

DX 桩单桩沉降分析

唐松涛, 袁希雨, 陈立宏

(北京交通大学土木建筑工程学院, 北京 100044)

[摘要] DX 桩作为变截面桩型的典型代表, 具有与普通直孔灌注桩不同的荷载传递机理, 使桩基的承载力大大提高, 沉降变形显著减小。多点支承的特点使得 DX 桩的沉降机理变得十分复杂, 计算分析困难。通过对 DX 单桩沉降的实例分析, 对 DX 桩与直孔桩的沉降特性进行对比, 验证了设计规程中 DX 桩的沉降计算公式和修正系数的可靠性。

[关键词] DX 桩; 直孔桩; 沉降; 修正系数

[中图分类号] TU473 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2012)01-0041-05

1 前言

DX 桩是在普通混凝土钻孔灌注桩的基础上衍生出来的一种新型的桩基础。该桩沿桩身不同部位上设置了多个承力盘, 将摩擦桩变革为变截面多支点摩擦端承桩, 改变了桩的荷载传递机理, 使桩的承载力大大提高, 沉降变形显著减小。工程实践表明, 其具有较好的经济效益和社会效益, 这样使它在工程应用中的前景非常乐观。近年来, 许多专家学者对 DX 桩进行了理论与试验研究^[1~4], 相比承载力方面, DX 桩沉降计算方面的研究则相对较少, 这是因为一方面 DX 桩早期主要应用于建筑领域, 另一方面也是由于沉降问题更为复杂。而从实测结果看, 计算结果往往过高地估计沉降量。在 DX 桩的工程设计计算中, 《三岔双向挤扩灌注桩设计规程》^[5] 中提出 DX 桩单桩的沉降是在等截面桩沉降的基础上乘以一个桩基沉降系数 ψ_D , 此系数根据地区沉降观测资料及经验确定, 无地区经验时可取 0.6~0.8。此外, 吴永红应用分层总和法对 DX 桩的沉降进行计算, 提出了一种多支盘钻孔灌注桩沉降的计算理论与方法^[6]。文章就是在以上成果的基础上通过对几个工程实例的单桩沉降分析, 对

DX 桩单桩沉降计算公式进行验证。

2 DX 桩的抗压承载机理

普通的等截面灌注桩在承受竖向荷载时, 桩身开始承受压力, 桩土之间会有相对位移的趋势, 此时摩阻力从上往下逐渐地发挥, 随着荷载的逐渐增大桩侧摩阻力和端阻力逐渐达到极限而破坏。

由于承力盘的存在, DX 桩的桩身轴力的传递机理与直孔桩的有很大区别。在加载初期, 承力盘即开始受力, 随着桩顶荷载的增加, DX 桩承力盘的单位端阻力逐渐增大; 与下部承力盘相比, 上部承力盘的单位端阻力较早地达到极限值, 而此后基本保持不变; 而在上部承力盘达到极限单位端阻力后, 下部承力盘的单位端阻力仍有较大的增长幅度和较长的发挥过程, 下部承力盘的受力具有滞后性。只有荷载接近破坏荷载时, 下部承力盘的单位端阻力才会达到极限值并保持不变。与直孔桩相比, 由于承力盘的影响, DX 桩的单位侧阻力达到极限值的时间较直孔桩要晚, 同时 DX 桩的沉降量要小于直孔桩的沉降量。

3 工程实例

随着 DX 桩基技术的推广, DX 桩已在大量工程

[收稿日期] 2011-11-15

[基金项目] 铁道部重点科技项目(2009J010-F)

[作者简介] 唐松涛(1984—), 男, 四川成都市人, 博士研究生, 主要从事桩基工程方面的研究; E-mail: staotang@bjtu.edu.cn

实际应用中取得了成功,包括房建、道路、桥梁、发电厂等工程项目。在此期间,各项工程中进行了大量的现场试桩研究,得到了非常宝贵的工程实例资料。为对 DX 桩单桩沉降和直孔桩的单桩沉降进行对比

