

文章编号: 1000-7598 (2011) 04-1003-05

DX 桩群桩现场试验研究

陈立宏¹, 唐松涛¹, 贺德新²

(1. 北京交通大学 土木建筑工程学院, 北京 100044; 2. 北京中阔地基基础技术有限公司, 北京 100097)

摘 要: DX 桩(三岔双向挤扩灌注桩)作为一种新型的变截面桩型在承载力和沉降方面比普通直孔灌注桩具有明显的优势。但对于 DX 桩的承载机制和沉降特性的研究,特别是 DX 桩群桩的研究还不充分。主要通过现场的模型桩试验,对 DX 桩单桩和群桩的承载力和沉降特性进行了研究。分析了相同条件下单桩和群桩的特性,同时比较了相同桩长、桩径以及相同承载力条件下 DX 桩和直孔桩的差异,为 DX 桩的设计提供了参考。

关 键 词: DX 桩; 群桩; 模型试验; 沉降

中图分类号: TU 473

文献标识码: A

Field test study of DX piles

CHEN Li-hong¹, TANG Song-tao¹, HE De-xin²

(1. School of Civil Engineering and Architecture, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

2. Zhongkuo Foundation Technology Co., Ltd., Beijing 100097, China)

Abstract: Cast-in-place pile with expanded branches and bells by 3-way extruding arms (DX pile), a new variable cross-section pile, has obvious advantages in bearing capacity and settlement control compared to conventional pile. However, studies of bearing mechanism and settlement characteristic, especially group DX piles, are not sufficient. The bearing capacity and settlement characteristics of single DX pile and group DX piles are analyzed via in-situ model test. Special attention is paid on single and group DX piles comparison under same conditions; at the meantime, the single DX pile and conventional pile with the same pile length, diameter, and the same bearing capacity are compared so as to provide the theoretical references for the bearing capacity design of the DX piles in the engineering practice.

Key words: DX pile; pile group; model test; settlement

1 引 言

DX 桩是近年来发展起来的一种新型变截面桩^[1-2]。桩身由主桩和多个承力盘组成,见图 1。承力盘是通过 DX 专用旋挖挤扩设备旋转切削或者旋转碾压形成的上下对称的腔体,在浇筑混凝土后与桩身形成整体,共同受力。在旋挖挤扩过程中,三岔的旋挖挤扩臂随设备转动缓慢张开,运动轨迹成螺旋线型。整个运动过程中,3 个挤扩臂能始终托住盘腔土体,保证盘腔的完整性。

采用旋挖挤扩设备施工可突破原有工艺在坚硬土层中施工困难的局限,进一步完善 DX 桩在工程实践中的应用。目前的旋挖挤扩设备可根据不同土层情况采用不同的施工方法,即利用挤扩臂独特的不对称设计,当土层较为坚硬时设备正转对土体进

行切削和碾压;而当土层不太坚硬时设备反转进行纯碾压。这样避免了坚硬土体在挤压过程中可能发生的剪胀效应,同时又保证了对于软弱土体能够得到充分挤压达到密实。

对于 DX 桩的受力机制已有不少学者对其进行了研究。陈轮等^[3-7]通过大比尺的模型试验对 DX 桩的承载机制和荷载传递特点进行了详细的研究,同时还对 DX 桩的抗拔效果进行了研究。李广信^[8]对 DX 桩的抗拔效果进行了理论研究。周青春等^[9]对 DX 桩的承载力进行了现场试验研究。沈保汉^[10-12]对 DX 桩的承载机制和影响承载力的各因素进行了广泛的研究。但前人的试验都只进行了单桩的试验,对于群桩情况下 DX 桩的承载力和受力情况并没有进行深入的研究。由于 DX 桩独特的承力盘设计,使其在受力性能上与普通直桩有很大区别,仅研究

