 DOI: https://doi.org/10.12349/edc.v8i3.9822

Study on pile foundation parameters of tertiary extremely soft rock strata in sanshui basin, western guangdong

Shaoguang Wang

China Railway Design Corporation,Tianjin, 300308, China

Abstract

Taking the extremely soft rock strata in the Sanshui Basin of Guangdong Province as the research object, a bearing capacity parameter test for pile foundations was conducted to determine the vertical compressive ultimate bearing capacity of the third-order argillaceous siltstone, the ultimate frictional resistance around the pile, and the pile-end resistance under static load tests. Through the testing of the pile body stress deformation under vertical static load conditions using optical fibers and steel bar strain gauges, the basic laws of load transmission in reinforced concrete bored piles in the strongly weathered argillaceous siltstone stratum were obtained. At the same time, comparisons were made with different standards to analyze the differences between the values of each standard and the test results of pile foundations, and reliable parameters that meet the design requirements were proposed to provide a reference for similar projects in this region.

Keywords

Tertiary strata; Extremely soft rock; Static load test; Pile foundation parameters

粤西三水盆地第三系极软岩地层桩基参数研究

王少光

中国铁路设计集团有限公司，中国·天津 300308

摘　要

以广东省三水盆地极软岩地层为研究对象，开展桩基承载力参数试验，确定第三系泥质粉砂岩的竖向抗压极限承载力、桩周极限摩阻力、桩端阻力随静荷载试验的变化趋势，通过光纤和钢筋应变计对竖向静载试验条件下桩身应力变形的测试，得到了强风化泥质粉砂岩地层钢筋混凝土灌注桩桩身荷载传递的基本规律，同时与不同规范进行对比，分析各规范取值与桩基试验成果的差异，提出满足设计需求的可靠参数，为本地区类似工程提供参考。

关键词

第三系地层；极软岩；静荷载试验；桩基参数

1 引言

粤中三水盆地位于广东省珠江三角洲西北部，是粤中地区中、新生代沉积盆地的重要组成部分。区内上部分布一套河流 - 湖泊相沉积的第三系地层，主要由灰白、紫红色泥岩、泥质粉砂岩等组成。根据试验结果统计，广湛线经过三水盆地第三系地层岩石强度普遍小于 5MPa，属于极软岩范畴。南宁某工程风化粉砂质泥岩单轴抗压强度 0.5-1.0MPa 单桩载荷试验得到的极限端阻 2500-3000kPa 远高于规范计算值。杭州大型车站项目对极软岩钻孔桩桩基参数取值进行了行业与地方规范对比。广东省规范对第三系地层承载力特征值、桩侧摩阻力等力学参数选取，仅仅按照软质岩及硬质岩进行区分，未针对软质岩中的极软岩进行进一步细化，取值存在适用性问题。

本文对第三系极软地层开展桩基承载力参数试验，确定第三系泥质粉砂岩的容许承载力、桩周极限摩阻力、桩端阻力随着静荷载试验的变化规律，同时对比不同规范的取值，为粤中第三系地层铁路建设中的关键工程问题提供重要技术支撑，也为本地区类似工程提供参考。

2 粤西三水盆地泥质粉砂岩力学特征

粤西三水盆地泥质粉砂岩为新近沉积岩，以广湛高铁佛山段佛山特大桥项目为例，试验段强风化泥质粉砂岩呈红褐色，层状构造，节理裂隙发育，岩芯多呈柱状，节长一般 10-30cm，锤击易碎。天然单轴抗压强度标准值 4.27MPa，饱和单轴抗压强度标准值 2.76MPa，属极软岩，具遇水软化崩解、失水收缩开裂等特性，且有一定膨胀性，力学强度指标见表 1。

【作者简介】王少光（1982—），男，中国山西大同人，硕士，高级工程师，从事工程地质研究。

表 1 泥质粉砂岩物理力学指标

岩土名称	指标（MPa）	统计样本个数	最大值	最小值	平均值	标准值
强风化～弱风化泥质粉砂岩	饱和抗压强度	54	6.37	1.04	3.12	2.76
	天然抗压强度	56	9.73	2.24	4.7	4.27

3 工程地质条件

项目区域进行桩基荷载试验，场区覆盖层为第四系全新统冲洪积（Q_4^{al+pl}）淤泥、粉砂，下伏基岩为全新统泥质粉砂岩（N），分述详见表 2。试桩工程地质剖面见图 1。

表 2 实验场地地层岩土性质

岩土序号	地层岩性	岩土描述
① 1	素填土（Q_4ml）	深褐色，稍湿，稍压实，成份主要以黏性土为主，含少量碎石。
② 1	淤泥（Q4al+pl）	褐灰色，流塑状，土质均匀，捻具滑腻感，略具腥臭味，局部含腐殖质。
② 7	粉砂（Q4al+pl）	褐黄、褐灰色、褐红色、饱和、松散，成分以石英、长石为主，含量约为 57%，少量泥质物，砂泥质胶结，分选性中等，磨圆度差。
⑩ 2	泥质粉砂岩（N）	紫红色，泥质结构，中厚层状构造，节理裂隙稍发育，颜色新鲜，泥质胶结，岩质较软，锤击易断。差异风化明显；强风化层上部呈碎块状，少量呈短柱状，下部呈短柱状、柱状，锤击易碎，敲击声闷。
⑩ 3		

