

吹填土静力触探测试及主要特性分析

刘 举 · 刘寒鹏 · 杜东菊

(天津城市建设学院,天津 300384)

【摘要】 天津滨海新区吹填土在形成过程中受重力分选作用及水动力条件影响,加上后期真空固结方法处理,使其工程性质复杂。采用静力触探原位测试手段,通过对实测参数的统计、分析,综合考虑野外钻探编录及室内土工试验结果,将吹填土分为硬壳层、软弱粘土层及底部砂性土层3个工程地质层。顶部硬壳层及底部砂性土层强度相对较好、层位分布不稳定,软弱粘土层具有强度低、压缩性高的软土工程特性。吹填土在排水口部位以软弱粘土层为主,工程性质相对其他部位差。

【关键词】 吹填土;工程性质;静力触探

【中图分类号】 TU 413

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2012.03.008

The Engineering Properties Discussion of Dredger Fill Through the Cone Penetration Test

Liu Ju Liu Hanpeng Du Dongju

(Tianjin Institute of Urban Construction, Tianjin 300384, China)

【Abstract】 Effecting by the action of gravity hydrodynamic force and improving through the vacuum consolidation way, the dredger fill of Tianjin Binhai New Area has more complex engineering properties. Through the cone penetration test(CPT) and other way, it can be divided into Hard shell soil, Weak Clay soil and Sand soil, All together, three strata from top to bottom. The Hard shell soil on the top and sandy soil in the bottom consist high intensity, unsteady distribution characters. Just as the soft soil, low intensity and high compressibility is the main characters of Weak Clay soil. The Dredger fill near the Water outlet, which is mainly composed by Weak Clay soil, has poor engineering properties.

【Key words】 dredger fill; engineering properties; cone penetration test

0 引言

用挖泥船和泥浆泵,把疏浚航道所废弃的大量海底淤泥吹填堆筑在一起,形成的沉积土即是吹填土。吹填土是欠固结的新沉积土,一般要经过1~3年的自然固结。一般认为,在吹填过程中,泥砂结构遭到破坏,以细小颗粒的形式在缓慢沉积,因而具有塑性指数大、天然含水量和孔隙比大、重度小、高压缩性、渗透性小等的特点。

天津滨海新区通过围海造陆增加临海区域土地面积,来满足高新企业和海港码头等龙头经济实体发展的需要,目前已经吹填造陆面积超过200 km²,吹填场地由浅至深,最大吹填厚度近5.0 m,天津滨海新

区规划的围海造陆面积达到500多 km²,因此,吹填土分布范围广,厚度大。由于吹填过程中水动力条件变化,厚层泥浆在沉积过程中受到重力的分选作用,加上吹填完成后,为了加速吹填土固结速度,采用的是真空预压方法、堆载真空联合预压法及其他真空固结法进行处理^[1],导致其具有较复杂工程性质。

1 静力触探测试方法简介

原位测试最大优点是测定土体的范围大,能反映微观、宏观结构对土的影响,代表性好、对于难以取样的土层仍能试验,能够最大程度地反映土体初始应力状态,避免取土产生的扰动^[2]。

静力触探(CPT)与其他的测试方法相比,具有

速度快、劳动强度低、清洁、经济等优点；而且可连续获得地层的强度和其他方面的信息，不受取样扰动等人为因素的影响，对于地基土在竖向变化比较复杂，不可能大密度取土或测试来查明土层变化的情况，静力触探试验均具有它独特的优越性。我国电测静力触探在应用上，有与无与伦比的充分经验，在一系列的国标、行标及权威院、所的标准上，均有着丰富的实用经验公式^[3-4]。

但是静力触探作为勘探手段，不能见到土层，不能对土的性状直接进行描述，静力触探贯入过程中，土中受力状态极为复杂，测得的贯入阻力是综合性

指标，缺乏明确的物理概念，不能直接测到密度、湿度、压缩模量、抗剪强度等指标^[5]。因此，本文采用静力触探测试结果在结合野外钻探编录、室内土工实验的基础上，较详细地分析了吹填土的分布特点及主要工程特性。

