙瀝青)

自行車道排水溝

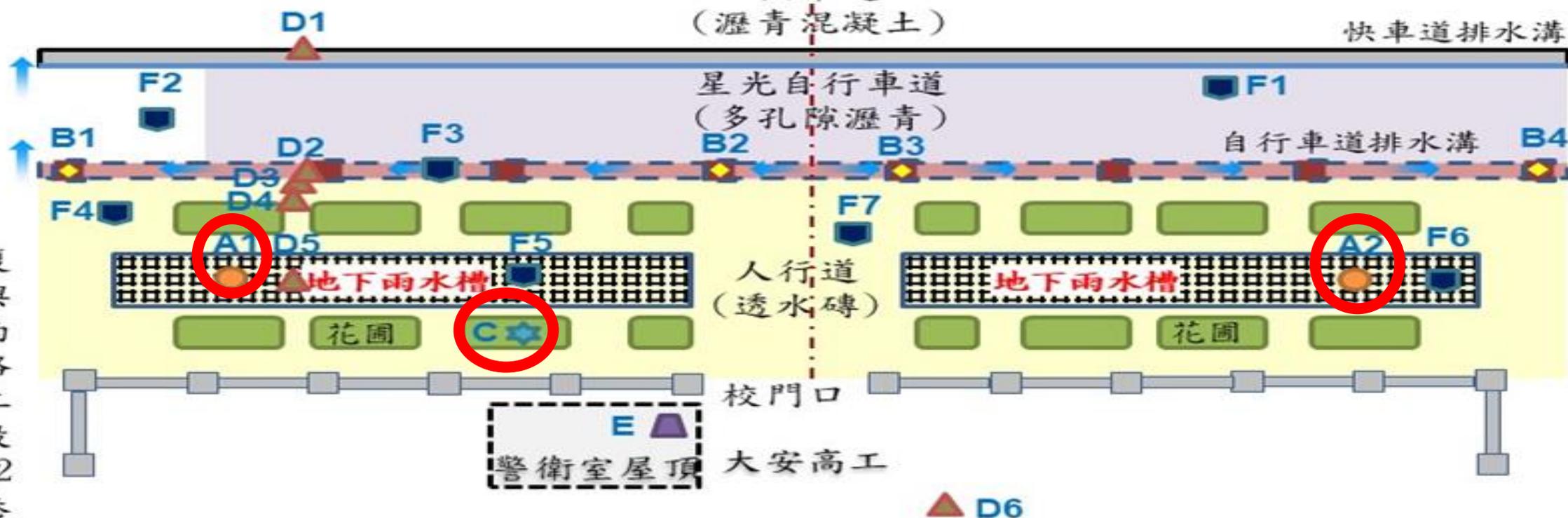
人行道
(透水磚)

校門口
大安高工

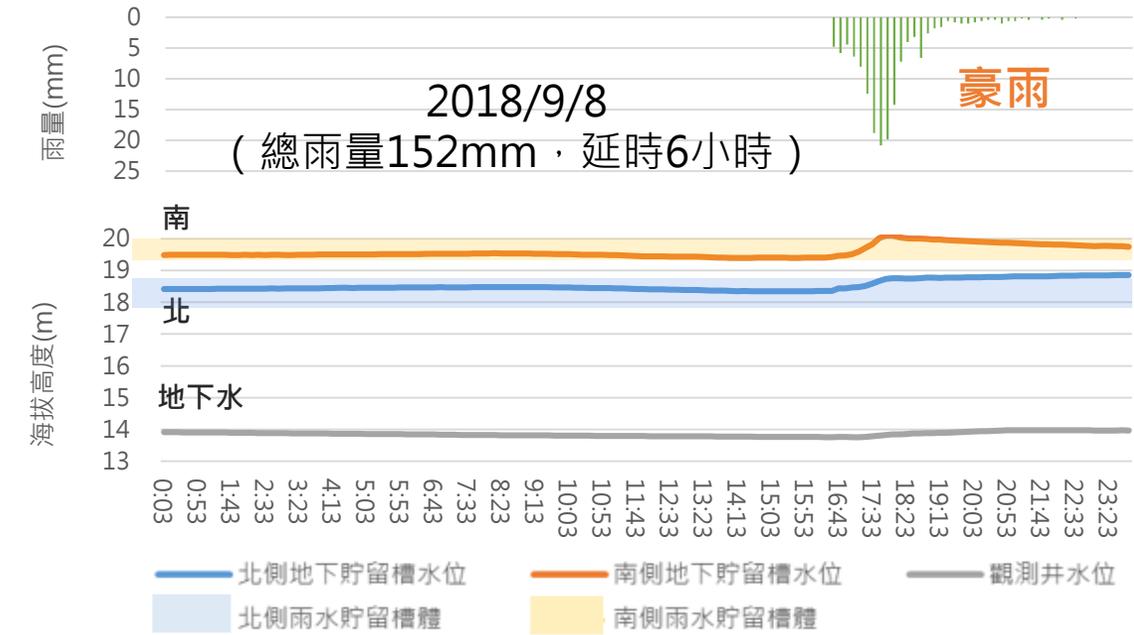
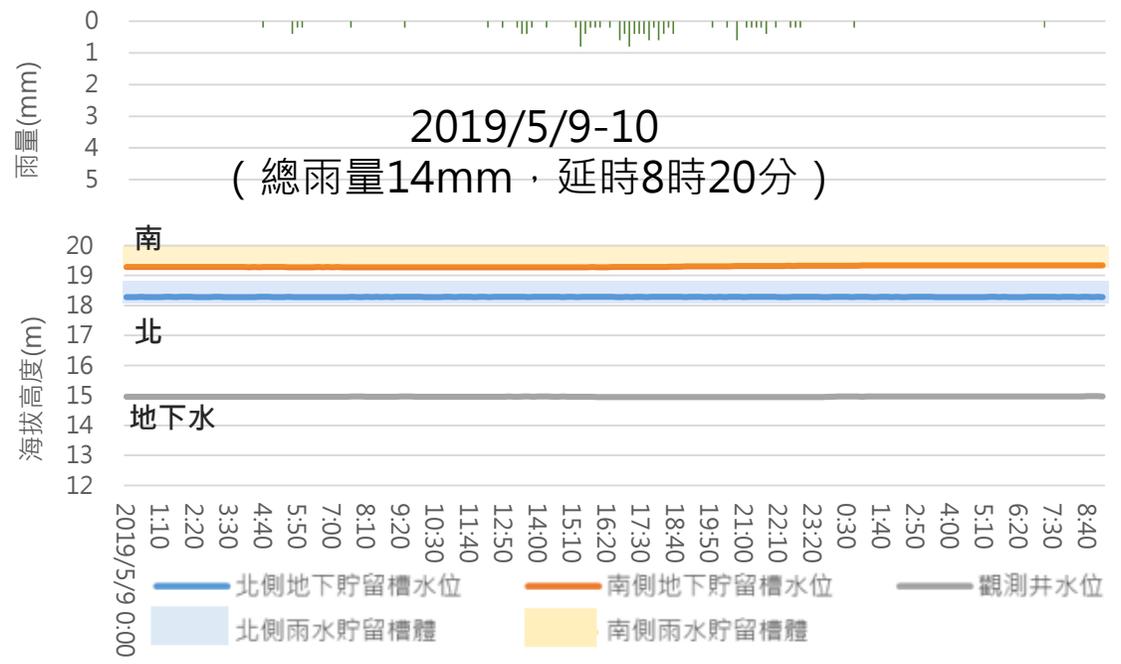
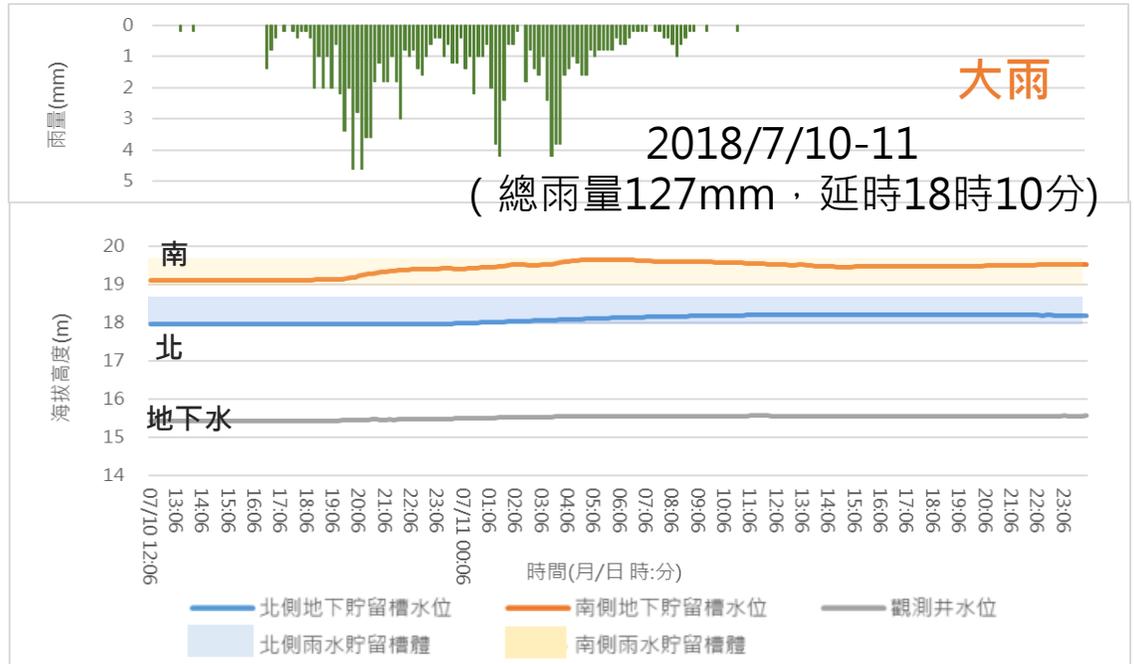
警衛室屋頂

復與南路二段12巷

復與南路二段78巷



地下水水位觀測井與雨水貯留槽監測資料



- 達中央氣象局大雨以上等級 雨水貯留槽滿槽
2018/7/10-11 大雨 南側滿槽
2018/9/8 豪雨 南北側均滿槽
- 降雨量過小 雨水貯留槽水位無明顯升高趨勢

雨水貯留槽功能評析

降雨前後槽體水位變化(%)
北側平均14%；南側29%

$(\text{降雨後最高水位}-\text{降雨前水位})/\text{槽體高}$

$(\text{降雨後最高水位}-\text{槽體高})/\text{槽體高}$

大雨
豪雨

	總雨量 (mm)	北側滿水百分比(%)		南側滿水百分比(%)	
		降雨前	降雨後	降雨前	降雨後
2018/4/12	35.5	0	1	0	16
2018/4/16-17	17.8	0	0	0	8
2018/5/8	26.6	0	13	0	0
2018/5/30	18.2	0	0	0	0
2018/7/10-11	126.8	0	21	0	100
2018/7/21	26.6	0	0	1	20
2018/7/24	27.8	0	0	11	36
2018/8/11	30.2	0	14	5	81
2018/8/12	45.8	17	36	83	87
2018/8/17	31.2	0	10	43	85
2018/8/20	13	13	38	39	71
2018/8/30	54.4	18	68	13	81
2018/9/1	22.6	18	47	0	44
2018/9/7	39.6	21	61	5	65
2018/9/8	152.0	44	100	43	100
2018/9/9	18.4	100	100	100	100
2018/9/15-16	20.4	47	59	15	41
2018/9/25-27	24.2	59	71	12	1

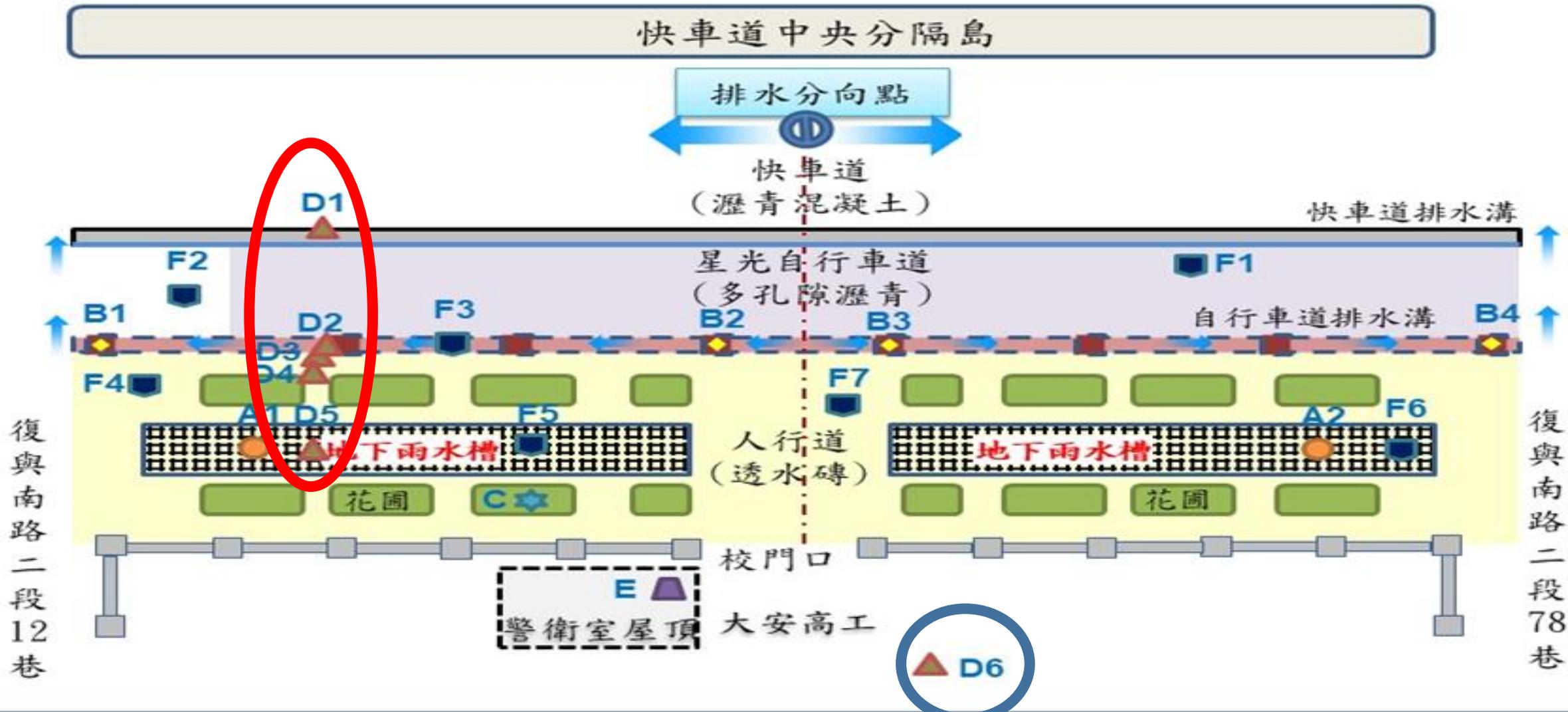
	總雨量 (mm)	北側滿水百分比(%)		南側滿水百分比(%)	
		降雨前	降雨後	降雨前	降雨後
2018/10/10-11	16.8	0	0	24	30
2018/10/11-12	25.8	0	0	28	55
2018/10/16-17	30.8	10	0	16	50
2018/11/1-2	21.8	0	1	12	21
2018/12/23-24	41.2	0	41	0	35
2019/1/16-17	21.1	0	5	14	4
2019/2/23-24	57.4	3	8	5	61
2019/3/6-10	89.4	0	33	0	42
2019/3/25	15	0	0	9	38
2019/3/29-30	24	0	0	35	59
2019/4/11	15.6	0	34	20	38
2019/4/15-16	29	48	72	33	62
2019/4/20-21	40.6	0	0	40	92
2019/4/22	23.8	0	23	50	95
2019/5/1	46.6	17	28	0	42
2019/5/2-3	14.4	25	47	32	37
2019/5/6-7	24.2	36	46	13	32
2019/5/9-10	14	35	36	24	36

計畫契約監測至5/2

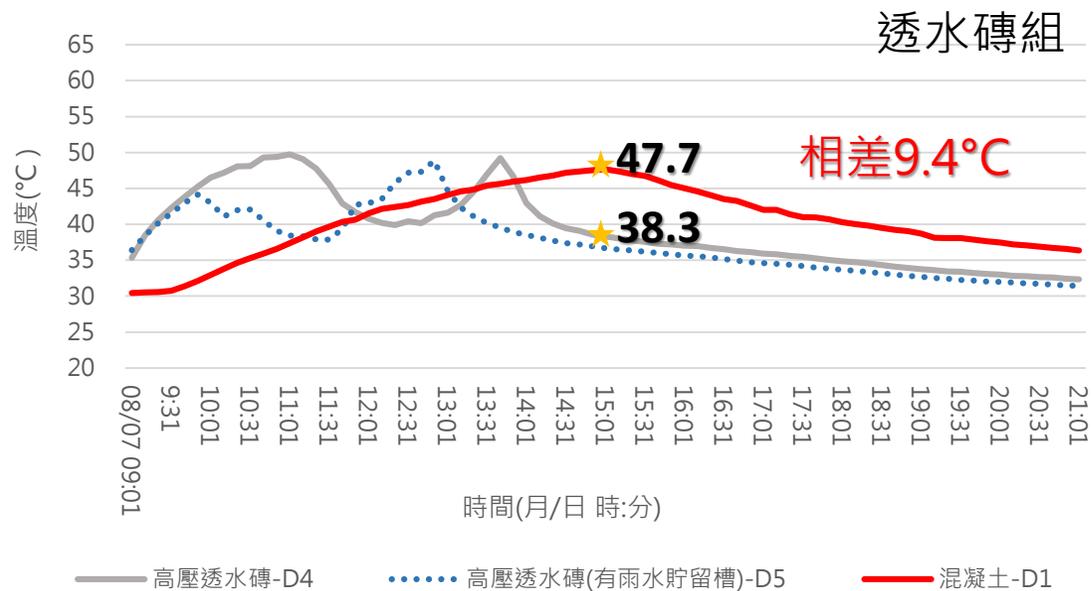
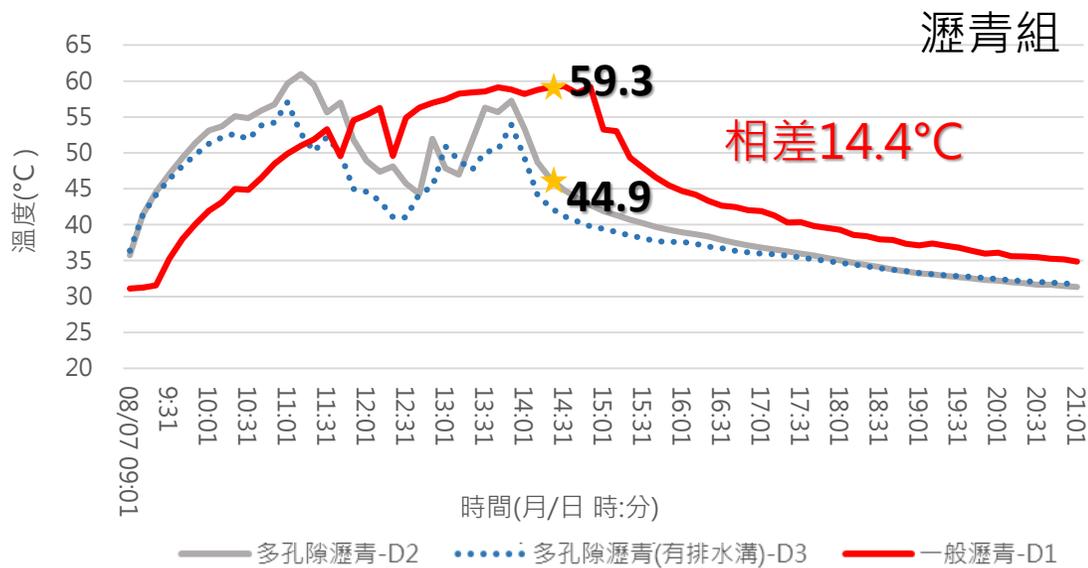
溫度監測結果(D1與D6)

