

Comparison and Analysis of Calculation and Test about Bearing Capacity of Rock-Socketed Pile in Soft Rock Area

Xiucheng Zhang^{1*}, Wenyang Su²

¹School of Civil Engineering, Putian University, Putian Fujian

²Taocheng Construction Engineering Co. LTD of Fujian Province, Quanzhou Fujian
Email: xiucheng888@163.com

Received: Nov. 5th, 2017; accepted: Nov. 19th, 2017; published: Nov. 28th, 2017

Abstract

Many important buildings in coastal areas of Fujian are soft rock as its pile foundation bearing layer. Based on engineering geological conditions of a tall building, for six typical rock-socketed piles in soft rock area, according to Technical Code for Building Pile Foundation (JGJ94-2008) and Design Code for Building Foundation (GB5007-2011), this paper calculates vertical bearing capacity of single pile, and the load tests are carried out. The calculation and test results are compared and analyzed, and some useful conclusions are drawn. These conclusions will provide references for similar projects.

Keywords

Soft Rock, Rock-Socketed Pile, Vertical Bearing Capacity of Single Pile, Load Test

软岩嵌岩桩承载力的计算与试验对比分析

张秀成^{1*}, 苏文央²

¹莆田学院, 土木工程学院, 福建 莆田

²福建省桃城建设工程有限公司, 福建 泉州
Email: xiucheng888@163.com

收稿日期: 2017年11月5日; 录用日期: 2017年11月19日; 发布日期: 2017年11月28日

*第一作者。

摘要

在福建沿海地区许多重要建筑物都是以软岩作为其桩基持力层, 本文依托某高层建筑的工程情况, 对该工程中具有代表性的6根软岩嵌岩桩, 按照JGJ94-2008《建筑桩基技术规范》、GB5007-2011《建筑地基基础设计规范》来计算其单桩竖向承载力, 并进行了现场荷载试验, 对计算和试验结果进行对比分析, 得出了有意义的结论, 为同类工程提供参考。

关键词

软岩, 嵌岩桩, 单桩竖向承载力, 荷载试验

Copyright © 2017 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

福建沿海丘陵地区主要由燕山期花岗岩体和侏罗系上统南园组火山熔岩及其风化物组成, 岩体呈块状结构, 新鲜岩石致密坚硬, 细粒花岗岩抗风化力强, 而花岗闪长岩、辉石闪长岩和粗粒黑云母花岗岩等, 抗风化能力较低, 岩石沿节理风化剧烈, 多形成强风化带, 厚度一般 10~20 米, 个别地区可达 50~80 米, 形成软岩或中软岩地层[1]。近年来, 该地区许多重要建筑物都是以软岩作为其桩基持力层, 例如, 高层建筑、公路及铁路大桥等均采用嵌岩桩基础。如何既经济又合理地设计并使用嵌岩桩, 许多学者分别就嵌岩桩的设计理论、受力特性、承载能力、荷载试验等方面深有研究但是对于破碎岩性或软岩地区嵌岩桩的设计计算与完整岩性或硬岩地区的设计计算是存在较大差别的。本文通过在破碎岩性、软岩地区嵌岩桩的单桩竖向承载力计算及其荷载试验, 分析本地区嵌岩桩的使用经验, 为同类工程提供参考。

2. 工程实例

本工程位于福建省漳州龙海市, 有十多栋高楼, 均为 18 层至 25 层, 其中最高一栋为地上 25 层、地下 1 层。该地块地形较平坦, 属于海陆相淤积 - 冲淤积平原地貌单元, 区域内花岗岩分布广泛。根据勘察孔揭露的地质资料可知, 场地地层主要由①素填土、②粉质粘土、③淤泥、③-1 粉质粘土、④中砂、⑤圆砾、⑥残积粘性土、⑦全风化花岗岩、⑧-1 砂土状强风化花岗岩、⑧-2 碎块状强风化花岗岩、⑨中风化花岗岩层。基础采用钻孔灌注桩, 持力层为⑧-2 碎块状强风化花岗岩, 该层工程地质特征是: 中粗粒花岗结构, 碎裂状构造, 裂隙发育, 岩石被切割成 2.0 cm 上下碎体, RQD 值为 0, 含大量风化粘土矿物, 岩体完整程度分类破碎(定性)、通过点荷载试验, 单轴极限抗压强度换算值在 10.00~14.80 MPa 之间, 标准值为 12.05 MPa, 岩石坚硬程度等级定性分类软岩, 岩体基本质量等级分类 V 级。该层揭露厚度: 2.80~17.20 m。承载特征值 600 kPa, 钻孔灌注桩侧阻极限值 120 kPa。