研究、对 DX 桩沉降计算修正参数进行验证,在此选取几个工程中的试桩案例进行分析,具体工程概况和试桩结果如表 1、表 2 所示。

表 1 工程概况和试桩方法
Table 1 Project overview and test methods

工程名称	地层条件	试桩原理方法	试桩数量
唐曹高速某特大桥	地层主要由软土、软弱土、淤泥质土、亚粘土和粉细砂组成,地下水埋深较浅	采用慢速维持荷载法分十级加载,试验装置为锚桩横梁反力装置,加载与沉降观测采用 JCQ503C 型静力荷载试验仪系统控制	2 根 DX 桩和 1 根直孔桩
大广高速某大桥	地层主要由亚粘土、粉砂和细砂组成	试验装置为锚桩横梁反力装置,采用液压千斤顶按预估承载力特征值的 0.2 倍逐级进行加载,用 4 个位移传感器测读试点的沉降量	2 根 DX 桩和 1 根直孔桩
北京某市政桥梁	地层主要由人工填土、粉土、细砂、粉质粘土、中粗砂、细中砂组成	用钢梁和千斤顶组装成加力装置,垂直置于两根桩桩身之间,采用液压千斤顶分十级加载,加载值由静荷载测试分析仪测度,用两个位移传感器测度试点沉降量	2 根 DX 桩和 1 根直孔桩
沿海高速某桥梁	地层主要由淤泥质砂土、粉砂、细砂、亚粘土组成	使用锚桩反力装置,采用液压千斤顶加载,荷载值通过千斤顶上的油压表读数换算得到,用 4 个百分表测桩顶沉降	1 根 DX 桩和 1 根直孔桩
山东某电厂	地层主要由粉土、细砂、粉质粘土、粉砂组成	试验装置为锚桩横梁反力装置,采用液压千斤顶逐级进行加载	3 根 DX 桩和 1 根直孔桩

表 2 试桩参数与结果
Table 2 Parameters and results of the test piles

工程名称	试桩号	桩长/m	桩径/mm	盘数/个	承力盘公称直径/mm	试验最大荷载 Q/kN	Q 对应沉降 s/mm
唐曹高速某特大桥	DX1	50	1 500	3	2 500	15 000	11.72
	DX2	50	1 500	4	2 500	15 000	11.3
	直孔桩	50	1 500	—	—	15 000	26.03
大广高速某大桥	DX1	55	1 500	4	—	20 160	11.67
	DX2	55	1 500	3	—	19 600	9.1
	直孔桩	55	1 500	—	—	15 400	23.84
北京某市政桥梁	直孔桩	35	1 500	—	—	21 600	41.24
	DX1	35	1 300	3	2 400	21 600	18.06
	DX2	35	1 200	2	2 200	24 000	26.16
沿海高速某桥梁	直孔桩	19.5	1 100	2	—	3 600	39.3
	DX	19.5	1 100	—	—	9 600	21.81
	直孔桩	23.6	800	—	—	3 850	26.56
山东某电厂	DX1	23.5	650	2	1 500	4 550	17.09
	DX2	22.2	650	2	1 500	4 900	18.2
	DX3	23.2	650	2	1 500	4 550	15.54

