

文章编号: 1000-7598 (2010) 09-2919-06

浙江某高层预应力管桩偏位和上浮处理实例分析

张忠苗^{1,2}, 张乾青^{1,2}, 贺静漪^{1,2}, 俞峰^{1,2,3}, 刘俊伟^{1,2}

(1. 浙江大学 软弱土与环境土工教育部重点实验室, 杭州 310058; 2. 浙江大学 岩土工程研究所, 杭州 310058;
3. 浙江理工大学 建筑工程学院, 杭州 310018)

摘要: 结合工程实例分析了预应力管桩产生偏位的原因, 介绍了偏位预应力管桩的处理方法。首先测量每根管桩的桩顶偏位和上浮情况, 然后对所有管桩进行低应变动测, 确定桩身损伤情况及缺陷部位, 最后根据管桩偏位和损伤情况采取有针对性的处理措施。工程中对上浮桩采用复打复压处理; 对严重偏位且断裂桩进行补预应力管桩处理; 对偏位超过规范值但桩身质量完好的桩进行纠偏扶正处理; 对偏位较大且桩身有损伤的桩进行先纠偏扶正, 并在管桩内芯放钢筋笼灌芯加固处理; 对群桩大面积偏位损伤部分由于处理后承载力达不到设计要求需要采用补桩处理。建筑物经上述处理后的实测最大沉降仅为9 mm, 且沉降较为均匀。

关键词: 预应力管桩; 偏位; 上浮; 纠偏; 灌芯; 沉降

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Example analysis of sloping and floating upward prestressed pipe pile with treatment of a high-rise building in Zhejiang province

ZHANG Zhong-miao^{1,2}, ZHANG Qian-qing^{1,2}, HE Jing-yi^{1,2}, YU Feng^{1,2,3}, LIU Jun-wei^{1,2}

(1. MOE Key Laboratory of Soft Soils and Geoenvironmental Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China;
2. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310058, China; 3. School of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310018, China)

Abstract: Based on an engineering example, the reason of the sloping prestressed pipe pile (PPP) and the treatment method for the sloping PPP were given. First of all, the sloping condition of each pile should be made clearly, then the damaged position of every pile is clarified with low strain dynamic test; and at last the pertinence treatment measures are brought forward. It can be concluded that for the piles with pile shafts floating upward, they can be re-pressed; for the piles with serious pile top slopes and rupture of the pile shafts, they must be replaced by bored piles; for the piles with smaller pile top slopes and soundness of the pile shafts, they can be directly used after rectification and righting; for the piles with bigger pile top slopes and defect of the pile shafts, the first step is rectification and righting; and then strengthening the pile shafts by placing reinforcement cage and pouring concrete in the cores of the piles; and for the treated piles with lower bearing capacity, the bearing capacity of the bearing platform should be strengthened by adding bored piles. The measured settlement of building is small and uniform, and the maximum settlement is only 9 mm.

Key words: prestressed pipe pile; slope; floating upward; rectification; pour concrete in core of pile; settlement

1 引言

预应力管桩具有单桩承载力高, 设计选用范围广, 成桩质量可靠, 施工速度快等特点, 得到了广泛的推广和应用^[1-7]。但是, 预应力管桩抗剪能力较差, 抗弯强度低, 在挖土过程中受到外界水平推挤或挖土机碰撞时很容易使预应力管桩产生裂隙, 桩位偏移, 桩身损伤断裂, 斜桩等问题, 使单桩承载

力不能满足设计要求。设计处理时预应力管桩施工事故, 应首先分析原因, 再有针对性的采取补救措施, 亦即根据打桩记录、地质资料、测量定位、监理记录、桩基检测结果确定桩基产生事故的原因。同时, 根据静载试验结果、桩身质量检测结果和设计要求综合确定补救措施。本文结合某12层商住楼的工程实例, 对软土地区中预应力管桩的偏移、桩身损伤断裂等工程问题的原因进行了分析, 并有针

收稿日期: 2009-02-23

第一作者简介: 张忠苗, 1961年生, 男, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要从事基础工程与桩基础研究、教学、检测工作。E-mail: zjuzzm@163.com。
通讯作者: 张乾青, 男, 1983年生, 博士研究生, 主要从事超长桩与桩土相互作用研究。E-mail: zqq5820948@126.com

对性的提出了处理措施，目前该高层已经竣工交付使用，最大沉降量仅有 9 mm，且沉降均匀。本工程软土地区高层建筑预应力管桩偏位、上浮处理达到了预期目的，具有借鉴意义。

