

南京江宁某场地泥质粉砂岩承载力确定分析

蔡 云

南京市测绘勘察研究院股份有限公司 江苏南京 210019

【摘要】为确定南京江宁地区泥质粉砂岩承载力，以该地区某工程为背景，通过工程勘察手段现场取样，室内实验获得岩石强度值，同时通过现场基岩载荷试验对比分析了该地区泥质粉砂岩地基承载力的取值，结果表明：泥质粉砂岩属于软岩，且基岩强度比较均匀，未随着基岩的埋深增加强度大幅增加。现场载荷试验获得的基岩承载力特征值是按规范计算的单轴饱和和试验最大值的0.69倍，这表明规范给出的折减系数偏小。

【关键词】泥质粉砂岩；承载力；载荷试验；单轴抗压强度

中图分类号：TU

文献标识码：A

Determination and analysis of bearing capacity of argillaceous siltstone at a site in Jiangning, Nanjing

CAI Yun, ZHAO Sheng-feng, CHEN Zhi-yang

(1. Nanjing institute of surveying, mapping & geotechnical investigation Co., Ltd, Nanjing 210019, China)

Abstract: In order to determine the bearing capacity of argillaceous siltstone in Jiangning area of Nanjing, taking a project in this area as the background, the strength value of rock is obtained by means of field sampling and indoor experiment through engineering investigation. At the same time, the bearing capacity value of argillaceous siltstone foundation in this area is analyzed through field bedrock load test. The results show that argillaceous siltstone belongs to soft rock, and the strength of bedrock is relatively uniform, which does not follow The buried depth of bedrock increases greatly. The characteristic value of the bearing capacity of the bedrock obtained from the field load test is 0.69 times of the maximum value of the uniaxial saturation test calculated according to the code, which indicates that the reduction coefficient given by the code is relatively small.

Key words: Argillaceous siltstone; bearing capacity; load test; uniaxial compressive strength

引 言

近年来随着我国经济建设的快速发展，城市建设由原来的城区不断地向周边郊区和乡镇扩展，越来越多的建构筑物需建设在岩石地基上。因基岩承载力较高，故选择基岩作为基础持力层是非常经济的，因此合理的确定基岩承载力非常重要。关于基岩地基的承载力，国内学者进行了卓有成效的研究，其中，宋文飞等^[1]介绍了堆载平台法、锚杆反力梁法、锚桩反力梁法、护壁反力法和斜壁支撑法等岩基载荷试验方法，从经济和安全等方面进行了适用性分析；李书春^[2]利用 ABAQUS 软件，对深层岩基载荷试验影响因素进行数值模拟分析；杨光华等^[3]结合工程实例，比较了室内岩土试验和原位试验结果对岩石地基承载力设计取值的影响，提出在复杂地质条件下以原位试验的结果确定地基承载力更为合理；邱传坤等^[4]通过对极软质岩石地基进行现场原位测试，并提出了极软质岩石地基中基桩的设计方法和承载力的确定意见；吕军^[5]根据原位和室内试验资料，对广州地区软岩天然地基承载力的确定及嵌岩桩承载力计算参数取值中存在的问题进行分析，提出了解决建议；宋建波等^[6]对基于岩石风化程度、原位荷载试验和岩石单轴抗压试验的确定岩基承载力的三种方法给予了评述，并对承载力确定工作提出了几点建议；顾宝和^[7]

针对工程界对岩石地基承载力问题的不同认识提出了分析建议；叶海林等^[8]对确定岩石地基承载力的方法给予评述，并对工程中岩石地基承载力确定问题提出加强理论和数值分析的建议。

泥质粉砂岩在南京江宁地区普遍分析，其天然抗压强度不大于20MPa，虽然可作为建筑基础持力层，但该层基岩风化强烈、强度低、遇水易软化、岩芯多呈碎块状等特征，确定基岩承载力较为困难。

