

粗颗粒土渗透系数及土体渗透变形仪的研制

张福海,王保田,张文慧,张海霞

(河海大学岩土工程研究所,江苏 南京 210098)

摘要:针对目前还没有合适的室内试验仪器测试巨粒混合土的渗透系数和巨粒混合土发生渗透破坏时的临界水力梯度的现状,研制了粗颗粒土渗透系数及土体渗透变形测试仪。该仪器最大的特点是根据巨粒混合土中含有细粒土致使土体难以饱和的特点,在仪器上设置了密封抽气饱和装置,可以对土样进行抽气饱和。结合工程实践对不同级配的土体进行了渗透及渗透变形试验,试验测得的土体渗透系数和临界水力梯度与理论计算的结果非常接近,部分试验成果已应用于工程实践。
关键词:土石坝;巨粒土;渗透系数;渗透变形;测量仪器

中图分类号:TU415 文献标识码:A 文章编号:1006-7647(2006)04-0031-03

Development of apparatus for measuring permeability coefficient and seepage deformation of coarse-grained soil//ZHANG Fu-hai, WANG Bao-tian, ZHANG Wen-hui, ZHANG Hai-xia(*Geotechnical Research Institute of Hohai University, Nanjing 210098, China*)

Abstract: A new apparatus was developed for effectively measuring the permeability coefficient and critical hydraulic gradient under seepage failure of the coarse-grained soil in laboratory tests. In consideration of the factor that the fine-grained soil included in the coarse-grained soil makes it difficult for the soil to be saturated, sealed evacuating equipment was installed, so that the soil samples can reach the saturated state by air extracting. Seepage and seepage deformation tests on soils with different gradations were performed for some practical projects, and the measured data of the permeability coefficient and critical hydraulic gradient of the soil were quite close to the calculated results. Some results from experimental study have been applied to practical projects.
Key words: earth rock dam; coarse-grained soil; permeability coefficient; seepage deformation; measurement apparatus

我国目前拥有库容在 10 万 m³ 以上的水库大坝共 8.6 万座,其中 90%是土石坝,这些土石坝由于防洪标准低、基础处理不完善^[1]、施工质量不佳及工程老化等原因,约有半数带病运行,平均年垮坝率达 0.11%。在失事的土石坝中,直接由渗流问题导致失事的约占 40%,被列入裂缝^[2]、滑坡等类型的破坏问题,也大多与渗流问题有着密切的关系,因此,为保证大坝的安全运行,避免灾难性事故的发生,研究土石坝的渗流特性是极其必要的^[3]。

目前常用的室内测定土体渗透系数的仪器主要有 70 型渗透仪、南 55 型渗透仪和垂直渗透变形仪等^[4]。70 型渗透仪适用于测定砂性土的渗透系数,南 55 型渗透仪适用于测定黏性土的渗透系数,垂直渗透变形仪适用于测定粗颗粒土的垂直渗透系数和渗透变形^[5]。从适用范围来看,以上试验仪器均无法测试巨粒土和巨粒混合土水平方向的渗透系数及

巨粒混合土发生渗透破坏时的临界水力梯度,主要原因^[6]为:试验土料的最大粒径一般不能超过试验仪器内径的 1/10,美国材料实验协会标准年鉴中也要求试样的最大粒径为试样容器直径的 1/8 ~ 1/12,70 型渗透仪和南 55 型渗透仪的内径较小,不适合用来测定巨粒土和巨粒混合土的渗透系数;垂直渗透变形仪没有约束上透水板与试样筒轴线平行方向位移的装置,试验仪器不能水平放置,在试验中模拟的渗流方向只能是竖向的,渗流方向或者与重力方向一致,或者与重力方向相反,无法测试渗流方向为水平方向的管涌型渗透变形临界水力梯度,另外,由于垂直渗透变形仪试样筒上没有密封抽气饱和装置,所以无法对试样采用抽气饱和和法饱和,只能采用水头饱和和法饱和,对粉砂和粉土等细颗粒含量较多的巨粒混合土不能达到很高的饱和度,因此垂直渗透变形仪不能精确测定粉砂和粉土等细颗粒含量较多