2 静力触探测试及分析

2.1 场地地层划分及分布规律分析

测试采用双桥静力触探进行，目前公认比较科学的地层划分及定名是根据实测锥尖贯入阻力(q_c)、侧壁摩阻力(f_s)及摩阻比(R_f)，并结合曲线特征来进行分析的^[6]。(见表1)

表1 双桥静力触探岩性分类表

土名	q_c /MPa	f_s /kPa	R_f /%	曲线特征
填土				线形复杂，杂填土成奇特的尖刀状，且无明显的规律性
地表硬壳层	1.2~2.5	20~55	1.7~4.5	q_c 曲线开始突出，随深度的增大，很快收敛到正常土层的规律
淤泥和淤泥质土	0.2~1.0	<30	1~6	q_c - h 、 f_s - h 图像呈近似直线形，随深度增大，两线平行递增，淤泥质粉质粘土曲线呈钝齿或小峰状， f_s - h 曲线呈微波状
粘土粉质粘土	1.0~4.5	0.15~1.5	1.4~4.5	圆滑的连续曲线呈粗钝齿状， q_c - h 和 f_s - h 曲线近于平行，粘土的 q_c - h 曲线远离 f_s - h 曲线3倍以上(即 $R_f > 3$)，粉质粘土之 q_c - h 曲线远离 f_s - h 曲线2倍之内($R_f < 2$)
粉土	2.0~5.5	0.15~0.5	0.8~1.5	两组曲线均呈密集较尖的细峰，由于 $R_f \approx 1.5$ ，故两组曲线同步靠扰
砂土	5.5~30	>0.3	<1.1	两组曲线呈多峰状

采用以上地层划分原则，结合收集研究场地吹填建设资料(吹填厚度4.0 m左右)及根据本地静力触探测试经验成果^[7-8]，对研究场地内同一块吹填土测试曲线进行划分，典型测试曲线及其划分结果见图1—图3。

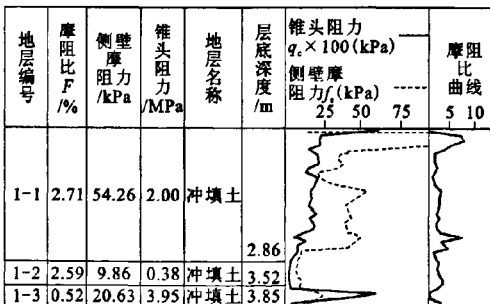


图1 进水口附近部位静力触探测试成果曲线

综合前述各种因素，场地内吹填土明显可分为3层，其中1-1、1-3层力学性质较好，1-2层力学性质较差。结合其他测试点资料可以得到各层分布规律如下：

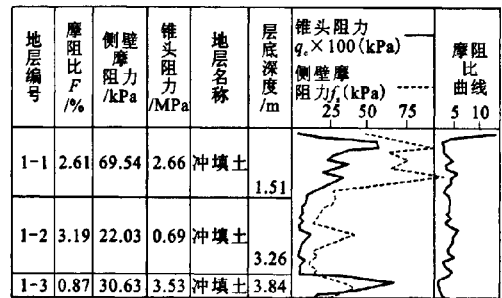


图2 场地中央部位静力触探测试成果曲线

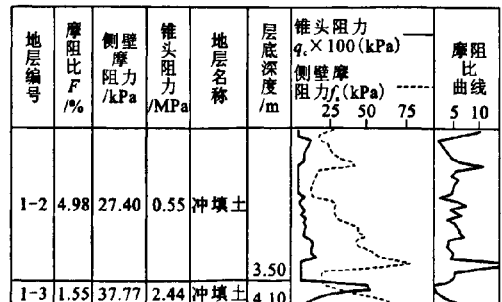


图3 排水口边界部位静力触探测试成果曲线

1-1层吹填土总体上具有进水口部位地层厚度相对较大,排水口部位相对较小,甚至部位缺失特点;1-2层与其相反,排水口部位相对较厚,1-3层整个吹填场地均有分布,但其厚度变化大0.3~1.2 m不等。

