

桩端土加固处理设计及检测方法的探讨

张莲花¹ 罗康²

(1. 成都理工大学地质灾害防治与地质环境保护国家专业实验室, 四川成都 610059;

2. 成都市建筑工程质量检验检测站, 四川成都 610050)

【摘要】 介绍了人工挖孔桩桩端土承载力不足进行旋喷桩处理的设计过程以及处理后检测过程中遇到的问题。桩端土处理设计可以遵循一般的地基处理设计方法和原则, 并针对复合地基承载力检测和桩端土极限端阻力的检测中存在的差异和共同点, 提出组合静载荷试验的思路和方法, 并在工程中予以实施, 并取得了较好的效果。

【关键词】 人工挖孔桩; 旋喷桩处理设计; 复合地基; 深层平板载荷试验; 组合静载荷试验

【中图分类号】 TU 745.5

Design and Static Load Test of Improved Pile Tip Soil

Zhang Lianhua¹ Luo Kang²

(1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059;

2. Chengdu Check and Test Station of Architecture Quality, Chengdu Sichuan 610050 China)

【Abstract】 The design of composite subgrade treated with jet grouting is introduced and some bearing capacity testing problems of pile tip soil treated with jet grouting is presented. There are common grounds and diversities of bearing capacity tests of composite subgrade and pile tip treated soil. A combination static load test method is put forward. The practice proves the effectiveness of the method in engineering project.

【Key Words】 artificial excavating pile; design of jet grouting pile; composite foundation; deep plate loading test; combination static load test

0 引言

随着城市建设的发展, 高层建筑物迅速增多, 对地基承载力要求也日益提高。在深基础中人工挖孔桩以其施工方法简便、宜实施质量检查、单桩承载力高、不污染环境、费用低等优点而在工程中广泛采用^[1-7]。

由于地质条件具有变化性较大的特点, 开挖后的桩端土性质可能无法满足设计要求, 解决的办法之一就是桩端土进行加固处理以满足设计对桩端土承载力的要求。

以加固处理方式来解决桩端土承载力不足问题时, 岩土工程师就面临着两问题^[8-9]: 一是桩端土加固处理如何设计, 是否遵循一般的地基处理设计原理; 二是处理后的桩端土承载力如何检测。众所周知, 一般地基处理设计是建立在地基承载力的基础之上的, 桩的设计要求是桩端土的端阻力, 而对于同一地层地基承载力和桩端土端阻力两者在数值相差很大。继而出现的就是检测, 处理后的桩端土承载力的确定, 它既不同于一般的复合地基的确定方法,

也不同于单纯的用深层平板载荷试验确定桩端土的承载力特征值的方法。本文结合成都某工地的实际设计、处理方法及检测过程, 对设计过程进行了介绍, 总结了试验过程中走过的弯路, 并对处理后的桩端土的承载力特征值确定方法进行了探讨。

1 工程概况

成都某商品住宅楼地上 38 层, 设一层地下室, ±0.00 为 501.80 m, 基坑开挖深度为 -5.0 m。拟采用人工挖孔桩+筏板基础, 场地内岩土从上至下地层主要分为: 粘土、粉质粘土、卵石层及泥岩(见图 1)。卵石层以其密实程度划分为: 松散、稍密、中密和密实卵石层。人工挖孔桩桩直径 800 mm, 桩底扩大头直径为 1 400 mm, 以中密卵石层为桩端持力层。基础设计采用中密卵石层极限端阻力标准值 $q_{pk}=4\ 300\ \text{kPa}$ 。基桩人工开挖后, 由于部分人工挖孔桩桩底处于稍密卵石层, 部分桩底中密卵石层厚度不够, 中间夹厚度 1.0 m 左右的松散卵石层, 故采用旋喷桩对人工挖孔桩桩端土进行处理。

