

文章编号: 1008-2786-(2017)5-734-08

DOI:10.16089/j.cnki.1008-2786.000273

# 植被发育斜坡根土间隙降雨入渗研究

张有为, 徐则民\*, 张期树, 郭丽丽, 曾 强

(昆明理工大学 建筑工程学院, 昆明 650500)

**摘 要:** 基于土柱 CT 扫描数据, 运用 Volview 软件重构土体三维图及根系分布图, 精确了解土体根系分布情况; 应用 Navier-Stokes 方程计算根土间隙物理概念模型, 分析横向间隙流速分布情况; 采用格子 Boltzmann 方法, 并结合 Matlab 程序, 实现渗流场细观模拟。为研究根土间隙在土体降雨入渗过程中的作用, 综合以上多种方法, 深入并全面分析根土间隙在植被发育斜坡降雨入渗过程中的作用。结果表明, (1) CT 扫描技术结合 Volview 软件能够进行土柱三维重建, 从而获取根系在土体分布实际情况, 为研究根土间隙导流奠定基础; (2) 横向根土间隙流速分布情况, 中心线位置流速最大, 为平均速度的 1.5 倍; (3) 格子 Boltzmann 方法作为一种基于流体离散粒子的计算方法, 能够结合编程软件进行土体渗流细观模拟; (4) 随着深度的增加, 竖向根土间隙渗流速度逐渐降低, 其渗流作用主要依赖于一些连通性好的间隙通道, 且流速在 30 cm 左右深度降低为零。以上各分析手段可有效评估根土间隙对植被发育斜坡在降雨入渗过程中的贡献, 并深入分析植被发育斜坡根土间隙降雨入渗机理。

**关键词:** 降雨入渗; 根土间隙; 土柱三维重建; CT 扫描技术; 格子 Boltzmann 方法

**中图分类号:** U418.5+2

**文献标志码:** A

植被发育斜坡频繁发生滑坡现象, 给人民生命财产安全造成了难以估量的损失。国内外众多专家研究表明<sup>[1-3]</sup>, 土体水分下渗以及优先流现象对滑坡孕育过程的作用不容忽视<sup>[4-9]</sup>。大孔隙(腐烂根系通道、虫孔通道和土体干缩裂缝)是产生优先流的主要路径, 国内外现已开展针对传统大孔隙导流现象的研究<sup>[10-12]</sup>。然而, 在该领域内, 以定性研究居多<sup>[13-15]</sup>, 从量化的角度深入直观研究土体水分下渗的文章甚是稀缺。格子 Boltzmann 方法作为一种介观研究方法, 应用于土体渗流领域, 其优势在于, 由简单的定性分析到定量、直观分析; 从表面化的定性分析到渗流场的细观模拟, 以此深入全面研究植被在边坡降雨入渗过程中的作用。

试验区大量染色实验表明, 根系周围区域大都被染色, 剖面上方 0 ~ 30 cm 范围内效果尤为明显。

因此, 根土间隙对降雨入渗的导流作用显得尤为重要。本文通过土柱及土体根系三维重建图直观了解土体中根土间隙分布, 并应用根土间隙物理模型分析横向间隙流速分布情况; 最后采用格子 Boltzmann 方法结合 CT 二值化图片得到竖向流速图以及渗流场细观情况, 多层次、全面、深入探讨根土间隙在植被发育斜坡降雨入渗和滑坡孕育过程中起到的重要作用。

## 1 土柱三维重建

于云南昭通头寨研究区的大量染色实验发现, 根系周围区域大都被染色, 根土间隙在植被发育斜坡降雨入渗过程中的导流现象尤为明显(图 1)。

**收稿日期** (Received date): 2015-12-02; **改回日期** (Accepted date): 2016-03-30

**基金项目** (Foundation item): NSFC-云南联合基金重点项目(U1502232); 高等学校博士学科点专项科研基金(20135314110005) [NSFC-Yunnan Joint Fund(U1502232); Research Fund for the Ph. D. Program of Higher Education of China (20135314110005)]

**作者简介** (Biography): 张有为(1990-), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要研究方向: 滑坡灾害学 [Zhang Youwei (1990-), male, born in Hengyang, Hunan province, M. Sc. candidate, research on slope hydrology] Email: 1558131704@qq.com

