

小直径超深嵌岩灌注桩侧阻力现场试验研究*

张进林¹, 袁蕾²

(1.重庆蜀道岩土工程有限公司,重庆 401147;2.四川省兴冶岩土工程检测有限责任公司,成都 610031)

摘要:主要针对小直径超深嵌岩灌注桩嵌岩段侧阻力进行分析研究。在单桩竖向静载荷试验中,在桩身分层预埋钢筋计和应变计,测读各级荷载作用下桩身内力值,对嵌岩段侧阻力的发挥机制进行分析。结果表明:桩身内力是由上至下逐渐开始发挥的,对于超深的嵌岩桩,桩端阻力发挥比例极小。桩身侧阻力随着荷载的增加不断地变化,上部侧摩阻力先发挥,并且在每级荷载作用下,桩侧摩阻力都有传递。受桩端岩层的影响,嵌岩段靠近桩端部分的侧阻力要高于远离桩端的侧阻力。嵌岩段侧摩阻力分布曲线整体呈双驼峰形,下部峰值高于上部峰值,且在桩顶荷载传递过程中,最大峰值有下移的趋势。

关键词:小直径超深嵌岩灌注桩;嵌岩段侧阻力;单桩竖向静载荷试验

中图分类号:U433

文献标识码:A

文章编号:1673-0836(2018)04-0981-06

Field Test Research on the Side Resistance of Small Diameter Ultra-Deep Rock Filling Pile

Zhang Jinlin¹, Yuan Lei²

(1.Chongqing Shuotong Geotechnical Engineering Co. Ltd., Chongqing 401147, P.R.China;

2. Sichuan Province Xingye Geotechnical Engineering Testing Co., Ltd., Chengdu 610031, P.R.China)

Abstract: This paper mainly aims at the analysis of the side resistance of the rock-socketed of small diameter and ultra-deep rock-socketed filling pile. In the vertical static load test of single pile, steel bar meters and strain gauges were embedded around the pile by layering, and the value of internal force of pile was measured, to analyze the mechanism of the side resistance of the rock-socketed. The results indicate: the internal force of pile begin to play gradually from top to bottom. It was conformed that pile-end resistance work in a small proportion for the ultra-deep rock filling pile. In the process of vertical loading transfer, the side resistance of pile worked gradually begin with the upper pile, and then transmitted downward along with each stage loading. The side resistance of the rock-socketed near pile bottom higher than that far from pile bottom did, which was influenced by the rock stratum in the pile end. The distribution curve of rock-socketed segment side friction is double hump shape curve on the whole, and the lower peak is higher than the upper. At the top of the pile load transfer process, the maximum peak has a tendency to move down.

Keywords: small diameter ultra-deep rock filling pile; rock-socketed segment side friction; vertical static load test of single pile

0 引言

近年来,嵌岩桩的应用越来越广泛,并取得了

良好的效果。认清嵌岩桩的承载性能,正确选择嵌岩桩设计参数,确定其承载力计算,具有十分重要的意义。随着嵌岩桩研究的深入,人们逐渐认识到

* 收稿日期:2017-12-07(修改稿)

作者简介:张进林(1976-),男,安徽无为,工学硕士,高级工程师,主要从事地基基础检测、岩土工程勘察、地质灾害的研究。E-mail:470679858@qq.com

侧阻力,特别是嵌岩段侧阻力,对于分担荷载起到很重要的作用^[1],通过对桩身应力-应变的测试及分析,可以进一步对嵌岩段侧阻力的发挥机理进行研究。目前关于侧阻力的分析研究主要侧重于桩土部分的研究,嵌岩段侧阻力的试验资料很少,关于嵌岩段侧阻力的研究也多倾向于大直径桩^[2~4],嵌岩深径比集中在0~10,如《建筑桩基技术规范》也仅提供了嵌岩深径比为0~8的嵌岩段侧阻和端阻综合系数的数据。本文选取的成都某工地试桩,覆盖层较薄,嵌岩深径比达到42.9,桩身承载力主要由嵌岩段侧阻力承担,对超深嵌岩段侧阻力的发挥机制提供了新的实测资料。通过对桩顶沉降和桩身内力观测,分析了小直径超深嵌岩灌注桩在工作状态下的受力性状,包括桩顶荷载与沉降关系、桩身内力的发挥机制、侧摩阻力的分布等,特别是超深嵌岩段侧阻力的发挥机制。

