

旁压试验在天津地区确定地基土承载力的修正研究

刘浩, 张建根

(天津市政工程设计研究总院有限公司, 天津市 300051)

摘要: 地基土中旁压试验机理近似于载荷试验, 反映出了土体弹塑性体的受力变化特性, 通过旁压试验临塑压力 p_f 、极限压力 p_L 两种方式可快速方便地确定承载力特征值。确定承载力特征值过程中选用合理的修正系数 λ 与安全系数 K 值, 能够保证旁压试验结果应用的准确性及适用性。现通过与土工试验、静力触探试验指标查表法确定的承载力数值对比分析, 适当调整修正系数 λ 与安全系数 K , 得到了较为客观可靠的旁压试验承载力特征值。

关键词: 地基承载力; 旁压试验; 物理性指标; 静力触探指标

中图分类号: TU411.3

文献标志码: A

文章编号: 1009-7716(2023)02-0202-04

0 引言

地基土承受荷载的能力称为地基的承载力。在日常勘察设计工作中, 是不可缺少的岩土计算、验算内容。地基土承载力数值的准确性决定着工程结构是否安全, 工程造价是否经济。

在研究地基土承载力的过程中, 把地基土当成理想弹塑性体, 即当应力小于破坏应力时, 或者是应力状态达到极限平衡条件之前, 土为线弹性体; 在达到破坏应力之后, 或达到极限平衡条件后, 则为理想塑性体。

旁压试验曲线与载荷试验曲线相似, 反映出了土体随着荷载的增大, 逐渐被压密, 由弹性变形逐渐变为塑性变形, 进而直至破坏。根据试验中极限压力 p_L 、临塑压力 p_f 与初始压力 p_0 的差值乘以修正系数 λ 或除以安全系数 K 来确定承载力特征值。若采用《地基旁压试验技术标准》(JGJ/T 69—2019)中推荐 λ 、 K 值, 会导致承载力特征值明显偏离区域地基土经验数值范围。

现通过工程实例中旁压试验成果与静力触探试验、物理性指标查表法确定出的地基土承载力特征值对比分析, 对修正系数 λ 、安全系数 K 进行修正, 使旁压试验确定的承载力特征值客观、可靠。

1 各种确定承载力的试验方法

根据天津地方标准《天津市岩土工程技术规范》(DB/T 29-20—2017), 地基土承载力已统一表述为

收稿日期: 2022-04-20

作者简介: 刘浩(1979—), 男, 工学硕士, 高级工程师, 从事工程地质、水文地质勘察、地基基础测试、检测工作。

承载力特征值。地基承载力特征值可由以下两大类方式确定。

(1) 载荷试验或其它原位测试(标准贯入试验、动力触探试验、旁压试验、静力触探等)、公式计算等方法结合工程实践经验综合确定。

(2) 采用物理指标确定地基土承载力, 按统计修正后的物理指标标准值, 查表得到地基承载力特征值。查表法是以载荷试验为基础, 经过大量的工程实践而建立起的经验关系。

1.1 旁压试验

1.1.1 基本原理

旁压试验是一种原位测试手段, 通过旁压器对孔壁施加径向压力, 使土体产生径向变形, 通过径向压力与变形的关系, 测求地基土的原位力学状态和力学参数。土体经历与测试探头初始接触, 进入弹性阶段, 进而发展为塑性阶段直至破坏。基本反映出地基土在原始应力状态下的工程力学特性。

典型的旁压曲线(压力 P ~体积 V)曲线如图1所示。

试验过程可分为3个阶段:

I段(曲线AB), 初步阶段, 反映孔壁扰动土体的压缩与恢复;

II段(直线BC), 似弹性阶段, 压力与体积变化大致呈直线关系;

III段(曲线CD), 塑性阶段, 随着压力的增大, 体积变化量逐渐增加, 直至土体破坏。

1.1.2 承载力特征值的确定方法

(1) 利用极限压力 p_L 确定:

当极限压力 p_L 小于等于临塑压力 p_f 的2倍时,

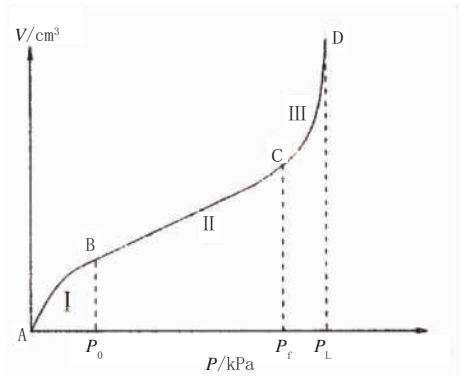


图1 典型旁压试验曲线图

取极限压力的二分之一,由式(1)确定承载力特征值。

$$f_{ak} = \frac{P_L}{2} - p_0 \tag{1}$$

式中: p_0 为初始压力。

当极限压力 p_L 大于等于临塑压力 p_f 的 2 倍时,由式(2)确定。

$$f_{ak} = \frac{P_L - p_0}{K} \tag{2}$$

式中: K 为安全系数,根据地区经验确定。

(2)利用临塑压力 p_f 确定:计算公式见式(3)。

$$f_{ak} = \lambda (p_f - p_0) \tag{3}$$

式中: λ 为修正系数,根据地区经验确定;无经验时,取 0.7 ~ 1.0。

1.2 查表法

1.2.1 静力触探试验

静力触探试验是用静力将探头以 1.2 m/min 的速率均匀压入土中,以双桥探头为例,利用探头内锥头、侧壁的力传感器,通过电子量测器将探头所受贯入阻力记录并传输至存储设备中。试验可得到锥尖阻力 q_c 、侧壁摩阻力 f_s ,进一步可得到摩阻比 $R_f = f_s / q_c (\%)$ 。根据 q_c 、 R_f 数值查阅经验表格得到承载力特征值。

1.2.2 物理性指标

根据室内土工试验得到的土体物理力学指标孔隙比 e 、液性指数 I_L 、天然含水率 w 、压缩模量 E_{s1-2} 可得到对应土体的承载力特征值。

2 工程实例

2.1 工程概况

位于天津市北辰区某深基坑工程,在建设场地内布置钻探孔采取原状土样进行土工试验、现场静力触探试验孔,同时在钻探取样钻孔旁进行旁压试验,共计完成 6 个旁压试验孔,试验深度 20 m。

旁压试验设备为 APAGEO 梅纳 GA 型预钻式旁

压仪,探头为三腔式,探头直径为 74 mm,测量腔长度为 210 mm,容积为 786 cm³。试验压力由高压氮气瓶提供。各级压力下的相对稳定时间标准取 1 min,加荷后 15 s、30 s、60 s 测读变形量。

静力触探试验采用双桥探头,贯入速率为 0.8 ~ 1.2 m/min,每贯入 0.1 m 记录一次锥头、侧壁阻力数据。 q_c 、 f_s 数值由微电脑数据采集仪自动采集存储。

拟建场地试验测试深度范围地基土的地质单元划分与分布情况见表 1 所列。

表1 主要地基土分布情况简表

地层编号	岩土名称	土层厚度 /m	层底高程 /m	土质特征
⑤(Q ₄ ¹ l+h)	黏土	1.20 ~ 4.70	-1.80 ~ -1.93	可塑
⑥(Q ₄ ² m)	粉质黏土	6.50 ~ 9.30	-3.72 ~ -1.90	软塑
⑧ ₁ (Q ₄ ¹ al)	粉质黏土	2.40 ~ 6.90	-12.22 ~ -9.92	可塑
⑧ ₂ (Q ₄ ¹ al)	粉砂	0.90 ~ 4.00	-16.42 ~ -13.34	中密
⑨ ₁ (Q ₅ ¹ al)	粉质黏土	0.90 ~ 4.00	-18.23 ~ -15.34	可塑