\* **通讯作者** (Corresponding author): 徐则民(1963-), 男, 博士, 教授, 主要研究方向: 斜坡水文学 [Xu Zemin (1963-), male, Ph. D., professor, specialized in hydrology, slope hydrology] E-mail: abc5100@188.com



图1 根土间隙导流现象

Fig.1 Phenomenon of conduit flow in soil-root interstice

明显的根土间隙导流作用突出了根系在土体中分布形态的重要性,而对土体中物质分布的重构为探索根土间隙导流的必经环节。笔者首先于试验区采集原状土柱对其CT扫描。并采用Volview软件对CT数据进行处理,得到土体三维重构图,最终明晰土体根系分布情况。

### 1.1 采样过程

于昭通头寨有代表性地选取采样点,采集一尺寸为 $28 \times 28 \times 50$  cm的土柱,考虑到在采集和运送样品过程中的扰动因素,后期分析时选择土柱中间 $20 \times 20 \times 40$  cm的范围为研究对象,之后采用医用CT扫描仪将土柱进行扫描。为使CT扫描仪更好应用于土柱,扫描前重新设置扫描电流、电压、体素以及层间距。使用Volview软件将大量的CT原始数据进行处理而成土柱三维形态,土体中根系分布(图2(b))清晰可见。

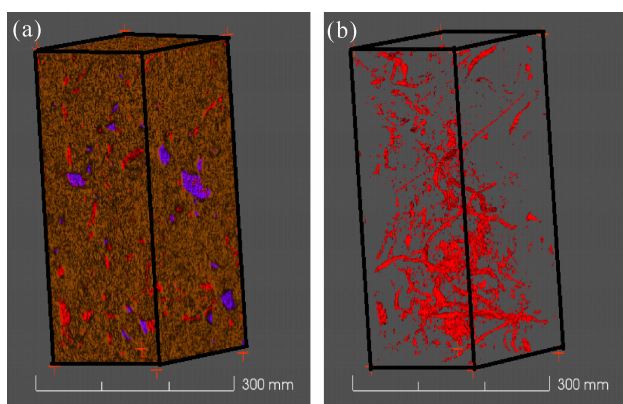


图2 土柱三维重建图

Fig. 2 3D reconstruction of soil column

### 1.2 Volview软件对CT切片的三维实现

在Volview软件中导入CT切片原始数据并进行预处理,生成三维重建模型。该软件功能强大,能够提供切片格式转换,并对bmp格式图片的滤波、去噪以及分割等处理并快速实现三维重建任务,此后还能对重建的三维图像实现交互操作,如旋转、局部分割等。

借助于Volview软件所建立的三维重建图中,图2(a)为土柱整体图,土中所有物质均显示,并被赋予不同的颜色,其中石头采用紫色表示,根系以红色表示,能够真实反映土体中各种物质分布。图2(b)为土中根系分布图,其CT值介于-950至-800之间。

由图可知,土柱内部管状结构分布明显,从管径大小、形状等可以判断其为植被根系,根系在土体中纵横交错,贯穿土体,且根系之间互相连通,形成渗流网状结构。CT三维重建结果可直观说明根土间隙将在植被发育斜坡土体中对降雨入渗过程产生重要影响,同时也为获得土体中根系分布提供新的方法。

## 2 根土间隙物理概念模型

土柱三维重建图显示了根系在土体中的分布情况,依据土中根系及三维重建图中根系,建立根土间隙物理概念模型<sup>[16]</sup>,应用Navier-Stokes方程对土体中横向根土间隙流速情况进行计算,进而阐明横向根土间隙对植被发育斜坡降雨入渗和滑坡孕育过程

