

非饱和膨胀土水分迁移的试验研究

翟聚云¹, 鲁 洁²

(1. 河南城建学院 河南 平顶山 467000; 2. 西安建筑科技大学 西安 710055)

摘 要:在等温条件下, 分组对不同初始干—湿段土体含水量、不同时间间隔对非饱和膨胀土的气态水迁移和气液态水混合迁移的规律及其关系进行试验研究, 揭示了其随时间的变化过程。试验结果表明, 土质情况、含水量水平及含水量梯度对其有重要影响, 气态水迁移量与气液混合迁移量都随含水量梯度增加而增加, 与时间和位置呈复杂的非线性关系; 含水量较小时, 土粒对水分的吸附能力较强, 致使含水量梯度较大, 含水量较大时, 土粒周围自由水较多, 水分分布较均匀。

关键词:膨胀土; 气态水迁移; 液态水迁移; 含水量

中图分类号: TU411.91 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2010)02-0026-04

Experimental Analysis of Water Transference in Unsaturated Expansive Soil

ZHAI Ju-yun¹, LU Jie²

(1. Henan Urban Construction Institute, Pingdingshan 467000, Henan, P. R. China;
2. Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, P. R. China)

Abstract: On the condition of constant temperature, grouping dry-wet soil with different initial water content and different time intervals, the experiments were carried out to study vaporous transfer, vaporous-liquid transfer and the relationship of unsaturated expansive soil. And it was found that the soil behavior, water content and water content gradient were pivots for the transfer. Vaporous transfer, vaporous-liquid transfer were increased with the increase of moisture gradient in a complex non-linear relationship with times and locations. And with the less water, the adsorption capacity of soil was strong, resulting in larger gradient of moisture. While for larger water content, free water was more with more even of the moisture.

Key words: expansive soil; vaporous water transfer; liquid water transfer; water

地表膨胀土大都处于非饱和状态, 非饱和土体的水分迁移有液态水和气态水两种迁移形式^[1]。非饱和膨胀土水分迁移过程、影响因素及变化规律非常复杂^[2-3]。水分迁移引起土体含水量变化, 从而引起土体的吸力及抗剪强度发生变化, 容易引起工程事故的发生^[4-8]。非饱和土体的水分迁移的原因有多种, 有温度梯度、含水量梯度、含水量水平、土体特性等^[9-10], 已有研究者也对特指土类迁移的大小及影响因素进行探讨^[11-14]。但对膨胀土的水分迁移过程及迁移量大小的资料缺乏报道, 由于膨胀土具有很强的特殊性以及对含水量变化的敏感性, 所以对

此类问题的研究是很必要的。该文通过对河南平顶山膨胀土不同干—湿段含水量、不同静置时间分组进行试验研究, 对等温条件下气态水迁移及气液态水混合迁移规律问题进行探讨。

1 试验土样及装置

1.1 试验土样性质

试验土体材料采用膨胀土, 土样取自河南平顶山市建设路与光明路交叉口处, 该膨胀土通过 X 射线衍射分析, 得到土体的矿物成分见表 1; 该土体的基

收稿日期: 2009-11-28

基金项目: 河南省自然科学基金项目(2010A560002); 河南省科技发展计划项目(624250023)

作者简介: 翟聚云(1968-), 女, 副教授, 主要从事岩土工程教学与研究, (E-mail) zhajuyun@hncj.edu.cn; zhajuyun@sohu.com。

本指标见表 2。

表 1 膨胀土矿物成分/%

石英	蒙脱石	伊利石	方解石	其他
61	28	6	2	3

表 2 膨胀土基本指标

自由膨胀率/%	土粒比重	液限含水量/%	塑限含水量/%	塑性指数
50	2.73	35.4	14.2	21.2

本试验使用扰动土样,水分迁移在恒温 29℃ 条件下进行。

1.2 试验装置

进行气态水迁移过程测试的试验装置,是制备特定较低含水量(干土)和较高含水量(湿土)的两种扰动土,分别击实装入长 10 cm 一端封闭的 PVC 管,将两管开口端处用接头对接,使接触处留有 1 cm 的空间,因为膨胀土对水分吸附能力,接头两端的水分迁移只能以气态水形式进行。

进行非饱和膨胀土气态水与液态水混合迁移试验时,采用长 20 cm、一端封闭的 PVC 管,先击实装入干土 10 cm,然后击实装入湿土 10 cm,最后封闭端口,静置到预定的时间后,开样测定不同位置处的含水量分布情况。这样干湿两段土样的水分迁移过程有气态水迁移和液态水迁移共同存在。

