

DOI:10.3969/j.issn.1672-1144.2016.05.005

全、强风化砂岩填料粗细比对渗透系数影响研究

刘振宇¹, 冯文凯², 谭欢³, 李坤⁴

(成都理工大学 环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘要:在我国西南地区广泛分布有厚度较大的全、强风化砂岩,可将其部分应用于填方工程中;影响该类填料渗透性的因素有很多,研究填料粗细比对渗透系数的影响,通过加强对水的控制,来提高填料的强度。针对不同粗细比的全、强风化砂岩击实试样进行变水头渗透试验,结果显示:当粗细比为4:6时,不均匀系数 C_u 为45.5,曲率系数 C_c 为12.85时,渗透系数最小为 1.8×10^{-6} cm/s。此外,将渗透系数 k 分别与 C_u 、 C_c 和 $C_u C_c$ 进行拟合分析,结果显示:渗透系数 k 与 $C_u C_c$ 的相关度最大,并通过拟合得到渗透系数关于不均匀系数与曲率系数的经验公式。该公式对于降低填料含水率并提高强度有重大意义,可进一步用于对填料粗细比的评价。

关键词:全、强风化砂岩;渗透系数;曲率系数;拟合分析

中图分类号: TU441+.33

文献标识码: A

文章编号: 1672-1144(2016)05-0026-04

Pepmeability Coefficient Influenced by Gradation Characteristics of the Full and Strong Weathered Sandstones Filler

LIU Zhenyu¹, FENG Wenkai², TAN Huan³, LI Kun⁴

(College of Environment and Civil Engineering, Chengdu University of Technology, Chengdu, Sichuan 610059, China)

Abstract: Lots of full and strong weathered sandstone is distributed in southwest China, which can be applied to fill engineering. There are many factors influencing the permeability of filler, this paper focuses on the filler grading on the permeability coefficient, by controlling the amount of water and the strength of it can be efficiently improved. This research carry out the variable head permeability experiments on the whole and strong weathered sandstone compacted samples with different grading cases. The experiment results are as follows, when the grading ratio is 4:6, the uniformity coefficient is 45.5 and the curvature coefficient is 12.85, the minimum permeability coefficient is 1.8×10^{-6} cm/s. Finally, fitting analysis about permeability coefficient, uniformity coefficient and curvature coefficient are finished. The results showed that the permeability coefficient has the greatest association with $C_u C_c$. The empirical formula about the permeability coefficient can be derived, the uniformity coefficient and the curvature coefficient, which has a significant influence of decreasing the moisture content of the filler and improving the strength of it, and the grading of it can be evaluated further.

Keywords: full and strong weathered sandstone; permeability coefficient; curvature coefficient; fitting analysis

伴随着我国西部地区经济的迅猛发展,在大力开展西部大开发的进程中,国家在西南地区规划了大量的工程建设项目,且主要分布在川渝红层地区。该地区分布有大量的三叠系河湖相的沉积岩层,由于成岩的时间较短,固结度较低,存在易风化的特点。此外,机场在选址的过程中,为了尽可能少地占

用耕地和居民房屋,一般将场址选择在低山丘陵地区,地势落差较大,必将涉及到浩大的土石方工程。针对于红层地区的高填方工程,一般采用挖方区的砂泥岩碎石料;而巴中机场场区分布有大量的全、强风化砂岩,所以其必将成为填料的主体^[1]。

以往的研究表明,全、强风化砂岩填料受水的影

响较大,而渗透系数作为描述液体流过填方体性质的重要指标,对于全、强风化砂岩填方体的稳定性研究具有重要意义。影响渗透性的因素主要有岩土体自身的性质、压实度、流体的黏滞程度和颗粒级配等。粗细比作为影响渗透系数的关键因素,众多学者就此展开研究。邱贤德等^[2]研究发现堆石体中的细颗粒含量与渗透系数存在负指数关系;孔令伟等^[3-4]研究发现碎石体的渗透系数同样随细颗粒含量增加而逐渐减小;许建聪等^[5]研究发现碎石土的渗透系数随碎块石含量的增大呈指数增长,而随细颗粒的增加呈指数下降,尤其受颗粒粒径在 0.1 mm ~ 2 mm 范围内的影响。

