

泥质岩地区大直径深嵌岩桩的承载特性

龚成中^{1,2}, 何春林¹, 龚维明², 戴国亮²

(1. 淮阴工学院 建工学院, 江苏 淮安 223001; 2. 东南大学 土木工程学院, 南京 210096)

摘要:基于自平衡桩基测试技术,根据坝陵河大桥现场的2根桩基(SZ1、SZ2)和北盘江大桥的1根桩基(SZ3)的静载荷试验报告,对泥质岩地区大直径深嵌岩桩(嵌岩比 $h_r/d > 3.0$)在万吨级荷载作用下的承载特性进行了研究,包括桩顶荷载和位移的关系、桩侧阻力、桩端阻力等。结果表明:在泥岩地区大直径深嵌岩桩桩顶荷载-位移曲线主要以缓变型为主;桩端岩石风化程度对端阻力影响较大,微风化的泥质砂岩和白云岩极限承载力要比弱风化的泥质灰岩高;桩侧阻力的发挥与桩土界面相对位移关系比较密切,泥质白云岩桩侧阻力发挥所需桩土位移相对位移较小;最后把桩极限侧阻力与勘探报告预估值进行了分析。

关键词:桥梁工程;承载特性;自平衡法;嵌岩桩;桩侧阻力

中图分类号:U433.15 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-4764(2011)06-0101-05

Bearing Characteristics of Large Diameter and Deep Rock-socketed Pile in Argillaceous Area of Guizhou Province

GONG Cheng-zhong^{1,2}, HE Chun-lin¹, GONG Wei-ming², DAI Guo-liang²

(1. School of Architecture, Huaiyin Institute of Technology, Huaian 223001 Jiangsu, P. R. China;

2. College of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, P. R. China)

Abstract: Based on the advanced technique of self-balancing test, the bearing characteristics of large-diameter deep rock-socketed pile ($h_r/d > 3.0$), including the relation of load and displacement on top of it, side friction, the tip resistance and so on, under 10 thousand-ton load level in argillaceous area had been analyzed according to the report of static loading test on 2-piles of Balinghe River Bridge and 1-pile of Beipan River Bridge. The results indicate that $Q-s$ curve of large diameter pile in mudstone declines slowly, and the weathering level of rock has great impact on tip resistance of pile. The ultimate bearing capacities of sandstone and dolomite in puny weathering are stronger than that of limestone in weak weathering; the side friction of pile is closely related to relative displacement of pile-soil interface, and the side resistance of pile in argillaceous dolomite needs smaller pile-soil relative displacement. Finally, the ultimate values of lateral resistance of pile and estimate of exploration report have been comparative analyzed.

Key words: bridge engineering; bearing characteristics; self-balanced method; rock-socketed pile; side friction

收稿日期:2011-01-16

基金项目:江苏自然科学基金面上项目(BK2011406);山东省交通厅科技项目(2010Y-3)

作者简介:龚成中(1970-)男,副教授,博士生,主要从事岩土工程研究,(E-mail)gc2008@sina.com。

随着西部建设的加快发展,越来越多的嵌岩桩在公路桥梁的建设方面得到了广泛使用。大直径超长嵌岩桩的承载特性比较复杂,迄今为止有很多专家学者对其承载特性进行了分析研究,包括理论分析、有限元数值模拟、现场试验研究等,并得到了许多有益的结论^[1-5]。泥质岩在中国分布较广,目前对泥质灰岩地区大直径嵌岩桩在万吨级荷载作用下以及大嵌岩比($h_r/d \geq 3.0$)情况下的承载特性研究还比较缺乏^[6-8],基于坝陵河大桥现场的 2 根桩基(SZ1、SZ2)静载荷试验和北盘江大桥的 1 根桩基(SZ3)的静载荷试验,对该泥质岩地区大直径深长嵌岩桩在万吨级荷载作用下的承载特性进行了研究分析。对大直径深长桩嵌岩桩桩侧、桩端阻力的分布

