

孔底夯碎石砗灌注桩竖向承载力的试验分析

韩金峰

(哈尔滨市建筑工程研究设计院, 哈尔滨 150080)

【摘要】 通过夯孔桩与直孔桩承载力对比分析, 认为夯孔桩经过夯入碎石后, 改善了桩端土性质, 使桩端阻力成倍提高; 提出了夯孔桩极限端阻力的取值范围, 为桩基设计提供依据。

【关键词】 夯孔桩; 桩极限端阻力; 扩大端

【Abstract】 By the analysis of bearing capacity of tamping pile and common pile, it is believed that the resistance force will increase by times because of the improvement of soil properties at pile end after tamping broken stones. The range of ultimate end resistance for tamping pile is put forward, it provides the basis for pile-foundation design.

【Key words】 tamping pile; ultimate end resistance of pile; belled pier

0 前言

孔底夯碎石砗灌注桩(以下简称夯孔桩)是在螺旋钻孔砗灌注桩(以下简称直孔桩)基础上发展起来的新桩型。在直孔桩成孔后, 向孔内填入一定量的碎石或其它粗骨料, 用重锤进行分层夯实, 在孔底部夯成碎石与土颗粒胶结在一起的扩大端, 从而改善了桩端土的性质, 提高了桩端阻力。

该种桩型施工方法简单、造价低、无噪音、单方砗承载力高。除了具有直孔桩的优点外, 还弥补了直孔桩的一些不足: ①桩端处地质条件不好, 土质软弱, 桩端阻力低; ②上部荷载较大, 提高单桩承载力仅能通过加深钻孔或扩孔, 而钻机受到限制, 造价又高。因此, 夯孔桩完全可以通过桩端阻力的提高来弥补上述的不足。

几年来, 夯孔桩已在哈尔滨市 10 余项 7~8 层住宅楼工程中应用, 效果良好。本文通过其中 4 项工程的试桩, 针对该种桩型的受力特征进行研究, 并且结合现场模拟试桩

挖开桩端部观察分析, 提出了适合于该种桩基设计的依据。

1 夯孔桩静载试验承载力分析

夯孔桩的极限承载力标准值由极限侧阻力和端阻力组成。经过夯入碎石处理后, 端阻力变化较大, 侧阻力变化不明显。因此, 重点分析极限端阻力。

为便于分析, 结合每项工程做了直孔桩与夯孔桩的静载对比试验。静载试验方法采用快速维持荷载法。桩长在 7.0~9.6m, 桩径 400mm, 选用夯锤 800kg, 碎石夯入量 0.12~0.18m³/孔, 桩端地层为软——可塑状粉质粘土, 试验结果见表 1、图 1。

通过对比发现有以下特征:

(1) 夯孔桩的桩端阻力占单桩极限承载力 32.4%~49.3%, 受力特征属端承——摩擦桩;

(2) 夯孔桩的极限承载力标准值比直孔桩高 15.4%~53.8%;

