

安庆电厂碎石桩复合地基静载荷试验分析

段新胜, 顾 湘, 张 鸣
(中国地质大学, 武汉 430030)

[摘 要]探讨了在进行碎石桩复合地基静载荷试验时终止加载原则、复合地基承载力极限值的测定方法和复合地基承载力标准值的确定方法等问题。

[关键词]碎石桩复合地基 静载荷试验 终止加载原则 复合地基承载力极限值 复合地基承载力标准值

[中图分类号]TU473.1⁺6 [文献标识码]A [文章编号]0495-5331(2000)02-0029-03

1 前言

碎石桩复合地基在工业与民用建筑、公路、铁路等建设项目的地基处理中得到广泛应用,目前确定碎石桩复合地基处理效果的最有效方法是进行碎石桩复合地基静载荷试验。本文针对安庆电厂复合地基静载荷试验过程中出现的一些问题探讨了对碎石桩复合地基进行静载荷试验时终止加载原则、复合地基承载力极限值的测定和复合地基承载力标准值的确定等问题。

2 工程概况和问题的提出

安庆电厂地处长江北岸的冲积平原,场地地质条件见表 1,天然地基承载力标准值仅为 80 kPa,设计要求的地基承载力标准值为 150 kPa。为此,在厂区设置桩径为 600 mm、桩长为 10 m、桩间距为 1300 mm,按等边三角形布置的干振碎石桩进行地基处理,碎石桩的面积置换率为 19.3%,桩位布置见图 1。

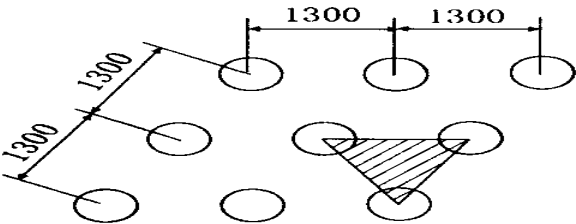


图 1 桩位布置图

为了检验干振碎石桩对厂区淤泥质粉质粘土地层的加固效果,作了 4 组单桩复合地基静载荷试验,试验时使用直径为 1.36 m 的钢压板,测试的 4 组单桩复合地基静载荷试验 P - S 曲线见图 2。

试验中,是当发现压板周围出现明显裂缝时终止加载,且在进行数据处理时,取终止加载荷载的前一级荷载作为单桩复合地基承载力极限值,由此而得出该工程碎石桩复合地基不能满足设计要求的结论。那么,该工程的检测和数据方法是否正确?设计、施工单位对此提出了质疑。

表 1 地层参数表

层序	地层名称	厚度(m)	E_{s1-2} (MPa)	f_k (kPa)
1	粉质粘土	1.2	3.39	100
2	淤泥质粉质粘土	12.4	2.95	80
3	粉细砂	23.4	3.3	140

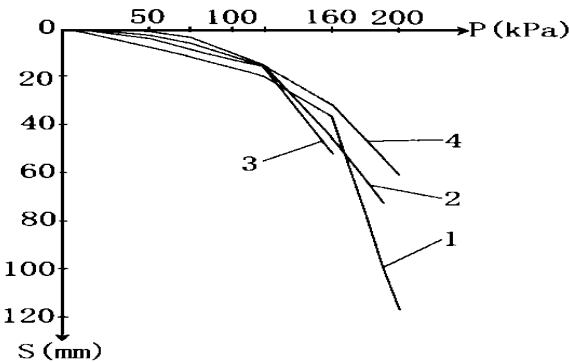


图 2 单桩复合地基静载荷实验 P - S 曲线
1—第一组单桩复合地基静载荷实验 P - S 曲线;
2—第二组单桩复合地基静载荷实验 P - S 曲线;
3—第三组单桩复合地基静载荷实验 P - S 曲线;
4—第四组单桩复合地基静载荷实验 P - S 曲线

3 试验过程和试验结果分析

笔者通过对本工程检测过程和检验结果进行分析研究认为:在应用 JG 79 - 91 进行碎石桩复合地基静载荷试验时,应注意掌握好终止加载原则、复合地基承载力极限值测定方法和复合地基承载力标准

[收稿日期]1999 - 09 - 22;[修定日期]1999 - 10 - 25;[责任编辑]王 梅。

值确定方法 3 个方面的问题。

3.1 静载荷试验时终止加载的原则

《建筑地基处理技术规范》(JG 79 - 91) 规定, 进行复合地基静载荷试验时, 当出现下列情况之一时可终止加载:

1) 压板沉降急骤增大、土被挤出或压板周围出现明显裂缝;

2) 累积的沉降量已大于压板宽度或直径的 10 %;

3) 总加载量已为设计要求值的两倍以上。

笔者认为, 在以上 3 个终止加载条件中, 第一条终止加载条件为定性标准。压板沉降速率、土被挤出的程度及压板周围土的裂缝大小等标准的掌握存在着明显的人为因素, 容易引起误判和争议, 一般应与其他两条标准一起考虑, 尽可能不单独使用这一条标准终止加载。第二条和第三条终止加载条件为定量标准, 容易掌握, 并且掌握程度也不会因人而异, 按这两个终止加载条件所作出的试验结果, 一般不会引起各方的争议。因此, 在进行碎石桩复合地基静载荷试验时, 应尽可能满足规范的第二条和第三条标准中任一条标准再终止加载。

对于多桩复合地基静载荷试验, 规范规定压板面积应为多根桩所承担的加固面积, 因而其压板的直径宽度较大, 要达到第二条终止加载条件所需压板的沉降量就较大, 在实际静载荷试验中就难达到, 此时应主要按第三条终止加载的条件终止加载; 对于单桩复合地基静载荷试验, 规范规定其压板面积为一根桩所承担的处理面积(图 1 所示三角形面积为半根桩所承担的加固面积)。由于一根桩所承担的处理面积有限, 因而, 压板的宽度或直径一般不会太大, 故第二条终止加载条件(沉降量为压板直径或宽度的 10 %) 一般容易达到, 此时应尽可能采用第二条标准终止加载。

本工程单桩复合地基静载荷试验的压板直径为 1.36 m, 按第二条标准, 压板沉降量达到 136 mm 才可终止加载; 按第三条标准, 总加载量应达到设计值的两倍以上(即达到 300 kPa) 才能终止加载。图 2 的 $P - S$ 曲线为渐变性曲线, 从图 2 也可看出, 试验时将压板的沉降量压到 136 mm 再终止加载是可行的, 故本工程单独按第一条标准终止加载存在一定问题。

3.2 复合地基极限承载力的测定方法

在对安庆电厂碎石桩复合地基静载荷试验的数据进行处理时, 曾将符合第一条终止加载条件的前

一级荷载作为复合地基承载力极限值, 得出的 4 组桩土复合地基极限承载力分别为 160 kPa、140 kPa、120 kPa、160 kPa, 平均值为 145 kPa, 极差与平均值之比为 $40/145 = 27.6\% < 30\%$, 从而得实测极限承载力标准值 $f_{sp, u} = 145$ kPa。按复合地基承载力极限值 $f_{sp, u}$ 与复合地基承载力标准值 $f_{sp, k}$ 之间的关系:

$$f_{sp, k} = f_{sp, u} / \gamma_s \quad (1)$$

式中: γ_s —土的抗力分项系数, 一般为 1.5 ~ 2.0, 可取平均值 1.75, 得出复合地基承载力标准值为 83 kPa, 基本上与表 1 提供的天然地基承载力标准值相同。显然, 此结论不符合实际。

笔者认为, 在应用 JG 79 - 91 时应注意标准中并没有规定取符合终止加载条件的前一级荷载为复合地基承载力极限值, 只提到当复合地基的 $P - S$ 曲线有明显的直线段、曲线段和陡降段时, 陡降段的起始点所对应的荷载为复合地基承载力极限值, 因此, 上述方法是错误的。

从图 2 以及其它工程复合地基静载荷试验资料可知: 复合地基作静载荷试验时, 由于压板边长或直径较大, 压板沉降在较大范围内, 其载荷与沉降之间的关系曲线($P - S$ 曲线) 均为缓降型, 一般很难直接测出复合地基承载力极限值。因此, 要测定复合地基承载力极限值可分别作单桩静载荷试验和桩间土静载荷试验, 分别测出单桩承载力极限值和桩间土承载力极限值, 而后再用由 JG 79 - 91 提供的复合地基承载力标准值计算公式(即(2)式)所推导出的(3)式计算复合地基承载力极限值。

