



大型嵌岩桩底基岩侧向承载性状试验

陈伟^{1,2}, 莫海鸿¹, 陈晓斌^{2,3}, 陈乐求⁴

1. 华南理工大学土木交通学院, 广州 510641
2. 广州市建筑科学研究院, 广州 510440
3. 中南大学土木建筑学院, 长沙 410075
4. 中南大学地学与环境工程学院, 长沙 410083

摘要 采用经验方法确定的桩侧极限摩阻力结果存在较大误差。选取广州新电视塔 C 区的 4 个挖孔桩底基岩进行混凝土短柱和基岩摩擦试验, 对桩在受压、受拉不同应力状态下的摩擦力进行分析, 获得桩和岩层摩擦承载力指标。试验研究表明, 桩和围岩摩阻力在不同受力状态下表现出不同性质, 抗压摩阻力特征值普遍大于抗拔摩阻力特征值。定义了抗拔分项系数 γ 作为抗拔力计算安全储备, 建议 γ 为 1.7~2.0, 试验研究成果可为重大工程提供参考。

关键词 桩基础; 嵌岩桩; 荷载试验; 承载性能; 摩擦力特征值

中图分类号 TU411

文献标识码 A

文章编号 1000-7857(2009)15-0059-05

Experimental Studies on Large Rock Socketed Pile's Confining Bearing Properties in the Pile Bottom

CHEN Wei^{1,2}, MO Haihong¹, CHEN Xiaobin^{2,3},
CHEN Leqiu⁴

1. School of Civil Engineering and Transportation, South China of Technology University, Guangzhou 510641, China
2. Guangzhou Institute of Building Science, Guangzhou 510440, China
3. School of Civil Engineering, Central South University, Changsha 410075, China
4. School of Geology and Environment Engineering, Central South University, Changsha 410083, China

Abstract The estimation of the rock-socketed piles' confining bearing capacity by empirical methods always involves large error. So an in-situ method is preferred in important engineering projects. The experimental studies on large rock socketed pile's confining bearing capacity properties were carried out in the dug piles' bottom at construction zone C of Guangzhou new television station tower

site. The short concrete piles were used to simulate the real piles, and the confining friction force between the short pile and the rock mass was determined. The compressive friction tests and the pulling out friction tests were conducted, and the confining friction forces between the short pile and the rock mass were used to determine confining friction parameters. The tests results show that the piles' confining friction properties are quite different under the compressive force conditions and under the tensile force conditions, and the compressive friction characteristic value is always larger than that of the pulling out friction. According to the tests analysis, a tensile partial coefficient may be defined for the pile's pulling out resistant force computation to achieve a larger safety factor in important buildings. In this new television station tower site project, the tensile partial coefficient is about γ in the range of 1.5~2.0, and the tests results provide a useful reference for important building constructions.

Keywords pile foundations; rock-socketed pile; load test; bearing properties; friction eigenvalue

0 引言

嵌岩桩具有单桩承载力高、沉降量小的优点, 在工程中应用非常广泛^[1-2]。嵌岩桩通过嵌入弱风化岩石, 承载力由嵌岩桩段-岩石界面的摩阻力及桩端承载力共同提供^[3]。摩阻力的

收稿日期: 2009-05-26

基金项目: 广州市科技局基金项目(2004B36001028)

作者简介: 陈伟, 高级工程师, 研究方向为岩土工程, 电子信箱: chw123@21cn.com



特性会受到岩石与桩的材料特性、边界条件、界面形状(粗糙度)等因素影响^[4]。许多学者采用现场试验方法对桩-岩石界面摩阻力特性进行了研究^[5-7]。T. S. K. Lam 等^[8]、I. W. Johnston^[9]采用在桩土之间放置隔离材料的方法减少桩土间摩擦力,以便将足够的荷载传递至嵌岩段使其产生破坏。张建新等^[10]对嵌岩桩的荷载试验研究表明,嵌岩桩的破坏特性和桩身与桩周岩体的相对强度与刚度有关。董平等^[11]对大直径嵌岩桩的试验研究表明,在工作状态下,桩端阻力在整个桩阻力里面只占很小一部分。R. J. Finno^[12]对建造在白云岩中的微型嵌岩桩进行了一系列荷载试验,结果表明,由于桩身水泥与周围岩石界面的结合强度大于水泥与钢管界面的强度,在加载过程中只在钢管-水泥界面产生了破坏,而水泥-岩石界面保持完好。还有研究者^[13-16]采用直剪试验方法研究桩-岩石界面的摩阻力特性。近年有许多学者采用自平衡试验方法对桩承载力,尤其是桩侧阻力特性进行试验研究。J. H. Lee 等^[17]进行了试验研究。王耀辉等^[18]对嵌岩桩进行了模型试验及数值分析,结果表明,破坏发生在桩/混凝土界面,而桩身及岩体内部均保持完好。桩/岩石界面上的摩阻力分布是非均匀的。对嵌岩抗拔桩的承载力计算尚无明确的规定,而且目前对于嵌岩抗拔桩承载特性研究较少^[19]。对于一些特殊建筑物,如高耸的电视塔、承受浮托力的取水泵房等,需承受抗拔力的作用。对于此类大型工程有必要进行桩侧阻力试验研究。

