

人行道透水性铺面之效果评估 ——以台北市北安路为例

王丹绮^{1a,2}, 王隆昌^{1b}

(1. 台北科技大学 a. 工程科技研究所; b. 土木与防灾研究所 中国台北市 10608;

2. 台北市政府, 中国台北市 11008)

摘要:针对透水性铺面效果之水文与热能两项主题作探讨,在台北市进行为期半年现的长期监测,以得知透水性铺面对于暴雨径流量抑制、地下水挹注之成效,以及了解透水性铺面对于地表面温度下降、温度下降持续时间之成效。尤其当雨场降雨量小于35 mm时,入渗效果多可达至80%以上;而在热能方面,透水性铺面亦可在气温19~23℃下,持续降温2日。

关键词:透水性铺面;地表径流;入渗;热岛效应

中图分类号:U 414 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2010)02-0071-07

Benefit Analysis of Permeable Pavement on Side Walks-Case Study of Beian, Taipei

WANG Dan-chi^{1a,2}, WANG Long-chang^{1b}

(1a. College of Engineering; 1b. Department of Civil Engineering, National Taipei University Technology,

Taipei 10608, Taiwan, P. R. China; 2. Taipei City Government, Taipei 11080, Taiwan, P. R. China)

Abstract: Aiming at the effect of permeable pavement, especially on hydrology and thermology, a long-term monitoring was carried on the site for half a year to know how the permeable pavement works in rainstorm run-off suppression under ground water taking, and how the temperature of the ground surface drops, as well as the duration of temperature decrease. It was found that when the amount of rainfall on the rain field was smaller than 35mm, the infiltration efficiency went up to 80% and above. As for thermology, the temperature of permeable pavement decreased continually for two days under the temperature of 19~23℃.

Key words: permeable pavement; surface runoff; infiltration; Heat island effect

随着都市化程度日益趋高,人口增长迅速对于住宅、道路等需求日增,导致都市建地增高,使得都市不透水面积大为增加,大量的人工不透水表面设计,相对地减少了自然植生的被覆面,使得雨水渗入地面的机会大减,在暴雨时地表径流增加,使排水系统及河川不堪负荷,导致发生水灾之机会大增,同时也使得依赖地面水分蒸发、冷却的可能性剧降,更促

使都市高温化和干燥化情形日益严重。为有效解决都市化衍生之问题,对增加都市透水面积作可行性研究,可有效改善此问题。

为达到减灾防灾、提高生活质量及环境永续之目的,透、保水性铺面在近半世纪来被世界各国列为重要研究课题之一,汇整美国、瑞典、德国、法国、英国与中国大陆研究透水性铺面之现况。

收稿日期:2009-06-02

作者简介:王丹绮(1950-),女,博士生,主要从事建筑设计、道路维护、营建管理等研究,(E-mail) wangdanqi@gmail.com。

美国于 1970 年代采用透水性沥青混凝土铺面,但却因湿气导致沥青混凝土剥落,于 1982 年即停止使用,直至发现采用石灰当防剥剂可降低剥落的问题后,才续使用。

1990 年佛罗里达水资源管理单位,为增加暴雨径流入渗量,减少未处理地表径流非点源污染直接排入水体等效果,推动暴雨径流复育计划(Stormwater Rehabilitation Project),使用无细骨材混凝土于 Bath Club Concourse 铺设广场,其厚度 20.32 cm,并具有 20% 孔隙率^[1]。

瑞典于 1980 年代使用透水性沥青混凝土铺面,当时瑞典政府认为此种铺面可能会造成地下水污染之风险,故于 1984 年成立试验室开始进行水污染相关研究。研究方法为在放置 5 cm 厚透水性沥青混凝土面层、3 cm 厚过滤层、50 cm 厚碎石层、土工织布及 50 cm 厚砾石掺杂粘土底层的 1 m 见方试验箱上,仿真 2 年频率与 30 年频率间之降雨量,以和现地取样量测结果做比较。经过数年试验,结果发现面层本身几乎不含污染物,而污染物大部分系形成泥砂沉积于土工织布上,致减少土工织布透水性。

