

软岩桩基承载性能试验研究

程 晔^{1, 2}, 龚维明¹, 戴国亮¹, 吴靖坤³

(1. 东南大学 土木工程学院, 江苏 南京 210096; 2. 南京航空航天大学 土木工程系, 江苏 南京 210016;
3. 南京市建筑设计研究院有限责任公司, 江苏 南京 210005)

摘要: 地王商会中心和佳得鑫广场是南宁市两座相邻的高层建筑, 其基础均采用人工挖孔扩底桩, 桩端嵌入第三系泥岩。广西南宁盆地广泛分布的第三系泥岩是典型的软岩, 通常被选择作为建筑物桩基的持力层。为掌握软岩桩基的工程性质, 采用自平衡试桩法进行上述2个工程共8根嵌岩桩的承载性能试验。考虑到各试桩的嵌岩深度和尺寸不同, 为获得较好的试验结果, 桩身荷载箱的设置采用不同型式。通过试验解决大吨位软岩扩底桩承载力测试难题, 为工程设计提供所需的重要参数。对试验数据进行对比分析结果表明, 浸水对软岩桩基的承载性能有较大的削弱。根据试验研究结论, 施工中采取有效措施防止泥岩浸水, 为今后类似工程的建设积累了宝贵的经验。

关键词: 桩基工程; 软岩; 第三系泥岩; 扩底桩; 自平衡; 承载性能

中图分类号: TU 473.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-6915(2009)01-0165-08

RESEARCH ON BEARING PERFORMANCE OF SOCKETED PILE IN SOFT ROCK

CHENG Ye^{1, 2}, GONG Weiming¹, DAI Guoliang¹, WU Jingkun³

(1. School of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing, Jiangsu 210096, China;

2. Department of Civil Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing, Jiangsu 210016, China;

3. Nanjing Architectural Design and Research Institute Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu 210005, China)

Abstract: Diwang Commercial Center and Jiadexin Crystal Mansion are both high-rise buildings in Nanning, and they are close to each other. Foundations of them are both made of manual digging socketed belled piles in tertiary mudstone. Tertiary mudstone is a typical soft rock distributing widely in Nanning Basin, Guangxi Autonomous Region. It is usually chosen as the bearing stratum of pile foundation. In order to master the engineering characteristics of socketed pile in soft rock, the self-balanced loading test is conducted to test eight piles of two high-rise buildings. The cell assembled in the pile body is the key equipment of the test. To get better test effect, assembly of cell has been taken different modes in terms of depth that pile socketed in rock and dimension of enlarged toe. By the self-balanced loading test, the problem that the ultimate bearing capacity of the large tonnage socketed belled pile in soft rock is hard to be acquired is solved. Several key parameters required in design are obtained. In terms of test results, the bearing performances of the piles are studied. By comparing the test curves of pile tip, pile side and the equivalent converted curves of the whole pile, it reveals apparently that the bearing capacity of the socketed pile in mudstone will decrease after mudstone has been immersed. Since effective

收稿日期: 2008-06-02; **修回日期:** 2008-07-23

基金项目: 建设部研究开发资助项目(06-k1-09)

作者简介: 程 晔(1977-), 男, 2005年于东南大学土木工程学院岩土工程专业获博士学位, 现为在站博士后, 主要从事岩土工程方面的研究工作。
E-mail: chengye1977@163.com

measures have been taken; mudstone is prohibited from being immersed during construction. And valuable experience has been accumulated for similar projects construction henceforth.

Key words: pile foundations; soft rock; tertiary mudstone; belled pile; self-balanced; bearing performance

1 引言

嵌岩桩具有单桩承载力高、沉降小、抗震性能好、群桩效应小等优点,在工程中被广泛应用。而软岩由于自身具有的一些特殊性,所以嵌入软岩的桩体体现出的承载性状不同于其他嵌岩桩。

南宁盆地广泛分布的第三系泥岩主要是第三纪晚期的湖沼相沉积物,由不同岩性的岩层组成,主要包括粉砂质泥岩、黏土质泥岩和砂质泥岩,这些不同岩性的岩层往往互层出现^[1]。建筑物的桩基往往穿越第四系沉积物,选择其作为持力层。同时,为充分发挥该岩层的承载力,桩型主要采用扩底桩。

泥岩为半成岩,属软岩,有许多蠕滑剪切结构面和细小的网状裂隙。取样卸荷和试样制备期间,泥岩膨胀,裂隙增大。在加轴向力时,试样会沿结构面或增大了的裂隙破坏,且泥岩有浸水软化现象,受清水回转钻进机械搅动影响较大^[2, 3]。

大直径软岩桩基承载力的确定不宜以试样的室内抗压强度试验值作为依据,需要进行现场载荷试验^[4, 5]。以往现场试验手段主要是平板载荷试验^[6],本次试验采用的是自平衡试桩法^[7, 8]。