2 工程概况

浙江某商住楼，西部主楼 12 层，东部裙楼 2 层，采用桩基础，框架结构，商住楼立面图见图 1。该商住楼占地面积为 4 500 m²，总建筑占地面积为 6 300 m²。本工程重要性为 2 级，场地等级为 2 级，

地基等级为 2 级，综合勘定等级乙级。场地属于山前冲积—湖积平原地貌，地形平坦。场地各土层的物理力学参数见表 1。

本工程基础设计采用 PC-A500(100)/PC-A400(75)预应力管桩，总桩数为 136 根，桩长 15 m/21 m，设计要求单桩竖向承载力特征值为 700 kN/930 kN，预应力管桩桩位布置见图 2。桩身采用 C60 混凝土，采用电焊接桩，施工机械采用 ZJ60 走管式桩架挂 DD40 导杆式柴油锤。

表 1 场地各土层的物理力学参数
Table 1 Physico-mechanical parameters of soil layers

层次	土层名称	层底埋深 /m	含水率 ω /%	重度 γ /(kN/m ³)	塑性指数 I_p	液性指数 I_L	压缩模量 E_s /MPa	桩侧阻力特征值 q_{sk} /kPa	桩端阻力特征值 q_{pk} /kPa
2	黏土	3.4~5.7	33.9	1 877	21.3	0.52	4.00	30	
3	淤泥	6.6~10.7	40.3	1 775	14.5	1.23	2.85	5	
4	黏土	8.8~13.0	35.9	1 860	22.1	0.73	4.50	32	
5	粉质黏土	9.4~17.2	22.0	1 970	14.5	0.17	7.68	28	700
6	淤泥质粉质黏土	12.5~20.0	39.5	1 810	13.5	1.17	3.25	10	
7	黏土	13.0~20.9	36.8	1 860	20.1	0.65	5.00	29	800
8	粉砂	15.4~28.0			23.0	15.0			
9	黏土	18.1~33.9	32.9	1 906	20.5	0.50	5.50	35	1 200
10	粉质黏土	20.4~36.5	25.3	1 920	9.51	0.68	36.00		
11	碎石夹黏土	22.6~39.2	26.9	1 970				40	1 500
12	砂岩	未钻透						45	2 000



(a) 商住楼侧面图



(b) 商住楼正面图

图1 商住楼建筑立面图

Fig.1 Facade of business-living building

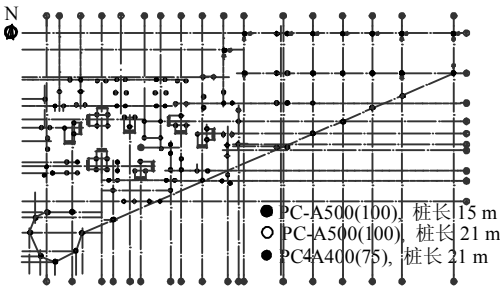


图 2 预应力管桩桩位布置图

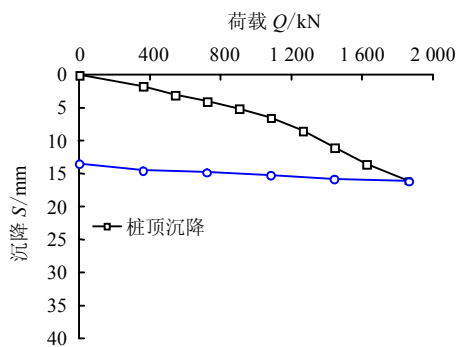
Fig.2 Plan of prestressed pipe piles

3 静载试验结果

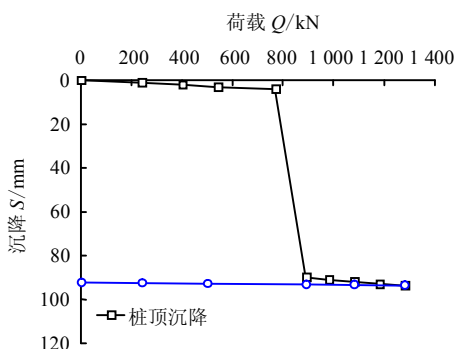
本工程大面积工程桩施工完成后笔者对 3 根预应力管桩（桩号分别为 21#，85#和 125#）进行了单桩竖向抗压静载试验。试验采取桩机自重-反力架装置，采用千斤顶反力加载百分表测读桩顶沉降的试验方法。荷载分级为设计预估值的 1/12~1/8，具体操作按照有关规范^[8]进行。3 根试桩的静载试验成果见表 2，试桩荷载-沉降曲线见图 3。

