

文章编号: 1000-7598-(2006) 03-0471-04

饱和软土中钻孔灌注桩竖向承载力时效分析

陈兰云¹, 陈云敏², 张卫民¹

(1. 金华学院 建筑工程系, 浙江 金华 321017; 2. 浙江大学 岩土工程研究所, 杭州 310027)

摘 要: 针对目前饱和软土中钻孔灌注桩竖向承载力时间效应研究不多的情况, 结合现场试验对饱和软土钻孔灌注桩承载力时间效应机理进行了分析。结果表明: 随着时间增长, 桩周被扰动土的结构强度逐渐恢复, 摩阻力逐渐增加, 钻孔灌注桩竖向承载力呈现一定的时效性, 但不宜扩大桩竖向承载力的时效作用, 时间效应可对桩竖向极限承载力产生 10 % 以上的影响。

关 键 词: 软土; 钻孔灌注桩; 时间效应; 极限承载力

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Time-effect on vertical bearing capacity of single drilled grouting pile in saturated soft soil

CHEN Lan-yun¹, CHEN Yun-min², ZHANG Wei-min¹

(1. Department of Architecture Engineering, Jinhua College, Jinhua 321017, China;

2. Institute of Geotechnical Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: The research of time-effect on vertical bearing capacity of single drilled grouting pile in saturated soft soil is few at present. Through analyzing the mechanism of time-effect on bearing capacity of single drilled grouting pile in saturated soft soil and in-situ test, it shows that the frame intensity of the disturbed soil around the pile come back lentamente with the time went by. The friction between the soil and the pile enhanced slowly, it shows stated time-effect. The research indicates that the time-effect on vertical bearing capacity of single drilled grouting pile in saturated soft soil can't be enlarged at actual test, the time-effect can affect more than 10 percent of the ultimate bearing capacity of single pile.

Key words: soft soil; drilled grouting pile; time-effect; ultimate bearing capacity

1 引 言

桩基竖向承载力的时间效应, 早已引起国内外学者关注, 并对之进行了研究, 取得一些成果^[1, 2]。但多数研究仅限于挤土桩, 单桩承载力时效产生机理基本上归纳为桩挤入过程对土产生严重扰动, 破坏了土原有天然结构, 桩周土受到挤压, 形成 3 个区: 重塑区、部分扰动区、非扰动区, 造成孔隙水压力急剧上升, 随着时间增加, 被扰动土的结构强度逐渐恢复, 土体中原先增大的孔隙水压力渐渐消散, 有效应力随之增长, 桩周土密度提高, 从而使桩的侧摩阻力也随时间而增长^[3~10]。然而对钻孔灌注桩单桩承载力时效问题研究不多^[2], 郑刚教授对间歇时间长达 4 年零 9 个月的两根 47 m 长的钻孔灌注桩进行载荷试验对比, 发现承载力增幅达 30 %

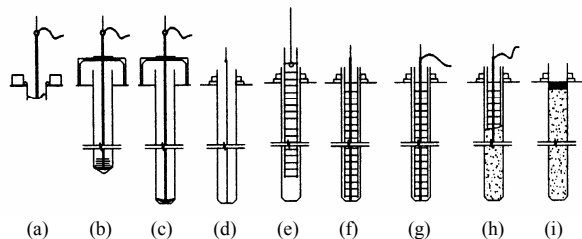
后, 软土层中灌注桩也有明显的时效性^[9]。本文通过对钻孔灌注桩施工工艺分析, 并结合工程现场试验成果, 讨论钻孔灌注桩单桩承载力时效机理。

2 单桩承载力时效机理

钻孔灌注桩典型工艺如图 1 所示。钻孔灌注桩不同于挤土桩沉入过程中土体受挤压, 造成孔隙水压力急剧上升, 引起土的触变时效、固结时效。在成桩过程中, 钻孔灌注桩孔先收缩, 再扩张, 但是在扩张之前, 周边土体已经被扰动, 甚至软化破坏。因此, 可以将其成桩过程分成 3 个状态:

(1) 主动加载状态 $\sigma_0 > \sigma_r$ 。在钻孔过程中, 由于不产生挤土效应, 不引起超孔隙水压力, 但钻孔使孔内土体被取出, 钻孔周边土体 σ_r 减小, 孔壁的侧压力解除, 形成较大的自由面, 引起地层压力

向自由面应力释放,造成孔壁土体向孔中心方向膨胀,这就相当于土力学中的主动加载过程。可能会出现三种情况:①土体材料没有屈服,在最大剪应力条件下表现为弹性,如泥浆护壁;②剪应力达到破坏极限,在钻孔周边某处发生破裂,这种情况在软弱土层中可能发生;③在钻孔周边形成弹塑性的屈服状态,如干孔取土。这就是主动加载状态 $\sigma_0 > \sigma_r$ 。



注: (a) 设置护筒; (b) 安装钻机; (c) 钻挖完了, 处理虚土;
(d) 孔壁测定; (e) 插入钢筋笼; (f) 插入导管;
(g) 第 2 次处理虚土; (h) 灌注混凝土; (i) 拔出护筒

图 1 钻孔桩施工工艺示意图

Fig.1 Drilled pile working process

(2) 主动加载转折状态。这对应的是一个短暂的瞬时过程。

(3) 被动加载状态 $\sigma_0 < \sigma_r$ 。在混凝土灌注过程中,随着内压力的增大,经过主动加载状态的转折点,出现 $\sigma_0 < \sigma_r$,进入到被动加载状态 $\sigma_0 < \sigma_r$ 。钻孔取土后桩周土松弛,破坏了土原有结构,强度降低。桩周土因泥浆中的自由水的浸泡,也会影响桩周土结构强度。混凝土灌注过程是对土施加压力的过程,对桩土的侧摩阻力影响很大,特别是混凝土超灌系数越大,对桩侧的摩阻力影响越大。

由于采用泥浆护壁,泥浆颗粒吸附于孔壁上形成泥皮,阻碍了桩身混凝土与桩周土的粘结,在桩周围会附上一层薄的高含水量的泥皮,泥皮厚度差异较大,少的几毫米,厚的几十毫米^[9],影响了钻孔灌注桩的竖向承载力。室内重塑土强度试验表明(图 2),在一定的固结压力(200 kPa)下,静置十

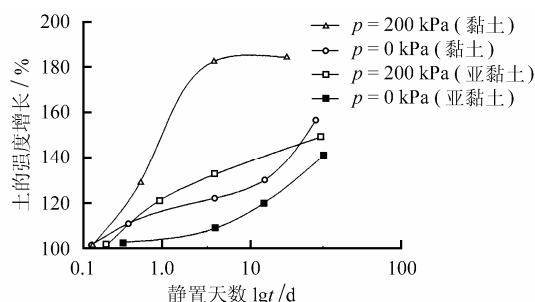


图 2 重塑土的强度增长

Fig.2 Intensity increment of remoulded soil

余天后,重塑土强度增长了 60 %~80 %;在现场埋藏条件下,扰动土休息几天之后,就可恢复原状强度的 60 %~80 % (图 3)^[4]。如图所示,说明土具有鲜明的时效性。因此,钻孔灌注桩的单桩承载力受桩周泥皮和桩周土强度的影响,随着泥皮硬化和桩周土的触变和重新固结,土强度增加,桩侧摩阻力也随时间增长,从而桩承载力也随时间而增长。

