

温州吹填土的沉降特性研究

熊 雄¹, 彭 劼^{1,2}, 张 坤³, 胡 阳⁴

(1. 河海大学 岩土所, 江苏 南京 210098; 2. 河海大学 岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室, 江苏 南京 210098;
3. 恩施州城市规化管理局规划院, 湖北 恩施 445000; 4. 金陵科技学院, 江苏 南京 210000)

摘 要: 为了研究温州吹填土的沉降特性, 针对温州丁山垦区的吹填土进行了沉降柱试验。首先研究了吹填淤泥的物理力学指标, 然后进行了不同土水比、不同直径和材质的沉降柱实验, 测定了沉降量和孔隙比。实验结果表明, 温州吹填土沉降为大变形, 曲线可分为三段: 自重落淤阶段、自重固结阶段和平衡阶段; 水土比影响总沉降和最终孔隙比的变化, 并拟合出了曲线公式, 呈对数关系; 沉降柱试验槽的侧壁材质的不同对实验结果有显著影响, 材质越光滑对沉积越有利。

关键词: 吹填土; 沉降柱实验; 土水比; 沉降特性

中图分类号: TU411

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)06—0078—05

Study on Sedimentation Characteristics of Hydraulic-dredged Mud in Wenzhou

XIONG Xiong¹, PENG Jie^{1,2}, ZHANG Kun³, HU Yang⁴

(1. Geotechnical Engineering Research Institute of Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China;

2. Key Laboratory of Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China; 3. Planning Design Institute of Enshi Urban Planning and Management Bureau, Enshi, Hubei 445000, China;

4. Jinling Institute of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210000, China)

Abstract: To study the sdimentation characteristics of the hydraulic-dredged mud in Wenzhou, the settlement column experiments on the hydraulic-dredged mud in Dingshan reclamation area of Wenzhou are carried out in this paper. Firstly, the physical and mechanical indicators of hydraulic-dredged mud are studied, then the column settlement experiments of different proportions of water and soil, different diameters and materials are carried out to study the sedimentation characteristics of the hydraulic-dredged mud and determine the settlement and void ratio. The results show that the sedimentation of the hydraulic-dredged mud in Wenzhou is of large deformation, and its curve could be divided into three stages: self-weighting sdimentation stage, self-weighting consolidation stage and balance stage; The different proportion of water and soil would affect the total sedimentation and final void ratio, and the curve formula showing logarithmic relationship is fitted out. The different material of the experimental tank would have the remarkable impact to the result, the smoother the material, the better is the sedimentation.

Keywords: hydraulic-dredged fill silt; settlement column experiment; ratio of water and soil; sediment characteristic

0 引 言

吹填造陆刚吹填的淤泥, 需要进行大量的处理时间, 形成软弱土基础。海底吹填淤泥具有含水率高、灵敏度高、压缩性高、渗透性低、抗剪强度低等特点^[1-3], 不能作为场地土直接使用, 要对其进行处

理。在选择合适的处理工艺前, 对吹填淤泥的沉降特性研究是必要的, 既可以对吹填参数进行优化, 也可以对吹填后处理方法的选择提供依据。

已有一些学者对相关问题进行了研究。Been等^[4]利用沉积柱试验研究了粉质黏土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

过程中的影响情况。吴正友^[5]和洪振舜^[6]分别通过理论和实践,证实沉积中自重固结阶段为大变形非线性的。刘莹、王清等^[7-8]对连云港和青岛的吹填进行了系列室内模拟试验和沉积试验,分析出了吹填土的沉积的两个阶段,并总结了相关的沉积特性。詹良通等^[9]对浙江海底淤泥进行了沉降柱试验,对比了不同初始密度、阳离子类型和浓度对沉积的影响。

针对温州吹填土的沉积特性研究不足的情况,本文以温州吹填海底淤泥为研究对象,开展了基本的物理力学指标试验和沉降柱试验,对吹填淤泥的基本特性和沉降特性进行了研究。

1 吹填海底淤泥基本物理性质

场地在吹填之前,场址区所属地貌单元为浙东南滨海区河口相冲海积平原,场地原为围垦淤积形成,场地地形相对平坦,区内沟汊、养殖塘密布,吹填前地面标高一般为 2.80 m~3.5 m。吹泥船将海底淤泥与海水混合物吹至围垦区,形成陆地,吹填的厚度为 2.5 m~3.5 m。

