

舟山地区静压管桩时间效应初步研究

涂荫玖¹ 鲍丽敏² 张 委¹

(1. 浙江宏宇工程勘察设计有限公司,浙江舟山 316100; 2. 舟山市普陀区建筑工程质量监督站,浙江舟山 316100)

【摘 要】 通过复压及静载试验,对舟山地区软土地基静压管桩的时间效应进行了初步研究,指出压桩力在不同性质土层中变化特点,压桩力与休止时间,以及恢复系数与桩侧软弱土性质的关系。

【关键词】 静压管桩;时间效应;恢复系数;软弱土

【中图分类号】 TU 473.1

【文献标识码】 A

doi:10.3969/j.issn.1007-2993.2009.06.001

Study on Time Effect of Static Pressure Pipe Pile in Zhoushan District

Tu Yinjiu¹ Bao Limin² Zhang Wei¹

(1. Zhejiang Hongyu Engineering Survey & Design Company LTD., Zhoushan 316100, Zhejiang, China

2. Architecture Engineering Quality Supervising Station of Putuo District Zhoushan, Zhoushan 316100, Zhejiang, China)

【Abstract】 Study is done on time effect of static pressure pipe pile in Zhoushan district by repress and statical loading test. The character of piling force changing with different soil is pointed out. Relationship of piling force vs truce time and recovery coefficient vs lateral soft soil property is discovered.

【Key words】 static pressure pipe pile; time effect; recovery coefficient; soft soil

0 引 言

静压法预应力混凝土管桩(以下简称静压管桩),因具有单桩承载力高、设计选用范围广、施工速度快、工效高、施工无噪音及污染、桩身质量易于保证、造价适中、能较准确估计单桩承载力等优点,而得到广泛应用。所谓静压管桩时间效应,是指静压管桩经过一段休止时间后,桩周土体强度逐渐恢复,桩极限承载力高于终止压桩力的效应^[1-5]。

舟山地区静压管桩的使用起步相对较晚,上世纪 90 年代末以来方才大量采用,近年来每年使用数量达数百万延米。舟山地区普遍有厚度较大的饱和软土分布,第四纪全新统淤泥质土一般厚 10~30 m,所施工的静压管桩绝大多数为开口管桩,长度为 30~50 m。使用中因为部分人员对厚层软土中静压管桩的时间效应认识不足,导致施工中出现一些问题:如设计压桩力要求过高(达单桩竖向极限承载力);或是施工中由于压桩力达不到要求时,盲目增加桩长,以至造成许多浪费。所以,静压管桩时间效应的研究,对压桩力及桩长的确定、合理确定桩的承载力、节约工程造价等问题有十分重要的理论和实际意义。

我们通过对近年工作过的 14 个场地近百根静

压管桩进行分析,挑选出具有代表性的、进行过复压或静载试验与终止压力对比的 9 个场地 22 根桩进行对比,其中鲁家峙安置小区 1# 楼 37# 桩,还进行了压桩力与休止时间关系的试验。对桩周土与压桩力,以及桩周土和时间效应的关系作了初步研究。

1 压桩力与沉桩深度和桩周土的关系

鲁家峙安置小区 46# 楼 51# 桩、53# 桩压桩力—沉桩深度及静力触探曲线见图 1。图 1 左侧标明了勘察钻孔所揭示的土层厚度及主要岩土参数。从图 1 中可以看出:(1)静压管桩类似大尺寸的静力触探试验,能较清楚地区分不同性质的土层,其中桩径较大的 53# 桩,对土层中的薄夹层反应更为灵敏;静压管桩在由上部软层进入下部硬层(如由②层进入③₁层,以及由③₁层进入③₂层)时,压桩力有明显“超前”现象,即离硬层顶部尚有 1~2 m 左右,压桩力已明显升高。(2)在软弱土(包括流塑状态的②层淤泥质土和软塑状态的③₁层粉质粘土,下同)之中,随着沉桩深度的加大,压桩力并无显著增高(桩径大者增加稍明显),这与前人文献^[1-3]的结论是一致的。但是,随着桩端进入硬可塑状态的③₂层、③₃层后,压桩力则明显随沉桩深度的增加而加大。