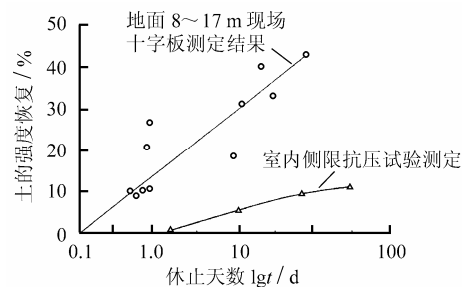


图 3 扰动土的强度恢复

Fig.3 Intensity restoration of disturbed soil

3 试验基本情况

3.1 工程概况

某矿业集团下属 5.0×10^6 t 特大型选煤厂原煤仓建于湖滨冲积平原上,原煤仓共 5 个,单个储煤量为 1.0×10^6 t 的筒仓结构物,筒仓直径为 21.2 m,经比较分析,基础采用反循环泥浆护壁钻孔灌注桩,泥浆采用现场自造(泥浆比重 1.65),桩径为 800 mm,桩长 38 m,配筋均为 16 mm ϕ 16 mm,混凝土强度等级为 C30,设计单桩承载力为 4 540 kN,为确保工程质量,施工前在场内地内试打了 3 根试桩,试桩施工基本数据见表 1。

表 1 各试桩基本情况

Table 1 Basic parameters of testing piles

桩号	桩径 / mm	桩长 / m	虚土厚度 / mm
1 [#]	800	38.4	50
2 [#]	800	38.2	120
3 [#]	800	38.3	150

3.2 工程地质情况

根据提供的地质勘察报告,场地地层自上而下分别为:填土,厚度为 0.6 m;黏土,黄褐色-深灰色,可塑,饱和,层厚 1.6~2.4 m;粉质黏土,可塑、饱和,层厚 2.6~5.6 m;粉土,褐黄色,软塑~可塑,饱和,层厚 5.4~8.6 m;细砂,褐黄色,饱和,稍密~中密,层厚 1.5~2.6 m;粉质黏土,可塑、饱和,厚 7.6~8.6 m;粉土,褐黄色,软塑~

可塑, 饱和, 层厚 1.6~2.8 m; 黏土, 褐黄色, 硬塑, 饱和, 层厚 6.4~9.6 m; 粉质黏土和粉土, 褐黄色, 硬塑, 饱和, 层厚 4.5~5.6 m; 中砂, 褐黄色, 饱和, 中密, 层厚 0.9~1.6 m; 黏土, 褐黄色, 硬塑, 饱和, 层厚 11.5~15.6 m。地下水稳定水位在地表下 0.9 m。

3.3 试验成果

考虑钻孔灌注桩桩身质量受施工、灌注因素影响较大, 灌注前采用自制简易钢筋笼孔径器检查成孔质量, 灌注后桩身混凝土采用美国产 ES-2401 型无损检测仪进行检测。结果表明, 试桩 1[#]纵波波速均在 4 110 m/s, 试桩 2[#]纵波波速均在 4 115 m/s, 试桩 3[#]纵波波速均在 4 210 m/s, 判定桩身结构基本完整, 未发现缩径。根据现场条件, 测试时间分别设定在间歇时间 14, 28, 90, 120 d。加载过程中, 各试桩第 1 级加荷 1 200 kN, 之后除 1[#]桩外每级加荷 600 kN(其中试桩 1[#]14 d 时, 每级加载均为 1 200 kN)。试 1[#]桩间歇时间 14 d 试验时, 加载到 4 800 kN, 该级沉降为 2.71 mm, 总沉降为 5.66 mm。加载到 6 000 kN 时, 该级沉降达 26.99 mm, 总沉降达 32.65 mm, 判定极限承载力 4 800 kN。其余试验过程加载中曲线比较平缓, 无异常的试桩, 最后试验单位根据《建筑桩基技术规范》(JGJ94-1994) 判定极限承载力。静载荷试验结果见表 2。

表 2 试桩极限承载力随时间的变化

Table 2 Ultimate bearing capacity of testing piles changing with time

桩号	参数	间歇时间/d			
		14	28	90	120
1 [#]	极限承载力/kN	4 800	7 200		9 600
	相应沉降值/mm	5.66	15.32		15.74
	极限承载力增长率/%	100	150		200
2 [#]	极限承载力/kN		8 400		9 600
	相应沉降值/mm		19.11		16.05
	极限承载力增长率/%		100		114
3 [#]	极限承载力/kN			9 600	
	相应沉降值/mm			22.16	
	极限承载力增长率/%				

