

文章编号:1001-7372(2017)05-0001-09

# 降雨入渗条件下新型路面排水系统性能研究

刘毓胤<sup>1</sup>, 缪宏杰<sup>2</sup>

(1. 福州大学 土木工程学院, 福建 福州 350108; 2. 福建农林大学 金山学院, 福建 福州 350002)

**摘要:**为实现路面结构快速有效排水,基于非饱和渗流理论,提出采用复合土工合成排水材料的新型路面排水系统,该系统由三部分组成,从上而下依次为水力传导层、毛细防渗层和隔离层。开展了新型路面排水系统模型试验和数值模拟分析以研究降雨入渗条件下新型路面排水系统性能;模型试验通过在路面结构的基层和路基分别设置张力计,实时监测基层和路基基质吸力变化;采用控制变量方法,建立考虑非饱和渗流的数值分析模型,分析新型路面排水系统设置位置、厚度、坡度对排水性能的影响。研究结果表明:新型路面排水系统可将入渗水快速有效排除,基层材料在试验过程始终处于非饱和状态,并在降雨停止后第10 min 基层的基质吸力开始回升;新型路面排水系统能够防止水下渗至路基,降雨过程中路基土的吸力始终保持在初始吸力值;采用新型路面排水系统时,基层体积含水率在降雨过程中不断上升但未达到饱和体积含水率,在降雨停止后基层体积含水率呈现小幅下降,路基体积含水率则保持不变;在面层和基层之间、基层和路基之间均设置新型路面排水系统更有利于控制基层吸力和体积含水率;增加新型路面排水系统厚度和坡度可在一定程度上减小基层材料的含水量,提高基层承载比;研究成果可为新型路面排水系统工程应用提供理论依据。

**关键词:**道路工程;排水性能;模型试验;新型路面排水系统;非饱和渗流

**中图分类号:**U416.2 **文献标志码:**A

## Research on Performance of New Pavement Drainage System Under Rainfall Infiltration

LIU Yu-chuan<sup>1</sup>, MIAO Hong-jie<sup>2</sup>

(1. School of Civil Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350108, Fujian, China;

2. School of Jinshan, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, Fujian, China)

**Abstract:** In order to ensure the fast and effective drainage of pavement structure, a new drainage system of pavement structure made up of geocomposite drainage materials was proposed based on unsaturated seepage theory, including the hydraulic transport layer, capillary barrier layer and isolation layer from top to bottom. The model test and numerical simulation analysis of new pavement drainage system were carried out to investigate the drainage performance of new pavement drainage system under the condition of rainfall infiltration. In the model test, tensiometers in the base and subgrade monitored the suction change. An unsaturated seepage numerical analysis model was established to analyse the effects of thickness, slope and position of new drainage system on the drainage performance of pavement structure by the control variable method. The results show that water seeping through the pavement is drained away quickly and

收稿日期:2016-05-25

基金项目:福建省交通运输厅交通运输科技发展计划项目(201423)

作者简介:刘毓胤(1971-),男,福建龙岩人,教授,工学博士,E-mail:liuyuchuan@fzu.edu.cn.

effectively by new drainage system. Base material has always been unsaturated in the whole test process and base suction starts to rise ten minutes after the rain stops. The new drainage system can prevent the water infiltration to subgrade with subgrade suction keeping at the initial value. In terms of the new drainage system, the volumetric water content of the base increases constantly in the rainfall without reaching the saturation volume moisture content. After the rain stops, the volumetric water content of the subgrade decreases slightly while the volumetric water content of subgrade remains the same. The construction of new pavement drainage systems between surface course and base, base and subgrade respectively has advantage of controlling the suction and volumetric water content of base. The water content of the base material decreases and the bearing capacity of the base increases to a certain extent with the increase of the thickness and slope of the new drainage system. The results provide the theoretical basis for application of the new pavement drainage system.

**Key words:** road engineering; drainage performance; model test; new pavement drainage system; unsaturated seepage

## 0 引言

随着中国经济社会持续高速发展,公路建设进入蓬勃发展时期。公路建设发展迅猛的同时,路面结构水损和路基水毁的案例日益增多。雨水入渗路面结构内部,将使基层材料饱和,降低基层承载性能,在交通荷载耦合作用下可能危及路面结构的稳定性和道路的安全使用,如何实现路面结构快速有效排水亟待深入研究。

传统路面结构排水采用在基层下方设置级配碎石层作为排水通道,设计基于“Time-to-drain”的排水模式,当基层材料接近饱和时才开始排水<sup>[1]</sup>。由于传统排水设计无法实现非饱和状态下排水,使得路面结构基层常处于饱和状态,影响基层承载性能。Winkelman<sup>[2]</sup>指出基于饱和渗流的传统排水设计并不能完全有效降低水对路面结构的不利影响,也无法保证提高路面结构的排水性能和寿命,事实上还有可能减少路面性能和寿命。

复合土工合成材料施工简单,排水能力强,因此不少学者将复合土工合成材料应用于土工构筑物排水中<sup>[3-4]</sup>。Stormont等<sup>[5]</sup>开展一系列不同类型路基土的室内模型试验,指出当复合土工材料置于路基和基层之间时,水分在复合土工材料界面处积滞,路面结构基层发生水平排水。为进一步研究复合土工合成材料对于路面结构承载性能的影响,Bahador等<sup>[6]</sup>采用 Seep/W 和 Flac 软件进行渗流场和应力场耦合分析,研究复合土工合成材料对路面结构排水性能和力学性能的影响,数值模拟结果表明,使用复合土工材料路基孔压增加 8 kPa,基层孔压降低