目前,工程上广泛采用经验方法确定桩侧极限摩阻力的大小,辅以其他建议方法修正,得到的结果往往存在较大误差^[20]。本研究选取广州新电视塔 C 区的 4 个试桩组进行混凝土短柱与基岩摩擦试验,其中摩擦试验包括抗压摩擦试验和抗拔摩擦试验研究。对桩与围岩在受压与受拔情况下的摩擦力进行分析。通过现场试验分析,获得准确而可靠的桩与岩层侧向承载性能指标,以为重大工程提供参考。

1 试验设计

1.1 地层概况

广州新电视塔是广州市的地标工程,其核心筒结构的主塔体高度 454 m,天线桅杆高度 156 m,总高度达到 610 m,建成后将成为“世界第一高塔”。广州新电视塔建筑面积约 116 390 m²,电视塔 37 层,地下室 3 层。主塔外筒结构及地下室工程采用人工挖孔桩基础,桩端持力层主要为微风化岩层,局部为中风化岩层。为了获得准确而可靠的中、微风化岩层的有关承载能力和变形特性指标,在地下室基础桩的 C 区位置选取 4 根工程桩进行桩底岩基承压板载荷试验和基岩内侧抗压、抗拔摩阻力试验,桩号为 85、87、93、94。试验桩的选取及资料见表 1。

场地内埋藏地层自上而下依次为:①人工填土层(Q^{ml});②海陆交互相互沉积的淤泥、淤泥质土、粉质黏土(Q^{mc});③冲淤成因砂土(Q^{al});④局部为残积成因层粉质黏土(Q^{cl});⑤基岩为白垩系上统三水组钙质泥岩和粉砂质泥岩(K_2S)。勘察报告显示的主要地层参数见表 2。

表 1 试验桩参数及岩层

Table 1 Testing pile's parameters and socketed rock

试验编号	桩号	桩径/mm	试验面 基岩性质	试验面 深度/m
1	85	1 200	中、微风化粉砂质泥岩	-10.36
2	93	1 200	中、微风化钙质泥岩	-13.15
3	94	1 400	中、微风化粉砂质泥岩	-13.25
4	87	1 200	中风化粉砂质泥岩	-10.40

表 2 场地地层及主要参数

Table 2 Stratum and main mechanical parameters

层号	层厚度 /m	承载力特征 值 f_{ak}/kPa	建议摩擦力特征值 f_{sk}/kPa
Q^{ml}	1.0~4.3	90	12
Q^{mc}	0.5~5.8	50	12
Q^{al}	1.6~11.2	100	18
Q^{cl}	0.5~1.9	140	40
K_2S	—	450	75

1.2 试验设计

试验内容为砼短柱与基岩摩擦试验,摩擦试验包括抗压摩擦试验和抗拔摩擦试验。现场试验采用同一个试验加载装置(图 1)。试验加载装置是利用摩擦短桩两侧的岩基作为支座反力,在摩擦短桩内预埋一根 45 号钢螺杆,施荷时,千斤顶通过一根大梁把反力传至摩擦短桩两侧的岩基上,作用力通过千斤顶上的压梁,再通过螺杆传至摩擦短桩上。千斤顶作用中心线与摩擦短桩中心线重合。

