

# 考虑絮凝剂影响的疏浚淤泥固结特性研究

徐洪群<sup>1</sup>, 徐桂中<sup>2</sup>, 冯哲源<sup>2</sup>, 刘 锋<sup>3</sup>

(1. 盐城市盐都区水务局秦南水务站, 江苏 盐城 224005; 2. 盐城工学院土木工程学院, 江苏 盐城 224000;  
3. 宿迁市楚诚置业有限公司, 江苏 宿迁 223800)

**摘要:**在疏浚淤泥中添加絮凝剂,不但可以加速泥浆沉积,还可以克服排水固结处理时的淤堵难题。然而,目前关于絮凝剂对疏浚淤泥固结特性的影响方面的研究较少。针对添加了不同类型絮凝剂的疏浚淤泥开展室内固结试验,研究絮凝剂种类等因素对疏浚淤泥固结特性的影响规律。结果表明:在压缩曲线中,在小压力下  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  淤泥与 APAM 淤泥产生新的土体结构,可以抵抗小荷载,随着荷载逐渐增加,这种结构被破坏,结构产生的影响也变小。加入氢氧化钙的疏浚淤泥的固结系数比原泥显著增大,在小荷载下,氢氧化钙可以明显的改变土样的渗透系数,其他絮凝剂的效果均无氢氧化钙明显。

**关键词:**疏浚淤泥; 固结试验; 絮凝剂; 孔隙比

**中图分类号:**TU411.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1007-7839(2020)01-0023-04

## Study on consolidation characteristics of dredged silt considering the influence of flocculant

XU Hongqun<sup>1</sup>, XU Guizhong<sup>2</sup>, FENG Zheyuan<sup>2</sup>, LIU Feng<sup>3</sup>

(1. Qinnan Water Affairs Station of Yandu District Water Affairs Bureau Water Station, Yancheng 224005, Jiangsu; 2. School of Civil Engineering, Yancheng Institute of Technology, Yancheng 224000, Jiangsu;  
3. Suqian Chucheng Tenancy Co., Ltd., Yancheng 223800, Jiangsu)

**Abstract:** Adding flocculant in dredged silt can not only accelerate mud deposition, but also overcome the blockage problem in drainage consolidation treatment. However, there are few studies on the influence of flocculant on the consolidation characteristics of dredged silt. Indoor consolidation test of dredged silt with different types of flocculants was carried out to study the influence of flocculant types and other factors on the consolidation characteristics of dredged silt. The research showed that in the compression curve,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  silt and APAM silt produced new soil structure under small pressure, which could resist small load. With the gradual increase of load, this structure was destroyed, and the influence of the structure became smaller. The consolidation coefficient of dredged sludge with calcium hydroxide was significantly higher than that of the original mud. Under small load, the calcium hydroxide could obviously change the permeability of soil samples, and other flocculants were not as effective as calcium hydroxide.

**Key words:** consolidation test; flocculant; void ratio

## 0 引 言

为了改善水质、保证航道正常的泄洪及通航能

力,我国每年都要开展大规模的河道疏浚清淤工程,产生数亿以上的高含水率淤泥<sup>[1]</sup>。由于产生的淤泥细颗粒含量高,含水率高,需要长期征用大量

收稿日期:2019-09-04

基金项目:国家自然科学基金(E080601)

作者简介:徐洪群(1975—),男,工程师,主要从事水利工程运行与管理工作。

土地搁置<sup>[2-3]</sup>。尤其在内地,主要征用农田或鱼塘,不但征地成本高,而且会因征地而引发社会矛盾。将堆场中的吹填淤泥进行快速处理,降低其含水率,减小其体积,不但可以提高堆场的利用效率,减少征地,而且可以提高吹填淤泥的工程特性,增加土地资源,缓解我国土地资源紧缺问题<sup>[1,4]</sup>。

真空排水固结方法是日前处理疏浚淤泥的重要方法。由于排水固结法具有处理成本低、施工方法简单等特点,所以在土木、交通等工程建设中得到了广泛应用,如在高速公路中采用真空预压排水固结法解决桥头跳车的问题。但排水固结法处理高含水率疏浚淤泥时,常常会发生淤堵,导致处理效率低,处理效果差。