4 桩基荷载试验研究

4.1 实验设计

试验场地内试桩试验工作，共设计 3 根试桩，8 根锚桩，桩端进入强风化泥质粉砂岩。试验采用低应变法对锚桩和试桩进行桩基完整性检测，判断桩基是否存在缺陷情况，再对试桩进行抗压静载荷试验，测定单桩极限承载力和轴力。

本次试验在竖向静载试验桩桩身上分别布设了钢筋应变计与光纤传感器，目的是确保数据的准确性，并能够通过钢筋应变计与光纤数据的对比，相互验证测试结果的准确性和可靠性。与传统技术相比，光纤传感器具有监测精度高、存活率高、施工简单、稳定性好等优点，可以对桩基在加载过程中的轴力与桩侧摩阻力等实现精确测定。

4.2 实验过程

依据《铁路工程基桩检测技术规程》（TB10218—2019），通过单桩竖向抗压静载试验检测单桩竖向抗压承载力，并通过测试分析桩身应力变形和竖向承载特性，推求桩周极限摩阻力和桩端阻力。

试验加载桩基顺序为 SZ-3 、SZ-1 、SZ-2，其中 SZ-1、SZ-3 采用锚固横梁反力加载装置，SZ-2 采用压重平台反力装置，试验时用油压千斤顶分级加载。试桩设计容许承载力 2987kN，则桩基极限承载力为 5974kN，反力梁系统的承载能力及加载系统的加载能力不应小于极限承载力的 1.2 倍，即 7169kN。考虑到本次试验为试桩，需要加载至破坏，最大试验加载力按照 9800kN 计算，约为极限承载力的 1.6 倍，采用两台 630t 千斤顶加载，每台千斤顶的最大加载力为 4900kN。其中 SZ-2 试验桩加载至 12 级时，试桩沉降速度加快，2h 未达到稳定状态，油泵需要频繁泵油维持千斤顶压力，为安全起见，在本级停止加载。本级沉降量超过了上一级荷载的 2 倍，判定桩基在本级破坏，终止试验。荷载采用联于千斤顶的压力表（0.4 级的精密压力表）和压力变送器测定油压，根据千斤顶率定曲线换算荷载。在桩顶装设 4 个位移传感器，按规定时间测定沉降量（位移传感器精度为 0.01mm），观测记录仪器采用 RS-JYC 静载测试仪。

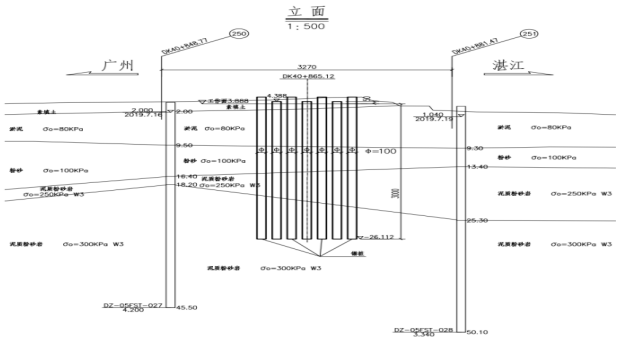


图 1 试桩工程地质剖面图



图 2 安装光纤的钢筋笼成品

4.3 实验结果

3 根单桩竖向抗压静载试验结果汇总见表 3，以 SZ-1 桩为例，单桩 Q-ε 曲线图见图 3。

表 3 单桩竖向抗压静载试验结果汇总表

桩号	最大加载量（kN）	最大沉降量（mm）	残余沉降量（mm）	回弹量（mm）	回弹率（%）	极限承载力（kN）
SZ-1	9600	10.48	3.89	6.59	62.88	9600
SZ-2	8800	14.65	/	/	/	8800
SZ-3	9000	14.14	4.74	9.4	66.48	9000

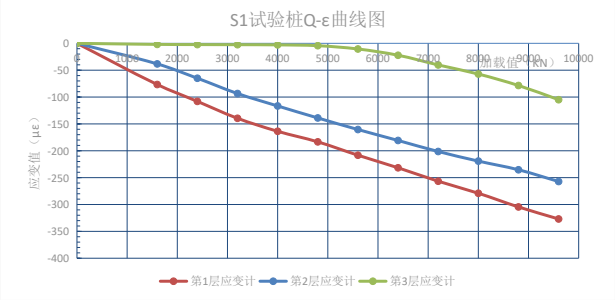


图 3 SZ–1 桩 SZ–1 桩 Q– ε 关系曲线

以 SZ-1 桩为例，以布设在 16m 处的钢筋应变计在典型荷载下测得的数据，与相应荷载下光纤测得的 16m 处的数据进行对比，对比应变计测试和光纤测试结果，得到在单桩极限承载力状态下的强风化泥质粉砂岩的桩侧摩阻力值基本一致，见表 4。强风化泥质粉砂岩侧摩阻力极限值建议采用 80kPa，端阻力极限值建议采用 3500kPa。

