

多级支盘桩与等截面直孔桩承载力对比试验*

邓友生¹, 龚维明², 戴国亮², 韩金生²

(1. 武汉工业学院 土木系, 武汉 430023; 2. 东南大学 土木工程学院, 南京 210096)

摘要:针对挤扩多级支盘桩相对于普通等截面直孔灌注桩具有较高承载力和较低沉降量的特性,采用自平衡静载荷试验方法,对浙江湖州市某工程同一场地中的挤扩多支盘桩与普通等截面直孔灌注桩进行极限承载力的对比试验研究。工程试验结果表明,在同等工程地质条件下挤扩多支盘桩与普通直孔灌注桩相比,其极限抗压承载力和极限抗拔承载力都较大提高,每立方米混凝土的抗压承载力提高达75.3%以上,而混凝土的用量却少41.9%;单方极限抗拔承载力提高118.9%以上,而挤扩多支盘桩的混凝土用量比等少44.1%以上,且沉降曲线较缓,因此能获得较好的经济效益。该工程试验对这种新型桩的承载理论研究和类似工程实践具有客观的参考价值和借鉴意义。

关键词:挤扩多支盘桩; 自平衡法; 极限承载力; 极限抗压承载力; 极限抗拔承载力; 对比试验
中图分类号:TU413.4; TU473.1*1 **文献标识码:**A **文章编号:**1006-7329(2005)05-0052-05

Field Comparative Experimental Study on Bearing Capacity of Both Bored Pile with Branches and Plates and Column Bored Pile at the Same Site

DENG You - sheng¹, GONG Wei - ming², DAI Guo - liang², HAN Jin - sheng²

(1. Department of Civil Engineering, Wuhan Polytechnic University, Wuhan 430023, P. R. China 2. College of Civil Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, P. R. China)

Abstract: Compared with column bored pile, the bored pile with branches and plates is a new type of piles with higher bearing capacity and lower settlement. Field comparative tests related to ultimate bearing capacity of both the bored piles with branches and plates and column bored piles at the same site in Huzhou city of province Zhejiang in China were studied through self - balanced method under static pressure. The results testify that, compared with column bored pile under the same geological conditions, the bored pile with branches and plates can obtain better economic benefit such as: increasing ultimate compressive bearing capacity and ultimate extraction bearing capacity used per cubic meter concrete over 75.3% and 118.9% respectively, while dropping consumption of reinforced concrete upwards of 41.9% and 44.1% respectively, reducing settlement and pile length under the same loading. The tests will present an objective reference to the new type of piles in both theoretic study and application to analogous engineering.

Keywords: pile with branches and plates; self - balanced method; ultimate bearing capacity; ultimate compressive bearing capacity; ultimate extraction bearing capacity; comparative test

挤扩多级支盘桩是国内20世纪90年代兴起的一种新型桩,其施工工艺是在普通混凝土灌注桩成孔后,用专门的挤扩设备(如图1(a)^[1]),对不同深度的较好土层进行挤压形成若干分支或承力盘腔,然后下放钢筋笼及灌注混凝土,成型后在挤压处形成分支或承力盘,如图1(b)。这种桩型的特点就是能充分利用桩侧较好的持力土层以提高桩的承载力,突破传统桩型为提高承载力而必须找到深部坚硬岩土层的限制,而且承力盘的数量可根据土层情况及荷载要求多重设置,从而变传统桩端持力为桩侧受

* 收稿日期:2005-05-30

作者简介:邓友生(1969-),男,湖南桂阳人,副教授,博士,主要从事基础工程研究。

力。在基岩埋藏较深而其上覆又有较好土层的情况下,采用挤扩多支盘桩可以在不达到基岩的条件下提高承载力,缩短施工工期,从而节省了大量经费。

由于支盘桩良好的经济效益,近几年来,无论是对其承载力机理研究还是工程应用都发展较快,但是对其试验研究人们往往通过现场轻便动力触探试验和从现场取回各土层土样在室内采用模型桩进行相似模拟^[2],原场地全过程试验研究非常少。鉴此,本文以浙江省湖州市某实际工程

为例,应用桩基承载力自平衡检测试验方法对同在该工地的挤扩多支盘桩和普通等截面直孔桩进行抗压和抗拔承载力对比试验研究,这无疑对这种新型桩的理论研究和类似工程实践具有客观真实的参考价值和重要的借鉴意义。