1 试验概况

1.1 工程地质条件

试验场地位于成都市区,该区域所处地貌单元属成都平原岷江水系一级阶地。据现场勘探及已有地质勘察资料,构成场地的地层为:第四系全新统人工填土层(Q_4^{ml})、第四系全新统冲洪积(Q_4^{al+pl})层及白垩系上统灌口组地层(K_2^s)。

1.2 试桩布置及仪器埋设情况

在基坑底进行了3根试桩,分别为1#桩,2#桩,3#桩,桩长30 m,桩端进入中(微)风化泥岩25.76 m,桩径0.6 m,混凝土强度C40,采用14 Φ 22配筋,嵌岩深径比为42.9。

根据地勘资料勘探孔揭示的地层情况,在桩端和不同地层分界处布设钢筋应力计和混凝土应变计,在同一地层里,按照4 m的间距布设,用于量测钢筋竖向应力和桩身应变。通过静载试验加载,记录每次加载后各层钢筋计和应变计读数。钢筋计、应变计埋设截面如图1。

对试桩进行声波透射和低应变测试,结果显示桩身完整,均为I类桩。选取3#桩对桩身混凝土及桩底持力层进行钻芯取样,未见明显桩底沉渣,桩底持力层为微风化泥岩,桩砼抗压强度代表值为40.7~41.6 MPa,桩端泥岩抗压强度标准值为6.48~8.94 MPa,桩身成桩质量较好。

1.3 加载系统

1.3.1 加载装置

试验加载设备采用锚桩-反力梁体系。如图2

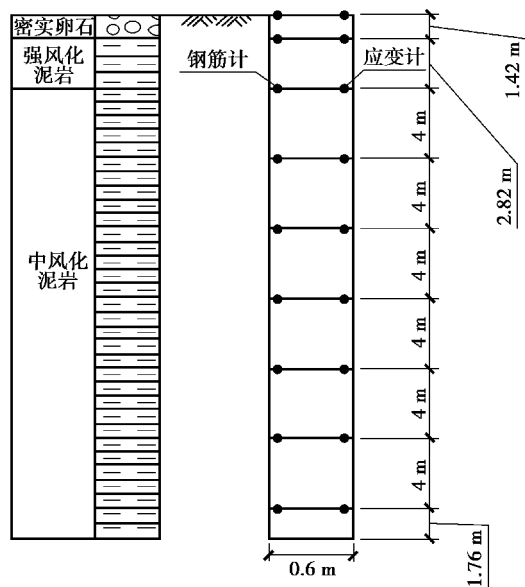


图1 钢筋计、应变计布设方案

Fig. 1 Layout of steel bar meters and strain gauges

所示。采用4台6300 kN级油压千斤顶并联施加竖向压力,荷载测量采用千斤顶油路的压力表测定油压,并根据千斤顶率定曲线换算荷载。千斤顶的加载反力装置以锚桩作为加载反力,考虑本试验的实际情况,采用4根工程桩作为反拔桩。桩顶沉降采用在桩顶2个正交方向对称安置的4个百分表进行量测。同时,利用百分表观测反力桩的向上位移同时观测、记录桩身外露部分裂缝开展情况,严格控制锚桩的上拔量。百分表用磁性表座固定在基准梁上,基准梁固定在基准桩上,基准桩与试桩及反力桩净距不少于4倍试桩直径,基准梁采用槽钢或工字钢。



图2 单桩竖向抗压静载试验示意图

Fig. 2 Schematic diagram of vertical compressive static load test of single pile

1.3.2 加载方法

试验加载采用慢速维持荷载法,依据《建筑桩检测技术规范》(JGJ 106—2014)^[5]和《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)^[6]进行。受现场试验条件限制,最大加载拟定为单桩竖向承载力的2倍

