

珊瑚砂含水介质水理性质的实验室测定

束龙仓¹,周从直²,甄黎¹,曹英杰¹

(1.河海大学水文水资源学院,江苏南京 210098;2.解放军后勤工程学院,重庆 400041)

摘要 从西沙群岛采集了 29 kg 珊瑚砂样,采用常规方法测定了珊瑚砂的孔隙度、渗透系数、给水度以及弥散系数.对渗透系数进行了多组测定试验,并对每组砂样渗透系数值的差异进行了分析,在进行弥散系数的测定试验中,通过观测不同位置处的弥散系数分析了弥散系数的尺度效应.实验结果表明,珊瑚砂含水介质具有颗粒大小不均、结构疏松、透水性好等特点.

关键词 珊瑚砂 水理性质 弥散系数 淡水透镜体

中图分类号 P737.2

文献标识码 A

文章编号 1000-1980(2008)03-0330-03

西沙群岛由珊瑚砂堆积而成,地处热带,岛屿面积小,由于其特殊的水文地质特征,虽降雨量大,但地表没有较大的贮水体,地表径流短、急,淡水资源十分缺乏.淡水透镜体作为岛上主要的淡水资源,它的开发利用可以基本解决或缓解岛上的淡水紧缺问题^[1-3].含水介质的水文地质参数是开发与评价地下水资源的基础,而赋存淡水透镜体的含水介质即珊瑚砂主要由珊瑚碎屑组成,颗粒棱角鲜明且表面多孔^[4],质脆易破,与陆源砂土相比有着完全不同的水理性质,因此,对珊瑚砂含水介质水理性质的研究具有十分重要的意义^[5-6].

岩土的水理性质为岩土与水接触后表现出的水文地质性质,即与水分贮存、运移有关的性质,主要包括岩土的容水性、给水性、持水性及透水性.本文着重从容水性、给水性及透水性这 3 个方面对从西沙群岛采集的 29 kg 珊瑚砂样进行了室内测定,同时,为了了解淡水透镜体咸淡水过渡带的运移规律,又进行了弥散系数的测定试验.

1 容水性

1.1 颗粒分析

为了明确珊瑚砂颗粒级配情况,概略判断其水理性质,按照 SL237—1999《土工试验规程》的要求,对珊瑚砂进行筛分,并绘制了相应的颗粒级配曲线(图 1).从颗粒级配曲线可以得出有效粒径 d_{10} 、特征粒径 d_{30} 、中值粒径 d_{50} 和控制粒径 d_{60} 分别为 0.82 mm, 2.5 mm, 3.8 mm, 4.7 mm.根据公式

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{10}d_{60}} \quad (1)$$

计算级配曲线的不均匀系数 C_u 和曲率系数 C_c 分别为 5.7 和 1.62.

根据 GBJ 145—90《土的工程分类标准》,土中粒径大于 2 mm 的质量分数大于 50% 时,该土为碎石土.本次试验测定的珊瑚砂粒径大于 2 mm 的质量分数为 77.13%,因此可判定珊瑚砂为碎石土类岩土.不均匀系数 C_u 反映颗粒的级配情况,曲率系数 C_c 反映级配曲线的弯曲情况,一般将 $C_u > 5$ 且 $1 < C_c < 3$ 的土列为土粒大小不均匀、级配良好、粒度成分不连续的土.由上述计算出的 C_u 、 C_c 值可知赋存淡水透镜体的含水介质大小颗粒混杂,粗颗粒成分较高,分选性差.

1.2 孔隙度

容水性是在常压下岩土空隙中能够容纳若干水量的性能,而孔隙度是用以表征岩土容水性能的重要指

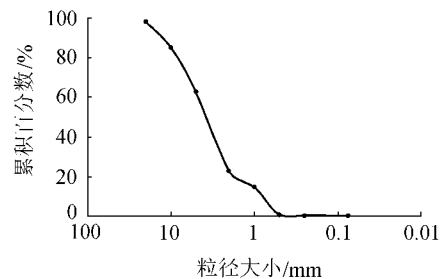


图1 珊瑚砂颗粒级配曲线

Fig.1 Grain size distribution curve of the coral sand

标. 岩土孔隙的体积与岩土总体积的比值即为孔隙度. 对于珊瑚砂而言, 孔隙度不仅影响其连通状况, 而且反映了介质松紧度和结构状况的好坏.