2 加固处理设计

桩基础设计^[10]采用中密卵石层作为桩端持力层,取其极限端阻力标准值 $q_{pk} = 4\ 300\ \text{kPa}$ 。这样就要求处理后的桩端土的极限端阻力标准值达到 $4\ 300\ \text{kPa}$ 。而现有的地基处理方法都是建立在地基承载力的基础之上的,还未见有针对桩端阻力进行地基处理设计的理论或公式,而地基承载力特征值与极限端阻力标准值之间也没有一个可以换算的公式。

勘察单位提供的中密卵石层地基承载力特征值 f_{ak} 为 $650\ \text{kPa}$,对应的该层极限端阻力标准值 $q_{pk} = 4\ 300\ \text{kPa}$ (见表 1)。

表 1 卵石土的物理力学参数表

地层名称	重度 $\gamma/(\text{kN}\cdot\text{m}^{-3})$	地基承载力特 征值 f_{ak}/kPa	变形模量 E_s/MPa	极限端阻力标 准值 q_{pk}/kPa
松散卵石层	20.0	200	18.0	
稍密卵石层	21.0	350	23.0	2 200
中密卵石层	22.0	650	32.0	4 300
密实卵石层	23.0	950	45.0	6 500

基于以上因素,桩端土处理设计时参考表 1,使处理后的复合地基承载力特征值大于等于 $650\ \text{kPa}$,以期达到设计中密卵石层对极限端阻力标准值的要求。

初步设计时竖向承载旋喷桩复合地基承载力特征值按下式估算^[11]:

$$f_{spk} = m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{sk} \quad (1)$$

式中: m 为面积置换率,取 0.38,即 3 根旋喷桩; R_a 为单桩竖向承载力特征值,由式 2 式 3 确定^[9],分别为 $431.86\ \text{kPa}$ 和 $485.8\ \text{kPa}$,取计算结果较小者,即 $431.86\ \text{kPa}$;式 2 计算时不计桩侧摩擦阻力; A_p 为桩的截面积,取旋喷桩直径 $500\ \text{mm}$,面积为 $0.196\ \text{m}^2$; β 为桩间土承载力折减系数,取 0.4; f_{sk} 为稍密卵石层地基承载力特征值。

$$R_a = u_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + q_p \cdot A_p \quad (2)$$

$$R_a = \eta f_{cu} \cdot A_p \quad (3)$$

处理设计方案为:每根人工挖孔桩按等边三角形布 3 根直径为 $500\ \text{mm}$ 的旋喷桩,则单根旋喷桩处理面积为 $0.5\ \text{m}^2$,置换率为 0.38,估算处理后复合地基承载力特征值 $f_{ak} = 922.8\ \text{kPa}$,大于 $650\ \text{kPa}$,单桩承载力特征值 $450\ \text{kN}$ 。处理施工简图见图 1。

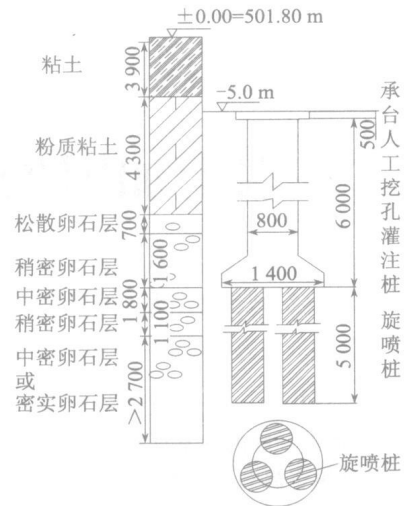


图 1 地质剖面及设计施工简图

3 工程试验检测

建筑地基基础设计规范^[12]明确规定,单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静荷载试验确定。对于其单桩承载力很高的大直径端承型桩,若待砼灌注成桩后在地面进行,无论采用堆载法或锚桩法,必然费时费财力。GBJ 5007—2002 规范建议采用深层平板荷载试验确定桩端土的承载力特征值,即采用成孔后于孔底进行小压板静荷载试验方法直接测定桩端土承载力特征值。

