



新近吹填淤泥现行真空预压技术 加固效果不佳原因分析*

孙运坚¹, 孙树青¹, 鲍树峰^{2,3}

(1. 广州港股份有限公司, 广东 广州 510100; 2. 中交四航工程研究院有限公司, 广东 广州 510230;
3. 中交交通基础工程环保与安全重点实验室, 广东 广州 510230)

摘要: 为探讨现行真空预压技术加固新近吹填淤泥地基时效果不理想的原因, 首先分析新近吹填淤泥的工程特性, 然后开展不同含水率下新近吹填淤泥的室内真空固结足尺单井模型试验研究。研究表明: 1) 新近吹填淤泥主要由较细颗粒物质和极细颗粒物质组成, 其中黏粒含量(黏粒+胶粒)和强亲水矿物含量(伊利石+蒙脱石)均较高; 孔隙特征主要以孤立孔隙和粒间孔隙为主; 含水率基本在 100% 以上、均大于 1.5 倍的液限, 孔隙比均大于 2.5, 塑性指数基本在 20 以上, 液性指数基本大于 2.0。2) 新近吹填淤泥采用现行真空预压技术加固时, 膜下真空度损失程度可高达 20% 以上; 真空度从排水板向周围土体中传递时的径向损失程度严重, 真空压力的径向作用范围仅局限于直径约为 40 cm 的土柱范围内; 土柱范围内土体的无侧限抗压强度值不超过 35 kPa; 土体的有效加固深度和强度增长幅度均较小。这两方面是新近吹填淤泥采用现行真空预压技术进行处理时效果不理想的主要原因, 因此, 有必要结合新近吹填淤泥的工程特性研发出一种新型加固技术或对现行真空预压技术加以改进。

关键词: 新近吹填淤泥; 现行真空预压技术; 淤堵; 真空度损失; 原因

中图分类号: TU 43 文献标志码: A 文章编号: 1002-4972(2015)11-0148-07

Cause of conventional vacuum consolidation technology failure to newly filled reclamation mud foundation

SUN Yun-jian¹, SUN Shu-qing¹, BAO Shu-feng^{2,3}

(1. Guangzhou Port Co., Ltd., Guangzhou 510100, China; 2. CCCC Fourth Harbor Engineering Institute Co., Ltd., Guangzhou 510230, China;
3. CCCC Key Lab of Environmental Protection & Safety in Foundation Engineering of Transportation, Guangzhou 510230, China)

Abstract: It is proved that the improvement effects cannot meet the use requirements for conventional vacuum preloading techniques improving new hydraulic reclamation mud foundation. To investigate the reasons, we analyze firstly the engineering properties of new hydraulic reclamation mud, and then carry out a full-scale single-well indoor model experiment considering different initial moisture contents. It is shown that: (1) the new hydraulic reclamation mud mainly consists of fine and very fine soil particles with high content of clay soil particles(clay & rubber) and strong hydrophilic minerals (illite & smectite); its pores mainly consist of isolated pores and intergranular pores; its moisture content is usually larger than 100% and more than 1.5 times greater than the liquid limit; its void ratio is larger than 2.5; its plasticity index is larger than 20; its liquid index is larger than 2.0. (2) when it is improved by no-sand vacuum preloading for new hydraulic reclamation mud, the vacuum degree loss can be up to 20% under the membrane, and the radial loss extent of vacuum degree is severe from vertical drains to soils; the radial range of vacuum degree is limited to the soil column with the diameter of around 40 cm; the unconfined compressive strength does not exceed 35 kPa in the range of soil column; it is small for the effective improvement depth and intensity of the soil strength growth. The above two reasons both result in the unsatisfied

收稿日期: 2015-04-18
*基金项目: 中交交通基础工程环保与安全重点实验室科研资助项目 (院科 Y2013D27)
作者简介: 孙运坚 (1964—), 男, 高级工程师, 从事港口工程建设管理工作。

improvement effects. Therefore, it is very necessary to optimize the conventional vacuum preloading techniques or develop a new improvement technology for new hydraulic reclamation mud.

