

doi:10.3969/j.issn.1673-9833.2013.03.006

# 改进的粗粒土渗流试验研究

陈春鸣<sup>1</sup>, 祝方才<sup>2</sup>, 杨越<sup>2</sup>, 田峰亮<sup>2</sup>, 唐文彪<sup>2</sup>

(1. 东莞理工学院城市学院 城市与环境科学系, 广东 东莞 523419;  
2. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412007)

**摘要:** 利用改进的渗流试验装置, 对9组土体试样进行渗流试验。对试验结果进行分析, 得到了流速、含石量、密实度、不均匀系数与渗透系数之间的关系, 且试验分析所得结论与理论分析的结果基本一致, 可供相关研究作为参考; 同时说明改进的渗流装置其基本性能稳定, 可用于相关岩土材料的试验研究。

**关键词:** 粗粒土; 改进的渗透试验; 渗透系数

中图分类号: TU411.4

文献标志码: A

文章编号: 1673-9833(2013)03-0027-04

## Research on Improved Penetration Test of Coarse-Grained Soil

Chen Chunming<sup>1</sup>, Zhu Fangcai<sup>2</sup>, Yang Yue<sup>2</sup>, Tian Fengliang<sup>2</sup>, Tang Wenbiao<sup>2</sup>

(1. Department of City and Environment Science, City College of Dongguan University of Technology, Dongguan Guangdong 523419, China; 2. School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412007, China)

**Abstract:** Nine groups of soil samples were investigated with the improved penetration test equipment. Through the analysis of test results, the relationship between water velocity, stone content, compactness, uniformity coefficient and coefficient of permeability were obtained. The theoretical analysis and the experimental data are basically consistent, which can be reference for related research. Experimental results also show that the improved seepage device has stable performance and can be used in geotechnical material research.

**Keywords:** coarse-grained soil; improved penetration test; osmotic coefficient

## 0 引言

大自然中雨水无处不在, 渗流是水流穿越土体颗粒间孔隙的一种现象。通常用渗透系数来衡量土体的渗透性能, 用水力破坏坡降来衡量土体的渗透稳定性。显然, 土体的这些特性指标与挡水建筑物的土石坝工程和类似地质条件的山体的稳定性关系密切。学者们在此方面的研究成果较多, 如: 郭庆国<sup>[1]</sup>以渗透试验资料为基础, 探讨粗粒土的粗颗粒含量、细颗粒性质等因素对渗透系数、水力破坏坡降的影响。邵生俊等人<sup>[2]</sup>提出了最大渗流单粒孔隙的

确定方法, 并验证了最大渗流单粒孔隙反映粗粒土渗透性的合理性。

目前针对粗粒土的渗流研究仍以理论研究为主, 这是因为一般试验室常见的渗流设备无法满足粗粒土渗流试验模拟的要求。在此背景下, 本文对渗透试验装置进行了改进, 并用于对粗粒土渗透性能的测定。

## 1 渗流基本定律

土体渗透性能的研究可追溯到1852年<sup>[3]</sup>。法国

收稿日期: 2013-04-11

作者简介: 陈春鸣(1987-), 男, 湖南双峰人, 东莞理工学院城市学院教师, 硕士, 主要研究方向为岩土工程,

E-mail: 495935662@qq.com

科学家达西 (H. Darcy) 对无黏聚性、颗粒均匀的砂进行大量的试验研究后发现, 在规定单位时间内, 渗透通过单位面积的水量与有效水头 (上游与下游的水位差) 成正比, 与渗透路径直线长度成反比, 并有如下关系:

$$Q = KA \frac{h_1 - h_2}{L}, \quad (1)$$

$$V = \frac{Q}{A}, \quad (2)$$

$$J = \frac{h_1 - h_2}{L}. \quad (3)$$

式 (1)~(3) 中:  $A$  为透水断面面积,  $\text{cm}^2$ ;

$Q$  为单位时间内通过一定面积  $A$  的渗流量,  $\text{cm}^3$ ;

$K$  为渗透系数, 描述了透水土体 (多孔介质) 的渗透能力,  $\text{cm/s}$ ;

$h_1, h_2$  分别为上、下游水位,  $\text{cm}$ ;

$L$  为渗流路径的直线长度,  $\text{cm}$ ;

$V$  为渗透平均流速,  $\text{cm/s}$ ;

$J$  为渗透水力坡降, 是单位长度渗透水力路径上水头损失平均值。

将式 (2) 和式 (3) 代入式 (1), 得

$$V = KJ. \quad (4)$$

式 (1) 或式 (4) 为达西渗流定律, 是渗流理论的基本定律。它建立了流体流速、水力坡降以及土体性质之间的联系, 揭示了水流入渗的本构关系, 为研究和发展深层次渗流理论奠定了基础。目前许多渗流问题依旧可运用达西定律的原理来分析和解决, 且效果良好。

