

锥形桩在天津地区的试验研究*

成立芹¹, 徐德良²

(1 天津大学 建筑工程学院, 天津 300072; 2 河北省交通厅, 河北 石家庄 071000)

[摘要] 研究了锥形桩在竖向桩顶加荷方式下竖向极限承载力、桩侧摩阻力及桩端阻力的发展, 并与同条件下等截面桩进行对比, 结果发现前者承载力是后者的 1.83 倍。

[关键词] 锥形桩; 桩侧摩阻; 桩端阻力

[中图分类号] TU 413.4

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2003)01-0135-04

我国锥形桩的研究可以追溯到 20 世纪 70 年代, 在保定、石家庄、南京等地都曾出现过^[1], 然迄今为止, 天津尚无该桩型的使用记录。因此, 针对该地区的特殊地质条件, 本研究采用小锥角(角度小于 1°)中长度锥形桩(6~10.5 m)的竖向承载力、沉降变形以及侧摩阻力和端阻力的试验研究, 通过与同等长度的等截面桩进行比较, 以确定其技术经济效果以及该桩型在天津地区应用的可能性。

1 锥形桩构造、类型及场地地质情况

本试验所用桩采用预制形式, 混凝土强度为 C30, 钢筋笼长度等于桩长 L , 具体构造见图 1。

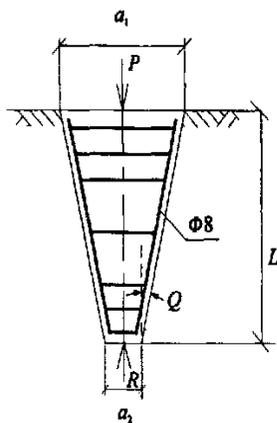


图 1 锥形桩构造

Fig 1 Construct of wedge pile

图 1 中 α 为锥角, $\tan \alpha = (a_1 - a_2) / 2L$ 。桩内配纵筋为 4 $\Phi 8$ 。试验采用了 3 组不同长度的锥形桩, 为与同条件下的等截面桩对比分析, 每组锥形桩均制作了相应的等截面桩(1~3 号桩为锥形桩, 4~6 号桩

为等截面桩), 具体见表 1。

表 1 试验桩的截面尺寸

Table 1 Section size of the peg

桩号 Number	桩长/m Length	a_1 /mm	a_2 /mm
1	6.0	200	100
2	9.0	250	100
3	10.5	275	100
4	6.0	200	200
5	9.0	250	250
6	10.5	275	275

注: 试验所用锥形桩为同一模型制作, 锥角不随桩长改变, $\alpha = 0.477^\circ$ 。

Note: Pricks used in the experiments were from the same model, and are no change with length, $\alpha = 0.477^\circ$ 。

试验场地的地层分布及预制桩桩基设计参数如表 2(其中 II₁, II₂, III₁, III₃ 为粉质粘土, III₂ 为粉土)。

表 2 地形分布及桩基设计参数

Table 2 Landform distribution and peg design parameters

地层 Stratum	顶板平均 标高/m Average level of tip board	平均厚度/m Average thickness	桩周土极限 摩阻力 均值/kPa Resistance of peg surrounding	桩底土极限 承载力 标准值/kPa Standard soilbearing capacity of peg subsoil
II ₁	-1.30	1.1	50	-
II ₂	-2.40	2.0	44	-
III ₁	-4.40	4.7	34	-
III ₂	-9.10	3.7	55	1600
III ₃	-12.80	1.8	34	-

2 试验原理及方法

本试验的目的是通过在桩内埋设应变片及在桩

* [收稿日期] 2002-01-11

[作者简介] 成立芹(1969-), 女, 河北定州人, 河北建筑工程学院讲师, 天津大学在读博士, 主要从事管理科学与工程的研究。

端设置压力盒来确定其竖向极限承载力、桩侧摩阻力和桩端阻力,并与同等长度的等截面桩进行比较,以确定其技术经济效果。

由于锥形桩是一种新型成桩工艺,还没有现行规范,因此,本次静荷载试验按有关文献^[2]进行,试验装置采用的是堆载反力即由荷载块作为反力装置,通过钢梁和油压千斤顶对桩基进行静压荷载试验。