2 气态水迁移

试验制备气态水迁移试验土体参数见表 3。

表 3 气态水迁移试验土体参数

试样组数	干密度/(g·cm ⁻³)		初始含水量/%		静置时间/d
	较干土样	较湿土样	较干土样	较湿土样	
1	1.37	1.41	10.20	20.81	14
2	1.52	1.60	12.60	17.42	10
3	1.56	1.60	12.60	17.42	14

为了探讨相同初始干-湿段土体含水量不同静置时间的迁移过程,将第 2、3 组气态迁移试验结果作以对比,图 1 为干-湿段土样的初始含水量为 12.60%~17.42% 经过 10 d 和 14 d 的测定含水量分布。

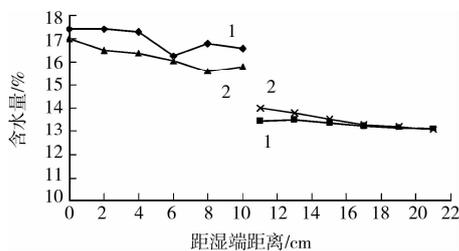


图 1 不同时间气态水迁移结果

由图 1 可以看出,随着时间的增加,含水量变化及水分迁移量是不断增加的。

为了探讨相同静置时间不同干-湿土段含水量的迁移情况,将第 1、3 组试验结果作以对比,图 2 为干-湿段土样的初始含水量分别为 10.20%~20.8% 与 12.60%~17.42% 经过 14 d 的含水量变化。

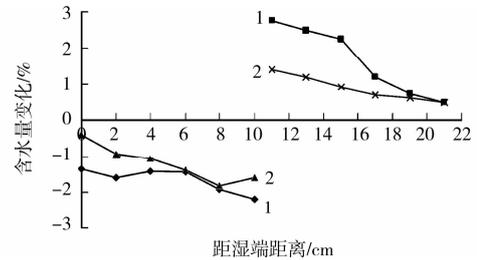


图 2 不同初始含水量区间 14 d 气态迁移结果

由图 2 可以看出,干-湿段土样含水量差别较大者,气态水水分迁移量较多,而且较干段接头近处含水量沿长度的梯度较大,是由于较干土体对水分的吸附作用阻止了水分的扩散所致,而较湿土段的含水量分布比较均匀,较湿段土粒周围多为自由水,所以迁移速度比较快造成的。

3 气态水与液态水混合迁移

气态水与液态水混合迁移试验制备试样参数见表 4。

表 4 气态水与液态水混合迁移试验土体参数

试样组数	干密度/(g·cm ⁻³)		含水量/%		静置时间/d
	较干土样	较湿土样	较干土样	较湿土样	
4	1.24	1.40	10.20	20.81	14
5	1.38	1.52	12.60	17.42	5
6	1.39	1.54	12.60	17.42	10
7	1.39	1.52	12.60	17.42	14
8	1.45	1.57	11.10	22.88	5
9	1.41	1.60	11.10	22.88	10

为了得到相同含水量梯度不同静置时间的迁移过程,将第 5、6、7 组试验结果作以对比,图 3 为干-湿段土样的初始含水量为 12.60%~17.42% 分别经过 5 d、10 d、14 d 的实测含水量分布。