(3) 桩端夯入碎石后, 改变了桩端土性

作者简介: 韩金峰, 高级工程师。1982 年毕业于长春地质学院, 主要从事岩土工程、建筑地基处理的设计、施工。

表1 试桩结果对比分析表

工程名称 试桩日期 编号	桩长 L/m	夯击次数 (击)	静载试验 Q_{uk}/kN	端阻力 Q_{pk}/kN	Q_{uk}/Q_{pk} $\times 100\%$	Q_{uk} 提高值 /%	端阻力 q_{pk}/kN	q_{pk} 提高值 /%	桩端土 状态	
清明小区 E栋住宅楼 1993-04-30	9.0	1	直孔桩	850	187	22.0	0	1 500	0	可塑状
		2	6	1 000	337	33.7	17.6	2 696	79.7	
		3	9	1 080	417	38.6	27.1	3 336	122.4	
		4	12	1 130	467	41.3	32.9	3 736	149.1	
双城农机 局住宅楼 1993-09-17	7.0	1	直孔桩	500	62	12.4	0	500	0	软塑状
		2	6	610	172	28.2	22.0	1 376	175.2	
		3	9	700	262	37.4	40.0	2 096	319.2	
647厂 综合楼 1992-06-08 1992-07-25	9.6	1	直孔桩	830	187	22.5	0	1 500	0	可塑状
		2	12	1 150	507	44.1	38.4	4 056	170.4	
	7.4	3	直孔桩	650	143	22.0	0	1 150	0	
		4	6	750	243	32.4	15.4	1 944	69.0	
		5	12	1 000	493	49.3	53.8	3 944	243.0	
公滨路小区 61~65号楼 1995-06-09	9.0	1	直孔桩	850	187	22.0	0	1 500	0	可塑状
		2	9	1 150	487	42.3	35.3	3 896	159.7	

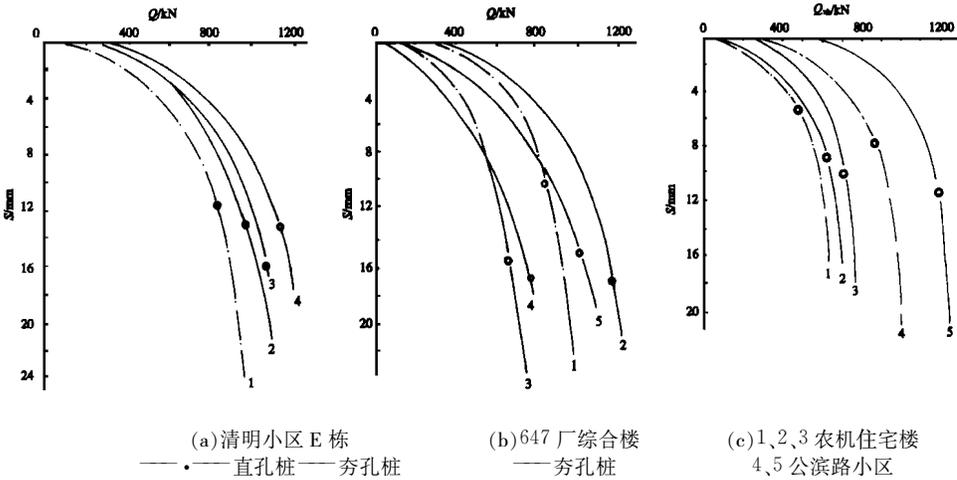


图1 Q-s的试验曲线图

质,使桩的极限端阻力 q_{pk} 大幅度提高。将表1中桩长 9.0~9.6m, 夯击数 9~12 击的各试桩实测 q_{pk} 进行统计, 区间值 3 336~4 056kPa, 平均值 3 756kPa。根据建筑桩基技术规范 JGJ94-94(以下简称规范)表 5.2.8-2, 此值对应的地层为中密、密实状粗砂层;

(4)将表1中不同工程, 相同夯击次数各

试桩的 q_{pk} 提高值进行统计, 得出了在不同夯击数条件下 q_{pk} 平均提高值(见表2)。从表中可见, 夯击数为 9 击的 q_{pk} 平均提高值大大地高于 6 击, 而 12 击较 9 击提高幅度不大。由此可见, 每孔的夯击数应该控制在 9 击以上。

表 2 Q_{pk} 平均提高对比表

夯数	Q_{uk} 平均提高/%	Q_{pk}/Q_{uk} 平均值/%	q_{pk} 平均提高/%
0	0	20.2	0
6	18.3	31.4	108.0
9	34.1	39.4	141.1
12	41.8	45.3	144.0

2 夯孔桩单桩极限承载力计算方法

夯孔桩单桩竖向极限承载力标准值可根据桩基规范中 5.2.8 公式:

$$Q_{uk} = Q_{sk} + Q_{pk} = u \sum q_{sik} L_i + q_{pk} A_p$$

式中: Q_{uk} —— 极限承载力标准值;

