

安阳地区粉质粘土相关性及其承载力研究

王育德, 闫广元

(河北工程大学 土木工程学院, 河北 邯郸 056038)

摘要:结合安阳地区典型岩土工程勘察实例,基于岩土工程数理统计理论对研究区域内浅层粉质粘土物理力学参数和承载力进行研究。结果表明:研究区域内浅层粉质粘土物理参数的变异性小、相关性显著,力学参数的变异性相对较大、相关性不显著;浅层粉质粘土地层承载力与标准贯入实验值、静力触探实验值以及土工试验参数间呈近视线性关系,地层承载力地域性经验公式与实际承载力具有较高的符合性。研究成果可为区域性地基基础可靠性设计和承载力的确定提供必要的参考价值。

关键词:粉质粘土;相关性;承载力;标准贯入;静力触探

中图分类号: TU442

文献标识码: A

Research on correlation and bearing capacity of silty clay in Anyang region

WANG Yu-de, YAN Guang-yuan

(College of Civil Engineering, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: Combined with the engineering practice of typical rock and soil in Anyang area, mechanical parameters and bearing capacity of the regional silty clay were studied by basing on mathematical statistic theory of rock and soil engineering to study the physical. The research show that: within the study area of shallow silty clay, the variation of the physical parameters is small, the correlation of the physical parameters is conspicuous, the variation of the mechanical parameters is large, and the correlation of the mechanical parameters is not conspicuous. There is a linear relationship between the standard penetration test values, static cone penetration test values, and soil test parameters values with the bearing capacity of the shallow silty clay. The regional empirical formulas of bearing capacity and the actual bearing capacity have higher uniformity. The research results can provide necessary references for the reliable design of regional foundation and determination of bearing capacity.

Key words: silty clay; correlation; bearing capacity; standard penetration test; cone penetration test

安阳地区地貌上位于太行山山前冲洪积扇前缘,属安阳河冲洪积倾斜平原。地层经勘探为第四纪冲洪积物,按时代划分为两套地层:全新统和上更新统,主要以新近沉积粉质粘土和粉质粘土为主,具有垂直分布的特点。在该地区进行工程建设时,对场地的岩土工程勘察不可避免得涉及到粉质粘土地层,且基础持力层常选取于粉质粘土地层中。

目前对粉质粘土地层承载力的评价多采用地基基础设计规范、现场原位测试和平板载荷试验等方法^[1-6]。由于平板载荷试验工期较长和费用较高等原因,实践中更多采用土工试验、标准贯入和静力触探试验进行土层承载力评价。在评价中

由于土的矿物成分、结构特征、成因分布的多样性以及实验研究方法本身的偶然性,研究数据常会出现离散现象。鉴于以上原因结合安阳地区典型岩土工程勘察资料,对该研究区域内浅层粉质粘土土工试验参数的变异性、相关性和地层承载力经验公式进行研究。

1. 粉质粘土参数分析

1.1. 粉质粘土参数的统计分析方法

选取平均值 φ_m 、标准差 σ_f 、变异系数 δ 、相关系数 R 和一元线性回归方程 \hat{y} 作为评价指标,对研究区域内粉质粘土参数进行统计分析。

$$\varphi_m = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i}{n}$$

$$\sigma_f = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n \varphi_i^2 - \frac{(\sum_{i=1}^n \varphi_i)^2}{n} \right]}$$

$$\delta = \frac{\sigma_f}{\varphi_m}$$

$$\hat{y} = \hat{a} + \hat{b}x$$

$$r = \frac{l_{xy}}{\sqrt{l_{xx}l_{yy}}}$$

$$\text{式中: } \hat{b} = l_{xy}/l_{xx}; \hat{a} = \bar{y} - \hat{b}\bar{x}; l_{xx} = \sum (x_i - \bar{x})^2;$$

$$l_{xy} = \sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}); l_{yy} = \sum (y_i - \bar{y})^2.$$