即12 000 kN,加载级数为 10 级,按最大加载量的 1/10作为加载级差。根据千斤顶率定曲线进行换算,荷载分级如表 1。

2 试桩成果分析

2.1 试验桩的 Q - s 曲线及特征分析

根据现场测试数据整理出单桩竖向抗压静载

试验的荷载与沉降数据,并绘制出相应的荷载与沉降关系曲线(Q - s 曲线),如图 3。从 Q - s 曲线可以看出, Q - s 曲线始终处于线弹性状态,总沉降值 7.91~8.41 mm,试桩未加荷至极限破坏状态。各试验桩沉降差别不大。在停止试验后按每级 2 400 kN 进行了卸载, Q - s 卸载曲线呈缓变形,卸载完成后最终沉降为 4.8~5.1 mm。

表 1 荷载分级表

Table 1 Load classification table

级数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
荷载/kN	1 164	2 376	3 588	4 800	6 012	7 224	8 436	9 648	10 860	12 072

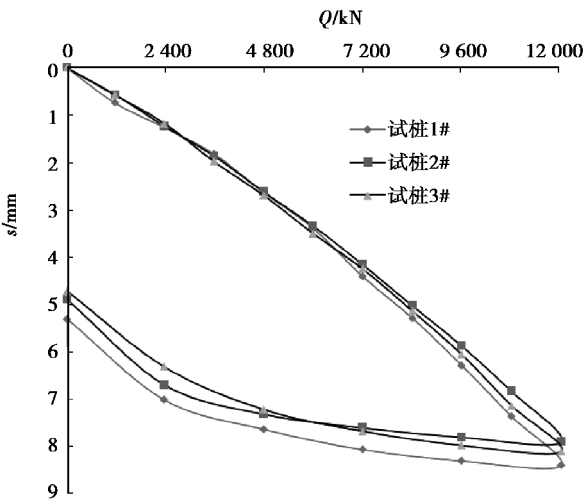


图 3 试桩荷载与沉降关系曲线(Q - s 曲线)

Fig. 3 Load and settlement curves of test pile(Q - s curve)

2.2 桩身轴力随深度的变化关系

通过试桩每次加载过程中钢筋计和应变计的测试和计算^[7~9],得出各测试截面在作用荷载下的桩身轴力。各试桩的轴力分布图如图 4~6 所示。

由图 4~6 可以看出,桩身轴力曲线在不同荷载作用下大致呈线性分布,并随深度递减。说明桩身轴力是由上至下逐渐开始发挥的,当桩顶荷载很小时,嵌岩段轴力和端阻尚未产生,随着荷载的增加,下部轴力开始发挥,嵌岩段轴力产生。本次试验加载至最大荷载 12 072 kN 时,在深度 28.24 m 及以下测点数据为零,说明桩身轴力传递深度应在深度 24.24~28.24 m 范围内,此时桩端端阻力尚未产生。