针对上述问题，本文以该地区某泥质粉砂岩分布的工程为背景，从室内饱和单轴抗压强度和干燥抗压强度试验，获得基岩物理力学性能参数，并结合现场基岩基载荷试验，提出了该基岩地基承载力的选取建议。

1 工程和地层概况

拟建工程位于南京市江宁区湖熟街道润湖大道398号。本项目总建筑面积约110657m²，其中地下室面积33981m²。地上建筑10幢11F住宅楼、8幢3F住宅楼、2幢2~5F商业配套、1幢2F物业办公用房和1幢单层门卫室；住宅楼及楼间空地设1F地下室。多层结构采用框架结构，建筑基础采用天然地基和人工挖孔桩。

场地地形较为平坦，高程在12.23m~16.95m。场地地貌单元为阶地，发育有坳沟亚地貌。勘察深度范围内地基土层情况详见表1。

表1 地基岩土层分布情况表

名称	颜色	层厚/m	性状描述
①1 杂填土	灰	0.4~0.8	由粉质粘土混碎砖、碎石子填积
①2 素填土	黄灰	0.2~4.2	由粉质粘土混少量碎石子填积
②2 粉质粘土	灰褐	0.2~8.7	局部夹少量粘土，切面稍有光泽，韧性、干强度中等
③2 粉质粘土	黄褐	0.4~6.8	切面稍有光泽，韧性、干强度中等
⑤1 强风化泥质粉砂岩	砖红	0.2~4.1	风化强烈，呈密实砂土状，遇水易软化
⑤2 中风化泥质粉砂岩	砖红	>10	泥质胶结，岩体较完整，少量闭合裂隙，遇水易软化

由表1可看出,该场地泥质粉砂岩埋深较浅,作为本工程建筑基础持力层较合适。其中多层可采用砂土状的强风化泥质粉砂岩作持力层;小高层可采用中等风化泥质粉砂岩作为地基持力层。

2 取样和室内试验

岩石试样利用钻探岩芯制作。岩芯采用108mm岩芯管单管回转钻进方法取得。岩石试样尺寸规格要求按规范规定的试样标准确定。一共统计了82个钻孔。取样数量为273个;取样孔深度最小4.3m,最大深度19.6m,取样深度分布详见图1。

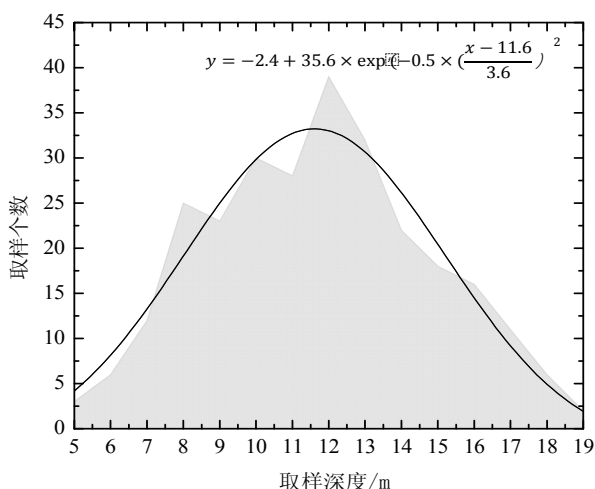


图1 试验取样深度分布

2.1 岩石饱和单轴抗压强度试验

本次所有取样均进行了饱和单轴抗压强度试验。按标准要求试件取为圆柱体,试件直径为50mm,允许变化范围为4.8~5.20mm。试件高度为100mm,允许变化范围为9.5~10.50mm,用游标卡尺精确至0.1mm。量取试件,在试样整个高度上,直径误差不得超过0.3mm。两端面的不平度最大不超过0.05mm,端面应垂直于试样轴线,最大偏差不超过0.25度。试样逐步浸水,首先淹没试样高度的1/4,然后每隔2h分别升高水面至试样的1/3和1/2处,6h后全部浸没试样,试样在水下自由吸水48h;采用煮沸法饱和试样时,煮沸箱内水面应经常保持高于试样面,煮沸时间不少于6h。试件制备中不允许有人为裂隙出现。