为了解温州吹填淤泥的基本特性,进行了粒度成分、易溶盐以及物理指标等系列实验。

1.1 粒度成分

颗粒分析指土中各种大小土粒的相对含量。土的粒度成分及颗粒形状都与土的成因类型有密切关系。土粒的粒径对吹填土加固的施工工艺和方法均有较大影响,细颗粒含量较多,则土样渗透性较差,排水固结难度较大,粗颗粒含量大,吹填土加固相对较为容易。

吹填淤泥土样取自温州丁山围海造地工程现场,土样的天然含水率 96.9%,土颗粒比重 2.687。采用河海大学的 mastersizer2000 激光衍射法粒度分析仪进行颗粒分析,颗粒分析曲线见图 1。

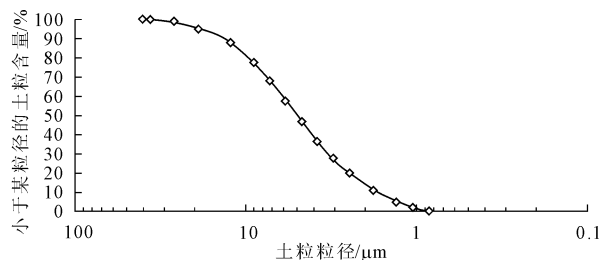


图1 颗粒分析曲线

由图1可以看出丁山垦区吹填区的新近吹填淤泥土工程性质很差,所有粒组都是细粒,粘粒含量超过 40%,粒径在 0.075 mm~0.005 mm 之间的粉粒含量为 52.8%,粒径小于 0.005 mm 的粘胶粒含量为

42%,说明吹填淤泥土颗粒很细,以粉粒和粘粒为主,其中粉粒含量较高。天然孔隙比大于 2.0,据此,可将该吹填后的土归类为淤泥。该土的细颗粒含量较多,加固较为困难。

1.2 易溶盐成分及含量

易溶盐的含量、成分和状态及其变化对土粒表面扩散双电层的性状和结构连结的特性等有较大的影响,从而引起土的物理性质发生变化。本项目采用滴定法吹填土的易溶盐成分进行测试。试验所用海水取自温州丁山海域,其中盐类的总含量 3.0%,以 NaCl 为主,占 80%,MgCl₂、MgSO₄、KCl 共占 20%。可见易溶盐的含量是很大的,对土的加固的影响较大。

1.3 吹填淤泥的物理性质指标

吹填施工刚完成时,整个场地处于泥浆状态,内部结构极为松散,含水率极高,无法直接进行人工或机械作业。吹填土的物理力学性质会随着沉降时间产生极为缓慢的变化,在自然晾晒若干时间后,表面形成一定厚度的龟裂状硬壳层,硬壳层和下面的吹填软土层的工程性质差异明显:

吹填硬壳层:灰色,由吹填淤泥表部出露水面部分经晾晒形成,厚约 10 cm~30 cm,含水率由地表向下递增,欠固结,高压缩性,孔隙比大于 1.5,其力学性质优于吹填淤泥层;

吹填淤泥层:分布于硬壳层下,灰黑色,稀软,欠固结,含水率高达 100%以上,孔隙比 > 2.5,含有砂粒或砂团,矿物成分主要为伊利石和高岭石,其工程性质明显差于上覆硬壳层及原状海相淤泥。

由于吹填刚完成时吹淤区泥浆处于流动状态,难以进行取样试验,仅能测定吹填淤泥的含水率、孔隙比、饱和容重等基本物理指标。吹填工完成一定时间后,待土体具有一定的强度方可进行钻孔取样实验,测定压缩系数、强度指标等。

总结以上,吹填软土具有如下的工程性质:

(1) 吹填完成时间的长短对土的工程性质的影响很大;