3. 嵌岩桩单桩竖向极限承载力的确定

嵌岩桩单桩竖向极限承载力确定方法有计算法和桩载荷试验法两种方式。

3.1. 计算法

(1) 根据《建筑地基基础设计规范》(GB5007-2011)(以下简称《地基规范》)第 8.5.6, 对桩基单桩竖向承载力特征值初步设计时用公式(1)计算, 对于嵌入完整及较完整的硬岩中的嵌岩桩单桩竖向承载力特征值时用公式(2)计算[2], 根据本工程的设计其桩基持力层为: ③-2 碎块状强风化花岗岩、岩体完整程度分类破碎(定性)、岩石坚硬程度等级定性分类为软岩。因此, 本工程嵌岩桩单桩竖向承载力特征值只能用公式(1)计算。

$$R_a = q_{pa} A_p + u_p \sum q_{sia} l_i \quad (1)$$

$$R_a = q_{pa} A_p \quad (2)$$

式中: R_a —单桩竖向承载力特征值(kN); q_{pa} 、 q_{sia} —桩端阻力特征值、桩侧阻力特征值(kPa);

(2) 根据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-2008)(以下简称《桩基规范》)第 5.3.9, 桩端置于完整、较完整基岩的嵌岩桩单桩竖向极限承载力, 由桩周土总极限侧阻力和嵌岩段总极限阻力组成。当根据岩石单轴抗压强度确定单桩竖向极限承载力标准值时, 可按下列公式计算[3]:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{rk} \quad (3)$$

$$Q_{sk} = u \sum q_{sik} l_i$$

$$Q_{rk} = \zeta_r f_{rk} A_p$$

$$R_a = Q_{uk} / 2$$

式中: Q_{sk} 、 Q_{rk} —分别为土的总极限侧阻力、嵌岩段总极限阻力; q_{sik} —桩周第 i 层土的极限侧阻力, 无当地经验时, 可根据成桩工艺按照规范取值; f_{rk} —岩土饱和单轴抗压强度标准值, 黏土岩取天然湿度单轴抗压强度标准值; ζ_r —桩嵌岩段侧阻和端阻综合系数, 与嵌岩深径比 h_p/d 、岩石软硬程度和成桩工艺有关, 可按规范采用。

根据以上计算方法, 取有代表性的 6 根桩进行承载力计算, 计算结果见表 1 所示。

3.2. 试验法

(1) 根据《地基规范》第 Q.0.10, 单桩竖向极限承载力确定, 当荷载 - 沉降(Q-S)曲线上有陡降段明显时, 取相应于陡降段起点的荷载值; 当荷载 - 沉降(Q-S)曲线呈缓变型时, 取桩顶总沉降量 $S = 40 \text{ mm}$ 所对应的荷载值。

(2) 根据《建筑桩基检测技术规范》(JGJ106-2014)第 4.4.2, 单桩竖向抗压极限承载力确定, 对于陡

Table 1. Calculation results of vertical bearing capacity eigenvalue of single pile

表 1. 单桩竖向承载力特征值计算结果

桩号	桩长 L/m	桩径 D/mm	嵌岩深度 h/m	Q_{sk}/kN	Q_{rk}/kN	Q_{uk}/kN	R_{a1}/kN	R_{a2}/kN
1#	48.55	1500	2.6	5154.26	11241.62	16395.88	8197.94	3526.12
2#	51.29	1000	4.79	5749.13	9550.23	15299.36	7649.68	2782.56
3#	47.80	1000	1.80	4787.92	9365.57	14153.49	7076.75	2687.63
4#	45.44	800	2.84	4524.77	6236.96	10761.73	5380.86	2105.45
5#	47.87	800	1.17	4245.37	5045.29	9290.66	4645.33	1956.70
6#	54.38	800	9.08	5084.70	6807.78	11892.48	5946.24	1856.32

注: 表中 R_{a1} 为按照公式(3)计算的单桩竖向承载力特征值, R_{a2} 为按照公式(1)计算的单桩竖向承载力特征值。

降型荷载 - 沉降(Q-S)曲线, 应取其发生明显陡降的起始点对应的荷载值; 对于缓变型荷载 - 沉降(Q-S)曲线, 宜取桩顶总沉降量 $S = 40 \text{ mm}$ 所对应的荷载值, 大直径桩取桩顶总沉降量等于 0.5 倍直径所对应的荷载值[4]。

