

时效性对单桩极限承载力的影响分析*

李 飞¹ 程鹏环¹ 董国兰¹ 郝子进²

(1. 盐城工学院 建筑工程系, 江苏 盐城 224003 2. 盐城建筑设计研究院, 江苏 盐城 224001)

摘 要: 目前, 盐城地区正广泛采用打入式预制桩和泥浆护壁成孔灌注桩。从这两种桩的成桩工艺, 结合地基条件, 对盐城地区饱和软粘土层中这两种桩成桩后休止时间对单桩极限承载力的影响规律进行了分析研究, 并对载荷试验的间歇时间的确定问题作一些有益的探讨。

关键词: 时效性; 饱和软粘土; 单桩极限承载力; 预制桩; 灌注桩

中图分类号: TU195.2

文献标识码: A

文章编号: 1671-532X(2002)01-0024-05

1 时效性对饱和软土中钻孔灌注桩单桩承载力的影响

1.1 泥浆护壁成孔灌注桩

钻孔灌注桩是指利用钻孔机械钻出桩孔, 并在孔中浇注混凝土(或先在孔中吊放钢筋笼)而成的桩。根据钻孔机械的钻头是否在土壤的含水层中施工, 又分为泥浆护壁成孔和干作业成孔两种施工方法。

泥浆护壁成孔灌注桩的施工方法为先利用钻孔机械(机械或人工)在桩位处进行钻孔, 待钻孔达到设计要求的深度后, 立即进行清孔, 并在孔内放入钢筋笼, 水下浇注混凝土成桩。在钻孔过程中, 为了防止孔壁坍塌, 孔中可注入一定稠度的泥浆(或孔中直接注入清水制浆)护壁进行成孔。泥浆护壁成孔灌注桩适用于在地下水位较高的含水粘土层, 或流砂, 夹砂和风化岩等各种土层中的桩基成孔施工。

盐城是典型软土地区, 地下水位较高, 一般为 1.5 ~ 3.7 m, 而设计采用灌注桩长一般为 20 ~ 50m, 因此投入施工的灌注桩均采用泥浆护壁成孔的施工方法。混凝土入孔后, 吸收土中的水, 开始化学反应较快, 以后因水化物成絮状, 中间握裹了一部分自由水, 导致混凝土固化进程变慢, 需经过一定的龄期, 才能达到所需强度。

1.2 粘性土中非挤土灌注桩承载力的时间效应^[1]

非挤土灌注桩由于成桩过程不产生挤土效应, 不引起超孔隙水压力, 土的扰动范围较小, 因此, 桩承载力的时间效应相对于挤土桩要小。粘性土中非挤土灌注桩承载力随时间的变化, 主要是由于成孔过程孔壁土受到扰动, 由于土的触变作用, 被损失的强度随时间逐步恢复。对于泥浆护壁成桩的情况下, 附着于孔壁的泥浆也有触变硬化的过程。因此承载力的时效, 泥浆护壁法成桩要比干作业明显。干作业成桩的情况下, 孔壁土扰动范围小, 其承载力的时效一般可予忽略。

1.3 实例分析

表 1、2、3 为盐城饱和软土中泥浆护壁钻孔桩(表 1 中桩 $d = 800 \text{ mm}$, $l = 30.9 \text{ m}$; 表 2 中桩 $d = 800 \text{ mm}$, $l = 38.0 \text{ m}$; 表 3 中桩 $d = 800 \text{ mm}$, $l = 49.0 \text{ m}$)不同休止期静载试验所得极限承载力。经桩身不同截面轴力观测表明, 桩侧阻力随时间而增长, 但桩端阻力基本不随时间而变化。

表 1 人行盐城分行综合楼

Table 1 The General-purpose Building of Yancheng Branch of People's Bank

休止期/d	30	39	56	108	171
极限承载力/kN	3 100	3 438	3 900	4 200	4 200
变化率/%	100	111	126	135	135