与岩性、桩侧位移的关系作了有益的分析。

1 工程概况及试桩地质条件

镇宁至胜境关高速公路是 GZ65 公路在贵州省境内的重要路段,也是贵州省规划的“三纵三横八支八联”公路主骨架的重要组成部分。坝陵河大桥离拟建镇宁至胜境关高速公路起点约 21 km,地处黔西地区的高原重丘,而北盘江特大桥位于镇宁至胜境关公路第 14 合同段,大桥从北盘江大小盘江之间河段跨越北盘江大峡谷,地形条件复杂。该工程试桩主要参数见表 1。

试桩的主要土(岩)层分布情况见图 1 所示。SZ3 岩体物理力学指标参数如表 2 所示。

表 1 试桩主要参数

试桩编号	试桩直径/mm	成桩形式	持力层	嵌岩比(h_r/d)	桩长/m	桩身强度标号
SZ1	2 500	人工挖孔桩	微风化砂质灰岩	24	60	C30
SZ2	2 500	人工挖孔桩	微风化泥质灰岩	14	41	C30
SZ3	2 800	人工挖孔桩	微风化泥质白云岩	4	51	C35

表 2 SZ3 岩体物理力学指标参数

岩层名称	风化程度	天然抗压强度标准值/MPa	地基承载力基本容许值/MPa	变形指标	
				变形模量/MPa	泊松比 μ
泥质白云岩	强风化	—	0.3	—	—
泥质白云岩	弱风化	10~15.2	0.6~1.2	0.1×10^4	0.33
泥质白云岩	微风化	15~16.5	1.5~1.7	0.15×10^4	0.32

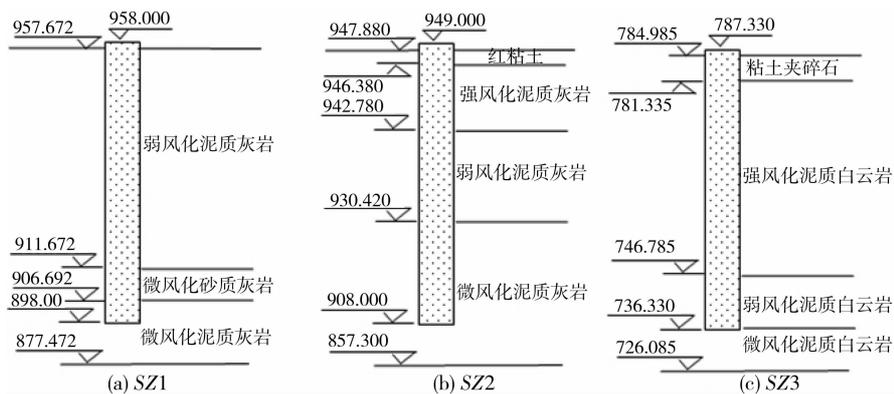


图 1 试桩土(岩)层分布图

2 自平衡试验方法

试桩采用自平衡测桩法^[9-11],其主要原理是在桩身平衡点位置安设荷载箱,沿垂直方向加载,即可同时测得荷载箱上、下部各自承载力。上段桩的侧摩阻力跟下段桩的侧摩阻及端阻力的合力互为反力,实现力的平衡(图 2)。工程荷载箱主要置于桩端附近,能比较可靠地测出桩端阻力与桩侧阻力。