1.2 粉质粘土参数的变异性分析

安阳地区粉质粘土物理力学参数分析结果见

表1 安阳地区粉质粘土物理力学参数分析结果

Tab.1 Correlate analysis of physical and mechanical parameters of silty clay in Anyang region

参数	平均值 φ_m	标准差 σ_f	变异系数 δ	最大值	最小值
天然含水量 $w/\%$	22.3	2.448	0.110	28.3	15.9
比重 G_s	2.70	0.008	0.003	2.73	2.69
孔隙比 e	0.679	0.070	0.103	0.830	0.480
天然重度 $\gamma/(\text{kN}/\text{m}^3)$	19.8	0.654	0.033	21.5	18.7
液限 $W_L/\%$	28.6	1.850	0.065	34.4	24.4
塑限 $W_P/\%$	17.4	0.651	0.037	19.4	15.8
液性指数 I_L	0.44	0.084	0.191	0.83	-0.12
塑性指数 I_P	11.4	1.231	0.108	15.4	8.5
内摩擦角 $\Phi/(\circ)$	10.3	4.538	0.441	20.7	4.0
粘聚力 C/MPa	52.5	22.062	0.420	103.7	20.0
压缩模量 E_s/MPa	9.26	3.859	0.417	25.80	4.09

表2 安阳地区粉质粘土物理力学参数相关性分析结果

Tab.2 Correlation of physical and mechanical parameters of the silty clay in Anyang region analysis result

参数	线性回归方程	相关系数 R
物理参数相关性		
$W-e$	$W = 5.03 + 25.35e$	0.72
$r-e$	$r = 24.90 - 7.48e$	-0.80
W_L-e	$W_L = 23.79 + 7.15e$	0.27
I_L-e	$I_L = -0.80 + 1.81e$	0.59
W_L-W	$W_L = 25.25 + 0.15e$	0.20
I_L-W	$I_L = -1.28 + 0.08W$	0.88
W_P-W_L	$WP = 7.74 + 0.34W_L$	0.96
力学参数相关性		
$C-e$	$C = 61.08 - 12.62e$	-0.04
$\Phi-W_L$	$\Phi = 13.99 - 0.13W_L$	-0.10
$C-W$	$C = 57.91 - 0.24W$	-0.14
$C-W_L$	$C = 34.32 + 0.64W_L$	0.10
E_s-e	$E_s = 16.17 - 10.19e$	-0.20
$\Phi-e$	$\Phi = 7.99 + 3.35e$	0.12
$\Phi-W$	$\Phi = 17.84 - 0.34W$	-0.18
$C-\Phi$	$C = 49.05 + 0.34\Phi$	0.07
$\Phi-E_s$	$\Phi = 12.23 - 0.21E_s$	-0.18
$C-E_s$	$C = 41.58 + 1.18E_s$	0.21

表1。研究区域内粉质粘土物理参数的变异性相对较小。在所有研究的物理参数中,比重 G_s 的变异系数最小为 0.003,液性指数 I_L 的变异系数最大为 0.191。力学参数的变异性相对较大,其中粘聚力的变异系数 $\delta_c = 0.420$ 内摩擦角的变异系数 $\delta_\phi = 0.441$ 、压缩模量的变异系数 $\delta_E = 0.417$ 。因此,在该研究区域内进行岩土工程可靠性设计中,可将土的物理参数视为常量,将土的力学参数作为随机变量并考虑其变异系数影响。结果能够满足工程精度的需要。

1.3 粉质粘土参数的相关性分析

安阳地区粉质粘土物理力学参数相关性分析结果见表2。

研究区域内粉质粘土物理参数中,天然重度与孔隙比的相关系数 $R_{\rho-e}$,天然含水量与孔隙比的相关系数 R_{w-e} ,液性指数与孔隙比的相关系数 R_{IL-e} ,液性指数与天然含水量的相关系数 R_{I-w} ,塑限与液限的相关系数 K_2 ,分别为 -0.80 、 0.72 、 0.59 、 0.88 、 0.96 ,相关性显著;液限与孔隙比的相关系数 $R_{3-e} = 0.27$,液限与天然含水量的相关系数 $R_{4-w} = 0.20$,在应用其线性回归方程时需考虑相关系数影响。

