



珊瑚礁岩含水率对疏浚施工挖掘力学指标的影响*

张更生

(中交天津航道局有限公司, 天津市疏浚工程技术企业重点实验室, 天津 300457)

摘要: 针对珊瑚礁岩疏浚工程中挖掘困难的问题, 基于大量疏浚珊瑚礁的土工试验资料, 对珊瑚礁岩力学指标进行分析。结果表明: 1) 疏浚珊瑚礁岩具有遇水软化特性, 施工时建议分层合理开挖。2) 含水率与单轴饱和抗压强度、单轴饱和抗拉强度、变形模量经验关系式的回归系数均在 0.691 以上, 相关性较高。3) 水对珊瑚礁岩的力学性质有重要的影响, 主要体现在物理弱化作用和力学作用。

关键词: 疏浚珊瑚礁岩; 含水率; 力学指标; 软化特性; 相关关系; 机理分析

中图分类号: U 616

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2017)01-0191-04

Impact of the coral reef rock moisture content to dredging construction excavation mechanics index

ZHANG Geng-sheng

(Dredging Engineering Laboratory, CCCC Tianjin Dredging Co., Ltd., Tianjin, 300457, China)

Abstract: Considering the coral reef rock mining difficulty in dredging project, the paper analyzes the coral reef rock mechanics index based on large amounts of geotechnical test data. The results show that: 1) Due to its water-softening characteristics of dredge coral rock, a reasonable stage excavation procedure should adopt; 2) The relativity of moisture content with saturated uniaxial compressive and tensile strength, and with modulus of deformation are strong which all the three regression coefficients of empirical formula are above 0.691; 3) Water has important influence on the mechanical properties of coral reef rock, mainly about physical weakening effect and mechanical effect.

Keywords: dredge coral rock; moisture content; mechanical index; softening property; correlation; mechanism analysis

珊瑚礁工程地质研究是在珊瑚礁工程实践的需求下诞生的。规模愈来愈大、类型愈来愈复杂的珊瑚礁工程活动推动珊瑚礁工程地质研究不断完善与成熟^[1]。目前国内外各种版本的工程地质专著都没有将珊瑚礁作为一种特殊类型岩土进行系统研究。开展珊瑚礁工程地质研

究, 无疑将拓宽现代工程地质研究的领域, 丰富其研究内容^[2], 同时又具有广阔的应用前景。20世纪60年代中期, 中东阿拉伯湾石油的开采, 使人们第一次遇到由生物成因的钙质土引起的工程问题。但人们并未意识到珊瑚礁的高碳酸钙含量会带来的影响, 更没有注意到它与

收稿日期: 2016-04-29

*基金项目: 国家科技支撑项目 (2014BAB16B03)

作者简介: 张更生 (1980—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事岩土工程勘察设计和疏浚土质研究工作。

陆源土质有何不同。直到 20 世纪 70 年代在有钙质土沉积的海域进行大规模的石油开发及不断出现的工程事故,才使人们逐渐注意到钙质土这种特殊岩土介质本身独特的工程性能。朱长歧等^[3]认为钙质砂独特的结构、成因及力学性能是影响桩基侧摩阻力及桩端阻力的重要因素。孙宗勋等^[4]利用弹性波法对南沙群岛珊瑚礁灰岩进行了弹性波测量,给出礁灰岩弹性波波速随深度变化的关系曲线。Bock 等^[5]在大堡礁上进行了大量的现场重型动力触探工作,用来评价打入式桩的工程特性。Fahey^[6]在总结大量现场工作后得出钙质土的应力与应变关系曲线。国内外对钙质砂土工程性质的研究是基于浅海石油勘探开发中海底石油平台和桩基工程的设计与施工而进行的。

珊瑚礁岩是生物沉积灰质岩,局部沉积不规律,软硬交替、裂隙发育、交错分布,珊瑚礁灰岩具有独特的工程性质,垂直和水平方向强度变化较大^[7]。珊瑚礁岩具有遇水软化、强度降低的特点,这种水-礁岩耦合作用导致礁岩性质发生变化,给地下工程的围岩稳定、边坡的安全造成了困扰;而珊瑚礁岩力学性质随着含水率增大而逐渐变小的性质,给疏浚珊瑚礁岩工程的施工组织设计制定和施工的管理提供了基础理论的指导。目前,水-岩耦合作用导致岩石性质发生变化的研