按要求的试样状态准备试样完毕后,将试样置于压力机承压板中心,调整有球形座的承压板,使试样均匀受力,对正上、下承压板,不得偏心。以每秒0.5~0.8MPa(1.9~3.1kN/s)的加载速度对试样加荷,直到试样破坏为止,记录最大破坏荷载。岩石单轴天然抗压强度按下式进行计算确定:

$$\sigma_c = P / A \quad (1)$$

式中, σ_c 、 P 分别为岩石饱和单轴抗压强度(MPa)、试件破坏时的荷载(N), A 为垂直于加荷方向的试件截面面积(mm²)。

所有试件的饱和单轴抗压强度试验结果,经统计绘制成图2泥质粉砂岩饱和单轴抗压强度分布图。

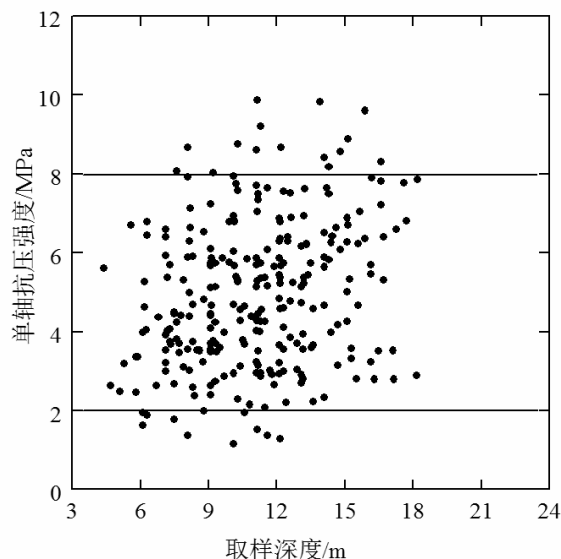


图2 泥质粉砂岩饱和单轴抗压强度

图2为泥质粉砂岩饱和单轴抗压强度分布图,从图2可看出,取样深度主要集中在地面以下6~16m的范围内,其中基岩饱和单轴抗压强度集中在2.0~8.0MPa范围。这表明,基岩强度比较均匀,未随着基岩的埋深增加,强度大幅增加,进一步表明该地区的泥质粉砂岩属于软岩。

2.2 基岩其它试验

为了进一步研究泥质粉砂岩的抗压强度,本次选取了7个具有代表的试件编号依次为S1~S7,进行了干燥单轴强度抗压试验。所有干燥试件,均在105~110℃下烘24h,然后参照上述实验步骤进行抗压试验,其中试验结果详见表2。

表2 基岩软化系数统计表

样号	取样深度/m	密度 $\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	饱和单轴抗压 强度 σ_c / kPa	干燥单轴抗压 强度 f / kPa	软化 系数K
S1	8.00~8.30	2.19	4.13	9.23	0.45
S2	11.00~11.30	2.07	2.85	7.01	0.41
S3	11.20~11.50	2.18	3.63	9.38	0.39
S4	6.70~7.00	2.14	4.98	16.2	0.31
S5	8.20~8.50	2.15	3.73	6.36	0.59
S6	13.00~13.40	2.12	3.35	14.4	0.23
S7	8.00~8.30	2.15	3.47	5.42	0.64

从表2可看出,泥质粉砂岩的干燥单轴抗压强度最大为16.2MPa,强度较小。基岩的软化系数分布在0.23~0.64范围内,均小于0.75,这表明该地区的泥质粉砂岩属于软化岩石。表明该基岩强度受水的影响较大。

