

CFG 桩和碎石桩复合处理液化土层的设计与施工

孙小杰, 吴兆军, 毛 洁, 绳怀海

(山东省物化探勘察院, 山东 济南 250013)

摘要:采用 CFG 桩和碎石桩相结合的复合地基方法处理黄河冲积平原新近沉积液化粉土地层, CFG 桩属刚性桩, 主要提高地基承载力, 碎石桩则主要消除粉土层液化问题, 通过该工程设计及实践, 该复合地基方法处理黄河冲积平原液化地层的方法是可行的。

关键词:CFG 桩; 碎石桩; 复合地基; 褥垫层; 混合物

中图分类号: TU472.3 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2007)04-0003-03

Design and Construction of Combined Treatment with CFG Pile and Gravel Pile in Liquefying Formation/SUN Xiao-jie, WU Zhao-jun, MAO Jie, SHENG Huai-hai (Shandong Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, Jinan Shandong 250013, China)

Abstract: Composite foundation with CFG pile and gravel pile is taken in recently deposited liquefying silt ground in Yellow River alluvial plain. CFG pile can increase the bearing capacity of foundation with its rigidity, and gravel pile can eliminate the liquidation of silt ground. This construction method is proved workable.

Key words: CFG pile; gravel pile; composite foundation; cushion; mixture

1 工程概况

某锻造企业拟建管模车间, 车间长 150 m, 宽 52 m, 高 21 m, 框架结构, 独立基础, 其内安装压力机等设备, 要求地基承载力 ≥ 280 kPa, 且要求完全消除地基液化问题。

该场地位于黄河冲积平原, 地震设防烈度 7 级, 上部 15 m 深度土层以粉土和粉质粘土为主, 地震液化等级中等 ~ 严重, 承载力 68 ~ 140 kPa, 不能直接做工程基础持力层, 须进行加固处理。

2 工程地质条件

该场地地层属新近沉积黄河冲积平原, 属软弱场地土, 揭露深度内各土层岩性自上而下分为:

- ①粉质粘土, 软 ~ 可塑, 层厚 0.40 ~ 1.00 m, $f_a = 70$ kPa;
- ②粉质粘土, 可塑, 层厚 0.80 ~ 1.20 m, $f_a = 68$ kPa;
- ③粉土, 稍密, 高 ~ 中等压缩性, 层厚 1.30 ~ 2.10 m, $f_a = 90$ kPa, 液化等级严重;
- ④粉土, 稍密, 高 ~ 中等压缩性, 层厚 1.80 ~ 2.45 m, $f_a = 110$ kPa, 液化等级中等;

⑤粉质粘土, 软塑 ~ 可塑, 高 ~ 中压等缩性, 层厚 1.20 ~ 2.00 m, $f_a = 90$ kPa;

⑥粉土, 稍密, 局部夹粉砂薄层, 高 ~ 中等压缩性, 层厚 1.60 ~ 2.00 m, 液化等级中等, $f_a = 120$ kPa;

⑦粉质粘土, 可塑, 高 ~ 中等压缩性, 层厚 1.50 ~ 2.50 m, $f_a = 130$ kPa;

⑧粉土, 稍密, 夹粉砂薄层, 中等压缩性, 层厚 1.50 ~ 2.00 m, 液化等级中等, $f_a = 140$ kPa;

⑨粉质粘土, 可塑, 中等压缩性, 层厚 7.00 ~ 9.50 m, $f_a = 150$ kPa。

地下水位埋深 1.20 ~ 1.50 m, 最高地下水位埋深 0.80 m。

3 地基方案的确定

该处场地地层天然地基承载力不能满足上部建筑物荷载要求, 地层为粉土和粉质粘土互层, 上部粉土层地震液化。经过分析, 该建筑物地基处理方案如下。

方案一: 采用钻孔灌注桩(预制桩等)基础, 桩径 600 mm(预制桩断面 300 mm × 300 mm, 400 mm

收稿日期: 2006-11-13

作者简介:孙小杰(1971-), 男(汉族), 山东海阳人, 山东省物化探勘察院副总工程师、高级工程师, 勘察工程专业, 从事岩土工程施工、设计、治理工作, 山东省济南市历山路 56 号, (0531)86556997, sdsj1971@yahoo.com.cn; 吴兆军(1964-), 男(汉族), 山东阳谷人, 山东省物化探勘察院深基公司副总经理, 高级工程师, 探矿工程专业, 从事岩土工程施工及管理工作; 毛洁(1976-), 男(汉族), 陕西渭南人, 山东省物化探勘察院深基公司工程部主任、工程师, 工程地质专业, 从事岩土工程施工及管理工作; 绳怀海(1965-), 男(汉族), 山东临沂人, 山东省物化探勘察院检测中心副主任、高级工程师, 地球化学勘查专业, 从事岩土工程检测工作。