究主要集中在边坡稳定、坝体崩溃、地面沉降和岩溶塌陷等工程安全问题方面,而利用水-岩耦合作用研究岩石力学性质变化对疏浚工程施工的影响少见报道。本文从疏浚工程的角度,研究珊瑚礁岩含水率的变化对力学性质的影响,分析珊瑚礁软化性质及影响的机理,定量建立珊瑚礁含水率与力学指标的相关经验公式,为疏浚工程实施提供技术支持。

1 珊瑚礁岩遇水软化特性

依据疏浚珊瑚礁岩的颜色、强度、风化程度、结构特征、裂隙发育状况、遇水软化程度和块体粒径分布,将疏浚珊瑚礁岩划分为 3 类:管状珊瑚礁岩、蜂窝状珊瑚礁岩和致密状珊瑚礁岩。珊瑚礁岩的软化特性,即为水-岩耦合作用后,礁岩吸水含水率增大,而强度不断降低的过程特性。珊瑚礁岩的含水率对抗压强度有显著影响,珊瑚礁的强度随含水率的增加而降低,但结构不同其降低程度也不同,主要取决于珊瑚礁中亲水性矿物和易溶性矿物的含量以及孔隙发育情况。以疏浚工程为依托,对采取的代表性疏浚珊瑚礁岩样品进行了物理和力学性质测试工作。依据珊瑚礁岩试验测试数据,对不同结构类型珊瑚礁岩相关数据进行统计分析,给出珊瑚礁岩的遇水软化程度(表 1)。

表 1 珊瑚礁岩遇水软化程度

结构类型	取值	含水率/%	单轴饱和抗压强度/MPa	软化系数	软化类别
管状结构	范围值	21.5~33.5	1.5~6.5	0.47~0.93	极软岩,疏浚岩土工程分级为 11 级,为软化珊瑚礁岩,经水浸泡 48 h 后,强度可下降 41%,绞吸船极易挖掘
	平均值	27.0	3.9	0.62	
蜂窝状结构	范围值	8.6~24.1	3.3~12.7	0.65~0.82	软岩,疏浚岩土工程分级为 12 级,为软化珊瑚礁岩,经水浸泡 48 h 后,强度可下降 27%,绞吸船易挖掘
	平均值	14.5	7.1	0.73	
致密状结构	范围值	7.6~25.2	8.6~25.0	0.64~0.89	软岩,疏浚岩土工程分级为 12 级,为不软化珊瑚礁岩,经水浸泡 48 h 后,强度可下降 15%。绞吸船较易挖掘;局部强度较大时,挖掘困难,易发生断齿和磨损现象
	平均值	16.3	14.1	0.77	

从表 1 可以看出,管状结构珊瑚礁孔隙率为 45%,孔隙连通,经水浸泡后抗压强度下降最大,可下降 41%;蜂窝状结构孔隙率为 30.7%,孔隙

为珊瑚虫遗骸,钙质胶结相对较强,经水浸泡后抗压强度下降 27%;致密状结构孔隙率相对较小,经水浸泡后抗压强度下降 15%。基于 3 类结构珊

珊瑚礁岩均有遇水软化的特点，在珊瑚礁岩疏浚过程中，建议分层合理开挖，让珊瑚礁岩充分得到海水浸泡，抗压强度下降，使绞吸船挖掘珊瑚礁岩时效率提高，节约经济成本。

2 珊瑚礁岩含水率与力学性质的相关关系

以疏浚工程为依托，基于大量现场珊瑚礁岩勘察资料，应用室内土工试验、筛选、统计和回归分析的方法，研究施工珊瑚礁岩含水率与力学性质之间的相互关系，建立二者之间的经验关系，见图 1~3。