本试验采用《建筑桩基检测技术规范》(JGJ106-2014), 根据慢速维持荷载法进行加载。由检测数据得到的荷载 - 沉降(Q-S)曲线均呈缓变型(见图 1~图 6 所示), 试验结果见表 2 所示。

3.3. 计算与试验对比分析

从表 1 可以看出: R_{a1} 比 R_{a2} 要大的多, 主要是因为 R_{a1} 是按照《桩基规范》公式(3)来计算的单桩竖向承载力特征值, 而 R_{a2} 是按照《地基规范》公式(1)来计算的单桩竖向承载力特征值。对软岩嵌岩桩, 只要考虑桩嵌岩深度, 《地基规范》的计算值 R_{a2} 小于《桩基规范》计算值 R_{a1} , 且嵌岩越深, 《地基规范》的计算值 R_{a2} 比《桩基规范》的计算值 R_{a1} 小得越多[5]。

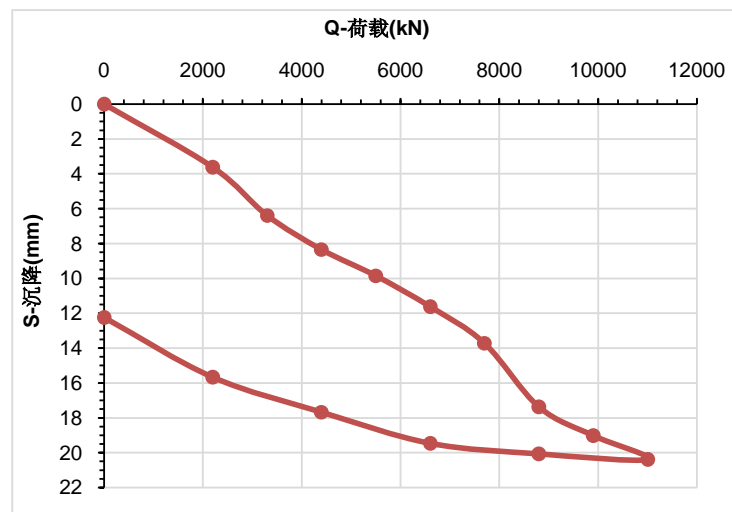


Figure 1. Vertical static load test data of No.1 pile

图 1. 1#桩竖向抗压静载检测数据

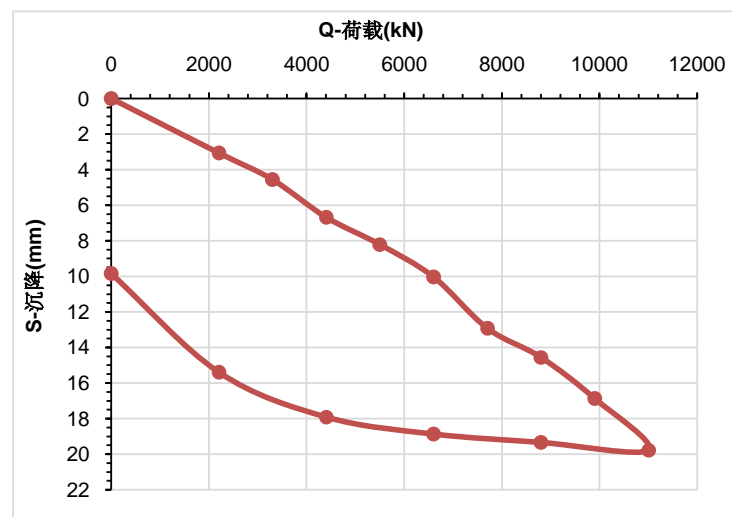


Figure 2. Vertical static load test data of No.2 pile

图 2. 2#桩竖向抗压静载检测数据

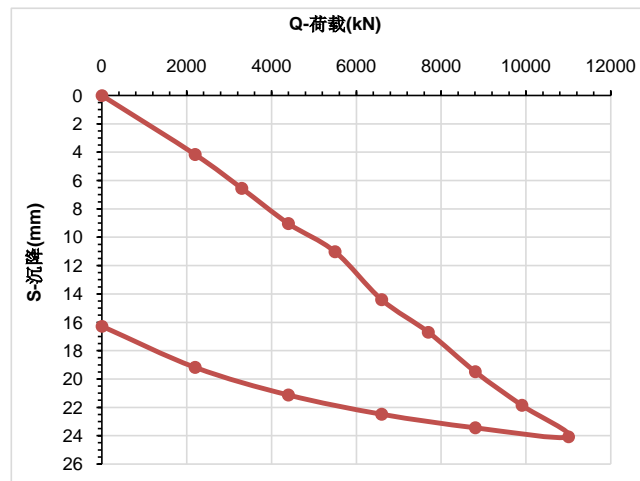