- : 水位計(2處)/A1, A2
- ★ : 水位觀測井(1處)/C
- ▲ : 雨量計(1處)/E

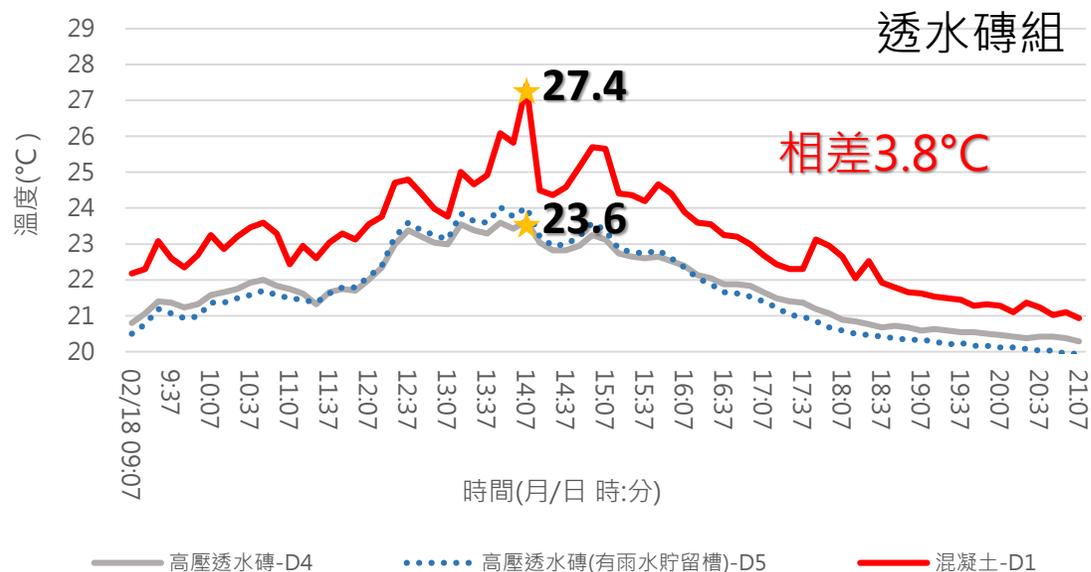
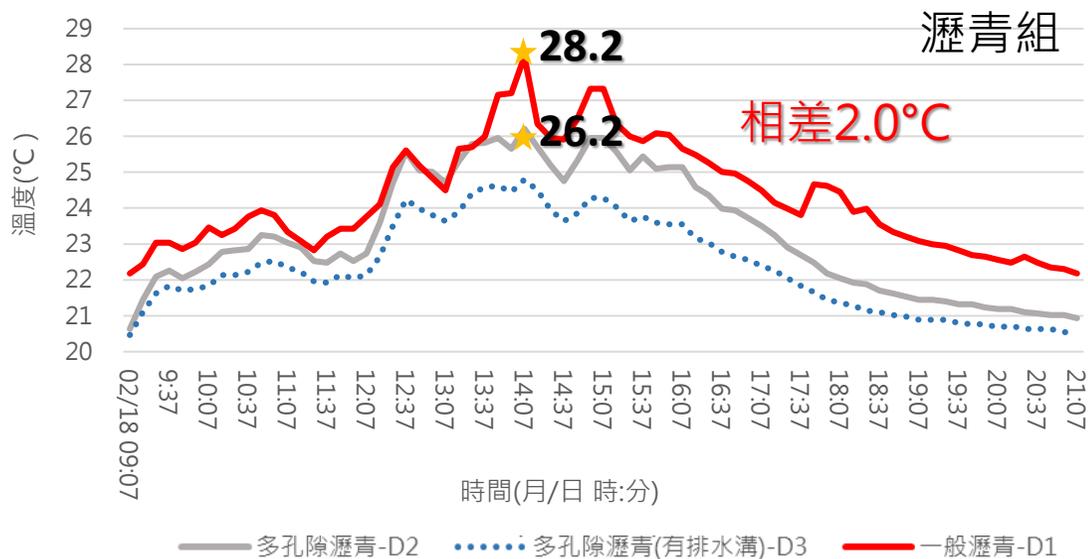
- ◆ : 流量計(4處)/B1~B4
- ▲ : 溫度監測計(6處)/D1~D6
- : 入滲試驗儀(7處)/F1~F7