1 挤扩多支盘桩的承载机理

首先是分层传递荷载。利用桩周中下部本身土性较好的土层,将桩顶荷载通过支盘传递到这些土层上,同时荷载沿土层深度的扩散,不仅传至桩端的荷载减少,而且还扩大了桩体承载面积,从而提高承载力。由于分层承受荷载,在工作荷载作用下,传至桩端的荷载很小,也进一步保证了桩端土体的稳定性;其次是局部挤密效应。利用特制的挤扩器在孔壁上挤扩成支状或盘状腔模,挤扩的结果使得支盘附近土体得到了压密,减少了压缩量,提高了土体内摩擦角和压缩模量。在承受桩顶荷载作用时,由于支盘周边土体预先受到压密,类似于“预应力”的作用,从而减少土体承载后的压缩沉降量,使桩基的竖向承载力及抗拔力都得到提高。

2 试验方法

试验采用自平衡测试法进行。

2.1 原理

自平衡测试法的主要装置一种经特别设计可用于加载的专利产品—荷载箱,它主要由活塞、顶盖、底盖及箱壁四部分组成。在顶、底盖上布置位移杆,将荷载箱与钢筋笼焊接成一体放入桩身适当位置。其测试原理示

意图如图2所示。试验时,从桩顶通过高压油管对荷载箱内腔施加压力,箱顶与箱底被推开,产生向上与向下的推力,从而调动桩周土的侧阻力与端阻力,直至破坏,根据加载及向上、下位移的对应关系,可以绘出向上、向下两条 $Q-S$ 曲线。上段桩得到的极限承载力就是极限抗拔承载力,将上段桩得到的极限抗拔承载力经一定处理后转换为极限抗压承载力与下段桩极限抗压承载力相加即为整根桩极限抗压承载力^[3]。

研究挤扩多支盘桩的抗拔性能时,因荷载箱上段桩也有支盘布置,如图3所示,就仅研究上段桩即可;而研究其抗压承载力时,则研究整根桩。

2.2 特点

与传统桩基承载力检测的堆载法或锚桩法相比,自平衡桩基检测方法具有以下特点:

- 1) 装置较简单,占用场地极小,检测省工省时、工作方便。与堆载法相比,采用该法不需要运入数百吨或数千吨物料;与锚桩法相比,该法不需要构筑笨重的反力架;
- 2) 利用桩的侧阻与端阻互为反力,可区分出桩侧阻力与桩端阻力分布及各自的荷载位移曲线;
- 3) 试验费用省,尽管荷载箱为一次性投入器件,但与传统方法相比可节省试验总费用的30%~60%,具体比例视桩吨位与地质条件而定;

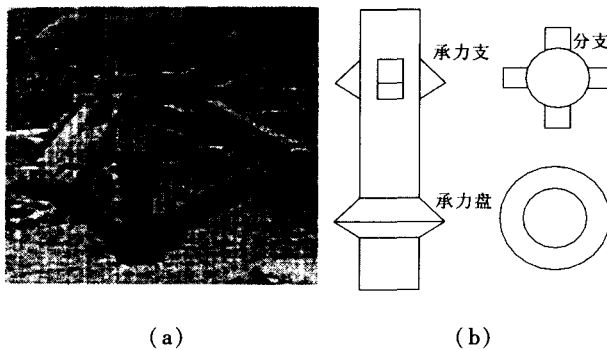


图1 挤扩设备和支盘桩构造示意图

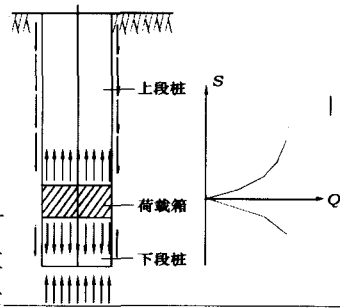


图2 桩基自平衡测试原理图

4) 传统的两种方法测试完毕后试桩一般都不能再做工程桩,基本上是报废,而采用该法试验后试桩仍可作为工程桩使用,必要时可利用预埋管对荷载箱进行压力灌浆;

5) 在下列情况下,该法特显优势。如:水上试桩,坡地试桩,基坑底试桩,狭窄场地试桩,斜桩,嵌岩桩,抗拔桩等,这些都是传统静力试桩法难以做到的。

2.3 应用

由于其独特的优点和显著的社会效益,该专利技术已在江苏、浙江、上海、广东、广西、河南、云南、贵州、安徽、福建、辽宁、贵州、青海、新疆等省、自治区、直辖市的两百二十多项工程中应用。

