



高分子聚合物对淤泥沉积影响的试验

邱青长¹, 蔡文², 颜永国¹

(1. 中交四航工程研究院有限公司, 中交交通基础工程环保与安全重点实验室, 广东 广州 510230;

2. 中交第四航务工程局有限公司, 广东 广州 510231)

摘要: 在实验室利用量筒进行淤泥沉积试验, 模拟现场吹填淤泥静水沉积过程, 探讨了吹填淤泥在不同初始密度和不同絮凝剂对自重固结特性的影响。试验结果表明: 泥水混合物的初始密度对沉积速度有重要影响, 孔隙比变化速度、变化量以及沉积后的孔隙比都与泥浆初始密度成反比; 泥浆的沉积速度与溶液阳离子化合价成正比; 高分子聚丙烯酰胺是一种有效的絮凝剂, 可有效使细颗粒快速絮凝沉淀。

关键词: 吹填淤泥; 沉积; 高分子聚合物; 絮凝剂

中图分类号: TU 442

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2015)03-0032-04

Experiment on influence of macromolecule polymer on sedimentation of silt

QIU Qing-chang¹, CAI Wen², YAN Yong-guo¹

(1. CCCC Key Lab of Environmental Protection & Safety in Foundation Engineering of Transportation, CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China; 2. CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510231, China)

Abstract: Based on the sediment test, we simulate the sedimentary situation of dredged silt and investigate the influences of different initial density of soil-water mixture and flocculant. The result shows that the initial density of mixtures has a significant impact on the deposition rate. The change of void ratio change quantity and speed, after the deposition of the void ratio and mud density is inversely proportional to the initial density. The mud deposition velocity and solution is proportional to the valence of cation. Macromolecule PAM is an effective flocculant and can make fine particles flocculate faster.

Keywords: dredged silt; sedimentation; macromolecule polymer; flocculant

随着临港及大面积围海造陆工程的开展, 越来越多工程利用吹填疏浚土料回填后进行软土加固来实现。整体项目工期包含吹填期淤泥沉积及后期软基处理, 因而吹填淤泥的初步固结时间和软基加固时间决定项目的总工期。工程实践表明, 吹淤体晾晒 0.5 a 可形成 10~30 cm 的硬壳层, 晾晒 1 a 可形成 30~50 cm 的硬壳层。作为软土加固前的必要前期工作及基础研究, 分析和研究吹填泥浆在吹填后的沉积规律及固结形态, 为后期吹填土加固提供初始的设计参数, 具有相当重要的现实意义。

目前国内对吹填沉积研究已有深入开展, Been 等^[1]利用沉积柱试验研究了粉质黏土(黏粒含量为 30%)的自重沉积固结特性, 测得不同初始密度泥水混合物在自重沉积过程中各时刻的密度剖面、超孔隙水压力剖面以及土颗粒离析分布特征; 彭涛等^[2]对深圳地区吹填淤泥进行了静态落淤试验研究, 获得了自重沉积固结后的孔隙比范围; 刘莹等^[3-5]对连云港和青岛的吹填土进行了沉积柱试验和表面蒸发结壳试验研究, 并探讨了水泥和石灰两种掺入剂对自重沉积固结特性的影响, 获得了不同初始密度泥水混合物的沉积速率

收稿日期: 2014-12-18

作者简介: 邱青长(1977—), 男, 博士, 高级工程师, 从事岩土工程技术服务及研发工作。

和固结后的孔隙比范围; 詹良通等^[6]研究了通过添加高价阳离子来提高自重固结速率和固结后密实度。本文利用自来水系统处理污泥的脱水技术, 研究高分子聚丙烯酰胺 (PAM) 对吹填泥浆自重沉积固结的影响, 对比阳离子沉积固结试验, 探讨聚丙烯酰胺 (PAM) 在吹填淤泥工程实践中的可行性。

1 模拟试验

1.1 试验方法

量筒沉积试验采用 1 000 mL 的量筒, 面积为 32 cm²。首先将现场取得淤泥扰动样烘干、捣碎成粉粒状, 淤泥的颗粒级配见图 1。聚丙烯酰胺按干土质量的 0.2% 掺入并配置溶液, FeCl₃ 按干土质量的 6% 掺入并配置溶液。由于黏土颗粒之间的絮凝作用, 颗粒会凝结整体下沉, 泥和水就会有明显的分界面, 随时间测记泥面的沉降量, 根据沉积体积的变化量, 按土体三相换算, 可以计算出泥浆的孔隙比及相应的密度和含水率。