该工程在人工挖孔桩井底,首先展开旋喷桩单桩静荷载试验,而后又对桩端复合地基进行了静荷载试验。试验均采用慢速维持荷载法,即逐级加荷,每级荷载达到相对稳定后加下一级荷载,直到试验进行到满足试验规范终止加载条件,然后分级卸荷到零^[8]。旋喷桩单桩静荷载试验采用桩顶中心加荷;复合地基静荷载试验,由于受限于桩径为 $800\ \text{mm}$ 人工挖孔桩,采用直径 $800\ \text{mm}$ (面积 $0.5\ \text{m}^2$) 的承压板,为使得压板中心与旋喷桩桩中心保持一致,采用人工开凿的方式将压板放置位置的孔底扩大一点(见图 2)。这种检测方法避免了压板位于人工挖孔桩正中心会同时压着 3 根旋喷桩所导致的复合地

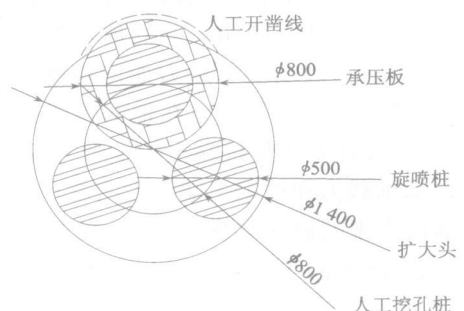


图 2 复合地基载荷试验示意图

基实际受力面积大于单桩处理面积 0.5 m^2 的问题。旋喷桩单桩静载荷试验成果见表 2。复合地基静载荷试验成果见表 3。

表 2 旋喷桩单桩静载荷试验成果表

试验桩孔号	桩径 /mm	最大荷载 /kN	单桩竖向荷载 450 kN 对应的沉降/mm	单桩承载力特征值 /kN
6-109 [#] 单桩	500	1 163	4.72	
6-41 [#] 单桩	500	1 187	4.59	
6-142 [#] 单桩	500	1 187	5.02	≥450
6-57 [#] 单桩	500	1 163	4.91	
6-1 [#] 单桩	500	1 163	5.34	

表 3 复合地基静载荷试验成果表

试验桩孔号	最大荷载 /kPa	最大沉降 /mm	复合地基承载力特征值/kPa	变形模量 /MPa
6-109 [#] 复合地基	1 593	9.92		
6-41 [#] 复合地基	1 635	11.30		
6-142 [#] 复合地基	1 635	10.86	≥650	≥52
6-57 [#] 复合地基	1 593	11.83		
6-1 [#] 复合地基	1 593	11.84		

由表 2 表 3 结果可知,无论是复合地基还是旋喷桩单桩承载力特征值均满足任务要求,即复合地基特征值 $\geq 650 \text{ kPa}$ 、旋喷桩单桩承载力特征值 $\geq 450 \text{ kN}$,表面上是满足了设计要求。但新的问题是存在的,这就是如何肯定桩端复合土的极限端阻力标准值 $\geq 4\ 300 \text{ kPa}$ 。

4 组合静载荷试验的提出

单纯采用复合地基载荷试验,检测得出的复合地基承载力特征值 $\geq 650 \text{ kPa}$,无法确定桩端复合土的极限端阻力标准值 $\geq 4\ 300 \text{ kPa}$ 。为了同时满足对上部结构设计单位要求中密卵石极限端阻力标准值 $q_{pk} = 4\ 300 \text{ kPa}$ 及地基处理设计单位要求复合地基承载力特征值为 650 kPa ,为此提出组合载荷试验。组合载荷试验仍然采用面积为 0.5 m^2 的承压板,压板中心与旋喷桩桩中心保持一致(见图 2),其特点为加载的分级及终止荷载有特殊安排。