孔隙度 n 一般不易直接测定, 可以先测定干密度 ρ_d , 再由经验公式 (2) 求得.

$$n = 93.947 - 32.995\rho_d \tag{2}$$

参照 SL237—1999《土工试验规程》测得珊瑚砂的干密度 $\rho_d = 1.23\text{ g/cm}^3$, 根据式 (2) 计算出珊瑚砂的孔隙度为 0.53, 容水性较好.

2 透 水 性

岩土的水透性是指岩土允许水透过的能力, 表征岩土透水性的定量指标是渗透系数 K , 它是含水层的一个重要的水文地质参数, 在计算地下水资源量和研究淡水透镜体的演变规律时都要用到渗透系数.

测定渗透系数的方法可归纳为野外试验和室内实验 2 类. 室内实验根据介质颗粒的粗细程度, 分为变水头和常水头试验 2 种. 对于透水性较低的粉土、黏性土一般采用变水头试验, 砂土和碎石土多用常水头试验. 前已述及, 珊瑚砂属于碎石土类, 故采用常水头试验测定其渗透系数.

常水头渗透试验采用的仪器为 ST-70 型标准渗透仪, 参照 SL237—1999《土工试验规程》对珊瑚砂进行渗透系数的测定. 试验过程中设置了 7 组平行砂样, 每组的观测期不同, 以测得每组的渗透系数值趋于稳定为止. 表 1 列出了各组砂样渗透系数的值.

由表 1 可以看出, 每组砂样的渗透系数值并不相等, 第 1 组与其他 6 组值相差较大, 这是由于珊瑚砂颗粒大小不均匀、形状不规则、分选性差使得每组所装的砂样成分产生了差别, 而渗透系数会因粗细颗粒所占比例不同而受到影响^[7-8], 尤其是第 1 组砂样, 其样品中的粗颗粒所占比例明显较大. 对同一砂样设置多组试样进行观测避免了仅用 1 组试验代替全部引起的误差, 结果相对可取. 取以上 7 组试验所得数据的均值 706.61 m/d 作为珊瑚砂的渗透系数值.

表 1 各组砂样渗透系数和给水度
Table 1 Permeability coefficient and specific yield of each group of the coral sand

组号	渗透系数/($\text{m}\cdot\text{d}^{-1}$)	给水度
1	1 334.14	0.33
2	630.97	0.28
3	686.34	0.22
4	693.94	0.32
5	540.40	0.30
6	525.18	0.31
7	535.30	0.29

3 给 水 性

饱和岩土在重力作用下能够自由排出若干水量的性能称为岩土的给水性, 在数量上用给水度来衡量.

给水度是表征潜水含水层给水能力和储蓄水量能力的一个指标, 在数值上等于单位面积的潜水含水层柱体, 当潜水位下降一个单位深度时, 在重力作用下自由排出的水的体积和相应的潜水含水层体积的比值. 根据给水度的定义, 在每组渗透系数观测完毕后测定给水度, 因此给水度的值也相应分为 7 组, 见表 1.

影响给水度的因素主要包括岩土的颗粒大小、分选程度等方面. 一般而言, 岩土颗粒小, 其吸附水的能力强, 排出的水量就少. 颗粒粗, 吸附水的能力弱, 排出的水量就多. 从表 1 可以看出, 第 1 和第 4 组砂样的渗透系数较大, 与其对应的给水度也就比其他组的大. 第 3 组砂样的渗透系数次之, 但与其对应的给水度却是最小的, 这说明第 3 组的砂样中细颗粒所占的比例较其他各组大, 但因其分选性较好所以渗透系数大. 第 5~7 组砂样的渗透系数虽然较第 2 组小, 但是这 3 组砂样中粗颗粒所占比例大, 所以给水度比第 2 组大. 从各组砂样给水度差异的分析中进一步验证了装样随机性对试验的影响, 进行多组试验不仅可以反映出这种随机性的影响, 还可以减小只做 1 组试验所得出结论的误差. 对以上测得的结果取其平均值作为珊瑚砂的给水度值, 即 0.29.

4 弥 散 系 数

淡水透镜体与海水之间没有明显的分界面, 透镜体底部通过孔隙与海水相通, 形成一个过渡带. 在潮汐、地下水开采等因素作用下, 过渡带发生变动使得海水向淡水方向推进, 要定量地模拟过渡带的动态变化规律, 就必须确定含水介质的弥散系数或弥散度.