2 工程概况

南宁市地王商会中心和佳得鑫广场是两座相邻的高层建筑,位于琅东经济开发区的金湖广场与金湖路交叉口西侧。

地王商会中心总建筑面积 127 300 m²。主楼 51 层,高 186 m,筒中筒结构。副楼 23 层,框-剪结构。裙楼 5 层,框架结构。地下室 3 层。

佳得鑫广场商住区,总建筑面积 165 998 m²。由 4 栋 31 层的塔楼(高 100 m)和与其相连的 4 层裙房组成。地下室 3 层。

2 个工程重要性等级均为一级,场地等级为一级,地基等级为二级。2 块建筑场地的地质条件类似。上覆第四系上更新统望高组上段(Q^{al}_{3w2})冲积层,下伏基岩为第三系里彩组(E_{3l})内陆湖相沉积的

泥质岩系及粉细砂岩等,场地及其附近无大的断裂通过,其周围亦未发现区域性活动的大断裂,因此区域地质构造稳定性好。

场地内自上而下分布岩土层有:杂填土、素填土、淤泥质粉质黏土、坚硬状黏土、硬~可塑状粉质黏土、稍密~中密状粉土、松散~稍密状粉砂、中密状砾砂、中~密实状圆砾、强风化粉砂质泥岩、中风化粉砂质泥岩以及中风化粉砂岩。

基础采用人工挖孔灌注桩,以强、中风化岩层为桩端持力层,并在端部形成扩大头。人工挖孔扩底桩桩端持力岩层的物理力学性质指标如表 1 所示。

表 1 桩端持力岩层的物理力学性质指标

Table 1 Physico-mechanical indexes of bearing strata of pile tip

工程名称	岩层名称及编号	天然重度 γ / (kN · m ⁻³)	天然含水率 w / %	天然孔隙比 e_0	天然黏聚力 c_k / kPa	内摩擦角 ϕ_k / (°)	标准贯入击数 N	压缩模量 E_s / MPa
地王商会中心	⑧强风化泥岩	21.23	14.70	0.441	185.00	16.00	31.0	10.87
	⑨中风化泥岩	21.30	14.60	0.431	229.80	18.80	73.0	14.20
佳得鑫广场	⑩中风化粉砂质泥岩	21.60	15.86	0.464	76.13	22.51	63.6	9.61

由于场地内桩数多,且型号较多,为了确定不同型号桩的极限承载力,为设计提供可靠依据,2 个工程采用自平衡试桩法进行了 8 根试桩的承载力试验。2 个工程共 4 根试桩的桩端在施工过程中出现了浸水现象,这 4 根试桩分别是地王商会中心的 94[#]和 102[#]试桩以及佳得鑫广场的 302[#], 325[#]试桩。

3 试验原理

8 根试桩均采用自平衡法进行测试,由于试桩的尺寸不同,测试目的也不尽相同,试验装置采取 3 种不同型式(见图 1)。

如图 1(a)所示,采用自平衡法单荷载箱测试时,可获得整个桩的承载性能。地王商会中心的 56[#], 105[#]及 102[#]试桩采用该试验装置进行测试。将荷

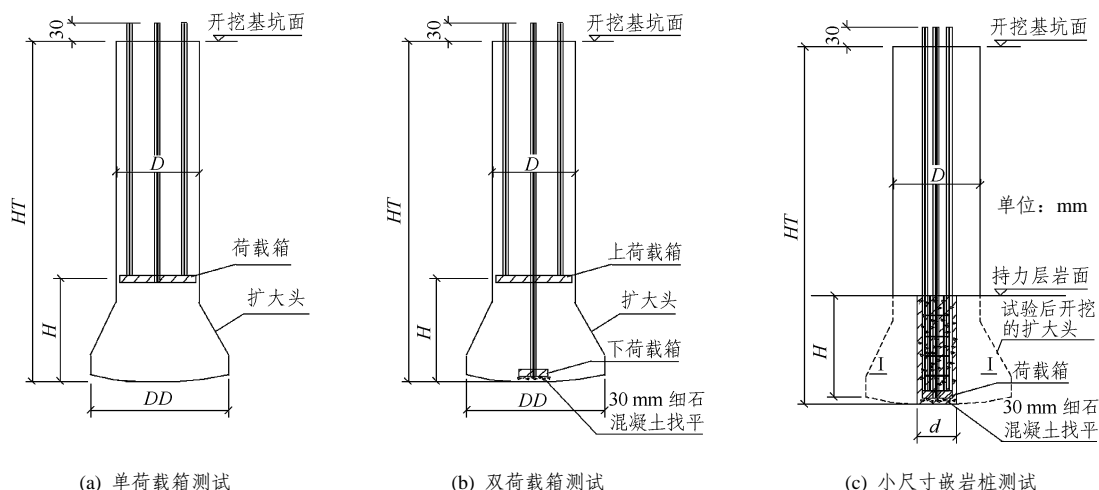
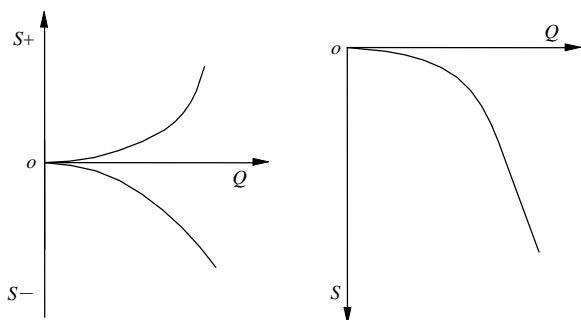