用 QF320T-20b 的千斤顶,对复合地基的承载力特征值 $\geq 650 \text{ kPa}$ 载荷试验分 8 级做,每级加 2 MPa ,终止荷载为 $1\ 572 \text{ kPa}$ 。桩端复合土深层载荷试验分 10 级,每级加载 4.5 MPa ,终止荷载为 $4\ 374 \text{ kPa}$ 。具体加载方法为:第一阶段,按复合地基载荷试验 2 MPa 一级加 8 级(此时压力表读数为 16 MPa),不卸载;第二阶段,继续再加荷 2 MPa ,压力表读数为 18 MPa (此时所加荷载等于深层平板载

荷试验第 4 级)以后每级加压 4.5 MPa 直到第 10 级 45 MPa ,即终止荷载为 $4\ 374 \text{ kPa}$ 。

笔者对试验桩编号为 1[#]-5[#] 的桩端复合地基土和旋喷桩单桩进行了上面提出的组合静载荷试验, $P-s$ 曲线见图 3。最大沉降量为 22.00 mm ,最大回弹量为 4.88 mm ,回弹率为 22.18% 。通过组合静载荷试验既确定了复合地基满足要求,又有效地确定桩端复合土的极限端阻力标准值也满足设计要求。组合试验法有效的解决了问题,并节约了工时和资经。

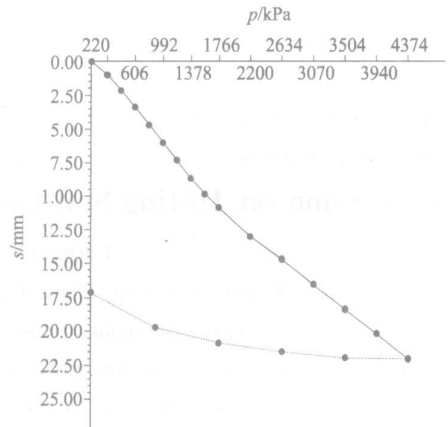


图 3 组合静载荷试验 $P-s$ 曲线

5 结论及建议

1) 对桩端土进行处理是解决人工挖孔桩桩端土承载力不足的有效办法;

2) 人工挖孔桩桩端土处理可以遵循一般的地基处理设计方法和原则;桩端土处理后承载力的确定需要检测两个指标,一是检测复合地基承载力是否满足设计,二是检测处理后的桩端土是否达到要求的极限端阻力;

3) 为避免不必要的重复,建议采用组合静载荷试验的方法同时解决复合地基承载力检测和桩端土端阻力检测,工程证明该方法是可行而有效的。

4) 本文提出的组合静载荷试验方法中,压板的中心与旋喷桩的中心一致,就无法满足与荷载作用点重合。建议对桩端土进行处理后检测时压板的放置位置问题作进一步的探讨。

参 考 文 献

- [1] 吴帅彬,高飞. 桩底注浆对钻孔灌注桩竖向承载力的影响[J]. 岩土工程技术, 2006, 20(6): 320-323.
- [2] 张绍河. 人工挖孔灌注桩桩端土(岩)承载力静力测试方法探讨[J]. 烟台大学学报: 自然科学与工程版, 1999, 12(3): 219-222.

范围。

3)结合 b 及 n 即可确定既能满足稳定性要求,又能满足地基承载力验算要求的挡土墙截面尺寸。

3.2 算例

以文献[6]中的重力式挡土墙为例,墙背竖直光滑,墙高 $h=5$ m, 墙身材料重度 $\gamma=23$ kN/m³, 经计算后的主动土压力 $E_a=49.95$ kN/m, 作用点高度 $z=1.67$ m, 基底摩擦系数 $\mu=0.6$, 修正后的地基承载力特征值为 $f_a=200$ kPa, 试设计该挡土墙。
解:1)取 $n=2.4$, 查图 2、图 3 得系数 $\alpha=0.647$, $\beta=0.644$, 则 $G=\alpha\gamma hb=74.41b$, $x_0=\beta b=0.644b$ 。

