

考虑应力场作用的饱和黄土渗透特性研究

郭鸿, 骆亚生, 郭靖

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 了解三轴渗透试验和常规渗透试验的差异, 探求围压产生的应力场对饱和黄土渗透特性的影响规律。对4个典型黄土地区兰州、洛川、杨凌、巩义的黄土试样充分饱和后分别做常规变水头渗透试验和三轴渗透试验。结果表明, 随着围压和干密度的增大, 饱和黄土的渗透系数减小。从试验得到, 当干密度从 1.45 g/cm^3 向 1.65 g/cm^3 变化时, 围压从100 kPa向400 kPa变化时, 三轴渗透试验所得的渗透系数是常规渗透试验所得结果的0.881倍到0.161倍。

关键词: 黄土; 应力场; 渗透

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2010)01-0131-03

中图分类号: TU411.4

Infiltration Characteristics of Saturated Loess by Considering the Role of Stress Field

GUO Hong, LUO Ya-sheng, GUO Jing

(College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The difference between conventional permeability test and triaxial permeability test is studied and the characteristics of saturated loess permeability affected by stress field by confining pressure are analyzed. The loess samples from the four typical loess areas of Lanzhou, Luochuan, Yangling, and Gongyi were fully saturated to make conventional variable-head permeability test and triaxial permeability test. Results show that with the increases in confining pressure and dry density, the permeability coefficient of saturated loess decreases. In general, when dry density changes from 1.45 g/cm^3 to 1.65 g/cm^3 and confining pressure, from 100 to 400 kPa, the permeability coefficient by triaxial permeability test is almost 0.881 to 0.161 times less than the test result of conventional permeability.

Keywords: loess; stress field; infiltration

黄土地区大量的土坝和土石坝工程建设中, 黄土是主要的筑坝材料(坝体材料及心墙料)。目前在黄土地区土坝和土石坝的数量数以万计。为了研究土坝的渗流情况, 室内的渗透试验是必要的。然而常规的室内渗透试验没有考虑现场土体所受复杂应力的影响。目前, 虽然三轴渗透性研究仍处在初期阶段, 还很不成熟, 在岩土工程、地质工程方面虽有所应用, 但资料非常有限^[1-6]。由于三轴渗透试验考虑了土体所受复杂应力这一因素的影响, 因而可望得到更接近实际的渗透试验成果。

本文在三轴室内渗透试验的基础上, 以我国典型黄土地区兰州、洛川、巩义、杨凌黄土土料为研究对象, 以室内饱和和重塑黄土的常规渗透试验和三轴试验为基本手段, 比较在相同条件下两种试验方法的数值差异, 探求围压产生的应力场对渗流场的影响规律。

1 试验方案

1.1 试验仪器介绍

三轴试验仪器采用由南京土壤仪器厂生产的SLB-1型应力应变控制式三轴剪切渗透试验仪。本次三轴渗透试验, 采用恒压差控制, 即恒水头渗透试验。常规试验采用的是南55渗透仪, 采用变水头渗透试验。

1.2 试验材料

试验所用土样分别取自兰州、洛川、巩义、杨凌4个典型的黄土地区。

1.3 试验方案及步骤

(1) 对所采集的4个地区(杨凌、洛川、巩义、兰州)的黄土土样进行各种物理性质指标测定(见表1)。

收稿日期: 2009-05-12

修回日期: 2009-06-30

资助项目: 教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-06-0864)

作者简介: 郭鸿(1984—), 男(汉族), 陕西省长武县人, 硕士研究生, 主要从事岩土工程方面的研究。E-mail: www.hhbox@163.com。

通信作者: 骆亚生(1967—), 男(汉族), 陕西省泾阳县人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事黄土静、动力学特性的试验、理论及其工程应用研究。E-mail: yt02@nwsuaf.edu.cn。

表 1 黄土土料的物理性质指标

取样地点	比重	液限/%	塑限/%	塑性指数/%	部分矿物质含量/%		按颗粒组 成分类	按塑性 图分类
					蒙脱石	伊利石		
兰州	2.71	28.80	18.00	10.80	5.3	12.7	CL	低液限黏土
洛川	2.72	31.08	19.40	12.40	6.1	15.5	CL	低液限黏土
巩义	2.71	30.60	17.50	13.10	8.8	13.3	CL	低液限黏土
杨凌	2.68	35.20	21.56	13.64	9.3	19.6	CL	低液限黏土

(2) 对所采集的黄土土样进行击实试验, 确定最大干密度, 其值为 1.70 g/cm^3 , 最后以 3 组干密度控制 ($1.45, 1.55, 1.65 \text{ g/cm}^3$), 即 (85%, 91%, 97% 压实度) 同时制成常规样和三轴样, 然后采用抽气饱和法和法对所制土样充分饱和。

(3) 对已饱和的试样用 SLB-1 型应力应变控制式三轴剪切渗透试验仪进行三轴渗透试验, 试验过程中通过围压控制器控制周围压力, 逐级加压 100, 200, 300, 400 kPa。