(107/8/7) 夏季 長時間無降雨時期鋪面溫度變化

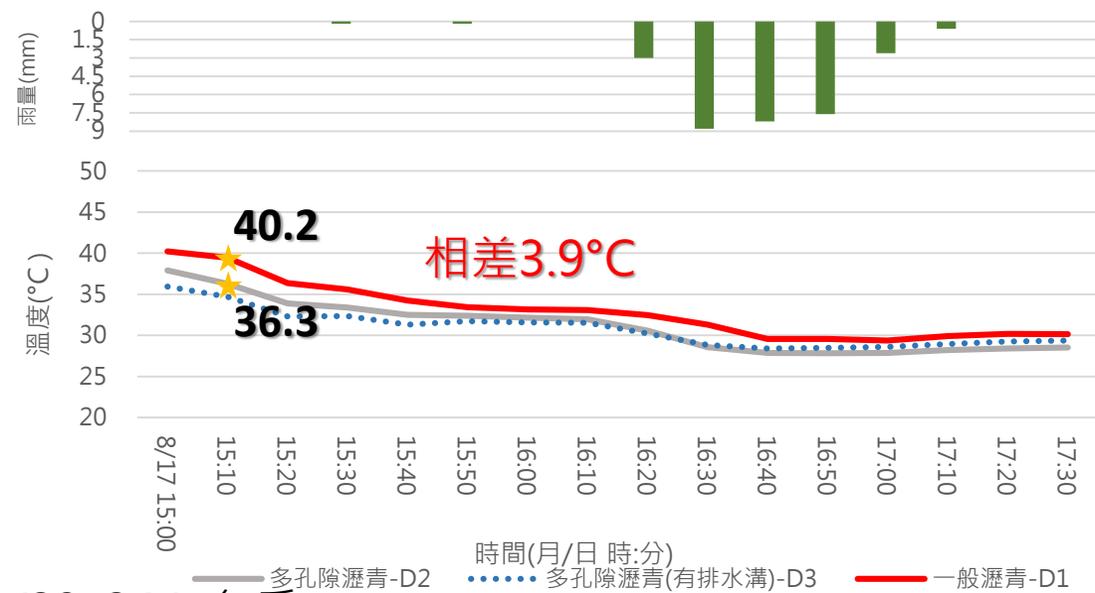


(108/2/18) 冬季 長時間無降雨時期鋪面溫度變化

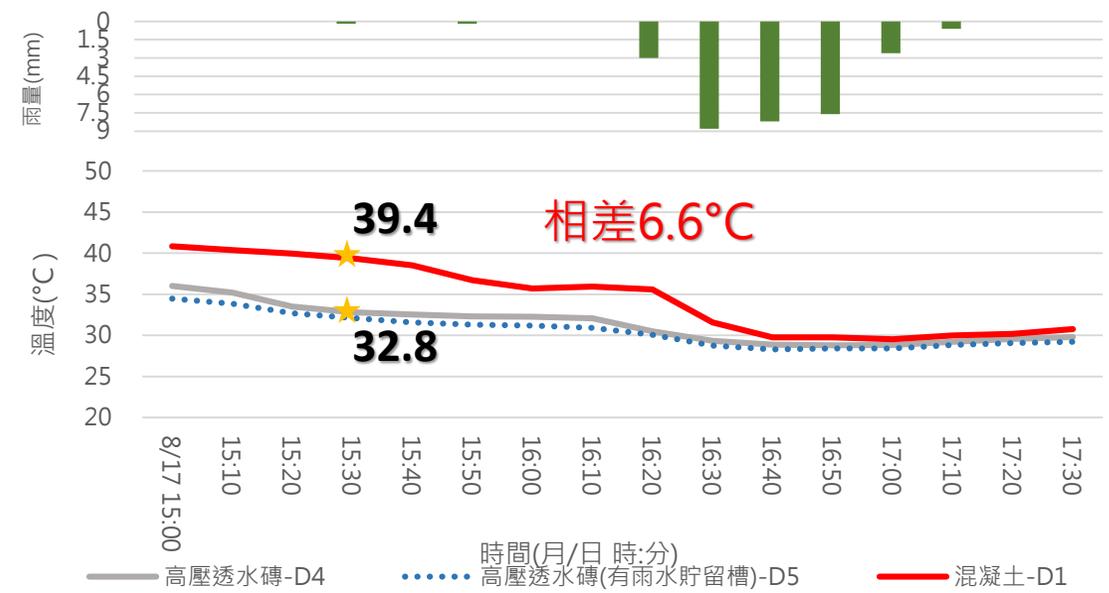


(107/8/17) 夏季
降雨時期鋪面溫度變化

瀝青組

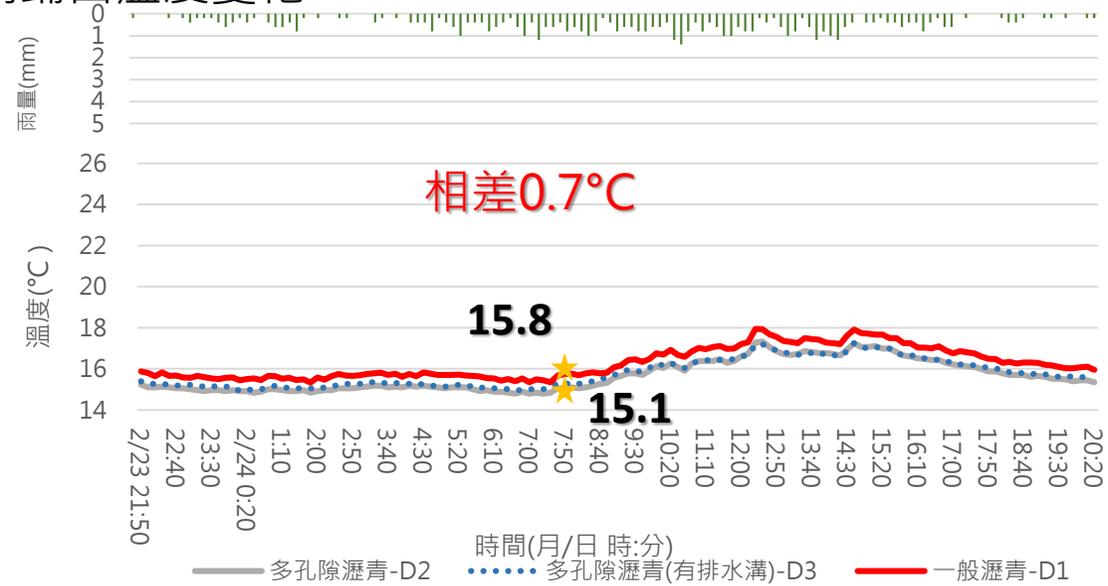


透水磚組

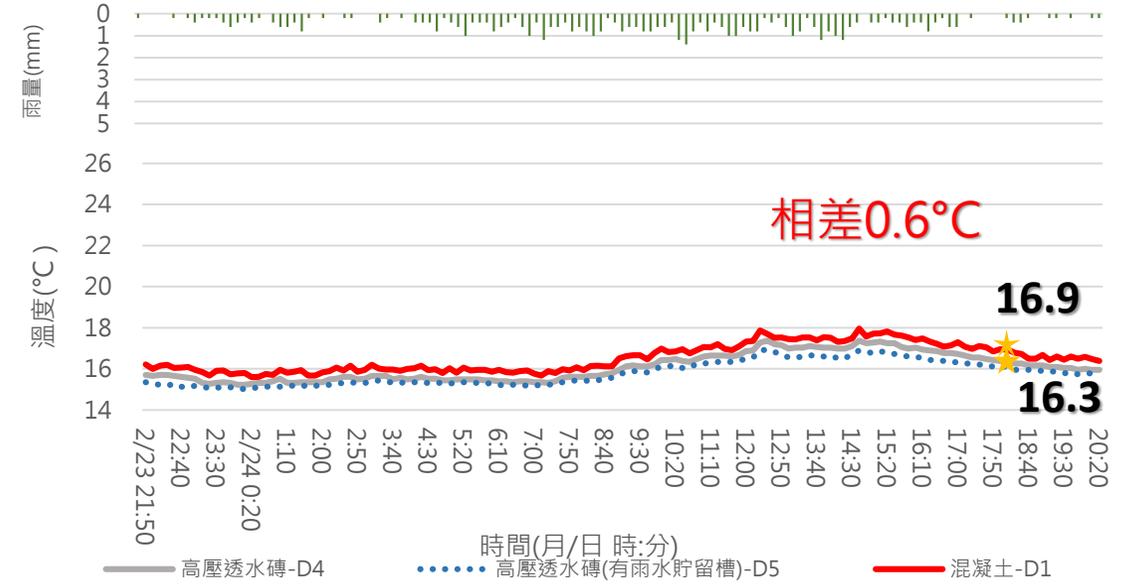


(108/2/23-24) 冬季
降雨時期鋪面溫度變化

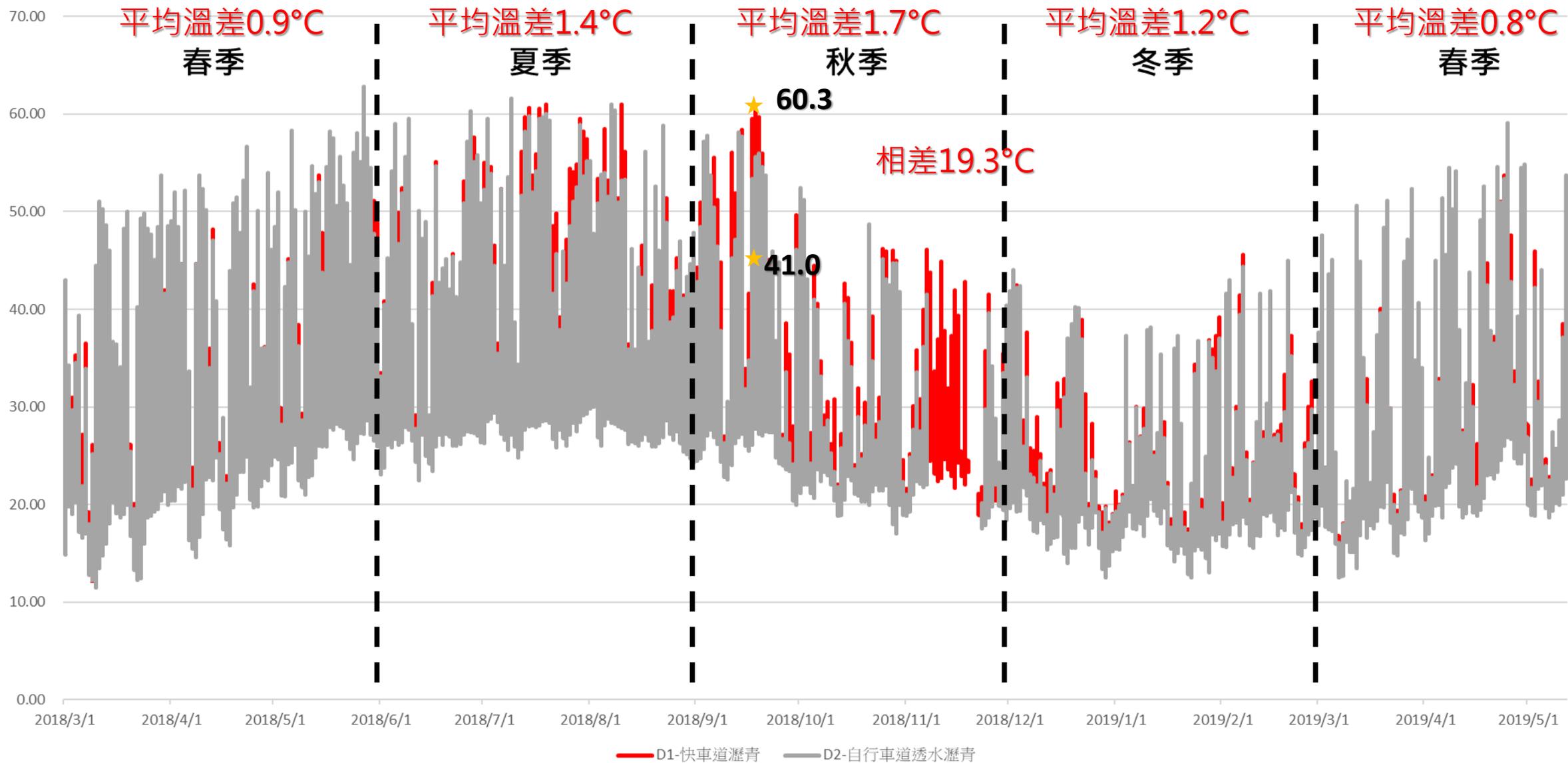
瀝青組



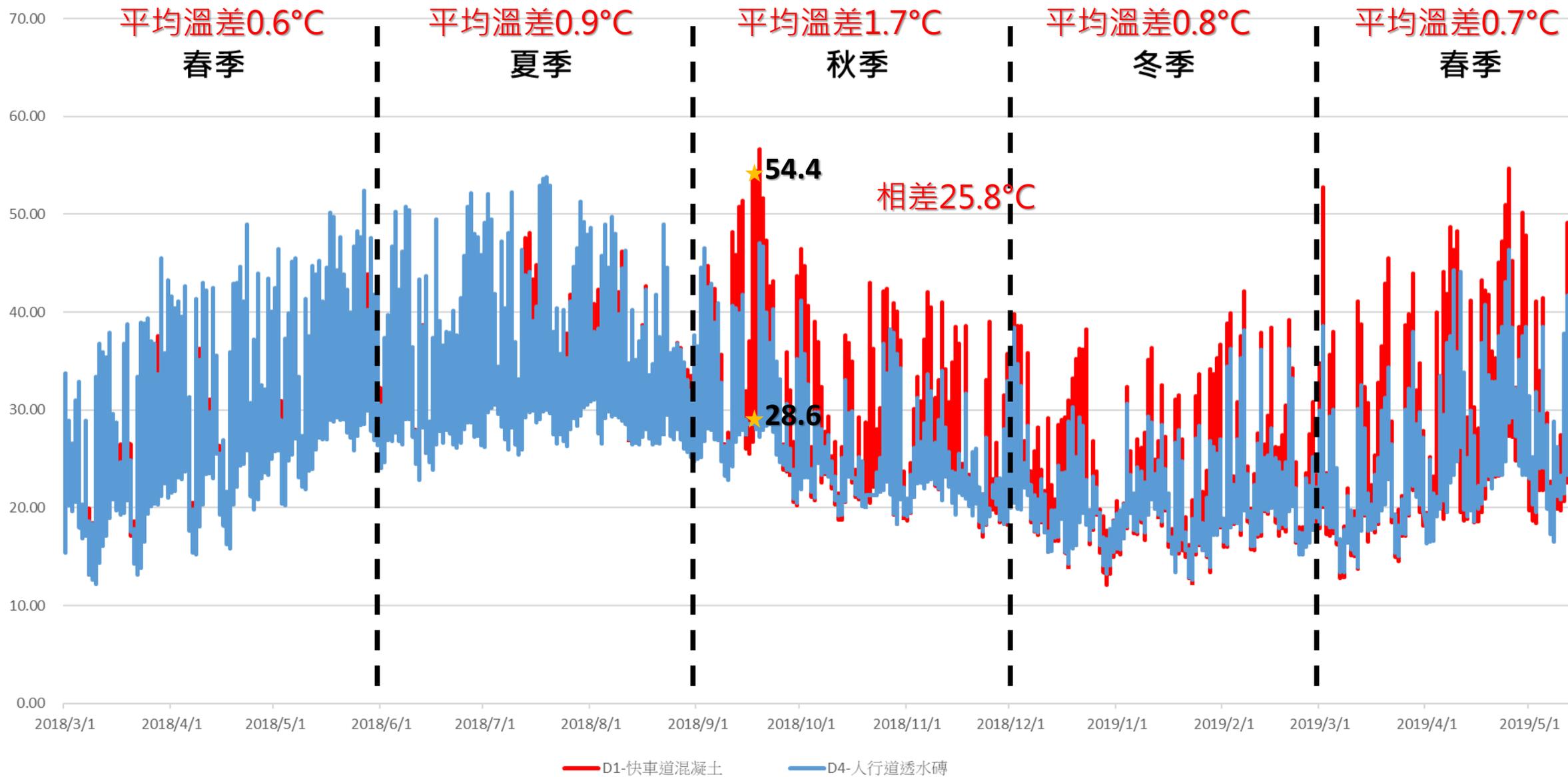
透水磚組



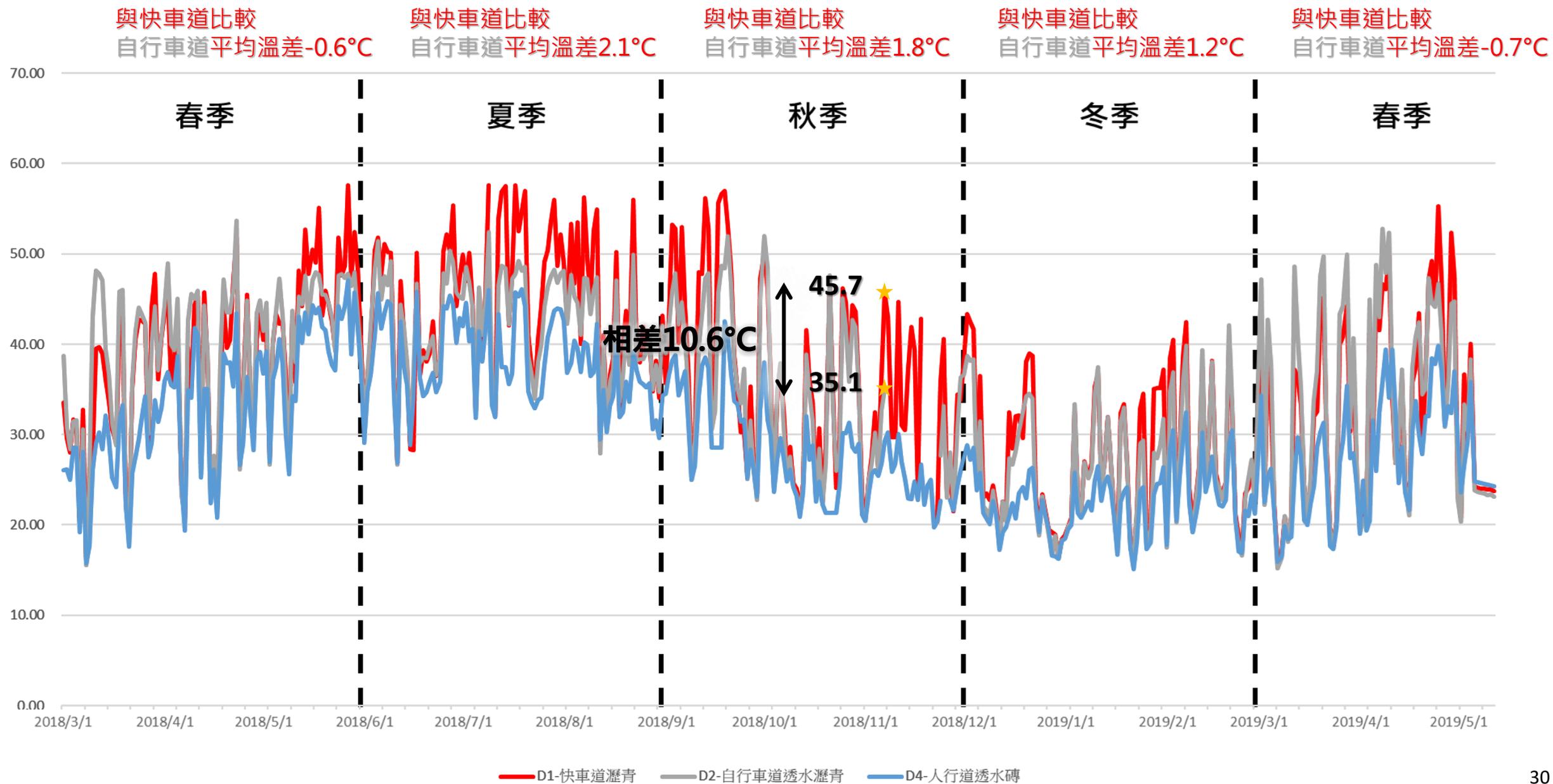
瀝青組全日時間比較



透水磚組全日時間比較



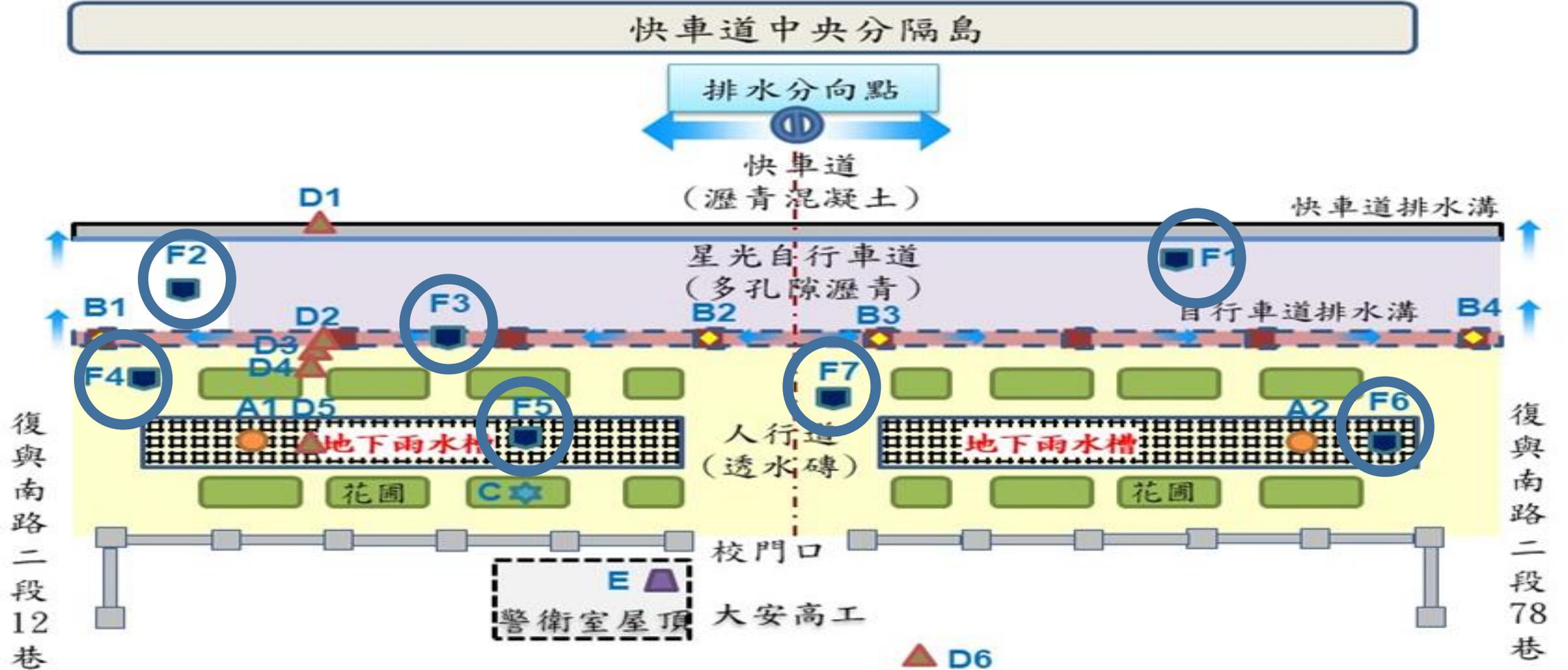
綜合比較中午時間比較



入滲試驗結果(F1-F7)

- : 水位計(2處)/A1, A2
- ★ : 水位觀測井(1處)/C
- ▲ : 雨量計(1處)/E

- ◇ : 流量計(4處)/B1~B4
- ▲ : 溫度監測計(6處)/D1~D6
- : 入滲試驗儀(7處)/F1~F7

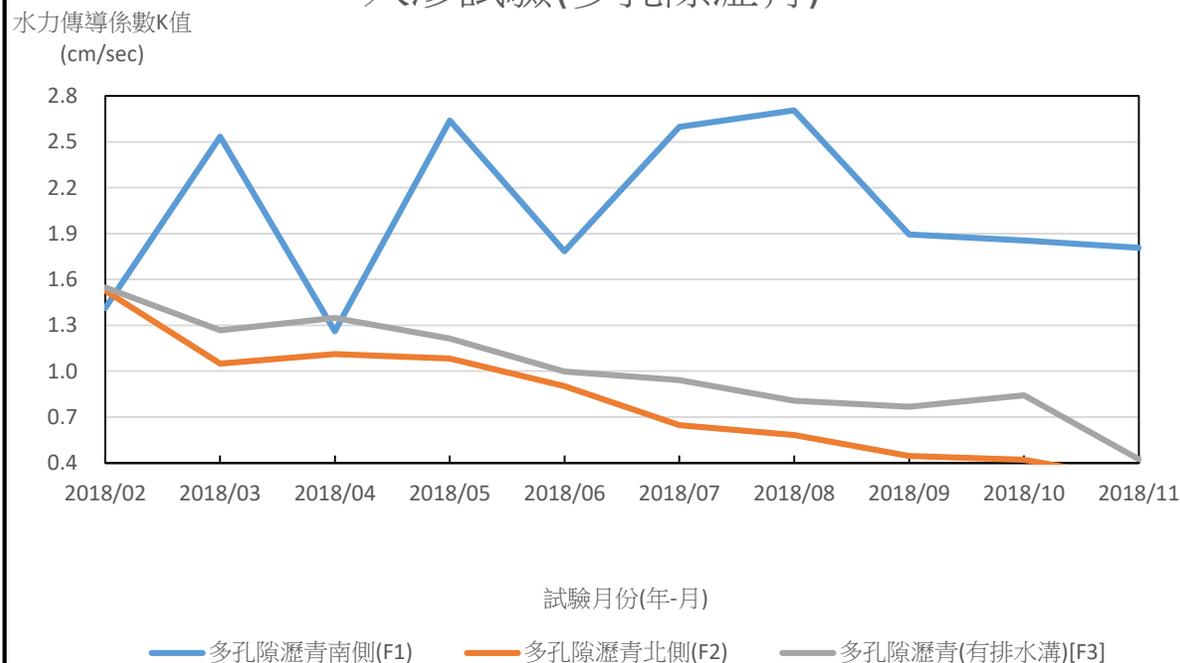


入滲試驗結果(F1-F7)

入滲點位	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
鋪面種類	多孔隙瀝青 南側	多孔隙瀝青 北側	多孔隙瀝青 (下方有排水溝) 北側	透水磚人行道 (無地下雨水槽) 北側	透水磚人行道 (有地下雨水槽) 北側	透水磚人行道 (有地下雨水槽) 南側	透水磚人行道 (無地下雨水槽) 南側
2018年2月K值(cm/sec)	1.41	1.53	1.55	9.6×10^{-3}	1.6×10^{-3}	6.0×10^{-4}	5.0×10^{-3}
2018年3月K值(cm/sec)	2.53	1.05	1.27	5.4×10^{-3}	9.5×10^{-5}	1.5×10^{-3}	6.0×10^{-3}
2018年4月K值(cm/sec)	1.26	1.11	1.35	1.1×10^{-2}	3.2×10^{-4}	2.0×10^{-3}	1.1×10^{-3}
2018年5月K值(cm/sec)	2.64	1.08	1.21	9.2×10^{-3}	3.7×10^{-4}	4.3×10^{-5}	1.0×10^{-3}
2018年6月K值(cm/sec)	1.79	0.9	1	1.8×10^{-3}	3.5×10^{-5}	1.2×10^{-5}	2.0×10^{-4}
2018年7月K值(cm/sec)	2.6	0.65	0.94	4.6×10^{-3}	3.9×10^{-4}	4.1×10^{-6}	9.9×10^{-4}
2018年8月K值(cm/sec)	2.71	0.58	0.81	2.0×10^{-3}	1.3×10^{-4}	5.4×10^{-5}	4.8×10^{-4}
2018年9月K值(cm/sec)	1.89	0.45	0.77	2.7×10^{-3}	1.2×10^{-3}	N.D.	6.4×10^{-4}
2018年10月K值(cm/sec)	1.86	0.42	0.84	1.17×10^{-3}	2.66×10^{-4}	1.66×10^{-5}	6.82×10^{-4}
2018年11月K值(cm/sec)	1.81	0.29	0.42	1.14×10^{-3}	1.62×10^{-4}	9.59×10^{-5}	2.98×10^{-4}
2018年12月K值(cm/sec)	無法入滲	無法入滲	無法入滲	6×10^{-4}	1.91×10^{-4}	2.64×10^{-6}	1.9×10^{-4}
2019年1月K值(cm/sec)	無法入滲	無法入滲	無法入滲	2.26×10^{-4}	7.82×10^{-4}	N.D.	3.04×10^{-3}
2019年2月K值(cm/sec)	無法入滲	無法入滲	無法入滲	9.99×10^{-3}	1×10^{-3}	N.D.	2.95×10^{-3}
2019年3月K值(cm/sec)	無法入滲	無法入滲	無法入滲	1.24×10^{-3}	2.83×10^{-4}	N.D.	1.22×10^{-3}
2019年4月K值(cm/sec)	無法入滲	無法入滲	無法入滲	1.44×10^{-3}	1.55×10^{-4}	N.D.	1.12×10^{-3}

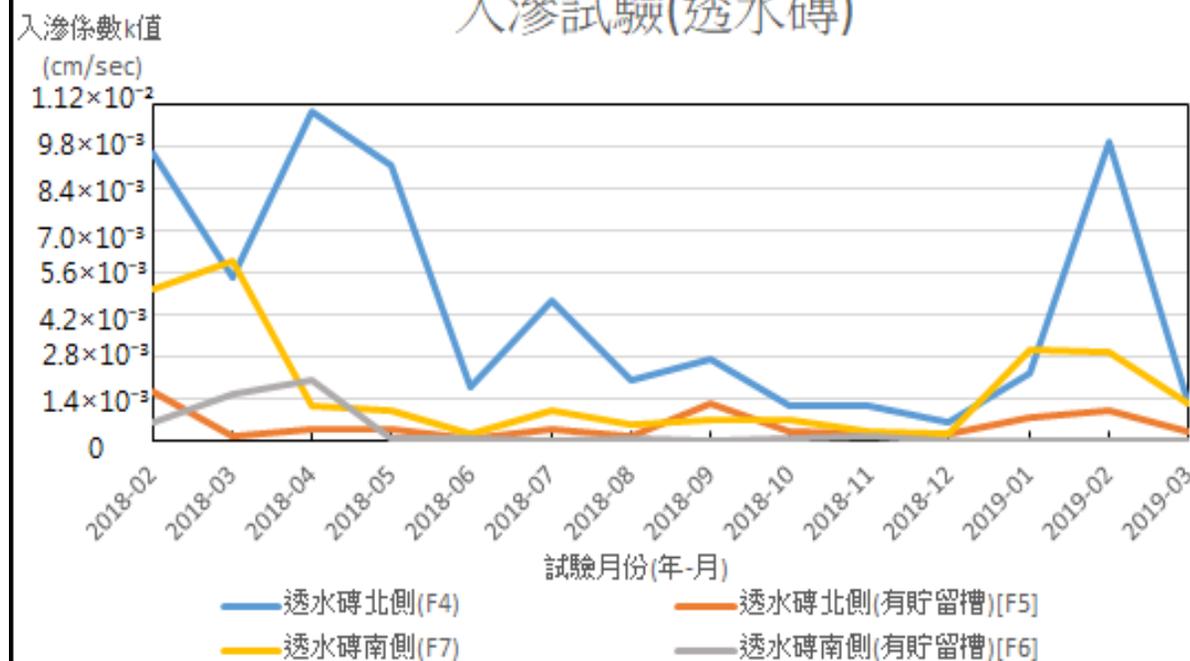
入滲試驗結果說明

入滲試驗(多孔隙瀝青)



多孔隙瀝青的透水性極高，其K值幾乎與礫石差不多，屬於高透水性材料，但11月底重新鋪設後呈不透水狀態。

入滲試驗(透水磚)



透水磚人行道(有地下雨水槽)介於細砂至粉土之間，K值接近於透水性不良狀態。

南側F6點位鋪面已呈現完全不透水之狀態，推測其表面已遭受粉塵、淤泥堵塞，建議使用高壓水槍清洗。

北側、南側集水範圍與出流點位

- : 水位計(2處)/A1,A2
- ★ : 水位觀測井(1處)/C
- ▲ : 雨量計(1處)/E

- ◆ : 流量計(4處)/B1~B4
- ▲ : 溫度監測計(6處)/D1~D6
- : 入滲試驗儀(7處)/F1~F7



快車道中央分隔島

北側集水範圍(出流為B1)

南側集水範圍(出流為B4)

排水分向點



快車道

(瀝青混凝土)

快車道排水溝

星光自行車道

(多孔隙瀝青)

自行車道排水溝

人行道
(透水磚)

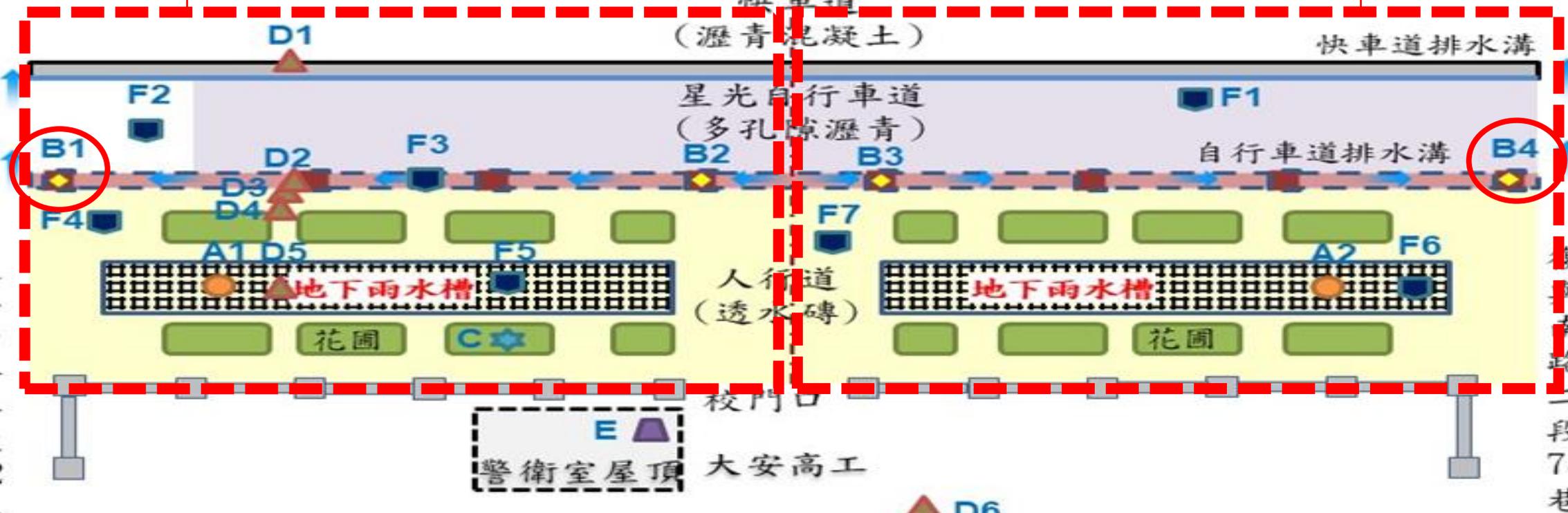
校門口
大安高工

警衛室屋頂

復與南路二段12巷

復與南路二段78巷

▲ D6



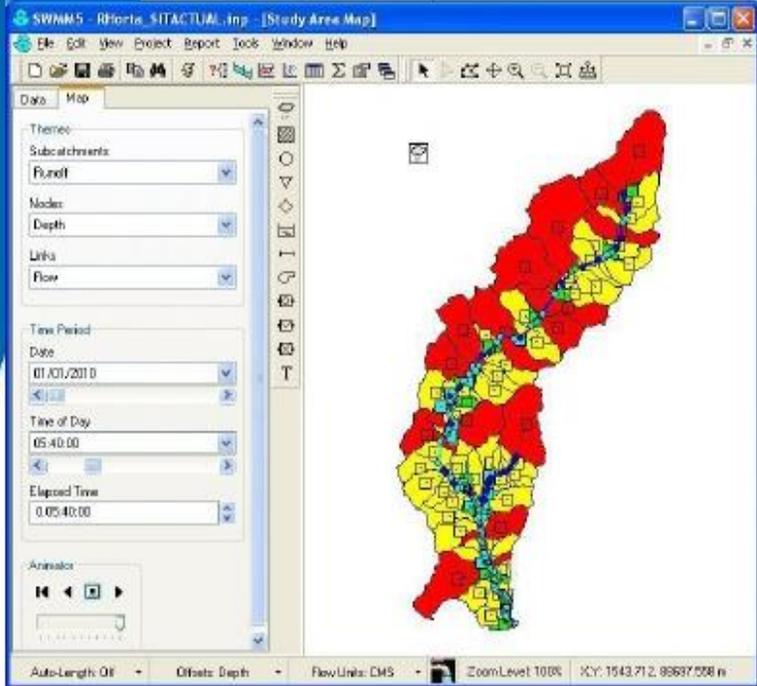
地表逕流模擬分析-水文模式 (SWMM)



SWMM

Storm Water Management Model

Recognized public domain software developed by the US-EPA:



- Dynamic rainfall-runoff simulation model
- Dynamic 1D hydraulic flow model for sewer systems and open channels

↓

Applicability: planning, analysis and design of **drainage systems**

<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/wq/models/swmm/>

3rd International MapWindow Open Source GIS Conference - Velp, The Netherlands, 25-28 June 2012 Rui Pina – rui.pina@uc.pt

SWMM 模式為美國環保署（U.S. EPA）開發之暴雨逕流評估模式。主要應用於都市排水系統設計、滯洪池配置與控制下水道溢流策略，SWMM 可模擬都市雨水下水道中複雜的水理現象，此外，2010年更新的5.0版中導入多種 LID 設施模組供用戶使用，是目前廣泛應用於世界各地的雨水逕流規劃、分析和設計的水文系統。