本课题的研究对象土岩组合体, 是由上层粗粒土和底层岩石组合而成。雨水渗透主要作用于粗粒土层。研究粗粒土渗透性能除了受流体介质、流体温度、流体方向、测试仪器、测试方法等影响外, 粗颗粒含量、细颗粒特性、土体密实度、粗颗粒特征也是重要的影响因素<sup>[3]</sup>。

## 2 改进的渗透试验装置

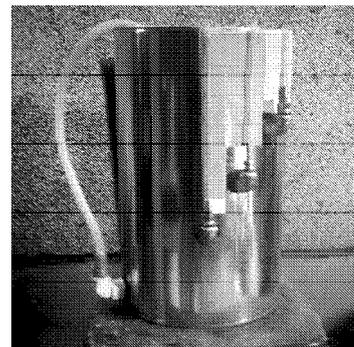
在试验室, 通常是按 JTG E40—2007《公路土工试验规程》<sup>[4]</sup> 要求来测定土体的渗透性能。渗透系数的测定方法有常水头渗透试验和变水头渗透试验, 对无凝聚性土类如砂类土和含少量砾石的土常采用常水头试验法。

目前, 试验室常备的常水头渗透仪是 70 型渗透仪, 其筒身内径  $D = 9.44 \text{ cm}$ , 筒身侧壁有 3 个测压孔, 测压孔中心间距为  $10 \text{ cm}$ , 玻璃测压管内径为  $0.6 \text{ cm}$ ,

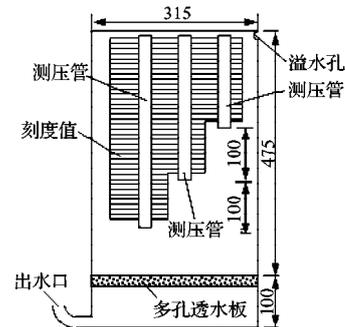
用橡皮管与测压孔相连。渗透试验试样制作规范<sup>[4]</sup> 规定: 渗透仪筒身内径应为试样颗粒最大粒径的 8~10 倍。本课题试验材料最大粒径为  $30 \text{ mm}$ , 要求渗透仪筒身  $D \geq 240 \text{ mm}$ , 因此 70 型渗透仪不适宜选用。

本试验对渗透仪进行改进, 改进思路是: 能满足筒身直径要求, 密封性好, 有足够强度和刚度抵抗变形, 便于试验观测。

改进后的渗透仪材质为不锈钢, 筒身直径为  $315 \text{ mm}$ , 高为  $575 \text{ mm}$ , 3 个测压孔中心间距  $100 \text{ mm}$ , 测压管内径为  $10 \text{ mm}$ , 见图 1。



a) 外观



b) 结构示意图

图1 改进的渗透仪

Fig.1 Improved permeameter

## 3 渗透试验

试验所用土样为湖南省株洲市炎陵砂性土, 其成因为粉砂岩分化后所致。7 类土样的含石量质量分数分别为 0%, 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%; 不均匀系数  $C_u$  分别为 5.878, 7.785, 9.368, 11.478, 17.836, 22.883, 24.434。不同含石量时颗粒级配曲线见图 2。

将取回的试验材料按要求烘干、过筛备用, 按照规定的含水量和含石比例计算出每次试验所需的质量。试验混合料样品配制完毕后放置  $8 \text{ h}$ , 使之浸润均匀。

利用改进后的渗透仪, 改变含石量和控制密实度测定碎石土的渗透系数。按不同含石量和试验控制干密度设计成 9 种试验方案: 1) 0%,  $2.00 \text{ g/cm}^3$ ;

2) 10%, 2.00 g/cm<sup>3</sup>; 3) 20%, 2.00 g/cm<sup>3</sup>; 4) 30%, 2.00 g/cm<sup>3</sup>; 5) 40%, 2.00 g/cm<sup>3</sup>; 6) 50%, 2.00 g/cm<sup>3</sup>; 7) 60%, 2.00 g/cm<sup>3</sup>; 8) 30%, 1.88 g/cm<sup>3</sup>; 9) 30%, 1.75 g/cm<sup>3</sup>。每种配合比例做平行试验, 共 18 次。

