

DX 旋挖挤扩灌注桩不同承力盘数性能对比研究

张德华¹, 齐万鹏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] 通过数值模拟计算,对 DX 单桩的沉降和承载力特性进行了研究,分析了在相同的桩长、桩径等条件下直孔桩、两个承力盘 DX 桩和三个承力盘 DX 桩的性能差异。沉降方面,在桩顶荷载增加相同的情况下,两个承力盘 DX 桩对桩顶沉降的控制明显强于普通直孔桩的控制效果,三个承力盘 DX 桩则进一步优越于两个承力盘 DX 桩。承载力方面,两个承力盘 DX 单桩的抗压承载力大约为直孔桩的 1.5 倍,而三个承力盘 DX 桩又进一步优越,大约为两个承力盘 DX 桩的 1.2 倍。

[关键词] DX 桩;扩盘数量;承载力;沉降

[中图分类号] TU473 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)01-0026-05

1 前言

DX 桩是从普通混凝土灌注桩演变而来的一种新型变截面桩,成桩时在普通直孔桩的基础上通过液压旋挖挤扩装置在桩身不同部位设置承力盘而成。通过将承力盘布置在地基土体的坚硬土层上,使得桩身承担的荷载扩散到了周边土体,改善了周边土体的应力状况。相比于普通直孔桩,较为有效地提高了桩体的承载力,较大幅度地减小了沉降量,进而使得 DX 桩具备了良好技术经济效果的特征。DX 桩可作为高层建筑、桥梁、一般工业与民用建筑及高耸构筑物的桩基;可在粘性土、粉土、砂土层、强风化岩、残积土、卵砾石层的上层挤扩成盘,更适宜在粘性土、粉土或砂土交互分层的地基中使用。DX 桩的桩身直径通常为 800~1 500 mm,相对应的承力盘直径为 1 400~2 500 mm。

目前已经有不少专家学者对 DX 桩进行了研究。赵明华,李微哲,单远铭等人^[1]进行了 DX 桩抗拔承载机理及设计计算方法研究,对 DX 桩与普通桩的抗拔承载特性进行了对比分析,探讨了 DX 桩的抗拔破坏模式;陈轮、常冬冬、李广信等^[2]人用有限元法对竖向桩顶荷载作用下 DX 桩桩周土的应力

变形及桩身荷载传递特点进行了数值分析研究,给出了桩周土体的应力位移等值线,分析了扩径体数量、间距及形状对 DX 桩承载性能的影响;万飞^[3]做了 DX 桩在高速公路桥梁中应用的承载机理研究,分析了不同桩间距 DX 群桩的承载力和沉降控制能力;张清林^[4]对 DX 群桩的承载性能进行了模型试验和有限元数值模拟研究。这些研究都得出了很多有益的结论,但并未对具有不同承力盘数的 DX 桩承载力等方面进行定量深入的研究。

该研究通过数值模拟计算,考虑不同桩径和盘径以及不同承力盘数的 DX 桩,对其桩周土的受力状况进行分析,讨论不同盘数对 DX 桩承载力的影响。

2 模型建立

文章所用的数值模拟是基于有限差分软件 FLAC^{3D}上的,它能够进行土质、岩石和其他材料的三维结构受力特性模拟和塑性流动分析。本次数值计算中采用的桩为实体桩,桩体和地基土为空间轴对称,桩与桩周土之间设置无厚度的 Goodman 接触面以模拟桩土之间的接触。

在 DX 单桩数值计算中,对桩身混凝土、桩周土

[收稿日期] 2011-10-20

[基金项目] 国家自然科学基金创新研究群体资助(50921001)

[作者简介] 张德华(1972—),女,山西朔州市人,北京交通大学副教授,博士,主要从事隧道工程研究工作;E-mail:dehuazh@163.com

体、桩土接触面所采用的模型及参数如表 1 ~ 表 4 所示。图 1 为数值计算中 4 个单桩的尺寸图。

表 1 桩周土体摩尔 - 库仑模型计算参数

Table 1 Calculation parameters of soil surrounding pile for Mohr-Coulomb model

项目	体积模量/MPa	剪切模量/MPa	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	抗拉强度/kPa
参考值	42.5	19.6	25	20	5