研究区域内粉质粘土力学参数之间的相关性不显著,其中粘聚力 C 与压缩模量 E_s 的相关系数最大,仅为 0.21 ;粘聚力 C 与内摩擦角 Φ 的相关系数仅为 0.07 。力学物理参数间相关性不显著,其中压缩模量 E_s 与孔隙比 e 的相关系数最大,仅为 -0.20 ;粘聚力 C 与孔隙比 e 的相关系数仅为 -0.04 。综上,在该研究区域内进行地基基础可靠性设计和计算地基极限承载力中,将土的力学参数 C 、 Φ 视为彼此相互独立的变量,结果不仅能使计算过程得以简化而且能够满足工程精度的需要。

2 粉质粘土承载力的地域性经验公式

结合安阳地区典型岩土工程勘察及平板载荷试验资料,分别采用以孔隙比 e 和液性指数 I_L 为参数的土工试验参数法,以标准贯入次数为参数的标贯测试参数法,静力触探参数计算法3种方法^[7-12],确定研究区域内浅层粉质粘土承载力的地域性经验公式。

2.1 粉质粘土的土工试验承载力经验公式

粉质粘土土工试验参数法采用的参数是孔隙比 e 和液性指数 I_L 。图1和图2是安阳地区浅层粉质粘土地层的孔隙比 e 和液性指数 I_L 与承载力 f_{ak} 的散点图。承载力 f_{ak} 随着空隙比 e 和液性指数 I_L 的增加而近视呈负线性关系的下降趋势。通过采用最小二乘法,拟合出如下土工试验确定承载力的经验公式

$$f_{ak} = 278.50 - 76.20I_L - 92.68e \quad (1)$$

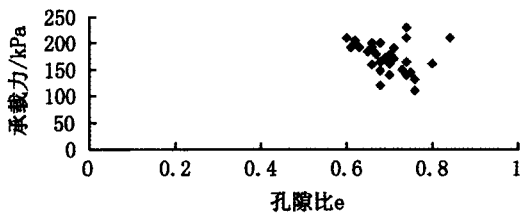


图1 粉质粘土承载力与孔隙比e散点图
Fig.1 Scatter diagram of silty clay bearing capacity and porosity

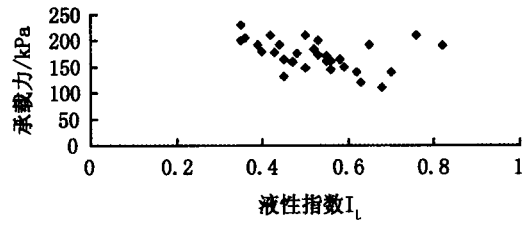


图2 粉质粘土承载力与液性指数 I_L 散点图
Fig.2 Scatter diagram of silty clay bearing capacity and liquid index

2.2 粉质粘土的标准贯入试验承载力经验公式

标准贯入试验实测值显示出研究地层的密度,而地层密度与地层承载力又有着非常密切的正相关关系。图3为安阳地区浅层粉质粘土地层承载力与修正后的标准贯入值的散点图。承载力 f_{ak} 与标准贯入试验的修正值近视呈线性关系。通过采用最小二乘法,拟合出如下标贯确定承载力的经验公式

$$f_{ak} = 6.85N + 114.8 \quad (2)$$

式中: N 为标准贯入值的修正击数, $N = \mu - 1.645\sigma / \sqrt{n-1}$

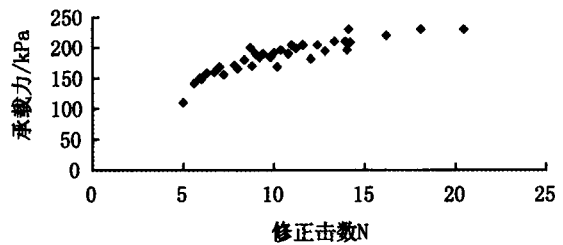


图3 粉质粘土承载力与标准贯入值修正击数N散点图
Fig.3 Scatter diagram of silty clay bearing capacity bearing capacity and standard penetration test value