* 收稿日期: 2001-08-31

作者简介: 李 飞(1963-), 男, 江苏省阜宁县人, 盐城工学院副教授, 国家一级注册结构工程师。

表 2 国土局综合楼

Table 2 The General-purpose Building of State Land Bureau

休止期/d	30	40	108	171
极限承载力/kN	4 600	4 729	4 800	4 800
变化率/%	100	103	104	104

表 3 电信局生产楼

Table 3 The General Building of
Telecommunication Bureau

休止期/d	37	50	108	171
极限承载力/kN	7 000	7 490	7 560	7 560
变化率/%	100	107	108	108

由表 1、2、3 可看出,承载力前期增长快,108 d 后基本趋于稳定,50(40) d 相对于 37(30) d 承载力增幅为 3%~26%,108 d 相对于 50(40) d 的增幅为 1%~2%。这是由于非挤土桩承载力时效主要是桩侧扰动土和泥浆的触变恢复,其恢复速率相对是较快的。所以建议盐城地区的钻孔灌注桩测桩时间为成桩后的 50 d 为宜。

2 饱和软土中打入式预制桩单桩承载力的影响

2.1 打入式预制桩

对于饱和软土中的打入法沉桩,由于沉桩时的冲击与刺入破坏,造成了桩周土体在成桩后的一段时间内的再固结与内聚力的再恢复,从而引起单桩承载力随沉桩的后间歇时间的增长而逐渐提高。李雄等人(1992)结合天津大港电厂二期工程的静载试验资料,通过对比试验分析,曾对饱和软土中打入式预制桩的时效性规律,提出了自己的一些见解,并对如何考虑时效性特性来确定单桩承载力的方法提出了有益的建议^[2]。全国及各地方行业规范也分别对饱和软土中打入式预制桩的时效性对基桩承载力的影响,即载荷试验间歇(休止)时间问题作出过明确的规定。

结合盐城饱和软土地区某些实际工程的静载试验实测资料,本文对盐城地区软粘土层中的打入式预制桩的休止时间对单桩极限承载力的影响规律进行了分析研究,并对盐城饱和软土地区的载荷试验的间歇时间的确定问题进行探讨。

2.2 打入桩承载力时效的机理分析

(1)土的触变时效:桩周土经沉桩挤压扰动,强度降低,粘性土的触变作用使损失的强度随时间逐步恢复。

(2)固结时效:沉桩引起的超孔隙水压力随时间而消散,桩侧土在自重应力和沉桩扩张应力共同作用下固结,超孔压逐渐消散,土的有效应力和密实度逐渐增大,强度逐渐恢复,甚至超过其原始强度。

(3)桩侧土在沉桩过程的变化可划分为塑性区和弹性区,按土的扰动程度的不同又可分为如图 1 所示的 3 个区:重塑区Ⅰ;部分扰动区Ⅱ;非扰动区Ⅲ。重塑区由于受沉桩过程竖向剪切、径向挤压作用而完全重塑。由于桩土界面的挤压应力最大,超孔隙水压力也最大,因而在不断产生相对位移。粘聚力最小的桩土界面上将形成一“水膜”。该水膜不仅起到降低沉桩贯入阻力的作用(若打桩中途停歇,水膜消散,便会使沉桩阻力大大增加),而且在桩表面形成排水通道使重塑区土体快速固结,并随静置和固结时间延长,逐步形成一紧贴于桩表面的硬壳。该硬壳的厚度为 3~20 mm,随土性、桩表面粗糙程度而变化。由于该硬壳的剪切强度大于其外围土的强度,因此当桩受竖向荷载发生竖向位移时,其剪切面发生于Ⅰ、Ⅱ区的交界面,桩侧摩阻力也取决于Ⅱ区土的强度。摩擦桩的承载表面积也相应增大。