表 2 桩土接触面库仑剪切模型计算参数

Table 2 Calculation parameters of interface between pile and soil for Coulomb shear model

项目	粘聚力/kPa	内摩擦角/(°)	法向刚度/MPa	切向刚度/MPa	抗拉强度/kPa
参考值	20	16	3 600	3 600	0

表 3 桩身混凝土弹性模型计算参数

Table 3 Calculation parameters of pile concrete for elastic model

项目	体积模量/MPa	剪切模量/MPa
参考值	16 700	12 500

表 4 试桩尺寸参数表

Table 4 Parameters of test piles

结构类型	桩长/m	桩径/m	盘径/m	盘数/个
试桩 1(直孔桩)	35	1.5	—	—
试桩 2(DX 桩)	35	1.2	2.2	2
试桩 3(DX 桩)	35	1.3	2.4	2
试桩 4(DX 桩)	35	1.3	2.4	3

在 DX 单桩模型中,由于桩为轴对称形状,且桩顶荷载也是对称于桩轴,其地基土的应力和位移均对称于桩轴,属于空间轴对称问题,故在建立模型时将模型作简化处理,建立四分之一桩土模型如图 2 所示。

2.1 模型的初始平衡

模型在加载之前进行两次初始平衡计算,第一次初平衡将桩单元和土体均设置为土体的性质,在自重下进行平衡,以使土体中各点的应力状态模拟天然状态下的应力状态。第二次初平衡模拟的是成桩以后未加载时土体和桩单元的应力状态,通过将桩单元的性质设置成表 1 中的弹性体模型及材料参数,并在桩周土处加接触单元,分别在桩侧土和桩端

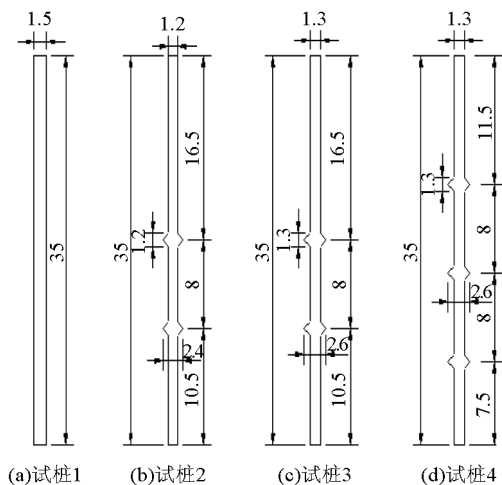


图 1 数值计算中 4 个单桩的尺寸图(单位:m)

Fig. 1 Parameters of 4 single piles in numerical simulation (unit:m)

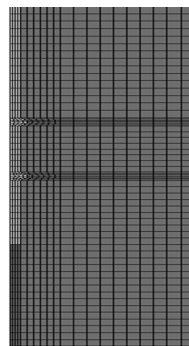


图 2 试桩 2 网格模型图

Fig. 2 Grid model of test pile 2

土加接触单元,以更好地模拟桩端土和桩周土在荷载作用下的分离。

2.2 加载方式选择

采用应力控制进行加载,在桩顶施加向下的法向应力,初次加载 4 800 kN,此后每次加载 2 400 kN,分 12 级加载,总荷载为 31 200 kN。

2.3 对数值计算所取参数的验证

为验证数值模拟所采用的本构模型及所取参数的合理性和可靠性,在承载力和沉降方面,分别对试桩 1 和试桩 2 进行实测试验结果与数值计算结果对比分析验证(见表 5),对比曲线图见图 3。

表 5 试桩 1 和试桩 2 承载力及沉降模拟与实测对比

Table 5 Comparison of simulation and practice of test pile 1 and test pile 2 for bearing capacity and settlement

试桩	承载力/kN		沉降/mm	
	模拟值	实测值	模拟值	实测值
试桩 1	19 200	19 200	32.54	29.91
试桩 2	21 600	21 600	21.89	18.06

