



海港软土工程地基处理后综合检测方法分析

乔伟刚, 刘 健

(中交第二航务工程勘察设计院有限公司, 湖北 武汉 430071)

摘要: 以某海港软土地基处理工程为实例, 通过钻探、室内土工试验、原位测试、平板载荷试验等综合检测手段检测处理效果, 分析各种测试指标, 论证处理后的地基承载力和变形指标是否满足工程要求。岩土参数的提出应通过多种测试手段对比, 这种方法可供专业人员参考。

关键词: 标贯; 十字板; 平板载荷试验; 承载力; 压缩模量

中图分类号: U 655.54

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)09-0150-03

Comprehensive analysis of detection of soft soil foundation treatment for harbor

QIAO Wei-gang, LIU Jian

(CCCC Second Harbor Consultants Co., Ltd., Wuhan 430071, China)

Abstract: Taking the soft foundation treatment project in a harbor for example, we test the foundation treatment effect, analyze all kinds of testing indices and demonstrate if the bearing capacity and deformation indices of the treated foundation meet the engineering requirements by comprehensive measurement ways, such as probing, indoor geotechnical tests, in-situ measurement, plate loading test, etc. The conclusion of providing geotechnical parameters by a variety of testing methods may serve as reference for professionals.

Keywords: standard penetration; vane shear test; plate loading test; bearing capacity; compression modulus

1 工程概况

某液化天然气 (LNG) 项目储罐区陆域形成造陆工程用地总面积约 15 万 m^2 , 其原海床高程约 -3.5 m, 现场地高程约 5.0 m。地块现状为近期沿海滩涂吹填形成, 先吹填 2 m 中粗砂然后吹填粉细砂, 并经一次地基处理, 其地基处理采用“振冲/振动碾压”的方式, 具体方案为: 水上吹填砂至 6.5 m。采用振冲密实法进行地基处理, 振冲点采用三角形布置, 间距 2.5 m, 振冲桩径约 0.8 m, 采用无填料振冲方式, 最后场地整平碾压 1 遍。地基处理完成后场地高程 5.0 m。

本工程主要探明储罐区造陆工程及一次回填地基处理完成以后的地基状况, 评价吹填土质均匀性, 下卧软土层承载能力, 提供土层的地基承

载力特征值、压缩模量等指标。

2 地基检测方法的选用

本场地在进行载荷试验前, 根据地基类型选择原位测试等方法对地基处理质量进行普查, 并结合所布钻孔的土工试验指标综合对比。本工程地基检测主要采取以下手段: 钻孔及土工试验、标准贯入试验、静力触探、载荷板试验、十字板剪切试验。

3 现场检测及结论

综合钻孔、土工试验、标准贯入试验和静力触探成果, 对检测深度范围内 (约 26 m) 的主要土层单元划分如下: ①_a 吹填砂; ①_b 吹填砂;

收稿日期: 2014-01-09

作者简介: 乔伟刚 (1970—), 男, 注册岩土工程师, 高级工程师, 主要从事岩土工程勘察与设计工作。

①_c吹填砂②淤泥质黏土; ②_a粉质黏土及黏土。

3.1 钻孔及土工试验指标

本项目主要岩土层的物理力学性质指标统计值见表1。

表1 岩土层的物理力学性质指标

地层单元	含水率 W/%	天然密度 $\rho/$ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	孔隙比 e	塑性指数 I_p	液性指数 I_L	快剪		固快		压缩系数 a_{1-2}/MPa^{-1}	压缩模量 E_s/MPa
						C/kPa	$\varphi/(\circ)$	C/kPa	$\varphi/(\circ)$		
① _a	22.8	1.97	0.671								
① _b	18.8	1.99	0.603			13	31	10	30	0.06	27.9
① _c											
②	46.7	1.77	1.248	19.0	1.12	4	6	4	13	0.86	2.8
② _a	28.8	1.93	0.786	15.2	0.68	4	17	12	19	0.41	4.9

由孔隙比、含水率、液性指数, 可以确定黏性土、粉土、淤泥质土的承载力特征值 f_{ak} , 另外通过 C 、 φ 值可计算一般黏性土的承载力。经分析比对, 以物理力学参数推算的各土层的承载力特征值与压缩模量 E_s 见表2。

表2 根据土试指标确定各主要土层的承载力特征值与压缩模量

地层编号	岩土名称	孔隙比 e	液性指数 I_L	f_{ak}/kPa	E_s/MPa
① _a	吹填砂	0.671		150	
① _b	吹填砂	0.603		220	27.9
① _c	吹填砂			200	
②	淤泥质黏土	1.248	1.12	55	2.8
② _a	粉质黏土	0.786	0.68	105	4.9

3.2 标准贯入试验

各岩土层的标贯击数基本符合各土层的特性, 局部击数异常是由两方面因素造成的: 1) 存在薄层夹层土、互层土; 2) 无填料振冲挤密施工振冲点不均匀。由标准贯入试验击数 N 值, 根据相关手段及地区规范估算出的地基承载力特征值和模量值(表3)。

表3 各主要土层的承载力特征值与压缩模量

地层编号	岩土名称	标贯击数 N	f_{ak}/kPa	E_s/MPa
① _a	吹填砂	13	160	13.4
① _b	吹填砂	24	210	
① _c	吹填砂	13	190	15.4
②	淤泥质黏土	1		
② _a	粉质黏土	3	125	5.4

各主要单元土层各项指标间关系基本吻合, 天然密度基本随天然含水率的增加而减小, 孔隙比则随天然含水率的减少而减小; 力学性试验中, 抗剪强度指标能较好地反映土层的结构强度。

