

舟山近海海相吹填泥浆的性状研究 及处理技术建议

熊 站¹, 汪明元², 祝 幸¹, 宋寅威¹, 王友博¹,
王亚军^{1*}, 可健伟³, 王晋宝¹, 马惠彪¹

(1. 浙江海洋大学 港航与交通运输工程学院, 浙江 舟山 316002;

2. 中国电建集团 华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122;

3. 舟山市水利勘测设计院, 浙江 舟山 316000)

摘 要:通过对临近长峙岛一侧的海相吹填泥浆的物理化学及力学分析, 结果表明: 海相吹填泥浆的含水率高, 初始孔隙比大, 初始极限抗剪强度低; 海相吹填泥浆含盐量高, 且离子交换量偏大, 致使微观颗粒被较厚的扩散水膜所包围; 土粒骨架间的水膜较厚, 各向异性的超载会加剧吹填料的体积变形, 破坏粒间结构; 天然状态下吹填泥浆的“片架一片堆”结构特征极为显著, 微观一介观结构极不稳定, 若盐类矿物出现降解、析出, 其固相骨架将被局部破坏。本文对舟山长峙岛海域的原位海洋土的研究可以了解吹填泥浆的性状, 以期真空预压排水固结技术用于区域内围海造陆工程提供科学依据。

关键词: 围海造路; 海相吹填泥浆; 性状; 真空预压

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1002-3682(2017)03-0058-06

doi: 10.3969/j.issn.1002-3682.2017.03.008

舟山作为我国东南门户与要冲, 全区 2.08 万 km² 的海域约占浙江省海洋面积的 50%, 其陆地面积约 1 440.12 km²^[1], 随着近年来经济的迅速发展, 陆地资源紧缺, 围海造陆已成为开发土地资源的重要手段。鉴于天然吹填料含水率高、初始孔隙比大、欠固结、初始极限抗剪强度低等不良的物理力学性能, 正确选择吹填后海洋围垦区固结、固化处理的手段至关重要。当前, 国际上针对海洋围垦区的固结、固化处理常用且较为成熟的技术手段总体上可以归为两大类: 一类是在总应力不变的情况下, 通过减小孔隙水压来实现土颗粒骨架压缩固结、强度提高和有效应力增加, 这类方法在实施过程中, 吹填料产生的水气压力变化各向相等, 从而有效避免了海洋围垦区内地层大范围的塑性剪切破坏, 真空预压、井点降水、电渗固结、真空预压与电渗联合处理、井点降水与电渗固结联合处理均属这类技术; 另一类则是通过在围垦区地表施加超载, 使得一定深度范围内的吹填料中总应力增加, 进而促使孔隙水压力消散、有效应力增长, 由于侧压力系数小于 1, 故此小主应力增量小于大主应力增量, 吹填料发生塑性剪切破坏^[2], 堆载预压、重夯与强夯、碾压、振冲均属这类技术。基于上述, 当前海洋围垦区的固结、固化处理多借助第一类技术手段来完成。

真空预压作为吹填土地基处理方法的一种, 具有成本低、施工简单、几乎不污染环境、工法较为成熟等优点。真空预压加固软土地基原理最初是由瑞典皇家地质学院的 Kjellmen 于 1952 年提出的^[3], 我国于 20 世纪 80 年代引进并发展此技术, 最早在天津港口的地基处理中成功运用。为了将该方法应用到舟山的围海造陆等工程中, 本文以舟山长峙岛海域海相吹填泥浆为原材料, 测试吹填泥浆物理化学及力学性能, 分析该海

收稿日期: 2017-06-03

资助项目: 国家自然科学基金项目——基于模糊随机损伤力学的混凝土高坝抗震安全评价研究(51109118); 中国电建集团华东水利水电勘测设计研究院基础研究课题——围海造路工程中大规模吹填泥浆快速排水固结技术的模型试验与研究(21188006615)

作者简介: 熊 站(1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事海淤泥土固化方面研究. E-mail: 287411661@qq.com

*** 通讯作者:** 王亚军(1976-), 男, 副教授, 博士, 主要从事岩土工程力学方面研究. E-mail: aegis68004@163.com

(王佳实 编辑)

