

# 扩底短桩承载力时间效应分析

赵楠

(郑州大学土木建筑工程学院, 化学工业部(郑州)基础工程研究检测中心, 河南 郑州 450002)

**摘要:**通过对同一场地、相同桩型、不同桩体时隔 40 天的静载试验  $Q-s$  曲线的对比分析, 论述了人工挖孔类的混凝土桩的承载力不会随着时间的推移而有所提高, 即承载力不存在时间效应问题。通过对同一扩底短桩的两次静载试验的承载力比较, 认为其承载力的提高, 完全是由于桩侧和桩端土体的压实重塑导致土体强度的提高所引起的。同一桩的二次静载试验存在着时间效应, 与第一次试验的时间间隔越长, 桩的承载力会有不同程度的提高。

**关键词:**扩底短桩; 承载力; 时间效应; 双层地基

中图分类号: TU47 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2011)S2-0498-04

**作者简介:**赵楠(1957-), 男, 河南孟津人, 硕士, 高级工程师, 主要从事地基基础质量检测、建筑结构检测等方面的工作。E-mail: zun9735@zzu.edu.cn。

## Time effect analysis of bearing capacity of belled short pile

ZHAO Nan

(Civil Engineering School, Zhengzhou University, Research and Inspection Centre of Foundation Engineering, Ministry of Chemistry, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** Field tests are carried out on a group of piles in the same site with the same type. Static loading  $Q-s$  curves obtained from piles before and after an interval of 40 days are compared and analyzed. It is found that the bearing capacity of reinforced concrete piles with the manual digging holes does not increase with the time, i.e., no time effect exists. Twice static loading tests are carried out on the same belled short pile. It is found that the bearing capacity increases because of the compaction of soil on the lateral surface and the bottom of the pile. There is time effect on the same pile before and after certain time interval. The longer the interval is, the more the bearing capacity increases.

**Key words:** belled short pile; bearing capacity; time effect; bi-layer soil

## 1 工程概况

### 1.1 工程概况

某小区#1 住宅楼采用人工挖孔扩底桩基础, 选取 ZH-1 型扩底桩进行静载荷试验。ZH-1 型桩顶设计标高-1.45 m, 桩长 6.2 m, 其中直身部分直径 0.8 m、长 5.2 m, 扩底直径 1.6 m。因为桩长较短, 为区别于桩长较大的扩底桩, 称之为扩底短桩<sup>[1]</sup>。

### 1.2 场地工程地质概况

建设场地所在地貌单元为黄河冲积二级阶地, 地势基本平坦, 地下水位位于地表下 18.5 m。扩底短桩的入土情况及各土层参数概况详见表 1。

### 1.3 静载试验结果

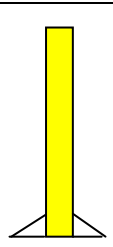
由于建筑物基础内的总桩数不足 50 根, 故仅抽取了为数最多的 ZH-1 型的 3 个桩进行静载试验。试验反力采用堆载方式, 试验加载方法为慢速维持荷载法。

其中的 11-D6 桩, 当加载至 1.2 倍的设计承载力

特征值时, 出现了沉降在 25.5 h 才达到稳定, 且  $s_i/s_{i-1}$

表 1 扩底短桩入土地质柱状图

Table 1 Geologic column of belled short pile

地层编号	土层名称	桩阻 力/kPa	层底深 度/m	厚度 /m	扩底桩入 土情况
①	$Q_{4-3}^{ml}$ 杂填土		0.80	0.8	
②130	$Q_3^{al}$ 粉质黏土	$q_s=30$	2.10	1.3	
③120	$Q_3^{al}$ 粉土	$q_s=18$	3.60	1.5	
④110	$Q_3^{al}$ 粉土	$q_s=26$ $q_p=600$	10.30	6.7	

⑤150	$Q_3^{al}$ 粉土	$q_p=700$	15.50	5.2
------	------------------	-----------	-------	-----

达到 2.6 的现象, 判定其承载力不满足设计要求。因对 ZH-1 型短桩的承载力产生质疑, 为此, 在时隔一个月后又对该短桩型的 11-D8 和 11-D10 号 (2007.01.02~17) 扩底短桩进行了承载力检测, 并对 11-D6 (2006.11.19~23) 扩底短桩进行了第二次静载试验 (2007.01.01), 同时增大了静载试验的最大加载量, 以观测其大位移情况下的  $Q-s$  曲线性状。