试验桩的沉降量由数字式位移计通过静压测桩仪进行自动测量,试桩加荷由西门子控载器通过静压测桩仪由电动油泵和油压千斤顶进行。

试验加荷分级:本次试验初定荷载分为 8 级以上,每级初始荷载分为 30, 80, 100 kN (根据桩型和设计预估而定),加载方法采用慢速维持荷载法。

试验使用高智能电阻应变仪进行桩身应变的数据采集;用预先标定的频率计测定桩端压力盒的频率^[3]。

各类桩入土深度及截面划分见图 2 (单位为 m)。为减小杂填土的影响,桩顶压入地表以下 1 m,同时也是为了尽量使 9 m 桩进入预计作为持力层的 III₂ 粉土层。

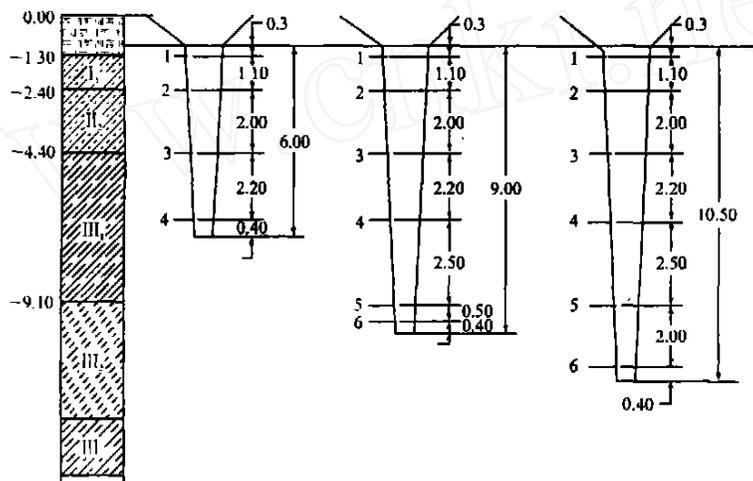


图 2 试桩土层情况和截面位置分布

Fig 2 Soil layer and section position

2.1 实测极限承载力的计算

由试验实测各级荷载下标定面的轴向应变值,用下式计算各测量截面的轴向力^[4]:

$$Q_{ij} = A_p \sigma(\epsilon_j) = A_p E \epsilon_j$$

式中, Q_{ij} , ϵ_j 分别为第 i 截面在 j 级荷载下的轴向力和应变; A_p 为桩身平均截面面积; E 为弹性模量; σ 为轴向应力。

各土层的平均单位摩阻力为 q_{si} :

$$q_{si} = (Q_i - Q_{i+1}) / A_{si}$$

式中, A_{si} 为第 i 桩节的侧表面积; Q_i 为第 i 桩节的轴向力; Q_{i+1} 为第 $i+1$ 桩节的轴向力。

桩端承载力为 q_p :

$$q_p = Q_p / A_p = q_p (H_p)$$

式中, H_p 为桩端压力盒频率; Q_p 为桩端轴向力。

2.2 楔形桩容许承载力的估算

试验前先按下式估算楔形桩的容许承载力:

$$p = R \cdot F + U_i l_i (f_i + f_{\sigma_i}) \cos \alpha$$

式中, R , F 分别为桩底土的容许承载力和桩底面积; U_i , l_i 分别为第 i 层土中桩段中腰处桩的周长和桩长; f_i 为第 i 层土的强度 (或对桩周的等截面桩的容许承载力, 可查 TJ7—74); f_{σ_i} 为第 i 土层由 σ_i 产生的附加抗力 (摩阻力), $f_{\sigma_i} = \sigma_i (\text{tg } \alpha + \text{tg } \theta)$, 其中 σ_i 为法向抗力 ($\sigma_i = \frac{E_{s_i} S \sin \alpha}{K r_{s_i}}$, E_{s_i} 为第 i 层土的变形模量; S 为容许荷载作用下桩产生的竖向位移 (cm), 砂性土取 1 cm, 粘性土为 2 cm; r_{s_i} 为方锥桩中腰处边长之半或为圆锥桩中腰处半径; K 为土的压缩系数, 一般取 1); α 为锥角。

3 结果与分析

3.1 竖向极限承载力

估算与实测的锥形桩与等截面桩竖向极限承载



力见表 3。由表 3 可见, 锥形桩的平均极限承载力明显大于等截面桩, 比率为 $212.3/116.0 = 1.83$, 其中尤以 2 号桩, 即 9 m 锥形桩的单位承载力最高^[5]。