表2 预应力管桩静载试验成果
Table 2 Results of static load test of PPPs

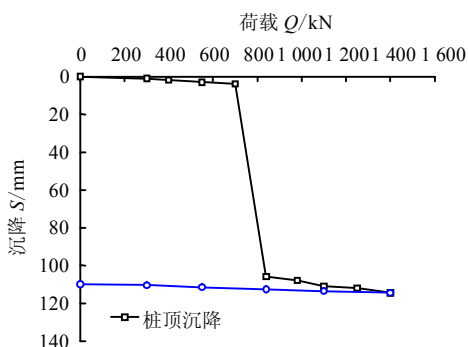
桩号	桩长 /m	桩径 /mm	最大试验荷载 Q_{max} /kN	Q_{max} 对应沉降 S_{max} /mm	极限承载力 Q_u /kN	桩顶残余变形 S_r /mm	回弹率 /%	终止加载原因
21#	21	500	1 860	16.1	$\geq 1\ 860$	13.5	16.1	满足设计要求
85#	15	400	1 280	93.7	≥ 768	92.3	1.5	不满足设计要求
125#	21	400	1 400	114.6	≥ 700	110.1	3.9	不满足设计要求



(a) 试桩 21#



(b) 试桩 85#



(c) 试桩 125#

图3 预应力管桩荷载-沉降曲线

Fig.3 Load-settlement curves of PPPs

从图3和表2中可以看出，试桩21#情况正常， Q - S 曲线变化平缓，单桩极限承载力大于1860 kN，桩顶最大沉降为16.1 mm，满足设计要求。当桩顶荷载从768 kN增加到890 kN时，试桩85#桩顶沉降急剧增加，从4.8 mm增加到90.1 mm。当桩顶荷载从890 kN增加到1280 kN时，桩顶沉降从90.1 mm增加到93.7 mm，桩顶荷载在增加390 kN的过程中桩顶沉降仅增加了3.6 mm。当桩顶荷载从700 kN增加到840 kN时，试桩125#桩顶沉降急剧增加，从5.1 mm增加到105.9 mm。当桩顶荷载从840 kN加载到静载试验要求的最大荷载1400 kN

时，桩顶沉降从105.9 mm增加到114.6 mm，荷载在增加560 kN的过程中桩顶沉降仅增加了8.7 mm。在最大试验荷载下，试桩85#、125#的回弹率分别为1.5%和3.9%，动测结果显示试桩85#、125#的桩身完好，说明桩顶沉降主要是由桩端刺入变形引起的。桩顶沉降发生一定位移后，桩端阻力逐渐发挥作用，使得桩顶沉降增加缓慢。因此可以断定试桩85#、125#发生了上浮，桩顶荷载达到一定值时，桩端发生了刺入变形，上浮桩桩顶沉降出现了急剧增加。此后，上浮桩的桩端阻力逐渐发挥作用，桩顶沉降增加缓慢，卸载后桩顶回弹较小。

4 桩顶偏移和上浮检测结果

工程桩施工完毕后，挖土过程中发现126根工程桩出现了偏位，大部分桩的偏移量在100 mm之内，其中最大偏移量达到820 mm。低应变动测发现共有17根断桩，有1根桩错位，2根桩脱焊。II类桩10根，III类桩6根，此外还有19根桩发生了不同程度的上浮。预应力管桩低应变动测发现部分管桩桩身有不同程度的损伤或断裂，部分预应力管桩低应变动测结果见表3。

表3 部分预应力管桩低应变动测结果
Table 3 Results of low strain dynamic test

桩号	动测结果	等级	桩号	动测结果	等级
101#	2.7 m 损伤	II	13#	5.5 m 损伤	II
100#	10.8 m 焊接不良	II	12#	5.0 m 损伤	II
53#	3.6 m 损伤	II	62#	7.5 m 断裂	III
46#	8.0 m 损伤	II	111#	5.1 m 断裂	III
27#	5.1 m 损伤	II	103#	5.8 m 断裂	III
22#	11.2 m 焊接不良	II	20#	7.8 m 断裂	III
55#	4.8 m 损伤	II	17#	8.0 m 断裂	III
15#	5.2 m 损伤	II	14#	6.5 m 断裂	III
			8#	5.0 m 断裂	III