的具体影响。

## 2.1 模型基本假设

(1) 土体在竖直、水平方向可以无限延伸；

(2) 植被根系分为垂直根系、侧根系和横向根系,垂直根系竖直向下生长,得到平行于水平面的平行窄缝,横向根系平行于水平面；

(3) 植被根系和根土间隙外壁土体基质为非透水物质,不考虑水分的径向渗透,流体在横向根土间隙中的流动为恒定流动。

## 2.2 根土间隙物理模型

根土间隙类似于套管模型,流体从套管环形缝中流动,根据模型基本假设,描绘出横向根土间隙的物理模型,如图 3 所示。

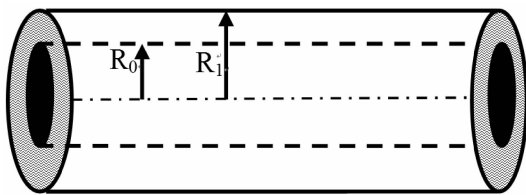


图 3 横向根土间隙物理模型

Fig. 3 Physical model of transverse root-soil interstice

## 2.3 模型计算

将横向根土间隙沿轴线展开,得到两端对齐平行平板,如图 4 所示,间距为  $2r$ ,  $2r = R_1 - R_0$ 。平行平板中心线位置处设置  $X$  轴,  $Y$  轴垂直板面,不可压缩牛顿流体在  $X$  方向的恒定压强梯度下作充分发展流,可简化为  $X-Y$  平面上的流动。

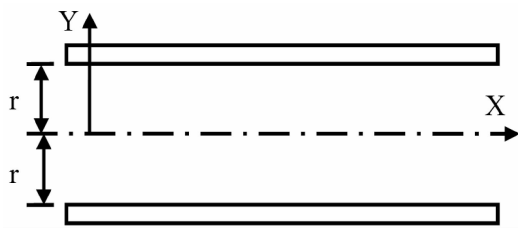


图 4 沿轴线展开模型

Fig. 4 Model along the axis

$$\text{连续性方程为: } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

对于根-土间隙流道来说,

$$\text{层流充分发展区有: } \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0 \quad (2)$$

由(1)和(2)得  $\frac{\partial v}{\partial y} = 0, v = 0$ 。说明流动为  $X$  方向平行直线流动。

由  $N-S$  方程式,取  $p$  为单位宽度截面上的平均强度。

$$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} \right) = \rho f_x - \frac{dp}{dx} + \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

(3)可简化为

$$\frac{d^2 u}{dy^2} = \frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \quad (4)$$

(4)式右边为常数,积分两次产生两个积分常数。

同时考虑边界条件

$$\begin{cases} u = 0, y = r \\ u = 0, y = -r \end{cases} \quad (5)$$

即平行平板上下壁面处的流速为零,可以确定两个积分常数。得到根土间隙的流速分布:

$$u = -\frac{1}{2} \frac{dp}{dx} (r^2 - y^2) \quad (6)$$

由于速度分布对称于管中心线,因此,可取横截面积的一半来确定平板间平均速度:

$$\bar{u} = \frac{1}{\rho r} \int_0^r \rho u dy = -\frac{1}{\mu} \frac{dp}{dx} \frac{r^2}{3} \quad (7)$$

$$\text{解(7)得: } \frac{dp}{dx} = -\frac{3\mu\bar{u}}{r^2} \quad (8)$$

$$\text{联立(6)和(8)得: } u = 1.5 \left[ 1 - \left( \frac{y}{r} \right)^2 \right] \bar{u} \quad (9)$$

由(9)式可知根土间隙中的流速分布,  $y=0$  (中心线位置)时,速度最大,为平均速度的 1.5 倍;  $y=r$  (两边壁面处)时,速度最小,为零。流速分布以中心线为对称线,呈两边递减的情况,类似于泊肃叶流的流速分布情况。随着  $d$  (间隙宽度)的增加,流速也随之增加,根土间隙内流速与间隙宽度呈正相关。在分析横向根系的管道流时,根土间隙外壁基质不同于一般土体基质,它含有大量的生物和化学物质<sup>[17]</sup>,植物根系分泌物会堵塞基质孔隙,使得根土间隙外壁基质可近似处理为非透水物质。这种近似假设带来的影响是尽管总体流速分布规律并不会因此改变,即中心线的流速最大,往两边递减,但是由于水分吸附、渗透压作用等,会使得实际中心处的流速与平均流速值的比例只是近似 1.5 倍。

## 3 格子 Boltzmann 方法

综合土体根系直观图与根土间隙物理模型计算两方面,可大致明确土中横向根土间隙中流速分布情况,而对于土体纵向根土间隙流速值的真实分布

情况,可借助格子 Boltzmann 方法用来全面深入探究,从而全面了解根土间隙在植被发育斜坡降雨入渗过程中的积极作用。格子 Boltzmann 方法是属于流体力学中介观层次的一种流体系统建模和模拟的新方法,应用于流体在多孔介质中的流动,能够应用于土体渗流场研究<sup>[18]</sup>。文中使用 Matlab 软件编程来实现格子 Boltzmann 方法对流速的计算,其中需要将实际物理单位与格子单位进行转换,以期能够清楚得到渗流流速变化规律。