(2) 吹填淤泥含水率、液性指数、孔隙比、压缩系数等指标最高,而其他指标最低,表明其物理、力学性质极差。

(3) 吹填淤泥强度和地基承载力很低,且灵敏度很高。新近吹填淤泥的十字板强度几乎为零,而沉降 18 个月后强度仍不足 10 kPa。

2 沉降柱实验

针对温州吹填土的沉降特性的研究,进行了一

系列沉降柱试验,对比了不同的影响因素。

2.1 实验概况

本次实验以温州吹填海底淤泥为研究对象。首先,制备土样并测定土样的含水率,试验中选用 2 mm 孔径的筛子过滤成散粒状的土,去除土内含有的碎石等杂物。然后,采用 5 个为塑料量筒(直径 87.14 mm)、5 个为玻璃量筒(直径 78.5 mm)进行沉降柱试验。

配置初始孔隙比为 8、9、10、11、12 的土样各两个(具体配比方案见表 1),分为两组,一组倒入编号分别为 1、2、3、4、5 的玻璃量筒中,另一组则对应的倒入编号分别为 I、II、III、IV、V 的塑料量筒中,用搅拌器上下搅拌,搅拌后即开始计时,随着泥土的沉降,泥水会分离,出现分界面。记录不同时间的泥水分界面的高度、绘制沉降量与时间的关系曲线。通过试验绘制吹填土的自重沉降的沉降量与时间的关系曲线,研究吹填土的沉降特性,并比较不同初始孔隙比的土的沉降特性。

表 1 试验中土样的配比情况

量筒 编号	初始孔 隙比 e	加入水的 体积 V_0/ml	加入土的 质量 m/g	水土比
1、I	8.00	1600	620.0	2.58
2、II	9.00	1600	549.1	2.91
3、III	10.00	1600	492.8	3.25
4、IV	11.00	1600	446.9	3.58
5、V	12.00	1600	408.9	3.91

2.2 室内实验数据整理与分析

本次实验共做了 10 个沉降柱,有两组不同水土比沉降柱实验(每组 5 个沉降柱)和 5 组不同量筒的沉降柱实验(每组 2 个沉降柱)。从三个方面对吹填土的沉降特性作出了分析和研究。

2.2.1 沉降柱的总体沉降特性

实验发现,沉降柱的总体沉降曲线的变化是相似的。这里取其中一组进行分析,总结出沉降柱的总体沉降特性。以下图 2 和图 3,是本次实验数据的整理结果。

刚开始试验时,量筒内土水为流动的泥浆,固相所占比例较之液相少得多,颗粒间的联接尚未完全形成,也就不存在土体骨架之间的孔隙。但为了描述泥浆中固相和液相的比例关系,仍将其称之为孔隙比。

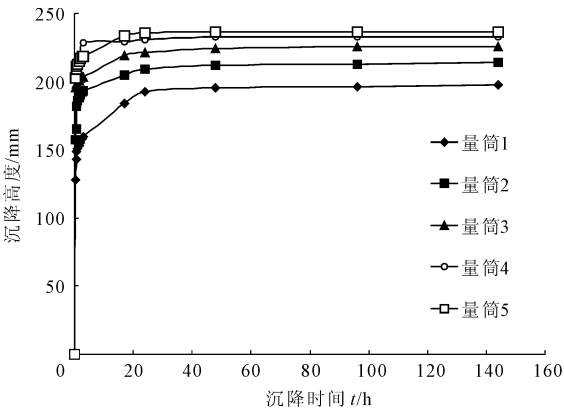


图 2 总沉降曲线图(玻璃量筒)

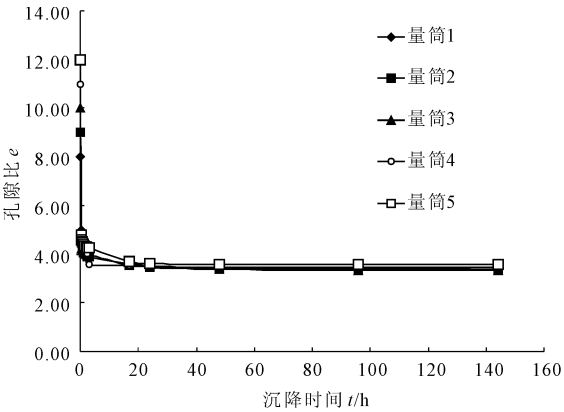


图 3 总的孔隙比变化曲线(玻璃量筒)

