

九江市网纹红土标准贯入击数与力学参数关系分析

蒋 兵

(九江地质工程勘察院,江西 九江 332000)

摘要:针对九江市网纹红土层标准贯入试验实测锤击数与试验孔深、土的压缩模量、抗剪强度关系之间进行了相关性分析。结果表明:网纹红土标准贯入击数与试验孔深为正显著线性相关关系,与土的压缩模量为正弱线性相关关系,与抗剪强度为正弱线性相关关系。分析成果对在九江市开展岩土工程勘察活动具有很好的指导和借鉴意义。

关键词:网纹红土;标准贯入击数;孔深;力学参数;九江市

中图分类号:TU41 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2020)10-0089-04

Analysis on the relationship between the SPT number and mechanical parameters of reticulated laterite in Jiujiang City

JIANG Bing

(Jiujiang Geological Engineering Exploration Institute, Jiujiang Jiangxi 332000, China)

Abstract: In this paper, the correlation analysis between the measured standard penetration test (SPT) number and the depth of the test hole, the compression modulus and the shear strength of the reticulated laterite in Jiujiang City was carried out. The analysis results showed that the SPT number of the reticulated laterite is positively and significant linearly correlated with the test hole depth, positively and weakly linearly correlated with the compression modulus of the soil, positively and weakly correlated with the shear strength of the soil. The analysis results provide good guidance and reference for geotechnical engineering survey activities in Jiujiang.

Key words: reticulated laterite; standard penetration number; hole depth; mechanical parameters; Jiujiang City

0 引言

标准贯入试验(SPT)是岩土工程勘察中使用最为普遍的原位测试手段之一,是用质量为 63.5 kg 的穿心锤,以 76 cm 的落距,将标准规格的贯入器,自钻孔底部预打 15 cm,记录再打入 30 cm 的锤击数,判定土的力学特性。标准贯入试验适用于砂土、粉土和一般粘性土。标准贯入击数 N 可对砂土、粉土、粘性土的物理状态,土的强度、变形参数、地基承载力、单桩承载力,饱和砂土和粉土的液化,成桩的可能性等做出评价^[1]。

土是由固体颗粒、水和气体组成的三相松散结构体,因其粒组特征、矿物成分、含水量,以及成因、堆积时代、堆积物的结构和构造差异、所受应力历史不同,各地区土表现出不同的物理力学特征,具体体现在土的物理力学性质的地域性差异方面^[2]。《岩

土工程勘察规范》(GB 50021-2001)(2009 年版)10.5.5 条条说明,关于标准贯入试验成果的分析整理:由于 N 值离散性较大,依据标准贯入击数 N 值提供定量的设计参数时,应有当地的经验,强调了地区经验的重要性。国内学者针对不同地区的土层的标准贯入击数 N 与其力学参数 E_s 、 c 、 φ 进行了大量的探索和研究,并取得了非常有价值的研究成果:有线性(X)相关关系^[3-10]、对数(O)相关关系^[11]、幂(W)相关关系^[12],以及其他具有地区经验成果^[13],为岩土工程勘察工作提供了非常有益的借鉴经验。

江西省九江市网纹红土是本地区特有的一层重要土层组成,具有明显的区域性特征。在用标准贯入击数 N 评价本地区地基土某一物理力学参数之前,建立起本地区网纹红土层标准贯入击数与物理力学参数的经验关系就显得十分重要,为本地区岩

收稿日期:2020-04-17; 修回日期:2020-06-30 DOI:10.12143/j.tkge.2020.10.016

作者简介:蒋兵,男,汉族,1964 年生,探矿高级工程师,岩土高级工程师,注册岩土工程师,探矿工程专业,主要从事探矿工程、岩土工程施工和技术管理工作,江西省九江市城西港区通港西路,1399059401@qq.com。

引用格式:蒋兵.九江市网纹红土标准贯入击数与力学参数关系分析[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2020,47(10):89-92.

JIANG Bing. Analysis on the relationship between the SPT number and mechanical parameters of reticulated laterite in Jiujiang City [J]. Exploration Engineering (Rock & Soil Drilling and Tunneling), 2020,47(10):89-92.