ZH-1 扩底短桩的静载试验  $Q-s$  曲线详见图 1。其中“11-D6”为 11-D6 桩的二次复压试验编号。

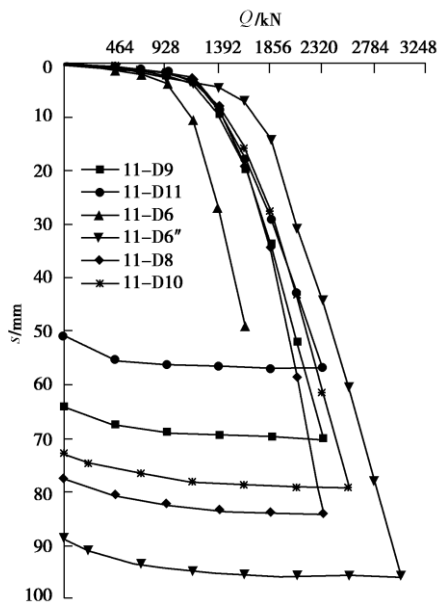


图 1 #1 楼 ZH-1 型扩底短桩  $Q-s$  曲线

Fig. 1 Curves of load-settlement of pile ZH-1

## 2 人工挖孔扩底短桩承载力的时间效应

土体对桩承载力的时间效应是指: 在成桩过程中, 桩周土体受到扰动, 由于土的触变作用, 被损失的土体强度随时间而逐步恢复的效应<sup>[2]</sup>。这一现象对桩的承载力的影响有一个过程, 也称为承载力时间效应。

目前, 关于承载力时间效应的研究基本上集中于针对排土的预制桩和水中钻孔灌注桩上, 且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<sup>[2]</sup>。本工程的出现, 提供了探讨挖孔桩承载力时间效应的难得且完美的工程实例: 不仅由于桩身尺寸有保障, 更在于对比资料的同场地性和异桩性。

在图 1 中对比 ZH-1 型桩不同成桩时间条件下的  $Q-s$  曲线, 可以看出: 在满足 28 d 的混凝土强度龄期条件下, 静载试验得到的 11-D9 桩  $Q-s$  曲线与其

后时隔 30 d 得到的 11-D8 的曲线几乎重叠, 仅在荷载大于 1856 kN 后有些许分离。同样条件下的 11-D10 桩的曲线与 11-D11 的  $Q-s$  曲线有着同样的重叠现象。因此可以看出在相同地质条件、桩身尺寸及其入土条件相同的情况下, 单桩的承载力不随成桩时间的改变产生变化, 即土体对于桩承载力没有时间效应的影响。

因上述四桩为同一场地的相邻桩, 桩型和施工方法一致, 在时隔一个月的条件下单桩承载力一致, 甚至相邻桩的  $Q-s$  曲线几乎两两相同, 因此, 这一现象说明, 与钻孔灌注桩和挤土预制桩具有明显的承载力时间效应有着显著的区别, 人工挖孔灌注桩不存在承载力时间效应问题。

### 2.1 人工挖孔桩侧摩阻力的时效分析

桩侧摩阻力由土体的土性和桩周法向正压力决定。孔壁土体在开挖过程中释放的径向应力, 在混凝土灌注过程中由于混凝土的流体状态和高比重性质, 使得桩周土体的法向应力得到恢复; 在成孔过程中孔壁土体只承受尖锐利器的竖向剪切力, 使处于孔壁表面处微薄厚度的土体结构遭到破坏, 考虑到混凝土水泥浆渗透到孔壁表层土体后对扰动土层的加固作用, 可以认为桩周土体仍然保持着天然状态, 因此不会出现桩周土体的强度随时间得到恢复加强的现象。

### 2.2 人工挖孔桩端阻力的时效分析

桩端承载力由其土性和竖向应力的释放程度决定。挖孔桩无论是在人工还是机械扩底条件下, 都不会对桩端土体产生向下的强力挤压从而改变土体结构, 但会释放土体的竖向应力, 且扩底面积越大应力释放现象越严重; 在灌注混凝土过程中同样会恢复一定量的土体竖向应力, 更重要的是, 一旦混凝土凝固后, 桩身自重的一部分将由桩底及桩周土体承担, 此时桩对桩端土的压力将小于流体混凝土尤其是振捣条件下混凝土对桩端土体的压力<sup>[3]</sup>, 桩端土体竖向应力成为常数而不再随着时间的推移发生变化。这是桩端承载力没有时间效应的基础。