3.6 kPa;对于沥青道路,复合土工合成材料可减少总塑性变形 55%。

近年来,国内外许多学者研究了复合土工合成材料在铁路<sup>[7]</sup>、路堤<sup>[8]</sup>等上的应用,然而对复合土工合成材料在路面结构排水中的应用研究较少。本文应用非饱和渗流理论,首先采用室内模型试验研究新型路面排水系统降雨入渗条件下基层和路基的吸力变化;其次建立考虑非饱和渗流的数值分析模型。通过与模型试验实测结果对比,分析模型构建和参数选取的合理性,并在此基础上深入研究新型路面排水系统的影响因素,以期新型路面排水系统设计提供依据。

## 1 新型路面排水系统

基于非饱和渗流理论,本文提出采用复合土工合成排水材料作为排水通道的新型路面排水系统。如图 1 所示,新型路面排水系统位于路面结构的基层和路基之间,代替普通路面结构中的底基层。该系统由三部分组成,从上而下依次为水力传导层、毛细防渗层和隔离层(图 2),其作用是在非饱和状态下将入渗路面结构基层的水快速有效排除,减轻水对路面结构的损伤,提高基层承载性能。

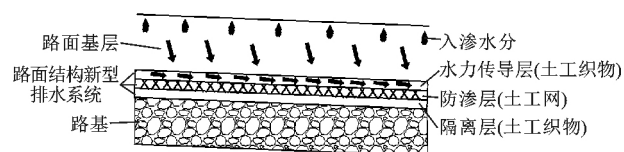


图 1 新型路面排水系统断面

Fig.1 Profile of New Pavement Drainage System

水力传导层采用非编织土工织物(Non-woven

Geotextile),非编织土工织物能够在基质吸力处于中低值时保持较高的水力传导系数<sup>[9]</sup>。由于土工织物的水力传导系数显著大于传统岩土材料的水力传导系数,故土工织物可有效排出路面结构内部大量的水分。水力传导层的主要作用是在路面结构基层处于非饱和状态下进行侧向排水。水力传导层还具备一定隔离作用,防止周围土体进入土工网的孔隙中。

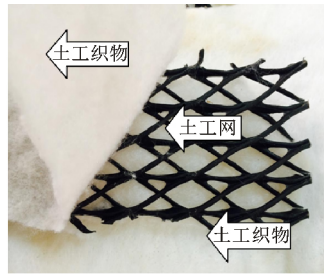


图 2 新型路面排水系统实物  
Fig.2 Material of New Pavement Drainage System

毛细防渗层由具备大而规则孔隙的土工网组成,其进水值水头只有几毫米,故可与水力传导层形成毛细阻滞效应,阻隔上层自由水的下渗。土工网主要用于防渗而不是侧向排水,但是当存在正孔隙水压力时,土工网可作为一种安全措施,能够在正孔隙水压力下排水。

隔离层采用非编织土工织物,有效隔离下层土体与土工网的孔隙,主要作用是防止淤堵现象的发生,减少对排水系统的破坏。当路基底部存在较低地下水位时,水分子易发生向上的非饱和渗流作用,此时隔离层可侧向排出向上渗流的水,有效阻隔水的向上渗流,底部的隔离层相当于水力传导层。

与传统排水方式相比,新型路面排水系统采用可机械化大批量生产的土工织物和土工网,而且材料来源广,无需开采破坏自然环境。传统排水材料自重大,往往需要大型设备,施工工期长。而新型路面排水系统使用的材料轻便,施工方便,使用范围广,不仅能够大幅度缩短工期,而且易保证施工质量,减少后期的返修率。

## 2 室内模型试验

### 2.1 试验方案

采用自制的路面结构模型,开展新型路面排水系统与传统排水方式的对比模型试验,如图 3 所示。试验路面结构形式、尺寸厚度以及所用材料均参考福建省常用路面结构形式(图 4)。试验 A 使用新型路面排水系统代替传统碎石底基层,从上至下分别由基层(3%水泥稳定碎石)、新型路面排水系统、路基(砂质黏土)组成。试验 B 则为底基层采用级配碎石的传统排水方式,从上至下分别由基层(3%水泥稳定碎石)、底基层(级配碎石)、路基(砂质黏土)

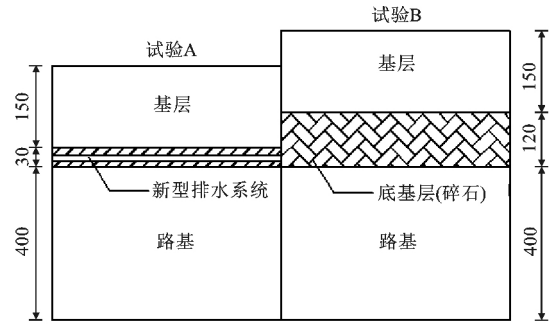


图 3 对比试验设计图(单位:mm)

Fig.3 Contrast Test Design (Unit: mm)

组成。试验过程中,使用自制降雨系统对路面结构持续降雨 90 min,降雨强度  $25 \text{ mm} \cdot \text{h}^{-1}$ 。通过预先安装于路面结构内部的张力计,监测采用新型路面排水方式与传统排水方式情况下各结构层的吸力变化。