Keywords: new hydraulic reclamation mud; conventional vacuum preloading technique; cloggin; loss of vacuum degree; cause

近年来, 中国大陆地区掀起了一股围海造陆热潮, 以缓解沿海地区经济建设与用地不足的矛盾, 如广州、深圳、厦门、天津、连云港、温州、珠海、惠州等沿海城市已经开展了大面积的围海造陆工程。

开山石、砂料等自然资源由于被过度开采, 现已愈发匮乏, 其造价也十分昂贵, 而且现今国家对工程建设提出了更高的环保要求, 因此, 目前围海造陆工程多采用港池航道的疏浚淤泥作为围海造地材料。疏浚淤泥经水力吹填至指定区域后所形成的、表层未形成硬壳层的陆域即为新近吹填淤泥地基。

新近吹填淤泥地基属于超软土地基, 其真空固结排水特点与一般软土地基不完全相同。许多工程实践均表明^[1-8]: 新近吹填淤泥地基经现行真空预压技术 (即现行规范中定义的真空预压技术) 加固一段时间后, 竖向排水井的淤堵问题非常严重, 排水效率低; 地基表面可见许多以竖向排水井为中心的“土柱”, 不均匀沉降非常明显; 竖向排水井之间的土体强度很不均匀, 土体强度增长有限; 地基有效加固深度小, 仍需进行深层处理才能满足工程使用要求。鉴于此, 本文先通过成因、孔隙特征以及物理性质等三方面对中国大陆部分地区新近吹填淤泥的工程特性进行分析, 然后针对不同初始含水率的新近吹填淤泥开展室内真空固结足尺单井模型对比试验研究, 拟探讨现行真空预压技术加固新近吹填淤泥时出现上述一系列问题的原因。

1 新近吹填淤泥工程特性

1.1 新近吹填淤泥的成因

根据吹填淤泥造陆工程的特点, 疏浚淤泥主要来源于滨海相沉积软土、泻湖相沉积软土、溺谷相沉积软土以及三角洲相沉积软土等四方面。

以滨海相沉积为主的软土层主要分布在天津、湛江、厦门、温州湾、舟山、宁波、连云港、大连湾、深圳、珠海、惠州、广州等地区; 温州、宁波等地区主要分布以泻湖相沉积为主的软土层; 福州、泉州一带主要分布以溺谷相沉积为主的软土层; 长江下游的上海地区以及珠江下游的广州地区主要分布以三角洲相沉积为主的软土层^[9-10]。

吹填淤泥造陆的过程是先用挖泥船、泥浆泵等设备把原位淤泥切削、输送到指定位置, 再将淤泥与海水以一定比例 (通常 1:4 ~ 1:5) 混合成泥浆, 然后通过吹填管道将其输送至指定区域; 或者, 先通过绞吸船在海域内把原状淤泥在海水中搅拌成一定比例浓度的泥浆, 再通过吹填管道水力吹填至指定区域^[10-11]。

疏浚淤泥的沉积过程通常可分为以下 4 个阶段^[12]:

1) 水流冲蚀阶段: 吹填开始时, 水与淤泥混合形成的泥浆自吹填管道流出, 不断冲蚀吹填区域原位沉积层。

2) 动水沉积阶段 (动力扩散阶段): 冲蚀现象在吹填区域内的积水达到一定深度后即消失。疏浚淤泥在动水环境中经水力重塑和颗粒重新分选后逐步沉积下来。其中, 较粗颗粒物质一般以微三角洲的形式沉积于吹填管口附近; 较细颗粒物质沉积在远离吹填管口、出水口附近的区域; 极细颗粒物质沉积在远离吹填管口和出水口的区域, 基本属于悬浮质的沉积。而且, 疏浚淤泥在吹填过程中由于整体流量较小 (管口断面相对于淤泥面), 泥浆流出吹填管口后流速迅速减小, 粗颗粒物质沉积较快, 因此, 分选作用主要以横向水平分选为主, 垂向分选作用甚微或没有。

3) 静水沉积阶段: 吹填施工完成后, 吹填区域内的水环境逐渐恢复平静。随着吹填区域内的积水不断蒸发和下渗或被排走, 疏浚淤泥中的土

颗粒发生自重沉积。

4) 失水固结阶段:当吹填区域内的积水排干后,疏浚淤泥在阳光暴晒和风力吹晾的作用下发生失水固结,最终在表面形成一层硬壳层。随着自然晾晒时间的延长,疏浚淤泥的固结程度不断提高,硬壳层厚度也不断加大。工程实践表明:疏浚淤泥自然晾晒半年即可形成 10~30 cm 的硬壳层,自然晾晒 1 a 即可形成 30~50 cm 的硬壳层。