4 数据分析

4.1 各工程试桩 $Q-s$ 曲线

对试桩实测数据进行处理分析,绘制 $Q-s$ 曲线如图 1~图 5 所示。

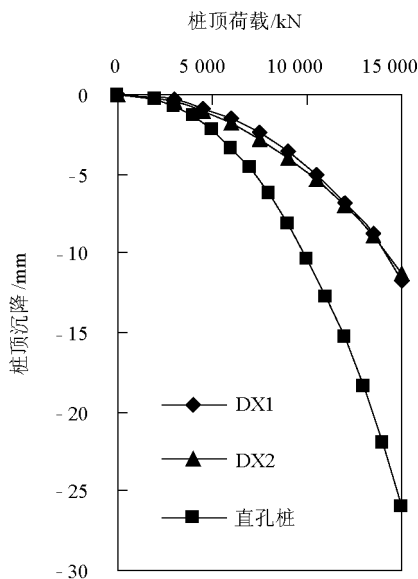


图 1 唐曹高速某特大桥试桩 $Q-s$ 曲线

Fig. 1 $Q-s$ curve of bridge of Tangcao highway

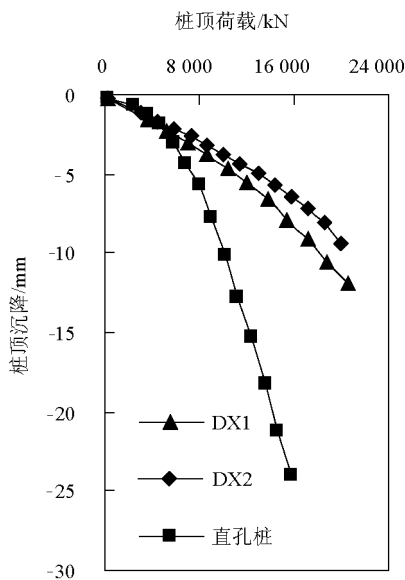


图 2 大广高速某大桥试桩 $Q-s$ 曲线

Fig. 2 $Q-s$ curve of bbridge of Daguang highway

从 $Q-s$ 曲线图可以直观地定性比较 DX 桩与直孔桩的承载能力和沉降特性。从图中可以看出,

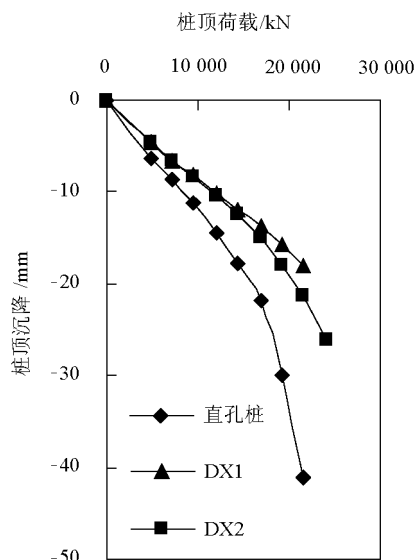


图 3 北京某市政桥梁试桩 $Q-s$ 曲线

Fig. 3 $Q-s$ curve of bridge of Beijing

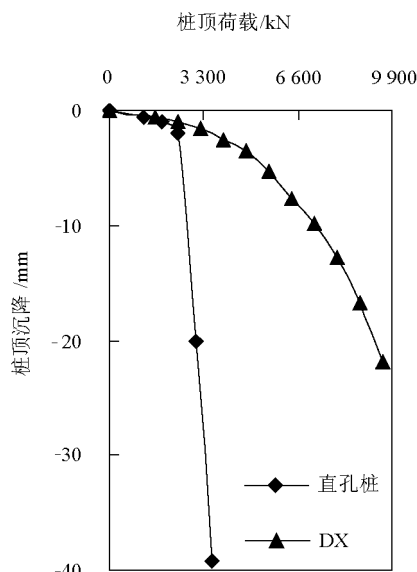


图 4 沿海高速某桥梁试桩 $Q-s$ 曲线

Fig. 4 $Q-s$ curve of bridge of Yanhai highway

DX 桩无论是在承载力还是在沉降性能上都明显优于直孔桩;无论是在极限承载力下的沉降还是在相同荷载下的沉降,DX 桩都小于直孔桩;DX 桩的 $Q-s$ 曲线比直孔桩的平缓,这表明在同样的加载条件下,DX 桩沉降的发展速率较直孔桩要缓慢许多。