由图 2 可以看出,实验的曲线分为三段,第一段:土的沉降高度随着沉降试验的进行不断增加,土沉降很快,达到了总沉降量的 75%左右,持续 1 h 左右。第二段:随着试验时间的进行,沉降曲线变缓,即沉降速度变小,持续到沉降时间 1 d 左右,此期间的沉降量达到总沉降量的 25%左右。第三段:经过一天的沉降,沉降曲线已经平缓,基本处于水平状态,沉降量不明显,土粒处于悬浮的平衡状态,沉降处于稳定态。从实验结果还可以看出,吹填淤泥的自重沉降具有明显的大变形特征,各量筒沉降柱的初始高度见下表 2,第一、二阶段均为大变形^[4-5]。

从图 3 可以看出,实验的曲线分为三段,第一段:在开始的 1 h 内,孔隙比变化非常快;第二段:在 1 h 到 1 d 的期间,孔隙比的变化曲线为一条平缓下降曲线,孔隙比的变化比较明显;第三段:孔隙比的变化就很小了,曲线也是不断趋于水平线。

吹填淤泥的自重沉降分为两个阶段进行^[5-9]:

第一阶段:无粘结的自重落淤,历时较短。在这个阶段,吹填淤泥处于高含水、大孔隙比、颗粒无粘结的分散状态,土体没有强度和承载能力,其中的细小颗粒迅速下沉。主要原因是海底淤泥在经水力冲

填形成吹填淤泥的过程中,原有结构遭到破坏,分散成细小的颗粒,失去了土体的结构性。随着吹填淤泥的不断沉降,土粒之前逐渐形成粘结力和出现结构,颗粒由小变大,结构逐渐复杂化,土体骨架逐渐

建立起来。当土粒凝聚形成骨架后,土粒具有了一定的结构、土体强度和承载力,由“流体”转变为流塑态,进入第二阶段。

表 2 各沉降柱的沉降情况

初始孔隙比	玻璃量筒 初始高度/mm	玻璃量筒 沉降高度/mm	玻璃量筒 沉降比	塑料量筒 初始高度/mm	塑料量筒 沉降高度/mm	塑料量筒 沉降比	百分比 /%
8.00	384.51	197.39	0.51	308.68	153.50	0.50	3.23
9.00	376.24	213.96	0.57	301.97	166.09	0.55	3.39
10.00	372.10	225.33	0.61	301.97	177.83	0.59	2.83
11.00	367.97	232.56	0.63	298.62	183.70	0.62	2.74
12.00	363.83	236.7	0.65	295.26	187.89	0.64	2.23

第二阶段:自重固结沉降,历时很长。土体形成了结构,土粒之间的粘结建立起来,土粒不再自由落淤。吹填淤泥主要靠自重作用压缩土体,形成了一系列的物理指标。

2.2.2 比较不同水土比沉降柱的沉降特性

试验设计中,两组因素变化存在于试验之中。这里针对不同水土比分析沉降柱的沉降情况,从而总结出不同水土比沉降的具体影响。

从图 2 和图 4 可以看出,水土比的影响情况是一致的。结合表 2 可看出,水土比越大,总沉降量也越大。总沉降量的差距主要来源于第一段沉降。

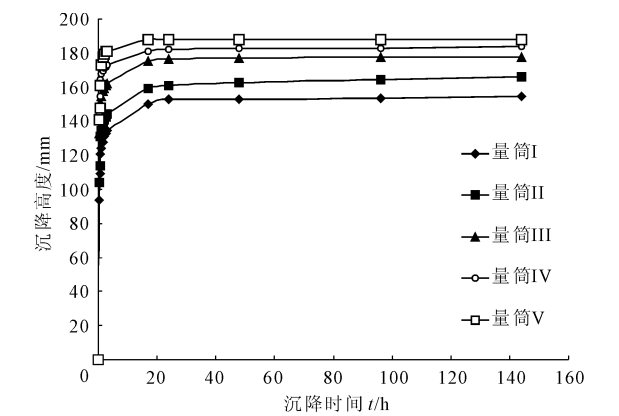


图 4 不同水土比的沉降曲线(塑料量筒)