由上述分析可知: 人工挖孔桩的桩土结合面均为混凝土与原状天然土体的直接结合, 对土体造成的强度损失可以忽略不计, 也不存在可能会随时间的延长而产生强度增长的中间介质: 即不存在如水下钻孔护壁形成的软弱泥皮, 也不存在因挤压而产生的重塑土体等类似的中间介质, 因此不会产生摩阻力或端阻力随时间的延长而增长的时间效应。

## 3 同一试桩两次静载试验的曲线分析

在图 1 中, 11-D6 和 11-D6' 两条  $Q-s$  曲线是在

同一个扩底短桩上时隔40 d进行的两次静载试验的荷载-沉降曲线,二次复压的单桩承载力明显大于首次的承载力。

比较两条曲线可以看出,二次复压曲线的初始拟直线段明显延长,桩的荷载-沉降弹性段终点的荷载及其对应的位移量都增加了2倍多;曲线尾部较长的下降线段的曲线斜率基本一致,即两曲线的尾部基本平行。尤其是若采用平移的方法,几乎可以使这两条 $Q-s$ 曲线达到重合。

由前述关于时间效应的分析结论,可以完全排除因土体承载力提高的时间效应的影响,而认为二次复压承载力的提高,主要是由于桩侧土的重塑和桩端土体预压后可能形成的压密地层承载力的提高所做的贡献。

### 3.1 桩侧土重塑后承载力提高的机理分析

在首次静载试验过程中,直身桩部分的桩土产生了很大的相对位移,远远超出了摩阻力充分发挥所需的位移量,桩周土体结构被充分破坏,同时大部分桩侧土的密实度得到提高,即桩周土体被重塑。此时桩周土体的变化情况与打入式预制桩的情况类同,即在大速率的位移过程中,在桩土界面的土体会形成塑性变形区和弹性变形区<sup>[4]</sup>。不同的是,挖孔灌注桩桩周土体的重塑完全是由于土体承受剪切应力破坏造成的,而打入桩桩周土还要承受巨大的挤压应力作用,因此灌注桩周土体的塑性变形区域较小,重塑土的密实度增加幅度不大,但毕竟桩周土体经受了压实重塑过程。

土体抗剪强度的构成因素主要是内摩擦阻力和黏聚力两个因素。试验研究表明,压实粉土的黏聚力随压实系数的增加显著增大,而内摩擦角也随压实系数的增加而增加<sup>[5]</sup>,这些都导致重塑土体抗剪强度的提高,进而提高桩侧摩阻力。

因此可以认为,在经过单向大位移的扰动后,人工挖孔灌注桩的桩周土体结构被破坏,由于桩身压缩的因素,塑性变形区的土体被压缩,重塑后的土体强度会随着时间的推移而增加,即桩侧摩阻力也存在强度提高的时间效应。

### 3.2 桩端土压实后承载力提高的机理分析

大直径挖孔扩底桩桩端土以压缩变形为主,这是其荷载-沉降曲线特征属于缓变型的根本原因。扩底短桩在第一次静载试验后,桩端下部一定厚度内土层的土体发生剪切破坏,部分土体受到较充分的压实,经过一定的固结期后,黏聚力的增大导致压实土体承载力提高<sup>[7]</sup>,即 $\sigma-\epsilon$ 关系和变形模量得到较大提高,形成了新的压实重塑土层,使桩端下的单一土层在 $\sigma-\epsilon$ 关系上变成了上强(重塑土)下弱(原状土)的双

层地基。上强下弱双层地基的离心机模型试验和有限元数值分析认为<sup>[6-7]</sup>:上部持力层的厚度及变形模量较下部软弱土层的比值越小,基础沉降越大;有限元分析表明:地基中的塑性区首先出现在上层较硬的土层中,随着荷载的增加,塑性区逐步向下扩展,由于下层土较软,故塑性区的发展较上层土快。

由于被压实的土层厚度不大,因此在桩端荷载作用的初期,荷载主要由较高强度的压实土层承担,桩端 $\sigma-\epsilon$ 关系的提高导致桩 $Q-s$ 曲线的拟弹性变形段得到延长;桩端深部天然土层的 $\sigma-\epsilon$ 关系没有改变,因此随着荷载的增加,桩 $Q-s$ 曲线尾部的斜率就应该与第一次的试验曲线相同。