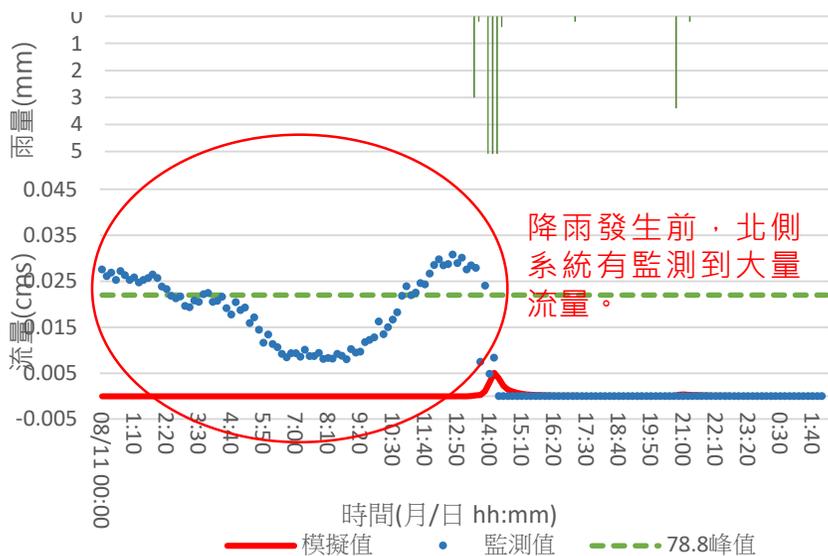
地表逕流模擬分析-本土化參數建立

	參數	透水瀝青鋪面	綠帶、透水鋪面	資料來源
鋪面	草地覆蓋率	0	50%	
	厚度	80 mm	80 mm	市區道路透水性鋪面使用手冊
	地表曼寧 n	0.011	0.011	參考SWMM使用手冊
	水力傳導係數	360 mm/hr	360 mm/hr	市區道路透水性鋪面使用手冊
	孔隙率	20%	20%	市區道路透水性鋪面使用手冊
貯留槽	厚度	500 mm	500 mm	市區道路透水性鋪面使用手冊
	孔隙率	95%	95%	嘉聚企業網站貯流單元

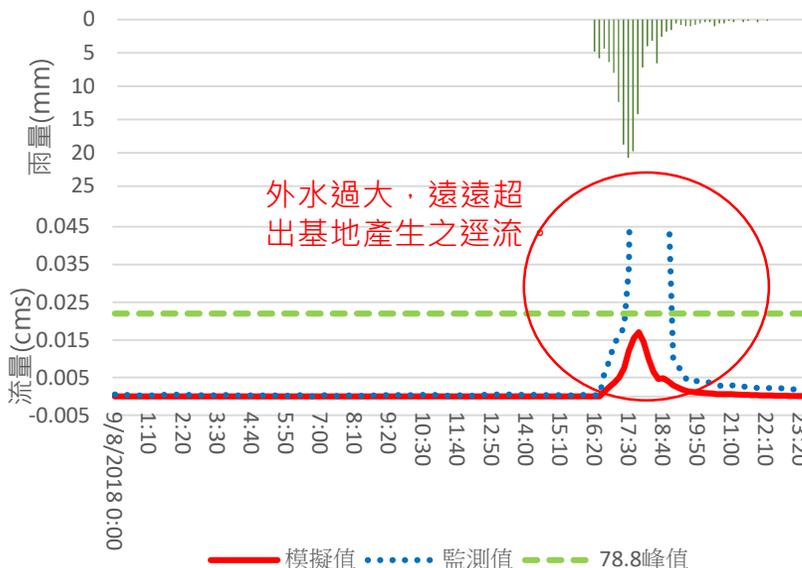
流量監測-外水干擾情形

2018/08/11 總雨量30.2mm R²: 0.01 (北)
延時: 7hr50min 最大時雨量: 23.4mm

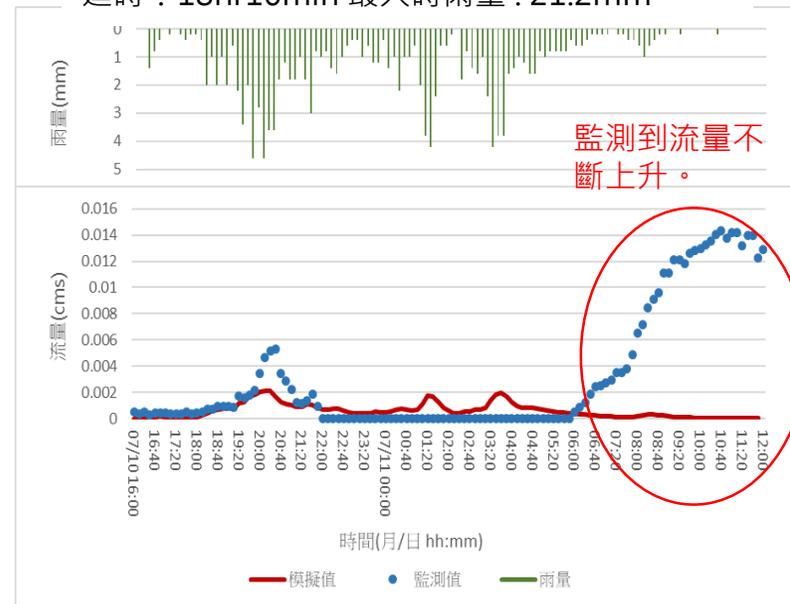
模擬值與監測值比較



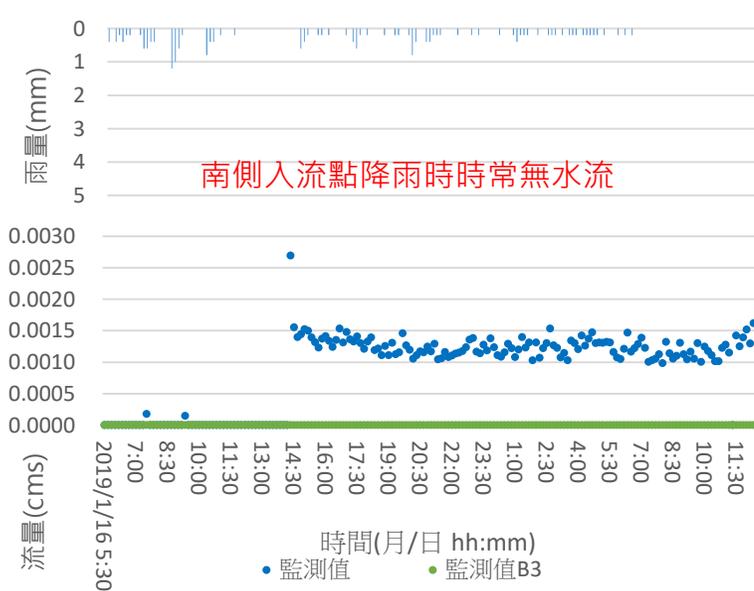
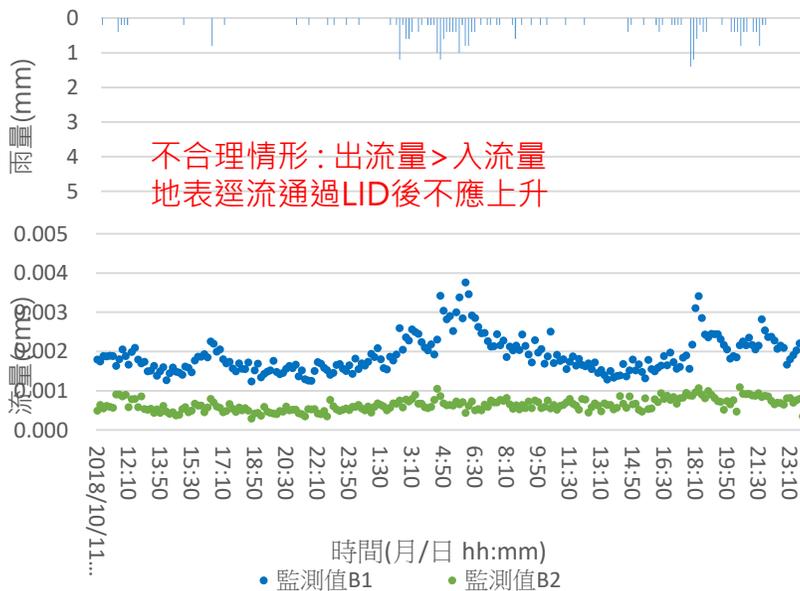
2018/09/8 總雨量152mm R²: 0.05 (北)
延時: 6hr00min 最大時雨量: 94mm



2018/07/10-11 總雨量127mm R²: 0.15 (南)
延時: 18hr10min 最大時雨量: 21.2mm



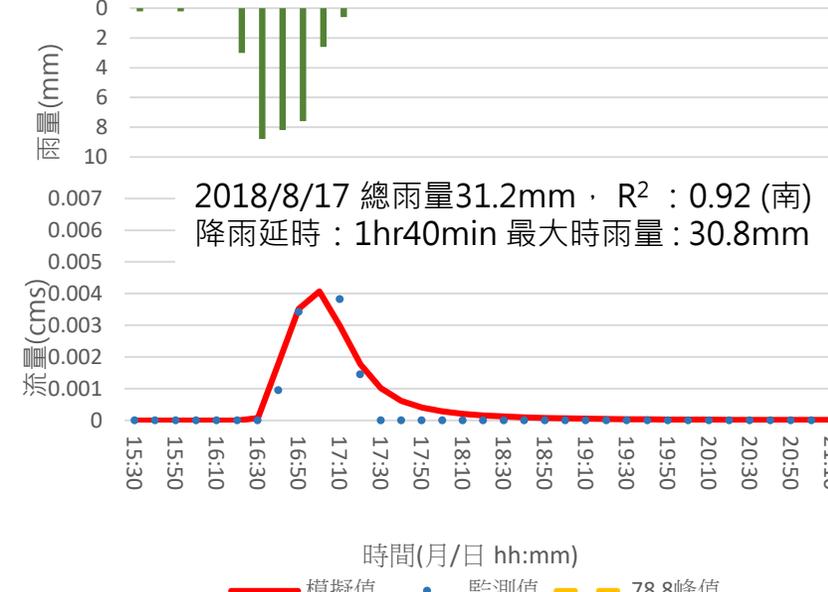
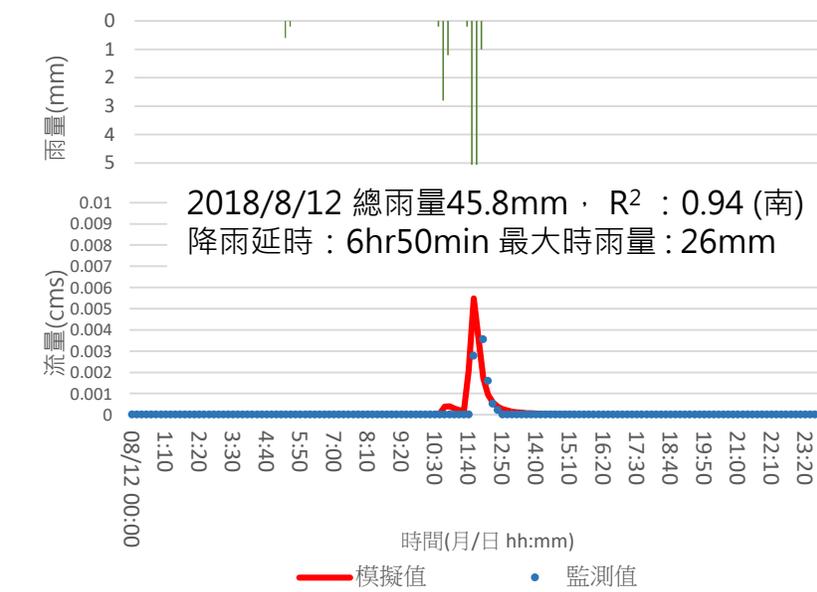
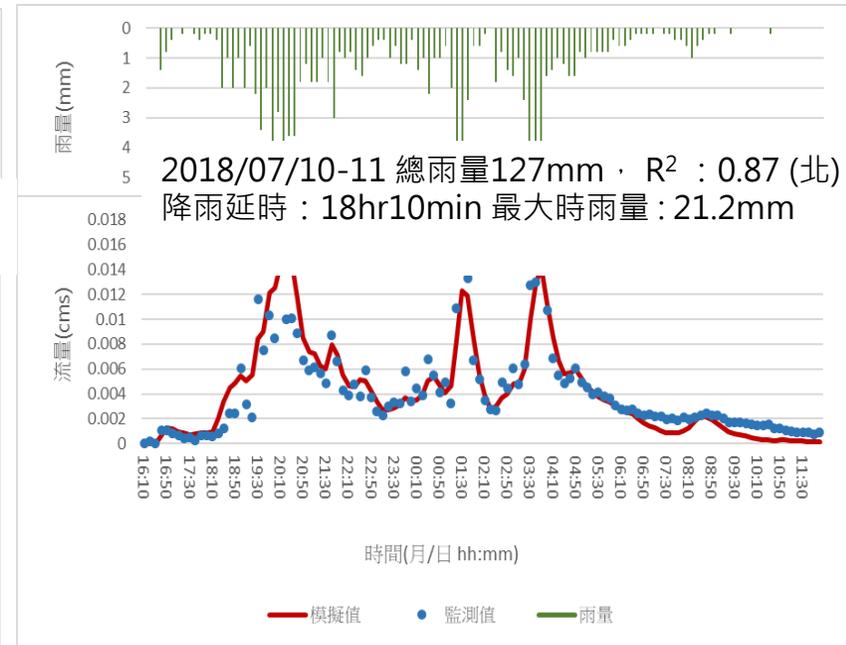
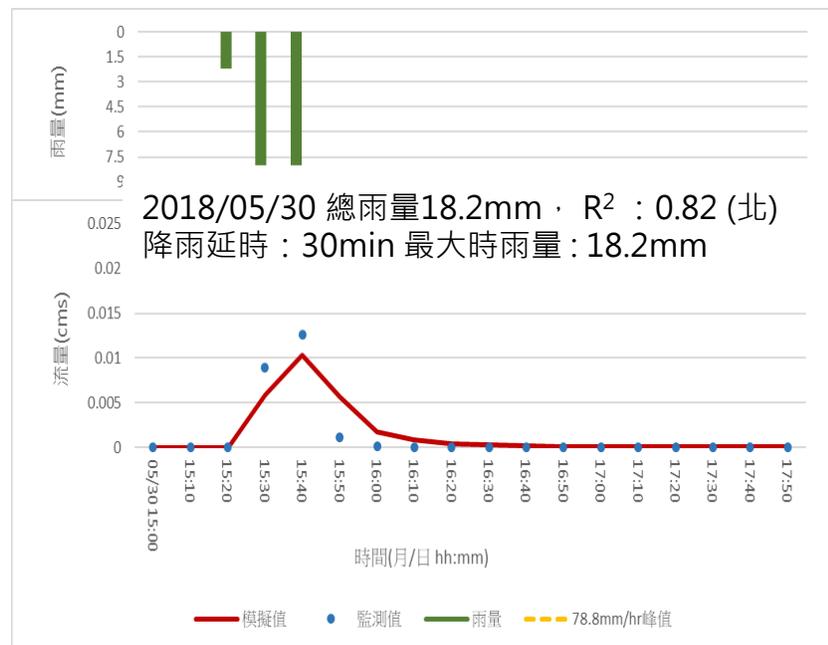
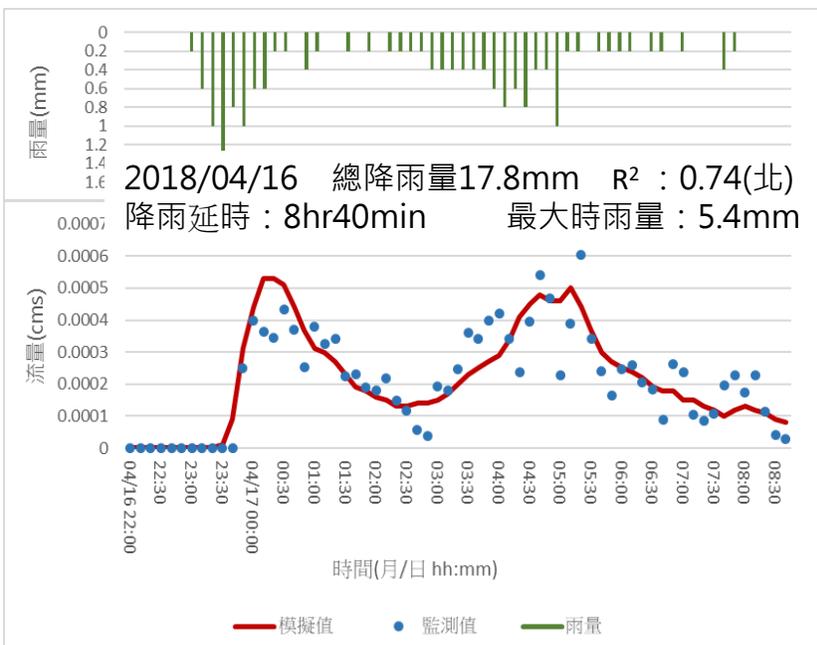
出入流監測資料



基地受外水影響導致監測數據異常

- 發現未下雨時仍有水流
- 有未知管線接入與流出
- 原計畫使用出入流監測點數據差值計算逕流削減率，因外水原因無法使用此方式
- 改為使用模式輔助模擬，計算地表逕流削減率

流量監測-模式率定驗證



使用未受外水干擾之降雨事件預定驗證
 後續以此模式進行地表逕流削減率分析

模式判定指標	範圍值	接受值	文獻
決定係數 (R^2)	0~1	>0.5	Wahyu (2010)

地表逕流削減率

大安	總降雨量 (mm)	降雨延時	最大時雨量 (mm)	北/南側削減率 (%)
2018/4/12	35.5	1:10	35	21 / 35
4/16-17	17.8	8:40	5.4	47 / 45
5/08	26.6	4:00	12	41 / 54
5/30	18.2	0:30	18.2	54 / 52
7/10-11	126.8	16:10	21.2	22 / 32
7/21	26.6	07:20	18.6	44 / 42
7/24	27.8	02:00	27.6	43 / 41
8/11	30.2	07:50	23.4	45 / 46
8/12	45.8	06:50	26	44 / 46
8/17	31.2	01:40	30.8	45 / 55
8/20	13	00:40	13	45 / 47
8/30	54.4	09:20	29.8	45 / 45
9/1	22.6	01:10	21.2	44 / 42
9/7	39.6	03:50	30.8	29 / 26
9/8	152	06:00	94	17 / 16
9/9	18.4	17:20	4.2	41 / 41
9/15-16	20.4	27:30	5.2	44 / 43
9/25-27	24.2	35:00	4.2	44 / 44

	總降雨量 (mm)	降雨延時	最大時雨量 (mm)	北/南側削減率 (%)
10/10-11	16.8	13:05	8	45 / 45
10/11-12	25.8	17:45	4.2	38 / 36
10/16-17	30.8	11:00	6.2	50 / 47
11/1-2	21.8	42:10	2.6	55 / 55
12/23-24	41.2	30:40	5.8	44 / 43
2019/1/16-17	21.2	25:00	3	77 / 77
2/23-24	57.4	22:40	5.4	43 / 42
3/6-10	89.4	84:20	5	41 / 40
3/25	15	6:10	7	43 / 42
3/29-30	24	5:20	19	39 / 28
4/11	15.6	8:30	8.6	47 / 45
4/15-16	29	24:00	7.8	43 / 42
4/20-21	40.6	10:40	19.2	42 / 41
4/22	23.8	5:00	17.6	44 / 42
5/1	46.6	17:10	9.6	43 / 42
5/2-3	14.4	20:30	3.2	44 / 43
5/6-7	24.2	27:10	2.6	43 / 43
5/9-10	14	8:20	2.8	43 / 43

計畫契約監測至 5/2

大安高工監測結論與建議

地下雨水 貯留槽

- 依據36場有效降雨數據顯示地下水位並未高過貯留槽，貯留槽具備蓄地表水功能。
- 南側之貯留槽表現較北側佳。
- 在降雨強度或降雨量較低的情況下，地表逕流較不易入滲至貯留槽。
- 大雨時貯留槽能發揮顯著功能。但整體而言貯留功能不如預期。

透水鋪面 降溫功能

- 透水鋪面降溫功能在降雨時表現較一致，無降雨時不一定能達降溫效果。
- 透水鋪面降溫功能夏、秋較冬、春季佳。
- 最高溫時透水鋪面較一般瀝青可降溫10°C以上。

透水鋪面 入滲功能

- 多孔隙透水瀝青原功能良好，重新鋪設後無法透水。
- 高強度混凝土透水鋪面透水功能較差，南側F6點位鋪面已呈現完全不透水之狀態。
- 推測部份鋪面已遭受粉塵、淤泥堵塞，建議使用高壓水槍清洗。

地表逕 流削減

- SWMM模擬多數降雨事件的逕流削減率達 40% (系統內發現有不明外水)
- 強降雨逕流削減率較低，如 2018/9/8 削減 16-17% 逕流。
- 弱降雨逕流削減率較高，如 2019/1/16-17削減 77% 逕流。



Field Testing of Porous Pavement Performance on Runoff and Temperature Control in Taipei City

Yung-Yun Cheng 1, Shang-Lien Lo 1, Chia-Chun Ho 2, Jen-Yang Lin 3,* and Shaw L. Yu 4

1 Graduate Institute of Environmental Engineering, National Taiwan University, Taipei 10617, Taiwan; joanne@fenri.com.tw (Y.-Y.C.); sllo@ntu.edu.tw (S.-L.L.)