5 桩顶偏位、桩身损伤及上浮原因分析

针对现场桩位偏移情况及低应变动测情况，认为事故发生的原因主要有以下几个方面：

(1) 从表1中可以看出，本工程场地距离地表约3.5 m以下有一层厚约3.3~5.0 m的淤泥，该层土体强度低，含水率高，稳定性较低。预应力管桩施工过程中，引起基坑周围土体一定程度的扰动。由于淤泥灵敏度较高，受扰动后强度明显下降。同时，由于淤泥本身的流动性较大，基坑开挖造成淤泥向基坑区域滑动产生巨大的推挤作用；在较大的侧向主动土压力产生的侧向推力的作用下，预应力管桩极易产生侧向位移，引起预应力混凝土管桩的

偏位。预应力管桩低应变动测发现大部分偏斜基桩的裂缝均在距离桩顶以下 5~8 m 左右,此处恰为淤泥处(图 4),这正是基坑土体侧向力作用下桩身产生最大弯矩的相对位置,这是桩位偏移的一个重要原因。

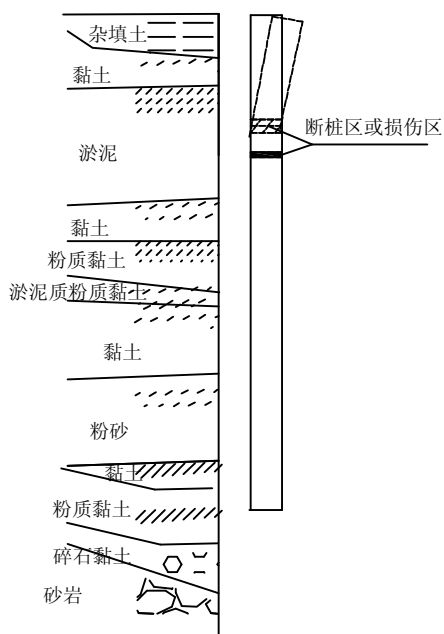


图 4 地质剖面图及预应力管桩损伤位置
Fig.4 Geological profile and damaged position of PPP

(2) 本商住楼没有地下室,基坑开挖较浅,约 2 m,未采取任何支护措施。开挖过程中施工单位直接将土堆放在基坑北面,造成基坑北面失稳滑移,这也是导致预应力管桩产生侧向位移的一个重要原因。基坑开挖过程中,由于施工人员的施工不当,造成挖土机械对已打管桩的碰撞,也会造成预应力混凝土管桩的偏位。

(3) 打桩过程中的挤土效应以及压桩机移动过程中长短腿对地压力差引起的土体挤压,也是导致已打桩产生偏位的原因。同时打桩挤土效应还造成先打桩产生上浮,工程桩越密集的位置挤土效应越显著,越易出现浮桩。本场地出现浮桩的位置集中在南部桩基较稠密地区。

(4) 预应力管桩的焊缝要有足够冷却时间,以避免遭遇地下水冷却收缩,产生脆断。若是焊接不能满足上述要求,容易产生焊接不良的现象出现。

6 偏位、上浮桩处理及补桩方案

预应力管桩偏位损伤、上浮处理方案一般包括以下步骤:

第 1 步,挖至底板垫层底以后,先测量每根管

桩的桩顶偏位情况,绘出管桩偏位的等值线图。

第 2 步,对所有预应力管桩进行低应变动测,判断桩身的损伤情况及缺陷部位。

第 3 步,根据预应力管桩偏位和损伤情况采取针对性的处理措施。对上浮桩采用复打或复压处理,本工程中共复打上浮桩 19 根,每根复打 30 次;对严重偏位且断裂的预应力管桩进行补桩处理;对偏位超过规范值但桩身质量完好的管桩进行扶正处理;对于偏位较大且桩身有损伤的管桩进行先纠偏扶正,并在管桩内芯放钢筋笼灌混凝土芯加固处理;对群桩大面积偏位损伤部分由于处理后承载力达不到设计要求所以需要采用补打预应力管桩处理。

偏位损伤管桩的具体纠偏及补强处理方法为:

①用地质钻机在管桩偏位的反方向一侧钻孔,纠偏扶正。②清理倾斜损伤管桩内的杂土及污水至缺陷界面以下 4.0 m 处,然后在钢管内芯放置钢筋笼至缺陷界面以下 3.0 m 处,钢筋笼配主筋 $6\phi 22$ mm,并在断裂位置上下 1.5 m 范围内加密 $6\phi 22$ mm,钢筋笼下至断裂位置下约 3.0 m 处。钢筋笼底端焊上 5.0 mm 厚的铁板,顶端用加长筋固定在桩顶上。③在管芯中灌注 C40 商品混凝土,使灌芯与原混凝土管壁紧密结合。管桩灌芯加固施工如图 5 所示。

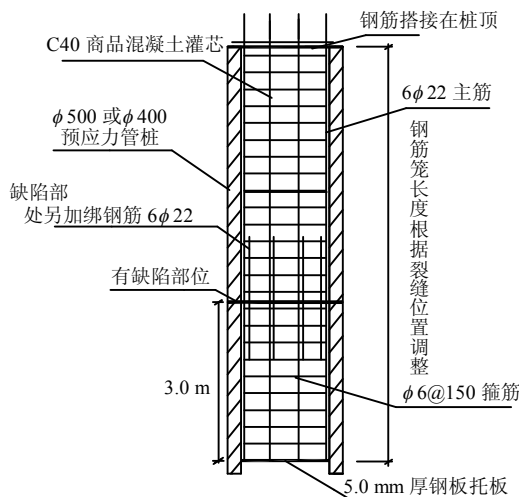


图 5 管桩灌芯加固施工图 (单位: mm)
Fig.5 Reinforcement of PPP with pouring concrete treatment (unit: mm)

对于断桩和偏位管桩处理后不能满足承载力要求的承台,要进行补桩处理。本工程根据具体情况采用 PC-A500(100)/PC-A400(75)预应力管桩进行补桩,共补管桩 27 根,有效桩长 15.0~21.0 m,具体桩长根据地质资料确定。补桩时,在满足承载力的

前提下,采用灵活的2桩承台和3桩承台。在断桩处多用两桩对称分布于墙体两侧;北部偏移量较大不可利用的桩基重新布桩;重要承重结构下利用3桩承台使原有单桩或两桩的荷载分担到3桩从而保证基础的安全。两桩承台补桩方案详见图6,整体补桩桩位见图7。

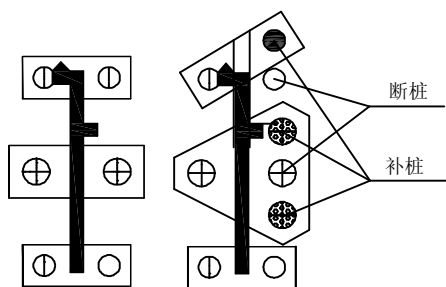


图6 两桩承台补桩方案详图
Fig.6 Substituted piles of two-pile pile cap

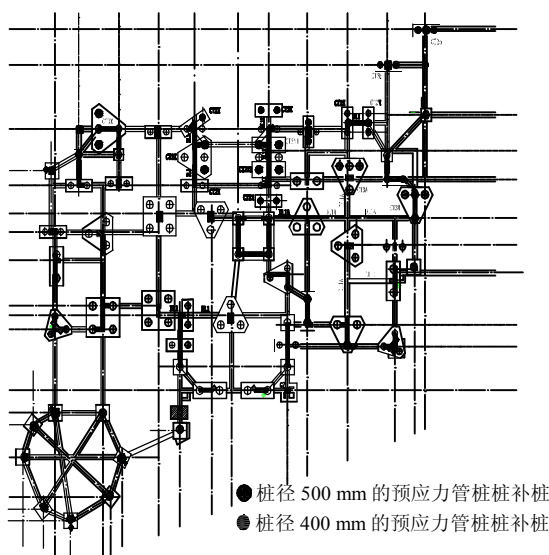


图7 补桩桩位图
Fig.7 Positions of substituted PPPs

7 偏位处理桩及补桩的检测

受甲方委托笔者对其中1根补打的预应力管桩进行了静载荷试验,其静载试验结果如图8所示。从图8可见,补打预应力管桩静载试验情况正常, $Q-S$ 曲线变化平缓,单桩极限承载力大于1 860 kN,桩顶最大沉降为16.5 mm,满足设计要求。同时对加固处理后的偏位桩进行了低应变动力复测。检测结果显示,Ⅲ类桩经加固处理后变成为Ⅱ类桩。所有补打的预应力管桩也进行了低应变动力复测,证实补桩满足设计要求后再做基础板施工。