域海相吹填泥浆的相关特性,以期为真空预压用于区域内围海造陆工程实践提供科学依据。

1 区域概况

长峙岛海域位于舟山新城港湾海区,具有典型的海岛丘陵地形,岛上海岸侵蚀与堆积地貌交错,在经历 20 世纪五六十年代以来历次不同规模的围海造陆作用后,海岸堆沉积特点愈加突出,由此形成的是大量的泥质海滩,区域内鲜见沙质海岸。当前已形成的海岛及 20 n mile 范围以内的近海海区总体位于华南褶皱系浙东南褶皱带。岛内丘陵坡地在雨季常有泥石流滑,局部有灰黄及灰褐色残破积层出露,海岸及潮间带均有大范围、极深厚的海相沉积物分布,故此,浅部天然地层以海相软弱土层居多^[4]。岛内地下水主要以岩基类裂隙水及第四系松散沉积层孔隙潜水两种形式存在,且属于氯化钠型淡水,呈弱碱性($\text{pH}=7.1$),地下水位出露,且水位随季节变化剧烈,大气降水是地下水的主要补给形式,地下水经由近海岸滩直排入海。

2 材料与方法

本文所用海相吹填泥浆主要来自舟山新城海港港湾临近长峙岛一侧($122^{\circ}10'48''\text{E}$, $29^{\circ}58'48''\text{N}$)。长峙岛位于舟山群岛西南方向,与舟山本岛岸距 350 m,两点间通过舟山新城跨海大桥衔接取样点具体地理位置如图 1 黑点所示。

为了研究海相吹填泥浆的物理化学及力学性能,本文使用激光粒度仪对目标土样进行粒组分析,测试了目标土样的抗剪强度、天然密度、含水率和天然稠度,使用 XRD 衍射技术对目标土样做半定量分析,同时采用热场电镜扫描技术对目标土样的微观物理形态进行探究。

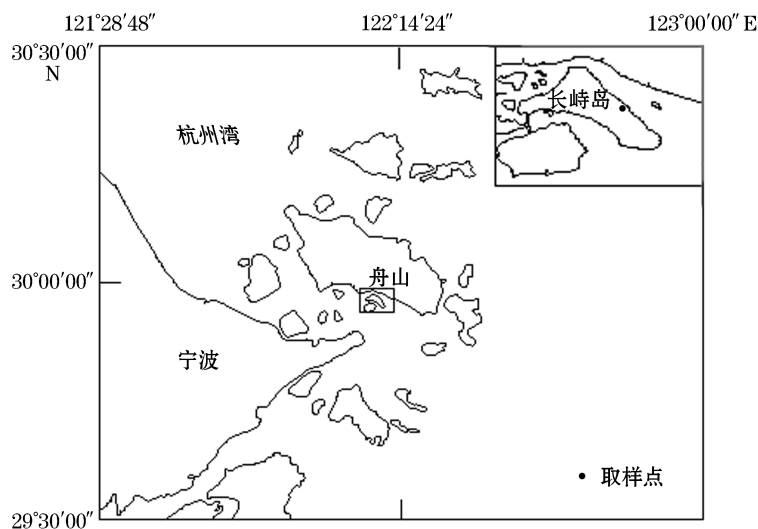


图 1 取样点地理位置

Fig.1 Location of the sampling stations

3 结果与讨论

3.1 海相吹填泥浆天然表观特征

天然状态下海相吹填泥浆呈灰黑色,且有显著的腥臭味,触摸感细腻,对天然海相吹填泥浆进行宏观尺

度剖析,肉眼即可辨别出大量的海洋生物活体及残体。

舟山地处长江入海口南侧,长江流域淡水汇入东海后在这里发生一系列复杂的离子交换,由此引发洋流中水溶盐成份及密度的剧烈波动,并致使不同等深线内土壤颗粒悬浮物粒间的净吸附力呈近乎线性梯度分布^[5],越接近于海底沉积层,土壤悬浮物间的净吸附力越大(此处每千克海水中的含盐量达到 11.2 g),并最终导致颗粒絮凝成团。