2 Department of Civil and Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Taipei 10607, Taiwan; cchocv@mail.ntust.edu.tw

3 Department of Civil Engineering, National Taipei University of Technology, Taipei 10608, Taiwan

4 Department of Civil and Environmental Engineering, University of Virginia, Charlottesville, VA 22903, USA; sly@virginia.edu

* Correspondence: jylin@ntut.edu.tw; Tel.: +886-2-2771-2171 (ext. 2664)

Received: 31 October 2019; Accepted: 10 December 2019; Published: 13 December 2019

Abstract: The Taipei University of Technology, under contract from the Taipei City Government, completed a study on porous asphalt (PA) and permeable interlocking concrete brick (PICB) pavement performance with respect to stormwater runoff reduction and surface temperature mitigation. Additionally, the variation of infiltration rates against time of these pavements was monitored. The results show the following: (a) Runoff peak reduction ranged from 16% for large, intense storms to 55% for small, long-duration storms. Rainfall volume reduction ranged from 16% to 77% with an average of 37.6%; (b) Infiltration rate: for PICB, it decreased by 25% to 50% over a 15-month monitoring period, but the rate at one location increased significantly after cleaning; for PA, the rate remained high at one location, but decreased by 70%–80% after 10 months at two other locations, due mainly to clogging problems; (c) Surface temperature: during storm events, porous concrete bricks had on average lower temperatures compared to regular concrete with a maximum difference of 6.6 C; for porous asphalt the maximum drop was 3.9 C. During dry days, both PA and PICB showed a tendency of faster temperature increase as the air temperature rose, but also faster temperature decreases as the air cooled when compared to regular pavements. On very hot days, much lower surface temperatures were observed for porous pavements (for PA: 17.0 C and for PICB: 14.3 C) than those for regular pavements. The results suggest that large-scale applications of porous pavements could help mitigate urban heat island impacts.



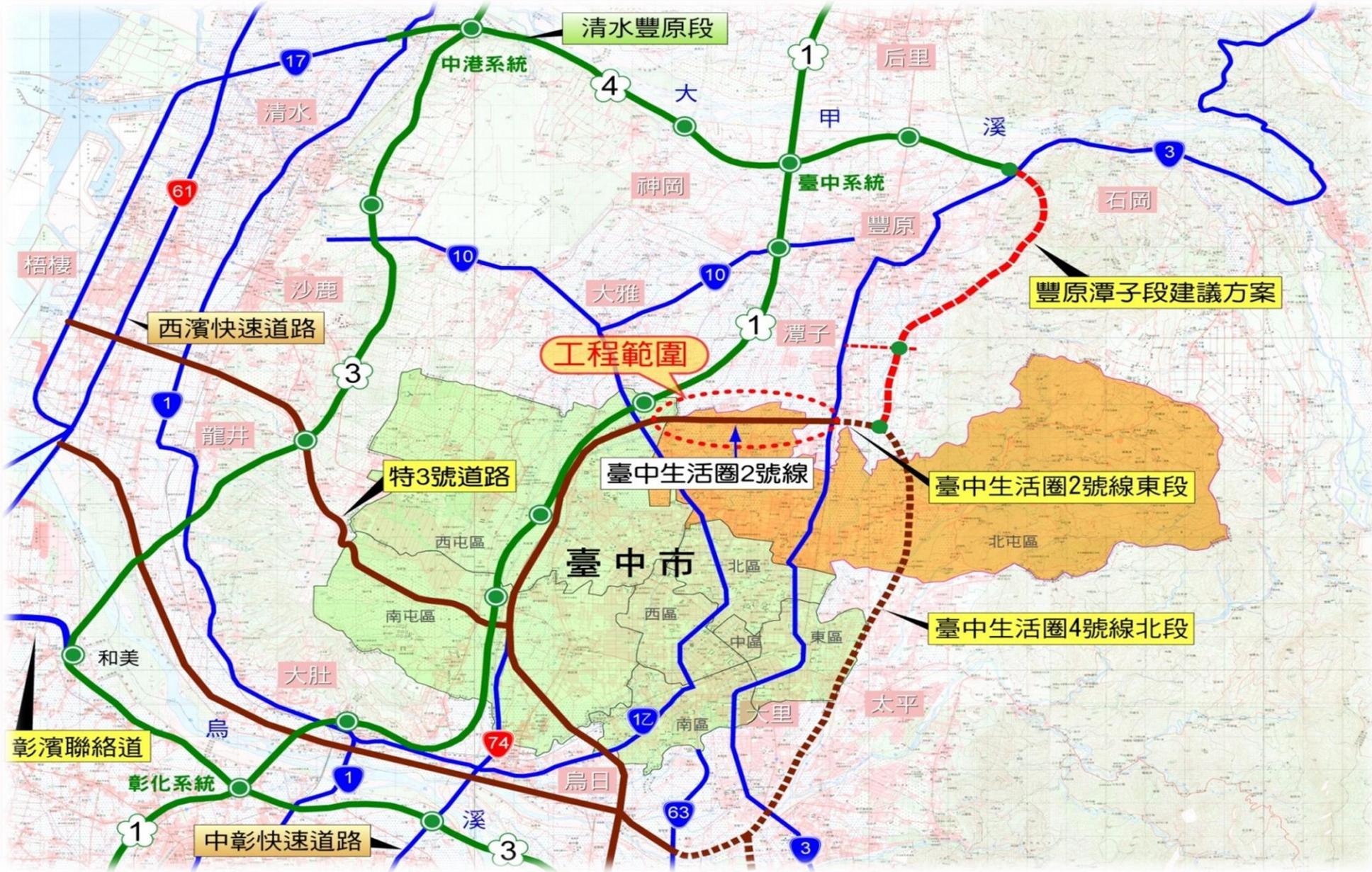
崇德路

營建署：臺中生活圈2號道路
The number 2 road of Taichung

環中路



研究工程位置圖 Location





高架橋面 The surface of viaduct



2013.07.16

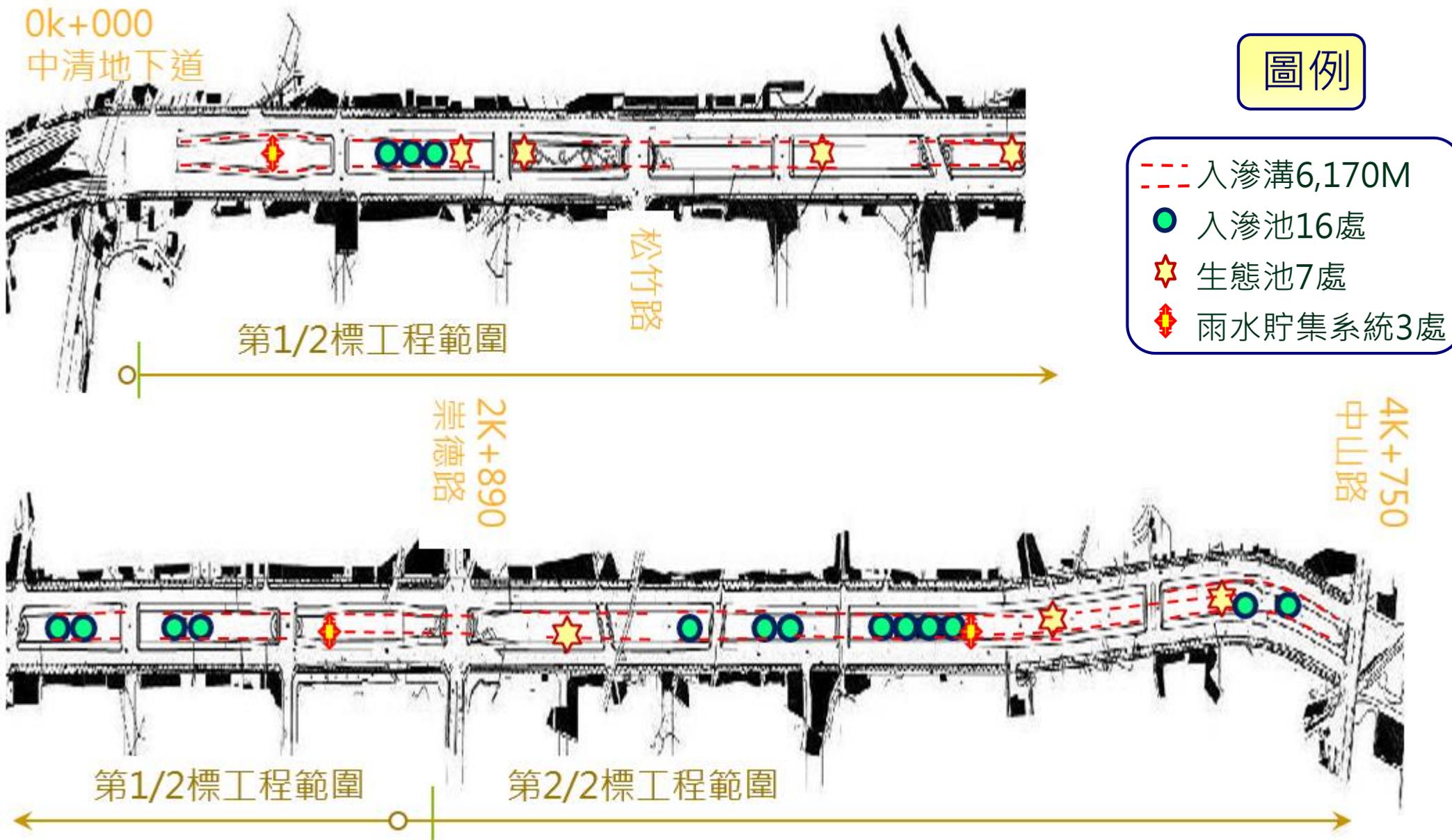


高架橋下 Under the viaduct





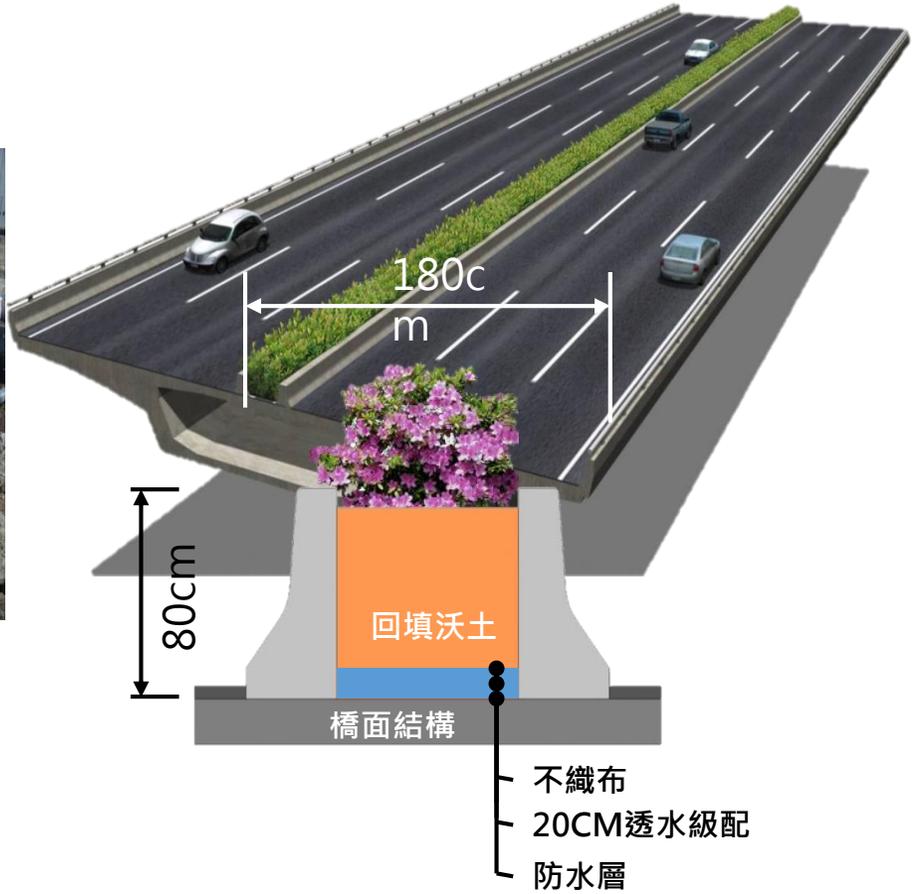
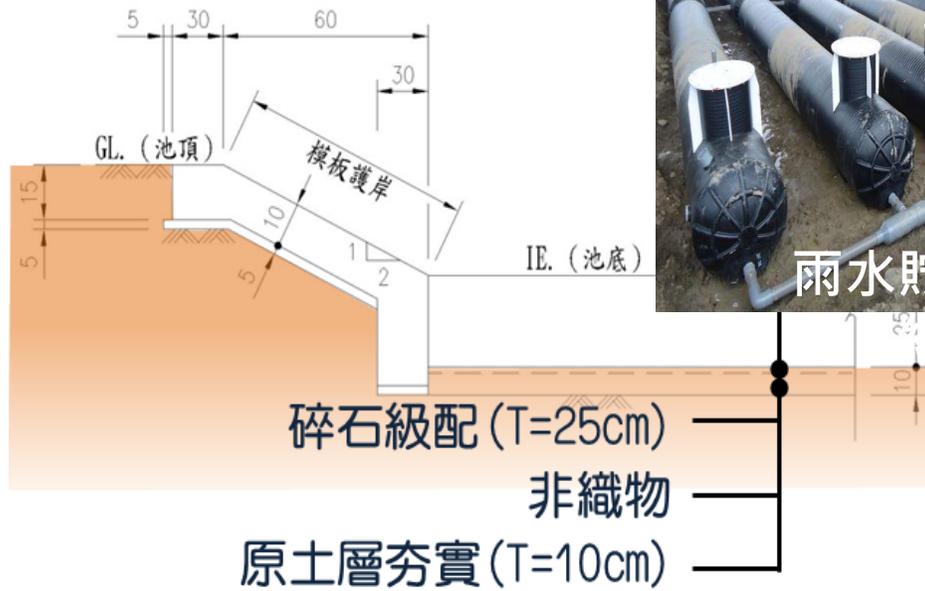
LID設施整體配置





基地保水與橋面噴灌

保水入滲池構造示意

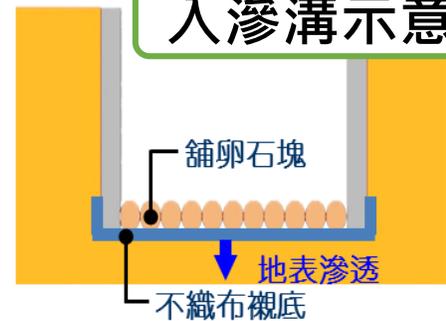


入滲池施作現況



入滲溝施作現況

入滲溝示意圖



地表滲透設計@6M一處



雨水貯集系統 Rainwater catchment systems





生態池 Ecological Pond





入滲池及入滲溝 Infiltration Pond & trenches



經查氣象局資料台中地區近10年（2004年～2013年）

豐水年為2005年(2,574.5mm)，枯水年為2011年(1,204.9mm)

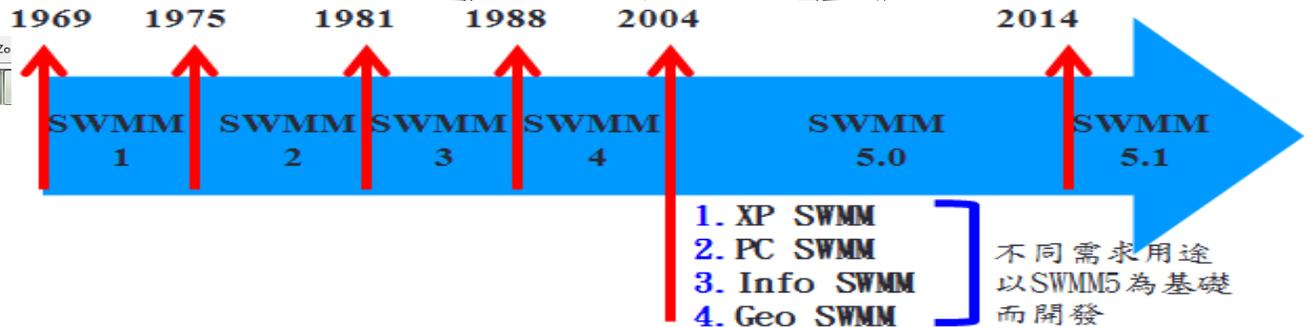
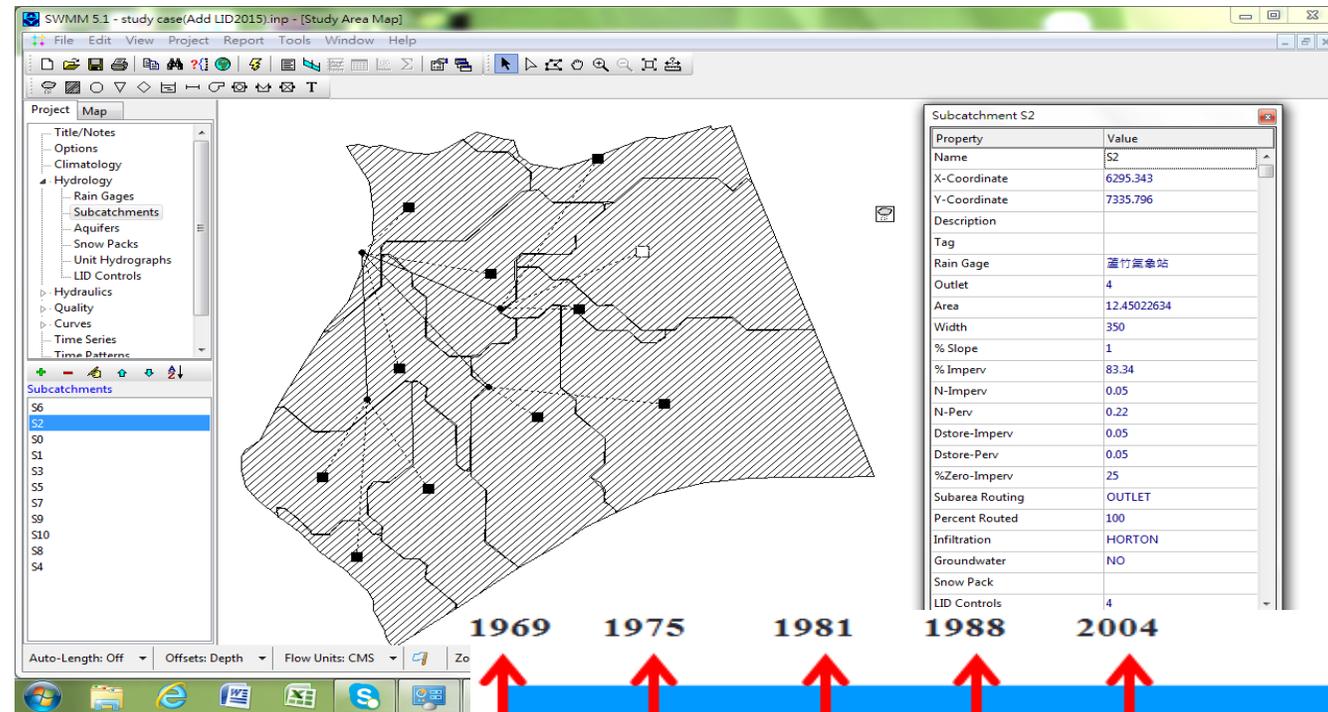
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	總雨量
2004	19.8	78.1	85.2	131.2	164.2	76.7	1025	466.7	155.8	8.7	0	49.2	2260.7
2005	17.6	155.2	228.3	46.7	620.1	566.1	378.1	351.1	161.3	28.8	5.9	15.3	2574.5
2006	28.9	22.3	93.4	221.6	316.3	754.5	328.9	117.4	143.7	0	95.7	49.2	2171.9
2007	57	24.5	87.9	136.4	169.1	735.2	62	516	315.7	289.8	22.6	16.7	2432.9
2008	15.2	38.4	34.1	31.2	332	182.8	907.6	50.7	829.7	20.5	24.4	11.2	2477.8
2009	0	12.5	161.2	303	20.5	421.5	83.5	810.8	119.7	12.4	16	17.6	1978.7
2010	34.1	118.3	22.6	158.4	145.3	529.9	463.5	203.5	328.6	2.1	20.7	27.4	2054.4
2011	35.4	27.6	33.2	5.1	95	151.3	300.6	256.3	99.3	13.3	150.7	37.1	1204.9
2012	57.1	77.2	40.8	234.6	267.9	331.6	215.6	726.2	34.2	1.4	144.8	71.1	2202.5
2013	11.2	1.2	62.7	258.6	356.4	72.6	467.7	763	34.5				