收稿日期: 2010-07-25

第一作者简介: 陈立宏,男,1975 年生,博士,副教授,主要从事岩土工程方面的研究与教学。E-mail: lhchen@bjtu.edu.cn

单桩并不能充分说明 DX 桩在群桩作用时的效果。

本文通过大比尺现场模型静载荷试验，对同一地质场地条件下群桩 DX 桩进行受力分析，同时将 DX 桩和直孔桩进行了对比。

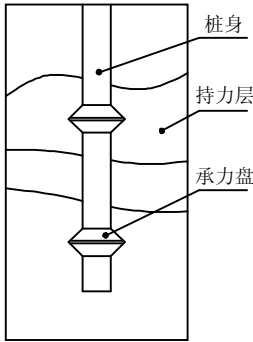


图 1 DX 桩桩身示意图
Fig.1 Sketch of DX pile

2 试验设计

本次试验在北京房山窦店进行，通过现场取样进行室内试验，各土层的详细参数见表 1。

表 1 试验场地各层土的基本物理力学指标

Table 1 Basic physico-mechanical indices of different soil layers of the test field

土层号	土的名称	厚度 /m	平均厚度 /m	层面埋深 /m	状态	压缩模量 E_s /MPa	密度 ρ /(g/cm ³)	含水率 ω /%	液限 ω_L /%	塑限 ω_P /%	土粒相对密度 G_s	孔隙比 e	黏聚力 c /kPa	内摩擦角 φ /(°)
1	黏土	1.6~1.8	1.7	地表	密实	9.1	1.81	10.5	27	7	2.7	0.64	13.9	23
2	砂质粉土	0.9~1.2	1.0	1.6~1.8							2.7			
3	粉质黏土	0.9~1.1	1.0	2.6~2.8	硬塑	4.9	1.93	29.5	39	27	2.7	0.74	15.0	24
4	黏质粉土	0.7~0.9	0.8	3.6~3.8	中密	4.6	1.91	24.6	32	22	2.7	0.76	15.0	24
5	黏质粉土	1.7~2.3	2.0	4.4~4.6	密实	3.6	2.03	18.9	28	17	2.7	0.58	23.0	27
6	粉质黏土	2.6	2.6	6.4~6.5	可塑	8.2	1.93	24.4	31	20	2.7	0.74	20.0	26
7	黏土	0.6~1.2	0.9	8.0~9.1	硬塑	4.0	1.97	25.6	40	21	2.7	0.72	22.0	25
8	黏质粉土	0.4~1.0	0.7	8.8~10.0	密实	6.9	1.93	18.1	27	16	2.7	0.66	20.0	26

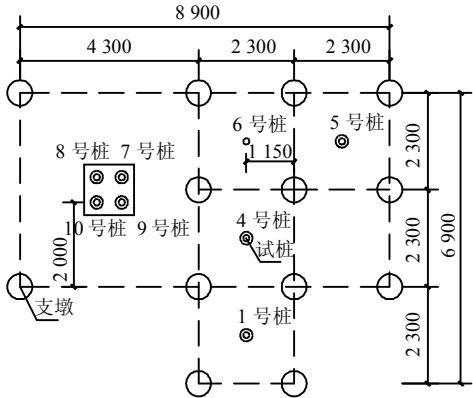


图 2 试验场地布置图 (单位: mm)
Fig.2 Layout of test field (unit: mm)

2.1 试验设计

共设计 3 个类型的试验：①4 根桩方形承台的群桩竖向抗压试验；②DX 桩单桩竖向抗压试验；③直孔灌注桩的竖向抗压试验。其中，DX 桩单桩共 3 根，1 个承力盘的 2 根，3 个承力盘的 1 根；直孔桩 1 根；4 根桩的群桩 1 组。具体的场地布置图见图 2。