### 3.1 格子单位和物理单位的转换

在进行编程之前,需先将实际物理单位与格子单位进行转换,所得结果再反转为物理单位,其对应情况如表 1 所示。

表 1 实际物理单位和格子单位对应情况

Tab.1 Corresponding relationships of actual physical unit and the grid unit

实际物理单位	L(长度)	U(速度)	C(声速)	V(黏度)	T(时间)
对应格子单位	L1	U1	Cs	V1	T1

对应关系如下:

$$\begin{cases} L_r = L/L_1 \\ U_r = U/U_1 = C/C_s \\ V_r = V/V_1 \\ T_r = T/T_1 \end{cases} \quad (10)$$

因为物理条件下和格子条件下的  $R_e$  相同,所以有

$$R_e = UL/V = U_1 L_1 / V_1 \quad (11)$$

对于一个已有的格子模型来说,  $L_1$  和  $V_1$  为已知量,由(11)可知:

$$V/V_1 = UL/U_1 L_1 = U_r L_r \quad (12)$$

$$U_r = U/U_1 = C/C_s \quad (13)$$

由于实际声速和格子声速都是固定的,那么  $U_r$  就已知,将  $U_r$  代入(16),就可以得到  $L_r = V/(V_1 U_r)$ ,又有

$$T_r = T/T_1 = (L/U)/(L_1/U_1) = L_r/U_r \quad (14)$$

将(12)式左右同时除以(13)的平方,得到式(14),即  $T_r$ ,此时  $U_r, L_r, T_r$  均为已知值,因此,格子单位和物理单位间可进行转换,首先在程序中将物理单位转化为格子单位,以此分析渗流速度,所得结果反转为物理单位,以此分析渗透流速变化规律。

### 3.2 Matlab 程序步骤

基于物理单位转换得到的格子单位,在 Matlab 中编程,程序具体流程如下,

- (1)使用 imread 函数读取 CT 切片对应数据结构;
- (2)将物理单位转化的格子单位在程序中赋值;
- (3)模型初始化;
- (4)求解同一时程离散方程;
- (5)边界处理;
- (6)计算下一时程节点速度、密度和粒子分布函数;
- (7)判断是否收敛(若收敛,输出结果;若不收敛,重复(4) - (7))。

### 3.3 计算结果

#### 3.3.1 不同切片的流速分布图

选择一张有代表性的土体纵截面切片,对其进行二值化处理,并将其应用于 Matlab 程序。在 Boltzmann 方法中,采用最具有代表性的 D2Q9 模型,边界条件选择为,模型的上边界(进水边界)和下边界(出水边界)采用主要用于速度边界的非平衡外推格式,模型的左、右不透水边界及土体颗粒边界采用反弹格式,在模型的处理中,将根系以及根土间隙统一成孔隙,得到渗流场流速分布情况图,如图 5 所示。

本文选取 0 ~ 30 cm 范围土体作为研究对象,选取时间步长  $\Delta t = 1$ ,格子步长  $\Delta x = \Delta y = 1$ ,总格子数为  $400 \times 400$ ,上边界稳定流速为 0.05cm/s,松弛时间为  $\tau = 0.75$ ,格子流体粘滞系数  $\nu = 1/12$ ,格子速度  $c = 1$ ,格子声速  $c_s = 1/\sqrt{3}$ ,选取同一纵截面中 0 ~ 25 cm(图 5(a)) 和 5 ~ 30 cm(图 5(b)) 两张切片来观察流速分布情况,图中可以看到存在着稳定的渗流通道,也能够很清楚看到各个点的流速情况(颜色深浅表示不同流速区间)。

图 5(a)中可知(34,15)的点处流速为 0.05578 cm/s,图 5(b)中显示(158,24)的点处流速为 0.04982 cm/s,模拟时初始流速设置相同。无论在单一渗流场观察,还是图 5(a)与图 5(b)两个渗流场的对比,皆发现流速随着深度的递增逐渐降低。尤为值得注意之处在于,图 5(b)中的渗流通道反而比图 5(a)增加,这可能与土体中的分流有关。植物的根系形态中,以木本植物为例,主根大都为垂直根系,而侧根则大都水平或者侧向生长,说明水在土体的渗流过程中会沿着多个方向,不仅有水平流垂直流,还会存在侧向流。