为了进一步研究泥质粉砂岩的物理力学性状,本次实验选取了6个完整的试件,进行了基岩抗剪强度试验,结果详见表3。

表3 基岩天然状态抗剪强度统计表

样号	取样深度/m	密度 $\rho / \text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	内聚力 c / kPa	内摩擦角 $\phi / (^{\circ})$
Y1	7.00~7.30	2.20	611	47.5
Y2	14.00~14.30	2.18	601	47.2
Y3	9.20~9.50	2.21	657	47.5
Y4	11.00~11.30	2.22	782	47.7
Y5	7.40~7.70	2.18	685	47.2
Y6	6.00~6.30	2.22	672	47.6

3 现场载荷试验

现行的岩土工程勘察规范要求,地基承载力应结合地区经验按有关标准综合确定。但在具体工程中,因工期、经济等因素,业内采用最多的方法是“地区经验法”。本工程为了深入分析南京江宁地区泥质粉砂岩的地基承载力性状,进一步确定其地基承载力规律,本次试验在该场地不同位置选取7个点进行人工挖孔孔底深层平板载荷试验,其中深层平板载荷试验点依次编号为1#孔~7#孔。

载荷试验曲线均属于缓变型,比例界限载荷在 $p-s$ 曲线上均不明显,因此,难以据此确定岩石地基承载力的特征值。本次试验最大加载值为 8250kPa,将该承载力值除以3的安全系数,所得该工程岩基载荷试验对应的⑤1层中风化泥质粉砂岩承载力特征值为 2750kPa。这表明软质泥质粉砂岩地基在载荷作用下,其变形一开始就表现出明显的非线性特征。7个测试点的试验结果统计详见表4。

表4 深层载荷试验结果统计表^[9]

编号	孔径 /mm	孔深 /m	试验最终 加载值/kPa	累计沉降量 /mm	最大回弹量 /mm	回弹率 /%
1#	800	11.80	8250	13.97	4.78	34.2
2#	800	8.50	8250	14.57	4.83	33.2
3#	800	10.80	8250	12.85	4.87	37.9
4#	800	11.20	8250	17.96	5.31	29.6
5#	800	10.00	8250	14.56	4.81	33.0
6#	800	10.20	8250	15.28	3.92	25.7
7#	800	8.80	8250	15.23	5.21	34.2

结合图1所示的岩石取样分布深度,从表4可看出,该试验点在该层中风化岩石中。在荷载作用下,累计最大沉降仅为 17.96mm,平均为 14.92mm,但是回弹率最小为 25.7%,平均为 32.54%,回弹较大,表明该基岩尚处于弹性阶段,未发生破坏,即基岩地基的极限承载力尚未达到。

4 基岩承载力特性分析

确定基岩承载力既要考虑岩体在荷载作用下的变形和破坏,而且要考虑沿某些结构面发生剪切破坏。岩体的变形不仅由岩体的弹性变形和塑性变形引起的基础沉降,还有沿结构面发生的滑移。因此,基岩在荷载竖向作用下变形大小和破坏方式受力学性能、受力和岩体自身条件等多方面因素的制约。因此,较精确地确定基岩承载力,应针对不同的情况采用多种方法相互验证。本工程采用室内外两种试验,相互验证。其中室内采用饱和单轴抗压强度和干燥单轴抗压强度,室外采用载荷试验。

岩石单轴抗压强度试验属于常规试验,具有测试操作简单、试验时间短和成本低的优点,被工程界广泛地应用。按照规范^[10]GB50007-2011在第5.2.6条中明确规定:对完整、较完整和较破碎的岩石地基承载力特征值,可根据室内饱和单轴抗压强度按下式计算:

$$f_a = \varphi_r \times \sigma_c, \quad (2)$$

式中, f_a 为岩石地基承载力特征值(MPa); φ_r 为折减系数,由地方经验确定,若无经验时,则完整岩体可取0.5,较完整岩体可取0.2~0.5,较破碎岩体可取0.1~0.2。