2.2 桩和承台模型设计

2.2.1 单桩设计

参考实际的工程桩的长径比及实际场地情况，设计模型桩的直径为 150 mm，桩长为 2、4 m，承力盘径为 300 mm。桩长为 2 m 的 DX 桩在桩身中部设置一个承力盘，桩长为 4 m 的 DX 桩设置 3 个承力盘。采用现浇混凝土灌注桩，混凝土强度等级为 C30。单桩具体参数见表 2，其中， L_e 为有效桩长，单桩的有效桩长等于桩长。为测试桩身轴力的变化，沿桩长在各承力盘上下两端埋设钢筋应力计。

2.2.2 群桩及承台设计

群桩中单桩仍采用 3 个承力盘，其参数同单桩试验中的 4 号桩。

表 2 试桩主要参数表

Table 2 Parameters of test piles

桩号	桩长 L /m	桩身直径 d /mm	承力盘直径 D /mm	承力盘数 /个	纵筋直径 /mm	长径比 L_e/d
1	2.0	150	300	1	1 ϕ 14	13.3
4	4.0	150	300	3	1 ϕ 14	26.7
5	2.0	150	300	1	1 ϕ 14	13.3
6	4.0	150			1 ϕ 14	26.7
7~10	4.2	150	300	3	1 ϕ 14	26.7

承台模型采用钢筋混凝土现浇，混凝土强度等级为 C30，承台长 $\times$ 宽 $\times$ 厚=1 200 mm $\times$ 1 200 mm $\times$ 300 mm，见图 3。承台高出地面 20 cm，相应的群

桩中的单桩长度比单桩中桩长增加 20 cm, 为 4.2 m, 而有效桩长仍为 4 m。

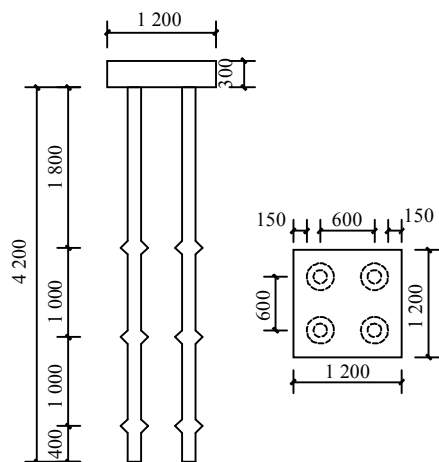


图3 群桩布置图(单位: mm)

Fig.3 Layout of pile group (unit: mm)

2.3 试验方法

由于试验模型较小, 无法采用正常的施工机械来进行作业。因此, 本次试验采用洛阳铲人工成孔。而对于挤扩的部分, 采用了 DX 桩专利发明人提供的小模型挤扩设备, 完全按照实际挤扩设备的比例缩尺制成, 与实际工作情况一致, 见图 4。



图4 旋挖挤扩设备

Fig.4 Rotary extruding-expanding rig

2.4 试验加荷

采用千斤顶和现场堆载的方式施加荷载, 通过千斤顶上的油压表读取压力值, 用百分表测量承台及单桩的沉降。

采用分级加载, 每级荷载取预估极限承载力的 1/10, 第 1 级荷载按 2 倍分级荷载加荷。加载前, 先测定钢筋应力计和各仪表的初读数。在每级荷载

加载后, 读取百分表的频率为 1 次/h, 钢筋应力计读数, 直至沉降达到相对稳定后再加下一级荷载。沉降相对稳定的标准为不超过 0.1 mm/h。

在每级荷载作用下, 当桩基的平均沉降量达到前一级荷载作用下沉降量的 5 倍时认为试验达到破坏, 此时终止试验^[13]。

3 试验结果分析

根据上述静荷载试验观察结果, 得到群桩和单桩静载试验 Q_u 和 s_u 见表 3。

表3 静载试验的 Q_u 和 s_u
Table 3 Q_u and s_u for static load test

试验情况	Q_u /kN	s_u /mm
1	80	3.68
4 (未压到破坏)	160	5.61
5	90	2.54
6	90	5.56
群桩	800	4.01