瑞典国家公路管理局 SNRA(Swedish National Road Administration)则针对透水性沥青混凝土之耐久性进行研究,研究得知,透水性沥青混凝土耐久性差于密级配沥青混凝土,主要是因受到残瓦砾尘埃的堆积和大头钉胎环(studded tire)的损害。也因此,后来瑞典在透水性沥青混凝土之使用上,多半是用于较重视减少噪音与排除水份之路段,如歌德堡(Goteborg)之透水性沥青混凝土铺面^[2]。

德国德国使用透水性沥青混凝土实验于行人穿越道有 6 到 7 年,且成果令人满意,德国透水性沥青混凝土(德国术语 Larmmindemde 沥青混凝土),设计上主要分 8 mm 及 11 mm 两种粒料尺寸,而孔隙率含量为 15%~25%,沥青与木质纤维(cellulose fibers)含量分别为沥青混合物之 5%与 0.5%,矿物填充量为总粒料 5%^[3]。

法国法国公共工程研究所(LCPC, French Public Works Laboratory)于 1988 年,在法国西部之 Nantes 城,使用的透水性沥青混合是 PERMFLEX(法国承包单位 COLAS S. A. 的专有产品)。它使用改进的黏合剂 COLFLEX 253, SBS(苯乙烯—丁二烯—苯乙烯块异量分子聚合物, styrene—butadiene—styrene block copolymer)胶乳改进的沥青。混合的黏合剂含量是 5.2%; SBS 胶乳含 5% 重量的黏合剂。粒料最大尺寸是 10 mm,空气孔隙含量为 23%,由聚合物改进的沥青乳剂应用于行人穿越道下面^[4]。

英国英国 Pratt 等人研究发现在降雨期间,采用透水性铺面之地表径流体积可减为降雨体积之 30%~50%,且在透水性铺面降雨 4~6 mm 时所产生之径流量,约相当于不透水性铺面降雨 1 mm 时所产生之径流量。Pratt 研究团队亦估计此种铺面可在一般状况下,使用超过 15 年,不需维修换新,尚能保持透水性^[5]。

Sztruhar 等人研究,为在透水性铺面上,采用 41 mm/hr、53 mm/hr、62 mm/hr 三种降雨强度,持续 50 min 钟,进行全尺度试验与相关数值计算。根据试验结果,持续降雨 50 min,经由入渗作用,壤质砂土层可滞流 60%之雨水,砾石层可滞流 55%之雨水;再降雨 50 min 后,壤质砂土层与砾石层尚可滞流 36%及 29%之雨水^[6]。

中国大陆中国大陆则是研究透水混凝土的配比,水泥净浆或加入少量细骨材的砂浆薄层包裹在粗骨料颗粒的表面,作为骨料颗粒之间的黏结层,形成骨架。透水性混凝土受力时通过骨料之间的黏结层,由于骨料本身的强度较高,水泥凝结层很薄,水泥凝结体与粗骨料界面之间的黏结面积小,因此其破坏特性是骨料颗粒之间的连接点处破坏。因此在保证一定孔隙率的前提下,增加黏结点的数量和面积,提高黏结层的强度是提高透水性混凝土强度的关键^[7]。

综上所述美国、瑞典、德国、法国、英国及中国大陆研究有关透水性铺面之成分比例、耐久性、暴雨径流量、噪音等评估,惟缺有关透水性铺面在水文与热能效果之评估。

故针对台北市透水性铺面在环境方面之水文与热能两项效果上进行了解,并予以记录、搜集、汇整与评估分析,以供后续研究推动之参考^[8-11]。

1 台北市北安路人行道透水性铺面案例探讨

1.1 铺设地点

试验地点位于台北市北安路南侧人行道,路面因老旧而毁损严重,急待改善。由于南侧为一河堤,其间并无住户及商家,邻近建物,如圆山大饭店、中央广播电台、忠烈祠、宪兵队以及北安国中均位于北安路之北侧,故行人较少于北安路南侧出入,亦少有机车停放,于施工、监测计划期间应不会造成民众之不便,亦不易因人为之因素影响计划进行。