复合地基承载力标准值的计算公式为:

$$f_{sp, k} = m f_{p, k} + (1 - m) f_{s, k} \quad (2)$$

式中: $f_{sp, k}$ 为复合地基承载力标准值; $f_{p, k}$ 为桩体单位面积承载力标准值; $f_{s, k}$ 为桩间土承载力标准值; m 为面积置换率。该式反映了复合地基承载力标准值与桩体单位面积承载力标准值、桩间土承载力标准值之间的关系。

笔者认为, 复合地基承载力极限值与桩体单位面积承载力极限值、桩间土承载力极限值之间有与(2)式相类似的关系, 因为, 根据概率极限状态设计法, 桩体单位面积承载力标准值等于桩体单位面积承载力极限值除以土的抗力分项系数(即 $f_{sp, u} = P_{p, u} / \gamma_s$), 桩间土承载力标准值等于桩间土承载力极限值除以土的抗力分项系数(即 $f_{s, k} = f_{s, u} / \gamma_s$), 结合(2)式可推导出:

$$f_{sp, u} = m f_{p, u} + (1 - m) f_{s, u} \quad (3)$$

式中: $f_{sp,u}$ 为复合地基承载力极限值; $f_{p,u}$ 为桩体单位面积承载力极限值; $f_{s,u}$ 为桩间土承载力极限值。

在安庆电厂碎石桩加固区所作的 4 组,单桩静载荷试验和 3 组桩间土静载荷试验测得的单桩承载力极限值和桩间土承载力极限值分别见表 2 和表 3。

表 2 实测单桩承载力极限值	
试桩号	承载力极限值(MPa)
5	354
6	424
7	424
8	424
平均值	407
极差/平均值	12.7 % < 30 %

表 3 实测桩间土承载力极限值	
实验点号	承载力极限值(MPa)
9	200
10	160
11	200
平均值	187
极差/平均值	21.4 % < 30 %

分别测出单桩承载力极限值和桩间土承载力极限值后,按(3)式可求出安庆电厂复合地基承载力极限值为:

$$f_{sp,u} = 0.193 \times 407 + (1 - 0.193) \times 187 = 229 \text{ kPa}$$

3.3 复合地基承载力标准值的确定问题

设计所要求的一般是复合地基承载力标准值,若能直接测出复合地基承载力极限值,则将该极限值除以土的抗力分项系数就可得到复合地基承载力标准值。但如前所述,复合地基承载力极限值一般较难直接测出。笔者认为,在这种情况下,应采用下述两种方法确定复合地基承载力标准值。

1) 根据复合地基静载荷试验所得的 $Q - S$ 曲线,按规定的沉降比确定。

本工程是以粘性土为主的地基,应取沉降比 $S/d = 0.02$,即沉降量 S 为 27.2 mm 所对应的荷载为单桩复合地基承载力基本值($S = 0.02d = 0.02$

$\times 1360 = 27.2 \text{ mm}$, d 为荷载板直径)。据此由图 2 得 4 组单桩复合地基承载力基本值分别为 127 kPa、132 kPa、132 kPa、131 kPa 其平均值为 130.5 kPa 复合地基承载力基本值的极差与平均值之比为:3.83 % < 30,所以可取复合地基承载力标准值为 130.5 kPa。

2) 分别测出单桩承载力极限值和桩间土承载力极限值,并通过(3)式确定复合地基承载力极限值 $f_{sp,u}$,将 $f_{sp,u}$ 除以地基土的抗力分项系数 γ_s 得复合地基承载力标准值。

地基土的抗力分项系数 γ_s 一般为 1.5 ~ 2.0,其平均值为 1.75。因此,安庆电厂的干振碎石桩复合地基承载力标准值:

$$f_{sp,k} = f_{sp,u} / 1.75 = 229 / 1.75 = 130.9 \approx 131 \text{ kPa}$$

用以上两种方法所确定的安庆电厂碎石桩复合地基承载力标准值其数值之间仅相差 0.5 kPa,可见用这两种方法得出的结论几乎相同。

对安庆电厂碎石桩复合地基静载荷试验过程和试验结果所作的以上分析和结论得到了设计、施工、检测、监理等各方的认同。

4 结论

1) 在进行碎石桩复合地基静载荷试验中,应尽可能不单独使用 JG 79 - 91 附录一的第一条终止加载条件终止加载。

2) 复合地基承载力极限值一般不易直接测出,可先分别测出单桩承载力极限值和桩间土承载力极限值,再按本文(3)式计算。

3) 复合地基静载荷试验的 $P - S$ 曲线一般为缓变型,复合地基承载力标准值一般应按 $P - S$ 曲线由相对变形确定。

[参考文献]

[1] 中国建筑科学院.《建筑地基处理技术规范》(JG 79 - 91) [Z]. 北京:中国计划出版社,1992.
[2] 叶书麟,等.地基处理与托换技术[M]. 北京:中国建筑工业出版社,1994.