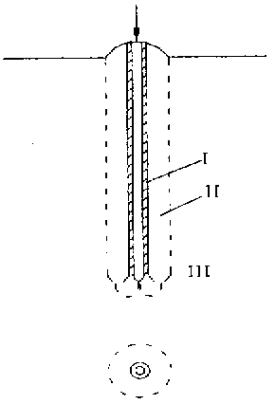


图 1 桩周挤土分区

Fig.1 Divide Area around A Pile

部分扰动区Ⅱ的外边界在理想不排水不固结条件下等于上述塑性区的外边界,但由于实际沉桩并非瞬时,而是在某一定时间内完成,因此存在沿桩土界面的排水固结和地表、透水层的排水固结。这样,使Ⅰ、Ⅱ区的实际半径要比理论塑性区半径小,一般为 5~10 r_0 (r_0 为桩半径)。土的隆起量也由于沉桩过程的部分固结挤密,比沉入桩身体积小。桩侧摩阻力随时间的增长也会更为显著。

2.3 试验基本情况

(1)试验桩设计基本参数
实测工程位于毓龙路 ,为一多层及小高层住宅小区 ,设计采用打入式预制桩 ,试验桩的设计基本参数见表 4。

(2)试验区工程地质概况

试验区地层分布较为齐全。试验桩桩基持力层为暗绿色粉质粘土 ,桩身穿越的地层除第 3b 层为砂质粉土外 ,其余均为粘性土或淤泥质粘性土。这些土层的共同特点是含水量高、强度低。试验场地工程地质概况见表 5。

表 4 试验桩设计的基本参数

Table 4 Fundamental Designing Data of Test Piles

桩型	桩的截面尺寸/mm ²	桩长/m	桩身混凝土强度	桩端持力层	单桩极限承载力/kN
预制桩	300×300	25.6	C30	第 6 层	1 120

表 5 试验场地工程地质概况

Table 5 Engineering Geology General Conditions of the Test Site

层序	土层名称	层底标高(m)	土层的力学性质					
			α (kPa)	φ (°)	$a_{0.1-0.2}$ (MPa - 1)	$E_{0.1-0.2}$ (MPa)	f_c (kPa)	f_k (kPa)
2	粉质粘土	0.76 ~ - 1.88	14	14.0	0.48	4.34	15	—
3a	淤泥质质质粘土	- 1.58 ~ - 0.14	7	10.1	0.95	2.23	15	—
3b	砂质粉土	- 3.17 ~ - 1.71	4	21.9	0.23	8.86	25	—
3c	淤泥质粉质粘土	- 4.63 ~ - 3.97	7	8.6	1.37	1.62	15	—
4a	淤泥质粘土	- 14.49 ~ - 13.61	9	8.1	1.25	1.88	25	—
4b	粘土	- 17.03 ~ - 16.11	12	9.8	0.70	3.13	40	—
5a	粉质粘土	- 18.83 ~ - 17.35	12	13.1	0.42	4.53	45	—
5b	粉质粘土	- 20.95 ~ - 19.72	11	14.1	0.40	4.79	50	—
6	暗绿色粉质粘土	- 25.67 ~ - 24.01	29	15.3	0.21	8.15	80	2 500
7a	砂质粉土	- 35.59 ~ - 34.08	4	23.9	0.22	8.82	70	4 000

(3)试验概况
根据设计要求 ,整个工程共进行 12 组静载荷试验。试验结束后 ,除 3 组试验结果达到 1 008 kN ,基本满足设计要求的单桩承载力外 ,其余 9 组试桩的试验结果(表 6)与设计值 1 120 kN 相差较大。为此 ,对试验场地进行了必要的施工勘察 ,进

一步确认了试验场地的工程地质资料的准确性后 ,对上述承载力与设计要求相差较大的 9 组试验桩 ,结合工程进展情况 ,在休止期(自初压结束日起)达到 28 d 后 ,再分别进行了复压试验结果列于表 7。

表 6 试验结果(初压)

Table 6 Test Results(for the First Time)