的巨粒混合土发生渗透破坏时的临界水力梯度。

针对上述问题,笔者参照 SL237—1999《土工试验规程》介绍的垂直渗透变形仪的工作原理,研制了粗颗粒土渗透系数及土体渗透变形测试仪。

1 仪器结构

粗颗粒土渗透系数及土体渗透变形测试仪由一个内径 30 cm、高度 50 cm、两端各有 1 只用螺栓固定的不锈钢圆锥形顶盖的有机玻璃试样筒和上下游水位调节装置以及连接试样筒与上下游水位筒的弹簧管组成,细部结构详见图 1~4,仪器布置图见图 5。与垂直渗透变形仪的工作原理相比,粗颗粒土渗透系数及土体渗透变形测试仪增设了两个功能:一是通过设置带有弹簧螺栓的试样筒顶盖约束上透水板与试样筒轴线平行方向位移,可以固定试样筒内的试样,使试样筒既可以垂直放置又可以水平放置;二是在试样筒顶盖上设置了 1 个三通,三通的一侧用来排水,另一侧用来抽气或进水,这样,使用粗颗粒土渗透系数及土体渗透变形测试仪研究粉砂和粉土等细颗粒含量较多的巨粒混合土的渗透性时,就可以采用抽气饱和的方法对试样进行饱和。

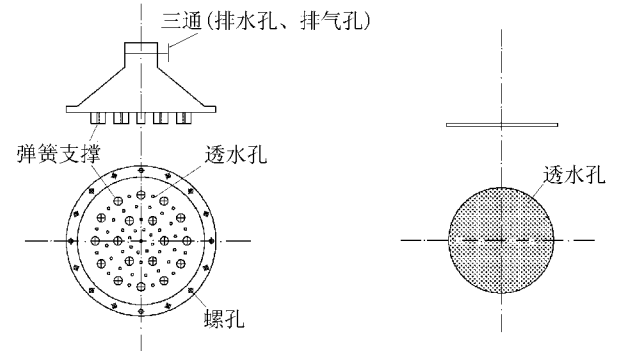


图 1 顶盖结构

图 2 多孔板结构

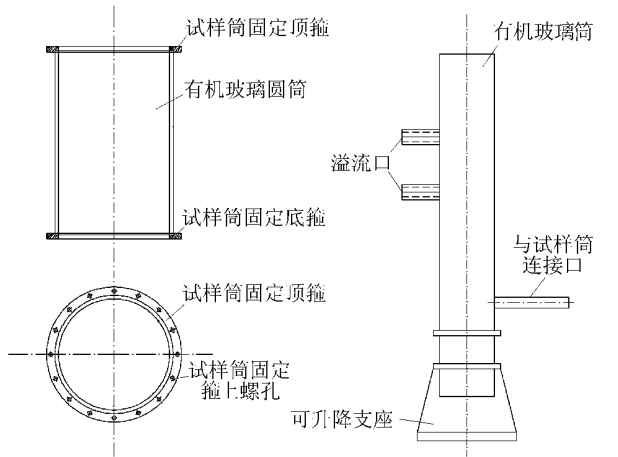


图 3 试样筒结构

图 4 水位调节装置示意图

2 试验操作方法

粗颗粒土渗透系数及土体渗透变形测试仪有以下几种用途:测定巨粒土和巨粒混合土的渗透系数,测定巨粒土和巨粒混合土在渗透破坏时的临界水力梯度。

使用该仪器测定巨粒土的垂直向渗透系数和发生渗透破坏的临界水力梯度时,仪器布置如图 5(a)所示,其操作方法类似于垂直渗透仪,详见文献[4];使用该仪器测定渗流方向为水平方向的管涌型渗透变形临界水力梯度时,仪器布置如图 5(b)所示,只是要在试样饱和后将试样筒水平放置在水平支架上,试验过程仍然采用常水头法。