SWMM模式介紹-簡介與建置

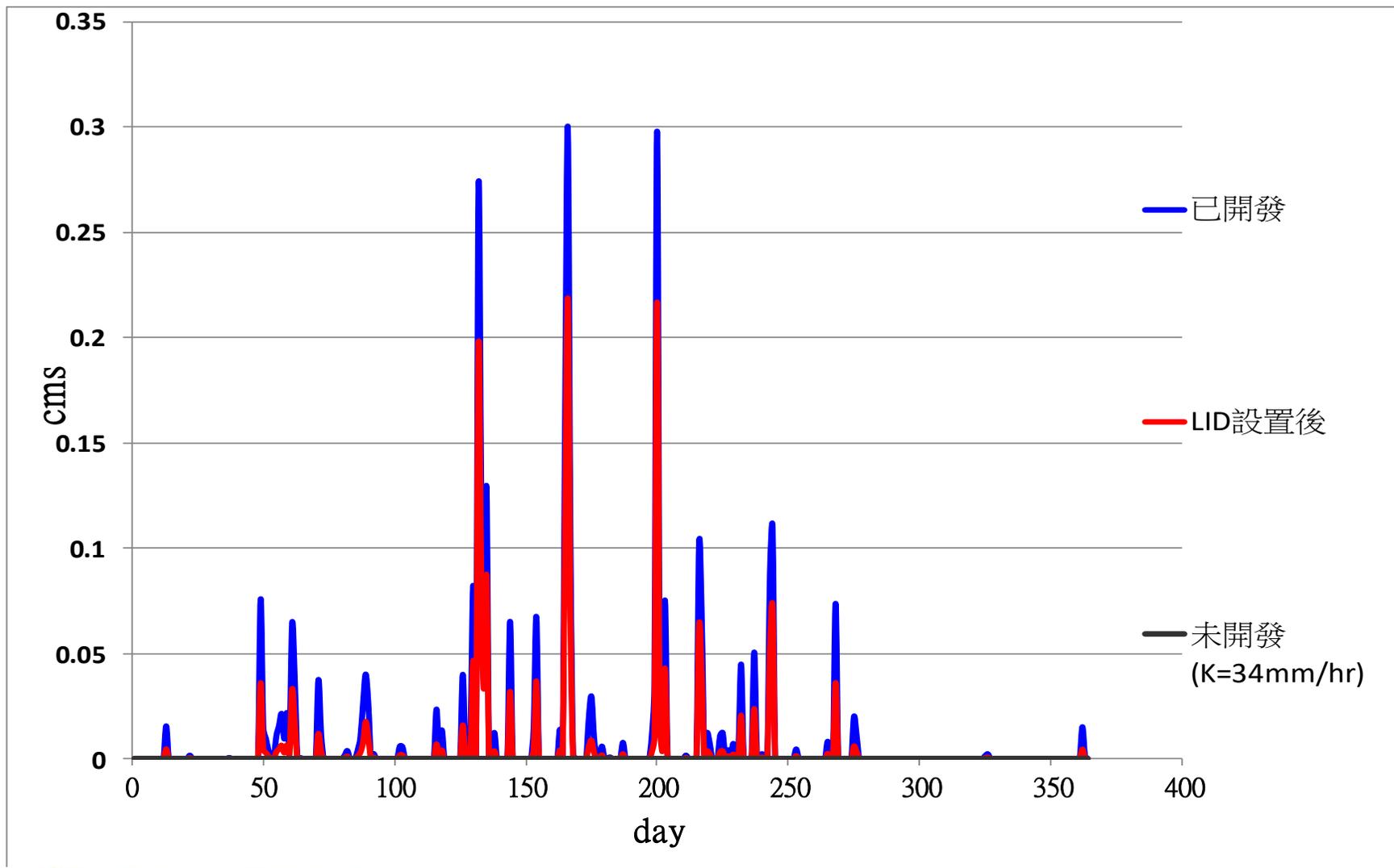
SWMM(Storm Water Management Model)模式是由美國環保署所開發的一套動態降雨逕流模擬模式，被廣泛運用在都市雨水、汙水下水道、道路排水及集水區降雨逕流等研究上。使用者可依單一或連續水文事件的實際情況來模擬集水區內的逕流傳輸現象。

- 1.集水區塊
- 2.氣候區塊
- 3.土地利用區塊
- 4.地下水區塊
- 5.管線傳輸區塊





LID設置前後及未開發流量圖(豐水年2005年)



逕流體積量

未開發前：0 m³

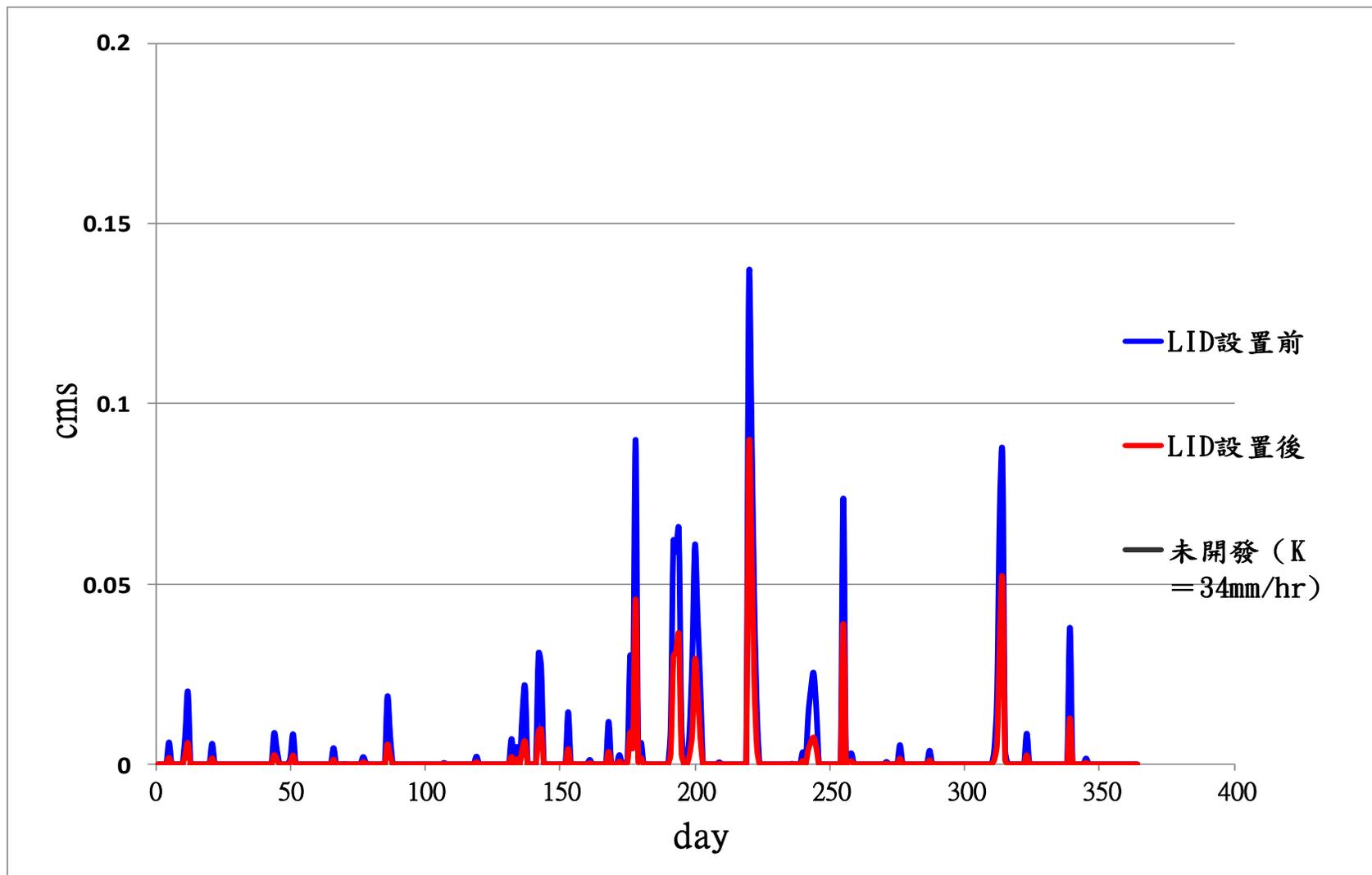
LID設置前：276,996 m³

LID設置後：156,557 m³

削減率43.5%



LID設置前後及未開發流量圖(枯水年2011年)



逕流體積量

未開發前：0 m³

LID設置前：124,013 m³

LID設置後：56,376 m³

削減率54.5%



臺中市生活圈2號道路-結果與討論

LID設置前後，以SWMM模式模擬逕流量：

豐水年(2005)削減 43.5%

枯水年(2011) 54.5%

給我1% (預算) ， 還你50% (年逕流削減量) ！

(總工程費約 57 億元台幣，LID 約 5,000 萬元)



Journal of Sustainable Water in the Built Environment

/Volume 4 Issue 2 - May 2018

Evaluating the Effectiveness of Green Roads for Runoff Control

Jen-Yang Lin, Ph.D. ; Chi-Feng Chen, Ph.D. ; and Chia-Chun Ho, Ph.D.

Abstract: Green roads can be incorporated into low-impact development (LID) practices to reduce the risk of flood disasters by collecting rainfall and reusing it as irrigation water for vegetation near the roads. In this study, an elevated expressway in Taichung, a city in central Taiwan, was selected to evaluate the performance of LID facilities; the storm water management model (SWMM) was applied with real site dimensions to compute possible runoff hydrographs and compare different real rainfall event scenarios. The runoff reductions from infiltration ponds, infiltration swales, rain barrels, and ecoponds were ranked. The results showed that the annual runoff reduction was 43.5–54.5%, and all LID facilities collected 5,365 m³ of runoff. Finally, three actual rainfall events in 2015 were simulated to determine drainage efficiency. The SWMM results showed that the elevated expressway LID facilities would have effectively reduced the flooding risks for those three actual rainfall events. Moreover, the performance of runoff reduction rate during slow rains with a long duration was higher than the performance under heavy rains with a short duration.

1912年

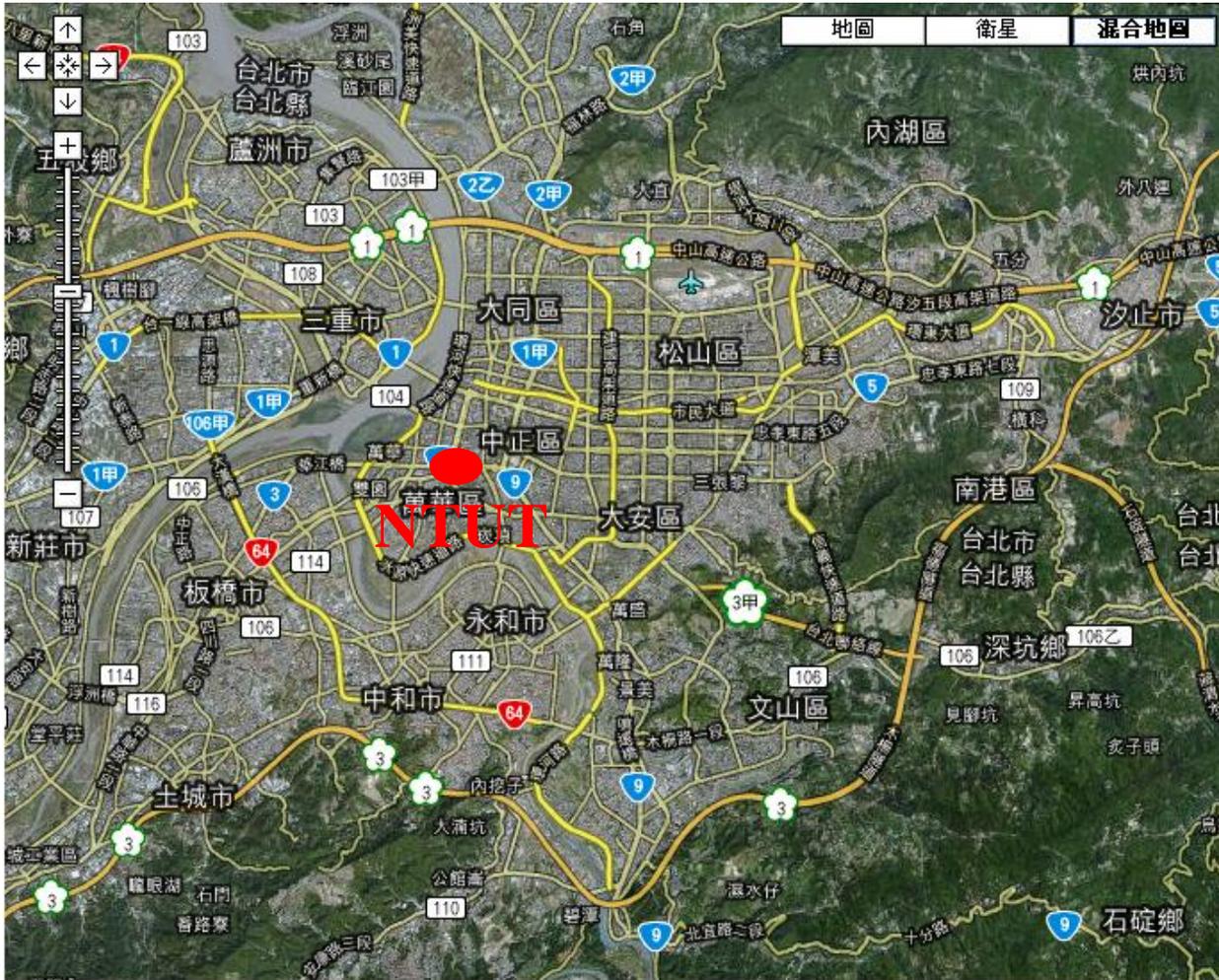
臺灣總督府民政局學務部附屬工業講習所

生態校園-臺北科技大學





生態校園-臺北科技大學

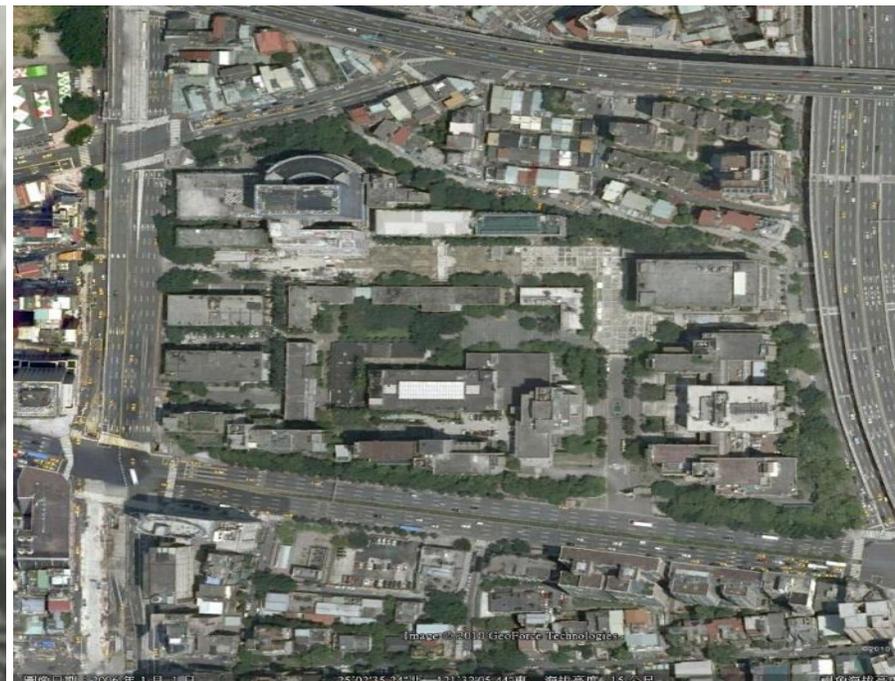
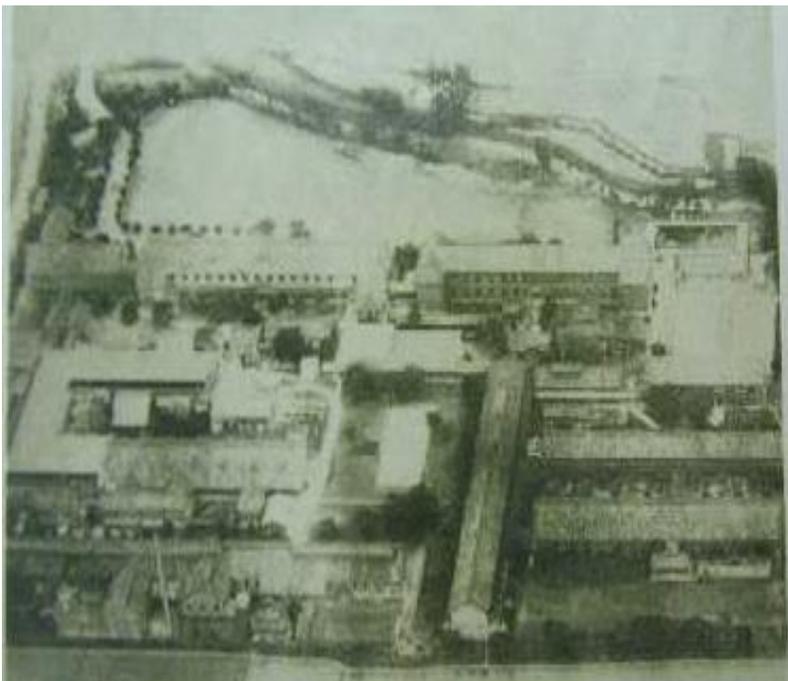


- An open eco-campus space must be connected to the urban area through ecological interface.
- As the “gateway to urban ecology”, this project allows urban ecology and landscape to the campus by penetrating its walls and boundaries and makes the eco-campus to expand and encompass the surrounding urban area.