8 基础实测沉降

本工程偏位桩按上述方法进行处理后,大楼进行了整体施工。为了解该建筑物在施工过程中的沉降情况,在建筑物四周布置了若干沉降观测点,每层监测,取得了大量的沉降监测数据。本文选取该建筑物6、9层和12层完成时所有测点沉降数据,并将这些数据绘制成沉降等值线图,见图9。图9中横纵坐标表示商住楼尺寸。

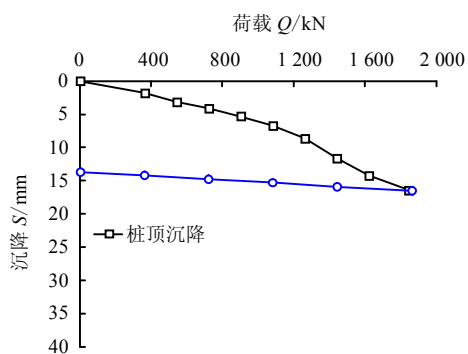
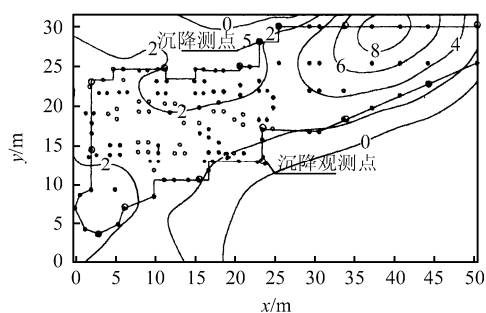
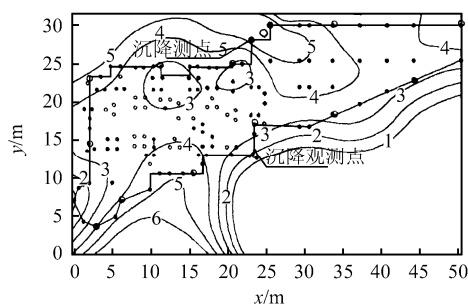


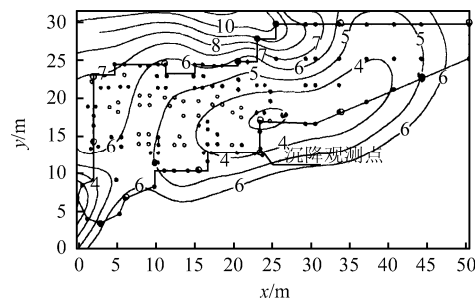
图8 补打的预应力管桩荷载-沉降曲线
Fig.8 Load-settlement curve of substituted PPP



(a) 6层完成时沉降等值线图



(b) 9层完成时沉降等值线图



(c) 12层完成时沉降等值线图

2924 图 9 大楼沉降等值线图(沉降单位: mm)

Fig.9 Contour map of settlements (unit: mm)

从图 9 中可知, 该建筑物主楼第 6 层完成时最大沉降为 8.0 mm, 出现在已竣工的东面裙楼处, 最小沉降为 2.0 mm, 最大差异沉降为 6.0 mm。主楼第 9 层完成时, 最大沉降为 5.0 mm, 出现在已竣工的东面裙楼处, 此时裙楼最大沉降较主楼第 6 层时完成时的最大沉降有所减少, 这是主楼对已竣工裙房的“牵拉作用”造成的, 使得裙楼出现轻微的上翘, 最小沉降为 3.0 mm, 最大差异沉降为 2.0 mm。主楼第 12 层完成时最大沉降为 9.0 mm, 出现在主楼和已竣工的东面裙楼交界处, 最小沉降为 3.0 mm, 最大差异沉降为 6.0 mm。

图 10 为图 9 中测点 5 的沉降随时间(上部荷载)变化规律图。从图 10 可知, 沉降随建筑时间(上部荷载)逐渐发展。建造初期, 沉降变化缓慢; 120 d 以后(5 层以后)沉降变化有增加的趋势; 在主楼第 12 层完成时测点 5 的最大沉降为 9.0 mm。实测沉降资料显示该大楼沉降较小, 且沉降较为均匀, 满足使用要求, 说明该建筑物管桩偏位经过纠偏扶正、灌芯补强及补桩处理后的效果达到了预期目的。