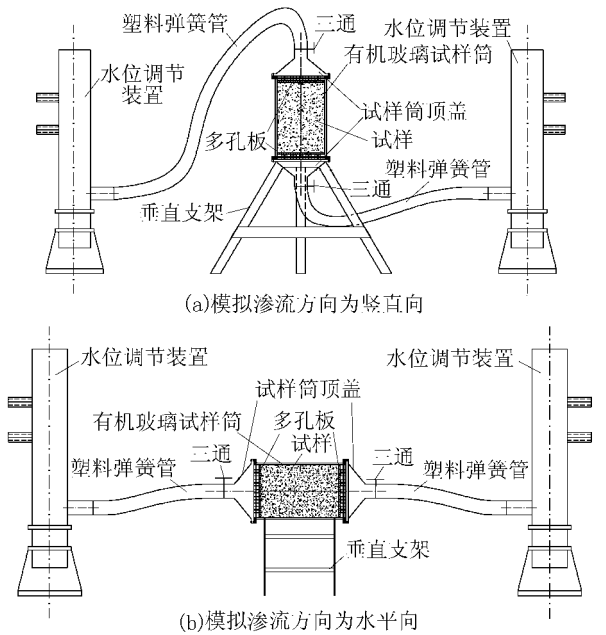


图 5 仪器布置示意图

使用该仪器测试粉砂和粉土等细颗粒含量较多的巨粒混合土的渗透系数和发生流土型渗透破坏时的临界水力梯度时,在制样完成后需要进行抽气饱和,方法如下:将试样筒上、下顶盖上的三通旋至抽气状态进行抽真空,抽至约一个大气负压力值,继续抽气 1 h 以上,关闭下顶盖的排气孔,从下顶盖进水孔缓缓注入无气水,当水淹没试样表面 5 cm 以上时停止抽气,浸泡 2 h 以上就可以使试样饱和。试样饱和后,采用常水头法进行试验,通过改变上下游进出水口的高度来调节渗透水头差,直至试样发生渗透破坏。

3 工程应用

设备验收合格后,在长江河道二期整治工程(八卦洲段)、宜兴铜官山抽水蓄能电站堆石坝级配碎石坝料渗透特性研究项目,以及淮河入海水道入海口粉土地基的渗透特性研究项目中使用了该仪器,部

分试验成果如图 6~8 所示。图 6 所用的试验土样是长江河道二期整治工程地基土——卵石夹粉土土样,试验测得的渗透系数 $k_{20} = 9.28 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$,水力梯度与渗透流速的拟合曲线呈线性关系,符合达西渗透定律。