表 4 单桩极限承载力状态下强风化泥质粉砂岩侧摩阻力及桩端阻力值统计表

桩号	应变计测试侧摩阻力极限值（kPa）	应变计测试桩端阻力极限值（kPa）	光纤测试侧摩阻力极限值（kPa）	光纤测试桩端阻力极限值（kPa）
SZ-1	83.8	3306	82.6	3312.54
SZ-2	82.8	3430	83.56	3475.49
SZ-3	80.6	3843	80.53	3825.59
平均值	82.4	3526	82.23	3537.87

5 分析和讨论

三水盆地普遍分布的泥质砂岩、泥质粉砂岩地层，试验测得饱和单轴抗压强度低，而现行规范中只对软岩的相关参数进行了确定，并未直接明确极软岩的桩端阻力、桩侧摩阻力等参数。

对比《建筑地基基础设计规范》(DB33/T1136)、广东省地方标准《建筑地基基础设计规范》(DBJ15-31)、《公路桥涵地基与基础设计规范》(JTG D63) 及试桩结果，各规范推荐的软质岩钻孔灌注桩侧摩阻力、桩端阻力特征值见表 5。

对比不同规范和试桩试验，试桩试验得到的桩端阻力特征值均高于其他规范，如无现场试验采用规范推荐高值能满足设计要求。泥质粉砂岩桩侧摩阻力特征值均小于规范推荐低值，约为规范推荐值的二分之一，采用不同规范推荐低值无法满足设计要求。这主要是由于三水盆地第三系地层沉积时间较段，多为半成岩地层，按抗压强度指标判定为极软岩，规范对此类极软岩地层的桩侧摩阻力未进行折减，因此，对于此类地区的基础设计，选取桩侧摩阻力前应进行试桩试验综合考虑。

表 5 不同规范推荐的桩端阻力及侧摩阻力建议值

序号	依据规范	岩土定名	桩端阻力特征值(kPa)	桩侧摩阻力特征值（kPa）
1	《建筑桩基技术规范》	强风化软质岩	700~1100	70~100
2	广东省地方标准《建筑地基基础设计规范》	强风化软质岩	800~1200	70~90
3	《公路桥涵地基与基础设计规范》	强风化较软岩	/	80~90
4	试桩结果	强风化泥质粉砂岩	1769	40

备注：桩侧摩阻力均按泥浆护壁钻（冲）孔桩考虑。

6 结语

本文以广湛高铁项目为依托研究了三水盆地第三系泥质粉砂岩极软岩桩基承载力参数取值，结论如下：

（1）通过单桩竖向抗压静载试验得到了 3 根桩基的竖向抗压极限承载力值，分别为：SZ-1：9600kN，SZ-2：8800kN，SZ-3：9000kN。单桩竖向承载力受桩身强度、结构尺寸（桩长、桩径、配筋率等）以及地基土层的工程性质、分布状况等因素的综合影响。

（2）通过光纤和钢筋应变计对竖向静载试验条件下桩身应力变形的测试，得到了强风化泥质粉砂岩地层钢筋混凝土灌注桩桩身荷载传递的基本规律：桩身轴力随着竖向荷载的增大而增大，沿着桩身长度方向呈非线性递减，衰减速度与桩侧摩阻力有关，桩端承担荷载约占总荷载的三分之一，属于端承摩擦桩。

（3）对比应变计测试和光纤测试结果，得到在单桩极限承载力状态下的强风化泥质粉砂岩的桩侧摩阻力值和桩端阻力基本一致。强风化泥质粉砂岩侧桩侧摩阻力特征值推荐采用 40kPa，桩端阻力采用 1200kPa。

（4）三水盆地第三系极软岩地层桩侧摩阻力采用规范推荐值无法满足设计要求，对于此类地区的基础设计，选取桩侧摩阻力参数前应开展试桩试验并分析后综合取值。

参考文献

[1] 吴志才，彭华. 广东红层形成及其发育规律研究[J]. 热带地理, 2006, 26(3): 207-210.

[2] 许振球, 施利明, 蒋祖浩, 等. 珠三角地区红层风化岩的岩土工程特性探讨[J]. 西部探矿工程, 2006, 117(1): 114-115.

[3] 钱伟文, 邓忠信, 张信贵, 等. 泥质粉砂岩地基承载力的确定问题[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2003, 28(2): 155-157.

[4] 梁笃堂, 黄志宏, 曹小兵, 等. 某高层建筑软质岩石地基承载力的确定[J]. 贵州工业大学学报(自然科学版), 2006, 35(6): 70-73.

[5] 彭海华,邝健华,孙昌,等,典型软岩深基础端阻力计算方法探讨[J].岩石力学与工程学报, 2007,26(1):2913-2920.