对于吹填淤泥真空排水中的淤堵问题,实践表明,相对于吹填淤泥颗粒粒径而言,现有塑排板滤膜的等效孔径相对较小,是导致滤膜发生淤堵的重要原因,排水板滤膜的等效孔径越小其淤堵情况越严重<sup>[3,5]</sup>。McIsaac 和 Rowe 等的试验结果显示,无纺土工织物比有纺土工织物更容易造成淤堵<sup>[6]</sup>。其次,在排水体周围产生淤堵层(泥皮),导致真空度向淤泥中径向传递时衰减严重<sup>[7-8]</sup>。为了解决真空排水过程中的淤堵问题,诸多研究者针对淤堵产生的机理提出了各种防淤堵技术<sup>[9-11]</sup>,其中,絮凝真空技术被认为行知有效。本文在已有研究成果的基础上,对泰州土进行一系列固结试验,进一步深入探讨了土体性质的变化,分析了絮凝剂种类、絮凝剂浓度、不同荷载下等因素对土体性质的影响,为后续的工程实践提供理论依据。

## 1 土样介绍与试验方法

### 1.1 土样介绍

本文所用的淤泥土样为泰州土样。土样取自泰州疏浚河道产生的淤泥。对土样进行常规的物理试验,获取泰州淤泥土样的基本物理力学特性指标,详细数据列于表 1 中。其中,土样的液塑限均采用联合液塑限仪进行测定,土的粒径分布情况采用密度计测量,比重通过比重瓶测定。

### 1.2 试验方法

由于试验中淤泥的初始含水率为 2.0 倍液限,采用传统固结仪进行固结试验时,第 1 级固结压力相对较大(10~12.5 kPa),致使淤泥被挤出,导致试验数据失真,所以无法采用传统的固结装置进行本次试验。为了克服常规固结仪最小加载量偏大的缺点,本次试验采用 Hong 等所述的轻便固结仪。该固结仪为主要试验仪器,所用环刀面积为 30 cm<sup>2</sup>,高为 2 cm。制备相同初始含水率的土样,初始含水率为 120% (2 倍液限)。试验开始阶段,当荷载为 0.3 kPa、1 kPa、2 kPa、4 kPa 时,因为固结仪没有相应的荷载,故在透水石上加上相应的配重。然后对每一组的试样进行分级加载(每组 12 个试样,分别对应不同荷载),当每一级荷载加载结束时,便卸去荷载将土样取出,用调土刀将土样表面的水刮去,测出其对应的含水率,利用饱和土孔隙比和含水率的关系,反算孔隙比。在计算固结系数的过程采用  $T_{90}$  的方法。对某一级压力,以试样的变形为纵坐标,时间平方根为横坐标,绘制变形与时间平方根关系曲线,延长曲线开始的直线,交纵坐标与  $d_0$  为理论零点,过  $d_0$  作另一直线,令其横坐标为前一直线横坐标的 1.15 倍,则后一直线与  $d-\sqrt{t}$  曲线交点所对应的时间的平方根即为试验固结度达到 90% 所需的时间  $t_{90}$ 。如图 1 所示。该级压力下的固结系数应按式(1)计算。

$$C_v = 0.848h^2/t_{90} \quad (1)$$

式中: $C_v$ 为固结系数,cm<sup>2</sup>/s; $h^2$ 为最大排水距离,等于某级压力下试样的初始和终了高度的平均值之半,cm。

## 2 结果与分析

### 2.1 压缩曲线

图 2 为加入不同絮凝剂的压缩曲线,图 2 中显示随着荷载增大,土体孔隙比的整体变化趋势是减小。在小荷载下,絮凝剂改变土体结构,然而随着荷载的增大,当荷载为 8 kPa 时被完全破坏。但是随着荷载的增加,絮凝剂产生的结构被破坏,絮凝

表 1 土样的基本物理力学指标

土性	比重/ Gs	液限/ %	塑限/ %	塑性指数	砂粒含量 ( $d > 0.075$ mm)/ %	粉粒含量 ( $0.005 \sim 0.075$ mm)/ %	黏粒含量 ( $d < 0.005$ mm)/ %
泰州淤泥	2.70	60.0	30.4	29.6	2.6	41.8	56.1