土工程勘察积累可靠的地区经验,以期对本区今后岩土工程勘察工作提供有益的指导,具有现实意义。本着这种思路,本文结合本区岩土工程勘察资料,就网纹红土标准贯入击数 N 与孔深 H 、力学参数 E_s 、 c 、 φ 等相关关系进行了初步的探索。

1 数据的来源及采集原则和方法

本文收集了近 20 年以来分布于九江市 93 个岩土工程勘察项目网纹红土层的标准贯入击数与室内土工试验资料。对试验数据以项目为地质单元,进行数理统计分析。根据相关规范,岩土参数代表值的取值原则:标准贯入击数 N 取实测平均值,地基土工程特性指标的压缩模量指标 E_s 取平均值,抗剪强度指标 c 、 φ 取标准值^[1,14]。

$$\mu = \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) / n \quad (1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2 / n \right]} \quad (2)$$

$$\delta = \mu / \sigma \quad (3)$$

$$c_k(\varphi_k) = \gamma_s \mu \quad (4)$$

$$\gamma_s = 1 - (1.704 / \sqrt{n} + 4.678 / n^2) \delta \quad (5)$$

式中: x_i ——岩土参数测试值; n ——参加统计的样本数; c_k 、 φ_k ——抗剪强度标准值; γ_s ——统计修正系数。

数据处理时,对试验指标中的重大误差或非代表性的数据采用 Grubbs 准则判别,计算过程中,将剔除地质单元中缺乏代表性的样品,并采用 3σ 标准差法剔除异常数据,共计得到 637 组室内土工试验和标准贯入试验点数据。然后将经过数理统计得到的网纹红土力学参数和标准贯入实测击数进行回归分析。

2 标准贯入击数与孔深、土的力学参数的相关关系分析

2.1 标准贯入击数与孔深相关关系

标准贯入击数与孔深的相关关系分析,按孔深以 0.2~0.4 m 间距进行分组,获得 108 组 $N-H$ 数据。利用 WPS 表格相关关系分析功能绘制 $N-H$ 散点图(图 1)及相关性分析,得到 $N-H$ 相关系数 $0.50 < R = 0.66 < 0.80$,表明标准贯入击数与孔深呈正显著性线性相关关系。其相关关系方程为:

$$N = 0.4502H + 14.207 \quad (6)$$

2.2 标准贯入击数与土的压缩模量相关关系

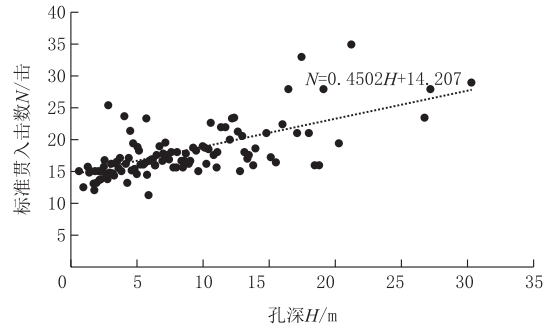


图 1 标准贯入击数 N 与孔深 H 散点图
Fig.1 Dot diagram of standard penetration number N vs hole depth H

土的压缩模量是土在完全侧限条件下竖向应力增量与相应竖向变形增量的比值,反映的是在侧限条件下土的应力与应变关系,压缩模量越小,土层越容易压缩,其表达式为^[2]:

$$E_s = \Delta p / \Delta \epsilon \quad (7)$$

式中: E_s ——土的变形模量,MPa; Δp ——竖向应力增量,kPa; $\Delta \epsilon$ ——竖向变形增量,mm。

而室内土工试验所得到的压缩模量是土在 0.1~0.2 MPa 压力段进行的固结试验,经过换算而得到的压缩模量,其公式为^[15]:

$$E_s = (1 + e_0) / \alpha_{0.1-0.2} \quad (8)$$

式中: e_0 ——土的天然孔隙比; $\alpha_{0.1-0.2}$ ——压缩系数,MPa⁻¹。

标准贯入击数与土的压缩模量相关分析散点图见图 2,其相关系数 $R = 0.38$,表明标准贯入击数与土的压缩模量呈正弱线性相关关系。

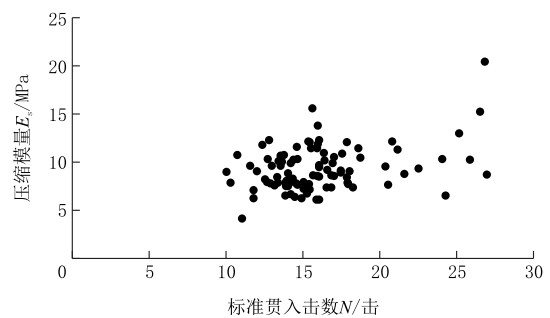


图 2 标准贯入击数 N 与压缩模量 E_s 散点图
Fig.2 Dot diagram of standard penetration number N vs compression modulus E_s

九江市网纹红土是第四纪中更新世(Q_2)时期形成的,是老粘性土,超固结土,其超固结比 $OCR > 8$,前期固结压力为 0.97~1.49 MPa^[16]。而室内土工试验时压缩模量为 0.1~0.2 MPa 压力段计算得

到,其受载后经历的是再压缩,而不是初始压缩,这种级别的室内土工试验压力远小于网纹红土历史上所受最大有效固结压力,即前期固结压力。同时还受到取样方法、密封、运输、试验误差等因素影响,因此压缩模量并未真实反映网纹红土层的超固结土的

变形特性,这可以从网纹红土层的现场浅层平板载荷试验的变形模量 E_0 远大于压缩模量 E_s (表 1) 看出,而与相关文献^[2]中所表述的一般粘性土的压缩模量大于变形模量不一致。

土的室内固结试验和现场浅层载荷板试验表明,

表 1 网纹红土压缩模量 E_s 与变形模量 E_0 对比

Table 1 Comparison of the compression modulus E_s and deformation modulus E_0 of reticulated laterite

序号	工程名称	压缩模量 E_s /MPa			变形模量 E_0 /MPa			变形模量 E_0 /压缩模量 E_s			备注
		最大	最小	平均	最大	最小	平均	最大	最小	平均	
1	国豪·山景城	12.59	7.81	9.89	37.00	35.90	36.40	4.74	2.85	3.68	未达到极限荷载
2	中基·壹号	9.82	7.29	8.65	129.16	40.32	79.33	17.72	4.11	9.17	达到极限荷载
3	龙山三期安置小区	6.70	5.40	5.90	202.15	41.33	97.40	37.43	6.17	16.51	未达到极限荷载

土的压缩模量随着试验压力的增大而增大,变形模量则随着试验压力的增大而减小。一般地,计算地基沉降时选择的是 0.1~0.2 MPa 压力段土的压缩模量 E_{s1-2} ,作用在土中附加应力是相同的,受力相对简单;而变形模量 E_0 则根据现场浅层载荷板试验 $p-s$ 曲线的初始直线段,按均质各向同性半无限弹性介质的弹性理论计算,是有限侧限条件,这种有限侧限随着土的固结程度的提高而不断得到增强,土体中附加应力随着作用深度而扩散,受力条件复杂。《岩土工程勘察工作规程》(DB 42-169-2003)^[17] 附录表 P.0.14 和表 P.0.16 比较全面地表达了不同时代土的压缩模量与变形模量这种关系。

笔者对九江市第四系全新统(Q_4)一般粘性土、第四系上更新统(Q_3)粘性土、第四系中更新统(Q_2)网纹红土等地层标准贯入击数与其物理力学指标间相关性进行了对比,表明地层由新到老标准贯入击数与土的物理力学指标之间的相关性是逐渐减弱的。

2.3 标准贯入击数与抗剪强度相关关系

土的抗剪强度是指土体抵抗剪切破坏的能力。由于土体具有碎散性、多相性和自然变异性等基本特点,使得土体的强度呈现出多变性、结构性和各向异性等特殊性质。土体的破坏主要表现形式是剪切破坏,其强度主要表现为粘聚力和内摩擦角^[2]。

本文所选取的抗剪强度为直剪快剪强度指标,标准贯入击数与抗剪强度相关关系散点图如图 3、图 4。相关分析结果表明,标准贯入击数 N 与土的抗剪强度 c 、 φ 相关系数分别为 $R=0.12$ 、 0.21 ,表明标准贯入击数 N 具有随着抗剪强度 c 、 φ 的增大而有所增大的趋势,但这种趋势并不显著(接近无相关关系),表现在散点图上各点分布较分散,呈正弱相关关系。