新近吹填淤泥则是疏浚淤泥处于动水沉积阶段和静水沉积阶段的产物,主要为较细颗粒物质和极细颗粒物质。

1.2 新近吹填淤泥的孔隙特征

土体的压缩特征、渗透特征和固结特征主要取决于其孔隙比特征。

疏浚淤泥的孔隙主要包括孤立孔隙、粒间孔隙和粒内孔隙 3 类,其中,粒间孔隙最为发育^[12]。

1) 孤立孔隙。

孤立孔隙的形状呈圆形或椭圆形,直径较大,存在于二级凝聚体内,数量较少,分布不连续,无连通性或连通性极差,因此对土体的渗透性影响较小,但显著影响土体的孔隙特征和压缩性。

2) 粒间孔隙。

粒状集合体和微聚集体(由黏粒和有机质组成)之间广泛分布着粒间孔隙。这种孔隙形状复杂,大小取决于粒间接触方式,数量多,连通性好,因此对疏浚淤泥的孔隙特征、压缩性以及渗透性影响较大。

3) 粒内孔隙。

粒状集合体和微聚集体(由黏粒和有机质组

成)内部广泛分布着粒内孔隙。这种孔隙直径较小,数量较多,单个聚集体内连通性较好,且一般是间接连通的。固结后期会显著影响疏浚淤泥的固结性质。

对于新近吹填淤泥来说,由于原位淤泥在水力吹填过程中原状结构遭到破坏、颗粒重新分选,吹填到指定区域后,土颗粒结构尚未充分形成,因此,其孔隙特征主要以孤立孔隙和粒间孔隙为主。

1.3 新近吹填淤泥的物理性质

1) 物质组成。

表 1 对中国大陆部分地区新近吹填淤泥的物质组成进行对比。由表 1 可知:

①新近吹填淤泥地区性差异主要体现在颗粒组成成分上的差异。根据表中不同地区的颗粒组成比例可知,珠海、深圳和温州的粗颗粒含量(砂粒+粉粒)明显比细颗粒含量(黏粒+胶粒)大得多,而惠州和连云港的细颗粒含量明显比粗颗粒含量大得多。

②土体的矿物组成成分是影响新近吹填淤泥的工程性质的另一重要因素之一。根据表中不同地区的矿物组成比例可知,珠海、天津和温州三个地区的强亲水矿物(伊利石+蒙脱石)含量基本接近,深圳的稍低。

总体来说,中国大陆部分地区新近吹填淤泥中的细颗粒含量(粘粒+胶粒)和强亲水矿物含量(伊利石+蒙脱石)均较高。

2) 物理性质。

表 2 对中国大陆部分地区新近吹填淤泥的物理力学性质进行了对比。

表 1 中国大陆部分地区超软弱淤泥物质组成对比^[2-3]

地区	砂粒 (>0.075)/mm	粉粒(0.075 ~ 0.005)/mm	黏粒(0.005 ~ 0.002)/mm	胶粒 (<0.002)/mm	高岭石/ %	伊利石 + 蒙脱石/%	绿泥石/ %	方解石 + 石英 + 长石/%
珠海高栏港	0.6	60.7	16.2	21.9		29.6	27.6	42.7
惠州荃州湾	0.9	39.3	18.4	41.4				
天津滨海新区	14.2	44.1	18.4	23.3		26.0	4.0	70.0
天津临港	8.1	43.6	48.3	48.3				
温州丁山垦区	0.7	50.3	32.2	16.8		24.6	21.4	44.6
温州龙湾区	3.3	58.0	38.7	38.7				
深圳前海湾	0.0	53.0	20.7	26.3	14.2	18.4	2.8	
连云港	14.9	30.2	54.9	54.9				

表 2 中国大陆部分地区超软弱淤泥的物理性质对比^[2-3]