试桩编号	沉桩日期	试验日期	休止时间/d	单桩竖向极限承载力/kN	相应的桩顶沉降量/mm
1 #	99.7.28	99.8.10	14	784	14.86
2 #	99.7.27	99.8.10	15	672	7.64
3 #	99.7.28	99.8.11	15	784	8.97
4 #	99.7.20	99.8.9	21	896	9.18
5 #	99.7.29	99.8.11	14	672	8.76
6 #	99.7.27	99.8.14	18	896	9.38
7 #	99.7.28	99.8.14	17	672	8.01
9 #	99.7.29	99.8.13	15	784	10.75
12 #	99.7.29	99.8.13	15	784	11.71

表 7 试验结果(复压)
Table 7 Test Results(Once More)

试桩编号	前次试验日期	本次试验日期	休止时间/d	单桩竖向极限承载力/kN	相应的桩顶沉降量/mm
1 # f	99.8.10	99.9.15	36	1 120	9.37
2 # f	99.8.10	99.10.17	68	784	20.73
3 # f	99.8.11	99.10.15	65	784	34.08
4 # f	99.8.9	99.10.18	70	1120	26.02
5 # f	99.8.11	99.9.10	30	1 008	8.98
6 # f	99.8.14	99.9.15	32	1 120	12.03
7 # f	99.8.14	99.9.11	28	1 120	10.02
9 # f	99.8.13	99.10.17	65	1 120	15.90
12 # f	99.8.13	99.9.16	34	1 120	9.86

2.4 试验结果分析

初、复压试验结果表明 ,除 2 # f、3 # f 号试验桩外 ,其余 7 根试验桩的复压试验 ,其单桩极限承载力较之初压试验平均提高了将近单桩设计最大加载值(1 120 kN)的 30%(表 8)。其中提高幅度最大的为 7 # f 号试验桩 ,其承载力提高了设计最大加载值(1 120 kN)的 40% 以上。

表 8 单桩极限承载力初、复压变化情况

Table 8 Varying Situation of the
ultimate bearing capacity of single pile

试桩编号	单桩竖向极限承载力/kN			
	初压	复压	递增	增幅/%
1 # f	784	1 120	336	30
2 # f	672	784	112	10
3 # f	784	784	0	0
4 # f	896	1 120	224	20
5 # f	672	1 008	336	30
6 # f	896	1 120	224	20
7 # f	672	1 120	448	40
9 # f	784	1 120	336	30
12 # f	784	1 120	336	30

3 # f 号试验桩的极限承载力未能提高 ,2 # f 号试验桩的承载力也未能有较明显提高 ,其主要原因是 ,该两组试验桩复压试验之前的较短时间内 ,其周围在较近(3 ~ 5d)的范围内进行了工程桩的打桩施工。工程桩的打桩施工直接影响到了试验桩周围超孔隙水压力的消散及土体的再固结与内聚力的再恢复 ,因此 ,导致 2 # f、3 # f 号试验桩的承载力未能有明显提高 ,特别是 3 # 复压试验桩的承载力非但没有提高 ,且其相同承载力(784 kN)所对应的沉降反而明显增大。

2 # f、3 # f 号试验桩的承载力复压试验结果说明 ,除了其它影响因素之外 ,桩间距对打入式预

制桩的时效性即承载力恢复的影响也是非常明显的。

需要说明的是 ,由于工期及试验桩兼作工程桩等原因 ,复压试验仅以单桩极限承载力的设计值为最大加载 ,对复压时承载力超过 1 120 kN 的试验桩未进一步加载至破坏。

所以 ,盐城地区饱和软粘土中打入式预制桩单桩极限承载力的时效性是非常明显的 ,特别是打入式预制桩静载荷单桩极限承载力 ,在《地基基础设计规范(DGJ08-11-89)》所规定的休止期(沉桩后不应少于 2 周)后仍然会有较大幅度的增长。

2.5 结论与建议

对于饱和软粘土层中的打入式预制桩 ,由于沉桩时的冲击与刺入破坏 ,造成桩周土体在成桩后的一段时间内 ,单桩极限承载力仍会有较大幅度的增长。因此 ,合理确定饱和软土地区的打入桩在沉桩后进行静载试验时的间歇时间 ,对于充分发挥单桩承载能力 ,降低建(构)筑物的基础成本 ,具有十分重要的意义。