图 4 试验模型  
Fig.4 Test Model

### 2.2 测点布置

吸力作为非饱和土干湿过程的应力状态变量,其变化会影响到土的干湿状态,引发一系列岩土工程问题<sup>[10]</sup>。张力计常用于监测吸力变化,广泛应用于公路、边坡以及基坑等的防灾治理中,本次试验采用张力计测量基质吸力。试验 A 中张力计布置于基层和路基中,其中基层的张力计布置在新型路面排水系统的上方 40,110 mm 处,路基的张力计布置在新型路面排水系统下方 40,110 mm 处;试验 B 的 4 个张力计布置于基层和底基层界面处上方 50 mm 和下方 50 mm 的位置,另外的张力计布置于距离路基顶部的 40 mm 和 110 mm 处,监测各结构层的基质吸力,如图 5 所示。

## 3 数值模拟

### 3.1 模型建立

有限元分析采用 Geostudio (2007 版本)的 Seep/W 模块<sup>[11-12]</sup>。有限元模型的路面结构形式、尺寸以及使用材料均与模型试验一致。有限元模型中,路面宽度为模型试验中模型箱宽度 1.8 m。传统排水方式模型采用全宽式传统排水方式构造,从上至下分别由基层、底基层、路基组成。基层为 0.15 m 厚的 3%水泥稳定碎石;底基层采用 0.12 m 的级配的碎石;路基则为厚 0.40 m 的砂质黏土。

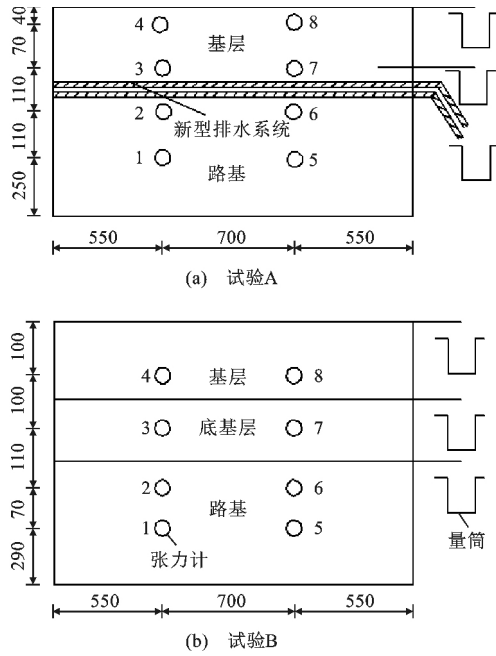


图5 传感器布置(单位:mm)  
Fig.5 Sensor Layout (Unit: mm)

新型路面排水系统模型从上至下分别由基层、新型排水系统、路基组成。基层采用 0.15 m 厚的 3%水泥稳定碎石;而新型排水系统采用土工织物包裹土工网,厚 0.03 m,置于于基层和路基之间;路基则为厚 0.40 m 的砂质黏土。与传统排水方式相比,新型路面排水系统采用更薄的复合土工合成排水材料代替传统排水底基层。数值模拟过程中的追踪点与模型试验的张力计布置位置和编号完全一致。

3.2 材料特性

非饱和渗流数值模拟过程需要输入材料非饱和参数曲线,即材料的土水特征曲线以及渗透系数函数。严格的非饱和参数曲线试验需要耗费大量时间。如图 6,7 所示,本节数值模拟材料定义参考文献[13]、[14],配合 Van Genuchten<sup>[15]</sup>模型预测方法获取土水特征曲线以及渗透系数函数,具体材料参数选用见表 1。Van Genuchte 是一个闭合形式的方程,用于描述土的渗透系数  $k_w$ ,该方程是关于基质吸力的函数,即

$$k_w = k_s + \frac{[1 - \alpha \Psi^{n-1} (1 + \alpha \Psi^n)^{-m}]^2}{(1 + \alpha \Psi^n)^{m/2}} \quad (1)$$