ANALYSIS ON LOADING TEST OF THE STONE COLOUM COMPOSITE FOUNDATION OF ANQING POWER STATION

DUAN Xin - sheng, GU Xiang, ZHANG Ming

Abstract :The principles to end loading and the methods to measure the bearing capacity and the methods to determine standard capacity in loading test of the stone column composite foundation are discussed in this paper.

Key words :stone column composite foundation ,loading test ,principle to end loading ,composite foundation bearing and standard capacity

(下转第 34 页)

GPS-15 型,为了保证泵吸反循环成孔顺利,采取了以下主要技术措施:

1) 尽量减少砂石泵的安装高度,砂石泵叶轮中心与孔内液面高差小于 0.5m。

2) 增加钻杆接头的密封性,防止假循环现象。根据普遍的施工经验,多数工程泵吸反循环在浅孔时钻进效率很高,而当孔达到一定深度后,钻进效率就较低。其主要原因是钻杆密封性差,钻头接头漏水,造成假循环现象。砂石泵看起来排量很大,而实际孔底钻杆内的流量很小,随带钻渣效果差,钻渣集中于孔底堵塞钻头,钻进效率明显下降。施工中,我公司特别设计了一套双向密封的内平钻杆,而且长度每根为 4 m,基本无假循环现象。

3) 使用机械性能良好的砂石泵,保证抽吸真空度满足设计要求。

4) 选择熟练的操作技术工人上岗,严格按深孔施工作业规程操作。

由于采用了上述施工措施,整个工程成孔施工

非常顺利。泵吸反循环钻进从开孔到终孔(102 m 深)工作顺利,当接近孔底时,泵吸反循环抽吸正常,能保持泵量 $120 \text{ m}^3/\text{h} \sim 150 \text{ m}^3/\text{h}$,随渣效果良好并能带上直径 6 cm ~ 8 cm 的岩屑,纯钻效率能达到 $0.8 \text{ m}/\text{h} \sim 1.5 \text{ m}/\text{h}$ 。每孔施工时间为 6 ~ 10 天。

本工程由于采用的泵吸反循环施工工艺,不但按期完成了施工任务,而且工程质最好,成本低,得到了甲方业主的一致好评。

3 几点体会

1) 通过该工程施工,充分证明泵吸反循环施工百米大口径深孔是完全可行的,而且能取得较为满意的效果。

2) 以理论为指导,解决施工中的技术问题,是解决问题的最佳方法。

3) 选择正确的施工工艺是保证顺利施工的前提,但还必须要有保证工艺方法实施的技术措施,否则正确施工工艺的效果难以发挥。

DISCUSSION AND PRACTICE ON DRILLING DEPTH OF PUMP SUCTION REVERSE CIRCULATION

LIAO Guang - hua

Abstract: Possibility is theoretically analyzed about drilling holes with more than hundred meter depth through pump suction reverse circulation. Technical measures and better results in the execution are also introduced. It has guiding significance to the same construction.

Key words: pump suction reverse circulation, deep hole drilling, theory, practice



第一作者简介:

廖光华(1962 年 -),男,高级工程师,全国优秀项目经理。1983 年毕业于中国地质大学。1983 年 ~ 1987 年在江西地质科研所从事钻探护孔科研工作。1987 年 ~ 至今一直从事建筑市场的基础工程施工技术和管理。现任中国地质工程集团公司总经理助理兼中地集团江西分公司总经理。

通讯地址:江西省南昌市沿江中路 19 号华财大厦 173A 中国地质工程公司江西分公司 邮政编码:330009

(上接第 31 页)



第一作者简介:

段新胜(1962 年 -),男。1985 年毕业于武汉地质学院北京研究生部,获硕士学位。现任中国地质大学汉口分校岩土与建筑工程系系主任,副教授。主要从事岩土工程教学科研工作。

通讯地址:湖北省武汉市汉口航空路 15 号 中国地质大学汉口分校岩土与建筑工程系 邮政编码:430030