注: Q_u 为极限承载力; s_u 为对应于 Q_u 的沉降值。

3.1 群桩与单桩对比

图 5 为 4 号桩 $Q-s$ 曲线实测值与拟合值对比。在本次试验中, 由于 4 号桩 (3 承力盘 DX 桩) 并没有加载到极限值, 因此, 采用逆斜率法估算 4 号桩的极限承载力和沉降。沉降为 0.05d 即 7.5 mm 取 183.6 kN 取为极限承载力。同时, 根据《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》JGJ171—2009 中的规定, 计算该桩的单桩极限承载力为 200 kN。两者相差 8.2%。

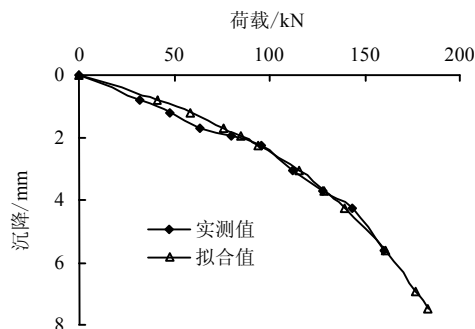


图5 4号桩 $Q-s$ 曲线实测值与拟合值

Fig.5 Measured and fitting $Q-s$ curves of test pile No. 4

从试验结果可以看出, 群桩的承载力略高于相同条件下各单桩的承载力之和。

图 6 为群桩与单桩 $Q-s$ 曲线对比。从图中可以看出, 群桩在达到极限时的沉降为 4.01 mm, 而 4 号桩在承载力为 160 kN 时沉降已经达到了 5.61 mm,

超出群桩沉降 40%。通过分析认为, 由于本次试验设计群桩间距较小, 仅为 $4d$, 承力盘的挤土效应比较明显, 承力盘附近的土体被压密, 提高了土体的刚度, 使得挤密区形成了一个整体, 从而有效地控制了群桩的沉降。同时由于 DX 桩荷载传递的特点, 承力盘端阻是自上而下分段发挥的, 每一级承力盘分段承受并扩散桩顶传下来的荷载, 使得荷载在到达桩端前已经得到了充分的削弱, 从而大大降低了桩端底面的荷载, 减小了桩端下土体的沉降。

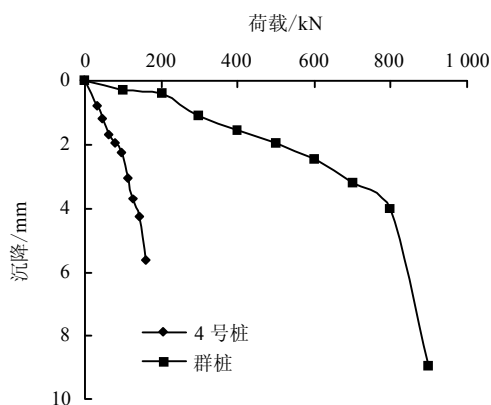


图 6 群桩与相同条件下单桩 $Q-s$ 曲线对比

Fig.6 Comparison between $Q-s$ curves of group piles and single pile under same condition

3.2 DX 桩单桩与直孔桩对比

3.2.1 相同桩长、桩径的 DX 桩和直桩对比

比较相同桩长和桩径条件下的直孔桩和 DX 桩 $Q-s$ 曲线, 见图 7。可以看出, DX 桩的沉降速率明显小于直孔桩, $Q-s$ 曲线更平缓, 说明 DX 桩在相同条件下控制沉降的效果明显优于直孔桩。由于 DX 桩桩身上的承力盘在施工过程中对周围土体进行了有效地预压, 当荷载作用时, 上部的承力盘从很早就开始发挥作用, 由于其承力面积较大, 并将力均匀地分散到土体中, 引起的土体沉降相对较小。随着荷载的增加, 承力盘的受力逐渐自上而下发挥, $Q-s$ 曲线呈现出缓变。从图中还可以看出, 当 DX 桩和直孔桩的沉降量一致时, 直孔桩的极限承载力仅为 DX 桩的 56%。DX 桩的承载力优势非常明显。