图 1 自平衡试桩示意图

Fig.1 Sketch of self-balanced test piles

载箱与钢筋笼连接后安装在桩身平衡点，并将高压油管和位移棒一起引到地面。试验时，从桩顶通过高压油管对荷载箱内腔施加压力，箱顶与箱底被推开，产生向上与向下的推力，从而调动桩周岩土侧阻力与端阻力。通过位移传感器可以测得荷载箱加载的每一级荷载所对应的上、下底板位移。

测试可得到向上、下 2 条 $Q-S$ 曲线。为了判断承载力，需要将测试结果向传统静载试验的桩顶荷载 - 位移曲线转换，如图 2 所示。具体转换方法则是根据测得的桩侧各层岩土的摩阻力与位移量关系、荷载箱荷载与位移量关系，通过荷载传递方法，求得桩顶荷载对应的荷载 - 沉降关系，即等效转换曲线^[8]。



(a) 自平衡测试曲线

(b) 等效转换曲线

图 2 自平衡测试结果转换示意图

Fig.2 Sketch of self-balanced test result conversion

对于某些嵌岩扩底桩，桩端承载力占总承载力的比例较大，如采用单荷载箱无法得到总极限承载力，可采用双荷载箱技术进行测试，双荷载箱的设

置如图 1(b)所示。地王商会中心的 94# 试桩就是采用该装置进行测试的。由下荷载箱测试结果可推算出桩端总承载力和位移关系，而由上荷载箱测试结果可得出上部桩的侧摩阻力和位移关系。同样采用荷载传递方法，可得桩顶荷载作用对应的荷载 - 沉降关系，即等效转换曲线。采用该试验装置得出的总承载力忽略了扩大头部分的桩侧摩力。但由于扩大头部分侧面积相对较小，忽略后对总承载力的影响不大且偏于安全。

有些嵌岩桩的承载力主要来自嵌岩部分，设计时主要考虑嵌岩部分的桩端阻力及侧摩阻力。为了研究嵌岩段岩层的承载性能，采用了如图 1(c)所示的试验装置。通过对小尺寸嵌岩桩进行测试，推算出嵌岩桩基的整体承载性能。根据设计要求，佳得鑫广场的 208#、242#、302# 及 325# 试桩采用该试验装置进行了测试。人工挖孔桩按设计要求挖至持力层岩面后，由中心位置向下挖一小直径的桩孔，孔底用 30 mm 细石混凝土找平，将荷载箱放入孔底，将位移棒引至已开挖基坑的标高，然后对小尺寸桩浇筑成型(见图 1(c))。

地王商会中心和佳得鑫广场的试桩参数分别如表 2、3 所示。

4 测试情况

测试采用慢速维持荷载法，并按有关规定采集每级荷载对应的向下和向上位移及应变计数据。每级加载为预估加载值的 1/10，第一级按 2 倍荷载分级加载。

表2 地王商会中心的试桩参数

Table 2 Parameters of test piles of Diwang Commercial Center

试桩号	D/mm	DD/mm	HT/m	H/mm	预估加载值/kN
56#	1 000	1 400	11.7	1 100	2×3 700
94#	2 200	3 700	20.9	2 650(上荷载箱) 0(下荷载箱)	2×12 000(上荷载箱) 2×2 200(下荷载箱)
105#	2 000	3 000	24.4	2 300	2×21 500
102#	2 000	3 000	25.5	3 700	2×23 800

表3 佳得鑫广场的试桩参数

Table 3 Parameters of test piles of Jiadexin Crystal Mansion

试桩号	d/m	H/m	D/m	HT/m	荷载箱高度/m	荷载箱底板直径/m	预估加载值/kN
208#	1.0	3.5	2.3	25.0	0.4	0.8	2×3 500
242#	1.0	3.1	2.3	24.0	0.4	0.8	2×2 500
302#	1.0	3.0	2.7	23.0	0.4	0.8	2×2 500
325#	1.1	3.5	2.0	24.0	0.4	0.8	2×3 500