1.2 铺面规划

于现地评估透水性铺面所具有之效果,需从两方面着手。第一、在铺面内及四周架设监测仪器(雨量计、雨量计、地温计、记录器),利用监测系统长期

记录入渗收支量、雨量、温度之变化;第二、进行现场保水量、葛洛夫人渗计(Guelph Permeameter)试验,以求得试验井内所能容纳之保水量及铺面整体之入渗率。并可将两者所得之数据相互比较,推求入渗量、地表径流量及温度与含水量之关系。

另从现地 0.5~1.0 公尺深处取回之土样进行土壤相关物理试验^[12],土壤统一分类 SP,AASHTO(美国高速公路与运输工会)分类 A-3,现地土壤渗透系数约为 6.83×10^{-4} cm/s。

1.3 铺面结构形式

本试验区为有效评估各类型透水性铺面效果,设计了 4 种透水性铺面形式以比较成效上之差异,包括 3 种不同透水性之预铸透水砖铺面,以及 1 种 JW 结构性空调导水管透水铺面,如图 1 所示。



图1 JW 结构性空调导水管透水铺面

其中 3 种不同透水性之预铸透水砖铺面,系使用回收陶瓷再生材、玻璃再生材、废料回收矿石、下水道污泥、水库淤泥与烧结剂、黏着剂、色料等再生资源烧结而成^[13-17]。

JW 结构性空调导水管透水铺面施工法是一种让铺设过的土地能保持渗水及蒸发功能的地面铺设工法,让地球保有原来的自然特性,在建设与环境之间取得平衡。导水管架构系塑料材质不怕雨水侵袭,架构相互连结形成如同点焊钢筋般的韧性结构,加上防裂纤维丝或钢纤维,混凝土抗弯及抗压强度均明显增加;在混凝土包覆下使塑料做成的导水管架构不会被太阳直晒而老化,整体结构如同楼板的坚固耐用,如图 2 所示。

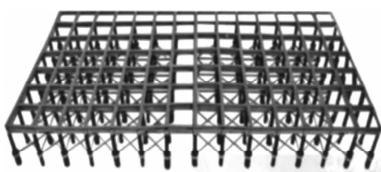


图2 JW 结构性空调导水管面结构

JW 结构性空调导水管透水铺面主要由埋设空调导水管架构、导水混凝土结构层以及贮水渗透层组合而成,如图 3 所示。其基本结构如下:

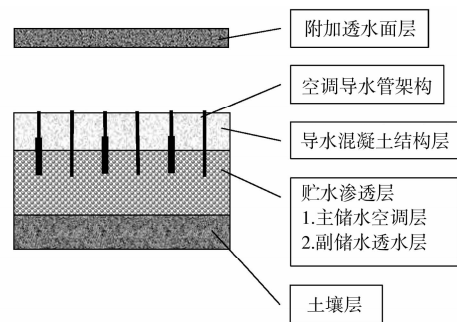


图3 JW 结构性空调导水管透水铺面基本结构

1)主结构导水混凝土结构层使用一般不透水混凝土一体成形,不使用多孔性铺面材料,抗压强度等同于刚性道路。

2)以回收塑料所制造的空调导水管架构透水透气,同时为加劲材,可增加铺面的抗弯及抗拉强度。

3)由于铺面强度高贮水渗透层可铺设较大粒径的砾石,并且无需铺设垫砂层,较大的孔隙率可增加基地保水量。

JW 结构性空调导水管透水铺面保水性能佳,能提供土壤充分的水分涵养,贮水渗透层较大的孔隙率,可提供冷空气自由的流动空间,再透过下宽上窄、如同烟囱的空调导水管,主动导出地下冷空气,形成空气循环系统,可有效降低路面温度及环境温度,如图 4 所示。

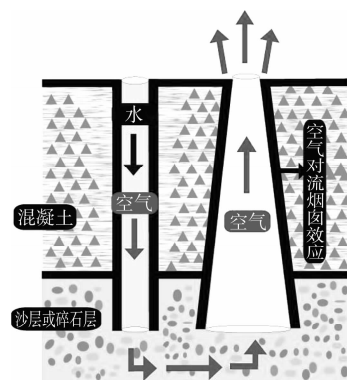


图4 主动式空调循环示意图

3 种不同透水性之预铸透水砖铺面,面层与底层共厚 20.5 cm,JW 结构性空调导水管透水铺面,面层与底层共厚 27 cm。而其抗压强度、透水系数及材质组成,列于表 1、表 2。