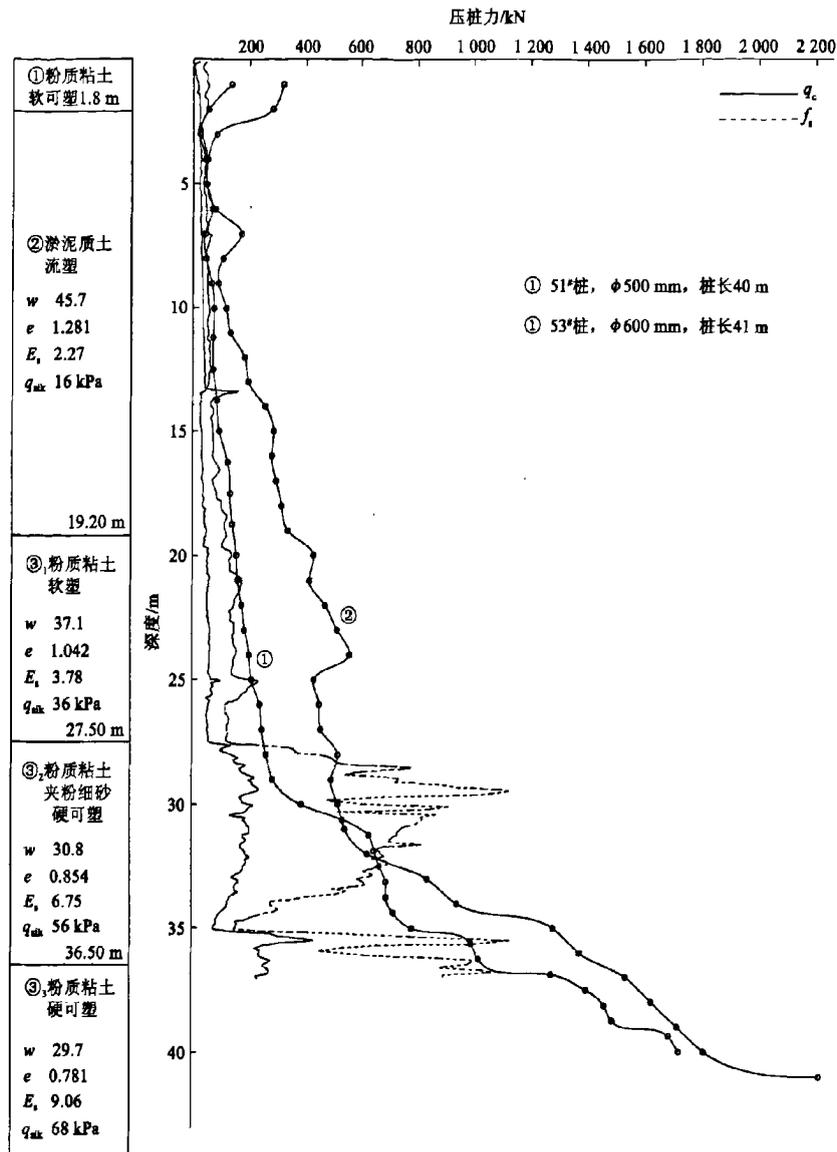


图1 鲁家峙安置小区46#楼51#桩、53#桩压桩力-沉桩深度曲线

我们认为造成(2)的原因是:因为静压管桩沉桩过程中,桩周土体受到强烈挤压,桩尖土产生冲剪破坏,土体结构性被破坏。由于粘性土渗透系数很小(舟山地区一般为 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ cm/s),孔隙水压力无法消散,产生超孔隙水压力,在桩周一定范围内形成重塑(区)。沉桩过程中的压桩阻力大部分来自桩尖阻力,其余来自桩侧的滑动摩擦力。王成平在静压管桩旁侧(0.5倍桩径)作过静力触探试验^[4],证明饱和软土(如淤泥、淤泥质土)受静压管桩沉桩扰动的影响最大,沉桩后2小时的锥尖平均侧阻力仅为沉桩前的25%,而可塑状粉质粘土则为沉桩前的

65%。鲁家峙安置小区场地,上部软弱土(第②层淤泥质土、第③₁层软塑状粉质粘土)其含水量、孔隙比均大大高于下伏硬层,土体抗剪强度则远低于下伏硬层,软弱土在沉桩过程中土体结构遭受破坏以后强度就更低,因此,在软弱土中随着沉桩深度的增加,压桩力并无明显增大。而硬层(③₂层、③₃层粉质粘土)土体的端阻力、侧摩力原来较软弱土就要高得多,受沉桩扰动后其损失也小得多。所以,在静压管桩进入其中后,压桩力随着深度的增加而明显加大。