3.2 海相吹填泥浆骨架粒组分析

鉴于本文所用海相吹填泥浆极细的粒组构成,研究中使用激光粒度仪对目标土样进行粒组分析,土壤骨架中小于 $1\text{ }\mu\text{m}$ 的颗粒体积分数尚不少于 3%,泥浆颗粒中的黏粒($0.002\text{ mm}<d<0.005\text{ mm}$)及胶粒($d<0.002\text{ mm}$)占比较高,两者的累积百分比接近 10%,这部分粒组中除了一般的黏土矿物(硅酸盐矿相),甚至还包括一部分有机胶体(腐殖酸等)。基于这些信息,作为舟山当地广泛分布的一类天然材料,海相沉积物用作围海造陆的主材建议使用如真空预压排水固结之类的技术做专门处理后投入工程应用。

3.3 海相吹填泥浆抗剪强度和含水率

天然海相泥浆经吹填并静置后将出现显著的分层沉降,表层泥浆因含水量较大呈非牛顿流体状,中、下层泥浆可塑性较好。因条件所限,本文研究并未使用十字板做原位抗剪强度测试,但是对沉静 7 d 后硬胶储泥桶底的稠塑态吹填料做了快剪测试,测试结果表明,在不固结不排水状态下,海相吹填泥浆的极限抗剪强度值低于 10 kPa,力学性能极差。天然含水率测试时,于舟山冬春之交执行,此时当地气候阴冷潮湿,粒径极细的海相沉积物对空气中水气吸附能力极强,故此,所测得的海相吹填泥浆天然含水率较高,最大值可达 108%,最小天然含水率接近 77%。这些信息再一次指出:作为舟山当地广泛分布的一类天然材料,海相沉积物用作围海造陆的主材建议使用如真空预压排水固结之类的技术做专门处理后投入工程应用。

3.4 海相吹填泥浆天然物理状态

本文采用光电液塑限联合测定仪对舟山海相吹填泥浆的天然稠度界限进行测试,得到其塑限期望值为 47.72%,液限期望值为 67.18%,因其塑性指数大于 17,液性指数大于 1,故属于流塑状淤泥。经常规土力学测试,天然海相吹填泥浆的比重为 2.71,其对应初始孔隙比最大可达 2.1,淤泥性质显著。籍此可以判断:舟山海相吹填泥浆土粒骨架间的水膜较厚,各向异性的超载会加剧吹填料的体积变形,破坏粒间结构、进而引发不可逆的塑性剪切破坏。根据《吹填土地基处理技术规范》(GB/T 51064—2015)第 5.5.6 节规定:“吹填土地基处理方法的适用性应根据吹填土性质及分类,结合不同地基处理方法的工艺特点,按表 5.5.6 的规定判定。”^[6]表中明确判定淤泥质土类和淤泥类宜用真空预压法,且采用真空预压排水固结技术后,在竖向排水体促动土粒骨架排水固结的同时,侧限方向上骨架还受到负压的保护与强化,从而在一定程度上避免了前述的固结阶段的土样剪切变形。

3.5 海相吹填泥浆化学成份分析

化学分析是了解海相吹填泥浆性能的一条关键途径,由分析结果获知该类非牛顿流体状的吹填泥浆 pH 值为 7.5,呈弱碱性;每千克吹填泥浆中的有机碳质量为 7.2 g;腐殖酸质量分数约 0.8%;进一步使用 XRD 衍射技术对泥浆样本做半定量分析得知:试验所用吹填泥浆总体属于石英矿相,吹填料中伴有微量的铝、镁元素,在海底洋流作用下,易于和黏粒、胶粒结合形成硅酸盐矿物碎屑^[7]。

3.6 海相吹填泥浆骨架微观结构

绝大部分海洋围垦区内人工形成的地层其最初状态多是泥浆、泥糊,含水率高、初始孔隙比大、欠固结;特别是吹填料为河、湖、海相沉积物的情况,其土粒微团天然呈絮凝状,介观尺度下的颗粒骨架多是“片架一

片堆”结构(图 2),极不稳定;这类吹填土在初期沉静完成并将表层积水排除后,会暂时表现为初固结软泥状态,但这种状态极不稳定,只要外力稍加触碰,其介观结构便会遭到破坏,软泥表层下富含的自由重力水将四散逃逸^[8],填料在宏观尺度上再次转化为未固结的泥浆、泥糊,此时,其强度便会彻底丧失,进而由固体状转化为非牛顿流体状。