3.2.2 相同承载力条件下 DX 桩与直桩对比

而比较 1、5、6 号桩, 见图 8, 三者的极限承载力分别为 80、90、90 kN, 三者相差为 11%, 可认为三者承载力相差不大。此时, 1、5 号 DX 桩的桩长仅为 6 号直孔桩的 1/2。6 号桩的沉降为 5.56 mm, 而 1、5 号桩的沉降分别为 3.68、2.54 mm, 分别占 6 号桩沉降的 66%和 46%。

由此可见, DX 桩在有效提供承载力的情况下能很好地控制沉降。

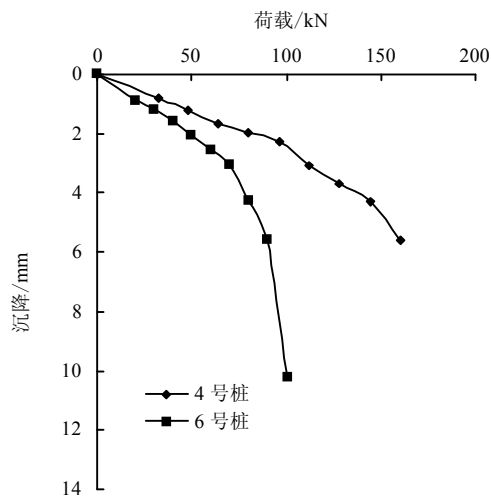


图 7 4、6 号桩 $Q-s$ 曲线对比

Fig.7 Comparison between $Q-s$ curves of test piles No.4 & No. 6

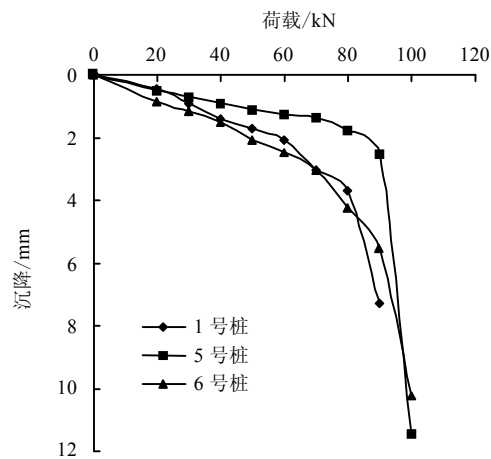


图 8 1、5、6 号桩 $Q-s$ 曲线对比

Fig.8 Comparison among $Q-s$ curves of test piles No. 1, No. 5 and No. 6

4 结 论

(1) 承力盘对桩周土的挤密效应明显, 能有效提高承力盘周土的强度和刚度。当桩间距不大时, DX 桩群桩对于控制沉降有明显的效果。

(2) DX 桩的 $Q-s$ 曲线比直孔桩平缓, 即 DX 桩在较小位移情况下即能提供较高的承载力。当两者沉降相同时, 直孔桩所能提供的承载力仅为 DX 桩的 56%。

(3) 当 DX 桩和直孔桩具有相同承载力时, DX 桩比直孔桩所需的桩长大大减小, 同时控制沉降效果更好。这对于实际工程中超长桩的施工减小桩长, 降低施工难度, 有着非常重要的意义。