表 1 试验区透水性铺面抗压强度与透水系数

类型	抗压强度/(kg · cm ⁻²)	透水系数/(cm · s ⁻¹)
A 型预铸透水砖	≥ 240	1.0 × 10 ⁻¹
B 型预铸透水砖	≥ 360	7.0 × 10 ⁻²
C 型预铸透水砖	≥ 430	2.2 × 10 ⁻⁴
D 型透水铺面	≥ 360	可透水

表 2 4 种铺面材料之材料规格

类型	材料规格
A 型预铸透水砖	尺寸:30 cm×30 cm×4 cm 无机金属氧化物或矿物组成,如矿长石、黏土等,经高压成型,高压液相烧结而成,有耐抗酸碱之特性
B 型预铸透水砖	尺寸:30 cm×30 cm×4 cm 陶瓷再生材、玻璃再生材、下水道污泥、水库淤泥与烧结剂、黏着剂、色料等再生资源烧结而成
C 型预铸透水砖	尺寸:20 cm×20 cm×2.3 cm、10 cm×10 cm×2.3 cm 废料回收制成稠密陶瓷造粒,在经高温窑烧制成
D 型透水铺面	混凝土、防裂纤维丝组成之,表面为一体成型

1.4 現地仪器布设

监测仪器布设目的主要为量测自然降雨量、铺面底下入渗渗出量以及铺面温度。监测仪器计有倾斗式雨量计(水量计)、电子式地温计以及数据自动纪录器,分别装设于观测井内及试验区之地点。观测井井盖及内部之水量计与数据自动纪录器设置安全措施,以防范被窃或破坏,且为尽量减少对行人之影响,试验地点以远离道路为基本原则。

由于共铺设 4 种不同型式之透水性铺面,所以将试验区以及观测井设置于两种不同形式透水性铺面之交接处,共两处(A 型铺面与 B 型铺面交界处以及 C 型铺面与 D 型铺面交接处),虽然共享一个观测井,但每一种铺面型式仍需设置一套监测仪器(水量计、地温计、记录器)。

放置雨量计于试验区之适当位置,是用以量测试验区当地自然降雨量。而布设水量计于观测井内,可求知入渗渗出量,做为推估透水性铺面内含水量之用。

设置电子式地温计于铺面中,可了解透水性铺面应用于地温之影响情形,故于每一试铺区共装置 3 只,以垂直位置来看:1 只装置于面层表面(面层上),1 只装置于面层与底层之间(面层下),另一则装置于底层中央(底层中),以平面位置来看:3 只位置均是放于试铺区中央位置。

另外,因各监测仪器所需分析之效果必非一致,探讨之议题也非相同,故为避免各监测仪器所得数据混杂,而分为水文(降雨量、入渗渗出量、保水量)与热能(地温)两方面效果进行讨论、分析。

2 实验内容与分析

2.1 水文解析

水文循环过程中之入参与地表径流为降雨后两大主要形态,且为判定铺面透水性优劣之指标。当入渗量小、地表径流趋近降雨时,铺面几近无透水性,

无法抑制洪水的产生;反之,当入渗量大,地表径流趋于零时,意指铺面透水性佳,故以下针对入参与径流两者做一详尽说明。

2.1.1 入渗评估模式 入渗公式^[18]为提供简单之入渗评估模式,以满足估计土壤入渗量之需要。累积入渗量 F 为已知时距内入渗水量之总深度,应等于入渗率 f 在该时距内之积分,即为:

$$F(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad (1)$$

式中 τ 为代表时间之虚拟变量,因此入渗率即为累积入渗量之微分:

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt} \quad (2)$$

大多数的入渗公式都是在描述土壤之入渗能力,一般常用的有荷顿公式(Horton)观测土壤水份入渗速率,而以指数递减型式表示如下:

$$f(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt} \quad (3)$$

式中 f_c 为平衡入渗率; f_0 为起始入渗率; k 为入渗常数,因次为 $1/T$

初期入渗率通常较高,而逐渐减少近趋于固定值,此固定速率 f_c 等于土壤饱和时之水力传导度 K_{sat} 。

2.1.2 径流量评估模式 有关径流量评估模式,主要是采用合理化公式,此方法亦为台湾水土保持技术规范第 17 条^[19]所实行的方式。

$$Q_p = \frac{1}{360}CIA \quad (4)$$

Q_p 为尖峰流量, m^3/s ; C 为径流系数(无单位),其定义为形成径流量 R 与落于一集水区之降水量 I 之比值,即 $C = R/I$,其大小依集水区水文、地文之特性而定; A 为集水区面积, km^2 ; I 为降雨强度, mm/hr ,为降雨延时等于集流时间之平均降雨强度。

上式之所以称为合理公式,乃基于公式左右两端之因次相等,即 C 为一因次常数。应用合理公式乃假定降落于一集区内某已知降雨强度 I 所能产生之最大流量 Q_p 必须在降雨延时等于或大于集流时间 t_c ,其中集流时间为一滴水点由集水区最远处流至控制测点所需之时间。

径流系数 C 之决定为一颇困难之工作,需学理及经验相互配合,径流系数 C 之大小与地表特性、地表坡度、地表蓄水量、土壤饱和程度及降雨强度、延时有关系。

2.2 热能解析

地表温度之量测是利用遥感探测接收红外光电磁波之原理,其中电磁波之长短与各欲测量物之含水量有密切关系,故在此可藉由地表温度高低概

略判断透水性铺面内含水分多寡以至降温能力,故此以下针对地表温度推估模式做一说明。

地表温度是入射与反射能量平衡的一种状态变量,可用来估算地表能量通量。入射辐射扣除反射辐射量之后所得的净辐射量与水汽循环有相当关系,例如在潮湿的地表,大部分可用能量消耗在水分蒸发散上,只有少部份是用来加热地表,反之在干燥的地表上,大部分可用能量则是用来加温地表,会造成相对较高之地表温度,所以地表温度高低可用来帮助判断地表的蒸发散情况。

地表放射之辐射量可以利用如 Landsat-5/TM, Landsat-7/ETM+ 以及 SPOT 4/HRVIR 等卫星传感器量测之,并经由已知理论与公式转换为地表温度(T_0),以下将使用 Landsat-7 卫星,推估地表温度^[20-22]。

1) 利用 Landsat-7/ETM+ 第 6 波段(6H, 6L) 可获得大气层顶长波辐射强度 L_{6TOA} ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$), 其中 6H 波段或 6L 波段均各有一组 L_{max} 、 L_{min} , L_{max} 是指像幅中所能侦测到的最大波谱辐射, 反之 L_{min} , 是指像幅中所能侦测到的最小波谱辐射。

$$Q_{6TOA} = \frac{L_{max} - L_{min}}{255} + L_{min} - 0.31 \quad (5)$$

式中: $6H(L_{max}, L_{min}) = (16.25, 3.2)$; $6L(L_{max}, L_{min}) = (17.04, 0.0)$ 。

2) 此波谱辐射强度 L_{6TOA} 可利用普朗克定律 (Planck's law) 转换成大气层顶辐射温度 (T_{sat}), 如下 6 式所示。

$$T_{sat} [K] = \frac{2\pi\epsilon\lambda^5 C^2 h}{\pi\lambda^5 L_{6TOA} (e^{(hc/\lambda T_{sat})} - 1)} \quad (6)$$

式中 T_{sat} : 大气层顶辐射温度 ($^{\circ}C$); K : 波兹曼常数 (Boltzmann's constant), $1.380 \times 10^{-23} J \cdot K^{-1}$; τ : 大气穿透率; ϵ : 波谱吸收率, 因不同物质而不同; λ : 波长 (m); C : 光速, $2.998 \times 10^8 m \cdot s^{-1}$; h : 普朗克常数 (Planck, s constant), $6.626 \times 10^{-34} J \cdot s$; L_{6TOA} : 大气层顶长波辐射强度 ($W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$); 若将 $K_2 = 2\pi hc$, $C_2 = hc/K$ 代入 (6) 式中, 可改写为如下 (7) 式

$$T_{sat} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{6TOA}} + 1\right)} \quad (7)$$