Figure 3. Vertical static load test data of No.3 pile
 图 3. 3#桩竖向抗压静载检测数据

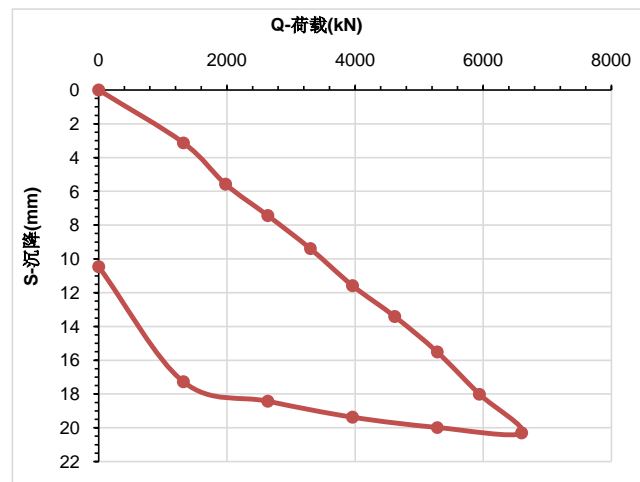


Figure 4. Vertical static load test data of No.4 pile
 图 4. 4#桩竖向抗压静载检测数据

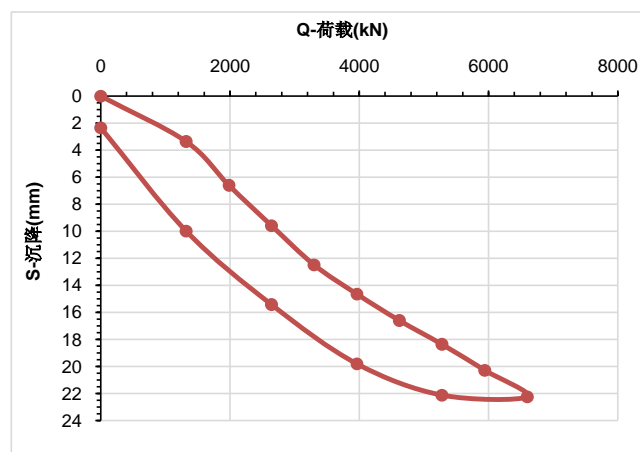


Figure 5. Vertical static load test data of No.5 pile
 图 5. 5#桩竖向抗压静载检测数据

从表 3 中可以看出: 一方面, R_a 是 R_{a_2} 的 2 倍左右, 说明如果按照《地基规范》计算较符合实际情况, 那么《桩基规范》安全度偏低, 相反《地基规范》就呈现太保守; 另一方面, R_a 比 R_{a_1} 小 35% 左右, 说明按照《桩基规范》对较破碎岩(软岩)嵌岩桩计算时应该对侧阻和端阻综合系数进行折减处理[6]。

4. 结论

(1) 本地区地质资料表明桩基上覆土层较厚, 且基岩表面起伏较大, 持力层为较为破碎的软质岩, 所以本地区的高层建筑采用桩基时只能采用嵌入软岩的嵌岩桩, 本工程的计算也为同类工程提供参考。