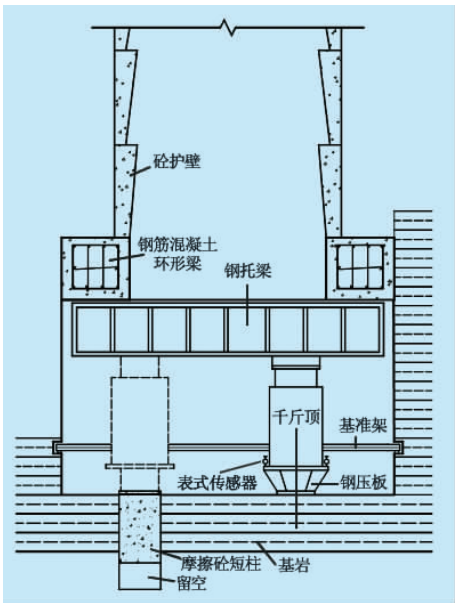


图 1 试验加载装置

Fig. 1 The loading apparatus in test

桩短桩摩阻力试验类似于单桩竖向静载试验,摩阻试验方法按国家标准《建筑地基基础设计规范》(GB 50007-2002)中附录 Q 的“单桩竖向静载荷试验要点”、广东省标准《建筑地基基础设计规范》(DBJ 15-31-2003)中附录 K 的“基岩内桩侧摩阻力试验要点”的要求执行。试验采用单循环加载,荷载逐级递增直至终止加载条件,然后分级卸载至零。

2 摩擦荷载试验分析

2.1 抗压摩擦试验

 进行了混凝土短桩与围岩抗压摩阻力试验,分级加载然后分级卸载至零。试验压力 P -位移 S 曲线见图 2。

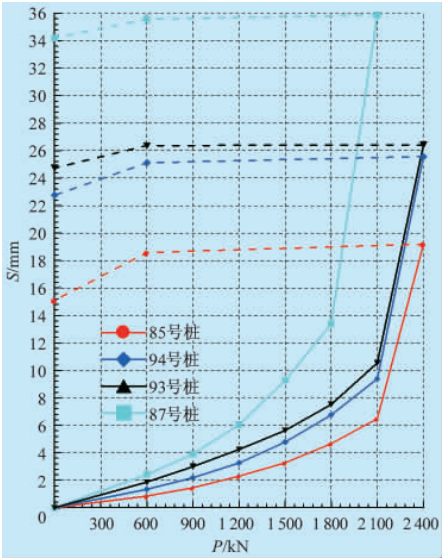


图 2 抗压摩擦力试验 P - S 曲线

Fig. 2 P - S curves of compressive friction test

 85 号桩预估最大试验荷载 2 500 kN,分 10 级加荷。在前 9 级荷载作用下,桩短桩的沉降量均随着竖向荷载的增加而逐步递增,没有出现突变现象。施加第 10 级荷载(2 500 kN)时,油压值加不上,补压后仍下跌,桩短桩的沉降量急剧增加,5 min 后,该级沉降增量达到 18.44 mm,桩短桩的总沉降量为 28.78 mm。相应的 P - S 曲线在 2 250 kN 荷载处出现明显的直线陡降段,说明桩短桩表面的抗压摩阻力在 2 250 kN 时已达极限,至 2 500 kN 时则破坏,故停止加载,破坏情况见图 3。各试验桩整理的试验成果见表 3。



图 3 桩短桩抗压摩阻力破坏

Fig. 3 Broken short pile of compressive friction test

表 3 抗压摩擦力试验结果
Table 3 Results of compressive frictive test

桩号	试验状态	承载力/kN	摩阻力/kPa	沉降量/mm
85	破坏状态	2 500	3 184.71	28.78
	极限状态	2 250	2 866.24	10.32
	特征值	750	955.41	1.25
93	破坏状态	2 250	2 866.24	19.96
	极限状态	2 000	2 547.77	7.80
	特征值	666.67	849.26	1.27
94	破坏状态	2 000	2 547.77	30.58
	极限状态	1 750	2 229.30	12.23
	特征值	583.33	743.10	2.07
87	破坏状态	2 000	2 547.77	27.51
	极限状态	1 750	2 229.30	9.66
	特征值	583.33	743.10	1.64

 由试验结果分析可得,85 号和 94 号桩底桩短桩与中、微风化粉砂质泥岩之间的抗压摩阻力特征值分别为 955.41 kPa 和 743.10 kPa;93 号桩底桩短桩与中~微风化钙质泥岩之间的抗压摩阻力特征值为 849.26 kPa;87 号桩底桩短桩与中风化粉砂质泥岩之间的抗压摩阻力特征值为 743.10 kPa。