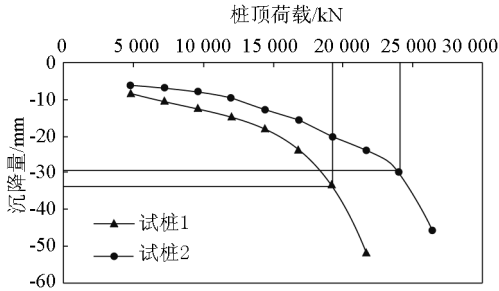


图 3 试桩 1 和试桩 2 的荷载 - 沉降量 ($Q-s$) 曲线对比

Fig. 3 Comparison of $Q-s$ curves of test piles between No. 1 and No. 2

从表 5 不难得出如下结论:承载力方面,数值模拟结果与实测试验结果一致;沉降方面,试桩 1 的模拟值比实测值大 2.63 mm;试桩 2 的模拟值比实测值大 3.83 mm。模拟值始终比试验值略大点,但基本的趋势走向一致,故完全可以认为数值计算所取的参数是合理的、可靠的。

3 数值模拟结果分析

3.1 $Q-s$ 曲线分析

试桩 3(两个承力盘 DX 桩)和试桩 4(三个承力盘 DX 桩)数值计算得到桩顶在各级荷载下的沉降量,由此作出相应的承载力与沉降的 $Q-s$ 曲线(如图 4 所示)。

从结果可以看出,两根两个承力盘 DX 桩(即试桩 3)在加载后期沉降逐渐加大,在图 4 中表现为 $Q-s$ 曲线斜率相对增大;而两根三个承力盘 DX 桩(即试桩 4)在加载后期仍能保持良好的、较小的沉降, $Q-s$ 曲线相对平缓。说明由于承力盘数的增加,承载力提供也在随之增加。

当两根试桩加载到 21 600 kN 时,两个承力盘 DX 桩的沉降达到了 21.89 mm,而三个承力盘 DX 桩此时的沉降为 15.56 mm,仅是两个承力盘 DX 桩沉降的 71.1%。承载力方面,在相同直径下试桩 3

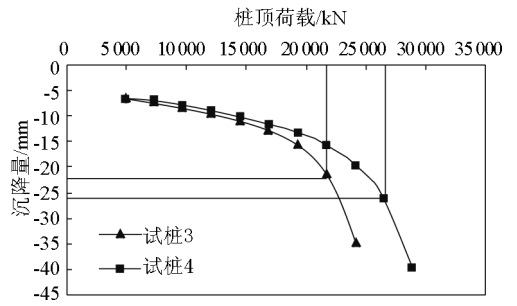


图 4 试桩 3 和试桩 4 的 $Q-s$ 曲线对比

Fig. 4 Comparison of $Q-s$ curves of test piles between No. 3 and No. 4

为 21 600 kN,试桩 4 为 26 400 kN,三个承力盘 DX 桩的承载力大约是两个承力盘 DX 桩的 1.2 倍。

由此可以看出,三个承力盘 DX 桩在沉降及承载力方面的优势比两个承力盘 DX 桩明显。

3.2 桩周土塑性区的发展分析

1) 试桩 3。第四级荷载(12 000 kN)时,下盘及桩底塑性区发展,逐渐贯通起来呈现破坏趋势(见图 5)。第八级荷载(21 600 kN)时,下盘及桩底塑性区继续发展,逐渐贯通起来呈现破坏趋势,而桩端部分产生塑性变形土体以撤出塑性变形。上盘小部分土体同时出现了抗拉破坏,说明上盘上部土体脱离桩。桩端塑性区并未贯通,桩体仍具有承载能力,该阶段为试桩 3 的极限承载力阶段(见图 6)。第九级荷载(24 000 kN)时,下盘也出现了抗拉破坏,塑性区已与桩底塑性区连通,产生整体破坏,桩已失去承载能力,桩顶沉降猛然增大(见图 7)。