(2) 对软岩嵌岩桩, 只要考虑桩嵌岩深度, 《地基规范》计算的单桩竖向承载力特征值小于《桩基规范》

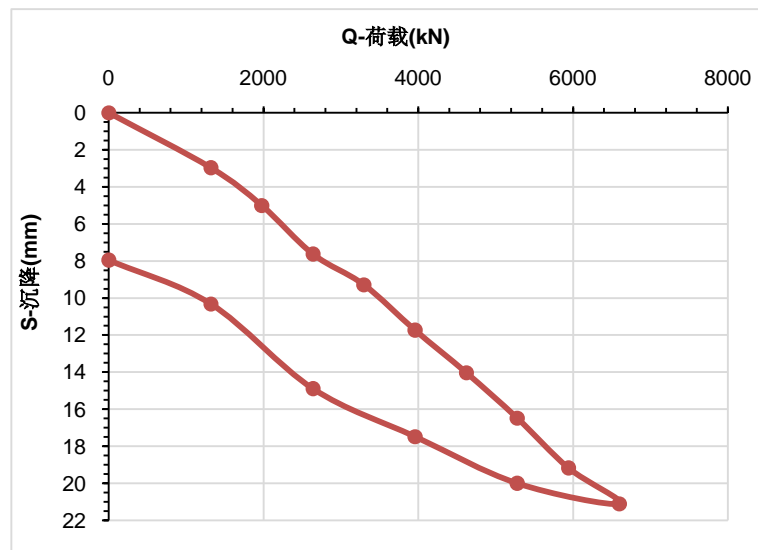


Figure 6. Vertical static load test data of No.6 pile
图 6. 6#桩竖向抗压静载检测数据

Table 2. Test results of vertical bearing capacity eigenvalue of single pile
表 2. 单桩竖向抗压极限承载力试验结果

桩号	桩长 L/m	桩径 D/mm	嵌岩深度 h/m	最大检测荷载/kN	最大荷载作用下桩顶沉降/mm	残余变形/mm	R_a /kN
1#	48.55	1500	2.6	11000	20.39	12.24	5500
2#	51.29	1000	4.79	11000	19.77	9.85	5500
3#	47.80	1000	1.80	11000	24.06	16.27	5500
4#	45.44	800	2.84	6600	20.30	10.46	3300
5#	47.87	800	1.17	6600	22.24	2.34	3300
6#	54.38	800	9.08	6600	21.09	7.96	3300

注: 表中 R_a 为实测的单桩竖向承载力特征值。

Table 3. Comparison of test results and calculation results of vertical bearing capacity eigenvalue of single pile
表 3. 单桩竖向承载力特征值的实测值与计算值比较

比值	桩号						
	1#	2#	3#	4#	5#	6#	
R_a/R_{a_1}	0.67	0.72	0.78	0.61	0.71	0.55	
R_a/R_{a_2}	1.56	1.98	2.05	1.57	1.69	1.78	

计算的单桩竖向承载力特征值, 且嵌岩越深, 《地基规范》的计算值比《桩基规范》的计算值小得越多。

(3) 对于持力层岩石饱和单轴抗压强度标准值小于 15 MPa 的软质岩来说, 按照《地基规范》计算嵌岩桩单桩竖向承载力, 安全性与经济性存在着较大的矛盾; 按照《桩基规范》计算嵌岩桩单桩竖向承载力, 应该对侧阻和端阻综合系数进行折减处理。

(4) 由静载试验结果可以看出, 荷载 - 沉降(Q-S)曲线均呈缓变型, 沉降主要由桩身压缩控制, 这就要求桩基本身的混凝土等级及其钢筋配筋率适当增加。

(5) 软岩地区长径比较大时, 应该考虑到桩基上覆土层的作用, 在满足桩顶沉降的基础上, 充分考虑桩侧阻力提高桩基的竖向承载力, 适当减小桩长及嵌岩深度, 从而降低桩基造价。

基金项目

福建省自然科学基金项目(2015J01645)。

致谢

首先非常感谢福建省科技厅对本研究提供基金项目的支持, 其次非常感谢本工程施工单位的大力帮助, 同时还非常感谢本文中所有被引用文献的作者。

参考文献 (References)

- [1] 福建省地矿局. 福建省区域地质志[M]. 北京: 地质出版社, 1985: 40-41.
- [2] 中华人民共和国住房和城乡建设部. GB5007-2011 建筑地基基础设计规范[S]. 北京: 中国建筑出版社, 2011: 89-90.
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ94-2008 建筑桩基技术规范[S]. 北京: 中国建筑出版社, 2008: 22-23.
- [4] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ106-2014 建筑桩基检测技术规范[S]. 北京: 中国建筑出版社, 2014: 17.
- [5] 赵杰林. 嵌岩桩设计若干问题探讨[J]. 建筑技术, 2016, 47(6): 509-513.
- [6] 王鹏程, 等. 贵州软质较破碎白云岩嵌岩桩竖向承载力分析[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(9): 253-258.

知网检索的两种方式:

1. 打开知网页面 <http://kns.cnki.net/kns/brief/result.aspx?dbPrefix=WWJD>
下拉列表框选择: [ISSN], 输入期刊 ISSN: 2326-3458, 即可查询
2. 打开知网首页 <http://cnki.net/>
左侧“国际文献总库”进入, 输入文章标题, 即可查询

投稿请点击: <http://www.hanspub.org/Submission.aspx>

期刊邮箱: hjce@hanspub.org