参考文献

- [1] 张德华, 王梦恕. DX 挤扩灌注桩技术在铁路桥梁工程中的应用[J]. 中国工程科学, 2009, 11(7): 92—96.
ZHANG De-hua, WANG Meng-shu. The application of DX rotary and squeezed pile on railway bridge engineering[J]. **Engineering Sciences**, 2009, 11(7): 92—96.
- [2] 贺德新, 沈保汉. DX 挤扩装置及 DX 多节挤扩桩的应用[J]. 工业建筑, 2001, 31(1): 27—31.
HE De-xin, SHEN Bao-han. DX extruding device and DX pile with multi-under-extruding branches[J]. **Industrial Construction**, 2001, 31(1): 27—31.
- [3] 陈轮, 王海燕, 沈保汉, 等. DX 桩承载力及荷载传递特点的现场试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(3): 5—8.
CHEN Lun, WANG Hai-yan, SHEN Bao-han, et al. Full-scale test study of bearing mechanism and load transmission mode of DX piles cast-in-situ[J]. **Industrial Construction**, 2004, 34(3): 5—8.
- [4] 陈轮, 王海燕, 沈保汉, 等. DX 桩单位侧阻力和单位端阻力的现场试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(3): 15—18.
CHEN Lun, WANG Hai-yan, SHEN Bao-han, et al. Full-scale test study of unit shaft resistance and unit end resistance of DX piles cast-in-situ[J]. **Industrial Construction**, 2004, 34(3): 15—18.
- [5] 沈保汉, 陈轮, 王海燕, 等. DX 桩侧阻力和端阻力的现场试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(3): 9—14.
SHEN Bao-han, CHEN Lun, WANG Hai-yan, et al. Full-scale test study of frictional resistance and end bearing of DX piles cast-in-situ[J]. **Industrial Construction**, 2004, 34(3): 9—14.
- [6] 陈轮, 蒋力, 王海燕, 等. DX 桩抗拔承载力机理的现场试验研究[J]. 工业建筑, 2004, 34(10): 33—35.
CHEN Lun, JIANG Li, WANG Hai-yan, et al. Field full-scale test study of tension bearing mechanism of DX piles cast-in-situ[J]. **Industrial Construction**, 2004, 34(10): 33—35.
- [7] 陈轮, 常冬冬, 李广信. DX 桩单桩承载力的有限元分析[J]. 工程力学, 2002, 19(6): 67—72.
CHEN Lun, CHANG Dong-dong, LI Guang-xin. Finite element analysis of bearing capacity of a single DX pile[J]. **Engineering Mechanics**, 2002, 19(6): 67—72.
- [8] 李广信, 汤飞. DX 桩承力盘抗拔阻力的分析与研究[J]. 工业建筑, 2005, 35(6): 52—55.
LI Guang-xin, TANG Fei. Analysis and research of tensile resistance for load-carrying plate of DX pile[J]. **Industrial Construction**, 2005, 35(6): 52—55.
- [9] 周青春, 于南燕. DX 桩的试验研究[J]. 岩土力学, 2001, 22(3): 298—302.
ZHOU Qing-chun, YU Nan-yan. Experimental study of DX pile[J]. **Rock and Soil Mechanics**, 2001, 22(3): 298—302.
- [10] 沈保汉, 贺德新, 孙君平, 等. 影响 DX 挤扩灌注桩竖向抗压承载力的因素[J]. 工业建筑, 2008, 38(5): 32—38.
SHEN Bao-han, HE De-xin, SUN Jun-ping, et al. Factors affecting the vertically compressive bearing capacity of DX piles[J]. **Industrial Construction**, 2008, 38(5): 32—38.
- [11] 沈保汉, 钱力航, 孙君平. DX 挤扩灌注桩的桩身承载力研究[J]. 工业建筑, 2008, 38(5): 23—27.
SHEN Bao-han, QIAN Li-hang, SUN Jun-ping. The checking computations of shaft strength of DX piles[J]. **Industrial Construction**, 2008, 38(5): 23—27.
- [12] 沈保汉. DX 挤扩灌注桩的荷载传递特点[J]. 工业建筑, 2008, 38(5): 5—12.
SHEN Bao-han. The characteristics of load transfer of DX piles[J]. **Industrial Construction**, 2008, 38(5): 5—12.
- [13] 史佩栋. 实用桩基工程手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1999.