并将 $K_1 = 666.09 W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$, $K_2 = 1282.71 (J \cdot s)$ 值代入 7 式中, 可将此辐射强度转换成大气层顶辐射温度, 又称卫星辐射温度 (satellite radiant temperature)。

3) 根据史蒂芬一波兹曼定律 (Stefan Boltzmann law) 转换成大气层顶长波辐射量 L_{TOA}^{\uparrow} (W/m^2), 转换方法如 8 式。

$$L_{TOA}^{\uparrow} = \sigma T_{4sat} \quad (8)$$

式中 σ : $5.67 \times 10^{-8} [W/(m^2 \cdot K^4)]$

4) 使用能量平衡原理导出式 (9)、(10) 两式, 并经整理后得 (11) 式。

$$L_{TOA}^{\uparrow} = \tau_{lw} L^{\uparrow} + L_{atm}^{\uparrow} \quad (9)$$

$$L^{\uparrow} = L_0^{\uparrow} + r_{0, lw} L_{\downarrow} \quad (10)$$

$$L_0^{\uparrow} = \frac{L_{TOA}^{\uparrow} - L_{atm}^{\uparrow} - \tau_{lw}(1 - \epsilon_0)L_{\downarrow}}{\tau_{lw}} \quad (11)$$

式中 τ_{lw} : 为热红外光段之大气穿透率; L^{\uparrow} : 地表反射长波辐射量 (W/m^2); L_{\downarrow} : 地表向下长波辐射量 (W/m^2); L_{atm}^{\uparrow} : 大气路径热辐射量 (W/m^2); L_0^{\uparrow} : 地表反射辐射量; $r_{0, lw}$: 热红外光波段之地表反射率, 根据克希霍夫定律, $r_{0, lw} = (1 - \epsilon)$

其中路径辐射 L_{atm}^{\uparrow} 和穿透率 τ_{lw} 可由大气校正模式如 Landsat-7 程序套估算出, 假若缺乏试区的探空资料, 可将大气层顶长波辐射量作线性回归, 如下 (12) 式所示, 以求得地表反射辐射量。

$$L_0^{\uparrow} = a + bL_{TOA}^{\uparrow} \quad (12)$$

5) 将所求得之地表辐射量 L_0^{\uparrow} 代入 (13) 式, 用以知地表有效温度 T_{OR} , 并介以推算地表温度 T_0 (14) 式。

$$T_{OR} = \sqrt[4]{\frac{L_0^{\uparrow}}{\sigma}} \quad (13)$$

$$T_0 = \frac{T_{OR}^R}{\epsilon^{\frac{1}{4}}} - 273.15 \quad (14)$$

3 实验结果

3.1 水文效果

水文效果之监测结果包含降雨量与入渗渗出量两者, 但因皆是长期监测 (测时间长达半年), 所得数值数据相当庞大, 无法一一展示, 故于此将选六场雨场代表之。且为推求地表径流量及试验井内所能容纳之保水量, 需于现场进行保水量试验, 试验结果如表 3 及表 4。

由表 4 可知, 透水性铺面对于暴雨径流量抑制、地下水挹注具有相当成效, 尤其当降雨量小于 35 mm 时, 入渗效果大都可达至 80% 以上。

表 3 保水量试验

测站	加水量/ (mm · 30 min ⁻¹)	入渗效果/ %	渗出量/ mm	保水量/ mm
A 测站	26.67	100	1.57	25.10
B 测站	26.67	100	1.57	25.10
C 测站	透水系数低无法试验	—	0	无法估计
D 测站	26.67	100	2.48	24.19