轉變中的北科大



資料來源：臺北工專建校七十七年、改制專科四十週年專輯

資料來源：GOOGLE EARTH



生態校園-臺北科技大學

1994年 開始規劃生態校園。

2000年 將「水與綠色環境規劃」導入生態校園的發展項目。

2002年 建立北科大生態校園總體規劃，將校園內的生態環境進行整合。

2003年 設施施作已完成，生態河流、生態池、綠色小屋、生態跳島、植生綠牆/綠色大門、雨水回收利用、透水性鋪面。





生態校園-臺北科技大學

Before



After



生態校園-臺北科技大學



太陽能板

稻田園

生態露台

綠建築

生態池

聯外水景



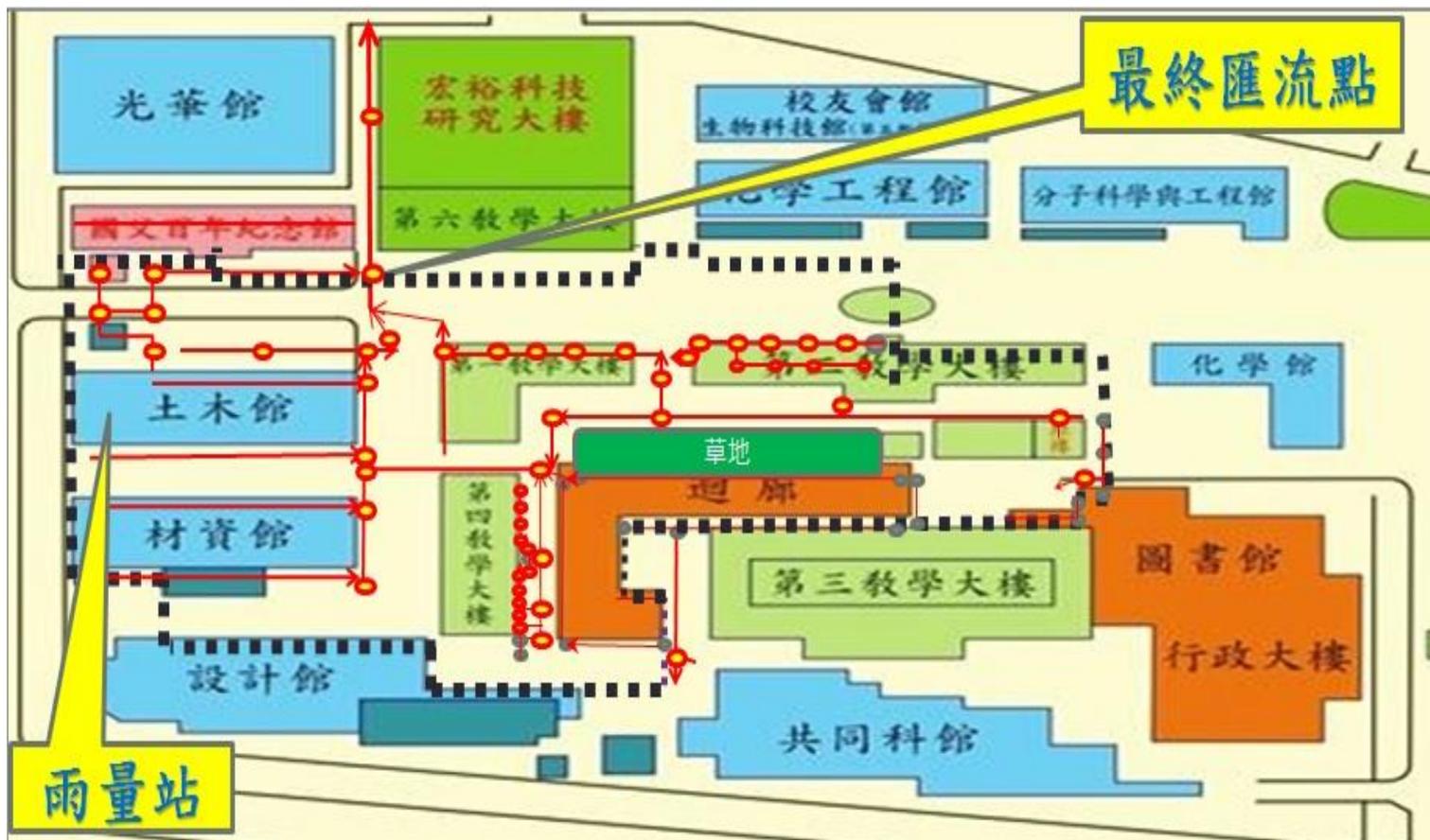
LID		Units
Bio-Retention	雨花園	21
	乾式滯留池	1
	溼式滯留池	5
	Vegetative Swale	32
	Permeable Pavement	8
	Green Roof	3
	Infiltration Trech	6
	rain barrel	12
	Total	88



北科大逕流抑制評估-研究區域集水範圍劃定

➤ 研究區域集水範圍劃定：

- 雨水下水道管線分布圖
- 排水路的現地調查結果
- 找到最終匯流點與確定該匯流點的最大集水範圍



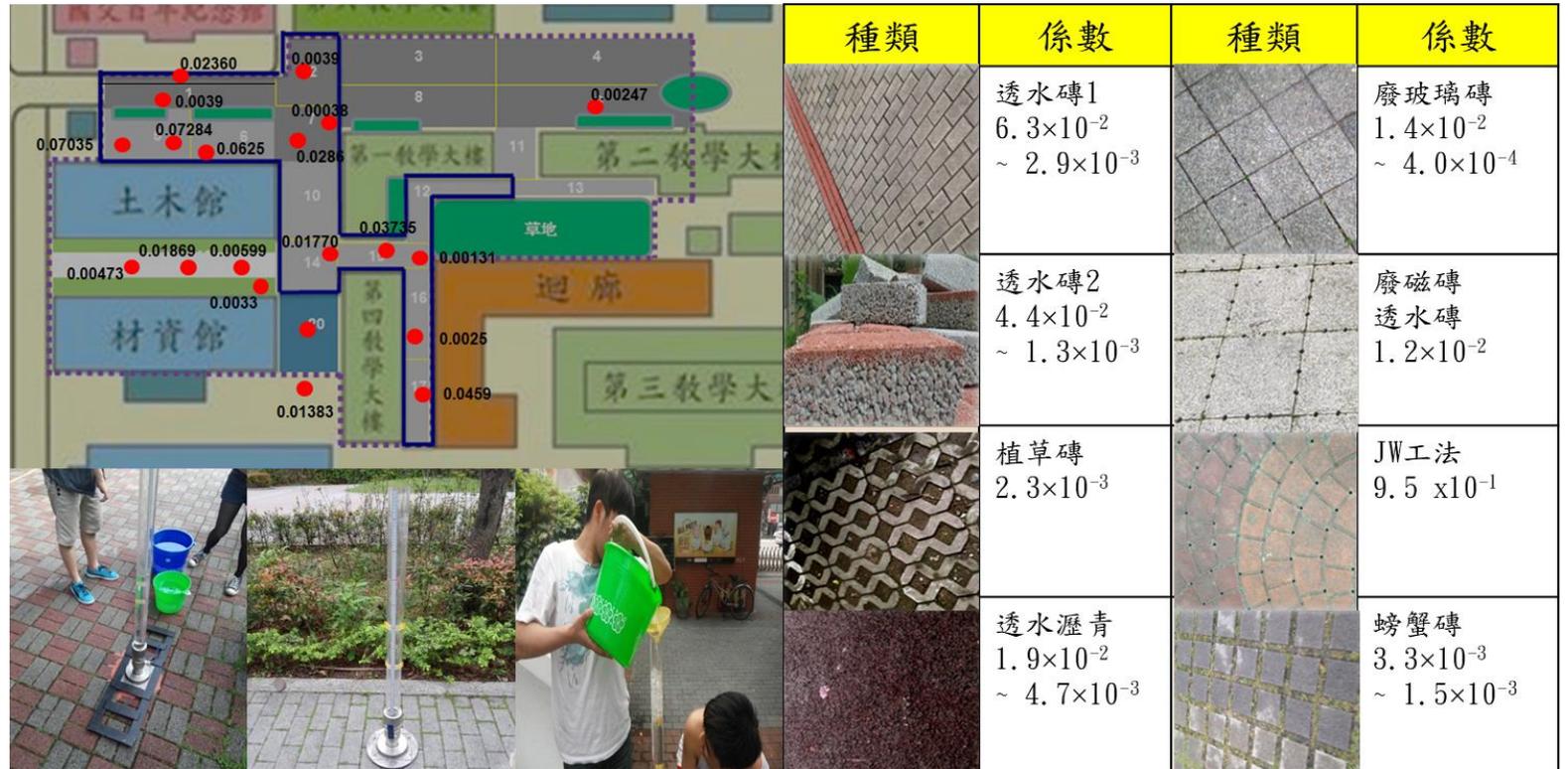


北科大逕流抑制評估-入滲實驗

入滲實驗：

- 利用入滲儀進行校園內八種透水鋪面的入滲能力量測。
- 水力傳導係數量測結果

(m/s) : 3×10^{-7} 至 7×10^{-5}



北科大逕流抑制評估-率定驗證

2014年

2015年

月	時間	降雨延時 (min)	累積雨量 (mm)	降雨強度 (mm/hr)	R ²	MAPE	是否達標
2	24日 0315~0745	270	52.5	11.6	0.65	48.7	是
3	23日 1225~1755	330	24.3	4.4	0.06	60.8	否
5	5日 0725~1055	210	17.8	5.08	0.45	57.6	否
5	12日 0330~0810	280	54.7	11.7	0.77	48.2	是
5	20日 0935~1635	420	28.6	4.08	0.35	55.2	否
6	7日 1535~1630	55	16.3	17.8	0.86	44.6	是
8	18日 1550~1920	210	94.2	26.9	0.74	45.8	是
8	25日 0550~0925	215	23	6.4	0.69	50.3	否

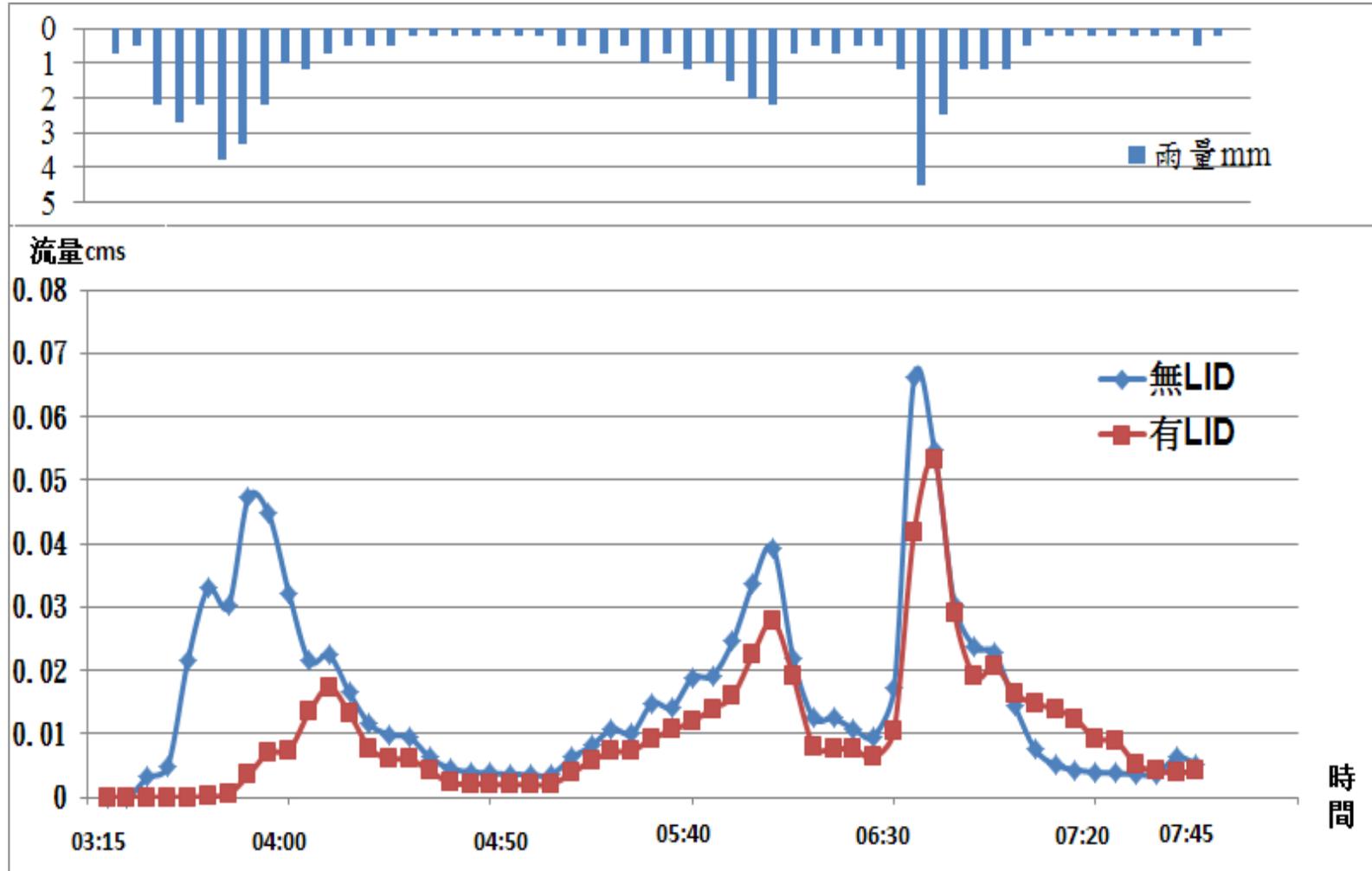
共模擬22場，符合：13場，不符合：9場

月	時間	降雨延時 (min)	累積雨量 (mm)	降雨強度 (mm/hr)	R ²	MAPE	是否達標
5	15日 1525~1750	145	25.1	10.3	0.54	67	否
	20日~21日 2210~2205	1435	310.2	12.9	0.80	43.1	是
6	5日~6日 2215~0600	255	95.2	12.2	0.83	49.1	是
	7日 2010~2120	70	17.2	15.6	0.53	34.2	是
	23日 1950~2055	65	32.7	30.2	0.58	45.0	是
	29日~30日 2330~0240	190	23.7	7.4	0.78	68.4	否
7	1日 13:35-16:50	195	23.9	7.3	0.60	75.4	否
	22日~23日 2320~1135	735	54.7	4.4	0.34	75.3	否
8	11日 17:15~18:05	50	25.6	30.8	0.50	40.9	是
	13日 1310~1440	90	48.1	32.0	0.89	32.8	是
	19日 1550~1655	65	36.8	34.0	0.71	49.9	是
9	9日 1955~2355	240	53	13.2	0.63	39.6	是
	22日 0235~0955	440	96.4	13.2	0.79	45.8	是
12	4日 0105~0320	135	14	5.9	0.14	77.1	否

65



北科大逕流抑制評估-實際降雨事件



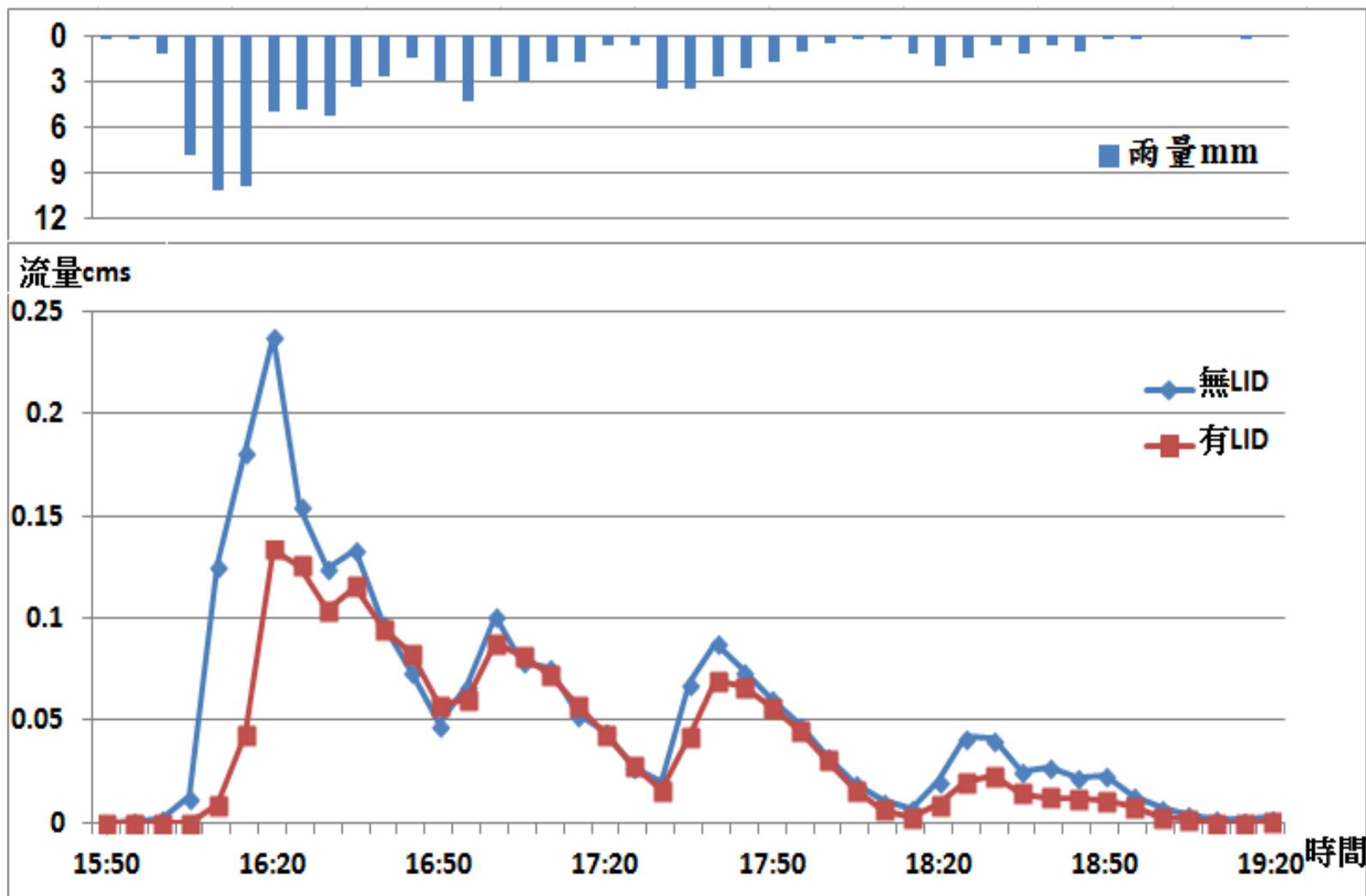
2015/02/24
(03:15~07:45)
降雨延時：4.5hr
降雨量：52.5mm

逕流量評估
無LID設施：263.6m³
有LID設施：182.5m³

逕流削減率：31.8%



北科大逕流抑制評估-實際降雨事件



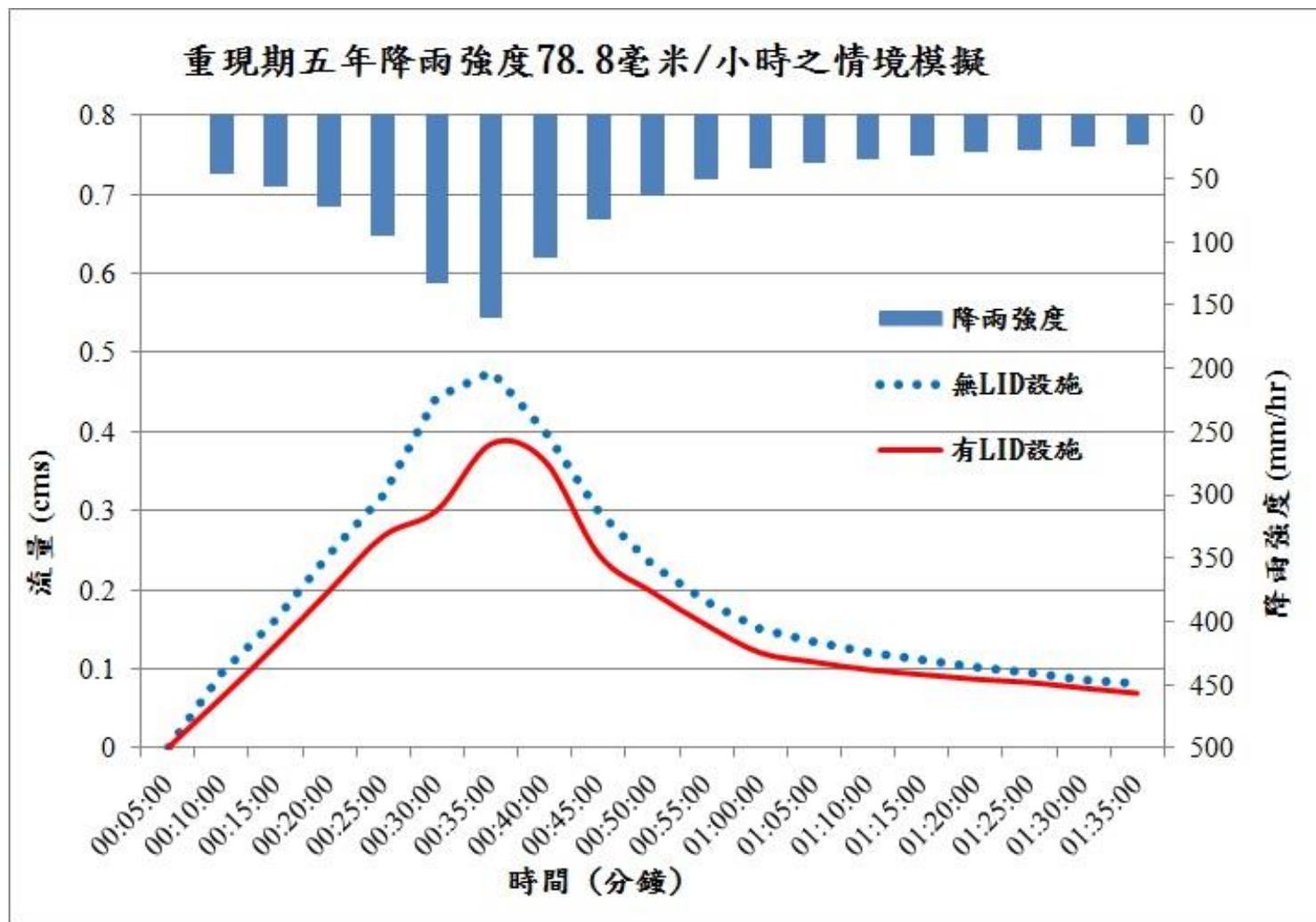
2015/08/18
(15:50~19:20)
降雨延時：3.5hr
降雨量：94.2mm

逕流量評估
無LID設施：690.5m³
有LID設施：499.4m³

逕流削減率：27.7%



北科大逕流抑制評估-台北市標準設計暴雨模擬



Horner公式

$$I = \frac{a}{(T_d + b)^c}$$

I = 降雨強度

Td = 降雨延時

a、b、c = 係數(台北站)