经过多年努力,该法已分别于1999年和2003年纳入江苏省地方标准和国家行业标准^[4,5]。

3 工程概况与地质条件

本工程为湖州市某医院综合病房楼,地上20层,地下1层,基础采用钻孔灌注桩基础。场地工程地质条件和试桩参数分别如表1和表2所列^[6]。

挤扩多支盘桩以⑦2粘土层为持力层,其主桩径为700mm,承力盘直径1500mm,盘高800mm,十字支分支径1500mm,支高800mm,分支厚300mm。试桩承力盘及十字分支设于③3砂质粉土、⑤粉质粘土及⑥中砂层中,其具体设置如图3所示。直孔桩无支盘,荷载箱布置见表2,因此就不必绘图。

表1 土层主要物理力学指标

层序	土层名称	厚度/m	含水量 W/%	重度 $\gamma/g \cdot cm^{-3}$	孔隙比	压缩模量 E_{s1-2}/MPa	粘聚力 C/kPa	内摩擦角 $\varphi/^\circ$	桩周土摩阻力特征值 q_{sia}/kPa	桩端土承载力特征值 q_{pa}/kPa
①	杂填土	1.9~4.8								
②	粉质粘土	1.2~4.8	30.0	19.0	0.83	4.3	25.1	4.9	9.1	
③1	淤泥质粉质粘土	0.9~5.7	42.8	17.5	1.18	3.2	6.0	1.6	7.2	
③2	砂质粉土	3.5~11.7	30.8	18.7	0.85	5.4	11.3	23.8	10.4	
③3	层状砂质粉土	6.4~12.8	31.6	18.4	0.90	5.4	11.5	16.0	27.2	500
④	粘土	0.7~5.2	25.1	19.6	0.70	9.1	31.4	8.3	12.3	
⑤	粉质粘土	1.3~3.4	25.4	19.5	0.71	7.6	18.2	11.3	28.3	500
⑥	中砂	1.3~5.8	28.7	17.4	0.93	11.2			32.6	1100
⑦1	粘土	3.1~6.3	31.4	18.8	0.70	6.3	39.0	6.1	18.2	
⑦2	粘土	0.5~3.1	24.9	18.9	0.70	6.5	40.2	6.4	38.1	700
⑧1	粉砂	6.2~9.1	26.7	18.6	0.75	15.0	2.0	30.8	40.5	1200
⑧2	粉质粘土	0.9~7.0	33.4	19.5	0.71	5.9	54.3	8.9	35.3	750
⑧3	粉砂	3.8~14	25.6	18.7	0.74	12.5	2.1	29.8	42.3	1200
⑧a	粉质粘土	2.1~4.0	31.6	19.6	0.67	6.8	55.3	9.0	35.6	
⑨	粉质粘土	6.1~7.8	31.9	19.8	0.67	7.5	55.4	9.1	44.4	1500
⑩1	全分化凝灰岩	1.4~3.5	24.6	19.9	0.68	11.2	59.2	6.8	25.6	2000
⑩2	强分化凝灰岩	1.4				25.6			40.7	3000
⑩3	中分化凝灰岩	1.2				>30			80.8	4000

4 工程试验及结果处理与分析

4.1 工程试验

试验加载采用慢速维持荷载法,试验操作方法和流程按国家行业标准《建筑基桩检测技术规范》(JGJ106-2003)和江苏省地方标准《桩承载力自平衡测试技术规程》(DB32/T291-1999)中相关规定

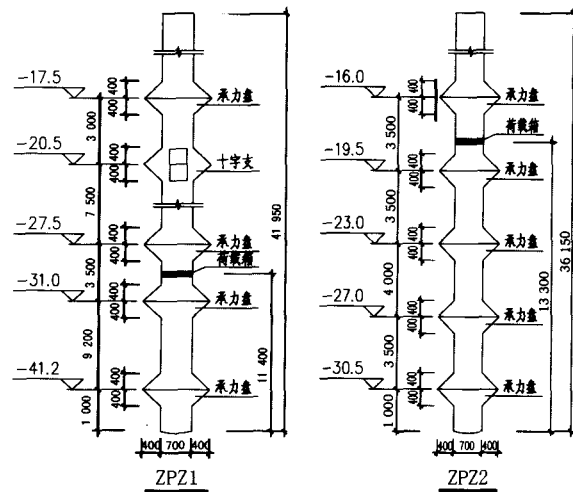


图3 支盘桩承力盘布置图

进行^[5,6]。

表 2 试桩参数表

试桩编号	桩型	桩径(主径)/mm	桩长/m	荷载箱距桩底/m	抗拔桩长/m	抗拔桩段支盘数
ZKZ1 - A	直孔桩	800	56.05	16.2	39.85	0
ZKZ1 - B	直孔桩	800	55.84	16.2	39.64	0
ZKZ1 - C	直孔桩	800	56.20	16.2	40.00	0
ZPZ1 - A	支盘桩	700	41.95	11.4	30.55	3
ZPZ1 - B	支盘桩	700	41.95	11.4	30.55	3
ZKZ2 - A	支盘桩	700	36.15	13.3	22.85	1
ZPZ2 - B	支盘桩	700	36.15	13.3	22.85	1

