

真空预压过程中滤膜等效孔径和土颗粒级配对排水板淤堵影响的试验研究

李晗峰¹, 占宏², 陆靖凌³

(1. 杭州交通投资建设管理集团有限公司, 浙江 杭州 311301; 2. 浙江工业大学工程设计集团有限公司, 浙江 杭州 310014;
3. 浙江工业大学 土木工程学院, 浙江 杭州 310000)

摘要: 采用真空预压法处理吹填淤泥时, 塑料排水板滤膜的淤堵会使真空预压效率大大降低。土颗粒的级配和滤膜的等效孔径与滤膜的淤堵有很大关系。本文选用两种不同滤膜等效孔径的排水板和三种不同级配土体进行真空预压室内模型试验, 对出水量、孔隙水压力以及土体沉降进行分析, 研究滤膜等效孔径和土颗粒级配对排水板淤堵的影响。实验结果表明: 粗颗粒在排水板淤堵过程中起主要作用, 在粒径相同的条件下, 大孔径排水板更不容易发生淤堵。

关键词: 等效孔径; 淤堵; 吹填淤泥; 真空预压

中图分类号: TU43 **文献标识码:** A **文章编号:** 2096-7195(2020)01-0009-05

作者简介: 李晗峰 (1986-), 男, 浙江舟山人, 工程师, 主要从事路基路面施工的研究工作。E-mail: lihanfeng1122@126.com。

Experimental study on the effect of filter membrane equivalent aperture and grain gradation on drainage clogging under vacuum preloading

LI Han-feng¹, ZHAN Hong², LU Jing-ling³

(1. Hangzhou Municipal Communications Investment Group CO., LTD, Hangzhou 311301, China;
2. Zhejiang University of Technology Engineering Design Group CO., LTD, Hangzhou 310014, China;
3. College of Civil Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310000, China)

Abstract: When vacuum preloading is used to treat dredged soil, the clogging of the plastic drainage plate filter membrane will greatly reduce the vacuum preloading efficiency. This phenomenon is greatly influenced by the grain gradation and filter membrane equivalent aperture. In this paper, laboratory model tests were carried out using two kinds of filter membrane with different equivalent apertures and also using three kinds of dredger soil with different grain gradations. The water output, pore water pressure and soil settlement were compared, and the effect of filter membrane equivalent aperture and soil particle gradation on the clogging of drainage board were analysed. The experimental results show that the coarse particle plays a major role in the clogging of drainage board, under the condition of the same grain size, the drainage plate with large equivalent aperture is less prone to clogging.

Key words: equivalent aperture; clogging; dredged soil; vacuum preloading

0 引言

随着我国经济高速发展, 土地资源已经越来越不能满足经济发展的需要, 因此我国进行了大量的海涂围垦工程。海涂围垦工程常采用疏浚淤泥作为填料。疏浚淤泥具有含水量高、强度低的特点, 对其进行处理一直是一个工程难题。真空预压作为进行软土地基加固的主要方法^[1-2], 在经过数十年的发展后, 已经取得了巨大的成功。近年来真空预压技术被广泛应用于海涂围垦淤泥地基的处理上, 但高

含水率疏浚淤泥在真空预压过程中, 塑料排水板的滤膜往往发生淤堵^[3], 导致真空度无法有效传递, 降低处理效率。

国内外针对滤膜的淤堵特性及改善淤堵的方法进行了一系列研究。崔士平^[4]采用不同纤维强度和不同等效孔径的排水板, 通过室内模型试验, 对排水板的保土性、透水性和防淤堵性进行了评价。徐锴等^[5]对不同真空预压加载方式对淤堵特性的影

响进行了研究。彭湘林等^[6]得出了排水板等效孔径对滤膜淤堵有较大影响。蔡瑛^[7]通过梯度比试验对普通塑料排水板和整体式排水板的防淤堵效果进行了评价。雷华阳等^[8]对不同级配的土体对真空预压加固效果的影响进行了研究。已有结果表明排水板等效孔径与土体级配都对真空预压过程中排水板的淤堵有极大影响,而对于二者耦合情况下对淤堵的影响相关研究较少。