表 3 试验桩竖向极限承载力对比

Table 3 Contrast of vertical limit of weight bearing

桩号 Number	估算极限 承载力/kN Estimated weight bearing capacity	实测极限 承载力/kN Factual weight bearing capacity	单桩体积/m ³ Volume of peg	单位承载力/ (kN·m ⁻³) Weight bearing capacity per unit	实测平均单位 承载力/(kN·m ⁻³) Average weight bearing capacity per unit
1	219	293	0.14	2.093	
2	369	660	0.29	2.256	
3	443	800	0.40	2.021	2.123
4	261	265	0.24	1.104	
5	554	700	0.56	1.244	
6	653	900	0.79	1.133	1.160

3.2 极限侧摩阻力与端阻力

由试验测得的极限荷载下桩身截面的应变及桩端压力盒频率, 计算出桩身轴力、桩端阻力和桩极限侧摩阻力(桩顶与桩底轴力之差)计算结果见表 4,

表 5。表 4、5 中的 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, P 分别为桩身各截面代号(图 2)^[5]。各桩侧摩阻力与端阻力占极限荷载百分比见表 6。

表 4 桩身各截面处轴力及桩端阻力

Table 4 Axis force and resistance of every section

桩号 Number	极限荷载 Limit weight bearing	截面代号 Code						桩端阻力 Resistance of peg end
		1	2	3	4	5	6	
1	270	268.5	208.8	127.8	23.8	-	-	10.9
2	640	629.2	512.6	376.5	235.0	84.7	42.9	24.2
3	800	784.6	634.6	406.9	263.7	141.9	61.7	32.5
4	270	261.0	229.2	160.2	55.8	-	-	25.3
5	720	709.1	613.1	507.8	389.1	202.8	127.2	100.5
6	900	887.6	768.4	587.1	470.0	354.9	152.7	94.1

表 5 桩身各段的极限侧摩阻力

Table 5 Limit of side resistance of every section of peg

桩号 Number	0- 1	1- 2	2- 3	3- 4	4- 5	5- 6	6- P
1	1.5	59.7	81.0	104.0	-	-	12.9
2	11.8	116.6	136.1	141.5	150.3	41.8	18.7
3	15.4	150.0	227.7	143.2	121.8	80.2	29.2
4	9.0	31.8	69.0	104.4	-	-	30.5
5	10.9	96.0	105.3	118.7	186.3	75.6	26.7
6	12.4	119.2	181.3	117.1	115.1	202.2	58.6

表 6 各桩侧摩阻力与端阻力占极限荷载的百分比

Table 6 Percent of side resistance and end resistance to limit bearing

桩号 Number	桩尖土层 Soil layer of needle	极限承载力/kN Limit bearing weight	桩侧摩阻力/kN Side resistance	桩尖阻力/kN Resistance of top	桩尖阻力占总阻力/% Percent of needle resistance to the total
1	III ₁	270	259.1	10.9	4.04
2	III ₂	640	615.8	24.2	3.78
3	III ₂	800	767.5	32.5	4.06
4	III ₃	270	244.7	25.3	9.37
5	III ₂	720	619.5	100.5	13.96
6	III ₂	900	805.9	94.1	10.46

2 号、5 号桩(9 m)在各级荷载下的桩身轴力见图 3、4。由表 6 及图 3、4 可以看出, 锥形桩的端阻力占总荷载的比例较小, 最大为 4.06%, 不同长度桩的值比较接近; 等截面桩端阻力较大, 最大比率为总

荷载的 13.96%, 最小为 9.37%; 虽然 9 和 10.5 m 桩均进入粉土层, 但从试验结果看, 端阻力的提高并不明显。另由表 5 可知, 两种桩型在承载力相差不大的情况下, 锥形桩的侧摩阻力(支撑力与摩擦力之

和)比等截面桩要大,其原因有二:一方面是因为等截面桩端截面较大;一方面主要是由于锥形桩的特殊构造所致,其桩身侧面在工作中同时受到摩擦力和支承力(切向力和法向力)的共同作用,桩基材料