Q_{sk}, Q_{pk} —— 桩极限侧阻力、端阻力;

q_{sik} —— 桩侧第 i 层土的极限侧阻力标准值;

q_{pk} —— 极限端阻力标准值;

u —— 桩身周长;

A_p —— 桩端面积;

L_i —— 第 i 层土的厚度。

q_{sik} 直接按规范表 5.2.8-1 进行取值, 而 q_{pk} 值则根据上述的分析结果, 在满足夯击各项参数的条件下, 即锤重 800kg, 夯击数、夯入碎石量分别不少于 9 击/孔和 $0.12m^3$ /孔, 可参照规范表 5.2.8-2 中中密、密实状粗砂层的极限端阻力取值。

3 桩端部挖开观察与土工试验分析

在现场制做两根桩径 $\phi 400mm$, 桩长 4m 的短桩, 两桩桩心距 1m。桩端土为可塑状粉质粘土。用 800kg 夯锤夯击, 填入碎石量 $0.18m^3$ /孔, 夯击数 15 击/孔, 夯锤落距 4m。砼灌注完成 30 天后, 人工挖开直接观察夯击效果, 并且在碎石与粘土胶结体的底部沿垂直两桩走向的方向分别取 5 组土试样做干密度试验分析。

(1) 直接观察, 两桩端部之间土体明显被挤密, 挤密程度均匀, 土体挖掘困难。桩底部夯入的碎石与粘土胶结成一体, 呈最紧密排列, 碎石有新破的痕迹, 孔隙中有水泥浆渗

入, 形成直径 600mm 的扩大端。

(2) 在距桩中心 20、40、60、80、120cm 处, 分别取土试样做 ρ_d (干密度) 试验。在距桩中心 60cm 范围内 ρ_d 明显提高, 而 60cm 以外提高幅度不大 (见图 2)。

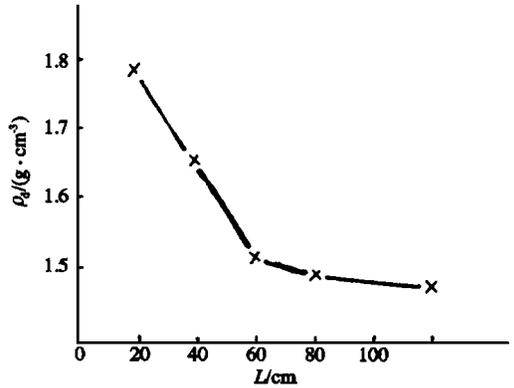
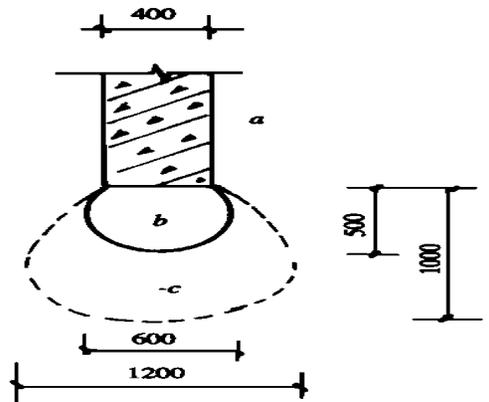


图 2 ρ_d -L 曲线图

(3) 在挖掘过程中, 通过挖掘的难易程度, 结合使用微型贯入仪及土工试验, 初步确定出夯实后土体挤密的影响范围 (见图 3), 并推算出桩距为 1m 时, 碎石夯入量占桩端土单位体积的 14%。



a 砼桩 b 碎石扩大端 c 土体挤密区

图 3 桩端挤密区示意图

4 夯孔桩的适用范围及施工工艺

夯孔桩适用于地下水位以上的粘性土层。成孔直径 $\phi 300 \sim 600mm$ 。成孔后, 用 500~800kg 重的夯锤对孔底进行分层夯实, 孔内填入碎石的高度不宜大于 30cm, 最终夯