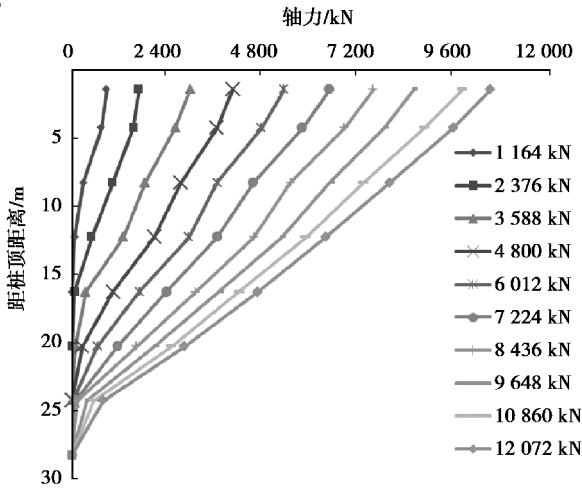


图 4 1#桩各级荷载下轴力分布曲线图

Fig. 4 Axial force distribution curves under load at all levels of 1 # pile

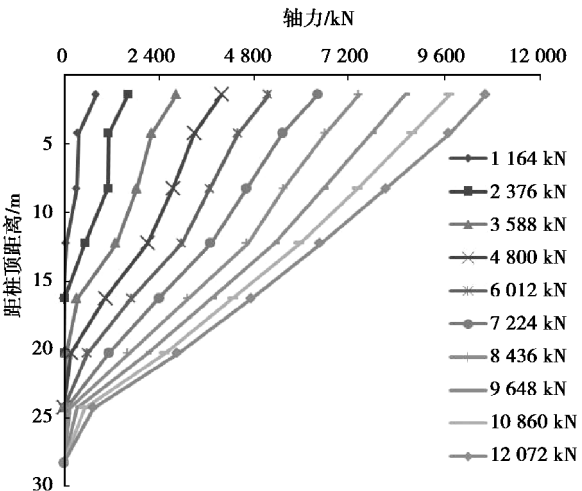


图 5 2#桩各级荷载下轴力分布曲线图

Fig. 5 Axial force distribution curves under load at all levels of 2 # pile

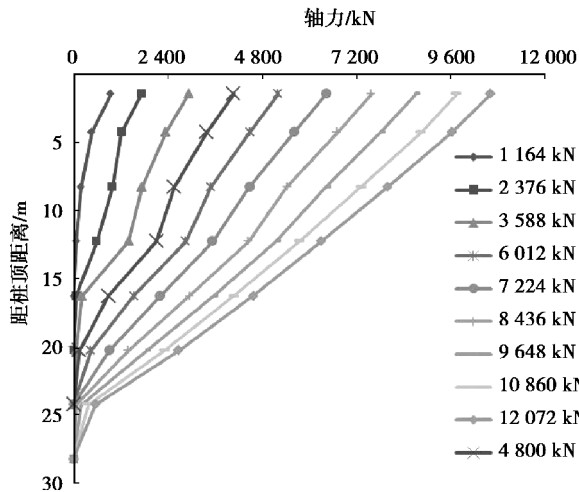


图 6 3#桩各级荷载下轴力分布曲线图

Fig. 6 Axial force distribution curves under load at all levels of 3 # pile

2.3 桩身侧摩阻力随深度的变化关系

轴力曲线上某段区间的陡缓程度反映了该段土层的侧阻力大小。轴力分布曲线在趋于零值的最后一段明显变陡,考虑是由于测点间距过大,无法准确反映轴力为零的深度所致,故本段侧阻力值未纳入统计。以分层区段中点为侧摩阻力值对应的深度点作出各级荷载下桩侧阻力随深度分布曲线图,见图 7~9。由图可以看出,随着荷载的增加,桩周侧阻力在不断的变化,上部侧摩阻力先发挥。在每级荷载作用下,桩侧摩阻力都有传递,并不是达到极限值才开始传递到邻近下部岩(土)层。

嵌岩段侧摩阻力曲线图在总体形态上呈双驼峰形分布(Q_s-Z 曲线),与《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)中提供的有限元分析得出的软质岩嵌岩段侧阻力分布概化图 17(b) (q_s-Z/h_r 曲线)变化趋势相似,但峰值大小及位置与规范中并不相同。其主要原因可能是未加载到极限荷载,下部侧阻力值未完全发挥所致。在图 7~9 中可以看出,第 1 个峰值 Q_{s1} 出现在进入嵌岩段第一个测点处,侧阻力值较卵石层、强风化泥岩有明显提高。在最后两级荷载作用下有下移趋势。第 2 个峰值 Q_{s2} 在第 3、4、5 级荷载作用下在嵌岩深度 10 m 左右出现,在第 6 级荷载作用下峰值 Q_{s2} 下移至 14 m 左右,在最后三级荷载加载中,第 2 个峰值表现的并不明显,侧阻力在第一个峰值出现后逐渐增大,嵌岩段下部侧阻力开始逐步发挥,分担桩身主要荷载。