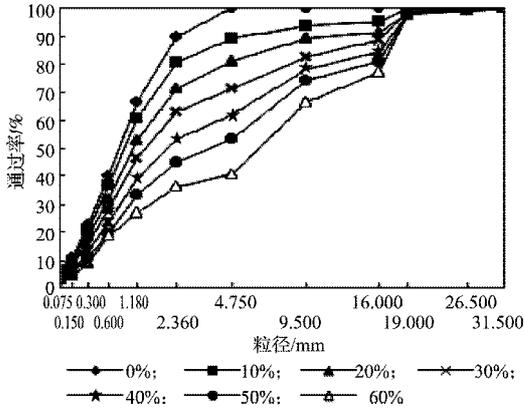


图2 不同含石量时颗粒级配曲线

Fig. 2 Grade curves of different stone contents

### 4 试验结果及分析

#### 4.1 流速与渗透系数的关系

用 7 种不同含石量的试验样品, 在不同水头下试验, 并用达西定律计算出对应的渗透系数, 得出渗透系数与土体中水流速度的关系, 如图 3 所示。

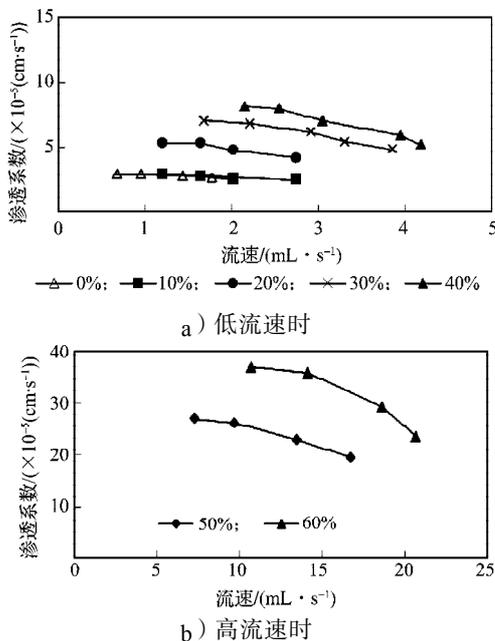


图3 水流速度与渗透系数的关系

Fig. 3 Relationship between water velocity and coefficient of permeability

由图 3 可知, 当流速较低时, 同一组试样在不同水力坡降情况下, 渗透系数几乎无变化, 如含石量为 0% 时; 但在高流速时, 同一组试样在不同水力坡降时渗透系数变化幅度变大, 均为下降趋势, 且这

一临界流速不是唯一的, 与土体结构有关。通常来说, 渗透系数是土体的物理性能指标, 是一种属性, 不会随外界流速变化而有大的变化, 分析其原因可能是因为流速达到一定程度时, 采用达西定律计算的渗透系数与实际数值有一定偏差, 且偏小。

#### 4.2 含石量与渗透系数的关系

含石量与渗透系数的关系, 如图 4 所示。

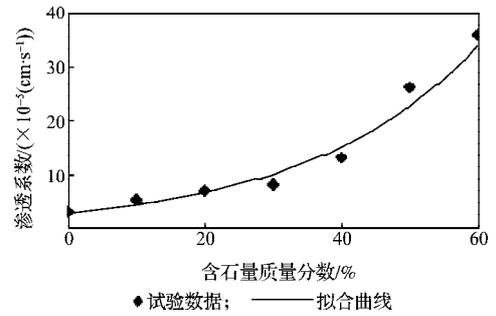


图4 含石量与渗透系数的关系

Fig. 4 Relationship between stone content and coefficient of permeability

从图中的拟合曲线 ( $y=2.9429e^{0.0408x}$ ,  $R^2=0.9733$ ) 可知, 在组成土体原材料确定的情况下, 土体中粗颗粒含量与渗透系数存在指数关系, 渗透系数随含石量的增大而增大。这一规律与文献[5]得到的渗透规律相似。根据该试验结论, 在实际工程中, 在确定材料类型及当地雨水特点的情况下, 可通过试验方法建立粗颗粒含量与渗透性能的关系, 从而推断出任意含石量下的渗透情况。

#### 4.3 密实度与渗透系数的关系

试验测定含石量均为 30%, 干密度分别为 1.75, 1.88, 2.00 g/cm<sup>3</sup> 时土体的渗透系数, 研究渗透系数变化与干密度变化的关系, 如图 5 所示。

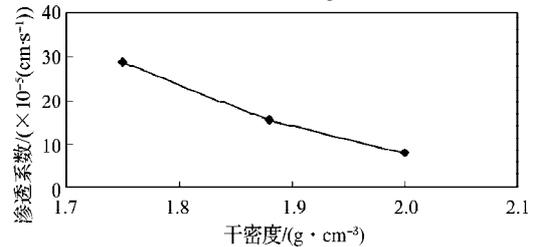


图5 渗透系数与干密度的关系

Fig. 5 Relationship between coefficient of permeability and dry density

由图可知, 渗透系数随干密度的增大而减小, 且干密度较低时渗透系数变化梯度较大。该结果表明, 土体在低密实度时, 颗粒间存在相对较多的大空隙, 因此渗透系数变化随密实度增大而降低; 随着颗粒间大空隙的逐渐消失, 继续增大密实度则会压缩颗粒间距离, 此时渗透性能降低, 但效果没有之前明显。