室内测定弥散系数的试验一般分为一维砂柱和二维砂槽 2 种. 根据现有的珊瑚砂数量, 本次试验采用一维、连续注入示踪剂的方法测定其弥散系数. 所用砂柱高 150 cm , 内径 15 cm , 侧壁每隔 30 cm 处布有取样孔,

共4个,与取样孔相对的另一侧以30cm的间距均匀布设了4个测压管,取样孔与测压管直径均为3mm.距砂柱底部2cm处设有滤网并且在底端中心处留有出流孔.

试验步骤见文献[9],在砂柱侧壁3个取样孔及底部出流孔处同时取样,使用电导率仪测定不同时刻的浓度,利用正态分布的分布函数求参^[9],计算得距砂样表面9cm,39cm,69cm和97cm位置处的弥散系数为 $0.41\text{ cm}^2/\text{s}$, $1.29\text{ cm}^2/\text{s}$, $2.55\text{ cm}^2/\text{s}$ 和 $12.55\text{ cm}^2/\text{s}$.

由于珊瑚砂介质的非均质性,从砂样顶面处开始,随着溶质运移距离的增加,弥散系数呈现增大的趋势,反映出了弥散系数的尺度效应^[10].根据本次试验结果可以得出弥散系数与溶质运移距离服从以下函数关系:

$$y = 0.2518e^{0.0426x} \quad (3)$$

式(3)反映了珊瑚砂的弥散系数随着溶质运移距离的增大呈指数函数的形式增长,这一结论只是在本次试验条件下得出的,而海岛上溶质运移的实际情况还应依靠野外试验得出定性的结论.

5 结 论

从以上分析可知,珊瑚砂不同于一般的砂土,其水理性质较为特殊.颗粒大小不均匀且砂样成分中以粗颗粒(粒径在2~5mm之间)为主,夹有少量细砂(粒径在0.25~0.075mm之间).结构疏松,给水性好,渗透系数较大.这些参数的获得对掌握淡水透镜体的动态变化规律及合理开发有重要的意义.

参考文献:

- [1] 周从直,方振东,管举德,等.珊瑚岛礁淡水透镜体的模拟与开发利用[J].杭州应用工程技术学院学报,1999,11(1/2):16-20.
- [2] 叶锦昭.西沙群岛环境水文特征[J].中山大学学报:自然科学版,1996,35(增刊1):15-21.
- [3] 孙立广,赵三平,刘晓东,等.西沙群岛生态环境报告[J].自然杂志,2005,27(2):79-84.
- [4] 余克服,宋朝景,赵焕庭.西沙群岛永兴岛地貌与现代沉积特征[J].热带海洋,1995,14(2):24-31.
- [5] LEBBE L. Parameter identification in fresh-saltwater flow based on borehole resistivities and freshwater head data[J]. Advances in Water Resources, 1999, 22(8): 791-806.
- [6] SCHNEIDER J C, KRUSE S E. A comparison of controls on freshwater lens morphology of small carbonate and siliciclastic islands: examples from barrier islands in Florida, USA[J]. Journal of Hydrology, 2003, 284(4): 253-269.
- [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] 张立军,谢波,陈永红.泥沙不同粒径组的划分对级配成果影响的分析[J].长江工程职业技术学院学报,2006,23(4):37-38.
- [9] 陈崇希,李国敏.地下水溶质运移理论及模型[M].武汉:中国地质大学出版社,1996:55-58.
- [10] 张明泉,曾正中,周启友,等.粗粒介质中的弥散试验研究[J].兰州大学学报:自然科学版,1993,29(3):222-226.

Measurement of the hydrological properties of coral sand in a laboratory

SHU Long-cang¹, ZHOU Cong-zhi², ZHEN Li¹, CAO Ying-jie¹

(1. College of Hydrology and Water Resources, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Logistical Engineering University, Chongqing 400041, China)

Abstract: The porosity, permeability coefficient, specific yield and dispersion coefficient of 29 kg of coral sand collected from the Xisha Islands were examined using the conventional methods. Several experiments were conducted in order to determine the permeability coefficient of the coral sand, and the differences between the permeability coefficients of each group of coral sand were analyzed. Meanwhile, the scale effect of the dispersion coefficient was analyzed by determining the coefficients at different locations. The results show that the coral sand, as an aquifer medium, has heterogeneous grain size, loose structure and high permeability.

Key words: coral sand; hydrogeological properties; dispersion coefficient; freshwater lens