振动挤密碎石桩软地基处理

马连成, 刘洪华, 张志强

(青岛地矿岩土工程有限公司, 山东 青岛 266071)

摘要 对振动挤密碎石桩软地基处理的设计技术要求、工程施工、试验方法、检测结果、加固效果等进行了综合论述。

关键词 振动挤密 碎石桩 软地基处理

中图分类号 :TU472.3+2 **文献标识码** B **文章编号** :1672-7428(2005)S1-0095-03

挤密碎石桩不同于振冲碎石桩, 全称为“振动沉管成孔干法挤密碎石桩”。目前作为软地基处理方法之一, 已经在建筑、交通、水利、电力等行业广泛使用, 起到了很好的加固效果。

结合我们实际工程的施工和试验, 对振动挤密碎石桩软地基处理的设计技术要求、工程施工、试验方法、检测结果、加固效果等进行综合论述。

1 工程地质条件

工程地基土上部主要成分为新近人工回填的素填土和淤泥质粉质粘土承载力较低, 不能满足建筑物的荷载要求, 工程采用振动挤密碎石桩方法对地基土进行加固处理。

1.1 场地岩土工程地质情况

根据对工程地质勘察资料分析, 场区内的地层自上而下可分为 4 个岩土层:

①层素填土, 黄褐色, 松散~稍密, 稍湿~湿, 主要成分为新近人工回填的风化砂、粘性土, 局部含有少量碎石, 该层在场地内均有分布, 厚度 2.60~5.80 m, 该层承载力特征值 $f_{ak} = 90$ kPa;

②层淤泥质粉质粘土, 灰黑色, 软塑、松散, 混有贝壳等海生物碎片, 具有腥臭味, 厚度 4.2~5.5 m, 该层承载力特征值 f_{ak} 建议取 100 kPa;

③层粉质粘土, 黄褐色, 可塑, 含长英质砂砾及钙质结核, 该层较广泛, 厚度为 2.0~2.5 m, 该层承载力特征值 f_{ak} 建议取 130 kPa;

④层粗、砾砂, 该层承载力特征值 f_{ak} 建议取 250 kPa。

1.2 地基加固处理的重点

综合分析场地地层情况, 第①层和第②层软弱

地基土是进行加固处理的重点, 第③层下部作为持力层。

2 振动挤密碎石桩试桩设计和技术要求

2.1 振动挤密碎石桩试桩所遵循的规范、规程

《建筑地基基础设计规范》(GB 50007)、《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)、《建筑地基基础工程施工质量验收规范》(GB 50202-2002)、《岩土工程勘察规范》(GB 50021-2001)。

2.2 试桩的布置

碎石桩试验桩采用三角形布桩, 桩间距为 1.10 m, 外加 2 排护桩。

2.3 碎石桩试桩标高和桩长

场地自然地坪绝对标高为 3.90 m, 碎石桩的试桩打到自然地坪。

桩顶标高为 3.90 m, 碎石桩桩端进入第③层下部粉质粘土层持力层, 碎石桩端标高为 -6.10 m 左右, 碎石桩试桩桩长为 9.00~10.00 m。

2.4 碎石用料规格

采用碎石级配粒径为 2、4、6 cm; 4 cm 约占 70%, 碎石坚硬, 质地较好。

2.5 碎石桩桩径

采用直径 400 mm 的桩管和桩尖对碎石桩体和桩间土进行挤密, 以形成密实的桩体, 增加桩间土的密实度。

碎石桩挤密后的成桩桩径为 500~600 mm, 部分地段直径大小不均。

3 振动挤密碎石桩施工

振动沉管挤密碎石桩的原理是利用锤头的高频

收稿日期 2005-06-30

作者简介: 马连成(1948-)男(汉族), 山东青岛人, 青岛地矿岩土工程有限公司高级工程师, 探矿工程专业, 从事岩土工程设计和施工工作, 山东省青岛市徐州路 79 号(0573)5814142、13708997643, mmmma6382.ma@vip.sina.com。

振动,将桩管打入地层,然后向管内投加碎石,提升拔管,碎石落出活瓣桩尖进入孔底,而后加压复打、捣实,根据承载力的要求,决定投石量和复打次数。加压复打将碎石挤入地基土,形成了直径较大的碎石桩体。密实的桩体与挤密的地基土形成了“复合地基”。共同承担建筑物的荷载。采用平板活瓣桩尖施工,主要增加桩体的密实度。