地王商会中心的试桩，为了获得分层岩土层的摩阻力特性，在桩身对应不同岩土层的分界面处预埋了应变计。

地王商会中心的4根试桩测试结果概况如表4所示，各试桩的测试曲线如图3所示。

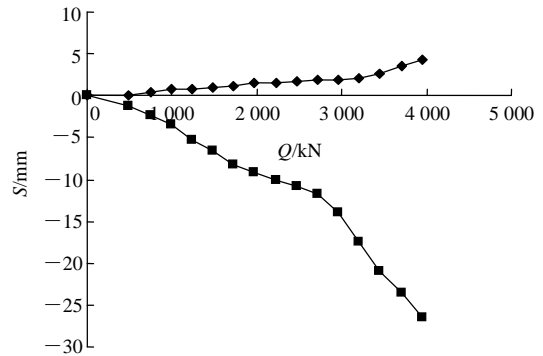
表4 地王商会中心试桩测试结果概况

Table 4 General test results of Diwang Commercial Center

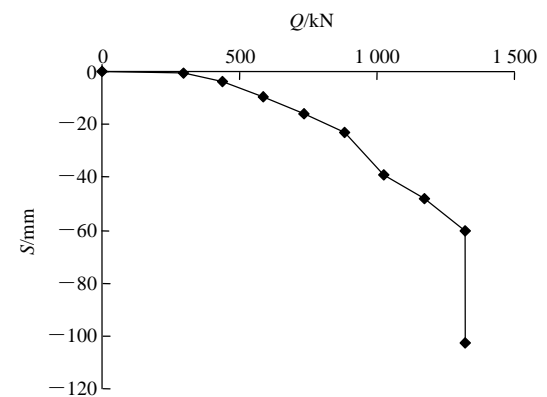
试桩号	预估加载值/kN	最终加载值/kN	上段桩极限承载力取值/kN	下段桩极限承载力取值/kN
56#	2×3 700	2×3 946.7	>3 946.7	>3 946.7
94#	(上荷载箱) 2×2 200 (下荷载箱)	(上荷载箱) 2×1 466.7 (下荷载箱)	>14 400.0	28 236.0*
102#	2×23 800	2×21 420.0	>19 040.0	19 040.0
105#	2×21 500	2×21 500.0	>21 500.0	>21 500.0

注：“*”表示根据下荷载箱测试结果推算得出。

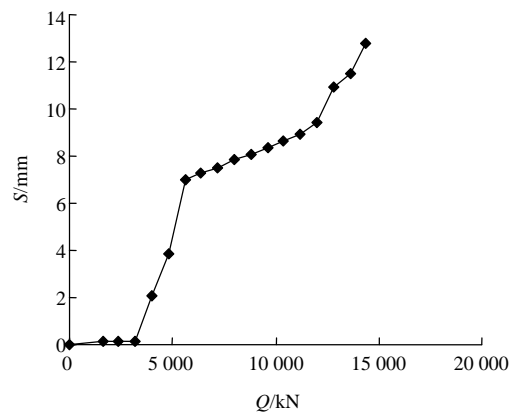
从图3(a)可以看出，56#试桩向上位移的增加速度小于向下位移，在达到预估加载值时，向上位移为3.55 mm，向下位移为23.50 mm，之后又增加了一级荷载(2×3946.7 kN)，最终向上位移为4.37 mm，最终向下位移为26.41 mm。



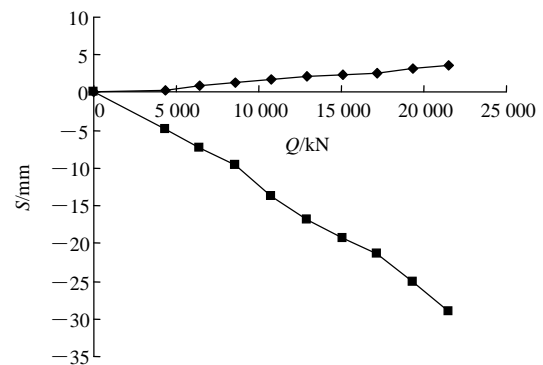
(a) 56#试桩



(b) 94#试桩(下荷载箱)



(c) 94#试桩(上荷载箱)



(d) 105#试桩

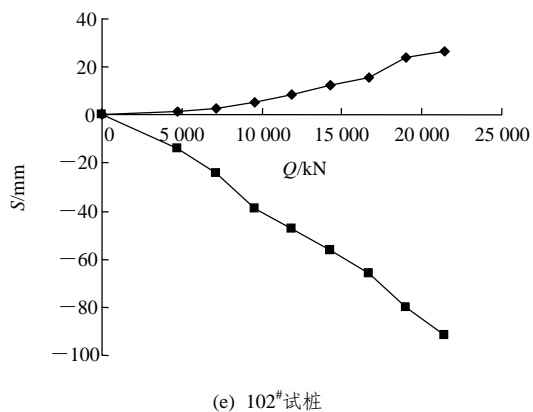


图 3 地王商会中心试桩荷载 - 位移曲线
Fig.3 Load-displacement curves of test piles of Diwang Commercial Center

从图 3(b)可以看出, 94[#]试桩下荷载箱测试时向下位移增加较快, 在第 9 级荷载($2 \times 1\,466.7\text{ kN}$)加载时, 向下位移持续增加并超过 100 mm, 无法稳定, 故停止加载。

从图 3(c)可以看出, 94[#]试桩上荷载箱测试时向上位移增加较慢, 在达到预估加载值时位移较小, 为 9.43 mm, 故又增加了 3 级荷载, 最终加载值达到 $2 \times 14\,400\text{ kN}$, 向上位移仍较小为 12.77 mm。