2 考虑应力场效应的饱和黄土渗透规律

2.1 常规渗透试验

常规渗透试验是通过南 55 渗透试验仪实现的, 该仪器对土样不能施加围压, 故土样被认为是没有围压作用的。这种情况下不考虑应力场对饱和黄土土样产生的影响。常规试验的目的在于和三轴试验试验的结果做对比, 从而进一步探求围压产生的应力场对渗透系数的影响。不同地区常规样干密度和渗透系数的关系如图 1 所示。

2.2 三轴渗透试验

图 2a, 2b, 2c, 2d 分别反映了兰州、洛川、巩义和

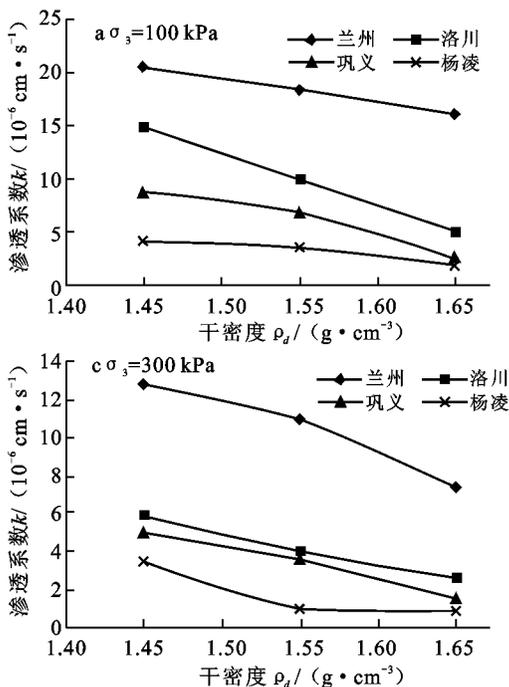


图 2 不同地区三轴样干密度与渗透系数关系曲线

杨凌饱和黄土在 100, 200, 300 和 400 kPa 下的渗透系数与干密度的关系曲线。

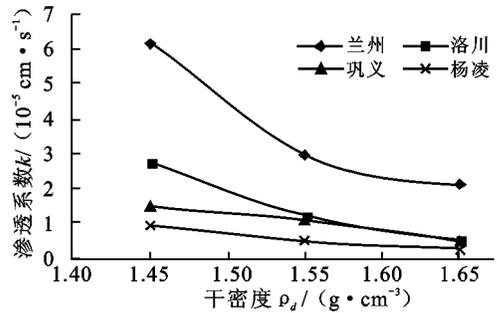


图 1 不同地区常规样干密度与渗透系数关系曲线

若将常规试验的渗透系数表示为 k_0 , 三轴试验的渗透系数根据不同围压分别为: $k_{100}, k_{200}, k_{300}, k_{400}$, 假设一个围压系数 $\lambda = k_i/k_0$ ($i = 100, 200, 300, 400$)。其意义就是在围压的条件下, 三轴试验渗透系数与常规渗透系数的比值, 它反映了围压对渗透系数的影响程度, 围压系数越大, 影响程度越小, 围压系数越小, 影响程度越大。它的理论取值区间是 (0, 1)。故在无三轴试验条件下, 可以对常规渗透试验做大概的修正。

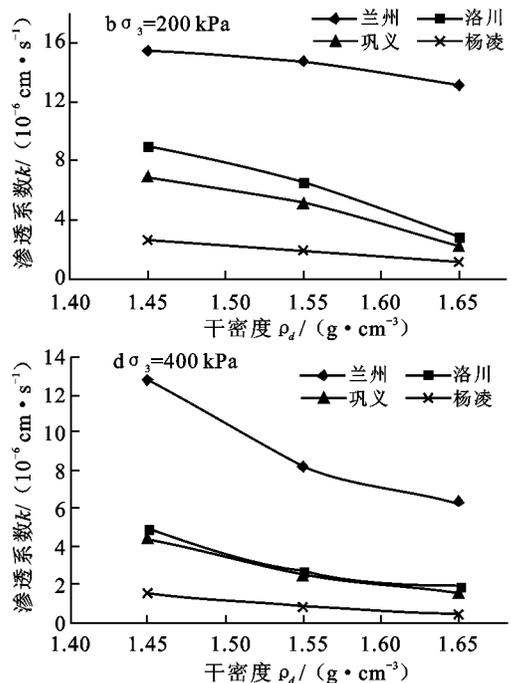


图 3 反映了围压系数在不同干密度和不同围压下的变化规律。从图 3 可以看出, 在围压为 100 kPa 时, 围压系数为 0.333~0.881, 在围压为 200 kPa 时, 围压系数为 0.25~0.607, 在围压为 300 kPa 时, 围压系数为 0.208~0.449, 在围压为 400 kPa 时, 围压系数为 0.153~0.325。整体上来看, 围压系数的分布伴随着干密度的减小而整体下移, 这充分说明干密度对围压系数的影响起了主导作用, 基本规律是干密度越大, 围压对渗透系数的影响越小。