式中: $k_s$  为饱和渗透系数; $\Psi$  为基质吸力; $\alpha, n, m$  为拟合曲线参数,其中  $n = 1/(1-m)$ 。

3.3 边界条件

在路表施加流量边界,大小为降雨强度 25  $\text{mm} \cdot \text{h}^{-1}$ ,并且持续 90 min。由于其降雨强度大于

表 1 材料参数

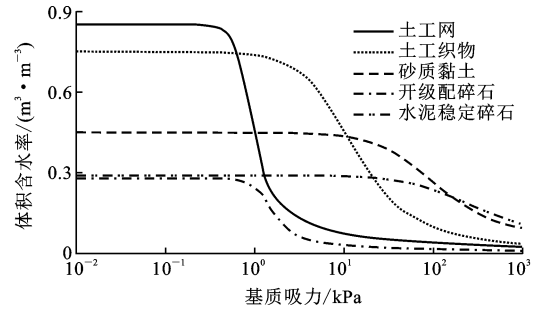


图 6 土水特征曲线

Fig.6 Soil Water Characteristic Curves

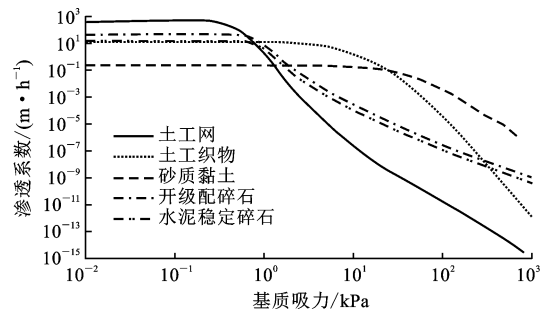


图 7 渗透性函数曲线

Fig.7 Permeability Function Curves

Tab.1 Material Parameters

材料	饱和体积含水率/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )	残余体积含水率/ ( $\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ )	饱和渗透系数/ ( $\text{m} \cdot \text{h}^{-1}$ )	$\alpha/\text{kPa}^{-1}$	$n$
土工网	0.85	0.005	361.000	50.250	2.190
土工织物	0.75	0.021	12.560	3.891	6.900
粉质砂土	0.45	0.120	0.238	0.012	1.331
级配碎石	0.28	0.090	13.000	0.320	2.750
水泥稳定碎石	0.29	0.050	3.000	0.054	2.420

表层的渗透系数,则路面边界设定为总水头  $H$  等于位置高程  $z$ ,多余的水分以路表径流的方式排出,模型底部和左侧则采用零流量边界,右侧采用 Seep/W 中的自由排水边界,表面水分可从路面结构侧面排出。

3.4 时步设置

有限元分析分为 2 个阶段:降雨阶段和降雨停止后的排水阶段。降雨阶段(0~90 min)历经 90 min,此阶段路面处采用降雨边界,水不断入渗进入路面结构内部。降雨阶段均匀分为 15 个时步段,对每个时步段进行计算并保存。排水阶段(90~500 min)历经 410 min,此阶段路面无降雨边界即不存在水分子的入渗,与此同时水分子不断被排出。排水阶段时间按指数形式分为 10 个时步段,并对每个时步段进行计算保存。

### 4 结果与分析

#### 4.1 采用传统排水方式基层变化

采用传统排水方式基层变化如图 8 所示。由图 8(a)可知:追踪点 3,4 吸力的数值模拟结果与实测值的变化规律基本一致,均在降雨后基层吸力发生下降,在第 30 min 吸力降至最小值。此后追踪点 3,4 的吸力保持在吸力零值附近。在降雨结束后,第 100 min 由于底基层继续排水使得基层中的水分被不断排出,追踪点 3,4 吸力缓慢回升,这与实测的结果完全一致。

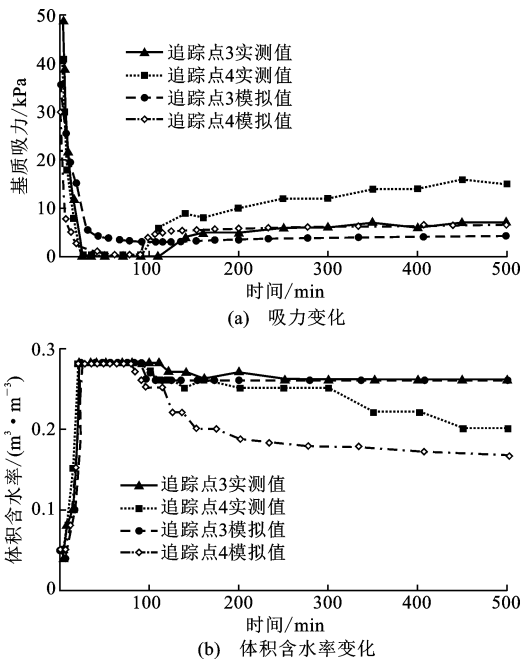


图 8 采用传统排水系统基层变化

Fig.8 Base Variations of Traditional Drainage System

由图 8(b)可知:采用传统排水系统基层体积含水率在降雨开始后快速上升,在第 30 min 达到饱和体积含水率,即基层达到饱和状态,直至降雨结束后基层始终处于饱和状态。在降雨结束后,基层的水分不断被排出,基层体积含水率发生一定幅度的下降。

#### 4.2 采用传统排水系统路基变化

采用传统排水方式路基变化如图 9 所示。由图 9(a)可知:追踪点 2 吸力的数值模拟结果与实测值的变化规律基本一致,在降雨前 30 min 路基土的吸力基本保持在初始吸力附近,随着水分不断入渗,第 30 min 后路基土的吸力发生明显的下降,即水分已经入渗进入路基中;之后路基土的吸力一直保持在低吸力状态;同时发现实测的初始吸力值大于数值模拟的初始吸力值,其原因可能是试验过程的张力

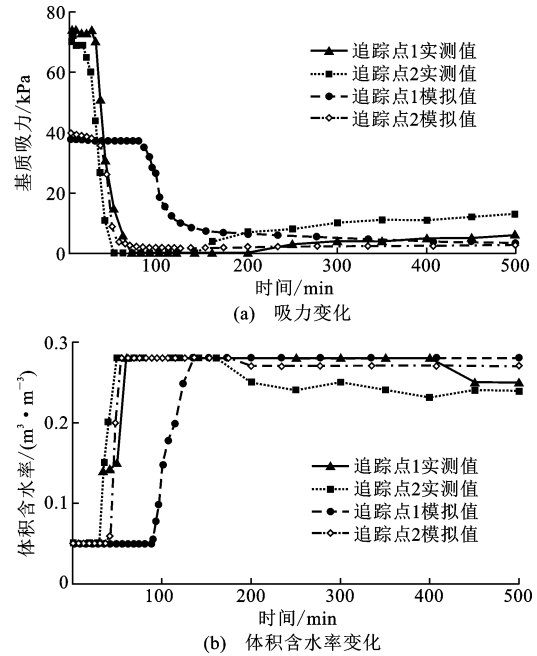


图 9 采用传统排水方式路基变化

Fig.9 Subgrade Variations of Traditional Drainage System

计中的气体未被完全排出,使得测量的吸力值大于实际的吸力值。

由图 9(b)可知:数值模拟的路基体积含水率变化规律与实测的路基土变化规律相似,降雨后 30 min 内路基土体积含水率始终保持在初始体积含水率,在第 30 min 后路基土体积含水率明显增加,表明水分以入渗至路基中,随着水分不断入渗,路基土最终达到饱和状态。