2)按控制基底偏心距 $e\in(b/6, b/4]$ 进行设计, 将相关参数值代入式(1)中, 通过解关于 b 的不等式可得满足抗滑移稳定性要求的截面底部宽度 $b\geq 1.455$ m。再将相关参数代入式(2)式(13)式(14)可求出满足抗倾覆稳定性及地基承载力验算要求的取值范围为 $b\in[1.687$ m, 1.90 m]。

3)综合两者取 $b=1.70$ m, 根据 $n=(b-b_0)/b_0=2.4$, 可计算得到挡土墙截面上部宽度 $b_0=0.5$ m, 所得截面尺寸既能满足稳定性要求, 又能满足地基承载力要求。

按《规范》方法进行验证: $K_s=1.51>1.3$, $K_l=1.66>1.6$, $p_{\max}=193.43$ kPa $<1.2f_a=240$ kPa, 显然能满足要求。

4 结论

1)本文提出了将抗倾覆稳定性和地基承载力验

算合并考虑的新思路, 便于结合抗滑移稳定性验算式, 以截面底部宽度 b 为变量直接进行挡土墙截面设计, 避免了繁琐的试算过程, 且能很好地控制基底偏心程度。

2)采用换算系数 α, β 与 n 的关系图可方便地求得 α, β 值, 从而将 G 及 x_0 用截面底部宽度 b 表示, 计算简便且精度高, 便于工程设计人员使用。

3)该方法是在满足《规范》要求的前提下推导得出的, 因此其设计结果能满足规范要求, 不需再进行任何验算。

参 考 文 献

- [1] GB 50007—2002 建筑地基基础设计规范[S].
- [2] 黄太华, 饶英明, 谭 萍. 关于挡土墙的地基承载力验算及抗倾覆稳定性验算方法的探讨[J]. 岩土工程技术, 2003(6):315-318.
- [3] 黄太华, 袁 健. 关于重力式挡土墙截面尺寸确定方法的探讨[J]. 岩土工程技术, 2004, 18(5):242-243, 247.
- [4] 袁 健, 刘其梅. 参数法在悬臂式挡土墙底板尺寸设计中的应用[J]. 岩土工程技术, 2005, 19(1):17-19.
- [5] 罗 林. 重力式挡土墙断面设计的优化[J]. 岩土工程技术, 2005, 19(5):262-263;267.
- [6] 朱彦鹏. 特种结构[M]. 武汉:武汉理工大学出版社, 2004.

收稿日期:2006-10-27

(上接第 69 页)

- [3] 张 峰, 迟铃泉. 北京火车站月台大直径人工挖孔桩和旋喷桩复合体承载力的计算[J]. 建筑科学, 2005, 21(3):54-56.
- [4] 李福文, 孙明波, 于忠生. 人工挖孔桩检测方法及应用实例[J]. 长春工程学院学报:自然科学版, 2004, 5(4):5-7.
- [5] 林佛彬, 梁艳玲, 毛吉化. 压板试验在人工挖孔桩中的应用[J]. 广东建材, 2006. (6):77-79.
- [6] 孔凡林, 周海鹰. 桩底加载法静载试验在大直径嵌岩桩工程中的应用研究[J]. 岩土工程技术. 2004, 18(3):154-160.
- [7] 王 铨. 人工挖孔桩桩底强度的检验方法[J]. 中州煤炭. 2005, 45-59.
- [8] 黄 敏, 张克绪, 张尔齐. 桩底灌浆钻孔灌注桩竖向承载性能研究[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2004, 36(8):1114-1117.
- [9] 李连营, 林 波, 邵 健. 桩底注浆钻孔灌注桩承载力的研究[J]. 岩土工程技术, 2005, 19(1):24-27.
- [10] 刘金砺. 桩基础设计与计算[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 1990.
- [11] JGJ 79—2002. 建筑地基处理技术规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.
- [12] GB 50007—2002. 建筑地基基础设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2002.

收稿日期:2007-01-11