在荷载作用下, 应力场发生变化, 导致多孔介质的体积和孔隙产生变化, 从而使介质的渗透系数发生变化。通常, 孔隙介质的渗透系数与介质的变形或受力状态的定量关系需由试验确定, 这里采用的指数函数关系,

$$k = k_0 \exp(-\alpha \sigma_n) \quad (1)$$

式中: k_0 —— 初始渗透系数; α —— 系数, 由试验拟合确定; σ_n —— 有效主应力; k —— 方向与有效主应力

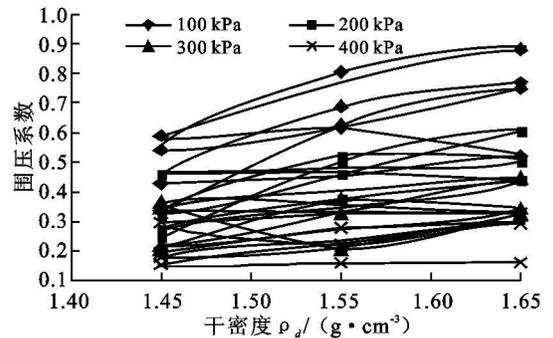
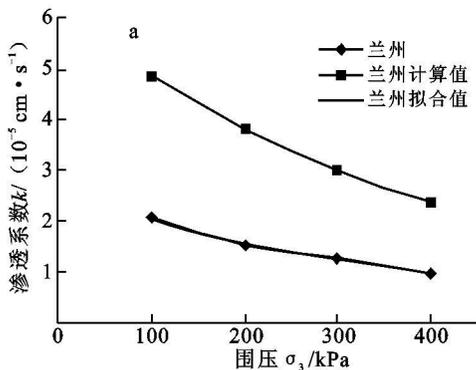


图 3 干密度与围压系数的关系曲线

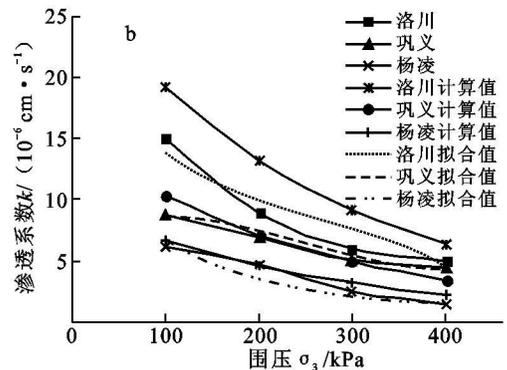


图 4 各地区三轴样干密度与渗透系数关系曲线

3 结论

本文以兰州、洛川、巩义、杨凌 4 个地区典型土样为研究对象, 基于室内饱和黄土常规试验和三轴试验, 初步探讨了围压产生的应力场对黄土渗透系数的影响, 主要得出了以下结论。

(1) 引入围压系数的概念, 其意义就是在围压的条件下, 三轴试验渗透系数与常规渗透系数的比值, 它反映了围压对渗透系数的影响程度, 围压系数越大, 影响程度越小, 围压系数越小, 影响程度越大。它的理论取值区间是(0, 1)。在无三轴试验条件下, 可根据不同的干密度和围压对常规试验结果做更接近实际情况的修正。

(2) 相同干密度下, 围压越大, 围压系数越小, 渗透系数越小; 但是较高干密度下, 围压对围压系数的影响变弱, 对渗透系数的影响也相应变弱。

方向一致的渗透系数^[7]。

图 4 中拟合值指的是三轴试验数据趋势线, 计算值是根据式(1)计算得到的曲线, 其中 k_0 用的是图 3 中常规试验的渗透系数。图 4a 中, 兰州土样计算值与试验值曲线趋势较为相符, 但是数值差异较大, 原因很可能是由于三轴样和常规样抽气饱和程度有差异。图 4b 中其它 3 个地区的计算值和试验值吻合较好, 说明(1)式对饱和黄土也是适用的。

(3) 围压和渗透系数符合指数函数关系, 其中为初始渗透系数, 即本文常规试验下的渗透系数。

[参 考 文 献]

- [1] 朱建华. 土坝心墙原状土的三轴渗透试验[J]. 岩土工程学报, 1989(4): 57-63.
- [2] 黄婉荣, 郭志平. 填埋场压实黏土衬垫防干裂试验研究[J]. 河海大学学报, 2000, 28(6): 19-22.
- [3] 李永乐, 刘翠然, 刘海宁, 等. 非饱和土的渗透特性试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004: 386-386.
- [4] 郑纲. 岩体裂隙三轴应力渗透规律的试验研究[J]. 工程地质学报, 2004, 12(1): 30-33.
- [5] 杨栋, 薛晋霞, 康志勤, 等. 抚顺油页岩干馏渗透实验研究[J]. 西安石油大学学报: 自然科学版, 2007, 22(2): 23-25.
- [6] 苗丽, 王复明, 郭雪莽. 考虑应力场作用的土渗透系数反演方法研究[J]. 中国农村水利水电, 2009(1): 59-61, 62.
- [7] 沈振中, 陈小虎, 王金男. 基于无单元法的应力场与渗流场耦合分析模型[J]. 水电能源科学, 2007, 25(4): 61-63.