从图 1~3 拟合的关系曲线可以看出，珊瑚礁岩含水率 w 与单轴饱和抗压强度、单轴饱和抗拉强度指标存在指数相关关系，珊瑚礁岩含水率 w 和变形模量指标之间为对数相关关系，回归系数均在 0.691 以上，相关性较高。珊瑚礁岩随着含水率的增大，其强度降低，变形模量变小，受到外荷载作用时变形量增加。随着含水率的增加，珊瑚礁岩强度降低的速率不同，主要受珊瑚礁的组分、结构和风化程度的影响。拟合的经验公式见表 2。

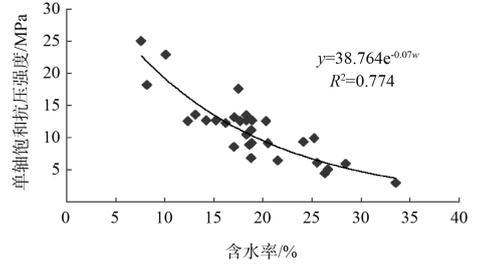


图 1 含水率与单轴饱和抗压强度关系曲线

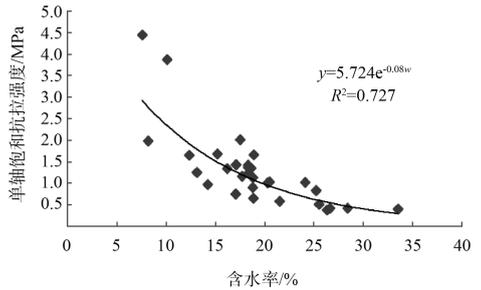


图 2 含水率与单轴饱和抗拉强度关系曲线

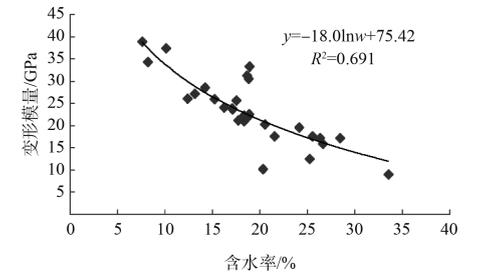


图 3 含水率与变形模量关系曲线

表 2 经验公式

项目	经验公式	回归系数	说明
含水率与单轴饱和抗压强度为指数关系	$y = 38.76e^{-0.07w}$	0.774	y 为珊瑚礁岩单轴饱和抗压强度 (MPa), w 为珊瑚礁岩含水率 (%)
含水率与单轴饱和抗拉强度为指数关系	$y = 5.724e^{-0.08w}$	0.727	y 为珊瑚礁岩单轴饱和抗拉强度 (MPa), w 为珊瑚礁岩含水率 (%)
含水率与变形模量为对数关系	$y = -18.0\ln w + 75.42$	0.691	y 为珊瑚礁岩变形模量 (GPa), w 为珊瑚礁岩含水率 (%)

3 水对礁岩力学性质影响机理

水对礁岩力学性质的影响，即为水-礁岩耦合作用是裂隙礁体工程安全性和稳定性的最重要的影响因素之一，而在疏浚工程挖掘珊瑚礁岩时是提高效率的关键影响因素^[8]。岩石在一定水压力作用下所产生的物理、化学和力学的作用过程是导致工程岩体发生变形破坏的根本原因所在。

珊瑚礁岩是生物沉积灰质岩，孔隙率变化大，为 16.2%~54.4%，平均值为 33.5%，为其他沉积岩的 3~4 倍，孔隙分布规律性差。从而导致珊瑚礁岩具有力学指标变化范围大的特点，局部沉积

无规律性，软硬交替，交错分布，珊瑚礁岩具有独特的工程性质，各向异性效应明显。

珊瑚礁岩中最明显的薄弱点是大的裂隙、大量宏观或微观裂纹等缺陷。这些缺陷的存在导致岩体力学性质表现出复杂性，如各向异性、非均质性以及强度随水-岩相互作用而变化等。实际工程岩体总是具有多裂隙的岩体，许多情况下水对岩体的腐蚀破坏是从岩体介质初始结构面即初始损伤开始的。因为其中充满的主要是自由状态的水，在外荷载的作用下，珊瑚礁岩的可缩性和流动性就增大，其结果就是弹性减小和塑性增大。