2.2 静力触探测试参数规律性及吹填土岩性构成分析

根据实测吹填场地 58 个静力触探测试资料划分结果,制作锥尖贯入阻力-摩阻比分层统计分布图(见图 4)。

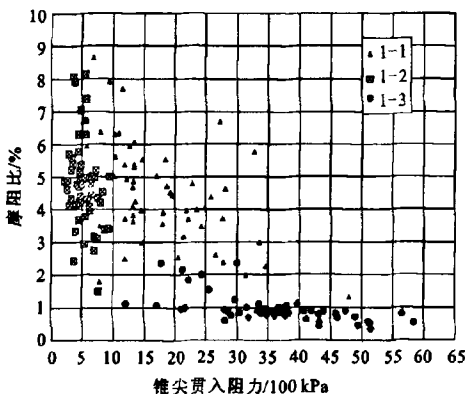


图 4 锥尖贯入阻力-摩阻比统计分布图

图中可以看出,1-1层数据比较离散,规律性较差, q_c 多分布在 10~25(100 kPa)之间, R_f 多分布在大于 3.0 %区域,参考静力触探测试结果曲线特征,根据本地经验^[7]进行分析,为地表硬壳层。

1-2层 q_c 规律性强,多分布在 2.5~7.5(100 kPa)范围之内, $R_f > 2.5 %$,岩性应定义为淤泥质土,但采取土样进行室内土工实验分析,土样孔隙比均小于 1.0,根据静力触探测试参数划分结果,其岩性属粘性土(粘土、粉质粘土)范围,考虑强度较低特征,因此将本层定义为软弱粘性土层。

1-3层 R_f 规律性强,多分布在 0.5 %~1.5 %范围内, q_c 多大于 20(100 kPa),结合现场钻探及室内土工实验成果,岩性复杂,以粉土及砂土为主,混大量碎贝壳,将其定义为砂性土层。

2.3 各吹填土层成因及主要工程特性分析

将吹填土各层的静力触探测试参数进行平均计算,结果见表 2。

表 2 吹填土各层静力触探测试指标统计结果表

层号	锥尖贯入阻力 /MPa	侧壁摩阻力 /kPa	摩阻比 /%
1-1	1.74	72.2	4.45
1-2	0.41	25.2	4.77
1-3	3.53	32.7	0.96

通过以上分析结果,结合土工试验结果及野外钻探编录,对研究场地吹填土工程性质进行分层评价如下:

1)虽然 1-1 层吹填土试验测得参数离散性较大,但其平均锥尖贯入阻力远大于 1-2 层,说明其强度明显好于 1-2 层。本层应为真空预压处理后形成硬壳层,其形成机理为土体真空预压过程中汽化失水^[9]及在真空预压过程中,上部吹填土固结除受埋设土体中塑料排水带径向排水影响外,还能在负压作用下向上直接排水固结^[10],因此形成硬壳。在真空固结作用下,此硬壳层的形成与土体颗粒大小密切相关,受吹填过程中水动力条件限制,排水口处吹填土由于土体颗粒细小(粘粒为主)、渗透性差,室内渗透试验双向渗透系数数量级均 $\leq 10^{-7}$ cm/s,真空预压地基处理效果较差,硬壳层局部缺失。

2)虽然吹填场地经过真空预压处理,但 1-2 层吹填土强度仍然较差,综合考虑土工试验及静力触探测试结果,本层地基土承载力特征值 60~85 kPa 左右;根据静力触探试验,采用交通部一航院提出的针对天津新港软粘土的不排水抗剪强度 C_u 的计算公式:

$$C_u = 0.03388 p_s + 4$$

$$\text{及 } p_s = 1.1 q_c$$

式中: p_s 为比贯入阻力;计算 q_c 采用锥尖贯入阻力平均值。

可得:本层不排水抗剪强度 C_u 为 20 kPa 左右。

采用压缩模量经验公式^[7]: $E_{s1-2} = 1.849 + 2.594 q_c$ 进行计算, E_{s1-2} 为 2.92 MPa。

本层不排水抗剪强度及压缩模量与滨海新区海相沉积基本软土基本相同。

3)泥浆中粗颗粒土体受重力作用下,最先沉积,吹填土底部 1-3 层吹填土由于主要由砂性土构成,真空预压过程中固结较快,强度较高,通过静力触探指标(见表 2),根据地方经验可以确定其地基土承载力特征值 120~150 kPa,在吹填土各层中其力学性质最好。本层埋深及分布稳定,但层厚变化较大 0.3~1.2 m 不等,层厚主导其工程性质。