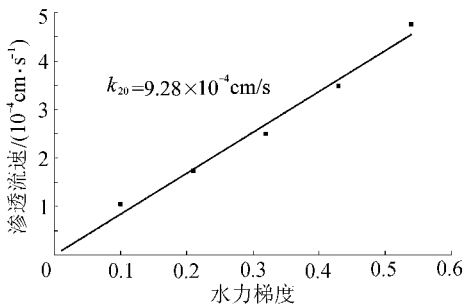


图 6 长江河道二期整治工程(八卦洲段)地基土渗透流速与水力坡度关系曲线

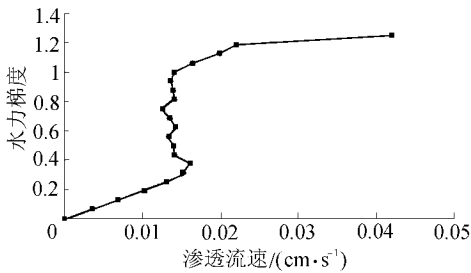


图 7 宜兴铜官山抽水蓄能电站堆石坝级配碎石料渗透变形过程线

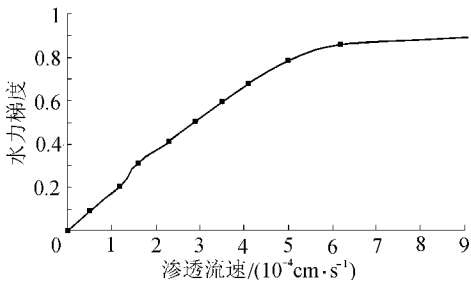


图 8 淮河入海水道入海口粉土地基渗透变形过程线

图 7^[7]所用的试验土样为宜兴铜官山抽水蓄能电站堆石坝小于 5 mm 的颗粒含量约为 20% 的级配良好过渡料,土体的物理力学参数如下:相对密度 $G_s = 2.74$,干密度 $\rho_d = 2.10 \text{ g/cm}^3$,孔隙率 $n = 0.236$ 。根据流土临界水力梯度 i_{cr} 理论计算公式 $i_{cr} = (G_s - 1)(1 - n)^{8/3}$ 算得 $i_{cr} = 1.33$ 。试验测得土样发生流土的临界水力梯度为 1.19,与理论计算结果比较吻合。

图 8 所用的试验土样是淮河入海水道入海口地基粉土,地基土体的物理力学参数如下:相对密度 $G_s = 2.62$,干密度 $\rho_d = 1.40 \text{ g/cm}^3$,孔隙率 $n = 0.466$,同样根据流土临界水力梯度理论计算公式计算得 $i_{cr} = 0.85$,试验测得土样发生流土的临界水力梯度为 0.78,与理论计算结果比较吻合。

目前还没有使用该仪器测定渗流方向为水平方向的管涌型渗透变形临界水力梯度的工程实例。

4 结 语

由河海大学岩土工程研究所研制的专利产品粗颗粒土渗透系数及土体渗透变形测试仪(专利号 ZL03259709.6)是一种适合于精确测定巨粒土和巨粒混合土的渗透系数、流土和管涌型渗透变形的临界水力梯度的仪器,工程应用表明,试验成果可靠,对水利水电工程建设中的渗透特性试验有重要意义。

参考文献:

- [1] 葛孝椿.用覆盖层土的浮重与渗透力计算基坑下承压水降深[J].水利水电科技进展,2004,24(4):12-17.
- [2] 陈建生,赵维炳.单孔示踪方法测定裂隙岩体渗透性研究[J].河海大学学报:自然科学版,2000,28(3):44-50.
- [3] 王宏硕.水工建筑物[M].北京:水利电力出版社,1994:95-98.
- [4] SL237—1999,土工试验规程[S].
- [5] 李振,李鹏,任瑞英.黑河土石坝坝材料的渗透稳定性[J].防渗技术,2002,8(2):9-12.
- [6] 窦宜,盛树馨,马梅英.土工实验室测定技术[M].北京:水利电力出版社,1987:206-208.
- [7] 张文慧,张福海,张海霞.堆石料的渗透性与渗透稳定性试验研究[J].河海大学学报:自然科学版,2001,29(增刊):143-146.
- [8] 卢廷浩.土力学[M].南京:河海大学出版社,2002:81-83.

(收稿日期:2005-04-15 编辑:熊水斌)

·简讯·

中国高等学校电力系统及其自动化专业第 22 届学术年会将在河海大学举行

中国高等学校电力系统及其自动化专业第 22 届学术年会将于 2006 年 10 月在河海大学举行,会议将就电力系统规划与可靠性、电力系统稳态分析与控制、电力系统暂态分析与控制、高压直流输电及灵活交流输电技术、能量管理系统及配电网自动化、电力系统继电保护、电力系统自动化及远动技术、电力设备监测与故障诊断、人工智能在电力系统中的应用、电力市场、理论电工等专题进行广泛的学术交流。会议详细信息可通过河海大学电气工程学院“中国高等学校电力系统及其自动化专业第 22 届学术年会”网页查看,网址为: <http://dqy.hhu.edu.cn/dianzi2006>。

(本刊编辑部供稿)