×400 mm),以第⑨层粉质粘土为桩端持力层,其承载力能满足要求;

方案二:采用 CFG 桩复合地基进行处理,桩径 400 mm,以第⑨层粉质粘土为桩端持力层;

方案三:采用碎石桩复合地基进行处理,可解决该处地层液化问题。

上述 3 种方案进行综合对比,认为桩基础方案可行,但工程造价较高;CFG 桩复合地基桩顶处土层岩性为粉土层,承载力能满足要求,但液化性未完全消除;碎石桩复合地基处理承载力达不到设计要求。最终确定方案:采用 CFG 桩和碎石桩相结合的方案进行复合地基处理,CFG 桩主要提供承载力,碎石桩主要消除上部地层液化问题。

4 复合地基设计

4.1 复合地基设计思路

场地地层以粉土为主且处于饱和状态,工程勘察报告中所提供的地层岩土工程参数与土的实际性能状态有较大出入,为此,采用反分析法进行复合地基处理设计。基本思路是认定土层的天然孔隙比 $e_0 = 0.95$,当经过碎石桩处理后复合地基桩间土的孔隙比降低为 $e_1 \leq 0.70$ 时,地层的液化问题即可消除。

4.2 碎石桩设计参数

为设计提供碎石桩有关参数,按拟采用承台尺寸长×宽=6.50 m×5.00 m 下土体为一单元模型,深度按 10.0 m 考虑,则天然土体积 $V_0 = 6.5 \text{ m} \times 5.0 \text{ m} \times 10.0 \text{ m} = 325 \text{ m}^3$ 。

孔隙体积: $V_1 = V_0 [e_0 / (1 + e_0)] = 158.34 \text{ m}^3$ 。

经碎石桩处理后孔隙体积: $V_2 = V_0 [e_1 / (1 + e_1)] = 133.84 \text{ m}^3$ 。

天然土体孔隙缩小的部分: $V_1 - V_2 = 24.5 \text{ m}^3$,即为该区域单元填入碎石体积。碎石桩按桩径 500 mm、桩长 10.0 m 考虑,该单元区域共需布桩 12.5 根,即该区域布碎石桩不少于 12.5 根即可消除地层液化问题。

最终选择桩径为 500 mm,有效桩长 10.0 m,桩顶标高 -3.45 m,桩间距 1.7 m,矩形均布在 CFG 桩之间,每组承台布桩 20 根。

4.3 CFG 桩设计参数

桩径 400 mm,有效桩长 12.0 m,桩端扩大头直径 600 mm,桩顶标高 -3.45 m,桩体混合料强度 C20,桩间距 1.70 m,矩形布置,每组承台布桩 12 根。

4.4 褥垫层

桩顶和基础之间设置中粗砂褥垫层,厚度 200 mm。

4.5 处理后的复合地基承载力标准值

处理后的复合地基承载力标准值 $\geq 280 \text{ kPa}$ 。

4.6 布桩(见图 1)

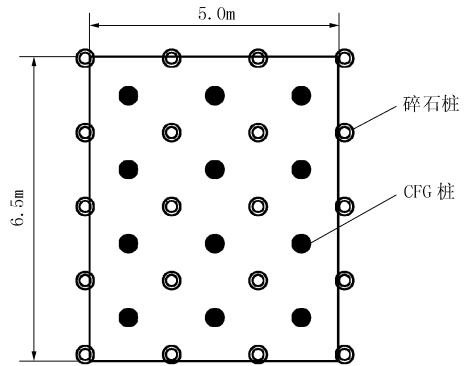


图 1 布桩示意图

4.7 复合地基承载力计算

碎石桩施工结束后,对原土层进行了挤密,改善了土层性能,参照《建筑桩基技术规范》(JGJ 94 - 94)及相关施工经验,对原勘察报告提供的桩周土极限侧阻力值进行了修正。桩周土极限侧阻力、端阻力值指标见表 1。

表 1 桩周土极限侧阻力、端阻力表

层号	极限侧阻力 q_{sk}/kPa	液化折减后极限侧阻力 q_{sk}/kPa	极限端阻力 q_{pk}/kPa	碎石桩处理后极限侧阻力 q_{sk}/kPa
②	20	20		25
③	30	10		45
④	35	12		50
⑤	30	30		35
⑥	46	16		60
⑦	30	30		35
⑧	50	34		65
⑨	45	45	1500	45

参照《建筑桩基技术规范》(JGJ 94 - 94)及《建筑地基处理技术规范》(JGJ 79 - 2002):

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

$$R_a = Q_{uk} / 2$$

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

式中: Q_{uk} ——单桩竖向极限承载力特征值, kN; R_a ——单桩竖向承载力特征值, kN; f_{spk} ——复合地基承载力特征值, kPa; u ——桩周长, m; q_{sik} 、 q_{pk} ——桩周第 i 层土极限侧阻力、极限端阻力标准值, kPa; l_i ——第 i 层土厚度, m; A_p ——桩的截面积, m^2 ; m ——面积置换率, 取 4.35%; β ——桩间土折减系数, $\beta = 0.85$; f_{sk} ——处理后桩间土承载力特征值, 取