依据不同工程地质单元对室内试验和原位试验得到的岩土参数进行统计,考虑到地基土层实际分布的变异性、试验结果的离散性,剔除异常数据。

各层地基土参与统计的旁压试验测试点数量为:⑤黏土 9 个;⑥粉质黏土 15 个;⑧₁粉质黏土 6 个;⑧₂粉砂 3 个;⑨₁粉质黏土 2 个。

2.2 查表法确定承载力特征值

根据建设场地勘察报告成果,将各土层物理力学指标、原位测试指标统计平均值汇总于表 2。

表2 地基土试验指标统计平均值表

地层	室内土工试验					静探试验		
	$w / \%$	$\gamma / (\text{kN} \cdot \text{m}^{-3})$	e	I_L	$a_{s1-2} / \text{MPa}^{-1}$	E_{s1-2} / MPa	q_c / kPa	$R_f / \%$
⑤黏土	29.3	19.4	0.819	0.52	0.414	4.58	550	4.90
⑥粉质黏土	31.0	19.1	0.862	0.97	0.458	4.35	490	3.00
⑧ ₁ 粉质黏土	24.7	20.2	0.679	0.54	0.339	5.31	1 900	2.60
⑧ ₂ 粉砂	16.9	20.3	0.592	/	0.141	12.07	7 860	1.35
⑨ ₁ 粉质黏土	25.2	20.0	0.700	0.48	0.325	5.57	1 670	2.99

2.3 旁压试验确定承载力特征值

在该项目旁压试验确定地基土承载力特征值 f_{ak} 过程中,分别采用了利用极限压力 p_L 确定及利用临塑压力 p_f 确定的方法。依据《地基旁压试验技术标准》(JGJ/T 69—2019)安全系数 K 值取大值,黏性土取 2.4;粉砂取 3.6,经验修正系数 λ 取小值 0.7。旁压试验代表性成果曲线图见图 2、图 3 所示。

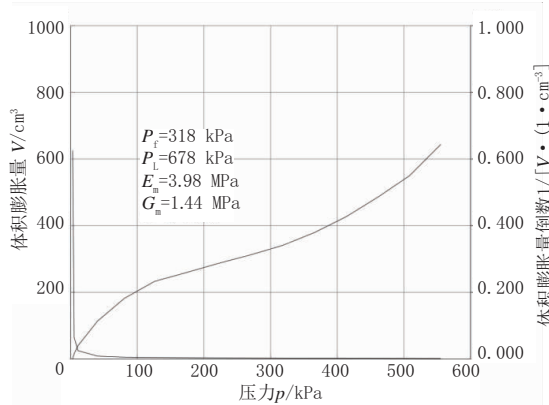


图2 11#孔9 m深度旁压试验曲线图

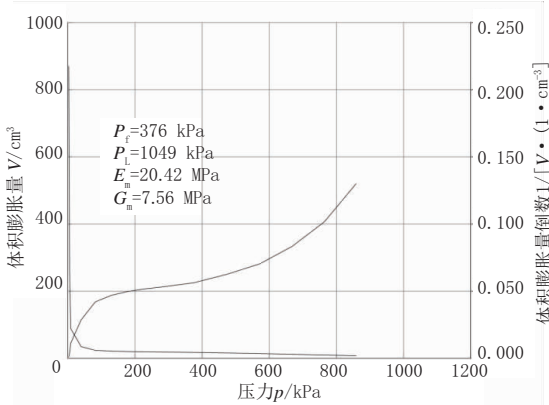


图3 83#孔15 m深度旁压试验曲线图

2.4 承载力特征值对比

各土层根据相关物理性指标孔隙比 e 、液性指数 I_L 、天然含水率 w ;静力触探锥头阻力 q_c 、摩阻比 R_f 查表;旁压试验极限压力 p_L 、临塑压力 p_f 方式得到的承载力特征值,以及勘察报告中提供的承载力建议数值列于表3中。

表3 地基土承载力特征值 f_{ak} 一览表 单位:kPa

地层	土工 试验	静力 触探	旁压试验 p_L	旁压试验 p_f	建议值
⑤黏土	130	100	105	144	100
⑥粉质黏土	110	90	115	127	100
⑧ ₁ 粉质黏土	150	150	168	124	130
⑧ ₂ 粉砂	200	210	395	182	160
⑨ ₁ 粉质黏土	180	150	381	262	160