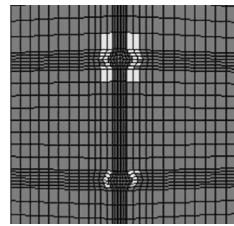


图 5 第四级荷载下桩周土塑性区

Fig. 5 Plastic zone of soil surrounding pile under the 4th level load

2) 试桩 4。第四级荷载(12 000 kN)时,上盘首先出现塑性区,开始出现塑性流动,周围土体整体破坏。承力盘及桩底处有小部分土体产生塑性变形,尚未产生破坏。桩端未见塑性区。说明上盘位先出现破坏,发生塑性流动,盘位承载力不再增加,下盘位承载力开始发挥(见图 8)。第十级荷载

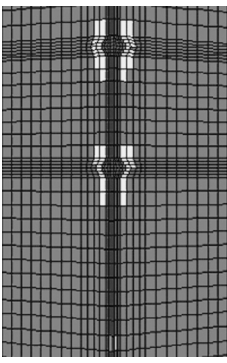


图6 第八级荷载下桩周土塑性区

Fig. 6 Plastic zone of soil surrounding pile under the 8th level load

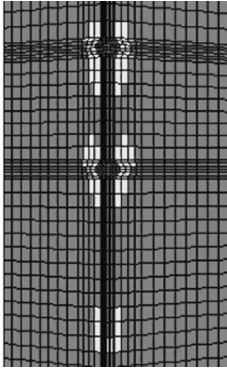


图7 第九级荷载下桩周土塑性区

Fig. 7 Plastic zone of soil surrounding pile under the 9th level load

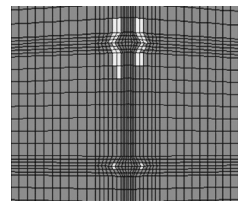


图8 第四级荷载下桩周土塑性区

Fig. 8 Plastic zone of soil surrounding pile under the 4th level load

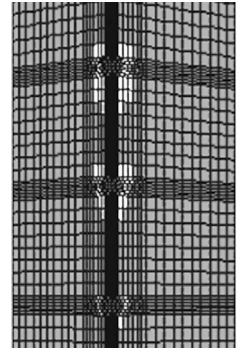


图9 第十级荷载下桩周土塑性区

Fig. 9 Plastic zone of soil surrounding pile under the 10th level load

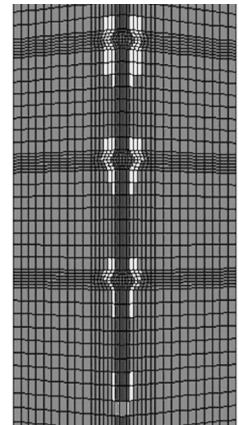


图10 第十一级荷载下桩周土塑性区

Fig. 10 Plastic zone of soil surrounding pile under the 11th level load

(26 400 kN)时,中盘塑性区已贯通,下盘塑性区逐渐贯通起来呈现破坏趋势,而桩端并未出现塑性变形。但桩顶沉降发展较快,桩体仍具有承载能力,该阶段为试桩4的极限承载力阶段(见图9)。第十一级荷载时,下盘及桩底塑性区均已贯通,出现了抗拉破坏,桩完全失去承载能力,桩顶沉降陡然增加(见图10)。

3.3 桩身轴力与扩盘阻力的发挥分析

图11和图12分别是各级荷载下模拟试桩3和试桩4的桩身轴力图。由图11和图12可以看出,在桩顶荷载下,DX桩承力盘的端阻力明显属于按顺序发挥。在加载初期,承力盘都较早承力。但自上而下,第一个承力盘先承力而其下部的承力盘要滞后些承力,待上部承力盘接近于或达到极限承载力时,桩身轴力接力一样逐渐向下部传递,使下部承力盘的承力作用逐步得到发挥。DX桩身轴力沿深度是逐渐减小的,这和模型试验得出的结论是一样的。因为桩在向地基土体中传递应力的过程中,沿