如图 10 所示,采用传统排水方式时,进入基层的雨水,一部分由底基层转移至路界外,一部分下渗至路基中。湿润的路基在频繁交通荷载作用,强度和承载力大幅降低,最终路面结构逐渐失去承载力,出现水泥混凝土面板断裂等不良现象。

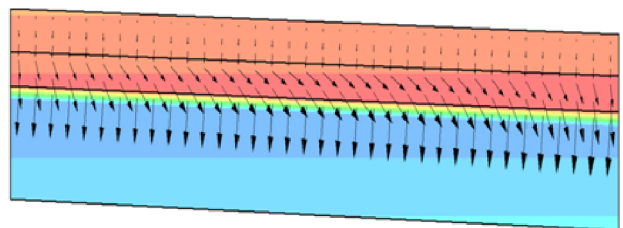


图 10 采用传统排水方式排水速度矢量图

Fig.10 Drainage Velocity Vector Diagram by Traditional Drainage Method

#### 4.3 采用新型路面排水系统基层变化

采用新型路面排水系统基层变化如图 11 所示。由图 11(a)可知:数值模拟结果表明采用新型路面排水系统的基层追踪点 3,4,7 的吸力在降雨开始后

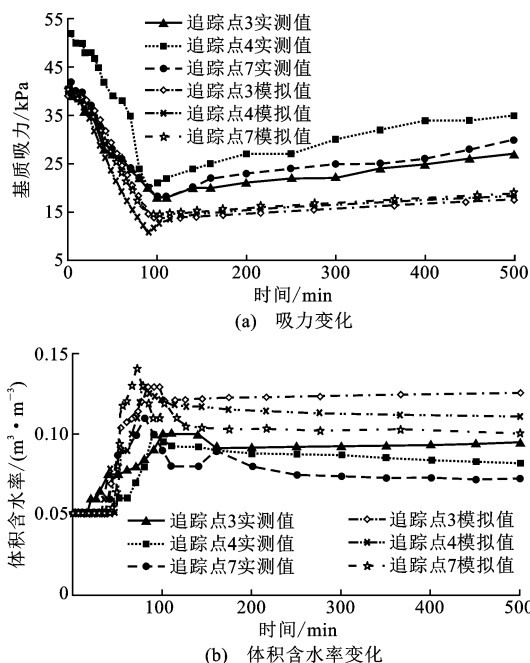


图 11 新型路面排水系统基层变化

Fig.11 Base Variations of New Pavement Drainage System

发生吸力下降,在第 100 min 达到最小值 12 kPa,此后基层吸力的缓慢回升,整个过程基层始终保持在非饱和状态,其规律与实测结果基本一致。

由图 11(b)可知:数值模拟得到的新型路面排水系统基层体积含水率变化规律与实测新型路面排水系统基层体积含水率变化规律基本一致,在降雨阶段体积含水率均不断增加,在降雨后体积含水率开始下降,整个过程基层的体积含水率始终未达到饱和体积含水率。

数值模拟结果与实测值对比可知,实测值均大于数值计算结果,其原因可能是试验过程中张力计中的气体未被完全排出,使得测量的吸力值大于实际的吸力值。

#### 4.4 采用新型路面排水系统路基变化

采用新型路面排水系统路基变化如图 12 所示。由图 12(a)可知:虽然采用新型路面排水系统时路基土吸力的数值计算结果与实测值存在一定差异,但其吸力变化规律大体一致。数值模拟结果显示,采用新型路面排水系统路基吸力为 1 条平直线,即在降雨过程中和降雨停止后路基吸力均不发生变化。降落的雨水首先进入基层后,被新型路面排水系统的水力传导层及时排至路界外,未入渗至路基中。实测数据表明,有少部分的水渗入路基土中,使得路基土吸力发生小幅下降,但埋于更深处的张力计 1<sup>#</sup>, 5<sup>#</sup> 则吸力基本不变。产生这种现象的原因

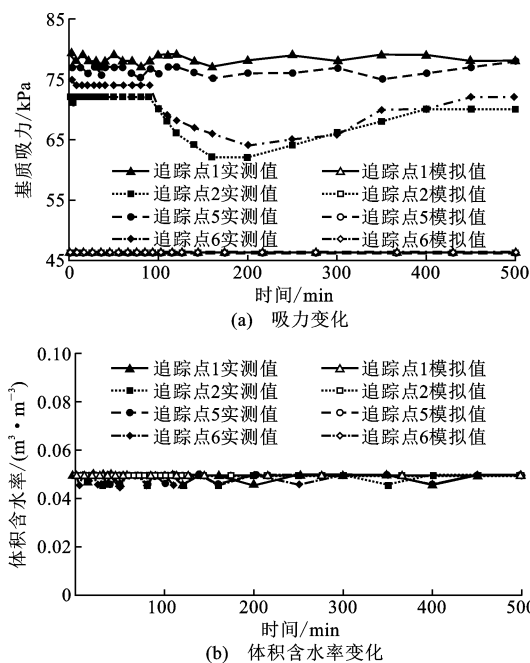


图 12 新型路面排水系统路基变化

Fig.12 Subgrade Variations of New Pavement Drainage System

可能是少量的水分从模型箱两侧变形的缝隙进入路基中。

由图 12(b)可知:数值模拟得到的新型路面排水系统路基体积含水率变化规律与实测新型路面排水系统路基体积含水率变化规律完全一致,无论降雨阶段还是排水阶段,路基土的体积含水率均保持初始体积含水率。