本文选用两种不同等效孔径滤膜的排水板和三种不同级配土体,进行真空预压法处理高含水率淤泥室内模型试验。通过土体沉降、出水量及孔压变化,研究滤膜淤堵情况,得到采用真空预压法处理不同级配土体时,排水板孔径大小对排水板淤堵情况的影响规律。

1 试验方案

1.1 试验土样及装置

模型试验装置如图1所示,由模型桶、抽真空系统、排水与储水系统和监测系统组成。本试验抽真空系统由水循环真空泵与真空管道组成;排水与储水系统由上下嘴滤瓶、手型接头、出水管道组成;监测系统由电子秤、位移传感器(LVDT)、孔隙水压力计、数据采集仪组成;模型桶高为47 cm,直径为37 cm的亚克力材质圆柱形。试验采用含水

率为100%的土样,土体总重67.78 kg。试验过程中真空度为-80 kPa。

本次试验用土分别取自浙江省台州市某基坑工程、温州市某基坑工程与杭州市某基坑工程,其级配与参数见表1与图2。

由图2可知,温州土砂粒含量最高,达47%,台州土和杭州土砂粒含量分别为29%和18%,台州土粉粒含量最高,达64%,杭州土和温州土均为50%,杭州土、台州土、温州土的黏粒含量分别为24%、5%、3%。

1.2 排水板规格

根据现行的《常用排水板型号及性能指标》(JTS 206-1-2009)选取2种不同孔径滤膜的B型塑料排水板,其主要参数如表2。

表1 土体试验参数

Table 1 Test parameters of soil samples

土体种类	台州土	温州土	杭州土
比重	2.672	2.656	2.625
密度/(g/cm ³)	1.34	1.35	1.32
液限/%	40	50	36
塑限/%	25	32	24
含水率/%	100	100	100

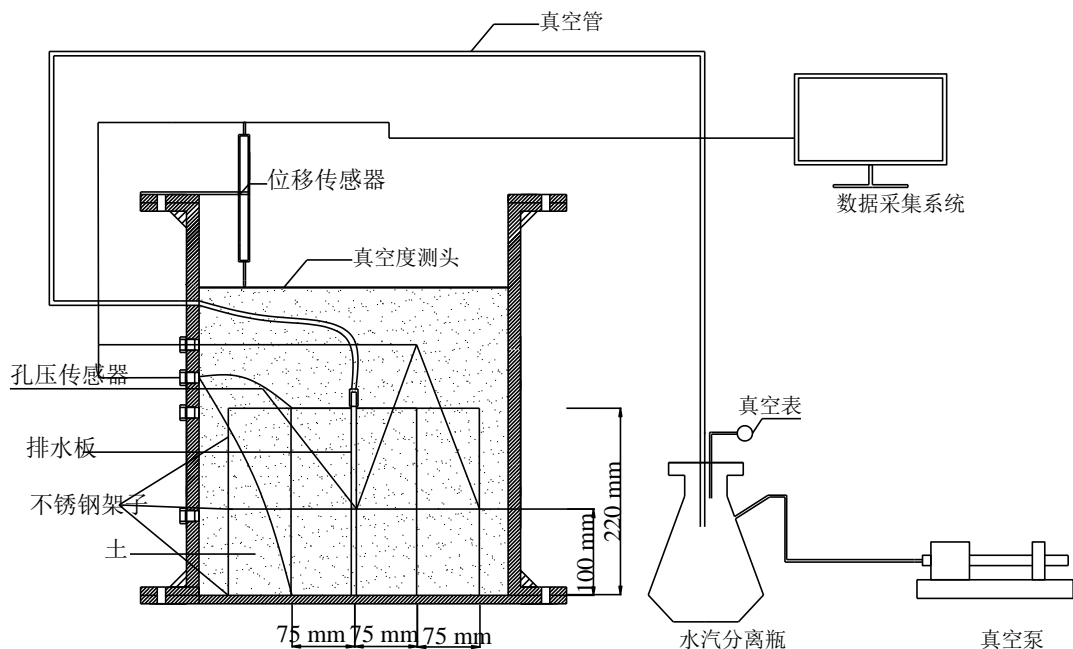


图1 试验装置示意图

Figure 1 Schematic diagram of test device

表2 塑料排水板滤膜参数

Table 2 Parameters of the plastic drainage plate filter membrane

排水板类型	纵向通水量/(cm ³ /s)	抗拉强度/(kN/10 cm)	渗透系数/(10 ⁻⁴ cm/s)	等效孔径/ μ m
排水板 1	≥ 25	≥ 1.3	≥ 5	75
排水板 2	≥ 25	≥ 1.3	≥ 5	105