同时,本文利用高真空电镜扫描手段对海相吹填泥浆的微观结构做分析研究,依据图 3 结果可见:100 nm 尺度下,海相盐类矿物(红色圈注)与黏土矿物(蓝色圈注)的界面非常清晰,黏土矿物微粒表面洋流划痕亦很显著,在二者界面位置处,若盐类矿物出现降解、析出,则吹填物固相骨架将被局部化破坏,因而诱发土壤微观结构损伤,若不能够及时地对固相骨架进行固结主动使之产生压缩变形(如采用真空负压进行固结),则吹填料的承载能力将会弱化^[9]。

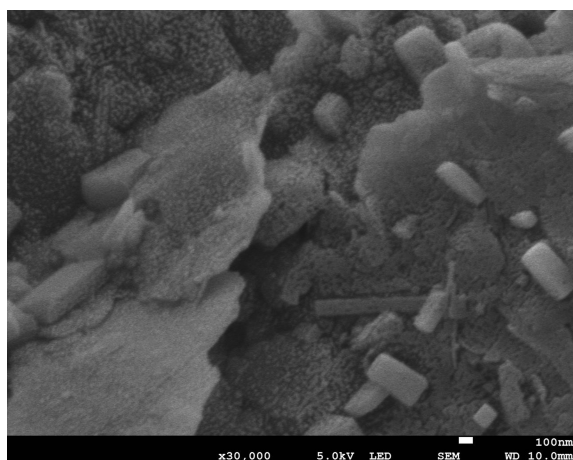


图 2 海相沉积物片架一片堆结构

Fig.2 The flocculated-dispersed structures of marine sediments (SEM pictures)

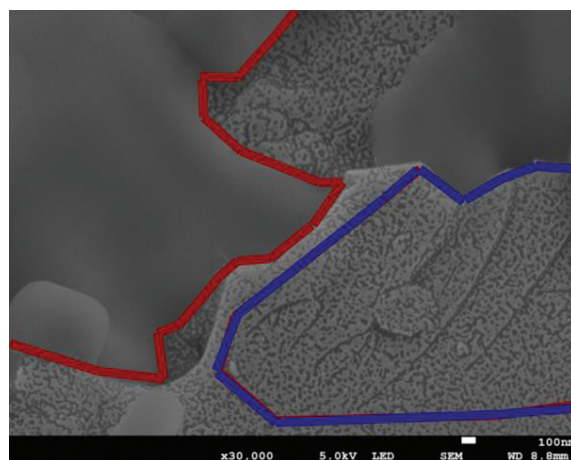


图 3 海相吹填泥浆 SEM 照片

Fig.3 SEM pictures of the marine dredged slurry

4 结 论

本文通过对长峙岛海相吹填泥浆进行物理化学及力学性能测试和分析,得出以下几点结论:

- 1) 鉴于研究区海相吹填泥浆含水率高、初始孔隙比大、初始极限抗剪强度低等不良的物理力学性能,用作围海造陆的主材建议使用如真空预压排水固结之类技术做专门处理后投入工程应用;
- 2) 研究区海相吹填泥浆的含盐量高,且离子交换量偏大,致使此类海相吹填泥浆微观颗粒被较厚的扩散水膜所包围,各向异性的超载会加剧吹填料的体积变形,破坏粒间结构,进而引发不可逆的塑性剪切破坏;
- 3) 本文实验所用吹填泥浆海相性征显著,肉眼即可辨别出大量的海洋生物活体及残体,虽没有被归入有机类土,但其有机质、腐殖酸等成份的含量亦较高,工程施工过程中应对此问题加以重视;
- 4) 天然状态下研究区吹填泥浆的“片架一片堆”结构特征极为显著,微观—介观结构极不稳定,若盐类矿物出现降解、析出,其固相骨架将被局部化破坏,因而诱发土壤微观结构损伤,若不能够及时地对固相骨架进行固结主动使之产生压缩变形,则吹填料的承载能力将会弱化。

参考文献(References):

- [1] LI D C. Dynamic-static characteristics of marine sediments from Zhoushan Seas[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2015. 李登超. 舟山渔场原位海洋土静动力特性研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2015.
- [2] YAN J, WANG Q, ZHANG J. Environmental influence of vacuum preloading dredging project[J]. Procedia Environmental Sciences,

2010(2): 1613-1621.