从图 3(d)可以看出, 105[#]试桩测试时向上位移的增加速度小于向下位移, 达到预估加载值时($2 \times 21\,500\text{ kN}$), 向上、向下位移均较小, 分别为 3.65 和 29.11 mm。

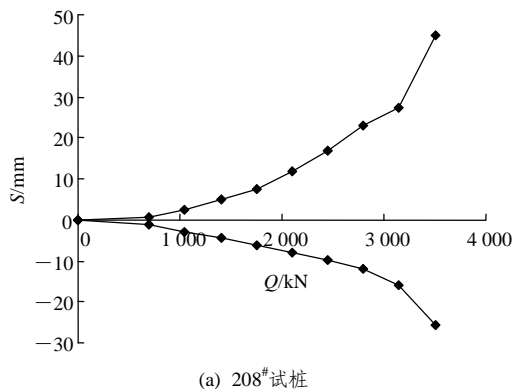
从图 3(e)可以看出, 102[#]试桩测试过程中向下位移增加较快, 至第 7 级($2 \times 19\,040\text{ kN}$)结束时, 向下位移达 80.27 mm, 向上位移为 23.79 mm。第 8 级($2 \times 21\,420\text{ kN}$)加载时, 加载过程中向下位移超过 90 mm, 无法稳定, 故停止加载。

佳得鑫广场的 4 根试桩的测试结果概况如表 5 所示, 各根试桩的测试曲线如图 4 所示。

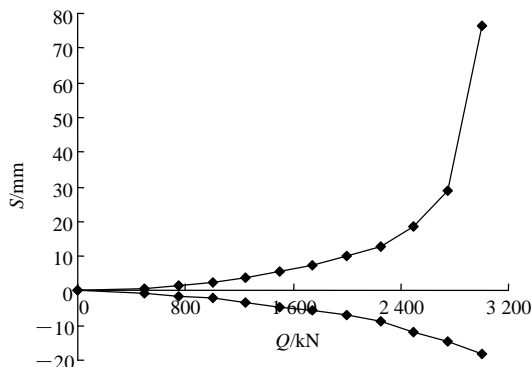
表 5 佳得鑫广场试桩测试结果概况

Table 5 General test results of Jiadexin Crystal Mansion

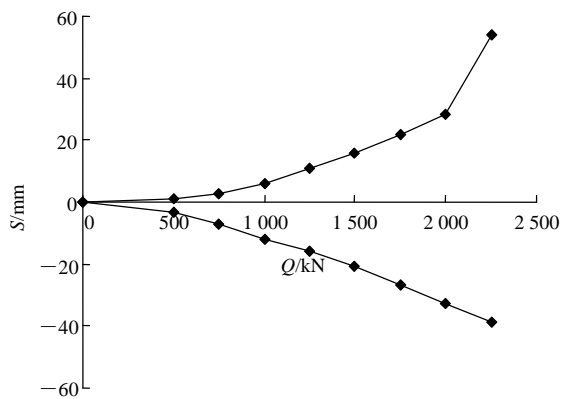
试桩号	预估加载值/kN	最终加载值/kN	桩端阻力极限值/kN	桩侧摩阻力极限值/kN
208 [#]	$2 \times 3\,500$	$2 \times 3\,500$	3 150	3 150
242 [#]	$2 \times 2\,500$	$2 \times 3\,000$	$>3\,000$	2 750
302 [#]	$2 \times 2\,500$	$2 \times 2\,250$	$>2\,250$	2 000
325 [#]	$2 \times 3\,500$	$2 \times 2\,800$	2 630	$>2\,800$



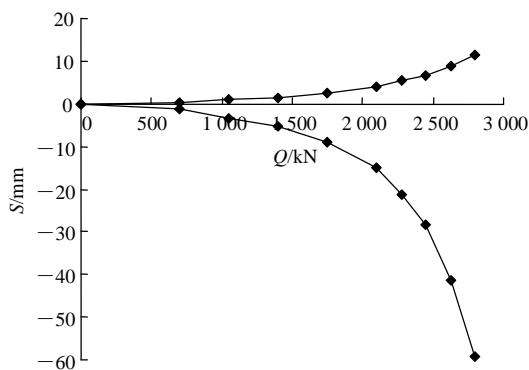
(a) 208[#]试桩



(b) 242[#]试桩



(c) 302[#]试桩



(d) 325[#]试桩

图 4 佳得鑫广场试桩荷载 - 位移曲线
Fig.4 Load-displacement curves of test piles of Jiadexin Crystal Mansion

从图 4(a)可以看出, 208[#]试桩测试时向下位移的增加速度小于向上位移。在达到预估加载值($2 \times 3\,500\text{ kN}$)时, 向上位移发生突变, 超过 44.98 mm , 试验终止, 此时向下位移为 23.50 mm 。

从图 4(b)可以看出, 242[#]试桩测试时向下位移的增加速度小于向上位移, 在达到预估加载值($2 \times 2\,500\text{ kN}$)时, 向上位移达到 28.67 mm , 向下位移达到 14.67 mm 。曲线均没未突变, 位移也较小, 故又增加一级荷载($2 \times 3\,000\text{ kN}$), 在这级荷载下, 向上位移发生突变, 超过 76.32 mm , 此时向下位移达到 18.13 mm 。