通过测记的泥面下沉量, 应用以下关系式换算沉积后泥浆的密度、含水率和孔隙比:

$$\rho = \frac{\rho_s + S_r e \rho_w}{1 + e}$$

(1)

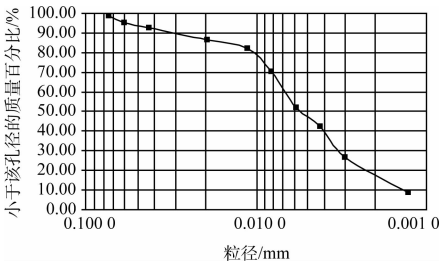


图 1 配制土的颗粒粒径分布

$$w = \frac{S_r e \rho_w}{\rho_s}$$

(2)

$$e = \frac{\rho_s V}{W_s} - 1$$

(3)

式中: W_s 为净干土质量, 在试验过程中为常数 (g); ρ 为泥浆密度 (g/cm³); w 为含水率 (%); e 为孔隙比; S_r 为饱和度, 吹填泥浆取 1; ρ_w 为水密度 (g/cm³); ρ_s 为土粒密度。

1.2 试验方案

本次试验共分两项 (表 1)。第 1 项研究泥水混合物在不同的初始密度条件下的自重沉积固结特性, 为吹填现场提供泥浆沉积密度提供参考。第 2 项在同等泥浆初始浓度的条件下, 研究高价阳离子类型和高分子絮凝剂聚丙烯酰胺 (PAM) 对吹填泥浆自重沉积固结的影响, 对比阳离子沉积固结试验, 探讨絮凝剂在工程实践中的可行性。

表 1 沉积试验初始和结束状态对比

分类	试验编号	初始密度/(g·cm ⁻³)	初始孔隙比	净干土质量/g	溶液类型	最终密度/(g·cm ⁻³)	最终孔隙比
第 1 部分	1	1.032	53.8	50	蒸馏水	1.467	2.726
	2	1.064	26.4	100	蒸馏水	1.488	2.562
	3	1.127	12.7	200	蒸馏水	1.534	2.261
第 2 部分	4	1.127	12.7	200	PAM	1.540	2.220
	5	1.127	12.7	200	FeCl ₃	1.557	2.214
	6	1.127	12.7	200	蒸馏水	1.534	2.261

2 试验结果与分析

2.1 泥浆初始浓度对自重沉积固结的影响

从图 2~4 可以看出, 吹填土的自重沉积过程可分为两个明显的阶段: 前一阶段土颗粒以自重沉积为主, 土液界面下降速度很快, 历时 3 h; 后一阶段土颗粒以自重固结为主, 土液界面缓慢下降, 持续 2 d。泥浆的初始密度越小, 孔隙比变化速度就越快; 曲线的拐点越靠前, 孔隙

比变化量也越大。这是由于泥浆的初始密度越小, 其土颗粒相互干扰越小, 下沉空间越大。泥水混合物初始密度越小, 自重沉积阶段的时间越短, 孔隙比变化越大, 但沉积完成时的孔隙比越大。这是由于初始密度小的泥水混合物沉积完成后形成的土柱高度比较小, 给予下部土体的自重压力也较小。由表 1 所示, 初始密度介于 1.032~1.127 g/cm³ 的泥水混合物自重沉积固

结完成后的孔隙比介于 2.72 ~ 2.12，它比天然软黏土的孔隙比大 1 ~ 2 倍多。

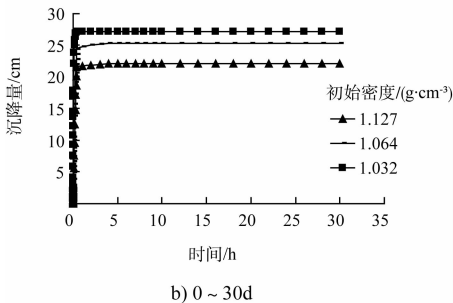
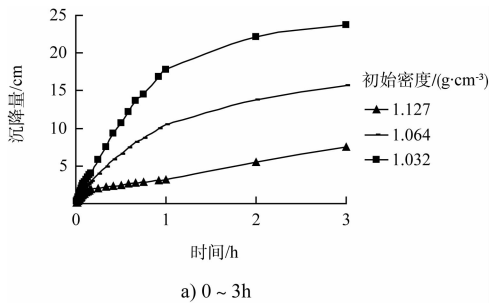