如图 13 所示,采用新型路面排水系统时,雨水首先进入基层并沿着新型路面排水系统的水力传导层转移至路界外,未发生下渗至路基的现象,采用新型路面排水系统可将路基和基层分隔开来,有效防止水分下渗至路基。

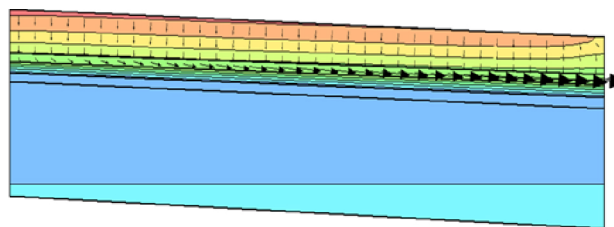


图 13 新型路面排水系统排水速度矢量图

Fig.13 Drainage Velocity Vector Diagram of New Pavement Drainage System

## 5 影响因素分析

### 5.1 不同位置的影响

本节讨论新型路面排水系统不同设置位置对于路面结构性能的影响:①新型路面排水系统布置于

基层和路基之间,完全代替碎石层;②新型路面排水系统设置在底基层和路基之间,保留部分底基层;

③新型路面排水系统设置于面层与基层之间以及路基与基层之间,如图 14 所示。

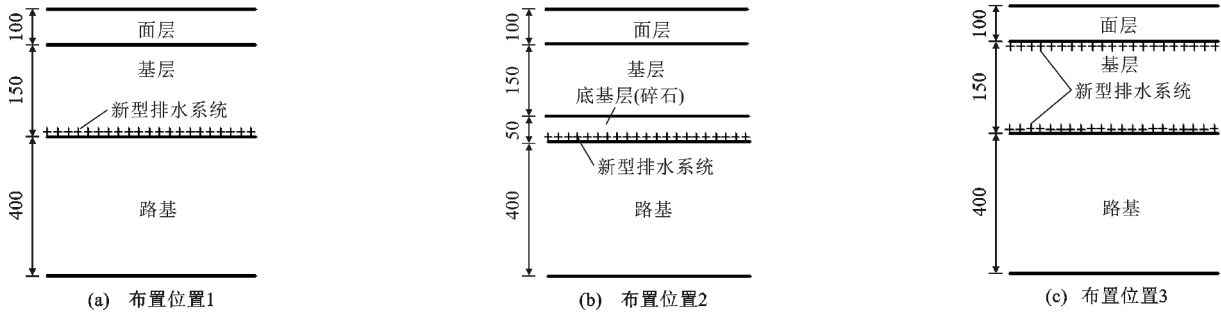


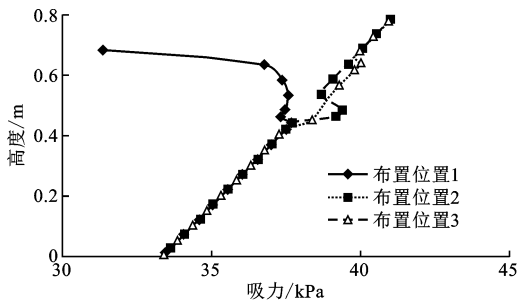
图 14 新型路面排水系统布置位置(单位:mm)

Fig.14 Set Positions of New Pavement Drainage System (Unit: mm)

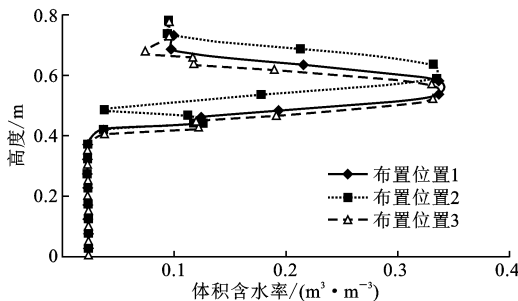
如图 15 所示,降雨结束时刻,新型路面排水系统布置于位置 2 和位置 3 时其路面结构吸力值相近,而布置于位置 1 时基层和面层的吸力值最大。由于采用新型路面排水系统能够有效阻隔水分的下渗,保持路基吸力的稳定,因此新型路面排水系统布置于这 3 种不同位置时,路基土的吸力值始终保持不变。

他 2 种布置方式下路面结构断面的吸力值和体积含水率值对比,布置于位置 3 时的面层和基层的吸力值最大,而体积含水率最小。

综上所述,新型路面排水系统布置于位置 1 时的排水效果逊于将新型路面排水系统布置于位置 2,3 时的排水效果。新型路面排水系统最优布置为位置 3,新型路面排水系统布置于位置 3 时更有利于控制吸力和体积含水率。