从图 4(c)可以看出, 302[#]试桩测试过程中向下和向上位移均缓慢增加, 至第 8 级($2 \times 2\,250\text{ kN}$), 向上位移发生突变, 达到 54.24 mm , 试验终止, 最终向下位移为 38.85 mm 。

从图 4(d)可以看出, 325[#]试桩加载至原第 5 级荷载($2 \times 2\,100\text{ kN}$)时, 发现向下位移增长较快, 达 15.07 mm 。为更好判断承载力, 将加等级细分。在原第 5, 6 级荷载和第 6, 7 级荷载之间各增加了一级荷载。故最终加载值 $2 \times 2\,800\text{ kN}$ 在原加载分级中为第 7 级, 在实际加载中为第 9 级。最终加载至第 9 级荷载($2 \times 2\,800\text{ kN}$)时, 向下位移持续增加无法停止, 此时中止加载。最终的向下位移超过 59.19 mm , 向上位移达 11.54 mm 。

5 测试结果与分析

通过对试验获得的数据进行整理分析, 可得到以下一些广西南宁地区软岩桩基的重要性质。

5.1 桩端承载性能

各试桩的桩端应力 - 桩端位移曲线如图 5 所示, 各试桩桩端极限应力和相应位移如表 6 所示。

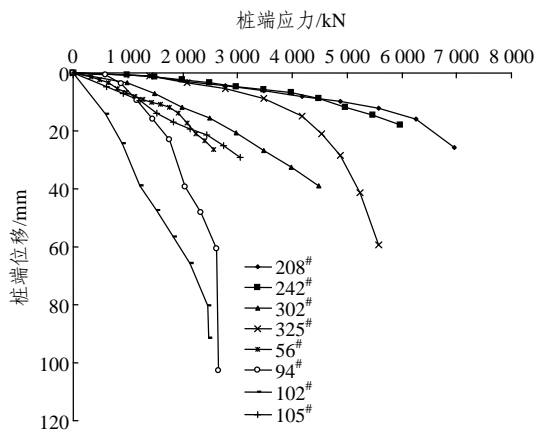


图 5 桩端应力 - 桩端位移曲线

Fig.5 Curves of stress and displacement of pile tip

表 6 各试桩桩端极限应力和相应位移汇总表
Table 6 Ultimate stresses and corresponding displacements of pile tip

桩号	桩端极限应力/kPa	桩端极限应力相应位移/mm
56 [#]	>2 564	26.41
94 [#]	2 626	60.64
102 [#]	2 455	80.27
105 [#]	>3 042	29.11
208 [#]	>6 962	25.78
242 [#]	>5 968	18.13
302 [#]	>4 476	38.85
325 [#]	5 232	41.40

总体而言, 各试桩在桩端应力较低时, 位移随荷载增长呈线性变化。

就桩端应力 - 位移关系而言, 未浸水的泥岩表现良好的线性关系, 浸水后泥岩在荷载水平较大时表现出明显的非线性。

相比较同场地的其他桩, 地王商会中心的 102[#]试桩、佳得鑫广场的 302[#]试桩受浸水影响, 曲线斜率从一开始就较大。

对比地王商会中心同一场地的桩端同为中风化泥岩的 3 根试桩, 未浸水的 105[#]试桩的桩端极限承载力值是浸水的 94[#]和 102[#]试桩的 1.15~1.24 倍。

对比佳得鑫广场同一场地的 4 根试桩, 未浸水的 202[#], 242[#]试桩的桩端极限承载力是浸水的 305[#], 325[#]试桩的 1.22~1.40 倍。

比较佳得鑫广场和地王商会中心的桩端持力岩层的极限承载力, 可以发现前者的更高。这表明后者持力岩层的风化程度更高。

5.2 嵌岩部分桩侧承载性能

图 6 为 7 根试桩嵌岩段的桩侧摩阻应力 - 桩侧位移曲线。而 94[#]试桩因为其嵌岩段几乎全为扩大

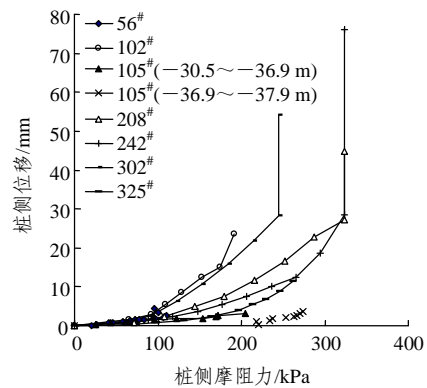


图 6 桩侧摩阻力 - 桩侧位移曲线

Fig.6 Curves of friction resistance and displacement of pile side

头部分, 荷载箱的设置如图 1(b)所示, 无法得到其嵌岩段的桩侧摩阻力 - 位移关系。

从图 6 可以看出, 56#试桩的极限摩阻力最低, 在达到峰值 110 kPa 后, 出现软化现象。因为其桩侧为强风化泥岩, 较高的风化程度影响了其桩侧承载能力^[9]。