4 时效分析

试 1[#]和试 2[#]桩的试验结果表明, 14 d 时桩的极限承载力仅为 28 d 的 67 % 左右, 桩身混凝土质量检测完好, 也未见缩径, 说明这和黏土的触变没有完全恢复有一定关系。而试 1[#]桩、试 2[#]桩同样 28 d

的极限承载力相差 14.3 % 左右, 考虑可能与试桩 1[#]与上次试验仅相差 14 d, 试 3[#]桩 90 d 的极限承载力和 1[#]桩、2[#]桩 120 d 的极限承载力相同, 但沉降值偏大, 分析原因是 1[#]桩、2[#]桩已经过静压, 对桩底端土有一定压缩。

试验表明(见图 4), 钻孔灌注桩单桩竖向承载力前期增长较快, 2[#]桩 28 d 和 120 d 的极限承载力相差 14 % 和 3[#]桩 90 d 的极限承载力, 说明 28 d 以后呈缓慢增加趋势, 见图 5。这是由于非挤土桩承载力时效使桩侧扰动土和泥浆的触变恢复, 且恢复速率相对较快。《建筑桩基技术规范》(JGJ94-1994) 和《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 规定, 对于饱和黏土开始试验时间不得少于 25 d 是较妥的。文献[8]中通过对间歇时间长达 4 年零 9 个月的 2 根 47 m 长的钻孔灌注桩进行载荷试验对比, 发现承载力增幅达 30 % 后, 软土层中灌注桩有明显的时效性。说明 28 d 以后趋于缓慢增加, 同时也给工程技术人员提出一个问题, 饱和软土中钻孔灌注桩的时效性到底能达到什么程度, 若条件允许应在此方面多进行研究。同时, 由于试验条件和费用的制约, 目前, 多数试验是在同一根桩上或在不同的地质场地中进行的, 这显然不能反映桩的真实工作状态。对于同一根桩进行反复荷载试验, 对桩的测试结果有何影响, 尚不能真正了解。