表 4 入渗效果与地表径流率估算表

编号	降雨量/ mm	渗出量/ mm	入渗效果/ %	地表径流率/ %
1	401.50	A 测站:0.81	A 测站:6.5	A 测站:93.5
		B 测站:10.5	B 测站:8.9	B 测站:91.1
		C 测站:0	C 测站:—	C 测站:—
		D 测站:—	D 测站:—	D 测站:—
2	34.00	A 测站:0.27	A 测站:74.6	A 测站:25.4
		B 测站:3.11	B 测站:82.9	B 测站:17.1
		C 测站:0	C 测站:—	C 测站:—
		D 测站:3.07	D 测站:80.2	D 测站:19.8
3	63.50	A 测站:0.04	A 测站:39.6	A 测站:60.4
		B 测站:3.11	B 测站:44.4	B 测站:55.6
		C 测站:0	C 测站:—	C 测站:—
		D 测站:—	D 测站:—	D 测站:—
4	24.50	A 测站:0	A 测站:100	A 测站:0
		B 测站:0	B 测站:100	B 测站:0
		C 测站:0	C 测站:—	C 测站:—
		D 测站:—	D 测站:—	D 测站:—
5	34.50	A 测站:0	A 测站:72.8	A 测站:27.2
		B 测站:3.91	B 测站:84.1	B 测站:15.9
		C 测站:0	C 测站:—	C 测站:—
		D 测站:—	D 测站:—	D 测站:—
6	16.5	A 测站:0	A 测站:100	A 测站:0
		B 测站:0	B 测站:100	B 测站:0
		C 测站:0	C 测站:—	C 测站:—
		D 测站:0.51	D 测站:100	D 测站:0

3.2 热能效果

热能效果如同水文效果皆是长期监测,故所得数值资料亦相当庞大,包含 4 种试验区内各 3 支地温计(面层上、面层下、底层中)数值资料,及当地户外、沥青混凝土面层上各 1 支地温计数值资料,相关讨论、分析亦分述说明于下:

1)在未降雨前(36hr 前),各型铺面之温度皆远高于室外气温,并于正午 21℃左右时相差达约 4℃,其中又以沥青混凝土铺面为最,A 型、C 型次之。

2)比较降雨前、后,可发现各型铺面之温度于降雨后皆有下降,且除沥青混凝土铺面、D 型铺面外,皆可在气温 19~23℃下,持续降温 2 日。

3)比较各型透水铺面之线型,得知 A 型铺面吸热、放热能力皆快;B 型铺面线型与 A 型铺面极为相似,但其吸热、放热能力皆较 A 型铺面稍差;C 型铺面吸热能力快,但放热能力差;D 型铺面地温计因是埋设于孔洞中,故量测所得之温度易受空气流通所影响,线型较为平缓。

4)地温计埋设位置愈下层,所得之温度振幅变化愈明显,吸热、放热能力愈大。但此现象除与埋设位置高低有关外,另可能受各材质吸热率及蓄热所影响。

4 结论

透水性铺面发展在台湾虽仅是起步阶段,但其对都市防灾与永续环保却可由本次研究中获得以下几点结论。

1)研究于水文方面结果,透水性铺面对于暴雨径流量抑制、地下水挹注具有相当成效,其地表迳流率大于非透水性铺面之地表迳流率为 33%~46%^[23],尤其当降雨量小于 35 mm 时,入渗效果大都可达至 80%以上。

2)非透水性铺面由于城市下垫层保水性差,水分蒸发散耗的热量少(地面每蒸发 1g 水,下垫层失去 2.5 kJ 的潜热),所以城市潜热大,温度也高^[24]。于天晴未降雨时,透水性铺面表面温度会随着本身材质吸、放热的不同而变化,但与沥青混凝土、水泥等铺面表面温度未有太大之差别,不具降低地表面温度之功效。

3)于降雨过后透水性铺面始具有降低地表面温度之效果,而其降低能力及持续时间主要与日照温度及透水性铺面内含水量有关,在饱和状况下,透水性铺面可在气温 19~23℃下,持续降温 2 日。

4)地温计埋设位置愈下层,所得之温度振幅变化愈明显,吸热、放热能力愈大。但此现象除与埋设位置高低有关外,另可能受各材质吸热率及蓄热所影响。

参考文献:

- [1] 庄世隆. 透水性铺面透水性之研究[D]. 台北市:台北科技大学土木与防灾技术研究所,2002.
- [2] HOGLAND W, BERNDTSSOR R, LARSON M. The pollutant build-up in pervious road construction [C]//Proc. 5th Intern. Conf. Urban Storm Drainage, Osaka, Japan, 1990, 2:845-852.
- [3] 郑光炎. 都市环境永续之铺面[C]//2005 水、环境与社区社区研讨会, 2005:24-38.
- [4] RAIMBAULT G. Reservoir structures: an extension of the possibilities of porous pavement [C]//Proc. 5th Intern. Conf. Urban Storm Drainage, Osaka, Japan, 1990:833-838.
- [5] PRATT C J, MANTLE J D G, SCHOFIELD P A. Porous pavement for flow and pollutant discharge control [C]//Proc. 5th Intern. Conf. Urban Storm Drainage, Osaka, Japan, 1990:839-844.
- [6] SZTRUHAR D, WHEATER H S. Experimental and numerical study of stormwater infiltration through pervious parking lots [C]//6th Intern. Conf. on Storm Water Drainage, 1993:1098-1103.

- [7] 杨静,蒋国梁. 透水性混凝土路面材料强度的研究[D]. 北京:清华大学土木工程学系,2000.
- [8] 马英九. 漫步台北人行道[R]. 台北市:台北市政府, 2006.
- [9] JAYASURIYA L N N, KADURUPOKUNE N, OTHMAN M, et al. Contributing to the sustainable use of stormwater: The role of pervious pavements [J]. *Water Science and Technology*, 2007,56(12):69-75.
- [10] HASELBACH L M, FREEMAN R M. Vertical porosity distributions in pervious concrete pavement [J]. *ACI Materials Journal*, 2006,103(6):452-458.
- [11] HASELBACH L M, FREEMAN R M. Effectively estimating in situ porosity of pervious concrete from cores[J]. *Journal of ASTM International*, 2007, 4 (4): 2625-2657.
- [12] MICHAEL E DIETZ. Low impact development practices: A review of current research and recommendations for future directions [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2007, 15 : 17.
- [13] POON C S, CHAN D. Paving blocks made with recycled concrete aggregate and crushed clay brick [J]. *Construction and Building Materials*, 2006,20(8):569-577.
- [14] PARROTT JEFF. The ins and outs of stormwater management [J]. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2007, 186 (1/2/3/4) : 351-363.
- [15] HUANG Y, YU X. No-fines concrete as ecologic stream bank erosion control [J]. *Geotechnical Special Publication*, 2007, 167: 6.
- [16] COUPE S, NEWMAN A. Paving & hardstandings: Pollution retention and biodegradation within pervious pavements [J]. *Concrete Engineering International*, 2007, 11(1): 44-45.
- [17] VALDES G A, RAPIMAN J G. Physical and mechanical properties of concrete bricks produced with recycled aggregates [J]. *Informacion Tecnologica* , 2007,18(3):81-88.
- [18] 李光敦. 水文学[M]. 台北市:五南书局,2005.
- [19] 台湾行政院农业委员会农授水保字第 0921842339 号令. 水土保持技术规范[S]. 南投市:台湾行政院农业委员会水土保持局, 2003-08-15.
- [20] 陈慧敏. 绿覆率与地表温度关系之研究-以龙潭地区为例[D]. 新竹市:中华大学土木工程学系, 2004.
- [21] SUGA Y, OGAWA H, OHNO K, et al. Detection of surface temperature from Landsat-7/ETM+ [J]. *Advances in Space Research*, 2003,32(11):2235-2240.
- [22] DASH P, GOTTSCHKE F M, OLESEN F S, et al. Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice-current trends[J]. *International Journal of Remote Sensing*, 2002,23(13):2563-2594.
- [23] 林子平. 都市水循环之研究地表不透水率之调查及迳流量实测解析[D]. 台南市:成功大学建筑学系,2005.
- [24] 热岛效应. 百度百科[EB/OL]. <http://baike.baidu.com/view/41230.htm>. [2009-10-29].

(编辑 王秀玲)