3.1 施工设备及参数

DZ60Y 型振动打桩机技术性能参数:电机功率 55 kW,偏心力矩 300 N·m,额定电流 200 kVA,激振力 350 kN,加压力 120 kN,沉管 $\varnothing 400$ mm,桩尖 $\varnothing 400$ mm,平板活瓣桩尖,锤头质量 3.95 t。

3.2 施工顺序和工艺流程

根据场区的地质条件,首先打外围的护桩,从外围向内打,逐渐挤密。

桩机就位→桩尖对位→开机沉管→沉管到底→记录深度→添加碎石→记录数量→拔管复打→再加碎石→复打成桩。

3.3 碎石桩的质量控制

桩顶要增加密实度,用定额电流压力控制贯入度,控制 2 阵 2 min 贯入度 > 4 cm。

4 挤密碎石桩地基加固机理

振动沉管挤密碎石桩加固地基的机理,主要是靠桩管打入地基,将碎石挤入地层,对土体颗粒产生挤密,同时形成密实的桩体,由碎石桩体与周围的土层构成了复合地基,提高了地基的承载力。

4.1 挤密振密作用

振动沉管过程中,对周围土产生了挤压力,将与桩相同体积的土挤向周围。振动沉管的振密作用比较明显,振动使土体液化,加快颗粒沉降,使之重新组合排列。振密挤密作用使碎石桩体密实与土体形成了复合地基从而较大的提高了地基的承载力。

4.2 置换排水作用

密实的碎石桩在地基中,置换了同体积的土,碎石桩桩径越大承载力增加越大。碎石桩体形成后本身又是一个排水通道,土体中孔隙水和孔隙水压力逐渐向桩体转移,不断减弱和消失,使土体排水固结,加强了地基土的强度和整体稳定性。

4.3 应力集中作用

挤密碎石桩一般都打入持力层,在复合地基中,桩体的压缩模量较地基土大得多,通过基础传给的外加荷载作用压力,随着桩和土的等量变形应力逐渐集中到桩上来,从而使桩间土负担相应减少,起到

应力集中的作用。

5 挤密碎石桩复合地基的测试

5.1 测试时间

(1)重型动力触探测试时间。试验桩施工结束 7 天后,碎石桩体和桩间土进行重型动力触探测试。

(2)复合地基载荷测试时间。12 天后做了碎石桩体和桩间土静载荷试验,15 天后做了复合地基载荷试验。

5.2 碎石桩复合地基载荷试验方法和试验设备

5.2.1 载荷试验方法。

复合地基竖向载荷试验方法执行《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79-2002)附录规定,采用配重作为反力装置,油压千斤顶配合精密压力表控制加载量,用百分表测量地基沉降。

试验采用慢速维持荷载法,每加一级荷载,加压前后各读一次沉降量,后按 30 min 读一次沉降量,当 1 h 内沉降增量 < 0.1 mm 时则认为已经趋于稳定,再加下一级荷载。

5.2.2 载荷试验设备

1000 kN 油压千斤顶 1 个;精密压力表 100 MPa,百分表 2 个,量程 50 mm,载荷载板 1.2 m²和 0.5 m²的各 1 块;压重梁和配重设备 1 套。

5.3 碎石桩复合地基试验桩试验概况

5.3.1 碎石桩复合地基载荷试验。

按桩间距 1.10 m 布桩,1 根桩负担面积 1.20 m²,复合地基试验采用 1.20 m²面积的载荷载板进行复合地基载荷试验,最大加荷量为 410 kN。

5.3.2 试验桩桩体的载荷试验

采用 0.5 m²载荷载板进行桩体的载荷试验,最大荷载 280 kN,换算为 560 kPa。

5.3.3 碎石桩桩间土载荷试验

同时对碎石桩桩间土进行载荷试验,试验位置在碎石桩的等边三角形的中心点,采用 0.5 m²载荷载板最大荷载 280 kPa。根据试验资料绘制 $P-s$ 曲线,主要数据见表 1。

表 1 复合地基、碎石桩体、桩间土载荷试验成果表

试验位置	最大荷载 /kPa	沉降量 /mm	承载力特征值 /kPa	变形模量 /kPa
复合地基	342	21	170	14.42
碎石桩体	560	12	280	26.78
桩间土	280	10	140	11.71