#### 4.4 不均匀系数与渗透系数的关系

根据入渗影响因素理论, 不均匀系数  $C_u$  反映了土体内部颗粒粒径的分布情况,  $C_u$  越大表明粒径分布越不均匀。为研究其规律, 对不均匀系数不同的5种情况进行试验, 并将试验结果与文献[6]和[7]的结果作比较, 如图6所示。

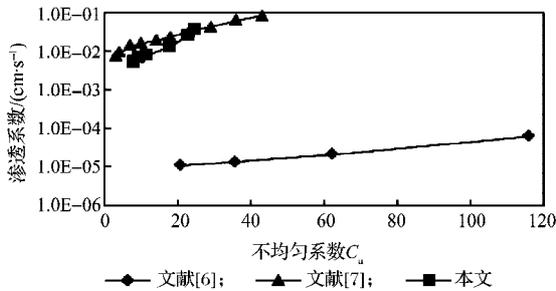


图6 渗透系数与不均匀系数的关系

Fig. 6 Relationship between permeability coefficient and uniformity coefficient

由图可知, 本文试验结果与文献[6]和文献[7]的结果差异较大, 这主要是构成土体的粒径情况差别较大造成的。但三者有共同规律: 渗透系数随土体不均匀系数的增大而增大, 这说明土体颗粒分布越不均匀, 渗透系数也就越大, 这与入渗影响因素的理论分析相符。

## 5 结论

采用改进后的渗透试验仪, 对粗粒土进行渗透性能的测定, 分析得到了粗粒土渗透性能分别与流速、含石量、密实度和不均匀系数之间的关系:

1) 当流速较低时, 同一组试样在不同水力坡降下, 渗透系数几乎无变化; 但在高流速时, 同一组试样在不同水力坡降下, 渗透系数变化变大, 且均为下降趋势。

2) 土体中粗颗粒含量与渗透系数存在指数关系, 渗透系数随含石量的增大而增大。

3) 渗透系数随密实度的增大而变小, 且密实度较低时渗透系数变化梯度较大。

4) 渗透系数随土体不均匀系数的增大而增大, 且较接近于线性递增的关系。

#### 参考文献:

- [1] 郭庆国. 粗粒土的渗透特性及渗流规律[J]. 西北水电, 1985(1): 42-47.  
Guo Qingguo. The Permeability and Infiltration Flow Rule of Coarse-Grained Soils[J]. Northwest Hydropower, 1985(1): 42-47.
- [2] 邵生俊, 李建军, 杨扶银. 粗粒土孔隙特征及其对泥浆渗透性的影响[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(1): 59-65.  
Shao Shengjun, Li Jianjun, Yang Fuyin. Pore Characteristics of Coarse Grained Soil and Their Effect on Slurry Permeability[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2009, 31(1): 59-65.
- [3] 周中. 土石混合体滑坡的流-固耦合特性及其预测预报研究[D]. 长沙: 中南大学, 2006.  
Zhou Zhong. Study on the Fluid-Solid Coupling Characteristic of Soil and Rock Blending Landslide and Its Prediction and Forecast[D]. Changsha: Central South University, 2006.
- [4] 交通部公路科学研究院. JTG E40—2007公路土工试验规程[S]. 北京: 人民交通出版社, 2007: 123-131.  
Research Institute of Highway, MOC. JTG E40—2007 Highway Soil Experiment Specification[S]. Beijing: China Communications Press, 2007: 123-131.
- [5] 邱贤德, 阎宗岭, 刘立, 等. 堆石体粒径特征对其渗透性的影响[J]. 岩土力学, 2004, 25(6): 950-954.  
Qiu Xiande, Yan Zongling, Liu Li, et al. Effect of Particle-Size Characteristics on Seepage Property of Rockfill[J]. Rock and Soil Mechanics, 2004, 25(6): 950-954.
- [6] 周军恒, 李艳祥, 蒋刚. 土石混合体的渗透特性试验研究[J]. 土工基础, 2011, 25(6): 67-70.  
Zhou Junheng, Li Yanxiang, Jiang Gang. Experimental Studies on the Permeability of Soil-Aggregate Mixtures[J]. Soil Engineering and Foundation, 2011, 25(6): 67-70.
- [7] 朱崇辉. 粗粒土的渗透特性研究[D]. 咸阳: 西北农林科技大学, 2006.  
Zhu Chonghui. Study on the Coarse-Grained Soil Permeability Characteristic[D]. Xianyang: Northwest Agriculture and Forestry University, 2006.

(责任编辑: 邓光辉)