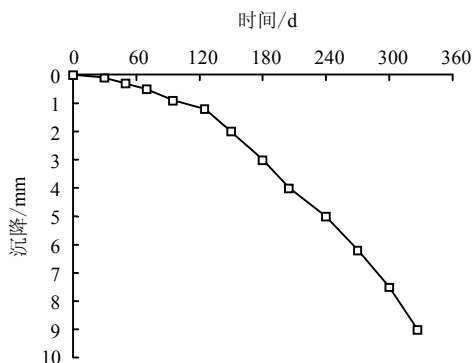


图 10 测点 5 沉降随时间变化规律

Fig.10 Measured settlements of settlement reference point 5 vs. time

9 结 论

(1) 预应力管桩在软土地区打桩和挖土施工中易产生桩顶偏位和桩身损伤以及桩身上浮现象。

(2) 偏位和上浮桩的处理方法为: 第 1 步, 挖至底板垫层底后, 先测量每根管桩的桩顶偏位情况, 绘出管桩偏位的等值线图; 第 2 步, 对所有管桩进行低应变动测, 判断桩身的损伤情况及缺陷部位; 第 3 步, 根据偏位和损伤及上浮情况采取针对性的处理措施。对严重偏位且断裂桩进行补桩处理; 对偏位超过规范值但桩身质量完好的桩进行扶正处

理; 对于偏位较大且桩身有损伤的桩进行先纠偏扶正, 并在管桩内芯放钢筋笼灌混凝土芯加固处理; 对桩位图中大面积偏位桩集中部分由于处理后承载力达不到设计要求所以需要采用补打管桩处理; 对上浮桩采用复打处理。

(3) 本工程偏位桩和上浮桩经综合处理后, 沉降资料表明主楼第 12 层完成时最大沉降为 9.0 mm, 最大差异沉降为 6.0 mm, 该大楼沉降较小, 且沉降较为均匀, 满足使用要求, 该建筑物管桩偏位经过纠偏扶正、灌芯补强及补桩处理后的效果达到了预期目的。

参 考 文 献

- [1] 闫瑞明, 闻建军. 软土地区预应力管桩断桩事故的预防与处理[J]. 土木工程学报, 2007, 40(增刊): 421—424.
YAN Rui-ming, WEN Jian-jun. Preventing and reinforcement of PHC pile rupture in soil area [J]. **China Civil Engineering Journal**, 2007, 40(Supp.): 421—424.
- [2] 陈荣保, 陆瑞明. 偏斜预应力管桩的承载力分析与处理[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(增刊 2): 3545—3551.
CHEN Rong-bao, LU Rui-ming. Analysis and treatment of bearing capacity behavior of sloping prestressed pile-pipe [J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2006, 25(Supp. 2): 3545—3551.
- [3] 范晓, 屈妍, 马宏达. 预应力管桩偏位处理方案[J]. 宁波大学学报(理工版), 2006, 19(4): 529—531.
FAN Xiao, QU Yan, MA Hong-da. Treatment measure for broken concrete pile [J]. **Journal of Ningbo University(NSEE)**, 2006, 19(4): 529—531.
- [4] 张忠苗. 桩基工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2007.
- [5] 张忠苗, 辛公锋, 俞洪良, 等. 软土地基管桩挤土上浮桩与处理方法研究[J]. 岩土工程学报, 2006, 28(5): 549—552.
ZHANG Zhong-miao, XIN Gong-feng, YU Hong-liang, et al. Study on floating pipe piles and disposal measures in soft soil foundation[J]. **Chinese Journal of Geotechnical Engineering**, 2006, 28(5): 549—552.
- [6] 张克纯, 陈海东, 王涛. PHC 管桩桩基偏位事故的分析 and 处理[J]. 施工技术, 2007, 36(1): 79—80, 91.
ZHANG Ke-chun, CHEN Hai-dong, WANG Tao. Analysis and treatment of deviation accident of PHC pipe pile foundation [J]. **Construction Technology**, 2007, 36(1): 79—80, 91.
- [7] 王忠平. PHC 管桩桩基整体偏位处理实例分析[J]. 结构工程师, 2005, 21(2): 60—64.
WANG Zhong-ping. Case analysis of solving integral drifting problem of PHC pipe pile foundation [J]. **Structural Engineers**, 2005, 21(2): 60—64.

- [8] 中国建筑科学研究院. JGJ106—2003 建筑桩基检测技术规范[S]. 北京：中国建筑工业出版社, 2003.