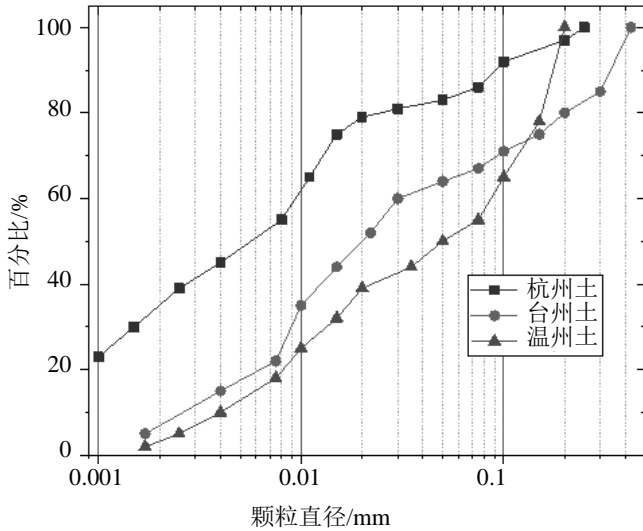


图2 土体颗粒级配

Figure 2 Grain size distribution of soil samples

1.3 试验步骤

模型试验的具体步骤为:

- 1) 首先配置 100% 的含水率泥浆并搅匀装入模型桶;
- 2) 在模型桶中安装孔压传感器 3 个 (距桶底 100 mm, 距排水板 1 cm、7.5 cm 及 15 cm 处), 在模型桶中央插入塑料排水板 (PVD), 在土样表面铺设一层土工编织布并铺设两层塑料薄膜密封;
- 3) 在土体表面布置 LVDT 位移传感器;
- 4) 开始真空预压并采集监测数据。

2 试验结果

2.1 出水量

在进行地基处理时, 出水量是衡量地基处理效果的重要因素。由图 3 可以看出, 不同级配土体采用不同种类滤膜排水板的出水量具有较大差异。其中, 出水量较高的是采用 105 μ m 滤膜排水板的台州土, 出水量为 20.214 L, 而采用 75 μ m 等效孔径排水板的温州土出水量较少, 出水量仅为 14.47 L, 二者之间相差 28.4%。横向对比同种级配土体间采用不同孔径排水板的出水量数据发现, 采用大孔径排水板的试验组出水量较大, 其中, 选用不同排水板孔径的台州土差异仅为 1.2%, 杭州土与台州土类

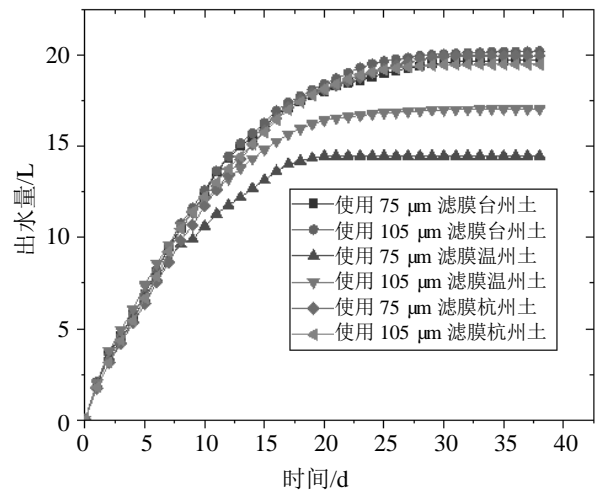


图3 出水量随真空预压时间关系曲线

Figure 3 Relationship between water output and vacuum preloading time

似, 差异仅为 1.4%, 温州土差异最大, 高达 14.7%。综合考虑各土体粒径占比可知, 粉粒和黏粒占比差异较大的台州土和杭州土出水量类似, 而砂粒占比最大的温州土在黏粒占比与杭州土相近且粉粒占比与台州土相近的情况下, 出水量和其余两种土体差距较大, 可见, 砂粒含量是土体出水量重要影响因素之一。同时, 对于砂粒含量较多的土体, 大孔径排水板可以提高其出水量, 而对于砂粒含量较少的土体, 排水板孔径对其出水量影响不大。