同一材质量筒,不同初始孔隙比(水土比)试样的总沉降差异曲线如图 5 所示。玻璃量筒的曲线拟合公式为 $y = 33.67\ln(x) - 17.79$,该公式的拟合值 $R^2 = 0.977$;塑料量筒的总关系曲线的拟合公式为 $y = 27.29\ln(x) - 15.65$,该公式的拟合值 $R^2 = 0.986$,其中 y 为沉降比 $\Delta h/H$, x 为初始孔隙比 e 。

从图 3 和图 6 可以看出,不同水土比的沉降柱的初始孔隙比也是不同的,但是经过沉降之后,孔隙比的差别就不大了。本次实验最终孔隙比在 3 ~ 4

之间。但具体数值见表 3。

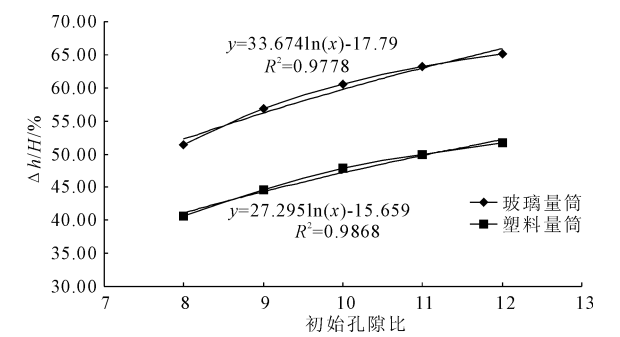


图 5 总沉降比较图

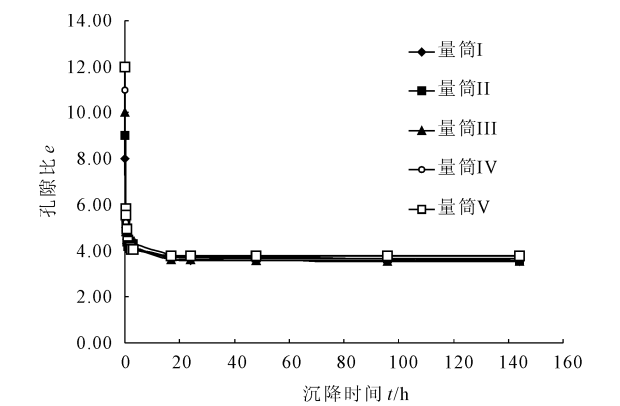


图 6 不同水土比的孔隙比变化曲线(塑料量筒)

表 3 最终孔隙比较

初始孔隙比	玻璃量筒	塑料量筒	孔隙比差	百分比/%
8	3.38	3.54	0.16	4.73
9	3.34	3.59	0.25	7.49
10	3.36	3.54	0.18	5.36
11	3.44	3.64	0.2	5.81
12	3.59	3.78	0.19	5.29

2.2.3 比较不同直径和材质的沉降柱的沉降特性
这就要针对另一个因素量筒的直径展开分析,分析量筒的直径和材质不同的具体影响以及影响的

效果。这里图形有 5 组且相似,取其中一组为代表。

从图 7 可以看出,不同直径和材质的量筒的沉降曲线存在差异:前 20 min 的沉降曲线得到重合,在 20 min 至 24 h 之间,两根沉降线的间距逐渐拉开,随后,两根沉降线平行。

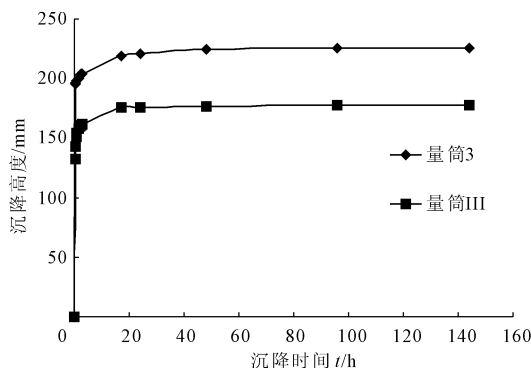


图 7 不同直径和材质量筒的沉降柱的沉降量曲线(组三)