深度方向上将部分轴力转化为桩侧摩阻力,使得桩身轴力沿深度方向上不断减小。

桩身承力盘处毫无疑问是桩侧摩阻力增加最多的部位,对比各级荷载下模拟试桩3和试桩4的桩身轴力图(见图11和图12)可以看出,承力盘数的增加无疑增加了桩身侧摩阻力沿深度方向减小的次数和幅度。

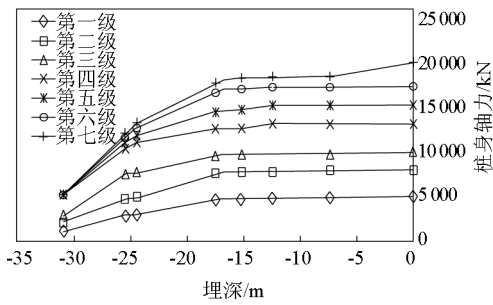


图 11 各级荷载下模拟试桩 3 桩身轴力图
Fig. 11 Axial forces of test pile No. 3 under various loads

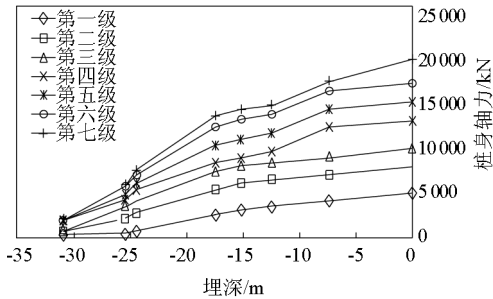


图 12 各级荷载下模拟试桩 4 桩身轴力图
Fig. 12 Axial forces of test pile No. 4 under various loads

4 结语

通过试桩试验和数值模拟对比分析,对普通直

孔桩、两个承力盘 DX 桩、三个承力盘 DX 桩在 $Q-s$ 曲线、桩周土塑性区、桩身轴力与承力盘阻力等方面进行对比分析,可以得到如下结论:

1) DX 桩承力盘阻力的发挥具有明显的时间顺序效应,上部的承力盘承载力先发挥,数值较大;而下部的承力盘承载力发挥不够充分,所占的比重相对较小。

2) 相比尺寸相同的普通混凝土灌注桩,DX 单桩的抗压能力明显增强。由数值计算得出具有两个承力盘的 DX 单桩的抗压承载力明显优越于普通直孔桩,大约为直孔桩的 1.5 倍,而三个承力盘 DX 桩的承载力又进一步优于两个承力盘 DX 桩,大约为其 1.2 倍。

3) 在 DX 单桩桩顶荷载增加相同的情况下,三个承力盘 DX 桩对桩顶沉降的控制优越于两个承力盘 DX 桩,而两个承力盘 DX 桩又明显优越于普通直孔桩的控制效果。

参考文献

- [1] 赵明华,李微哲,单远铭. DX 桩抗拔承载机理及设计计算方法研究[J]. 岩土力学,2006,27(2): 199-203.
- [2] 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.
- [3] 万 飞. 多节旋挖扩灌注桩在高速公路桥梁中应用的承载机理研究[D]. 北京:北京交通大学,2010.
- [4] 张清林. 多节扩扩灌注 DX 桩承载性状的模型试验和数值分析[D]. 北京:北京交通大学,2010.

Study on property comparison of DX pile casted-in-place with various quantities of bearing bells

Zhang Dehua¹, Qi Wanpeng¹, He Dexin²

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

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

[Abstract] Based on numerical simulation, bearing capacity and settlement control for DX piles are studied. The property differences of conventional straight piles, DX piles with 2 bells and DX piles with 3 bells are presented in condition of identical length, diameter, and bearing capacity. Under the same load, DX piles with 3 bells have smaller settlement than that of DX piles with 2 bells and straight piles. As to bearing capacity, DX piles with 2 bells are 1.5 times greater than that of the straight piles, while DX piles with 3 bells are 1.2 times greater than that of DX piles with 2 bells. The paper can provide theoretical references for the design of bearing capacity of DX piles during the engineering practice.

[Key words] DX pile; quantity of bearing bells; bearing capacity; settlement