本文主要针对不同粗细比的全、强风化砂岩填料的不均匀系数 C_u 、曲率系数 C_c 和渗透系数 k 三者之间的关系展开研究,并将所得结论应用于生产实践之中。

1 试验材料与试验过程

1.1 试验材料

试验材料采用白垩系下统白龙组(k_{lb})砂岩,并且主要为全、强风化砂岩,主要成分为以石英、长石、云母和方解石;呈土黄色并夹杂紫红色砂泥岩,风化

程度越高颜色越偏黄。

对原状试样进行颗粒分析试验^[6-7],并得到颗粒级配曲线(见图 1)。图 1 中曲线越平缓表示颗粒粒径大小相差越悬殊,土粒越不均匀,级配良好。天然试样的粒径主要分布在 0.075 mm ~ 0.25 mm 范围内,含量为 40% 左右;基本物理参数见表 1,天然级配情况见表 2。

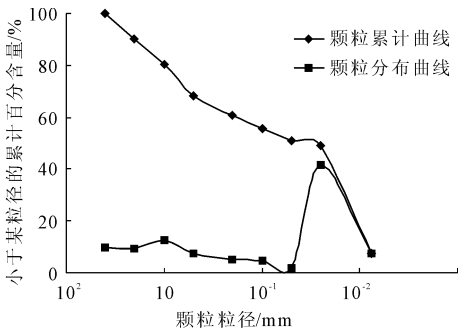


图 1 天然全强风化砂岩的颗粒累计曲线和颗粒分布曲线

表 1 天然试样基本物理指标

密度 ρ /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	比重	渗透系数 /($\text{cm}\cdot\text{s}^{-1}$)	黏聚力 /kPa	内摩擦角 /($^{\circ}$)
1.76	2.67	9.5×10^{-5}	85	30

表 2 天然全强风化砂岩颗粒级配情况

粒组/mm	40 ~ 20	20 ~ 10	10 ~ 5	5 ~ 2	2 ~ 1	1 ~ 0.5	0.5 ~ 0.25	0.25 ~ 0.075	< 0.075
级配/%	9.9	9.5	12.5	7.5	5	4.5	2	41.7	7.4

1.2 试验过程

本次试验采用变水头渗透试验,试验所用仪器设备主要由渗透容器和变水头装置组成。渗透容器为 TST-55 型渗透仪,由环刀、透水石、套环、上盖和下盖组成(见图 2)。环刀内径为 61.8 mm,高为 40 mm;透水石的渗透系数大于 10^{-3} cm/s。变水头装置由渗透容器、变水头管、供水瓶和进水管组成。

试验中,将粒径大于 5 mm 小于 60 mm 的全、强风化砂岩颗粒定义为粗颗粒,小于 5 mm 的全、强风化砂岩颗粒定义为细颗粒。试验时按粗颗粒含量分别为 90%、80%、70%、60%、50%、40%、30%、20%、10%,的级配进行配料,且将试样干密度 ρ_d 控制在 1.85 g/cm^3 左右,分三层击实,将每一层试样以同等击实功击实,从而保证试样的干密度和均匀性。

进行渗透试验之前采用抽气饱和法,将所有试样放入真空缸内,并抽成真空,抽气时间为 1.5 h,饱和时间为 24 h。



图 2 渗透试验装置

在进行渗透前,先由底部排气嘴出水,排除底部空气至气嘴无气泡产出时关闭排气嘴,水自下向上渗流由顶部出水管排水。向变水头管注入纯水使水位上升至预定高度,一般不应小于 2 m。待水位稳定后,开进水管夹,使水通过试样并开始记录水头变化和时间间隔并计算渗透系数 k ^[8-9]。

2 试验结果分析

2.1 不同粗细比下级配参数变化情况

按以下公式计算不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 。

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \tag{1}$$

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} \tag{2}$$

式中： d_{60} 为小于某粒径累计百分含量为 60% 所对应的颗粒粒径； d_{30} 为小于某粒径累计百分含量为 30% 所对应的颗粒粒径； d_{10} 为小于某粒径累计百分含量为 10% 所对应的颗粒粒径。

图 3 为不同粗细比的全强风化砂岩填料的级配曲线，图 4 为不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 随粗细比的变化曲线图。

由图 4 可知：(1) 随着粗颗粒含量的逐渐增加，不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 均呈现出先增高后降低的趋势，在不同阶段下会出现相同的 C_u 、 C_c 值^[10-11]。