1#、2#和 3#试桩不同埋深处桩身侧阻力随分

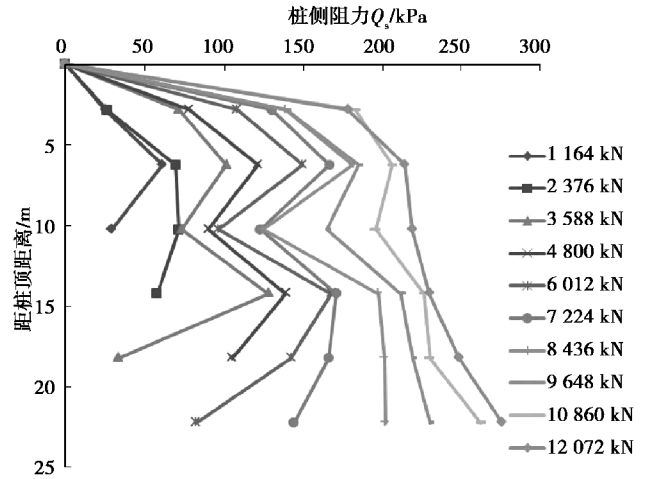


图 7 1#桩侧摩阻力分布曲线图

Fig. 7 Side friction distribution of pile 1 #

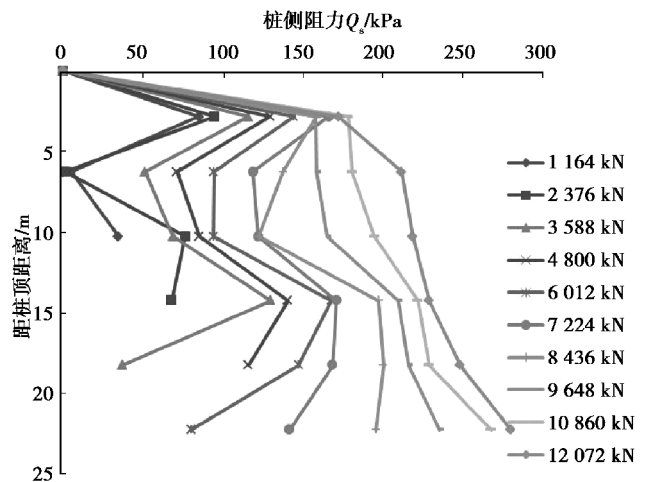


图 8 2#桩侧摩阻力分布曲线图

Fig. 8 Side friction distribution of pile 2 #

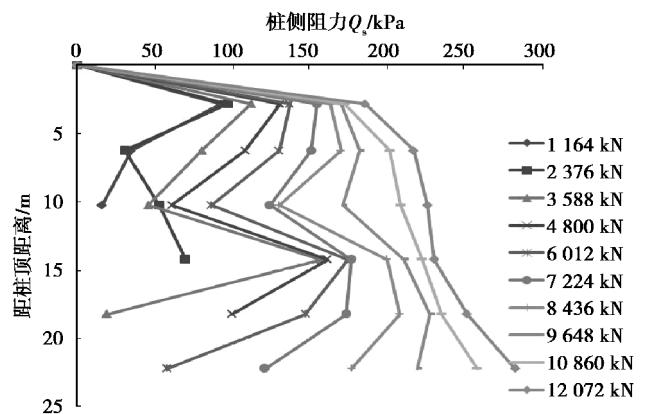


图 9 3#桩侧摩阻力分布曲线图

Fig. 9 Side friction distribution of pile 3 #

级荷载的变化曲线如图 10~12。在深度 2.83 m (强风化泥岩)处,桩身侧阻力在 10 860 kN 作用下达到峰值 182 kPa,之后随荷载的增加而减少。但 3#桩在加载到 12 072 kN 时仍然呈上升趋势。在

深度 2.83 m 以下的的数据均为嵌岩段侧阻力,由图可以看出,在本次试验中,嵌岩段侧阻力随着荷载的增加而增加,且越靠近桩底增加速度越快。在最大桩顶荷载作用下也没有达到明显峰值。说明在最大试验荷载 12 072 kN 作用下,嵌岩段桩身侧阻力并没有得到充分发挥。

由图 10~12 可以看出,在加载前期,桩身主要由上部侧阻力承担主要荷载,随着荷载的不断增加,下部侧阻力开始发挥,并逐渐高于上部侧阻力值,开始承担桩身主要荷载,且越靠近桩端增加速度越快。推测其原因,是由于桩端岩层对侧阻力有增强效应。由于在本次试验中桩端端阻力并未产生,所以这种增强效应并非受端阻力的影响^[10],而是与桩端岩层有关。受桩端岩层的影响,嵌岩段靠近桩端部分的侧阻力要高于远离桩端的侧阻力。