3.3 静力触探试验

各岩土层的比贯入阻力值基本符合各土层的特性, 局部异常是由于存在薄层夹层土、互层土所致。由静力触探试验成果比贯入阻力 P_s 值, 通过相关经验公式或查表估算各土层的承载力 f_{ak} 与压缩模量 E_s 如表4所示。

表4 各土层的承载力特征值与压缩模量

地层编号	岩土名称	P_s/MPa	f_{ak}/kPa	E_s/MPa
① _a	吹填砂	6.71	220	17.0
① _b	吹填砂	14.69	360	33.0
① _c	吹填砂	8.19	260	21.0
②	淤泥质黏土	0.53	64	3.1
② _a	粉质黏土	1.25	150	5.0

3.4 十字板剪切试验

十字板剪切试验主要在饱和软黏土内进行。其中②单元层十字板原状剪切强度 $C_u = 13.35 \text{ kPa}$, 小于35 kPa为软土层, 灵敏度为2.6, 属中等灵敏类; ②_a层十字板原状剪切强度 $C_u = 54.32 \text{ kPa}$, 大于35 kPa, 为一般性黏性土。

承载力参照《工程地质手册》^[4]公式 $f = 3C_u + \gamma D$, 各土层承载力: ② $f_{ak} = 50 \text{ kPa}$; ②_a $f_{ak} = 50 \text{ kPa}$ 。

3.5 平板载荷试验

由标准贯入试验、静力触探试验可知, 本场地上部吹填砂一次处理后并不十分均匀, 因此本次共布置3组平板载荷试验, 每个点呈三角形布置3个平板载荷试验为1组。变形模量及

地基承载力特征值可按规范确定,其值如下:点 ZH7 $f_{ak} = 181.25$ kPa, $E_0 = 26.47$ MPa; ZH9 $f_{ak} = 131.25$ kPa, $E_0 = 22.52$ MPa; ZH16 $f_{ak} = 187.5$ kPa, $E_0 = 33.88$ MPa。

4 各指标间相关性分析

本次检测的重点是①吹填砂层、②淤泥质黏土层及②_a粉质黏土层,通过多种试验手段对这几层土的性质进行了研究。为了更好地得到土层的物理力学性质参数,将几种方法得到的参数进行对比分析,同时通过分析也可检验每种方法得到的参数是否合理。

4.1 室内试验与标准贯入及静力触探试验分析

由标准贯入试验击数可以根据相关规范推荐的公式或经验得到土层的抗剪强度指标、确定黏性土的无侧限抗压强度。其与土工试验得到的强度指标如表 5 所示。

表 5 室内试验与标贯试验得到的强度指标对比

单元层	N	标贯击数推算的指标			土工试验指标		
		C/kPa	$\varphi/(^\circ)$	q_u/kPa	C/kPa	$\varphi/(^\circ)$	q_u/kPa
① _b	24	0	34		13	31	
②	1	5	5	15	4	6	22
② _a	3	8	17	42	4	17	53

通过以上 2 种手段得到的强度指标对比可以发现,得到的淤泥质及粉质黏土的力学指标接近。砂性土粘聚力有一定出入,这主要和土工试验仪器、操作人员素质、土样不均匀性、土样的样本数有关。总体来看,室内试验与标贯试验得到的相关强度指标相关性尚可,说明这 2 种手段得到的相关统计结果是可靠的,较符合岩土实际状况。

由静力触探试验比贯入阻力 P_s 值可以确定砂土层的内摩擦角、黏性土层的变形指标、确定黏性土的天然密度。其与土工试验得到的强度指标如表 6 所示。

表 6 室内试验与静力触探试验得到的物性指标对比

单元层	比贯入阻力平均值 P_s/MPa	P_s 推算的指标			土工试验指标		
		E_s/MPa	$\rho/(\text{t}\cdot\text{m}^{-3})$	$\varphi/(^\circ)$	E_s/MPa	$\rho/(\text{t}\cdot\text{m}^{-3})$	$\varphi/(^\circ)$
① _b	14.69	33.0		34	26.26	1.99	31
②	0.53	3.1	1.75		2.80	1.77	
② _a	1.25	5.0	1.93		4.90	1.93	

表 6 显示静力触探试验与室内试验指标相关性较好,结果统一。

4.2 载荷试验与标准贯入及静力触探试验分析

平板载荷试验是在一定面积的承压板上向地基土逐级施加荷载,测求地基土的压力与变形特性的

原位测试方法。它能够反映承压板下 1.5~2.0 倍承压板直径或宽度范围内地基土强度、变形的综合性状。承压板的宽度为 2 m,影响深度为 3~4 m,相应层次主要为①_a单元和①_b单元表层。载荷试验的主要成果与相应层次的标贯及静探指标分析见表 7。

表 7 ①_a层的承载力特征值与压缩模量、变形模量 (平均值)

主要地层编号	平板载荷试验			标准贯入试验			静力触探试验	
	f_a/kPa	E_0/MPa	N	f_a/kPa	E_s/MPa	P_s/MPa	f_a/kPa	E_s/MPa
① _a	166	27.62	13	160	13.4	6.71	220	17.0

由表 7 可知,平板载荷试验承载力特征值与标贯及静探试验推算的承载力特征值接近,而变形模量和压缩模量相差较大,接近 2 倍的关系。主要原因为平板载荷试验的变形模量为线性变形阶段进行求取的;而压缩模量为 0.1~0.2 MPa 压力段下的变形量,为非线性段,变形量较平板试

验大,模量相应较小。

4.3 软土中十字板剪切与静力触探试验分析

根据工程地质手册^[4]相应公式,可建立静力触探成果与十字板剪切试验成果之间的相对关系: $C_u = 30.8 P_s + 4$,软土层的相应关系见表 8。

(下转第 158 页)