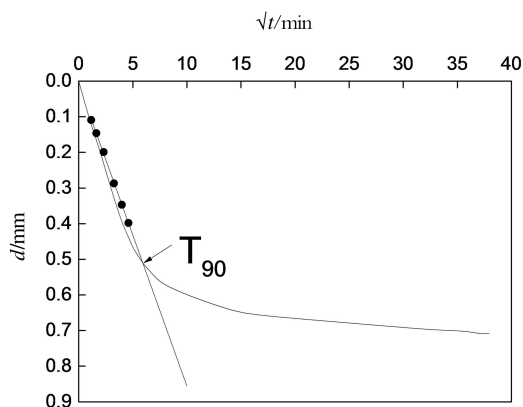


图1 时间平方根与累积沉降量的关系图

剂产生的影响下降。曲线随着孔隙比的变化略微呈一个上凹形,整个曲线呈倒“S”型。在10 kPa之前,4个试样有明显的区别。其中三氯化铁的孔隙比比原泥的小,APAM的孔隙比大于原泥的孔隙比,而氢氧化钙的孔隙比大于APAM。在10 kPa之后氢氧化钙出现了坍塌,其它3条曲线并不明显。在60 kPa后4条曲线逐渐接近随着荷载的增加,3个试样的曲线区别不大,其中三氯化铁在1000 kPa的孔隙比明显的小于其他的试样在此荷载下的孔隙比分析压缩曲线,得出 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 淤泥与APAM淤泥比原泥有明显影响,而 $\text{FeCl}_3$ 淤泥与原泥接近,所以 $\text{FeCl}_3$ 淤泥对原泥的影响较小。

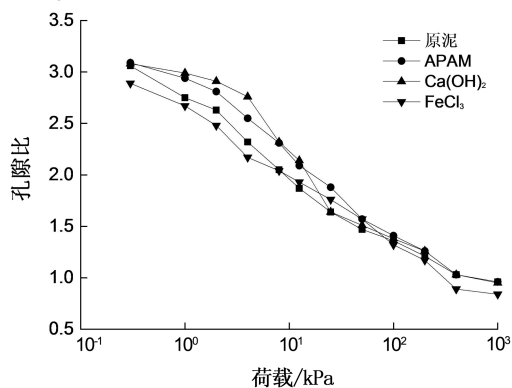


图2 孔隙比随荷载的变化关系

## 2.2 固结系数的变化规律

图3为不同絮凝剂下固结系数随荷载的变化关系。固结系数为试验土壤固结所需要的时间,某一时刻压缩量与最终压缩量之比。在小荷载作用下,曲线开始有小段的浮动;随着荷载的增加,土样的固结系数也随之变大;最后渐渐趋于稳定。其中氢氧化钙的固结系数曲线明显大于其它曲线。原泥和三氯化铁的固结系数比较接近,APAM相对于原泥和三氯化铁的固结系数在小荷载下差别不大;当荷载超过100 kPa,且随着荷载的增加时APAM

与原泥和三氯化铁的固结系数之差也逐渐变大。曲线表明了:加入氢氧化钙的土样的固结系数显著增大,加入APAM的土样比起原泥在100 kPa以下的荷载下的固结系数区别不大,当超过100 kPa时加入APAM的土样比起原泥的固结系数有一定的提高,但是均小于氢氧化钙土样的固结系数。

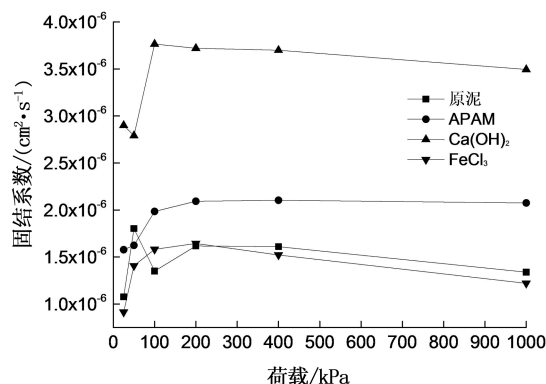


图3 固结系数随应力的变化关系

## 2.3 渗透系数的变化规律

图4为不同絮凝剂下渗透系数随荷载的变化关系。在小荷载下,渗透系数迅速增加,氢氧化钙最为典型。随着荷载的增加,渗透系数开始变小。当荷载达到400 kPa以后,渗透系数趋于稳定。其中原泥和三氯化铁的渗透系数较接近。而加入氢氧化钙的土样的渗透系数在荷载为250 kPa前显著的大于原泥的渗透系数,当荷载在250~400 kPa之间渗透系数急剧减小,当荷载超过400 kPa时渗透系数趋于稳定。加入三氯化铁的土样渗透系数大小和原泥在400 kPa之前比较不是很大,在荷载超过400 kPa后的渗透系数比原泥略大。分析4条曲线,发现在小荷载下,氢氧化钙可以明显的改变土样的渗透系数,随着荷载的增大絮凝剂的效果不明显。