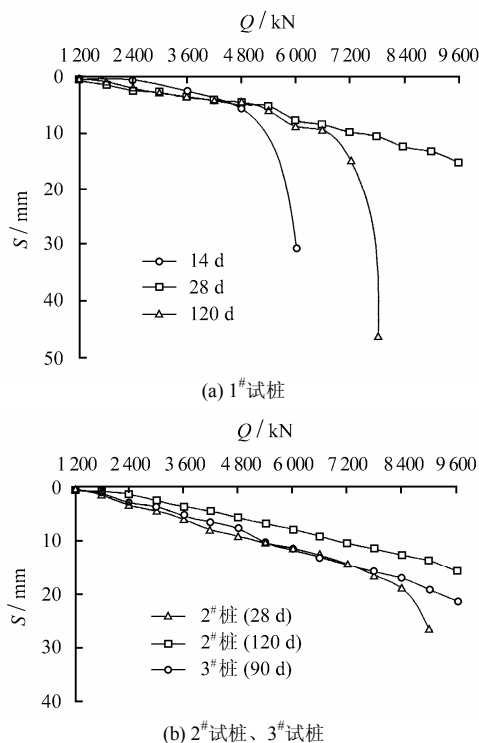


图 4 单桩静载试验 Q-S 曲线

Fig.4 Q-S curves of pile loading test

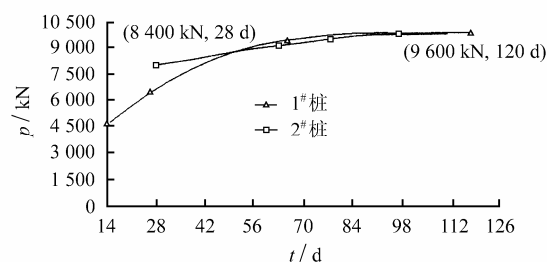
图5 单桩承载力 p 随时间 t 变化

Fig.5 Bearing capacity of single pile with time

5 结 语

根据本文试验和分析, 钻孔灌注桩的成桩施工过程与挤土桩(如预制桩)成桩过程不同, 施工后的时效性对泥浆护壁钻孔灌注桩和挤土桩的承载力的影响也不同, 钻孔灌注桩成桩过程中, 桩孔先收缩, 再扩张, 但是在扩张之前, 周边土体已经被扰动, 甚至软化破坏, 主要过程为: 触变恢复、固结与桩体产生摩阻力。

根据试桩, 饱和软土中钻孔灌注桩的时间效应可影响桩极限承载力达 10 % 以上。目前, 《建筑桩基技术规范》(JGJ94-1994) 和《建筑地基基础设计规范》(GB50007-2002) 规定, 对于饱和黏土开始试验时间不得少于 25 d 较为妥当。25 d 以后桩时间效应增长的承载力可以视做安全储备。

通过试验, 笔者建议:

(1) 不宜扩大钻孔灌注桩的时效作用, 应正确对待钻孔灌注桩承载力的时效影响。

(2) 规范规定试桩时间限制是适宜的。但考虑施工时间或工期紧迫, 可在积累经验的基础上, 根据地区经验确定 14 d, 21 d 的静载试验成果, 推导出经验公式, 在地区范围内应用, 有利于提高经济效益。

参 考 文 献

- [1] M. J. 汤姆林森[英]. 桩的设计和施工[M]. 朱世杰译. 北京: 人民交通出版社, 1984.
- [2] 刘金砺编. 桩基础设计与计算[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [3] 《地基与基础译文集》编委会. 桩基础[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1982.
- [4] 孙更生, 郑大同. 软土地基与地下工程[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1984.
- [5] 黄宏伟. 微型预制桩单桩承载力时效现场试验分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2000, 19(5): 666—669.
HUANG Hong-wei. In-situ test analysis of time effect of bearing capacity of single precast concrete mini-pile[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2000, 19(5): 666—669.
- [6] 叶为民, 黄雨, 唐益群, 等. 饱和软土中打入式预制桩单桩承载力的时效性[J]. 岩土力学, 2000, 21(4): 367—369.
YE Wei-min, HUANG Yu, TANG Yi-qun, et al. Time-effect on bearing capacity of driven pile in saturated soil[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2000, 21(4): 367—369.
- [7] 杜海金, 张建新, 吴东云, 等. 粉喷桩单桩承载力的时效分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(4): 586—589.
DU Hai-jin, ZHANG Jian-xin, WU Dong-yun, et al. Time effect on bearing capacity of single cement soil pile[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2002, 21(4): 586—589.
- [8] 张明义, 时伟, 王崇革, 等. 静压桩极限承载力的时效性[J]. 岩石力学与工程学报, 2002, 21(增 2): 2 601—2 604.
ZHANG Ming-yi, SHI Wei, WANG Chong-ge, et al. Time effect on the ultimate bearing capacity of static pressed pile[J]. **Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering**, 2002, 21(Supp.2): 2 601—2 604.
- [9] 郑刚, 任彦华. 桩承载力时效对桩土相互作用及沉降的影响分析[J]. 岩土力学, 2003, 24(1): 65—69.
ZHENG Gang, REN Yan-hua. Effect of Time-effect of pile's bearing capacity on pile-soil interaction and on settlement of pile-raft foundation[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2003, 24(1): 65—69.
- [10] 姚笑青. 桩间土的再固结与桩承载力的时效[J]. 上海铁道大学学报, 1997, 18(4): 91—94.
YAO Xiao-qing. The reconsolidation of the soil among piles and the time effect of pile bearing capacity[J]. **Journal of Shanghai Tiedao University (Natural Science)**, 1997, 18(4): 91—94.