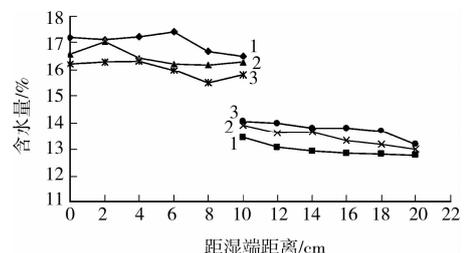


图 3 不同时间的含水量分布

由图 3 可以看出,随着时间的增加,含水量不断变化及水分迁移量不断增加的过程。

为了得到相同静置时间不同干-湿段土样的初始含水量的水分迁移情况,将第 4 与 7 组作以对比,见图 4。

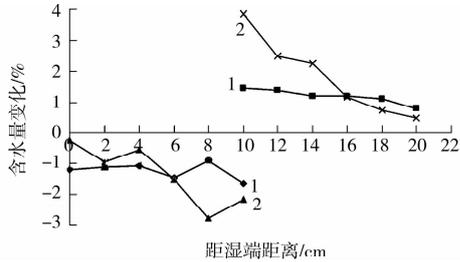


图 4 不同初始含水量区间 14 d 混合迁移结果

由图 4 可以看出,干-湿段土样的初始含水量的不同,含水量变化也有显著差异,而且含水量变化随位置的分布规律及其含水量变化梯度也有明显差别,这可能与土样密度和含水量水平的差别有关^[15],而且膨胀土因为水分的变化致使土颗粒体积变化^[16],而土体是在固定空间内存在,其总体积不变,则土体孔隙体积就会发生变化,导致水分迁移的速度和迁移量发生变化。含水量变化与土体的位置有密切关系,接头近处含水量梯度较大,含水量梯度作用下又引起水分迁移含水量不断变化,随着迁移的发生,含水量梯度逐渐变小,而且不同位置变化不同,致使迁移量的变化与时间和位置呈很复杂的非线性关系。

5 与 8 组、6 与 9 组作以比较见图 5 和图 6。

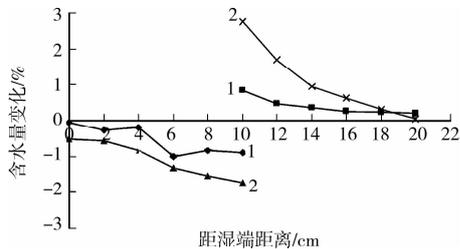


图 5 不同含水量区间 5 d 混合迁移结果

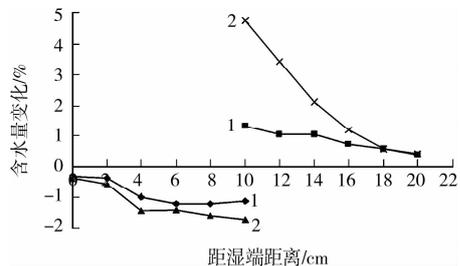


图 6 不同含水量区间 10 d 混合迁移结果

4 气态水迁移与气液混合迁移的对比分析

将相同初始干-湿段土样含水量,相同静置时间的气态水迁移与气液混合迁移的迁移量放在一起,如图 7、8 所示。

图 7 为第 1 和 4 组的对比,初始干-湿段土样含水量为 10.20%~20.81%的气态水迁移和气液混合迁移的 14 天含水量分布情况;图 8 为第 2 和 6 组的对比,初始干-湿段土样含水量为 12.60%~17.42%的气态水迁移和气液混合迁移 10 d 的含水量分布情况。

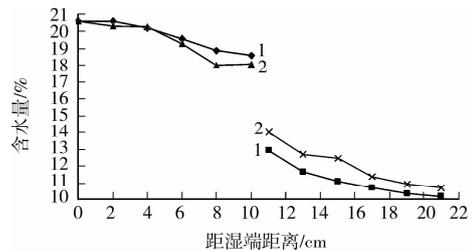


图 7 相同含水量区间 14 d 迁移结果

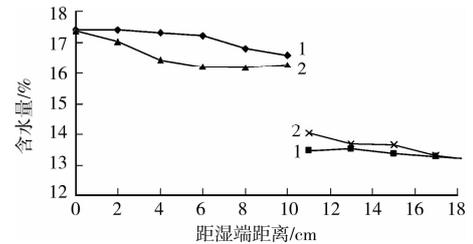


图 8 相同含水量区间 10 d 迁移结果

由图 7、8 可以看出混合迁移量比气体水迁移量明显大得多,相同位置的差可以认为是液态水迁移的大小。从图可以看出气体水迁移量占总迁移量的比例随位置的不同差别较大,主要原因是与不同位置土体本身的含水量水平有关,位置不同含水量大小和梯度有差别,而且在不停的变化;含水量较低时土粒对水分的吸附能力较强,阻止了液态水的流动,液态水迁移的比例就较小,含水量较高时,土颗粒周围多为自由水,液态水迁移的比例就较大,因为含水量在变化,所以液态水迁移的比例随时间和位置也是变化的。

5 结语

对等温条件下膨胀土土样进行水分迁移的试验研究揭示出,相同迁移时间内,土质情况、含水量梯度和含水量水平对气态水迁移和气液水分混合迁移的迁移量均有较大影响,迁移量随含水量梯度增加