到原钻孔深度,然后按照直孔桩施工的要求灌入砾。

5 结论

夯孔桩与直孔桩相比,桩极限端阻力明显提高,最高达 320%;在满足锤重 800kg,夯击数、夯入碎石量不小于 9 击/孔、 $0.12\text{m}^3/$

孔的条件下,桩端土为粘性土地层时可按规范表 5.2.8-2、中密、密实状粗砂层取极限端阻力值计算单桩极限承载力标准值。

参 考 文 献

- 1 中国建筑科学研究院·JGJ94-94. 建筑桩基技术规范·北京:中国建筑工业出版社,1995

(上接 26 页)

表 2 挡土墙受条形荷载作用的附加土压力计算过程表

z/m	n	荷载作用在距墙背 4m 处				荷载作用在墙背上			
		$x=-4\text{m}, m=-1$		p_a'/kPa	p_p'/kPa	$x=0, m=0$		p_a'/kPa	p_p'/kPa
		K_a'	K_p'			K_a'	K_p'		
0	0	0	0	0	0	0.141 4	1.768 6	14.1	176.9
2	0.5	0.004 8	0.060 5	0.5	6.1	0.135 6	1.696 6	13.6	169.7
4	1.0	0.020 0	0.249 7	2.0	25.0	0.115 7	1.447 6	11.6	144.8
6	1.5	0.032 2	0.402 9	3.2	40.3	0.094 5	1.182 4	9.5	118.2
8	2.0	0.038 0	0.475 0	3.8	47.5	0.077 7	0.972 2	7.8	97.2
10	2.5	0.039 4	0.492 4	3.9	49.2	0.065 3	0.817 0	6.5	81.7
12	3.0	0.038 5	0.481 8	3.8	48.2	0.056 0	0.700 7	5.6	70.1
14	3.5	0.036 7	0.458 8	3.7	45.9	0.048 9	0.611 8	4.9	61.2
16	4.0	0.034 5	0.431 5	3.5	43.2	0.043 2	0.540 5	4.3	54.1
18	4.5	0.032 3	0.403 9	3.2	40.4	0.038 8	0.485 5	3.9	48.9
20	5.0	0.030 2	0.377 8	3.0	37.8	0.035 1	0.439 2	3.5	43.9

4 结论

(1)求解附加应力的布西涅斯克解答和弗拉曼解答,与朗肯土压力理论结合,可用来求解挡土墙受局部连续荷载作用引起的附加主动土压力和附加被动土压力。

(2)求出的附加土压力可以较准确地考虑荷载作用型式、荷载作用位置、荷载作用范围和极限平衡状态的影响。如荷载作用强度、荷载作用宽度、荷载作用位置相同,则同一墙深处由条形铅直均布荷载引起的附加土压力大于矩形铅直均布荷载引起的附加土压力值。

(3)可以具体反映附加土压力沿墙背的变化情况。如荷载作用在距墙背一定距离处,则附加土压力由墙顶处为零沿墙背增大到一定

值后又逐渐减小;如荷载直接作用在墙背上,则附加土压力由墙顶处最大随墙深增大而逐渐减小;而且荷载作用在墙背上引起的附加土压力大于荷载作用在距墙背一定距离处引起的附加土压力。

(4)这种方法考虑了外荷通过填土传递过程的变化,计算出的附加土压力较小,有利于减小挡土墙的设计断面,减少工程造价,并使挡土墙的强度和稳定性更有保证。但其附加主动土压力值远远小于朗肯理论近似方法得出的土压力值。因此,还值得进一步研究。

参 考 文 献

- 1 冯国栋·土力学·北京:水利电力出版社,1995
收稿日期:1998-08-27