地区	含水率/%	密度/(g·cm ⁻³)	孔隙比	液限/%	塑限/%	塑性指数	液性指数
珠海高栏港	164.2			45.7	24.8	20.9	6.66
惠州荃州湾	216.0	1.25	5.927	43.0	20.1	22.9	8.56
天津滨海新区	98.5	1.45	2.755			20.3	3.70
天津临港	130.0	1.37	3.617	42.1	20.8	21.3	5.13
天津南港	124.0	1.61	3.383	43.0	21.1	21.9	7.70
温州丁山垦区	129.7	1.47	3.580				5.30
温州龙湾区	130.0	1.40	2.320	49.6	23.4	26.2	4.07
深圳湾	95.7	1.48	2.666	51.2	22.5	23.6	3.10
深圳前湾	119.9	1.40	3.197	42.9	25.4	17.5	5.35
深圳大铲湾	109.0	1.51	2.534			20.4	4.00
深圳南油月亮湾	104.6	1.41	2.820	50.0	17.3	32.7	3.79
连云港	124.0	1.41	3.500	50.9	29.0	21.9	4.30
大连港	118.5			52.2	28.9	23.3	3.86
黄骅发电厂	117.0	1.42	3.218	49.6	23.0	26.6	2.42
青岛海西湾	103.0	1.45	2.864	44.8	21.6	23.2	3.50
广西东兴市榕树头	100.0	1.59	2.550	55.6	25.6	30.0	2.44
惠州大亚湾	103.2		2.784			26.2	2.61

根据表 2 可知, 中国大陆部分区域的新近吹填淤泥具有如下物理性质:

①含水率基本在 100% 以上, 均大于 1.5 倍的液限; 孔隙比均大于 2.5; 塑性指数基本在 20 以上; 液性指数基本大于 2.0。

②吹填完成时间的长短对含水率和孔隙比影响很大, 如珠海高栏港和惠州荃州湾的 2 个指标远大于天津滨海新区和深圳湾。

2 室内真空固结足尺单井模型试验研究

鉴于上述中国大陆部分区域新近吹填淤泥的工程特性, 下面研究现行真空预压技术加固不同初始含水率新近吹填淤泥的效果, 拟探讨现行真空预压技术加固新近吹填淤泥时出现上述一系列问题的原因。

2.1 试验方案

试验方案设计如下: 方案 1 的新近吹填淤泥初始含水率为 140%, 方案 2 的新近吹填淤泥初始含水率为 90%, 均采用现行无砂垫层真空预压技术进行加固, 具体为: 水平排水垫层从下至上均为“1 层编织布 200 g/m² + 1 层无纺布 200 g/m² + D50 软式滤管 + 1 层无纺布 200 g/m²”的组合物; 均采用 2 层厚度为 0.14 mm 密封膜作为密封材料;

均采用 SPB100-B 型普通塑料排水板作为竖向排水体。排水板主要排水性能指标 (表 3) 满足现行相关规范的要求。

表 3 塑料排水板主要性能指标

排水板型号	复合体		滤膜
	纵向通水量/ (cm ³ ·s ⁻¹)	垂直渗透系数/ (cm·s ⁻¹)	等效孔径 O ₉₅
SPB100-B	30.3	8.65 × 10 ⁻³	<0.067 5

2.2 足尺单井模型试验装置设计

工程实践中, 常采用塑料排水板和袋装砂井作为竖向排水体, 前者宽度为 100 mm、厚度为 4.5 mm, 后者直径一般为 70 mm。因此, 土样模型槽的直径 D 按如下方法确定:

$$d_p = \frac{2(b + \delta)}{\pi} = 67 \tag{1}$$

$$d'_p = 70 \tag{2}$$

式中: d_p 为塑料排水板的当量换算直径 (mm); d'_p 为袋装砂井的直径 (mm); b 、 δ 分别为塑料排水板的宽度和厚度 (mm)。

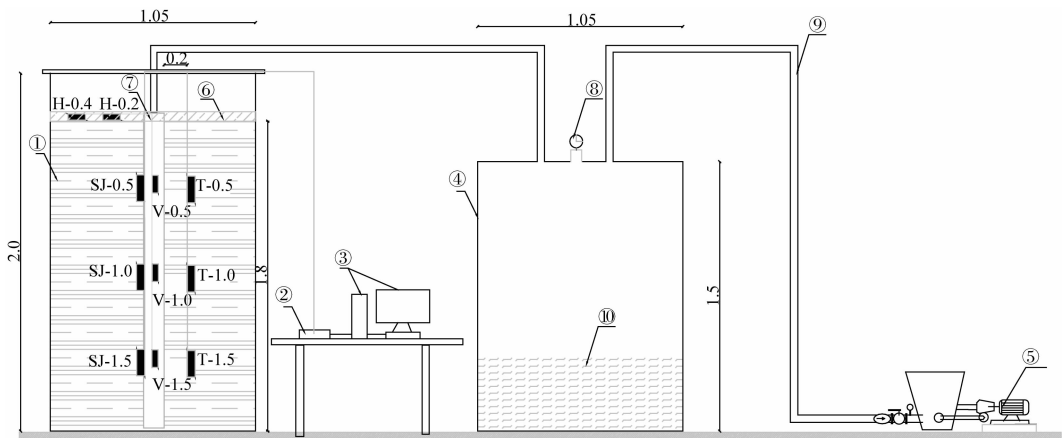
考虑井径比 $n = 15$, 则有

$$d_e = nd_w = 15d_w \tag{3}$$

式中: d_e 为竖井的有效排水直径 (mm); d_w 为竖井直径, 同竖井的当量换算直径 (mm)。

根据式(1)和式(2)分别有： $d_e = 15d_w = 15d_p = 1\ 005$ ； $d_e = 15d_w = 15d'_p = 1\ 050$ 。

根据单井模型试验特点可知，土样模型槽的直径 D 应不小于 $d_e = 1\ 050\text{ mm}$ 。土样模型槽的高度为 2 m ，泥面高度为 1.8 m ；气水分离槽的直径为 1.05 m ，高度为 1.5 m 。



①土样模型槽；②数据自动采集仪；③数据存储系统；④气水分离槽；⑤抽真空系统；⑥水平排水垫层；⑦竖向排水井；⑧真空表；⑨真空管路；⑩水体。

图 1 室内足尺单井模型试验装置



图 2 室内足尺单井模型试验装置

主要监测内容包括：1) 水平排水管路中的真空度监测，主要了解水平管路中的真空压力传递情况。2) 膜下真空度监测，主要了解水平排水垫层中的真空压力传递情况。监测点分别布设在与竖井的径向距离为 0.1 m 和 0.4 m 处。3) 竖向排水体中的真空度监测，主要了解竖向排水体中沿深度方向的真空压力传递情况。监测点分别布设在板外侧（或井中），深度为 0.5 、 1.0 、 1.5 m 。4) 土体中的孔隙水压力监测，主要了解土体中沿深度方向的孔压消散情况。监测点与竖井的径向距离为 0.2 m ，布设深度同 3)。

2.3 试验监测方案

监测量测系统主要包括自动数据采集仪 dataTaker Geologger DT80G series2 + dataTaker CEM20、台式电脑、孔压计 Rocrest Telemac PWS 型、真空表，沉降观测专用尺子和铅锤。如图 1 和图 2 所示。

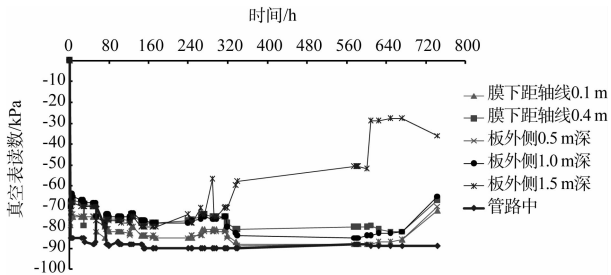
主要检测内容：与轴线径向距离为 0.1 m 和 0.2 m 处土体的加固效果，主要指标为有效加固深度、含水率、孔隙比、湿密度、液塑限、无侧限抗压强度。

2.4 试验结果与分析

下面主要从排水系统内真空压力传递、土体中孔压消散情况以及加固后土性指标等 3 方面进行分析。

1) 排水系统内真空压力传递情况。

两试验方案排水系统内的真空压力传递情况分别如图 3 和表 4 所示。曲线中的突变点、渐降点均出现了抽真空过程中密封膜被真空压力拉裂导致的漏气现象，经补膜后膜下真空度恢复正常。