以地基土分布层底深度高程大值为纵坐标,以承载力特征值 f_{ak} 为横坐标,建立关系曲线,详见图4所示。

2.5 成果分析

通过地基土承载力特征值曲线线型,旁压试验、土工试验、静力触探等试验手段得到的承载力数值总体分布规律一致,承载力特征值随地基土埋置深度的增加而增大。同时验证出了浅层地基土浅海相沉积(Q_4^m)⑥层粉质黏土含水率 w 较高、重度 γ 较

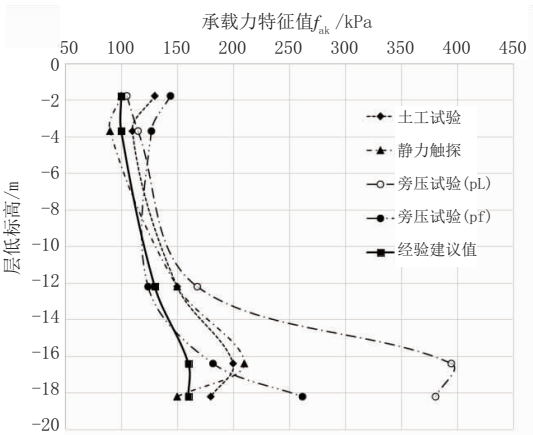


图4 地基土承载力特征值曲线图

小、孔隙比 e 较大、压缩性较高,为相对软弱地层,承载力数值较其上、下地层偏低。

湖沼相沉积层(Q_4^{1+h})⑤黏土、浅海相沉积层(Q_4^m)⑥粉质黏土物理力学指标接近,各试验手段承载力特征值大小规律一致。以旁压试验临塑压力 p_f 方式最大,静力触探手段最小。旁压试验临塑压力 p_f 方式确定的承载力数值大于极限压力 p_L 方式。

河床~河漫滩相沉积层(Q_4^{al})⑧₁粉质黏土、⑧₂粉砂及⑨₁粉质黏土(Q_5^{al})由旁压试验极限压力 p_L 方式确定的承载力特征值明显大于其他三种手段。

拟建场地内地基土黏性土孔隙比介于0.679~0.862,呈可塑、软塑状态,尤其⑧₂粉砂、⑨₁粉质黏土埋置深度较深,沉积固结时间较长。旁压曲线体积变形缓慢,通过作图法确定极限压力 p_L ,极限压力 p_L 大于2倍临塑压力 p_f ,选用 $f_{ak}=(p_L-p_0)/K$ 计算承载力特征值。通过三种勘察手段的承载力曲线对比分析,依据《地基旁压试验技术标准》(JGJ/T 69—2019),⑤黏土推荐 K 值偏大,⑧₂粉砂、⑨₁粉质黏土推荐 K 值偏小。参考土工试验、静力触探手段承载力数值,⑤黏土安全系数 K 值乘以0.78折减,旁压试验极限压力 p_L 方式确定的承载力特征值修正后的数值为135 kPa;⑧₂粉砂可提高安全系数 K 值1.7倍;⑨₁粉质黏土的安全系数 K 值提高2倍,⑧₂粉砂、⑨₁粉质黏土承载力特征值修正后的数值为232 kPa(⑧₂粉砂)、190 kPa(⑨₁粉质黏土)。

(4)⑧₁粉质黏土由旁压试验临塑压力 p_f 方式确定的结果偏小,⑨₁粉质黏土的结果明显偏大。根据勘察报告建议值及各手段曲线对⑧₁粉质黏土修正系数 λ 调整为0.8,得到 f_{ak} 为140 kPa;⑨₁粉质黏土修正系数 λ 原取值0.7乘以0.65进行折减,得到 f_{ak} 为170 kPa。