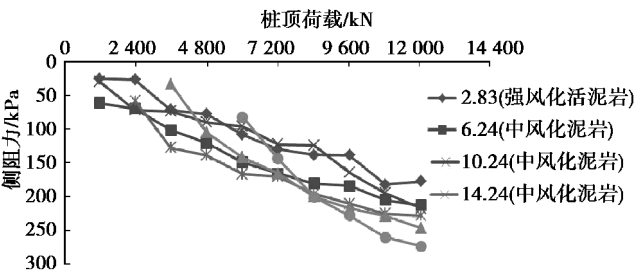


图 10 1#试桩不同埋深处桩身侧阻力随分级荷载的变化
Fig. 10 Side resistance rating load changes with different buried depth for test pile 1 #

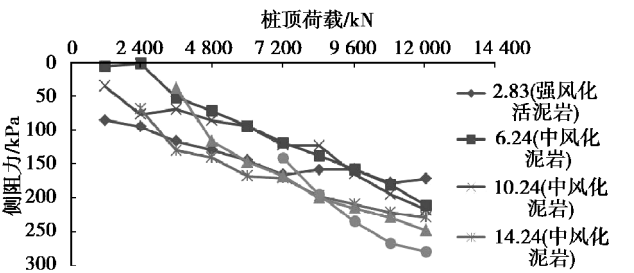


图 11 2#试桩不同埋深处桩身侧阻力随分级荷载的变化
Fig. 11 Side resistance rating load changes with different buried depth for test pile 2 #

2.4 桩身侧摩阻力与勘察报告推荐值对比

在最大试验荷载 12 072 kN 作用下,各土层实测侧阻力与勘察报告推荐值对比如表 2 所示。

通过对各层侧阻力的计算分析,在最大荷载 12 072 kN 作用下,实测的侧阻力标准值均高于勘察报告所采用的极限侧阻力标准值,且是未加载至极限的情况下。桩设计偏安全。

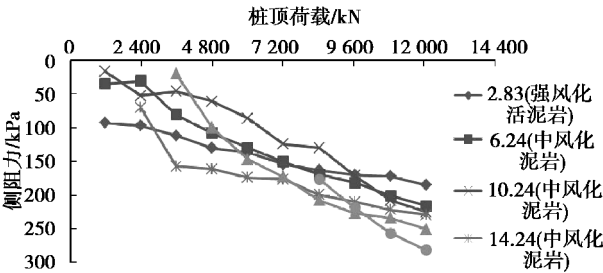


图 12 3#试桩不同埋深处桩身侧阻力随分级荷载的变化
Fig. 12 Side resistance rating load changes with different buried depth for test pile 3 #

表 2 地层侧阻力计算数据统计表

Table 2 Statistics of side resistance of formation

桩号	地层	实测的侧阻力标准值 /kPa	大小关系	勘察报告所采取的极限侧阻力标准值/kPa
1#	密实卵石	174	>	160
	强风化泥岩	177	>	140
		213		
		217		
	中风化泥岩	228	>	200
		246		
2#		273		
		273		
	密实卵石	168	>	160
	强风化泥岩	172	>	140
		211		
		218		
3#	中风化泥岩	229	>	200
		248		
		280		
		280		
	密实卵石	171	>	160
	强风化泥岩	185	>	140
		216	>	200
		225		
	中风化泥岩	229		
		251		
		282		
		282		

3 讨论

本试验选取了 3 根小直径超深钻孔灌注桩进行了静载试验,并对桩身应力、应变同步进行测试,得到了不同荷载作用下桩身轴力、侧阻力的在不同深度的数据。由于试验条件有限,未对试桩加载至

破坏,在对桩身内力分析中也验证了这一情况。本次试验在嵌岩段内力测点布置间距为4 m,间距不够密,尤其是在桩身下部,无法准确反映轴力影响深度。在今后的试验中,可在此方面进行加强。

4 结论

(1)在各级荷载作用下,桩身轴力曲线大致呈线性分布,并随深度递减,说明桩身内力是由上至下逐渐开始发挥的。本次试验加载至最大试验荷载12 072 kN时,在桩底3 m范围内并无桩身内力产生,端阻力为零。根据测试结果,对于超深的嵌岩桩,桩端阻力发挥比例极小。