水对珊瑚礁岩的力学性质有重要的影响，归结起来其原因主要是珊瑚礁的水化作用，即物理弱化作用和力学作用。1) 物理弱化作用。珊瑚礁块浸水后，水顺着裂隙、孔隙进入珊瑚礁中，润湿每块全部自由面上的每个颗粒，性质由好向坏转变。2) 力学作用。珊瑚礁块浸水后，进入到珊瑚礁体孔隙、裂隙中的水会产生压力，使得珊瑚礁体弹性屈服极限降低，易于产生塑性变形而发生剪切破坏，导致其强度降低。

4 结论

1) 疏浚珊瑚礁岩具有遇水软化特性，管状、蜂窝状和致密状珊瑚礁岩经水浸泡饱和后抗压强度分别下降 41%、27% 和 15%。基于 3 类结构珊瑚礁岩遇水软化的特点，疏浚施工时建议分层合理开挖，提高效率，节约经济成本。

2) 基于疏浚珊瑚礁岩土工试验测试数据，拟合了含水率与单轴饱和抗压强度、单轴饱和抗拉强度和变形模量的经验关系式，回归系数均在 0.691 以上，相关性较高。

3) 水对珊瑚礁岩的力学性质有重要的影响，归结起来其原因主要是珊瑚礁的水化作用，即物理弱化作用和力学作用。

参考文献:

[1] 孙宗勋, 黄鼎成. 珊瑚礁工程地质研究进展[J]. 地球科学进展, 1999, 14(6): 577-581.

[2] 赵焕庭, 宋朝景. 珊瑚礁工程地质初论[J]. 工程地质学报, 1996, 4(1): 86-90.

[3] 朱长歧, 刘崇权. 钙质土的工程特性及有关的基础工程问题[C] // 岩土工程青年专家学术论坛文集. 北京: 中国建筑工业出版社, 1998: 380-392.

[4] 孙宗勋, 卢博. 南沙群岛珊瑚礁灰岩弹性波性质研究[J]. 工程地质学报, 1999, 7(2): 175-180.

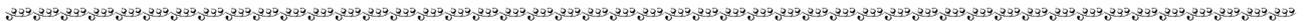
[5] BOCK H, EVERER J R, M CKEAN S B. Instrumented rotary drilling and heavy dynamic proning as predictive tools for the construction performance of piles in coralline material[G] // JEWELL R I, KHORSHID M S. Engineering for calcareous sediments. United Kingdom: Taylor & Francis, 1988: 147-154.

[6] FAHEY M. The response of calcareous soil in static and cyclic triaxial tests[G] // JEWELL R I, KHORSHID M S. Engineering for calcareous sediments. United Kingdom: Taylor & Francis, 1988: 61-68.

[7] 王新志, 汪稔. 南沙群岛珊瑚礁灰岩力学特性研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2008, 27(11): 2 221-2 226.

[8] 沈照理, 王焰新. 水-岩相互作用研究的回顾与展望[J]. 中国地质大学学报, 2002, 27(2): 127-133.

(本文编辑 武亚庆)



· 消 息 ·

国内首个绿色内河航道评价体系出台

浙江省港航管理局和交通运输部水运科学研究院、浙江省交通规划设计研究院共同研究推出的绿色内河航道评价体系正式通过评审，填补了国内绿色内河航道评价体系的空白。

该评价体系构建了绿色内河航道建设期和运营期的航道评价指标体系，确定了涉及节能减排、环境治理、生态保护、信息化和保障性措施等绿色航道的具体评价指标，其中建设期指标 31 项，运营期指标 23 项。在该体系中，绿色内河航道评价满分为 100 分，原则上达到 80 分以上可获得“绿色内河航道建设示范工程”或“绿色内河航道管理示范单位”称号。

目前国内尚未建立一套完整的绿色内河航道评价指标体系，该体系的出台不仅可以补上内河绿色航道发展短板，还可以为交通运输主管部门评定内河航道绿色发展水平提供参考，为构建绿色内河航道激励约束机制创造基础条件，从而推动内河航道转型发展。