修正后的承载力关系曲线见图5所示。

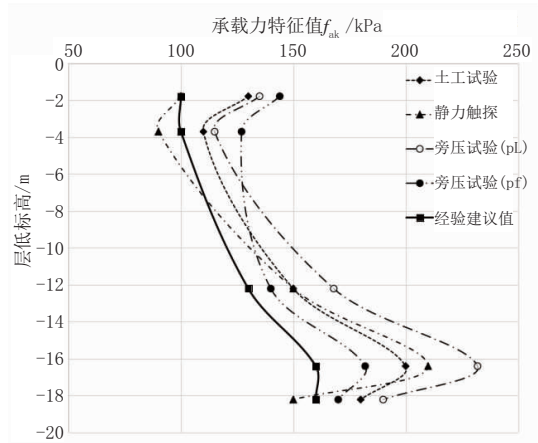


图5 地基土修正后承载力特征值曲线图
修正后的 λ 、 K 值见表4所列。

表4 λ 、 K 值修正表

地层	p_L 法		p_f 法	
	K	f_{ak}/kPa	λ	f_{ak}/kPa
⑤黏土	1.87	135	0.70	144
⑥粉质黏土	2.40	115	0.70	127
⑧ ₁ 粉质黏土	2.40	168	0.80	140
⑧ ₂ 粉砂	6.10	232	0.70	182
⑨ ₁ 粉质黏土	4.80	190	0.46	170

3 结 语

旁压试验确定地基土承载力特征值数值分布规律基本与查表法相吻合,明显反映出不同深度地基土的工程性质。勘察报告中经综合研判提供的承载

力数值在满足建设需要的前提下较为安全、可靠。

通过多种勘察手段的综合对比分析,旁压试验极限压力 p_L 法中,⑤黏土安全系数 K 值乘以0.78折减;⑧₂粉砂可提高安全系数 K 值1.6~1.8倍;⑨₁粉质黏土的安全系数 K 值提高1.7~2.5倍。

在临塑压力 p_f 法中,⑧₁粉质黏土修正系数 λ 在规范推荐数值的基础上提高为0.8;⑨₁粉质黏土修正系数 λ 取值需要进一步折减。修正后的旁压试验承载力曲线线型与静力触探、土工试验规律性更加一致。

(3)在工程实践中,应采用多种勘察手段,综合计算、评价、分析,相互印证,保证提供的计算参数具有客观性、安全性及经济性。

参考文献:

[1] GB/T 50123—2019,土工试验方法标准[S].
[2] JGJ/T 69—2019,地基旁压试验技术标准[S].
[3] TB 10018—2018,铁路工程地质原位测试规程[S].
[4] DB/T 29-247—2017,天津市岩土工程勘察规范[S].
[5] DB/T 29-20—2017,天津市岩土工程技术规范[S].
[6] 《工程地质手册》编委会.工程地质手册(第五版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
[7] 刘浩.天津地铁5号线工程沁河南道站岩土工程勘察报告[R].天津市市政工程设计研究院,2011.
[8] 刘浩.北辰区0310地块岩土工程勘察报告[R].天津市市政工程设计研究院有限公司,2020.

(上接第196页)

[21] Jia F,Lei Y,Lin J,et al. Deep neural networks: A promising tool for fault characteristic mining and intelligent diagnosis of rotating machinery with massive data [J].Mechanical Systems and Signal Processing,2016,72-73:303-315.
[22] AVCI, ONUR, ABDELJABER, OSAMA. Self-Organizing Maps for Structural Damage Detection: A Novel Unsupervised Vibration-Based Algorithm[J]. Journal of Performance of Constructed Facilities,2016,30(3).
[23] Abdeljaber O,Avci O,Kiranyaz S,et al.Real-time vibration-based structural damage detection using one-dimensional convolutional

neural networks [J]. Journal of Sound & Vibration,2017,388: 154-170.
[24] 骆勇鹏,王林堃,廖飞宇,等.基于一维卷积神经网络的结构损伤识别[J].地震工程与工程振动,2021,41(4):145-156.
[25] 周之,刘冰.基于径向基网络的结构损伤程度检测[J].无损检测,2014,36(1):11-14.
[26] 马宏伟,杨桂通.结构损伤探测的基本方法和研究进展[J].力学进展,1999,29(4):513-527.
[27] 吴杰.桥梁结构损伤识别若干问题研究[D].广东:华南理工大学,2020.