110 kPa。

经计算: $Q_{uk} = 1147.8 \text{ kN}$, $R_a = Q_{uk}/2 = 573.95 \text{ kN}$, $f_{spk} = 287.8 \text{ kPa} \geq 280 \text{ kPa}$ 。

5 复合地基施工

综合考虑施工各因素,本工程碎石桩及 CFG 桩施工均采用 DZ2.5 型柴油锤打桩机进行施工。

5.1 施工顺序确定

为防止碎石桩施工对 CFG 桩产生挤密引起桩体断裂,确定先施工碎石桩、再施工 CFG 桩的施工工艺;CFG 桩的施工采用一边向另一边推进施工的方案。

5.2 碎石桩施工

采用双管成桩法进行碎石桩的施工,利用柴油锤将内外管同时打入设计深度,拔出内管,向外管投料,放下内管压在碎石上表面,起拔外管,启动桩锤将碎石压实,反复投料、拔外管、压实直至桩顶。碎石桩主要起消除地层液化的作用,施工过程中以控制填料量为主,贯入度为辅,控制填料量不少于设计理论值。

碎石桩施工工艺流程:定位放线→桩机就位→沉管至设计深度→拔出内管投料→放内管提外管→压实碎石→反复投料压密至桩顶→成桩移位。

5.3 CFG 桩施工

桩体材料采用水泥、粉煤灰、碎石、石屑和砂混合料,强度采用 C20,坍落度控制在 8~10 cm,桩端扩大头采用一次夯扩。桩机就位后,将内外管沉至设计深度,拔出内管,向外管内投入 2.4 m 高度混合料,然后提升外管 1.2 m 进行夯扩至桩底,确保扩大头直径 $\leq 0.6 \text{ m}$,拔出内管,向外管内再填混合料至地面,利用内管压住混合料上顶面,然后拔出外管成桩;拔管速度控制 0.5~1.0 m/min,桩顶以下 3.0 m 范围内对混合料利用插入式振捣密实。

CFG 桩施工工艺流程:定位放线→桩机对位→锤击沉管至设计深度→拔出内管投混合料→锤击内外管进行夯扩→提出内管投混合料至地表→起拔外管→成桩移位。

6 复合地基检测

6.1 静载试验

该工程共做复合地基载荷试验 3 组,载荷板采用直径 1.58 m 圆形钢制板,堆载配重采用该企业铸

铁块,加载级数共分 8 级,加载至设计要求荷载后终止加载,均没有达到极限破坏状态,承载力特征值均大于 280 kPa,达到了设计要求;该工程共做低应变测试桩 60 根,其中 I 类桩 51 根,II 类桩 9 根,II 类桩在 5.5~6.8 m 处轻微缩径,分析原因是因为第⑤层粉质粘土易缩径,在该段拔管提升速度稍快所致。静载试验结果见表 2。

表 2 静载试验结果表

试验点号	对应桩号	每次加载量 /kPa	最大加载量 /kPa	最大加载量对应沉降量/mm	承载力特征值 /kPa	承载力特征值对应沉降量/mm	最大回弹量/mm
S1	18	70	560	8.42	280	3.21	5.46
S2	199	70	560	10.12	280	4.10	6.70
S3	78	70	560	7.53	280	3.62	5.40

6.2 沉降观测

共布置观测点 8 个,从建筑物地面施工开始观测,共观测 14 次,建筑物封顶时沉降量为 3.50~6.32 mm,运行 1 年后沉降量为 9.80~12.41 mm,现该建筑物已安全运行 2 年,沉降趋于稳定。沉降观测结果见表 3。

表 3 沉降结果表

观测点编号	封顶时沉降量/mm	建成 1 年后沉降量/mm
1	3.90	9.81
2	4.34	9.95
3	3.50	9.80
4	5.22	10.12
5	4.25	10.10
6	6.32	12.41
7	4.30	10.05
8	3.80	9.85

7 结语

采用碎石桩和 CFG 桩相结合的方法处理黄河冲积平原粉土液化地层,通过碎石桩消除地层液化,CFG 桩提高地基承载力的方法是可行的,该工程造价比采用桩基础施工可节约 25 万元以上,其经济效益可观。

参考文献:

- [1] GB 50007-2002, 建筑地基基础设计规范[S].
- [2] JGJ 79-2002, 建筑地基处理技术规范[S].
- [3] JGJ 94-94, 建筑桩基技术规范[S].
- [4] GB 50011-2001, 建筑抗震设计规范[S].
- [5] 李昂. 建筑地基处理技术及地基基础工程标准规范实用手册[M]. 北京:金版电子出版公司,2003.