地王商会中心的 102#和 105#试桩的桩侧嵌岩部分同为中风化泥岩, 对比其摩阻力 - 位移曲线。102#试桩受浸水影响, 在达到相同摩阻力时位移较大。105#试桩桩侧极限摩阻力大于 270 kPa(因为其对应的位移值小, 摩阻力 - 位移曲线仍处于上升阶段), 而 102#试桩桩侧极限摩阻力约为 190 kPa(因为其对应位移较大, 且摩阻力 - 位移曲线进入平缓段, 接近极限摩阻力值)。

对比佳得鑫广场的 4 根试桩, 302#试桩桩侧承载能力受浸水影响, 在达到相同摩阻力时位移较大, 其余 3 根试桩的摩阻力 - 位移曲线形状差别不大。根据曲线形状可以推断 325#试桩的桩端虽受浸水影响大, 但其桩侧几乎没有受浸水影响, 在桩端破坏时, 其桩侧仍有一定承载能力未发挥出来。

岩层是否浸水, 对桩侧极限摩阻力同样产生了很大影响。对比桩侧极限摩阻力, 地王商会中心的岩层未浸水的试桩是浸水的 1.44 倍以上; 而对于佳得鑫广场, 前者是后者的 1.24~1.32 倍。

佳得鑫广场的岩层与地王商会中心岩层相比, 桩侧摩阻力更高, 进一步证实了后者持力岩层的风化程度更高。

5.3 整桩承载性能

根据测试所得的各截面的应力, 可以得到桩身各段的摩阻力 - 位移曲线。根据摩阻力 - 位移曲线, 采用荷载传递法得到地王商会中心的各试桩的等效转换曲线如图 7 所示。各试桩极限承载力和相应位移如表 7 所示(陡变型曲线取陡变点对应的荷

表 7 各试桩极限承载力和相应位移汇总表

Table 7 Ultimate bearing capacity and corresponding displacement of test piles

桩号	极限承载力/kN	极限承载力相应位移/mm	破坏型式
56#	8 653	27.76	缓变型
94#	47 617	65.47	陡变型
102#	43 600	85.51	陡变型
105#	45 720	35.67	缓变型

载为承载力极限值; 缓变型曲线取最后一级对应的荷载为承载力极限值)。

对比 4 根试桩的等效转换曲线, 2 根试桩曲线为缓变型, 另 2 根试桩曲线为陡变型。其中, 发生陡变的 2 根试桩(94#和 102#试桩)的桩端在施工过程中均出现了浸水现象, 故对应极限承载力的位移也较大^[10, 11]。

尺寸和地质条件基本相同的 102#和 105#试桩, 在相同荷载作用下产生的位移, 后者大于前者, 这表明岩层未浸水试桩的刚度明显大于岩层浸水的试桩^[12]。

综上所述所述, 施工过程中泥岩浸水后, 桩的承载能力有显著的下降。

6 试验结果及工程措施

试验结果表明, 施工过程中泥岩浸水会导致桩承载能力显著的下降。其原因是该地区泥岩是膨胀性泥岩, 具有明显的湿化崩解性。其矿物成分中蒙脱石含量较高, 粒度组成中黏粒含量高, 比表面积大, 吸水能力强。含水量对泥岩的强度影响较大, 随着含水量增加, 其强度值呈明显非线性下降^[13~15]。

针对岩层浸水后软岩桩基承载能力下降的问题, 在施工中必须采取有效的措施防止地下水、地表水渗入。实际施工时, 采取了以下 3 个措施保证桩基的施工质量: (1) 挖孔过程中, 及时抽取孔内集水, 尽量保持孔内干燥; (2) 挖孔结束, 立即进行桩身混凝土的浇筑; (3) 如混凝土供应无法及时跟上, 则不挖至设计桩底, 预留一定厚度泥岩, 待浇筑桩身混凝土前进行开挖。

7 结 论

采用自平衡测试法解决了大吨位软岩扩底桩的

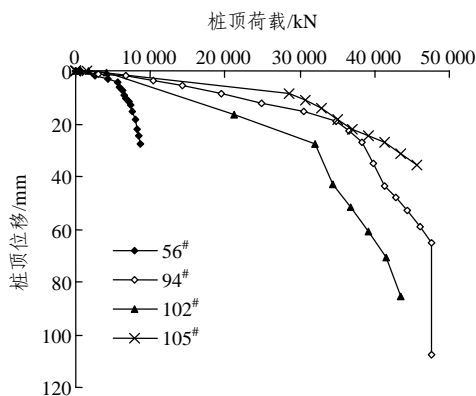


图 7 等效转换曲线

Fig.7 Equivalent converted curves

承载力测试难题, 获得了桩基设计所需的重要参数。

各试桩的嵌岩深度和扩大头尺寸不同, 在自平衡测试中采用了不同的荷载箱设置方式, 达到预期的测试目的。

通过多根试桩的载荷试验对软岩桩基承载性能有了进一步了解。针对试验中发现岩层浸水后桩的承载能力下降的问题, 在施工中采取了有效措施, 保证了桩基础的工程质量, 并为今后类似工程的建造积累了经验。