(a) 吸力分布



(b) 体积含水率分布

图 15 不同设置位置路面结构断面参数分布

Fig.15 Parameter Distributions of Pavement Structure Under Different Set Positions

当新型路面排水系统布置于位置 2 时,面层和基层的体积含水率大于布置于其他位置时面层和基层的体积含水率,这可能是由于毛细阻滞效应使得水分无法下渗,堆积于路面结构内部造成的。与其

### 5.2 坡度的影响

新型路面排水系统坡度是路面结构排水设计中的重要参数。分别对新型路面排水系统放置于 3 种不同坡度(3%、5%和 7%)时的情况开展数值模拟研究。由图 16(a)可知:新型路面排水系统坡度与基层吸力有一定关联,随着新型路面排水系统坡度的增加,基层吸力呈增大趋势,而增大的幅度有限。由图 16(b)可知:与基质吸力变化规律相反,随着新型路面排水系统坡度的增加,基层体积含水率呈现微弱的减小趋势,其减小基层体积含水率的效果十分有限。因此新型路面排水系统的铺设坡度对路面结构含水率影响不大,建议在实践中新型路面排水系统的铺设与道路坡度相一致。

### 5.3 厚度的影响

新型路面排水系统厚度将对路面结构的排水性能产生影响,是路面结构排水设计中的重要参数。分别对 3 种不同厚度(3,6,9 cm)新型路面排水系统开展数值模拟研究。如图 17 所示,新型路面排水系统厚度与基层吸力有一定关联,随着新型路面排水系统厚度的增加,基层吸力有明显增加趋势。采用厚度为 6,9 cm 的新型路面排水系统时基层和面层吸力值明显大于采用厚度为 3 cm 的新型路面排水系统,而体积含水率明显小于采用厚度为 3 cm 的新

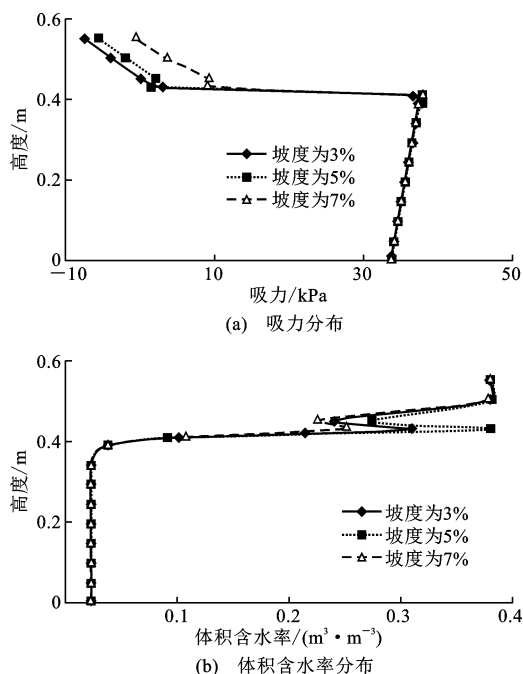


图 16 不同坡度下路面结构断面参数分布

Fig.16 Parameter Distributions of Pavement Structure Under Different Slope

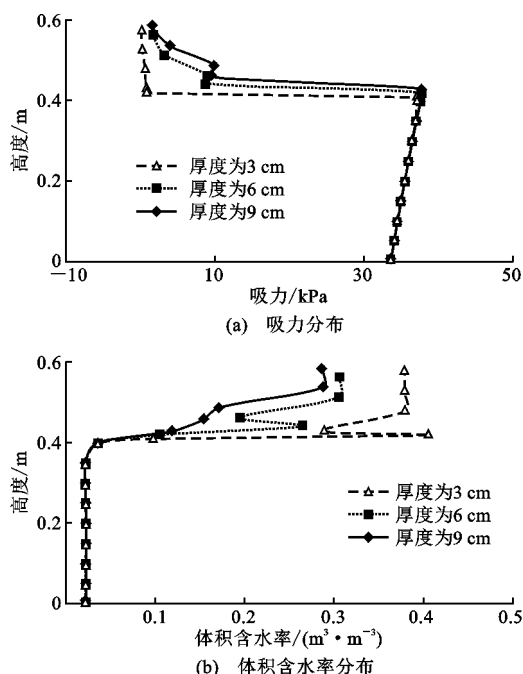


图 17 不同厚度下路面结构断面参数分布

Fig.17 Parameter Distributions of Pavement Structure Under Different Thickness

型路面排水系统。采用厚度为 3 cm 的新型路面排水系统时,面层和基层吸力值最小而体积含水率最大,而采用厚度为 6,9 cm 的新型路面排水系统时的基层和面层吸力值和体积含水率相差不大。因此建议在实践中选取厚度为 6 cm 的新型路面排水系统。

## 6 结 语

(1)数值模拟计算结果与模型试验实测的数据变化规律一致,说明本文数值模拟中模型构建和参数选取是合理的。

(2)采用新型路面排水系统时能够将入渗水快速有效排除,基层吸力在降雨开始后发生下降,在第 100 min 基层吸力达到最小值 12 kPa,整个过程基层始终处于非饱和状态,采用新型路面排水系统的路面结构基层吸力值始终大于采用传统排水系统路面结构基层的吸力值。

(3)新型路面排水系统能够防止水下渗至路基,降雨过程路基土的吸力始终未发生改变,保持在初始吸力值;而采用传统排水方式的路基土吸力在第 36 min 发生明显下降,此后吸力不断下降直至吸力最小值 1.5 kPa,此时该处的路基土已经接近饱和状态。