2.2 沉降量

由图 4 可知, 沉降量最大的是采用等效孔径为 105 μ m 滤膜排水板的台州土, 沉降量为 138.2 mm。等效孔径 75 μ m 滤膜的温州土沉降较小, 沉降量仅为 110.19 mm, 二者之间差值为 20.3%, 存在较大差异。对比试验结果发现, 各试验组沉降的变化规律与出水量变化规律类似, 砂粒含量较多的温州土沉降量较小, 而砂粒含量较少的台州土和杭州土沉降量较大且这二者的沉降量差异不大。而采用大孔径排水板的温州土试验组沉降量较采用小孔径的大。可见, 采用大孔径排水板进行真空预压处理高砂粒含量的土体效果较好, 对于砂粒含量较低的土体, 孔径变化对于真空预压处理效果影响不大。

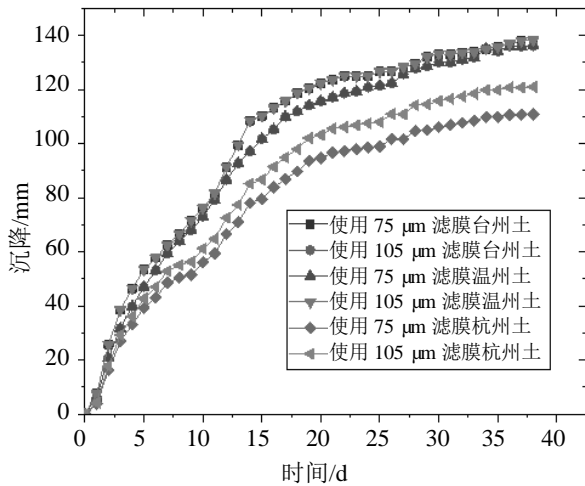
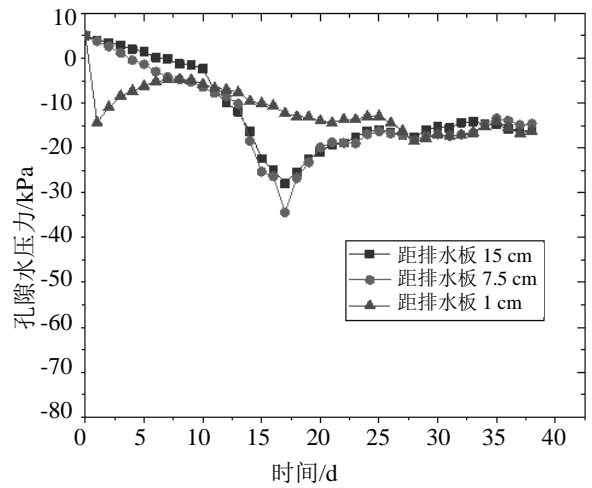


图4 沉降量随真空预压时间关系曲线

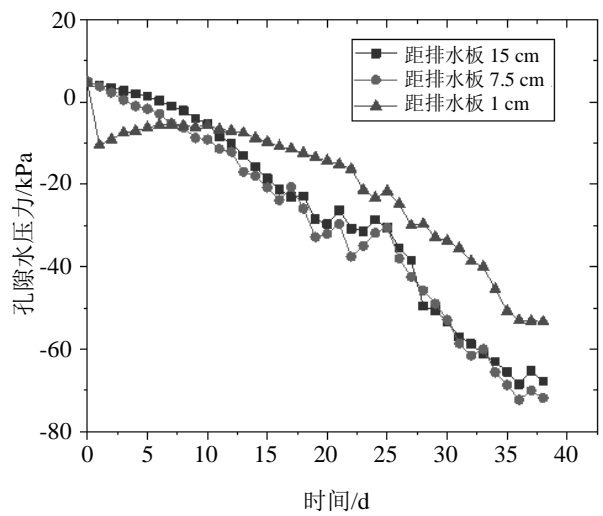
Figure 4 Relationship between settlements and vacuum preloading time