a) 方案1

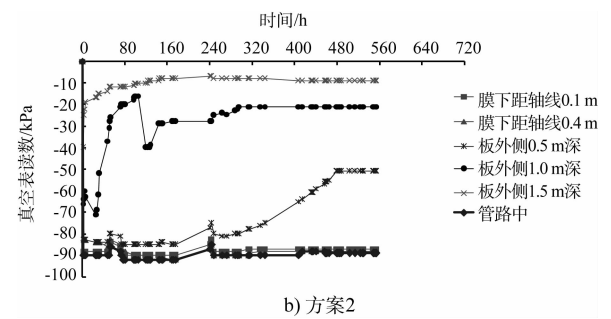


图 3 排水系统内真空度-时间变化曲线

表 4 卸载前排水系统内的真空压力损失 / %				
试验方案	管路中→密封膜下距井 0.1 m 处	管路中→密封膜下距井 0.4 m 处	管路中→竖井顶部以下 0.5 m	竖井中 0.5 m 深→竖井中 1.5 m 深
1	19	25	21	49
2	1	2	43	82

由图 3 和表 4 可知:

①土体的初始含水率越大, 土工合成材料水平垫层施工过程中就越容易出现严重的冒泥现象, 从而导致真空压力在水平排水垫层中的损失程度越大。如表 4 所示, 方案 1 在传递路径“管路中→密封膜下距井 0.1 m”和传递路径“管路中→密封膜下距井 0.4 m”中的真空压力损失值分别高达 19% 和 25%。

表 5 卸载时土体中的孔压消散						
试验方案	排水板外侧 0.5 m 深	排水板外侧 1.0 m 深	排水板外侧 1.5 m 深	与竖井的径向距离为 0.2 m		
				距淤泥表面 0.5 m 深	距淤泥表面 1.0 m 深	距淤泥表面 1.5 m 深
1	-71.2	-65.8	-16.5	-6.8	-3.8	-0.3
2	-43.3	-33.0	-15.5	-5.4	-3.3	-1.8

由图 4 和表 5 可知:

①两试验方案与竖井的径向距离为 0.2 m 处不同深度土体中的孔压消散值均很小, 不超过 10 kPa。这说明: 真空压力从排水板向土体中传递时的径向损失程度严重; 真空压力的径向作用范围仅限于以竖井为中心、直径不超过 40 cm 范围内的土体内, 也即出现了前述的严重“土桩”现象。

表 6 加固后土体的物理力学指标							
试验方案	有效长度/cm	含水率/%	孔隙比	湿密度/(g·cm ⁻³)	液限/%	塑限/%	原状土无侧限抗压强度/kPa
1	与竖井的水平距离为 10 cm	25	47.8	1.275	1.747	52	29.5
	与竖井的水平距离为 20 cm	10	48.7	1.283	1.735	26.28	29.4
2	与竖井的水平距离为 10 cm	40	45.6	1.085	1.788	44	35.0
	与竖井的水平距离为 20 cm	29	47.0	1.098	1.760	27.25	30.9

②板头与滤管的绑扎质量直接影响管路中的真空压力向排水板中的传递效果。如表 4 所示, 方案 2 真空压力在传递路径“管路中→竖井中 1.5 m 深”的损失程度反而更严重, 为方案 1 的 1.5 倍, 即方案 2 的绑扎质量相对较差。

2) 土体孔压消散情况。

两试验方案真空预压过程中土体内的孔压消散情况分别见图 4 和表 5。

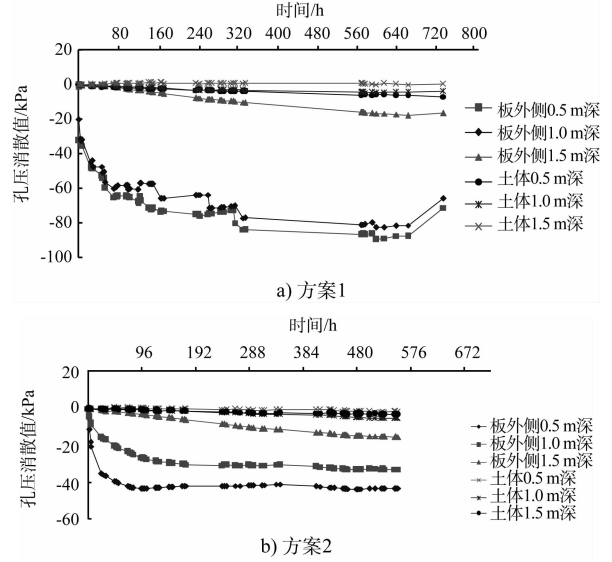


图 4 土体中孔压消散值-时间变化曲线

②板头与滤管的绑扎质量也同时间接影响了排水板中的真空压力向周围土体中的径向传递效果。如表 5 所示, 方案 2 不同深度处的孔压消散值均相对较小。

3) 加固后土性指标。

主要从含水率、湿密度、孔隙比、界限含水率以及无侧限抗压强度进行分析 (表 6)。

由表 6 可知:

①两试验方案土体的有效加固深度和无侧限强度均较小,前者不超过 40 cm,后者不超过 35 kPa;

②与竖井的径向距离越大,土体的加固效果越差,且整体上来说,两方案的加固效果均不理想。综合第 2 节的分析结果可知:主要是由于新近吹填淤泥中的细颗粒处于悬浮状态,在真空压力的作用下,极易发生移动并聚集在排水板周围,且吸附在反滤层上,也即排水板周围出现了严重的“土柱”现象,最终致使排水板周围不同径向距离的土体加固效果差异较大。

3 结论

1) 新近吹填淤泥是疏浚淤泥处于动水沉积阶段和静水沉积阶段的产物,主要为较细颗粒物质和极细颗粒物质,其中黏粒含量(黏粒+胶粒)和强亲水矿物含量(伊利石+蒙脱石)均较高;孔隙特征主要以孤立孔隙和粒间孔隙为主;含水量基本在 100% 以上,均大于 1.5 倍的液限;孔隙比均大于 2.5;塑性指数基本在 20 以上;液性指数基本大于 2.0;吹填完成时间的长短对含水量和孔隙比影响很大。

2) 新近吹填淤泥采用现行真空预压技术加固时,膜下真空度损失程度大,可高达 20% 以上;真空度从排水板向土体中传递时的径向损失程度严重;真空度的径向作用范围仅局限于以竖井为中心、直径不超过 40 cm 范围内的土体内,也即土柱直径约为 40 cm;与竖井的径向距离越大,土体的加固效果越差,土体的有效加固深度和强度增长幅度均较小,土柱范围内土体的无侧限抗压强度值不超过 35 kPa。

上述两方面是新近吹填淤泥采用现行真空预压技术进行处理时效果不理想的主要原因,因此,有必要结合新近吹填淤泥的工程特性研发出一种

新型加固技术或对现行真空预压技术进行改进。

参考文献:

- [1] 鲍树峰,董志良,莫海鸿,等.高黏粒含量新吹填淤泥加固新技术室内研发[J].岩土力学,2015(1):61-67.
- [2] 鲍树峰,董志良,莫海鸿,等.新近吹填淤泥地基真空固结排水系统现场研发[J].岩石力学与工程学报,2014(S2):4 218-4 226.
- [3] 鲍树峰,娄炎,董志良,等.新近吹填淤泥地基真空固结失效原因分析及对策[J].岩土工程学报,2014(7):1 350-1 359.
- [4] 耿宏业,鲍树峰,陈伟东,等.超软土浅层加固技术中不同土工合成材料组合应用对比研究[J].中国港湾建设,2013(1):35-40.
- [5] 耿宏业,鲍树峰,陈伟东,等.超软土浅层加固技术中排水板间距现场试验研究[J].水运工程,2013(2):147-151.
- [6] 鲍树峰,莫海鸿,董志良,等.考虑地下水位影响的砂井地基强度增长计算[J].岩石力学与工程学报,2014(6):1 269-1 277.
- [7] 陈伟东,鲍树峰.新近吹填超软土地基浅层加固技术卸载标准探讨[J].水运工程,2014(8):144-148.
- [8] 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(12):3 569-3 576.
- [9] 杨顺安,张瑛玲,刘虎中,等.深圳地区吹填淤泥的工程特征[J].地质科技情报,1997(1):87-91.
- [10] 彭涛,葛少亭,武威,等.吹填淤泥填海造陆技术在深圳地区的应用[J].水文地质工程地质,2001(1):68-70.
- [11] 姬凤玲,吕擎峰,马殿光.沿海地区废弃疏浚淤泥的资源化利用技术[J].安徽农业科学,2007(15):4 593-4 595.
- [12] 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.

(本文编辑 郭雪珍)