(2)桩身侧阻力随着荷载的增加而不断变化,上部侧摩阻力先发挥作用。桩身侧阻力并不是达到极限值才传递到邻近下部岩(土)层的,而是在每级荷载作用下都有传递。受桩端岩层的影响,嵌岩段靠近桩底的侧阻力要高于远离桩底的侧阻力。因此,在嵌岩桩设计中,在嵌岩段侧阻力的选取上可以考虑桩端岩层的强化效应,分段进行。强化效应在一定程度上能提高桩身承载力,具有实际应用价值,但强化效应的发生机理及量化目前还不能确定,尚需更进一步的研究。

(3)嵌岩段侧摩阻力分布图(Q_s-Z 曲线)呈双驼峰形,下部峰值高于上部峰值,且在桩顶荷载传递过程中,最大峰值有下移的趋势。

(4)根据测试资料,桩的长径比在40~47以下时,桩的侧阻发挥很小,端阻基本无发挥,基本验证了桩的长径比应小于50的基本理论,所以该场地桩具有较大的优化空间。

参考文献(References)

- [1] 李晓红. 薄覆盖层挖孔嵌岩桩承载力的探讨[D]. 重庆:重庆大学,2006. (Li Xiaohong. The study on the bearing capacity of rock socketed pile with thin overburden layer [D]. Chongqing: Chongqing University,2006. (in Chinese))
- [2] 何春林, 龚成中, 龚凡, 等. 嵌岩桩尺寸效应及深度效应的室内试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2015, 11(2): 293-298. (He Chunlin, Gong Chengzhong, Gong Fan, et al. Laboratory test on the effect of diameter and depth of rock-socketed piles[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2015, 11(2): 293-298. (in Chinese))
- [3] 李永辉, 吴江斌. 基于载荷试验的大直径超长桩承载特性分析[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 7(5): 895-902. (Li Yonghui, Wu Jiangbin. Bearing behavior study of large-diameter and super-long pile based on full-scale field test[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(5): 895-902. (in Chinese))
- [4] 陈旻. 深厚软土地区大直径钻孔桩荷载传递试验研究[J]. 地下空间与工程学报, 2016, 12(5): 1205-1210. (Chen Min. Study on the load-transfer test for large diameter bored cast-in-situ piles in deep soft clay area[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2016, 12(5): 1205-1210. (in Chinese))
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑基桩检测技术规范(JGJ 106-2014) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014. (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for testing of building foundation piles (JGJ 106-2014) [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2014. (in Chinese))
- [6] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 建筑桩基技术规范(JGJ 94-2008) [S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2008. (Ministry of Housing and Urban-Rural Development of the People's Republic of China. Technical code for building pile foundation (JGJ 94-2008) [S]. Beijing: China Architecture and Building Press, 2008. (in Chinese))
- [7] 梁金国, 郅正华. 桩身竖向应力测试应用技术研究. [J]. 工程勘察 2007, (3): 5-9. (Liang Jinguo, Zhi Zhenghua. Pile vertical stress test applied technology research [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2007(3): 5-9. (in Chinese))
- [8] 赵海生, 李林涛, 陈满圈. 预制静压桩的竖向承载力试验分析. [J]. 工程勘察, 2003(2): 5-7, 41. (Zhao Haisheng, Li Lintao, Chen Manquan. The vertical bearing capacity of precast static pressed pile test analysis. [J]. Geotechnical Investigation & Surveying, 2003(2): 5-7, 41. (in Chinese))
- [9] 梁金国. 后压浆旋挖钻孔灌注桩单桩竖向承载力分析[J]. 岩土工程技术, 2008, 22(3): 139-144. (Liang Jinguo. Computation Method of the single pile bearing capacity of post-grouting spinning drill pile [J]. Geotechnical Engineering Technique, 2008, 22(3): 139-144. (in Chinese))
- [10] 蔡江东, 夏红春. 大直径嵌岩桩侧阻强化桩土界面影响因素研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2014, 33(增1): 3062-3067. (Cai Jiangdong, Xia Hongchun. Influential factors of pile-soil interface of large-diameter rock-socketed pile as its side resistance strengthens[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2014, 33(Supp.1): 3062-3067. (in Chinese))