4.2 试验结果处理

4.2.1 极限抗压承载力的确定 用自平衡法试验不能直接得到桩的极限抗压承载力,需要进行综合等效处理。

根据江苏省地方标准《桩承载力自平衡测试技术规程》(DB32/T291 - 1999)进行等效转化^[4],即单桩竖向抗压桩极限承载力 Q_u 按下列公式计算:

$$Q = K(Q_{上} - G_p) + Q_{下} \tag{1}$$

当极限承载力状态时, $Q_u = K(Q_{u上} - Q_p) + Q_{u下} \tag{2}$

同时与其对应的桩顶位移为 $S = S_F + \Delta S \tag{3}$

$$\Delta S = \Delta S_1 + \Delta S_2 = \frac{[K(Q_{上} - Q_p) + 2Q_{下}]L}{2E_p A_p} \tag{4}$$

式中: Q 为等效桩顶荷载; $Q_{上}$ 、 $Q_{下}$ 分别为平衡点处向上及向下的荷载; K 为上段桩的转换系数,其取值依据不同土层特性不同。根据东南大学土木工程学院对所做多项工程对比试验求得 $K = 1.2 \sim 1.4$ ^[7], 由于该工程荷载箱上部桩侧土层为粘土和粉土, K 取 1.2; $Q_{u上}$ 为荷载箱上部桩的实测极限值,即单桩的竖向抗拔极限承载力; $Q_{u下}$ 为荷载箱下部桩的实测极限值; G_p 为荷载箱上部桩的自重,由表 2 所列各桩上段桩长和桩径及钢筋混凝土的容重可求得,若位于水下则还应扣除水的浮力; S 为桩顶位移; ΔS 为桩身压缩量; ΔS_1 为受压桩上段在桩端 Q 作用下产生的弹性压缩变形量; ΔS_2 为受压桩上段在桩侧摩阻力作用下产生的弹性压缩变形量。 L 为上段桩长度, E_p 为桩身弹性模量, A_p 为桩身或主桩身截面面积。其计算结果列于如表 3。

根据上述等效转换方法可得图 4,支盘桩 ZPZ2 没有做到极限抗压状态,故仅比较其中五根桩。两类桩的抗压极限承载力值列于表 3。

4.2.2 极限抗拔承力的确定 极限抗拔承力不需转化,可直接从抗拔试桩段的试验 $Q - S$ 曲线最后有明显陡变点取其极限承载力值,如图 5。两类桩的抗拔极限承载力值列于表 4。

4.3 试验结果分析

将两类桩的其它计算数据同时汇总于表 3 和表 4。由表 2、表 3 和表 4 及图 4 和图 5 可知:

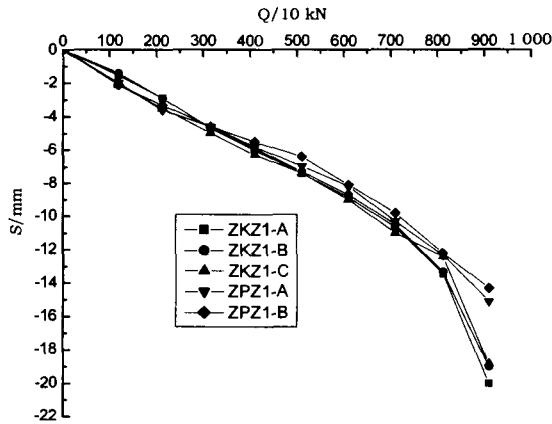
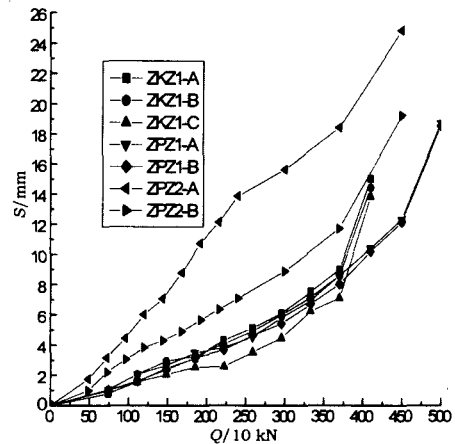
表 3 试桩的极限抗压承载力及其对比