降雨延時：1.5hr

降雨量：118.2mm

逕流量評估

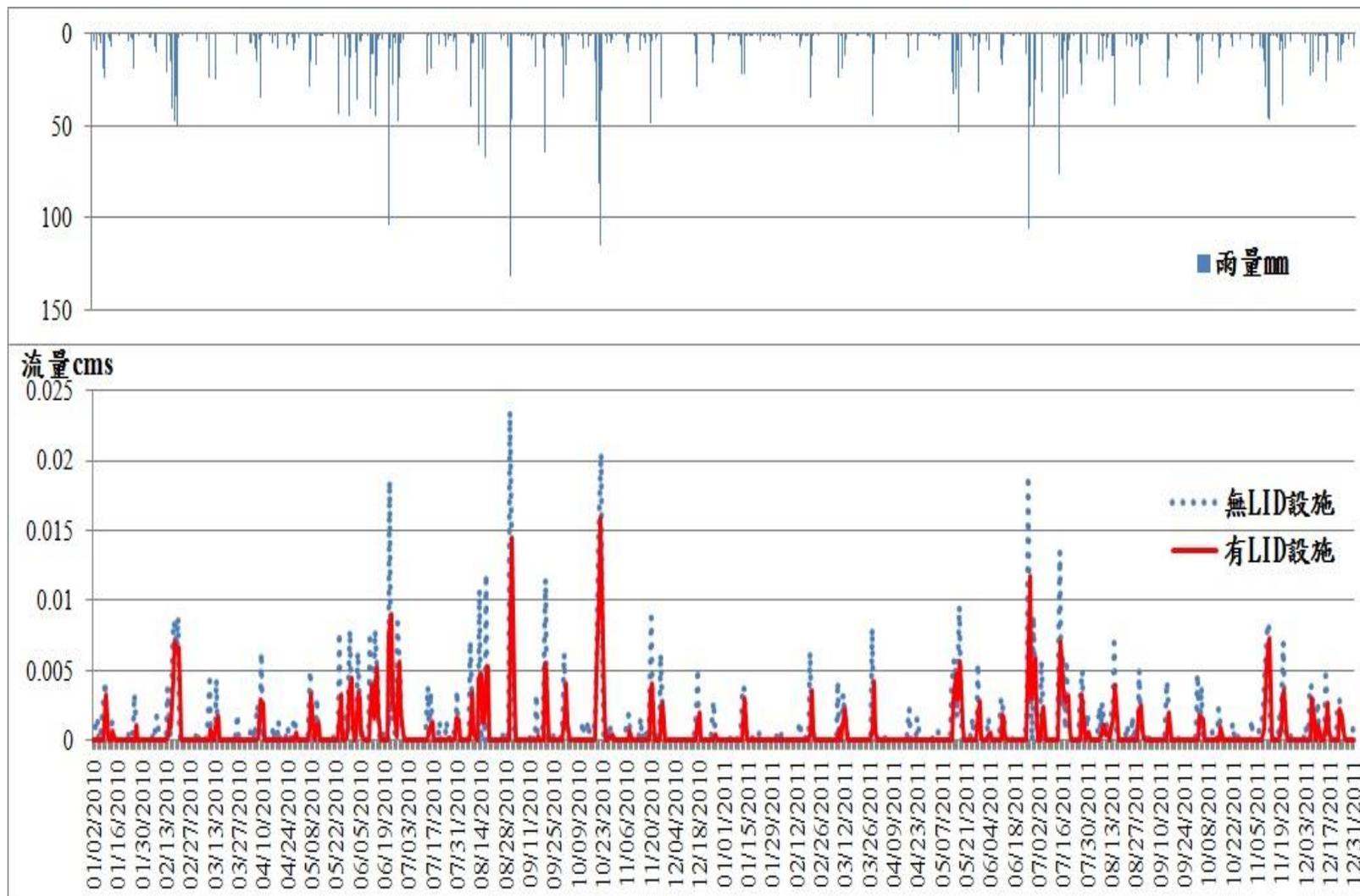
無LID設施：1129.7m³

有LID設施：941.5m³

逕流削減率：16.7%



北科大逕流抑制評估-二年（長時期）模擬



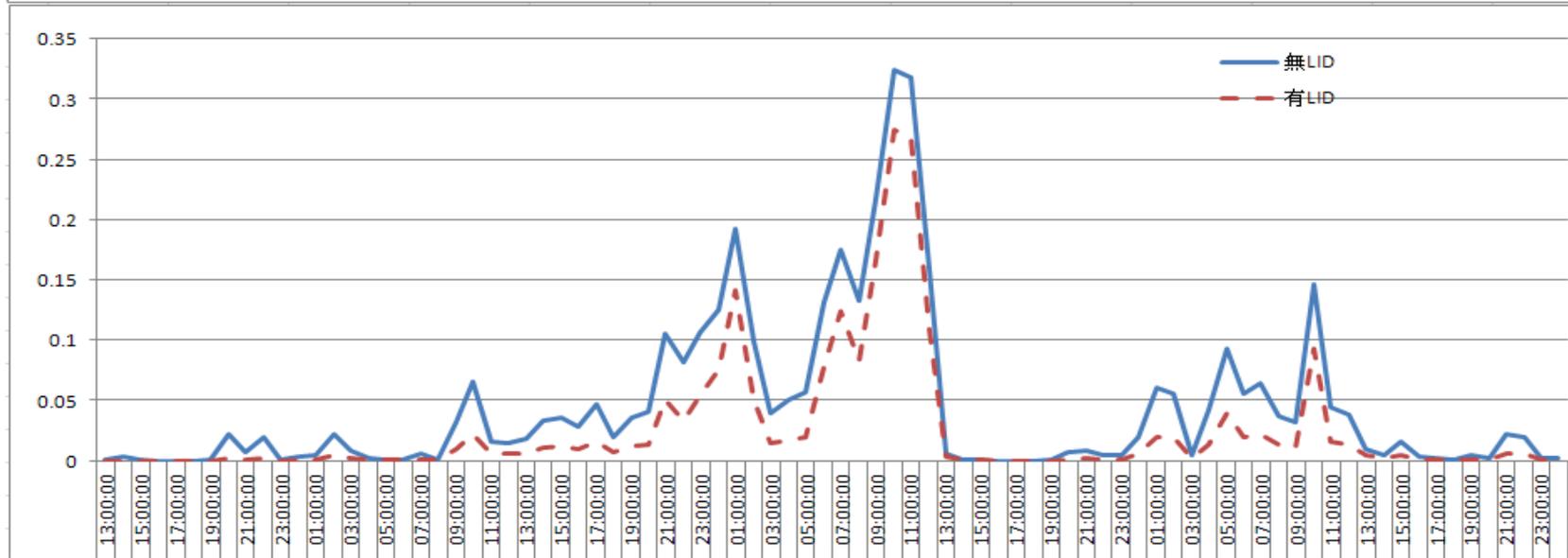
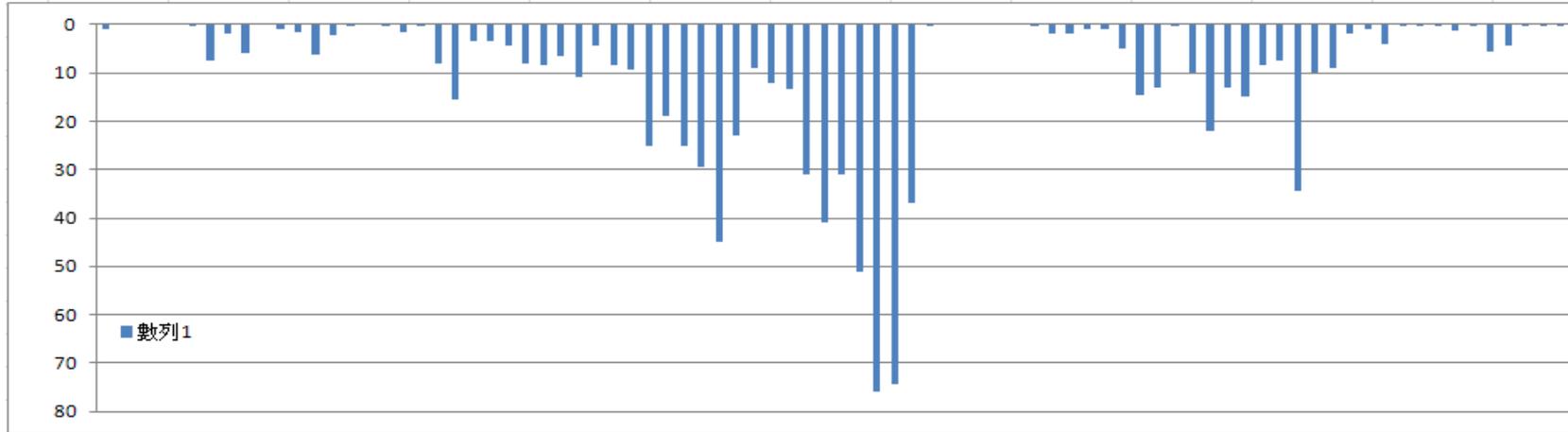
2010-2011
降雨量：4034.4mm

逕流量評估
無LID設施：62149.4m³
有LID設施：40329.3m³

逕流削減率：35.2%



北科大逕流抑制評估-歷史上極端降雨事件模擬



納莉颱風

2001/9/15 12:00~

2001/9/18 23:00

總雨量 853.8mm

無LID設施 12985.15m³

有LID設施 11832.36m³

削減9.8%



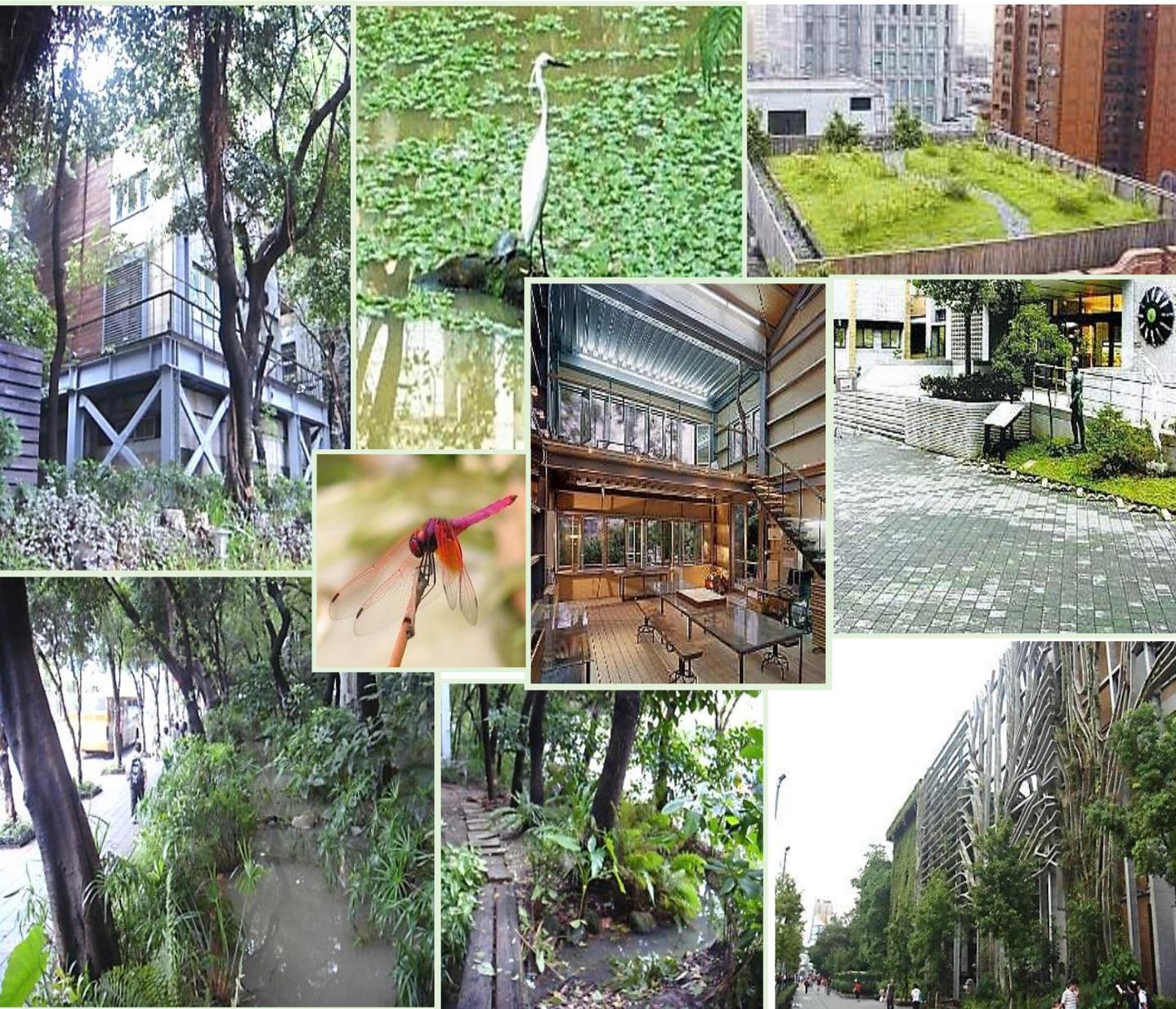
北科大逕流抑制評估-北科大LID設施逕流抑制功效 (模擬)

降雨事件	情境		降雨量(mm)	延時(小時)	逕流量(m ³)	削減率
重現期五年 之設計暴雨 78.8mm/hr		無LID 設施	118.2	1.5	1129.7	16.7 %
	現況	有LID 設施	118.2	1.5	941.5	
2010~2011年		無LID 設施	4034.4	-	62149.4	35.2 %
	現況	有LID 設施	4034.4	-	40329.3	
2001/09/16 納莉颱風		無LID 設施	853.8	83	12985.15	9.8 %
	現況	有LID 設施	853.8	83	11832.36	

2012年世界綠能大學排行榜

低衝擊開發 李鴻源：台大失敗

2013-05-26 15:38 | 新聞速報 | 【中央社】



內政部長李鴻源主張低衝擊開發，他認為，台北科技大學做得很好，[台灣大學](#)「很失敗」，「我對台大非常有意見」。

李鴻源日前在立法院答詢時，被問到有業者申請在陽明山國家公園馬槽遊憩區進行旅館開發時，提到若開發案通過，會要求「低衝擊開發」。

對於低衝擊開發，李鴻源受訪時談到，土地開發完，每一滴水都留在這塊基地，不可多流一滴水出去，為此，基地內的道路鋪面要做透水，雨水回收有一定規範，這就是低衝擊開發。

他主動提及台北科技大學說，校園內的馬路改為透水鋪面，是低衝擊開發最好示範。

不過，被問到台灣大學校園內幾乎都是柏油路面時，李鴻源感嘆，「台大很失敗」，「我對台大非常有意見」。

李鴻源說，台大有最好的專家，卻不去用新的概念，台大應該做示範；校園內不太會有重車，多半是腳踏車，道路鋪面應該改一改。

台灣大學主任秘書張培仁表示，台大校內的新建築物都已注意到[環保](#)和[節能](#)問題，盡量採用透水磚面，幫助雨水回收；但老舊的建築物和有大量車輛、行人[使用](#)的柏油道路要立即全面翻修較有困難，但未來整修時，會逐步慢慢改善。1020526



結語：綠色加灰色完美結合



灰色建設與綠色建設的合作關係

海綿城市，防洪散熱，讓土地呼吸

2015-11-02 02:56:19 聯合報

記者王柔婷、祁容玉、郭逸君、吳思萍、連珮宇、鄭朝陽

走進台北科技大學，處處可見讓地表「呼吸」的設計，灰色的水泥圍牆被生態河道取代，八種透水鋪面結合種花種草的綠屋頂、草帶、入滲溝和雨水回收桶，讓六點八公頃的校園在降雨時減少百分之卅七的地表逕流，成為海綿城市的縮影。

「如都市重劃、更新、社區再造時都能導入海綿城市的設計，永續生態城市就不是夢了。」北科大土木系教授林鎮洋說，海綿城市只須掌握「入滲」、「貯留」兩要點，讓水入滲地表貯留，雨天儲水、治洪，晴天水氣蒸發冷卻都市，可節能。他以東京都鶴見川流域為例，在中上游廣設滯洪池，下游每塊開發基地都能保水，翻轉逢雨必淹窘境。



海綿城市並非萬靈丹



上游保水 Upstream water conservation
山坡地水土保持 Slope land water and soil conservation



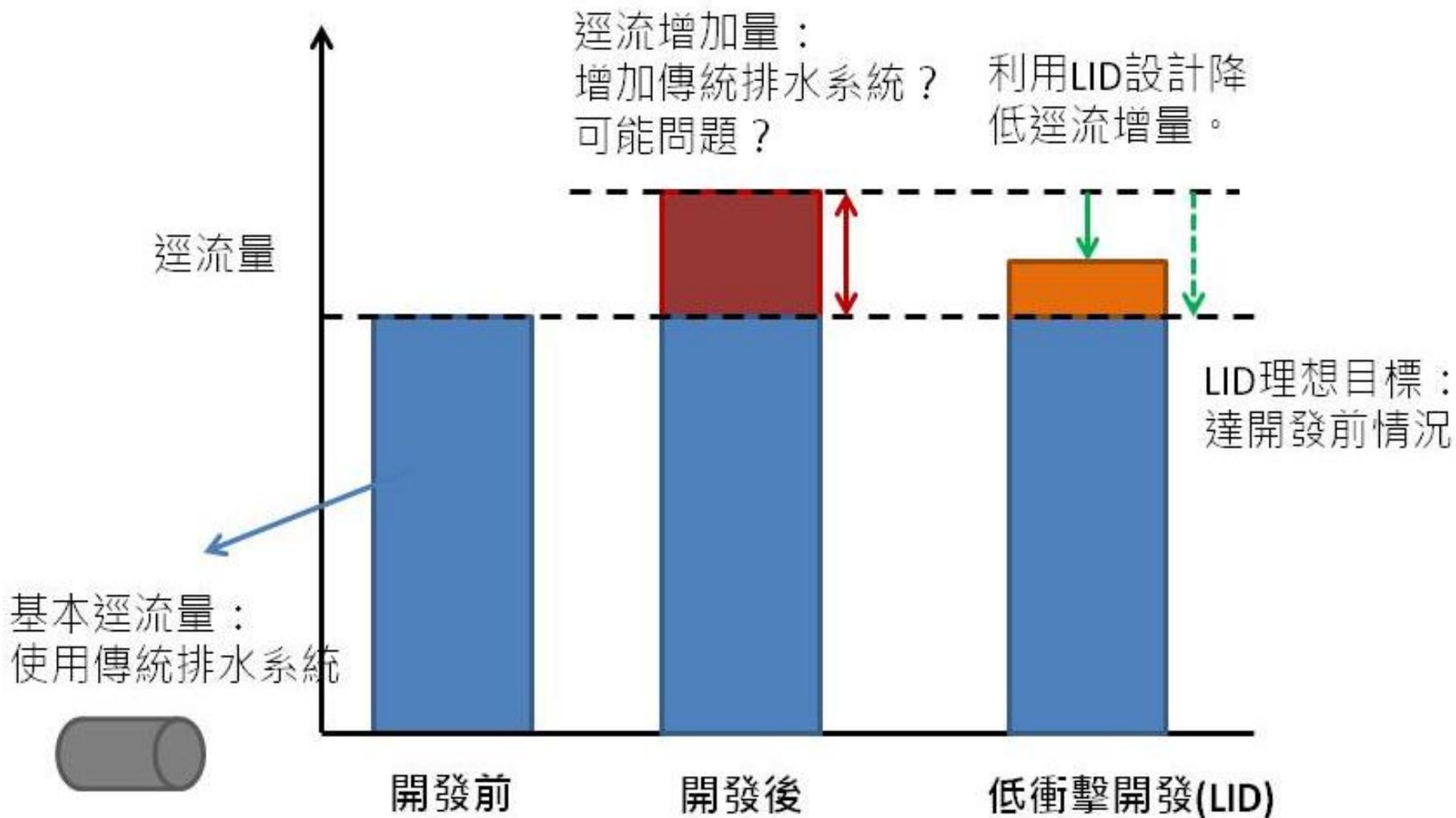
中游減洪 Midstream flood detention
金瑞治水園區 Jinrui flood management park



下游防洪 Downstream flood prevention
堤防 抽水站 dike and pumping stations



灰色建設與綠色建設的合作關係





灰色建設與綠色建設的合作關係



治水勝輕軌，前瞻檢討呼聲起

2017/06/05 中國時報

台北科技大學林鎮洋教授提出「灰色+綠色」的治水方法，灰色就是下水道、抽水站等基礎建設，綠色則是海綿城市的概念，透水鋪面、綠屋頂等，在水災時可吸收積水，減緩災情。林教授認為在前瞻計畫中，政府應重新檢視各縣市時雨量承受度，加強排水設施。至於綠色建設北科大校園內有許多吸水道路、綠屋頂，在暴雨中吸走10至15%的水量，他建議政府，讓「灰色和綠色完美結合」，以防治水患。



敬請指教

林鎮洋

臺北科技大學土木系教授兼水環境研究中心主任
臺灣大學環境工程研究所兼任教授

<https://werc.cc/jylin/chinese.htm>