另外,在相同桩径桩长和工程地质条件下,承载力盘数目对 DX 桩的沉降影响也较显著。以唐曹高速公路大桥与滹沱河分洪道特大桥为例,两组试桩中

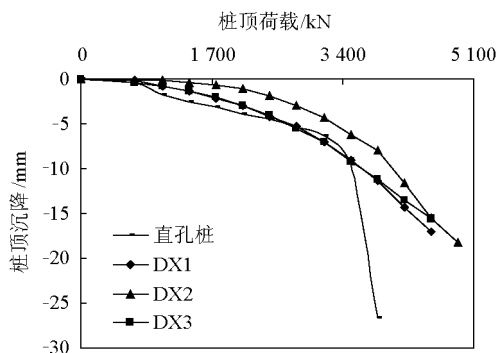


图5 山东某电厂试桩 $Q-s$ 曲线

Fig. 5 $Q-s$ curve of power station in Shandong

同时包含了相同桩径和桩长而盘数不同的 DX 桩,从曲线中可以明显看出,4 盘 DX 桩的沉降性能反而不如 3 盘 DX 桩,其沉降明显大于相同荷载下的 3 盘 DX 桩。桩基础的设计者应该注意这个问题,在桩基设计中实现方案的优化。

4.2 DX 桩与直孔桩沉降的定量对比分析

4.2.1 极限承载力的确定

静载荷试验中 DX 挤扩灌注桩极限承载力的综合评价的原则见基桩检测规范^[8]。本次试桩静载试验极限承载力按下列 3 种方法综合判定:a. 试桩

的 $s-lgt$ 曲线尾部出现明显下弯转折特征,则分别取相应的前一级荷载为极限承载力。b. 从 $s-lgQ$ 曲线的末段看,试桩均出现竖向陡降段,则取该陡降段的起始点相应的荷载为极限承载力。c. 从 $Q-s$ 曲线的末段看,出现明显陡降段,则取该陡降段的起始点相应的荷载为极限承载力。

根据以上方法,结合图表看出,除图 4 中直孔桩 $Q-s$ 曲线和图 5 中直孔桩 $Q-s$ 曲线以外,其他试验桩 $Q-s$ 曲线大致平缓光滑,没有出现陡降,没有出现沉降量的急剧增加,说明试桩没有达到极限承载力,这使得各桩的承载能力没有发挥到极限(或者将要达到但还没达到极限),DX 桩在承载能力方面的优势不能充分体现。

4.2.2 DX 桩与直孔桩沉降对比

为较好地比较 DX 桩与直孔桩的沉降特性,将相同荷载条件下 DX 桩与直孔桩的沉降值进行对比分析。现在将荷载分为 3 种情况:a. 最大试验荷载 Q (或极限承载力 Q_u)。b. 最大试验荷载的一半 $Q/2$ (或承载力特征值 R_a)。c. DX 桩最大试验荷载的一半 Q_m 。试桩达到极限承载力时取 Q_u 和 R_a 对应的沉降进行对比,对于未达到极限承载力的情况取 Q 和 $Q/2$ 对应的沉降进行对比。那么将相同条件下 DX 桩与直孔桩的沉降比值记为 ψ_D' ,计算结果如表 3 所示。

表 3 DX 桩与直孔桩沉降比值

Table 3 Ratio between the settlements of the DX-pile and the column pile

工程名称	试桩号	试验最大荷载 Q/kN	Q 对应沉降 s/mm	$Q/2$ (或承载力特征值 R_a)/kN	对应 $Q/2$ (或 R_a)的沉降 s_a/mm	对应荷载 Q (或 Q_u)时 ψ_D'	对应荷载 $Q/2$ (或 R_a)时 ψ_D'	对应荷载 Q_m 时 ψ_D'
唐曹高速某特大桥	DX1	15 000	11.72	7 500	2.35	0.44	0.55	0.55
	DX2	15 000	11.3	7 500	2.8			
	直孔桩	15 000	26.03	7 500	4.65			
大广高速某大桥	DX1	20 160	11.67	10 080	4.37	0.44	0.72	0.35
	DX2	19 600	9.1	9 800	3.51			
	直孔桩	15 400	23.84	7 700	5.49			
北京某市政桥梁	直孔桩	21 600	41.24	10 800	14.35	0.54	0.71	0.71
	DX1	21 600	18.06	10 800	10.12			
	DX2	24 000	26.16	12 000	10.3			
沿海高速某桥梁	直孔桩	3 600	39.3	1 800	0.93	0.55		0.62
	DX	9 600	21.81	4 800	3.64			
	直孔桩	3 850	26.56	1 925	4.5	0.75		0.80
山东某电厂	DX1	4 550	17.09	2 275	4.14			
	DX2	4 900	18.2	2 450	1.95			
	DX3	4 550	15.54	2 275	4.07			