格子 Boltzmann 方法结合 Matlab 程序能够清楚显示渗流场内部细节及根土间隙对植被发育斜坡降雨入渗整个过程。

3.3.2 同一切片不同时间流速分布图

Matlab 程序读取土体 0 ~ 25 cm 深度的 CT 扫描

切片,观察不同时间下流速变化以及湿润前锋的推进过程,得到一系列流速图如图 6 所示。

图 6(a)为 0 ~ 25 cm 的土体切片,黑色表示土体,白色表示根系及孔隙。图 6(b) ~ 图 6(f)是二值化之后的 CT 切片在 Matlab 中运行不同时间下的流

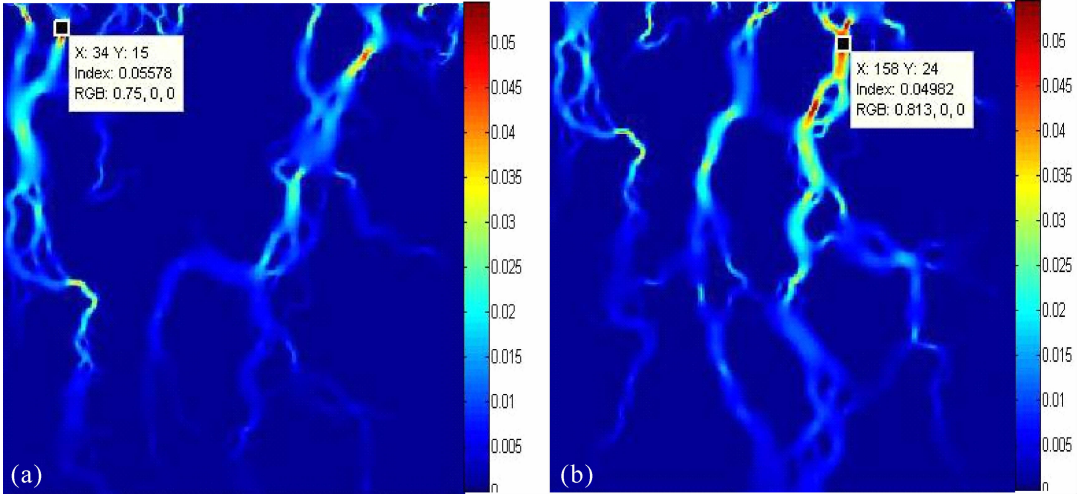


图 5 纵截面渗流场流速分布情况图  
Fig.5 Flow velocity distribution along vertical section

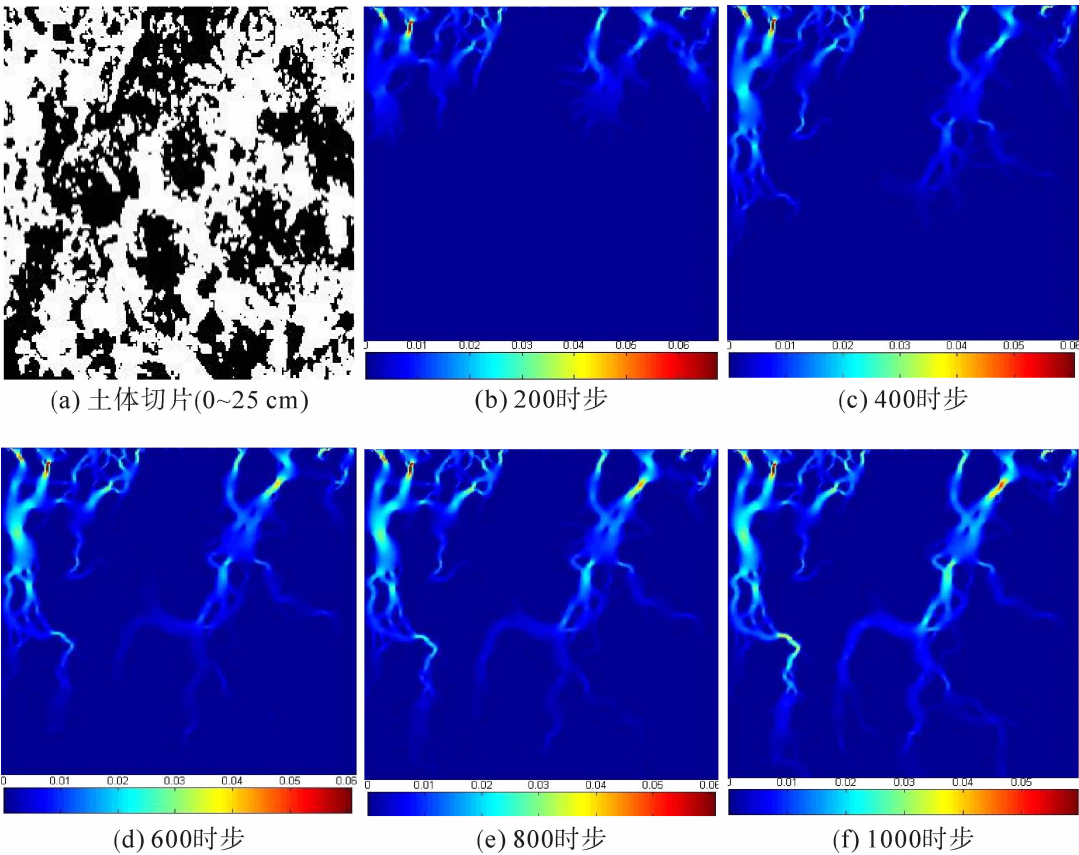


图 6 不同时间下流速分布图  
Fig.6 Flow velocity distribution at different times