(混凝土)和地基材料(土)的结构性能得到了更加充分的发挥和利用^[5]。同时,在下桩过程中,桩的锥型侧面向桩周围的土传递了压桩的能量。

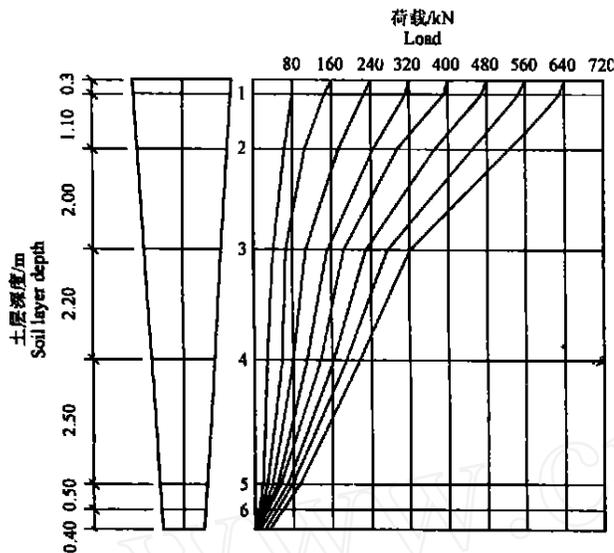


图 3 2号桩的土层、测点布置和轴力分布
Fig. 3 Distributing fig of dust, dot and axis force of peg 2

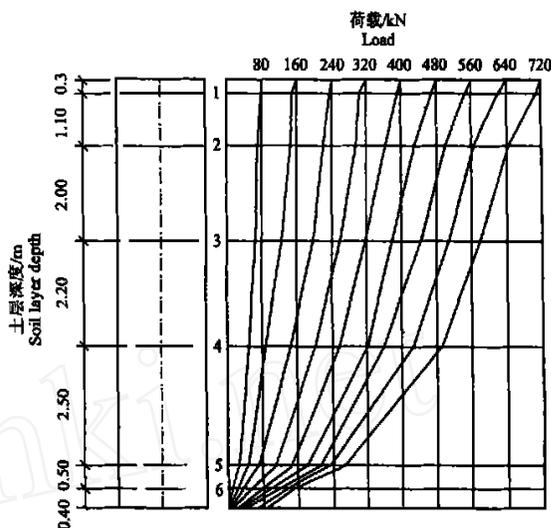


图 4 5号桩的土层、测点布置和轴力分布
Fig. 4 Distributing fig of soil layer, dot and axis force of peg 5

4 结 论

- 1) 锥形桩的受力机理不同于一般的桩基,锥形桩的楔型构造改变了桩周土的天然结构状态,改善了土的物理力学性质,有利于提高锥形桩的承载力。
- 2) 锥形桩的技术经济效果显著,在平均单位承载力相同的条件下可比等截面桩节省材料约 80%

以上。

3) 本次试验只是针对天津地区的地质情况,所研究的锥形桩桩长区别于前苏联的短桩,虽锥角较小,但仍可以显著节省材料。通过试验,初步了解了锥形桩的工作特性和检测方法,为该桩型在天津地区的应用提供了一定的技术资料 and 施工经验。

[参考文献]

[1] 哈津 B 等 锥形短桩[A] 国外建筑新技术译文集[C]. 北京: 中国农业机械出版社, 1981. 3- 14
 [2] 徐攸在 桩基检测手册[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1999. 87- 96
 [3] 沈 杰 地基基础设计手册[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1985. 47- 49
 [4] 左名麒 基础工程设计与地基处理[M]. 北京: 中国铁道出版社, 2000. 161- 193
 [5] 王忠海 锥形桩的测试研究[D]. 天津: 天津大学建筑工程学院, 2001.

Pilot study of taper peg in Tianjin

CHENG L i-qin¹, XU De-liang²

(1 College of A rchitectural Eng ineering, Tianjin University, Tianjin 300072, China;
 2 T raffic A dm inistrative B ureau of H ebei P rovince, Shijiazhuang, H ebei 071000, China)

Abstract: The law of variation of ultimate vertical bearing capacity and shaft resistance and tip resistance of wedge pile by compressive loading on the top is mainly studied in this paper. Compared with equal section pile on the same condition, we can induce that the former has 1.83 times weight bearing capacity to the latter, and it has economic effect

Key words: taper peg; shaft resistance; pile tip resistance