注: ψ_D' 有多组对比试验时取均值

由表 3 中数据分析对比可以看出,DX 桩的承载能力比直孔桩好得多,同样条件下的沉降量仅为直孔桩的 35%~80%,其中对应最大试验荷载 Q (或极限承载力 Q_u) 时沉降量为直孔桩的 44%~75%,对应最大试验荷载的一半 $Q/2$ (或承载力特征值 R_u) 时沉降量为直孔桩的 55%~71%。这表明 DX 桩计算公式中修正系数无地区经验时取 0.6~0.8 是可靠的,而且 DX 桩的沉降性能甚至比预估的还要好,这需要进一步的理论研究和数值模拟分析。

由于试桩大部分没有达到极限承载力,所得到的沉降比值偏小,但是这足以证实 DX 桩在沉降性能上明显优于直孔桩。同时由于唐曹高速某特大桥和大广高速某大桥的桩长分别达到了 50 m、55 m,在试验过程中,桩身压缩变形带来的桩顶沉降值将占很可观的一部分,计算结果显示同等条件下直孔桩的压缩量要大于 DX 桩,这样就对试桩结果带来影响,也是沉降比值偏小的重要原因。另外,表中数据波动比较大,可能是工程地质条件对 DX 桩的荷载传递与沉降发展造成了影响。

5 结语

通过对以上工程实例的分析研究,笔者等得出以下结论。

1) 相同工程地质条件下 DX 桩不管是在承载力还是在沉降性能上都明显优于直孔桩,无论是在极

限承载力下的沉降还是在相同荷载下的沉降,DX 桩都小于直孔桩。

2) DX 桩同等条件下的沉降量约为直孔桩的 35%~80%,DX 桩计算公式中修正系数无地区经验时取 0.6~0.8 是可靠的。

3) 同一工程中相同桩径和桩长时,DX 桩的承载能力和沉降性能不与承力盘个数成正比。

4) 桩长、工程地质条件对 ψ_D' 有较大的影响;长桩和超长桩桩身压缩变形带来的沉降所占比例相当可观,而相同条件下直孔桩压缩量要大于 DX 桩,可能使 ψ_D' 偏小。

参考文献

- [1] 鲍生谋,李凡生. DX 桩在竖向荷载下破坏机理分析[J]. 土工基础,2008,22(2):50-52.
- [2] 李薇薇,李从昫. 挤扩支盘桩与 DX 桩承载力盘挤扩机理对比研究[J]. 岩土工程技术,2009,23(2):100-105.
- [3] 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):15-18,39.
- [4] 魏章合,李光茂,贺德新,等. DX 桩的试验与研究[J]. 基础工程,2000,3(5):12-16,21.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部. 三岔双向挤扩灌注桩设计规程(JGJ171-2009)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2009.
- [6] 吴永红,郑 刚,同澍旺,等. 多支盘钻孔灌注桩基础沉降计算理论与方法[J]. 岩土工程学报,2000,22(5):528-531.
- [7] 中华人民共和国建设部. 建筑基桩检测技术规范(JGJ106-2003)[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2003.

Case study of DX single pile settlement

Tang Songtao, Yuan Xiyu, Chen Lihong

(School of Civil Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China)

[Abstract] DX pile which is typical varied cross-section pile has a different load transfer mechanism compared to straight pile. The bearing capacity of the pile is increased, while the settlement is significantly reduced at the same time. The characteristic of multi-pivot bearing makes the settlement mechanism very complicated and hard to calculate. This paper compares the settlement characteristics of DX pile and straight pile on the basis of lots of projects to verify the DX pile settlement formula and the reliability of correction factor.

[Key words] DX pile; straight pile; settlement; correction coefficient