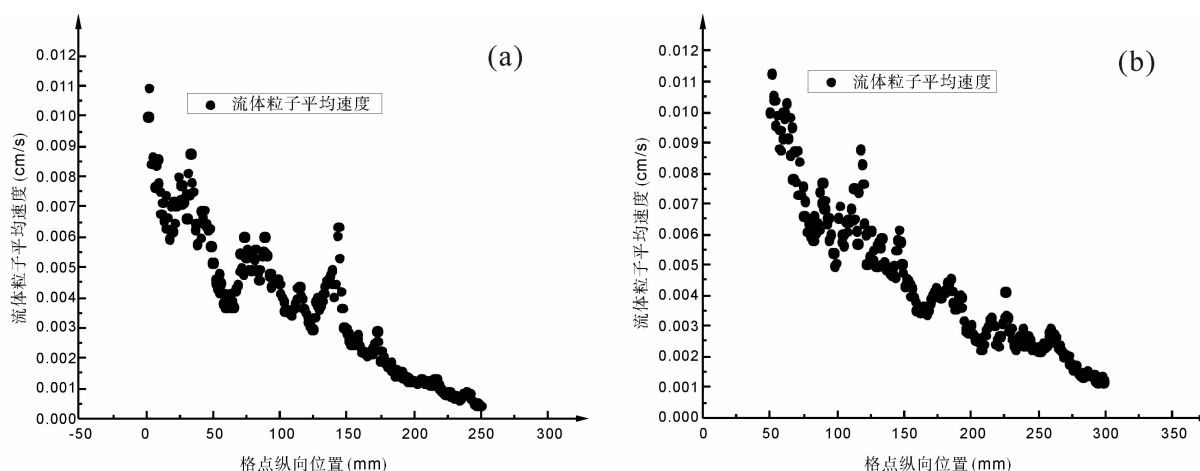


图7 渗流速度竖向分布图(0~25 cm 以及 5~30 cm)

Fig. 7 Seepage velocity vertical distribution (0~25 cm and 5~30 cm)

速分布图,从图6(b)~(f)中可以清楚看到,土体中湿润前锋的推进过程,其形状类似‘闪电’,根土间隙导流效果明显,湿润前锋从土体表层到25 cm处大致需要500时步,前锋由窄变宽再到窄,展示出汇聚到分流的过程。流道宽窄不一,间接反映出土体中根系的粗细不一。通道最前方颜色较暗,说明流速较小且分布均匀,之后区域颜色加深。某些区域颜色鲜艳,反映出较大的流速。从颜色带可以读出格点位置对应的流速值区间,这比传统研究方法更为直观先进。部分通道相连,水流在连通通道之间可以汇流,随着时间的增加,湿润前锋逐渐趋于稳定,流速分布图展示的是土体中降雨入渗的整个过程,简单明了,反映其动态变化。