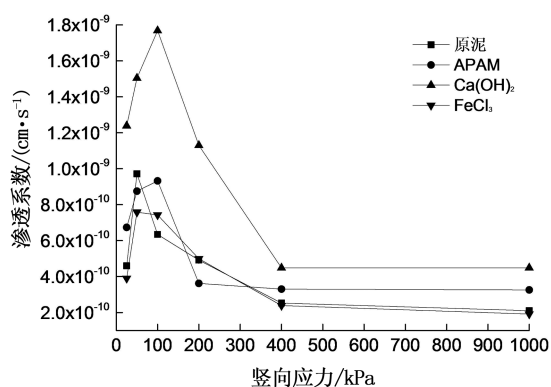


图4 渗透系数随应力的变化关系

## 2.4 渗透系数随孔隙比的变化关系

图5为渗透系数在对数坐标下随孔隙比的变化关系。图中显示随着孔隙比的增加渗透系数也

逐渐增加,在孔隙比为 1.4~1.6 之间时,各土样的渗透系数达到最大,随后开始减小。其中氢氧化钙的土样比原泥的渗透系数略大。原泥和加入 APAM 和三氯化铁的土样变化不大。在孔隙比小于 1.4 时,渗透系数和孔隙比成线性变化。

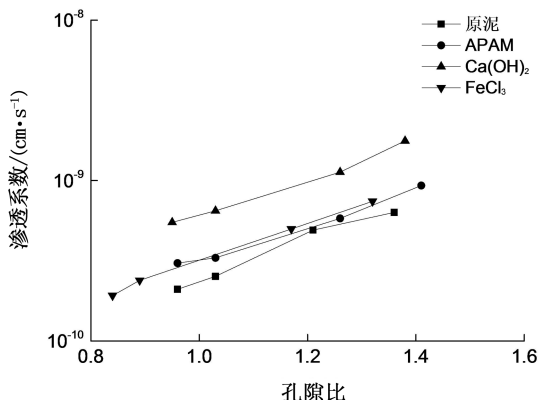


图 5 渗透系数随孔隙比的变化关系

### 3 结 论

通过对加入不同絮凝剂的土样开展固结试验,获得如下结论:

(1) 压缩曲线中,在小压力下  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  淤泥与 APAM 淤泥比原泥有明显影响,而  $\text{FeCl}_3$  淤泥对原泥的影响较小。

(2) 加入氢氧化钙的土样的固结系数比原泥显著增大,而加入 APAM 的土样的固结系数比原泥略有提高,加入三氯化铁的土样和原泥的固结系数很接近没有明显变化。

(3) 可以得到在小的竖向应力下,氢氧化钙可以明显的改变土样的渗透系数,APAM 的土样略有增加,三氯化铁和原泥的渗透系数很接近,然而随着竖向应力的增大,絮凝剂的效果不明显。

(4) 渗透系数在对数坐标下随孔隙比的变化,氢氧化钙略有明显,而其他的土样之间差别不大。

#### 参考文献:

[1] 朱伟, 闵凡路, 吕一彦, 等. “泥科学与应用技术”的

提出及研究进展[J]. 岩土力学, 2013, 34(11):3041-3052.

- [2] XU Guizhong, GAO Yufeng, HONG Zhenshun, et al. Sedimentation Behavior of Four Dredged Slurries in China[J]. Marine Georesources and Geotechnology, 2012, 30(2):143-156.
- [3] XU Guizhong, GAO Yufeng, ZHANG Ying, et al. Rheological behavior of dredged slurries at high water contents [J]. Marine Georesources and Geotechnology, 2017, 35 (3):357-364.
- [4] 邓东升, 洪振舜, 刘传俊, 等. 低浓度疏浚淤泥透气真空泥水分离模型试验研究[J]. 岩土工程学报, 2009, 31(2):250-253.
- [5] 徐锴, 林生法, 耿之周, 等. 真空加载方式对排水板滤膜淤堵影响试验研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(增刊2):123-128.
- [6] McIsaac R, Rowe RK. Effect of filter-separators on the clogging of leachate collection systems [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2006, 43 (7):674-693.
- [7] 鲍树峰, 莫海鸿, 董志良, 等. 新近吹填淤泥地基负压传递特性及分布模式研究[J]. 岩土力学, 2014, 35(12):3569-3576.
- [8] 沈杰. 高含水率疏浚泥真空预压室内模型试验研究[D]. 南京:东南大学, 2015.
- [9] GAO Yufeng, ZHOU Yuan. Effect of vacuum degree and aeration rate on sludge dewatering behavior with the aeration-vacuum method[J]. Journal of Zhejiang University - SCIENCE A (Applied Physics & Engineering), 2010, 11(9):638-655.
- [10] 王军, 蔡袁强, 符洪涛, 等. 新型防淤堵真空预压法室内与现场试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(6):1257-1268.
- [11] 苑晓青, 王清, 孙铁, 等. 分级真空预压法加固吹填土过程中孔隙分布特征[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012, 42(1):169-176.