(4)采用新型路面排水系统,基层体积含水率在降雨过程中不断上升但未达到饱和体积含水率,在降雨停止后基层体积含水率下降。

(5)在面层和基层之间以及基层和底基层之间布置 2 道新型路面排水系统能够有效减少面层和基层的吸力;增加新型路面排水系统厚度和坡度可在有限幅度内增加基层吸力。

(6)在本文研究的基础上,下一步仍需要对新型路面排水系统的淤堵和耐久性问题开展研究,评估新型路面排水系统的长期有效性。

### 参考文献:

### References:

- [ 1 ] STORMONT J, HENRY K. Geocomposite Capillary Barrier Drain for Limiting Moisture Changes in Pavements[R]. Washington DC: Transportation Research Board, 2009.
- [ 2 ] WINKELMAN T J. Open Graded Drainage Layer Performance in Illinois[R]. Washington DC: Federal Highway Administration, 2004.
- [ 3 ] IRYO T, ROWE R K. Hydraulic Behaviour of Soil Geocomposite Layers in Slopes[J]. Geosynthetics International, 2005, 12(3): 145-155.
- [ 4 ] LEBEAU M, KONARD J M. Pavement Subsurface Drainage: Importance of Appropriate Subbase Materials[J]. Canadian Geotechnical Journal, 2009, 46(8): 987-1000.
- [ 5 ] STORMONT J C, HENRY K S, PEASE R E. Drain-



- ning Unsaturated Soils with Geosynthetics[J]. Geosynthetics International, 2010, 17(5): 332-343.
- [6] BAHADOR M, EVANS T M, GABR M A. Modeling Effect of Geocomposite Drainage Layers on Moisture Distribution and Plastic Deformation of Road Sections [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2013, 139(9): 1407-1418.
- [7] ABUSHARAR S W, ZHENG J J, CHEN B G, et al. A Simplified Method for Analysis of a Piled Embankment Reinforced with Geosynthetics [J]. Geotextiles and Geomembranes, 2009, 27(1): 39-52.
- [8] PASQUINI E, BOCCI M, CANESTRARI F. Laboratory Characterisation of Optimised Geocomposites for Asphalt Pavement Reinforcement [J]. Geosynthetics International, 2014, 21(1): 24-36.
- [9] HENRY K S, STORMONT J C, BARNA L A, et al. Geocomposite Capillary Barrier Drain for Unsaturated Drainage of Pavements[C]//Transport Research Laboratory, Proceeding of the Seventh International Conference on Geosynthetics, Rotterdam; A A Balke-ma, 2002: 877-880.
- [10] DAN H C, XIN P, LI J, et al. Capillary Effect on Flow in the Drainage Layer of Highway Pavement [J]. Canadian Journal of Civil Engineering, 2012, 39(6): 654-666.
- [11] 谈至明. 公路排水系统设计参数研究 [J]. 中国公路学报, 2006, 19(2): 7-11.
- TAN Zhi-ming. Research on Design Parameters of Highway Drainage System [J]. China Journal of Highway and Transport, 2016, 19(2): 7-11.
- [12] 高智珺, 崔新壮, 隋伟, 等. 基于非饱和渗流理论的排水性基层路面结构排水效果影响因素分析 [J]. 公路, 2014(10): 70-74.
- GAO Zhi-jun, CUI Xin-zhuang, SUI Wei, et al. Analysis of Influence Factors of Drainage Effect for Porous Pavement Based on Unsaturated Seepage Theory [J]. Highway, 2014(10): 70-74.
- [13] STORMONT J C, RAMOS R, HENRY K S. Geocomposite Capillary Barrier Drain System With Fiberglass Transport Layer [J]. Transportation Research Record, 2001(1772): 131-136.
- [14] STORMONT J C. Characterization of a Fiberglass Geotextile for Unsaturated In-plane Water Transport [J]. Geotechnical Testing Journal, 2004, 27(2): 214-219.
- [15] VAN GENUCHTEN M T. A Closed-form Equation for Predicting the Hydraulic Conductivity of Unsaturated Soils [J]. Soil Science Society of America Journal, 1980, 44(5): 892-898.

## 中国公路学会召开八届二次理事长工作会议

2017年5月10日,中国公路学会八届二次理事会在北京召开,学会理事会领导机构人员及代表共10人出席会议,副秘书长列席会议。会议由翁孟勇理事长主持。

大会主要听取了即将举办的“2017世界交通运输大会”筹备和进展情况的汇报,并安排部署了下一阶段的工作;听取了《2017中国公路学科报告》的撰写情况,对学科发展报告的内容、构架及编写与发布等提出了新的要求;听取成立“未来交通研究所”有关情况的汇报,认为“未来交通研究所”的成立是中国公路学会的一件大事,对学会的智库建设具有重大意义,将会为学会依托信息化技术,通过跨界合作,促进交通发展,推动产业进步等产生巨大作用;会议审议并通过了成立“中国公路学会理事会党委”的方案、学会机构和人员变更及拟成立新的分会和机构等事项。

翁孟勇理事长在会议总结中指出:办好今年的世界交通运输大会是当前头等大事,此次大会要聚人气、出亮点、树品牌,既要有中国特色,也要有一定的国际影响力,希望大家齐心协力,力保大会圆满成功。