2.2 抗拔摩擦试验

 通过试验数据整理,本次试验的桩与围岩抗拔摩阻力试验曲线见图 4。

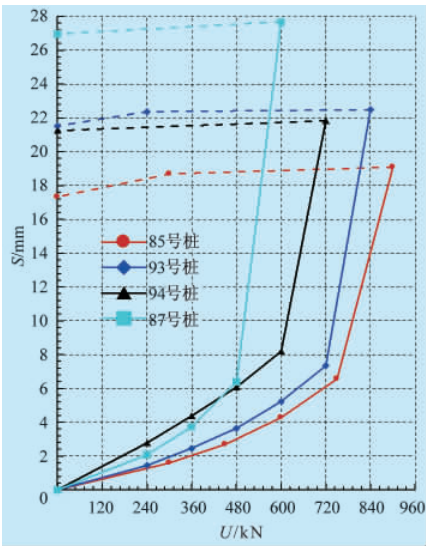


图 4 抗拔摩擦力试验 U - S 曲线

Fig. 4 U - S curves of pulling out friction test

 85 号桩预估最大试验荷载 1 500 kN,分 10 级加荷。在前 5 级荷载作用下,桩短桩的上拔位移均随着竖向荷载的增加而逐步递增,没有出现突变现象。施加第 6 级荷载(900 kN)时,桩短桩的上拔位移急剧增加,相应的上拔荷载 U -位移 S 曲线在 750 kN 荷载处出现明显的直线陡升段,说明桩短桩表

面的抗拔摩阻力在 750 kN 时已达极限,至 900 kN 时则破坏,破坏情况见图 5。



图 5 砼短柱抗拔摩阻力破坏

Fig. 5 Broken short pile of pulling out friction test

依据试验数据,按照有关规范计算整理得到试验成果见表 4。85 号和 94 号桩底砼短桩与中、微风化岩之间的抗拔摩阻力特征值分别为 530.78 kPa 和 424.63 kPa;93 号桩底砼短桩与中、微风化岩之间的抗拔摩阻力特征值为 509.55 kPa;87 号桩底砼短桩与中风化岩之间的抗拔摩阻力特征值为 339.70 kPa。

表 4 抗拔摩阻力试验结果

Table 4 Results of pulling out friction test

桩号	试验状态	承载力/kN	摩阻力/MPa	沉降量/mm
85	破坏状态	900	1.910 83	19.08
	极限状态	750	1.592 36	6.56
	特征值	250	0.530 78	1.32
93	破坏状态	840	1.783 44	22.48
	极限状态	720	1.528 66	7.34
	特征值	240	0.509 55	1.44
94	破坏状态	720	1.528 66	21.82
	极限状态	600	1.273 88	8.18
	特征值	200	0.424 63	2.31
87	破坏状态	600	1.273 88	27.68
	极限状态	480	1.019 11	6.40
	特征值	160	0.339 70	1.39

2.3 试验比较

试验研究表明,桩与围岩相互作用在不同受力状态下表现出不同性质,抗压摩阻力特征值普遍大于抗拔摩阻力特征值,抗压值与抗拔值对比情况见表 5。

表 5 抗拔/抗压摩阻力特征值对比

Table 5 Comparison between the pulling out friction and compressive friction force parameters

桩号	抗压摩阻力特征值/kPa	抗拔摩阻力特征值/kPa	抗压值与抗拔值之比
85	955.41	530.78	1.8
93	849.26	509.55	1.7
94	743.10	424.63	1.7
87	743.10	339.70	2.2

分析试验数据可知,在抗拔力设计计算中如果采用抗压摩擦阻力参数,则计算结果偏向不安全。现行工程勘察报告所提供岩土摩擦力参数多指抗压摩擦参数,为此定义抗拔分项系数

$$\gamma = \frac{f_{\text{csk}}}{f_{\text{tsk}}} \quad (1)$$

式中 f_{csk} 为抗压摩阻力特征值, f_{tsk} 为抗拔摩阻力特征值。

在具有抗拔要求的重大工程项目计算中可以将抗拔分项系数代入抗拔力计算公式,作为抗拔力设计值的安全储备,本工程中建议 γ 为 1.7~2.0。

3 结论

采用经验方法确定的桩侧极限摩阻力结果往往存在较大误差,对于重大工程必须进行现场试验。本研究选取广州新电视塔 C 区的 4 个挖孔桩底基岩进行混凝土短柱与基岩摩擦试验,对桩在受压与受拉不同应力状态下的摩擦力特征进行分析。

1) 试验研究表明桩与围岩相互作用在不同受力状态下表现出不同性质,抗压摩阻力特征值普遍大于抗拔摩阻力特征值。

2) 在具有抗拔要求的重大工程项目计算中可以将抗拔分项系数代入抗拔力计算公式,作为抗拔力设计值的安全储备,本工程中建议 γ 为 1.7~2.0。

3) 通过试验数据分析,获得准确的桩与岩层承载能力和变形特性指标,为重大工程设计施工提供参考。

参考文献 (References)