⑤2中风化泥质粉砂岩性状为泥质胶结,岩体较完整,少量闭合裂隙,按照规范要求,折减系数取0.2~0.5,其饱和单轴抗压强度 σ_c 。

集中在2~8MPa之间。采用公式(2)计算的基岩地基承载力最小仅为0.4MPa,最大为4.0MPa。而按照载荷试验加载在8.25MPa,基岩尚未破坏。这表明,采用单轴饱和抗压强度乘以规范提供的折减系数,偏于保守。因为单轴抗压强度试验时是无侧向限制的,即侧向压力为零,而地基中岩体为三向应力条件下的竖向压缩,即侧限条件下基岩承载力更高。

按照载荷试验最大加载8.25MPa除以3后得到的现场试验基岩承载力特征值为2.75MPa,采用该数值与单轴饱和抗压强度乘以折减系数后的最大值4.0MPa相比仍为0.69,这表明规范给出的折减系数0.2~0.5偏小。这说明,采用规范法确定基岩地基承载力,对于一般小型建筑物,因基础压力较小,基础埋深较浅,大多数条件下基本合理,且方法简便,可操作性强可以采用。但对于承载力要求较高的建筑物和构筑物,基础埋深较大,可能偏于保守。

5 结论

(1) 江宁地区⑤2中风化泥质粉砂岩饱和单轴抗压强度集中在2.0~8.0MPa范围。证明该地区的泥质粉砂岩属于软岩,且基岩强度比较均匀,未随着基岩的埋深增加,强度大幅增加。

(2) ⑤2泥质粉砂岩的干燥单轴抗压强度最大为16.2MPa,强度较小。基岩的软化系数最大为0.64,表明该地区的泥质粉砂岩属于软化岩石,该基岩强度受水的影响较大。

(3) 载荷试验结果表明,⑤2泥质粉砂岩在荷载作用下,回弹较大,表明该基岩尚处于弹性阶段,未发生塑性破坏。

(4) 现场载荷试验得到的基岩承载力特征值,为按照规范计算的最大值的0.69倍,这表明规范给出的折减系数偏小,特别对于承载力要求较高的建筑物和构筑物,基础埋深较大,偏于保守。

【参考文献】

- [1]李书春. 岩基载荷试验影响因素分析[J]. 地质学刊, 2012, 36(2): 198-202.
- [2]宋文飞, 丁艳, 乔社. 岩基静荷试验方法及其适用条件分析[J]. 济南大学学报(自然科学版), 2003, 17(2): 194-196.
- [3]邱传坤, 王建军, 李奋强. 极软质岩石中嵌岩桩的单桩承载力探讨[J]. 中国煤田地质, 2006, 18(1): 51-53.
- [4]杨光华, 李艳华. 复杂地质条件下高层建筑岩石地基承载力取值的探讨[J]. 岩土力学, 2007, 28(增刊): 815-819.
- [5]吕军. 广州地区软岩承载力的讨论[J]. 岩土工程技术, 2002, 16(1): 4-7.
- [6]宋建波, 彭盛恩. 现有规范确定岩基承载力的三种方法之评述[J]. 四川建筑科学研究, 2001, 27(2): 27-29.
- [7]顾宝和. 岩石地基承载力的几个认识问题[J]. 工程勘察, 2012, (8): 1-6.
- [8]叶海林, 方玉树, 顾宏伟, 等. 岩石地基承载力确定方法评述[J]. 后勤工程学院学报, 2007, 23(3): 1-6.
- [9]宗静, 赵升峰, 马世强, 等. 南京江宁某场地泥质粉砂岩载荷试验分析[J]. 城市勘测, 2015, (2): 157-160.
- [10]中华人民共和国国家标准. GB 50007-2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2011.

作者简介: 蔡云(1982-)男, 盐城人, 高级工程师, 从事岩土工程勘察设计与工程测量工作。