从图 8 可以看出,量筒直径和材质的不同对沉降柱的孔隙比变化曲线形状基本不影响,每组的孔隙比变化曲线基本平行,但是最终的孔隙比有很大的差值。

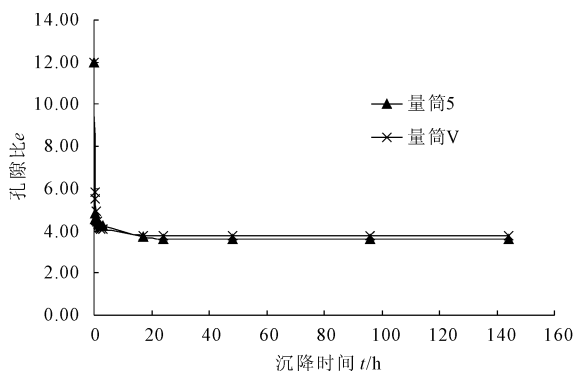


图 8 不同直径和材质量筒的沉降柱的孔隙比变化曲线(组五)

结合表 2、表 3 可知,不同直径对各初始孔隙比的沉降试样的影响是基本相同的,玻璃量筒更有利于沉降和孔隙比的减小,玻璃量筒的最终沉降比比塑料量筒的最终沉降量高出 3% 左右,最终孔隙比比塑料量筒低 5% 左右。

李时援^[10]认为沉降柱尺寸的增加有利于沉降柱的沉降,对比分析本次试验,玻璃量筒更有利于沉降的因素在于材质,沉降柱材质对沉降试验的具有一定的影响且较大。所以,本次试验为以后的沉降柱试验提供一定的参考,沉降柱宜选择摩擦小的光滑材质。

3 结 论

关于温州吹填土的沉降特性,我们通过以上系列的实验和分析,得出以下结论:

(1) 温州吹填土的沉降变形为大变形,沉降曲线分为三段,第一段:自重落淤阶段:持续 1 h 左右,土沉降很快,沉降 75% 左右。主要是因为原有结构遭到破坏,分散成细小的颗粒,迅速下沉。随着吹填淤泥的不断沉降,土粒之前逐渐形成粘结力和出现结构,颗粒由小变大,土体骨架逐渐建立起来。当土粒凝聚形成骨架后,土粒具有了一定的结构、土体强度和承载力,由“流体”转变为流塑态,进入第二阶段。第二段:自重固结阶段:持续 1 天左右,沉降速度逐渐变慢,沉降 25% 左右。主要靠自重作用压缩土体,排出孔隙水,形成了一系列的物理指标。第三段:平衡状态,沉降处于稳定态。

(2) 不同初始孔隙比的沉降比曲线的拟合公式:玻璃量筒 $y = 33.67\ln(x) - 17.79$;塑料量筒 $y = 27.29\ln(x) - 15.65$,其中 y 为沉降比 $\Delta h/H$, x 为初始孔隙比 e 。不同初始孔隙比沉降柱的最终孔隙比存在不大的差异,介于 3~4 之间。

(3) 沉降柱材质对沉降具有较大的影响,玻璃量筒相对塑料量筒更有利于沉降,为以后的沉降柱试验提供参考,沉降柱试验宜选择摩擦小的光滑材质。

参考文献:

- [1] 杨 静.高粘粒含量吹填土加固过程中结构强度的模拟实验研究[D].长春:吉林大学,2009:3-5.
- [2] 文海家,严春风,汪东云.吹填软土的工程特性研究[J].重庆建筑大学学报,1999,21(2):79-83.
- [3] 刘娉慧.快速加固吹填泥浆的室内模拟试验研究[D].长春:吉林大学,2002:5-8.
- [4] Been K, Sills G C. Self-weight consolidation of soft soils: an experimental and theoretical study[J]. Geotechnique, 1981,31(4):519-535.
- [5] 洪振舜.吹填土的一维大变形固结计算模型[J].河海大学学报,1987,15(6):27-35.
- [6] 吴正友.连云港吹填泥浆沉积和固结特性质的现场观测与分析[J].水运工程,1990,(4):1-6.
- [7] 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):518-521,528.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 李时援.沉降柱试验边界摩擦特性及其对试验结果影响分析[J].港口科技,2008,(9):10-13.