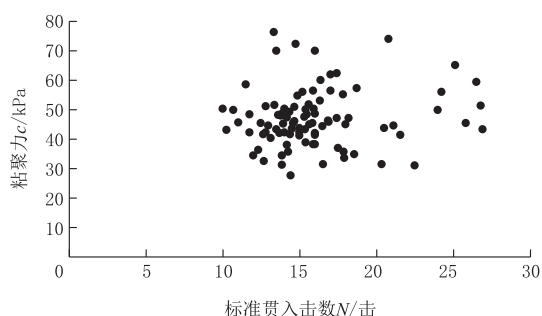


图 3 标准贯入击数 N 与粘聚力 c 散点图

Fig.3 Dot diagram of standard penetration number N vs cohesion c

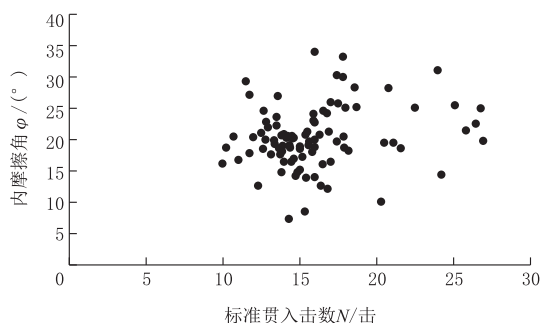


图 4 标准贯入击数 N 与内摩擦角 φ 散点图

Fig.4 Dot diagram of standard penetration number N vs internal friction angle φ

就抗剪强度 c 、 φ 而言,受影响因素则较多。细粒土的粘聚力 c 主要取决于土粒间的各种物理化学作用力,包括库仑力(静电力)、范德华力、胶结作用力等。而内摩擦角的主要影响因素是密度、粒组级配、颗粒形状和矿物成分^[2]。同时细粒土的抗剪强度还受到土的含水率、结构状态、构造特征、粘粒成分和含量等因素的影响。

九江市网纹红土标准贯入击数与力学参数的相关关系见表 2。

表2 九江市网纹红土标准贯入击数与力学参数相关关系
Table 2 Correlation between the standard penetration number and mechanical parameters of the reticulated laterite in Jiujiang City

因变量	自变量	相关系数 R	相关关系
E_s		$0.30 < 0.38 < 0.50$	正弱线性相关关系
c	N	$0.10 < 0.12 < 0.30$	正弱相关关系
φ		$0.10 < 0.21 < 0.30$	正弱相关关系

3 结论

九江市网纹红土形成于第四纪中更新世(Q_2),为超固结老土,超固结比 $OCR > 8$,与一般粘性土相比较,表现出不同的工程地质特征性质,具有明显的地区性特征,标准贯入击数 N 与试验孔深 H 、土的压缩模量 E_s 、抗剪强度 c 、 φ 的相关性分析表明:

(1)标准贯入击数 N 与孔深 H 相关系数 $R = 0.66$,呈正显著线性相关关系。

(2)标准贯入击数 N 与土的压缩模量 E_s 相关系数 $R = 0.38$,呈正弱线性相关关系。

(3)标准贯入击数 N 与土的粘聚力 c 相关系数 $R = 0.12$,呈正弱相关关系。

(4)标准贯入击数 N 与土的内摩擦角 φ 相关系数 $R = 0.21$,呈正弱相关关系。

本文研究成果对九江市网纹红土层岩土工程勘察工作具有很好的指导和借鉴意义。

参考文献(References):

[1] GB 50021-2001(2009年版),岩土工程勘察规范[S]. GB 50021-2001(2009), Code for investigation of geotechnical engineering[S].

[2] 李广信,张丙印,于玉贞.土力学(第2版)[M].北京:清华大学出版社,2013.
LI Guangxin, ZHANG Bingyin, YU Yuzhen. Soil mechanics (2nd Edition)[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2013.