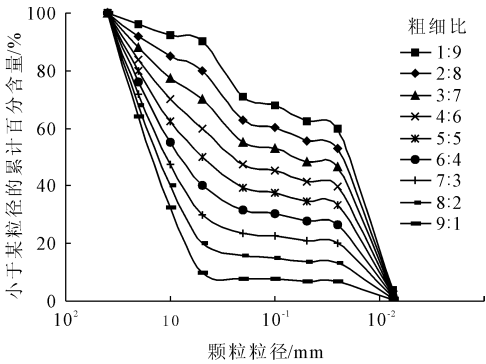


图 3 天然全强风化砂岩的颗粒级配曲线

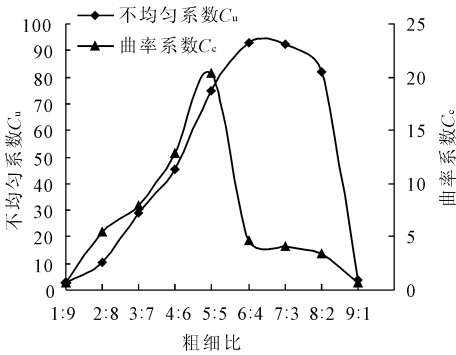


图 4 C_u 、 C_c 随粗细比的变化曲线图

(2) C_u 曲线为圆滑的凸形， C_c 曲线为尖锐的山峰形；且当粗颗粒小于 50% 时，不均匀系数 C_u 与曲率系数 C_c 同步增长，当粗颗粒含量大于 50% 时，曲率系数 C_c 发生骤降，最终稳定于 15 左右，而 C_u 曲

线匀速下降；当粗颗粒大于 90% 时，不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 均逼近于 0。

(3) 曲率系数 C_c 在粗细比为 5:5 时，达到最大值，为 20.42；不均匀系数 C_u 在粗细比为 6:4 时，达到最大值，为 92.67。

2.2 级配参数对渗透性的影响

2.2.1 不均匀系数对渗透系数的影响

图 5 为渗透系数与不均匀系数的相关关系曲线，该曲线呈抛物线型，随着不均匀系数的增加，渗透系数先减少后增加，二者相关度为 0.92，不均匀系数是反映颗粒离散程度的量^[12]，不均匀系数越大，颗粒粒度变化范围越大，此时粗细颗粒粒径相差悬殊，粗颗粒之间的孔隙无法得到充分填充，致使渗透系数较大。当填料粗细比为 4:6 时，不均匀系数为 45.5 时，渗透系数最小为 1.8×10^{-6} cm/s，此时细颗粒刚好填充与粗颗粒之间的孔隙中，导致渗透系数最小^[13]。

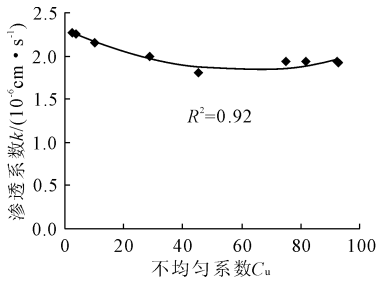


图 5 渗透系数与不均匀系数的相关关系

2.2.2 曲率系数对渗透系数的影响

图 6 为渗透系数与曲率系数的相关关系曲线，由图 6 可知，曲率系数与渗透系数呈二次抛物线关系；伴随着曲率系数的逐渐增大，渗透系数同样呈现出先减少后增加的趋势，二者相关性较差，相关度仅为 0.64。曲率系数反映了颗粒组成的连续性，系数越大表明粒组缺失越严重，反映在级配曲线中为明显的平台段^[7]，将直接导致大颗粒间的孔隙不能得到充分填充，渗透系数偏大。对于全、强风化砂岩击实试样来讲，曲率系数为 12.85 时，渗透系数最小为 1.8×10^{-6} cm/s，与此对应的填料粗细比为 4:6。综合以上分析，为了使全强风化砂岩填料的渗透系数最小，将填料粗细比定为 4:6 较为合适。

由图 4~图 6 可知，当全、强风化砂岩填料粗细比不同时，对应的不均匀系数与曲率系数可能是相同的，渗透系数也是相同的。填料粗细比可影响不均匀系数和曲率系数，进而影响渗透系数，所以根本影响因子为填料的不均匀系数和曲率系数。