2 压桩力及单桩竖向极限承载力的时间效应

试验及施工实践证明,静压管桩经过不同休止

时间后,复压力 P_t 要比压桩时终止压力 P_u 为高, P_t/P_u 被称为时间效应系数;同样,静载试验确定的单桩竖向极限承载力 (Q_{uk}) 也要比终止压力高, Q_{uk}/P_u 被称为恢复系数,它们都反映静压管桩的时间效应及相对数值大小,我们统称之为恢复系数 C 。据前人研究成果,恢复系数的大小与土的性质、桩长、桩的密集程度、休止时间等因素有关^[3-10]。据报道^[2], 广东地区恢复系数最大为 3, 上海地区最大恢复系

数可达 4。

2.1 恢复系数及其与休止时间的关系

我们统计了 9 个建设场地 22 根静压管桩的恢复系数,其中鲁家峙安置小区 1[#] 楼 37[#] 桩进行了压桩力与休止时间关系试验(休止时间 53 d)。鲁家峙安置小区,以及部分休止时间为 2 d 左右的桩之压桩力 P 与休止时间 t 关系见图 2。9 个场地 22 根静压管桩的恢复系数 C 统计结果见表 1。

表 1 舟山地区静压桩恢复系数统计表

场 地	桩号/楼号	桩长/m 桩径/mm	长 径 比	终压力/kN	休止时间/d	复压力/kN	恢复系数 C	静载试验/kN					
鲁家峙 安置小区	37/1	40/500	80	760	0.7	1040	1.37	2000					
					2.0	1430	1.88						
					5.7	1712	2.25						
					53.0		2.63						
鲁家峙 安置小区	36/1	48/500	96	1178	3.7	1828	1.55						
					15/4	38/500	76		1775	2.0	2050	1.15	
					13/20	44/600	73		1897	28.0		1.37	2600
					12/35	44/500	88		1382	18.0		1.45	2000
					46/44	40/600	67		1760	23.0		1.48	2600
朱家尖 晟泰水产	2	26/500	52	850	12.0	1480	1.74						
					33	28/500	56		860	11.0	1330	1.55	
					37	29/500	58		850	11.0	1420	1.67	
					43	24/500	48		930	11.0	1460	1.57	
					45	24/500	48		920	11.0	1480	1.61	
碧海莲缘 二期	12/B	48/600	96	1540	1.2	3200	2.08						
铭都花园	13	34/400	85	900	0.88	1400	1.56	1600					
					6.0		1.78						
					2	36/400	90		900	1.0	1700	1.89	
普陀人民 检察院	75	34/500	68	1220	0.67	1850	1.52						
					118	41/500	82		1200	16.0		1.50	1800
					134	36/500	72		1400	22.0		1.29	1800
金色阳光	1/北楼	54/500	108	2166	1.5	>2960 (抬架)	>1.37						
浅水湾 城市花园	35	49/500	98	1800	2.0	2400	1.33						
					48	49/600	82		2150	2.0	2700	1.26	
海洋高 科技园区	2	40/500	80	900	2.5	1670	1.86						
阳光地带	47	50/500	100	2000	0.5	2500 (抬架)	>1.25						

鲁家峙安置小区 1[#] 楼 37[#] 桩压桩力与休止时间关系曲线可以分为三段,可能反映出土体抗剪强度恢复的三个阶段(见图 2)。1)初期阶段:休止时间 2 d,呈斜率大的直线,恢复系数 1.88,恢复系数增

长速率 $[(C_2 - C_1)/(t_2 - t_1)]$ 为 0.94/d, 37[#] 桩承载力已达极限承载力的 71.5%。此外,其它场地休止时间为 2 d 的桩(休止时间略大于 2 d 的桩,在压桩力-休止时间曲线图上用内插法求得其 2 d 的压桩

力),其斜率均很大,恢复系数 1.15~1.72,平均值 1.49,恢复系数增长速率平均值为 0.75/d。2)中期阶段:休止时间 6d 左右,曲线呈圆缓曲线,恢复系数为 2.25,其增长速率为 0.1/d,桩的承载力已达极限承载力的 85.6%。3)晚期阶段:呈平缓直线,53d 的恢复系数达 2.63,其增长速率 0.008/d;静载试验确定单桩极限承载力不小于 2000 kN,最大沉降 24.76 mm,最大反弹 12.50 mm。