[3] 刘辉.地基土标准贯入锤击数与物理力学参数关系探讨[J].路基工程,2011(5):62-65.
LIU Hui. Discussion on the relationship between standard penetration blow counts and physical mechanical parameters of foundation soil[J]. Subgrade Engineering, 2011(5):62-65.

[4] 蒋建平,李晓昭,罗国煜.南京地铁地基土标贯与物理及力学参数关系试验研究[J].铁道学报,2010,32(1):123-127.
JIANG Jianping, LI Xiaozhao, LUO Guoyu. Experimental study on correlativity between SPT and physical and mechanical parameters of foundation soil of Nanjing Subway[J]. Journal of the China Railway Society, 2010,32(1):123-127.

[5] 李琼芳.南京地区粘性土物理力学指标与原位测试指标的相关关系分析[J].科技传播,2011(11):119-120,122.
LI Qiongfang. The correlation analysis of the physical and mechanical indexes of cohesive soil in situ test index with Nanjing area [J]. Public Communication of Science & Technology, 2011(11):119-120,122.

[6] 胡增辉,李家奇,李晓昭,等.利用标准贯入试验确定粘性土的不排水抗剪强度[J].地下空间与工程学报,2011,7(S2):1577-1582,1588.
HU Zenghui, LI Jiaqi, LI Xiaozhao, et al. Determination of undrained shear strength of clayey soils by SPT value[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011,7(S2):1577-1582,1588.

[7] 孙法德.阶地漫滩区地基承载力与标准贯入试验关系分析[J].黑龙江水专学报,2005,32(1):32-33.
SUN Fade. The relation between ground bearing-capacity and the standard penetration experiment of floodplain area [J]. Journal of Heilongjiang Hydraulic Engineering College, 2005, 32(1):32-33.

[8] 郭淋,王春艳,张飞,等.标贯试验 N 值与土体物理力学参数的相关性分析[J].安全与环境工程,2012,19(4):148-152.
GUO Lin, WANG Chunyan, ZHANG Fei, et al. Correlation analysis of STP N -value and geotechnical physical mechanic parameters[J]. Safety and Environmental Engineering, 2012, 19(4):148-152.

[9] 王崇良.标准贯入试验锤击数与液性指数关系探讨[J].路基工程,2007(6):61-62.
WANG Chonggen. Discussion on relation between blow count of standard penetration test and liquidity index[J]. Subgrade Engineering, 2007(6):61-62.

[10] 程建国.黄冈剥蚀垄岗地貌单元粘性土层 $N-c$ 、 (φ) 相关性分析[J].土工基础,2012,26(4):91-93.
CHENG Jianguo. Correlation analysis of SPT- N values and cohesion and internal angle of a clay[J]. Soil Engineering and Foundation, 2012,26(4):91-93.

[11] 朱海.细粒土内摩擦角与标准贯入锤击数的相关分析[J].人民珠江,2004(2):26-27.
ZHU Hai. Correlation analysis of internal friction angle and standard penetration blow number for fine-grained soil [J]. Pearl River, 2004(2):26-27.

[12] 张占荣,刘庆辉,赵勇.基于标贯试验特性的土体力学参数估计[J].勘察科学技术,2010(6):18-21.
ZHANG Zhanrong, LIU Qinghui, ZHAO Yong. Estimation of soil mechanical parameters based on standard penetration test characteristics[J]. Site Investigation Science and Technology, 2010(6):18-21.

[13] 编写委员会.工程地质手册(第五版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2018.
Editorial Committee. Geological engineering handbook (Fifth edition)[M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2018.

[14] GB 50007-2011,建筑地基基础设计规范[S].
GB 50007-2011, Code for design of building foundation[S].

[15] GB/T 50123-2019,土工试验方法标准[S].
GB/T 50123-2019, Standards for geotechnical testing method[S].

[16] 王清,陈剑平,蒋惠忠.鄱阳湖地区网纹红土的工程地质特性[J].江西地质科技,1991(4):218-222.
WANG Qing, CHEN Jianping, JIANG Huizhong. Engineering geological characteristics of reticulated red clay in Poyang Lake area [J]. Jiangxi Geological Science and Technology, 1991(4):218-222.

[17] DB 42-169-2003,岩土工程勘察工作规程[S].
DB 42-169-2003, Code for investigation work of geotechnical engineering[S].