2.3 孔隙水压力

由图 5~7 可知, 砂粒含量较低的杭州土和台州土无论采用大孔径(105 μm)的排水板还是小孔径(75 μm)的排水板, 其孔隙水压力变化规律和最终大小差距不大且最终均可达到 -70~-80 kPa。可见, 这两种土体未发生明显淤堵且不同孔径排水板对排水板淤堵影响不大。对比图 5 (a), (b) 可知, 砂粒含量较高的温州土在采用小孔径排水板进行试验时, 试验结束时孔隙水压力稳定在 -17 kPa, 距离 -80 kPa 差距极大, 可见发生了较为明显的淤堵情况。由此也可以解释温州土的出水量与沉降量均小于台州土与杭州土的现象。这是由于真空预压过程中, 采用小孔径的排水板的温州土试验组产生了严重的淤堵, 使真空压力无法传递, 所以距排水板较远处的土体中的孔隙水无法排出, 导致了较小的出水量与沉降量。由图 5 (b) 可知, 采用了大孔径排水板后, 其真空度传递效果明显的改善。采用了大孔径排水板的温州土试验组的孔隙水压力在距排水板 15 cm 与 7.5 cm 测点处的孔隙水压力在 37 天时达到了 -70 kPa 左右。可见, 采用了大孔径排水板以后, 其淤堵情况得到了极大的改善。所得结果也与出水量与沉降量变化规律相符, 比采用小孔径排水板的温州土试验组好, 但仍无法达到台州土与杭州土的出水量与沉降量。

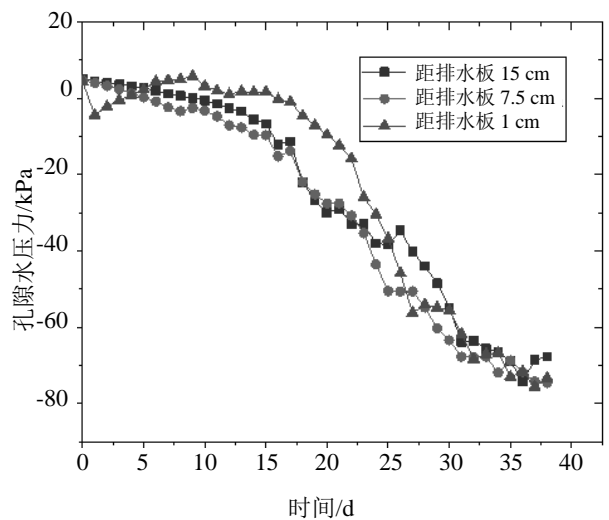


(a) 等效孔径 75 μm

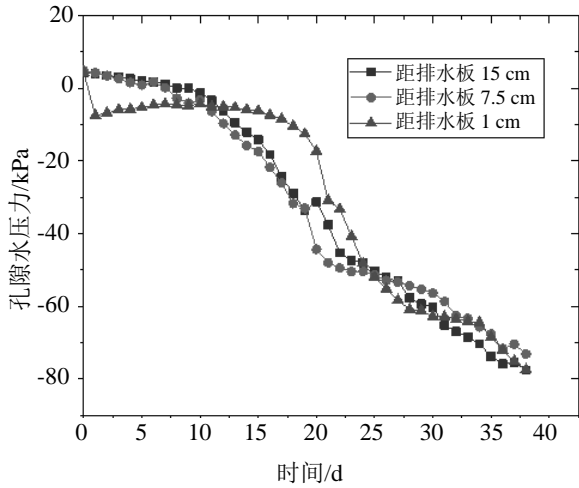


(b) 等效孔径 105 μm

图5 温州土不同等效孔径下孔压随时间变化曲线
Figure 5 Relationship between pore-water pressure of Wenzhou soil and time for different equivalent apertures