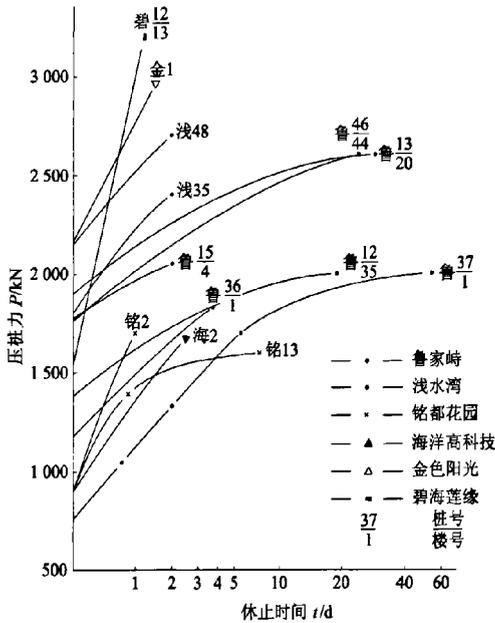


图2 压桩力 P 与休止时间 t 关系曲线

从表 1 统计结果可以得知:1)舟山地区静压管桩恢复系数一般为 1.15~2.63,平均值为 1.60;恢复系数随休止时间的增加而加大,多次复压后恢复系数明显增加。2)静载试验证明,单桩竖向极限承载力 Q_{uk} 明显高于终止压力 P_u ,静载试验承载力较终止压力提高 29%~163%,平均提高 64%;其中经过多次复压后,单桩竖向极限承载力有较大提高,如鲁家峙安置小区 1# 楼 37# 桩提高达 163%,另外,从上述统计结果来看,恢复系数与桩长、桩的长径比之间的关系不甚密切,无明显对应关系。

2.2 恢复系数与桩周软弱土性质的关系

因为土的恢复时效与土的性质、休止时间、桩的密度等因素有关,所以,为了较精确的分析桩周土的性质与时间效应的关系,在研究中我们尽量选用了休止时间为 2d 的桩作为对比,桩周软弱土的岩土参数取自距离该桩最近的勘察钻孔,恢复系数与桩周软弱土关系统计对比结果见图 3 及表 2。

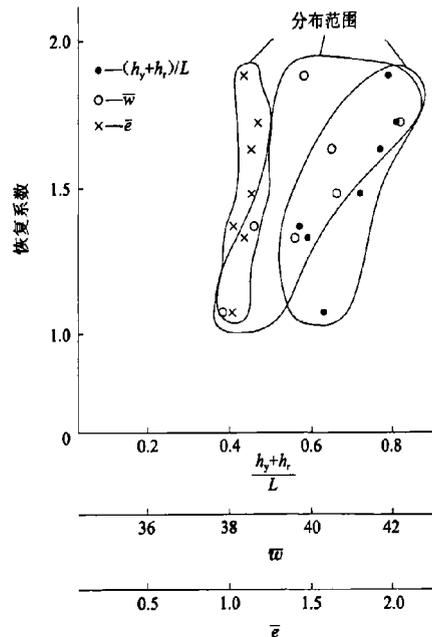


图3 恢复系数与桩周软弱土的厚度/桩长、平均孔隙比、平均含水量关系

表 2 恢复系数与桩周土性状关系统计表

场 地	鲁家峙安置小区	晨泰水产	城市花园	海洋高科技园区
桩号/桩长	37/40 15/38 13/44 46/40	2,33,37,43,45/平均 26.2	35/49	2/40
h_y/m	16.40 13.80 17.00 12.60	18.50	17.30	31.20
w_y	48.30 38.80 41.05 45.70	41.40	39.85	41.57
e_y	1.274 1.030 1.120 1.272	1.159	1.111	1.186
h_s/m	15.10 10.00 8.20 16.30	1.80	11.40	1.20
w_s	30.60 36.50 33.50 36.70	31.20	39.20	31.70
e_s	0.890 1.000 0.824 1.028	0.860	1.060	0.870
$(h_y+h_s)/L$	0.79 0.63 0.57 0.72	0.77	0.59	0.81
\bar{w}	39.82 37.83 38.59 40.62	40.50	39.59	42.20
\bar{e}	1.090 1.017 1.024 1.134	1.133	1.091	1.174
休止时间/d	2.00 2.00 28.0 23.0	平均 11.2	2.00	2.00
恢复系数	1.88 1.15 1.37 1.48	1.63	1.33	1.72