图 2 沉降量随时间变化曲线

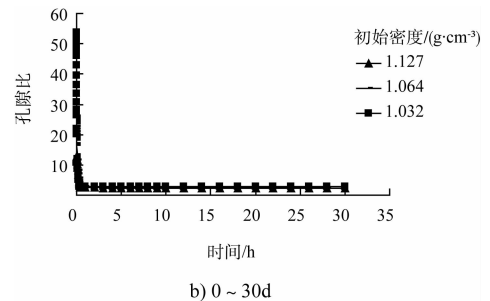
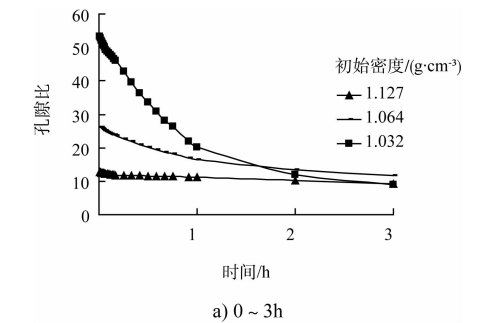


图 3 孔隙比随时间变化曲线

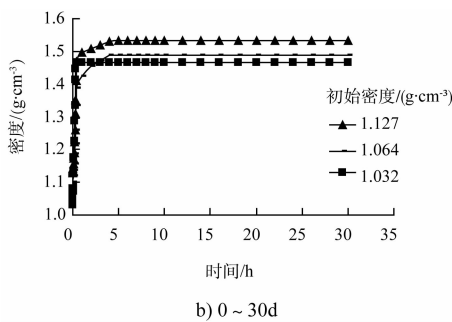
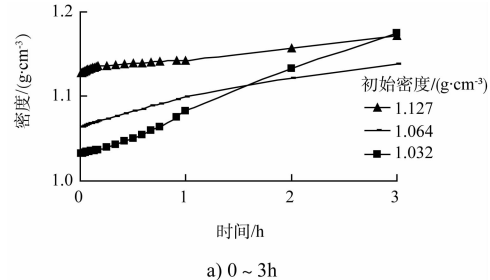


图 4 密度随时间变化曲线

2.2 絮凝剂对自重沉积固结特性的影响

从图 5 可以看出，该泥水混合物在 FeCl₃ 溶液中自重沉积速度明显大于在蒸馏水的速度，沉积物最终孔隙也明显小。溶液阳离子价位越高，黏土颗粒的弱结合水层越薄，土颗粒间易产生净吸引力而形成团粒状絮凝结构，沉积越快，且沉积后形成的沉积物越密实。同等泥浆浓度下，加了 FeCl₃ 溶液泥浆沉积稳定时间大大提前于蒸馏水中的沉积稳定时间，FeCl₃ 溶液沉积稳定约为 1 h。从图 6、7 可以看出，沉积稳定后，FeCl₃ 溶液沉积完成时密度均大于蒸馏水溶液，孔隙比则小于蒸馏水溶液。

从图 5 ~ 7 可以看出，该泥水混合物在聚丙烯酰胺溶液中自重沉积速度非常快，30 min 就可以基本完成沉积，上浮悬液清澈。沉积泥浆的密度和孔隙比与 FeCl₃ 溶液沉积结果对比，相差不大，沉积后聚丙烯酰胺溶液泥浆的孔隙比略微高一些。聚丙烯酰胺溶液的存在使得细颗粒更容易再絮凝成絮团，成为更大的粒团而匀速下沉，其沉积规律符合 Stocke 定律，即下沉的速度与粒团直径的平方成正比。起初，粒团呈悬浮状态，土体骨架尚未形成，此阶段的沉降量的大小基本上取决于泥浆的初始浓度，泥浆愈稀沉降量愈大，泥浆愈稠沉降量愈小。当泥浆稠度增加到一定程度后，其沉降量基本上不变。泥浆从稀到稠的过程，实际上是土体开始形成骨架的过程，也是土体自重应力逐渐开始起作用的过程，自重应力所引起的变形要比颗粒絮凝成团下沉的变形要小得多，所以泥浆初始浓度的不同对此阶段沉降过程有着较大的影响。絮凝下沉后的泥浆浓度与絮团的密度密切相关，而絮团的密度则取决于黏土的矿物成分。