### 3.3.3 渗流速度的竖向分布图

图7(a)和图7(b)分别为剖面上方0~25 cm和5~30 cm不同深度区间内土体平均渗流流速分布图。

由于两者所选土体切片为同一纵断面的不同位置,设置相同初始流速,则流速值大小可从侧面反映土体中孔隙率大小变化以及流道的连通性好坏的变化趋势。整体看来,土体中渗流速度都是呈逐渐降低趋势,并且散点图的走势很接近,说明土体中的渗流通道存在着稳定的一面,相较于0~25 cm位置来说,除个别点外,5~30 cm的流速对应位置(图7(b)的50 mm对应图7(a)的0 mm位置处)相对较低。此外,图7(b)表明,深度接近30 cm处时,流速接近于零。

## 4 结论

(1)CT扫描技术结合Volview软件,能够比较精确还原根系在土体中分布的实际情况,并应用于土体渗流分析,从而为深入研究根土间隙导流奠定基础。

(2)格子Boltzmann方法结合Matlab程序,能够很好地应用于土体渗流模拟,实现土体渗流细观模拟。

(3)横向根土间隙流速分布为,中心线位置流速最大,往间隙两边逐级递减,到环形间隙壁面处流速为零。

(4)竖向根土间隙流速分布为,渗流速度随着深度增加逐渐降低,主要依赖于一些连通性好的间隙通道,流速在深度为30 cm左右减低至零。

## 参考文献(References)

- [1] 徐则民,黄润秋,范柱国等. 滑坡灾害孕育-激发过程中的水-岩相互作用[J]. 自然灾害学报,2005,14(1):1-9 [XU Zemin, HUANG Runqiu, FANG Zhuguo, et al. Landslide disaster preparation-excitation process in water rock interaction[J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(1):1-9]
- [2] SHOAIE Zieaoddin. Mechanism of the giant Seimareh Landslide, Iran, and the longevity of its landslide dams[J]. Environmental Earth Sciences, 2014, 727: 2411-2422.
- [3] FIORILLO Francesco. Geological features and landslide mechanisms of an unstable coastal slope (Petacciato, Italy) [J]. Engineering Geology, 2002, 673:255-267.
- [4] 张丽华,王成武. 非饱和土壤优先流运动特性的染色示踪研究