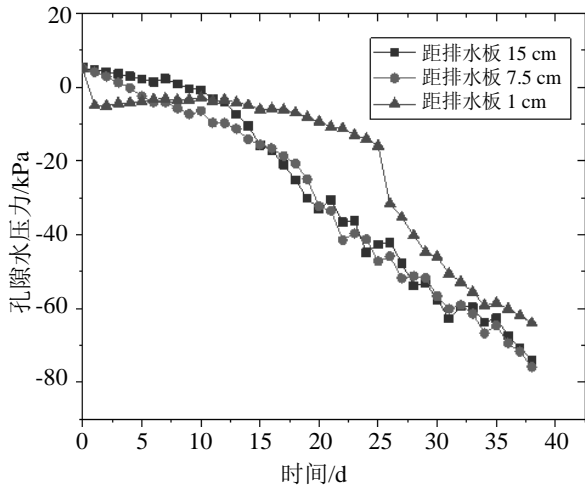
(a) 等效孔径 75 μm



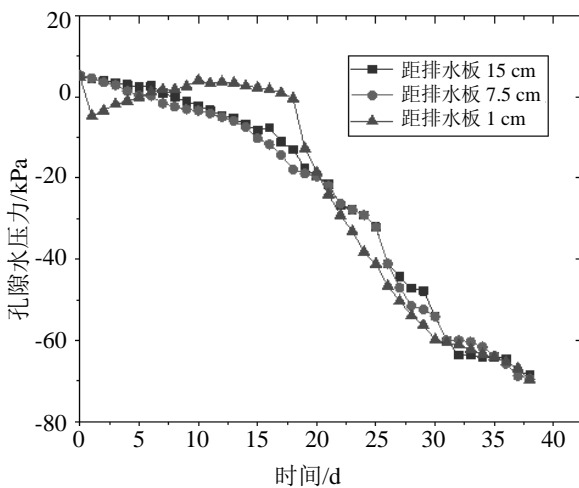
(b) 等效孔径 105 μm

图6 台州土孔压随时间变化曲线

Figure 6 Relationship between pore-water pressure of Taizhou soil and time for different equivalent apertures



(a) 等效孔径 75 μm



(b) 等效孔径 105 μm

图7 杭州土孔压随时间变化曲线

Figure 7 Relationship between pore-water pressure of Hangzhou soil and time for different equivalent apertures

3 结 论

采用两种不同孔径的排水板及三种不同级配的土体进行真空预压模型试验,通过分析对比不同级配土和不同孔径排水板在真空预压下的出水量、沉降量及孔隙水压力等对排水板淤堵情况进行了分析,得出以下结论:

(1) 对于高含水率吹填土,砂粒是影响排水板淤堵的重要因素之一,砂粒含量过高会导致真空预压法处理吹填土时发生较为严重的淤堵。

(2) 对于砂粒含量较多的土体,大孔径排水板可以改善排水板的淤堵情况,而对于砂粒含量较少的土体,排水板孔径对排水板淤堵的影响不大。

参考文献:

- [1] 严红霞, 韩文君, 孙信, 吕伟华. 真空预压技术加固夹砂软土地基试验[J]. 林业工程学报, 2019, 4(5): 140-145.
- [2] 蔡学石, 刘孟孟, 薛润泽, 王洋, 徐满意, 刘瑞良. 真空预压在超低渗透软粘土中的应用研究[J]. 水道港口, 2019, 40(5): 593-599.
- [3] 朱向阳, 陈祥龙, 江舜武, 邓永锋, 金亚伟. 真空预压加固吹填软土地基的室内模型试验与淤堵机制[J]. 中国港湾建设, 2018, 38(2), 5-11.
- [4] 崔士平. 软基加固中排水板滤膜性能的试验研究[J]. 岩土工程学报, 2016, 38(S1): 87-93.
- [5] 徐锴, 林生法, 耿之周, 韩冉冉. 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(2): 123-129.
- [6] 彭湘林, 王清, 夏玉斌, 陈允进. 真空预压法加固吹填土的模型箱试验[J]. 世界地质, 2011, 30(2): 296-300.
- [7] 蔡瑛. 塑料排水板滤膜淤堵特性的试验分析[J]. 科技创新与应用, 2017(20): 84-86.
- [8] 雷华阳, 王铁英, 张志鹏, 卢海滨, 刘敏. 高黏性新近吹填淤泥真空预压试验颗粒流宏观微观分析[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2017, 47(6): 1784-1794.