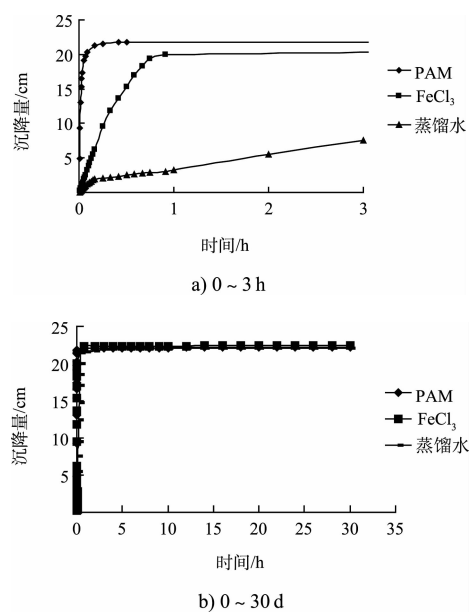


图 5 沉降量随时间变化曲线

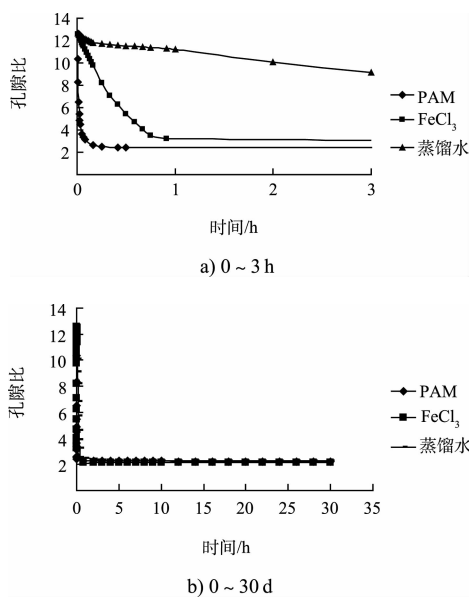


图 6 孔隙比随时间变化曲线

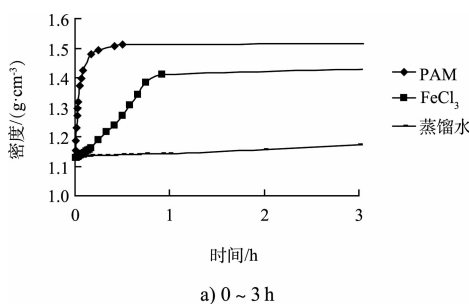


图 7 密度随时间变化曲线

3 结论

- 1) 泥水混合物的初始密度对沉积速度有重要的影响, 孔隙比变化速度、变化量以及沉积后的孔隙比都与泥浆初始密度成反比。
- 2) 泥浆的沉积速度与溶液阳离子化合价成正比, 溶液阳离子化合价越高, 则泥浆沉积越快, 固结后的孔隙比越小。
- 3) 高分子聚丙烯酰胺是一种有效的絮凝剂, 可有效加速细颗粒絮凝沉淀。

参考文献:

[1] Been K, Sills G C. Self-weight consolidation of soft soils: an experimental and theoretical study [J]. Geotechnique, 1981, 31(4): 519-535.

[2] 彭涛, 武威, 黄少康, 等. 吹填淤泥的工程地质特性研究[J]. 工程勘察, 1999(5): 1-5.

[3] 刘莹, 肖树芳, 王清. 吹填土室内模拟试验研究[J]. 岩土力学, 2004, 25(4): 518-528.

[4] 刘莹, 王清. 江苏连云港地区吹填土室内沉积试验研究[J]. 地质通报, 2006, 25(6): 762-765.

[5] 刘莹, 王清. 水泥与生石灰处理吹填土对比试验研究[J]. 工程地质学报, 2006, 14(3): 424-427.

[6] 詹良通, 童军, 徐洁. 吹填土自重沉积固结特性试验研究[J]. 水利学报, 2008, 39(2): 201-205.

(本文编辑 武亚庆)