3 结论

根据静力触探测试,结合钻探及室内土工试验资料,吹填土可定义为:顶部硬壳层、软弱粘性土层及底部砂性土层,共计 3 个工程地质层,其主要工程特性及分布特点如下:

1)硬壳层为真空预压处理后形成,岩性成分复杂,静力触探测得参数离散性大,强度相对软弱粘性

土层较高,但由于吹填过程水动力具有分选作用,沉积物有从吹填口至排水口由粗变细的规律,影响了真空固结处理效果,并直接影响了本层的分布范围,导致排水口部位局部缺失。

2)软弱粘性土层,锥尖贯入阻力 q_c 小,多在2.5~7.5(100 kPa)范围之内,具有强度低、压缩性大的软土工程特性。

3)底部砂性土层主要是液态泥浆中的粗颗粒成分在重力作用下分选形成。由于颗粒相对粗大,渗透性好,经真空固结处理后,强度高,但层厚变化大0.3~1.2 m。

参 考 文 献

- [1] 刘寒鹏,孙 锐,等.膜上覆水真空预压技术在软土地基处理中的应用[J].地质与勘探,2008,44(3):87-90.
[2] 沈珠江.原状取土还是原位测试—土质参数测试技术刍议[J].岩土工程学报,1996(9),90-91.

- [3] 王钟琦.静力触探技术的实质及其应用现状与前景[J].工程勘察,2008(10):1-3.
[4] 简文彬,吴振祥,等.闽东南沿海地区软土静力触探参数相关分析[J].岩土力学,2005,26(5):732-738.
[5] 顾宝和.《岩土工程勘察规范》中的静力触探问题[J].工程勘察,2008(10):4-10.
[6] 曹圣华,朱正坤,等.静力触探在江太高速公路工程地质勘察中的应用[J].江苏交通工程,2002(1):48-52.
[7] DB 29-20-2000 岩土工程技术规范[B][S].天津市工程建设标准.北京:中国建筑工业出版社,2000.
[8] 高颂东.静力触探技术在天津软土地区的应用研究[D].天津:天津大学研究生院,2006.
[9] 陈 环,严 驰,等.真空预压加固软基效果分析[J].天津大学学报,1991(增刊):63-67.
[10] 娄 炎.真空排水预压法加固软土技术[M].北京:人民交通出版社,2002.

收稿日期:2012-03-12

(上接第131页)

3 结 论

基坑规模越来越大,并且越来越多的基坑支护采用内支撑的方式,同时受工期、场地限制等因素影响,大跨度混凝土栈桥将被广泛采用。如何确保结构的安全,又节约造价,是结构设计中需要经常考虑的问题。

本工程栈桥结构于2010年8月浇注完成,建立起基坑内部的平面交通体系,大大便于基坑开挖、出土及施工机械行驶,提高了施工效率,也增加了现场施工场地面积,对施工材料的加工和堆放创造了良好条件。经使用检验,结构满足基坑安全稳定的要求,栈桥结构达到了安全、合理、经济的效果。本次栈桥支撑结构体系的设计,可为今后的栈桥支撑设计提供参考。

参 考 文 献

- [1] 苏 斌,林雪梅,晏 音.恒力金融中心基坑车行栈桥设计与施工[J].福建建筑,2011(6):61-63.

- [2] 王建平,王 青,张建平,等.叠合法浇注在苏州中心基坑栈桥支撑施工中的应用[J].建筑施工,2010,32(11):1977-1980.
[3] 刘国斌,王卫东.基坑工程手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:95-96.
[4] 朱炳寅.建筑结构设计问答及分析[M].北京:中国建筑工业出版社,2009:1-6.
[5] DG/TJ08-61-2010 基坑工程技术规范[S].上海.
[6] DB29-202-2010 建筑基坑工程技术规程[S].天津.
[7] SJG05-2011 深圳市基坑支护技术规范[S].深圳.
[8] DB42/159-2004 基坑工程技术规程[S].湖北.
[9] JGJ 120-99 建筑基坑支护技术规程[S].北京:中国建筑工业出版社,1999.
[10] DB11//489-2007 建筑基坑支护技术规程[S].

收稿日期:2012-03-09