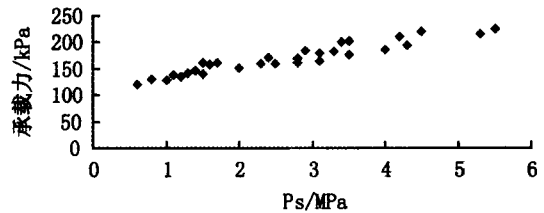


图4 粉质粘土承载力与静力触探值Ps散点图
Fig.4 Scatter diagram of silty clay and cone penetration test value

2.3 粉质粘土的静力触探试验承载力经验公式

图4为安阳地区浅层粉质粘土地层承载力与静力触探统计后的换算 p_s 值的散点图。承载力 f_{ak} 与静力触探试验统计后的 p_s 值近视呈线性关

系。通过采用最小二乘法,拟合出如下静力触探确定承载力的经验公式

$$f_{ak} = 20p_s + 115 \quad (3)$$

式中: $p_s = 0.3 \sim 6.0$

2.4 对比分析

根据式(1~3)对研究区域内3个工程项目浅层粉质粘土地层承载力进行计算,承载力特征值与现场平板载荷实验值见表3。土工试验由于取样、运送、试验方法和土体受到较大扰动等原因,由式(1)计算的地基承载力特征值相对误差范围为-8%~10%。标准贯入试验和静力触探试验是两种现场原位测试方法相对稳定性较高,由式(2~3)计算的地基承载力特征值相对误差范围分别为-1.3%~-3.2%、2.5%~3.5%,具有较高的应用价值。

表3 地基承载力特征值

Tab.3 Characteristic value of the bearing capacity of soil kPa

试验 点号	地基承载力特征值			
	土工 试验	标准贯入 试验	静力触探 试验	平板载荷 试验
1	176	158	164	160
2	184	192	207	200
3	172	184	195	190

3 结论

(1)研究区域内浅层粉质粘土物理参数的变异性小、相关性显著。力学参数的变异性相对较大、相关性不显著。

(2)研究区域内浅层粉质粘土地层承载力与标准贯入试验值、静力触探试验值以及土工试验参数呈近视线性关系,地层承载力地域性经验公式与实际承载力具有较高的符合性。

参考文献:

- [1] 宋兴海,刘振京,张云,等.旋喷桩复合地基承载力的确定[J].河北科技大学学报,2012,33(1):57-61.
- [2] 刘瑞玲,于玲,李志勇.混砂工艺对粘土湿型砂性能的影响[J].河北科技大学学报,2002,23(3):112-115.
- [3] 蒋建平,李晓照,高广运,等.南京地铁地基黏土物理力学参数相关性试验研究[J].中国铁道科学,2007,9(4):81-84.
- [4] 高大钊,姜安龙,张少钦.确定地基承载力方法若干问题的讨论[J].工程勘察,2004(3):3-8.
- [5] 顾宝和.地基承载力的来龙去脉[J].工程勘察,2004(3):9-12.
- [6] 叶洪东.软弱下卧层承载力特征值修正的探讨[J].工程勘察,2004(3):13-15.
- [7] 祝龙根,刘利民.地基基础测试新技术[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [8] 王钟琦.我国的静力触探及动静触探的发展前景[J].岩土工程学报,2000,22(5):517-522.
- [9] GB50021-2002,岩土工程勘察规范[S].
- [10] GBJ7-1989,建筑地基基础设计规范[S].
- [11] GBJ50007-2002,建筑地基基础设计规范[S].
- [12] JGJ72-2004,高层建筑岩土工程勘察规范[S].

(责任编辑 马立)