加载采用慢速维持荷载法。测试前先检测了桩身混凝土强度及其完整性(超声波测试),测试结果符合设计及规范要求。

3 结果分析

3.1 桩顶荷载-位移曲线

采用精确等效转换方法^[12],根据已测得的各土层摩阻力-位移曲线,转换至桩顶,得到试桩等效转

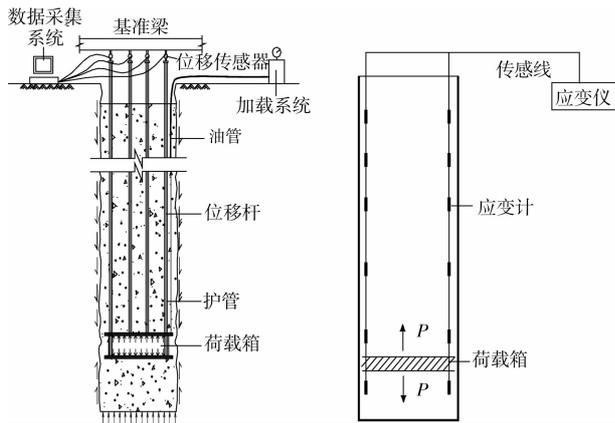


图2 自平衡测试示意图

换曲线;3根试桩的等效的桩顶荷载-位移曲线见图3。可见SZ1、SZ2、SZ3 3根试桩等效转换曲线皆为缓变型。明显不同于一般工程的中小直径的桩,无明显陡降段出现。由于试桩变位较小,故取最大加载值即为其极限承载力。实测结果如下:SZ1 极限承载力为 102 812 kN,相应的位移为 45.94 mm;SZ2 极限承载力为 102 236 kN,相应的位移为 36.16 mm;SZ3 极限承载力为 117 232 kN,相应的位移为 28.12 mm。如以桩径的 $s = 0.05D$ 位移条件作为桩基极限承载力来看,上述桩极限承载力所需位移分别为 125 mm、125 mm、140 mm。实测的位移值远小于 $s = 0.05D$ 。可见该次试桩桩基的极限承载力是偏于保守的。

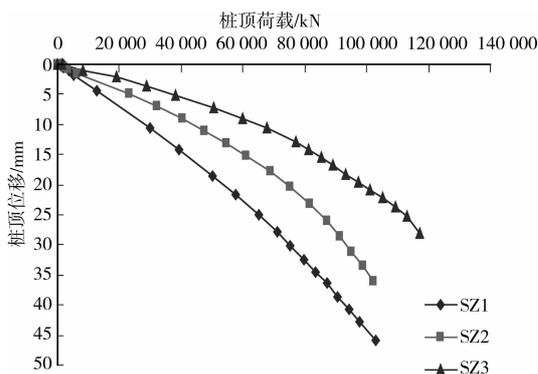


图3 试桩等效转换曲线

3.2 桩端岩石特性对端阻力的影响

试桩都是把荷载箱置于桩端附近,因此能比较准确的测出桩端阻力和位移的关系曲线,试验结果可靠合理。实测结果如图4所示。

从实测的结果来看,SZ1 桩端岩层主要为微风化砂质灰岩,实测的桩端极限阻力为 55 000 kN,相应位移为 8.97 mm;SZ2 桩端岩层主要为弱风化的泥质灰岩,桩端极限阻力为 53 570 kN,相应位移为

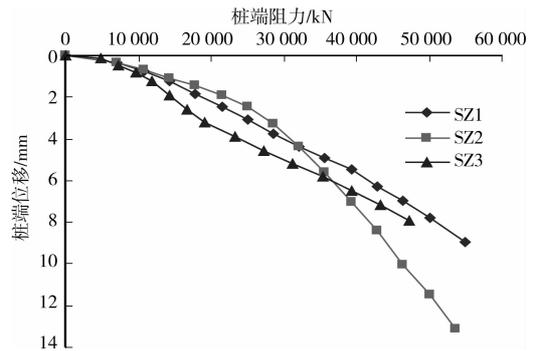


图4 桩端阻力-位移曲线

13.14 mm。而SZ3 主要是微风化的泥质白云岩,桩端极限阻力为 47 340 kN(包括桩端上部 1.5 m 桩侧摩阻力),相应位移为 7.95 mm。从曲线上可以看出,微风化的砂质灰岩与微风化的泥质白云岩,桩端阻力与桩端位移曲线两者近似平行,曲线也近似成直线关系。端阻完全发挥所需位移较大。而弱风化的泥质灰岩由于风化关系,桩端阻力超过一定数值后,荷载-位移曲线呈现向下弯曲的趋势。