- [1] 张建新, 叶洪东, 杜海金, 等. 嵌岩桩设计中几个问题的探讨 [J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(7): 1222-1225.
Zhang Jianxin, Ye Hongdong, Du Haijin, et al. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(7): 1222-1225.
- [2] 叶琼瑶, 黄绍铨. 软岩嵌岩桩的模型试验研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2004 23(3): 461-464.
Ye Qiongyao, Huang Shaokeng. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(3): 461-464.
- [3] 刘兴远, 郑颖人. 影响嵌岩桩嵌岩段特性的特征参数分析 [J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(3): 383-386.
Liu Xingyuan, Zheng Yingren. Chinese Journal of Rock Mechanic and Engineering, 2000, 19(3): 383-386.
- [4] 林育梁, 韦立德. 软岩嵌岩桩承载有限元模拟方法研究 [J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(12): 1854-1857.
Lin Yuliang, Wei Lide. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2002, 21(12): 1854-1857.
- [5] 池跃君, 韩庆华, 顾晓鲁, 等. 超长桩承载特性的数值拟合 [J]. 工程力学, 2001, 18(2): 46-50.
Chi Yuejun, Han Qinghua, Gu Xiaolu, et al. Engineering Mechanics, 2001, 18(2): 46-50.
- [6] 杨育文. 钻孔灌注桩桩端嵌入超厚粉砂层深度的确定[J]. 土木工程学报, 2007, 40(增刊): 6-9.

- Yang Yuwen. *China Civil Engineering Journal*, 2007, 40(Suppl): 6-9.
- [7] 何剑. 泥岩地基中灌注桩竖向承载性状试验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2002, 21(10): 1573-1577.
- He Jian. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2002, 21(10): 1573-1577.
- [8] Lam T S K, Pells P J N. A theoretical study of pile-rock socket behavior [C]//Proceedings of the International Conference on Structural Foundation on Rock. Sydney, 1980: 253-264.
- [9] Johnston I W. A new method for single pile settlement prediction and analysis[J]. *Geotechnique*, 1992, 42(3): 411-425.
- [10] 张建新, 吴东云, 杜海金. 嵌岩桩承载性状和破坏模式的试验研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(2): 320-323.
- Zhang Jianxin, Wu Dongyun, Du Haijin. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2004, 23(2): 320-323.
- [11] 董平, 秦然, 陈乾, 等. 大直径人工挖孔嵌岩桩的承载性状[J]. *岩石力学与工程学报*, 2003, 22(12): 2099-2103.
- Dong Ping, Qin Ran, Chen Qian, et al. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(12): 2099-2103.
- [12] Finn R J. Science and empiricism in pile foundation design [J]. *Geotechnique*, 2003, 53(10): 847-875.
- [13] Wang Y H, Tham L G, Lee P K K, et al. A study on rock-socketed piles[C]//Proceedings of the Seminar of Design of Rock-socketed Piles. Hong Kong: Center of Research and Professional Development, 2005: 1-18.
- [14] 胡春林, 李向东, 吴朝晖. 后压浆钻孔灌注桩单桩竖向承载力特性研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2001, 20(4): 546-550.
- Hu Chunlin, Li Xiangdong, Wu Zhaohui. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2001, 20(4): 546-550.
- [15] 王旭, 赵善锐, 丁小军. 砾卵石层中桩底灌浆钻孔灌注桩承载性质研究[J]. *岩石力学与工程学报*, 2003, 22(增刊 2): 2903-2907.
- Wang Xu, Zhao Shanrui, Ding Xiaojun. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(S2): 2903-2907.
- [16] Randolph M F, Dolwin J, Beck R. Design of driven piles in sand [J]. *Geotechnique*, 1994, 44(3): 427-448.
- [17] Lee J H, Salgado R. Determination of pile base resistance in sands [J]. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1999, 125(8): 673-683.
- [18] 王耀辉, 谭国焕, 李启光. 模型嵌岩桩试验及数值分析 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2007, 26(8): 1691-1697.
- Wang Yaohui, Tham L G, Lee P K K. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2007, 26(8): 1691-1697.
- [19] 杨育文. 钻孔灌注长桩桩侧摩阻力和建筑物沉降分析 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2008, 27(6): 1260-1259.
- Yang Yuwen. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2008, 27(6): 1260-1259.
- [20] 周红波. 上海高层建筑打入桩基长期沉降影响因素分析 [J]. *建筑结构*, 2006, 36(10): 40-42.
- Zhou Hongbo. *Building Structure*, 2006, 36(10): 40-42.

(责任编辑 岳臣)

2009年9月 天津

第11届全国肺癌学术大会

主办：中国抗癌协会

承办：天津市抗癌协会

肺癌综合治疗

关注生存获益

联系地址：天津市河西区体院北环湖西路22号
肿瘤医院肺科、科教科 (300060)

电话：022-23340123-3031, 23537796

网址：www.tjmuch.com