试桩编号	ZKZ1	ZPZ1
试桩桩型	直孔桩	支盘桩
极限抗压承载力均值/kN	7 962	8 112
与直孔桩极限抗压承载力百分比/%	100	102.0
抗压试桩体积/m ³	28.134	16.347
抗压试桩体积百分比/%	100	58.1
单方抗压承载力/kN · m ⁻³	283.0	496.2
与直孔桩单方极限抗压承载力百分比/%	100	175.3

表 4 试桩的极限抗拔承载力及其对比

试桩编号	ZKZ1	ZPZ1	ZPZ2
试桩桩型	直孔桩	支盘桩	支盘桩
极限抗拔承载力均值/kN	3 700	4 528	3 811
与直孔桩极限抗拔承载力百分比/%	100	122.4	103.0
抗拔试桩体积/m ³	20.021	11.193	9.285
抗拔试桩体积百分比/%	100	55.9	48.4
单方抗拔承载力/kN · m ³	184.8	404.5	410.4
与直孔桩单方极限抗拔承载力百分比/%	100	218.9	222.1

1) 对于同一工程地质条件,挤扩多支盘桩的极限抗压承载力和极限抗拔承载力都相应高于等截面直孔桩的极限抗压承载力和抗拔承载力。对于本工程地质条件,支盘桩的主桩径和桩长都比直孔桩桩径和桩长少或短,而支盘桩比直孔桩的极限抗压承载力高 2%、极限抗拔承载力高 22.4% 和 3%。

图4 等效桩顶抗压 $Q-S$ 曲线图5 抗拔 $Q-S$ 曲线

2) 对于同一工程地质条件下,挤扩多支盘桩的单位立方米混凝土(简称单方)极限抗压承载力和单方极限抗拔承载力都相应高于等截面直孔桩的单方极限抗压承载力和单方极限抗拔承载力。本工程支盘桩的单方极限抗压承载力增加了213.2 kN,提高幅度达75.3%,而混凝土的用量却少41.9%;单方极限抗拔承载力分别多118.9%和122.1%,而挤扩多支盘桩的混凝土用量比等截面直孔桩的少44.1%和51.6%。

3) 由1)和2)可推知,在承受外荷载相等或近似相等时,采用挤扩多支盘桩的可以缩短桩长或减小桩径或两者同时减少,从而大量节约混凝土的用量。本工程挤扩多支盘桩与等截面直孔桩相比,桩径小100 mm,桩长缩短14 m。

4) 在相同荷载作用下,挤扩多支盘桩沉降量比等截面直孔桩的沉降量要少。不过开始两级荷载较小,挤扩多支盘阻力没发挥,由于挤扩多支盘桩主桩径较小,故开始沉降比等截面直孔桩大些。

5) 抗拔试验表明,挤扩多支盘桩的支盘设置数量并非越多越好。支盘桩ZPZ1的抗拔试验桩段设置2个承力盘和1个承力支,而支盘桩ZPZ2抗拔试验桩段仅设置1个承力盘,与同场地的等截面直孔桩极限承载力相比,前者极限抗拔承载力高于后者9.4%,但其单方抗拔承载力却低于后者5.9%;再与等截面直孔桩单方极限承载力相比,后者的单方极限抗拔承载力百分比比前者高出3.2%,说明ZPZ2的承力盘的效率较好,经济性好。

5 结语

现场实际工程试验结果表明,在相同的工程地质条件下,与普通等截面直孔灌注桩相比,在合理布设承力支盘的情况下,采用挤扩多支盘灌注桩能提高单桩极限抗拔承载力和单位立方米混凝土的极限抗拔承载力。当承受相同的荷载时,采用挤扩多支盘桩可以缩短桩长、减少桩径或减少桩数,从而减少混凝土用量,产生显著的经济效益。

参考文献:

- [1] 周青春,于南燕. DX 桩的试验研究[J]. 岩土力学,2001,22(3):298-302.
- [2] 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):5-6.
- [3] 龚维明,蒋永生,翟晋. 桩承载力自平衡测试法[J]. 岩土工程学报,2000,22(5):532-536.
- [4] DB32/T291-1999,桩承载力自平衡测试技术规程[S].
- [5] JGJ 106-2003,建筑基桩检测技术规范[S].
- [6] 陈立龙. 湖州市中心医院病房综合楼岩土工程勘察报告[R]. 杭州:浙江省工程勘察院,2003.
- [7] 戴国亮. 桩承载力自平衡测试法的理论与实践[D]. 南京:东南大学,2003.