- [J]. 节水灌溉, 2010 (5): 35 - 36 [ZHANG Lihua, WANG Chengwu. Study on the flow characteristics of non-saturated soil referential flow characteristics [J]. Water Saving Irrigation, 2010 (5): 35 - 36]
- [5] HEIJS A W J, RITSEMA C J, DEKKER L W. Three-dimensional visualization of preferential flow patterns in two soils [J]. Geoderma, 1996, **70**: 101 - 116.
- [6] MITCHELL A R, ELLSWORTH T R, MEEK B D. Effect of root systems on preferential flow in swelling soil [J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 2615 - 16: 2655 - 2666.
- [7] RONKANEN Anna-Kaisa, KLOVE Bjørn. Use of stable isotopes and tracers to detect preferential flow patterns in a peatland treating municipal wastewater [J]. Journal of Hydrology, 2007, **347**: 418 - 429.
- [8] SANDER Till, H. GERKE Horst. Modelling field-data of preferential flow in paddy soil induced by earthworm burrows [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2008, **104**: 126 - 136.
- [9] SHIPITALO M J, NUUTINEN V, KEVIN R B. Interaction of earthworm burrows and cracks in a clayey, subsurface-drained, soil [J]. Applied Soil Ecology, 2004, **26**: 209 - 217.
- [10] 冯杰, 郝振纯. CT 扫描确定土壤大孔隙分布 [J]. 水科学进展, 2002, **13**(5): 611 - 617 [FENG Jie, HAO Zhenchun. CT scan to determine the distribution of soil [J]. Advances in Water Science, 2002, **13**(5): 611 - 617]
- [11] 解河海, 冯杰, 冯青等. 考虑大孔隙的土壤入渗模型 [J]. 水利水电科技进展, 2011, **31**(5): 35 - 38 [JIE Hehai, FENG Jie, FENG Qing, et al. Consider the macropore soil infiltration model [J]. Advances in Science and Technology of Water resources, 2011, **31**(5): 35 - 38]
- [12] 王凤, 邓念东, 马逢清等. 基于 CT 的黄土大孔隙形态三维分形研究 [J]. 计算机工程, 2014, **40**(7): 217 - 220 [WANG Feng, DENG Niandong, MA Fengqing, et al. Based on CT of the three dimensional fractal of the Loess Plateau [J]. Computer Engineering, 2014, **40**(7): 217 - 220]
- [13] 张家明, 徐则民, 裴银鸽. 植被发育斜坡非饱和带大孔隙 [J]. 山地学报, 2012, **30**(4): 439 - 449 [ZHANG Jiaming, XU Zemin, Pei Yinge. Macropores of unsaturated zone in the slope of vegetation development [J]. Mountain Research, 2012, **30**(4): 439 - 449]
- [14] ALLAIRE S E, GUPTA S C, NIEBER J, MONCRIEF J F. Role of macropore continuity and tortuosity on solute transport in soils [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2002, **58**: 299 - 321.
- [15] CHRISTIANSEN Jesper Skovdal, THORSEN Mette, CLAUSEN Thomas, et al. Modelling of macropore flow and transport processes at catchment scale [J]. Journal of Hydrology, 2004, **299**: 136 - 158.
- [16] 王帮团, 徐则民, 王帮圆. 植被发育斜坡土体中根 - 土间隙的导流特性 [J]. 山地学报, 2015, **33**(3): 257 - 267 [WANG Gang, XU Zemin, WANG Bangyuan. The diversion characteristics of soil in the soil of the slope of vegetation development [J]. Mountain Research, 2015, **33**(3): 257 - 267]
- [17] PANKHURST C E, PIERRET A, HAWKE B G, et al. Microbiological and chemical properties of soil associated with macropores at different depths in a red-duplex soil in NSW Australia [J]. Plant and Soil, 2002, **238**: 11 - 20.
- [18] 张霞, 李凤滨, 盛金昌等. 格子 Boltzmann 方法模拟土体渗流场研究 [J]. 水电能源科学, 2012, **30**(10): 61 - 64 [ZHANG Xia, LI Fengbin, SHENG Jinchang, et al. Lattice Boltzmann method simulation of seepage field [J]. Water Resources and Power, 2012, **30**(10): 61 - 64]

## Research on Rainfall Infiltration into Soil-Root Interstice of a Well Vegetated Slope

ZHANG Youwei, XU Zemin\*, ZHANG Qishu, GUO Lili, ZENG Qiang

(Institute of Civil Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming, Yunnan 650500, China)

**Summary:** Based on CT original data of soil columns, a three-dimensional distribution pattern of grass roots in well vegetated slope was reconstructed in this research by Volview software for visual recognition of root formation; Navier-Stokes equation was applied to build a physical concept model of root-soil interstices, to analyze the lateral speed of pore flow through interstices of soil; Lattice Boltzmann method was combined with Matlab programming to realize macroscopic simulation of slope seepage field. In order to investigate the behavior of root-soil interstice towards rainfall infiltration, several methods were combined to comprehensively examine the application of root-soil interstices developed in well vegetated slope to infiltration. Results showed that (1) CT scanning technology in connection with Volview software could be used for acquisition of interior formation of slope grass roots, laying a solid foundation for study on slope flow; (2) lateral porous flow in root-soil interstices had the maximum velocity at

the center line, 1.5 times of average speed; (3) As a method based on the fluid discrete particle, Lattice Boltzmann Method could be well applied to simulation of subsurface flow; (4) The vertical interflow rate inside root-soil interstices gradually decreased with increases in depth. The seepage in root-soil interstices mainly depended on the state of connected soil interstices and channels, and flow rate reduced to zero at a depth of about 30cm below. In this research it found that, by proper combination of the aforesaid methods, the existence of root-soil interstices in a well vegetated slope considerably contributed to rainfall infiltration and it provided an insight for slope seepage research.

**Key words:** Infiltration; Soil-root interstice; 3D reconstruction of soil; CT scanning technique; *Lattice Boltzmann Method*