新修订的建设规范《地基基础设计规范》,将对打入桩在沉桩后到进行静载荷试验时的间歇时间 ,由原规范的一般粘性土、粉性土的“ 不应少于 2 周 ”,修改为“ 宜为 4 周以上 ”。显然是非常有必要的。

3 结语

本文着重讨论了时效性对泥浆护壁成桩灌注桩和打入式预制桩的极限承载力的影响 ,其主要内容如下 (1)介绍灌注桩和预制桩的施工特点。(2)讨论泥浆护壁成孔灌注桩承载力的时效性机理 ,结合实例分析成桩后各不同时期测得的桩的承载力 ,从而推论灌注桩的合理测桩时间。(3)提

出时效性影响打入桩承载力的原因 ,结合实例 ,给出盐城市区的打入桩的合理测桩时间。通过分析成桩后不同时期相同桩的承载力数据 ,给

参考文献 :

[1] 史佩栋 ,高大钊 ,钱力航 .21 世纪高层建筑基础工程 [M].北京 :中国建筑工业出版社 ,2000.
[2] 李雄 ,刘金砺 .饱和软土中预制桩承载力时效性的研究 [J].岩土工程学报 ,1992 ,14 (4) 9 - 16.
[3] 郝子进 ,李飞 .苏北盐城地区软土地基及其处理方法 [A].施践勇 .岩土力学的理论与实践 [C].南京 :河海大学出版社 ,1998.

Analysing the Ultimate Bearing Capacity of Single Pile for Limitation of Time

LI Fei¹ ,CHENG Peng-huan¹ ,DONG Guo-lan¹ ,HAO Zi-jin²

(1. Department of Constroction Engineering of Yancheng Institute of Technology ,Jiangsu Yancheng 224003 ,China 2. Yancheng Institute of Construction Designing and researching , Jiangsu Yancheng 224002 ,China)

Abstract :At present , driven precast piles and piles of concrete cast in place with mud protecting holes ' walls are extensively used in Yancheng area. From pole ' s technology and conditions of soil , this paper will study influences of the cease time when two types of piles have been in place , on the ultimate bearing capacity of single pile for the saturated soft clay of Yancheng area. Moreover , how to determine the intermittent time of load test is also discussed.

Keywords :limitation of time ; saturated soft clay ; ultimate bearing capacity of single pile ; precast pile ; pile of concrete cast in place

(上接第 4 页)

为了验证本程序计算的可靠性 ,我们又根据影响线的的基本定义 ,将单位荷载 $P = 1$ 依次作用在刚架杆件的若干个截面上 ,调用普通程序计算了 C 截面的 M_c 和 Q_c 值。与本影响线程序计算的 M_c 和 Q_c 影响线进行了对比 ,其结果完全一致。

参考文献 :

[1] 龙驭球 ,包世华 .结构力学教程 [M].北京 :高等教育出版社 ,1989.
[2] 杨 康 ,李家宝 .结构力学 [M].北京 :高等教育出版社 ,1986.
[3] 钟万勰 .计算杆系结构力学 [M].北京 :水利电力出版社 ,1982.
[4] 崔清洋 .结构力学计算机程序与应用 [J].盐城工学院 ,2000 (3) :14 - 15.
[5] 崔清洋 .平面刚架影响线函数 [M].西安 :西北工业大学出版社 ,1994.

Calculation Method and Programme of Rigid Frame Influence Line Standard

CUI Qing-yang ,ZHANG Ying ,ZHU Hua

(Department of Constroction Engineering of Yancheng Institute of Technology ,Jiangsu Yancheng 224003 ,China)

Abstract :According to internal force influence line theorem author advance the standard calculation method of rigid frame influence line by using programme. Based on compile influence line , we can high - speed work out bending moment and shearing force influence line about rigid frame and continuous girder. All of these will embody convenient in engineering structure design.

Keywords :影响线 ; Calculation method ; Rigid frame ; Programme