说明: L 为桩长, h_y 为淤泥质土厚度, h_s 为软塑土厚度, w_y 为淤泥质土含水量, w_s 为软塑土含水量, e_y 为淤泥质土孔隙比, e_s 为软塑土孔隙比, \bar{w} 为软塑土含水量厚度加权平均值, \bar{e} 为软塑土孔隙比厚度加权平均值。

表 2 中统计了 4 个场地 11 根桩的有关资料,其中晨泰水产因为桩径一致,桩长相近,有的桩附近无勘察钻孔,故桩长采用平均值、参数采用全场地平均值。表 2 中的软弱土平均含水量(\bar{w})及平均孔隙比(\bar{e}),系桩侧流塑状淤泥质土和软塑状粘性土两者的厚度加权平均值。

从恢复系数与桩周软弱土总厚度/桩长、平均孔

隙比、平均含水量相关图(见图3)上可以看出:恢复系数与桩周软弱土(即流塑状加软塑状粘性土)厚度与桩长的比率 $[(h_y+h_\gamma)/L]$ 、桩周软弱土平均孔隙比 (\bar{e}) 及平均含水量 (\bar{w}) 呈正相关关系,其中平均孔隙比和恢复系数的关系尤为明显,表现为投影点分布较密集,呈近似直线状分布。

静压管桩时间效应机理比较复杂^[3-5],主要有以下几点:1)固结时效。沉桩完成后,桩周土中的超孔隙水压力缓慢消散,土体逐渐固结,土的强度逐渐恢复,甚至超过其原始强度。2)土的触变时效。沉桩过程中土被挤压扰动,强度显著降低。施工完成后,由于粘性土的触变作用使土损失的强度随时间逐渐恢复,对于软土,强度的恢复主要是粘聚力的恢复。3)重塑作用。桩周表面一小部分土体,由于受剪切和挤压而完全重塑,使得沉桩过程中阻力变小。但随时间推移,这部分土抗剪强度逐渐提高,最终大于其外围土的抗剪强度,形成附着桩表面的一层厚3~20 mm的“硬壳”,使桩侧表面摩擦面积增大,提高了桩的承载力。

3 结论与讨论

3.1 结论

1)软弱土(含流塑及软塑状粘性土)中,随着沉桩深度的增加,压桩力并无明显增高。但是,进入硬可塑土层后,压桩力明显随沉桩深度增加而加大;而且,由软层进入硬层时,压桩力有“超前”现象。

2)压桩力与休止时间关系曲线,大致分为3个阶段,初期(2d左右),恢复系数增长速率最快;中期(6d左右),恢复系数增长速率中等;晚期,恢复系数增长很慢。

3)舟山地区厚层软土静压管桩恢复系数平均值1.60,经过多次复压后,恢复系数及单桩竖向极限承载力均有明显提高。

4)恢复系数与软弱土厚度与桩长的比值,以及

与桩周软弱土平均含水量、平均孔隙比,呈正相关关系,其中与平均孔隙比的关系最为明显。

3.2 讨论

1)静压管桩的设计和施工,应结合各地区的地质条件及施工经验,充分考虑时间效应的影响,做到经济合理,安全可靠。

2)大型工程应结合试桩及施工开展复压试验,确定合适的压桩力及桩长。从目前掌握的土的恢复系数来看,舟山地区静压管桩压桩力,视场地土特征,取极限承载力的0.7~0.9,可能较合适。

参 考 文 献

- [1] 《桩基工程手册》编写委员会. 桩基工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1995.
- [2] 史佩栋. 实用桩基工程手册[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1999.
- [3] 张明义. 静力压入桩的研究与应用[M]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [4] 韩选江. 静压桩的压桩力和承载力的试验研究[J]. 建筑结构学报,1996,17(6):71-77.
- [5] 王成平. 深厚软土中PHC长桩的时效性研究[J]. 岩土工程学报,2003,25(2):239-241.
- [6] 陈书申. 固结效应与静压预制桩技术应用[J]. 土工基础,2001,15(4):27-30.
- [7] 宰金珉,王伟,王旭东. 静压桩引起的超孔隙水压力及单桩极限承载力预测[J]. 工业建筑,2004,34(8):33-35.
- [8] 林本海,王离. 静压桩承载性能的分析研究[J]. 建筑结构学报,2004,25(3):120-124.
- [9] 刘俊龙. 静力法沉桩的压桩力与桩的极限承载力[J]. 工业建筑,2005,35(2):64-68.
- [10] 史文清,蒋俊华. 单桩竖向抗压承载力时间效应初探[J]. 建筑施工,2006,28(7):497-498.

收稿日期:2009-08-07