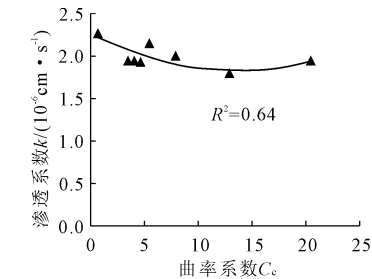


图 6 渗透系数与曲率系数的相关关系

2.2.3 综合分析

通过以上相关性分析,渗透系数与不均匀系数和曲率系数均存在一定的二次关系,但相关度较低。为了得到不均匀系数与曲率系数对于渗透系数的综合影响,引入系数 $\lambda = C_u C_c$ ^[14],将 λ 与渗透系数 k 拟合,并进行相关性分析(见图 7)。 λ 与渗透系数 k 有着密切的二次抛物线关系,相关度可达 0.97。最终得到渗透系数 k 关于 C_u 和 C_c 的经验公式

$$k = 6 \times 10^{-13} \lambda^2 - 1.1 \times 10^{-9} \lambda + 2.2 \times 10^{-6} \quad (3)$$

式中 $\lambda = C_u C_c$ 。该公式可供全强风化砂岩填料粗细比选择时使用。

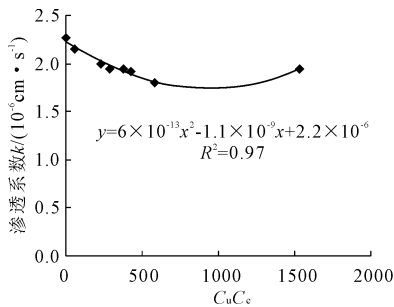


图 7 渗透系数与 λ 的相关关系

3 结 论

- (1) 通过对不同粗细比的全、强风化砂岩填料研究,不均匀系数和曲率系数均随着粗颗粒的增加而先增加后减少;不均匀系数曲线呈圆滑的凸形,而曲率系数曲线呈尖锐的山峰形。
- (2) 全、强风化山岩填料的渗透系数与颗粒的绝对含量无关,主要取决于颗粒与颗粒之间的相对含量与空间相对位置关系等。
- (3) 当粗细比为 4:6 时,不均匀系数 C_u 为 45.5,曲率系数 $C_c = 12.85$;此时,全、强风化砂岩渗透系数最小为 $1.8 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。

(4) 渗透系数与不均匀系数和曲率系数均呈二次抛物线关系,相关度均不高。但渗透系数 k 与 $\lambda = C_u C_c$ 的相关性较好,相关度可达 0.97,并拟合出渗透系数 k 关于 C_u 和 C_c 的经验公式,供选择填料粗细比时使用。也说明了不均匀系数与曲率系数共同控制渗透系数的大小,但实质上还是取决于 d_{60} , d_{30} 和 d_{10} 的大小^[15-16]。

参考文献:

[1] 张国强.巴中机场全强风化红层砂岩填料工程特性研究[D].成都:成都理工大学,2015:42-57.

[2] 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.

[3] 孔令伟,李新明,田湖南.砂土渗透系数的细粒效应与其状态参数关联性[J].岩土力学,2011,32(S2):21-26.

[4] 魏进兵,邓建辉,谭国焕,等.泄滑滑坡碎块石土饱和与非饱和水力学参数的现场试验研究[J].岩土力学,2007,28(2):327-330.

[5] 许建聪,尚岳全.碎石土渗透特性对滑坡稳定性的影响[J].岩石力学与工程学报,2006,25(11):2264-2271.

[6] 苏立君,张宜健,王铁行.不同粒径级砂土渗透特性试验研究[J].岩土力学,2014,32(5):1289-1294.

[7] 朱崇辉,刘俊民,王增红.粗粒土的颗粒级配对渗透系数的影响规律研究[J].人民黄河,2005,27(12):79-81.

[8] 于满满,谢谟文,等.水库大坝渗透稳定性监控指标研究[J].水利与建筑工程学报,2014,12(2):26-27.

[9] 郭林涛,等.水利水电工程粗粒土相对密度试验与应用研究[J].水利与建筑工程学报,2014,8(4):155-157.

[10] 姜帆,等.土石坝渗流研究发展综述[J].水利与建筑工程学报,2006,4(4):94-96.

[11] 张宜健.不同粒径级砂性土渗透特性试验研究[D].西安:西安建筑科技大学,2013:25-27.

[12] 朱崇辉.粗粒土的渗透特性研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2006:37-42.

[13] 於可广.粗粒土颗粒渗透系数计算模型的研究[J].浙江水利水电专科学校学报,2009,12(4):104-105.

[14] 王俊杰,卢孝志,等.粗粒土渗透系数影响因素研究[J].水利水运工程学报,2013(6):16-20.

[15] 张平,赵堃,吴昊.砂土渗透系数的粗粒效应[J].节水灌溉,2013(11):26-28.

[16] 王双,李小春,王少泉,等.碎石土级配特征对渗透系数的影响研究[J].岩石力学与工报,2015,34(S2):4394-4402.