3.3 试桩中不同岩层的桩侧阻力

根据实测结果,绘制出的桩侧阻力分布图见图5(分级加载的桩侧阻力仅绘制出部分荷载作用下的情形)。

在SZ1、SZ2 试桩中,侧壁岩层主要为泥质灰岩。SZ1 实测的最大侧阻力分布情况是:弱风化泥质灰岩为 87.7 kPa,微风化泥质灰岩为 311.6 kPa,微风化砂质灰岩为 404.5 kPa;SZ2 试桩中,实测的弱风化泥质灰岩为 115.4 kPa,与SZ1 数值不同的主要原因是两者侧阻力发挥的位移是不一致的,而SZ2 中微风化泥质灰岩为 323.0 kPa,与SZ1 相差不多。

在SZ3 试桩中,桩侧岩层主要为泥质白云岩。实测的最大侧阻力分布情况是:强风化泥质白云岩为 45 kPa,弱风化泥质白云岩为 270 kPa,而微风化泥质白云岩为 319 kPa。

3.4 桩土界面相对位移与桩侧阻力的发挥

由于向上变位较小,岩层摩阻力没有充分发挥,根据实测摩阻力,同时考虑到位移协调原则,即荷载箱处上段桩变位取与下段桩变位相等原则,采取双曲线函数拟合摩阻力-位移的 $\tau-s$ 函数。每层岩石采用同一曲线拟合,此时可拟合出的SZ1、SZ2、SZ3 桩侧摩阻力与桩侧位移曲线见图6所示。

从SZ1 拟合曲线来看,弱风化的泥质灰岩极限侧阻力为 155.3 kPa,微风化泥质灰岩为 488.5 kPa,而微风化砂质灰岩为 607.1 kPa,对应的极限位移为