5.4 重型动力触探试验

为了掌握多方面数据,对碎石桩桩体和桩间土

进行重型动力触探试验,检测桩体和桩间土的密实程度和计算复合地基承载力。

重型动力触探在碎石桩桩体的中心点,桩间土在正三角形的中心,测试深度为 10 m,经过检测绘制出重型动力触探柱状图,分析资料统计如下:

碎石桩桩体 6~12 击,平均 9.0 击;处理后桩间土 3~8 击,平均 5.5 击;碎石桩桩体承载力 290 kPa,处理后桩间土承载力 150 kPa。

6 挤密碎石桩复合地基承载力的计算

6.1 碎石桩桩体承载力、桩间土承载力的确定

经过对碎石桩桩体、桩间土进行重型动力触探试验和载荷试验,两种试验确定的承载力基本相同。

6.1.1 通过动力触探试验确定的承载力

碎石桩桩体承载力 290 kPa,处理后桩间土承载力 150 kPa。

6.1.2 通过载荷试验确定的承载力

碎石桩桩体承载力 280 kPa,处理后桩间土承载力 140 kPa。

经过综合分析检测资料,碎石桩桩体承载力为 280 kPa,处理后桩间土承载力为 140 kPa,进行碎石桩复合地基计算。

6.2 挤密碎石桩复合地基承载力特征值的计算

根据重型动力触探试验和载荷试验两种试验确定的承载力,把碎石桩桩体承载力 280 kPa,处理后桩间土承载力 140 kPa 代入以下公式进行计算:

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

$$m = d^2/d_e^2$$

式中 $f_{sp,k}$ ——碎石桩复合地基承载力特征值, kPa;
 $f_{p,k}$ ——碎石桩桩体承载力特征值, kPa; $f_{s,k}$ ——复合地基桩间土承载力特征值, kPa; m ——单支碎石桩和所负担的面积置换率; d ——单支碎石桩平均直径, m; d_e ——单支碎石桩和所负担的面积圆的直径, m。

挤密碎石桩复合地基承载力特征值的计算结果 $f_{sp,k} = 173.18$ kPa, $m = 0.237$ 。

根据对碎石桩桩体、桩间土重型动力触探试验

和载荷试验两种试验确定的承载力为 $f_{sp,k} = 173.18$ kPa。

7 挤密碎石桩复合地基加固效果评价

7.1 挤密碎石桩地基加固情况

本工程采用振动沉管挤密碎石桩,使用激振力为 350 kN,加压力为 120 kN 振动沉管打桩机。施工过程中,在 1.2 m² 面积中将 0.31 m³ 碎石打入地层,形成密实的桩体,同时把同体积的土挤入四周土层,对土体颗粒产生挤密,在挤密振密、置换排水的作用下,改变了原地基土的物理力学性质指标,降低了孔隙比,承载力有了较大的提高,克服地基不均匀沉降及砂土液化问题,碎石桩体与周围的土层构成了承载力较高的复合地基。

7.2 挤密碎石桩复合地基加固效果

采用大载荷板对挤密碎石桩复合地基进行静载荷试验,经过资料整理确定:

碎石桩复合地基承载力特征值 $f_{sp,k} = 170.00$ kPa;

碎石桩复合地基变形模量 $E_0 = 14.42$ MPa。

挤密碎石桩复合地基加固效果十分明显。

7.2.1 地基承载力提高幅度很大

本次工程经过振动沉管挤密碎石桩加固处理,地基承载力提高幅度很大,原地基承载力为 90 kPa,碎石桩复合地基承载力特征值为 170 kPa。

7.2.2 挤密碎石桩挤密效果好

本工程采用振动沉管挤密碎石桩,使用激振力为 350 kN,加压力为 120 kN 振动沉管打桩机,桩机性能好,施工过程中,开始在 1.2 m² 面积中每米打入 0.31 m³ 碎石,随着进度挤密程度越来越高,挤密效果很好。

7.2.3 振动沉管挤密碎石桩优点

通过施工情况和各种测试结果,采用振动沉管挤密碎石桩是一种很好的地基处理方法,施工工艺简单,质量好控制(控制复打次数和投石量),施工速度快,无污染,对环境无特殊要求,工程造价低,复合地基承载力提高幅度较大。