- [3] KJILLMAN K. Consolidation of clay by means of atmosphere pressure[C]//Proceedings of a Conference on Soil Stabilization. Boston: MIT, 1952: 258-263.
- [4] ZHU X. Vacuum preloading experiments of the marine reclamation works in Zhoushan[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017. 祝幸. 舟山海相沉积物真空预压排水固结机理与实验研究[D]. 舟山: 浙江海洋大学, 2017.
- [5] GAO S H. Experiment study on dynamic characteristics of marine sediments from Zhoushan fishery under cyclic loading[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2014. 高世虎. 循环荷载作用下舟山渔场海底软土动力学特性研究[D]. 舟山: 浙江海洋学院, 2014.
- [6] Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for ground treatment of hydraulis fill: GB/T 51064—2015[S]. Beijing: China Planning Press, 2015. 中华人民共和国住房和城乡建设部. 吹填土地基处理技术规范: GB/T 51064—2015[S]. 北京: 中国计划出版社, 2015.
- [7] WANG M Y, SHAN Z G, WANG Y J, et al. Dynamic elastic moduli and damping ratios of marine sediments at Zhoushan Daishan based on dynamic triaxial tests under strain control[J]. Marine Georesources & Geotechnology, 2014, 33(7): 1503-1513. 汪明元, 单治钢, 王亚军, 等. 应变控制下舟山岱山海相软土动弹性模量及阻尼比试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(7): 1503-1513.
- [8] WANG Y J, JIN F, ZHANG C H, et al. Liquefaction failure pore-pressure models of Zhoushan marine sandy soil under cyclic exciting loading[J]. Marine Georesources & Geotechnology, 2013, 32(3): 582-597. 王亚军, 金峰, 张楚汉, 等. 舟山海域海相砂土循环激励下的液化破坏孔压模型[J]. 岩石力学与工程学报, 2013, 32(3): 582-597.
- [9] GAO S H, WANG J, LI D C, et al. Study on static and dynamic characteristics of Zhoushan marine sand[J]. China Water Transport, 2014, 14(3): 335-339, 341. 高世虎, 王军, 李登超, 等. 舟山海相砂土静动力特性研究[J]. 中国水运, 2014, 14(3): 335-339, 341.

Study on Properties of Marine Dredged Slurry in the Zhoushan Offshore Area and Suggestions for Treatment Techniques

XIONG Zhan¹, WANG Ming-yuan², ZHU Xing¹, SONG Yin-wei¹, WANG You-bao¹,
WANG Ya-jun¹, KE Jian-wei³, WANG Jin-bao¹, MA Hui-biao¹

(1. *Harbor and Traffic Engineering Portage College, Zhejiang Ocean University, Zhoushan 316022, China;*

2. *Hydro China Huadong Engineering Corporation, Hangzhou 310012, China;*

3. *Zhoushan Water Conservancy Survey and Design Institute, Zhoushan 316000, China*)

Abstract: The analyses of physical chemistry and mechanical properties of marine dredged slurry in the sea area off the Changzhi Island of Zhoushan indicate that the marine dredged slurry has high water content rate, large initial void ratio and low initial limit shear strength, and that the salt content and the ion exchange capacity of the marine dredged slurry are so high that the micro-particles of the slurry are surrounded by a thicker diffusion water film. Because the water film between the soil particle skeletons is thicker, the anisotropy overloading will aggravate the volume deformation of the dredged materials and destroy the interparticle structure. In the case of natural state, the characteristics of flocculated-dispersed structures of the dredged slurry are extremely remarkable and the microscopic-mesoscopic structures are very unstable. If the saline minerals degrade and precipitate, the solid skeleton of the slurry will be destroyed locally. Through this study, the properties of the dredged slurry in the sea area off Changzhi Island could be understood and a scientific basis would be provided for the application of the vacuum preloading drainage consolidation technique to the regional sea reclamation projects.

Key words: sea reclamation; marine dredged slurry; properties; vacuum preloading

Received: June 3, 2017