而增加,与时间和位置呈复杂的非线性关系。干、湿段含水量分布规律不同,干段接头近处含水量梯度较大,湿段含水量分布比较均匀。在气液混合迁移过程中,液态水迁移所占比例随时间和位置的不同是变化的,含水量水平和梯度是其重要影响因素。本文得到的试验结果可以为膨胀土水分迁移的进一步研究提供可靠的资料。

参考文献:

- [1] FREDLUND G, RAHADJO H. Soil mechanics for unsaturated soils[D]. New York: John Wiley & Sons, 1993.
- [2] 包承纲,詹良通. 非饱和土性状及其与工程问题的联系[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(2): 129-136.
BAO CHENG-GANG, ZHAN LIANG-TONG. Relationship between unsaturated soil behavior and engineering problems [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(2): 129-136.
- [3] 翟聚云. 非饱和膨胀土非稳态渗流方程的参数探讨[J]. 冰川冻土, 2009, 31(3): 582-585.
ZHAI JU-YUN. A Study on parameters of unsteady transfusion equation about unsaturated expansive soil [J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2009, 31(3): 582-585.
- [4] 梁宁慧,刘新荣,陈建功,等. 岩体渗透特性对边坡稳定性影响分析[J]. 地下空间与工程学报, 2006(2): 1003-1006.
LIANG NING-HUI, LIU XIN-RONG, CHEN JIAN-GONG, et al. Numerical analysis of the rock seepage character for the influence of slope's stability [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006(2): 1003-1006.
- [5] 林鸿洲,李广信,于玉贞,等. 基质吸力对非饱和土抗剪强度的影响[J]. 岩土力学, 2007, 28(9): 1931-1936.
LIN HONG-ZHOU, LI GUANG-XIN, YU YU-ZHEN, et al. Influence of matric suction on shear strength behavior of unsaturated soils [J]. Rock and Soil Mechanics, 2007, 28(9): 1931-1936.
- [6] 李守德,王保田,许永振,等. 路基非饱和土水分运移及其对边坡稳定性的影响[J]. 中南公路工程, 2005, 30(4): 53-56.
LI SHOU-DE, WANG BAO-TIAN, XU YONG-ZHEN, et al. Study on water transportation and stability variation of roadbed unsaturated slope [J]. Journal of central South Highway Engineering, 2005, 30(4): 53-56.
- [7] 董玉文,郭航忠,任青文. 屈服准则对土质边坡稳定安全度计算的影响分析[J]. 重庆建筑大学学报, 2006, 28(3): 51-55.
DONG YU-WEN, GUO HANG-ZHONG, REN QING-WEN. Influence of yield criterion on calculating safety degree of soil slope [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2006, 28(3): 51-55.
- [8] 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [9] 王铁行,陆海红. 温度影响下的非饱和黄土水分迁移问题探讨[J]. 岩土力学, 2004, 7(25): 1081-1084.
WANG TIE-HANG, LU HAI-HONG. Moisture migration in unsaturated loess considering temperature effect [J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(7): 1081-1084.
- [10] KRISHNAIAH S, SINGH D N. A methodology to determine soil moisture movement due to thermal gradients [J]. Experimental Thermal and Fluid Science, 2003, 27: 715-721.
- [11] 彭小红,郑泽根,丁文川,等. 垃圾填埋场的污染与防治[J]. 重庆建筑大学学报, 2007, 29(4): 140-143.
PENG XIAO-HONG, ZHENG ZE-GEN, DING WEN-CHUAN, et al. The pollution of landfill and its prevention [J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2007, 29(4): 140-143.
- [12] GUO L, JURY W A. Coupled production and transport of selenium vapor in unsaturated soil: evaluation by experiments and numerical simulation [J]. Journal of Contaminant Hydrology, 2001, 49(1/2): 67-85.
- [13] ANN DUECK. Laboratory results from hydro-mechanical tests on water unsaturated bentonite [J]. Engineering Geology, 2008, 97: 15-24.
- [14] JAMES GRAHAM, KRISTA GELMICH HALAYKO, HAROLD HUME, et al. A capillarity-advective model for gas break-through in clays [J]. Engineering Geology, 2002, 64: 273-286.
- [15] 王铁行,贺再球,赵树德,等. 非饱和土体气态水迁移试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2005, 18(24): 3271-3275.
WANG TIE-HANG, HE ZAI-QIU, ZHAO SHU-DE, et al. Experimental study on vaporous water transference in loess and sandy soil [J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2005, 18(24): 3271-3275.
- [16] 鲁洁. 膨胀土增湿变形特性研究[D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2008.

(编辑 王秀玲)