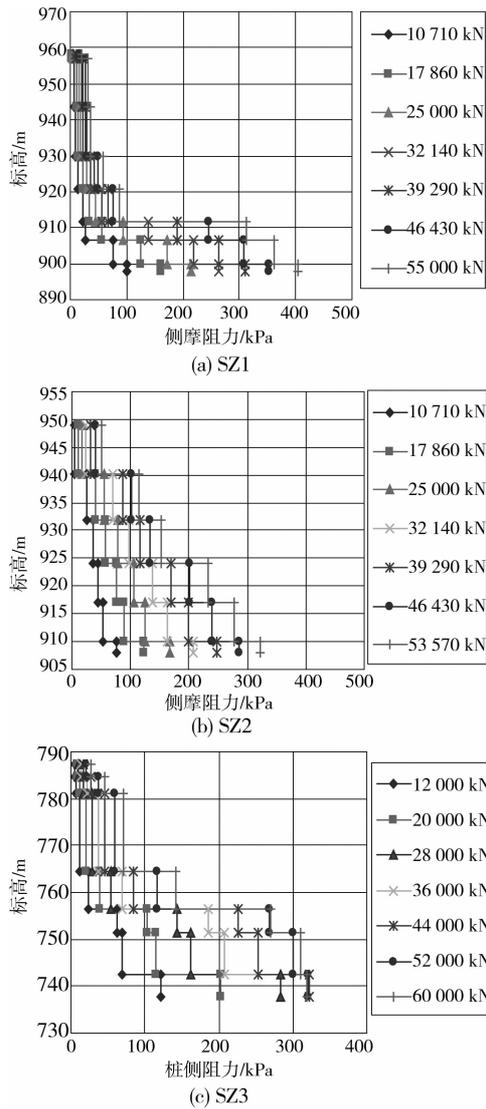


图 5 桩侧阻力分布图

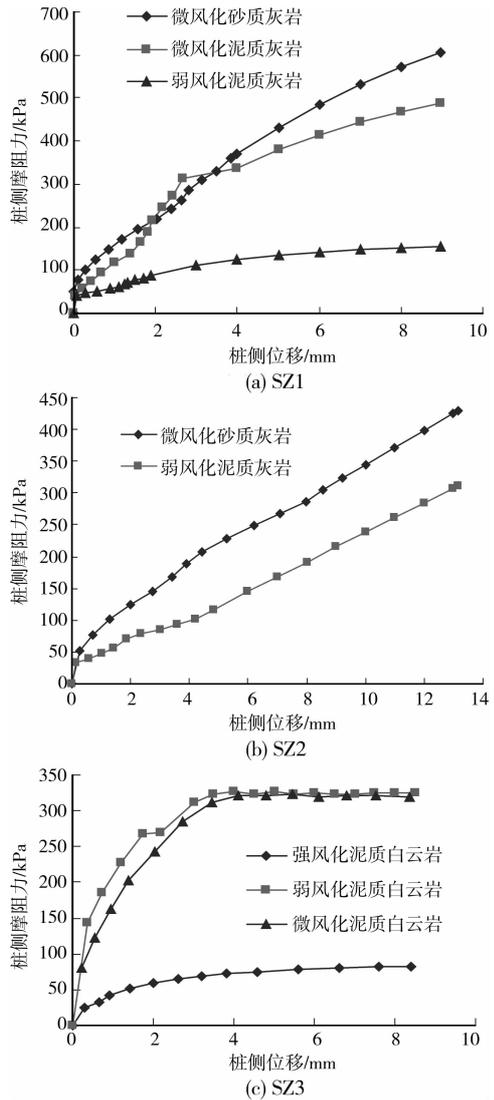


图 6 桩侧摩阻力-位移曲线

表 3 试桩各土层侧摩阻力

试桩编号	岩层分布	预估极限侧阻力/kPa	实测极限侧阻力/kPa	误差/%
SZ1	弱风化泥质灰岩	300	155.3	-48
	微风化泥质灰岩	400	488.5	+22
SZ2	微风化砂质灰岩	600	607.1	+1
	弱风化泥质灰岩	350	310.5	-11
SZ3	微风化泥质灰岩	400	428.4	+7
	强风化泥质白云岩	120	71	-41
	弱风化泥质白云岩	280	325	+16
	微风化泥质白云岩	320	324	+1

8.97 mm。

从 SZ2 拟合曲线来看,弱风化的泥质灰岩极限侧阻力为 310.5 kPa,微风化泥质灰岩为 428.4 kPa,对应的极限位移为 13.14 mm。

从 SZ3 拟合曲线来看,与泥质灰岩相比,弱风化或微分化的泥质白云岩桩侧阻力的发挥所需要的侧移较小,桩侧极限侧摩阻力约为 324 kPa。而强风化泥质白云岩的侧摩阻力约为 71 kPa,相应桩侧位移仅为 3.45 mm。

表 3 试桩各土层侧摩阻力中,预估极限侧阻力一栏为勘探报告书所提供的极限侧阻力。实测结果与此对比表明,SZ1 弱风化泥质灰岩、SZ3 强风化泥质白云岩实测的极限侧阻力与预估承载力相差较大,这可能与岩土工程性质有关,也可能是受到施工以及测试方法的影响,在工程施工中应引起足够重视。

4 结论

自平衡测试法在大吨位的桩基测试中,体现了安全可靠,不占场地的优点。节省了大量的人力和物力,为大吨位的桩基承载力检测提供了一种很好的解决方法。

实测的 3 根大吨位试桩的桩顶荷载-位移曲线

皆为缓变型。与一般的中小直径桩明显不同。且在所需的极限荷载作用下,桩顶位移远小于 $s = 0.05D$ 的条件要求,桩基承载力是偏于安全的。

从桩端阻力和位移关系来看,微风化的砂质灰岩和泥质白云岩承载力能力较高,潜能较大。而弱风化的泥质灰岩荷载位移曲线在荷载作用下明显呈向下弯曲趋势。

从拟合的桩侧摩阻力-位移曲线来看,微风化的或弱风化的泥质白云岩桩侧阻力发挥所需的位移较小,而泥质灰岩桩侧阻力的发挥所需的位移较大。

参考文献:

- [1] 龚成中,何春林,洪静.基于自平衡技术双荷载箱测试方法应用分析[J].建筑科学,2010,26(9):75-78.
GONG CHENG-ZHONG, HE CHUN-LIN, HONG JING. Application analysis of dual-load cell testing method based on self-balancing technology[J]. Building Science, 2010, 26(9):75-78.
- [2] ROWE R K, PELLIS P J N. A theoretical study of pile-rock socket behavior[C]//Proceedings of International Conference on Structural Foundations on Rock. Sydney, 1980:253-264.
- [3] 吴鹏,龚维明,梁书亭.用三维有限元法对超长单桩承载性能的研究[J].公路交通科技,2006,23(9):71-75.
WU PENG, GONG WEI-MING, LIANG SHU-TING. Study on bearing characters of super-long single pile using 3D FEA method[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(9):71-75.
- [4] 张帆,龚维明,戴国亮.大直径超长灌注桩荷载传递机理的自平衡试验研究[J].岩土工程学报,2006,28(4):464-469.
ZHANG FAN, GONG WEI-MING, DAI GUO-LIANG. Experimental research on the load transfer mechanism of super-long large diameter bored pile with the self-balanced load test method[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006, 28(4):464-469.
- [5] 程晔,龚维明,戴国亮,等.软岩桩基承载性能试验研究[J].岩石力学与工程学报,2009,28(1):165-172.
CHENG YE, GONG WEI-MING, DAI GUO-LIANG, et al. Research on bearing performance of socketed pile in soft rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(1):165-172.
- [6] 龚成中,何春林,戴国亮.大直径深嵌岩桩的承载特性与桩长设计研究[J].路基工程,2011,155(2):14-16.
GONG CHENG-ZHONG, HE CHUN-LIN, DAI GUO-LIANG. Study on bearing characteristic of large-diameter deep-socketed pile and pile length design[J]. Subgrade Engineering, 2011, 155(2):14-16.
- [7] 龚成中,龚维明,何春林,等.双荷载箱技术深嵌岩桩基承载特性试验研究[J].岩土工程学报,2010,32(S2):501-504.
GONG CHENG-ZHONG, GONG WEI-MING, HE CHUN-LIN, et al. Experimental study on bearing characteristic of deep-socketed pile based on self-balancing technology[J]. Subgrade Engineering, 2010, 32(S2):501-504.
- [8] 龚成中,龚维明,何春林,等.孔壁粗糙度对深嵌岩桩承载特性的影响[J].中国公路学报,2011,24(2):56-61.
GONG CHENG-ZHONG, GONG WEI-MING, HE CHUN-LIN, et al. Influence of hole side roughness on bearing characteristic of deep-socketed pile[J]. China Journal of Highway and Transport, 2011, 24(2):56-61.
- [9] 龚维明,戴国亮,蒋永生,等.桩承载力自平衡测试理论与实践[J].建筑结构学报,2002,23(1):82-88.
GONG WEI-MING, DAI GUO-LIANG, JIANG YONG-SHENG, et al. Theory and practice of self-balanced loading test for pile bearing capacity[J]. Journal of Building Structures, 2002, 23(1):82-88.
- [10] JORI OSTERBERG. New device for load testing driven piles and drilled shaft separates friction and end bearing[J]. Piling and Deep Foundations, 1989: 421-427.
- [11] BENGT H, FELLENIUS, RICHARD KULESZA, et al. O-Cell testing and FE analysis of 28-m-deep barrette in manila, Philippines[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 1999, 125(7): 566-575.
- [12] 江苏省建设厅. DGJ32/TJ77-2009 基桩自平衡法静载试验技术规程[S].南京:江苏科学技术出版社,2009.

(编辑 胡玲)