参考文献(References):

- [1] 邓德贵, 吴 谥. 广西南宁盆地早第三纪沉积相特征[J]. 广西地质, 1992, 5(2): 23 - 30.(DENG Degui, WU Yi. The characterization of tertiary early sediment of Nanning Basin in Guangxi Autonomous Region[J]. Guangxi Geology, 1992, 5(2): 23 - 30.(in Chinese))
- [2] 黄宇心. 南宁盆地泥岩的工程性质及其承载力问题的探讨[J]. 广西土木建筑, 1996, 21(3): 114 - 118.(HUANG Yuxin. Discussion on engineering property and bearing capacity problem of mudstone of Nanning Basin[J]. Building in Guangxi, 1996, 21(3): 114 - 118.(in Chinese))
- [3] 易念平, 张信贵. 南宁盆地工程软岩的室内试验问题分析[J]. 地下空间与工程学报, 2006, 2(8): 1 390 - 1 393.(YI Nianping, ZHANG Xingui. Problems of laboratory test for soft rock in Nanning Basin[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006, 2(8): 1 390 - 1 393.(in Chinese))
- [4] 张信贵, 黄绍铿, 易念平. 南宁第三系湖相沉积泥岩特性试验研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 1999, 24(6): 93 - 95.(ZHANG Xingui, HUANG Shaokeng, YI Nianping. Characteristic experiment research on tertiary lake facies deposited mudstone in Nanning[J]. Journal of Guangxi University(Natural Science), 1999, 24(6): 93 - 95.(in Chinese))
- [5] 彭海华, 邝健政, 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(增1): 2 913 - 2 920.(PENG Haihua, KUANG Jianzheng, SUN Chang, et al. Discussion on calculation methods for tip-resistance of deep foundation embedded in typical soft rock[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2007, 26(Supp.1): 2 913 - 2 920.(in Chinese))
- [6] 张志敏, 高文华, 丁佑良. 深层平板载荷试验确定人工挖孔桩软岩桩端承载力的研究[J]. 建筑科学, 2007, 23(7): 75 - 77.(ZHANG Zhimin, GAO Wenhua, DING Youliang. Research on determining bearing capacity of man-made hole pile tip with the deep plate loading test[J]. Building Science, 2007, 23(7): 75 - 77.(in Chinese))
- [7] 边智华, 文松霖, 庞正江, 等. 确定软岩地基桩基承载力参数的新方法与应用[J]. 南水北调与水利科技, 2008, 6(1): 120 - 124.(BIAN Zhihua, WEN Songlin, PANG Zhengjiang, et al. New methods for determination bearing capacity parameter of pile foundation in soft rocks and its application[J]. South-to-North Water Transfers and Water Science and Technology, 2008, 6(1): 120 - 124.(in Chinese))
- [8] 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 Weiming, DAI Guoliang, JIANG Yongsheng, et al. Theory and practice of self-balanced loading test for pile bearing capacity[J]. Journal of Building Structures, 2002, 23(1): 82 - 88.(in Chinese))
- [9] CHARLES W W N, TERENCE L Y Y, JONATHAN H M L, et al. Side resistance of large diameter piles socketed into decomposed rocks[J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 2001, 127(8): 642 - 1657.
- [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. Testing study on bearing behaviors and failure mode of rock-socketed pile[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(2): 320 - 323.(in Chinese))
- [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): 2 099 - 2 103.(DONG Ping, QIN Ran, CHEN Qian, et al. Bearing behavior of large-diameter rock-socketed piles[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2003, 22(12): 2 099 - 2 103.(in Chinese))
- [12] 郑祖恩, 王星华, 印长俊. 软岩地基中大直径挖孔嵌岩桩的承载性状分析[J]. 工程建设, 2006, 38(3): 13 - 15.(ZHENG Zuen, WANG Xinghua, YIN Changjun. Analysis of bearing behavior of large-diameter man-made holed socketed piles[J]. Engineering Construction, 2006, 38(3): 13 - 15.(in Chinese))
- [13] 吴起星. 广西第三系泥岩桩端承载力研究[硕士学位论文][D]. 南宁: 广西大学, 2002.(WU Qixing. Research on bearing of the socket-rock pile tip in tertiary mudstone[M. S. Thesis][D]. Nanning: Guangxi University, 2002.(in Chinese))
- [14] 张信贵, 易念平, 黄绍铿. 南宁盆地泥岩承载性状研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(3): 357 - 360.(ZHANG Xingui, YI Nianping, HUANG Shaokeng. Research on bearing performance of mudstone in Nanning Basin[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2000, 19(3): 357 - 360.(in Chinese))
- [15] 彭海华. 膨胀性软岩深基础承载力研究[硕士学位论文][D]. 南宁: 广西大学, 2005.(PENG Haihua. Study on bearing capacity of deep foundation embedded into expansive soft rock[M. S. Thesis][D]. Nanning: Guangxi University, 2005.(in Chinese))