这说明扩底短桩在二次复压时的单桩承载力会有提高,但其承载特性即 $Q-s$ 曲线性状或破坏模式仍不会发生改变。这同时给我们提示了一种处理局部地质条件较差处的扩底短桩承载力的方法。

## 4 结 论

综上所述,有如下结论和推论:

(1)人工挖孔类的混凝土桩,在保证原状土不受扰动的情况下,其承载力不会随着时间的推移而有所提高,即承载力不存在时间效应问题。扩底短桩二次静载试验时承载力的提高,完全是由于桩侧和桩端土体的强度提高所引起的。

(2)扩底短桩二次静载试验时承载力提高的内在原因是:由于桩周土经重塑后,随着时间的推移,桩侧和桩端的土体重新固结,强度得到提高;桩端土的强度提高幅度远大于桩侧土。压实后的桩端土体抗剪强度和变形模量增加,使得二次静载试验的 $Q-s$ 曲线的拟弹性段得到显著延长,但由于双层地基的原因,在较大荷载的作用下,其尾部的曲线斜率与首次曲线一致。二次静载试验与第一次试验的时间间隔越长,随着重塑土体固结时间的延长,桩的承载力会进一步提高。

(3)研究桩承载力的时间效应问题,应该采用在同等土质条件下设置的相同尺寸的桩,再针对不同的桩进行首次试验的方法,以排除桩周土受到扰动而产生承载力的时间效应的影响。

### 参考文献:

- [1] 王凤池,王明恕.大直径扩底桩墩的工作机理和承载力设计[J].岩土工程学报,2002,24(2):251-253.(WANG Feng-chi,WANG Ming-shu.Working mechanism and bearing capacity design of the pedestal pier with large diameter[J].China Journal of Geotechnical Engineering,

- 2002, **24**(2): 251 - 253. (in Chinese))
- [2] 陈兰云, 陈云敏, 张卫民. 饱和软土中钻孔灌注桩竖向承载力时效分析[J]. 岩土力学, 2006, **27**(3): 471 - 471. (CHEN Lan-yun, CHEN Yun-min, ZHANG Wei-min. Time-effect on vertical bearing capacity of single drilled grouting pile in saturated soft soil[J]. Rock and soil Mechanics, 2006, **27**(3): 471 - 471. (in Chinese))
- [3] 余宗明. 从混凝土浇筑工艺探讨模板荷载计算[J]. 建筑施工, 2000, **22**: 16 - 19. (YU Zong-ming. Discussion on the formwork loading based on the casting art of concrete[J]. Building Construction. 2000, **22**: 16 - 19. (in Chinese))
- [4] 李雄, 刘金砺. 饱和软土中预制桩承载力时效的研究[J]. 岩土工程学报, 1992, **14**(4): 10 - 16. (LI Xiong, LIU Jin-li. Time effect of bearing capacity of driven pile in saturated soft soil[J]. China Journal of Geotechnical Engineering, 1992, **14**(4): 10 - 16. (in Chinese))
- [5] 肖军华, 刘建坤, 彭丽云, 等. 黄河冲积粉土的密实度及含水率对力学性质影响[J]. 岩土力学, 2008, **28**(2): 409 - 414. (XIAO Jun-hua, LIU Jian-kun, PENG Li-yun, et al. Effects of compactness and water Yellow-River alluvial silt content on its mechanical behaviors[J]. Rock and soil Mechanics, 2008, **28**(2): 409 - 414. (in Chinese))
- [6] 费涵昌, 王广欣, 曹发来, 等. 双层地基的变形与沉降[J]. 同济大学学报, 1995, **23**(3): 288 - 293. (FEI Han-chang, WANG Guang-xin, CAO Fa-lai, et al. Deformation and settlement of double-layer subgrade[J]. Journal of Tongji Technological University, 1995, **23**(3): 288 - 293. (in Chinese))
- [7] 刘秀军. 上硬下软型地基强度和变形特性研究[J]. 青岛理工大学学报, 2008, **29**(6): 37 - 41. (LIU Xiu-jun. Strength and stability analysis of the double-layer subgrade with rigid upper and soft lower[J]. Journal of Qingdao Technological University, 2008, **29**(6): 37 - 41. (in Chinese))

(本文责编 黄贤沙)